



原子力安全の基本的考え方について
第Ⅰ編 別冊2
深層防護の実装の考え方

標準委員会 技術レポート

2015年12月

一般社団法人 日本原子力学会
標準委員会

第 I 編 別冊 2 深層防護の実装の考え方の発刊にあたって

平成 23 年 9 月から日本原子力学会標準委員会の傘下に原子力安全検討会、原子力安全分科会を設け「原子力安全の基本的考え方について」を検討してきた。標準委員会は標準の制改定をその任務としているが、標準委員会発足当時から、「安全原則（基本理念）も整備されるべき」との活動方針を明示してきた。また、標準の策定の検討は、原子力安全の意味や目的などを常に念頭に置いて行うべきと考えて活動している。そこで、これを明文化し、活動の拠り所とすべきと考え、「原子力安全の基本的考え方について 第 I 編 原子力安全の目的と基本原則」を平成 25 年 6 月に発行した。

その後、その議論中において特に重要であり、共通の認識が必要であるとして「深層防護の考え方」を取り出してとりまとめ、別冊として発刊した。福島第一原子力発電所事故の教訓としても、深層防護の適用は重要なものとして扱われている。しかし、深層防護は基本概念であり、その解釈と適用は諸外国においても議論を継続しているところである。そこで我が国の関係者が原子力発電所の安全確保・向上に資するために、深層防護に関して共通の基本認識を記載したものが必要と考え、IAEA、NRC などの文献をまとめ、適用に際しての論点についても検討した。

また、並行して、「原子力安全の基本的考え方について」の第 II 編「原子力安全確保のための基本的な技術要件」を平成 26 年 6 月に制定し、現在転載許諾の手続き中である。

このたびは、上記の「別冊 深層防護の考え方」を踏まえつつ、国内の関係者に広く共有し、深層防護の概念の適用に際して、関係者が拠り所とできるように、公開のワークショップを 2 回、少人数のトピカルミーティングを 3 回開催し、議論と考察を深めた成果を取り纏めた。

なお、「原子力安全の基本的考え方について」の第 II 編「原子力安全確保のための基本的な技術要件」を踏まえつつ、さらに関係学協会とも協働して、原子力安全の確保に必要な標準の体系化の推進、体系化に基づき重点化した標準策定を進めて行く予定である。

平成 27 年 12 月

一般社団法人 日本原子力学会
標準委員会
委員長 関村 直人

原子力安全検討会
主査 宮野 廣

原子力安全への信頼と信任

「原子力安全の基本的考え方について 第Ⅰ編別冊 深層防護の考え方」という技術レポートを発行したのは平成 26 年 5 月であった。それから 1 年半が経過した。経済産業省の総合資源エネルギー調査会の下に設置された原子力の自主的安全向上ワーキンググループは、第Ⅰ編別冊の刊行とほぼ同じ平成 26 年 5 月に提言を上梓した。「リスクガバナンスの枠組みは、国家的危機一般に対する我が国全体としてのリスクマネジメントのあり方を検討していく上でも同様に有効であることが共通認識になった。然るべきリスクガバナンスの枠組みを危機管理に当てはめれば、危機管理に関係する規制当局を含む政府、地方自治体、原子力事業者等の各主体が、相互の適切なリスクコミュニケーションの下で、危機に対して各々が備えておくべき核心的能力を見定め、未知のリスクに対するレジリエンスの向上を追求する形でのしかるべきリスクマネジメントを実践することが可能になる」というメッセージが発出された。

1 年後の平成 27 年 4 月に、福井地裁は高浜原子力発電所の原子炉を運転してはならないとの判断を示した。その理由は、「基準地震動を超える地震はあってはならないはずである」、「基準地震動はその実績のみならず理論面でも信頼性を失っている」、「基準地震動を超える地震が到来すれば、(中略)炉心損傷に至る危険が認められる」、「基準地震動未満の地震によっても炉心損傷に至る危険が認められる」などである。この判決には、原子炉の安全確保や規制要求の考え方についての誤解があるようである。安全を確保する基本的な考え方を理解いただけないからである。不確かであることは危険が認められることを意味するのではなく、不確かであるから適切なリスク管理がなされるべしとすべきところ、不確かであるか否かではなく、適切なリスク管理ができていないか否かが論点でなければならない。

第Ⅰ編別冊の巻頭に、「そもそも、深層防護とは、人と環境を守るという原子力の安全確保の目的を達成するための方策を構築する考え方を定める基本概念であり、安全対策の妥当性を社会に説明し、信任いただくものである；深層防護の具体化を考える上でポイントとなる点は、①深層防護の目的（防護の対象）、②深層防護で防ぐハザード（放射性物質）、③望ましくない状態を決定、である；深層防護を用いて実効的に安全性向上を図る際にリスク評価、リスク管理を徹底することである。深層防護の適用になお残る不確かさへの対応が不十分ではないのかを絶えず問ひかけ、継続的に改善する姿勢が大事である」と述べた。深層防護をいかに適用・実装するかをテーマとしてその後も安全分科会での勉強を続けている。

原子力安全分科会が辿りついた結論は、深層防護は不確かさへの備えであり、その実装は多様であり、リスク評価と相まって深層防護の有効性は確実となり、なお残る不確かさを継続的に改善していくことがリスク管理であるということである。原子力安全は適切なリスク管理によって実感されるのであろう。福井地裁の判決を顧みれば、深層防護の考え方、不確かさへの取り組み方、リスク管理の枠組みを社会に対して説明できていなかったと反省せざるを得ない。ましてや、社会から信任いただくには努力不足であった。

本技術報告は、深層防護の実装に焦点をあてて、さまざまな実際的な問題に答えるべく、原子力安全分科会に深層防護ワークショップ実行委員会を設置し、2回のワークショップ、3回のトピカルミーティングを開催して議論と考察を深めた成果である。原子力関係者の間のみならず社会との対話により深層防護の考え方に関して共通の認識が形成されるとともに、それぞれの分野に適した実装が工夫され、それらに関する活発な情報共有や意見交換が行われること、それによる安全確保に対する社会からの信頼・信任が得られることを信じている。

平成 27 年 12 月
原子力安全分科会
主査 山口 彰

目 次

1. はじめに	1
2. 深層防護ワークショップ及びトピカルミーティングの概要	4
3. 深層防護の実装の論点と解決の方向性	5
3.1 深層防護の実装は基本的にどのような考え方で取り組むか	5
3.2 深層防護の実装においてバックキャストの視点から各レベルが考えるべきことは何か	14
3.3 深層防護の実装において設備設計に求めるべき信頼性とは何か	17
3.4 前段否定，後段否定は正しい深層防護の実装か，独立性の要件とは何か	21
3.5 深層防護の実装の具体例	25
3.6 深層防護の実装が実効的に行われるために関係組織はどのような行動するべきか	28
3.7 福島第一事故の前に深層防護が適切に実装されていたら事故は緩和されたか	32
4. まとめ	38
参考文献	39
付録 1. タスク，専門部会，標準委員会 委員名簿	42
付録 2. 会合と報告会等の実績	46
添付資料 1：深層防護ワークショップ，トピカルミーティング及び 2015 秋の年会企画セッションの一覧表	51
添付資料 2：深層防護ワークショップ，トピカルミーティング各回の概要	55
添付 2.1：第 1 回深層防護ワークショップの概要	57
添付 2.2：第 1 回深層防護トピカルミーティングの概要	62
添付 2.3：第 2 回深層防護トピカルミーティングの概要	67
添付 2.4：第 3 回深層防護トピカルミーティングの概要	72
添付 2.5：第 2 回深層防護ワークショップの概要	77
添付資料 3：2015 秋の年会 企画セッションの概要	83
添付資料 4：深層防護ワークショップでのプレゼン資料	89

添付 4-1 : 第 1 回深層防護ワークショップのプレゼン資料	89
添付 4-2 : 第 2 回深層防護ワークショップのプレゼン資料	115
添付資料 5 : 2015 秋の年会 企画セッションのプレゼン資料	131

1. はじめに

本書は、日本原子力学会にて刊行している「原子力安全の基本的考え方について 第I編 原子力安全の目的と基本原則」(AESJ-SC-TR005)の別冊として、平成26年5月に発行した深層防護の考え方に続いて、深層防護の適切な実装の考え方について共通認識と論点をまとめたものである。

1.1 本書の目的

平成26年5月に刊行した深層防護に関する技術レポートの「あとがき」において、「原子力関係者で大いに議論をして、深層防護の解釈を深め、その求めるところを原子力施設で実装する場合により有効で効率的なアプローチを構築することは意義あること」として、踏まえ、複数のワークショップ(公開)及びトピカルミーティング(非公開)を行ったことから、将来に亘って原子力関係者が深層防護の考え方、適切な実装について共通の認識を持って議論し、深層防護の概念を深化させていけるように、本書では、前記の会合において行われた講演、質疑応答、成果などを明瞭かつ簡潔に纏めておくこととした。

1.2 本書の背景及び経緯

IAEA 閣僚級会合報告書等の多くの報告書で、平成23年3月の福島第一事故が深層防護に対する取組みの不足に起因するものであると指摘されており、今後、原子力安全を向上させていく上で、深層防護について原子力関係者が共通の認識を持って議論し、深層防護の概念を深化させていくことが、二度とこのような事故を起こさないために極めて重要なことである。

このため、原子力学会・標準委員会・原子力安全検討会では、深層防護についての理解と深い洞察を持って、原子力関係者が安全確保対策に取り組んでいただけるように、安全原則の議論が概ね終了した平成24年度から深層防護に関する検討を開始した。その後、平成25年春及び秋の年会で企画セッションを行い、それらを踏まえつつさらに検討を深め、平成26年5月に技術レポートを発刊した。同レポートは、深層防護の考え方に関する共通の認識と、それらに関する論点を纏めている。

その後、同レポートを踏まえつつ、深層防護の考え方、適切な実装について意見交換、情報共有を行い、深層防護に関する共通認識の徹底の促進に資することを狙いとして、深層防護に関するワークショップ(公開)を平成26年8月に開催し、さらに、ワークショップにより整理された論点に基づき、引き続き個別テーマ毎のトピカルミーティング(非公開)を3回開催し(平成26年12月、平成27年2月、平成27年3月)、最後に平成27年6月に纏めのワークショップ(公開)を開催した。

本書では、原子力発電所の安全性を総合的かつ一体的に向上させる際の重要な考え方である深層防護について、その目的、定義、原則、具体的な実装基準や有効性評価のあり方を念頭に、我が国のあるべき深層防護の考え方、適切な実装の考え方に関する前記会合での

講演，質疑応答，成果などを明瞭かつ簡潔に纏めておくこととした

1.3 平成 26 年 5 月に発行した深層防護の考え方の概要

深層防護とは，一般的な意味として，安全に対する脅威から人を守ることを目的として，ある目標をもったいくつかの障壁（防護レベル）を用意して，あるレベルの防護に失敗したら次のレベルで防護することである。それを原子力に適用すると，原子力安全の目的が「原子力の施設や活動に起因する放射線の有害な影響から人と環境を防護すること」であるので，原子力安全のための深層防護とは，「人と環境に影響を与えるまでの諸現象や対策，その対策の効果には不確かさが存在することを念頭に，1つの対策だけでは防げないという不確かさを考慮して放射線リスクから人と環境を護るための防護策全体の実効性を高めるために適用されるもの」である。その際に，防護策の実効性を高めるため，目指すべきリスクの抑制水準（安全目標）やこれを満たすための性能目標といった指標を基に対策の多層化（複数の防護レベル）を行うことが肝要である。

防護レベルを設定する際の重要な考え方として，(1)各防護レベルの信頼性：防護レベル全体の信頼性を上げるには，まずは各防護レベル自身がそれぞれに最善を尽くすことが肝要であり，効果が期待される設備（ハード面）と運用（ソフト面）の両面からの取り組みが必要，(2)各防護レベルの独立性：ある防護レベルにおける設計，機能，対策等が，他の防護レベルのそれらにとって障害とならないようにする（従属的な機能失敗とならないこと）ことが重要で，実用可能な限り全く異なる取り組み（例えば，ハード面でなくソフト面）とすることが有効，(3)防護レベル間のバランス：各レベルが適切な厚みを持ち，各レベルの防護策がバランスよく講じられ，あるレベルの防護策に過度に集中しないことが重要，(4)各防護レベルでの不確かさへの対処：想定する条件に対して裕度を確保することによって，想定を超える条件に対しても頑健性が期待できるようにすることが重要，等としている。

そのような深層防護の概念の整理のうえで，技術レポート作成段階において深層防護について多くの論点について議論が行われたが，その中で深層防護の概念の理解のための論点として特に重要なものとして，下記の6点を上げ，考察している。

(1) 設計要求範囲と設計評価に関する整理

欧州 WENRA や米国 NRC が規定する，設計要求範囲，設計評価手法，許容基準に関する整理を行いつつ，深層防護の各レベルとの関連を考察している。

(2) DEC の持つ意義とは何か

Design Extension Conditions (DEC)に関して欧米の現状を整理し，DEC とは，「重大事故に対して，従来のアドホックな（限定目的な）やりくりでの対処から，あらかじめ考慮した設計での対処へとシフトしていこう」という考え方の現れであるとしている。

(3) 各防護レベルの有効性が独立であることの一考察

防護レベルの有効性は，多重性，多様性，独立性などを考慮して検討していくことに

なるが、要は防護レベルを脅かす脅威の特性と対策の組合せに応じて検討していくことが重要である。

(4) 設計基準を超える外的ハザードに対する取組み

設計基準を超えるハザードに対しては、冷静かつ迅速に持ちうるリソースを活用した有効かつ実効的な対策を行うことが求められる。ハード面とソフト面の設備・対策をどう組み合わせるかは、ハザード毎の特性に応じて決定することが重要としている。

(5) 深層防護の有効性評価

有効性評価手法として、決定論的手法、確率論的手法などを比較検討し、シビアアクシデント領域を扱うには多くのシーケンスや不確かさが扱える確率論的手法がより適切である。深層防護を適用した安全確保策と、確率論的手法を中心とするリスク評価は相互補完することで一層の安全性向上になる。

(6) 原子力安全規制の中で深層防護をどのように考えるか

規制基準と深層防護の関連性に関して欧米及びわが国の現状を整理し、欧米は深層防護に基づき常に再考し進化していることから、今後は我が国でも、深層防護の観点から安全規制の包絡性等に不備・矛盾がないか、如何にすれば不備・矛盾が解消できるか、などの議論を進めるべきである。

1.4 本書の構成

本書の構成は、全体で5章からなり、以下の各章では概略次のことを述べている。

2章では、2回のワークショップ(公開)及び3回のトピカルミーティング(非公開)の概要を纏めている。各回の講演内容、質疑応答、成果などは添付資料1及び2に纏めている。

3章では、上記の活動に基づいて得られた、深層防護の適切な実装に関する考え方、論点、その解決の方向性などを述べている。

4章では、今後の展開、課題など、今回の報告書のまとめを行っている。

1.5 本書の対象者

本書が対象とする人々は、原子力安全に関心を持つ全ての人々である。特に、設計、運転、規制に携わる人々を対象としている。

1.6 重要な用語

この技術レポートで用いる用語の意味は、主に AESJ-SC-RK003:2014 原子力発電所の確率論的リスク評価標準で共通で使用される用語の定義：2014による。

2. 深層防護ワークショップ及びトピカルミーティングの概要

2.1 開催の目的

福島第一事故で深層防護の概念の一層の深化の必要性が認識されたことから発刊された技術レポート（平成 26 年 5 月）を踏まえつつ、深層防護の考え方、適切な実装について意見交換、情報共有を行い、深層防護に関する共通認識の徹底を図る。

2.2 開催の概要（詳細は添付資料 1 及び 2 を参照）

表 2.1－深層防護WS 及びTMの概要

名 称	日 時	場 所	テ ー マ
第 1 回WS	H26. 8. 22	武田ホール	深層防護の具体的適用に向けて（論点整理）
第 1 回TM	H26. 12. 10	JANSI 会議室	深層防護は何故必要か（Why?）
第 2 回TM	H27. 2. 24	BDK 会議室	深層防護をどのように実装するか（How?）
第 3 回TM	H27. 3. 23	BDK 会議室	深層防護をどこまで実装するか（How adequate?）
第 2 回WS	H27. 6. 30	機械振興会館	深層防護の具体的適用の考え方

（凡例） WS：ワークショップ， TM：トピカルミーティング

2.3 会議運営の特徴

トピカルミーティングでは、非公開でもあり、本音での討議を重視し、各回とも班分けをして少人数でのグループ討議を時間をかけて実施した。

3. 深層防護の実装の論点と解決の方向性

深層防護は、原子力安全を確保するための基本的な考え方であるが、「考え方」のみでは個々の原子力プラントの安全性は向上せず、具体的に深層防護の考え方を原子力プラントに「取り込んでいく」ことで初めて安全性向上が達成される。本章では、深層防護の考え方を取り込むための方法論、すなわち、深層防護の「実装」について、論点とその解決の方向性について議論する。また、深層防護ワークショップとトピカルミーティングで議論の対象となったいくつかの論点を取り上げる。

3.1 深層防護の実装は基本的にどのような考え方で取り組むか

本節では、深層防護の考え方を取り込んでいく際の方法論について議論する。

3.1.1 これまでの様々な議論

深層防護については、「AESJ-SC-TR005 (ANX):2013 原子力安全の基本的考え方について第 I 編 別冊深層防護の考え方」(標準委員会技術レポート)に示すように、これまでに様々な議論がなされてきた。論点は、例えば以下のようなものである。

- ・ 防護レベルの数はいくつであるべきか
- ・ 第 3 レベルを二つ(3a, 3b)に分けるべきか
- ・ 炉心損傷をもって、第 3 レベルと第 4 レベルを分けるべきか
- ・ 第 4 レベルは、二つ(4-1 格納容器機能維持, 4-2 放射性物質拡散抑制)に分けるべきか
- ・ 防護レベルなのか、層なのか
- ・ ハードで対応するのか、マネジメントで対応するのか

これらの議論が生じる要因は、以下のように整理できるものと考えられる。

- ① 深層防護の「概念」と具体的に深層防護をプラントに適用する「実装」が混在した形で議論がなされている。
- ② 人によって、深層防護のイメージが異なる。設備設計でどのように防護レベルを設定するかをイメージする人、マネジメントしてどう対応するかをイメージする人など。
- ③ 「設計」という言葉の定義と理解を巡り混乱が存在する。特に、新規制基準において使用されている「設計基準」は、歴史的経緯から「設計で想定する基準」とは異なっており、防護レベル分けの議論の混乱の一つになっている。
- ④ 「独立性」という言葉の定義と理解を巡り混乱が存在する。特に重要な安全機能を有する施設に要求されている多重性または多様性及び「独立性」と防護レベル間の「独立性」は同じと考えてよいかどうか。

上記①～④については、以降の節で検討を行うが、本節では、基本(すなわち深層防護の考え方をういて達成すべき目的)に立ち返って、深層防護の概念について検討する。そのあ

と、その概念を達成するための深層防護の具体化の手順，すなわち「実装」について議論を進めることとする。

3.1.2 原子力安全の目的と深層防護の関係

図 3.1.1 に原子力安全の目的と深層防護の関係を示す。深層防護の考え方は，一般的なものであり，その適用は原子力安全に限定されるものではない。従って，労働安全を含むより広い安全の確保に適用可能であり，また，概念的に安全とは異なる安心を確保するためにも深層防護の考え方を適用できる可能性がある。ただし，本報告書では，原子力安全，すなわち人と環境を放射線リスクから防護するための考え方として深層防護を議論することとする。

原子力安全を達成するための基本的な考え方として，深層防護によらないアプローチは当然あり得る。しかしながら，原子力安全を確保するための深層防護によらない実効的なアプローチはこれまでに見出されていない。

以上のことから，本報告書では，深層防護を，原子力安全を確保するための基本的な考え方と位置づけ，以降の議論を行う。

原子力安全の目的と深層防護の関係

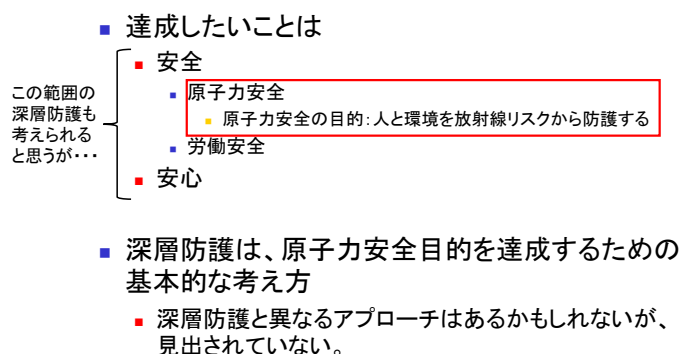


図 3.1.1—原子力安全の目的と深層防護の関係

3.1.3 そもそもなぜ深層防護が必要なのか

仮に世の中に不確かさがなかったとすると，深層防護の考え方は不要である。ここでは，不確かさには，偶然による不確かさである Aleatoric uncertainty および認識による不確かさである Epistemic uncertainty の両者を含むものとする。不確かさが無い場合，原子力プラントの事故シーケンスは 100%判明しており，偶発故障も発生しないため，事故シーケンスに対してそれぞれ(単一の)対応策を立てることで原子力安全の目的は完全に達成することができる。しかしながら，現実の世界では，様々な種類の不確かさが存在することから，この不確かさへの備えとして深層防護が不可欠となる。言い換えると，不確かさのために，

単一の防護策では原子力安全の目的を達成できないのである。

3.1.4 深層防護の概念と実装

以上のことから、深層防護とは、「不確かさへの備えとして、多種の防護策を組み合わせることで、全体としてできるだけ防護の信頼性を向上させる概念」であるといえる。これは、広く受け入れられる考え方であると思われる。一方、残念ながら「概念」だけではプラントの安全性は向上せず、従って、具体的にどのようにプラントに適用していくかを考える必要がある。これが、深層防護の「実装」であると考えることができる。

3.1.1 節において、これまで深層防護に関して議論になってきた論点を紹介したが、それらのほとんどは、深層防護の「実装」に関連するものではないかと考えられる。深層防護の「概念」は上記で述べたものが唯一の考え方であると思われるが、「実装」つまり、個々のプラントへの適用については、様々な形態をとりえるはずであり、唯一無二の正解はないと考えてよいであろう。すなわち、レベルの数、分け方、各レベルが果たす役割などは「実装に関する議論」であり、対象とする施設や状況によって変われるものであると考えられる。言い換えると、深層防護の「実装」に関して、統一的な形を求めることは、本質的な議論にはつながらないと言える。なお、深層防護は、原子力プラント以外の核燃料サイクル施設や、廃棄物処分にも適用できる概念である。核燃料サイクル施設や、廃棄物処分については、安全確保のロジックも施設の形態も原子力プラントと異なるため、原子力プラントで一般的な 5 レベルの深層防護を適用すること自体が適切かどうかから検討する必要がある。

「実装」が様々な形態をとりえるとする、深層防護が原子力プラントの安全性向上に実質的に寄与するためには、「どのような深層防護の実装がよいのか」という問いに答える必要が生じる。すなわち、「深層防護のどのような実装が原子力安全を達成するために有効であるか」に答える必要があり、実装された深層防護の有効性を検証するための考え方や方法論、すなわち有効性評価が重要になる。深層防護についての論争は、しばしば、定量的・定性的な有効性評価を抜きにして行われてきた。しかしながら、深層防護が原子力安全を達成するための科学的なアプローチであるとするならば、カール・ホパーの反証可能性に則った考え方を取る必要、つまり、「良し悪し」に対して反証できる具体的な方法を提示する必要がある。これにより、深層防護の論争を「哲学論争」から脱却させることができる。

次節以降では、深層防護の実装手順および有効性評価に関し提案を行う。実装手順および有効性評価は様々なアプローチがあると考えられることから、ここでの提案が唯一のものではないことは明らかである。

3.1.5 深層防護実装手順の一提案

a) 実装の基本的な方針

前節で述べたように、深層防護の概念は、「不確かさへの備えとして、多種の防護策を組み合わせることで、全体としてできるだけ防護の信頼性を向上させる」ものであることから、実装にあたっては、以下の方針を用いることができる。

- ①原子力安全の目的を達成するために貢献できる複数の防護の目的(防護レベル、護るべきもの)を設定する。
- ②各防護レベルの目的を達成するため、各防護レベルを突破されないための防止策と、防護レベルを突破された時の緩和策を設定する。
- ③異なった防護レベル間の防止策・緩和策は、「広義の独立性」を有するように設定する。
- ④①～③により、深層防護全体の信頼性を向上させ、原子力安全の目的を達成する。

なお、③において、「広義の独立性」という言葉を使用しているが、これについては、あとで議論する。

b) より具体的な実装方法

a)で述べた基本方針に則ると、以下のような手順で深層防護の実装を考えることができる。

- ①原子力安全の目的から出発し、具体的な設備設計、対応手順、設備・運転管理などに落とし込める段階まで防護の目的をサブ目的に分解する手順を繰り返す。例えば、あるサブ目的の抽象度が高く、具体的な設備設計、対応手順、設備・運転管理などに直接つながらない場合、このサブ目的をさらにサブ・サブ目的に分解する、という手順を繰り返す。
 - ・サブ目的の設定にあたっては、防護レベルごとに順に実装を考えるフォアキャストに基づくのではなく、達成すべき最終的な目的(人と環境を放射線リスクから防護する)から出発して、防護レベルを設定するバックキャストに基づく考え方を用いる。
 - ・サブ目的への分解に際しては、オブジェクティブツリーなどの方法論を用いることが考えられる。
 - ・設定したサブ目的に対して、防止策・緩和策を検討・設定する。
 - ・各サブ目的に対する防止策・緩和策は、他のサブ目的の防止策・緩和策と「広義の独立性」を有するように選ぶべきである。
- ②サブ目的毎に達成すべき信頼度を性能目標、設計基準、評価基準などの形で表し、有効性評価を通じて、これらの目標や基準を達成するように設備設計、対応手順の設定、設備・運転管理などを行う。
- ③具体的な防護策(サブ目的に対する防止策・緩和策)の選定については、以下の点を加味した包絡的かつバランスの取れた意思決定プロセスを踏む必要がある。
 - ・必要な専門分野を包絡する複数分野横断型パネル(審議)を用いて意思決定する。
 - ・対策案により達成すべき要素の充足度合、重み付け、制限条件、関連する知見を考

- 慮するとともに、適用できる場合にはコストベネフィット分析を参考にする。
- ・横断的要素（運転経験，標準とグッドプラクティス，最新の科学的知見）を適切に考慮する。
 - ・対策案の境界条件，不確実さ，補償手段，技術的成熟度，技術的困難さ，人的因子の介在度合い，品質保証，有効性評価結果，工期・コスト及びその他のリスク低減対策を考慮する。
 - ・様々なリスクの（低減又は増加）バランスをどのようにして考慮したかを明確にする。

④意思決定プロセスにおいては，以下の点に留意する必要がある。

- ・意思決定の過程に論理性，包括性，透明性，再現性及び実証性があること。
- ・ステークホルダーが追跡でき，かつ理解できるものとする。ステークホルダーが，意思決定の過程とその結果が適切であると見なすことを確実にする。
- ・意思決定にはバイアスが掛かることを考慮して，第三者的機関を含むガバナンス体制を敷くこと，第三者評価の仕組みを導入すること等も考慮する。
- ・考慮する要素に対する対策案の評価から得られる定量的情報及び定性的情報を包括的に考慮する。（例．特定の領域での改善が別の領域では悪影響を及ぼす可能性を見逃さないなど）
- ・PRAの結果を活用して，特定の特性に弱点がないこと，過度に依存しないこと等を確実にするために，安全対策全体のバランスに留意する。
- ・解決すべき問題に関連するすべての専門領域を網羅するチームを取り入れる。
- ・各要素の相対的な重み付けを考慮するとともに，対策案を考慮に入れて，各要素の間で適切なバランスを達成する意思決定を導出する。なお，考慮する要素の相対的な重み付けは，問題の枠組み，対策案の態様，情報の品質等に依存する。

c) サブ目的の選択肢と性能目標

安全目標は，原子力安全の目的の達成度を評価するための一つの指標であることから，安全目標を達成するために必要な防護策をサブ目的として展開し，それぞれのサブ目的に対する達成度を性能目標などの形で表すことができると考えられる。図 3.1.2 にサブ目的の選択肢を示す。これらの選択肢に加え，例えば，管理・運転・防災などをカバーするためのサブ目的も必要であると考えられる。また，これら以外にも，Reactor Oversight Procedure (ROP)¹で用いられている指標のうち，一部をサブ目的に用いることができると考えられる。

¹ USNRC, *Inspection Procedures & Performance Indicators by ROP Cornerstone*,
<http://www.nrc.gov/NRR/OVERSIGHT/ASSESS/cornerstone.html>

防護のサブ目的の選択肢と性能目標

- 原子力安全の目的を達成するためのより具体的な目標が安全目標
- 安全目標を達成するためのサブ目的を性能目標の形で表す
 - 放射性物質の有意(significant)な放出の防止
 - 土地汚染の防止
 - サイト内での放射性物質閉じ込め
 - 平常時の放射性物質放出量制限
 - 事故時の放射性物質放出量制限
 - 格納容器内での閉じ込め:CFF
 - 原子炉容器内での閉じ込め:IVRF(In-Vessel Retention Fraction)
 - 炉心損傷防止:CDF
 - 設計基準事象からの逸脱防止
 - 燃料被覆管内での閉じ込め(運転時の異常な過渡事象からの逸脱防止)
 - 通常運転からの逸脱防止
- 上記のサブ目的候補の指標に加えて、管理、運転、さらに防災をカバーする指標も必要と考えられる。
 - 例えば、防災については、事故進展の時間的ファクターを入れた指標など

サブ目的の候補
の一例

図 3.1.2—深層防護の防護レベル設定のためのサブ目的の選択肢

d) 防護レベルの信頼性、独立性とレベルの数

特に重要な安全機能を有する機器に対して要求されている多重性または多様性及び独立性は、単一故障を含め、当該安全機能の信頼性を確保するための考え方であるとみることができる。すなわち、多重性または多様性及び独立性は、基本的にはある防護レベルの信頼性を向上させる、言い換えるとあるレベルの「防護の厚み」を増すための方策であるとみることができる。一方、防護レベル間に要求されるものは「広義の独立性」であり、これは、同一防護レベル内の信頼性向上とは異なると考えられる。

独立性は、ある防護レベルにおける設計、機能、対策等の失敗が、他の防護レベルの機能にとって障害とならないようにする（従属的な機能失敗とならないようにする）ためのものであり、各防護レベルが自立性を有していることと言い換えることもできる。独立性は、一般的に *isolation* や *independence* といった概念により達成することができる。多重性または多様性及び独立性は、突き詰めると“*isolation*”つまり(時間的・論理的・物理的な)離隔と考えることが可能ではないかと思われる。言い換えると、離隔した状態というのは、「どれぐらい」という問が意味を持つ状態であるとみることができる。一方、深層防護レベル間の独立性は“*independent*”であり、これは、深層防護レベルが自立していること、あるいは、突破されるのを防止する手段の有効性が“*independent*”であることを示しているものと解釈できる。

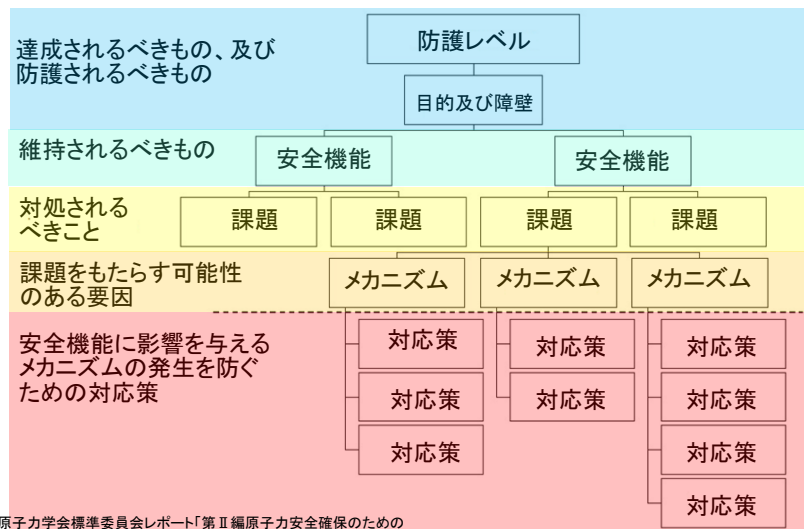
やや抽象的ではあるが、これを数学的にいうと、手段の「次元が違い」「直交」していることだと理解することもできると考えられる。例えば、実数と虚数は、直交している関係

にあるため、「どれぐらい」という比較ができない。「広義の独立性を有している」のは、このような状態であると考えることができる。例えば、マネジメントによる過酷事故対策は、設計による対応とは全く異なる発想による取り組みであり、上記の「広義の独立性」を満足していると思われる。

不確かさには、Aleatoric uncertainty と Epistemic uncertainty が存在する。前者は、機器のランダム故障に相当し、事象の偶発性に起因するものである。この不確かさについては、「多重性または多様性及び独立性」により、ほぼ対応できると考えられる。一方、Epistemic uncertainty は、知識の欠如などに基づく認識論的な不確かさであり、「多重性または多様性及び独立性」により、どの程度対応できるかについては、有効性評価などを通じて慎重に検討する必要がある。例えば、防護の有効性が同一であるが、離隔されている複数の防護策を考える。防護策に影響を与える未知の脅威に対し、離隔が有効に働くかどうかは、その脅威の種類によるものと考えられる。離隔が有効に働かない場合、防護の有効性が同一であれば、それらの防護策は共倒れになる可能性が高いと言える。Epistemic uncertainty に対応するためには、性質の異なる多種の防護策、言い換えると、防護の有効性が異なる防護策を用いることが有効であるといえるが、これが上記の「広義の独立性」に対応するものになる。

e) 各深層防護レベルにおける安全対策の構築

各深層防護レベルにおける防止策や緩和策の構築については、深層防護レベルから出発して、対応策までを展開する手法の一つであるオブジェクティブツリーを用いることができる。図 3.1.3 にオブジェクティブツリーの考え方を示す。各防護レベルに対して、その防護レベルを護るために維持しなければならない安全機能、その安全機能に対する課題(脅威)、課題をもたらす可能性があるメカニズム、メカニズムの発生を防ぐ対応策という形で展開を行う。オブジェクティブツリーは、認識できていない課題(Challenge)に対するものを除き、できるだけ対策の抜け落ちを防ぐために有効に活用できる。



(社)日本原子力学会標準委員会レポート「第Ⅱ編原子力安全確保のための基本的な技術要件と規格基準の体系化の課題について」、日本原子力学会(2015).[発刊準備中]

図 3.1.3ーオブジェクティブツリーの概念図

f) 継続的改善

深層防護の実装は、それを完了した時点から陳腐化が始まると考えられる。新しい知見が得られた場合、外部環境が変化した場合、経年変化などによりプラントの状態が変化した場合などには、深層防護の実装を見直し、より良いものにしていく継続的改善が必要になると考えられる。

g) その他の留意事項

各防護レベルが適切な厚みを持ち、各レベルの防護策がバランスよく講じられ、あるレベルの防護策に負荷が集中しないことが重要である。あるレベルの防護策に過度に依存することは、そもそも深層防護の目的である不確かさへの備えにならず、不適切であるといえる。これは、そのレベルが突破されると深層防護全体として防護が失敗することになるからである。

また、各防護レベルだけでは、不確かさの存在のため、人と環境への放射線リスクを完全にゼロにすることはできず、さらに、各防護レベルに対する脅威を完全に把握して厳密に定量化することは不可能である。しかしながら、想定する条件に対して裕度を確保することによって、想定を超える条件に対しても頑健性が期待できるようになり、不確かさへの対応能力が向上することが期待できる。

3.1.6 深層防護有効性評価の一提案

深層防護の有効性は、各防護レベル(サブ目的)において設定する性能目標への適合度に加え、レベル間の独立性、技術的困難さ、技術的成熟度、人的因子の介在度合、品質保証、コスト、工期など、様々な観点を総合的に評価する必要がある。以下では、サブ目的ごと

の評価と、深層防護全体としての有効性評価の方法について議論する。

a) サブ目的ごとの評価

深層防護の実装において設定したサブ目的毎に性能目標・設計基準・評価基準などを設定し、これらへの適合度を評価する手法を選定する。評価手法としては、決定論的安全評価手法や、確率論的リスク評価などを用いることができる。どのような評価手法を用いるかについては、評価対象とする深層防護レベルにより変化しうる。設計対応する防護レベルについては、決定論的安全評価手法のウエイトが、マネジメントで対応する防護レベルについては確率論的リスク評価手法のウエイトが大きくなると想定される。これらの評価手法により、サブ目的毎の適合度評価を実施し、各防護レベルの性能を評価する。この評価は、特定のサブ目的に着目した性能評価であり、旧安全設計審査指針において、機器毎に信頼性・適合性を確認したのと同じ考え方に基づいている。

b) 深層防護総体としての評価

a)で述べた手順により、深層防護の各防護レベルの有効性を評価することが可能となる。しかしながら、深層防護は不確かさに対し、総体として防護能力を高めることが目的であることから、総体としての有効性評価も重要であると考えられる。従来は、深層防護の各防護レベルの独立性が強調されるあまり、深層防護全体としての信頼性評価は十分になされていたとは言えなかったと思われる。深層防護の各レベルの防護能力は、(前段否定・後段否定の考え方にこだわらず)ある限界があることは明らかであり、この限界を認識し、他の防護レベルとの連携を考えることは、深層防護総体としての信頼性向上に役立つものと考えられる。

深層防護を総体として評価するためには、確率論的リスク評価を実施し、全てのシーケンスについて、深層防護により原子力安全の目的が達成されていることを確認する必要がある。これは、決定論的手法と確率論的手法の違いはあるが、旧安全評価指針により、プラント全体としての信頼度を確認したのと同じ考え方に基づくものである。

特に外部事象に対しては、有効性評価が機器・設備レベルにとどまり、プラント全体(深層防護全体)としての有効性評価が十分になされてこなかった側面があることから、確率論的リスク評価を用いた深層防護総体としての評価は特に重要であると考えられる。

なお、深層防護の総体として有効性評価を行う場合、あるサブ目的を達成するための機器・手順・管理は、全てのシーケンスに対して同一である必要はなく、シーケンス毎に異なる可能性がある。逆に、ある機器・手順・管理に着目した場合、シーケンス毎に違うサブ目的に対する防止策、あるいは緩和策に用いられる可能性がありえることに留意が必要である。

あるシーケンスに着目したとき、サブ目的の数が多く、サブ目的を達成するための対策の独立性が相互に高い場合、そのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなると考え

られる。逆に、あるシーケンスに着目したとき、深層防護レベルの数が少なくても、それぞれのサブ目的を達成する策の信頼度が十分に高ければ、同様にそのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなると言える。なお、前述したように、シーケンス毎にサブ目的の数は変動する可能性があるが、特定の防護レベルに極端に依存することは、不確かさへの対処の観点から不適切である。

3.1.7 深層防護の一つの実装例

これまで述べてきた深層防護の実装および有効性評価の方針に則って、現在の 5 レベルの深層防護を描くと、図 3.1.4 のようになると考えられる。人と環境を放射線リスクから防護するという原子力安全の目的を達成するために、「サイト内に閉じ込め」「格納容器内に閉じ込め」「原子炉容器内に閉じ込め」「炉心内に閉じ込め」「事故発生の防止」というサブ目的を設定し、それらに対し、防止策および緩和策を設定している。また、それぞれのサブ目的の有効性評価手法および判断の基準となる性能目標を示している。

性能要求		事故の発生防止	炉心に閉じ込め	原子炉容器に閉じ込め	格納容器内に閉じ込め	サイト内に閉じ込め
防止		異常発生を防止	DBAを防止	重大事故を防止	格納容器損傷を防止	放射性物質放出を防止
緩和		異常の段階で検知・収束	工学的安全施設で収束	格納容器に閉じ込めて収束	放射性物質放出を管理	敷地外緊急対応
有効性評価		原子炉計装 原子炉保護	設計基準事象 発生頻度と影響度	レベル1 PRA 炉心損傷シナリオ	レベル2 PRA ソースターム CV破損シナリオ	レベル3 PRA 放射性物質 放出シナリオ
性能目標		設備の信頼度目標	工学的安全系の信頼度目標	炉心冷却形状維持の信頼度目標 10^{-4} /炉年	格納容器の信頼度目標 10^{-5} /炉年	放出管理の信頼度目標 Cs^{137} 100TBq 10^{-6} /年

山口、第2回深層防護ワークショップ講演資料, 2015.6.30

図 3.1.4—深層防護の実装例

3.2 深層防護の実装においてバックキャストの視点から各レベルが考えるべきことは何か

3.2.1 深層防護の特徴

深層防護をこれまでの他の防護法と比較してその特徴考えると、プラント設計から地域防災までの総合力によって原子力災害から住民を守るところにあると言える。

深層防護で設定される各レベルの対応が全ての状況に常に有効だとは限らない。

深層防護ではそれぞれのレベルが独立であることが求められているが、各レベルが独立で

あるということは、あるレベルが機能しないことが他のレベルに影響を与えないことであり、各レベルで機能を補完することを否定するものではない。各レベルが、単独で常に全ての状況に対処をしようとする、各レベルに過剰な要求を求めることになりかねないし、対処ができることが前提とすると、その有効性の検証が形式化する可能性もある。

原子力事故への対応は、放射性物質や放射線の影響が人身や環境に及ばないようにする活動であるが、その影響が直接人体に及ぶか、環境に留まるかでも、その対応の考え方は異なる。例えば、住民の被ばくから守るためには、第 5 レベルの活動は有効であるが、放射性物質の施設外漏洩を防ぐためには第 5 レベルの活動は無効である。そして、汚染された環境を早期に復旧する役割も重要さも念頭に置く必要があるであろう。

各レベルの連携を考えてみると、強化された原子力システムが安全を保てないような地震に遭遇した地域では、第 5 レベルの機能は期待できない。

一方、ハード設備による一定の強靱化の付与は必須であるが、システムに対するテロに関しては、ハードだけでは守れないが、第 5 レベルは無傷のため期待できる。ただし、その場合でも、住民対応の実効性を上げるための情報付与の在り方は、検討が必要である。

ここまで記したように、深層防護は第 1 レベルから第 5 レベルまでの総合力で安全を守るシステム論として考えることが重要である。

深層防護の在り方に関して、現状は、「対象となっている概念は第何レベルか？」というように、自分の担当している事象への興味が主体であるが、各レベルで何を行うかを問う前に考えるべきことがある。それは、深層防護全体で、多様な状況に如何に対処するかということである。

これまでの各レベルの検討は、原因毎に行われることが多く、その原因を想定していないと、対応力が大幅に低下する場合がある。

各レベルの防護機能の特徴を考えると、各レベルの役割が異なるため、レベル間の連携が必要である。

3.2.2 深層防護で考えるべき事項

a) 深層防護を考える際の現状の課題

原子力深層防護の現状は、深層防護の概念を理解しようとしている段階で、安全構築フレームの中での位置づけが曖昧な状況である。対象としている事故概念も、再発防止に留まりやすい傾向がある。

また、規制への対応に注力し（先行し）、安全の本質にまで検討が及ばず、自分のレベルだけで安全を担保しようとする、頑張っている状況が散見され、他レベルとの連携を考えられていない。

検討においては、被害を与える工学システムには関心があるが、被害を受ける社会に関心が薄い。

深層防護の高度化を目指すための検討では各レベルの連携が必要であるが、深層防護をレベル毎に議論することが多く、各レベル間の関係の議論が希薄である。個別の機能の増強がもたらすバランスの課題の検討も重要であるし、対応に不確定性が多い事象ほど、複数の視点での対応が必要になる。既存発電所に対する多額の安全投資にも関わらず、負荷が増す発電所での対応活動の現状を考えると、総合的な安全力の向上の設計が必要である。

b) 深層防護を検討する際の不確定性を把握する

深層防護を効果的に発揮するには、現象の持っている不確定性を検討しておくことが大切である。

大地震により発生する事象は、機器の損傷と津波による機能不全だけではない。作業員が怪我をするかもしれないし、誤操作を誘発するかもしれないし、重要設備と認定されていない機器の故障により、何らかの影響がでてくるかもしれない。

情報セキュリティに失敗すると何が起きるのかも、まだ検討中であるものもある。

テロといっても、外部からのテロリズムの他に、内部犯罪によるものもある。テロの種類によって対応の有効性は大きく異なる。

また、対応力の強化が他のレベルに与える影響も考える必要がある。リスク対策は、新たなリスクを派生させるからである。増強した装置・設備がもたらす新たな課題にも注意する必要がある。また、ハードの増強が、対応要求を厳しくする場合もある。

さらに、各レベルの対応の確実性を向上することも重要であり、そのためには、以下の事項に関して事前に検討しておく必要がある。

- ① 対応すべきことが明確でない場合
- ② 対応すべきことに、対応できていない場合
- ③ 対応すべき事項は明確だが、その実効性に不確かさがある場合

深層防護高度化の為には対応失敗の要因を考える必要があり、その可能性は以下のとおりである。

- ① 起きる現象を知らないから
- ② 必要なことを知ることはできるか
- ③ 知らない現象が発生しないように使用できるか
- ④ 対象システムが複雑だから
- ⑤ 設計ミス、施工ミス、品質のばらつき、検査の不具合は防ぐことができるか
- ⑥ 多様な専門知識は、総合化できるか
- ⑦ 人間が関わるから
- ⑧ 人は、行うべきことを行えるか
- ⑨ 人が間違っても、事故に繋がらないシステムは作成出来るか
- ⑩ 安全への配慮が欠けているから
- ⑪ 経営における安全配慮の優先順位は明らかか

c) 各レベルの有効性を向上させるための前提の検討

深層防護の有効性を向上させるためには、各レベルの対応で守れるものと守れないものを見極めが必要であると共に、各レベルでその対応機能を検討し、準備していく際の他のレベルへの要求を明らかにしておく必要がある。

また、設計や事業者の事故対応能力は、規制によって特定の要求事項を満足することが求められている。そのため、設備の機能不全を事業者の対応によってカバーし、その対応で事故を封じ込められない場合は、住民避難等の地域防災で対応することとなる。この考え方では、設計や事故対応能力の不十分性を地域防災で吸収することを求めることとなり、地域防災力が原子力の設計や事故対応能力の十分性を決める構造になってしまっている。

しかし、安全を結果として担保するための基本は、最終結果に近い対応から順番にその有効性を検証していくことである。

この考えに基づくと、深層防護では、まず第5レベルとして位置づけられる地域防災が有効に働く状況まで、施設の事故をコントロールすることが求められる。したがって、事業者が達成すべき事故対応レベルは、その地域の防災力の状況によって異なることとなる。

同様に、設備の設計にどのようなレベルが求められるかは、その設備を運営する事業者の能力によって異なることとなる。

当然のことながら、設計も事業者の対応が、その要求に十分に答えられるとは限らない。その場合は、関係するレベル間で相談することになる。この各レベルを横断した検討を行うことが、深層防護を有効に活用するための要点であり、このことを徹底すれば、設計から可能なことを詰めていく方法でも、結果的には同じこととなる。

3.3 深層防護の実装において設備設計に求めるべき信頼性とは何か

深層防護ワークショップ（WS）およびトピカル・ミーティング（TM）では、深層防護の考え方、適切な実装について意見交換、議論がなされてきた。

ここでは、第2回WSで、論点となった「深層防護実装の論点」から、設備（設計）に求める深層防護の関係について、以下の観点から、福島第一原子力発電所の事故で発生した具体的事象を例に論じることとする。

- ① 設備に求める信頼性と深層防護の関係
 - ・ 設備基準対処設備
 - ・ シビアアクシデント対処設備
- ② 機器と深層防護レベルの関係

3.3.1 具体的事象の発生要因

福島第一原子力発電所の事故による被害を拡大させた要因は、表 3.3.1 のように、全交流電源喪失（SBO）とその後の直流電源も枯渇したことによる、全電源喪失によるものが

大きいと考えている。

深層防護の実装において設備設計に求めるべき信頼性を考えるとき、この全電源喪失に至る要因と課題を整理し、その対策を検討したうえで、その設備設計の信頼性（多重性、多様性、独立性等）について述べていきたい。

表 3.3.1—全電源喪失に至った経緯（要因）

<ul style="list-style-type: none">・福島第一原子力発電所は、当初、大きな地震に見舞われたが、初期の段階では、止める、冷やす、閉じ込める機能は、達成できていた。・その後、福島第一を津波が襲った。これにより、交流電源機能と非常用DG機能が喪失し、一部の直流設備と代替の直流設備（車のバッテリー等）によって、対応を継続したものの、最終的には、全電源が喪失し事故が拡大した。

3.3.2 原子力分野における深層防護

原子力分野における深層防護については、世界の各機関でも、その考え方が示されている。

- ① IAEA（INSAG-10）
- ② WENRA
- ③ NUREG-1860
- ④ 日本の新規制基準

日本の新規制基準における深層防護の枠組みは以下である。

- ・第1レベル（①）：異常・故障発生防止（通常運転）
- ・第2レベル（②）：事故への拡大防止（異常・故障の発生）
- ・第3レベル（③-1）：著しい炉心損傷防止（設計基準事故+安全機能維持（単一故障を仮定））
- ・第3レベル（③-2）：著しい炉心損傷防止（設計基準に基づく安全機能喪失（多重故障））
- ・第4レベル（④-1）：大規模な放出防止，格納容器損傷防止（著しい炉心損傷）
- ・第4レベル（④-2）：放出抑制・拡散緩和（大規模な放出，格納容器損傷）
- ・第5レベル（⑤）：人的被害防止，環境回復（大規模な放出・拡散）

3.3.3 各深層防護における対応の有効的な対処法の考え方

津波の襲来によって、最終的に全電源が喪失した福島第一事故を想定し、その発生要因とその対応について、各レベルごとに有効的な対処法の実例とその信頼性（多重性、多様性、独立性等）について述べることにする。

a) 深層防護（第1レベル）の対処法

深層防護の第1レベルは、通常運転状態での異常故障発生防止である。

津波の発生を前提にした場合、最も効果的な対応は、防潮堤の設置である。現在、事業者は、防潮堤の設置を鋭意進めているところであるが、その高さは、発電所の敷地高さ、津

波発生地域（ハザード）によって、それぞれの事業者に委ねられている。防潮堤の高さは、どこまでも高くすることはできないので、その設計は、地域におけるハザードをよく考慮したうえで、適切な高さとするべきである。この場合、津波とその他の自然現象との重畳の議論もあるが、ここでも、重畳事象が同時に発生する確率やハザードを良く吟味したうえで評価する必要がある。

また、各サイトの事情として、原子炉補機海水系（炉心冷却のための水源）が、津波の影響により、ピットの深水で機能が喪失する事象や引き波によって、ポンプの長さが不足することにより、ポンプの機能が喪失するという弱点を持っているサイトがあることが考えられる。この場合は、第1レベルの対応として、以下の対応を取っておくことが重要である。

- ① 建屋内への浸水防止（水密扉の設置）
- ② 海水ポンプの長尺化
- ③ ポンプ室のドライサイト化またはポンプ室からの漏洩防止他

そして、このレベルが破られた場合を想定し、次のレベル、第2レベルでの対応を検討する必要がある。

b) 深層防護（第2レベル）の対処法

深層防護の第2レベルは、事故・故障発生状態時の事故への拡大防止である。これは、第1レベルが突破された場合の対応であり、以下の対応が想定される。

- ① 屋内への浸水防止（水密扉の設置）
- ② 建屋内各エリアの早期漏洩検知（漏洩検知器の設置）

①については、電気品・電源盤が設置されている部屋および非常用DG室等を水密扉で防護する対応であり、扉の頑健性、多重性等を適切に考慮する必要がある。

②については、建屋内への浸水（異常）を早期に検知する対応であり、更なる信頼性向上としては、検知器の頑健性（耐震性）と誤操作を防止するための多重化が要求される。検知器の多重化については、どこまで、多重化するかについては、経済性も考慮した上で、適切に設置するべきと考える。

c) 深層防護（第3レベル）の対処法

深層防護の第3レベルは、炉心損傷防止の対応である。

新規基準では、このレベルのプラント状態を「設計基準事故+安全機能維持（単一故障を仮定）」と「設計基準に基づく設備の安全機能喪失（多重故障）」でレベルを分けているが、ここでは、同じ第3レベルの対応として論じる。なお、IAEA（INSAG-10）では多重故障は第4レベルに属している。

第3レベルの対応は、以下が挙げられる。

- ① 建屋内への浸水防止（水密扉の設置）
- ② 代替の電源設備の設置（恒設または可搬設備）
 - ・ 代替所内電源の強化（すべての機能喪失防止（人力による操作））
 - ・ 可搬式（緊急安全対策設備（高台の電源車他））
 - ・ 恒設電源（高台のGTGまたは空冷DG）
- ③ 直流電源の強化

このレベルは、第2レベルの対応が突破されても、著しい炉心損傷を防止するための対応が必要であり、新規制基準の要求事項でも比較的具体的な対応が記載されている。

②は、既存の所内電源系統を強化し、代替の所内電源系統を強化するものである。また、従来の交流電源設備に対して、可搬式と恒設の両者を適切に分散して設置するべきである。これらは、津波による影響を軽減するため、原則として高台に設置するべきである。第3レベルの対応は、設備の多様性（冷却方式）、位置的分散、独立性が望まれるレベルであり、より高い信頼性を考慮した設計とすべきであるが、どの方式をどこまで考慮して検討するかは、コストベネフィットを踏まえた対処法とするべきである。

③の直流電源の強化は、「交流電源が復旧するまでの原子炉状態監視機能の維持」と「交流電源の早期復旧」が大きな責務であり、代替電源の多様化と給電方法の多重化を考慮すべきである。直流電源の強化で設計上留意することは、（A）蓄電池の容量と（B）可搬式と恒設の組み合わせが重要である。

（A）は、原子炉状態監視の機能維持時間と運転員の負担軽減の考え方が重要である。

（B）は、可搬式と恒設の給電の方式と給電口の多重化の考え方が重要である。

いずれにしても、直流電源（蓄電器）は、時間の経過とともに、枯渇する危険性があり、更なる信頼性を確保するためにも、充電機能を充実することが、設計上最も重要な考慮事項と考える。

d) 深層防護（第4レベル）の対処法

深層防護の第4レベル（④-1）は、著しい炉心損傷に至った場合でも、「大規模の放出防止」「格納容器損傷防止」を達成するレベルである。

なお、第4レベルの（④-2）である、大規模な放出、格納容器損傷に至っても「放出抑制・拡散緩和」を達成することについては、別途の議論とする。また、第5レベルの対処法についても、別途の議論とする。

第4レベルの対処法は、各種存在すると考えられるが、ここでは、代表的な対処法として、以下を挙げる。

- ① フィルターベントシステムの設置

フィルターベントシステムは、仮に、著しい炉心損傷が発生し、格納容器内に放射性

物質が蓄積し、格納容器内の圧力が上昇した場合でも、格納容器内の放射性物質を特殊なフィルターを介して、外部に放出し格納容器の圧力を減圧するシステムである。このときに、重要な機能は、放射性物質の濃度をどこまで低減するかであり、発電所の敷地内および敷地外周辺への影響を考慮して決められるべきである。

なお、フィルターベントシステムの信頼性を更に高めるためには、システムの作動が、より確実に実施されるための考慮が必要である。このためには、システムの作動のための操作弁（空気または電動弁）が、結局、空気喪失あるいは電源喪失によって作動しない場合においても、操作可能なように、人力による遠隔での操作が可能な構造としておく等の対応が重要である。

3.3.4 まとめ

ここでは、「深層防護の実装において設備設計に求めるべき信頼性とは何か。」に対して、福島第一事故で発生した、津波による全電源喪失事象を例に、深層防護のそれぞれのレベルで、いかに対処していくべきか、また、そのときの信頼性をどのように考慮すべきかを具体的に述べてきた。

本章でも、一部述べているが、深層防護実装における「独立性」および可搬式、恒設設備を踏まえた「深層防護の具体例」については、このあとの章に委ねることとする。

3.4 前段否定、後段否定は正しい深層防護の実装か、独立性の要件とは何か

3.4.1 深層防護と前段否定、後段否定の論点

原子力安全のための深層防護の考え方は、事前には充分と思われた対策でも思いがけない理由で失敗するかもしれない、一つの対策では防げないという不確かさの影響を考慮して、放射線リスクから人と環境を護るため、共倒れのない高い信頼性を持つ複数の手段で防護策全体の実効性(成功確率)を高めるために適用されるものである。

対策はある想定に基づいて考えられるため、その想定から抜け落ちる事項や人知が及ばない事項が存在することは否定できない。諸現象と対策やその対策の効果には不確かさが存在するため、一つの対策のみでは完璧な対策とはなり得ない。

ある防護レベルがどんなに頑健であったとしても、単一の防護レベルに完全に頼ってはならず、一つの防護レベルが万一機能し損なっても、次の防護レベルが機能するようにしなければならない。

しかしながら、深層防護の考え方は、「原子力安全の基本的考え方について第I編 別冊 深層防護の考え方」AESJ-SC-TR005にあるとおり、基本的概念は同一であるが、実装にあたっての具体的な解釈は、各国、各組織あるいは各時期により若干の相違あるいは修正が加えられてきている。

深層防護(多重防護)の実装を検討するための考え方の一つとして、「前段否定」、「後段否定」が、かねてより多くの機会で述べられてきている。つまり、各対策は、その前段の対

策の機能が喪失し、異常の発生や進展を防止できず、前段が突破される場合があるとする「前段否定」を想定して設けられるものであり、「後段否定」では、後ろに頼らずに機能できるように、後段の対策があるとは思わず、何が何でもその段でくい止める対策を設定しようとするものである。各対策への性能要求は、その前段や後段の対策の効果を意図的に過小評価することによって、厳しめに設定することが求められるとし、いわゆる、多重防護は、この「前段否定」、「後段否定」の考え方に基づいて、対策を多段に配置することを意味するものである。

一方、福島第一事故が深層防護に対する取組み不足に起因するとの指摘を受け、深層防護の考え方を深化させていく過程で、充分ではなかった外的事象を起因とする事故への対策、及びシビアアクシデント(SA)に対応した柔軟な対策を議論する上で、「前段否定」や「後段否定」が強調されたが、深層防護に関するワークショップ及びトピカルミーティングにおいては、「前段否定」や「後段否定」は深層防護の一面を捉えたに過ぎず、その強調は適切ではないとの指摘がなされた。前段及び後段の防護レベルの機能を単純に否定するのではなく、各対策に求める機能が、各々のシーケンスで機能しなくなるメカニズムをよく理解することが、深層防護の実効性を、より向上させることに繋がる。

また、深層防護は、各防護レベルの「体系的な安全確保対策」で放射線リスクから人と環境を護るための考え方であり、備えられた複数の防護レベルは、各々の性能目標を達成するとともに、連携して全体性能を満足させなければならない。各防護レベルは、他のレベルに依存して対策を考えるものではないが、実効性のある深層防護の実装には、各防護レベルの設備の連携のみならず運転・保守を含むマネジメントとの連携が極めて重要な要素である。

3.4.2 深層防護の実装の考え方

福島第一事故は、自然現象とそれに対する想定、対策が不十分であったことにより、シビアアクシデント(SA)に対応した、柔軟で実効ある対策、体系的な安全確保対策が機能せず、単一の外部事象で各防護レベルが破られたものである。言い換えれば、深層防護で守るべきもの及び各防護レベルの設定とそれらの定義が充分でなく、また、それらの防護レベルを決めた意思決定プロセスにおける不確かさの影響の考慮も充分ではなかったと言える。

深層防護を実装するためには、まず、何を護るためのものであるかを考えること、そして、そのための防護レベルを設定する必要がある。原子炉施設の設計における深層防護の最も上位の設定としては、例えば、放射線リスクから人と環境を護るため、IAEA 安全基準 SSR-2/1「原子力発電プラントの安全：設計」よって定義される五つの防護レベルを設定することとなる。五つ目の防護レベルである防災から、その前段の防護レベルの設計に対する要求事項があることを理解していなければならない。

次に、諸現象と対策やその対策の効果には不確かさが存在するため、護るべきものが防護できない状態に至る多種・多様なシーケンスを、護れるものと護れないもの、対策の限

界を見極めながら、バックキャストの視点で抽出し、複数の防護レベルを各レベルの受け持つバランスを考慮し設定するとともに、深層防護全体として、安全目標を達成するよう、各防護レベルの目的・目標を設定し、各防護レベルを突破されないための防止策と防止できなかつた場合の緩和策を設定する。護るべきものが防護できない状態に至る、あるいは、防護できるシーケンスにより、機能すべき防護レベルの数やその順序が異なる場合があつても構わないが、特定の防護レベルに極端に依存することは、不確かさへの対処の観点から不適切である。ある設備に着目した場合、シーケンスによっては、設計基準対処設備、あるいは、SA 対処設備として使用されることがあり得る。それぞれのシーケンスにおいて、期待される機能が発揮できるようにすれば良いのである。(リスク評価に基づく帰納的なアプローチ)

それぞれのシーケンスに対する深層防護の有効性を評価し、深層防護全体として、安全目標を達成するよう、必要に応じ、各防護レベルの防止策と緩和策を見直すとともに、最終的には、原子力施設そのものの深層防護の有効性を評価しなければならない。施設の評価に加え、立地・設計・製造・建設、及び、品質管理・運転管理・保守管理・マネジメント等のプロセスに係る深層防護を達成し、全体としての深層防護の有効性を評価することが求められる。例えば、事故時操作、防災等に係る計画において、意思決定の誤り、手順の誤り、誤操作等によって重大な影響が生じないことを確実なものとするのが期待されている。(オブジェクティブツリーに基づく演繹的なアプローチ)

また、ある防護レベルが機能喪失した場合には、次の防護レベルが機能しなければならない。単一の技術的、人的または組織上の失敗だけでは有害な影響が生じることがないこと、また、重大な影響を生ずる多重失敗の発生確率が非常に低いことを確実にするものでなければならない。ある防護レベルが他の防護レベルの機能喪失によって従属的に機能喪失することがないことを含め、各防護レベルが独立な効果を発揮することが必要な要素である。これらを踏まえると、深層防護に関する議論は、各防護レベルの定義と各防護レベル間の独立性に帰着すると言える。防護レベルの独立性は深層防護の重要な要素であるが、各防護レベルの「完全な独立」はあり得ない。

なお、深層防護のより重要な要素は、知識、データがより限られている低頻度高影響事象の諸現象と対策やその対策の効果の不確かさに対するものである。

3.4.3 独立性の要件

a) 防護レベル間の独立性とは

深層防護は、相互に独立な複数の防護レベルの組合せによって実現され、独立性は、防護レベルの信頼性を高めるための手段である。防護レベルは、複数の対策の集合体であり、相互に独立な効果を発揮することが要求される。ただし、個別の対策に対して、独立性を求めているものではないし、各防護レベルで機能を補完することを否定するものではない。

なお、個別の対策とは、安全上好ましくない因果関係を、当該防護レベルで断ち切る効

果を持つものである。

防護レベルの独立とは、合理的に達成可能な範囲での、機能的な独立性を確保すべきことを意味している。これは各防護レベルが相互に無関係に設計されるべきということの意味するものではない。防護レベル全体の性能を高めるためには、防護レベル 1 から防護レベル 5 までがバランスよく配置され、一つ又は二つの防護レベルに負担が集中しないことが重要である。後段の防護レベルの対策を、より有効にするため、必要に応じて、前段の防護レベルへの要求を厳しくすること等も検討されなければならない。

深層防護は、各防護レベルが適切な厚みを持ち、独立的に効果を発揮することによって成立する。このため、新たな対策を採用するにあたっては、それが既存の防護レベルないし対策とどのような関係を有するかを明確にし、新たな対策が防護レベルの厚みの増加や防護レベル間の独立性の向上に資するものであることを確認する必要がある。

各防護レベルが独立であるということは、ある防護レベルにおける設計、機能、対策等の失敗が、他の防護レベルの機能にとって障害とならないようにする（従属的な機能失敗とならないようにする）ことで、各防護レベルで共通事項がなるべく少なくなるように、品質的(施工・検査)、物理的(隔離・設計基準)、論理的(計測・制御)、動作的(自動・手動)、時間的(操作・避難)等の観点で、他の防護レベルの何かに依存しなくても当該防護レベルが機能するようにすること、あるいは、他の防護レベルの何かが障害となって当該防護レベルが機能しなくなることが無いようにすることである。

b) 各防護レベルの独立性をどう確保するか

深層防護の各防護レベルの独立性を確保していくとは、それぞれのシーケンスにおいて、各防護レベルで機能を発揮することが期待されているハード及びソフトが、合理的に達成可能な範囲で機能的な独立が確保できるように、共通事項が少なくなるように設計すれば良いのである。

まず、ハードにおける共通要因に対する独立性確保については、物理的方法及びその他の方法による分離が適用でき、(a) 隔壁による区分分離、(b) 距離による分離、(c) ローカルバリア等による分離が挙げられる。(a)が不可な場合は(b)を、(a)及び(b)が不可な場合は(c)を適用する。例えば、(a)では、隔壁により火災や溢水の影響が、一方から他方へ伝播するのを防ぐことができるが、(c)では、火災と溢水の重畳を考えると、耐火性と止水性の両立が必要になり、それぞれのシーケンスに基づく有効性評価が必要である。

次に、ハードの従属要因に対する独立性確保のためには、機能達成に必要とされる設備を分離（共用しないこと、依存しないこと、あるいは、障害とならないようにすること）する必要がある。例えば、新たな深層防護レベルを担う原子炉注水系統を追設する際、ポンプや電動弁を既設系統と独立に設置した場合であっても、上流の注入配管を共用する場合が考えられる。注入配管を追設することにより完全に共用を排除することも可能であるが、分離をどこまで厳格にするか、それぞれのシーケンスに基づく有効性評価が必要であ

る。

一方、ソフトにおける共通要因に対する独立性確保については、その他の方法による分離が適用でき、品質管理、運転管理、保守管理、マネジメント(人的因子含む)等の観点で別法を用いることにより達成される。ただし、完全なる別法とはならない場合もあるため、その場合には、それぞれのシーケンスに基づく有効性評価が必要である。

ソフトの従属要因に対する独立性確保のためには、機能達成に必要とされるソフト因子を分離(共用しないこと、依存しないこと、あるいは、障害とならないようにすること)する必要がある。例えば、各防護レベルで共用している部分が機能しなくなる可能性があるような試験・検査・運転・保守・マネジメント(人的因子含む)等を行わないなどが考えられる。また、当該防護レベルの機能達成のために、他の防護レベルの環境条件や運転に依存しないようにする、あるいは、環境条件や運転が障害とならないようにすること等が挙げられる。完全に共用、依存や障害となる部分を排除することも可能であろうが、排除できない場合は、それぞれのシーケンスに基づく有効性評価が必要である。

c) 有効性評価について

独立性が有効かどうかを直接評価・証明する手法、あるいは、独立性を確保するための設計ガイドライン等は、現状、学会、規制当局、産業界においてオーソライズされたものがない。

確率論的リスク評価(PRA)によって、有効性を評価できるとの意見も示されているが、現行のPRAはプラント全体の安全性を評価し、その安全性の充分さを確認するものであり、深層防護の各防護レベルの有効性及び防護レベル間の独立性がどの程度確保されているかを評価するためには、シーケンスごとに有効性を評価する必要があり、詳細については、今後、検討が必要である。リスク評価を参考とした設計による深層防護の防護策全体の有効性の向上を期待したい。

なお、特に、防護レベル3から防護レベル5については、設備稼働準備、マネジメントを含め、1つの防護レベルが進行している間に、他の防護レベルが始まることも有り得るので、この場合の有効性をどのように評価していくかも課題である。

3.5 深層防護の実装の具体例

WS及びTMにおいては、深層防護の実装に関連し、設計基準を超える外的事象に対する安全裕度、深層防護のありかた、恒設設備と可搬設備の使い分けの考え方についての疑問が多く出されたことより、ここでは、深層防護の実装の具体例として、この2つの事項について述べる。

3.5.1 設計基準事象を超える外的事象

外的事象に関しては、安全確保上重要な機器が機能喪失する可能性が無視しうるほど小さくなるよう、各自然現象のある強度レベル(設計基準ハザード)を設定して防護策をと

ることで共通的に設備が故障することを防止し、残る偶発故障に対して内的事象の中で取り込んで考えるという整理がなされてきた。

設計基準に対して安全余裕を持たせると外的事象に対する安全性は向上する方向ではあるが、設計要求範囲をより大きく設定してもそれを超える領域は必然的に存在し、また、これまでに経験のない事象に関しては知識の不完全性による限界がある。

従って、設計基準をその時点における最新知見に照らして超過頻度が十分に低いレベル（ $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-5}/\text{年}$ ）となるよう設定したうえで、それを超えるレベルについては深層防護による対応を適用することが合理的な対応と考えられる。以下に、深層防護の適用を含めて外的事象への対処手段を検討し、その有効性を確認するにあたり留意すべき事項について示す。

- ① 外的事象は、それを誘因として外部電源喪失等のプラントの異常（起因事象）を引き起こすのみならず、同時に起因事象に対する緩和設備の機能喪失をもたらす可能性を有している。このため、深層防護の考え方の適用においても、表 3.5.1 に示す従来のランダム故障、人的過誤に起因する異常な過渡、事故を想定した深層防護が有効であるかどうか検討が必要である。（下表は IAEA の INSAG-10 に基づく一例である）

表 3.5.1－深層防護レベルと必要な手段

防護レベル	目的	目的達成に必要な緩和手段
第 1 レベル	異常事象発生防止	保全、品質確保等
第 2 レベル	事故への拡大防止	制御・保護系等
第 3 レベル	設計基準内への制御	工学的安全施設、事故時運転手順等
第 4 レベル	事故の進展防止、SA の影響緩和	炉心損傷防止対策、格納容器破損防止対策等
第 5 レベル	放射線影響の緩和	サイト外の緊急時対応

- ② 例えば、地震の場合は、第 1 レベルの異常事象発生防止に関しては、外部電源喪失等、異常事象の多くは起因事象に係る設備の耐震クラスが安全上重要な緩和設備より低く、設計基準クラスの地震による異常事象の発生は許容されている。しかし、拡大防止対策以降については、必要な緩和手段は設計基準地震動に対する耐性を有する必要がある。更に、地震動が設計基準を超える場合については、多くの安全機能が同時に損失する可能性がある。
- ③ 津波の場合については、津波による異常事象発生防止としては、プラントの高所設置、防潮堤の設置、海水系の対津波防御対策等が考えられ、設計基準内であれば異常の発生は防止される。津波レベルが設計基準を超える場合は、レベル 2 のプラントの停止に関しては特に問題はないものの、緩和設備が浸水に対する防御がなされていない場合は、地震と同様に多くの安全機能が同時に損失する至る可能性がある。

- ④ 以上のようにプラントへの多様なリスク要因となる外的事象に対しては、ランダム故障に対する深層防護の実装がなされている前提で、各レベルの緩和手段を外的事象から防護することを含めて、外的事象毎に対処手段を検討しその有効性を確認する必要がある。設計基準を超える場合やテロや航空機衝突などの外的・人為事象などの場合には、多くの安全機能が同時に損失する可能性が考えられるため、できる限りそのシナリオを分析して、当該ハザードの特質を踏まえた異なる質の対策、すなわち、当該ハザードの影響を受けない設備の設置（ハード）もしくは、アクシデントマネジメントによる柔軟な対応（ソフト）を準備することが効果的と考えられる。
- ⑤ 対策は全ての外的事象にオールマイティに対処可能である必要はなく、外的事象の特性に応じた多様な設備やマネジメント策を準備することで、その何れかにより対処可能とすることも考えられる。
- ⑥ 地震については、設計基準に対し安全上重要な SSC（System, structure and components）は不確かさを考慮して余裕を持った設計がなされており、設計基準地震動により直ちにすべてが機能喪失するわけではない。また、これまで発生した原子力発電所における設計基準を超える地震の例を見ても、位置や方向によって設計基準に対する逸脱の度合いには大きな差がある。従って、深層防護の実装に係る重大事故等の対処設備は、地震動の設計基準は同等であるとしても、設置にあたって同一の安全機能を有する設計基準対象施設と設置の方向や免震などを含めた「耐震多様性」を図ることで共通の機能喪失のリスクを低減させることが重要と考えられる。
- ⑦ 津波については、設計基準に対して防潮堤を設置する等の異常の発生防止に主眼が置かれてきたが、設計基準を上回ると安全上重要な SSC が同時に機能を失いシビアアクシデントに至る可能性がある。このため、防潮堤を超えるような設計基準を上回る津波に対しては、安全上重要な SSC の機能を維持すべく、建屋の水密化、開口部の閉止等の対応を行うと共に、津波のハザードを直接受けにくいと考えられる高所への対処設備の設置、可搬型機器の使用などが効果的と考えられる。
- ⑧ 上記のように外的事象、特に地震については、設計基準を超える場合の対処については、有効性を担保するものではないため、有効性の評価には深層防護の基づく対策によりリスクが許容可能なレベルにあることをリスク評価により示すことが必須である。一定以上の脅威に対しては、シーケンス毎に有効性を確認し、全体のリスクに対する弱点を明らかにし、設計やマネジメントにフィードバックするイタレーションが必要である。また、これによりリスクが許容可能なレベルにあることにより、対策の有効性が独立であることが示されることになる。

3.5.2 恒設設備と可搬設備

シビアアクシデントの対処設備配備の検討にあたっては、大きく恒設設備と可搬設備に分けられるが、判断のためには考慮すべき多くの要因があり、それらの要因に対してそれぞれ表 3.5.2 に示すような長所及び短所を有している。

設計基準を超える外的ハザード時には、恒設の設備が共通的に機能を喪失する可能性が高まるため、多様な状況に外部からの融通等柔軟に対処できる能力を重視した対策として、基本的には可搬設備や汎用品を活用した代替策等を用意することが有効と考えられる。しかし、事象進展が速く、可搬設備では対応が困難な場合においては恒設設備が有効であり、このため、ハード面もしくはソフト面の設備・対策をどう組み合わせるのかについては、ハザード毎の特性に応じて決定することが重要である。

また、対応策の速やかな配備が可能であるか、異常時に必要な操作を実行可能な人員数等、他にも重要な視点があり、短期的のみならず長期的視点にも立って、恒設設備と可搬設備を最適に組み合わせることが必要である。

表 3.5.2—恒設設備と可搬設備の特性

特性	恒設設備	可搬設備
柔軟性 (補修, 融通等)	使用範囲が想定シナリオに依存しがち	事故シナリオの不確かさに柔軟に対応可能
配備期間	年単位での配備期間を要する	短期間で配備可能
独立性	物理的・空間的分離に建屋, 敷地の制約を受ける	物理的・空間的分離が容易
必要な要員	少ない要員で設備の動作が可能	設備の使用にあたり要員, 体制が必要
手順書・訓練	手順書の整備, 訓練が必要	手順書の整備, 訓練の負担が恒設設備より大きい
対応時間	事故後短時間で投入時間	事故後の投入に時間を要する
耐環境性	設置場所の環境条件の悪化による不作動の可能性あり	要員が耐えられる作業場所の環境(放射線, 気温等)が必要
信頼性	誤動作の可能性は設備の信頼性に依存	誤操作の可能性はあるが, 設備の問題に柔軟に対応可能
設備容量	大容量設備が可能	大容量設備の運用は困難

3.6 深層防護の実装が実効的に行われるために関係組織はどのような行動するべきか

深層防護の実装は、ハード、ソフトの機能を設計し、その機能を実現するための製作、設置に至る過程が重要である。しかし、たとえ人の操作が不要な自動起動する設備であっても、設計・製作・設置だけでは、設備の機能が発揮されず結果としてプラントの安全は

達成できない。当該設備及びそれが機能を発揮する系統への要求機能を審査，検査すること，運用において必要な状況において性能が出るように操作し，操作手順を準備し，性能維持のために保守を行う。新しい知見に対して必要に応じて改善する方策を検討し実行する。それらのベースとなる人材確保とその維持を行うなどが必要である。さらにそれらをマネジメントするシステムも必要になる。ハードやソフト，そしてこのマネジメントシステムも，時間経過で劣化することが無いよう，継続的にそれらの「機能」が維持・向上される仕組みも必要である。過去の反省だけでなく，将来において深層防護の実装の有効性が損なわれることの無いようにレビューし策を講じていくことを，自主的に継続して行くことが重要である。また単にルール化して組織内の規定に定めておけば良いわけではなく，安全確保・向上に取り組む組織や要員が備えているべき「安全文化」も必要である。

このように深層防護の考え方を各防護レベルで効果的に適用し実装し有効性を発揮させるためには，確固たる安全文化を前提とした上で，適切な保守性を考えること，及び品質保証を，全ての防護レベルにおける全ての方策に適用することが前提となる。

本節では「深層防護の実装」のために，マネジメントにかかる如何なる行動，仕組みが必要となるかについて，深層防護全レベルの実効と，各レベルの信頼性確保，の2つの視点から，整理し，課題を明らかにする。なお，ここで「マネジメント」とは，ステークホルダーそれぞれの責務に応じて，原子力プラントの安全性維持向上を達成するためのマネジメント，という意味で用いており，規制機関における審査・検査，メーカにおける設計管理，品質管理，事業者における運転管理，保守管理，研究・教育機関における技術開発，人材育成，さらにいずれの組織にも共通な，労務管理，文書管理なども含む。

3.6.1 各深層防護レベルの信頼性確保

INSAG-12のAppendix“ILLUSTRATION OF DEFENCE IN DEPTH”では，手順，管理，品質保証などの要素が，深層防護のすべてのレベルと関連していることが描かれている。そこで，深層防護のレベルごとにその信頼性確保に，運用管理が如何に関わっているかを整理する。

a) 深層防護の第1レベルにおけるマネジメント

深層防護第1レベルの目的は，通常運転からの逸脱と安全上重要な設備の故障を防止することである。その目的を達成するためにマネジメントが持つべき特性は次のとおりである。

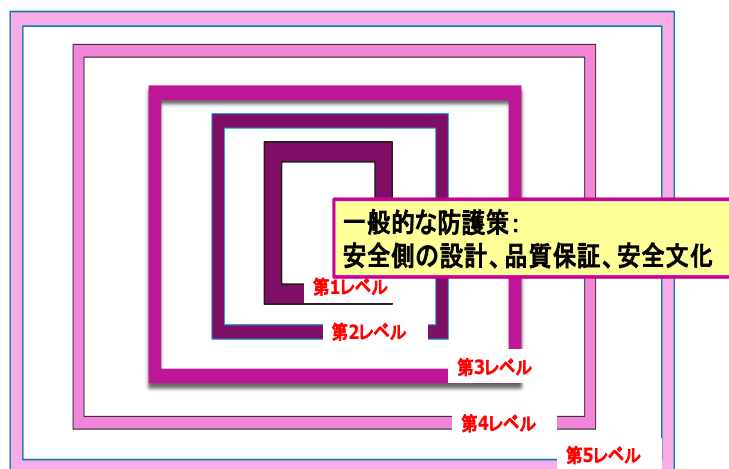


図 深層防護と運用管理の要素

- ① 規制機関はこの目的を達成するために設備等に対する要求を明文化していること。そしてそれを確認する審査等の仕組みを有していること。
- ② 品質マネジメントと適切で妥当な工学手法に従って、プラントが立地、設計、建設、保守、運転され、これらのため、設計、機器製造、プラント建設そして試運転において、品質確保がなされていること。これらの品質が規制要求を満足していることがレビューされていること。
- ③ 設計、製造、建設における審査、供用中検査、保守及び試験に係わるプロセスと手順が定められ、実施されていること。
- ④ 目的達成に必要な技術開発、実証などの仕組みがあり、遂行されていること。

b) 深層防護の第2レベルにおけるマネジメント

第2レベルの目的は、プラントで運転時の異常な過渡変化が事故の状態に進展するのを防止するために、通常運転状態からの逸脱を検知し制御することである。このためには、次のことが必要である。

- ① 設計で備えた特別の系統・設備の有効性（検知&制御）を安全解析により確認する仕組みがあること。
- ② 起因事象の影響を防止 or 最小に留め、又はそのプラントを安全な状態に戻す運転手順が確立されていること。
- ③ 以上のことにかかる必要な規制要求が定められ、審査等で確認されていること。その仕組みがあること。
- ④ 目的達成に必要な技術開発、実証などの仕組みがあり、遂行されていること。

c) 深層防護の第3レベルにおけるマネジメント

第3レベルの目的は、炉心の損傷や重大な敷地外への放出を防止し、プラントを安全な状態に復帰させることである。そのために次のことが必要である。

- ① 要求性能を満たす設計・製造の品質を達成できる仕組みがあること。
- ② 工学的安全機能、安全系を備えておくことはもちろんであるが、それらが機能を適時に発揮できる手順を準備すること。
- ③ 関与する運転員の教育・訓練を行うプログラムを備えておくこと。そしてそれを実行し、運転員の能力の維持向上をはかること。
- ④ 設備の妥当性だけでなく、事故時運転操作の効果も、安全解析により評価すること。そしてその解析手法を最新かつ効果的なものに更新する仕組みを備え、仕組みを廻すこと。
- ⑤ 以上のことにかかる必要な規制要求が定められ、審査等で確認されていること。その仕組みがあること。
- ⑥ 目的達成に必要な技術開発、実証などの仕組みがあり、遂行されていること。

d) 深層防護の第4レベルにおけるマネジメント

第4レベルの目的は、事故の影響を緩和することである。このレベルにおける深層防護の実装は、手順化された操作を正確に行なうことだけでなく、複雑に変化する事故シナリオに臨機応変に対応する、事故内容が把握できない状態に対応する、などの困難な条件での運用管理が求められることが、特徴である。そのために次のことが必要である。

- ① 過酷なプラント状態の把握と制御が可能なように設備と手順を備えるための仕組みがあること。
- ② 放射性物質の閉じ込め機能を確保するために備えた設備が機能を適時に発揮できるアクシデントマネジメントのプログラムを準備すること。
- ③ 手順も含めて、関与する要員の教育・訓練は、国内外の最新知見を常に反映する仕組みを備え、実行すること。
- ④ サイト外から設備などを輸送して用いる場合もあるので、組織外との連携についても、考慮すること。
- ⑤ 以上のことにかかる必要な規制要求が定められ、審査等で確認されていること。その仕組みがあること。
- ⑥ 目的達成に必要な技術開発、実証などの仕組みがあり、遂行されていること。

e) 深層防護の第5レベルにおけるマネジメント

第5レベルの目的は、放射性物質の大規模な放出による放射線影響の緩和である。周辺地域における緊急時対応のための計画策定、運用、資機材準備、訓練、情報連絡などが実行内容である。

- ① サイト外の緊急時対応の計画が事前に作られること。
- ② その計画の実効性確保のために訓練が行われる仕組みを持つこと。そのために必要な要員や資機材を保有し維持しておくこと。
- ③ さらに防災の有効性を評価する仕組みを持つこと。
- ④ 以上のことにかかる必要な規制要求が定められ、確認されていること。その仕組みがあること。
- ⑤ 目的達成に必要な技術開発、実証などの仕組みがあり、遂行されていること。

3.6.2 マネジメントシステムと安全文化

深層防護の実装も、原子力発電所における様々な活動と同様、品質マネジメントシステムに則り、運用されることが効率的であり効果的である。マネジメントシステムは、各ステークホルダー組織における個々の実情に合った実行性のある仕組みにするべきである。マネジメントシステムにおける意思決定は、「問題設定」「リスク評価」「対策抽出」「決定実施」「モニタリング」の要素から構成され、プロセスを廻していくことが基本であるが、

組織の役割に応じて、要素の軽重長短を踏まえ、設定することが実行性のある仕組みになる。プラントに実装された深層防護にかかる対策・活動、そしてマネジメントシステムそのものも対象として、将来にわたり継続的に維持されていくための仕組みも重要である。マネジメントシステムで定めたことを維持するだけでは、外的環境の変化に対応できないことがある。そこで新しい知見や動向を把握分析し、将来においても様々な問題や障害を乗り越えられ深層防護の有効性を維持できる策を考え準備することが重要である。

加えて深層防護全体が有効に機能するためには、「想定を超える事象・事態に対する柔軟な対応力」がいずれの深層防護レベルにも共通に必要なとなる。そして、それを支えるマネジメントと組織力も、それぞれのレベルに対処できる機能を発揮できることが重要である。

さらに、マネジメントは一朝一夕には完成しない。ルールを明文化することは出来ても、実運用していくうちに組織力との関係で改善すべきことが表出してくる。さらに、事業者だけでなく、メーカ、規制機関、研究機関そして大学も含んだ関連する組織において深層防護実装のために、安全上重要な全ての任務を正確に、油断なく、しかるべき考え方、十分な知識、健全な判断及び適正な責任を以って遂行することが出来る安全文化を実現していくことが必要である。

3.6.3 各ステークホルダーの体制とコミュニケーションと連携

深層防護は、原子力施設の安全に責務を持つ事業者が実装を考え実行するが、規制者、地元自治体、メーカなどステークホルダーもそれぞれの役割において、上記で述べた安全文化とマネジメントシステムを実行していくことが必要となる。そのために必要な特性を具現できる安全文化を実現することを前節で示したが、体制を整備し運用することも重要である。深層防護の実装をハードウェアを担当する部署に任せるのではなく、知見収集、評価、そして遂行管理など体制内で分担を決めることが要る。留意すべきは単純な分業ではなく体制内の「連携」である。これは、各組織間、組織内各部署間のコミュニケーションが大きな役割を果たす。情報や意見の交換に留まらず、相互に見解や問題点までも示しあい、必要であれば合意点を見出す議論を行う。

なかでも、異なる組織で構成される体制における「連携」は簡単ではない。深層防護のレベルに応じてその目的を意識して行なうべきである。これは上記の組織内の連携でも同じであるが、同じ目的で組織化されているわけではない異組織体制では、共通の目的、それを受けた個々の組織の役割に応じた目的、を階層的な設定をすることも、必要である。

3.7 福島第一事故の前に深層防護が適切に実装されていたら事故は緩和されたか

深層防護が適切に実装されていたら福島第一事故を緩和することはできたのか、どのような考え方が不足したのか、今後どのような議論を深めていくべきなのかを考えるため、当時、深層防護の観点から不足した点、適用することが有効であった深層防護の考え方について、深層防護ワークショップ及びトピカルミーティングにおける議論、講演内容から

の抜粋を整理した。また、今後、議論を深めていくべき、とされた点についても同様に整理し、福島第一事故のような重大事故を回避するために必要なポイントを整理した。

3.7.1 深層防護の観点から不足したこと

津波に伴う電源喪失に対する炉心損傷防止策（深層防護の第3レベル）が不足したとの意見がワークショップで出されている。

- ① 津波に対する設計対応が十分でなかったものとする。これは第3レベルに相当する。【第1回深層防護ワークショップ WS】
- ② 炉心損傷前の対策が厚ければ、防止は可能であったと思う。第3、4双方のレベルでの対応が重要。【第1回深層防護 WS】

深層防護の第4、5レベルについても対策不足との意見が出されている。ただし、この点については津波に伴う電源喪失への対応に限定したのではなく、シビアアクシデント全般に共通との論調であった。

- ① 福島第一事故までは第1から第3レベルの対策が強調されており、第4、第5は付け足しのような扱いであった。安全原則では、「事故の可能性を十分抑制し・・・」とあるが、どこがどう責任を持って対応すべきか深層防護ではどう考えるのか。【第1回深層防護 WS】
- ② 外的事象に関しては、これまで設計を超える領域は考慮の範囲外であった。どう対処していくべきかが今の課題になっている。
【第2回深層防護 WS】
- ③ 安全原則には、事業者や各ステークホルダーの役割を示しているが、福島第一事故では第4レベル以降の効果が現れなかった。住民・市民を守るためには、規制も議論に加わってもらう必要がある。【第1回深層防護 WS】
- ④ 第5レベルまで責任を持っていくには、規制側との議論が必須である。
【第1回深層防護 WS】

不確かなものへの対応の難しさが挙げられ、これに対し、本来、深層防護は不確かなものへの備えであること、嵩上げなど、根本的な一つの対策を講じることだけが手だてではないとの指摘が出されている。

- ① 低頻度或いは不確かな頻度の事象への対処を目的に、業務としてリスクマネジメントを推進しているが、女川のように敷地レベルを保持することが実際的にできるかどうか悩んでいる。【第2回深層防護 WS】
- ② 例えば女川で敷地レベルを削ったとしても対応していけることが深層防護の本質的なところと考える。一つの意味決定が全てと考えることが重要。
【第2回深層防護 WS】
- ③ 不確かさ (unknown) へ対処する原則 【第2回トピカルミーティング TM】
- ・ある程度の被害を受容する (unknown を受容する)
 - ・総体としてうまくいけば目的は達成され则认为
 - ・どの程度の被害を受容してもよいか、実際に設計ができるのかで、安全設計は決まる
 - ・被害に対してそのように備えるか、実際に備えることができるのかで、アクシデントマネジメントは決まる
- ④ PRA では扱い難い unknown-unknown の問題や安全裕度などに関しては深層防護のアプローチが必要であり、PRA とバランスを取って取り組めればよい。【第1回深層防護 WS】

3.7.2 適用することが有効であった深層防護の考え方

必ずしも大規模かつ完璧な対策を講じなければならないと考えるのではなく、実効的な対策を選択する一助となったであろう、深層防護の考え方として、主に次のような点が挙げられた。

- ① リスクシナリオ分析に基づく対策立案（ハザード毎の戦略）の必要性
- ② Unknown への対策は必ずしも満点の対策でなくてもよいとの考え方
- ③ 深層防護のレベル全体を見渡した上での対策の最適化

① の関係

・深層防護は使えるものは何でも使って目的を達成していくもの。この点、福島第一事故についても有効性はあると考える。ポイントとしては、あるハザードに対してタイプの異なる対応策を複数用意していくこと。

【第1回深層防護 WS】

- ・結果であるリスクから観ていく視点（バックキャスト）により、色々な方策の組合せ等を浮き彫りにすることもできる。【第1回深層防護 WS】
- ・前段でうまくいかなくなるメカニズムをよく理解することで、深層防護の実効性が向上する。単なる前段否定や後段否定は、このプロセスを排除してしまうので、むしろ深層防護にはそぐわないもの。【第2回深層防護 WS】

② の関係

- ・何れかの層がうまくいけばよいのだから、知識の不完全さがあっても構わない。【第2回 TM】
- ・60点でも良いので早く対策する。【第3回 TM】
- ・現実にできることを求め、完全性は求めない。【第2回 TM】

③ の関係

- ・深層防護は全てのレベルが必要というよりも、どこかのレベルで防護できれば達成するもの。福島第一事故でも、種々のレベルでの防護策を講じる可能性はあったはず。第4レベルも大事ではあるが、これだけではない。バランスを考慮することが大事。【第1回深層防護 WS】
- ・サイト外への影響を最小化するという観点からは、深層防護として第1から第3レベルのみならず第4、第5レベルを充実する必要がある。第1から第3レベルの弱点を第4、第5レベルで補っていくという考え方もできる。各レベルでの方策の組み合わせが肝要と考える。【第1回深層防護 WS】
- ・深層防護のレベルを誰が総括するか。【第2回 TM】
- ・元々深層防護は軍事概念。民生に適用するにはシステム全体として考えるべき。目的の共有、マネジメントのあり方、社会への影響等の実情をよく理解して適用しないと実効的にならないと考える。【第2回深層防護 WS】

3.7.3 今後議論を深めるべき深層防護の考え方

上述の議論を進める中で、議論を深めるべき観点として、以下のようなものが挙げられている。これらの多くは上述の「3.7.2 適用することが有効であった深層防護の考え方」で挙げられた点を実現するため、より一層の対応の具体化が必要との内容である。また、安全文化の観点等で掘り下げることが有効と考えられる項目もあり、深層防護の一環として議論すべき範囲についても、今後、一定の整理が必要である。

① 第4レベルまでは、概ね、事業者の一義的な責任のもとで対処されるが、第5レベルになった途端に、その責任は、国、都道府県、立地市町村にまたがるものとなり、第4レベルまでと全く異なる様相となる。また、国も、原子力規制委員会ではなく、内閣府の所掌となる。第1レベルから第5レベルまで、全体をシームレスに、かつ国民の便益を考えた最適なシステムとして作り上げるための責任体制が、日本には存在していないように感じられる。

【第2回深層防護 WS】

② 深層防護は設計の側面だけではない。防災まで見通してシームレスに繋げていくべきもの。このためにも深層防護の目的を明確に認識しておく必要がある。

【第2回深層防護 WS】

③ 米国NRCではわかり難いものを推察していく **Expert Elicitation** が制度として適用されている。対して、国内でかつて実施したストレステストでは、当局が **proven** なデータのみ許容する姿勢であったため、得られた結果がどれだけ有効で妥当なものか疑問が残る。わからないことに対して、どう対処しどう意思決定していくかを考えていくべき。

【第2回深層防護 WS】

④ 現実には1つのレベルが進行している間に他のレベルも始まることもあり、どう対応していくかが課題であろう。これらのことを総じて全体的な安全性向上に繋げていければよいのではないか。この他の課題として複数号機の影響をどう扱っていくかがある。【第2回深層防護 WS】

⑤ これからは、設計されたものを使いこなすだけでなく、使えるシステムを設計していく視点が必要ではないか。このためには、事業者から仕様を出していく必要がある。また、規制からは発電所はここまで対応すべきとの要求があってしかるべき。

【第2回深層防護 WS】

⑥ 継続的安全性向上も求められてきており、このような中でもさらに検討していく必要がある。【第1回深層防護 WS】

3.7.4 まとめ

深層防護が適切に適用されていれば、福島第一事故を緩和することはできたのか、ということについては、上述のように有効な対策を選択する考え方があり、やはり、影響を緩和することはできたものと考えられる。ただし、深層防護を実装するために有効であった

とされるこれらの考え方の多くは、3.11後の議論において、必要な観点として明確化されたものであり、上記 **3.7.2, 3.7.3** で整理したような項目（深層防護の観点）について、引き続き、原子力業界全体へ十分に浸透、定着させる取り組みが必要と考えられる。

4. まとめ

深層防護について、原子力関係者で大いに議論をし、深層防護の解釈を深め、その求められるところを原子力施設で実装する有効で効率的なアプローチを構築することは、安全を向上するという観点で意義あることである。同時に、原子力の安全について、国民・社会にご理解いただくためにも、深層防護がどのように実装されるのか、それで安全が保たれているのかを、わかりやすくかつ論理的に説明することは大切である。

そこで、安全にかかる様々な疑問に対しての深層防護の視点からの説明、深層防護の実装の考え方や事例をまとめることを試みた。まず、深層防護ワークショップを開催し、論点を明確にした。続いて深層防護トピカルミーティングを3回開催し、現場での実務問題に対して深層防護を適用するとともに、原子力以外の分野ではどのように深層防護のような考え方が実装されているのかを、外部からの講師を招いて討論を行った。深層防護の考え方は、原子力に限らず、航空、建築、情報などの分野でも同様に不確かに対して備え、リスクを管理するために実践されていることを再認識したところである。それらの活動を受けて、深層防護ワークショップを再度開催し、深層防護の実装の考え方についてこれまでの活動を報告するとともに、参加者からの意見・コメントを求めた。

こうして、深層防護の考え方は安全に関する多くの実務問題にかかる疑問に適切に答えることができること、リスク管理のあり方を論理的に説明できるものであることを確認した。これらの成果を本報告書に取りまとめ、深層防護の実装に関する読者が直面する具体的課題に答えるために参照していただけるものになったと考えている。そこで、より広範な問題における深層防護の実装に本書をあてはめていただきたい。本書により、リスク管理が適切になされ、不確かさに備えていることの良い説明となっているのかを確かめていただきたい。それがうまくいっていないならば、本書の記載に不十分なところがあるか、あるいは深層防護の実装についてさらに検討を深めるべき点が残されているかのいずれかである。

原子力安全の基本的考え方、別冊の深層防護の考え方に続き、本報告書をもって深層防護の実装の考え方について、まとめることができた。これを、多くの事例に適用することによって、本書の内容をより深め、過ちを正し、一層充実すると考えるので、読者からご質問や、ご意見・ご批判を歓迎する。

参 考 文 献

- 1) 「改訂 原子力安全の論理」佐藤一男, 日刊工業新聞社, 2006年
- 2) NUREG-2150, "A Proposed Risk Management Regulatory Framework", USNRC, April 2012.
- 3) 「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」報告書, 2013年3月, 日本原子力学会
- 4) SECY-77-439, "Single Failure Criterion", USNRC, August 1977.
- 5) "Safety of new NPP designs", WENRA RHWG Report, March 2013.
- 6) 「会議報告『2013年春の年会』倫理委員会セッション報告」, 日本原子力学会誌 Vol.55, No.8 (2013)
- 7) AESJ-SC-S001:2008 「統計的安全評価の実施基準:2008」 日本原子力学会
- 8) IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", Vienna, 2012.
- 9) J.N.Sorencsen, "Historical Notes on Defense in Depth", Memorandum to ACRS members, USNRC, 1997.
- 10) IAEA INSAG-3, "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants", Vienna, 1988.
- 11) WASH-1250, "The Safety of Nuclear Power Reactors (Light Water-Cooled) and Related Facilities", U.S.AEC, 1973.
- 12) R.J. Breen, Deputy Director of EPRI's Nuclear Safety Analysis Center, "Defense in Depth Approach to Safety in Light of the Three Mile Island Accident", Nuclear Safety, Vol. 22, No.5, Sept.-Oct. 1981.
- 13) "WENRA Reactor Safety Reference Levels", WENRA RHWG, January 2008.
- 14) IAEA DS-414, "Draft-Safety of Nuclear Power Plants: Design", Vienna, September 2010.
- 15) The European Utility Requirements for LWR nuclear power plants, 1998.
- 16) Gian Luigi Fiorini, et.al. "The Current CEA/DRN Safety Approach for the Design and the assessment of Future Nuclear Installations", 7th ICONE, Tokyo, 1999.
- 17) Gianfranco Saiu, et.al. "European Passive Plant Program Preliminary Safety analysis to Support System Design", 7th ICONE, Tokyo, 1999.
- 18) IAEA NS-R-1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", Vienna, 2000.
- 19) "Safety Objectives for New Power Reactors Study", WENRA RHWG, December 2009.
- 20) IAEA DS-462, "Amendments to GSR Part 1, NS-R-3, SSR-2/1, SSR-2/2 and GSR Part 4 – Draft 5", Vienna, July 2013.
- 21) 「福島原子力事故の総括および原子力安全改革プラン」東京電力株式会社, 2013年3月29日

- 22) 10CFR50.63 "Loss of all alternating current power", USNRC, June 1988.
- 23) RG1.155 "Station Blackout", USNRC, August 1988.
- 24) 10CFR50.62 "Requirements for reduction of risk from anticipated transients without scram (ATWS) events for light-water-cooled nuclear power plants", USNRC, June 1984.
- 25) 「原子力発電所における全交流電源喪失事象について」原子力安全委員会 原子力施設事故・故障分析評価検討会 全交流電源喪失事象ワーキング・グループ, 平成5年6月11日
- 26) NUREG-1860, "Feasibility Study for a Risk-Informed and Performance-Based Regulatory Structure for Future Plant Licensing", USNRC, December 2007.
- 27) IAEA SF-1, "Fundamental Safety Principles", Vienna, 2006.
- 28) 「軽水炉発電所のあらまし」改訂第3版, 原子力安全研究協会, 2008年
- 29) "Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century; The Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-Ichi Accident", USNRC, July 12, 2011.
- 30) IAEA INSAG-10, "Defence in Depth in Nuclear Safety", Vienna, 1996.
- 31) IAEA INSAG-12, "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev.1", Vienna, 1999.
- 32) IAEA NS-R-1 "Safety of Nuclear Power Plants: Design", Vienna, 2000.
- 33) 「原子力安全の論理」佐藤一男, 日刊工業新聞社, 1984年
- 34) NUREG-2150, "A Proposed Risk Management Regulatory Framework", USNRC, April 2012.
- 35) "EU Stress Tests specifications", ENSREG, 31 May 2011.
- 36) (欠番)
- 37) 原子力安全委員会安全審査指針集
- 38) 「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について (現時点での検討状況)」平成24年8月27日 原子力安全・保安院
- 39) 「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策 —多重防護の考え方について—」平成24年9月10日 原子力安全委員会
- 40) IAEA INSAG-10, "Defence in Depth in Nuclear Safety", Vienna, 1996.
- 41) IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements, No. SSR-2/1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", Vienna, 2012.
- 42) "Safety Objectives for New Power Reactors", WENRA RHWG, December 2009.
- 43) "Safety of new NPP designs", WENRA RHWG Report, March 2013.
- 44) NUREG/CR-6042, Rev.2, "Perspectives on Reactor Safety", USNRC, March 2002.
- 45) "Use of Probabilistic Risk Assessment in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy

- Statement", Federal Register, 60 FR42622, USNRC.
- 46) SECY-98-300, "Options for Risk-Informed Revisions to 10 CFR Part 50 -'Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities' ", USNRC, December 23, 1998.
 - 47) Draft Regulatory Guide DG-1285, "An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis", USNRC, May 2012.
 - 48) "Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century; The Near-Term Task Force Review of Insights from the Fukushima Dai-Ichi Accident", USNRC, July 12, 2011.
 - 49) NUREG-2150, "A Proposed Risk Management Regulatory Framework", USNRC, April 2012.
 - 50) NUREG-1860, "Feasibility Study for a Risk-Informed and Performance-Based Regulatory Structure for Future Plant Licensing", USNRC, December 2007.

付録 1. タスク, 専門部会, 標準委員会 委員名簿

1. 深層防護ワークショップ実行委員会 委員名簿 (H27.11.13 現在)

No.	役職	氏名 (敬称略)	所属
1.	主査	山口 彰	東京大学
2.	幹事	河井 忠比古	(一社) 原子力安全推進協会
3.	委員	山本 章夫	名古屋大学
4.	委員	野口 和彦	横浜国立大学
5.	委員	梅澤 成光	三菱重工業 (株)
6.	委員	今野 隆博	日立 GE ニュークリア・エナジー (株)
7.	委員	飯倉 隆彦	(株) 東芝
8.	委員	成宮 祥介	関西電力 (株)
9.	委員	米山 充	東京電力 (株)
10.	委員	橋本 和典	(一社) 原子力安全推進協会
—	旧委員 (H26.3 まで)	高田 孝	大阪大学
—	旧委員 (H27.6 まで)	金森 章	東京電力 (株)

2. 深層防護ワークショップ実行委員会 常時参加者名簿 (H27.11.13 現在)

No.	役職	氏名 (敬称略)	所属
1.	常時参加者	宮野 廣	法政大学
2.	常時参加者	谷井 忠明	日本原子力学会事務局
3.	常時参加者	野村 治宏	関西電力 (株)
4.	常時参加者	小森 祐嗣	(株) 東芝

3. 原子力安全分科会 委員名簿 (H27.7.2 現在)

No.	役職	氏名 (敬称略)	所属
1.	主査	山口 彰	東京大学
2.	幹事	河井 忠比古	(一社) 原子力安全推進協会
3.	幹事	成宮 祥介	関西電力 (株)
4.	委員	岩田 裕一	東京電力 (株)
5.	委員	宇井 淳	(一財) 電力中央研究所

6.	委員	北田 孝典	大阪大学
7.	委員	桑江 良明	(公社)日本技術士会 原子力・放射線部会 (部会長)
8.	委員	杉山 直紀	(株) 三菱総合研究所
9.	委員	鈴木 嘉章	(一社) 原子力安全推進協会
10.	委員	高田 孝	(国研) 日本原子力研究開発機構
11.	委員	田中 裕久	関西電力 (株)
12.	委員	出町 和之	東京大学
13.	委員	中辻 雅之	日本原子力発電(株)
14.	委員	西田 浩二	日立 GE ニュークリア・エナジー (株)
15.	委員	濱崎 亮一	(株) 東芝
16.	委員	平川 博將	(一社) 原子力安全推進協会
17.	委員	松本 和之	中部電力 (株)
18.	委員	眞部 文聡	三菱重工業 (株)
19.	委員	望月 正人	大阪大学
20.	委員	山本 章夫	名古屋大学
21.	委員	吉田 一雄	(国研) 日本原子力研究開発機構
22.	委員	吉田 智朗	(一財) 電力中央研究所
—	旧委員 (H27.4 まで)	前田 敏克	(国研) 日本原子力研究開発機構
—	旧委員 (H27.6 まで)	池田 敬文	三菱重工業 (株)
—	旧委員 (H27.6 まで)	岡崎 利彦	日本原子力発電(株)

4. 原子力安全検討会 委員名簿

(H27.12.7 現在)

No.	役職	氏名 (敬称略)	所属
1.	主査	宮野 廣	法政大学
2.	副主査	山口 彰	東京大学
3.	幹事	河井 忠比古	(一社) 原子力安全推進協会
4.	幹事	成宮 祥介	関西電力 (株)
5.	委員	飯倉 隆彦	(株) 東芝
6.	委員	池田 泰久	東京工業大学
7.	委員	岡本 孝司	東京大学
8.	委員	関村 直人	東京大学
9.	委員	出町 和之	東京大学

10.	委員	中村 隆夫	大阪大学
11.	委員	中村 武彦	(国研) 日本原子力研究開発機構
12.	委員	村松 健	東京都市大学
13.	委員	守屋 公三明	日立 GE ニュークリア・エナジー (株)
14.	委員	山岸 誠	三菱重工業 (株)
15.	委員	山下 正弘	(一財) 電力中央研究所
16.	委員	米山 充	東京電力 (株)

5. 標準委員会 委員名簿

(H27.12.11 現在)

No.	役職	氏名 (敬称略)	所属
1.	委員長	関村 直人	東京大学
2.	副委員長	有富 正憲	東京工業大学
3.	幹事	山口 彰	東京大学
4.	委員	青柳 春樹	元日本原燃 (株)
5.	委員	姉川 尚史	東京電力 (株)
6.	委員	井口 哲夫	名古屋大学
7.	委員	伊藤 裕之	(一社) 原子力安全推進協会
8.	委員	上田 親彦	九州電力 (株)
9.	委員	大鳥 靖樹	(一財) 電力中央研究所
10.	委員	岡本 太志	富士電機 (株)
11.	委員	岡本 孝司	東京大学
12.	委員	小原 徹	東京工業大学
13.	委員	河井 忠比古	(一社) 原子力安全推進協会
14.	委員	清水 直孝	日本原子力保険プール
15.	委員	高橋 久永	三菱重工業 (株)
16.	委員	谷本 亮二	三菱マテリアル (株)
17.	委員	津山 雅樹	(一社) 日本電機工業会
18.	委員	鶴来 俊弘	中部電力 (株)
19.	委員	寺井 隆幸	東京大学
20.	委員	中井 良大	(国研) 日本原子力研究開発機構
21.	委員	西野 祐治	原子燃料工業 (株)
22.	委員	萩原 剛	(株) 東芝
23.	委員	藤森 治男	日立 GE ニュークリア・エナジー (株)
24.	委員	本間 俊充	(国研) 日本原子力研究開発機構

25.	委員	吉原 健介	関西電力 (株)
26.	委員	渡邊 宏	日揮 (株)

付録 2. 会合と報告会等の実績

1. 深層防護ワークショップ実行委員会の開催実績

第1回	2014年05月07日
第2回	2014年06月18日
第3回	2014年07月17日
第4回	2014年09月17日
第5回	2014年10月20日
第6回	2014年12月19日
第7回	2015年01月26日
第8回	2015年03月02日
第9回	2015年03月31日
第10回	2015年05月14日
第11回	2015年07月21日
第12回	2015年09月04日
第13回	2015年11月13日

2. 原子力安全分科会の開催実績

第25回	2013年12月24日
第26回	2014年01月29日
第27回	2014年03月04日
第28回	2014年05月27日
第29回	2015年02月23日
第30回	2015年04月07日
第31回	2015年05月15日
第32回	2015年07月02日
第33回	2015年09月03日
第34回	2015年10月19日
第35回	2015年11月30日

3. 原子力安全検討会の開催実績

第09回	2014年03月07日
第10回	2014年06月06日
第11回	2015年03月09日
第12回	2015年06月03日
第13回	2015年09月15日

第14回 2015年12月7日

4. 標準委員会の開催実績

- 第56回 2014年03月14日
- 第57回 2014年06月18日
- 第58回 2014年09月26日
- 第59回 2014年12月12日
- 第60回 2015年03月13日
- 第61回 2015年06月12日
- 第62回 2015年09月18日
- 第63回 2015年12月11日

5. 報告会等の外部発表の実績

- 日本原子力学会 2012年春の年会 企画セッション (2012年3月20日, 福井大学)
『原子力安全』は如何にあるべきか, その基本的考え方と今後の活動について
・原子力安全に関する今後の活動について—安全の基本的考え方を含む—
- 日本原子力学会 2012年秋の大会 企画セッション (2012年9月19日, 広島大学)
「将来の我が国の原子力安全を考える」
・原子力安全検討会, 分科会の活動 (原子力安全の基本的考え方の検討) 中間報告
- 日本原子力学会 原子力安全シンポジウム (2013年2月5日, 東京大学)
- 日本原子力学会 2013年春の年会 企画セッション (2013年3月26~28日, 近畿大学) 「原子力安全の基本的考え方」
- 日本原子力学会 2013年秋の大会 企画セッション (2013年9月3~5日, 八戸工業大学) 「原子力安全確保のための深層防護の考え方」
- 日本原子力学会 2015年秋の大会 企画セッション (2015年9月9~11日, 静岡大学) 「原子力安全確保のための深層防護の具体的適用の考え方」

6. 深層防護ワークショップ及びトピカルミーティングの実績

- 添付資料1のとおり

7. 原子力安全の基本的考え方 第I編 原子力安全の目的と基本原則 (AESJ-SC-TR-005) 等への意見募集の実績

- 標準委員会 (第I編)
2012年12月17日~2013年1月16日
- 保健物理・環境科学部会, 3学協会規格類協議会 (第I編)
2012年12月19日~2013年1月16日

- 倫理委員会（第Ⅰ編）
2012年12月20日～2013年1月16日
- 標準委員会（第Ⅰ編 別冊）
2016年01月07日～2016年01月20日
- 標準委員会（第Ⅱ編）
2014年06月19日～2014年07月02日
- 標準委員会（第Ⅰ編 別冊2）
2015年9月26日～2015年10月13日

添付資料 リスト

1. 深層防護ワークショップ, トピカルミーティング及び 2015 秋の年会企画セッションの一覧表
2. 深層防護ワークショップ, トピカルミーティング各回の概要
3. 2015 秋の年会 企画セッションの概要
4. 深層防護ワークショップでのプレゼン資料
5. 2015 秋の年会 企画セッションのプレゼン資料

添付資料の閲覧をご希望の場合は、本書のご購入をお願いいたします。