

島根原子力発電所 2号炉 有毒ガス防護について

令和元年12月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 設置許可基準規則等の改正	.....	P.2
2. 有毒ガス防護に係る妥当性確認の流れ	.....	P.6
3. 評価に当たって行う事項	.....	P.7
4. 対象発生源特定のためのスクリーニング評価	.....	P.3 1
5. 有毒ガス防護に対する妥当性の判断	.....	P.3 5
6. まとめ	.....	P.3 9

1. 設置許可基準規則等の改正

平成29年4月5日、原子力規制委員会にて、以下に示す規則等の改正及び「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」が決定され、5月1日に施行された。規則等改正は、原子炉制御室、緊急時対策所、緊急時制御室、技術的能力審査基準で規定する手順書の整備に関するものである。

- ・設置許可基準規則第二十六条，同規則解釈第26条
- ・設置許可基準規則第三十四条，同規則解釈第34条
- ・設置許可基準規則解釈第42条
- ・SA技術的能力審査基準 1.0解釈

今回の規則改正においては、有毒ガスが発生した場合に、必要な地点にとどまり対処する要員の事故処理能力を確保する目的で、有毒ガス対応に必要な手順の整備や、要員の吸気中の有毒ガス濃度が防護判断基準値を超えるような場合に検出装置や警報装置を設置することが求められた。

有毒ガスに対する防護の妥当性の判断については、平成29年4月5日に制定された「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」を一例とすることになった。

次ページ以降に、今回の改正規則等の要求への対応状況を説明する。

1. 設置許可基準規則等の改正

設置許可基準規則第26条における有毒ガス防護に係る追加要求事項に対する適合方針を以下に示す。

設置許可基準規則 第26条 (原子炉制御室等)	適合方針
<p>(原子炉制御室等) 第二十六条 (略) 1～2 (略) 3 一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障その他の異常が発生した場合に発電用原子炉の運転の停止その他の発電用原子炉施設の安全性を確保するための措置をとるため、従事者が支障なく原子炉制御室に入り、又は一定期間とどまり、かつ、当該措置をとるための操作を行うことができるよう、次の各号に掲げる場所の区分に応じ、当該各号に定める設備を設けなければならない。</p> <p>一 原子炉制御室及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に原子炉制御室において自動的に警報するための装置</p> <p>二 (略)</p>	<p>万一事故が発生した際には、中央制御室内の運転員に対し、有毒ガスによる影響により対処能力が著しく低下しないよう、運転員が中央制御室内にとどまり、事故対策に必要な各種の操作を行うことができる設計とする。</p> <p>想定される有毒ガスの発生において、有毒ガスが運転員に及ぼす影響により、運転員の対処能力が著しく低下し、安全施設の安全機能が損なわれることがない設計とする。そのために、固定源及び可動源それぞれに対して有毒ガス防護に係る影響評価を実施する。固定源に対しては、運転員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が有毒ガス防護のための判断基準値を下回ることにより、運転員を防護できる設計とする。可動源に対しては、中央制御室換気空調設備の隔離等の対策により、運転員を防護できる設計とする。</p>
設置許可基準規則の解釈	
<p>1～4 (略) 5 第3項に規定する「従事者が支障なく原子炉制御室に入り、又は一定期間とどまり」とは、事故発生後、事故対策操作をすべき従事者が原子炉制御室に接近できるよう通路が確保されていること、及び従事者が原子炉制御室に適切な期間滞在できること、並びに従事者の交替等のため接近する場合においては、放射線レベルの減衰及び時間経過とともに可能となる被ばく防護策が採り得ることをいう。「当該措置をとるための操作を行うことができる」には、<u>有毒ガスの発生に関して、有毒ガスが原子炉制御室の運転員に及ぼす影響により、運転員の対処能力が著しく低下し、安全施設の安全機能が損なわれることがないことを含む。</u></p> <p>6 第3項第1号に規定する「<u>有毒ガスの発生源</u>」とは、<u>有毒ガスの発生時において、運転員の対処能力が損なわれるおそれがあるものをいう。</u>「<u>工場等内における有毒ガスの発生</u>」とは、<u>有毒ガスの発生源から有毒ガスが発生することをいう。</u></p>	

1. 設置許可基準規則等の改正

設置許可基準規則第34条における有毒ガス防護に係る追加要求事項に対する適合方針を以下に示す。

設置許可基準規則 第34条（緊急時対策所）	適合方針
<p>（緊急時対策所） 第三十四条（略）</p> <p>2 <u>緊急時対策所及びその近傍並びに有毒ガスの発生源の近傍には、有毒ガスが発生した場合に適切な措置をとるため、工場等内における有毒ガスの発生を検出するための装置及び当該装置が有毒ガスの発生を検出した場合に緊急時対策所において自動的に警報するための装置その他の適切に防護するための設備を設けなければならない。</u></p>	<p>緊急時対策所は、有毒ガスが重大事故等に対処するために必要な指示を行う要員に及ぼす影響により、当該要員の対処能力が著しく低下しないよう、当該要員が緊急時対策所内にとどまり、事故対策に必要な各種の指示、操作を行うことができる設計とする。</p> <p>想定される有毒ガスの発生において、有毒ガスが当該要員に及ぼす影響により、当該要員の対処能力が著しく低下し、安全施設の安全機能が損なわれることがない設計とする。そのために、有毒ガス防護に係る影響評価を実施する。固定源に対しては、当該要員の吸気中の有毒ガス濃度の評価結果が有毒ガス防護のための判断基準値を下回ることにより、当該要員を防護できる設計とする。可動源に対しては、緊急時対策所換気設備の隔離等の対策により、当該要員を防護できる設計とする。</p>
<p>設置許可基準規則の解釈</p>	
<p>1 <u>第2項に規定する「有毒ガスの発生源」とは、有毒ガスの発生時において、指示要員の対処能力が損なわれるおそれがあるものをいう。「有毒ガスが発生した場合」とは、有毒ガスが緊急時対策所の指示要員に及ぼす影響により、指示要員の対処能力が著しく低下し、安全施設の安全機能が損なわれるおそれがあることをいう。</u></p>	

1. 設置許可基準規則等の改正

技術的能力審査基準要求事項の解釈に関する改正における有毒ガス防護に係る追加要求事項に対する適合方針を以下に示す。

技術的能力審査基準要求事項の解釈	適合方針
<p>1 手順書の整備は、以下によること。</p> <p>g) <u>有毒ガス発生時の原子炉制御室及び緊急時制御室の運転員、緊急時対策所において重大事故等に対処するために必要な要員並びに重大事故等対処上特に重要な操作（常設設備と接続する屋外に設けられた可搬型重大事故等対処設備（原子炉建屋の外から水又は電力を供給するものに限る。）の接続をいう。）を行う要員（以下「運転・対処要員」という。）の防護に関し、次の①から③に掲げる措置を講じることが定められていること。</u></p> <p>① <u>運転・対処要員の吸気中の有毒ガス濃度を有毒ガス防護のための判断基準値以下とするための手順と体制を整備すること。</u></p> <p>② <u>予期せぬ有毒ガスの発生に対応するため、原子炉制御室及び緊急時制御室の運転員並びに緊急時対策所において重大事故等に対処するために必要な指示を行う要員のうち初動対応を行う者に対する防護具の配備、着用等運用面の対策を行うこと。</u></p> <p>③ <u>設置許可基準規則第62条等に規定する通信連絡設備により、有毒ガスの発生を原子炉制御室又は緊急時制御室の運転員から、当該運転員以外の運転・対処要員に知らせること。</u></p>	<p>有毒ガス発生時に、事故対策に必要な各種の指示，操作を行うことができるよう，運転員及び緊急時対策要員の吸気中の有毒ガス濃度を有毒ガス防護のための判断基準値以下とするための手順と体制を整備する。固定源に対しては，運転員及び緊急時対策要員の吸気中の有毒ガス濃度を有毒ガス防護のための判断基準値を下回るようにする。可動源に対しては，換気空調設備の隔離等により，運転員及び緊急時対策要員のうち重大事故等に対処するために必要な指示を行う要員が事故対策に必要な各種の指示，操作を行うことができるようにする。</p> <p>予期せぬ有毒ガスの発生においても，運転員及び緊急時対策要員のうち初動対応を行う要員に対して配備した防護具を着用することにより，事故対策に必要な各種の指示，操作を行うことができるよう手順と体制を整備する。</p> <p>有毒ガスの発生による異常を検知した場合に，当直長に連絡し，運転員が通信連絡設備により，有毒ガスの発生を必要な要員に周知するための手順を整備する。</p>

2. 有毒ガス防護に係る妥当性確認の流れ

- ◆ 「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」(以下「ガイド」という)では右のフローに基づき、固定源及び可動源の調査や防護判断基準値の設定を行い、防護判断基準値を超えているか否かを確認するスクリーニング評価※¹を実施し、対象発生源※²を特定したうえで影響評価と必要な防護対策を行うことが求められている。
(ガイド2.のとおり)

- ◆ 島根原子力発電所における固定源※³に対しては、防護判断基準値を下回ることから、対象発生源がないことを確認し、可動源※⁴に対しては、スクリーニング評価によらず対象発生源として整理し、防護対策を取ることとした。

発生源 \ 防護対象	中央制御室	緊急時対策所	緊急時制御室※ ⁵	重要操作地点
敷地内固定源	○	○	○	△
敷地外固定源	△	△	△	×
可動源	△	△	△	×

【凡例】

- ：スクリーニング評価が必要
- △：スクリーニング評価を行わず、対象発生源として対策を行ってもよい。
- ×：スクリーニング評価は不要

□：当社が評価を実施した項目

(ガイド4.への対応)

- ◆ さらに、予期せず発生する有毒ガスに関する対策として、防護具等の配備等を実施することとした。

(ガイド6.2への対応)

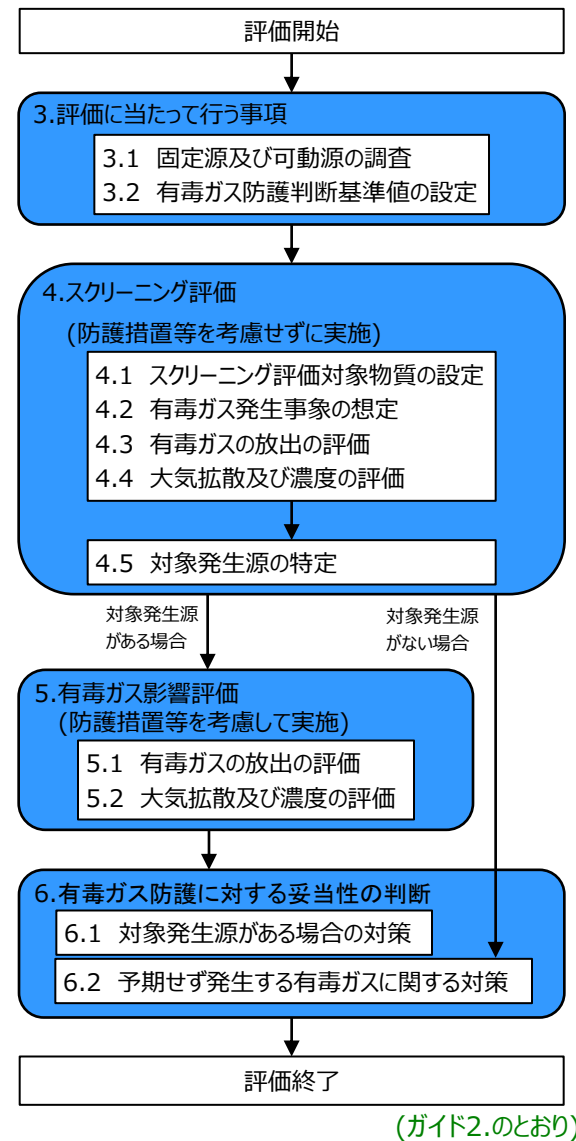
※¹：対象発生源を特定するために行う、中央制御室等の運転員の吸気中の有毒ガス濃度の評価（防護措置を考慮しない）
(ガイド2., 3.1(解説-5)のとおり)

※²：有毒ガス防護対象者の吸気中の有毒ガス濃度の評価値が、有毒ガス防護判断基準値を超える発生源
(ガイド2.のとおり)

※³：敷地内外において貯蔵施設(例えば、貯蔵タンク、配管ライン等)に保管されている有毒ガスを発生させるおそれのある有毒化学物質をいう。

※⁴：敷地内において輸送手段(例えば、タンクローリー等)の輸送容器に保管されている有毒ガスを発生させるおそれのある有毒化学物質をいう。
(ガイド1.3のとおり)

※⁵：現在、別途、特定重大事故等対処施設の審査中であり、今後手続き予定



3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

(ガイド3. 1への対応)

◆ 調査対象とする有毒化学物質について

ガイド3.1(1)では、調査対象とする有毒化学物質を示すことが求められている。一方、ガイド3.1(2)で調査対象外の説明を求めている。このため、3.1(1)の説明では調査対象を示すとともに、有毒化学物質について定義する必要がある。

よって、ガイド3.1で調査対象とする有毒化学物質は、ガイド1.3の有毒化学物質の定義に基づき、人に対する悪影響を考慮した上で、参照する情報源を整理し、以下の通り定義し、調査を行った。

有毒化学物質：国際化学安全性カード等において、人に対する悪影響が示されている物質

(ガイド3. 1への対応)

人に対する悪影響

ガイドの定義や防護判断基準として参照が求められているIDLH等の内容(下記)から判断し、ガイドにおける有毒化学物質の対象は、中枢神経影響等の急性毒性影響を有する有毒化学物質を主体に調査した。

- ・有毒ガス防護判断基準値：有毒ガスの急性ばく露に関し、中枢神経影響等への影響を考慮し、運転・対象要員の対処能力に支障を来さないと想定される濃度限度値をいう。(ガイド1.3(13))
- ・IDLH：米国NIOSHが定める急性の毒性限度(ガイド1.3(1))
- ・最大許容濃度：短時間で発現する刺激、中枢神経抑制等の生体影響を主とすることから勧告されている値。(ガイド脚注12)

⇒対処能力を損なう要因として、中枢神経影響だけでなく急性の致死影響及び呼吸障害(呼吸器への影響)も考慮した。

参照する情報源

- ・国際化学安全性カード(ICSC)による情報を主たる情報源とした。
- ・ICSCにない有毒化学物質を補完するために、以下の2種類の情報源を追加し、網羅性を確保した。
 - ・急性毒性の観点で国内法令で規制されている物質
 - ・化学物質の有害性評価等の世界標準システム(GHS)で作成されたデータベース

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

(ガイド3. 1への対応)

参照する各情報源において、『人に対する悪影響』（急性毒性影響）のある有毒化学物質として、急性毒性（致死）影響物質，中枢神経影響物質，呼吸器障害の原因となるおそれがある物質を，図1のように網羅的に抽出し，設定の対象とした。

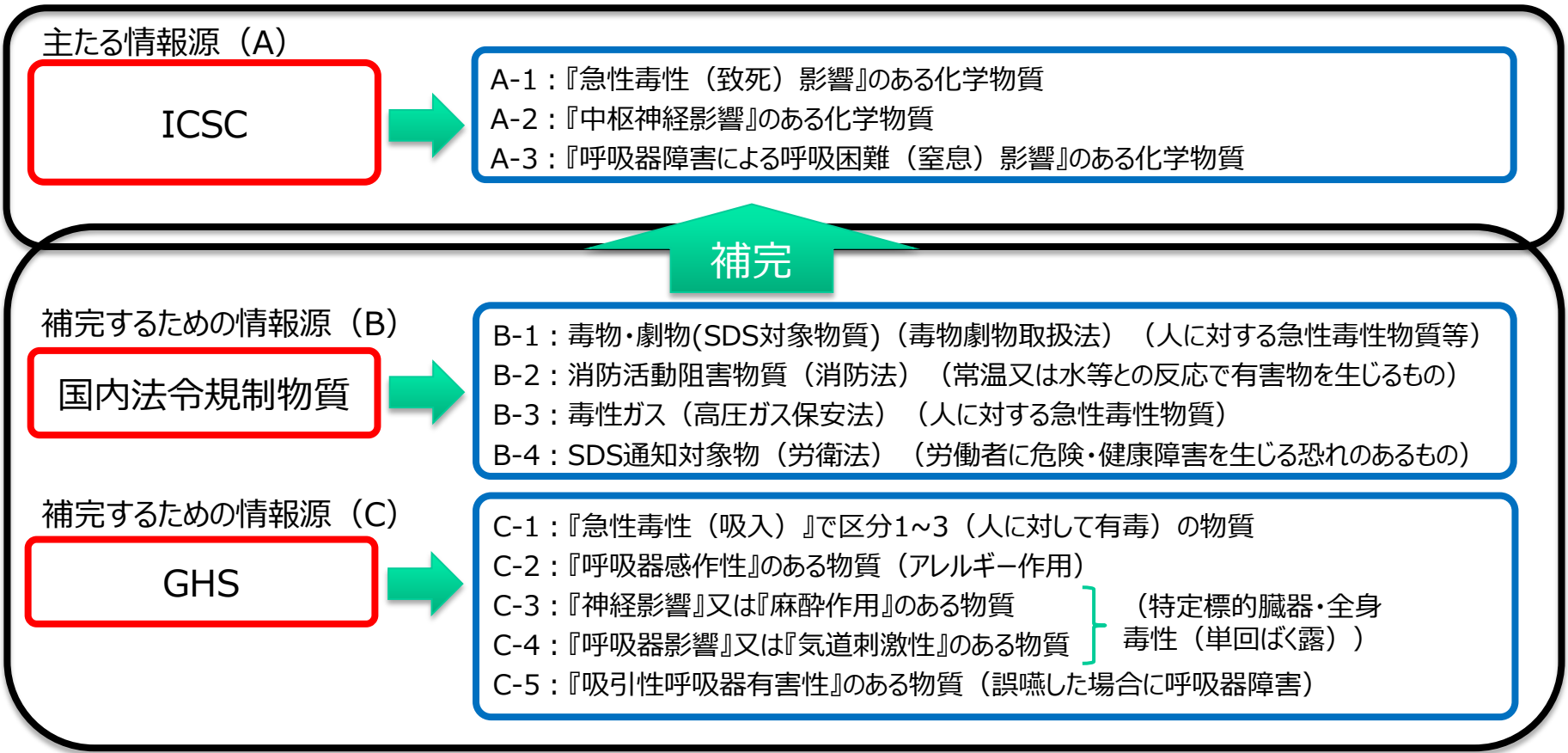


図1 各情報源における急性毒性影響

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 固定源・可動源特定フローの全体像（その1）

固定源及び可動源の調査では、ガイド3. 1のとおり、敷地内に保管、輸送される全ての有毒化学物質を調査対象とする必要があることから、図2のフローにより、調査を行い島根原子力電所内で使用される有毒化学物質を抽出した。

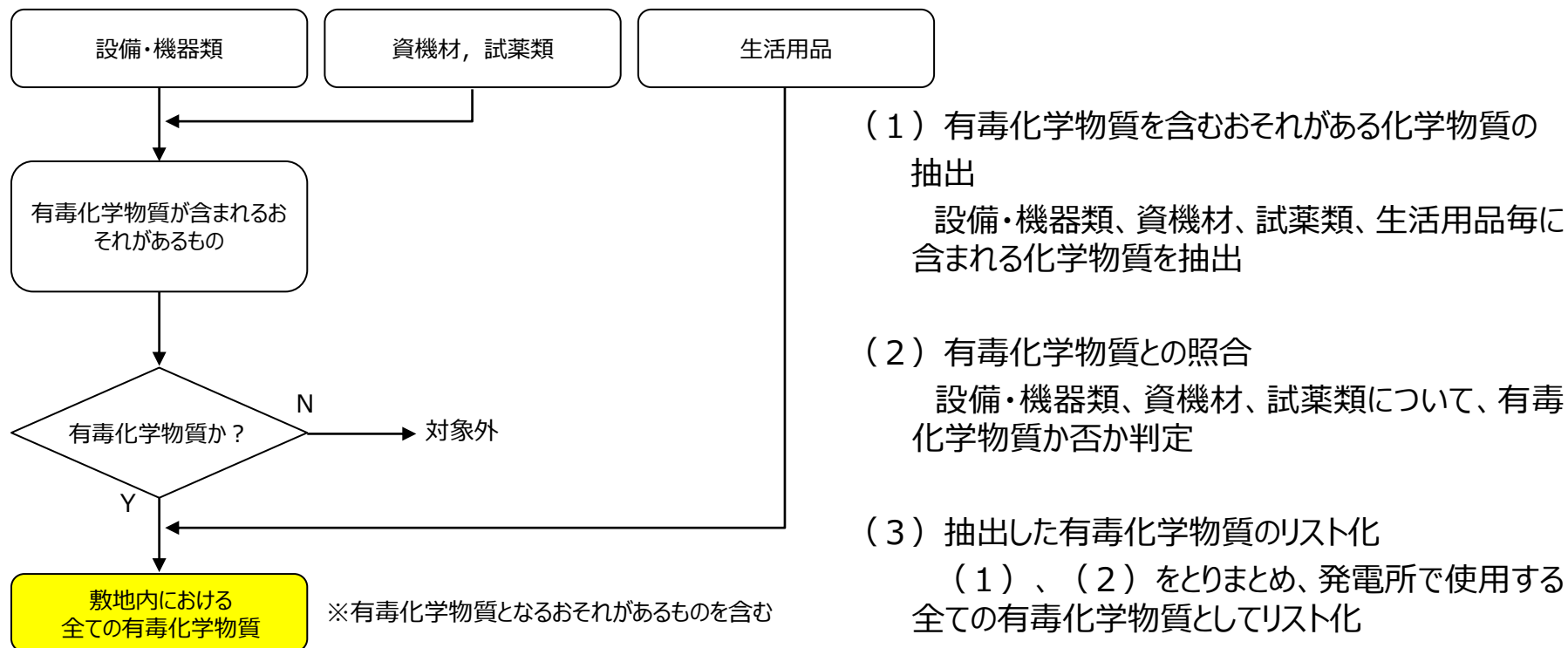


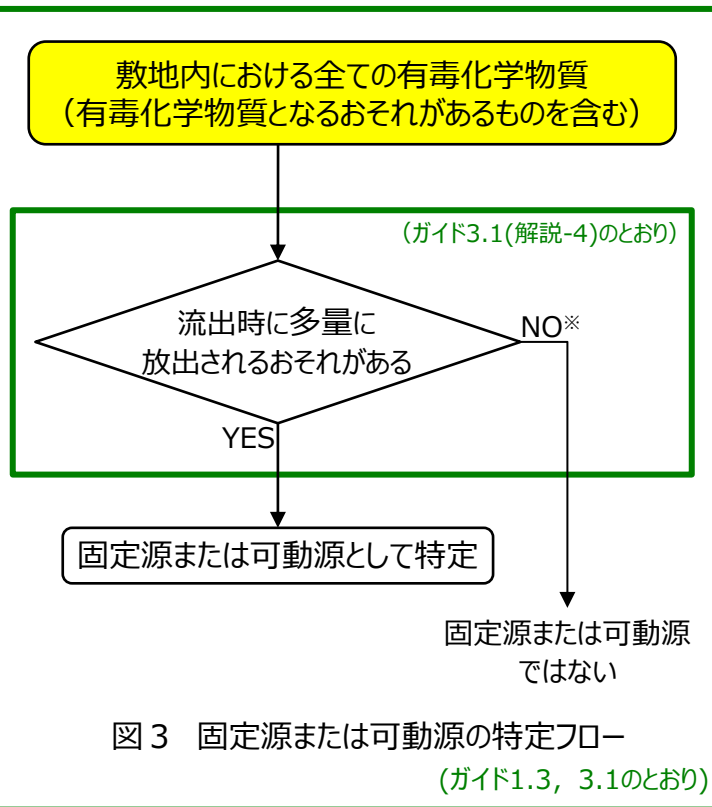
図2 有毒化学物質の抽出フロー

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 固定源・可動源特定フローの全体像（その2）

（ガイド3.1への対応）

敷地内に貯蔵された有毒化学物質及び敷地内で輸送される有毒化学物質について、図3のフローに従い固定源及び可動源を特定した。



ガイド3.1(解説-4) 調査対象外とする場合

貯蔵容器が損傷し、容器に貯蔵されている有毒化学物質の全量が流出しても、有毒ガスが大気中に多量に放出されるおそれがないと説明できる場合。（例えば、使用場所が限定されていて貯蔵量及び使用量が少ない試薬等）

（ガイド3.1(解説-4)の抜粋）

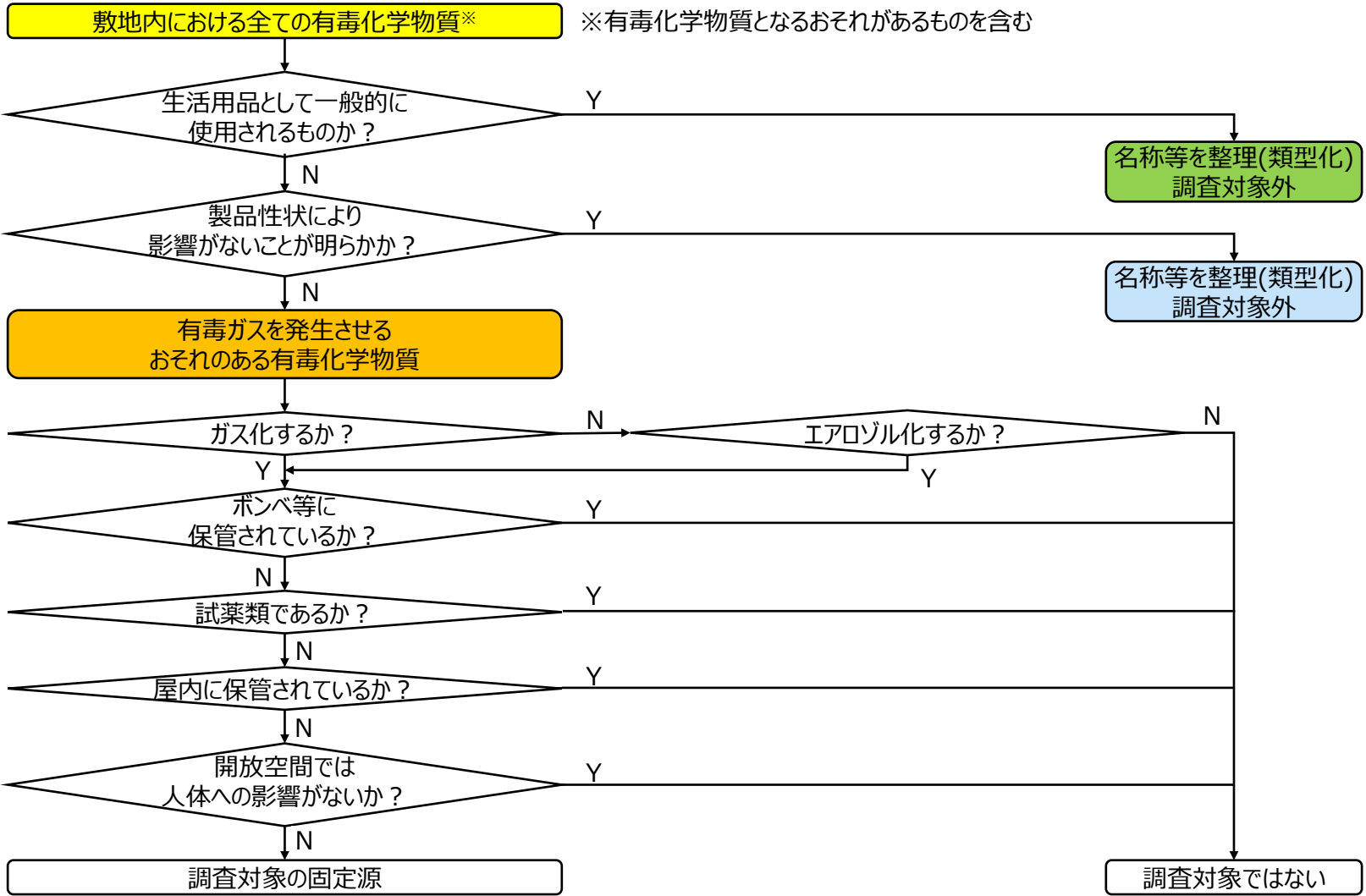
※流出時に有毒ガスが大気中に多量に放出されるおそれがないことの詳細例は以下のとおり。

- (1) 固体あるいは揮発性が乏しい液体でエアロゾル化しない物質であること
固体あるいは揮発性が乏しい液体(水酸化ナトリウム、硫酸等)で、常温・常圧で保管されている物質
- (2) ポンプ等に保管された有毒化学物質
容器は、高圧ガス保安法等に基づき設計されており、漏えいしたとしても少量ずつでの漏えいが想定されるもの(ポンプ等に保管された物質)
- (3) 試薬類であること
少量であり、使用場所も限られる試薬等
（ガイド3.1(解説-4)のとおり）
- (4) 建屋内保管される薬品タンク
屋内に保管される薬品タンクであり、漏えいしたとしても、建屋内から屋外への漏えいは少量ずつと想定されるもの
- (5) 開放空間では人体への影響がないもの
防護判断基準値が高く、人体への影響は密閉空間に限定されるもの

（ガイドに基づき調査対象外と整理）

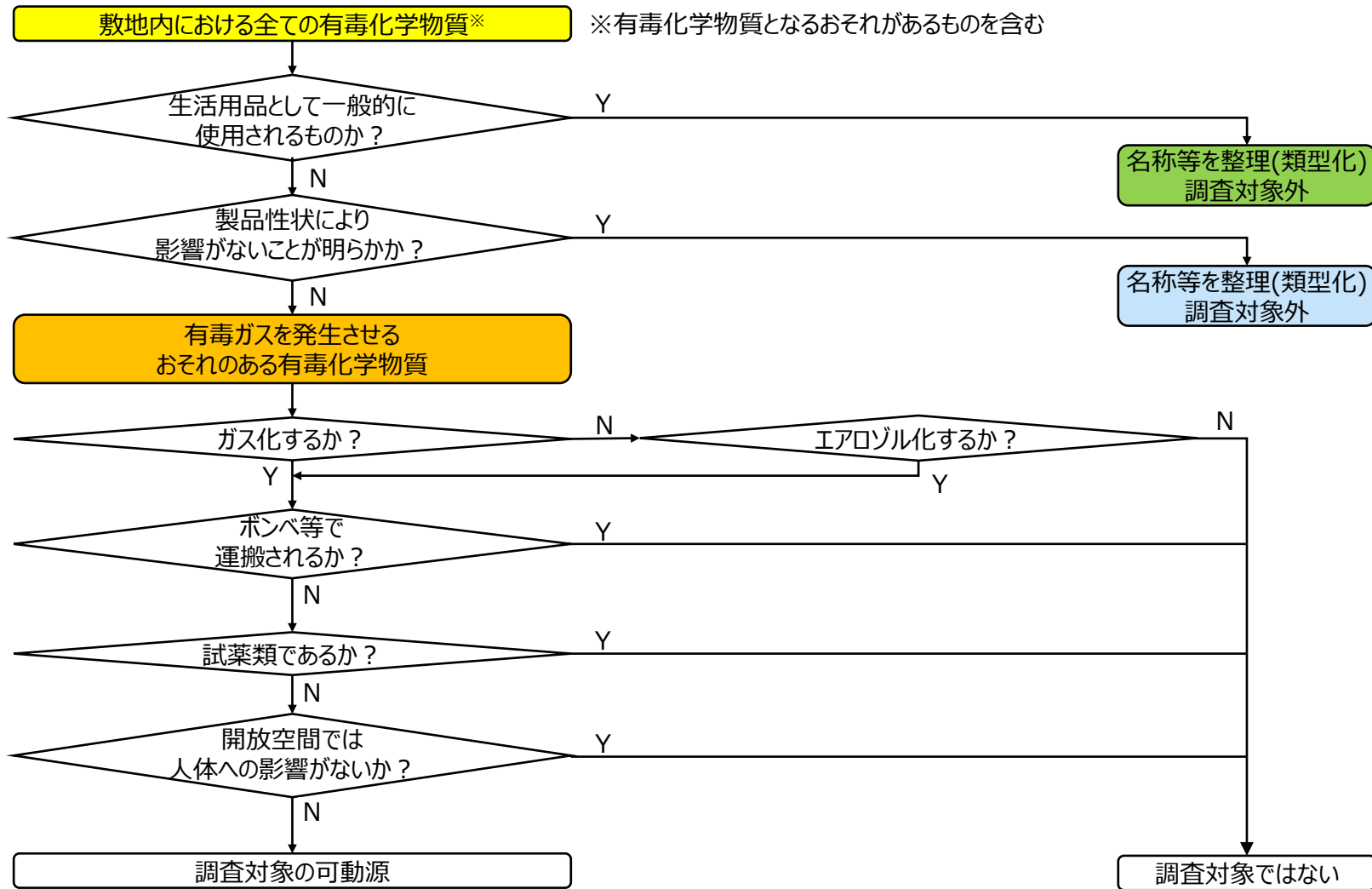
3. 評価に当たって行う事項（固定源の調査）

◆ 調査対象の固定源特定フロー



3. 評価に当たって行う事項（可動源の調査）

◆ 調査対象の可動源特定フロー



3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 抽出イメージ図

敷地内における全ての有毒化学物質（有毒化学物質となるおそれがあるものを含む）

有毒ガスを発生させるおそれのある有毒化学物質

【リスト化したもの】

○薬品タンク，軽油タンク，設備用ポンペ，分析用ポンペ，チラーの冷媒、遮断器の絶縁ガス，試薬類，薬品タンクローリー

【製品性状により影響がないことが明らか（類型化）】

○セメント固化したドラム缶，バッテリー，潤滑油，絶縁油，酸素呼吸器

【生活用品であり、運転員の対処能力に影響を与える観点で考慮不要（類型化）】

○洗剤，エアコンの冷媒，殺虫剤，自販機，調味料，車，電池，消毒液，消火器，飲料（コーヒー），融雪剤，スプレー缶，作業用品

固定源と可動源の定義

○固定源

敷地内外において貯蔵施設（例えば、貯蔵タンク、配管ライン等）に保管されている、有毒ガスを発生させるおそれのある有毒化学物質をいう。
(ガイド1. 3を抜粋)

○可動源

敷地内において輸送手段（例えば、タンクローリー等）の輸送容器に保管されている、有毒ガスを発生させるおそれのある有毒化学物質をいう。
(ガイド1. 3を抜粋)

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 敷地内有毒化学物質リスト（抜粋）

有毒化学物質		保管場所	貯蔵量	
敷地内における全ての有毒化学物質※	タンク類	塩酸	屋外（1号館管理事務所西側）	0.3m ³
		ヒドラジン	3号機補助ボイラー建物	0.2m ³
	ボンベ類	ハロン1301	ガスタービン発電機建物	60kg×51本
		炭酸ガス	2号ボンベ庫	30kg×30本
		アセチレン	2号炉放射化学分析室前	7kg×1本
	機器（冷媒）	HCFC-22	1号炉タービン建物	198kg
		HCFC-134a	2号炉廃棄物処理建物	1600kg
	機器（遮断器）	六フッ化硫黄	2号開閉所	3832.2kg
	試薬類	塩酸	環境実験室	500mL×2本
		水酸化ナトリウム	放射化学分析室	500g×6本
		硝酸	放射化学分析室	500mL×5本
	その他	潤滑油	各機器	—
		バッテリー（希硫酸）	各機器	—
	その他（参考）	生活用品	事務所等	—

※ 有毒化学物質となるおそれがあるもの含む

（詳細は、補足説明資料 別紙4-7-1,2参照）

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 固体あるいは揮発性が乏しい液体の取り扱い

抽出した有毒化学物質には、固体あるいは揮発性が乏しいものも含まれるが、保管状況を確認し、運転員の対処能力に影響がないと整理した。

また、揮発性の乏しい液体については、エアロゾル化についても検討したが、エアロゾル化の条件

- ・0.3 MPa以上の圧力で保管されている。
- ・高温状態で保管されている。

これらに該当する有毒化学物質の貯蔵施設はないことを確認した。

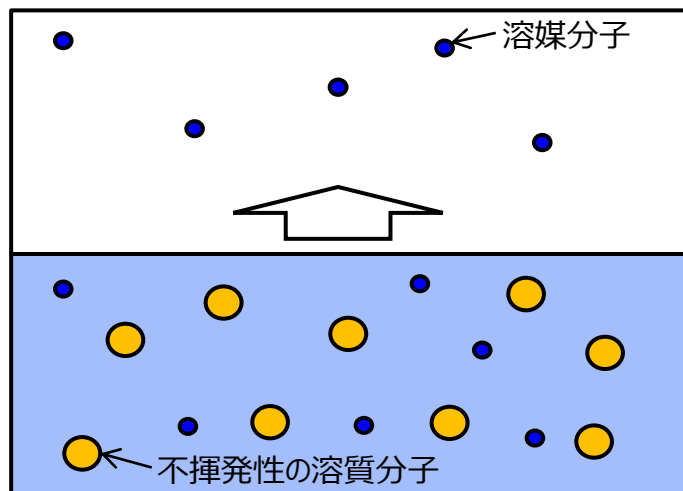
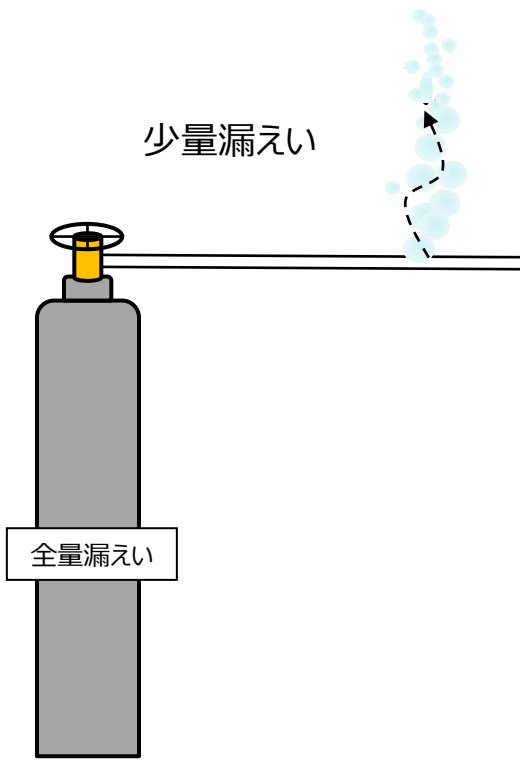


図4 不揮発性物質のイメージ

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ ボンベ等に保管された有毒化学物質

高圧ガス保安法で規定された高圧容器で保管されている有毒化学物質は、高圧ガス保安法によって、耐圧試験、気密試験等を行い、合格した容器に保管されている。容器からのガスの漏えい形態としては、配管等からの少量漏えいが想定され、有毒ガスが大気中に多量に放出されるおそれはない。



少量漏えい

全量漏えい

表1 調査対象外とした有毒化学物質の例

名称	貯蔵量	貯蔵場所
プロパン	75kg/本	緊急時対策所
ハロン 1301	75kg/本	2号炉原子炉建物
二酸化炭素	10L/本	所内ボイラー・純水装置建物
	3.4L/本	3号機補助ボイラ建物
アセチレン	7kg/本	放射化学分析室
六フッ化硫黄	50kg/本	7号倉庫

図5 ボンベ配管からの漏えい

(ガイド3. 1 (解説-4) に基づき調査対象外と整理)

◆ ガスボンベの被災状況について

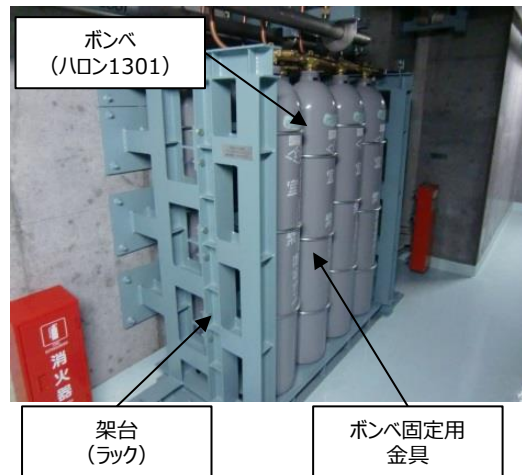
- 高圧ガス保安法で規定された高圧容器で保管されている有毒化学物質について、プロパンを例として事象事例を整理したところ、火災・爆発の事象事例は見られるものの、プロパン自体での中毒事故は記録がない。
- 災害時の事象事例を確認してもボンベ本体が損傷している事例はない。さらに、発電所では耐震重要度分類に対応した架台に設置され、高圧ガス保安法の規則に則り固縛されており、何らかの外力がかかったとしても、ボンベ自体が損傷することは考えにくい。



図6 東日本大震災でのLPガスボンベの被災状況

(引用) 自然災害対策について 平成29年11月 関東液化石油ガス協議会

ガスタービン発電設備建物
(ハロン消火設備)



2号炉放射化学分析室前

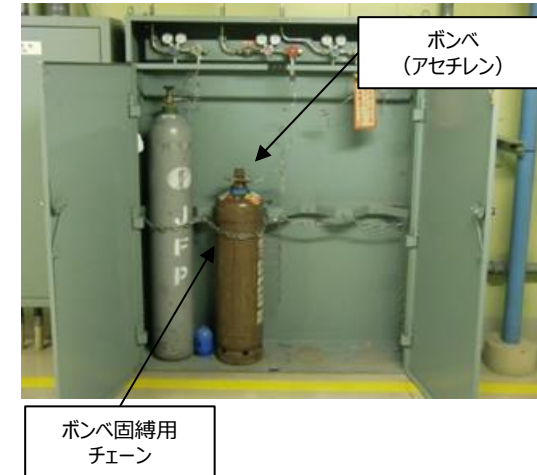


図7 発電所におけるボンベの設置状況

(詳細は、補足説明資料 別紙4-4 参照)

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 漏えい時の放出率（気体放出）

ボンベ単体としては健全性が保たれることから、ガスボンベからの漏えい形態としては、接続配管からの少量漏えいを想定した。漏えい率は、下記の「石油コンビナートの防災アセスメント指針」における災害現象解析モデル式によってプロパンボンベを例に評価した。

- ・気体放出（流速が音速未満($p_0/p > \gamma_c$)の場合)

$$q_G = cap \sqrt{\frac{2M}{ZRT} \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \left\{ \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}} \quad \text{ただし, } \gamma_c = \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

q_G : 気体流出率 (kg/s)
 c : 流出係数 (不明の場合は0.5とする)
 a : 流出孔面積 (m²)
 p : 容器内圧力 (Pa)
 p_0 : 大気圧力 (=0.101×10⁶ Pa)
 M : 気体のモル重量 (kg/mol)
 T : 容器内温度 (K)
 γ : 気体の比熱比
 R : 気体定数 (=8.314 J/mol・K)
 Z : ガスの圧縮係数 (=1.0 : 理想気体)

・評価結果

プロパンボンベからの放出率は約 4.5×10^{-4} kg/sであり、評価対象の固定源（塩酸）と比較して1/20以下。更に、防護判断基準値が400倍以上高いことを考慮すると、影響は小さい。

表2 放出率評価結果（プロパンボンベ）

	プロパンボンベ	(参考) 排水中和用塩酸タンク
放出率 (kg/s)	4.5×10^{-4}	平均 : 9.4×10^{-3} ($4.1 \times 10^{-3} \sim 5.3 \times 10^{-2}$)
防護判断基準値 (ppm)	23,500	50

表3 評価条件

パラメータ	設定値	備考
流出孔面積	2.1×10^{-6} m ²	接続配管径 : 16.1mm 配管断面面積の1/100 (少量漏えい)
容器内温度	25 °C	保管温度
容器内圧力	0.07 MPa	運転時の通常圧力
気体のモル重量	0.0408 kg/mol	機械工学便覧
気体の比熱比	1.135	機械工学便覧

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 漏えい時の放出率（横置きプロパンボンベの影響）

ボンベが横置きで設置されるのは雑固体焼却炉のプロパンのみである。

雑固体焼却炉において、ボンベ庫内にあるボンベから気化器までの配管長さは約10mあり、配管内は液体、気体の混合物である。気化器通過後は、配管内は気体となり焼却炉へ供給されることとなるが、その配管長さは約53mある。また、ボンベには過流防止弁が設置されており多量流出は想定されない。

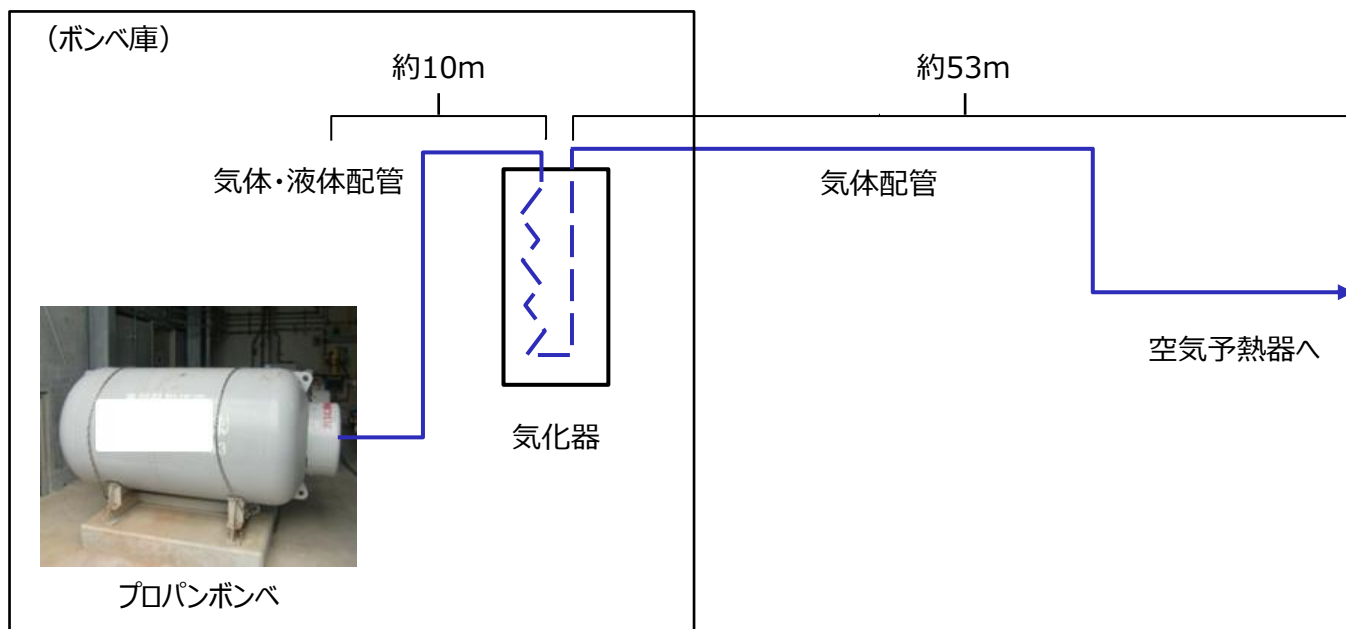


図8 雑固体焼却設備のプロパンガス概略系統図

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 漏えい時の放出率（液体放出）

配管から気体として漏えいするとした場合のプロパンの放出率は約 3.0×10^{-3} kg/sであり、評価対象の固定源（塩酸）と比較して約1 / 3以下となる。

なお、液体配管から漏えいするとして評価した場合でも、プロパンの放出率は約 9.5×10^{-2} kg/sであり、評価対象の固定源（塩酸）からの放出率よりも10倍以上大きいものの、放出率の防護判断基準の差が400倍以上であることから防護判断基準値の比は40倍程度となり、影響は小さい。

表4 放出率評価結果（焼却炉プロパンボンベ）

	焼却炉プロパンボンベ		(参考) 排水中和用塩酸タンク
	気体放出	液体放出	
放出率 (kg/s)	3.0×10^{-3}	9.5×10^{-2}	平均： 9.4×10^{-3}
防護判断基準値 (ppm)	23,500		50

【評価式】（液体放出）

$$q_L = c_a a \sqrt{2gh + \frac{2(p-p_0)}{\rho_L}}$$

$$q_G = q_L f \rho_L$$

- q_L : 液体流出率(m³/s)
 c_a : 流出係数(=0.5)
 a : 流出孔面積(m²)
 p : 容器内圧力(Pa)
 p_0 : 大気圧力(=0.101MPa)
 ρ_L : 液密度(kg/m³)
 g : 重力加速度(=9.8)(m/s²)
 h : 液位(m)(液面と流出孔の高さの差)
 q_G : 有毒ガスの重量放出率(kg/s)
 f : フラッシュ率

表5 評価条件

パラメータ	設定値	備考
流出係数	1	「石油コンビナートの防災アセスメント指針」には、不明の場合0.5としているものの、保守的に1と設定した
流出孔面積	3.6×10^{-6} m ²	接続配管径：21.4 mm 配管断面積の1/100（少量漏えい）
容器内温度	25 °C	保管温度
容器内圧力	0.7MPa	運転時の通常圧力
液密度	492.8kg/m ³	日本LPガス協会HP
液位	0 m	液面と流出孔の高さの差
フラッシュ率	1	全量気化する

(詳細は、補足説明資料 別紙4 - 3 参照)

◆ 建物内保管の薬品タンクについて

建物内は風量が小さく蒸発量が建物外に比べて小さい。また、発生した有毒ガスは建物内で拡散し、大気への放出経路が限定されることから、有毒ガスが建物外の大気中に多量に放出されるおそれはない。

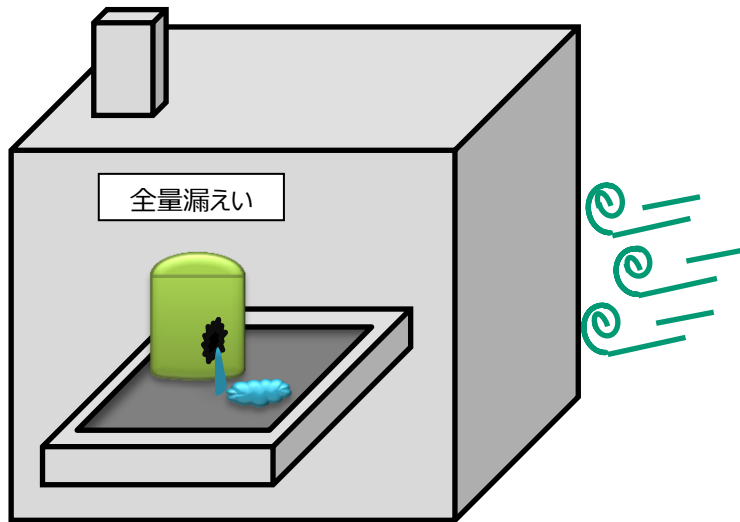


図9 建物内保管タンクイメージ

表6 調査対象外とした有毒化学物質の例

貯蔵場所	名称	貯蔵量
3号機補助ボイラー建物	ヒドラジン	0.1 m ³
所内ボイラー・純水装置建物 (3号)	ヒドラジン	0.2 m ³

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 建物内風速

建物内のタンクには、堰等が設置されるとともに、放出口も限定されている。また、風速測定を実施したが、表7のように屋外風速に対して十分小さい。

・薬品タンク設置状況（例）

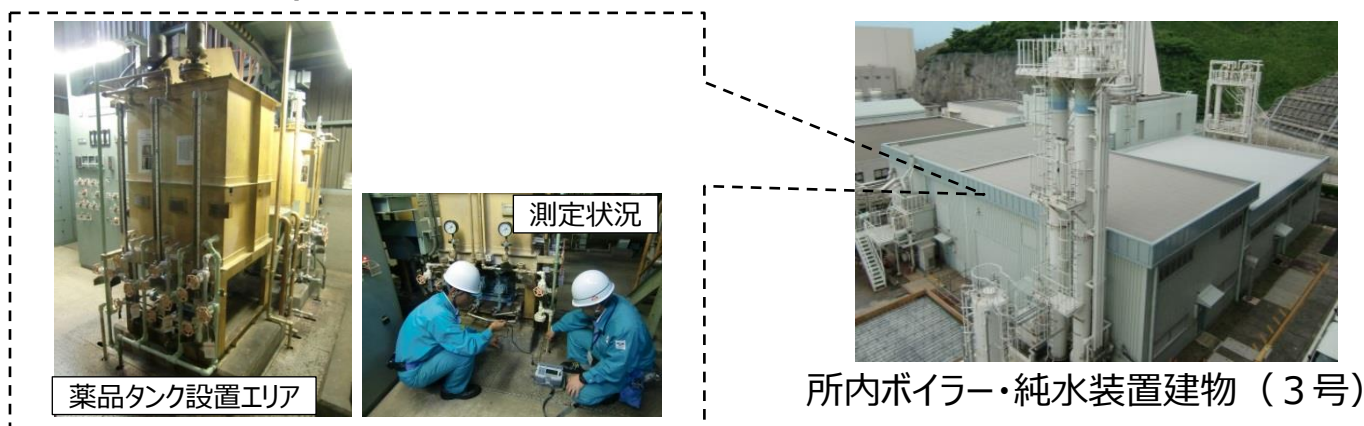


表7 建物内における風速測定結果

建屋	薬品タンク	風速※1	(参考) 屋外風速※2
3号機補助ボイラー建物	補助ボイラー低圧薬注タンク	<0.1m/s	2.6m/s
所内ボイラー・純水装置建物（3号）	濃縮ヒドラジンタンク	<0.1m/s	

※1 測定器の検出下限値は0.01m/sである。測定は複数点行い、風速の算定にあたっては、検出下限未満の場合は0.01m/sとして平均値を算出。

※2 屋外風速は、地上風を代表する観測点（標高28.5m）における観測風速の年間平均を示す。

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 漏えい時の蒸発率

蒸発率は、文献「Modeling Hydrochloric Acid Evaporation in ALOHA」に従い、下記の式で評価する。

・蒸発率E

$$E = A \times K_M \times \left(\frac{M_W \times P_V}{R \times T} \right) (\text{kg/s}) \quad \dots(4-5-1)$$

・物質移動係数 K_M

$$K_M = 0.0048 \times U^{\frac{7}{9}} \times Z^{-\frac{1}{9}} \times S_C^{-\frac{2}{3}} (\text{m/s}) \quad \dots(4-5-2)$$

$$S_C = \frac{v}{D_M} \quad \dots(4-5-3)$$

$$D_M = D_{H_2O} \times \sqrt{\frac{M_{WH_2O}}{M_{Wm}}} (\text{m}^2/\text{s}) \quad \dots(4-5-4)$$

$$D_{H_2O} = D_0 \times \left(\frac{T}{273.15} \right)^{1.75} (\text{m}^2/\text{s}) \quad \dots(4-5-5)$$

・蒸発率補正 E_C

$$E_C = - \left(\frac{P_a}{P_v} \right) \ln \left(1 - \frac{P_v}{P_a} \right) \times E (\text{kg/s}) \quad \dots(4-5-6)$$

E : 蒸発率(kg/s)

E_C : 補正蒸発率(kg/s)

A : 堰面積(m^2)

K_M : 化学物質の物質移動係数(m/s)

M_W : 化学物質の分子量(kg/kmol)

P_V : 化学物質の分圧(Pa)

R : ガス定数(J/kmol \cdot K)

T : 温度(K)

U : 風速(m/s)

Z : 堰直径(m)

S_C : 化学物質のシュミット数

v : 動粘性係数(m^2/s)

D_M : 化学物質の分子拡散係数(m^2/s)

D_{H_2O} : 温度T(K)、圧力 P_V (Pa)における水の分子拡散係数(m^2/s)

M_{WH_2O} : 水の分子量(kg/kmol)

M_{Wm} : 化学物質の分子量(kg/kmol)

D_0 : 水の拡散係数($=2.2 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)

・風速は、物質移動係数 K_M のU項に該当し、蒸発率は $U^{\frac{7}{9}}$ に比例する。

屋内風速0.1m/s（測定結果の上限値）の場合、 $U^{\frac{7}{9}} = 0.17$ 、屋外風速2.6m/s（年間平均）では、 $U^{\frac{7}{9}} = 2.1$ となる。

→従って、建物内の蒸発率は、屋外に対して1 / 10以下となる。

なお、温度も蒸発率に影響するが、気温の高い夏場では建物内温度と外気温の差は少なくなることから、温度が蒸発率に与える影響は風速と比べ少ない。

・その上で、漏えい時には、中和槽等に排出されるとともに建物内で拡散し、放出経路も限定されることから、大気中に多量に放出されるおそれはなく、建物効果を見込むことが可能であると考えられる。

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

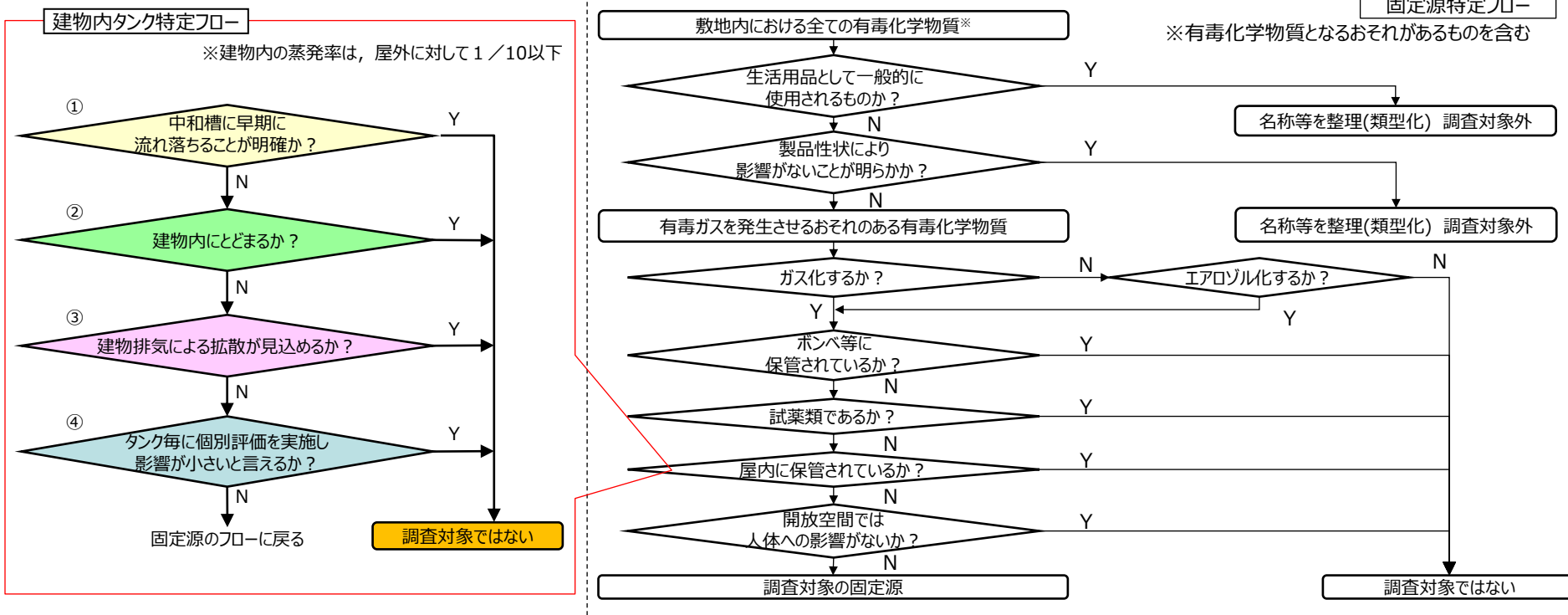
◆ 建物内の拡散効果

薬品タンク漏えい時における建物内の拡散効果については、建物規模、換気の有無、設置状況等で影響をうける。一方、固定源判定により抽出される建物内のタンクは、数が限定される。

そのため、図10の特定フローに従い、建物内における薬品タンクの保管状況に応じ、漏えい時の影響を評価した。

なお、建物内のタンクから漏えいが発生しても、大気への放出口が限定され、放出時には建物の巻き込み効果も発生し拡散が促進されることから、実際の評価地点における濃度は、評価値よりも低いものになる。

図10 建物内タンク特定フロー



3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 漏えい時の影響評価

評価結果は、表 8 に示す通りであり、いずれの建物においても、抑制効果が期待できる。

建物内における漏えい時の蒸発率が、屋外に対し1/10以下となることに加え、表 8 の抑制効果を併せると建物内タンクから多量に放出されるおそれはないと説明できる。

表 8 建物内タンク漏えい時の影響評価結果

建物	薬品タンク	容量	フローでの分岐	評価結果
3号機 補助ボイラ 建物	補助ボイラー低圧薬注タンク	0.2m ³	①Y	貯蔵量が少なく、薬品が漏えいしても、排出先までの距離が短く速やかに排水ピットに流下する配置となっており、建物内が高濃度となるおそれはない。
3号所内ボイラ 純 水装置建物	濃縮ヒドラジンタンク	0.1m ³		

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 人体に対する影響を考慮する際に密閉空間での影響を考慮すべきもの

六フッ化硫黄は、防護判断基準値が高く（220,000ppm）人体に影響を与えるのは、密閉空間に限定され、開放空間では人体に影響がないと考えられるが、高密度ガスであることから、その振る舞いを踏まえた検討を行う。

○ 高密度ガスの拡散について

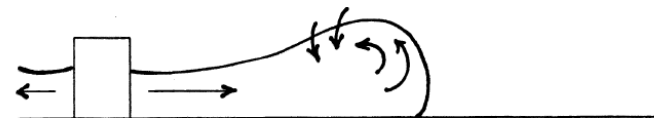
六フッ化硫黄は、空気より分子量が大きい高密度ガスである。高密度ガスが瞬時に大量に漏えいした際には、

- (a) 拡散するガスの前面で鉛直方向に空気を巻き込みながら、水平方向に進行
 - (b) 水平方向（地表付近）に非常に安定な成層を形成
 - (c) 時間の経過に伴い、周囲からの入熱、風等の影響で鉛直方向にも拡散
- することが一般論として示されている。（図11参照）

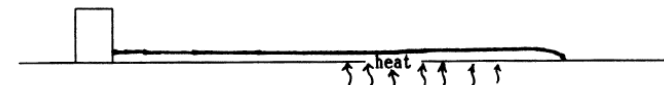
放出点からある程度距離が離れた地点において、最も漏えいガスが高濃度となるのは、（b）の漏えいから暫く時間が経過した段階における、地表付近に非常に安定な成層を形成した状態だと考えられる。

そこで、屋外開閉所の六フッ化硫黄が漏えいし、(b)の状態を形成すると仮定し、その影響を評価した。

(a) immediately after spill..... effect of gravity flow is large.
entrainment of ambient air is effective.



(b) a few time later after very flat heavy gas cloud
the spill very strong stratification
effect of entrainment is small.
effect of heat transfer from ground is large.
turbulence damping is important.



(c) enough time later after approaching the behavior of
the spill trace gas dispersion



Fig. 3. Dispersion of vapor cloud of the cryogenic liquefied gas

図11 高密度ガスの拡散について

◆ 六フッ化硫黄漏えい時の影響評価

○ 評価条件

- 500kV開閉所に設置されている機器（母線，遮断器）に内包されている六フッ化硫黄（約7,005kg）の全量漏えいを想定（気体の状態方程式に基づき換算すると、六フッ化硫黄の体積は約1,170m³）

○気体の状態方程式（評価条件）

$$pV = \frac{w}{M} RT$$

p : 圧力(=1atm) M : モル質量(=146g/mol) T : 温度 (= 25℃)
 V : 体積 R : モル気体定数
 w : 質量(=7,005kg) (=0.082L・atm/(K・mol))

- 保守的に六フッ化硫黄が評価点までの距離の範囲内で広がり、成層を形成した場合を想定
 評価距離は500kV開閉所エリア中心から最も近い重要操作地点まで距離約590mとし、円柱状に広がったと想定
- 対処要員の口元相当である高さ1.5mにおける六フッ化硫黄の濃度を評価

○ 評価結果

対処要員の口元相当である高さにおける六フッ化硫黄の濃度は約0.07%となり、防護判断基準値の22%を下回ることを確認した。さらに、濃度100%で成層を形成したと想定した場合の到達高さも約1mmであり、実際には対処要員の活動に支障を与えることはないと考えられる。

なお、実際には上記想定のように評価点の範囲内で成層状にとどまり続けることはなく、周囲からの入熱や風等の影響で鉛直方向にも拡散、希釈されると考えられ、対処要員への影響はさらに低減するものと考えられる。

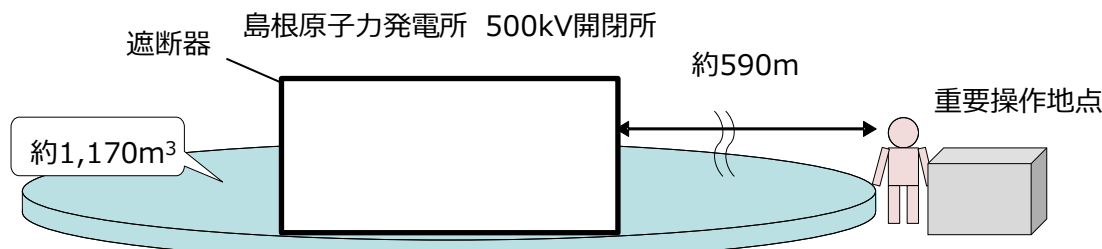


図12 六フッ化硫黄と評価地点の関係

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 敷地外固定源の抽出

敷地外固定源については、地域防災計画のみではなく、法令に基づき届出があるものを抽出した。
具体的には「毒物及び劇物取締法」、「消防法」及び「高圧ガス保安法」に対して調査を実施した。

表9 届出情報の開示請求を実施する法律の選定結果

法律名	貯蔵量等に 係る届出義務	開示請求の 対象選定	法律名	貯蔵量等に 係る届出義務	開示請求の 対象選定
化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律	×	×	地球温暖化対策の推進に関する法律	×	×
特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律	×	×	食品衛生法	×	×
毒物及び劇物取締法	○	○	水道法	×	×
環境基本法	×	×	医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律	×	×
大気汚染防止法	×	×	建築基準法	×	×
水質汚濁防止法	×	×	有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律	×	×
土壤汚染対策法	×	×	労働安全衛生法	×	×
農薬取締法	×	×	肥料取締法	×	×
悪臭防止法	×	×	麻薬及び向精神薬取締法	○	×※1
廃棄物の処理及び清掃に関する法律	×	×	覚せい剤取締法	○	×※1
下水道法	×	×	消防法	○	○
海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律	×	×	飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律	×	×
ダイオキシン類対策特別措置法	×	×	放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律	○	×※2
ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法	×	×	高圧ガス保安法	○	○
特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律	×	×	液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律	○	×※3
フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律	×	×	ガス事業法	○	×※4
			石油コンビナート等災害防止法	○	×※5

- ※1 貯蔵量の届出義務はあるが、化学物質の使用禁止を目的とした法令であり、主に医療用、研究用などに限定され、取扱量は少量と想定されるため対象外とした。
 ※2 貯蔵量の届出義務はあるが、放射性同位元素の数量に係るものであることから対象外とした。
 ※3 貯蔵量の届出義務はあるが、人の健康の保護を目的とした法令ではなく、急性毒性に係る情報もないことから対象外とした。
 ※4 都市ガスに係る法律。発電所から10km 圏内に都市ガスはないため対象外とした。
 ※5 島根原子力発電所の最寄りの石油コンビナート等特別防災区域は水島臨海地区、福山・笠岡地区であるが、敷地外固定源に係る調査対象範囲外であることから対象外とした。

3. 評価に当たって行う事項（固定源及び可動源の調査）

◆ 固定源・可動源の調査結果

島根原子力発電所において、調査対象として特定した敷地内及び敷地外固定源並びに敷地内可動源は以下のとおり。

表10 敷地内固定源の調査結果

敷地内 固定源	系統	固定源名称	有毒化学物質堰				
			種類	濃度(%)	貯蔵量(m ³)	貯蔵方法	堰の有無
	排水中和装置	排水中和用塩酸タンク	塩酸	35	0.3	タンクに貯蔵	有

表11 敷地外固定源の調査結果

敷地外 固定源	固定源名称	有毒化学物質				
		名称	薬品濃度 (wt%)	合計貯蔵量 (kg)	貯蔵 方法	堰の有無
	A社	アンモニア	100※	1.5×10 ³ ※	冷媒	—

※ 事業所の業種等を考慮して推定した値。

表12 敷地内可動源の調査結果

敷地内 可動源	有毒化学物質	最大輸送量 (m ³)	濃度 (%)	荷姿
		塩酸	0.9	35	大型ポリタンク

◆ 防護判断基準値の設定について

島根原子力発電所において、特定した有毒化学物質は、塩酸、アンモニアの2種類であり、それらの有毒化学物質に対して図13のフローに基づき、防護判断基準値を設定した。設定した防護判断基準値を表13に示す。

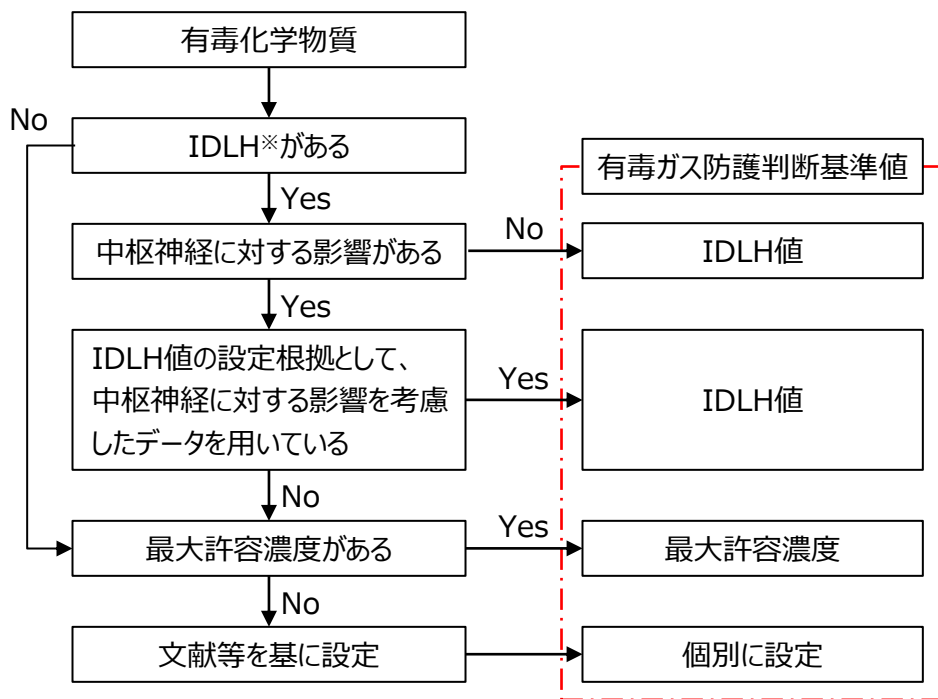


表13 有毒ガス防護判断基準値

有毒化学物質	防護判断基準値	設定元
塩酸	50 ppm	IDLH値
アンモニア	300 ppm	IDLH値

※ 米国国立労働安全衛生研究所(NIOSH)で定められる急性の毒性限度(人間が30分間ばく露された場合、その物質が生命及び健康に対して危険な影響を即時に及ぼす、又は避難能力を妨げるばく露レベルの濃度限度値)をいう。

図13 有毒ガス防護判断基準値設定の考え方

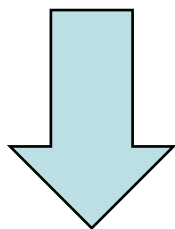
4. 対象発生源特定のためのスクリーニング評価

有毒ガス影響評価ガイドには、「表14 対象発生源及びスクリーニング評価の要否に関する対応」が記載されており、スクリーニング評価要否について設定することになっている。

固定源に対しては、評価を実施し、可動源に対しては、一定の状況を想定することも可能であるが柔軟な対応手段を講じておくことを念頭に、「表15 スクリーニング評価の整理」の通り防護対策を実施することとした。

表14 対象発生源及びスクリーニング評価の要否に関する対応

場所	敷地内固定源	敷地外固定源	敷地内可動源
原子炉制御室	○	△	△
緊急時対策所	○	△	△
緊急時制御室	○	△	△
重要操作地点	△	×	×



【凡例】

○：スクリーニング評価が必要

△：スクリーニング評価を行わず、対象発生源として対策を行ってもよい。

×：スクリーニング評価は不要

表15 スクリーニング評価の整理

場所	敷地内固定源	敷地外固定源	敷地内可動源
原子炉制御室	評価実施	評価実施	対策実施
緊急時対策所	評価実施	評価実施	対策実施
緊急時制御室	別途申請予定		
重要操作地点	評価実施	－（評価不要）	－（評価不要）

4. 対象発生源特定のためのスクリーニング評価

◆ 特定された固定源と評価地点

固定源として特定した有毒化学物質及び評価地点の位置関係を図14,図15に示す。

これらに対し、評価地点ごとに、固定源の方位、距離を設定する。



図14 特定された固定源（敷地内）



図15 特定された固定源（敷地外）

4. 対象発生源特定のためのスクリーニング評価

◆ スクリーニング評価方法

特定した固定源の有毒化学物質に対しスクリーニング評価を実施する。主な評価上の想定は以下のとおり。

(評価の方法)

固定源については、薬品タンクが損傷し、全量が流出することを想定する。また、有毒化学物質の性状及び保管状態から放出形態を想定し、有毒ガスの単位時間当たりの大気中への放出量及びその継続時間を評価し、評価点まで拡散するものとして濃度を評価。

(評価上の考慮事項)

拡散評価に当たっては、ガウスプルームモデルを採用し、放出源から評価点までの相対濃度を評価。評価点における濃度は、年間毎時刻での外気濃度を小さい方から累積し、累積出現頻度が97%にあたるものを値として採用。

(基準に対する評価結果の扱い)

ある方位に複数の発生源がある場合は、有毒ガス濃度の防護判断基準値に対する割合の和を確認することとした。

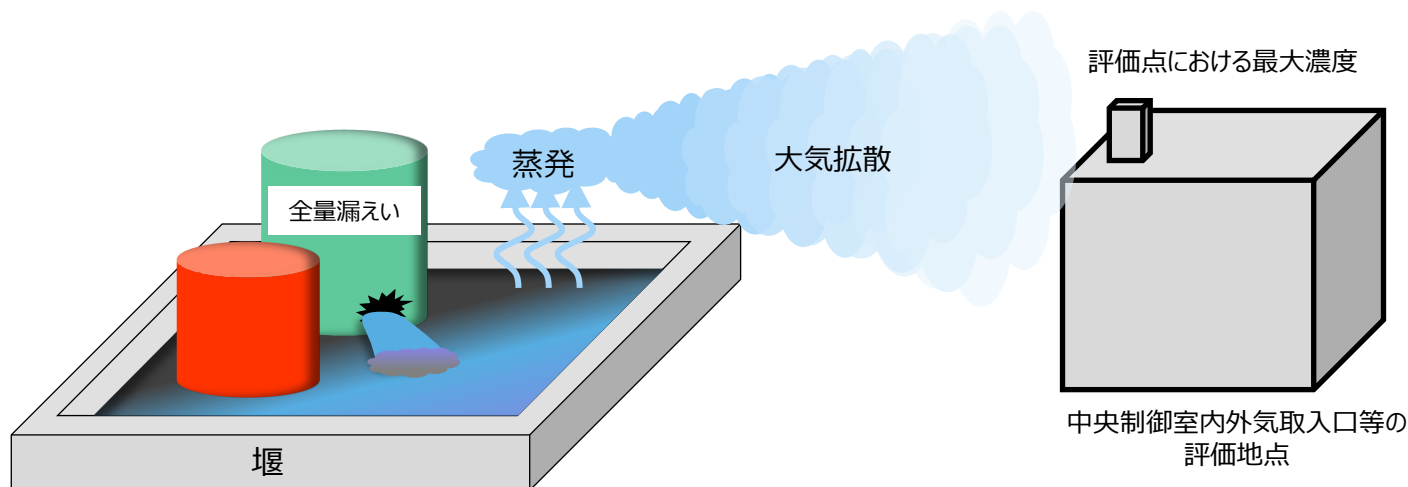


図16 スクリーニング評価イメージ (固定源)

4. 対象発生源特定のためのスクリーニング評価

◆ 有毒ガス濃度評価結果

固定源に対する濃度評価は、図17のように隣接方位についても足し合わせることで防護判断基準値を満足するかを確認する。

その結果、最大方位であっても有毒ガス濃度の防護判断基準値に対する割合の和が1を下回ることを確認した。これにより、固定源により運転員等の対処能力が著しく損なわれることがないことを確認した。

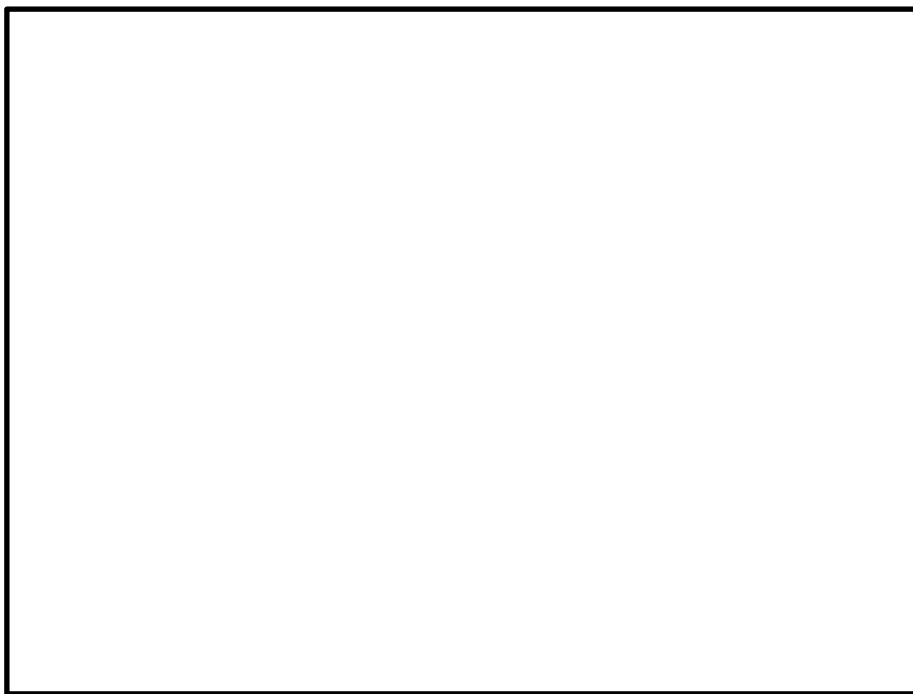


図17 固定源の評価イメージ

表16 固定源の評価結果

評価地点		有毒ガス防護判断基準値に対する割合の和
中央制御室		0.24
緊急時対策所		0.13
重要 操作 地点	西側接続口	0.02
	南側①接続口	0.04
	南側②接続口	0.03

(詳細は、補足説明資料 4.4.3.1参照)

5. 有毒ガス防護に対する妥当性の判断

◆ 可動源に対する防護対策

可動源に対しては、一定の状況を想定することも可能ではあるが柔軟な対応手段を講じておくことを念頭に、スクリーニング評価を実施せず、防護対策を講じる。

- ①立会人等による異常の検知・中央制御室への連絡体制の整備
- ②事象発生時には、立会人等から中央制御室への連絡
- ③通信連絡設備等を使用し、中央制御室から異常発生を必要な箇所（緊急時対策所等）へ連絡
- ④換気空調隔離（外気取込み停止）、マスク着用の防護対策の実施
- ⑤可動源からの漏えいに対し、終息活動の実施による有毒ガス発生量の低減

これらの防護措置のうち、①は可動源の入構に当たって実施し、②～⑤は、可動源からの漏えいが発生した場合に実施する。

○可動源の入構に当たっての対応

特定した敷地内可動源が、発電所構内に入構する場合は、立会人等が防護具を携行のうえ、発電所入構から薬品タンク等への受入完了まで随行・立会することで、速やかな有毒ガスの発生検知及び連絡を可能とする。

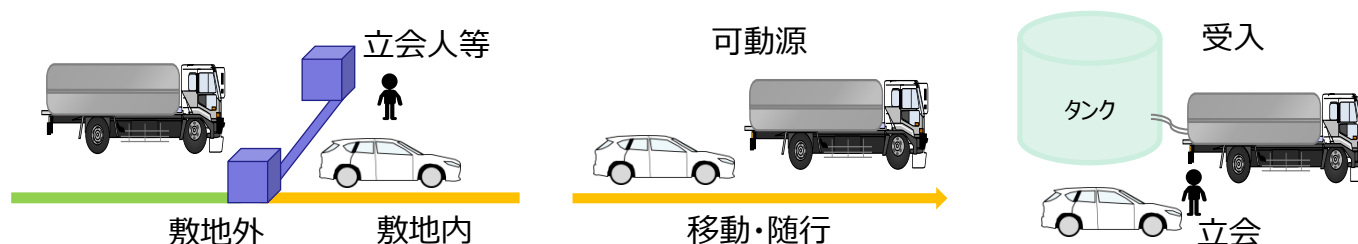


図18 有毒ガスの発生検出のための実施体制

5. 有毒ガス防護に対する妥当性の判断

◆ 可動源からの漏えいが発生した場合の対応

配置した立会人等が異常の発生を検知 (①) し、中央制御室に連絡 (②) し、中央制御室からは、異常発生を必要な箇所 (緊急時対策所等) へ連絡 (③) する。そして、連絡を受ける中央制御室等において換気空調設備の隔離等 (④) の防護措置を実施する。

その上で、終息活動要員が、有毒ガスの発生を終息させるために必要な措置を行う (⑤) こととする。また、終息活動完了後、当直長へ有毒ガス発生の終息を連絡する。



図19 漏えい時の防護対策の流れ

5. 有毒ガス防護に対する妥当性の判断

◆ 予期せぬ有毒ガス発生に対する対応

➤ 防護具等の配備等

資機材と装着手順の整備として

- 予期せぬ有毒ガス※¹の発生に対して、酸素呼吸器を配備するとともに、一定量のボンベ（6時間分）を確保する。
- 予期せぬ有毒ガスの発生を検出した場合に、酸素呼吸器を装着する手順及び体制を整備する。

➤ 通信連絡設備による伝達

連絡手段の整備として

- 予期せぬ有毒ガスの発生を含む異臭等の異常が確認された場合の通信連絡の手段及び体制を整備する。通信連絡設備は、現在申請中の新規規制基準適合性審査における方針に従い、設計、設置するもの（設置許可基準規則第35条、第62条）を使用する。

➤ 敷地外からの連絡

- 敷地外での有毒ガスが発生した場合の通信連絡の手順及び体制を整備する。

※1 例えば、敷地外可動源から発生する有毒ガス、敷地内固定源及び可動源において予定されていた中和等の終息作業が出来なかった場合に発生する有毒ガス等

5. 有毒ガス防護に対する妥当性の判断

◆ バックアップの供給体制の整備

- 予期せず発生する有毒ガスに対し、継続的な対応が可能となるよう、バックアップの供給体制として発電所敷地外からの酸素ポンベの供給体制を整備する。
- 予期せず有毒ガスが発生した場合、担当課長は、高圧ガス事業者に酸素ポンベ運搬を依頼する。
- 連絡を受けた高圧ガス事業者は、酸素ポンベを運搬し、発電所入口等にて発電所員との受渡しを行う。
- 発電所員は、受け取った酸素ポンベを運搬し、運転員及び初動要員に引き渡す。

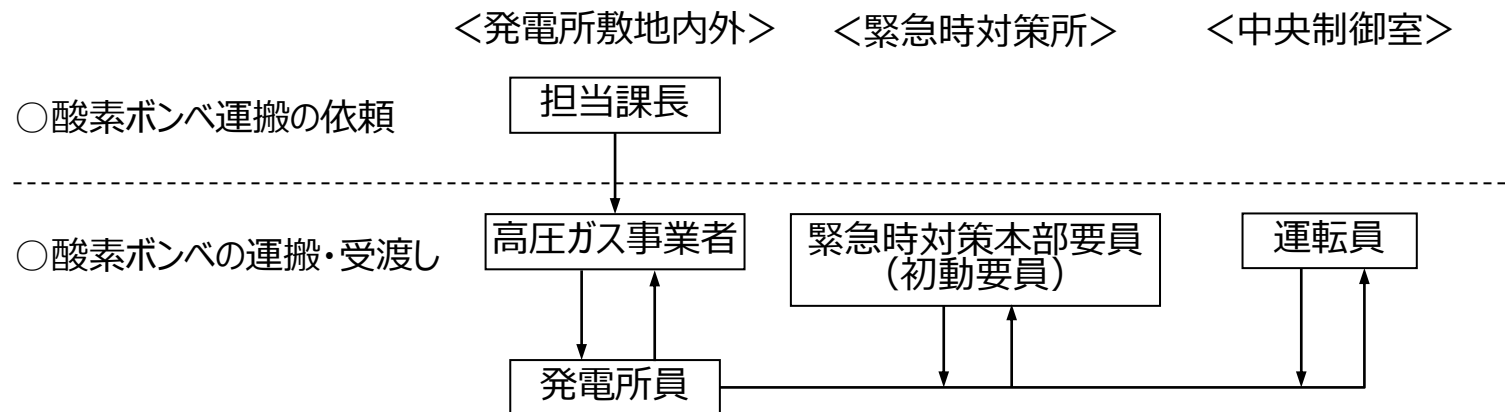


図20 バックアップの供給体制

6. まとめ

◆ 対象発生源特定のためのスクリーニング評価

- 調査対象の抽出フローに基づき、調査対象とする固定源及び可動源を特定した。
- 調査対象として特定した敷地内外の固定源を対象に、防護措置を考慮しない濃度評価（スクリーニング評価）を実施した。
- 拡散評価に当たっては、ガウスプルームモデルを採用した。
- 固定源に対しては、評価の結果、防護判断基準値を超えるものはないことから「有毒ガス発生源」はなく、防護措置が無くても、運転員等は、中央制御室等に一定期間とどまり、支障なく必要な措置をとるための操作を行うことができることを確認した。

◆ 有毒ガス防護に係る妥当性の判断

- 上記評価結果から、固定源に対して、対象発生源がある場合の対策は不要である。
- 可動源に対しては、立会人等の確保、連絡体制の確保及び中央制御室等への全面マスクの配備・着用手順の整備による防護措置を実施することで、中央制御室の運転員等の対処能力が損なわれないことを確認した。
- 予期せぬ有毒ガスの発生に対しては、酸素呼吸器・ボンベを配備し、通信連絡体制及びボンベ供給のバックアップ体制を整備する。