

称号及び氏名 博士（経済学）樋口 友紀

学位授与の日付 平成21年3月31日

論文名 「TIME SERIES ANALYSIS AND ITS
APPLICATION TO MAINTENANCE AND
MARKETING」

論文審査委員 主査 竹安 数博
副査 石垣 智徳
副査 森田 裕之

論文要旨

設備保全システムの経営情報分野における役割は非常に大きい。例えば製造ラインで突発故障などが発生し、下工程の停止等につながった場合、億単位での損失に直結することもあるが、このような事態を未然に防止するための設備保全、またそれに関する情報のハンドリングは経営における重要なテーマの一つである。設備保全を十全に行うためには、早期の設備異常検知が必要不可欠で、その研究がひいては効率的な生産を促進し、経営の安定的かつ良好な運営に資することとなる。

従来は時間基準保全(Time Based Maintenance:TBM)が主流をなしていたが、近年では部品コスト低減、保全コスト低減、故障率低減につなげるため、状態基準保全(Condition Based Maintenance:CBM)に大きくシフトしている。CBMに移行してくると、異常の兆候をできるだけ早く捉えることがクローズアップされる。そのための手法としてさまざまなものが検討されているが、分野によってその指標も異なるので、本論文では機械系の異常検知として最も普遍的なテーマである回転体の異常検知にテーマを絞って述べている。

従来は感度の良い指標として Kurtosis、Bicoherence、衝撃劣化指標などが検討されてきたが、現場においては精密診断のニーズはあるものの、設備面やコスト面から精密診断技術を組み込めないところもある。そこで本論文の(PART I)第2章から第11章にかけては、現場においてスピーディかつ簡便に用いることができる設備診断の簡易計算方法を提案している。

回転体などに傷が発生すると、それにより衝撃波が生起する。このような場合、系の異

常が進展すると、当初見られた衝撃波だけでなく傷そのものが拡大したり、また傷の接触面を通じて傷が伝播して微小傷等が多数発生することから、衝撃波を中心に前後によりピークレベルの低い衝撃波が富士山状に生起することが一般的に知られている。第2章から第9章については、上記のようなケースを対象とし、異常検知手法を提案している。

第1章では研究の目的と背景を解説している。第2章では回転体の歯車等に傷が発生し衝撃波が生起した場合の派生衝撃波を含めた衝撃波を時間軸方向に対して三角形の形でモデル化し、Kurtosisの挙動を検討する。第3章では同じく衝撃波発生時のKurtosisの挙動を、正常時には0、異常が大きくなると次第に1に近くなる絶対指標へと直しており、より良い異常検知指標の導出に努めている。第4章では三角形にてモデル化した衝撃波を6次正規化モーメントにて分析、その挙動を検討している。第5章では第4章にて提案した6次正規化モーメントによる異常検知指標を絶対指標化し、より扱いやすいものになっている。

第6章から第9章にかけては、第2章から第5章にて提案したモデルに続いて、衝撃波に引き続き時間進行方向に片側のみ派生衝撃波が発生する場合におけるKurtosisの挙動を検討している。軸受アウターレースに傷がある場合などは、本章で検討したタイプの派生衝撃波を持つことが周知であるが、そのようなケースに本手法が有効に適用できる。片側派生衝撃波は時間軸方向に対して片側の三角形に近い形をしており、その簡易計算方法を導入する。片側三角形はその形を変化させることで様々なモデルを分析することが可能となる。第6章では衝撃波が片側にのみ発生した場合のKurtosisの挙動を分析し、第7章では第6章にて提案した指標を絶対指標化している。第8章では同じく衝撃波が片側にのみ発生した場合の6次正規化モーメントの挙動を分析し、第9章にてそれを絶対指標化している。

第10章では、正規分布の場合3次以上のキュムラントが0となることを活用して、新たな異常検知の指標を導出し、その有効性を検証している。高次キュムラントは、同次のモーメント及びそれ以下の次数のモーメントの組み合わせで表現される。これと正常時には0となることを用い、なおかつ導出した数式が簡単な形で表現でき、感度の良いことが証明できれば、それが新たな指標となることが期待される。

一般的にバイコヒーレンスのような絶対指標は、正常時が1で系の異常が進行すると0に近づくため、扱いやすいとされる。高次キュムラントにおいても3次以上の場合、正常時には0から始まり、系の異常が進行するにつれ大きな値をとるという性質により、計測データから計算した高次キュムラントの値と1との和の逆数をとると、絶対指標と同じ振る舞いとなることが考えられる。そこで、これを絶対指標化高次キュムラントと名づけ、次数を変動させることによりバイコヒーレンスと比較し、同等もしくはそれ以上に感度のよい絶対指標となることを示す。

第11章では、衝撃波が生起した場合の1次遅れ自己相関係数の簡易計算方法を導出し、4変数の相関関数の関係を活用した新しい劣化指標を提案するとともに、それが設備診断の良好な指標となることを示す。

前章と同様に衝撃波をモデル化し、正常時の値とピーク時の値の関係を自己相関関数により表現する。また、4つの変数に関する関数式(Nakamizo,1988)から自己相関関数を用いた絶対指標を提案し、その指標を様々なケースにおける自己相関関数にて検証することで、提案指標の有効性を実証する。

これらの提案手法においては、いずれもモデルケースの計算において仮定通りの望ましい数値を得ることができている。また、これらの計算手法は電卓でも簡単に計算することができ、マイコンチップに組み込むこともできる程度の容量であることから、簡便な利用が可能であるという要件も満たしている。これらの方法を利用すれば、より正確で簡便な設備診断が可能となる。

一方、商品のライフサイクルが極端に短くなってきている昨今、製品の需要予測を正確に行うことは経営において大きな役割を果たすと考えられる。一度ある製品を購入した顧客が、次回に何を購入するのか明らかにすることができれば、それは経営戦略を立案する上で大きな武器となる。そこで、(PART II)第12章から第14章では、ブランド選択時の消費者行動を行列を用いて解析する手法を提案する。ブランド商品に焦点を絞り、時系列データを用いて需要予測を行うことを目的としている。

消費者はブランド品を購入する際、初めは手頃な価格の商品を購入するものの、情報を得るうちに次回購入するものはより良い、名前の通った高価なものであるということが予想される。そこで、上位ブランドをベクトルの上位から並べ、前回購入を入力、今回購入を出力としたとき、ブランド遷移行列は上三角行列となることが想定される。

ブランド購入時の消費者行動を行列構造として明らかにし法則化することができれば、それを予測等に用いることができる。また、一定範囲内でブランドの選択を繰り返すと選択が収束してしまうので、新たなブランド品の市場投入のタイミングを考えることも可能となる。そして、供給者側がブランドのポジショニングを強く意識して市場投入していなかった場合においても、上記行列構造を解析することによって、消費者が評価し、位置づけたポジションを明確に浮かび上がらせることも可能となる。

従来、ブランド変遷に関する計量的把握の試みは、山中(1982)、高橋他(2002)他出されている。山中(1982)は広告支出等を入力としてマルコフ遷移確率によって消費者の購買過程を捉えようとするものである。また、高橋他(2002)は、ロジスティック分布を用いたブランド選択確率モデルで分析を行っている。本論文では、ブランド選択が上方シフトする場合の行列構造を明らかにし、各種応用に展開しようとするもので、このような取り組みは確認しうる限り過去に例がないものである。

第12章では上記の手法を詳細に説明している。また、自動車市場においてアンケートを実施し、得られたデータを仮説の検証に使用している。第13章では第12章にて提案した手法をさらに拡張し、市場が収束してゆく様子を行列構造にて解明している。製品が浸透し、市場が収束する様を明確にすることができれば、どのようなタイミングで、どのような顧客層をターゲットとして新製品を投入すればよいのかが明らかとなり、経営戦略

の立案が容易となる。第14章では膨大な種類の商品を分析する必要がある場合、それをブランドのランク毎にグループ化し、ブロック行列にて表現している。ブロック行列を用いることにより格段に計算時間が短くなり、なおかつブランド間を遷移する様子が一目で理解できるようになる。

以上の各章においてはいずれも仮定通りの望ましい結果を導出することに成功しており、今後はさらなる有用性の検証を行ってゆくつもりである。