

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：34509

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01296

研究課題名(和文) 不完全観測下における点検の有効性と保全活動への応用に関する研究

研究課題名(英文) Study on effectiveness of inspection under imperfect inspectoin and application to maintenance activities

研究代表者

佐藤 毅 (SATO, TAKASHI)

神戸学院大学・共通教育センター・准教授

研究者番号：30304405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：複数のユニットから構成されるシステムに対し、点検能力やユニット信頼度関数を考慮した点検実施機会(期間)について、構造関数の概念を導入し近似的に導出した。これより、本来意思決定に不要な点検を排除でき、多くのメリットを享受できる。しかし、構成ユニット間の独立性を仮定しており、一般化に向けた考察が課題である。

また、システムを構成するユニットの重要度に着目し、不完全点検下において、ユニットの点検順序についても考察した。その結果、ユニットの重要度・信頼度・点検能力が、点検順序に影響を与えることも確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会を支えるインフラストラクチャーの延命・長寿命化にとめない、適切な保全活動の必要性が、近年急速に伸びてきている。不完全点検環境下において、真の状態が点検では分からない以上、点検結果に基づく保全活動の意思決定には誤った意思決定を下すリスクを少なからず伴う。本研究では、誤った意思決定下す可能性が高い不完全点検を排除する点検しきい値を導出した。この点検しきい値を利用することで、不要な点検を回避し、点検に必要なコストの削減ができ、さらには、間違った意思決定によりもたらされる本来不必要なコストの削減も期待できる。

研究成果の概要(英文)：It considered the existence of effective inspection opportunities under imperfect inspection. The inspection opportunity (period) of a system composed of multiple units was approximately derived.

The structure function, inspection capability, and a reliability function were considered in the derivation. In addition, for the purpose of expansion to multivariate fault distribution, it derived the inspection period under bivariate fault distributions. Focusing on the importance of the units, it examined the inspection order of the units, which consist of the system, under imperfect inspection. As a result, it was confirmed that the unit importance, reliability, and inspection capability of the unit affect the inspection order.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

キーワード：不完全点検 点検しきい値 ユニット重要度 構造関数

1. 研究開始当初の背景

社会基盤の長寿命化・供用期間の延長が求められ、維持管理技術の重要性が増している。その根幹たる点検・検査などに代表される診断技術において、不確かな情報しか得られない場合、つまり、不完全点検下において、いかに診断結果を理解し維持管理へ適用すべきかが重要となる。維持管理の意思決定では、維持管理費用に代表される評価規範値の最適(最大、最小)化が重要となり、問題を定式化、その後、解析を行うことが必要となる。

従来の不完全点検下における維持管理問題は、先の評価規範に基づく最大・最小化問題が研究の主流であった。しかし、不完全点検下における点検結果は、真の状態を反映できない可能性があることから、点検結果を全面的に信用し、維持管理上の意思決定を下すことは危険をとまなう。したがって、不要な点検を排除しリスクの削減をはかることが、不完全点検下における保全計画立案にとって重要な要求事項でもある。

前述の背景のもと、不完全点検の実施時期を決めるモデルの提案へと着想へいたった。

2. 研究の目的

(1) 点検を実施すべき境界条件(点検しきい値)の導出

前出のとおり、不要な点検を排除しリスクの削減をはかることが、不完全点検下における保全計画立案にとり重要な要求事項でもある。したがって、点検能力、保全対象の信頼度関数(故障分布関数)、保全を実施すべき機会を設定し、点検を実施すべきではない期間の導出をする。

(2) 質的点検に基づく点検計画問題

前出の点検を実施すべきではない期間を考慮し、従来より研究されている点検モデルを適用した点検計画問題について提案する。また、従来モデルと、本提案モデルについて数値実験を実施し、両モデルの比較をする。

(3) 多重ユニットシステムに対する点検しきい値の導出

一般に、システムを構成するユニット数の増加にとまなない、システム信頼度評価は難しくなる。また、ユニット間の依存特性を考慮すると、その難易度はさらに増す。以上の点を考慮し、限定的ではあるものの、一定の条件下における多重ユニットシステムに対する点検しきい値の上下限について近似的に導出する。

(4) 多状態システムに対する点検しきい値の導出

システム状態が複数の状態(段階)であらわされる多状態システムに対し、点検しきい値をどのように設定・導出するかについて考える。

(5) 多重ユニットの点検順序の決定方法の導出

多重ユニットシステムでは、システム全体を一度に点検することが困難である場合が多く、ユニットごとに点検を実施することがある。また、各ユニットの点検環境が異なることも十分考えられ、不完全点検下における点検順序に対し、何らかの妥当性が欲しい。したがって、システムを構成する各ユニットの点検順序について、点検しきい値の概念を持ち込み、その決定方法について考える。

3. 研究の方法

(1) 「研究の目的」(1)について

不完全点検の場合、最も簡略化された点検誤りは、“正常状態を故障状態と判断する”、“故障状態を正常状態と判断する”の2種類に分類される。そこで、先の点検誤り確率を仮定し、点検実施前の対象物の故障確率と、点検実施後に推定される故障確率の違いに着目する。点検結果に依存し、点検実施前後で保全活動の意思決定に違いが生じる場合と、生じない場合があることから、その境界値を点検しきい値と定め、点検実施の有無に関する領域(期間)を導出する。

(2) 「研究の目的」(2)について

最も古典的であり、応用範囲も広い定期点検問題に対し、点検しきい値により定められた“点検実施を推奨される期間においてのみ点検を実施できる”との制約を与える。そのうえで、無限計画期間における総期待保全費用最小化問題として数値実験を実施する。

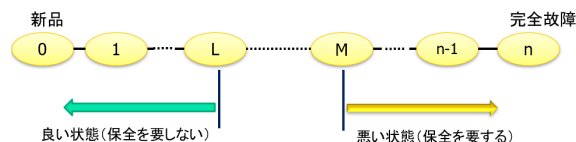
(3) 「研究の目的」(3)について

多重ユニットシステムでは、システム信頼度関数を陽に求めることは容易ではない。そのため、システムの構造に着目し、信頼度を表現する手段として構造関数が用いられる。本研究では、

構造関数の考え方を用い、システム全体に対する点検しきい値の上下限値を近似的に導出する。また、構造の違いにより、上下限値の近似力に差が生じるが、さらには近似手法の違いによる近似力の差についても、数値実験により検証する。

(4)「研究の目的」(4)について

多状態システムとして、状態“0”(新品)から、状態“n”(故障状態)の多状態を仮定する。点検結果が仮に保全を要する状態を示したとしても、システム状態が“L”未満と考えられる場合、保全を実施しない。逆に、点検結果が仮に保全を要しない状態を示したとしても、システム状態が“M”より高いと考えられる場合、保全を実施する。このように、点検結果結果と推定されるシステム状態に乖離が生じる状態値を求め、点検実施の判断を下すしきい値として、点検しきい値を導出する。



(5)「研究の目的」(5)について

多重ユニットシステムでは、システムにおける構造的・機能的な役割でユニットの重要性が決まる。システムにとり重要なユニットは優先的に点検を受けるべきであり、その結果をもとに保全が実施される。しかし、不完全点検下では、重要度の高いユニットであったとしても、点検結果の誤り確率が高いようであれば、相対的にそのユニットの点検実施に関する重要度は低くなると考えられる。そこで、ユニットの重要度に不完全点検確率を導入し、点検実施の順序を決める重要度の導出について考察する。

4. 研究成果

・「研究の方法」(1)について

点検能力、信頼度、保全実施基準を考慮した、点検を実施すべき上下限値の導出をした。明らかに、点検能力が低い場合には、点検を実施する意味が薄れることより、点検を実施すべき期間(上下限値に挟まれた領域)が短くなる。逆に、点検能力が高い場合には、積極的に点検を実施する動機が強くなることから、点検を実施すべき期間が長くなる。また、信頼度関数(故障分布関数)の特徴により、点検しきい値の上下限値も変動することも確認できた。このように、提案モデルでは、直感的にも納得ができる結果を得ることができた。

・「研究の方法」(2)について

従来モデルとの比較を、数値実験により実施した。従来モデルによる最適点検間隔(定期点検モデル)と本提案モデルの比較において、単位時間当たりの総期待保全費用最小化の視点からは、多くの場合において従来モデルが優れていた。しかし、その優劣が逆転する場合も存在し、どのような場合に優劣の逆転が生じるかについては、いまだ検討していない。解析的な条件抽出は難しいことから、数値実験を積み重ね、理解を深める必要がある。また、定期点検以外の点検モデルとの比較も今後の課題として残っている。

・「研究の方法」(3)について

構造関数を用いると、複数ユニットシステムの信頼度評価が比較的容易になる。そこで、システムのパス・カットに対する不完全点検確率を仮定し、故障予測値、および正常予測値の上下限値を導出した。これら予測値は、点検結果から真のシステム状態を条件付き確率で表現する値であり、点検しきい値を導出するために必要な値である。この結果を用い、異なる構造を持つ複数のシステムを対象に、数値実験によるモデルの有効性について考察を行った。システムの構造に依存し、提案モデルの近似力に差が出ることを確認できた。また、当然ではあるが、近似手法の違いにより近似力に差が生じることも確認できた。しかし、近似力の差に関する解析的な検討を実施していないことから、今後の課題となっている。

・「研究の方法」(4)について

本研究では、システムを構成するユニットの故障数をシステムの状態値とする仮定の下、多状態システムの点検しきい値について導出をおこなった。その結果、先出のモデルと同様に、点検能力が点検しきい値へ大きな影響を与えることを確認できた。また、他のモデル上におけるパラメータ変化に対しても、点検しきい値が同様な変化をすることも確認できた。しかし、本研究では、ユニット故障数をシステムの状態値とする仮定をおいているため、より一般化された多状態システム上でのモデル化をする必要がある。

・「研究の方法」(5) について

各ユニットに対する不完全点検確率が等しい場合、各ユニットの重要度の順序は、完全点検下における順序と数値実験上では変わることはなかった。しかし、各ユニットに対する不完全点検確率に差が生じる場合、ユニットの信頼度との組み合わせによっては、順序の変動が確認された。これは、システム構造上弱点となるユニットの重要度が高いとの従来の考えが崩れ、システムにおけるユニットの重要度が点検能力の影響を少なからず受けることを意味する。言い換えれば、ユニットの信頼度や不完全点検確率を制御することにより、ユニットの重要度、および点検順序も調整することが可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takashi Satow	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Inspection Threshold for Multi-state System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S021853931950027X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤毅	4. 巻 3
2. 論文標題 2変量故障分布下における点検しきい値	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 共通教育研究紀要	6. 最初と最後の頁 29-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤毅	4. 巻 2
2. 論文標題 不完全点検下における点検実施時期について	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 神戸学院大学共通教育研究紀要	6. 最初と最後の頁 49-59
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takashi Satow	4. 巻 -
2. 論文標題 Inspection order by importance measure under imperfect inspection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering(採択済み)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takashi Satow
2. 発表標題 Inspection Threshold for Multi-state System
3. 学会等名 International Society of Science and Applied Technologies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Satow
2. 発表標題 Influence of the Inspection Accuracy on System Maintenance Cost under Imperfect Inspection
3. 学会等名 JAMS International Conference on Business & Information (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Satow
2. 発表標題 Implementation of imperfect inspection by considering system structure
3. 学会等名 International Society of Science and Applied Technologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤毅
2. 発表標題 不完全点検下における点検実施期間の設定
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会不確実状況下における意思決定とその周辺
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----