



事故炉の安全確保と管理目標

山本 章夫
名古屋大学



概要

- なぜ管理目標の検討が必要か
- 対象とするリスクの範囲
- 廃炉作業時の原子力安全確保の概要と管理目標
- 各主体における管理目標の必要性
- 策定の主体
- 策定の基本的な考え方
- 構成例
- 管理目標の例



なぜ管理目標の検討が必要か

- 福島第一原子力発電所の廃炉作業を進めるにあたり、廃炉作業に関連するリスクを抑制する必要がある
- リスク抑制の活動を具体化するにあたり、不当なリスクがないことを確認する「目安」が必要となる
 - 安全規制上の目安にもなり得る
 - 低減すべきリスクのバランスを廃炉作業全体で見るための目安
- この「目安」として、廃炉作業に関わる管理目標を検討することが望ましい
 - 非定型の作業が多い福島第一廃炉作業では特に重要性が高い
- これは、動力炉の安全目標と同じ趣旨
 - ただし、動力炉の「安全目標」とは異なる側面もあり、区別するために、以下では「管理目標」と称することにする
- 事故炉の廃炉作業に関して、管理目標をどのように設定すべきか、十分な議論はなされていない



なぜ管理目標の検討が必要か

- 例えば、燃料デブリ取り出しを考える
- 燃料デブリ取り出しにあたっては、燃料デブリの掘削などを行う可能性あり
- また、デブリを保管用の容器に封入し、管理場所まで移動させる必要がある
- これは、燃料デブリを現在の「安定」な状態から変化させることを意味し、短期的にはリスクが上昇する可能性がある
- 一方、デブリ取り出しを含む廃炉作業を進めないと、経年劣化により、福島第一全体のリスクは時間とともに必ず上昇する
- どのように作業の妥当性を判断すればよいのか？



対象とするリスクの範囲

- 廃炉作業時には、様々な「リスク」が想定される。これらの情報を総合的に加味して意思決定する必要あり(リスク情報を考慮した統合的な意思決定)
 - ①原子力安全に関するリスク
 - ②放射性物質や放射線に起因しない一般の労働安全に関するリスク
 - ③廃炉作業に要する費用増加に関するリスク
 - ④廃炉作業に要する期間増大に関するリスク
 - ⑤廃炉作業で発生する放射性廃棄物増加に関するリスク
 - ⑥廃炉作業に関わる人材確保に関するリスク
 - ⑦風評被害などの社会的要因に関するリスク
 - ⑧その他のリスク
- まず原子力安全に関わるリスクを議論する
 - ②については、現場作業一般のもの。③～⑥は原子力安全に関わるリスクを顕在化させないための間接的なもの。⑦は原子力安全に関わるリスクに伴って顕在化する場合が多いと想定される



対象とするリスクの範囲

- 原子力安全に関わる以下のリスクを対象
 - 周辺公衆に対する放射線被ばく
 - 廃炉作業従事者に対する放射線被ばく
 - 廃炉作業に伴う放射性物質の敷地外放出による周辺への影響
- 被ばくとしては、以下の二種類が考えられる。
 - 通常の廃炉作業時の被ばく……………通常被ばく
 - 廃炉作業の異常状態による被ばく…潜在被ばく
- 管理目標を異常時のリスク抑制の目安として考えることから、潜在被ばくを対象とする
 - 通常被ばくについては、被ばく量の法的な管理がなされていること、廃炉作業に起因する追加的な敷地境界線量の目安が1mSv/年とされていること等の理由から対象としない

廃炉作業時の原子力安全確保の概要 と管理目標

項目	通常炉の運転	事故炉の廃炉作業
原子力安全の目的	人と環境を放射線の有害な影響から防護すること	
異常事態対応の 時間的余裕	崩壊熱が大きいいため、高信頼性の設備を使って短時間で対応が必要	冷却が進み、崩壊熱が小さいため、時間的余裕が大きい
現場作業の制約条件	建屋・設備は健全であり、すべての施設・設備が管理下に置かれているため、制約は少ない	汚染のために線量が高い箇所があり、また、設備・建屋などが大きく破損していることから、制約が大きい
経年変化への対応	点検や更新、改善により、対応可能	現場作業の制約のために建屋・設備の点検や更新が十分に出来ない場合があり、経年変化によって時間とともにリスクが増大

廃炉作業時の原子力安全確保の概要 と管理目標

- 廃炉作業における深層防護に基づいた安全確保
 - ①体制整備、運転経験の活用、品質マネジメントシステム(継続的改善を含む)の確立、安全文化の確立などによる安全確保
 - ②使用している常設・仮設機器の状態の監視、点検、検査などによる可能な範囲での健全性の確認及びCorrective Action Program (CAP)による自主的な保安措置
 - ③ダスト状の放射性物質の飛散抑制防止(飛散防止剤の散布、使用済燃料プールからの使用済燃料取り出しの際の建屋カバーと排気系の設置など)
 - ④液体状の放射性物質の漏洩防止(汚染水の浄化、建屋内汚染水レベル・地下水位レベルの制御、遮水壁、汚染水貯留タンクの改善など)
 - ⑤固体状放射性物質の保管庫での管理
 - ⑥ダスト状、液体状放射性物質の放出の監視(ダストモニター、海水・排水路のサンプリングなど)
 - ⑦廃炉作業に伴う敷地境界での放射線量のモニター・管理と制限(1 mSv/y)
 - ⑧各種パラメータ(放射性物質濃度含む)の監視と、通常状態からの逸脱基準(LCO)の設定
 - ⑨異常状態の想定とその対応(主として人的対応、冷却停止時の代替措置、津波・地震などの外的ハザードへの対応、作業員の退避、オフサイトでの対応など)
 - ⑩廃炉作業従事者の被ばく管理と健康管理
 - ⑪上記の枠組みが適正であるか、適正に働いているかを確認する安全規制



廃炉作業時の原子力安全確保の概要 と管理目標

- 例えば燃料デブリ取り出しにあたっては、格納容器に新たな開口部を設ける、原子炉容器の上蓋を開ける等、既存の障壁に対する作業が必要
- 長期的に見て福島第一のリスクを低減させるためには、このような作業は必須
- 一方で障壁を変更することになるため、特定の作業期間中のリスクは短期的に上昇する可能性があり、適正な安全対策が必要
- 管理目標は、廃炉作業中の安全確保の目安であると同時に、このような短期的なリスクの上昇をどのように考えるか、あらかじめステークホルダーが合意を形成しておくためにも重要



各主体における管理目標の必要性

- 管理目標の策定においては、「どの主体が何のために管理目標を必要とするか」という観点が重要
- 周辺公衆(オフサイト)・周辺自治体
 - 廃炉作業リスクがどの程度まで抑制されているのかを確認するための目安
- 従事者(オンサイト)
 - 廃炉作業に伴うリスクが通常炉(事故を起こしていない炉)の廃炉作業に比べて高いと想定される
 - 事故時に最も大きな影響が及ぶのは距離的な観点からサイト内の従業者
 - 従事者のリスク抑制活動(安全確保)を実施する際の目安



各主体における管理目標の必要性

■ 事業者

- 廃炉作業を進めるにあたり実施するリスク抑制活動の目安
- 廃炉作業を進めるための様々な施設や設備を設計するにあたっては、現場環境の制約を考慮するとともに、設備の信頼性や安全対策の設計目標も参照することが必要
- 管理目標は、この設計目標を設定するための上位の条件として必要

■ 規制組織

- 福島第一の廃炉作業にあたっての規制の目安の一つ
- 廃炉作業に関わるリスクは多種多様であり、これらのリスクを統合的に勘案する必要があるが、管理目標はその参考になる

■ 国民

- 廃炉作業を行う際のリスク抑制の水準を広く共有するための目安の一つ



各主体における管理目標の必要性

- 以降では、主として周辺公衆(オフサイト)及び従事者(オンサイト)を念頭において議論する
- このように検討された管理目標は、事業者・規制者からも活用可能であると想定される



策定の主体

- どの主体が、どのような権限や根拠で、どのような形で管理目標の議論すべきか、は難しい問題であり、管理目標策定の目的に依存
 - 例えば、廃炉作業のリスク抑制の水準を念頭においた場合には原子力規制委員会や事業者が管理目標の検討を推進する主体
- 福島第一の廃炉作業においては、現状のサイトの状態を前提(出発点)とする必要があることが留意点
 - 通常の動力炉などに比べて、設備設計や作業形態の自由度が大幅に少ない状態を前提とする必要
 - サイトの現状を抜きにして管理目標を決めたとしても、管理目標が非現実的なものになる可能性
- 廃炉作業に対して第一義責任を有する事業者と、安全規制に責任を有する原子力規制委員会が主となり、さらに関連するステークホルダーを交えて議論を重ねることで、管理目標を策定するプロセスが一つの望ましい形
 - 英国セラフィールドサイトのG6の取り組みが一つの参考になる



策定の基本的考え方

- 福島第一の廃炉作業と動力炉における安全確保の主目的は、いずれも原子力安全の達成
- 一方、福島第一の廃炉作業における安全確保は、動力炉におけるものと異なる点が多く存在することに留意
- 管理目標の対象は異常状態に起因するリスク変動
 - 廃炉作業は、リスクレベルを低下させていく活動であることから、現時点のリスクレベルの絶対値については明示的に管理目標の対象とせず、今後の廃炉作業の進捗及び経年変化により生じるリスクの変動を対象に管理目標を策定する
 - 今後、廃炉作業に伴って追加的に発生する可能性のある放射線被ばくや放射性物質の敷地外放出を念頭において管理目標を策定する
 - 通常の廃炉作業においては、安全確保の枠組みが存在

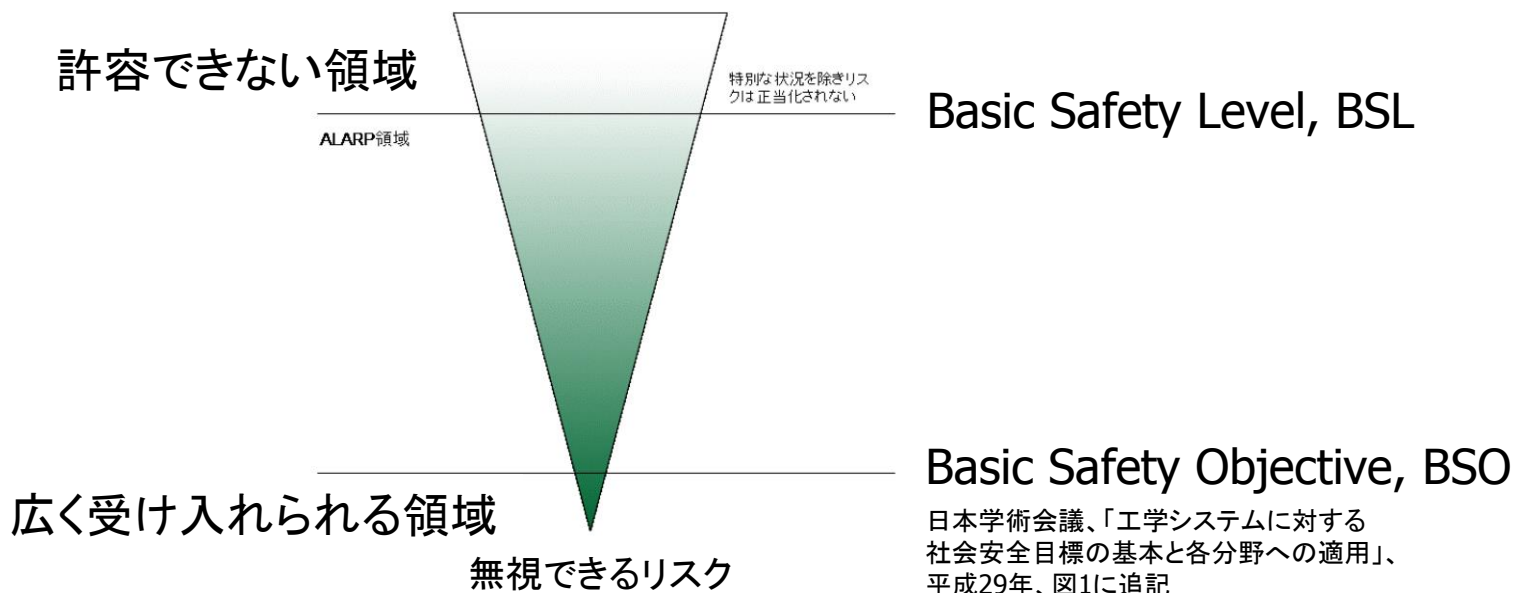


策定の基本的考え方

- リスク変動を短期と長期に分類
 - 短期的なリスクはその時々単位時間当たりのリスクであり、長期的なリスクは、リスクの長期的な時間積分値に対応
 - 管理目標は、主として、「短期リスク増大、長期リスク減少」となる可能性のある作業の判断の目安とする
 - 福島第一の廃炉作業については、作業の制約条件から、廃炉作業の過程で作業時の被ばくなどを含む短期的なリスク上昇が生じる可能性
 - どの程度の短期的なリスク上昇が許容されるかについては、長期的なリスク低下量を考え合わせ、受容できるリスクの範囲内において、放射線防護で用いている最適化の概念を適用して検討できる可能性

策定の基本的考え方

- リスクの変動量とBSL、BSOの関係
 - 安全には幅があり、それ以上リスクが大きいと受け入れられないレベル(Basic Safety Level, BSL)と広く社会から受け入れられるレベル(Basic Safety Objective, BSO)が存在する
 - Basic Safety Level (BSL)は、福島第一においては、平成24年11月7日原子力規制委員会決定の「特定原子力施設指定への指定に際し東京電力福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」などに相当
 - 廃炉作業においては、リスクの絶対値ではなく、廃炉作業に伴うリスクの変動(特に異常状態におけるリスク)を対象とする





策定の基本的考え方

- 管理目標は目安であり、制限値ではない
 - 管理目標は、規制基準～ Basic Safety Objective (BSO) の間に存在するものと想定され、廃炉作業を行う上でのリスク抑制活動の目安となる
 - 管理目標値は制限値ではない
- 継続的改善
 - 管理目標は、固定されたものではなく、廃炉作業の進展、廃炉作業から得られる情報、及び社会情勢の変化などにより、よりよいものにしていく継続的改善の考え方を適用する必要がある

短期リスクと長期リスクの変動と 廃炉作業の正当性

	長期・増大	長期・変化なし	長期・減少
短期・増大	許容されない	許容されない	短期のリスク増加量を慎重に評価し、長期のリスク低減量を勘案したうえで、長期のリスク低減量が多い場合には正当性を持つ。なお、短期のリスク増加量をできるだけ小さくする対策を行うことが必要。
短期・変化なし	許容されない	効果がなく、費用対効果の面から推奨されない。	推奨される
短期・減少	差し迫った当面のリスクを回避する場合に生じえる。廃炉作業において、このケースが生じる可能性は低いと思われるが、緊急の危険回避に限ってこのケースが正当性を持ちうる。後にリスク低減のための対策が求められる。	推奨される	推奨される



管理目標の構成例

- 動力炉の安全目標の構成が参考になる
 - 定性的安全目標: 達成すべき安全上の目標を概念的に示したものの
 - 定量的安全目標: 定性的安全目標を達成するための数値的な目安を示したものの
 - 性能目標: 定量的安全目標を達成するための代替指標であり、設計・管理・運用などで参照できるレベルのもの。
- 福島第一廃炉作業の管理目標としては、動力炉の安全目標とは異なる形式になることも考えられるが、議論の出発点として参考にする



管理目標の構成例

- 動力炉の安全目標の考え方を、条件の異なる廃炉作業に直接適用することは困難な面も考えられる
- 特に、福島第一の廃炉作業において、PRA等の手法によりリスクを確率の形で評価することは困難が伴うことが予想できる
- 定性的目標において、リスクの増加が「放射線被ばくもしくは周辺区域への影響」に起因するものであることを示した上で、定性的目標から性能目標を直接示す形とすることが一つの選択肢
- 定量的目標が設定でき、性能目標を設定するに際して有益であるならば、定量的目標を設定する考え方もあり得る



定性的管理目標の例

- 福島第一原子力発電所の廃炉作業に起因する放射線・放射性物質が周辺公衆へもたらすリスクの増加量は、日常生活に伴うリスクに比べて、十分に低い水準に抑制されるべきである
- 福島第一原子力発電所の廃炉作業に起因する放射線・放射性物質が廃炉作業従業者にもたらすリスクの増加量は、一般産業に従事する際のリスクに比べて同程度以下の水準に抑制されるべきである



性能管理目標の例

- 性能管理目標としては、廃炉作業に伴うリスクの特性を十分に踏まえ、定量的管理目標を適切に代表する指標を選ぶ必要がある
- 適切な指標を組み合わせて用いることが考えられる
- 性能管理目標は、設備や安全対策の信頼性などを検討する上での一つの参考となる
- なお、管理目標が潜在被ばくもしくは敷地外への放射性物質の放出を対象とすることから、これらの性能管理目標は、いずれも異常時を考慮したものとなる
- 通常時の被ばく線量については、別途、法的な枠組みなどで管理



性能管理目標として使用できる 可能性のある指標の例

- 敷地境界線量(例: EAL設定値を参考とする)
- 放射性物質放出量(気体及び液体)
- 空气中ダスト濃度
- 地下水中/海水中放射性物質濃度
- オンサイト従事者被ばく線量
- オンサイト非従事者被ばく線量
- オフサイト一般公衆被ばく線量
- 空間線量(例: OIL設定値を参考とする)
- 土地汚染(例: OIL設定値を参考とする)
- これらの指標に対し、決定論的評価あるいは確率論的リスク評価で目標値を設定する



性能管理目標の評価法の例

- 決定論的評価
 - 代表事故あたりの制限値を示す。例えば、敷地境界線量に対して5mSv、20mSvなどの設定、あるいは、放射性物質放出量の制限値の設定などが考えられる
- 総合的安全性評価(Integrated Safety Analysis)
 - HAZOPなどの手法で発生し得る事故シナリオを抽出し、確率の区分(例:極めて起こりがたい～起こりえるの4区分)と影響の区分(極めて重大～軽微まで4区分)で半定量的に評価
- 確率論的リスク評価
 - 確率と指標の関係を示す



まとめ

- 福島第一原子力発電所の廃炉作業に関する管理目標の考え方について検討
- 事故炉の廃炉作業に関する管理目標は、今後、廃炉作業を安全かつ効果的に進めていくために重要
- このような管理目標はこれまでに十分議論されたことがなく、事業者と原子力規制委員会が主になり、ステークホルダーを交えて十分に議論を尽くして策定する必要がある