

竜巻検討地域において発生した竜巻

竜巻検討地域において1961年から2012年6月に発生した竜巻の一覧を下表に示す。

No.	発生日時	発生位置経度	発生位置緯度	Fスケール	現象区別
001	1962年09月28日14時20分	45度13分30秒	141度15分25秒	(F2)	竜巻
002	1965年09月30日02時35分	39度44分33秒	140度4分46秒	F1	竜巻
003	1965年09月30日03時00分	39度19分29秒	140度0分10秒	F0~F1	竜巻又はダウンバースト
004	1968年01月08日09時50分	37度13分48秒	138度19分22秒	F1	竜巻
005	1969年06月22日09時00分	34度37分30秒	131度36分10秒	F1	竜巻
006	1969年11月18日07時08分	38度54分31秒	139度50分7秒	F1	竜巻
007	1971年02月01日00時20分	36度41分10秒	136度40分30秒	F1	竜巻
008	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	(F2)	竜巻
009	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	F0~F1	竜巻
010	1972年11月21日17時05分	36度53分27秒	137度24分57秒	F1	竜巻
011	1973年05月21日16時30分	36度49分56秒	136度44分45秒	F0~F1	竜巻
012	1973年09月27日23時00分	45度26分20秒	141度2分10秒	F1	竜巻
013	1973年10月22日13時20分	39度41分41秒	140度4分20秒	F1	竜巻
014	1974年08月08日05時05分	40度16分53秒	140度3分24秒	F0~F1	竜巻
015	1974年10月03日19時05分	42度11分20秒	139度31分0秒	(F1~F2)	竜巻
016	1974年10月20日15時00分	41度47分45秒	140度7分47秒	(F1~F2)	竜巻
017	1975年05月31日18時10分	35度25分57秒	132度37分42秒	(F2)	竜巻
018	1975年05月31日18時10分	35度26分6秒	132度37分57秒	F0~F1	竜巻
019	1975年05月31日18時40分	35度25分8秒	132度37分54秒	F0~F1	竜巻
020	1975年09月08日01時30分	42度12分52秒	139度32分58秒	(F1~F2)	竜巻
021	1977年01月13日01時30分	36度34分7秒	136度34分7秒	F0~F1	竜巻
022	1978年08月14日10時40分	45度5分0秒	141度38分0秒	不明	竜巻
023	1979年10月31日13時00分	37度8分21秒	136度41分22秒	F0~F1	竜巻
024	1979年11月02日01時58分	41度30分7秒	140度1分6秒	(F2)	竜巻
025	1984年11月19日22時00分	35度26分41秒	133度19分22秒	F1	竜巻
026	1987年01月11日01時32分	40度2分27秒	139度56分19秒	F0~F1	竜巻
027	1987年01月11日02時00分	40度6分9秒	139度57分57秒	F1	竜巻
028	1989年03月16日19時20分	35度24分0秒	132度40分0秒	(F2)	竜巻
029	1990年04月06日02時55分	37度12分10秒	136度40分56秒	F2	竜巻
030	1991年01月13日14時48分	38度1分25秒	138度12分20秒	不明	竜巻
031	1991年02月15日11時00分	35度33分54秒	135度52分53秒	F1	竜巻
032	1991年09月17日08時50分	42度49分12秒	140度12分50秒	不明	竜巻
033	1991年12月11日20時10分	26度35分59秒	136度38分0秒	F1	竜巻
034	1992年09月13日08時50分	45度26分50秒	141度40分0秒	不明	竜巻
035	1992年09月17日09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	F1	竜巻
036	1992年09月17日09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	不明	竜巻
037	1993年09月26日15時52分	43度57分17秒	141度36分54秒	不明	竜巻
038	1993年10月17日09時30分	36度55分0秒	136度43分51秒	不明	竜巻
039	1993年10月23日17時00分	38度5分30秒	138度12分30秒	不明	竜巻
040	1993年11月24日13時50分	37度13分27秒	138度12分49秒	不明	竜巻
041	1994年03月26日11時40分	38度48分32秒	139度16分19秒	F1	竜巻
042	1994年09月01日16時00分	37度59分6秒	139度2分56秒	不明	竜巻
043	1995年12月01日13時51分	36度26分13秒	136度25分3秒	不明	竜巻
044	1996年09月05日10時20分	39度15分18秒	139度54分1秒	不明	竜巻
045	1996年10月08日23時07分	44度43分7秒	141度48分15秒	F1	竜巻
046	1996年11月30日07時05分	37度23分39秒	138度34分14秒	F1	竜巻
047	1997年01月22日09時20分	37度54分58秒	139度2分0秒	F0	竜巻
048	1998年09月24日15時00分	35度38分26秒	134度55分31秒	不明	竜巻
049	1998年10月31日08時40分	37度19分6秒	136度12分10秒	不明	竜巻
050	1998年11月15日22時30分	38度56分40秒	139度49分22秒	F1	竜巻

【参考】 竜巻検討地域TAにおいて発生した竜巻について

気象庁「竜巻等の突風データベース」をもとに、竜巻検討地域において、1961年～2012年6月に発生した竜巻の一覧を示す。

No.	現象区別	発生日時	発生場所		F3相当	F2相当
			緯度	経度		
1	竜巻	1999年09月24日11時07分	34度42分4秒	137度23分5秒	F3	F2
2	竜巻	1990年02月19日15時15分	31度15分38秒	130度16分35秒	F2~F3	F2
3	竜巻	1978年02月28日21時20分	35度32分1秒	139度41分50秒	F2~F3	F2
4	竜巻	1969年12月07日18時00分	34度45分4秒	137度22分46秒	F2~F3	F2
5	竜巻	1968年09月24日19時05分	32度7分16秒	131度32分8秒	F2~F3	F2
6	竜巻	1967年10月28日03時12分	35度42分3秒	140度43分10秒	F2~F3	F2
7	竜巻	2011年11月18日19時10分	27度49分44秒	128度55分58秒	F2	F2
8	竜巻	2006年11月18日12時47分	26度31分18秒	128度2分42秒	F2	F2

2.2 竜巻検討地域において発生した竜巻

1961年1月～2012年6月の51.5年間を対象として、竜巻検討地域において発生した竜巻及び竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻の一覧を示す。

No.	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
001	1962年09月28日14時20分	45度13分30秒	141度15分25秒	(F2)	竜巻
002	1965年09月30日02時35分	39度44分33秒	140度4分46秒	F1	竜巻
003	1965年09月30日03時00分	39度19分29秒	140度0分10秒	F0~F1	竜巻またはダウンバースト
004	1968年01月08日09時50分	37度13分48秒	138度19分22秒	F1	竜巻
005	1969年06月22日09時00分	34度37分30秒	131度36分10秒	F1	竜巻
006	1969年11月18日07時08分	38度54分31秒	139度50分7秒	F1	竜巻
007	1971年02月01日00時20分	36度41分10秒	136度40分30秒	F1	竜巻
008	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	(F2)	竜巻
009	1971年10月17日05時00分	44度21分23秒	141度41分30秒	F0~F1	竜巻
010	1972年11月21日17時05分	36度53分27秒	137度24分57秒	F1	竜巻
011	1973年05月21日16時30分	36度49分56秒	136度44分45秒	F0~F1	竜巻
012	1973年09月27日23時00分	45度26分20秒	141度2分10秒	F1	竜巻
013	1973年10月22日13時20分	39度41分41秒	140度4分20秒	F1	竜巻
014	1974年08月08日05時05分	40度16分53秒	140度3分24秒	F0~F1	竜巻
015	1974年10月03日19時05分	42度11分20秒	139度31分0秒	(F1~F2)	竜巻
016	1974年10月20日15時00分	41度47分45秒	140度7分47秒	(F1~F2)	竜巻

・竜巻検討地域の違いによる相違

【東海第二】  
島根2号炉は竜巻検討地域が異なるため、竜巻の記録が異なる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)

051	1999年10月08日09時30分	36度43分56秒	136度40分18秒	不明	竜巻
052	1999年10月29日21時25分	40度13分10秒	140度4分11秒	F0~F1	竜巻
053	1999年11月25日15時40分	40度20分50秒	140度1分37秒	(F1~F2)	竜巻
054	2000年07月25日06時20分	36度8分1秒	136度4分13秒	不明	竜巻
055	2000年07月25日06時30分	36度13分26秒	136度8分2秒	不明	竜巻
056	2001年06月01日13時20分	40度32分7秒	139度56分44秒	F1	竜巻
057	2001年06月19日14時50分	35度37分58秒	136度3分11秒	F1	竜巻
058	2002年09月23日14時30分	36度58分15秒	137度33分15秒	F0~F1	竜巻
059	2002年09月24日13時15分	39度30分6秒	140度4分56秒	F1	竜巻
060	2002年11月04日11時20分	36度21分14秒	136度19分32秒	F0	竜巻
061	2002年11月05日10時30分	35度38分15秒	135度56分16秒	不明	竜巻
062	2003年10月18日16時25分	36度11分51秒	136度7分2秒	不明	竜巻
063	2004年08月15日12時10分	45度27分22秒	141度2分1秒	F0未満	竜巻
064	2005年01月12日07時50分	35度32分0秒	134度3分30秒	不明	竜巻
065	2005年12月05日11時50分	35度23分26秒	132度42分50秒	F1	竜巻又はダウンバースト
066	2005年12月25日11時10分	38度51分16秒	139度47分16秒	F1	竜巻
067	2006年11月09日12時05分	42度3分41秒	139度26分50秒	F1	竜巻
068	2007年08月24日08時20分	38度47分10秒	139度42分0秒	不明	竜巻
069	2007年08月24日08時20分	38度47分10秒	139度42分0秒	不明	竜巻
070	2007年10月01日14時25分	43度23分4秒	140度26分30秒	不明	竜巻
071	2007年10月01日14時25分	43度17分8秒	140度20分16秒	不明	竜巻
072	2007年10月01日15時30分	42度26分26秒	139度47分30秒	不明	竜巻
073	2007年10月04日13時36分	44度53分4秒	141度17分0秒	不明	竜巻
074	2007年10月04日16時30分	42度27分15秒	139度50分20秒	不明	竜巻
075	2007年10月11日09時55分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
076	2007年10月11日10時25分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
077	2007年10月16日15時23分	35度36分35秒	133度5分10秒	不明	竜巻
078	2007年11月22日09時00分	36度54分32秒	137度24分56秒	不明	竜巻又は漏斗雲
079	2007年12月02日01時30分	38度54分26秒	139度50分18秒	F0	竜巻
080	2008年06月01日12時50分	40度23分20秒	139度58分55秒	不明	竜巻
081	2008年07月30日08時03分	35度34分20秒	134度13分5秒	不明	竜巻
082	2008年07月30日08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻又は漏斗雲
083	2008年07月30日08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻又は漏斗雲
084	2008年07月30日08時41分	35度33分36秒	134度11分26秒	不明	竜巻又は漏斗雲
085	2008年07月30日08時55分	35度34分48秒	134度9分30秒	不明	竜巻
086	2008年07月30日09時01分	35度34分16秒	134度9分26秒	不明	竜巻
087	2008年07月30日09時18分	35度34分6秒	134度8分16秒	不明	竜巻
088	2008年08月14日11時25分	38度55分10秒	139度48分31秒	不明	竜巻
089	2008年08月15日16時20分	35度50分51秒	133度59分38秒	F0以下	竜巻
090	2008年09月14日08時33分	45度28分53秒	141度50分14秒	不明	竜巻
091	2008年09月14日08時47分	45度29分22秒	141度37分30秒	不明	竜巻
092	2008年09月21日11時07分	38度28分16秒	139度28分39秒	不明	竜巻
093	2008年10月01日11時55分	40度1分15秒	139度45分45秒	不明	竜巻
094	2008年10月01日11時55分	40度0分37秒	139度44分9秒	不明	竜巻
095	2008年10月10日09時05分	39度47分5秒	140度0分55秒	不明	竜巻
096	2008年10月10日10時20分	39度44分36秒	140度0分23秒	不明	竜巻
097	2008年10月10日12時07分	39度40分20秒	140度1分7秒	不明	竜巻
098	2008年10月11日00時45分	41度51分4秒	138度7分37秒	F0	竜巻
099	2008年10月15日13時48分	37度51分36秒	138度54分57秒	不明	竜巻
100	2008年10月15日14時47分	38度40分48秒	139度34分48秒	不明	竜巻
101	2008年10月15日16時10分	38度22分2秒	139度26分44秒	不明	竜巻
102	2008年10月26日18時30分	37度56分11秒	139度6分24秒	F0	竜巻
103	2008年10月27日14時55分	36度9分11秒	136度4分16秒	不明	竜巻
104	2008年10月30日12時33分	35度32分51秒	134度12分26秒	不明	竜巻
105	2008年10月30日12時38分	35度35分1秒	134度17分35秒	F0	竜巻
106	2008年10月30日12時50分	35度34分34秒	134度16分10秒	不明	竜巻
107	2008年10月31日07時30分	37度7分33秒	136度42分25秒	不明	竜巻

東海第二発電所 (2018.9.18版)

No.	現象 区別	発生日時	発生場所		緯度	経度	気象	備考
			都道府県	市町村				
9	竜巻	2006年09月17日14時03分	宮崎県	延岡市	32度32分39秒	131度41分1秒	台風	総観場
10	竜巻	2006年03月28日16時00分	宮崎県	串本町	33度25分0秒	135度45分0秒	日本海低気圧	寒冷前線
11	竜巻	2004年09月30日03時07分	東京都	大田区	35度31分59秒	139度47分41秒	台風	気圧の谷
12	竜巻	2002年04月03日07時50分	沖縄県	沖縄市	26度22分30秒	127度48分10秒	東ノ海低気圧	暖気の移流
13	竜巻	2000年09月11日17時55分	愛知県	南知多町	34度43分12秒	136度53分35秒	台風	停滞前線
14	竜巻	1999年09月24日12時10分	愛知県	小坂井町	34度47分45秒	137度21分54秒	台風	停滞前線
15	竜巻	1998年02月17日02時30分	沖縄県	久米島島志川村	26度22分53秒	126度44分45秒	停滞前線	寒冷前線
16	竜巻	1997年03月29日12時00分	沖縄県	糸濱市	26度6分1秒	127度39分34秒	停滞前線	温暖前線
17	竜巻	1996年07月05日14時40分	千葉県	千葉市	35度33分27秒	140度10分28秒	日本海低気圧	停滞前線
18	竜巻	1994年08月20日10時18分	沖縄県	伊良部町	24度48分34秒	125度13分4秒	台風	停滞前線
19	竜巻	1993年09月03日20時22分	高知県	吾川郡津野町	33度28分48秒	133度31分33秒	台風	暖気の移流
20	竜巻	1991年04月07日00時05分	沖縄県	島尻郡志川村	26度20分48秒	126度44分48秒	停滞前線	停滞前線

島根原子力発電所 2号炉

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分	備考
018	1975年05月31日 18時10分	35度26分6秒	132度37分57秒	F0~F1	竜巻	
019	1975年05月31日 18時40分	35度25分8秒	132度37分53秒	F0~F1	竜巻	
020	1975年09月08日 01時30分	42度12分52秒	139度32分58秒	(F1~F2)	竜巻	
021	1977年01月13日 01時30分	36度34分5秒	136度34分0秒	F0~F1	竜巻	
022	1978年08月14日 10時40分	45度5分0秒	141度38分0秒	不明	竜巻	
023	1979年10月31日 13時00分	37度8分21秒	136度41分2秒	F0~F1	竜巻	
024	1979年11月02日 01時58分	41度30分7秒	140度1分6秒	(F2)	竜巻	
025	1984年11月19日 22時00分	35度26分4秒	133度19分22秒	F1	竜巻	
026	1987年01月11日 01時32分	40度2分27秒	139度56分19秒	F0~F1	竜巻	
027	1987年01月11日 02時00分	40度6分9秒	139度57分57秒	F1	竜巻	
028	1989年03月16日 19時20分	35度24分0秒	132度40分0秒	(F2)	竜巻	
029	1990年04月06日 02時55分	37度12分10秒	136度40分56秒	F2	竜巻	
030	1991年01月13日 14時48分	38度1分25秒	138度12分20秒	不明	竜巻	
031	1991年02月15日 11時00分	35度33分54秒	135度52分53秒	F1	竜巻	
032	1991年09月17日 08時50分	42度49分12秒	140度12分50秒	不明	竜巻	
033	1991年12月11日 20時10分	36度35分59秒	136度38分0秒	F1	竜巻	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)

108	2008年11月02日16時20分	37度44分35秒	138度48分7秒	不明	竜巻
109	2008年11月19日08時36分	36度27分26秒	136度23分41秒	不明	竜巻又は漏斗雲
110	2008年11月19日11時45分	37度55分41秒	139度1分4秒	不明	竜巻
111	2008年11月20日08時30分	37度26分19秒	138度34分17秒	不明	竜巻
112	2008年11月20日08時40分	36度56分37秒	136度41分33秒	不明	竜巻
113	2008年11月20日08時42分	36度56分37秒	136度41分33秒	不明	竜巻
114	2008年11月20日08時42分	36度56分37秒	136度41分33秒	不明	竜巻
115	2008年11月20日09時40分	37度27分8秒	138度34分43秒	不明	竜巻
116	2008年11月20日10時00分	36度41分30秒	136度33分4秒	不明	竜巻又は漏斗雲
117	2008年11月23日10時20分	36度59分16秒	136度46分25秒	F0~F1	竜巻
118	2009年01月24日11時05分	42度5分27秒	139度23分57秒	不明	竜巻
119	2009年01月24日11時15分	42度0分27秒	139度27分46秒	不明	竜巻
120	2009年02月07日20時15分	39度41分6秒	140度5分11秒	F0	竜巻
121	2009年03月14日17時26分	35度35分53秒	134度13分28秒	不明	竜巻又は漏斗雲
122	2009年08月23日18時37分	38度36分36秒	139度34分27秒	不明	竜巻
123	2009年08月23日18時51分	38度37分26秒	139度35分7秒	不明	竜巻
124	2009年09月10日13時30分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
125	2009年09月10日13時35分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
126	2009年09月13日03時40分	38度34分7秒	139度33分9秒	F0	竜巻
127	2009年10月04日12時50分	39度39分55秒	140度4分26秒	不明	竜巻
128	2009年10月27日13時10分	37度2分7秒	137度49分14秒	不明	竜巻
129	2009年10月30日07時26分	40度30分18秒	139度59分57秒	F0	竜巻
130	2009年10月30日09時20分	40度9分56秒	140度0分26秒	F1	竜巻
131	2009年11月03日06時25分	36度52分52秒	137度21分58秒	不明	竜巻又は漏斗雲
132	2009年11月03日06時37分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
133	2009年11月03日06時38分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
134	2009年11月03日06時39分	36度53分27秒	137度22分38秒	不明	竜巻
135	2009年11月03日06時43分	36度54分56秒	137度23分51秒	不明	竜巻
136	2009年12月18日02時00分	36度34分20秒	136度33分53秒	F0	竜巻
137	2009年12月18日11時03分	35度34分22秒	134度14分26秒	不明	竜巻又は漏斗雲
138	2010年08月25日12時30分	43度57分25秒	141度35分10秒	不明	竜巻
139	2010年08月25日13時05分	43度59分0秒	141度39分15秒	F0未満	竜巻
140	2010年09月07日03時45分	39度46分12秒	140度3分59秒	F0	竜巻
141	2010年09月16日14時30分	35度37分0秒	134度24分5秒	不明	竜巻
142	2010年09月17日10時45分	37度38分56秒	138度44分42秒	不明	竜巻
143	2010年09月17日10時55分	37度38分3秒	138度45分37秒	F0以下	竜巻
144	2010年10月15日04時30分	37度10分5秒	136度40分32秒	F0	竜巻
145	2010年10月15日17時00分	38度3分23秒	139度19分23秒	F0	竜巻
146	2010年10月15日17時05分	38度4分24秒	139度21分9秒	F1	竜巻
147	2010年10月17日12時40分	40度22分52秒	139度59分42秒	F0	竜巻
148	2010年10月17日13時20分	39度51分14秒	140度1分32秒	F0	竜巻
149	2010年10月26日07時00分	43度24分30秒	141度22分0秒	不明	竜巻
150	2010年10月26日07時05分	43度24分30秒	141度19分0秒	不明	竜巻
151	2010年10月26日07時05分	43度8分28秒	140度23分6秒	不明	竜巻
152	2010年10月26日07時10分	43度23分10秒	141度25分50秒	F0未満	竜巻
153	2010年10月26日07時10分	43度24分0秒	141度24分40秒	不明	竜巻
154	2010年10月26日07時38分	43度22分30秒	141度24分15秒	不明	竜巻
155	2010年10月26日08時10分	43度8分38秒	140度23分6秒	不明	竜巻
156	2010年10月26日15時50分	41度51分39秒	140度6分25秒	不明	竜巻
157	2010年11月12日13時15分	40度19分0秒	140度1分47秒	F0	竜巻
158	2010年11月29日09時20分	37度0分3秒	136度46分18秒	F0	竜巻
159	2010年11月29日12時18分	36度15分21秒	136度6分51秒	不明	竜巻又は漏斗雲
160	2010年11月29日12時24分	36度15分23秒	136度6分59秒	不明	竜巻
161	2010年11月29日12時25分	36度15分17秒	136度6分37秒	不明	竜巻
162	2010年12月03日15時30分	37度50分58秒	138度55分4秒	F0	竜巻
163	2010年12月03日15時36分	37度52分15秒	138度58分57秒	F0未満	竜巻
164	2010年12月03日15時45分	37度53分11秒	139度2分24秒	F1	竜巻

東海第二発電所 (2018.9.18版)

No.	現象 区別	発生日時	発生場所															
			緯度	経度	都道府県	市町村	スケール	気象の移流										
21	竜巻	1991年04月07日00時03分	26度20分46秒	126度44分22秒	沖縄県	高良郡具志川村	F2	寒冷前線										
22	竜巻	1990年12月11日17時47分	35度5分14秒	140度2分10秒	千葉県	鴨川市	F2	気圧の谷 雷雨(熱雷を除く)										
23	竜巻	1990年04月03日22時15分	26度27分23秒	127度51分52秒	沖縄県	国頭郡金武町	F2	寒冷前線										
24	竜巻	1989年07月04日16時15分	26度18分50秒	127度50分6秒	沖縄県	沖縄市	F2	停滞前線 暖気の移流										
25	竜巻	1987年01月05日07時55分	26度19分43秒	127度52分13秒	沖縄県	勝連町	F2	寒冷前線										
26	竜巻	1985年09月28日13時55分	31度17分3秒	130度20分20秒	鹿児島県	枕崎市	F1~F2	東シベ利亚低気圧										
27	竜巻	1985年08月31日05時30分	32度23分39秒	131度38分14秒	宮崎県	日向市	F1~F2	台風										
28	竜巻	1983年09月25日15時00分	26度55分34秒	127度56分53秒	沖縄県	伊是名村	F2	台風										
29	竜巻	1979年05月27日12時25分	36度14分50秒	140度33分0秒	茨城県	鹿島郡堀村	F1~F2	気圧の谷 寒気の移流 雷雨(熱雷を除く)										
30	竜巻	1975年02月15日16時20分	34度45分10秒	139度21分13秒	東京都	大島町	F1~F2	季節風 寒気の移流										
31	竜巻	1975年02月06日07時00分	27度41分20秒	128度55分18秒	鹿児島県	鹿兒島市	F2	南岸低気圧										
32	竜巻	1974年07月08日03時30分	34度37分24秒	138度8分7秒	静岡県	小笠原郡岡町	F1~F2	台風										

島根原子力発電所 2号炉

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分	備考
035	1992年09月17日 09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	F1	竜巻	
036	1992年09月17日 09時05分	43度50分50秒	141度29分55秒	不明	竜巻	
037	1993年09月26日 15時52分	43度57分17秒	141度36分54秒	不明	竜巻	
038	1993年10月17日 09時30分	36度55分9秒	136度43分51秒	不明	竜巻	
039	1993年10月23日 17時00分	38度5分30秒	138度12分30秒	不明	竜巻	
040	1993年11月24日 13時50分	37度13分27秒	138度12分49秒	不明	竜巻	
041	1994年03月26日 11時40分	38度48分32秒	139度46分19秒	F1	竜巻	
042	1994年09月01日 16時00分	37度59分6秒	139度2分56秒	不明	竜巻	
043	1995年12月01日 13時51分	36度26分13秒	136度25分3秒	不明	竜巻	
044	1996年09月05日 10時20分	39度15分18秒	139度54分1秒	不明	竜巻	
045	1996年10月08日 23時07分	44度43分7秒	141度48分15秒	F1	竜巻	
046	1996年11月30日 07時05分	37度23分39秒	138度34分14秒	F1	竜巻	
047	1997年01月22日 09時20分	37度54分58秒	139度2分0秒	F0	竜巻	
048	1998年09月24日 15時00分	35度38分26秒	134度55分31秒	不明	竜巻	
049	1998年10月31日 08時40分	37度19分6秒	136度42分10秒	不明	竜巻	
050	1998年11月15日 22時30分	38度56分40秒	139度49分22秒	F1	竜巻	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)

165	2010年12月09日17時10分	37度12分36秒	138度18分7秒	F0~F1	竜巻
166	2010年12月15日07時56分	36度51分20秒	137度23分5秒	不明	竜巻
167	2010年12月16日08時00分	38度2分43秒	138度37分10秒	不明	竜巻
168	2010年12月17日10時20分	42度52分12秒	140度18分46秒	不明	竜巻
169	2010年12月18日07時18分	35度34分17秒	134度10分6秒	不明	竜巻又は漏斗雲
170	2010年12月24日15時57分	35度34分17秒	134度10分4秒	不明	竜巻
171	2010年12月27日01時30分	37度1分3秒	136度44分37秒	F0	竜巻
172	2010年12月29日13時50分	35度46分56秒	135度14分0秒	不明	竜巻
173	2010年12月29日14時00分	35度46分54秒	135度12分6秒	不明	竜巻
174	2011年01月03日14時52分	38度3分48秒	139度16分7秒	不明	竜巻
175	2011年03月09日11時30分	36度13分1秒	136度11分51秒	F0未満	竜巻又は漏斗雲
176	2011年03月09日17時25分	35度34分6秒	134度8分57秒	不明	竜巻
177	2011年03月31日09時50分	37度10分31秒	138度13分58秒	F0未満	竜巻又は漏斗雲
178	2011年08月13日17時32分	40度29分8秒	139度53分20秒	不明	竜巻
179	2011年08月20日18時30分	43度5分3秒	140度22分46秒	不明	竜巻
180	2011年08月20日18時40分	43度4分56秒	140度23分57秒	不明	竜巻
181	2011年08月20日18時45分	43度4分52秒	140度24分37秒	不明	竜巻
182	2011年08月22日12時05分	45度19分0秒	140度58分47秒	不明	竜巻又は漏斗雲
183	2011年09月20日05時50分	45度25分27秒	141度41分35秒	不明	竜巻
184	2011年11月15日16時10分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
185	2011年11月15日16時12分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
186	2011年11月15日16時14分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
187	2011年11月15日16時15分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
188	2011年11月15日16時20分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
189	2011年11月24日12時10分	36度56分25秒	137度23分30秒	不明	竜巻又は漏斗雲
190	2011年11月25日06時27分	36度53分15秒	137度23分0秒	不明	竜巻又は漏斗雲
191	2011年12月24日12時10分	36度48分30秒	136度42分0秒	不明	竜巻
192	2012年02月01日04時15分	35度21分11秒	132度40分40秒	F0	竜巻

気象庁 「竜巻等の突風データベース」より作成

東海第二発電所 (2018.9.18版)

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				緯度	経度	市町村	藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村					
33	竜巻	1974年07月06日16時40分	33度32分4秒	133度38分30秒	高知県	南州市	F1~F2	台風	暖気の移流		
34	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度5分30秒	127度41分48秒	沖縄県	糸満市	F1~F2	東シベ利亚低気圧	暖気の移流		
35	竜巻	1971年08月31日09時00分	35度37分14秒	140度5分3秒	千葉県	千葉市	F2	台風			
36	竜巻	1969年08月23日10時15分	35度5分48秒	140度6分29秒	千葉県	鴨川町	F1~F2	台風			
37	竜巻	1968年09月24日19時20分	32度6分44秒	131度31分52秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風			
38	竜巻	1968年09月24日17時25分	32度5分16秒	131度31分16秒	宮崎県	高鍋町	F2	台風			
39	竜巻	1968年08月28日12時30分	33度32分0秒	133度39分0秒	高知県	南州市	F1~F2	台風			
40	竜巻	1967年10月28日02時05分	35度7分6秒	140度7分22秒	千葉県	鴨川町	F2	台風			
41	竜巻	1967年03月23日15時04分	35度43分50秒	140度50分6秒	千葉県	鎌子市	F1~F2	寒冷前線			
42	竜巻	1965年10月14日21時40分	35度35分20秒	139度42分40秒	東京都	大田区	F1~F2	温暖前線			
43	竜巻	1964年01月17日15時40分	33度4分2秒	139度48分26秒	東京都	八丈町	F2	南岸低気圧			
44	竜巻	1962年12月30日08時25分	34度39分7秒	138度4分21秒	静岡県	千原村	F1~F2	二つ玉低気圧	温暖前線		

島根原子力発電所 2号炉

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分	備考
052	1999年10月29日 21時25分	40度13分10秒	140度4分11秒	F0~F1	竜巻	
053	1999年11月25日 15時40分	40度20分50秒	140度1分37秒	(F1~F2)	竜巻	
054	2000年07月25日 06時20分	36度8分1秒	136度4分13秒	不明	竜巻	
055	2000年07月25日 06時30分	36度13分26秒	136度8分2秒	不明	竜巻	
056	2001年06月01日 13時20分	40度32分7秒	139度56分44秒	F1	竜巻	
057	2001年06月19日 14時50分	35度37分58秒	136度3分11秒	F1	竜巻	
058	2002年09月23日 14時30分	36度58分15秒	137度33分15秒	F0~F1	竜巻	
059	2002年09月24日 13時15分	39度30分6秒	140度4分56秒	F1	竜巻	
060	2002年11月04日 11時20分	36度21分14秒	136度19分32秒	F0	竜巻	
061	2002年11月05日 10時30分	35度38分45秒	135度56分16秒	不明	竜巻	
062	2003年10月18日 16時25分	36度11分51秒	136度7分2秒	不明	竜巻	
063	2004年08月15日 12時10分	45度27分22秒	141度2分1秒	F0未満	竜巻	
064	2005年01月12日 07時50分	35度32分0秒	134度3分30秒	不明	竜巻	
065	2005年12月05日 11時50分	35度23分26秒	132度42分50秒	F1	竜巻またはダウンバースト	
066	2005年12月25日 19時10分	38度51分16秒	139度47分16秒	F1	竜巻	
067	2006年11月09日 12時05分	42度3分31秒	139度26分50秒	F1	竜巻	



No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
45	竜巻	1962年08月26日08時25分	34度35分43秒	138度13分29秒	静岡県 藤原郡御前崎町	F1~F2	台風
46	竜巻	1962年08月26日04時00分	34度38分49秒	137度46分34秒	静岡県 浜松市	F2	台風
47	竜巻	1962年07月02日14時30分	35度56分50秒	140度30分20秒	茨城県 稲敷郡東村	F2	温暖前線 梅雨前線 局地性じょう乱
FI相当							
48	竜巻	2011年05月28日05時00分	24度22分21秒	124度12分54秒	神奈川 石垣市	F1	台風
49	竜巻	2010年12月03日07時30分	35度18分16秒	139度33分4秒	神奈川県 鎌倉市	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
50	竜巻	2009年10月08日04時30分	35度32分42秒	140度27分43秒	千葉県 山武郡九十九里町	F1	台風 暖気の移流
51	竜巻	2008年12月05日15時30分	35度36分28秒	139度42分37秒	東京都 品川区	F1	寒冷前線
52	竜巻	2008年10月24日02時30分	34度15分5秒	136度49分44秒	三重県 志摩市	F1	南岸低気圧
53	竜巻	2008年10月07日14時30分	26度35分41秒	127度57分31秒	神奈川 名護市	F0~F1	停滞前線
54	竜巻	2008年03月27日19時00分	31度27分51秒	130度41分52秒	鹿児島 垂水市	F1	東シベ低気圧
55	竜巻	2008年03月27日17時20分	31度45分23秒	130度11分54秒	鹿児島 鹿兒島市	F1	東シベ低気圧

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
068	2007年08月24日 08時20分	38度47分40秒	139度42分0秒	不明	竜巻
069	2007年08月24日 08時20分	38度47分40秒	139度42分0秒	不明	竜巻
070	2007年10月01日 14時25分	43度23分0秒	140度26分30秒	不明	竜巻
071	2007年10月01日 14時27分	43度17分8秒	140度20分16秒	不明	竜巻
072	2007年10月01日 15時30分	42度26分26秒	139度47分30秒	不明	竜巻
073	2007年10月04日 13時36分	44度53分0秒	141度41分0秒	不明	竜巻
074	2007年10月04日 16時30分	42度27分15秒	139度50分20秒	不明	竜巻
075	2007年10月11日 09時55分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
076	2007年10月11日 10時25分	40度47分21秒	140度7分54秒	不明	竜巻
077	2007年10月16日 15時23分	35度36分35秒	133度5分10秒	不明	竜巻
078	2007年11月22日 09時00分	36度54分32秒	137度24分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲
079	2007年12月02日 01時30分	38度54分26秒	139度50分18秒	F0	竜巻
080	2008年06月01日 12時50分	40度23分20秒	139度58分55秒	不明	竜巻
081	2008年07月30日 08時03分	35度34分20秒	134度13分5秒	不明	竜巻
082	2008年07月30日 08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲
083	2008年07月30日 08時28分	35度33分5秒	134度10分56秒	不明	竜巻または 漏斗雲
084	2008年07月30日 08時41分	35度33分36秒	134度11分26秒	不明	竜巻または 漏斗雲

No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
56	竜巻	2007年04月18日07時55分	24度44分21秒	125度15分48秒	沖繩県 宮古島市	F1	寒冷前線
57	竜巻	2007年03月15日14時55分	26度21分50秒	127度44分22秒	沖繩県 中頭郡読谷村	F1	気圧の谷 暖気の移流
58	竜巻	2007年02月14日15時40分	33度48分53秒	135度12分8秒	和歌山県	F1	日本海低気圧 寒冷前線
59	竜巻	2007年02月14日06時20分	26度13分30秒	127度18分12秒	沖繩県 島尻郡座間味村	F0~F1	寒冷前線 暖気の移流
60	竜巻	2006年11月26日15時35分	32度47分5秒	132度51分31秒	高知県	F1	南岸低気圧 暖気の移流
61	竜巻	2006年11月22日13時00分	26度37分48秒	128度12分54秒	沖繩県 東村	F1	停滞前線 暖気の移流
62	竜巻	2006年09月17日13時30分	32度20分17秒	131度37分10秒	宮崎県 日向市	F1	台風
63	竜巻	2006年09月17日12時10分	31度34分15秒	131度24分8秒	宮崎県 日南市	F1	台風
64	竜巻	2006年04月20日12時10分	35度21分15秒	139度28分50秒	神奈川県 藤沢市	F1	寒冷前線
65	竜巻	2006年01月19日19時10分	28度8分35秒	129度18分56秒	鹿児島県 瀬戸内町	F1	停滞前線
66	竜巻	2005年09月05日10時10分	31度56分25秒	131度27分29秒	宮崎県	F1	台風
67	竜巻	2005年05月01日15時00分	33度33分45秒	133度36分20秒	高知県	F0~F1	その他(低気圧) 暖気の移流

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
085	2008年07月30日 08時55分	35度34分48秒	134度9分30秒	不明	竜巻
086	2008年07月30日 09時01分	35度34分16秒	134度9分26秒	不明	竜巻
087	2008年07月30日 09時18分	35度34分6秒	134度8分16秒	不明	竜巻
088	2008年08月14日 11時25分	38度55分10秒	139度48分31秒	不明	竜巻
089	2008年08月15日 16時20分	35度30分51秒	133度59分38秒	F0以下	竜巻
090	2008年09月14日 08時33分	45度28分53秒	141度50分14秒	不明	竜巻
091	2008年09月14日 08時47分	45度29分22秒	141度37分30秒	不明	竜巻
092	2008年09月21日 11時07分	38度28分16秒	139度28分39秒	不明	竜巻
093	2008年10月01日 11時55分	40度1分15秒	139度45分45秒	不明	竜巻
094	2008年10月01日 11時55分	40度0分37秒	139度44分9秒	不明	竜巻
095	2008年10月10日 09時05分	39度47分5秒	140度0分55秒	不明	竜巻
096	2008年10月10日 10時20分	39度44分36秒	140度0分23秒	不明	竜巻
097	2008年10月10日 12時07分	39度40分20秒	140度1分7秒	不明	竜巻
098	2008年10月11日 00時45分	41度51分7秒	140度7分37秒	F0	竜巻
099	2008年10月15日 13時48分	37度51分36秒	138度54分57秒	F0	竜巻
100	2008年10月15日 14時47分	38度40分48秒	139度34分48秒	不明	竜巻
101	2008年10月15日 16時10分	38度22分2秒	139度26分44秒	不明	竜巻



No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
68	竜巻	2005年01月27日17時00分	26度21分53秒	127度44分16秒	沖縄県	読谷村	寒冷前線 暖気の移流	
69	竜巻	2004年09月29日23時01分	34度40分30秒	137度27分0秒	愛知県	豊橋市	台風	
70	竜巻	2004年09月27日20時50分	26度41分44秒	128度1分10秒	沖縄県	今帰仁村	台風	
71	竜巻	2004年09月27日20時30分	26度31分11秒	128度1分7秒	沖縄県	名護市	台風	
72	竜巻	2003年10月12日10時00分	33度30分0秒	133度50分0秒	高知県	安芸市	停滞前線 暖気の移流	
73	竜巻	2003年09月12日13時00分	33度29分29秒	133度33分34秒	高知県	高知市	暖気の移流	
74	竜巻	2003年08月08日07時20分	32度19分3秒	131度35分52秒	宮崎県	日向市	台風	
75	竜巻	2003年08月08日01時40分	31度36分36秒	131度25分37秒	宮崎県	日南市	台風	
76	竜巻	2003年06月19日09時00分	32度28分32秒	131度39分29秒	宮崎県	東臼杵郡門川町	台風	
77	竜巻	2002年12月16日18時10分	33度16分14秒	134度9分40秒	高知県	室戸市	日本海低気圧 暖気の移流	
78	竜巻	2002年10月07日03時50分	35度14分40秒	139度39分50秒	神奈川県	横浜賀市	日本海低気圧 雷雨(熱帯を除く) 暖気の移流	
79	竜巻	2002年10月07日03時05分	34度47分1秒	139度21分11秒	東京都	大島町	日本海低気圧	

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
102	2008年10月26日 18時30分	37度56分11秒	139度6分24秒	F0	竜巻
103	2008年10月27日 14時55分	36度9分11秒	136度4分16秒	不明	竜巻
104	2008年10月30日 12時33分	35度32分51秒	134度12分26秒	不明	竜巻
105	2008年10月30日 12時38分	35度35分1秒	134度17分35秒	F0	竜巻
106	2008年10月30日 12時50分	35度34分34秒	134度16分10秒	不明	竜巻
107	2008年10月31日 07時30分	37度7分33秒	136度42分25秒	不明	竜巻
108	2008年11月02日 16時20分	37度44分35秒	138度48分7秒	不明	竜巻
109	2008年11月19日 08時36分	36度27分26秒	136度23分41秒	不明	竜巻または 漏斗雲
110	2008年11月19日 11時45分	37度55分41秒	139度1分4秒	不明	竜巻
111	2008年11月20日 08時30分	37度26分19秒	138度34分17秒	不明	竜巻
112	2008年11月20日 08時40分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻
113	2008年11月20日 08時42分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻
114	2008年11月20日 08時42分	36度56分37秒	136度44分33秒	不明	竜巻
115	2008年11月20日 09時40分	37度27分8秒	138度34分43秒	不明	竜巻
116	2008年11月20日 10時00分	36度41分30秒	136度33分4秒	不明	竜巻または 漏斗雲
117	2008年11月23日 10時20分	36度59分16秒	136度46分25秒	F0~F1	竜巻
118	2009年01月24日 11時05分	42度5分27秒	139度23分57秒	不明	竜巻

No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	市町村		
80	竜巻または F1/F0	2002年10月06日22時38分	34度43分13秒	136度53分46秒	愛知県 南知多町	F1	二つ玉低気圧
81	竜巻	2002年10月06日14時50分	31度33分38秒	130度37分11秒	鹿児島県 鹿児島市	F1	寒冷前線
82	竜巻	2002年01月21日12時15分	34度38分57秒	137度19分36秒	愛知県 田原町	F1	二つ玉低気圧 温暖前線 暖気の移流
83	竜巻	2001年10月01日07時00分	33度45分36秒	135度18分50秒	和歌山県 南部町	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
84	竜巻	2000年12月25日13時37分	34度45分0秒	139度17分30秒	東京都 大島町	F1	寒気の移流
85	竜巻	2000年09月11日08時10分	33度40分33秒	135度58分23秒	和歌山県 新宮市	F0~F1	台風 停滞前線 暖気の移流
86	竜巻	1999年11月15日05時07分	32度59分12秒	132度59分51秒	高知県 大方町	F0~F1	日本海低気圧 寒気の移流
87	竜巻	1999年11月01日07時00分	34度50分36秒	137度1分59秒	愛知県 西尾市	F1	日本海低気圧
88	竜巻	1999年10月27日21時00分	36度39分54秒	140度42分59秒	茨城県 多賀郡十王町	F1	南岸低気圧
89	竜巻	1999年09月24日12時51分	35度1分16秒	136度47分45秒	愛知県 海部郡弥富町	F1	台風
90	竜巻	1999年09月24日11時56分	34度49分24秒	137度13分7秒	愛知県 蒲郡市	F1	台風
91	竜巻	1999年09月24日03時00分	33度31分27秒	133度37分17秒	高知県 南国市	F1	台風 暖気の移流

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
119	2009年01月24日 11時15分	42度0分27秒	139度27分46秒	不明	竜巻
120	2009年02月07日 20時15分	39度41分6秒	140度5分11秒	F0	竜巻
121	2009年03月14日 17時26分	35度35分53秒	134度13分28秒	不明	竜巻または 漏斗雲
122	2009年08月23日 18時37分	38度36分36秒	139度34分27秒	不明	竜巻
123	2009年08月23日 18時51分	38度37分26秒	139度35分7秒	不明	竜巻
124	2009年09月10日 13時30分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
125	2009年09月10日 13時35分	37度25分26秒	138度32分38秒	不明	竜巻
126	2009年09月13日 03時40分	38度34分7秒	139度33分9秒	F0	竜巻
127	2009年10月04日 12時50分	39度39分55秒	140度4分26秒	不明	竜巻
128	2009年10月27日 13時10分	37度2分7秒	137度49分14秒	不明	竜巻
129	2009年10月30日 07時26分	40度30分18秒	139度59分57秒	F0	竜巻
130	2009年10月30日 09時20分	40度9分56秒	140度0分26秒	F1	竜巻
131	2009年11月03日 06時25分	36度52分52秒	137度21分58秒	不明	竜巻または 漏斗雲
132	2009年11月03日 06時37分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
133	2009年11月03日 06時38分	36度54分8秒	137度22分38秒	不明	竜巻
134	2009年11月03日 06時39分	36度53分27秒	137度22分8秒	不明	竜巻
135	2009年11月03日 06時43分	36度54分56秒	137度23分51秒	不明	竜巻



No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	観測場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
92	竜巻	1999年05月04日09時50分	34度37分5秒	137度12分46秒	愛知県 渥美郡赤羽根町	F1	日本海低気圧
93	竜巻	1999年04月10日16時00分	33度31分1秒	133度48分5秒	高知県	F1	その他(低気圧) 気圧の谷
94	竜巻	1998年10月17日14時50分	32度10分10秒	131度32分0秒	宮崎県 児湯郡川南町	F0~F1	台風
95	竜巻	1998年09月18日16時02分	31度54分29秒	131度27分3秒	宮崎県 宮崎市	F1	台風
96	竜巻	1998年02月19日23時43分	25度49分1秒	131度13分45秒	沖縄県 南大東村	F1	その他(低気圧)
97	竜巻	1997年11月17日08時00分	33度6分0秒	139度46分40秒	東京都 八丈町	F1	温暖前線 暖気の移流
98	竜巻	1997年09月16日13時19分	33度32分50秒	133度40分27秒	高知県 南国市	F1	台風 暖気の移流
99	竜巻	1997年09月14日06時50分	30度33分13秒	131度0分20秒	鹿児島県 熊毛郡中種子町	F1	台風
100	竜巻	1997年04月07日17時20分	35度31分6秒	139度36分50秒	神奈川県 横浜市	F0~F1	雷雨(熱帯を除く)
101	竜巻	1996年07月01日06時10分	31度22分28秒	130度32分27秒	鹿児島県 喜入町	F1	停滞前線
102	竜巻	1996年03月30日05時30分	31度15分10秒	130度21分52秒	鹿児島県 枕崎市	F1	寒冷前線 日本海低気圧
103	竜巻	1995年09月23日09時05分	26度23分9秒	127度59分42秒	沖縄県 与那原町	F1	台風

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
136	2009年12月18日 02時00分	36度34分20秒	136度33分53秒	F0	竜巻
137	2009年12月18日 11時03分	35度34分22秒	134度14分26秒	不明	竜巻または 漏斗雲
138	2010年08月25日 12時30分	43度57分25秒	141度35分10秒	不明	竜巻
139	2010年08月25日 13時05分	43度59分0秒	141度39分15秒	F0未満	竜巻
140	2010年09月07日 03時45分	39度46分12秒	140度3分59秒	F0	竜巻
141	2010年09月16日 14時30分	35度37分0秒	134度24分5秒	不明	竜巻
142	2010年09月17日 10時45分	37度38分56秒	138度44分42秒	不明	竜巻
143	2010年09月17日 10時55分	37度38分3秒	138度45分37秒	F0以下	竜巻
144	2010年10月15日 04時30分	37度10分5秒	136度40分32秒	F0	竜巻
145	2010年10月15日 17時00分	38度3分23秒	139度19分23秒	F0	竜巻
146	2010年10月15日 17時05分	38度4分24秒	139度21分9秒	F1	竜巻
147	2010年10月17日 12時40分	40度22分52秒	139度59分42秒	F0	竜巻
148	2010年10月17日 13時20分	39度51分44秒	140度1分32秒	F0	竜巻
149	2010年10月26日 07時00分	43度24分30秒	141度22分0秒	不明	竜巻
150	2010年10月26日 07時05分	43度24分30秒	141度19分0秒	不明	竜巻
151	2010年10月26日 07時05分	43度8分28秒	140度23分6秒	不明	竜巻
152	2010年10月26日 07時10分	43度23分40秒	141度25分50秒	F0未満	竜巻

No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	市町村		
104	竜巻	1994年10月12日10時22分	33度31分11秒	133度47分22秒	高知県 芸西村	F0~F1	日本海低気圧 暖気の移流
105	竜巻	1994年09月29日19時00分	34度40分56秒	137度34分8秒	静岡県 新居町	F0~F1	台風
106	竜巻	1994年09月29日17時35分	34度48分57秒	137度14分8秒	愛知県 蒲郡市	F1	台風
107	竜巻	1994年09月29日17時30分	34度40分50秒	137度21分30秒	愛知県 豊橋市	F1	台風
108	竜巻	1994年03月23日02時00分	27度40分14秒	128度58分4秒	鹿児島県 大島郡伊仙町	F0~F1	その他(低気圧)
109	竜巻	1993年12月01日01時10分	31度26分28秒	130度44分21秒	鹿児島県 垂水市	F1	寒冷前線
110	竜巻	1993年12月01日00時30分	31度15分5秒	130度26分26秒	鹿児島県 指宿郡頰柱町	F1	寒冷前線 暖気の移流
111	竜巻	1993年09月03日15時45分	32度30分31秒	131度40分30秒	宮崎県 延岡市	F0~F1	台風
112	竜巻	1993年09月03日13時00分	32度49分23秒	132度56分45秒	高知県 土佐清水市	F1	台風
113	竜巻	1993年05月27日01時50分	26度13分56秒	127度45分8秒	沖縄県 西原町	F1	梅雨前線
114	竜巻	1992年09月22日10時00分	26度38分0秒	128度2分6秒	沖縄県 名護市	F1	台風
115	竜巻	1992年02月15日09時25分	26度21分36秒	126度43分31秒	沖縄県 島尻郡具志川村	F1	寒冷前線

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
153	2010年10月26日 07時10分	43度24分0秒	141度24分40秒	不明	竜巻
154	2010年10月26日 07時38分	43度22分30秒	141度24分15秒	不明	竜巻
155	2010年10月26日 08時10分	43度8分38秒	140度23分6秒	不明	竜巻
156	2010年10月26日 15時50分	41度51分39秒	140度6分25秒	不明	竜巻
157	2010年11月12日 13時15分	40度19分0秒	140度1分47秒	F0	竜巻
158	2010年11月29日 09時20分	37度0分3秒	136度46分18秒	F0	竜巻
159	2010年11月29日 12時18分	36度15分21秒	136度6分51秒	不明	竜巻または 漏斗雲
160	2010年11月29日 12時24分	36度15分23秒	136度6分59秒	不明	竜巻
161	2010年11月29日 12時25分	36度15分17秒	136度6分37秒	不明	竜巻
162	2010年12月03日 15時30分	37度50分58秒	138度55分4秒	F0	竜巻
163	2010年12月03日 15時36分	37度52分15秒	138度58分57秒	F0未満	竜巻
164	2010年12月03日 15時45分	37度53分11秒	139度2分24秒	F1	竜巻
165	2010年12月09日 17時10分	37度12分36秒	138度18分7秒	F0~F1	竜巻
166	2010年12月15日 07時56分	36度51分20秒	137度23分5秒	不明	竜巻
167	2010年12月16日 08時00分	38度2分43秒	138度37分10秒	不明	竜巻
168	2010年12月17日 10時20分	42度52分12秒	140度18分46秒	不明	竜巻
169	2010年12月18日 07時18分	35度34分17秒	134度10分6秒	不明	竜巻または 漏斗雲



No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
116	竜巻	1992年01月06日03時30分	27度22分7秒	128度31分47秒	鹿児島県 大島郡知名町	F1	東ノ海低気圧 寒冷前線 暖気の移流
117	竜巻	1991年11月28日16時30分	33度33分30秒	135度26分50秒	鹿児島県 日置川町	F0~F1	南岸低気圧
118	竜巻	1991年11月28日11時45分	31度35分58秒	131度22分51秒	宮崎県 日南市	F1	南岸低気圧
119	竜巻	1991年02月13日22時27分	26度11分52秒	127度41分4秒	沖縄県 那覇市	F1	東ノ海低気圧 暖気の移流
120	竜巻	1990年12月12日00時20分	36度22分50秒	140度37分40秒	茨城県 海上~那珂湊市	F1	寒気の移流 局地性じょう乱 その他
121	竜巻	1990年03月12日06時30分	34度15分23秒	136度50分34秒	三重県 志摩郡志摩町	F1	日本海低気圧 寒冷前線
122	竜巻	1989年09月22日14時00分	34度19分0秒	135度8分0秒	大阪府 泉南郡岬町	F1	寒冷前線
123	竜巻	1988年09月25日09時40分	33度27分22秒	135度45分29秒	和歌山県 串本町	F1	寒冷前線 暖気の移流
124	竜巻	1986年12月19日01時30分	34度36分45秒	137度12分15秒	愛知県 瀬美郡赤羽根町	F1	閉塞前線
125	竜巻	1985年10月05日18時45分	33度34分6秒	133度33分40秒	高知県 高知市	F1	台風 大陸高気圧 暖気の移流
126	竜巻	1985年10月05日18時40分	33度27分22秒	133度28分17秒	高知県 土佐市	F1	台風 太平洋高気圧 暖気の移流
127	竜巻または F0/F1/F2	1983年09月25日15時30分	26度37分48秒	128度11分59秒	沖縄県 東村	F1	台風

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
170	2010年12月24日 15時57分	35度34分17秒	134度10分4秒	不明	竜巻
171	2010年12月27日 01時30分	37度1分3秒	136度44分37秒	F0	竜巻
172	2010年12月29日 13時50分	35度46分56秒	135度14分0秒	不明	竜巻
173	2010年12月29日 14時00分	35度46分54秒	135度12分6秒	不明	竜巻
174	2011年01月03日 14時52分	38度3分48秒	139度16分7秒	不明	竜巻
175	2011年03月09日 11時30分	36度13分1秒	136度11分51秒	F0未満	竜巻または 漏斗雲
176	2011年03月09日 17時25分	35度34分6秒	134度8分57秒	不明	竜巻
177	2011年03月31日 09時50分	37度10分31秒	138度13分58秒	F0未満	竜巻または 漏斗雲
178	2011年08月13日 17時32分	40度29分8秒	139度53分20秒	不明	竜巻
179	2011年08月20日 18時30分	43度5分3秒	140度22分46秒	不明	竜巻
180	2011年08月20日 18時40分	43度4分56秒	140度23分57秒	不明	竜巻
181	2011年08月20日 18時45分	43度4分52秒	140度24分37秒	不明	竜巻
182	2011年08月22日 12時05分	45度19分0秒	140度58分47秒	不明	竜巻または 漏斗雲
183	2011年09月20日 05時50分	45度25分27秒	141度41分35秒	不明	竜巻
184	2011年11月15日 16時10分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
185	2011年11月15日 16時12分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
186	2011年11月15日 16時14分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
128	竜巻	1983年03月12日06時20分	26度5分33秒	127度41分5秒	沖縄県	糸満市	東ノ海低気圧 その他	
129	竜巻	1980年10月14日02時15分	32度0分51秒	131度29分11秒	宮崎県	宮崎市	台風	
130	竜巻	1980年10月14日01時30分	31度50分46秒	131度26分50秒	宮崎県	宮崎市	台風	
131	竜巻	1980年10月13日20時10分	30度30分35秒	130度58分39秒	鹿児島県	中種子町	台風	
132	竜巻	1979年09月03日16時29分	31度55分20秒	131度25分10秒	宮崎県	宮崎市	台風	
133	竜巻	1978年02月10日05時30分	31度25分49秒	130度16分40秒	鹿児島県	加世田市	寒冷前線 暖気の移流	
134	竜巻	1976年10月23日07時20分	26度11分6秒	127度43分2秒	沖縄県	南風原村	東ノ海低気圧 暖気の移流	
135	竜巻	1976年02月28日14時00分	32度5分8秒	130度10分20秒	鹿児島県	阿久根市	不安定線	
136	竜巻	1975年11月15日18時15分	35度28分51秒	140度25分6秒	千葉県	大網白里町	南岸低気圧	
137	竜巻	1975年11月15日16時22分	34度7分5秒	139度30分56秒	東京都	三宅島三宅村	南岸低気圧 温暖前線	
138	竜巻	1975年11月14日20時40分	33度30分28秒	134度16分28秒	高知県	安芸郡東洋町	南岸低気圧 温暖前線	
139	竜巻	1975年08月22日14時30分	33度52分32秒	136度5分10秒	三重県	熊野市	台風	

	発生日時	発生場所緯度	発生場所経度	Fスケール	現象区分
187	2011年11月15日 16時15分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
188	2011年11月15日 16時20分	37度2分0秒	137度42分0秒	不明	竜巻
189	2011年11月24日 12時10分	36度56分25秒	137度23分30秒	不明	竜巻または 漏斗雲
190	2011年11月25日 06時27分	36度53分45秒	137度23分0秒	不明	竜巻または 漏斗雲
191	2011年12月24日 12時10分	36度48分30秒	136度42分0秒	不明	竜巻
192	2012年02月01日 04時15分	35度21分41秒	132度40分40秒	F0	竜巻

気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
140	竜巻	1974年07月08日03時00分	34度41分18秒	137度53分20秒	静岡県	磐田郡福田町	F1	台風 停滞前線
141	竜巻	1974年06月06日12時50分	34度59分14秒	138度25分37秒	静岡県	静岡市	F0~F1	気圧の谷
142	竜巻	1974年03月13日13時20分	36度56分52秒	140度53分52秒	福島県	いわき市	F1	移動性高気圧
143	竜巻	1972年06月06日23時30分	27度21分30秒	128度35分57秒	鹿児島県	大島郡知名町	F1	寒冷前線
144	竜巻	1971年08月31日04時00分	35度0分53秒	138度28分52秒	静岡県	清水市	F0~F1	台風
145	竜巻	1968年09月24日15時30分	31度51分30秒	131度26分00秒	宮崎県	宮崎市	F1	台風
146	竜巻	1961年10月07日10時10分	34度59分33秒	138度29分24秒	静岡県	清水市	F1	寒冷前線
147	竜巻	1961年01月24日13時45分	31度15分7秒	130度22分26秒	鹿児島県	川辺郡知覧町	F1	寒冷前線
F0相当								
148	竜巻	2012年06月05日03時20分	25度49分20秒	131度14分14秒	沖縄県	島尻郡南大東村	F0	台風
149	竜巻	2012年02月28日17時40分	26度21分20秒	127度58分15秒	沖縄県	うるま市	F0	停滞前線
150	竜巻	2011年10月21日21時30分	32度46分44秒	132度56分57秒	高知県	土佐清水市	F0	気圧の移流



No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
151	竜巻	2011年10月14日07時30分	32度41分12秒	131度48分29秒	宮崎県 延岡市	F0	暖気の移流
152	竜巻	2011年07月18日19時10分	34度47分13秒	136度33分11秒	三重県 津市	F0	台風 暖気の移流
153	竜巻	2011年02月11日00時20分	26度10分0秒	127度39分20秒	沖縄県 豊見城市	F0	停滞前線
154	竜巻	2010年11月22日15時30分	27度23分1秒	128度34分31秒	鹿児島県 大島郡和泊町	F0	停滞前線 暖気の移流
155	竜巻	2010年11月01日05時20分	35度30分16秒	140度25分50秒	千葉県 山武郡九十九里町	F0	南岸低気圧
156	竜巻	2010年10月22日10時50分	26度21分45秒	126度44分51秒	沖縄県 島尻郡久米島町	F0以下	停滞前線 暖気の移流
157	竜巻	2010年10月09日18時00分	35度2分34秒	139度59分30秒	千葉県 南房総市	F0	その他(低気圧)
158	竜巻	2010年09月28日09時15分	34度49分20秒	138度19分25秒	静岡県 焼津市	F0	二つ玉低気圧
159	竜巻	2010年09月13日14時20分	26度55分57秒	127度56分32秒	沖縄県 島尻郡伊是名村	F0	太平洋高気圧
160	竜巻	2010年08月11日16時55分	33度32分20秒	133度43分1秒	高知県 香南市	F0	台風 暖気の移流
161	竜巻	2010年07月09日14時40分	33度35分18秒	135度54分36秒	和歌山県 東牟婁郡 那智勝浦町	F0	梅雨前線
162	竜巻	2010年06月25日19時00分	32度14分59秒	131度33分33秒	宮崎県 児湯郡都農町	F0	梅雨前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
163	竜巻	2010年04月29日02時00分	33度30分14秒	133度52分26秒	高知県	安芸市	F0	寒冷前線
164	竜巻	2010年02月01日09時30分	31度13分43秒	130度29分55秒	鹿児島県	南九州市	F0	東シベ気圧 寒冷前線
165	竜巻	2010年02月01日09時10分	31度25分51秒	130度17分2秒	鹿児島県	南さつま市	F0	東シベ気圧 寒冷前線
166	竜巻	2009年11月13日17時00分	32度10分27秒	131度31分7秒	宮崎県	児湯郡川南町	F0	その他(低気圧)
167	竜巻	2009年11月11日09時00分	34度39分7秒	138度4分11秒	静岡県	掛川市	F0	寒気の移流
168	竜巻	2009年08月08日15時20分	24度51分28秒	125度17分19秒	沖縄県	宮古島市	F0	台風
169	竜巻	2009年07月25日11時00分	33度32分39秒	133度53分40秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
170	竜巻	2009年03月09日12時30分	26度5分40秒	127度41分35秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
171	竜巻	2008年10月07日12時20分	26度20分0秒	126度48分43秒	沖縄県	島尻郡久米島町	F0未満	停滞前線
172	竜巻	2008年09月21日13時00分	34度9分20秒	134度36分50秒	徳島県	鳴門市	F0未満	停滞前線
173	竜巻	2008年08月16日13時25分	35度37分13秒	140度3分43秒	千葉県	千葉市	F0以下	台風 停滞前線 雷雨(熱帯)
174	竜巻	2008年07月22日17時30分	26度12分7秒	127度45分56秒	沖縄県	島尻郡与那原町	F0未満	気圧の谷

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
175	竜巻	2008年06月29日02時30分	33度30分24秒	133度54分15秒	高知県	安芸市	F0	梅雨前線
176	竜巻	2008年05月01日18時00分	30度31分33秒	130度57分19秒	鹿児島県	熊毛郡中種子町	F0	その他(低気圧)
177	竜巻	2008年04月09日17時00分	31度15分37秒	130度15分50秒	鹿児島県	枕崎市	F0	東シベ低気圧
178	竜巻	2008年04月07日11時20分	32度43分21秒	133度0分30秒	高知県	土佐清水市	F0	その他(低気圧)
179	竜巻	2006年09月25日11時40分	25度51分20秒	131度15分10秒	沖縄県	南大東村	F0	その他
180	竜巻	2003年10月12日04時25分	32度32分49秒	131度40分54秒	宮崎県	延岡市	F0	その他(低気圧)
181	竜巻または スノウハルカ	2002年10月15日21時30分	34度40分8秒	137度59分34秒	静岡県	磐田郡浅羽町,小笠 郡大須賀町,小笠郡 大東町	F0	日本海低気圧 寒冷前線
182	竜巻	2001年05月29日13時00分	35度0分20秒	136度55分5秒	愛知県	東海市	F0	局地性降水
183	竜巻	2001年01月13日07時35分	26度8分43秒	127度41分26秒	沖縄県	糸満市	F0	寒冷前線
184	竜巻	1999年06月30日09時30分	35度9分8秒	138度45分55秒	静岡県	富士市	F0	日本海低気圧 寒冷前線
185	竜巻	1998年10月17日15時00分	32度25分13秒	131度39分49秒	富崎県	日向市	F0	台風
186	竜巻	1998年02月14日19時55分	24度23分26秒	123度44分55秒	沖縄県	竹富町	F0	寒冷前線

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
187	電巻	1998年01月14日10時50分	26度10分23秒	127度38分51秒	沖縄県	豊見城村	F0	寒冷前線 暖気の移流
188	電巻	1997年11月28日09時30分	27度19分45秒	128度33分35秒	鹿児島県	知多町	F0	東シベ利亚低気圧 暖気の移流
189	電巻	1995年09月23日08時50分	26度24分18秒	127度12分59秒	沖縄県	読谷村	F0	台風
190	電巻	1994年10月04日17時30分	33度32分8秒	133度40分50秒	高知県	南国市	F0	暖気の移流
191	電巻	1994年10月04日17時15分	33度32分17秒	133度43分31秒	高知県	香美郡赤岡町	F0	暖気の移流
192	電巻	1993年01月23日17時30分	24度22分35秒	125度45分11秒	沖縄県	竹富町	F0	停滞前線
193	電巻	1991年11月28日22時00分	34度22分30秒	139度15分0秒	東京都	新島若郷	F0	南岸低気圧
Fスケール不明の陸上電巻								
194	電巻	2012年05月13日12時56分	24度42分42秒	125度19分3秒	沖縄県	(海上)	不明	気圧の谷
195	電巻または 漏れ雲	2010年08月14日17時20分	26度23分0秒	127度44分0秒	沖縄県	(海上)	不明	太平洋高気圧
196	電巻	2010年08月04日12時25分	34度33分0秒	137度1分0秒	愛知県	(海上)	不明	暖気の移流
197	電巻	2009年08月08日15時10分	24度47分0秒	125度16分0秒	沖縄県	宮古島市	不明	台風



No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
198	竜巻または 漏斗雲	2008年10月07日12時35分	26度21分5秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	停滯前線	
199	竜巻または 漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付 近	気圧の谷	
200	竜巻または 漏斗雲	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度46分7秒	沖縄県	島尻郡与那原町付 近	気圧の谷	
201	竜巻	2007年10月09日12時30分	32度8分44秒	130度6分16秒	鹿児島県	長島町	東シベ気圧	
202	竜巻または 漏斗雲	2007年09月14日15時05分	32度34分19秒	131度40分28秒	宮崎県	延岡市	台風	
203	竜巻	2004年06月01日14時15分	26度17分47秒	127度48分45秒	沖縄県	北中城村	暖気の移流	
204	竜巻	1999年07月03日12時30分	26度34分30秒	127度58分0秒	沖縄県	(海上)	停滯前線	
205	竜巻	1997年05月20日13時30分	33度40分0秒	135度10分0秒	和歌山県	(海上)	南岸低気圧	
206	竜巻	1993年01月07日10時30分	33度47分50秒	135度14分30秒	和歌山県	印南町	南岸低気圧	
207	竜巻	1992年11月19日11時10分	32度41分5秒	131度50分33秒	宮崎県	北浦町	不安定線	
208	竜巻	1991年02月13日18時00分	26度26分4秒	127度46分49秒	沖縄県	国頭郡恩納村	東シベ気圧	
209	竜巻	1990年09月19日14時00分	34度42分10秒	137度37分40秒	静岡県	浜松市, 舞阪町, 雄 踏町	台風	

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
210	竜巻	1972年06月06日20時30分	26度8分40秒	127度41分8秒	沖縄県	糸満市	東汁海低気圧 暖気の移流	
211	竜巻	1971年09月08日02時00分	35度42分0秒	140度43分30秒	千葉県	飯岡町	台風	
212	竜巻	1971年08月31日10時50分	35度42分1秒	140度42分11秒	千葉県	飯岡町	台風	
213	竜巻	1964年05月24日14時55分	35度37分47秒	139度38分7秒	東京都	世田谷区	寒冷前線 暖気の移流	
214	竜巻	2012年05月13日16時57分	24度53分54秒	125度15分27秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
215	竜巻	2012年05月09日08時40分	34度53分50秒	136度48分0秒	愛知県	(海上)	気圧の谷 寒気の移流	
216	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	寒気の移流	
217	竜巻	2011年12月04日07時10分	34度49分0秒	139度24分40秒	東京都	(海上)	寒気の移流	
218	竜巻	2011年12月04日07時00分	34度49分25秒	139度23分30秒	東京都	(海上)	寒気の移流	
219	竜巻	2011年12月04日06時45分	34度47分50秒	139度25分45秒	東京都	(海上)	寒気の移流	
220	竜巻または 漏斗雲	2011年11月30日11時08分	26度24分52秒	127度41分54秒	沖縄県	(海上)	停滞前線 気圧の谷	
221	竜巻	2011年08月22日16時17分	26度29分0秒	127度49分0秒	沖縄県	(海上)	太平洋高気圧	

No.	現象 区別	発生日時	発生場所			藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県 市町村		
222	電巻または 漏れ斗雲	2011年08月22日14時15分	24度51分0秒	125度21分0秒	沖縄県 (海上)	不明	太平洋高気圧
223	電巻	2011年02月25日17時20分	26度14分0秒	127度39分0秒	沖縄県 (海上)	不明	その他(高気圧)
224	電巻	2011年02月03日10時00分	26度7分0秒	127度39分0秒	沖縄県 (海上)	不明	気圧の谷
225	電巻	2010年10月07日17時00分	33度2分48秒	133度8分2秒	高知県 (海上)	不明	その他(高気圧)
226	電巻	2010年10月02日17時00分	26度22分0秒	126度42分0秒	沖縄県 (海上)	不明	その他(高気圧)
227	電巻	2010年10月02日15時50分	26度23分0秒	126度43分0秒	沖縄県 (海上)	不明	その他(高気圧)
228	電巻	2010年09月23日10時05分	33度28分47秒	135度44分45秒	和歌山県 (海上)	不明	停滞前線
229	電巻	2010年08月18日11時36分	26度25分0秒	127度42分0秒	沖縄県 (海上)	不明	太平洋高気圧
230	電巻	2010年07月28日16時20分	26度30分0秒	128度1分0秒	沖縄県 (海上)	不明	暖気の移流
231	電巻または 漏れ斗雲	2010年07月25日14時45分	26度35分0秒	127度11分0秒	沖縄県 (海上)	不明	太平洋高気圧
232	電巻	2009年09月15日11時40分	26度26分0秒	127度58分0秒	沖縄県 (海上)	不明	暖気の移流
233	電巻	2009年08月08日15時30分	24度38分0秒	124度38分0秒	沖縄県 (海上)	不明	台風

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
234	竜巻	2009年07月30日17時50分	26度18分0秒	127度34分0秒	沖縄県	(海上)	その他(高気圧)	
235	竜巻	2009年07月06日16時35分	26度35分0秒	127度57分0秒	沖縄県	(海上)	暖気の移流	
236	竜巻または 漏斗雲	2009年07月06日18時54分	24度18分16秒	124度3分2秒	沖縄県	石垣市	暖気の移流	
237	竜巻	2009年06月26日13時10分	26度14分24秒	127度39分3秒	沖縄県	(海上)	梅雨前線	
238	竜巻または 漏斗雲	2009年02月26日11時50分	24度55分27秒	125度16分4秒	沖縄県	(海上)	その他(高気圧)	
239	竜巻	2008年11月08日10時25分	25度47分38秒	131度16分25秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
240	竜巻	2008年11月03日11時55分	34度15分0秒	134度30分0秒	徳島県	(海上)	その他(前線) 寒気の移流	
241	竜巻	2008年10月27日16時00分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	寒気の移流	
242	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分40秒	千葉県	(海上)	寒気の移流	
243	竜巻	2008年10月27日15時50分	35度15分20秒	140度25分30秒	千葉県	(海上)	寒気の移流	
244	竜巻	2008年10月27日15時40分	35度15分20秒	140度25分20秒	千葉県	(海上)	寒気の移流	
245	竜巻	2008年10月27日15時30分	35度15分20秒	140度25分0秒	千葉県	(海上)	寒気の移流	



No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総風場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
246	竜巻または 漏斗雲	2008年10月10日17時20分	26度5分38秒	127度43分38秒	沖縄県	糸満市	気圧の谷	
247	竜巻	2008年10月07日11時30分	26度20分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	停滞前線	
248	竜巻	2008年10月07日11時00分	26度16分0秒	126度49分0秒	沖縄県	(海上)	停滞前線	
249	竜巻	2008年08月26日14時12分	28度24分0秒	129度45分0秒	鹿児島県	(海上)	暖気の移流	
250	竜巻	2008年08月16日13時45分	35度36分57秒	140度3分20秒	千葉県	(海上)	台風	
251	竜巻	2008年08月08日16時45分	24度21分8秒	124度7分13秒	沖縄県	石垣市	その他(低気圧)	
252	竜巻または 漏斗雲	2008年08月08日13時40分	26度15分0秒	127度31分0秒	沖縄県	(海上)	その他(低気圧)	
253	竜巻	2008年07月22日17時40分	26度11分54秒	127度47分10秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
254	竜巻	2008年07月22日17時08分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
255	竜巻	2008年07月22日17時05分	26度11分6秒	127度47分8秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
256	竜巻	2008年07月07日09時30分	26度11分46秒	127度58分7秒	沖縄県	(海上)	太平洋高気圧	
257	竜巻	2008年07月03日15時00分	26度30分2秒	128度0分1秒	沖縄県	(海上)	太平洋高気圧 気圧の谷	

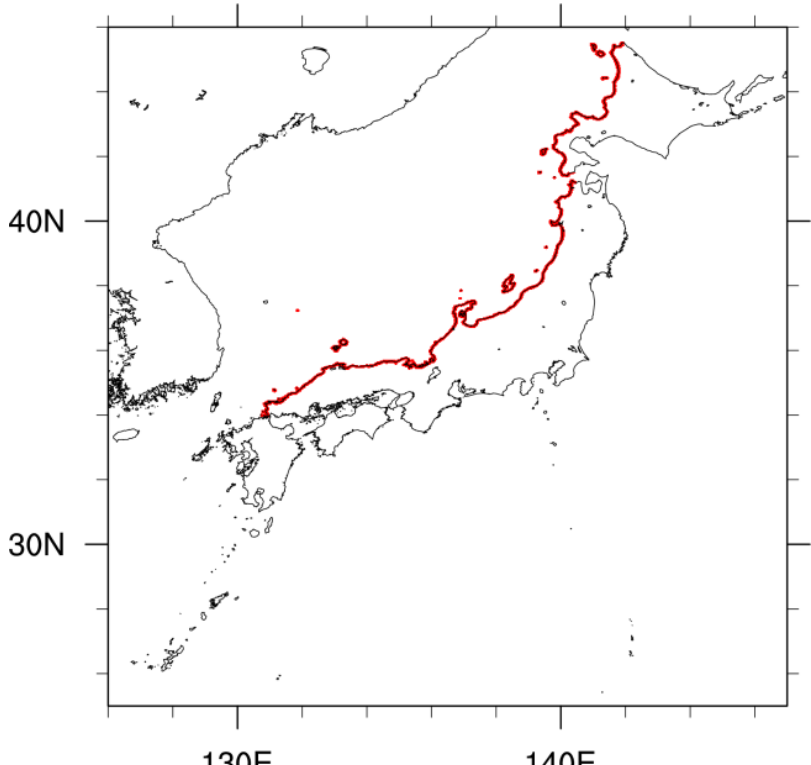
No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
258	竜巻または 漏斗雲	2008年05月27日13時00分	24度52分35秒	125度20分14秒	神奈川	(海上)	気圧の谷	
259	竜巻または 漏斗雲	2008年05月27日12時30分	24度55分7秒	125度19分31秒	神奈川	(海上)	気圧の谷	
260	竜巻	2008年05月27日11時41分	24度52分39秒	125度18分42秒	神奈川	(海上)	気圧の谷	
261	竜巻	2008年05月19日16時50分	34度36分44秒	137度1分14秒	愛知県	(海上)	気圧の谷 南岸低気圧	
262	竜巻または 漏斗雲	2008年04月23日16時23分	34度39分43秒	137度24分43秒	愛知県	豊橋市	気圧の谷	
263	竜巻	2008年03月25日21時04分	35度16分57秒	139度31分36秒	神奈川	(海上)	気圧の谷 寒気の流れ	
264	竜巻	2008年03月25日20時57分	35度15分40秒	139度29分57秒	神奈川	(海上)	気圧の谷 寒気の流れ	
265	竜巻	2008年03月25日20時53分	35度18分16秒	139度26分34秒	神奈川	(海上)	気圧の谷 寒気の流れ	
266	竜巻	2007年10月14日12時55分	34度32分35秒	137度0分30秒	三重	(海上)	停滞前線 気圧の谷	
267	竜巻または 漏斗雲	2007年10月09日16時00分	32度4分8秒	130度8分23秒	鹿児島	(海上)	東ノ海低気圧	
268	竜巻	2007年10月09日14時00分	32度9分12秒	130度5分33秒	鹿児島	(海上)	東ノ海低気圧	
269	竜巻	2007年09月25日16時45分	26度7分48秒	127度35分24秒	神奈川	(海上)	気圧の谷 熱帯低気圧(台風以外)	

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
270	竜巻または 漏斗雲	2007年09月02日13時02分	24度19分29秒	124度16分44秒	神奈川県	(海上)	太平洋高気圧 雷雨(熱雷)	
271	竜巻または 漏斗雲	2007年08月29日13時40分	26度3分29秒	127度40分48秒	神奈川県	(海上)	その他(高気圧) 気圧の谷	
272	竜巻または 漏斗雲	2007年08月29日13時25分	26度5分6秒	127度38分6秒	神奈川県	(海上)	その他(高気圧) 気圧の谷	
273	竜巻	2007年08月28日17時30分	26度40分12秒	128度3分36秒	神奈川県	(海上)	雷雨(熱雷)	
274	竜巻	2007年08月28日15時40分	26度20分40秒	127度56分0秒	神奈川県	(海上)	雷雨(熱雷)	
275	竜巻	2007年07月30日10時00分	24度29分57秒	122度55分11秒	神奈川県	(海上)	気圧の谷	
276	竜巻	2007年05月31日17時30分	35度13分0秒	139度51分0秒	千葉県	(海上)	雷雨(熱雷を除く) 寒気の流れ	
277	竜巻	2006年11月06日12時00分	33度42分0秒	135度20分0秒	和歌山県	(海上)	日本海低気圧	
278	竜巻	2006年09月19日17時30分	33度29分33秒	133度34分14秒	高知県	(海上)	寒気の流れ	
279	竜巻	2006年08月29日14時16分	26度40分0秒	127度52分30秒	神奈川県	(海上)	気圧の谷	
280	竜巻	2006年08月28日15時50分	26度26分49秒	128度1分56秒	神奈川県	(海上)	太平洋高気圧	
281	竜巻	2003年01月11日15時40分	33度5分25秒	139度43分19秒	東京都	(海上)	気圧の谷	

No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
282	竜巻	2001年08月04日15時27分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
283	竜巻	2001年08月04日15時00分	26度21分52秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
284	竜巻	2001年07月09日17時59分	24度49分39秒	125度7分44秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
285	竜巻	2001年07月08日16時14分	24度46分54秒	125度14分41秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
286	竜巻	2000年08月07日17時55分	35度32分30秒	140度0分52秒	千葉県	(海上)	雷雨(熱帯)	
287	竜巻	1999年11月02日16時40分	34度55分40秒	138度23分50秒	静岡県	静岡市	その他(前線) 寒気の移流	
288	竜巻	1999年08月12日10時18分	26度21分40秒	126度41分12秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
289	竜巻	1999年07月21日11時20分	26度6分3秒	127度38分19秒	沖縄県	(海上)	熱帯低気圧(台風以外)	
290	竜巻	1998年09月24日17時27分	26度9分1秒	127度38分41秒	沖縄県	(海上)	気圧の谷	
291	竜巻	1998年04月18日13時15分	32度59分50秒	133度2分2秒	高知県	(海上)	南岸低気圧	
292	竜巻	1997年09月06日15時30分	33度14分37秒	134度13分20秒	高知県	(海上)	停滞前線 暖気の移流	
293	竜巻	1997年05月03日10時50分	26度6分30秒	127度32分30秒	沖縄県	(海上)	寒冷前線	



No.	現象 区別	発生日時	発生場所				藤田 スケール	総観場
			緯度	経度	都道府県	市町村		
294	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分15秒	133度41分47秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
295	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分8秒	133度41分30秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
296	竜巻	1994年10月04日17時05分	33度31分17秒	133度42分9秒	高知県	(海上)	暖気の移流	
297	竜巻	1992年05月17日14時33分	26度21分49秒	126度41分8秒	沖縄県	(海上)	東シベ低気圧 暖気の移流	
298	竜巻	1992年04月15日16時55分	33度33分30秒	135度25分0秒	和歌山県	日置川町	寒冷前線	
299	竜巻	1992年03月31日14時55分	26度26分0秒	127度56分0秒	沖縄県	(海上)	東シベ低気圧 暖気の移流	
300	竜巻	1971年08月31日07時15分	35度3分51秒	140度6分7秒	千葉県	鴨川市	台風	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料 2.3</p> <p>2.3 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方</p> <p>「ガイド」に基づき、竜巻に遭遇し、かつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法 (Wen and Chu 及び Garson et al.) に基づいて竜巻最大風速のハザード曲線を算定し、<math>V_{B2}</math> を算定した。具体的には、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究の成果 (以下「東京工芸大学委託成果」という) も参考とし以下のとおり算定した。</p> <p>(1) 評価フロー</p> <p>本評価は、竜巻の発生頻度の分析、竜巻風速・被害幅・被害長さの確率密度分布及び相関係数の算定、並びにハザード曲線の算出によって構成されている。評価フローを図 1.1 に示す。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 5</p> <p>ハザード曲線による竜巻最大風速 (<math>V_{B2}</math>) の計算について</p> <p>1. 評価フロー</p> <p>「竜巻影響評価ガイド」<sup>(1)</sup>の解説 3.3.2 に例示された Wen &amp; Chu<sup>(2)</sup>及び Garson et al.<sup>(3)(4)</sup>による方法に沿って、竜巻最大風速のハザード曲線を算定し、ハザード曲線による最大風速 <math>V_{B2}</math> を算定する。具体的な算定方法については、独立行政法人原子力安全基盤機構が東京工芸大学に委託した研究「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」<sup>(5)</sup>を参考とする。</p> <p>第 1-1 図に算定フローを示す。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 2.3</p> <p>2.3 竜巻最大風速のハザード曲線の求め方</p> <p>「ガイド」に基づき、竜巻に遭遇し、かつ竜巻がある風速以上になる確率モデルの推定法 (Wen and Chu 及び Garson et. al) により、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (<math>V_{B2}</math>) を算定した。なお、<math>V_{B2}</math> の具体的な算定方法については、独立行政法人原子力安全基盤機構 (JNES) が東京工芸大学に委託した研究の成果を参考とした。</p> <p>2.3.1 <math>V_{B2}</math> の評価手順</p> <p>竜巻検討地域は、山陰地方から北海道にかけての日本海沿岸の海岸線から陸側に 5km、海側に 5km の範囲内 (面積 33,395km<sup>2</sup>) である (図 2.3.1)。これらの地域を対象として、円形構造物 (直径 450m) に対する竜巻ハザードの評価を行う。ハザードの評価手順を図 2.3.2 に示す。</p> <div style="text-align: center;"> <p>Sea of Japan side</p>  <p>図 2.3.1 竜巻検討地域</p> </div>	<p>備考</p> <p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7, 東海第二】 島根 2号炉は、竜巻検討地域を記載している</p>

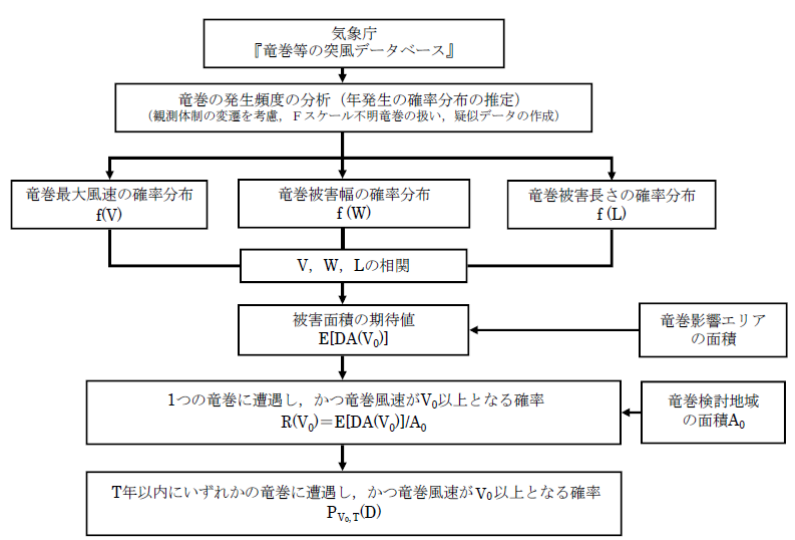
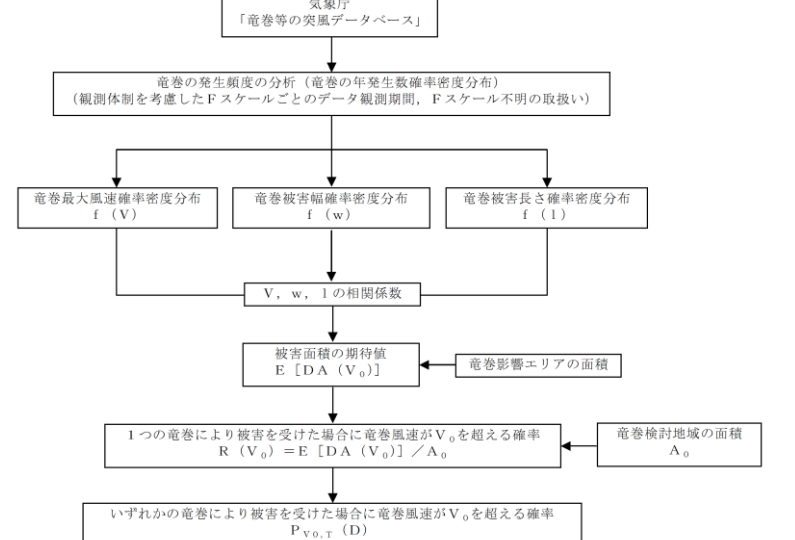


図 1.1 竜巻最大風速ハザード曲線の算定フロー



第 1-1 図 ハザード曲線の算定フロー

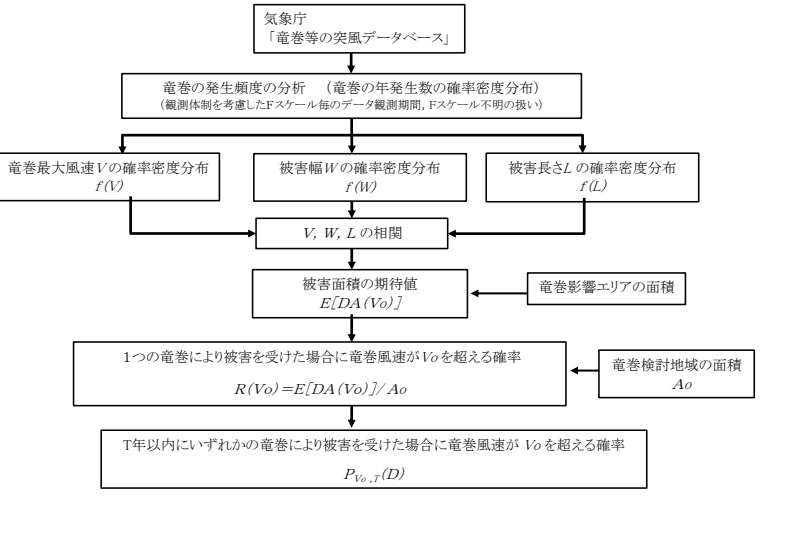


図 2.3.2 竜巻ハザードの算定フロー

(2) 竜巻の発生頻度の分析

①適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」より竜巻検討地域における1961年1月～2012年6月までの竜巻発生データを用いた。

②竜巻の発生頻度

気象庁「竜巻等の突風データベース」は1961年以降のデータがデータベース化されているが、観測体制は近年になるほど強化されており、年代により観測値の質にばらつきがある。観測体制が強化された2006年あるいは2007年以降は、発生数が非常に多くなっており、海上竜巻の増加が特に顕著である。ただし、これら海上竜巻の多くは、その詳細が“不明”となっているのも特徴である。

観測体制の変遷や観測された竜巻の特徴を考慮して、解析に用いるデータの観測期間を以下のように設定した。

- ✓ 観測体制が強化された2007～2012/6 (5.5年間)
- ✓ 観測体制が整備された1991～2012/6 (21.5年間)
- ✓ 観測記録が整備された1961～2012/6 (51.5年間)

2. 竜巻の発生頻度の分析

竜巻についての過去の観測データは少なく、また、観測年代によって精度が異なる。そこで、下記のとおり、観測データの補正を行い、年発生数の確率分布に供する統計データを推定する。

(1) 適用データ

気象庁「竜巻等の突風データベース」<sup>(6)</sup>より、竜巻検討地域における1961年1月～2012年6月の竜巻のデータを用いる。

(2) 竜巻の発生頻度の補正

「竜巻等の突風データベース」は1961年以降に観測された竜巻がデータベース化されているが、観測体制が段階的に強化された結果、特に2007年以降のデータにおいては発生数が非常に多く、海上竜巻の増加も顕著である。そこで、観測体制が強化されたことによる補正を以下のとおり行い、疑似51.5年間の統計量を評価する。

a. ハザード曲線評価に用いるデータの観測期間を以下の(a)～(c)の3期間に分ける。

- (a) 2007年1月～2012年6月 (5.5年間)
- (b) 1991年1月～2012年6月 (21.5年間)
- (c) 1961年1月～2012年6月 (51.5年間)

2.3.2 竜巻の発生頻度

竜巻発生数の平均値や標準偏差を評価するために、気象庁「竜巻等の突風データベース」を使用する。

これには1961年以降のデータがデータベース化されているが、観測体制は近年になるほど強化されており、年代により観測値の質にばらつきがある。観測体制が強化された2006年あるいは2007年以降は、発生数が非常に多くなっており、海上竜巻の増加が特に顕著である。ただし、これら海上竜巻の多くは、その詳細が“不明”となっているのも特徴である。

そこで本評価では、観測体制の変遷や観測された竜巻の特徴を考慮して、解析に用いるデータの観測期間を以下のように設定した。

- ✓ 観測体制が強化された2007～2012/6 (5.5年間)
- ✓ 観測体制が整備された1991～2012/6 (21.5年間)
- ✓ 観測記録が整備された1961～2012/6 (51.5年間)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>上記3つの観測期間について、竜巻発生数、年間平均発生数及びその標準偏差をFスケールごとに調査した結果を表2.1に示す。同表の1～3段目までは、1961～、1991～、2007～2012/6の結果をそれぞれ表し、小計はF0からF3竜巻の発生数の合計、総数は不明(陸上・海上)も含めた合計を表す。</p> <p>1961年以降の51.5年間で、192個の竜巻が観測されているが、このうち5つの竜巻は海側の5km以遠から竜巻検討地域に入ってきた海上竜巻である。陸側5km以遠から当該領域に進入した竜巻は無い。ここでは、ガイド等に基づき、竜巻検討地域に進入あるいは通過した竜巻も発生と見なして解析を行う。</p> <p>192個の竜巻のうちの約21%(40個)をF1竜巻が占め、不明は半数以上(118個)となっている。不明竜巻の多く(98個)は2007年以降の5.5年間に観測されており、それらの殆ど(91個)が海上竜巻である。F0竜巻についても、その9割以上(24個中22個)が2007年以降の観測である。</p> <p>一方、F2竜巻については、51.5年間で10個観測されているが、2007年以降の発生例は無く、観測体制の強化に伴う影響をそれほど受けていないことが示唆される。また、F3竜巻の観測例が無いのも、本竜巻検討地域の特徴である。</p> <p>以上の結果を踏まえ、各観測期間のデータを統合して、擬似的な51.5年間のデータや統計量をFスケールごとに作成した。その基本的な考え方は以下のとおりである。</p> <p>i. 被害が小さくて見過ごされやすいF0及びF不明竜巻は、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。</p> <p>ii. 被害が比較的軽微なF1竜巻については、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。</p>	<p>b. 次に、各年代においてFスケールごとに、統計量(竜巻発生数、年間平均発生数、標準偏差)を算定する。</p> <p>c. F0及びFスケール不明の竜巻については、観測体制が強化される以前は見過ごされた可能性が大きいことから、観測体制が強化された2007年以降の統計量を基にする。</p> <p>d. F1の竜巻については、1991年以降の年間発生数がそれ以前の30年間の発生数を明らかに上回ることから、1991年以降の統計量を基にする。</p>	<p>また、解析範囲は、ガイドに基づき、竜巻検討地域(面積33,395km<sup>2</sup>)とした。</p> <p>上記3つの観測期間について、竜巻発生数、年間平均発生数及びその標準偏差をFスケール毎に調査した結果を表2.3.1に、解析フローを図2.3.3に示す。同表では、1961～、1991～、2007～2012/6の結果をそれぞれ示しており、小計はF0からF3竜巻の発生数の合計、総数は不明(陸上・海上)も含めた合計を表す。気象庁「竜巻等の突風データベース」では、竜巻の発生日点区別は「陸上」、「水上(その後上陸)」、「水上(上陸せず)」の3つに分類されている。ここでは、「陸上」及び「水上(その後上陸)」をまとめて一つの区分として扱った。以下では、特段断らない限り、陸上竜巻と上陸竜巻を“陸上竜巻”と呼ぶ。</p> <p>1961年以降の51.5年間で、192個の竜巻が観測されているが、このうち5つの竜巻は海側の5km以遠から本検討領域に入ってきた海上竜巻である。陸側5km以遠から当該領域に進入した竜巻は無い。ここでは、ガイド等に基づき、本検討領域に進入あるいは通過した竜巻も発生と見なして解析を行う。</p> <p>192個の竜巻のうちの約21%(40個)をF1竜巻が占め、不明は半数以上(118個)となっている。不明竜巻の多く(98個)は2007年以降の5.5年間に観測されており、それらの殆ど(91個)が海上竜巻である。F0竜巻についても、その9割以上(24個中22個)が2007年以降の観測である。</p> <p>一方、F2竜巻については、51.5年間で10個観測されているが、2007年以降の発生例は無く、観測体制の強化に伴う影響をそれほど受けていないことが示唆される。また、F3竜巻の観測例が無いのも、本検討地域の特徴である。</p> <p>以上の結果を踏まえ、擬似的な51.5年間のデータや統計量をFスケール毎に作成した。その基本的な考え方は以下のとおりである。</p> <p>① 被害が小さくて見過ごされやすいF0及びF不明竜巻は、観測体制が強化された2007年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。</p> <p>② 被害が比較的軽微なF1竜巻については、観測体制が整備された1991年以降の年間発生数や標準偏差を採用する。</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>iii. 被害が比較的大きく見逃されることが少ないF2,3 竜巻については、観測データが整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。</p> <p>iv. 51.5 年間の発生数を、i～iiiの観測期間との比率から F スケールごとに推計する。</p> <p><u>このようにして得られた結果（以下、疑似データと呼ぶ）を表 2.1 の 4 段目に示す。ここでの小計には、陸上での不明竜巻を含めた。その結果、51.5 年間に発生した竜巻 1187 個のうち、不明も含む陸上竜巻が 333 個、海上竜巻は 853 個と推定された。</u></p> <p>竜巻は、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での不明竜巻（上陸竜巻の F 不明を含む）は被害が少ない F0 竜巻に分類するのが合理的である。その一方、海上の F スケール不明の竜巻については、その F スケールを推定することは困難であるが、沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上では類似していると考えられる【参考資料 1】。そこで、以下のような仮定の下に、検討地域の竜巻発生数を推計した。</p> <p>v. 陸上で発生あるいは上陸した F 不明竜巻は F0 に含める。これにより、全ての陸上竜巻を F0～F3 に分類する。</p> <p>vi. 沿岸部近傍での海上竜巻の発生特性は、陸上竜巻の発生特性と類似しているとの仮定の下、不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分する。</p> <p>このようにして得られた結果を表 2.1 の 5 段目に示す。検討領域における 51.5 年間の竜巻の発生総数は 1187 個、その 8 割以上が F0, 1 割強が F1 と推定された。また、F2 竜巻は、実際の観測数は 51.5 年間で 10 個であったが、海上竜巻を考慮したため、疑似データでは 36 個に増加している。</p> <p>また、<u>図 2.1 に示す日本における竜巻強度分布の変遷より、理想的な竜巻強度分布（縦軸：竜巻の発生率、横軸：風速の二乗）は直線になる。今回の実施した疑似データ作成方法においても、直線となる期間から F スケールごとの使用データを選定しており、適切な方法と考えられる。</u></p>	<p>e. <u>F 2 以上の竜巻については、見逃されることが少なかったとして、1961 年以降の全期間の統計量を基にする。</u></p> <p>f. <u>51.5 年間の発生数を、(a)～(c)の観測期間との比率から F スケールごとに推計する。</u></p> <p>g. <u>海上竜巻で F スケール不明の場合、被害痕跡等が残っていないため、その F スケールを推定することは難しい。そこで、沿岸部近傍では竜巻の発生状況については陸上と海上で変わらないと仮定し、「海岸線から海上 5km の範囲における海上竜巻の発生特性が、海岸線から内陸 5km の範囲における陸上竜巻の発生特性と同様である」という仮定に基づいて、陸上竜巻（上陸竜巻含む）での F スケール別発生比率で按分し、各 F スケールで発生した竜巻に加える。【添付資料 5 別紙 1】</u></p> <p><u>一方、F スケール不明の陸上竜巻は、痕跡等が残らないほど小さかったとし、F 0 相当の竜巻であったとする。</u></p> <p><u>竜巻検討地域について、発生数に関する統計量の分析結果を第 2-1 表に示す。竜巻検討地域において 51.5 年間に 300 個の竜巻が観測されたことに対し、1188 個の竜巻が発生したと推定した。</u></p>	<p>③ <u>被害が比較的大きく見逃されることが少ない F2, F3 竜巻については、観測データが整備された 1961 年以降の全期間の年間発生数や標準偏差を採用する。</u></p> <p>④ <u>51.5 年間の発生数を、①～③の観測期間との比率から F スケール毎に推計する。</u></p> <p>竜巻は、被害があつて初めてその F スケールが推定されるため、陸上での不明竜巻（上陸竜巻の F 不明を含む）は被害が少ない F0 竜巻に分類するのが合理的である。その一方、海上の F スケール不明の竜巻については、その F スケールを推定することは困難であるが、沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上では類似していると考えられる。そこで、以下のような仮定の下に、検討地域の竜巻発生数を推計した。</p> <p>⑤ <u>陸上で発生した F 不明竜巻は F0 に含める。これにより、全ての陸上竜巻を F0～F3 に分類する。</u></p> <p>⑥ <u>沿岸部近傍での海上竜巻の発生特性は、陸上竜巻の発生特性と類似しているとの仮定の下、不明な海上竜巻の発生数を陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分する。（按分後の期間内発生数は切り上げて整数化する）</u></p> <p><u>このようにして得られた結果を表 2.3.2 に示す。検討領域における 51.5 年間の竜巻の発生総数は 1187 個、その 8 割以上が F0, 1 割強が F1 と推定された。また、F2 竜巻は、実際の観測数は 51.5 年間で 10 個であったが、海上竜巻を考慮したため、疑似データでは 36 個に増加している。</u></p>	<p>備考</p> <p>・竜巻検討地域の違いによる相違</p> <p>【東海第二】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>図 2.3.4 は、求められた発生数の平均値 (23.05 個) と標準偏差 (8.97 個) に対するポアソン分布とポリヤ分布である。ポアソン分布 (破線) は平均値のみで決まるが、ポリヤ分布 (実線) は標準偏差の影響を受けるため、かなり幅の広い分布形となっている。なお、これらの分布形に関しては 2.3.5 で述べる (式 (1), (2) 参照)。</p> <p>さらに、擬似データを作成した時の基本的な考え方に則り、発生数のシミュレーションを行い、どのような竜巻発生数の推移を想定しているかを検討した。</p> <p>具体的には、F スケール毎に採用した期間内の観測値及び不明な陸上・海上竜巻が、繰り返しランダムに現れるものとして、各年の発生数をシミュレーションし、52 年間の発生数データを作成する。そのデータを観測値と見なした場合に、関数形を推定し図 2.3.4 の結果と比較する。</p> <p>例えば F0 の場合、信頼できるデータは最近 5~6 年間のデータしかないため、この内の一個のデータを乱数により抽出し、その年の F0 の発生数のデータとする。F0 に加えるべき陸上の不明や、海上竜巻についても、乱数を発生させて毎年の発生数をシミュレーションする。F1~F3 についても同様であり、これら全ての発生数を合算し、その年の発生数とする。</p> <p>図 2.3.5(a) は、このようにして作成した 52 年間の発生数時系列の一例である。F0 や不明竜巻に関する最近の増加特性を反映させている。同図 (b) (c) は、シミュレーションされた発生数の確率分布を推定した結果である。この結果は、図 2.3.4 の結果と非常に類似していることがわかる。また、ポアソン分布に比べて、ポリヤ分布の方が発生数への適合度は高いと言える。</p>	<p>(ポアソン分布については、柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料 2」で、東海第二は「別紙 5-2」で記載)</p>

表 2.1 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192	
	平均値(年)	1.44	0.47	0.78	0.19	-	0.25	2.04	3.73	
	標準偏差(年)	2.25	1.75	0.90	0.49	-	0.71	5.92	7.81	
	CV(年)	1.56	3.76	1.16	2.52	-	2.83	2.90	2.09	
	1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
平均値(年)	2.14	1.12	0.98	0.05	-	0.56	4.88	7.58		
標準偏差(年)	3.11	2.61	0.91	0.22	-	1.02	8.49	11.07		
CV(年)	1.45	2.34	0.93	4.64	-	1.83	1.74	1.46		
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125	
	平均値(年)	4.91	4.00	0.91	-	-	1.27	16.55	22.73	
	標準偏差(年)	5.55	4.32	1.24	-	-	1.69	11.41	15.10	
	CV(年)	1.13	1.08	1.36	-	-	1.33	0.69	0.66	
	疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	333	206	51	10	0	66	853	1188
平均値(年)		6.44	4.00	0.98	0.19	-	1.27	16.55	22.99	
標準偏差(年)		4.75	4.32	0.91	0.49	-	1.69	11.41	12.36	
CV(年)		0.74	1.08	0.93	2.52	-	1.33	0.69	0.54	
疑似 51.5年間 (全竜巻)		期間内総数	1187	969	182	36	0	0	1187	
	平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	-	-	-	23.05	
	標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	-	-	-	8.97	
	CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	-	-	-	0.39	

第2-1表 竜巻発生数の分析結果

		F3	F2	F1	F0	小計	陸上 不明	海上 不明	合計	
過去に 観測 された 竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	6	41	100	46	193	20	87	300
		平均値(個/年)	0.12	0.80	1.94	0.89	3.75	0.39	1.69	5.83
		標準偏差(個/年)	0.32	0.94	1.96	2.17	3.25	0.69	4.35	7.26
		期間内個数	1	15	72	46	134	15	86	235
	1991.1-2012.6 21.5年間	平均値(個/年)	0.05	0.70	3.35	2.14	6.23	0.70	4.00	10.93
		標準偏差(個/年)	0.22	0.78	2.03	2.96	3.24	0.84	6.08	8.81
		期間内個数	0	1	12	31	44	9	63	116
		平均値(個/年)	0.00	0.18	2.18	5.64	8.00	1.64	11.45	21.09
	2007.1-2012.6 5.5年間	標準偏差(個/年)	0.00	0.43	1.99	4.17	4.16	0.97	8.32	11.75
				F3	F2	F1	F0	計		
疑似 51.5 年間の 竜巻	疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内個数	6	41	173	376	596			
		平均値(個/年)	0.12	0.80	3.36	7.30	11.57			
	疑似 51.5年間 (全竜巻)	標準偏差(個/年)	0.32	0.94	2.03	4.74	5.25			
		期間内個数	12	82	345	749	1188			
		平均値(個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07			
		標準偏差(個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42			

図 2.3.3 竜巻発生数の解析フロー

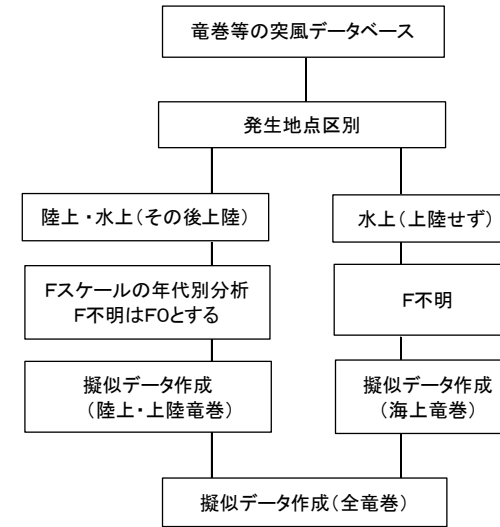


表 2.3.1 竜巻発生数の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	74	24	40	10	0	13	105	192	
	平均値(年)	1.44	0.47	0.78	0.19	-	0.25	2.04	3.73	
	標準偏差(年)	2.25	1.75	0.90	0.49	-	0.71	5.92	7.81	
	CV(年)	1.56	3.76	1.16	2.52	-	2.83	2.90	2.09	
	1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	46	24	21	1	0	12	105	163
平均値(年)		2.14	1.12	0.98	0.05	-	0.56	4.88	7.58	
標準偏差(年)		3.11	2.61	0.91	0.22	-	1.02	8.49	11.07	
CV(年)		1.45	2.34	0.93	4.64	-	1.83	1.74	1.46	
2007~ 2012/6 (5.5年間)		期間内総数	27	22	5	0	0	7	91	125
	平均値(年)	4.91	4.00	0.91	-	-	1.27	16.55	22.73	
	標準偏差(年)	5.55	4.32	1.24	-	-	1.69	11.41	15.10	
	CV(年)	1.13	1.08	1.36	-	-	1.33	0.69	0.66	

表 2.3.2 竜巻発生数の推計結果(疑似 51.5年間)

日本海 (沿岸±5km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール			
			F0	F1	F2	F3
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0
	平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	-
	標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	-
	CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	-

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

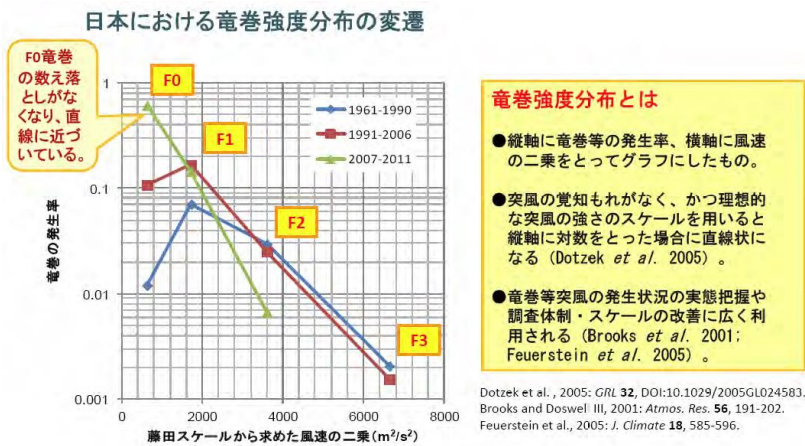


図 2.1 日本における竜巻強度分布の変遷

(出典：気象庁「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」第一回資料3)

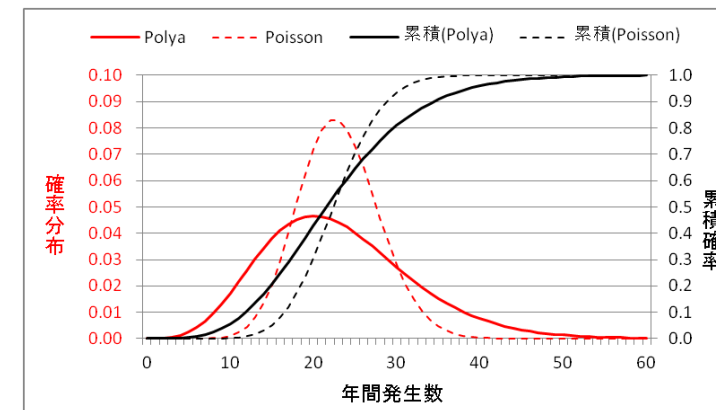
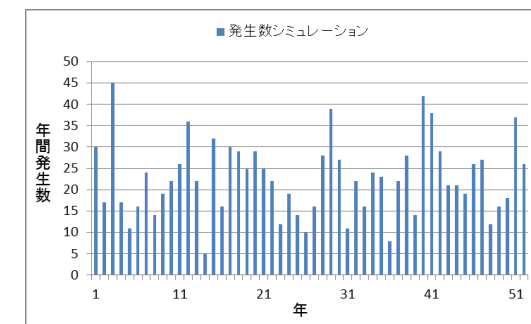


図 2.3.4 竜巻発生数の確率分布 (赤) と累積分布 (黒)



(a) 発生数の時系列

(ポアソン分布については、柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料2」で、東海第二は「別紙5-2」で記載)

③年発生数の確率密度分布の設定

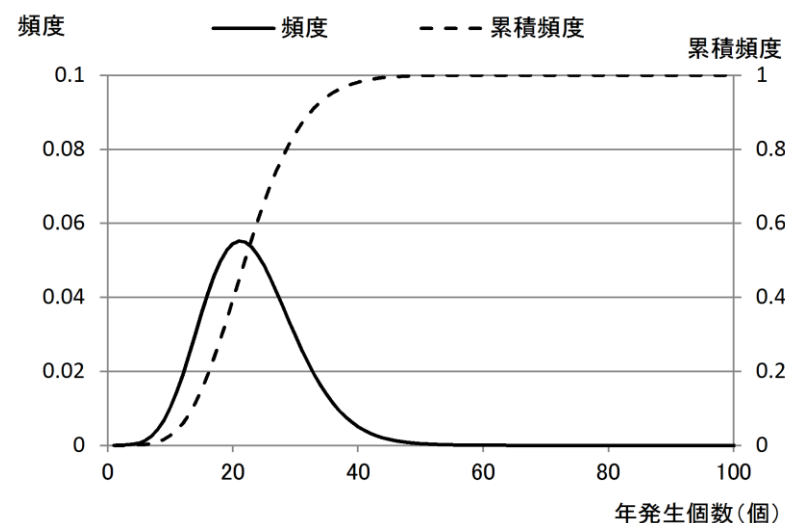
設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きい分布であることから、東京工芸大学委託成果にならってポリヤ分布により設定した。なお、ポリヤ分布は、竜巻影響評価ガイドにおいて推奨されているポアソン分布を一般化したものであり、年発生数の年々変動の実態をポアソン分布よりも適合性が高い形で表現できることを確認している。【参考資料2】

(3) 竜巻の被害幅、被害長さの分析

竜巻発生数と同様にして、3つの観測期間を対象にして、被害幅の観測データを解析した結果を表3.1に示す。ここで記載したF不明とは、被害幅とFスケールの両方若しくは片方が不明であることを表す。また、気象庁のデータベース上で、被害幅が0mと記録されている竜巻も不明扱いとし、解析対象からは除外した。

(3) 年発生数の確率密度分布の設定

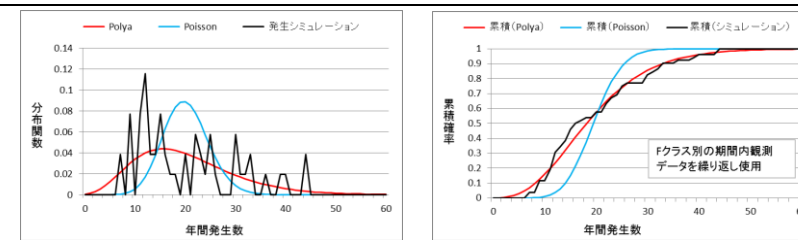
竜巻の年発生数の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻は気象事象の中でも極めて稀に発生する事象であり、発生数の変動（標準偏差）が大きいことから、竜巻検討地域で過去に発生した竜巻の記録等に基づき平均値と標準偏差を評価し、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」の成果を参考とし、第2-1図に示すポリヤ分布とした。



第2-1図 竜巻の年発生数の確率密度分布（ポリヤ分布）

3. 竜巻の被害幅及び被害長さの分析

被害幅及び被害長さについても発生数と同様に疑似51.5年間の統計量を基にする。



(b) 分布関数の比較 (c) 累積確率

図 2.3.5 発生数シミュレーションの結果

2.3.3 竜巻被害幅・長さの統計

竜巻発生数と同様にして、3つの観測期間を対象にして、被害幅の観測データを解析した。

解析のフローを図2.3.6に、その結果を表2.3.3に示す。ここでの不明とは、被害幅とFスケールの両方若しくは片方が不明であることを表す。また、気象庁「竜巻等の突風データベース」上で、被害幅が0mと記録されている竜巻も不明扱いとし、

(島根2号炉は、確率密度分布の設定について「2.3.2」で記載)



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>本竜巻検討地域では、51.5年間に192個の竜巻が観測されているが、Fスケールが分かっているものが74個(表2.1の1段目の小計)、Fスケールと幅の両方が分かっているものが55個(表3.1の1段目の小計)である。被害幅の解析に利用可能なデータ数は、発生数のデータ数に比べてかなり少ないことが分かる。先に推定したFスケールごとの発生数(表2.1)との整合性も確保する必要がある。そこで、以下のようにして51.5年間の被害幅の統計量を推定した。</p> <p>① 統計量を確保するために、1961年以降の観測データを使用し、Fスケール別に被害幅データを抽出する。このデータをもとに、Fスケール別に被害幅のデータや平均値・標準偏差を求める(表3.1の上段)。</p> <p>② 各スケール別の51.5年間のデータ数は、①で得られる観測値ではなく、表2.1で推定された51.5年間の疑似データの発生数とする。</p> <p>③ 具体的には、①で抽出されたFスケール別の被害幅データを大きい順に並び替え※、②で設定した51.5年間の発生数分だけ繰り返し集積し、51.5年間の疑似データ(幅のデータ)を作成する。</p> <p>④ 作成された疑似データの平均値や標準偏差を求める。</p> <p>※: 51.5年間の発生数分だけ繰り返し集積する際に、より大きな被害幅データを集積することで保守的なデータとなるように、大きい順に並べ替えた。</p> <p>このようにして求めた結果を表3.1の最下段に示す。Fスケール別の平均値や標準偏差は、繰り返しサンプリングを行っている関係で、最上段の観測値とは若干異なっている(若干大きい)。以上により、Fスケールごとの被害幅の発生特性を保持しつつ、発生数との整合性を確保することができる。</p> <p>被害長さについても、被害幅と同様の解析を行った。結果を表</p>	<p>被害幅及び被害長さの解析に利用可能なデータ数は、竜巻発生数評価時のデータ数に比べて少ない。</p> <p>そこで、先に作成した疑似51.5年間の竜巻発生数と対応した被害幅及び被害長さの統計量の分析は、以下の手順で行った。</p> <p>Step1: 基となる観測データ数を確保するために、1961年以降の被害幅及び被害長さのデータを基にする。そのデータをFスケールごとに仕分ける。</p> <p>Step2: 各Fスケールに対し、上記で抽出された被害幅や被害長さのデータを大きい順に並び替え、51.5年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い、疑似51.5年間のデータとする。例えば、被害幅が観測されている7個のデータを大きい順から並べたものを7回繰り返し、計49個のデータを作成する。</p> <p>Step3: 疑似51.5年間のデータについて、統計量(平均値及び標準偏差)を求める。</p> <p>第3-1表、第3-2表に、疑似51.5年間のデータを基に評価した被害幅及び被害長さの統計量を示す。</p>	<p>解析対象からは除外した。</p> <p>本竜巻検討地域では、51.5年間に192個の竜巻が観測されているが、Fスケールが分かっているものが74個(表2.3.1の1段目の小計)、Fスケールと幅の両方が分かっているものが55個(表2.3.3の1段目の小計)である。被害幅の解析に利用可能なデータ数は、発生数のデータ数に比べてかなり少ないことが分かる。</p> <p>安定した統計値を算出するためには、データ数を確保する必要がある。また、先に推定したFスケール毎の発生数との整合性も確保する必要がある。そこで、以下のようにして51.5年間の被害幅の統計量を推定した(図2.3.6参照)。</p> <p>① 統計量を確保するために、1961年以降の観測データを使用し、Fスケール別に被害幅データを抽出する。Fスケール別のデータから、被害幅の発生数や平均値・標準偏差を求める(表2.3.3の上段)。</p> <p>② 各スケール別の51.5年間のデータ数は、①で得られる観測値ではなく、表2.3.1で推定された51.5年間の疑似データの発生数とする。</p> <p>③ ①で抽出されたFスケール別の被害幅データを大きい順に並び替え、②で設定した51.5年間の発生数分だけ繰り返しサンプリングを行い、51.5年間の疑似データ(幅のデータ)を作成する。</p> <p>④ 作成された疑似データの平均値や標準偏差を求める。</p> <p>このようにして求めた結果を表2.3.3の最下段に示す。Fスケール別の平均値や標準偏差は、繰り返しサンプリングを行っている関係で、最上段の観測値とは若干異なっている。以上により、Fスケール毎の被害幅の発生特性を保持しつつ、発生数との整合性を確保した。</p> <p>竜巻被害長さについても、被害幅と同様の解析を行った。結</p>	

3.2 に示す。

果を表 2.3.4 に示す。擬似データの竜巻長さの平均値は約 1.6km であり、F0~F2 の平均値はそれぞれ 1.1km, 3.8km, 3.0km 程度である。

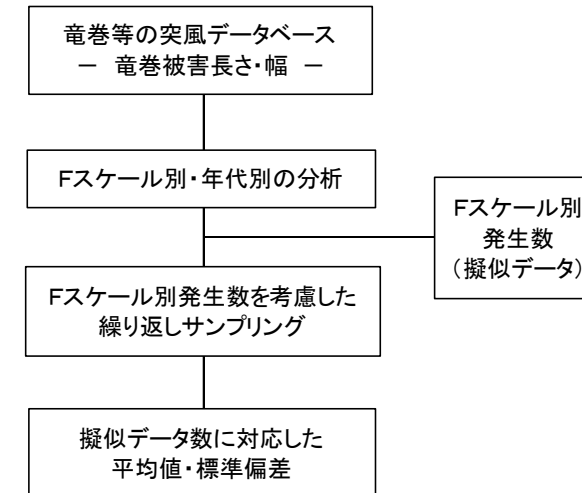


図 2.3.6 竜巻被害長さ・幅の分析フロー

表 3.1 竜巻の被害幅の解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	竜巻幅 の統計 (m)	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	55	23	26	6	0	32	105	192	
	平均値 (m)	124	120	113	190	-				
	標準偏差 (m)	151	125	104	349	-				
	CV	1.22	1.04	0.92	1.84	-				
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	42	23	18	1	0	16	105	163	
	平均値 (m)	123	120	128	100	-				
	標準偏差 (m)	117	125	116	0	-				
	CV	0.96	1.04	0.91	0.00	-				
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125	
	平均値 (m)	127	126	132	-	-				
	標準偏差 (m)	116	129	54	-	-				
	CV	0.91	1.03	0.41	-	-				
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187	
	平均値 (m)	121	120	113	190	-				
	標準偏差 (m)	131	123	102	323	-				
	CV	1.08	1.02	0.90	1.70	-				

第 3-1 表 被害幅の統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1~2012.6 51.5年間 観測値	期間内個数	6	36	84	37	163
	平均値 (m)	525	206	115	55	137
	標準偏差 (m)	741	367	173	45	265
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値 (m)	525	250	124	56	94
	標準偏差 (m)	706	408	187	45	179

表 2.3.3 竜巻被害幅の解析結果

日本海 (沿岸±5km)	竜巻幅 の統計 (m)	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	55	23	26	6	0	32	105	192	
	平均値 (m)	124	120	113	190	-				
	標準偏差 (m)	151	125	104	349	-				
	CV	1.22	1.04	0.92	1.84	-				
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	42	23	18	1	0	16	105	163	
	平均値 (m)	123	120	128	100	-				
	標準偏差 (m)	117	125	116	0	-				
	CV	0.96	1.04	0.91	0.00	-				
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125	
	平均値 (m)	127	126	132	-	-				
	標準偏差 (m)	116	129	54	-	-				
	CV	0.91	1.03	0.41	-	-				
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	0	
	平均値 (m)	121	120	113	190	-				
	標準偏差 (m)	131	123	102	323	-				
	CV	1.08	1.02	0.90	1.70	-				

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

表 3.2 竜巻の被害長さの解析結果

竜巻検討地域 (沿岸±5km)	被害長さ の統計(km)	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	57	23	28	6	0	30	105	192	
	平均値 (km)	2.516	1.139	3.550	2.967	-				
	標準偏差 (km)	4.039	1.486	5.243	3.462	-				
	CV	1.61	1.30	1.48	1.17	-				
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	41	23	17	1	0	17	105	163	
	平均値 (km)	1.502	1.139	2.024	1.000	-				
	標準偏差 (km)	1.943	1.486	2.467	0.000	-				
	CV	1.29	1.30	1.22	0.00	-				
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125	
	平均値 (km)	1.800	1.219	4.240	-	-				
	標準偏差 (km)	2.300	1.533	3.618	-	-				
	CV	1.28	1.26	0.85	-	-				
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	1187	
	平均値 (km)	1.607	1.149	3.780	2.967	-				
	標準偏差 (km)	2.697	1.466	5.287	3.205	-				
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	-				

(4) 竜巻風速, 被害幅, 被害長さの確率分布, 相関係数

竜巻ハザードを評価するためには、一つの竜巻が発生した際の、竜巻風速・被害幅・被害長さの確率分布が必要となる。そこで、本竜巻検討地域における 51.5 年間の竜巻の発生数・被害幅・被害長さのデータ (表 4.1) を用いて各確率密度分布を求める。その際、竜巻影響評価ガイド並びに東京工芸大学委託成果を参照して、確率密度関数が対数正規分布にしたがうものとした。

① 竜巻風速の確率密度分布

F スケールの竜巻風速には幅があるため、具体的な風速の設定方法には任意性があり、F スケールの範囲内のある値 (中央値等) に設定する方法や F スケールの風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法などが考えられる。

図 4.1 に竜巻風速が中央値に集中した場合 (黒い実線) 及び一様に分布するとした場合 (赤い実線) について、風速の分布形 (超過確率) を推定した結果を示す。●印は、各 F スケール下限値における観測値 (疑似 51.5 年間データ) の超過確率を表しており、例えば F1 の下限値 (33m/s) 以上となる確率は約 0.2 である。また、○印は、F3 が 1 個観測された場合を仮定してプロットをし

第 3-2 表 被害長さの統計量

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間 観測値	期間内個数	6	38	88	38	170
	平均値 (km)	14	5.02	2.38	1.17	3.11
	標準偏差 (km)	15	4.55	3.03	0.98	4.70
疑似 51.5 年間	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値 (km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
	標準偏差 (km)	14	4.94	3.03	0.97	3.10

4. 竜巻風速, 被害幅及び被害長さの確率密度分布及び相関係数

(1) 最大風速, 被害幅及び被害長さの確率密度分布

表 2.3.4 竜巻被害長さの解析結果

日本海 (沿岸±5km)	被害長さ の統計(km)	小計	竜巻スケール					不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)		
1961～ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	57	23	28	6	0	30	105	192	
	平均値 (km)	2.516	1.139	3.550	2.967	-				
	標準偏差 (km)	4.039	1.486	5.243	3.462	-				
	CV	1.61	1.30	1.48	1.17	-				
1991～ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	41	23	17	1	0	17	105	163	
	平均値 (km)	1.502	1.139	2.024	1.000	-				
	標準偏差 (km)	1.943	1.486	2.467	0.000	-				
	CV	1.29	1.30	1.22	0.00	-				
2007～ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	26	21	5	0	0	8	91	125	
	平均値 (km)	1.800	1.219	4.240	-	-				
	標準偏差 (km)	2.300	1.533	3.618	-	-				
	CV	1.28	1.26	0.85	-	-				
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	1187	969	182	36	0	0	0	0	
	平均値 (km)	1.607	1.149	3.780	2.967	-				
	標準偏差 (km)	2.697	1.466	5.287	3.205	-				
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	-				

2.3.4 竜巻風速・被害幅・長さの確率分布

2.3.4.1 対数正規分布

後述するように、竜巻ハザードを評価するためには、一つの竜巻が発生した際の、竜巻風速・被害幅・長さの確率分布が必要となる。本章では、これらの確率密度関数を求める。(対数正規分布についての概説を付録 1 に示す。)

2.3.2 と 2.3.3 の結果から、51.5 年間の竜巻パラメータは表 2.3.5 のようにまとめられる。この表を基に、それぞれの竜巻パラメータの確率密度分布関数  $f(x)$  を求める。

JNES の報告書によれば、竜巻の風速・幅・長さに関する分布形は、対数正規分布への適合度が良いことが示されている。この成果及びガイドに基づき、本報告でも対数正規分布を用いるものとする。

2.3.4.2 竜巻速度の確率分布

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

・資料構成の相違  
【柏崎 6/7】  
島根 2号炉は、対数正規分布の概説を「付録 1」に記載している

(島根 2号炉は、竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>た。</p> <p>ハザード解析においては、特定の風速以上となる確率が重要であることから、●印で表された観測値ベースの超過確率と適合度が高い分布形が望ましい。図 4.1(a) の○印も含めて評価すると、一様分布の方が中央値の場合よりも適合度が良いと言える。</p> <p>また、後述のハザード解析において、竜巻風速が中央値に集中した場合及び一様に分布するとした場合で計算した結果、図 4.2 のとおり風速設定を一様分布とした方が中央値で代表させる場合よりも厳しいハザード曲線となっている。</p> <p>以上より、ハザードを保守的に評価するとの観点から、風速分布としては一様分布を採用した。風速分布を一様分布とした場合の竜巻風速の確率密度分布、年超過確率分布の算定結果を図 4.3 に示す。</p> <p>②竜巻の被害幅の確率密度分布</p> <p>竜巻の被害幅は、竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから、任意性はなく、観測値から作成した疑似データに基づき、確率密度分布を推定する。竜巻の被害幅の確率密度分布、年超過確率分布の算定結果を図 4.4 に示す。算定結果は、年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。</p> <p>③竜巻の被害長さの確率密度分布</p> <p>竜巻の被害長さは、竜巻風速とは異なり具体的な値が直接観測されていることから、任意性はなく、観測値から作成した疑似データに基づき、確率密度分布を推定する。竜巻の被害長さの確率密度分布、年超過確率分布の算定結果を図 4.5 に示す。算定結果は、年超過確率の図より観測結果を適切に推定できていることがわかる。</p> <p>ハザード曲線を算定する際、2 変量又は 3 変量の確率分布関数</p>	<p>最大風速、被害幅及び被害長さは、前記で評価した統計量を有する対数正規分布に従うものとする。第 4-1 表に統計量を示す。それぞれが独立であるとした場合の確率密度分布について、第 4-1 図～第 4-6 図に示す。</p> <p>最大風速の超過確率は、観測結果がトレースでき、風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていないことが確認できる。竜巻の被害幅及び長さの超過確率からは、観測結果をおおむねトレースしていることが確認できる。</p> <p>(2) 最大風速、被害幅及び被害長さの相関係数</p> <p>相関係数は、過去に発生した竜巻の最大風速、被害幅及び被害</p>	<p>表 2.3.5 の F スケール別の発生数から、竜巻風速の確率分布を求める。竜巻風速の確率分布の算定結果を図 2.3.7 に示す。観測結果を適切に表現できる形となっており、風速の大きいエリアにおいても不自然な形となっていない。</p> <p>2.3.4.3 被害幅の確率分布</p> <p>竜巻風速と同様に、竜巻被害幅の確率分布を推定する。竜巻被害幅の確率分布の推定結果を図 2.3.8 に示す。推定された分布形は、被害幅の小さな竜巻に加え、ごく希に見られる被害幅の非常に大きい確率も適切に評価しているといえる。</p> <p>2.3.4.4 被害長さの確率分布</p> <p>被害長さについても、被害幅と同様の方法で確率分布を推定した。図 2.3.9 によると、被害長さが 10～20km に達する竜巻が観測されているが、推定された分布形はこれも含めて適切に評価していることが分かる。</p> <p>2.3.4.5 相関係数</p> <p>後述するように、竜巻のハザードの計算においては、2 変量</p>	<p>備考</p> <p>(島根 2号炉は、確率密度分布を「別添 2-1」2.3.5) で記載)</p> <p>(島根 2号炉は、確率密度分布を「別添 2-1」2.3.5) で記載)</p>



を対象とするため、竜巻風速、被害幅、被害長さの相関係数の検討を実施した。相関係数は、1961年以降の観測データで、3変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想的であるが、十分なデータ数を確保するため、風速と幅のみが観測されているデータ等、2変量の比較が行える観測データも併せて用いて相関係数を算定した。なお、竜巻風速、被害幅、被害長さの確率密度分布の推定では、発生頻度が重要であるために繰り返しサンプリングを行ったデータを用いたが、以下の理由により、相関係数の推定ではそのような措置を行わず、観測の元データをもとに推定した。

Fスケール不明やF0竜巻では、被害規模が小さいために被害幅や被害長さの観測データがF2竜巻に比べて得られる機会が少なく、ばらつきも大きいものと考えられる。そのようなデータをサンプリングにより増やすと、F2竜巻で見られる相関の高さが反映されない算定結果になることが懸念される。

表4.2に示す算定結果によれば、本竜巻検討地域では、竜巻風速と被害長さには相関係数0.31程度、被害幅と被害長さには、0.46程度の相関が認められた。相関を求めた際のデータ数、平均値、標準偏差及び相関係数を表4.2に示す。

表4.1 竜巻検討地域における竜巻パラメータ (51.5年間の推定結果)

パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール			
			F0	F1	F2	F3
発生数	期間内総数	1187	969	182	36	0
	平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	-
	標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	-
	CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	-
被害幅	期間内総数	1187	969	182	36	0
	平均値(m)	121	120	113	190	-
	標準偏差(m)	131	123	102	323	-
	CV	1.08	1.02	0.90	1.70	-
被害長さ	期間内総数	1187	969	182	36	0
	平均値(km)	1.607	1.149	3.780	2.967	-
	標準偏差(km)	2.697	1.466	5.287	3.205	-
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	-

長さの関係を評価することから、繰り返しサンプリングを行った推定51.5年間ではなく、観測データを基に、その対数値の相関係数を算出した。観測データのみを用いるのは、Fスケール不明やF0の竜巻では、被害規模が小さいために、被害幅や被害長さの観測データがF2、F3の竜巻と比べ観測値として示されている場合が少なく、そのようなデータを繰り返しサンプリングにより増やすと、F2、F3の竜巻で見られる相関性が反映されない結果が懸念されるためである。

また、相関係数を算出する際には、竜巻の最大風速、被害幅及び被害長さの3変量が同時に観測されているデータを用いるのが理想であるが、3変量が揃っているデータは少ないので、データ数を極力確保することを目的として、例えば最大風速と被害幅のみが観測されている等、少なくとも2変量の比較が行えるデータを用いた。

相関係数の算出結果を、第4-2表に示す。

第4-1表 発生数、被害幅及び被害長さの統計量

		F3	F2	F1	F0	計
発生数	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値(個/年)	0.23	1.59	6.70	14.54	23.07
	標準偏差(個/年)	0.46	1.33	2.87	6.69	7.42
被害幅	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値(m)	525	250	124	56	94
	標準偏差(m)	706	408	187	45	179
被害長さ	期間内個数	12	82	345	749	1188
	平均値(km)	14	5.63	2.43	1.18	1.98
	標準偏差(km)	14	4.94	3.03	0.97	3.10

あるいは3変量の確率分布を対象とするため、竜巻風速・被害幅・被害長さについての相関係数が必要となる。(2変量の確率分布関数についての概説を付録2に示す。)

竜巻風速、被害幅、被害長さの相関を求めるには、本来ならば、これら3つが同時に観測されているデータを用いるのが望ましいが、十分なデータ数が確保されないため、1961年以降の利用可能なデータを全て用いて相関を取ることにする。ただし、幅や長さが0mのデータは解析対象外とした。

また、それぞれの変数の確率分布の推定では、データ総数の整合性を確保したが、相関係数の推定ではそのような補正は行わない。これは、相関の高い(と思われる)F2以上のデータを重視するためである。

相関を求めた際のデータ数及び相関係数を表2.3.6に示す。ここに、相関係数はln(x)に対する相関係数である。

本竜巻検討地域では、竜巻風速と竜巻被害幅の間に相関は認められない。計算上は負値となっているが、ここでは無相関(=0)とする。

表2.3.5 竜巻検討地域における竜巻パラメータ (51.5年間の推定結果)

パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
日本海 (沿岸±5km)	発生数	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値(年)	23.05	18.82	3.53	0.70	-
		標準偏差(年)	8.97	8.76	1.72	0.92	-
		CV(年)	0.39	0.47	0.49	1.32	-
疑似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	1187	969	182	36	0
		平均値(m)	121	120	113	190	-
		標準偏差(m)	131	123	102	323	-
		CV	1.08	1.02	0.90	1.70	-
被害長さ	期間内総数	1187	969	182	36	0	
	平均値(km)	1.607	1.149	3.780	2.967	-	
	標準偏差(km)	2.697	1.466	5.287	3.205	-	
	CV	1.68	1.28	1.40	1.08	-	

竜巻検討地域の違いによる相違【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)

東海第二発電所 (2018.9.18版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

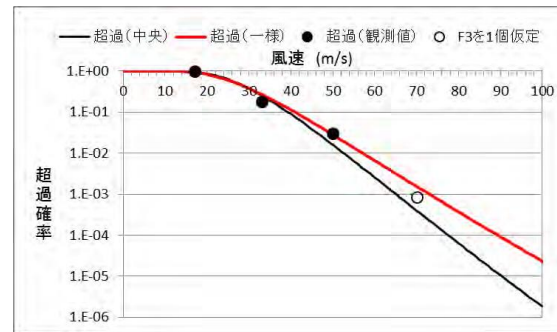
表 4.2(1) 相関係数算定に用いた竜巻風速, 被害幅, 被害長さの  
データ数 (単位: 個)

データ数	風速	被害幅	被害長さ
風速	74	55	57
被害幅	55	59	54
被害長さ	57	54	59

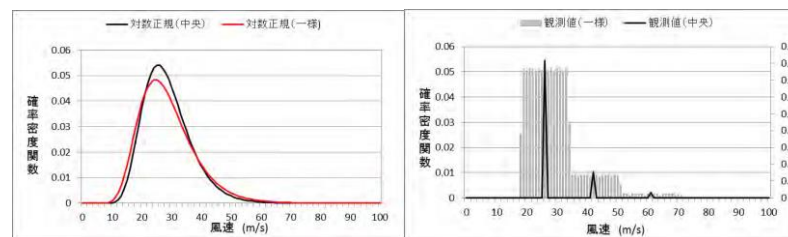
表 4.2(2) 竜巻風速, 被害幅, 被害長さの相関係数 (単位なし)

相関係数	風速	被害幅	被害長さ
風速	1.000	-0.050*	0.312
被害幅	-0.050*	1.000	0.462
被害長さ	0.312	0.462	1.000

\*風速と被害幅は無相関との知見が得られたため, ハザード算定の  
際には, 相関係数 0 として計算



(a) 超過確率



(b) 確率密度関数 (左: 推定値, 右: 観測値)

図 4.1 竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値の比較

(島根 2 号炉は, 竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載)



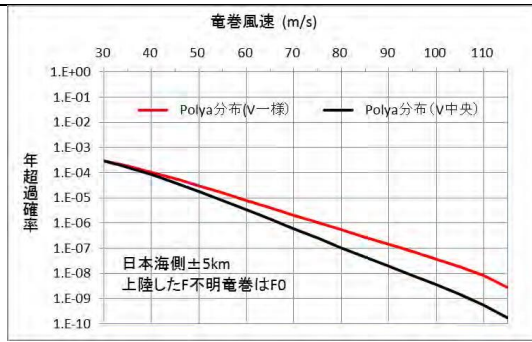


図 4.2 風速設定の違いによる竜巻最大風速のハザード曲線の比較  
(海側, 陸側 5km 範囲)

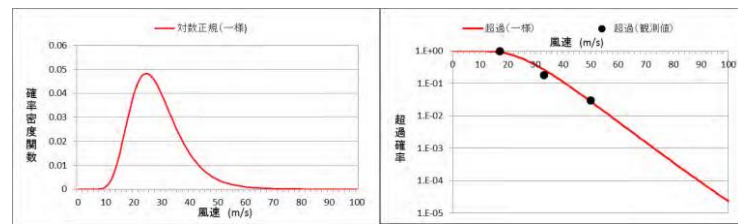


図 4.3(1) 竜巻風速の確率密度分布 図 4.3(2) 竜巻風速の年超過確率分布

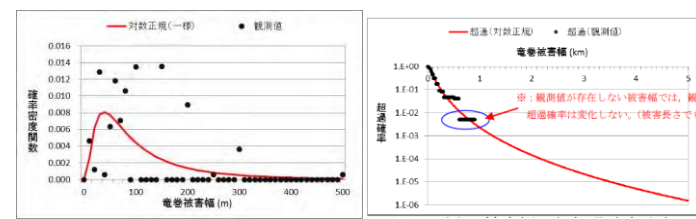


図 4.4(1) 被害幅の確率密度分布 図 4.4(2) 被害幅の年超過確率分布

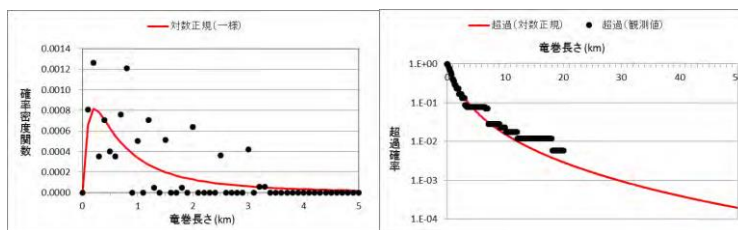
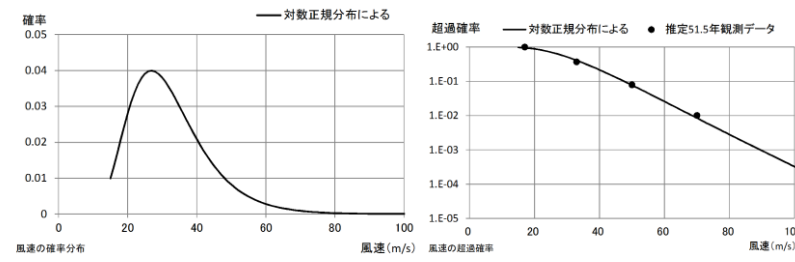
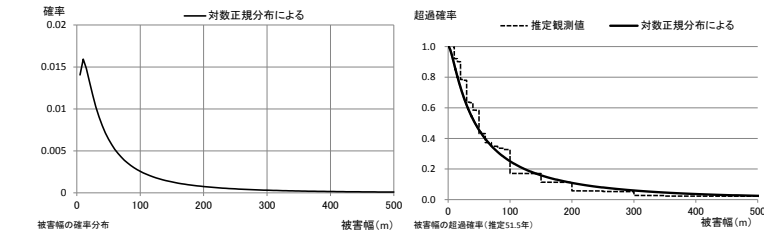


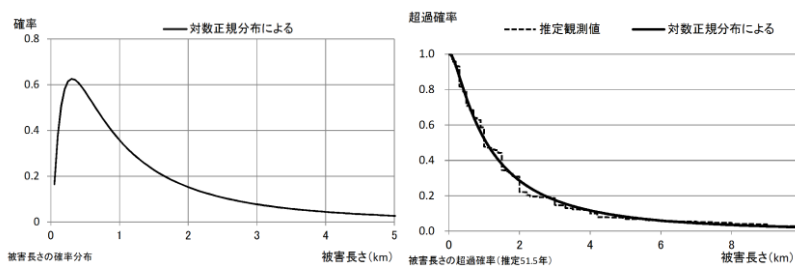
図 4.5(1) 被害長さの確率密度分布 図 4.5(2) 被害長さの年超過確率分布



第 4-1 図 最大風速の確率密度分布 第 4-2 図 最大風速の超過確率



第 4-3 図 被害幅の確率密度分布 第 4-4 図 被害幅の超過確率



第 4-5 図 被害長さの確率密度分布 第 4-6 図 被害長さの超過確率

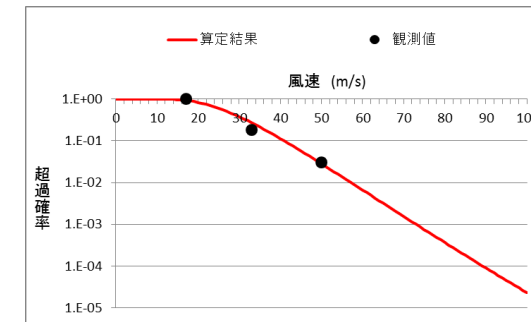


図 2.3.7 竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値との比較

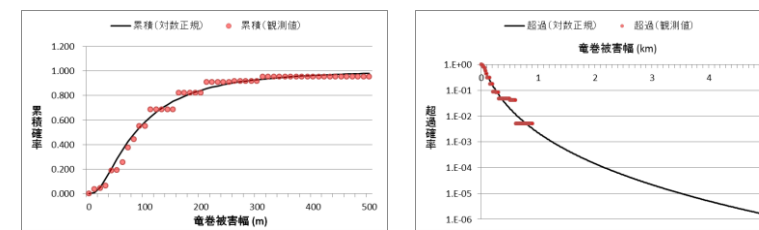


図 2.3.8 竜巻被害幅の確率分布の推定結果と観測値との比較

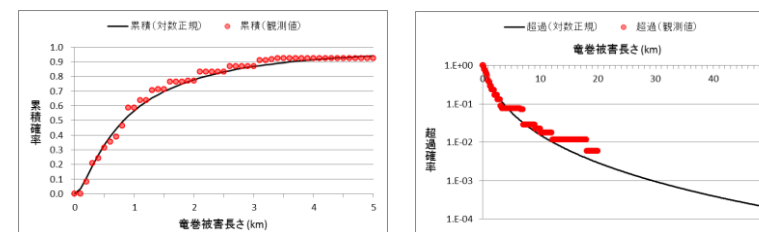


図 2.3.9 竜巻被害長さの確率分布の推定結果と観測値との比較

(島根 2号炉は, 竜巻風速の確率密度分布について「付録 4」で記載)

(島根 2号炉は, 確率密度分布を「別添 2-1 2.3.5」で記載)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																
<p>(5) 竜巻影響エリア</p> <p>竜巻影響エリアは、柏崎刈羽原子力発電所の号炉ごとに設定する。号炉ごとのすべての評価対象施設の設置面積の合計値及び推定される竜巻被害域(被害幅、被害長さから設定)に基づいて、竜巻影響エリアを設定する。</p> <p>図 5.1 に柏崎刈羽原子力発電所6号炉の竜巻影響エリア、図 5.2 に7号炉の竜巻影響エリアを示す。竜巻影響エリアは、柏崎刈羽原子力発電所6号又は7号炉の評価対象施設を含む長方形エリアの対角線長さが約 260m であることを考慮して、各号炉の評価対象施設を包絡する円形のエリア(直径 300m、面積約 7.1×10<sup>4</sup>m<sup>2</sup>)として設定する。なお、竜巻影響エリアを円形とするため、竜巻の移動方向には依存性は生じない。</p>	<p>第 4-2 表 最大風速、被害幅及び被害長さの対数値の相関係数</p> <table border="1" data-bbox="976 306 1676 491"> <thead> <tr> <th>相関係数の値</th> <th>最大風速</th> <th>被害幅</th> <th>被害長さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大風速</td> <td>1.000</td> <td>0.381</td> <td>0.452</td> </tr> <tr> <td>被害幅</td> <td>—</td> <td>1.000</td> <td>0.381</td> </tr> <tr> <td>被害長さ</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>1.000</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. 竜巻影響エリアの設定</p> <p>発電所の構築物、系統及び機器のうち、外部事象防護対象施設のうち評価対象施設を包絡する円形領域を竜巻影響エリアとして設定した。竜巻影響エリアを第 5-1 図に示す。</p> <p>なお、竜巻影響エリアは、原子炉建屋周辺、海水ポンプ室及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が離れているため、それぞれをまず直径 188m、直径 44m 及び直径 60m の円形領域に包絡させ、さらにこれらの領域を包絡させた直径 300m の円形領域(面積 約 71,000m<sup>2</sup>)として設定した。</p> <p>また、竜巻影響エリアを円形としたため、ハザード計算において竜巻の移動方向に対する依存性は生じない。</p>	相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ	最大風速	1.000	0.381	0.452	被害幅	—	1.000	0.381	被害長さ	—	—	1.000	<p>表 2.3.6 風速、幅、長さのデータ数と相関係数</p> <table border="1" data-bbox="1849 296 2386 600"> <thead> <tr> <th>データ数</th> <th>V(m/s)</th> <th>Width(m)</th> <th>Len(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V (m/s)</td> <td>74</td> <td>55</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>Width (m)</td> <td>55</td> <td>59</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Len (m)</td> <td>57</td> <td>54</td> <td>59</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1849 464 2386 600"> <thead> <tr> <th>相関_LN</th> <th>V (m/s)</th> <th>Width (m)</th> <th>Len (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V (m/s)</td> <td>1.000</td> <td>-0.050</td> <td>0.312</td> </tr> <tr> <td>Width (m)</td> <td>-0.050</td> <td>1.000</td> <td>0.462</td> </tr> <tr> <td>Len (m)</td> <td>0.312</td> <td>0.462</td> <td>1.000</td> </tr> </tbody> </table>	データ数	V(m/s)	Width(m)	Len(m)	V (m/s)	74	55	57	Width (m)	55	59	54	Len (m)	57	54	59	相関_LN	V (m/s)	Width (m)	Len (m)	V (m/s)	1.000	-0.050	0.312	Width (m)	-0.050	1.000	0.462	Len (m)	0.312	0.462	1.000	<p>・竜巻検討地域の違いによる相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>(島根 2号炉は、竜巻影響エリアについて「別添 2-1 2.3.6」で記載)</p>
相関係数の値	最大風速	被害幅	被害長さ																																																
最大風速	1.000	0.381	0.452																																																
被害幅	—	1.000	0.381																																																
被害長さ	—	—	1.000																																																
データ数	V(m/s)	Width(m)	Len(m)																																																
V (m/s)	74	55	57																																																
Width (m)	55	59	54																																																
Len (m)	57	54	59																																																
相関_LN	V (m/s)	Width (m)	Len (m)																																																
V (m/s)	1.000	-0.050	0.312																																																
Width (m)	-0.050	1.000	0.462																																																
Len (m)	0.312	0.462	1.000																																																

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="216 258 854 730" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="350 743 715 779" data-label="Caption"> <p>図 5.1 6号炉 竜巻影響エリア</p> </div> <div data-bbox="216 928 854 1400" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="350 1415 715 1451" data-label="Caption"> <p>図 5.2 7号炉 竜巻影響エリア</p> </div> <div data-bbox="151 1551 448 1587" data-label="Section-Header"> <p><u>(6) ハザード曲線の算定</u></p> </div>	<div data-bbox="964 258 1685 968" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1187 972 1587 1266" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="1154 1281 1492 1316" data-label="Caption"> <p>第 5-1 図 竜巻影響エリア</p> </div> <div data-bbox="937 1551 1291 1587" data-label="Section-Header"> <p>6. ハザード曲線の算定方法</p> </div> <div data-bbox="964 1598 1715 1766" data-label="Text"> <p>前記で設定した竜巻の年発生数の確率分布及び最大風速の確率分布をもとに、以下に示すとおり「竜巻影響評価ガイド」の解説 3.3.2 に例示された Wen &amp; Chu 及び Garson et al. の方法に沿って、ハザード曲線を算定する。</p> </div>	<div data-bbox="1730 1509 2211 1545" data-label="Section-Header"> <p><u>2.3.5 竜巻最大風速のハザード評価結果</u></p> </div> <div data-bbox="1730 1556 2107 1591" data-label="Section-Header"> <p><u>2.3.5.1 竜巻ハザードの評価法</u></p> </div>	<div data-bbox="2635 205 2703 241" data-label="Text"> <p>備考</p> </div>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>東京工芸大学委託成果によれば、Wen and Chu が竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速がある値以上になる確率モデルの推定法を提案している。竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合、竜巻の年発生数の確率分布は、(6.1)式に示すポリヤ分布の適合性が良いとされている。本ハザード曲線の算定においても、東京工芸大学委託成果にならって適合性の良いポリヤ分布により設定した。</p> $P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (6.1)$ <p>ここで、  N : 竜巻の年発生数  v : 竜巻の年平均発生数  T : 年数  σ : 竜巻の年発生数の標準偏差</p> $\beta = \left( \frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (6.2)$	<p>(1) 評価方法</p> <p><u>D</u> を評価対象構造物が風速 <math>V_0</math> 以上の竜巻に遭遇する事象とし、ある竜巻が評価対象構造物を襲い、その竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる確率を <math>R(V_0)</math> とする。また、ある竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる面積を <math>DA(V_0)</math> とする。また、その期待値を <math>E[DA(V_0)]</math> にて表す。</p> <p>e. 前述のとおり、竜巻の年発生数の確率密度分布としては、ポリヤ分布の適合性が高い。ポリヤ分布は次式で示される。</p> $P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k)$ <p>ここで、 N : 竜巻の年発生数  v : 竜巻の年平均発生数  T : 年数  β : 分布パラメータであり次式で示される。</p> $\beta = \left( \frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v}$ <p>σ : 竜巻の年発生数の標準偏差</p> <p>発生数がポリヤ分布に従うものとし、年超過確率 <math>P_{V_0}</math> を以下の式により算出する。なお、年超過確率 <math>P_{V_0}</math> は、年被災確率が</p>	<p>竜巻最大風速のハザード曲線は、いずれかの竜巻により被害を受けた場合に、竜巻風速が <math>V_0</math> を越える確率として評価する。被害面積の期待値 <math>E[DA(V_0)]</math> の評価方法については、付録 3 で詳述する。</p> <p>竜巻の発生頻度が以下のポアソン分布あるいはポリヤ分布で表されると仮定する。</p> <p>ポアソン分布 : <math>P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} \exp(-vT) \quad (1)</math></p> <p>ポリヤ分布 : <math>P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-N-1/\beta} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (2)</math></p> $\beta = \left( \frac{\sigma^2}{v} - 1 \right) \times \frac{1}{v} \quad (3)$ <p>ここに、  N : 竜巻の年発生数  v : 竜巻の年平均発生数  T : 年数  σ : 竜巻の年発生数の標準偏差</p>	<p>(ポアソン分布については、柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料 2」で、東海第二は「別紙 5-2」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>対象とする構造物が、T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、その竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる確率は式(6. 1)から導出され以下の式(6. 3)となる。</p> $P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta}$ <p>D : 対象とする構造物が風速 <math>V_0</math> 以上の竜巻に遭遇する事象  <math>R(V_0)</math> : リスク評価対象構造物が1つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となる確率</p> $R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (6. 3)$ <p>DA (<math>V_0</math>) : 竜巻による構造物の被害面積</p>	<p>十分小さいことより、Garson et al. が示す近似式を用いて表すことができる。</p> $P_{V_0} = 1 - [1 + \beta v R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - [1 - \frac{1}{\beta} (\beta v R(V_0)) + \dots]$ $\approx v R(V_0) = \frac{V}{A_0} E[DA(V_0)] = p E[DA(V_0)]$ <p>ここで、<math>p</math> : 単位面積当たりの年被災確率</p> <p>以上のことから、竜巻のように被災確率が非常に小さな現象に対しては、年超過確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し、発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることがわかる。【添付資料5 別紙5-2】</p> <p>(2) ハザード曲線  前項で示した評価方法に基づいて、竜巻影響評価の対象構造物が、T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、かつ竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となる確率 <math>P_{V_0,T}</math> を次式によって算出し、ハザード曲線を算定する。</p> $P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0) T]^{-1/\beta}$ <p>また、ハザード曲線の算定において、風速の積分範囲の上限値はハザード曲線の形状が不自然にならない程度に大きな値として 120m/s に設定する。</p> <p>d. 竜巻検討地域の面積 <math>A_0</math> (約 57,000km<sup>2</sup>) 及び上記の被災面積期待値 <math>E[DA(V_0)]</math> から、評価対象構造物が竜巻による被害を受け、その竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる確率 <math>R(V_0)</math> を次式にて算定する。</p>	<p>T 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し、<math>V_0</math> 以上の竜巻風速に遭遇する確率 <math>P_{V_0,T}(D)</math> は、次式で表される (Wen and Chu)。</p> <p>ポアソン分布 : <math>P_{V_0,T}(D) = 1 - \exp[-vR(V_0)T]</math> (4)</p> <p>ポリヤ分布 : <math>P_{V_0,T}(D) = 1 - [1 + \beta v R(V_0)T]^{-1/\beta}</math> (5)</p> <p>ここに、  D : 対象とする構造物が風速 <math>V_0</math> 以上の竜巻に遭遇する事象  <math>R(V_0)</math> : リスク評価対象構造物が1つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となる確率</p> $R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (6)$ <p>DA (<math>V_0</math>) : 竜巻による構造物の被害面積  <math>A_0</math> : リスクの評価対象とする地域の面積</p>	<p>(ポアソン分布については、柏崎 6/7 は「2.3(2)③」及び「参考資料2」で、東海第二は「別紙5-2」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>E[DA(V<sub>0</sub>)] : DA(V<sub>0</sub>)の期待値  A<sub>0</sub> : リスクの評価対象とする地域の面積</p> <p>次に, E[DA(V<sub>0</sub>)]の求め方を説明する。  1個の竜巻の風速が V<sub>0</sub> 以上となる面積 DA(V<sub>0</sub>)は以下のように表される。  <math>DA(V_0) = WL + HL + WG + AB \quad ; V_i \geq V_0</math>  <math>DA(V_0) = 0 \quad ; V_i &lt; V_0 \quad (6.4)</math></p> <p>ここで, W は竜巻の被害幅, L は被害長さ, A, B は構造物の寸法, H と G は竜巻の被害幅や被害長さ方向への構造物の投影長さである。</p> <p>上記の関係を, 竜巻風速・被害幅・被害長さ・竜巻移動方向の確率分布を用いると, 式(6.5)のように表すことができる。</p> $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha + AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (6.5)$ <p>ここで,  V : 竜巻最大風速  w : 竜巻の被害幅  l : 竜巻の被害長さ  α : 竜巻の移動方向  f (・) : 確率密度分布</p> $H = B  \sin \alpha  + A  \cos \alpha $ $G = A  \sin \alpha  + B  \cos \alpha $	$R(V_0) = \frac{E[DA(V_0)]}{A_0}$ <p>c. 得られた平均と分散共分散行列を基に, 竜巻影響エリアの代表幅 D<sub>0</sub> を考慮し, 次式にて, 被災面積期待値 E[DA(V<sub>0</sub>)]を算定する。</p> $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha + AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV$ <p>ここで, H(α) 及び G(α) は, それぞれ竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影した時の長さである。</p> $H(\alpha) = B  \sin \alpha  + A  \cos \alpha $ $G(\alpha) = A  \sin \alpha  + B  \cos \alpha $ <p>ここで, α : 竜巻の移動方向</p>	<p>式(6)は, 式(付 3.2)を積分することで評価できる。式(6)を式(4)もしくは式(5)に代入すれば, ハザード曲線を求めることができる。</p>	<p>(島根2号炉は, 期待値について「付録3」で記載)</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
$W(K_0) = \left( \frac{V_{mi}}{V_0} \right)^n w \quad (6.6)$ <p>式(6.5)の右辺第1項は、被害幅と被害長さの積、即ち被害面積を表しており、いわゆる点構造物に対する被害、第2項と第3項は、被害幅・被害長さ・構造物寸法の積、即ち面構造物あるいは線状構造物の被害面積を表す。竜巻の幅は長さ比べて短いため、第3項の寄与は第2項に比べて1オーダー小さい。第4項は建物面積ABに依存する項である。</p> <p><math>W(V_0)</math>は、竜巻の被害幅のうち風速が<math>V_0</math>以上となる部分の幅であり、式(6.6)により算出される。この式により、被害幅内の風速分布に応じて被害様相に分布があることが考慮されている。<math>V_{min}</math>は、竜巻被害が発生する最小風速であり、Garsonはgale intensity velocityと呼んでいる(Galeとは非常に強い風の意)。米国の気象局(National Weather Service)では、34~47ノット(17.5~24.2m/s)とされている。日本の気象庁では、気象通報にも用いられている風力階級において、風力8が疾強風(gale, 17.2~20.7m/s)、風力9は大強風(strong gale, 20.8~24.4m/s)と分類されており、風力9では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が開始する」とされている。以上より、これらの風速を包括するよう、<math>V_{min}=25\text{m/s}</math>とした。この値は、F0(17~32m/s)のほぼ中央値に相当する。なお、この値よりも小さな<math>V_{min}</math>(例えば、F0の最小風速17m/s)を用いると、風速<math>V_0</math>以上となる被害面積は小さくなる。</p> <p>また、<math>H(\alpha)</math>及び<math>G(\alpha)</math>はそれぞれ、竜巻の被害長さ及び被害幅方向に沿った面に竜巻影響評価対象構造物を投影したときの長さである。5節にて竜巻影響エリアを円形(直径<math>D_0</math>)で設定しているため、竜巻の移動方向には依存せず、一定値となる。</p> $H(\alpha) = G(\alpha) = D_0 \quad (6.7)$ <p>したがって、式(6.5)は式(6.5')と表すことができる。</p>	<p>竜巻影響エリアを円形で設定しているため、<math>H</math>及び<math>G</math>ともに竜巻影響エリアの直径で一定(竜巻の移動方向に依存しない。)となる。</p> <p><math>S</math>は竜巻影響エリアの面積(約71,000m<sup>2</sup>)を表わす。円の直径を<math>D_0</math>とした場合は、以下の式にて表わされる。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl$ $+ D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw$ $+ (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV \quad (6.5')$ <p>2 変量, 3 変数の対数正規分布は, 以下の式(6.8)又は式(6.9)のように表される。</p> <p><math>\mu, \sigma, \rho</math> は, <math>\ln(x), \ln(y), \ln(z)</math> の平均値, 標準偏差及び相関係数であり, 本評価では 4 節にて求めた竜巻風速, 被害幅, 被害長さの確率密度分布の平均値, 標準偏差及び相関係数を <math>\mu, \sigma</math> 並びに <math>\rho</math> に適用して, 同時確率密度関数 <math>f</math> を定めた。</p> $f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2\rho\left(\frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right\}\right] \quad (6.8)$	$E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl$ $+ D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw + S \int_{V_0}^\infty f(V) dV$ <p>ここで, <math>f(V, l), f(V, w), f(V)</math> は <math>f(V, w, l)</math> をもとに各成分を抽出した関数</p> <p>b. 被災領域内には, 竜巻の被害幅のうち風速が <math>V_0</math> を超える部分の幅を与える次式を考慮する。</p> $W(V_0) = \left(\frac{V_{\min}}{V_0}\right)^{1/1.6} w$ <p>ここで, <math>V_{\min}</math> は, Gale intensity と呼ばれ (Gale は「非常に強い風」という意味), 被害が発生し始める風速に位置づけられる。米国気象局 NWS (National Weather Service) では, 34ノット~47ノット (17.5m/s~24.2m/s) とされ, また, 気象庁が使用している風力階級では, 風力9は大強風 (strong gale: 20.8m/s~24.4m/s) と分類され, 「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。」とされていることを参考に, <math>V_{\min} = 25\text{m/s}</math> とした。なお, この値は F0 (17m/s~32m/s) のほぼ中央値に相当する。</p> <p>a. 前記に基づき, 竜巻の最大風速 <math>V</math>, 被害幅 <math>w</math> 及び被害長さ <math>l</math> の統計値から, 次式の対数正規分布型の確率密度分布を与える。</p> $f(V, w, l) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3  \Sigma ^{1/2}} \frac{1}{Vwl} \exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})\right)$ <p>ここで, <math>\mathbf{x} = \begin{Bmatrix} \ln(V) \\ \ln(w) \\ \ln(l) \end{Bmatrix}, \boldsymbol{\mu} = \begin{Bmatrix} \mu_V \\ \mu_w \\ \mu_l \end{Bmatrix}, \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_V^2 &amp; \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} &amp; \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl} \\ \sigma_V\sigma_w\rho_{Vw} &amp; \sigma_w^2 &amp; \sigma_w\sigma_l\rho_{wl} \\ \sigma_V\sigma_l\rho_{Vl} &amp; \sigma_w\sigma_l\rho_{wl} &amp; \sigma_l^2 \end{bmatrix}</math></p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
$f(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sqrt{ \Sigma }} \exp\left[-\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x & \ln(y) - \mu_y & \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \Sigma^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x \\ \ln(y) - \mu_y \\ \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix}\right] \quad (6.9)$ <p>(7) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速(V<sub>B2</sub>)</p> <p>以上より、ハザード曲線の算定結果を図 7.1 に示す。竜巻最大風速のハザード曲線により設定する最大風速 V<sub>B2</sub> は、ガイドを参考に年超過確率 10<sup>-5</sup> に相当する竜巻風速は、<u>59m/s</u> とする。</p> <p>また、使用した竜巻の統計データの不確実性については検討を実施しており、F スケール不明の海上竜巻の発生数は、陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分して取り扱っているが、竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性（日本海側は F スケール不明の海上竜巻が多い）を踏まえ、参照する年超過確率を 10<sup>-5</sup> から一桁下げた年超過確率 10<sup>-6</sup> における風速である <u>76m/s</u> を V<sub>B2</sub> とする。</p> <p>なお、ガイドで要求されている、1km ごとの短冊領域でのハザード曲線による最大風速 V<sub>B2</sub> 算定については、評価を実施したものの、その技術的説明性が乏しいと考え、V<sub>B</sub> の設定には使用しないものとした。【参考資料 3】</p>	<p><b>X</b> は最大風速、被害幅及び被害長さの対数値 ln(V), ln(w), ln(l) によるベクトル、<b>μ</b> は各統計値から評価した最大風速、被害幅及び被害長さの対数値の平均からなるベクトル、<b>Σ</b> は ln(V), ln(w), ln(l) から評価した標準偏差 σ<sub>V</sub>, σ<sub>w</sub>, σ<sub>l</sub> と相関係数 ρ<sub>Vw</sub>, ρ<sub>wl</sub>, ρ<sub>Vl</sub> からなる分散共分散行列である。</p> <p>7. 竜巻最大風速のハザード曲線</p> <p><u>算定した竜巻最大風速のハザード曲線を、第 7-1 図に示す。得られたハザード曲線より、年超過確率 10<sup>-5</sup>での風速を読み取り、ハザード曲線による最大風速は、以下のとおりとする。</u></p> <p><u>竜巻検討地域全域（10 km幅）でのハザード曲線による最大風速：<u>73m/s</u></u></p>	<p>2.3.5.2 本竜巻検討地域のハザード</p> <p><u>本竜巻検討地域を対象に、ポリヤ分布を仮定したハザード算定結果を図 2.3.10 に示す。ここでは構造物直径 450m 及び検討地域の面積は 33,395km<sup>2</sup>としている。</u></p> <p><u>表 2.3.7 は、年超過確率に相当する竜巻風速である。年超過確率が 10<sup>-5</sup>となる風速は約 61m/s である。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻影響エリアの相違【柏崎 6/7, 東海第二】（島根 2号炉は、V<sub>B2</sub> の設定について「2.3.7」で記載）</li> <li>・算定結果の相違【柏崎 6/7, 東海第二】</li> <li>・V<sub>B2</sub> の設定方法の相違【柏崎 6/7】</li> </ul> <p>島根 2号炉は V<sub>B2</sub> の設定において、ガイドに従い、不確実性及び保守性の考慮をして 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線についても考慮している。</p>

また、不確かさ要素のハザード算定結果への影響を検討した。

【参考資料5】

図7.2(a)に示した、データ、確率分布形選択及びデータ量が少ないことによる不確かさを表したハザード曲線により、これらの不確かさが十分小さいことを確認した。さらに、疑似データにF3竜巻を4個追加した感度解析結果を図7.2(b)に示す。この場合の年超過確率 $10^{-5}$ に相当する竜巻風速は62.2m/sとなり、かなり保守的な仮定をおいてもハザードへの影響は限定的であることから、データの高い安定性を確認した。

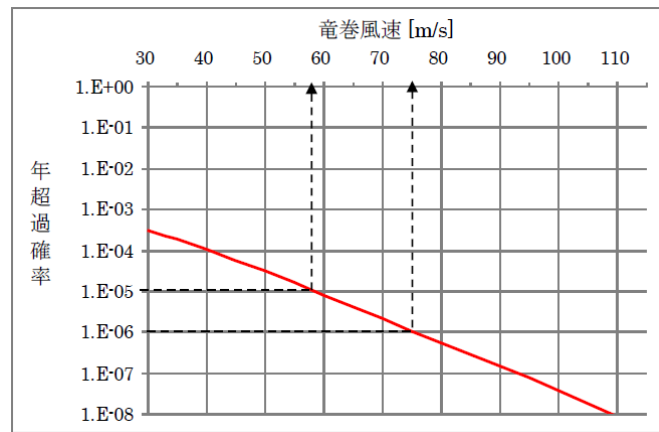
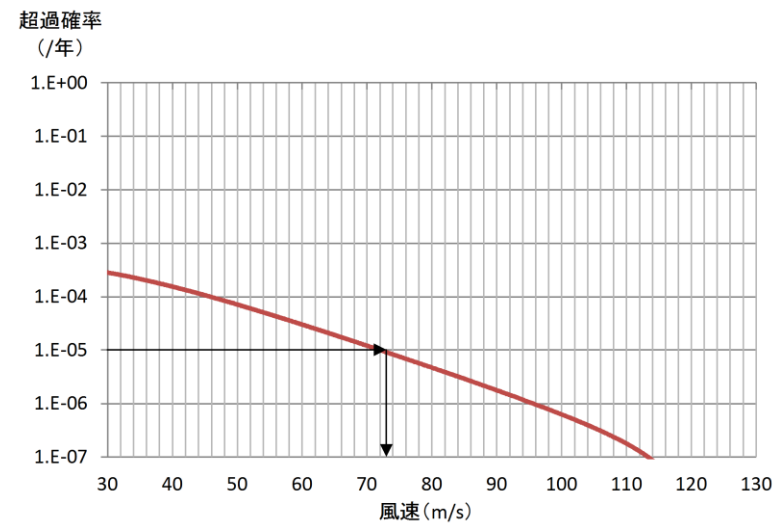


図7.1 竜巻最大風速のハザード曲線（海側，陸側5km範囲）



第7-1図 竜巻検討地域全域（10km幅）でのハザード曲線

(島根2号は、不確かさについて「別添2-1 2.3.8」で記載)

(ポアソン分布については、柏崎6/7は「参考資料2」で、東海第二は「別紙5-2」で記載)

ポアソン分布を仮定した算定結果は、ここに示したポリヤ分布の結果とほとんど変わらない。これは、被害確率 $R(V_0)$ が非常に小さい場合、遭遇確率は平均値 $v$ のみに依存し、分布形には無関係になるためである。

$$P_{V_0}(D) \approx v R(V_0) \quad (7)$$

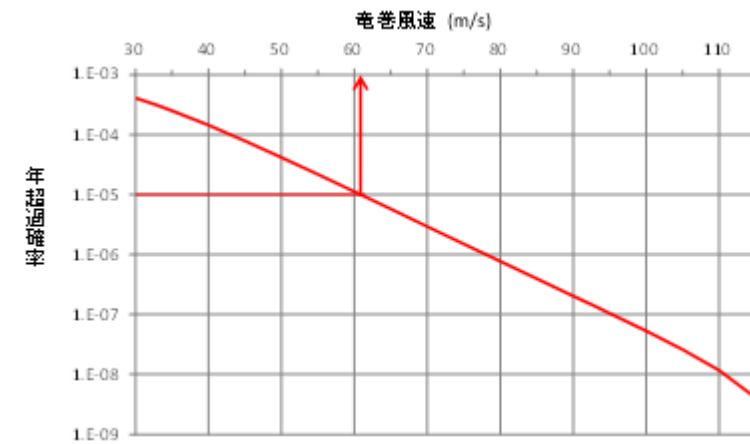


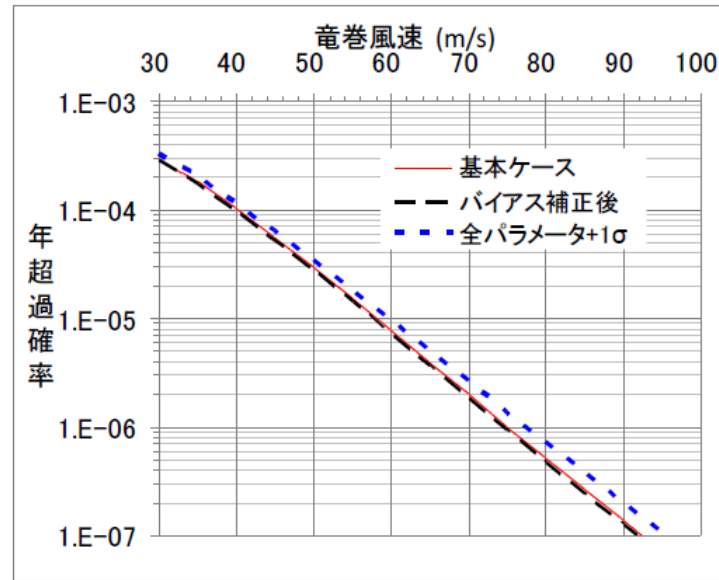
図2.3.10 竜巻ハザードの算定結果

表2.3.7 年超過確率に相当する竜巻風速(m/s)の算定結果

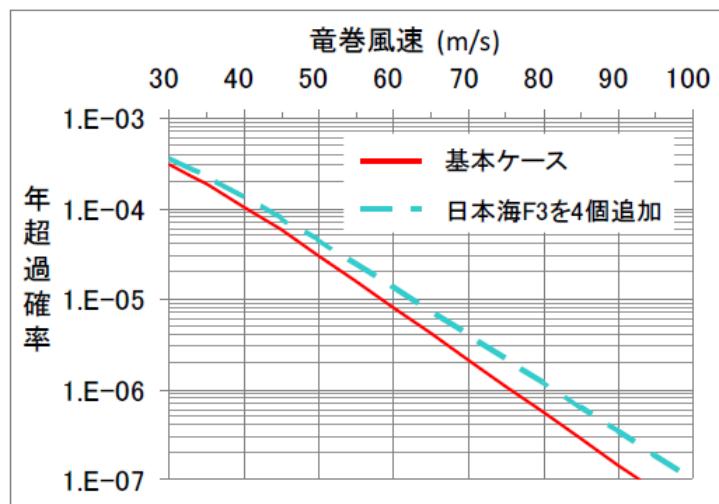
構造物寸法(m)	年超過確率				
	1.E-4	1.E-5	1.E-6	1.E-7	1.E-8
450	43.0	60.8	78.0	95.3	110.7

・算定結果の相違【東海第二】

・算定結果の相違【東海第二】



(a) バイアス補正後及び全パラメータ+1σのハザード



(b) 竜巻風速の年超過確率分布

図 7.2 ハザード不確かさ検討結果

(島根2号は、不確かさについては「別添2-1 2.3.8」で記載)

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>【参考資料2】 竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響</p> <p>1. 竜巻発生確率とハザード曲線 Wen and Chu は，竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がある値以上となる確率の推定法を提案している。それによれば，竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合，竜巻の年発生数の確率分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に適合する。</p> $\text{ポアソン分布： } P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} \exp(-vT) \quad (1)$ $\text{ポリヤ分布： } P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (2)$ <p>ここで，<math>N</math> は竜巻の年発生数，<math>v</math> は竜巻の年平均発生数，<math>T</math> は年数である。</p> <p>また，<math>T</math> 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，<math>V_0</math> 以上の竜巻風速に見舞われる確率 <math>P_{v_0, T}(D)</math> は次式で表される。</p> $\text{ポアソン分布： } P_{v_0, T}(D) = 1 - \exp[-vR(V_0)T] \quad (3)$ $\text{ポリヤ分布： } P_{v_0, T}(D) = 1 - [1 + \beta vR(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (4)$ <p>ここで，<math>R(V_0)</math> は，検討対象とする構造物が，ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となる確率である。</p> <p>2. ポアソン分布とポリヤ分布 ポアソン過程とは，ある現象がランダムに起こる場合に，今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず，かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり，以下のような仮定に基づいている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する</li> <li>② 与えられた時間・空間の区間内で，事象の発生は他の任意の区間に対して独立である</li> <li>③ 微小区間 <math>\Delta t</math> における事象発生確率は <math>\Delta t</math> に比例する。<math>\Delta t</math> の間に事象が 2 回以上発生する確率は無視できる</li> </ol>	<p style="text-align: right;">別紙 5-2</p> <p>竜巻発生数の確率分布（ポアソン，ポリヤ分布）がハザード結果に及ぼす影響について</p> <p>1. 竜巻発生確率とハザード曲線 Wen &amp; Chu<sup>(1)</sup> は，竜巻に遭遇し，かつ竜巻風速がある値以上となる確率の推定法を対案している。それによれば，竜巻の発生がポアソン過程に従うと仮定した場合，竜巻の年発生数の確率密度分布はポアソン分布若しくはポリヤ分布に適合する。</p> $\text{ポアソン分布： } P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} \exp(-vT) \quad (1)$ $\text{ポリヤ分布： } P_T(N) = \frac{(vT)^N}{N!} (1 + \beta vT)^{-(N+1/\beta)} \prod_{k=1}^{N-1} (1 + \beta k) \quad (2)$ <p>ここで，<math>N</math> は竜巻の年発生数，<math>v</math> は竜巻の年平均発生数，<math>T</math> は年数である。</p> <p>また，<math>T</math> 年以内にいずれかの竜巻に遭遇し，<math>V_0</math> 以上の竜巻風速に見舞われる確率 <math>P_{v_0, T}(D)</math> は次式で表される。</p> $\text{ポアソン分布： } P_{v_0, T}(D) = 1 - \exp[-vR(V_0)T] \quad (3)$ $\text{ポリヤ分布： } P_{v_0, T}(D) = 1 - [1 + \beta vR(V_0)T]^{-1/\beta} \quad (4)$ <p>ここで，<math>R(V_0)</math> は，評価対象とする構造物が，ある一つの竜巻に遭遇し，竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となる確率である。</p> <p>2. ポアソン分布とポリヤ分布 ポアソン過程とは，ある現象がランダムに起こる場合に，今までの発生状況がそれ以降の発生に影響を与えず，かつ発生が時間的に一様に推移する現象を表す数学的モデルであり，以下のような仮定に基づいている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 事象は時間・空間のいかなる場所でもランダムに発生する。</li> <li>② 与えられた時間・空間の区間内で，事象の発生は他の任意の区間に対して独立である。</li> <li>③ 微小区間 <math>\Delta t</math> における事象発生確率は <math>\Delta t</math> に比例する。<math>\Delta t</math> の間に事象が 2 回以上発生する確率は無視できる。</li> </ol>		<p>(島根 2 号炉は，ポアソン分布について「2.3.2」及び「2.3.5」で記載)</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ポアソン分布に従う現象例としては、交通事故件数、大量生産の不良品数、火災件数、遺伝子の突然変異等数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが、観測される現象の中には、その分散が平均値から外れている現象もある。</p> <p>ポリヤ分布は、分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く、<math>\beta</math>が大きい場合は分散の大きな分布形を表し、<math>\beta \rightarrow 0</math>のときにはポアソン分布に近づく。Thom(1963)は、米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い、ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに、ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また、東京工芸大学委託成果では、陸上竜巻(含む上陸竜巻)及び水上竜巻のいずれに対しても、ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。</p> <p>ポリヤ分布は、疫病の流行、ある単語を含む文書数を数える文書頻度等の言語処理等に活用されており、ある事象が起こった場合に、それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象(弱い伝播性)が考慮されている。竜巻の場合では、前線や台風により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する(tornado outbreakと呼ばれる)状況が考えられる(Wen and Chu, 1973)。</p> <p>3. 確率論から見た近似式</p> <p>式(3)(4)に基づき、ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると、両者にほとんど違いが見られない。以下では、その理由について考察する。</p> <p>ある一つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となるような被害を受ける確率を <math>R(V_0)</math> とすると、このような竜巻被害を受けない確率は次式で表される。</p> $\text{(被害を受けない確率)} = 1 - R(V_0) \quad (5)$ <p>同様に、<math>N</math> 個の竜巻が発生したときに、いずれの竜巻に対しても被害を受けない確率は次式で表される(独立性を仮定)。</p> $\text{(N個の竜巻で被害を受けない確率)} = [1 - R(V_0)]^N \quad (6)$	<p>ポアソン分布に従う現象例としては、交通事故件数、大量生産の不良品数、火災件数、遺伝子の突然変異など数多くある。ポアソン分布の分散は平均値に等しいが、観測される現象の中には、その分散が平均値から外れている現象もある。</p> <p>ポリヤ分布は、分散と平均値が異なるような現象への適合度が高く、<math>\beta</math>が大きい場合は分散の大きな分布形を表し、<math>\beta \rightarrow 0</math>のときにはポアソン分布に近づく。Thom (1963) <sup>(2)</sup>は、米国中部を対象とした竜巻発生数の分析を行い、ポアソン過程が実態と乖離する場合があることを指摘するとともに、ポリヤ分布による適合性が高いことを示した。また、「竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究」<sup>(3)</sup>成果では、陸上竜巻(含む上陸竜巻)及び海上竜巻のいずれに対しても、ポリヤ分布の適合度が高いことを示した。</p> <p>ポリヤ分布は、疫病の流行、ある単語を含む文書数を数える文書頻度などの言語処理などに活用されており、ある事象が起こった場合に、それによって周囲にも現象が起こりやすくなる現象(弱い伝播性)が考慮されている。竜巻の場合では、前線や台風により竜巻が発生した場合、同時多発的に複数の竜巻が発生する(tornado outbreakと呼ばれる)状況が考えられる。(Wen &amp; Chu, 1973) <sup>(1)</sup></p> <p>3. 確率論から見た近似式</p> <p>1. にて示した(3)(4)式に基づき、ポアソン分布とポリヤ分布に基づく竜巻ハザードを実際に計算すると、両者にほとんど違いが見られない。以下では、その理由について考察する。</p> <p>ある一つの竜巻に遭遇し、竜巻風速が <math>V_0</math> 以上となるような被害を受ける確率を <math>R(V_0)</math> とすると、このような竜巻被害を受けない確率は次式で表される。</p> $\text{(被害を受けない確率)} = 1 - R(V_0) \quad (5)$ <p>同様に、<math>N</math> 個の竜巻が発生したときに、いずれの竜巻に対しても被害を受けない確率は次式で表される。(独立性を仮定)。</p> $\text{(N個の竜巻で被害を受けない確率)} = [1 - R(V_0)]^N \quad (6)$		

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>逆に、N 個の竜巻が発生したときに、いずれかの竜巻により被害（最低1回，最大N回）を受ける確率は次式となる。</p> $(N\text{個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率}) = 1 - [1 - R(V_0)]^N \quad (7)$ <p>したがって、1年間にN個の竜巻が発生する確率をP(N)とすると、これによる被害確率は、</p> $\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \quad (8)$ <p>となる。R(V<sub>0</sub>)が十分小さければ、上式は次のように近似できる。</p> $\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \approx R(V_0) \times N \times P(N) \quad (9)$ <p>ここで、次の近似を用いている。</p> $[1 - R(V_0)]^N \approx 1 - N \times R(V_0) \quad (10)$ <p>竜巻被害の場合、R(V<sub>0</sub>)は通常10<sup>-3</sup>以下であるから、式(10)の近似は非常に良い精度で成り立つ。</p> <p>以上のことから、式(9)より、1年間にいずれかの竜巻により被害を受ける確率は次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) \approx \sum_{N=1}^{\infty} [R(V_0) \times N \times P(N)] = R(V_0) \sum_{N=1}^{\infty} [N \times P(N)] = \nu R(V_0) \quad (11)$ <p>即ち、被害確率は竜巻発生数の平均値νのみに依存し、標準偏差は勿論、確率分布にも無関係であり、ポリヤ分布とポアソン分布によるハザードの結果は一致することが理解できる。</p> <p>4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式</p> <p>3.では、確率論的な観点だけで近似式を誘導したが、ここでは式(3)(4)の近似式を直接求め、上記の結果を検証する。</p> <p>式(8)のP(N)としてポアソン分布を仮定し、</p> $\begin{aligned} \{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N P(N) \\ &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N \frac{\nu^N}{N!} \exp(-\nu) = P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \end{aligned} \quad (12)$	<p>逆に、N 個の竜巻が発生したときに、いずれかの竜巻により被害（最低1回，最大N回）を受ける確率は次式となる。</p> $(N\text{個のいずれかの竜巻で被害を受ける確率}) = 1 - [1 - R(V_0)]^N \quad (7)$ <p>したがって、一年間にN個の竜巻が発生する確率をP(N)とすると、これによる被害確率は、</p> $\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \quad (8)$ <p>となる。R(V<sub>0</sub>)が十分小さければ、上式は次のように近似できる。</p> $\{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) \approx R(V_0) \times N \times P(N) \quad (9)$ <p>ここで、次の近似を用いている。</p> $[1 - R(V_0)]^N \approx 1 - N \times R(V_0) \quad (10)$ <p>竜巻被害の場合、は通常10<sup>-3</sup>以下であるから、式の近似は非常に良い精度で成り立つ。</p> <p>以上のことから、式より1年間にいずれかの竜巻により被害を受ける確率は次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) \approx \sum_{N=1}^{\infty} [R(V_0) \times N \times P(N)] = R(V_0) \sum_{N=1}^{\infty} [N \times P(N)] = \nu R(V_0) \quad (11)$ <p>すなわち、被害確率は竜巻発生数の平均値のみに依存し、標準偏差はもちろん、確率分布にも無関係であり、ポリヤ分布とポアソン分布によるハザードの結果は一致することが理解できる。</p> <p>4. ポアソン分布とポリヤ分布のハザードの近似式</p> <p>3.では、確率論的な観点だけで近似式を誘導したが、ここでは、(3)(4)の近似式を直接求め、上記の結果を検証する。</p> <p>式(8)のP(N)としてポアソン分布を仮定し、</p> $\begin{aligned} \{1 - [1 - R(V_0)]^N\} P(N) &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N P(N) \\ &= P(N) - [1 - R(V_0)]^N \frac{\nu^N}{N!} \exp(-\nu) = P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \end{aligned} \quad (12)$		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>となることを考慮すると、式(11)の厳密な式は以下のとおりである。</p> $P_{V_0}(D) = \sum_{N=1}^{\infty} \left\{ P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \right\}$ $= 1 - \exp(\nu - \nu R(V_0)) \exp(-\nu)$ $= 1 - \exp(-\nu R(V_0)) \quad (13)$ <p>即ち、ポアソン分布によるハザード評価の式(3)が導かれる。ここで、次の関係式を用いている。</p> $\exp(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad (14)$ <p>したがって、式(3) (あるいは式(13)) は、式(14)を用いると、</p> $P_{V_0}(D) = 1 - \exp(-\nu R(V_0)) = 1 - \left[ 1 + \frac{(-\nu R(V_0))}{1!} + \frac{(-\nu R(V_0))^2}{2!} + \dots \right] \quad (15)$ <p>と表され、<math>R(V_0)</math>が小さい場合は、次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) \approx \nu R(V_0) \quad (16)$ <p>ポリヤ分布の場合も同様に、一般の2項定理を用いると、次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - \left( 1 + \left( \frac{-1}{\beta} \right) \beta \nu R(V_0) + \dots \right)$ $\approx \nu R(V_0) \quad (17)$ <p>以上のことから、竜巻のように一つの竜巻に対する被害確率が非常に小さな現象に対しては、年被害確率は竜巻発生数の平均値にのみ依存し、発生数の確率分布形状にはほとんど無関係であることが分かる。</p>	<p>となることを考慮すると、(11)式の厳密な式は以下のとおりである。</p> $P_{V_0}(D) = \sum_{N=1}^{\infty} \left\{ P(N) - \frac{(\nu - \nu R(V_0))^N}{N!} \exp(-\nu) \right\}$ $= 1 - \exp(\nu - \nu R(V_0)) \exp(-\nu)$ $= 1 - \exp(-\nu R(V_0)) \quad (13)$ <p>すなわち、ポアソン分布によるハザード評価の(3)式が導かれる。ここで、次の関係式を用いている。</p> $\exp(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad (14)$ <p>したがって、式(3) (あるいは式(13)) は、式(14)を用いると、</p> $P_{V_0}(D) = 1 - \exp(-\nu R(V_0)) = 1 - \left[ 1 + \frac{(-\nu R(V_0))}{1!} + \frac{(-\nu R(V_0))^2}{2!} + \dots \right] \quad (15)$ <p>と表され、<math>R(V_0)</math>が小さい場合は、次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) \approx \nu R(V_0) \quad (16)$ <p>ポリヤ分布の場合も同様に、一般の二項定理を用いると、次式で近似できる。</p> $P_{V_0}(D) = 1 - [1 + \beta \nu R(V_0)]^{-1/\beta} = 1 - \left( 1 + \left( \frac{-1}{\beta} \right) \beta \nu R(V_0) + \dots \right)$ $\approx \nu R(V_0) \quad (17)$ <p>以上のことから、竜巻のように一つの竜巻に対する被害確率が非常に小さな現象に対しては、年被害確率は竜巻発生数の平均値にのみ依存し、発生数の確率密度分布形状にはほとんど無関係であることが分かる。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																		
<p>【参考資料3】 1km ごとの領域での竜巻ハザード曲線について</p>	<p>竜巻検討地域全域 (10 km幅) に加え、「竜巻影響評価ガイド」解説 3.3.2 では、少なくとも 1km 幅ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定している。ここでは、ハザード曲線の保守性を持たせるために、竜巻検討地域を 1 km幅に細分化した場合について算定した。</p> <p>なお、海側の 1km 以遠については、全てが F スケール不明であるため、ハザード曲線の算定は不可能である。</p>	<p>2.3.6 竜巻最大風速のハザード評価結果 (1km 範囲毎に細分化した評価)</p> <p>2.3.6.1 はじめに</p> <p>竜巻検討地域は、山口県から北海道にかけての日本海沿岸であり、海岸線から陸側に 5km、海側に 5km の範囲内 (面積 33,395 km<sup>2</sup>) である。これらの地域を対象として、円形構造物 (直径 450 m) に対する竜巻ハザードの評価を行ったが、ここでは 1km 範囲毎に細分化した場合 (以下、「1km 短冊」という。) の竜巻最大風速のハザード評価を行う。検討ケースを表 2.3.8 に示す。</p> <p>CASE2 は 1km 短冊の評価ケースであり、竜巻移動経路が短冊を横切る長さ (被害長さ) を基にハザードを評価した。ただし、海上竜巻に対する発生・消滅位置の誤差は概ね ±30 秒～±1 分程度と大きく、竜巻の発生数・被害長さを特定するという観点において、1km 毎の分析に耐えられない。また、実際の発生日点ではなく、視認された陸上箇所の緯度・経度情報がデータベースに登録されている竜巻が存在するのも位置特定ができない一因となっている。さらに、海上竜巻の場合は被害幅の情報も得られない。この傾向は、海岸線から遠方に行くほど顕著になる。一方、海上で発生しその後上陸した上陸竜巻は、海側 0-1km で発生または通過しており、陸上での被害状況等から竜巻特性を得ることが可能である。そこで、海側の評価では、このような上陸竜巻が含まれる 0-1km の範囲のみを対象に評価することとした。</p> <p>表 2.3.8 検討ケース一覧</p> <table border="1" data-bbox="1914 1428 2329 1837"> <thead> <tr> <th colspan="2">日本海沿岸 (33,395km<sup>2</sup>)</th> </tr> <tr> <th>ケース名</th> <th>領域</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本ケース</td> <td>±5km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-1</td> <td>陸側 0-1km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-2</td> <td>陸側 1-2km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-3</td> <td>陸側 2-3km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-4</td> <td>陸側 3-4km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-5</td> <td>陸側 4-5km</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-6</td> <td>海側 0-1km</td> </tr> </tbody> </table>	日本海沿岸 (33,395km <sup>2</sup> )		ケース名	領域	基本ケース	±5km	CASE 2-1	陸側 0-1km	CASE 2-2	陸側 1-2km	CASE 2-3	陸側 2-3km	CASE 2-4	陸側 3-4km	CASE 2-5	陸側 4-5km	CASE 2-6	海側 0-1km	<p>・検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は、1km 範囲毎の評価を V<sub>B</sub> に考慮しているため詳細に記載している</p>
日本海沿岸 (33,395km <sup>2</sup> )																					
ケース名	領域																				
基本ケース	±5km																				
CASE 2-1	陸側 0-1km																				
CASE 2-2	陸側 1-2km																				
CASE 2-3	陸側 2-3km																				
CASE 2-4	陸側 3-4km																				
CASE 2-5	陸側 4-5km																				
CASE 2-6	海側 0-1km																				

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1. 保守性を考慮したハザード曲線の算定</p> <p>竜巻発生確認数のばらつきや F スケールの偏りがあることから、ハザード曲線に保守性を持たせるために、以下のような条件で算定を行った。計算に使用するパラメータは表 1.1 に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻発生数は、竜巻検討地域外で発生して竜巻検討地域内に移動した竜巻である通過竜巻もカウント</li> <li>・ 被害幅及び被害長さは、それぞれ 1km 範囲内の被害幅及び被害長さをを用いる</li> <li>・ 海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く、竜巻移動経路が短冊を横切る長さを精度良く求められないため、海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値を代用する方法を用いる</li> </ul>		<p>2.3.6.2 1km 短冊での発生数等の解析</p> <p>気象庁「竜巻等の突風データベース」においてデータベース化されている以下の項目を本検討の解析に用いる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 発生場所：緯度・経度，誤差範囲</li> <li>2. 消滅場所：緯度・経度，誤差範囲</li> <li>3. 藤田スケール</li> <li>4. 被害幅(m)</li> <li>5. 被害長さ(km)</li> <li>6. 発生地点区別：陸上   水上（上陸せず）   水上（その後上陸）</li> </ol> <p>沿岸域を 1km 毎の短冊領域で評価する場合、発生・消滅場所の緯度・経度から竜巻の移動経路を求め、その移動経路が対象とする短冊内に含まれるか、もしくは横切るかを判断し、発生数（通過数を含む）及び短冊内の被害長さを求める。</p> <p>図 2.3.11 に、基本ケース（±5km）及び短冊ケースでの発生数の解析フローを示す。発生地点区別で“水上（その後上陸）”とされている竜巻の場合、その発生場所の緯度・経度は陸上を指す場合が多く、上陸地点もしくは被害の発生地点（陸上部）がデータベースに記されていると考えられる。図 2.3.12 に、1975 年 5 月 31 日に島根県簸川郡大社町で発生した（F2）竜巻の発生位置と消滅位置を示す。この竜巻は、気象庁「竜巻等の突風データベース」の発生地点区別では、“水上発生（その後上陸）”とされているが、データベース上の発生位置は内陸部となっている。</p> <p>そこで、1km 短冊内に移動経路が含まれない竜巻であっても、発生地点区別から上陸竜巻か否かを判断することにより、緯度・経度情報だけでは捕捉できない上陸竜巻の発生・通過数を考慮した（図 2.3.11 (b)）。</p> <p>図 2.3.11 (b) のフローにより上陸竜巻の発生数や通過数は考慮できるが、本当の発生位置を特定することは難しく、海側での被害長さを 1km 毎に評価することができない。被害長さが得られる上陸竜巻があったとしてもその数は少なく、長さの推定結果の信頼度はかなり低下する。</p> <p>被害長さは、評価する短冊の幅、平均的な竜巻長さ、及び移</p>	<p>(柏崎 6/7 号炉は、海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料 4」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>動方向などの幾何学的要因により決まると考えられる。従って、海側 0-1km の被害長さは、竜巻特性が最も類似している隣接する陸側 0-1km 短冊での値で代用するのが合理的であると考え、この評価も検討に加えることとする。また、検討に必要な竜巻風速、被害長さ、被害幅の相関係数については、基本ケースの領域“±5km”の値を全てのケースで用いる。以上のことを踏まえた検討ケースを表 2.3.9 に示す。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>(a) 基本ケース (±5km)      (b) 短冊ケース</p> <p>図 2.3.11 竜巻発生数の解析フロー</p>	



表 1.1 保守的なハザード曲線算定に用いるパラメータ

竜巻検討地域 (1km ごとエリア)	統計量	発生数 (個)	風速 (m/s)	幅 (m)	長さ (m)	相関係数		
						U ~ W	U ~ L	W ~ L
陸 0-1km	平均値	4.41	28.5	128	632	(検討地域±5kmの値を代用)		
	標準偏差	3.40	9.7	154	448			
陸 1-2km	平均値	1.90	29.4	197	766			
	標準偏差	2.17	8.6	173	434			
陸 2-3km	平均値	1.98	28.1	174	684			
	標準偏差	1.58	8.8	180	366			
陸 3-4km	平均値	1.09	30.6	213	861			
	標準偏差	0.79	8.6	216	310			
陸 4-5km	平均値	0.87	31.3	299	1029			
	標準偏差	0.99	9.0	247	132			
海 0-1km	平均値	8.99	28.0	100	632			
	標準偏差	4.93	9.3	120	448			

以上の条件で算定したハザード曲線を海側，陸側 5km 範囲内でのハザード曲線と併せて図 1.1 に示す。

図 1.1 より，年超過確率  $10^{-5}$  に相当する風速が最も大きく評価されたのは，海側 0~1km 範囲での 58.4m/s であった。

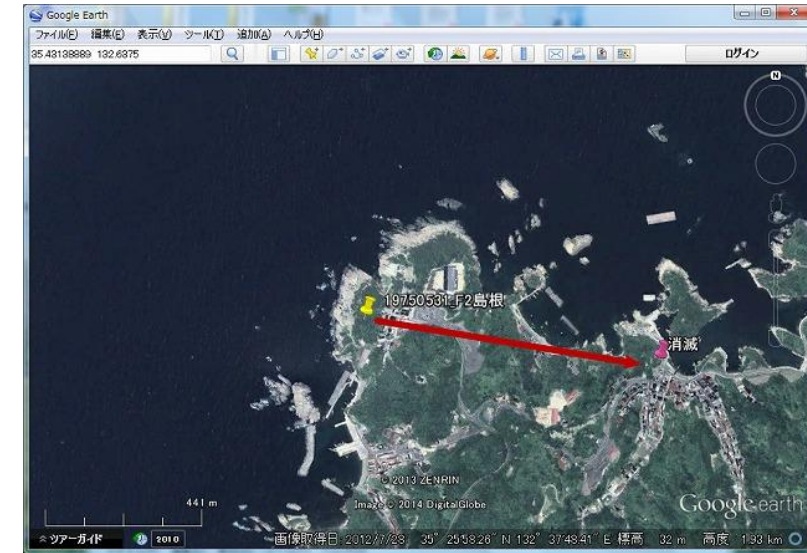


図 2.3.12 上陸竜巻のデータベース上の発生・消滅位置の一例 (1975/05/31 の竜巻)

表 2.3.9 検討ケース一覧

日本海沿岸 (33,395km <sup>2</sup> )		竜巻長さ	竜巻幅	相関係数
ケース名	領域			
基本ケース	±5km	全長	全幅	±5km
CASE 2-1	陸側 0-1km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-2	陸側 1-2km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-3	陸側 2-3km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-4	陸側 3-4km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-5	陸側 4-5km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-6A	海側 0-1km	短冊	全幅	±5km
CASE 2-6B	海側 0-1km	陸側 0-1km	全幅	±5km

(柏崎 6/7 号炉は，海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料 4」で記載)

(島根 2号炉は，詳細なパラメータについて「表 2.3.11」で記載)

(島根 2号炉は，算定結果を「2.3.6.4」で記載)

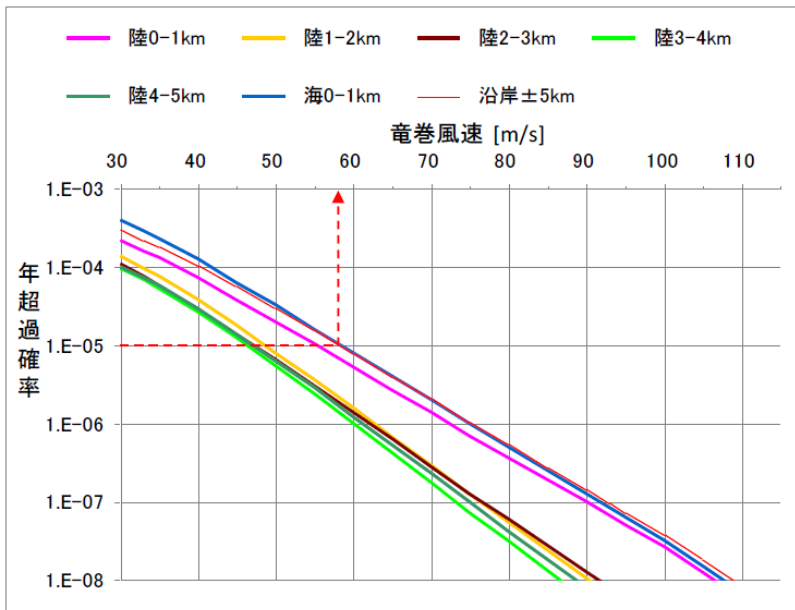


図 1.1 1km 範囲ごとのハザード曲線と±5km 範囲のハザード曲線

表 1.2 年超過確率  $10^{-5}$  に対応した竜巻風速

短冊ケース	竜巻風速[m/s]
陸0-1km	55.2
陸1-2km	48.7
陸2-3km	47.2
陸3-4km	46.4
陸4-5km	47.1
海0-1km	58.4
(参考) 海側及び陸側各±5km	58.3

参考に陸側 0~1km, 1~2km, 2~3km, 3~4km, 4~5km, 海側 0~1km の竜巻発生・通過数を表 1.3~1.8 に示す。

算定に用いた諸元を第 7-1 表から第 7-6 表に示す。相関係数は、全て竜巻検討地域全域 (10 km幅) 内で発生した竜巻で評価した第 4-2 表の値とする。

算定したハザード曲線を、竜巻検討地域全域 (10 km幅) でのハザード曲線と重ね、第 7-2 図に示す。

得られたハザード曲線において、年超過確率  $10^{-5}$  での風速値を読み取り、第 7-7 表にあわせて示す。

2.3.6.3 竜巻パラメータの推定結果

表 2.3.10 に、1km 短冊での発生数の推定結果を示す。ここでは、1km 短冊の通過数も竜巻の発生数に加えて推定している。短冊内での擬似データの作り方は、基本ケース (±5km 幅) と同じ方法を使用した。

表 2.3.11 に、1km 短冊での竜巻パラメータ (発生数, 被害幅, 被害長さ) の推定結果を示し、図 2.3.13 に、竜巻検討地域の 1 km 短冊毎の被害長さの分布形と、全国の海岸線から陸側 5km, 海側 5km の竜巻データを用いた 1km 短冊毎の被害長さの分布形を併せて示す。図 2.3.13 の(a)と(b)を比較すると、データ数の少ない(a)の陸側 4-5km の結果を除き同様な形状を示している。

(柏崎 6/7 号炉は、竜巻パラメータについて「参考資料 3 1」で記載)

表 1.3 陸側 0-1km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸0-1km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~2012/6 (51.5年間)	期間内総数	47	15	23	9	0	12	0	59
	平均値(年)	0.91	0.29	0.45	0.17	-	0.23	-	1.15
	標準偏差(年)	1.51	1.13	0.61	0.43	-	0.71	-	1.90
	CV(年)	1.65	3.89	1.37	2.47	-	3.03	-	1.66
1991~2012/6 (21.5年間)	期間内総数	28	15	12	1	0	11	0	39
	平均値(年)	1.30	0.70	0.56	0.05	-	0.51	-	1.81
	標準偏差(年)	2.03	1.69	0.60	0.22	-	1.02	-	2.63
	CV(年)	1.56	2.43	1.08	4.64	-	2.00	-	1.45
2007~2012/6 (5.5年間)	期間内総数	17	14	3	0	0	6	0	23
	平均値(年)	3.09	2.55	0.55	-	-	1.09	-	4.18
	標準偏差(年)	3.63	2.81	0.88	-	-	1.77	-	4.70
	CV(年)	1.17	1.11	1.62	-	-	1.62	-	1.12
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	227	132	29	9	0	57	0	227
	平均値(年)	4.37	2.55	0.56	0.17	-	1.09	-	4.37
	標準偏差(年)	3.40	2.81	0.60	0.43	-	1.77	-	3.40
	CV(年)	0.78	1.11	1.08	2.47	-	1.62	-	0.78
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	227	189	29	9	0	0	0	227
	平均値(年)	4.37	3.64	0.56	0.17	-	-	-	4.37
	標準偏差(年)	3.40	3.32	0.60	0.43	-	-	-	3.40
	CV(年)	0.78	0.91	1.08	2.47	-	-	-	0.78

第 7-2 表 陸側 0-1 km での統計量

(a) 発生数

過去に観測された竜巻	期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	小計	陸上	海上	合計
			(個/年)	(個/年)	(個/年)	(個/年)		不明	不明	
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	34	75	33	146	16	0	162	
	平均値(個/年)	0.08	0.66	1.46	0.64	2.83	0.31	0.00	3.15	
	標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.71	1.58	2.47	0.65	0.00	2.86	
	CV(年)	0.00	0.51	2.56	1.53	4.60	0.65	0.00	5.26	
1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0	11	55	33	99	14	0	113	
	平均値(個/年)	0.00	0.51	2.56	1.53	4.60	0.65	0.00	5.26	
	標準偏差(個/年)	0.00	0.81	1.88	2.17	2.45	0.79	0.00	2.92	
	CV(年)	0	0	10	23	33	8	0	41	
2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0	0	10	23	33	8	0	41	
	平均値(個/年)	0.00	0.00	1.82	4.18	6.00	1.45	0.00	7.45	
	標準偏差(個/年)	0.00	0.00	1.87	2.70	2.79	0.98	0.00	3.63	
	CV(年)									

疑似 51.5年間 の竜巻	期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	計
			(個/年)	(個/年)	(個/年)	(個/年)	
疑似 51.5 年間 (陸上竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461	
	平均値(個/年)	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95	
	標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78	
	CV(年)						
疑似 51.5 年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461	
	平均値(個/年)	0.08	0.66	2.56	5.65	8.95	
	標準偏差(個/年)	0.27	0.93	1.88	3.13	3.78	
	CV(年)						

(b) 被害幅

期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	計
		(m)	(m)	(m)	(m)	
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	29	66	27	126
	平均値(m)	613	116	126	62	114
	標準偏差(m)	926	106	190	49	207
疑似 51.5 年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値(m)	613	143	126	63	92
	標準偏差(m)	926	126	190	48	148

(c) 被害長さ

期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	計
		(km)	(km)	(km)	(km)	
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	31	67	28	130
	平均値(km)	3	1.54	1.02	0.76	1.18
	標準偏差(km)	3	1.43	0.93	0.59	1.16
疑似 51.5 年間 (全竜巻)	期間内個数	4	34	132	291	461
	平均値(km)	3	1.84	1.03	0.78	0.95
	標準偏差(km)	3	1.75	0.93	0.59	0.93

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに 1 km 幅に掛かる長さをもとに評価

一方、海側 0-1km の分布形は、全国の竜巻データを用いた場合でも、被害長さが極端に短い分布形となっており、その被害長さの推定精度に疑問が残ることから、海側 0-1km のケースでは、竜巻特性が最も類似していると考えられる陸側 0-1km での値を代用した評価も行った。

表 2.3.10 短冊領域での発生数+通過数の分析結果

(a) 陸側 0-1km

日本海 (陸0-1km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~2012/6 (51.5年間)	期間内総数	47	15	23	9	0	12	0	59
	平均値(年)	0.91	0.29	0.45	0.17	-	0.23	-	1.15
	標準偏差(年)	1.51	1.13	0.61	0.43	-	0.71	-	1.90
	CV(年)	1.65	3.89	1.37	2.47	-	3.03	-	1.66
1991~2012/6 (21.5年間)	期間内総数	28	15	12	1	0	11	0	39
	平均値(年)	1.30	0.70	0.56	0.05	-	0.51	-	1.81
	標準偏差(年)	2.03	1.69	0.60	0.22	-	1.02	-	2.63
	CV(年)	1.56	2.43	1.08	4.64	-	2.00	-	1.45
2007~2012/6 (5.5年間)	期間内総数	17	14	3	0	0	6	0	23
	平均値(年)	3.09	2.55	0.55	-	-	1.09	-	4.18
	標準偏差(年)	3.63	2.81	0.88	-	-	1.77	-	4.70
	CV(年)	1.17	1.11	1.62	-	-	1.62	-	1.12
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	227	189	29	9	0	0	0	227
	平均値(年)	4.37	3.64	0.56	0.17	-	-	-	4.37
	標準偏差(年)	3.40	3.32	0.60	0.43	-	-	-	3.40
	CV(年)	0.78	0.91	1.08	2.47	-	-	-	0.78

(柏崎 6/7 号炉は、海側 0-1km ケースの評価方法について「参考資料 4」で記載)

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

表 1.4 陸側1-2km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 1-2 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	29	9	17	3	0	1	0	30
	平均値(年)	0.56	0.17	0.33	0.06	-	0.02	-	0.58
	標準偏差(年)	1.13	0.76	0.59	0.24	-	0.14	-	1.13
	CV(年)	2.01	4.37	1.78	4.06	-	7.18	-	1.94
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	18	9	8	1	0	0	0	18
	平均値(年)	0.84	0.42	0.37	0.05	-	-	-	0.84
	標準偏差(年)	1.58	1.15	0.59	0.22	-	-	-	1.58
	CV(年)	1.89	2.76	1.58	4.64	-	-	-	1.89
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	8	4	0	0	0	0	12
	平均値(年)	2.18	1.45	0.73	-	-	-	-	2.18
	標準偏差(年)	2.84	2.08	0.86	-	-	-	-	2.84
	CV(年)	1.30	1.43	1.19	-	-	-	-	1.30
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	98
	平均値(年)	1.88	1.45	0.37	0.06	-	-	-	1.88
	標準偏差(年)	2.17	2.08	0.59	0.24	-	-	-	2.17
	CV(年)	1.15	1.43	1.58	4.06	-	-	-	1.15
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	98
	平均値(年)	1.88	1.45	0.37	0.06	-	-	-	1.88
	標準偏差(年)	2.17	2.08	0.59	0.24	-	-	-	2.17
	CV(年)	1.15	1.43	1.58	4.06	-	-	-	1.15

第7-3表 陸側1-2kmでの統計量

(a) 発生数

	期間内総数	平均値(個/年)	標準偏差(個/年)	F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
				(陸上)	(海上)						
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	4	19	42	16	81	3	0	84		
	平均値(個/年)	0.08	0.37	0.82	0.31	1.57	0.06	0.00	1.63		
	1991.1-2012.6 21.5年間	0	6	30	16	52	1	0	53		
	平均値(個/年)	0.00	0.28	1.40	0.74	2.42	0.05	0.00	2.47		
	2007.1-2012.6 5.5年間	0	0	6	13	19	1	0	20		
	平均値(個/年)	0.00	0.00	1.09	2.36	3.45	0.18	0.00	3.64		
	標準偏差(個/年)	0.00	0.00	0.57	2.99	2.88	0.43	0.00	2.80		

		F3	F2	F1	F0	計
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	4	19	72	132	227
	平均値(個/年)	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
	疑似51.5年間 (全竜巻)	4	19	72	132	227
	平均値(個/年)	0.08	0.37	1.40	2.56	4.41
		0.27	0.63	1.13	3.11	3.38

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内総数	4	19	40	14	77
	平均値(m)	613	163	140	54	155
	標準偏差(m)	926	234	233	42	297
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	4	19	72	132	227
	平均値(m)	613	163	153	56	105
	標準偏差(m)	926	234	241	41	205

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内総数	4	19	40	12	75
	平均値(km)	1	1.29	0.94	0.85	1.03
	標準偏差(km)	0	1.00	0.89	0.50	0.86
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	4	19	72	132	227
	平均値(km)	1	1.29	1.03	0.85	0.95
	標準偏差(km)	0	1.00	0.89	0.48	0.70

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

(b) 陸側1-2km

日本海 (陸 1-2 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	29	9	17	3	0	1	0	30
	平均値(年)	0.56	0.17	0.33	0.06	-	0.02	-	0.58
	標準偏差(年)	1.13	0.76	0.59	0.24	-	0.14	-	1.13
	CV(年)	2.01	4.37	1.78	4.06	-	7.18	-	1.94
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	18	9	8	1	0	0	0	18
	平均値(年)	0.84	0.42	0.37	0.05	-	-	-	0.84
	標準偏差(年)	1.58	1.15	0.59	0.22	-	-	-	1.58
	CV(年)	1.89	2.76	1.58	4.64	-	-	-	1.89
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	8	4	0	0	0	0	12
	平均値(年)	2.18	1.45	0.73	-	-	-	-	2.18
	標準偏差(年)	2.84	2.08	0.86	-	-	-	-	2.84
	CV(年)	1.30	1.43	1.19	-	-	-	-	1.30
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	98	75	20	3	0	0	0	98
	平均値(年)	1.88	1.45	0.37	0.06	-	-	-	1.88
	標準偏差(年)	2.17	2.08	0.59	0.24	-	-	-	2.17
	CV(年)	1.15	1.43	1.58	4.06	-	-	-	1.15

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】



表 1.5 陸側2-3km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 2-3 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	25	10	13	2	0	0	0	25
	平均値(年)	0.49	0.19	0.25	0.04	-	-	-	0.49
	標準偏差(年)	1.00	0.66	0.56	0.20	-	-	-	1.00
	CV(年)	2.07	3.41	2.21	5.02	-	-	-	2.07
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	16	10	6	0	0	0	0	16
	平均値(年)	0.74	0.47	0.28	-	-	-	-	0.74
	標準偏差(年)	1.37	0.97	0.56	-	-	-	-	1.37
	CV(年)	1.84	2.09	2.00	-	-	-	-	1.84
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	9	3	0	0	0	0	12
	平均値(年)	2.18	1.64	0.55	-	-	-	-	2.18
	標準偏差(年)	2.22	1.46	0.88	-	-	-	-	2.22
	CV(年)	1.02	0.89	1.62	-	-	-	-	1.02
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	102
	平均値(年)	1.95	1.64	0.28	0.04	-	-	-	1.95
	標準偏差(年)	1.58	1.46	0.56	0.20	-	-	-	1.58
	CV(年)	0.81	0.89	2.00	5.02	-	-	-	0.81
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	102
	平均値(年)	1.95	1.64	0.28	0.04	-	-	-	1.95
	標準偏差(年)	1.58	1.46	0.56	0.20	-	-	-	1.58
	CV(年)	0.81	0.89	2.00	5.02	-	-	-	0.81

第7-4表 陸側2-3kmでの統計量

(a) 発生数

	期間内総数	F3	F2	F1	F0	小計	陸上 不明	海上 不明	合計
	平均値(個/年)	0.06	0.27	0.49	0.16	0.97	0.04	0.00	1.01
	標準偏差(個/年)	0.24	0.63	0.76	0.42	1.07	0.20	0.00	1.09
1991.1-2012.6 21.5年間	16	0	4	15	8	27	0	0	27
	平均値(個/年)	0.00	0.19	0.70	0.37	1.26	0.00	0.00	1.26
	標準偏差(個/年)	0.00	0.40	0.84	0.59	1.01	0.00	0.00	1.01
2007.1-2012.6 5.5年間	12	0	0	3	4	7	0	0	7
	平均値(個/年)	0.00	0.00	0.55	0.73	1.27	0.00	0.00	1.27
	標準偏差(個/年)	0.00	0.00	0.55	0.83	0.68	0.00	0.00	0.68

		F3	F2	F1	F0	計
疑似 51.5年間 の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	3	14	36	38	91
		0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
		0.24	0.63	0.84	0.83	1.36
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	14	36	38	91
	平均値(個/年)	0.06	0.27	0.70	0.74	1.77
	標準偏差(個/年)	0.24	0.63	0.84	0.83	1.36

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内総数	3	14	24	7	48
	平均値(m)	750	327	177	41	237
	標準偏差(m)	1083	550	277	49	445
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	14	36	38	91
	平均値(m)	750	327	218	44	180
	標準偏差(m)	1083	550	307	47	360

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内総数	3	14	24	7	48
	平均値(km)	1	1.82	1.20	0.69	1.32
	標準偏差(km)	1	1.94	0.85	0.30	1.26
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	14	36	38	91
	平均値(km)	1	1.82	1.39	0.71	1.18
	標準偏差(km)	1	1.94	0.87	0.28	1.03

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

(c) 陸側2-3km

日本海 (陸 2-3 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	25	10	13	2	0	0	0	25
	平均値(年)	0.49	0.19	0.25	0.04	-	-	-	0.49
	標準偏差(年)	1.00	0.66	0.56	0.20	-	-	-	1.00
	CV(年)	2.07	3.41	2.21	5.02	-	-	-	2.07
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	16	10	6	0	0	0	0	16
	平均値(年)	0.74	0.47	0.28	-	-	-	-	0.74
	標準偏差(年)	1.37	0.97	0.56	-	-	-	-	1.37
	CV(年)	1.84	2.09	2.00	-	-	-	-	1.84
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	12	9	3	0	0	0	0	12
	平均値(年)	2.18	1.64	0.55	-	-	-	-	2.18
	標準偏差(年)	2.22	1.46	0.88	-	-	-	-	2.22
	CV(年)	1.02	0.89	1.62	-	-	-	-	1.02
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	102	85	15	2	0	0	0	102
	平均値(年)	1.95	1.64	0.28	0.04	-	-	-	1.95
	標準偏差(年)	1.58	1.46	0.56	0.20	-	-	-	1.58
	CV(年)	0.81	0.89	2.00	5.02	-	-	-	0.81

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

表 1.6 陸側3-4km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 3-4 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	20	4	15	1	0	0	0	20
	平均値(年)	0.39	0.08	0.29	0.02	-	-	-	0.39
	標準偏差(年)	0.66	0.27	0.57	0.14	-	-	-	0.66
	CV(年)	1.71	3.48	1.97	7.18	-	-	-	1.71
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	11	4	7	0	0	0	0	11
	平均値(年)	0.51	0.19	0.33	-	-	-	-	0.51
	標準偏差(年)	0.75	0.40	0.57	-	-	-	-	0.75
	CV(年)	1.46	2.15	1.77	-	-	-	-	1.46
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	7	4	3	0	0	0	0	7
	平均値(年)	1.27	0.73	0.55	-	-	-	-	1.27
	標準偏差(年)	1.04	0.55	0.88	-	-	-	-	1.04
	CV(年)	0.82	0.75	1.62	-	-	-	-	0.82
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	56
	平均値(年)	1.07	0.73	0.33	0.02	-	-	-	1.07
	標準偏差(年)	0.79	0.55	0.57	0.14	-	-	-	0.79
	CV(年)	0.74	0.75	1.77	7.18	-	-	-	0.74
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	56
	平均値(年)	1.07	0.73	0.33	0.02	-	-	-	1.07
	標準偏差(年)	0.79	0.55	0.57	0.14	-	-	-	0.79
	CV(年)	0.74	0.75	1.77	7.18	-	-	-	0.74

第7-5表 陸側3-4kmでの統計量

(a) 発生数

過去に観測された竜巻	期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
			(個/年)	(個/年)	(個/年)	(個/年)				
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	16	2	35	0	0	35	
	平均値(個/年)	0.10	0.23	0.31	0.04	0.68	0.00	0.00	0.68	
	標準偏差(個/年)	0.30	0.55	0.51	0.20	0.84	0.00	0.00	0.84	
	期間内個数	1	5	10	2	18	0	0	18	
1991.1-2012.6 21.5年間	期間内個数	0.05	0.23	0.47	0.09	0.84	0.00	0.00	0.84	
	平均値(個/年)	0.22	0.43	0.51	0.30	0.85	0.00	0.00	0.85	
	標準偏差(個/年)	0	1	4	1	6	0	0	6	
	期間内個数	0.00	0.18	0.73	0.18	1.09	0.00	0.00	1.09	
2007.1-2012.6 5.5年間	期間内個数	0.00	0.43	0.49	0.43	0.57	0.00	0.00	0.57	
	平均値(個/年)	5	12	24	10	51				
	標準偏差(個/年)	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99				
	期間内個数	5	12	24	10	51				
疑似51.5年間の竜巻	期間内個数	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99				
	平均値(個/年)	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91				
	標準偏差(個/年)	5	12	24	10	51				
	期間内個数	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99				
疑似51.5年間(全竜巻)	期間内個数	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91				
	平均値(個/年)	5	12	24	10	51				
	標準偏差(個/年)	0.10	0.23	0.47	0.19	0.99				
	期間内個数	0.30	0.55	0.51	0.43	0.91				

(b) 被害幅

期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	計
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	14	2	33
	平均値(m)	590	363	149	15	285
	標準偏差(m)	809	590	99	7	484
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値(m)	590	363	166	15	224
	標準偏差(m)	809	590	95	5	402

(c) 被害長さ

期間	期間内個数	F3	F2	F1	F0	計
		(km)	(km)	(km)	(km)	(km)
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	5	12	13	2	32
	平均値(km)	2	1.38	0.94	0.84	1.33
	標準偏差(km)	3	0.64	0.49	0.71	1.23
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	5	12	24	10	51
	平均値(km)	2	1.38	1.01	0.84	1.20
	標準偏差(km)	3	0.64	0.43	0.53	1.02

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

(d) 陸側3-4km

日本海 (陸 3-4 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	20	4	15	1	0	0	0	20
	平均値(年)	0.39	0.08	0.29	0.02	-	-	-	0.39
	標準偏差(年)	0.66	0.27	0.57	0.14	-	-	-	0.66
	CV(年)	1.71	3.48	1.97	7.18	-	-	-	1.71
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	11	4	7	0	0	0	0	11
	平均値(年)	0.51	0.19	0.33	-	-	-	-	0.51
	標準偏差(年)	0.75	0.40	0.57	-	-	-	-	0.75
	CV(年)	1.46	2.15	1.77	-	-	-	-	1.46
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	7	4	3	0	0	0	0	7
	平均値(年)	1.27	0.73	0.55	-	-	-	-	1.27
	標準偏差(年)	1.04	0.55	0.88	-	-	-	-	1.04
	CV(年)	0.82	0.75	1.62	-	-	-	-	0.82
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	56	38	17	1	0	0	0	56
	平均値(年)	1.07	0.73	0.33	0.02	-	-	-	1.07
	標準偏差(年)	0.79	0.55	0.57	0.14	-	-	-	0.79
	CV(年)	0.74	0.75	1.77	7.18	-	-	-	0.74

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】



表 1.7 陸側4-5km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (陸 4-5 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	15	2	12	1	0	1	0	16
	平均値(年)	0.29	0.04	0.23	0.02	-	0.02	-	0.31
	標準偏差(年)	0.64	0.20	0.62	0.14	-	0.14	-	0.65
	CV(年)	2.20	5.02	2.65	7.18	-	7.18	-	2.08
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	8	2	6	0	0	1	0	9
	平均値(年)	0.37	0.09	0.28	-	-	0.05	-	0.42
	標準偏差(年)	0.74	0.30	0.71	-	-	0.22	-	0.74
	CV(年)	1.98	3.20	2.55	-	-	4.64	-	1.78
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	6	2	4	0	0	1	0	7
	平均値(年)	1.09	0.36	0.73	-	-	0.18	-	1.27
	標準偏差(年)	1.16	0.55	1.28	-	-	0.43	-	1.04
	CV(年)	1.06	1.50	1.76	-	-	2.37	-	0.82
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	45	19	15	1	0	10	0	45
	平均値(年)	0.84	0.36	0.28	0.02	-	0.18	-	0.84
	標準偏差(年)	0.99	0.55	0.71	0.14	-	0.43	-	0.99
	CV(年)	1.18	1.50	2.55	7.18	-	2.37	-	1.18
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	45	29	15	1	0	0	0	45
	平均値(年)	0.84	0.55	0.28	0.02	-	-	-	0.84
	標準偏差(年)	0.99	0.69	0.71	0.14	-	-	-	0.99
	CV(年)	1.18	1.27	2.55	7.18	-	-	-	1.18

第7-6表 陸側4-5kmでの統計量

(a) 発生数

	期間内総数	平均値(個/年)	標準偏差(個/年)	竜巻スケール				小計	陸上不明	海上不明	合計	
				F3	F2	F1	F0					
過去に観測された竜巻	1961.1-2012.6 51.5年間	15	0.29	0.64	2	12	1	0	30	1	0	31
	1991.1-2012.6 21.5年間	8	0.37	0.74	2	6	0	0	14	0	0	14
	2007.1-2012.6 5.5年間	6	1.09	1.16	2	4	0	0	6	0	0	6

	期間内総数	平均値(個/年)	標準偏差(個/年)	竜巻スケール				計	
				F3	F2	F1	F0		
疑似51.5年間の竜巻	疑似51.5年間 (陸上竜巻)	45	0.84	0.99	19	15	1	0	41
	疑似51.5年間 (全竜巻)	45	0.84	0.99	29	15	1	0	41

(b) 被害幅

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値(m)	713	391	118	50	305
	標準偏差(m)	879	610	85	0	518
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値(m)	713	391	142	50	236
	標準偏差(m)	879	610	86	0	431

(c) 被害長さ

		F3	F2	F1	F0	計
1961.1-2012.6 51.5年間	期間内個数	4	10	12	1	27
	平均値(km)	3	1.28	0.93	0.20	1.34
	標準偏差(km)	1	0.48	0.41	0.00	0.93
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内個数	4	10	17	10	41
	平均値(km)	3	1.28	1.03	0.20	1.08
	標準偏差(km)	1	0.48	0.40	0.00	0.89

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

(e) 陸側4-5km

日本海 (陸 4-5 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	15	2	12	1	0	1	0	16
	平均値(年)	0.29	0.04	0.23	0.02	-	0.02	-	0.31
	標準偏差(年)	0.64	0.20	0.62	0.14	-	0.14	-	0.65
	CV(年)	2.20	5.02	2.65	7.18	-	7.18	-	2.08
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	8	2	6	0	0	1	0	9
	平均値(年)	0.37	0.09	0.28	-	-	0.05	-	0.42
	標準偏差(年)	0.74	0.30	0.71	-	-	0.22	-	0.74
	CV(年)	1.98	3.20	2.55	-	-	4.64	-	1.78
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	6	2	4	0	0	1	0	7
	平均値(年)	1.09	0.36	0.73	-	-	0.18	-	1.27
	標準偏差(年)	1.16	0.55	1.28	-	-	0.43	-	1.04
	CV(年)	1.06	1.50	1.76	-	-	2.37	-	0.82
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	45	29	15	1	0	0	0	45
	平均値(年)	0.84	0.55	0.28	0.02	-	-	-	0.84
	標準偏差(年)	0.99	0.69	0.71	0.14	-	-	-	0.99
	CV(年)	1.18	1.27	2.55	7.18	-	-	-	1.18

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

表 1.8 海側0-1km 範囲の竜巻発生・通過数

竜巻検討地域 (海 0-1 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	25	8	12	5	0	9	38	72
	平均値(年)	0.49	0.16	0.23	0.10	-	0.17	0.74	1.40
	標準偏差(年)	0.90	0.75	0.43	0.30	-	0.62	2.52	3.35
	CV(年)	1.86	4.86	1.83	3.08	-	3.55	3.41	2.40
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	15	8	6	1	0	8	38	61
	平均値(年)	0.70	0.37	0.28	0.05	-	0.37	1.77	2.84
	標準偏差(年)	1.23	1.15	0.46	0.22	-	0.91	3.71	4.86
	CV(年)	1.76	3.09	1.65	4.64	-	2.45	2.10	1.71
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	9	8	1	0	0	5	34	48
	平均値(年)	1.64	1.45	0.18	-	-	0.91	6.18	8.73
	標準偏差(年)	2.19	2.08	0.43	-	-	1.69	5.79	7.50
	CV(年)	1.34	1.43	2.37	-	-	1.86	0.94	0.86
疑似 51.5年間 (陸上竜巻)	期間内総数	142	75	15	5	0	47	319	461
	平均値(年)	2.74	1.45	0.28	0.10	-	0.91	6.18	8.92
	標準偏差(年)	2.73	2.08	0.46	0.30	-	1.69	5.79	6.40
	CV(年)	1.00	1.43	1.65	3.08	-	1.86	0.94	0.72
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	463	397	49	17	0	0	0	463
	平均値(年)	8.89	7.67	0.91	0.32	-	-	-	8.89
	標準偏差(年)	4.93	4.83	0.83	0.54	-	-	-	4.93
	CV(年)	0.55	0.63	0.92	1.71	-	-	-	0.55

第7-1表 海側1-0kmでの統計量

(a) 発生数

過去に観測された竜巻	期間	期間内総数	F3	F2	F1	F0	小計	陸上不明	海上不明	合計
	平均値(個/年)	0.02	0.23	0.58	0.19	1.03	0.16	0.54	1.73	
	標準偏差(個/年)	0.14	0.47	1.04	0.63	1.48	0.37	1.55	2.79	
1991.1-2012.6 21.5年間	期間内総数	0	5	24	10	39	7	27	73	
	平均値(個/年)	0.00	0.23	1.12	0.47	1.81	0.33	1.26	3.40	
	標準偏差(個/年)	0.00	0.53	1.31	0.92	1.88	0.48	2.22	3.65	
2007.1-2012.6 5.5年間	期間内総数	0	0	5	7	12	3	18	33	
	平均値(個/年)	0.00	0.00	0.91	1.27	2.18	0.55	3.27	6.00	
	標準偏差(個/年)	0.00	0.00	1.37	1.50	2.57	0.55	3.74	5.91	

疑似51.5年間の竜巻	期間	期間内総数	F3	F2	F1	F0	計
	平均値(個/年)	0.02	0.23	1.13	1.84	3.22	
	標準偏差(個/年)	0.14	0.47	1.31	1.80	2.28	
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	25	118	192	338	
	平均値(個/年)	0.06	0.49	2.29	3.73	6.56	
	標準偏差(個/年)	0.24	0.68	1.87	2.55	3.25	

(b) 被害幅

期間	期間内総数	F3	F2	F1	F0	計
	平均値(m)	2000	133	100	38	142
	標準偏差(m)	0	77	124	38	303
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	25	118	192	338
	平均値(m)	2000	145	108	38	88
	標準偏差(m)	0	79	129	35	203

(c) 被害長さ

期間	期間内総数	F3	F2	F1	F0	計
	平均値(km)	8	0.91	0.59	0.24	0.75
	標準偏差(km)	0	1.71	0.67	0.33	1.43
疑似51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	3	25	118	192	338
	平均値(km)	8	1.09	0.61	0.25	0.51
	標準偏差(km)	0	1.88	0.69	0.31	1.02

※ 被害長さの統計量は、各竜巻の発生地点と消滅地点をもとに1km幅に掛かる長さをもとに評価

(f) 海側0-1km

日本海 (海 0-1 km)	発生数の統計	小計	竜巻スケール				不明		総数 (含む不明)
			F0	F1	F2	F3	(陸上)	(海上)	
1961~ 2012/6 (51.5年間)	期間内総数	25	8	12	5	0	9	38	72
	平均値(年)	0.49	0.16	0.23	0.10	-	0.17	0.74	1.40
	標準偏差(年)	0.90	0.75	0.43	0.30	-	0.62	2.52	3.35
	CV(年)	1.86	4.86	1.83	3.08	-	3.55	3.41	2.40
1991~ 2012/6 (21.5年間)	期間内総数	15	8	6	1	0	8	38	61
	平均値(年)	0.70	0.37	0.28	0.05	-	0.37	1.77	2.84
	標準偏差(年)	1.23	1.15	0.46	0.22	-	0.91	3.71	4.86
	CV(年)	1.76	3.09	1.65	4.64	-	2.45	2.10	1.71
2007~ 2012/6 (5.5年間)	期間内総数	9	8	1	0	0	5	34	48
	平均値(年)	1.64	1.45	0.18	-	-	0.91	6.18	8.73
	標準偏差(年)	2.19	2.08	0.43	-	-	1.69	5.79	7.50
	CV(年)	1.34	1.43	2.37	-	-	1.86	0.94	0.86
疑似 51.5年間 (全竜巻)	期間内総数	463	397	49	17	0	0	0	463
	平均値(年)	8.89	7.67	0.91	0.32	-	-	-	8.89
	標準偏差(年)	4.93	4.83	0.83	0.54	-	-	-	4.93
	CV(年)	0.55	0.63	0.92	1.71	-	-	-	0.55

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																																																																																																																																								
		<p style="text-align: center;">表 2.3.11 短冊領域での竜巻パラメータの分析結果</p> <p style="text-align: center;">(a) 陸側 0-1km (CASE 2-1)</p> <table border="1" data-bbox="1745 331 2487 646"> <thead> <tr> <th rowspan="2">パラメータ</th> <th rowspan="2">統計量</th> <th rowspan="2">小計</th> <th colspan="4">竜巻スケール</th> </tr> <tr> <th>F0</th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">日本海 (陸 0-1km)</td> <td rowspan="4">発生数</td> <td>期間内総数</td> <td>227</td> <td>189</td> <td>29</td> <td>9</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(年)</td> <td>4.41</td> <td>3.67</td> <td>0.56</td> <td>0.17</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(年)</td> <td>3.40</td> <td>3.32</td> <td>0.60</td> <td>0.43</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV(年)</td> <td>0.77</td> <td>0.91</td> <td>1.07</td> <td>2.47</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">擬似 51.5年間 (全竜巻)</td> <td rowspan="4">被害幅</td> <td>期間内総数</td> <td>227</td> <td>189</td> <td>29</td> <td>9</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(m)</td> <td>128</td> <td>123</td> <td>124</td> <td>241</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(m)</td> <td>154</td> <td>141</td> <td>121</td> <td>375</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>1.21</td> <td>1.15</td> <td>0.97</td> <td>1.55</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">被害長</td> <td>期間内総数</td> <td>227</td> <td>189</td> <td>29</td> <td>9</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(km)</td> <td>0.632</td> <td>0.540</td> <td>1.088</td> <td>1.108</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(km)</td> <td>0.448</td> <td>0.279</td> <td>0.855</td> <td>0.288</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>0.71</td> <td>0.52</td> <td>0.79</td> <td>0.26</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">(b) 陸側 1-2km (CASE 2-2)</p> <table border="1" data-bbox="1745 737 2487 1052"> <thead> <tr> <th rowspan="2">パラメータ</th> <th rowspan="2">統計量</th> <th rowspan="2">小計</th> <th colspan="4">竜巻スケール</th> </tr> <tr> <th>F0</th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">日本海 (陸 1-2 km)</td> <td rowspan="4">発生数</td> <td>期間内総数</td> <td>98</td> <td>75</td> <td>20</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(年)</td> <td>1.90</td> <td>1.46</td> <td>0.39</td> <td>0.06</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(年)</td> <td>2.17</td> <td>2.08</td> <td>0.59</td> <td>0.24</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV(年)</td> <td>1.14</td> <td>1.43</td> <td>1.51</td> <td>4.06</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">擬似 51.5年間 (全竜巻)</td> <td rowspan="4">被害幅</td> <td>期間内総数</td> <td>98</td> <td>75</td> <td>20</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(m)</td> <td>197</td> <td>202</td> <td>155</td> <td>350</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(m)</td> <td>173</td> <td>164</td> <td>133</td> <td>477</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>0.88</td> <td>0.81</td> <td>0.86</td> <td>1.36</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">被害長</td> <td>期間内総数</td> <td>98</td> <td>75</td> <td>20</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(km)</td> <td>0.766</td> <td>0.685</td> <td>1.112</td> <td>0.482</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(km)</td> <td>0.434</td> <td>0.348</td> <td>0.548</td> <td>0.500</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>0.57</td> <td>0.51</td> <td>0.49</td> <td>1.04</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">(c) 陸側 2-3km (CASE 2-3)</p> <table border="1" data-bbox="1745 1142 2487 1457"> <thead> <tr> <th rowspan="2">パラメータ</th> <th rowspan="2">統計量</th> <th rowspan="2">小計</th> <th colspan="4">竜巻スケール</th> </tr> <tr> <th>F0</th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">日本海 (陸 2-3 km)</td> <td rowspan="4">発生数</td> <td>期間内総数</td> <td>102</td> <td>85</td> <td>15</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(年)</td> <td>1.98</td> <td>1.65</td> <td>0.29</td> <td>0.04</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(年)</td> <td>1.58</td> <td>1.46</td> <td>0.56</td> <td>0.20</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV(年)</td> <td>0.80</td> <td>0.89</td> <td>1.91</td> <td>5.02</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">擬似 51.5年間 (全竜巻)</td> <td rowspan="4">被害幅</td> <td>期間内総数</td> <td>102</td> <td>85</td> <td>15</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(m)</td> <td>174</td> <td>162</td> <td>206</td> <td>475</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(m)</td> <td>180</td> <td>167</td> <td>162</td> <td>601</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>1.04</td> <td>1.04</td> <td>0.79</td> <td>1.27</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">被害長</td> <td>期間内総数</td> <td>102</td> <td>85</td> <td>15</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>平均値(km)</td> <td>0.684</td> <td>0.610</td> <td>0.988</td> <td>1.566</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>標準偏差(km)</td> <td>0.366</td> <td>0.298</td> <td>0.424</td> <td>0.433</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>CV</td> <td>0.54</td> <td>0.49</td> <td>0.43</td> <td>0.28</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				F0	F1	F2	F3	日本海 (陸 0-1km)	発生数	期間内総数	227	189	29	9	0	平均値(年)	4.41	3.67	0.56	0.17	—	標準偏差(年)	3.40	3.32	0.60	0.43	—	CV(年)	0.77	0.91	1.07	2.47	—	擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	227	189	29	9	0	平均値(m)	128	123	124	241	—	標準偏差(m)	154	141	121	375	—	CV	1.21	1.15	0.97	1.55	—	被害長	期間内総数	227	189	29	9	0	平均値(km)	0.632	0.540	1.088	1.108	—	標準偏差(km)	0.448	0.279	0.855	0.288	—	CV	0.71	0.52	0.79	0.26	—	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				F0	F1	F2	F3	日本海 (陸 1-2 km)	発生数	期間内総数	98	75	20	3	0	平均値(年)	1.90	1.46	0.39	0.06	—	標準偏差(年)	2.17	2.08	0.59	0.24	—	CV(年)	1.14	1.43	1.51	4.06	—	擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	98	75	20	3	0	平均値(m)	197	202	155	350	—	標準偏差(m)	173	164	133	477	—	CV	0.88	0.81	0.86	1.36	—	被害長	期間内総数	98	75	20	3	0	平均値(km)	0.766	0.685	1.112	0.482	—	標準偏差(km)	0.434	0.348	0.548	0.500	—	CV	0.57	0.51	0.49	1.04	—	パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				F0	F1	F2	F3	日本海 (陸 2-3 km)	発生数	期間内総数	102	85	15	2	0	平均値(年)	1.98	1.65	0.29	0.04	—	標準偏差(年)	1.58	1.46	0.56	0.20	—	CV(年)	0.80	0.89	1.91	5.02	—	擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	102	85	15	2	0	平均値(m)	174	162	206	475	—	標準偏差(m)	180	167	162	601	—	CV	1.04	1.04	0.79	1.27	—	被害長	期間内総数	102	85	15	2	0	平均値(km)	0.684	0.610	0.988	1.566	—	標準偏差(km)	0.366	0.298	0.424	0.433	—	CV	0.54	0.49	0.43	0.28	—	<p>・竜巻検討地域の違いによる相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>(竜巻パラメータについては、柏崎 6/7 は「参考資料 3 表 1.1」で、東海第二は「表 7-1」～「表 7-6」で記載)</p>
パラメータ	統計量	小計				竜巻スケール																																																																																																																																																																																																																																																																					
			F0	F1	F2	F3																																																																																																																																																																																																																																																																					
日本海 (陸 0-1km)	発生数	期間内総数	227	189	29	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(年)	4.41	3.67	0.56	0.17	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(年)	3.40	3.32	0.60	0.43	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV(年)	0.77	0.91	1.07	2.47	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	227	189	29	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(m)	128	123	124	241	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(m)	154	141	121	375	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV	1.21	1.15	0.97	1.55	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
被害長	期間内総数	227	189	29	9	0																																																																																																																																																																																																																																																																					
	平均値(km)	0.632	0.540	1.088	1.108	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	標準偏差(km)	0.448	0.279	0.855	0.288	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	CV	0.71	0.52	0.79	0.26	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール																																																																																																																																																																																																																																																																								
			F0	F1	F2	F3																																																																																																																																																																																																																																																																					
日本海 (陸 1-2 km)	発生数	期間内総数	98	75	20	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(年)	1.90	1.46	0.39	0.06	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(年)	2.17	2.08	0.59	0.24	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV(年)	1.14	1.43	1.51	4.06	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	98	75	20	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(m)	197	202	155	350	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(m)	173	164	133	477	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV	0.88	0.81	0.86	1.36	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
被害長	期間内総数	98	75	20	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																					
	平均値(km)	0.766	0.685	1.112	0.482	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	標準偏差(km)	0.434	0.348	0.548	0.500	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	CV	0.57	0.51	0.49	1.04	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール																																																																																																																																																																																																																																																																								
			F0	F1	F2	F3																																																																																																																																																																																																																																																																					
日本海 (陸 2-3 km)	発生数	期間内総数	102	85	15	2	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(年)	1.98	1.65	0.29	0.04	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(年)	1.58	1.46	0.56	0.20	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV(年)	0.80	0.89	1.91	5.02	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	102	85	15	2	0																																																																																																																																																																																																																																																																				
		平均値(m)	174	162	206	475	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		標準偏差(m)	180	167	162	601	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
		CV	1.04	1.04	0.79	1.27	—																																																																																																																																																																																																																																																																				
被害長	期間内総数	102	85	15	2	0																																																																																																																																																																																																																																																																					
	平均値(km)	0.684	0.610	0.988	1.566	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	標準偏差(km)	0.366	0.298	0.424	0.433	—																																																																																																																																																																																																																																																																					
	CV	0.54	0.49	0.43	0.28	—																																																																																																																																																																																																																																																																					

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)

東海第二発電所 (2018.9.18版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

(d) 陸側 3-4km (CASE 2-4)

パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
日本海 (陸 3-4 km)	発生数	期間内総数	56	38	17	1	0
		平均値(年)	1.09	0.74	0.33	0.02	—
		標準偏差(年)	0.79	0.55	0.57	0.14	—
		CV(年)	0.73	0.74	1.74	7.18	—
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	56	38	17	1	0
		平均値(m)	213	224	147	900	—
		標準偏差(m)	216	228	78	—	—
		CV	1.01	1.02	0.53	—	—
被害長	期間内総数	56	38	17	1	0	
	平均値(km)	0.861	0.809	0.961	1.129	—	
	標準偏差(km)	0.310	0.252	0.401	—	—	
	CV	0.36	0.31	0.42	—	—	

(e) 陸側 4-5km (CASE 2-5)

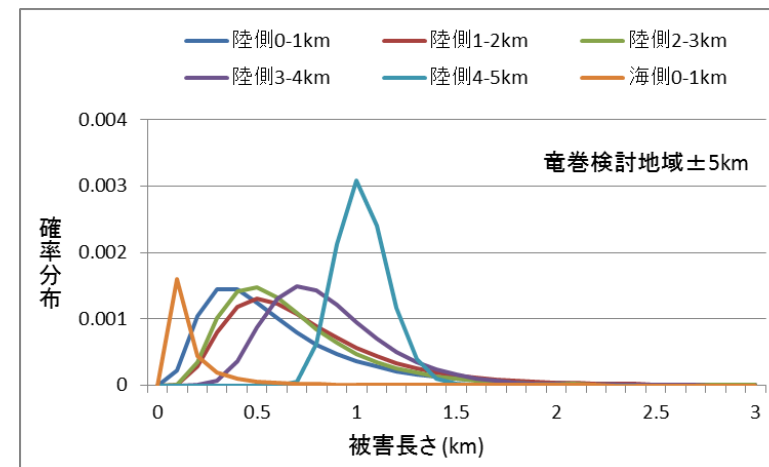
パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
日本海 (陸 4-5 km)	発生数	期間内総数	45	29	15	1	0
		平均値(年)	0.87	0.56	0.29	0.02	—
		標準偏差(年)	0.99	0.69	0.71	0.14	—
		CV(年)	1.14	1.23	2.44	7.18	—
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	45	29	15	1	0
		平均値(m)	299	359	145	900	—
		標準偏差(m)	247	254	63	—	—
		CV	0.83	0.71	0.44	—	—
被害長	期間内総数	45	29	15	1	0	
	平均値(km)	1.029	1.003	1.095	0.807	—	
	標準偏差(km)	0.132	0.001	0.212	—	—	
	CV	0.13	0.00	0.19	—	—	

(f) 海側 0-1km (CASE 2-6A)

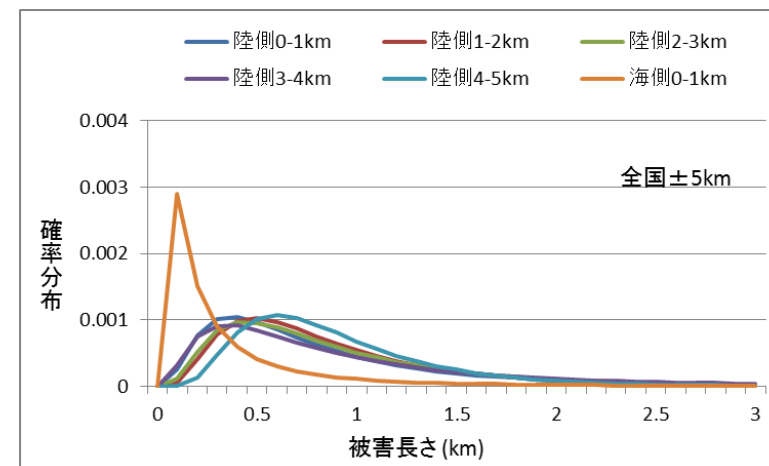
パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
日本海 (海 0-1 km)	発生数	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(年)	8.99	7.71	0.95	0.33	—
		標準偏差(年)	4.93	4.83	0.83	0.54	—
		CV(年)	0.55	0.63	0.87	1.63	—
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(m)	100	83	145	368	—
		標準偏差(m)	120	62	148	406	—
		CV	1.20	0.74	1.02	1.10	—
被害長	期間内総数	463	397	49	17	0	
	平均値(km)	0.065	0.010	0.517	—	—	
	標準偏差(km)	0.183	0.009	0.273	—	—	
	CV	2.80	0.89	0.53	—	—	

(g) 海側 0-1km (陸側 0-1km 被害長さ考慮) (CASE 2-6B)

パラメータ	統計量	小計	竜巻スケール				
			F0	F1	F2	F3	
日本海 (海 0-1 km) (陸 0-1km考慮)	発生数	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(年)	8.99	7.71	0.95	0.33	—
		標準偏差(年)	4.93	4.83	0.83	0.54	—
		CV(年)	0.55	0.63	0.87	1.63	—
擬似 51.5年間 (全竜巻)	被害幅	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(m)	100	83	145	368	—
		標準偏差(m)	120	62	148	406	—
		CV	1.20	0.74	1.02	1.10	—
被害長	被害長さ	期間内総数	463	397	49	17	0
		平均値(km)	0.632	0.540	1.088	1.108	—
		標準偏差(km)	0.448	0.279	0.855	0.288	—
		CV	0.71	0.52	0.79	0.26	—



(a) 竜巻検討地域



(b) 全国

図 2.3.13 被害長さの分布形

・資料構成の相違  
【柏崎 6/7, 東海第二】  
島根 2号炉は, 竜巻検討地域と全国の被害長さの分布形の比較のため, 被害長さの分布形を記載している

2.3.6.4 竜巻ハザードの算定結果

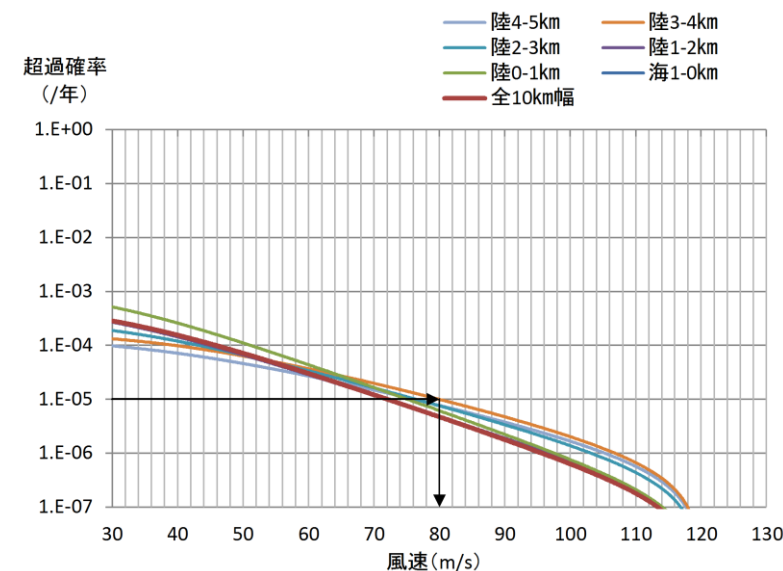
ハザードの計算条件を表2.3.12に示す。また、ハザードの算定結果を図2.3.14及び表2.3.13に示す。1km短冊の面積は、10km幅の面積を短冊幅の比率で等分している。

算定結果によると、1km短冊の結果は基本ケースと同等あるいはそれを下回る値となっており、年超過確率が $10^{-5}$ となる風速については、陸側0-1kmの被害長さを考慮した海側0-1kmのケース(CASE 2-6B)が最も大きく、61.4m/sである。

表 2.3.12 竜巻ハザードの計算条件

検討ケース	日本海側±5km	統計量	発生数 (個)	風速(V) m/s	幅(W) m	被害長さ(L) m	相関係数 <sup>※1</sup>		
							V~W	V~L	W~L
基本ケース	±5km	平均値 標準偏差	23.05 8.97	28.6 9.4	121 131	1607 2697	(0.05)	0.31	0.46
CASE 2-1	陸側0-1km	平均値 標準偏差	4.41 3.40	28.5 9.7	128 154	632 448	同上 (検討地域±5kmの値を代用)		
CASE 2-2	陸側1-2km	平均値 標準偏差	1.90 2.17	29.4 8.6	197 173	766 434			
CASE 2-3	陸側2-3km	平均値 標準偏差	1.98 1.58	28.1 8.8	174 180	684 366			
CASE 2-4	陸側3-4km	平均値 標準偏差	1.09 0.79	30.6 8.6	213 216	861 310			
CASE 2-5	陸側4-5km	平均値 標準偏差	0.87 0.99	31.3 9.0	299 247	1029 132			
CASE 2-6A	海側0-1km	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	65 183			
CASE 2-6B	海側0-1km (陸側0-1km被害長さ考慮)	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	632 448			

※1：相関係数の赤字は負の相関を表す。負の相関の場合は、無相関(=0)とする。



第7-2図 竜巻検討地域を1km幅ごとに細分化した場合のハザード曲線  
(10km幅でのハザード曲線もあわせて記載)

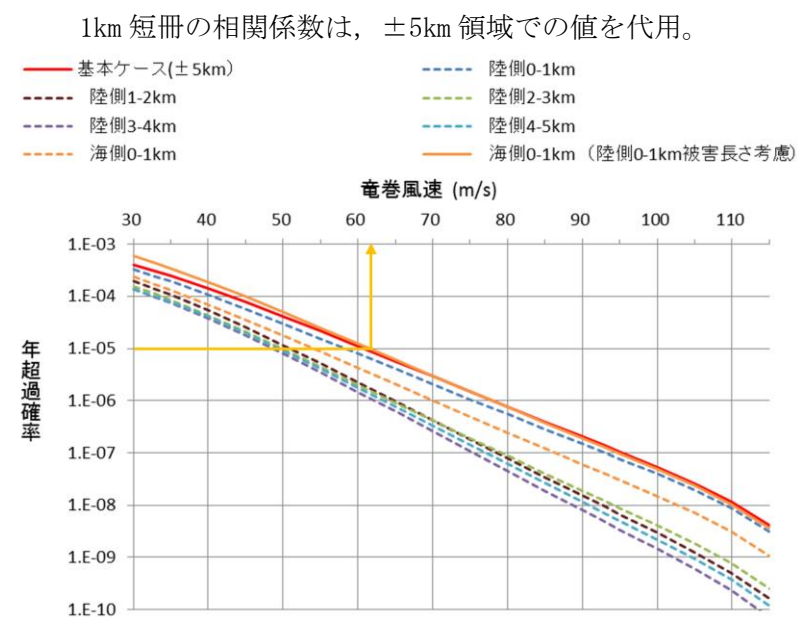


図 2.3.14 短冊領域におけるハザードの算定結果

(柏崎6/7号炉は、算定結果について「参考資料3 1」で記載)

・算定結果の相違【東海第二】



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																										
<p>2. 1km ごとの領域で竜巻ハザードを求める際の問題点 ガイドでは、以下のように述べられている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 海岸線から陸側及び海側それぞれ 5km の範囲を目安に竜巻検討地域を設定する</li> <li>✓ 上記の場合、少なくとも 1km 範囲ごとに竜巻の年発生数の確率分布を算定し、そのうちの <math>V_{B2}</math> が最も大きな値として設定される確率分布を設計で用いること</li> <li>✓ 竜巻最大風速の確率密度分布の設定に当たっては、竜巻検討地域を 1km 範囲ごとに区切ってそれぞれの範囲の確率分布を算定し、そのうちの <math>V_{B2}</math> が最も大きな値として設定される確率分布を設定する等、配慮すること</li> </ul> <p>また、2013 年 10 月出された JNES の『原子力発電所の竜巻影</p>	<p>第 7-7 表 評価結果のまとめ</p> <table border="1" data-bbox="952 296 1700 420"> <thead> <tr> <th>領域</th> <th>10 km 幅</th> <th>海 1-0 km</th> <th>陸 0-1 km</th> <th>陸 1-2km</th> <th>陸 2-3km</th> <th>陸 3-4km</th> <th>陸 4-5 km</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10<sup>-5</sup>/年での最大風速*(m/s)</td> <td>73</td> <td>73</td> <td>76</td> <td>72</td> <td>77</td> <td><u>80</u></td> <td>77</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 太字下線ありの値は最大値</p> <p>8. 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (<math>V_{B2}</math>) 前記の第 7-7 表に示すとおり、竜巻検討地域全域 (10 km 幅) 及び 1 km 幅ごとのハザード曲線において、年超過確率 10<sup>-5</sup>での風速の最大値は <u>80m/s</u> であり、これを最大風速 <math>V_{B2}</math> とする。最大風速評価結果を第 8-1 表に示す。</p> <p>第 8-1 表 ハザード曲線による最大風速評価結果</p> <table border="1" data-bbox="952 1060 1700 1220"> <thead> <tr> <th>ハザード曲線の算定範囲</th> <th>年超過確率 10<sup>-5</sup>での最大風速</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>竜巻検討地域全域 (10 km 幅)</td> <td>73m/s</td> </tr> <tr> <td>1 km 幅ごとの最大</td> <td>80m/s (陸側 3-4km)</td> </tr> </tbody> </table>	領域	10 km 幅	海 1-0 km	陸 0-1 km	陸 1-2km	陸 2-3km	陸 3-4km	陸 4-5 km	10 <sup>-5</sup> /年での最大風速*(m/s)	73	73	76	72	77	<u>80</u>	77	ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 10 <sup>-5</sup> での最大風速	竜巻検討地域全域 (10 km 幅)	73m/s	1 km 幅ごとの最大	80m/s (陸側 3-4km)	<p>表 2.3.13 年超過確率に対応した竜巻風速</p> <table border="1" data-bbox="1742 304 2496 674"> <thead> <tr> <th rowspan="2">検討ケース</th> <th rowspan="2">日本海側</th> <th colspan="5">超過確率に対応する風速 (m/s)</th> </tr> <tr> <th>1.E-04</th> <th>1.E-05</th> <th>1.E-06</th> <th>1.E-07</th> <th>1.E-08</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基本ケース</td> <td>±5km</td> <td>43.0</td> <td>60.8</td> <td>78.0</td> <td>95.3</td> <td>110.7</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-1</td> <td>陸側 0-1km</td> <td>40.6</td> <td>58.3</td> <td>75.5</td> <td>93.0</td> <td>109.2</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-2</td> <td>陸側 1-2km</td> <td>35.6</td> <td>51.0</td> <td>64.9</td> <td>78.6</td> <td>92.6</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-3</td> <td>陸側 2-3km</td> <td>33.7</td> <td>49.8</td> <td>64.4</td> <td>79.1</td> <td>94.2</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-4</td> <td>陸側 3-4km</td> <td>32.7</td> <td>48.7</td> <td>62.2</td> <td>75.5</td> <td>88.8</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-5</td> <td>陸側 4-5km</td> <td>33.0</td> <td>49.3</td> <td>63.4</td> <td>77.1</td> <td>90.9</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-6A</td> <td>海側 0-1km</td> <td>37.2</td> <td>54.0</td> <td>70.0</td> <td>86.3</td> <td>102.7</td> </tr> <tr> <td>CASE 2-6B</td> <td>海側 0-1km (陸側0-1km被害長さ考慮)</td> <td>44.8</td> <td>61.4</td> <td>78.0</td> <td>94.8</td> <td>110.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.3.7 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (<math>V_{B2}</math>) の設定 F スケール不明の海上竜巻の発生数は、陸上竜巻の F スケール別発生比率で按分して取り扱っているが、竜巻検討地域を「北海道から山陰地方にかけての日本海沿岸」にすることに伴う竜巻ハザード曲線算出のためのデータの不確実性 (日本海側は F スケール不明の海上竜巻が多い) を踏まえ、参照する年超過確率を 10<sup>-5</sup> から一桁下げた年超過確率 10<sup>-6</sup> における風速とすると、表 2.3.7 及び表 2.3.13 のとおり、陸側及び海側 5km 全域での評価、1km 範囲ごとに細分化した評価ともに 78m/s となる。以上より、竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 <math>V_{B2}</math> は 78m/s とする。</p>	検討ケース	日本海側	超過確率に対応する風速 (m/s)					1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08	基本ケース	±5km	43.0	60.8	78.0	95.3	110.7	CASE 2-1	陸側 0-1km	40.6	58.3	75.5	93.0	109.2	CASE 2-2	陸側 1-2km	35.6	51.0	64.9	78.6	92.6	CASE 2-3	陸側 2-3km	33.7	49.8	64.4	79.1	94.2	CASE 2-4	陸側 3-4km	32.7	48.7	62.2	75.5	88.8	CASE 2-5	陸側 4-5km	33.0	49.3	63.4	77.1	90.9	CASE 2-6A	海側 0-1km	37.2	54.0	70.0	86.3	102.7	CASE 2-6B	海側 0-1km (陸側0-1km被害長さ考慮)	44.8	61.4	78.0	94.8	110.2	<p>・算定結果の相違 【東海第二】</p> <p>(柏崎 6/7 号炉は、<math>V_{B2}</math> の設定について「(7)」で記載)</p> <p>・<math>V_{B2}</math> の設定方法の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は <math>V_{B2}</math> の設定において、ガイドに従い、不確実性及び保守性の考慮をして 1km 範囲ごとに細分化した場合のハザード曲線についても考慮している。</p> <p>【東海第二】 島根 2 号炉はデータの不確実性を踏まえ年超過確率 10<sup>-6</sup> を参照している</p>
領域	10 km 幅	海 1-0 km	陸 0-1 km	陸 1-2km	陸 2-3km	陸 3-4km	陸 4-5 km																																																																																						
10 <sup>-5</sup> /年での最大風速*(m/s)	73	73	76	72	77	<u>80</u>	77																																																																																						
ハザード曲線の算定範囲	年超過確率 10 <sup>-5</sup> での最大風速																																																																																												
竜巻検討地域全域 (10 km 幅)	73m/s																																																																																												
1 km 幅ごとの最大	80m/s (陸側 3-4km)																																																																																												
検討ケース	日本海側	超過確率に対応する風速 (m/s)																																																																																											
		1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08																																																																																							
基本ケース	±5km	43.0	60.8	78.0	95.3	110.7																																																																																							
CASE 2-1	陸側 0-1km	40.6	58.3	75.5	93.0	109.2																																																																																							
CASE 2-2	陸側 1-2km	35.6	51.0	64.9	78.6	92.6																																																																																							
CASE 2-3	陸側 2-3km	33.7	49.8	64.4	79.1	94.2																																																																																							
CASE 2-4	陸側 3-4km	32.7	48.7	62.2	75.5	88.8																																																																																							
CASE 2-5	陸側 4-5km	33.0	49.3	63.4	77.1	90.9																																																																																							
CASE 2-6A	海側 0-1km	37.2	54.0	70.0	86.3	102.7																																																																																							
CASE 2-6B	海側 0-1km (陸側0-1km被害長さ考慮)	44.8	61.4	78.0	94.8	110.2																																																																																							

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>響評価ガイド(案)及び解説』には、以下のような記述がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 【発生数】データ数確保の観点から、それぞれの竜巻の発生地点と消滅地点の2点を直線で結び、直線が複数の細分化した地域に跨る場合は全ての細分化地域で竜巻が発生したとする。</li> <li>✓ 【竜巻風速・幅・長さ・移動方向】確率分布は、データ数確保の観点から、竜巻検討地域全体で評価する。竜巻の発生地点と消滅地点が竜巻検討地域外であっても、その2点を結ぶ直線が竜巻検討地域を通過するあるいは接する場合は、竜巻検討地域に属するものとする。</li> </ul> <p>このようなガイドや解説の考え方にに基づき、竜巻検討地域(±5km範囲)を通過する竜巻も発生数にカウントするだけでなく、1.では1kmごとの短冊領域についても通過数を発生数にカウントして評価を行っている。</p> <p>通過数を発生数と見なす方法や、1kmごとの短冊領域でハザードを求める考え方には問題点が多い。ここでは、以下の3つの視点からその問題点を考察する。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wen and Chu モデルの理論的仮定との不整合</li> <li>2. 発生数と通過数の関係</li> <li>3. 竜巻データベースの質</li> </ol> <p>2.1 Wen and Chu モデルの物理的な意味</p> <p>Wen and Chu の確率論的なモデルでは、直径 <math>D_0</math> の円形構造物に対して、1つの竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる面積 <math>DA(V_0)</math> の期待値 <math>E[DA(V_0)]</math> は以下で表される。</p> $  \begin{aligned}  E[DA(V_0)] = & \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\  & + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{2\pi} W(V_0) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha \\  & + (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV  \end{aligned}  \tag{1}  $ <p>ここで、<math>V</math>, <math>w</math>, <math>l</math>, <math>\alpha</math> は、それぞれ竜巻の最大風速、幅、長さ及び移動方向である。また、<math>f(x, y, z)</math> は <math>x, y, z</math> の同時確率密度分布、</p>			

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>W(V<sub>0</sub>)は幅方向の補正率である。</p> <p>式(1)において竜巻長さ L を 0～∞まで積分していることから分かるように、Wen and Chu のモデルでは、面的に一様な竜巻パラメータ (同時確率密度分布) を持つ無限に広い領域を想定している。ただし、出現確率が非常に低ければ寄与率は無視できるため、無限に広い領域あるいは無限大の長さの竜巻を考える必要はない。しかし、結果に影響を与える竜巻の長さの範囲内では場の均一性を確保しておく必要がある。海岸線から 1km ほどの短冊に区切って竜巻パラメータを求めハザードを計算することは、そのパラメータ特性が陸側・海側の両方に広い範囲で続いていることを想定していることになる。</p> <p>竜巻長さの評価は、風速とともに、ハザードの評価に最も大きな影響を与えるため、非常に狭い範囲で評価された竜巻パラメータを使用する事は問題が大きい。</p> <p>2.2 発生数と通過数の関係</p> <p>無限に広い領域を帯状に区切った図 2.1 のような領域を想定し、点 0 で発生した長さ L の竜巻の移動を考える。それぞれの方向 (<math>\theta = 0</math> 度の方向 (海岸線を想定) は帯状の領域に平行, <math>\theta = 90</math> 度の方向 (図の上向き) に x 軸) へ移動する確率は同様であると仮定した場合, x 軸方向への移動距離 x/L について示した結果を図 2.2 に示す。竜巻長さが 1.6km 程度 (沿岸±5km での竜巻長さ平均値 (疑似データ)) であれば, 海岸線から 1km 以上離れた場所に到達する確率は 0.5 程度, 0.5km 離れた場所に到達する確率は 0.8 程度もある。図 2.1 は竜巻移動方向が半円内で同様とした場合であるが, <math>\theta = 90</math> 度の方向に移動方向が集中していれば, 通過確率は更に高くなる。また区間を短くすればするほど, 移動距離の長い竜巻ほど, 見かけの発生密度の増加は顕著になり, ハザードを必要以上に過大に評価することにつながる。</p>			

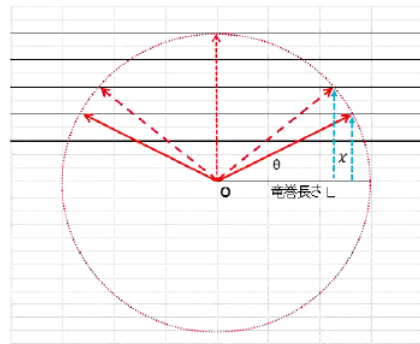


図 2.1 竜巻の発生と移動の概念図

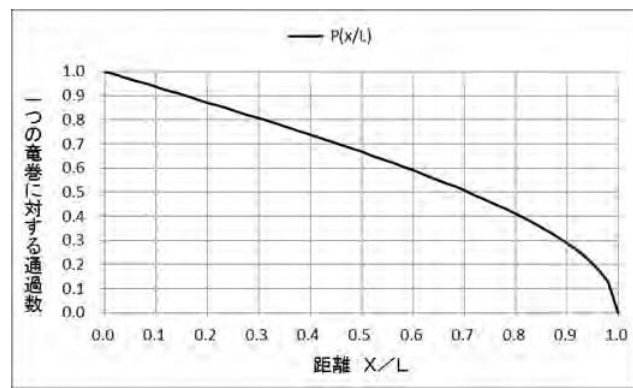


図 2.2 帯状領域での竜巻の通過数

### 2.3 竜巻データベースの質

上陸竜巻（水上で発生し、その後上陸した竜巻）の場合、その発生場所の緯度・経度は陸上を指す場合が多く、上陸地点若しくは被害の発生地点（陸上）がデータベースに記されているものと考えられる。即ち、上陸竜巻の多くは、本当の発生位置（海上）を特定することは難しい。このような竜巻に関しては、海岸から1km 以内の海側<sup>1</sup>で発生したものとするとともに、上陸後の竜巻パラメータ（F スケール、被害長さ、被害幅）を解析に用いている。

一方、沿岸域を1km ごとの短冊領域で評価する場合は、発生・消滅場所の緯度・経度情報から短冊内での発生数と通過数及び短冊内の竜巻長さ（セグメントの長さ）を解析することになる。上陸竜巻の緯度・経度情報は、多くの場合、海側を指していないため、陸側の F スケールや竜巻幅は分かっているが、海側のセグメントの長さを評価することができない。

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>一方、水上（上陸せず）の竜巻は、緯度・経度情報からセグメントの長さを求めることは可能であるが、逆にFスケールや幅等のパラメータは不明である。さらに、目撃情報をもとにした発生・消滅位置の緯度経度から求めた竜巻長さと、陸上での実際の被害域から求めた竜巻長さととは質的に異なるデータである。</p> <p>また、海上竜巻の緯度・経度情報の精度についても、陸上竜巻の場合、その誤差は±1秒と非常に小さいが、海上竜巻の場合には±10～±30秒程度のものが多く、竜巻によっては±1分というものもある。一般に、沖合になればなるほど誤差範囲は大きくなり、沖合5kmでは±2～±3分の誤差範囲と記されたデータも少ない。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p><sup>1</sup> 海岸線を通じた竜巻と位置づけるのが正しいが、沿岸部を発生位置としている。沿岸部での発生数が多い一因とも言える。</p> </div> <p>2.4 発生数・同時確率密度分布・ハザードの関係</p> <p>竜巻の(年平均)発生数<math>\nu</math>、同時確率密度分布<math>f(x, y, z)</math>、及び竜巻ハザード(1年間にいずれかの竜巻により<math>V_0</math>以上の被害を受ける確率<math>P_{V_0}(D)</math>)の関係について整理する。竜巻のハザード<math>P_{V_0}(D)</math>は、竜巻の年平均発生数<math>\nu</math>と次の関係にある。</p> $P_{V_0}(D) \approx \nu R(V_0) = \nu \frac{E[DA(V_0)]}{A_0} \quad (2)$ <p>即ち、竜巻の場合、ハザードは年平均発生数<math>\nu</math>、<math>E[DA(V_0)]</math>に比例し、竜巻検討地域の面積<math>A_0</math>に反比例する。</p> <p>1km幅の短冊では<math>A_0</math>が1/10になるため、(<math>E[DA(V_0)]</math>は一定とすると)<math>\nu</math>が1/10近くにない限りかなり大きなハザードを与える。</p> <p>被害面積期待値<math>E[DA(V_0)]</math>は、竜巻風速、被害幅、被害長さ及び移動方向がそれぞれ無相関だと仮定すると、次式で近似できる。</p> $E[DA(V_0)] \approx (1 - F(V_0)) \times \left[ \bar{w} \bar{l} + D_0 \bar{l} + \bar{w} D_0 + (\pi D_0^2 / 4) \right] \quad (3)$ <p>即ち、被害面積期待値は、風速の超過確率<math>(1 - F(V_0))</math>に比例する。また、上式の第1項、第2項の寄与度が大きいので、平均被害長さ1にもほぼ比例する。1km幅の短冊の場合、被害長さ1を</p>			

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>全長で取ると、(式(2)も考慮すると)非常に大きなハザードとなる。</p> <p>同時確率密度分布 <math>f(x, y, z)</math> は、竜巻パラメータが <math>x, y, z</math> となる一つの竜巻の出現確率を表している。したがって、<math>N</math> 個の竜巻があった場合、それらの竜巻のパラメータの出現割合 (<math>N</math> 個に対する割合)のみが確率分布に反映され、個数 <math>N</math> は平均値 <math>\nu</math> を通じてハザードに反映される (式(2)参照)。</p> <p>日本の場合、沿岸部で竜巻の発生数(含む上陸数)は多いが、比率的には F スケールの小さなものが支配的である。一方、内陸部(例えば陸側 4~5km)では発生数は少ないが、相対的に F スケールの大きな竜巻の比率が大きい。しかも、F スケールの大きな竜巻は沿岸部から移動してくるため、通過竜巻も考慮したハザードは予想以上に厳しくなることがある。</p> <p>2.5 まとめ</p> <p>1km ごとの短冊でハザードを求めることは、Wen and Chu の数学的モデルが仮定している条件を満足していない。また、Wen and Chu のモデルは、一つの竜巻の出現確率(同時確率密度分布)に基づくものであり、竜巻パラメータに応じた通過数は必然的に満足されている。したがって、通過数を発生数と見なすことは、発生数を過剰に評価することになる。</p> <p>短冊の区間を短く取れば取るほど、あるいは竜巻長さが長くなればなるほど、通過数を考慮した発生数の密度は高くなるという不合理性を有している。通過数は、定常な状態では一定値になることから、場の均一性を確認するために使用すべきであり、発生数と混同してはならない。</p> <p>海上竜巻の緯度・経度情報をもとに、1km 刻みで海上竜巻を精度良く解析することは困難である。一方で、近年、海上竜巻が数多く観測・目撃されていることを考えると、その影響は考慮すべきと考える。観測精度やデータの質等を勘案すると、海域 5km 程度の範囲内での海上竜巻の発生数を考慮しつつ、海上竜巻の特性を陸上竜巻の特性で代用する手法は妥当なものであると考える。</p> <p>また、海岸線から±5km の範囲は、F2 クラスの竜巻長さの平均値及びばらつき(平均値 2.967km, 標準偏差 3.205km)を考慮しても、Wen and Chu のモデルの適用範囲内にあると考える。</p>			



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>付録1 対数正規分布について</p> <p>平均値 <math>\mu</math> , 標準偏差 <math>\sigma</math> の正規分布は次式で表される。</p> $p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (\text{付1.1})$ <p>ここで、確率変数 <math>X</math> の自然対数を取った変数が、正規分布で表されるとき、<math>X</math> は対数正規分布に従うと言う。</p> $p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln}^2} x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_{\ln}}{\sigma_{\ln}}\right)^2\right] \quad (\text{付1.2})$ <p>上式中の <math>\mu_{\ln}</math> , <math>\sigma_{\ln}</math> は <math>\ln(x)</math> の平均値と標準偏差であり、変数 <math>x</math> の平均値 <math>\mu</math> や標準偏差 <math>\sigma</math> とは以下の関係にある。</p> $\sigma_{\ln}^2 = \ln(CV^2 + 1) \quad (\text{付1.3})$ $\mu_{\ln} = \ln(\mu) - \frac{\sigma_{\ln}^2}{2} \quad (\text{付1.4})$ <p>ここに、<math>CV</math> は変動係数 (<math>= \sigma / \mu</math>) である。</p> <p>即ち、対数正規分布とは、変数 <math>x</math> を対数変換したものが正規分布で表される場合に使用され、大きな値が希に出現するような現象を表す場合に適合度が良くなる。</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】 島根2号炉は、「2.3.4.1」の内容を補足するため、対数正規分布鶴について記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7 号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1733 256 2196 285"><u>付録2 2変量の確率分布関数について</u></p> <p data-bbox="1757 344 2504 512">確率変数 X, Y があり, それぞれの確率分布が <math>f(x)</math>, <math>f(y)</math> で表されるとする。また, X, Y の同時確率分布を <math>f(x, y)</math> とする。例えば <math>x</math> を竜巻風速, <math>y</math> を竜巻幅とすると, 同時確率分布 <math>f(x, y)</math> とは, 風速 50m/s, 幅 100m の竜巻が発生する確率などを表す。</p> <p data-bbox="1757 525 2504 600">風速と竜巻幅の間に相関が無い場合は, 同時確率分布はそれぞれの分布形の積で表すことができる。</p> $f(x, y) = f(x) \times f(y) \quad (\text{付 2. 1})$ <p data-bbox="1757 655 2504 915">一方, 両者の間に相関がある場合, 例えば, 風速が大きいほど (F スケールが大きいほど) 竜巻の被害幅も大きくなるような場合には, 相関係数を考慮する必要がある。この相関関係の有無により, 同時確率分布は付図 1 のように変化する。なお, 同時確率分布を <math>x</math> あるいは <math>y</math> について積分した結果は, 以下のようになる。</p> $\int f(x, y) dx = f_1(y)$ $\int f(x, y) dy = f_2(x)$ $\iint f(x, y) dx dy = 1$ <p data-bbox="1757 1104 2410 1134">ここに, <math>f_1(y)</math>, <math>f_2(x)</math> は <math>x</math>, <math>y</math> の 1 変量確率分布である。</p> <div data-bbox="1768 1163 2469 1394"> </div> <p data-bbox="1881 1419 2338 1449">(a) 2変量の正規分布 (無相関の場合)</p> <div data-bbox="1768 1478 2469 1709"> </div> <p data-bbox="1881 1734 2350 1764">(b) 2変量の正規分布 (相関がある場合)</p> <p data-bbox="1881 1780 2350 1810">付図 1 2変量確率分布に関する説明図</p>	<p data-bbox="2534 256 2813 554">・資料構成の相違 【柏崎 6/7, 東海第二】 島根 2 号炉は, 「2.3.4.5」の内容を補足するため, 2変量の確率分布関数について記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>【参考資料 4】 短冊ケース海側 0-1km の評価方法について</p> <p>1. はじめに 海側の竜巻発生位置は不明な場合が多く、セグメント長さが精度良く求められないため、海側 0-1km のセグメント長さの評価に陸側 0-1km 短冊の値等を代用する方法を用いて評価した。</p> <p>2. 海側 0-1km 短冊でのセグメント長さの設定 海側 0-1km のセグメント長さは、竜巻特性が最も類似している隣接する陸側 0-1km 短冊での値で代用するのが合理的であると考えられる (CASE 2-6B~6D)。 一方、図 2.1 の上陸竜巻の発生位置から推察されるように、陸側 0-1km 短冊のセグメント長さは過小評価されている可能性がある。そこで、発生位置が海側あるいは海岸線にない上陸竜巻については、その発生位置を海岸線にまで外挿し、陸側 0-1km のセグメント長さ (表 2.1 の右端の欄参照) を保守的に評価し (CASE 3-1), それを用いて海側 0-1km のハザードを評価した (CASE 3-2)。 上陸竜巻の場合、海側の発生位置は明確ではないが、全ての上陸竜巻が海側 0-1km 短冊を通過したとする極端な場合を想定し、移動経路を海側 1km まで外挿した場合のセグメント長さも参考のために求め、海側に発生位置がある上陸竜巻はその発生位置を真とし、陸側に発生位置がある場合のみ海側 1km を発生位置とした場合を、外挿混合と呼び、セグメント長さの比較を行った (表 3.1 の参考欄を参照)。</p>			<p>(島根 2号炉は、短冊ケースの評価方法について「2.3.6.2」及び「2.3.6.3」で記載)</p>

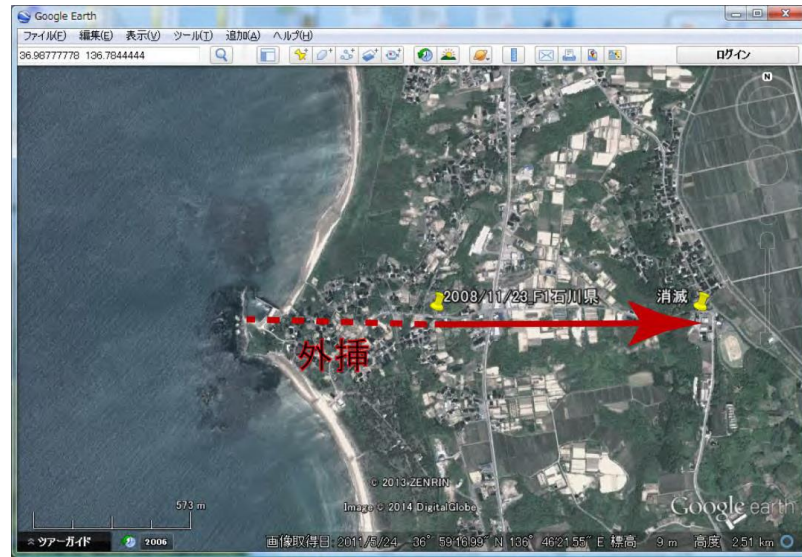


図 2.1 上陸竜巻のデータベース上の発生・消滅位置の一例 (2008/11/23 の竜巻)

表 2.1 竜巻検討地域の竜巻データ一覧と 1km 短冊でのセグメント長さ

日本海	発生日時	発生場所	発生位置	R	短冊数	竜巻径	海側0-1km短冊のセグメント長さ (km)					陸側0-1km短冊のセグメント長さ (km)					上陸竜巻の外挿										
							4-5km	5-6km	6-7km	7-8km	8-9km	0-1km	1-2km	2-3km	3-4km	4-5km	最大値	最小値									
1	19750531 18:10	鳥取県 鳥取市	35.433 132.628	2	1.0	50	OL											1.139	1.139	1.209							
2	19890316 19:20	鳥取県 鳥取市	35.4 132.667	2	-999	-999	OL											-999	-999								
3	19900406 2:55	石川県 羽咋郡富田町	37.203 136.682	2	10	900	OL											1.023	1.053	1.259	1.129	0.807	1.301	0	1.023		
4	19741003 19:05	北海道 苫小牧市	42.189 139.517	1.5	-999	-999	OL																				
5	19991125 15:40	秋田県 八森町	40.347 140.027	1.5	1	100	OL																				
6	19680108 9:50	新潟県 中環城郡大浜	37.223 138.323	1	-999	-999	OL																				
7	19690423 9:00	山口県 阿武郡清海町	34.625 131.605	1	6.5	200	OL																				
8	19721121 17:05	岡山県 倉敷市	36.891 137.416	1	-999	-999	OL																				
9	19920917 9:05	北海道 増毛町	43.847 141.499	1	-999	20	OL																				
10	20010601 13:20	青森県 西津軽郡青森	40.535 139.946	1	0.8	150	OL																				
11	20040819 12:10	北海道 礼文郡礼文町	45.466 141.034	1	-999	-999	OL																				
12	19750531 18:10	石川県 羽咋郡富田町	36.832 136.746	0.5	2	30	OL																				
13	19750531 18:10	鳥取県 鳥取市	35.433 132.633	0.5	1.3	50	OL																				
14	19791031 13:00	石川県 羽咋郡富田町	37.139 136.684	0.5	-999	20	OL																				
15	20000923 14:20	岡山県 下野川郡野村	36.971 137.054	0.5	2	300	OL																				
16	20081123 10:20	石川県 羽咋郡志賀町	36.988 136.774	0.5	1	150	OL																				
17	20081015 13:48	新潟県 新潟市	37.889 138.918	0	2	10	OL																				
18	20081030 12:28	鳥取県 鳥取市	35.584 134.935	0	0.8	3	OL																				
19	20091030 7:26	青森県 西津軽郡深浦	40.505 139.999	0	0.1	30	OL																				
20	20100917 10:55	新潟県 長岡市	37.634 138.76	0	2.8	150	OL																				
21	20101015 6:26	石川県 羽咋郡志賀町	37.168 136.676	0	0.1	20	OL																				
22	20101015 17:05	新潟県 取内市	38.058 139.323	0	0.8	200	OL																				
23	20101017 12:45	秋田県 山本郡八幡町	40.381 138.995	0	0.5	100	OL																				
24	20101227 1:25	石川県 羽咋郡志賀町	37.018 136.744	0	0.1	30	OL																				
25	19780814 10:48	北海道 釧路市	43.093 141.832	-999	1.2	20	OL																				
26	19990908 15:52	北海道 釧路市	43.951 141.832	-999	0	0	OL																				
27	19960905 10:20	秋田県 山本郡八幡町	39.255 139.9	-999	0	0	OL																				
28	20090423 18:23	山形県 鶴岡市	38.611 139.074	-999	-999	-999	OL																				
29	20090823 18:11	山形県 鶴岡市	38.604 139.065	-999	-999	-999	OL																				
30	20091004 12:50	秋田県 秋田市	39.685 140.074	-999	-999	-999	OL																				
31	20091027 13:16	新潟県 新潟市	37.685 137.621	-999	-999	-999	OL																				
32	20101015 7:16	北海道 釧路市	43.384 141.832	-999	0.1	20	OL																				

3. 竜巻パラメータの推定結果及び竜巻ハザードの推定結果

ハザードの計算条件を表 3.1 に示す。また、ハザードの推定結果を図 3.1 及び表 3.2 に示す。陸側 0-1km の長さで代用した場合 (CASE 2-6B) は、ハザードの風速は 58.4m/s と ±5km ケースとほぼ同じとなる。

海側 0-1km のハザードは、不確実性が最も大きな短冊であり、そのセグメント長さの取り方によって結果が 59~62m/s の範囲となるが、いずれにおいても  $V_B (=76m/s)$  を上回らない。

表 3.1 竜巻ハザードの計算条件

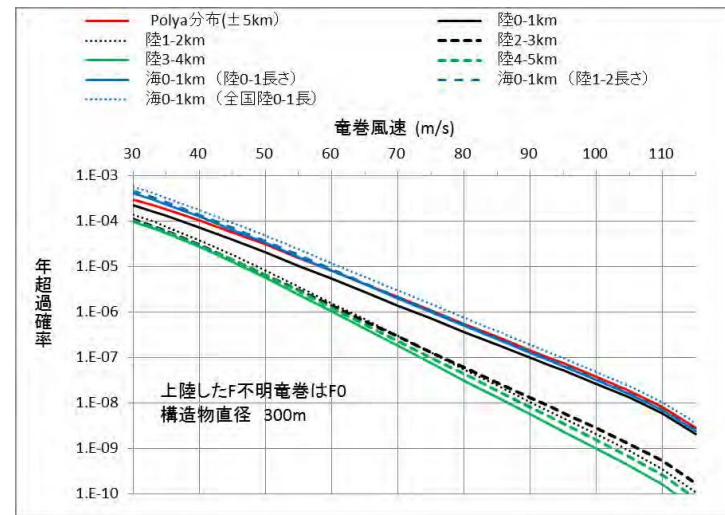
検討ケース	竜巻検討地域 (日本海側±5km)	統計量	発生数 (個)	風速 (m/s)	幅 (m)	長さ (m)	相関係数					
							U~W	U~L	W~L			
CASE 1A-1	±5km (V-様分布)	平均値 標準偏差	23.05 8.97	28.6 9.4	121 131	1607 2697	(0.05)	0.31	0.46			
CASE 2-1	陸 0-1km	平均値 標準偏差	4.41 3.40	28.5 9.7	128 154	632 448	同上 (検討地域±5kmの値を 代用)					
CASE 2-2	陸 1-2km	平均値 標準偏差	1.90 2.17	29.4 8.6	197 173	766 434						
CASE 2-3	陸 2-3km	平均値 標準偏差	1.98 1.58	28.1 8.8	174 180	684 366						
CASE 2-4	陸 3-4km	平均値 標準偏差	1.09 0.79	30.6 8.6	213 216	861 310						
CASE 2-5	陸 4-5km	平均値 標準偏差	0.87 0.99	31.3 9.0	299 247	1029 132						
CASE 2-6A	海 0-1km	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	65 183						
CASE 2-6B	海 0-1km (陸0-1km長さ)	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	632 448						
CASE 2-6C	海 0-1km (陸1-2km長さ)	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	766 434						
CASE 2-6D	海 0-1km (全国陸0-1km長さ)	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	898 810						
CASE 3-1	陸 0-1km (外挿)	平均値 標準偏差	4.41 3.40	28.5 9.7	128 154	703 582						
CASE 3-2	海 0-1km (陸0-1km外挿長さ)	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	703 582						
参考	海側 0-1km 外挿混合	平均値 標準偏差	8.99 4.93	28.0 9.3	100 120	874 574						

(注)風速のゴシックは、風速を F スケール内の一様分布で推定。

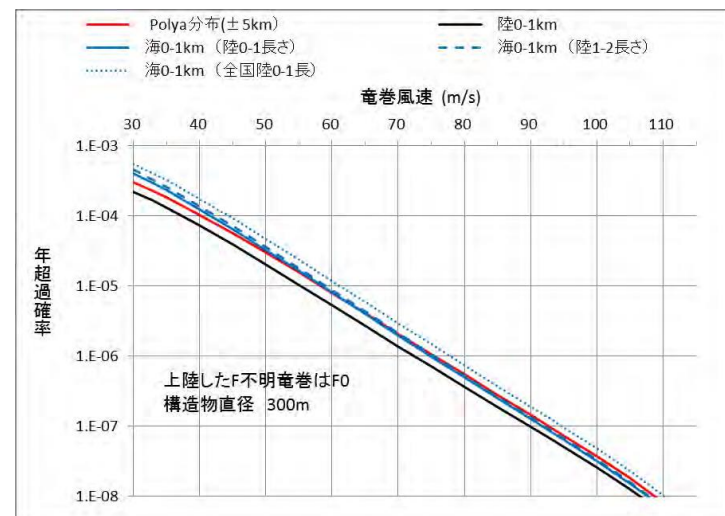
その他は中央値。

(注)相関係数の赤字は負の相関を表す。負の相関の場合は、無相関 (=0) とする。

1km 短冊の相関係数は、±5km 領域での値を代用。



(a) 短冊領域のハザード比較



(b) 海岸線付近のハザード比較

図 3.1 短冊領域におけるハザードの推定結果



表 3.2 超過確率に対応した竜巻風速

検討ケース	柏崎刈羽原子力発電所 【建物直径 300m】	超過確率(Polya)に対応する風速				
		1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-08
CASE 1A-1	±5km (V-様分布)	40.3	58.3	75.4	92.7	108.7
CASE 1A-2	±5km (V 中央値)	38.8	53.6	67.1	80.4	93.9
CASE 2-1	陸側 0-1km	37.2	55.2	72.4	89.9	106.6
CASE 2-2	陸側 1-2km	32.7	48.7	62.6	76.4	90.3
CASE 2-3	陸側 2-3km	30.6	47.2	62.0	76.6	91.6
CASE 2-4	陸側 3-4km	---	46.4	60.1	73.3	86.5
CASE 2-5	陸側 4-5km	30.1	47.1	61.2	74.9	88.6
CASE 2-6A	海側 0-1km	32.1	49.7	65.8	82.0	98.6
CASE 2-6B	海 0-1km (陸0-1km長さ)	41.6	58.4	74.9	91.7	107.7
CASE 2-6C	海 0-1km (陸1-2km長さ)	42.4	59.0	75.4	92.1	108.0
CASE 2-6D	海 0-1km (全国陸0-1km長)	44.3	61.1	77.8	94.7	110.2
CASE 3-1	陸 0-1km (外挿)	38.1	56.0	73.2	90.6	107.2
CASE 3-2	海 0-1km (陸0-1km外挿)	42.6	59.5	76.0	92.9	108.7

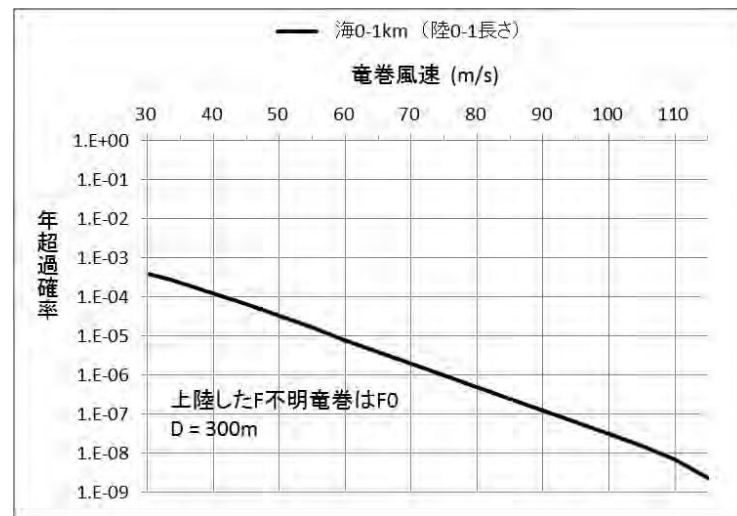


図 3.2 竜巻検討地域における海側 0-1km のハザード (CASE 2-6B)

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>【参考資料5】 竜巻ハザードの推定幅（推定誤差）に関する考察</p> <p>1. はじめに 自然現象評価では、不確実さの存在を認識することが重要であるため、竜巻ハザードに関わる不確実さ要素について以下のとおり整理した。</p> <p>① 確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ） 確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ ⇒2.1 節で検討</p> <p>② データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ） データ収集期間が 51.5 年間分であることから、地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ ⇒2.1 節, 2.2 節で検討</p> <p>③ データの不確実さ（偶然的な不確実さ） 今後データ収集が進み、疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る、データそのものの不確実さ ⇒2.1 節で検討</p> <p>これらの不確実さ要素がハザード評価に及ぼす影響について検討する。</p> <p>2. 不確実さ要素の影響検討 2.1 竜巻パラメータとハザードの推定誤差 (①, ②, ③) 疑似データ 1187 個の竜巻データに対して、Jackknife 法を適用した。Jackknife 法は水文統計分野で広く使用される手法で、国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても、確率分布モデルのバイアスを補正するとともに、その安定性を評価する手法として挙げられている。母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり、高い適用性をもつ。Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の</p>	<p>9. 竜巻ハザードの不確かさの検討</p> <p>竜巻検討地域は竜巻についての過去観測データが少なく、統計処理として必ずしも十分ではない可能性も考えられることから、竜巻ハザードの不確かさ要素について、以下の検討を実施した。</p> <p>① 確率分布形選択に伴う不確実さ（認識論的不確実さ） 確率分布形選択に伴うパラメータ不確実さ …Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討</p> <p>② データ量が少ないことに伴う不確実さ（認識論的不確実さ） データ収集期間が 51.5 年間分であることから、地震等と比較するとデータ量が少ないことに伴うパラメータ不確実さ …F 3 竜巻が 1 つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへ与える影響の検討</p> <p>③ データの不確実さ 今後データ収集が進み、疑似データ同様のデータが収集されたとした場合でも残る、データそのものの不確実さ …疑似データ無しの場合の解析</p> <p>(1) Jackknife 法を用いたハザードの推定誤差の検討 a. Jackknife 法について Jackknife 法は母集団分布を仮定しないノンパラメトリックな方法であり、高い適用性をもつ。また、国土交通省が定める河川行政の技術分野に関する基準である「河川砂防技術基準」においても、確率分布モデルのバイアスを補正するのに用いられている。 Jackknife 法は大きさ n 個の標本のうち i 番目の 1 データのみを欠いたデータ数 n-1 個の標本を全ての i について作</p>		<p>(島根 2 号炉は不確実さの評価について「別添 2-1 2.3.8」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1 データのみを欠いたデータ数 n-1 個の標本を全ての i について作成し (n セット作成することになる), これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。(具体的な計算方法は後述)</p> <p>n 個の全データを使って求められた再現期待値 (例えば風速平均値の場合, n セットの風速平均の平均) を <math>P_0</math> とすると, バイアス補正した推定値 (以下, Jackknife 推定値という) <math>P^*</math> とその標準偏差の推定値 (以下, Jackknife 推定幅という) <math>\Delta P^*</math> は次式で与えられる。</p> $P^* = P_0 + \frac{(n-1)(P_0 - \bar{P})}{n} \quad (1)$ $\Delta P^* = \sqrt{n-1} \Delta P \quad (2)$ <p>ここで, <math>P</math> は分布を仮定した場合の推定値 (以下, 単に推定値という), <math>\Delta P</math> は n セットの風速平均データの標準偏差, 式(1)の下線部がバイアスと呼ばれ, 母数の真の値と推定値の差である。</p> <p>本検討で得られた結果を表 1 に示す。</p> <p>例えば風速の平均値の場合, Jackknife 推定値は 28.622m/s であり, 対数正規分布を仮定した場合の推定値 28.591m/s とほぼ同じである。また, Jackknife 推定幅は 0.236m/s と推定される<sup>1)</sup>。</p> <p>これらの平均値と標準偏差, 及びそれぞれの推定幅をもとに, 全てのパラメータを <math>+1\sigma</math> とした場合のハザードを計算した。計算条件の一覧を表 2 に示す。また, ハザードの推定結果を図 1, 図 2, 及び表 3 に示す。</p> <p>図 1 よりデータの変動に伴うバイアス誤差は小さいことが確認できる。(①, ②の不確かさ推定)</p> <p>ハザードについては表 3 より, サンプル誤差に伴う不確か</p>	<p>成し, これらの標本から求めた統計量をもとに不偏推定値及びそのまわりの推定誤差を算定する手法である。算定式を以下に示す。</p> $P^* = P_0 + \frac{(n-1)(P_0 - \bar{P})}{n} \quad (1)$ $\Delta P^* = \sqrt{n-1} \Delta P \quad (2)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>P_0</math> : n 個の全データを使って求められた再現期待値 (例えば風速平均値の場合 n セットの風速平均の平均)</li> <li>• <math>P^*</math> : バイアス補正した推定値 (以下「Jackknife 推定値」という。)</li> <li>• <math>\Delta P^*</math> : <math>P^*</math> の標準偏差の推定値 (以下「Jackknife 推定幅」という。)</li> <li>• <math>\bar{P}</math> : 分布を仮定した場合の推定値 (以下「推定値」という。)</li> <li>• <math>\Delta P</math> : n セットの風速平均データの標準偏差</li> <li>• (1) 式の下線部: バイアス (母数の真の値と推定値の差)</li> </ul> <p>b. 検討結果</p> <p>Jackknife 法を適用した特性値及びこれらの平均値と標準偏差及びそれぞれの推定幅を基に全てのパラメータを <math>+1\sigma</math> とした場合のハザードを計算した。特性値の評価結果を第 9-1 表に, また, ハザードの推定結果を第 9-2 表及び第 9-1 図に示す。</p> <p>ここで, 標準ケースとは, ここまでに評価した 10 km 幅のハザード評価結果を示す。</p> <p>ハザード評価の結果, 年超過確率 <math>10^{-5}</math> に相当する風速は, Jackknife 法によるバイアス補正後で 73m/s となり,</p>		

さについて信頼度 84%をカバーする値として、年超過確率  $10^{-5}$  において 59.72m/s であると言える。(③の不確かさを考慮)

表1 Jackknife 法により得られた竜巻パラメータの特性

日本海 疑似データ1187個	風速(U)		幅(W)		長さ(L)		相関係数		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	U~W	U~L	W~L
平均	28.591	9.391	123.0	130.3	1607.1	2697.4	0.0210	0.2892	0.4928
標準偏差	0.007	0.008	0.1	0.2	2.3	5.5	0.0009	0.0008	0.0007
全データ	28.591	9.391	123.0	130.3	1607.1	2697.4	0.0210	0.2892	0.4928
バイアス	-0.031	-0.042	0.2	0.0	-0.5	-6.3	0.0404	0.0332	0.0200
Jackknife 推定値	28.622	9.433	122.8	130.3	1607.6	2703.7	-0.0194	0.2560	0.4728
Jackknife 推定幅	0.236	0.270	3.8	6.7	78.3	188.3	0.0321	0.0284	0.0235

表2 ハザードの計算条件

ケース名	統計量	発生数	風速(U)	幅(W)	長さ(L)	U~W	U~L	W~L
基本(全データ)	平均	23.049	28.591	122.977	1607.077	0.0210	0.2892	0.4928
	標準偏差	8.972	9.391	130.320	2697.369			
バイアス補正後	平均	23.049	28.622	122.807	1607.573	-0.0194	0.2560	0.4728
	標準偏差	8.972	9.433	130.350	2703.693			
風速・幅・長さ・相関 (+1σ)	平均	23.049	28.858	126.591	1685.861	0.0128	0.2844	0.4964
	標準偏差	8.972	9.703	137.088	2891.977			

注) 発生数の平均と標準偏差は、疑似データの値を使用。  
注) 負の相関係数は0と置く。

<sup>1</sup> 疑似データの場合、Fスケールの小さな竜巻の割合が多く、幅や長さの変動が小さくなる。

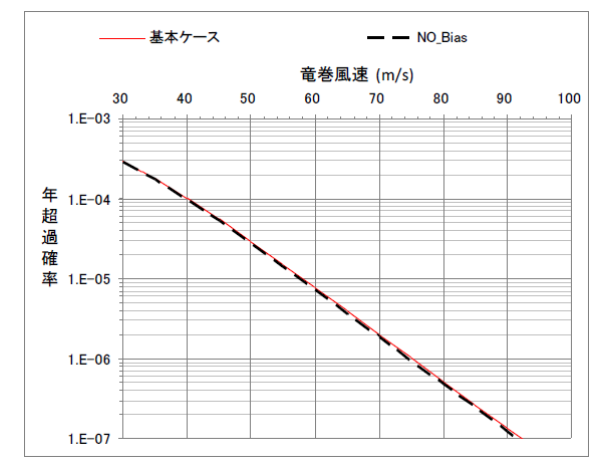
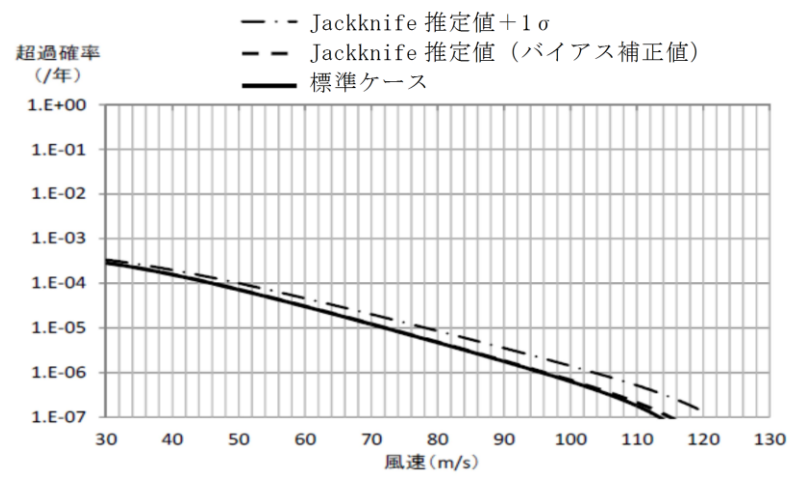


図1 基本ケースとバイアス補正後ケースのハザード算定結果比較

標準ケースの 73m/s と同じ風速になった。また、サンプリング誤差に伴う不確かさについては (バイアス補正值+1σ), 年超過確率  $10^{-5}$  において 79m/s となった。

第9-1表 Jackknife 法による特性値の評価結果

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	V-W	V-L	W-L
サンプル数	1188	1188	1188	1188	1188	1188	163	170	161
全データによる値 P <sub>0</sub>	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
標本を一つ抜いた 平均値 ΔP	32.28	93.8	1.98	11.63	179.1	3.10	0.381	0.452	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.01	-1.4	-0.02	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P* (バイアス補正值)	32.28	93.8	1.98	11.64	180.5	3.12	0.382	0.453	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP*	0.34	5.2	0.09	0.36	21.8	0.34	0.065	0.057	0.077
P* + ΔP* (バイアス補正值+1σ)	32.62	99.0	2.07	12.00	203.0	3.47	0.447	0.510	0.462



第9-1図 標準ケースと Jackknife 推定値ケース, Jackknife 推定値+1σ ケースのハザード算定結果の比較

第9-2表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	標準ケース	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正値)	P* + ΔP* (バイアス補正値 + σ)
領域面積 (km <sup>2</sup> )	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	1188	1188
被災確率 (個/年/km <sup>2</sup> )	4.05E-04	4.05E-04	4.05E-04
風速平均値 (m/s)	32.28	32.28	32.62
風速標準偏差 (m/s)	11.64	11.64	12.00
被害幅平均 (km)	0.094	0.094	0.099
被害幅標準偏差 (km)	0.179	0.181	0.203
被害長さ平均 (km)	1.98	1.98	2.07
被害長さ標準偏差 (km)	3.10	3.12	3.47
相関係数 V-W	0.381	0.382	0.447
相関係数 V-L	0.452	0.453	0.510
相関係数 W-L	0.381	0.385	0.462
10 <sup>-5</sup> 年での最大風速 (m/s)	73	73	79

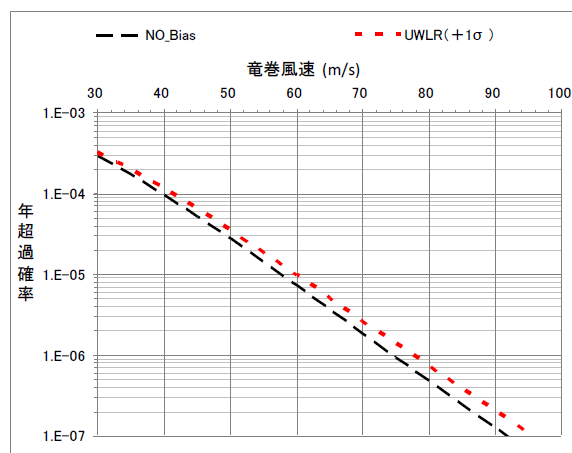


図2 バイアス補正後ケースと全パラメータ+1σ ケースのハザード算定結果比較

(2) F3竜巻の見落としを仮定した場合のハザードに与える影響

竜巻検討地域で、F3竜巻が1つ見落とされていたと仮定した場合のハザードへの影響を検討した。

データに、竜巻検討地域内で観測されたF3竜巻のうち最も被害幅、被害長さの大きい竜巻(被害幅2000m、被害長さ42km:1978年川崎市)を1つ加えて疑似データを作成した。これを基にハザードを推定したところ、年超過確率10<sup>-5</sup>に相当する風速は76m/sとなった。

ハザードの推定結果を、第9-2図に示す。

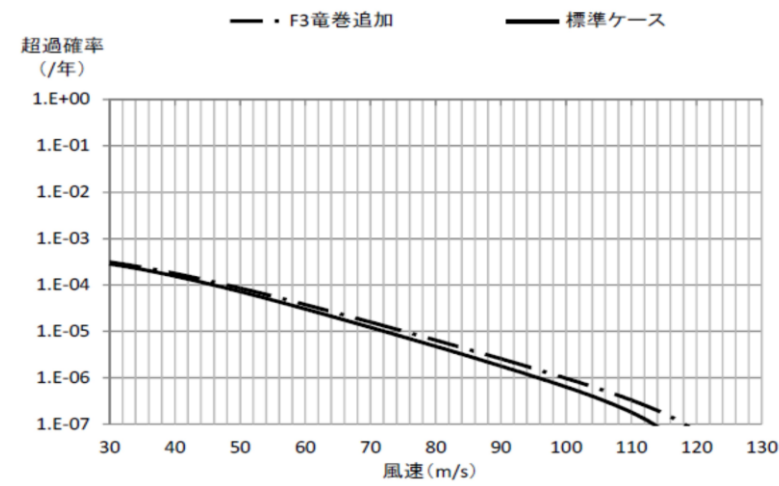
標準ケースと比較して、年超過確率10<sup>-5</sup>に相当する風速との差は3m/sであり、2つのケースに対して、有意な差は認められない。

表3 ハザード推定結果

ケース名	超過確率に対応する竜巻風速				バイアス補正後の竜巻風速との差			
	1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-04	1.E-05	1.E-06	1.E-07
基本(全データ)	40.15	58.02	75.06	92.25	0.47	0.56	0.61	0.64
バイアス補正後	39.68	57.46	74.45	91.61	-	-	-	-
風速・幅・長さ・相関(C+1σ)	41.16	59.72	77.56	95.49	1.48	2.26	3.11	3.88

<疑似データ無しの場合の解析>

疑似データの場合、F スケールの小さな竜巻の割合が多く、幅や長さの変動が小さくなる傾向がある。そのため、3種類の竜巻パラメータがすべて判明している52個の竜巻観測データのみを用いて同様の検討を実施した。即ち、観測データは均質なデータから成り、疑似データは存在しない。パラメータの推定結果を表4、計算条件の一覧を表5、ハザードの推定結果を図3、図4、及び表6に示す。疑似データの場合と比較して、Jackknife 推定幅は大きくなっていることがわかる。したがってハザードの推定幅についても大きくなる傾向があるものの、発生数の違い<sup>2</sup>を考慮し年超過確率 $10^{-6}$ の最大風速を見ても、幅は10m/s程度であることが確認できる。



第9-2図 標準ケースとF3竜巻発生を仮定した場合のハザード算定結果の比較

(3) 疑似データ無しの場合の解析

疑似データ有とした場合、F スケールの小さな竜巻の割合が多くなり、幅や長さの変動が小さくなる傾向がある。そのため、3種類の竜巻パラメータ(最大風速、被害幅及び被害長さ)が全て判明している161個の竜巻観測データのみを用いて同様の検討を実施した。

特性値の評価結果を第9-3表、ハザードの推定結果を第9-4表及び第9-3図に示す。疑似データ無し竜巻での年超過確率 $10^{-5}$ に相当する風速は、72m/sとなり、標準ケースの73m/sと有意な差は認められない。



表4 Jackknife 法により得られた竜巻パラメータの特性 (疑似データ無し)

日本海 生データ52個	風速		幅		長さ		相関係数		
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	U~W	U~L	W~L
平均	36.337	11.655	129.8	154.8	1815.4	2227.7	0.0023	0.3210	0.4399
標準偏差	0.226	0.143	3.0	6.5	43.3	59.7	0.0090	0.0168	0.0171
全データ	36.337	11.656	129.8	154.9	1815.4	2228.5	0.0000	0.3210	0.4399
バイアス	0.002	-0.045	0.0	-7.0	0.0	-40.7	0.1154	-0.0022	0.0006
Jackknife 推定値	36.335	11.700	129.8	162.0	1815.4	2269.3	-0.1154	0.3232	0.4393
Jackknife 推定幅	1.616	1.021	21.5	46.7	309.0	426.1	0.0645	0.1198	0.1221

表5 ハザードの計算条件 (疑似データ無し)

ケース名	統計量	発生数	風速	幅	長さ	U~W	U~L	W~L
基本(全データ)	平均	1.010	36.3365	129.769	1815.385	0.0023	0.3210	0.4399
	標準偏差		11.6550	154.791	2227.749			
バイアス補正後	平均	1.010	36.3346	129.759	1815.400	-0.1154	0.3232	0.4393
	標準偏差		11.7004	161.961	2269.288			
風速・幅・長さ・相関 (+1σ)	平均	1.010	37.9509	151.243	2124.444	-0.0510	0.4429	0.5614
	標準偏差		12.7212	208.638	2695.378			

<sup>2</sup> 発生数が少なくなるため、最大風速の年超過確率自体は小さくなる。

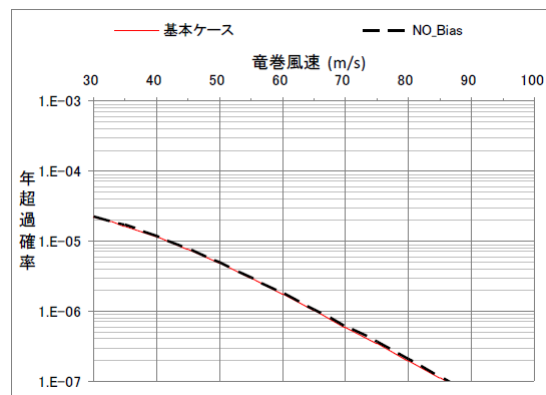


図3 基本ケースとバイアス補正後ケースのハザード算定結果比較 (疑似データ無し)

第9-3表 Jackknife 法による特性値の評価結果 (疑似データ無し)

項目	平均値			標準偏差			相関係数		
	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	最大風速 V (m/s)	被害幅 W (m)	被害長さ L (km)	V-W	V-L	W-L
サンプル数	161	161	161	161	161	161	161	161	161
全データによる値 P <sub>0</sub>	42.94	137.9	3.22	13.90	265.7	4.79	0.381	0.467	0.381
標本を一つ抜いた 平均値 ΔP	42.94	137.9	3.22	13.90	265.6	4.78	0.381	0.467	0.381
バイアス値	0.00	0.0	0.00	-0.07	-9.0	-0.15	-0.002	-0.001	-0.003
Jackknife 推定値 P* (バイアス補正値)	42.94	137.9	3.22	13.97	274.6	4.94	0.382	0.468	0.385
Jackknife 推定幅 ΔP*	1.10	21.0	0.38	0.83	65.8	1.14	0.066	0.057	0.077
P* + ΔP* (バイアス補正値 + 1σ)	44.04	158.9	3.60	14.81	340.4	6.08	0.448	0.525	0.462

第9-4表 ハザードの推定結果の比較表

ケース	不明竜巻含む	疑似データ無し竜巻		
	標準ケース	バイアス補正無し	Jackknife 推定値 P* (バイアス補正値)	P* + ΔP* (バイアス補正値 + σ)
領域面積 (km <sup>2</sup> )	57000	57000	57000	57000
想定総数 (個)	1188	161	161	161
被災確率 (個/年/km <sup>2</sup> )	4.05E-04	5.48E-05	5.48E-05	5.48E-05
風速平均値 (m/s)	32.28	42.94	42.94	44.04
風速標準偏差 (m/s)	11.64	13.95	13.97	14.81
被害幅平均 (km)	0.094	0.138	0.138	0.159
被害幅標準偏差 (km)	0.179	0.266	0.275	0.340
被害長さ平均 (km)	1.98	3.22	3.22	3.60
被害長さ標準偏差 (km)	3.10	4.80	4.94	6.08
相関係数 V-W	0.381	0.381	0.382	0.448
相関係数 V-L	0.452	0.467	0.468	0.525
相関係数 W-L	0.381	0.381	0.385	0.462
10 <sup>-6</sup> 年での最大風速 (m/s)	73	72	72	82

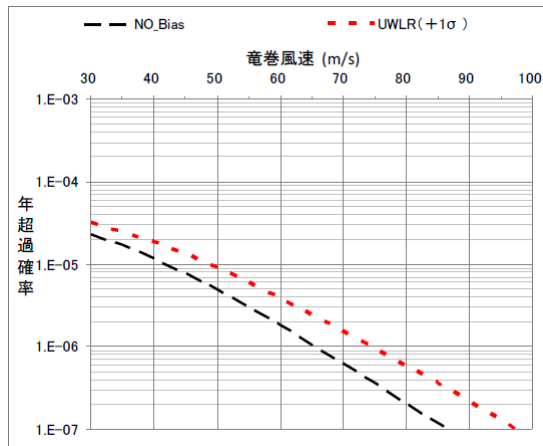


図4 バイアス補正後ケースと全パラメータ+1σ ケースのハザード算定結果比較 (疑似データ無し)

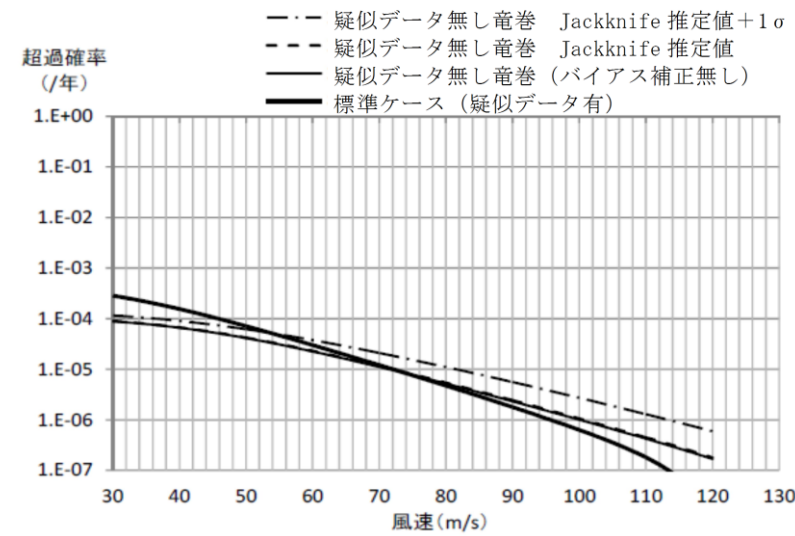
表6 ハザード推定結果 (疑似データ無し)

ケース名	超過確率に対応する竜巻風速			バイアス補正後の竜巻風速との差		
	1.E-05	1.E-06	1.E-07	1.E-05	1.E-06	1.E-07
基本(全データ)	41.77	65.26	85.98	-0.11	-0.25	-0.39
バイアス補正後	41.88	65.51	86.37	-	-	-
風速・幅・長さ・相関C <sub>r</sub> +1σ)	48.42	74.45	97.32	6.54	8.94	10.95

2.2 日本海側でのF3 竜巻がハザードに与える影響 (②)

日本海側ではF3 竜巻の観測事例は無いが、F3 竜巻が1つあったと仮定した場合(明日、F3 竜巻が発生した場合、あるいはF3 竜巻が1つ見逃されていた場合を考慮)のハザードへの影響を検討した。

データに、1999年9月24日に豊橋で観測されたF3 竜巻(長さ18km、幅550m)を一つ加えて疑似データを作成した<sup>3</sup>。日本海に多く見られる海上不明竜巻を陸上竜巻のFスケール比率で按分する影響で、F3 竜巻は疑似データ上4個となった。これをもとにハザードを推定したところ、年超過確率10<sup>-5</sup>に相当する風速は、62.2m/sに増加した。



第9-3図 標準ケース(疑似データ有)と疑似データ無し竜巻のバイアス補正無しとJackknife推定値(バイアス補正值)、Jackknife推定値+1σのハザード算定結果の比較

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="240 262 831 667" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="172 703 902 730">図 5 F3 竜巻発生を仮定した場合の竜巻風速の年超過確率分布</p> <div data-bbox="157 787 917 919" data-label="Text" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><sup>3</sup> 太平洋側沿岸±5km において、F3 竜巻は豊橋の事例のみであり、その他の F3 竜巻は F2～F3 を F3 として扱っている。また、竜巻長さも 18km と長く、かなり厳しい竜巻を対象としている。</p> </div> <p data-bbox="148 1108 273 1136">3. まとめ</p> <p data-bbox="148 1155 923 1228">不確かさ要素のハザード算定への影響について以下のような結果が得られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="201 1243 923 1409">① 確率分布形選択に伴う不確かさ（認識論的不確かさ） ⇒バイアス補正を実施してもハザードは年超過確率 <math>10^{-5}</math> において 1m/s 以下の変化であったことから、影響は限定的である。</li> <li data-bbox="201 1423 923 1766">② データ量が少ないことに伴う不確かさ（認識論的不確かさ） ⇒①同様、バイアス補正を実施してもハザードは年超過確率 <math>10^{-5}</math> において 1m/s 以下の変化であったことから、安定した標本となっており、母集団の確率特性をよく表現できていると考えられる。また仮に、データに F3 竜巻を 4 個追加した場合も、年超過確率 <math>10^{-5}</math> において竜巻風速は 62.2m/s となった。</li> <li data-bbox="201 1780 923 1854">③ データ（疑似データ）の不確かさ（偶然的な不確かさ） ⇒データの不確かさを考慮したハザード評価により、サンプル</li> </ul>			

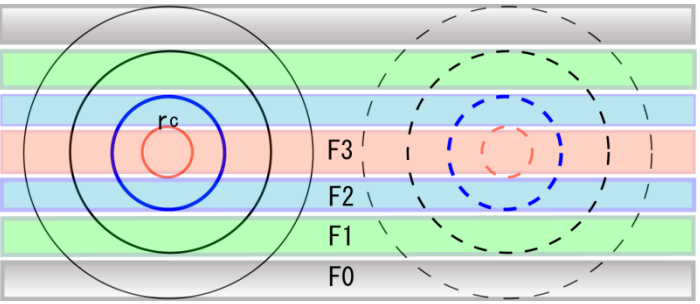
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>リング誤差の不確かさについて信頼度 84%をカバーする値として、年超過確率 <math>10^{-5}</math> において 59.72m/s であると言える。</p> <p>以上より、<math>V_B=76\text{m/s}</math> は高い信頼度を持った数値と推測されることから、合理的に望ましい対策を検討するために使用可能な数値と判断できる。</p> <p>Jackknife 法の具体的な手順</p> <p>大きさ <math>n</math> の標本の各データを <math>X_1, X_2, \dots, X_n</math> とする。これを用いて求める母集団の特性を推定する統計量 (竜巻ハザードの場合、各パラメータの平均及び分散) を</p> $\hat{\psi} = \psi(X_1, X_2, \dots, X_n)$ <p>とする。大きさ <math>n</math> 個の標本のうち <math>i</math> 番目の 1 データのみを欠いたデータ数 <math>n-1</math> 個の標本を用いた統計量を</p> $\hat{\psi}_{(i)} = \psi(X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, X_{i+1}, \dots, X_n)$ <p>とする。<math>\hat{\psi}_{(i)}</math> の平均値を</p> $\hat{\psi}_{(\bullet)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\psi}_{(i)} \quad (3)$ <p>により求める。バイアス値は次式で与えられる。</p> $\hat{BLAS} = (n-1)(\hat{\psi}_{(\bullet)} - \hat{\psi}) \quad (4)$ <p>これを用いて統計量のバイアスを補正した Jackknife 推定値は次式で与えられる。</p> $\tilde{\psi} = \hat{\psi} - \hat{BLAS} = n\hat{\psi} - (n-1)\hat{\psi}_{(\bullet)}$ <p>また、Jackknife 法による推定幅は、</p> $\hat{V}^2 = \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\psi}_{(i)} - \hat{\psi}_{(\bullet)})^2 \quad (5)$ <p>で求められる。</p>	<p>以上のことから、竜巻ハザードの不確かさについて、確率分布形の選択、データ量が少ないこと及びデータの不確かさによる、ハザードへの影響はほとんどないことから、データの高い安定性を確認した。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>付録3 被害面積の期待値 <math>E[DA(V_0)]</math> の評価方法について</p> <p>(1) 竜巻風速 <math>V_0</math> 以上となる面積の期待値</p> <p>1個の竜巻の風速が <math>V_0</math> 以上となる面積 <math>DA(V_0)</math> は以下のように表される。</p> $DA(V_0) = WL + HL + WG + AB \quad ; V_i \geq V_0 \quad (\text{付 3.1})$ $DA(V_0) = 0 \quad ; V_i < V_0$ <p>ここに、<math>W</math> は竜巻の被害幅、<math>L</math> は被害長さ、<math>A</math>、<math>B</math> は矩形構造物の寸法、<math>H</math> と <math>G</math> は竜巻の被害幅や長さ方向への構造物の投影長さである。</p> <p>上記の関係を、竜巻風速 <math>V</math> ・幅 <math>w</math> ・長さ <math>l</math> ・竜巻移動方向 <math>\alpha</math> の確率分布を用いて表すと以下ようになる。</p> $E[DA(V_0)] = \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl$ $+ \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_{V_0}^\infty H(\alpha) l f(V, l, \alpha) dV dl d\alpha + \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) G(\alpha) f(V, w, \alpha) dV dw d\alpha$ $+ AB \int_{V_0}^\infty f(V) dV$ $W(V_0) = \left( \frac{V_{\min}}{V_0} \right)^{1/1.6} w \quad (\text{付 3.3})$ $H(\alpha) = B  \sin \alpha  + A  \cos \alpha $ $G(\alpha) = A  \sin \alpha  + B  \cos \alpha  \quad (\text{付 3.4})$ <p>ここに、<math>E[\cdot]</math> は期待値を表し、<math>V_{\min}</math> は被害が発生する最小風速、<math>H(\alpha)</math> と <math>G(\alpha)</math> は竜巻の幅・長さ方向への構造物の投影長さである。また、3変量の対数正規分布は以下で表される。</p> $f(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \left  \begin{matrix} \sigma_x^2 & \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} \\ \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} \\ \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{matrix} \right ^{1/2}} \times \frac{1}{xyz}$ $\times \exp \left[ -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x & \ln(y) - \mu_y & \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} \\ \sigma_x \sigma_y \rho_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} \\ \sigma_x \sigma_z \rho_{xz} & \sigma_y \sigma_z \rho_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \ln(x) - \mu_x \\ \ln(y) - \mu_y \\ \ln(z) - \mu_z \end{pmatrix} \right]$ <p style="text-align: right;">(付 3.5)</p> <p>ここに、<math>\mu</math>、<math>\sigma</math>、<math>\rho</math> は <math>\ln(x)</math>、<math>\ln(y)</math>、<math>\ln(z)</math> の平均値、標準偏差及び相関係数である。</p> <p>式(付 3.2)の右辺第 1 項は、竜巻長さ と 幅の積、即ち被害面</p>	<p>(期待値について、柏崎6/7号炉は「(6)」で、東海第二は「6.(1)c.」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>積を表しており、いわゆるポイント構造物に対する被害に対応する。第2項と第3項は、竜巻長さ・幅と構造物寸法の積、即ち面構造物あるいは線状構造物の被害面積を表す。竜巻の幅は長さに比べて短いため、第3項の寄与は第2項に比べて1オーダー小さい。第4項は建物面積ABに依存する項であり、一般には第3項よりも小さい。従って、式(付3.2)の右辺第1項と第2項の寄与が支配的となる(NUREGの方法では、この2つの項のみを考慮している)。</p> <p>(2) 竜巻移動方向</p> <p>ガイドでは、竜巻の移動方向に配慮するよう求めている。ここでは、竜巻の移動特性を考慮した場合について考察する。</p> <p>竜巻の移動方向を<math>\alpha</math>、移動方向の確率分布を<math>p(\alpha)</math>、建物寸法をA、Bとすると、被害面積の期待値に関する項は以下で与えられる。</p> $\int_0^{2\pi} H(\alpha) p(\alpha) d\alpha = \int_0^{2\pi} (B \sin(\alpha)  + A \cos(\alpha) ) p(\alpha) d\alpha$ <p style="text-align: right;">(付3.6)</p> <p>竜巻の移動に方向性が無い(一様分布の場合)は、<math>p(\alpha)=1/(2\pi)</math>であるから、上式は以下のようになる。</p> $\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2\pi} [2B[-\cos\alpha]_0^{2\pi} + 2A[\sin\alpha]_{-\pi/2}^{\pi/2}] = \frac{2(A+B)}{\pi}$ <p style="text-align: right;">(付3.7)</p> <p>従って、A=Bの場合(正方形の構造物)には、<math>4A/\pi</math> (<math>\approx 1.273A</math>)となることがわかる。</p> <p>一方、構造物を円形構造物(直径<math>D_0</math>)とした場合、竜巻の幅や長さ方向に構造物を投影した長さ<math>H(\alpha)</math>や<math>G(\alpha)</math>は、竜巻の移動方向には依存せず、一定値となる。</p> $H(\alpha) = G(\alpha) = D_0 ; \text{円形構造物} \quad \text{(付3.8)}$ <p>従って、たとえ竜巻の移動方向に方向依存性があり、<math>p(\alpha)</math>に分布があったとしても、全方向について積分した式(付3.7)の結果は<math>D_0</math>となる。上記の議論は、<math>\alpha</math>とV、W、1の間が無相関である場合に成り立つ。</p> <p>以上のことから、建物として円形構造物を仮定する限り(長方形や方向性のある線状構造物を対象としない限り)、竜巻の移動方向の特性を考慮する必要はないことがわかる。</p>	

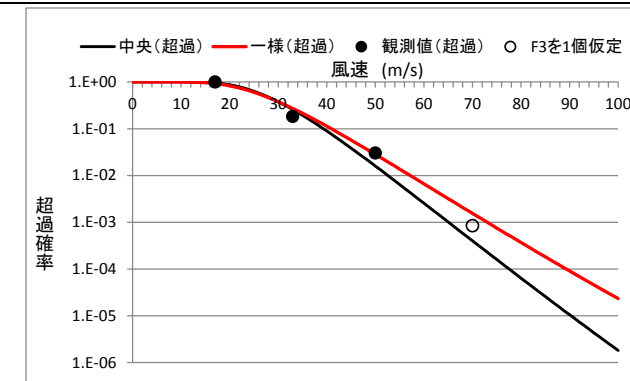


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>従って、円形構造物に対しては、式(付 3.2)は次のように簡単になる。</p> $  \begin{aligned}  E[DA(V_0)] &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) l f(V, w, l) dV dw dl \\  &+ D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty l f(V, l) dV dl + D_0 \int_0^\infty \int_0^\infty W(V_0) f(V, w) dV dw \\  &+ (D_0^2 \pi / 4) \int_{V_0}^\infty f(V) dV  \end{aligned}  $ <p style="text-align: right;">(付 3.9)</p> <p>また、2変数の対数正規分布は以下のように書ける。</p> $  f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \frac{1}{xy} \exp \left[ -\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left( \frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{\ln(x)-\mu_x}{\sigma_x} \right) \left( \frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right) + \left( \frac{\ln(y)-\mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \right]  $ <p style="text-align: right;">(付 3.10)</p> <p>本検討では、①竜巻移動方向 <math>\alpha</math> とその他の竜巻パラメータは無相関、②直径 <math>D_0</math> の円形構造物を対象とするため、式(付 3.9)を基礎式とする。</p> <p>(3) 被害幅の補正</p> <p>式(付 3.3)の <math>W(V_0)</math> の項は、風速が <math>V_0</math> 以上となる被害幅の比率を表しており、いわゆる被害面積補正の一種(幅方向の補正)である。今、竜巻としてランキン渦を仮定すると、風速 <math>V</math> と被害域半径 <math>r</math> は次式で表される。</p> $  \begin{aligned}  \frac{r}{r_c} &= \frac{V_{\max}}{V(r)} \quad ; \quad r \geq r_c \\  \frac{r}{r_c} &= \frac{V(r)}{V_{\max}} \quad ; \quad r < r_c  \end{aligned}  $ <p style="text-align: right;">(付 3.11)</p> <p>ここに <math>V_{\max}</math> は F スケールに対応する最大風速、<math>r_c</math> は最大風速半径である。</p> <p>ランキン渦が変形せずにゆっくりと移動した場合を想定すると、竜巻中心付近の風速は弱い、移動に伴い最大風速 <math>V_{\max}</math> が通過するため、半径 <math>r_c</math> 以内の領域の最大風速は一定値 <math>V_{\max}</math> となる。従って、被害域内の最大風速の面的分布は長さ方向に対して平行となり、幅方向の速度分布は竜巻幅方向 (<math>r</math> 方向) の速度分布に一致する(付図 2)。</p> <p>以上のことから、最大風速 <math>V_{\max}</math> を持つ竜巻の場合、被害域内</p>	

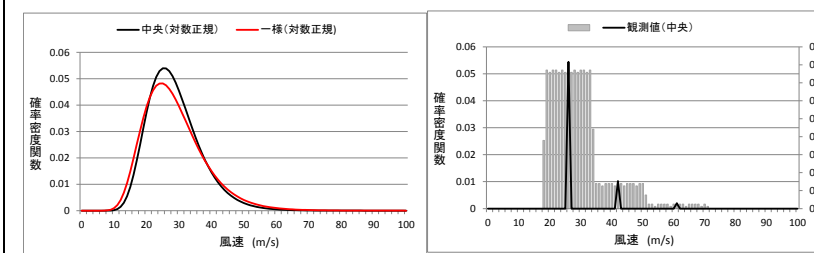
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>の風速別の被害面積率は、被害域の幅で表すことができる。</p> <p>式(付 3.3)では, Hoecker による観測値から, 風速は距離の 1.6 乗に反比例するものと仮定している。<math>V_{min}</math> は, 竜巻被害が発生する最小風速であり, 付図 2 のエッジ部分の風速に相当する。Garson(1975, No. 101)は, この <math>V_{min}</math> を gale intensity velocity と呼んでいる。gale とは非常に強い風のことで, 米国の気象局 (National Weather Service) では, 34~47 ノット (17.5~24.2 m/s) とされている。</p> <p>日本の気象庁では, 気象通報にも用いられている風力階級では, 風力 8 が疾強風 (gale, 17.2~20.7 m/s), 風力 9 は大強風 (strong gale, 20.8~24.4 m/s) と分類されており, 風力 9 では「屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める」とされている。これらのことを参考にして, 本評価では</p> $V_{min} = 25.0 \text{ m/s} \quad (\text{付 3.12})$ <p>を被害が発生する最小風速とした。この値は, F0 (17~32m/s) のほぼ中央値に相当する。なお, この値よりも小さな <math>V_{min}</math> (例えば, F0 の最小風速 17m/s) を用いると, 風速 <math>V_0</math> 以上となる被害面積は小さくなる。</p>  <p>付図2 ランキン渦と竜巻被害域内の風速分布の模式図</p> <p>参考文献</p> <p>(1) Wen, Y.K. and Chu, S.L. (1973) : Tornado risks and design wind speed, Proceedings of American society of Civil Engineering, Journal of Structural Division, Vol. 99, No. ST12, 2409-2421.</p> <p>(2) Garson, R.C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado risk evaluation using wind speed profiles, Journal of Structural Division, Proceedings of American Society of Civil</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>Engineering, Vol.101, No.St5, 1167-1171.</p> <p>(3) Garson, R.C., Morla-Catalan J. and Cornell C.A. (1975) : Tornado Design Winds Based on Risk, Journal of Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol. 101, No.ST9, 1883-1897.</p> <p>(4) Reinhold T.A. and Ellingwood B. (1982) : Tornado damage risk assessment, NUREG CR2944, 55p.</p> <p>(5) 東京工芸大学(2010) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (その 1) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 256p.</p> <p>(6) 東京工芸大学(2011) : 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究 (平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 424p.</p> <p>(7) Ramsdell, J.V., and Rishel J.P. (2007) : Tornado Climatology of the Contiguous United States, NUREG/CR-4461, Rev.1.</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>付録4 竜巻風速の確率密度分布について</p> <p>Fスケールの竜巻風速には幅があるため、具体的な風速の設定方法には任意性があり、Fスケールの範囲内のある値(中央値等)に設定する方法やFスケールの風速範囲内で一様に分布すると仮定する方法などが考えられる。</p> <p>図1に竜巻風速が中央値に集中した場合(黒い実線)及び一様に分布するとした場合(赤い実線)について、風速の分布形(超過確率)を推定した結果を示す。●印は、各Fスケール下限値における観測値(擬似51.5年間データ)の超過確率を表しており、例えばF1の下限値(33m/s)以上となる確率は約0.2である。また、○印は、F3が1個観測された場合を仮定してプロットをした。</p> <p>ハザード解析においては、特定の風速以上となる確率が重要であることから、●印で表された観測値ベースの超過確率と適合度が高い分布形が望ましい。図1(a)の○印も含めて評価すると、一様分布の方が中央値の場合よりも適合度が良いと言える。</p> <p>また、ハザード解析において、竜巻風速が中央値に集中した場合及び一様に分布するとした場合で計算した結果、図2のとおり風速設定を一様分布とした方が中央値で代表させる場合よりも厳しいハザード曲線となっている。</p> <p>以上より、ハザードを保守的に評価するとの観点から、風速分布としては一様分布を採用した。</p>	<p>(柏崎6/7は、竜巻風速の確率密度分布について「2.3(4)①」で記載)</p>



(a) 超過確率



(b) 確率密度関数 (左: 推定値, 右: 観測値)

図1 竜巻風速の確率分布の推定結果と観測値の比較

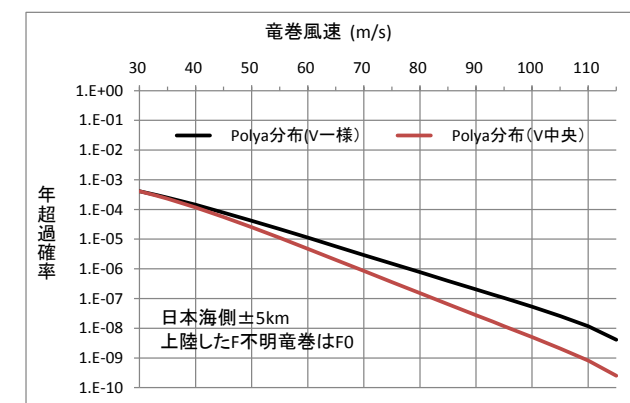


図2 風速設定の違いによる竜巻最大風速のハザード曲線の比較 (海側, 陸側 5km 範囲)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>【参考資料1】</u> 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について</p> <p>51.5年間の疑似データを推定する際に、海上で発生したFスケール不明竜巻（非上陸竜巻）を、Fスケールが判明している陸上竜巻（含む上陸竜巻）のFスケールごとの発生比率で按分している。そこでは、沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している、と仮定している。他の合理的な按分方法も無いのが実情ではあるが、観測結果をもとに、この仮定の妥当性について考察する。</p> <p>ここでは、陸上で発生した竜巻（以後、陸上竜巻と呼ぶ）と、水上で発生しその後上陸した竜巻（以後、上陸竜巻と呼ぶ）を区別して考える。</p> <p>表1及び図1は、陸上竜巻、上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して、F0、F1、F2以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合、Fスケールごとの割合はそれぞれ30、45、24%となっており、陸上竜巻との間に大きな差は無い（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから、海上でのFスケール不明竜巻のFスケールごとの発生割合は、上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。</p> <p>上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは、海側と陸側のFスケールごとの発生割合が類似していることを示唆している。従って、海上でのF不明竜巻を、陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。</p> <p>一方、日本海側の上陸竜巻の場合、Fスケールごとの割合はそれぞれ50、34、16%であり、陸上竜巻の値と10～20%程度異なる。日本海側の場合、F0の割合が全国の値に比べて大きく、逆にFスケールの大きな竜巻の割合が同程度少なくなっており、地域的な特性が見られる。上陸竜巻と陸上竜巻の割合の差が、地域特性によるものかデータ数が少ないことによるものか判断できないが、（陸上＋上陸）竜巻の割合は、全国の値に比較的近くなる（F0の数が多という地域特性は残る）。したがって、（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は、データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。</p>	<p style="text-align: right;">別紙5-1</p> <p>海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について</p> <p>51.5年間の疑似データを推定する際に、海上で発生したFスケール不明竜巻（非上陸竜巻）をFスケールが判明している陸上竜巻（上陸竜巻含む）のFスケールごとの発生比率で按分している。そこでは、「沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している」と仮定している。他の合理的な按分方法もないのが実情ではあるが、観測結果を基に、この仮定の妥当性について考察する。</p> <p>ここでは、陸上で発生した竜巻（以下「陸上竜巻」という。）と海上で発生しその後上陸した竜巻（以下「上陸竜巻」という。）を区別して考える。</p> <p>別表1-1及び別図1-1は、陸上竜巻、上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して、F0、F1、F2以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合、Fスケールごとの割合はそれぞれ30、45、24%となっており、陸上竜巻との間に大きな差はない（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから、海上でのFスケール不明竜巻のFスケールごとの発生割合は、上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。</p> <p>上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは、海側と陸側のFスケールごとの発生割合が類似していることを示唆している。したがって、海上でのFスケール不明竜巻を、陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。</p> <p>一方、発電所の上陸竜巻の場合、Fスケールごとの割合はそれぞれ、<u>26、49、25%</u>であり、<u>全国と同様、陸上竜巻との間に大きな差は無い。また、陸上竜巻、上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のいずれにおいても、全国沿岸竜巻の発生数の割合と大きな差はない（5%以内）。以上より、全国沿岸と発電所の竜巻検討地域との間には地域特性による影響はないことが確認できた。</u>したがって、海上のFスケール不明竜巻を（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は、データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。</p>	<p><u>付録5</u> 海上のFスケール不明竜巻の按分方法の妥当性について</p> <p>51.5年間の疑似データを推定する際に、海上で発生したF不明竜巻（非上陸竜巻）を、Fスケールが判明している陸上竜巻（含む上陸竜巻）のFスケール毎の発生比率で按分している。そこでは、沿岸部近傍での竜巻の発生特性は陸上と海上とでは類似している、と仮定している。他の合理的な按分方法も無いのが実情ではあるが、観測結果をもとに、この仮定の妥当性について考察する。</p> <p>ここでは、陸上で発生した竜巻（以後、陸上竜巻と呼ぶ）と、水上で発生しその後上陸した竜巻（以後、上陸竜巻と呼ぶ）を区別して考える。</p> <p>表1及び図1は、陸上竜巻、上陸竜巻及び（陸上＋上陸）竜巻のそれぞれの竜巻区分に対して、F0、F1、F2以上の竜巻が占める割合である。全国の上陸竜巻の場合、Fスケール毎の割合はそれぞれ30、45、24%となっており、陸上竜巻との間に大きな差は無い（数%以内）。上陸竜巻は海上で発生した竜巻であることから、海上でのF不明竜巻のFスケール毎の発生割合は、上陸竜巻の発生割合と同様だと考えられる。</p> <p>上陸竜巻と陸上竜巻の発生割合に大きな差は見られないことは、海側と陸側のFスケール毎の発生割合が類似していることを示唆している。従って、海上でのF不明竜巻を、陸上竜巻（あるいは（陸上＋上陸）竜巻）の発生割合で按分する手法は妥当な方法だと考えられる。</p> <p>一方、日本海側の上陸竜巻の場合、Fスケール毎の割合はそれぞれ50、34、16%であり、<u>陸上竜巻の値と10～20%程度異なる。日本海側の場合、F0の割合が全国の値に比べて大きく、逆にFスケールの大きな竜巻の割合が同程度少なくなっており、地域的な特性が見られる。上陸竜巻と陸上竜巻の割合の差が、地域特性によるものかデータ数が少ないことによるものか判断できないが、（陸上＋上陸）竜巻の割合は、全国の値に比較的近くなる（F0の数が多という地域特性は残る）。</u>したがって、（陸上＋上陸）竜巻の割合で按分する本手法は、データ数が少ない場合にも有効な手法だと考えられる。</p>	<p>備考</p> <p>・竜巻検討地域の違いによる相違 【東海第二】</p>



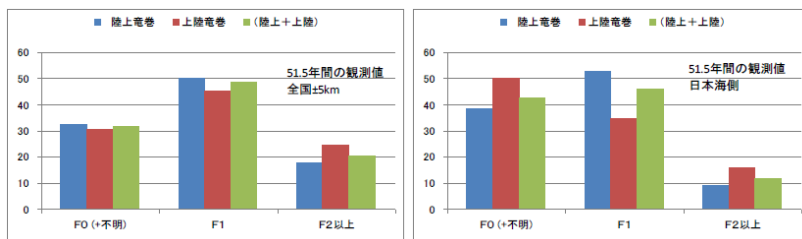
表1 Fスケールごとの竜巻発生数の割合

(a) 全国沿岸±5km

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
(陸上+上陸)	32	48	20

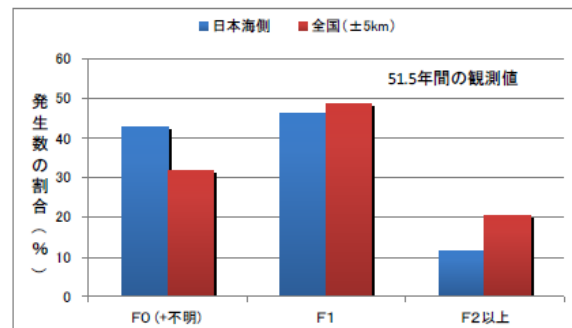
(b) 日本海側

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	38	53	9
上陸竜巻	50	34	16
(陸上+上陸)	43	46	11



(a) 全国±5km

(b) 日本海側



(c) (陸上+上陸) 竜巻

図1 Fスケールごとの発生数の割合

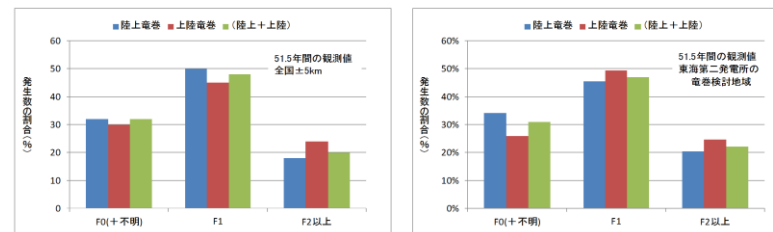
別表1-1 Fスケールごとの竜巻発生数の割合

① 全国沿岸±5km

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
(陸上+上陸)	32	48	20

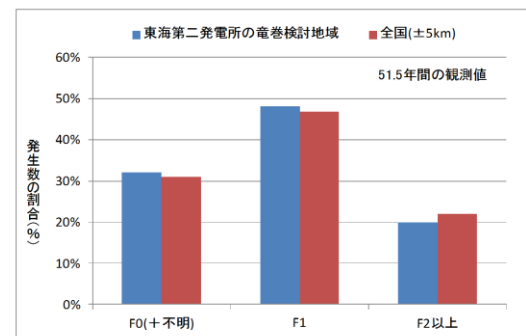
② 発電所の竜巻検討地域

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	34	45	21
上陸竜巻	26	49	25
(陸上+上陸)	31	47	22



① 全国沿岸±5km

② 発電所の竜巻検討地域



② (陸上+上陸) 竜巻

別図1-1 Fスケールごとの発生数の割合

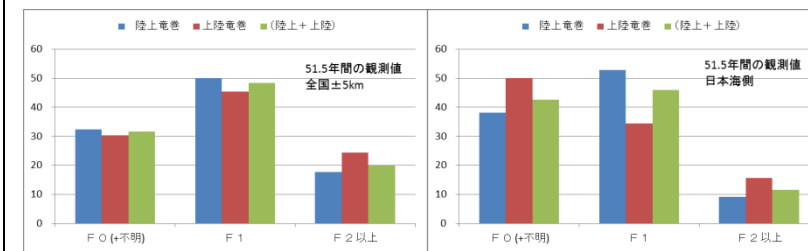
表1 Fスケールごとの竜巻発生数の割合

(a) 全国沿岸±5km

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	32	50	18
上陸竜巻	30	45	24
(陸上+上陸)	32	48	20

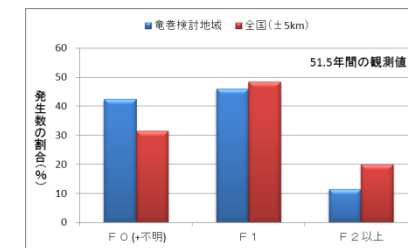
(b) 日本海側

発生数の割合 (%)	F0 (+不明)	F1	F2以上
陸上竜巻	38	53	9
上陸竜巻	50	34	16
(陸上+上陸)	43	46	11



(a) 全国±5km

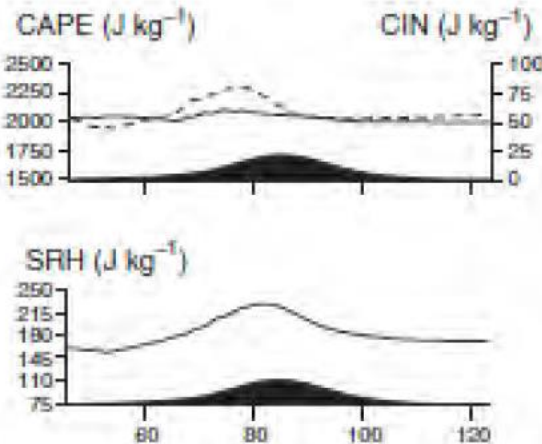
(b) 日本海側



(c) (陸上+上陸) 竜巻

図1 Fスケールごとの発生数の割合

・竜巻検討地域の違いによる相違  
【東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料 2. 4</p> <p style="text-align: center;">地形効果による竜巻風速への影響について</p> <p>1. はじめに</p> <p>ガイドにおいて、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、設計対象施設の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) を設定することが求められている。</p> <p>ここでは、既往の研究に基づく地形起伏の竜巻の風速への影響に関する知見を取りまとめる。</p> <p>2. 対象とする地形起伏スケールの整理</p> <p>竜巻に対する地形の効果は、スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」等への影響と、渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」等への影響とに大別される。</p> <p>前者への言及として、例えば、Markowsk and Dotezk (2011) による数値気象モデル (CM1) を用いた検討等がある。ここでは、メソスケールの地形 (尾根幅数十km程度) が、CAPE や SRH といった、竜巻の発生要因を支配するパラメータに与える影響が論点となる。加藤らによる佐呂間竜巻への分析もこれに相当すると考えられる。</p>  <p>図 1 メソスケール尾根地形に起因する CAPE, SRH 等のパラメータの変化を調べた例</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 6</p> <p style="text-align: center;">地形効果による竜巻の増幅の可能性について</p> <p>1. 概要</p> <p>「竜巻影響評価ガイド」では、丘陵等による地形効果によって竜巻が増幅する可能性があると考えられることから、原子力発電所が立地する地域において、評価対象施設等の周辺地形等によって竜巻が増幅される可能性について検討を行い、その検討結果に基づいて設計竜巻の最大風速 (<math>V_D</math>) を設定することが求められている。</p> <p>ここでは、既往の研究に基づく地形の竜巻風速への影響に関する知見を取りまとめ、発電所における、地形効果による竜巻増幅の可能性について検討した。</p> <p>2. 考慮対象となる地形のスケール</p> <p>竜巻に対する地形の効果は、スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」などへの影響と、渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」などへの影響とに大別できる。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料 2. 4</p> <p style="text-align: center;">2. 4 地形効果による竜巻風速への影響について</p> <p style="text-align: center;">2. 4. 1 地形起伏による竜巻風速の増幅特性について</p> <p style="text-align: center;">2. 4. 1. 1 概要</p> <p>本資料において、既往の研究に基づく地形起伏の竜巻の風速への影響に関する知見を取りまとめる。</p> <p>2. 4. 1. 2 対象とする地形起伏スケールの整理</p> <p>竜巻に対する地形の効果は、スーパーセルスケールへの関与によるメソスケールでの「発生」への影響と、渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」への影響とに大別される。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>一方、竜巻風速 <math>V_D</math> に対する地形影響には、後者が相当する。ここでは、タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響が論点となる。ここで考慮すべき地形の規模としては、前述のメソスケールのもものと比べて小さく数百 m 規模と考えられる (Karstens 2012, Lewellen 2012)。</p> <p>3. マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響</p> <p>マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響の定量的評価は、いまだ、研究課題である (Karstens 2012)。しかしながら、定性的な知見を与える関連研究は存在する。そこで用いられている主な手法は、①被害状況調査、②風洞実験、③数値シミュレーションとなる。</p> <p>①被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) では、実際の竜巻の被害を精査し、被害状況と地形特性との関係を調べる。これにより、被害が発生しやすい地形特性を分析し、そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推することになる。</p> <p>②風洞実験 (Karstens 2012) では、風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形モデルを入れ、その上部に竜巻発生装置を設置し、それを移動させたときの、地表面近傍の圧力・風速分布を調べる。</p>  <p>図2 風洞実験の様子 (Karstens 2012)</p> <p>③数値シミュレーション (Lewellen 2012) では、竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析コードによる、数値実験を行い、旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。</p>	<p>このうち、設計竜巻の最大風速 <math>V_D</math> を設定する際には、タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流及びそれに随伴して生じる強風への地形影響を検討すべきであり、マイクロスケール (数百 m) 規模の地形の起伏を考慮すべきと考えられる<sup>(1)(2)</sup>。</p> <p>3. マイクロスケールの地形起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響</p> <p>マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響について、定性的な知見を与える研究で用いられる主な手法としては、以下の3つが挙げられる。</p> <p>(1) 被害状況調査<sup>(1)(3)</sup></p> <p>実際の竜巻の被害を精査し、被害状況と地形特性との関係を調べることにより、被害が発生しやすい地形特性を分析し、そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推する。</p> <p>(2) 風洞実験<sup>(1)</sup></p> <p>風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形モデルを入れ、その上部に竜巻発生装置を設置し、それを移動させたときの、地表面近傍の圧力及び風速の分布を調べる。</p>  <p>第3-1図 風洞実験の様子 (Karstens 2012)<sup>(1)</sup></p> <p>(3) 数値シミュレーション<sup>(2)</sup></p> <p>竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析により、旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。</p>	<p>竜巻風速 <math>V_D</math> を求める際に検討すべき地形影響は、後者が相当し、タッチダウンした漏斗雲により発生する旋回流、及びそれに随伴して生じる強風への地形影響が論点となる。ここで考慮すべき地形の規模としては、前述のメソスケールのもものと比べて小さく数百メートル規模と考えられる (Karstens 2012, Lewellen 2012)。</p> <p>2.4.1.3. マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流強度及び強風に与える影響</p> <p>マイクロスケールの地形の起伏が竜巻の旋回流及び強風に与える影響の定量的評価は、いまだ、研究課題である (Karstens 2012)。しかしながら、定性的な知見を与える関連研究は存在する。そこで用いられている主な手法は、①被害状況調査、②風洞実験、③数値シミュレーションとなる。</p> <p>①被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) では、実際の竜巻の被害を精査し、被害状況と地形特性との関係を調べる。これにより、被害が発生しやすい地形特性を分析し、そこから旋回流強度及び風速の強弱を類推することになる。</p> <p>②風洞実験 (Karstens 2012) では、風洞実験の測定部に尾根や斜面といった地形モデルを入れ、その上部に竜巻発生装置を設置し、それを移動させたときの、地表面近傍の圧力・風速分布を調べる。</p>  <p>図2.4.1 風洞実験の様子 (Karstens 2012)</p> <p>③数値シミュレーション (Lewellen 2012) では、竜巻の旋回流や移動及び地形の起伏を模擬した流体解析コードによる、数値実験を行い、旋回流の強度や風速及び竜巻の構造に関連する圧力分布を調べる。</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="290 220 795 604" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="278 613 795 646" data-label="Caption"> <p>図3 数値シミュレーションのセットアップ</p> </div> <p data-bbox="151 703 923 1543"> これらを通じて、マイクロスケールの地形の起伏に起因する竜巻の旋回流や風速の強化に対する知見が得られている。被害状況調査により、竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている (Forbes 1998, Karstens 2012)。また、実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験・数値シミュレーションにおいても確認されている。2次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験 ( Karstens 2012 ) 及び数値シミュレーション (Lewellen2012) の結果をそれぞれ、<a href="#">図4</a>、<a href="#">図5</a> に示す。風洞実験の結果である<a href="#">図4</a>において、(a)に示す二次元尾根地形を图中左側から右側に竜巻を模擬した旋回流が移動するときに地表面で測定された圧力の最大値が(b)になる。ここで実験仕様の制約上、風速のデータは取得されておらず、風速に相当するものとして、圧力勾配 (圧力の高いところから低いところに流れる風の駆動力になり、風速に相当する) を(c)に示している。(c)の結果から、 <ol style="list-style-type: none"> <li>① 圧力勾配 (<a href="#">図4(c)</a>) が斜面において、正・負の値を持つこと (=旋回流が強弱する)</li> <li>② 斜面に比べ尾根の上・下流の平坦部ではほぼフラットとなること (=旋回流の強度が変化しない)</li> </ol> を理解できる。 </p>	<div data-bbox="964 241 1676 598" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1038 613 1587 646" data-label="Caption"> <p>第3-2図 数値シミュレーションのモデル例</p> </div> <p data-bbox="994 745 1706 1501"> 被害状況調査によれば、竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている<sup>(1)(3)</sup>。 また、実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験及び数値シミュレーションにおいても確認されている。二次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験<sup>(1)</sup>及び数値シミュレーション<sup>(2)</sup>の結果を、それぞれ<a href="#">第3-3図</a>及び<a href="#">第3-4図</a>に示す。 風洞実験の結果である第3-3図においては、竜巻を模擬した旋回流が(a)に示す二次元尾根地形*を図の左から右に移動する時に地表面で測定された圧力の最大値を(b)に、圧力勾配 (風の駆動力になり、風速に相当する) を(c)に示しており、(c) から以下のことが分かる。 <p>※ <u>過去の竜巻被害を受けた斜面の傾斜等を考慮し、尾根高さHに対し前後5Hの領域を模擬している。</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 圧力勾配は、斜面において正及び負の値を持つ。(旋回流が強弱する)</li> <li>② 圧力勾配は、尾根の上流及び下流の平坦部ではほぼフラットとなる。(旋回流の強度が変化しない)</li> </ol> </p>	<div data-bbox="1884 220 2300 598" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1825 613 2398 646" data-label="Caption"> <p>図2.4.2 数値シミュレーションのセットアップ</p> </div> <p data-bbox="1736 703 2507 1585"> これらを通じて、マイクロスケールの地形の起伏に起因する竜巻の旋回流や風速の強化に対する知見が得られている。被害状況調査により、竜巻の強化が下り斜面や尾根の裾で生じる可能性が示唆されている (Forbes 1998, Karstens 2012)。また、実被害調査の知見を支持する結果が風洞実験・数値シミュレーションにおいても確認されている。2次元尾根地形を対象とした場合の風洞実験 ( Karstens 2012 ) 及び数値シミュレーション (Lewellen2012) の結果をそれぞれ、<a href="#">図2.4.3</a>、<a href="#">図2.4.4</a> に示す。風洞実験の結果である<a href="#">図2.4.3</a>において、(a)に示す二次元尾根地形を图中左側から右側に竜巻を模擬した旋回流が移動するときに地表面で測定された圧力の最大値が(b)になる。ここで実験仕様の制約上、風速のデータは取得されておらず、風速に相当するものとして、圧力勾配 (圧力の高いところから低いところに流れる風の駆動力になり、風速に相当する) を(c)に示している。(c)の結果から、 <ol style="list-style-type: none"> <li>① 圧力勾配 (<a href="#">図2.4.3(c)</a>) が斜面において、正・負の値を持つこと (=旋回流が強弱する)</li> <li>② 斜面に比べ尾根の上・下流の平坦部ではほぼフラットとなること (=旋回流の強度が変化しない)</li> </ol> を理解できる。 </p>	

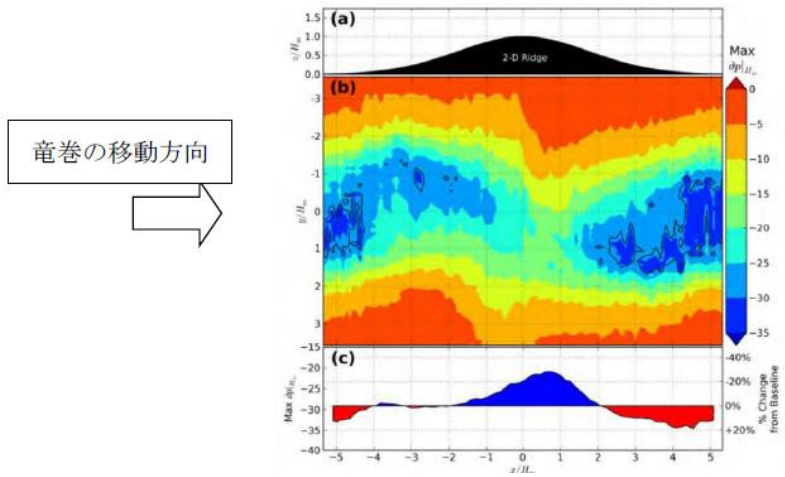
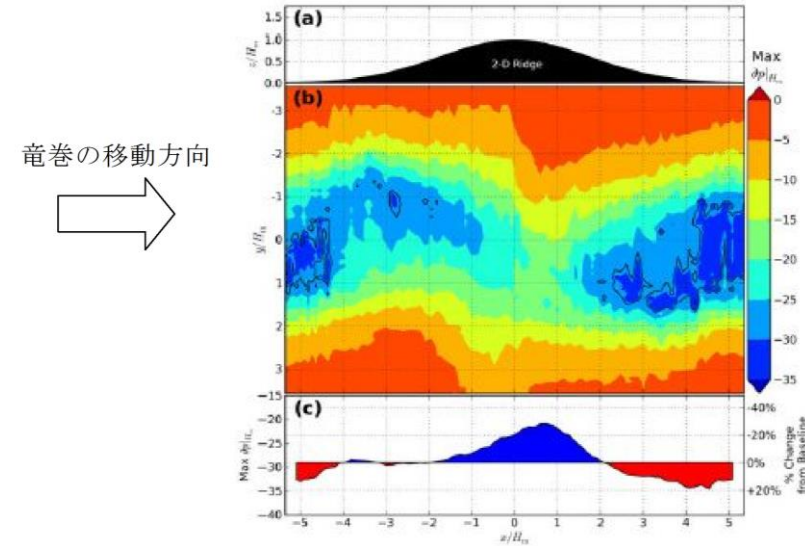


図 4 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力及び圧力勾配 (風速に相当)

数値シミュレーション結果である図5において、ピーク圧力が(a)、風速が(b)になる。シミュレーションは風速の取り扱いを可能としており、図5の(b)のような結果の議論を可能としている。図中の黒色実線が等高線を意味し、竜巻は、図4と同じく図中左側から右側へと移動している。この結果も、下記のとおり図4の知見と整合している。

- ・上り斜面では圧力が増加し(緑色→赤色)、下り斜面では圧力が減少(赤色→緑色)する(実験で得られた知見①を支持)

- ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され、平坦部の圧力は上流側と下流側とで同レベルとなる。(実験で得られた知見②を支持)



第3-3図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力(b)及び圧力勾配(c)<sup>(1)</sup>

数値シミュレーションの結果である第3-4図においては、(a)にピーク圧力を、(b)に風速を示す。図中の黒色実線は等高線を意味し、以下に示すように、風洞実験の結果(第3-3図)と整合している。

- ・上り斜面では圧力が増加し(緑色→赤色)、下り斜面では圧力が減少(赤色→緑色)する。(前述の風洞実験の知見①に対応)
- ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され、平坦部の圧力は上流及び下流側と同レベルとなる。(前述の風洞実験の知見②に対応)

また、これらの研究結果は、地形の起伏の影響範囲が、斜面、尾根、山の頂及び裾部に限定されることを示唆しており、地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は、地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。

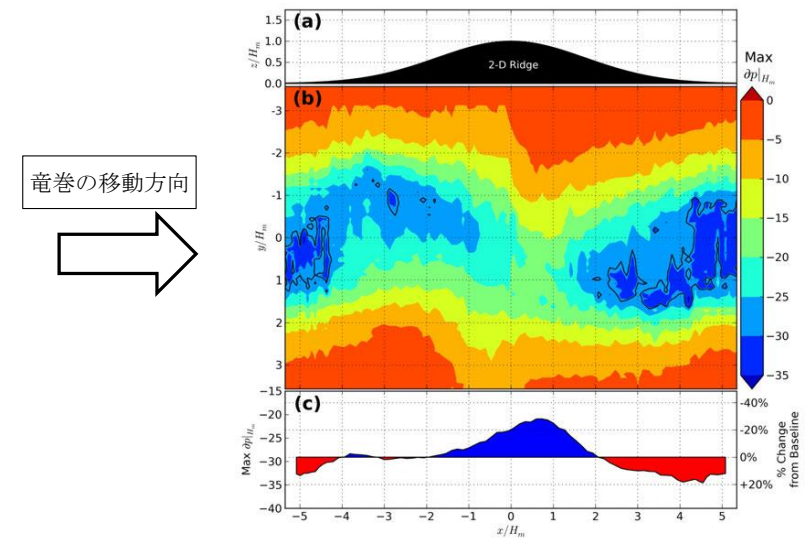


図2.4.3 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面圧力及び圧力勾配 (風速に相当)

数値シミュレーション結果である図2.4.4において、ピーク圧力が(a)、風速が(b)になる。シミュレーションは風速の取り扱いを可能としており、図2.4.4の(b)のような結果の議論を可能としている。図中の黒色実線が等高線を意味し、竜巻は、図2.4.3と同じく図中左側から右側へと移動している。この結果も、下記のとおり図2.4.3の知見と整合している。

- ・上り斜面では圧力が増加し(緑色→赤色)、下り斜面では圧力が減少(赤色→緑色)する(実験で得られた知見①を支持)
- ・ピーク圧力の高い領域は尾根頂部に限定され、平坦部の圧力は上流側と下流側とで同レベルとなる。(実験で得られた知見②を支持)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="172 220 742 808" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="172 835 914 913">図 5 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力及び風速</p> <p data-bbox="172 976 914 1092">ここで地形の規模として尾根高さ <math>H_m</math> に対して <math>\pm 5H_m</math> を考慮していることにも留意を願いたい。これは、尾根高さが 100m の場合、<math>\pm 500m</math> にわたる地形を対象としていることを意味する。</p> <p data-bbox="172 1102 914 1312">また、これらの研究が、地形の起伏の影響範囲が、斜面及び尾根・山の頂・裾部に限定されることを示唆していることを強調したい。図 4, 5 にみられるとおり、地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は、地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。</p>	<div data-bbox="964 220 1691 808" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="964 835 1676 913">第 3-4 図 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力 (a) 及び風速 (b) <sup>(2)</sup></p> <p data-bbox="964 1375 1706 1449">参考資料：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈</p> <p data-bbox="964 1459 1706 1669">ここでは、本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なお、ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を、被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) や風洞実験 (Karstens 2012) の結果も支持している。</p> <p data-bbox="964 1680 1706 1890">一般的に、回転する流れでは、「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質 (角運動量保存則) がある。角運動量保存則と Holton (1992) を参考に、竜巻旋回流が形成された後における、渦の伸長・収縮に伴う旋回流風の増速、減速機構を以下に導く。</p>	<div data-bbox="1825 220 2404 808" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="1727 835 2499 913">図 2.4.4 尾根地形を竜巻が通過するときの地表面ピーク圧力及び風速</p> <p data-bbox="1727 976 2499 1092">ここで地形の規模として尾根高さ <math>H_m</math> に対して <math>\pm 5H_m</math> を考慮していることにも留意が必要である。これは、尾根高さが 100m の場合、<math>\pm 500m</math> にわたる地形を対象としていることを意味する。</p> <p data-bbox="1727 1102 2499 1270">また、これらの研究では、地形の起伏の影響範囲が、斜面及び尾根・山の頂・裾部に限定されることを示唆している。図 2.4.3, 2.4.4 にみられるとおり、地形の下流側の平坦部における風速や圧力の値は、地形を乗り越える前の上流部の値に相当する。</p> <p data-bbox="1727 1375 2499 1449">2.4.1.4 地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈</p> <p data-bbox="1727 1459 2499 1669">ここでは、渦の旋回流への関与によるマイクロスケールでの「風速」への影響についての物理的解釈を示す。なお、ここで示す角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を、被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) や風洞実験 (Karstens 2012) の結果も支持している。</p> <p data-bbox="1727 1680 2499 1890">系の外側から新たな角運動量の付与がない場合、回転する流れにおいては、「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。これは角運動量保存則と呼ばれるが、角運動量保存則と Holton (1992) を参考に、竜巻旋回流が形成された後における渦の伸長・収縮に伴う旋回流風</p>	<p data-bbox="2516 1375 2831 1627">(柏崎 6/7 号炉は、地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈について「参考資料 1」で記載)</p>



竜巻のコア部分を一つの鉛直軸を有する気柱と仮定すると、上り坂を越える場合(第1図の渦1から渦2へ移動する場合)には渦の長さが短くなる。その際、角運動量の保存則は次式のように表される。

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^{h_1} (\rho r^2 \omega_1) dh \cdot r dr d\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_2} \int_0^{h_2} (\rho r^2 \omega_2) dh \cdot r dr d\phi \quad (1)$$

$$\frac{1}{4} r_1^4 \omega_1 h_1 = \frac{1}{4} r_2^4 \omega_2 h_2 \quad (2)$$

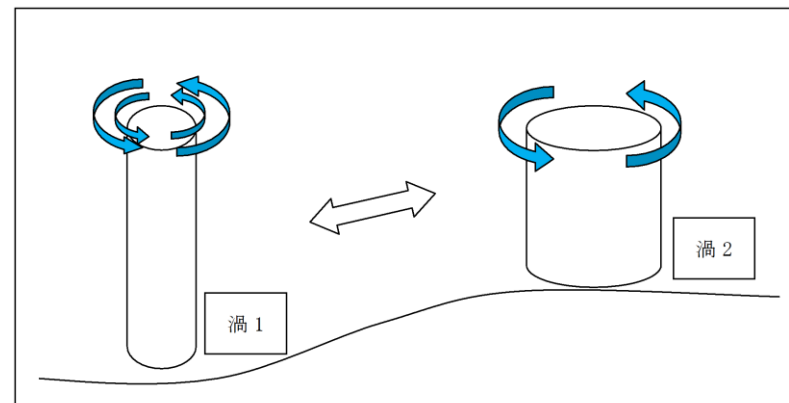
ここで、 $\omega$ は角速度、 $r$ は渦コア(気柱)の半径、 $h$ は渦コア(気柱)の高さ、 $\rho$ は空気密度であり、添字の1と2はそれぞれ渦1と渦2を示す。また、気柱の体積が保存されるので、式③が成立する。

$$\pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \Rightarrow r_2^2 = \frac{h_1}{h_2} r_1^2 \quad (3)$$

この関係を式②に代入すると、式④が得られる。

$$\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \Rightarrow \frac{d}{dt} \left( \frac{\omega}{h} \right) = 0 \quad (4)$$

④の関係式は「渦位(ポテンシャル渦度)の保存式」に相当するものであり、角速度は地上高さ $h$ に比例することが分かる。また、③より、渦の半径 $r$ は $h^{1/2}$ に反比例するので、竜巻の最大接線風速( $\omega \times r$ )は $h^{1/2}$ に比例する。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。



第1図 竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図

速の増速・減速機構を以下に導く。竜巻のコア部分を一つの鉛直軸を有する剛体運動の気柱と仮定すると、上り坂を越える場合(図2.4.5において渦1から渦2へ移動する場合)には渦の長さが短くなる。その際、角運動量の保存則は次式のように表される。

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^{h_1} (\rho r^2 \omega_1) dh \cdot r dr d\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_2} \int_0^{h_2} (\rho r^2 \omega_2) dh \cdot r dr d\phi \quad (1.1)$$

$$\frac{1}{4} r_1^4 \omega_1 h_1 = \frac{1}{4} r_2^4 \omega_2 h_2 \quad (1.2)$$

ここで、 $\omega$ は角速度、 $r$ は渦コア(気柱)の半径、 $h$ は渦コア(気柱)の高さ、 $\rho$ は空気密度であり、添字の1と2はそれぞれ、渦1と渦2に対する値を表す。また、気柱の体積が保存されるので、式(1.3)が成立する。

$$\pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \Rightarrow r_2^2 = \frac{h_1}{h_2} r_1^2 \quad (1.3)$$

この関係を式(1.2)に代入すると、式(1.4)が得られる。

$$\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \Rightarrow \frac{d}{dt} \left( \frac{\omega}{h} \right) = 0 \quad (1.4)$$

(1.4)の関係式は「渦位(ポテンシャル渦度)の保存式」に相当するものであり、角速度 $\omega$ は地上高さ $h$ に比例することがわかる。また、式(1.3)により、渦の半径 $r$ は $h^{1/2}$ に反比例するので、竜巻の最大接線風速( $\omega \times r$ )は $h^{1/2}$ に比例する。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。

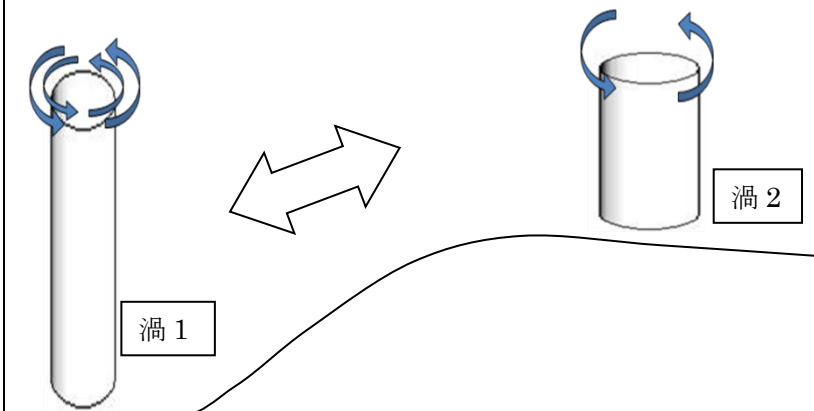
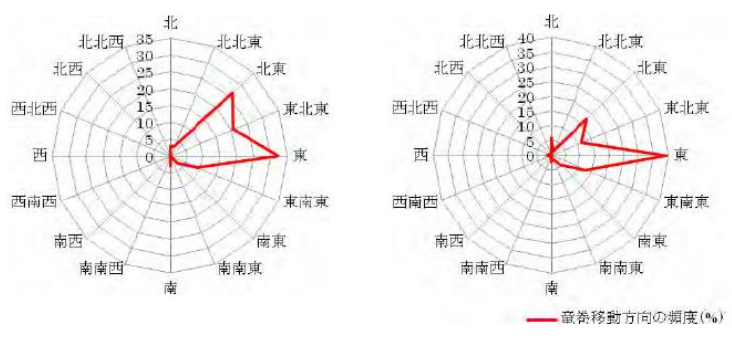
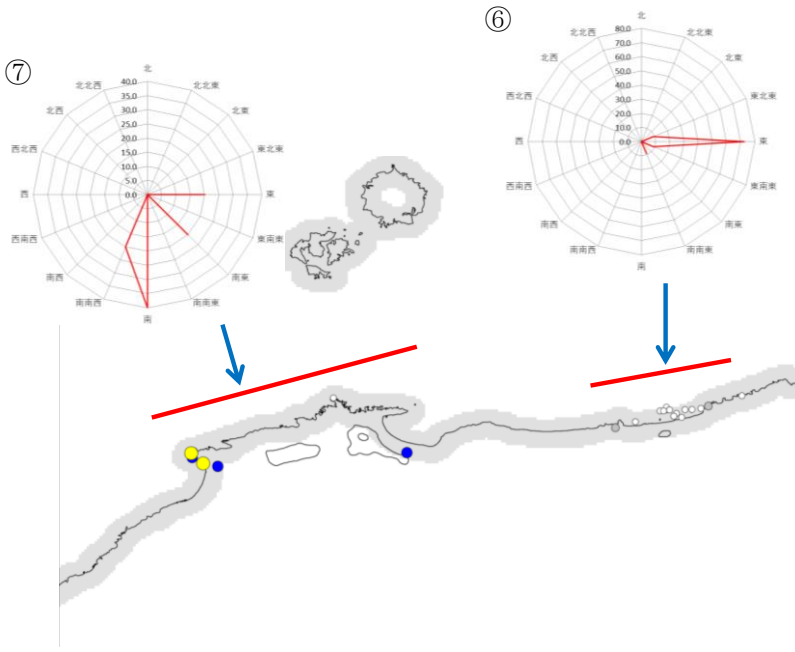
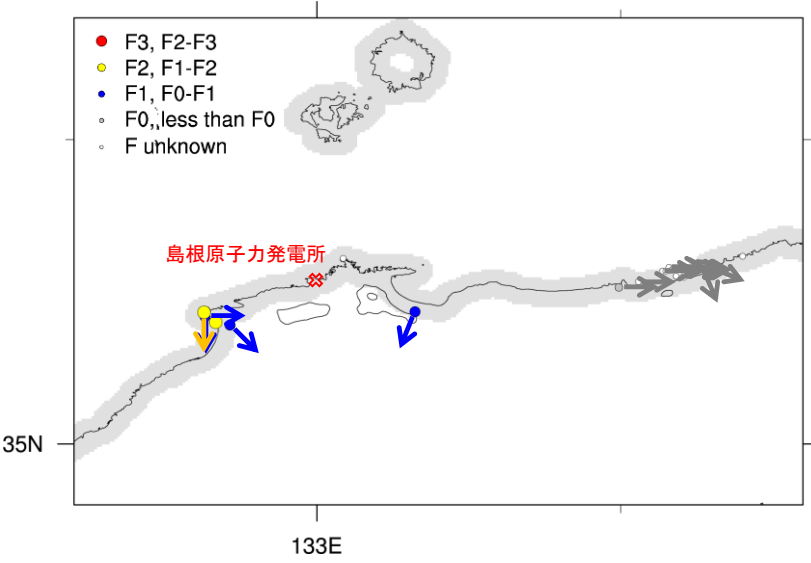
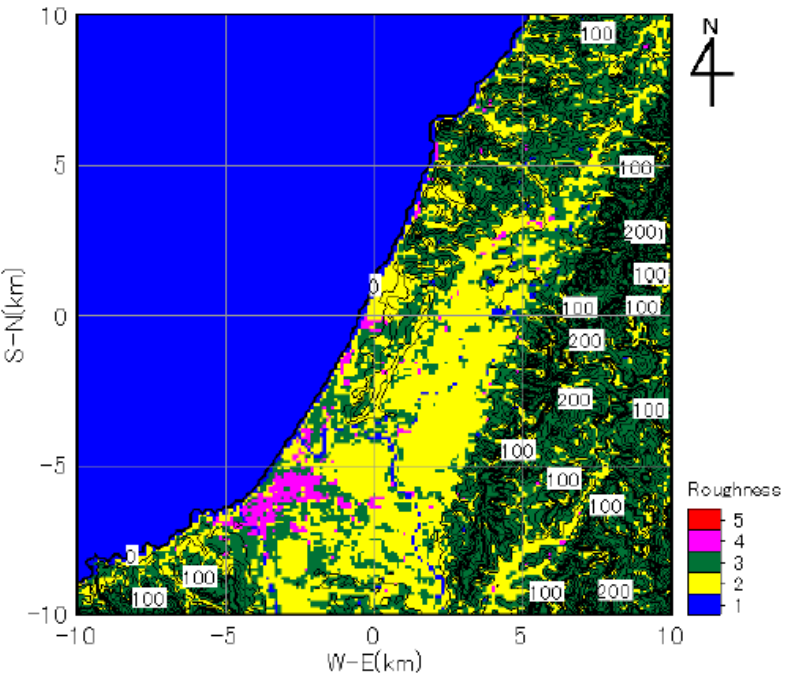
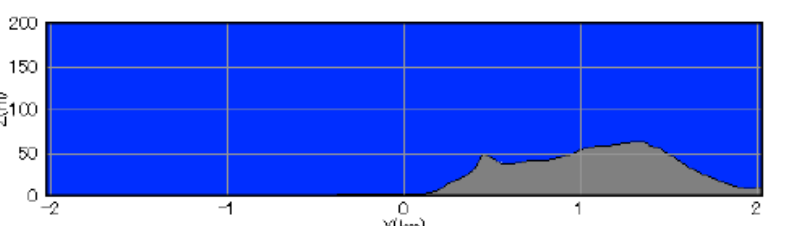
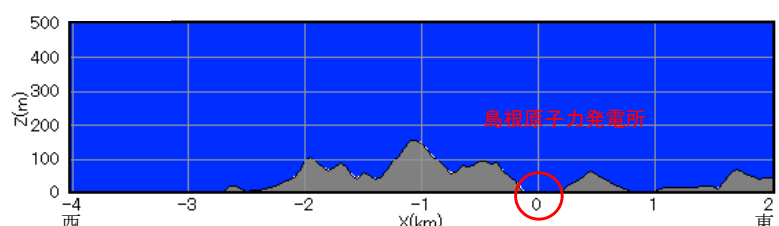
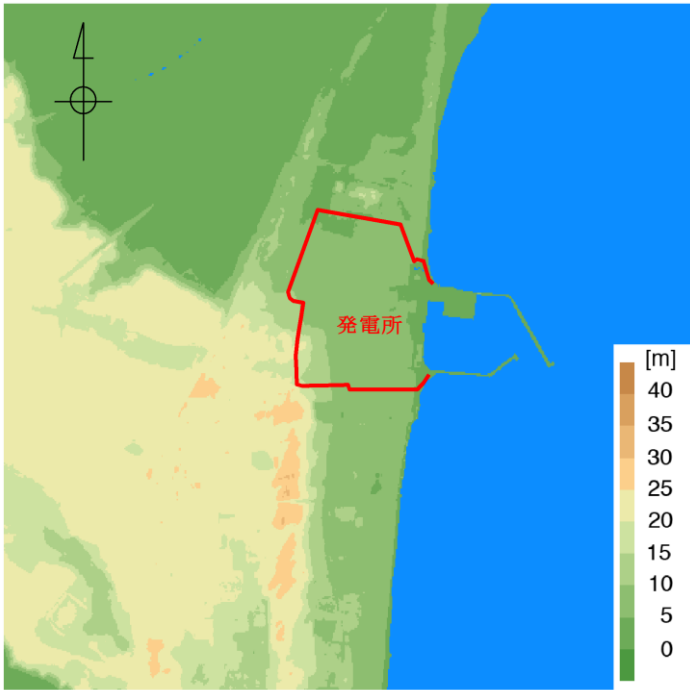


図2.4.5 竜巻旋回流の地形影響に関する模式図

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>4. 柏崎刈羽原子力発電所周辺での地形起伏の効果</p> <p>竜巻集中地域と竜巻検討地域で発生した竜巻の移動経路の発生頻度を図6に示す。北東から東南東に向かう竜巻が顕著であることを確認できる。すなわち、地形影響を議論する際には、特に、柏崎刈羽原子力発電所より西側に注視すればよいといえる。</p> 	<p>4. 発電所敷地周辺の地形効果の考慮要否</p>	<p>2.4.1.5 島根原子力発電所周辺での地形起伏の効果</p> <p>竜巻集中地域⑥及び⑦で観察された竜巻の移動経路の発生頻度を図2.4.6に、その発生場所を図2.4.7に示す。島根原子力発電所周辺で観察された竜巻は、その大部分が海上又は沿岸部で発生しており、その移動方向は東に向かう頻度が高いことが確認できる。また、島根原子力発電所が立地する竜巻集中地域⑦では、発電所北方の海上から南（陸側）へ向かう頻度が高いことが確認できる。</p> 	<p>・発電所立地場所による相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>・V<sub>0</sub>の設定方法の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根2号炉は、竜巻の移動方向を踏まえた地形効果の影響を把握するため、竜巻の移動方向を考慮している</p>
<p>図6 竜巻の移動経路の発生頻度 (左：竜巻集中地域, 右：竜巻検討地域)</p>		<p>図2.4.6 島根原子力発電所周辺で発生した竜巻の移動経路の発生頻度</p>  <p>図2.4.7 島根原子力発電所周辺で発生した竜巻の発生場所</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>柏崎刈羽原子力発電所を含む周辺の地形状況を図7に示す。図中において、地形の起伏を等値線から確認することができる。参考までに、粗度区分もカラーコンタで併記している。また、図8には、東向きの移動経路を勘案して、東西方向の鉛直断面の地形起伏を示した。</p>  <p>図7 柏崎刈羽原子力発電所周辺の地形起伏</p>  <p>図8 柏崎刈羽原子力発電所東西方向の鉛直断面での地形起伏</p> <p>これらの結果から、柏崎刈羽原子力発電所周辺の数km領域において、「尾根高さ Hm に対して±5Hm」という既往の研究が示している影響範囲の大きさに該当する地形が存在しないことがわかる。特に、西側については、海が占有し、地形を平坦と判断し得ることを理解できる。</p>		<p>島根原子力発電所を含む東西の地形断面を図2.4.8に示す。島根原子力発電所に襲来しうる竜巻の経路上の地形の起伏として、発電所西側の地形特性に着目すると、約2.5 km西側の0 m 標高地域から約1 km西側の130 m 標高地域を越えて、発電所周辺の0 m 標高地域にわたる起伏を確認できる。この起伏の傾斜は上り斜面・下り斜面とも1/10程度となる。</p>  <p>図2.4.8 島根原子力発電所を含む東西の地形断面</p> <p>すなわち、島根原子力発電所周辺で観察される竜巻が東進し、発電所に到達する場合、以下ようになる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・竜巻は上り斜面・下り斜面の影響をほぼ同程度受ける</li> <li>・竜巻は、周囲の丘の麓から少し離れたほぼ平坦な地点において発電所に到達する</li> </ul>	<p>(島根2号炉は、地形状況(地表面粗度含む)について「2.4.2.4」で記載)</p> <p>・発電所立地場所による相違 【柏崎6/7】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>さらに、地形の起伏に伴う風速の増減について、数値シミュレーションによる検討も行った。図9に、8風向に対する増減速率（流入風速に対する比）の計算結果を示す。なお、実際の風況シミュレーションでは地形の起伏と粗度の影響とを重畳させることが一般的であるが、ここでは地表面粗度を一様（粗度区分Ⅱ）とした結果を示している。これは、地形効果への議論を明確に示すことを意図したものである（別途、地表面粗度の影響を考慮したシミュレーション結果も実施し、ここで提示した結論との整合を核にしている）。</p> <p>この数値シミュレーションでは、直線的な風（straight wind）に対する計算を行ったが、上記で取りまとめた竜巻に関する知見とは異なり、下り坂で減速する特徴があるため、発電所付近において風速の顕著な減速がないという観点で確認した。図中のカラーコンタが増減率の度合い（比）を10倍したものを示す。原点位置が該当地点（柏崎刈羽原子力発電所）となる。図6に示す竜巻の主な移動方向に対する計算結果において、発電所付近においてカラーコンタが緑色（比として1前後）から明確な変化はしていないことから、地形による風速の顕著な変調は見られず、風場に対する地形の起伏の影響は小さいと判断される。</p>	<p>発電所敷地周辺の地形を第4-1図に示す。敷地周辺は最大でも標高40m程度のなだらかな地形であり、地形効果の影響の研究において想定するようなマイクロスケール（数百m）規模の起伏は認められないことから、地形効果による竜巻の増幅の可能性は低く、考慮不要と判断した。</p>  <p>第4-1図 発電所を中心とした東西3km×南北3kmの地形標高 (国土地理院5mメッシュ標高データに加筆)</p>	<p>このことから、地形起伏に対する竜巻の旋回流・強風の強化に対する知見である「竜巻の渦が上り斜面を移動する時、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動する時には強まる。」ことを勘案すると、島根原子力発電所における竜巻の風速評価において、地形の起伏による風速の増減は小さいものと判断できる。</p> <p>また、竜巻が島根原子力発電所の北方で発生し南方向（陸側）へ移動する場合には、地形が平坦な海側から発電所敷地に進入することとなり、発電所敷地も平坦であるため竜巻が増幅することはないと考えられる。</p>	<p>・検討内容の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は、竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない</p> <p>・発電所立地場所による相違 【柏崎6/7、東海第二】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考文献</p> <p>Forbes GS (1998) Topographic influences on tornadoes in Pennsylvania. 19th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Minneapolis, MN, 269-272.</p> <p>Karstens CD (2012) Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions. Graduate theses and dissertations of Iowa State Univ., paper12778.</p> <p>Lewellen DC (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Nashville, TN, 4B.1.</p>	<p>&lt;参考文献&gt;</p> <p>(3) Forbes, G. S. Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms American Meteorological Society, pp.269-272, 1998</p> <p>(1) Karstens, C.D. Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions, Graduate theses and dissertations of Iowa state univ, paper12778, 2012</p> <p>(2) Lewellen, D. C., Effects of Topography on Tornado Dynamics: A Simulation Study, 26th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, 4B.1., 2012</p>	<p>参考文献</p> <p>Forbes, G. S., 1998: Topographic Influences on Tornadoes in Pennsylvania, Proc 19th Conf Severe local storms Amer Meteorol Soc, Mineapolis, MN, pp.269-272</p> <p>Karstens C. D., 2012: Observations and laboratory simulations of tornadoes in complex topographical regions. Graduate theses and dissertations of Iowa state Univ., paper 12778.</p> <p>Lewellen, D. C., 2012: Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1.</p> <p>Holton, J. R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology, 3rd Edition, Academic Press.</p>	



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>図 9 柏崎刈羽原子力発電所周辺の風速の増減速率分布 (8 風向)</p>			
<p>(流入風速に対する比を 10 倍にして表示)</p>			
			<p>・ 検討内容の相違  <b>【柏崎 6/7】</b>  島根 2号炉は、竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考資料 1：地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈</p> <p>ここでは、本資料で示した地形の起伏による竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈を示す。なおここで示す、角運動量保存則に基づく解釈の妥当性を、被害状況調査 (Forbes 1998, Karstens 2012) や風洞実験 (Karstens 2012) も支持している。</p> <p>一般的に、回転する流れでは、「回転の中心からの距離」と「周方向の回転速度」の積が一定になるという性質がある。これは角運動量保存則と呼ばれるが、角運動量保存則と Holton (1992) を参考に、竜巻旋回流が形成された後における渦の伸長・収縮に伴う旋回流風速の増速・減速機構を以下に導く。竜巻のコア部分を一つの鉛直軸を有する剛体運動の気柱と仮定すると、上り坂を越える場合 (図の渦 1 から渦 2 へ移動する場合) には渦の長さが短くなる。その際、角運動量の保存則は次式のように表される。</p> $\int_0^{2\pi} \int_0^{r_1} \int_0^{h_1} (\rho r^2 \omega_1) dh \cdot r dr d\phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_2} \int_0^{h_2} (\rho r^2 \omega_2) dh \cdot r dr d\phi \quad \text{①}$ $\frac{1}{4} r_1^4 \omega_1 h_1 = \frac{1}{4} r_2^4 \omega_2 h_2 \quad \text{②}$ <p>ここで、<math>\omega</math> は角速度、<math>r</math> は渦コア (気柱) の半径、<math>h</math> は渦コア (気柱) の高さ、<math>\rho</math> は空気密度であり、添字の 1 と 2 はそれぞれ、渦 1 と渦 2 に対する値を表す。また、気柱の体積が保存されるので、式③が成立する。</p> $\pi r_1^2 h_1 = \pi r_2^2 h_2 \Rightarrow r_2^2 = \frac{h_1}{h_2} r_1^2 \quad \text{③}$ <p>この関係を式②に代入すると、式④が得られる。</p> $\frac{\omega_1}{h_1} = \frac{\omega_2}{h_2} \Rightarrow \frac{d}{dt} \left( \frac{\omega}{h} \right) = 0 \quad \text{④}$ <p>④の関係式は「渦位 (ポテンシャル渦度) の保存式」に相当するものであり、角速度 <math>\omega</math> は地上高さ <math>h</math> に比例することがわかる。また、③より、渦の半径 <math>r</math> は <math>h^{1/2}</math> に反比例するので、竜巻の最大接線風速 (<math>\omega \times r</math>) は <math>h^{1/2}</math> に比例する。そのため、竜巻の渦が上り斜面を移動するとき、基本的に渦は弱まり、下り斜面を移動するときには強まる。</p>			<p>(島根 2 号炉は、地形の起伏に起因する竜巻の旋回流の強弱に対する物理的解釈について「2.4.1.4」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p data-bbox="154 205 569 220">特に渦は弱まり、グリッド面を移動するときには強まる。</p>  <p data-bbox="273 483 807 514">図1 竜巻の旋回流の地形影響に関する模式図</p> <p data-bbox="154 571 914 646"><u>参考資料2：竜巻による旋回流を対象とした数値シミュレーションへのレビュー</u></p> <p data-bbox="154 661 926 1050">ガイド及びその解説に記載されている参考文献において、地形影響による旋回流の強化の評価技術として、数値シミュレーションの援用が例示されている。ここでは、ラージエディシミュレーション (LES) という技法が用いられている。LES では、風の運動を支配する方程式系を数値的に解くことにより、風の三次元分布の非定常な変化を求める。計算自体には仮定が少ないのが長所であるが、膨大な計算資源が必要であること、計算の初期・境界条件の設定が難しいこと、が欠点である。竜巻の実際の流れ場を対象とした場合、より難しいものとなる。</p> <p data-bbox="154 1066 926 1455">具体的には、LES では、風の変動を大規模なものと同規模なものに分離し、前者を数値シミュレーションの中で直接的に再現し、後者を物理法則から妥当性を類推できる仮定にもとづくモデル (サブグリッドモデル) で表現する。そのため、計算精度が格子解像度、計算手法やサブグリッドモデルの現象再現性に強く依存する。一方、表1 に示すように、近年の竜巻数値流体計算に用いられている格子解像度や計算手法には、様々なものが用いられており、適切な手法として統一的な知見が得られていないのが現状といえる。</p> <p data-bbox="154 1472 926 1633">このことを勘案して、本資料では、数値シミュレーションの結果を援用して、旋回流の増減への定性的評価及びその挙動への物理的解釈を与えることとし、定量的な数値の取り扱いを行わないこととした。</p>			<p data-bbox="2537 571 2813 959">・ 検討内容の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は、竜巻経路や発電所周辺地形を考慮して地形起伏による影響はないと判断したため数値シミュレーションは実施していない</p>

表 1 近年の竜巻数値流体計算の主要仕様

文献	解析体系	地表面境界条件	乱流モデル	解析手法	格子解像度	解析領域
Lewellen (2012)	複雑地形上実スケール竜巻	空力的粗度	LES (TKE型)	Lewellen(2007)と同じ (IB法を付加)	5m以下	2x2x2km
Natarajan and Hangan (2012)	実験スケール竜巻	不明 (ノンスリップ?)	LES (動的スマゴリンスキ型)	商用コードFluentベース (2次精度中心差分 hexahedral grid)	不明 (セル数は 2.5e6)	実験サイズ (半径=0.4m)
Maruyama(2011)	実験スケール竜巻	ノンスリップ	LES (標準スマゴリンスキ型)	RIAM-COMPACT (Kajishima Scheme)	最大風速半径の1/8	実験サイズ
Lewellen et al. (2008)	飛散物を含む実スケール竜巻	空力的粗度	LES (TKE型)	Lewellen(2007)と同様 (2流体モデルを付加)	不明	不明
Lewellen and Lewellen (2007)	実スケール竜巻	空力的粗度	LES (TKE型)	2次精度中心差分	不明	不明

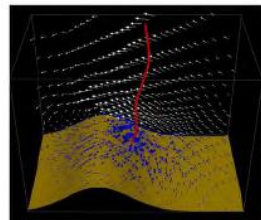
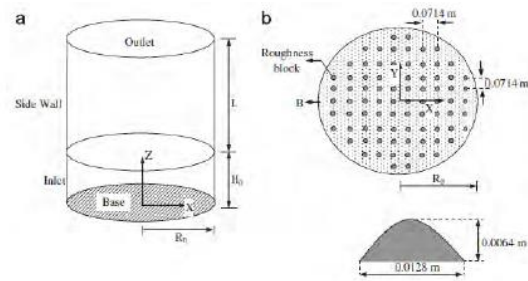
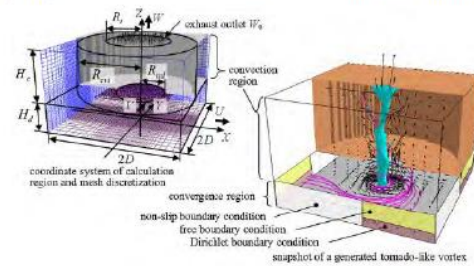


Figure 7. Sample velocity vectors 10 m above the surface (blue) and on a selected vertical plane (white) for a tornado heading upslope (moving right to left); vectors are given in a reference frame with the ground at rest. The red line represents the mean vortex core position at the time. The simulation case is that of fig. 4.



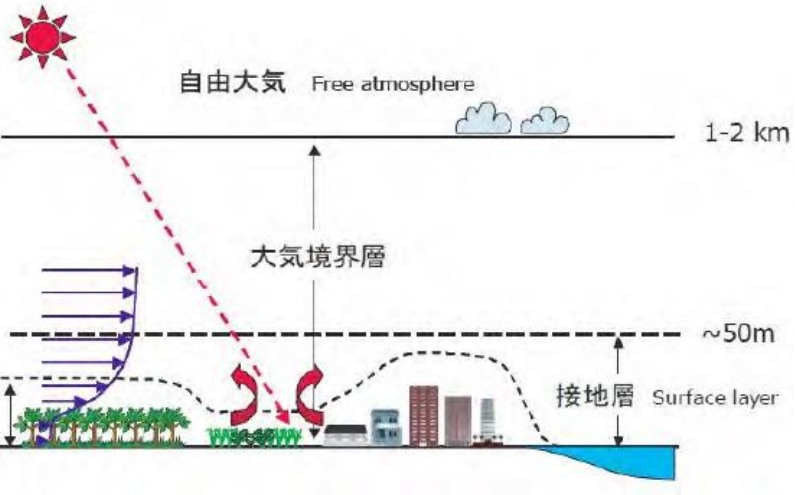
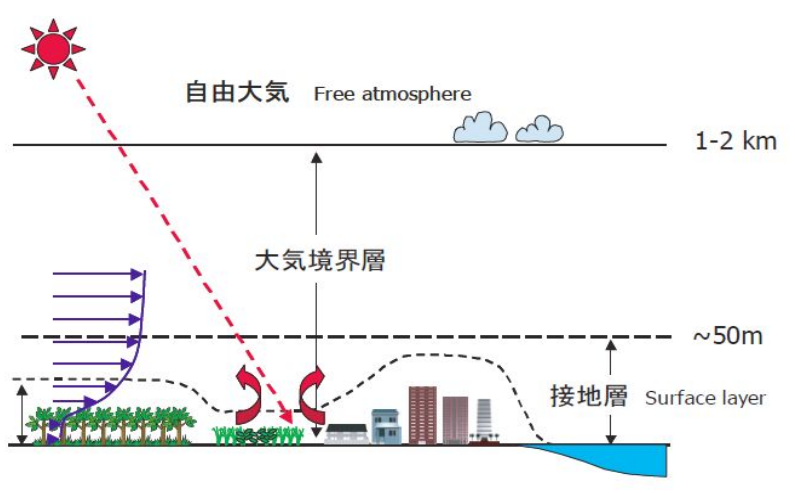
(a) Lewellen (2012)

(b) Natarajan and Hangan(2012)



(c) Maruyama (2011)

図 1 近年の竜巻数値流体計算の解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考資料3 地表面粗度について</p> <p>1. 概要 本資料において、既往の研究に基づく地表面粗度の物理的意味及び竜巻等の暴風時の風速への影響に関する知見を取りまとめる。</p> <p>2. 地表面粗度の定義 大気の流れ（風）は、地表面の影響を受けるが、地表面に近いほどその影響は強い。影響を受ける範囲は 1-2 km に及ぶことが一般的で、その範囲を大気境界層と呼ぶ。その中でも表面から数十メートルまでの領域は特にその影響が著しく、「接地層」といわれる（竹内・近藤 1981）。</p>  <p>図1 大気の鉛直構造の模式図</p> <p>風速は、地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。強風状態において、この風速の鉛直分布は対数分布と合致する。この対数分布の性状は、地表面の細かな凹凸が与える摩擦抵抗により定まる。この摩擦抵抗による風速分布への効果を示す指標を「粗度長」（地表面粗度）と定義する（塩谷 1992；近藤 2000）。</p> <p>接地層内の風速 <math>U</math> は、地表面からの高さ <math>z</math> に対して、粗度長 <math>z_0</math> を用いて</p> $U(z) = c \ln(z/z_0) \quad (1)$ <p>により整理される（ここで、<math>c</math> は係数）。</p>		<p>2.4.2 地表面粗度による竜巻風速の増幅特性について</p> <p>2.4.2.1 概要 本資料において、既往の研究に基づく地表面粗度の物理的意味及び竜巻などの暴風時の風速への影響に関する知見を取りまとめる。</p> <p>2.4.2.2 地表面粗度の定義 大気の流れ（風）は、地表面の影響を受けるが、地表面に近いほどその影響は強い。影響を受ける範囲は 1-2 km に及ぶことが一般的で、その範囲を大気境界層と呼ぶ。その中でも表面から数十メートルまでの領域は特にその影響が著しく、「接地層」といわれる（竹内・近藤 1981）。</p>  <p>図 2.4.9 大気の鉛直構造の模式図</p> <p>風速は、地表面において 0 となり上空に向かうにつれて増加する。強風状態において、この風速の鉛直分布は対数分布と合致する。この対数分布の性状は、地表面の細かな凹凸が与える摩擦抵抗により定まる。この摩擦抵抗による風速分布への効果を示す指標を「粗度長」（地表面粗度）と定義する（塩谷 1992；近藤 2000）。</p> <p>接地層内の風速 <math>U</math> は、地表面からの高さ <math>z</math> に対して、粗度長 <math>z_0</math> を用いて</p> $U(z) = c \ln(z/z_0) \quad (2.1)$ <p>により整理される（ここで、<math>c</math> は係数）。</p>	<p>・地形効果による影響の検討方法の相違</p> <p>【東海第二】 島根 2号炉は既往の知見を踏まえて、地形効果として地形起伏に加えて地表面粗度の影響を考慮している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																												
<p>3. 粗度長の値</p> <p>粗度長の値は、既往の研究において、様々な地表面状態に対して示されている。そこで得られている概略値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="163 352 914 653"> <thead> <tr> <th>地表面</th> <th>粗度長 [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水 (広くて静かな面)</td> <td><math>10^{-8} - 10^{-5}</math></td> </tr> <tr> <td>砂・砂漠</td> <td>0.0003</td> </tr> <tr> <td>土</td> <td>0.001 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.02 - 0.1 m)</td> <td>0.003 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.25 - 1.0 m)</td> <td>0.04 - 0.10</td> </tr> <tr> <td>農地</td> <td>0.04 - 0.20</td> </tr> <tr> <td>果樹園</td> <td>0.5 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>森林</td> <td>1.0 - 6.0</td> </tr> <tr> <td>大都市 (東京)</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">竹内・近藤 1981 より</p> <table border="1" data-bbox="163 695 914 926"> <thead> <tr> <th>地表面</th> <th>粗度長 [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>湖や海面</td> <td><math>10^{-3} - 10^{-5}</math></td> </tr> <tr> <td>水田</td> <td>0.01 - 0.05</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.1 m)</td> <td>0.01 - 0.03</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 1.0 m)</td> <td>0.1 - 0.3</td> </tr> <tr> <td>田園集落</td> <td>0.2 - 0.5</td> </tr> <tr> <td>森林</td> <td>0.3 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>大都市</td> <td>1 - 3</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">近藤 2000 より</p> <p>粗度長が地表面の細かな凹凸の度合いに呼応し増減することを確認できる。</p> <p>4. 粗度長を加味した風速の算定</p> <p>この粗度長を考慮した建築物の耐風設計 (強風を対象とした建築物の風荷重設定) 手順を日本建築学会が取りまとめている (日本建築学会 2004)。ここでは、地表面の状況に応じた粗度長の変化を 5 つの区分に分類して取り扱うことにしている。</p> <table border="1" data-bbox="163 1518 914 1850"> <thead> <tr> <th>粗度区分</th> <th>評価地点及び風上側地域の地表面の状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>海面又は湖面のような、ほとんど障害物のない地域</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物等が散在している地域</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域</td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td>中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地</td> </tr> </tbody> </table>	地表面	粗度長 [m]	水 (広くて静かな面)	$10^{-8} - 10^{-5}$	砂・砂漠	0.0003	土	0.001 - 0.01	草 (草丈 0.02 - 0.1 m)	0.003 - 0.01	草 (草丈 0.25 - 1.0 m)	0.04 - 0.10	農地	0.04 - 0.20	果樹園	0.5 - 1.0	森林	1.0 - 6.0	大都市 (東京)	2.0	地表面	粗度長 [m]	湖や海面	$10^{-3} - 10^{-5}$	水田	0.01 - 0.05	草 (草丈 0.1 m)	0.01 - 0.03	草 (草丈 1.0 m)	0.1 - 0.3	田園集落	0.2 - 0.5	森林	0.3 - 1.0	大都市	1 - 3	粗度区分	評価地点及び風上側地域の地表面の状況	I	海面又は湖面のような、ほとんど障害物のない地域	II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物等が散在している地域	III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域	IV	中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地	V	高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地		<p>2.4.2.3 粗度長を加味した風速の算定及び竜巻の風速に対する粗度長の効果</p> <p>この粗度長さを考慮した建築物の耐風設計 (強風を対象とした建築物の風荷重設定) 手順を日本建築学会が取りまとめている (日本建築学会 2004)。ここでは、地表面の状況に応じた粗度長さの変化を 5 つの区分に分類して取り扱うことにしている。</p> <table border="1" data-bbox="1745 1549 2496 1906"> <thead> <tr> <th>粗度区分</th> <th>評価地点及び風上の地表面の状況</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>海面または湖面のような、ほとんど障害物のない地域</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物などが散在している地域</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域</td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td>中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地</td> </tr> </tbody> </table>	粗度区分	評価地点及び風上の地表面の状況	I	海面または湖面のような、ほとんど障害物のない地域	II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物などが散在している地域	III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域	IV	中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地	V	高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地	<p>(島根 2 号炉は、粗度長の値について「付録 1」で記載)</p>
地表面	粗度長 [m]																																																														
水 (広くて静かな面)	$10^{-8} - 10^{-5}$																																																														
砂・砂漠	0.0003																																																														
土	0.001 - 0.01																																																														
草 (草丈 0.02 - 0.1 m)	0.003 - 0.01																																																														
草 (草丈 0.25 - 1.0 m)	0.04 - 0.10																																																														
農地	0.04 - 0.20																																																														
果樹園	0.5 - 1.0																																																														
森林	1.0 - 6.0																																																														
大都市 (東京)	2.0																																																														
地表面	粗度長 [m]																																																														
湖や海面	$10^{-3} - 10^{-5}$																																																														
水田	0.01 - 0.05																																																														
草 (草丈 0.1 m)	0.01 - 0.03																																																														
草 (草丈 1.0 m)	0.1 - 0.3																																																														
田園集落	0.2 - 0.5																																																														
森林	0.3 - 1.0																																																														
大都市	1 - 3																																																														
粗度区分	評価地点及び風上側地域の地表面の状況																																																														
I	海面又は湖面のような、ほとんど障害物のない地域																																																														
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物等が散在している地域																																																														
III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域																																																														
IV	中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地																																																														
V	高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地																																																														
粗度区分	評価地点及び風上の地表面の状況																																																														
I	海面または湖面のような、ほとんど障害物のない地域																																																														
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木、低層建築物などが散在している地域																																																														
III	樹木・低層建築物が多数存在する地域、あるいは中層建築物 (4 - 9 階) が散在している地域																																																														
IV	中層建築物 (4 - 9 階) が主となる市街地																																																														
V	高層建築物 (10 階以上) が密集する市街地																																																														



そして、式(1)の対数分布を近似するものとして、次式で示される分布とともに、各粗度区分に対して式中のパラメータとして下表の値を提示している。

$$U(z) = c (z/z_G)^\alpha \quad (z_b < z \leq z_G) \quad (2)$$

粗度区分	I	II	III	IV	V
$z_b$ (m)	5	5	10	20	30
$z_G$ (m)	250	350	450	550	650
$\alpha$	0.1	0.15	0.2	0.27	0.35

地表面の凹凸が大きくなるほど、 $z_b$ ,  $z_G$ ,  $\alpha$  (べき指数) の値も大きくなる。

粗度区分 I-V に対して、式(2)から得られる風速の鉛直分布を 図 2 に示す。

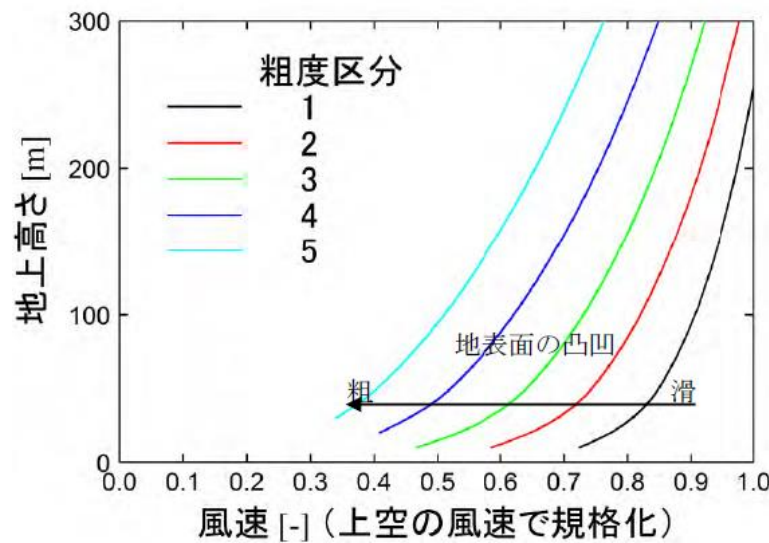


図 2 粗度区分と風速の鉛直分布との関係

ここで、地表面の凹凸による地表面近傍における風速の減速を議論するため、同一の上空風速 ( $z = z_G$  の風速) に対する分布を提示している。すなわち、横軸の数字は地表面粗度の影響に起因する減速の度合いを意味する。地上に近づくにつれて・粗度区分が大きくなるにつれて、地表面近傍の風速が小さくなることを確認できる。例えば、地上高さ 10 m の風速は、粗度区分が I から II に変化することで 20%程度低下し、III に変化することで 35%程度低下する。

そして、式(2.1)の対数分布を近似するものとして、次式で示されるべき分布とともに、各粗度区分に対して式中のパラメータとして下表の値を提示している。

$$U(z) = c(z/z_G)^\alpha \quad (z_b < z < z_G) \quad (2.2)$$

粗度区分	I	II	III	IV	V
$z_b$ (m)	5	5	10	20	30
$z_G$ (m)	250	350	450	550	650
$\alpha$	0.1	0.15	0.2	0.27	0.35

地表面の凹凸が大きくなるほど、 $z_b$ ,  $z_G$ ,  $\alpha$  (べき指数) の値も大きくなる。

粗度区分 I-V に対して、式(2.2)から得られる風速の鉛直分布を 図 2.4.10 に示す。

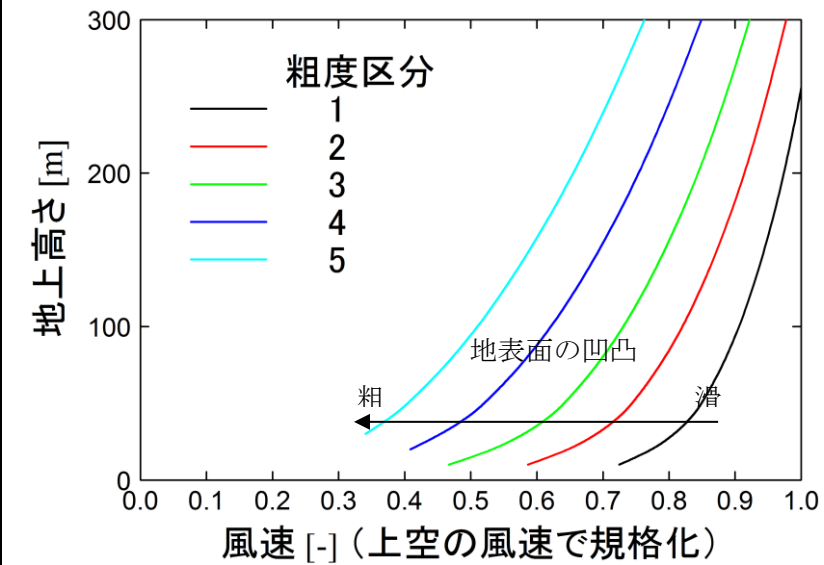


図 2.4.10 粗度区分と風速の鉛直分布との関係

図 2.4.10 は、同一の上空風速 ( $z = z_G$  の風速) に対する分布を示している。すなわち、横軸の数字は地表面粗度の影響に起因する減速の度合いを意味する。地上に近づくにつれ、又、粗度区分が大きくなるにつれて、地表面近傍の風速が小さくなる。例えば、地上高さ 10 m の風速は、粗度区分が I から II に変化することで 20 %程度低下し、III に変化することで 35 %程度低下する。



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>5. 竜巻の風速に対する粗度長の効果</p> <p><u>4章に示した風速の算定手順は、強風を対象としたものであり、地表面状態が森林等柔なものからビルなどの剛なものまでを包括して、地表面の凹凸が、強風の減衰をもたらすことを示唆するものである。</u></p> <p>なお、竜巻は通常の強風と異なり、強い渦（旋回流）構造を有する。地表面粗度は、この竜巻の旋回流を減衰させる効果を有する（例えば、Dessens 1972, Leslie 1977, Lewellen and Sheng 1979, Rostek and Snow 1985, Church 1993, Natarajan and Hangan 2012）。また、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することも竜巻の風速を大きく減少させることも示唆されている（Lewellen et al. 2008）。</p> <p>これらの知見から、表面の凹凸、すなわち地表面粗度、の増加とともに竜巻に起因する強風の風速が低下するといえる。</p>		<p>なお、竜巻は通常の強風と異なり、強い渦（旋回流）構造を有する。地表面粗度は、この竜巻の旋回流を減衰させる効果を有するとされている（例えば、Leslie 1977, Lewellen and Sheng 1979, Rostek and Snow 1985, Church 1993, Natarajan and Hangan 2012）。また、地表面粗度の構成物が飛来物として運動することも竜巻の風速を大きく減少させると示唆されている（Lewellen et al. 2008）。</p> <p>これらの知見から、表面の凹凸、すなわち粗度の増加とともに竜巻に起因する風速を低下させると考えられる。</p> <p>2.4.2.4 島根原子力発電所周辺での地表面粗度の効果</p> <p>島根原子力発電所周辺の地表面粗度区分のカラーコンタを図2.4.11に示す。図の原点が島根原子力発電所位置となる。北側には海などに相当する粗度区分Ⅰの領域（図中青色）が広がるが、そのほかの三方は森林などに相当する粗度区分Ⅲの領域（図中緑色）に囲まれている。</p> <p>島根原子力発電所周辺で観察された竜巻の移動経路の発生頻度及び発生場所は、2.4.1.5の図2.4.6及び図2.4.7に示したとおり、その大部分が海上または沿岸部で発生しており、その移動方向は、東に向かう頻度が高い。</p> <p>図2.4.11によると、島根原子力発電所西方においては、森林などに相当する粗度区分Ⅲの領域が2 km以上にわたり存在している。</p> <p>以上のことから、島根原子力発電所における竜巻の風速評価においては、地表面粗度に起因する風速の減衰が見込めると判断できる。</p>	<p>(柏崎6・7号炉は、地形状況(地表面粗度含む)について「4.」で記載)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

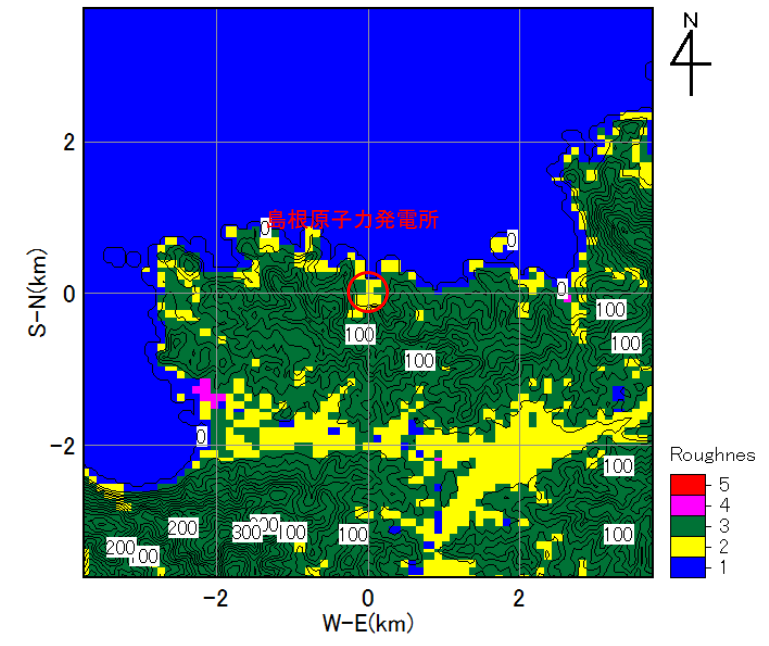
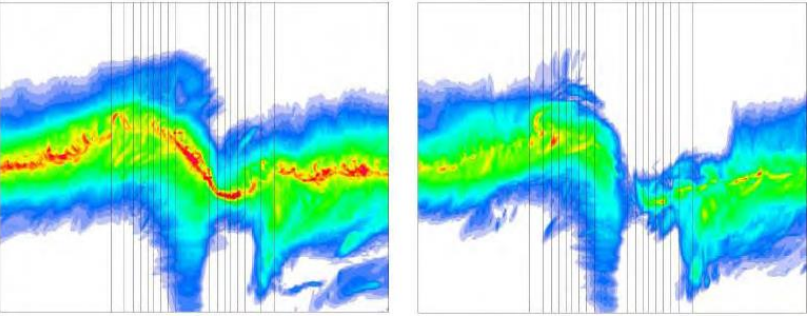
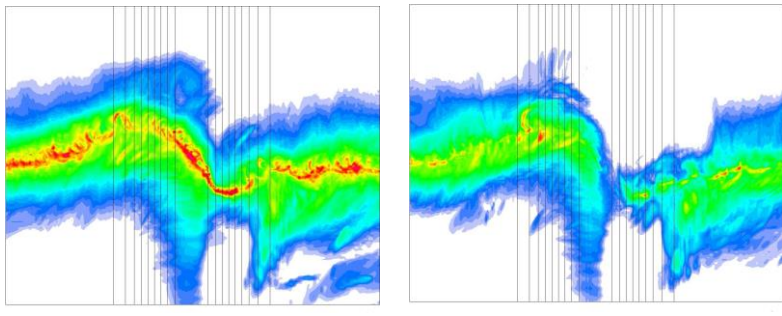


図 2. 4. 11 島根原子力発電所周辺の地表面粗度

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																				
<p>参考文献</p> <p>近藤 (2000) 地表面に近い大気の科学 324pp</p> <p>塩谷 (1992) 強風の性質 開発社 201pp</p> <p>竹内・近藤 (1981) 大気科学講座 1 地表に近い大気 東大出版 226pp</p> <p>日本建築学会 (2004) 建築物荷重指針・同解説 丸善 651pp</p> <p>Church, C. R., J. T. Snow (1993) Laboratory models of tornadoes. The tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards, Geophysical Monograph 79, Amer. Geophys. Union, 277-295.</p> <p>Hattori Y et al. (2010) Wind-tunnel experiment on logarithmic-layer turbulence under the influence of overlying detached eddies. Bound.-Layer Meteor., 134, 269-283.</p>		<p>付録1 粗度長の値</p> <p>粗度長の値は、既往の研究において、様々な地表面状態に対して示されている。そこで得られている概略値を以下に示す。</p> <table border="1" data-bbox="1736 430 2496 787"> <thead> <tr> <th>地表面</th> <th>粗度 [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>水 (広くて静かな面)</td> <td><math>10^{-6} - 10^{-5}</math></td> </tr> <tr> <td>砂・砂漠</td> <td>0.0003</td> </tr> <tr> <td>土</td> <td>0.001 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.02 - 0.1 m)</td> <td>0.003 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.25 - 1.0 m)</td> <td>0.04 - 0.10</td> </tr> <tr> <td>農地</td> <td>0.04 - 0.20</td> </tr> <tr> <td>果樹園</td> <td>0.5 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>森林</td> <td>1.0 - 6.0</td> </tr> <tr> <td>大都市 (東京)</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">竹内・近藤 1981 より</p> <table border="1" data-bbox="1736 829 2496 1113"> <thead> <tr> <th>地表面</th> <th>粗度 [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>湖や海面</td> <td><math>10^{-3} - 10^{-5}</math></td> </tr> <tr> <td>水田</td> <td>0.01 - 0.05</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 0.1 m)</td> <td>0.01 - 0.03</td> </tr> <tr> <td>草 (草丈 1.0 m)</td> <td>0.1 - 0.3</td> </tr> <tr> <td>田園集落</td> <td>0.2 - 0.5</td> </tr> <tr> <td>森林</td> <td>0.3 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>大都市</td> <td>1 - 3</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">近藤 2000 より</p> <p>上記から粗度長が地表面の細かな凹凸の度合いに呼応し増減することを確認できる。</p> <p>参考文献</p> <p>近藤純正, 2000: 地表面に近い大気の科学—理解と応用. 東京大学出版会, 324pp.</p> <p>塩谷正雄, 1992: 強風の性質—構造物の耐風設計に関連して. 開発社, 201pp.</p> <p>竹内清秀, 近藤純正, 1981: 大気科学講座 1 地表に近い大気. 東京大学出版会, 226 pp.</p> <p>日本建築学会, 2004: 建築物荷重指針・同解説. 丸善出版, 651pp.</p> <p>Church, C. R., 1993: The tornado: Its structure, dynamics, prediction and hazards. Geophysical Monograph, Vol. 79, American Geophysical Union.</p>	地表面	粗度 [m]	水 (広くて静かな面)	$10^{-6} - 10^{-5}$	砂・砂漠	0.0003	土	0.001 - 0.01	草 (草丈 0.02 - 0.1 m)	0.003 - 0.01	草 (草丈 0.25 - 1.0 m)	0.04 - 0.10	農地	0.04 - 0.20	果樹園	0.5 - 1.0	森林	1.0 - 6.0	大都市 (東京)	2.0	地表面	粗度 [m]	湖や海面	$10^{-3} - 10^{-5}$	水田	0.01 - 0.05	草 (草丈 0.1 m)	0.01 - 0.03	草 (草丈 1.0 m)	0.1 - 0.3	田園集落	0.2 - 0.5	森林	0.3 - 1.0	大都市	1 - 3	<p>(柏崎 6/7 号炉は、粗度長の値について「参考資料 3 3」で記載)</p>
地表面	粗度 [m]																																						
水 (広くて静かな面)	$10^{-6} - 10^{-5}$																																						
砂・砂漠	0.0003																																						
土	0.001 - 0.01																																						
草 (草丈 0.02 - 0.1 m)	0.003 - 0.01																																						
草 (草丈 0.25 - 1.0 m)	0.04 - 0.10																																						
農地	0.04 - 0.20																																						
果樹園	0.5 - 1.0																																						
森林	1.0 - 6.0																																						
大都市 (東京)	2.0																																						
地表面	粗度 [m]																																						
湖や海面	$10^{-3} - 10^{-5}$																																						
水田	0.01 - 0.05																																						
草 (草丈 0.1 m)	0.01 - 0.03																																						
草 (草丈 1.0 m)	0.1 - 0.3																																						
田園集落	0.2 - 0.5																																						
森林	0.3 - 1.0																																						
大都市	1 - 3																																						

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>James R. Holton (1992) An Introduction to Dynamic Meteorology, pp. 511.</p> <p>Dessens, J., Jr. (1972) Influence of ground roughness on tornadoes : A Laboratory Simulation. J. Appl. Meteor., 11, 72-75.</p> <p>Leslie F W (1977) Surface roughness effects on suction vortex formation : A Laboratory Simulation. J. Atmos. Sci., 34, 1022-1027.</p> <p>Lewellen WS, Sheng YP (1979) Influence of surface conditions on tornado wind distributions. 11th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Kansas City,MO, 375-381.</p> <p>Lewellen DC, Gong B, Lewellen WS (2008) Effects of finescale debris on near-surface tornado dynamics. J. Atmos. Sci., 65, 3247-3262.</p> <p>Natarajan D, Hangan H (2012) Large eddy simulations of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 104-106, 577-584.</p> <p>Maruyama, T. (2011) Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 99, 249-256.</p> <p>Lewellen, D. C., and W. S. Lewellen (2007) Near-surface intensification of tornado vortices. J. Atmos. Sci., 64, 2176-2194.</p> <p>Rostek WF, Snow JT (1985) Surface roughness effects on tornado like vortices. 14th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Indianapolis, IN, 252-255.</p>		<p>Leslie, F. W., 1977: Surface roughness effects on suction vortex formation. J. Atmos. Sci., 34, 1022-1027.</p> <p>Lewellen, W. S., and Y. P. Sheng, 1979: Influence of surface conditions on tornado wind distribution. Proc. 11th Conf. Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., 375-378.</p> <p>Lewellen, D. C., B. Gong, W. S. Lewellen, 2008: Effects of finescale debris on near-surface tornado dynamics. J. Atmos. Sci., 65, 3247-3262.</p> <p>Natarajan, D., and H. Hangan, 2012: Large eddy simulations of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 104-106, 577-584.</p> <p>Rostek, W. F., and J. T. Snow, 1985: Surface roughness effects on tornado like vortices. Proc. 15th Conf. Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., 252-255.</p> <p>Lewellen, D. C. (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1.</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>別紙：地形と粗度との重畳について</p> <p>ここでは、本資料で示した粗度による竜巻の減衰について、別資料で示した地形効果との重畳について言及する。地表面粗度と地形効果との重畳について、Lewellen (2012) により実施された LES が一つの知見を与えている。この LES では、高さ 100m の尾根を越える竜巻の減衰を 2 種類の地表面粗度 (<math>z_0 = 2 \text{ cm}</math> と <math>20 \text{ cm}</math>) に対して調べている。それにより得られた最大風速のカラーコンタを以下に示す。</p>  <p>地表面粗度 <math>z_0=2\text{cm}</math> の場合      地表面粗度 <math>z_0=20\text{cm}</math> の場合</p> <p>図 1 最大風速のカラーコンタ</p> <p>地表面粗度の値によらず、地形の起伏に伴う竜巻進路は蛇行している。竜巻の移動に伴う、最大瞬間風速の値の強弱は、地表面粗度に伴い異なる挙動を呈するが、地表面粗度の増加は、最大風速の低下に寄与していることを確認できる。</p> <p>この結果は、本資料が説明した地表面粗度による竜巻風速の減衰について、地形の起伏が重畳する場合も同様の結論となることを示唆する。</p> <p>参考文献： Lewellen DC (2012) Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conf. on Severe Local Storms, Amer. Meteor. Soc., Nashville, TN, 4B.1.</p>		<p>付録 2 地形と粗度との重畳について</p> <p>ここでは、粗度による竜巻の減衰について、地形効果との重畳について言及する。地表面粗度と地形効果との重畳について、Lewellen (2012) により実施された LES が一つの知見を与えている。この LES では、高さ 100m の尾根を越える竜巻の減衰を 2 種類の地表面粗度 (<math>z_0 = 2 \text{ cm}</math> と <math>20 \text{ cm}</math>) に対して調べている。それにより得られた最大風速のカラーコンタを以下に示す。</p>  <p>地表面粗度 <math>z_0=2\text{cm}</math> の場合      地表面粗度 <math>z_0=20\text{cm}</math> の場合</p> <p>図 1 最大風速のカラーコンタ</p> <p>地表面粗度の値によらず、地形の起伏に伴う竜巻進路は蛇行している。竜巻の移動に伴う、最大瞬間風速の値の強弱は、地表面粗度に伴い異なる挙動を呈するが、地表面粗度の増加は、最大風速の低下に寄与していることを確認できる。</p> <p>この結果は、地表面粗度による竜巻風速の減衰について、地形の起伏が重畳する場合も同様の結論となることを示唆する。</p> <p>参考文献 Lewellen, D. C., 2012: Effects of topography on tornado dynamics: A simulation study. 26th Conference on Severe Local Storms, Amer. Meteorol. Soc., Nashville, TN, 4B.1. Holton, J. R., 1992: An Introduction to Dynamic Meteorology, 3rd Edition, Academic Press.</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料2.5</p> <p style="text-align: center;"><u>設計竜巻の特性値の設定</u></p> <p>当社の竜巻影響評価においては、フジタの竜巻工学モデル DBT-77 (DBT: Design Basis Tornado) を適用していることから、設計竜巻の特性値を以下のとおり設定する。</p> <p>1. フジタモデルDBT-77 について</p> <p>フジタモデルには、Fujita Work Book<sup>(1)</sup>の6章に記載されているフジタモデルDBT-77 と7章に記載されているフジタモデルDBT-78 があり、フジタモデルDBT-77は単一渦型のモデル、フジタモデルDBT-78 はフジタモデルDBT-77 で模擬した大きな竜巻の中に小さな吸込渦 (suction vortices) を加えた多重渦型のモデルである。(図1)</p> <p>米国NRC ガイド<sup>(2)</sup>に記載されているフジタモデルは、「内側のコアと外側のコアの間にある環には、強い竜巻の吸引渦が形成され、親竜巻の中心の回りで回転する (In the annulus between the inner core radius and the outer core radius, suction vortices form in strong tornadoes and rotate around the center of the parent tornado)」とあるように、多重渦型のフジタモデルDBT-78 のことを述べている。</p> <div data-bbox="231 1312 765 1570" data-label="Image"> </div> <p>Figure 8.2 Fujita's latest model of multiple-vortex tornadoes for engineering applications. The design-basis tornado model in Chapter 6 developed in 1977 was identified as "DBT-77". Design-basis suction-vortex parameters in Chapter 7 were added to the DBT-77 in constructing this latest analytical model, to be identified as "DBT-78".</p> <p style="text-align: center;">図1 DBT-78 モデルの模式図<sup>(1)</sup></p>			<p>(島根2号炉は設計竜巻の特性値のうち、設計竜巻の移動速度、最大接線風速、最大接線風速半径の設定については「別添2-2 別紙2」に記載。最大気圧低下量及び最大気圧低下率の設定については「別添2-1 2.5」に記載)</p>



柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>米国NRC ガイドでは、フジタモデルDBT-78 の中の小さな吸込渦は半径が小さく、圧力の時間変化率が半径に反比例して大きくなることを考慮して、同ガイドで採用したランキン渦モデルでも保守的に圧力の時間変化率が大きくなるように、改訂前（2007 年以前）の同ガイドで採用されていた最大接線風速半径45.7m を選択している。</p> <p>また、米国ローレンス・リバモア国立研究所報告書<sup>(3)</sup>では、「多重渦型のフジタモデルDBT-78 で考慮されている吸込渦はすぐに減衰することから、大多数の専門家は竜巻被災の重要因子ではないと考えている」と述べており、単一渦型のフジタモデルDBT-77 を飛来物評価の竜巻風速場として選定している。</p> <p>フジタモデルDBT-78 モデルは、Fujita Work Book<sup>(1)</sup>において、最大風速や発生率がモデル化されているのみであり、飛散解析に必要な風速場に関する数式が完全には定義されていない。また、仮にDBT-78 モデルを適用した場合、竜巻半径が東京工芸大報告書<sup>(4)</sup>に示されている日本で観測された被害幅に基づく竜巻半径と整合が取れなくなるといった点が挙げられる。</p> <p>以上を踏まえ、当社の竜巻影響評価ではフジタモデルDBT-77 を適用している。</p> <p>DBT-77 モデルの入力パラメータは移動速度、最大接線風速及び最大接線風速半径であり、これらについて制限はFujita Work Book<sup>(1)</sup>では記載されておらず、特に制限はないものと考えられることを踏まえ、以下のとおり設計竜巻の特性値を設定する。</p> <p>(1) 設計竜巻の移動速度 (<math>V_T</math>)</p> <p>ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて移動速度 (<math>V_T</math>) は、下記の式にて設定される。</p> $V_T = 0.15 \cdot V_D \text{ (ガイドの3.1 式)} \quad (1)$ <p>一方、この式は日本の竜巻観測記録（気象庁データベース）に基づいた竜巻移動速度（平均値）と最大風速との関係<sup>(4)</sup>を参照して設定されており、風速場モデルに関わらず用いることができることから、フジタモデルでも適用できる。</p> <p>また、参考に、<math>V_D=92\text{m/s}</math> の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での移動速度を以下に示す。</p>			

表1 設計竜巻の移動速度 ( $V_T$ ) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
移動速度 ( $V_T$ )	14m/s	14m/s

(2) 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速 ( $V_{Rm}$ ) は、竜巻の最大風速から移動速度 ( $V_T$ ) を引いた値として、下記の式にて設定される。

$$V_{Rm} = V_D - V_T \quad (\text{ガイドの3.2 式}) \quad (2)$$

一方、上記式は、風速場によらないのでフジタモデルでも適用できる。

また、参考に、 $V_D=92\text{m/s}$  の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での最大接線風速を以下に示す。

表2 設計竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ ) の比較

	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77
最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )	78m/s	78m/s

(3) 設計竜巻の最大接線風速半径 ( $R_m$ )

ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大接線風速半径 ( $R_m$ ) については、観測された被害幅を用いて推定している。

竜巻によって被害が生じる風速を  $V_0$  とした場合、 $R_m$  を超えた範囲では、風速  $V = V_{Rm} \cdot (R_m/r)$  と表せるため、被害が生じる風速  $V_0$  と、被害幅  $r_0$ 、及び最大接線風速  $V_{Rm}$  が分かれば最大接線風速半径  $R_m$  を得ることができる。(図2)

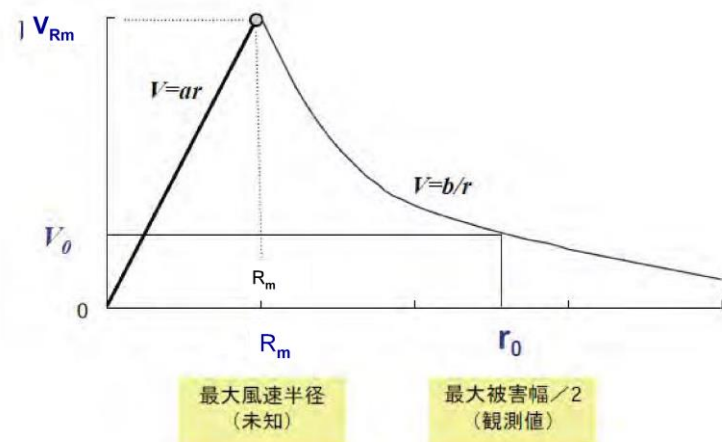


図2 竜巻半径と風速との関係

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>例えば、東京工芸大報告書<sup>(4)</sup>p. 163 の仮定2より、最大風速 <math>V_{Rm}=70\text{m/s}</math> (F3 あるいはF3に近いF2 竜巻)、被害幅250m の1/2 である <math>r_0 = 125\text{m}</math>、被害が生じる風速 <math>V_0 = 17\text{m/s}</math>、とするとこれをもとに設定する最大接線風速半径 (<math>R_m</math>) は、下記のとおり。</p> $R_m = r_0 \cdot V_0 / V_{Rm}$ $R_m = 125 \cdot 17 / 70 \quad (3)$ $R_m \approx 30.36 \text{ (m)}$ <p>一方、フジタモデルの水平風速 <math>V</math> は接線風速と径方向風速を合成したものであるため、外部コア半径の外側では水平風速 <math>V</math> は以下で与えられる。</p> $V = \sqrt{V_\theta^2 + V_r^2} \quad (4)$ $= F_r(r) F_h(z) V_m \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_0}$ <p>ここで、 <math>F_r(r) = \frac{R_m}{r}</math>、 <math>F_h(z) = \begin{cases} z^k &amp; (z &lt; 1) \\ \exp(-k(z-1)) &amp; (z \geq 1) \end{cases} \quad (5)</math></p> $\tan \alpha_0 = \begin{cases} -A(1-z^{1.5}) & (z < 1) \\ B\{1 - \exp(-k(z-1))\} & (z \geq 1) \end{cases} \quad (6)$ <p>フジタモデルでは、ランキン渦モデルと異なり高さによって風速が変化するが、外部コア半径の内側では <math>r</math> に比例して風速が大きくなり、外部コア半径の外側では <math>r</math> に反比例して小さくなる点ではランキン渦モデルと同様である。(ランキン渦モデルと同様に、竜巻半径と風速の関係は図2 のとおりとなる)</p> <p>また、接線風速 <math>V</math> が最大となるのは、流入層の上端 (<math>z=1</math>) であるが、このとき、 <math>F_h(z)=1</math>、 <math>\tan \alpha_0=0</math> となるので、外部コア半径の外側ではランキン渦モデルと同様に <math>V=V_m R_m / r</math> が成立する。</p> <p>したがって、被害幅から最大接線風速半径を推定する際に、ランキン渦モデルと同様に求めることができると考えられるため、本検討においてはガイドを参照して最大接線風速半径 <math>R_m = 30\text{m}</math> を設定する。</p> <p>また、参考に、 <math>V_0=92\text{m/s}</math> の際のランキン渦モデルとフジタモデルDBT-77 での最大接線風速半径を以下に示す。</p>			

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考						
<p>表3 設計竜巻の最大接線風速半径 (R<sub>m</sub>) の比較</p> <table border="1" data-bbox="163 346 905 409"> <thead> <tr> <th></th> <th>ランキン渦モデル</th> <th>フジタモデル DBT-77</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大接線風速半径 (R<sub>m</sub>)</td> <td>30m</td> <td>30m</td> </tr> </tbody> </table> <p>(4) 設計竜巻の最大気圧低下量 (ΔP<sub>max</sub>)・最大気圧低下率 ((dp/dt)<sub>max</sub>) ランキン渦モデルを仮定したガイドにおいて最大気圧低下量 (ΔP<sub>max</sub>)・最大気圧低下率 ((dp/dt)<sub>max</sub>) は、それぞれ <math>\rho V_{Rm}^2</math>、<math>(V_T/R_m) \cdot \Delta P_{max}</math> と設定される。</p> <p>一方、フジタモデルにおける設計竜巻の最大気圧低下量・最大気圧低下率については、速度分布が既知である場合、流れの連続式と運動量保存式から導出される以下の圧力ポアソン方程式を解くことにより、圧力を求めることができる。</p> $\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} \right) \quad (7)$ <p>ここで、x<sub>i</sub> は座標 (x, y, z) を、U<sub>i</sub> 及び p は風速ベクトル及び圧力を表す。また、ν は動粘性係数を、ρ は空気密度を表す。なお、添え字 i, j は 1 から 3 までの整数とする。</p> <p>式(7)を解くために有限要素法 (計算方法の詳細は参考文献(5)、(6)を参照) を用い、一辺300m(10R<sub>m</sub>)の立方体を解析領域として、この領域を1辺100個の有限要素に分割した。竜巻 (最大接線風速V<sub>Rm</sub>=78m/s、半径R<sub>m</sub>=30m) の中心が解析領域の角部に位置するものとして、各節点にFujita モデルの風速値を与えた。移動速度V<sub>t</sub>は圧力分布には影響しないため、ここでの計算ではV<sub>t</sub>=0とした。</p> <p>図3にFujita モデルの圧力分布 (空気密度で除したもの) を示す。空気密度で除した最大圧力差は5149.8m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>であるので、これに空気密度1.226kg/m<sup>3</sup>を乗じて最大圧力差を求めた。ただし、この結果は一辺300m(10R<sub>m</sub>)の立方体を解析領域とした有限領域での数値解析結果であるので、これを無限領域における最大気圧低下量とするために、更に補正係数1.0066を乗じた (表4)。なお、この補正係数1.0066は、ランキン渦に対する最大圧力差の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。</p> <p>図4にFujita モデルの圧力 (空気密度で除したもの) のx-方向空間微分値を示す。x-方向空間微分値 (絶対値) の最大値は240.2 m/s<sup>2</sup>であり、最大気圧変化率はこの値に移動速度を乗じることに</p>		ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77	最大接線風速半径 (R <sub>m</sub> )	30m	30m			<p>・設定方法の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は、設計竜巻の特性値うち気圧低下については、容易に算出ができ、保守的な設定ができるガイドの算出式を使用</p>
	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77							
最大接線風速半径 (R <sub>m</sub> )	30m	30m							

より、式(8)のように求められる。ただし、数値解析誤差を考慮するため、更に補正係数1.0096 を乗じて最大気圧低下率とした(表5)。なお、この補正係数1.0096 は、ランキン渦に対する最大気圧変化率の有限領域での数値解析結果と無限領域での理論値の比から求めた。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = V_T \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8)$$

また、参考として、図5 に有限領域での数値解析より求めたランキン渦の圧力分布と圧力のx-方向空間微分値を示す(圧力は空気密度で除したもの)。

表4 最大気圧低下量

最大風速	最大接線風速	空気密度で除した最大圧力差	最大気圧低下量
92m/s	78m/s	5149.8m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	6355Pa

表5 最大気圧低下率

最大風速	最大接線風速	移動速度	空気密度で除した最大圧力低下率	最大気圧低下率
92m/s	78m/s	14m/s	240.2m/s <sup>2</sup>	4163Pa/s

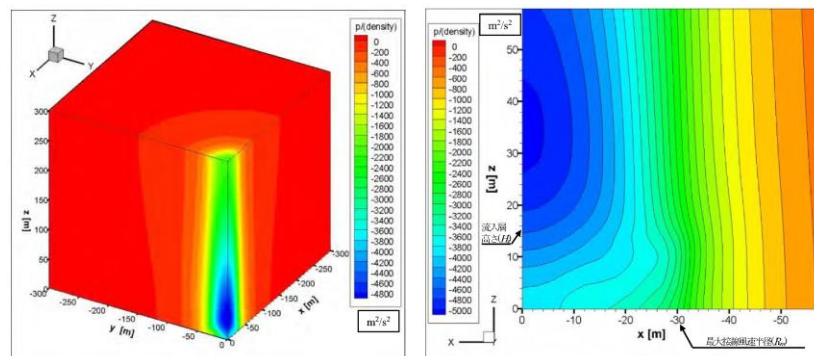


図3 最大接線風速  $V_{Rm}=78\text{m/s}$  における Fujita モデルの圧力分布  
(左:全体図, 右:y 方向からの拡大図, 圧力は空気密度で除したもの, 最大値  $92.83\text{m}^2/\text{s}^2$ , 最小値  $-5056.99\text{m}^2/\text{s}^2$ )

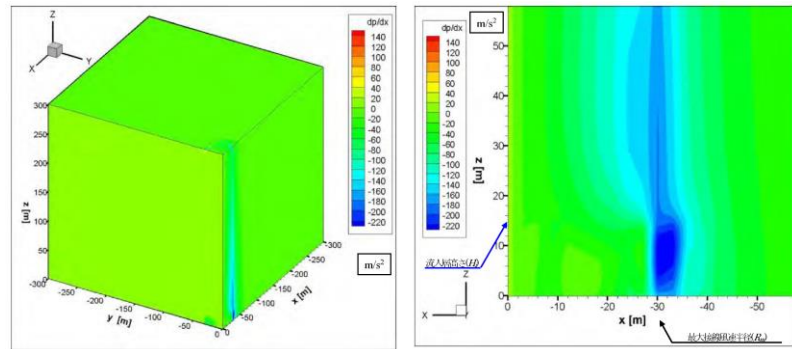


図4 最大接線風速  $V_{Rm}=78\text{m/s}$  における Fujita モデルの圧力 (空気密度で除したもの) の  $x$ -方向空間微分値 (左: 全体図, 右:  $y$  方向からの拡大図, 最大値  $163.3\text{m/s}^2$ , 最小値  $-240.2\text{m/s}^2$ )

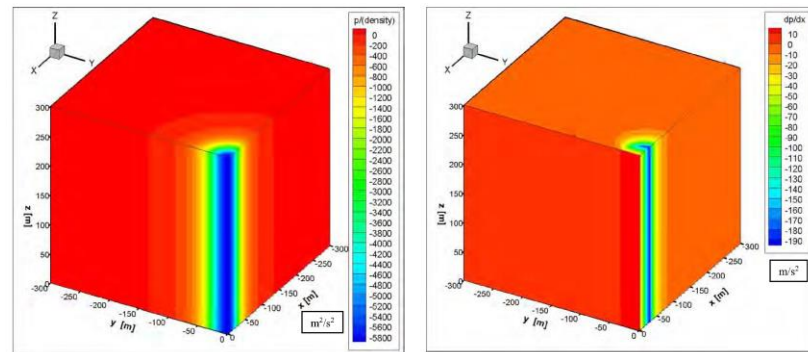


図5 最大接線風速  $V_{Rm}=78\text{m/s}$  におけるランキン渦モデルの (左) 圧力分布と (右) 圧力の  $x$ -方向空間微分値 (本図は, 図 3, 4 同様, 有限領域の数値解析により算出)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考									
<p>また、参考に、<math>V_0=92\text{m/s}</math> の際において、ガイドに基づき計算したランキン渦モデルの最大気圧低下量・最大気圧低下率と上記の数値解析により計算したフジタモデルDBT-77の最大気圧低下量・最大気圧低下率を以下に示す。</p> <p>表 6 設計竜巻の最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{\text{max}}</math>)・最大気圧低下率 (<math>(dp/dt)_{\text{max}}</math>) の比較</p> <table border="1" data-bbox="163 619 884 718"> <thead> <tr> <th></th> <th>ランキン渦モデル</th> <th>フジタモデル DBT-77</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>最大気圧低下量 (<math>\Delta P_{\text{max}}</math>)</td> <td>7459Pa</td> <td>6355 Pa</td> </tr> <tr> <td>最大気圧低下率 (<math>(dp/dt)_{\text{max}}</math>)</td> <td>3481Pa/s</td> <td>4163Pa/s</td> </tr> </tbody> </table> <p>フジタモデルは、地面との摩擦の影響を受けず回転するランキン渦に比べ、地面との摩擦の影響で回転が弱まり竜巻の中心付近が低圧になりにくい (図3 及び図5)。また、フジタモデルの流入層は、流体が竜巻中心方向に引き込まれることにより形成されることから、フジタモデルの最も低圧な領域は、竜巻中心において流入層高さの少し上の部分に存在し (図3 右図)、同部分の圧力より求まる最大気圧低下量は、ランキン渦モデルの最大気圧低下量よりも小さくなる (表6)。</p> <p>フジタモデルの圧力分布は複雑であり、上記の数値解析により求めている。そのため、フジタモデルにおける圧力の空間微分値は、局所的に大きな場所 (外部コアと外周部の境界) が発生することから、最大気圧低下率がガイドの簡易な式で求めたランキン渦モデルの値より大きくなっている。</p>		ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77	最大気圧低下量 ( $\Delta P_{\text{max}}$ )	7459Pa	6355 Pa	最大気圧低下率 ( $(dp/dt)_{\text{max}}$ )	3481Pa/s	4163Pa/s			
	ランキン渦モデル	フジタモデル DBT-77										
最大気圧低下量 ( $\Delta P_{\text{max}}$ )	7459Pa	6355 Pa										
最大気圧低下率 ( $(dp/dt)_{\text{max}}$ )	3481Pa/s	4163Pa/s										

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参考文献</p> <p>(1)Fujita, T. T. (1978) Workbook of tornadoes and high winds for engineering applications. SMRP Research Paper 165, Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, 142pp.</p> <p>(2)U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, 2007:Design-Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plant, Revision1.</p> <p>(3)Rationale for Wind-Borne Missile Criteria for DOE facilities,UCRL-CR-135687, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999</p> <p>(4) 東京工芸大学 (2011): 平成 21~22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究, 独立行政法人原子力安全基盤機構.</p> <p>(5)Y. Eguchi, S. Sugimoto, Y. Hattori and H. Hirakuchi, "Tornado Pressure Retrieval from Fujita' s Engineering Model, DBT-77", Proceedings of the6th International Conference on Vortex Flows and Vortex Models (ICVFM Nagoya2014), November 17 - 20, 2014, Nagoya, Japan.</p> <p>(6) 江口 譲, 服部康男, 流速場情報に基づく圧力場計算法の提案, 第72 回ターボ機械協会 大分講演会(2014. 10. 3)</p>			

添付資料 3.1

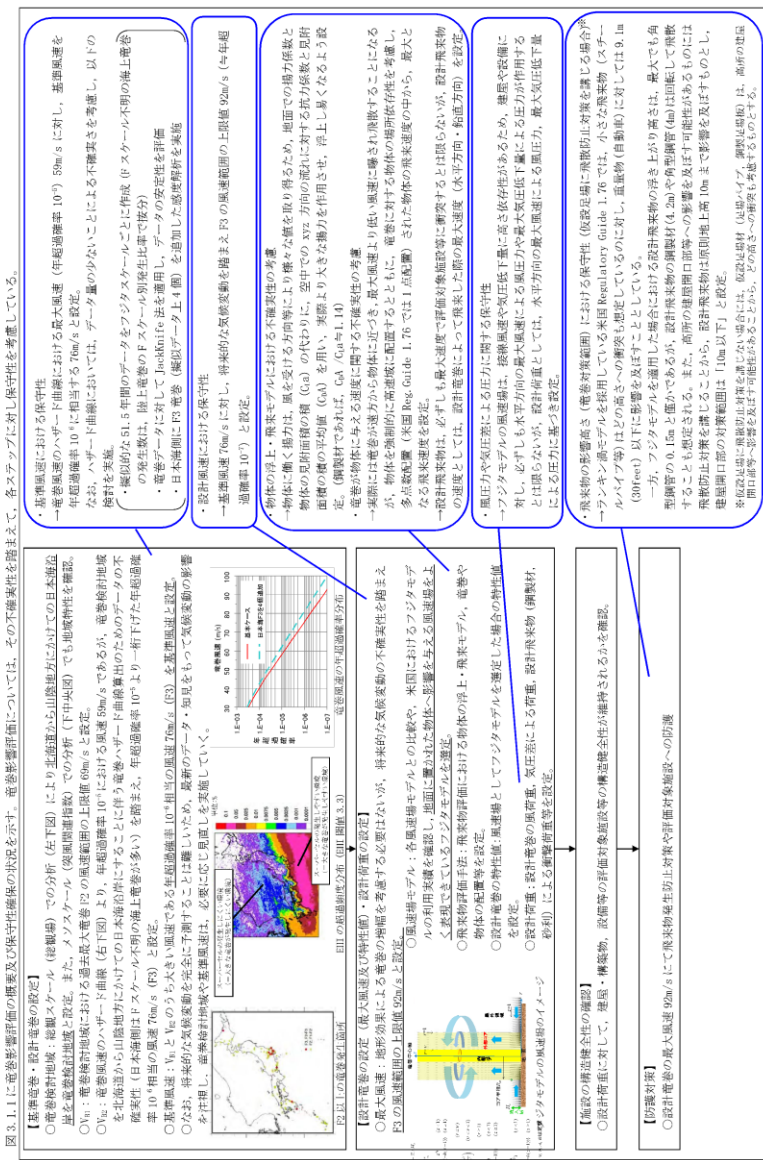
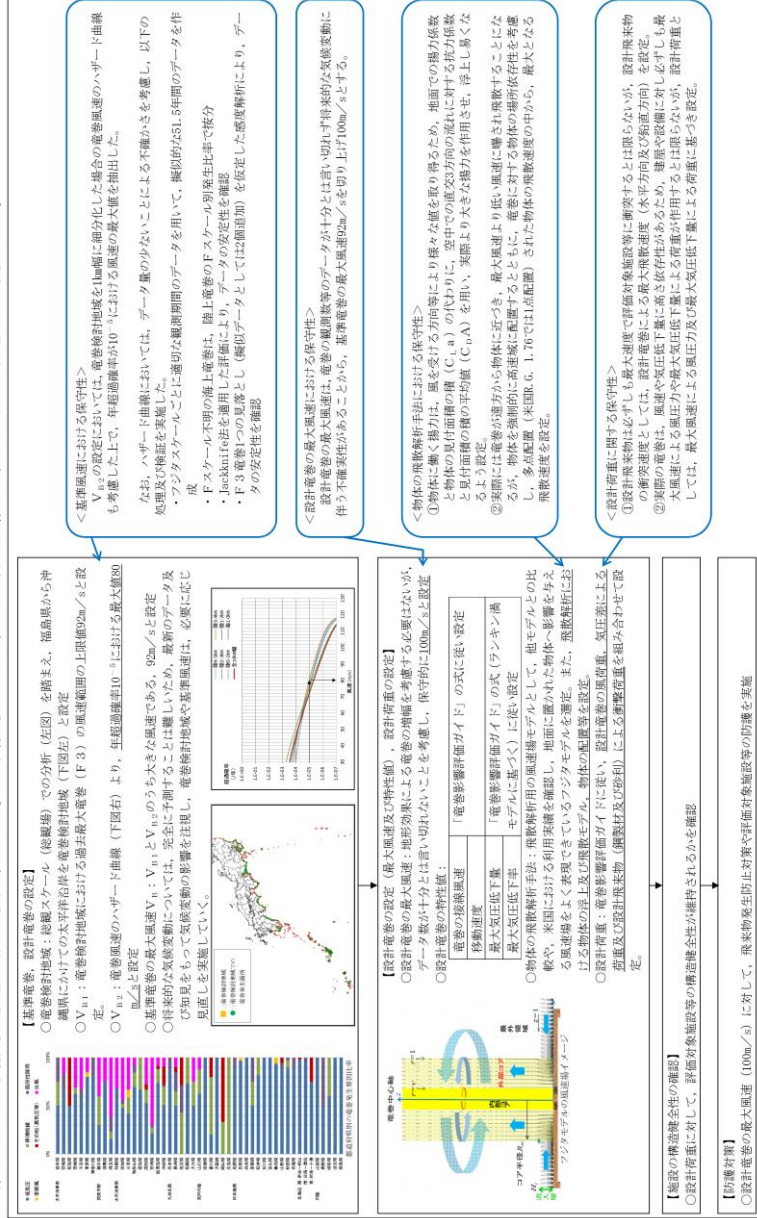


図 3.1.1 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

添付資料 3.1



第7-1図 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

添付資料 3.1

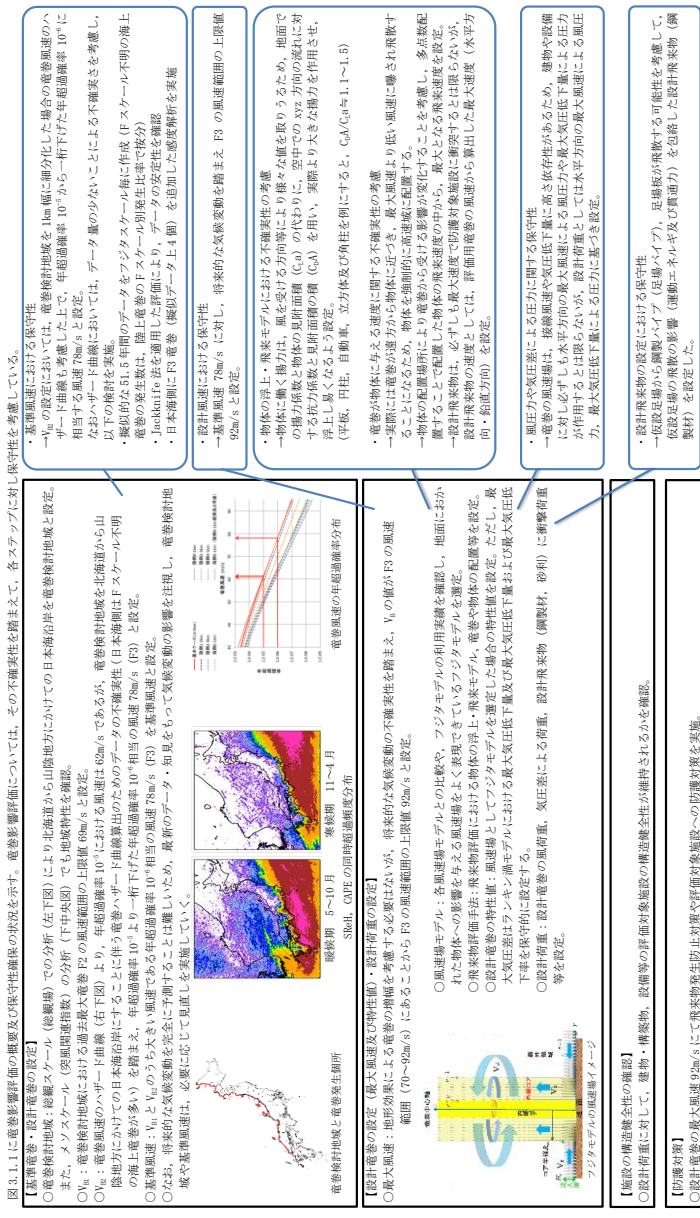


図 3.1.1 竜巻影響評価の概要及び保守性確保の状況

・ $V_D$  の設定方法の相違

【東海第二】

島根 2号炉は  $V_{B2}$  の設定においてデータの不確実性を考慮している

・設計飛来物の相違

【柏崎 6/7】

島根 2号炉は、設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから、柏崎 6/7 の足場パイプ、鋼製足場板等は鋼製材に包含されている

島根 2号炉は設計飛来物の浮き上がり高さは設定せず、保守的などの高さにも到達することとしている



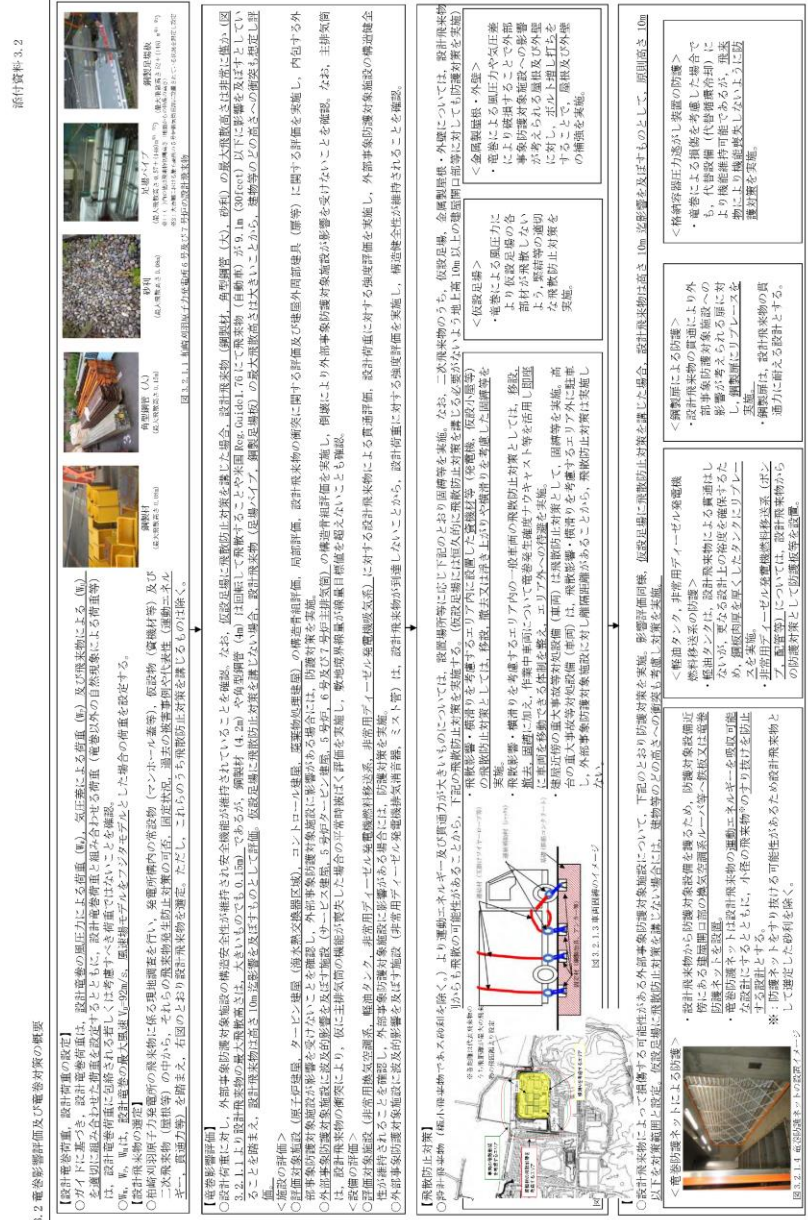
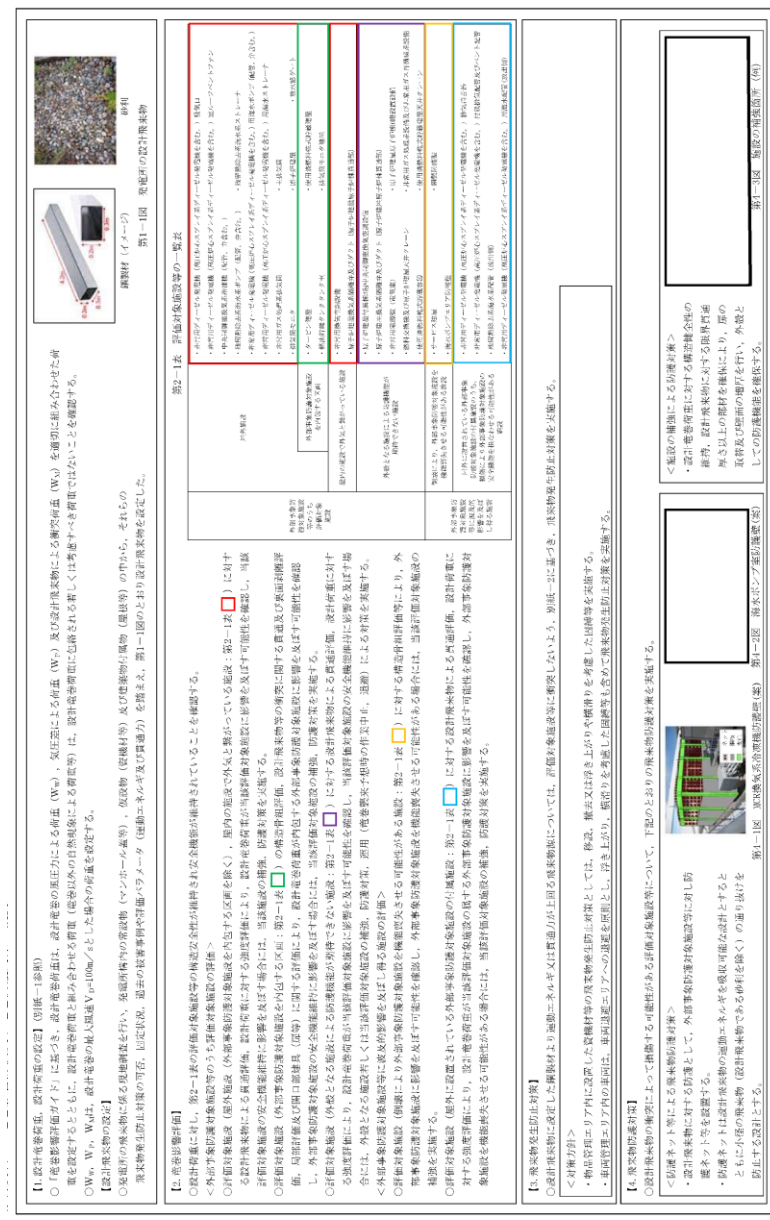


図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策 (防護対策、飛来物発生防止対策) の概要



第 8-1 図 竜巻影響評価及び竜巻防護対策 (飛来物発生防止対策、防護対策) の概要

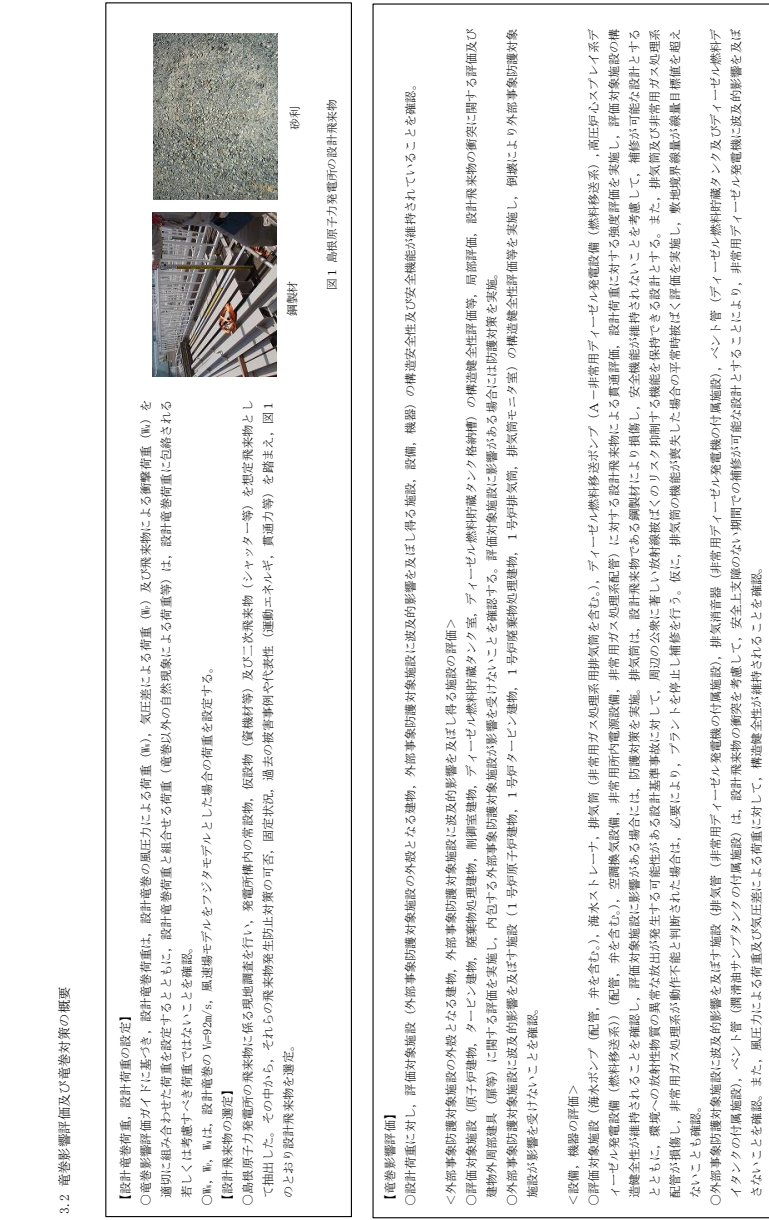


図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策 (防護対策、飛来物発生防止対策) の概要 (1/3)

- 設計飛来物の相違
  - 【柏崎 6/7, 東海第二】
    - 島根 2 号炉は、設計飛来物をガイド記載の鋼製材としていることから、柏崎 6/7 の足場パイプ、鋼製足場板等は鋼製材に包含されている
    - 島根 2 号炉は設計飛来物の浮き上がり高さは設定せず、保守的のどの高さにも到達することとしていることから、仮設足場を固縛対象としていない
  - 防護対策の相違
    - 【柏崎 6/7, 東海第二】
      - 外部事象防護対象施設の設置場所の違いによる防護対策の相違

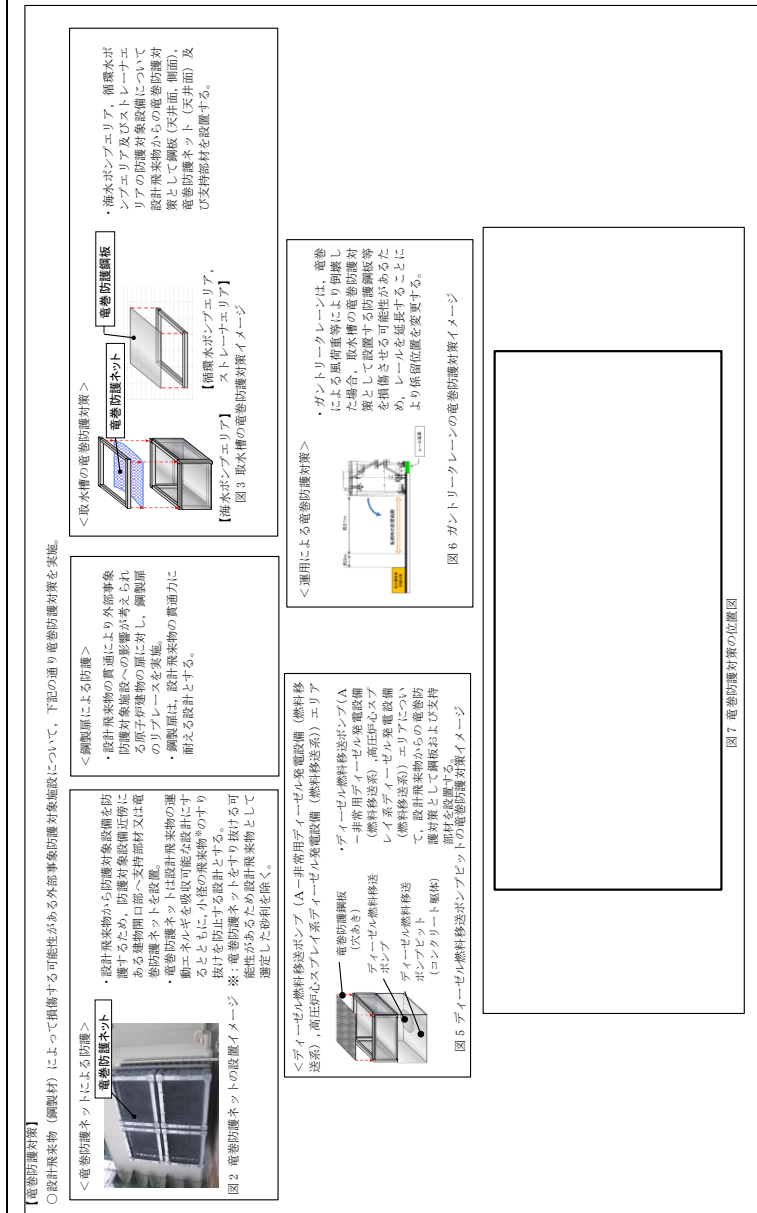


図 3.2.1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策、飛来物発生防止対策）の概要(2/3)

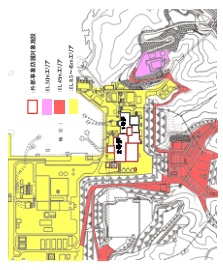
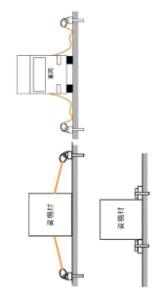
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>【飛来物発生防止対策】</p> <p>○設計飛来物に準じた鋼製材より運動エネルギー及び貫通力が大きいものについては、設置場所等により応じ下記の通り飛来物発生防止対策を実施。</p> <p>&lt;飛来物発生防止対策エリアの設定&gt;</p> <p>・飛来物発生防止対策は、飛来物の飛来距離に基づき飛来物発生防止対策エリアを設定し、飛来物となり外部事故防護対策施設に到達するものうち、その運動エネルギー又は貫通力が設計飛来物に準じた鋼製材よりも大きいものについて飛来物発生防止対策を実施する。</p> <p>・飛来物発生防止対策エリアの設定にあたっては、発電所構内の敷地高さ（図8）を考慮する。</p> <p>・飛来物発生防止対策エリアについては飛散しやすさの観点からプレハブ等の「軽量大型機材」とそれ以外の車両を含めた「資機材・車両」で分類し、飛来物発生防止対策エリアを設定する。</p> <p>・軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアを図9に、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアを図10に示す。</p>  <p>図8 発電所構内の敷地高さ</p> <p>図9 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア</p> <p>図10 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア</p> <p>&lt;飛来物発生防止対策の実施&gt;</p>  <p>図11 資機材等防護のイメージ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛散影響、横滑りを考慮するエリア内に設置した軽量大型機材（プレハブ等）及び資機材等（車両、発電機等）の飛来物発生防止対策としては、移動扉又は浮き上がりや撤去を考慮した防護等を実施。</li> <li>・エリア内の車両の飛来物発生防止対策としては、移動、撤去、固縛に加え、作業中車両について警告発生アラーム等を活用し即座に車両を移動できる体制を整える。エリア外への追従等を実施。</li> <li>・対策エリア内のSA車両は飛来物発生防止対策として、固縛等を実施。</li> </ul>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・飛来物発生防止対策エリアの相違</li> <li>【柏崎6/7，東海第二】</li> </ul>

図 3. 2. 1 竜巻影響評価及び竜巻対策（防護対策，飛来物発生防止対策）の概要(3/3)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 8-1</p> <p style="text-align: center;"><u>評価対象施設等の設計荷重について</u></p> <p>1. 概要 設計竜巻に対し、評価対象施設等の構造健全性の安全機能が維持されることの確認を行った結果を整理する。</p> <p>2. 評価結果</p> <p>2.1 評価荷重の設定 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重について別表 1-2-1 に、外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重について別表 1-2-2 に整理する。</p>		<p>・資料構成の相違</p> <p><b>【東海第二】</b></p> <p>島根 2 号炉は、評価対象施設等の設計荷重について、「別添 2-1 3.4 評価対象施設等の設計方針」に記載しており、表で整理していない</p>

別表 1-2-1 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (1/3)

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	設計能力荷重						その他の評価荷重
	W <sub>w</sub> , W <sub>bb</sub> , W <sub>rl</sub> の選定 <sup>※1</sup>			複合荷重の選定 <sup>※2</sup>			
	設置場所	W <sub>w</sub>	W <sub>bb</sub>	W <sub>rl</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>rl</sub>	
＜屋外施設＞							
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機を含む。) 吸気口	屋外	○	×	○	—	○	自重
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機を含む。) 蒸気発生機 (配管、弁含む。)	屋外	○	×	×	○	—	自重
中央制御室換気系冷凍機 (配管、弁含む。)	屋外	○	×	×	○	—	自重、内圧
残留熱除去系海水ポンプ (配管、弁含む。)	屋外	○	×	○	○	—	自重、内圧
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ポンプ (配管、弁含む。)	屋外	○	×	○	○	—	自重
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ストレーナ	屋外	○	×	○	—	○	自重
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイズ系ディーゼル発電機を含む。) 用海水ストレーナ	屋外	○	×	○	—	○	自重
非常用ガス処理系排気筒	屋外	○	×	○	○	○	自重、内圧
主排気筒	屋外	○	×	×	—	○	自重
排気筒モニタ	屋外	○	○	○	○	—	無し
原子炉建屋	屋外	○	○	○	○	○	無し
放水路ゲート	屋外						

注1) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○：考慮する X：考慮しない、その他の荷重は評価で使用しないケース  
 ※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース —：実施しないケース  
 ※3 損傷時には補修する方針とするため、外観防護機能に関する詳細評価は実施しない。

別表 1-2-1 外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設の評価に用いる評価荷重一覧表 (2/3)

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設	設計電差荷重										その他の評価荷重
	W <sub>w</sub> , W <sub>s</sub> , W <sub>r</sub> の選定 <sup>※1</sup>			複合荷重の設定 <sup>※2</sup>				W <sub>w</sub> +0.5W <sub>r</sub> +W <sub>x</sub>	その他の評価荷重		
	設置場所	W <sub>w</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>r</sub>	W <sub>r</sub>	W <sub>w</sub>	W <sub>r</sub>				
<屋外施設 (外部事象防護対象施設を内包する区画)>											
タービン建屋	屋外	○	○	○	○	○	○	○	○	○	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋外	○	○	○	○	○	○	○	○	○	無し
軽油貯蔵タンクタンク室	屋外 (埋設)	×	○	○	×	○	○	○	○	○	無し
排気筒モニタ建屋	屋外										
<屋内の施設で外気と繋がっている施設>											
非常用換気空調設備	屋内	×	×	○	○	○	○	○	○	○	自重
原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト (原子炉建屋原子炉棟貫通部)	屋内	×	×	○	○	○	○	○	○	○	自重
<外設となる施設による防護機能の期待できない施設>											
原子炉建屋付属棟3階中央制御室換気空調設備	屋内	×	×	○	○	○	○	○	○	○	自重
原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト (原子炉建屋原子炉棟貫通部)	屋内	×	×	○	○	○	○	○	○	○	自重

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の考慮の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない  
 ※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース -：該当しないケース  
 ※3 W<sub>s</sub>に対して、防護対策を実施するため、衝撃荷重は作用しない。  
 ※4 損傷時には補修する方針とするため、外設防護機能に関する詳細評価は実施しない。

外部事象防護対象施設等のうち評価対象施設 ＜外殿となる施設による防護機能が期待できない施設＞	設計電巻荷重							その他の 評価荷重
	W <sub>w</sub> , W <sub>M</sub> , W <sub>P</sub> の選定 <sup>※1</sup>			複合荷重の設定 <sup>※2</sup>				
	設置 場所	W <sub>w</sub>	W <sub>M</sub>	W <sub>P</sub>	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>P</sub> +W <sub>M</sub>	
非常用電源盤 (電気室)	屋内	×	× <sup>※3</sup>	×	—	—	—	無し
原子炉建屋原子炉棟6階設置設備	屋内	×	×	×	—	—	—	無し
燃料交換機及び原子炉建屋天井クレーン	屋内	×	×	×	—	—	—	無し
非常用ガス処理系設備及び非常用ガス再循環系設備	屋内	×	×	×	—	—	—	無し
使用済燃料乾式貯蔵容器	屋内	×	×	×	—	—	—	無し
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	屋内	×	×	×	—	—	—	無し

(注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない  
 ※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース —：該当しないケース  
 ※3 W<sub>M</sub>に対して、防護対策を実施するため、衝撃荷重は作用しない。  
 ※4 W<sub>w</sub>に対して、電巻襲来が予想される場合、燃料取扱作業を中止するため、燃料を取り扱う機能に対して評価対象とならない。  
 ※5 プローブアウトパネルの閉止により、設計電巻荷重は作用しない。

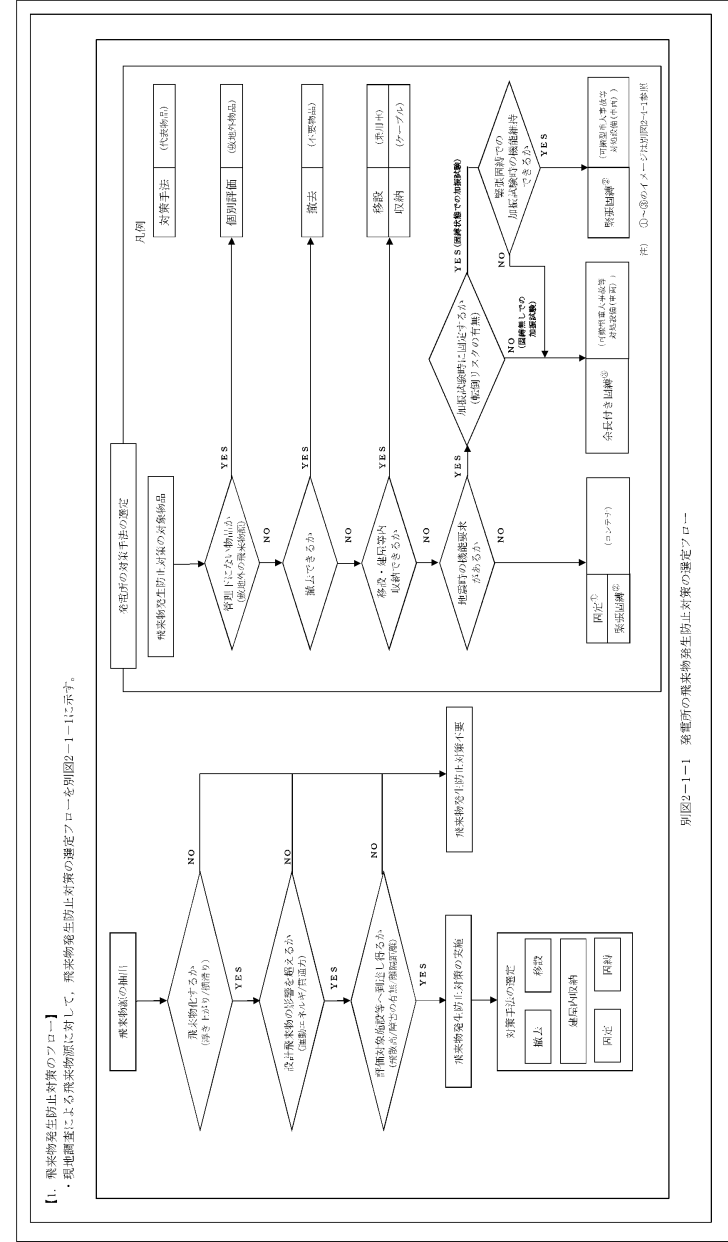
別表 1-2-2 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設の評価に用いる評価荷重一覧表

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼし得る施設	設計電圧荷重							その他の 評価荷重
	W <sub>w</sub> , W <sub>ab</sub> , W <sub>f</sub> の選定 <sup>※1</sup>			複合荷重の設定 <sup>※2</sup>				
	設置 場所	W <sub>w</sub>	W <sub>M</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>T1</sub>	W <sub>T2</sub>	W <sub>w</sub> +0.5W <sub>f</sub> +W <sub>M</sub>	
<機械的影響を及ぼし得る施設>								
サービスマンビル	屋外	○	○	○	○	—	○	無し
海水ポンプエリア防護壁	屋外	○	○	×	—	—	○	無し
鋼製防護壁	屋外	○	○	×	—	—	○	無し
<機能的影響を及ぼし得る施設>								
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイスライセル発電機を含む。) 排気消音器	屋外	○	× <sup>※3</sup>	×	×	—	—	自重
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイスライセル発電機を含む。) 付属排気配管及びベント配管	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	○	—	自重、内圧
残留熱除去系海水系配管 (放出側)	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	○	—	自重、内圧
非常用ディーゼル発電機 (高圧炉心スプレイスライセル発電機を含む。) 用海水配管 (放出側)	屋外	○	× <sup>※3</sup>	○	○	○	—	自重、内圧

注記) ※1 表中記号について対象とする荷重の有無を示す。 ○：考慮する ×：考慮しない  
 ※2 複合荷重の構成について、○のついた構成で評価を実施。 ○：実施ケース —：該当しないケース  
 ※3 W<sub>M</sub>に対して、損傷時には補修する方針とするため、衝撃荷重は考慮しない。

別紙 8-2

竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について



別紙-1

竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

竜巻防護対策のうち飛来物発生防止対策の概要について

1. 飛来物発生防止対策  
飛来物発生防止対策の選定フローを別紙 8-1 に示す。

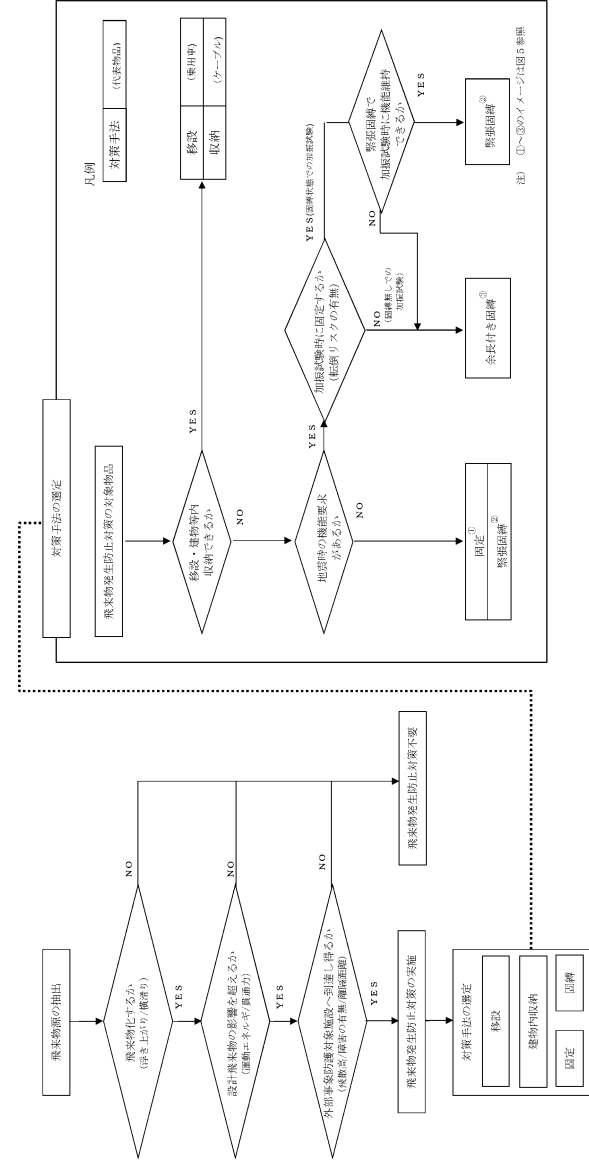


図 1 発電所の飛来物発生防止対策の選定フロー

別紙-1

- 資料構成の相違  
【柏崎 6/7】  
島根 2号炉は飛来物発生防止対策の概要について記載
- 立地条件の相違  
【東海第二】  
島根 2号炉は敷地近傍に隣接事業所はない
- 固縛方法の相違  
【東海第二】  
島根 2号炉は、車両の固縛は余長付き固縛を実施する



【2. 飛来物発生防止対策の基本方針】

- 評価対象施設等に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

飛来物発生防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源

- 飛散（吹き上がり、横滑り）する。
- 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギー及び貫通力を上回る。
- 評価対象施設等に到達する。

【3. 評価対象施設等への到達、回避】

- 評価対象施設等に到達しないケースを下記に示す。

- 評価対象施設等に到達できない距離を確保した配置とする。（隣接距離の確保）  
 (別図2-3-1に基準の距離（注釈等）が必要な範囲を示し、当該範囲内には、作業に関係のない場合は、原則立入をさせない運用を行う。)
- 評価対象施設等に対して最低安全到達できない飛来物が配置されている。  
 (別図2-3-2に、横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。)

【到達しない】

【到達する】

別図2-3-1 車両管理エリア

別図2-3-2 横滑りに対して未到達となる例

【4. 飛来物発生防止対策（固定、固縛）の手法の例】

- 飛来物発生防止対策のうち、固定及び固縛の手法の例を別図4-1に示す。

手法	対策の概要図
①固定	飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊固固縛	飛来物源に車輪固定金具と固定金具を用いて固定
③余長付き固縛	飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固定 【動き代がある】

別図4-1 飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

2. 飛来物発生防止対策の基本方針

外部事象防護対象施設に悪影響を及ぼす可能性のある飛来物源に対して飛来物発生防止対策を実施する。

- 飛来物発生防止対策の実施条件：①～③を全て満たす飛来物源
- 飛散（吹き上がり、横滑り）する。
  - 設計飛来物（鋼製材）の運動エネルギー及び貫通力を上回る。
  - 評価対象施設等に到達する。
3. 外部事象防護対象施設等への到達、回避
- 外部事象防護対象施設に到達できない距離を確保した配置とする。（飛来物発生防止対策エリア（図2-3）に示す距離等の確保。車両については、図2の範囲内に作業に関係のない場合は、原則立入をさせない運用を行う。（飛来物発生防止対策エリアの詳細については、別紙を参照。））
  - 横滑りする飛来物と外部事象防護対象施設の間に高低差がある又は障害物が配置されている。（図4に、横滑りする飛来物に対して未到達となる例を示す。）

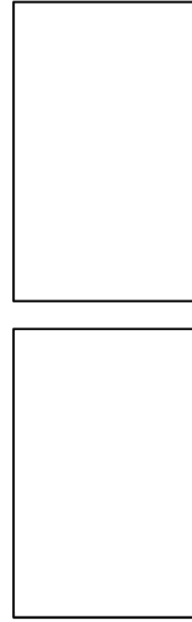


図2 軽便式型機材の飛来物発生防止対策エリア

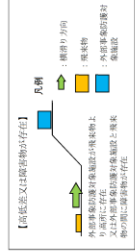


図4 横滑りに対して未到達となる例

4. 飛来物発生防止対策（固定、固縛）の手法の例

飛来物発生防止対策のうち、固定及び固縛の手法の例を図5に示す。

手法	対策の概要図
①固定	飛来物源に固定金具を取り付けて固定
②緊固固縛	飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛
③余長付き固縛	飛来物源を連結材（ロープ）を用いて固縛 【動き代がある】

図5 飛来物発生防止対策（固定・固縛）の例

5. 飛来物発生防止対策の実施について

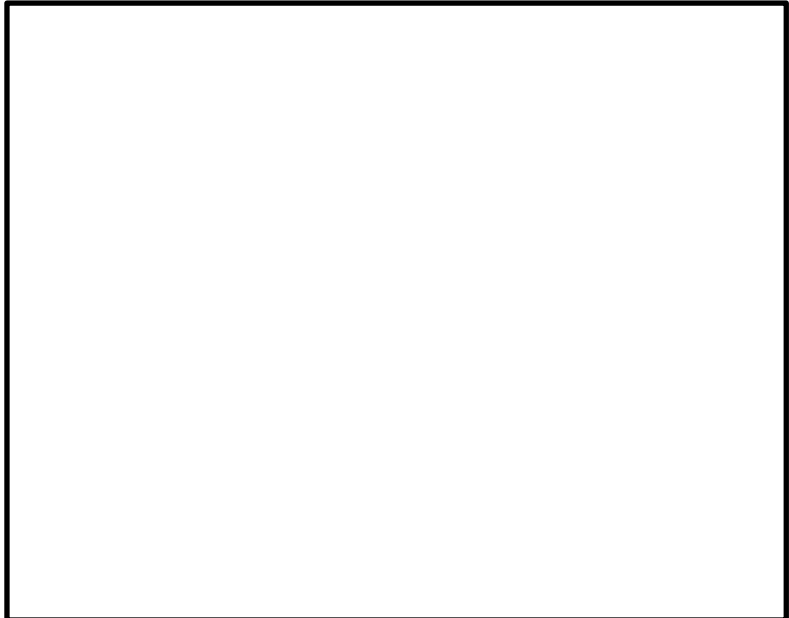
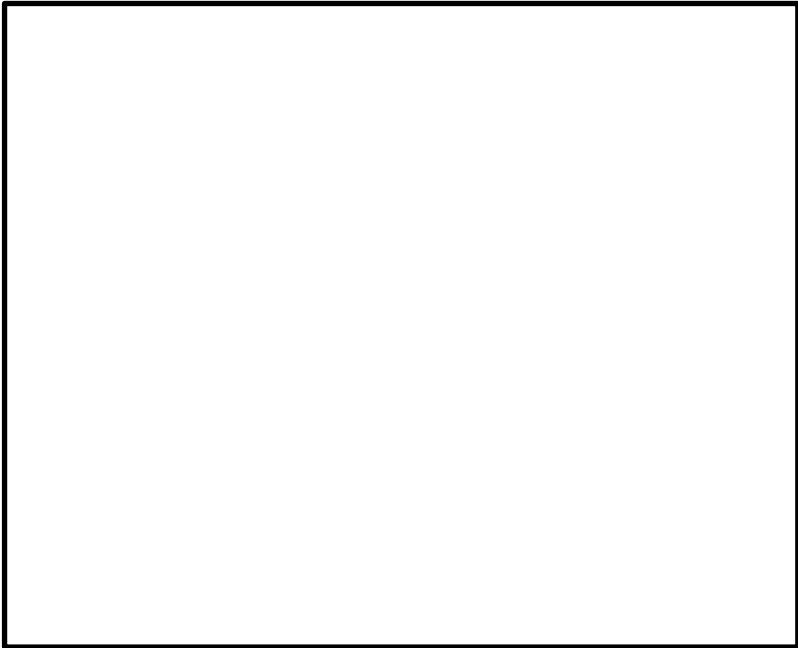
設計飛来物の運動に係る飛来物現地調査（平成25年7月）において確認した、飛来物発生防止対策エリア内で設計飛来物（鋼製材）の影響を超える物品に対して、図1の発電所の飛来物発生防止対策の運用フローに基づき、固定・固縛等の飛来物発生防止対策を実施する。

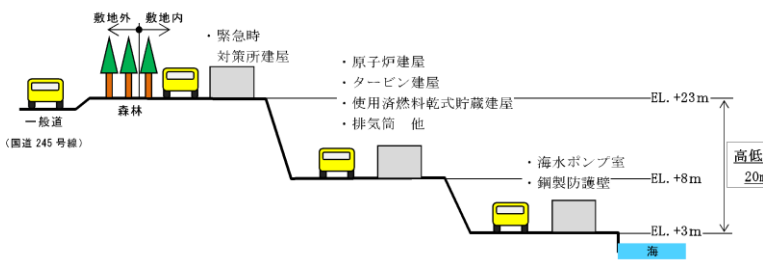

また、飛来物現地調査以降に発電所構内へ配置された物品（例：土構構築物（平成27年10月、平成29年2月に配置）等）についても、追加調査を行い、同様に飛来物発生防止対策を実施する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙 8-3</p> <p style="text-align: center;">飛来物化する可能性がある物品の管理について</p> <p>1. 概要            発電所内の飛来物となる可能性があるものについては、設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛来した場合の運動エネルギー及び貫通力を基準として、鋼製材より運動エネルギー又は貫通力が大きい場合は対策を実施する。</p> <p>2. 管理方針            2.1 用語の定義  <u>竜巻襲来に対する準備体制の状態について、以下のとおり定義する。</u>            (準備体制については、別紙 8-4 にまとめる)</p> <p>通常時：竜巻準備体制が発令されていない時。  <u>準備体制確認時：竜巻準備体制のアクションレベル 1 (準備体制の確認) が発令されている時。</u></p> <p><u>準備作業開始時：竜巻準備体制のアクションレベル 2 (準備作業開始) が発令されている時。</u></p>	<p style="text-align: right;">別紙-2</p> <p style="text-align: center;"><u>飛来物化する可能性がある物品の管理について</u></p> <p>1. 概要  <u>発電所内の飛来物となる可能性があるものについては、設計飛来物である鋼製材が設計竜巻により飛散した場合の運動エネルギー及び貫通力を基準として、鋼製材より運動エネルギー又は貫通力が大きい場合は飛来物発生防止対策 (運用管理) を実施する。</u></p> <p>2. 運用管理方針            2.1 運用管理の基準  <u>気象庁が発表する竜巻関連の気象情報を踏まえ、運用管理の基準 (竜巻警戒レベル) を定める。竜巻運用対策の実施基準を以下のとおり定義する。(竜巻準備体制については、別紙-3 にまとめる。)</u>  <u>通常時：竜巻準備体制が発令されていない時</u>  <u>監視強化及び注意喚起：雷注意報 (竜巻) 又は竜巻注意情報又は竜巻発生確度ナウキャスト (実況) 「竜巻発生確度 2」かつ雷ナウキャスト (実況) 「雷活動度 2 以上」発令時</u>  <u>竜巻対応開始：竜巻発生確度ナウキャスト (予測 (60 分先まで)) 「竜巻発生確度 2」かつ雷ナウキャスト (予測 (60 分先まで)) 「雷活動度 2 以上」発令時</u></p> <p>2.2 運用管理の対象  <u>運用管理の対象は、「資機材・車両」及び「軽量大型機材」とし、「資機材・車両」及び「軽量大型機材」を合わせて、「資機材・車両等」という。「資機材・車両」及び「軽量大型機材」の分類は飛散しやすさの観点から実施し、具体的には 150m を超えて飛散する「資機材・車両等」を「軽量大型機材」と定義する (2.2.1.1 (2) 参照)。</u></p>	<p>・資料構成の相違  <b>【柏崎 6/7】</b>            島根 2 号炉は飛来物化する可能性がある物品の管理について記載</p> <p>・記載方針の相違  <b>【東海第二】</b>            島根 2 号炉は各対応の具体的な判断基準について記載</p> <p>・運用管理の対象の相違  <b>【東海第二】</b>            島根 2 号炉は、飛来物化する可能性がある物品を「資機材・車両」と「軽量大型機材」に分類している            東海第二は、「車両」と「車両以外の物品」に分類している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.2 <u>車両の管理</u></p> <p>2.2.1 <u>車両の管理に際し考慮する事項</u></p> <p>車両については、速やかに固縛することが難しい場合も想定されるため、以下の管理を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所構内での作業に関係のない車両については、原則として入構を禁止する。</li> <li>・発電所へ入構する車両については、以下のとおり、車両の飛散の可能性、車両が置かれている場所、車両の状態及び竜巻準備体制の発令の有無に応じて対策を行う。</li> </ul> <p>(1) <u>車両の飛散の可能性</u></p> <p>発電所に入構する予定のある車両については、原則として事前に車両サイズ、重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い、飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は、確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。</p> <p>(2) <u>車両が置かれている場所</u></p> <p>車両が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）に衝突する可能性があるエリアを「<u>車両管理エリア</u>」と定め、<u>車両が車両管理エリア内にある場合には</u>、「2.2.2 管理方針」に示す管理を行う。</p> <p>&lt; <u>車両管理エリアの考え方</u>（具体的なエリアは別図 3-3 参照） &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>車両管理エリアの範囲設定には、各々の評価対象施設及び防護対策設備に対する必要離隔距離を定める必要があるが、評価対象施設及び防護対策設備と車両の位置の高さの関係によって車両の到達距離は異なることから、個別設定の煩雑さを避けるため、別図 3-1 に示す高さの関係を踏まえ以下のように設定する。</u></li> </ul> <p>a. <u>緊急時対策所建屋からの必要離隔距離</u></p> <p><u>緊急時対策所建屋は、車両の存在が想定される周辺の地面に比べ高い位置に設置されるため、保守性も考慮し、同じ高さか</u></p>	<p>2.2.1 <u>資機材・車両等の管理</u></p> <p>2.2.1.1 <u>資機材・車両等の管理に際し考慮する事項</u></p> <p><u>資機材・車両等については、飛散の可能性、置かれている場所、竜巻襲来に対する体制の状態に応じて以下の(1)～(4)の対策を行う。</u></p> <p><u>なお、車両については、速やかに固縛・固定することが難しい場合も想定されるため、以下の管理を行う。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>発電所構内での作業に関係のない車両については、原則として入構を禁止する。</u></li> <li>・<u>発電所へ入構する車両については、以下のとおり、車両の飛散の可能性、車両が置かれている場所、車両の状態及び竜巻警戒レベルの発令の有無に応じて対策を行う。</u></li> </ul> <p>(1) <u>資機材・車両等の飛散の可能性</u></p> <p><u>発電所に持ち込まれる予定のある資機材・車両等については、原則として事前にサイズ、重量から飛散評価を行い、飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は、確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。</u></p> <p>(2) <u>資機材・車両等が置かれている場所</u></p> <p><u>資機材・車両等が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻防護対策設備（以下「評価対象施設等」という。）に衝突する可能性があるエリアを「飛来物発生防止対策エリア」と定め、資機材・車両等が飛来物発生防止対策エリア内にある場合には、「2.2.1.2 資機材・車両等の管理方針」に示す管理を行う。</u></p> <p>&lt; <u>飛来物発生防止対策エリアの考え方</u>（具体的なエリアは図 1, 図 2 参照） &gt;</p> <p><u>飛来物発生防止対策エリアの範囲設定は、資機材・車両等が飛散し、評価対象施設等に影響の与える範囲を保守的に設定する必要がある。そのため、各々の評価対象施設等に対する飛散影響を考慮して設定する。</u></p> <p><u>評価対象施設等と資機材・車両等が置かれている敷地高さの関係および資機材・車両等の形状によって、飛散距離が異なることから、以下の観点で資機材・車両等の飛来物発生防止対策エリアを設定する。</u></p>	<p>2.2.1 <u>資機材・車両等の管理</u></p> <p>2.2.1.1 <u>資機材・車両等の管理に際し考慮する事項</u></p> <p><u>資機材・車両等については、飛散の可能性、置かれている場所、竜巻襲来に対する体制の状態に応じて以下の(1)～(4)の対策を行う。</u></p> <p><u>なお、車両については、速やかに固縛・固定することが難しい場合も想定されるため、以下の管理を行う。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>発電所構内での作業に関係のない車両については、原則として入構を禁止する。</u></li> <li>・<u>発電所へ入構する車両については、以下のとおり、車両の飛散の可能性、車両が置かれている場所、車両の状態及び竜巻警戒レベルの発令の有無に応じて対策を行う。</u></li> </ul> <p>(1) <u>資機材・車両等の飛散の可能性</u></p> <p><u>発電所に持ち込まれる予定のある資機材・車両等については、原則として事前にサイズ、重量から飛散評価を行い、飛散の可能性の有無を評価し通知する。事前の確認がなされていない場合は、確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。</u></p> <p>(2) <u>資機材・車両等が置かれている場所</u></p> <p><u>資機材・車両等が飛散することによって評価対象施設等及び竜巻防護対策設備（以下「評価対象施設等」という。）に衝突する可能性があるエリアを「飛来物発生防止対策エリア」と定め、資機材・車両等が飛来物発生防止対策エリア内にある場合には、「2.2.1.2 資機材・車両等の管理方針」に示す管理を行う。</u></p> <p>&lt; <u>飛来物発生防止対策エリアの考え方</u>（具体的なエリアは図 1, 図 2 参照） &gt;</p> <p><u>飛来物発生防止対策エリアの範囲設定は、資機材・車両等が飛散し、評価対象施設等に影響の与える範囲を保守的に設定する必要がある。そのため、各々の評価対象施設等に対する飛散影響を考慮して設定する。</u></p> <p><u>評価対象施設等と資機材・車両等が置かれている敷地高さの関係および資機材・車両等の形状によって、飛散距離が異なることから、以下の観点で資機材・車両等の飛来物発生防止対策エリアを設定する。</u></p>	<p>・運用管理の対象の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>同上</p> <p>・評価対象施設等の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根 2 号炉は緊急時対</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p><u>らの車両の最大飛散距離を丸めた値 (190m) を必要離隔距離とする。</u></p> <p>b. その他の評価対象施設及び防護対策設備からの必要離隔距離各施設と車両の存在が想定される周辺の地面との高低差は一樣ではないことから、下図に示す位置関係を包絡する、高さ 20m からの車両の最大飛散距離を丸めた値 (230m) を必要離隔距離とする。</p> <p><u>・上記の離隔距離が当社敷地外に掛かる場合において、当該箇所が森林である場合は、車両は存在しないと考えられるため管理エリアから除外する。</u></p>	<p><u>① 発電所構内の敷地高さを考慮し、敷地高さ毎に資機材・車両等の飛来物発生防止対策エリアを設定する。</u></p> <p><u>② 発電所構内の斜面に、資機材・車両等を設置する場合は、設置状況に応じた飛来物発生防止対策を行う。</u></p> <p><u>③ 資機材・車両及び軽量大型機材それぞれに対し、飛来物発生防止対策エリアを設定する。資機材・車両及び軽量大型機材の分類は飛散距離及び飛散高さにより実施し、飛散距離が 150m を超える資機材・車両等を軽量大型機材とし、飛散距離が 150m 以下の資機材・車両等を資機材・車両とする。</u></p> <p><u>④ 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアは、ウォークダウンで確認された資機材・車両のうち、最も飛散距離が大きい資機材・車両である「乗用車」の飛散距離から設定する。</u></p> <p><u>⑤ 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアは、ウォークダウンで確認された軽量大型機材のうち、最も飛散距離が大きい物品である「プレハブ小屋」の飛散距離から設定する。</u></p> <p><u>⑥ 発電所構内の敷地高さ (8.5m, 15m, 45m, 50m) から乗用車及びプレハブ小屋をフジタモデルで飛散させた場合の飛散距離から、資機材・車両及び軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリアを設定する。</u></p>	<p>策所を評価対象施設等としていない</p> <p>・敷地高さの相違 【東海第二】 島根 2 号炉は、EL8.5m ~ 15m, 45m, 52m の高さの敷地があり、敷地高さ毎に飛来物発生防止対策エリアを設定している (図 2, 図 3)</p> <p>・対象外とするエリアの相違 【東海第二】 島根 2 号炉は飛来物発生防止対策エリア内の斜面を対象外としている</p> <p>・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2 と同じ</p> <p>・記載場所の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は、飛来物発生防止対策範囲の設定方法を別紙-2 で記載している</p> <p>・方針の相違 【東海第二】 2.2.1.1(2)①と同じ</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>・飛散しない車両であっても横滑りの検討が必要であるが、<u>このときの移動距離は、飛散する車両の飛距離に包絡され</u> <u>ると考えられ、車両が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切</u> <u>に設定した上で、設計飛来物の影響に包絡されることの確</u> <u>認が必要となるため、保守的に上記車両管理エリアを横滑</u> <u>り対策の検討対象とする。</u></p>	<p>⑦ 飛散しない資機材・車両等であっても横滑りの検討が必要であ るが、<u>ガードレール等の障害物により横滑りを防止できない範</u> <u>囲を横滑り対策の検討対象（横滑り対策エリア）とする。概念</u> <u>図を図3に示す。ガードレール等の障害物については、</u> により定めた点検に合わ せ維持管理を実施する。</p> <p><u>図1 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア</u></p> <p></p> <p><u>図2 軽量大型機材の飛来物発生防止対策エリア</u></p>	<p>・横滑り対策の範囲の相違 【東海第二】 島根2号炉はガードレ ール等の障害物により横 滑りを防止できない範囲 を横滑り対策エリアとし ている</p> <p>・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2 と同じ</p> <p>・運用管理の対象の相違 【東海第二】 2.2 と同じ</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="926 525 1685 604"><u>別図 3-1 評価対象施設及び防護対策設備と車両の存在場所との高さ関係</u></p>	 <p data-bbox="1914 1060 2300 1102"><u>図 3 横滑り対策エリア概念図</u></p>	<p data-bbox="2522 346 2834 556"> <ul style="list-style-type: none"> <li>記載場所の相違</li> <li>【東海第二】 島根 2 号炉は、発電所構内の敷地高さを添付資料 3.2 に記載している</li> </ul> </p> <p data-bbox="2522 1018 2834 1323"> <ul style="list-style-type: none"> <li>横滑り対策の範囲の相違</li> <li>【東海第二】 島根 2 号炉はガードレール等の障害物により横滑りを防止できない範囲を横滑り対策エリアとしている</li> </ul> </p>



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(3) 車両の状態  <u>以下のとおり定義する。</u>            停車：運転手が車両に乗っている（走行中を含む。）又は緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態。            駐車：停車時以外の状態。</p> <p>(4) 竜巻襲来に対する体制の状態            「2.1 <u>用語の定義</u>」のとおり。</p> <p>2.2.2 管理方針            上記の考慮事項に基づき、発電所への入構車両の管理方針を以下のとおり定める。            また、管理方針のまとめを別表 3-1、イメージを別図 3-2 にそれぞれ示す。</p> <p>(2) 飛散する車両の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 駐車状態の車両については、固縛する。</li> <li>・ 停車状態の車両については、通常時及び準備体制確認時では対策不要だが準備作業開始時には固縛する、若しくは車両退避エリアに退避する。</li> </ul> <p>ただし、<u>飛散しない車両と同様に、</u>評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された<u>区画に</u>準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。</p> <p>・ 上記の退避又は固縛を速やかに開始するため、<u>車両管理エリア内の車両については、</u>準備体制確認時の段階で、運転者が</p>	<p>(3) <u>車両の状態</u></p> <p><u>停車：運転手が車両に乗っている（走行中含む）、または緊急時に車両に即座に駆けつけることができる状態</u></p> <p><u>駐車：停車時以外の状態</u></p> <p>(4) <u>竜巻襲来に対する体制の状態</u>  <u>「2.1 運用管理の基準」に示す。</u></p> <p>2.2.1.2 <u>資機材・車両等の管理方針</u>  <u>上記の考慮事項に基づき、資機材・車両等の管理方針を以下のとおり定める。</u>  <u>また、管理方針のまとめを表 2 及び表 3、管理イメージを図 4 に示す。</u></p> <p>(1) <u>飛散する資機材・車両等の場合</u></p> <p><u>a. 飛散する車両</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内の駐車状態の車両については、固縛する。</u></li> <li>・ <u>資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの停車状態の車両については、平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だがナウキャストの 60 分先の予測情報を判断基準としている「②竜巻対応開始」時には固縛又は退避の準備を実施し、退避を開始する。</u>  <u>ただし、評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」時以前より入域している場合は退避不要とする。</u></li> <li>・ <u>資機材・車両の飛来物発生防止対策エリアの停車状態で作業を行っている工事車両の場合、平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが「②竜巻対応開始」時には速やかに作業を中止し、固縛又は退避の準備を実施し、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア外に退避する。ただし、評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」時以前より入域している場合は退避不要とする。なお、作業中止及び車両、物品の固縛、離隔等を行うために時間（60 分以上）を要する作業（クレーン車等による大型重量物の吊り上げ作業等）を実施する場合には、事前の気象予報等を踏まえて、作業可否を判断する運用を行う。</u></li> </ul> <p>・ <u>上記の退避又は固縛を速やかに開始するため、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内の車両については、「①監視強化及</u></p>	<p>備考</p> <p>・ 記載方針の相違  <b>【東海第二】</b>            島根 2 号炉は、工事車両の管理方針について記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>近くに待機する。</p> <p><b>【以下, 比較のため再掲】</b></p> <p>2.3 車両以外の物品の管理</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>(2) 飛散する物品の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常時, <u>準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが, 作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は, 準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように, 作業者が物品から離れないようにする。</u></li> </ul> <p>ただし, <u>飛散しない物品と同様に, 評価対象施設及び防護対策設備に 影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。</u></p> <p><b>【ここまで】</b></p> <p><b>【以下, 比較のため再掲】</b></p> <p>2.3 車両以外の物品の管理</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>(1) 飛散しない物品の場合</p> <p>&lt;横滑りへの対策が不要となる場所&gt;</p> <p>② <u>物品車両管理エリア内で, 竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部</u></p> <p>ただし, <u>準備体制確認時以前に, 作業等で既に搬入している物品を対象とする。</u></p> <p><b>【ここまで】</b></p> <p>(1) 飛散しない車両の場合</p> <p>a. <u>飛散も横滑りもしない車両</u></p> <p><u>飛散も横滑りもしない車両は, 車両管理エリアでの駐車時も停車時も対策不要とする。</u></p> <p>b. 飛散しないが横滑りする車両</p> <p>横滑りによる悪影響を考慮し, 以下のとおりとする。</p>	<p>近くに待機する。</p> <p><b>【以下, 比較のため再掲】</b></p> <p>2.3 車両以外の物品の管理</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>(2) 飛散する物品の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常時, <u>準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが, 作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は, 準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように, 作業者が物品から離れないようにする。</u></li> </ul> <p>ただし, <u>飛散しない物品と同様に, 評価対象施設及び防護対策設備に 影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。</u></p> <p><b>【ここまで】</b></p> <p><b>【以下, 比較のため再掲】</b></p> <p>2.3 車両以外の物品の管理</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>(1) 飛散しない物品の場合</p> <p>&lt;横滑りへの対策が不要となる場所&gt;</p> <p>② <u>物品車両管理エリア内で, 竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部</u></p> <p>ただし, <u>準備体制確認時以前に, 作業等で既に搬入している物品を対象とする。</u></p> <p><b>【ここまで】</b></p> <p>(1) 飛散しない車両の場合</p> <p>a. <u>飛散も横滑りもしない車両</u></p> <p><u>飛散も横滑りもしない車両は, 車両管理エリアでの駐車時も停車時も対策不要とする。</u></p> <p>b. 飛散しないが横滑りする車両</p> <p>横滑りによる悪影響を考慮し, 以下のとおりとする。</p>	<p><u>び注意喚起」時の段階で, 運転者が近くに待機する。</u></p> <p>b. <u>飛散する「資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」</u></p> <p><u>・飛来物発生防止対策エリア内の常設の物品については, 平時, 「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」時のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが, 作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は, 「②竜巻対応開始」に移行した場合には速やかに再固定・再固縛が可能なように, 作業者が物品から離れないようにする。</u></p> <p><u>・飛来物発生防止対策エリア内の仮設の物品は, 平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが, 「②竜巻対応開始」時には固縛・固定又は撤去を実施する。</u></p> <p><u>・評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所に「①監視強化及び注意喚起」以前より搬入している場合は固縛・固定は不要とする。</u></p> <p>&lt;評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所&gt;</p> <p>≥</p> <p><u>飛来物発生防止対策エリア内で, 竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された建物, 構築物の内部 (「①監視強化及び注意喚起」以前に, 作業等で既に持ち込まれている資機材・車両等が対象)</u></p> <p>(2) <u>飛散はしないが横滑り (転がり含む) する資機材・車両等の場合</u></p> <p>a. <u>飛散はしないが横滑り (転がり含む) する車両</u></p> <p><u>横滑り (転がり含む) による悪影響を考慮し以下のとおりと</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・運用管理の対象の相違</li> <li>【東海第二】</li> <li>2.2 と同じ</li> <li>・記載方針の相違</li> <li>【東海第二】</li> <li>島根 2 号炉は仮設の物品についても管理方針を記載している</li> </ul>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>・<u>駐車状態の車両は、通常時、準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても固縛する。</u></p> <p>ただし、評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないとされた場所（下記の①）に駐車する車両の固縛は不要とする。</p> <p>&lt;横滑りへの対策が不要となる場所&gt;</p> <p>①車両管理エリア内で、竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部。ただし、準備体制確認時以前に、作業等で既に入域している車両を対象とする。</p> <p>・<u>停車状態の車両は、通常時及び準備体制確認時では対策不要だが、準備作業開始時には固縛する、若しくは車両退避エリアに退避する。ただし、駐車時と同様に、評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より入域している場合は退避不要とする。</u></p> <p>・上記の退避又は固縛を速やかに開始するため、車両管理エリア内の車両については、準備体制確認時の段階で、運転者が近くに待機する。</p> <p><b>【以下、比較のため再掲】</b></p> <p>2.3 車両以外の物品の管理</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>(1) 飛散しない物品の場合</p> <p>b. 飛散しないが横滑りする物品</p> <p>横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。</p> <p>・通常時、<u>準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが、作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は、準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう、作業者が物品から離れないようにする。</u></p> <p>・<u>評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下</u></p>	<p>する。</p> <p>・<u>横滑り対策エリア内の駐車状態の車両は、平時、「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」時のいずれにおいても固縛する。</u></p> <p>ただし、<u>評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないとされた場所に駐車する車両の固縛は不要とする。</u></p> <p>・<u>横滑り対策エリア内の停車状態の車両は、平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが、「②竜巻対応開始」時には固縛・退避の準備を実施し、横滑り対策エリア外に退避する。</u></p> <p>・<u>上記の退避又は固縛を速やかに開始するため、横滑り対策エリア内の車両については、「①監視強化及び注意喚起」時の段階で、運転者が近くに待機する。</u></p> <p>b. <u>飛散はしないが横滑り（転がり含む）する資機材・車両のうち資機材及び軽量大型機材</u>  <u>横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。</u></p> <p>・<u>横滑り対策エリア内の常設の物品については、平時、「①監視強化及び注意喚起」及び「②竜巻対応開始」のいずれにおいても原則として固定・固縛しておくが、作業等で一時的に固定・固縛を解除している物品は、「②竜巻対応開始」時に移行した場合には速やかに再固定・再固縛が可能なよう、作業者が物品から離れないようにする。</u></p> <p>・<u>横滑り対策エリア内の仮設の物品は、平時及び「①監視強化及び注意喚起」時では対策不要だが、「②竜巻対応開始」時には固縛・固定又は撤去を実施する。</u></p> <p>・<u>評価対象施設等に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所</u></p>	<p>（島根2号炉は「2.2.1.2 (1) b.」で記載）</p> <p>・運用管理の対象の相違  <b>【東海第二】</b>  2.2 と同じ</p> <p>・記載方針の相違  <b>【東海第二】</b>  島根2号炉は、仮設の物品の管理方針について記</p>

記の①), 評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所(下記の②)に置かれている物品については, 固定又は固縛は不要とする。

【ここまで】

別表 3-1 発電所への入構車両の管理方針

飛散及び横滑りの有無	配置場所	車両の状態	管理方針	
			通常時 準備体制確認時	準備作業開始時
飛散も横滑りもしない車両	車両管理エリア内外	駐車	対策不要	
		停車		
飛散しないが横滑りをする車両	車両管理エリア内	駐車	固縛 <sup>※</sup>	
		停車		
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		
飛散する車両	車両管理エリア内	駐車	固縛	
		停車		
	車両管理エリア外	駐車	対策不要	
		停車		

※ 竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に入城している車両は, 退避不要とする。

に置かれている物品については, 固定・固縛は不要とする。

載している

表 1 発電所への入構車両の管理方針

飛散の有無	配置場所	車両の状態	管理方法			
			平時	①監視強化及び注意喚起	②竜巻対応開始	
飛散しないが横滑りをする車両	資機材・車両の飛来物発生防止エリア(横滑り対策エリア)内	駐車	固縛 <sup>※1</sup>	固縛・退避手順の確認等	固縛又は退避 <sup>※1</sup>	
		停車	対策不要			
	資機材・車両の飛来物発生防止エリア(横滑り対策エリア)外	駐車	固縛 <sup>※1</sup>	対策不要		
		停車	対策不要	対策不要		
飛散する車両	資機材・車両の飛来物発生防止エリア内	駐車	固縛 <sup>※1</sup>	固縛・退避手順の確認等	固縛又は退避 <sup>※1</sup>	
		停車	対策不要			
	資機材・車両の飛来物発生防止エリア外	駐車	固縛 <sup>※1</sup>	対策不要		
		停車	対策不要	対策不要		

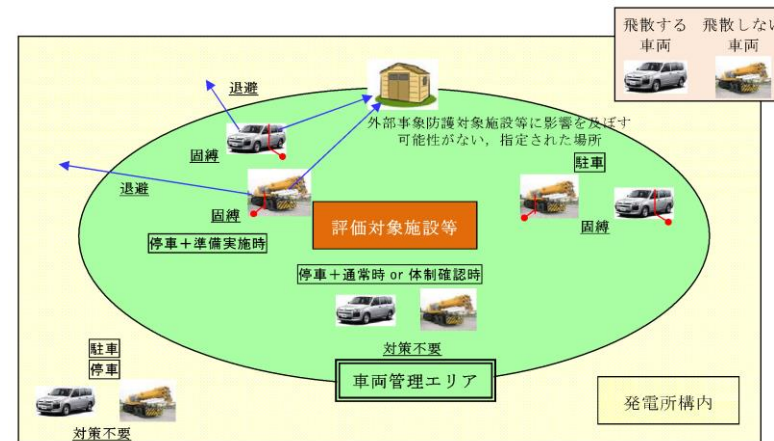
※1 竜巻に対し構造健全性を維持することが確認された建物, 構築物の内部に「①監視強化及び注意喚起」以前に入城している車両は対象外

表 2 「資機材・車両」のうち資機材及び「軽量大型機材」の管理方針

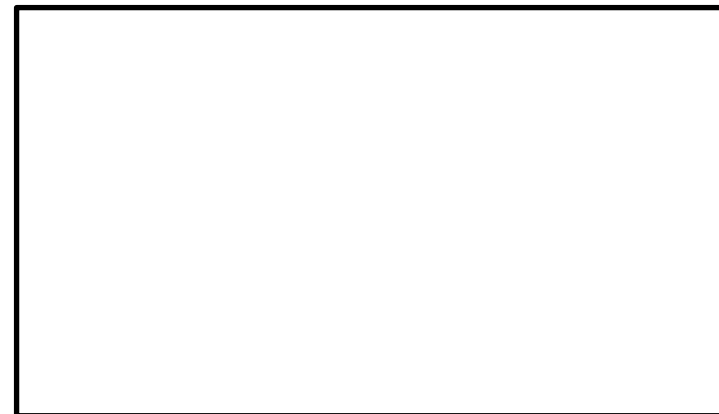
飛散の有無	配置場所	物品の分類	管理方法			
			平時	①監視強化及び注意喚起	②竜巻対応開始	
飛散しないが横滑りをする資機材・車両のうち資機材及び「軽量大型機材」	飛来物発生防止対策エリア(横滑り対策エリア)内	常設	固縛・固定 <sup>※1, 2</sup>		固縛・固定 <sup>※2</sup>	
		仮設	対策不要	固縛・固定又は撤去手順の確認等	固縛・固定又は撤去 <sup>※2</sup>	
	飛来物発生防止対策エリア(横滑り対策エリア)外	常設	対策不要			
		仮設	対策不要			
飛散する資機材・車両のうち資機材及び「軽量大型機材」	飛来物発生防止対策エリア内	常設	固縛・固定 <sup>※1, 2</sup>		固縛・固定 <sup>※2</sup>	
		仮設	対策不要	固縛・固定又は撤去手順の確認等	固縛・固定又は撤去 <sup>※2</sup>	
	飛来物発生防止対策エリア外	常設	対策不要			
		仮設	対策不要			

※1 作業等で必要な場合は解除可能とするが, 速やかに再固定・再固縛が可能なよう, 作業者が物品から離れないようにする

※2 竜巻に対し構造健全性を維持することが確認された建物, 構築物の内部に「①監視強化及び注意喚起」以前に設置している物品は対象外



別図 3-2 発電所への入構車両の管理イメージ



別図 3-3 車両管理エリア及び車両退避エリア

2.2.3 車両の退避に要する時間

退避エリア①への退避に要する時間については、現時点で実施可能な、別図 3-3 における最長退避ルート of ゲート 3 までの実測 (2017/9/21) の結果も踏まえ、別表 3-2 のように想定しており、竜巻襲来までの時間余裕として見込んでいる 30 分の中で、十分退避は可能と判断している。

今後、関連設備の整備完了後に全体の成立性を確認する。

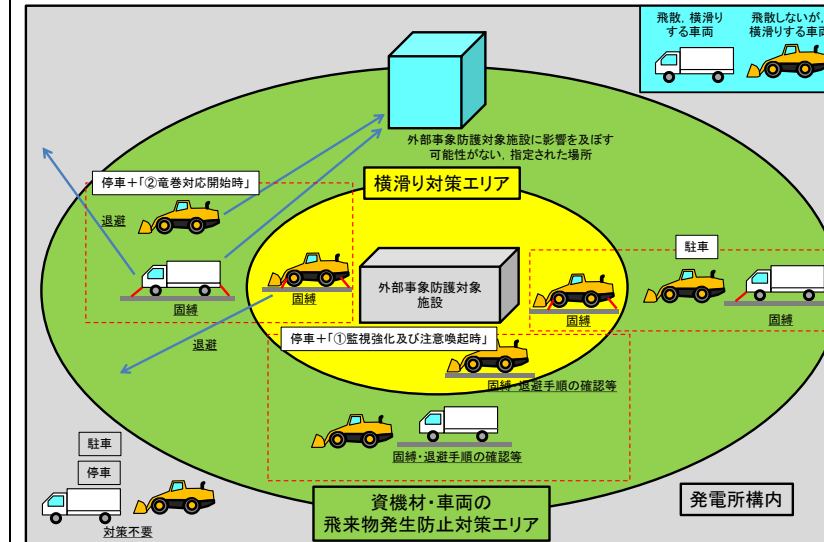


図 4 発電所への入構車両の管理イメージ

2.2.1.3 車両の退避場所

車両の退避に要する時間について、退避エリア候補地 a 及び b への退避に要する場合を図 5 で例示する。

退避エリア候補地 a の基点は、資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア内から退避エリア候補地 a までの距離が最も遠くなる原子炉建物南側エリア (図 5 中の A) とする。退避エリア候補地 b の基点も同様の考え方でタービン建物北側 (図 5 中の B) とする。

退避エリア候補地 a 及び b への車両の避難については表 3 のとおりであり、竜巻襲来までの時間余裕として見込んでいる 60 分の中で、退避は可能と判断している。

今後、構内の道路状況や関連設備の整備状況を踏まえて運用面

・車両の退避に要する時間の設定方法の相違

【東海第二】

島根 2 号炉は、車両の退避に要する時間を実測ではなく、車両の速度を保守的に徒歩の速度程度と想定して設定している

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																					
	<p>別表 3-2 最長ルートでの退避に要する所要時間 ( <span style="background-color: #00aaff; color: white;">          </span> 実測値を基に設定)</p> <table border="1" data-bbox="943 401 1685 978"> <thead> <tr> <th>要素</th> <th>想定時間</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>搭乗～発進</td> <td>約1分</td> <td>あらかじめ、竜巻準備体制を確立 (運転手は車両近傍に待機)</td> </tr> <tr> <td>出発～ゲート1到着</td> <td>5.0分</td> <td>車両6台による一斉走行 (平均速度: 16km/h)</td> </tr> <tr> <td>ゲート1通過</td> <td>0分</td> <td>緊急時として、ゲートでの停止は「なし」とする。 (後刻、通常時同様の退出時確認を実施)</td> </tr> <tr> <td>ゲート1出発～ゲート3到着</td> <td>1.5分</td> <td>(平均速度: 11km/h)</td> </tr> <tr> <td>ゲート3通過</td> <td>0分</td> <td>ゲート1同様の扱いとする。</td> </tr> <tr> <td>ゲート3出発～退避エリア①</td> <td>3.8分* (10km/h)</td> <td rowspan="2">※ 想定値 (施設整備後に確認)</td> </tr> <tr> <td>駐車、運転手退避</td> <td>約5分*</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">その他裕度</td> <td>約13.7分</td> <td>その他不測の状況に対する裕度</td> </tr> <tr> <td>約30分</td> <td>竜巻襲来までの設定裕度</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.3 車両以外の物品の管理            発電所内に持ち込まれる車両以外の物品は、以下のとおり管理する。</p> <p>2.3.1 管理に際し考慮する事項            発電所内に持ち込まれる車両以外の物品については、以下のとおり、物品の飛散の可能性、物品の置かれている場所、竜巻襲来に対する体制の状態に応じて対策を行う。</p> <p>(1) 物品の飛散の可能性            発電所に持ち込まれる予定のある物品については、原則として事前にサイズ、重量から空力パラメータを算出し飛散評価を行い、飛散の可能性の有無を評価する。事前の確認がなされていない場合は、確認が完了するまでは飛散するものとして取り扱う。</p>	要素	想定時間	備考	搭乗～発進	約1分	あらかじめ、竜巻準備体制を確立 (運転手は車両近傍に待機)	出発～ゲート1到着	5.0分	車両6台による一斉走行 (平均速度: 16km/h)	ゲート1通過	0分	緊急時として、ゲートでの停止は「なし」とする。 (後刻、通常時同様の退出時確認を実施)	ゲート1出発～ゲート3到着	1.5分	(平均速度: 11km/h)	ゲート3通過	0分	ゲート1同様の扱いとする。	ゲート3出発～退避エリア①	3.8分* (10km/h)	※ 想定値 (施設整備後に確認)	駐車、運転手退避	約5分*	その他裕度	約13.7分	その他不測の状況に対する裕度	約30分	竜巻襲来までの設定裕度	<p><u>の具体的な手順化を行っていく。</u></p> <p>表 3 退避に要する所要時間</p> <table border="1" data-bbox="1724 344 2487 464"> <thead> <tr> <th></th> <th>基点からの距離</th> <th>想定時間<sup>※1</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>退避エリア候補地a</td> <td>約2.0km<sup>※2</sup></td> <td>約25分</td> </tr> <tr> <td>退避エリア候補地b</td> <td>約0.9km<sup>※2</sup></td> <td>約12分</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 退避時の車両渋滞の可能性も考慮し、保守的に車両の移動速度を徒歩(80m/min)程度として算出した。            ※2 退避エリア候補地aの基点は図5中のA、退避エリア候補地bの基点は図5中のBとして距離を設定した。</p> <div data-bbox="1724 596 2487 1142" style="border: 1px solid black; height: 260px; width: 100%;"></div> <p>図5 資機材・車両の飛来物発生防止対策エリア及び車両退避エリア候補地</p>		基点からの距離	想定時間 <sup>※1</sup>	退避エリア候補地a	約2.0km <sup>※2</sup>	約25分	退避エリア候補地b	約0.9km <sup>※2</sup>	約12分	<p>備考</p> <p>(島根2号炉は「2.2.1.2 (1) b.」で記載)</p>
要素	想定時間	備考																																						
搭乗～発進	約1分	あらかじめ、竜巻準備体制を確立 (運転手は車両近傍に待機)																																						
出発～ゲート1到着	5.0分	車両6台による一斉走行 (平均速度: 16km/h)																																						
ゲート1通過	0分	緊急時として、ゲートでの停止は「なし」とする。 (後刻、通常時同様の退出時確認を実施)																																						
ゲート1出発～ゲート3到着	1.5分	(平均速度: 11km/h)																																						
ゲート3通過	0分	ゲート1同様の扱いとする。																																						
ゲート3出発～退避エリア①	3.8分* (10km/h)	※ 想定値 (施設整備後に確認)																																						
駐車、運転手退避	約5分*																																							
その他裕度	約13.7分	その他不測の状況に対する裕度																																						
	約30分	竜巻襲来までの設定裕度																																						
	基点からの距離	想定時間 <sup>※1</sup>																																						
退避エリア候補地a	約2.0km <sup>※2</sup>	約25分																																						
退避エリア候補地b	約0.9km <sup>※2</sup>	約12分																																						



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(2) 物品が置かれている場所</p> <p>物品が飛散することによって評価対象施設及び防護対策設備に衝突する可能性があるエリアを「物品管理エリア」と定め、物品が物品管理エリア内にある場合には、「2.3.2 管理方針」に示す管理を行う。</p> <p>&lt;物品管理エリアの考え方&gt;</p> <p>物品管理エリアの範囲は、以下の方針に基づき設定することとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地表の物品については、車両と同様に設定する。</li> <li>・車両以外の物品では、建屋の屋上等に置かれる場合も考えられるため、これらの高所においては、種々の飛来物源がその場所に相当する初期高さを有するとして飛散評価を行い、設計飛来物の影響を超え、かつ評価対象施設及び防護対策設備へ到達し得る物品の有無を確認する。物品の到達が想定される場合は、高所であっても物品管理エリアと位置づけ、物品の管理を行う。</li> <li>・飛散しない物品であっても横滑りの検討が必要であるが、このときの移動距離は、飛散する物品の飛距離に包絡されると考えられ、物品が置かれる位置ごとに摩擦力等を適切に設定した上で、設計飛来物の影響に包絡されることの確認が必要となるため、保守的に上記物品管理エリアを横滑り対策の検討対象とする。</li> </ul> <p>(3) 竜巻襲来に対する準備体制の状態</p> <p>「2.1 用語の定義」のとおり。</p> <p>2.3.2 管理方針</p> <p>上記の条件に基づき、車両以外の物品の管理方針を以下のとおり定める。</p> <p>また、管理方針のまとめを別表3-2に示す。</p> <p>(1) 飛散しない物品の場合</p> <p>a. 飛散も横滑りもしない物品</p> <p>飛散も横滑りもしない物品は、物品管理エリアでの対策不要とする。</p> <p>b. 飛散しないが横滑りする物品</p> <p>横滑りによる悪影響を考慮し以下のとおりとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常時、準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが、作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は、準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なよう、作業者が物品</li> </ul>		

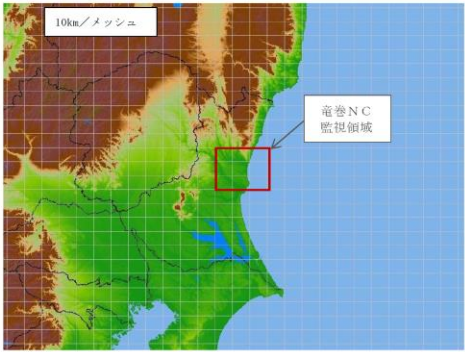

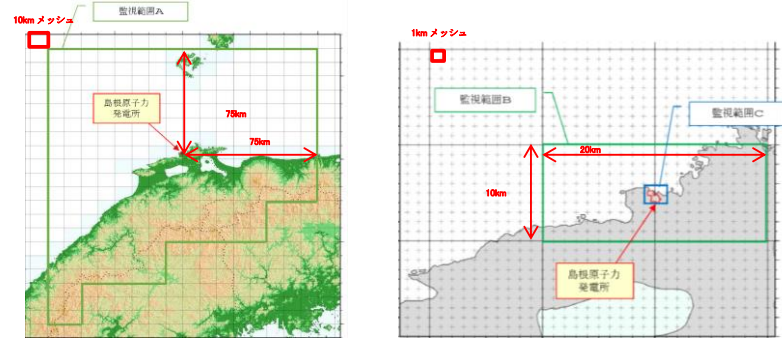
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>から離れないようにする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所（下記の①）、評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された場所（下記の②）に置かれている物品については、固定又は固縛は不要とする。</li> </ul> <p>&lt;横滑りへの対策が不要となる場所&gt;</p> <p>① 評価対象施設及び防護対策設備との間に、物品に対し一定の高さを有する障害物（地形、建屋等）が存在する場所又は、物品が評価対象施設及び防護対策設備よりも低所にあり、横滑りにより上ることのできない急峻な上り勾配が認められる場所（別図3-4参照）</p> <p>② 物品車両管理エリア内で、竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部</p> <p>ただし、準備体制確認時以前に、作業等で既に搬入している物品を対象とする。</p> <div data-bbox="973 932 1670 1360" data-label="Diagram"> <p>①障害物（イメージ）</p> <p>凡例  <span style="color: green;">→</span>：横滑り方向  <span style="color: orange;">■</span>：飛来物品  <span style="color: yellow;">■</span>：障害物  <span style="color: blue;">■</span>：評価対象施設及び防護対策設備</p> <p>評価対象施設及び防護対策設備と飛来物の間に、飛来物源より高い障害物が存在</p> <p>②急峻な上り勾配（イメージ）</p> <p>凡例  <span style="color: green;">→</span>：横滑り方向  <span style="color: orange;">■</span>：飛来物品  <span style="color: blue;">■</span>：評価対象施設等及び防護対策設備</p> <p>評価対象施設及び防護対策設備が飛来物より高所に存在</p> </div> <p>別図3-4 横滑り対策不要の場所のイメージ図</p> <p>(2) 飛散する物品の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>通常時、準備体制確認時及び準備作業開始時のいずれにおいても原則として固定又は固縛しておくが、作業等で一時的に固定又は固縛を解除している物品は、準備作業開始時に移行した場合には速やかに再固定又は再固縛が可能なように、作業者が物品から離れないようにする。ただし、飛散しない物品と同様に、評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす可能性がないと指定された区画に準備体制確認時以前より搬入している場合は固縛又は固定は不要とする。</li> </ul>		

別表 3-3 車両以外の物品の管理方針

飛散及び横滑りの有無	配置場所	管理方針	
		通常時 準備体制確認時	準備作業開始時
飛散も横滑りもしない物品	物品管理エリア内外	対策不要	
飛散しないが横滑りする物品	物品管理エリア内	固定又は固縛 <sup>※1, 2</sup>	固定又は固縛 <sup>※2</sup>
	物品管理エリア外	対策不要	
飛散する物品	物品管理エリア内	固定又は固縛 <sup>※1</sup>	固定又は固縛 <sup>※3</sup>
	物品管理エリア外	対策不要	

- ※1 作業等で必要な場合は解除可能とするが、速やかに再固定又は再固縛が可能  
なよう、作業者が物品から離れないようにする。
- ※2 評価対象施設及び防護対策設備との間に障害物がある場所、竜巻の風荷重に  
対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準備体制以前に搬  
入している物品は、対策不要とする。
- ※3 竜巻の風荷重に対し構造健全性を維持することが確認された区画の内部に準  
備体制以前に搬入している物品は、対策不要とする。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																				
	<p style="text-align: right;">別紙 8-4</p> <p style="text-align: center;">竜巻準備体制の発令の判断基準について</p> <p>1. 基本方針</p> <p>評価対象施設等及び竜巻飛来物防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう、評価対象施設及び防護対策設備周辺に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。</p> <p>竜巻による評価対象施設及び防護対策設備への被害を防止するため、竜巻の兆候を早期に検知し、事前に準備を行うことが重要であり、兆候を早期に検知する方法として、気象庁から発表される「竜巻注意情報」及び「雷注意報」に加え、レーダーナウキャストによる予測を用いる。</p> <p>気象庁による監視体制は2013年3月のドップラーレーダー化完了により強化され、さらに研究も進んでいることから、今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については、今後もデータ・知見等の収集に努め、より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し、改善を図っていくものとする。</p> <p>2. アクションレベルの定義</p> <p>発電所での竜巻襲来時における体制（以下「竜巻準備体制」という。）の発令等の判断基準として、別表 4-1 に示す 3 段階のアクションレベルを設定する。</p> <p style="text-align: center;">別表 4-1 竜巻準備体制の発令の判断基準</p> <table border="1" data-bbox="943 1486 1685 1780"> <thead> <tr> <th>アクションレベル</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>準備体制確認 (対応体制確認及び監視強化)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>準備作業開始 (竜巻襲来準備作業(物品の固縛、車両の退避等)の実施)</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>人員の避難</td> </tr> </tbody> </table>	アクションレベル	定義	1	準備体制確認 (対応体制確認及び監視強化)	2	準備作業開始 (竜巻襲来準備作業(物品の固縛、車両の退避等)の実施)	3	人員の避難	<p style="text-align: right;">別紙-3</p> <p style="text-align: center;">竜巻準備体制の発令の判断基準について</p> <p>1. 基本方針</p> <p>評価対象施設及び竜巻防護対策設備（以下「評価対象施設及び防護対策設備」という。）の安全機能維持に影響を与えないよう、評価対象施設及び防護対策設備周辺に駐車及び停車している車両を固縛又は退避させる必要がある。</p> <p>竜巻による評価対象施設及び防護対策設備への被害を防止するため、竜巻の兆候を早期に検知し、事前に準備を行うことが重要であり、兆候を早期に検知する方法として、気象庁から発表される「竜巻注意情報」及び「雷注意報」に加え、レーダーナウキャストによる予測を用いる。</p> <p>気象庁による監視体制は2013年3月のドップラーレーダー化完了により強化され、さらに研究も進んでいることから、今後さらなる予測精度の向上が見込まれる。よって以下の判断基準等については、今後もデータ・知見等の収集に努め、より信頼度の高い判断基準となるよう検討を継続し、改善を図っていくものとする。</p> <p>2. 実施基準の定義</p> <p>発電所での竜巻襲来時における体制（以下「竜巻準備体制」という。）の発令等の判断基準として、竜巻準備体制の実施基準(イメージ)を表 1 に、竜巻発生確度ナウキャスト、雷ナウキャストの監視範囲を図 1 に示す。</p> <p style="text-align: center;">表 1 竜巻準備体制の実施基準</p> <table border="1" data-bbox="1736 1476 2478 1717"> <thead> <tr> <th>対応</th> <th>判断基準</th> <th>監視範囲</th> <th>運用対策案</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①監視強化及び注意喚起</td> <td>雷注意報(竜巻)の発表 竜巻注意情報の発表 竜巻発生確度ナウキャスト(実況) 「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト(実況) 雷活動度2以上</td> <td>松江市、出雲市、雲南市、安来市、境港市、米子市 島根県東部、島根県西部、隠岐 鳥取県中・西部</td> <td>連絡体制の確認</td> </tr> <tr> <td>②竜巻対応開始</td> <td>竜巻発生確度ナウキャスト(予測(60分先まで)) 「竜巻発生確度2」 かつ雷ナウキャスト(予測(60分先まで)) 雷活動度2以上</td> <td>・竜巻発生確度ナウキャスト 発電所を中心に南北方向20km×東西方向10kmの範囲(図1の監視範囲B) ・雷ナウキャスト 発電所を中心に南北方向2km×東西方向2kmの範囲(図1の監視範囲C)</td> <td>資機材・車両等の固縛、 人・車両の退避</td> </tr> </tbody> </table>	対応	判断基準	監視範囲	運用対策案	①監視強化及び注意喚起	雷注意報(竜巻)の発表 竜巻注意情報の発表 竜巻発生確度ナウキャスト(実況) 「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト(実況) 雷活動度2以上	松江市、出雲市、雲南市、安来市、境港市、米子市 島根県東部、島根県西部、隠岐 鳥取県中・西部	連絡体制の確認	②竜巻対応開始	竜巻発生確度ナウキャスト(予測(60分先まで)) 「竜巻発生確度2」 かつ雷ナウキャスト(予測(60分先まで)) 雷活動度2以上	・竜巻発生確度ナウキャスト 発電所を中心に南北方向20km×東西方向10kmの範囲(図1の監視範囲B) ・雷ナウキャスト 発電所を中心に南北方向2km×東西方向2kmの範囲(図1の監視範囲C)	資機材・車両等の固縛、 人・車両の退避	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は、竜巻準備体制の発令の判断基準について記載している</p> <p>・記載場所の相違 【東海第二】 島根 2号炉は、表 1 に各対応の判断基準及び対応を記載している</p>
アクションレベル	定義																						
1	準備体制確認 (対応体制確認及び監視強化)																						
2	準備作業開始 (竜巻襲来準備作業(物品の固縛、車両の退避等)の実施)																						
3	人員の避難																						
対応	判断基準	監視範囲	運用対策案																				
①監視強化及び注意喚起	雷注意報(竜巻)の発表 竜巻注意情報の発表 竜巻発生確度ナウキャスト(実況) 「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト(実況) 雷活動度2以上	松江市、出雲市、雲南市、安来市、境港市、米子市 島根県東部、島根県西部、隠岐 鳥取県中・西部	連絡体制の確認																				
②竜巻対応開始	竜巻発生確度ナウキャスト(予測(60分先まで)) 「竜巻発生確度2」 かつ雷ナウキャスト(予測(60分先まで)) 雷活動度2以上	・竜巻発生確度ナウキャスト 発電所を中心に南北方向20km×東西方向10kmの範囲(図1の監視範囲B) ・雷ナウキャスト 発電所を中心に南北方向2km×東西方向2kmの範囲(図1の監視範囲C)	資機材・車両等の固縛、 人・車両の退避																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3. <u>各アクションレベルにおける判断基準と対応</u>  <u>各アクションレベルの判断基準と対応の内容について、以下に示す。</u></p> <p>(1) <u>レベル 1: 準備体制確認</u>  <u>&lt;判断基準&gt;</u>  <u>以下の 2 つの状況の「or」条件とする。(これら情報の入手は、気象協会等の情報提供サービスを利用する。)</u></p> <p>① <u>雷注意報 (竜巻又は突風) の発報</u>  ② <u>竜巻注意情報の発報</u></p> <p><u>&lt;対応&gt;</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>判断基準情報発出の所内周知 (ページング)</u></li> <li>・<u>竜巻発生確度ナウキャスト (以下「竜巻NC」という。) 及び雷ナウキャスト (以下「雷NC」という。) の監視開始 (別図 4-1, 別図 4-2 参照)</u></li> <li>・<u>準備作業 (固縛, 退避等) の対応体制確認</u></li> <li>・<u>屋外作業の実施状況確認</u></li> <li>・<u>外殻防護の障壁となる扉等の開閉状況確認</u></li> </ul> <div data-bbox="985 982 1549 1444" style="border: 1px dashed gray; padding: 5px;"> <p><u>竜巻NCの監視領域</u></p> <p>「発電所を含むメッシュ+周囲 1メッシュ」の計 9メッシュを、竜巻NCの監視領域とする (別図 4-1 参照)。</p>  <p>別図 4-1 竜巻NCの監視領域</p> </div> <div data-bbox="985 1486 1549 1885" style="border: 1px dashed gray; padding: 5px;"> <p><u>雷NCの監視領域</u></p> <p>「発電所を含む 2メッシュ+周囲 1メッシュ」の計 12メッシュを、雷NCの監視領域とする (別図 4-2 参照)。</p>  <p>別図 4-2 雷NCの監視領域</p> </div>	<div data-bbox="1727 1465 2457 1785">  </div> <p>図1 竜巻発生確度ナウキャスト, 雷ナウキャストの監視範囲</p>	<p>・記載場所の相違  <b>【東海第二】</b>  同上</p> <p>・ナウキャストの監視範囲の相違  <b>【東海第二】</b></p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(2) <u>レベル 2 : 準備作業開始</u></p> <p><u>&lt;判断基準&gt;</u>  以下の 2 つの情報の「and」条件とする。</p> <p>① <u>竜巻NCについて、発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。</u></p> <p>② <u>雷NCについて、発電所エリアに「活動度 2 以上」が認められる。</u></p> <p><u>&lt;対応&gt;</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>準備作業開始の所内指示 (ページング)</u></li> <li>・<u>津波監視カメラ, 目視等による上空の状況監視 (補助的に, NCの監視も継続)</u></li> <li>・<u>車両管理エリア内の車両の固縛若しくはエリア外への退避</u></li> <li>・<u>固縛解除中物品の再固縛</u></li> <li>・<u>外殻防護障壁となる扉等の閉止</u></li> </ul> <p>(3) <u>レベル 3 : 人員の避難</u></p> <p><u>&lt;判断基準&gt;</u>  以下の①及び②の情報の「and」条件若しくは③の成立とする。</p> <p>① <u>竜巻NCについて、発電所エリアに「発生確度 2」が認められる。</u></p> <p>② <u>雷NCについて、発電所エリアに「活動度 3 以上」が認められる。</u></p> <p>③ <u>上空の状況監視において、竜巻の兆候※が認められる</u></p> <p>※ <u>以下の様な状況</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>「空が急に暗くなる, 激しい雨やひょうが降る, 雷が鳴る」 (=発達した積乱雲が近づいている兆候)</u></li> <li>・<u>「竜巻の漏斗雲や突風により舞い上がる飛散物が見える」</u></li> </ul> <p><u>&lt;対応&gt;</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>人員の退避の所内指示 (ページング)</u></li> <li>・<u>発電所内人員の屋内への避難</u></li> </ul>		





(気象庁「竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について」抜粋)

4. 各アクションレベルの判断基準に用いる気象情報の妥当性

(1) 竜巻準備体制の確認の判断

気象情報：以下の or 条件

- ①雷注意報（竜巻又は突風）
- ②竜巻注意情報

別表 4-2 に、藤田スケール 1 以上の竜巻に対し、上記条件が竜巻を捕捉した確率を調査した結果を示す。

別表 4-2 準備体制確認の判断基準による竜巻の捕捉率

(気象庁HP「竜巻注意情報の発表状況」より、2010 年～2017 年 8 月までのデータを調査)

時間余裕	年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	合計	2013.3.14以降 <sup>※1</sup>	2016.12.15以降 <sup>※2</sup>
予見失敗		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
10分以内		1	1	0	3	0	0	2	0	7	5	0
10分超～30分以内		0	2	0	2	0	0	1	0	5	3	0
30分超～40分以内		2	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0
40分超～50分以内		1	0	0	0	2	1	0	0	4	3	0
50分超～60分以内		0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0
60分超		4	1	8	16	4	8	10	5	56	41	6
計		8	5	10	21	6	9	14	5	78	53	6
全捕捉率		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	92.9%	100.0%	98.7%	98.1%	100.0%
猶予10分超での捕捉率		87.5%	80.0%	100.0%	85.7%	100.0%	100.0%	78.6%	100.0%	89.7%	88.7%	100.0%
猶予30分超での捕捉率		87.5%	40.0%	100.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	83.3%	83.0%	100.0%
猶予40分超での捕捉率		62.5%	40.0%	90.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	79.5%	83.0%	100.0%
猶予60分超での捕捉率		50.0%	20.0%	80.0%	76.2%	66.7%	88.9%	71.4%	100.0%	71.8%	77.4%	100.0%

※1 全国気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。  
 ※2 竜巻注意情報の単位領域の細分化開始日。

捕捉率はほぼ 100%であり、また、近年のデータからは猶予時

3. 各実施基準の判断基準に用いる気象情報の妥当性

(1) 監視強化及び注意喚起の確認の判断

気象情報：以下の or 条件

- ①雷注意報（竜巻）
- ②竜巻注意情報
- ③竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度2以上」

表 2 に、藤田スケール 1 以上の竜巻に対し、上記条件のうち、①雷注意報（竜巻）、②竜巻注意情報が竜巻を捕捉した確率を調査した結果を示す。

表 2 ①雷注意報（竜巻）及び②竜巻注意情報による竜巻の捕捉率

(気象庁HP「竜巻注意情報の発表状況」より、2010 年～2018 年 12 月までのデータを調査)

時間余裕	年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	合計	2013.3.14以降 <sup>※1</sup>	2016.12.15以降 <sup>※2</sup>
予見失敗		0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	1
10分以内		1	1	0	3	0	0	2	0	0	7	5	0
10分超～30分以内		0	2	0	2	0	0	1	0	1	6	4	1
30分超～40分以内		2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0
40分超～50分以内		1	0	0	0	2	1	0	0	1	5	4	1
50分超～60分以内		0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
60分超		4	1	8	16	4	8	10	5	10	66	51	16
計		8	5	10	21	6	9	14	5	13	91	66	19
全捕捉率		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	92.9%	100.0%	92.3%	97.8%	97.0%	94.7%
猶予10分超での捕捉率		87.5%	80.0%	100.0%	85.7%	100.0%	100.0%	78.6%	100.0%	92.3%	90.1%	89.4%	94.7%
猶予30分超での捕捉率		87.5%	40.0%	100.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	84.6%	83.5%	83.3%	89.5%
猶予40分超での捕捉率		62.5%	40.0%	90.0%	76.2%	100.0%	100.0%	71.4%	100.0%	84.6%	80.2%	83.3%	89.5%
猶予60分超での捕捉率		50.0%	20.0%	80.0%	76.2%	66.7%	88.9%	71.4%	100.0%	76.9%	72.5%	71.3%	84.2%

※1 全国気象レーダーのドップラーレーダー化完了日。観測精度の向上が期待できる期間として設定。  
 ※2 竜巻注意情報の単位領域の細分化開始日。

捕捉率はほぼ 100%であり、また、近年のデータからは猶予時

・判断基準の相違

【東海第二】

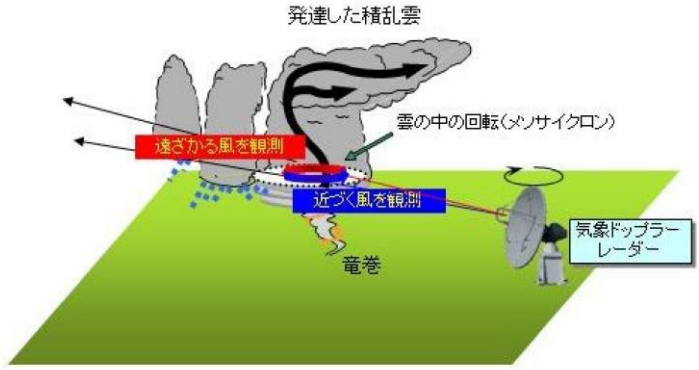
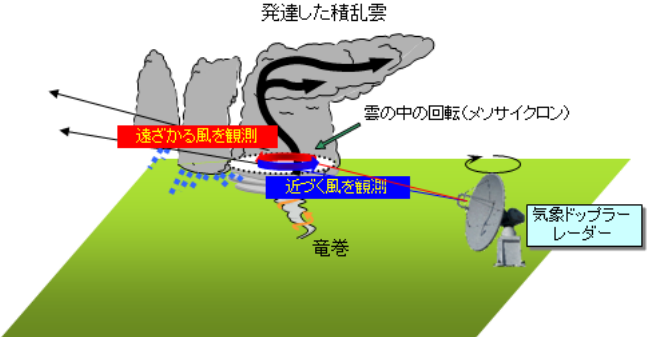
島根 2 号炉は、監視強化及び注意喚起の判断基準に雷注意報（突風）を使用しておらず、竜巻発生確度ナウキャスト（実況）「竜巻発生確度 2」かつ雷ナウキャスト（実況）「雷活動度 2 以上」を使用している

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
	<p>時間 30 分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって、「雷注意報 (竜巻又は突風)」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより、竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。</p> <p>【以下、比較のため再掲】</p> <p>(2) 準備作業開始の判断</p> <p>藤田スケール(Fスケール)の被害指標ではF3の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており、万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはF3スケール以上と考えられるが、別表4-3のとおり、ナウキャスト運用開始後に発生したF3スケール以上の竜巻については竜巻発生確度2が事前に出されていることから、「竜巻発生確度2」を用いることで、F3スケールの竜巻の予測は可能と考える。</p> <p>別表4-3 竜巻NCによるF3竜巻の予測実績</p> <table border="1" data-bbox="946 1075 1685 1243"> <thead> <tr> <th>発生時間</th> <th>発生箇所</th> <th>竜巻発生確度及び発令時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53</td> <td>茨城県常総市</td> <td>確度2 (12 : 20)</td> </tr> </tbody> </table> <p>また、雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1ことから、雷NCも考慮に加えることとした。</p> <p>強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻NCの発生確度2は、メソサイクロン(スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧)の検出が条件となっているが、これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性がある判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって、発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。</p> <p>積乱雲は成長期、成熟期及び衰退期の3段階のライフサイクルで形成、消滅する※2が、このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり、この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として、雷NCを利用する。</p>	発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間	2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度2 (12 : 20)	<p>間30分以上での捕捉率についても改善傾向が認められる。したがって、「雷注意報 (竜巻)」又は「竜巻注意情報」を判断基準とすることにより、竜巻準備体制を整えるための猶予時間は確保できると考える。</p> <p>また、より信頼性が高い判断基準となるよう③竜巻発生確度ナウキャスト(実況)「竜巻発生確度2」かつ雷ナウキャスト(実況)「雷活動度2以上」も考慮する。</p> <p>藤田スケール(Fスケール)の被害指標ではF3の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており、万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはF3スケール以上と考えられるが、表3のとおり、ナウキャスト運用開始後に発生したF3スケール以上の竜巻については竜巻発生確度2が事前に出されていることから、「竜巻発生確度2」を用いることで、F3スケールの竜巻の予測は可能と考える。</p> <p>表3 竜巻ナウキャストによるF3竜巻の予測実績</p> <table border="1" data-bbox="1724 1056 2484 1251"> <thead> <tr> <th>発生時間</th> <th>発生箇所</th> <th>竜巻発生確度及び発令時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53</td> <td>茨城県常総市</td> <td>確度2 (12 : 20)</td> </tr> </tbody> </table> <p>また、雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1ことから、雷ナウキャストも考慮に加えることとした。</p> <p>強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻ナウキャストの発生確度2は、メソサイクロン(スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧)の検出が条件となっているが、これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性がある判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって、発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。</p> <p>積乱雲は成長期、成熟期及び衰退期の3段階のライフサイクルで形成、消滅する※2が、このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり、この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として、雷ナウキャストを利用する。</p>	発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間	2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度2 (12 : 20)	<p>・判断基準の相違 【東海第二】 同上</p>
発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間													
2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度2 (12 : 20)													
発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間													
2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度2 (12 : 20)													

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考						
	<p>雷NCの活動度 2 は、上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており、竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また、ノウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため、準備体制の確認の段階においてノウキャストを監視することにより、積乱雲の状況を確認することが可能である。</p> <p>以上より、竜巻NCの発生確度 2 に雷NCの活動度 2 以上の組み合わせを、強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。</p> <p><b>【ここまで】</b></p> <p>(2) <u>準備作業開始の判断</u></p> <p>気象情報：以下の and 条件</p> <p>①竜巻NC「発生確度 2」 ②雷NC「活動度 2以上」</p> <p>藤田スケール(Fスケール)の被害指標ではF 3の場合に「自動車は持ち上げられて飛ばされる。」となっており、万一衝突した場合の影響が大きい車両が評価対象施設及び防護対策設備に影響を及ぼす竜巻のスケールはF 3スケール以上と考えられるが、別表 4-3 のとおり、ノウキャスト運用開始後に発生したF 3スケール以上の竜巻については竜巻発生確度 2 が事前に出されていることから、「竜巻発生確度 2」を用いることで、F 3スケールの竜巻の予測は可能と考える。</p> <p>別表 4-3 竜巻NCによるF 3竜巻の予測実績</p> <table border="1" data-bbox="946 1703 1688 1871"> <thead> <tr> <th>発生時間</th> <th>発生箇所</th> <th>竜巻発生確度及び発令時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53</td> <td>茨城県常総市</td> <td>確度 2 (12 : 20)</td> </tr> </tbody> </table>	発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間	2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度 2 (12 : 20)	<p><u>雷ノウキャストの活動度 2 は、上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており、竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また、ノウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため、準備体制の確認の段階においてノウキャストを監視することにより、積乱雲の状況を確認することが可能である。</u></p> <p><u>以上より、竜巻ノウキャストの発生確度 2 に雷ノウキャストの活動度 2 以上の組み合わせを、強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。</u></p> <p>(2) <u>竜巻対応開始の判断</u></p> <p><u>気象情報：以下の and 条件</u></p> <p>① <u>竜巻発生確度ノウキャスト (予測 (60 分先まで))</u> <u>「竜巻発生確度 2」</u></p> <p>② <u>雷ノウキャスト (予測 (60 分先まで))</u> <u>「雷活動度 2以上」</u></p>	<p>・判断基準の相違</p> <p><b>【東海第二】</b></p> <p>島根 2号炉は、竜巻発生確度ノウキャスト及び雷ノウキャストの予測情報も含めて判断基準にしている</p> <p>(島根 2号炉は「3. (1) 監視強化及び注意喚起の確認の判断」で記載)</p>
発生時間	発生箇所	竜巻発生確度及び発令時間							
2012. 5. 6 12 : 35~12 : 53	茨城県常総市	確度 2 (12 : 20)							

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>また、雷は積乱雲内の上昇気流によって発生する※1 ことから、雷NCも考慮に加えることとした。</p> <p>強い竜巻は、スーパーセルと呼ばれる発達した積乱雲の下で発生する。竜巻NCの発生確度 2 は、メソサイクロン（スーパーセル中にある水平規模数 km の小さな低気圧）の検出が条件となっているが、これはメソサイクロン付近で竜巻などの激しい突風の可能性がある判断される※2ためである。更に降水強度を低めに見積もることによって、発達中の積乱雲から発生する突風を見逃さないようにしている。</p> <p>積乱雲は成長期、成熟期及び衰退期の 3 段階のライフサイクルで形成、消滅する※2が、このサイクル中で竜巻及び雷が発生するのは積乱雲が最も発達した成熟期であり、この成熟期の初期段階又は発達した積乱雲の接近を把握する方法として、雷NCを利用する。</p> <p>雷NCの活動度 2 は、上空の放電状態や発達した積乱雲の周辺を表しており、竜巻が発生する可能性が高い発達した積乱雲の発生又は接近を予告する指標として活用できると考える。また、ナウキャストにおいては予測だけでなく直近の過去のデータ及び予測値を見ることが可能であるため、準備体制の確認の段階においてナウキャストを監視することにより、積乱雲の状況を確認することが可能である。</p> <p>以上より、竜巻NCの発生確度 2 に雷NCの活動度 2 以上の組み合わせを、強い竜巻が発生するおそれが高まっていることの指標とすることは妥当であると判断した。</p> <p><u>(3) 人員の避難の判断</u>  <u>気象情報：以下の and 条件</u>  <u>①竜巻NC「発生確度 2」</u>  <u>②雷NC「活動度 3 以上」</u>  <u>(また、気象情報とは別に「③上空の状況監視において、竜巻の兆候が認められる」場合も判断基準としている。)</u></p> <p><u>雷は積乱雲内の上昇気流によって発生するため、落雷が発生している場所（雷活動度 3 以上の地域）は強い上昇気流場であると言えるが、雷NCの活動度 3 以上の場所は、既に対地放電が起きている強い放電密度を持った場所を表しており、強い雷雲の位置を示していることになる。</u></p>		<p>・判断基準の相違  <b>【東海第二】</b>  島根 2 号炉は、人員の避難を(2) 竜巻対応開始で実施する。また、雷ナウキャストの活動度 3 以上を判断基準としていない。</p> <p>・判断基準の相違  <b>【東海第二】</b>  島根 2 号炉は、雷ナウキャストの活動度 3 以上を判断基準としていない。</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>また、雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており、現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち、単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく、積乱雲の発達も考慮に加えられている<sup>※2</sup>。</p> <p>以上より、竜巻NCの発生確度 2 と雷NCの活動度 3 以上の組み合わせを、強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。</p> <p>なお、人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため、ナウキャストの値だけでなく、現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる<sup>※3</sup>ことから、カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。</p> <p>※1 大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）          ※2 雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011）          ※3 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁）</p> <p>『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは、適中率が低く空振りが多くなるため、これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間、及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。</p> <p>したがって、「空の様子に注意する」など、なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり、負担の大きな対策の実施については、発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』</p>	<p><u>雷活動度の予測には盛衰傾向による補正が加えられており、現時点では成長期や成熟期初期にある積乱雲に対して継続時間を考慮した予測がなされている。すなわち、単純な積乱雲の移動による雷の発生の予測でなく、積乱雲の発達も考慮に加えられている<sup>※2</sup>。</u></p> <p><u>以上より、予測を含む竜巻ナウキャストの発生確度 2 と雷ナウキャストの活動度 2 以上の組み合わせを、強い竜巻の発生の指標とすることは妥当であると判断した。</u></p> <p><u>なお、人員の避難はプラント運用面への負担が大きな対策であると考えられるため、ナウキャストの値だけでなく、現場の気象状況も加味して判断することが現実的と考えられる<sup>※3</sup>ことから、カメラ等を用いた上空の監視も判断基準に加えることとしている。</u></p> <p><u>※1 大野久雄：雷雨とメソ気象（2001，東京堂出版）</u>  <u>※2 雷ナウキャストにおける雷の解析・予測技術と利用方法（測候時報 78.3 2011）</u>  <u>※3 竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について（H22.3 気象庁）</u></p> <p><u>『竜巻注意情報や竜巻発生確度ナウキャストは、適中率が低く空振りが多くなるため、これらの発表と連動して負担（対策に要する時間や手間、及び対策の影響）の大きな対策を実施するのは難しいのが現状である。</u></p> <p><u>したがって、「空の様子に注意する」など、なるべく負担の小さな対策から実施するのが適当であり、負担の大きな対策の実施については、発生確度 1 や 2 の発表に現場の気象状況を加味して判断するのが現実的な利用方法といえる。』</u></p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: center;">(参考)</p> <p style="text-align: center;">竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト</p> <p>(1) 竜巻発生確度ナウキャストとは</p> <p>10km 格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を2つの階級(発生確度 1, 2)で解析し、10分ごとに1時間先までの予測を行うもの。</p> <p>竜巻などの激しい突風は、規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため、竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は、大気環境、積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を満たした場合に発生確度の解析を開始し、降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度 1, 2 と判定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生確度 1 メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした(OR 条件)格子の周辺 100km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域(発生確度 1 背景)と考え、この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 1」と判定する。</li> <li>・発生確度 2 メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした(AND 条件)格子の周辺 40km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度 1 背景より高い」領域(発生確度 2 背景)と考え、この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 2」と判定する。</li> </ul>  <p>出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成22年3月気象庁</p>	<p style="text-align: center;">(参考)</p> <p style="text-align: center;">竜巻発生確度ナウキャスト及び雷ナウキャスト</p> <p>(1) 竜巻発生確度ナウキャストとは</p> <p><u>10km 格子単位で「竜巻が発生する可能性の程度」を2つの階級(発生確度 1, 2)で解析し、10分ごとに1時間先までの予測を行うもの。</u></p> <p><u>竜巻などの激しい突風は、規模が小さくレーダーなどの観測機器で直接実体を捉えることができないため、竜巻をもたらす発達した積乱雲の中にある直径数キロのメソサイクロンの検出又は、大気環境、積乱雲の発生場所・発達状況から突風の発生可能性を表す指数「突風危険指数」が基準を満たした場合に発生確度の解析を開始し、降水強度の解析と重ねて降水強度が強い格子を発生確度 1, 2 と判定する。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生確度 1 <u>メソサイクロンの検出又は突風危険指数の基準を満たした(OR 条件)格子の周辺 100km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性がある」領域(発生確度 1 背景)と考え、この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 1」と判定する。</u></li> <li>・発生確度 2 <u>メソサイクロンの検出及び突風危険指数の基準を満たした(AND 条件)格子の周辺 40km 範囲は「積乱雲が発生すれば突風の可能性が発生確度 1 背景より高い」領域(発生確度 2 背景)と考え、この領域の降水強度が強い格子が「発生確度 2」と判定する。</u></li> </ul>  <p><u>出典：竜巻などの激しい突風に関する気象情報の利活用について：平成 22 年 3 月気象庁</u></p>	

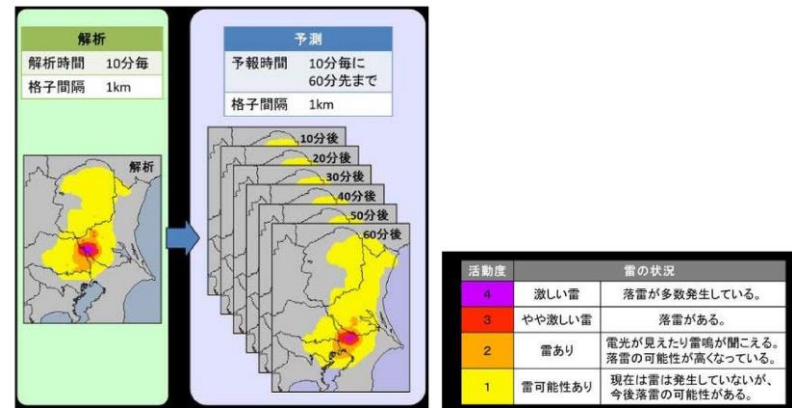


(2) 雷ナウキャストとは

雷ナウキャストは、雷の激しさや雷の可能性を 1km 格子単位で解析し、その 1 時間後 (10 分先~60 分先) までの予測を行うもので、10 分ごとに更新して気象庁より提供される。

雷の解析は、雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度 1~4 で表される。予測については、雷雲の移動方向に移動させるとともに、雷雲の盛衰の傾向も考慮している。

雷ナウキャストでは、雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷 (活動度が高い) としており、雷放電を検知していない場合でも、雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに、雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。



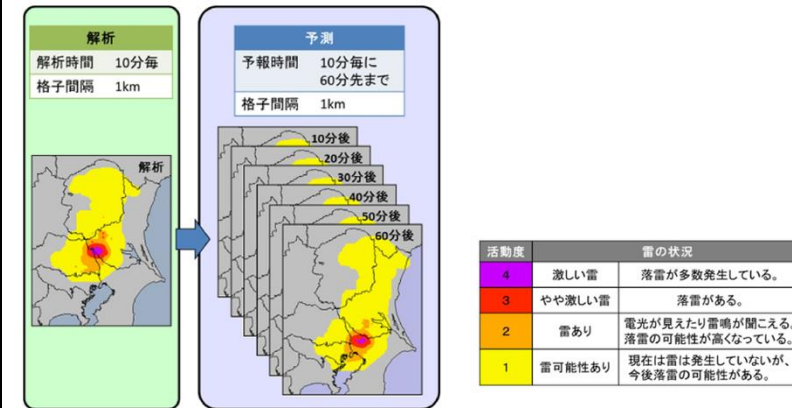
出典：雷ナウキャストとは 気象庁HP

(2) 雷ナウキャストとは

雷ナウキャストは、雷の激しさや雷の可能性を 1km 格子単位で解析し、その 1 時間後 (10 分先~60 分先) までの予測を行うもので、10 分ごとに更新して気象庁より提供される。

雷の解析は、雷監視システムによる雷放電の検知及びレーダー観測などを基にして活動度 1~4 で表される。予測については、雷雲の移動方向に移動させるとともに、雷雲の盛衰の傾向も考慮している。

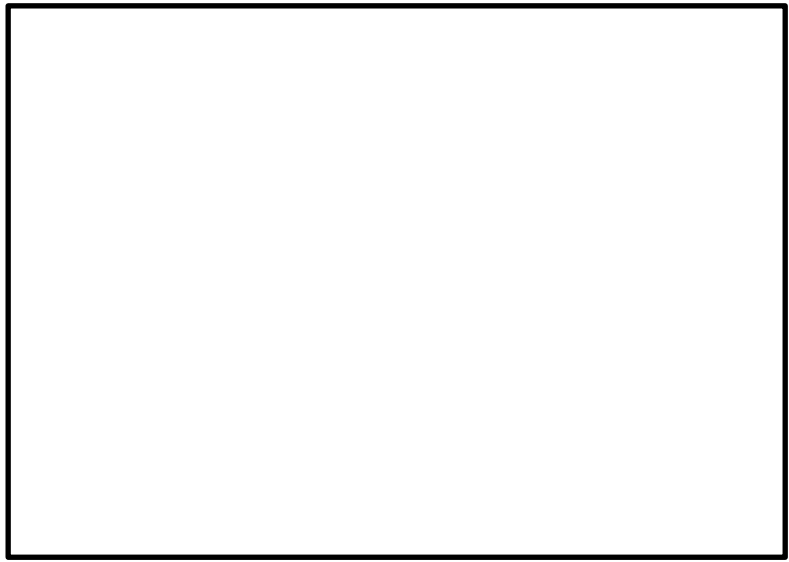
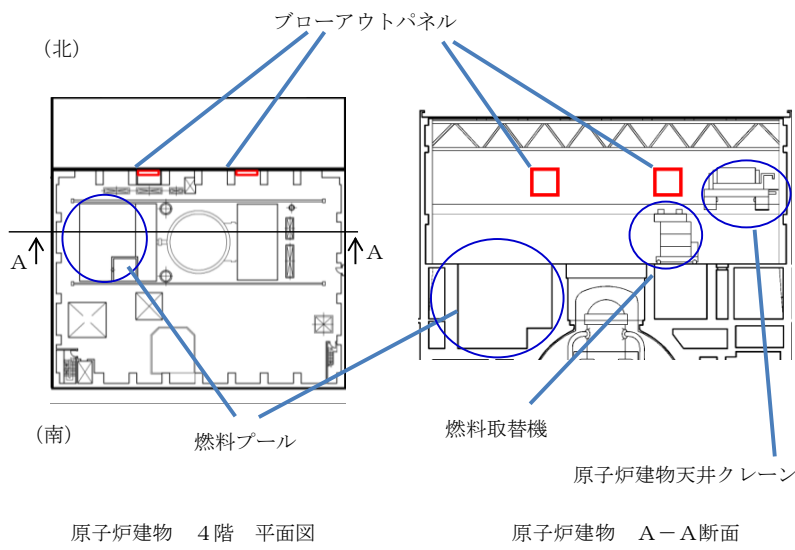
雷ナウキャストでは、雷監視システムによる雷放電の検知数が多いほど激しい雷 (活動度が高い) としており、雷放電を検知していない場合でも、雷雲の特徴から雷雲解析をするとともに、雷雲が発達する可能性のある領域も解析している。



出典：雷ナウキャストとは 気象庁HP

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																									
	<p style="text-align: right;">別紙 8-5</p> <p>原子炉建屋ブローアウトパネルに対する対応方針について</p> <p>1. 概要</p> <p>原子炉建屋原子炉棟外壁の原子炉建屋外側ブローアウトパネル（以下「ブローアウトパネル」という。）の竜巻に対する対応方針について整理した。</p> <p>2. 竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針</p> <p>竜巻襲来時にブローアウトパネルに想定される状態，プラントへの影響及び対応方針を整理した結果を別表 5-1 に示す。</p> <p>飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。</p> <p>また，設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差によるブローアウトパネルの開放に伴って生じる原子炉建屋原子炉棟外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，3. にて整理する。</p> <p>別表 5-1 竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応</p> <table border="1" data-bbox="943 1333 1676 1753"> <thead> <tr> <th>竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態</th> <th>プラントへの影響</th> <th>基本対応方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">気圧差による開放</td> <td>原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失</td> <td>設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さいため，開放した場合は再閉止措置をする。</td> </tr> <tr> <td>開口部の発生による，建屋内部の外部事象防護対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用</td> <td>各外部事象防護対象施設の配置状況等を踏まえて以下対策の実施 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">飛来物による損傷（貫通）</td> <td>原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失</td> <td>ブローアウトパネルへの飛来物防護対策の実施</td> </tr> <tr> <td>飛来物の侵入による，建屋内部の外部事象防護対象施設の損傷</td> <td>（上記対策により包含される）</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針	気圧差による開放	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さいため，開放した場合は再閉止措置をする。	開口部の発生による，建屋内部の外部事象防護対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各外部事象防護対象施設の配置状況等を踏まえて以下対策の実施 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止	飛来物による損傷（貫通）	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策の実施	飛来物の侵入による，建屋内部の外部事象防護対象施設の損傷	（上記対策により包含される）	<p style="text-align: right;">別紙-4</p> <p>原子炉建物ブローアウトパネルに対する対応方針について</p> <p>1. 概要</p> <p>原子炉建物のブローアウトパネル（以下，「ブローアウトパネル」という。）の竜巻に対する対応方針について整理した。</p> <p>2. 竜巻によるブローアウトパネルの機能への影響と基本対応方針</p> <p>竜巻襲来時にブローアウトパネルに想定される状態，プラントへの影響及び対応方針を整理した結果を表 1 に示す。</p> <p>ブローアウトパネルは原子炉建物 4 階の北側 2 箇所の設置されている。</p> <p>飛来物によるブローアウトパネルの損傷（貫通）については，ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を行う方針とする。</p> <p>また，ブローアウトパネルが設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合には再閉止措置を行う設計とする。</p> <p>ブローアウトパネルが開放したときの外壁開口部への竜巻の影響及び防護方針については，3. にて整理する。</p> <p>表 1 竜巻襲来時のブローアウトパネル状態とプラントへの影響と対応</p> <table border="1" data-bbox="1736 1323 2478 1816"> <thead> <tr> <th>竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態</th> <th>プラントへの影響</th> <th>基本対応方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">気圧差による開放</td> <td>原子炉建物の閉じ込め機能の喪失</td> <td>設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さい。設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合は再閉止措置をする。</td> </tr> <tr> <td>開口部の発生による，建物内部の評価対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用</td> <td>各評価対象施設の配置状況等を踏まえ以下の対策を実施。 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">飛来物による損傷（貫通）</td> <td>原子炉建物の閉じ込め機能の喪失</td> <td rowspan="2">（飛来物の侵入防止対策に包含される）</td> </tr> <tr> <td>飛来物の侵入による，建物内部の評価対象施設の損傷</td> </tr> </tbody> </table>	竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針	気圧差による開放	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さい。設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合は再閉止措置をする。	開口部の発生による，建物内部の評価対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各評価対象施設の配置状況等を踏まえ以下の対策を実施。 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止	飛来物による損傷（貫通）	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	（飛来物の侵入防止対策に包含される）	飛来物の侵入による，建物内部の評価対象施設の損傷	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は，原子炉建物ブローアウトパネルに対する対応方針について記載</p> <p>・記載方針の相違 【東海第二】 島根 2 号炉は，ブローアウトパネルの設置位置について記載している</p>
竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針																										
気圧差による開放	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さいため，開放した場合は再閉止措置をする。																										
	開口部の発生による，建屋内部の外部事象防護対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各外部事象防護対象施設の配置状況等を踏まえて以下対策の実施 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止																										
飛来物による損傷（貫通）	原子炉建屋原子炉棟の閉じ込め機能の喪失	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策の実施																										
	飛来物の侵入による，建屋内部の外部事象防護対象施設の損傷	（上記対策により包含される）																										
竜巻襲来時のブローアウトパネルの状態	プラントへの影響	基本対応方針																										
気圧差による開放	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	設計基準事故と竜巻の重畳の頻度は十分小さい。設計竜巻により生じる気圧差で開放した場合は再閉止措置をする。																										
	開口部の発生による，建物内部の評価対象施設への竜巻荷重（風圧力，飛来物）の作用	各評価対象施設の配置状況等を踏まえ以下の対策を実施。 ・風圧力に対する評価 ・飛来物の侵入防止																										
飛来物による損傷（貫通）	原子炉建物の閉じ込め機能の喪失	（飛来物の侵入防止対策に包含される）																										
	飛来物の侵入による，建物内部の評価対象施設の損傷																											

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考											
	<p>3. 竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針</p> <p>ブローアウトパネルは、設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり、その際に原子炉建屋原子炉棟外壁には開口が生じた状態となることから、当該状態に対する竜巻による影響を評価し、<u>防護方針を整理した。</u></p> <p>3.1 <u>竜巻によるブローアウトパネルの開放の影響を受ける原子炉建屋原子炉棟内の外部事象防護対象施設</u></p> <p>ブローアウトパネルが設置されている原子炉建屋原子炉棟 5階及び 6 階の内部に配置される外部事象防護対象施設を別表 5-2 に、外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を別図 5-1 に示す。</p> <p>なお、原子炉建屋原子炉棟 5 階の東側エリアのブローアウトパネルは閉止する方針であることから、竜巻による影響評価の対象外とする。</p> <p><u>別表 5-2 原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設</u></p> <table border="1" data-bbox="943 1108 1668 1474"> <thead> <tr> <th colspan="2">フロア</th> <th>外部事象防護対象施設</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">6 階</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料プール (①)</li> <li>・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁 (②)</li> <li>・燃料交換機 (③)</li> <li>・原子炉建屋天井クレーン (④)</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">5 階</td> <td>東側</td> <td>(ブローアウトパネル閉止により対象施設なし)</td> </tr> <tr> <td>西側</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ほう酸水注入系設備 (⑤)</li> <li>(ポンプ, タンク, 弁, 配管等)</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	フロア		外部事象防護対象施設	6 階		<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料プール (①)</li> <li>・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁 (②)</li> <li>・燃料交換機 (③)</li> <li>・原子炉建屋天井クレーン (④)</li> </ul>	5 階	東側	(ブローアウトパネル閉止により対象施設なし)	西側	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ほう酸水注入系設備 (⑤)</li> <li>(ポンプ, タンク, 弁, 配管等)</li> </ul>	<p>3. 竜巻によるブローアウトパネルの開放に伴う影響評価及び防護方針</p> <p><u>ブローアウトパネルは設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差で開放する可能性があり、その際に原子炉建物外壁には開口が生じた状態となることから、当該状態に対する竜巻による影響を評価した。</u></p> <p>3.1 <u>ブローアウトパネルが開放した場合に竜巻の影響を受ける外部事象防護対象施設</u></p> <p><u>ブローアウトパネルが開放した場合に、竜巻の影響を受ける外部事象防護対象施設は、オペレーティングフロア内に設置している燃料プール、燃料取替機、原子炉建物天井クレーン等がある。当該外部事象防護対象施設及びブローアウトパネルの配置を図 1 に示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・外部事象防護対象施設の示し方及び設備の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根 2 号炉はオペレーティングフロア内に設置している外部事象防護対象施設を表で示していない</p>
フロア		外部事象防護対象施設												
6 階		<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料プール (①)</li> <li>・燃料プール冷却浄化系真空破壊弁 (②)</li> <li>・燃料交換機 (③)</li> <li>・原子炉建屋天井クレーン (④)</li> </ul>												
5 階	東側	(ブローアウトパネル閉止により対象施設なし)												
	西側	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ほう酸水注入系設備 (⑤)</li> <li>(ポンプ, タンク, 弁, 配管等)</li> </ul>												

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p>別図 5-1 原子炉建屋原子炉棟 5, 6 階におけるブローアウトパネル及び外部事象防護対象施設の配置図</p> <p>3.2 外部事象防護対象施設に作用し得る荷重 ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合、当該開口部から原子炉建屋原子炉棟 5 階及び 6 階の外部事象防護対象施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について、別表 5-3 のとおり整理した。その結果、<u>風圧力による荷重 (<math>W_w</math>) 及び設計飛来物による衝撃荷重 (<math>W_M</math>) が考慮すべき荷重として抽出された。</u></p>	 <p>図 1 原子炉建物ブローアウトパネル配置図</p> <p>3.2 外部事象防護対象施設に作用し得る荷重 <u>ブローアウトパネルが設計竜巻による気圧低下に伴う気圧差により開放した場合、当該開口部から原子炉建物の外部事象防護対象施設に作用し得る竜巻に関連する荷重について、表 2 の通り整理した。その結果、考慮すべき荷重として抽出されるものはない。</u></p>	<p>・考慮すべき荷重の有無の相違</p> <p>【東海第二】 島根 2 号炉は、風圧力による荷重については、風の流路上に外部事象防護対象施設がないこと、設計飛来物による衝撃荷重については飛来物防護対策を実施することから考慮すべき荷重はない</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																												
	<p align="center"><b>別表 5-3 ブローアウトパネル開口部から原子炉建屋原子炉棟内部に作用し得る竜巻に関連する荷重</b></p> <table border="1" data-bbox="934 352 1676 1056"> <thead> <tr> <th>荷重</th> <th>考慮の要否</th> <th>評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>風圧力による荷重 (W<sub>w</sub>)</td> <td>要</td> <td>・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから、考慮対象とする。 ・風速は、設計竜巻の最大風速 100m/s とする。</td> </tr> <tr> <td>気圧差による荷重 (W<sub>p</sub>)</td> <td>否</td> <td>・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから、考慮不要とする。</td> </tr> <tr> <td>設計飛来物による衝撃荷重 (W<sub>M</sub>)</td> <td>要</td> <td>・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから、考慮対象とする。 ・想定する飛来物は、設計飛来物 (鋼製材) とする。</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">随伴が考えられる事象</td> <td>雷</td> <td>否</td> <td>開口部からの雷の侵入は考え難いため、考慮しない。</td> </tr> <tr> <td>降水</td> <td>否</td> <td>雨の吹込みは開口部近傍に限られるとともに、重要設備は内部溢水対策による防水措置が施されていることから、影響はない。</td> </tr> <tr> <td>ひょう</td> <td>否</td> <td>施設への影響が無い設計飛来物である「砂利」と、寸法及び運動エネルギーが同程度であり、施設への影響はないと考える。 【添付資料 10「竜巻時に発生するひょうの影響について」参照】</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>3.3 外部事象防護対象施設に対する影響評価と防護方針</b></p> <p>各外部事象防護対象施設において要求される機能が、別表 5-3 で抽出された荷重 (W<sub>w</sub>, W<sub>M</sub>) に対して、構造健全性が維持され、安全機能を損なわないことを評価するとともに、安全機能の維持が難しいと考えられる施設とその荷重に対する防護方針を検討し、その結果を別表 5-4 に示す。</p>	荷重	考慮の要否	評価	風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	要	・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから、考慮対象とする。 ・風速は、設計竜巻の最大風速 100m/s とする。	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	否	・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから、考慮不要とする。	設計飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	要	・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから、考慮対象とする。 ・想定する飛来物は、設計飛来物 (鋼製材) とする。	随伴が考えられる事象	雷	否	開口部からの雷の侵入は考え難いため、考慮しない。	降水	否	雨の吹込みは開口部近傍に限られるとともに、重要設備は内部溢水対策による防水措置が施されていることから、影響はない。	ひょう	否	施設への影響が無い設計飛来物である「砂利」と、寸法及び運動エネルギーが同程度であり、施設への影響はないと考える。 【添付資料 10「竜巻時に発生するひょうの影響について」参照】	<p align="center"><b>表 2 ブローアウトパネル開口部から原子炉建物内部に作用し得る竜巻に関連する荷重</b></p> <table border="1" data-bbox="1774 336 2487 1008"> <thead> <tr> <th>荷重</th> <th>評価</th> <th>考慮の要否</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>風圧力による荷重 (W<sub>w</sub>)</td> <td>同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されるが、ブローアウトパネルは同じ面に 2 箇所設置されており、流路が形成されないことから考慮不要。</td> <td>否</td> </tr> <tr> <td>気圧差による荷重 (W<sub>p</sub>)</td> <td>開口部の付近には密閉された設備がないため考慮不要。</td> <td>否</td> </tr> <tr> <td>設計飛来物による衝撃荷重 (W<sub>M</sub>)</td> <td>ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を実施することから考慮不要。</td> <td>否</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">随伴事象が考えられる事象</td> <td>雷</td> <td>建物開口部から雷の侵入は考え難いため考慮不要。</td> <td>否</td> </tr> <tr> <td>降水</td> <td>雨の影響は開口部近傍に限られるとともに、安全施設は内部溢水対策が講じられていることから、考慮不要。</td> <td>否</td> </tr> <tr> <td>ひょう</td> <td>衝突した場合の影響が設計飛来物に包含できるため、考慮不要。 (「添付資料 3.3 別紙-3 竜巻時に発生するひょうの影響について」)</td> <td>否</td> </tr> </tbody> </table> <p align="right">以 上</p>	荷重	評価	考慮の要否	風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されるが、ブローアウトパネルは同じ面に 2 箇所設置されており、流路が形成されないことから考慮不要。	否	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	開口部の付近には密閉された設備がないため考慮不要。	否	設計飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を実施することから考慮不要。	否	随伴事象が考えられる事象	雷	建物開口部から雷の侵入は考え難いため考慮不要。	否	降水	雨の影響は開口部近傍に限られるとともに、安全施設は内部溢水対策が講じられていることから、考慮不要。	否	ひょう	衝突した場合の影響が設計飛来物に包含できるため、考慮不要。 (「添付資料 3.3 別紙-3 竜巻時に発生するひょうの影響について」)	否	<p>・考慮すべき荷重の有無の相違 【東海第二】 同上</p> <p>・考慮すべき荷重の有無の相違 【東海第二】 同上</p>
荷重	考慮の要否	評価																																													
風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	要	・同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されることから、考慮対象とする。 ・風速は、設計竜巻の最大風速 100m/s とする。																																													
気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	否	・開口部の近傍には密閉された設備が無いことから、考慮不要とする。																																													
設計飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	要	・開口部から飛来物が侵入する可能性は否定できないことから、考慮対象とする。 ・想定する飛来物は、設計飛来物 (鋼製材) とする。																																													
随伴が考えられる事象	雷	否	開口部からの雷の侵入は考え難いため、考慮しない。																																												
	降水	否	雨の吹込みは開口部近傍に限られるとともに、重要設備は内部溢水対策による防水措置が施されていることから、影響はない。																																												
	ひょう	否	施設への影響が無い設計飛来物である「砂利」と、寸法及び運動エネルギーが同程度であり、施設への影響はないと考える。 【添付資料 10「竜巻時に発生するひょうの影響について」参照】																																												
荷重	評価	考慮の要否																																													
風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	同一の区画において複数のブローアウトパネルが開放すると風の流路が形成されるが、ブローアウトパネルは同じ面に 2 箇所設置されており、流路が形成されないことから考慮不要。	否																																													
気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	開口部の付近には密閉された設備がないため考慮不要。	否																																													
設計飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	ブローアウトパネルへの飛来物防護対策を実施することから考慮不要。	否																																													
随伴事象が考えられる事象	雷	建物開口部から雷の侵入は考え難いため考慮不要。	否																																												
	降水	雨の影響は開口部近傍に限られるとともに、安全施設は内部溢水対策が講じられていることから、考慮不要。	否																																												
	ひょう	衝突した場合の影響が設計飛来物に包含できるため、考慮不要。 (「添付資料 3.3 別紙-3 竜巻時に発生するひょうの影響について」)	否																																												

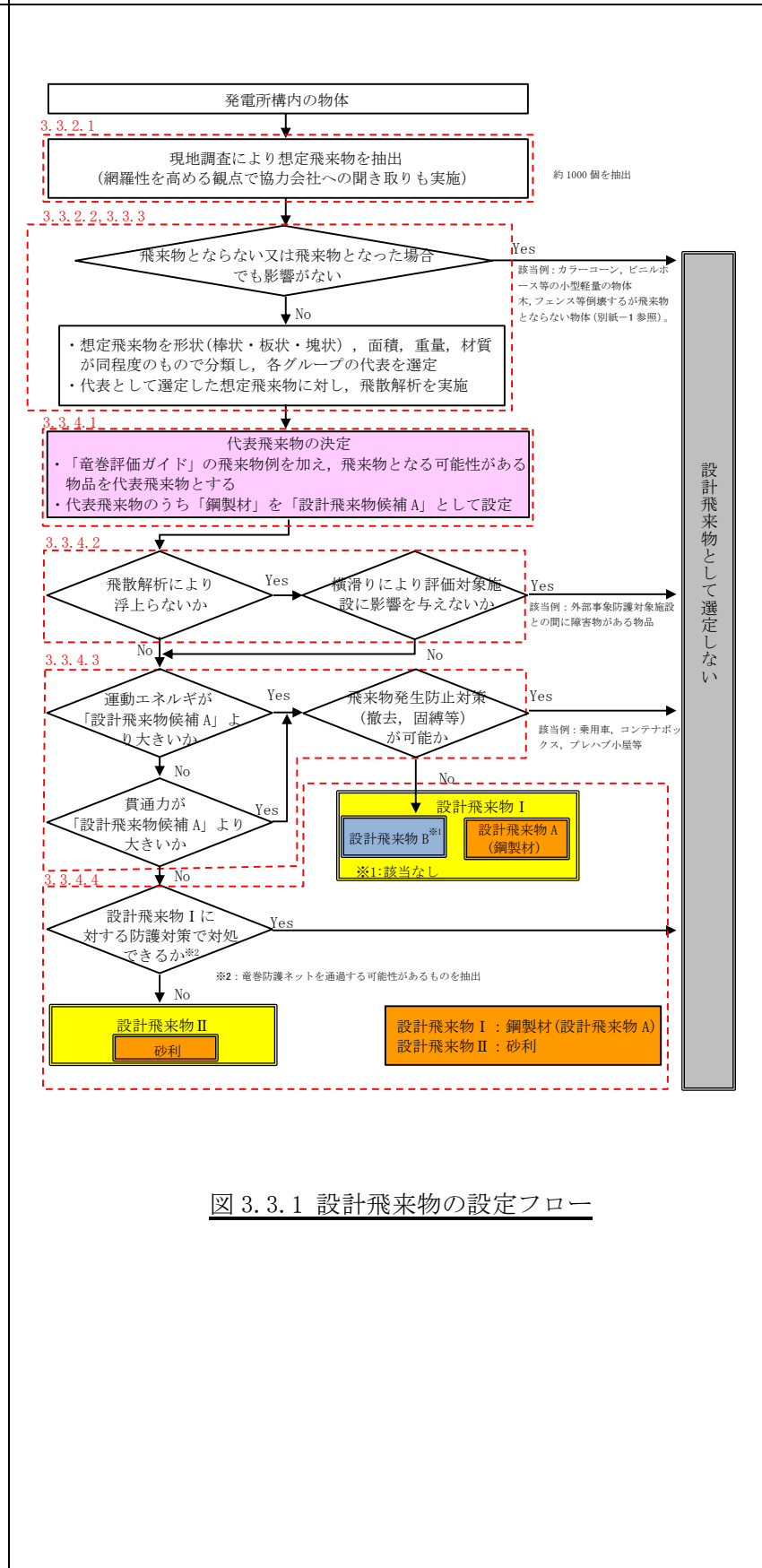
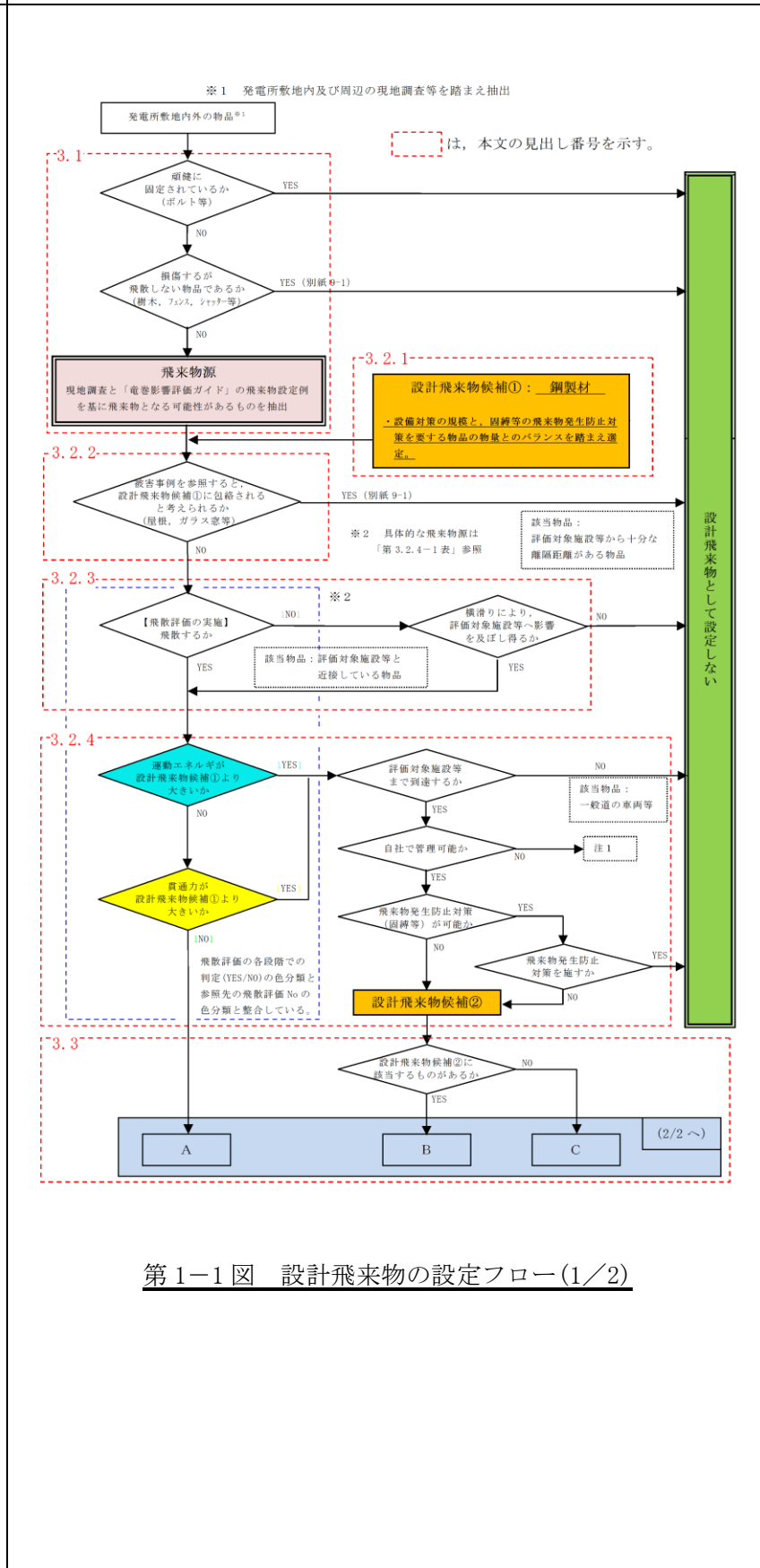
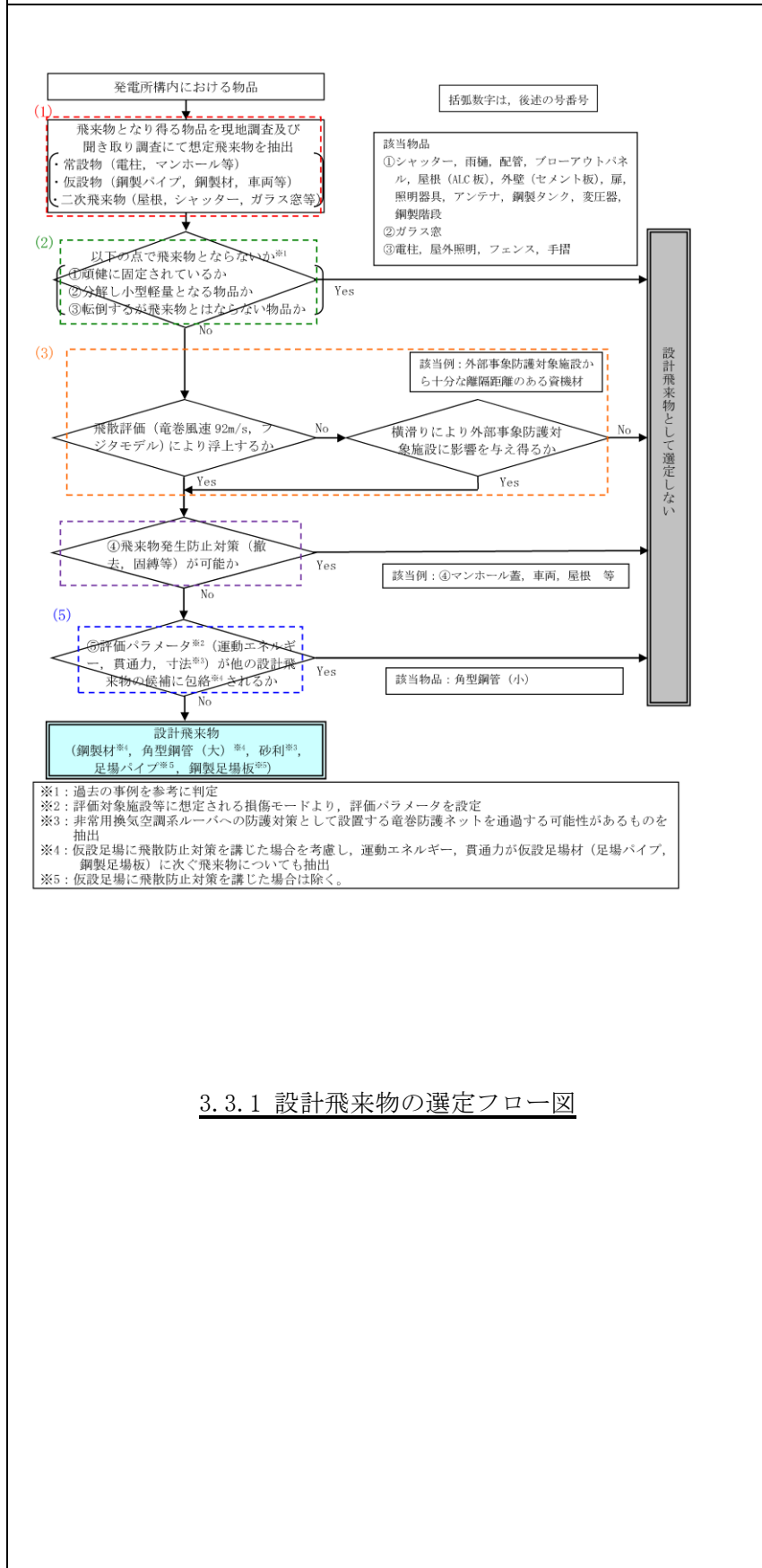
別表 5-4 竜巻荷重に対する外部事象防護対象施設の機能維持評価及び機能維持のための防護方針

外部事象 防護対象施設	要求される 機能	竜巻荷重に対する機能維持評価		機能維持の ための防護方針
		荷重	評価	
6階	放射線物質を 貯蔵する機能 (PS-2)	W <sub>w</sub>	構造的に、風荷重の影響を受けない。	不要
	燃料プール 冷却浄化系 真空破壊弁	W <sub>M</sub>	設計飛来物がプール内の使用済燃料に衝突した場合、燃料の損傷のおそれがある。	要 建屋内への 飛来物侵入防止
6階	放射性物質 放出の防止機能 (MS-2)	W <sub>w</sub>	構造的に、風荷重の影響を受けない。	不要
	燃料を安全に 取り扱う機能 (PS-2)	W <sub>M</sub>	設計飛来物が当該施設に衝突した場合、損傷し機能を喪失するおそれがある。	要 建屋内への 飛来物侵入防止
燃料交換機 原子炉建屋 天井クレー ン	燃料を安全に 取り扱う機能 (PS-2)	W <sub>w</sub>	風荷重に対し損傷し、燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要 竜巻の襲来が予想さ れる場合、燃料取扱 作業の中止
		W <sub>M</sub>	設計飛来物が当該施設に衝突した場合、損傷し燃料取扱機能を喪失する可能性を否定できない。	要
5階 (西側) ほう酸水 注入系設備	未臨界 維持機能 (MS-1)	W <sub>w</sub>	風荷重に対し損傷し、外部事象防護対象施設(使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁)へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要 竜巻の襲来が予想さ れる場合、外部事象 防護対象施設に影響 を及ぼさない(通常 の待機)位置に退避 する運用
		W <sub>M</sub>	設計飛来物が当該施設に衝突した場合、損傷し外部事象防護対象施設(使用済燃料プール及び燃料プール冷却浄化系真空破壊弁)へ波及的影響を及ぼす可能性を否定できない。	要
5階 (西側) ほう酸水 注入系設備	未臨界 維持機能 (MS-1)	W <sub>w</sub>	ブローアウトパネルから離れた場所にあり、竜巻の風の主な流路(別図5-2参照)を考えると、風荷重の影響を受けない。	不要
		W <sub>M</sub>	当該施設はブローアウトパネルの開口部から見通せない場所にあるため(別図5-2参照)、飛来物が衝突することはない。	不要



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="934 220 1685 739" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="926 747 1679 823">別図 5-2 原子炉建屋原子炉棟 5 階の風の通過経路及び西側区画ブローアウトパネルからの飛来物の到達範囲図</p> <p data-bbox="926 884 1353 913"><b>3.4 開口部の発生に対する防護方針</b></p> <p data-bbox="952 928 1697 1094">別表 5-3 の整理に基づく、5 階、6 階それぞれの防護対策は以下のとおりであり、「竜巻飛来物防護対策設備の設置」を実施する。なお、竜巻飛来物防護対策設備については、ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策を包含する。</p> <p data-bbox="926 1108 1418 1138">(1) 原子炉建屋原子炉棟 6 階の防護方針</p> <ul data-bbox="973 1152 1697 1360" style="list-style-type: none"> <li>・ 開口部から侵入する風荷重に対する防護方針 なし（風荷重による影響を受けない） （竜巻襲来予想時の燃料取扱作業の中止及び外部事象防護対象施設へ影響を及ぼさない通常待機位置への退避）</li> <li>・ 開口部から侵入する飛来物に対する防護方針 建屋内への飛来物の侵入防止 （竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）の設置）</li> </ul> <p data-bbox="926 1514 1418 1543">(2) 原子炉建屋原子炉棟 5 階の防護方針</p> <ul data-bbox="973 1558 1697 1854" style="list-style-type: none"> <li>・ 開口部から侵入する風荷重に対する防護方針 なし（風荷重による影響を受けない）</li> <li>・ 開口部から侵入する飛来物に対する防護方針 なし※（飛来物による影響を受けない） ※ ただし、ブローアウトパネル自身への飛来物防護対策として、竜巻飛来物防護対策設備（防護ネット）を設置する。</li> </ul>		<p data-bbox="2525 884 2828 959">・考慮すべき荷重の有無の相違</p> <p data-bbox="2525 974 2665 1003">【東海第二】</p> <p data-bbox="2525 1018 2605 1047">同上</p>

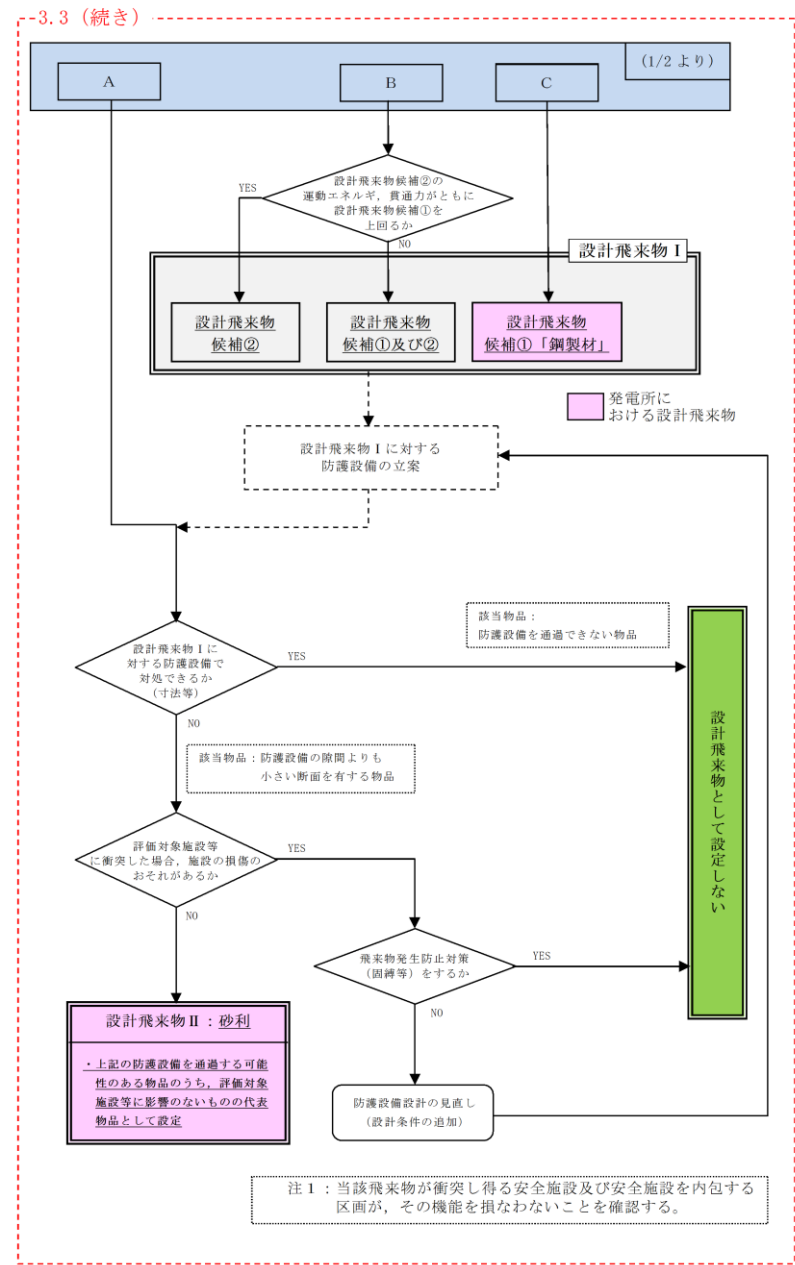
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料3.3</p> <p>3.3 設計飛来物の選定について</p> <p><u>発電所構内における竜巻飛来物となり得る物品を網羅的に調査し、それらの中から代表性をもたせた設計飛来物を、図 3.3.1 のフローに基づき選定した。</u></p>	<p style="text-align: right;">添付資料9</p> <p style="text-align: center;">設計飛来物の設定について</p> <p>1. <u>設計飛来物の設定方針</u>  <u>発電所の竜巻影響評価に用いる設計飛来物を、第1-1 図に示すフローに基づき設定した。</u></p>	<p style="text-align: right;">添付資料3.3</p> <p>3.3 設計飛来物の選定について</p> <p>3.3.1 <u>設計飛来物設定の考え方</u>  <u>島根原子力発電所の竜巻影響評価対象施設に対する評価を実施するにあたって、現地調査及びガイドにおける設計飛来物の設定例を参考として設計飛来物を設定した。</u>  <u>島根原子力発電所構内において竜巻によって飛散し飛来物となり得る物体を現地調査により抽出し、サイズ、形状及び変形性状により分類・整理した上で、竜巻風速場における挙動を解析することにより浮き上がりの有無及び最大飛散速度を求めた。解析結果及びガイドに示されている設定例に基づき、竜巻影響評価対象施設への影響及び飛来物発生防止対策実施の有無を考慮して、設計飛来物を設定した。なお、設計飛来物の設定に当たっては、別紙-1 に示す過去の主な竜巻事例も考慮した。</u>  <u>設計飛来物の設定フローを図 3.3.1 に示す。</u></p>	



設計飛来物として選定しない

(島根2号炉は2次飛来物の抽出について「3.3.5 二次飛来物の確認」及び「別紙-3 二次飛来物の現地調査について」で記載)

・施設の相違  
**【東海第二】**  
 島根2号炉は敷地近傍に隣接事業所はない



第1-1図 設計飛来物の設定フロー(2/2)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(1) 飛来物調査</p> <p><u>柏崎刈羽原子力発電所における飛来物に関する現地調査は、平成25年8月20日、8月27日、9月12日、平成27年3月13日に実施した。調査では、常設物、仮設物のうち飛来物になり得る物品、及び二次飛来物（設置状況等から風圧や飛散による被害を受けて飛来物となり得る物）を抽出した。調査範囲は、米国Regulatory Guideを参考にするとともに、後述の代表的な飛来物の飛散評価結果において、代表的な飛来物の飛散距離は最大でも400m程度であることを踏まえ、外部事象防護対象施設から半径800mの範囲（図3.3.2）とした。</u></p> <p>また、持ち込み資機材等（夏場や冬場に屋外作業の準備等のために使用する休憩所（仮設小屋）や定期検査中に使用する仮設足場材等）の仮設物について、現地調査にて確認した結果の網羅性を高めることを目的に協力企業への聞き取りも実施し、現地調査で確認した飛来物源と大きな相違がないことを確認している。</p>	<p>2. 発電所構内の物品調査</p> <p>2.1 調査範囲</p> <p><u>発電所構内の物品調査は、1回目を平成26年1月15日～16日（発電所敷地内）、及び2回目を平成28年7月22日に実施した。調査範囲は、米国Regulatory Guideを参考に、第2.1-1図に示すとおり、原子炉建屋から半径800mの範囲とした。なお、後述の代表的な飛来物源の飛散評価結果において、飛散距離は最大でも400m程度であることから、調査範囲は十分と考えられる。</u></p> <p><u>2回の調査において認められた物品の種類に有意な違いは認められなかったことから、定期検査の有無や季節性を加味しても、考慮すべき物品の種類としては、今回認められたものの中に包絡されるものと考えられる。</u></p> <p><u>なお、今後も飛来物源について継続的に確認し、新たに考慮すべき物品の種類が認められた場合は、新たな飛来物源として評価する。</u></p>	<p>3.3.2 島根原子力発電所における飛来物現地調査</p> <p><u>島根原子力発電所において、竜巻により飛来物となり得る物体（以下「想定飛来物」という。）を抽出するために、以下の通り現地調査を実施した。</u></p> <p>3.3.2.1 現地調査</p> <p><u>想定飛来物を抽出するため、島根原子力発電所構内において、平成25年7月9、10日に現地調査を実施した。主な調査対象を以下に示す。</u></p> <p>①原子炉建物・タービン建物等の主要建物及びその周辺（建物外周及び屋上）</p> <p>②サイトバンカ建物、固体廃棄物貯蔵所等の周辺建物及びその周辺（建物外周及び屋上）</p> <p>③取水槽・屋外タンク・開閉所等の屋外施設及びその周辺</p> <p>(1) 現地調査の観点</p> <p><u>現地調査では、各分野の担当（電気、機械及び建築）が参加し、2班に分かれて、発電所構内を41のエリアに細分化した図3.3.2～3.3.4に示す各エリアについて、飛来物になる可能性のある物体（構内で固定されていないもの）を網羅的に抽出した。建物・構築物の外壁や地盤にボルト等により固定されているものは、飛来物になるとは考えにくい、空調室外機や屋外照明などの一般産業品については、念のため想定飛来物として抽出した。</u></p> <p><u>なお、調査においては、波及的影響を及ぼし得る施設の抽出の観点から施設の高さが外部事象防護対象施設までの距離より小さいものも含め抽出した。</u></p> <p>(2) 現地調査結果</p> <p><u>現地調査の結果、図3.3.5に示す通り想定飛来物（約1000個）が抽出された。</u></p> <p><u>また、発電所構外から持ち込む仮置き物品（夏場や冬場に屋外作業の準備等のために使用する休憩所等季節的な観点から抽出されるものも含める）について、現地調査で確認した結果の網羅性を高めることを目的に協力会社への聞き取りを実施し、現地調査で確認した想定飛来物以外に特別な物体等がないことを確認した。</u></p>	<p>備考</p> <p>・プラント配置等による相違</p> <p>【柏崎6/7、東海第二】</p>

防護上の観点又は機密に係わる事項を含む為、公開できません

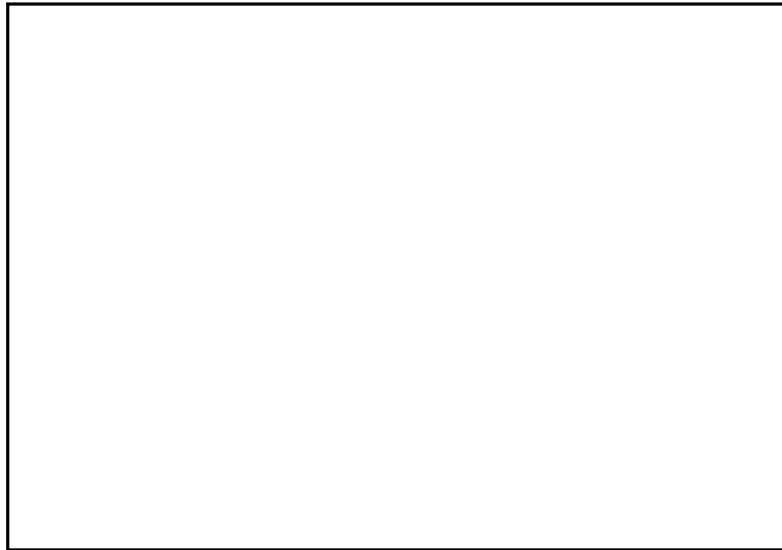
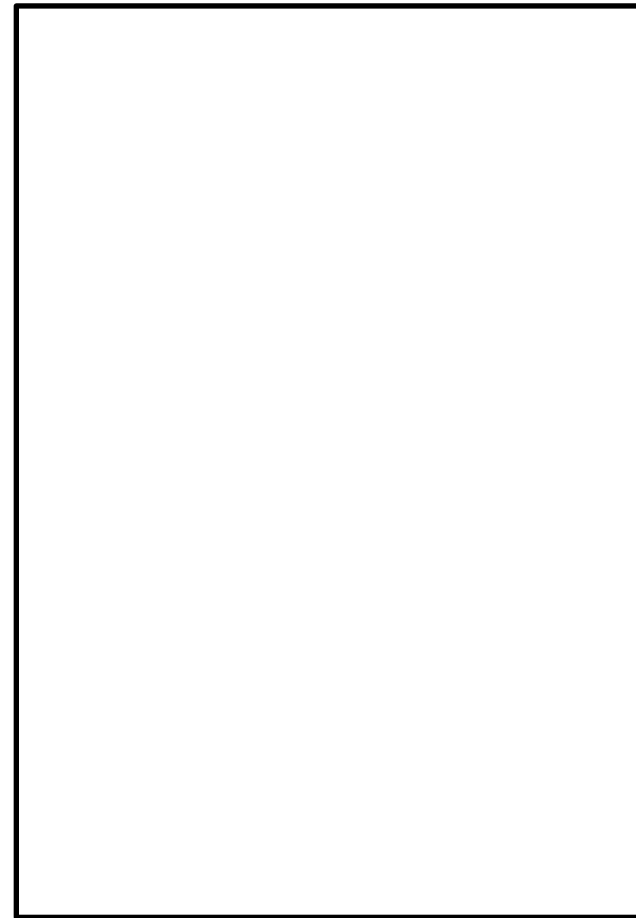


図3.3.2 調査範囲及び区分

表 3.3.1 調査エリア区分

エリア番号	エリア名称
①	5~7号炉周辺エリア
②	大湊側高台周辺エリア
③	中央土捨場エリア
④	第二企業センター棟周辺エリア
⑤	固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア
⑥	敷地北側エリア
⑦	取水口・放水口周辺エリア



第2.1-1図 物品調査エリア

第2.1-1表 調査エリア区分

エリア番号	エリア内の主な施設
①	東海発電所 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋外開閉所, 事務本館
②	資材置場, 駐車場
③	東海発電所 取水口, 放水口 資材倉庫
④	固体廃棄物貯蔵庫 東海第二発電所 取水口, 放水口, 海水ポンプ室
⑤	東海発電所 原子炉建屋 東海第二発電所 原子炉建屋, タービン建屋 廃棄物処理建屋

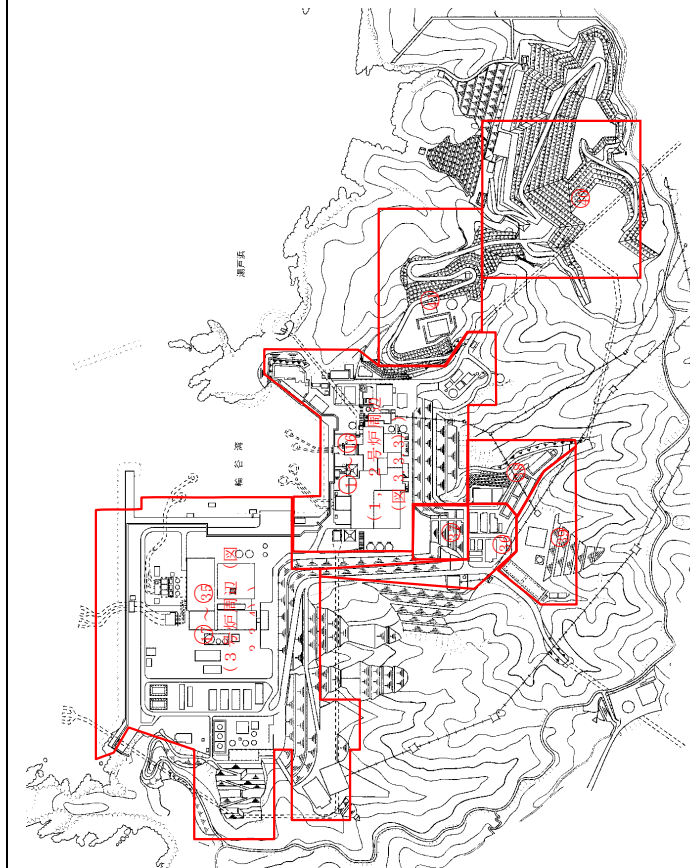
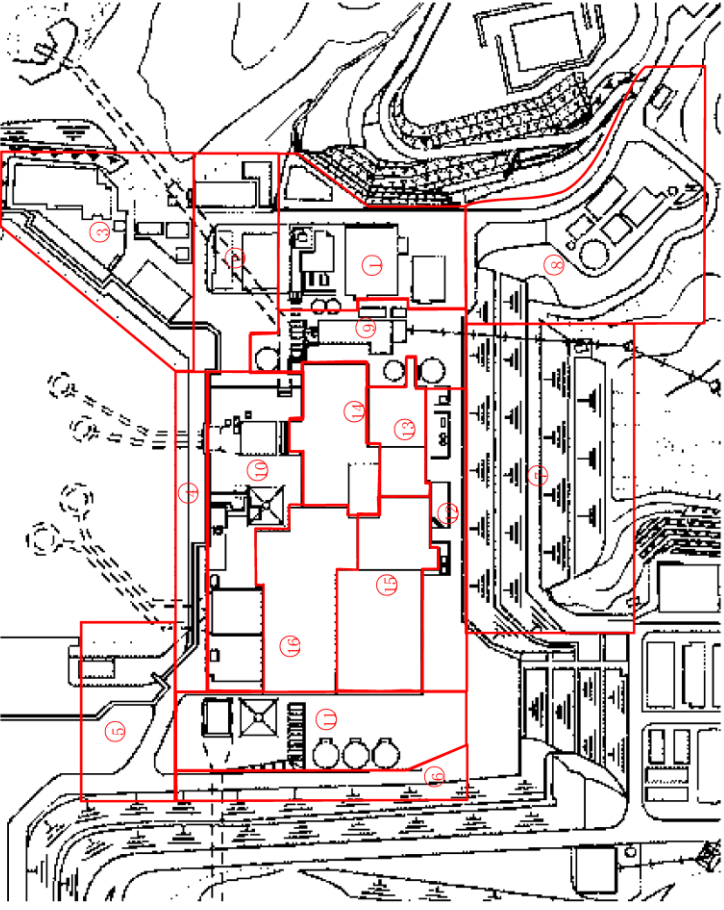
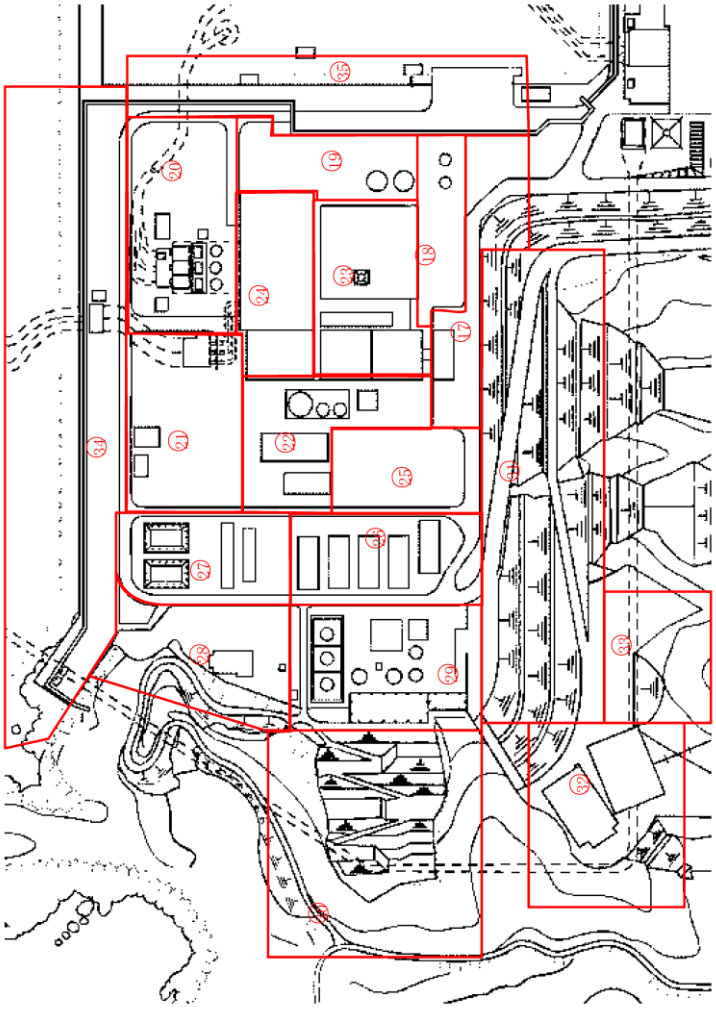


図3.3.2 島根原子力発電所 竜巻飛来物現地調査区画図(全体図)

・プラント配置等による相違  
【柏崎6/7, 東海第二】



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1724 1373 2490 1451">図 3.3.3 島根原子力発電所 竜巻飛来物現地調査区画図 (1, 2号炉周辺)</p>	<p data-bbox="2525 254 2816 327">・プラント配置等による相違</p> <p data-bbox="2525 342 2792 373">【柏崎 6/7, 東海第二】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1721 1501 2493 1585">図 3. 3. 4 島根原子力発電所 竜巻飛来物現地調査区画図 (3号炉 周辺)</p>	<p data-bbox="2522 252 2819 378">・プラント配置等による 相違 【柏崎 6/7, 東海第二】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>飛来物調査の結果として、次々頁より、柏崎刈羽原子力発電所において確認した飛来物源をエリアごとに示す。</p> <p>また、表3.3.2に、飛来物調査の結果を踏まえ、飛来物の形状(棒状、板状、塊状)、サイズ(大、中、小)及び柔<sup>※1</sup>、剛<sup>※1</sup>等の特徴を踏まえ飛来物源を詳細に分類した結果を示す。</p> <p>※1:柔(木製又は中空状、複数の材からなる)、剛(コンクリート又は鋼製で密実、単体からなる)</p>	<p>2.2 発電所構内の物品の調査結果</p> <p>調査の結果、第2.2-1表に示す種類の物品が発電所において確認された。調査エリアごとの主な物品を以降に示す。</p>		<p>(島根2号炉は「3.3.2.2 現地調査結果の整理」で記載)</p>

表 3.3.2 代表的な飛来物の抽出結果

常設物 剛	棒状			板状			塊状		
	大	中	小	大	中	小	大	中	小
電柱	—	—	—	—	—	マホール蓋	—	—	—
コンクリート柱	—	鉄骨 (カイト) 鋼製 (カイト) 鋼製車止め (カイト) 鋼製鋼管 (小, 大) 鋼材	鋼製パイプ 鋼製車止め 鋼製鋼管 (小, 大) 鋼材	トリアー荷台	クレーンカセット (2t) (カイト)コンクリート板* コンクリート板 鋼製架台 敷鉄板(薄,厚)	クレーンカセット (250kg, 500kg) 鋼製看板 仮設分電盤	—	鋼製ボビン クレーンクワイエイト (5t) 発電機(大)	コンクリートブロック 砂利 発電機 (小)
代替原炉補却機系	—	—	—	—	—	—	乗用車 (カイト)トラック* トラック 消防車 電源車 バス トラム缶	クレーン車 ホイローダ* プレハブ小屋 仮設小屋 (カイト)コックピット* ナボ*ガス* 鋼製タック	空調室外機
二次飛来物	剛	仮設足場パイプ (4m)	仮設足場パイプ (2m)	屋根材 (ALC板) 外壁(セメント板) アローゲート* シャッター 外壁(鋼板)	扉 仮設足場板(鋼製)	—	—	—	—
	柔	屋根材 (鋼板)	雨樋	—	仮設足場板(7m)	—	—	—	照明器具

※：ガイドにおいてサイズ及び質量が記載されている物品

第 2.2-1 表 発電所における主な飛来物源の種類

棒状*	板状*	塊状*
<ul style="list-style-type: none"> <li>・バリケード</li> <li>・ベンチ (常設)</li> <li>・樹木 (倒木, 伐採木), 材木</li> <li>・鉄骨</li> <li>・鋼管</li> <li>・ボンベ</li> <li>・樹脂製パイプ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂製蓋</li> <li>・コンクリート製蓋</li> <li>・マンホール蓋</li> <li>・グレーチング</li> <li>・カーブミラー</li> <li>・看板, 標識</li> <li>・鋼製敷板</li> <li>・鋼製スロープ</li> <li>・鋼製蓋</li> <li>・ベンチ (仮設)</li> <li>・足場板, 足場枠</li> <li>・パレット (鋼製)</li> <li>・パレット (木製, 樹脂製)</li> <li>・時計</li> <li>・仮囲い板, 仮設フェンス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドラム缶</li> <li>・消防車</li> <li>・トラック</li> <li>・社用バス</li> <li>・乗用車</li> <li>・コンテナ</li> <li>・物置</li> <li>・洗濯機</li> <li>・仮設電源</li> <li>・建設機械</li> <li>・運搬台車</li> <li>・鋼製ボックス</li> <li>・下駄箱</li> <li>・カラコーン</li> <li>・消火器</li> <li>・消火設備格納箱</li> </ul>

※ 各ジャンルにおける代表的な形状にて整理した表であり, ジャンル内の物品全てが同一の形状となる訳ではない。

・想定飛来物の設置状況の相違  
**【柏崎 6/7, 東海第二】**  
 ・想定飛来物の分類方法の相違  
**【東海第二】**  
 島根 2号炉は, 抽出した想定飛来物を剛・柔の観点でも分類している  
 (島根 2号炉は, 「3.3.2.2 現地調査結果の整理」で記載)



①5~7号建屋周辺エリア (常設・仮設物)



エリア①で確認された主な飛来物源



図 3.3.5 現地調査結果 (1/30)

・想定飛来物の設置状況の相違  
【柏崎 6/7, 東海第二】





【② : 1, 2号炉倉庫エリア】

02M01_ガートラック	02M02_コンテナ	02M03_消火栓	02M04_ホース格納箱	02M05_消火栓格納箱	02M06_屋外LED照明	02M08_ガートラック	02M09_トラック格納ボックス	02M10_トラック格納ボックス	02M11_コンテナ	02M12_コンテナ	02M13_コンテナ	02M14_鋼製架台	02M15_土のう袋	02M16_鋼製架台	02M17_鋼製架台	02M18_鋼製架台	02M19_トラック	02M20_鋼管	02M21_鋼製架台	02M22_空調室外機(家庭用)	02M23_空調室外機(CO2用)	02M24_配管	02M25_配管	02M26_脚車	02M27_折半屋根	02M28_トラック	02M29_設備機庫	02M30_トラック	02M31_鋼製架台	02M32_鋼製架台	02M33_工事用トラック	02M34_産廃トラック	02M35_小型自動車	02M36_乗用車	02M37_トラック

図 3. 3. 5 現地調査結果 (2/30)



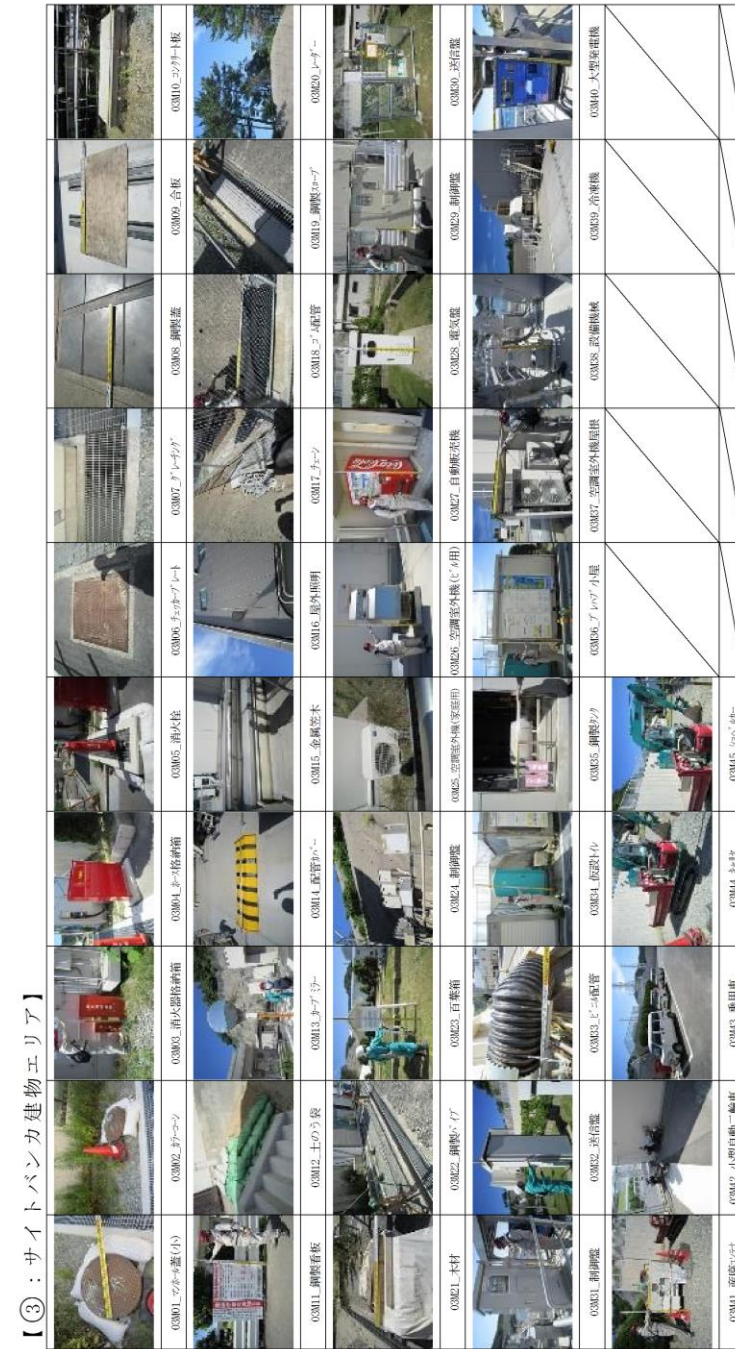


図 3. 3. 5 現地調査結果 (3/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)      島根原子力発電所 2号炉      備考

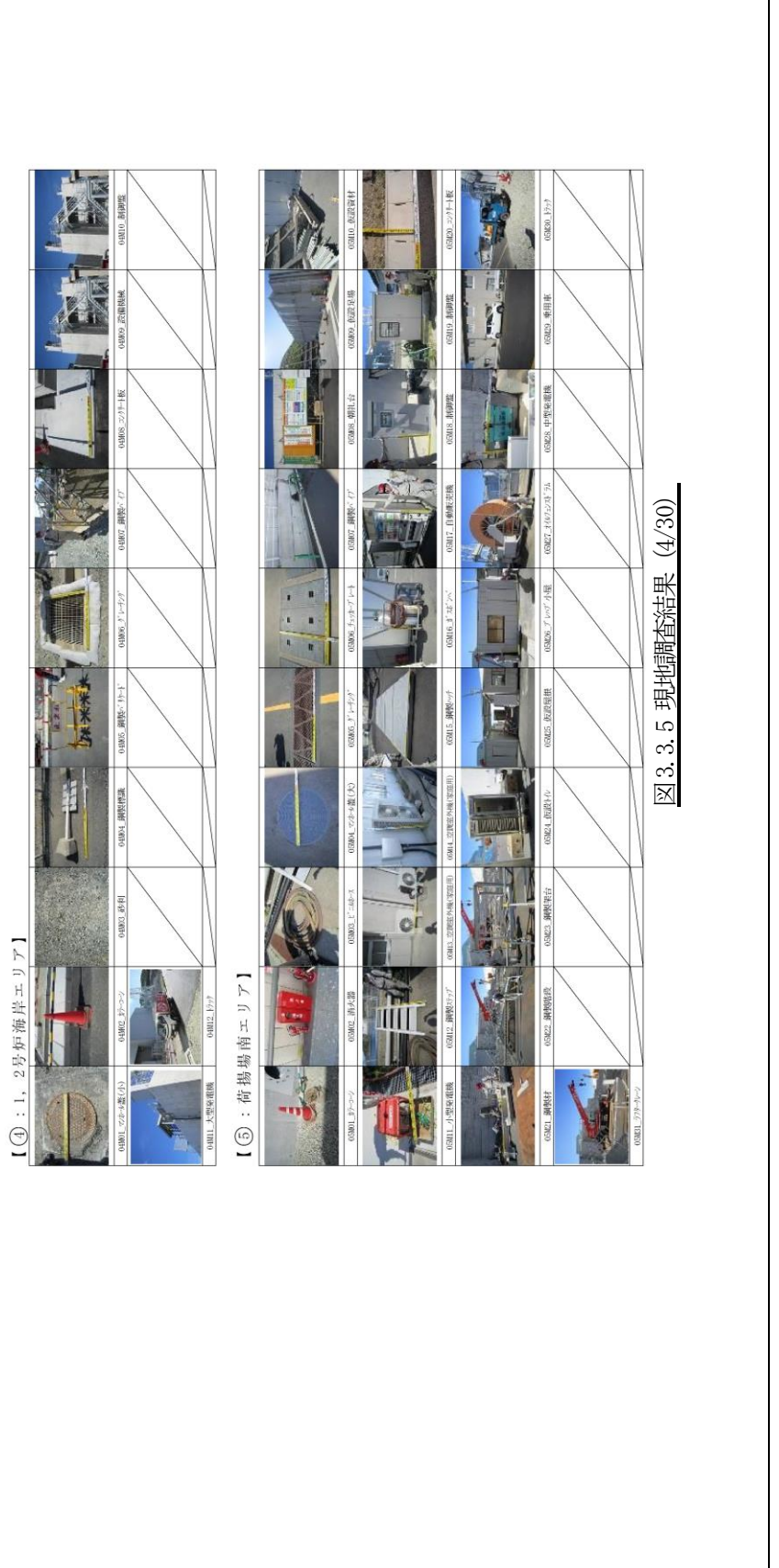


図 3. 3. 5 現地調査結果 (4/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)



①-16 屋根, シャッター



①-17 アンテナ



①-18 配管



①-19 ブローアウトパネル



①-20 扉, 換気フード, 猿梯子



①-21 拡声器



①-22 外壁



①-23 シャッター, 配管



①-24 換気フード



①-25 配管



①-26 屋根



①-27 階段



①-28 階段



①-29 アンテナ



①-30 猿梯子

東海第二発電所 (2018.9.18版)



#69 鉄骨



#74 空調室外機



#76 ケーブルドラム



#79 消防車



#73 コンテナ



#75 プレハブ小屋



#77 建設機械



#81 コンクリート製蓋

島根原子力発電所 2号炉

【⑥ : 1, 2号炉西側道路エリア】		06M10_車庫車			
		06M09_プレハブ小屋			
		06M08_設備トイレ			
		06M07_調剤・1F			
		06M06_3号トイレ			
		06M05_3号トイレ			
		06M04_調剤5F			
		06M03_調剤・3号トイレ			
		06M02_3号トイレ			
		06M11_土のう袋			
	【⑦ : 1, 2号炉南側道路エリア】		07M06_道路2号機		
			07M05_中継機		
			07M04_送信機		
			07M03_2号機1号機		
		07M02_調剤5F			
		07M01_土のう袋			

図 3.3.5 現地調査結果 (5/30)

備考





①-31 配管



①-32 扉, 手摺



#121 コンクリート製ブロック



#122 コンクリートブロック

【⑧ : 1, 2号炉駐車場エリア】



図 3. 3. 5 現地調査結果 (6/30)



②大浜側高台周辺エリア (常設・仮設物)



エリア②で確認された主な飛来物源



【⑨：1, 2号炉東エリア】

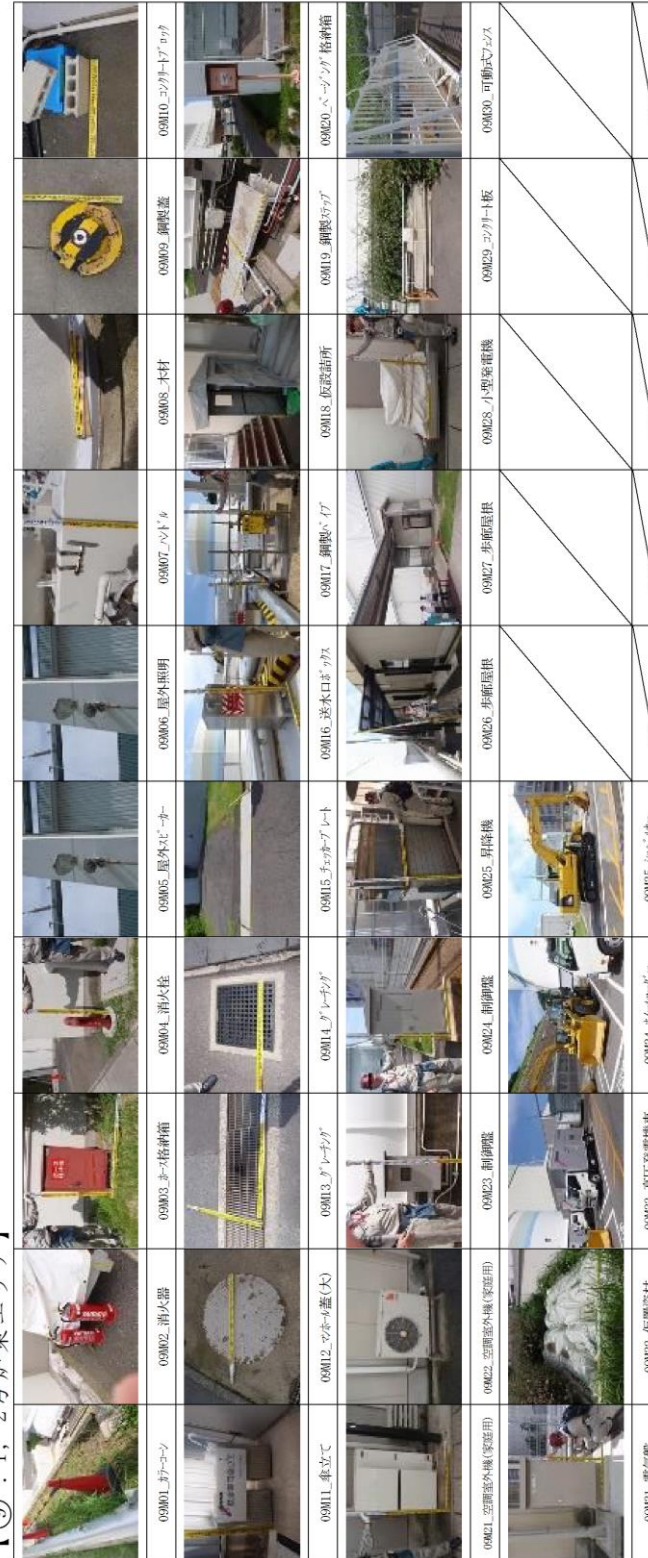


図 3. 3. 5 現地調査結果 (7/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



島根原子力発電所 2号炉



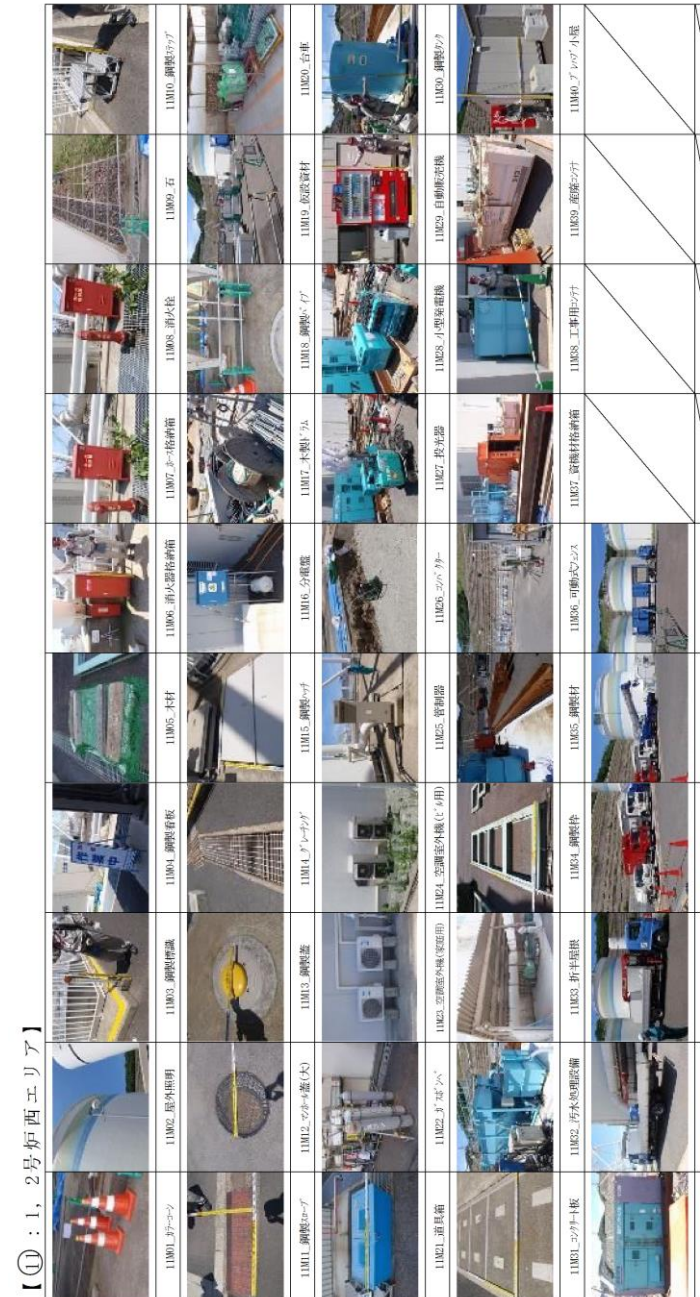
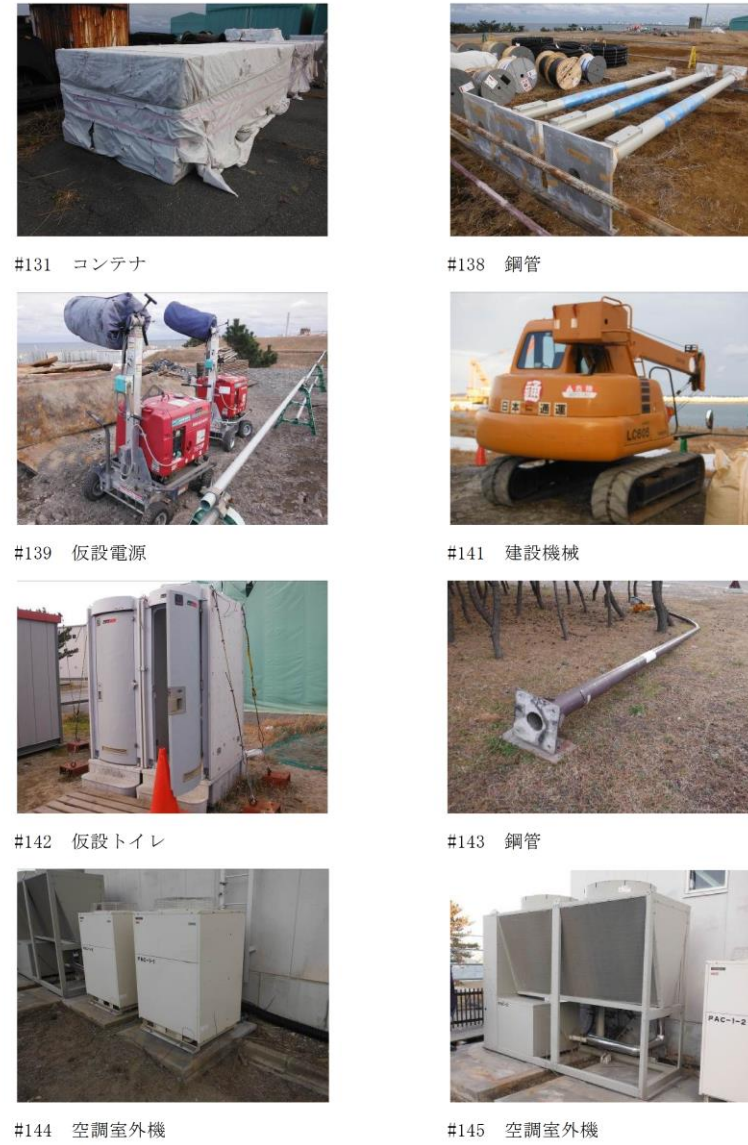
図 3. 5 現地調査結果 (8/30)

備考





エリア③で確認された主な飛来物源



【①：1, 2号炉西エリア】

図 3.3.5 現地調査結果 (9/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

③中央上捨場エリア (常設・仮設物)



③-1 チェッカープレート



③-2 鋼製車止め  
(単管バリケード)



③-3 仮設分電盤



③-4 消火器



③-5 クッションドラム



③-6 グレーチング



③-7 コンクリート板 (排水溝蓋)



③-8 グレーチング



③-9 鋼製フェンス



③-10 消火栓蓋



③-11 チェッカープレート



③-12 鋼製フェンス



③-13 移動式投光器  
(パルーンライト)



③-14 建設重機  
(バックホー)



③-15 敷鉄板

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



#152 消火設備格納箱



#153 消火設備格納箱



#155 プレハブ小屋



#156 資機材類



#163 鉄骨



#164 鋼製蓋



#165 バリケード



#176 ドラム缶

島根原子力発電所 2号炉

【⑫：1, 2号炉南エリア】		【⑬：1号炉原子炉建物屋上】	
	1201 消火器格納箱		1301 消火器格納箱
	1202 消火器格納箱		1302 消火器格納箱
	1203 消火器格納箱		1303 消火器格納箱
	1204 消火器格納箱		1304 消火器格納箱
	1205 消火器格納箱		1305 消火器格納箱
	1206 消火器格納箱		1306 消火器格納箱
	1207 消火器格納箱		1307 消火器格納箱
	1208 消火器格納箱		1308 消火器格納箱
	1209 消火器格納箱		1309 消火器格納箱
	1210 消火器格納箱		1310 消火器格納箱
	1211 消火器格納箱		1311 消火器格納箱
	1212 消火器格納箱		1312 消火器格納箱
	1213 消火器格納箱		1313 消火器格納箱
	1214 消火器格納箱		1314 消火器格納箱
	1215 消火器格納箱		1315 消火器格納箱
	1216 消火器格納箱		1316 消火器格納箱
	1217 消火器格納箱		1317 消火器格納箱
	1218 消火器格納箱		1318 消火器格納箱
	1219 消火器格納箱		1319 消火器格納箱
	1220 消火器格納箱		1320 消火器格納箱

図 3.3.5 現地調査結果 (10/30)

備考



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)      島根原子力発電所 2号炉      備考

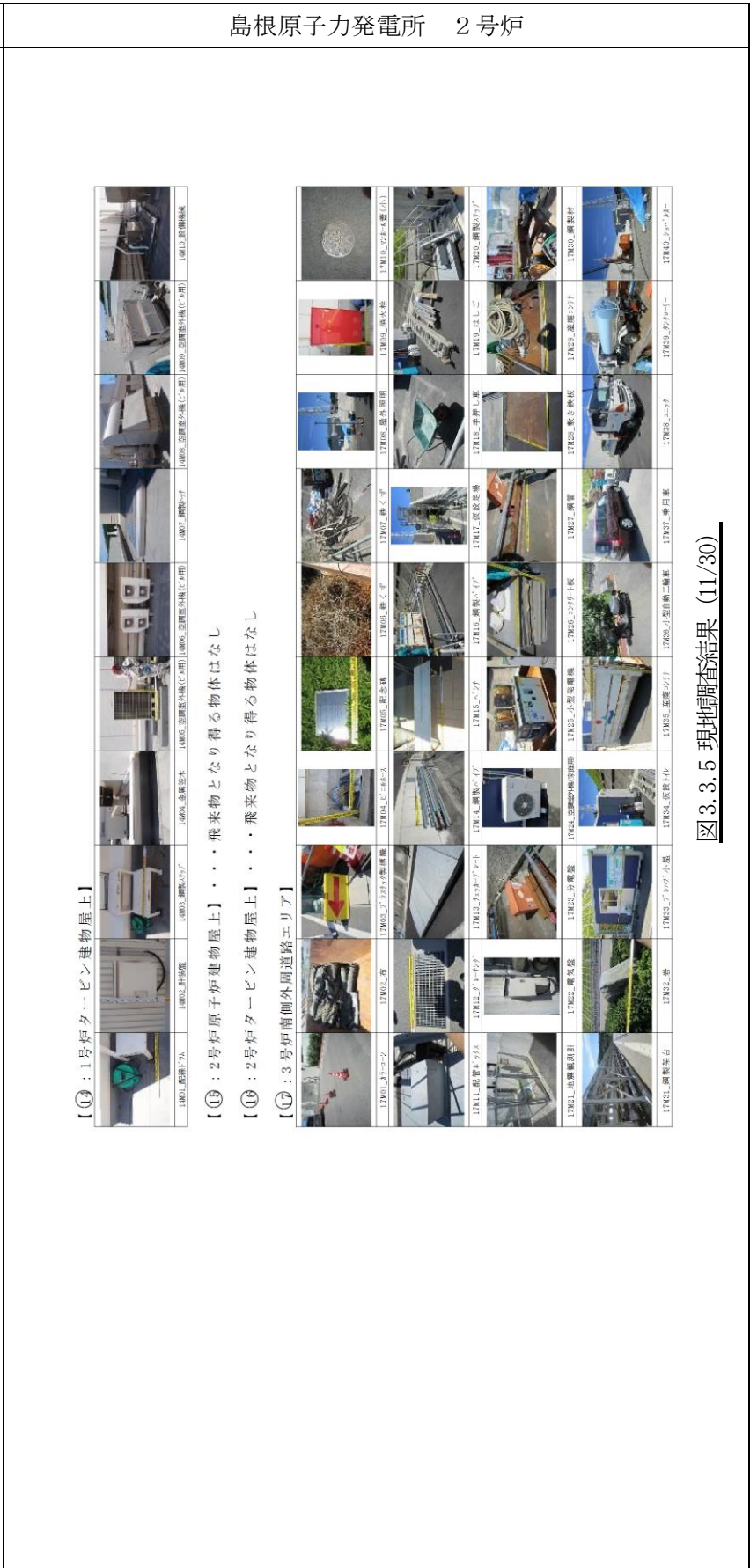
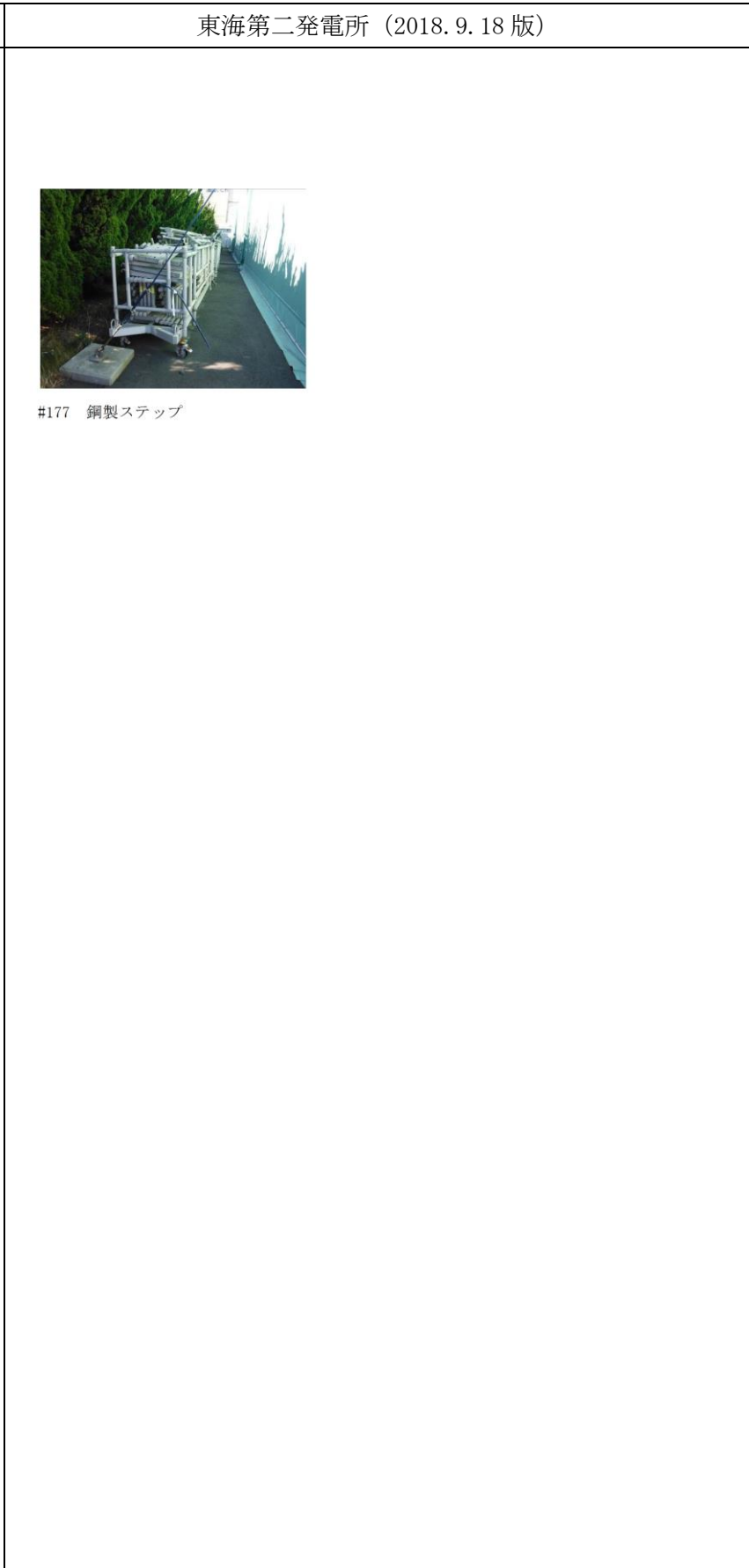
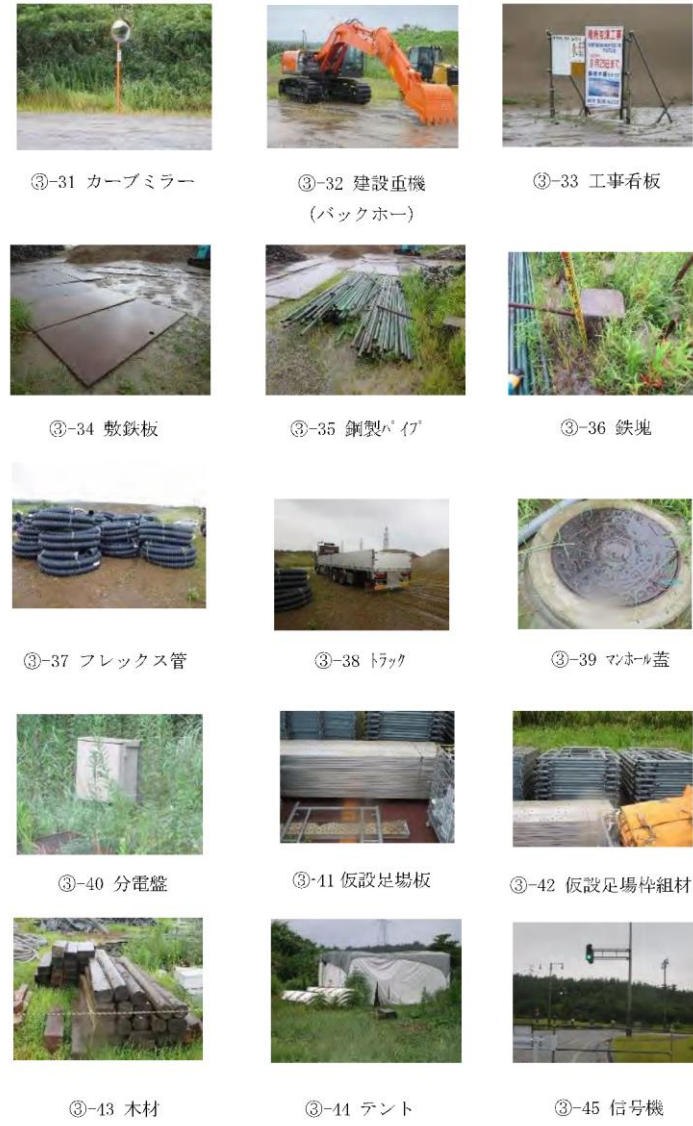


図 3.3.5 現地調査結果 (11/30)

備考





エリア④で確認された主な飛来物源



18M10_マンホール蓋(小)	18M20_コンクリート製かつ		
18M09_屋外照明	18M19_空調部外機(2用)		
18M08_ボ-1格前箱	18M18_鋼管		
18M07_コンクリートプレート	18M17_仮設資材		
18M06_鋼製パイプ	18M16_アクリル製容器		
18M05_鋼製看板	18M15_仮設足場		
18M04_合板	18M14_鋼製パイプ		
18M03_扉受け	18M13_操作盤		
18M02_木材	18M12_ベンチ/格納箱		
18M01_アクリル製パイプ	18M11_はしご		
	18M21_トラック		

【⑬ : 3号炉南エリア】

図 3.3.5 現地調査結果 (12/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



③-46 仮設トイレ



③-47 コンクリートブロック



③-48 ベンチ



③-19 ドラム缶

(二次飛来物)



③-1 窓ガラス



③-2 階段, 窓ガラス, 扉

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



#199 オブジェ (タービン)



#201 コンクリート製ブロック



#203 ベンチ (常設)



#204 下駄箱



#205 自動販売機



#210 空調室外機



#215, #216 社用バス



#217 鋼製ステップ

島根原子力発電所 2号炉

【19 : 3号炉東エリア】

19001_2019	19002_2019	19003_2019	19004_2019	19005_2019	19006_2019	19007_2019	19008_2019	19009_2019	19010_2019	19011_2019	19012_2019	19013_2019	19014_2019	19015_2019	19016_2019	19017_2019	19018_2019	19019_2019	19020_2019	19021_2019	19022_2019	19023_2019	19024_2019	19025_2019	19026_2019	19027_2019	19028_2019	19029_2019	19030_2019	19031_2019	19032_2019	19033_2019	19034_2019	19035_2019	19036_2019	19037_2019	19038_2019	19039_2019	19040_2019	19041_2019	19042_2019

図 3.3.5 現地調査結果 (13/30)

備考



④第二企業センター棟周辺エリア (常設・仮設物)



【④：3号炉北東エリア】


図 3.3.5 現地調査結果 (14/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18版)      島根原子力発電所 2号炉      備考



【㊦】: 3号炉北西エリア		21M01 消火器格納箱		21M02 小型ポンプ		21M03 屋外照明		21M04 器具箱		21M05 障害針		21M06 フォークリフト		21M07 底置資材		21M08 鋼製フェンス		21M09 止水板		21M10 鋼製ロープ	
	【㊧】: 3号炉西エリア		22M01 大型発電機		22M02 鋼製看板		22M03 屋外照明		22M04 扉受け		22M05 5t-4車(小)		22M06 5tポンプ		22M07 本材		22M08 目隠し板		22M09 折半屋根		22M10 鋼製ロープ
			22M11 仮しご		22M12 底置資材		22M13 3t-3車(小)		22M14 新脚置		22M15 底置資材		22M16 鋼製ロープ		22M17 底置資材		22M18 鋼製材		22M19 仮設庁		22M20 5tポンプ小屋
			22M21 大型発電機		22M22 工事用ポンプ		22M23 仮設ポンプ		22M24 乗用車		22M25 5t-4車(小)		22M26 5tポンプ		22M27 仮設資材		22M28 鋼製材		22M29 仮設庁		22M30 5tポンプ小屋

図 3.3.5 現地調査結果 (15/30)





23M01_屋外照明	23M02_道長箱	23M03_コックパットアップ	23M04_コックパット板	23M05_フェルトボード	23M06_新雷針	23M07_消火栓	23M08_鋼製フェン	23M09_仮設資材	23M10_制御盤	23M20_冷却機		
23M11_操作盤	23M12_鋼製マシ	23M13_鋼製カマド	23M14_はしご	23M15_はしご	23M16_鋼製雷針	23M17_鋼製階段	23M18_空調部外機(6用)	23M19_空調部外機(6用)	23M20_冷却機			
23M21_大型発電機												
24M01_交配ホ-	24M02_新雷針	24M03_新雷針	24M04_コックパット板	24M05_鋼管	24M06_鋼管	24M07_鋼管	24M08_鋼管	24M09_鋼管				

【②】：3号炉原子炉建物屋上】

【②】：3号炉タービン建物屋上】

図 3.3.5 現地調査結果 (16/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



島根原子力発電所 2号炉

【25：協力会社加工場エリア】

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

図 3.3.5 現地調査結果 (17/30)

備考



(二次飛来物)



④-1 屋根, 外壁



④-2 窓ガラス



④-3 シャッター



④-4 雨樋



④-5 拡声器



④-6 配管



④-7 拡声器, 換気フード



④-8 シャッター



④-9 照明器具



④-10 屋根, 外壁



④-11 窓ガラス



④-12 窓ガラス



④-13 照明器具



④-14 ルーバ



④-15 猿梯子



#421 ケーブルドラム



#422 鋼製ボックス



#423 鋼製ステップ



#424 プレハブ小屋



#431 樹脂製蓋



#435 コンテナ



#436 鋼製ボックス



#437 鋼製ボックス

20M01. 防犯カメラ	20M02. プラチナ製機器	20M03. マフラー	20M04. プラチナ	20M05. 鋼製小径	20M06. 防犯カメラ	20M07. 防犯カメラ	20M08. 防犯カメラ	20M09. 防犯カメラ	20M10. 建設材料トクト付	20M11. はしご	20M12. 目隠し板	20M13. 折半器具	20M14. 搬送機	20M15. 搬送機	20M16. フェイクプレート	20M17. 鋼製材	20M18. 鋼管	20M19. 工事用機具	20M20. 建設機			
20M21. 鋼管	20M22. コントローラー	20M23. 電源盤	20M24. プラチナ	20M25. 搬送機	20M26. 小型自動車	20M27. 乗用車	20M28. トラック	20M29. エンジン	20M30. 建設機													
20M31. 建設機	20M32. プラチナ																					

【②③ : 3号炉倉庫エリア】

図 3. 3. 5 現地調査結果 (18/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



島根原子力発電所 2号炉

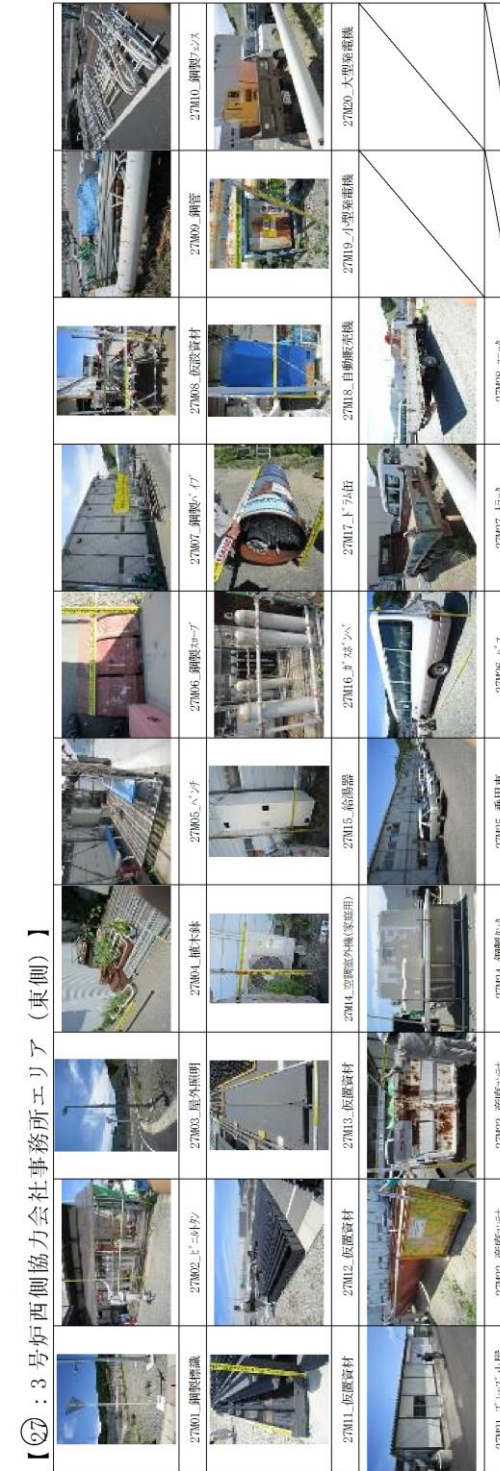


図 3.3.5 現地調査結果 (19/30)

備考



⑤ 固体廃棄物貯蔵庫周辺エリア (常設・仮設物)



【 ⑧ : 3号炉西側協力会社事務所エリア (西側) 】

28M01_折半屋根	28M02_鋼製標識	28M03_木製扉板	28M04_砂利	28M05_コンクリート壁(小)	28M06_コンクリートブロック	28M07_コンクリート	28M08_鋼製パイプ	28M09_アクリル板	28M10_アクリル板	28M11_折半屋根	28M12_鋼管	28M13_鋼製標識	28M14_鋼製小屋	28M15_鋼製小屋	28M16_鋼製小屋	28M17_鋼製小屋	28M18_鋼製小屋	28M19_鋼製小屋	28M20_鋼製小屋	28M21_鋼製小屋	28M22_鋼製小屋	28M23_鋼製小屋	28M24_鋼製小屋	28M25_鋼製小屋	28M26_鋼製小屋	28M27_鋼製小屋	28M28_鋼製小屋	28M29_鋼製小屋	28M30_鋼製小屋	28M31_鋼製小屋	28M32_鋼製小屋	28M33_鋼製小屋	28M34_鋼製小屋	28M35_鋼製小屋	28M36_鋼製小屋	28M37_鋼製小屋	28M38_鋼製小屋	28M39_鋼製小屋	28M40_鋼製小屋

図 3. 3. 5 現地調査結果 (20/30)





【②9：補助ボイラー建物エリア】

29M01_鋼製看板	29M02_砂利	29M03_屋外照明	29M04_屋外照明	29M05_排気口	29M06_排気口	29M07_排気口	29M08_排気口	29M09_排気口	29M10_排気口	29M11_鋼製看板	29M12_配管管	29M13_配管管	29M14_自動販売機	29M15_鋼製管	29M16_鋼製管	29M17_鋼製管	29M18_鋼製管	29M19_鋼製管	29M20_大型新機	29M21_鋼製管	29M22_電柱	29M23_工事用機	29M24_レフト倉庫	29M25_運搬台車	29M26_乗用車	29M27_乗用車

図 3.3.5 現地調査結果 (21/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



⑤-10 排気フード



⑤-11 屋根, 壁



⑤-12 窓ガラス, 屋根



⑤-13 屋根, シャッター

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



#259 物置



#262 仮設電源



#272 足場材, 足場枠



#279 プレハブ小屋



#260 プレハブ小屋



#267 物置



#276 建設機械



#281 空調室外機

島根原子力発電所 2号炉

【30】：西側法面事務所エリア

	30M01_方向指示標識		30M02_本製台		30M03_本製台		30M04_鋼製管板		30M05_鋼製管板		30M06_鋼製管板		30M07_鋼製管板		30M08_鋼製管板		30M09_鋼製管板		30M10_折半屋根		30M11_石		30M12_鋼製管板		30M13_鋼製管板		30M14_鋼製管板		30M15_鋼製管板		30M16_鋼製管板		30M17_中継器		30M18_中継器		30M19_中継器		30M20_中継器		30M21_中継器		30M22_中継器		30M23_中継器		30M24_中継器		30M25_中継器		30M26_中継器		30M27_中継器		30M28_中継器		30M29_中継器		30M30_中継器		30M31_車用車
--	--------------	--	-----------	--	-----------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	---------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	------------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------

図 3.3.5 現地調査結果 (22/30)

備考







柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



島根原子力発電所 2号炉

【33】：4号機エリア			33010_自動販売機		
	33002_バス		33003_手すり		33011_1号機小屋
	33004_鋼製小屋		33005_配管足場		33006_配管小屋
	33007_配管小屋		33008_位置資材		33009_位置資材
	33012_乗用車		33013_手すり		33014_1号機小屋
	33015_1号機小屋		33016_配管小屋		33017_配管小屋
	33018_配管小屋		33019_位置資材		33020_位置資材
	33021_乗用車		33022_バス		33023_乗用車
	33024_鋼製小屋		33025_乗用車		33026_乗用車
	33027_乗用車		33028_乗用車		33029_乗用車
	33030_乗用車		33031_乗用車		33032_乗用車
	33033_乗用車		33034_乗用車		33035_乗用車
	33036_乗用車		33037_乗用車		33038_乗用車
	33039_乗用車		33040_乗用車		33041_乗用車
	33042_乗用車		33043_乗用車		33044_乗用車
	33045_乗用車		33046_乗用車		33047_乗用車
	33048_乗用車		33049_乗用車		33050_乗用車
	33051_乗用車		33052_乗用車		33053_乗用車
	33054_乗用車		33055_乗用車		33056_乗用車
	33057_乗用車		33058_乗用車		33059_乗用車
	33060_乗用車		33061_乗用車		33062_乗用車
	33063_乗用車		33064_乗用車		33065_乗用車
	33066_乗用車		33067_乗用車		33068_乗用車
	33069_乗用車		33070_乗用車		33071_乗用車
	33072_乗用車		33073_乗用車		33074_乗用車
	33075_乗用車		33076_乗用車		33077_乗用車
	33078_乗用車		33079_乗用車		33080_乗用車

図 3.3.5 現地調査結果 (24/30)

備考



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)      島根原子力発電所 2号炉      備考



図 3.3.5 現地調査結果 (25/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)      島根原子力発電所 2号炉      備考

⑦取水口・放水口周辺エリア (常設・仮設物)

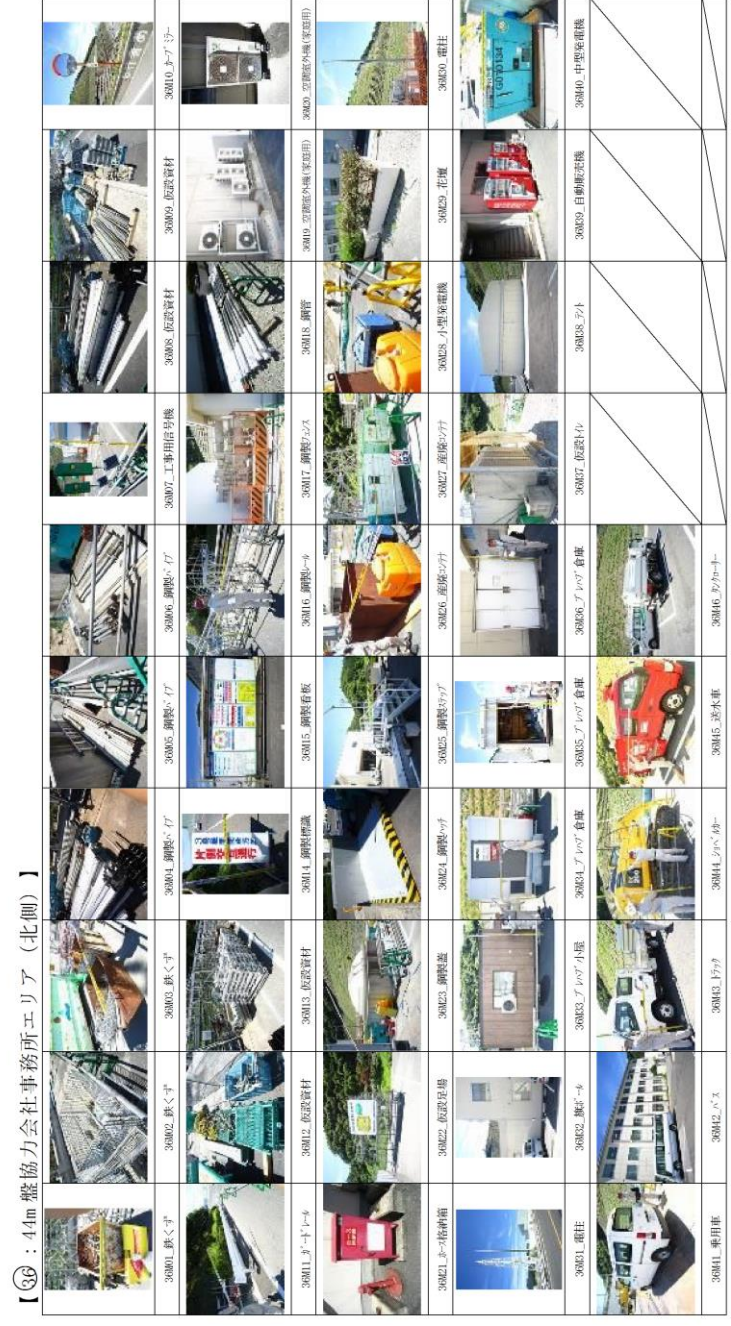


図 3.3.5 現地調査結果 (26/30)



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)      東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)      島根原子力発電所 2号炉      備考

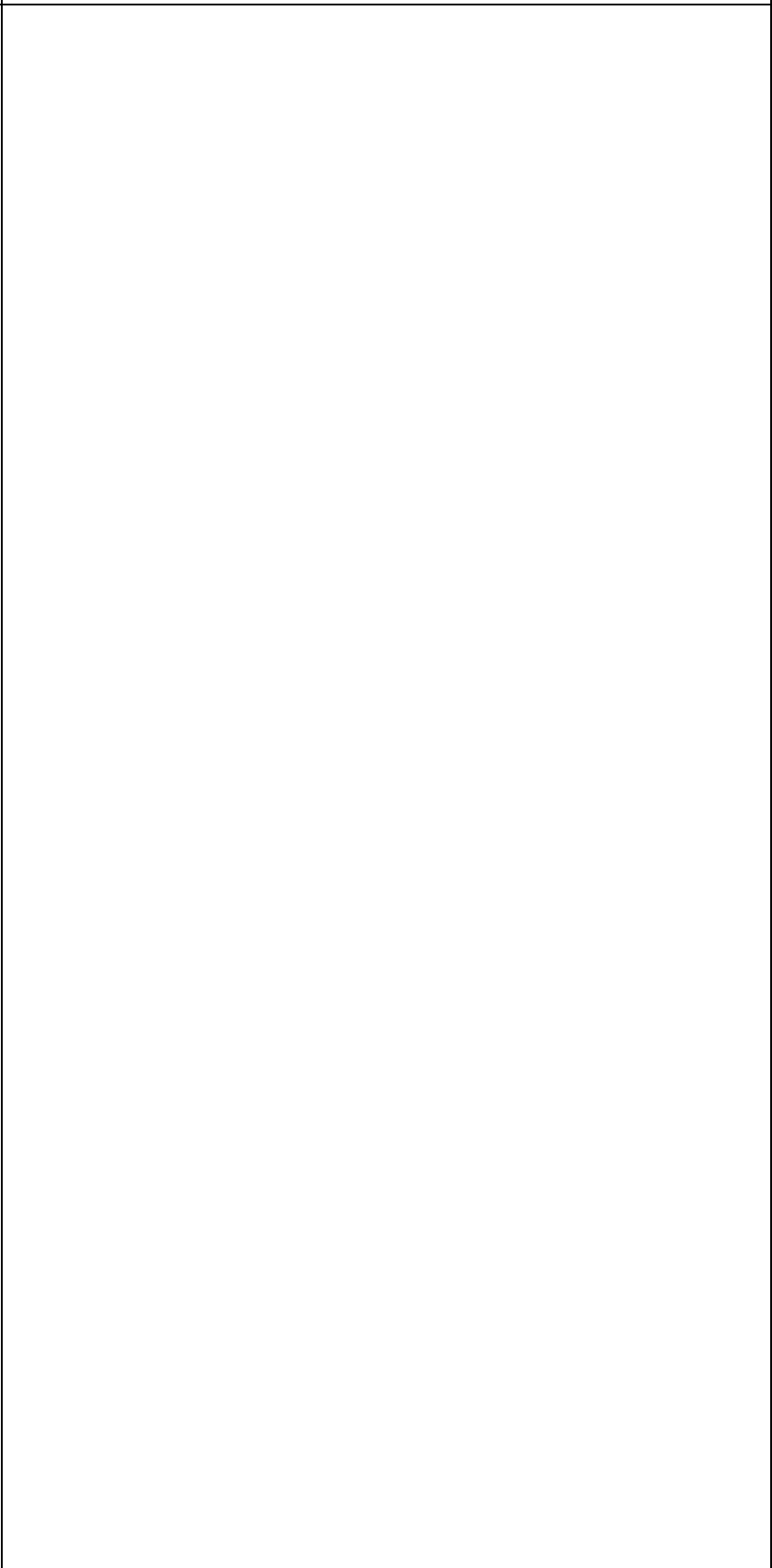
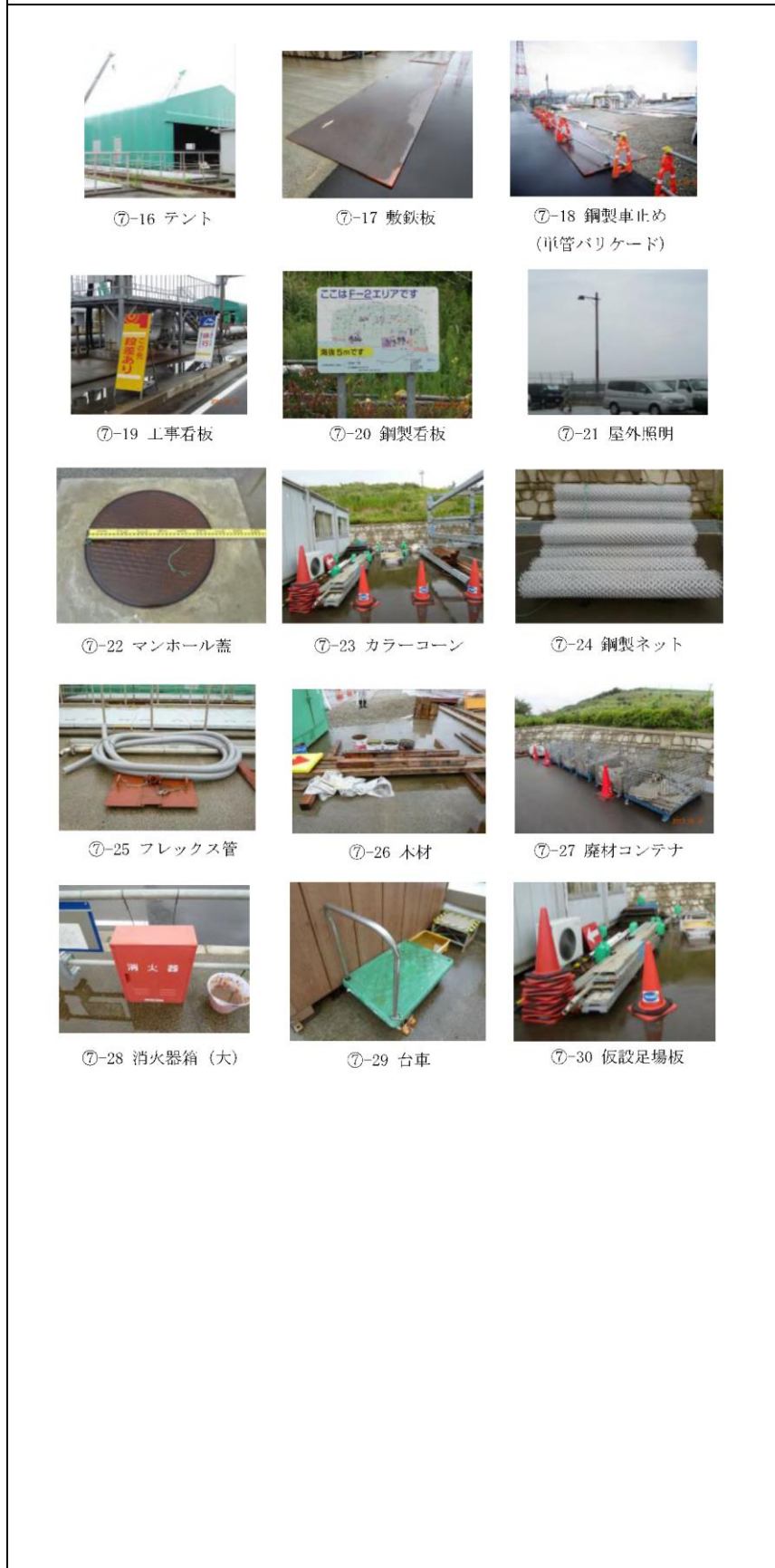


図 3.3.5 現地調査結果 (27/30)



(二次飛来物)



⑦-1 扉



⑦-2 扉

【39 : 4.4m 盤協力会社事務所エリア (南側)】


図 3.5 現地調査結果 (28/30)


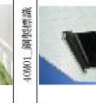









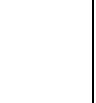


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)

島根原子力発電所 2号炉

備考

【⑩：才津谷エリア】

																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																						
		<div style="display: flex; flex-direction: row-reverse;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">           【④：免震重要棟エリア】         </div> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>41M1 搬き鉄板</td> <td></td> <td>41M2 鋼製パイプ</td> <td></td> <td>41M3 仮設現場</td> <td></td> <td>41M4 アンドロイド倉庫</td> <td></td> <td>41M5 汚水処理設備</td> <td></td> <td>41M6 工事用コンテナ</td> <td></td> <td>41M7 中埋込電機</td> <td></td> <td>41M8 乗用車</td> <td></td> <td>41M9 3トントラック</td> <td></td> <td>41M10 コントラクト機</td> <td></td> <td>41M20 工事用機械</td> </tr> </table> </div>		41M1 搬き鉄板		41M2 鋼製パイプ		41M3 仮設現場		41M4 アンドロイド倉庫		41M5 汚水処理設備		41M6 工事用コンテナ		41M7 中埋込電機		41M8 乗用車		41M9 3トントラック		41M10 コントラクト機		41M20 工事用機械	
	41M1 搬き鉄板		41M2 鋼製パイプ		41M3 仮設現場		41M4 アンドロイド倉庫		41M5 汚水処理設備		41M6 工事用コンテナ		41M7 中埋込電機		41M8 乗用車		41M9 3トントラック		41M10 コントラクト機		41M20 工事用機械				

図 3.3.5 現地調査結果 (30/30)