

福島第一原子力発電所事故から15年 ～安全について改めて考える～

1. 学術・高等教育機関の役割と課題

関村 直人

東京大学名誉教授

東京大学国際高等研究所東京カレッジ

日本学術会議第三部 原子力安全に関する分科会 委員長

内 容

1. はじめに: 学術・高等教育機関の役割への視座
2. 事故調からの提言・教訓とそのフォローアップについて
3. 研究開発・安全研究課題と人材基盤・育成について
4. 安全マネジメントシステムと安全文化の課題について
5. まとめ

1. はじめに

複雑なシステムの安全性と学術基盤

科学なしには扱えないが、科学だけでは解決できない課題としての原子力安全*

- 総合的、学際的な基盤が、専門性の強化と人材育成とともに重要
 - － 複雑システムの安全に関わる課題は、技術の体系のみならず、これをとりまく環境（社会・人工・自然環境を含む）と、分業する専門家からなる組織・人間の間の多様な相互作用によって生ずる。
 - － それらが内在する不確実性と時間に伴う変化（社会からの要請の変容、技術の進展とそれに伴う陳腐化、機器・材料の機能劣化、組織・人間の様々な変化等）は、設定すべき課題をより複雑にし、解決への道程を困難にしている。
- マネジメントシステム、リスク情報活用、レジリエンスと深層防護
 - － 大規模複雑システムの安全性向上には、既知の事故・トラブルへの対応のみならず、顕在化していない未経験や未知のリスクに対処するために、マネジメントシステムに対し、レジリエンス（回復・適応）力を組込むことが望まれる。
- ステークホルダ間の信頼、安全文化と国の文化的特徴の影響
 - － 社会の多様なステークホルダが関知、認知する課題に対して、解決策を提示することは容易ではない。ステークホルダ間の信頼に影響する安全文化は、国の文化的特徴にも依存している。

1. はじめに

信頼(の獲得・喪失)に関する非対称性原理

- 信頼を得るためには多くの肯定的実績が必要であり、長い時間を要する
「パフォーマンス」
 - 信頼を失うには単一の否定的事実で十分であって、短時間に信頼は失墜する
「トラブル・不祥事・事故」
-

Paul Slovic (1993) による非対称原理の説明例

- ① 否定的なことは信頼評価へのインパクトが大きい
– 損失は利得より重く見られる
- ② 肯定的な事実より、否定的な事実が一般化されやすい
– 安全はSafety IIより、Safety I で理解されてきた (Hollnagel, 2014)
- ③ メディアにおける社会的レッテル
- ④ 信頼の欠如は、さらに信頼を低下させるような情報処理の枠組みを形成しやすい
– しかしこの「確証バイアス」は、逆に「信頼感」の維持に働く場合もある

2. 学会事故調からの教訓・提言

日本原子力学会事故調査報告書の分析及び提言

- 学会事故調査委員会(2012年6月設置)
 - ✓ 学会事故調 委員長: 田中 知 前学会長
 - ✓ 政府、国会事故調等や海外報告書発行後に最終報告書
 - ✓ 日本語版: 丸善、2014年3月
 - ✓ 英文版報告書も刊行: Springer, 2015年

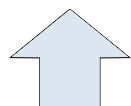
日本原子力学会が事故の直接要因と背後要因について分析し、今後の原子力安全の向上に向けた提言を行った報告書である。原子力専門家としての立場から事故の実態について分析し、「学際的取組みの強化」をはじめとする原子力学会の組織の改革についても検討を行っている。

船橋洋一氏による「フクシマ戦記」下巻p. 423 文藝春秋社刊 (2021. 2. 25)

学会事故調：提言のための根本原因分析

事故の直接要因

1. 不十分であった津波対策
2. 不十分であった過酷事故対策
3. 不十分であった緊急時対策、事故後対策および種々の緩和・回復策



事故の背後要因

1. 専門家自らの役割に関する認識の不足
2. 事業者の安全意識と安全に関する取組みの不足
3. 規制当局の安全に対する意識の不足
4. 国際的に謙虚に学ぼうとする取組みの不足
5. 安全を確保するための俯瞰的な視点を有する人材および組織運営基盤の欠如

学会事故調提言の構成：5分類50項目

- I. 原子力安全の基本的な事項（5項目）
- II. 直接要因に関する事項（14項目）
- III. 背後要因のうち組織的なものに関する事項（14項目）
- IV. 以上に共通する基盤的な事項（12項目）
- V. 今後の復興に関する事項（5項目）

✓ 得られた教訓・提言が、技術知識、規制制度知識、組織知識として、転換されていく過程を、学術・高等教育機関としてフォローアップしていく。

✓ 学会事故調報告書の第6章末には、事故進展に関し今後より詳細な調査と検討を要する48項目をまとめている。これらについては福島第一原子力発電所廃炉検討委員会に事故進展に関する未解明事項フォロー WGを設置して、検討を重ねた。

学会事故調報告書における提言の検証

提言フォローアップに関連する主な活動例

5年目：2016年3月26日 特別セッション(仙台)

- 事故調最終報告書における提言とその後の対応(学会事故調提言フォロー分科会 山本主査)
 - ✓ 実行の調査を関係機関・学会内外に対して広く実施し、事実をエビデンスと共にまとめた。
- 安全性向上に関連する取組み(安全部会、標準委員会、ヒューマン・マシン・システム部会)

10年目：2021年3月11日 オンラインシンポジウム

- 提言のフォローアップに関する広範な調査報告
 - ✓ 再度実施状況の事実を調査するとともに、実施状況を分析し、達成の度を評価した。
- 事故調報告書の目的に立ち返った「事故から10年」の課題総括
 - ✓ 直接的な知見や経験の喪失が、多様なステークホルダにおいて非均質に生ずる可能性
 - ✓ 関連する組織の変化、組織を構成する人と経験レベルの変化
 - ✓ 多様な(安全性向上)活動への継続性が失われる可能性
 - ✓ 重要な安全上の課題を認識することの遅れや障害の可能性

提言 I : 原子力安全の基本的な事項

(1) 原子力安全の目標の明確化と体系化への取り組み

① 安全目標とその合意形成

「定量性を持った安全目標の設定と社会との共有・対話の努力」

- 定量性をもった安全目標は、リスクがどの程度であれば社会に受け入れられるかを示すものであり、社会との共有に向けて対話の努力を継続的に行うべきである。
 - ✓ 安全目標は、社会との対話を進め社会と共有すべきものであるが、取りまとめも十分できていない状況である。
- 安全目標とともに、リスク情報を積極的に活用し、規制機関においては規制活動の透明性、予見性、合理性、整合性の向上を図るべきである。
 - ✓ リスク情報の活用における規制当局の取り組みは評価できる。
 - ✓ しかし、提言として示した「安全目標」の明確化がなされていない現状から、規制基準を満たした状況における安全性の確保については、全く評価されないこととなっている。
- 事業者においては原子力利用活動に伴うリスクを合理的に実行可能な限り低くするよう努めるべきである。
 - ✓ 原子力学会標準において継続的安全性向上の標準が策定され (IRIDM)、積極的に取り組む基盤が生まれた。
 - ✓ この方策は、規制における検査制度の見直しにおいて取り込まれ、運用が開始された。

提言Ⅲ：背後要因のうち組織的なものに関する事項

(1) 専門家集団としての学会・学術界の取組み

① 学会が果たすべき責務の再認識

- 社会からの信頼と負託に応える責務を有する。特に原子力技術が場合によっては深刻な影響を人類に与えることを自覚し、常に倫理的な判断と行動をなすことが求められている。
- 2013年6月の日本原子力学会総会において、被災地域の復興と日本の再生に向けた活動が定款に明記されたことから、被災地域の復興と日本の再生に向けた活動も学会の責務であることを再認識しなければならない。
 - ✓ 学会として倫理規定を制定し、学会員としてあるべき姿を示して定着させようとしてきた。しかし、この主旨が学会員にどれだけ理解されているのか把握しきれていない。
 - ✓ 被災地域の復興には、特に福島プロジェクトで取り組んできたが、日本の再生に向けた取組みができているか疑問である。

② 学会における自由な議論

- 客観的、公平な観点から自立性をもった活動の重要性を認識し、自由で率直な意見交換を行える雰囲気醸成に努めなければならない。
 - ✓ 学会の年会などは充実されてきたが、広い範囲の学会員が、自由な意見交換ができる場の提供が不足している。

③ 安全研究の強化

- 安全性向上研究を継続的に実施する仕組みを復活させ、安全研究体制が再構築されなければならない。その原子力安全研究について、ロードマップの策定と継続的改訂などを通じて、先導的役割を果たさなければならない。
 - ✓ 事故後、ロードマップの整備と安全研究の体系的な提案は行われたが、継続的な取組となっておらず、学会がロードマップのローリングを含めて、先導的役割を担う状況にはなっていない。

④ 学際的取組みの強化

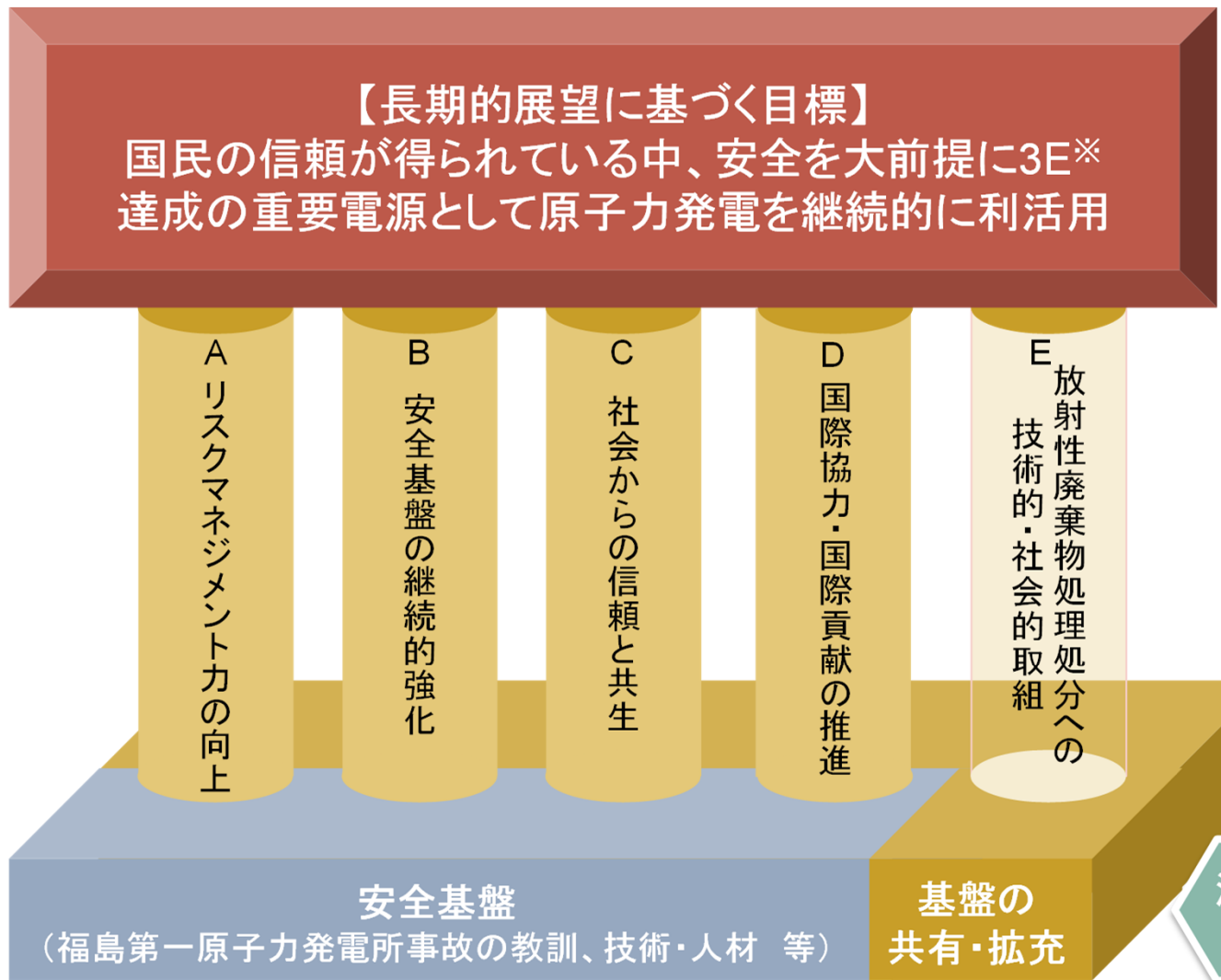
- 原子力安全に関する他のアカデミアを含めた俯瞰的な討論と協働のための「場」を構築し、主導的な役割を果たさなければならない。
 - ✓ 原子力学会が、他の学協会と連携を積極的にし、協働のための取組は一部ではできている。しかしながら、継続的な「場」の構築にまでには至っていない。知見の交換や、知見の自制、規制への取り込みには程遠い。

⑤ 安全規制の継続的改善への貢献

- 規制制度の裏付けとなる研究や標準策定活動を強化し、社会的側面の研究も含めその成果を適宜、社会に発信しなければならない。
 - ✓ 安全規制に取り込まれるべき基準策定は進められているが、特に原子力安全の社会認知のための取組みが足りない。

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」における 目標、柱となる社会ニーズ

経産省 自主的安全性向上・技術・人材WG (2015年3月31日)での
日本原子力学会「安全対策高度化技術検討」特別専門委員会の発表資料から



継続的な
改善・向上

原子力安全を取り巻く社会的
要請・ニーズに応えるため、
関係者全員でのビジョンの設
定と共有、重畳を廃した俯瞰
的な技術・人材等に関する課
題整理に基づいて、継続的な
課題解決の取組み、適正な
評価と改善を、開かれたコ
ミュニケーションの下で行う必
要がある。
そのツールとして、本「ロード
マップ」が位置づけられる。

海外・関連分野
の最新知見

社会的要請・ニーズの体系的提示に基づく課題提示

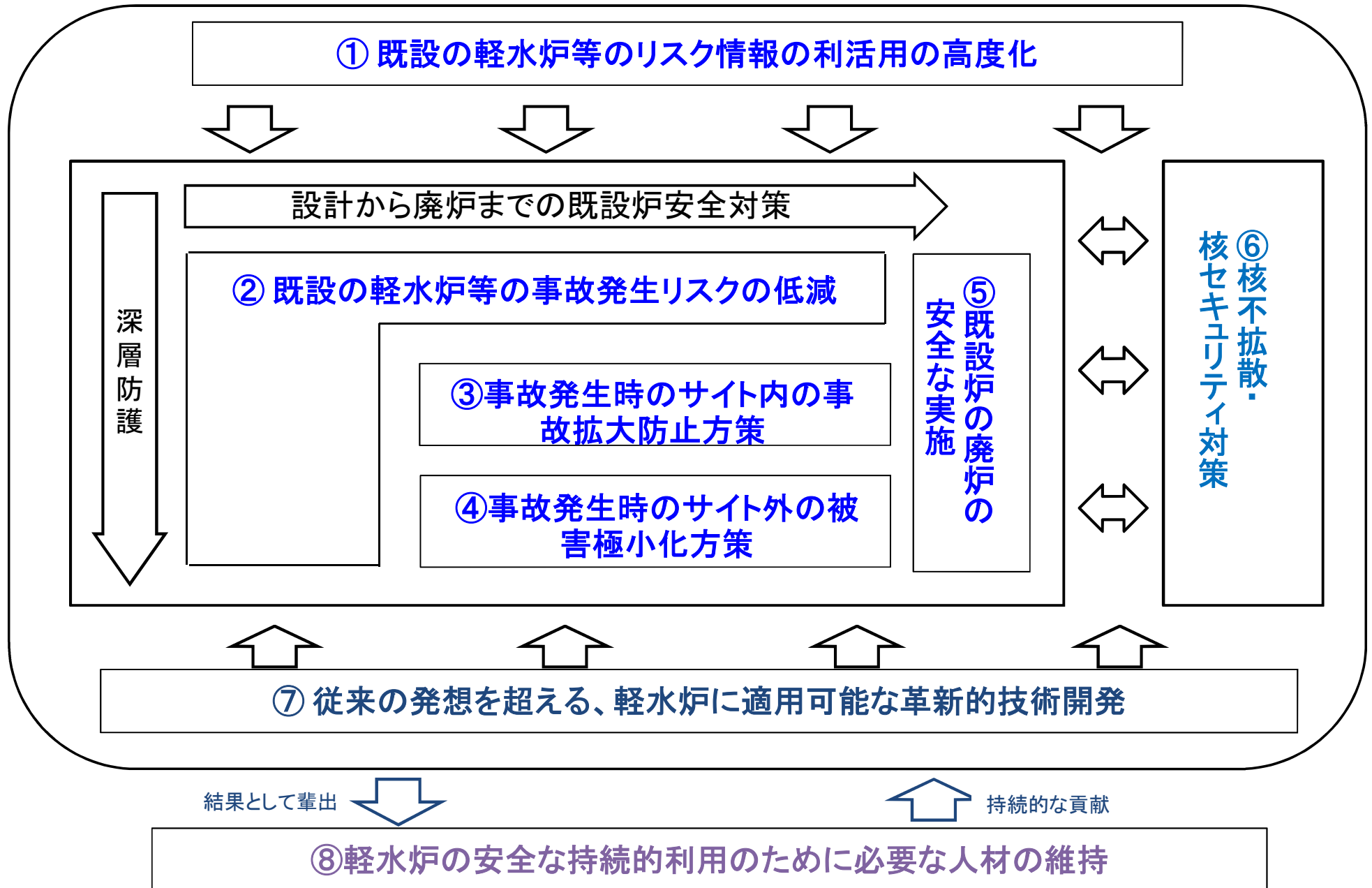
学会「安全対策高度化技術検討」特別専門委員会での議論の基盤

社会的要請・ニーズ	体系分類
<ul style="list-style-type: none">• リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開• 事故発生リスクを可能な限り低減するため、物事の全体を捉え、多様な視点から議論を重ねて、想定外事項を無くしていく継続的な課題検討• 最新知見を活用できる柔軟な制度・組織の維持と技術伝承	リスクマネジメント力の向上
<ul style="list-style-type: none">• 1F事故対応・廃炉から得られる経験・教訓の共有• 豊富な運転経験に基づくベストプラクティスの共有・活用• 継続的な基礎基盤研究や最先端研究による最新知見獲得の長期展望• 革新的技術導入によりシビアアクシデント発生リスクを極小化した発電炉の実現	安全基盤の継続的強化
<ul style="list-style-type: none">• 1F事故対応の完遂と決して事故を再発させない原子力関係者の強い信念• 信頼に耐え得る原子力関係者の真摯な姿勢・取り組み• リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開• 安全確保を大前提とした運転、ならびに原子力防災の確立と継続的な改善• エネルギーの安定的な供給への貢献• 温室効果ガス排出量抑制への貢献	社会からの信頼と共生
<ul style="list-style-type: none">• 1F事故を踏まえての国際標準・規格策定への経験・知見の提供や当該水準を満たした安全対策の国際的な普及への貢献• 核不拡散・核セキュリティへの貢献• 温室効果ガス排出量抑制への貢献	国際協力・国際貢献の推進
<ul style="list-style-type: none">• 放射性廃棄物の減容化・有害度低減による将来世代のリスク低減	放射性廃棄物処理処分への技術的・社会的取組

5本柱に基づき検討された課題毎に、「課題調査票」を策定した。「概要(内容)」「具体的な項目」「課題として取り上げた根拠(問題点の所在)」「現状分析」「期待される効果(成果の反映先)」「他課題との相関」「実施の流れ」「実施期間/資金担当」を整理し、課題相互の関連を8項目の区分に基づき再構成を行う。

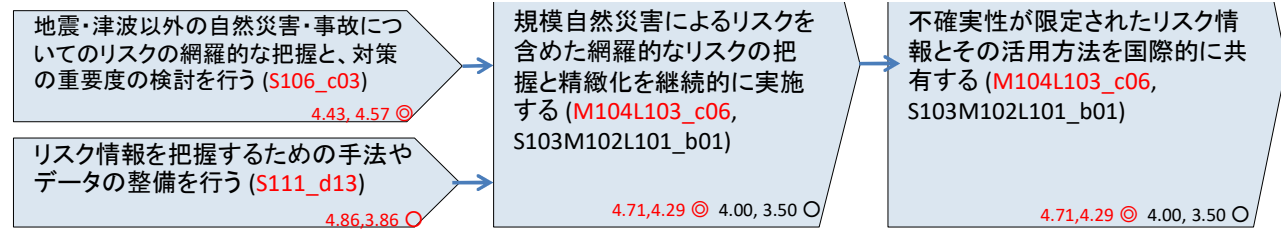
課題の技術的区分8項目

経産省 自主的安全性向上・技術・人材WG からのインプット

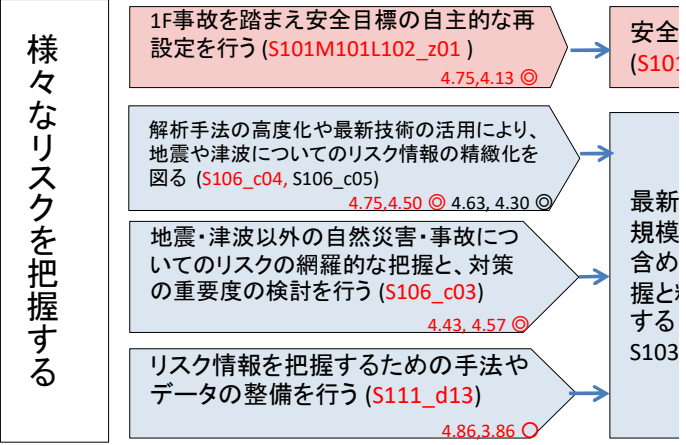


① 既設の軽水炉

を把握する



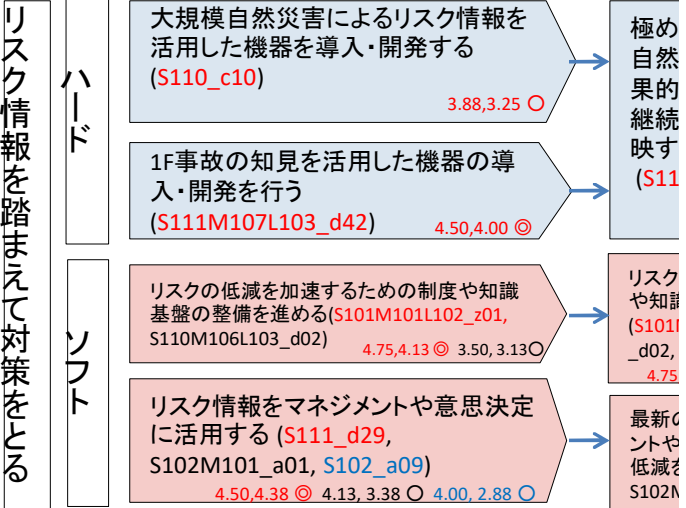
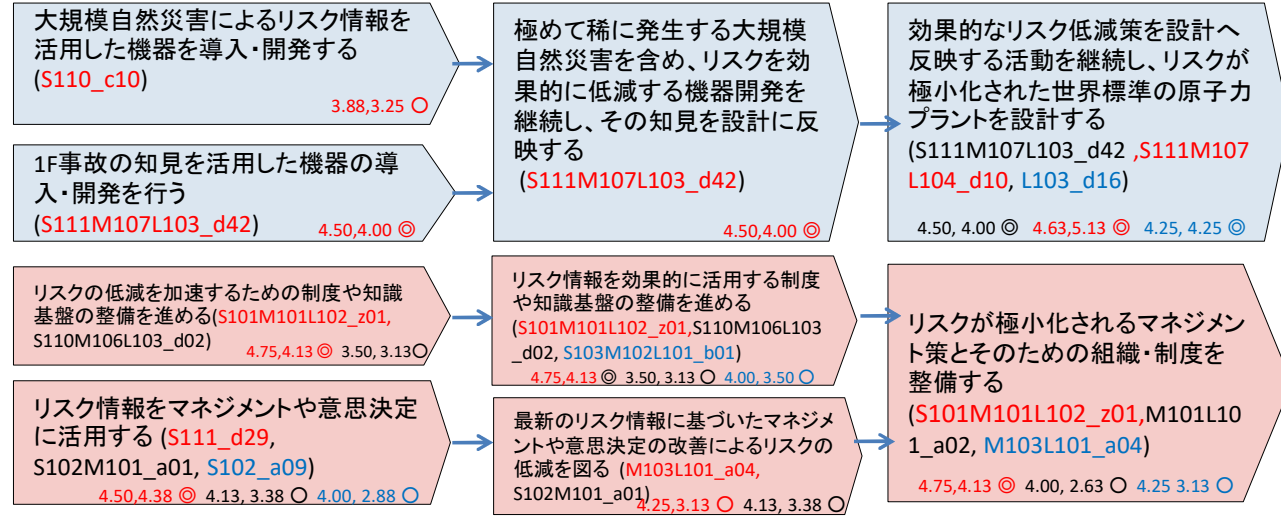
Stage1



リスク情報を踏まえて対策をとる

ハード

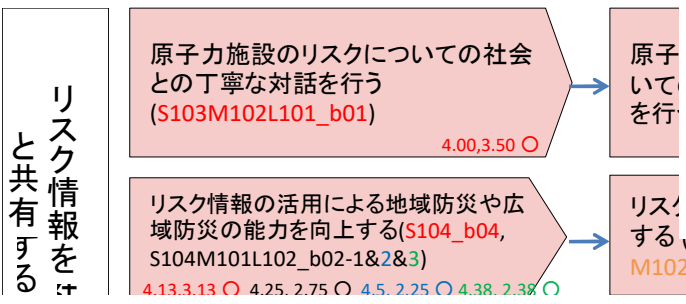
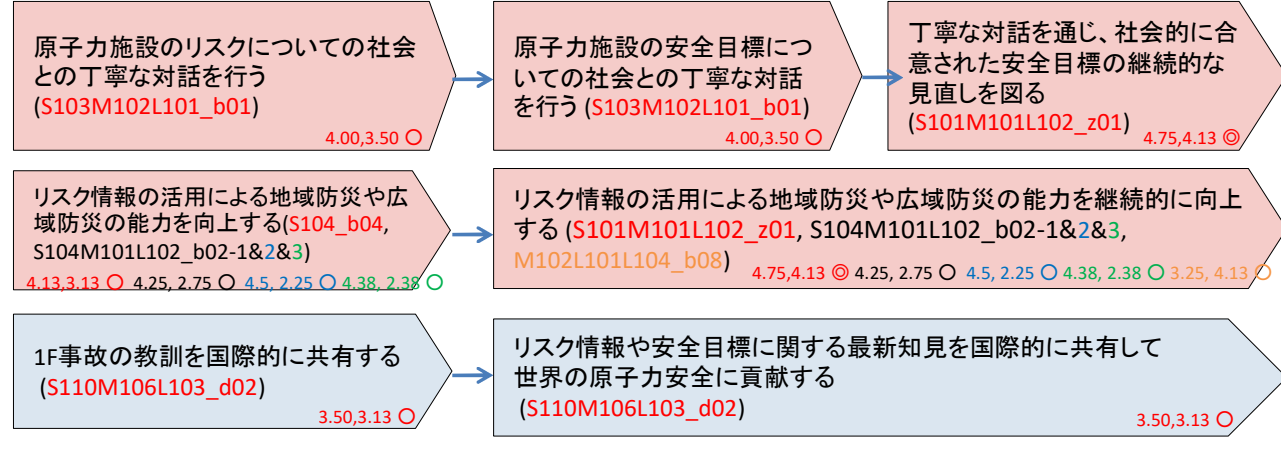
ソフト



リスク情報を社会と共有する

ハード

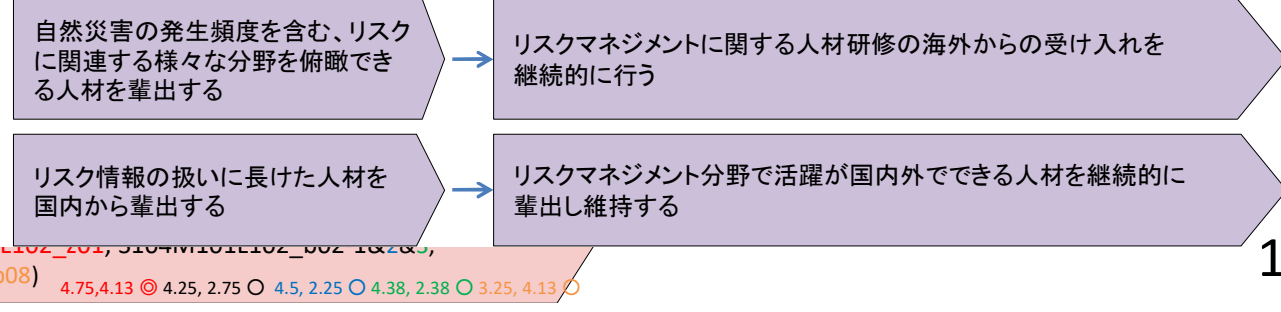
ソフト



人材育成

ハード

ソフト



安全対策高度化のための研究開発と人材に関する付加的コメント

経産省 自主的安全性向上・技術・人材WG (2015年3月31日)での
日本原子力学会「安全対策高度化技術検討」特別専門委員会の発表資料から

- 研究開発のフロントローディング
 - － 安全に係る目標の不確実性に対処できる情報基盤、シミュレーション技術によるフロントローディング
 - － 優れた機能を実現するためのシステム統合化
- 技術の陳腐化マネジメント
 - － 設計・製造・建設・運転・保全・廃棄のライフサイクル期間の課題を見通す大規模複雑システムの長期間システム安全技術マップ
 - － 現存システムと機器の陳腐化 (Obsolescence Management)
- 人材基盤確保、育成
 - － 工学の専門分野における分析能力
 - 複雑な現実の課題を数理的、実証的にアプローチが適用できる形にモデル化し、解決に導く能力
 - － 俯瞰的視点とシステム思考に基づき、戦略的に意思決定を行える能力
 - 問題の本質を領域横断的、俯瞰的、体系的にとらえるシステム思考能力
 - 国際的な戦略性
 - － 俯瞰的視点に立脚した先端的要素技術の開発、あるいは革新的システムの創出を行える能力
 - － 高等教育機関における柔軟な教育プログラム、外部組織関与、インターンシップ

(参考) ローリング方針への学会としての対応(案)

経産省 自主的安全性向上・技術・人材WG (2015年3月31日)での
日本原子力学会「安全対策高度化技術検討」特別専門委員会の発表資料から

■ 日本原子力学会が主体で実施するローリング(*)の実施方法

■ 関係する全てのステークホルダーの関与

- 原子力安全の課題解決に向けた研究開発、制度改革に参画・関与する機関や多様な国際協力を実施する政府(規制当局も含む)、研究開発機関及び産業界
- 特に、我が国の原子力関連研究開発を主導する立場にあり、文部科学省所管法人として研究施設基盤を維持し基礎基盤研究を行い、原子力規制庁所管の安全研究センターを有する日本原子力研究開発機構
- ローリングの実施に必要な資金や人員を提供する主体

■ ローリング実施体制

- 会議体設置場所: 日本原子力学会 (他学会とも連携)
- 事務局: 参画するステークホルダーに対する公正な調整機能
- 主査・幹事: 組織構成に応じた選出
- 第三者評価機関(となり得る候補): 政府設置の審議会、原子力委員会、学術会議、国際機関、他学会 etc.

■ 効果的な議論・検討・活動を可能にする組織構成

- 研究領域ごとの検討会合
- 研究領域の横串を通じた議論を行う会合
- 総括的な取りまとめや方向性の議論を行う会合
- 活動状況や成果の对外発表や発信機能を有する組織体 (国際発信を含む)

(*)「評価軸」の見直し、見直された「評価軸」を用いた優先順位付けや取捨選択による取組項目の見直しを含む

日本の文化的特性が「原子力安全文化」に与える影響

田原里穂氏 (NEAインターン生) 卒業論文 (2024年2月) より抜粋

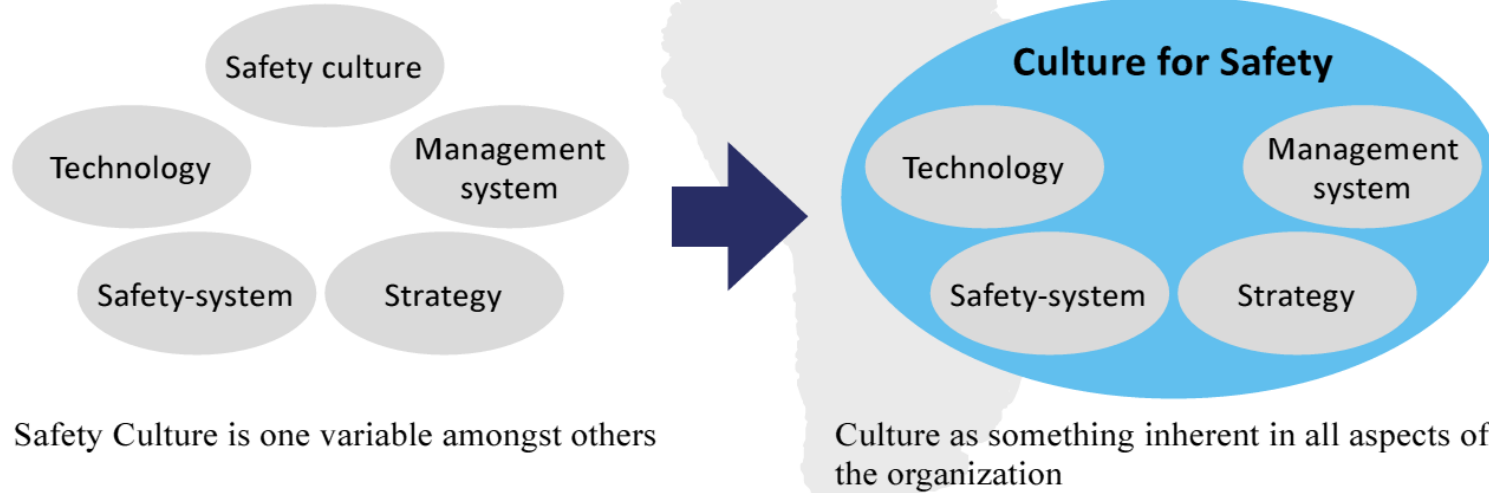
各国文化の比較に関する研究、意識調査の結果より抽出した、5つの特性について分析

特性	ポジティブな影響	ネガティブな影響
ハイコンテクストなコミュニケーション		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 必要な共通認識・価値観・文化的背景の共有が十分に行われず、気づかないうちにズレが生じる ➤ 指示におけるすれ違いが、手順や操作のミスに繋がる
実績主義的	<ul style="list-style-type: none"> ● 個人・組織が与えられた役割を着実に果たす ● より良い安全文化にするために継続的に改善をしようという高い意識 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 失敗や間違いを恐れ、疑問点や自身の考えを表明するのを躊躇う ➤ 小さなトラブルをないことにする
不確実性の回避	<ul style="list-style-type: none"> ● 明確にルールや規則、役割を定める 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ルールや規則に囚われ、その根本にある目的を見失い、ルールベースの行動となる ➤ 想定外の事象が起きた際にも既存のルールに固執する
長期志向	<ul style="list-style-type: none"> ● 結果が見えづらい安全の確保という点において、辛抱強く継続して取り組むことができる 	
規制機関と事業者間の権威勾配	<ul style="list-style-type: none"> ● 規制を遵守する高い意識が生まれる 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規制ばかりを気にして、本来の目的を見失い、ルールベースの行動となる

4. 安全文化と個人、リーダー、組織

「安全文化」から「安全のための文化」へ

Leaflet of on Culture for Safety, IAEA (2016) による



COMPARTMENTALIZED APPROACH

“ Organizations have a safety culture. ”

SYSTEMIC APPROACH

“ Organizations are cultures that differ in their capabilities to fulfil safety requirements. ”

✓ 安全文化は「組織のあらゆる面に存在し備わっているもの」であり、組織文化から「実装」または「削除」できるような個別の要素ではないことに気付くべきと、IAEA は主張

(前田典幸 安全工学第60巻6号(2021)p.421-431)

- IEM5 (2013) Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant
- International Conference on Human and Organizational Aspects of Assuring Nuclear Safety — Exploring 30 Years of Safety Culture (Feb, 2016)
- GSR Part 2 Leadership and Management for Safety (2016) : GS-R-3 on the Management System for Facilities and Activitiesを置換え

日本の原子力セクターに見られる国民性：重要な11の特性

国特有の安全文化フォーラム日本 報告書(2024)

特 性	内 容
「同調圧力」 Peer pressure	多数派の意見に従うことを暗に求め、率直に発言することを躊躇させる傾向がある。
「まじめ」 Diligence, Seriousness	目的と目標を達成するため、規則と期日を順守して、誠実かつ勤勉に仕事に打ち込む。過剰に完璧さを追求したり、盲目的に規則を適用したりする行動につながることもある。
「失敗への恐怖」 Fear of failure	強い「同調圧力」と、失敗がほぼ許されないことによる恐怖。このことが原因で、ほとんどの日本人が失敗や過ちを恐れ、リスクを回避しがちな組織文化につながる。
「保守的」 Conservativeness	前例に従い、新しいやり方を試す前には、事前に成功を保証するよう求められる。完璧さを追求するあまりに要求水準が高くなり、リスクを回避する傾向と相まって、先を見越した行動をとることが難しくなる。これはおそらく、原子力セクターに特に当てはまる。
「和」 Harmony	軋轢を起こさず平和的に団結し、集団の慣例に従って行動して、各々が個の利益・関心よりも円満な集団の持続を優先する。「和」を重んじることは「本音」と「建前」を区別する日本社会においてとても大切なことになり得る。
「率直に発言しない」 Don't speak up	「同調圧力」と上述の「和」のこともあり、各々が多数派に合わせて行動する傾向がある。その結果、率直に発言したり、他者と異なる意見を述べることを躊躇するようになり得る。
「集団主義」 Collectivism	社会的結束と国への忠誠心の元となる。集団のニーズが個人のそれよりも重視される。
「曖昧さ」 Ambiguity	日本の組織の上司と部下は、意思決定や情報伝達に際して、自分の考えを直接的に、明確な言語で表明することが少ないため、相手の考えを想像して推測することが必要になることもある。
「思いやり」 Considerate	日本人は社会や仕事で他人に優しく敬意を示し、丁寧な対応を心がける傾向がある
「年功序列」 Respect for seniority	年功序列型賃金体系が確立され、年齢を基準として、社内での勤続期間が長いほど、権限と給与が高くなり得る。
「お上意識」 Obedience to superiors	序列を強く重視し、権限を持った人物(特に政府関係者)を尊重する傾向がある。

19

(2024年7月3日)

伴信彦委員：日本人の強みが弱みに転じる『表裏一体』の性質、山中伸介委員長：この知見を事業者との対話のベースとして活用

安全文化の成熟度とその評価のための次元

国特有の安全文化フォーラム日本 報告書(2024)による

- 安全文化は組織と構成員の行動様式・意思決定に現れる組織知識の共有能力
- 安全文化の成熟段階を評価する6つの次元
 - 安全に関するアカウンタビリティと責任
 - 安全に関して明確に規定された役割と責任
 - 安全に関する継続的学習と改善
 - 意思決定における安全の重視
 - 安全を確保するための人的資源の配置、能力開発、教育訓練計画
 - 安全に関する率直で透明性の高いコミュニケーション

- ✓ 安全文化の成熟度に応じて、社会が合意する安全目標の性格と運用方法は変化する
- ✓ 安全目標は、(各成熟段階での)達成されているべき安全の状態を明確化するもの

事業者の自己評価・分析事例

国特有の安全文化フォーラム日本*での議論を踏まえた事業者の自己分析事例

特性	「安全性向上評価報告書」より抜粋した事業者による自己分析の例
正確さへのこだわり	「微細な不備の修正にリソースが集中し、システム全体に影響を及ぼすような本質的なリスク議論が後回しになっていた可能性がある。」と自己批判
役割と責任の曖昧さ	「不適合発生時、各部署が『誰かがやるだろう』という集団的無責任に陥っていなかったか。特に境界領域の業務分担を見直した。」
期待に応える意欲	「規制対応や工程遵守を優先するあまり、現場が無理をして『できます』と回答してしまう文化 (Can-do attitude) の危険性を認識した。」

* CSSCF Japan (2023年12月14～15日、東京国際フォーラム)

伴信彦委員: これまでの安全文化評価は、どちらかというと『あるべき姿』との比較で点数を付けるようなものだったが、(2024年7月3日) CSSCFで特定された11の特性は、日本人の強みが弱みに転じる『表裏一体』の性質を示している。

複雑なシステムの安全性と学術基盤への視座

- 複雑システムの安全に関わる課題は、技術の体系のみならず、これを取りまく環境(社会・人工・自然環境を含む)と、分業する専門家からなる組織・人間の間での複雑な相互作用によって生ずる。
 - それらが内在する不確実性と時間に伴う変化(社会から要請の変容、技術の発展とそれに伴う陳腐化、機器・材料の機能劣化、組織・人間の様々な変化等)は、課題設定をより複雑にし、解決への道程を困難なものにしている。
- 大規模で複雑なシステム(の安全性向上)には、既知の事故・トラブルへの対応のみならず、まだ顕在化していない未経験や未知のリスクに対処するためのマネジメントシステムに加え、レジリエンス(回復力、適応力)の組み込みが望まれる。
- 社会の多様なステークホルダが関知、認知する課題に対して、解決策を提示することは容易ではない。ステークホルダ間の信頼に影響する安全文化は、国の文化的特徴にも依存している。
- 安全性向上のためには、安全を確保するための俯瞰的な視点を有する人材および組織運営基盤の確立が必要である。このための多面的かつ総合的、学際的な基盤を強化し続けなければならない。