

核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会セッション
「原子力における 2S（原子力安全と核セキュリティ）に係る課題と提言」

(2) 妨害破壊行為者のターゲット及び防護すべき区域(設備)の評価

(2) Identification of Vital Areas

**荒井 滋喜¹, 鈴木 美寿², 出町 和之³, 宮野 廣⁴

¹日本原子力学会, ²日本原子力研究開発機構, ³東京大学, ⁴法政大学

1. はじめに

新規制基準では外部事象として自然災害、人為的要因等が考慮されるようになり、地震、津波等についての PRA が議論されている。しかし、同様に考慮が必要な妨害破壊行為については、どのような評価を行うべきか検討が必要な状況と考えられる。

一方、IAEA の Technical Guidance(TG) として、次の資料がある。

IAEA Nuclear Security Series No.16 "Identification of Vital Areas at Nuclear Facilities"

妨害破壊行為者が、発電所に想定以上の放射性物質の放出を起こさせるシナリオを実現させるため、発電所に侵入して機器等を機能喪失させる。上記の TG は、最小限、何処を破壊すれば想定以上の放射性物質の放出に至らしめることができるかを分析するものである。これにより、発電所に妨害破壊行為があった場合でも、想定以上の放射性物質の放出を防ぐため、必ず防護しなければならない区域を特定でき、接近することを困難にする等により、セキュリティ強度の高い発電所の設計が可能となる。

新規制基準においては、重大事故に至るおそれがある事故として、BWR では 8 シーンケンスが示されている。これらのシーンケンスが実現されると、発電所に想定以上の放射性物質の放出が起こる可能性がある。

ここでは妨害破壊行為者が、この 8 シーンケンスのうち次の 2 シーンケンスにしたがって機器等を機能喪失させ、放射性物質の放出を起こさせようとすることを考える。

- ・「高圧・低圧注水機能喪失」シーンケンス
- ・「全交流動力電源喪失」シーンケンス

この時、発電所のどの区域に侵入されると厳しい結果になるかを上記の TG に従って試評価し、TG の有効性について確認することとする。標的のプラントとしては、福島第一 5 号機(1F-5)を想定する。

2. 「高圧・低圧注水機能喪失」シーンケンスに基づく妨害破壊行為

2-1. 「高圧・低圧注水機能喪失」シーンケンスと妨害破壊行為者のターゲット

新規制基準ではこのシーンケンスは次のように定義されている。

- ・運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故(冷却材喪失事故(LOCA)を除く。)の発生後、高圧注水機能喪失し、原子炉の減圧には成功するが、低圧注水機能が喪失して、炉心の著しい損傷に至る。

新規制基準ではこのシーンケンスでも炉心の損傷が生じないように、対策を取ることを求めており、代替の注入設備として可搬式の注入設備(AMLPCI)が設けられているとする。

したがって、発電所に想定以上の放射性物質の放出を起こさせるため、妨害破壊行為者が行う行為は、初期事象の発生と、設備(1F-5 を想定)として RCIC(原子炉隔離時冷却系)、HPCI(高圧注入系)、LPCI(低圧注入系)、CS(炉心スプレイ系)、AMLPCI の機能喪失になる。

* Shigeki Arai¹, Mitsutoshi Suzuki², Kazuyuki Demachi³, Hiroshi Miyano⁴
¹AESJ, ²JAEA, ³Tokyo Univ., ⁴Hosei Univ.

2-2. IAEA の Technical Guidance (TG) にしたがった評価

(1) 初期事象

- ・放射性物質の過大放出(HRC : High Radiological Consequence)を発生させるための初期事象(1E1)として、「運転時の異常な過渡変化」の発生を考える。
- ・妨害破壊行為者が初期事象を起こすシナリオについては、本来十分な評価が必要であるが、ここでは、試評価でもあることから、単純に、タービン建屋に設置されているタービン系の主要設備を破壊することによる過渡変化を考える。これにより原子炉が隔離状態となる。

(2) 設備の構成と設置区域

- ・2-1 項で示した機能喪失させるべき設備(システム)を S1~S5 の略称で示す。各システムについては、冗長化されているかどうかを、トレイン(T)により示す。
- ・次に各トレインを構成する機器(C)を、 C1 : ポンプ、C2 : タービン、C3 : 配管、C4 : 弁、C5 : 電気計装制御機器のように明確化させる。
- ・妨害破壊行為者は、上記に示された機器の機能を喪失させるため、機器の設置場所にアクセスする必要があるため、各機器の設置場所(L)を定義する。

(3) 数式化

数式化に用いる記号の意味は下表のとおりである。

Symbol	Operation
+	OR
*	AND

放射性物質の過大放出(HRC)を発生させるため、「高圧・低圧注水機能喪失」シーケンスに基づく妨害破壊行為を SEQ1 すれば以下となる。

$$\text{HRC} = \text{SEQ1}$$

SEQ1 は、初期事象(1E1)が発生しさらに S1~S5 の全てのシステムが機能喪失すれば成立する。また各トレインは、いずれかの機器の機能喪失で、機能が喪失する。したがって、以下のように数式化することができる。

$$\text{HRC} = 1\text{E1} * \text{S1} * \text{S2} * \text{S3} * \text{S4} * \text{S5}$$

$$\text{S1} = \text{T1}, \text{S2} = \text{T2}, \text{S3} = \text{T3} * \text{T4}, \text{S4} = \text{T5} * \text{T6}, \text{S5} = \text{T7}$$

$$\text{T1} = \text{C1} + \text{C2} + \text{C3} + \text{C4} + \text{C5} + \text{C6}, \text{T2} = \dots$$

これらの式の各項を、初期事象についてはその発生区域、機器については設置されている区域に置き換える。ついで Boolean algebra を用いて簡略化すると以下の式となる。

$$\text{T1} = \text{L5} + \text{L5} + \text{L6} + \text{L6} + \text{L6} + \text{L9} = \text{L5} + \text{L6} + \text{L9}, \text{T2} = \dots$$

$$\text{S1} = \text{T1} = \text{L5} + \text{L6} + \text{L9}, \text{S2} = \dots$$

$$\text{HRC} = 1\text{E1} * \text{S1} * \text{S2} * \text{S3} * \text{S4} * \text{S5} = \text{L1} * \text{L2} * \text{L3} * \text{L4} * \text{L5} * \text{L7} + \text{L6} * \text{L7} + \text{L7} * \text{L9}$$

以上に導かれた数式により、妨害破壊行為者に 3 つの区域セット(L1*L2*L3*L4*L5*L7, L6*L7, L7*L9)のいずれかに侵入されると HRC が発生することがわかる。

HRC を防ぐため、必ず防護しなければならない区域の特定は、HRC の補集合を考え、Boolean algebra を用いて簡略化することで求められる。補集合を下線で示すと以下の式が得られる。

$$\underline{\text{HRC}} = \underline{\text{L7}} + \underline{\text{L6}} * \underline{\text{L9}} * \underline{\text{L1}} + \underline{\text{L6}} * \underline{\text{L9}} * \underline{\text{L2}} + \underline{\text{L6}} * \underline{\text{L9}} * \underline{\text{L3}} + \underline{\text{L6}} * \underline{\text{L9}} * \underline{\text{L4}} + \underline{\text{L6}} * \underline{\text{L9}} * \underline{\text{L5}}$$

ここで、**HRC**は、放射性物質の過大放出(HRC)の防止を、**L7**は、**L7** へのアクセスが防止されることを示している。その他も同様である。

この式により、**L7**を防護するか、**L6**および**L9**および(**L1**~**L5**のどれか一つ)を防護すれば、**HRC**を避けることができることがわかる。

(4)評価

以上のように、IAEAの**Technical Guidance(TG)**を用いて分析することで、防護すべき特定の区域が抽出されるものと考えられる。

なお、もう一つのシーケンスである「全交流動力電源喪失」シーケンスについても、同様に評価することができる。

3. 海外の事例

前節で行った評価は試評価に過ぎないが、プラントとして行った例としてWH社のものがある。

参考文献：NUREG/CR-1345 SAND80-0477/1 Nuclear Power Plant Design Concepts for Sabotage Protection, David M. Ericson, et al.

WH社の標準原子炉施設(SNUPPS)に対して評価した結果(SNUPPS：4ループPWR、1188MWe)、

- ・56項からなる**HRC**の式が得られた。

内訳は、5項：1箇所の損傷で**HRC**発生

30項：2箇所の損傷で**HRC**発生

18項：3箇所の損傷で**HRC**発生

3項：4箇所の損傷で**HRC**発生

- ・この補集合を考えることにより、防護しなければならない区域として2304項が特定され、最小の防護区域としては17箇所、最大で24箇所となった。したがって、この17箇所を防護できれば、妨害破壊行為から**HRC**を防ぐことができることになる。
- ・この結果に対し、上記の区域への接近を防止するため、設計変更案が考慮された。また、上記の区域に対してどのような経路で侵入することが時間的に早いか、検知されずにアクセスすることが出来るか、物理的な障壁はどうか等について評価し、妨害破壊行為に脆弱な区域を探ることが考えられた。

4. まとめ

原子炉施設に妨害破壊行為があった場合でも過大な放射性物質の放出を防ぐため、防護しなければならない区域の評価をIAEAの**Technical Guidance(TG)**を用いて実施した。

過大な放射性物質の放出を実現するためのシーケンスとしては、新規規制基準で重大事故に至るおそれがある事故として定義されたシーケンスの2つを用い、**BWR**を例として試評価した。

その結果、限定された条件での評価ではあるが、防護すべき特定の区域が評価されることがわかり、今後、このような評価を進めていく必要があると考えられた。このような評価は海外においても実施されており、その結果を踏まえて設計を見直すことも考えられている。日本においても、同様な評価を進め、セキュリティ強度の高い原子炉施設を設計していく必要があると考えられる。その際には、今回の評価では行っていないが、上記の**TG**に示されているような安全設計への影響、防護措置の容易さ・費用効果などの評価も必要である。