

平成 22 年 5 月 20 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
 研究期間： 2007 年 ~2010 年  
 課題番号： 19710125  
 研究課題名 (和文) 状態監視保全における最適保全方策とその応用

研究課題名 (英文) Optimal Procedure for Condition Monitoring Maintenance

研究代表者 金路 ( Lu JIN )  
 電気通信大学・電気通信学部・助教  
 研究者番号：00436734

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：状態監視保全

### 1. 研究計画の概要

近年の科学技術の進歩に伴い、システムが巨大化・複雑化している今日、事故や故障による社会的損害は計り知れない。故障を防ぐにはシステムの構成要素である部品一つ一つの耐久性を向上させるとともに、そのシステムの運用段階において監視装置を用いた予兆情報などにより故障を事前に抑える予防保全が重要となる。本研究はナノセンサー、IC タグなどのような監視装置 (以下モニターと呼ぶ) を用いて対象システムの内部の状態を間接的に観測する状態監視保全を着目し、最適保全方策とその応用について検討する。

本研究には大まかに、状態監視保全において部分的に観測可能なマルコフ過程モデル (以下、POMDP モデル) を仮定した場合に、最適保全方策が Monotone Procedure (単調方策とも) に限られる為の条件の理論検討、POMDP モデルの実用性の検討、更に、POMDP モデルの拡張の検討、の 3 つの目標がある。

### 2. 研究の進捗状況

#### (1) 最適保全方策の理論的な検討 (完成)

本研究は対象システムがマルコフ劣化し、その内部状態が直接把握できず、モニターの観測値に基づき、真の状態を推測する POMDP モデルを用い、状態監視保全をモデル化し、最適保全方策について検討し、以下の成果を得られた。

- ① モニターの数を 1 台のみではなく一般の  $n$  台とし、これらのモニターが独立の場合、Monotone Procedure が

最適となる為の十分条件を示した。

- ② 上記において、 $n$  台のモニターが独立でない場合の最適保全方策を考察し、Monotone Procedure が最適となる為の十分条件を示した。
- ③ 状態推移確率行列  $\mathbf{P}$  が SI (Stochastic Increasing) の性質を持つ場合、システムの状態と観測値を関連付ける条件付き確率行列  $\mathbf{\Gamma}$  が単位行列であることは、最適保全方策が Monotone Procedure により与えられる為の必要十分条件であることが証明でき、この条件をこれ以上緩めることは出来ないことが判明した。
- ④ Monotone Procedure 以外に、現実の状態監視保全でよく使われている  $k$ -out-of- $n$  方策の最適性を検討し、最適保全方策が  $k$ -out-of- $n$  方策により与えられる為の必要十分条件を示した。

#### (2) 状態監視保全の実施例の収集と POMDP モデルへの適用 (ほぼ完成)

航空機は、システムとして非常に多くの部品で構成されている。すべての部品を飛行の度に交換することはコストと安全性の両面から最適ではない。機体内の監視装置や、着陸後の点検などにより、状態監視保全が活用されているシステムの例である。例えば、胴体の劣化について、亀裂の発見および測定、そしてその記録が行われている。しかし、実際の保全方策には POMDP モデルに基づいて最適な方策を用いているわけではない。ここでは本研究の実例として、胴体の劣化を

対象に、POMDP モデルの適用を試みた。

(3) 異なる外部条件の下での状態監視保全  
(未完成)

使用条件、環境条件、保全条件の変化により P が変化する場合への拡張を試みる。まずは複数の状態推移確率行列を扱う場合の状態監視保全をモデル化し、最適保全方策を検討する。

3. 現在までの達成度

(1) 最適保全方策の理論的な検討

**達成度:** ①当初の計画以上に進展している  
**理由:** POMDP モデルは状態監視保全において、Monotone Procedure が成立するための P が TP2 (Totally positive of order 2) に従うという条件を SI に緩めることはこの四半世紀以上にわたって世界中の多くの研究者が挑戦してきた。P が SI かつ  $\Gamma$  が単行列であることが、最適保全方策が Monotone Procedure に限られるための必要かつ十分条件である、として、これらの試みに最終的な結論を与えた。  
また、Monotone Procedure 以外に、現実の状態監視保全でよく使われている  $k$ -out-of- $n$  方策の最適性も検討し、成果を挙げた。

(2) 状態監視保全の実施例の収集と POMDP  
モデルへの適用

**達成度:** ②おおむね順調に進展している  
**理由:** 航空機の胴体の事例を、学術文献および産業界が公開している資料に基づいて検討した。これ以外に状態監視保全の実施例を、引き続き学術文献や企業などが公開している資料を収集し、POMDP モデルの適用の検討を進める。

(3) 異なる外部条件の下での状態監視保全

**達成度:** ③やや遅れている  
**理由:** 状態監視保全の対象システムにおいて、使用条件や環境の変化などにより、状態推移確率行列が変化することを、ここでは外部条件の変化、と言う。この場合への POMDP モデルの拡張、および最適方策の検討が遅れている。数理モデルの構築可能だが、実際の問題に役立つモデル、およびそれについての最適方策の検討のためには、外部条件の変化に晒されているシステムの状態監視データの入手が望ましいが、条件を含めた情報の収集例は少なく、まだ実現できていないことによる。

4. 今後の研究の推進方策

引き続き、POMDP モデルの実用性の検討、更に、POMDP モデルの拡張の検討、のために、状態監視保全の事例の収集に努める。

また、P が TP2 となるための対象システムに関する故障のメカニズム (物理的・化学的変化) の条件やシステムの構造の条件を明確にし、本研究課題の更なる発展への足がかりを得たい。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 1 件)

Jin, L., Horikoshi, Y. and Suzuki, K. (2009): Optimality of  $k$ -out-of- $n$  Systems for Condition Monitoring Maintenance Using Dependent Information, Quality Technology and Quantitative Management, Vol. 6, pp.23-32. (査読あり)

[学会発表] (計 3 件)

1) Jin, L. and Suzuki K. (2009): Necessary and Sufficient Condition for Control Limit Policy in Partially Observable Markov Decision Process with Stochastic Increasing, Proceedings of the 7th Asian Network for Quality Congress, pp.727-736, Tokyo, Japan. (2009年9月17日)

2) Jin, L., Kumagai K. and Suzuki K. (2007): Control Limit Policy for Partially Observable Markov Decision Process (POMDP) Based on Stochastic Increasing, Proceedings of ICRMS2007: International Conference on Reliability Maintainability and Safety, Beijing, pp.87-92, China. (2007年8月22日)

3) Jin, L., Endo, M., Tanaka, K. and Suzuki, K. (2007): Optimal Design for a Monitoring System Comprising  $n$  Dependent and Non-identical Sensors, Mathematical Methods in Reliability: Methodology and Practice, Glasgow, pp.1-12, U.K.. (2007年7月2日)

[その他]

本研究課題に関し、下記の賞を受賞した。

2009年9月

第7回アジア品質管理シンポジウム国際会議 (7th ANQ Congress Tokyo)

2009年度 The Best Paper Award 受賞

2008年5月

日本信頼性学会 2007年度若手奨励賞受賞