

経年劣化及び保守点検効果を考慮した 原子力プラントの時間依存アンアベイラビリティ

輸送高度化研究領域 *岡崎忠胤, 日本原子力研究所 三友信夫, 海上安全研究領域 松岡猛

1. はじめに

福島を初めとする原子力プラントは, 稼働当初から 30 年を超え経年劣化による影響が重要な問題となり, 安全かつ経済的な継続運転のためには, 適切な保守点検作業が重要な課題となっている. 従来のレベル 1PSA では, 故障率は一定として解析が行われているが, 経年劣化を考慮した場合には, 例えば故障率は時間とともに増加することが予想される.

そこで本研究では, 更新理論に基づいた時間経過に依存する機器のアンアベイラビリティ(Unavailability)に着目し, 保守点検周期を変更した場合の機器の時間依存アンアベイラビリティ導出方法を示す. そしてさらに, システム例として PWR 型原子力プラントの余熱除去設備(RHRS)を対象に, 経年劣化時の保守点検周期を変更した場合のシステムアベイラビリティについての試算結果を併せて報告する.

2. 時間依存アンアベイラビリティ

プラントを構成する各機器の点検と修理について以下の仮定を設定すると,

1. 機器の点検は周期 T により行う
 2. 機器の故障は点検時に発見される
 3. 機器の点検と修理は周期 T にくれば十分に短い時間で行われる
 4. 点検及び修理により機器は新品同様となる
- 更新理論に基づいた時間依存アンアベイラビリティ: $U(t)$ は,

$$U(t) = \int_{nT}^t dt' f(t', 0) + \sum_{k=1}^n U(kT) \left[e^{-\int_0^{(n-k)T} dt' \lambda(t')} - e^{-\int_0^{t-kT} dt' \lambda(t')} \right] \quad (1)$$

$$nT < t \leq (n+1)T \quad (n=0, \dots, 1)$$

ただし,

$f(t', t)$: 時刻 t' に修理が完了した機器の時刻 t における機器の故障確率密度関数

$\lambda(t)$: 時刻 t における故障率

と導出できる.

ここでは, 機器の故障確率密度関数をワイブル分布と仮定し,

$$f(t, t') = \begin{cases} \lambda_0 e^{-\lambda_0(t-t')} & \text{if } t-t' < \tau \\ \lambda_0 \left(\frac{t-t'}{\tau} \right)^b e^{-\frac{\lambda_0 \tau}{b+1} \left[b + \left(\frac{t-t'}{\tau} \right)^{b+1} \right]} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

と表現し, 故障率を

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0 & \text{if } t < \tau \\ \lambda_0 \left(\frac{t}{\tau} \right)^b & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

とする. ただし,

τ : 経年劣化が始まる経過時間

λ_0 : 経年劣化以前の故障率

b : ワイブル分布の形状パラメータ

すると, 式(1)は,

$$U(t) = R(nT) \left(1 - e^{-\lambda_0 t} \right) + \sum_{k=1}^n U(kT) R[(n-k)T] q(kT, t) \quad (4)$$

$$nT < t \leq (n+1)T \quad (n=0, \dots, 1)$$

と表現でき, 時間依存アンアベイラビリティの算出が可能となる.

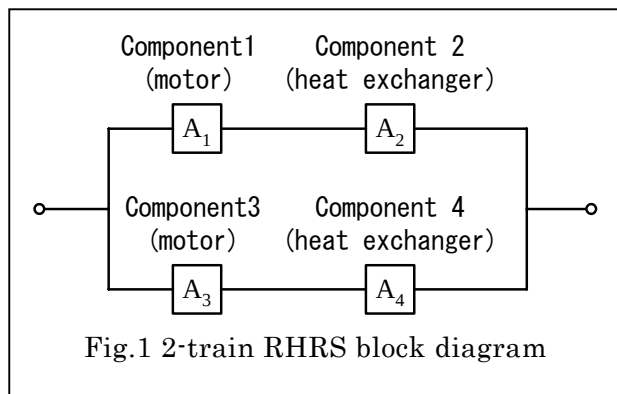
ただし,

$$R(t) = \begin{cases} e^{-\lambda_0 t} & \text{if } t < \tau \\ e^{-\frac{\lambda_0 \tau}{b+1} \left[b + \left(\frac{t}{\tau} \right)^{b+1} \right]} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$q(kT, t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_0(t-nT)} & \text{if } (n-k)T < \tau \\ 1 - e^{-\frac{\lambda_0}{(b+1)\tau^b} \left[(t-kT)^{b+1} - \tau^{b+1} \right]} & \text{if } (n-k)T \geq \tau, t-kT < \tau \\ 1 - e^{-\frac{\lambda_0}{(b+1)\tau^b} \left[(t-kT)^{b+1} - (n-k)^{b+1} T^{b+1} \right]} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

3. 保守点検周期とアンアベイラビリティ

ここでは、Fig.1 に構成を示す PWR の RHRS を対象に保守点検周期の変更とアンアベイラビリティについての検討を行う。なお、各機器の故障確率のパラメータは Table.1 の通り仮定する。



Tabel.1 Parameters of the Weibull Distribution

	Component 1and 3	Component 2 and 4
λ_0 (year ⁻¹)	0.05256	0.0001
τ (year)	5	15
b	7	3

まず、モータポンプである Component 1 について、経年時 40 年の時点で保守点検周期を 12 ヶ月から 8 ヶ月に変更したケースの計算結果を Fig.2 に示す。

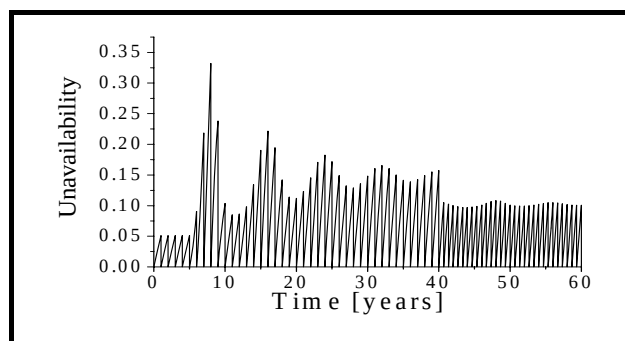


Fig.2 Unavailability of Component 1

この計算結果から、経年時 40 年の時点で、保守点検周期を 12 ヶ月から 8 ヶ月に短縮することにより、機器のアンアベイラビリティが、0.16 から 0.11 へ減少する効果があることが読みとれる。

一方、Component 2,4 は熱交換機であり、点検は実施するものの機器の交換作業は実施しないと仮定し、更新理論を適用しないと、そのアンアベイラビリティは、Fig.3 のとおり経年時間と共に増加する。

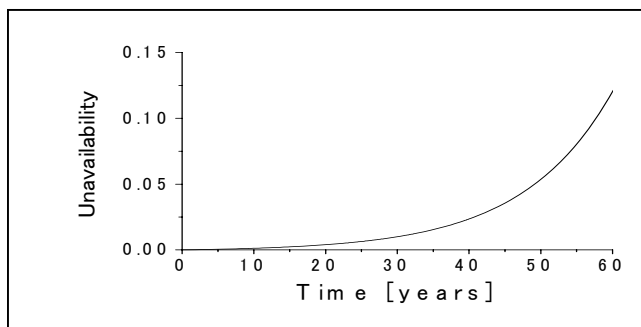


Fig.3 Unavailability of Component 2

以上の計算結果を基に、システム全体のアベイラビリティについて計算すると Fig.4 のとおりとなる。図中、比較のため Component 1,3 の保守点検周期を経年時 40 年の時点で短縮しなかった場合のケースを点線で併せて記述した。

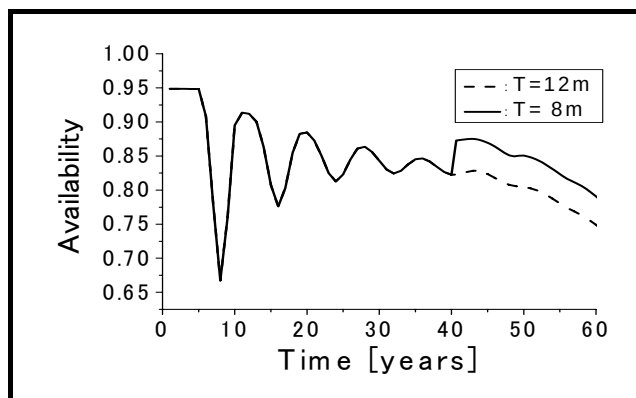


Fig.4 System Availability

Fig.4 の結果から明らかな通り、本研究手法により、保守点検周期の変更がシステムアベイラビリティへの程度影響するかを試算することが可能となる。

4. まとめ

本研究では、更新理論に基づいた時間経過に依存する機器のアンアベイラビリティに着目し、PWR の RHRS を対象に、保守点検周期を変更した場合の機器の時間依存アンアベイラビリティ及びシステムアベイラビリティを導出し、本計算手法により、機器の保守点検周期の変更によるシステムアベイラビリティの定量的変化を得ることが可能であることを示した。

謝辞

本研究は、文部科学省国立機関原子力試験研究費により実施しました。