

本資料は 〇/年 〇月 〇日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

分置

核燃料施設における放射線防護の最適化に関する研究

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1991年3月

東京大学医学部放射線健康管理学教室

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)


この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂 1 - 9 - 13
動力炉・核燃料開発事業団
技術協力部 技術管理室



社 内 資 料

PNC  J1602 91-002

1991年3月

核燃料施設における放射線防護の最適化に関する研究

草間[※] 朋子 甲斐[※] 倫明

要 旨

核燃料施設における放射線防護の最適化について検討した。操業段階における最適化では、従来の費用便益解析などの手法を適用した定量的な解析は多くの場合困難である。セル内作業における最適化のあり方を検討した結果、1つの作業ごとに放射線管理に関する記録は次の類似の作業の防護の最適化に役立つように残すためには、放射線管理現場における記録のフォーマット化が必要であることが明らかになった。また、それらの放射線管理記録を効率よく利用していくためには最適化支援データベースを作成することが操業段階のメンテナンスなどにおける最適化を進めるのに有用であることを示した。

※ 本報告書は、東京大学医学部放射線健康管理学教室が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 020 D 0030

事業団担当部課室：東海事業所安全管理部安全対策課（石黒秀治 二之宮和重 伴 信彦）

※ 東京大学医学部放射線健康管理学教室

目 次

第 1 章 防護の最適化について

1. 「防護の最適化」
2. 防護の最適化の判断手法
3. 防護の最適化と意思決定
4. 防護の最適化の際に考慮すべき要因
5. 「防護の最適化」の実施
6. ICRP 1990年勧告における線量拘束値

第 2 章 最適化研究に関する討論内容

1. 線量拘束値について
2. 最適化の手法
3. セル内作業の最適化

第 3 章 最適化の情報となる放射線管理に関する記録のフォーマット化

1. 記録の意義
2. 記録の残し方
3. 記録の項目

第 4 章 最適化支援データベースの概念設計

第1章 防護の最適化について

1. 「防護の最適化」

防護の最適化という用語が実際に使われ始めたのは ICRP Publ. 26 が初めてである。ICRP Publ. 26 で放射線防護の目標を達成するために①行為の正当化、②防護の最適化、③個人の線量限度の3つの要素からなる「線量制限体系」を勧告し、この中で「すべての被ばくは、経済的および社会的な要因を考慮に入れながら合理的に達成できる限り低く保たなければならない」とし、これを「防護の最適化」と呼んでいる。したがって、「防護の最適化」は「被ばくのALARA」と同義語である。

放射線影響とくに確率的影響にはしきい線量が存在しないとい仮定を取る以上、被ばくをできるだけ低く抑えるということは放射線防護の原則である。しかし、「できるだけ低く」ということをどのように考えるかが大きな課題である。被ばく線量をできるだけ低く抑えるという概念は、ICRP 1955年勧告以来取り込まれているものであるが、「どのように」に関しては、1955年から以下に示すように変わってきている。

- ① to the lowest possible level (1955)
- ② as low as practicable (1959, Publ. 1)
- ③ as low as readily achievable (1965, Publ. 9)
- ④ as low as reasonably achievable (1973, Publ. 22)

「被ばく線量をできるだけ低く」といわれた初期の頃は、技術的に実効可能なレベルまで被ばくを制限するという考え方であり、これは「最小化」を意味していた。これに対してPubl. 9以降、とくにPubl. 22以降は社会的、経済的な要因を考慮した最適化の考え方に変更した。最適化と最小化の大きな違いは、放射線防護にかかる資源 (resources) について配慮するかどうかである。ICRP が、社会的、経済的要因も考慮するようになった背景には、線量当量限度および最小化の考え方の基で行われた放射線管理実務により、ICRP が意図した線源管理が充分達成でき、これ以上被ばく線量を減少させるためには経済的な要素すなわち放射線防護資源についても考慮する必要があると判断したためと思われる。

2. 防護の最適化の判断手法

防護の最適化の判断は、定性的なものや定量的なものがあり以下のようにまとめられる。

(1) 直観的な方法	専門家の判断		
(2) 解析的な方法	集合法	単一規準	費用-効果分析 費用-便益分析
		多規準	多属性効用分析(効用関数法) 階層分析(AHP法)
	優位比較法	多規準優位分析	

ICRPは、防護の最適化に関する次の二つの刊行物を提示している。

- ① Publ. 35 「放射線防護における最適化のための費用-便益分析」
- ② Publ. 55 「放射線防護における最適化と意思決定」

最適化の手法について体系化の試みを行うと下記のようなになる。

2-1. 方法の分類

- ┌ 集合法 (aggregative method)
- └ 優位比較法 (outranking method)

- ┌ マルチクラテア/多因子 (MCDM)
- └ 単一規準

2-2. 手法の例

(1) 微分費用便益分析

長所 ① 方法が簡単である。

② 多くの分析事例があり、他の適用と比較検討できる。

短所 ① すべての選択肢を考慮にいれないと、間違っただ結果を導くことがある。

② 単位集団線量当量の金銭換算値が決め手になる。

(2) 多属性効用分析（効用関数法）

長所 ① 例えば、集団線量の大きさに対する価値判断の尺度化を線形でないものとして扱える。

② 判断のよりどころとなる多くの因子を考慮できる。

短所 ① 効用関数の決定が主観的である。

② 因子の独立性が前提となる。

(3) 階層分析法 (AHP)

長所 ① 一対比較に基づいているので、定量化の難しい変数を取り扱える。

② 金銭などの同一の尺度に変換する必要がない。

短所 ① 連続変数の取扱に際して、重み関数を導入する必要がある。

② 一対比較において誰が判断するかが問題である。

2-3. マルチクライテリア法 (MCDM)

(1) クライテリアの評価

① 順位 (ranking)

② 点数 (rating)

③ 一対比較 (paired comparison)

④ 継続比較 (successive comparison)

⑤ デルファイ法 (Delphi method)

(2) MCDM

① 効用関数法

② ELECTRE法

③ AHP法

- ④ Goal programming法
- ⑤ Interactive approach

3. 防護の最適化と意思決定

上記のいずれの判断手法をとるにしても最適な防護手段を選択、決定するには次の二つの段階で実施される。

- ① 放射線防護に関連した要因を考慮した最適な防護の選択肢を決定する。
- ② 放射線防護以外の要因を考慮して最終決定を行う。

上記の①の判断が「防護の最適化」である。

現状を考えた場合、最適化の結果と最終的な意思決定の結果とのギャップは大きい。しかし、このギャップがどの程度であるかを定量的に把握しておくことがP R、P A等の観点から重要である。

4. 防護の最適化の際に考慮すべき要因

防護の最適化の判断の際の重要な点は、解析すべき問題の範囲を明確にしたうえで放射線防護に関連する要因を決定することである。

防護に関連する要因としては次のものが考えられる。

- ① 個人の被ばく線量の分布（従来は個人線量の分布の上限値は、線量限度であったが1990年勧告で線量拘束値が提示された）
- ② 集団線量
- ③ 防護のための直接的な費用
- ④ 防護手段に関連した人的の要因（不快さ、安全性）

上記①から③は定量化でき客観的判断が行い易い。しかし、④の要因をどのように決定するかは個々の防護手段ごとに異なる。

5. 「防護の最適化」の実施

放射線防護実務において「防護の最適化」すなわち「被ばくのALARA」の具現化は次の機会に行われる。

- ① 設計段階における防護の最適化
- ② 操業（運転）段階における防護の最適化

設計段階で行われる防護の最適化には次のような特徴がある。

- ① 時間的な余裕をもって判断ができる。
- ② 選択肢の数は運転段階に比べて多い。
- ③ 被ばく線量に関する情報は不足している。
したがって、個人の被ばく線量は安全側に見積られ易い。
- ④ 設計者の意見が尊重される。

これに対して操業段階で行われる防護の最適化は、それまでの、放射線管理の実績を通して得られた情報をもとに判断される場合が多い。

また、防護の最適化を行う対象としては次のようにさまざまなレベルのものがあり、防護の最適化の判断の手法、判断に関連する人などが当然異なる。

- ① 施設全体の防護に関するもの
- ② 一つの作業に関連したもの

6. ICRP 1990年勧告における線量拘束値

6-1 ICRP 勧告における線量拘束値

1990年勧告では、防護の最適化の制限条件として線量拘束値が提示されている。線量拘束値は次に示す特徴を持っている。

線量拘束値の特徴

防護の最適化の判断の際の個人線量の上限值

線量拘束値の上限值は限度を超えてはいけない

職業被ばくの線量拘束値は職種に対して設定する

公衆被ばくの線量拘束値は線源に対して設定する

医療被ばくの線量拘束値は典型的な診断に対して設定する

6-2 線量拘束値の運用方法

線量拘束値の値は、放射線管理の実績を踏まえて国あるいは地方の行政機関が提示するものとされている。しかし、線量拘束値を決定したからといって防護の最適化を省略することはできない。線量拘束値は最適化の際の一つの特定の線源

に関連した個人線量の上限值であり、制限条件でしかない。したがって、国で規制する場合には、線量拘束値だけではなく、「線量拘束値をもった最適化」として規制する必要がある。

線量拘束値の性格から考えて公衆被ばくに対しては、線源毎に国が画一的な線量拘束値を提示することが好ましい。この場合は、国は、線源の分布、特定の線源に関連した決定グループが複数の線源から被ばくする可能性などを監視するシステムを確立しておくことが重要である。

現状で線源として考えられるものとしては次のものがある。

- ① 核燃料サイクル
- ② コンシューマグッズ
- ③ TMNR (Technologically Modified Natural Radiation)
- ④ 将来の被ばくの保留分

医療被ばくに関しては、関連学会、専門家集団などが、特定の診療行為、たとえば胸部X線間接撮影、上部消化管X線検査については線量拘束値を提示することが望ましい。

6-3 職業被ばくに対する線量拘束値

職業被ばくに関する線量拘束値については、次のような運用方法が現実的であろう。

- ① 防護の最適化の実施について法令で規定（精神規定）する。
- ② 職種ごとの線量拘束値の上限値を提示する。
- ③ 操業段階の防護の最適化は個々の事業所で行う。

この際の線量拘束値は、上記②を参考に個々の防護手段ごとに事業者が設定する。

線量拘束値は、放射線防護計画を立案するときに着目している線源に関連して設定された個人線量の上限值であり、すでに受けてしまった被ばく線量を判断し評価する場合の基準値としては法令で規定された線量限度あるいは事業者が独自に決めた管理基準が用いられ、線量拘束値が用いられることはない。

線量限度は超えてはならない上限値であるが、防護の最適化に失敗したような場合は、線量拘束値を超えることはありうる。防護の最適化の失敗を補填するために線量限度値がある。したがって、線量拘束値は線量限度よりも低い（同じ場

合もありうる) 値が設定される。

職業被ばくにおける線量拘束値は、職種(occupation) 毎に設定される。そこで、職種をどのように選択する重要な課題である。ICRPが職種として例示しているものは、①原子炉の運転、②原子炉の保守、③X線診断などがある。

職種の区分の仕方で線量拘束値の値は異なる。

線量拘束値は、防護手段を立案する段階で適用されるものであるから、職種の区分は、あらかじめ決められるべきである。とくに作業者が同じ種類の操業、たとえば、原子力発電所などの間を移動するような場合には、事業所ごとに職種を決めるのではなく、同種の操業間では職種を同じように決めておく必要がある。職種を適切に区分したうえで、一人の個人が年間を通じて複数の職種に就く可能性を考慮に入れて線量拘束値が設定される。

職種の区分に際しては次の諸点を考慮に入れるべきである。

- ① 作業者の被ばく線量を低減するのに効果的な区分であること。
- ② 具体的に取りられる放射線防護手段の違いが顕著であること。
- ③ 線量拘束値の設定が煩雑にならない程度であること。

第2章 最適化研究に関する討論内容

動力炉核燃料開発事業団安全管理部と東京大学医学部放射線健康管理学教室による核燃料施設における最適化研究に関する討論の結果を以下にまとめた。討論の中で取り上げられた問題をまとめたものであり、項目毎に独立したものが多く含まれている。

1. 線量拘束値について

- ① ICRP1990年勧告では、線量拘束値という概念が登場し、線量限度に代わる最適化における拘束条件として使用されることになる。このとき、個人の線量拘束値をどのように決めるかが問題となる。今までの経験によって決めるのか、なんらかの規範的な決め方によるのか検討が必要である。
- ② 線量拘束値を適用する場合、操業段階の最適化に関しては、その管理期間を1年にするのは現実的でない。適切な期間を選択する必要がある。
- ③ 核燃料施設における最適化の問題として、プルトニウム燃料を取り扱うグローブボックスの遮蔽は重要度の高いテーマであり、定量的な最適化が行えるケースである。
- ④ 除染レベルの設定、モニタの数、作業者の人数、作業時間なども経験的に決められており、検討が必要である。

2. 最適化の手法

- ① 最適化の手法（定性的、定量的）には種々の方法があるが、どのような状況にはどの方法が妥当であるのかを関係付けることは重要である。ケースごとにクライテリアを設けて、適用の方法が選択できることができるように体系化することが望まれている。
- ② 例えば、遮蔽の最適化では、遮蔽には無限のオプションがある連続量であるが、防護の最適化分析で考慮できる選択肢の数に限度がある。このような最適化問題に対する方法の検討が必要である。
- ③ 今までの放射線管理は、限度に基づいて決められた参考レベルや管理目標値（3.7 mSv/3ヶ月）が意思決定のよりどころである。その際、汚染レベルの設定、

防護具の選定などの決定はほとんど経験的な判断に依存しているのが現状である。

④ Health Physics 57(6), 873-883 (1989) 「Three Example Application of Optimization Techniques to Department of Energy Contractor Radiation Protection Programs」にプルラボの最適化事例がでている。

- ・トリチウムバイオアッセイのサンプリング頻度 2ヶ月に1回
- ・電離箱サーベイメータの校正頻度
- ・連続空気サンプリングモニタの設置場所と設置数

以上の3項目について、最適化の手法として費用-便益分析が有用であることを示した。

⑤ 防護の最適化研究では事例研究が中心であったが、防護手段の決定に直接役立つ情報になりえない。今後の作業計画作りに役立つものを研究対象にする必要がある。例えば、過去のデータと種々の事例に対する判断内容などがある類似の作業に応じて簡単に検索できて、防護の最適化の判断に直接役立つ情報になる「最適化支援データベース」の作成が考えられる。→第4章参照

3. セル内作業の最適化

① 再処理工場等におけるセル内作業は、高い被ばくを受ける作業があり、体内被ばく、体外被ばくを含めた防護の最適化の適切な検討対象である。

② 過去のセル内作業での日報で日レベルの線量までさかのぼることができる。作業事実報告書など詳細な情報が記録されているが、事実報告が中心であり、判断根拠が記されていないなど記録を見てもわからないことが多く、その放射線防護上の利用には検討の余地がある。

③ 防護具などの防護方策の判断はどんな情報、考え方に基づいて行われているのか？

④ セル内作業の基本方針は、ゼロコンタミ、1回1時間、1 mSv で防護方策が決められている。体内被曝はゼロコンタミを目標にしている。全面マスクからエアラインスーツの交換の判断規準は空気中の濃度の上昇が認められた場合としてある。体外被ばくについての現場の大きな判断規準は、13 mSv/3ヶ月、1 mSv/日、工事期間1日1時間であり、この判断規準を満たすような防護方策が選択される。

- ⑤ overprotect の改善のための情報としてどんな情報が必要かを検討する必要がある。
- ⑥ cost に影響する因子には、廃棄物発生量、除染レベル、呼吸防護具、集団線量などがある。
- ⑦ 防護方策と被曝線量との関係については、個人線量として関数関係を導くことはできないが、場の線量が把握できているので、除染や遮蔽による効果を集団線量との関係で捉えることはできる。
- ⑧ 作業記録として何を残すべきかが今後の作業における防護の最適化に重要な情報を提供すると考えられる。したがって、防護の方策の判断根拠などを含んだ放射線管理の記録フォーマットを作成することが重要な課題である。

→第3章参照

第3章 最適化の情報となる放射線管理に関する記録のフォーマット化

1. 記録の意義

防護の最適化は、放射線防護に関連する経験によって得られた情報を加工してより合理的な判断を行うためのプロセスである。したがって、記録は次の作業計画には欠かせないものである。しかし、現状の記録は将来の作業計画における放射線防護の判断に利用できないものがほとんどである。これは、放射線防護の判断に必要な情報が記録されていないことが主要な原因である。また、記録が簡単に検索可能な形で保存されていないことにも原因がある。

そこで、核燃料施設における防護の最適化を今後進めていくためには、最適化の情報源となる記録の仕方を改善することが重要な課題となる。

2. 記録の残し方

現場の放射線管理担当者に記録に関する調査を行った結果、次のような意見が集約された。

- ① 簡単な記録にすることで、誰がみてもわかるようにする。
- ② 過去の記録を検索することは膨大すぎて困難である。
- ③ 記録を時系列だけでなく、階層化して利用しやすくする必要がある。
- ④ 防護の装備を変更したときに、その判断は何に着目してどういう根拠で行ったということがわかる記録にする。
- ⑤ 経験による判断であっても、その微妙なニュアンスも伝えるように記録することが望まれる。例えば、「本当ならもう一つの下ランクの装備でよいが、この部分の舞い上がりが特に激しいのでこの装備にした」というぐあいに書く。
- ⑥ 全ての状況を網羅的するためにはある程度主観的な言葉で記録を残すことも必要である。
- ⑦ 判断の根拠としてある幅をもってでも放射線レベルとの対応をつける必要がある。
- ⑧ 記録の項目としては、数値で表現できる情報と文章でしか表現できない情報とがあるが、この両方の情報をうまく混在させて整理する必要がある。
- ⑨ 数値の情報にしても、最大値なのか平均値なのかスポット的なものなのかなど

限定して明記しないと曖昧な情報になってしまう。

- ⑩ 放射線状況の記述の仕方から検討する必要がある。
- ⑪ トラブルのまとめ方は放射線管理の対応として重要であり、その経験が生かせるように記録を参照できるようにしておく必要がある。
- ⑫ データベース化するときには、データ入力を簡便化することが必要である。

3. 記録の項目

放射線管理に必要な記録の項目は次のようにまとめられる。

(1) 作業・作業者に関する記述（被曝線量、人数、作業時間など）

- ① 個人被曝線量
- ② 技能職（溶接工など）の人数
- ③ 線量基準値
- ④ 工事期間の制約事項
- ⑤ 計画線量を超える場合の措置
- ⑥ 業者との契約条件
- ⑦ セルの物理的な広さ（図面）

(2) 放射線場の記述（時系列データ）

- ① 可搬型モニタ（線量率）の測定値
- ② 汚染レベル：スミア、ZnSシンチ、GM計数、GMサーベイメータ
- ③ ダストモニタの測定値
- ④ エリアモニタの測定値

(3) 防護装備の選択とその根拠

- ① 遮蔽
- ② 除染
- ③ 養生
- ④ 局所排気
- ⑤ 防護具
- ⑥ 防護衣
- ⑦ 呼吸保護具

第4章 最適化支援データベースの概念設計

防護の最適化を支援するデータベースの構築を行うことが、現場の最適な防護の意思決定を行うために必要である。この章では、最適化支援データベースの概念設計を行う。

1. プラットフォーム

コンピュータとしては

- ① PC-98シリーズ
- ② Macintosh
- ③ ワークステーション

が選択肢としてあげられるが、既成のデータベースソフトを利用することを考えると Macintosh の HyperCard を利用するのがコストパフォーマンスがよい。

2. データベースとして要求される性能

- ① 文字、数値、グラフを記録できる。
- ② 情報は相互に連結していて、関連する情報にアクセスすることが容易である。
- ③ 複数の情報から新たな情報を作成することができる。
- ④ 情報を処理（計算、グラフ化）することが可能である。

3. データベースの作成における検討課題

- ① カードイメージで情報の単位化を行う。
 - ・数値、文章、グラフの区別をする
 - ・複数の内容を盛り込まない
- ② 各カード間の関係を決める。カードを並べる。
 - ・A, B, C の相互の関係を検討する。
- ③ 情報の処理内容を検討をする。
 - ・被ばく線量のデータ処理など

3. 最適化に必要な情報の構造

作業場所と作業年月日で以下のデータが検索ができる。

→ A B C をメニューで選択する

