

大規模人工システムの保全における オンラインメンテナンスの有効性の定量的評価手法

Effective On-line Maintenance in Large Scale Artificial Systems

東京大学大学院	望月 雅文	Masafumi MOCHIDUKI	Student Member
東京大学大学院	関村 直人	Naoto SEKIMURA	Member
東京大学大学院	古田 一雄	Kazuo FURUTA	Non-Member

Abstract The cost of generation of nuclear power plants needs to cut down. For this purpose, the cost of maintenance which influence the total cost very much should be cut down. In this research, I succeeded in reduction of the cost of maintenance using ON-LINE MAINTENANCE (OLM). I made the judgment standard whether OLM could be applied by using RAW and showed its usefulness.

Keywords: On-line Maintenance, BDM, Middle Event, Optimization, Cost
E-mail: mochizuki@cse.k.u-tokyo.ac.jp

1. 背景と目的

原子力発電所の保全は従来、安全性を重視しすぎ過度な点検・取り替えが行われてきた。しかし、現在は高い安全性だけでなく、経済性をも追求することが求められている。このため、従来の時間基準保全だけでなく、事後保全や状態基準保全といった様々な保全方式を取る必要が議論されている。

本研究ではその議論からさらに一歩進んで、保全作業を運転中に行うオンラインメンテナンス(OLM)適用の有効性を、頂上事象発生確率・経済性の点から検討した。OLM適用の可否性を判断する方法を提案し、その判断基準に従いOLMを適用することの有効性を示した。

2. 解析の手順

本研究では原子力発電所のある制御系について解析を行った。故障率は経年劣化を考慮してワイブル分布に従うものと仮定した。機器数は52であり、解析対象 Fault Tree(FT)のミニマルカットセット数を評価したところ176であった。OLMは並列した複数機器を有する4箇所にも適用するものとし、システム運用期間を30年として、運用期間全体の総コストを目的関数とするシミュレーションにより、以下の解析を行った。

- (1) OLMを適用しない状態での保全政策策定
- (2) OLMを適用した状態での保全政策策定
- (3) 本研究で提案したOLM適用箇所の判断基準に従った、OLM適用の妥当性の評価
- (4) 有効な箇所すべてにOLMを組み込んだ場合の、保全効果の向上性評価

3. 解析手法

3.1 保全政策

保全政策として、事後保全(BDM)、時間基準保全(TBM)、状態基準保全(CBM)、点検(CHECK)の4つを用いた。OLMの適用により、本来システム停止を伴う保全政策であるTBMとCHECKでは、保全費用から停止コスト分が削減される。

3.2 リスク増加価値

リスク増加価値(RAW)とは式(1)で表される機器の重要度のことであり、該当危機の故障を仮定した時の頂上事象発生確率上昇率を表す。

$$RAW = P(top | i = 1) / P(top) \quad (1)$$

$P(top | i = 1)$ は機器*i*が故障状態の時の頂上事象発生確率を、 $P(top)$ は頂上事象発生確率を表す。

3.3 中間事象の重要度

重要度はこれまで FT の基本事象である機器に対して用いられてきた。本研究では、これを頂上事象と基本事象の間の中間事象に用いることで、単一の機器ではなくまとまった機器集団についての評価が必要であるオンラインメンテナンス適用の可否判断を可能とした。

4. 結果と考察

4.1 OLM を適用しない状態の保全政策最適化

シミュレーションの結果、様々な保全方式を用いることで、時間基準に拠った従来の保全方式と比べ、安全性を維持したまま大幅にコストを削減することができた。ここで求めた結果と、周期 1 年の TBM のみ、BDM のみの場合の $P(\text{top})$ 、コストの比較を Fig.1 に示した。尚、この時の $P(\text{top})$ は 0.089、コストは 68900 と求められた。

本研究ではこの結果にさらにオンラインメンテナンスを適用することでよりよい保全政策を模索した。

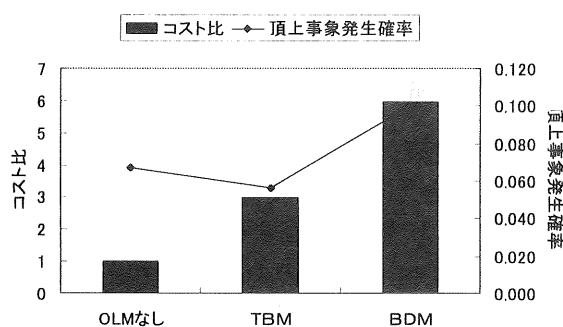


Fig. 1 Without OLM, only TBM and only BDM

4.2 OLM の適用とその評価

次に、OLM を適用してコスト最適化シミュレーションを行った。OLM 適用箇所である中間事象の名称とその中間事象の RAW、その中間事象以下の機器数とその保全政策を Table 1 に記す。但し、保全政策は 4.1 からの変化を矢印で示した。また、保全政策の括弧の中の数字は保全周期を表し、単位は年である。

Table 1 The middle events and changes of maintenance methods

	中間事象名	RAW	機器数: 保全政策の変化
①	抽出オフィス系故障	1.00	6 : CHECK(5) → TBM(4)
②	ほう酸ポンプ2台故障	1.23	2 : CHECK(5) → CHECK(4) 2 : TBM(4) → TBM(4)
③	充てんポンプ系故障	1.02	2 : TBM(2) → TBM(2) 2 : BDM → BDM
④	充てんライン最終段故障	3.58	2 : CBM → CBM 4 : TBM(4) → TBM(4)

(1) OLM 適用の判断基準 1 :

OLM 中の頂上事象発生確率上昇度

OLM 実施時はシステムから機器を切り離しているため頂上事象発生確率は上昇する。この頂上事象発生確率の上昇度は式(2)で表される。

$$\text{上昇度} = P(\text{top}) \times (\text{RAW} - 1) \quad (2)$$

但し、ここでの $P(\text{top})$ は OLM 適用前の頂上事象発生確率のことである。RAW が該当事象の故障を仮定した場合の $P(\text{top})$ の変化率を表すために上昇度は式(2)のように表される。この上昇度が大きいと OLM 適用のリスクは大きい。

本研究の解析対象では、Table 2 に示すように、RAW の大きい④は、上昇度も 0.25 と大きな値を示し、OLM 適用は適当ではないと言える。

Table 2 RAW and the degree of rise

	①	②	③	④
RAW	1.00	1.23	1.02	3.58
(2)	0.000	0.020	0.001	0.230
simulation	0.000	0.019	0.001	0.251

(2) OLM 適用の判断基準 2 :

経済性の向上

OLM 適用によりシステムを停止することなく保全を行うことが可能となり、システム停止に伴う利益損失を主とした停止コストがなくなる。OLM 適用によるコスト削減幅は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{コスト削減幅} = & \text{停止コスト} \times \text{減少した保全回数} \\ & + \text{保全政策の変換に伴うコスト変化} \quad (3) \end{aligned}$$

但し、減少した保全回数とは、OLM 適用前後で減少した、全期間を通してのシステム停止を必要とする保全の回数のことである。減少した保全回数は保全周期と負の相関関係があり、一般的に該当機器の保全周期が短いとコスト削減幅は大きくなる。また、減少した保全回数は稼働率の向上を計るのにも有効である。式(3)のコスト削減幅が大きい程 OLM の有効性は大きい。

本研究における、OLM を適用した中間事象番号、保全政策とその周期、減少した保全回数、コスト削減幅、OLM 適用のシミュレーションで削減されたコストの例を Table 3 に示す。他の値に比べ③が大きな値を示した。これは③につながる機器の保全周期が2年と、他の中間事象につながる機器の保全周期に比べて短いからである。

Table 3 The number of decreased maintenance and the change of cost

	保全政策 (周期)	保全 回数	コスト 削減幅	シミュレー ション結果
③	TBM(2)	45	4500	4580
④	TBM(4)	28	2800	1634

4.3 OLM 適用箇所の選定とその有効性

以上で示した判断基準により OLM 適用箇所を選定すると、①②③は適用が妥当である。しかし、④は、OLM 中の頂上事象発生確率の上昇度が高く経済性・稼働率の向上もそれ程望めないことから、OLM 適用は妥当でない。

①②③の箇所に同時に OLM を適用してシミュレーションを行った結果、全体の平均頂上事象発生確率とコストは Fig.2 のようになった。OLM 適用前後で、頂上事象発生確率は 1%しか上昇していないにもかかわらず、コストは 13%と大幅に削減されている。このため、本研究で提案した OLM 適用箇所選定方法は有効であり、それに基づいた OLM の適用は効果的であると言える。

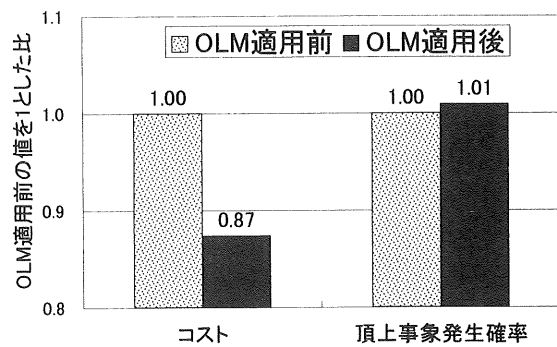


Fig.2 The change of cost and probability by OLM

5. 結論

本研究では、安全性を維持したまま経済性の向上を目指した保全政策の改善において、経済性・稼働率の点で有効であるオンラインメンテナンス(OLM)に着目した。そして、従来は機器にしか用いなかったリスク増加価値(RAW)を中間事象に用い、OLM 適用の可否を頂上事象発生確率・経済性の点で評価する判断基準を提案した。この基準に基づいて OLM 適用箇所を決め保全を行うことで、安全性を損なわずに大きな経済効果・稼働率の向上を望める。

本稿では既存の冗長システムに OLM を適用することを試みたが、今後は OLM の有効性を追求した新規システムの構築といった設計や、付加的冗長システムを導入し OLM を適用することで既存システムの拡張・改善を行う投資などを見据え、幅広い視野での応用が求められる。

参考文献

- [1] 日本機械学会編, “RC158 軽水炉型原子力発電所保全研究分科会研究報告書”, 2000.
- [2] 日本機械学会編, “RC177 軽水炉型原子力発電所保全研究分科会研究報告書”, 2003.
- [3] 三根久・河合一 著, “信頼性・安全性の基礎数理”, 日科技連, 1984.

