

**新規原子力発電所の設計における
職業放射線防護原則及び基準**

© OECD 2010
NEA No. 6975

経済協力開発機構
原子力機関

序文

NEA はこれまで長い間、職業上被ばくする作業員の放射線防護に対処してきた。例えば 1992 年に、NEA は職業被ばく情報システム (ISOE) を開始した。ISOE は技術情報を交換し合うための共同プログラムであり、その目的は公益事業者及び規制当局の放射線防護専門家らが原子力発電所作業員の放射線防護に関する国際共同作業について議論し、連携する場を提供することである。現在進行中のこのプログラムは、公益事業者や規制当局の放射線防護専門家らが原子力発電所における職業被ばくをよりよく管理できるように支援する役割を果たしてきた。しかし、「比較的独立した技術交換プログラム」という趣旨で設立された ISOE の下では、加盟国にとって重要となり得る政策課題や、加盟国の経験を活かし得るそうした課題に対応できていない。

そのような政策課題は NEA 放射線防護・公衆衛生委員会 (CRPPH) の関心の的となっていたため、CRPPH は 2006 年に特別な職業被ばく専門家グループ (EGOE) を設置することに同意した。その目的は、多くの分野にまたがりながら原子力産業に重点を置いて CRPPH が効果的に対処できる方針や規制問題を広範に調査し、追跡調査に関して報告することであった。また ISOE プログラムには豊富な運転経験が含まれており、職業放射線防護政策分野において協働的に審議を進める上で CRPPH と ISOE の双方にとってメリットになり得ると考えられたため、NEA 事務局は EGOE に関与する可能性について ISOE プログラムと調整するよう指示を受けた。ISOE 運営グループは、EGOE 活動への参加要請を受け入れた。

EGOE には、CRPPH が役立つように調査できるような問題を特定するという任務が与えられた。可能性のある分野として、以下が検討された。

- CRPPH 意見集約に関する専門家グループが特定した職業放射線防護における政策課題（リスク管理、保守及び安全文化推進に対する包括的アプローチ、廃止措置に関する諸問題など）。若しくは、職業放射線防護に関する ISOE 作業グループの報告書に示されている政策課題
- 職業放射線防護に関与する利害関係者らの現時点の経験、及び職業被ばく管理における利害関係者の役割
- 「ALARA」(合理的に達成可能な限り低く) プログラムに対する規制当局の評価を検討することによって得られる方針、規制及び運転に関する教訓
- 規制における線量拘束値の適用及び運転プログラムに及ぶその影響
- 他の CRPPH グループ若しくは CRPPH イニシアティブの取り組み（例えば、提案中の国際放射線防護委員会 (ICRP) 環境保護ガイダンス、利害関係者の関与若しくは利用可能

な最善技術の分野における取り組み)が、職業上被ばくする作業員に対する規制及び防護にどの程度貢献しているか

- 新たな ICRP 勧告の実施に関する課題
- ISOE に取り込まれている運転経験は、職業放射線防護に関する国際基本安全基準のような国際的なガイダンスや助言、若しくは新規原子力施設建設に関するそうしたガイダンスや助言のレビュー及び策定にどの程度まで役立っているか
- CRPPH は、職業放射線被ばくに関する国際的行動計画に基づく取り組みをどの程度まで補足的及び協調的に支援できるか

EGOE が初期調査及び検討を行った結果、詳細なケース・スタディーを行うべき 3 つの分野が特定された。2007 年に CRPPH に対して提案され、CRPPH によって承認された提案は、以下のとおりであった。

1. 新規原子力発電所の設計の職業放射線防護の原則及び基準 (当初のタイトル: 新規建設基準)
2. ICRP 実施事項 (仮題: ICRP 実施事項 「線量拘束値」の重視)
3. 放射線防護方針及び運転関連問題

作業量を最適化するために、これら 3 つのケース・スタディーに段階的アプローチで対処すべきであるとの助言があった。EGOE はこの勧告に従って現在のケース・スタディー No. 1 を作成し、これは 2009 年に CRPPH から承認された。

目次

序文.....	2
頭字語リスト.....	6
エグゼクティブ・サマリー.....	8
序文及び範囲.....	13
1. 原子力発電所の設計段階における職業放射線防護原則.....	18
1.1 国際的なガイダンス.....	18
1.2 設計段階における職業放射線防護理念.....	20
1.3 国内ガイダンスと規制当局の役割.....	20
1.4 設計者と事業者の役割.....	24
2. 学んだ教訓、知識管理、教育及び訓練.....	25
2.1 フィードバック経験の分析から得られる教訓.....	25
2.2 知識管理.....	33
2.3 放射線防護の教育と訓練.....	34
3. 設計プロセスにおける職業放射線防護基準の取り入れ.....	37
3.1 職業放射線防護基準を設計プロセスに取り入れるための組織.....	37
3.2 設計段階における職業放射線防護基準.....	41
3.3 新たに現れつつある技術の使用.....	47
3.4 設計標準化の利用：既存のアプローチの例.....	48
3.5 EPR の設計における職業放射線防護の検討事項.....	49
4. 設計プロセスにおける職業放射線防護コストの見積り及びその結果の取り入れ.....	51
4.1 職業放射線防護関連投資コストの特定.....	51
4.2 ライフサイクルにおける費用対効果に関する幾つかの疑問点.....	52
5. 結論.....	55
参考資料.....	57

 付属書

1	ALARA 設計チェックリスト	59
2	ALARA 工学的設計の原則	67
3	施設のシステム設計への ALARA の適用	81
4	原子力発電所の建設許可及び / 若しくは運転認可の申請 ORP に関連する設計側面	97
5	新型欧州加圧水型炉 (EPR) の設計における職業放射線防護の最適化.....	100

図

図 1a	欧州の原子力発電所職員の線量傾向：欧州 10 カ国の平均年間線量	30
図 1b	欧州の外部作業員の線量傾向：欧州 10 カ国の平均年間線量	30
図 2	すべての PWR 及び改良型 PWR の平均年間集団線量の傾向	31
図 3	BWR の平均年間集団線量の傾向	31
図 4	ドイツの PWR 11 基すべてと最新 KONVOI-PWR 3 基における業務ごとの平均年間集団線量 (2001 年 ~ 2006 年における平均) [6]	32

頭字語リスト

ABWR :	改良型沸騰水型軽水炉
AGR :	改良型ガス冷却炉
ALARA :	合理的に達成可能な限り低く
ALARP :	合理的に実行可能な限り低く
ANSI :	米国規格協会
ARAN :	アジア地域 ALARA ネットワーク
ASME :	米国機械学会
BEG :	British Energy Group
BOP :	バランス・オブ・プラント
BWR :	沸騰水型原子炉
CANDU :	カナダ型軽水炉
CETRAD :	放射線防護及び放射性廃棄物管理の教育と訓練に関する連携活動
CNS :	原子力安全条約
CUW :	原子炉水浄化ポンプ
DOE :	米国エネルギー省
DP :	差圧
DPCs :	ダクト、パイプ、ケーブル及び導管
EAN :	欧州 ALARA ネットワーク
EDF :	フランス電力会社
ENETRAP :	放射線防護の教育と訓練に関する欧州ネットワーク
EPR :	欧州加圧水型炉（進化型動力炉とも言う）
ESOREX :	欧州職業人放射線被ばく調査
EUTERP :	放射線防護の訓練及び教育に関する欧州共通基盤
FSAR :	最終安全解析報告書
HEPA :	高効率粒子空気
HVAC :	暖房、換気及び空調
IAEA :	国際原子力機関
ICRP :	国際放射線防護委員会

IEC :	国際電気標準会議
ILO :	国際労働機関
IRM :	炉心放射線モニター
IRP :	国際放射線防護学会
ISOE :	職業被ばく情報システム
MSIV :	主蒸気隔離弁
NCRP :	米国放射線防護測定審議会
NPP :	原子力発電所
NRC :	原子力規制委員会
NSSS :	原子力蒸気供給システム
OECD :	経済協力開発機構
ORP :	職業放射線防護
PWR :	加圧水型原子炉
RCA :	放射線管理区域
RECAN :	欧州及び中央アジア地域間 ALARA ネットワーク
RHR :	残留熱除去
RPM :	放射線防護管理者
SRV :	逃がし安全弁
SSC :	構造物、系統及び機器
TIP :	可動式炉内中性子検出器
TMI :	スリーマイルアイランド
VVER :	軽水冷却型重水炉（ロシア型 PWR）
WENRA :	西欧原子力規制者会議

エグゼクティブ・サマリー

序文

このケース・スタディーでは、原子力発電所（NPP）の経営管理者、設計者、メーカー、請負業者及び職業放射線被ばく規制を担当する当局が使用する技術支援及びガイダンスを策定する際に用いることができる方針と技術的枠組みを紹介している。本稿は新規原子力発電所（すなわち第3世代以降の発電所）の設計及び認可評価に役立つことを目的とした文書であり、既設の原子炉群から得られた経験と教訓に基づいて作成されている。本稿では原子力発電を新たに開始しようとしている国々のニーズに主として焦点を当てているわけではないが、新規の原子力エネルギー・プログラムを実施する際の職業放射線防護（ORP）問題に関する貴重な情報も提供している。

将来の原子炉の基盤は、PWR、BWR、CANDU 及び VVER といった原子炉タイプの進化である。したがって、これらの技術タイプに関する経験に焦点を当てる。

本ケース・スタディーの目標

このケース・スタディーでは、次世代原子炉に役立てるために、原子力分野で実施されている ORP 戦略に重点を置く。特に以下の事項に焦点を絞る。

- 新規 NPP が用いるべき ORP 原則の説明
- 利用できるようになった新たな技術が新規 NPP 設計における ORP 諸相にもたらす潜在的意味合いの評価
- ORP に関する経験の実践（特に以下の実践）
 - 第1世代及び第2世代の原子炉から得られた教訓で新規 NPP 設計に利用できるもの
 - さまざまな機器の取替に関する経験
 - 廃止措置に関連する ORP 経験

動機と背景

世界の電力需要は増大し続け、OECD 加盟国において多くの新規 NPP が計画されており、また近い将来の建設が予定されている。

それらの新規 NPP のほとんどが第3世代型となる予定であり、80年もの長期運転を目指して設計されている。

これは以下を意味する。

- 2世代以上にわたる NPP 作業員に対する ORP が必要になる。
- 新たな技術開発が起こり、予定外の保守及び修理作業が発生する。

NPP における ORP に関する多くの国際文書が国際機関や国内イニシアティブから入手できるようになっている。本ケース・スタディーには、既設 NPP から得られた経験に基づいて開発された ORP 原則が含まれており、新規 NPP の設計段階において実践的なツールとして役立つであろう。

過去数十年間で得られた経験から、ORP は第 1 及び第 2 世代 NPP の運転及び保守 / 燃料取替段階で作業員が受ける放射線量を低減させる上で大きな役割を果たしたことが明らかである。

過去数十年間に学んだ教訓の 1 つは、NPP 設計において ORP に対する配慮が欠けていたために、おびたしい被ばくが生じたということである。NPP の設計及び建設段階においては原子力安全や運転性といった要素が主として考慮され、ORP 面はあまり対処されてこなかった。その後、おびたしい数の NPP が運転を開始し、保守や燃料取替のための運転停止が行われるうちに ORP の必要性が既成事実となり、当初の建築上 / 工学的及び設計の弱点から生じる被ばく状況に対処せざるを得なくなった。

ORP を建築設計と建設段階で考慮することによって（例えば、移動式足場の代わりに一体型の梯子 / 階段を設けたり、容易にアクセスできるケーブル・トンネルやダクト内パイプラインを設置したりすることによって）放射線量と長期的な保守費用を削減できる可能性がきわめて高い。さらに、設計段階の初期に作業員の ORP や放射線以外のリスクを考慮することによって、NPP の生産性を向上させることができる（例えば、正しく設計し、計画することによって、一部の保守作業を運転中若しくは短い運転停止の間に行うことができるであろう。欠陥部品を現場で修理する代わりに、機器全体を交換することができる）。したがって、原子炉ライフサイクルの全段階における将来の被ばく状況を予測し、事前の措置を講じるならば、作業員の放射線量を大幅に防ぐことができるであろう。

指針的原則

ORP の優れた管理は持続性があり、経済的で、信頼を醸成するものである。新規 NPP の設計に ORP を正しく組み入れるための重要事項として検討すべき指針的原則は、以下のとおりである。

- 学んだ教訓の事前対応的实践
作業員の将来的な放射線被ばくに影響を及ぼし、保守、運転停止及び改造の長期的費用にも影響を及ぼすきわめて重要な意思決定は、新規 NPP の設計段階で行う。既設 NPP における長年の実際的 ORP 経験を早い段階で考慮することによって（すなわち、建設設計にすでに含めておくことによって）新規 NPP のライフサイクル全体にわたって放射線量と費用の双方を抑えることができる。さらに、NPP ライフサイクル全般（運転から廃止

措置まで)において生じうる職業被ばくを想定し、事前に最適化措置を講じることが賢明である。

- リスクと資源配分とのバランス

新規 NPP を設計する場合、放射線被ばくだけが検討すべき唯一のリスクというわけではない。設計段階における職業安全衛生への資源配分は、作業員のリスクすべてに対する防護を最適化できる合理的なバランスに基づいて行うべきである。

- 設計を最適化するための効果的なコミュニケーション

公衆と環境の安全と防護を目的とする認可要件のために、作業員の放射線被ばくを増大させる可能性がある技術的及び組織的な対策が必要になる場合がある。設計者と事業者は、プラントの運転段階における監視、検査及びその他の活動に関する規制要件とその意味を理解しなければならない。規制要件を明確に理解することによって、設計者は放射線被ばくを低減させる手段を開発し、設計要素を使用できる。そのためには、規制当局、設計者及び事業者の密接な協力関係が必要であり、同時にその他の利害関係者との率直かつ活発な協議が必要である。

- 公的に認識できる効果的な ORP

ORP のコンセプトには先見性があり、NPP のライフサイクル全段階に対する対応性があり、十分に蓄積された運転経験による裏付けがあるべきである。それによって NPP の運転に対する効果的な管理が実証され、信頼が培われる。公衆や規制当局の側から見て ORP 対策が杜撰であれば、原子力安全と管理に対する信頼性が損なわれるということを管理者は常に意識していなければならない。ORP 対策が杜撰であれば、NPP の運転が不可能になるリスクが生じるばかりではなく、原子力技術全体をリスクに晒すことになる。

ケース・スタディーの内容

本ケース・スタディーは章立てになっており、対象範囲内のテーマを明確に取り扱えるようになっている。各章の最初には、その要旨が以下のような形で表示されている。

第1章

原子力発電所の設計段階における職業放射線防護原則

- 国際的なガイダンスと基準遵守
- 国内ガイダンスと規制当局の役割
- 設計段階における ORP 理念の実施。ALARA 設計審査委員会などの構造的機構に関する要件

第2章

学んだ教訓、知識管理、教育及び訓練

運転経験を活用し、設計の一部として線量低減の機会を見極めるべきである。

- 既存の NPP の設計、運転、保守及び解体から得られた経験とフィードバックを考慮して、教訓を学ぶ。
- データの収集と交換、ネットワーキング、データ解析、良好事例
- プラントのライフサイクル全般を通じて効果を発揮できるように、設計段階ほどの早期からの知識管理とその組織化
- ORP の訓練を積み、熟達し、知識が豊富な人材の、プラントの設計段階と全ライフサイクルにおける必要性

第3章

設計段階における職業放射線防護基準の取り入れ

- 既存の ORP 基準に対する設計案の適合性の審査過程
- ALARA 設計チェックリスト
- EPR の例
- ORP 諸相について新たに入手可能な新たな技術の評価

第4章

設計プロセスにおける職業放射線防護コストの見積り及びその結果の取り入れ

- 見積もるべき最も重要な ORP コスト
- 意思決定基準

国際的指針やネットワーク・ウェブサイトなど参考資料のリストを本稿の最後に示している。

結論

本ケース・スタディーの目的は、今後建設される NPP に ORP を適用する最善の方法を考察するために、現在運転中の原子力発電所における既存の ORP 経験を分析することである。本稿の目的は、判断を下す際に利用できる方針や技術的枠組みを提示することによって、新規原子力発電所の設計及び認可申請における ORP 諸相の評価の一助となることである。本稿は主に設計者、メーカー、請負業者及び職業放射線被ばく規制の責務を負う当局を対象にしているが、それに限定しているわけではない。本稿では、設計で考慮し、設計に取り入れる必要のある以下のような主要課題を特定している。

- 基本的な ORP 原則：国際的及び国内のガイダンスや規制に対処するために、想定される全ライフサイクルを通じて維持すべき正当性、最適化及び線量制限

- 最適化においては、電離放射線から生じる可能性がある健康リスクを考慮するばかりでなく、最善の作業員防護が達成できるようにバランスの取れた資源配分をするために、作業員の健康に対するその他の潜在的リスクも考慮すべきである。
- 高度な技能を有する人材を確保するための訓練や知識管理の組織化、並びに設計から廃止措置までの施設の全寿命期間にわたる十分な設計基準文書の作成
- 良好事例の持続的な実施及び学んだ教訓の効果的なトレーサビリティと活用の確保を目的とした情報、経験及びデータの交換と評価を支える活発な連絡網の形成
- 施設の寿命期間にわたって時間と財源を節減し、被ばくを低減するために、ORP の原則と基準をすべての機器と今後の運転に反映させる必要性

本稿では、必要に応じて助言や技術情報を提示しつつ、上記の課題についてさらに詳述する。

序文及び範囲

新規原子力施設の認可は、国内の規制組織に多くの新たな課題を提起する。幸いなことに、それらの新たな原子力発電所（NPP）のほとんどは広範に標準化された基準に則って設計されている。そのような標準化は国際レベルで経験と知識を共有する際に役立っており、近い将来に新規原子力発電所設計の審査を予定している国々の資源の最適化につながっている。建設許可が下りた後、規制機関若しくはその他の管轄行政機関は規制の観点からプラント・プロジェクトの実施を詳細に監督する。NPP 建設のさまざまな段階が国内及び国外で採用されているアプローチに基づいて管理されており、各建設段階において、安全や規制に影響を及ぼす要素に十分な注意が払われている。新規 NPP サイトの整備、建設、運転さらには廃止措置の認可が下りる前に満たすべきその他の条件には、職業放射線防護（ORP）に関連する条件が含まれる。

このケース・スタディーの結果は、NPP の経営管理者、設計者、メーカー及び請負業者が設計の一部として ORP を即座に実施する際に用いることができ、原子力規制当局が新規設計の ORP 面を評価する際に用いることができる方針と技術経験を示すものである。本資料は新規原子力発電所（第 3 世代以降）の設計と認可評価に役立つことを目的とした文書であり、既設の原子炉群から得られた経験と教訓に基づいて作成されている。このケース・スタディーは原子力発電を新たに開始しようとしている国々のニーズに特に焦点を当てているわけではないが、新規の原子力エネルギー・プログラムを実施する際の ORP 問題に関する貴重な情報も提供している。

将来の原子炉の基盤は、PWR、BWR、CANDU 及び VVER といった原子炉タイプの進化である。したがって、これらの技術タイプに関する経験に焦点を当てる。

背景

世界の電力需要は増大し続け、OECD 加盟国において多くの新規 NPP が近い将来に向けて計画 中、若しくは現在建設中である。それらの新規 NPP のほとんどが第 3 世代型となる予定であり、80 年もの長期運転を目指して設計されている。

それに伴う派生的影響は、以下のとおりである。

- 廃止措置を含む施設の全ライフサイクルに対して ORP が必要になる。約 20～30 年ごとにかなりの機器の取替が必要になると認識されている。
- 2 世代以上にわたる NPP 作業員の間で知識移転が必要になり、このことは規制機関スタッフについても同様である。
- 新たな技術開発が起こり、予定外の保守及び修理作業が発生し、その結果、ORP に影響が及ぶ。

さらに、ORP 及びそれに関する設計と認可データの保存と保管を最初から行う必要性がある。

NPP における ORP を取り上げた多くの関係文書が国際的学術組織や国内イニシアティブから入手できるようになっている。

過去数十年で学んだ教訓の 1 つは、一部の作業員被ばくが、NPP 設計において被ばくの回避や低減に対する十分な注意が欠如していたために生じたということである。設計及び建設段階においては原子力安全や運転性といった要素が主として考慮され、ORP 面がなおざりにされてきた。その後、おびただしい数の NPP が運転を開始し、保守や燃料取替のための運転停止、改造さらには廃止措置が行われるうちに、ORP の必要性が既成事実化し、当初の建築上及び設計の弱点から生じる被ばく状況に対処せざるを得なくなった。

回避することができたかも知れないその後の被ばくが生じたもう 1 つの要因は、アーキテクト・エンジニアリング企業、公益事業設備設計工事グループ、公益事業プラントの運営スタッフやコンサルタント、並びに規制機関職員の間で十分な協力関係が欠如し、それらの組織から得られた情報の統合が欠けていたことである。

これらの要因が ORP の障害となっていたにもかかわらず、第 1 世代及び第 2 世代 NPP の運転、保守及び燃料取替段階における作業員の被ばく放射線量を低減させるという点で、ORP がきわめて役立ったことが過去数十年の経験から明らかである。ただし、施設のライフサイクル全般を通じて、分野横断的なアプローチで ORP 検討事項に対処し、建築設計や建設段階に ORP 検討事項を取り入れることによって、新規プラントにおける放射線量や長期的な保守費用を回避若しくは削減できる大きな潜在的可能性がある。さらに、設計段階の初期に作業員の ORP や放射線以外のリスクを考慮することによって、NPP の生産性を向上させることができる。

本ケース・スタディーには既設 NPP の ORP 原則に関する規定を含んでおり、新規 NPP の設計において実践的なツールとして役立つであろう。このケース・スタディーでは、方針及び技術的な側面も明らかにしており、NPP の設計段階で ORP を事前に最適化するために、過去の運転経験から教訓を導き出している。

ORP を設計段階に取り入れるための指針的原則

ORP の管理は常に複雑な問題であり、優れた管理は持続性があり、経済的で信頼を醸成するものであるべきである。

例えば、ICRP の最適化原則では、被ばくを招く可能性、被ばく者数及び個人線量レベルをすべて、社会的及び経済的な要素を考慮しつつ合理的に達成可能な限り低く（ALARA）抑えるべきであるとしている。防護の目標レベルを設定する際には、金銭的成本を算出するとともに、その妥当性が定量化できるコストの問題ではなく価値判断の問題である非金銭的要素を考慮するものとする。したがって、最適化プロセスを設計の一部とすることで、職業上の線量並びに公衆と環境が被る可能性がある放射線負荷を合理的に達成可能な限り低いレベルに低減できる設計特徴を目指すべきである。

上記の認識を踏まえ、すべてのリスク管理において、すべての作業場リスク間で合理的なバランスを取りながら、職業安全衛生のための資源を最適配分するよう提言する。そのようなアプローチから導かれる結果は必ずしも最低線量をもたらす選択肢ではないが、作業員のリスクを合理的に達成可能な限り低く抑えられるはずである。

ORP を新規 NPP の設計にうまく取り入れるためにきわめて重要であると考えられている指針的原則が幾つかある。

- 設計を最適化する際の協力、コミュニケーション及び分野横断的なアプローチ
設計者及び事業者は、ORP における設計と運転特性の意味合いを理解する必要がある。また、設計者及び事業者は規制要件を理解し、プラント運転段階における監視、検査、その他の活動に対するそれらの要件の意味するものを理解しなければならない。規制当局は施設の建設と運転における技術的な制約を理解した上で、上記の解釈を活用できるようにし、合理的なものにする必要がある。そうした明確な理解によって、設計者は放射線被ばくを ALARA とするのに役立つ手段を開発し、設計要素を使用できるようになる。そのためには、規制当局、設計者及び事業者の密接な協力が必要である。そのような明確な理解によって、規制当局と利害関係者との率直で、公平かつ積極的な協議も推進される。
- 組織内及び組織間の分野横断的なコミュニケーション
上記の設計者、事業者及び規制組織の間のコミュニケーションに加えて、それらの組織の内部及び組織間での分野横断的なコミュニケーションも重要である。例えば放射線エンジニア、換気の専門家、化学者及び供用中検査要員などからの情報を統合することは、非常に重要である。
- 学んだ教訓の事前対応的实践
作業員の将来の放射線被ばく、並びに保守、運転停止及び改造の長期的な費用に影響を及ぼすきわめて重要な意思決定は、新規 NPP の設計段階で行うべきである。既設の NPP で長年にわたって得られた実際の ORP 経験を早い段階で建築設計に取り入れることによって、新規 NPP のライフサイクルを通じて放射線量とコストの双方を削減することができる。さらに、NPP ライフサイクル全般（運転から廃止措置まで）において生じ得る職業被ばくを想定し、事前に最適化措置を講じることが賢明である。統合的かつ事前対応的な初期設計は、非包括的な初期設計を何度も変更しなければならない場合と比較して、長期的には低コストである。
- リスクと資源配分とのバランス
新規 NPP の設計においては、放射線被ばくだけが考慮すべき唯一のリスクというわけではない。設計段階における職業安全衛生のための資源配分は、作業員のすべてのリスクに対する防護を最適化するための合理的なバランスに基づいて行うべきである。
- 効果的な ORP
ORP のコンセプトは分野横断的かつ先見的であり、放射線安全の専門家が施設設計に組

み入れたとおりに、NPP ライフサイクルの全段階に対処しているべきである。この情報には、建設を予定している炉型に関して入手可能なすべての運転経験が反映されているべきである。設計者と事業者は、ORP のための初期設計の妥当性に関する当事者意識、及び作業員のリスクを合理的に達成できる限り抑えてプラントを安全で信頼できる状態で運転する能力に関する当事者意識をしっかりと持って、それを伝達する必要がある。そのような当事者意識の形成と伝達の追加的な利点として、作業員の健康及び安全が運転スタッフによって確保されているという信頼感が規制担当官の間で醸成される。

範囲

本ケース・スタディーでは、次世代の原子炉作業員とそれら作業員の管理にはっきりと役立つように、ORP の戦略的分野に重点を置いている。特に以下の事項に重点を置いている。

- 新規 NPP の ORP 原則に関する説明
- 利用可能な新たな技術が新規 NPP 設計の ORP 諸相にもたらす潜在的意味合いの評価
- ORP に関する経験の実践。特に以下の実践。
 - 第 1 世代及び第 2 世代の原子炉の運転から得られた教訓で、新規 NPP の設計に活用できる教訓
 - さまざまな機器の交換の経験
 - 廃止措置に関連する ORP の経験
- 既存の技術文献の紹介

本ケース・スタディーの範囲は、長期的な職業被ばくの観点から将来の NPP の設計に影響を及ぼす問題である。個々のテーマでは、ORP の観点から設計段階に何を取り入れる必要があるかをとり上げている。概して、ORP に設計者とメーカーが関与する範囲はきわめて広く、大型原子炉機器の供給業者から放射線管理及び防護システムの供給業者にまでわたる。本項で言及した広範な問題を網羅するために、本ケース・スタディーは章立てになっており、範囲として挙げたテーマをそこで明確に説明している。各章の最初には、その要旨が以下のような形で表示されている。

第 1 章

原子力発電所の設計段階における職業放射線防護原則

- 国際的なガイダンスと基準遵守
- 国内ガイダンスと規制当局の役割
- 設計段階における ORP 理念の実施。ALARA 設計審査委員会などの構造的機構に関する要件。

第2章

学んだ教訓、知識管理、教育及び訓練

運転経験を設計段階で活用し、線量低減の機会を見極めるべきである。これには特に以下の手段を用いる。

- 既存の NPP の設計、運転、保守及び解体から得られた経験とフィードバックを考慮して、教訓を学ぶ。
- データの収集と交換、ネットワーキング、データ解析、良好事例
- 設計段階に始まり、プラントのライフサイクル全体を通じて継続する、知識管理とその組織化
- ORP の訓練を積み、熟達し、知識が豊富な人材の、プラントの設計段階と全ライフサイクルにおける関与

第3章

設計段階における職業放射線防護基準の取り入れ

- 既存の ORP 基準に対する設計案の適合性の審査過程
- ALARA 設計チェックリスト
- EPR の例
- ORP 諸相について新たに入手可能な新たな技術の評価

第4章

設計プロセスにおける職業放射線防護コストの見積り及びその結果の取り入れ

- 見積もるべき最も重要な ORP コスト
- 意思決定基準

1. 原子力発電所の設計段階における職業放射線防護原則

要旨

3つの基本的な ORP 原則、すなわち正当化、最適化及び線量制限は NPP の設計プロセスにおいて遵守する必要があり、それらを実施する際は国際的なガイダンスを利用するものとする。特に設計作業は作業員のすべてのリスクに対する防護を最適化することを目的とし、NPP が一度運転開始された場合には、労働安全衛生に対する十分バランスの取れた資源配分を確保するものとする。設計段階では、入手できる適切な国際的なガイダンス（ICRP のガイダンスなど）や既存の国際条約（原子力安全条約、放射性廃棄物管理に関する条約、放射線防護に関する ILO 条約など）を考慮しなければならない。これらの一般的 ORP 原則と入手できる国際的なガイダンスの枠組みの範囲内で、既存の国内規制、これまでの経験及び地域的な条件や特殊性をすべて踏まえながら設計作業に対処すべきである。

1.1 国際的なガイダンス

国際放射線防護委員会の勧告

国際放射線防護委員会（ICRP）[1] は放射線防護に関する原則を定期的に発行しており、それらの原則は世界中の規制及び慣行においておおむね実践されている。最近の勧告、すなわち ICRP 刊行物 103 [2] は、職業放射線防護を含むすべての放射線防護に適用すべき 3 つの ICRP 基本原則に注意を促している。

- 正当化：放射線被ばく状況を変化させる決定は、悪影響以上に利益をもたらすようなものであるべきである。
- 防護の最適化：経済的及び社会的な要素を考慮した上で、被ばくが発生する可能性、被ばく者数及び個人線量の規模をすべて ALARA に抑えるべきである。
- 線量制限：計画被ばく状況における規制対象放射線源から生じる個人の総線量は、患者の医療被ばくを除き、線量制限値を超えてはならない。

ただし、プラント運転中に適用すべきこれらの原則は、新規プラントの設計段階ですでに考慮しておくべきである。

特に、放射線防護の最適化原則を適用するためには、次の ICRP 見解を思い起こさなければならない。「最適化の実践とは、放射線防護レベルをその時の一般的な状況において最適化し、危害に対する便益の幅を最大化することである」。

放射線防護に関する ICRP の声明は勧告に過ぎないが、それらの声明は放射線防護規制に取り入れられている場合が多いという点に留意すべきである。

国際条約

原子力には、適切なリスク管理を確保するために、国内規制と国際協定を必要とする本質的に国際的な側面が幾つかある。したがって、それらの国際的な側面に対する各国の理解を推進し、調和を図るために、国際条約が策定されてきた。多くの国際機関、特に IAEA、EC 及び ILO は、そうした理解を推進するために国際条約や拘束的な指令を策定してきた。

施設の設計段階において ORP 問題に対処する際に言及できる主な国際条約は、以下のとおりである。

- 原子力安全条約 (CNS)
- 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約
- ORP に関する ILO 条約 [3]
- 欧州基本安全基準指令 [4]
- 電離放射線防護に関する国際基本安全基準 [5]

これらの条約は、締約国にとってインセンティブ文書となっている。これらの条約についても、プラント設計の早期段階で重視すべきである。例えば、CNS の目標の 1 つは、原子力施設から生じる電離放射線の悪影響から個人、社会及び環境を守るために、潜在的な放射線ハザードに対する原子力施設の効果的防護を構築して維持することである。

放射線防護について各締約国は適切な措置を講じ、いかなる運転状態においても原子力施設を原因とする作業員、公衆及び環境の放射線被ばくを ALARA に抑えるものとし、いかなる個人も規定の線量限度を超える放射線量に被ばくしないものとする。

設計と建設については、CNS が定めているように、以下を確保するための適切な措置を各締約国が講じるものとする。

- 原子力施設の設計と建設においては、事故の発生を防ぎ、たとえ事故が起きた場合でも放射線影響を緩和するために、放射性物質放出に対する複数の信頼できる防護レベルと方法（深層防護）を確保する。
- 設計や建設に取り入れる技術は、経験によって裏付けられている、若しくは試験や分析で証明されている技術である。
- 設計では、人的因子とマン・マシン・インターフェースに特に注意して、確実に、安定した、管理しやすい運転を考慮に入れる。

締約国は使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約に則って、原子炉の運転が使用済燃料と放射性廃棄物を発生させることを認識し、使用済燃料と放射性廃棄物の双方の管理に対して同一の安全目標を適用するものとする。施設の設計と建設では、同条約が定めているように、以下を確保するものとする。

- 使用済燃料及び放射性廃棄物の管理施設の設計と建設では、個人、社会及び環境に及ぼし得る放射線影響（放出物や非管理放出によるものを含む）を抑制するための適切な手段が講じられている。
- 設計段階において、使用済燃料と放射性廃棄物の管理施設の廃止措置に関する構想計画を考慮し、必要に応じて技術規定を考慮する。

1.2 設計段階における職業放射線防護理念

放射線被ばくは、NPP 作業員に対するさまざまなリスクの 1 つであると考えべきである。例えば、落下の危険性を伴う足場作業、高温下での作業、化学毒物質の取り扱い、熱中症の原因となり得る呼吸装置や汚染防止器具の使用など、危険でストレスの多い作業条件はインシデントや事故のリスクを増大させ、有害な健康影響にさえつながる場合がある。放射線防護の適正レベルを決定する際は、これらの作業条件やその他の作業条件も考慮すべきである。設計段階における一般理念はすべてのリスクに対する作業員の防護を最適化するための合理的なバランスに基づくべきであり、労働安全衛生に対するバランスの取れた資源配分を確保すべきである。

さらに、ORP が建築設計と建設段階で配慮されていれば（例えば、移動式足場の代わりに一体型の梯子 / 階段を設けたり、容易にアクセスできるケーブル・トンネルやダクト内パイプラインを設置したりすることによって）、放射線量や長期的な保守費用を削減し、廃止措置を円滑化できる可能性がきわめて高い。既設 NPP の長年にわたる ORP の実際の経験は最も重要であり、運転中の NPP から得られる教訓は、全 NPP ライフサイクル（運転開始から廃止措置まで）にわたって潜在的な職業被ばくを予測し、事前に最適化措置を講じる上で貴重な財産である。

これらの一般的な考慮事項は、原子炉ライフサイクルの全段階における被ばく状況を想定し、それに応じた事前の対応措置を講じることがいかに重要であるかを明確に示している。

この方法論を実践するためには、すべての関係者を関与させる分野横断的なアプローチを採用すべきである。それらの関係者の役割を以下で詳述する。

1.3 国内ガイダンスと規制当局の役割

原子力施設の設計に関する国内の規制と規制ガイダンスは、国内の規制要件ばかりでなく、安全と放射線防護に関する国際的な合意とガイダンスを反映している。

一般的見地に基づいて、国内の規制及び規制ガイダンスは以下のとおりであるべきである。

- 信頼できる独立した技術的規制当局が存在しているという国民の信頼を維持する。
- 規制上の決定を下す際の基準に関する情報（負担低減活動に関する情報を含む）に対するパブリック・アクセスを可能にする。
- すべての行政機関にわたって（国内的に、可能であれば国際的に）規制の統合と一貫性が図られていることを証明する。
- 規制当局と認可取得者の双方の実効性と効率性を目指して策定する。
- リスクの重大さと規制による負担との釣り合いを維持するために、リスク情報を活用し、パフォーマンスに基づくアプローチを取る。
- 作業員と公衆の安全衛生に規制の重点を適切に置き、規制上の説明責任を維持するために、規制当局と認可取得者との対話プロセスを設ける。
- 大がかりなプログラム作業を伴うことなく単純な変更を行うことができるようなプロセスを可能にする。
- 複数の認可取得者が作業を繰り返したり、書類を提出したりするのではなく、個々の認可取得者や認可取得者グループが作業を包括的に行えるようにする。
- 既存の規則と規制ガイダンスを定期的に見直し、安全、国民の信頼及び効率性に対して継続的に重点を置く。

規制的な見地に基づく設計プロセスのレビュー

すべての教訓と経験が適切に評価され、適宜実践されていることを確認する 1 つの方法は、あらかじめ決められた評価プロセスを用いることである。例えば、以下に関連する規制ガイダンスを用いるとよい。どのようなタイプの施設（姉妹プラント、前世代型プラント、その他の類似施設など）を調査すればよいか、どこで良好事例を探せばよいか（規制当局のデータベース、国際的なデータ及び情報交換システム、業界団体 / 同業組合の経験やデータベースなど）、防護オプションを選択する際の基準の策定経験（線量拘束値、アルファ値、リスク評価方法など）及びその他のレビュー・プロセス要素。

新規 NPP の許可を担当する規制当局は、認可申請者が提案した経験レビュー・プロセスが規制要件に基づいて適切かつ徹底的に実施されていることを確認することが望ましい。この点について一貫性、完全性及び公正さを確保するために、一般には規制ガイダンス文書といった形式で、明確かつ包括的なガイダンスを提示すべきである。ただし規制ガイダンス文書の特定規制要件がどのようなものであれ、設計者とメーカーは作業員の被ばく線量を ALARA に抑えるために、これらのプロセスを不可欠なステップとしてプラント設計に取り入れることが望ましい。

規制ガイダンス文書は、メーカーのためばかりでなく、規制当局における認可プロセスにとっても予備的なチェックリストになる。日常の運転及び保守業務における作業員の線量推定値は、外

部被ばくと内部被ばくも含め、その完全性についてレビューし、検証すべきである。設計の変更を行った場合は、どのような選択肢を検討したかも含め、線量節減について詳細に説明すべきである。特に、選択した設計により生じる線量がその他のさらに費用のかかる設計から生じる線量を超えるような場合は、必要に応じて費用便益分析を行うべきである。ISOE プログラム [6] などを通じて得られる現在の運転経験をレビューして文書化し、関連テーマにどのように対処したか、すなわち有益であったため受け入れたか、若しくは妥当な根拠に基づいて却下したかなどを示すべきである。

規制当局は、認可申請書の完全性と妥当性をレビューすべきである。審査当局は、分析、最終的な設計及び学んだ教訓が適切に実践されているかを判断するために、NPP 運転における十分な ORP 経験を積んでいることが望ましい。

設計プロセスへの ORP 組み込みの評価

規制当局は、設計への ORP の組み込みを評価する時に、おおむね 2 つの要点に着目する。

- 放射線安全に直接的な意味合いを持つ設計要素として、設計プロセスにおいて線量最適化を常に考慮するようなプロセスを認可申請者が実施していること
- 認可申請者には、設計開発プロセスにおいて放射線安全の専門家から情報を取得し、利用するプロセスがあること

上記の評価を行う場合、規制機関と公益事業者（及びアーキテクト・エンジニアリング）の職員間で、線量最適化技術の利用や現在運転されている NPP から得た教訓の適用に関する集中協議のスケジュールを組んでもよい。

ソースタームの特定

ソースタームの特性評価は、作業員を防護するための遮へいやプロセスの設計に不可欠である。この分野では、国際的な文献が数多く作成されている（付属書 1 を参照）。ソースタームの特性評価において最も重要であり、認可申請に対して規制当局が評価する場合や認可取得者が申請書を作成する際に役立つ幾つかの側面を以下で示す。

- 作業員の外部被ばく若しくは内部被ばく（空气中汚染や表面汚染による被ばく）につながり得る放射線源をすべて特定するための能動的なプロセスが必要である。
- ソースタームを見積もる場合はできる限り現実的でなければならないが、疑念がある場合は、保守的な数値を理にかなった範囲で適用すべきである。
- プラントの運転中や保守期間中は、総合測定システムによって放射線（外部ガンマ線及び中性子、空中ベータ線及びガンマ線）のソースタームや、放射性物質（核分裂生成物や配管内のトリチウムなど）のソースタームを特定できるようにすべきである。また、NPP 設計者はそれらのシステムを設計に取り入れるべきである。

職業被ばく評価とALARA 考慮事項

NPP の設計では、職業被ばくにつながる多くのソースタームや放射能を考慮しなければならない。さまざまな作業グループの職業被ばくを徹底的に見積もるために文書化されたプロセスを、認可取得者の場合は実施し、規制当局の場合は評価すべきである。運転作業、日常的な保守作業及び特別な保守作業をレビューし、できれば類似設計の既設プラントにおける放射線レベル実測値に基づいて線量評価を行い、必要に応じてコンピューターでモデル化して補足すべきである。認可取得者若しくは規制組織が個人線量拘束値を設定した場合は、計画運転における評価線量がその個人線量拘束値を常に下回ることを実証すべきである。

運転中の NPP から得られた経験、特に、既設プラントの設計を変更することで生じ得る線量影響について積極的に調査し、認可申請の不可欠部分として規制当局に提示すべきである。新設計を行った結果、線量が増加することが予測される場合は、線量を低減させる手段を探求し、実現可能であり、ALARA に適合する手段であれば設計に取り入れるべきである。

線量評価プロセスにおいて ALARA レビューを実施し（第 4 章を参照）ALARA 被ばくを達成するために可能な選択肢を追跡し、選択したオプションの根拠を示すべきである。国内当局がアルファ値（節減線量単位当たりの基準コスト）を勧告している場合、若しくは業界の慣行で運転アルファ値が策定されている場合は、設計プロセスにおいて線量節減設計の判断材料としてそれらを利用すべきである。設計オプションを検討する際はさまざまな選択肢を探求し、1 つのオプションを選択した場合は、他のオプションではなくその設計を選択した理由を示すべきである。認可申請ではこれらの評価や選択の最も重要な側面を明確にし、想定残留線量が ALARA であることを実証すべきである。この評価では、通常運転、日常的な保守活動、燃料取替作業など、あらゆるタイプの作業から生じる被ばくを考慮すべきであることは言うまでもない。

被ばくを抑制するための対策を提示する認可申請文書では、遮へい評価や施設の関連遮へい構造計画が示されることが重要である。

リスク評価

認可申請者は建設提案中のプラントで生じる可能性がある放射線リスクを特定する際に、運転面を十分に考慮し、これらのリスク管理に対する明確なアプローチを示すことが重要である。したがって、リスク評価では以下を検討すべきである。

- 設計レイアウトとワークフロー
- ALARA 問題に対処するための放射線安全手順
- 人員配置に関する要件

想定外の障害から生じる被ばくを抑制するための十分な緩和措置、すなわち空气中汚染物質の偶発的放出を防止する換気系の容量追加や、保守作業用の可動式遮へい壁なども設計で考慮すべきである。

1.4 設計者と事業者の役割

新規プラントを設計する際の設計者と事業者の第一義務は、言うまでもなく作業員、公衆及び環境の安全を確保し、規制規則を遵守することである。職業放射線防護の特殊な側面として、設計者及び事業者は設計プロセス全般を通じて防護を最適化する重要な責任を負っている。したがって、設計プロセス開始時から設計プロセスのさまざまな段階で ORP 基準を確実に取り入れるために、適切な組織を設置する責任がある（第 3 章を参照）。

設計者の考慮事項には、技術的な問題ばかりでなく経済的制約も含まれている。それらの制約は、放射線防護最適化の原則で次のように表現されている。「社会的及び経済的な要素を考慮しつつ、個人及び集団の被ばくを ALARA レベルまで低減させること」。

設計者が新たに考慮しなければならない問題は、将来の NPP の 80 年という長い運転寿命である。それに伴い少なくとも以下の 3 つの問題が生じる。

- ほぼ 1 世紀にわたり目まぐるしく変化するであろう情報技術に適応する必要性を考慮して、知識管理を組織化する重要性（技術的特徴に関する情報は解体段階で不可欠である。）
- 2 世代以上にわたる作業員の訓練と、日常業務から得られる実務経験の綿密な記録
- 寿命延長期間中の保守業務における経験の交換を可能にする適切な記録保存システムを構築する必要性

設計者と事業者は、長期的アプローチ及び技術課題と経済的な問題を同時に検討することにより、効率的な意思決定方法を策定すべきである。運転及び保守業務を考慮し、解体作業も想定しつつ、最善の技術的及び経済的オプションを決定することができる分野横断的なチームをできるだけ早期に管理レベルで関与させるべきである。

ALARA 設計審査委員会の設置は、ORP 問題に関するこの一般的なテーマに対処するための幾つかのアプローチの 1 つである。同委員会の目的は、現在進行中の原子力ユニットの独立設計審査を実行し、NPP 設計によって職業被ばくが ALARA となっており、適用される ORP 基準、規制及び工学的基準に適合していることを検証することである（詳細については第 4 章を参照）。

2. 学んだ教訓、知識管理、教育及び訓練

要旨

設計の一環として線量低減の機会を特定するために、運転経験を活用するものとする。そうした機会の 1 つは、新規 NPP の線量目標値を設定するために線量傾向を分析し、同一設計の複数の NPP を比較することによって良好事例を特定することである。それによって、既存の施設ですでに取り入れられている良好事例が明らかになり、将来達成可能な事項を見極めることができ、特に、良好事例によってどの程度の被ばくを節減できるかを特定することができる。ORP 分野における良好事例/悪い事例を判定する時は、既存の専門家ネットワーク（ISOE、ALARA ネットワークなど）から得られる ORP 情報を交換し、収集するものとする。この判定に際しては、該当事例や線量傾向分析を活用して防護目的を設定し、設計プロセスの指針として役立てるものとする。将来のプラント運転期間中に知識管理プロセスをサポートするには幾つかの特定の設計特徴が必要であるため、プラント設計の最初の時点で計画策定を開始することも重要である。したがって、将来のプラント設計に取り入れる知識管理構造、プロセス及び手順は、現在運転中のプラントから得られた知識管理経験に基づいて決定すべきである。この ORP に関する過去の知識は、新規プラント設計の指針として不可欠である。また、プラントの設計段階とライフサイクル期間において ORP の訓練、技能及び知識が豊富な人材が必要であることは、将来のプラント運転の ORP 目標を達成するために不可欠であると認識されている。

2.1 フィードバック経験の分析から得られる教訓

既存のデータの分析

規制当局と事業者は良好事例を特定するために、設計が類似している NPP における職業線量を共にレビューし、特に（保守、運転、燃料取り扱いなど）異なる作業グループごとのプラントの全職員の集団線量及び個人線量分布について、原子炉の運転寿命全般を通じた傾向を調査すべきである。

線量傾向の分析は、新規 NPP の線量目標値（集団線量及び/若しくは平均個人線量の目標値）を設定するために、さらには同一設計の NPP を比較して通常よりも高い線量若しくは低い線量を示している原子炉を確認することで良好事例を特定するために用いることができる。そうした傾向を評価する際は、被ばくの増加若しくは低下につながった現場作業を詳細に理解することが重要である。詳細な理解によってのみ、良好事例及び良好事例と同様に重要な「悪い事例」を特定することができる。

いかなる反復的な高度被ばく作業についても（表 1 を参照）放射線源、線量の程度及び線量率を特定することによってレビューすべきである。新規プラントの場合、そのような高線量作業の必要性をできる限り排除すべきである。高線量作業を排除できない場合、若しくはそれが難しい場合は、被ばくが ALARA レベルになるように低放射線区域の設置や作業時間の短縮などの線量低減オプションを探求し、実施すべきである。下記の表 1 に、NPP における「トップ・テン」の高度被ばく作業の例を示す [7]

表 1 軽水炉における典型的な高線量作業

「トップ・テン」の高線量作業	
制御棒駆動系の保守 ¹ 炉心放射線モニター（IRM） 供用期間中検査 主蒸気隔離弁（MSIV）の保守 加圧弁の保守 原子炉水浄化ポンプ（CUW）の保守	再循環ポンプの保守及び取替 残留熱除去系（RHR）の弁の保守 逃がし安全弁（SRV）の保守 可動式炉内中性子検出器（TIP）の較正及び修理
その他の高線量作業	
キャビティの除染 化学体積制御系の保守 断熱材の除去及び取替 計装の較正及び修理 局所漏洩率試験 運転監視の通常業務及び弁の調整 プラント改造 放射性廃棄物処理系の保守 放射性廃棄物の処理、貯蔵及び積み込み 原子炉冷却材ポンプの保守 原子炉上部作業	原子炉水浄化系熱交換器の保守 燃料取替 足場の設置及び撤去 スナバの点検及び修理 蒸気発生器の保守 蒸気発生器の取替 出力領域モニター（PRM） 起動領域若しくは線源領域モニター（SRM） トーラスの点検及び修理 再循環系配管の溶接肉盛り

出典：NEA（2009 年）

良好事例

良好事例とは、以下のようなプログラム、プロセス、戦略若しくは活動である。

- 職業放射線被ばくの管理及び最適化において効果的であることが判明しているもの
- 実施、維持及び評価が行われてきたもの
- 現時点の情報に基づいているもの
- 他の類似設計 NPP に転用可能であり、役立つもの [8]

¹ 一部のプラントでは、この作業の一部を請負業者に委託し、サイト外部で行っている。

すでに稼働している NPP で良好事例を実施して、その NPP の変化につながった場合、新設計の開発者は新設計に取り入れることができる良好事例を特定すべきである。例えば、前世代のプラントの事業者が実施した改善策などを特定すべきである。取り入れた良好事例と、それらの良好事例によって達成することが期待される事項を示すプロセスを積極的に文書化すべきである。文書化する際は、「良好事例をどこから取り入れたか」及び「その良好事例によってどの程度の被ばくが節減できたか」を示す履歴情報を添えてもよい。

新技術（無線テレメトリーやビデオカメラを用いた遠隔モニタリングなど）についてもレビューし、可能な場合は取り入れるべきである（第 4 章を参照）。

データ収集/ネットワーク

データの収集及びネットワーク化を行う際は、以下の課題を考慮する必要がある。

- 特定タイプの NPP のライフサイクルで見られた改善点を効率的に幅広く共有するために、それらの NPP から得られたフィードバックや経験を関係事業者及び設計者間で共有する。
- NPP の設計、運転及び解体で見られた一般的な改善点（国内及び/若しくは国際レベルの改善点）に関連するフィードバックと経験を共有する。

ORP 及び/若しくは新規 NPP 設計の改善に関する情報を交換し、収集できる既存の国内/国際的な専門家ネットワークの数例を以下に示す。今後 10 年間で建設が見込まれている新規原子炉の数に応じて、これらのネットワーク内において、NPP の設計段階で ORP 問題を話し合うための専用プラットフォーム若しくは専用エリアを構築し、ORP 分野の良好事例と悪い事例に関する情報を交換し合うことを検討すべきである。

ISOE

ISOE は NPP の職業被ばく管理に関する経験と情報の、世界で最も包括的な供給源であり、その加盟国に対して、職業被ばく管理に役立つ以下のようなさまざまな資源を提供している。

- 原子力発電公益事業者と国内規制当局を代表する放射線防護専門家らの世界的ネットワーク
- NPP での職業被ばくに関する世界最大のデータベース
- 職業放射線防護に関する現在の問題の詳細な調査と分析
- 線量傾向の年間分析と現在の ISOE 開発の概要
- ISOE の国際及び地域シンポジウムを通じた職業被ばく管理問題の協議フォーラム
- 職業放射線防護における良好事例を共有するための特別要請への対応や自発的なベンチマーキング視察の組織化を通じた支援
- ISOE ネットワーク [6]: ISOE 加盟国用の「ワンストップ」情報交換ウェブサイトであり、ISOE の製品、資源及びオンライン・ユーザー・フォーラムへのアクセスを提供している。

NPP 作業員の職業被ばくデータを含んでいる ISOE データベースは、作業タイプごと、姉妹プラントごとのさまざまなタイプの線量傾向分析を提供することができる。ISOE データベースには、個々のユニットの年間職業被ばくデータ（通常運転時、燃料取替 / 保守のための運転停止時及び強制停止時に関するデータ）、各ユニット若しくは各サイトの年間線量分布、作業別の被ばく、プラント構成情報（起動 / 停止手順、水化学、ALARA プログラムなど）並びに特定の業務、作業、インシデントなどに関する具体的な情報が含まれており、いずれのデータも被ばく低減の観点から有益である。このデータベースには、原子力産業における長年の集団経験に基づく職業被ばくデータが含まれている。このデータベースは、原子炉タイプごと及び原子炉設計グループごとの集団線量傾向の分析に利用することができる。また ISOE データベースにより、重要業務から生じる被ばくを世界中の他のプラントにおける被ばく及び経験と照らし合わせてベンチマークすることができる。ISOE システムの全メンバーがこのデータベースにアクセスすることができる（公益事業者と規制当局とはデータ・アクセス特権が異なり、規制当局には全データベースへのアクセス権がない）[9-10]

ALARA ネットワーク

- 欧州 ALARA ネットワーク (EAN) [11]
- 欧州及び中央アジア地域間 ALARA ネットワーク (RECAN) [12]
- アジア地域 ALARA ネットワーク (ARAN) [13]
- 欧州職業人放射線被ばく調査 (ESOREX) [14]

3 つの地域間 ALARA ネットワークが放射線防護の最適化に取り組んでおり、電離放射線を使用する全分野（原子力、産業、研究分野及び医療分野）における良好な ALARA 事例の普及を促進している。それらの活動は産業、研究、医療及び自然起源放射性物質（NORM）の分野での職業被ばく、特に放射線防護能力の向上及び開発に重点を置いており、定常運転と緊急事態の双方における ALARA 原則の実施にとりわけ注目している。ESOREX の目標は、欧州委員会と国内の放射線防護管轄当局に対して、欧州各国で個人放射線モニタリングや線量測定結果の報告及び記録がどのように組織化されているかに関する信頼性の高い情報を提供し、放射線作業に関わる作業員のすべての職業分野における個人及び集団放射線被ばくに関する信頼性が高く、直接的比較が可能なデータを収集することである。

西欧原子力規制者会議 (WENRA) [15]

このグループは、原子力安全に対する共通アプローチの発展を促進し、欧州連合への加盟申請国の原子力安全を審査する独立した能力を提供するために、欧州の主要な原子力安全規制当局が経験を交換し合い、重要な安全問題を協議するためのネットワークとしての役割を果たしている。WENRA の主な目標は、原子力安全に対する共通アプローチを開発し、加盟申請国の原子力安全を審査する独立した能力を提供し、欧州の主要な原子力安全規制当局が経験を交換し合い、重要な安全問題を議論するネットワークとなることである。

米国のALARA委員会：BWR及びPWR [16]

1980年代に米国の公益事業者らは、ALARA 良好事例や春及び秋の運転停止から学んだ教訓を推進するために、複数の業界 ALARA 委員会を組織した。ゼネラル・エレクトリック社オーナーズ・グループ ALARA 委員会は、39基の米国 BWR 原子炉を代表する ALARA 調整官で構成されている。ALARA 調整官らは、年に3回会合している。

PWR RP / ALARA 協会は、69基の米国 PWR 原子炉のメーカー（ウェスティングハウス社、コンバッション・エンジニアリング社及びバブコック・アンド・ウィルコックス社など）で構成されている。サイズウェル B、リングハルス及び EDF などの欧州の PWR もメンバーに含まれている。ALARA 調整官は年に2回会合し、最近の燃料取替停止期間や通常運転期間における ALARA の良好事例と不良事例について議論している。

線量傾向分析

新規 NPP を設計する場合、又は認可申請を作成若しくは評価する場合、職業被ばくの想定が考慮すべき重要な要素であることは言うまでもない。職業被ばくを想定する場合、現在運転中のプラントにおける該当線量傾向の調査など、多くのさまざまなタイプの評価に基づいて想定することができる。現在運転中のプラントにおける傾向が新規プラントで発生することが予想される被ばくをそのまま反映するわけではないかも知れないが、そのような評価を行うことによって相対的基準が得られ、それによって新規プラント設計の特殊性を反映する詳細な見積りが可能になる。一般的に、特に規制の観点から言えば、新規プラントの性能は現在運転中のプラントの性能以上であることが期待されるが、そのような期待を認可申請に含める場合には、それを明確に説明し、正当化することが必要である。

さまざまなタイプの線量傾向評価を実施することができるが、一般的な評価には、各作業員の年間線量の平均及び傾向、サイトの年間集団線量の平均及び傾向、また場合によっては、特に高線量の作業における平均集団線量の傾向などが含まれる。

NPP における個人線量の傾向

一般的に、欧州諸国における公式の線量モニタリングから得られたデータでは、プラント職員の場合で約 1 mSv、外部 / 契約作業員の場合で 1.5 mSv という平均年間被ばくが、近い将来における既設 NPP での現実的な目標となり得ることを示している（図 1a 及び 1b を参照）[17]

このことは、新規 NPP にとって次のことを意味する。起動段階後の3年移動平均の数値は、新規プラントの職員の場合 1 mSv 未満、外部 / 契約作業員の場合 1.5 mSv 未満に実際に留まる可能性がある。

図 1a 欧州の原子力発電所職員の線量傾向：欧州 10 カ国の平均年間線量

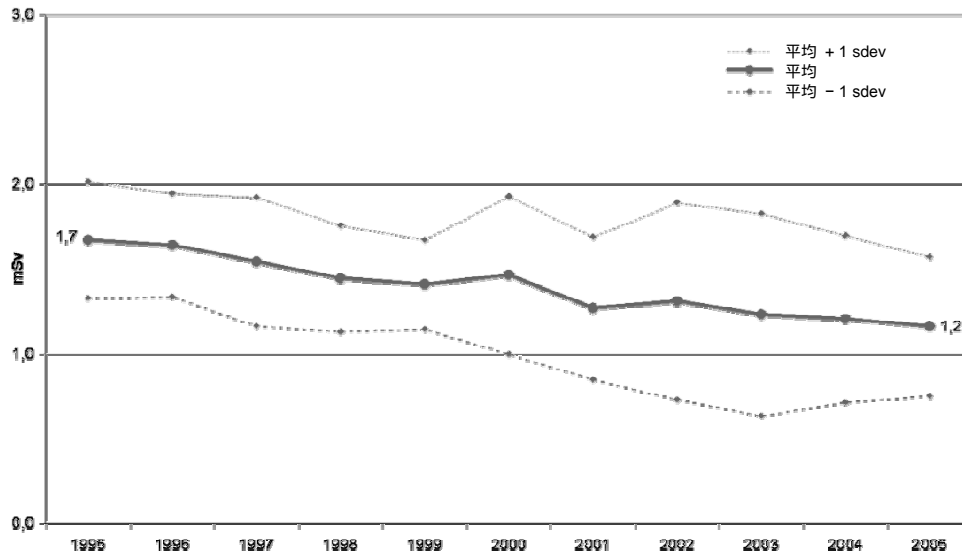
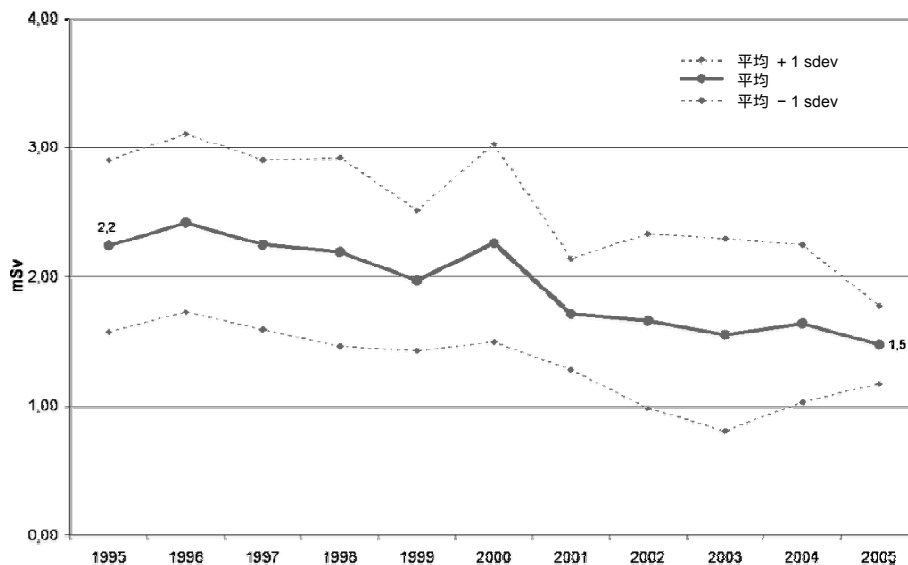


図 1b 欧州の外部作業員の線量傾向：欧州 10 カ国の平均年間線量



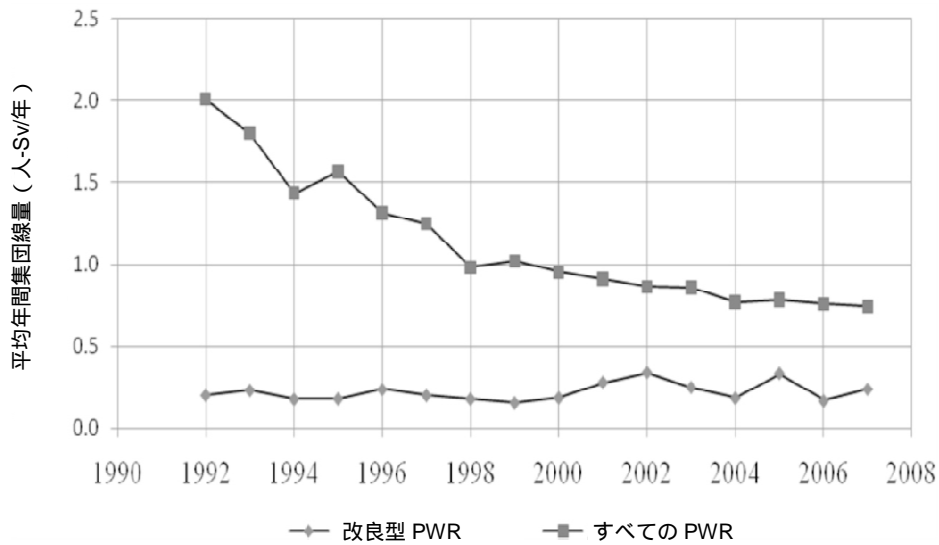
上記 2 つの図の出典：オックスフォード大学出版局 (<http://rpd.oxfordjournals.org>)

NPP におけるサイト集団線量の傾向 (ISOE データベースより)

1990 年頃から、NPP での平均年間集団線量は 2 分の 1 以上減少した。PWR の場合、1 基当たり 2 人-Sv/年強から 1 基当たり 0.75 人-Sv/年未満にまで変化した。BWR の場合は減少率がわずかに低く、1 基当たり約 2.6 人-Sv/年から 1.5 人-Sv/年に減少した。新世代 PWR の現在の年間集団線量は、1 基当たり約 0.25 人-Sv/年である。

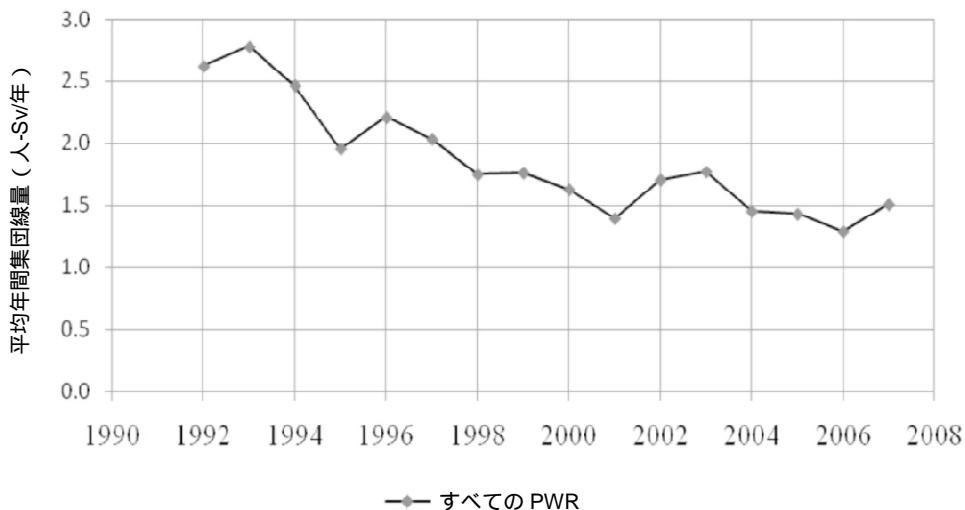
これらの集団線量傾向は、下の図 2 及び 3 のとおりである [9]。これらのデータは、ISOE プログラムから取り出したものである。改良型 PWR はフランスとドイツの最新設計を代表するものであるが、PWR 及び BWR の単一ユニットの平均は世界中の全 PWR 及び BWR プラントを代表している。日本で現在運転中の改良型 BWR プラント (ABWR) に関する傾向調査及びデータは入手できていないということに留意されたい。しかし、そのようなデータがあれば、現代型 BWR の性能が現在の BWR 群の性能よりもどの程度優れているかを評価する際に有益であろう。

図 2 すべての PWR 及び改良型 PWR の平均年間集団線量の傾向



出典：ISOE プログラムからのデータに基づいた図

図 3 BWR の平均年間集団線量の傾向



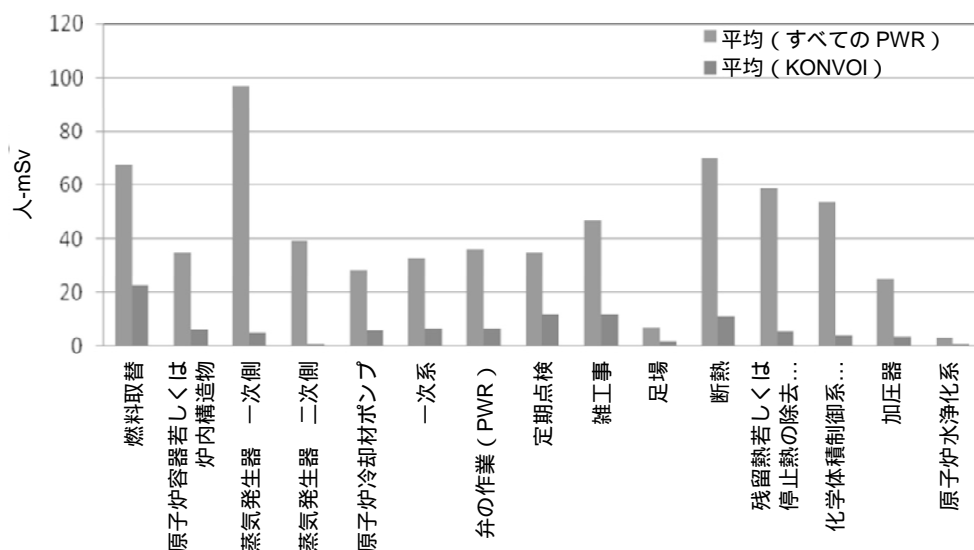
出典：ISOE プログラムからのデータに基づいた図

これらの傾向があるため、新規 NPP の建設を検討している公益事業者及び新規原子力プラントの認可申請の評価に關与する規制当局は、このような経験を考慮した上で計画の被ばくベンチマークを設定することが妥当であると思われる。現在の傾向に基づけば、新規ユニットの年間集団線量ベンチマークは、PWR の場合 1 基当たり約 0.25 人-Sv/年くらいであろう（本報告書のセクション 3.5 も参照）。BWR のベンチマークは 1 基当たりおよそ 1.5 人-Sv/年末満とすべきであるが、BWR についてさらに正確な評価を行うには追加データが必要である。現在の良好事例と経験に基づいてそのような基準を用いれば、最適な防護オプションの特定に役立つであろう。

業務ごとの集団線量分析

1992～2006 年を対象にドイツ国内 11 基の PWR における 15 種類の業務について、業務ごとの平均年間集団線量の傾向分析が実施された。プラントごとの集団線量は、さまざまな世代の PWR 間において幅広いばらつきがあるばかりでなく、さまざまな業務及び各業務内でも対象年にわたって幅広いばらつきがある。線量低下傾向は、「原子炉容器若しくは炉内構造物」関連業務や「弁の作業」を除けば、常に明らかでない（図 4 を参照）。ドイツの PWR における業務ごとの集団線量の現在の特徴は、3 基の最新 KONVOI プラント（1988 年に運転開始）に表れている。これらのプラントにおける業務ごとの平均年間集団線量は、ドイツの他のすべての PWR と比較して著しく低い。これら KONVOI プラントにおける 2001 年～2006 年の平均年間集団線量は、平均の約 15% に過ぎない。各業務においては、集団線量に時系列で著しいばらつきが見られる。このばらつきの原因の 1 つはプラントごとに作業要件が異なっているということであるが、データが乏しいことも原因である。したがって、これらの統計や時系列は業務ごとに生じ得る線量レベルを示しているに過ぎない。

図 4 ドイツの PWR 11 基すべてと最新 KONVOI-PWR 3 基における業務ごとの平均年間集団線量（2001 年～2006 年における平均）[6]



出典：ISOE 職業被ばくデータベース（www.isoe-network.net）

2.2 知識管理

知識管理は、組織内で蓄積された知識を体系的かつ積極的に管理し、改善するプロセスである。知識管理は、情報や知的／技術的な財産を永続的価値に変えるプロセスに特化した分野横断的なアプローチである。

将来の NPP の放射線防護の場合、知識管理には以下を含むきわめて広範な目標がある。

- 数世代にわたる作業員の間で、十分なトレーサビリティを確保する。
- 設計段階やその後の技術変更（改造）段階で行った決定の十分なトレーサビリティを確保する。決定の技術的側面、さらには管理／規制面の記録。
- 組織内部若しくは外部の最良事例を特定し、それらの採用を可能にする。
- 日常業務で得られる専門知識や能力などの知識の収集及び記録を組織的に行う。
- ほぼ 1 世紀にわたり目まぐるしく変化するであろう情報技術に適応する必要性に備える（技術的特徴に関する情報は、解体段階で不可欠である）。

将来の NPP の運転寿命は 80 年もの長きにわたること、すなわち作業員の 2 世代以上の長期に延長されることを考慮して、放射線防護関連の決定を記録し、プラント寿命を通じて利用できるようにすることは、世界規模の知識管理プロセスにとって重要な課題である。これを運転上の問題に過ぎないとする見方もあるが、将来のプラント運転中に知識管理プロセスをサポートするためには一定の設計特徴が必要であるため、プラント設計の開始時に計画作成を開始することが実際のところ重要である。

知識管理とは主に人とプロセスを管理することであり、人員の努力とノウハウに対処することである。作業員を最初の段階から持続的な方法で関与させることは、放射線防護技能の有益なデータベースを維持し、さらに発展させるために不可欠である。そのようなデータベースは何よりも、スタッフの教育及び訓練の基盤の 1 つであると考えられる。

知識管理方法の枠組みは、少なくとも 3 つの段階で構成される。最初は、プロジェクトを開始する前に戦略を策定し、立案する段階である。2 番目は、NPP の設計期間及び運転寿命期間に知識管理を実施し、場合によってはこの期間に改善する段階である。3 番目は、前段階で実施した管理プロセス及び手順に基づいてプラント廃止措置期間中の知識管理を行い、プラントの廃止措置が完了するまで継続する段階である。積極的な知識管理に対する取り組みはプラント管理者による方針の決定であり、そのような取り組みには作業員を全般的に関与させるべきである。

2.3 放射線防護の教育と訓練

ORP 教育の幾つかの可能なレベルとタイプ

ORP の教育と訓練は、施設の設計から廃止措置段階にわたる重要課題である。教育は、作業員の技能と作業領域に応じたものであるべきである。近い将来に有資格者が不足するかも知れないという深刻なリスクがあるため、将来世代が利用できるように経験を記録することがきわめて重要である。したがって、プラント寿命を通じて訓練されたスタッフを確保するためには、将来のスタッフ（保守作業員、事業者若しくは規制機関の放射線防護専門家）の ORP 教育及び訓練という問題に設計段階で対処すべきである。

設計チームの場合

この場合、放射線防護訓練の目的は、設計が職業被ばくに影響（時には深刻な影響）を及ぼす場合があるということを設計者に認識させることである。このタイプの訓練コースには、過去のプラント運転事例から得た教訓をできる限り取り入れるべきである。設計者は、必要に応じて放射線防護専門家の助力を得て、自身が担当する機器の設計について何らかの ALARA 分析を行い、分析結果を文書化できるのが望ましい。設計者があらゆる職業リスクに対する防護を最適化できるようにするために、放射線リスク管理訓練は他のタイプの職業リスク訓練の一部とすることも重要である。

ORP 専門家の場合

放射線防護専門家の教育及び訓練の方法並びに検定及び認定システムは、国ごとに著しく異なっている。国際組織（IRPA、IAEA 及びその他の組織。下記の教育共通基盤を参照）が情報交換の機会を提供しているにもかかわらず、各国の教育及び訓練、さらに認定制度は未だにきわめて独自に開発されている。

すべての被ばくする作業員の場合

事業者の理念によっては、被ばくする作業員に対する放射線防護教育及び訓練が保健物理スタッフの役割のために著しく異なる場合がある。ただし、すべての作業員は放射線防護の基本的な教育と訓練を受け、自身と同僚を防護するために必要な知識を身に付けることが不可欠である。

教育及び訓練プログラムの共通基盤

国際放射線防護学会（IRPA）[18]

国際放射線防護学会は、IRPA 会議で再訓練コースを組織したり、RP の教育及び訓練を取り扱う国際及び地域の政府機関と協力し合ったり、IRPA 会議で協議フォーラムを組織したりして、放射線防護分野における調和と標準化を目指すイニシアティブを支援している。

国際原子力機関 (IAEA) [19]

国際原子力機関は、その総会決議に基づく洗練された教育及び訓練プログラムを提供している。これらのコースは、最新の IAEA 基準とガイダンスを反映している。これらのプログラムは、技術支援を受ける IAEA 加盟国がその放射線防護規則を IAEA の安全原則及び基本安全基準の規定に適切に適合させるのに役立っている。放射線及び廃棄物安全の教育及び訓練に関する戦略的計画は、2001 年に IAEA 総会で承認された。国際的な組織若しくは協会 (EC、IRPA など) の代表で構成される運営委員会は、助言や支援を行っている。

放射線防護の訓練及び教育に関する欧州共通基盤 (EUTERP) [20]

欧州指令の規定は EU 加盟国を拘束するものであり、各国の特殊性を考慮しつつある程度柔軟に関連国内規制に組み入れなければならない。EUTERP は欧州連合における教育、訓練及び認識活動に重点を置いており、関連プロジェクト間及び組織間を密接に結び付けている。さまざまなプロジェクトの結果は EUTERP によって欧州連合全体に効果的に発信できるようになっており、さらなる取り組みに向けた情報として利用することもできる。

放射線防護の教育と訓練に関する欧州ネットワーク (ENETRAP) [21]

ENETRAP の目標は、電離放射線の取り扱いにおける高い能力を維持し、作業員、公衆及び環境の防護を確保することである。その主な目的は、学生数や教育機関の減少に歯止めをかけ、欧州の放射線防護教育及び訓練のアプローチ及び取り組みをさらに調和させ、教育と訓練のための国内資源や能力をさらに統合し、産業や医療において放射線を継続的に安全利用するために必要な能力と専門知識を提供するために、欧州各国の放射線防護インフラストラクチャーにおける既存の教育や訓練活動をさらに統一することである。

放射線防護及び放射性廃棄物管理の教育と訓練に関する連携活動 (CETRAD) [22]

CETRAD は、高レベルで長寿命の放射性廃棄物や使用済燃料の地層処分を管理するための教育と訓練を組織化して提供するための提案を行っている。

米国の事例

政府組織である米国放射線防護測定審議会 (NCRP) の主な任務は、放射線防護及び測定問題や経験に関する情報、ガイダンス及び勧告を策定し、幅広く発信することである。幾つかの分野に関する広範な訓練及び教育プログラム、例えば ALARA に関するプログラム [23] も米国エネルギー省 (DOE) によって、原子力発電運転協会 (INPO) を通じて提供されている。

米国における放射線防護管理者 (RPM) の最低限の資格については、米国規格協会 (ANSI) 文書 ANSI 18.1 [24] で説明されている。その基準では、RPM は単科大学若しくは大学の保健物理学若しくは関連科学 / 工学の学位を取得していなければならないとしている。また RPM は、運転中の原子力プラントで燃料取替停止時の監督経験など 5 年間の経験を積む必要がある。

米国の原子力産業は 1979 年 4 月の TMI-2 原子力事故の後、国内の訓練や認定訓練プログラムを開始した。ORP 部門の職員や請負業者の職務資格や訓練要件は、ORP 監督官が作成及び更新する資格マトリクス・リストで示されている。規制検査官は ORP 資格マトリクスをレビューして、有資格者が放射線安全分野の作業を行うよう徹底している。

一部の原子力プラントでは、職員や請負業者など、すべての放射線業務従事者のための実践的な ORP 技能訓練を利用している。それらの訓練の結果、ドレスアウトや汚染管理のテクニックなど実践的な ORP 技能や ORP 要件は、放射線業務従事者によって保持されている。

3. 設計プロセスにおける職業放射線防護基準の取り入れ

要旨

ORP 設計目標は、既存のプラントにおける良好事例や新規施設に関する提案事項を分析して、公益事業者と設計グループの双方が作成した「ギャップ分析」に基づいたものであるべきである。この「ギャップ分析」の結果は、防護計画が最適化され、職業線量と公衆被ばく線量の推定値が ALARA となるようにするために、ORP 原則を設計プロセスに取り入れる時に考慮すべきである。いわゆる「ALARA チェックリスト」には、全般的系統/機器、システム配置、設備構成、アクセシビリティ、放射性廃棄物の取り扱い、遮へいなどの側面に関する考察を含めるべきである。また、ORP に関する設計は公益事業者、設計技師及び/若しくは規制機関職員の間で協議して決定し、設計の考察で提起されたリスク移転問題の検討もそこに含めるべきである。考慮すべき重要な要素には、2 世代以上にわたる作業員が関与することになる約 80 年間という将来のプラント寿命、浄化作業、プラントの漸進的な解体などがある。さらに、進んだ遠隔モニタリング技術や可能であれば使用するべきロボット設備は、将来の職業線量を低減させる重要なツールになっている。それらの技術の用途及び適合性を設計段階で考慮すべきである。新技術の開発や新技術と既存設備との適合性について特別な注意を払うべきである。

3.1 職業放射線防護基準を設計プロセスに取り入れるための組織

ORP 目標の決定

設計プロセスの初期に、公益事業者とアーキテクト・エンジニアリング技師は、施設の被ばく管理に関する全体的な構想を話し合うべきである。公益事業者側管理者には、アーキテクト・エンジニアリング技師若しくは事業者内の設計担当者に対して、文書化されている規制要件以外についても明確に指示すべき事項がある。その一例は、あらかじめ決められた放射線場閾値を超えるプラント区域への日常的アクセスを最小化するという要件である。もう 1 つの例は、プラント作業員の平均年間集団線量（若しくは作業員の個人線量）をあらかじめ設定した数値（その公益事業者若しくはその国の現在運転中のプラントで生じる累積線量のパーセンテージ。セクション 2.1 を参照）よりも低く抑えるという目標である。そうした話し合いの中で、公益事業者側管理者は設計技師に対して、現在プラントが直面しており、新規施設の設計で解決したいと考えている設計関連の被ばく管理問題についても明確に説明したいと思うこともある。

そのような話し合いには、アーキテクト・エンジニアリング技師若しくはその他の設計技師を参加させ、既設プラントや施設設計検討事項審査で見られた設計問題の解決策や、NPP 以外の施設から得られた有望な/実証済みの設計に関する情報についても説明させることが望ましい。この

段階では、設計しようとしているプラントのタイプに応じた被ばく管理に注意しなければならない。BWR、CANDU 炉、高温ガス炉及び PWR（必ずしもこれらの炉型ばかりではない）の被ばく管理問題は、それぞれ著しく異なっている。放射線安全に関する設計要素を考慮する際は、設計しようとしているタイプの原子炉に関する訓練や経験が豊富な者を設計情報の収集や設計検討プロセスに採用すべきである。

既設プラントに存在している問題と新規施設で想定される問題とのギャップを分析する、いわゆる「ギャップ分析」に関する見解を公益事業者と設計グループの双方が提示すれば、その見解について集中的に論議して、設計目標の共通認識を導き出すことができる。すなわち、達成すべき設計目標は設計プロセスのできるだけ早い段階で、できるだけ詳細に特定すべきである。標準設計プラントの建設を計画しているのであれば、新規施設での実施が当然と思われる設計変更の数は、特殊な設計が施された施設の場合ほど多くないと認識されている。一方、標準化には、施設の放射線量の影響を悪化させる想定外の設計問題を回避できるという利点がある。

スクリーニング・プロセス

健全な放射線安全原則を設計プロセスに取り入れるための設計上の考慮には、職業線量と公衆被ばく線量を ALARA レベルに抑える、若しくは最適化するという目標がある。NPP の設計プロセスは系統的なプロセスであり、特定されたすべての設計情報を常に考慮するプロセスである。そうした目的のために、NPP の建設申請者若しくは運転認可申請者（及び / 又はそれらのアーキテクト・エンジニアリング・パートナー）はさらに詳細な設計プロセス段階に適用できると思われる要素を特定するために、設計検討事項スクリーニング・チェックリスト若しくはそれに類似する手段を設計段階の早期に使用してもよい。そのようなチェックリストに含めるべき放射線安全関連要素の例は、以下のとおりである。

- エリア放射線モニタリング能力
- 作業員及び公衆が受ける線量の最適化
- 放射性廃棄物の最適化及び最小化を確保する手段の付随放射線評価

放射線防護及び ALARA 設計審査委員会

1970 年代の米国における原子力ユニット建設ブーム中に採用された方法の 1 つは、設計中及び建設中の各プラントのために放射線防護及び ALARA 設計審査委員会を設置することであった。同委員会及びそのメンバーはそれぞれ、線量低減における手抜き、欠陥及び問題点を指摘する責務を負っている。指摘された問題に対する解決策も示さなければならない。同委員会は、プロジェクト管理者やプラント所有者の顧問として機能している。同委員会がこれまでに採用したアプローチは、以下のとおりである。

- 目的
施設、システム、機器などを含む原子力ユニットの継続的かつ独立した設計審査を行う。

- 目標
職業被ばくを ALARA レベルに抑え、職業被ばくが該当する ORP 基準、規則及び工学基準を確実に満たす NPP 設計が行われていることを検証する。
- 範囲
プラント内の放射線源に対して必要な防護特徴の設計及び運転目標をレビューする。保守、供用期間中検査、燃料取替及び非定例運転など、職業放射線被ばくにつながる可能性があるすべてのシステム及び設計面を検討するものとする。
- 評価
施設配置、予測線量率、放射線アクセス管理、遮へい、換気、放射線モニタリング、汚染管理、放射性廃棄物の取り扱い、保健物理施設及び設備の放射線的側面の審査など
- 意思決定と文書化
意思決定基準を明確にすべきである。最適化プロセスで考慮すべきさまざまな要素（コスト、安全性、実現可能性、運転への影響、解体への影響など）をリストアップしなければならない。具体的な設計オプションを実施するかしないかに関する最終決定は文書化し、保管すべきである。
- 構成員
各原子力ユニットの運転開始期間に、少なくとも ORP、運転、エンジニアリング及び保守を担当する各グループを代表する常設委員会を設置すべきである。その委員長は、放射線エンジニアリングと保健物理の分野に幅広い経験を持つ者であるべきである。
- 会合の頻度
正式な ALARA 設計審査会議はそれぞれの主な設計段階、すなわち概念設計、初期設計、最終設計、建設段階などにおいて少なくとも 1 度ずつ開催すべきである。ALARA 設計審査委員会は、適宜招集されるべきである。
- 審査基準
審査基準は、以下の参考文献に含まれている要件に基づいているものとする。
 - 規制当局の一般設計基準
 - 規制指針
 - 産業規格（ANSI、ASME など）の要件
 - 所有者の推奨事項
 - 学術団体
 - 意思決定のツールとしてのアルファ値
- 審査すべき文書の例
 - 環境報告書や安全解析報告書
 - A/E 設計基準

- システムの説明
 - 図面
 - 計算書
 - 報告書
- 審査すべきテーマの例
- サイトのレイアウトと設備：放射線サイト境界と区域、出入通路とその管理、駐車場、境界における線量率など
 - 遮へい及び被ばくのレベル：基準、放射線源の特定、計算及び設計要素。通常運転、想定される運転上の問題発生及び想定事故シナリオをすべて考慮すべきである。
 - 気中放射能制御システム：(高温側から低温側へという)フロー・パターン、差圧、小間や建屋内の換気率、すなわち格納容器パージ、局所排気及び再循環と排気フィルター要件
 - 汚染管理システム：表面性状や表面仕上げ、漏洩及び漏出の制御(水溜め、止水、排水、オーバーフロー管及びベント)、ホース接続及び給水、フィルター交換の容易さ、機器除染施設、汚染した器具の保管、並びに機器や人員用の除染施設
 - サンプルング及び放射線分析用の施設：サンプルング・ステーション、検査室、計測室及び放射性廃棄物施設など
 - 放射線モニタリング・システム：エリア・モニター(個数、場所及び範囲)、プロセス・モニター(運転中若しくは停止中、場所、バックグラウンド、感度、範囲、測定値、報知器、警報装置、制御システム及びレコーダー)、緊急時モニター(燃料取扱区域、格納容器、及び制御室の居住性)
 - 放射線アクセス管理及び保健物理に関する施設：ゲートハウス、線量測定、バッジ・ラック、放射線防護管理ポイント(放射線管理区域への出入りは1カ所だけであることが望ましい)、汚染したおそれがある負傷に対応する応急施設、配布施設、浄化、モニタリング及び防護服や呼吸用保護具の保管など

公益事業者、設計工学の専門家及び規制機関の間のコミュニケーション

公益事業者、設計技師及び/若しくは規制機関職員の放射線安全に関する話し合いには、設計プロセスで生じる可能性があるリスク移転問題に関する検討が含まれているべきである。その一例として、公衆の被ばく線量を低減させるための潜在的プラント放出物の管理と、作業員の被ばく線量の管理とのバランスが挙げられる。余分の放射性物質を部分的にプラントから放出せずに施設内に留めておいた場合、作業員の被ばく線量が増加する可能性がある。規制要件、特に作業員若しくは公衆の線量を低減させるために追加的な設計要素を導入する時の費用便益分析に関する規制要件は、そのような話し合いにおいて1つの重要な要素である。

3.2 設計段階における職業放射線防護基準

プラント寿命を管理するための設計上の考慮

多くの既設プラントが寿命延長を申請中若しくは申請予定である。プラント寿命の管理は、ALARA 設計特徴に関する費用便益分析の判定の重要な要素である。検討すべき要素として以下が挙げられる。

- プラントのライフサイクル計画における設計基準の重要性を認識し、特にプラントの推定耐用年数に関する現在の世界的思考を踏まえて、将来のプラントの設計者は 80 年間という長期にわたるプラント運転の設計上の意味合い、例えば主な機器を改良若しくは交換する必要性を十分に考慮することが重要である。
- プラントの小部屋に取り外し可能な遮へい壁若しくは構造壁を設け、20～30 年ごとに大型機器を簡単に撤去及び交換できるようにする必要性
- 環境への漏洩を防ぐために 20～30 年ごとの取替が必要になる可能性があるプラント埋設炭素鋼管のモニタリング

将来の NPP の寿命末期

廃止措置の経験から得られたフィードバックは、将来の NPP の設計のきわめて早い段階で取り入れるべきである。

現在廃止措置中の NPP から得られる情報は、この計画にとって不可欠である。廃止措置や解体を行う際に直面する難題の性質が複雑になり、件数が増加する原因となる可能性がある設計や運転手順を避けるために、技術問題及び規制問題の双方を考慮する必要がある。

最初の原子力プラントは、約 30 年以下の運転寿命を目指して設計された。新たなプラントは、80 年という運転寿命を目指して設計されている。そのため、将来におけるプラントの浄化作業や漸進的な解体作業を行う際の ORP 面を考慮することが重要である。したがって、将来の廃止措置において作業員、公衆及び環境の防護を目的として適切な放射線安全要素が確実に取り入れられているようにするために、設計と試運転の段階でこの目標を考慮する必要がある。そうすることによって、ORP 要件が十分に対処されていることを廃止措置プロジェクトの審査に当たる規制機関に納得させることができる。

例えば、参考文献 IAEA 安全報告書シリーズ No. 36 [25] には、この問題に関する有益な情報が含まれている。

実証済みの技術の使用

施設設計では、すでに実証され、工業規格に適合した線量節減機能をできるだけ使用すべきである。例えば、可能であれば仮設の遮へいではなく常設の遮へいを設けたり、仮設足場を組み立て

る必要性を減らすために常設の作業足場を可能であれば設けたり、時間のかかる電気式の成端や再終端プロセスではなく、「素早い」電気断路器を可能であれば使用したりすべきである。他の例は、付属書 1 の質問事項を見直せば見つかる。

一般的に、実証されていない技術や不確実な技術を NPP 設計の最適化プロセスで使用すべきではない。そのような新技術の使用は禁止されているわけではないが、使用するのであれば、再設計の可能性や、時間がかかる高線量の補修作業の可能性を少なくするために、十分評価してから使用すべきである。

ALARA 設計チェックリストの役割

設計プロセスには、作業員の線量に影響を及ぼす可能性のある多くの側面がある。申請者（場合によってはアーキテクト・エンジニアリング・パートナー）と規制当局は設計プロセスで系統的に評価が行われるようにし、特定の施設設計が及ぼし得る線量影響に関する重要問題に対処すべきである。作業員被ばくに影響する要因のうち設計段階で考慮すべきもののチェックリストは、選考プロセスにとって不可欠なツールである。それらの基準をリストアップする目的は、被ばくや防護の最適化をより詳細に考慮すべき設計を開発しているという意識を設計技師に持たせることである。

選考プロセス若しくは ALARA 及び防護最適化プロセスのいずれかにおいて、設計技師は放射線安全担当者と意思疎通を図り、放射線安全の包括的な訓練と経験を有する者の見解を必ず考慮するようにすべきである。建設技術者が公益事業者のために設計を行う場合には、公益事業者の技術及び放射線安全の担当者が建設技術者の計画を理解し、それに同意できるような手段を確保すべきである。

規制機関にも、施設設計の放射線安全関連面に関する別個の（しかし許可申請者のチェックリストと類似する）設計チェックリストがある場合がある。上記で推奨した放射線安全に関する重点的な話し合いにおいて、別個のチェックリストの要素を検討してもよい。関係者らがそれぞれのチェックリストに基づいて協議することによって、放射線安全について施設設計を改善することができるであろう。特に、そのような協議が施設設計に影響を及ぼし、費用対効果を維持できる設計の初期段階に行われれば、施設設計を改善することができるであろう。

設計者が使用できるチェックリストの例を以下の付属書に示している。

- 付属書 1 「ALARA 設計チェックリスト」は、ある公益事業者が防護を最適化するために提案した改造の評価に使用しているチェックリストの例である。その公益事業者のプログラムにも、改造する時の早期線量推定プロセスが含まれており、そのプロセスの結果は設計プロセスに反映させることができる。そのチェックリストは改造に関するものであるが、施設内の放射線被ばくに直接的に影響を及ぼし得る設計要素を説明するためにここで取り上げる。それらの設計要素は、おおむね以下のとおりである。
 - 一般構造物、系統及び機器（SSC）の設計
 - システム配置、機器構成、アクセシビリティ及びアクセス管理

- 放射性廃棄物の管理と最小化
 - 常設及び仮設の遮へい
 - 汚染される可能性がある表面及び除染を容易にする手段
 - 放射性物質が入っている系統のための機器と技術の選択
 - 放射性流体が入っている弁
 - 放射性流体が入っている配管
 - 放射性流体が入っているタンク
 - 放射性流体が入っているポンプ
 - 放射性物質が入っている系統内のフィルター若しくはろ過装置
 - 暖房、換気及び空調（HVAC）系統
 - プロセス計装制御及びサンプリング
 - 放射線検出用の計装若しくはモニタリング
 - 新規施設設計若しくは既存施設の重大な変更
- 付属書 2「ALARA 工学的設計の原則」には、RP 考慮事項を取り入れるために設計プロセスに適用すべき主な原則が記述されている。
 - 付属書 3「施設のシステム設計への ALARA の適用」には、主要系統の設計に関する助言が示されている。
 - 付属書 4「原子力発電所の建設許可及び / 若しくは運転認可の申請 ORP に関連する設計側面」の目的は、申請時に対処しなければならないことが予想される事項に関する高度な概要を示すことであり、作業員と公衆の推定線量を管理するための設計最適化における判断材料に重点を置いている。この付属書には、ALARA の観点から考慮すべき事項として、施設の放出管理系統の評価が含まれている。放出管理系統の場合、公衆の被ばく線量に重点が置かれることが多いが、作業員の被ばく線量の管理に影響する技術の適用若しくは技術の忌避に重点を置いてよい。その一例が、原子炉水浄化樹脂を放射性廃棄物として搬送する準備で使用する樹脂貯蔵室の遮へいである。付属書 4 の残りの部分では、設計プロセスが進行する中で詳細に検討されると思われる放射線安全施設の要素が説明されている。

フィードバック経験から得た RP 考慮事項の例

多くの運転中の施設で効率的に対処している放射線安全の重要な幾つかのテーマは良好事例として分類することができ、それを以下でリストアップする。それらの良好事例は、次世代プラントでも対処を要すると思われる。

燃料設計

燃料要素の設計と試験の結果は、被覆管からの漏洩に関して高燃料信頼性を示しているべきであり、異物の侵入や燃料表面から放出される可能性がある放射化腐食生成物の発生を防いでいるべきである。

構造材

一次系で使用する合金を選択する場合は、放射化し得る元素の放出によって線量率への著しい影響を生じないものを特に選択すべきであり、例えば設計にコバルト低減方針を取り入れるべきである。運転条件に対する高度な耐久性を確保し、化学品及びその他の運転パラメーターを適切に選択することによって長期寿命を確保し、供用期間中検査の頻度を抑えられるようにすべきである。

異物排除区域

燃料プール周辺、原子炉上部及び原子炉冷却系の破損が想定される付近を異物の侵入から効果的に防護できる設計規定を設けるべきである。それによって、運転中の燃料破損やその他の損傷を防ぐことができる。

原子炉冷却材浄化系

原子炉冷却材から放射能汚染物質を除去することは、運転中の放射線安全にとってきわめて重要である。イオン交換器やサブミクロン・フィルターは、すでに実証されている技術である。さまざまな方法によってコロイド粒子を除去する新技術の試験が最近行われている。例えば、同位体希釈剤と反応性化合物を高温の液化ナトリウムに加える。反応物は核分裂生成物と同位体的に交換し合うか、若しくは化学的に反応し合い、一次冷却トラップ内で溶液中から析出される。反応物の供給が止まると、逆流が始まる。次いで、一次冷却トラップは反応物を供給すべく機能し、二次冷却トラップ内で析出が発生する。浄化系の標準設計を改善するための検討もすべきであり、故障が発生した場合でも緊急措置を可能にするために複数の方法の検討が必要である。

放射性廃棄物処理系の設計

放射性廃棄物処理を行うためには、廃棄物の分離、放射性廃棄物を貯蔵する十分な容量を備えた水タンク及び放射性廃棄物タンク、並びに放射性廃棄物管理要件を満たす処理系を設置するスペースが必要である。放射性廃棄物処理のために適切な施設と手順を用意して、運転中及び点検や保守活動時に線量を確実に ALARA に抑えるようにすべきである。

遮へい

所定の放射線安全基準を遵守するために、遮へい設計を文書化すべきである。それらの基準は、運転状況と事故状況で異なる可能性がある。遮へい計算の基準にする放射線ソースタームを特定すべきである。場合によっては、一時的な遮へい措置を検討するのが実際的であることもあり、特に永続的に遮へいすることができない一次系機器の運転停止作業及び保守作業時には、そのような措置を講じてよい。

原子炉容器内での作業が必要な場合には、容器内のガンマ線及び中性子線に対する生体遮へいを講じて、運転時に原子炉容器内で作業する作業員の放射線被ばくを許容限度内に抑えるべきである。

作業足場及びレイダウンエリア

安全作業に必要な足場に関する規定を設計に取り入れるべきである。また、足場材や一時的な遮へい材の格納容器内での保管、並びに放射線安全特定箇所若しくは汚染管理にとって重要な同類の細かな改善に関する規定も設計に取り入れるべきである。放射線区域へのアクセスを容易にし、そこで費やす時間を減らすために、十分なスペースのレイダウンエリアが保守作業には必要である。

モジュラー設計

主要機器をモジュラー設計することによって設置時間が短縮され、汚染管理が容易になる。これは例えば、換気装置と一体化された原子炉容器上蓋、放射性弁の容易な取替、供用期間中検査の検査箇所を考慮して配管に反射断熱材を取り付けやすくするモジュラー設計などである。

燃料プールとサンプの設計

燃料プールの設計や試運転プログラムは、プールと燃料移送チャネルからの漏洩を防ぎ、それらの除染を容易にするものであるべきである。特に、燃料移送機器の点検や保守を行う場合は、漏洩防止と容易な除染が必要である。原子炉プール及びサンプの除染系をあらかじめ検討すべきである。ろ過系及び浄化系を設計する際は、運転時、保守時及び放射性廃棄物搬送時に ALARA レベルの線量を達成する必要があることを考慮すべきである。

燃料プールの漏洩検出系については、プラント寿命全般を通じて動作可能であり、保守可能であると実証されている設計を採用すべきである。

放射線モニタリング設備と遠隔技術

設置するエリア線量率モニター及び空気汚染モニターは、通常状態で十分に高感度であるべきであり、事故状態でも信頼性の高い情報を表示できるほど高性能であるべきである。モニタリング・チャンネルは、高レベル放射線源を使用しなくても容易に較正できるようにすべきである。常設モニターの設置場所は、十分に検討した上で選択すべきである。

遠隔モニタリング技術について施設設計時に検討し、運転及び保守活動のために遠隔モニタリングが定期的に必要になると思われる場所に装置を設置しやすくすべきである（セクション 3.3 を参照）。

管理区域への出入り

通常運転時、運転停止時及び大規模保守作業で使用する汚染モニター、洗濯場、ロッカーなど、ORP 退出管理ポイント及び施設に関する規定を設計で考慮し、効率的な出入り管理業務を確実に行うとともに、作業員の汚染及び線量の適切な管理を厳重に行うべきである。

RCA へのアクセスは、作業員の個人被ばくの登録及び管理体制の下で可能になる。汚染区域へのアクセス・ポイントには、更衣施設やロッカールームを設けるべきである。作業員のための汚染管理対策を高度に汚染した狭い区域/部屋/建屋の出口に施し、ホット・パーティクル（高放射能粒子）を検出する必要性を考慮すべきである。それらの対策には、ローカル管理ポイントと放射線モニターを取り入れるべきである。

ローカル及び退出管理ポイント用の十分なスペースを原子力施設の設計で確保すべきである。RCA の出口には全身汚染モニターを設置すべきである。それらの設備を警報レベルが高い第 1 通り抜け式モニターと組み合わせてもよい。作業員の線量測定チェックアウトは、RCA の出口で行うべきである。個人除染用のシャワーと設備を出口設備の一部にするか、若しくは監視区域付近に設置すべきである。保守及びその他の運転停止関連作業に必要な十分な人数に対処できるように設計すべきである。

放射線防護作業に関連する部屋や検査室の場所及び大きさを適切なものとし、次のようなあらゆる放射線防護必需機能を果たせるようにすべきである。計装の修理場や較正、RP 及び放射化学線源の貯蔵、ラジオグラフィ線源の貯蔵、汚染管理検査室、呼吸保護具の保管と配布、ガンマ線スペクトロメーターと放射化学研究室、事故後放射線モニタリング及びサンプリング、RCA での高レベル放射線作業の進捗をビデオ・モニタリングし、遠隔線量測定を行うためのコントロール・センターなど。

RCA から退出した後の全身モニタリングやその線量測定も、適切な部屋や検査室で行うべきである。

区域の分類と表示

新規原子炉の設計では、プラント内のさまざまな放射線区域を特定すべきである。EURATOM BSS [4] に基づいて、所管当局は NPP 周辺の管理区域と監視区域の分類に関するガイダンスを策定するものとする。監視区域とは、電離放射線に対して防護するために適切な監視を要する区域と定義されている。管理区域とは、電離放射線防護若しくは放射能汚染拡大防止を目的とする特別規則の対象となる区域であり、アクセスが制限される区域である。

一般的に、推定線量率が 1 mSv/時を超える区域へのアクセスには、設計段階で機器、バリケード及びモニタリング装置を考慮すべきである。線量率が 10 mSv/時を超える区域にアクセスする場合は、人員の安全を確保するために必要な時に操作することができ、作動する適切な警報及びモニタリング装置を携帯すべきである。

新規プラント設計では、できる限り高放射線（外部線量、内部線量、空気中濃度）区域がないようにすべきである。設計で除外できない高放射線区域については、人員の安全を確保するために特殊な設計特徴が必要であろう。1日若しくは2日間で高線量に被ばくするような区域（若しくはホット・スポットが存在する区域）へのアクセスを防ぐ設計をすべきである。例えば、線量率が100 mSv/時を超える区域の場合は、安全対策を設計に取り入れ、それらの区域への非管理アクセスを防止する必要がある。新規 NPP の設計に関するガイダンスでは、設計パラメーターや推定放射線ソースタームに基づいて、運転中に（若しくは通常の燃料取替停止や点検作業において）100 mSv/時以上の被ばくの発生が予測される区域がないようにすべきであると提言されている。新規 NPP の設計では、より受動的な放射線安全設計特徴をよしとすべきである。

線量率による区画化

NPP の建屋及び管理区域は、異なる被ばくゾーンに指定すべきである。設計や認可関連文書において管理区域を特定し、生じ得る職業被ばくの評価が容易にできるようにすることが望ましい。

安全評価では2つの異質のケース、すなわち通常運転と事故シナリオを取り上げるべきである。いずれかのケースにおいても、運転員の注意若しくは運転員による措置が必要な機器及び部屋若しくは区域をできる限り特定し、作業に必要な線量率や時間などの基本情報を提示すべきである（例えば時間/動作研究に基づいて）。特に、事故状況における被ばくの評価を行う際は、リスク情報を活用した設計アプローチを決定論的シナリオと組み合わせることができる。

一般的なアプローチは、設計基準事故における運転線量率を年間線量限度に基づいて推定する方法である。一般的なレベルは、例えば（1就労年に）2000時間当たり10 mSv、20 mSv若しくは50 mSvである。用途に応じてその他の数値を選んでもよい。例えば放射線管理区域の定義には、年間6 mSv以下の被ばくと設計上定めてもよい。年間1 mSv以下の設計基準を放射線監視区域の設定に用いてもよい。6 mSvはEURATOM BSS（カテゴリーB）[4]が提案している被ばく作業員のカテゴリーに相当することに留意すべきである。これらのレベルは、通常運転に関連するものである。

管理区域と監視区域の定義に線量基準を使用するのに加えて、評価した線量率に基づいてその他のプラント領域を設計段階で定義してもよい。例えば、幾つかの区域を高放射線区域若しくは施錠高放射線区域に指定する必要がある場合がある。それらの区域の定義は国内規制ごとに異なるが、1 mSv/時若しくは10 mSv/時を超える線量率などの数値がこれまで定義として使用されてきた。

3.3 新たに現れつつある技術の使用

遠隔モニタリング技術の使用が NPP で一般的になりつつある。これまで、この技術を使用するということは、高放射線場における作業員の活動を視覚的及び放射線学的にモニターするため、若しくは高放射線場に作業員が立ち入らなくても済むように視覚的に機器をモニターするために、オーディオ/ビデオカメラや遠隔線量測定システムを利用することを通常意味していた。一

部のプラントでは、放射線安全技術者が常駐できない管理区域への出入りのモニタリングにこの技術が使用されている。エンジニアは、施設を設計する際に ORP やプラント運転の専門家らと協議して、提案中の施設における遠隔技術を広範囲にわたって使用すべきである。したがって、有線若しくは無線のデータ伝送装置をプラント設計に取り入れることを検討すべきであり、同時に人員がさまざまな遠隔モニタリング装置の出力を監視する区域の設定も検討すべきである。遠隔モニタリング技術は複数のプラント目標に適用できることに注目する必要がある。遠隔モニタリングによって線量を低減できるばかりではなく、オーディオ/ビデオのテープを視聴して得られる教訓を利用した強化訓練により、熟練作業員や監督者はその情報を活用して、現在及び将来の作業活動に対する作業班の効率と効果を改善できる。

点検及びその他の特定作業を遂行するロボット設備の使用も、NPP 環境で新たに次々と現れる技術である。設計技師は、階段や床の設計が発展するにつれてロボット設備の使用を検討したいと思うであろう。ロボット設備は高放射線場で人の場合より簡単に使用することが可能であり、人が立ち入る必要性がなくなるからである。同様に、BWR ドライウェル・ノズルや PWR 蒸気発生器などの区域で自動若しくは遠隔検査や溶接技術を使用する設計を検討し、作業時間と運転停止作業時（及び特定の運転中の作業時）の線量を減らすべきである。

設計者は、既設の NPP でまだ実践されているわけではないが将来 ORP を改善する可能性がある新技術の開発にも特に注意すべきである [7]

3.4 設計標準化の利用：既存のアプローチの例

フランス

フランスの原子力プログラムは、原子炉群全体を標準化する利点の良好事例である。フランスは、2つのウェスティングハウス PWR 設計、900 MWe 及び 1000 MWe 並びに最近では 1300 MWe PWR など、早くから標準化を行った。フランス電力会社（EDF）の場合、繰り返しという節約行為のおかげで、建設段階におけるプラント機器調達や運転段階における計画と訓練を合体させたことによるメリットが生じている。標準化された原子炉群に対して共通スペア・パーツを持つことにより、緊急時プラント保守のために維持しなければならない部品の在庫が著しく簡素になる。このアプローチによって、保守業務を迅速かつ効率的に遂行するために「サイトごと」の訓練や経験を得る必要性が大幅に削減され、有資格原子力作業員の訓練がきわめて簡単になった。

ISO 及び IEC

国際標準化機構（ISO）と国際電気標準会議（IEC）は、放射線防護装置や測定技術の技術的基準の開発及び普及において際だった役割を果たしている。これらの基準は殊更 ORP に関連しているわけではないが、これらの基準が適切であり、実際の良好事例を確実に反映するようにするために、これらの基準は知識が豊富な専門家らが自身の運転経験を利用して通常開発したものである。

米国

原子力蒸気供給システム（NSSS）の標準化やバランス・オブ・プラント（BOP）設計は、新規 NPP にとって重要な検討事項であることが明らかになっている。米国の 3 カ所のサイトにある第 1 世代原子力プラントは、同一の NSSS 及び BOP 設計理念に基づいて設計された（例：バイロン NPP 及びブレイドウッド NPP の 1 号機及び 2 号機、ウェスティングハウス PWR）。

バイロン NPP 及びブレイドウッド NPP は同一ユニットであるため、プラントのライフサイクルにおける設計、建設及び運転段階を円滑に進めることができた。双方のサイトで 20 年以上にわたって順調な運転が行われ、原子力発電運転協会（INPO）から一貫して高い性能評価を得ている。

バイロン NPP とブレイドウッド NPP の設計段階では、遮へい設計の計算、計装及び機器の調達、並びに新規の運転員やサポート技術要員の訓練において高い費用対効果が達成された。ゼイオン原子力サイト [26] から得られた運転経験は、ゼイオン PWR における運転経験の良好事例を線量低減の観点からバイロン NPP とブレイドウッド NPP の設計に取り入れるために、バイロン NPP とブレイドウッド NPP の設計段階で入念に検討された [27]

運転段階において、バイロン NPP とブレイドウッド NPP の技術及びサポート要員は、燃料取替停止時のスタッフ共有の際に大きく役立ち続けている。ユニット同士が同一であるため、燃料取替停止をサポートするために借りたスタッフを訓練するために行う現場説明の量が少なくなる。

3.5 EPR の設計における職業放射線防護の検討事項

建設が予定されている最新型原子炉は EPR であり（欧州では欧州加圧水型炉、その他では進化型動力炉として知られている）、その EPR ユニットは現在フィンランドとフランスで建設中である。EPR は進化型であり、標準設計され、フィンランドやフランス以外の国々でも建設される可能性がある。本セクションでは、EPR 設計で採用され、EDF が提供した放射線防護アプローチに関する情報を紹介する [28-31]

EPR の ORP 目標

EPR の運転期間中の作業員の防護を最適化するために（集団線量及び個人線量の双方について）、以下の問題が対処されている。

- 現在の発電用原子炉のフィードバック及び最良事例
- 最も被ばくする作業員（断熱材設置者、溶接工、機械工など）の防護の最適化
- 原子炉群の稼働率改善に貢献するために、ORP 基準及び規則を厳格に遵守しつつ、出力運転中に、特に保守作業に介入する必要性

² 付属書 5 「新型欧州加圧水型炉（EPR）の設計における職業放射線防護の最適化」

- すべての作業員について最善（最適）レベルの ORP を達成するという目標

現在のフランス国内 NPP の基準線量に対して、1 基当たり 0.44 人-Sv/年という最高実績を達成したのを皮切りに、線量における 21%の改善、すなわち 1 基当たり 0.35 人-Sv/年の目標達成が期待されている。このような結果は幾つかの特定区域における改善によって達成することができるが、改善を達成するために必要な構造的変化の結果として評価される被ばくの増加についても考慮されている。³

線量低減の効果

- 13.9% : ソースターム若しくは放射線場の減少による
- 2.9% : 蒸気発生器の改良による
- 2.8% : 一次系の設計による
- 2.6% : 断熱材の向上による
- 2.3% : 燃料管理による（運転停止中を除く）
- 1.9% : サイト内物流による

線量増加

- 4.5% : 出力運転中ユニットの格納容器における作業による
- 0.6% : 原子炉容器設計による

EDF グループの戦略的優先事項として、ORP は少数グループの関心の対象に留まることなく分野横断的な課題となり、その点では設計の開始段階から分野横断的なチーム・ワークが最も重要である。

³ 以下で示すパーセンテージの合計が正味の成果である。

4. 設計プロセスにおける職業放射線防護コストの見積り及びその結果の取り入れ

要旨

設計段階における ORP 投資費用の見積りは、将来の経費を見積もる複雑なプロセスであるため、大きな不確実性をはらんでいる。将来のコスト削減を達成するためには、施設の運転期間中に現れる新技術によって放射線被ばく管理を強化できるように、設計に柔軟性を持たせるべきである。公益事業者の線量目標に対するビジョン、例えば作業員が単に線量限度を満たすだけでよいのか、若しくはそれよりもはるかに高い目標を目指すのかというビジョンを明らかにする公益事業者の 1 つの役割として、設計段階でライフサイクル費用便益分析を実施すべきである。もう 1 つの要素は、機器の信頼性と構成機器の取替の必要性である。保全プロセスで累積する作業時間や線量を考えた場合、初期の設計及び建設の観点から最小コストの機器がプラント寿命全般にわたって必ずしも最小コストの設計であるとは限らない。検討すべき要素の中には「アルファ値」(線量単位当たりのコスト)があり、これを使用すれば計画している技術変更若しくは改造が妥当であるかなどを判断する際に役立つ。

4.1 職業放射線防護関連投資コストの特定

新規 NPP の建設の判断に関する費用便益比の決定は、定量化が容易な要素と定量化に困難と不確実さばかりが伴う要素の双方が関わるきわめて複雑なプロセスである。提案中の施設の設計及び運転における放射線防護面のみでの費用便益比の絞る場合でさえ、正確に見積もるには徹底的な思考過程を必要とし、それでもなお著しい困難と不確実さが伴う。以下は、主に作業員の放射線被ばく管理に関連する設計要素として検討してもよい要素の例であり、職業放射線防護コストの評価に取り入れることができる要素である。

- 一部の大型機器 (加圧器、蒸気発生器、原子炉冷却材ポンプなど) の撤去と取替
- 低放射線レベル区域での保守用中型機器の容易な取り外し
- 物理的障壁やその他の障壁による放射線安全対策が義務付けられているプラント区域への出入管理
- 構造物、系統及び機器の遮へい 常設遮へいと仮設遮へいの設置設備の双方を含む。
- 特に被ばく低減を目的とする重量コンクリート若しくはその他のコンクリートの使用
- 被ばく低減を目的とする厚いスチール・ドア若しくはその他のドアの使用
- 浄化 (除染) が可能な塗料やコーティングの選択

- 汚染した可能性がある衣服を取り扱う洗濯場若しくはそれに類似する設備
- 汚染する可能性がある器具やその他の機器の管理及び除染の手段
- 空气中放射性物質を管理するための換気系や換気系関連のろ過系
- 液体系統及び流体系統内の放射性物質とその移送を管理するための機械的 / 化学的なるろ過系
- 周囲の照射線量率や空気中の放射性物質濃度を継続的若しくは必要に応じて測定するシステム

複数の目標に影響する可能性がある設計決定の例は多い。その一例は、放射線場内の機器へのアクセスを可能にする常設作業足場の施工である。そのような足場を設けることによって、その機器の信頼性や安全性が高まり、機器にアクセスするための手段を講じる作業時間が減り、機器にアクセスする作業員の労働安全が高まり、機器にアクセスするために費やす時間が減ることによって作業員の放射線安全が高まる。それらの利点に対する欠点とえば、施設の初期建設費用がわずかに高くなるということである。いずれにしても、放射線安全など複数の目的に及ぼす設計決定の影響を費用便益分析で考慮する必要がある。

4.2 ライフサイクルにおける費用対効果に関する幾つかの疑問点

ORP の費用対効果を考慮しながら施設設計を最適化しなければならない。公益事業者や施設設計者が利用できる費用便益手法のすべてを説明することは、本稿の目的ではない。本稿の目的はむしろ、意思決定プロセスで考慮すべき幾つかの要素を提示することである。

80 年もの長期間にわたって稼働する NPP の設計を開発する際の複雑な要素の 1 つは、運転年数全般にわたる集団線量及び個人線量の望ましいレベルを決定し、施設運転期間中に新しい技術が現れるにつれて、放射線被ばく管理を強化する方法を活用して設計に柔軟性を取り入れることである。

線量管理の観点から何が最適設計であり、何が最適設計でないかを決定する際に生じる可能性があるライフサイクル費用便益に関する疑問点の例を以下で示す。

現在の線量基準、推定線量基準及び望ましい線量基準を用いた施設線量目標の設定

言うまでもなく、施設の設計では現行の線量限度を満たす必要があり、独自の線量拘束値を設定してもよく、最適化実施プロセスを実証するよう求められる場合もある。設計者は、個人線量限度として 100 mSv/5 年、若しくは国によっては 20 mSv/年などの数値を検討しなければならない。公益事業者は、将来の何らかの時点で線量限度になると予測される数値、例えば最も高度に被ばくする作業員の予測線量をほぼ 10 mSv/年、若しくは約 5 mSv/年に維持できるように設計することを望むこともある。第 2 章で述べたように、全般的な作業員の平均線量はすでに約 1 mSv/年となっている。公益事業者は作業員の平均線量若しくはユニット / サイトの集団線量のどちら

かによって運転の線量拘束値を独自に設定しようとしてもよいが、その時は、新しい PWR の場合は 0.25 人-Sv/年前後、BWR の場合は 1.5 人-Sv/年前後ですでに運転されており、PWR 及び BWR の双方における集団線量は時とともに次第に減少しつつあるという第 2 章の記述をもう一度思い起こすべきである。

現在の良好事例として、すべての公益事業者がすべての作業員の被ばく線量を線量限度未満で維持する努力をしており、ほとんどの公益事業者は作業員の被ばく線量レベルを内部で設定しており、被ばく線量がそれ未満であれば現状維持し、それを超えた場合は超過の度合いに応じたレベルの調査を行っている。そのような事業者内部で設定したレベルは現在、線量拘束値と呼ばれている。したがって、施設設計の良好事例では、作業員の被ばく線量を適用限度未満に維持するという規制要件と、作業員の被ばく線量を組織内部で設定した線量拘束値未満で維持するという運転目標の双方を考慮すべきである。これらの双方について評価し、プラント寿命全体を通じて最高の状態を確保すべきである。

施設設計における廃止措置線量の使用とコストに対する意味合い

公益事業者は最初にプラント設計を検討する段階で、施設の想定運転期間よりも後のことを考え、廃止措置で生じる線量とコストを削減できるようにすることが望ましい。その一例は、流出や漏えいからの放射線によってサイトの土壌や水が汚染される可能性を低減させるように設計された構造物、系統及び機器の建造である。そのような汚染の可能性を低減させるような設計要素とは、より少ない埋設配管、漏えい検出系、配管の健全性をモニタリングする手段、施設の寿命期間で想定される環境において健全性を維持できる配管仕様（漏えいが生じる前に事前的な取替が容易であること）の活用などである。

これらの要素は職業放射線被ばくを管理する上で重要であるばかりでなく、サイト内の認可物質の管理を維持し、施設による環境影響の可能性を抑制するためにも重要である。

線量管理における機器の信頼性と保全性

施設の設計者は、機器の信頼性と保全性の最適化を設計で検討すべきである。照射線量率が高い区域への機器保全のための出入りをできる限り少なくすることによって、またそのような区域での保守作業の時間をできるだけ短くすることによって、線量管理が容易になる。そうした理由から、施設設計では常に操作盤を高放射線区域外に設けたり、できる限り急速着脱式の電気及び機械接続を使用したりすべきである。保全プロセスで累積する作業時間や線量を考えた場合、初期の建設段階で最小コストの機器設計がプラント寿命全般にわたって最小コストの設計であるとは限らない。

各区域へのアクセス時間を最短化することも初期プラント設計で考慮すべきである。その一例は、BWR ドライウェルにアクセスするための機器搬入口の設計である。従来の設計では、ドライウェルへのアクセスが必要な場合、運転停止の開始と同時に取り外せる積み上げ式コンクリート・ブロックが取り入れられていることがある。その他のアプローチとして、線路上に置かれた遮へい用の鋼鉄若しくはコンクリートを入口から転がして外したり、コンクリート遮へいの代わ

りに遮水を使用したりすることも可能である。遮への目的である照射線量率の低減（一般的に設計基準事故管理）を達成すべきであることは言うまでもない。代替設計を検討すれば、運転停止時間を短縮し、運転停止時の累積線量を低減できる可能性がある。

支援設備

建設提案中の施設では、ORP プログラムを支援できる十分なスペースと機器を確保しなければならない。支援すべき機能として、管理、作業計画、作業員へのブリーフィング、線量測定、計装、呼吸保護、遠隔モニタリングなどがある。そのようなリストをプラント設計の経済的側面に関するこのセクションで取り上げる理由は、公益事業者が利用できる選択肢をプラント設計者が認識していなければならないからである。例えば公益事業者は、放射線検出用の計装の較正や修理を施設内で行うか、若しくは遠隔地で行うかを決定する必要がある。そうした機能などは特に施設の運転や ORP にとって重要であり、したがってプラント運転や ORP を最善に支援するには、設計上それらの機能のどの部分を施設内で行えば経済的であるかという問題がある。線量測定や呼吸保護といった要素も同様の問題である。

アルファ値若しくは線量単位当たりのコストの適用

多くの公益事業者は、技術変更（改造）が必要であるかどうかを決定する際に、アルファ値若しくは線量単位当たりのコストを用いている。改造を決定するのに線量だけが該当要素であるならば、公益事業者が現在価値をどのように算出するかという点を除けば、プロセスはかなり単純である。例えば、改造を行うことによって施設の運転寿命（80年間）にわたって0.01人-Sv/年を節減/回避できるのであれば、0.8人-Svという合計節減線量を想定することができ、およそ100万ユーロ（130万ユーロ/人-Svとして）という施設改造コストに値することになる。

さまざまな公益事業者や国々で使用されている一連のアルファ値がある。上記の例で選んだ数値は、2008年に米国で使用されていた数値の中央値（\$2万/人-レム若しくは\$200万/人-Sv）に近い。一部の公益事業者は、職業放射線被ばくという点で施設の実績が良好であるか否か（若しくは良好になる可能性があるか否か）によって、内部で使用する数値を変更している。例えば、上位4分の1に実際に属する（若しくは属することが予想される）優良施設では1という乗数を使用され（したがって\$2万/人-レムといった数値は残る）、被ばく管理において好ましくない施設（若しくは好ましくないと予想される施設）では2~4という乗数を使用される（したがって\$4万~\$8万/人-レム若しくは\$400万~\$800万/人-Svといった数値が適用される）。

5. 結論

このケース・スタディーの目標は、ORP を将来の NPP にどのように適用すれば最善であるかを考察するために、現在運転中の原子力発電所における既存の ORP 経験を分析することである。本稿の目的は、判断を下す際に利用できる方針や技術的枠組みを提示することによって、新規原子力発電所の設計及び認可申請における ORP 諸相の評価の一助となることである。本稿は主に設計者、メーカー、請負業者及び職業放射線被ばくを規制し、実施する責務を負う当局を対象にしているが、それに限定しているわけではない。本稿では、設計で考慮し、設計に取り入れる必要のある以下のような主要課題を特定している。

- 基本的な ORP 原則：国際的及び国内のガイダンスや規制に対処するために、予測全ライフサイクルを通じて維持すべき正当性、最適化及び線量制限
- 最適化においては、電離放射線から生じる可能性がある健康リスクを考慮するばかりでなく、最善の作業員防護が達成できるようにバランスの取れた資源配分をするために、作業員の健康に対するその他の潜在的リスクも考慮すべきである。
- 高度な技能を有する人材を確保するための訓練や知識管理の組織化、及び設計から廃止措置までの施設の全寿命期間にわたる十分な設計基準文書の作成
- 良好事例の持続的な実施及び学んだ教訓のトレーサビリティと活用の確保を目的とした情報、経験及びデータの交換と評価を支える活発な連絡網の形成
- 施設の寿命期間にわたって時間と財源を節減し、被ばくを低減するために、ORP の原則と基準をすべての機器と今後の運転に反映させる必要性

上記の問題に対処するためのアプローチや対策を実施する際に、利用できる国内及び国際的なガイダンスを遵守すべきであることは言うまでもない。それらのアプローチや対策は既存の施設の運転経験を分析することによって特定し、それらを新規施設に適用した場合のコストと利点を見極めるために利用できる。

設計段階において ORP を決定するにあたっては、分野横断的で複数組織間にまたがる協力が重要である。ORP の決定にあたってはほとんどの場合、設計上の考慮から生じるリスクやリスク移転の問題が絡むため、公益事業者、設計技師及び規制機関職員の協議を通じて最善の決定を下すことができる。設計分析及び評価にとって重要なツールはいわゆる「ALARA チェックリスト」であり、このリストには全般的なシステム/機器、システム配置、機器構成、アクセシビリティ、放射性廃棄物の取り扱い、遮へいなど、すべての機器とプロセスが取り上げられている。

このような意思決定の一環として、ORP に関連する投資額及び維持費を設計段階で評価することが重要である。そのような評価は複雑で、通常大きな不確実性を伴うという事実があるものの、費用対効果の高い ORP を設計段階で特定すれば、間違いなく将来の費用の節減と被ばくの低減につながる。それらの低減は保守や機器交換の柔軟性を設計にあらかじめ取り入れることによっても一部実現することができ、新しい技術が施設運転期間に現れるにつれて放射線被ばく管理を改善し、容易に実施できるようになる。機器の信頼性や、所要の交換部品を保管しておく必要性は考慮すべき要素である。「アルファ値」(単位線量当たりのコスト)はコストを見積もる際に役立つツールであるが、設備の全寿命若しくは検討中のプロセスの全体を通じて、コストが償却されるように注意すべきである。これらの考慮事項は、計画中の技術変更若しくは改造が妥当であるかどうかの判断にも役立つはずである。

これまでの経験を活かすことの重要性を認識し、知識管理の体制、プロセス及び手順を将来のプラントの設計に取り入れなければならない。知識管理アプローチは運転中のプラントにおける現在の知識管理慣行に基づくものであるべきであり、宇宙旅行や核融合反応炉などの長期プロジェクト、すなわち数世代にわたる作業員の関与が必要な長期プロジェクトで培われたアプローチにも基づくものであるべきである。将来の NPP の運転寿命(80年)を思えば、作業員の訓練の確保ばかりでなく、作業員の実地の経験や設計プロセス情報の収集及び分析を全くの最初から準備しなければならない。

プラントの設計段階とライフサイクル全体の双方において ORP の訓練、技能及び知識が豊富な人材が必要であることは、十分に認識されているもう1つの要素であり、将来のプラント運転における ORP 目標の達成に不可欠である。知識管理プロセスがあれば作業員の訓練は容易になるが、幅広い教育や募集プログラムによってそれを補完し、十分かつ継続的に作業員を補給できるようにする必要がある。

参考資料

1. 国際放射線防護委員会 www.icrp.org
2. 国際放射線防護委員会 (2007年)「国際放射線防護委員会の2007年勧告」ICRP 刊行物 103、エルゼビア、2007年
3. 国際労働機関 (1960年)「ILO 条約 No. 115 放射線防護条約、1960年」
www.ilocarib.org.tt/projects/cariblex/conventions_15.shtml
4. 欧州連合理事会 (1996年)「1996年5月13日付の理事会指令 96/29/EURATOM」
5. 国際原子力機関 (IAEA) (1996年)「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」IAEA、ウィーン
6. ISOE 職業被ばくデータベース、職業被ばく情報システム、OECD/NEA、パリ；IAEA、ウィーン、<http://www.isoe-network.net>
7. 原子力機関 (NEA) (2009年)「原子力産業における職業放射線防護を最適化する作業管理」OECD、パリ
8. カナダ労働安全衛生センター (2005年)「職場安全衛生の最良事例リスト」2005年3月
9. 原子力機関 (NEA) (2007年)「ISOE に関する諸条件 2008年～2011年」
NEA/CRPPH/ISOE(2007)15/REV1、OECD、パリ、2007年
10. 原子力機関 (NEA) (2006年)「職業被ばく情報システム「原子力発電所における職業被ばく、ISOE プログラムに関する第16回年次報告書」OECD、パリ、2006年
11. 欧州 ALARA ネットワーク、www.eu-alara.net
12. 欧州及び中央アジア地域間 ALARA ネットワーク、<http://alara.rsc.lt/index.html>
13. アジア地域 ALARA ネットワーク、www.arps.org.au/?q=content/asia-regional-alara-network-aran
14. 欧州職業人放射線被ばく調査、www.esorex.eu
15. 西欧原子力規制者会議、www.wenra.org/extra/pod
16. 米国 ALARA 委員会：BWR & PWR、www.pwralara.org/code-vision.html

17. オックスフォード大学出版局、オックスフォード・ジャーナル、
<http://rpd.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/ncl567v1>
18. 国際放射線防護学会、www.irpa.net/index.php
19. 国際原子力機関、www.iaea.org
20. 放射線防護の訓練及び教育に関する欧州共通基盤、www.euterp.eu
21. 放射線防護の教育と訓練に関する欧州ネットワーク、www.sckcen.be/enetrap
22. Geoenvironmental Research Center、カーディフ大学工学系研究科、
<http://grc.engineering.cf.ac.uk/cetrad>
23. Office of Health, Safety and Security、米国エネルギー省、
www.hss.energy.gov/HealthSafety/WSHP/radiation/RST/alara.htm
24. 米国原子力学会、ANSI/ANS-18.1-1999「軽水炉の通常運転における放射線ソースターム」
www.ans.org/store/vi-240238
25. 国際原子力機関（2004年）「IAEA 安全報告書シリーズ No. 36：原子力施設の運転から廃止措置への移行における安全性の考察」IAEA、ウィーン、2004年
26. 米国原子力規制委員会、www.nrc.gov/info-finder/decommissioning/power-reactor/zion-nuclear-power-station-units-1-2.html
27. 米国エネルギー情報管理局、
www.eia.doe.gov/cneaf/nuclear/page/at_a_glance/reactors/braidwood.html
28. D. Miniere、B. Le Guen、Y. Benneteau（2008年）「Les enjeux Radioprotection de l'EPR」
Radioprotection 2008、Vol. 43、n° 2、ページ 273～287
29. アレヴァ社及びEDF（2009年）「UK EPR 一般設計評価：EPRの安全性、セキュリティ及び環境に関する報告書」www.epr-reactor.co.uk
30. L. Stricker（2007年）「将来の放射線防護の実施のために30年の運転経験から得た教訓」
NEA 運営検討委員会での口頭説明、パリ、2007年
31. E. Baumann 及び I.R. Terry（2006年）「EPR：線量低減及び放射線防護における明らかな前進」
原子力エンジニアリング及び工学 236、ページ 1720～1727

付属書 1

ALARA 設計チェックリスト

ALARA 設計チェックリストは、あらゆる ALARA 関連の技術変更を行う場合に必要である。¹

すべての変更について

セクション1 一般系統機器の設計

- この技術変更は、事故前（第 12 章）と事故後（第 18 章）の最終安全解析報告書（FSAR）の放射線区域分類の変更につながるか。
- この技術変更は、エリア放射線モニターのパフォーマンス特性、設定値若しくはプラント建設地に影響を及ぼすか。影響を及ぼす場合は、設定値の変更決定についてプラントの保健物理担当者に連絡する。
- （該当する場合）頻繁に取り替えなくてもよいように、放射線損傷耐性があり、環境認定された材料が使用されているか。
- 放射能を帯びたシステムにおける流量制限は最小化されているか。
- 加水分解のための急速着脱やアクセスができるように、（可能な箇所に）フランジ接続が設けられているか。
- 保守の時間を最短化するために、設計で電気急速着脱が使用されているか。
- 機械的若しくは化学的手段で排水、フラッシング、浄化及び除染を簡単に行えるように機器が設計されているか。
- フラッシング、排水若しくは浄化を遠隔操作できるか。
- チューブ側で垂直 / 水平タイプの熱交換器が汚染流体に使用されているか。
- 作業員の滞在時間を短縮する若しくはなくすために、ロボット若しくはロボット装置を評価したか。

¹ 米国原子力規制委員会（1996 年）、NUREG-0800、FSAR 12.1 及び規制指針 8.8 「原子力発電所における職業放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするための情報」

セクション2 放射線区域のシステム配置、機器構成、アクセシビリティ及びアクセス管理

- すべての機器ができる限り最低線量率区域に設置されているか。
- ホットスポットや局所的な高放射線区域から離れた場所に機器が設置されているかを確認するために、最近の放射線サーベイをレビューしたか。
- 放射線区域にある機器は、迅速な取り外しや設置ができるように設計されているか（頭上高く持ち上げるリフト・ポイントなどで）。
- 配管、機器、断熱材及び遮へいは、迅速な取り外しや取替ができるように設計されているか。
- ケーブルや導管路は、低放射線区域に沿って敷設されるように設計されているか。
- 常設の足場、通路、階段若しくは梯子を設け、高放射線区域にある機器の点検整備や検査を行う際に迅速にアクセスできるようにしているか。
- 記録装置及び制御装置の測定値の読み取りは容易であるか。若しくは、それらの装置はアクセス可能な低放射線区域から操作でき、低放射線区域に設置されているか。
- 現場の計器（温度や圧力などの計器）は、放射線区域外部から遠隔視覚装置若しくは遠隔読み取り装置を使用して読み取れるように配置及び設計されているか。
- モノレールやジブ・クレーンなどの常設若しくは移動式搬送装置を検討したか。
- 頻繁な保守、較正若しくは点検を要する機器は、低放射線区域に設置されているか。

セクション3 放射性廃棄物

- 設置時、運転時及び保守作業時に、混合廃棄物（有害かつ放射性の廃棄物）及び/若しくは放射性廃棄物の発生を最小化できるように設計で考慮されているか。
- 放射性廃棄物の取り扱いと移送は考慮されているか。
- 固体放射性廃棄物、フラッシング及び除染液に対する放射性廃棄物処理装置は用意されているか。
- 設置時、運転時及び保守作業時の気体状汚染発生を最小限に抑え、若しくは防止できるように設計で考慮されているか。

セクション4 常設及び仮設の遮へいと形状

- 放射線レベルを最低限度で維持し、仮設の遮へいを繰り返し設置する必要がないようにするために、常設の遮へいの使用が検討されているか。
- 仮設の遮へいブランケットを容易に設置できるように、取り付け金具が設計に取り入れられているか。

- 遮へい設計案は、プラント特有のソースタームの情報に基づいているか。
- 鉛は有害であるため、遮へい設計でその使用は最低限に抑えられているか、そして代替材料（鋼鉄、水、コンクリートなど）の使用が検討されているか。
- シャドウ遮へいを使用することによって、配管、ダクト、電線用導管などの貫通部におけるストリーミングを最低限度に抑えているか。
- アクセス可能な区域で一次及び二次放射線散乱による放射線レベルを最低限に抑えられるように、貫通部を遮へい壁の高い位置に設けているか。
- 機器の設置場所での遮へいが効果的でない場合は、保守若しくは点検のために機器を低放射線区域に移動させることができるか。
- 相当高レベルな放射線源となっている個々の機器の間に遮へいを設け、保守及び点検要員が同じ区域内で他の機器を整備できるようになっているか。
- 放射能を帯びた機器若しくは放射線源をピグ若しくは特殊な遮へいを使用して移送 / 貯蔵する準備はできているか。
- この技術変更によって、これまでの遮へい計算の見直し及び / 若しくは変更（配管サポートの撤去や配管取替など）が必要になるほど機器は影響を受けるか。

汚染される可能性がある表面、若しくは除染や汚染管理を容易にする対策に関する変更を行う場合

セクション5 除染及び汚染管理

- 壁や床の表面は、容易に除染できるようにシールが施されているか。
- 汚染される可能性がある表面は無孔性であり、亀裂や尖った角がないか。
- 放射線源からの汚染拡大を抑えるための対策（縁石、ドレン勾配、サンプルなど）は取られているか。
- あふれた水やフラッシング水を集める採水点のすべてに排水設備（ドレン・ベントを含む）が設置されているか。

材料、施工若しくは組み立ての技術、形状、フロー・パターン、又は放射性物質の入っている系統と直接接触する機器の選択に関連する変更を行う場合

セクション6 放射線源の低減、放射線場の増大の緩和及びクラッドの管理

- プラント放射線場の増大につながる放射化生成物を最小限に抑えられるように、一次冷却材と接触する機器はコバルト、ニッケル、マンガンなどが少ない合金でできているか。そうでない場合は、そのような合金を使用できない理由を説明すること。

- 一次冷却材への材料喪失を最小限に抑えられるように、高耐腐食性の材料を設計特徴に取り入れているか。
- 耐荷重性の表面硬化合金（一般的にステライト）の腐食による材料喪失と、それに続く一時冷却材への混入を防ぐために、適切な潤滑剤を使用し、望ましい形状にしているか。
- クラッドの堆積を減らすために、表面を滑らかにすることを検討したか。
- 腐食生成物の放出率を最低限に抑え、表面に放射性腐食生成物が堆積 / 結合しにくくするために、新しい系統若しくは機器は化学的に事前処理されているか。
- 潜在的なクラッド・トラップを特定し、可能であれば除去しているか。例えば、クラッド・トラップになる可能性がある隙間、デッド・レッグ、90 度に曲がった部分及び低流量箇所などが無いようにする。
- 人員の被ばくを低減させるために、フラッシング、再循環、加水分解、化学的除染若しくはその他の方法などのクラッド除去方法を取り入れているか。
- クラッドを排出できるように系統の下部にドレンを設けているか。

放射性流体の入っている弁及び / 若しくは関連機器に関する変更を行う場合

セクション7 放射性流体の入っている弁

- 高放射線区域内部に設けられた弁には、保守作業を行う十分なスペースがあるか。
- 弁サイクルにおけるプロセス流体の流れが妨げられないようにし、クラッド・トラップを最低限に抑えるために、フルポート弁（パイプと同じサイズの弁内部の開口）を使用しているか。
- 区域内のすべての逃がし弁と大気放出板は、放射能放出の可能性やそれに続く取替を考慮したものであるか。
- 保守作業を容易にし、クラッド・トラップを防ぐために、弁は直立位置に設計されているか（注記：適切に機能するためには、弁棒を垂直方向から数度傾けて設置すべき弁もある）。
- ボンネット空洞のないように弁は設計されているか。

放射性流体の入った配管及び / 若しくは関連機器に関する変更を行う場合

セクション8 放射性流体の入った配管

- 放射能を帯びた系統は、デッド・レッグ、スタンドパイプ及び低流量箇所をできるだけ少なくするように設計されているか。
- 樹脂、スラッジ及びクラッド生成物の堆積を減らすために、L 字継手ではなく、半径が少なくとも管 5 本分の直径に相当する大きな曲り管を使用しているか。

- 放射性物質の蓄積を減らすために、管取り付け部品、曲り管、T 字管及び現場溶接をできるだけ使用しないようにしているか。
- 系統内部の表面を滑らかにするために、ソケット溶接ではなく突合せ溶接を採用しているか。
- 配管で T 字管が使用されている場合、正常流れは直線部分を通り、分岐管は管路の上方にあるか。
- 使用済樹脂若しくはスラリーを移送する管は、できる限り垂直に敷設されているか。
- 放射性物質の蓄積を減らすために短い管を使用しているか。
- クラッドの沈殿をできるだけ減らすために、長い管に傾斜を付けているか。
- クラッド・トラップを減らすために、配管接続部分はセンターラインの上方になるようにしているか。
- 可能な場合は、垂直配管にオリフィスを設けているか。
- 配管直径はオリフィスを必要とせず、流速を最大にし、同時に沈殿物及び配管の施栓をできるだけ小さくサイズであるか。
- 貫通配管が原因で日常保守中に区域内放射線レベルが高くなっている場合、管の移転若しくは遮へいの設置を検討したか。
- 使用済樹脂若しくは放射性スラリーを移送する管はすべて、流量制御弁若しくはオリフィスを使用しない設計になっているか。
- 詰まるおそれのある管は、低放射性液体でバックフラッシュ若しくはフラッシングできるか。
- 放射性流体を含む配管は、機器や構造物の遮へい効果を生むように配置されているか。
- 配管及びハンガーの支柱は、仮設遮へいを十分に支持できるように設計されているか。
- 炉外配管における放射線場の増大を遅らせるために、電解研磨ステンレス鋼製の配管が検討されているか。
- 通常状態及び通常外状態で放射性物質を閉じ込められる配管設計が設計に組み込まれているか。
- 可能な場合はフランジ接続ではなく、ボール弁付きのホット・タッパ掃除口を使用しているか。
- サンプル管や放射性廃棄物管以外の管の内部の流れは層流を成し、渦流によるクラッド若しくはその他の放射性物質の堆積を防いでいるか。

- 放射性スラリーが入っている系統には、液体系との接合部分に逆止弁若しくはストレーナーが設置されているか。

放射性流体が入っているタンク及び/若しくは関連機器に関する変更を行う場合

セクション9 放射性流体が入っているタンク

- タンクは、放射性沈殿物を除去するために傾斜底面若しくは丸底で設計されているか、及び/若しくはスパージャーが取り付けられているか。
- 被ばくを最小限に抑えるために、タンク排水弁はタンク底部から離れた箇所に設置されているか。
- 使用済樹脂、スラッジ若しくは濃縮液の入ったタンクに接続されている管の隔離弁は、デッド・レッグを最小化できる場所に設けられているか。
- すべての液体放射性廃棄物タンクと床ドレンにはベント収集システムが取り付けられ、そのシステムに蓄積する固形物を最小限に抑えるために、ベントにはフィルターが取り付けられているか。
- 掃除口接続部がタンクに取り付けられているか。
- タンクのオーバーフロー管は、放射性廃棄物収集システムと直結しているか。
- ノズル閉塞を防ぐために、空気対水スパージャーを使用できるか。

放射性流体の入ったポンプ及び/若しくは関連機器に関する変更を行う場合

セクション10 放射性流体の入ったポンプ

- 封水は、可能であれば、汚染源から取らないようにしているか。
- シールレス・ポンプの組み込みを検討したか。
- 排水ポンプのケーシング若しくは機材は準備されているか。
- 一次冷却材への粒子の混入を防ぐために、ジャーナル・スリーブで制御式漏えいパージが使用されているか。

放射能を帯びた系統におけるフィルター若しくはフィルター系に関する変更を行う場合

セクション11 放射能を帯びた系統におけるフィルター

- 放射能を帯びたタンクからのベント管にはスクリーン若しくはフィルターが設置され、それを容易に取り替えること若しくは清掃することができるか。

- 線量率がきわめて高くなると予測される場所にあるフィルターの遠隔操作による取り外し及び取り付けの用意はあるか。
- 気体放出物フィルターは、遠隔操作装置や仮設遮へいを使用できるほど広い場所にあるか。
- 系統全体で使用されているフィルターは標準化されており、バックフラッシュできるか。

暖房、換気及び空調設備に関連する変更を行う場合

セクション12 放射性排出物が入っている可能性がある暖房、換気及び空調設備

- 空気ダクトで溶接継ぎ目が用いられているか。
- 放射能の移行をできるだけ防ぐために、高効率フィルター、電気集じん装置及び活性炭フィルターが考慮されているか。
- ろ過に先だって HVAC 系で高流量及び温度が維持されているか。
- 漏出物収集や換気などの方法及び機器の選択によって、局所的な気中放射能を低減させる用意はあるか。
- 換気流は、気中放射能が潜在的に低い区域から潜在的に高い区域へ向かっているか。
- 汚染増大を防ぐために、気中放射性物質を含んでいる管路における方向変化の頻度を最低限度に抑えているか。

プロセス計装及び制御 / サンプルング系統に関する変更を行う場合

セクション13 プロセス計装及び制御 / サンプルング系統

- 中間流体若しくは流体剥離を使用する計装システムを検討したか。
- 計器タップは、中央平面の上部にあるか。
- 配管や導管を中央の遮へいされた場所まで引き回すことによって、局所的なサンプルング・ポイントの数を最小限にしているか。
- サンプルング系は、事故時でも高ページ流を継続的に確保して、迅速かつ正確なサンプルングができるように、遮へいされた場所若しくは遠い場所に引き回されるように設計されているか。

放射線検知計装若しくはモニタリング・システムに関する変更を行う場合

セクション14 放射線モニタリング・システム

- 電気回路によって検知機の故障を確認できるか。
- 現場警報装置や現場表示器があるか。

新規施設設計又は既存の施設、系統若しくは類似機器群の大幅な変更を行う場合

セクション 15 新規施設設計 / 既存の施設 / 系統の大幅な設計変更

- 低、中及び高レベルの放射能区域がそれぞれ分離され、レベルに応じて系統や機器が配置されるように、系統及び機器は分離されているか。
- 高放射性配管、特に貫通管路について、遮へいパイプ・チェースを検討しているか。
- バルブ室を利用して、弁を高放射能機器から遮へいしているか。
- スキッドが取り付けられた系統は、高放射能部分と低放射能部分との間が遮へいされた設計であるか。若しくは、遮へいを後に追加できる十分なスペースがあるか。
- 機器へのアクセス及びその取り外しを可能にすると同時に被ばくを減らすために、遮へいドア、遮へいプラグ若しくはラビリンスが使用されているか。
- 新たに設けられる区域の設計若しくは既存の区域の設計変更において、アクセス管理が確保されているか。
- 10 mSv/時を超える区域へのアクセスを制限するために、障壁が設けられているか。
- 低放射線区域の機器の付近に適切な機器除染施設があるか。
- 除染区域には、除染前の機器の追加保管のために一時置場が設けられているか。
- 電力、水、空気などの供給設備が放射線作業区域のかなり近い場所にあるか。
- 放射線源と作業場との実効距離が最大限になるようにシステムが配置されているか。

付属書 2

ALARA 工学的設計の原則

1. 放射線量の評価

放射線に対する設計では、放射線区域で実施する業務やプロセスの分析、その区域の予測線量率、及び放射性物質のインベントリー案を考慮することによって、予測線量に対応する準備をしておくべきである。

A. 作業員と時間

さらに、作業員の人数と作業員が放射線区域で費やすと思われる時間を考慮すべきである。

例えば、一般的な（低線量の）作業区域は放射性物質のインベントリーが少ない区域若しくは中程度の区域である。例として、一般放射性核種研究室、適切に遮へいされた X 線回折装置や分光装置がある部屋、並びに低汚染及び潜在的な低線量率の作業区域などがある。

一方、高線量の作業区域における作業では、一般的な作業区域における作業よりも多くの放射性物質を伴うのが普通である。プロセス作業区域の例として、グローブ・ボックスやホットセル作業区域、高線量の部屋の管理区域、及び中等線量若しくは潜在的汚染を伴う実験を遠隔制御できない加速器設備のある選択区域などがある。

B. 複数の放射線源

建屋のレイアウトでは、保守要員の作業場所にある複数の放射線源によって同時に被ばくする線量を最低限に抑えることが重要である。同様に、ある者の作業によって同じ区域内の他の作業員が無用な線量に被ばくするおそれがあれば、それぞれの作業場を遮へいすべきである。

C. 遠隔操作

一般的に、遠隔操作区域における機能は遠隔的若しくは自動的に制御される。それらの区域の建屋での作業は主にプロセスの監視、若しくは危険性が高く、アクセスが制限された区域で発生する操作の調整である。この種の区域の例として、ホットセル・サービスや保守の区域、及びプロセス・システムやホットセルに線量率の高い分散性物質が送り込まれる移送区域などがある。

D. 隔離区域

隔離区域には、高線量率の区域若しくは空気汚染レベルが高い区域が含まれる。それらの区域への無許可の立入りや監視なしの立入りは禁じられており、設計特徴により、人員の無許可の立入りができないようにするものとする。人命を直ちに危険に晒す条件がその区域に存在する場合は、いかなる人員の立入りも禁じられている。それらの区域で作業する場合は、線量を制限するために物理的制御が必要である。

2. 出入管理に関する考慮事項

建屋レイアウトは、人員及び核物質の流れを制御して個人線量を管理する上で重要な要素である。使用頻度が高い通路や放射線を扱わない作業員の作業区域を高放射能区域や高汚染区域から隔離するなど、適切なレイアウトによって放射線場による日常的な被ばくや一時的な被ばくを減らすことができる。任務遂行のためにある程度の放射線量に被ばくせざるを得ない区域における職業放射線量は、レイアウトによって効果的に抑制すべきである。連邦規則 10 CFR 835¹で規定されている管理区域については、モジュール 103 で説明する。以下は、一般的な説明である。

A. 連続的な区域

適切な建屋レイアウトを実現するための容認可能な方法は、連続的な区域という仕組みを構築することである。このコンセプトは外部及び内部線量当量の物理的管理に適用できるため、頻繁に採用されている。また、設計は放射線管理区域の立案及び設定の優れた先行作業である。

B. 一般立入区域及び管理区域

どのような原子力施設にも 2 種類の主な区域がある。すなわち、非管理区域と出入管理区域である。

一般的な立入

一般立入区域とは通常、一般人の立入りは制限されているが、直接的な放射線被ばくを受けることなく作業を遂行できる場所であり、管理作業区域や、放射線を受けないサポート要員の作業区域などが含まれる。それらの区域には、会議室、ファイル保管室、事務室、その他の支援室、食堂及び休憩室などがある。

¹ 米国エネルギー省、連邦官報 Vol. 58、No. 157、規則及び規制、10 CFR パート 820 及び 835 (1993 年) 並びに Vol. 72、No. 110 (2007 年)

管理区域

管理区域とは、放射線や放射性物質による被ばくから個人を守るために立入りが管理されている区域である。放射線区域に出入りすることなく管理区域のみに出入りする者は、年間 100 ミリレム (0.001 Sv) を超える総実効線量当量を浴びることはないと予測されている。

放射性物質がある区域に隣接する廊下、若しくはその区域へつながっている廊下、放射線作業員の更衣室若しくは特殊オフィスなどが管理区域に含まれる場合がある。

放射線区域

放射線区域とは、放射線区域、汚染区域、高汚染区域、気中放射能区域又は高放射線若しくは超高放射線区域の定義を満たす管理区域内のあらゆる区域を指す。出入管理のために、放射線区域は緩衝区域（臨時区域とも言う）と汚染区域つまり高線量率区域に分けることができる。

緩衝／臨時区域

事務所は放射線区域の近くに設けなければならないという施設設計基準がある場合にのみ、緩衝区域に事務所を設置すべきである。緩衝区域の主な機能は、汚染を制御し、放射線区域を一般立入区域から隔離することである。

C. 交通

- 頻繁に使用する通路は、低放射線区域及び非汚染区域に設ける。²
- 非放射性物質が放射線区域を通過したり、放射性物質が非放射線区域を通過したりすることがないように、建屋内部及び建屋間の搬送経路を計画する。
- 清浄区域若しくは一般立入区域が隔離されておらず、放射線区域を通過しなくてもそれらの区域に行けるように、人員の交通路を計画する。
- 汚染区域間の立入通路が清浄区域を通過することがないように、人員の交通路を計画する。
- モノレール、クレーン、出入口、廊下及びハッチのサイズと場所は、それらが使用される放射線区域若しくは非放射線区域との関係で検討する。
- 消防士が放射線区域に入る時の通路を必ず検討する。消防士が高線量率区域から最大の距離を保ちつつ、最も可能性の高い火災区域に容易に立ち入ることができる通路を準備する。

² 常識を働かせ、合理的に考える。通路が「清浄区域」にあっても、距離が長く非合理的な経路である場合、人はその経路を使用せず、ホット・エリアを通過して「近道」をするかも知れない。

D. アクセス

- 検査及び保守活動のために、機器周辺に十分なスペースを確保する。
- 検査や保守の邪魔にならず、機器の取り外しを容易にできるように支柱を配置する。
- 保守のために高線量率区域から機器を容易に移動できるスペースと搬送通路を用意する。
- 保守若しくは点検のために機器を容易に動かせるように、十分な幅と大きさの出入口と立入区域が用意されていることを確認する。
- 手が届きにくい場所にある機器に簡単に近付けるように、常設の足場や取り付け装置などを用意する。
- 機器や部品を分解できる一時置場を用意する。
- 人員の出入管理箇所数を最小限に抑え、そこを利用する作業員の予想人数に応じた大きさと設備を用意する。
- 気中放射性物質の濃度がきわめて高い区域には、無許可の個人の立入りを防ぐために物理的障壁を設けるべきである。
- 高放射線区域への入口若しくは立入箇所のそれぞれに、以下の設計特徴のうち 1 つを設ける。
 - 放射線レベルが高い時の立入りを禁止する制御装置、若しくは立入りがあった場合に放射線レベルを高放射線区域のレベル未満に低減させる制御装置
 - 放射線源の操作を防ぐ装置
 - はっきりと見える、若しくははっきりと聞こえる警報器を作動させる制御装置
 - 通路の施錠
 - 立入りを防ぐことができる継続的な監視

また、超高放射線区域の線量率が揭示要件よりも高い場合には、その区域への立入りを禁止する。

- 施錠されたドアの内側には、緊急用出口手すりを設ける。また鍵、警報器及びインターロックが必要な区域には、それらを設置する。
- 時々必要になると予想される仮設出入管理箇所を設置するスペースを用意する。
- それぞれの出入管理箇所が必要に応じて人員汚染モニター用のスペース、支柱及び電気コンセントを用意する。

E. 放射線区域

- 汚染区域と放射線区域をできる限り小さくする。
- 放射線区域や予想されるホットスポットを掲示する。

3. 汚染管理設計に関する考慮事項

A. 汚染管理

- サンプ若しくは床ドレンに向けて床に傾斜を付け、漏えい物を迅速に除去できるように縁石、排水溝、小段、トレンチなどを必要に応じて使用する。
- ハードパイプ排水、タンクのオーバーフロー、弁棒の漏れなどは、サンプへ流す。
- 排水を適切な放射性廃棄物サンプ若しくはタンクに直接送る。
- 必要に応じてステンレス鋼製の回収用受け皿を設置し、漏えい物を管類若しくは配管を通じてドレンに流す（ステンレス鋼は腐食しにくく、除染が容易である）。
- （漏えいやサンプの逆流などによる）溢水が機器汚染の原因となるかどうかを常に検討し、そのような機器は溢水の水位よりも高い位置に据え付ける。
- 床貫通部では、一段高いスリーブを使用する。貫通部のシーリング若しくはフードの取り付けを検討する。
- 汚染する可能性がある区域にある階段や足場では、隙間のある格子板の使用を避ける。
- 熱交換器のヘッド部分を取り外したり、管を開けたり、同じようなことをした時にできるスペースの上でグローブ・ボックスやその他の容器を使用できるように、空間を空け、支柱を立てる。
- 汚染区域若しくは汚染する可能性がある区域の内部や付近に、身体測定機器、ステップオフ・パッド及び使用済防護服用のゴミ箱を置くスペースを用意する。

B. 除染

いつかは起こる除染に関する計画：機器の除染が終了すると、作業員は区域内の他の機器によって高線量被ばくしている可能性があり、また作業員の作業余裕がほとんどなくなる可能性がある。除染液、衣服及び取り外した部品を回収する必要がある。機器を他の場所で除染するために取り外した場合は、機器を梱包し、吊り上げ、積み込み、おそらく一般立入区域若しくはクリアランス・レベルの区域を通り、通路に沿って移動させなければならないことがある。

設計段階で除染を容易にする方法が幾つかある。

- 機器の表面（内面及び外面）、床、断熱材、壁、トレンチ、ドア、プラグ及び器具の表面を滑らかで、無孔性かつ非反応性にする。
- 除染で使用されると思われる必需品、すなわち水、空気、電気及びその他の供給物を十分に用意する。
- 掃除用の開口部、加水分解用のタップ若しくは化学的除染ハッチ、回収用の受け皿及びフラッシングや排水の手段を設ける（掃除用の開口部はそれ自体がクラッド・トラップになるという点に注意）。
- 大型施設若しくは大型事業の場合は、中央除染ステーションの設置を検討する。中央除染ステーションの規模、設備及び場所は、そこで取り扱う機器のタイプ、サイズ、数及び設置場所に応じて判断する。

4. 放射性廃棄物に関する考慮事項

A. 放射性廃棄物の一時貯蔵

- 放射性廃棄物の一時貯蔵場所については、建設計画及び放射性廃棄物を取り扱う各区域に関する計画の両方で計画する。
- 放射性廃棄物取扱区域には、特別な廃棄物集積区域を設けるべきである。そのような特別区域は、施設の日常的に人がいる区域から離すべきである。
- 火災発生防止、漏出管理、及び（場合によって）蒸気や悪臭の管理に特に配慮すべきである。

B. 放射性廃棄物の大量貯蔵

- 作業区域は、廃棄物の主要な大量中間貯蔵区域であってはならない。その代わりに、すべての主要施設に特別大量貯蔵区域を設けるべきである。
- この区域は、建屋から運び出される廃棄物を主な人員交通通路や非管理立入区域を通過して搬送しなくても済むような場所であるべきである。
- 通常の処分方法が一時的に滞った場合に作業区域における廃棄物蓄積を防ぐために、廃棄物貯蔵区域は想定を上回る廃棄物量に十分対処できる広さであるべきである。

C. 搬送

- 容器内の固体廃棄物及び液体廃棄物を搬送する経路については、できる限り一般立入区域を避ける経路を計画する。

- 作業区域から処分地点までの中レベル若しくは高レベルの放射性廃棄物の搬送距離は、できる限り短くする。

D. 液体系統における排水

- 効率的かつ完全な排水のために排水域、縁石、排水ます若しくは帯水タンクを設計する。

E. モニタリング

- 排水や滞水装置に操作員がいない区域、若しくはそれらが遠隔制御されている区域での漏えいや漏出を検知するために、モニタリング・システムを設置する。

F. 火災制御

- 可燃性の放射性物質が蓄積若しくは貯蔵される可能性がある区域に火災制御系を設置する。放射線区域における火災の影響ばかりではなく、非放射線区域における火災の影響にも配慮する。

5. 遮へい、貫通部及び経路に関する考慮事項

A. 遮へい

- 遮へいのタイプ、厚さ及び配置に関する情報を放射線専門家（それぞれのプロジェクト若しくは運転計画に応じた放射線エンジニア、ALARA スペシャリスト若しくは保健物理学者）から得る。
- 「他のタイプの遮へいでも目的を果たすか」若しくは「多くの遮へいがなくとも目的を果たす方法があるか」などと積極的に問い合わせる。
- 一部の放射線区域並びにすべての高放射線区域及び超高放射線区域に対して、ラビリンスの入口を検討すべきである。
- 長年にわたる線源の蓄積若しくはその他の線源の蓄積を考慮する（直ちに必要な遮へいより多くの遮へいを設置する、若しくは線源の蓄積に従って後日追加する遮へいのためにスペースを確保し、支柱を立てておく）。
- 大型機器にはブロック壁や天井ハッチなど、取り外し可能な遮へいを検討する。ただし、取り外しや据え付けにはある程度の線量が伴うことに留意する。そのような遮へいの設計若しくは据え付けでは、適切な重ね合わせや段付けを使用する。
- 遮へいが短時間だけ必要な場合、若しくは低頻度で必要な場合は、仮設の遮へいを検討する（スペース、支柱及び搬送に関する要件を考慮する）。

- 遮へいドア、鉛を含む窓ガラス、ホットスポットの覆い、輸送キャスク、カート若しくはフォークリフトの遮へいなど、特殊な遮へいを検討する。
- 仮設の遮へいを固定するために、固定フック、ラッチ、留め具及び構造支持体を追加する。
- 定常操作や日常保守ができるように、放射性物質の処理若しくは貯蔵で使用する機器ごとの遮へいを設計する。

B. 貫通部

- 貫通部の穴を開ける前に、あらゆる関係分野の専門家に貫通部に関する計画を検討してもらう。
- 貫通部のサイズと数を最低限に抑える（一般的に、1つの大きな貫通部よりも複数の小さな貫通部の方が望ましい）。
- 最も薄い遮へい壁に貫通部を設ける場合は、壁のコーナー付近のできるだけ高い部分に、放射線源からの照射から外れるように設ける。
- 階段、出入口、エレベーターなど、アクセス可能な区域と高さが同じにならないように、貫通部を配置する。
- 貫通部の低放射線側の壁若しくは天井に取り付けられた放射線感受性の機器、例えば電子機器などと同じ高さにならないように貫通部を配置する。
- 芯違い貫通部を検討する。
- 貫通部を通過するストリーミングや散乱を少なくするために、貫通部の後方にラビリンス若しくはシャドウ・シールドを設置する。
- 線量率低減、空気流制御及び漏えい対策のために正当化できる場合は、貫通部をシールする。

C. ダクト、パイプ、ケーブル及び導管 (DPC) の経路

- DPC は、できるだけラビリンス若しくはドアを通過するようにする。
- 汚染流体を含んでいる DPC の経路は一般立入区域を通過させず、また汚染していない DPC は汚染する可能性がある区域や高線量率区域を通過させない。接続部、引き込みスペース、配線接続箱、パネル、弁駆動装置及びタップは低線量率区域に設けるか、少なくとも壁の低線量率側に設ける。試料採取管や汚染する可能性があるその他の管はできる限り短くして、立入りできる区域に設置する。

- XYZ 配管網が理想的であると考えてはならない。90°以外の曲り継手や傾斜管を使用して斜めに配管することによって、配管路を最短にする。
- 清浄な管と放射能を含んでいる管、特に管通路は別々の区域に配管する。清浄な系統を整備する作業員は概して、高い線量を受けることがないはずである。
- 保守、点検及び断熱を行うために十分な隙間ができるように配管する。
- 放射能を含んでいる DPC を現場で配管しない（そのような配管が必要な場合は、配管工に配管してもよい経路と区域を指示すべきである）。
- 放射能を含んでいる管を特定し、認識できるように、現場配管の竣工図を作成する。

6. 機器の分離、分別、配置及び隔離に関する考慮事項

A. 分離

- 同じ小間にある機器同士の間には遮へい壁を設置し、それらの機器のいずれかを整備する作業員の線量を減らす（作業員が 1 つの機器に達するために他の機器の近くを通らなくても済むように、それぞれの機器を配置すべきである）。
- タンクなどの静的機器を動的機器若しくは頻繁に整備する機器から遮へいによって分離する。
- 適正な数の機器を隙間遮へいするために、マルチ・スキッド設計を検討する（例えば、ポンプは放射能を運びやすいが、モーターは放射能を運びにくいいため、高放射線に晒されるポンプとそのモーターとの間に遮へいを設ける）。

B. 分別

- 高放射能汚染機器と中放射能汚染機器とを分別し、双方とも清浄な機器から分別する。同様に、高気中放射能汚染機器と中気中放射能汚染機器とを分別し、双方とも清浄な機器から分別する。
- 異なる系統の放射能汚染機器を分別し、1 つの機器だけに保守が必要な場合に、線量を減らすため双方の系統をフラッシング、排水若しくは除染しなくても済むようにする。

C. 配置

- たとえ遮へいがある場合でも、作業員が低線量率区域から中～高線量率区域に入ったり、動的機器から静的機器へと移動したりできるように、区域内若しくは機器室内の機器を配置する。
- 検査装置、制御装置、読み出し装置及びパネルは、低線量率区域に配置する。

- 付帯設備（脱塩水や電源など）は、入口付近若しくは少なくとも最低線量率区域に配置する。

D. 隔離

- デッド・レグを最低限に抑えるために隔離弁を適切な場所に設置する。
- 弁のある管路は、できるだけ短くする（リーチ・ロッドや弁駆動装置に配慮する）。
- 放射能汚染の可能性が異なる系統の間の相互接続案については、十分に検討する（脱塩水補給系など、放射能汚染系統と清浄系統を接続する場合には、仮設接続だけを検討する）。

E. 冗長性

- 特に高放射能収納物がある系統や安全系統では、十分な冗長性とバックアップ機能を設ける。そのために、適切な交差接続を行う。

7. アクセシビリティ、一時置場及び保管に関する考慮事項

A. アクセシビリティ

- 主要機器の周辺には十分な作業スペース、通常は少なくとも 3 フィートを確保する。リーチ・ロッド、遮へい、パイプ、足場などでこのスペースがふさがれるようなことがあってはならない。
- 保守を行うために多くの作業員若しくは大型工具が必要な場合は広いスペースを確保し、防護服や呼吸保護具が占めるスペースに配慮する。
- ラビリンスや出入口は、作業員、カート、フォークリフト及び工具が通過できる大きさにする。
- 大型機器用のクレーン若しくはモノレール、小型機器用のアイ・プレート若しくはアンカー・ポイント、及びすべてのきわめて重い機器用のリフティング・ラグを用意する。
- 保守作業が頻繁に若しくは長時間行われる場合には、常設の栈敷若しくは足場を検討する。そうでない場合には、仮設構造物用のスペースや取り付け具を検討する。
- 呼吸保護具を含む防護服一式を着用した作業員が出入りできる人員専用路（少なくとも 24 インチの大きさが望ましい）が付いたタンクを選択する。
- 溶接部分同士及び溶接部分と貫通部分とを規定どおり分離することによって、溶接部分へ簡単にアクセスできるようにする。

- 止め金具、ハンガー、支柱及びスナバの数を最小限に留め、区域内のアクセス空間を最大化するような方向にそれらを向ける。
- 断面設計若しくはモジュラー設計（例えば、頻繁な保守を要するヒート・トレース管の断熱材をスナップ留めにする）を検討する。
- フィルターを取り外してビニール袋若しくは遮へい容器に入れるためのスペースを確保する。

B. 一時置場及び保管

- 低線量率区域に一時置場のスペースを確保する（機器以外にも、工具箱、カート、ホースなどの品目に配慮する）。
- 放射能汚染工具（固定性汚染）や除染前の工具を、掲示、施錠、遮へい及び換気が適切に行き届いた区域に保管する。
- 放射線区域で使用する放射能汚染していない品目、例えば線量測定器、フィルター、断熱材などを適切に保管し、放射線、光、湿気などによって劣化しないようにする。

8. スナバ、ストラット、ハンガー及びアンカーに関する考慮事項

- スナバ、ストラット、ハンガー及びアンカーは、取り外しや取替が容易にできるように設計し、設置する。
- スナバ、ストラット、ハンガー及びアンカーは、点検や保守の邪魔にならないように配置する。
- スナバをできる限りストラット若しくは減勢装置と取り替える。
- スナバ、ストラット、ハンガー及びアンカーに塗装やタグ付けをし、修理や点検でそれらの場所がすぐにわかるようにする。

9. ヒューマン・ファクター

A. 視覚的要素への配慮

- 標示、標識、読み取り値などは、ある程度離れた場所からでも明確に読めるようにする。
- 規格外のレタリングの使用は避ける。

- 適切な照明設備を用意し、機器が片隅に設置されている場合や他の機器の後方にある場合、若しくは遠隔操作カメラが使用されている場合は補助照明設備を検討する（線量率が高くなる可能性のある区域には、自動式の非常灯を設置する）。

B. 聴覚的要素への配慮

対象区域のどこにいても聞こえる十分な数と音量の警報器を設置する。バックグラウンド・ノイズも最小限に抑える。

特に保守及び検査作業員若しくは保健物理技術者が業務中に監督者や保健物理検査官と連絡を取り合う必要があるような区域には、十分な通信手段を用意する。

C. 身体特性への配慮

- 身体の寸法や体力に関する適切な資料を熟読した上で、このガイダンスをあらゆる設計や運転作業に適用する。
- 作業員の人数が少なくても作業を遂行できるように、持ち上げ装置や特殊工具の使用を検討する。
- 特に呼吸保護具及び/若しくは通気性のない保護具などの保護具による熱ストレスの影響を考慮する。
- 不慮の事故による負傷作業員や意識不明の作業員をタンク、プール若しくはその他の高線量率区域や高気中放射能区域から救出する救命索の用意を検討する。

D. 人的過誤の防止

- 機器若しくは床に、色落ちしない位置合わせマークを付ける。
- 器具、導管、ボルト及びパイプを色分けする。
- 断熱材に識別標を付け、その裏側に何があるのかを明示する。
- 弁位置やブレーカー設定などのシステム構成表示を制御装置若しくは機器の近くに明示する。
- 弁、弁駆動装置、制御装置などを論理的に配置する。
- 操作手順の自動化を検討する。若しくは、手動操作で危険な選択をする場合はインターロック装置や警告灯を使用する（サンプル抽出の開始時に自動的に始動するサンプルフード付き HVAC など、記憶を助けるものとしてのインターロックも使用する）。

- 安全作業を確保するために線量をできるだけ節減する（例えば、安全のためにバディー・システムを利用する区域には、ラビリンス入口などに鏡を取り付けて監視人が監視できる低線量率区域を設ける）。
- 運転員が長時間の作業若しくは複雑な作業を練習できる実物大模型や模擬訓練装置の備え付けを検討する。
- 1 つの区域に専用の特殊工具若しくは特殊機器は、その区域付近に備えておくべきである。

10. 操作、保守及び点検に関する考慮事項

A. 操作

- 機器の操作のために、機器、常設の足場、照明設備、梯子、コンセントなどの周辺には十分なスペースを確保する。
- 高線量率の弁の遠隔操作装置若しくはリーチ・ロッドは、汚染区域外部に配置する。
- 読み出し機器は低線量率区域に設置し、可能であれば常に汚染区域から離れた場所に設置する。
- 遠隔読み出し装置、のぞき窓、放射線検出ポート若しくは TV カメラを使用して、高放射線区域外部から操作や監視を行う。
- 頻繁な手動操作や監視を要する機器若しくは計器には、できるだけ線量率が低い区域を通過してアクセスできるようにする。

B. 保守

- 保守のために、機器、常設の足場、照明設備、梯子、コンセントなどの周辺に十分なスペースを確保する。
- 耐用年数が長く、保守が容易で、信頼性が高く、保守頻度が低いという運転実績がある機器やシステムを選択する。
- 頻繁な保守を要する機器（例えば小型のポンプや弁）は、低線量率区域での修理が簡単に行えるように、短時間で取り外せるように設計する（例えばフランジ接続）。
- 定期保守の対象品目をなくす、若しくはできるだけ少なくする（例えば O リング、ガスケット、パッキン、保護塗装及び照明器具）。
- 潤滑システム若しくは自己潤滑装置の使用を検討する。
- 機器の取り付けや取り外しを可能にするメカニズムを設ける（例えばアイ・プレート）。

- 頻繁な保守を要する機器や器具にできるだけ低線量率の区域を通過してアクセスできるようにする。
- ステライトの中性子放射化につながるコバルトを減らすために、弁の保守を行う手順でステライト屑を管理できるようにする。
- クラッドの蓄積を最低限に抑えるように、機器を設計し、配置する。

C. 点検

- 機器、常設の足場、照明設備、梯子、コンセントなどの周辺には、十分なスペースを設ける。
- 断熱材の設計により、迅速な取り外しや交換ができるようにする（例えば合い印やガラス繊維ブランケット）。
- ASME 規格のセクション XI、付属書 J、付属書 R、並びに ISI 漏えい率及び火災防護プログラムのその他の検査要件により義務付けられている点検を容易に行えるような機器配置をする。
- 機器、スナバ、溶接部、貫通部、弁及びその他の点検を要する箇所を見分けることができるように、明確なタグやラベルを付ける。
- 頻繁な点検を要する機器若しくは器具には、できるだけ線量が低い区域を通過してアクセスできるようにする。

付属書 3

施設のシステム設計への ALARA の適用

1. 気中放射能と HVAC 系に関する考慮事項

空気中若しくは表面の汚染を体内に取り込み、線量が増加する可能性があるため、換気系について個々の ALARA は検討するに値する。作業員に対して呼吸保護具の着用を日常的に義務付けることは、気中放射性物質の体内蓄積を低減させる望ましい解決策であるとは言えない。

施設の換気系は、通常状態及び異常状態で使用区域の気中放射能レベルを制御する主要な手段である。

A. 不可欠な特徴

換気系には、2 つの役割がある。すなわち、気中放射能を人員から遠ざけ、放出されるいかなる気中放射性物質も捕捉する（場合によっては監視する）適切な手段を確保することである。これらの目的を達成するために、換気系には一般的に 2 つの不可欠な特徴がある。

- 換気される区域と外部区域との間の適切な差圧（DP）
- 高効率粒子空気（HEPA）フィルターによるろ過

B. 区域ごとの要件

類似する区域であれば同じ換気性、特に差圧とろ過の同一要件が常に必要であるとは限らない。換気設計基準には、ある程度の柔軟性が必要である。その理由は、作業内容によって条件が異なり、局所若しくは可搬式の換気系の方が局所気中放射能レベルを大幅に下げるのに効果を発揮する場合があるからである。

C. 気中線源の除去 / 低減

気中放射能を確実に管理するために、以下を考慮して設計する。

- 連続溶接シームやフランジ・ガスケットがある機器及びダクトを適切にシールし、加圧する。
- HVAC 機器を設置若しくは修理した後は、漏えい試験を行う。

- 運転及び存在する放射性核種に対して適切なフィルターを選択する（例えば、活性炭フィルターはヨウ素に対して効果的であるが、非放射性の微粒子やダストを取り込んだ場合には長持ちしない。ダスト用の前置フィルターや微粒子用の HEPA フィルターが必要な場合もある）。
- ダスト目詰まりを監視するために、フィルターに差圧検出器を取り付ける。
- 蓋がないタンクや、ベント管がオーバーフロー管よりも低い位置にあるタンクの使用は避ける。
- タンクが加圧される可能性がある場合は通常、タンク通気管をダクトに直結しない。
- フィルターの交換、機器の満水保管及び汚染部品の機械加工などの作業を計画する際は、汚染防止の良好事例を活用する。
- バックフラッシュや詰まり除去を行う場合は、圧縮ガスよりもむしろ水を使用する。
- 気中放射性物質が存在している可能性がある区域につながっている貫通部、格子、開口部などは適切な場所に設け、シールする。
- 排気口の外部に取り付けるモーターには、シール軸受モーターを指定する。
- 放射線区域での排気フィルターの目詰まりとダスト蓄積を最小限に抑えるために、吸気フィルターを設置する。
- フィルターや活性炭ろ過装置の上流側に、ドレン及び／若しくは乾燥器及び／若しくは湿分分離器を設置する。
- 高放射性流体（例えば原子炉一次冷却材）のサンプルを採取する際に使用し、開けた場合に浮遊物質を放出する可能性がある機器を修理する際に使用するサンプリング・ステーションには、補助若しくは仮設の換気系を取り付ける（既設の換気系に仮設配管するのと、独立した可動式 HEPA ろ過換気系の設置の双方を検討する）。

D. 空気の流れ

差圧システムは、格納容器から漏れる気中放射性物質の流れを誘導するのに使用すべきである。

- 十分なる過及びモニタリング手段があれば、室内空気を再循環させてもよい。
- 汚染する可能性が全くない、若しくはほとんどない区域から、汚染する可能性が高い区域へと空気の流れを誘導する。
- 施設内では、一次閉じ込め系の圧力が常に最も低いものとする（外部気圧と比較して）。
- 圧力が最も低いポイントや排気ガス収集ポイントを分散性物質が存在する可能性が高い区域に配置するために、施設や部屋ごとに傾度を定めるべきである。

- 汚染した可能性のある空気が流れるダクトが清浄な区域を通る時、その圧力は負圧であるのが望ましい。
- 換気供給ポイントは作業員若しくは作業区域の上方に配置して汚染源から遠ざけ、さまなければ、作業にとって適切な場所に配置する（例えば作業台、グローブ・ボックス及びフード）。
- 通路、戸口、入口、作業区域及び特に休息ゾーンに汚染空気を引き込まないようにする。
- 清浄な区域の床の近くや、入口若しくは開口部から離れた場所に排気装置を設置する。
- ファンの汚染とフィルターの加圧を防ぐために、換気ファンをフィルターの下流側の排出口にできるだけ近く設置する。
- 汚染の可能性が最も高い区域からろ過システムを通して排気する。
- 放射能のプレート・アウトと流量喪失を減らすために、換気ダクト内の L 型曲り管の数を最小限に留める。その代わりに、整流器を検討する。
- プレート・アウトを減らすために、ダクトとファンは十分な流量を確保できるような寸法にする。
- プレート・アウトを減らすために、表面が滑らかな材料を選択する、若しくは内面のコーティングを検討する。
- ドアを開けたために、若しくは遮へいプラグを取り除いたために、適切な空気流が妨げられるようなことがないようにする。
- 追加換気流が必要な場所に仮設換気系を取り付けられるように、接続部を設ける。
- 呼吸保護具を使用する必要性を最低限に抑えるように換気系を設計する。
- 必要に応じてエアロックを使用する。

E. ろ過系統

- 適切なタイプ、寸法及び数の空気ろ過装置を選択する。
- 配管やファンの内部の汚染の蓄積を減らすために、フィルターを線源にできるだけ近い場所でファンの上流側に設置する。
- HEPA の上流に粗フィルターを取り付け、活性炭フィルターの上流に HEPA を設置する。
- フィルター・ハウジングと換気ダクトの除染をするためのフラッシング・ポートとドレンを設ける。

- 高度汚染換気系のフィルターを遮へいされたハウジングに入れ、人の出入りが少ない区域にフィルター・バンクを設置する。
- 事故が発生した場合にはフィルターを遠隔操作できるように、若しくは迅速に取り外せるように、フィルター・ハウジングとフィルターを設計する。

F. 保守

- 保守、点検、試験及び操作が容易な換気系を設計する。
- 換気系のモーターは、できるだけ低線量率区域に設置する。
- 換気系を適切に設計することによって、フィルターの交換が容易になり、放射線の放出と作業員の被ばくを最低限に抑えることができる。
- ろ過系統の現場試験ができるような設計であるものとする。

G. モニタリング

- すべての気中放射能汚染区域や、そのような区域になる可能性がある区域は、モニター付きの放出ポイントに向けて換気する。
- フィルター性能を実証するために、最初の試験可能な段階の前と最終段階の後に、継続的微粒粒子サンプル採取を行えるように設計する。
- 気中放射能が高い可能性がある区域では、各段階における性能を実証するために、複数の中間段階でサンプル採取を行う必要がある。

H. 緊急時

- 放射線施設の重要な換気系は、平常電力が喪失しても継続運転を確保するために、非常用電源を備えていなければならない。
- 漏出や漏えいが発生した場合でも迅速に空気を浄化できるように、区域全体にわたって十分な空気流を確保する。

2. 格納容器に関する考慮事項

A. 格納容器

格納容器は、一連の障壁に囲まれた区域である。それらの障壁には、壁などの静的障壁若しくは弁や換気流などの動的障壁がある。

- 一次格納容器は、放射能との接触度が最も高い障壁若しくは一連の障壁である。

- 二次格納容器は一次格納容器を取り囲み、一次格納容器からの漏えいを受け止め、処理する。
- 三次格納容器を設置する必要がある場合もある。

このような定義の 1 つの難点は、単一故障によって 2 つの格納容器（例えば一次及び二次格納容器）が同時に故障することが通常あってはならないということである。

B. 一次格納容器

封じ込めとは、運転の一定の時点若しくは一定のモードにおけるシステム構成に関する考え方であり、同時に物理的な意味もある。例えば、放射性流体が入っているタンクの場合、タンクそのものは、取水配管と出口配管から最も近くにある隔離弁まで含めて、一次格納容器である。それらの弁が開くと、一次格納容器は次の弁などまで拡大することになる。それとは別のもう 1 つのタンクも別の一次格納容器であると考えざるを得ないが、そのタンクと最初のタンクとの間の弁が開くと、もう 1 つのタンクを最初のタンクの延長であると考えることができ、したがって単一の一次格納容器の一部と考えることができる。

C. 二次格納容器

タンクや配管が収納されている部屋若しくは格納庫は二次格納容器であり、それに応じた設計をすべきである。二重壁に囲まれたタンクの外側の壁も二次格納容器と考えることができる。建屋自体は、三次格納容器であると考えることができる。

D. グローブ・ボックス

グローブ・ボックスやその他の取り扱い設備のエンクロージャーは、それらの内部の放射能が完全に封じ込められていない場合や、十分にシールされているとは思えない容器にそれらが収納されている場合、一次格納容器である。グローブ・ボックスの内部で配管系、容器、計器などに放射能が実際に封じ込められている場合、グローブ・ボックスは二次格納容器である。後者の場合、部屋は三次格納容器として設計する。

E. 一次格納容器の貫通部

一次格納容器の貫通部は十分に検討した上で配置し、貫通部の数と寸法を最低限に抑えなければならない。貫通部は必要に応じて、放射線ストリーミング、空気流制御、火災防護及び洪水に対して入念にシールすべきである。シールの透過性について検討すべきである。一般的に、品目を出し入れする搬入口はパーキング機能を備えたエアロック式若しくは小型エアロック式にすべきである。

F. 隔離系統

良好な封じ込めの原則とは、良好な隔離である。実際の放射能レベル若しくは潜在的な放射能レベルが大いに異なる系統は、逆止弁若しくはその他の逆流制御装置で互いに隔離すべきである。圧力逃がし装置が必要であり、プロセスにとって必要な場合は漏えい検出装置を設置すべきである。

G. 逆止弁

トリチウム系の逆止弁は閉じた時に漏れる場合があり、良好な封じ込めが期待できない。

逆止弁には問題があるため、ペアで使用される場合が多い。逆止弁には長所も多いため広範に使用されているが、使用する場合には工夫が必要である。

3. 機械系に関する考慮事項

本セクションでは 6 つの分野、すなわち配管、弁、ポンプ、ろ過、タンク及び熱交換器系について考察する。

A. 配管及び管類

以下のガイダンスを配管や管類の設計に適用すべきである。

1. 放射線源の除去 / 低減

- 管継手及び曲り接手の長さや数を最低限に抑えるように配管する。
- 主流配管の上部に T 字型分岐管を設置するか、T 字型分岐管を上方に傾ける。
- デッド・レッグをなくすような配管設計をし、T 字管の数を最低限に抑える。
- 逆流やクラッドの沈殿を防ぐために、配管に連続的な傾斜を付ける。
- クラッド・トラップを防ぐために表面を滑らかにし、除染やフラッシングを容易にする。
- 原子炉施設若しくは中性子放射化が発生する可能性があるその他の施設には、ニッケルやコバルトの含有率が低い材料を使用する。
- 高放射性流体を移送する配管は、頻繁な保守を要する機器から離して設置する。

2. 汚染源の除去 / 低減

- 放射能汚染した配管とそうでない配管を分離する。

- 清浄で放射能汚染していない系統の二次汚染を防止及び / 若しくは検出するために、適切に管理する。
- 可能な限り管の漏えいを床ドレンで処理し、排気を換気ダクトで処理する。ただし、液体若しくは固体物質をベントから放出させるような加圧に気を付ける。
- 格納容器を環境条件範囲内で維持して、サイト外の環境への放射能放出を防止する配管と機器を選択する。
- 放射性物質を移送する配管の現場引き回しは避ける。

3. 保守

- できるだけ低線量率区域を選んで設置する。
- 系統の試験、保守及び操作に適切なベントやドレンを設置する。
- 放射性物質を移送するパイプには、裏当て輪の代わりに溶接用のコンシューマブル・インサートを使用する。
- 1.5 インチを超えるパイプには、ソケット溶接ではなく突合せ溶接を用いる。溶接仕様書に溶接方法の選択肢が示されており、高放射能系統を溶接する場合は、突合せ溶接を採用する。
- 樹脂やスラッジを移送する場合は、半径が少なくとも管 5 本分の直径に相当する曲り管を指定する。
- ドレン管の詰まりを除去する遠隔操作方法を用意する。
- 溶接部の供用期間中検査が必要な区域では、取り外し可能な管用断熱材を指定する。
- 樹脂、スラッジ若しくは高放射性流体の入っている配管のフラッシング、加水分解若しくは化学的除染ができるように、配管や機器に接続部を取り付ける。

B. 弁

弁の操作と保守は作業員の被ばく線量を高める 2 つの主な原因であるため、設計技師は以下のガイダンスを適用すべきである。

1. 放射線源の除去 / 低減

- クラッドの蓄積を最低限に抑えるために、直立の軸が付いた弁を設置する。
- クラッドの蓄積を最低限に抑えるような内面と形状を有する弁を選択する。

- 原子炉施設若しくは中性子放射化が発生する可能性があるその他の施設の場合は、ニッケルやコバルトの含有率が低い材料を使用する。
- 弁内部のステライト屑を管理する手順を設置手順書に示す（例えば、原子炉施設若しくは中性子放射化が発生する可能性があるその他の施設における研磨後のダムやバキューミング）。

2. 汚染源の除去 / 低減

- 汚染漏えいを最低限に抑え、信頼性を最大限に高めるパッキンとシールを提供する。
- パックレス弁若しくは常時付勢パッキングを使用した弁を検討する。通常、2.5 インチを超える弁には二重パッキンやランタン・リングが付いているべきである。
- 配管の低いポイントから離れた箇所に弁を設置する。
- 放射性流体の逆流を防ぐために逆止弁を設置する。
- 漏えいする可能性が高い弁の下に、受け皿、床ドレン及び機器ドレン、若しくは縁石を設置する。
- 高放射性流体を移送する弁は、関連機器及び装置から分離する。
- 流体系に隔離弁を設置する場合は、将来の除染を考慮する。

3. 保守

- 弁の材料には、弁が接触する材料と相容性があるものを選択する。
- 弁は、できるだけ低線量率区域に設置する。
- 線量率が高い区域にある弁には、遠隔操作装置若しくはリーチ・ロッドを用意する。
- 保守、点検及び操作がしやすいように、十分な作業スペースがある区域に弁を設置する。
- 弁、操作装置及びリーチ・ロッドの保守要件を考慮する（例えば、取り外しやすいものを選択する）。
- 放射線区域からの取り外しが必要になる可能性がある弁（例えば、圧力逃がし弁や隔離弁）にはフランジ継手が一般的であるが、溶接継手が望ましい場合もある。
- 修理や点検の際に取り外しを要する重い弁には、吊り上げ部分や持ち上げ部分を設ける。

C. ポンプ

ポンプの設計では、以下を考慮すべきである。

1. 放射線源及び汚染源の除去 / 低減

- 高放射性流体を移送するポンプのシールをフラッシングするメカニズムを装備する。
- 放射性流体を移送し、漏えいの可能性が高いポンプの周囲に受け皿若しくは縁石を設置する。
- ポンプ・ケーシングにドレン抜きを設け、さらに羽根車の表面は滑らかにする。

2. 保守

- 電動機軸へのアクセス及びその引張スペースなど、ポンプの保守要件を考慮する。
- 修理や点検の際に取り外しを要する重たいポンプ部品には、吊り上げ部分や持ち上げ部分を設ける。
- 高線量率区域にあるポンプの取り外しを容易にするために、フランジ継手を付ける。
- パッキン・シールではなくメカニカル・シールが付いたポンプ（キャンド・ローター・ポンプ若しくは磁気駆動ポンプ）を選択する。

D. ろ過

ろ過 / 浄化系の保守、点検及び操作の要件、並びに高放射性系統の遮へい及び隔離を検討しなければならない。

1. 放射線源の除去 / 低減

- 樹脂の寿命を延ばし、それによって放射性廃棄物の量を減らすために、ディープ・ベッド型脱塩装置の上流にフィルターを設置する。
- 浮遊微粒子を除去するために、フィルターと脱塩装置の下流にストレーナーを設置する。
- 樹脂の流れを促し、配管を最小限に抑えるために（配管を直線に配置し、L 型曲り管の数をできるだけ少なくする）脱塩装置と樹脂貯蔵設備を配置する。
- バックフラッシュできるフィルターとストレーナーを設置する。
- 樹脂スラリー用配管内の詰まった箇所を解消できる十分なバックフラッシュ能力を持たせる。

2. 汚染源の除去 / 低減

- フィルター、ストレーナー及び樹脂の交換時の汚染の拡大を防ぐために、封じ込め若しくは換気をする。
- 樹脂やスラッジのオーバーフローや漏れを防ぐために、スクリーン、フィルター若しくはその他の捕捉装置を設置する。

3. 線量率

- 高い放射能を含んでいるろ過系統を隔離若しくは遮へいする。
- 人が少ない区域や出入りが少ない区域にろ過系統を設置する。

4. 保守

- フィルター、ストレーナー、蒸発器、イオン交換器及び日常的に整備する品目は、既存の機器と相性が良いことを確認する。
- フィルター、ストレーナー及び蒸発器チューブは取り外しが容易で、十分なスペースが確保されているようにする。
- システムを化学的に浄化する仮設除染設備をサポートするパレットのスペースを確保する。
- オフガスや放射能汚染水を処理する系統のフィルター・ハウジングから排水する遠隔操作方法を用意する。
- 放射能汚染したフィルター、ストレーナー及び樹脂を交換するための遠隔操作方法及び / 若しくは遮へい方法を用意する。
- 高速の化学的フラッシングを可能にするフラッシュ接続部を設ける。

E. タンク、サンプル、床及び機器のドレン

1. 放射性物質を取り扱う機器

- 放射性物質を取り扱う機器は、入念に選択する。除染と最終的な廃止措置を考慮する。以下の設計ガイダンスを適用する。
- 放射性物質を収納するタンクは、小型であってはならない。
- 流れ / 排水を促進し、クラッドが蓄積しやすい低流量箇所となるコーナーをなくすために、底部に傾斜が付いたタンク若しくは底部がくぼんだタンクを選択する。

- 移送や代表サンプルの抽出、及び点検若しくは保守の前の除染に備えて中味を混合するために、トップミキサー、スパージャー若しくはスプレイ系を必要に応じて設置する。
- オーバーフロー管は、タンクのベントよりも低い場所にあることを確認する。
- 樹脂若しくはスラッジを含んでいるタンクのベントとオーバーフロー管に、スクリーン若しくはストレーナーを取り付ける。
- タンク、ドレン及びサンプの底部から排水口に向けて傾斜を付ける。
- 漏えいの拡大を抑えるために、縁石若しくはその他の容器を設置する。
- 人が少ない区域や出入りが少ない区域に放射性物質用のタンク及びサンプを設置する、若しくは遮へいを設置して人員の線量を低減する。
- 高い放射能を含んでいるタンクは、遮へいされたタンク施設若しくは小間の内部に収納する。

2. 移送系統

- 移送系統内の詰まりを防ぐ。
- 端部で水平方向に曲がった長い垂直配管は詰まりやすいため、使用しないようにする。
- 直径が少なくとも 1.5 インチで、曲げ半径が大きく、直角の曲がりがなく、傾斜が付いた管を使用して、クラッドの堆積を減らす。
- 均一性を維持し、固形物を懸濁液中に留めておくために、乱流が起きるようにする。
- 流体の固形物含有率が高い場合は、フルポート型の弁を選択する。
- 逆洗の後若しくはプレコートろ過の後に流れが停止しないように、弁操作の自動化を検討する。
- 移送前に十分混合するように、「再循環」配管を設置する。
- 移送と除染を容易にするために、管内面は滑らかであるべきであり、くぼみがあってはならない。
- 管によって液体放射性廃棄物を移送する場合、管の経路は非管理区域から隔離すべきである。
- 移送配管は、人が少ない区域や出入りが少ない区域に設置する。

3. 保守/除染

- タンク・サポート機器（例えば、ポンプ、攪拌機、ギア・ボックスなど）の保守と修理のために十分なスペースを確保する。
- 望ましい浄化方法を選択する。ハイドロレージングはエア・ブローアウトよりも望ましく、エア・ブローアウトはロッキング・アウトよりも望ましい。エア・ブローアウトを使用する場合には、スクリーン若しくはフィルターが必要である。ロッキング・アウトを行う際は、厳重な汚染制御手段を講じるべきである。
- 溶接部での重ね継手や裏当て輪は避ける。

F. 熱交換器、湿分分離器及びヒーター

放射性流体を移送する熱交換器を改造若しくは取り替える場合は、以下を考慮すべきである。

1. 放射線源及び汚染源の除去/低減

- フラッシングや洗浄を容易にするために、低い箇所にドレンを取り付ける。
- 点検や清掃の際にアクセスを要する区域でのクラッド・トラップを減らせるように容器を設計する。
- 腐食を最低限に抑えるために、運転環境に適した材料（例えば、汽水用のチタンチューブ）を選択する。
- 内部の堆積物を減らすために、熱交換器をできるだけ直立させる。
- 漏えいしても、非放射性側から放射性側に漏えいするようにするために、放射性流体を低圧状態にしておく。
- 修理や清掃の際に放射性流体を封じ込めておくために、縁石やドレンを設置する。

2. 線量率

- シェル内の水を遮へいとして利用するために、チューブ内部の高放射能濃度流体をポンプで送り出す。
- 高度に放射能汚染されることが予想される熱交換器は、遮へいされた小間の内部に設置する。
- チューブやシェルの取り外し及び清掃ができるように、十分なスペースを確保する。

4. 電力系統に関する考慮事項

以下の ALARA 設計考慮事項は、電力系統の工学専門分野が対象である。

A. 経路選定 / 配置

- 導管の位置を決めるために、低線量率区域や障害物が少ない区域でウォークダウンを実施する、若しくは写真を活用する。
- ケーブルや導管は、低線量区域に配置する。
- 設置線量やアクセシビリティの要件を考慮した上で、潜在的汚染区域における電気ケーブルの配線を評価する。
- 遮断器箱、電力管制センター及び電気キャビネットは、低線量率区域に設置する。
- 現場の制御ステーション及び警報ステーションは、高線量率区域にある関連電気設備から物理的に分離する。

B. 保守

- 放射線区域や汚染区域での保守作業時間を短縮するために、寿命の長い電球を選択する。
- 点検、較正、試験及び予防保全の必要性を最低限に抑える特徴を持った電気設備を選択する（例えば急速着脱式接続）。
- 信頼性の実績があり、保守要件が少ない高品質電気設備を選択する。
- 点検やトラブルシューティングが困難な電気システムについては、故障箇所を特定できるように外部からのアクセスができるようにする。
- 高線量率区域に設置する導管、支柱、ブラケット、ケーブル・トレイ、接続箱及びその他の電気部品は、あらかじめ組み立てておく。
- 空気サンプリング装置のために十分な数の電気コンセントを設ける。
- 十分な照明設備と予備仮設照明設備を用意する。
- 導管や電気設備は、付近の機器の保守や操作に邪魔にならないように設置する。

5. サンプリング、モニタリング及び計装

A. サンプリング

サンプルは、場所、物理的状态及び化学的組成の観点から採取した物質を代表するものであることが重要である。

したがって、サンプル管内やサンプル機器内にそのサンプルを堆積させないようにする。そうしなければ、そのサンプルや次回のサンプルは代表的なものではなくなるからである。代表的なサンプルを抽出できるように、設計技師は以下のガイドラインを適用すべきである。

クラッド堆積の低減に関するガイドラインを踏まえ、特に配管材料とサンプルとの反応度を考慮する。例えば、プラスチック製の配管は化学反応性が低いため多くの場合に最適であるが、静電荷の蓄積が生じるために、空气中浮遊微粒子に対して適切ではない。

- 曲がりの箇所が少ないサンプル管を設置する。曲がり箇所が必要な場合は大きな半径とし、隔離やフラッシングが可能であるべきである。
- 高度に放射能汚染した系統内のサンプル管には、強力かつ継続的なパージ流を供給する。
- 流れの物理的及び化学的な特徴を把握し、系統内の適切な流速を入念に検討する。
- 気体系においては、継続的な流量を確保する、若しくは詳細な流量記録を取る（流量計、トータライザー、定流量制御装置及び記録計の使用を検討する）。

B. サンプルング・ステーション

放射性物質取扱区域には、以下の設計基準を適用することができる。

- すべての排気フードの面速は、フード・ウインドが全開位置の状態でも 100～150 リニア・フィート/分であるようにする。
- 排気フードからの排気は、フィルターの上流のベントに誘導する。
- サンプルング区域若しくは放射性物質取扱区域の排水管は、放射性廃棄物タンク若しくは捕集タンクまで配管する。シンクは、クラッド・トラップとなる可能性がないものであるべきである。
- サンプルング区域のシンクと表面は、除染が容易な材料で施工若しくは塗布する。
- サンプルング・ステーションは、その他の放射能汚染した設備から分離若しくは遮へいする。
- 高線量率の作業を行う場合は、十分な遮へい若しくは仕切りを設置する。
- 放射能汚染していない系統が二次汚染する可能性を最小限に抑える。

C. モニタリング

線量率若しくは空气中濃度が各区域に指定された限度を超える可能性があるすべての区域を監視するために、慎重に選択した十分な数の放射線モニター及び空気モニターを設置すべきである。設計技師は、モニターの選択及び設置場所に以下のガイドラインを適用すべきである。

- モニターの妨げ若しくは障害になる物がないようにする。
- 必要に応じて、気中放射能の遠隔操作サンプリング及びモニタリングを実施する手段を設ける。
- プロセス流の流れを変えるため、若しくはプロセス流を隔離するために、十分な検出リードタイムを備えたプロセス・モニターと流出液モニターを設置する。
- 手動式の身体測定機器、入口モニター及び半身汚染モニターを適切な場所に設置する。それらの整備を怠ってはならない。例えば、ガスフロー計数管にはガス容器のスペース、そしておそらく別の容器の保存スペースが近くに必要である。
- 放射線管理基準が推奨しているとおり、すべての空気モニターには 8 DAC-時間を（実験室条件下で）検出する機能が搭載されていることを確認する。
- すべてのモニターには、自動的にモニターの故障を検知し、線量率が目盛の範囲から外れているかどうかを表示する回路が実装されていることを確認する。
- 必要に応じて、現場操作、遠隔操作若しくはその双方の表示器や警報器を用意する（警報器は、必要な時に可視警報及び音響警報を同時に発することを確認する）。

D. 計装

- ALARA 設計に関する以下の考慮事項は、計装と制御システムの分野に当てはまる。
- 汚染作動流体をごくわずかな量しか使用していない計器を選択し、可能であれば常にベロ型計器よりも圧力変換器を使用して汚染作動流体を隔離する。
- クラッド堆積低減の良好事例に従う。
- 放射性流体を移送する計器管の上半分に計器チューブ・タップを取り付ける。
- 一次センサーを除くすべての計装は低線量率区域に設置し、低線量率区域で現場較正する。
- 無線呼び出し器、電話及びその他の通信系は、低線量率区域に設置する。
- 高線量率区域に設置しなければならない計器は、低線量率区域での遠隔修理や遠隔較正ができるように、容易に取り外せるものでなければならない。

- 現場の読み出し機器を遠隔観察できるようにする。
- 検査、較正及び機能試験をできるだけ必要としない特性を持つ計器を選択する。
- モニタリング系には、信頼性の実績があり、保守要件が少ない高品質センサーを選択する。
- 監視や経過記録に必要な時間を減らすために、読み出し機器を論理的にグループ化する。
- 自動的な経過記録にコンピューターの使用を検討する。
- センサーの信頼性チェック若しくは較正チェックにコンピューター（例えば高性能送信機）の使用を検討する。
- 時間とともに変化する高レベル放射線源を閃光灯、スピーカー若しくはサイレンによって知らせる適切な警報システムを設置する。

付属書 4

原子力発電所の建設許可及び／若しくは運転認可の申請 ORP に関連する設計側面

セクション A～D では、排出物系統の対象をもっぱら公衆の線量管理としているが、作業員の被ばく線量管理に影響を及ぼす技術利用¹若しくは技術回避の側面もあることに留意されたい。その一例は、原子炉冷却材浄化樹脂を放射性廃棄物として搬出するのに備えて貯蔵する樹脂貯蔵室の遮へいである。

A. 大気放出物

- 運転の制限
 - 大気放出物モニタリング計装及び設定値
 - 希ガス、ハロゲン、トリチウム及び微粒子の大気放出物濃度、並びに／若しくは放出率
- 気体廃棄物管理システム
- 大気放出物に関する規制限度の遵守を実証する手段
 - 放出ポイントに適用可能な気象データ

B. 水中放出物

- 運転の制限
 - 液体放出物モニタリング計装及び設定値
 - 放射性核種（例えば核分裂生成物、放射化・腐食生成物及び溶存希ガス）の液体放出物濃度及び／若しくは放出率
 - 液体廃棄物管理システム
- 地下水防護プログラム（例えば土壌若しくは地下水への漏えい及び漏出の防止及び管理）
- 水中放出物に関する規制限度の遵守を実証する手段

¹ 技術は、費用便益が高い順に順次追加される。

- 放出ポイントに適用可能な水理データ

C. 固形化放出物及び／若しくは脱水放出物並びに乾燥放射性廃棄物

- 運転の制限
 - 固形化放出物及び／若しくは脱水放出物のモニタリング計装並びに設定値
- 固体廃棄物管理システム
- 固形化廃棄物及び／若しくは脱水廃棄物の分類、廃棄物輸送及び廃棄物処理に関する規制限度の遵守を実証する手段
- 乾燥放射性廃棄物の輸送及び処分に関する規制限度の遵守を実証する手段

D. 放出物による総線量

- 公衆の潜在的線量
 - 方法
 - 放出物及び算定線量に関する報告

E. 放射線安全施設

- 放射化学研究室
 - サンプル媒体を受領、保管、作成、分析及び処分する施設
 - 作業員防護設備（例えば遮へい、ヒューム・フード、シンク及びドレン、非常用シャワー／洗眼場）
- 放射線管理区域における人員と核物質の出入りを管理する出入管理施設、スタッフの更衣室、及び出入りを監視する放射線安全スタッフ用の施設
- 人員の除染区域
- 携帯測定器の較正施設
- 呼吸保護具施設
- 機器除染施設
- 放射化／汚染した機器や器具用の加工場
- 汚染した工具や機器の保管及び引き渡し区域
- 放射性物質貯蔵区域

- 線量測定器及びバイオアッセイ用の施設（例えば、線量測定器の場合は、低放射線場環境における保管、引き渡し及び処理のための施設）
- 洗浄処理施設
- エリア放射線モニター系
- 遠隔モニタリング及びカメラや遠隔線量測定装置を使用するためのプラント内機能（例えば、配線や貫通部の適正さ）の中央施設
- 放射線安全事務所

F. 費用便益分析

施設作業員及び施設から 80 km 以内の住民の線量を望ましい費用便益比率で低減できることが合理的に実証されている技術を採用している放出管理システムの品目について説明する。望ましい比率若しくは望ましくない比率を示すために使用する数値は、その技術を取り入れたことによって防ぐことができた人-Sv 当たりの数値を各国の通貨単位で国別に設定したものであるものとする。国で設定された数値がない場合、申請者は申請書で規定されている数値を使用し、その地域内若しくは大陸内の他の国々が使用している数値との比較を示すものとする。望ましい費用便益比率を伴う技術が施設の設計に取り入れられていない場合、申請者はその判断が正当である理由を説明すべきである。

作業員の線量を望ましい費用便益比率で低減できることが合理的に実証されている技術を採用している品目で、作業員の個人線量及び集団線量（並びにそのモニタリング）に関連性のある品目について説明する。望ましい若しくは望ましくない費用便益比率を示すために使用する数値については、上記の説明のとおりである。

付属書 5

新型欧州加圧水型炉（EPR）の設計における職業放射線防護の最適化

最適化のアプローチ

EPR の運転期間中における作業員の被ばく線量（集団線量と個人線量の双方）を最適化するために、以下の問題を取り上げた。

- 現在の発電用原子炉から得られたフィードバック及び最良事例を考慮する。
- 最も被ばくする作業員（断熱材設置者、溶接工、機械工など）の線量を最適化する。
- ORP 規制を厳格に遵守しつつ原子炉群の稼働率を向上させるために、出力運転中（特に保守作業のために）に介入できる。
- すべての作業員について最善（最適）レベルの ORP を達成する。

第一ステップは、フランスの最も優れた NPP から得られるデータの収集である。EDF は唯一の原子炉事業者であるため、全国的な線量統計（実効線量と集団線量）をまとめることができる。1300 MWe 及び 1450 MWe の出力を有する一連のプラントは、2006 年に 0.69 人-Sv という平均集団線量を達成し、最高実績レベルは 1 基当たり 0.44 人-Sv/年となっている。この数値は、プロセス開始時の最初の線量拘束値であると考えられている。

EPR の放射線防護性能は、特にソースタームに関して幾つかの改善が期待されているため、プロジェクト設計段階で実施できる改善点を特定するために調査が行われている。それらの改善点とは例えば、ヒューマン・ファクターと施設内で放射性物質を隔離する従来の安全対策を考慮したアクセシビリティの改善、燃料の取り扱いやすさの改善、供用期間中検査の実施可能性、ロボット若しくはオートメーションの利用などである。最高放射線量につながる活動が特定され、詳細に調査される。これらの改善を考慮した場合、新規原子炉で達成可能であると考えられる初期集団線量レベルは 1 基当たり 0.39 人-Sv/年に等しいと設定される。

この第一段階の後に最適化目標は、達成可能であると期待される集団線量の 90% までとして設定される。したがって、1 基当たり 0.35 人-Sv/年という数値が EPR の集団線量目標として規定される。

予想蓄積線量を減らす解決策は、運転中の NPP から学んだ教訓に基づいたものである。教訓とは、保全業務に関するフィードバック、達成可能な利得の評価、要件の特定（技術的制約やコスト上の制約）及び検討した解決策の組み入れの実施可能性である。最終的に、決定を下すのは

ALARA 委員会（設計者と事業者の代表者で構成される）である。高放射線場がある区域、特に高線量作業現場におけるソースタームと作業時間の双方を最適化する。

方法論

プラント設計について最初に調査すべき課題は、放射線源をなくす、若しくは減らす対策である。

合理的に可能な限りソースタームを減らし、それによって線量率を下げるために、設計段階においてさまざまな技術的オプションを検討する。保守作業や修理、特に線量に影響する燃料取替段階において、個人の被ばくは腐食生成物の堆積及び処理すべき機器の非遮へい照射線量率によって主に引き起こされる。ソースタームを決定付ける他の要因の中で特に注意すべきは、材料の選択である。

採用されている主なオプションの目的は、一次系ステンレス鋼のコバルト残留物含有量を減らし、ステライト系コーティングの使用（弁、原子炉容器内の機器、制御棒駆動機構における使用）を最適化する（合理的に可能な限り減らす）ことである。一次冷却材を含んでいる系統若しくは原子炉冷却系と直結している系統では、可能であればコバルト系の表面硬化合金を使用しない。例えば、ステライトは一次系の弁に使用されていない。

蒸気発生器伝熱管のコバルト不純物含有量は、最先端の材料技術を利用してできる限り低く抑える。

燃料集合体については、インコネルの代わりにジルカロイが採用されている。できる限り、アンチモンや銀といった核種の存在は制限されている（合金、制御棒被覆及び二次中性子源では使用されていない）。アンチモンは、原子炉冷却材ポンプでも取り替えられている。

堆積を制限するために、放射性物質を含有する系統の機器や配管の設計に特に注意が払われている。例えば、コーナー、隙間及び流れのよどみを避け、ポンプ、弁及び配管における十分な流速が選ばれている。

アクセシビリティ、分離、遮へい、取扱区域、休憩区域などのレイアウト特性も考慮されている。

放射線源からの距離をわずかに延ばすだけでは、タンクや熱交換器といった大型設備から放射される放射線を大幅に減衰させることはできないため、プラントは個々の区画に細分され、その中に照射線量率の高い大型設備が設置されている。放射線フラックス（中性子線や高エネルギー・ガンマ線）に対する防護を確保するために研究が行われ、その結果、コンクリート床及び一次系配管出口の遮へいが設置されるようになった。蒸気発生器のバンカーやポンプの改善も行われてきた。これらすべての対策によって、アクセス可能な区域は線量率 < 25 マイクロ Sv/時の「グリーン・エリア」（中性子線量率 < 2.5 マイクロ Sv/時）として掲示できる。

放射線被ばくは、出力運転時に原子炉建屋に立ち入ることによって晒される気中放射能レベルにより左右される。内部被ばくを抑えるために、原子炉建屋は機器区画（一次系の主要要素で構成される）と、基本的な防護服を着用すれば出力運転中のユニットにアクセスできるサービススペースに分かれている。

別々に遮へいされた区画は、小型機器（弁やポンプ）を他の機器の近くに設置しなければならない場合を除き、それらの機器用に用意されている。その場合もまた、照射線量率、機器のサイズ及び関係するプロセスに応じて、各機器は分離されている。特殊な配管ダクトによって、放射線源の低減や他の区画のスペースの拡大が期待される。現場の通常作業用の設備は遮へいされた特殊な区画内に（サービス通路や制御ステーションなど）据え付けられ、占有頻度や照射線量率に応じて、大型の放射線源から分離されている。

汚染していない機器は、汚染する可能性がある系統や機器から物理的に分離されている。同様に、ポンプや弁は別々の部屋に設置されている。計装や制御装置（センサー）は、汚染する可能性がある他の機器から分離されている。管理ゾーンに設置されている機器は、保守や点検のスタッフの被ばく時間を少なくするために、容易にアクセスできるようになっている。作業準備は、低線量レベル区域で行われている。

保守作業の頻度や、操作ごとに必要な作業を減らすように機器は設計されている。

放射線量に最も影響を及ぼす作業区域は、遠隔操作や遠隔モニタリングの使用可能性などの設計推奨事項の対象として選択されている。供用期間中検査における線量低減の可能性が配慮されており、特に高局所線量率の区域で検査を要する溶接部の数は最低限に抑えられている。溶接部は、供用期間中検査を容易に行えるように設計されている。

弁やポンプは、修理を要する漏えいの発生をなくすように設計されている。