

内 20-70

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

要求稼働率の確保を考慮した
定期予防保全方式の研究

(Study on Periodic Preventive Maintenance
Policy Assuring Required Interval Availability)

申請者

船木 謙一

Kenichi Funaki

機械工学専攻 プラントエンジニアリング 研究

2001年1月

本論文では、加工組立型産業の生産設備に対する定期予防保全方式において、生産設備に対して要求される稼働率の確保を考慮した予防保全周期決定方法を提案する。

予防保全方式のうち、予め決めた一定周期ごとに予防保全を施す定期予防保全方式は、管理が容易であることから、故障しても比較的軽微な損失で済む加工組立型プロセスの生産設備に広く適用されている。定期予防保全方式では、予防保全時点に達する前に故障することもあるので、予防保全周期を長くすると故障による修理費用が生じる確率が高くなる一方、予防保全周期を短くすると予防保全が頻繁になり、予防保全費用がかさむというトレードオフがある。そのため定期予防保全方式に関する従来の研究では、上記のトレードオフを勘案して、修理費用と予防保全費用の期待値を合計した期待総保全費用を最小化するように予防保全周期を求めているものが多い。

しかし、実際の予防保全計画の際には保全費用以外の意思決定要因も考慮されており、上記のような従来の研究の枠組みでは十分でない場合がある。特に、生産設備のミッションは、生産計画により課された生産量をこなすことであるので、予防保全は単に期待総保全費用を小さくするだけでなく、課された生産量をこなせる稼働状態を確保するように計画すべきである。実際、現場における予防保全周期の決定においては、稼働状態の確保を考慮するための適切な方法が無いため、故障によって生産量が不足することを恐れ、必要以上に予防保全を施してしまう、いわゆる過剰保全の状態になっている場合がある。このような過剰保全を防ぐためには、課された生産量をこなせるように、稼働状態の確保を考慮して予防保全周期を決める方法が必要とされている。

課された生産量をこなすということは、設備に対しては、そのために必要となる総稼働時間や稼働率（これらを要求総稼働時間、要求稼働率と呼ぶことにする）を確保することとして捉えることができる。したがって、要求稼働率の確保を考慮して予防保全周期が決められれば、上記のような過剰保全の問題を防ぐことも可能になる。そこで本論文では、要求稼働率の確保を考慮した定期予防保全方式を提案する。そして、提案する方式を定式化し、その定量的な性質を明らかにするとともに、最適予防保全周期の存在条件を導く。また、適用事例としてプリント基板組立ラインにおけるリフロー設備の予防保全周期決定の例を示し、提案方式の有効性を示す。

提案する定期予防保全方式の概要は以下のようである。

まず、設備に対する生産側からの要求条件として要求稼働率が与えられるものと考える。しかし、設備の故障が確率的な現象である限り、要求稼働率を必ず確保できるとは限らない。そこで要求稼働率を確保できなかった場合には何らかの損が生じるものと考え、ここでは二つの損に分けて捉える。一つは、金額として表される損で、これをペナルティと呼ぶ。ペナルティには、たとえば総稼働時間

不足を補うための残業などによる労務費、操業費の増分など直接的に金額で表されるものや、生産遅れによる売り損など間接的に金額に換算できるものが挙げられる。もう一つの損は金額として表せない損で、たとえば納期遅れなどにより、顧客に与えた不信感などが考えられる。提案する方式では、ペナルティは保全費用と合わせて最小化する。一方、金額として表せない損は要求稼働率を確保することによって避けられるので、要求稼働率を確保する確率の最低基準として信頼係数という政策変数を導入し、信頼係数以上の確率で要求稼働率を確保できるようにする。以上より、提案する定期予防保全方式において最適予防保全周期を決める問題は、次のように表される。

〔最小化：ペナルティと保全費用の合計〕

〔制約条件：信頼係数以上の確率で要求稼働率を確保する〕

この問題は、確率制約条件のある非線形最適化問題として定式化される。

提案方式によって、要求稼働率を確保するために最低限必要なレベルの予防保全計画を立てることができ、過剰な予防保全を防ぐことが期待できる。

本論文にまとめた研究の主要成果は以下のようである。

- (1) 保全活動の根本的性質を考察し、要求稼働率、信頼係数などの考え方を導入することにより、保全活動と計画された生産量の達成との結びつきを明確にした。さらに、予防保全計画を立てる際にとるべき評価基準を導き、その下で、要求稼働率の確保を考慮した定期予防保全方式を提案した。(第3章)
- (2) 提案した定期予防保全方式を実施する際の手順及びその手順を構成する各項目を明らかにした。具体的には、要求稼働率の算出、要求稼働率を確保できなかつた場合に生じる損の分類、信頼係数の設定、ペナルティ算出方法の検討、設備の信頼性・保全性のモデル化、保全費用データの設定、予防保全時間の設定などの手順を踏む必要があることを示した。(第4章)
- (3) 提案した定期予防保全方式を定式化、解析し、その定量的な性質を明らかにした。特に、今までに導出されていなかった稼働率分布関数を求めた。また、定式化した問題の最適解の存在に関する条件を求めて問題の構造を明らかにし、グラフィカルな解法を与えた。(第5章、第6章)
- (4) 提案した定期予防保全方式をプリント基板組立ラインにおけるリフロー設備に適用し、その有効性を検証した。その結果、現状の保全実施の状況は、必要以上に保全を施す過剰保全になっていることが明らかになり、提案した定期予防保全方式によって、25%以上の費用削減が可能であることを示した。(第8章)

本論文は全部で10章から構成され、それぞれ以下の内容を述べる。

まず、第1章では、研究の背景と目的、及び本論文で想定する保全の実施形態や対象設備について整理する。

第2章では定期予防保全方式に関する従来の研究を整理する。また、従来の研

究と本論文で提案する方式の枠組みやモデルの違いを示し、提案方式の位置付けを明確にする。

第3章では、定期予防保全方式における評価基準の捉え方を示す。保全活動は生産を支援する活動の一つであるという立場から、生産と保全との関係を整理し、提案方式において必要となる要素（要求稼働率、ペナルティ、信頼係数、保全費用）について説明する。

第4章では、提案方式を実施する際の手順を示し、手順を構成する各項目の内容を説明する。

第5章では、提案する方式において最適な予防保全周期を決める問題を確率制約条件のある非線形最適化問題として定式化する。

第6章では、第5章で定式化した結果を基に、提案方式の性質や最適予防保全周期の存在に関する条件などを導く。また、保全費用の大きさが変わった際の最適予防保全周期の感度を直感的に把握できるグラフィカルな解法を与える。

第7章では、数値例を用いて、提案した方式において最適予防保全周期が具体的にどのように求められるかを示す。

第8章では、プリント基板組立ラインのリフロー設備に適用した事例を説明し、提案方式の有効性を考察する。

第9章では、提案方式に関する補足的事項として、要求稼働率が1を越える場合の対応や稼働率分布関数の近似式などについてまとめる。

最後に、第10章において本論文の成果や制限事項を整理し、総括する。