

自律型高度保安導入 ガイドライン

横浜国立大学先端科学高等研究院(IAS)

ストラテジック PSM 研究会

ストラテジック PSM 研究会
自律型高度保安導入ガイドライン
2022/12/30

版数	発行日	改定内容
第 1 版	2022 年 12 月 30 日	初版

目次

はじめに.....	4
ガイドライン	5
1. 自律高度保安導入ロードマップ	5
2. 用語の定義	5
3. ストラテジック PSM コンセプト	8
4. RBPS-MS フレームワーク	10
5. 操業・設備リスク管理組織制度.....	12
6. 危険源の同定とリスクアセスメント(HIRA)を起点とするリスク情報フロー確立.....	14
7. 操業・設備リスク管理の在り方.....	22
8. 操業・設備リスク管理ツール	23
9. 教育システムとコンピテンシーマネジメント.....	25
10. MS のインテグレーション.....	26
11. 高度保安の自己証明（自律保安）	27
おわりに.....	29
ストラテジック PSM 研究会参加者名簿	30
参考文献.....	31

はじめに

横浜国立大学 IAS では 2020 年 7 月にストラトジック PSM (SPSM)研究会を立ち上げた。リスクベースによるプロセスセーフティマネジメントを国内石化精製・化学プラント事業所に実装する際に必要となる組織論に焦点を当てて、産官学の有志からなる研究会において約 2 年間定期的に検討・討議を行った。本研究会発足後、産業保安の規制の在り方としてリスクベースアプローチの導入を経済産業省からも提言されている [1]。

マネジメントシステム構築手法として、ゴール・ストラテジー・プロセスから構成されるプロセスベースマネジメントシステム [2]のコンセプトと、それを効果的に導入するための組織・制度観点での実践コンセプトからなる「ストラトジック PSM コンセプト」を立案した。

その中心となるマネジメントプロセスには、英国原子力業界でのセーフティケース手法において安全性を証明する論理分解手法として採用されている CAE(Claim, Argument, Evidence) [3]と、設計想定事故シナリオ管理台帳となるフォルトスケジュールをベースとするリスクマネジメントプロセスを採用することについて議論した。その結果、リーダーシップを有する担当者がリスクマネジメントプロセスを遂行する際に、プロセスセーフティリスクを必要なリスク削減を満たすための管理情報として集約管理するサポートツールを活用することにより、設計・運転・保全の一連の過程におけるリスク管理を統一的に運用できるとの結論に至った。サポートツールは従来のリスク管理台帳型をより使いやすい形とした DX ツールなどが望ましいと考えられる。

本ガイドラインを作成するにあたり、対象とするガイドライン使用者としては、事業所に RBPS(Risk Based Process Safety)を導入しようとしている担当者を想定した。そのため、事業所の既存規程類の内容（すなわち PSM/RBPS に関連する規程類は既に存在すること）は把握されており、かつ、OSHA PSM の 14 エlement [4]や CCPS RBPS の 20 エlement [5]など PSM に関する基本的な知見は有していることを前提としている。その上で、本ガイドラインで示す実践的要素を RBPS マネジメントシステム設計に加味することで、各事業所において自律した高度保安を達成できるようにすることを狙いとしている。

本ガイドラインは、日本型の安全管理手法の更なる高度化のため、「ストラトジック PSM」のコンセプト適用による自律型リスクベース保安実装に向けた一つの考え方を示すものである。

ガイドライン

1. 自律高度保安導入ロードマップ

「高度」な保安の在り方の一つとして「リスクベースアプローチ」が挙げられている。事業所内のリスクを把握し、リスクに応じた保安管理に展開するものである。リスクベースアプローチに加えて、保安管理を法令要求だけでなく自ら立てた高い保安管理目標を達成するための規範に従うとともに、たゆまぬ努力の継続とそれを実現するための教育システムやコンピテンシーマネジメントを含めた包括的な仕組みを示すと共に保安管理目標達成に向けた取り組みが計画から逸脱した際にもその逸脱を自らタイムリーに検知し修正できる仕組みを持つことが肝要である。これらを「自律型高度保安」の証明と捉え、ここに至る道程を高度保安導入ロードマップとして図示する（図1）。

本ガイドラインは、ストラトジック PSM 研究会で提唱する自律型高度保安導入ロードマップに沿って実践的リスクベース PSM を実装するための手順を示すものである。

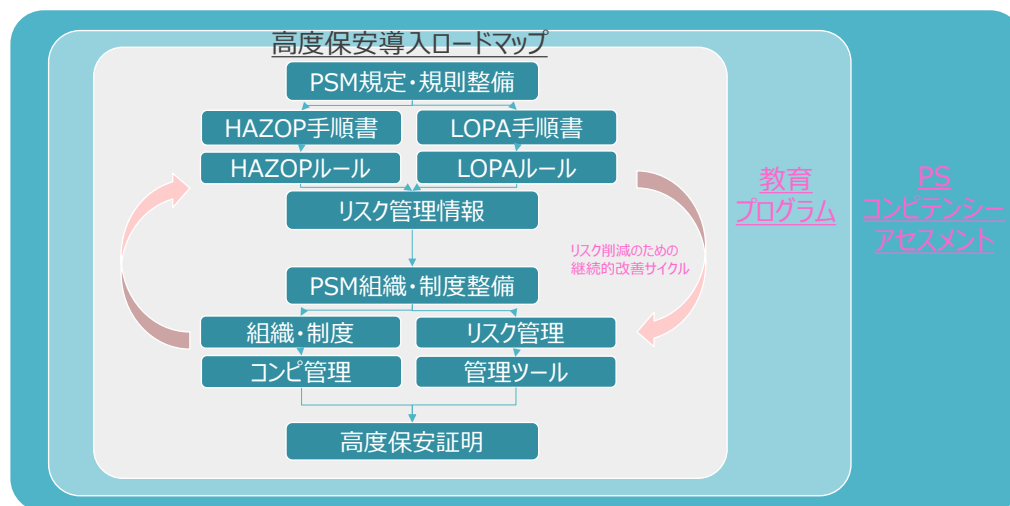


図 1. 高度保安導入ロードマップ

2. 用語の定義

本ガイドラインで用いられる用語の定義を以下に示す。

用語		略語	本ガイドラインでの定義
日本語	英語		
安全クリティカルエレメント（安全上重要な機器）	Safety Critical Elements	SCE	安全上の重大事故を防ぐために重要な役割を果たす要素

安全計装システム	Safety Instrumented System	SIS	プロセス運転域からの逸脱が一定値以上となった際に計装システムによって検知し、自動的に遮断する設備（DCS とは独立性を持たせる）
環境クリティカルエレメント	Environmental Critical Elements	ECE	環境上の重大事故を防ぐために重要な役割を果たす要素
危険源の同定とリスク解析	Hazard Identification and Risk Assessment	HIRA	PSM のエレメントの一つで、危険源の同定とリスクアセスメントにより安全管理に展開するエレメントのこと
コンピテンシー	Competency	-	人材能力要件のこと（各職務の業務内容ごとに必要な技術や知見を整理しておくことで、能力要件の充足度合いを評価し（コンピテンシアセスメント）、人材育成管理（コンピテンシーマネジメント）に展開する。その全体計画をコンピテンシーマネジメントプランと呼ぶ。）
自律型高度保安	-	-	安全上必要な仕様を与える規制要求への遵守を目指す受け身型ではなく、事業者自らが高度な安全目標を掲げ、それを達成するために包括的な取り組みを実施する(証明する)ことを求める保安体系
生産管理	Production Management	-	経営計画あるいは販売計画に従って生産活動を計画し、組織し、実行を統制する総合的な管理活動
セーフティケース	Safety Case	-	英国北海油田の石油ガス処理設備向けの安全法規に端を発する用語。リスクを指標として、プラントの安全性を事業者自らが証明することが求められる規制システムにおいて、安全性が証明された状態をセーフティケースと呼ぶ。
設計想定事故	Design Basis Accident	DBA	設備設計に起因する単一事象により発生する可能性のある事故のこと。設備仕様、対処設備などにより、あらかじめ設備設計において考慮・対処すべき事故という意味合いでも使われる
操業管理	Operation Management	-	生産管理のうち、製造設備の運転および保守の計画と実施に関する管理
デジタルトランスフォーメーション	Digital Transformation	DX	データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること
独立防護層	Independent Protection Layers	IPL	プロセスにおける設計想定事故シナリオの進展を防ぐための装置、システムであり、そのシナ

			リオの起因事象や他の安全装置とは独立して作動するもの
プロセス	Process	-	原料から製品を生成するための一連の化学反応や分離などの工程、およびそれを実行するための設備や付随する運転操作、必要な管理などを含む統合システムのこと
プロセスセーフティ（もしくは保安）	Process Safety	PS	プラント設備の扱う危険物質の漏洩に起因する事故を防ぐための活動や認識
プロセスセーフティマネジメント（もしくはプロセス安全管理）	Process Safety Management	PSM	PS を担保するための業務管理（マネジメント）
防護層解析	Layer Of Protection Analysis	LOPA	プロセス事故リスクを評価し、多重防護系によるリスク削減効果を評価するリスク評価手法
マネジメントシステム	Management System	MS	組織管理のため組織が方針及び目標を定め、その目標を達成するためのシステム（組織構成や制度設計などの管理体系のこと）
リスクベースプロセスセーフティマネジメント（もしくはリスクベースプロセス安全管理）	Risk Based Process Safety	RBPS	リスクを尺度として、PSM を展開すること
ロール&レスポンシビリティ	Roles and Responsibilities	R&R	プロジェクト管理の基礎であり、組織のメンバーまたは役職に役割と責任分担を定義すること
ワークブレイクダウンストラクチャー	Work Breakdown Structure	WBS	プロジェクト管理の基礎であり、プロジェクト全体を細かな作業に分解すること構造のこと。個々の作業管理を行うことで全体プロジェクト達成度が把握できるようになる。
-	As Low As Reasonably Practicable	ALARP	リスク削減の目標に関する考え方で、リスクを合理的・現実的な範囲で削減可能な範囲まで削減することを求めるコンセプト
-	Claim, Argument, Evidence	CAE	英国もしくはヨーロッパ系原子力セーフティケースで推奨される安全を保証するための論理分解手法のこと
-	HAZard IDentification	HAZID	ガイドワードによりプラント設備で生起する可能性のある設計想定事故シナリオ（自然災害、物質、敷地配置などに起因するもの）を抽出する手法

-	HAZard and OPerability study	HAZOP	ガイドワードによるプロセス運転域からのずれに起因する設計想定事故シナリオを抽出する手法
---	------------------------------	-------	---

3. ストラツジック PSM コンセプト

Society 5.0 など目指す社会の在り方の提示、および SDGs や ESG などに代表される社会の持続的発展のために設定された目標やアプローチの採用など、近年の急速な社会の変化に対応するためには安全・環境側面においても、潜在的危険性を有する設備や運転操作を含む操業を実施する事業者自らが自律した高度な保安管理システムを実装することが求められている。

現行の安全系マネジメントシステム(MS)の規格・ガイドラインは、労働安全衛生(OHS)系 [6] [7]とプロセスセーフティ(PS)系 [5] [8] [9]のものに大別される。そのうち PS 系のものは主に MS 構築の際に必要な技術面を解説するものが多い。一方で、OHS 系のものは MS の目標を達成するための PDCA を定め実行していく運用面にフォーカスして説明されている。MS は本来、組織が方針及び目標を定め、その目標を達成するためのものであるため、組織に PSM を導入する際には双方の特徴（技術面と目的・方針と目標から実施といった運用面）を合わせて構築していくことが必要である。また PDCA 型でも、リスクベースが導入される前後でポリシー・プラン・手順書の図書体系を整備することに代表させる図書型 MS [6]からリスクマネジメントプロセスを組織内で徹底するプロセスベース MS [7]への変遷が見て取れる(図 2)。

CCPS RBPS [5]に代表されるリスクベースマネジメントを実装する際には、従来の PDCA 型のマネジメントシステムの考え方と合わせて、プロセスベースマネジメントシステム（PBMS） [2]を取り入れることが必要である。PBMS においては、リスクを低減するというゴールを達成するため、周辺状況を把握した上でストラツジーを立案し、その上でリスクを削減するためのリスクマネジメントプロセスを構築する。このプロセスを回すこと自体が必要なマネジメントプランであり、その実行方法を規定するものが手順となる。

ストラツジック PSM（SPSM）コンセプトを MS 型観点からシンプルに言えば、既存の一般安全管理で採用される図書型 MS に、プロセスセーフティに関する PBMS を融合させるモデルであり、そのプロセスをリーダーシップ教育とツールのサポートにより効果的に回すというものである（図 3）。加えて、組織の規模にもよるが、本社機能の下に複数の事業所を持つ場合は、本社が RBPS の要件を示したとしても、事業所ごとの事業内容(石精、石化、医薬、製造、など)や所在地域・国の違いにより、事業所組織ごとに特徴を有することとなる(図 4)。RBPS の必要要件を事業所組織の特徴を踏まえて導入していくことが、効果的な RBPS-MS の実装には重要となる。この戦略的な PSM の導入のためのコンセプトをストラツジック PSM と定義する。

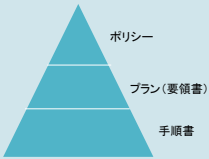
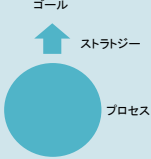
	図書型（規範型）	プロセス型（リスクベース）
イメージ		
適用状況	日本従来型 労働安全マネジメント	- プロセス安全マネジメント向き
特徴	手順書を準備すべき項目が明確な対象の場合、必要最低限のルール設定が可能	ストラテジーに合わせてプロセス、組織を設定、手順は考えさせる 手順を設定すべき項目出しが難しい対象向き
RBPS対応での マッチング	×	○

図 2. マネジメントモデルの比較

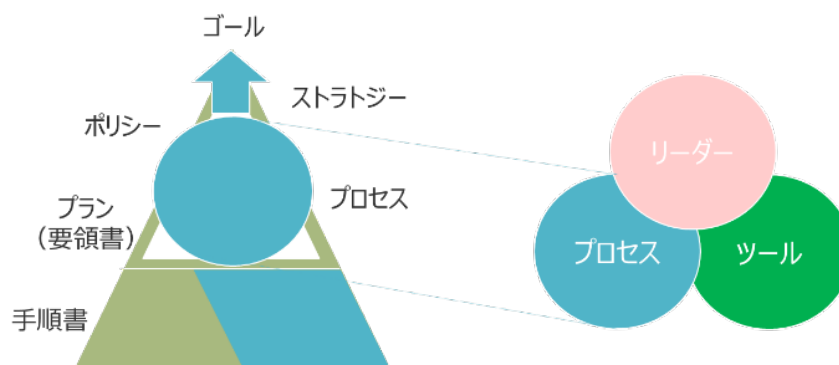


図 3. ストラジック PSM モデル

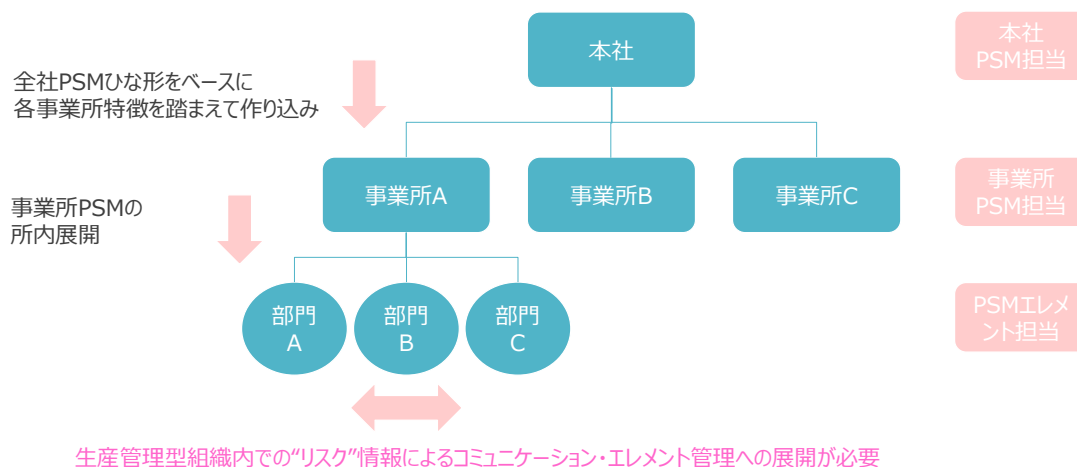


図 4. 戦略的 PSM 導入の重要性

4. RBPS-MS フレームワーク

自律型高度保安のベースとして導入すべき管理体制としては、リスクベースプロセスセーフティマネジメントシステム(RBPS-MS)が推奨される。すでに多くの事業者が米国 CCPS のガイドラインを参考に RBPS-MS の導入を進めている。CCPS 型 RBPS-MS はプロセスセーフティに影響を与える管理項目をプロセスセーフティエレメントとして抽出した上で、各エレメントのあるべき姿を提示しているモデルである。

RBPS-MS を組織に実装する際は、PDCA サイクルに合わせたマネジメントシステムを構築する必要がある。本ガイドラインでは RBPS-MS の一つの形を提示するとともに、SPSM コンセプトを基に RBPS を基礎とする自律型高度保安マネジメントシステムを導入するためのロードマップに即して、その実装に向けての重要項目を解説する。

図 5 に PDCA で示される MS の運用構成の中にリスクマネジメントプロセスを組み込んだ際のイメージおよび RBPS のエレメントをマッピングする際のマッピング例を示した。またその際の章立てを表 1 に例示する。本構成は敢えて RBPS エレメント建てではなく、ISO など採用される PDCA サイクルに沿った章立てに従った枠組みを用いた。PDCA に則って、プランを策定し、プロセスのリスクプロファイルを把握したうえで、リスクやリスク削減のための重要性に応じたプロセスセーフティに関連する操業業務重点管理体制を、リスクマネジメントプロセスを活用して実施するという RBPS 20 エレメントの骨子である「リスクベース」が PDCA に統合した形である。ここでリスクマネジメントプロセスは、後述する「危険源の同定⇒リスクアセスメント⇒必要なリスク削減のための安全装置・安全対策の立案/機能要求の立案管理⇒ALARP の確認」という一連のサイクルを指す。PDCA の実施「Do」フェーズでは常にこのリスクマネジメントプロセスを実施することが重要となる。更に規程に落とし込む際には RBPS 20 エレメントを PDCA の中にマッピングして RBPS ガイドラインで求められる必要要件を明記していくと良い。

またこの RBPS-MS の運用においても、2 項で説明した通り、「プロセスセーフティエンジニアの配員」、「そのリーダーシップによる組織内でのリスクマネジメントプロセスの牽引と啓蒙」、および「ハザード管理台帳の機能を果たすツールの活用」という 3 つの柱の整備がその中心となる。本項以降 RBPS-MS 設計で重要となる項目についてガイドラインを示す。



図 5. PDCA サイクルへのリスクマネジメントプロセスと RBPS 20 エlementのマッピング

表 1. RBPS マネジメントシステム構成例

章	タイトル	RBPS-MS マニュアル（本社） - フレームワークの説明	RBPS-MS プラン（事業 所） - プランニング(5W1H)	補足
1	マネジメントシステムエ レメント(PDCA)	ISO などの PDCA サイクルに準拠	同左	-
2	ポリシー	ポリシースタートメント	同左	指針だけではなく、達成ゴール および MS 全体を短くまとめた ものにコミット
3	組織 & コンピテンシー 要件	R&R, コンピテンシー要件	具体的な組織内 R&R とコンピ テンシー要件	PS 管理に係る組織体系 教育・コンピテンシーマネジメン ト体系
4	リスクプロファイル	リスククライテリア, リスクマネジメント プロセス	リスクアセスメントプラン, 同定された主要設計想定事 故シナリオのリスク	リスククライテリア根拠書 スタディ手順書類
5	重要安全管理項目	代表リスクに対する典型的安全装 置と対策	主要リスクに対する安全装置と 対策	SCE と PS
6	操業前安全審査	リスク削減のための安全装置・安全 対策機能要求過不足の確認	具体的なリスク削減のための安 全装置・安全対策機能要求 確認項目	-
7	操業の実行	設備および対策に関する PS- WBS, エレメント間のリスク情報フロ ー, 作業許可申請など	具体的 WBS および PS に関 する業務の 5W1H	-
8	変更管理	リスクプロファイルに影響を与える変 更管理	事業所固有の手順	-
9	意思決定手順	リスクプロファイルに影響を与える決 定事故の意思決定プロセス, ALARP フレームワーク	具体的な実行手順に関する 5W1H	-
10	モニタリング	典型的 PS-KPI 設定	具体的 PS-KPI 設定	-
11	マネジメントレビュー	マネジメントのレビュー項目（ポリシ ースタートメントの充足度判定）	具体的な改善項目	-
12	監査	社外・社内監査、オーソリティーによ るコールドアイレビューなど	具体的な監査実行計画	適合性と有効性の 2 種

5. 操業・設備リスク管理組織制度

実装時の注意点として PSM のための組織構成・制度についての考慮も重要となる。図 6 に示す通り、組織は操業の目的を達成するための管理組織として形成されている。これに対して、RBPS-MS は、操業時の各種変動を検知し、変動から事故に発展しないように管理することを目的とした変動管理のためのマネジメントシステムである。

事業所組織においては、昨今の省人化などの流れにより操業管理の中核をなしているミドルマネジメントレベルでの情報フローが多となっていることが、課題として挙がっている(図 7) [6]。このミドルマネジメントレベルは PSM の責務も担っており、多忙な中でも現在はミドルマネジメント担当者の個々の高い能力により保安力が保たれているというのが実情である。

ここで具体的な PSM 管理項目を抽出し、必要要件を明確化することにより、PSM に関する役務をプロセスセーフティ担当者（PS 担当者）に移管することが可能となるはずである。そしてこの PS 担当者に PSM に必要な能力要件を満たすための教育を行い、リスク情報管理のデータベースツールを用いることで、PS 担当者によるリスクベース PSM 運用をサポートする。このような工夫により、これまでのミドルマネジメントの能力に依存した制度から、よりマネジメントシステムとして機能する組織・制度へ転換していくことが、熟練技術者が退職されていく時期を迎えた業界全体としては重要なポイントとなる（図 8）。

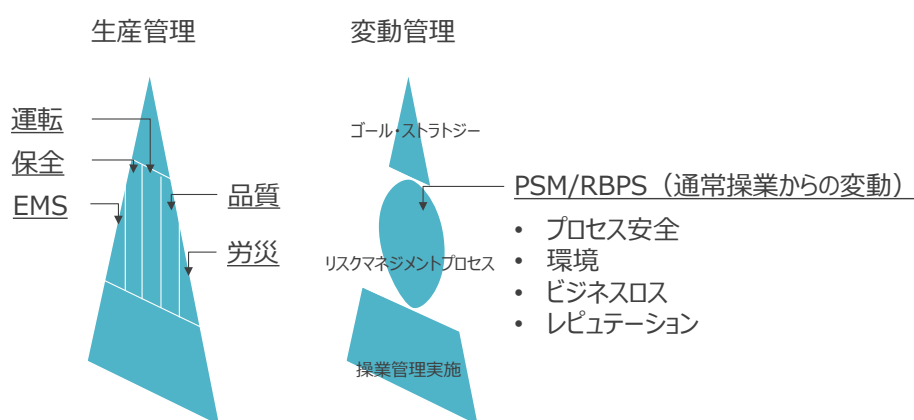


図 6. 生産管理と RBPS の管理目的の違い

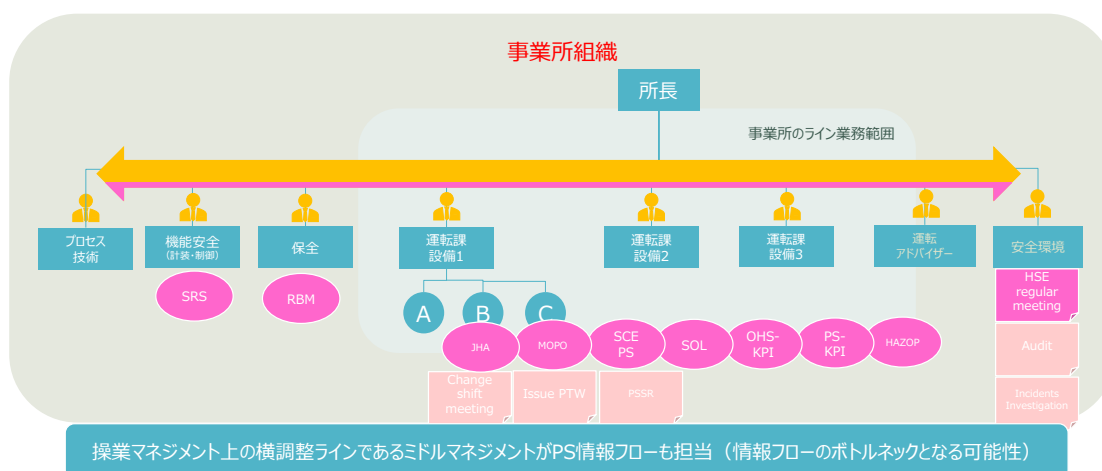


図 7. 操業および PS マネジメント上の情報フローボトルネック

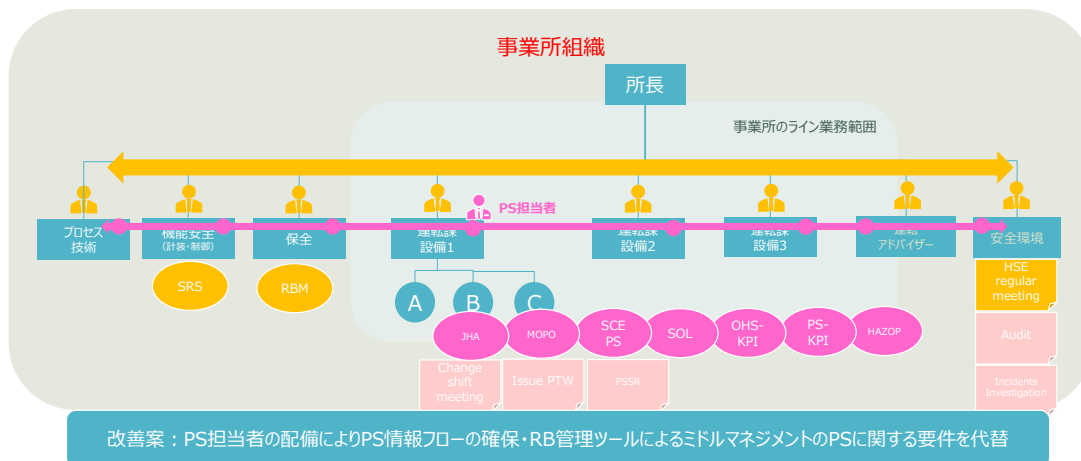


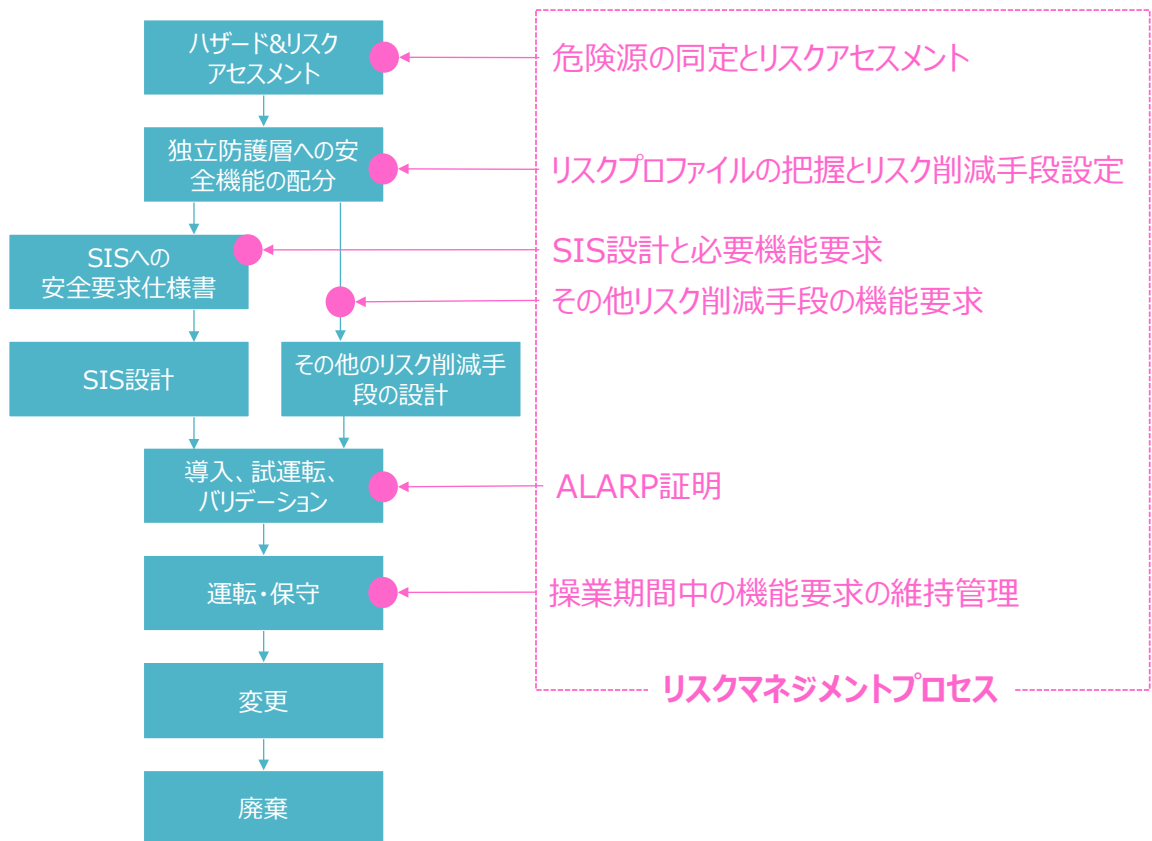
図 8. 組織へのプロセスセーフティ(PS)担当者導入イメージ

6. 危険源の同定とリスクアセスメント(HIRA)を起点とするリスク情報フロー確立

事業所組織において RBPS を実装する際に注意すべきは、リスク管理で必要となるリスクマネジメントプロセスが操業管理のスピードに支障をきたさないように構築されていること、および抽出したリスク情報がしっかりと操業・設備管理側に活用されることである。

HIRA の重要な側面として、HIRA 自体がリスクマネジメントプロセスの起点となることが挙げられる。図 9 にリスクアセスメントをベースとした安全計装システム(SIS)のライフサイクルマネジメントプロセスに、「危険源の同定⇒リスクアセスメント⇒必要なリスク削減のための安全装置・安全対策の立案/機能要求の立案管理⇒ALARP の確認」という一連のサイクルからなるリスクマネジメントプロセスを合わせて示したものを示す。プラントのライフサイクルを通して必要なリスク削減のための安全装置・安全対策機能を維持するためには、リスクマネジメントプロセスに基づく機能要求の設定が重要になる。また、このリスクマネジメントプロセスを実装する際には、機能要求の管理が重要となる。HIRA で抽出したリスク情報を運転グループへの情報、もしくは設備保全のための情報として展開する際に、ハザード管理台帳と機能要求の明文化が必要となるが、このハザード管理台帳・機能要求情報への展開がなされていないケースが多いので注意が必要である（図 10）。

重要なリスク情報フローを確立するための必要項目を漏れなく実施するために、各事業所で実際に実施する HIRA の項目をリスクアセスメントプランとして計画することが必要である。リスクアセスメントプランの例を表 2 に示す。リスクアセスメントの重要な目的は危険源を同定しリスクを評価することで、各事業所の持つリスクプロファイルを明らかにした上で、ハザード管理台帳などのツールを用いて運転・保全業務に展開できるようにすることである。



ライフサイクルマネジメントプロセス(IEC61511)

図 9. リスクマネジメントプロセス



図 10. 理想的なリスク情報フロー

表 2. リスクアセスメントプラン

リスクマネジメントプロセス	管理者	実施者	実施項目	実施タイミング
リスククライテリアの定義と管理	環境・安全	-	リスククライテリアの設定	Xxx
HIRA	PS 担当者	運転および関連部署	HAZID HAZOP 非定常 HAZOP LOPA その他 RA 活動	Xxx
安全装置同定と機能要求定義	PS 担当者	運転・保全	SCE & PS ハザード管理台帳	Xxx
管理要求に応じたの操業実施	運転・保全	運転・保全および関連部署	SCE & PS ハザード管理台帳	Xxx
パフォーマンスモニタリング	PS 担当者	全関連部署	PS-KPI 報告 ヒヤリハット報告 事故報告	Xxx
リスクコミュニケーション	PS 担当者	全関連部署	ALARP デモンストレーション	Xxx

各種リスクアセスメントで把握したリスクプロファイルに応じて組織が適切にリスクを管理するために、必要なリスク削減のための情報を事業所の安全管理上（リスク削減に）重要な安全装置・安全対策の維持管理情報（機能要求）に展開することが求められる。この際、まず一般的な安全装置設計思想に従って、事業所内の安全装置もしくは安全対策を把握することが重要となる。図 11 に事故の起因事象から漏洩、漏洩から火災や爆発などの事故種別までの事故進展を表すボウタイチャートを示す。ボウタイチャートでは事故進展を止める安全装置・安全対策のことをバリアーと呼ぶ。このうち、リスクが高い設計想定事故シナリオの事故進展に対して機能することが必要なバリアーを SCE と設定し、重点安全管理の対象とする。ボウタイチャートで扱う設計想定事故シナリオの粒度が「漏洩」を起点とするため、HAZID などの粒度の大きい危険源の同定手法から、設計想定事故シナリオを抽出・展開することが一般的である。

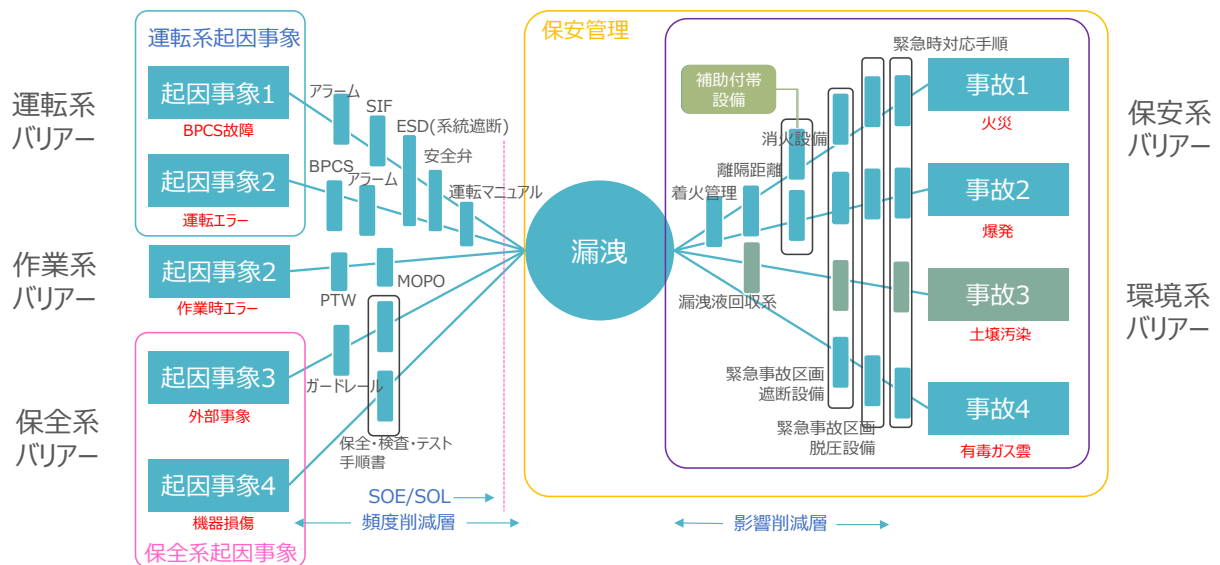


図 11. ボウタイチャートとバリアー系列

ボウタイチャートは事故進展を止めるバリアー抽出と事故顕在化後のリスクから SCE を抽出し、重点管理対策を定める際（例えば設備・対応の信頼性の確保）に有効である。ボウタイチャートにおける漏洩前に効く安全弁やアラームなどのバリアーに関しては、個別の事故起因に応じて設備設計詳細や対応時間・対策が変化し、取り扱う“漏洩”のまとめ方の細かさ（例：プロセスユニット単位なのか、機器単位なのか）によりリスクプロファイルの詳細度も変わるため、後述のハザード管理台帳作成時に注意が必要である。

図 8 のリスクベースの高度保安導入ロードマップに、HIRA から抽出されたリスク情報を設備管理に展開する際の情報の流れを示す。HAZOP、LOPA などの評価手法による危険源の同定・リスク評価を実施したのち、その設計想定事故シナリオのリスク情報を操業管理に適した形に変換し展開するフローを確立することが、RBPS-MS の重要な骨格となる。このリスク情報フローを確立するためには、HIRA の危険源情報から設備リスク管理情報（設備機能要求）として情報を整理付加するハザード管理台帳を作成する必要がある。特にリスクベース化されていない PSM においては、HIRA 実施後、設備改善や対応検討などのリコメンデーションの対応が重視されることが多かった（図 12 中のアウトプット 1）。しかし設備管理面での重要な HIRA からの情報は、設備で想定される事故シナリオのリスクプロファイルである（図 12 中のアウトプット 2）。RBPS-MS では HIRA の情報を設計想定事故シナリオのリスク情報として整理した後、事故シナリオ/リスクを削減するための設備・対策や事故を発生する起因となる設備要素・運転操作に対して機能要件を定めて操業管理上の重点安全管理項目として展開する。操業管理においては、関連各部がそれぞれの設備管理台帳を持つため、ハザード管理台帳から設備管理台帳に機能要求を確実にフローダウンすることで、HIRA からのリスク情報フローが確立される。

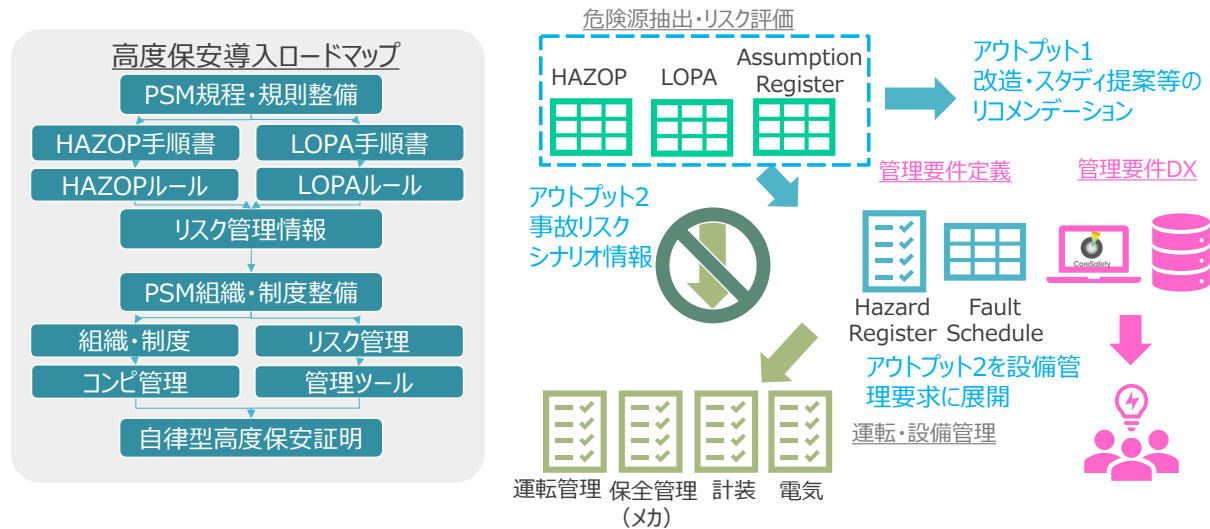


図 12. 高度保安導入ロードマップとリスク情報フローの関係

ハザード管理台帳は図 13 に示す通り HAIZD [7]、HAZOP [8]や LOPA [9]などで抽出された設備で想定される設計想定事故シナリオをまとめるものである。HAZOP、LOPA など抽出される設計想定事故シナリオはガイドワードごとに抽出されるため、繰り返し同じシナリオが出てきたり、同じ機器への影響が複数のノードで出てきたりと、設備の運転や保全を行うグループからすると機器ごとにまとまっていない使い勝手の悪い情報形式となっている。そのため、ハザード管理台帳は、HAZOP、LOPA などの情報を一度図 13 のボウタイチャートで示される起因事象、漏洩、イベントにまとめ直した後、台帳形式に落とし込むという手順で作成する [10]。図 13 にハザード管理台帳に記載されるべき必要要件と、海外で主に使われるハザード管理台帳形式（ハザードレジスターとフォルトスケジュール）の記載・まとめ方を示した。ハザードレジスターは、物質と場所に紐づく漏洩事故を中心に整理する形式、フォルトスケジュールは漏洩事故の起因事象を中心に整理する形式である [6] [7] [8]。漏洩事故を中心とするハザードレジスターに比べて、起因事象を中心とするフォルトスケジュールは、起因事象ごとの発生頻度とその発生頻度を削減する防護層の管理を機器タグ番号に紐づけて行うことができるため、より詳細な管理が可能となるが、機器数が多い場合は情報量が膨大になり、管理しにくいという側面がある。

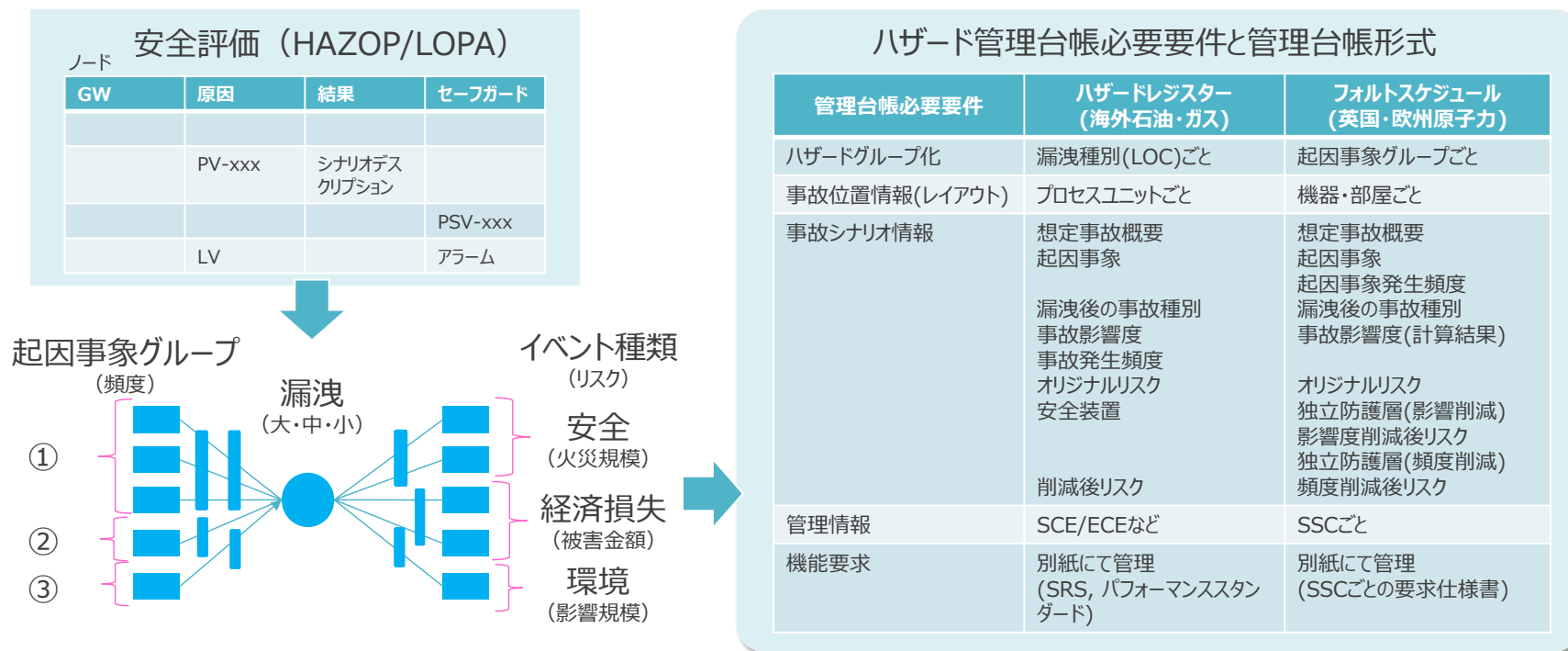


図 13. ハザード管理台帳作成手順と必要要件

また、RBPS-MS の効果を維持するためには、パフォーマンスモニタリングシステムを確立し、マネジメントシステムを継続的に改善する必要がある。特に RBPS-MS はプロセスセーフティを達成するためのものであるため、モニタリングシステムを設計する際にもプロセス設備からの漏洩事故（もしくはその可能性）が計れるような KPI を設定することが必要である。API 754 [4] にプロセスセーフティ KPI 設定のガイドラインが示されているので、ガイドラインを参考に Leading Indicator まで含めて明確に PS-KPI を定義すると良い。PS-KPI の例を表 3 に示した。

表 3. プロセスセーフティ KPI 設定例

カテゴリー	サブカテゴリー	意義・目的	KPI Tier	KPI 設定例
マネジメントシステム	科学的側面	設備・運転の脆弱部を重点管理	Tier-1/2	漏洩事故数（プロセスバウンダリ突破回数）
			Tier-3	安全装置起動実績（コントロール領域逸脱回数）
			Tier-4a	事故につながる可能性のある MS ルール違反、漏れ数、および実効性を示す事象数
	行動側面	MS により安全行動をルールづけ	Tier-4b	各 RBPS エLEMENT のプログラム実施状況評価（アクションフォロー状況など）
安全文化	安全習慣	安全文化により安全行動への自発性を高める	Tier-4c	安全活動への参加率、アンケートなど

RBPS-MS で最も重要な点はリスク削減の目標設定である。リスク削減の目標が明確に法令要求として整備されていない場合は、可能な限りリスクを削減することが必要である。この際、参考になる考え方が ALARP (As Low As Reasonably Practicable) という概念である [17]。ALARP 領域は、許容可能なリスクを、上限（許容できないリスクとの境界）と下限（無視できるリスク（又は広く受け入れられるリスク）との境界）によるリスクレンジとして示されるものであり、まずリスクがこの領域以下であれば、許容できる安全性が担保されると言える。ただし、リスクがこの ALARP 領域に入ったとしてもそれで何もしなくて良いというものではなく、その領域内にある限りはできる限りのリスク削減を検討することが求められる。ここでは追加のリスク削減のための安全装置・安全対策をどこまで実施するか判断を行うことが求められるが、そのリスク削減のための安全装置・安全対策の効果(リスク削減幅)が、その対策を取るために必要となる投資に対して十分有効性があると認められる（コストベネフィットが大きい）場合は、これを採用する必要がある。逆にその有効性があまりにも低い場合は、既に許容可能なリスク領域内でもあることから、追加のリスク削減策を行うことは合理的ではないため、追加リスク削減のための安全装置・安全対策を講じない時点でのリスクを妥当とし、許容できるとするものである [18]。これを ALARP 証明と呼ぶ。RBPS-MS を導入した場合は、リスクアセスメントで評価・把握したリスクプロファイルに対する既存の安全装置・安全対策が十分かどうかを検証する ALARP 会議を実施し、安全装置・安全対策の妥当性を確認する必要がある。これはリスクアセスメントで抽出された高リスクの設計想定事故シナリオに関連する設備や、SCE など重要な安全装置の改造の変更管理に際しての意思決定にも必要となるため、組織の意思決定システム設計に ALARP 会議を導入し、かつ透明性のある意思決定ができる仕組みを導入することが重要である。図 14 に意思決定フローの例を示す。ALARP 判定に関しては UKOOA のガイドライン [5] に従って実

施することが望ましい(図 15)。UKOOA ガイドラインでは意思決定の難しさを A～C で定義している。A は業界内でよく知られたリスクであり新規性のないもの、B は新規性や特殊性のあるリスク、C は会社としてもしくは社会として非常に大きなリスクと定義される。A のように既知であり新規性のないリスクに関しては、詳細なリスクアセスメントを実施せずとも、既存の規格やエンジニアリング上の判断での対応が可能とされる。一方で B のように新規性・特殊性のあるリスクに関しては、詳細なリスクアセスメントやその対策に関するコストベネフィットアナリシスを実施し、対応を決定することが推奨される。さらに C のように非常に大きなリスクに関しては、リスクアセスメントやコストベネフィットアナリシスだけではなく、会社や社会にとっての価値（バリュー）を吟味して意思決定する必要があるとされる。

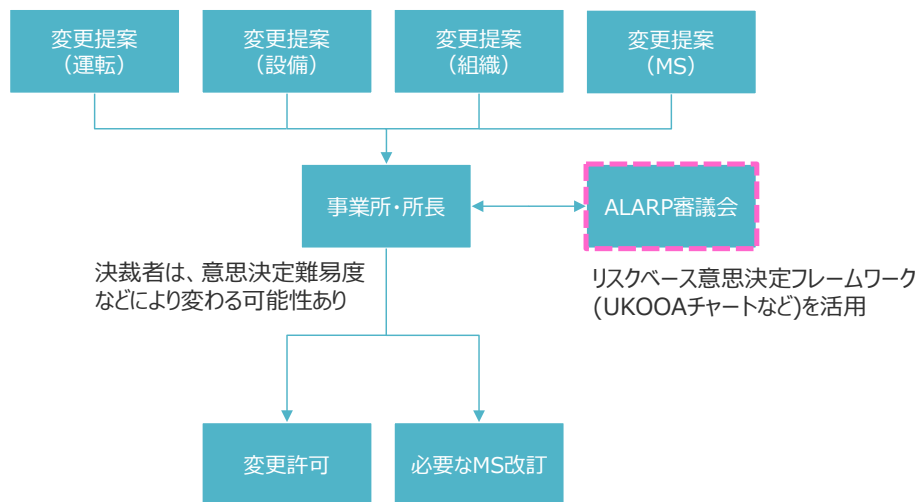


図 14. 意思決定フロー

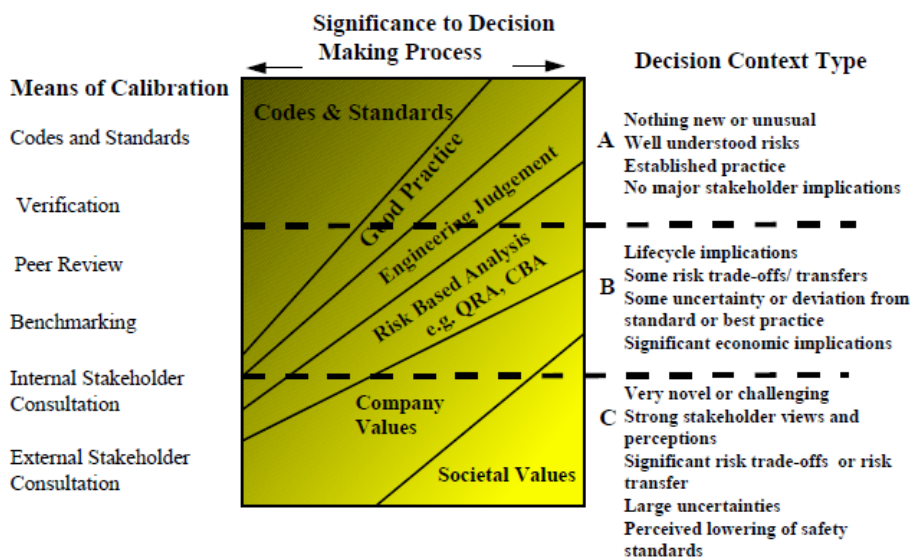


図 15. UKOOA リスクベース意思決定フレームワークチャート

7. 操業・設備リスク管理の在り方

前項で説明した通り、HIRA により抽出された設計想定事故シナリオとそのリスクレベル・リスク削減要求に応じた機能要求管理を、従来の運転・保安全管理に追加する重点管理項目として加えることが必要となる。

典型的な HIRA と設備管理部門間の関連性を図 16 に示す。多くの場合、設備管理の重要度/優先度評価は法令要求と RBM(Risk Based Maintenance)の結果を反映した上で、実施した HIRA を参照する形で設定されている。RBM は生産性の観点からのリスク側面が強くなる傾向がある [18]。HIRA 情報に関しては参照されているものの、設計想定事故シナリオに応じた設備信頼性などの機能要求管理を一件ごとに定めるといよりは、機器やその他構成要素(コンポーネント)ごとのリスクの大きさを参照する使い方がされていることが多い。

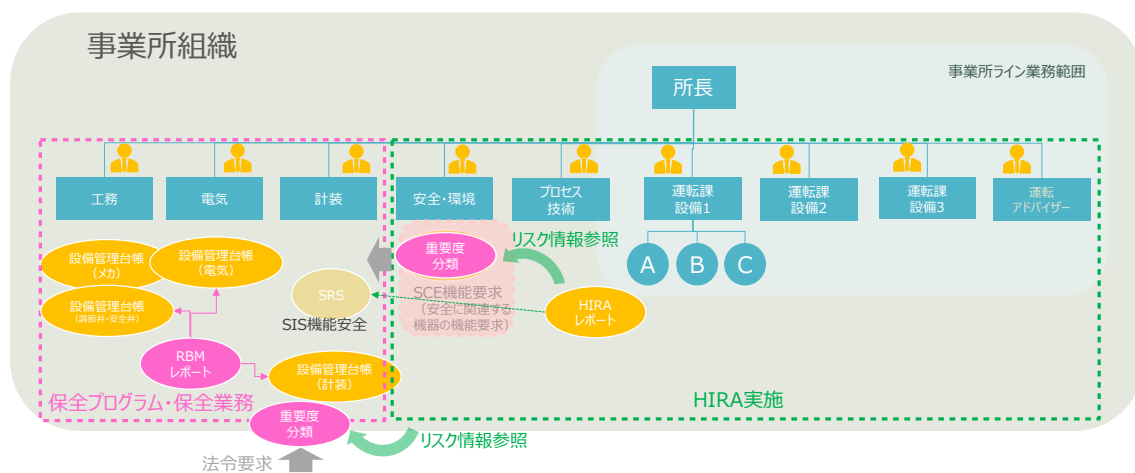


図 16. 典型的な組織内リスク情報フロー

図 17 に理想的なリスク情報フローを示す。ここでは HIRA で抽出された情報は、設計想定事故シナリオごとのリスク値およびリスク削減に寄与する安全装置・安全対策の機能要求として整理され、ハザード管理台帳として整備される。ハザード管理台帳に整理された機能要求を機器・コンポーネントごとに対象の設備管理台帳にフローダウンすることで、機器・コンポーネント個別の管理要求を具体的に保安全管理に展開することが可能となる。

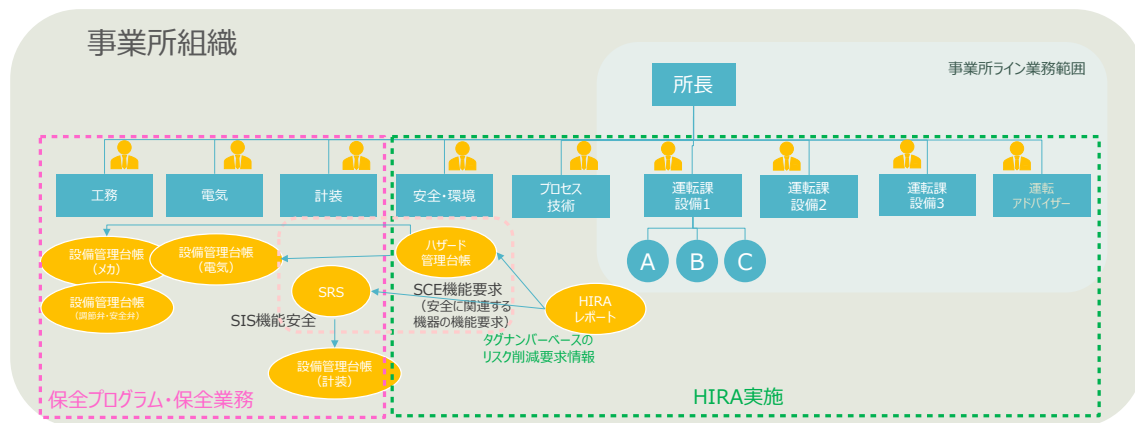


図 17. 理想的な組織内リスク情報フロー

ストラトジック PSM においては、HIRA からのリスク情報フローが RBPS-MS におけるリスクベース設備管理の骨格となるが、同様に RBPS20 エlementモデルにおいても 20 エlement間の MS 構築における関係性とリスク情報の関連性を整理・定義し、操業管理に展開することが重要である。図 18 に RBPS エlement間の MS 構築フローとリスク情報フローを定義する際の一例を示す。このようにフローを明確化することで RBPS エlementが個別に管理されるのではなく、リスク情報に基づき総合的に管理される形を作ることができるようになる。

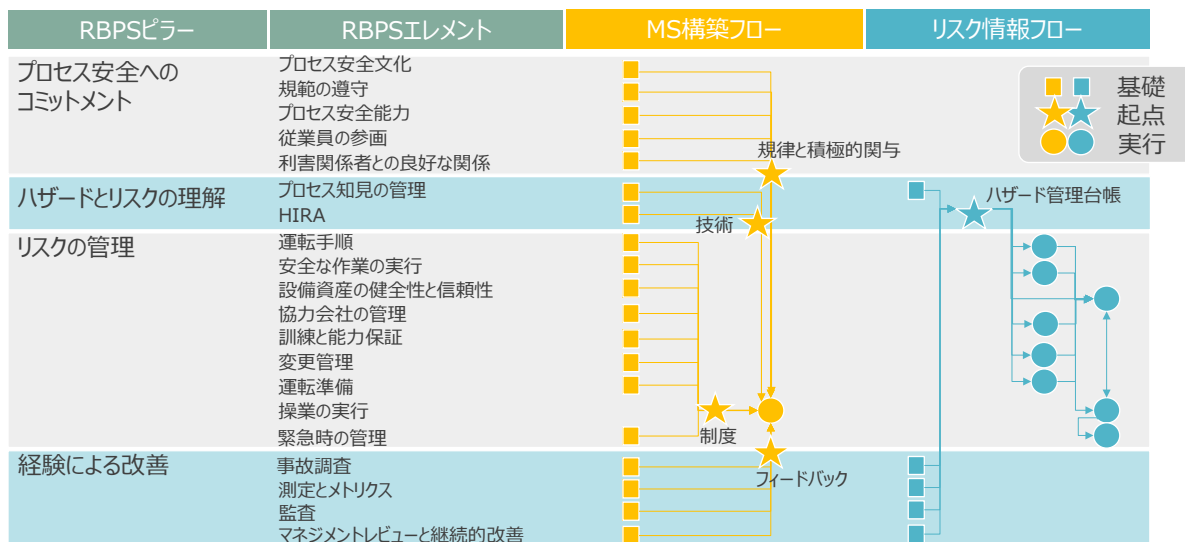


図 18. 組織内リスク情報フローと RBPS エLEMENT の関係

8. 操業・設備リスク管理ツール

RBPS-MSを運用する際のリーダーとなるPS担当者にとって、SPSMによるマネジメントシステムのコアとなるハザード管理台帳を持つことが重要である。ハザード管理台帳は一般に、HIRAからハザード管理台帳に展開する際に事故起因グループごとに整理したり、機能要求を付加するなどその作成に手間を要するものであること、ならびに、設備管理のために参照する際にプロセスセーフティの知見

がない設備管理担当者が自ら情報にアクセスし適切な情報を抽出することが困難であること、が実装時のハードルとなる。このハザード管理台帳を整備する際に DX ツールを用いることで、これらのハードルを下げる事が可能となる。

フォルトスケジュール技術をベースとして、プラントの設計想定事故シナリオとそのリスク削減装置・重点安全管理項目をタグナンバーレベルで管理できるリスクマネジメントサポートツールなども存在している。図 19 にその一例として日揮グローバル社 CoreSafety®を示した。HIRA の情報をフォルトスケジュールに整理し、機能要求を付加したデータベースとすることで RBPS-MS 運用の中心となる DX ツールを提供するものである（図 20）。

リスク情報の DX ツールを利用することで PS 担当者に、設計想定事故シナリオベースの安全管理思考（設計想定事故シナリオのリスクとその削減対策機能要求の理解）が定着し、引いては組織全体の PSM 管理能力向上につながっていくことが期待される。このサイクルを実現するためには、設計想定事故シナリオの抽出やリスク削減幅の正当な評価が適切に行われ、重点管理項目が適正に洗い出されることが重要となるが、このクオリティ担保のためには担当者のコンピテンシー教育の充実が今後の課題として挙げられる。

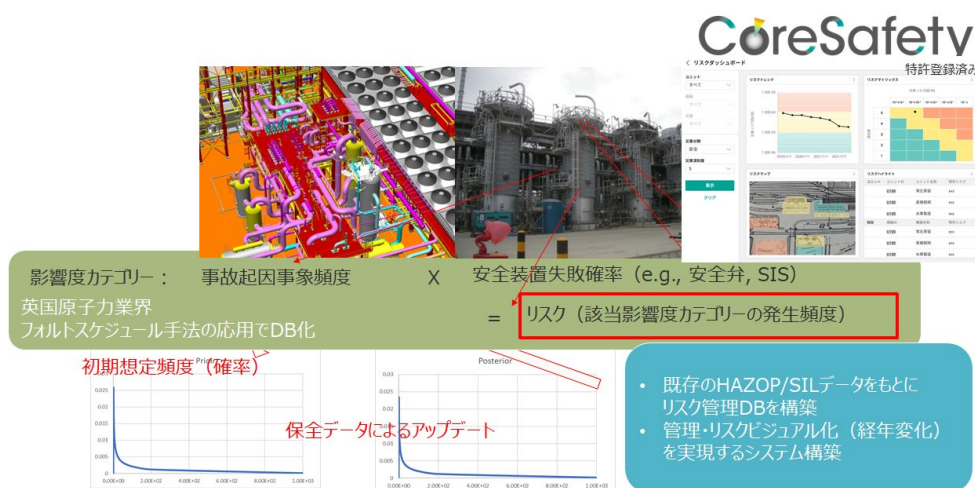


図 19. CoreSafety®コンセプト

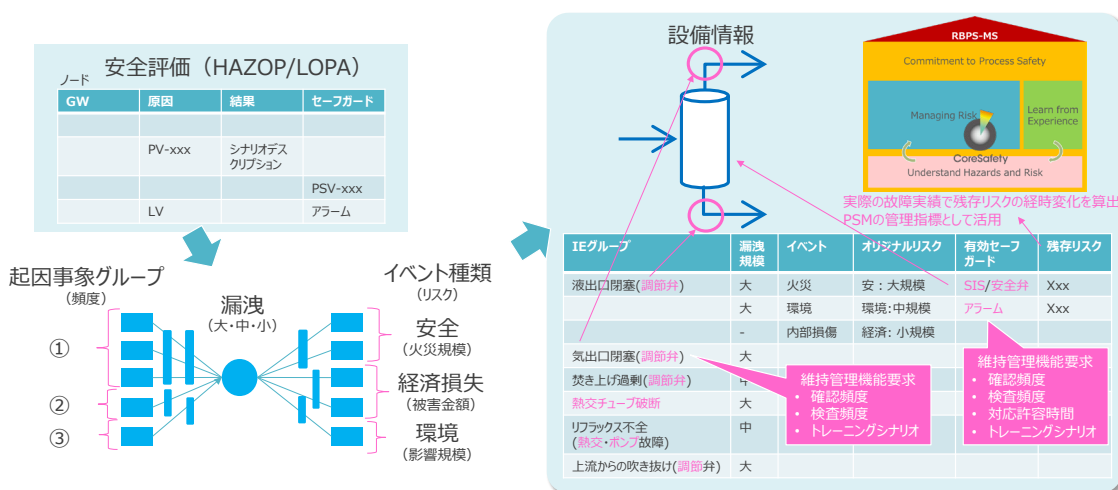


図 20.CoreSafety®による機能要求管理イメージ

9. 教育システムとコンピテンシーマネジメント

リスク情報を組織内で適切にハンドリングするためには、組織内でプロセスセーフティ業務に係る担当者のコンピテンシーマネジメント（能力要件管理）を適切に行うことが重要となる。

組織内でのコンピテンシーマネジメントを実装する際に、最初にプロセスセーフティに関する知識体系の全体像を整理・把握し、必要な知識を提供する教育システムを準備する必要がある。プロセスセーフティ知識体系は、種々の安全技術知見と、これらを複合的に扱いシステム工学的にリスク管理を遂行する技術に関する知見、リスク情報を PSM エlement に展開するためのシステム知識、それらを組織運営の中で機能させるための組織管理に関する知見、さらには、これらすべてを下支えし、安全管理に係る活動を活性化させる安全文化に関する知識から構成され、それらは図 21 に示されるモデル構造を形成する。広範な知識分野が必要となるものであり、欧米のように大学などで実務経験者に対して総合的にプロセスセーフティを教育するプログラムを提供するような業界全体の取り組みも要望される。一方で各要素に関しては、各種団体から教育システムが提供されているため、事業者は社内外のプログラムを組み合わせ活用し、それぞれの教育システムを確立することが肝要である。

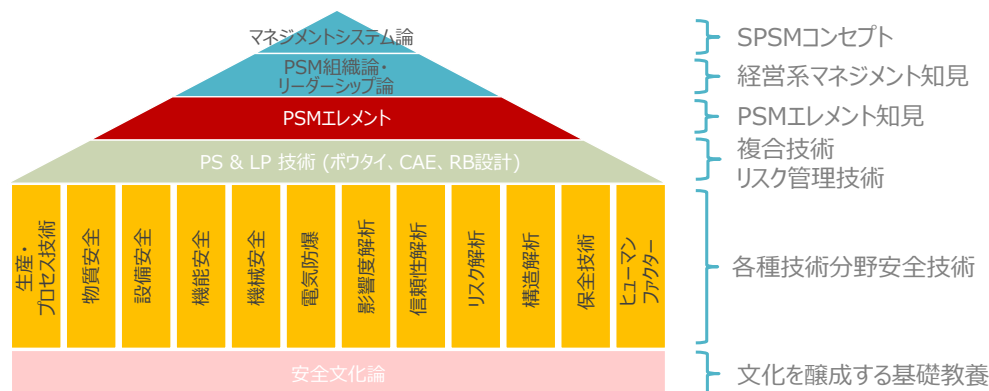


図 21.プロセスセーフティ知識体系図

教育システムが確立されたのち、組織内のプロセスセーフティ業務に携わる担当者、およびプロセスセーフティマネジメント業務を行う管理者のそれぞれのレベルに応じて必要コンピテンシーを定め、必要コンピテンシーを満たしているかのコンピテンシーアセスメントを実施し、継続的に能力開発を行っていくコンピテンシーマネジメントシステムを確立することで、RBPS-MS のクオリティ確保が可能となる。コンピテンシーマネジメントの実施方法に関しては UK HSE のガイドライン [6]が参考となるので参照のこと。その際、すべての担当者・管理者に広範なプロセスセーフティ分野すべてに関する知識を深く習得することを求めるのではなく、携わる業務（ロール）に含まれる具体的なアクティビティに分解した上で必要なコンピテンシーを明確にすることで、必要な知識分野要求にメリハリをつけることが可能となる。例えばリスクアセスメント実施担当者は HIRA 手法に習熟する必要があるが、マネジメントシステム管理者は HIRA 手法よりも、PSM の概念と PSM の中での HIRA の位置づけなどのフレームワークを理解していることが重要である。組織全体のプロセスセーフティコンピテンシーの担保は、ロールに応じたコンピテンシー要件の定義と確認アセスメントの実施を中心として、不足部分に関しては社内外の教育システムを利用することで補完すること、ならびに継続的に改善することにより可能となる（図 22）。

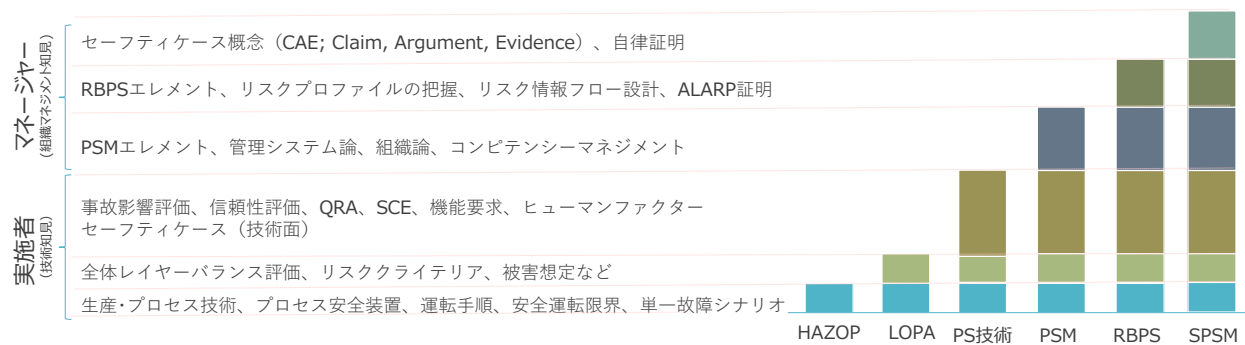


図 22.ロールに応じたプロセス安全コンピテンシー設定イメージ

10. MS のインテグレーション

表 4 に示す通り MS には生産目標を達成するための生産管理に紐づく MS と、PSM のように事故を防ぐための MS とに大別できる。本ガイドラインはリスクベース PSM(RBPS-MS)を戦略的/効果的に組織に導入するためのものであるが、大きな視点でみると生産管理と PSM 双方のバランスが取れた形が、アクセル/ハンドルとブレーキが揃うイメージとなるため、MS を統合することにメリットが期待できる。例えば、共通の“リスク”指標を用いることで、MS を横断した最適な判断やリソース配分が可能になる、事務者がクロスファンクショナルにいくつもの MS を経験することによるコンピテンシー開発効果、実務上の処理の重複の回避、などである。

統合イメージを表 5 に示す。各種マネジメントシステムは PDCA サイクルに則って設計されるため、PDCA 要素を定める部分および監査について各種マネジメントシステムを横断する形で統合する形の統合監査を採用することも考えられる。一方で、それぞれのマネジメントシステムで技術的なエレメントや採用されるリスクアセスメント手法は異なるため、それぞれ別々に構築すべき項目も多く存在する。操業管理をよりよく行うための概念・戦略としてレスポンスフルケアや Operational Excellence などの要素を加味しているのが操業管理 MS であるが、ここに PSM を含めたすべてのマネジメントシステムを統合し、各種マネジメントシステム要素がその下に構成されるような統合マネジメントシステムを構築することが MS の在り方の一例として考えられる。この際、操業管理組織は定常のピラミッド型組織による管理とするが、図 6 に示す通り RBPS のような変動管理型に必要なアクションを定常組織で行うよりも、部門横断型のプロジェクト型組織でエレメントごとに管理を行うなど組織対応を分けることにより役務を明確化する取り組みも有効である。

表 4. マネジメントシステムの特徴と統合のメリット

マネジメントシステム(MS)の特徴	生産管理 MS	PSM/RBPS
目的	目標生産量を効率的に達成する	事故を防ぐ、事故リスクを低減する
イメージ	アクセルとハンドル	ブレーキ
典型的な組織構成	必要機能ごとに分化(ピラミッド構造)	タスクフォース型
担当	全部署	安全環境グループ、分科会
MS モデル	PDCA 型(ISO 型)	エレメント型
指標	収益・歩留まり	事故発生件数・リスク
リスクベースによるマネジメントシステム統合のメリット：		
①アクセル・ハンドル・ブレーキという全要素が揃う		

- ②共通の“リスク”指標を基に MS を横断した最適な判断やリソース配分が可能となる
- ③実務者がクロスファンクショナルに MS 経験を積めることによるコンピテンシー開発効果
- ④実務上の処理の重複を回避し、実務担当者の負荷を軽減できること

表 5. 各種マネジメントシステムのインテグレーションイメージ

	PSM	E-RMP	OHS	EMS	QMS
カテゴリー	変動管理		操業管理		
適用法規・規格・基準類	Xxx (29CFR1910)	Xxx (40CFR68)	Xxx (ISO45000)	Xxx (ISO14000)	Xxx (ISO9000)
MS エlement	全体 PDCA 要素				
技術Element	PSM Element	PSM Element	工事設計・工事手順リスク管理	Xxx	Xxx
リスクマネジメントプロセス	HIRA 計画	環境リスクマネジメントプログラム	労働安全リスクアセスメント計画	-	-
主要ハザードシナリオおよび重点管理項目	Xxx	Xxx	Xxx	-	-
モニタリング	PS-KPI	PS-KPI	OHS-KPI	Xxx	Xxx
監査(適合性)	統合監査				
監査(有効性)	Xxx	Xxx	Xxx	Xxx	Xxx
改善項目および計画	Xxx	Xxx	Xxx	Xxx	Xxx

11. 高度保安の自己証明（自律保安）

現在求められている自律型高度保安を達成するためには、法令要求を満足した上で、事業者が自身の高度な PSM 遂行によりリスクをできる限り削減していることを自ら示す必要がある。そのために自らの自律型高度保安を説明する手法を検討することが重要である。図 1 の自律型高度保安導入ロードマップの最後のステップに当たるのが本項となる。

事業者自ら安全性を証明するという仕組みで参考となる考え方として、英国原子力業界のセーフティケースで用いられる CAE (Claim, Argument, Evidence)法を紹介する。CAE は安全性を証明するために用いられている論理分解手法であり、安全性をその証明のために必要となるサブ要素に分解してそれぞれに証拠を提示することでトップ事象である安全性の証明を達成するという仕組みである。プラント操業安全性証明は図 23 に示すサブ要素（安全要求定義、設計安全、運転安全）からなる。安全要求定義は、組織制度設計やリスク管理指標の根拠やフレームワークなど広範な思想や仕組みを含む。設計安全は、設計想定事故とそのリスクを削減するために必要な設備・行動や機能要求を定義するものであり、運転安全は、運転時に必要な SCE や重要な運転員のアクションなどに対する機能要求を整備することを指す。これらを総合的に整備することによりプラント安全の証明が導かれると考えられる（図 23）。

本ガイドラインで示した RBPS-MS 構成例をベースに、組織の特徴に合わせた組織・制度設計によって実装したフレームワーク、およびハザード管理台帳を用いたリスク情報フローによる機能要求管理の実装、教育システム・コンピテンシーマネジメントによる組織としてのプロセスセーフティコンピテンシーの担保、など主要構成要素を加味することでリスクベースの自律型高度保安マネジメントシステムの有効性を主張するとともに、継続的な改善により安全性を透明性を持って広くステークホルダーに証明していくことが高度保安の実装が成し遂げられたことを示すために肝要である。

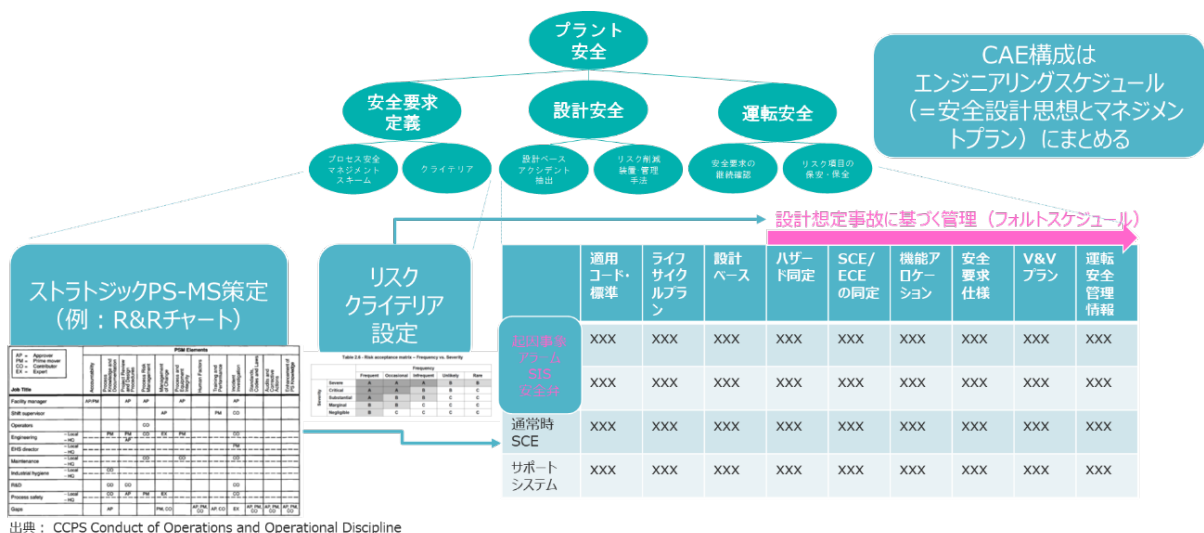


図 23.CAE による安全証明イメージ

おわりに

SPSM はこれまでの PSM エlementに加えて、組織・制度、教育・サポートツールを組み合わせるプロセスベースマネジメントシステムにより RBPS 実装を図るコンセプトであり、本研究会フェーズ 1 にてその骨子を明らかにし、フェーズ 2 にて実装に向けての考慮点を検討した。本ガイドラインはフェーズ 1～2 の討議結果から、SPSM コンセプトを RBPS-MS として実装するためのガイドラインとしてまとめたものである。

現在、本ガイドラインでは触れなかったが、多数のスマート保安技術が存在している。これらのスマート保安技術は本ガイドラインで示した RBPS-MS を骨格として、より精度の高いリスク情報やより精緻な設備管理への展開が可能とするものであり、Society5.0 においては安全性を担保するためのコンセプトと実装・深化するためのスマート保安技術を組み合わせる実装することが更なる安全性向上に寄与するものとする。

ストラテジック PSM 研究会参加者名簿

<幹事>

三宅 淳巳	横浜国立大学 先端科学高等研究院 教授
田邊 雅幸	横浜国立大学 先端科学高等研究院 准教授

<メンバー (アイウエオ順)>

安彦 聡也	高圧ガス保安協会
伊里 友一郎	横浜国立大学大学院環境情報研究院 准教授
川瀬 武彦	元 高圧ガス保安協会
木村 雄二	工学院大学 名誉教授
木村 剛二	昭和電工株式会社
小清水 実	横浜国立大学先端科学高等研究院
佐野 尊	高圧ガス保安協会
塩田 謙人	横浜国立大学先端科学高等研究院
神馬 稔	日揮グローバル株式会社
鈴木 智也	横浜国立大学大学院 環境情報学府
中井 敦子	三菱ケミカル株式会社
中山 穰	横浜国立大学先端科学高等研究院
難波 一志	日揮グローバル株式会社
畠中 光宏	日揮グローバル株式会社
藤井 公昭	東ソー株式会社
藤井 亮	高圧ガス保安協会
保坂 直輝	東ソー株式会社
水田 有人	三菱ケミカル株式会社
森本 勉	三井化学株式会社
山田 敏弘	高圧ガス保安協会
山本 英生	三井化学株式会社
ラーマン ミザヌル	元 出光興産株式会社
和田 祐典	住友化学株式会社

参考文献

1. **経済産業省**. 第 1 回 産業保安基本制度小委員会. 第 1 回 産業保安基本制度小委員会. (オンライン) 2021 年 2 月 24 日.
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/sangyo_hoan_kihon/001.html.
2. **IAEA**. IAEA Publications. IAEA の Web サイト. (オンライン) 2015 年. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1698_web.pdf.
3. —. IAEA Publications. IAEA の Web サイト. (オンライン) 2018 年. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1808_web.pdf.
4. **Occupational Safety and Health Administration (OSHA)**. § 1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals. Code of Federal Regulations. (オンライン) (引用日: 2022 年 9 月 30 日.) <https://www.ecfr.gov/current/title-29/subtitle-B/chapter-XVII/part-1910/subpart-H/section-1910.119>.
5. **Center for Chemical Process Safety (CCPS)**. Guidelines for Risk Based Process Safety. 出版地不明: A JOHN WILEYS & SONS, INC., PUBLICATION, 2007. ISBN 978-0-470-16569-0.
6. **OHSAS Project Group**. Occupational health and safety management systems - Requirements. 出版地不明: Occupational Health and Safety Assessment (OHSAS) Project Group, 2007. OHSAS 18001.
7. **International Organization for Standardization (ISO)**. Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. 2018. ISO 45001.
8. **Health and Safety Executive (HSE)**. HSE Home Page. Safety cases. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 3 日.) <https://www.hse.gov.uk/offshore/safetycases.htm>.
9. **Occupational Safety and Health Administration (OSHA)**. UUnited States Department of Labor Home Page. Process Safety Management. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 3 日.) <https://www.osha.gov/process-safety-management>.
10. **経済産業省**. 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 産業保安基本制度小委員会 報告書. 経済産業省ホームページ. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 1 日.)
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/sangyo_hoan_kihon/20211201_report.html.
11. **International Organization for Standardization**. Guidance on performing risk assessment in the design of onshore LNG installations including the ship/shore interface. 出版地不明: ISO, 2015. ISO/TS 16901.

12. **International Electrotechnician Commission (IEC).** Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide. 2016. IEC 61882.
13. **Center for Chemical Process Safety (CCPS).** Layer of Protection Analysis. 出版地不明 : American Institute of Chemical Engineers, 2001. ISBN 0-8169-0811-7.
14. **International Organization for Standardization.** Petroleum and natural gas industries — Offshore production installations — Major accident hazard management during the design of new installations. 2016. ISO 17776.
15. **(ONR)for Nuclear RegulationOffice.** ONR Guide Design Basis Analysis. ONR Home Page. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 1 日.)
https://www.onr.org.uk/operational/tech_asst_guides/ns-tast-gd-006.pdf. NS-TAST-GD-006.
16. **(SDF)Industry Safety Directors' ForumNuclear.** The UK Nuclear Industry Guide To: Design Basis Assessment (DBA) Scheme. Nuclear Institute Home Page. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 1 日.)
https://www.nuclearinst.com/write/MediaUploads/SDF%20documents/Safety%20Case/DBA_Scheme_Guide_Iss1_Sept2018.pdf.
17. **EPRUK.** PCSR -Sub-chapter 14.7 - Fault and Protection Schedule. UK EPR - Generic Design Assessment. (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 1 日.) <http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/PCSR/Chapter%2014%20-%20Design%20Basis%20Analysis/Sub-Chapter%2014.7%20-%20Fault%20and%20Protection%20Schedule.pdf>.
18. **Americam Petroleum Institute (API).** API RP 754 Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries. Washington DC : API Publishing Services, 2016.
19. **Health and Safety Executive (HSE).** HSE Home Page. ALARP "at a glance". (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 3 日.) <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarpglance.htm>.
20. —. HSE Home Page. Cost Benefit Analysis (CBA). (オンライン) (引用日: 2022 年 10 月 3 日.) <https://www.hse.gov.uk/managing/theory/alarpcheck.htm>.
21. **UK Offshore Operators Asspciation (UKOOA).** A Framework for Risk Related Decision Support. 1999.
22. **American Petroleum Institute (API).** Risk-Based Inspection Methodology. 出版地不明 : American Petroleum Institute (API), 2019. API RP 581.
23. **UK HSE (Health and Safety Executive).** Managing competence for safety-related systems. UK HSE Home Page. (オンライン)
<https://www.hse.gov.uk/humanfactors/topics/mancomppt1.pdf>.