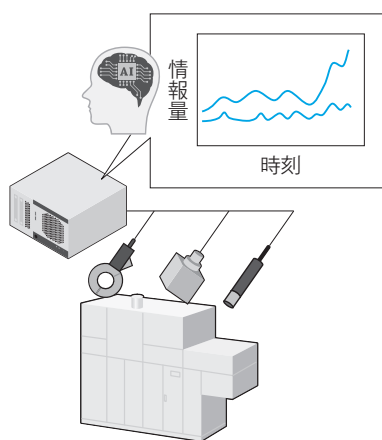


情報量を用いた新たな設備状態評価手法の開発

前田俊二 Shunji Maeda
 谷口哲至 Tetsuji Taniguchi
 小松 堯 Takashi Komatsu
 青戸勇太 Yuta Aoto
 外田 脩 Osamu Toda

キーワード 設備診断, データ解析, 見える化, 異常検知, 故障予兆

概要



異種・多数センサを組み合わせた設備診断

当社は、電気設備の状態監視・異常診断の高度化を目的に、情報通信技術（ICT）・モノのインターネット（IoT）を活用したメンテナンスサービスを提供している。本サービスでは、計測データの解析による設備診断ソリューションを用意している。近年は設備からの多種多量のデータが集まるようになり、データ解析の規模は増加傾向にある。この解析規模の増大に対応するため、当社は情報量を用いた統計的解析手法として「情報量相関解析」を新たに開発した。

本手法は、センサデータを共通の尺度である情報量に変換し、その変化経過を評価して設備診断を行う。本機能は、センサの物理量に依存しないことを基本に開発し、対象設備・使用するセンサを限定しない。本解析手法を活用することで、従来のセンサ解析・データ解析を拡張し状態基準保全の高度化を図ることができる。

1 まえがき

当社は、国内外の多岐にわたる公共・産業分野に電気設備やシステムを納入し、それらの社会インフラを通して、より良い社会の実現に取り組んでいる。発電機・水処理用曝気ブローア・ポンプなどの用途で、大形回転機が使用されている。また、工場・プラントでは大小様々な回転機が稼働し、それらの運用形態や使用環境は千差万別である。これら電気設備の性能維持や経済性・管理効率の向上を目的に、近年は情報通信技術（ICT）・モノのインターネット（IoT）を活用した状態基準保全（CBM）への切り替えが進展している⁽¹⁾。

当社は、既設設備のCBMの高度化に向けた新たな解析技術として、情報量を用いた状態監視手法を開発した。本稿では、情報量の活用による設備診断

の高度化を紹介する。本開発では、広島工業大学、(株)産業数理研究所Calcとの共創活動で数理工学に基づく技術を確認した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。

2 センサを用いたインフラ監視

大形インフラ設備では、ICT・IoTの普及に伴い大容量のデータ計測環境が整いつつある。センシング端末をインフラ設備に設置することで、対象設備の状態値を容易に計測できる。しかし大形設備のセンシングでは、一つのセンサから計測できる状態情報が、設置位置の周辺に限られてしまう。この物理的な制約で、大形インフラの設備監視・診断は、多数のセンサによって各部位ごとに適切な物理量を計測し、それを評価することが一般的である。

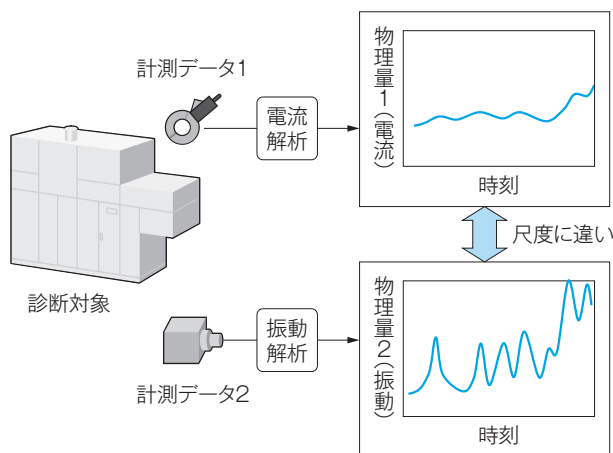
当社は多種多様な計測データを相互に組み合わ

せ、将来的に設備全体をふかすデータ解析技術の開発に取り組んでいる。複数のデータの関係性を数値評価する解析技術としては、相関分析が古くより知られている。しかし、前述のインフラ設備は、振動・温度・電流・電圧・音響などの多種多様な物理量を扱う都合から、それら相互関係の解析は容易ではない。そのため、状態監視に有用な相関性の特定と数値化、そしてその評価は、経験を持つ技術者に限られているのが現状である。これらの技術背景から、当社は経験に依存する解析を解決するため、異種かつ複数のセンサでのデータ解析における物理量によらない新たな状態監視手法を開発した。

3 情報量

センサデータ間の相関関係を評価するため、当社は情報量に着目した。情報量は、状態の不確かさや曖昧さを表す概念の一つである⁵⁾。この状態の曖昧さの指標を状態評価に適用することで、設備診断の高度化を実現した。また、情報量はデータの統計的傾向から算出されるため、各種センサの物理特性に強くは依存しない解析ができる。

第1図に従来の異種センサのデータ解析を示す。従来の解析は、各センサから得る計測データを解析処理し設備を評価する。この時、計測データの物理量に対して数値処理を行う。センサごとにデータが



第1図 従来の異種センサのデータ解析

センサの種類や物理特性によって計測値（物理量を表す数値のデータ）の特性は大きく異なる。そのため解析では共通の尺度を定めづらい。その結果、共通の尺度による状態評価に課題があった。

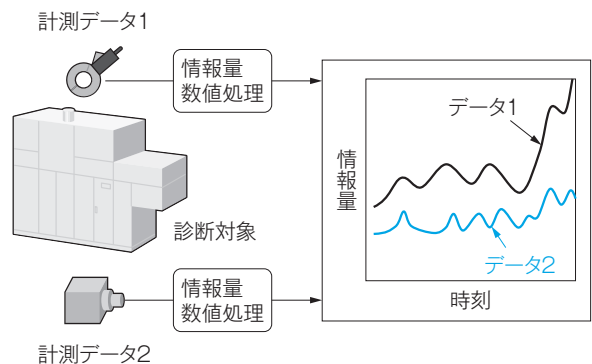
持つ物理特性は異なるため、センサ間の比較の際は、尺度の共通化のための処理（正規化）が必要となる。しかし、物理特性は様々なパターンがあり、正規化の設計は容易ではない。結果として、多数の計測情報を使って設備全体をふかす診断を実現することには課題があった。

第2図に情報量による効果を示す。センサで計測できた物理量のデータは、統計処理を介して情報量に数値変換する。この処理で、どのセンサでも尺度が共通となる。その結果、相関性を評価するにあたり、情報量という共通の尺度で評価できる。情報量には複数の定義がある。本稿では平均情報量（以下、エントロピー）の例を紹介する。

第3図に情報量を用いたデータ解析を示す。センサで得られるデータから情報量に至る数値処理の流れである。センサから定期的に取り得られる計測データ x は一定時間の数値列であるため、その統計情報 $P(x)$ を求めることができる。統計情報はエントロピーの計算式(1)によって、情報量 $H(x)$ に変換されることになる。

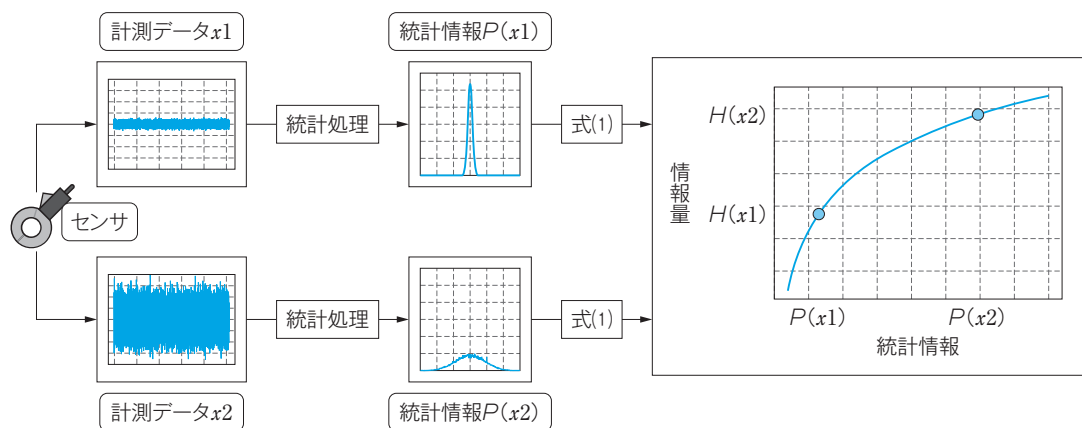
$$H(x) = - \sum_x P(x) \log P(x) \dots\dots\dots(1)$$

センサを使い計測したデータ x_1 は、数値の変化が安定している。この数値の状態は、そのデータが持つ「情報のめずらしさ」は低いと解釈できる。この情報の価値を数値化したものが $H(x_1)$ となる。



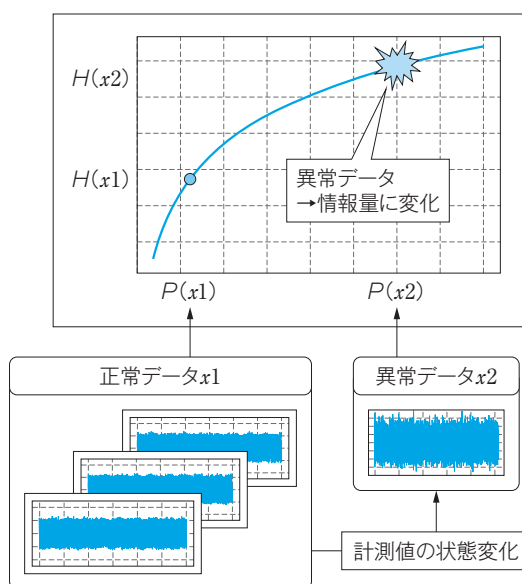
第2図 情報量による効果

各センサの物理量を情報量に変換する。これにより、異種センサでも同一の数値尺度の下で解析が容易となる。また、センサの種類や物理特性に依存しない解析ができる。



第3図 情報量を用いたデータ解析

センサ x の統計情報から式(1)によって情報量を算出する。情報量は、不安定な状態のデータほど相対的に高値になる効果を持つ。この効果を活用し、センサデータのデータ分析や異常診断を行う。



第4図 情報量解析による設備状態診断

計測データの状態変化を情報量の尺度の下で評価する。

一方、計測データ x_2 は、 x_1 に比べて相対的に数値の変化が大きく不安定な状態と言える。その不安定さは「情報のめざらしさ」の視点では価値は高くなると解釈できる。実際に $H(x_2)$ は高い数値を示している。このように、情報量による数値化は、計測データの傾向を簡易に示すことができる。

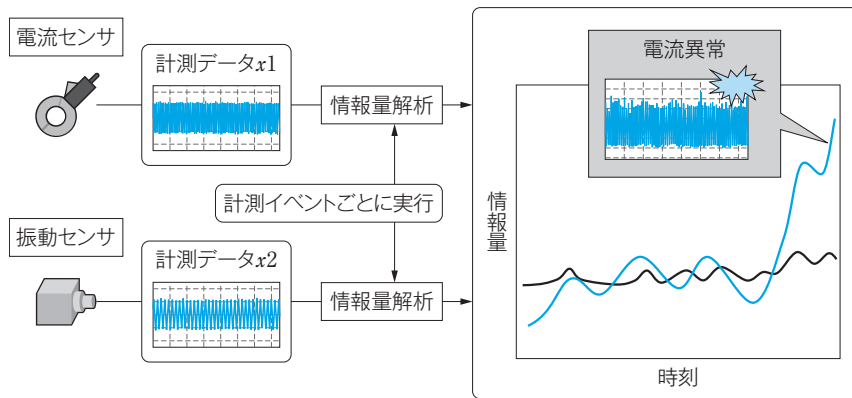
第4図に情報量解析による設備状態診断を示す。センサは定期的に計測データを取集することから、その都度、エントロピーを算出する。設備が安定状態にあたる正常データは、「情報のめざらしさ」は低い。そのため、エントロピーは低い値を示す。一方

で、異常状態は計測値が不安定となり、データに含まれる数値は不確定さを増すことになる。その結果、エントロピーは正常の値から変化する。この変化を監視し評価することで、設備状態を診断できる。

4 情報量による設備状態評価手法

大形インフラの状態監視・設備診断は、異種多数センサによるセンシングと解析が必要である。第5図に異種センサの組み合わせによる設備診断を示す。電流センサと振動センサを使い状態監視する例である。電流と振動のデータは、物理現象が異なるため、数値の周期性・センサの計測設定・信号の数値レベルなどが異なる。そのため、比較評価が容易ではない。

本解析では、計測データを第3項で説明した情報量に変換し、その数値で状態評価を行う。このとき、電流データ・振動データはともに、「情報のめざらしさ」の尺度の下で数値が算出される。そのため、いずれのセンサであっても、正常状態は低い値を取る。しかし、第5図のグラフで示すように、電流データに異常が生じた場合は、電流データの持つ情報の価値が高まることとなる。このとき、振動センサのデータは過去の計測と同じ情報の価値であるため、電流と振動の情報量の間で相対的に数値差が生まれる。この過程によって、監視対象設備の異種多数センサの中で、電流データに異常が起こったこと



第5図 異種センサの組み合わせによる設備診断

情報量によって異種センサのデータを共通の指標で評価する。定期的に計測されるデータを解析・共通指標化するすることで、インフラ設備の全体をふかかんする評価・診断を実現する。

を把握できる。この時、技術者はセンサの物理特性を意識せずとも、情報の価値という視点で、センサの解析結果を見ることができる。このことは、異常時に重要視するセンサの優先度の判断を容易にし、その後の状態調査や原因究明の業務へと移ることができる。

以上のように、情報量を用いたデータ解析と設備診断で設備監視の高度化につなげる技術を確立した。

5 むすび

異種・複数センサの情報量を用いた設備状態評価手法を紹介した。本技術は、当社の設備診断サービスへの組み込みを進めている。

今後も社会インフラのデジタル化の発展に応じ得られるデータ駆動形の状態監視手法の開発を通じ、インフラ設備の保守高度化・効率的運用・機能向上に取り組んでいく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

(1) 外田 脩：「監視データ解析による電気設備状態の見える化」, 明電時報365号, 2019/No.4, pp.17-20

(2) 奥田優樹・前田俊二・小松 堯・谷口哲至・青戸 勇太・外田脩：「音響及び振動データに対する設備診断におけるエントロピーの有効性」, D31, 2023年度精密工学会春季大会学術講演会, 2023.3

(3) 居森 章・前田俊二・小松 堯・谷口哲至, 外田 脩：「双対性を用いたエントロピーによる新しい異常検知への試み」, IS2-24, 第28回画像センシングシンポジウム, 2022.6

(4) 貞国佑輔・前田俊二・青戸勇太・松林幹大・居森 章・森本直斗・谷口哲至・外田 脩：「設備診断のためのヒストグラムに基づく類似度評価」, 04-2P-06, 2020年度(第73回)電気・情報関係学会九州支部連合大会, 2020.9.27

(5) 甘利俊一：「情報理論」, ちくま学芸文庫, 2011

《執筆者紹介》



前田 俊二
Shunji Maeda
広島工業大学
(株)産業数理研究所 Calc



谷口 哲至
Tetsuji Taniguchi
広島工業大学
(株)産業数理研究所 Calc



小松 堯
Takashi Komatsu
山梨大学



青戸 勇太
Yuta Aoto
デジタル基盤開発部
データ解析とDX・ICT関連サービス・製品の開発に従事



外田 脩
Osamu Toda
デジタル基盤開発部
データ解析とDX・ICT関連サービス・製品の開発に従事