

金研究室の研究テーマ

RELIABILITY & MAINTAINABILITY

研究室説明会
HPを参照

教員室：西5号館601
学生室：西5号館613



金研は、安全・安心な社会を支えるために様々なシステムを対象により柔軟で効率の良いメンテナンスの実現を目指した研究に取り組んでいます。

マルチユニットシステムの保全 (ASMDA 2023 (ギリシャ) で発表)

研究の背景

マルチユニットシステム

システムの可用性を高め、ダウンタイムを防ぐために冗長設計を導入している

冗長設計の一つとしてk-out-of-n形式がある

例: 複数のエンジンをもつ航空機、複数のディスプレイをもつ航空管制システムなど

本研究では、マルチユニットシステムの一つであるk-out-of-nシステムを研究の対象とする

k-out-of-nとは?



図2 k-out-of-nシステム

全体でn個のユニットのうちk個以上機能している場合のみシステムが機能するという冗長性をもつシステム

事後取替の頻度を低減できるため、*経済的依存性により保全作業の費用対効果を高めることができる[2]

*経済的依存性: 複数のユニットを共同で保全することでコストを削減できること

2-out-of-3システムにおける数値的検討

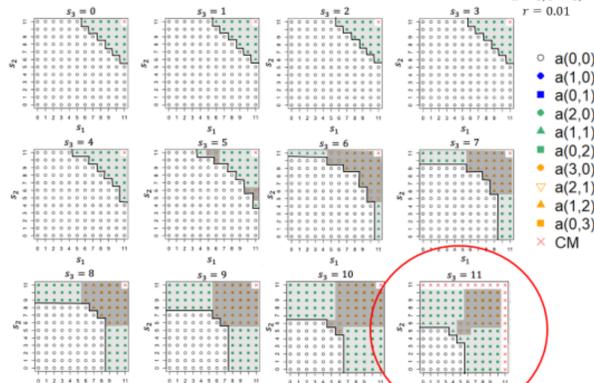


図5: 2-out-of-3システムにおける最適保全方策

2-out-of-3システムにおける数値的検討

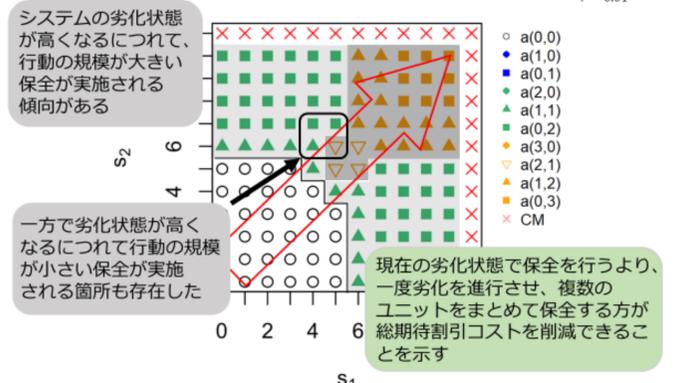


図6: $s_3 = L$ に固定時の最適保全方策

スペアパーツ母集団の異質性を考慮する保全 (MMR 2023 (Spain) で発表)

1. 背景: スペアユニット母集団の異質性

理論

状態監視保全の理論研究ではスペアユニット間の劣化率は均質と仮定することが多い

実際

内的要因(製造工程や材質のばらつき)、外的要因(使用法や環境のばらつき)によってスペアユニットは異なる劣化率で劣化する[6]

例: GaAs レーザー [5], ジャイロ計器 [11], リチウムイオン電池 [4], 亀裂 [12]

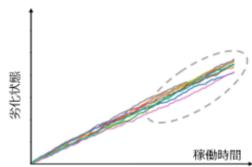


図7(a) 劣化サンプルパス

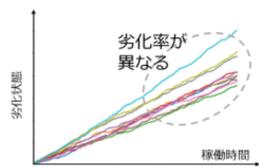


図7(b) 劣化サンプルパス

4. ケーススタディ (リチウムイオン電池)

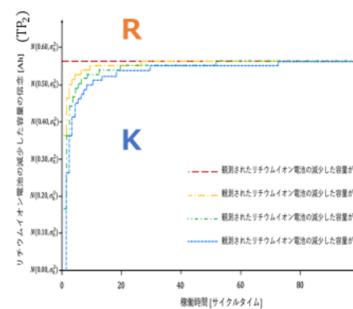


図8: リチウムイオン電池の最適保全方策

- 最適保全方策は閾値構造を持つ
- 取替(R)の閾値は稼働時間 t について単調非減少
- 取替(R)の閾値は観測値 y について単調非増加
- 閾値の探索で最適保全方策が求められるようになるため全探索する必要がなくなる
- 最適な行動の切り替え点が最大で1点のため直感的に意思決定しやすい

4. 感度分析による提案方策の数値的検討

② 状態監視の誤差がどの程度大きいときに提案方策が経済的かを調べるために異質性 σ_a^2 がそれぞれ違う下で3つの方策それぞれに従ったときに実際に使った保全コストを比較する

$\sigma_a^2 = 0.5, 0.7$ ときは提案方策に従う方が経済的

表: 様々な観測誤差 σ_a^2 の下で3つの方策それぞれに従ったときにかかる保全コスト比較

従う方策	$\sigma_a^2 = 0.1$	$\sigma_a^2 = 0.3$	$\sigma_a^2 = 0.5$	$\sigma_a^2 = 0.7$	$\sigma_a^2 = 0.9$
提案方策(両方考慮する)	1207.86	-	1283.21	-	1380.99
異質性だけ考慮する方策	1273.24	-3.0	1301.11	2.4	1430.70
部分観測だけ考慮する方策	1141.79	-5.8	1273.49	-0.8	1413.19

提案方策が最も経済的でない理由

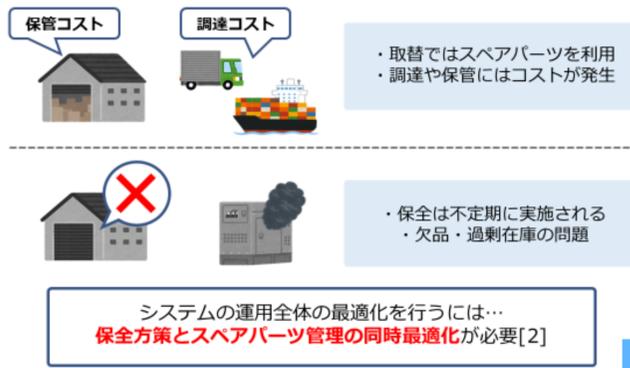
$\sigma_a^2 = 0.1, 0.3$ のとき: 観測誤差が異質性と混同され、劣化率と状態の信念が共に適切に更新されないから

$\sigma_a^2 = 0.9$ のとき: 劣化率が高く推定されるときは取替がすぐに選ばれ、取替の保全コストが高くなるから

保全方策と在庫管理の同時最適化 (2023年度卒業研究)

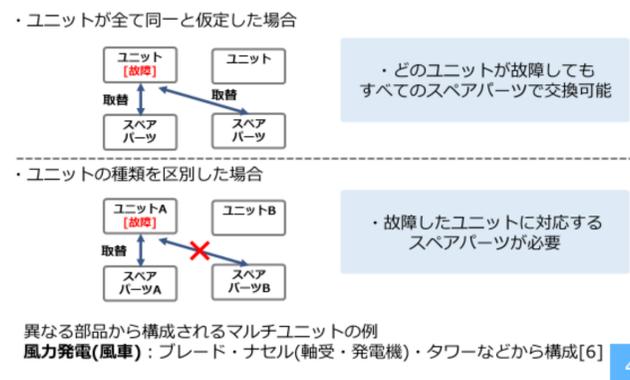
1. 背景と目的 - 同時最適化

通信技術やセンシング技術の向上で状態監視保全が注目されている[3]



3

1. 背景と目的 - ユニットの区別とスペアパーツ



4

1. 背景と目的 - 先行研究

表1: 保全方策とスペアパーツ管理の同時最適化に関する研究

研究	劣化状態	保全行動	ユニットの区別	在庫の考慮
Xie et al. [4]	観測可能	稼働継続 取替	×	○
Zheng et al. [5]	観測可能	稼働継続 取替	×	○
Karabağ et al. [2]	部分観測可能 (限定的)	稼働継続 取替	○	×
本研究	部分観測可能	稼働継続 取替	○	○

文献[2]の拡張: 真の状態から観測情報が一意に定まると仮定

より一般化した方策の提案を目指す
真の状態と観測情報の関係を任意の確率分布で表現し、スペアパーツの在庫を考慮する
保全における観測情報の不確実性とスペアパーツの在庫選択および発注方策の同時最適化を行う

6

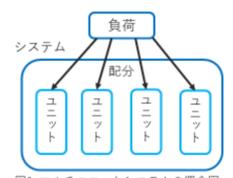
劣化が従属する2ユニットシステムの運用と保全 (ANQ 2021 受賞)

研究の背景

*ユニット: システムの構成部品のこと

マルチユニット生産システム

コスト削減のために最適な負荷配分と保全を考慮する手法が存在する[2]



本研究で対象とするシステムの例[2] [5]

- 複数の製造機械からなる工場
- 複数のタービンからなる発電所
- 水道処理施設のろ過装置

シングルユニットシステムと比べて構造が複雑化

ユニット間の関係を考慮し負荷配分と保全の方策を決定する必要がある
経済的依存性、劣化の依存関係など

2/20

負荷配分と保全の最適方策

u_i : ユニットのiの負荷配分率
 $u = (u_1, u_2)$

前述のパラメータから得られた負荷配分と保全の最適方策は以下のとおりである

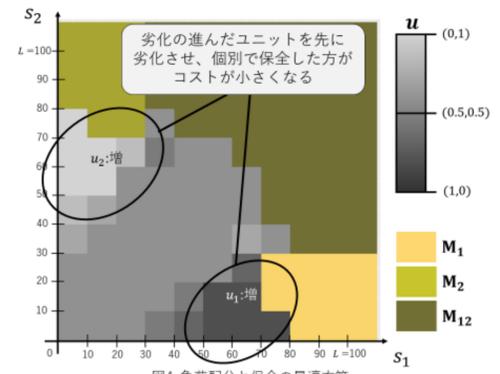


図4: 負荷配分と保全の最適方策

二つのユニットの劣化の依存度による影響

Kendall's rank correlation coefficient τ のみを変化させたときの総期待割引コストへの影響を調査する

Kendall's rank correlation coefficient τ は、0の場合に独立であり、1に近づくほど同じ劣化過程になりやすいことを表している

比較のために、各劣化状態における総期待割引コストの平均値を採用した

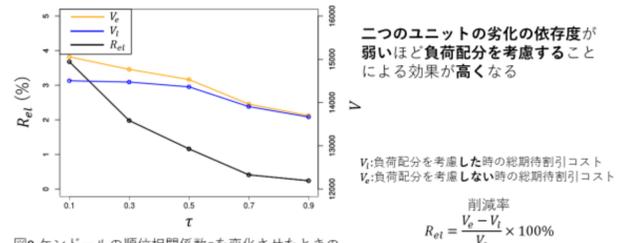


図9: Kendall's rank correlation coefficient τ を変化させたときの削減率と総期待割引コスト

$$R_{et} = \frac{V_e - V_e}{V_e} \times 100\%$$

16/20