

「プラント内における危険区域の精緻な設定方法に関するガイドライン」の策定について

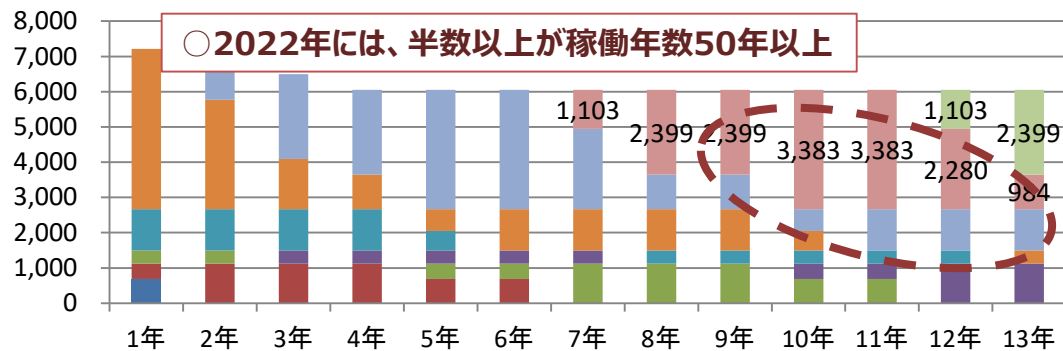
令和元年7月
経済産業省高圧ガス保安室

1. 背景

我が国プラントが直面する課題（高経年化、高齢化等）

- 我が国では、多くのプラントで老朽化が進むほか、保守・安全管理の実務を担ってきたベテラン従業員が引退の時期を迎えつつあり、今後、重大事故のリスクは増大するおそれ。

＜エチレンプラント設備の稼働年数＞

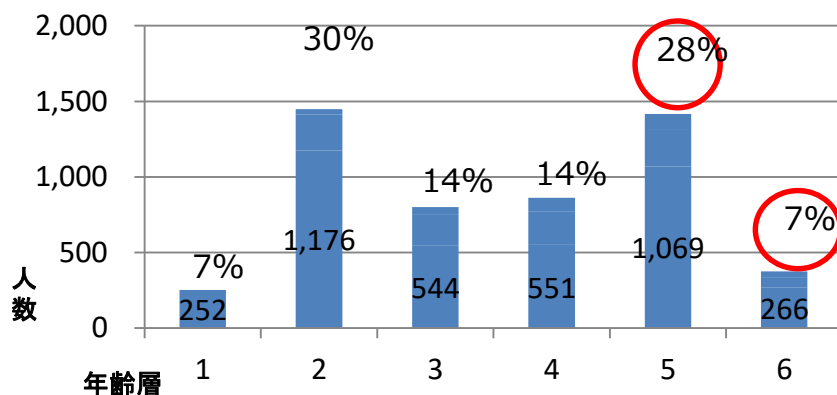


■ 系列1 ■ 系列2 ■ 系列3 ■ 系列4 ■ 系列5 ■ 系列6 ■ 系列7 ■ 系列8 ■ 系列9

（出典：日本の石油化学工業50年データ集（重化学工業通信社））

＜石油精製事業所における年齢構成＞

○ 51歳以上の従業員が全体の35%を占める



（出展：リスクアセスメント手法および保安教育プログラムに関するアンケート（平成26年、高圧ガス保安協会））

○ 近年、ベテラン従業員の引退による人材育成・技術伝承が不十分であること等を背景に重大事故が発生。



アクリル酸製造施設の爆発死亡事故
2012年9月 死者1名 負傷者36名



レゾルシン製造施設の爆発死亡事故
2012年4月 死者1名 負傷者21名



塩ビモノマー製造施設の爆発死亡事故
2011年11月 死者1名

近年のプラント事故の例

<事故概要>

二塩化エタン（塩化ビニルの原料）製造タンクの緊急放出弁が故障し、「開」の状態に。

タンク内の反応量が半分となり、温度が低下。

作業員が自身の判断により、加熱。その結果、別のタンク（塩酸タンク）に塩化ビニルモノマーが混入。

鉄錆が触媒となり、タンク内の塩化水素と塩化ビニルモノマーが反応を起こした。

タンク内の温度と圧力が次第に上昇したが、当初上昇が小さかったため、作業員が異常に気付かず、長時間反応が継続。



爆発火災

<施設・設備に関する課題>

弁の故障を事前に予測できなかった。

<運用・管理に関する課題>

非定常時の作業手順・ノウハウを十分形式知化できていなかった。

ビッグデータを活用し、異常反応を検知し、早期に知らせる仕組みができていなかった。

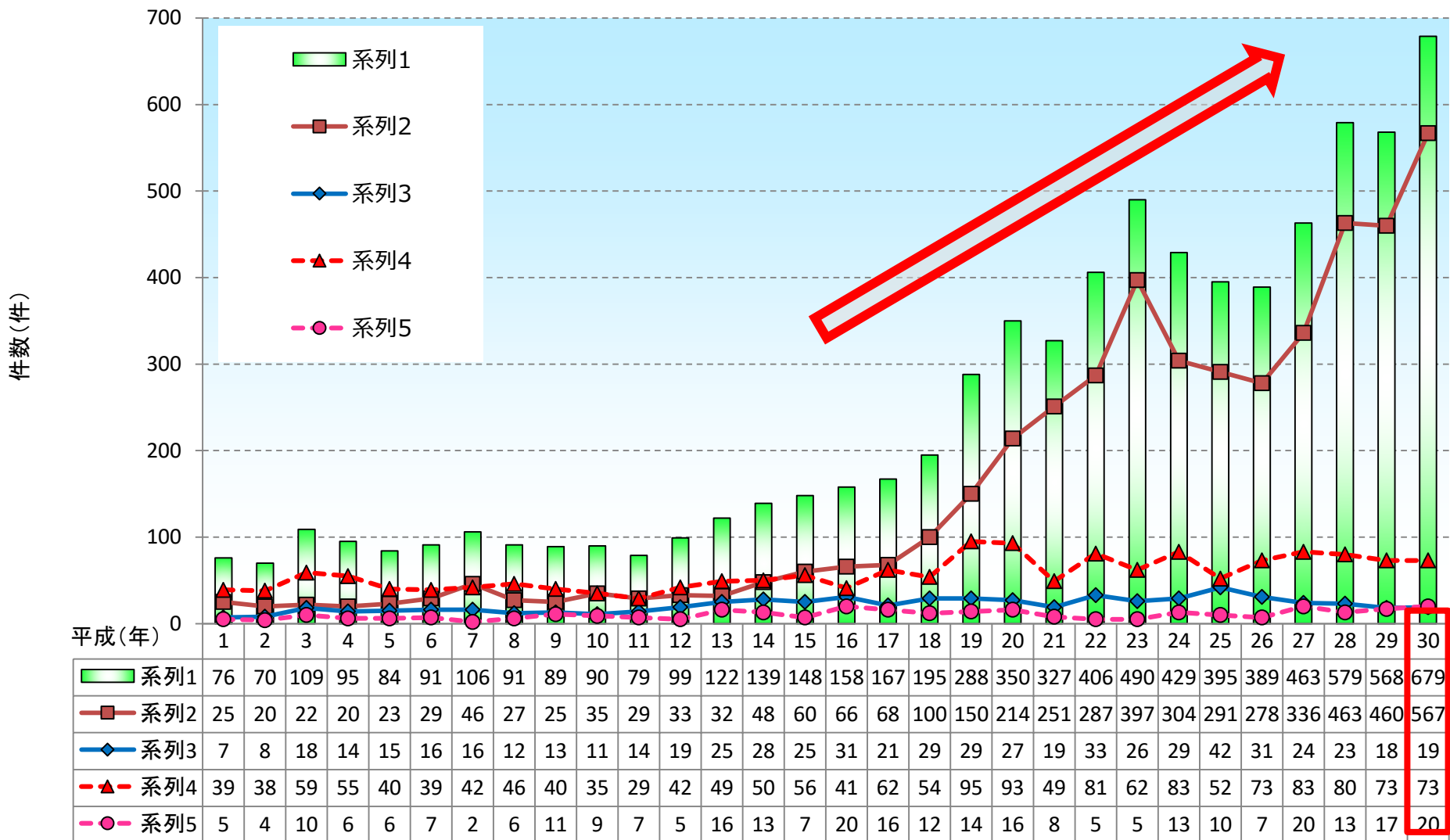
<対応の方向性>

- 高度なセンシング技術の活用（例：スマートバルブ、アコースティックエミッションセンサー）
- 既存センサーを活用して、他箇所異常データを推定（例：ソフトセンサー）

- 作業支援システムの開発（例：定常時/非定常時運転支援システム（ダイセル方式））

- 運転データ間の相関関係から、異常を早期検知（例：多変数分析）
- 重要なアラームの絞り込み（例：近未来予測モデルアラームマネジメントシステム）

高圧ガス事故件数の推移【災害】



○全体の事故件数は、平成13年に事故の定義を明確化したことやコンプライアンス意識の高まりにより、増加傾向で推移。平成30年の事故件数は前年より100件以上増加し、過去最高となった。

○高圧ガスの事故は、製造事業所において多く発生。

高圧ガス事故の原因【災害】



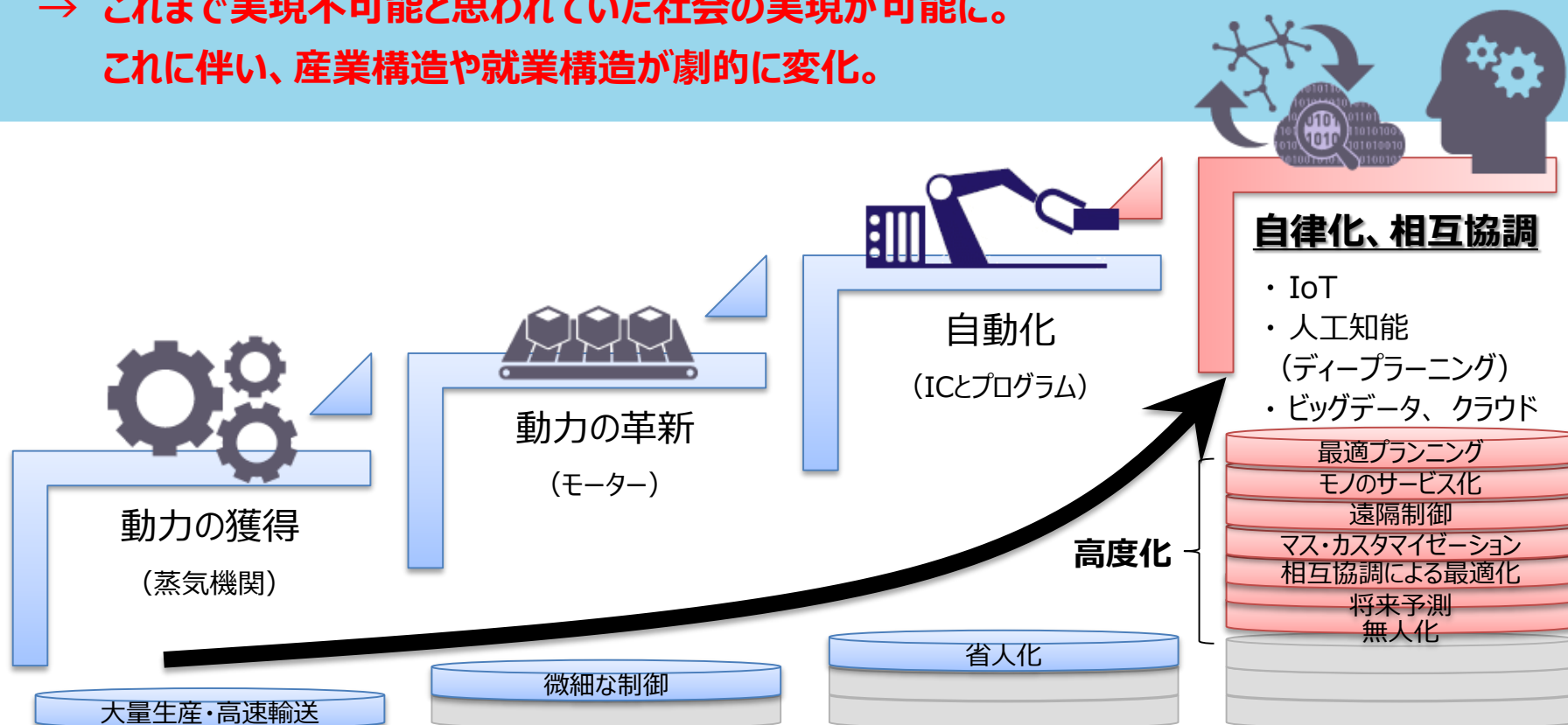
○事故措置マニュアルの変更により、H23より項目を変更

○ハード面の問題は腐食管理不良、ソフト面では誤操作・誤判断が多い

第四次産業革命

- 実社会のあらゆる事業・情報が、データ化・ネットワークを通じて自由にやりとり可能に（IoT）
- 集まった大量のデータを分析し、新たな価値を生む形で利用可能に（ビッグデータ）
- 機械が自ら学習し、人間を超える高度な判断が可能に（人工知能（AI））
- 多様かつ複雑な作業についても自動化が可能に（ロボット）

→ **これまで実現不可能とされていた社会の実現が可能に。**
これに伴い、産業構造や就業構造が劇的に変化。



2. 「スマート保安」の全体像

「産業保安・製品安全のスマート化」の全体像

- これまでも、事業者の自主保安力の維持・向上等のため、**不断に規制を見直し**。加えて、近年のIoT技術の進歩を踏まえ、**規制のポジティブ・インセンティブ**等を措置。
- 今後は、**市場メカニズムも活用し、イノベーションを一層促進**。新しい研究開発も進め、安全性の向上が新たなビジネス機会を生み、**国富の拡大**にも貢献する社会の実現を目指す。

国富の拡大・エネルギー安定供給

事業者の安全性と生産性の両立・向上

危機管理体制の強化

保安力・生産性向上の好循環

- 被害情報の収集
- ライフラインの早期復旧
を最大限迅速かつ効果的に行う体制構築が急務。
- 地方における防災ネットワークを構築



(参考: 熊本震災の影響)

適切な保安投資を促進するための仕組みづくり

市場規律の活用を踏まえ規制を見直し

学会・協会等からの知見提供

各政策を下支えする思想・科学的知見

市場の活用

ポジティブ・インセンティブ型規制

規制執行 不断の見直し

官によるナショナル ミニマムとしての規制

インセンティブ型規制の活用

電子化等の基盤整備

体制整備

意識改革

構造的な課題

様々な環境変化

- ・保安人材の高齢化
- ・プラント、電気・ガスインフラの高経年化

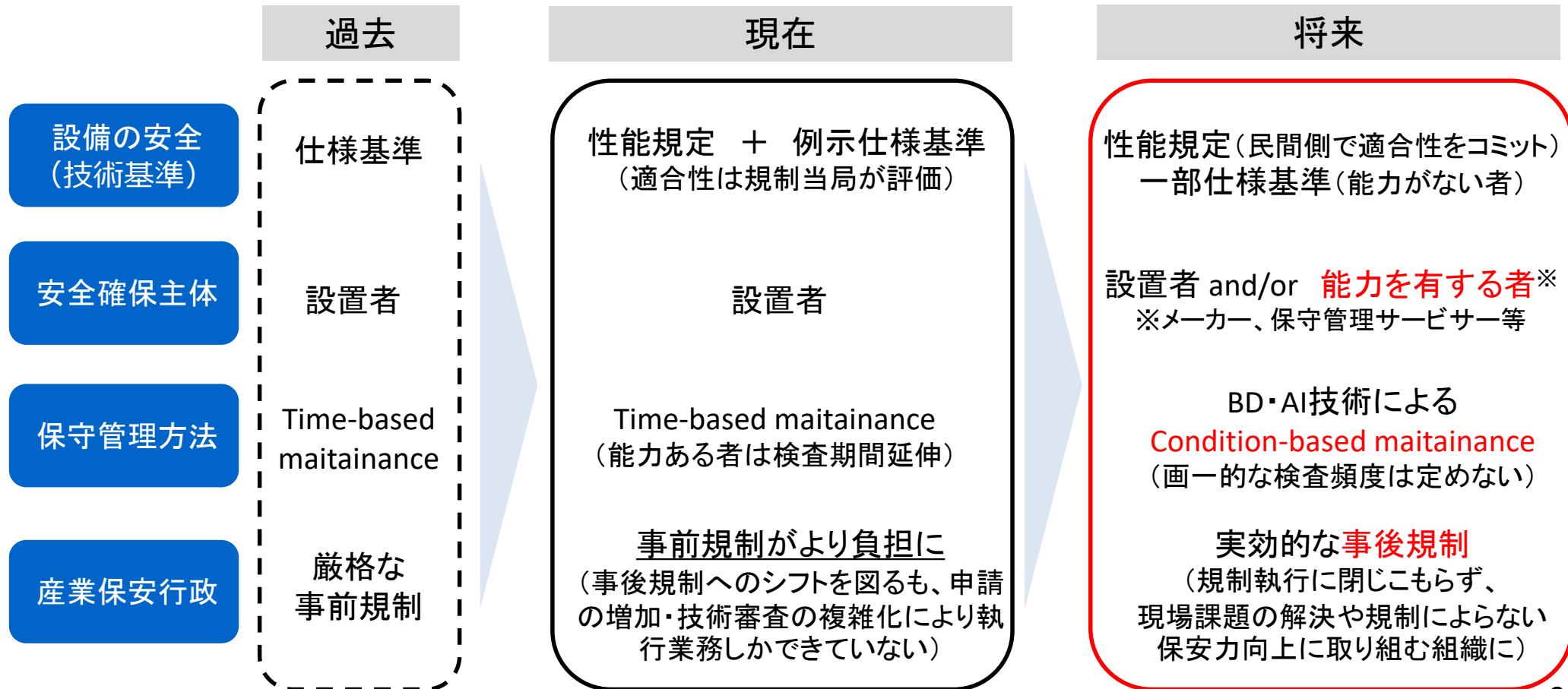
- ・休廃止鉱山の増加
- ・消費者の高齢化や経年劣化による重大製品事故の発生

- ・災害激甚化
- ・テロ対策
- ・エネルギー自由化

- ・IoT社会の到来
- ・サイバー攻撃の増加
- ・ネット購入の増加 etc.

スマート保安の方向性

- 「民間自主保安」との方針の下、**事業者の能力や設備の状態に応じた“柔軟な手法”**による保安確保を可能とする仕組みへの転換を実現する。
- 特に、高経年化や保安人材減といった構造的課題を踏まえ、**BD・AI等を活用した効率的な保安システム（ヒトから機械へ）**への転換を規制上も後押しする。



Condition-based maintenanceの実現に向けて

- 画一的な“Time Based Maintenance”から脱却し、設備毎の状態に応じた“Condition Based Maintenance”を実現していくことが重要。

データ取得の高度化

プラント等データを
効率的かつ効果的に取得

データ利用の高度化

遠隔監視・事故予兆把握等
により保守管理を
高度かつ効率的に実施

データに基づく 保守管理態勢の構築

保守管理を担うサービス
による横断的かつ効率的
な保安の支援

リスクベース／コンディションベースの保安の実現

我が国保安システムの国際展開

市場機能(保険など)との連携

Condition-based maintenanceの実現に向けて

- 画一的な“Time Based Maintenance”から脱却し、設備毎の状態に応じた“Condition Based Maintenance”を実現していくことが重要。

データ取得の高度化

プラント等データを
効率的かつ効果的に取得

データ利用の高度化

遠隔監視・事故予兆把握等
により保守管理を
高度かつ効率的に実施

データに基づく 保守管理態勢の構築

保守管理を担うサービス
による横断的かつ効率的
な保安の支援

リスクベース／コンディションベースの保安の実現

我が国保安システムの国際展開

市場機能(保険など)との連携

3. 「プラント内における危険区域の精緻な 設定方法に関するガイドライン」の策定

ニーズと現状

- プラントデータ取得のため、プラント内において電子機器を利用するニーズが高まっている。
- 現行法令上、爆発性雰囲気を生成する可能性のある箇所においては、非防爆機器を使用することはできない。

- **労働安全衛生規則（昭和47年労働省令第32号）**

（爆発の危険のある場所で使用する電気機械器具）

第二百八十条 事業者は、第二百六十一条の場所のうち、同条の措置を講じても、なお、引火性の物の蒸気又は可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある箇所において電気機械器具（電動機、変圧器、コード接続器、開閉器、分電盤、配電盤等電気を通ずる機械、器具その他の設備のうち配線及び移動電線以外のものをいう。以下同じ。）を使用するときは、当該蒸気又はガスに対しその種類及び爆発の危険のある濃度に達するおそれに応じた防爆性能を有する**防爆構造電気機械器具でなければ、使用してはならない。**

2 労働者は、前項の箇所においては、同項の防爆構造電気機械器具以外の電気機械器具を使用してはならない。

- **工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆2006）**

- 1411 特別危険箇所
- 1412 第一類危険箇所
- 1413 第二類危険箇所

第二類危険箇所とは、通常の状態において、爆発性雰囲気を生成する可能性が少なく、また生成した場合でも短時間しか持続しない場所をいう。

-----解説-----

①第二類危険箇所となりやすい場所の例を示せば、次のとおりである。

(a) ガスケットの劣化などのために爆発性ガスを漏出する可能性のある場所。

（以下略）

(参考) 高圧ガス保安法令

高圧ガス保安法令においても、高圧ガス設備に係る電気設備について防爆性能を要求。

- 一般高圧ガス保安規則（昭和41年通商産業省令第53号）

（定置式製造設備に係る技術上の基準）

第六条

二十六 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。

- コンビナート等保安規則（昭和61年通商産業省令第88号）

（製造施設に係る技術上の基準）

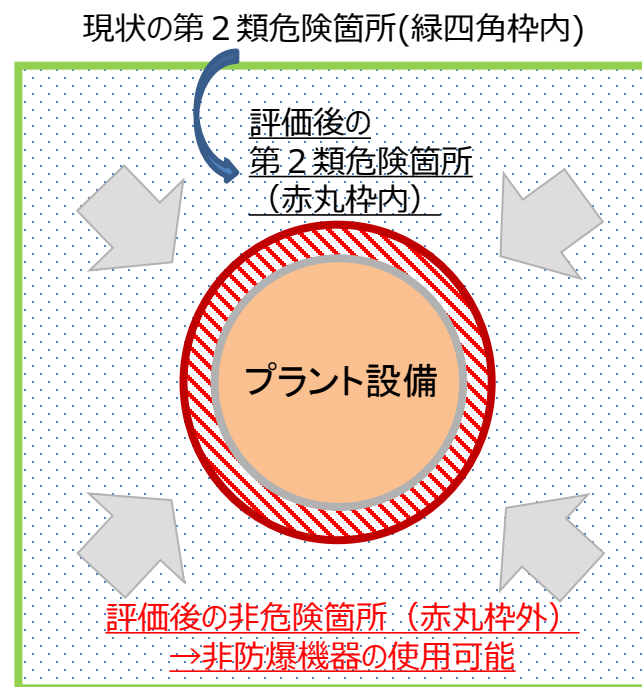
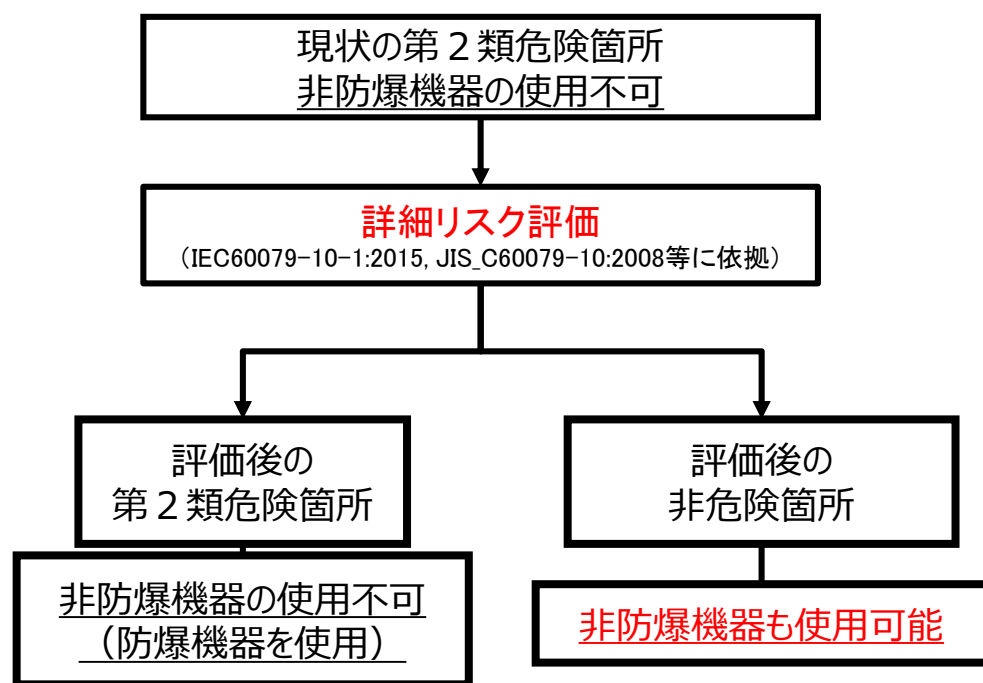
第五条

四十八 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。ただし、ジメチルエーテルに係る試験研究施設に係る電気設備であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。

取組の全体像

- プラント事業者は、法令に基づき、非防爆電子機器を使用できない危険区域を設定するが、実態上は、プラント内設備の存する区域全体を危険区域として設定することが多い。
- 最新のIEC規格により、危険区域の詳細な設定方法が示されている。これをガイドラインにまとめ（平成30年度内）、事業者による詳細なリスク評価を容易にすることによって、法令が定める保安レベルを低下させることなく、精緻な危険区域の設定を可能とする。
- さらに、プラント事業者がガイドラインに沿った自主行動計画を策定し、安全な運用を図ることとする。

非防爆機器の使用可能エリア拡大の考え方・イメージ



調査概要

平成30～31年度に、「プラント内における非防爆機器の安全な使用方法に関する調査」を実施。

(1) 目的

法令で求められ、防爆指針等で示されている保安水準を維持しつつ、電子機器等を安全に使用する方法について**ガイドラインを作成し、プラント内におけるIoT機器等の使用拡大を図ること。**

(2) 成果物

- ガイドライン（産総研）
- 自主行動計画（2社）

(3) 体制

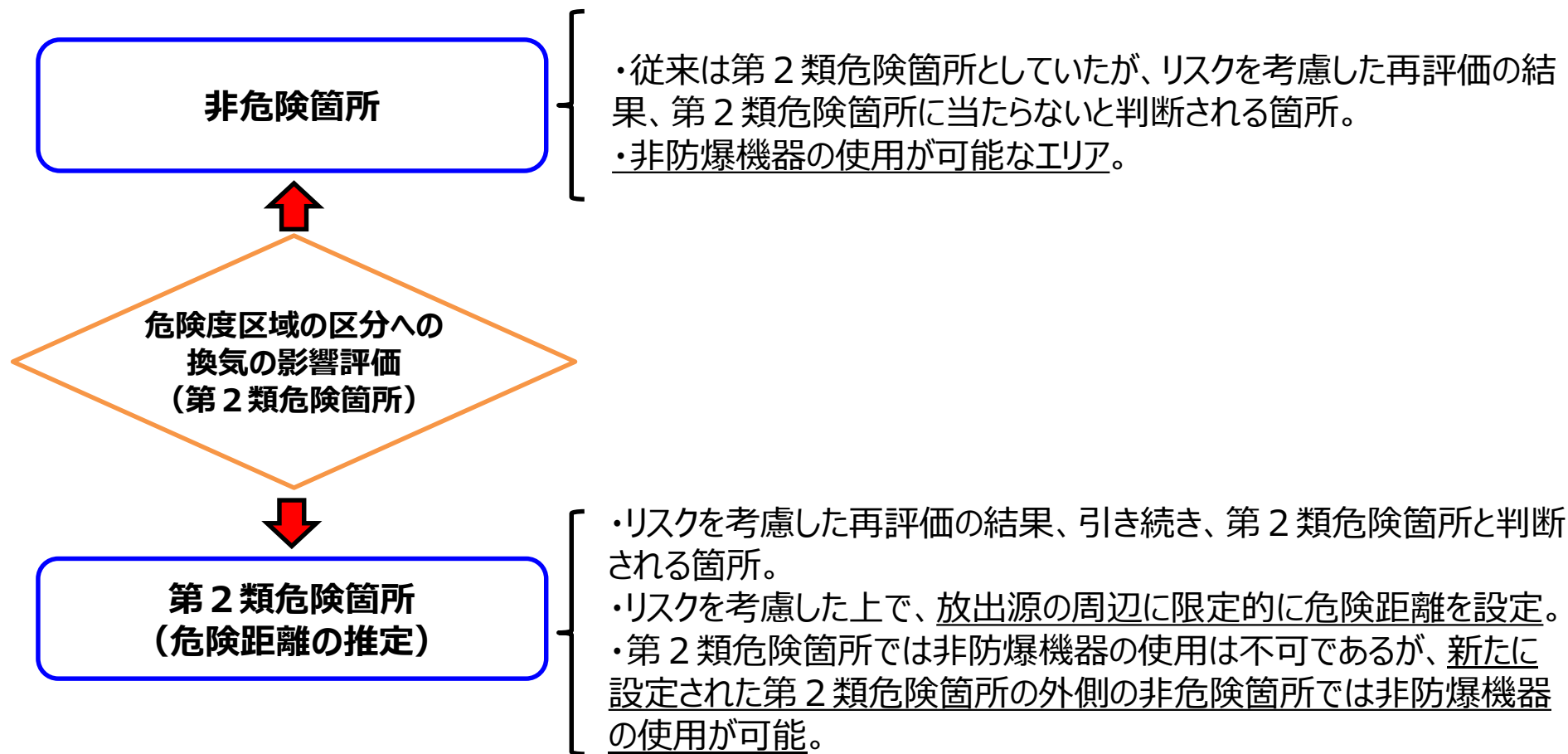
- 有識者委員会 : 学識者により構成。
- ワーキンググループ : 石油・化学関係企業により構成。
- ※ 事務局 : 産総研、安全工学会

(4) 開催実績

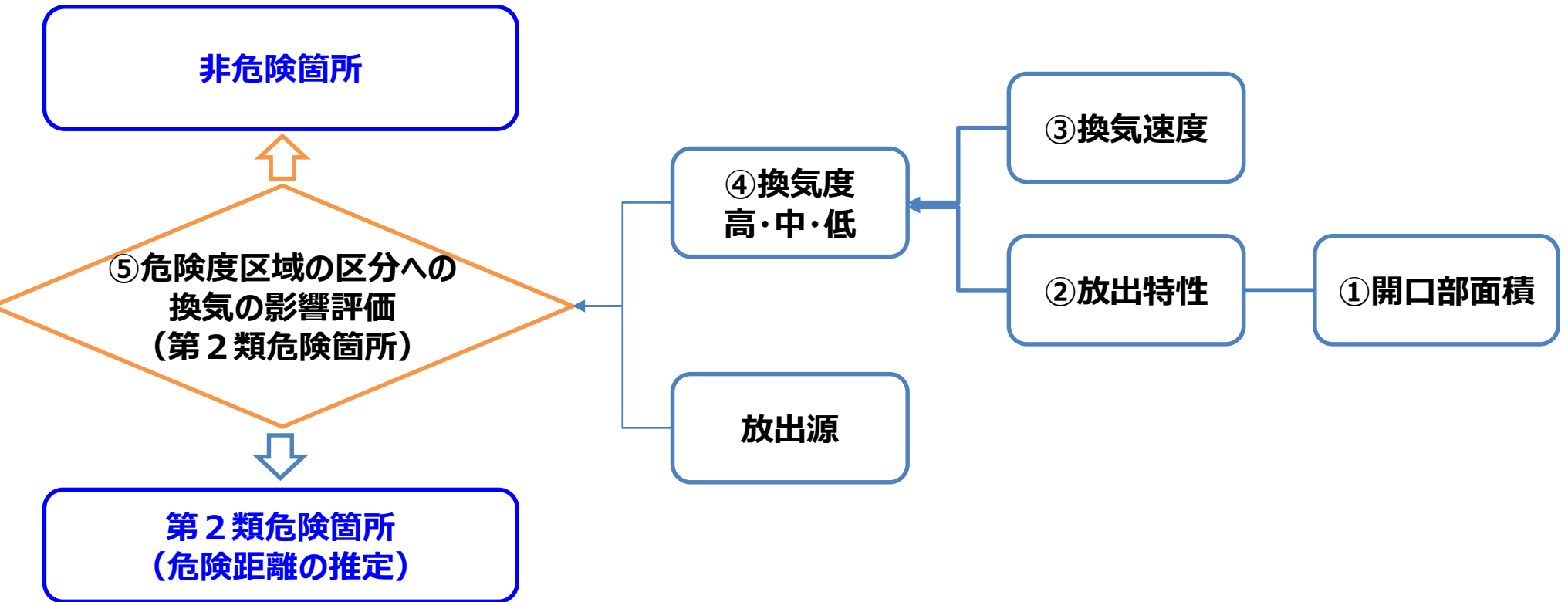
2018年～2019年にかけて、有識者委員会 2回 + WG 4回を開催。

検討の方針

- 最新のIEC規格を用い、放出源の周辺のリスクをより正確に評価する。
- 具体的には、漏洩孔面積、放出特性、換気速度、換気度等からリスクを評価し、危険箇所及び非危険箇所を設定する。



非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）



		換気						
		高換気度			中換気度			低換気度
		有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”可” 又は“弱”
放出等級	連続等級	非危険箇所※	第2類危険箇所	第1類危険箇所	特別危険箇所	特別危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	特別危険箇所 ＋ 第1類危険箇所	特別危険箇所
	第1等級	非危険箇所※	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第1類危険箇所	第1類危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	第1類危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	第1類危険箇所 又は 特別危険箇所
	第2等級	非危険箇所	非危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第1類危険箇所 どちらかといえば 特別危険箇所

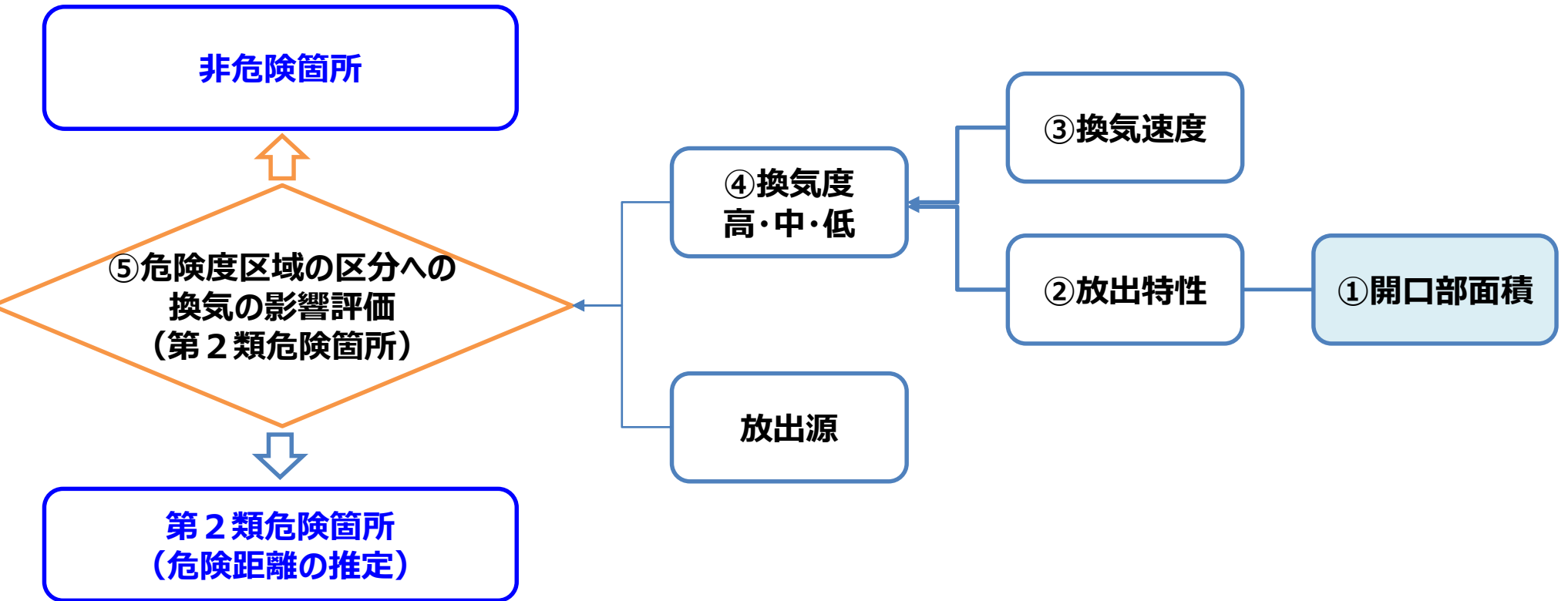
※ガイドラインでは、JIS規格に従い、特別危険箇所、第1類危険箇所、第2類危険箇所をそれぞれゾーン0、ゾーン1、ゾーン2と記載している。

※本ガイドラインは、「第2等級放出源周辺において、現在は第2類危険箇所として設定されている区域」のリスク評価を対象とする。

「連続等級又は第1等級であって、高換気度・有効度“良”の区域」は、IEC規格に従えば非危険箇所となるが、その評価方法については、本ガイドラインの対象外とする。

參考資料

非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）

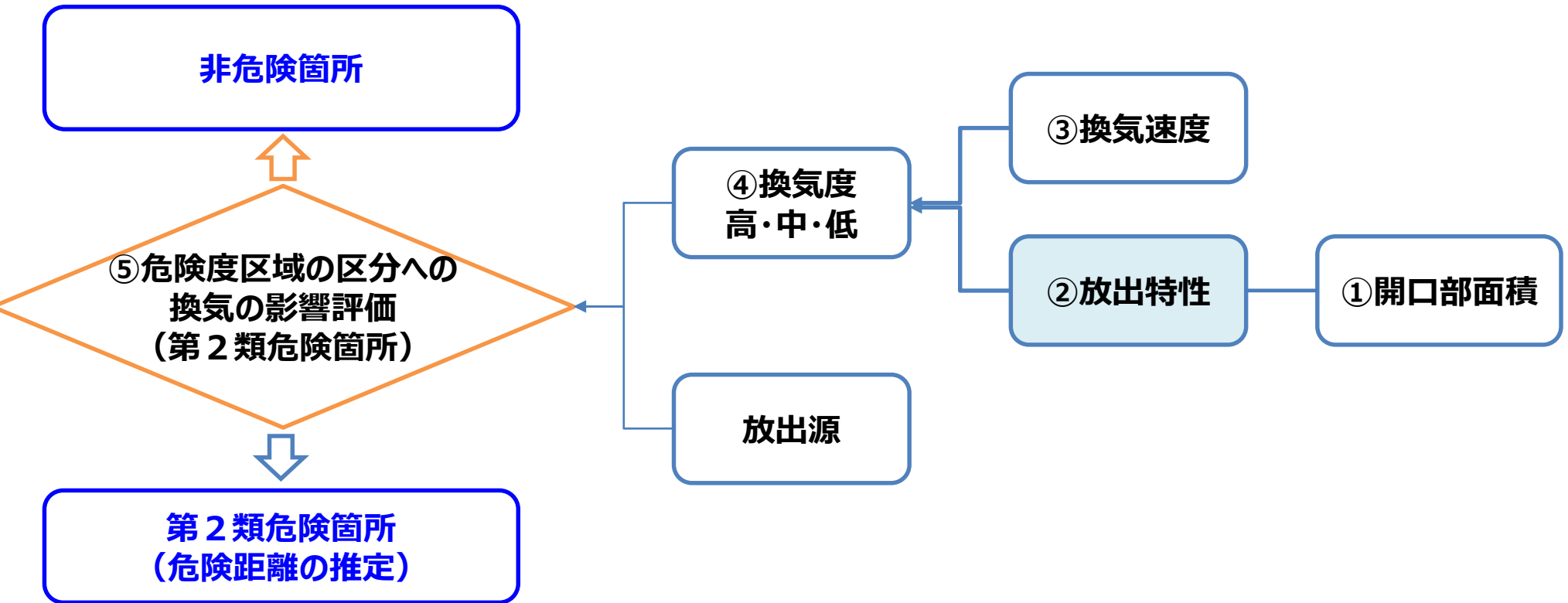


① 開口部面積の求め方

表B.1 第2等級放出源のための、開口部面積の推奨値（一部抜粋）（IEC 60079-10-1:2015 より）

項目の種類	項目 or 品目	漏れの考察		
		放出開口が拡大しない条件のための典型的値 S(mm ²)	放出開口が拡大するかもしれない条件のための典型的値 (例：浸食) S(mm ²)	放出開口が深刻な失敗まで拡大するかもしれない条件のための典型的値 (例：blow out) S(mm ²)
固定部分のシーリング要素	圧縮繊維ガスケット、又は類似のものを備えたフランジ	≥0.025 up to 0.25	>0.25 up to 2.5	(2つのボルト間のセクター) × (ガスケットの厚さ) 通常、≥1mm
	らせん型ガスケット、又は類似のものを備えたフランジ	0.025	0.25	(2つのボルト間のセクター) × (ガスケットの厚さ) 通常、≥0.5
	リング型ジョイント接続	0.1	0.25	0.5
	最大50mmまでの小口径接続 ^a	≥0.025 up to 0.1	>0.1 up to 0.25	1.0
低速作動のシーリング要素	バルブシステムパックキング	0.25	2.5	少なくとも2.5mm ³ 以上の設備製造者のデータに応じて定義される ^d
	圧力放出弁 ^b	0.1× (オフィスセクション)	NA	NA
高速作動のシーリング要素	ポンプ及びコンプレッサー	NA	>1 up to 5	少なくとも2.5mm ³ 以上の設備製造者のデータ、そして/または、プロセスユニット構成に応じて定義される。 ^{d and e}

非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）



②放出特性の求め方

ガス噴流放出の場合

放出特性 (Characteristics of release)
Wg[kg/s]を放出率 (Release rate) とすると

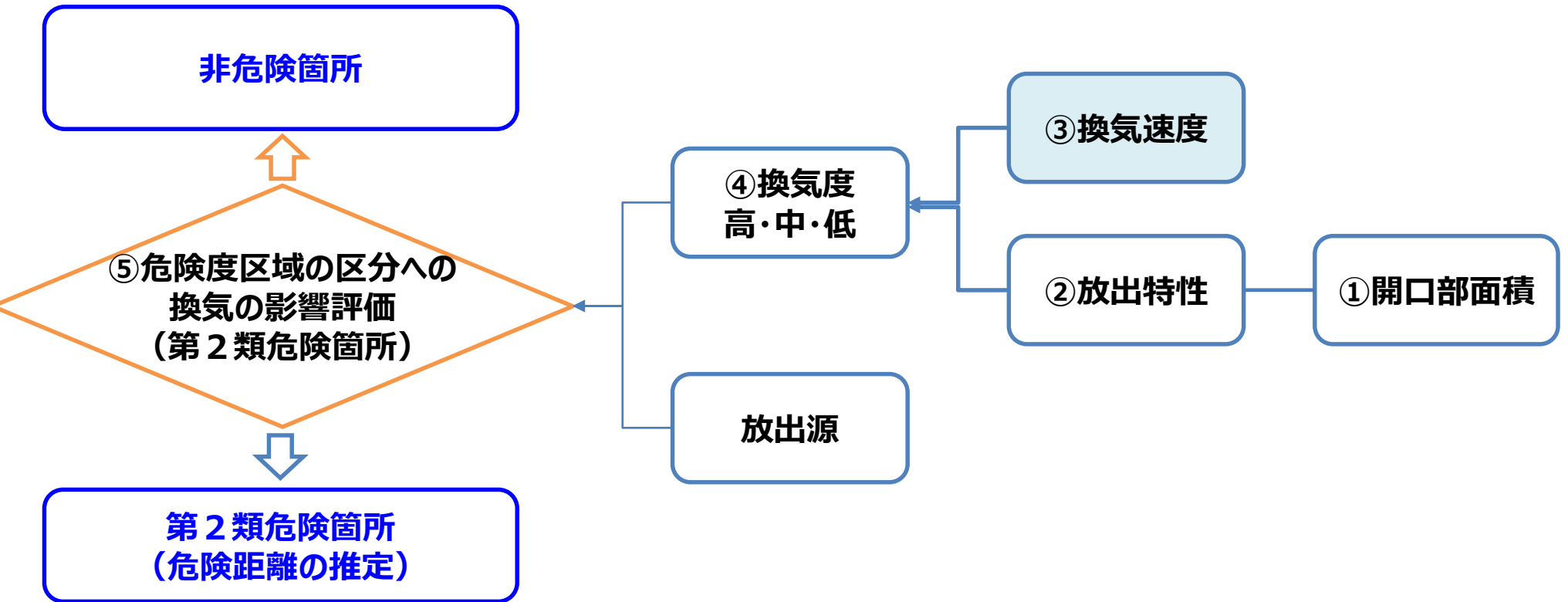
放出特性 =

$$W_g / (\rho_g * k * LFL) \quad (m^3/s)$$

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (kg/s)$$

Cd :	放出係数
S [mm ²]	開口部面積
P [atm]	プロセス圧力
T[K]	プロセス温度
γ :	比熱比
Z :	圧縮因子
R[J/kmol K]	気体定数
Ta[K]	大気温度
M[kg/kmol]	モル質量
k	安全率
ρ _g [kg/m ³]	密度
LFL[vol/vol]	燃焼下限界

非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）



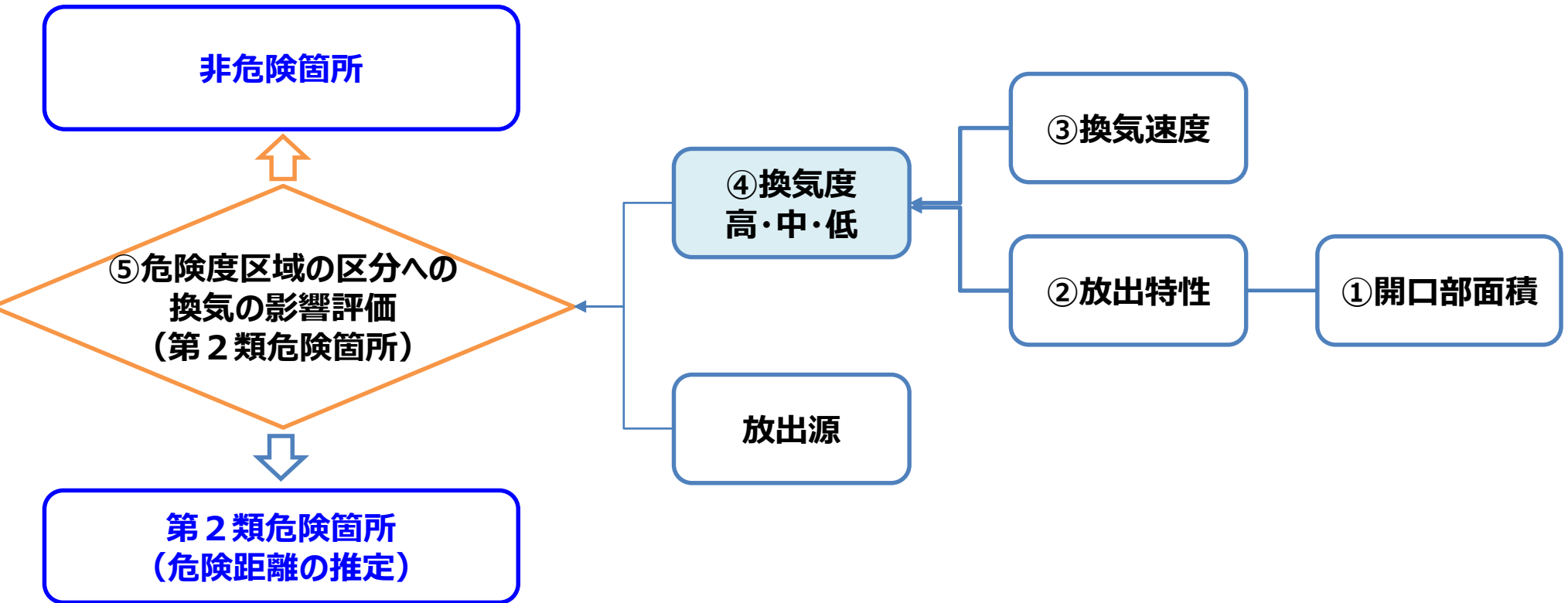
③換気速度の求め方

換気速度[m/s] : 屋外での換気速度の指標が示されている。

表C.1 屋外における換気速度の指標(一部抜粋) (IEC 60079-10-1:2015 より)

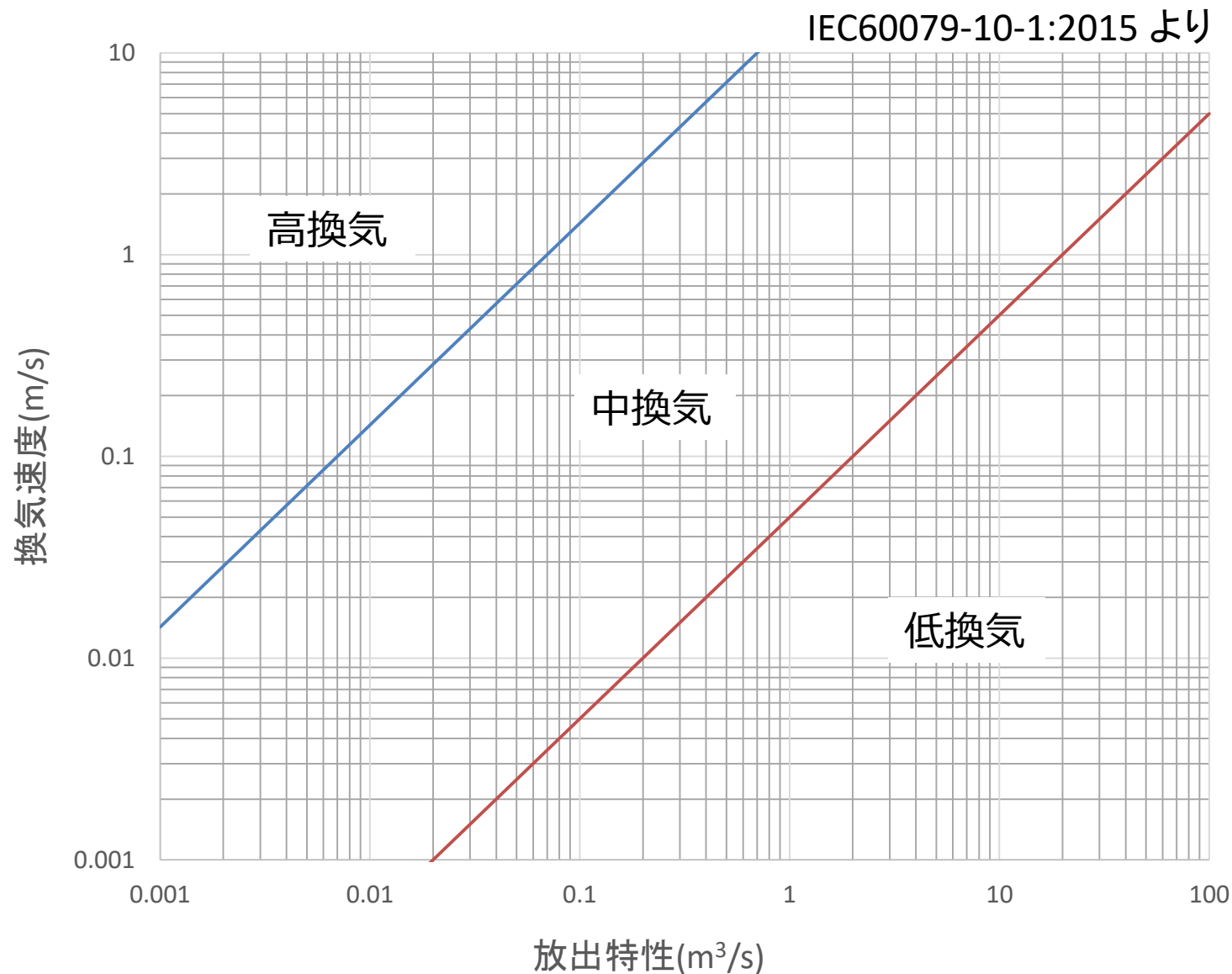
屋外の場所の種類	障害物無し			障害物有り		
	≤2m	>2 m up to 5 m	>5 m	≤2m	>2 m up to 5 m	>5 m
地上からの高さ	≤2m	>2 m up to 5 m	>5 m	≤2m	>2 m up to 5 m	>5 m
空気より軽いガス/蒸気の希釈を見積もるための指標	0.5 m/s	1 m/s	2 m/s	0.5 m/s	0.5 m/s	1 m/s
空気ガスより重いガス/蒸気の希釈を見積もるための指標	0.3 m/s	0.6 m/s	1 m/s	0.15 m/s	0.3 m/s	1 m/s
任意の高さでも液体プールの蒸発率を評価するための指標	>0.25 m/s			>0.1 m/s		

非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）

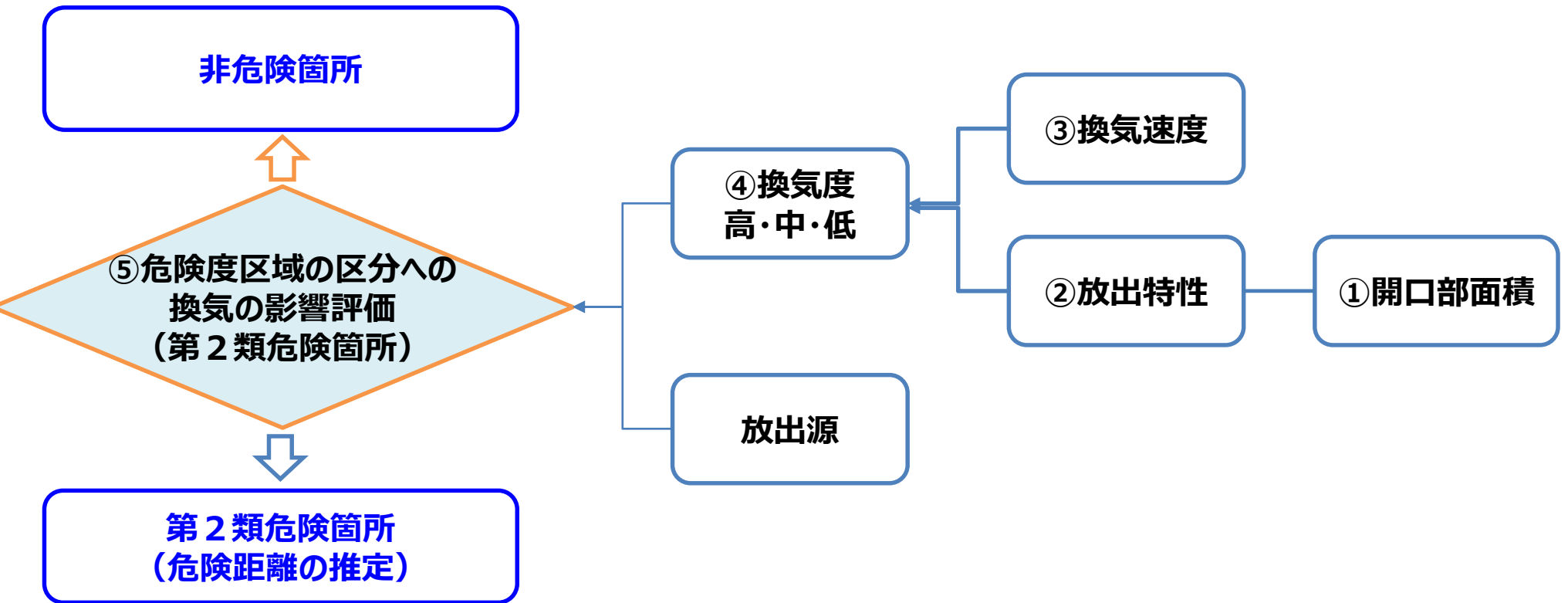


④換気度の求め方

放出特性と換気速度から換気度(高・中・低)を決定



非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）



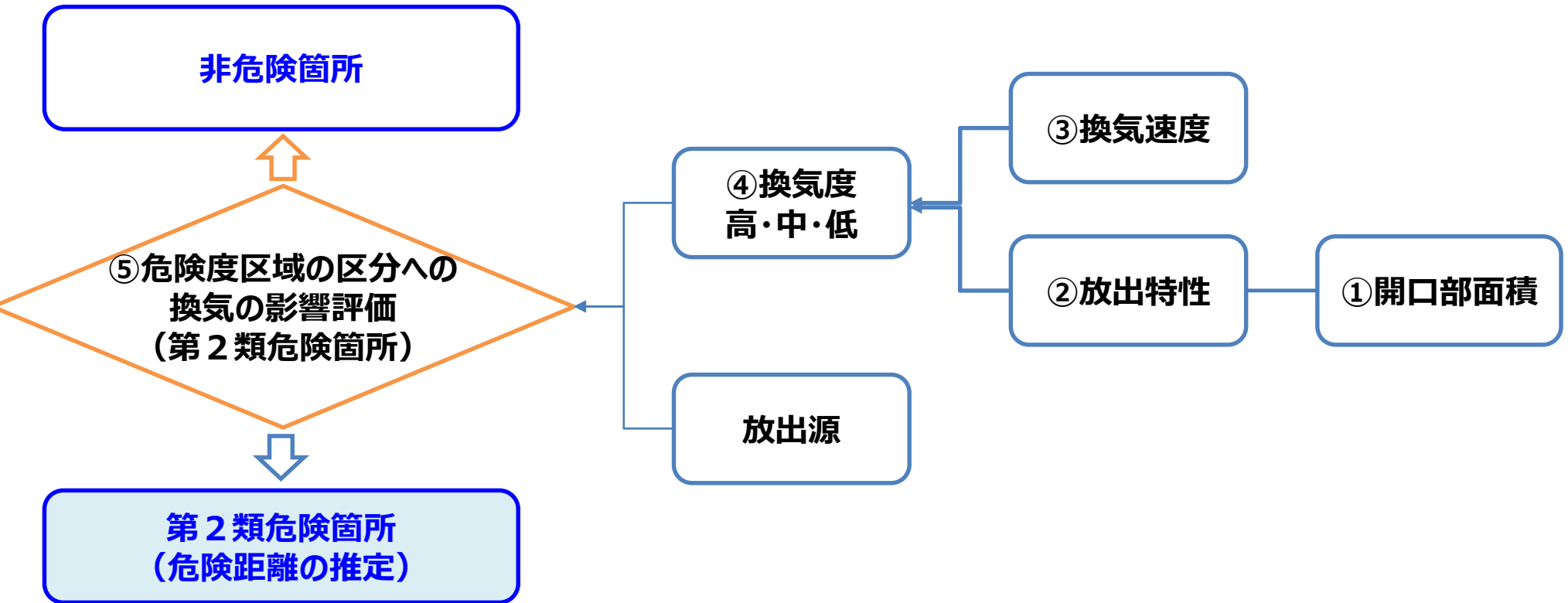
⑤危険度区域の区分への換気の影響

第2等級放出源において、換気度“高”かつ換気有効度“良”又は“可”であれば、非危険箇所となる。

表一危険度区域の区分への換気の影響

		換気						
		高換気度			中換気度			低換気度
		有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”“可” 又は“弱”
放出等級	連続等級	非危険箇所※	第2類危険箇所	第1類危険箇所	特別危険箇所	特別危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	特別危険箇所 ＋ 第1類危険箇所	特別危険箇所
	第1等級	非危険箇所※	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第1類危険箇所	第1類危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	第1類危険箇所 ＋ 第2類危険箇所	第1類危険箇所 又は 特別危険箇所
	第2等級	非危険箇所	非危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第2類危険箇所	第1類危険箇所 どちらかといえば 特別危険箇所

非危険箇所の評価フロー（IEC規格に準拠）



⑥危険距離の決定

--- → 例えば放出特性が $1 \text{ m}^3/\text{s}$ と評価されたとき、拡散性の条件なら危険距離は4m

