

2020年7月7日提出版

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第四条 地震による損傷の防止
(3号廃棄物埋設施設)

2020年7月

日本原燃株式会社

目 次

1. 第二種廃棄物埋施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第四条及びその解釈	1
2. 廃棄物埋施設の安全機能について	2
3. 設計対象設備	2
4. 許可基準規則への適合のための設計方針	2
5. 許可基準規則への適合性説明	3
(1) 耐震重要度の設定	3
(2) その他の事象の評価	6
(3) 耐震設計	6
6. 参考文献	8

添付資料 1 耐震重要度設定における外部被ばく線量評価

参考資料 1 地震による廃棄体の損傷を仮定した内部被ばく線量評価

参考資料 2 覆土の安全機能喪失時の評価

1. 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第四条及びその解釈

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
(地震による損傷の防止) 第四条 安全機能を有する施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈
第4条 (地震による損傷の防止) 1 第1項に規定する「地震力に十分耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることをいう。この場合、上記の「弾性範囲の設計」とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下に留めることをいう。また、この場合、上記の「許容限界」とは、必ずしも厳密な弾性限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲に留まり得ることをいう。 2 第2項に規定する「地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」とは、地震により発生するおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（以下「耐震重要度」という。）をいう。安全機能を有する施設は、耐震重要度に応じて、以下に掲げるクラスに分類するものとする。 一 Bクラス 自ら放射性物質を内蔵している施設若しくは当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設又は地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その破損により公衆に与える放射線の影響が事業規則第1条の2第2項第9号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものでないものをいう。 二 Cクラス 安全機能を有する施設のうち、Bクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。 3 第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、安全機能を有する施設の耐震設計に当たっては、以下の方針によること。 一 静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えること。 二 廃棄物埋設地と廃棄物埋設地の附属施設のうち建物・構築物については、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。 三 廃棄物埋設地の附属施設のうち機器・配管系については、操業中の荷重と静的地震力を組み

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈

合わせ、その結果発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態に留まること。
 4 第2項に規定する「地震力」の算定に当たっては、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（原規技発第1306193号（平成25年6月19日原子力規制委員会決定））（以下「実用炉設置許可基準解釈」という。）別記2第4条第4項の方法を準用すること。

2. 廃棄物埋設施設の安全機能について

安全機能については、第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「許可基準規則」という。）第二条第2項第一号に「安全機能」とは、廃棄物埋設施設の安全性を確保するために必要な機能であって、その機能の喪失により公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるものをいう。」とある。

したがって、許可基準規則第二条第2項第一号を考慮し、安全機能を「放射性物質の漏出を防止する機能」（以下「漏出防止機能」という。）、「移行抑制機能^{*1}」、「遮蔽機能」とし、その機能の維持期間及び考え方を第1表にまとめる。

第1表 ピット処分における安全機能

安全機能	廃止措置の開始前		廃止措置の開始後
	放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで	覆土完了から廃止措置の開始まで	
放射性物質の漏出を防止する機能	○	-	-
移行抑制機能	-	○	△
遮蔽機能	○	○	△

○：安全機能を維持する
 △：必要な安全機能を期待できるように設計する
 -：考慮しない

*1：本資料では、放射性物質の漏出を低減する機能及び生活環境への移行を抑制する機能を「移行抑制機能」という。

ここで、廃棄物埋設施設のうち安全機能を有する設備は、埋設設備、排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層及び覆土である。

3. 設計対象設備

許可基準規則第四条の設計対象は、耐震強度を要する3号埋設設備の外周仕切設備、内部仕切設備及び覆いとする。覆土及びポーラスコンクリート層については地震の影響を考慮する。

4. 許可基準規則への適合のための設計方針

埋設設備は、地震の発生によって発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、埋設設備の耐震重要度に応じ、地震力に十分耐えることができるよう耐震設計を行う。

5. 許可基準規則への適合性説明

許可基準規則第四条（地震による損傷の防止）への適合性について確認した結果を以下にまとめる。

(1) 耐震重要度の設定

(i) 耐震重要度の設定の方針

耐震重要度は、第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（以下「許可基準規則解釈」という。）に基づき、安全機能を有する施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて設定する。

ここでは、地震により埋設設備が損傷し、埋設設備が有する安全機能である遮蔽機能及び漏出防止機能が喪失する際に想定される事象について、公衆の放射線被ばくの程度を評価する。

埋設設備は、遮蔽機能及び漏出防止機能が1基ごとに独立していることから、埋設設備1基ごとに評価する。また、廃棄物埋設地には埋設設備を8基設置することから、廃棄物埋設地全体についても評価する。

ここで、埋設設備は、覆土完了後においては、遮蔽機能及び漏出防止機能を期待するものではないことから、覆土前の状態で評価する。また、安全機能の喪失を想定するため、遮蔽機能及び漏出防止機能を有する全ての設備を設置した状態から、これらの機能が喪失した状態で評価する。

(ii) 安全機能喪失時に想定される事象

地震により埋設設備が損傷し、安全機能が喪失する際に想定される事象は以下のとおり。想定事象の概念図を第1図に示す。

a. 外部への放射線の放出

地震により埋設設備外周部の外周仕切設備及び覆いが損傷し、遮蔽機能が喪失することによる、外部への放射線の放出を想定する。

b. 外部への放射性物質の漏えい

地震により埋設設備外周部の外周仕切設備及び覆いが損傷し、漏出防止機能が喪失することによる、外部への放射性物質の漏えいを想定する。

なお、埋設する廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」（以下「事業規則」という。）に定められた廃棄体に係る技術上の基準を満足するものであり、容器の構造、定置までの取扱い、強度等から、変形・損傷や外部からの雨水及び地下水の浸入が生じ難い構造と考えられるため、容易に廃棄体内の放射性物質が容器の外へ漏えいすることはないという特徴がある。

埋設する廃棄体の特徴及び以下の考え方を踏まえて、耐震重要度の評価においては、飛散による放射性物質の漏えい及び水への移行による放射性物質の漏えいは考慮しない。

(a) 飛散による放射性物質の漏えい

埋設する廃棄体の特徴を踏まえると、廃棄体は、容器が損傷しない限り、放射性物質が漏えいすることはない。また、廃棄体を定置した埋設設備の区画内は、有害な空隙が残らないようにセメント系充填材が充填され固型化されることから、地震によって、埋設設備内の廃棄体容器が損傷に至ることは想定し難い。仮に廃棄体容器が損傷したとしても、廃棄体容器の内部の放射性廃棄物はセメント系充填材で固型化され飛散し難く、放射性物質の飛散は抑えられると想定されることから、耐震重要度の評価においては、飛散による放

放射性物質の漏えいは考慮しない。

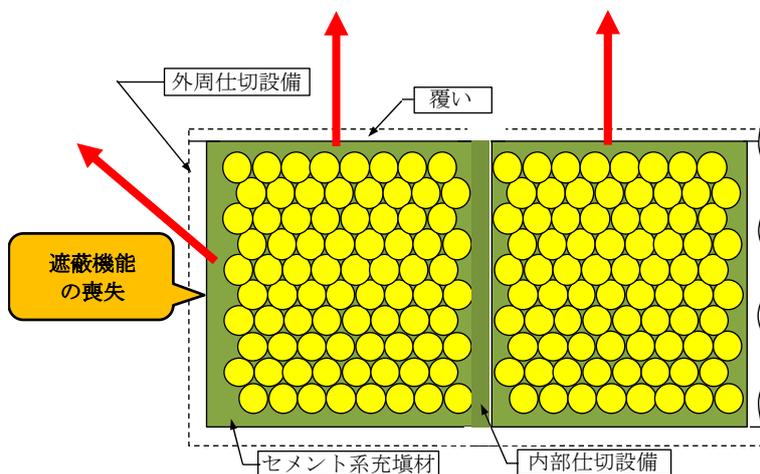
なお、地震により廃棄体容器が損傷し、廃棄体に含まれる放射性物質が飛散することを仮定した際の公衆への影響の評価について、参考資料1に示す。

(b) 水への移行による放射性物質の漏えい

埋設する廃棄体の特徴を踏まえると、廃棄体は、変形・損傷や外部からの雨水及び地下水の浸入が生じ難い構造と考えられるため、容易に廃棄体内の放射性物質が容器の外へ漏えいすることはない。また、廃棄体を定置した埋設設備の区画内は、有害な空隙が残らないようにセメント系充填材が充填され、固型化される。そのため、外周仕切設備、覆い及びポーラスコンクリート層が損傷し、雨水及び地下水が浸入しても、廃棄体との接触は抑制される。さらに、浸入した水に放射性物質が移行し、廃棄物埋設地内に漏出した場合でも、漏出した水を回収することで公衆への影響は生じない。

ここで、公衆への影響は、埋設設備内から廃棄物埋設地内に漏出した水が岩盤を移行し、放射性物質が流入した尾駸沼の水産物を公衆が摂取する場合によっても生じ得るが、この影響は地震直後に生じる外部への放射線の放出による影響と同時に生じるものではないこと、及び、岩盤中の移行による放射能の減衰および生活環境における希釈により小さくなることから、耐震重要度の評価においては、水への移行による放射性物質の漏えいは考慮しない。

なお、浸入した水に放射性物質が移行し、埋設設備外へ漏出する際の公衆への影響については、埋設設備の状態を砂程度の透水性とし、廃棄体が多量の水と接触することを想定して評価を行っている「廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駸沼へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく」(「第十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号」で評価)による影響よりも小さくなる。



第1図 想定事象の概念図

(iii) 耐震重要度設定における被ばく評価

a. 外部への放射線の放出

地震により遮蔽機能が喪失した際の、放射線による公衆の外部被ばくを評価する。

(a) 外部被ばく評価に用いる線源の設定

埋設設備に定置した廃棄体を線源とし、廃棄体がセメント系充填材により固型化された

状態を考慮する。線量の計算は廃棄体の表面線量当量率に基づき行い、埋設設備の最上段には 0.3mSv/h、最上段以外には 2mSv/h の廃棄体が定置された状態とする。ここで、最上段以外の廃棄体の表面線量当量率は、埋設設備 1 基当たりの放射エネルギーを総放射エネルギーの 1/8 倍とし、その全てがガンマ線のエネルギーが高く、初期の放射エネルギーが多い Co-60 の放射エネルギーであるとして算出した。最上段以外の廃棄体の表面線量当量率の設定について添付資料 1 に示す。

また、廃棄物埋設地全体での線量を評価する場合には、評価時点を全ての埋設設備の覆い設置が完了した時点とする。ここで、廃棄物埋設施設の予定埋設数量を参考とし、覆い完了からの期間が Co-60 の半減期である約 5 年以上となる埋設設備については、廃棄体に含まれる放射性物質の減衰を考慮する。

(b) 評価条件の設定

公衆の外部被ばく線量は、線源の状態を考慮して、埋設設備の外周仕切設備及び覆いがある遮蔽機能が喪失することを仮定して評価する。埋設設備の遮蔽機能は、土嚢等の設置によって一時的な回復が可能であり、東北地方太平洋沖地震のインフラの復旧事例⁽¹⁾を参考に主要な港湾や道路は 0.5 ヶ月程度で復旧すると想定し、重機等を確保することで 1 ヶ月で応急処置が可能であるとする。

なお、事象発生後より人手による施工も含め 2 ヶ月で応急処置が可能であると考えるところから、線量の評価期間を 2 ヶ月とする。

(c) 線量評価

線量評価は、敷地境界外で最大の被ばくを与える地点を線量の計算地点とし、そこに居住する人を対象に行う。

放射線は、廃棄体から放出されるガンマ線とし、廃棄物埋設地では、直接ガンマ線は周囲の地形により遮蔽されることから、スカイシャインガンマ線について評価する。

スカイシャインガンマ線による線量の計算には一次元輸送計算コード (ANISN)⁽²⁾ 及び一回散乱計算コード (G33)⁽³⁾ を組み合わせたものを用いる。

これらの計算コードにより、線量の計算地点における線束密度を算出し、ICRP Pub. 74⁽⁴⁾ の換算係数を用いて空気吸収線量を算出後、線量を計算する。

なお、廃棄体表面の線量当量率から等価線源を求める計算は一次元輸送計算コード (ANISN)⁽²⁾ を用いる。

外部被ばく線量評価の詳細を添付資料 1 に示す。

(iv) 公衆の放射線被ばくの程度

公衆の放射線被ばくの評価結果を第 2 表に示す。

第 2 表 公衆の放射線被ばくの評価結果

想定する事象		線量評価結果 (mSv/y)
外部への放射線の放出	埋設設備 1 基 ^{*1}	約 1.6×10^{-2}
	廃棄物埋設地全体 ^{*2}	約 4.5×10^{-2}

*1 各埋設設備の中で放射性物質の減衰なしで最大の線量となる埋設設備での評価結果

*2 放射性物質の減衰を考慮した評価結果

地震により発生するおそれがある安全機能の喪失を想定し、公衆への影響を評価した結果、公衆の受ける線量は、「許可基準規則解釈」において規定されている周辺監視区域外における年間の線量限度である 1mSv に比べ十分に小さいものであることから、耐震重要度分類は C クラスとする。

(2) その他の事象の評価

(i) 津波の影響について

埋設設備は、敷地及びその周辺地域における過去の記録、現地調査の結果、行政機関が実施した津波シミュレーションの結果及び最新の科学的・技術的知見を踏まえ、影響が最も大きい津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置するため、津波が到達するおそれはない。詳細は「第五条 津波による損傷の防止」の適合性の説明において示す。

(ii) 埋設設備周辺斜面の崩壊について

廃棄物埋設地は段丘面上に位置するため、大きな自然斜面はない。

また、埋設設備は掘削を行い、N 値 50 以上の鷹架層に設置するため、埋設設備の周辺には斜面が形成される。この周辺斜面は、第四紀層（火山灰層及び段丘堆積層）、盛土及び鷹架層で構成されている。第四紀層（火山灰層及び段丘堆積層）は、一部に礫（段丘堆積層の基底礫（径 5cm～10cm））が認められるものの主に土砂からなる。盛土は主に段丘堆積層の砂及び火山灰層の粘土質火山灰の掘削土である。ここで、地震による影響を考慮すると、主として第四紀層及び盛土の崩壊が懸念される。

埋設設備から周辺斜面の法尻は、9m～16m 離れており、礫を含まない崩壊土砂が埋設設備と周辺斜面の間に崩壊する程度であると推定されることから、周辺斜面の崩壊による埋設設備の安全機能に影響はない。

(3) 耐震設計

(i) 埋設設備の耐震設計

埋設設備の耐震設計については、耐震重要度分類が C クラスであり、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（原規技発第 1909021 号（令和元年 9 月 2 日原子力規制委員会決定）別記 2（以下「別記 2」という。））に基づき、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設の静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。

別記 2 では、第 4 条第 4 項「二 静的地震力」において、水平地震力（以下「静的地震力」という。）は、地震層せん断力係数 C_i に耐震重要度分類 C クラスに応じた係数である 1.0 を乗じ、更に当該層以上の重量を乗じて算定するとされている。地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を 0.2 以上とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮して求められる値とされている。標準せん断力係数 C_0 については、「個別の建物・構築物、機器・配管系の設計において、それぞれの重要度を適切に評価し、それぞれに対し適切な値を用いることにより、耐震性の高い施設の建設などを促すことを目的としている。耐震性向上の観点からどの施設に対してどの程度の割増し係数を用いれば良いかについては、設計又は建設に関わる者が一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定すること」とされている。

以下、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準として、「耐震設計に係る工認審査ガイド」(原規技発第 1711152 号(平成 29 年 11 月 15 日改正、原子力規制委員会)) (以下「工認ガイド」という。)に示されている「建築基準法・同施行令」及び「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」(以下「道示 V」という。)を参照し、地震層せん断力係数 C_i について検討を行う。

建築基準法施行令第 88 条によると、地震層せん断力係数 C_i は、以下の式により求める。

$$C_i = Z \times R_t \times A_i \times C_0$$

ここに、国土交通省告示第 597 号より

Z : 地域特性を表す係数であり、青森県上北郡では $Z=1.0$

R_t : 地盤種別を考慮した振動特性を表す係数であり、N 値 50 以上の岩盤で、建物の高さと構造から $R_t=1.0$

A_i : 振動特性に応じた高さ分布を表す係数であり、建物の形状を考慮し、高さ方向の分布は考慮せず $A_i=1.0$

以上より、地震層せん断力係数 C_i は $Z \times R_t \times A_i$ が 1.0 となることから標準せん断力係数 C_0 と同じ値となり 0.2 以上となる。

一方、道示 V によると、静的地震力を算定するための設計水平震度 k_h は、別記 2 に示される地震層せん断力係数 C_i に相当する。

道示 V では、「おおむね弾性状態に留まる範囲」の設計に用いられる静的地震力は、施設の「設計供用期間中にしばしば発生する地震動」であるレベル 1 地震動が用いられ、その静的地震力を算定するための設計水平震度 k_h は、以下の式により求める。

$$k_h = c_z \times k_{h0}$$

ここに、

c_z : 地域別補正係数であり、青森県上北郡では $c_z=1.0$

k_{h0} : 地盤種別に応じた設計水平震度の標準値である。

地盤種別は、埋設設備が N 値 50 以上の岩盤上に設置することから I 種であり、設計水平震度の標準値 k_{h0} は、固有周期に応じて第 3 表により求められ、最大値が 0.2 となり、道示 V に示される I 種地盤の設計水平震度 k_h は、最大値が 0.2 となる。

第 3 表 レベル 1 地震動の設計水平震度の標準値 k_{h0} (I 種地盤)

地盤種別	固有周期 T (s) に対する k_{h0} の値		
I 種	$T < 0.10$ $k_{h0} = 0.431 T^{1/3}$ ただし、 $k_{h0} \geq 0.16$	$0.10 \leq T < 1.10$ $k_{h0} = 0.20$	$1.10 < T$ $k_{h0} = 0.213 T^{-2/3}$

以上より、埋設設備の耐震設計に用いる地震層せん断力係数 C_i は、別記 2 に基づき算定される地震層せん断力係数 C_i が 0.2 以上であること、道示 V に示される I 種地盤の設計水平震度 k_h の最大値が 0.2 であることを考慮して 0.2 と設定する。

埋設設備の耐震設計は、地震層せん断力係数 $C_i (=0.2)$ に耐震重要度分類 C クラスに応じた係数である 1.0 及び当該層以上の重量より求められる静的地震力に対し、工認ガイドに示される「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」付録 I による許容応力度法を用い、おおむね弾性範囲となるよう設計する。この「許容応力度法を用い、おおむね弾性範囲となるよう設計」

とは、必ずしも厳密な弾性限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲に留まり得るよう設計することをいう。これにより、地震力に十分に耐えることができる設計とする。

なお、具体的な指針の準拠箇所、荷重の算定方法、荷重の組合せ等の詳細な構造設計及び構造寸法については、「第十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号」の適合性の説明において示す。

(ii) その他の設備の耐震設計

a. 覆土の設計

覆土は、おおむね弾性範囲で設計される構造部材ではなく、変形を許容した土質系材料であり、耐震重要度の設定及び耐震設計は不要とする。

また、覆土は、安定した地盤の一部を掘り込んだ箇所に設置しているため、地すべりといった地震による損傷は想定されない。

ただし、地震による損傷として液状化が想定されるため、液状化し難い材料を用いて適切な管理方法で施工することにより、液状化抵抗性のある設計とする。

覆土の安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能であるが、以下のとおりこれらの安全機能が喪失した場合に公衆に及ぼす影響は十分に小さいものである。

覆土の移行抑制機能について低透水性及び収着性が喪失した場合に公衆に及ぼす影響を評価した結果は約 $3.2\mu\text{Sv/y}$ である。また、覆土の遮蔽機能が喪失した場合に公衆に及ぼす影響については、覆土完了後は埋設設備による遮蔽を期待しないことから、覆土のない覆土前の状態で埋設設備の遮蔽機能の喪失を想定した場合の評価（第2表）に包含される。覆土の安全機能喪失時の評価について参考資料2に示す。

b. ポーラスコンクリートの設計

排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層は、埋設設備に一体となるよう設置し、耐震性を確保する設計とする。

6. 参考文献

- (1) 中央防災会議東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告 参考図表集、平成23年9月28日、内閣府
- (2) Ward W. Engle, Jr(1967)：A USERS MANUAL FOR ANISN A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code With Anisotropic Scattering, K-1693
- (3) Yukio SAKAMOTO and Shun-ichi TANAKA(1990)：QAD-CGGP2 AND G33-GP2：REVISED VERSIONS OF QAD-CGGP AND G33-GP (CODES WITH THE CONVERSION FACTORS FROM EXPOSURE TO AMBIENT AND MAXIMUM DOSE EQUIVALENTS), JAERI-M 90-110
- (4) International Commission on Radiological Protection(1996)：Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74

耐震重要度設定における
外部被ばく線量評価

目 次

1. はじめに	1
2. 耐震重要度設定における外部被ばく線量評価の方針	1
3. 評価条件の設定	1
(1) 計算コード	1
(2) 物性値	1
(3) 線量の計算地点	2
(4) 評価対象とする埋設設備の設定	2
(5) 評価を行うガンマ線	3
4. スカイシャングamma線による線量の算出	3

添付資料 1-1 線源に含まれる廃棄体の表面線量当量率の設定

添付資料 1-2 廃棄体の放射能濃度の設定について

添付資料 1-3 スカイシャイン線量率の計算方法について

添付資料 1-4 断面積ライブラリ DLC-23 について

添付資料 1-5 線源面積の設定

添付資料 1-6 線量への影響について

添付資料 1-7 線量評価結果

添付資料 1-8 計算コードの概要について

1. はじめに

耐震重要度設定における外部被ばく線量評価について説明する。

2. 耐震重要度設定における外部被ばく線量評価の方針

外部被ばく線量評価は、廃棄物埋施設周辺で最大の被ばくを与える地点に居住する人を対象とし、評価を行う放射線は、廃棄体から放出されるガンマ線とする。

廃棄物埋設地の評価では、直接ガンマ線が周囲の地形により遮蔽されることから、スカイシャインガンマ線を対象とする。

また、耐震重要度設定における外部被ばく線量評価においては、遮蔽機能が喪失するものとし、埋設設備に定置した廃棄体をセメント系充填材で充填したものを線源として設定する。ここで、線源の設定においては、含まれる廃棄体の表面線量当量率、セメント系充填材による影響等を考慮する。

評価は埋設設備1基ごとに行い、廃棄物埋設地には埋設設備を8基設置することから、廃棄物埋設地全体についても評価する。また、線量の評価期間は2ヶ月とする。

なお、以下では、実効線量として評価している値は「線量」、実測が可能な値は「線量当量」と表記する。

3. 評価条件の設定

(1) 計算コード

他施設等において使用実績が十分にあり、信頼性があるコードを用いることとし、スカイシャインガンマ線による線量の計算には一次元輸送計算コード（ANISN）及び一回散乱計算コード（G33-GP2R）を組み合わせたものを用いる。

(2) 物性値

評価に用いる物性値は第1表に示すとおりとする。

第1表 評価に用いる物性値(1/2)

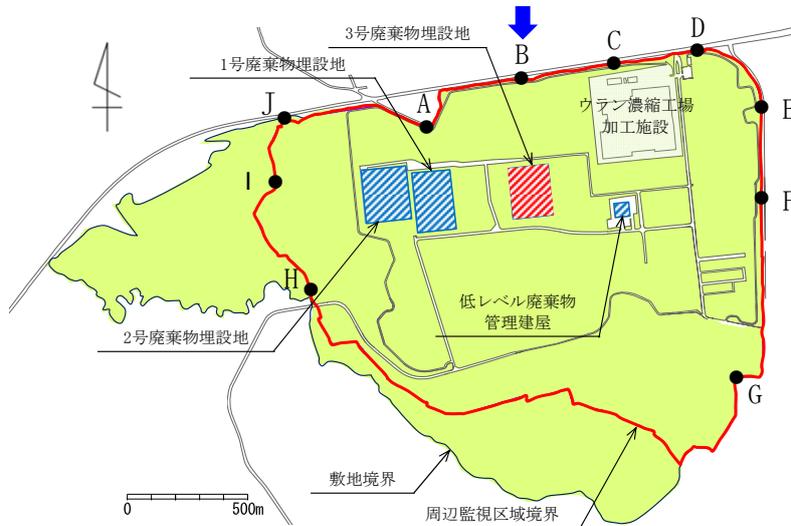
水 (密度 1,500kg/m ³)	元素	組成比(%)	密度(kg/m ³)
	H	11.19	1.679×10 ²
	O	88.81	1.332×10 ³
充填材(モルタル) (密度 1,600kg/m ³)	元素	組成比(%)	密度(kg/m ³)
	H	0.416	6.656×10 ⁰
	O	50.74	8.118×10 ²
	Mg	0.1150	1.840×10 ⁰
	Al	0.4460	7.136×10 ⁰
	Si	38.61	6.177×10 ²
	S	0.07	1.120×10 ⁰
	Ca	6.869	1.099×10 ²
Fe	2.738	4.381×10 ¹	

第1表 評価に用いる物性値 (2/2)

空気 (密度 1.205kg/m ³)	元素	組成比 (%)	密度 (kg/m ³)
	H	0.001000	1.205×10 ⁻⁵
	C	0.01255	1.513×10 ⁻⁴
	N	75.47	9.093×10 ⁻¹
	O	23.23	2.799×10 ⁻¹

(3) 線量の計算地点

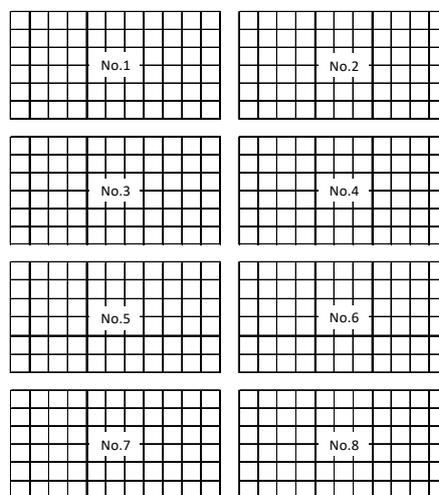
線量の計算地点は、3号廃棄物埋設地との距離が最短となる地点であるBとする。線量の計算地点を第1図に示す。



第1図 線量の計算地点

(4) 評価対象とする埋設設備の設定

第2図に示すように、3号廃棄物埋設地に設置する全ての埋設設備を対象とし、埋設設備1基ごとに評価する。

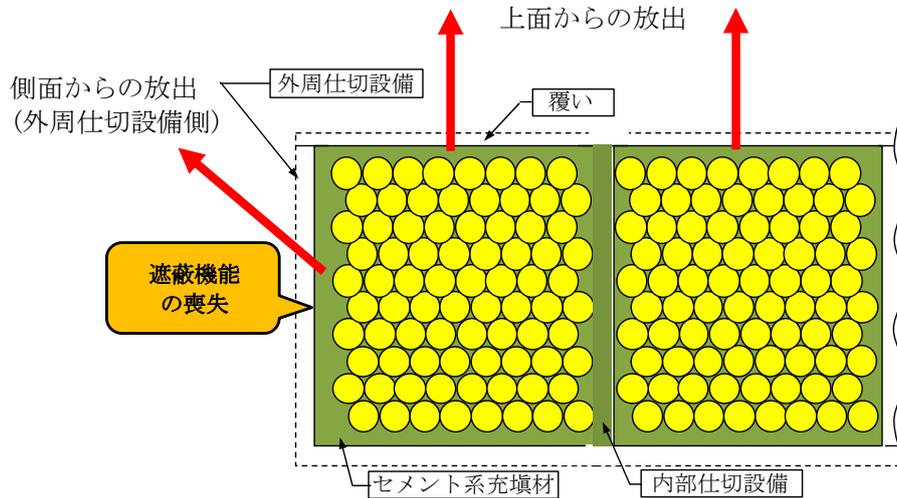


第2図 評価対象とする埋設設備

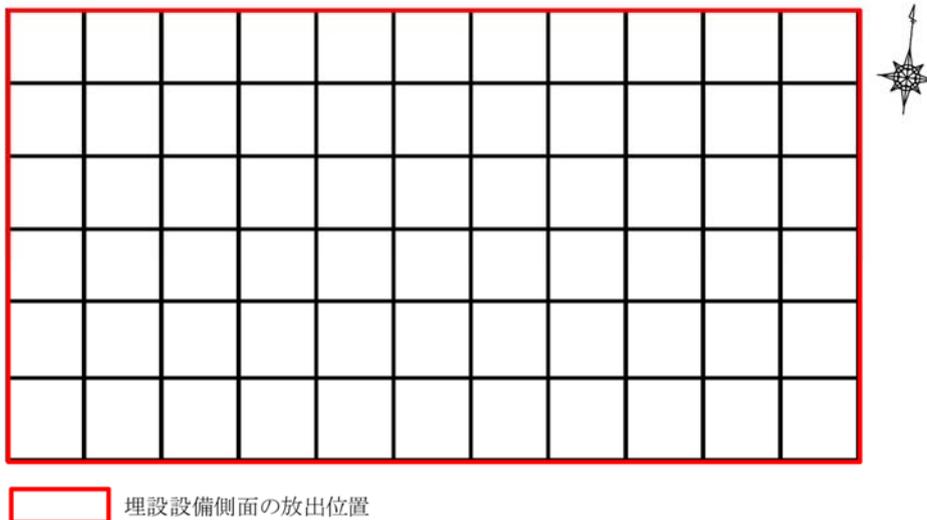
(5) 評価を行うガンマ線

遮蔽機能の喪失を想定し、第3図に示すように、埋設設備上面及び側面から放出されるスカイシャインガンマ線について評価する。

ここで、埋設設備側面から放出されるスカイシャインガンマ線の放出位置は第4図のとおりである。



第3図 評価するスカイシャインガンマ線の放出位置



第4図 埋設設備側面から放出されるスカイシャインガンマ線の放出位置

4. スカイシャインガンマ線による線量の算出

スカイシャインガンマ線による線量の算出について、ここでは各埋設設備の中で最大の線量となるNo.2埋設設備での線量の算出を示す。

線源は埋設設備に定置した廃棄体をセメント系充填材で固化化したものとし、ガンマ線を放出する放射性物質は廃棄体に含まれる放射性物質のうち、ガンマ線のエネルギーが高く、初期の放射エネルギーが多いCo-60 (ガンマ線のエネルギー1.25MeV、放出率200%)で代表する。

線源に含まれる廃棄体の表面線量当量率は、最上段が 0.3mSv/h、最上段以外は 2mSv/h とする。ここで、最上段以外の廃棄体の表面線量当量率は、総放射エネルギーが全て Co-60 の放射エネルギーであるとして算出した場合の廃棄体の放射能濃度から、計算コードによって算出した。線源に含まれる廃棄体の表面線量当量率の設定を添付資料 1-1 に示す。

スカイシャイン線量の算出では、まず、代表区画位置（埋設設備の北西端の区画）からの放射能濃度が様な状態での線量率を算出し、高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響、セメント系充填材の影響（添付資料 1-6 参照）を加味する。ここで、上面及び側面から放出される放射線について、セメント系充填材 20cm を考慮する。

放射能濃度が様な状態での線量率は、単位面積、単位放射能濃度当たりのスカイシャイン線量率（添付資料 1-3 参照）に、最上段に定置する廃棄体の放射能濃度（添付資料 1-2 参照）及び 1 区画の線源面積（添付資料 1-5 参照）を乗ずることによって算出する。

1 区画からのスカイシャイン線量率の算出結果を第 2 表に示す。

第 2 表 1 区画からのスカイシャイン線量率

放出位置	放出方向	単位面積、単位放射能濃度 当たりのスカイシャイン 線量率 ($(\mu\text{Sv/h}) / (\text{Bq/cm}^3) (\text{cm}^2)$)	最上段に定置 する廃棄体の 放射能濃度 (Bq/cm^3)	1 区画の 線源面積 (m^2)	高さ方向に異なる 放射能濃度の廃棄 体を定置する影響 (-)	セメント系 充填材の影響 (-)	1 区画からの スカイシャイン線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)			
側面	上面	2.05×10^{-12}	8.70×10^2	29.15	1.05	1.16×10^{-1}	6.33×10^{-5}			
	側面	北		6.28×10^{-12}	27.03		6.1	1.04×10^{-3}		
		東		1.32×10^{-12}	28.05			2.28×10^{-4}		
		南		1.76×10^{-13}	27.03			2.93×10^{-5}		
		西		6.99×10^{-13}	28.05					1.21×10^{-4}

上面から放出されるスカイシャイン線の線量は、1 区画からのスカイシャイン線量率に、線量の評価期間 2 ヶ月（1,460 時間）及び区画数を乗じて算出する。

側面から放出されるスカイシャイン線の線量は、1 区画からのスカイシャイン線量率に、放出される放射線の放出角が周囲の地形等によって制限される影響（添付資料 1-6 参照）、線量の評価期間 2 ヶ月（1,460 時間）及び区画数を乗じて算出する。ここで、区画数について、側面からの放出については、北面及び南面について 11 区画、東面及び西面について 6 区画となる。

埋設設備から放出されるスカイシャイン線の線量は、上面及び側面から放出されるスカイシャイン線の線量を合計して算出する。

外部被ばく線量評価結果を第 3 表に示す。また、同様の方法により算出した各埋設設備の線量評価結果を添付資料 1-7 に示す。

第3表 外部被ばく線量評価結果

放出位置	放出方向	1区画からの スカイシャイン線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	廃棄物埋設地の 地形等の影響 (-)	線量の 評価期間 (h)	区画数	線量 (μSv)
	上面	6.33×10^{-5}	-	1,460	66	6.1
側面	北	1.04×10^{-3}	4.00×10^{-1}		11	6.7
	東	2.28×10^{-4}	9.17×10^{-1}		6	1.8
	南	2.93×10^{-5}	1		11	0.5
	西	1.21×10^{-4}	6.79×10^{-1}		6	0.7
					合計	約16

線源に含まれる廃棄体の表面線量当量率の設定

線源に含まれる廃棄体の表面線量当量率は、総放射エネルギーが全て Co-60 の放射エネルギーであるとして算出した場合の廃棄体の放射能濃度から、計算コードによって算出する。

1. 埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー及び廃棄体の放射能濃度

3 号埋設設備の総放射エネルギーと埋設設備の基数 (8 基) から、埋設設備 1 基当たりの放射エネルギーを算出すると、第 1 表に示すとおりとなる。

第 1 表 3 号埋設設備の総放射エネルギーと埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー

核種	3 号埋設設備 総放射エネルギー (Bq)	埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー (Bq) 【総放射エネルギー×1/8】
H-3	1.50×10^{13}	1.88×10^{12}
C-14	2.00×10^{12}	2.50×10^{11}
Co-60	1.50×10^{14}	1.88×10^{13}
Ni-59	5.00×10^{10}	6.25×10^9
Ni-63	5.50×10^{12}	6.88×10^{11}
Sr-90	6.70×10^{11}	8.38×10^{10}
Nb-94	8.10×10^9	1.01×10^9
Tc-99	7.40×10^7	9.25×10^6
I-129	8.30×10^6	1.04×10^6
Cs-137	7.30×10^{11}	9.13×10^{10}
α	2.30×10^{11}	2.88×10^{10}
合計	1.74×10^{14}	2.18×10^{13}

埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー (2.18×10^{13} Bq) が全て Co-60 の放射エネルギーであると仮定すると、廃棄体の放射能濃度は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 \text{廃棄体の放射能濃度 (Bq/cm}^3\text{)} &= \frac{\text{埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー (Bq)}}{\text{埋設設備 1 基当たりの廃棄体本数 (本)} \times \text{廃棄体 1 本当たりの体積 (cm}^3\text{/本)}} \\
 &= \frac{2.18 \times 10^{13}}{26,400 \times 2 \times 10^5} \\
 &= 4.1 \times 10^3
 \end{aligned}$$

2. 廃棄体の表面線量当量率の設定

一次元輸送計算コード ANISN により、Co-60 の放射能濃度を $4.1 \times 10^3 \text{Bq/cm}^3$ とした場合の線量当量率を算出すると、 1.4mSv/h となる。

そこで、廃棄体の表面線量当量率は 2mSv/h と設定する。

なお、最上段に定置する廃棄体の表面線量当量率は、 0.3mSv/h に制限することから、以下に示すとおり最上段以外に定置する廃棄体の表面線量当量率を 2mSv/h とすることは保守的な設定となる。

$$\frac{9 \text{ 段}}{10 \text{ 段}} \times 2 \text{ mSv/h} + \frac{1 \text{ 段}}{10 \text{ 段}} \times 0.3 \text{ mSv/h} = 1.83 \text{ mSv/h}$$

第2表に耐震重要度設定における評価で設定する廃棄体の表面線量当量率を示す。

第2表 耐震重要度設定における評価で設定する廃棄体の表面線量当量率

最上段	0.3mSv/h
最上段以外	2mSv/h

廃棄体の放射能濃度の設定について

廃棄体の放射能濃度は以下のとおり算出する。算出方法は、まず、放射能濃度を仮設定し、その放射能濃度から線量当量率を計算コードにより算出する。その後、廃棄体の表面線量当量率と計算コードにより算出した線量当量率の比を仮設定した放射能濃度に乗ずることによって廃棄体の放射能濃度を算出する。このとき、放射能濃度を安全側とするために、線量計算に使用する2種類の計算コード(QAD、ANISN)について整理を行い、放射能濃度が大きくなるANISNの線量当量率を用いる。

$$\text{廃棄体の放射能濃度 (Bq/cm}^3\text{)} = \text{仮設定した放射能濃度 (Bq/cm}^3\text{)} \times \frac{\text{廃棄体の表面線量当量率 (mSv/h)}}{\text{計算コードにより算出した線量当量率 (mSv/h)}}$$

計算コードとしては、線量計算に用いるQAD又はANISNがあり、どちらも、放射能濃度から線量当量率を算出するものである。QADは、コードそのものが持つ保守性により、線量当量率を安全側(値が大きい側)に算出する。したがって、QADにより算出した線量当量率から放射能濃度を設定する場合、廃棄体の放射能濃度を小さく評価することになり、公衆の被ばく線量評価においては、非安全側の結果となる。

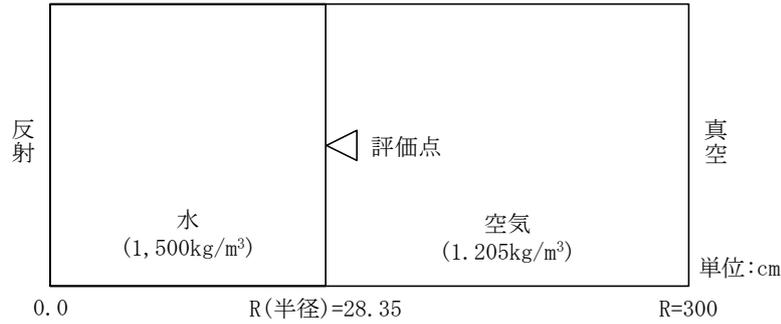
そのため、廃棄体の放射能濃度の設定ではANISNを用いる。ANISNは、一次元形状のみを取り扱うことができるコードであるため、無限形状としてモデル化を行うが、廃棄体の実形状と比較すると、線量当量率は大きな値となる。計算コードにより算出した線量当量率が大きな値となる場合、廃棄体の放射能濃度は小さくなるため、非安全側の結果となる。

そこで、3次元形状で廃棄体と無限円柱をモデル化し、QADを用いて線量当量率を算出し、両モデルでの線量当量率の比をANISNで算出した線量当量率に乗じて補正を行い、補正した線量当量率より放射能濃度を設定する。

1. ANISNによる算出

ANISNの計算モデルは、廃棄体の径方向をモデル化した無限円柱形状とし、線源物質は水(密度1,500kg/m³)、ガンマ線を放出する放射性物質はCo-60とし、断面積ライブラリはDLC-23Fを用いた。計算モデルを第1図に示す。また、DLC-23Fを用いる妥当性を添付資料1-4に示す。

線源の放射能濃度を1Bq/cm³とした場合の線量当量率を算出した結果、3.50×10⁻⁴mSv/hとなる。

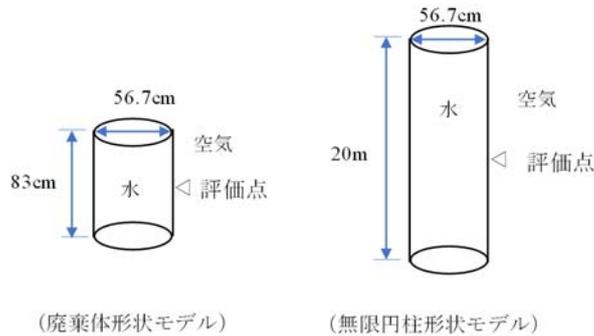


第1図 ANISN 計算モデル

2. QAD による補正

ANISN により算出した線量当量率は無限円柱形状モデルでの結果である。そこで、3次元形状のモデル化が可能な QAD により、廃棄体形状を考慮した高さ 83cm のモデルと無限円柱を模擬した高さ 20m のモデルによる線量当量率の比を求めて、ANISN で算出した線量当量率を補正する。

計算条件は、ANISN での計算と同様に線源物質を水（密度 1,500kg/m³）、ガンマ線を放出する放射性物質は Co-60 とした。計算モデルを第2図に示す。



第2図 QAD による計算モデル

QAD による両モデルの計算結果を第1表に示す。廃棄体形状モデルで算出した線量当量率と無限円柱形状モデルで算出した線量当量率の比は 0.989 となる。

第1表 廃棄体形状と無限円柱形状との比較結果

	①廃棄体形状	②無限円柱形状	比(①/②)
1Bq/cm ³ での線量当量率(mSv/h)	4.35×10^{-4}	4.40×10^{-4}	0.989

3. 廃棄体の放射能濃度の設定

廃棄体の放射能濃度の設定で用いる 1Bq/cm³での線量当量率は、ANISN で算出した 3.50×10^{-4} mSv/h に QAD で求めた比である 0.989 を乗じて、 3.46×10^{-4} mSv/h とする。

この値を用いて、外部被ばく評価に用いる廃棄体の放射能濃度を求める。外部被ばく評価に用いる廃棄体の表面線量当量率 2mSv/h 及び 0.3mSv/h における放射能濃度は第2表に示すとおりとなる。

以上より、放射能濃度をより大きく算出することができていると考えることから、外部被ばく線

量評価に用いる放射能濃度の設定として妥当である。

第2表 外部被ばく線量評価に用いる放射能濃度

廃棄体の表面線量当量率 (mSv/h)	2	0.3
表面線量当量率と等価な Co-60 の放射能濃度 (Bq/cm ³)	5.80×10^3	8.70×10^2

スカイシャイン線量率の計算方法について

一次元輸送計算コード ANISN とガンマ線一回散乱計算コード G33 による廃棄物埋設地からのスカイシャイン線量率の計算方法について説明する。

1. 計算方法

(1) 計算コード及び断面積ライブラリ

スカイシャイン線量率の計算は、区画内廃棄体線源表面又は遮蔽体外側表面を結合点として、ANISN と G33 を組み合わせて実施する。計算方法の概要は以下のとおり。

① ANISN により線源表面における単位放射能濃度当たりの角度別ガンマ線束を計算

② G33 により各線量の計算地点における単位放射能濃度及び単位面積当たりの線量率を計算

また、ANISN による角度別ガンマ線束の計算に用いる角度分点数と散乱成分のルジャンドル展開次数は、角度分点数 32 でルジャンドル展開次数 3 (P_3S_{32}) とする。

ANISN での断面積ライブラリは DLC-23F を用いている。DLC-23F を用いる妥当性を添付資料 1-4 に示す。

(2) 計算モデル

計算は、ANISN と G33 を組み合わせて実施する。

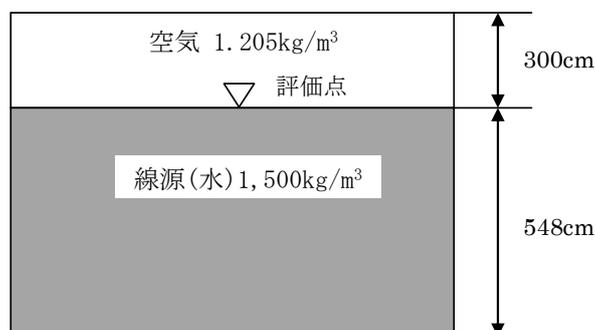
(i) ANISN

区画内の廃棄体線源表面におけるガンマ線の角度束を、ANISN により計算するに当たっては、線源体が矩形で均一な拡がりをもっていることから、線源形状を無限平板とし、線源厚さは上面方向と側面方向を共通に取り扱うため、線源となる埋設設備 1 区画の最大寸法である 548cm (3 号埋設設備の南北方向長さ) とする。角度別ガンマ線束の計算モデルを第 1 図に示す。

ここで、側面方向についても、放出面を無限平板として、計算を実施する。

なお、均一な線源として設定していることから、上面方向と側面方向と異なるものの、上面と側面の角度束分布は等しくなる。

また、側面を放出面とした場合、放射能濃度の分布が不均一となるが、ガンマ線束の強度は放射能濃度に比例することから、ガンマ線束の分布は、放射能濃度によらず同じ割合となる。



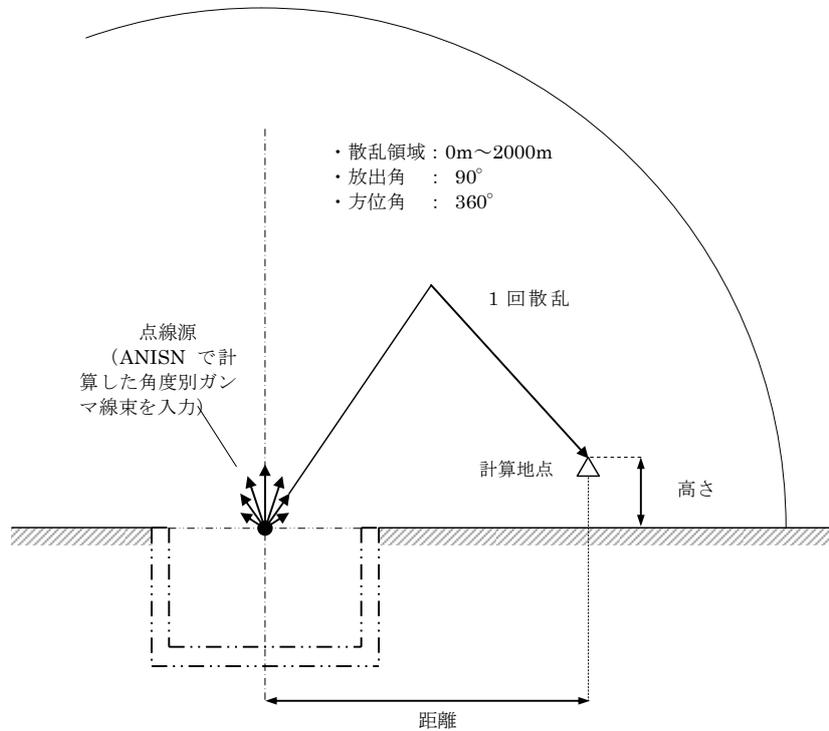
第 1 図 ANISN による角度別ガンマ線束の計算モデル

(ii) G33

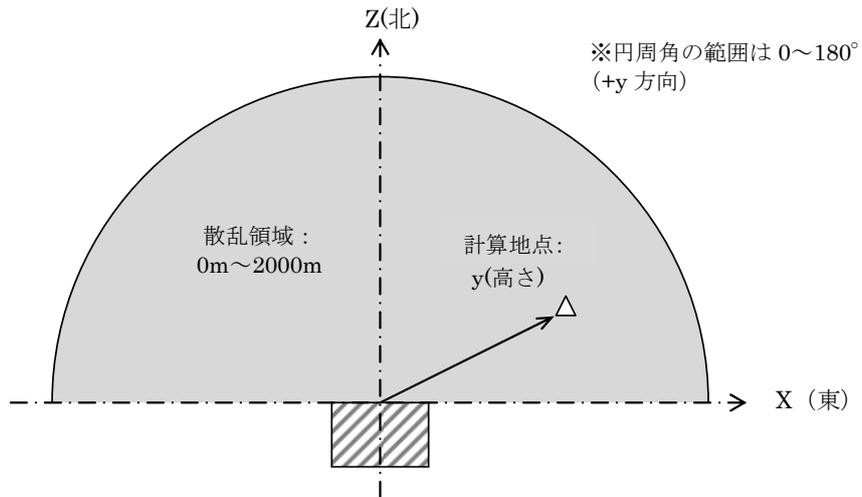
区画上面から大気中に放出されるガンマ線によるスカイシャイン線量の計算モデルを第2図に示す。ANISN で求めた角度別のガンマ線束を放出する点線源を各区画上面の中央に置き、ガンマ線の放出角は 90° 、空気の散乱領域は半径2,000mの半球とする。

区画側面から大気中に放出されるガンマ線によるスカイシャイン線量の計算モデルを、第3図に示す。ANISN で求めた角度別のガンマ線束を放出する点線源を各区画側面の上辺中央に置き、ガンマ線の放出角は 90° 、空気の散乱領域は半径2,000mの1/4球とする。

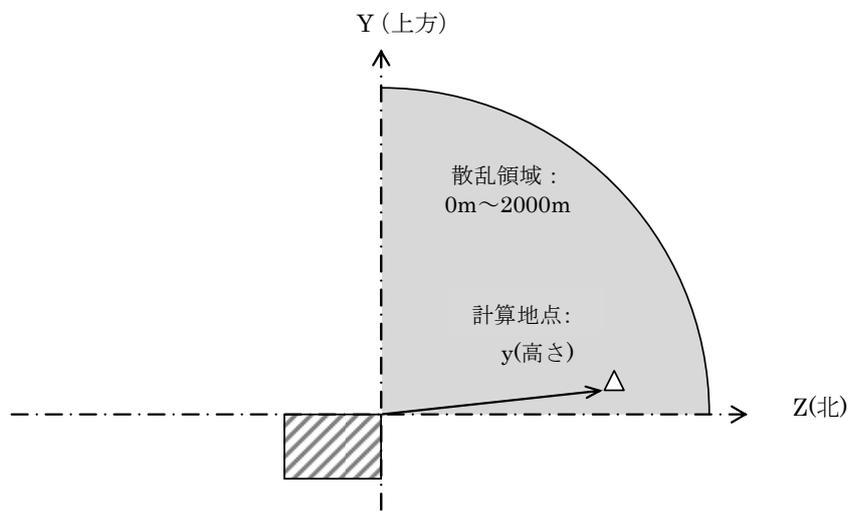
線量の計算地点の水平座標（線源を原点とし、区画側面と直交する座標系）は、線源位置を区画の上面中央とし、線量の計算地点の方向を考慮して計算した値を1m単位で切り捨てた値とする。線源の標高は、埋設設備群ごとの底面の標高に区画の高さ（区画全高－セメント系充填材厚さ－ポーラスコンクリート層厚さ－天板厚さ）を加えた値とする。



第2図 G33による1回散乱線の計算モデル（上面放出）



【平面図】



【側面図】

第3図 G33による1回散乱線の計算モデル（北側面放出の場合）

2. 計算結果

1. の計算方法により、各埋設設備からの単位面積、単位放射能濃度当たりのスカイシャイン線量率を算出すると第1表に示すとおりとなる。

第1表 単位面積、単位放射能濃度当たりのスカイシャイン線量率((Sv/h)/(Bq/cm³)(cm²))

埋設設備	上面	北面	東面	南面	西面
No. 1	1.78×10^{-12}	5.83×10^{-12}	1.81×10^{-12}	1.51×10^{-13}	4.02×10^{-13}
No. 2	2.05×10^{-12}	6.28×10^{-12}	1.32×10^{-12}	1.76×10^{-13}	6.99×10^{-13}
No. 3	1.06×10^{-12}	3.84×10^{-12}	1.05×10^{-12}	7.49×10^{-14}	2.40×10^{-13}
No. 4	1.20×10^{-12}	3.99×10^{-12}	7.54×10^{-13}	8.52×10^{-14}	4.10×10^{-13}
No. 5	6.55×10^{-13}	2.33×10^{-12}	6.21×10^{-13}	3.78×10^{-14}	1.47×10^{-13}
No. 6	7.25×10^{-13}	2.63×10^{-12}	4.47×10^{-13}	4.24×10^{-14}	2.49×10^{-13}
No. 7	4.03×10^{-13}	1.50×10^{-12}	3.75×10^{-13}	1.89×10^{-14}	9.08×10^{-14}
No. 8	4.41×10^{-13}	1.76×10^{-12}	2.69×10^{-13}	2.10×10^{-14}	1.52×10^{-13}

断面積ライブラリ DLC-23 について

断面積ライブラリ DLC-23 については、断面積ライブラリによる遮蔽評価結果への影響比較（平成 29 年 12 月 18 日 原子力規制庁 核燃料廃棄物研究部門 第 29 回技術情報検討会資料）により非保守的な計算結果が得られる可能性が指摘されている。そのため、今回の線量計算において、DLC-23 を使用することの妥当性について説明する。

1. 評価方法

スカイシャインガンマ線の評価と同様のモデルを設定し、ANISN (DLC-23) とモンテカルロ輸送計算コード(MCNP)で算出した線量率を比較した。線源を水（密度 $1,500\text{kg/m}^3$ ）とし、媒体を空気（密度 1.205kg/m^3 ）とコンクリート（密度 $2,100\text{kg/m}^3$ ）として、線量率分布を算出した。評価モデルを第 1 図に示す。

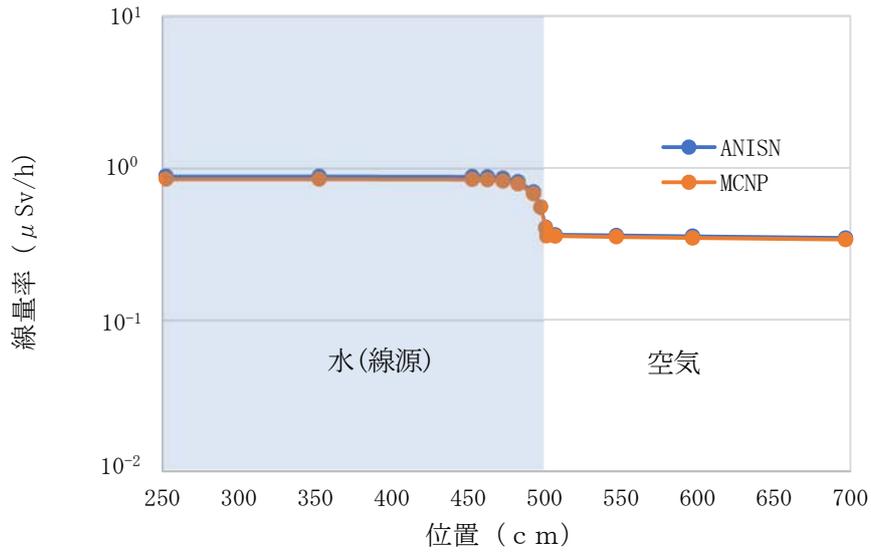


第 1 図 ANISN(DLC-23) と MCNP の比較計算モデル

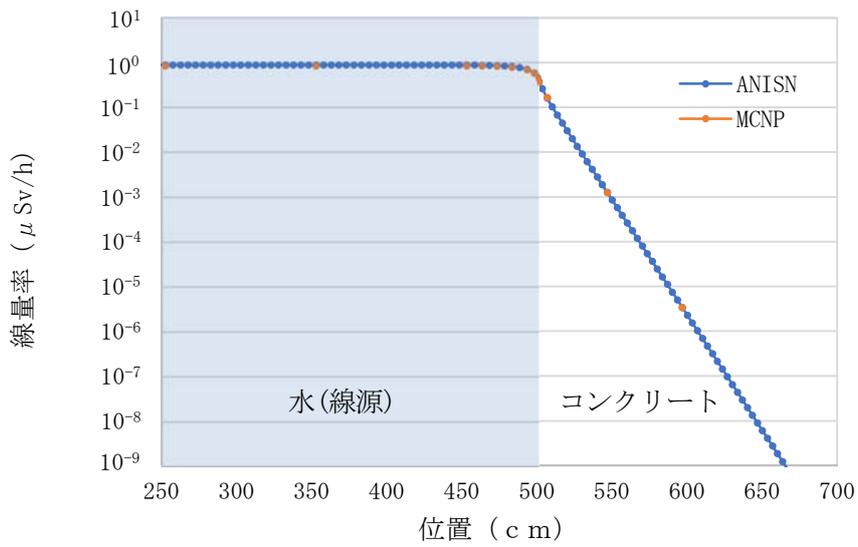
2. 評価結果

評価結果を第 2 図及び第 3 図に示す。

線量率分布について、ANISN (DLC-23) と MCNP を比較した結果、差異は、最大で空気の場合で約 5%、コンクリートの場合約 4%であり、DLC-23 を使用することは妥当であると評価する。



第2図 ANISN と MCNP の線量率分布 (線源+空気)



第3図 ANISN と MCNP の線量率分布 (線源+コンクリート)

線源面積の設定

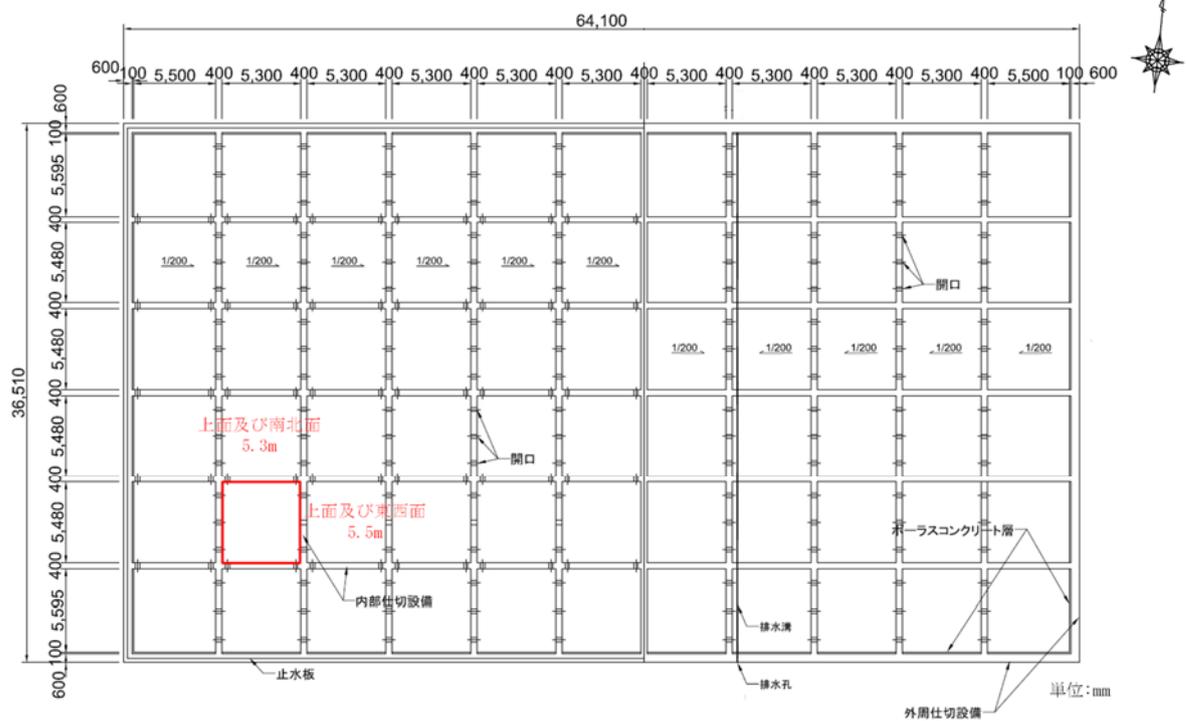
外部被ばく線量評価での線源面積は第 1 表のとおり設定する。

線源面積の設定に用いる 3 号埋設設備の構造図を第 1 図に示す。

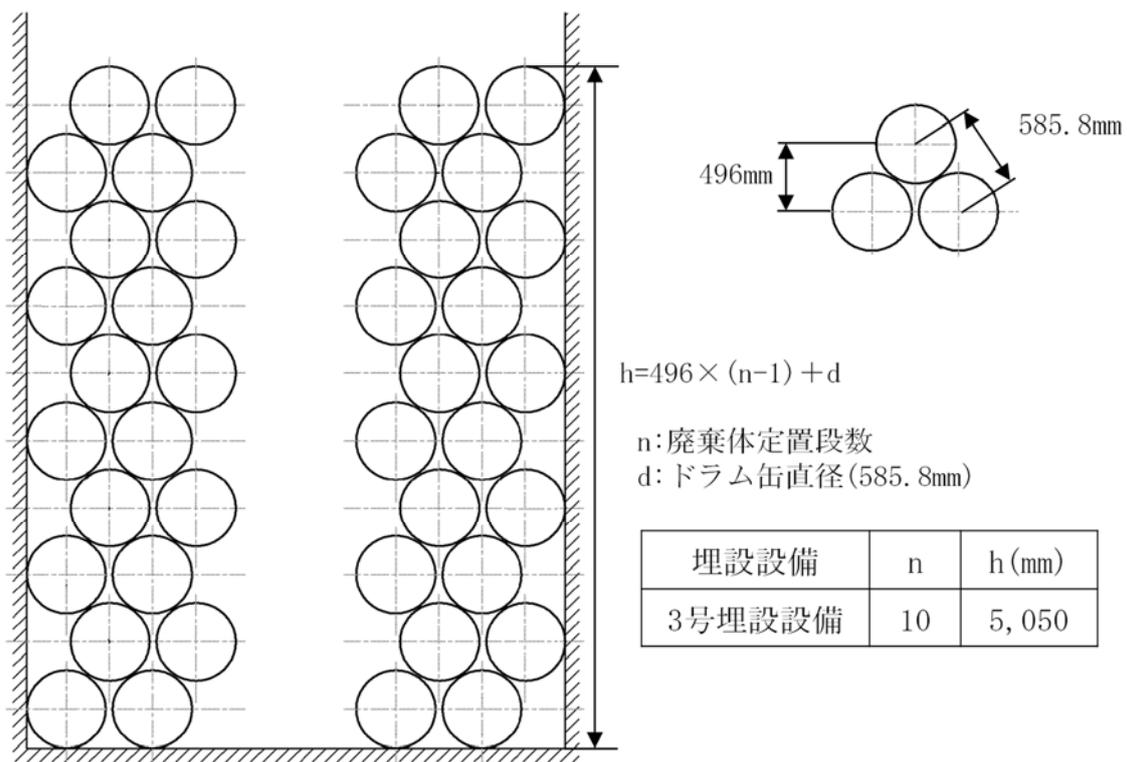
上面の面積は区画の開口面積から設定する。また、南北面及び東西面の面積は、区画開口部の寸法と第 2 図に示す定置時の廃棄体高さから設定する。

第 1 表 線源面積

上面	29.15m ² (=5.3m×5.5m)
南北面	27.03m ² (=5.3m×5.1m)
東西面	28.05m ² (=5.5m×5.1m)



第 1 図 3 号埋設設備の構造図



第2図 定置時の廃棄体高さ

線量への影響について

ここでは、被ばく線量評価における、高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響、セメント系充填材の影響、廃棄物埋設地の地形等の影響を評価する。

1. 高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響

埋設設備においてスカイシャインガンマ線を評価する際の ANISN による角度別ガンマ線束の計算では、線源の放射能濃度を最上段に定置する廃棄体の放射能濃度とし、均一として計算している。

一方、埋設設備では最上段と最上段以外において異なる放射能濃度の廃棄体を定置するため、放射能濃度は不均一となる。

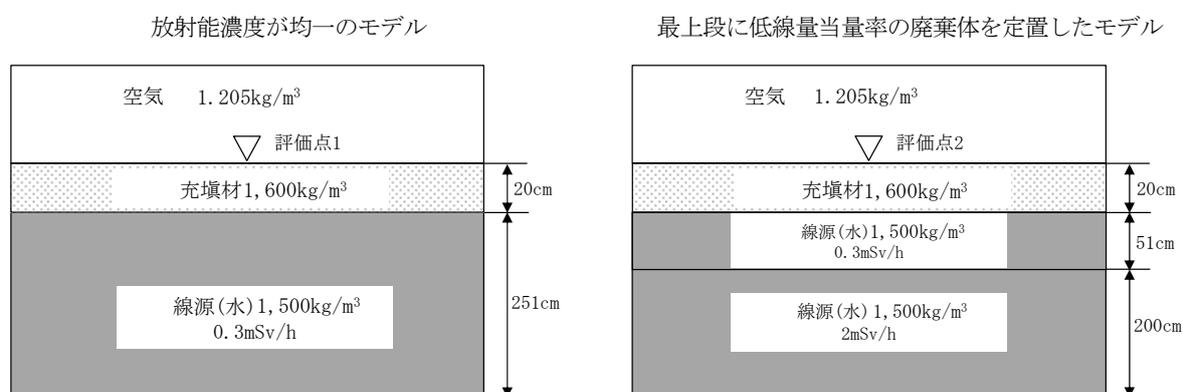
そのため、高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響を評価する。

ここで、埋設設備では、廃棄体は表積みで互い違いに積み上げられること等による間隙を有しており、間隙を通じて下段の廃棄体からの放射線の影響が考えられる。ここでは、充填済の状態を考えることとしていること及び計算モデルでは、同じ定置段の廃棄体と廃棄体の間隙を線源と設定していることから、保守的な条件となっている。

(1) 上面方向

計算モデルを第 1 図に示す。

ANISN により放射能濃度が均一なモデルで評価した線量率と、最上段に低線量当量率の廃棄体を定置したモデルでの線量率の比を算出すると、1.05 となる。



(高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響) = (評価点 2 の線量率) ÷ (評価点 1 の線量率)

第 1 図 高さ方向に異なる放射能濃度の廃棄体を定置する影響の評価モデル

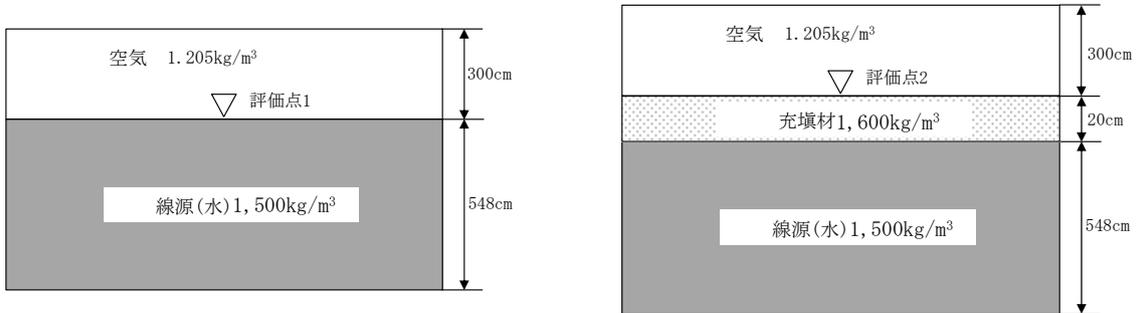
(2) 側面方向

側面方向の影響は、廃棄体の表面線量当量率の比及び段数の比から算出し、6.1 となる。

$$\frac{1\text{段}}{10\text{段}} \times \frac{0.3\text{mSv/h}}{0.3\text{mSv/h}} + \frac{9\text{段}}{10\text{段}} \times \frac{2\text{mSv/h}}{0.3\text{mSv/h}} = 6.1$$

2. セメント系充填材の影響

埋設設備においてスカイシャインガンマ線を評価する際の ANISN による角度別ガンマ線束は廃棄体のみの状態で計算している。そこで、ANISN により第 2 図に示す計算モデルにて、セメント系充填材の有無による線量率の比を算出すると、 1.16×10^{-1} となる。



$$(\text{セメント系充填材の影響}) = (\text{評価点 2 の線量率}) \div (\text{評価点 1 の線量率})$$

第 2 図 セメント系充填材の影響の計算モデル

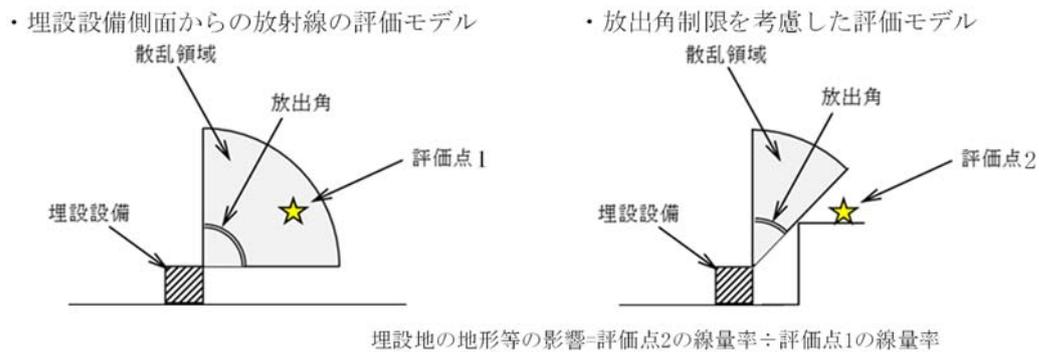
3. 廃棄物埋設地の地形等の影響

側面から放出されるスカイシャインガンマ線による線量は、周囲の地形等により放出角が制限されるため、その影響を考慮する。

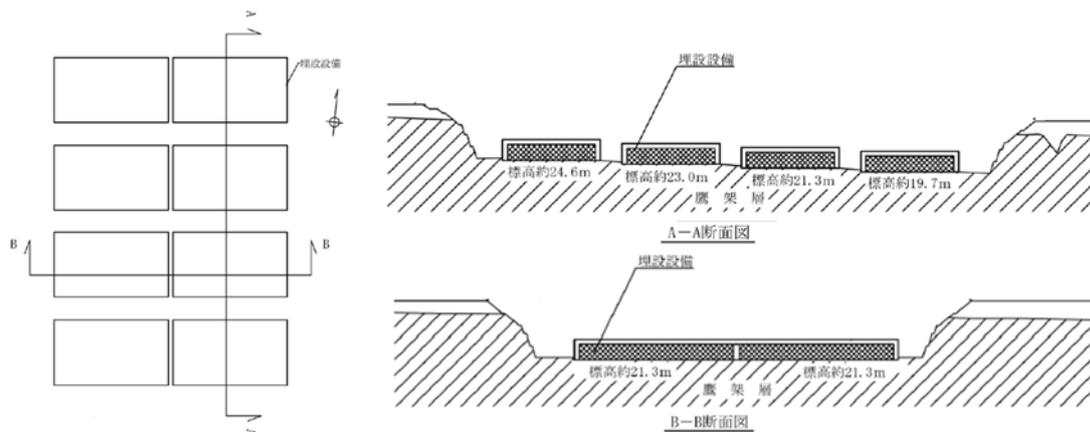
具体的には、第 3 図に示すように、側面から放出する放射線の放出角を水平 0° から上方 90° まで考慮するモデルと、放出角が制限された状態を考慮するモデルでの線量率の比を算出する。

放出角の制限において、側面からの放出は、第 4 図に示すように、廃棄物埋設地は北から南方向に傾斜があること及び埋設設備の周囲は方位別に状況が異なることから、方位別に評価する。

地形等の影響の算出結果を第 1 表に示す。



第 3 図 廃棄物埋設地の地形等の影響の計算モデル



第4図 廃棄物埋設地の傾斜 (3号廃棄物埋設地)

第1表 廃棄物埋設地の地形等の影響

埋設設備	北側	東側	南側	西側
No. 1	4.00×10^{-1}	6.79×10^{-1}	1	9.17×10^{-1}
No. 2	4.00×10^{-1}	9.17×10^{-1}	1	6.79×10^{-1}
No. 3	4.55×10^{-1}	6.79×10^{-1}	1	9.17×10^{-1}
No. 4	4.55×10^{-1}	9.17×10^{-1}	1	6.79×10^{-1}
No. 5	4.55×10^{-1}	6.79×10^{-1}	1	9.17×10^{-1}
No. 6	4.55×10^{-1}	9.17×10^{-1}	1	6.79×10^{-1}
No. 7	4.55×10^{-1}	6.79×10^{-1}	8.65×10^{-1}	9.17×10^{-1}
No. 8	4.55×10^{-1}	9.17×10^{-1}	8.65×10^{-1}	6.79×10^{-1}

線量評価結果

埋設設備は、安全機能が1基ごとに独立していることから、埋設設備1基ごとに評価を行う。また、廃棄物埋設地には埋設設備を8基設置することから、廃棄物埋設地全体についても評価する。

廃棄物埋設地全体での線量を評価する場合には、評価時点を全ての埋設設備の覆い設置が完了した時点とする。ここで3号廃棄物埋設施設の埋設計画(第1表)を参考とし、覆い完了からの期間がCo-60の半減期である約5年以上となる埋設設備(No.1~No.4)については、廃棄体に含まれる放射性物質の1半減期分の減衰を考慮する。

線量評価結果を第2表に示す。

第1表 3号廃棄物埋設施設の埋設計画

埋設設備	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	11年目	12年目
No.1	■											
No.2		■	■	■								
No.3				■	■	■						
No.4					■	■	■					
No.5						■	■	■	■			
No.6								■	■	■		
No.7									■	■	■	
No.8											■	■

■ 定置期間

第2表 線量評価結果

埋設設備	埋設設備ごとの線量 (μ Sv)	放射性物質の減衰係数 (-)	廃棄物埋設地全体の線量 (μ Sv)
No.1	14.4	0.5	7.2
No.2	15.8	0.5	7.9
No.3	9.4	0.5	4.7
No.4	10.1	0.5	5.1
No.5	5.7	1.0	5.7
No.6	6.4	1.0	6.4
No.7	3.6	1.0	3.6
No.8	4.0	1.0	4.0
		合計	約45

計算コードの概要について

1. 被ばく評価に使用する計算コード

コード名	概要
QAD-CGGP2R (Ver. 1.04)	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分法計算機コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>線源及び遮蔽体を直方体、円筒、球などの三次元形状で模擬した計算体系でガンマ線の実効線量率及び空気カーマ率等を計算することができる。</p> <p>ベンチマーク実験による検証*1が実施されており、普通コンクリートを透過する線量率の保守的な評価が実施できる妥当な計算コードであることを確認している。</p> <p>*1「JAERI-M 86-060 再処理施設の放射線遮蔽安全ガイド資料」、日本原子力研究所(1986)</p>
ANISN (ANISN-ORNL)	<p>米国オークリッジ国立研究所で開発された一次元ボルツマン輸送方程式を離散角度(Sn)法に基づいて数値計算により解くコードである。</p> <p>線源及び遮蔽体を無限平板、無限円柱及び球の一次元形状で模擬した計算体系でガンマ線及び中性子の放射線束を計算することができる。</p> <p>別計算コード「DOT(二次元Sn法)」による検証*2が実施されており、固体廃棄物保管庫天井から漏れいするガンマ線束の計算結果が両者よく一致していることを確認している。</p> <p>*2「原子炉施設からのスカイシャイン線量評価手引」、財団法人原子力安全研究協会(昭和54年3月)</p>
G33-GP2R (Ver. 1.0)	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム「G33」をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量率等を計算できるように改良したバージョンである。</p> <p>点線源からの1回散乱ガンマ線による実効線量率及び空気カーマ率等を計算することができる。スカイシャイン野外実験による検証*3が実施されており、線源の上部に遮蔽がない計算形状でスカイシャイン線量の計算値と実測値がよく一致するが、天井遮蔽があるケースでは、計算値は過小評価となる。この原因は、G33コードが天井透過中の散乱成分を考慮していないためであり、これを考慮するため、天井遮蔽までをANISNで計算することを推奨している。今回の評価においては、この手法を採用している。</p> <p>*3「ガンマ線遮蔽設計ハンドブック」、社団法人日本原子力学会(1988年1月)</p>

2. 結果の検証等に使用する計算コード

コード名	概要
MCNP5 (Ver1.6)	<p>米国ロスアラモス国立研究所で開発されたボルツマン輸送方程式をモンテカルロ法で解く中性子、ガンマ線及び中性子とガンマ線の結合系を対象とする汎用の連続エネルギーモンテカルロ輸送計算コードである。</p> <p>幾何形状は、主に面で区切られたセルによって構成される。セルは、平面及び二次局面を示す陰関数の値の正負で空間を区切ることにより定義され、設定の自由度が大きく、通常の遮蔽計算に使用される形状程度であれば、そのままモデル化が可能なこと、粒子の輸送計算に使用される断面積はポイントワイズ断面積データを使用するため、群構造に起因する誤差が発生しない等の特徴がある。</p> <p>米国では、使用済燃料貯蔵施設の審査指針である NUREG-1567 において、遮蔽解析ツールとして記載されている。</p> <p>我が国においても使用済燃料貯蔵施設において許認可実績も有している。</p> <p>計算に使用する断面積ライブラリはユーザーがコードに付属しているライブラリから任意に選択が可能であり、今回の検証に使用したライブラリは、コード付属の ENDF/B-VI ベースの最新ライブラリである。</p>

地震による廃棄体の損傷を仮定した
内部被ばく線量評価

目 次

1. はじめに	1
2. 想定する事象	1
(1) 放射性物質の飛散	1
3. 線量評価	1
(1) 内部被ばく評価に用いる放射エネルギーの設定	1
(2) 評価条件の設定	1
(3) 線量評価	1
(4) 線量評価結果	2
4. 線量評価パラメータ設定根拠	2
(1) 想定事故時の相対濃度	2
(2) 線量評価におけるパラメータ一覧	26

1. はじめに

地震により埋設設備の漏出防止機能が喪失するとともに、埋設設備に埋設した廃棄体が損傷し、廃棄体から放射性物質が飛散することを仮定して、廃棄体から飛散した放射性物質を吸入摂取する公衆の内部被ばく線量を評価する。

2. 想定する事象

(1) 放射性物質の飛散

埋設設備が損傷し、外周仕切設備及び覆いが有する漏出防止機能が喪失するとともに、地震によって損傷した廃棄体から放射性物質が飛散し、埋設設備外に漏えいすることを想定する。

3. 線量評価

地震により漏出防止機能が喪失した際の、飛散した放射性物質の吸入摂取による公衆の内部被ばくを評価する。

(1) 内部被ばく評価に用いる放射エネルギーの設定

3号埋設設備1基に埋設する廃棄体は、400本/区画×66区画=26,400本である。また、廃棄物埋設地には埋設設備を8基設置することから、廃棄物埋設地全体での線量を評価する場合には、211,200本を損傷の影響を受けるおそれがある廃棄体本数とする。

埋設設備1基当たりの放射エネルギーは、総放射エネルギーの1/8倍とする。

(2) 評価条件の設定

埋設設備に定置した全ての廃棄体が地震により損傷するものとし、影響を受ける廃棄体の割合を1、衝撃による放射性物質の飛散を考慮し、飛散率（大気への移行割合）を 10^{-5} 、飛散した放射性物質の全量が漏えいするものとし、環境中へ漏えいする割合を1と設定する。

第1表 評価条件の設定

想定する事象	影響を受ける廃棄体の割合	大気への移行割合	環境中へ漏えいする割合
放射性物質の飛散	1	10^{-5}	1

(3) 線量評価

「(1) 内部被ばく評価に用いる放射エネルギーの設定」及び「(2) 評価条件の設定」にて設定した値を用いて、以下の式で被ばく線量を算出する。また、内部被ばく評価に用いたパラメータは「4. 線量評価パラメータ設定根拠」に示す。

(i) 漏えいする核種ごとの放射エネルギー

漏えいする核種ごとの放射エネルギー＝

埋設設備1基当たりの放射エネルギー×影響を受ける廃棄体の割合

×大気への移行割合×環境中へ漏えいする割合

(ii) 放射性物質の飛散

【周辺監視区域境界での核種ごとの放射能濃度】

周辺監視区域境界での核種ごとの放射能濃度＝

漏えいする核種ごとの放射エネルギー×相対濃度 (x/Q)

【被ばく線量】

被ばく線量 = Σ 周辺監視区域境界での核種ごとの放射能濃度 \times 呼吸率 \times 線量換算係数

(4) 線量評価結果

飛散した放射性物質の吸入摂取による公衆の内部被ばくの評価結果は、埋設設備 1 基で約 3.1 μ Sv となった。また、廃棄物埋設地全体では埋設設備 8 基で約 25 μ Sv となった。

想定する事象		線量評価結果 (μ Sv)
放射性物質の飛散	埋設設備 1 基	約 3.1
	廃棄物埋設地全体	約 25

4. 線量評価パラメータ設定根拠

線量評価に使用するパラメータを設定する。

なお、線量評価に用いるパラメータは、「(1) 想定事故時の相対濃度」及び「(2) 線量評価におけるパラメータ一覧」に示すとおり、想定事故時の線量評価で用いるパラメータと同様に設定する。

(1) 想定事故時の相対濃度

「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」⁽¹⁾ (以下「気象指針」という。) に従い評価した、想定事故時(重大事故及び仮想事故)の線量評価に使用する相対濃度(χ/Q)の算出結果を示す。

濃縮・埋設事業所敷地(以下「敷地」という。)において観測した至近 11 年間(2006 年 4 月から 2017 年 3 月まで(以下「2006 年度～2016 年度」という。))の気象観測資料のうち、他の年と比較して異常のない最新年度の気象観測資料を確認するために異常年検定を行い、異常年検定の結果として異常がないことを確認した 2015 年 4 月から 2016 年 3 月までの 1 年間(以下「2015 年度」という。)の気象観測資料を用いて、3 号廃棄物埋設地について相対濃度の評価を行った。

<要旨>

- ・ 至近 11 年間(2015 年度)の気象観測資料を用いて異常年検定を行った結果、異常ではない最新の気象観測資料は 2015 年度のものであることを確認した。
- ・ 敷地で観測した 2015 年度の気象観測資料により 3 号廃棄物埋設地について相対濃度計算を行ったところ、3 号廃棄物埋設地は 3.0×10^{-4} s/m³(ESE)であった。

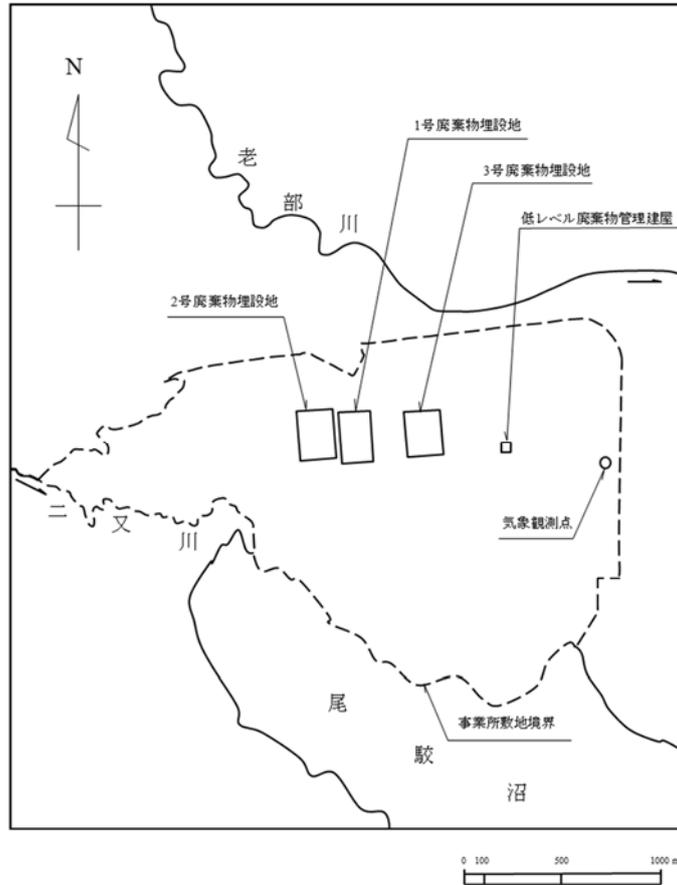
(i) 気象観測資料

相対濃度の設定には、敷地内で得られたある 1 年間の気象観測資料(1 時間ごとに観測)が必要である。ここでは、敷地内の気象観測点で観測された気象観測資料の確認を行う。

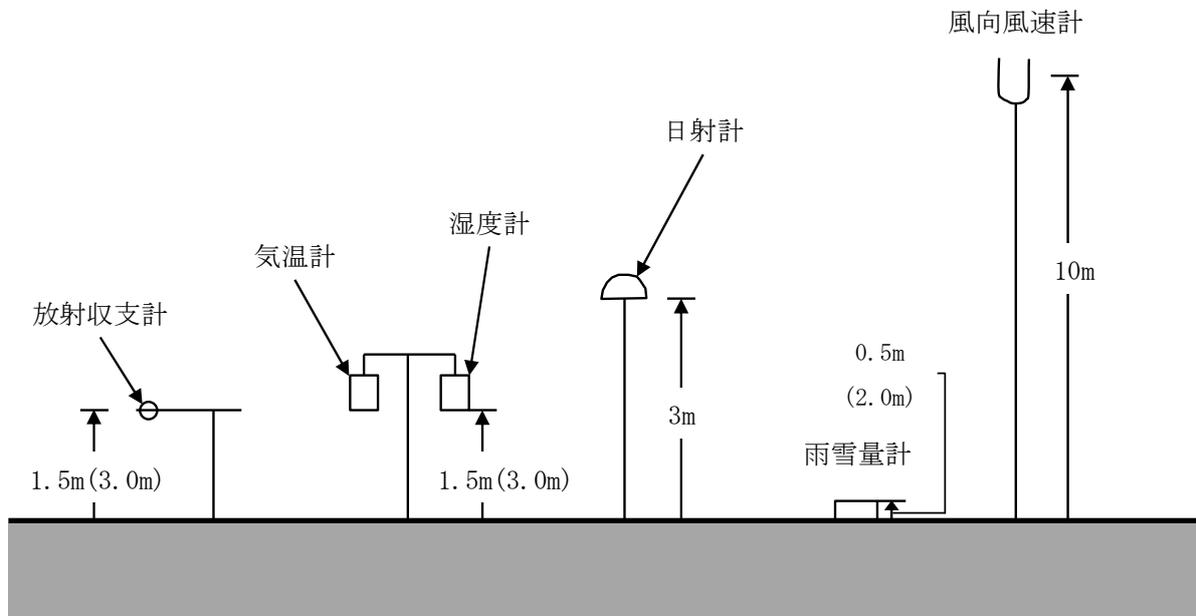
(a) 敷地内の気象観測点

敷地を代表する地上風の資料を得るため、敷地内の露場(標高 34m)に観測柱を設置し、地上高 10m(標高 44m)で風向風速の観測を行っている。この観測点は、周囲に標高の高い建物や樹木等の障害物の影響を受けることがなく平坦地で開けている。

大気安定度を求めるため、風速については、地上風を代表する観測点で測定している。日射量及び放射収支量については、露場の観測点で測定している。敷地内の気象観測点の位置を第 1 図、気象観測機器配置図を第 2 図に示す。



第1図 敷地内の気象観測点の位置



敷地内露場

標高：34m

()内は、積雪期の高さを示す。

第2図 気象観測機器配置図

(b) 気象観測機器

敷地内で使用している気象観測機器の種類、観測位置及び観測期間を第2表に示す。また、気象観測に関する気象指針の要求を第3表に示す。

気象観測機器は第3表に示す測定値の最小位数を測定できるものを使用している。気象観測機器は気象業務法に基づく気象庁検定を受けている。また、放射収支計は気象庁の検定項目にないため、当社で定期的に検査を行っている。

なお、放射収支計以外の気象観測機器についても定期的な検査を実施している。

したがって、本気象観測機器で観測した気象観測資料を評価に用いることは妥当である。

第2表 気象観測機器の種類、観測位置及び観測期間

観測項目	観測位置			気象観測機器 又は観測方法	観測期間
	場 所	地上高*1 (m)	標 高*1 (m)		
風向風速	敷地内露場	10	44	超音波式風向風速計	1985年12月～継続
日射量	敷地内露場	3	37	熱電対式日射計	1985年12月～継続
放射収支量	敷地内露場	1.5(3.0)	35.5(37.0)	熱電対式放射収支計	1985年12月～継続
降水量	敷地内露場	0.5(2.0)	34.5(36.0)	転倒マス型雨雪量計	1985年12月～継続
気温	敷地内露場	1.5(3.0)	35.5(37.0)	白金測温抵抗体気温計	1985年12月～継続
湿度	敷地内露場	2.0	36.0	作動トランス式 毛髪型温湿度計	1985年12月 ～2005年3月
		1.5(3.0)	35.5(37.0)	電気式湿度計	2005年3月～継続

*1：地上高及び標高欄の()内の数値は積雪期の高さ。

第3表 気象指針の通常観測の要求

観測項目	気象観測機器	測定の単位	測定値の最小位数	測定高度等
風向	風向計又はドップラーソーダ	16方位として設定	1	(1)敷地を代表する地上風の風向及び風速は、地上約10mの高さで測定し、風向計及び風速計を使用する。 (2)排気筒放出に係る高所の風向及び風速は、それを代表する高さで測定し、その測定器としては、風向計及び風速計又はドップラーソーダを使用する。
風速	風速計又はドップラーソーダ	m/s	1/10	なお、風向計及び風速計として風車型風向風速計を使用する場合には、微風向計及び微風速計を併せて使用することとする。
日射量	日射計	kW/m ²	1/100	原則として、露場の地上約1.5mの高さ。
放射収支量	放射収支計	kW/m ²	1/500	露場の地上約1.5mの高さ。

(c) 2015年度の気象観測資料

a) 欠測率

相対濃度は、風向及び風速並びに大気安定度(日射量、放射収支量及び風速によって定義される)に依存するため、これらの気象要素が同時に測定できなかった時刻の気象資料では相対濃度を求めることができない。したがって、気象指針では、風向及び風速並びに大気安定度のいずれかの気象要素が欠測の場合には、当該時刻の気象観測資料は欠測扱いとすることとされている。

また、気象指針では、相対濃度評価に用いる気象観測資料に対し、以下の事項が要求されている。

- ・ 連続した12ヶ月間における欠測率は、原則として10%以下とする。
- ・ 連続した30日間において欠測率が30%以下になるように努めなければならない。

2015年度の気象観測資料の欠測率は、第4表に示すとおり、連続した12ヶ月間において0.35%である。連続した30日間において最大の欠測率は2.08%である。

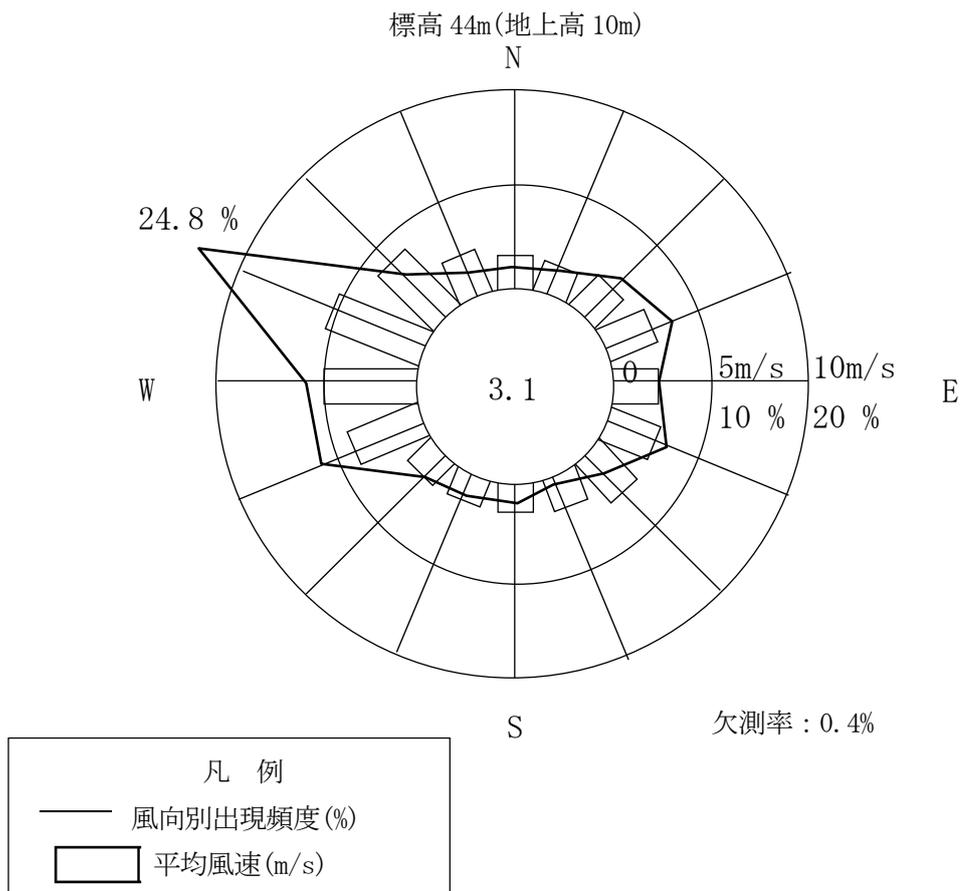
第4表 2015年度の気象観測資料の欠測率

月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
欠測データ数(-)	0	2	0	0	0	15	2
欠測率(%)	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	2.08	0.27
月	11月	12月	1月	2月	3月	計	-
欠測データ数(-)	1	5	5	1	0	31	
欠測率(%)	0.14	0.67	0.67	0.14	0.00	0.35	

b) 風向

年間及び月別の風配図を第3図、第4図及び第5図に示す。

これらによると、5月～9月にかけては東寄りの風が多いが、その他の月は年間を通じて西寄りの風が多い。



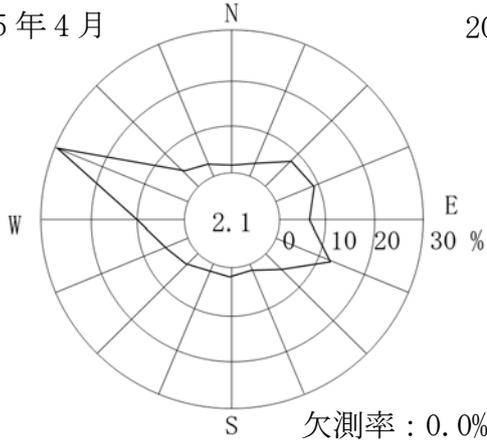
注1: 小円内の数字は静穏の頻度(%)を示す。

第3図 敷地の風配図(全年: 2015年4月～2016年3月)

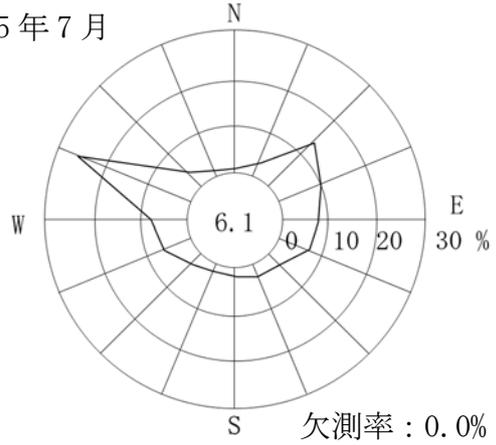
標高 44m(地上高 10m)

標高 44m(地上高 10m)

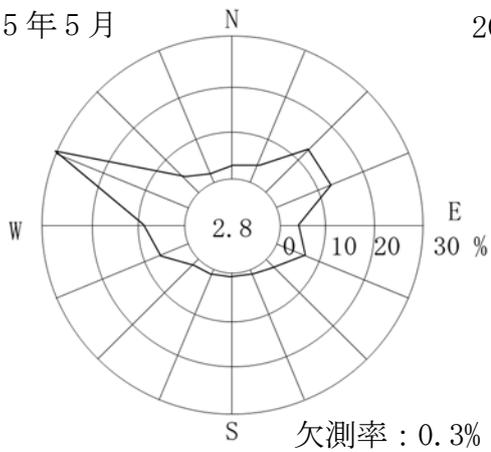
2015年4月



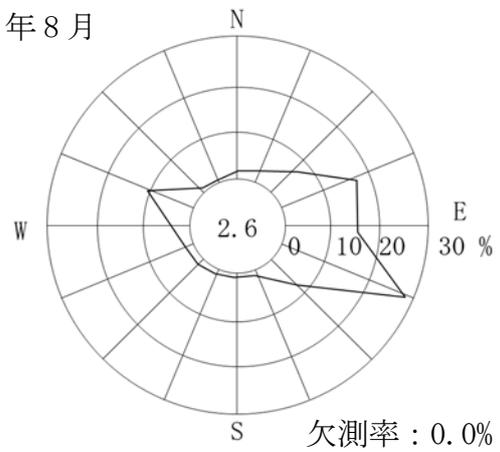
2015年7月



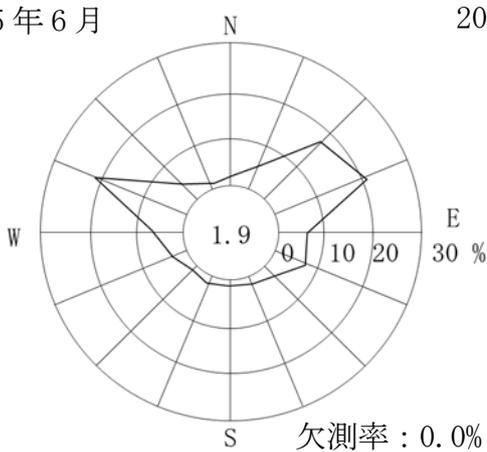
2015年5月



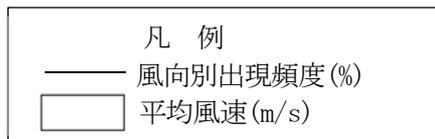
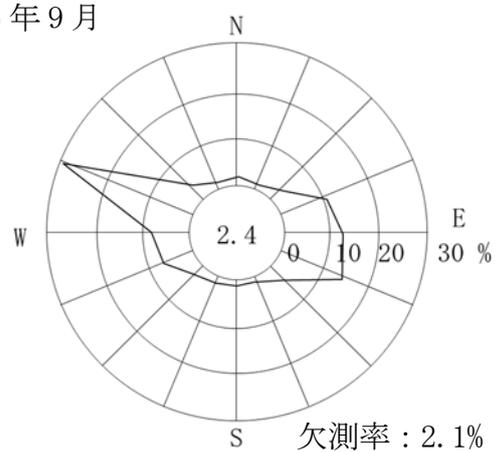
2015年8月



2015年6月



2015年9月



注1 : 小円内の数字は静穏の頻度(%)。

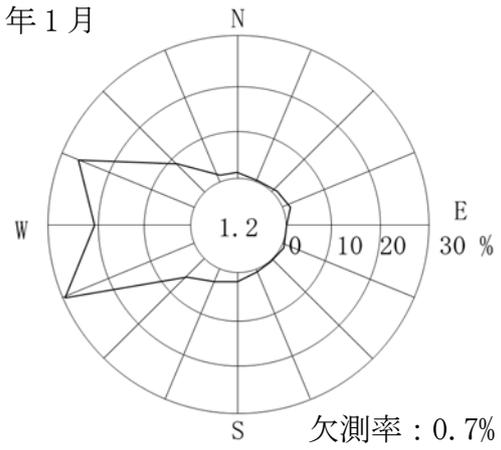
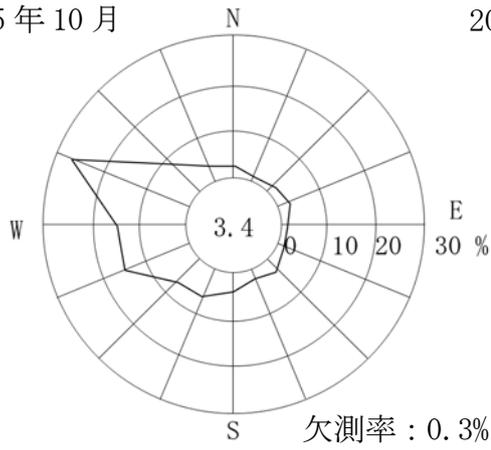
第4図 敷地の風配図(2015年4月~2015年9月)

標高 44m(地上高 10m)

標高 44m(地上高 10m)

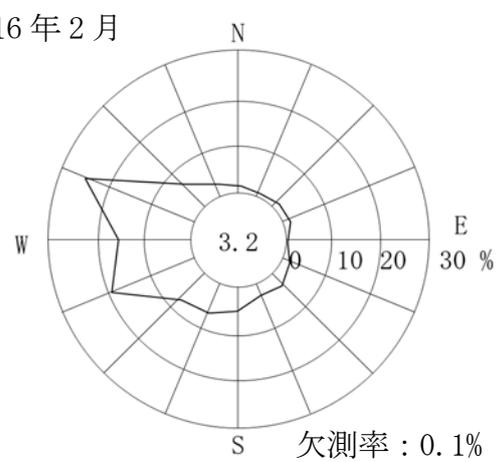
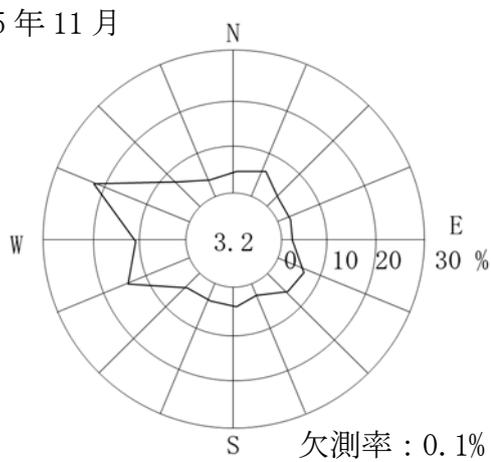
2015 年 10 月

2016 年 1 月



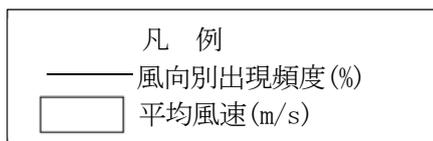
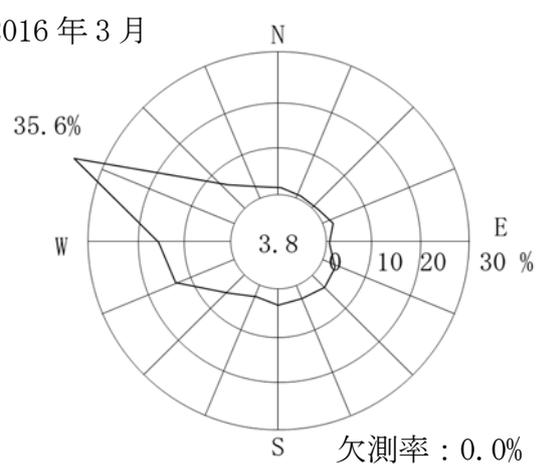
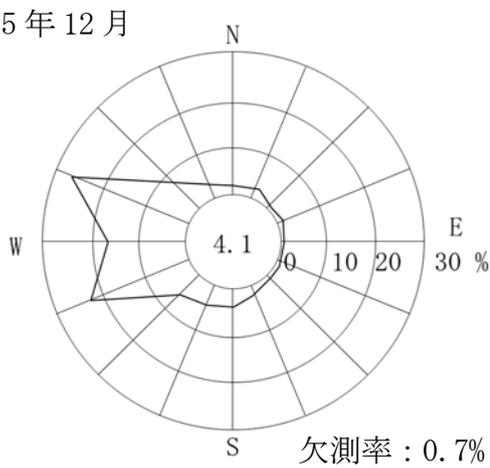
2015 年 11 月

2016 年 2 月



2015 年 12 月

2016 年 3 月



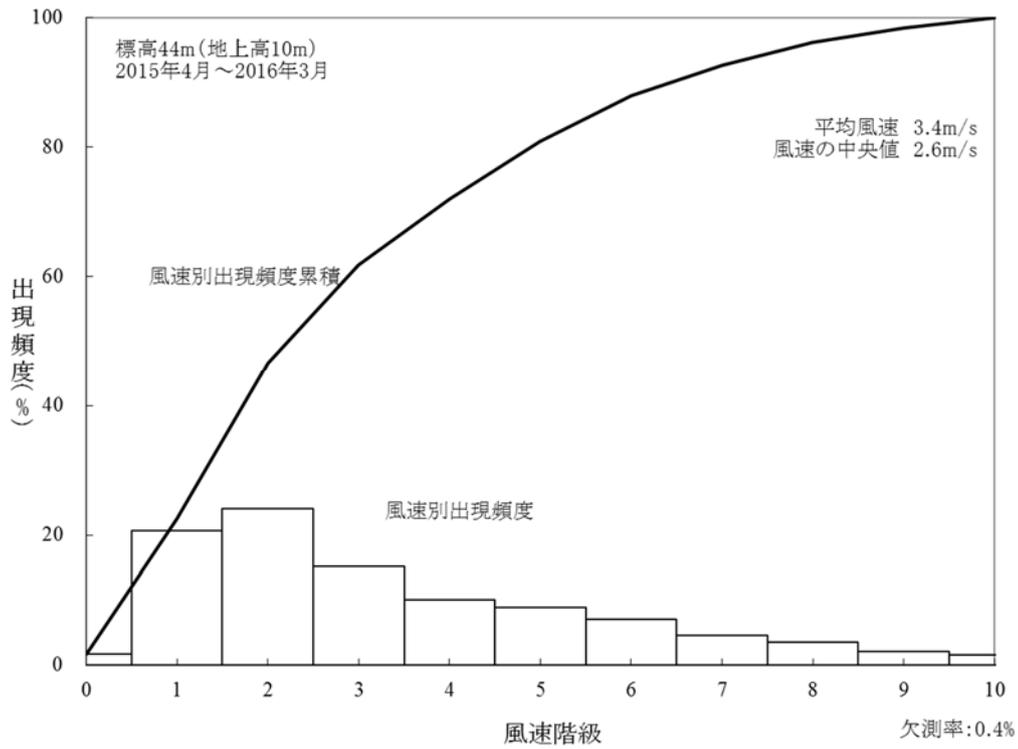
注 1 : 小円内の数字は静穏の頻度 (%)。

第 5 図 敷地の風配図 (2015 年 10 月 ~ 2016 年 3 月)

c) 風速

2015年度の年間風速別出現頻度及び風速別出現頻度累積を第6図、月別風速別出現頻度を第7図及び第8図に示す。

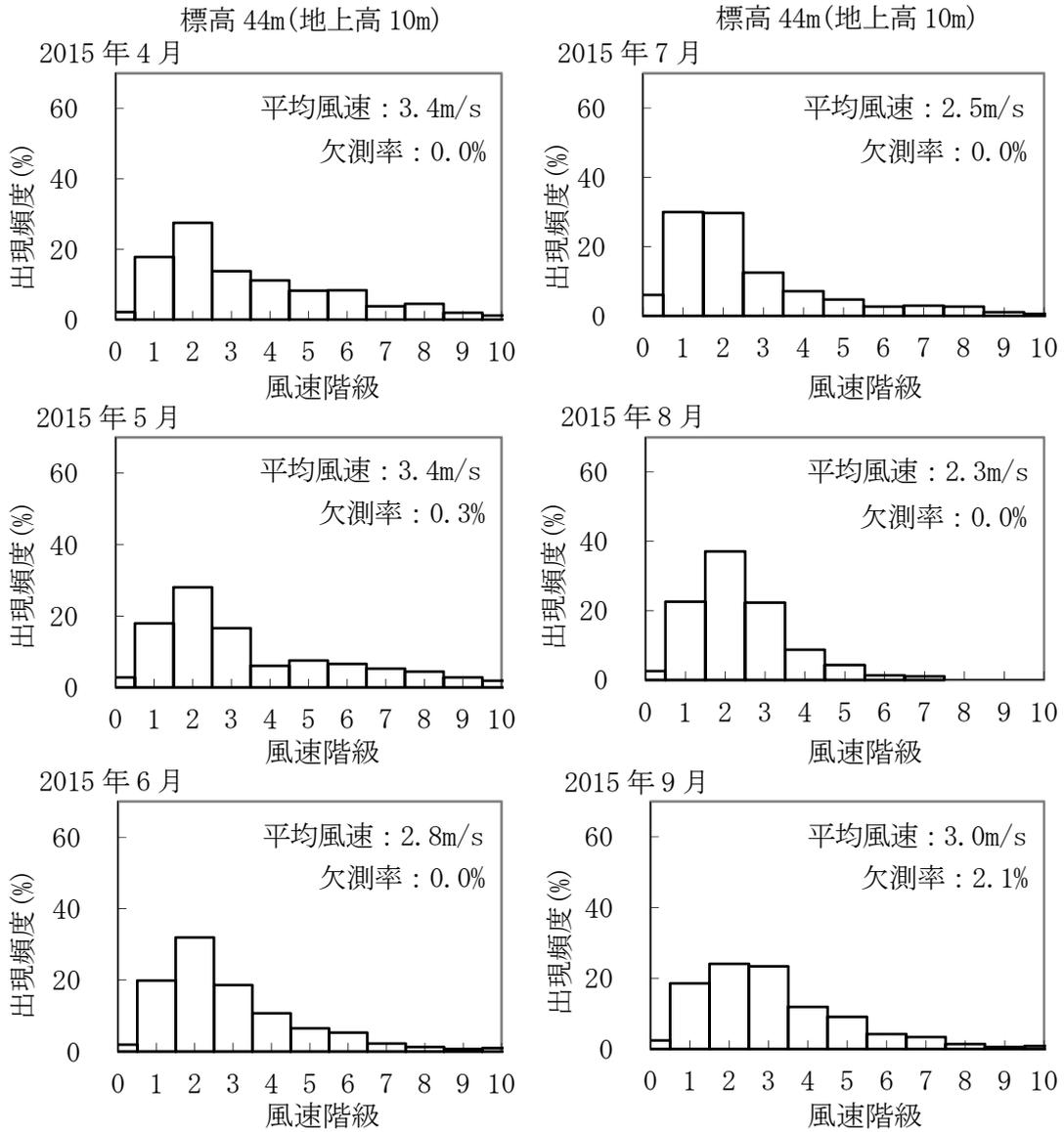
これらによると、年平均風速は3.4m/sであり、各月の風速階級の出現頻度は0.5m/s～3.4m/sの範囲の風速が多くなっている。また、静穏(風速0.5m/s未満)の年間出現頻度は、3.1%である。



凡 例

風速階級	風速 (m/s)	風速階級	風速 (m/s)
0	0.0～0.4	6	5.5～6.4
1	0.5～1.4	7	6.5～7.4
2	1.5～2.4	8	7.5～8.4
3	2.5～3.4	9	8.5～9.4
4	3.5～4.4	10	9.5 以上
5	4.5～5.4		-

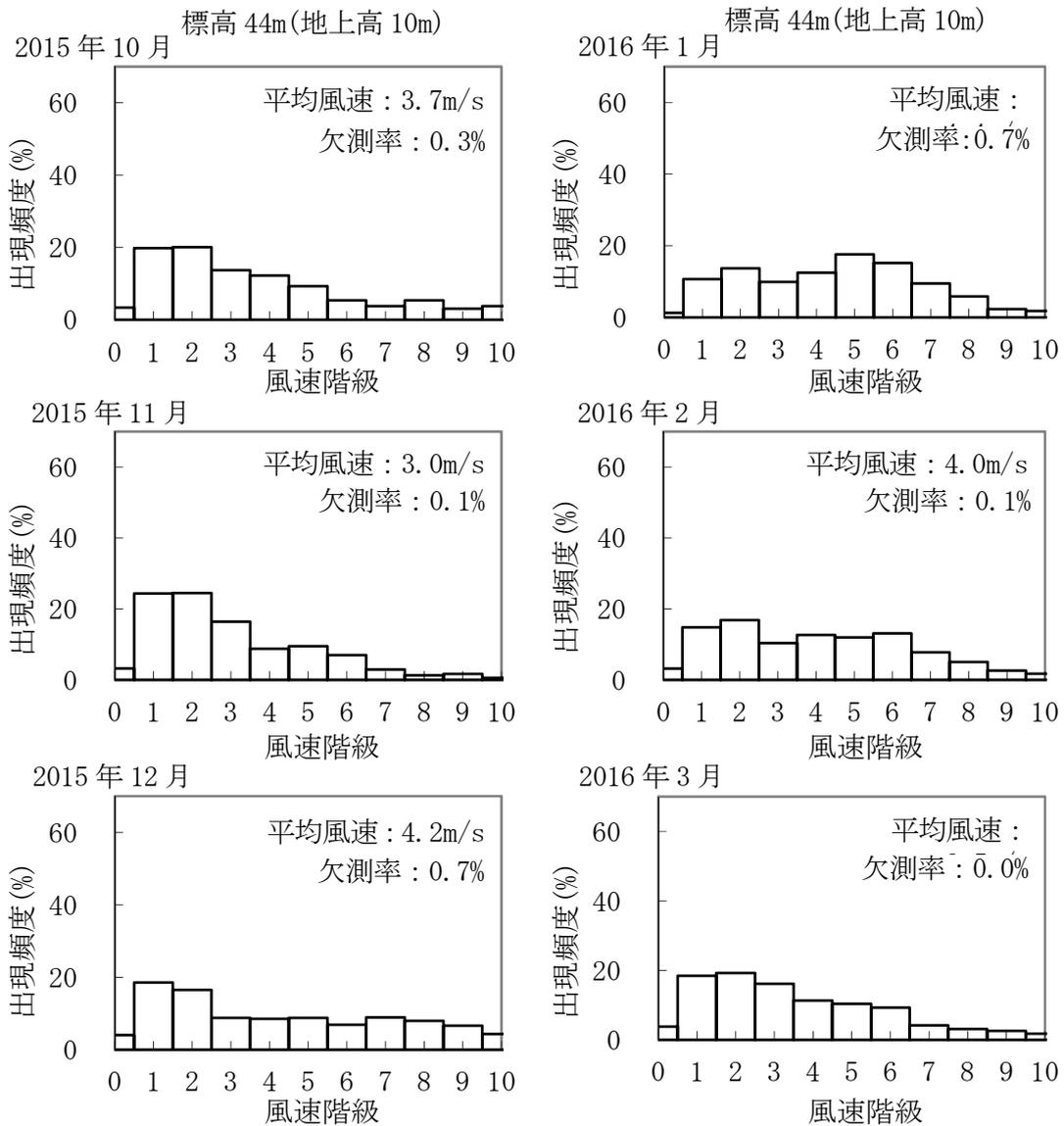
第6図 年間風速別出現頻度及び風速別出現頻度累積(標高44m、地上高10m)



凡 例

風速階級	風速(m/s)	風速階級	風速(m/s)
0	0.0~0.4	6	5.5~6.4
1	0.5~1.4	7	6.5~7.4
2	1.5~2.4	8	7.5~8.4
3	2.5~3.4	9	8.5~9.4
4	3.5~4.4	10	9.5 以上

第7図 月別風速別出現頻度(2015年4月~2015年9月)



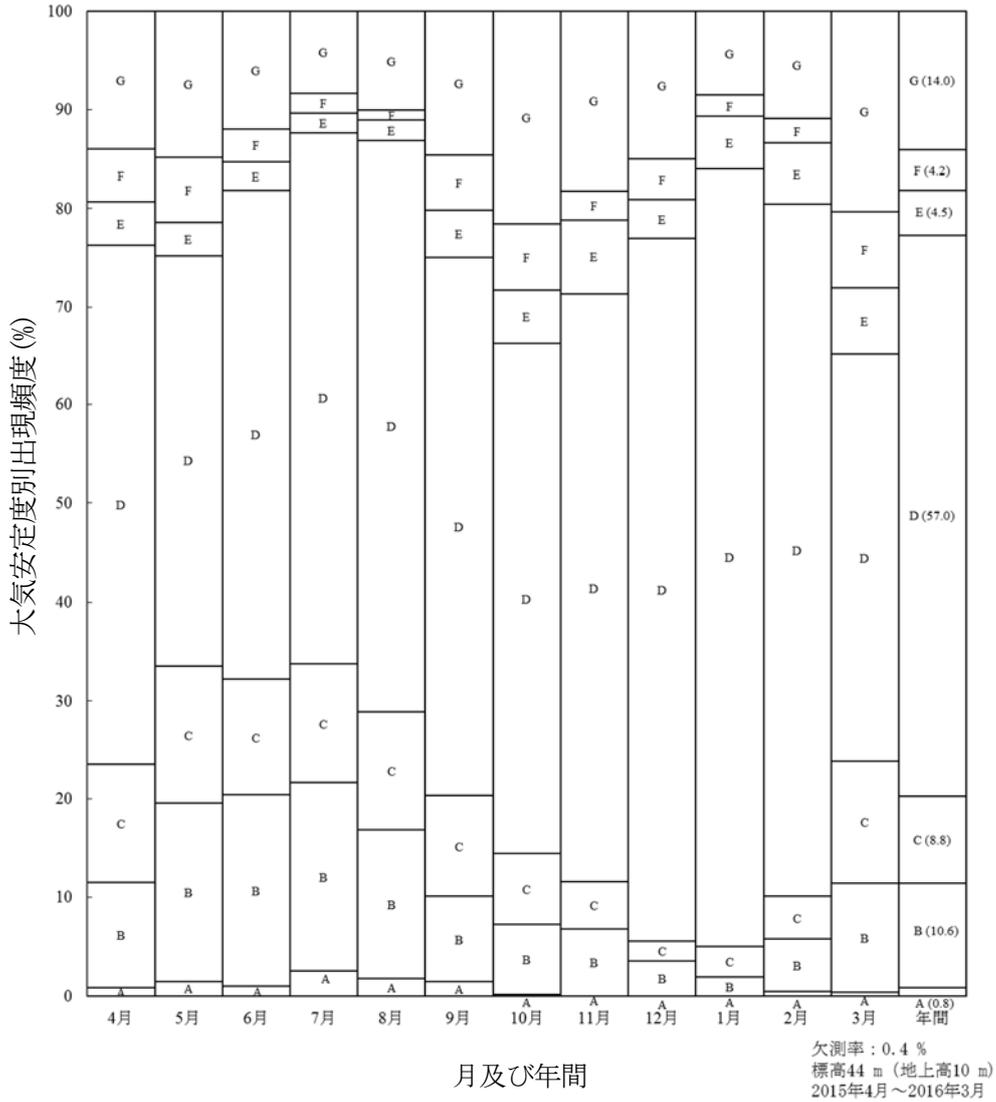
凡 例

風速階級	風速(m/s)	風速階級	風速(m/s)
0	0.0~0.4	6	5.5~6.4
1	0.5~1.4	7	6.5~7.4
2	1.5~2.4	8	7.5~8.4
3	2.5~3.4	9	8.5~9.4
4	3.5~4.4	10	9.5 以上
5	4.5~5.4		-

第8図 月別風速別出現頻度(2015年10月~2016年3月)

d) 大気安定度

日射量、放射収支量及び地上高 10m(標高 44m)の風速の観測資料を基に気象指針に準拠して大気安定度の分類を行った。2015年度の年間出現頻度は、A型～C型は20.3%、D型(C-D型含む)は57.0%、E型～G型は22.7%である。D型は年間を通じて出現頻度が多く、A型～C型は5月～9月に比較的多くなっており、E型～G型は3月～5月及び9月～11月に多くなっている。第9図に月別及び年間大気安定度別出現頻度を示す。



注1：年間大気安定度別出現頻度の値は、四捨五入した値を記載している。

第9図 月別及び年間大気安定度別出現頻度

(ii) 異常年検定

相対濃度を算出するには、敷地内で得られたある 1 年間の気象観測資料(1 時間ごとに観測)を用いる必要がある。この気象観測資料を選定するに当たり、敷地の気象の代表性(異常のないこと)を検討する必要があるため、異常年検定を実施する。気象観測資料について、検定年度(1 年間)及び比較年度(10 年間)は至近 11 年間(2006 年度～2016 年度)のものを用いる。

(a) 異常年検定の方法

異常年検定は不良標本の棄却検定に関する F 分布検定の手順に従って行った。この方法は、正規分布をなす母集団に属すると考えられる標本のうち、不良標本を X_0 、その他のものを $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ とした場合、 X_0 を除く他の n 個の標本の平均を \bar{X} として、標本の分散から見て \bar{X} と X_0 の差が有意ならば X_0 は $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ と同じ集団には属しないと判断する方法である。以下にその手順を示す。

①仮説 H_0 : 不良標本(X_0)と他の標本(\bar{X})との間に有意な差はないとする。

$$H_0 : X_0 = \bar{X} \quad (\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n)$$

② F_0 を計算する。

$$F_0 = (n-1)(X_0 - \bar{X})^2 / (n+1)S^2$$

ただし、

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n$$

③自由度 $\nu_1 = 1$ 、 $\nu_2 = n-1$ を求める。

④有意水準(危険率) α を決めて、F 分布表により $F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha)$ の値を求める。

⑤ F_0 と $F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha)$ を比較して

$$F_0 \geq F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha) \text{ ならば仮説棄却 : } H_0 : X_0 = \bar{X} \text{ は棄却}$$

$$F_0 < F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha) \text{ ならば仮説採択 : } H_0 : X_0 = \bar{X} \text{ は採択}$$

とする。

⑥危険率 α での棄却限界を求めるには $F_0 = F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha)$ とおいて X_0 を計算すればよいので、

$$X_0 = \bar{X} \pm S \sqrt{\{(n+1)/(n-1)\} \cdot F_{\nu_2}^{\nu_1}(\alpha)}$$

危険率 α の値は、仮説の採択又は棄却の判断にどの程度誤りを許容するかによって変える必要があるが、一般に 5% と考えておけばよいと考えられる。

(b) 異常年検定の検定項目

相対濃度は、風向及び風速並びに大気安定度(日射量、放射収支量及び風速によって定義さ

れる)に依存する。つまり、相対濃度評価に用いる気象観測資料として異常がないことの必要条件は、敷地で観測した気象要素の異常年検定において風向及び風速並びに大気安定度に異常がないことである。

一方、異常年検定の検定項目として大気安定度は要求されていない。そのため、風向及び風速を異常年検定に用いる気象要素とする。

また、複数の気象観測資料を比較するに当たり、気象観測資料ごとに欠測数等が異なることによって出現回数による比較は困難となるため、風向別出現頻度及び風速別出現頻度を異常年検定の検定項目とする。

(c) 検定の判定基準

異常年検定において検定対象に異常がないとする判定基準は、以下の方針で実施する。

異常年検定は通常危険率 5%で行われる。つまり、異常でないと考えられる年でも確率的に「20 個に 1 個」は異常と判定される可能性がある。

そこで異常でないと考えられる年について異常と判定される項目数とその確率を計算した。 n 個の項目が異常と判定される確率 $P(n)$ は、次式から求められる。ここで、危険率は 5%、検定項目は 28 項目 (風向 16 方位 + 静穏 + 風速 11 階級) とした。

$$P(n) = {}_{28}C_n \times (1-0.95)^n \times (0.95)^{28-n}$$

計算結果を下表に示す。

異常と判定された項目数	確率(%)	異常でない確率(%) (下から累積)	備考
0	23.78	100.00	異常年と判定 されない範囲 
1	35.05	76.22	
2	24.90	41.17	
3	11.36	16.27	
4	3.74	4.91	
5	0.94	1.17	
6	0.19	0.23	
7	0.03	0.04	
8	0.00	~0	
9	0.00	~0	
10	0.00	~0	異常年と判定 される範囲

上表によれば、4項目以上が「異常」と判定される確率は、約4%以下と全て5%未満であり、3項目以下では約11%~約35%以上の確率で「異常」と判定される可能性があることになる。

このため、現在の28項目について、異常年検定で判定に使用している危険率5%とのバランスを考え、4個以上の項目が「異常」と判定された場合は、その年全体を異常と判定することが妥当であると考えられる。

(d) 異常年検定結果

2015年度の風向別出現頻度の検定結果を第5表、風速別出現頻度の検定結果を第6表に示す。2015年度の検定項目のうち異常と判断されたものはなかったため、「c. 検定の判定基準」に従い、2015年度の気象観測資料は2006年度から2016年度(ただし2015年度を除く。)と比較して異常がなく、敷地の気象の代表性を有していると判断した。

第5表 風向別出現頻度の検定結果(2015年度)

観測場所：敷地内露場(地上高10m、標高44m)(%)

風向	比較年度												検定年度	棄却限界		判定*1
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	平均値 \bar{X}	標準偏差 S	2015	上限	下限	
N	2.32	1.90	2.02	2.60	2.63	2.50	2.63	3.40	2.20	2.37	2.46	0.40	1.90	3.45	1.47	○
NNE	3.33	2.82	3.42	4.00	4.65	5.68	5.65	4.88	5.06	2.75	4.22	1.06	2.40	6.87	1.58	○
NE	5.52	4.16	6.15	5.41	7.37	7.13	9.31	8.83	7.35	6.07	6.73	1.50	5.58	10.49	2.97	○
ENE	8.92	6.72	8.25	8.34	9.15	8.88	9.02	8.69	6.85	7.62	8.24	0.85	7.36	10.36	6.13	○
E	7.50	6.86	6.49	5.90	3.97	5.85	6.31	5.50	5.28	5.29	5.89	0.93	4.51	8.21	3.57	○
ESE	7.18	9.01	7.05	6.19	5.22	5.10	4.88	4.26	4.39	6.71	6.00	1.43	6.95	9.57	2.43	○
SE	4.44	3.79	4.30	4.21	2.13	1.99	2.37	1.47	2.44	3.29	3.04	1.04	3.35	5.64	0.45	○
SSE	1.20	1.22	1.71	2.47	3.20	2.58	2.80	2.34	2.13	2.02	2.17	0.62	1.59	3.72	0.62	○
S	2.43	3.01	3.75	3.40	2.63	2.28	2.53	2.11	2.47	2.52	2.71	0.49	2.20	3.95	1.48	○
SSW	2.38	3.57	3.09	2.76	2.37	2.02	1.82	2.03	2.09	2.36	2.45	0.52	2.57	3.74	1.15	○
SW	2.60	3.16	3.73	4.30	3.94	3.54	3.04	3.00	3.33	2.73	3.34	0.51	3.54	4.62	2.05	○
WSW	5.99	6.65	6.60	11.31	12.83	11.36	10.88	11.27	9.31	7.39	9.36	2.36	11.30	15.27	3.45	○
W	14.31	15.60	15.09	14.22	15.23	14.75	14.66	16.60	14.47	9.26	14.42	1.85	11.05	19.04	9.80	○
WNW	20.11	20.46	19.15	15.76	14.52	16.31	15.26	16.16	20.22	25.28	18.32	3.16	24.79	26.22	10.43	○
NW	7.80	7.57	5.81	5.13	5.37	5.43	4.87	4.78	6.95	7.69	6.14	1.17	5.71	9.06	3.22	○
NNW	2.82	2.10	1.96	2.50	2.66	2.68	2.40	2.90	2.32	3.06	2.54	0.33	2.15	3.37	1.71	○
Calm	1.14	1.39	1.43	1.50	2.14	1.91	1.57	1.78	3.14	3.61	1.96	0.76	3.06	3.87	0.06	○

*1：○は「異常でない」、×は「異常」を示す。

第6表 風速別出現頻度の検定結果(2015年度)

観測場所：敷地内露場(地上高10m、標高44m)(%)

階級	風速 (m/s)	比較年度												検定 年度	棄却限界		判定*1
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	平均値 \bar{X}	標準 偏差 S	2015	上限	下限	
0	0.0-0.4	1.14	1.39	1.42	1.50	2.14	1.91	1.57	1.78	3.14	3.61	1.96	0.76	3.06	3.87	0.06	○
1	0.5-1.4	15.94	16.82	17.24	18.44	20.08	19.34	18.38	19.21	18.26	22.04	18.58	1.65	19.47	22.70	14.45	○
2	1.5-2.4	20.91	21.54	23.84	23.63	23.41	20.69	24.23	23.25	24.28	24.08	22.99	1.32	24.12	26.30	19.68	○
3	2.5-3.4	18.17	16.09	16.25	17.04	16.45	17.15	18.30	18.14	16.35	15.12	16.91	1.00	15.19	19.40	14.41	○
4	3.5-4.4	11.97	12.74	11.19	10.50	10.76	11.99	10.60	10.29	9.44	10.36	10.98	0.94	10.11	13.33	8.64	○
5	4.5-5.4	8.40	9.33	7.79	8.43	7.73	8.11	7.22	8.05	7.50	8.19	8.07	0.56	8.97	9.46	6.69	○
6	5.5-6.4	6.76	7.12	6.14	6.54	6.04	6.91	5.60	6.34	6.51	6.17	6.41	0.43	7.08	7.49	5.34	○
7	6.5-7.4	5.92	5.66	4.84	4.68	4.75	5.39	4.52	5.01	4.76	3.96	4.95	0.54	4.64	6.31	3.59	○
8	7.5-8.4	4.39	3.42	3.16	3.57	3.40	3.72	3.52	3.64	3.63	2.94	3.54	0.36	3.58	4.44	2.63	○
9	8.5-9.4	2.78	2.36	2.39	2.62	2.59	2.23	2.75	2.31	2.55	1.96	2.45	0.24	2.17	3.06	1.85	○
10	9.5以上	3.62	3.52	5.74	3.03	2.65	2.56	3.32	2.01	3.57	1.57	3.16	1.08	1.61	5.86	0.45	○

*1：○は「異常でない」、×は「異常」を示す。

(iii) 相対濃度評価に用いる距離の設定

相対濃度の算出に当たっては、評価地点から敷地境界まで方位別の距離を設定する必要がある。ここでは、3号廃棄物埋設地から敷地境界までの距離を設定するに当たっての考え方及びその方法について述べる。

(a) 測定条件

a) 測定に用いる図面

今回測定に用いた図面は、3号廃棄物埋設地を含めたCAD図(1/5000)である。

b) 放出源の考え方

想定事故時における放射性物質の放出源は、その位置を特定することが困難であるため、保守的に敷地境界に近くなる施設の外周とする。

c) 方位の考え方

距離の設定に当たっては、16方位(真方位)に対し、放出源と敷地境界との距離が最短となるよう設定する。

(b) 測定方法と測定結果

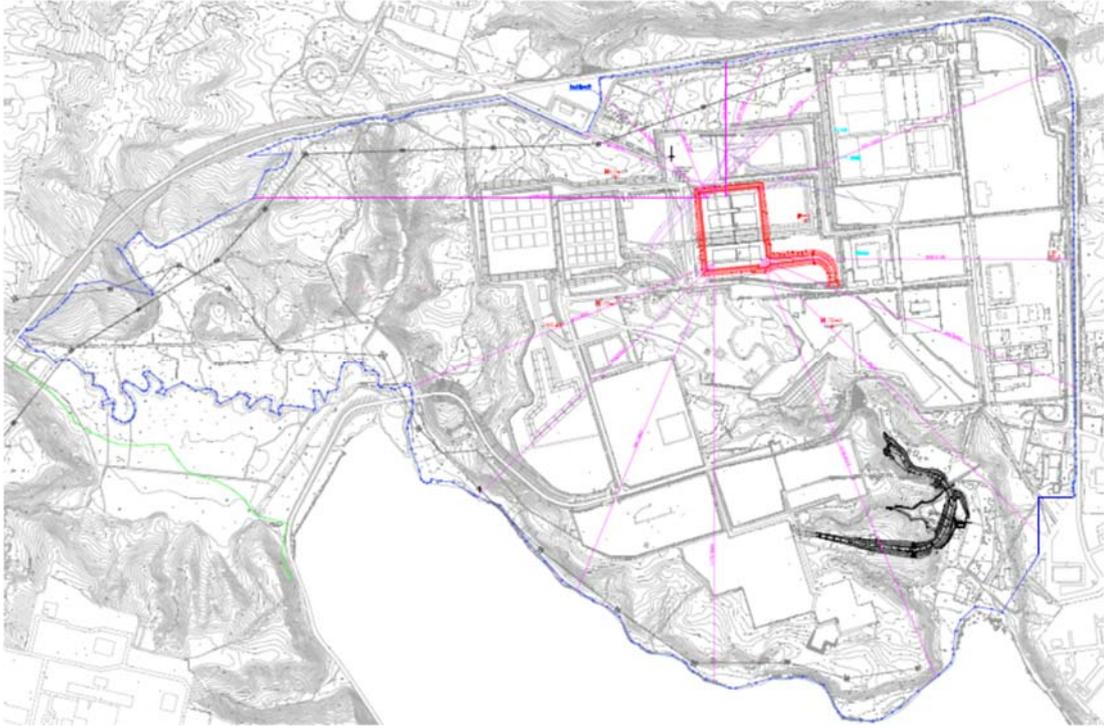
3号廃棄物埋設地から敷地境界までの16方位最短距離は、以下の方法により測定した。また、測定値は既申請と同様の考え方に基づいて丸めることにより、相対濃度評価に用いる距離の設定値とした。

a) 3号廃棄物埋設地

測定は図面実測により行った。放出源は3号廃棄物埋設地の外周に位置するとし、16方位に対する敷地境界までの最短距離を測定するため、埋設設備外周に沿って距離を測定した。

3号廃棄物埋設地の場合、明らかに敷地境界までの距離が短くなると判断できる埋設設備の北辺及び東辺から敷地境界までの距離を、その設備辺に沿って測定することで最短距離を測定し、同様の方法により16方位における距離を測定した。

その結果、3号廃棄物埋設地では北方向が最も短くなり373m、次いで短いのは北北西方向の384mであった。第10図に距離の測定に使用した図面を示す。



第10図 3号廃棄物埋設地から敷地境界までの16方位最短距離の測定

b) 数値の丸め方

測定値は若干の誤差を含むものであると思われるため、上記での測定値を保守的に丸めた値を距離の設定値とする。丸めの方法は既申請での考え方と同様に以下に示す方法に従うものとした。

- ・ 200m未満:1の位を切り捨てる。
- ・ 200m以上1000m未満:10の位を50m単位で保守側に丸める。
- ・ 1000m以上:10の位を切り捨てる。

3号廃棄物埋設地の敷地境界までの距離設定値を第7表に示す。

第7表 敷地境界までの距離設定値

方位	敷地境界までの16方位最短距離(m)	
	3号廃棄物埋設地	
	図面による測定値	設定値
北	373	350
北北東	437	400
北東	633	600
東北東	931	900
東	868	850
東南東	945	900
南東	1,121	1,100
南南東	1,270	1,200
南	1,173	1,100
南南西	991	950
南西	926	900
西南西	913	900
西	1,260	1,200
西北西	451	450
北西	418	400
北北西	384	350

(iv) 相対濃度評価

気象指針の考えに従い、気象観測資料により相対濃度 (χ/Q) を評価する。

気象指針は、発電用原子炉施設の平常運転時及び想定事故時における線量評価に際し、大気中における放射性物質の拡散状態を推定するために必要な気象観測方法、観測値の統計処理方法及び大気拡散の解析方法を定めたものである。

ここでは、想定事故時の相対濃度評価の考え方や廃棄物埋設事業変更許可申請に当たっての相対濃度の評価方法について述べる。

(a) 想定事故時の相対濃度の考え方

相対濃度は毎時の風向、風速及び大気安定度を用いて計算された単位放出率当たりの当該時刻での風下濃度であり、大気中の拡散希釈の程度を表すものである。想定事故時においては、稀な気象条件下の濃度を導くため、相対濃度の出現確率は経験的に97%を採用して評価される。

実気象を用いた相対濃度評価では、代表性を有する1年の気象観測資料を基に評価し、方位(風向)別に相対濃度を小さい値から並べて整理し、97%において最大となる方位の値を線量評価に使用する相対濃度とする。

気象指針では、想定事故時における放射性物質の拡散について、以下のように解説している。

想定事故時における放射性物質の放出量及び放出条件(放出継続時間、放出源の有効高さ等)が定められると、風下の着目地点における放射性物質の濃度は、放出時の気象条件によって定まる。

しかし、想定事故が発生した時に遭遇する気象条件は、あらかじめ知ることができないので、この場合の気象条件は、確率的な手法で解析しなければならない。

このため指針では基本拡散式から導かれる χ/Q をもとに解析することとした。

「(中略)」

χ/Q は、毎時の風向、風速及び大気安定度を用いて計算した単位放出率当たりの当該時刻における風下濃度であり、いわば、大気中における拡散希釈の程度を表わすものである。

指針では、想定事故時においてめったに遭遇しない気象条件下の濃度を導くため、相対濃度の出現確率は過去の経験に照らして97%を採用して解析することとした。

(b) 相対濃度の計算

a) 相対濃度計算式

気象指針の考え方に従い、基本拡散式から導出される相対濃度は以下(2-1)式のとおり。

$$\chi/Q = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (\chi/Q)_i \cdot \delta_i \quad (2-1)$$

χ/Q : 実効放出継続時間中の相対濃度 (s/m³)
 T : 実行放出継続時間 (h)
 $(\chi/Q)_i$: 時刻*i*における相対濃度 (s/m³)
 δ_i : 時刻*i*において風向きが当該方位にあるとき $\delta_i=1$
時刻*i*において風向きが他の方位にあるとき $\delta_i=0$

短時間放出の場合における $(\chi/Q)_i$ の計算に当たっては、方位内で風向き軸が一定と仮定して(2-2)式で計算する。

$$(\chi/Q)_i = \frac{1}{\pi \cdot \sigma_{yi} \cdot \sigma_{zi} \cdot U_i} \cdot \exp \left[-\frac{H^2}{2\sigma_{zi}^2} \right] \quad (2-2)$$

σ_{yi} : 時刻*i*における濃度分布の*y*方向の拡がりのパラメータ (m)
 σ_{zi} : 時刻*i*における濃度分布の*z*方向の拡がりのパラメータ (m)
 U_i : 時刻*i*における風速 (m/s)
 H : 放出源の有効高さ (m)

b) 濃度分布の拡がりのパラメータ σ_y 及び σ_z

(2-2)式に示される濃度分布の拡がりのパラメータ σ_y 及び σ_z は一般的に以下の値が用いられる。

$$\sigma_y = 0.67775 \cdot \theta_{0.1} \cdot (5 - \log x) \cdot x \quad (2-3)$$

$$\sigma_z = \min(\sigma_1 \cdot x^{a_1+a_2 \log x+a_3(\log x)^2}, 1000) \quad (2-4)$$

ここで、 x は敷地境界までの距離(km)、その他のパラメータは第8表で与えられる。

第8表 σ_y 及び σ_z の値を求めるに当たり使用する各パラメータの数値

大気安定度	$\theta_{0.1}$	σ_1		α_1		α_2		α_3	
		$x \geq 0.2\text{km}$	$x < 0.2\text{km}$						
A	50	768.1	165	3.9077	1.07	3.898	0	1.7330	0
B	40	122.0	83.7	1.4132	0.894	0.49523	0	0.12772	0
C	30	58.1	58.0	0.8916	0.891	-0.001649	0	0.0	0
D	20	31.7	33.0	0.7626	0.854	-0.095108	0	0.0	0
E	15	22.2	24.4	0.7117	0.854	-0.12697	0	0.0	0
F	10	13.8	15.5	0.6582	0.822	-0.1227	0	0.0	0

(c) 相対濃度の評価

a) 相対濃度評価を行う施設

相対濃度評価の対象とする施設は3号廃棄物埋設地とした。

b) 相対濃度評価の前提条件

計算式は気象指針に示される基本拡散式から導かれる相対濃度の計算式を使用し、既申請の考え方と同様に1方向への拡散のみを考慮した。また、放出源の有効高さ(0m)、放出継続時間(1時間)についても既申請と同様の条件とした。

c) 相対濃度評価に使用する気象観測資料

敷地内の気象観測点にて2015年度に観測した1時間ごとの気象観測資料を使用した。

d) 気象観測資料の取扱い

気象指針の考え方に従い、気象観測資料は相対濃度の計算過程では以下のように取り扱った。

- ・ 中間安定度 A-B、B-C 及び C-D については、A-B は B に、B-C は C に、C-D は D に、また、夜間の 2m/s 未満の欄の G は F とみなして処理する。
- ・ 0.5m/s 未満の風速は一律 0.5m/s として取り扱う。
- ・ 静穏時の風向は静穏出現前の風向として取り扱う。

この点について気象指針では以下のように解説している。

静穏時における拡散は、有風時と同様に扱うべきではないが、現在適切な実用拡散式がないため、次の理由から便宜上風速を 0.5m/s として有風時の拡散式に適用することとした。

感度のよい微風向・微風速計では静穏時でも 0.5m/s 以上の風速を示していることが多く、また、静穏時における放射性雲からのガンマ線被曝も極端に高い実測値が得られていないことから、静穏時においても大気による拡散希釈は行われているものと考えられる。

指針では、このような事実を考慮して、静穏時の風速は 0.5m/s として有風時の拡散式を適用することとした。静穏時の風向については、平常運転時の場合には、静穏時の微風向・微風速計による風向分布が 0.5~2.0m/s の風向分布にほぼ一致することから 0.5~2.0m/s の風向出現頻度に比例配分することとした。

また、想定事故時の場合には、風向の持続性等を考慮して静穏時の風向は、静穏出現前の風向とする事とした。

e) 放出源から敷地境界までの距離の設定

3号廃棄物埋設地から敷地境界までの16方位最短距離は、第7表に示した設定値を用いた。

(d) 評価結果

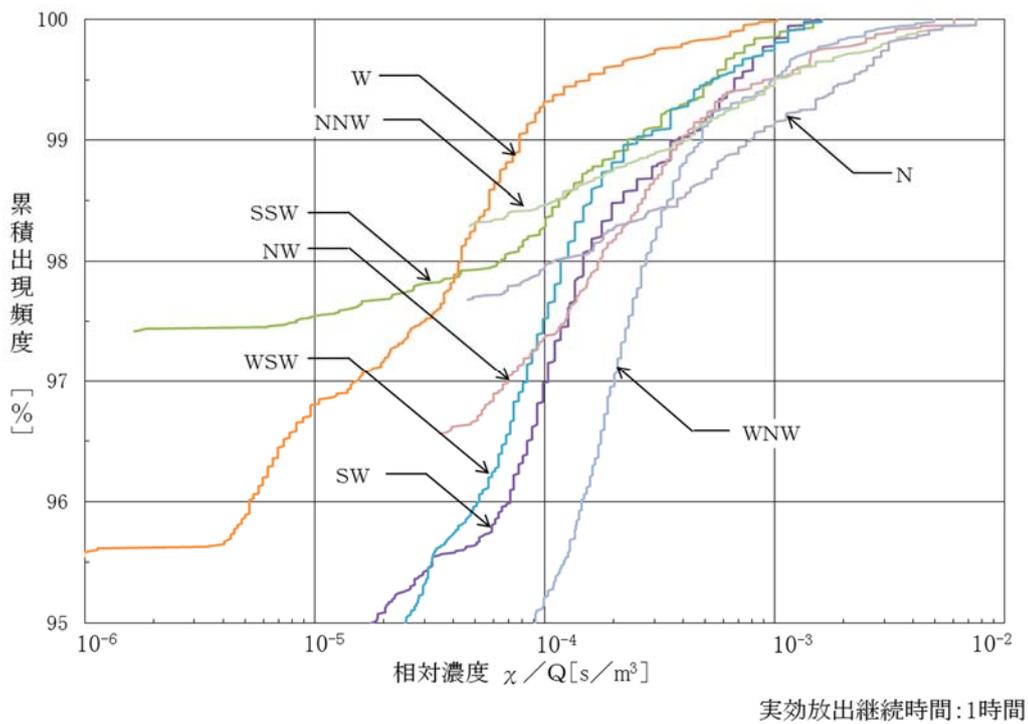
各施設の2015年度の相対濃度の評価結果を第9表に示す。表中の方位は風下、相対濃度の値は切り上げ処理をしたものを記載している。各方位の累積出現頻度97%を16方位の相対濃度とし、相対濃度が最大となる方位を採用した。

また、第11図に3号廃棄物埋設地放出の方位別相対濃度の累積出現頻度を示す。図中の方位は風下を記載している。

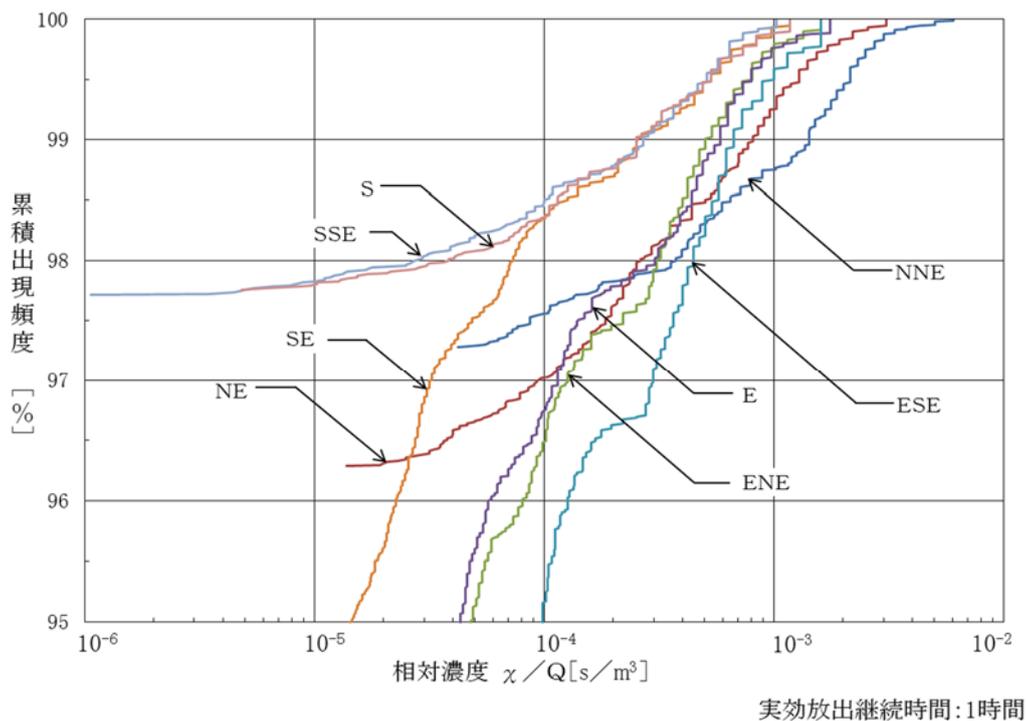
第9表 3号廃棄物埋設地の最大となる相対濃度評価結果

施設	方位	距離 (m)	相対濃度	
			(h/m ³)	(s/m ³)
3号廃棄物埋設地	ESE	900	8.3×10^{-8}	3.0×10^{-4}

(評価年度：2015年度)



第11図 3号廃棄物埋設地放出の方位別相対濃度の累積出現頻度(1/2)



第 11 図 3 号廃棄物埋設地放出の方位別相対濃度の累積出現頻度 (2/2)

(v) まとめ

敷地で観測した至近 11 年間(2006 年度～2016 年度)の気象観測資料を用いて異常年検定及び相対濃度評価を行った結果を以下にまとめる。

- ・敷地で観測した至近 11 年間の気象観測資料について、危険率 5%で棄却検定を行った。その結果として、相対濃度評価に用いる気象観測資料として異常ではない最新の気象観測資料は 2015 年度のものであることを確認した。
- ・敷地で観測した 2015 年度の気象観測資料により 3 号廃棄物埋設地について相対濃度計算を行ったところ、 $3.0 \times 10^{-4} \text{s/m}^3$ (ESE)であった。

(vi) 参考文献

- (1) 原子力安全委員会(平成 13 年)：発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

(2) 線量評価におけるパラメーター一覧

想定事故時の線量評価に用いるパラメータ*1

パラメータ名	頁番号
廃棄体中の核種 <i>i</i> の放射エネルギー	27
屋外労働作業中の呼吸率	28
核種 <i>i</i> の吸入摂取による線量換算係数	29
廃棄体落下に伴う内容物の飛散率	30
相対濃度	31

*1：想定事故時の線量評価で用いるパラメータと同様に設定する。

パラメータ	名 称			単 位																									
	廃棄体中の核種 <i>i</i> の放射能量			[Bq/本]																									
区分	<input checked="" type="checkbox"/> 共通	<input type="checkbox"/> 平常時	<input type="checkbox"/> 想定事故時																										
設定値	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">核種</th> <th>設定値</th> </tr> <tr> <th>3号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H-3</td> <td>7.10×10^7</td> </tr> <tr> <td>C-14</td> <td>9.47×10^6</td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td>7.10×10^8</td> </tr> <tr> <td>Ni-59</td> <td>2.37×10^5</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td>2.60×10^7</td> </tr> <tr> <td>Sr-90</td> <td>3.17×10^6</td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td>3.84×10^4</td> </tr> <tr> <td>Tc-99</td> <td>3.50×10^2</td> </tr> <tr> <td>I-129</td> <td>3.93×10^1</td> </tr> <tr> <td>Cs-137</td> <td>3.46×10^6</td> </tr> <tr> <td>全α</td> <td>1.09×10^6</td> </tr> </tbody> </table>				核種	設定値	3号	H-3	7.10×10^7	C-14	9.47×10^6	Co-60	7.10×10^8	Ni-59	2.37×10^5	Ni-63	2.60×10^7	Sr-90	3.17×10^6	Nb-94	3.84×10^4	Tc-99	3.50×10^2	I-129	3.93×10^1	Cs-137	3.46×10^6	全 α	1.09×10^6
核種	設定値																												
	3号																												
H-3	7.10×10^7																												
C-14	9.47×10^6																												
Co-60	7.10×10^8																												
Ni-59	2.37×10^5																												
Ni-63	2.60×10^7																												
Sr-90	3.17×10^6																												
Nb-94	3.84×10^4																												
Tc-99	3.50×10^2																												
I-129	3.93×10^1																												
Cs-137	3.46×10^6																												
全 α	1.09×10^6																												
設定根拠	<ul style="list-style-type: none"> ・総放射能量及び埋設する廃棄体本数を基に算出した。 																												
備考																													
文献																													

パラメータ	名 称		単 位				
	屋外労働作業中の呼吸率		[m ³ /h]				
区分	<input checked="" type="checkbox"/> 共通	<input type="checkbox"/> 平常時	<input type="checkbox"/> 想定事故時				
設定値	<table border="1"> <thead> <tr> <th>設定値</th> <th>1号申請書</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.2</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>			設定値	1号申請書	1.2	1.2
設定値	1号申請書						
1.2	1.2						
設定根拠	<p>・文献⁽¹⁾に示されている成人男性の就業中の平均呼吸量から設定した。</p> <p>$9.6\text{m}^3/8\text{h}=1.2\text{m}^3/\text{h}$</p>						
備考							
文献	(1) International Commission on Radiological Protection(2002):Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values, ICRP Publication 89						

パラメータ	名 称			単 位																																																
	核種 <i>i</i> の吸入摂取による線量換算係数			[Sv/Bq]																																																
区分	<input checked="" type="checkbox"/> 共通	<input type="checkbox"/> 平常時	<input type="checkbox"/> 想定事故時																																																	
設定値	<table border="1"> <thead> <tr> <th>核種</th> <th>設定値</th> <th>考慮した 子孫核種等 (生成割合)</th> <th>1号申請書</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H-3</td> <td>4.5×10^{-11}</td> <td>-</td> <td>2.6×10^{-11}</td> </tr> <tr> <td>C-14</td> <td>2.0×10^{-9}</td> <td>-</td> <td>5.7×10^{-10}</td> </tr> <tr> <td>Co-60</td> <td>1.0×10^{-8}</td> <td>-</td> <td>4.1×10^{-8}</td> </tr> <tr> <td>Ni-59</td> <td>1.3×10^{-10}</td> <td>-</td> <td>3.6×10^{-10}</td> </tr> <tr> <td>Ni-63</td> <td>4.8×10^{-10}</td> <td>-</td> <td>8.4×10^{-10}</td> </tr> <tr> <td>Sr-90</td> <td>3.8×10^{-8}</td> <td>Y-90(100%)</td> <td>3.4×10^{-7}</td> </tr> <tr> <td>Nb-94</td> <td>1.1×10^{-8}</td> <td>-</td> <td>9.0×10^{-8}</td> </tr> <tr> <td>Tc-99</td> <td>4.0×10^{-9}</td> <td>-</td> <td>2.0×10^{-9}</td> </tr> <tr> <td>I-129</td> <td>3.6×10^{-8}</td> <td>-</td> <td>4.7×10^{-8}</td> </tr> <tr> <td>Cs-137</td> <td>4.6×10^{-9}</td> <td>-</td> <td>8.7×10^{-9}</td> </tr> <tr> <td>全α</td> <td>5.0×10^{-5}</td> <td>-</td> <td>1.2×10^{-4}</td> </tr> </tbody> </table>				核種	設定値	考慮した 子孫核種等 (生成割合)	1号申請書	H-3	4.5×10^{-11}	-	2.6×10^{-11}	C-14	2.0×10^{-9}	-	5.7×10^{-10}	Co-60	1.0×10^{-8}	-	4.1×10^{-8}	Ni-59	1.3×10^{-10}	-	3.6×10^{-10}	Ni-63	4.8×10^{-10}	-	8.4×10^{-10}	Sr-90	3.8×10^{-8}	Y-90(100%)	3.4×10^{-7}	Nb-94	1.1×10^{-8}	-	9.0×10^{-8}	Tc-99	4.0×10^{-9}	-	2.0×10^{-9}	I-129	3.6×10^{-8}	-	4.7×10^{-8}	Cs-137	4.6×10^{-9}	-	8.7×10^{-9}	全α	5.0×10^{-5}	-	1.2×10^{-4}
核種	設定値	考慮した 子孫核種等 (生成割合)	1号申請書																																																	
H-3	4.5×10^{-11}	-	2.6×10^{-11}																																																	
C-14	2.0×10^{-9}	-	5.7×10^{-10}																																																	
Co-60	1.0×10^{-8}	-	4.1×10^{-8}																																																	
Ni-59	1.3×10^{-10}	-	3.6×10^{-10}																																																	
Ni-63	4.8×10^{-10}	-	8.4×10^{-10}																																																	
Sr-90	3.8×10^{-8}	Y-90(100%)	3.4×10^{-7}																																																	
Nb-94	1.1×10^{-8}	-	9.0×10^{-8}																																																	
Tc-99	4.0×10^{-9}	-	2.0×10^{-9}																																																	
I-129	3.6×10^{-8}	-	4.7×10^{-8}																																																	
Cs-137	4.6×10^{-9}	-	8.7×10^{-9}																																																	
全α	5.0×10^{-5}	-	1.2×10^{-4}																																																	
設定根拠	<ul style="list-style-type: none"> • ICRP の文献⁽¹⁾⁽²⁾を参照する。 • 文献⁽²⁾にも線量換算係数の記載はあるが、これは作業者への被ばくに関するデータであり、今回の評価は一般公衆の被ばくに対するものであるため、文献⁽¹⁾を参照した。 • 文献⁽¹⁾には一般公衆の年齢別線量係数が示されているが、このうちの成人(Adult)の数値で、肺での吸収型が不明な場合の推奨値が示されている核種はその数値を、推奨値が示されていない核種は最大の数値を引用した。また、経口摂取と同様に、短半減期の娘核種のうち、文献⁽¹⁾に示されている核種の寄与を考慮している。 • 子孫核種に関して、短半減期の娘核種のうち、文献⁽¹⁾に示されている核種については、生成割合を考慮して親核種の線量換算係数に足し合わせた。ただし、文献⁽¹⁾に示されていない娘核種については、親核種に記載された線量換算係数の数値をそのまま使用した。 • 全αの設定に関しては、Pu-239 と Am-241 の値のうち高い方を設定値とした。 																																																			
備考																																																				
文献	<p>(1) International Commission on Radiological Protection(1996):Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, ICRP Publication 72</p> <p>(2) International Commission on Radiological Protection(1994):Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 68</p>																																																			

パラメータ	名 称			単 位																																														
		廃棄体落下に伴う内容物の飛散率			[-]																																													
区分	<input type="checkbox"/> 共通	<input type="checkbox"/> 平常時	<input checked="" type="checkbox"/> 想定事故時																																															
設定値	1×10 ⁻⁵																																																	
設定根拠	<p>・文献⁽¹⁾における廃棄体落下事故評価用の廃棄体内容物の飛散率を以下の表に示す。本施設に埋設する廃棄体はセメント固化されたものであることから、飛散率は樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のセメント固化体の値に設定した。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>廃棄体内容物</th> <th>飛散率[-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>脱水ゼオライト、樹脂、スラッジ、フィルタカートリッジ</td> <td>1×10⁻⁴</td> </tr> <tr> <td>樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のセメント固化体</td> <td>1×10⁻⁵</td> </tr> <tr> <td>樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のビニルエステル(プラスチック)固化体</td> <td>1×10⁻⁶</td> </tr> <tr> <td>廃棄物のビチューメン固化体</td> <td>1×10⁻⁶</td> </tr> </tbody> </table> <p>【参考】</p> <p>・充填固化体の廃棄体落下試験によると、吊り上げ高さ8mから廃棄体落下した際の漏出率は最大で6.4×10⁻⁷であり、1×10⁻⁵という値は保守的な値である。落下試験の値を以下に示す。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>収納廃棄物</th> <th>収納状態</th> <th>収納容器</th> <th>廃棄体重量 [kg]</th> <th>漏出物重量 [mg]</th> <th>漏出率*1 [-]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>非圧縮物</td> <td>普通</td> <td>ドラム缶</td> <td>583</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>非圧縮物</td> <td>密</td> <td>内張容器</td> <td>461</td> <td>104</td> <td>2.3×10⁻⁷</td> </tr> <tr> <td>非圧縮物</td> <td>密</td> <td>内籠容器</td> <td>477</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>圧縮体</td> <td>-</td> <td>内籠容器</td> <td>389</td> <td>249</td> <td>6.4×10⁻⁷</td> </tr> <tr> <td>溶融体</td> <td>-</td> <td>ドラム缶</td> <td>870</td> <td>87</td> <td>1.0×10⁻⁷</td> </tr> </tbody> </table> <p>*1 : (漏出率[-]) = (漏出物重量[kg]) / (廃棄物重量[kg])</p>				廃棄体内容物	飛散率[-]	脱水ゼオライト、樹脂、スラッジ、フィルタカートリッジ	1×10 ⁻⁴	樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のセメント固化体	1×10 ⁻⁵	樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のビニルエステル(プラスチック)固化体	1×10 ⁻⁶	廃棄物のビチューメン固化体	1×10 ⁻⁶	収納廃棄物	収納状態	収納容器	廃棄体重量 [kg]	漏出物重量 [mg]	漏出率*1 [-]	非圧縮物	普通	ドラム缶	583	0	0	非圧縮物	密	内張容器	461	104	2.3×10 ⁻⁷	非圧縮物	密	内籠容器	477	0	0	圧縮体	-	内籠容器	389	249	6.4×10 ⁻⁷	溶融体	-	ドラム缶	870	87	1.0×10 ⁻⁷
廃棄体内容物	飛散率[-]																																																	
脱水ゼオライト、樹脂、スラッジ、フィルタカートリッジ	1×10 ⁻⁴																																																	
樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のセメント固化体	1×10 ⁻⁵																																																	
樹脂、スラッジ及び濃縮廃液のビニルエステル(プラスチック)固化体	1×10 ⁻⁶																																																	
廃棄物のビチューメン固化体	1×10 ⁻⁶																																																	
収納廃棄物	収納状態	収納容器	廃棄体重量 [kg]	漏出物重量 [mg]	漏出率*1 [-]																																													
非圧縮物	普通	ドラム缶	583	0	0																																													
非圧縮物	密	内張容器	461	104	2.3×10 ⁻⁷																																													
非圧縮物	密	内籠容器	477	0	0																																													
圧縮体	-	内籠容器	389	249	6.4×10 ⁻⁷																																													
溶融体	-	ドラム缶	870	87	1.0×10 ⁻⁷																																													
備考																																																		
文献	(1) U.S.NRC(1981):NUREG-0683 Final Programmatic Environmental Impact Statement related to decontamination and disposal of radioactive waste resulting from March 28, 1979, accident Three Mile Island Nuclear Station, Unit 2																																																	

パラメータ	名 称			単 位
	相対濃度			[s/m ³]
区分	<input type="checkbox"/> 共通	<input type="checkbox"/> 平常時	<input checked="" type="checkbox"/> 想定事故時	
設定値	3号 : 3.0×10^{-4}			
設定根拠	<ul style="list-style-type: none"> ・ 詳細については「(1) 想定事故時の相対濃度」にて整理。 			
備考				
文献				

覆土の安全機能喪失時の評価

目次

1. 覆土の安全機能喪失時の評価	1
(1) 移行抑制機能	1
(2) 遮蔽機能	1
(3) 線量評価	1

1. 覆土の安全機能喪失時の評価

覆土の安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能であり、その機能の喪失により公衆に及ぼす影響を評価した結果について、考え方とともに以下に示す。

(1) 移行抑制機能

移行抑制機能は、低透水性と収着性により構成される。

ここで、低透水性は、変形に対する追従性及び液状化に対する抵抗性を有する設計とすることで、地震による損傷を防止し、機能を維持できる設計としている。

覆土は、安定した地盤の一部を掘り込んだ箇所に設置していることから、安全機能に有意な影響をあたえる変形は発生しない。

覆土の液状化については、液状化し難い材料を用いて適切な管理方法で施工することにより、液状化抵抗性のある設計とする。

また、収着性は、放射性物質とバリア材料との相互作用によるものである。そのため、収着性は覆土が存在する限り喪失はしない。収着性を期待する難透水性覆土及び上部覆土は、安定した地盤の一部を掘り込んだ箇所に設置していることから、地震により覆土は全損することはない。

(2) 遮蔽機能

遮蔽機能を期待する難透水性覆土及び下部覆土は上部覆土に覆われていることから、外部からの衝撃による破損は生じ難い。また、破損した場合でも、難透水性覆土及び下部覆土は上部覆土に覆われていることから、遮蔽機能への影響は限定的である。

(3) 線量評価

覆土完了時点から覆土の低透水性及び収着性が同時に喪失し、放射性物質の漏えいが生じるケースについて評価した。評価は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）4.(2)(v) d.その他」で行ったバリア機能の一部が喪失した場合を仮定した線量評価のうち人工バリアの低透水性を喪失したケースを基に、収着性も同時に喪失するものとした。

覆土の低透水性及び収着性が同時に喪失した場合の公衆の受ける影響を評価した結果は、覆土完了から廃止措置の開始までの期間を含めても、最大線量は約 $3.2 \mu\text{Sv/y}$ である。

覆土の遮蔽機能が喪失した場合に公衆に及ぼす影響については、覆土完了後は埋設設備による遮蔽を期待しないことから、覆土のない覆土前の状態で埋設設備の遮蔽機能の喪失を想定した場合の評価に包含される。