

設備保守効率化のための故障履歴活用技術に関する研究

島田 惇哉 坂上 聡子

三菱電機株式会社

1. はじめに

ビルや工場の中で使用される設備の故障停止時間を低減し、設備の稼働率を向上させたいという要求がある。この課題を解決するため、本研究グループでは各設備の故障予兆（以下、予兆）と故障の発報記録が蓄積された故障履歴の活用を検討している。本稿で監視対象としている設備は自身の運転状態を常にモニタしており、正常状態を逸脱した場合に故障として発報する。また運転状態は正常範囲内であっても、故障の場合よりも低く設定された閾値を超えた場合には予兆として発報する。設備の故障停止時間を低減させるためには、早い時期に高い確率で故障する設備を優先的に点検する必要がある。そこで本稿では、予兆から故障に至るまでの時間間隔を基に作成した、時間に対する累積故障確率分布から、故障の起こりやすさを表す指標（リスク特性）を定義し、このリスク特性から設備点検の緊急度を判定するシステムを開発したので報告する。

2. システム概要

本システムは、予兆内容ごとに予兆から故障に至るまでの時間間隔を基に作成した、時間に対する累積故障確率分布から、リスク特性を抽出するリスク特性抽出部、リスク特性を用いて設備点検の緊急度を判定する緊急度判定部となる。システムの概要図を図1に示す。故障履歴には、「発生日時」「予兆・故障」「設備ID」「予兆・故障内容」が記録されている。

| 発生日時 | 予兆・故障 | 設備ID | 予兆・故障内容 |
|---------------------|-------|------|---------|
| 2009/12/12 12:35:53 | 予兆 | 101 | 予兆内容a |
| 2010/・/・ 20:12:46 | 予兆 | 102 | 予兆内容b |
| 20・/・/・ 18:04:12 | 故障 | 101 | 故障内容A |

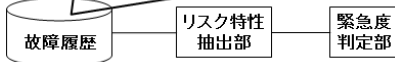


図1: システムの概要図

2.1. リスク特性抽出部

(ア) 予兆-故障対応付け

予兆から故障に至るまでの時間間隔を求めるため、設備IDごとに予兆からある時間以内に、最初に発生した故障に対して予兆-故障対応付けを行う（図2）。

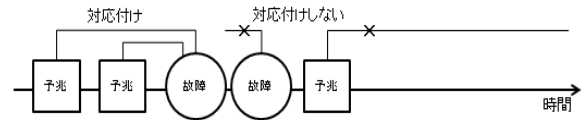


図2: 予兆-故障対応付けの例

(イ) 累積故障確率の生成

予兆-故障対応付けを行った予兆及び故障に対して、予兆から故障に至るまでの時間間隔を基に、予兆内容ごとに累積故障確率を算出する。累積故障確率は予兆が発生してから時間 t 以内に故障する確率 $P(t)$ を示しており、時間 t で故障する確率を $p(t)$ とすると、 $p(t)$ 及び $P(t)$ は以下の式で表される。

$$p(t) = \frac{\text{時間}t\text{における故障設備数}}{\text{予兆-故障対応付け件数}}$$

$$P(t) = \int_0^t p(t) dt$$

(ウ) リスク特性の抽出

累積故障確率分布を作成した結果、以下のようなリスク特性を定義することにより、予兆内容ごとの累積故障確率分布を特徴づけることができる。

リスク特性

- slope: 予兆発生直後の累積故障確率の立ち上がり
- prob: 一定時間経過した時点の累積故障確率
- rank: 予兆-故障対応付け件数の順位

代表的な累積故障確率分布を図3に示す。

- slope: 小、prob: 大 (予兆内容 a)
- slope: 大、prob: 大 (予兆内容 b)
- slope: 小、prob: 小 (予兆内容 c)
- slope: 大、prob: 小 (予兆内容 d)

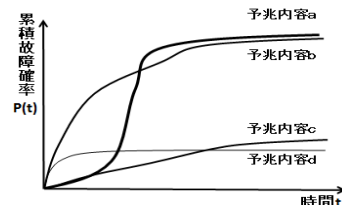


図3: 代表的な累積故障確率分布

2.2. 緊急度判定部

(ア) リスク特性の正規化

各リスク特性に対する重みを統一するため正規化を行う。各リスク特性の値を slope, prob,

“Failure History Analysis for Maintenance Scheduling”
Junya Shimada, Satoko Sakajo
Mitsubishi Electric Corp.

rank としたとき、それらの最大値をそれぞれ Ms, Mp, Mr、最小値をそれぞれ ms, mp, mr とすると、正規化された各リスク特性の値 slope', prob', rank' は以下の式で表される。

$$\begin{cases} slope' = (slope - ms) / (Ms - ms) \\ prob' = (prob - mp) / (Mp - mp) \\ rank' = (rank - mr) / (Mr - mr) \end{cases}$$

(イ) 緊急度の判定

正規化された各リスク特性を基に、3次元空間分布を作成し、全リスク特性に対して最も高い値を基準点として設定し、基準点から予兆内容ごとにプロットされた点までの距離を算出することにより緊急度を判定する。基準点は予兆から故障に至るまでの時間間隔が最も短く、故障する可能性が最も高いことを示しているため、基準点からの距離が短いほど、緊急度を高く設定する。図4は、4つの予兆内容に対して作成した3次元空間分布を示しており、正規化された各リスク特性の値を slope', prob', rank' とすると、基準点からの距離 D は以下の式で表される。

$$\text{基準点からの距離 } D = \sqrt{(1 - slope')^2 + (1 - prob')^2 + (1 - rank')^2}$$

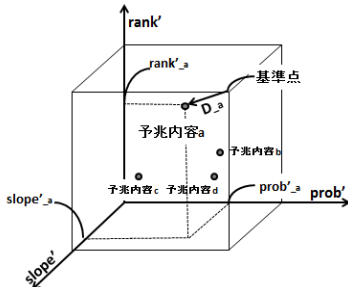


図4: リスク特性を基に作成した3次元空間分布

3. 評価実験

3.1. 実験概要

緊急度が高い設備に対して、優先的に点検することにより、故障停止時間を低減できることを検証するため、評価実験を行った。故障停止時間は、予兆と故障の発生日時及び修理時間を用いて以下の式で表される。

$$\text{故障停止時間} = \left(\text{予兆の発生日時} + \text{修理時間} \right) - \text{故障の発生日時}$$

また、修理時間は、以下の式で定義した。この時、出勤限界時間とは予兆の発生日時から出勤指示を送る限界の時間を表す。

$$\text{修理時間} = \frac{\text{出勤限界時間}}{\text{時間}} + \text{出勤時間} + \text{対応時間}$$

本実験では、2章で求めた緊急度に基づいて、出勤限界時間を決定する提案手法と、全予兆内容における累積故障確率が0.5となる時間を出勤限界時間とする手法を比較することにより評価を行う。

3.2. 提案手法

緊急度が最も高い場合 (D=0) の出勤限界時間を t1、最も低い場合 (D=√3) の出勤限界時間を t2 とそれぞれ対応付け、出勤限界時間を基準点からの距離 D の指数関数で定義した。以下の式を用いて算出された出勤限界時間と D との対応関係は図5のように表される。

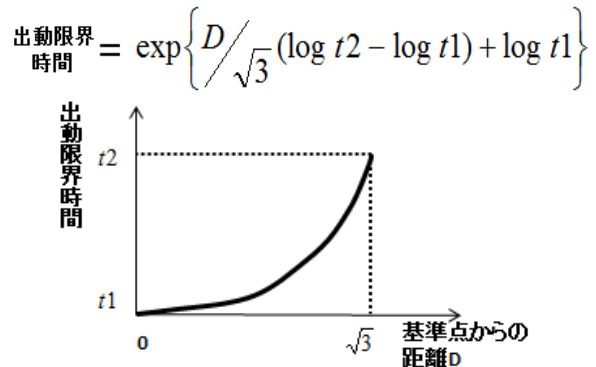


図5: 出勤限界時間と D との対応関係

3.3. 実験結果

本実験において、出勤時間や対応時間は作業員のスケジュールや設備によって異なるため、ゼロに設定した。実験結果として、提案手法を用いることにより、故障設備数を約3%、故障停止時間を約30%、低減させることができた。

4. まとめ

本稿では、故障停止時間を低減させるために、予兆から故障に至るまでの時間に対する累積故障確率分布から、予兆内容ごとの累積故障確率分布を特徴づける立ち上りと一定時間経過した時点の累積故障確率、及び予兆-故障対応付け数の順位をリスク特性として定義した。このリスク特性から作成される3次元空間分布を用いて、基準点からの距離を算出し、基準点からの距離が短いほど緊急度が高くなるように決定するシステムを開発した。評価実験を行った結果、提案手法により故障設備数を約3%、故障停止時間を約30%、低減させることができ、提案手法の有効性を示すことができた。今後は、出勤時間及び対応時間を考慮し、緊急度に応じた保守計画の立案方法を検討していく。