

モンテカルロシミュレーションを用いた機械設備の保全方策の評価

05001227	三菱電機	*福井 孝太郎	FUKUI Kotaro
	三菱電機	谷口 貴耶	TANIGUCHI Takaya
	三菱電機	神田 準史郎	KANDA Junshiro
	横浜国立大学	酒井 信介	SAKAI Shinsuke

1. はじめに

生産設備や建築設備などを10年以上の長期に亘って安定して稼働させるためには、適切な保全を行っていく必要がある。予防保全は、使用中の故障発生を防止するために、故障発生確率が上昇する前のタイミングで保全を行う考えであり、予防保全の手法として、現状多くの設備の保全に用いられている時間計画保全(時間基準保全とも呼ばれる)と状態基準保全がある。

近年、センサ技術や通信技術、解析技術の進歩に伴い、故障予測技術を用いた状態基準保全が注目されている[1]。状態基準保全を実施すると、故障発生の直前に保全作業を計画することで、故障発生数の削減と、保全回数の削減の両面の効果が期待できる。しかし、一方でセンサの部品コストや通信コストなどが発生するため、故障予測技術の導入が保全コスト全体の削減につながっているかを評価する必要がある。

そこで、モンテカルロ法による保守コストシミュレーションにより、導入の効果を評価する仕組みを構築した。その詳細について述べる。

2. シミュレーションの仕様

2.1 シミュレーションの構成

保守コストの見積もりにおいては、実際に作業によって発生する費用(交換作業に要する作業員の人件費と交換部品のコスト)と、故障を発生させたことによる影響を示すペナルティの合計を用いた。これは、故障発生による停止は設備所有者の損失が大きいため、保守サービスにおいて、故障発生の回避が優先されている実情を反映させたものである。

装置は多数の部品によって構成されており、また各部品も個体ごとに寿命は異なっている。ここで、部品の個体ごとに、あらかじめ定めた寿命分布に基づき、寿命を割り当てる形とし、部品の寿命到達前に部品交換がされれば、寿命はリセットされ、部品交換がされなかった場合には、故障が発生する(ペナルティが加算される)ものとした。なお、事前の部品交換ま

たは故障により部品が交換されるとその部品の新たな個体に対応した寿命が改めて設定される。

今回は、60個の部品で構成される装置30台を対象にシミュレーションを実施した。なお、各部品・装置の寿命分布および交換に要する作業量は一律とした。

2.2 MCMC法による部品の寿命

部品の寿命を設定するにあたり、過去の保守サービスにおける交換履歴および故障履歴のデータから推定された寿命分布を用いることとした。

保守サービスの実績データから寿命分布を算出するにあたり、計画的に部品交換が実施されているため、故障データが少ないという問題があった。そこでMCMC(多重マルコフ連鎖)法のアルゴリズムを用いたStan[2]を利用し、交換実績のデータも活用して、寿命分布をモデル化することとした。図1に、ある部品の故障発生・交換実績の分布と、その分布データから推定した寿命分布モデルを示す。(それぞれ縦軸は異なる)

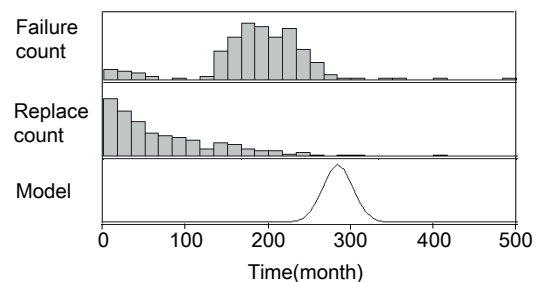


図1 寿命分布推定の例
(交換、故障実績および分布モデル)

3. 時間基準保全適用時の評価

作業コストの評価を行うにあたって、まずは、状態基準保全を適用せず、時間基準で保全を実施した場合について評価を行った。

時間基準保全では、平均寿命よりも短い周期で交換を実施するが、どの程度の割合とするのかは経験的に決められることが多かった。

そこで、平均寿命の一定割合（10%、20%、50%）の周期で交換を実施するように計画して、200 か月間運用した場合の累積作業コストをシミュレーションした（図 2）。作業コストはほぼ直線的に増加する傾向であるといえる。

時間基準保全においては、交換周期を長く設定すると、作業回数が減る一方で、故障率が増加しペナルティが多くなる。しかし、今回のケースでは、寿命のばらつき範囲が大きいため、交換周期が少し伸びたとしても、故障発生数はあまり変化せず、交換回数削減によりコストが小さくなる効果が大きく出ている。

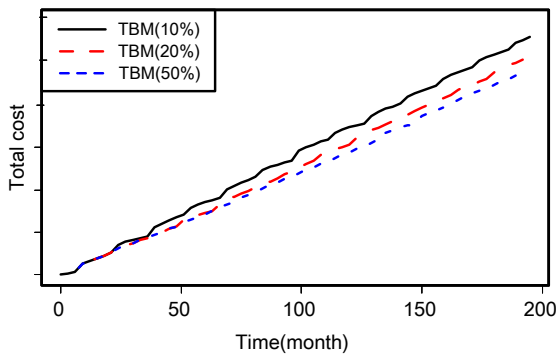


図 2 時間基準保全における交換周期と作業量

4. 状態基準保全における故障予測仕様

4.1. 故障予測性能の定義

状態基準保全適用時の評価を行うために、故障予測技術の仕様を定義した。保守サービスでは一定の周期で現場を訪問しており、部品が寿命に到達する前の訪問タイミングで交換を実施することで、訪問回数を増加させずに故障を回避することができる。ただし、交換が早すぎると、結果的に交換作業の回数が増えてコストが増加してしまう。

そこで、図 3 に示すように、寿命到達（故障発生）の直前とその 1 回前の訪問を交換指示すべきタイミングとした。具体的には、故障 1 回前の訪問：予測正答率、2 回前：予測正答率の半分、3 回前以前の訪問：

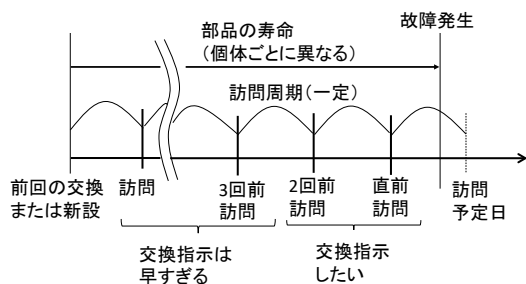


図 3 故障予測による交換指示のタイミング

誤検知率で交換を行うものとして、予測正答率と誤検知率を定義した。なお、これらの割合は、その時点において未交換の部品に対する割合とする。

4.2. 予測正答率の影響評価

状態基準保全を適用した場合の効果の評価として、すべての部品に対して、定期交換を実施せず、故障予測による交換のみを実施する場合の評価を行った。図 4 に、状態基準保全において、予測正答率を 10%、95%と変化させた場合（誤検知率：5%）の結果について、時間基準保全で平均寿命の 50%の周期で交換した場合と比較したものを示す。

正答率が低い場合、故障発生によるペナルティが発生するため、作業量が増えてしまっているが、この場合でも、時間基準保全の場合よりはコストが小さくなっていることがわかる。

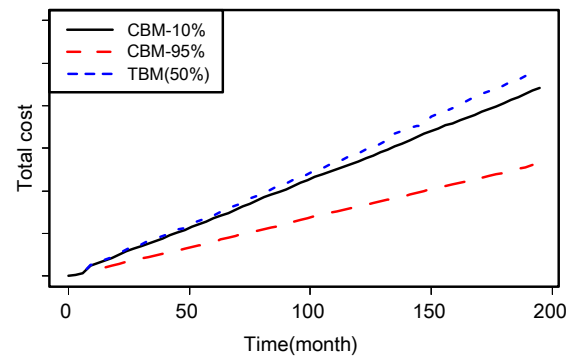


図 4 時間基準保全と状態基準保全の比較

5. おわりに

機械設備の保全方策を評価するためのシミュレーションを構築し、時間基準における適切な保全周期や、状態基準保全適用時の故障予測技術の性能の妥当性評価が実施できる可能性があることが分かった。今回の条件では、状態基準保全の適用により、保守コストの削減が実現できる結果となったが、条件次第で適切な保全方策は異なることも分かっている。そこで、今後実際のデータを用いたシミュレーションを実施し、保全方策の妥当性評価に活用していく。

参考文献

- [1] 凌, 真木, 遊佐, 宮, 「TBM と CBM を併用した保全方式における TBM 実施間隔最適化モデルの開発」, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 6, No. 3 (2007), p. 312-319
- [2] 松浦, 「Stan と R でベイズ統計モデリング」, 共立出版 (2016) p. 115-118.