

研究紹介

太田 修平 准教授

工学部
経営工学科

【専門分野】

信頼性工学
オペレーションズ・リサーチ
数理統計学
社会システム工学



Associate professor
Shuhei OTA

「故障の連鎖」を考慮した高精度故障予測・最適保全技術

ーオペレーションズ・リサーチ (OR) による次世代予知保全ソリューションー

研究のキーワード

#故障予測

#予知保全

#システム信頼性

#スポーツ傷害・外傷

#数理モデル

1 課題と背景

従来の故障解析では「故障の連鎖（「従属故障、Dependent Failure」）」を十分に扱えない。

製造設備、社会インフラ、物流システム、データセンターなどの大規模システムでは、故障は単独で発生するとは限らない。実際には、熱、振動、過負荷、稼働条件変化、過去の故障履歴などにより、周辺設備への影響があり、複数の設備・部品が連鎖的に故障する「故障の連鎖（Dependent Failure）」が発生する。

▶ 従来の故障解析の限界

従来の信頼性分析は“各部品は独立に故障する”前提が中心



故障連鎖
リスクを
過小評価



システム
全体停止を
予測しにくい



保全タイミングを
最適化しにくい



過剰保全・
過小保全が
発生



想定外
ダウンタイムを
防ぎにくい

影響（インパクト）

生産停止

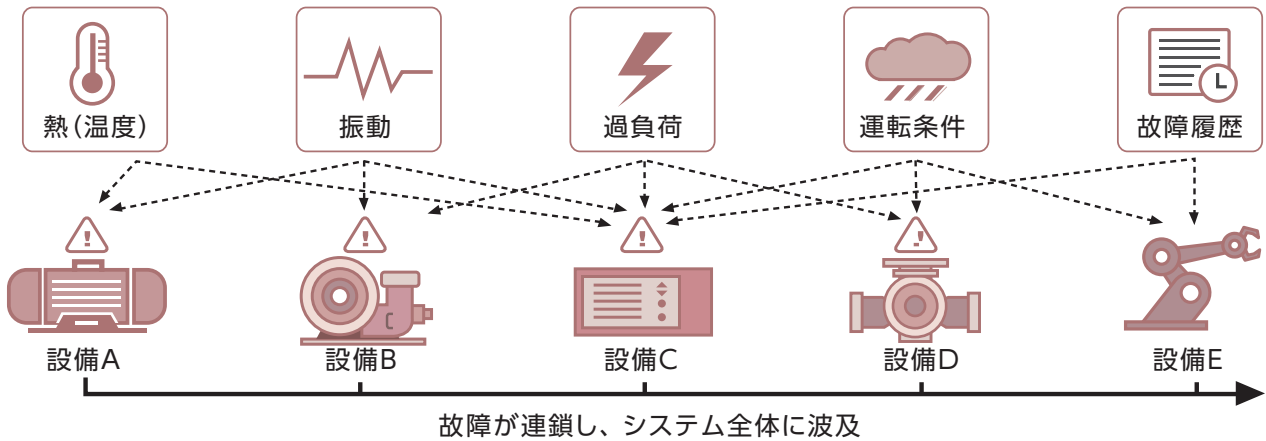
稼働率低下

保全コスト増大

サプライチェーン停滞

社会インフラ障害

多様な要因が“故障の連鎖”を引き起こす



2 研究のコア技術

▶ 「故障の連鎖」のモデル化

故障の「発生確率」ではなく、「どの設備同士が連鎖しやすいか」「どの故障が他設備へ波及しやすいか」といった「故障構造」を扱う。

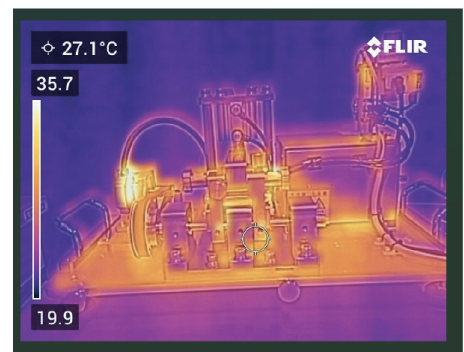
本研究では、オペレーションズ・リサーチ (OR)、信頼性工学、統計モデリングを融合し、故障につながるシステム全体の連鎖構造を数理的にモデル化する。

故障の“発生確率”だけでなく、“故障構造”を扱う



(1) 共通因子の解析

- 温度・振動・負荷・稼働率を統合分析
- 同一環境要因による同時リスク上昇を評価
- システム的なリスク増幅要因を特定



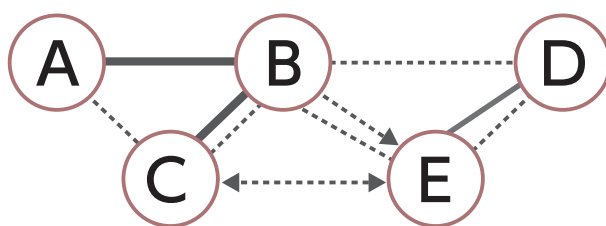
解析イメージ

(2) 寿命依存構造解析

一般的な故障解析では、「Aがいつ壊れるか」「Bがいつ壊れるか」を個別に扱う。

一方、本研究では、「AとBの寿命がどの程度連動しているか」を確率分布として表現する。

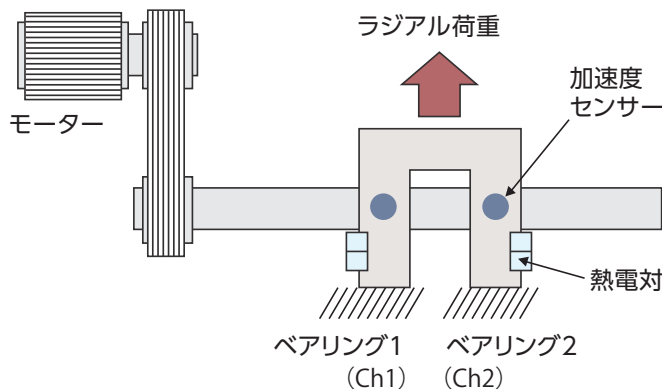
- FGMコピュラで設備間の寿命依存性をモデル化
- 「AとBがどの程度連動して壊れるか」を定量化
- 同時故障リスク／故障波及性／脆弱設備群を評価



Farlie-Gumbel-Morgenstern (FGM) コピュラ

- 強い依存
- 中程度
- 弱い依存

ベアリング機構での解析例

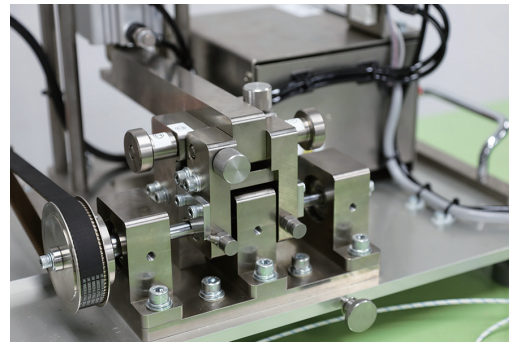


- ベアリングに設置した振動・温度センサーのデータを解析し、設備の異常兆候や寿命特性を把握する。
- 得られた情報を基に、故障連鎖の予測や保全計画の最適化を行う。

(3) OR による保全最適化

本研究の特徴は、故障予測だけで終わらない点にある。予測された故障リスクを基に、以下の項目について最適化を図る。

- 点検タイミング
- 保全人員配置
- 部品交換時期
- 予備部品在庫
- 保全優先順位

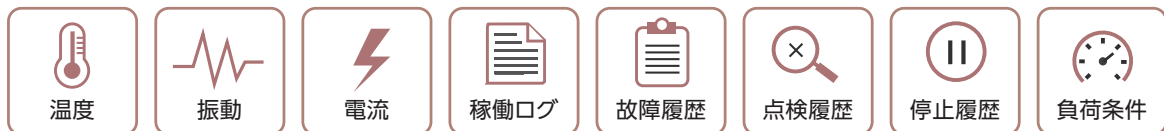


💡 異常を見つけるだけでなく、「いつ・どこを・どのように保全するか」の意思決定まで支援する。

3 実装イメージ

設備から取得したセンサーデータや保全履歴を統合解析し、故障リスクの把握から保全計画の最適化までを一連のプロセスとして支援する。

入力データ



統合解析エンジン



- 故障連鎖解析
- 寿命依存モデリング
- 履歴依存リスク推定
- 保全最適化

出力



4 一般的な予知保全研究との違い

個別設備の異常検知にとどまらず、複数設備・複数要因を統合して、システム全体の故障波及リスクを評価できる点に特徴がある。

一般的な予知保全		本研究
対象	個別設備・機器	システム全体
解析対象	単一設備・単一要因中心	複数設備・複数要因を統合解析
故障の扱い	個別故障中心	故障連鎖・寿命依存構造を考慮
保全最適化	個別最適中心	全体最適
解釈性	ブラックボックス型のモデルが多い	故障構造を数理的に解釈できる

5 社会発展性・社会応用可能性

製造設備に加え、社会インフラや物流・サプライチェーンなど、停止リスクが連鎖する複雑システムへの応用が期待される。

工場



例：工作機械／半導体製造装置
搬送設備／ロボット

- 突発停止削減
- 稼働率向上
- 保全コスト削減
- 過剰交換防止
- 生産計画安定化



設備保全データ・稼働ログ・
故障履歴を持つ企業と高い親和性



社会インフラ



例：電力／鉄道／通信／水処理

- 故障波及リスク
- 保全優先順位最適化
- システム停止リスク低減



同時障害・故障連鎖の影響が大きい
領域で有効

物流・サプライチェーン



例：欠品予測／在庫最適化／
配送遅延リスク

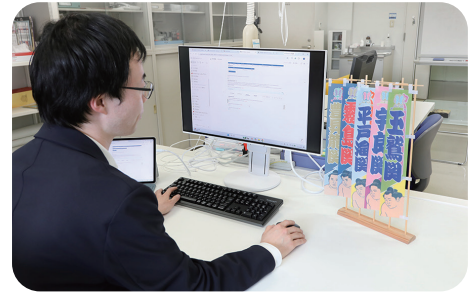
- 在庫最適化
- 配送リスク低減
- サプライチェーン強靱化



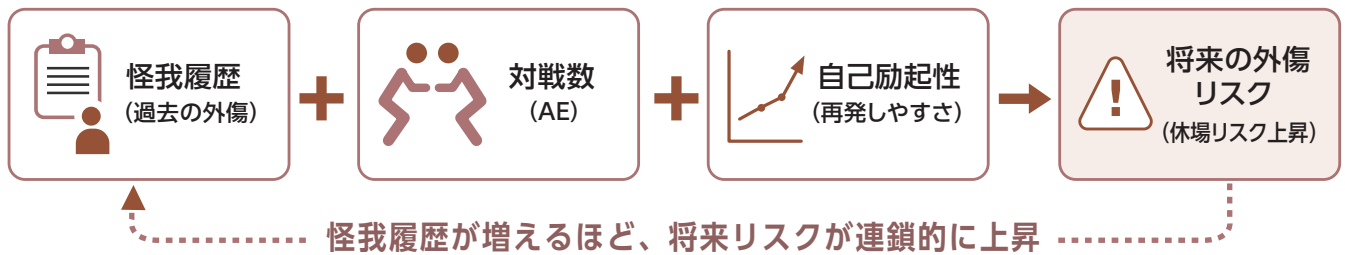
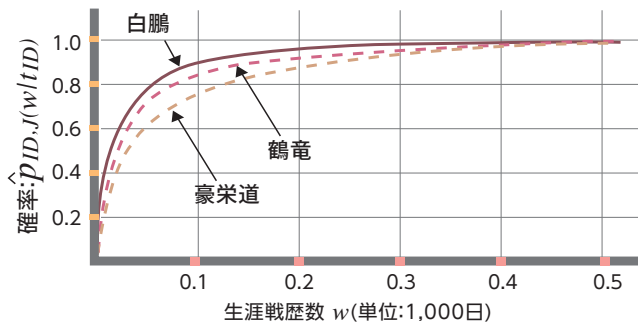
“機能停止の連鎖”として拡張可能

6 【付録】健康・スポーツ分野への応用

本モデルは、スポーツ選手の外傷・休場予測にも応用可能。
怪我履歴・対戦数（AE）・自己励起性を用い、
履歴依存型リスク予測モデルとして高い汎用性を示す。



相撲における外傷・休場予測の例



◆ 太田 修平 准教授 プロフィール

神奈川県横浜市出身。2019年、法政大学大学院理工学研究科システム理工学専攻博士後期課程を修了。博士(工学)。2019年より神奈川大学工学部経営工学科に着任。システムの信頼性評価の研究に取り組むとともに、大相撲力士のスポーツ外傷・障害についての研究に従事。

私たちの研究成果である
高精度な予測と最適保全技術は
多くの分野に役立ちます

<お問合せ先>

神奈川大学
研究推進部 産学官連携課
TEL: 045-481-5661
FAX: 045-481-6077
e-mail: sankangaku-renkei@kanagawa-u.ac.jp

教員紹介サイト →

