2023年春の年会

標準委員会セッション

グレーデッドアプローチを適用した廃止措置の在り方

How the graded approach should be applied to decommissioning

（2）廃止措置計画における安全評価へのグレーデッドアプローチの適用

(2) Application of the Graded Approach to Safety Assessment in Decommissioning Planning

*工藤　清一[1]

[1]MHI NS エンジニアリング株式会社

1. はじめに

新規に発行される廃止措置の安全確保に関わる学会標準のうち，“**発電用原子炉施設の廃止措置計画における安全評価基準：20XX**”[1]（以下，**廃止措置安全評価基準**という）では，廃止措置計画において実施する安全評価の基本的考え方及び技術的要求事項をまとめており，グレーデッドアプローチ [2] を適用 [3] して公衆被ばく防護の観点からの重要度ランクを設定して，その重要度に応じた安全確保対策を計画するための方法の例を説明する。

2. 適用範囲

廃止措置の対象となる発電用原子炉施設に適用する。なお，使用済燃料が使用済燃料貯蔵施設に存在する状況における安全確保に関する事項はこの標準の適用範囲外とする。

3. 廃止措置計画における安全評価の基本的考え方

3-1. 廃止措置計画における安全評価の目的

廃止措置計画における安全評価の目的は，日本原子力学会標準**“原子力施設の廃止措置の基本安全基準：20XX”AESJ-SC-XXXX：20XX** [4] 及び**“発電用原子炉施設の廃止措置計画策定基準：20XX”AESJ-SC-XXX：20XX** [5] からの要求に基づき，選定された廃止措置の方策及び計画された廃止措置の作業が放射線防護の観点から安全であることを証明することである。そのために次の事項の実施を要求する。

－廃止措置の作業を安全に実施できることを確認する。

－計画された廃止措置の作業が放射線防護の観点で，一般公衆及び放射線業務従事者の被ばくに対して ALARA の精神に則り，線量目標値，目安線量，線量限度又は計画線量を超えることがないことを確認する。

－施設の維持管理に関し，廃止措置の作業を安全に実施するために必要な設備とその能力及びその維持管理が必要となる期間を明確にする。

3-2. 廃止措置計画にグレーデッドアプローチを適用するための安全評価

廃止措置対象施設の特性及び廃止措置の作業に伴う放射線リスクの大きさに応じて効果的な廃止措置の方策，作業の手順，安全対策などを計画するために，放射線影響に関する安全評価の実施を要求する。そのための手段として，グレーデッドアプローチを適用し，廃止措置対象施設の状態を考慮し，除染，解体，撤去，処理，移送などの廃止措置の作業を安全に実施するために維持すべき設備とその性能を安全評価によって特定する。

4. 廃止措置計画における安全評価に関する要求事項

4-1 平常時の施設周辺の一般公衆の被ばく評価に関する要求事項

原子炉施設の廃止措置においては，廃止措置の作業に伴って施設外に放出される放射性物質及び施設内の放射性物質から放出される放射線によって施設周辺の一般公衆が受ける被ばく線量が，法令等で定める限度及び目標値を下回る計画であることを放射性廃棄物の発生量を考慮の上で確認しなければならない。

*Seiichi Kudo[1]

[1]MHI NS Engineering Co.Ltd.

4-2 事故時の施設周辺の一般公衆の被ばく評価に関する要求事項

廃止措置の作業において，廃止措置工事の計画を逸脱する事象が発生した場合に，施設周辺の一般公衆に与える放射線の影響が，審査指針に基づくリスクが小さいとする判断基準を下回るよう計画されていることを確認することを要求する。

4-3 放射線業務従事者の被ばく評価に関する要求事項

廃止措置の作業に伴う放射線業務従事者の被ばくに対する防護措置を検討し，ALARA の精神に則り，合理的に達成し得る限り放射線業務従事者の被ばく線量を低減する計画とすることを要求する。また，工事の実施段階において放射線業務従事者の放射線管理を行うための基本となる計画線量を設定することを要求する。

5 廃止措置計画における安全評価の手順

廃止措置計画における安全評価の手順は**図 1** による。

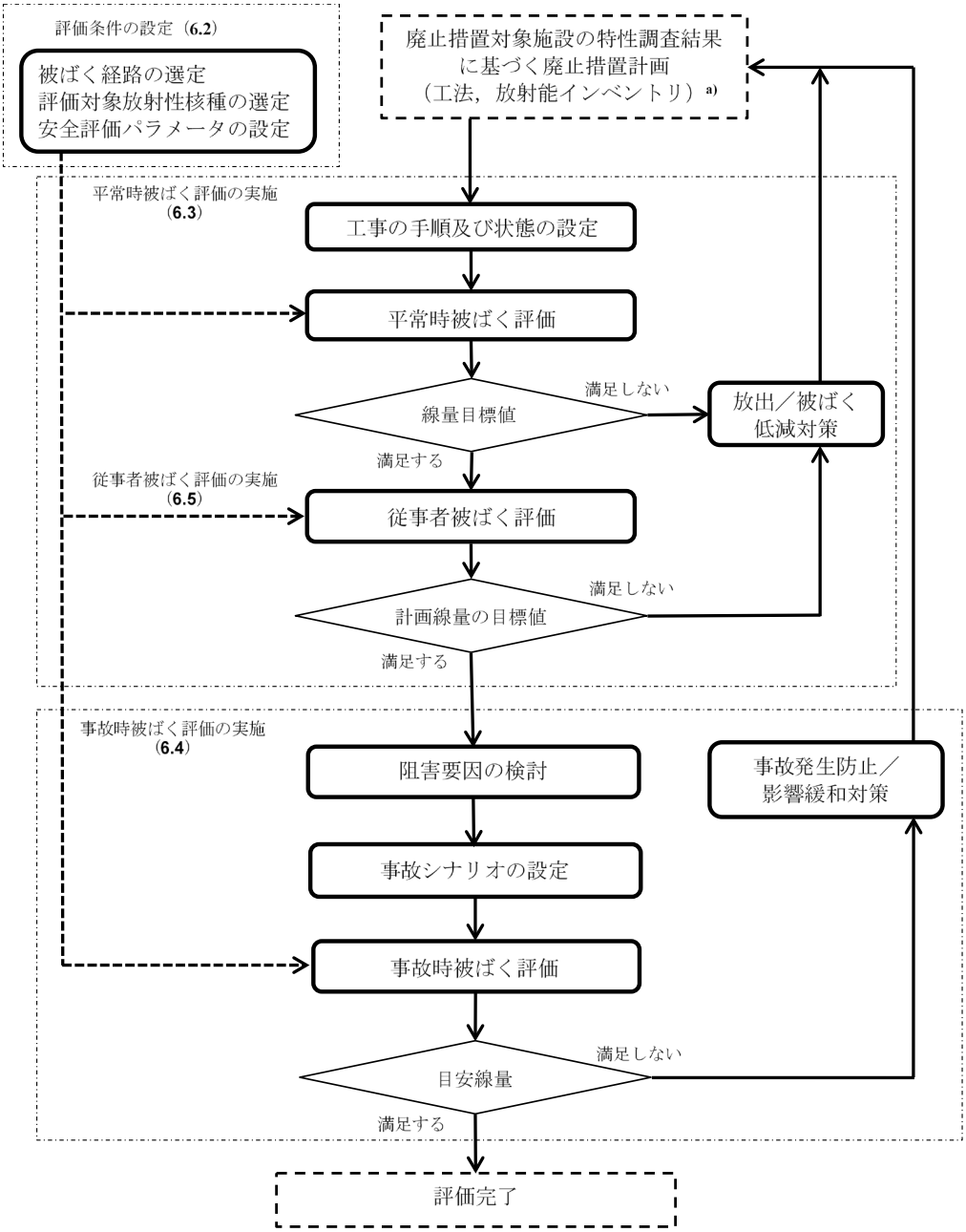

図 1－廃止措置計画における安全評価の実施手順

6. グレーデッドアプローチを適用した廃止措置計画における安全評価の考え方の例

6-1 安全評価におけるグレーデッドアプローチ

廃止措置のリスクの大きさの分類について，公衆被ばく防護の観点からの重要度を設定する方法を例示する。重要度ランクは解体対象物又は取扱対象物ごとに設定することを基本とし，次に示す設備ごとに設定する方法が例として挙げられる。

－廃止措置において計画されるそれぞれの工事ごとに設定する
－系統設備ごとに設定する
－二次廃棄物の集積ごとに設定する（換気系／排気系フィルタの取扱いなど）

解体対象物のうち，残存放射能量が少なく放射線防護の観点からのリスクが低いものの物量は極めて多く，これらに対しては重要度ランクを簡易的な方法で判定することが合理的である。また，残存放射能量が比較的多く，放射線防護の観点からのリスクが低くない若しくは高いものについては，現実的な条件に基づき被ばく評価を行って重要度ランクを判定することで，過度の安全余裕を排除した適切な安全確保対策を講じることが要求される。そのため，安全評価にグレーデッドアプローチを適用し，廃止措置の作業における取扱対象物がもつ潜在的な公衆被ばく影響の大きさによって重要度ランクを判定する方法として，裕度の異なる次の 2 段階の評価方法 [6] を例示する。

第 1 段階（概略評価）：想定される全事故を考慮した包括的な条件に基づく残存放射能量と施設周辺の一般公衆の被ばく線量との関係をあらかじめ求めておき，判定基準となる残存放射能量と取扱対象物の残存放射能量との比較によって重要度ランクを判定する。

第 2 段階（詳細評価）：対象とする事故の現実的な放出条件に基づき施設周辺の一般公衆の被ばく線量を求め，判定基準となる実効線量との比較によって重要度ランクを判定する。

6-2 重要度区分の設定例

廃止措置の対象となる施設及び作業において起こり得る安全が阻害される事故に対し，公衆被ばくの観点からの影響の大きさを“重要度”として区分する。

重要度として 3 つの領域に区分する例 [6] を次に示す。

－公衆被ばく防護の観点から安全確保対策を必須とする領域
－事業者の自主努力で安全確保対策を実施する領域
－公衆被ばく防護の観点から安全確保対策を必要としない領域

このうち，事業者の自主努力で安全確保対策を実施する領域についてはさらに 2 段階に分割し，公衆被ばくの観点からの重要度ランクを A,B,C 及び D の 4 段階に区分した例 [6] を**表 1** に示し，その判定方法を**図 2** に例示する。

表 1－公衆被ばくの観点からの重要度分類の区分例 [6]

重要度区分		判定基準 a), c)	安全確保対策への要求事項 b)
対策を要求	ランク A	Ds1 ＞ 5mSv	・事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を要求（5mSv 以下にすること） ・安全確保対策の機能を確実に確保 d)
事業者の自主努力	ランク B	5mSv ≧ Ds1 及び Ds2 ＞ 300μSv/y	・事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を事業者の自主努力で実施 ・安全確保対策の機能を確保 e)
事業者の自主努力	ランク C	5mSv ≧ Ds1 及び 300μSv/y ≧ Ds2 ＞ 10μSv/y	・事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を事業者の自主努力で実施 ・安全確保対策の機能を確保 e)
対策不要	ランク D	残存放射能量による判定： 非飛散性：1×10^{11} Bq ≧ As1 飛散性：1×10^{10} Bq ≧ As2 （10μSv/y ≧ Ds2 に相当）	・事故発生防止対策及び事故発生時の影響緩和対策を要求しない

注 a) Ds ： 廃止措置工事中の事故発生時において想定される潜在被ばく量
（施設周辺の一般公衆の実効線量）
Ds1（ランク A 下限及びランク B 上限）は，防災対策を想定し，短期被ばく経路による実効線量とする。
Ds2（ランク B 下限，ランク C 及びランク D）は，長期被ばく経路も考慮し，年間の実効線量とする。
As ： 対象設備の残存放射能量
As1＝非飛散性（放射化）核種の Co-60 等価放射能量
As2＝飛散性（表面汚染）核種の Co-60 等価放射能量

注 b) 公衆に対する安全（放射線防護）の観点で要求される事項
廃止措置の作業に関わるその他の安全（従事者に対する放射線防護，労働安全など）への安全対策及び維持管理の方策は別途講じられる。

注 c) 年間当たりの線量基準は，年間に発生し得る事故の線量の合計が該当の基準線量を超過しないようにする。

注 d) 安全確保対策の機能が必要な時に確実に稼働するよう，多重化などを含む対策を計画する。

注 e) 異常検知後に早期に安全確保対策ができるように計画する。

6-3 事故シナリオの検討

法令等に定める公衆に対する年間の線量限度及び線量目標値を満足できる廃止措置工事の手順に対し，**図 3** に示すように，これらの正常な進行を阻害する要因を抽出して，その阻害要因が進展し

た場合に想定される事故を抽出し，周辺公衆に対して被ばく影響を及ぼす事故シナリオを策定する。阻害要因の抽出においては内的要因，人的要因及び外的要因を考慮し，想定する事故の網羅性を確保する目的で，放射性物質の取扱いの観点から工事の手順を分割し，それぞれの行為又は機械的／化学的作業に対して，その正常な進行を阻害する要因を抽出する。動的なもの又は流動的なものに関しては HAZOP 法，機器類の操作に関しては FMEA 法などによる阻害要因の抽出が有効である。

また，事故シナリオはグレーデッドアプローチを適用して起因事象の分類ごとに，影響の大きい事故は個別に飛散パラメータを設定し，影響の小さい事故は複数の事故を包含するように飛散パラメータを設定して代表的な事故シナリオへの類型化を行う。

なお，廃止措置中に想定される事故の抽出及び類型化に関して，一旦，類型化を行った後においては，未検討の新たな作業がない限りにおいて，類型化された代表事象を対象に評価を行うことを許容する。また，ほかの施設における廃止措置中に想定される事故の類型化についても，類似性が認められる場合には参考とすることができる。

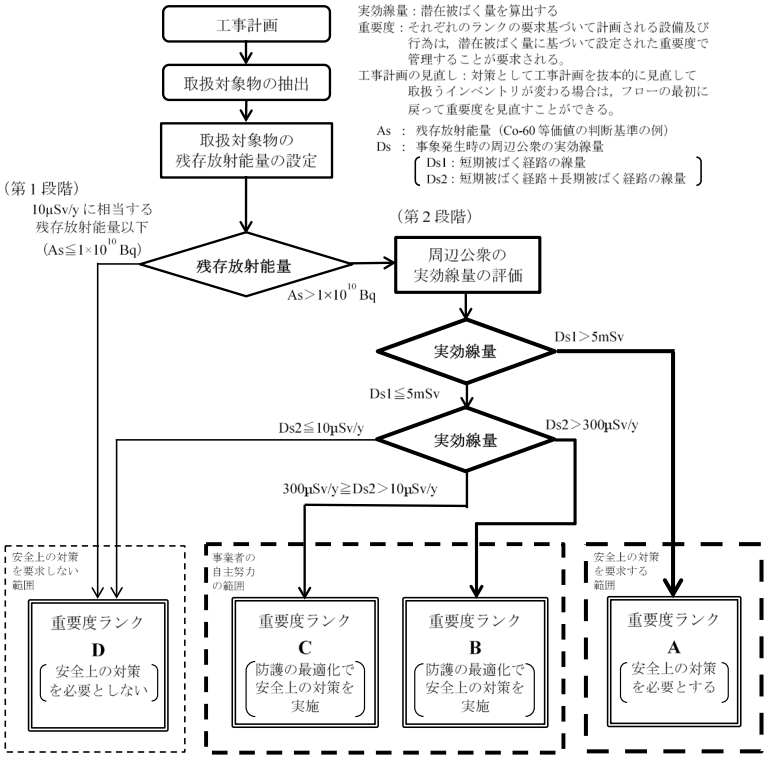

図 2－重要度の判定の手順例

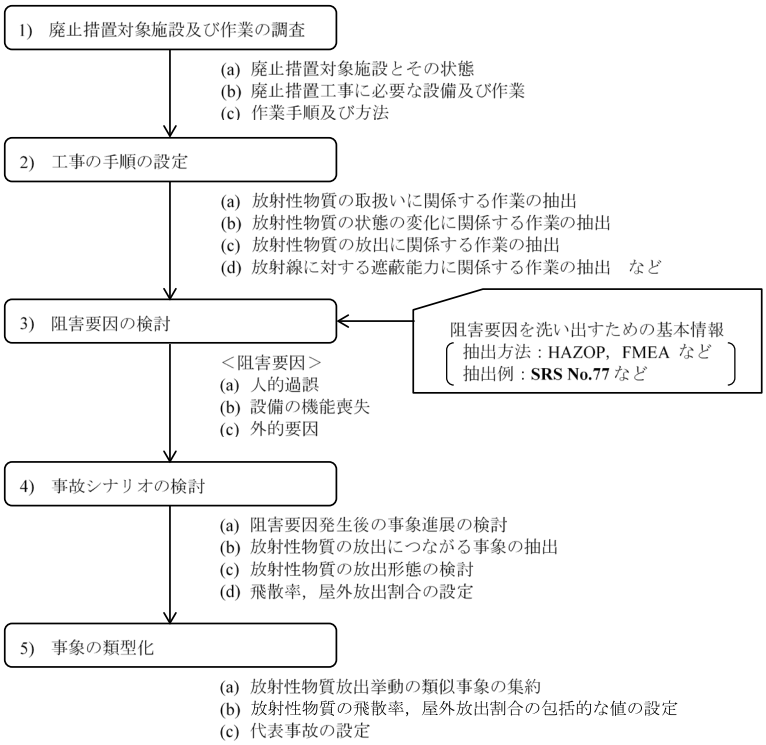

図 3－事故シナリオの抽出手順例

6-4 事故発生時の公衆被ばく評価

事故シナリオをベースに事故発生時の公衆被ばく評価を行う。評価に当たっては，事故の想定に合わせて放射性物質の飛散率又は放射線の放出率を設定する必要がある。基本的には，類型化された事故のうち最も大きな飛散率又は放出率を設定し，かつ，不確定性がある場合にはこれを考慮するのが望ましい。また，付着／沈着などによる放射性物質の放出低減が潜在的に保証できるものに関してはこれを考慮して評価することができる。

6-5 事故の重要度の設定

事故発生時の公衆被ばく評価における潜在被ばく量の結果に基づき，公衆被ばくの観点から区分される重要度を設定する。

6-6 事故発生防止対策及び影響緩和対策の検討

事故発生時の公衆被ばく評価における潜在被ばく量の結果が事故時の目安線量を超過する場合は，想定される事故の発生防止対策又は事故が発生した場合の影響緩和対策を検討する。なお，採用する対策は過去に類似を含む実績があるか，又は新規の場合には稼働条件を適切に設定した試験などによって実証された対策を用いる。

7. 附属書

附属書 A（参考）グレーデッドアプローチを適用した廃止措置計画における安全評価の考え方の例
附属書 B（参考）平常時における施設周辺の一般公衆の被ばく評価モデル例
附属書 C（参考）事故時における施設周辺の一般公衆の被ばく評価モデル例
附属書 D（参考）廃止措置時の平常時被ばく評価における被ばく経路及び評価対象放射性核種の選定例
附属書 E（参考）廃止措置時の事故時被ばく評価における評価対象放射性核種の選定例
附属書 F（参考）廃止措置時の被ばく評価パラメータ例＜線量評価パラメータ＞
附属書 G（参考）廃止措置時の被ばく評価パラメータ例＜飛散パラメータ＞
附属書 H（参考）最大想定事故の選定方法
附属書 I（参考）放射線業務従事者の被ばく線量評価方法
附属書 J（参考）グレーデッドアプローチを適用した廃止措置計画における安全評価の事例

8. 今後の課題

1) このレポートの 6 の考え方を参考として，廃止措置時の耐震安全の考え方［7］にグレーデッドアプローチを適用し，公衆被ばく防護の観点からの重要度に応じた耐震クラス分類の方法を検討する。
2) このレポートの 6 の考え方を参考として，廃止措置時の火災防護計画にグレーデッドアプローチを適用し，公衆被ばく防護の観点からの重要度に応じた火災防護対策の方法を検討する。
3) 廃止措置段階における内部要因、外部要因及び人的要因を考慮した想定事象の抽出の方法及び最大影響事象の設定の方法について体系化された手法の整理を行う。

参考文献

[1] 日本原子力学会標準 “発電用原子炉施設の廃止措置計画における安全評価基準：20XX”，AESJ-SC-XXXX-20XX，一般財団法人，日本原子力学会，（発行予定）

[2] “IAEA Nuclear Safety and Security Glossary　2022 (Interim) Edition”，INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 2022

[3] IAEA Safety Standards,“Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements Part 6”, No. GSR Part 6, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA、（2014）

[4] 日本原子力学会標準 “原子力施設の廃止措置の基本安全基準：20XX” AESJ-SC-XXXX：20XX ，一般財団法人，日本原子力学会，（発行予定）

[5] 日本原子力学会標準 “発電用原子炉施設の廃止措置計画策定基準：20XX” AESJ-SC-XXX：20XX 一般財団法人，日本原子力学会，（発行予定）

[6] Nuclear Engineering and Design 379 (2021) 111212, “Basic Concept of Safety Evaluation Method for Decommissioning of Nuclear Power Plants by Applying a Graded Approach”, Seiichi Kudo, Takuma Sugihara

[7] 日本原子力学会標準 “発電用原子炉施設の廃止措置時の耐震安全の考え方：2013”, AESJ-SC-A006：2013, 2013 年 12 月 20 日，一般社団法人 日本原子力学会