Radiological Protection
放射線防護

ISBN 978-92-64-99119-4

Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants

原子力発電所の職業放射線防護を最適化するための作業管理

Kindly translated by the
Incorporated Administrative Agency
Japan Nuclear Energy Safety Organization

独立行政法人　原子力安全基盤機構

© OECD 2010
NEA No. 6940

原子力機関
経済協力開発機構

経済協力開発機構

経済協力開発機構（OECD）は、民主主義を原則とする 30 カ国の政府が世界のグローバル化に伴う経済、社会、環境などの問題について協力して取り組んでいる唯一の国際機関である。OECD はまた、共同管理、情報経済、人口高齢化の課題などの新たな展開や問題について先頭に立って取り組み、各国政府の対応を支援している。OECD は各国政府が政策経験を比較し、共通問題に対する解決策を求め、良好事例（グッドプラクティス）を特定することを可能にし、国内政策と国際政策とを調整できる場を提供している。

現在の OECD 加盟国は以下の通りである：オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、チェコ共和国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、日本、韓国、ルクセンブルク、メキシコ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、ポルトガル、スロバキア共和国、スペイン、スウェーデン、スイス、トルコ、英国、米国。欧州委員会（EC）は OECD の業務に参画している。

OECD 出版局は、機構が収集した統計や、経済、社会、環境の問題とともに加盟国が取り決めた協定、指針、基準などの成果の広範な普及を図っている。

本文書は OECD 事務局長の責任において公表されている。本文書に示された意見や採用された議論は必ずしも当機構あるいはその加盟国政府の公式見解を反映したものではない。

原子力機関

OECD 原子力機関（NEA）は 1958 年 2 月 1 日に OEEC 欧州原子力機関の名称で設立された。日本が欧州以外の国として最初に正式加盟した 1972 年 4 月 20 日から現在の名称となっている。現在 NEA を構成しているのは次の 28 の OECD 加盟国である：オーストラリア、オーストリア、ベルギー、カナダ、チェコ共和国、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ギリシャ、ハンガリー、アイスランド、アイルランド、イタリア、日本、ルクセンブルク、メキシコ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、韓国、スロバキア共和国、スペイン、スウェーデン、スイス、トルコ、英国、米国。欧州委員会も NEA の業務に参画している。

NEA の任務は次の通りである。

- 国際協力を通じて、安全で環境に優しく経済的な、原子力の平和利用に必要な科学的、技術的、法的基盤の維持と開発について加盟国を支援すること。
- エネルギーおよび持続可能な開発などの分野における重要問題について、原子力政策に関する各国政府の決定および OECD の広範な政策分析の判断材料として信頼できる評価を提供し、共通理解を形成すること。

NEA の業務範囲は、原子力活動の安全と規制、放射性廃棄物管理、放射線防護、核科学、核燃料サイクルの経済的・技術的分析、原子力法規と責任、および情報公開である。

NEA データバンクは、核データおよびコンピュータープログラムのサービスを加盟国に提供している。これらの業務及び関連業務において、NEA はウィーンの国際原子力機関（IAEA）を初め、原子力分野のその他の国際機関とも協力協定を締結し、緊密に協力して業務を進めている。

OECD 刊行物の正誤表はオンラインで入手できる：www.oecd.org/publishing/corrigenda

© OECD 2010

本書の原本は以下のタイトルで OECD により英語で発行されています:
“Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants”
© 2010 OECD
©2010 原子力安全基盤機構（JNES）は、日本語版の発行にあたり OECD パリと取決めを交わしています。
本書の品質および原本との一貫性は、原子力安全基盤機構（JNES）が責任を負います。

This report is an OECD/NEA publication entitled *Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants* originally published in English. This Japanese translation of the report is not an official OECD translation; hence, the Organisation does not guarantee its accuracy and accepts no responsibility for any consequences of its interpretation or use.

まえがき

1992 年以来、職業被ばく情報システム（ISOE）は、世界中の原子力発電事業者と規制当局の放射線防護専門家が原子力発電所作業者の放射線防護のための国際的協力事業を協議、促進、調整するフォーラムを提供してきた。ISOE の目標は、職業放射線防護を最適化する方法について関連の情報、データ、経験を交換することによって、原子力発電所での職業被ばく管理を改善することである。

職業被ばく管理を成功させるカギは原子力発電所の業務の慎重な計画立案と遂行であり、これは作業管理と呼ばれる。作業管理では分野横断的チームの視点から業務にアプローチすることと、作業の全段階を通じて業務を完全に追跡することの重要性が強調される。遂行する業務にこのような注意を集中することによって、業務の首尾良い完了をスケジュール通りに、予算内に、また目指したゴールを達成しつつ確保し、職業放射線防護の視点から最適化することが可能になる。

作業管理についての最初の ISOE 報告書が 1997 年に刊行されて以来、このアプローチは世界中の原子力発電業界で広く実施され、職業上の線量と運転コストの両方を低減する上で有益であることを数年にわたり自ら示してきた。しかし、原子力発電業界は経済と規制の面で圧力を受け続けてきており、他方では放射線防護システムの進化、技術進歩、社会、政治、経済の情勢、原子力発電所の新規建設に向けた展望を含め多くの変化が生まれている。同じく重要なことは、放射線防護専門家が経験の交換を継続することである。この集団的な挑戦と経験は、21 世紀に入って作業管理を再検討するための拠り所となる実践的知識の確実な基礎を提供した。

作業管理についてのこの最新の報告書は、作業管理原則の適用についての実践的ガイダンスを、職業放射線防護最適化に貢献するものとして提供する。この報告書は、作業管理はもはや新しいコンセプトではないが、現在及び将来の課題に対して良好なパフォーマンス、成果、傾向が維持されるようにするには継続的な努力が必要であると認識している。したがって本報告書の重点は、時間と資金を節約し線量を低減するために管理者と作業者が考慮すべき作業管理の重要事項を、ISOE コミュニティでの最新の実例の助けを借りながら提示することである。

ISOE は OECD 原子力機関と国際原子力機関（IAEA）による共同支援を得ている。

ISOE ネットワーク：www.isoe-network.net

謝辞

作業管理についての本報告書は「作業管理に関する ISOE 専門家グループ（EGWM)」が作成し、ISOE 運営委員会が承認した。同専門家グループの構成は以下の通りであった。

Mr. W. Mizumachi	EGWM 委員長 ISOE アジア技術センター、JNES、日本
Ms. C. Schieber	EGWM 副委員長 ISOE 欧州技術センター、CEPN、フランス
Mr. B. Ahier	ISOE 合同事務局、OECD/NEA
Ms. H. Bertin	EDF、フランス
Mr. B. Breznik	Krsko NPP、スロベニア
Mr. W-C. Choi	KINS、韓国
Mr. P. Deboodt	ISOE IAEA 技術センター
Dr. R. Doty	Susquehanna NPP、米国
Mr. F. Drouet	ISOE 欧州技術センター、CEPN、フランス
Mr. F. Garrote	Tecnatom、スペイン
Dr. V. Glasunov	VNIIAES、ロシア
Dr. Y. Hayashida	ISOE アジア技術センター、JNES、日本
Mr. S. Hennigor	Forsmark NPP、スウェーデン
Mr. M. Kobayashi	ISOE アジア技術センター、JNES、日本
Mr. M. Lunn	Sizewell B NPS、英国
Dr. D. Miller	ISOE 北米技術センター、Cook NPP、米国
Dr. S. Na	KINS、韓国
Mr. K. Ohr	Quad Cities NPP、米国
Mr. G. Renn	Sizewell B NPS、英国
Mr. V. Simionov	Cernavoda NPP、ルーマニア
Mr. D. Steinel	Philippsburg NPP、ドイツ
Mr. S. Zorrilla	Laguna Verde NPP、メキシコ

EGWM は各地元の放射線防護プログラムでの作業管理の実例を提供してくれた多くの ISOE メンバーの貢献に深く感謝する。また、以前の ISOE 国際・地域 ALARA シンポジウムでのプレゼンテーションの著者の方々にも深く感謝する。これらのプレゼンテーションから追加の例が得られた。これらのプレゼンテーションは ISOE ネットワークのウェブサイト（www.isoe-network.net）に掲載されている。

作業管理についてのこの「グリーン・ブック」の普及が現在と将来の両方のプラントで、職業放射線防護の最適化と作業者被ばくの低減を促進することを EGWM は希望している。

目次

まえがき 3

1. 序文 9
   1.1 背景 9
   1.2 作業管理の原則 11

2. 規制の側面 15
   2.1 序文 15
   2.2 国際的基準とガイダンス 15
   2.3 各国の規制方針 20
   2.4 業界の内部手順：運転上の制限 24
   2.5 要約 26

3. ALARA 管理方針 27
   3.1 序文 27
   3.2 プラントの ALARA プログラム 27
   3.3 ALARA 実施のための役割と責任 28
   3.4 ALARA 委員会その他の個別的 ALARA 組織 31
   3.5 ALARA レビュー 33
   3.6 業界の ALARA ガイダンス 35
   3.7 要約 36

4. 作業者の関与とパフォーマンス 37
   4.1 序文 37
   4.2 ALARA の実現に寄与する作業者のパフォーマンス 37
   4.3 ALARA アプローチを実施するための教育と訓練 38
   4.4 作業者の関与に寄与する要素 39
   4.5 要約 43

5. 作業計画立案とスケジュール作成 45
   5.1 序文 45
   5.2 停止期間の最適化 45
   5.3 業務の計画立案プロセス 48
   5.4 作業プロセス管理システム 52
   5.5 高線量業務の作業計画立案 53
   5.6 ベンチマーキング 56
   5.7 従事者の準備 57
   5.8 要約 60

6. 作業の準備 61
   6.1 序文 61
   6.2 ソース・タームの特性評価 61

6.3 ソース・ターム低減手法 62
6.4 被ばく低減手法 71
6.5 ツール及び設備 77
6.6 個人用保護具 80
6.7 作業現場の最適化及び業務の調整 80
6.8 要約 81

7. 作業の実施 83
7.1 序文 83
7.2 作業プロセスの管理：責任の配分 83
7.3 アクセス管理システム 84
7.4 遠隔モニタリング・システム 88
7.5 汚染の管理 89
7.6 不必要な線量の回避、及び通過被ばくの低減 91
7.7 再作業の回避 93
7.8 廃棄物管理 93
7.9 作業実施時のフィードバックの収集 94
7.10 要約 95

8. 作業の評価及びフィードバック 97
8.1 序文 97
8.2 業務レビュー及びフォローアップ 97
8.3 運転経験データベース 100
8.4 ALARA 慣行の比較 101
8.5 フィードバック経験の共有 103
8.6 プログラム監査 103
8.7 要約 104

9. 継続的改善の確保 107
9.1 序文 107
9.2 新規原子力発電所の設計及び建設におけるソース・ターム低減 107
9.3 新規原子力発電所の遮へい 109
9.4 新規原子力発電所のリモートモニタリングシステム 109
9.5 新規原子力発電所のロボット技術 110
9.6 新規原子力発電所のメンテナンスフリー機器 110
9.7 新規原子力発電所の作業管理側面 111

10. 結論 113

参考文献 115

附属書

1. ISOE プログラムの情報 117
2. ISOE 3 作業関連情報報告書の例 119
3. 業務前 ALARA チェックリストの例 121
4. 業務後レビュー書式の例 123
5. 放射線に関する提案書式の例 127

図

図 1. ISOE 内の運転中原子炉についての 3 年移動平均（1 基当たり）、
1992～2007 年（人・Sv） 10
図 2. 作業管理の要素とその反復的性質 12
図 3. 放射線防護の基準と規制の確立 16
図 4. 原子炉タイプ別の平均停止期間 47
図 5 原子炉冷却系の腐食生成物付着（クラッド）層 62

表

表 1. ISOE 参加国の規制上の職業線量限度（全身） 22
表 2. 軽水炉における一般的高線量業務 53

1. 序文

1.1 背景

原子力プラントは高い工学的基準に基づいて建設され、高度の訓練と認可を受けた事業者により運営され、政府の規制当局による独立した評価を受ける。安全、効率、及び公衆による原子力プラント技術の受け入れのためには、過誤のないパフォーマンスを求める指令(mandate)が必須である。

1960 年代と 1970 年代の原子力業界は、原子力による発電所が石炭やガスによる大規模発電所の代替として急拡大したことを特徴としていた。しかし、1970 年代末と 1980 年代、スリーマイル島 2 号機とチェルノブイリでの事故により多くの国々で原子力への移行が減速した。この状況と拡大停止を受けて、1980 年代は大体において既存の原子炉号機群の安全性向上が中心問題であった。

多くの国々で、1990 年代は電力業界の規制緩和に原子力事業者が備える時期となった。例えば米国の原子力業界は、欧州の作業管理慣行に対して自らの活動とパフォーマンスのベンチマークを行い、原子炉の運転・燃料取替及び年間設備利用率向上のため、より安全で高効率の手段を追求しようとした。2000 年までに、いくつかの国の原子力業界は、職業放射線防護の最適化を改善しながらも燃料取替停止と保全停止の期間短縮と効率向上を実現する能力を非常に強固なものにした。米国だけを取り上げると、設備利用率は 1970 年代と 1980 年代の 80%から 1990 年代の約 90%へと上昇した。これは原子力業界全体で作業者の被ばくを低減させる中で行われた。

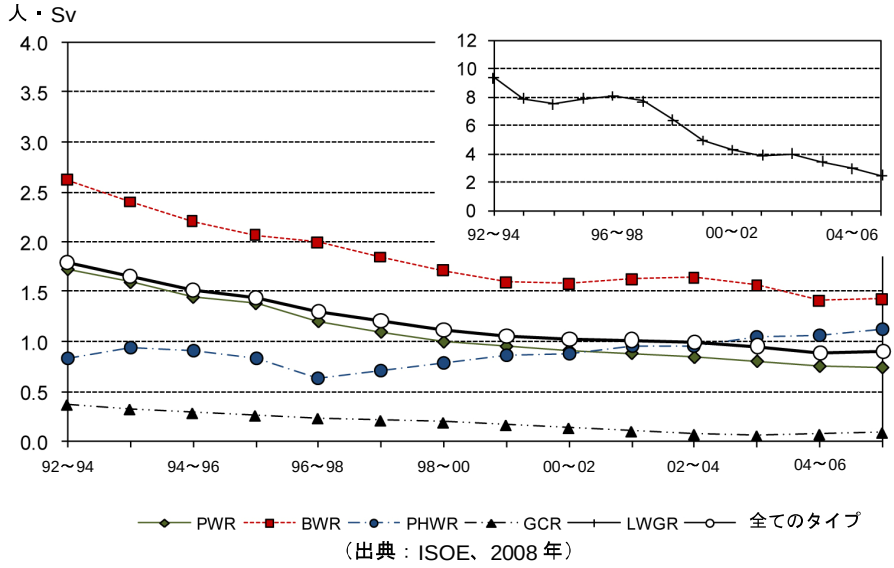
結果として、原子力発電所での職業被ばくは 1990 年代前半以来、世界中で着実に減少してきた。規制面での圧力、技術進歩、プラントの設計と運転手順の改善、ALARA 文化と情報交換がこの低下傾向に貢献した（図 1)。しかし、世界中の原子力発電所が絶えず経年変化を遂げつつ延命の可能性を持ち、経済面からの圧力が続き、規制、社会、政治状況が進化し、原子力プラントの新規建設の可能性の状況下で、運転コストと社会的要因を考慮に入れながら職業被ばくが合理的に達成可能な限り低く（ALARA）なるようにするというタスクは、放射線防護専門家にとって大きな課題であり続ける。

1992 年以来、OECD 原子力機関（NEA）と国際原子力機関（IAEA）が共同出資する職業被ばく情報システム（ISOE）は、世界の原子力発電事業者と規制当局を代表する放射線防護専門家が原子力発電所作業者の放射線防護のために世界的な協力事業を協議、推進、調整するフォーラムを提供してきた（附属書 1 を参照)。ISOE の目標は、職業放射線防護を最適化する方法について最新の情報、データ、経験を広く定期的に交換することによって、原子力発電所での職業被ばくの管理を改善することである。

この目的を達成するため、ISOE は世界規模の職業被ばくデータ収集・分析プログラムを含んでおり、原子力発電所についての世界最大の職業被ばくデータベースと、線量低減の情報・経験を参加者の間で共有するコミュニケーション・ネットワークを持つに至った。これらの資源は、

ISOE ネットワーク情報交換ウェブサイト（www.isoe-network.net）へのアクセスを含め ISOE プログラムの参加者が利用できる[1]。

図 1. ISOE 内の運転中原子炉についての 3 年移動平均（1 基当たり）、1992～2007 年（人・Sv）



（出典：ISOE、2008 年）

上述した成功のカギは、原子力発電所の燃料取替停止と保全停止では注意深い計画立案と実施が重要であるという理解が広まったことであった。*「原子力発電業界の作業管理」*についての最初の ISOE 報告書（NEA、1997 年）は、この点で重要な報告書であった。その時宜にかなった内容は、運転・技術スタッフを大幅に削減しながら生産目標を達成しなければならないという圧力下に置かれた原子力業界の重点課題と一致していた。この報告書は程なく放射線防護マネージャー、プラント・マネージャー、上級マネージャーの強い関心を惹き付ける指針になった。ISOE 発足後数年間の経験に基づくこの報告書は、作業管理の原則が定型的作業慣行にまだ十分組み込まれていない時期にあって、原子力業界での職業放射線防護の最適化に重要な貢献をした。

作業管理では、分野横断的チームの視点から業務にアプローチすることと、構想、設計、計画立案、準備、実施、フォローアップの段階を通じて業務を完全に追跡することの重要性が強調される。遂行する業務にこのような注意を集めることによって、スケジュール通りに、予算内に、品質を十分維持しながら、また当初目指した目標を達成する可能性を最大化しつつ、業務の首尾良い完了を保証し、職業放射線防護の視点から最適化することが可能になる。

作業管理は今や世界中の原子力発電業界で広く実施され、職業上の線量と運転コストの両方を低減する上で有益であることを数年にわたり自ら示してきた。しかし、原子力発電業界は経済と規制の面で圧力を受け続けてきており、他方では放射線防護システムの進化、技術進歩、社会、政治、経済の情勢、原子力発電所の新規建設に向けた展望を含め多くの変化が生まれている。世界の原子力発電事業者と規制当局の放射線防護専門家が情報と経験の交換を継続することが同様に重要である。この集団的な挑戦と経験は、21 世紀に入って作業管理を再検討するための拠り所となる実践的知識の確実な基礎を提供した。

[1] ISOE の正式参加者は、ISOE 規約に従って ISOE に参加している原子力発電事業者と規制当局を含む。

最初の作業管理報告書が過去 10 年間に放射線防護専門家の間で広く利用されたことと、その刊行以来作業環境が変化したことを共に認識した上で、ISOE 運営委員会は、ISOE アジア技術センターの提案に応えて、原子力発電所の作業者の職業放射線防護における知識、技術、経験の現状を反映した最新の報告書を作成する「作業管理に関する ISOE 専門家グループ（EGWM）」を 2007 年に発足させた。

1997 年の報告書と同様、「原子力発電業界での職業被ばく防護を最適化するための作業管理」についてのこの最新の報告書の目標は、作業管理原則の適用についての実践的ガイダンスを職業放射線防護の最適化への貢献として提供することである。本報告書は、作業管理はもはや新しいコンセプトではないが、現在と将来の課題を抱えながら良好なパフォーマンス、成果、傾向が維持されるようにするには継続的な努力が必要であると認識している。したがって本報告書の重点は、時間と資金を節約し線量を低減するために管理者と作業者が検討すべき作業管理の重要な側面を、ISOE コミュニティでの最新の実例の助けを借りながら提示することである。EGWM は、このアプローチが読者に実践的価値をもたらし継続的なパフォーマンス改善を促進することを希望する。

1.2 作業管理の原則

原子力発電所の運転と保全は作業者の職業被ばくを暗に意味している。しかし経験の示すところでは、首尾一貫した総合的な作業管理アプローチは好ましい放射線防護に貢献するだけでなく、安全で経済的なプラント運転をも促進する。

本報告書が提示する作業管理は、関連する全利害関係者を含む分野横断的チームのアプローチによって職務を計画立案からフォローアップに至るまで完全に管理することの重要性を強調する総合的な方法論である。線量低減はこのアプローチの一構成部分にすぎないが、原子力発電所の放射線防護従事者はこのチーム内の主要な構成部分であり、この状況において機能して職業被ばくが ALARA に維持されるようにしなければならない。

原子力発電所での職業被ばくの決定要因は作業区域内の放射線レベル、その区域で過ごす時間の長さ、及び関与する作業者の人数である。これらの要因は技術面の措置と運営面の措置の両方から影響を受ける。線量の低減はソース・ターム、管理区域内の作業者数、従業員がその区画（ゾーン）で過ごす時間、そして（設計、設備、又は作業の不備のために）必要になる再作業の量を低減することにより達成されることがしばしばである。

作業管理上の措置は施設の経済的存続可能性との関連で職業放射線防護を最適化することを目的としている。作業管理は正しく適用されれば、ALARA の形で職業被ばくを低減することにつながる。したがって、コストや古典的安全リスクの低減という目標と、停止に必要な時間を最小化するという目標は同時に達成できることが多い。要するに、作業管理原則の効果的適用は時間、線量、資金を低減するはずである。この意味で重要な要因は以下のものに影響する措置、方法、手法である。

- 線量及び線量率（ソースタームの低減を含む）
- 被ばく（運転、保全、検査、修理作業のために管理区域で過ごす時間の長さを含む）
- 作業計画立案の効率（短期及び長期の計画立案、作業者の関与、活動の調整、訓練、情報を含む）

広範で分野横断的な性質の故に同様に重要なものは、動機付けの面と組織面の措置が作業管理アプローチの有効性に及ぼす影響である。これまで挙げた事柄に対する責任は、施設の組織構造の様々な部分に負わせることができる。したがって、いかなる作業においても作業管理の分野横断的性質を認識し、明確にし、十分に統合化する必要がある。

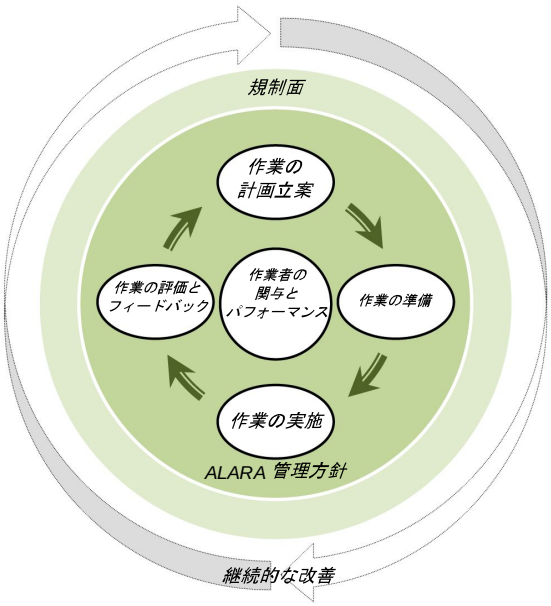
本書は ISOE プログラムでの運用経験に基づく実践的ガイダンスを、職業被ばく防護を最適化する作業管理の主要分野で提供する。これは次を含む。

- 規制の側面
- ALARA 管理方針
- 作業者の関与とパフォーマンス
- 作業の計画立案とスケジュール作成
- 作業の準備
- 作業の実施
- 作業の評価とフィードバック

これらの各分野に適用される作業管理の具体的側面を、ISOE での経験で得られた例と事例研究によって解説する。提示するテーマと実例は、原子力発電業界の職業放射線防護の最適化を目指す作業管理イニシアチブの実施における良好事例についての関連経験を、作業管理に携わる全ての人々に提供することを目的としている。

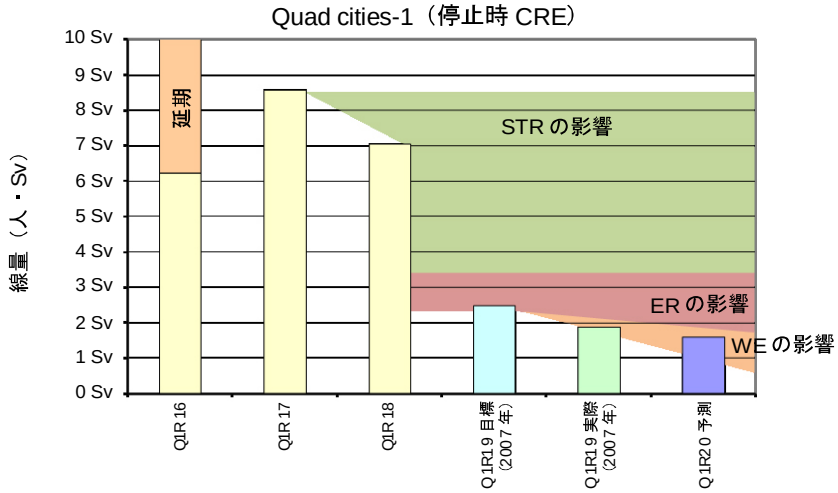
作業管理は作業に対する総合的で反復的なアプローチである。作業管理の理念は作業全体を漸進的に最適化するための、計画立案・スケジュール作成、準備、実施、評価、フォローアップから成る連続的ループである（図 2）。フィードバックは重要な構成部分であり、このフィードバックを地域と世界の両方で取得すべきである。評価とフィードバックは作業の最終段階であり、同時にプロセスの第 1 段階である。しかし作業管理は前向きのものでもある。したがって、継続的な技術進歩などといった上記テーマに含まれている多くのパラメーターが絶えず変化していくことを認識し、また将来の作業だけでなく将来の設計と運転に情報を提供するために過去と現在の教訓を利用しながら、本報告書は「継続的改善の確保」についての章を締め括りとする。

図 2. **作業管理の要素とその反復的性質**



米国：Quad Cities NPP での作業管理の例（組織的 ALARA）

Quad Cities-1 NPP は作業管理の全構成要素に取り組む統合的アプローチ（又は組織的 ALARA）を通じて集団放射線被ばく（CRE）の低減に成功した。ソース・ターム低減（STR）、設備の信頼性（ER）、作業者の関与（WE）、戦略的計画立案のための協調的努力が、1 次配管と 2 次配管の線量率に影響する化学過渡現象と号機の出力増強に伴う設備面の問題から生まれた課題に起因する 2002 年の燃料取替停止での 8.6 人・Sv という最高値から 2007 年の燃料取替停止での 1.9 人・Sv へと CRE を低減した。さらに、これら各分野での積極的適用がオンライン CRE を 70%低減した。



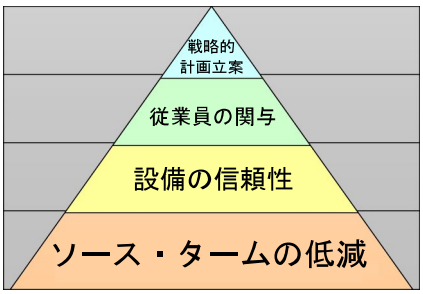
分野別の奏功した措置は次を含む。

*ソース・タームの低減：*再循環配管と湿分分離器の化学除染；ステライト・ベースの浸食シールドのあるタービン羽根の交換；サイトの副所長の署名承認／説明責任のあるサイト被ばく低減チャーターの利用；サイト管理の語彙と日常的協議への化学パラメーターの統合；運転面における水化学の重視；最低限の業界ガイダンスを上回り、コバルト対亜鉛比率のような措置について最善と特定されたパフォーマンスを達成するための努力。

*設備の信頼性：*プラント振動を処理するための効果的な診断と根本原因の処理を通じた出力増強回復；30 年を超える振動問題を解決し、設備故障を劇的に減らすための蒸気配管の音響枝管改修の実施（振動は今やかつての全出力運転時に比べ 50%未満）；蒸気乾燥器の交換が出力増強と相まって能力を増大させた；被ばく問題を含む工学的活動を管理する技術的人間行動の理念と原則の整備；プラント保健委員会における変更優先順位の協議における必須価値としての線量の取り込み；設備信頼性優先順位リストへの線量の統合。

*作業者の関与：*個人の 1 日線量目標を含む個人線量計量管理の確立；放射線作業許可トリップ・チケットを実施して、立入のたびに個別に線量を決定し計量することを強制；作業班のパフォーマンスとフィードバックの第一線監督オーナーシップ；「1 日の計画」管理者会議で 10 microSv（1 ミリレム）超過に管理者が説明責任を負う。

*戦略的計画立案：*現在はフリート線量をモニターして全体のパフォーマンスの出来不出来を把握；企業 ALARA 委員会を設置して、運転担当上級統括責任者に対して説明責任を負うプラント・マネージャーにサイトの線量についてのオーナーシップを持たせる；将来業務（向こう 5 年間）の線量影響を意思決定プロセスの一環として長期計画立案に織り込む。



2. 規制の側面

放射線防護の主要原則（正当化、放射線防護の最適化、個人線量限度）は国際レベルで確立されている。国の規制は、これらの原則に合致した放射線防護の枠組みを提供するように作り上げられている。この枠組みの中で、電気事業者もそれ自身の内部手順を策定し実施して、個人被ばくと集団被ばくを管理するためのターゲットを個別に設定すべきである。

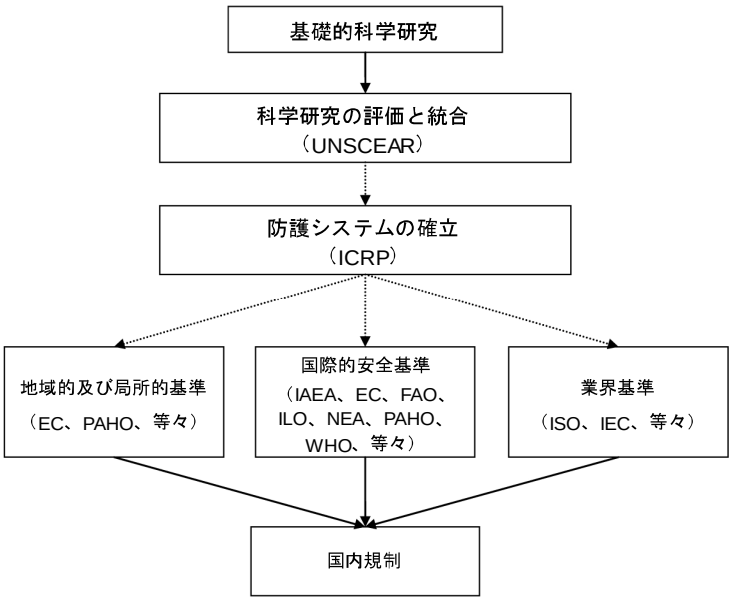
2.1 序文

特定の作業が原子力安全と放射線防護の視点から見て安全であるようにすることは、まず第 1 に、認可取得者の義務であるが、適用される規制の枠組みの中で行わなければならない。規制の枠組みの目指すものは、原子力安全に取り組む規制を通じて民間原子力施設での安全の維持と向上を確実にし、放射線防護に取り組む規制を通じて電離放射線からの作業者、公衆、環境の防護を保証することである。この規制は作業者から管理者に至るまでの防護責任を負う人々により共有される「安全文化」を含む効果的な放射線防護インフラを提供する。したがって認可制度は、規制当局が利用できる管理手段の 1 つを提供する。この制度は規定のレベルにおいて様々なものがありうるのであり、したがって電気事業者が作業管理へのアプローチで採用できる選択肢に影響することがある。本章では、放射線の国際的な基準とガイダンス、及びそれらが個々の国の規制の枠組み内で実施される手段を手短に解説する。

2.2 国際的基準とガイダンス

いくつかの国際機関が放射線防護分野の科学的・法的枠組みの確立に大きな貢献をしており、したがって原子力施設での作業管理のために国レベルで採用される安全基準に大きく関係している。正式に定められたプロセスはないが、これらには放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際放射線防護委員会（ICRP）、国際原子力機関（IAEA）、欧州委員会（EURATOM 条約を介して）、OECD 原子力機関（NEA）が含まれる。さらに、その他の政府間組織及び非政府組織やプログラムも新基準の策定に関連するフィードバックやガイダンスを提供してきた。放射線防護の枠組みを確立する上でこれらの機関が果たす役割を以下に解説する（図 3）。

図 3. 放射線防護の基準と規制の確立[2]



放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）

UNSCEAR は、平和的及び軍事的目的のために使用され、天然及び人工の線源から発生する電離放射線のレベルと影響について情報を収集し評価するため、国連によって 1955 年に設立された。世界中の政府と機関が、放射線リスクを評価し防護措置を定めるための科学的根拠として、UNSCEAR の評価を頼りにしている。

UNSCEAR は職業、公衆、医療の被ばくの世界と地域でのレベルと傾向を系統的に検討し評価している。さらに、日本における原子爆弾の生存者やその他の被ばくグループの調査、及び放射線による健康への影響が生じうるメカニズムの科学的理解での進歩をもとに、放射線による健康への影響の証拠を定期的に評価している。これらの評価（例えば UNSCEAR、2000 年、2001 年、2006 年）は、ICRP が放射線防護の勧告を策定し、国連システムの関連機関が国際的な放射線防護基準を策定するための科学的基礎を提供した。

国際放射線防護委員会（ICRP）

ICRP は第 2 回国際放射線学会によって 1928 年に設置された非政府科学組織である。放射線防護についての世界最高の機関として見られており、全体としての放射線防護分野の基準やガイダンスの基礎になりうる勧告を随時発表している。ICRP の権威は、一連の科学学問分野を代表する独立したメンバーの地位と、その勧告のメリットに由来する。

電離放射線の有害な影響の制限に対する ICRP の勧告は、刊行物やこの勧告を明確化若しくは拡大する後続の声明を通じて発表される。ICRP の勧告は 50 年を超える期間にわたり、電離放射線の利用を統制する世界及び各国の基本的な基準と原則の根拠となってきた。2007 年末、ICRP は大掛かりな草案作成と協議のプロセスを経て、新たな一般勧告を Publication 103（ICRP、2007

[2] EC：欧州委員会、FAO：国連食糧農業機関、IEC：国際電気標準会議、ILO：国際労働機関、ISO：国際標準化機構、PAHO：汎米保健機構、WHO：世界保健機関。

年）の中で発表した。Publication 103 は、Publication 60（ICRP、1991 年）として 1990 年に発表された前回の ICRP 一般勧告に正式に取って代わる。本報告書の発表時点で、国際基準と各国規制の大半は ICRP の Publication 60 に基づいている。

ICRP の放射線防護システム

ICRP により Publication 60 で詳述され Publication 103 で改めて表明された、世界の放射線防護の基準と規制の基礎を形成する 3 つの基本原則は以下の通りである。

- 正当化：放射線被ばく状況を変える決定はデメリットよりも多くのメリットを生み出すべきである。
- 防護の最適化：被ばくの可能性、被ばくする人の数、その個人線量の大きさは全て、経済的及び社会的要因を考慮に入れて合理的に達成可能な限り低く維持すべきである。
- 線量の制限：医療での患者の被ばくを除き、計画的被ばく状況における規制対象の線源からの総線量は、どの個人についても適正限度を超えるべきではない。

Publication 60 以来 ICRP が発表してきたそれまでの勧告を集約し追加した新しい一般勧告の主な特徴は以下の通りである（ICRP、2007 年）。

- 放射線防護の 3 つの基本原則を維持し、それらが被ばくをもたらす放射線源と被ばくを受ける個人にどのように適用されるかを明らかにしている。
- 放射線と組織の加重係数、及び放射線障害を入手可能な最新の科学的情報に基づき更新している。
- 計画的、緊急の、及び既存の被ばく状況として特徴付けられる状況に基づくアプローチに移行し、防護の正当化と最適化の根本原則を全ての管理可能な被ばく状況に適用することにより、以前のプロセスに基づく行為と介入の防護アプローチから発展している。
- 計画的被ばく状況でのあらゆる規制対象の線源からの実効線量と等価線量について個人線量限度を維持している。
- 個人線量とリスクについての制限によって防護の最適化の原則（これは全ての被ばく状況に類似の方法で適用されるべきである）を再度強制している（計画的被ばく状況についての線量とリスクの拘束値；緊急及び既存の被ばく状況についての参照レベル）。
- 環境の放射線防護を実証する枠組みを開発するためのアプローチを含んでいる。

線量限度：放射線防護の 3 つの基本原則を再確認することに加え、ICRP の新しい一般勧告は Publication 60 で既に定められた線量限度を維持した。計画的被ばく状況での職業被ばくについて、ICRP は定義された 5 年間の平均で実効線量が 20 mSv/年（5 年間で 100 mSv）のように限度を表現し、実効線量はどの 1 年についても 50 mSv を超えるべきでないという規定を加えることを勧告している（ICRP、2007 年）。1996 年国際基本安全基準（IAEA、1996 年）と 1996 年 EURATOM 基本安全基準（EURATOM、1996 年）は共に、個人線量限度を 100 mSv/5 年、どの 1 年についても最大で 50 mSv、と表現している[3]。

最適化：最適化の実際的実施は、放射線防護のレベルが最も一般的状況の下で最高であり、メリットが最大限の余裕をもってデメリットを上回るべきであるということを意味する。ICRP

[3] 1996 年国際基本安全基準と 1996 年 EURATOM 基本安全基準のどちらも、本報告書の刊行時点で改訂中であった。

は、最適化手順の結果として個人線量の分布に不平等が生まれないようにするため、線源に関連付けた制約を個人の線量に設けるべきであると勧告した。これは線量拘束値と呼ばれる。職業被ばくの場合、線量拘束値は、線量がそれを下回ると予想されるものだけが検討対象になるように最適化プロセスでの選択肢の幅を制限するために使用する個人線量の値である（ICRP、2007年）。線量拘束値は規制上の限度ではないが、超過があれば防護措置を検討して必要に応じ修正を加えるべきである。放射線防護の最適化の原則は ICRP Publication 101（ICRP、2006 年）でさらに整備された。

国際原子力機関（IAEA）

IAEA は 1957 年に独立の政府間組織として国連ネットワーク内に設置された。その主たる目標は平和、健康、及び繁栄のために全世界で原子力を促進することである。放射線防護の国際システムとの関連で、IAEA は国際的合意を代表する国際安全基準、規範、指針の制定において特別な役割を果たしている。

IAEA の基準のいくつかは、そのスコープと適用可能性が広範であるという性格の故に、作業の重複を避け矛盾する基準の発表を防止するため他の国際組織や政府間組織による共同支援を受けている。1996 年の IAEA「電離放射線に対する防護及び放射線源の安全のための国際基本安全基準」（BSS）は 6 つの国際機関[4] による共同支援を受け、これは世界の様々な政府機関やそれらの国内支援団体よってそれが広く利用されることを確実にする上で役立った。この 1996 年 BSS は ICRP Publication 60 に発表された放射線防護原則に概ね基づいている。どの国も強制されているわけではないが、IAEA 加盟国の大半は今日、この国際 BSS をそれぞれの国内法に組み入れているか、その規定に従っている。

ICRP の新しい一般勧告、1996 年 BSS の実施の経験、及び 1996 年以来作成されてきた IAEA 基準その他の戦略的文書を考慮に入れて、国際基本安全基準を改訂し更新するプロセスが 2005 年に開始された。新しい版は共同支援する全組織がそれぞれの制度機構を通じて承認する見込みである。

その他、IAEA は最適化の原則を 2 つの主要な刊行物で取り上げた。

- *「職業放射線防護」*についての安全指針、RS-G-1.1（IAEA、1999 年）。この中で ALARA の主要な特徴が線量拘束値や調査レベルの役割と共に説明されている。
- *「職業被ばくの管理における放射線防護の最適化」*についての安全報告書、安全報告シリーズ No. 21（IAEA、2002 年）。これは被ばく状況の評価、被ばくを低減する措置、ALARA 計画の定義と実施について実践的勧告をしている。

欧州原子力共同体（EURATOM）

EURATOM 条約は 1957 年 3 月にローマで調印された後、1958 年 1 月 1 日に発効した。その加盟国は欧州経済共同体（EEC）の加盟国と同じであった。EURATOM の目標は平和目的のための原子力エネルギーの開発において加盟国間で共通作業を促進することである。

[4] FAO、IAEA、ILO、OECD/NEA、PAHO、WHO。

欧州原子力共同体を設立したこの条約の第 2 条(b)項には、電離放射線の危険から作業者と一般公衆の健康を守るための基本的安全基準の確立が定められている。これらの基準は欧州委員会により作成される欧州連合（EU）指令に定められており、したがって加盟国に対し法的拘束力を有する。欧州理事会が 1996 年 5 月に採択した指令 96/29/EURATOM に定められた「電離放射線の危険から作業者と一般公衆の健康を守るための EURATOM 基本安全基準」（EC、1996 年）は ICRP Publication 60 の勧告に基づいている。立法機関制定法としての地位を反映して、EU 加盟国は指令の要件を実施する国内法を個別に制定する。

1996 年国際 BSS と同様、ICRP の新しい勧告、新しい科学的データ、実施経験を反映した改訂版を作成する目的で、1996 年 EURATOM BSS を更新するプロセスが始まった。

OECD 原子力機関

原子力機関（NEA）は 1958 年に設置された先進国の政府間組織である経済協力開発機構（OECD）の中にある専門機関である。その使命は、原子力エネルギーの安全で、環境に優しく、経済的な利用に必要な科学的、技術的、法律的基礎を、国際協力を通じて維持し、一層発展させることにおいて加盟各国を支援することである。NEA は情報と経験を共有し国際協力を促進するフォーラムとして、技術的専門知識の集積と維持において加盟国を支援する卓越した中心機関として、さらに政策の分析を促進し技術的作業に基づき合意を醸成する媒体として活動している。

NEA は北米、欧州、アジア太平洋地域の先進国を、比較的狭い技術的な事柄に焦点を絞った小規模な非政治的フォーラムに集めるただ 1 つの政府間原子力組織である。NEA が取り組むテーマは一般に、具体的な最先端の技術分野か政策志向の分野であり、それをもとに国際的な、又は国内的なガイダンス文書が作成されることもある。他の国際機関との緊密な協力作業が、その努力が補完的であることを保証している。

NEA 内では放射線防護公衆衛生委員会（CRPPH）が、様々な放射線防護問題を研究し電離放射線の利用での高い防護基準の採用と維持において国家当局を支援する措置を講じる責任を負っている。NEA は勧告草案を政策、規制、申請にとってのその影響について「ロードテスト」する作業を ICRP と協力しながらこれまで行ってきており、国際基本安全基準を共同支援している。

放射線防護基準の策定に貢献しているその他の機関

上記国際機関による作業に加え、他の政府間・非政府機関や実務家のネットワークも新しい基準の策定に貢献するフィードバックを提供している。これには例えば以下のものが含まれる。

- 職業被ばく情報システム（ISOE）：原子力発電所作業者の放射線防護のための国際的協力事業を協議、促進、調整するフォーラムを電気事業者や国の規制当局の放射線防護専門家のために提供している。ISOE は OECD/NEA と IAEA が共同支援している。
- 国際放射線防護学会（IRPA）：世界の放射線防護実務家が相互のコミュニケーションを一層容易に行い、それによって世界の多くの領域で放射線防護を促進させるための媒体を提供している。

- 欧州 ALARA ネットワーク（EAN）：放射線防護の最適化を扱うテーマについて欧州の個別的研究を推進し、欧州の業界、研究、医療各部門での優れた ALARA 慣行の普及を促している。
- 西欧原子力規制者会議（WENRA）：原子力安全への共通アプローチの開発を促進し、欧州連合加盟申請国での原子力安全を調査する独立の能力を提供するため、欧州の主要な原子力安全規制機関が経験を交換し重要な安全問題を協議するネットワークとして機能している。

2.3 各国の規制方針

原子力と放射線の安全の規制は各国の責任であり、国際基準はそのために統一的なベースを提供し整合性を促進する。国の規制が作業管理の適用に及ぼす影響は、規制の枠組み次第で様々なレベルになりうる。

特定の作業が原子力安全と放射線防護の視点から見て安全であるようにすることは、まず第 1 に、原子力発電事業者の義務であり、これは適用される規制の枠組みの中で行われなければならない。効果的な規制体制は規範的規則とパフォーマンスに基づく規則の間に適切なバランスを取り、電気事業者が作業管理の適用に柔軟性を織り込めるようにする。作業管理へのアプローチに規制が及ぼしうる影響を実証するため、2 種類の規制、つまり原子力安全に取り組む規制と放射線防護に取り組む規制、並びに両者間の関係が検討された。

原子力安全規制

原子力規制は全て従業員、公衆、環境を放射線被ばくの有害な影響から防護することを目的にしているが、この防護の 1 つの側面は原子力施設の安全と原子力事故の防止である。原子力安全の問題に取り組む規制は特定の義務を認可取得者に課すことがあり、これは作業者の被ばくに影響する可能性を持っている。例として系統の検査や保全に関連する規制（範囲と頻度を含む）があり、これは柔軟性の程度も、そして国によっても同様に異なるかもしれない。

原子力安全の要件に従って保全や検査を行う作業者の被ばくは、プラントの信頼性向上でのメリットにより正当化されるべきである。特定系統の安全重要度によっては、パフォーマンスに基づくプラント状況のモニタリングや分解保全の方が、あらかじめ決められたスケジュールに基づくより規範的な予防保全システムよりも有益であるかもしれない。例えば、検査・保全プログラムの年間頻度が高ければ、作業管理の適用は制約されるかもしれない。他方で、複合検査を低頻度で行うとか、系統を除染した後など放射線防護条件が好転するまで検査を延期するという柔軟性があれば、線量が低減され広範囲に最適化された検査・保全スケジュールが可能になるかもしれない。

もう 1 つ例を挙げると、規範的規則では燃料取替停止ごとに蒸気発生器伝熱管の系統的検査が必要になるかもしれないが、パフォーマンス型の規則では前回の検査の結果に従って将来の検査スケジュールを決めることが義務付けられるであろう。この後者の型の規制は、職業被ばくを広範囲に最適化する柔軟性を電気事業者に提供しつつ、作業者と公衆を防護するという規制要件を満たす。実際、最近の規制の傾向は規範的規則に対抗するものとしてのパフォーマンス基準型の規則を目指してきており、この傾向は作業管理の原則を支持している。

スウェーデンとベルギー：蒸気発生器検査の低減

スウェーデンでは、Ringhals プラント（3 基の PWR と 1 基の BWR）で、蒸気発生器の交換による恩恵を受けた PWR については新しい蒸気発生器の検査は 2 年ごとでよいという安全当局（SKI）の了解が得られた。5 年以内に全ての管を検査しなければならず、50%が 2 年ごとに検査される。

ベルギーでは、Doel 3 号機と Doel 4 号機で蒸気発生器が交換された後、毎年開けられチェックされる蒸気発生器は 1 台にすぎなかった。しかし、ベルギーの安全当局は Electrabel と交渉の末、各蒸気発生器の検査は 6 年に 1 回のみとするということに同意した。Doel プラントは 3 回目の停止時ごとに 2 台の蒸気発生器を開けることを選択し、蒸気発生器を開けずに 2 回連続して号機の停止ができるようにした。検査の対象は無作為に抽出した 40%の管の全長であり、10%の管はロール融合部もチェックされる。

日本：停止頻度の低減

日本では、2007 年より前までプラントは 13 か月という運転期間に従ってきた。2007 年に発表された新しい検査システムでは、各プラントの保全プログラムに従って保全業務を行うこととなる。このシステムでは、検査が均一の検査から各プラントの特性に従ったサイト志向の検査に移行し、18～24 か月の運転期間が可能になる。

米国：原子炉監督プロセスと「リスク情報を活用した」検査

米国原子力規制委員会（NRC）は、その規制プロセスの有効性と効率を改善するプログラムに着手した。このプログラムの重要な側面は、NRC が発電用原子炉の検査プロセスを行う方法の変化である。このアプローチのベースは、発電用原子炉の認可取得者の NRC 検査にリスク情報を活用することである。これの基本原理は、認可取得者のパフォーマンスがプロセスの目標と主要な属性を満たしていれば、それが公衆の健康と安全が維持されているという合理的な保証になるという考え方である。職業放射線安全を含む 7 つの安全基本項目が定められた。

例えば、NRC の放射線防護検査手順は、プラントの中で放射線リスクから見て最も重要な区域で行われる作業について定められた認可取得者の管理に重点を置くことを検査官に指示している。これには放射線が高いか非常に高い施錠された区域や、線量率が劇的に変化する可能性のある区域（放射性廃棄物スルース・タンクの周りなど）が含まれる。

放射線防護規制

原子力安全規制に加え、他の国家的な規制やガイダンスが放射線防護の問題に直接的に言及している。これには、作業者や公衆についての線量限度や、既存施設での活動の監視に使用するため当局が定めた運転上の制限（対応レベルや調査レベルなど）がありうる。こうした規制やガイダンスの目標は、防護が最適化されるようにすることと、法定限度への接近に応じて超過を回避するため措置が取られるようにすることである。

作業者と公衆の両方について防護の最適化の原則に取り組む規制は、職業被ばくの管理に関連する作業管理にさらなる影響を及ぼす可能性がある。この原則の実施において、定型的運転による一般的に極めて低い公衆の線量をさらに低減することを目指す措置と、職業被ばくの大幅な低減を実現する可能性があるかもしれない措置の間に、しばしばバランスが存在する。例えば、ある放出物低減技術の利用が、その設置、運転、保全、廃棄による職業上の線量を生じさせ、それが公衆の線量低減でのメリットに見合わないということがあるかもしれない。したがって、結果として生じる被ばくを適切に管理し、選択肢について関連する全利害関係者の同意を得るということが重要である。これは、公衆の被ばくと職業被ばくの両方が ALARA として見なされうるように各状況に合わせて調整すべき、定性的かつ定量的なプロセスである。

線量限度

職業上被ばくする作業者についての規制上の線量限度は、実施方法が様々であるかもしれないが、大半の国で ICRP のガイダンス（1991 年、2007 年）、1996 年国際 BSS、又は 1996 年 EURATOM BSS を順守している。

表 1. **ISOE 参加国の規制上の職業線量限度（全身）**[5]

職業線量限度（全身）	**国**
単 1 年で 20 mSv	ドイツ、イタリア、オランダ、パキスタン[6]、ルーマニア、スロベニア[6]、英国
移動 12 か月当たり 20 mSv/年	ベルギー、フランス
100 mSv/5 年及び 任意の 1 年につき 50 mSv	アルメニア、ブラジル、ブルガリア、カナダ、中国、チェコ共和国、フィンランド、ハンガリー、日本、韓国、リトアニア、ロシア連邦、スロバキア共和国、南アフリカ、スペイン、スウェーデン、スイス
50 mSv/年	メキシコ、米国

様々な電気事業者に雇用されている及び／又は様々な国で働いている外部又は短期の作業者の線量管理については、情報が入手可能な限り雇用主や認可取得者がそれら従業員の線量履歴を認識している必要がある。作業が完了したら、作業者の線量情報をその作業者の個人線量記録に記録する責任を負っている者は、その実行を保証する必要がある。

日本：線量パスポート

NPP が米国の従事者（例えば水中溶接の資格を持った溶接工）を一時的に雇用する必要がある場合、その NPP は当該作業者の被ばくを以前の被ばくを考慮に入れながら日本の線量管理システムの下で管理する。作業者が自分の線量パスポートを持っていれば、日本の電気事業者はそのパスポートを受け入れ、それに記入する。

欧州：外部作業者についての経験とフォローアップ

EU 諸国の大半は外部作業者用に個人用線量記録文書を備えている。フランスやスペインのように全国的な線量記録システムを実施している国もいくつかあり、これは外部作業者に限定している場合もあれば、放射線作業者の全てに適用される場合もある。スペインでは、公式の個人用文書には個人用線量情報のみならず訓練歴、医学的監視など他の情報も記載されている。

外部作業者についての 2006 年欧州ワークショップでは、外部作業者の個人用線量記録文書をもっと標準化したいと考える国が大半であるとの結論が得られた（EAN、2006 年）。ただしこれは、各加盟国で内容が厳密に同一の文書が必要であるということを意味しない。内容の標準化については、ある程度の柔軟性が望ましいと考えられ、欧州委員会が必要最低レベルの情報を定めた。言語の問題が極めて重要と考えられ、こうした文書は英語と発行される国の言語で書くことが少なくとも必要であろう。

ALARA の規制とガイダンス

国の規制当局は ALARA の計画立案に取り組む追加的な規制やガイダンスを導入するかもしれない。この規制やガイダンスの重点項目としては、系統的で効率的な ALARA プログラムを実施す

[5] 本報告書の発表時点。

[6] 非常に特定の条件下での特殊環境では、50 mSv/年という実効線量限度に規制当局の承認が下りることもある。5 年間の総線量が 100 mSv を超えてはならない。

るために認可取得者が採用する手順やプロセスがありうる。さらに、規制当局は認可取得者の ALARA プログラムを検討する上でも重要な役割を果たすことができる。場合によっては、規制当局が集団線量の閾値を設定し、それより上のレベルでは公式又は正式の ALARA 計画立案手順を当局に承認してもらわなければならないということも考えられる。その他、被ばく量の多い業務については外部専門家が参加して意見や助言を提供することを規制機関が義務付けるということも可能である。

カナダ、米国 : ALARA ベース

カナダでは、以下のような多数の管理プログラムを実施することにより被ばくを ALARA に維持する放射線防護プログラムの確立を全ての認可取得者に義務付ける ALARA 要件が放射線防護規制［RPR 4(a)］に含まれている。

- 作業慣行に対する経営管理
- 従事者の資格認定と訓練
- 放射線に対する職業被ばくと公衆被ばくの管理
- 異常状況に備えての計画立案
- 認可活動の結果として放出された全ての核物質の量と濃度の検証

線量を効果的に管理し最小化するための措置の種類について認可取得者に手引きを与える ALARA についての指針が規制機関（CNSC）から発表された（G-129、改訂 1、2004 年 10 月）。そこには、線量を ALARA の大きさに制限するという上級管理者の明確な参加意欲が重要であること、この目標を達成するため適切なプログラムが必要であること、及び作業関連の線量を定期的に見直してそれが引き続き適切に管理されるようにすることの重要性の要点が書かれている。CNSC は放射線防護規制 4(a)項の順守を示す証拠として、線量を ALARA に維持するために認可取得者が採用しているプロセスに何よりも注目している。

米国では NRC の規制 10 CFR 20.1101「放射線防護プログラム」に ALARA についての規制要件が定められている。

- 各認可取得者は認可活動のスコープと程度に相応の、このパート（10 CFR 20）の規定の順守を保証するために十分な放射線防護プログラムを策定、文書化、実施しなければならない。
- 認可取得者は適切な放射線防護原則に基づく手順と工学的管理を可能な限り適用して、合理的に達成可能な限り低い（ALARA）職業線量と公衆メンバーの線量を達成しなければならない。
- 認可取得者は放射線防護プログラムの内容と実施を定期的に（少なくとも年に 1 回）見直ししなければならない。

フランス、ドイツ、韓国、スロベニア : ALARA 規制

フランスでは、最適化原則を適用するには、管理区域で行う各作業について職業上の集団線量と個人線量の暫定的な推定を行い、作業の集団線量と個人線量の目標を利用可能な技術と行う作業の性質に基づき可能な限り低いレベルに設定しなければならないと職業放射線防護についての制令（*Décret n° 2003-296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants*）に定められている。

ドイツでは、放射線を発生する活動に携わろうとするか携わっている人は、人又は環境のあらゆる種類の放射線被ばく又は汚染を、その値が限度未満であるとしても、最先端技術を十分考慮し各個人の状況を勘案した上で可能な限り低く維持する義務を負うことが規制に定められている。規制には金銭面に基づく総合的最適化を実現するための強制的基準が記載されていない。このため、最小化の線と最適化の線のどちらに沿った解釈も可能である。公的な慣行は依然として「最小化」の達成を目指しているが、VGB は費用対効果分析によって放射線防護選択肢を選ぶことを勧告した。

フランス、ドイツ、韓国、スロベニア：ALARA 規制（続き）

韓国では、電気事業者である KHNP が職業被ばくを ALARA のレベルまで低減するため継続的に努力してきており、過去 20 年間に目覚しい進歩を遂げた。主要原動力は規制要件の順守であったとはいえ、この低減は多くのレベルでの多様な手段により達成された。ALARA 要件は以下の通り韓国の規制に組み込まれている：

- 1958 年：原子力法の制定
- 1983 年：ICRP-9（MPD、MPAD、MPC）に基づく一般的改訂
- 1994 年：ALARA 原則の組み入れ
- 1998 年：100 mSv/5 年及び 50 mSv/5 年以下という線量限度への移行（2002 年までは 200 mSv/5 年）
- 1999 年：ALARA プログラム実施の義務化
- 2001 年：ALI、DAC 概念の適用

スロベニアでは原子力と安全の規制により最適化計画（官報 No. 115/2003 SV5）が、放射線防護慣行の承認についての規則（官報 No. 13/2004 SV8、No. 27/2006 JV2/SV2）に関する放射線被ばく評価要件の一環として導入された。

日本、スペイン：規制審査

日本では当局が保安規定を審査し承認する。この保安規定は認可取得者が提出を義務付けられており、職業被ばくを ALARA に維持するためのベースとして役立っている。

スペインでは、1990 年代に規制機関（CSN）が NPP での放射線防護の最適化について指針を発表した（GSG-01.12 “Aplicación práctica de la optimización de la protección radiológica en la explotación de las centrales nucleares” = NPP 運転での RP の最適化の実践的適用）。これは責任の確立、正式な文書化の必要性、ALARA プログラムの指針などといった ALARA の枠組みの一般的基準を含んでいる（指標、目標、訓練、管理など）。これらの基準は様々な組織レベルの様々な正式文書で実施され、定期的に改訂され評価されている。

2.4 業界の内部手順：運転上の制限

電気事業者の内部手順の一環として、個人の職業線量の低減を奨励するため、又は規制上の線量限度に接近している作業者の特定を容易にするため運転上の制限を定めることがある。そうした制限は線量拘束値、線量ターゲット、線量目標を含むかもしれない。事業者がこれらの運転上の制限について使用する用語が国の枠組みによって様々である、ということに注意しなければならない。「線量拘束値」や「線量ターゲット」は線量限度より低い上限年間個人線量を定めるために使用するのが普通である。特定の措置（管理やアクセス制限など）を取る個人線量のレベルは「調査レベル」とか「警告レベル」と呼ばれる。最後に、いくつかのケースでは個人被ばくや集団被ばくの観点から上限の業務関連レベルも設定される。こうしたレベルは「線量目標」や「線量拘束値」と呼ばれる。これらは、どこが業務の最大線量であるかを推定して防護をそれより低いところで最適化するために、業務の準備段階で設定される。また、業務完了後に実際の線量を目標と比較するためにも使用できる。

これらは様々な名称で呼ばれており、電気事業者が日々の線量管理で使用している運用上の数値である。新しいプロセスや施設の設計で、放射線防護基準を検討する際に使用することもある。作業管理の意味で、これらの制限は規制限度内の個人線量管理を容易にするツールを電気事業者に提供する。

カナダ：放射線防護規制と措置レベルの設定

カナダでは「放射線防護規則（RPR）第 6 項の目的のための措置レベル案」を認可申請に含めることが一般的原子力安全・管理規則（General Nuclear Safety and Control Regulations）で義務付けられている。RPR の 6(1)では、それに達した場合、認可取得者の放射線防護プログラムの一部が制御不能になった可能性があり、特定の措置を講じなければならなくなる一定の放射線線量又はその他のパラメーターとして「対応レベル」が定義されている。RPR の 6(2)の定めによると、「認可において本小節の目的上言及されている措置レベルへの到達があったことに気付いたら、認可取得者は以下の措置を講じなければならない。

- 調査を行って、対応レベルへの到達があった原因を確認する。
- 第 4 節に従って実施した放射線防護プログラムの有効性を特定し、それを回復するための措置を講じる。
- 認可に定められた期間内に委員会に通知する。」

対応レベルは制御不能の可能性について認可取得者と CNSC の注意を喚起する重要なツールである。

さらに、いくつかのカナダ電気事業者は被ばく管理レベル（ECL）や管理線量限度（ADL）をそれぞれの放射線防護プログラムの中で定め、作業者が線量限度に接近するのに応じて一定レベルの管理上の制御手段が適用されるようにして、規制限度超過のリスクを最小化している。

対応レベル（これは認可の一部を形成する）は CNSC への報告を義務付ける。人的管理レベル、運転介入レベル、等々は基本的に線量モニタリングや管理のための内部ツールであり、CNSC に個別に報告しなくともよいものが多い。両方とも放射線防護の潜在的問題を早期に警告する指標であり、フォローアップの措置を要する。

フランス：運用上の線量制限

年間線量限度を守るため、フランスの電気事業者 EDF は定期的に被ばくする作業者について 2 つの警告線量レベル、つまり i) 移動 12 か月で 16 mSv/年の事前警告レベルと (ii) 18 mSv/年の警告レベルを導入した。作業者が事前警告レベルに達すると特別監視と作業環境の調整が、場合によって医療サービスの協力を得て行われる。しかし、この作業者は依然として管理区域への立入が許される。警告レベルへの到達があると、作業者は次の措置が講じられるまで管理区域での活動を停止しなければならない：雇用主、保健物理検査官、医療業務者への連絡、作業者の将来の線量を見積もるための特別リスク分析の実施、作業継続に対する雇用主の明確な承認。

ドイツ：停止期間外に行われる作業（Philippsburg NPP）

プラントの安全上又は技術上の要件のため停止前に系統故障を解消しなければならない場合、放射線防護活動を計画立案するチームはプラントの出力引き下げを要請し、区域の線量率をもとに計画個人線量を推定する。この場合の主要規則は個人線量が 1 mSv を超えてはならないということである。

日本：線量ターゲット

日本の規制では、職業線量限度が 100 mSv/5 年と 50 mSv/年に定められており、この超過は国内の原子力発電所でこれまで起きていない。しかし、電気事業者は放射線防護管理で個人線量のターゲットをより低く（例えば 20 mSv/年）設定することにより職業被ばくを低減するように努力している。日本では 66,000 人が原子力発電所で働いており、このうち 2002～2007 年度の 1 年間に 20 mSv を超えた人は 0～3 人にすぎない。

ルーマニア：内部被ばく最適化のための線量管理ポイント（Cernavoda NPP）

線量管理ポイント（DCP）は職業放射線被ばくの管理と制限のための内部管理限度である。これは管理限度 18 mSv/年に達するまでの任意の時点で入手可能な実効線量の半分を代表する。線量測定年の始めに、DCP は 9 mSv に設定され、受ける線量の増大に伴い減少する。発電所の保健物理検査官が承認しない限り、単一の被ばく（放射線場への 1 回の立入についての単一作業／職務）での DCP の超過は許されない。

ルーマニア：内部被ばく最適化のための線量管理ポイント（Cernavoda NPP）（続き）

CANDU 原子炉の場合、内部被ばくの主要因子はトリチウム重水である（DTO）。DTO の摂取による内部線量について防護を最適化するため、管理上の総実効線量限度 18 mSv/年に加え他の人的管理が実施されている。

- 1 mSv 預託線量の除去限度：尿中の DTO 濃度が 1.2 MBq/L を超えていれば毎日サンプルを提出しなければならず、被検者は濃度が低下するまで大気がトリチウムで汚染された放射線区画（ゾーン）に立ち入ることができない。
- トリチウムへの内部被ばくのフォローアップについての 0.3 mSv の調査レベル：調査は各部門の ALARA コーディネーターが行う。
- トリチウム線量率が強制的呼吸保護レベル 0.05 mSv/時を超えなくとも、呼吸保護装置の利用についての予測預託線量の閾値は 0.03 mSv。
- 発電所と作業グループの集団線量の月次ターゲット。
- 発電所／作業グループのパフォーマンス改善のためのパフォーマンス指標。

スロベニア：線量拘束値と運転上の線量限度（Krško NPP）

Krško NPP では、外部被ばくによる個人の全身線量についてのプラントの運用上の限度は年間 10 mSv である。この限度を超えるためには放射線防護マネージャーと技術ディレクターの承認が必要である。運用上の限度の超過は、溶接や放射性廃棄物の処理に関わる職務に就いている数人の被ばく者についてのみ、わずかに見られた。

スロベニアの規制に従い、プラントは外部と内部の線量拘束値を当局に提案した。これらの値は承認された線量拘束値として使用されている。

- 外部被ばくによる線量拘束値は、カテゴリーA の作業者について年間 15 mSv、カテゴリーB の作業者について 6 mSv である。
- 内部被ばくによる線量拘束値は年間 0.2 mSv である。

これらの線量拘束値の超過があると、プラントはスロベニア放射線防護局に連絡し是正措置を講じなければならない。

2.5 要約

放射線防護の原則と基準が国際レベルで作成され、国内規制を作成するための確かなベースを提供している。これらの規制は通常、i) 安全と ii) 放射線防護を扱っている。安全の領域では、規範的なあらかじめスケジュールを決めた保全よりも「パフォーマンスに基づく」プラント保全を開発し実施する努力がなされている。これは一般に保全の分量の低減、したがって職業被ばくの低減を可能にする。放射線防護の領域では、個別的規則を導入して放射線防護の最適化を促進することができる。規制の枠組みに加え、電気事業者はそれ自身の放射線防護内部規則を作成して、個人線量と集団線量の管理のための運用上の制限を統合することができる。

3. ALARA 管理方針

ALARA（合理的に達成可能な限り低く）は考え方、理念、被ばく低減のために合理的な措置が全て取られたかどうかを絶えず問うこと、として捉えられることが普通である。この理念の現実的な実施を促進するには、固有の組織を構築し、ALARA について個人と集団の責任を割り当て、適用すべき共通規則を定めることが必要である。

3.1 序文

ALARA アプローチの本質は、一般的状況の中で最善のことがなされたか、線量低減のために合理的なことが全てなされたかということを常に問うことにある（ICRP、2007 年）。どのようなイニシアチブを実施するにしても同様であるが、成功は組織の最高レベルからの動機付けと支援にかかっている。プラント管理者は遂行される全ての業務で放射線防護が適切に考慮されるようにする管理の体制又は組織を導入しなければならない。特に、プラント管理者は業務を計画し、スケジュールに組み入れ、実施し、フォローアップする分野横断的チームを方針と予算において支援することに意欲的でなければならない。この体制は国ごと、電気事業者ごとに様々であるが、組織の重要点は共通であり本章ではそれを説明する。

3.2 プラントの ALARA プログラム

どの電気事業者も「ALARA の精神」を尊重すべきであり、構造化された ALARA プログラムを全ての原子力発電所で作成し実施すべきである。このプログラムは放射線防護措置を適切に実施するという管理者の参加意欲を表明し、目標を定め、その実施のために必要な具体的な体制、手順、ツールを明らかにする。これは一般に以下を含む。

- プログラムの目標と目的の設定。例えば、年間、停止時、特定業務の集団線量目標を設定する際の要件
- プログラムの目標を達成するために利用できる資源の明示
- 役割と責任の割当
- 「ALARA 委員会」の機能と役割の説明
- 放射線防護体制の詳細（停止の調整、個別的な放射線防護作業グループなど）
- 教育／訓練方針の策定
- 業務の準備、実施、及び業務完了後の分析の作業方法と要件
- ALARA 活動の成功を測定する手段。例えば、プログラムの目標と目的の達成状況について管理系統に沿った上下方向の定期的なフィードバックを適時に行うモニタリング・システム。
- フィードバック情報がプログラムの弱点や不具合を示している場合に是正措置を講じるための対策

ロシア連邦：全ロシア NPP の標準的 ALARA プログラム

2000 年、電気事業者の Concern Rosenergoatom は全ロシア NPP で ALARA プログラムの実施に着手した。ロシア NPP の標準的 ALARA プログラムは 2000 年に全ロ NPP 運転技術開発研究所（VNIIAES）が策定した。このプログラムの主要な特徴は以下の通りである。

a) NPP での ALARA 組織体制：
   - ALARA 委員会
   - ALARA グループ：主なタスクと機能は業務分析、作業準備実施、フィードバックを含む。

b) 以下を含む職業被ばくの低減を目指す標準的活動プログラム：
   - 組織的活動
   - ソース・ターム低減活動
   - 時間低減活動

標準的 ALARA プログラムに従って、各 NPP がローカル ALARA プログラムを策定した。例えば、Kalinin NPP のローカル・プログラムは以下の追加的特徴を含む。

- ALARA プログラムについての線量目標
- ALARA 組織体制
- ALARA プログラムの実施についての責任分担
- 保全時及び通常運転時の職業被ばくを低減する対策
- 職業線量の計画立案、分析、記録の手順
- 線量低減のための特殊設備
- ALARA プログラムについての従業員教育
- 被ばく低減のために最適化すべき 1 人・Sv 以上の業務のリスト

3.3 ALARA 実施のための役割と責任

全ての作業者とマネージャーが、各活動分野で ALARA プログラムを実施する責任を共有しなければならない。

プロジェクトに対する管理者の参加意欲は、常に管理者の存在と支援によって実証される。したがって管理者の方針は、マネージャーが作業現場を頻繁に訪問しプロジェクトの状況と問題をじかに知ることを奨励すべきである。プラント・ツアーは重点とする目的や区域を具体的に決めて行うべきである（例えば清掃・点検、清潔さ、作業者の手順順守、ツール・ステージングの妥当性、特定の修理作業の進捗状況など）。これは適切な権限委譲により促進することができ、権限委譲はマネージャーを徹底したプラント視察ツアーに割く時間から解放する。

その他、作業を所定限度内（線量、工数、時間など）で遂行するように管理方針によって義務付けることも可能である。これは受注者に対する契約上の要件によって、また課された目標の達成に必要なプロジェクトに資金と要員を投入する管理者の意欲によって実施できる。全作業者にこれらの目標や、これらの目標に対する管理者の参加意欲を伝えることも非常に重要である。

ALARA 理念の当事者意識はプラントのあらゆる機能分野の責任であり、それは一般に以下を含む。

- プラント・マネージャー：ALARA のパフォーマンスに責任を負う。内部基準の設定を含む。
- 化学：化学仕様、停止手順作成での主要な役割、など。
- 運転：プラントを化学仕様内に維持し水位を RP の助言に従って維持するという化学助言の実施。
- 保全：異物の除去、ツールと作業区域の準備、モックアップ訓練など。

- 放射線防護：マネージャーその他の作業グループへの助言、基準の設定、規則や規制の実際的実施など。
- 工学的支援：保全要件を最小化するための運転経験の利用など。
- 作業の計画立案とスケジュール作成：作業スケジュールをどのようにプラント構成にリンクするか、計画からの乖離がどのように ALARA に影響するかなどの理解。
- 停止ロジスティクス：停止期間中のロジスティクスの把握（通常運転とは異なるものとしての）。
- 施設の管理：例えば清掃・点検や清潔さ。
- 受注者

これらの機能の組織と体制は電気事業者によって異なり、おそらく通常運転時か停止時かによっても異なるということに注意すべきである。したがって、責任の配分として何が「最善」であるかを詳細に述べることは困難である。しかし、多数の電気事業者の過去の経験からいくつか一般的な法則を導き出すことができ、これを以下に詳しく解説する。

英国：管理者の役割

英国では、放射線防護監督官の機能を果たす適切な人間を十分な数だけ指名することが法律により雇用主に義務付けられている。これらの人々は、作業者がプラントの放射線安全規則を正しく守るようにする責任を雇用主に対して負っている。これらの監督官が有効であるためには、監督官としての権限を持ち、遂行される作業について、また放射線防護要件が線量を ALARP（合理的に実施可能な限り低く）に維持する上でどのように有効であるのかについて精通していなければならない。Sizewell B では、各現場監督官（保全、運転など）が「放射線防護監督官」に指名されて、放射線作業許可についてそれぞれのチームにブリーフィングし規則が守られるようにすることに従事している。その他、マネージャーは ALARP の推進と職業被ばくに影響する意思決定に積極的に関与しなければならないということを、規制当局が電離放射線の使用者全員に想起させた。

ALARA 責任の配分

責任の配分は国や電気事業者によって異なるかもしれないが、以下の大まかな責任分野が一般に当てはまる。

大規模電気事業者の場合、企業レベルでの ALARA の集中的機能には通常以下のものが含まれる。

- 全体的な ALARA 理念の策定
- ALARA の方針と手順のフリート全体での標準化
- 線量の低減と最適化のための共通行動計画の策定
- 企業全体又は各サイト（該当する場合）についての短期（3 か月～1 年）、中期（1～5 年）、長期（例えば 10 年）の線量ターゲットの設定
- 大型機器の交換（例えば、蒸気発生器や原子炉容器上蓋の交換）を詳細に検討する独立の異議申立委員会（challenge board）
- ALARA の専門知識と経験のフリート全体での共有
- 新規建設についての線量ターゲットの設定

さらに、実際には様々なバリエーションがあることが認識されているものの、組織内での ALARA の役割と責任はどの電気事業者でも普通以下のように配分されている。

*上層管理者*は ALARA プログラムを促進、支援し、それに資源を充当して、それが全体として成功するようにしなければならない。

*プラント・マネージャー*は電気事業者の方針と目標（これは企業レベルで策定されるケースもある）に従って ALARA プログラム全体に対して責任を負う。この目的のため、

- 発電所の ALARA プログラムの目標と目的の設定に参加する。
- 放射線防護措置の実施面でプラント従事者を支援する（特に放射線防護マネージャー）。
- 開放的な連絡経路が企業レベルで存在するようにする。
- 被ばく低減に向けたプラントの作業状況を検討する。

*部門マネージャー*は各活動領域での発電所の ALARA プログラムの実施に責任を負い、また作業が ALARA の手順に従って行われることを確実にする責任を負う。この目的のため、

- 発電所の ALARA プログラムへの各部門の寄与を定める。
- 各部門の線量目標を定める。
- 目標達成のために策定された手順と方法を検証し管理する。
- ALARA 原則の実施において各部門の従事者を支援する。
- ALARA プログラムの目標について部門のパフォーマンスを定期的にレビューする。

*放射線防護マネージャー*は放射線防護プログラムの作成と実施に責任を負っており、放射線防護の問題と懸念を解決するために「管理系統に沿って上申する」権限を持っていなければならない。特に、

- ALARA 原則の実施のための方法と手順を開発する。
- 大量の被ばくを引き起こす恐れのある条件や作業（リスクを含む）を特定して分析する。
- 被ばく管理プログラムを実施して、他の部門にフィードバック・データを提供する（放射線データ、被ばくレベルなど）。
- 最初の放射線防護訓練を実施し、プラントの訓練プログラムへの継続的インプットを行う。

*放射線防護技術者*は現場の作業を追跡管理して、放射線防護方針が実行に移され業務が ALARA 原則に従って実施されることを確実にする助けとなる責任を負っている。その責任は以下を含む。

- 作業者に支援と助言を提供して、ALARA 行動を取るように動機付ける。
- 業務を追跡管理して、安全と放射線防護の手順が尊重されることを確実にする。
- プラントによっては、線量目標からの深刻な逸脱があるか作業者の放射線リスクが著しく高まりつつあるなら作業を停止する。

最後に、*個々の作業者*は放射線防護の訓練と手順に従い線量低減の機会を管理者に対し特定することにより、各自の被ばくを ALARA に維持する責任を負っている。特に、以下のことに責任を負っている。

- 放射線防護の優良な手順と慣行を適用することにより、各自の個人線量のレベルと周囲の作業者のそれを合理的に達成可能な限り低く維持する。
- 被ばく低減のための改善と良好事例を特定し提案する。

電気事業者と受注者の間での ALARA 責任の区分

ALARA の実施について、電気事業者と受注者の間で ALARA の責任を明瞭に区分する必要がある。電気事業者は線源の所有者として作業環境に責任を負うのが普通である。受注者が電気事業

者の作業手順を採用するなら、その作業レベルでの放射線防護を最適化する責任は電気事業者が負う。他方、受注者がそれ自身の手順を策定するのであれば、受注者は防護が最適化されたことを電気事業者に実証する責任を負う。放射線防護のパフォーマンスについて契約上の要件を個別に導入することも場合によってありうる。しかしいずれの場合でも、電気事業者と受注者の間の対話が放射線防護を改善するための重要な要素である。

フランス：EDF の受注者

国内受注者が行う国内保全作業について、EDF は放射線防護の順守に関する具体的義務を多年度契約に取り入れた。これらの契約は固定量の作業を定めた部分と、追加作業の可能性を定めた「選択的」部分を含んでいる。受注者が契約に定められた義務を果たさないか放射線防護について好ましい行動を示さない場合、契約の選択的部分はその受注者に発注されないことがありうる。

スロベニア：受注者の責任（Krško NPP）

ALARA に対する受注者の責任を考慮する際に、効果的な管理方針は商業契約に ALARA についての義務を導入することである。Krško プラントでは、業務の集団線量が高いと、ALARA 要件不順守の結果として受注者がプラントに罰金を支払わなければならなくなることもある。合計線量が ALARA 計画に対して 10 人・mSv だけ超えると受注者は 10,000 ユーロを支払わなければならず、それからさらに ALARA 計画に対して 5 人・mSv 超えるごとに追加 5,000 ユーロを支払わなければならない。罰金の決済は出口会議のときに両当事者が取り決める。このケースで、プラントが設定するアルファ値は ALARA に対する適切な責任を取るよう受注者に強制する商業上の理由にも使用される。

3.4 ALARA 委員会その他の個別的 ALARA 組織

電気事業者の組織によっては、企業レベル、エンジニアリング部門レベル、プラント・レベルなど様々なレベルで ALARA 委員会が設置される。多数のプラントを管理する電気事業者の場合、電気事業者の ALARA 方針の主要目標を普及させ放射線防護措置をプラント間で調整するために、企業レベルで ALARA 委員会を設置することが有益であるかもしれない。こうした委員会は一般に RP 最上層管理者の代表者が委員長を務め、プラントの最上層管理者がメンバーを出す。企業レベルでエンジニアリング部門を設置している電気事業者は、放射線防護面のエンジニアリング開発（例えば、プラント改造又は特別な保全業務の精緻化など）への統合を調整するためにも ALARA 委員会を設置するかもしれない。

プラントの ALARA 委員会

電気事業者によっては、ALARA プログラムの分野横断的な計画立案とレビューを継続的に行うために、プラント ALARA 委員会が設置されている。こうした委員会は意思決定の資格を確保するためプラント最上層管理者の代表者が委員長を務めることが多く、メンバーには一般に放射線防護、化学、保全、運転、エンジニアリング、計画立案、スケジュール作成、ロジスティクスを含むプラントの様々な部門の代表者がなる。

委員会の責任は一般に、プラント・マネージャーにより提案された ALARA プログラムを承認し検討すること、年間職業被ばくの目標を設定すること、プログラムが実施されしっかりとしたものであることを確実にすることである。ALARA 委員会は定期的に会合を開いて、発電所の ALARA パフォーマンスをレビューし、個人線量低減の提案を評価し、ALARA プログラムの有効性について管理者に勧告すべきである。各会合の議事録は委員会が決定した各措置について誰が責任を負うかを明示すべきであり、全部門に配布すべきである。

いくつかの保全業務については、ALARA 計画の妥当性確認のためにプラントの ALARA 委員会が相談を受けることもある。そうした業務を委員会に提示するという決定は、その作業に伴う個人被ばく又は集団被ばくの予想レベルに依存するが、最善の防護選択肢の選定で調停が必要なときにも下される（第 3.5 項も参照）。

ALARA エンジニアリング・グループ

ALARA プログラムの実際的実施を促進するには、放射線防護の専門家やエンジニアから成る個別の ALARA エンジニアリング・グループを設置するのが有益であるかもしれない。このグループの役割としては業務の計画立案・スケジュール作成・準備会合への参加、作業手順の詳細な検討、仮設遮へいの設計などがありうる。

韓国：ALARA の組織と責任（KHNP）

KHNP はその ALARA プログラムを改訂し、法律（1998 年）により施行された ICRP-60 勧告を満たす標準 ALARA 手順を作成した。2000 年に全プラントを対象とする標準手順が作成されるまで、以前の ALARA 手順は各プラントに適用されていた。標準手順には、以下に示す ALARA 委員会と ALARA 実践委員会の組織と責任が定められた。

職位	ALARA 委員会	ALARA 実践委員会
委員長	プラント・マネージャー	放射線安全マネージャー
事務局長	放射線安全部部長	放射線防護部主任
メンバー	プラント副マネージャー	作業グループ主任
	QA マネージャー	下請業者作業グループ・マネージャー
	全プラント・マネージャー	放射線業務下請業者マネージャー
	下請業者マネージャー	委員長が推薦するメンバー

ALARA 委員会は一般的な ALARA プログラムの検討に責任を負う（RP 方針、年次ターゲット、長期 ALARA 戦略など）。両委員会は予想される業務線量によって以下の項目に責任を負う。

- 放射線防護最適化計画立案の検討：実際の線量が予想線量を 25%上回ったら作業後の ALARA レビュー
- 放射線安全管理計画の検討
- 放射線防護の最適化計画の検討（委員長の要請があれば常に）

ドイツ：OSART の結果として ALARA 委員会を設置（Phillipsburg NPP）。

2004 年に行われた OSART レビューは ALARA 委員会の設置を提案した。この委員会は停止準備と年間事象の遡及プレビューのために年 2 回、会合を持つ。ALARA 委員会の構成はプラント管理者、プラント事業者、及び特定部門（つまり保全と運転）の担当 RP コミッショナーである。委員会の設置は円滑に完了し、プラント管理者に対して重要な連絡窓口となっている。したがって、より重要な放射線防護準備を導入し詳細を詰めることができる。このことは、直近のプロジェクトと潜在的な欠陥を持つプロジェクトが率直に協議され分析されることを意味する。委員会は放射線防護の問題に取り組む意欲を奨励する。

ルーマニア：ALARA 文化（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP では ALARA 文化が以下のものから成っている。

- 作業グループの ALARA コーディネーターは、
  - 作業グループの毎月の線量報告を分析する（線量ターゲットに対する受けた線量、主要な作業／活動についての受けた線量）。
  - 作業グループの ALARA の目標、指標、及び線量低減計画の発行、フォローアップに関与する。

ルーマニア：ALARA 文化（Cernavoda NPP）（続き）

- ALARA 技術委員会は以下のことに責任を負う。
  - 推定集団線量が 20 人・mSv を超える活動／業務についての業務前／後の ALARA 評価
  - 自己評価プロセスを通じて確立された活動の分析
  - ALARA の具体的な目標とターゲットの設定
  - 線量関連のパフォーマンス指標の漸進的変化の分析
  - ALARA プロセスの効率を判定するデータの収集、分析、評価；ALARA の費用対効果分析
  - 作業グループ・レベルで被ばくを低減する行動計画の評価と承認

ALARA 委員会は ALARA の目標とターゲットを承認し、ALARA パフォーマンス指標のトレンド分析を行い、必要であれば是正措置を定め目標を修正する。ALARA の目標は以下を含む。

- プラントと作業グループの集団線量（人・mSv/年）
- 計画的停止集団線量（人・mSv）
- 主要な作業の集団線量（人・mSv）
- プラントの内部集団線量（プラントの集団線量に対する%）
- 作業グループの内部集団線量（作業グループの集団線量に対する%）

米国：ALARA エンジニアリング・グループ

米国では、ALARA エンジニアリング・グループが一般に何人かの保健物理検査官と、日常的な ALARA レビューを行い線量計量機能を果たす技術者から構成される。通常、グループは毎年 200～300 件の ALARA 業務レビューを行い、年間及び停止時の人・Sv 目標を ALARA 委員会に勧告し、被ばく追跡データベース、遠隔監視システム、遠隔電子線量測定、ロボット技術を管理する。恒久及び仮設遮へいの設計もこのグループの責任である。このグループは業務の計画立案、スケジュール作成、準備といった全ての段階と密接に連携し、配管内の水位を維持して遮へいのメリットを得るなどといった適切な放射線防護措置が織り込まれることを確実にすべきである。

3.5 ALARA レビュー

ALARA レビューは、ALARA エンジニアリング・グループのような体制が出来上がっていれば、それにより行われるのが普通である。しかし、どのような組織であれ、放射線防護スタッフと検討対象の特定業務に関係のある技術専門家により構成された分野横断的チームにより行われるべきである。

特定の業務に ALARA 原則を適用する際、全ての業務が同レベルのレビューを必要とするわけではないことは明らかである。線量低減のために業務の検討に費やす努力のレベルは、業務に伴う放射線リスクによって異なる。通常、努力のレベルを定め、また業務遂行の前に必要な承認の階層レベルをも定める線量基準が設定される。これらの基準は、その業務の予想される個人線量のレベル及び／又は予想される合計集団線量が特定の点を超えていれば、所定のレベルの検討と承認が必要である。

被ばく低減措置の選択においては、費用対効果分析のような意思決定支援手法がしばしば有効である。これらの分析の利用は集団線量の単位に対する基準の金銭的価値（いわゆる「アルファ値」）の採用を含意する。アルファ値の正式使用は（予算面であれ運転や施設の安全に対する影響の面であれ）格別重要と考えられる決定に限定されるケースが大半である。この値は「意思決定ツール」としてではなく、意思決定プロセスでの主観性を抑えるために役立つ「意思決定支援ツール」として利用すべきである。数ある基準の中の 1 つにすぎないケースが大半である。しかし、意思決定支援手法の結果が意思決定プロセスでの 1 つの基準にすぎないとしても、その手法

によってユーザーは問題の組み立て方、意思決定基準の特定、必要な様々な要素（集団線量、個人線量の分布、放射線防護手法の有効性など）の定量化を改善することができる。それはまた、意思決定プロセスの透明性を促進する。

ベルギー、フランス：予想線量による業務の分類

ベルギーの Doel NPP では ALARA ファイルを作成しなければならず、その詳細度は集団線量と線量率に依存する。

- 周辺線量率が 0.1 mSv/時未満（さらに接触線量率が 0.5 mSv/時未満）、及び／又は集団線量が 0.5 人・mSv 未満：詳細な準備ファイルなし。
- 周辺線量率が 0.1 mSv/時超（又は接触線量率が 0.5 mSv/時超）、及び／又は集団線量が 0.5〜5 人・mSv：詳細な計画的線量を記載した ALARA ファイルと、実施する RP 措置を記載したチェックリストを作成。
- 集団線量が 5〜25 人・mSv：専門家と RP スタッフが会合を持ち、一緒に ALARA ファイルを作成しなければならない。このファイルは RP スタッフが検証しなければならない。
- 集団線量が 25 人・mSv 超：上記と同じ手順を踏むと共に、ALARA 委員会が会合を持ち集団線量を低減する措置を特定。

フランスでは EDF が放射線防護のための内部規則を定めており、そこには放射線防護の最適化について特に章が設けられている。集団線量、線量率、又は汚染レベルに応じて、多かれ少なかれ詳細な ALARA 分析を行わなければならない。レベルを決定するために使用する集団線量と線量率の基準値は EDF の全プラントで同じである。汚染レベルは各プラントにより設定される。

- レベル 0：周辺線量率が 0.1 mSv/時未満、及び／又は集団線量が 1 人・mSv 未満：個別的な最適化調査は不要、標準的規則の適用で十分と考えられる。
- レベル 1：周辺線量率が 0.1〜2 mSv/時、及び／又は集団線量が 1〜10 人・mSv：業務計画者が「簡略な」ALARA 分析を行う。
- レベル 2：周辺線量率が 2〜40 mSv/時、及び／又は集団線量が 10〜20 人・mSv：業務計画者が保健物理部門の協力を得ながら綿密な ALARA 分析を行う。
- レベル 3：周辺線量率が 40 mSv/時超、及び／又は集団線量が 20 人・mSv 超：保健物理部門がその責任の下で業務計画者の協力を得ながら綿密な ALARA 分析を行う。この分析は、いくつかの防護選択肢の比較を含むべきである。プラントの ALARA 委員会による受け入れが必要である。

韓国：金銭的価値モデル

2007 年 ISOE アジア ALARA シンポジウムで、韓国原子力安全技術院（KINS）は新しい金銭的価値モデルを提案した。KINS は世界の NPP で使用されているアルファ値とフランス（CEPN）、英国、日本のモデルを調査した。これらのモデルを KINS モデルと比較し、国内総生産や平均寿命などの社会的、経済的因子を考慮に入れた新しいモデルを開発した。

ルーマニア：放射線活動の事前評価（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP では、放射線被ばくを伴う全ての活動が発電所の手順に従って放射線防護の観点から評価される。実施される活動についての詳細な情報をもとに、推定集団線量が計算される。推定合計線量があらかじめ決められた限度を超えれば、集団線量と放射線影響を最小化する補強措置を定めるため、さらなる評価が NPP の ALARA 委員会により行われる。推定合計線量が 10 人・mSv を超えると、ホット・スポット遮へい、業務前モックアップ、呼吸用保護具の限定的使用などといった必要な補強措置を全て定めて外部線量を最小化し、したがって個人線量と集団線量を低減する安全作業計画が承認される。

ルーマニア：放射線活動の事前評価（Cernavoda NPP）（続き）

計画停止ごとに、以前の保全経験をもとに活動が評価され線量推定値が計算される。以前の経験がなければ、測定された放射線場に基づいて業務前評価が行われ必要な防護措置が定められる。推定集団線量が 0.1 人・mSv を超える活動は、放射線作業許可番号をそれぞれに付与し実施を厳密に監視して、定められた防護措置が守られ、集団線量が予想トレンドに従うことを確実にする。逸脱があれば、必要に応じて適時に是正措置が講じられる。

3.6 業界の ALARA ガイダンス

プラントの ALARA 活動を支援するため、いくつかの電気事業者は、ALARA の実務的実施に関する勧告を含め、それ自身の内部放射線防護ガイダンスを作成した。さらに、原子力発電運転協会（INPO）や米国原子力エネルギー協会（NEI）などいくつかの業界グループも、それぞれのメンバーの経験に基づき類似のガイダンスを作成した。

フランス：EDF の内部要件

フランスでは EDF が「放射線防護基準システム」を作成し、放射線防護についての規制要件と内部 EDF 要件を 8 つの章で示した。放射線防護の最適化と、予想線量を評価し、運転中の線量を追跡し、フィードバック経験を分析する方法に関して 1 つの章が特に充てられている。放射線防護管理に充てられたもう 1 つの章はプラント組織の要件を示している（ALARA 委員会の設置、放射線防護を担当するディレクション・スタッフのマネージャーの指名など）。その他に、これらの要件の実施を支援するガイダンスがある。

日本：ALARA 保安規定の理念

日本の電気事業者はその保安規定に ALARA の精神を記述している。電気事業者はこれに従って、（規制制限の 50 mSv/年に対し）20 mSv/年など、それ自身の社内ターゲットを利用して被ばくを低減させる努力をしている。

米国：INPO 指針

米国では、スリーマイル島事故のあと原子力業界により 1979 年に設立された INPO が原子力事業者のパフォーマンスと評価に責任を負っている。商業用原子力発電所を運営している米国の組織は全て INPO のメンバーである。INPO の使命は「最高水準の安全と信頼性を推進して原子力発電所の運転での卓越性を進める」ことである。その考えから INPO は、放射線防護での高い基準の実現と維持において電気事業者を支援し、集団線量目標を達成するため、「原子力発電所での放射線防護の指針」を発表している。INPO はパフォーマンス指標の作成に対しても責任を負っている。

放射線防護については、ユニットごとの集団線量目標という単一の指標が使用されている。INPO は 5 年ごとに、達成しようとして物事を決めるように各原子力発電所に要請している（年次目標と 5 年間の目標）。その上でそれらの「予測」を平均し、BWR と PWR について 5 年間の線量目標を定めている。業界の最高原子力責任者は原子力発電所自身が目標について当事者意識を持つように目標を設定している。目標達成についての全発電所の進捗状況を測定するため、目標の追跡を年次ベースで行っている。プラントがその年次集団線量に従って INPO により格付けされる際、線量目標を下回るプラントはパフォーマンス指標インデックスに関して不利な扱いを受けるということが注目される。このパフォーマンス指標インデックスは 10 個の指標の合成物であり、プラントの総合的パフォーマンスを測定するために使用される。この慣行を通じて INPO はプラント・パフォーマンスの継続的改善を期待している。

3.7 要約

企業の社長から現場作業者に至る管理系統のあらゆるレベルに ALARA の「考え方」を普及させるには、放射線防護の最適化について電気事業者の目標と目的を明確にする専用の ALARA プログラムを定め構築することが必要である。ALARA プログラムの実施に伴う責任は様々な管理レベルと作業専門職（specialisations）の間で明確に配分すべきである。ALARA 委員会又はその他の種類の特定の ALARA 組織の設置は重要な要素であり、ALARA の実施において主要な役割を担う人々の間の「合流点」となる。これは、そうした人々の ALARA プログラムへの関与と ALARA 計画の普遍的精緻化を助ける。

4. 作業者の関与とパフォーマンス

ALARA は作業者の関与なしには達成できない。被ばくを受けるのは作業者であり、被ばくの低減は作業者に大きく依存する。動機付けとパフォーマンスは、計画策定から業務後のレビューに至るまでの作業の各段階における作業者の関与を円滑化することによって、改善することができる。これを実現するために、上級管理者もまたこのプロセスを重視すると共に、作業者のフィードバックを促進し、考慮する構造を支持しなければならない。

4.1 序文

業務の多くの段階に影響するトピックの 1 つは、作業者の関与とパフォーマンスである。作業者のパフォーマンスに寄与し、作業者の関与によって補完又は改善することができる機能は多くある。実施される作業に作業者を関与させることによって、作業者が自身の能力を最大限に発揮して当該の業務を実施する可能性が大きくなる。これは、より低い作業線量とより高い業務品質に反映される。上級管理者から部署レベルの（上級）管理者、部門責任者、現場監督及び作業者に至るまで、従事者には階層があることを考慮しても、本章の多くの側面は全レベルの従事者にとって有効となる。

4.2 ALARA の実現に寄与する作業者のパフォーマンス

作業者の被ばくを効率的に管理するために必要な運用面の知識の多くは、作業者自身の責任である。適正な作業管理慣行の適用を通じて、被ばくを低減させると同時に作業効率を改善することができる。こうした取り組みにおいて要員の知識と経験を生かすためには、要員を意思決定プロセスに積極的に関与させることが必要不可欠である。優れた作業者は、高品質で、低線量、かつスケジュールと予算に合わせた業務を行うことによって、被ばく低減に寄与する。作業者のフィードバックを可能にし、促すような構造も用意する必要がある。優れたパフォーマンスを確定するためのより重要な特徴を考慮すれば、作業者は以下を行うべきである。

- 業務の技術的な側面について十分な教育と訓練を受けている。
- ALARA 原則の実践的な適用を含め、職場における適切な放射線防護慣行を知っており、それを適用する。
- それぞれの業務割当に従って行動し、チームと協力して作業する。
- 業務の準備、業務の実施、及び業務後のレビューの際に、自身の経験を用いて手順要件内の実施すべき作業を評価し、パフォーマンスの改善を追求する。
- 自身の経験に基づいて新たなツール設計、又は該当する場合、既存のツール、施設、若しくは機器の改造を提案する。
- 潜在的な問題点を認識し、安全で効率的な方法で予期しない問題の発生に対応できる。
- 自身の知識、経験及び教訓が他の作業者と共有可能になることを確実にするため、（内部及び外部の）情報交換ネットワークを利用する。

適正なパフォーマンスを促すために必要不可欠な基本要素の 1 つは、個人的な動機付けである。したがって、作業者の動機付けはその関与において重要な要素となる。

4.3 ALARA アプローチを実施するための教育と訓練

ALARA における作業者の関与に関して、教育は放射線防護における概念と良好事例を扱い、従事者に対して被ばくを ALARA に維持する上でのその責任情報を提供するものである。この教育は、関係する従事者のタイプとそれぞれの責任レベルに適合させなければならない。例えば、マネージャー向けの訓練課程においては、ALARA プログラムを実施することの重要性とその正当化、基本原則、及び効率性評価手順の概要を示すことができる。逆に、作業者向けの訓練は、包括的で基本的な ALARA の原則と慣行、役割と責任の分配、様々な放射線防護ツール（プラント管理文書、業務前後のレビュー、被ばく低減手法等）及び予期しない事象の場合における行動のガイダンスに重点を置くべきである。

たとえ被ばく区域内で直接的に作業する場合でないとしても、全ての作業者がその責任領域固有の放射線防護の側面と影響について認識していることが重要である。例えば、保全従事者は被ばく期間に関して作業条件が及ぼす可能性のある影響について理解し、したがって新たな作業手順の明確化又は制限区域内で使用されるツール開発若しくは防護服装着の際にそれらを考慮する必要がある。

ALARA の教育と訓練は、例えば放射線防護と作業時の行動の重要な側面を作業者に情報提供するか、又は指摘するための停止前の再教育課程として定期的に反復すべきである。訓練の一部として、以下に特に配慮すべきである。

- ALARA アプローチについてまだ十分に精通していない新任の従事者。
- 最近の教育及び訓練セッションからの以前の経験、特に参加者のレビュー及び勧告による経験を含める。
- 実施される作業に関係する情報を提供する。

STAR 自己評価プロセス

作業実施時の ALARA の実行もまた、錯誤、インシデント及び事故を低減し、不必要な線量と人身傷害の両方を防止することを目的とした、STAR 自己評価手法の使用に関する教育及び訓練の恩恵を受ける可能性がある。この手法は、作業者が以下を行うことを要求する。

S: 作業の実施前にいったん手を止めて(Stop)、正しい構成要素を特定する。
T: 当該作業、期待される反応、及びそうした反応が起こらない場合に必要とされる措置について考える(Think)。
A: 正しい構成要素を再確認し、所期の機能を実施することによって行動する(Act)。
R: 実際の反応を期待される反応と比較することによってレビューを行う(Review)。

この STAR プロセスは原子力業界において広く用いられており、作業の実施が安全であることを確認することにより、統合安全管理システムに有効に寄与する。

カナダ：放射線防護技師向けの継続教育（Pickering B NGS）

Pickering “B” 原子力発電所において、保健物理部門が放射線防護技師を対象とする継続教育プログラムを立ち上げた。交替勤務ごとの業務前ブリーフィングの開始時に、保健物理担当者が関連のトピックと現場の質問を提示する。このプログラムは、提供される情報が放射線防護訓練の延長であること、経験者と新卒者に対して新たな情報を提供すること、サイトの保健物理担当者と定例的に会う機会を RP（放射線防護）技師に提供すること、という 3 つのメリットを持つ。こうしたコミュニケーション／相互交流は、放射線防護サービスの日々のパフォーマンスを改善する上で必要不可欠である。

リトアニア：Ignalia NPP における訓練プログラム

Ignalia NPP においては、作業者の適切な訓練と教育が放射線安全文化を強化するための 1 つの要素であることが認識されている。放射線防護の領域における外部の作業者の訓練と教育は、リトアニア保健省令に定められた要件に従って体系化されている。確立された訓練頻度は 5 年間である。Ignalia NPP の作業者向けに準備された訓練プログラムはまた、外部の作業者の訓練にも適用される。このプログラムは、放射線防護センターによって承認され、約 30 時間の期間である。

ルーマニア：作業者の放射線防護訓練

発電所従事者は、業務要件に従って放射線防護資格を有する。異なる技能と責任を伴う以下の 4 つの資格レベルがあり、それぞれは 5 年ごとに再教育課程を必要とする。

- 赤：　未訓練者で、特別な承認なしでは放射線業務に参加又は実施することができない。
- オレンジ：　基本的な放射線訓練を受け、放射線区域への初期的な立入と同区域内での作業の実施に関する要件を満たす人物。彼らは、放射線防護アシスタントなしで区画（ゾーン）1 において活動を行うことを許されない。
- 黄：　放射線防護に関する十分な知識を与えられているが、実践経験は限定的である。これらの人物は支援なしで放射線作業を行うことができる。
- 緑：　十分な放射線防護知識を有する経験豊かな放射線防護従事者。彼らはまた、赤とオレンジの資格を有する人物のために放射線防護アシスタントの役を務めることができる。

4.4　作業者の関与に寄与する要素

動機付けは作業者の関与における重要な前提条件であり、前に述べた要素と行動モードは、プラント作業者と受注者の両方の関与を促進し、維持するような電気事業者の条件及び慣行を必要とする。長期的には、これによって従事者のパフォーマンス改善と放射線防護の最適化がもたらされるべきである。

管理者の役割

放射線防護の最適化において作業者を十分に関与させるためには、全レベルの管理者が ALARA に専心していることを作業者に見せることが重要である。全レベルの管理者がプラント・パフォーマンスの改善を目的として作業管理を適用することもまた重要である。管理者が作業管理の実施又は ALARA 原則の適用に関心を示さない場合、こうしたアプローチを適用するように作業者を動機付け付けることはさらに困難となる。したがって上級管理者は、作業管理と作業者関与の重要なリンクとなる。彼らの具体的な役割は、作業者を動機付け、そのフィードバックを促し、これを最上層の管理者に報告させることにあるべきである。作業者に対しては、彼らのみが ALARA プロセスに参加する者ではないということと、管理者がその提案に耳を傾けるということを示すのが必要不可欠である。

停止時の作業の大半は受注者によって行われることが多いため、作業管理と放射線防護に受注者の従事者を関与させることもまた同様に重要である。管理者に関しては、以下の 2 つの事項に対応すべきである。

- 受注者の管理者は、作業管理と放射線防護においてその従事者を関与させるべきである。
- 電気事業者の管理者は以下を行うべきである。
  - 停止時作業において受注者従事者の関与を支援し、作業管理と ALARA アプローチにおける受注者の協力を動機付ける。
  - 作業管理と放射線防護に対する受注者の姿勢をレビューする。

フランス：プラント・マネージャーの現場視察の編成

管理者による現場視察を円滑化し、その効率を改善するために、一部の EDF プラントはマネージャー向けのインタビュー指針を策定した。この指針は、当該のプラントで適用される基準となる RP 内部ガイダンスに従ってマネージャーが管理すべき主要なポイントを想起させるためのチェックリストである。この視察の年次計画立案は、管理者がこの活動に十分な時間を充てることを確実にする目的で行われる。

計画立案、準備、及び ALARA レビューに従事者を関与させる

一般に、該当する業務を実施する者が業務を最も理解しており、その作業を改善して線量を低減するための変更を提案することが最も可能な者である。この運用面の経験を活用するために、作業者は作業の計画立案と準備段階に組み込まれるべきである。これにより、作業手順、スケジュール作成、用いられるツール及び手法の改善、並びに実施すべき措置の調整が円滑化される。作業パフォーマンスは、業務後のレビューと経験の交換（ネットワーキング）、及び適切な場合は特定作業中の特定の段階（ホールド・ポイント）におけるフィードバックを通じ、従事者の経験からメリットを得ることができる。これによって、作業者の知識と経験がさらに求められ、共有され、利用されるにつれ、作業者の動機付けが向上する。作業者の経験を集めるための追加的なツールは、放射線防護の「提案ボックス」で、提案を出す者に対してフィードバックが体系的に提供されれば、これもまた有用な動機付けのためのツールとなる可能性がある。

大半の業務が受注者によって実施されることから、通常の場合、作業開始前には業務現場に存在しない受注者の作業者を計画立案とスケジュール作成に関与させる可能性は多少とも制限される。しかし、フィードバックを得て、活用できるように、これらの作業者は必要に応じて業務／タスク別の訓練及び業務後のレビューに関与すべきである。このため、受注者に対してそのレビュー時間の対価を支払う上でプラント管理者の同意が必要となる場合がある。

日本：RCP 検査（大飯 NPP）

関西電力の大飯 NPP においては、原子炉冷却材ポンプ（RCP）の検査活動の際に放射線量を低減させる目的で、関西電力の放射線管理・保全部門、製造業者及び検査受注者の参加を通じて ALARA ワーキング・グループが設立された。同グループは、設備設計、検査活動及び運営管理を含め、RCP 検査の全側面をカバーしている。プラント管理者メンバーの 1 人が ALARA ワーキング・グループのリーダーに任命された。

RCP 検査活動に関わる約 50 人の作業者に送付されたアンケートに基づき、高線量の主な原因は特性要因図を用いて導き出された。ALARA 措置を策定するためにこれらはさらに分析された。提案された措置は、その低減の費用対効果の観点から評価され、以下の最も有効な措置が選択された。

- 除染タンク用超音波洗浄装置の導入
- RCP 検査室（グリーンハウス）の遮へい強化
- インペラー遮へいボックス
- 炉内構造物吊上げ装置の改善
- 自動電動ツールの導入
- 訓練の強化

情報と連絡

作業者に対しては、定例的に管理者の ALARA プログラム目標に関する情報を提供し、質問には可能な限り迅速に回答すべきである。これは、定型的な情報シート、配布物、ポスターによって、又は例えば情報ワークショップを使ってケースバイケースで行うことができる。特定の業務について目標が設定される場合、例えばチャート、グラフ、及び結果を定期的に掲示することによって、従事者に対してそれらの目標達成についての情報を提供すべきである。

タスク実施の前には、タスク・マネージャー及び／又は放射線防護従事者によって提供される短い作業者ブリーフィングが、作業者に対して業務の線量目標及び業務の主な特徴を想起させる上で有効となりうる。停止に関係付けられる継続的な線量結果は、例えば警備員詰所、原子炉建屋又は更衣室の入口など、見える場所に表示すべきである。停止時線量と業務の持続時間チャートを交替勤務停止時ターンオーバー報告書に表示し、それぞれの停止時ターンオーバー会議の際に協議することもできる。停止時目標の達成に向けて作業者の動機付けを強化するために、いくつかの重要なメッセージを追加することができる。しかし、これがパフォーマンスのチェック又は資質についての疑問と解釈されないように注意すべきである。

全レベルの内部及びレベル間における連絡、情報伝達、及び経験の交換は、放射線防護手順の実施を支える。このことは、電気事業者スタッフと受注者の従事者との連絡において特に重要である。この目的のために、電気事業者の従事者を適宜、受注者作業チームに含めることは価値あることである可能性がある。

フランス：毎日の線量表示、及び受注者向け小冊子

フランスでは、全てのプラントが停止時の実績と予測の集団線量の動向について毎日の表示を行っており、そうした慣行は作業者に非常に良く受け取られている。この表示は、以下に関係する情報によって補完される。

- 作業事故の件数
- 重大な RP インシデントの件数
- 内部又は外部の個人汚染の件数
- 1 日の主な事実

EDF はまた、原子力発電所に適用すべき、安全及び放射線防護規則を要約した種々の指針を受注者向けに策定している。

- 全受注者向けの全国的な指針（原子力サイト立入条件、安全及び放射線防護規則、区画（ゾーン）設定の想起、義務的な RP 教育等）
- 各 NPP が個々の停止用に策定する現地の指針（サイト地図、電話番号、実践的な作業編成に関する頻出質問、警報信号、安全、RP 及び環境規則、停止時フローチャート並びに計画立案等）

ルーマニア：パフォーマンス指標－集団線量と線量計量管理（Cernavoda NPP）

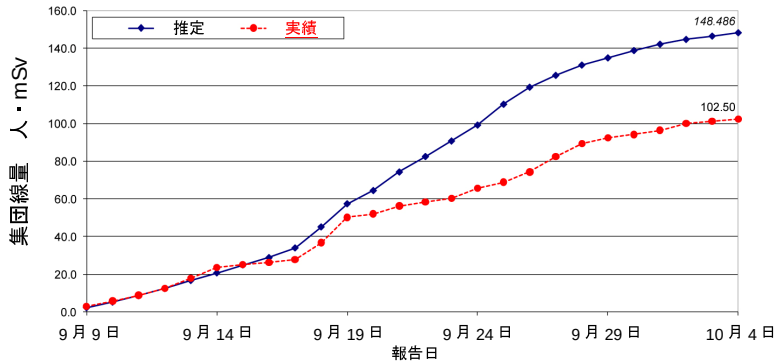
発電所と作業グループのパフォーマンスを改善するために、Cernavoda NPP では、i) 集団線量、ii) 内部線量（集団線量からのパーセント比）、iii) 規制機関に報告された環境事象件数を含む電離放射線と放射性物質の存在に関係するプラントのパフォーマンス指標が確立されている。これらは毎月 2 回、月ごと、又は四半期ごとに評価される。

発電所における放射線防護意識と線量当事者意識は、放射線防護についての発電所の目標、ALARA イニシアチブ、RP 方針及び手順に関するチャート、掲示板、ニュースレターなどの特定タイプの情報をプラントの重要な往来区域に設置することで高められた。さらに、計画停止の前に、放射線管理サービス・スタッフが放射線リスクを伴う全ての作業計画を評価する。目標値は各タスクと計画停止全体に対して外部集団線量について定められる。計画停止は毎日印刷され、以下のグラフと報告書によって配布される。

- 全タスク（1 日及び累積的）の集団線量（個人用警報付線量計－PAD）
- i) 推定線量 > 10 人・mSv、ii) 推定線量 < 10 人・Sv、及び iii) 定例作業、支援活動（推定線量なし）を伴うタスクの集団線量（PAD）
- トリチウムの摂取による集団内部線量

ルーマニア：パフォーマンス指標－集団線量と線量計量管理（Cernavoda NPP）（続き）

漸進動向－推定／実績外部ガンマ線集団線量（全業務／タスク）
計画停止：2006 年 9 月



スウェーデン：受注者との協力（Oskarshamn NPP）

Oskarshamn NPP においては、受注者が多大な個人及び／又は集団被ばくを伴う可能性のある業務の契約準備中に、予想線量及びコストの推定値が計算され、契約評価を目的として電気事業者に提供される情報に盛り込まれることが期待される。受注者の業務を円滑化するため、また正確な計算を確実にするために、受注者に対しては必要な全てのデータ（写真、線量率、図面等）が提供される。受注者の計算結果は、その特定の業務を監視する任務を割り当てられた電気事業者の放射線防護専門家によってレビューされ、受注者は、被ばくが ALARA に維持されることを手順案がどのように保証するかについて説明することを求められる。この手順に従うことで、受注者は問題を十分に理解し、過去の被ばくに基づいて解決策を提案できるので、その結果プラントにとってより適切な成果が得られ、被ばくの低減につながる。

米国：ALARA ブリーフィング、停止時用指針及び受注者との 1 時間会議

一部の米国の NPP においては、特定の作業を割り当てられた作業者に対して放射線防護交替勤務監督者と ALARA グループ代表者によるブリーフィングが行われる。これらのブリーフィングについては文書化され、以下が含まれる。

- 作業手順のレビュー
- 作業区域条件のレビュー
- 必要なツールと設備に関する検討
- 放射線に関するブリーフィング（放射線作業許可の特定の要件全てのレビュー、及び放射線区域内での行動に関する従事者の責任についての協議）

さらに、停止開始時に、ALARA グループは保全作業の受注者向けに 1 時間かけて停止時の目標に関するブリーフィングを行う。各作業者は停止時用指針を受け取り、主な活動に関する責任者の電話番号、停止の目的と目標、毎日の会議スケジュール、保安、品質保証、工業的安全性、足場、化学管理、清掃・点検、放射線防護等に関する推奨事項を提供する。この指針にはまた、主要区域と主要系統の位置に関する 25 のマップも含まれる。

作業者を動機付け、関与させるための追加的インセンティブ

場合によっては、良好な ALARA パフォーマンスを認めるインセンティブ・プログラムを使って、線量低減の達成に向けた作業者の動機付けを行うことができる。こうしたプログラムは例えば、以前の停止又は姉妹プラントの結果と比較して、最善のチーム又は優れたパフォーマンスを認めることが可能である。社内表彰によって、適正に実施された業務の重要性に関する作業者向けの管理者メッセージを強化することができる。報奨とインセンティブはまた、被ばくを ALARA に抑制することに関する作業者からのフィードバックを促進するために用いることができるが、業務計画及びレビュー・プロセスの一部として、定例的なフィードバックを可能にし、促進するための組織構造が整備されているべきである。

日本、米国：インセンティブ・プログラムの例

日本では、東京電力（TEPCO）の原子力発電所の一部において、作業管理と放射線量及び放射性固体廃棄物の低減における良好事例の競技会が年間 1、2 回、10 年以上にわたって開催されている。様々な保全受注者から 10 以上のグループが、発電所の技術課マネージャーが主催するこれらの競技会に参加している。良好事例の発表が参加者によって行われ、優秀な発表は TEPCO の管理者から表彰される。さらに、中部電力の浜岡原子力発電所は 1994 年以降作業者の動機付けを促進するために線量低減に関する良好事例を表彰している。

米国では、一部の原子力発電プラントが何らかのタイプの ALARA 表彰プログラムを実施している。これらのプログラムの一部は、作業者が商品の購入に充てられる「ALARA ドル」を集められるようにするものである。この他の報奨オプションには、企業が提供する装身具（帽子、シャツ、ペンナイフ）、人気のある駐車場スペース又はディナー券が含まれる。金銭的な報奨と比較した商品提供の利点は、作業者が報奨について記憶している時間の長さにあり、したがってこれは態度と発電所の ALARA 文化にプラスの影響を与える。

ロシア連邦：保健物理作業者の専門職コンテスト

ロシアにおいて、保健物理作業者の教育と訓練を促進する 1 つの方法は、専門職によるコンテストである。保健物理のコンテストはロシアの電気事業者（コンツェルン・ロスエネルゴアトム）によって 3 年ごとに開催される。このコンテストの予備段階は原子力発電所で実施され、理論上及び実践上の分野において競争する 20～30 人の地域の保健物理作業者が含まれる。この結果、上位 3 人の候補者が全ての NPP から選ばれる。彼らは、個人及び団体の指定部門でコンテストの最終段階に参加する。勝者には、ラップトップ・コンピューター、デジタル・カメラなどの報奨が与えられる。さらに、作業者はまた、大半の勝者がその職歴の向上において成功を収めているという事実によって強く動機付けられる。

4.5 要約

特定タイプの作業計画と実施は作業者のフィードバックなしに遂行されうるが、全レベルにおける作業者の関与は、有効な作業管理プログラムの最も重要な側面の 1 つである。作業者を実施されるタスクに関与させることによって、その作業者は自身の能力を尽くして業務を遂行するようにより強く動機付けられる可能性が高く、このことは作業線量の低減と業務品質の向上に反映されることになる。作業者の十分な関与を確保するために、そうした関与の創出と継続を促すための条件を整えるべきである。これはまた、業務の全段階（計画立案、スケジュール作成、準備、実施、フォローアップ）において作業者を関係させ、個人とその技能レベルを適切な作業に適合させるためのメカニズムが存在することを確実にすべきである。

ALARA の実施に関する作業者のパフォーマンスを改善することもまた重要である。このためには、作業者が正しいツールと能力を持つことを保証するための適切なレベルの教育と訓練が必要となる。上級及び中間管理者、業務現場監督、交替勤務監督者等、全レベルの関与もまた必要である。異なるレベルの職務階層間、及び異なる部門間での良好な連絡は、管理者の優先事項とすべきである。最後に、作業者インセンティブ・プログラムは作業者の動機付けと関与を改善、維持する上で役立つと共に、それ自体が時間、線量、及びコストの低減、並びに業務品質の点で元が取れるものであるはずである。

5. 作業計画立案とスケジュール作成

計画立案段階は、作業管理措置を実施し、放射線防護を最適化するための必要不可欠な期間である。停止期間の最適化には特に注意を払うべきである。作業計画立案とスケジュール作成は、最も有効なアプローチが実施されることを保証するために、放射線防護基準を統合し、フィードバック経験とベンチマーキングを用いるべきである。計画立案段階はまた、作業者のパフォーマンスを改善し、職業被ばくを低減させるために、業務前のブリーフィング又はモックアップ訓練など、従事者の準備のための措置を統合すべきである。

5.1 序文

原子力発電所における作業活動は、放射線防護が最適化されることを保証するために慎重に計画しなければならない。計画立案においては、業務手順のシーケンスだけでなく、その関係と分野横断的な性質も認識しなければならない。相互の関係における業務スケジュールの作成、作業区画（ゾーン）における潜在的な作業の干渉及びハザードの特定、線量の集中する業務の特定は、資源の最適な使用と業務の成功のために非常に重要である。したがって本章の目的は、計画立案とスケジュール作成において、原子力発電所での作業を効率的に実施し、作業者の放射線防護を最適化することを可能にする重要な要素を特定することにある。技術及び運用上の側面については第 6 章に述べられている。

5.2 停止期間の最適化

最適な停止期間の調査は、不必要な業務を全て排除できるような作業選択プロセスと、全ての業務の選択が完了した時点での厳密なスケジュールの作成という、2 つの主な措置領域に基づく。これら 2 つの側面について以下に述べる。

作業の選択

プラントの停止スケジュールに含めるべき作業の選択は、停止期間を決定し、線量と費用に影響することになる。最短の停止期間は、例えば 1 次系の減圧、原子炉容器上蓋の取り外し、炉心オフロード、作業の実施、炉心再装荷、原子炉の再組立及び再加圧など、停止のクリティカル・パスに従った時間によって決定される。このクリティカル・パスに追加される他の全ての作業は、停止期間を延ばすことになる。欠陥の補修又は法定の検査要件を満たすために追加作業が必要になる可能性があるが、停止のクリティカル・パス以外の作業は評価を行い、その正当性を示すべきである。原子力安全と設備の信頼性に寄与する技術的に妥当な作業は、その回避又は延期によって、関連のコスト、リスク、及び線量を伴う計画外の停止が生じる可能性があるため、そのスケジュールを作成し、実施すべきである。しかし、この他の改造、新たな設置又は既存系統の変更もまた、作業を開始した者によって提案される可能性がある。

全ての作業はそれが必要であることを確実にするために評価すべきであるため、1 つの重要な基準は、提案された作業の価値について適切な技術的判断をし、必要な作業と選択可能な作業とを区別する能力であろう。組織内においては、定期的に会議を開き、保全プログラムに関するプラント固有の基準を考慮してそうした評価作業を実施する分野横断的グループ（ALARA 委員会と

は異なる）が存在すべきである。このグループは、不必要な業務の実施には費用がかかり、是認できない放射線量を発生させるということを念頭に置き、実施すべき作業について「是非」の判断を行うべきである。

停止時の作業負荷を削減するために、適切な場合は運転中の計画的予防保全（PPM）を検討できよう。しかし、この可能性は、特に安全に関係するものについては、冗長性と多様性の点で、様々な系統の実際の設計に左右される。PPM が実施される系統の検討もまた、放射線条件に左右される。

最後に、プラントの放射線レベルにおける長期的な改善に対処するために、例えば工学的なプラント改造、作業慣行の改善、及びその他の考慮事項の使用を通じた、多年的作業アプローチの開発も検討すべきである。そうしたアプローチは、段階的な方法で実施され、構造化された方法で個々の停止に関する作業計画に含まれる特定済の改善事項に対処するための作業に関する長期計画を可能にするものである。

スウェーデン：運転中の計画的予防保全（PPM）の使用（Forsmark NPP）

Forsmark NPP においては、以下の条件と制限が満たされた場合にのみ安全関連系統の PPM が実施される。

- 技術仕様が特に当該の系統及び期間について PPM を許容している。
- （4 つのうち）1 つのトレーンしか 1 度に影響されることがなく、残る 3 つのトレーンは運転可能である。
- 運転に関する指令に従って作業が実施される。
- PPM の際に故障した機器が（何らかの予期しない理由によって）発見された場合、技術仕様に定められているように、補修に関する個別基準を満たさなければならない。
- さらに、PPM が実施されるトレーン以外のトレーンの冗長系統に故障機器が発見された場合、技術仕様に定められているように、補修に関する個別基準を満たさなければならない。
- PPM の際に原子炉の運転モードを変更することができる。
- PPM を総時間にして年間 60 日間実施することができる。

作業のスケジュール作成

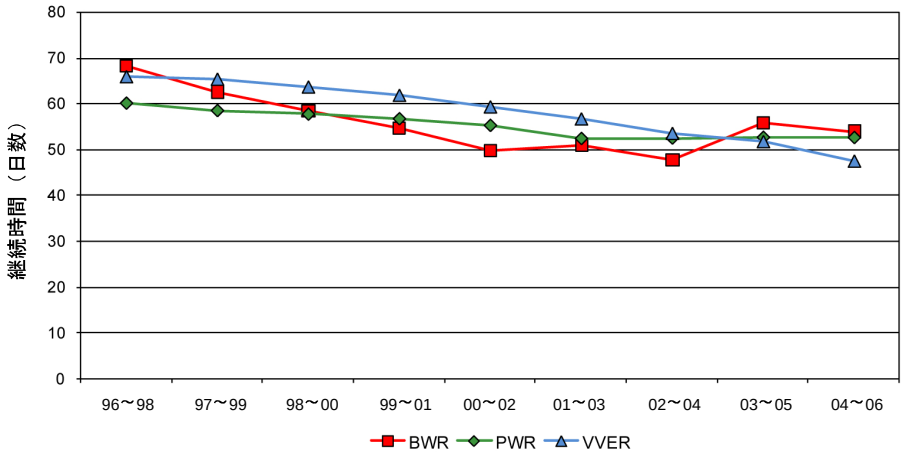
全ての作業とそれに対応するスケジュールが明らかになった時点で、その作業スケジュールを最適化するために、計画立案段階で潜在的な問題を予測し、是正措置を講じることができる。全体的なスケジュールを定める際には、業務がしばしばスケジュールの中で割り当てられている時間と同じ期間を要することを念頭に置くことが重要である。粗雑な予定表は最適な予定表より、全ての業務とタスクの完了に多くの時間を要する可能性が高い。したがって、ただ予定表を最適化することによって、時間、線量、及び費用を低減することができる。単一業務によって停止が延長される場合には、他の業務もまたよりゆっくりと進むため、それが過度の放射線量を引き起こすことになる点を認識することもまた重要である。1 つの予期しない業務が（例えば、予備部品が適時に納入されていないことによって）停止に大幅な遅れを引き起こす際には、当該の系統が依然として安全モードに置かれ、線量低減予測に基づいて安全当局によって承認されるならば、その作業を将来の停止にまで延期するよう努めるべきである。

停止期間

作業の選択と最適なスケジュールに基づく最適の期間に関する調査は、大半の電気事業者において全てのタイプの原子炉について成功を収めている。図 4 には、PWR、BWR 及び VVER（ISOE、2008 年）に関する停止期間の 3 年間の移動平均の推移が示されている。平均すれば、停止の平均値は現在約 50 日である。

いくつかの電気事業者はまた、燃料取替のみを目的とし、少数の保全作業を伴う短期的な停止の実施を経験しており（例えばフィンランドの Olkiluoto NPP における 7 日間の停止）、その翌年のより広範な停止の際に全ての保全作業が行われた。

図 4. 原子炉タイプ別の平均停止期間



フィンランド、フランス：停止のタイプと期間

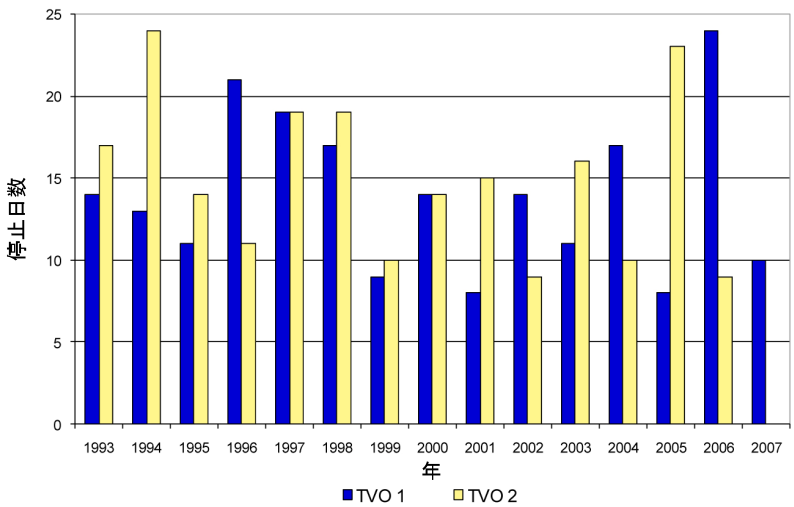
フィンランドでは、Loviisa NPP における計画停止のタイプに以下が含まれる。

- 短期的な燃料取替停止：計画的な期間は 18 日間（隔年）
- 通常の燃料取替停止：24 日間
- 検査停止：34 日間（4 年ごと）
- 長期的な検査停止：42 日間（8 年ごと）

Olkiluoto NPP での停止の方針は以下の通りである。

- 短期的な燃料取替停止：7 日間
- 長期的なサービス停止：14～21 日間（通常、長期）
- 毎回実施後に短期のインターバルを置く毎年の停止

Olkiluoto NPP における停止期間



フィンランド、フランス：停止のタイプと期間（続き）

フランスでは、EDF のプラントについて以下の 3 つのタイプの停止が行われている。

- 短期的な燃料取替停止：約 3〜4 週間
- 通常の保全停止：約 6 週間
- 10 年間の保全停止：約 14 週間

短期と通常の停止の間にはターンオーバーがあり、2 つの停止の間における遅延は通常、900 MWe プラントにおいては 12 か月間、1300 MWe プラントにおいては 18 か月間である。

5.3 業務の計画立案プロセス

作業の計画立案

従来から燃料停止には、i) 計画的作業、ii) 事前に計画されておらず、したがって遅れを生じる可能性のある計画外作業、及び iii) 緊急作業の、3 つのタイプの作業が知られている。

計画的作業

有効な作業計画立案は、放射線防護を最適化し、運転及び保全費用を極力抑えるために必要不可欠である。これは、出力サイクル全体を通じて費用と線量が最適化されるように保証する上で、停止時計画立案のために重要であるだけでなく、「稼働中」作業にとっても重要である。統合的な作業計画立案により、放射線区域内での作業に関する適切なレビューが可能となり、必要な管理を作業計画に盛り込むための機会が提供される。

統合的な作業計画立案のためのアプローチの 1 つは、放射線防護従事者ではなく、保全計画者を割り当て、放射線防護計画立案の責任を業務レベルにまで下ろすことである。これによって、責任は実際の作業により近いライン管理者の手に委ねられ、部門間連絡が促進される。分野横断的計画立案チームの一部として、例えば作業場の放射線状態に関する入力情報及び受注者と資材選定に関するフィードバック経験を提供し、ALARA 手順をレビューするために、放射線防護従事者をこのプロセスに関与させることはむろん必要不可欠である。このアプローチは、現在世界中の多くの原子力発電所で用いられている。

計画立案チームにとっての重要な検討事項は、教訓についてのレビューと、計画立案プロセスに是正措置を盛り込むことである（第 8 章を参照）。計画立案者は有効性を向上するために、それぞれのユニットにおける類似の作業計画立案に関して、ソース・ターム、作業時間及び作業班の規模について入手可能な最善の姉妹プラント情報を用いるべきである。最適ではない情報は余分な遮へい、追加時間等をもたらす可能性がある。

業務計画立案チームの物理的な所在場所もまた、計画立案プロセスを成功させる 1 つの要因となる。多くの連絡は電子的に行われうるが、計画者たちを 1 つの場所に配置することで、連絡経路が開かれ、より効率的なインターフェースが可能となる。作業管理の分野横断的な性質を強化し、有効な放射線防護の考慮事項を計画立案プロセスに盛り込むことに成功している大半のプラントはまた、放射線防護従事者を計画立案組織に統合している。

計画外及び緊急の作業

計画外作業は、例えば、ユニットの停止及び原子炉容器上蓋の取り外し後に発見された BWR 乾燥器の割れを補修するために必要な計画外作業など、停止作業スコープの一部として前もって特

定又は計画がなされておらず、後の停止時に発見されたプラント機器の補修及び作業を指す。緊急作業は、例えば渦電流試験結果に基づいて選択された蒸気発生器伝熱管に施栓する必要性など、停止の開始後に特定され、結果として作業範囲の拡大を引き起こした新たな問題点又は懸念事項を指す。

両方の事例においても、電気事業者は停止時に計画外又は緊急性が特定された際に採用する方針を事前に確定しておくべきである。これには例えば、停止の際に、特定された作業に迅速に対処するか、若しくは次回の停止まで延期すべきかどうか、又は偶発性をそうした必須作業のスケジュール若しくは予算に含めるべきかどうかの決定が含まれうる。

作業スケジュール作成における放射線防護の側面

慎重な作業スケジュール作成とスケジュール作成のレビューは、線量を ALARA に維持する上で重要である。線量の多い保全作業の大部分は、大半の場所において出力運転時より放射線場が大幅に低減する PWR 及び BWR の燃料取替停止、及び CANDU の保全停止の際に実施される。しかし、この他にも制御棒操作シーケンスの調整を行うために利用される出力低下時に、BWR の蒸気の影響を受ける場所などの区域において線量率が低くなった際、保全作業の機会が得られる。

停止時の特定期間に作業をスケジュールすることもまた重要である。業務を最適な順序で、適時に実施することによって、費用をかけることなく線量を低減することができる。例えば、放射性の系統に関する業務を停止の開始後直ちに行うことが予定表において求められていない場合、これらについては後に線量率が低下した際にスケジュールすべきである。冷却材の浄化と自然な放射性崩壊がこの効果に寄与することになる。さらに、業務は可能な限り系統が水で満たされている時期にスケジュールすべきである。プロセス水は、たとえ汚染されていても放射能を吸収する。管、弁、又はポンプ表面における線量率はほとんどいつでも、系統が水で満たされている場合の方が排水された状態よりもはるかに低い。通常の場合、水の存在によって線量率が 30%程度低減されるものと想定される。このことは、例えば保温材、遮へい、及び足場における作業など、管の近くで行われる作業にとって重要である。可能な場合、系統のフラッシングもまたホット・スポット又はクラッド沈積物を除くことによって線量の低減に寄与する可能性がある。

計画立案時には、1 つの区域内で行うべき全ての作業と、様々な業務の関係を明確に理解することが重要である。開始されようとしている、進行中、又は最近完了した他の作業のための準備態勢を利用するためには、1 つの業務が隣接する作業班に対して放射線問題を引き起こすような状況を回避するために、又は安全と生産性を低下させる区域の混雑を防ぐために、計画者は「時間ベース」、「資源ベース」、及び「区域ベース」のスケジュール作成を検討すべきである。

- 時間ベースのスケジュール作成は、燃料取替停止マスター・スケジュールに割り当てられた時間ブロックごとの計画内作業を伴う従来的な停止スケジュールである。この予定表は、クリティカル・パス作業、2 次容器の保全の必要性、短寿命希ガス崩壊及び燃料移動に割り当てられた時間を含む計画立案問題を考慮する。
- 資源ベースのスケジュール作成は、例えば、汚染封じ込め又は複数タスク用に以前に築かれた足場の再利用など、局所的な準備態勢又は複数タスク用のインフラを利用することで、線量と費用を低減させることを目的とする。
- 区域ベースのスケジュール作成は、確定されたセクター内での作業のタイプと集中度を評価する。これは、異なる種類の作業を表す格子状の区画に作業区域を分けることによって行われる。これらの区画は、スケジュール作成者、計画者、及び現場監督が各格子状区画内の全作業を視覚的に確認できるようにするため、オーバーレイすることができる。これは、コンピューター化されたシステム又は工学的マップを使って行うことができる。

作業計画立案ツール

先進的な画像ツールが、作業計画者、放射線防護業務前計画立案、及び作業者の業務前会議用に適切な視覚的参考資料を提供する。多くのプラントは、プラントの運転及び／又は高放射線レベルを理由として通常の場合は接近できない様々なプラント区域と機器に関する画像を記録、利用する必要性を確認している。集中型画像データベースは、作業計画が立案される際には常に、業務計画立案、目視検査の最小化、様々なグループによる選択された機器の写真又はビデオ記録に関して重複する、及び一貫性を欠く個々の取り組みについて、一貫性のある情報を提供する。多くの技術者がデジタル・カメラで定期的にプラント品目の写真を撮るため、次回の作業計画を立案する際にそれら品目を再撮影する必要性を避けるため、これらのファイルに適切な命名を行い、中央情報管理システムに保管すべきである。

作業区域をより適切に考察、評価し、業務パフォーマンスに影響しうる潜在的な環境面の制約をより適切に考慮するために、以下の先進的な画像ツールが現在世界中で用いられている。

- コンピューター・ベースのマルチメディア
- ビデオディスク・ベースの画像の保存及び検索システム
- ビデオ及びデジタル写真
- 画像伝送技術
- 写真測量法：
  - ガンマ・カメラ放射線場写真
  - CZT（Cd（カドミウム）、Zn（亜鉛）、Te（テルル））検出器（マルチスペクトル・ガンマ解析）

こうした技術及び情報は、新設プラントの運転開始時の使用又は収集において特に重要である。

遠隔モニタリング・システム（RMS）が設置されているプラントでは、それらのシステムによって記録されたビデオを業務計画立案段階で用いることができる。加えて、多くのプラントでは設計段階で 3 次元コンピューター支援設計（CAD）モデルを用いた。旧来のプラントではまた、実際のプラント環境を特徴付け、検証し、作業時間を極力短縮するために、レーザー・スキャニング及び 3 次元コンピューター技術を用いている。利用可能な場合は常に、作業計画立案の際にこれらのツールを用いるべきである。

フランス：3 次元モデリング・ソフトウェア

EDF は、作業計画立案の際に使用可能な 2 つの主なタイプの 3 次元モデリング・ソフトウェアを開発している。

- PANTHERE-RP：主要機器の線量率を代表する区域の静的シミュレーション。このソフトウェアは、遮へいの最適化という観点から、また新たな設置及び改造構想に関して、周辺線量率に対する各機器の寄与を推定するために用いられる。
- ADRM：時間と空間において作業を模擬することが可能な動的シミュレーション。このソフトウェアを使えば、大型機器（例えば熱交換器）をどのように取り外し交換するかを模擬することが可能である。区域モデルはサイトのレーザー・スキャニングによる実際のデータに基づく。

ドイツ：3 次元画像システム（Phillipsburg NPP）

全出力運転時の線量率は非常に高いため、管理区域内の多くの区域は接近することができないか、又は限定的にしか接近できない。これらの区域において技術的評価を行うことは非常に困難である。高線量率区域への接近を極力少なくする 1 つの可能性は、KKP1 と KKP2 内での個別的な「部屋情報システム」である。このコンピューター・ベースのプログラムは、通常の状況ではユニットの接近不可能な区域にあるこれらの部屋の 3 次元バージョンで構成される。技術的評価は多くの場合、高線量率への不必要な被ばくなしに「仮想」ベースで行うことができる。このシステムを運用可能にするため、これらの区域の 3 次元レーザー・スキャンが以前の停止の際に実施された。これらのレーザー・スキャン・ファイル内で、10 m の距離に対して約 2〜3 cm の精度で計画立案オプション用の距離を測定することができる。

スペイン：マッピング・データベース（Almaraz NPP）

Almaraz NPP では、環境・放射線防護部門が、2 つのユニットの放射線特性を示す包括的なマッピング・データベースを備えている。300 枚の部屋マップはコンピューター化されており、ユニット停止の前、及びその間における異なるユニット状態の関数として、各区域について記録された 3〜10 の測定ポイント（周辺及び機器との接触点）における線量率を含む。このデータベースは、管理区域入口の放射線防護室から読み取ることができる。

英国：保健物理情報シート（Sizewell B NPP）

Sizewell B は、問題となっている弁、溶接部又は機器の写真、プラント品目の所在場所を示すマップ、様々なプラント状態における局所的な放射線条件に関する簡略な要約、及び線量を最小限に抑えるための最適な作業のための猶予時間に関する助言を含む「保健物理情報シート」を作成している。当初は作業グループが業務場所を見つける上での助けとする目的を持っていたが、これらは技術者が業務計画を立案する際に広く用いている。

作業チームの規模と管理

作業のスコープ、及び作業場要素は、所定の業務を実施するのに必要とされるチームの規模に影響することになる。作業チームに最適な規模とは、作業計画とスケジュールに従って作業を実施できる必要最小限の作業者数を指す。一般に、作業者の数が少ないほど、集団線量が減少すると言うことができる。例えば、作業者の数が 2 倍になれば、作業時間は短くなるが、2 分の 1 にはならない。作業者を増やせば作業時間の総数が増えるため、集団線量と費用が増加する。したがって、一般に、指定された線量拘束値を超えない必要性と、騒音や熱など他の作業場要因の影響を考慮し、必要最小限の作業者を 1 つの業務に割り当てるべきである。

作業者数に伴って集団線量が増大するもう 1 つの例として、作業者の交替が挙げられる。1 つの業務から受ける線量は、1) 作業場へ移動し、正しい位置にツールを配置し、作業を開始する際に受ける線量、2) 業務を実施する際に受ける線量、及び 3) 業務を完了し、作業場の安全を確保し、保護具を取り外し、立ち去る際に受ける線量の、3 つの段階の合計となる。第 2 段階の線量は比較的一定で、交替する作業者数に関係しないが、第 1 段階と第 3 段階の線量は作業者又は作業チームが交替するたびに増大することになる。作業者の交替は、個人線量を抑制するか、又は他の作業場要素を管理する必要がある場合にのみ行うべきである。

受注者の選定

大半の停止作業はしばしば受注者によって行われるため、実施する作業に基づき、必要に応じて適切な受注者の特定と選定を可能にするプロセスを用意することが重要である。こうした選定は、作業時の放射線防護を最適化するために受注者が提案した手法及び受注者の過去のパフォーマンスを含むいくつかの基準に基づくべきである。電気事業者と受注者との間での相互対話が業務設計を最適化する最も有効な方法の 1 つであるため、作業実施前に十分な時間をかけて、受注者を設計段階に関与させることが重要である（第 4 章を参照）。受注者の選定における 1 つの考慮事項は、以前採用された受注者とその成功レベルである。

フランス：受注者選定経験

新たな保全作業の計画立案段階において、タスクの放射線防護（時間、線量、費用）を最適化するために研究を行ったことの実証を含め、EDF はいくつかの基準に基づいて受注者を選定する。受注者の選定後には、タスク設計を継続するために、受注者と電気事業者間でいくつか必須の情報交換会議が行われる。受注者が作成する文書には、放射線リスク分析（外部及び内部被ばく、汚染の移動等）と放射線防護手順が含まれる。

5.4 作業プロセス管理システム

作業プロセスの管理は、適切に計画された停止の成功に不可欠である。コンピューター化された作業プロセス管理システムは、異なる部門の承認プロセス及び作業サイト要件のスケジュール作成を含む業務関係情報を提供することによって、計画立案プロセスを支援する。これらはまた、関与する全グループに対してガイダンスと作業状態の知識を提供する、作業班用のツールとして運用することができる（第 7 章）。これは、放射線リスクに影響する線量率及びその他のパラメーターを含む放射線防護データベースからの情報によって支援することができる。

このようなシステムは、計画立案及びスケジュール作成段階、並びに予期しない業務を扱う際において非常に有利である。大半のプラントにおける経験によれば、予期しない優先順位の高い業務においてさえも、適切な作業結果を保証し、再作業を回避するために、この目的のための計画立案又はスケジュール作成方針がなければならない。コンピューター・ベースのシステムは同じ情報データベース（機器、サイト、作業条件）を使い、過去に行われた類似操作情報を盛り込むことによって、迅速な計画立案又はスケジュール作成を促進するものであり、また放射線作業許可を含めることもできる。

作業計画立案における放射線作業許可

放射線作業許可（RWP）は、通常の場合書面による承認済の文書で、「放射線作業」と見なされる特定の活動又は業務の安全な実施に必要な、全ての放射線防護措置を定め、その活動に関係する放射性廃棄物の側面に対処するものである。これらの許可は業務の開始前に放射線防護スタッフによって作業者に与えられるもので、通常は、業務の日時、作業者数、業務の記述、予測線量、線量率、表面及び大気中の汚染レベル、必要な防護服、生体遮へい、当該の業務に関する放射線防護モニタリングのタイプ等の情報を含む。

放射線作業許可の使用に伴う利点はいくつかある。第 1 に、これを作成するには、必要となる放射線防護を計画し予測する必要がある。加えて、放射線防護スタッフに対しては計画されている管理区域内の全ての業務の情報が提供され、停止時の作業の進行をモニターすることができる。現場では、チーム・リーダーと作業者が、作業許可に盛り込まれた情報を助けとして作業サイトの放射線条件を認識する。放射線作業許可はまた、特に作業者が区域内に立ち入る際に許可の期限日時が自動的に読み取られるため、立入をチェック（したがってこれを制限）するために使用することができる。最後に、特定の業務に伴う線量データを集めるためのデータベースとしてこれを使用することができる（第 7.3 節を参照）。

フランス：PREVAIR ソフトウェア

フランスでは、EDF が各業務に伴う予測線量推定を詳述するために PREVAIR ソフトウェアを開発している。準備段階の終了時において、このソフトウェアを使えば以下の情報を含む放射線作業許可（RTD）の印刷ができる。

- 当該業務の予測集団線量
- 当該業務の 1 日当たり予測平均個人線量
- 当該作業場での予測線量率
- 実施される RP 措置
- 実際の線量率又は実際の集団線量が予測と大幅に異なる場合に従うべき具体的指示

各 RTD に付随するバーコードは、管理区域への立入をチェックし、動作可能な線量計に設定された警報を変更し、作業者が管理区域を立ち去る際にその線量を停止時線量データベースの適切な業務に割り当てるために用いられる（コードがシステムによって認識されない場合は、立入が拒否される）。

ルーマニア：放射線作業許可システム（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP において、業務前及び業務後の RWP 分析は、プラントの全作業グループ及び ALARA 委員会からの従事者を関与させる。放射線管理サービス従事者は、RWP に述べられた放射線防護要請の順守を検証する。推定集団線量が 10 人・mSv を超える RWP は、被ばくを低減させるためのオプションを特定するために、作業グループの ALARA コーディネーターによってレビューされる。必要であれば、レビューのためにこの文書が ALARA 技術委員会に送られる（推定集団線量が 20 人・mSv を超える活動の場合）。作業の完了後、放射線作業許可報告書が作業グループ ALARA スタッフに送られ、必要に応じて推定線量と被ばく線量との相違を正当化する。

5.5 高線量業務の作業計画立案

高線量業務の特定と追跡

高線量業務は、第一に放射線防護管理システムに含めるべき業務である。したがって、作業者個人の防護が最適化され、かつ職業被ばくに対する線量限度を超えないことを確実にし、作業時に予期しない事象が発生した場合に緊急時対応を策定するために、作業計画立案の一環としてこれらを特定し、これらを追跡するためのプロセスを整備する必要がある。表 2 には、軽水炉における一般的な高線量業務が例として示されている。

表 2. **軽水炉における一般的高線量業務**

「上位 10 項目」の高線量業務	
制御棒駆動装置の保全*	以下の較正と補修：
供用期間中検査	炉内放射線モニター（IRM）
主蒸気隔離弁の保全（MSIV）	移動式炉心内計装（TIP）
加圧器弁の保全	残留熱除去系弁の保全（RHR）
原子炉水浄化ポンプの保全（CUW）	安全逃がし弁の保全*（SRV）
再循環ポンプの保全と交換	

** 一部のプラントでは受注者によりこの作業を所外へ移転、又は所外で実施している。*

表 2.　**軽水炉における典型的な高線量業務（続き）**

その他の高線量業務	
キャビティの除染	以下の較正と補修：
化学体積制御系の保全	出力レンジ・モニター（PRM）
保温材の取り外しと交換	起動レンジ・モニター（SRM）
計装の較正と補修	原子炉水浄化熱交換器の保全
局所的な漏洩率試験	足場の設置と取り外し
運転監視定例作業と弁の位置調整	スナッバの検査と補修
プラント改造	蒸気発生器の保全
放射性廃棄物系統の保全	蒸気発生器の交換
放射性廃棄物の処理、貯蔵、輸送	トーラスの検査と補修
原子炉冷却材ポンプの保全	再循環系配管の溶接オーバーレイ業務
原子炉容器上蓋作業	
燃料取替	

重要な業務に関する原子炉産業における多年にわたる経験全体を利用するための 1 つの有効なアプローチは、世界中の他のプラントで観察された集団線量に照らして個々の業務の集団線量を「ベンチマーク」するために、ISOE 職業被ばくデータベースと連絡ネットワークを使用することである。ISOE ネットワークのウェブサイトに掲載された RP 情報報告書の一例は、附属書 2 に示されている。

高線量業務の ALARA 準備

線量低減に関する調査は全ての業務について行わなければならないが、高線量業務における集団及び／又は個人線量の観点から、詳細で体系的な ALARA 分析を行うことが特に重要である。このタイプの分析には、被ばくの低減に利用できる実施可能な全ての措置に関する体系的なレビューを含めるべきである。通常、ALARA のチェックリストは、可能な防護措置及び／又は線量低減オプションを特定するために、業務計画者によって使用される （附属書 3)。より詳細なチェックリストに盛り込むことができる質問の例には以下が含まれる。

- スケジュールされた時間は十分かつ最適なものか。
- どのような支援サービスがいつ必要であるか （足場設置、遮へい、保温作業等)。
- 人員は十分かつ最適なものか。
- どの程度の線量が予期されるか（内部及び外部経験に基づく)。
- 当初計画された「ホット」な機器に代えて検査が可能な他に類似の機器はあるか。
- 補修とサービスを目的として、サービスを要する機器を周辺線量のより低い他の場所に移動することはできるか。
- どのような個人用保護具を使用すべきか。以前に何が使用され、その利点はどのようなものだったか。
- どのような線量低減手法を用いることができるか（例えば、系統のフラッシング)。以前に何が使用され、その結果はどうだったか。
- どの受注者が前回使用されたか。同じ受注者を使い、良好な業務を行った場合には同じ作業者を使用するようにする。彼らは何をどのようにするべきかが分かっている。

カナダ：放射線防護監督の実施（Pickering B NGS）

Pickering B NGS においては、発電所原子力手順の運営組織が、高ハザード手順の一環として、高度の放射線上の危険を伴う作業の際に、全ての高ハザード業務に放射線防護監督を割り当てることを求めている。RP 監督は経験豊かな有資格の放射線防護コーディネーター又は発電所の保健物理検査官である。RP 監督は、高ハザード作業に積極的に参加することはなく、作業進行中に監督を行う。RP 監督の業務は、発電所手順と高ハザード作業計画を厳密に順守することを確実にすると共に、公正な観察者として、手順又は運営上の食い違いを予見し、この情報を作業者に提供することにある。

フランス：高線量業務の特定、保温材作業者

フランスでは、全ての業務の前に、詳細かつ体系的なリスク分析を行わなければならない。この分析においては、外部被ばく（潜在的な中性子被ばく、四肢線量等）、内部被ばく（潜在的なアルファ粒子の存在等）、及び資材汚染のリスクをレビューしなければならない。こうした分析は、高線量業務及びその他のリスクを特定するために不可欠である。

具体的な一例であるが、全ての EDF 作業者の中で、保温材作業者が最も高い平均個人放射線量を受ける。原子炉運転部門の ALARA プロジェクトは数年にわたってこの問題に取り組んでおり、有望な結果を得ている。1997 年には、複数のサイトが放射線被ばくを最小限に抑える目的で、この作業者カテゴリーに関して一連の「良好事例」を起草した。これらの良好事例は、線量を極力抑えるために実施すべき措置（保温材のタイプ、各機器に用いるべきスクリーン、作業時間等）を定めたものである。このアプローチが実施された後に、平均年間個人線量は 1998 年の 6.45 人・mSv から 2005 年には 3.84 人・mSv に 40%低下した。さらに改善するためには、この純粋に「設備ベースの」アプローチに続けて、業務を変化させることによって、より「徹底した」措置によりフォローアップしていかなければならない。

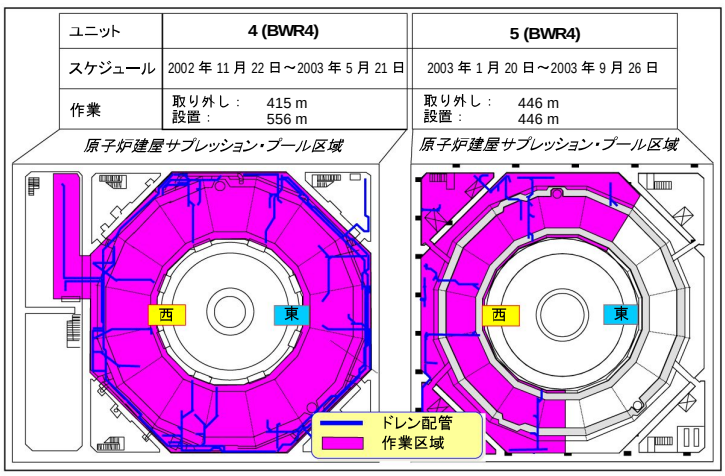
日本：被ばく低減（福島第一 NPP）

福島第一原子力発電所の 4 号機及び 5 号機のドレン配管の交換が高線量率の下で実施された。線量を低減するために、以下の被ばく低減措置が実施された。

- 配管のフラッシング
- 仮設遮へいの設置
- ブローダウン水の処理（4 号機）
- 遠隔線量モニターの実施

遠隔線量率モニタリングに関しては、特に高線量率作業の際に、作業者は通常の電子式個人線量計に加えてワイヤレス線量計 APD（警報付個人用線量計）を装着した。さらに、通常の服装に加えて防護服内部に装着された線量計をモニターするための措置が実施された。

機器及び床のドレン配管の取り外し作業スコープ



5.6 ベンチマーキング

作業計画立案時に入手可能データと運転経験を適切に利用することで、作業者の放射線防護が最適化され、総体的な作業パフォーマンスが向上する。業務後報告書、停止批評、及び欠陥／被ばく低減品目の追跡リストなど、多種の情報源を使用することができる。放射線業務計画者が利用できるこの他の貴重な情報源には、業務履歴ファイル、写真ライブラリー、情報データベース、及び以前に類似作業を実施した他の電気事業者が含まれる（第 8 章を参照）。

計画立案段階におけるベンチマーキングは、良好事例の特定と実施を可能にする。履歴情報だけではなく他の電気事業者による最新の経験も利用するベンチマーキングは、有効な計画立案と優れたパフォーマンスの重要な部分となる。ベンチマーキングは、数値データの交換を可能にするだけでなく、電気事業者間の連絡が作業慣行、設備及び技術の交換につながるようなネットワークの構築にも密接に関係している。重要なタスクはしばしば同じ受注者によって実施されるため、こうした業界全体を通じた経験の共有と蓄積は、停止期間を最小限にするための重要な要素である。全てのプラントにおいて類似の作業慣行の採用が可能になれば、その業務は、各プラントで新たな作業方法を学習しなければならない場合よりも容易かつ迅速になろう。

業界が支援するネットワーク、ALARA 使用者グループ及び広域的な ISOE プログラムなどの地域的又は世界的な使用者ネットワークを通じた他の電気事業者との情報交換は、ALARA 経験と良好事例を共有するための最善の方法の 1 つである。原子力事業者業界全体でのこうした情報交換は、特に ISOE などのプログラムを通じて広く是認され、十分に支持されている。業界オーナーズ・グループ会議に参加することで、線量情報、教訓、及びプラント固有の規制問題の交換が可能になる。電気事業者はまた、他の施設を視察し、業界リーダーとして特定されたプロセスに照らして各プロセスをベンチマークするために、又はそれらのプラントで経験された問題から学習するために、その従事者を派遣することができる。1 つの便利かつ費用効率に優れた有用情報の収集方法は、他の原子力発電所への電話又は E メールである。

手順、訓練文書及び同僚は、放射線防護計画立案のために詳細なプラント固有の情報を提供することができる。人は時に、最も頻繁に見落とされるか、又は利用されない情報源の 1 つである。特定情報を得るために接触すべき適切な人々を特定する作業には通常時間がかかるが、個人が組織の一員となっている期間が長いほどこれは容易になる。

ISOE：ISOE を使った国際的なベンチマーキング

原子力発電所の作業者の職業被ばくデータに関する世界最大のデータベースを運用している ISOE プログラムは、業務タイプと姉妹プラント別に様々なタイプの線量トレンド分析を提供することができる。これには、個々のユニットの年間職業被ばく（通常運転、燃料取替／保全停止、強制停止）、各ユニット又はサイトの個人年間線量分布、業務別被ばく、プラント構成情報（起動／停止手順、水化学、ALARA プログラム等）、及び特定の作業、業務、インシデント等に関する個別情報も含まれ、これらは被ばく低減の観点から興味深い。

ISOE ネットワーク・ウェブサイト（www.isoe-network.net）は、ISOE データベース、ISOE 報告書、オンライン情報交換のための利用者フォーラム、及び世界中の ISOE メンバーの連絡窓口の情報に関する ISOE 資源の中心である。ISOE はまた、RP 専門家間での直接対話と経験の交換を目的として、世界中で年次 ALARA シンポジウムを開催している。

日本：ベンチマーキング視察

放射線防護に関係する日本の電気事業者及びその他組織の代表者が 2005～2007 年にかけて米国と欧州でベンチマーキング視察を行った。彼らは米国の NRC と選択された原子力発電所（Fermi、Limerick、Susquehanna、Dresden 及び D.C. Cook）、フィンランドの STUK、フランスの ASN、CEPN、EDF を訪問した。これにより、遠隔モニタリング・システムなどの新たな技術、最上層管理者の責任及び保全従事者と放射線防護従事者との協力の重要性等に関する情報交換ができた。日本の電気事業者は、被ばく低減のための取り組みを行う際にこうした情報を考慮する。

ロシア連邦、英国：ベンチマーキング分析における ISOE の使用

ロシアでは、VVER ユニット向け ISOE1 データのより適切な比較と分析を行うことを目的として、2005 年 12 月に全ロ NPP 運転技術開発研究所（モスクワ）で特別ワークショップが開催された。その結果、技術マニュアル「運転中の VVER タイプの原子炉向けの ISOE1 データの標準化に関する基本原則」が作成され、発行された。

英国では、放射線防護規制により電気事業者はタスクの計画立案段階で線量拘束値を使用することが求められている。この拘束値は、「良好事例」を代表する個人線量、また時として集団線量のレベルに設定すべきものである。拘束値を超える線量を受けることを作業提案書が示す場合、電気事業者はその提案書をレビューし、線量を ALARP に維持するために全ての合理的に実行可能な措置が用いられていることを確実にしなければならない。

Sizewell B での最初の原子炉圧力容器（RPV）上蓋交換に関して適切な線量拘束値を特定するために、スタッフは ISOE 情報シートと ISOE 1 データベースを使って、このタスクに関する過去の電気事業者のパフォーマンスを格付けした。次のこの線量拘束値は、この分布の上位十分位数に設定された。この業務の様々な側面について協議を行うための直接連絡のために、上位十分位数のプラントもまた特定された。

この ISOE データベースは単に RP スタッフが使用するためだけのものではない。これらはまた、1 つの業務における人数や各タスクを行うために必要な工数など、停止マネージャーに直接関係する情報を含んでいる。

米国：過去の ALARA データベース

過去の ALARA 経験と良好事例のデータベース （1962～1986 年、NRC の契約の下でブルックヘブン国立研究所が編集－1995 年に NATC に引き継がれた）は、ジャーナルや議事録から採録された情報によって作成され、キーワードごとに分類されたもので、ISOE-NATC にある。

5.7 従事者の準備

1 つの主要な計画立案タスクは、適切な従事者の選定である。予期される業務又は類似の業務における経験を持った、動機付けられている、高い技能を持つ作業者がいることは非常に重要である。動機付けられていて、訓練を受け、経験豊かな原子力作業者は、管理区域条件下での作業に慣れていない専門家より高い品質かつより短い時間で同じ業務を行う。

経験豊かな有資格作業者のチームを編成するためには、多大な訓練が必要となる。この訓練は 2 つの側面を持っている。全ての作業者は、その作業手順において、ALARA アプローチを実施するための教育と訓練を受けるべきである（第 4 章を参照）。加えて、作業計画立案の一環として、作業チームは、業務パフォーマンスを改善する目的で、実際の（又は類似の）ツールと設備、及び現実的な防護服を用いて、実施する作業に関する個別の業務前訓練を受けるべきである。高線量業務による被ばくを低減するための 1 つの有効な手法は、一連の停止時において放射線防護区域内に複数回立ち入らせることによって、作業者を作業に精通させることである。

作業者は、停止時の目標、及びそれぞれの業務の推定線量を意識することが重要である。作業の前には、タスク・マネージャー及び／又は放射線防護従事者によって提供される短時間のブリーフィングが、当該業務の線量目標、及びその業務の主な特徴を作業者に改めて認識させる上で有効となりうる。これはまた、品質の重要性、放射線防護は「品質問題」であること、再作業を避ける必要性等に関するメッセージを伝えるための機会となりうる。

米国：従事者の準備 （Cook NPP）

American Electric Power の Cook 原子力発電所では、放射線防護技師が一連の停止に対して連続して特定のタスクと区域に割り当てられ、当該区域と作業に精通するよう図られている。このことは、格納容器の上部と下部の高線量率区域、及び補助建屋の特定区域において特に有効であった。原子炉冷却材ポンプの補修など特に高い線量を受ける業務について作業班と訓練を行うために放射線防護技師をベンダー（Westinghouse 社）に送る方法は、作業班における部門間の連絡関係を構築する上で有効であることが実証された。

モックアップ訓練

従事者の準備における 1 つの重要なアプローチは、超音波スキャナーや仮設遮へいの設置、制御棒駆動装置機構の取り外しと交換、弁の分解／再組立又はその他の線量の高い業務など、特定タイプの作業に関する訓練のためにモックアップ設備を使用することである。モックアップ訓練によって、作業者は予期される作業をクリーンな環境で繰り返すことができる。これによって作業者は、放射線区域に入る前に、保全若しくは検査プロセス、特別なツール若しくは支持装置、又は困難な作業条件に精通することができ、それによって放射線区域内での作業効率を向上させることができる。数名の作業者を同じ業務について訓練することによって、優れたパフォーマンスの作業者に対して最も細心の注意を要する業務を割り振ることができる。全ての事例において、訓練された作業者は実際の業務をより効率的に、より短い時間で、より低い線量で実施する。

不正確なモックアップ訓練は訓練を行わない場合より悪い結果になりうるため、モックアップ訓練計画の適切な実施には、3 つの重要な側面が含まれる。

- モックアップ・レプリカは可能であれば実物大とし、現場の場所に類似の環境に置く。
- 物理的な制約及び条件（足場、鉛遮へい、保温材等）は、実際の作業と同様に設置すべきである。
- 完全な個人用保護具、呼吸保護、連絡及び立入制限が模擬されなければならない。

欧州では、電気事業者及び受注者の従事者を訓練するために、多くの PWR プラントが所内に蒸気発生器チャンネル・ヘッドのモックアップ設備を備えている。いくつかの専門的な原子力サービス会社でさえ、そのスタッフを訓練するための専用のモックアップ設備を備えている。

ベルギー、フランス、ハンガリー、日本、韓国：モックアップ訓練の使用

ベルギーでは、Doel NPP において、フリートごとに 1 つの蒸気発生器モックアップ設備、1 つの原子炉容器上蓋モックアップ設備、スプリットの洗浄用の 2 つのモックアップ設備、熱電対での業務用の 3 つのモックアップ設備、制御棒クラスター制御アセンブリーのカップリング／デカップリング用の 3 つのモックアップ設備が備わっている。

フランスでは、EDF と AREVA が運営する CETIC 訓練センターが、モックアップ訓練の使用に関する良い例である。この 4000 m^2 の施設には、主要な PWR 機器（圧力容器、容器上蓋、蒸気発生器、加圧器、原子炉冷却材ポンプ、燃料取替装置、燃料集合体、原子炉キャビティ等）全ての実物大のモックアップ設備が収容されており、作業者訓練と新設備の試験に使用されている。1 つの具体例を挙げると、伝熱管作業を行うための「蒸気発生器ジャンパー」の訓練を通じて、チャンネル・ヘッドにおける作業者の時間が 45 秒から 20 秒に短縮された。高線量率環境におけるこうした業務に関しては、研究を通じて適切なモックアップ訓練が高線量率環境における時間を 40%短縮する可能性が示されている。

EDF CETIC の燃料装荷訓練



ハンガリーでは、Paks NPP に VVER ユニットの主要機器の大部分を装備した訓練センターがある。この訓練センターでは約 15 名が常勤している。これは、機器がプラントにおいて当初使用されていた管理区域内の機器（最終的には運転されなかった）と全く同じであるという事実から、独特な施設である。特に、ここには 1 台の蒸気発生器、1 基の原子炉容器、原子炉容器上蓋の半分、1 次ポンプ、内部構造物アセンブリー、1 個の隔離弁、非破壊試験所、電気設備等がある。これらの機器は、プラントへの配属時と毎年 1 回の再訓練課程の際に（電気事業者及び受注者の）作業者の実践的な訓練に用いられる。最大で 10 人（機器当たり 5〜6 人）が同時に訓練できる。さらに、これらのモックアップは、保全作業の準備、ALARA の観点からの、新技術、新機器及び新装置の有効性確認のために用いられる。

日本では、関西電力が 1 つのモックアップ施設を運営している。このモックアップ施設は、実際の作業サイトで使用する前に、新たに開発されたツール又は装置を試験するために用いられ、これによって時間が節約され、実際の停止の前に使用と機能性が最適化される。多くのプラントは、固有のモックアップ施設又は訓練施設を備えており、これらは適切な技能を習得するために有効利用されている。

韓国では、蒸気発生器と加圧器への立入を含め、作業者を高放射線作業に精通させる目的で、2〜3 回モックアップ訓練が行われている。こうした訓練は、結果として集団線量の低減につながるような、信頼性のある迅速な作業を支援するものである。ノズル・ダムを設置するための蒸気発生器チャンバーのレプリカ、交換用の炉内計器シール・テーブル、ラッピングのための原子炉冷却材系バウンダリー弁、及び加熱器取り外しのための加圧器内部構造物を含め、訓練用には様々なモックアップ・ツールが準備されている。

カナダ：SFCR 訓練モックアップ（Pickering B NGS）

単一燃料チャンネル交換（SFCR）は複雑なプロジェクトで、多くの専門家とツーリングを要する。線量率が一般に高い原子炉表面において作業の大部分が実施されるため、これは線量集約的な業務である。遮へいと共に、原子炉表面の前での従事者の滞在時間を極力短くすることは、線量を ALARA に維持する有効な手法である。これを達成するために、広範な訓練とリハーサルが特にこの作業向けに設計されたモックアップ施設において実施された。これによって人的過誤の可能性が低下するだけでなく、作業の迅速かつより効率的な実施に役立つため、原子炉表面で費やされる時間が短縮される。

日本：伊方 1 号機炉内構造物の交換に関するモックアップ訓練

四国電力伊方原子力発電所 1 号機では、炉内構造物（CI）交換作業に関して以下のモックアップ訓練が実施された。

- 既存の CI 上部の支持柱フランジ・ボルトの取り外し
- 出口ノズルにおけるクリアランス測定と新たな CI の径方向支持

CI 交換に関係する活動	訓練の記述	訓練場所	実施日時	訓練対象人数
1. T/C 支持柱の分離	T/C 導管の切断、T/C 支持柱フランジ・ボルトの取り外し、転覆防止のための T/C 支持柱へのプラグの取り付けについて従事者を訓練する。	伊方 NPP	2004 年 8 月 23 日～9 月 2 日	28
2. 既存の CI からの機器の取り外し	T/C 支持柱の分離、取り外す際の I/S のマーキング、及び当初位置へのこれらの再設置について従事者を訓練する。	三菱重工業	2004 年 5 月 10～21 日	10
3. 新たな CI の組立と設置	原子炉容器への新たな CI の降下、アライメントの実施、出口ノズル及び間隙挿入部でのクリアランスの測定、径方向支持キーの焼嵌めについて従事者を訓練する。	三菱重工業	2004 年 7 月 12～23 日	28

T/C：熱電対、I/S：照射試料

5.8 要約

スケジュールされた停止又は供用期間中検査活動の作業選択と計画立案段階は、作業管理を実施する上で最も費用効率に優れた期間の 1 つである。作業（実施されないタスクも含まれる）を慎重に選択することによって、時間、工数、線量を低減することができる。手順を確定し、設備を購入する前に効果的に作業計画を立案することによって、変更を容易かつ低費用で実施することができる。

業務計画者の所在地は、適切な作業者（計画者、技術者、スケジュール作成者等）を全て集中させ、部門間の連絡を促進し、円滑化することで最適化できる。加えて、サービス、足場、設置済の遮へい、配管及びタンク内の水遮へい等の使用、並びに計画立案目的でのスケール・モデルの使用を調整するための業務の適切なスケジュール作成（及び訓練と作業者のオリエンテーション）は資源の効率的な使用に寄与する。

作業の効果的な選択と計画立案における重要な問題には、作業を実施する必要性及びプラントの安全で効率的な運転に「必要な」業務のみの選択に関する決定に際しての現実的な仮定の使用、及び作業のやり直しリスクを低減するための、厳密ではあるが性急ではないスケジュールの実施が含まれる。業務の計画立案に関しては、以前の業務又は原子力業界の他の場所で実施された類似の業務からの教訓を有効に盛り込むことが不可欠である。ISOE、INPO、WANO などのデータベース及び通信ネットワークを通じたこうした経験の共有は、非常に有用な経験を提供し、「無駄な労力」の回避に役立つ可能性がある。最も線量集約的な業務に集中し、入手可能な経験を有効に利用することによって、作業選択と計画立案活動は最適な形でその焦点が明確になり、方向付けられる。

6. 作業の準備

作業の成功は、準備の質によって大きく左右される。適切な準備を行うためには、除染や遮へいなどの適切な線量率低減技術を選択するために、ソース・タームを理解することが不可欠である。ロボット工学などの被ばくを回避するためのツール及び設備に加え、作業環境の改善もまた有効である。これらの技術は絶えず発展と改善を続けているため、常に利用可能な最善のものを選択することが重要である。

6.1 序文

本報告書の文脈における作業準備は、現場と作業班を準備させるために業務の前とその最中に考慮又は実施される全ての活動が対象となる。作業条件と放射線防護を最適化するためには、停止前に大量の準備作業を行わなければならず、作業とその実施環境を準備し、支援するための全ての努力が不可欠である。したがって、作業準備は、実施すべき作業の分野横断的性質を適切に反映すべきである。

放射線防護を最適化するためには、ソース・ターム、作業時間及び被ばくを受ける作業者数に影響する要因を作業準備の一環として扱う必要がある。本章では、この準備の技術的及び運用上の側面に重点を置き、特に線源に焦点を置く。管理上の側面については第 5 章に述べる。

6.2 ソース・タームの特性評価

原子力発電所において、職業被ばくの主な源は、原子炉の構造材料から生じる放射化生成物である。適切な被ばく低減措置を策定するためには、その特性を理解することが重要である。ソース・タームの特性には、核種とそのスペクトル、存在する放射能の量とその空間分布、線量率の分布等が含まれる。これらの特性を評価するために必要な設備は、必要とされるときに利用可能かつ動作可能であるようにするため、較正を行い、準備を整えた状態に維持しなければならない。測定又は推定値に基づく線量率分布のシミュレーションもまた作業の最適化のために有用である。

フランス：ソース・タームの特性評価

EDF は CZT（Cd、Zn、Te）のスペクトロメータを使って、点、面、又は体積線源からのガンマ・スペクトルを測定している。測定は以下を目的として、各停止時に個々の系統について体系的に行われる。

- 各核種の周辺線量率に対する寄与を特性評価する。
- 系統汚染の診断を得る。
- 1 つの燃料サイクルから他の燃料サイクルへ系統の汚染のフォローアップを確実に行う。
- 可能な限り早期に、系統の過剰な汚染を生じさせうる潜在的な「汚染」の存在を特定する。
- RP 担当者を関与させ、汚染問題の管理に関するその意識を高める。

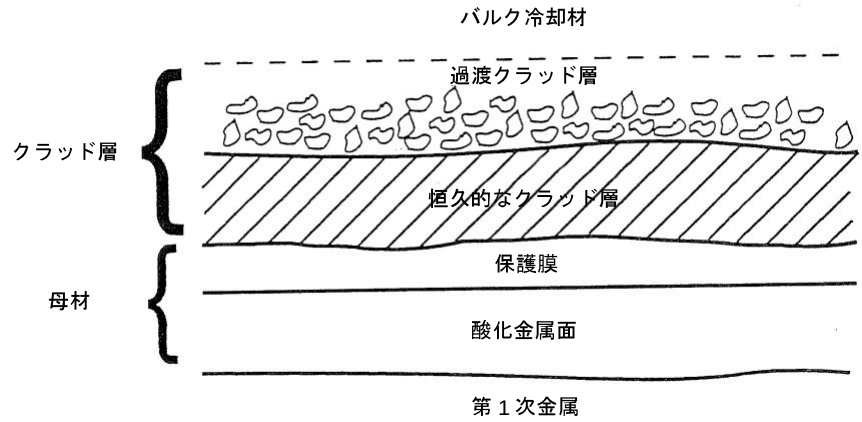
スペイン：線量の最適化におけるガンマ・スキャニング手法と 3 次元線量シミュレーションの組み合わせ

サイトにおいて計画される作業線量の最適化を目的として、EU 共同研究の下で開発されたガンマ・スキャニングと 3 次元線量シミュレーションを組み合わせる評価手法が Almaraz NPP において適用された。VISIPLAN ツールを使って 2 平面において計算された区域の線量率マップは、20～30%の範囲内で一致しており、VISIPLAN に用いられた点減衰核法とスキャンの解釈用に提案されたガンマ・スキャン較正手法の精度を考慮すればこれは良好である。

6.3 ソース・ターム低減手法

作業者が被ばくを受ける可能性のある放射線源は、系統と配管の内部、表面及び空気中に常在する可能性がある。以下の節では、これらの線源を低減又は除去し、それによって作業者に対する線量率を低減させるためのいくつかの手法について述べる。クラッド除去の場合、これらの様々な手法の目的は、プラント内の線量場を低減するために、保護膜層（図 5）を極力乱すことなく、物理的又は化学的な手段によって過渡クラッド層を除去することにある。

図 5. **原子炉冷却系の腐食生成物付着（クラッド）層**



化学除染

放射線量を低減させる有効な手法は、系統内部構造物の化学除染によって、放射性物質と金属前駆物質を除去することである。化学除染は、原子炉冷却系の機器・配管の表面に固着するか、又は吸収される Co-60 などの放射性物質を除染剤に溶解させることでこれらを除去する。化学的な除染プロセスは、原子力プラントへの適用を目的として 1980 年代初めから商業的に利用可能となっている。

最も一般的で有効なタイプの化学除染プロセスは、酸化及び還元反応を用いて、様々な機器の内部構造物（すなわち、配管、ポンプ、弁及びタンク）から放射性物質の蓄積物を除去する。原子炉の再循環系（BWR）、原子炉水浄化配管又は主冷却ポンプの駆動装置（PWR）により広く用いられているが、PWR の蒸気発生器ヘッドのプロセスにも適用できる。

現在多くの電気事業者は燃料取替停止の際に定型的に化学除染を行っているが、一部の電気事業者は、除染を試みる前に大規模な保全作業を実施する必要があることが分かっている。ALARA の費用便益解析は一般に、このプロセス実施に関する決定の基準となる。これらの解析に影響する要因は、プラント別線量率、予測される線量低減、人・Sv の値、及び組織による技術的な受け入れである。

日本：全系統の化学除染

溶接タイプの炉心シュラウド及びその他の原子炉内部構造物の交換が、東京電力株式会社（TEPCO）福島第一原子力発電所３号機（BWR、784 MW）で、1997 年 5 月～1998 年 7 月までの第 16 回目の定期検査の際に実施された。この交換作業においては、全系統の化学除染（FSD）が行われた。

RPV 底部における平均除染係数 43 と、原子炉再循環系（RRS）表面における平均除染係数 46 が FSD によって得られた。放射能は約 10 TBq、金属の除去量は約 72 kg であった。FSD によって生じた廃棄物は、わずか 5.4 m^3 のイオン交換樹脂にすぎなかった。機械的な洗浄の後に、RPV 底部における線量率は、RPV の遮へいを付けた状態で、水中で 0.03 mSv/時、空気中で 0.2 mSv/時であった。RPV 内の線量率の低減により、職業被ばくは 11.5 人・Sv（目標値は 12.6 人・Sv）であった。

集団線量は、福島第一原子力発電所 1 号機（BWR、460 MW）の 2000 年 12 月～2001 年 9 月までの第 22 回目の定期検査における類似の交換作業の際に、さらに 4.6 人・Sv にまで低減した。

日本：T-OZON 化学除染法

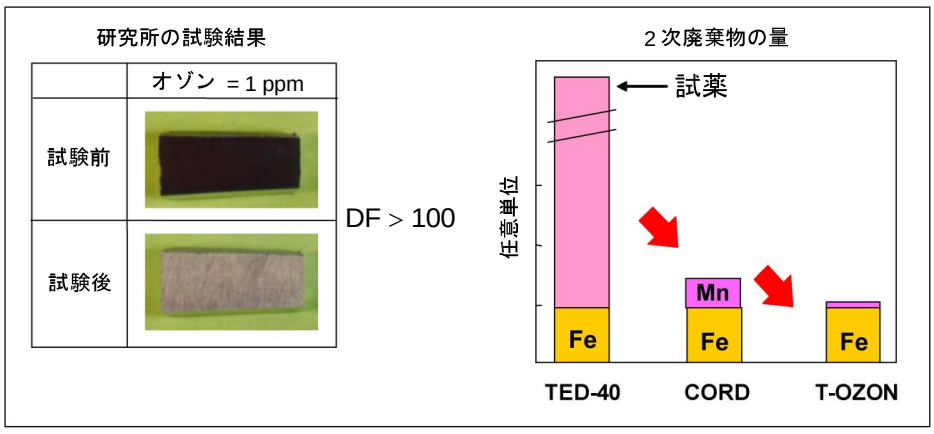
化学除染の原理は、材料上の酸化金属の溶解に基づく。Fe や Cr などの溶解金属は、イオン交換器によって容易に除去することができる。より優れた除染技術は、高い除染係数と少量の 2 次廃棄物を実現し、材料の健全性に悪影響を及ぼさない。これらの特性に基づき、T-OZON 除染プロセスが日本で開発された。T-OZON プロセスの原理は以下の通りである。

- シュウ酸がフェライトを溶解性の Fe に還元し、オゾンが亜クロム酸塩を溶解性 Cr に還元する。
- 化学反応の後に、両方の試薬は容易に分解することができる。

T-OZON プロセスにおいて、試薬の 2 次廃棄物は O_2、CO_2 及び H_2O である。2 次廃棄物の量を劇的に低減させることができる。

T-OZON 化学除染プロセスの主な特徴は以下の通りである。

- 除染係数が高い。
- 最小限の 2 次廃棄物。
- 材料の健全性に悪影響を与えない。



T-OZON 除染プロセスの適用例の 1 つは、浜岡 3 号機（BWR、1100 MWe）の 1 次系統（1 次ループ再循環配管（PLR）、原子炉水浄化系（RWCU）、残留熱除去系（RHR））における使用である。このプロセスにより、ステンレス鋼の平均除染係数 16 と炭素鋼の平均除染係数 7 が得られ、ドライウェル内の線量率は半分に低減した。この低減は、引き続いて実施された検査作業における 280 人・mSv の低減に対応するものであった。T-OZON プロセスの主な特徴の 1 つは、最小限の 2 次廃棄物量で、この適用において生じた廃棄物はイオン交換樹脂の 2 m^3、カートリッジ・フィルターの 0.4 m^3 であった。

米国：化学除染（Susquehanna NPP）

Susquehanna 1 号機及び 2 号機（BWR）は、2004 年の全系統の化学除染及び減損亜鉛の注入後において、最低記録の再循環配管接触線量率 15 mR/時を達成した。この劇的なソース・タームの低減という成果は、一連のプラント管理イニシアチブを通じて達成された。

- 復水のろ過（1999 年 6 月）
- FW 鉄注入（1999 年 7 月）
- HWC（1999 年 8 月）
- 化学除染（2001 年 3 月）
- GEZIP（DZO）（2002 年 12 月）
- 化学除染（2001 年 3 月）

Susquehanna は、米国 BWR 業界の低 BRAC ポイント線量率レベル 15～25 mR/時（再循環／ライザー配管）を達成した。この経験から得られた教訓は、Susquehanna の成果が、プラント全体のアプローチを用いて 5 年間にわたってソース・タームの低減に向けた真摯な献身を要したという点にある。

系統のフラッシング

放射線源とホット・スポットを除くための系統と配管のフラッシングは、配管内に存在する放射性物質を作業者が影響を受けない下流区域に強制的に流すことによって、作業区域内における線量率を低減することができる。フラッシングは、いろいろな経路を取ることができるが、一般的には廃水処理系又は原子炉水浄化系に至る。有効なフラッシング・プログラムの重要な側面には、線源の早期特定、手順の策定、運転部門の支援、及びスケジュール割当の保証が含まれる。線量の低減を最適化するために、作業スケジュールとの関係でフラッシングの時期を考慮すべきである。しばしば、ユニットが停止されている場合、適切な割当時期は停止時の早期になり、これは原子炉容器上蓋がまだ取り付けられている間にのみ実施可能なフラッシングの場合において特に重要である。加えて、最高系統圧と温度、及び最大流量による系統のフラッシングが最も有効である。

加水分解による配管のフラッシングは、局所的な線量率に寄与する放射性物質を除去し、ろ過によってそれらを捕捉するか、又はこれを原子炉容器全体、炉心外配管又はタンク内部構造物に分布させる。加水分解は、高圧水（70～1,500 bar／1,000～2,0000 psi）を使って、原子炉プール、ノズル熱スリーブ、タンク・エダクター、及びその他のデッド・レグ又はクラッド・トラップ領域から放射性のクラッド、沈泥又は樹脂材料を強制的に流し出すものである。保全又は検査作業の前における 1 次熱交換器のフラッシングもまた、業務全体に関する線量率と線量を劇的に低減させることができる。特殊なランス（噴射口）を用いた高圧加水分解（800～1,000 bar）もまた、線量率を低減させるために配管交換の準備において有効であり、それによって従事者用の保護具の使用が抑制できることが示された。

原子炉容器内の配管貫通部のジェット洗浄を行う際には、水中吸引クリーナーが使用される。狭い場所からジェット噴射で強制的に排出された放射性粒子が吸引クリーナーによって収集、ろ過され、（除去された粒子物質の再懸濁による）容器水の清澄性に対する影響を抑制し、停止時のクリティカル・パス時間を短縮する。系統の部分的フラッシング及び／又は除染を行えるようにするために用いられるフラッシング接続部の設置により、接続機器が適正に設置されていれば、線量が低減できる点にも注意すべきである。

フラッシングと加水分解の欠点は、ろ過システムが利用できない場合、及び再分布された物質が他の区域の作業者にとって線量率の上昇をもたらす可能性がある場合、放射性物質の大半が一時的にしか除去できないことである。

日本：燃料取替のための RPV の汚染管理

燃料取替を目的として BWR の原子炉容器上蓋を取り外すために、RPV には水を満たさなければならない。水位を上げる過程においては、原子炉冷却水からの放射性クラッドが主蒸気配管に入り込むと、主蒸気配管、逃がし弁及び隔離弁が汚染される可能性がある。これが起こった場合、放射線レベルは増大することになる。日本の BWR においてこれが発生することを防ぐために、燃料取替を目的として RPV に水を満たす前に、清浄な補給水が主蒸気配管に注入される。注入された補給水は主蒸気ラインを RPV 入口レベルまで充填され、それによって、汚染された原子炉冷却水が主蒸気配管に入り込んで汚染を生じさせることが防がれる。これにより、主蒸気配管弁（逃がし弁と隔離弁）近傍の線量率が低減され、これらの弁の作業において個人用防護服の使用に伴う負担が少なくなる。

表面除染技術

軽く、あるいは強く付着した表面汚染を両方とも除去する目的で、いくつかの非破壊的な機械的除染技術が利用でき、その一部について以下に解説する。

*高圧水ジェット洗浄*技術は、機器、タンク、又は燃料取替プール内の表面に軽く付着した汚染の低減に非常に有効である。最大 250 bar（手動操作の場合）及び最大 1,000 bar（遠隔操作の場合）までのスプレー・ノズルによって、このプロセスを非常に効果的かつ低コストで行うことができる。

*ブラスト洗浄*技術は、ガラス又はプラスチック・ビーズを使って高い除染係数を達成し、1 次冷却水による酸化層を伴う表面の線量率を効果的に低減する。しかし、これは摩損の度合いが高いため、損傷しやすい表面には適さない。吹き付け媒体の一部は、技術的に有効である限り再使用が可能である。自動的な分離プロセスを通じて、汚染された廃棄物片が媒体片から除去される。

*CO_2 洗浄*は圧縮空気の乾式プロセスで、ドライアイスを除染媒体として用いるものである。従来的なブラスト洗浄に似ているが、これは有害な、又は摩損性の媒体を使用せず、したがって電子機器などの損傷しやすい設備に用いることができる。その一方で、この除染効果は硬い酸化層においては比較的低い。汚染管理には何らかの形態の換気が必要となるが、CO_2 洗浄プロセスは、水や研磨骨材などのコストのかかる 2 次廃棄物を発生させない。この技術は、木材、ゴム及びプラスチックなどの比較的軟らかい材料、又は塗料若しくはコーティングを除去する際に主に有効である。

*アイス・ブラスト*は湿式プロセスで、小さな氷のペレットを洗浄媒体として使用する。アイス・ブラストは、冷却装置とアイス・グラインダーを使ってアイス・チップを作り出し、それを圧縮空気で汚染表面に吹き付けるものである。このシステムは、ロボット技術において使用することができ、毎時約 60～90 リットルの水を生成する。アイス・ブラストの安全上の特徴には、熱応力の懸念が低いこと、湿性環境からの気中浮遊レベルが低いこと、及びノズル推力が低いために操作者の疲労を軽減することが含まれる。欠点には、従来的な手法と比較した除染率の低さと高い騒音レベル（通常 110 dB）が含まれる。

*超音波洗浄*は、水槽内での超音波の使用に基づく物理的な除染処理である。超音波発生器は、10～100 kHz の周波数の超音波を発生させる。トランスデューサーがこの高周波エネルギーを同じ周波数の低振幅振動に変換する。除染は、おびただしい数の極小気泡の形成と崩壊を通じて放射性核種が対象面から持ち上げられることによって達成される。

*超音波燃料洗浄*は、PWR 燃料の沈積物を除去し、それによって PWR 炉心における AOA（axial offset anomaly）の潜在的な問題を緩和するための有効な手段である。加えて、燃料クラッド・インベントリーの減少によって、以降の停止燃料取替時の線量率が低減することが示された。現行の超音波燃料洗浄技術はまた、燃料表面の沈積物を除去するため、被ばく低減にも有効である。加えて、超音波燃料洗浄はさらなる放射性廃棄物を生まない。この技術は PWR 用に開発されたものであるが、これはまた BWR にも以下の利点をもたらすと考えられている。

- 鉄レベルの高いプラントにおける潜在的なクラッドに伴う燃料問題の緩和
- 最大線源の除去による原子炉水内における Co-60 濃度の低下と、その結果としての放射線場の低減及び減損亜鉛必要量の減少
- 貴金属注入後の燃料における貴金属蓄積量の減少と、それによる原子炉内の機器表面における貴金属相対比率の増加

日本：ブラストによる除染

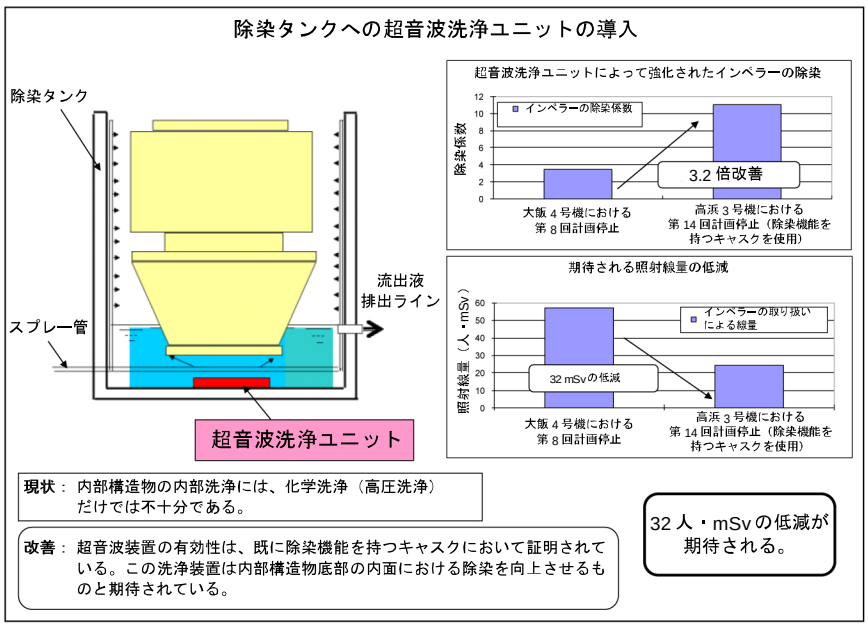
1990 年代から、ブラストを用いる先進的な除染手法が開発された。使用される技術の 1 つは、キャビテーション・ジェット（CJ）除染とブラストの組み合わせである。適用可能性試験を通じて、この除染プロセスの組み合わせの有効性が単にそれら個々の効果を加算した場合より高いことが見出された。次表には、実際の設備におけるこの適用可能性試験の結果を示す。

CJ+ブラストによる除染の適用可能性試験結果

	除染前	除染後	除染係数
サンプル 1	40 mSv/時	0.7 mSv/時	166
サンプル 2	25 mSv/時	0.63 mSv/時	111

日本：超音波洗浄を用いた原子炉冷却材ポンプ内部構造物の除染

大飯 NPP における RCP 内部構造物の除染には化学洗浄と高圧水が用いられている。既に他のプラントで有効性が実証されている超音波洗浄装置が除染タンクに導入され、費用効率の高い形で除染を強化する予定である。この措置により、線量が 32 人・mSv 低減することが期待されている。以下に概要図を示す。



ルーマニア：Cernavoda NPP の除染技術

除染には時間と費用を要し、そして潜在的に作業者を放射線量、並びに化学的及び工業的な安全上の問題に曝す。複雑な除染技術を開発するよりはむしろ、Cernavoda NPP は、第 1 に実際的な原則（遊離状態の汚染を削減する、若しくは除去することにより、作業者の安全及び健康条件を改善する）に基づき、そしてまた処分に多額な費用を要する放射性廃棄物の削減による効率的なシステムを作り出した。適切に訓練された従事者により除染が行われるのであれば最大の効率が得られることを運転経験が実証している。この決定の成功は下記により成っている。

- 最低の線量及び最高の作業品質
- 除染剤、水及びその他の消耗品の消費の最小化

これらの目標は汚染の出所（線源）に関する正確な知識（データ）、及び 2 次廃棄物の量を最小化するための、除染設備、ツール、並びに再利用／リサイクル材料についての適切な解決方法（戦略）により達成された。

米国：超音波洗浄による燃料洗浄

米国では、Callaway、South Texas 及び Vogtle 原子力発電所などの PWR に超音波燃料洗浄が適用された。Callaway 原子力発電所では、浄化された燃料を装荷した運転の後のプラント停止時におよそ 50%の線量率低減が観測されている。

水化学の管理

水化学は、機器・配管の表面におけるクラッドの付着の防止も含めて、ソース・タームの継続的な低減に有利に作用する化学構成を達成するための重要な要素である。このことは、出力運転、並びに過渡状態、起動及び停止時における化学的条件の最適化にも関連する。いくつかのプラントは水化学についての当初の仕様に従うことを選択してはいるが、以下の節では、いくつかのプラントにおいてソース・タームの低減のために成功裏に使用されている、いくつかの手法を解説する。

亜鉛注入

亜鉛注入は線量率低減のための有効な方法であり、配管内における放射性核種の付着及び蓄積を抑制するために世界中の原子力発電プラントで成功裏に使用されている。この方法は原子炉内部に Zn イオンを注入することにより原子炉水の Zn 濃度を高めることにより 1 次配管及び設備の腐食速度を抑制することを意図したものである。注入された Zn は、燃料被覆管、配管及び設備の表面に薄膜を形成する。その結果、燃料から原子炉水内へのコバルトの放出が、そしてそれに続く配管及び設備の表面への沈殿量が減少する。腐食速度の抑制は管表面への放射性核種の付着／蓄積速度の抑制を、そしてその結果として表面線量率の上昇傾向の抑制をもたらすことが運転経験によりよく知られている。

特に BWR においては、亜鉛注入法はまた、粒界応力腐食割れ（IGSCC）への対策として用いられる水素注入の結果としての線量率増加を抑制するために使用される。亜鉛注入は、貴金属注入と組み合わせて使用されることが多いが、これのほとんどが米国においてのものである。Zn 注入には当初天然の酸化亜鉛（ZnO）が使用されていたが、Co-60 の抑制に関連する線量低減は、Zn-64 の放射化生成物として発生する Zn-65 により部分的に相殺されてしまう。したがって、減損酸化亜鉛（DZO）が使用される場合があるが、その場合には Zn-64 は、前もって同位体分離法により除去される。

高リチウム濃度運転及び濃縮ホウ素の適用

PWR においては、高 pH 運転は被ばく低減効果をもたらす。例えば、最近日本では、PWR は 285℃で 7.3 という目標をもって、高い pH で運転されている。pH は pH 調整剤としてのリチウム

を添加することにより管理される。サイクルの開始時にはホウ素の濃度は高いので、高リチウム濃度運転の適用性が運転サイクル全体にわたる pH の最適化の手段として調査されてきた。さらに、化学的粗調整材料としての濃縮 B-10 の適用が、原子炉水内のホウ素濃度の低下に関連して研究されてきた。

溶存水素濃度の最適化

PWR では、1 次冷却材の放射線分解による酸素発生を抑制することにより、溶存酸素に起因する応力腐食割れ（SCC）を防止するために水素が添加される。クラッドの化学組成もまた、溶存水素濃度の適切な管理により制御可能と考えられている。これらの 2 つの効果を考慮して、溶存水素濃度の最適化に関する研究が米国及び日本で着手されているが、その目的は SCC の抑制、並びに線量率の低減である。

Ni／Fe 制御運転

原子炉給水中の鉄濃度の管理は、原子炉燃料の健全性の観点から重要である。それはまた被ばく低減の観点からも重要であり、以下のような鉄濃度を低減させる取り組みが行われている：給水系配管の腐食を防止するための酸素注入、復水中に含まれる鉄分を除去するための復水プレフィルターの設置、及び復水脱塩装置樹脂の改良。

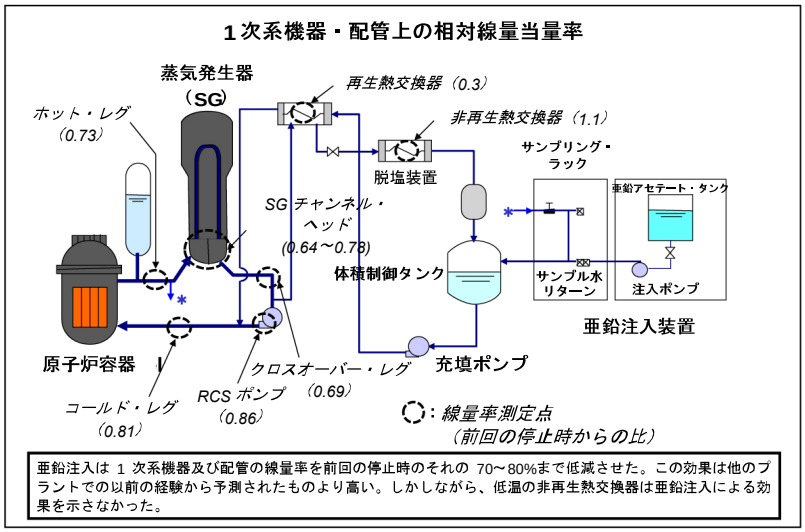
燃料棒の表面で Ni と Co から発生する放射性のコバルトを、原子炉水における鉄濃度を Ni 濃度に比例させて調整することにより固定することが可能であるという理論に基づいて、Ni／Fe 制御法が提案されている。Ni／Fe 制御法は、給水におけるニッケルと鉄の濃度が 0.2 未満に維持されるように運転することを目標とする。一般に、原子炉内にもたらされた Ni イオンは、炉心の燃料被覆管の表面で鉄クラッドと反応してニッケル・フェライトを生成するが、それはまた被覆管の表面に付着する。その結果、化学的挙動が Ni と類似しているその他のイオン（例えば、Co、Co-60、及び Co-58）がフェライトとして取り込まれ、原子炉燃料の表面に固定され、その結果として原子炉水中のイオン状の放射能濃度が低下する。この方法は、最初に日本の女川 1 号機、及び柏崎刈羽 1 号機（BWR）に適用され、大きな成果を収めた。その結果、この方法はその後日本で建設された多くのプラントに適用された。

極低鉄／高ニッケル運転

日本のいくつかの BWR においては、「BJ 燃料」（高耐食性を有する燃料被覆管の内側に純ジルコニウムのライナーを有する燃料）と呼ばれる型式の燃料を使用するプラントについて「極低鉄／高ニッケル運転」が開発された。この運転は 2 つの異なる概念の組み合わせである。1 つは給水から原子炉水に持ち込まれる鉄のクラッド量を可能なかぎり抑制し（給水濃度で 0.1 ppb 以下）、それによって炉心燃料の表面におけるニッケル・フェライト及びその他のクラッドを抑制することによる、発生放射能の低減である。もう 1 つは、原子炉水におけるニッケル・イオン濃度を可能なかぎり高い濃度に保つことにより、原子炉炉心外部にある配管及び機器の腐食を抑制することによる、原子炉水中の放射性核種の原子炉炉心外部への付着又は蓄積を低減させることである。この運転は、女川原子力発電所を含むいくつかのプラントに適用され、その結果としてその有用性が実証された。

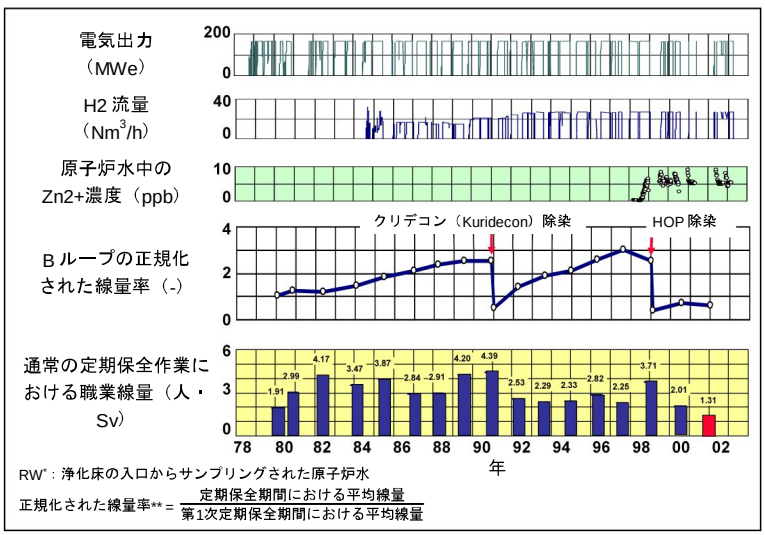
日本：亜鉛注入（敦賀 2 号機、及びふげん）

敦賀 NPP2 号機における亜鉛注入は、(1) 水化学、(2) 1 次系機器及び配管上の線量率の低減、(3) 燃料のパフォーマンス、に及ぼすその効果を評価するために実施された。亜鉛注入は第 14 次サイクルにおいて、8 か月にわたって実施されたが、その場合の 1 次冷却材中の亜鉛濃度は 5～7 ppb であった。放射性のコバルトの濃度は亜鉛注入によって 10 倍にまで増大したが、この増大は欧州における経験からの想定の範囲内であった。さらに、1 次系の機器及び配管（ホット・レグ、コールド・レグ、及び蒸気発生器水室）の線量率は、前回の燃料取替停止時に測定された線量率に比較して 20～30%低減された。



ふげん NPP では、定期検査に際しての線量低減措置として、系統の化学除染と亜鉛注入を組み合わせた線量率抑制技術が適用された。ふげんは重水減速、沸騰軽水冷却、圧力管型の原子炉であり、新型転換炉の原型炉である。ふげんは 2005 年 3 月にその運転を終了した。ふげんにおける亜鉛注入の経験は、下記の成果を示した。

- 除染後の亜鉛注入は、Co-60 の配管表面上への再付着を効果的に抑制し、放射線源を低いレベルに保持した。
- 第 17 次の最終検査期間における職業被ばく線量は、ふげんの運転期間を通して最低であった（1.31 人・Sv）。
- プラントの恒久的な、そして効果的な線量抑制措置が、これらの水化学制御手法の開発によって達成され、またこのようにして、効果的な線量抑制措置が確立された。



原子炉水の浄化

原子炉の 1 次冷却材の一部は、冷却材中の放射性物質を除去するために、運転中に常に抽出され浄化されている。冷却材の浄化はイオン交換樹脂、及び粒子フィルターにより行われる。PWR では、化学体積制御系を用いての浄化が行われる。BWR では、タービン後の復水が復水脱塩装置を用いて浄化される。

換気及び空気中の汚染のろ過

換気、フィルター系統及び一時格納容器は空気中の汚染を制御するのに有効である。適切に設計され適用される換気は、一般的には HEPA フィルターを使用するのであるが、作業者、特に線源区域の近傍で作業する作業者の呼吸保護を不要とする。ユニットの選定に際しては、HEPA 換気ホースとフードの配置、フードの設計、容量、及び捕捉速度等の要素が考慮される。作業の種類もまた使用されるユニットの型式に影響する。例えば、研磨作業は物質を捕捉するために、より高い面速度を有するフードを必要とするであろう。ヨウ素放射能量を考慮しなければならない場合には、特別な種類のフィルター（チャコール・フィルター）を使用しなければならない。これらのフィルターの効果的な運用のためにはフィルターの機能を無効にさせるような危険な状態（高湿度、有機溶剤）は回避しなければならない。

停止操作

1 次系の線量率及び汚染レベルを ALARA に維持することを確実にするために、、停止操作がこれらのパラメーターに影響する程度にまで、適切な停止化学が必要である。

過酸化水素の添加

酸化処理は、配管からの放射性コバルトの溶解を加速し、浄化系における流量を増大させることにより、系統から放射性コバルトを積極的に除去する方法である。このプロセスにおいて、1 次系が酸化環境に変化すれば、ニッケル、Co-58 等は急速に溶解され、冷却材中のそれらの濃度は増大する。しかしながら、それらの溶解速度は後に低下し、そして濃度の低下は浄化によりさらに加速される。この低下を加速する目的で満水酸化運転を実施することができる。PWR では、プラント停止時、水が 1 次冷却系から放出されるときに、これが行われる。1 次系は、1 次冷却系からの放出の前に、水に過酸化水素を添加することにより酸化環境に変化する。この方法は多くの発電プラントに適用され、保護膜（内層酸化物）を除去することなく外部表面の放射性クラッドの発生源である外面の金属酸化物を除去するので「外層クラッド除去法」と呼ばれる。

フランス：停止手順

停止手順及びそれらの線量率に対する潜在的な影響に関する EDF の研究は、1 次系における放射性の沈積物の抑制に寄与する主なステップは下記の通りであることを示している。

- 一定の温度低下
- 1 次系に導入される十分な量の過酸化水素（eau oxygénée）
- 浄化の継続時間（900 MWe のプラントについて少なくとも 15 時間）

日本：RHR 系における、運転開始温度

日本の BWR では、系統の線量率を低減させる目的で、プラント停止時に残留熱除去（RHR）系の運転開始温度を低下させる方法が適用されている。この方法は、RHR 系の配管への放射性物質の沈積量の温度依存性を利用している。柏崎刈羽原子力発電所 5 号機における調査によれば、RHR 系の配管への放射性物質の沈積量は、炉水温度がおよそ 120～150°C（初期値）の範囲では一般に大きく、しかし 120°C 未満であれば減少する

日本：RHR 系における、運転開始温度（続き）

ことが示された。また、運転開始温度を 150°C から 105°C に低下させることにより、沈積に起因する線量率の増大は、以前の値の約 4 分の 1 に低下した。

米国：Braidwood の「代替停止」又は「低インベントリー」方法論

停止の進展に際して作業者の被ばくを低減させる取り組みにおいて、Braidwood 発電所はその原子炉を停止する代替の方法を実施し、それによって作業者の被ばくを低減することができた。この方法は、過去の停止時のパフォーマンスをレビューしていたときの放射線防護部門内の会話から導かれたものであり、蒸気発生器、加圧器、及び関連する配管を、過酸化水素の添加（すなわち、クラッドバースト）による強制酸化の際に発生する汚染及び放射能レベルの上昇から隔離することの可能性が提案された。

この代替停止法は、Braidwood において、強制酸化の前にループ隔離弁（LSIV）を閉鎖することにより実施された。これにより、停止時に放射性の低い水が蒸気発生器と加圧器に留まることとなった。また結果として、浄化されるべき水の量が通常の停止におけるよりも少ないこととなった。さらに、この体積を浄化するのに必要な時間が（EPRI の指針以下に）短縮されたこと、及び浄化の段階で影響された区域へ立ち入る際に必要な制約が緩和されたことにより、最終的に被ばくを低減させ、プラント従事者の生産性を高めることとなった。

この方法からの便益は、プラントにおける線量率の低減において極めて顕著であった。プラントは、蒸気発生器、加圧器、及び関連配管区域、並びにこれらの機器により影響を受ける区域全般における線量率の 30～50%の低減を経験した。この方法は Braidwood で作業活動を行っていた作業者の被ばくを低減させる上で役立つものであり、そして他の Exelon プラントにおいても実施されている。

6.4 被ばく低減手法

作業者の被ばくは、放射性のソース・ターム自体を除去するか、若しくは低減させることについての上述の方法の他に、時間、距離及び遮へいの原則を利用した方法を使用することによってもまた低減することができる。

仮設放射線遮へい

仮設遮へいの利用は、特に燃料取替、及び検査停止時においては、作業固有の及び共通区域の放射線レベルを低減させるのに使用される主要な方法の 1 つである。最も多量の仮設遮へいを使用する区域には BWR のドライウェル、並びに PWR の蒸気発生器及びループ配管区域が含まれる。多くのプラントでは、停止作業中に、原子炉冷却材、浄化、再循環（BWR）及び 1 次ループ（PWR）等のための様々な配管上に、25 トンを超える移動型遮へいが使用される。効果的な仮設遮へいは、局所的な条件の下で最善の成果を得るために、様々な遮へい要素から成る柔軟なシステムを必要とする。狭い作業区域、及び作業者に対して十分な作業スペースを与える必要性のために、スペースを低減することがしばしば重要となる。効果的な仮設遮へい要素の典型的な例には下記が含まれる。

- 鉛ウール、又は鉛板ブランケット（除染を容易にするために Pb はポリエチレンにより包まれている）
- 鉛板（厚さ 5～10 mm）
- 特殊な鉛／鋼材の遮へい要素。繰り返し使用に対して調整されている。
- タングステン：高密度（Pb の 11.34 g/cc に対し 19.25 g/cc）
- コンクリート・ブロック（ステンレス・スチール・ライナー付き）
- 水遮へい（プラスチック・ポリマー／樹脂型の容器）
- 鉛を浸み込ませた伸張性のフォーム

これらの要素の支持装置には、遮へい支持ハンガー付きの特別な急速接続足場、及び配管又は支持材に直接設置できるフックとベルトなどがある。遮へいの適用は所要の線量率低減量、プラントの構成、及び直接遮へいに対する配管の許容負荷に依存する。

しばしば足場構造により支持される、鉛ブランケット遮へいは仮設遮へいの大半を占めるが、他の代替品も使用可能である。直接遮へいの選択肢には頑丈な鉛又は鋼製リングが含まれるが、これらは配管、若しくは大型の弁のケーシングを取り巻くものである。水遮へいは、カーボイ容器が軽量であり、離れたところで充水及び排水が可能であることから、設置と撤去の観点から、鉛ブランケット／板に勝る線量低減を提供する場合がある。

燃料取替、及び検査停止に際して実施される、仮設遮へいプログラムについてのいくつかの重要な側面は、作業スコープのレビュー、作業区域の特性評価（レイアウト及び構成）、費用－便益評価、工学的解析、及び遮へいの要件についての計画立案である。短期間で遮へい要素を設置するには、広範囲にわたる遮へい要素の可用性、及び最適の解法を見出すための十分なスキルを有する、適切に訓練されたチームが必要である。一般に、プラント系統及び配管上の仮設遮へいの支持材についての許容重量負荷の承認を確保するためには工学的解析を実施すべきである。総重量負荷が、各系統についての工学的な制限以内であることを確実にするために、全ての停止時仮設遮へいのパッケージの総和を追跡調査すべきである。

いくつかの国では、有能な熟練者及び技能者を雇用している、専門の受注者が設置及び線量値の正確な記録を、写真／目視記録と共に使用し、移動可能な遮へいの操作を実施する。これらのチームは、多数の停止の際の作業の実施から得られた経験を、放射線防護及びその他の実務経験と組み合わせて使用することにより、仮設遮へいの設置についての最適化されたツールを開発している。このような専門的遮へいチームは、いくつかのプラントにおいて、およそ 5～10%の年間停止線量の低減をもたらしている。

最適の遮へいプログラムは適切な作業スケジュール作成により支援されるべきである（第 5 章）。何らの作業も行われていないときに配管を充水、又は排水することは、費用がかからず、大量の移動型遮へいを設置する必要性を回避し、その設置に伴う集団線量を低減させる。しかしながら、水は約 10 cm（4 インチ）未満の配管では線量率を大きく低減させるものではないことを指摘しておくべきであろう。

高い線量率を有するプラントにおいて使用される、さらなる良好事例は、高い頻度で作業が行われる区域の近くに遮へいされた待機区域を設けることである。これらの「放射線シャドウ区域」は、作業中断時、技術的協議等の間、作業者が待機するために指定された区域である。一般的な設置区域は、PWR／BWR 格納容器内、若しくは BWR のドライウェル内／近傍である。

アジア地域：仮設遮へい

アジアのいくつかの原子力発電所では、線量低減に対する工学的支援として、まず遮へい設置の費用－便益解析を実施しなければならない。鉛ブランケット、移動型鉛壁、鉛ブロック、タングステン板、及びウォーター・ボックスが、系統、機器、及び作業環境の具体的な必要性に基づいてしばしば使用される。遮へい支持材が恒久設備として構築されるが、それは鉛ブランケットの設置を容易にし、設置作業者への線量を最小とする。仮設遮へい、及び半恒久的遮へいは、集団線量を低減させるために、常に高い放射能を有する区域に設置される。放射線管理が必要な区域における高線量率配管については、停止に際して特別に設計されたタングステン鉛ブランケットがしばしば用いられる。タングステン・ブランケットはある程度の量のタングステンとポリ材料を含んでいるので、それは柔軟であり、放射線管理を必要とする配管を覆うために曲げることができる。より高い放射能を有する作業区域のレベルを低減させるために、特に燃料取替停止時に、原子炉 1 次冷却

アジア地域：仮設遮へい（続き）

系関連の配管及び機器に仮設鉛遮へいが設置される。RHR 及び高い放射能を有する配管を伴う蒸気発生器の抽出水室等の、補助建屋における作業環境に応じて移動型、及び固定型の遮へいもまた設置されている。

ベルギー：停止中の生体遮へい（Doel NPP）

Doel NPP では、生体遮へいの設置者として指名された従事者は極めて適切に資格認定され訓練されている。彼らが所属する会社は、多年にわたり、ユニットの停止開始時に生体遮へいを設置することについての標準プログラムを作成してきた。その熟練工はまた放射線防護作業者であり、プラント及び受注者組織の放射線防護作業者を除けば、ある種の線量率測定を行うことを認定された唯一の作業者集団である。全ての生体遮へいは、停止の最初の 2、3 日内に設置される。生体遮へいを移動させる、若しくは近傍の掲示（放射線管理が必要なポイントの表示、ゾーン（区画）分類、その他）を変更することを認定されているのは放射線防護部門のみである。

弁の監視を可能とする、配管上の生体遮へいの設置



「ブレースレット」型の配管の防護



カナダ：新しい遮へい材料（Pickering B NGS）

Pickering B NGS では、新しい遮へい材料が、伝統的な PVC 鉛袋を増強するための、より軽量で、より効果的な放射線減衰材料の必要性により推進された。最近の減衰材料には弾性シリコン・マトリクス内に 50～200 ミクロンのタングステン粒子を分布させた均質な混合物が含まれる。この構成は 2.5 cm 間隔で 1/2 HVL を提供することができ、不規則な形状の上の放射線遮へいにおいて柔軟性を備えた、成形可能な断面の製造を可能とする。

フランス：遮へい設置の最適化

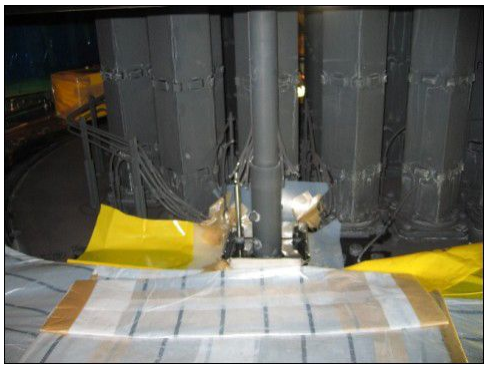
EDF は、1 次系ループに関する遮へい設置についての最適シナリオを定義するために、その PANTHERE 線量率モデル化ソフトウェアに基づく方法論を開発した。この方法論は数基の 900 MWe プラントに適用された。この区域において実施される作業に関して、約 30%の線量低減が達成できたようである。

日本：RV 炉内構造物の取替のための仮設遮へい（伊方及び福島第一 NPS）

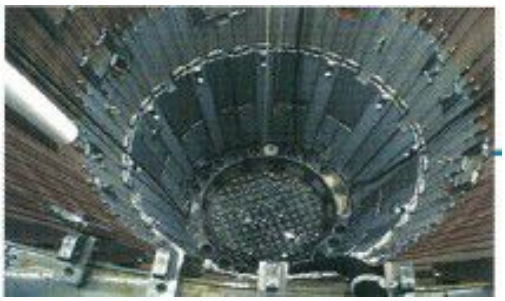
日本の伊方原子力発電所（四国電力株式会社）は 2004 年に世界で最初の、PWR における RV 炉内構造物の取替（CIR）を成し遂げた。CIR について受けた総線量は計画線量の 1/10 未満であった。この達成には 2 つの主な理由があった：i) 旧 CI 貯蔵容器からの線量当量率が、実際は設計線量の 1/3 であったため、及び ii) 仮設遮へいを含めて放射線被ばくを低減させるために様々な対策が講じられたため。仮設遮へいは、原子炉キャビティ内の待機区域、及び原子炉容器上蓋の周辺など様々な位置に設置された。RV 炉内構造物の取替のための仮設遮へいを下記に示す。

福島第一 3 号機では、1998 年に日本の BWR としては初めて、原子炉内構造物（シュラウド）の取替が実施された。総線量を低減させるために仮設遮へいが使用された。原子炉内構造物の取替のための仮設遮へいを下記に示す。

RV 炉内構造物の取替のための仮設遮へい（PWR）



原子炉内構造物の取替のための仮設遮へい（BWR）



スイス：停止時の鉛遮へい（Beznau NPP）

Beznau プラントでは、当初生体遮へいは保全、及びモニタリングにのみ設置され、鉛の使用量は極めて少なかった。1990 年代の初めに、鉛遮へいを設置した人員が受けた線量は、他の運転員のためにこの遮へいを設置することにより低減される線量に比較して極めて低かったことが示された。そのために、停止時に設置される生体遮へいの量は大幅に増加され、1999 年における 2 号機の蒸気発生器の取替においては約 120 トンに達した。2000 年代の初めまでには、各停止時について平均 80 トンの鉛が使用された。そこで新しい方針が策定された－－停止時に作業が行われる区域内のみの生体遮へいの設置である。この方針は、保全作業における集団線量を増加させることなく、鉛の使用量を停止時当たり約 40 トンにまで低減させた。

米国：作業者の通過のための仮設遮へい（Cook NPP）

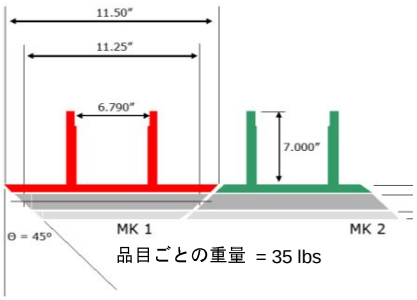
American Electric Power の Cook NPP では、仮設遮へいの設置の問題に対処するためにいくつかのアプローチが用いられている。例えば、作業者の通過線量は重大な問題となる可能性がある。下部格納容器内における仮設遮へいについて言えば、遮へいを運搬する作業者にとって最短ルートは下部格納容器のエア・ロックを通過することである。しかしながら、この通路は作業者がいくつかの高放射線場を通過することを必要とする。この線量を回避するために、今では遮へい材料はクレーンとフロア・ハッチを利用して上部格納容器ハッチから運搬される。また、高放射線通路の遮へいは、被ばくを可能な限り低減させるために、停止時の初期に実施される。迅速に設置及び撤去が可能な水遮へいは、各停止時に仮設遮へいが計画的に使用される区域における恒久遮へいハンガーの使用と同様に、効果的に使用されている。

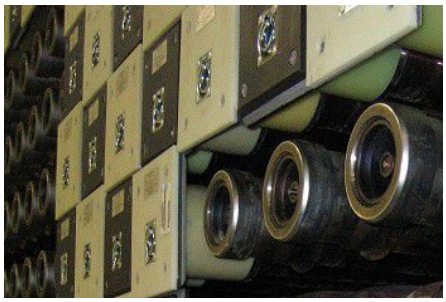
恒久放射線遮へい

仮設遮へいは、しばしば燃料取替停止時に設置され効果的に機能しているが、例えば高線量率区域、及びアクセス困難な場所のように、遮へいの設置の際に受ける高い被ばくに比べて、所定の作業についての作業者の全体的被ばく低減量の少ない状況においては、恒久的な放射線遮へいの 1 度限りの設置が有効である可能性がある。恒久放射線遮へいが設置された場合には、耐震安全性を含む遮へいの安定性及びセキュリティの条件を考慮することが必要である。部分的に移動可能な恒久的な遮へいはまた、配管及び設備の検査のためのハッチ、若しくはその他の開口部を通過してのアクセスを容易にしつつ、線量を低減させる上で効果的である。

カナダ：CANDU 原子炉のフェース・シールド（Pickering B NGS）

ReactorShield キャップは、2 枚のプラスチックにサンドイッチ状に挟まれた鉛合金（厚さ 1/2”）により製作された遮へい装置（正方形の形状）である。4 辺は、隣接する部材と適合するように面取りされており、噛み合わせ構造を作り出している。この構造は 1 度設置されると隣接する部材とのギャップを最小とする。ReactorShield キャップは全般的な放射線場、及び表面から放出される放射線の流れの優れたそして一貫した低減を提供することが実証されている。この遮へいは、以前の圧力管取替活動において成功裏に使用された。





ドイツ：移動型遮へい及び恒久的足場（Philippsburg NPP）

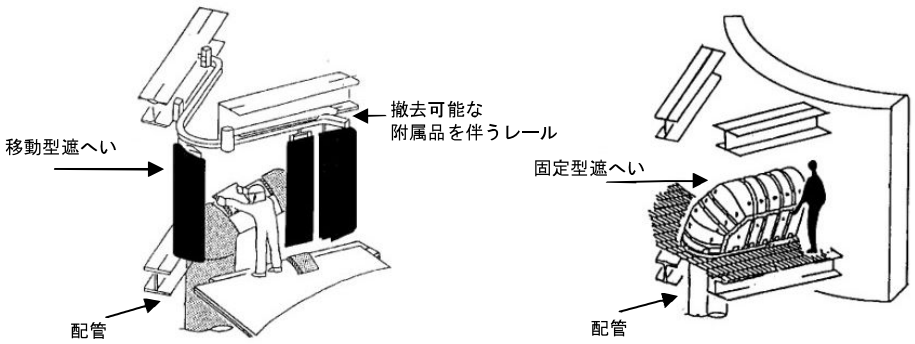
Philippsburg NPP では、「固定型設置」に準ずるものとして開発され、設置された移動型遮へいを調査するための作業グループが設置された。これには、移動可能な設備を、作業者の長期的な防護のために必要であれば、安定性、及び地震により誘発される安全系との干渉に対する十分な安全性を立証された、適切な設備へと移行させることが含まれる。

停止時には、恒久的に高い線量率を有する区域では、保全作業のために恒久的な足場が必要とされる。これらの足場は、検査され認証されれば、安定性及び地震基準の下で考えられる条件を考慮した上で、恒久的なものとして設置することができる。このようにして、約 2～3 mSv の集団線量の低減が、足場が設置され撤去されるごとに達成可能である。

日本：移動可能な恒久的遮へい

日本のいくつかの BWR では、設置及び撤去の時間の短縮、及びそれに対応する保全作業時の作業者の被ばく低減のために「移動可能な恒久的遮へい」が設置されている。従来型の遮へいシステム（鉛板及びブランケット）に比較して、作業時間削減率 10 から 20、及び 20%までの線量低減が観測されている。

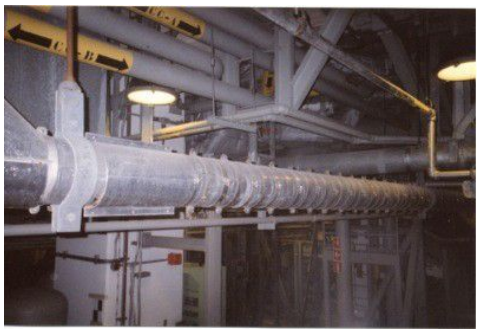
移動可能な恒久的遮へいは検査すべき配管及び設備へのアクセスを容易にするために設計されてきた。移動可能な鉛ブランケットは、恒久的に設置された、耐震設計による梁及びレールから吊り下げられる。ブランケットは並べて吊り下げられ、底部の固定具を使用して揺れ動かないように拘束され、そしてこのようにしてプラント運転中も現場に残置することができる。ブランケットを底部の固定具から解放することにより、それらは作業スペースへの容易なアクセスを可能とするためにレールに沿って十分遠くまでスライドされるが、しかしなおもある程度の遮へい価値を提供する。撤去された遮へいの一時的保管スペースは不要であり（撤去されるものはない）、十分な作業スペースの確保を可能とするためにブランケットはコンパクトに配置されている。図は従来型の遮へい、及び移動可能な恒久的遮へいにより遮へいされた作業スペースを示している。



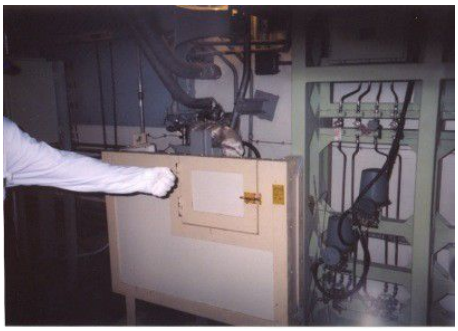
スペイン：遮へいの使用（Almaraz 及び Confrentes NPP）

Almaraz NPP（PWR）は大量の固定型生体遮へいを備えている（25 トン）。固定型生体遮へいはまた、周辺線量率に大きく寄与する配管及び弁の周囲にも設置されている。この遮へいのいくつかには、弁の開放、又はチェックを可能とするアクセス・ハッチが備えられている。その結果として、ユニットの停止時には最小限の生体遮へい（およそ 6 トン）が設置される。

Almaraz 原子力の補助建屋内の配管についての恒久鉛遮へい



Almaraz NPP における、弁のチェックのためのアクセス・ハッチを備えた固定型生体遮へい



格納容器建屋内部のキャビティにおけるガンマ線及び中性子束を可能な限り最小化するために、再設計もまた行われた。その目的は原子炉冷却材排水タンク（RCDT）と INCORE 計装トンネルの間にあるキャビティを充填することであった。キャビティは、金属板により閉鎖されており、2 psi（LOCA を基準とした条件）を超える圧力ですぐに開放されるものであったが、「破断前漏洩」の方法論の適用により、もはや必要ではなかった。キャビティは金属板に固定されたコンクリート・ブロックにより充填された。この設計変更は、2001 年における Almaraz II NPP の第 13 次停止、及び 2002 年における Almaraz I NPP の第 15 次停止の際に実施された。作業の進捗の際に受けた内部／外部線量は無視できるものであった。出力運転中には、原子炉冷却材の排水ポンプの保全は通常、個人及び集団線量をもたらすものであるが、設計変更によってそれらは大幅に低減された。この実施前後の放射線レベルを下記の表に示す。

運転モード	キャビティとの接触部における放射線レベル（mSv/時）			
	ガンマ線		中性子線	
	DC 前*	DC 後	DC 前	DC 後
燃料取替（シンブルは取り出されている）	10.0	0.06	–	–
出力	26.0	0.10	48.0	0.025

*DC：設計変更

Confrentes NPP（PWR）では、ドライウェル内の 3 年間の線量は再循環系、及び浄化系に由来するものである。恒久遮へいは通過、及び滞留区域に設置され、歴史的な傾向の 50%を超える低減につながった。その設置は、仮設遮へいに比較して、危険性が少なく、作業者への放射線の影響は小さかった。恒久遮へいは、鉛ブランケットから成り、不燃性のキャンバスで覆われ、補助構造物に固定されていた。

遮へい前の線量率（mSv/時）	遮へい後の線量率（mSv/時）
0.7	0.42
2.86	0.36
1.1	0.3

線源から離れた場所への作業の移動

物理的なソース・タームの削減、若しくは遮へいの使用による線量低減の他に、作業者と被ばく発生源の間の距離を増大させることにより線量低減を達成することができることもある。考慮することのできる、いくつかのアプローチには、設備又は部品の作業現場外での事前製作／事前組立、若しくはプラント内の機器を保全のために低線量率のステージング区域又は機械工場へ移動

することが含まれる。計画者、並びに設計技術者、及び保全技能者は、設置に先立って、放射線ゾーン（区画）外の機械又は電気工場において製作できる設備を特定することに責任を有する。この手法は、例えば、配管スプールの事前製作、フランジの溶接、配管の支柱、及び弁のアクチュエーターの電気配線に対して成功裏に使用されている。適切に計画立案されるならば、溶接は高い比率において放射線ゾーン（区画）外において、不快な条件、及び放射線被ばくからのストレスなしに行うことができる。線量の低減の他に、品質の改善、及び再作業の低減があるであろう。

もう 1 つの有用な手法は、機器を保全のために線量率の高い区域から低い区域に移動させることである。良好な例として、サービスのための弁のアクチュエーター、機械加工のための弁のディスク、及び検査のためのポンプ・モーター又はポンプの取り外しがある。設備は単純に、保全作業のために、近くの低線量率区域に移動するか、又は現場内のホット・ショップに移動することができる。

6.5　ツール及び設備

ホット・ワークショップ及び除染ワークショップ

管理区域内で汚染されるプラント機器の内部構造物、スペア・パーツ及びツールを保全するためにホット・ワークショップが必要である。管理区域内のホット・ワークショップの処理能力は、保全作業のためにパーツを除染してコールド・ワークショップに送る必要性を回避する。コールド・ワークショップと同等の品質を有する、適切に装備されたホット・ワークショップは、保全の品質を改善し、時間と費用を低減する。特殊設備は、複雑な機器であってもその保全を可能とするであろう。

特別な除染ワークショップがしばしば、PWR 及び BWR の両方のプラント設計に組み入れられている。これらの施設は、ホット・ワークショップに近接して設置されるが、移動可能な（おそらく解体後）全ての機器若しくは内部構造物、並びにツールを対象とする。これらの施設は、線量率及び汚染を、ホット・ワークショップ又は作業区域において容易に対処できるレベルにまで低減し、それによって保全作業時の被ばくを低減させる上で極めて有効であることが立証されている。ホット・ワークショップと除染ワークショップを同一近傍に配置することはまた、保全作業を容易にし、作業者の線量を低減させる。以下を含む、作業区域内で処理できない、広範囲にわたる設備が除染に利用可能である。

- より大型の機器のための除染室
- より小型のパーツのための除染ボックス
- 超音波洗浄装置を備え、（電気）化学除染にも使用される、様々な寸法の槽
- 除染室／ボックスで使用するための、高圧水噴射システム（130～250 bar）
- 除染室／ボックスで使用するための、ガラス、スチール・ビーズ等によるブラスト・システム

特殊ツーリング

現場の作業者にとって、線量を ALARA に維持するために適切なツールは必須である、そして計画立案プロセス及び最終作業計画は、作業班がその業務のための適切なツールを手に入れることを確実にするべきである。ツールの可用性、管理及び清掃・点検の手順により、不十分なツールの供給、若しくはツールを放射線区域に放置し、それが支援班による浄化作業を必要とし、その結果追加的な線量をもたらすことに起因する問題を予防すべきである。工学的管理に関してのツーリングの重要な側面は、ツールの特定、調達、又は開発、及び特殊ツールの使用の訓練を含む。

線量低減の助けとなる特殊ツールの例として、自動／遠隔切断、研磨及び溶接機械、遠隔供用期間中検査（ISI）装置、若しくはスナッバの配列／持ち上げツールが挙げられる。多くの種類のこのような特殊ツールは、共通に使用されるものであり、それらの適切な選択はまた時間及び線量を低減させることができる。エア・アーク切断は一般に酸素アセチレン・トーチ切断より早い。リーチ・ロッドに付けられた鏡等の小型のツールは、扱いにくい区域内の検査を、より容易にする。アクセスをより容易にするためのその他のツールには、電動リフト付トラック、足場を組むことにより線量を低減する梯子、及び天井区域における目視検査のための長いリーチ・ロッドに付けられたビデオ・カメラが含まれる。通常、主に 3 種類の特殊ツールを検討することができる。

- 制御及び保全のためのホルダー：「ホルダー」は、複数の介入に使用するために、いくつかの異なるツールを取り付けることのできる柔軟なシステムである（例えば、蒸気発生器のチャンネル・ヘッドの渦電流探傷試験、施栓等に同一のホルダーを使用することができる）。
- 保全ツール：これらは 1 種類の介入にのみ使用することができる（例えば、原子炉容器上蓋スタッドの開閉）。
- カメラを利用する検査、若しくは非破壊試験のために開発されたツール（例えば、チャンネル・ヘッドの渦電流探傷試験を行うために開発された「RITMIC」マニピュレーター）。

場合によっては、修理、検査及び取替作業のために高度に特殊で精巧なツールが開発されている。このようなツールを試験するため、適切な機能性、並びに従事者が習熟することを確実にするために、モックアップが使用されている。これらの側面の両方は、クリティカル・パス上の事故を回避し、線量を低減させる助けとなる。

カナダ：リアルタイムのトリチウム、及び日常の監視データの表示

規制上の要件の一部として、あるレベルの放射線ハザードは、耐久性のあるそして明確な様式によって公示しなければならない。表示媒体として大型のホワイトボードが伝統的に使用されてきた。今日、Ontario Power Generation では共通のインターネット・プロトコル（IP）技術、及び低コスト・コンピューター、又は IP エンジンとしての「ブリック」を有する電子 LCD パネル・システムが使用されている。関連する監視技術者のユニットについての結果は、トリチウム・レベルのデータを含む連続遠隔放射線モニター（RARM）と共に、全てのユニットのエア・ロックにリアルタイムで表示されている。

日本：ブラシ付特殊クリーナー及び高圧ジェット・ノズル

日本の BWR では、復水脱塩装置の洗浄は数百の要素を要し、それらの各々はフルフェース・マスクとビニール・スーツを着用した請負作業者によりハンド・ブラシにより洗浄する必要がある。このタスクは、脱塩装置樹脂タンク 2 基につき、4 人の作業者で 7 日を要していた。この時間及び被ばくの結果として、換気付きの小型ボックスに入れられたブラシと高圧ジェット・ノズルを有する特殊クリーナーが開発され、東京電力株式会社の福島第一サイトに適用された。要素を洗浄するのに要する時間は 5 分の 1 に短縮され、呼吸器具及びプラスチック・スーツ（上着）はもはや必要とされていない。作業者の物理的な負担、及び洗浄作業のマイナス・イメージは劇的に改善された。

	ハンド・ブラシ	クリーナー・ボックス
復水器の 432 の要素を洗浄する時間	127 時間	26 時間
必要なビニール・スーツと呼吸器具の数	56	0

ロボット技術

原子力産業のために開発された移動ロボットや遠隔操作装置は、放射性廃棄物の取扱、水中検査、設備除染、高放射線区域の監視、及び放射線サーベイの分野で費用効果が大きく適用性が高い。大抵の場合、原子炉内部のような高放射線区域における修理作業については、遠隔操作が唯

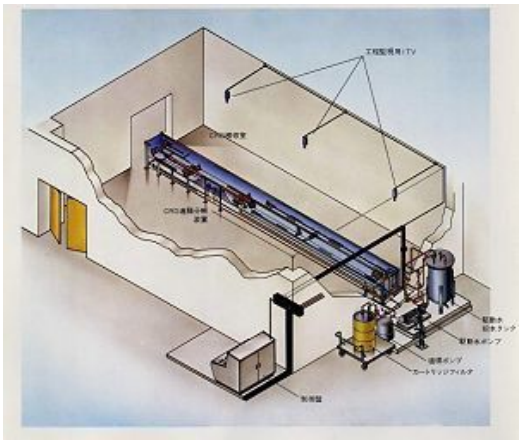
一の解決方法である。シビア・アクシデントの後の介入には、階段を通り抜け、潜水活動を行い、そして照明、カメラ及び放射線検出設備を運搬することができるロボットが使用可能である。材料／機器の探索などの小規模の作業さえも行うことができる。他方、交換後の機器又は配管の除染等、高放射線危険区域における使用のために、より精巧な産業ロボットを開発する機会がある。

日本：東京電力株式会社、及び九州電力株式会社の NPP におけるロボット

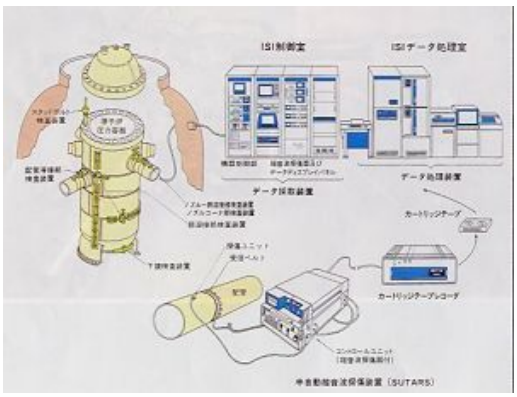
東京電力株式会社により下記のロボット技術が使用されている。

- 燃料交換機
- 制御棒駆動機構自動分解装置（CRD の遠隔分解及び洗浄）
- CRD 自動交換機
- 原子炉圧力容器超音波探傷検査装置
- 原子炉圧力容器上蓋締付ボルト締付装置
- 水中テレビ装置

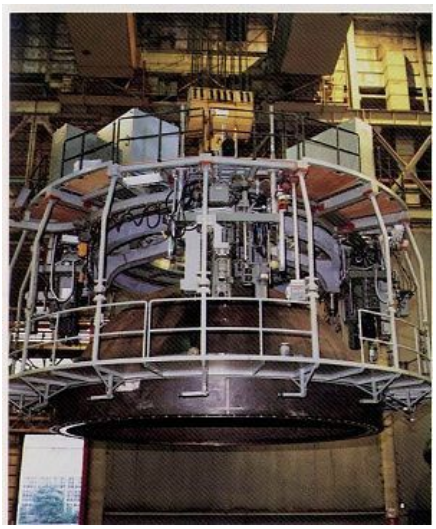
CRD 自動分解装置



原子炉圧力容器超音波探傷検査装置



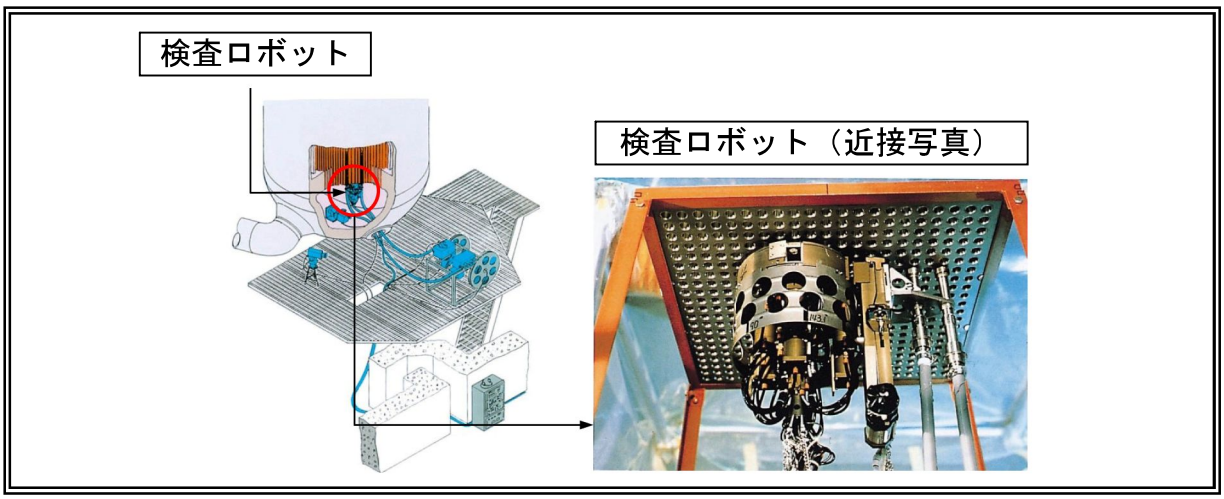
原子炉圧力容器上蓋締付ボルト締付装置



水中テレビ装置



九州電力株式会社の原子力発電プラントでは、蒸気発生器伝熱管の渦電流探傷試験にロボット技術が使用されている。



6.6　個人用保護具

汚染の抑制は、作業者に対する放射線リスクを低減するための基本的な方法である。放射線に関して清浄なプラント区域を保つことは、防護服及び呼吸保護の必要性を低減させ、それはまた生産性を向上させる。生産性が改善されれば、時間と線量が低減される。防護服は、動作容易性、快適さ及び移動性を減じ、作業者に対して熱ストレス要素を負荷する可能性があることは広く認められている。呼吸保護具（例えば、フルフェース、バブル・フード、バブル・スーツ）は、視界を悪くし、口頭によるコミュニケーションに支障を及ぼす。

従って、防護服及び呼吸保護を必要としない作業環境を維持することが重要である。しかしながら、個人用保護具の使用が不可避である場合には、それらの選定に当たっては、放射線ハザードの性質、実施すべき作業、及び作業効率に及ぼす影響を考慮すべきである。

6.7　作業現場の最適化及び業務の調整

作業準備における 1 つの全体的なテーマは、作業条件を改善するための作業区域の最適化である（第 5 章も参照）。作業は、同一区域内で計画されている全ての活動についての知識をもってスケジュール作成及び準備しなければならない。このことは、全ての支援活動及び設備の最適な使用のために特に重要である。例えば、大量の放射性廃棄物、特に保全作業により発生する高線量率／放射性の廃棄物の除去は、適切に準備し、スケジュール作成して、作業箇所における低い線量率を維持しなければならない。より大きな配管からの保温材の除去は、保温材作業と共に計画及びスケジュール作成しなければならない。極度に高い線量率を有し、遮へいされているパーツ（例えば、原子炉容器内部の）については、計画立案プロセスの一部として、中間貯蔵を準備しなければならない。

全般的なタスクの編成、又は準備作業などの要素の直接的な影響を定量化することはより困難である。しかしながら、それらの重要性は、定型的な保全、及びインシデント後運転の分析により強調されている。分析によると、平均して、これらの活動に関連する集団線量の 20～30%は、事故若しくは劣悪な作業条件に起因した可能性がある（Schieber、1994 年）。このような要因の定量的評価は、放射線防護措置の最適化研究のためには必須のものである。被ばく時間の短縮は時

として作業に関連する業務費用の低減を意味することから、これらの研究を、線量低減の評価のみならず費用低減の計算のためにも使用することができる。

計画立案が良質なものであってもなお、作業が適切に調整されることを確実にする人が作業区域には必要である。このような区域コーディネーターは、停止コントロールセンターに作業の状況を報告すべきである。停止マネージャーは、クリティカル・パスとなる作業のスコープについて継続的に監視し、現場指導を行うことを確実にする上で効果的であった。作業現場監督のレベルでの線量に対する責任は、業務レベルで確立された線量割当の受け入れを確実にする上で重要である。

積極的な作業プロセス管理の成果の一部は、プラント従事者が放射線被ばくとは「品質問題」であると認識することである。不要な線量の蓄積は、その再発を確実に防止するために、監督官により追跡され、フォローアップされる。

ルーマニア：燃料チャンネル検査

作業計画立案に引き続いて、「燃料チャンネル検査に際しての放射線防護計画」が策定された。特定の活動の開始前に、原子炉表面の具体的な条件をシミュレートして、特別な場所において多くの演習が実施された。下記の部門から指名された従事者が関与した：燃料取扱、保全、電気、放射線防護、及び AECL の従事者である。作業は連続的に実施された。つまり、昼間のシフトでは、燃料チャンネルの検査が実施され、夜間のシフトでは、翌日に検査されるチャンネルについて準備作業が行われた。実行された放射線防護措置、及び作業慣行によって、従事者の内部汚染も汚染区域／高度汚染区域外への汚染の拡散もなかった。

6.8 要約

ソース・ターム及び被ばくの低減、並びに作業効率の改善の観点から、作業現場の最適化は重要である。この低減の 1 つの要素は作業区域における線量率である。線量率の低減を達成するには、ソース・タームの除去、遮へいによる低減、若しくは連続的管理が効果的である。作業の実施を支援する様々なツール及び設備もまた適切である。多くの効果的な方法が開発され、そして多くの経験が蓄積されていることから、作業準備の一部としてこれらの技術を利用することが重要である。最後に、作業スケジュールの最適化、及び作業現場における業務の調整もまた作業準備における重要な要素である。

7. 作業の実施

作業の実施に際しては、「現場」における効率的な放射線防護管理を確実にすることが必須である。このことは、放射線防護従事者の存在、及び具体的な手順等の組織的な側面、並びに遠隔モニタリング、アクセス管理システムの使用、その他等の技術的な側面を含んでいる。この管理の目的は特に、職業放射線防護を確実にするために計画された事項が適切に実行されているかをチェックすること、必要であれば是正措置を特定し実行すること、及びフィードバックされた経験の収集を始めることである。

7.1 序文

作業の実施段階とは、実際の作業の実施、及び作業に影響するか若しくは作業を促進するために措置を講じることを指す。作業管理が、時間と費用の低減のみならず線量の低下に効果的に寄与するいくつかの領域がある。効率的な作業プロセス管理は、作業計画立案段階において設定された目標が達成されることを確実にする助けとなる。通過被ばく、及び不必要な線量の低減は、作業者に対して放射線、プラント及び業務固有の情報を十分に提供することにより促進される。最後に、フィードバック情報の収集は、リアルタイムの作業管理を支援し、将来の作業の準備を容易にする。

7.2 作業プロセスの管理：責任の配分

作業プロセスの管理（第 5.4 節参照）は適切に計画された停止の成功のために重要である。多くの人々がこれらの管理に関与するであろうから、各人の責任を明確に定めること、並びに作業を調整し、遭遇するいかなる問題をも解決する柔軟な組織を構築することが重要である。部門間連絡は必須の要素である。

タスク・マネージャー／業務監督官

タスク・マネージャー、あるいは業務監督官は業務を実施している作業者と直接接触していることから重要な役割を果たす。作業を効果的に管理するために、業務監督官は、進捗及び問題を認識するために、作業現場において十分な時間を費やさなければならない。停止期間中には、監督官と放射線防護従事者との間の密接な協調を大事にすることも必要である。業務現場監督はしばしば受注者であるが、作業の進捗及び遭遇するいかなる問題についても情報を収集することに責任を有している業務監督官を特定し、共に緊密に作業することができなければならない。このような問題を解決するには、サービス間の連絡は迅速で効率的でなければならない。この目的のためには、情報を調整し、停止組織に報告する人物を特定することも有用である。作業現場監督のレベルにおける線量計量管理は、作業レベルの線量の割当についての責任を完全に受け入れるために重要である。

毎日の停止会議は、特定された問題が「リアルタイム」に解決され、「スケジュールされていない」緊急作業が計画立案され、計画外の作業のコミュニケーションが計画的作業と同様な様式によって詳細に詰められる場である（第 5 章参照）。業務監督官、放射線防護スタッフ、及び準備とスケジュール作成に責任を持つ従事者がこの会議に出席することが重要である。この会議に際しては、停止管理組織に対して実際の停止時線量の漸進的変化について情報提供し、予測線量と比較することも重要である。特定の問題に遭遇した場合には、それが適切であれば、受注者の出席を考慮すべきである。

フランス：業務前会議

EDF では、業務の特殊性及びロジスティクスのニーズを特定するために、受注者と電気事業者のスタッフ（保健物理検査官、業務現場監督など）の代表をグループにした 2 つの会議が組織的に開催される。最初の会議は作業の約 1 か月前であり、2 番目の会議は作業の前日である。EDF はまた、いくつかのユニットの燃料取替停止の際に、電流不足、エレベーターの問題、許可に関する疑問等のような、遭遇するいかなる問題についても中心的な連絡窓口となる常駐の原子炉建屋コーディネーターの採用を試行的に行った。

米国：Make-it-happen（目標実現）マネージャー

米国の原子力発電プラントは一般に、クリティカル・パスに関わる作業の継続的なモニタリング、及び現場指導のために、「Make-it-happen（目標実現）」マネージャーを採用している。特定の業務（又は業務群）について責任を課せられたこれらのマネージャーは、タスク実施中に遭遇する障害が克服されることを保証する。これらには、組織的支援不足（足場、保温又は遮へいグループ、ポーラー・クレーンの使用、電気及び保全グループ等）、作業進行中に遭遇する手順上の問題、若しくは保全活動に際して発見される計画外の「緊急」作業（壊れた／漏水する弁、故障したポンプ等）、のような諸問題が含まれる。それぞれのケースにおいて、「Make-it-happen」マネージャーは、作業が、時間、費用、若しくは線量に関して有害な影響を受けないように、これらの問題に対する対応を、分野横断的に調整することに責任を有する。

BWR では、全停止時線量の 65%までがドライウェル内の活動によるものである。米国では、その唯一の目的が作業プロセス管理及びモニタリングである、ドライウェル作業コーディネーターの任命により、この重要なプラント箇所における作業期間と線量を低減している。

放射線防護従事者

放射線防護従事者に固有の役割、並びに作業者に課せられる放射線防護の責任の程度は国ごとに異なるであろうが、彼らの主要な機能は作業者に対して、放射線防護についての支援及び助言を提供することである。それ故に、作業者は彼らの業務を見守る RP 技術者を特定できなければならない。もちろん、作業者が RP グループから作業許可を受け取ればこの特定はなされる。1 種類の業務監視のために特定の RP 技術者を指名することも可能である。RP 従事者はまた、管理者が、線量が ALARA に留まり、そして放射性物質が適切に管理されることを確実にするという彼らの責務を積極的に遂行することを可能にするために、プラント管理者に対して時宜を得た、そして有効な情報を提供するという主要な責務を負っている。

定期的な放射線防護検査が（特に放射線環境を変化させる可能性のある作業に際して）実施されることを確実にするために、「放射線防護ホールド・ポイント」を作業手順に含めなければならない。これらのポイントの目的は、放射線の条件が RP 技術者によりチェックされるまで業務を停止することを作業者に「強制」すること、若しくは具体的な放射線防護活動（例えば、遮へいの設置、線量率及び汚染マッピングの最新化等）が実施されていることを確認することである。多くのプラントにおいて、放射線防護マネージャー若しくはその代理人は、下記の状況が観察された場合には現場における作業活動を停止させる権限を有することが期待される。

- 放射線の条件の変化
- 許可を得ていない仮設遮へいの撤去
- 不十分な計画立案による非生産的作業活動

7.3 アクセス管理システム

放射線作業許可及び管理区域

準備段階で作成される放射線作業許可（RWP）は、RP スタッフにより作業者に与えられるべきである（第 5.4 節参照）。許可は通常、予測線量、並びに放射線の条件（線量率、汚染レベル等）を含むので、実際のプラント条件が計画時のものとは異なる場合には修正すべきである。

RWP は作業に対して適切な「停止基準」（例えば、作業中の放射線条件の修正又は大きな事故があった場合）を含むことができ、そのような基準に遭遇した場合には作業者は RP スタッフに連絡することが義務付けられる。RWP が発行された業務に関連する個人線量及び集団被ばくを直接収集するために、電子式線量測定システムと RWP 識別子との間のリンクが望ましい。

管理区域、特に作業者が放射線に曝される部分へのアクセス、及びその中で費やす時間の管理は線量低減において重要である。管理区域への立入において「電子的」管理を RWP を使用して実施することができ、その場合 RWP が当該日に対して計画されている場合にのみ作業者の管理区域へのアクセスを認める。しかしながら、時にはこのシステムは、例えば割り当てられた期間が非常に長い場合、アクセスを管理する上で十分ではない。それ故に、アクセスを管理する責任を負う従事者を任命することが有効となりうる。

電子式線量測定システム

電子式及び携帯用警報付線量計は、リアルタイムの線量測定ハードウェア及びソフトウェア・システムと共に使用される場合には、リアルタイムに作業をモニターし追跡することを可能にする。これらのシステムは、高度のデータ保存性及び読出し可能性（すなわち、線量計が損傷してもデータを読み出すことができる）をもって、線量率、総線量及び滞留時間の警報レベルを提供する。計画外の高い被ばくを防止する助けとするために、個人線量制限を設定すること、及び作業者が放射線管理区域（RCA）に出入りする際にチェックすることが有用となりうる。区域を出る場合の自動的な線量更新、及びリアルタイムの線量読取ステーションにおける署名をしてからの退出によって、自読式線量計又は携帯用電離箱上のアナログ・スケールの読み取りに伴う誤り、若しくは RWP 線量データのデータ入力の誤りを排除する。このことは電子式線量計と公式の記録線量（一般的には TLD 又はフィルム・バッジ）との間のより良い相関関係を可能とする。いくつかのプラントは現在、電子式線量計を記録線量として使用することを可能とするために、その放射線モニタリング・プログラムの変更を追求している。

電子式線量警報は、線量率若しくは個人線量に関して設定することができる。通常は作業者がタスク・コードを入力すると、警報の閾値が直ちに設定される。閾値は偶発的な被ばくを予防するために十分低くあるべきであり、一方業務が特定の放射線の条件に従って実施可能とするという点では十分高くあるべきである。作業者は警報が起動した場合に取るべき措置（作業の安全を確保する、放射能レベルの低い区域に移動する、RP の支援を求める、等）について訓練されているべきである。線量計を適正な位置に装着するよう注意すべきである。すなわち、警報が可視、可聴となるよう衣服の外側に装着する。

電子式アクセス管理システムとの組み合わせにおける電子式線量測定は、放射線防護教育、訓練及び呼吸器具の品質認定を確実にし、また各作業者に対して最新の累積線量を提供し、RCA 若しくは局所的な作業箇所へのアクセス管理の 1 つの形態を提供する。RWP システムとの組み合わせにおけるアクセス管理システムはまた、許可されていない従事者が管理区域に立ち入ることを防止することができる。分離された区域（すなわち、燃料取替フロア）に対する局所的な制限も同様に行われる。これらのシステムはまた、業務／区域に関わる線量記録及びフォローアップのためにも有用である。

高放射線区域の管理

高放射線区域へのアクセスを管理する規則は明確に定義されるべきである。通常、そのような区域は異なる作業グループの監督官の所有する別の鍵によって施錠されている（RP 監督官、主任運転監督官、プラント・ディレクター等）。このような区域にアクセスするためには、作業者はこれら全ての監督官の同意を得ると同時に、この区域固有のリスク、必要な防護規則、並びに彼らの安全と放射線防護のために有用な全ての情報について、業務前のブリーフィングを受けるべきである。

ベルギー：Badge in and out（バッジによる入退室）システム（Doel NPP）

Doel NPP では、管理区域、そしてまた原子炉建屋の各レベルへの立入、若しくはある特定の業務（蒸気発生器、1 次ポンプ等）のために「Badge in and out（バッジによる入退室)」システムが使用された。

ベルギー、スウェーデン、スロベニア、英国：電子式線量計の警報レベル

ベルギーの Doel NPP では、電子式線量計での標準警報値は 0.25 mSv に、また管理区域への立入については 1 mSv/時に設定されている。これらの警報値は特定の業務については変更することができる。この場合には準管理区域が有効にされる。

スロベニアの Krško NPP では、電子式線量計データベースはプラント従事者データベース、及び放射線作業許可データベースに接続されている。警報レベルもまた、計画より多い放射線作業許可の発行に関連して管理されている。

スウェーデンの Ringhals NPP では、電子式線量計での標準警報値は立入につき 1 mSv に設定されているが、適切であれば RP スタッフが修正することができる。例えば、線量率が高い場合には、警報値は業務監督官の同意の下、高い値に設定される。線量率警報値を設定することも可能である。Forsmark NPP では電子式線量測定システムでの標準警報レベルは立入につき 0.5 mSv に設定されている。RP 監督官はこのレベルを変更することができる。もう 1 つの標準警報レベルは線量率について 10 mSv/時である。また、年間警報レベル 18 mSv があるが、それは地域線量記録データベース（LDIS）により管理される。その他の警報レベル、若しくは対応レベルもまた、必要であれば RP スタッフが設定してもよい。妊娠している女性については特別な線量限界があり、妊娠中の胎児についての線量は 1 mSv を超えてはならない。妊娠した場合には、女性は非管理区域に配置転換される権利を有するが、RCA 内で働くことを希望した場合には、警報限界値は通常立入につき 0.1 mSv に設定される。この限界は LDIS により管理されるが、それはその女性本人、RP 監督官、及び女性の業務監督官の間で常に協議される。

英国では、電子式線量計の線量及び線量率の警報レベルは RWP について指定されている。しかし実際に警報レベルをプログラムするのは EPD アクセス管理ターミナルでタスク・コードを入力する作業者である。典型的な警報の閾値は最も一般的な低リスク活動について 200 μSv 及び 500 μSv/h であり、特定の高リスクの作業（例えば、弁作業）については 500 μSv 及び 5 mSv/時である。

フランス：EDF レッド・ゾーン・アクセス手順

レッド・ゾーンは、2 つの独立した南京錠によって閉鎖されている高放射線区域である。1 つの鍵は放射線防護部門が所有し、もう 1 つはディレクター（Direction）が所有している。いずれもアクセスが制限された特定の金庫に保管されている。アクセス許可は、業務前のブリーフィングの後に、NPP の放射線防護ディレクターにより与えられる。このブリーフィングは、作業者、現場監督、リスク予防部門のメンバー、及び「運転主任」の出席の下に行われるが、その内容は、以下の通りである。

- 介入における様々なタスク／手順の検討、及びこれらのタスクを行う作業者の特定
- リスクのレビュー及び望ましくないシナリオの調査
- 各作業者の暫定的な線量測定の検証
- プラントの運転状態が介入を可能にすることの検証
- 作業者の管理部門、リスク予防部門、運転主任、及びディレクターにより署名された書式を通じての、作業者のリスト、彼らの暫定的な線量測定、介入区域、並びに活動の継続時間の検証

ドイツ：ドイツにおける公式電子式個人線量計の使用についての概念

電子式個人線量計（EPD）はより良い被ばく管理、及び線量情報の直接的フィードバックに基づく健全な放射線防護文化の発展に寄与する。現在、ドイツにおける EPD の使用は、運用上の線量測定に限定されている。一般には EPD は、公式な受動的線量計に加えて、大規模な原子力施設及び原子力発電プラントのような施設、原子力燃料サイクル施設、大規模な研究センター、並びに大規模な病院で使用されている。

ドイツにおける公式な線量測定システムの使用の概念における重点は、実効線量を測定するため、線量計により測定されたデータを読み取るため、データを認定評価機関に伝送するため、及び測定データから実効線量を導出するために必要な機器の全体的な構成に置かれる。アクセス管理とのプール概念は、原子力発電プラントにおける一般的概念となると予想される。

ドイツ：ポータル・モニター（Philippsburg NPP）

ベータ及びガンマ汚染を同時に測定できるポータル・モニター（身体検査機）が、Philippsburg NPP の放射線防護区域の出口で使用されている。手、頭及び脚を含む全身の表面が 14 のベータ・ガスフロー比例計数管により測定される。ベータ計数管のすぐ後ろに、ガンマ・プラスチック・シンチレーター検出器が、胸の領域（左右両側）に配置される。それらはガンマ放射線のみを感知するので、ガンマ放射能が含まれているならばそれを検出することができる。検出限界は、測定時間 10 秒について約 1000 Bq（Co-60 について、3 シグマ誤差)。このようにして、何らかの内部汚染が存在する場合には、作業者は直ちに全身の計数に向けて送られ、線量評価はより正確に行われる。

ルーマニア：特定の業務の線量計量及びアクセス管理のための個人用警報付線量計

Cernavoda NPP 1 号機におけるアクセス管理システムは、高い放射線ハザードが存在する、若しくは存在する可能性のある区域への、いかなる不注意の／無許可アクセスをも防止するために設計されている。通常の被ばくを管理する、汚染の伝播を防止する、及び潜在的な被ばくを予防又は排除するために特別な防護対策が必要とされる「管理」区画（ゾーン）は次のように指定される。

- 区画（ゾーン）3：放射線源なし。検出可能な汚染なし。線量率＜0.0005 mSv/時。
- 区画（ゾーン）2：放射線源なし。汚染なし、ただし従事者及び設備の移動に起因して発生する可能性がある。放射性の系統なし。線量率は 0.01 mSv/時より低い。他の放射線区域からのアクセスを管理する手順がある。
- 区画（ゾーン）1：汚染及び／又は重大な放射線被ばくの潜在的な発生源としての、放射性の系統及び設備を収容している。頻繁にアクセスされる区域は、遊離状態の汚染を含んでいない。

総放射線ハザードが 0.01 mSv/時を超える室、若しくは明確に定義された区域の各アクセス・ポイントには放射線警告シンボル、及び「放射線」の語を含む明確な掲示が行われる。総放射線ハザードが 1 mSv/時を超える室、若しくは明確に定義された区域への各入口には「放射線制限」と掲示される。遊離状態の汚染レベルがバックグラウンド値を超え、通常のアクセスが可能な区域の入口には「汚染区域（Rubber Area)」と掲示される。

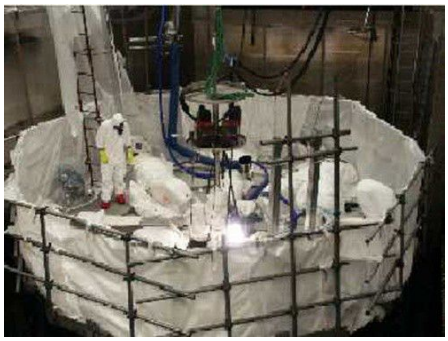
スウェーデン：気水分離器の改造についての線量予測及びチェック・ポイント（Forsmark NPP）

Forsmark 2 号機の 2003 年の停止に際して、気水分離器（原子炉容器の内部部分）の改造が計画された。初期の線量予測は、総集団線量 250 人・mSv、そして数人についての個人線量は約 20 mSv であることを示した。原子炉に関わる全ての安全関連作業を承認しなければならない Forsmark 安全委員会は、一連のチェック・ポイントを設定することを要求した。このチェック・ポイントでは、作業はユニット・マネージャー及び放射線防護マネージャーの参加の下にレビューされ評価されるものとされた。設定されたチェック・ポイントには下記が含まれた。

- 受注者の作業方法及びツールを検証するための工場受入試験：必要な労働時間のチェック。
- 原子炉容器上蓋の吊り上げ：ソース・タームの精度のチェック。
- 遮へい鋼板の設置後：ターゲットに対する実際の線量率のチェック。
- 作業実施中：集団及び個人線量の連続的チェック。最大集団線量 350 人・mSv、最大個人線量 12 mSv に拘束値を設定した。

受注者との継続的な計画立案が結果として放射線安全に関する大きな改善をもたらした。作業計画は各チェック・ポイントにおいてレビューされ、修正された。実際の作業は、何らの混乱、インシデント若しくは事故もなく、修正された計画に従って実施された。受注者、運転スタッフ及び放射線防護スタッフの間で会合が毎日行われた。この会合の際に、結果としての線量は詳細にモニターされ、全ての関係者に連絡された。結果としての総集団線量は 165.5 人・mSv、そして最大個人線量は 10.3 mSv（溶接工）であった。初期の段階における、高度の専門職、及び業務に携わった受注者の関与が成果を大きく推進させた。

防護措置が実施された作業区域



7.4　遠隔モニタリング・システム

事前に設定された警報レベル（例えば、線量、線量率、又は空中放射能について）を有する遠隔モニタリング・システム（RMS）は、作業者が被ばくする放射線の条件のリアルタイムのモニタリングについての信頼性の高い手段を提供する。放射線防護制御室は、放射線区域に必要な RP 技術者数を最小限にしつつ、様々な作業区域における放射線の条件に関する全ての情報、並びに音声及び視覚によるフィードバックを収集し、それによってこれらの従事者の線量を低減する。同様の方法が、放射線場の外部の箇所からその他の重要なパラメーターを調査するのに使用できる（すなわち、自動溶接、切断、供用期間中検査の調査）。多年にわたって、いくつかの国々において実施された遠隔モニタリング技術の研究及びベンチマーキング活動は、作業者の安全性及び生産性の改善におけるこのような技術の有効性を示している。

RMS の成功裏における実施の重要な要素は、ケーブル・アクセスのための格納容器の貫通部の可用性である。これは費用のかかるプロセスであるので、設備に電源供給するための十分な電気的接続（補助電源／プラグ）に加えて、設計段階で考慮しておくことが重要である（第 9 章参照）。補助建屋における光ファイバー通信ネットワークの構築もまた、常設の RMS にとって有益である。

カナダ：遠隔線量測定（Ontario Power Generation）

個人放射線量をモニターするための遠隔、又は無線技術は、今日のクラス I 及びクラス II の原子力施設において十分に利用されていない資産である。この分野における現在の展望は、新しいユーザーが参入するにつれて発展し続けるというものである。Ontario Power Generation の原子力施設は、その初期の段階からこれらの技術に対処してきた。OPG は現在、データ、音声、及びビデオ信号の伝送に IP ファイバー技術を使用している。これらの進展は設定時間の低減、及び生産及び保全人員の線量コストの低減をもたらす。

韓国：放射線作業管理のための CCTV システム（霊光 NPP）

霊光 5 号機及び 6 号機に導入された CCTV システムは、LAN に接続されていて、作業状況についてリアルタイムのモニタリングを可能とする。このシステムは固定式及び可動式のカメラを有している。熱スリーブ（T/S）の撤去作業において、作業期間中およそ 15 人が CCTV を通して作業を監督した。作業時間は最適化され、その結果として 16%（25.6 人・mSv）の被ばく低減、並びに放射性廃棄物の低減が達成された。CCTV システムは最小の努力で大きな効果をもたらした。

ルーマニア：遠隔モニタリング・システム（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP 2 号機の RMS は、コンピューターのローカル・エリア・ネットワーク、及び現場機器からコンピューターへのいくつかのネットワーク支局により構成されている。RMS は下記のシステムとのインターフェースを有する：固定型ガンマエリアモニタリング、固定型汚染モニタリング、携帯型放射線モニター、固定型空中トリチウム・モニタリング、液体放出モニター、気体放出モニター、及び事故後の空気サンプリングである。含まれる機能は、

- モニタリング：正常なプラント運転により発生する放射線ハザードを調査し、放射線管理サービス（RCS）室及び主制御室（MCR）に高い（危険な）レベルを表示する。測定ループの作動状況を調査する。
- 制御：チャンネルの自動運転についての設定パラメーターを確立する。非定型的測定／較正について測定ループを手動操作する。ネットワーク・データベースを構築する。
- 保全性：RCS 及び MCR 室において、設備及び系統の故障を表示する。
- データ保存：統合された短期及び長期データベースを維持する。
- 運転員のインターフェース：顧客報告書、履歴事象の詳細な表示、現場の放射線モニタリング設備についての遠隔双方向性制御機能を、命令及びそれらに対する応答の表示を含めて提供する。

米国：遠隔モニタリング

米国のプラントでは、遠隔モニタリング実施後の停止の際の RP 部門の線量が 2 分の 1 に低減した。中央の遠隔モニタリング操作卓において 1 人の技術者が複数の業務をモニターし、管理することができることから、作業区域に送り出される技術者はより少なくてすむ。例えば、Calvert Cliffs では、1999 年から 2006 年までの間に、停止期間中の RP 受注者の人員数、並びに RP 常勤作業者の数が約 30%低減された。同時に総オフライン集団被ばくは 55%低減された。

7.5 汚染の管理

空中の汚染の管理は適切なモニタリング・システムを使用して実施すべきである。このようなシステムの配置、並びにあまりに低く設定された汚染警報のレベル、若しくはモニターの不適切な設置の結果による誤報の回避に特別な注意を払うべきである。あらかじめ警報が計画され、作業者に周知させておかなければならない場合には、特定の緊急避難手順が履行されるべきである。避難の支援及び管理の責任を負う原子炉建屋コーディネーターの存在はこの手順を容易にすることができる。

ドイツ：気中放射能に対する原子炉プールの覆い

ドイツのいくつかの PWR（Philippsburg、Neckarwestheim、Isar）では、停止に際してその再充水の前に原子炉プールを覆うためにバルーン・シルクを使用してきた。2 台の移動型の換気フィルタリング・ファンが覆いの上のエアロゾルを捕捉し、それらを原子炉建屋の換気システムに送り込む。このプロセスの利点は、

- 格納容器には浮遊放射能は放出されず、原子炉建屋内には誘発される汚染はない。
- 原子炉建屋内における大規模な除染作業の必要はない。
- 追加的な衣服若しくは呼吸器具を装備することに起因する作業者への制約はない。
- 再充水時にパーソナルエアロックは開放されているので、格納容器内の人員数に制限がない。
- 停止のクリティカル・パス上において、再充水時間は 50～70%低減される（8～10 時間）。



ルーマニア：空気モニタリング・システムにおけるトリチウム（Cernavoda NPP）

トリチウム水蒸気は健康上のハザードであり、大気中における水蒸気の全ての特徴を有することから、CANDU 原子力プラントにおけるその早期の検出は重要である。モニタリング・システムは一般に、重水の漏洩に起因するトリチウムのレベルを示し、それによって健康上のハザードの可能性を低減させる。システムは下記の機能を果たす。

- 高い H-3 ハザードが予測される原子炉建屋及びサービス建屋内の様々な位置からの空気の連続的サンプリング。
- 連続的なサンプルについての H-3 の濃度の測定、及び測定結果と事業者により定められた事前設定値（設定点）との比較。
- トリチウム放射能濃度の表示（Bq/m^3）、若しくは要請があれば線量当量率（Sv/時）。
- 設定点を超えた、若しくは故障が発生した場合、システムは、視覚及び音響信号によって RMS ネットワーク全体にわたって遠隔警報を発する。
- 一時的なサンプリングライン、及び半移動型のトリチウム・モニターを用いて、「非定型的な」トリチウム濃度の測定。
- トリチウム・モニターは下記の性能要件を満たすべきである。
  - 酸化トリチウムを測定し、全ての原子炉気体並びにラドンを含め、他の放射性同位元素に対する補正を提供する。
  - 調整可能な設定点を超えた高い線量率、及び設備の故障について警報を出す。

スウェーデン：外部汚染のモニタリング（Forsmark NPP）

Forsmark NPP では、汚染の管理のために下記の手順が採用されている。

ウォークスルー・モニター：警報による措置

- 手を洗い、カバーオール及び保護靴を替えて再びモニターに入る。
- 警報がなおも作動するならば、RP グループに連絡する。

事前モニター：警報による措置

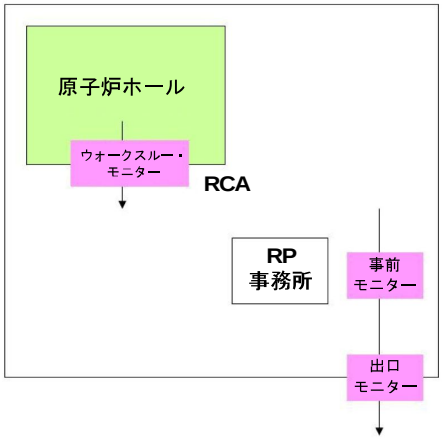
- RP 従事者は、当該個人がどこでどのような作業をしていたかを調査し記録する。
- 手を洗い、カバーオール及び保護靴を替えて再びモニターに入る。
- RP 従事者は手動によるモニタリングを行い、さらなる措置を決定する。

出口モニター：警報による措置

- RP グループに連絡するものとする。
- 警報は RP 事務所（夜間にはセキュリティ・センター）にも送信され、モニター区域のビデオ映像が示される。
- RP 従事者はモニター区域に到着後、さらなる措置を決定する。

数年前にこの日常的作業手順が実行されて以来、Forsmark は下記を達成することができた。

- 浄化及び防護設備に関する対策を実施することを含む、特定の業務を行う区域における、若しくはその業務に関連する汚染の拡大についてのより迅速でより正確な対応。このことはまた、内部汚染を予防する。
- 出口モニターでの全測定数のうちの、発動された警報数に関しての ALARA 目標の 2%から 0.5%への低下。
- RCA における従事者の安全及び作業環境への対処について、従事者にさらなる信頼性を与えること。
- 通常汚染はどのように、そしてどこに発生するかについて、RP スタッフの知識レベルを向上させること、そしてまた汚染の発生が適切に記録されること。



7.6 不必要な線量の回避、及び通過被ばくの低減

通過線量とは、作業者が作業箇所に向かう途中で受ける線量のことである。このような線量を低減させるためには、作業者は作業箇所に関する全ての情報を提供されるべきである。原子炉建屋の入口に、建屋内の様々な位置に、作業手順書に、及び業務前のブリーフィングに際して、詳細な現場マップを準備することにより、作業現場の場所が正確に示され、最適な道順が提示されるので、作業者の通過時間は短縮し、したがって、不必要な線量が低減される。このことは特に（しばしば見つけるのが困難である）小型の弁の作業に関連する。線量率に関する情報もまた重要である、通過通路に沿ってホット・スポットがある場合は特にそうである。

ホット・スポット並びに低放射線区域を示す分かりやすい標識は、線量低減のために重要であり、それには例えば次のようなものがある。

- 点滅するホット・スポット標識、又はロープ（バッテリー電源による、受動型赤外線センサーを有する LED）
- あらかじめ録音された警報メッセージを発する、動作検知型音声標識
- 他国からの作業班／受注者を支援するための多言語による標識
- 低放射線区域を示す明るい緑色の防水シート

作業者に対して当該区域のバーチャル・ツアーを可能とする、高度画像作成ツールの使用（第 5.3 節参照）はまた、線量の負担を伴うことなく作業者を正しく導き、作業現場を熟知させる上で極めて有用である。

高線量率区域で費やす時間を短縮するためには、低線量率区域を特定しておくことが有用となりうる。そこで作業者はより少ない被ばくで、作業手順書を読み、業務の準備をし、作業手順における自分の出番を待つことができる。低放射線区域に作業用のベンチ及びテーブルを配置することは、このアプローチの一例である。

最後に、運転時の線量率管理もまた、不必要な線量を回避するために重要であることも指摘しておくべきである。これは効率的な連絡、及び作業調整によってのみ可能となる。例えば、配管系統におけるホット・スポットからの「過渡的な」高い線量率の効果的な管理は、（作業者、及び／又は RP スタッフによる）ホット・スポットの特定、続いてラインのフラッシング、若しくはホット・スポットの遮へいを必要とする。これらのホット・スポットは、その性質上、過渡的なものであるため、フォローアップ調査もまた必要である。

フィンランド：休憩室

休憩に費やされる時間を最小化するために、フィンランドのプラントは休憩室を設けており、そこでは作業者は管理区域用の防護服を脱がずに休憩を取ることができる。休憩室はモニタリングのチェック・ポイント（作業者は休憩室に入る前にポータル・モニターを通過し、4 Bq/cm の汚染レベルの基準を満たさなければならない）と更衣室につながる「ステップオフ・パッド」の間に配置されている。休憩室ではトイレも使用できる。この技術によって、「休憩」に費やされる時間はおよそ 50 分から 20 分未満に短縮された。

フランス：不必要な線量の回避

EDF では、ガンマ線ラジオグラフィー検査が行われる場合に、特定手順が適用される：「除外」区域（試験中はいかなる作業者もこの区域に入ることを許されない）が規定され、原子炉建屋内の様々な場所に掲示される共通マップに表示される。この区域の全ての進入箇所には、高放射線リスク及びラジオグラフィー管理のために入場が禁止されていることを示す明確な標識が掲げられる。

EDF は、原子炉建屋のアニュラスのいくつかのレベルに「グリーン（ALARA）区域」を特定している。これらの区域は明確に表示されている。一例を挙げると、このような区域はしばしば、原子炉建屋の人員出入口ハッチのすぐ外側に設けられている。作業者がこれらの区域を必要なだけ頻繁に使用し、しかしそれが過度にならないことを確実にするために、当然のことながらこれらの区域の利用について作業者を教育することが重要である（それらは休憩場所としては想定されていない）。

日本：視覚的注意喚起物の使用

日本では、作業者に対して高／低放射線量の情報を提供するために視覚的注意喚起物を使用している。日本の BWR には、高放射線場（赤色）及び低放射線場（緑色）を示すために、色別の発光管が導入されている。これらの発光管は、柔軟で透明なポリエチレンから作られており、小型の着色電球を約 30 cm 間隔で収容している。これらは、回避すべき区域及び待機場所として利用する区域を示すために、設備、手すり、壁面等に吊り下げることができる。それらはエリア放射線モニターに接続することが可能で、線量率に応じて色が変わるようになっている。下図にはこれらの発光管の使用状況が図示されている。



さらに、九州電力株式会社は、高放射線区域について作業者の注意を喚起するため、及び待機場所についての情報を提供するために、下記の標識を使用している。

- 赤（≥ 0.5 mSv/時）：放射線注意！　近づくな！　立ち止まるな！
- 黄（< 0.5 mSv/時）：放射線注意！　立ち止まるな！
- 緑十字：待機場所（緑色のポリエチレン・シートと併せて使用）。



0. 5mSv/h 以上　　0. 5mSv/h 未満　　緑色のポリシートと合わせて使用

スイス：不必要な線量の回避（Beznau NPP）

Beznau NPP には、同一の部屋若しくは部屋間で分類のレベルが変わった場合、各区画（ゾーン）の分類のレベル、並びに測定線量率（周辺、接触部、1 m 離れた所、等）を表示する標識がある。さらに、管理区域の入口にある保健物理事務所には、原子炉建屋及び原子力補助建屋の様々な箇所における周辺線量率を、ユニットが運転中であるか、若しくは停止中であるかに応じて、表示するマップがある。これらのマップは管理区域内のいくつかの部分にも表示されている。また、管理区域内、特に原子炉建屋内の様々な箇所に、「RP アイランド」が設けられている。線量率が極めて低いこれらの区画（ゾーン）は、作業中の作業者のフォールバック区画（ゾーン）として使用されている。

英国：品目位置図（Sizewell B NPP）

Sizewell B では、原子炉建屋の入口に「品目位置図」が表示されている。全ての中／高放射線区域の部屋は「放射線等高線図」を掲示している。これらには、部屋のレイアウト、弁その他の位置、及び比較的高い放射線区画（ゾーン）及び低い放射線区画（ゾーン）の位置が含まれる。さらに、中／高放射線区域内で作業が行われる、全ての弁、溶接及びスナッバについて、「保健物理情報シート」が作成される。これらには、品目の写真、放射線の条件の概要、接近ルートについての勧告、及びこれらの品目についての作業スケジュールを組む際の最適時間が含まれる。裏側には、品目の位置、それに加えて近傍のホット・スポット、及び低放射線区域を示す平面図がある。主ループ及び弁のマップは高線量率区域の入口の壁面上に掲示されている。これらの、いわゆる線量率等高線マップは、高線量率区域及び低線量率区域を示している。情報シートは、多くのプラント設備について、写真、位置図及び放射線線量率情報を含めて保健物理部門により作成される。作業者はまた、Surrogate-Tour®ソフトウェアにより、作業区域を知ることができる。

エアロックの容量がしばしば、格納容器内に入ることのできる人員数を制限するので、原子炉建屋のアクセス管理はますます重要になりつつある。Sizewell B は警備員により強制される割当システムを採用している、しかしながらあまり効率的あるいは効果的とは言えない、なぜなら警備員として活動する従事者は通常、作業計画についてほとんど知識のない短期受注者であるからである。実施可能な場合には、プラントは格納容器内の人数を管理するために、セキュリティ若しくは線量測定アクセス管理システムを使用すべきである。

7.7 再作業の回避

不適切な設計、建設、計画立案及び実施の結果として再作業の必要が生じる可能性がある。適切な作業管理の一環として、業務を迅速であるが雑に行うことは、作業のやり直し、若しくは問題を是正するための追加作業につながる可能性があることを記憶しておくべきである。

このことは単に同一の作業を繰り返すのみではなく、何らかの 2 次的な影響（例えば、配管内に置き忘れられ、その結果蒸気発生器の伝熱管等を損傷させたネジを除去するための、金銭的及び線量に関する負担）を是正することを必要とするかもしれない。また再作業が行われる前に、原子炉が冷却され、圧力を低下させなければならず、作業後に温度と圧力を上昇させなければならない場合には、このような再作業による遅延は数日に及ぶ可能性がある。この遅延はまた、他の業務からの「2 次的な」線量を生むであろう。他の業務とは、例えば、毎回の起動ごとに繰り返されるプラント操作、及び利用可能時間の増加により進行がさらに遅くなる全ての業務のことである。ALARA の観点においては、個人線量及び集団線量に関してそれらの影響を推定するため、並びにそれらの原因を突き止めて再発を防止するために、全ての再作業を停止期間中に特定すべきである。

電気事業者は、再作業の回避について洞察するに当たって、姉妹プラントにおける繰り返し業務をレビューするために ISOE における情報を利用すべきである。

7.8 廃棄物管理

廃棄物管理は全ての段階（建設、作業計画立案及び作業実施）における作業管理の重要な部分である。不必要な線量を回避するために、計画立案及び作業の実施に際して、ロジスティクス（廃

棄物は作業区域から可能な限り速やかに搬出する)、廃棄物を可能な限り線源に近い場所で分類すること、中間貯蔵の必要性、及び最終処分の方法等の側面を考慮に入れることが重要である。最適化のプロセスには、廃棄物をできるだけ多く浄化し、非放射性廃棄物として扱うようにする、という目的が含まれる。

スウェーデン：RCA 内の放射性廃棄物分類場（Forsmark NPP）

放射性廃棄物を最小限とすることによって線量、費用及び環境への負荷を低減させるために、Forsmark NPP は RCA 内の線源において廃棄物を分類するシステムを導入した。プラント内のいくつかの場所に廃棄物分類場が設置され、そこで作業者は作業により発生した廃棄物を容易に分別することができる。廃棄物を分類することによって、放射性廃棄物として処分する必要のない物質は、より汚染された物質と分けることができる。作業者は明確に定義され表示されたカテゴリーに従って、分類場内の約 10 カ所に分かれた分室に廃棄物を投入する。

分類場では、作業者は例えば下記のように分別する。

- 最大線量率が< 0.3 mSv/時の固体廃棄物
- 線量率が< 0.3 mSv/時の軟質廃棄物（例えば、布、プラスチック、繊維）
- 汚染されていないと想定される物質。これは RP 技術者によりチェックされた後に承認され、「通常の」廃棄物として放射線に関する制約なしに処分することができる。
- 汚染度が低い、若しくは汚染されていない部屋からの物質。
- それぞれ異なる容器に入った電子廃棄物、バッテリー、電球及び蛍光ランプ、化学物質及びスプレー缶

汚染度の低い部屋からの廃棄物は、それが RCA の内部で発生したものであるとしても、しばしばクリアランス・レベルを通過する。その他の物質は、地下処分場、SFR-1 の岩盤空洞内に処分するのではなく、サイトにおける浅層地中投棄として処分することができる。

7.9 作業実施時のフィードバックの収集

作業の実施段階におけるフィードバック・データの収集は、着手されようとしている作業に情報提供する上で不可欠である。リアルタイムのフィードバックは、継続的な線量評価、作業の最適化、及び線量測定の「ドリフト」の際の是正措置の迅速な実施を可能とする。線量測定結果は、例えば原子炉建屋の入口、又は更衣室内等の目につきやすい場所に表示すべきである。停止時に、実際の及び予測された集団線量の漸進的変化の比較を提供することは、プラント全体の ALARA 努力への作業者の参加を促すものである。停止の目標に到達することに向けて作業者を動機付けるために重要なメッセージを付け加えることができる。例えば、英国及びフランスにおいて、いくつかのプラントは停止時における実際の及び予測された集団線量の漸進的変化の比較を毎日表示する実験的な試みを行ったが、そのことは作業者によって極めて好感を持って受け止められている。フィードバックについては、第 9 章に全て説明する。

日本：従事者の資格認定及び被ばくモニタリング・システム

日本の全ての原子力発電所はプラントに対して下記を可能とする従事者被ばくモニタリング・システムを有している。

- 管理区域の入口において作業者の情報を確認する（ID、現在の年間被ばく、訓練及び健康診断の履歴)。
- 立入ごとに個人被ばくを電子式線量計によってモニターし、それを線量限度と比較する。
- 管理区域における個人線量、及びその中で費やした時間を収集する。
- 被ばくを個人、作業コード、又は作業者グループ別に分類する。

ルーマニア：DOSERECORDS システム（Cernavoda NPP）

作業者の線量の記録及び保管は規制により義務付けられている。放射線防護部門は管理区域に入った全ての人（従業員、短期作業者、受注者及び訪問者）に対して、個別の（外部及び内部）線量測定監視を行う。電子及び紙ベース上の正しい、完全な線量記録について、全ての分析結果及び個人 ID を保存するために、DOSERECORDS と呼ばれるデータベースによってデータ管理が行われる。各従業員、保健物理スタッフ、及び規制者は線量情報にアクセスし、報告書を作成することができる。

スイス：PERDOS ソフトウェア

Beznau 原子力発電所における PERDOS（従業者線量データ収集、モニタリング及び報告ソフトウェア）システムにおいて、電子式線量計はプラントのコンピューター・システムに接続され、それによって個人の線量測定がほとんどリアルタイムにモニターされる。特に、このプログラムは下記に使用される。

- 各作業者（NOK のスタッフと外部の受注者の両方）の線量測定を、1 年当たり（1989 年以来）、1 月当たり、1 日当たり、又は業務当たり（日付、時間、及び区域内にいた時間が入手可能）についてモニターする。
- 作業者が被ばくしていた最大の線量率を決定する。
- 作業者グループごと、受けた線量のレベルごとにシートを分類する。
- いくつかの具体的なデータを安全及び放射線防護当局に直接送付する。
- 停止期間中などの集団線量の予測値と実際の値を比較する、等。

英国：Sizewell B 工学的コンピューター・システム（ECOS）

Sizewell B 発電所は、運転に関する保健物理担当者が使用できる、プラントをモニターするための強力なツール（工学的コンピューター・システム（ECOS））を使用している。ECOS はプラントに設置された約 20,000 個の様々なセンサーからの、2 秒間ごとの読取値を記録する。保健物理担当者にとって直接関係があるのは、エリアガンマ放射線モニター、格納容器の放射能レベル、スタックの放射能レベル、及び HVAC ダクトにおける放射能レベルである。系統の温度、圧力、タンクとサンプの水位、弁の位置、及びポンプの運転状態についての情報もまた入手することができる。全てのデータはリアルタイムで入手されるか、若しくは履歴のレビューのために読み出すことができる。

7.10 要約

質の高い作業の実施は効果的な作業計画立案及び準備の目標であり、また特定のタスクに関連する費用、時間、及び線量に影響を与える重要な機会である。作業管理の原則は、この段階で適用されるのであれば、作業のこれらの 3 つの側面を最適化することの助けとなりうる。作業プロセス管理の活用、作業者への適切な情報の提供、フィードバック情報の収集、及び作業者の動機付けは全て、効果的な作業管理が、いろいろな意味で最適化できる分野である。

8. 作業の評価及びフィードバック

作業管理の理念は、スケジュール作成、計画立案、実施、評価、フォローアップ、教訓による修正、及び着手されるべき次の業務のためのプロセスの繰り返し、そしてそれによる作業サイクルを現在の技術の進歩に合わせて漸進的に最適化することから成っている。「評価及びフィードバック」は作業の最終段階であり、同時に連続的なループの最初の段階である。

8.1 序文

一般的アプローチにおいて、作業の実施に関して完全なフィードバックを提供するためには、2つのレベルの情報が必要となる可能性がある：プラント内のパフォーマンスの分析により成る「内部」レベル、及び新しい概念の交換を促進する、そして同様な形式を有する他のプラントと比較して、そのプラントの状態を評価することを可能とする国内、及び／又は国際的なデータを提供する「外部」レベルである。

例えばプラント内の放射線被ばくモニタリング・システム・データベース、あるいは是正措置プログラム、及び ALARA 慣行についての、全社的、全業界的、及び国際的データベースなど、業務の線量評価のためには様々な情報源が使用可能であるかもしれない。業務レビュー、及び適切なフォローアップは全てのタスク進展の最も重要な部分である。ISOE データベースはーーそれは原子力発電所の職業被ばくに関する世界最大のデータベースであるがーーベンチマーキング分析及び被ばくトレンドについて、重要な世界規模の情報資源を提供する。

通常、フォローアップは次に検討中の作業の実施に直接つながるであろう。良好事例及び改善領域の両方の教訓は、入念に収集され、作業チームの間のみならず、プラント、業界及び国際レベルにおける同業者と交換されるべきである。RP マネージャーは入手可能な情報源を全て認識し、それらを有効に活用すると同時に、彼ら自身の情報及び経験を分かち合うべきである。最後に、作業管理の実施は、それが適切に機能していることを確実にするために定期的に監査すべきである。

8.2 業務レビュー及びフォローアップ

業務後のレビューの範囲及び性格は、より大規模な業務は、より小規模な業務よりも綿密なレビューを要することから、レビューされる業務に応じて変化する。業務のレビュー担当者に対する手引きを与えるために、どの業務をレビューするべきか、についての助けとなる柔軟な基準を確立すべきである（例えば、総集団線量、総工数、総集団線量及び／又は総工数の過大若しくは過小評価の百分率等）。一般に、レビューは分野横断的チームにより実施されるべきである。業務のどの側面が適切に若しくは不適切に実施されたか、及び将来においてはどれがより良く、そしてどのように実施され得るかを定めることがレビューの目的であるべきである。

作業を実施した作業者は、どうすれば作業の改善ができたか、あるいはどうすれば遭遇した問題にもっと適切に対処することができたか、について彼らのフィードバックを直接提供すべきである。かかる情報は、業務後のブリーフィングという形で収集することができる（附属書 4）。停止の終了時に受注者との間に特別会議を設定することも可能であるが、しかしその場合には作業の完了後もサイトに留まるため、受注者への支払いが必要となる可能性がある。

停止期間中に利用可能な、被ばくを低減させるための多様な措置を作業者が提案することができる「提案書式」（附属書 5）を利用するのもまた、関連するフィードバックを収集するよい方法である。このような書式に記入することを作業者に奨励するためには、彼らの提案がどのように分析され、それらがどのようにして考慮に入れられたかについて、彼らにフィードバックすることが必要である。これらの書式の管理については適切に体系化されなければならず、また提案を収集し分析する責任を有する担当者（若しくは担当グループ）を指名することが重要である。

技術的及び放射線防護データを含む停止報告書の作成は不可欠である。かかる報告書は、停止時の目標からの逸脱の原因（肯定的若しくは否定的な意味において）、改善に対する勧告、及び「良好事例」の特定を含まなければならない。これらの報告書は停止組織内に広く配布すべきである。

作業管理ループを閉じるには、業務のフィードバックの取り込みを確実にするメカニズムが必要である。適切な勧告が実施されることを確実にするために、追跡リスト等の公式システム、若しくは、次に続く作業の準備及び計画立案を適切に行うために業務後レビュー・チームをただそのまま維持するという非公式システムが使用されてきた。いずれのケースにしても、業務後レビュー・チームからの入力は、作業の適切なフォローアップのために不可欠である。

停止期間の後に、停止の分析、実施すべきフォローアップ措置の特定、及びそれらの措置を完了するための責任の割当を扱う、1 つ以上の分野横断的会議を開催することは有用になりうる。これらの決定は、ALARA 委員会（存在する場合）、若しくはより一般的な「停止分析」グループによりなされる可能性がある。いずれのケースにしても、かかるフォローアップ・グループは、その役割が停止のフォローアップから、次の停止が来るときには停止の計画立案に切り替わるような、継続ベースで存在すべきである。これは停止と停止の間の経験の適切な連続性を確保することの助けとなる。一般に、ほとんどの国にはこうした通年の包括理念が存在するということは指摘しておくべきである。

日本：RV 炉内構造物の取替（伊方原子力発電所）

2004 年に、伊方 1 号機において炉内構造物（CI）の取替が行われた。総線量は計画線量の 1/10 未満であった。主な寄与要因は、CI 貯蔵容器のより低い線量当量率、並びに入念な業務前検討、モックアップ訓練、仮設遮へい（RV 上蓋カバー及び原子炉キャビティ内の作業者待機場所）、格納容器の底板を設置するための遠隔操作、及び RV 上蓋の線量当量率についての警報標識等、放射線被ばくを低減するための様々な対策である。教訓は伊方 2 号機の類似の業務に取り入れられた。主な改善点は下記に基づくものである。

- 容器のプレートを乾燥させ、溶接密封するために使用される作業場所を、格納容器内から線量率がより低い新しい保全建屋に変更。
- 特定の作業を部分的に最適化することにより、及び経験豊富な作業者を採用することによる作業時間の短縮。

2 号機の総集団線量は、容器の表面におけるより高い線量率（1 号機：0.6 mSv/時、2 号機 0.70 mSv/時）と 2 号機におけるわずかに高いソース・タームにより、1 号機のそれよりもわずかに高かった。

伊方 1 号機及び 2 号機における CI の取替についての線量

		実績	計画
総線量（人・Sv）	1 号機	0.14	1.8
	2 号機	0.21	0.28
最大個人線量（mSv）	1 号機	4.50	20
	2 号機	6.58	20

日本：計画立案、作業レビュー及びフォローアップを伴う ALARA ターゲット・プロセス（東京電力株式会社）

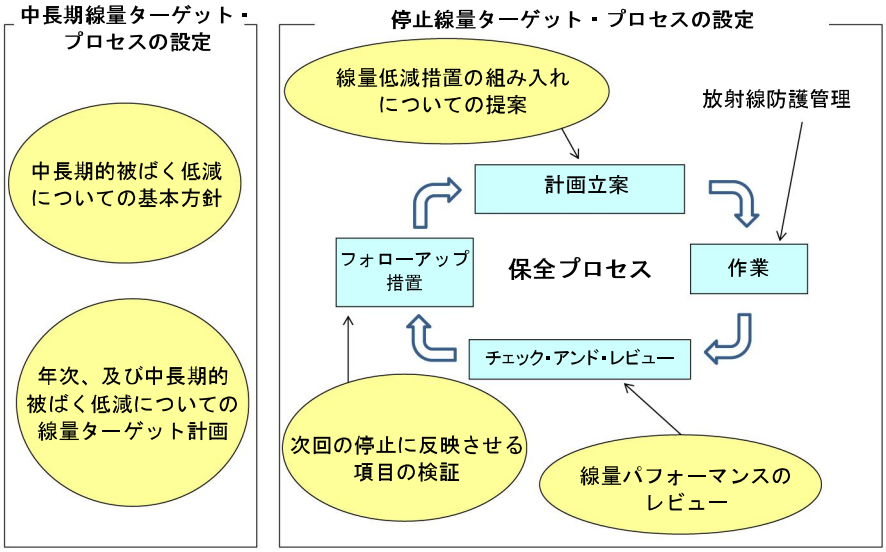
ALARA プログラムを改善するために、全てのサイトからの RP、化学及び保全スタッフにより構成される、線量目標管理ピア・チームが組織されている。従来型の ALARA プロセスが次によって再編成された。

- 「現状の」ALARA プロセスをレビューする。
- 「現状の」及び「あるべき」プロセス間のギャップを特定する。
- 計画立案時及び停止後の段階における、RP 及び保全作業プロセスの間のインターフェースに焦点を当てる。

その目的は ALARA の考慮事項を、より効率的に、効果的に作業プロセスに取り入れることである。チームは以下の 2 つの主要なプロセスを改善することを目指している：中長期線量目標の設定、及び停止時線量目標の設定。この 2 番目のプロセスは次の 3 つの業務ステップに焦点を当てている：作業計画立案、レビュー及び停止後。これらのステップにおいて、RP スタッフは保全スタッフ／受注者と下記に関して情報のやり取りをする。

- 停止の契約前の線量低減対策案
- 詳細な作業スケジュールに関する情報
- 教訓を含む停止報告書

プロセスは 2007 年以来実施されている。



ルーマニア：停止報告書（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP では、計画停止に際しての全ての活動は承認された作業計画に基づいて実施される。各活動が実施されている間は、関連する全ての側面を追跡し、記録する者が 1 人指名される。作業の後に報告書が作成されるが、それには問題、及び作業が作業計画に基づいて実施されたかについて記録する。完成した停止報告書は、停止の終了時に提出されるが、それには下記が含まれる。

- 関与した従事者
- 線量ターゲット（推定集団線量）及び受けた集団線量
- 推定値よりも多かった、あるいは少なかった集団線量を伴うタスクの分析
- 作業グループ内の線量分布
- 全てのタスクについての集団ガンマ線量（累積及び日ごとの）
- トリチウムの摂取による集団内部線量

報告書は全てのプラント従事者及び規制機関に対して提供される。是正／予防措置は結論に基づいて策定される。

米国：加圧器ヒータスリーブの取替（San Onofre NPP）

2004 年に San Onofre 3 号機は、2 つの加圧器ヒータ及び 600 合金スリーブを取り替えた。大きな課題は、放射線被ばく及び汚染管理であった。工学的措置は、鉛遮へい、HEPA 換気、真空、作業区域封じ込め、及びスリーブ取り付けから成った。改善された作業慣行、遠隔線量測定、並びにスリーブ、サージ・ライン、及び作業足場の仮設遮へいによって当初の線量推定値 816 人・mSv（81.6 人レム）から 170 人・mSv（17 人レム）の被ばく低減を達成した。停止時の総被ばくは、645 人・mSv（64.5 人レム）、最大個人被ばくは 16.85 mSv（1685 mRem）であった。Palo Verde における類似の作業から学んだ教訓が自由に共有され、San Onofre にとって非常に有用であった。

San Onofre 2 号機での作業には、全ての 690 合金製加圧器ヒータスリーブの取替が含まれていた。最初の 3 号機の加圧器ヒータハーフスリーブ補修プロジェクトと現在の 2 号機のノズル取替との間に相当な作業過程の改善が行われた。2 号機の集団線量推定値は、390 人・mSv（39 人レム）であった。総予測被ばくは、約 300 人・mSv（30 人レム）であり、これは 3 号機の 50%以上の低減という結果になった。溶接請負業者による作業者慣行は、著しく向上した。溶接作業要員の大多数は、以前の Palo Verde 加圧器ヒータスリーブ補修プロジェクトに関わっていた。経験豊富な作業者の使用は、放射線量の大幅な低減をもたらした。主要な成功は、ベンダーが使用した工具の改善、モックアップ訓練、経験豊富な作業者、及び作業計画立案であった。

8.3 運転経験データベース

業務後レビューは、作業者のフィードバックを得るために重要であるが、運転及び基本データの収集、保存、及び分析のためのコンピューター・データ管理システムの使用は、フィードバックが効率的で、完全であり、記録され、ベンチマーキング及び分析に利用可能であることを確実にするために不可欠である。このようなシステムには、労働時間、マンパワー、装置、線量など、特定のタスク若しくはタスク種類に関連するデータを含む、内部及び外部データが有用である。内部レベルでは、このデータは作業前、中、及び後に直接収集することが可能である。運用線量測定システムに最も容易に関連している、コンピューターをベースとするシステムは、この種の情報の収集に非常に効率的である。

高放射線被ばくの可能性を伴う業務の放射線防護措置を最適化するために、作業時間及び関連する線量の段階的な評価が良好事例として受け入れられている。このような計算の結果は、作業進行の追跡に有効な手段を提供し、起こりうる問題の早期認識を可能にする。このためには、オンライン式コンピューター・ベース線量評価システムが必要であり、作業許可システムと連動して、線量、進行中作業の状態、及び作業現場の時間（管理区域の時間のみならず）を与えるべきである。関係する異なるチーム（機械、電気、足場、保健物理、産業安全、など）は、これが類似タスクの計画立案の有益な基盤を形成するので、全ての利用可能な経験の収集を支援するべきである。データは、計画立案及びスケジュール作成に寄与する全ての施設に公開されなければならず、また作業状況の更新は、業務に関連する全ての組織グループの責任でなければならない。

全ての業務、機器、作業区域関連情報の適切な文書化は、評価段階において使用することができる運転データベース及び次回停止の準備に必要な入力である（第 5 章及び第 7 章）。できる限り完全な運転経験データベースを作成するために、線量測定データ、運転の一般的進行に関する情報などを含む、広範囲で分野横断的なデータを収集することが重要である。このことは効果的なベンチマーキングを可能にし、予期しない事象及び予測線量と記録線量間の差異の分析を可能にする。このようなデータベースは、地方、国、及び国際レベルで存在している。

このようなデータ収集に関する困難の 1 つは、コンピューター・データベース・システムへのデータ統合に多くあるというより、むしろ生データの直接捕捉にある。1 つの効率的な手順は、放射線防護スタッフ若しくは業務の現場監督によって運転終了時に系統的に完成された記録を使

用することである。関連情報は、線量測定データ（総集団線量、個人線量、など）、作業環境を記述するデータ（周辺線量率、汚染、防護服の種類、「業務人間工学」、など）、並びに、適切な場合、経験した誤動作の正確な詳細、それらの原因、及びそれらを時間及び線量測定の観点から見た影響の数量化を含む。これは過去の経験の分析に使用される最終情報の品質及び精度に影響するので、これらの記録の完成に特別な注意を払うべきである。責任者に対する強制と見られないように十分に単純である一方で、これらの記録は、データ処理システムに容易に組み入れられるように設計されていなければならない（データ捕捉に関する質問の時系列順の計画、可能な場合特定の変数の事前コーディング、など）。

ISOE：ISOEDAT 世界職業被ばくデータベース

ISOE プログラムへの参加者は、29 か国の 470 の原子炉ユニット（運転中及び廃止措置中）における詳細な被ばくデータを提供する、原子力発電プラントにおける職業被ばくに関する世界最大のデータベースにアクセスできる。データベースには ISOE ネットワークのウェブサイト（www.isoe-network.net）を通じて若しくは CD-ROM でアクセスすることが可能であり、これはユーザーが、年間集団線量、停止時線量、業務別線量などを基礎として、線量結果を、様々な NPP（原子炉の種類別、姉妹グループ別、など）に対してベンチマークすることを可能にする。データベースには RWP 人時間及びいくつかの特定の線量率に関する情報も含まれている。各 NPP について連絡窓口が特定されており、より多くの情報が必要な場合、参加者が直接プラントに連絡することが可能である。

フランス：業務終了報告書

EDF プラントでは、受注者は高線量業務に関する「業務終了報告書」を作成しなければならない。これらの報告書は、RP 部分に関する以下の情報を含む（技術的部分もこの報告書に含まれる）：計画被ばくと実際の被ばく間の比較及び差異の説明、線量率及び汚染マップ、事故の特定、RP 措置、良好事例、など。

英国：教訓の捕捉（Sizewell B）

Sizewell プラントでは、各ユニット停止の約 1 か月後に（受注者を含む各グループの）全ての HP 参加者が、学ぶべき教訓を確立するために会合を持つ。補足的に、彼らは「教訓」データベースから情報を取り出すことが可能であり、このデータベースは希望する者は誰でも入力することができる（紙及び電子的な形式両方が利用可能である）。停止期間中に実施される主要業務、特に線量評価、線量測定結果、個人汚染事象、教訓（うまくいったもの、いかなかったもの）、及び次回停止のための勧告を含む、業務前 ALARP ブリーフィングが実施された業務に関する具体的な HP フィードバック経験報告書も作成される。さらに、一般的な「HP 停止報告書」には、放射線防護及び放射性廃棄物の側面が関係する限り、最後の停止が要約される。この報告書には良好事例及び改善が必要な領域が強調されている。この報告書は、検査官（NII）、発電所マネージャー、FMA 及び RWE（受注者作業者グループ及び HP 下請者）、British Energy HP 本部、ランドリー、などへ送付される。

8.4 ALARA 慣行の比較

作業評価に関して、作業を評価するために使用される指標及びそれらを判断する際にベンチマークとなるものは、多面的でなければならない。例えば集団線量及び個人線量の分布は、その他の指標、例えば人時間、作業者数、作業時間、必要とされた再作業、遅延、及び問題などを伴わなければならない。このようなベンチマーク及び指標には、業務前及び後の ALARA 分析、履歴データ、及び他のサイトのデータが不可欠である（第 5.6 節及び第 7.9 節参照）。

業務後レビューにおいて収集される情報及び運転経験データベースに含まれる情報をもとに、同じ NPP フリート内部の ALARA 慣行及び業務集団線量並びに、時には異なるプラント設計間の類似業務を比較することが可能である。ISOE 職業被ばくデータベース内で行われたように、様々なプラント設計を姉妹グループに従ってグループ分けすることによって、共通の比較基準を設定することが可能である。ALARA 関連パラメーター、例えば線源若しくは初期線量率及びプラント系統構成は、計画立案のための初期条件の決定を支援することができる。

活動を分析し、ベンチマークする場合、構造化された方法を採用するべきである。措置を必要とする最も重要な領域を特定するために、再作業若しくは事故の原因の分類を使用することができる。特定の活動に関して、「時間-動作」研究は、手順の実施に使用される手法及びプロセスの全体効率を向上させるターゲット領域の評価を可能にする。これらの研究は、作業ステーションの設計、改善作業法の開発、及び時間基準の確立など、その他の領域も扱う可能性がある。

おそらく異なる周辺線量率で数回実施された作業の線量傾向の分析のために、線量を基準周辺線量率との関連で「規格化」する必要がある。この規格化は、各業務に費やされた実際の被ばく時間の特定を可能にする。ここで、この種の分析は、作業が同じチームによってより高い線量率で行われた後に低い周辺線量率で実施される場合、作業者がある一定の被ばくレベルに慣れていたので、この区域で必要以上の時間を過ごし、線量率がそれほど大きくない場合、あまり注意を払わない傾向があることを示したことが注目される。この事実は、実際の線量率を考慮して、各介入前に推定線量を作業者に提供する必要があることを指摘している。

ISOE ネットワークのウェブサイトは、ISOE 参加者にとって、重要な業務（例えば蒸気発生器の取替）に関する経験を検討、共有し、共通の問題について議論する若しくは、例えばベンチマーキング訪問を計画するために、世界中の NPP の放射線防護専門家間の接触を確立するために重要な資源でもある。年間線量若しくは停止時線量の分析は、実際の RP 経験を共有するために、訪問するべき「最良の」プラントを選択するために使用することができる。

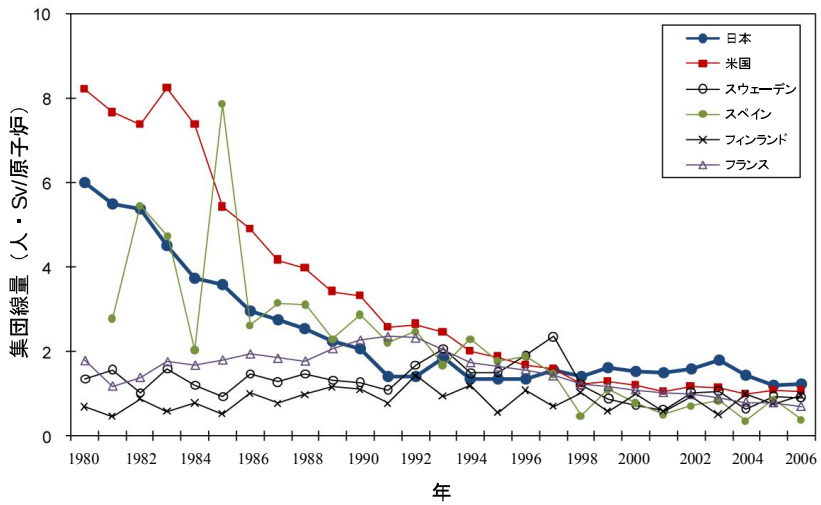
カナダ、ルーマニア：CANDU オーナーズ・グループ

CANDU オーナーズ・グループ（COG）によって管理されている保健・安全・環境（HS&E）R&D プログラムは、カナダの CANDU 原子炉所有者、ルーマニアの SNN、及びカナダ原子力公社が合同で資金拠出している。プログラムは、作業者、公衆、及び環境に対する放射線被ばくリスクの確立を含む、放射線モニタリング、放射線防護、及び線量測定に関連する問題を扱う。多種の CNSC 諮問及び規制文書要件の順守は、プログラムを推進する重要なものである。

日本：ALARA 慣行の ISOE との比較

ISOE 職業被ばくデータベース及び経験交換ネットワークは、ALARA 慣行を比較する優れた機会を提供する。ISOE データベースを使用して、日本の原子炉当たり平均集団線量は 1990 年代早期以来減少しなかったが、一方、その他の諸国（例えば米国）では相当に減少したことが認識された。

運転原子炉の原子炉当たり平均集団線量、1980～2006 年（ISOE、2008 年）



ATC は、この状況の理由を知るために、日本の電気事業者と協力して ISOE 連絡網を通じて質問表を送付した。次に、2005 年 ISOE 国際 ALARA シンポジウムにおいて ATC は、米国電気事業者へのベンチマーキング訪問を調整する可能性について NATC と協議した。NATC 及び米国電気事業者の協力を得て、2005 年及び 2006 年に一連の訪問が成功裏に実施された。結果は、2007 年 ISOE 国際 ALARA シンポジウムで ISOE メンバーと共有された。日本のより高い被ばくの理由は、日本とその他諸国間の運転サイクル、燃料取替停止期間、及び保全基準の差異を含む。日本で許可される運転期間は 13 か月以内、プラント停止期間は約 2〜3 か月であり、これはその他諸国のそれより約 2 倍長い。

8.5 フィードバック経験の共有

プラント・レベルで入手可能な情報を補完するために、プラントが同じ電気事業者の他のプラント、及び国内・国際的なレベルで他の電気事業者のプラントと連絡を取り合っていることが必要である。放射線防護会議、地域及び国際的なユーザー・グループ、経験交換情報網、ISOE ネットワーク・ウェブサイト（www.isoe-network.net）などのインターネットを基盤とする情報システム、及び ISOE 国際及び地域 ALARA シンポジウムのようなトピカル・シンポジウムへの参加は、情報交換を助け、作業者が新しい技術を認識することを可能にする。これは線量を ALARA に維持する努力を強く支援する。

ドイツ：VGB

ドイツでは、全ての主要なドイツ電気事業者（原子力若しくは非原子力）及び一部の他の欧州諸国の電気事業者を集める組織（VGB）が創設された。全てのドイツ原子力発電所を代表する保健物理マネージャーの VGB グループが存在する。このグループは、1 年に 2 回プラントの 1 つのサイトで集まる。通常の協議項目は下記を含む。

- 情報、経験の交換
- 特別放射線防護措置の報告
- 規制の進展
- 特定の放射線事項の議論：ベータ線量測定、内部線量測定、ALARA 主題、ISOE

ルーマニア：OPEX プロセス（Cernavoda NPP）

Cernavoda NPP では、全ての従業員はニアミスを含む観察された異常な状況を報告しなければならない。多くの従業員は、CANDU オーナーズ・グループ（COG）ウェブサイトの「情報・交換」フォーラムに登録されており、他のプラントで発生した外部事象について通知される。他のプラントで発生し、Cernavoda でも発生する可能性がある事象は、Cernavoda での異常な状態として発表され、それらの発生の可能性及び是正措置の必要性について分析される。異常な状態は OPEX グループによって分析され、「軽微」、「重要」若しくは「事象」に分類される。最後の 2 つのクラスはさらに分析され、直接原因、寄与因子、及び是正措置が系統的に確立される。「事象」は、根本的原因を確立して再発を防止するために、部門間チームによってレビューされる。作業者は、業務前に外部及び内部情報源からの全ての情報の概要を要点説明される。是正措置は、品質管理部門が徹底的にフォローアップする。異常な状態の測定基準及び実施される措置は、発電所／部門のパフォーマンス指標と共に毎月報告される。1 つの指標が目標を下回った場合、是正措置が開始される。

8.6 プログラム監査

最後的に、作業管理実施のシステム全体は、それが適切に機能していることを保証するために定期的に監査されるべきである。さらにまた、非常に公式なものから非常に非公式なものまで、多くのシステムが使用されてきた。監査システムは、当該の電気事業者に属する全プラントの全体像を得るために、プラント・レベルで内部的に、あるいは関係がある場合、会社レベルで組織される可能性がある。内部監査プログラムは、国の規則並びに電気事業者の社内規則及び目標の順守の検証を含むべきである。

IAEA によって組織される OSART（運転管理評価チーム）視察団若しくは WANO によって組織される相互レビューなどの外部監査もまた、プラント間の情報交換に寄与しながら、他のプラントから監査を受けたプラント専門家を参加させて監査の「独立性」を促進するので、非常に有用である。

- OSART 視察団は、関連する IAEA 加盟国の要請によってのみ実施され、運転上の安全性に不可欠な項目の審査に対して行われる。視察団は、プラントの特定のニーズに合わせて調整される。フルスコープ審査は、以下の 8 つの運転領域を扱う：マネジメント、組織及び管理；訓練及び認定；運転；保全；技術支援；放射線防護；化学；並びに緊急事態計画。個別ニーズに応じて、OSART 審査は、全ての項目を扱う、あるいは 2～3 の特別関心領域に対して行うことが可能である。OSART チーム・メンバー及び彼らに対応するプラント員の作業の非常に重要な機能は、プラントの運転慣行と最良の国際慣行との比較及び運転上の安全性を強化することができる方法の合同レビューを含む。
- WANO によって組織される相互レビューは、WANO メンバーが、事業者外部の独立チームによる自社の運転の徹底的、客観的なレビューを通じて、自社の運転パフォーマンスを最良の国際慣行と比較する支援を行うことを目指している。プラントの要請で実施されるレビューは、他の原子力発電所のスタッフから成る国際的なチーム、言い換えればレビューを受ける発電所スタッフと同業の者によって実施される。チームは、重要な領域のプラントのパフォーマンスを特定のパフォーマンス目標及び基準に従って検査する。WANO 相互レビューは、メンバーに安全な、信頼性の高いプラント運転への最良の世界規模の知見を学び、共有し、それによって自身のパフォーマンスを向上させる機会を与える。

フランス：放射線防護パフォーマンス及び管理の評価のための EDF 方法論

EDF 内部では、各サイトの放射線防護パフォーマンスを、主にプラントの年間集団線量及び放射線清浄度の結果に関連する数値指標を使用して評価している。放射線防護管理は、6 つの主要なテーマを扱う質問表を通じて評価されている。

- プラント管理チームの放射線防護への参加意欲及びその活動欲の程度の特性評価
- 放射線防護管理の品質
- 現地及び外部作業者の放射線防護への関与
- 保健物理部門の能力及び効率性
- 放射線防護の運用管理
- 放射性物質輸送プロセスの堅牢性

スウェーデン：OSART の結果（Forsmark NPP）

2008 年に Forsmark NPP で OSART 視察が実施された。この視察団は、安全の全側面及び放射線防護プログラムを調査した。視察団の報告書は、他の NPP が適用するべき良好事例及び責任当局が検討するための改善勧告を特定している。報告書は、スウェーデン当局のウェブサイト上で入手可能になり、視察団の結果をさらに広く共有することが可能になった。

8.7 要約

作業の業務後評価並びに適切かつ必要なフォローアップ措置の綿密さは、タスク進展の最も重要な部分の 1 つである。このような評価を適切に実施するために、ある種のベンチマーキングが役立つ。原子力発電産業における広範囲の経験と共に、国家及び国際的な運転経験のデータベースは、全ての国のプラントによるベンチマーキングを支援する強力なツールとなった。業務後レ

ビューに関しては、分野横断的チームにレビューを実施させ、受注者を含む作業者からの直接的な情報入力をできる限り多く含めることが重要である。次に、勧告及び教訓のフォローアップが、理想的には、業務後レビューを実施した同じ分野横断的チームによって実施されるべきである。通常、フォローアップは、ある種の終結（業務概念、スケジュール作成、計画立案、実施、評価及びフォローアップ、教訓による業務修正、スケジュール作成、計画立案、等）が発生し、業務が漸進的に最適化され、現在の技術的発展に対応するために適切に修正されるように、検討中の作業の次の実施に直接つながる。

9. 継続的改善の確保

作業管理は相互作用プロセスであるが、それはまた前向きのものであり、高いレベルの放射線防護を確保して、維持するために継続的な改善及び継続的な注意を求めている。したがってこのような改善は、線量が ALARA に保たれることを確実にするために、教訓及び進行中の技術的進歩を、情報及び経験の交換を通じて組み込み、今後の作業活動のみならず、長期的には新しい設計、建設、及び運転についても情報提供しようとするものである。

9.1 序文

原子力エネルギーの発電への利用の歴史を通じて、職業放射線防護は常に関心領域であった。1980 年代に起きた急速な被ばく低減に伴い、職業線量は以前のレベルの約 1/4 まで低下した。それ以降の継続的努力は、さらなる、しかし漸進的な低減をもたらした。この継続的改善は、電気事業者及び規制当局の努力のみならず、技術革新によっても可能になった。1990 年代以来、ISOE などのプログラムを通じた、情報及び良好事例の交換における国際協力の進展、並びに ICRP 勧告に詳述されている ALARA 精神の普及も被ばく低減に大いに寄与した。

被ばく低減に関連する一連の技術が多様な分野に存在する。これらは、ソース・ターム低減技術、除染技術、並びに機械化、自動化及び遠隔モニタリング技術を含む。放射線防護及び作業効率性向上のための技術は、既出の章に示されているように、原子力業界で広く実施されてきた。しかし、このような技術の開発及びさらなる適用は、（潜在的に重要度が高まっている）新規建設若しくは新規設計プラントにおける被ばく低減、原子炉の高経年化及び寿命延長に関連して必要と予測される大規模改造工事、並びに原子炉廃止措置を含む、将来重要となる放射線防護問題の観点から検討されるべきである。

これらの技術及びそれらの応用の一部の例は、既出の章で論じられた。本章では、特に新しい原子力発電所建設（設計及び建設）を考慮して、職業放射線防護の継続的改善の確保に関連性があると見なされる追加的な注目すべき技術及び作業管理側面を要約する。これらの技術及び作業管理側面の大部分は現在運転中のプラントにおけるさらなる被ばく低減にも適用可能であることに留意するべきである。

9.2 新規原子力発電所の設計及び建設におけるソース・ターム低減

クリーン・プラント

原子力発電所の線量率を低く保つために、炉心内に持ち込まれ、その後放射化する可能性がある腐食生成物の量を可能な限り低いレベルに保つ、言い換えると原子炉を設計及び建設段階から「クリーン」に保つことが重要である。このような努力は、系統配管及び機器の健全性の向上にも寄与する。

日本：クリーン・プラントのための措置（女川、柏崎刈羽、及び浜岡 NPP）

日本では、女川、柏崎刈羽、及び浜岡を含む原子力発電所で汚染防止措置が取られてきた。女川 NPS は、1 号機の建設以来、「クリーン・プラント・キャンペーン」の下で策定された様々な対策を通じて、最小限の被ばくをもたらす、高信頼性クリーン・プラントの実現に取り組んできた。確認された対策のうち、「クラッド低減対策」は、クリーン・プラント実現の最優先項目に位置付けられ、徹底的に実施された。

クラッド低減対策は、「クラッド発生管理」及び「クラッド除去」に分類することができる。女川 NPS で実施されている措置は、1 次系配管の「保管管理」を特徴とし、これはクラッド除去のために実施された措置に加えて、クラッド発生管理措置の一部として徹底的に実施された。系統の条件が建設／試験／試運転期間の特徴によって変わるので、女川 NPS は、その特定の条件に最適の保管法を選択した。例えば、配管及び機器内部の腐食生成物の発生は、系統配管の状態に応じて、ヒドラジンを使用する満水保管法（純水のみでの満水保管を最大限に回避する）及び除湿空気を使用する乾燥保管などの措置を採用することによって、可能な限り抑制された。加えて、適切な保管状態を監視するためのシステムが開発された。このような対策の結果として、女川 NPS は、原子炉内に持ち込まれるクラッドの量を極めて低いレベルに制限することができた。現在、女川 NPS はその他の線量低減措置との併用によって、トップクラスの極めて低い線量率を維持している。

低コバルト材の採用

職業放射線被ばくの主要な源であるコバルト線源は、コバルトを不純物として含有するステンレス鋼、ニッケル基合金、及びステライト（コバルト基合金）である。ステンレス鋼は、1 次系統の主要な構造材として大量に使用されているので、そのコバルト含有量は非常に重要である。主にコバルトで構成されるステライトは、その腐食生成物の放射化を通じて Co-60 を発生させ、したがって職業放射線被ばくの主要な源である。腐食生成物の発生を抑制するために、優れた耐食性を持ち、コバルト含有量がより少ない材料を使用することが重要である。材料の Co 含有量を低減する努力が世界中でなされ、多くのプラントは、制御棒系のピン・ローラー、給水加熱器の加熱管（ステンレス鋼）、燃料バネ（インコネル）、原子炉システム用の一部のステンレス鋼材などの適用において、そのような材料をコバルト含有量のより低い材料と取り替えた。例えばドイツの最新の KWU 原子力プラント（KONVOI）の原子炉容器内部に使用されたステライトの大部分は、1 次冷却材配管系の線量率を大幅に低減するために、コバルトを含有しない材料と取り替えられた。

低コバルト材の使用は、設計段階から考慮される必要があり、腐食しやすい環境に置かれる表面積の大きい材料には特に重要である。低コバルト材及びステライトの代替物質が開発された。例えば EPRI は、原子力発電プラントのバルブに使用されるステライトの代替品として表面硬化 NOREM^{TM} 鉄基合金を開発した。それらの使用は、職業被ばくの一因となるコバルト放射線源の低減を可能にする。

配管内部の表面処理

配管内の放射性物質蓄積は、事前にステンレス鋼表面に酸化膜を形成することによって予防することができる。材料表面の平滑化によって付着表面積を縮小することも汚染物質の蓄積防止に効果的である。クラッドの付着は、原子力発電所建設中又は配管・機器の取替で行われる機械研磨の後にステンレス鋼配管内部を電解研磨することで防止することができる。例えば、米国の Browns Ferry 1 号機の再起動のために、バルブ及び配管が機械研磨、電解研磨された。フランスでは現在、古いプラントで取り替えられた蒸気発生器及び新規 EPR 原子炉に対して蒸気発生器チャンネル・ヘッドの電解研磨が実施されている。

フィルターの設置

(a) 中空糸膜フィルター

中空糸膜フィルターは、直径約 0.1 μm の多数の微細孔を持つ、外径約数百μm～1 mm の極めて細い中空糸ポリマー材で構成されている。単位体積当たりろ過面積が極めて大きいこと（その他の薄膜フィルターより 10～100 倍大きい）を特徴とし、中空糸膜フィルターは、ろ過設備のサイズをその他のろ過方式より小さくすることができる。

このタイプのフィルターは、起動前の浄化時間を短縮する目的で、BWR の復水系において 1986 年に日本で最初に導入された。性能が優秀なので、次にフィルターは、出力運転中の部分的復水を浄化するためにも使用された。後に、これらのフィルターは、多くの日本の BWR 及び PWR の復水系に適用された。運転中の BWR におけるフィルターの浄化性能に関して、フィルター入口の Fe クラッド濃度は、数千 ppb（起動前浄化段階）から数十 ppb（出力運転段階）の範囲であるが、出口のろ過された Fe クラッド濃度は 0.1 ppb 以下で一定している。1993 年以後に運転開始されたプラントでは、給水の Fe クラッド・レベルの低下をおもな目的として、このタイプの復水全量浄化装置が導入された。この装置の導入は、給水の Fe クラッド・レベルを 0.1 ppb 以下に低下させる結果となり、したがって作業者被ばくの低減に大きく寄与した。

(b) プリーツ・フィルター

プリーツ・フィルターは、ひだ状の膜フィルターであり、それによりろ過面積が増大する。プリーツ・フィルターは 1990 年代早期に主に米国で最初に使用され、それ以来改良されてきた。プリーツ・フィルター・エレメントは可燃性であり、粉末樹脂を含まないので、放射性廃棄物の低減に寄与する。加えて、プリーツ・フィルターは、プリコート型フィルター・エレメントのフィルター・ハウジングとの互換性を特徴とする。したがって、フィルター・ハウジングを改造することなく、エレメントを取り替えるだけで、それらを既存のプラント系統で使用することができる。

9.3 新規原子力発電所の遮へい

第 6.4 節に述べたように、線量率低減の効果的な手段は、放射線遮へいである。停止作業中には、仮設遮へいが線量管理に効果的である。しかし、燃料取替停止ごとの遮へいの設置、解体に関連する費用、時間、及び線量に関しては、恒久遮へいがより効果的である。恒久遮へいの設置の場合、遮へいの耐震安全性、設置スペース、並びに検査のためのアクセス及びスペースに配慮するべきである。これらの問題は、プラントの設計段階で解決することがより容易である。

柏崎刈羽原子力発電所（ABWR）は、設計／建設段階で原子炉冷却材浄化系の遮へいを講じることによって放射線量を低減した。加えて、移動可能な恒久的遮へいは、機器、配管などへのアクセスを容易にする。日本のいくつかの BWR は、移動可能な恒久的遮へい設備を備えており、このような設備を使用する業務の時間が 10～20%短縮され、線量率が仮設遮へいシステム（鉛シート及びブランケット）と比較すると最大で 20%低減したことが報告されている。

9.4 新規原子力発電所のリモートモニタリングシステム

リモートモニタリングシステム（RMS）技術は、ISOE 内で関心の高いテーマである（第 6 章参照）。RMS 技術は、作業者の安全及び生産性両方の向上に有効であることが証明されている。RMS 技術は、作業効率の向上、したがって燃料取替停止期間の短縮にも寄与する。新規原子力発電所では、リモートモニタリングシステムのための中央コントロールセンターを設計段階で考慮に入れる必要がある。加えて、RMS 技術を効率的に使用するために、格納容器とドライウェル間に光ファイバーの貫通部を用意する必要がある。これらの貫通部は、プラント停止中のケーブル設置時間も低減することができる。RMS 技術の使用は、以下の利点をもたらすと期待されている。

- 被ばく及び放射線管理パフォーマンス
- 作業者の効率性及び説明責任
- 作業データ及びプロセスの品質
- 人的資源（人材配置）の最適化
- 設備の信頼性
- 費用低減

9.5 新規原子力発電所のロボット技術

第 6.5 節に述べたように、ロボット技術は、原子力発電所で職業被ばくを低減するために効果的に利用されている。以前は、ロボットは燃料取替及び原子炉内検査など特定のタスク用の単機能技術であった。しかしメカトロニクスの急速な進展に伴い、多様なタスクを実行する能力のある多機能ロボットが開発された。

ロボット技術の使用は高線量放射線場、水中、狭い若しくは接近不可能な空間、劣悪な作業環境などに特に適している。炉心検査若しくは予防保全作業に使用される自由運動式水中ロボットを含む、汎用若しくは多目的の移動ロボットも開発された。ロボットは、以下のような特定の機能のために開発され、成功裏に利用されている。

- 原子炉容器上蓋検査
- 蒸気発生器伝熱管検査
- CRD ノズル検査
- CRD 交換装置
- CRD 分解装置
- RPV スタッドボルト・テンショナー
- 自動超音波検出器
- 燃料交換機

加えて、ロボット技術が、作業効率改善、費用低減及び放射線防護などの観点から有用となりうるその他の事例があるかもしれない。ロボット技術の利点を最大化するために、プラントの設計段階でそれらの使用を検討し、開発することが重要である。

9.6 新規原子力発電所のメンテナンスフリー機器

機器の検査は、原子力発電所における職業放射線被ばくの重大な原因である。検査項目及び検査頻度をリスク（及びその他の）情報を使用して最適化することは重要であるが、メンテナンスフリー機器を可能な限り最大限に採用することも望ましい。例えば、フィンランドの Olkiluoto 3 号機の建設では、被ばく低減の手段として、選択材料の最適化及び遮へいの設置に加えて、高い放射線レベルになる場所にメンテナンスフリー機器が使用された。

9.7　新規原子力発電所の作業管理側面

技術に基づく側面に加えて、新規原子力発電所における職業放射線防護の継続的改善は、作業管理側面によっても影響を受ける。訓練、フィードバック、及びリスク情報を利用した規制は、どの新しい建設にとっても非常に重要な ALARA 側面である。作業管理は ALARA 文化を維持し、自己満足を回避する上で常に重要になる。

訓練

本報告書に述べたように、訓練は作業計画立案及び準備の重要な側面である。実際のプラント設備と一致しているモックアップ訓練は、作業者が自身の作業手順を理解、習得することをできるようにする効果的な手段であり、作業効率の向上、被ばく時間の短縮、及び作業品質の向上などの利点をもたらす。モックアップ訓練は特に、高線量放射線場での作業、特殊ツール若しくは装置を使用する作業、及び複雑なタスクに効果的である。この場合、訓練は実際のプラント設備、若しくは実際の作業と同じ環境及び物理的条件下で実際のプラント設備に類似する場所で実施されなければならない。新規原子力発電所では、バーチャルリアリティ若しくは 3 次元シミュレーション技術の施設を建設し、これらを教育及び訓練の手段として使用することも効果的と考えられる。このような技術は、作業現場環境の視覚化、作業手順のシミュレーションなどにも使用することができる。

フィードバック（ベンチマーキング）

作業パフォーマンスを評価すること及び評価結果を反映する是正手段を講じることは、計画された作業を成功裏に完了するために必要であるのみならず、将来の類似作業のパフォーマンスの向上にも不可欠である。このような評価は、関連分野を専門とするメンバーで構成されている分野横断的チームによって実施される必要がある。しかし継続的改善を確保するために、情報及び経験交換活動へのあらゆるレベルでの参加の継続及び増大を確保する必要がある。これは現在運転中のプラントの作業計画立案のみならず、新規原子炉の設計段階においてより効果的に検討されるであろう問題を特定するためにこのような経験を利用することにも適用される。このような経験の交換は、将来の設計に伝えるために、新しい設計が進展するときにそれから生じる経験も検討するべきである。

リスク情報を活用した設計

放射線被ばくは常に、実施された業務に関連している。したがって機器、配管などの検査頻度の低減は、放射線被ばくの低減に直接つながる。例えば、米国では、検査項目及び試験頻度が原子力規制当局によって、リスクに基づく情報を使用して検討された。電気事業者もまた、オンライン式及び状態監視保全などを実施することによって検査方法を最適化した。これは、結果的に設備利用率の向上及び被ばく低減になった。リスク情報を活用する検査及び保全は、現在のプラントにおいて成功裏に達成されており、リスク情報を活用した設計が新しい建設のために開発されるべきである。

10. 結論

安全及び放射線防護は、原子力発電所の安全運転にとって最も重要な要因である。職業放射線防護の経験は、放射線防護措置が、原子力発電所の設計から運転、廃止措置まで、ライフ・サイクルの全段階において採用されるべきであることを示した。これは設計の一部としてソース・タームの除去若しくは低減を可能にするのみならず、被ばく低減方法若しくは手順を運転中に最も効果的に実施する方法の検討も可能にする。

原子力発電所で職業放射線防護の役割を担う全ての者が検討することができる多くの方法を本報告書に記述した。長年の原子力発電所運転から得た教訓に基づくこの分野横断的かつ実用的な作業管理経験は、策定中若しくは将来実現されるアプローチに加えて、現在及び将来の課題及び機会を考えた場合に、職業放射線防護の最適化において、また継続的な改善の確保のために重要な要素である。

参考文献

EAN（2006 年）、*欧州 ALARA ネットワーク・ニュースレター No. 18*、2006 年 3 月、CEPN、Fontenay-aux-Roses。

EC（1996 年）、*欧州委員会理事会指令：電離放射線から生じる危険からの作業者及び一般公衆の健康防護に関する基本安全基準を定める 1996 年 5 月 13 日付け理事会指令 96/29/EURATOM*、欧州委員会官報 N° L 159、ルクセンブルク。

IAEA（1996 年）、国連食糧農業機関、国際原子力機関、国際労働機関、OECD 原子力機関、汎米保健機構、世界保健機関、*電離放射線防護及び放射線源の安全に関する国際基本安全基準*、安全シリーズ No. 115、IAEA、ウィーン。

IAEA（1999 年）、*職業放射線防護*、安全指針 RS-G-1.1、IAEA、ウィーン。

IAEA（2002 年）、*職業被ばくの管理における放射線防護の最適化*、安全報告シリーズ No. 21、IAEA、ウィーン。

ICRP（1991 年）、*国際放射線防護委員会の 1990 年勧告*、ICRP Publication 60、Ann. ICRP 21 (1-3)。

ICRP（2006 年）、*放射線防護の最適化：プロセスの拡大*、ICRP Publication 101、Ann. ICRP 36 (3)。

ICRP（2007 年）、*国際放射線防護委員会の 2007 年勧告*、ICRP Publication 103、Ann. ICRP 37 (2-4)。

ISOE（2008 年）、*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。

NEA（1997 年）、*原子力発電業界における作業管理*、OECD、パリ。

NEA（2008 年）、*原子力発電所における職業被ばく、ISOE プログラムの第 17 年次報告書*、2007 年、OECD、パリ。

Schieber, C（1994 年）、*放射線防護及び作業組織の最適化*、報告書 CEPN R-227、1994 年 9 月、CEPN、Fontenay-aux-Roses。

UNSCEAR（2000 年）、*電離放射線の線源及び影響、UNSCEAR の総会に対する科学附属書を伴う 2000 年報告書*。国連、ニューヨーク、NY。

UNSCEAR（2006 年）、*電離放射線の影響、UNSCEAR の総会に対する科学附属書を伴う 2006 年報告書*。国連、ニューヨーク、NY。

附属書 1

ISOE プログラムの情報

ISOE は 1992 年に原子力発電所における職業被ばく管理を、職業被ばくデータ及びトレンドの収集と分析を通じて、また電気事業者及び国家規制当局の専門家間の教訓交換を通じて向上させるために創立された。それ以来、このシステムは継続的に成長し、現在は世界中の原子力発電所の職業被ばく管理最適化に関する包括的な資源を参加者に提供している。

ISOE の会員は、ISOE 規約に従って参加している原子力電気事業者及び国家規制当局の代表者を含む。ISOE プログラムは、29 か国の電気事業者及び規制当局の参加を含む。ISOE データベース自体は、世界の運転中実用発電原子炉の約 91%に及ぶ、世界各地の 470 の原子炉ユニット（396 の運転中ユニット、74 の廃止措置中ユニット）の職業被ばくレベル及びトレンドに関する情報を含む。ISOE プログラムについての追加情報は、www.isoe-network.net を参照のこと。

ISOE は、OECD 原子力機関（NEA）と国際原子力機関（IAEA）によって合同で後援されている。ISOE は分散的に運営されている。全加盟国の代表者から成る運営委員会は、NEA 及び IAEA 事務局による合同の支援を受けており、全体的指示を出す。

ISOE 共同事務局

OECD 原子力機関（NEA）

ISOE 共同事務局
12, boulevard des Îles
F-92130 Issy-les-Moulineaux、フランス
電話：+33 1 45 24 10 45
電子メール：Brian.Ahier@oecd.org

国際原子力機関（IAEA）

ISOE 共同事務局
放射線・輸送・廃棄物安全部
私書箱 100、A-1400 ウィーン、オーストリア
電話：+43 1 2600 22722
電子メール：P.Deboodt@iaea.org

4 つの ISOE 技術センター（欧州、北米、アジア、及び IAEA）がプログラムの日常の技術的業務を管理し、参加者間の情報転送の連絡窓口の役割を果たしている。

ISOE 技術センター

アジア技術センター（ATC）

原子力安全基盤機構
105-0001　東京都港区虎ノ門 3-17-1
TOKYU REIT 虎ノ門ビル
電話：+81 3 4511 1953
電子メール：hayashida-yoshihisa@jnes.go.jp

IAEA 技術センター（IAEA TC）

放射線・輸送・廃棄物安全部
私書箱 100、A-1400 ウィーン、オーストリア
電話：+43 1 2600 26173
電子メール：P.Deboodt@iaea.org

欧州技術センター（ETC）

原子力防護評価研究所（CEPN）
28, rue de la Redoute
F-92260 Fontenay-aux-Roses、フランス
電話：+33 1 55 52 19 39
電子メール：schieber@cepn.asso.fr

北米技術センター（NATC）

RP 部門－Cook 原子力プラント
One Cook Place, Bridgman、ミシガン州 49106、米国
電話：+1 269 465 5901 x2305
電子メール：dwmiller2@aep.com

附属書 2

ISOE 3 作業関連情報報告書の例

ISOE 職業被ばくデータベースの ISOE 3 作業関連情報報告書の例（ISOE、2008 年）

a. 一般情報					
原子炉ユニット名：				年：	番号：
原子炉型：				姉妹グループ：	
原子炉の状態：					
ISOE 3 の連絡員：					
電話：		ファックス:		電子メール:	

b. 簡潔な記述	
表題：	
記述（英語）	
開始日付：	
終了日付：	
総集団線量：	

c. キーワード	
実施した業務のキーワード：	
系統のキーワード：	
機器のキーワード：	
放射線防護措置のキーワード：	

d. 完全な記述（自国語で記入してよい）	
報告書の参考文献：	

附属書 3

業務前 ALARA チェックリストの例

業務前 ALARA チェックリスト			
	はい	いいえ	今後調査
以前の類似作業の経験があるか。 それは考慮されたか。			
I. 線源に対する措置			
停止前：化学ろ過。 除染。 系統内に水を保つことは可能か。 高放射性物質の除去。 その他。			
II. 防護			
生体遮へい：固定型、可動式、機械と一体型か。 対汚染：グローブ・ボックスは利用可能か。 遮へい。 遮へいはツールと一体型か。 静的封じ込め。 動的封じ込め。 散水と排水。 採用した個人防護。			
III. 被ばく条件下の作業量			
これは必須タスクか。 手順は最適か。 タスクは適切にスケジュールされているか。 完全に照射区域で実施されるか。 一部の運転員が遠くへ移動される可能性はあるか。 作業員数は正当か。 作業配分は最適か。 線量は作業員間に分散できるか。 線量低減用の特殊ツールがあるか。 遠隔制御若しくはロボット技術の機会はあるか。 作業促進のために衣服を改良できるか。 周辺条件（温度、照明）を改善する機会はあるか。 無線通信の機会はあるか。 遠隔視覚監視の機会はあるか。 より容易な接近の機会はあるか。 取扱設備は利用可能か。 適切な上部構造物（足場など）はあるか。 常設及び調達区域はあるか。 設備包装及び廃棄物収納の手順はあるか。 材料除去手順はあるか。 …			

参考文献：（IAEA、2002 年）

附属書 4
業務後レビュー書式の例

ALARA 業務後レビュー書式の例（NEA、1997 年）

ALARA 業務後レビュー書式						
承認文書： RWP：						
場所						
業務記述						
推定工数	実際の工数	%差異	推 定 人・Sv（人レム）	実際の人･Sv（人レム）	%差異	実際の実効線量率
下記のリストで、予測より高い、人工/人・シーベルト（人レム）の一因となったと思われる適切な項目の 1 つ以上に印を付けること。						
	1. 業務スコープが変更若しくは拡大した。					
	2. 業務現場の放射線条件が変化した。					
	3. スケジュール作成／作業調整上の困難に遭遇した。					
	4. ツール／設備故障により作業が延長した。					
	5. 間違った若しくは使用不能な部品／ツール／設備により作業が延長した。					
	6. 計画外の作業現場準備要件により作業が延長した。					
	7. 他の作業活動から生じた中断／干渉により作業が延長した。					
	8. 放射線管理の不適切な順守。					
	9. ALARA 良好事例の不適切な検討。					
	10. 放射線作業許可の不備。					
	11. 不適切な遮へい。					
コメント：						
今後の改善への提案ー教訓：						
ALARA 技術者：				日付：		

事故分析グリッドの例（NEA、1997 年）

事故分析グリッド

業務の識別

区域：　　材料：

1. 事故分析

事故の記述：

放射線防護影響はあるか。　　即時 ☐

将来起こりうる ☐

作業条件の変更（汚染など）はあるか。　　はい ☐　　いいえ ☐

はいの場合：

個人防護への影響：

作業時間への影響：

以前の修正に影響される作業段階：

1 つ以上の線量率の修正：

線量率	区域	線量率	区域

これらの線量率が関係する作業段階：

事故の被ばくレベルへの推定影響：

事故の被ばくレベルへの実影響：

業務の識別

区域：　　材料：

2. 業務後レビュー用の事故原因分析及びフィードバック

1. 不適切な手順

- 全体プロセス ☐
- 区域へのツール搬入手順 ☐
- 調整手順 ☐
- ツール撤去手順 ☐
- 廃棄物除去手順 ☐
- 防護手順 ☐
- 個人防護 ☐
- 集団防護 ☐
- 介入のための RP 手順 ☐
- サービス・エア／用水の設置 ☐
- その他 ☐

2. 情報、連絡、訓練

- 不良若しくは不十分な作業者訓練 ☐
- 不適切若しくは不適合の作業者訓練プログラム：
  - 技術プログラム ☐
  - ALARA プログラム ☐
- モックアップ訓練：
  - 計画なし ☐
  - 不適切 ☐
- 連絡不備 ☐
- 間違った口頭情報若しくは監督 ☐
- 不備若しくは部分的な技術情報 ☐
- 不備なマップ ☐
- その他 ☐

事故分析グリッド（続き）

3. 作業管理

不備な業務前分析		☐
作業者間のタスク配分不良		☐
業務前計画立案不良		☐
業務計画立案のフォローアップなし		☐
調整不良	作業者間	☐
	チーム間	☐
	会社間	☐
不十分な可用性	作業者	☐
	ツール	☐
	機械	☐
不適切なツール		☐
その他		☐

4. 作業区域準備及び作業条件

作業区域の準備不足		☐
作業区域の不十分な清浄及び準備不足		☐
視界不良／難聴		☐
不足の若しくは不適切な足場		☐
作業制約	作業位置	☐
	光	☐
	熱	☐
その他		☐

5. ツールによるインシデント

ツールの故障	☐
サービス・エア／用水の不足	☐
ツール故障の検査	☐
通信設備の故障	☐
その他	☐

6. 人的因子による事象

規則若しくは手順の不適用による過誤	☐
診断過誤	☐
非適応反応	☐
遅すぎる反応時間	☐
身体の不調	☐
その他	☐

事故を発生箇所で特定し、ランク付けるための、事故原因についてのチームとの協議に関するフィードバック

業務後会議ガイド・シートの例（NEA、1997 年）

業務後会議ガイド・シート		
業務チーム・リーダーと協議すること		
業務の特定： 区域：　　材料： 業務の記述： 会議参加者：		
	はい	いいえ
1 必要なツール及び材料は、適切なときに利用できたか。	□	□
2 到着時に区域は、自身のタスクの準備が整っていたか。	□	□
3 防護手段は、この区域で実施された業務に適切だったか。	□	□
4 業務の準備に与えられた時間はどれだけか。この長さは十分か。	□	□
5 他の業務が自身のタスクに干渉したか。	□	□
6 作業を促進させるように作業場が清潔に、秩序正しく保たれていたか。	□	□
7 チーム・メンバーは自身の被ばくレベルを知っていたか。	□	□
8 この被ばくが可能な限り制限されていることを強く要求したか。	□	□
9 チームは作業の目的を認識していたか。チームは動機付けを与えられていたか。	□	□
10 他のチーム、他の部門との調整問題があったか。	□	□
線量が増大したかもしれないどのような問題に遭遇したか。	□	□
11 問題解決策の実施に困難があったか。	□	□
12 管理上の問題があったか。	□	□
13 自身が被ばくを低減するようにした特定の事象があったか。	□	□
14 次回自身のタスクを同じ方法で実施するか。	□	□
15 プロセスを変更するべきと考えるか。	□	□
ここに肯定的な回答を記述せよ。		

附属書 5

放射線に関する提案書式の例

<table>
<tr><th colspan="6">放射線に関する提案書式</th></tr>
<tr><td colspan="6">セクション 1ー起案者</td></tr>
<tr><td colspan="2">氏名：</td><td>部門：</td><td>内線番号：</td><td>メール：</td><td>日付：</td></tr>
<tr><td colspan="6">この提案の影響を受ける領域若しくは手順：</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案の記述：</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案理由：</td></tr>
<tr><td colspan="6">セクション 2ー提案の評価</td></tr>
<tr><td colspan="6">1 つにチェックマークを付ける：
放射線に関する改善　□
ALARA の改善　□　（提案が ALARA の改善の場合、費用便益解析を添付せよ。）</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案改善の推定費用はどれだけか。</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案は被ばく低減を向上させるか。</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案改善の推定便益はどれくらいか。（必要な場合は追加情報を添付せよ。）</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案は費用を正当化できないが、実施されるべきである。　□</td></tr>
<tr><td colspan="6">提案は実施されるべきではない。　□</td></tr>
<tr><td colspan="3">添付書類　□あり　□なし</td><td colspan="3">提案は費用を正当化でき、実施されるべきである。　□</td></tr>
<tr><td colspan="6">割当先を推奨せよ：</td></tr>
<tr><td colspan="6">コメント</td></tr>
<tr><td colspan="4">S-RE：</td><td colspan="2">日付：</td></tr>
<tr><td colspan="6">セクション 3ー最終審査／承認</td></tr>
<tr><td colspan="2">提案は承認される　□</td><td colspan="2">提案は承認されない　□</td><td colspan="2">CCT　□</td></tr>
<tr><td colspan="4">実施部門長：</td><td colspan="2">日付：</td></tr>
<tr><td colspan="6">実施を任命される個人：</td></tr>
<tr><td colspan="4">D-PRP：</td><td colspan="2">日付：</td></tr>
</table>

参考文献（NEA、1997 年）