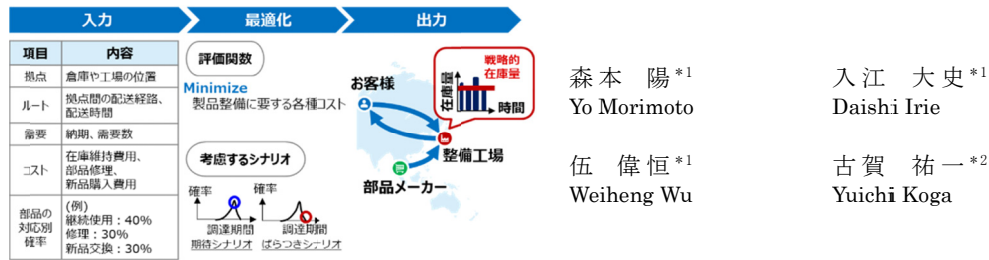


# MRO ビジネスの拡大を支える在庫戦略立案技術

## Inventory Strategy Planning Technology that Supports the Expansion of MRO Business



製品の整備、分解修理などの点検・整備を行うMRO (Maintenance, Repair and Overhaul) ビジネスにおいては、在庫をどれだけ持って運営するかが重要な検討課題である。市場やサプライヤの動向を踏まえて多くのケーススタディを行い、コストミニマムの制約の下で整備期間の短縮を果たす必要がある。一般に、整備期間とコストは在庫量に影響されることが多く、この在庫量をどう決めるか(在庫戦略)がサービス運用のキーになる。従来、この戦略決定は経験や勘に基づいて行われており、改善の余地があった。そこで、当社は、数理最適化に基づく理論的な計画技術を基に最適在庫量の算出技術を開発し、それらをMRO ビジネスの拡大に活用している。

本報では、当技術の概要、独自の在庫戦略立案技術、及び適用事例について説明する。

## 1. はじめに

当社が製造している大規模製品や製品が組み込まれた大規模設備には法的な要件等で稼働率が定められており、製品整備に使用する部品の供給や整備受託を行うサービスにより、稼働率を維持する必要がある。部品の即納率などのサービスレベル、部品供給やオーバーホールといったサービスの種類、部品供給や整備に要する期間は製品によりさまざまであるが、いずれの場合も、お客様から製品修理や部品供給の要求を受けてから製品・部品がお客様に届くまでの期間短縮と、コスト低減が重要である。その一方で、近年、技術の高度化に伴い製品の構造が複雑化しており、製品整備にかかる期間の短縮や、在庫維持費用等の整備コスト低減が困難となっている。

当社でも、製品整備を受託するサービスを提供しており、サービスにかかるコスト低減と整備期間短縮に向けた打ち手の一つとして、製品を安定供給することが可能な最少の在庫量を戦略的在庫量としてもつことを検討している(図1)。戦略的在庫量は、市場やサプライヤの動向を踏まえたうえで多くのケーススタディを行い、各種リードタイム(部品の調達日数、修理日数等)とコスト(在庫維持や不良部品の修理にかかる費用等)の観点で評価して決める必要があるが、従来、この戦略決定は経験や勘に基づいて行われており改善の余地があった。そこで、数理最適化に基づく理論的な計画技術を基に戦略的在庫量の算出技術を開発した。本報では、当該技術の適用対象であるMRO ビジネスの概要を説明した後、独自の在庫戦略立案技術、及び適用事例について説明する。

\*1 ICTソリューション本部 EPI 部

\*2 ICTソリューション本部 EPI 部 主席チーム統括 技術士(経営工学部門)

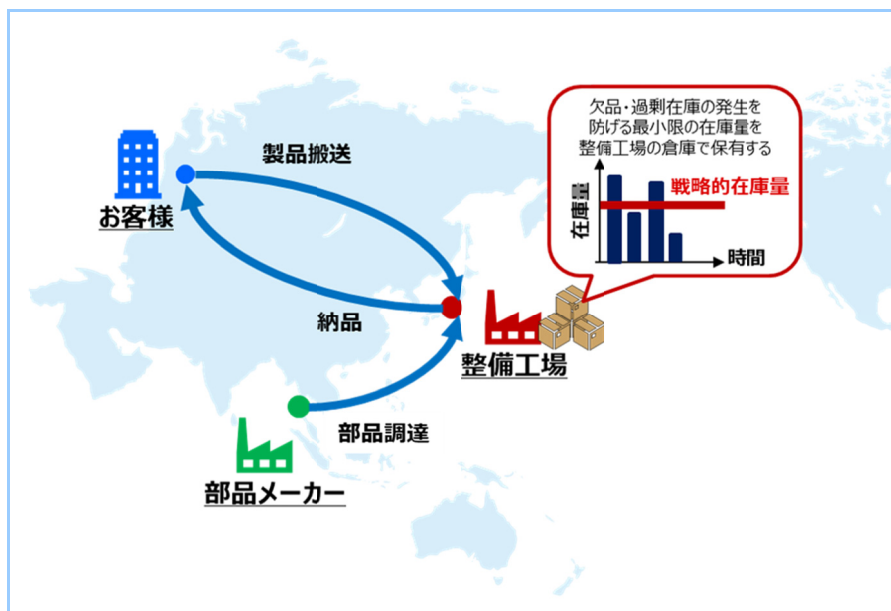


図1 サービス事業における戦略的な在庫量

## 2. MRO ビジネスの在庫戦略立案技術

### 2.1 MRO ビジネスの概要と特徴

定期的にメンテナンスが必要な大規模製品を対象に点検・整備を行う事業を、本報ではMRO ビジネスと呼ぶ。本ビジネスの物流面の特徴は、①対象製品や部品が表1に示す整備工場や修理工場等の拠点間を複数回行き来する、②整備工場において製品を分解・点検して初めて部品の損傷度合いが判明し、その都度、修理すべき部品数と廃却交換すべき部品数が決定する、などがある。これらの特徴はMRO ビジネスの物流形態において各種リードタイム(部品の調達日数、修理日数等)や、在庫維持費用/不良部品の修理及び新品購入にかかる費用/納期遅延に伴うお客様の損害額のトータルコストをばらつかせる主要因となる。そのため、戦略的在庫量を算出するためには、表1に示すばらつきを考慮した上で多くのケーススタディを行い複数ケースの整備期間とトータルコストを比較する必要がある。在庫量を最適化する方法として市販のサプライチェーン計画ツールや在庫量最適化ツール<sup>(1)</sup>などが存在し、需要シナリオや配送手段に応じて在庫量を最適化することが可能である。しかし、前述したMRO ビジネスの物流面の特徴に対応できないため、当社は、物流最適化技術と物流シミュレーション技術を組み合わせることでMRO ビジネスの在庫戦略立案技術として独自開発した。物流最適化技術は戦略的在庫量を算出するための技術であり、物流シミュレーション技術は戦略的在庫量で倉庫を運用した際の在庫推移の挙動を分析するなど、在庫戦略の妥当性を評価するための技術である。

表1 当社のMROビジネスの物流網を構成する拠点種類と各拠点のばらつき要素

No.	拠点名	説明*	ばらつき要素
1	お客様	整備対象の製品を、2.整備工場に配送し、整備完了後に、2. 整備工場から整備済製品を受け取る。	整備対象製品数
2	整備工場	受領した製品を分解・点検し、廃却部品は、5.部品メーカーで購入する。 要修理部品は、4.修理工場で修理した後、再度組み立てを行う。	修理・廃却部品数
3	商社	2.整備工場から依頼を受けた要整備部品を、4.修理工場で修理、又は、5.部品メーカーから調達した後に、2.整備工場に配送する。 ※商社を経由しない場合あり。	修理・購入先 - 修理・購入リードタイム - 修理・購入費用
4	修理工場	2.整備工場、又は、3.商社から配送された要整備部品を修理し、修理完了後に2.整備工場、3.商社に返送する。	整備リードタイム
5	部品メーカー	2.整備工場、又は、3.商社から依頼を受けた部品を、2.整備工場、3.商社に配送する。	部品提供リードタイム

※MROビジネスに関する言葉の定義

- 整備: 点検や修理などの信頼性を維持向上させるための作業
- 分解: 点検や検査のために、整備対象の製品から部品を取り外す作業
- 交換: 不良部品を新しく置き換える作業
- 修理: 部品の不良箇所を直す作業
- 組立: 分解した部品を製品に取り付ける作業

## 2.2 物流最適化技術

物流最適化技術は、ある物流網において、生産・配送・在庫維持にかかる前述のトータルコストが最小となり、在庫保有数の上限や納期などの制約を遵守する拠点配置・在庫・配送計画を求める手法の総称である。本技術では、MROビジネスの物流網を対象に、MROビジネスの特徴である製品分解後の部品の対応方法(交換, 修理, 流用)のばらつきを考慮してトータルコストが最小となる計画を算出できる最適化技術を実現した。

まず、図2に示す通りMROビジネスの物流網について、時間経過を伴う製品・部品の流れ(組立, 修理, 分解, 配送, 在庫保有)を考慮するため、ある離散時間における拠点を点とし、製品・部品の流れを枝として扱う時空間ネットワークの形式<sup>(2)</sup>で、数学モデルとして定式化した。そして、本モデルを対象に、表2に示す在庫保有数の上限や納期などの制約条件を定義し、混合整数計画法によりコストが最小となる計画を算出する最適化問題として扱った。

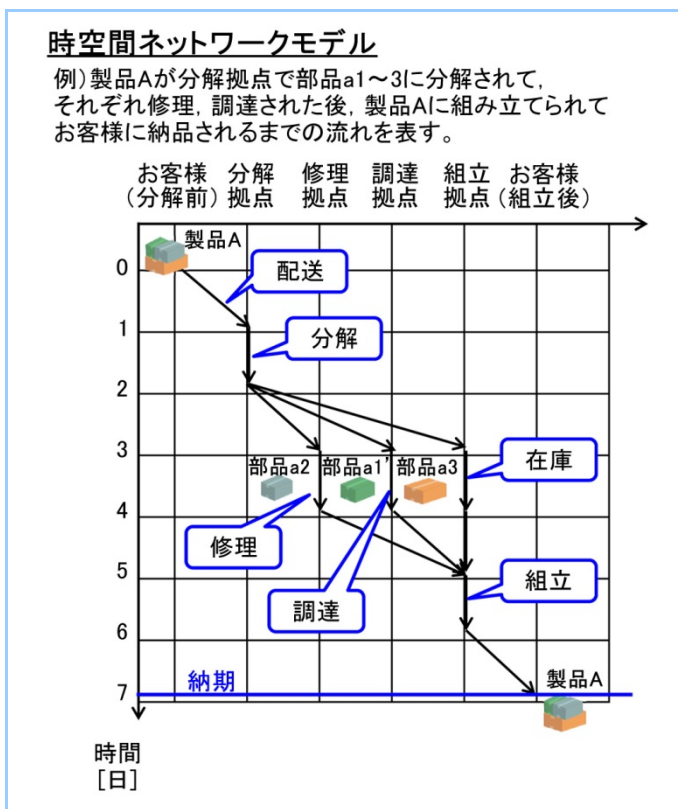


図2 時空間ネットワークモデル

表2 物流最適化における主な制約条件

No.	分類	制約条件
1	需要	着手可能日時
2		納期
3	在庫	初期在庫量
4		在庫量上限
5	配送	配送量上限
6		配送ルート使用可能期間
7		配送手段
8		配送期間
9	分解・修理・組立	分解・修理・組立量上限
10		分解・修理・組立期間

続いて、[図3](#)に示す通り、過去の実績における部品修理や新品交換の発生割合に応じたコストの算出方法を定義した。具体的には、在庫戦略案において、物流網で扱う修理部品数、交換部品数を変えたシナリオごとにコストを算出し、(各シナリオの)発生確率で重みづけしたコストの総和を在庫戦略案のコストとする。このコストが最小となる在庫戦略案を最適案として選択することで発生確率の高いシナリオが発生した場合にかかるコストを抑制できる計画を作成することが可能となった。

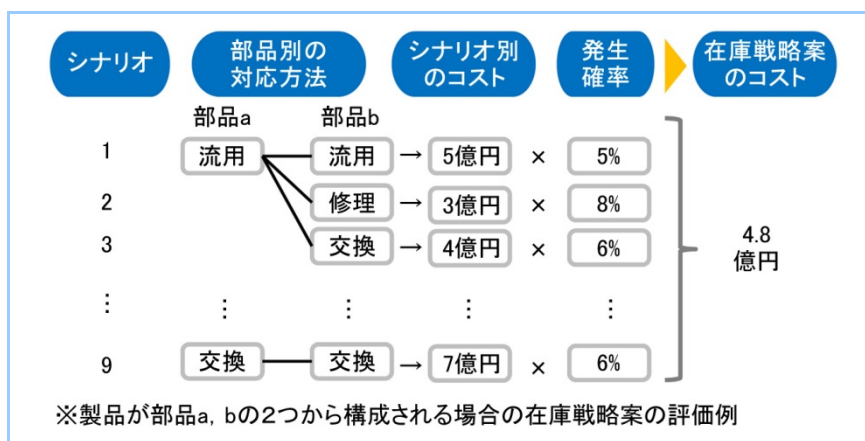


図3 在庫戦略のコスト評価モデル

### 2.3 物流シミュレーション技術

本項では、2.2 項の物流最適化技術を用いて立案した在庫戦略で実際に倉庫を運営した場合の在庫推移をシミュレーションする技術について紹介する。まず、本技術を実現するために設計した、2.1 項に記述した特徴を有する MRO ビジネスの物流網を定量評価するためのシミュレーションモデルについて説明する([図4](#))。シミュレーションモデルは、倉庫、整備を行う工場などを拠点オブジェクトとして物流の構成を表現し、これらのオブジェクトの中で確率的に決定される要整備部品に対する対応(修理/分解)を表現する。本モデルでは、整備拠点上で製品を分解するステップ(お客様⇒整備拠点⇒修理/分解拠点)と組み立てるステップ(修理/分解拠点⇒整備拠点⇒お客様)で発生する逆方向のモノの流れを区別するために、整備拠点を2つのオブジェクトに分けて定義した。本モデルを基に整備対象の製品がお客様から出荷された後、整備済みの製品がお客様に届くまでのモノの流れを離散的にシミュレーションできる機能を実装したシミュレータを開発した。本シミュレータは倉庫で持つ在庫数や構成部品の修理/分解を依頼する拠点ごとの、依頼発生確率/整備費用/期間を入力として、確率的に整備部品の整備依頼先/依頼数/整備費用/整備期間を決定し、在庫量、整備期間、及び、在庫維持費用/修理費用/交換費用等の各種コストの分布を出力する。これにより、予定の在庫量で倉庫を運用した際のトータルコストの評価や在庫推移の分析を、過去の整備実績を基に行うことが可能となった。



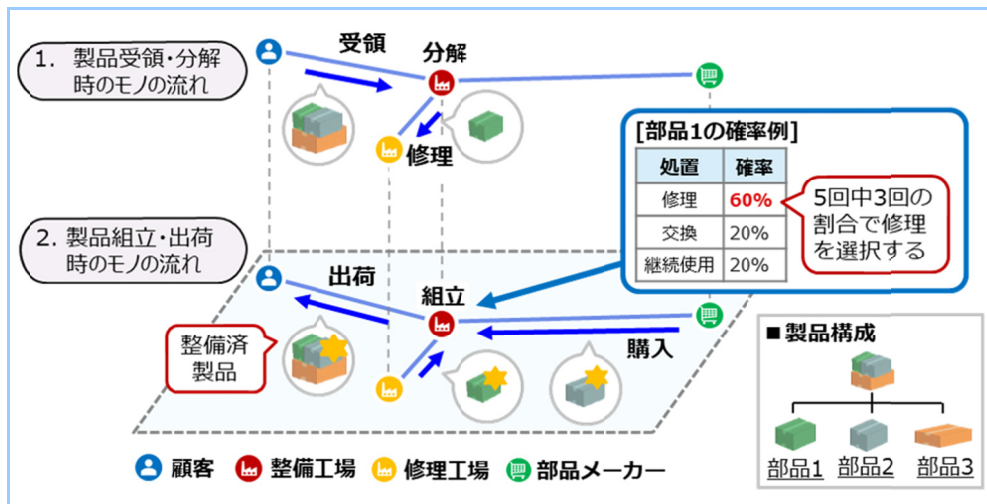


図4 シミュレーションモデル

### 2.4 在庫戦略の立案と、定量評価

2.2 項で紹介した物流最適化技術と 2.3 項で紹介した物流シミュレーション技術を組み合わせることで MRO ビジネスにおける在庫戦略を立案し、その戦略を基に運営した際の在庫推移を評価するまでの一連の流れを図5に整理した。まずは、物流最適化技術を用いて製品の構成部品の交換実績(分解・検査して、修理又は交換の判断に至った実績)と各種リードタイム(部品の調達日数、修理日数等)のばらつきを考慮して戦略的在庫量を計算する。次に、求めた在庫量を前述のシミュレータに設定し、製品分解後に見つかった不良部品の整備依頼先/依頼数を確率的に決定しながらシミュレーション期間内の整備費用や在庫量を計算する。本計算を繰り返して不良部品の種類やその整備依頼先/依頼数が異なる複数シナリオの結果が得られた後は、整備期間/整備費用の平均値や時系列に沿った在庫推移の挙動から欠品・過剰在庫の発生有無を確認することで戦略的在庫量の妥当性を評価する。



図5 在庫戦略の立案から定量評価までの流れ

## 3. MRO ビジネスの定量評価事例

本章では、開発した物流最適化技術、物流シミュレーション技術の有効性を検証するため、当社の代表的な MRO 事業について、約 400 種類の部品から構成される製品を年間約 30 台整備するという想定で1年間分のシミュレーション結果で評価した。

物流最適化技術を用いて算出した9部品分の戦略的な在庫量(1個~4個)を 2.3 項で述べた技術を組み込んだシミュレータに設定し 500 回計算した結果を整備期間、トータルコスト、在庫維持コスト(戦略的在庫の維持費用と、分解後に他部品の到着まで倉庫で保管される部品の維持費用の和)の観点で、在庫を戦略的に持った場合とそうでない場合で比較した(図6、図7)。

その結果、戦略的な在庫により整備期間(平均値)が約 37%短縮し、納期超過回数と在庫維持費用が低減することで最適化後のトータルコスト(平均値)が約4%低減することを確認できた。

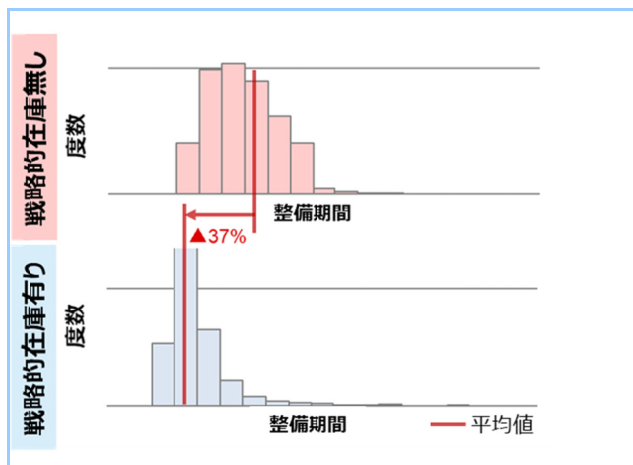


図6 整備期間

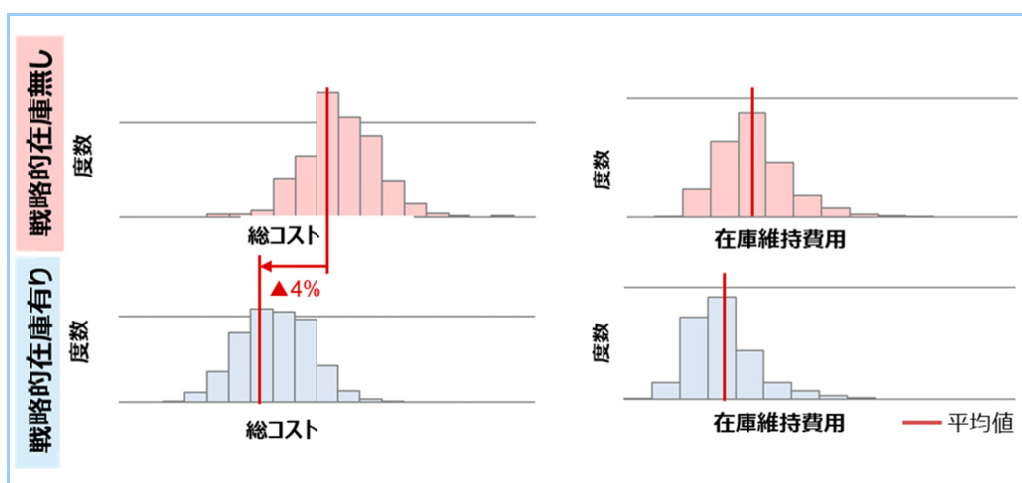


図7 整備費用

## 4. まとめ

当社では MRO 事業の製品整備にかかるコスト低減と期間短縮に対する打ち手の一つとして戦略的に在庫を持つことを検討している。本報では数理最適化をベースにした戦略的在庫量の算出技術を当社の代表的な MRO 事業に適用した。その結果、製品の構成部品の交換実績(分解・検査して修理又は交換の判断に至った実績)と各種リードタイム(部品の調達日数、修理日数等)のばらつきを考慮して在庫維持費用等の製品整備に要する各種コストを最小限に抑えながら整備期間を大幅に短縮できることを確認した。本手法により、MRO ビジネスにおいて欠品・過剰在庫の発生回数を減らすことでトータルコストを抑えた無駄のない運用で製品を安定供給することが可能になる。今後、本技術で求めた戦略的在庫量に基づいて実際に運営し効果を確認する。また、他の製品への展開を進めていく。

## 参考文献

- (1) Kai, G. et al., COMPARISON OF APPROACHES TO ENCRYPT DATA FOR SUPPLY CHAIN SIMULATION APPLICATIONS IN CLOUD ENVIRONMENTS, 2018 Winter Simulation Conference (WCS), p.3085-3095, doi: 10.1109/WSC.2018.8632201.
- (2) 中央大学, 田口東, 時空間ネットワークを使って電車・バスを円滑に接続する, (2013) [http://www.ise.chuo-u.ac.jp/ise-labs/taguchi-lab/taguchi130304\\_slide.pdf](http://www.ise.chuo-u.ac.jp/ise-labs/taguchi-lab/taguchi130304_slide.pdf)
- (3) 野村総合研究所, 機械業界におけるリカーリングモデル構築事例と示唆, (2020) <https://www.nri.com/jp/knowledge/publication/cc/chitekishisan/lst/2020/08/07>