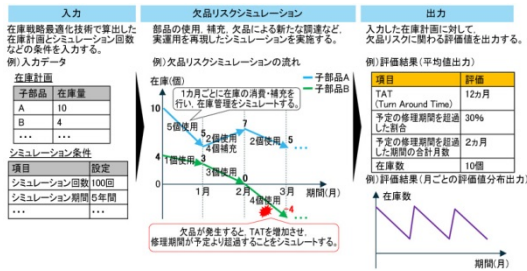


修理期間短縮を実現する在庫戦略立案技術

Inventory Strategy Planning Technology to Reduce Repair Time



古賀 祐一*1
Yuichi Koga

森野 友真*2
Yuma Morino

笠原 智亮*2
Tomoaki Kasahara

松浦 大輔*3
Daisuke Matsuura

井上 恭一*4
Kyoichi Inoue

田中 潤治*5
Junji Tanaka

販売した製品に対する定期的な整備 (Maintenance), 修理 (Repair), オーバーホール (Overhaul) を行う MRO 事業において、部品調達の遅れは修理期間を長期化させるリスクとなり、お客様の事業運営を阻害する可能性がある。そのため、常に万全の体制を整えておくことが求められる一方で、製品は数十万点以上の部品で構成されることもあり、膨大な点数の在庫を常時保管しておくことは現実的ではない。

本課題に対して、MRO 事業における部品在庫量の最適化計算技術を開発し、在庫戦略立案システムとして実装した。これにより、部品欠品による修理期間の長期化を未然に防ぐことが可能になる。本報では、開発した技術の概要について説明する。

1. はじめに

三菱重工業株式会社(以下、当社)では、多数の製品で MRO 事業を行っているが、お客様から部品支給が行われるケースでは、当社での部品の需要予測や在庫管理は不要である一方、お客様にとっては製品の状態を十分に把握した上で将来必要となる部品を予測し手配する必要がある。そこで、近年では PBL (Performance Based Logistics) 契約に代表されるように、修理計画をお客様ではなく当社のような MRO 事業者が作成して、製品の分解検査、修理用部品の調達、修理作業を包括的に行い、稼働率等の KPI (Key Performance Indicator) を保証するワンストップサービスが導入され始めており、当社でも、そのメリット・デメリットを評価している。

この契約形態では、MRO 事業における当社の裁量が拡大する一方で、部品在庫の過剰によりキャッシュフローが悪化するリスク、もしくは、欠品による修理期間長期化のリスクを負う必要があるため、これらのリスクをバランスさせる検討を行い、在庫保有量の最適点を決定することが重要になる。そこで、最小のリスクで事業を運営するための在庫戦略(部品在庫計画)を、最適化計算を用いて導出する技術、及び、それを用いて自動的に在庫戦略を立案可能な業務システムを開発した。

2. MRO 事業の在庫保有量最適化技術

2.1 MRO 事業の概要と特徴

MRO 事業には次のように様々な契約形態がある。①お客様から部品が支給され修理のみを行う形態。②修理に必要な部品の調達を含めて修理を行う形態。③稼働率や製品在庫量等の KPI を保証するサービスを提供する形態。近年では、お客様はより本業に集中するため、①の契約形態から②や③の契約形態のようにワンストップな契約を期待・導入する傾向にある。①の契約形

*1 デジタルイノベーション本部 EPI 部 主席チーム統括 技術士(経営工学部門)

*2 デジタルイノベーション本部 EPI 部

*3 航空機・飛昇体事業部 プロダクトサポート部 主席技師

*4 航空機・飛昇体事業部 ヘリコプタ技術部 主席技師

*5 航空機・飛昇体事業部 プロダクトサポート部

態では、お客様自身が各社から部品調達を行った上で、個別に MRO 事業者へ修理を依頼することから、部品調達の状況を加味できず効率的な修理計画を立てることが難しくなり、一般的に修理期間（製品が故障してから修理されてお客様に還元されるまでの期間）が長期化する傾向にある。一方、②や③の契約形態では MRO 事業者がワンストップで部品調達と修理を行うことから主体的に修理計画を立てることができ、修理期間の短縮が期待できる。しかし、この契約形態では、MRO 事業者が部品在庫の過剰/欠品リスクを負うため、これらを最小にするための在庫戦略（部品在庫計画）が必要となる。

2.2 在庫保有量最適化技術

在庫戦略立案のため、MRO 対象の製品（親部品）を構成する管理対象の子部品について、欠品なく在庫割当てができる確率（以降、“充足率”と表現する）を定義し、目標充足率を満たす中での最小在庫数を求める最適化問題と、調達上の制限を満たす中での最大充足率となる在庫数を求める2つの最適化問題を設定した。

一般に適正在庫量の算出においては、在庫の消費量が想定分布に従うという前提に基づき、部品発注から次の部品発注までの間に消費される在庫数と、需要やリードタイムに多少の変動が合っても欠品を防止するために備える安全在庫数を足し合わせて算出する。しかし、MRO 事業で扱う製品は、いつ故障するか分からないという性質を持つ場合が多く、子部品の交換頻度や消費量の想定分布を定式化できず、前述の方法で適正在庫量を算出できない。そこで、充足率に基づいて調達部品数が最少の在庫計画、充足率が最大の在庫計画を実現可能な手法を開発した。

今回開発した手法では、充足率は、過去の整備実績を元に集計される各子部品の交換率（交換数ごとに、それが発生する確率をプロットしたもの。図1左を参照）に基づき、その累積分布（図1右）から算出することで実現した。

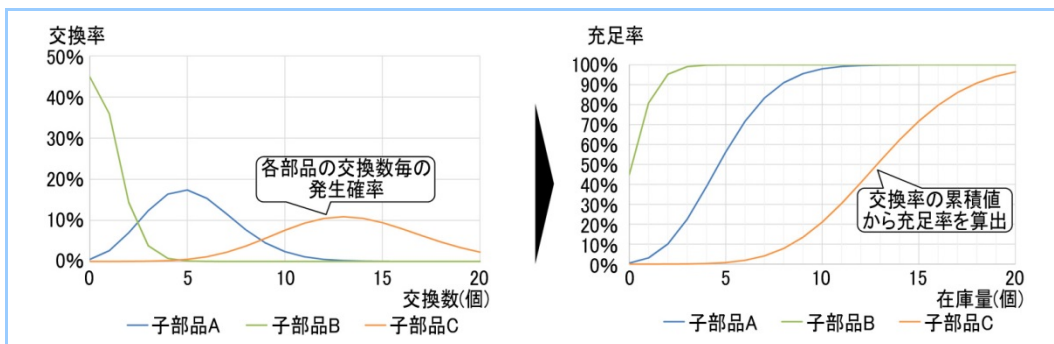


図1 子部品の充足率 算出例

2.2.1 目標充足率を満たす中での最小在庫数を求める手法

本手法では、親部品の充足率の目標値などの制約条件（表1）を遵守しつつ、調達する部品数が最小になる在庫計画を算出する。本手法の特徴は、各子部品の充足率から在庫量は算出せず、親部品を構成する全種類の子部品の充足率を考慮し、考えられる在庫量の組合せから調達する部品数が最小になる在庫数を算出することである。これにより、各部品個別に必要な在庫量を算出する従来手法よりも調達する部品数を抑制できる。

表1 制約条件の例

No.	制約条件
1	子部品の充足率は、過去実績から算出した交換率に基づいていること。
2	親部品の充足率（各子部品の充足率の積）は、目標値を下回ってはいけない。
3	調達する子部品の在庫は、倉庫で保有可能な容量を超えてはいけない。

2.2.2 調達上の制限を満たす中での最大充足率となる在庫数を求める手法

本手法では、在庫調達上の制限などの制約条件(表2)を遵守しつつ、親部品の充足率が最大になる在庫数を算出する。本手法の特徴は、2.2.1 で開発した手法での最適化計算を、調達上の制限値に至るまで繰り返すことで、親部品の充足率を最大化することである。図2に本手法の流れを示す。在庫計画を算出後、算出した計画の部品調達費の合計が費用上限値を下回っている場合、親部品の目標充足率を増加させ、再度2.2.1の手法を用いて在庫計画を算出する。この計算を繰り返し実行し、費用上限値を上回る在庫計画が算出された時点で終了させ、直前の費用上限値を下回りつつ親部品の充足率が最大となる在庫計画を算出する。

表2 制約条件の例

No.	制約条件
1	子部品の充足率は、過去実績から算出した交換率に基づいていること。
2	在庫調達費用は、費用上限を上回ってはいけない。
3	調達する子部品の在庫は、倉庫で保有可能な容量を超えてはいけない。

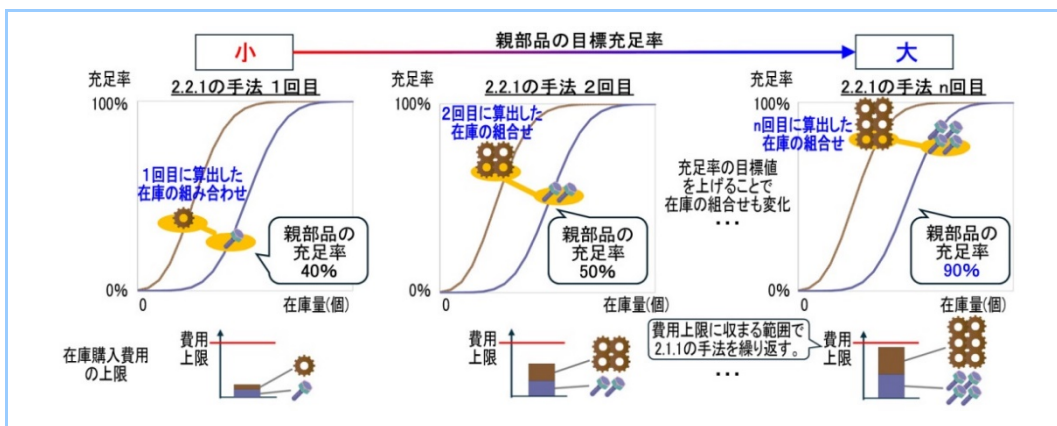


図2 最適化計算の手順

2.3 欠品リスクシミュレーション技術

2.2 で立案した在庫計画の妥当性を定量的に評価すべく、修理事業で起こり得る変動要素を加味した欠品リスクシミュレーション技術を開発した。本シミュレーションでは、算出した在庫計画に対して、1カ月ごとに修理の発生や部品交換を確率的に発生させ、在庫を消費させるとともに、子部品の調達リードタイムに基づいて在庫の補充を行う処理を数年分シミュレーションする。このシミュレーションを数百～数千回実行することで、様々な故障発生タイミングを模擬した修理リードタイムや欠品発生率の傾向を知ることができる。(図3)。出力される評価結果については、表3に示す評価値の平均値、及び、月ごとの推移を確認可能とした。

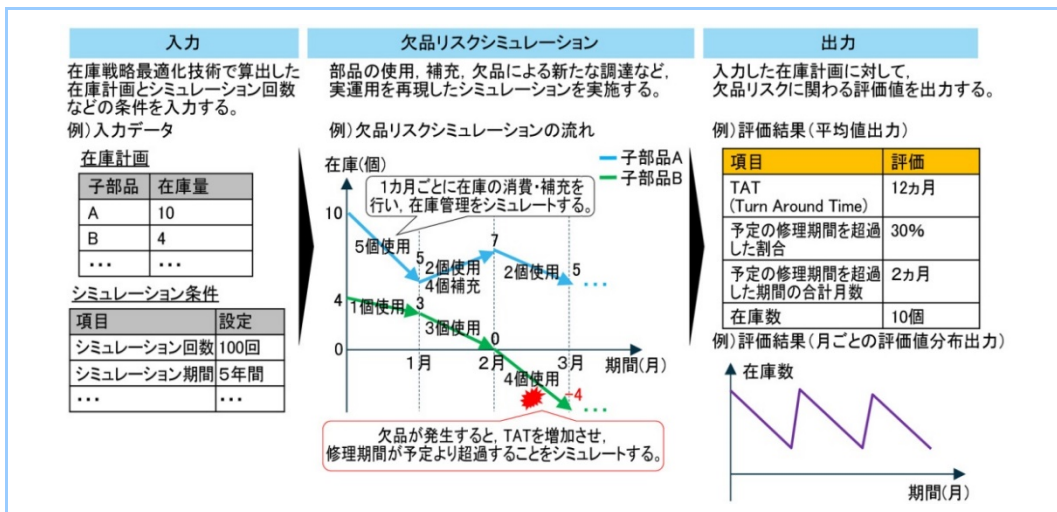


図3 欠品リスクシミュレーションの手順

表3 欠品リスクシミュレーションにおける主な評価値

No.	評価値	説明
1	修理リードタイム	修理を依頼してから完了するまでの期間に対して実際にかかる時間を表す(単位:月) 以下4つの期間の合計から算出する。 ・分解検査を行う期間 ・分解検査完了から子部品を発注するまでの期間 ・子部品の調達期間 ・修理組立てを行う期間
2	予定の修理期間を超過した割合	各シミュレーション期間で TAT*(修理の依頼から完了までの期間)が予定の修理期間を超過した割合を表す。
3	予定の修理期間を超過した期間の合計月数	各シミュレーション期間で TAT*が予定の修理期間を超過した期間(単位:月)の合計を表す。
4	在庫数	各シミュレーション期間で保有する部品在庫量(金額)を表す。

*:Turn Around Time, ターンアラウンドタイム

2.4 MRO 事業の在庫戦略立案システム

2.3 までに述べた技術について、広く MRO 事業に適用可能とするため、各計算プロセスのデータ入出力を自動化し、Web ブラウザをユーザインターフェイスとする業務システムを開発した。開発したシステムの利用フローを図4に示す。本システムは 2.1 の在庫最適化計算を実行するフェーズと 2.2 の欠品リスクシミュレーションを行う2つのフェーズで構成される。計算に必要な製品データを登録後、MRO 事業で想定する制約条件を与えて在庫最適化計算を行い、在庫戦略を仮決定する。その在庫戦略を元に、シミュレーション計算を数百～数千回実行させ、計算結果を確認する。シミュレーション計算の結果は、図5に示す通りグラフによる結果の確認が可能となっており、在庫戦略に対する欠品発生リスクや、修理期間との関係を判断することができる。これらの結果を以て、在庫戦略を決定していく。

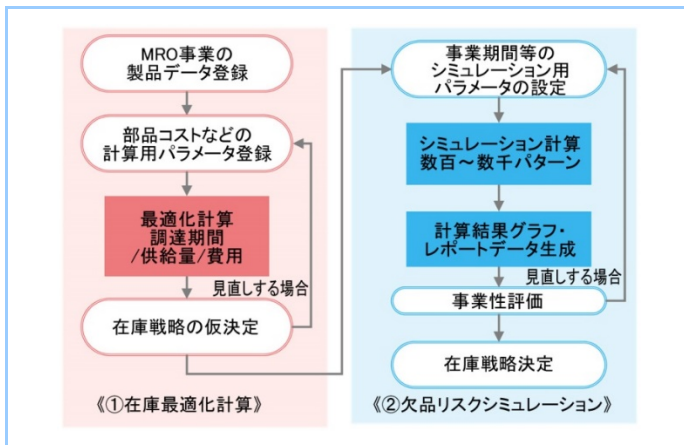


図4 在庫戦略立案システムの利用フロー



図5 在庫戦略立案システムのグラフ表示内容

2.5 有効性検証

本技術の有効性を確認するため、約200種類の部品から構成される製品を年間15台修理するというケースで在庫計画を算出し、調達費用、充足率の観点から定量評価した。構成部品のうち、交換対象部品である16種類の部品の在庫計画について、従来手法で算出した在庫計画と在庫戦略立案システムで算出した在庫計画を比較した(図6)。

その結果、2.2.1の目標充足率を満たす中での最小在庫数を求める手法においては、在庫量(部品調達費用)で21%減少した。また2.2.2調達上の制限を満たす中での最大充足率となる在庫数を求める手法においては、同一の上限費の中で親部品の充足率を5%増加可能である結果となり、本開発技術の有効性を確認した。

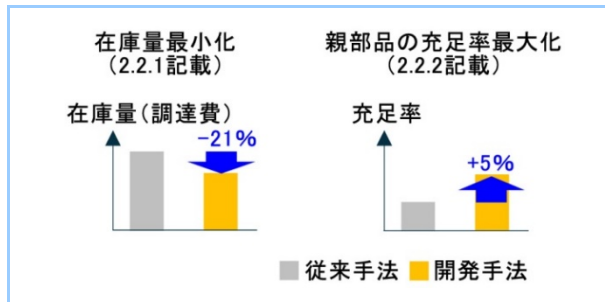


図6 在庫量(調達費), 充足率に対する
在庫保有量最適化技術の有効性確認結果

3. まとめ

本報では、MRO 事業において修理期間短縮のため、当社が修理計画を作成し、分解検査、修理用部品の調達、修理作業を包括的に行う場合に、部品在庫の過剰/欠品リスクを最小にするための在庫戦略(部品在庫計画)を、最適化計算を用いて求める技術について紹介した。そして、従来手法に比べ欠品リスクを少なくする在庫数の算出や、機器全体の充足率を向上させる在庫数の算出が可能であることをシミュレーション計算により示した。また、本技術を実装した在庫戦略の立案を可能とした業務システムを紹介した。今後、MRO 事業を順次拡大しながら、お客様とWin-Winの関係を築いていくツールとして活用を進めていく。

参考文献

- (1) 森本陽ほか, MROビジネスの拡大を支える在庫戦略立案技術, 三菱重工技報, Vol.59 No.1(2022)新製品・新技術特集