

フィールド保守業務における人的資源割当施策の立案支援

作田 一樹^{1,a)} 中島 達哉¹ 鈴木 唯司³ 奥田 滋³ 山根 俊幸³ 桑畑 雄大¹ 新小田 剛²
有馬 達也² 中尾 英明² 井上 進² 小野 智司^{1,b)}

概要：

本論文では、複写機や印刷機のフィールド保守業務において、新たな施策を導入する際の保守品質の変化を予測する方式を提案する。提案方式は、保守技術者をエージェントとするマルチエージェントシミュレーションにより保守業務を仮想的に実施することで、施策の効果をマクロとミクロの双方の観点で評価することが可能となる。また、顧客に対する保守技術者の割当てなど、施策内の定型的な要素については、最適化により自動的に決定する。提案方式を都市部における保守業務に適用し、保守品質指標の相対的な変化を予測できることを確認した。

Planning Support of Human Resource Assignment Policies for Field Maintenance Services

KAZUKI SAKUTA^{1,a)} TATSUYA NAKASHIMA¹ TADASHI SUZUKI³ SHIGERU OKUDA³
TOSHIYUKI YAMANE³ YUDAI KUWAHATA¹ TSUYOSHI SHINKODA² TATSUYA ARIMA² HIDEAKI NAKAO²
SUSUMU INOUE² SATOSHI ONO^{1,b)}

1. はじめに

保守サービスの品質は、顧客が業務機器を選定する際の重要な基準の1つとなる。一方で近年、製造業における生産品質の改善等により、機器の故障や不具合の発生頻度は低下の一途を辿っている。機器が自身をモニタリングし、消耗品の交換時期や不具合の発生を予測して製造業者に通報する技術も実用化されており、不具合や障害の発生を未然に防ぐ予防保守も広まっている。さらに、近年の情報通信技術の急速な発展や多様な業務の自動化により、店舗や事業所等に導入された事務機器の使用環境や頻度にも変化が生じている。以上のことから、従来よりも保守業務の頻

度が低下しており、従来からの高い保守品質の維持と保守サービスのコスト削減の両立が求められている。

また、長期的に生産年齢人口の減少の傾向は明確であることから、社会の高度情報化や人工知能技術の普及に伴う業態の変化を踏まえつつ人的資源の再配置を実施することは、企業や自治体等において不可避の課題である。特に近年は、働き方改革の名のもとに、労働環境の多様化のニーズが高まっており、人的資源の再配置や労働環境の多様化の実現に向けた適切な施策の導入が求められている。

保守業務における新たな施策を導入する際は、保守品質を改善または維持することが重要となる。このため、施策を導入した結果の保守品質の変化を適切に推定する技術の実現が望まれている。一般に、企業等では業務の実施履歴が多様な形式で蓄積されており、これを利用することで上記の品質の変化を予測することが可能になると考える。

本論文では、保守業務における新たな施策の立案の支援を目的として、施策を導入した際に保守品質がどのように変化するかを予測する技術を提案する。提案する方式では、保守技術者等の人的資源をエージェントとしてモデル

¹ 鹿児島大学大学院 理工学研究科 情報生体システム工学専攻
Department of Information Science and Biomedical Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

² リコー IT ソリューションズ株式会社
Ricoh IT Solutions Co.,Ltd.

³ リコージャパン株式会社
RICOH JAPAN Corp.

a) sc113025@ibe.kagoshima-u.ac.jp

b) ono@ibe.kagoshima-u.ac.jp

化し、シミュレーションを行うことで施策の保守業務への影響を予測する。また、提案方式は、導入する施策における定型的な要素を最適化により自動的に決定する。複写機および印刷機の実際の保守業務データに提案手法を適用し、都市部の保守業務であれば提案手法が低い誤差で保守品質の相対的な変化を予測できることを確認した。

2. 関連研究

保守業務の効率化は製造業における重要な取り組みであり、多様な業務管理システムや業務効率化方式が開発されている [1]。マルチエージェントシステム (Multi-Agent System: MAS) [2], [3], [4], [5] を利用した保守業務支援の研究も行われている。Gallab らは、液化石油ガスのサプライチェーンにおいて、保守業務における障害発生シナリオをモデル化し、視覚化により意思決定者の支援を行う枠組みを提案している [6]。

3. 保守業務のモデル化

本研究では、保守業者の統括部門へのヒアリングにより、対象とする保守業務を以下のようにモデル化する。

- 保守対象機器には、あらかじめ担当保守技術者が割り当てられる。保守技術者は保守対象機器を有する顧客からの依頼に応じ、保守業務 (タスク) を行う。
- 保守業務には、定期保守、緊急保守、継続保守、導入保守の 4 種類がある。緊急保守を行った際に、同時に定期保守についても行うことがあるが、この場合も含めて緊急保守と呼ぶ。
- 各機器は、その機器の利用頻度に応じて定期的に保守を受ける必要がある (定期保守)。
- また、各機器は、その機器の利用頻度に応じて突発的に不具合が生じる可能性がある。不具合が発生した場合は、当該機器の利用者である顧客が保守業者のコールセンターに対応を依頼する (緊急保守)。
- コールセンターは、顧客から保守の対応依頼を受け、担当の保守者に緊急保守を依頼する。ただし、担当保守技術者が 2 件以上の緊急保守を抱えている場合は他の保守者に依頼する。
- 保守技術者は、定期保守、導入保守、および、担当している継続保守を実施しつつ、コールセンターから割り当てられた緊急保守を実施する。
- 導入保守は機器の納入設置を行うタスクである。顧客が対象機器を購入した際に納品を行う業務のほか、レンタル/リース契約により機器を賃貸する場合の納入も該当する。
- 保守を行う際に、保守技術者が持つ部品のみでは対応できない場合は、部品の取り寄せを手配し、再度保守を行う (継続保守)。
- タスクは、当該機器への移動、保守作業、および退室

等の後処理の 3 つの行動からなる。

なお、本論文では、上記の問題に以下の制限を加え、都市部における保守業務のみを対象とする。

- 都市部では、移動時間が必ずしも距離に比例しないため、拠点毎に一律の移動時間を定める。
- 保守技術者はすべての機器の保守業務を行えることとし、保守技術者の間で技術力等の差異は設けないこととする。
- 夜間、週末の緊急保守は、それ以外の時間帯の保守と比較して極めて少なく、また、特殊な保守体勢をとるため対象外とする。

本論文では、保守品質を表す指標として、応答時間 (Response Time: RT) に着目する。RT は、緊急保守において、顧客から連絡を受けてから保守技術者が対象機器のもとに到着するまでの時間の平均である。ただし、受付翌日以降に訪問する場合は対象外とする。

4. 提案する方式

4.1 概要

本論文で提案する方式は、保守業務における新たな施策立案の支援を目的として、施策を実施した場合の保守品質の変化を予測する。提案方式の特徴を以下に示す。

特徴 1: マルチエージェントシステムによる保守業務シミュレーション

保守業務を遂行する保守技術者は、割り当てられたタスク集合や現在時刻、保守作業に必要な部品等をもとに、タスクに着手する順序を自律的に判断する。このため、提案する方式では、保守技術者を自律エージェントとみなし、マルチエージェントシミュレーションを行う。これにより、個々のタスクに含まれる多様な条件を考慮した、保守業務のシミュレーションが可能となる。また、得られたシミュレーション結果を、マクロおよびミクロの双方の面から解析することで、施策実施の効果を多面的に検証することができる。なお、本研究では、エージェントの行動モデルは規則ベースとし、保守業者の統括部門へのヒアリングに基づいて規則を設計する。

特徴 2: 最適化による保守技術者の割当て決定

提案方式は、施策の定型的な要素については最適化により自動的に決定する。施策の定型的な要素のなかでも特に、保守対象機器への保守技術者の割当ては、幾通りもの組合せを含む要素である。本研究で対象とする保守業務は、1 拠点あたり 15 人程度の保守技術者が 15,000 件程度の機器の保守を行う。機器に対する保守技術者の割当て方は膨大なパターンがあり、また、施策を変更する度に割り当て方を変える必要がある。このため、提案する方式では、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いて、保守技術者の顧客への割当てを自動的に決定する。これにより、提案方式の利用者は非定型的な要素の立案に注力する

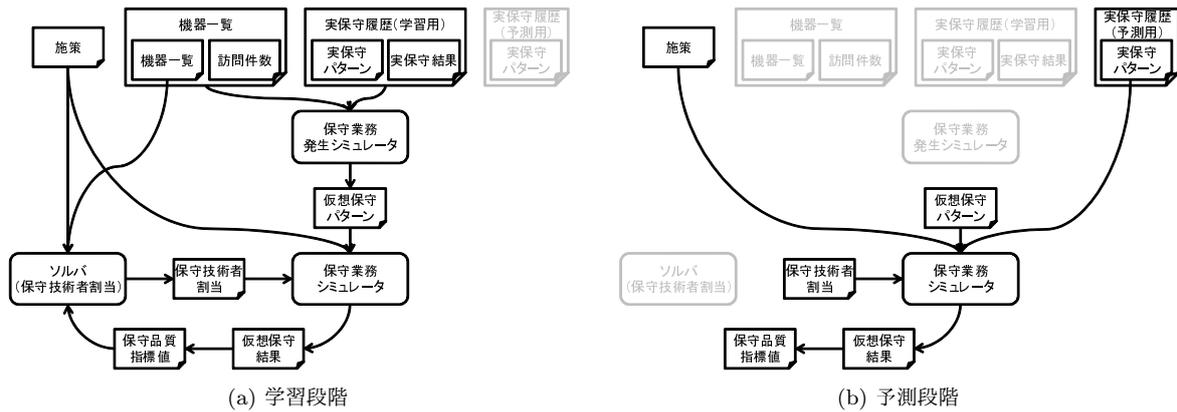


図 1 提案手法の構成と処理手順

ことができる。

4.2 構成と処理手順

図 1 に提案手法の構成と処理手順を示す。提案手法は、保守タスク発生シミュレータ、ソルバ、および、保守業務シミュレータから構成される。また、提案手法は、施策中の定型的な要素やパラメータを自動決定する学習段階と、施策を実施した際の保守品質の変化を予測する予測段階の 2 段階からなる。

保守タスク発生シミュレータは、学習や予測に利用する保守タスク列を生成する (4.3 節)。ソルバは、施策の定型的な要素やパラメータの値を決定する (4.4 節)。保守業務シミュレータは、仮想的に業務のシミュレーションを行うことで保守品質の変化を予測する (4.5 節)。学習段階では、解候補の評価を行うために、ソルバが保守業務シミュレータを繰り返し呼び出す。予測段階では保守業務シミュレータのみを実行する。

提案方式は、保守対象となる機器一覧、および、実際の保守業務履歴を参照する。機種毎の平均年間訪問件数リストを含む機器一覧は、拠点が対象とするすべての機器について、当該機器の情報、および、機種毎の年間訪問件数 (部品交換数を含む) の 2 種類の情報を含む。機種毎の平均年間訪問件数リストの例を表 1 に示す。機器一覧に記載された機器に対して、ソルバにおいて保守技術者が割り当てられる。また、年間訪問件数の情報をもとに、保守業務発生シミュレータが仮想保守パターンの生成を行う。

次に、実際の保守業務履歴の例を表 2 に示す。実際の保守業務履歴は、対象タスクの情報、および、タスク遂行結果の 2 種類の情報を含む。保守業務発生シミュレータは、仮想保守パターンを生成する際に、タスクの件数および遂行結果の双方の情報を参照する。また、保守業務シミュレータが実際の保守パターンをもとにシミュレーションを行う場合は、タスクの情報のみを利用する。

提案方式は、入力として、施策を受け付け、保守シミュレーションの結果を、実際の保守履歴と同一の形式で出力

する。すなわち、全ての保守タスクに対する出発時間、移動時間、作業時間等の情報を仮想保守シミュレーション結果として出力する。さらに、これらの情報をもとに保守品質指標の値を算出する。

4.3 保守業務パターンの仮想的生成 (保守業務発生シミュレーション)

提案方式は、過去に実際に発生した保守業務の発生パターン (実保守パターン) に基づいたシミュレーション、および、仮想的に生成した保守パターン (仮想保守パターン) に基づくシミュレーションの双方を行うことができる。仮想保守パターンの生成は、保守業務発生シミュレーションにより行う。保守業務発生シミュレーションは、下記の規則に基づいて行う。

- 保守タスクおよび部品の交換は、全国の保守履歴から機種毎に算出された平均年間訪問件数 (表 1) および当該拠点における過去の保守業務履歴をもとに算出され、対象機器の機種、使用頻度、契約形態、タスクの種類、拠点、月、曜日を変数とする確率分布に従って発生させる。
- 導入に関するタスクは、他のタスクと異なり、事前に手動で指定するか、もしくは過去の実際の保守履歴と同様に発生させる。
- 作業時間は、拠点毎の実際の保守履歴から算出した確率分布をもとに決定する。
- 移動および退出時間は、拠点毎に一律の値を設定する。
- タスクによっては、到着許可時間帯を指定することができる。これは、顧客の業務時間外 (昼食休憩時や業務終了後) に保守を行うよう指定される場合や、タスクの締切を設定される場合に指定される。

4.4 ソルバによる施策の定型的な要素の自動決定 (保守技術者の割当て決定)

提案方式では、保守技術者の人数や顧客への割当てなどの施策の定型的な要素やパラメータを、ソルバにおける最

表 1 機種毎の平均年間訪問件数リスト

機種	使用 頻度	契約 形態	導入			定期保守			緊急保守			継続保守		
			訪問 回数	交換部品数 S	M ...	訪問 回数	S	M ...	訪問 回数	S	M ...	訪問 回数	S	M ...
abc123	低	S	0.17	0.00	0.00 ...	1.25	0.92	0.78 ...	0.71	0.25	0.13 ...	0.03	0.02	0.01 ...
def123	高	PC	0.21	0.00	0.00 ...	4.81	3.29	1.26 ...	3.19	2.15	1.89 ...	0.13	0.02	0.01 ...
abc456	中	K	0.11	0.00	0.00 ...	2.33	1.19	0.97 ...	3.01	1.54	1.12 ...	0.08	0.01	0.01 ...

表 2 保守業務履歴の例

機器	担当	種類	保守パターン			保守結果			
			発生日	到着許可日時*		保守日	作業者	出発時間	...
abc123	E ₁	定期	4/1	12:00~12:30, 4/30 まで		4/1	E ₁	11:45	...
abc456	E ₂	緊急	4/1			4/1	E ₂	9:05	...
def123	E ₂	緊急	4/1	4/2 以降		4/2	E ₄	9:00	...
abc123	E ₃	導入	4/1	4/1 14:30~15:00		4/1	E ₃	10:05	...

* 実際の保守業務履歴には含まれないが、保守業務発生シミュレーションが付与する。

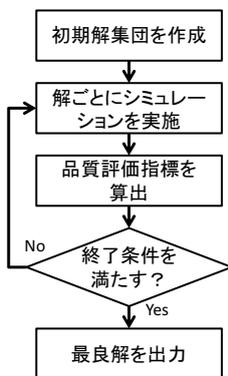


図 2 最適化ソルバの処理手順

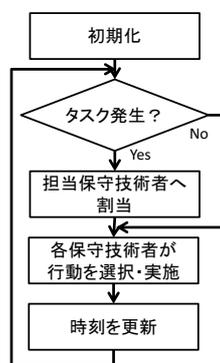


図 3 保守業務シミュレータの処理手順

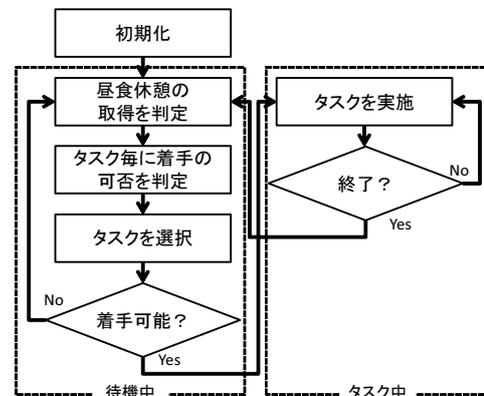


図 4 保守技術者の行動決定手順

適化により自動決定する。本論文では、保守技術者の顧客への割当てのみをソルバにより決定することとする。

保守技術者の割当ては、保守対象機器に保守技術者を割り当てる組み合わせ最適化問題である。その探索空間のサイズは、機器の総数を N_M 、人的資源の総数を N_E とすると、 $N_E^{N_M}$ となる。目的関数は保守品質指標であり、本論文では、応答時間 (RT) を最小化する問題とする。本研究において、対象機器に対する保守技術者の割当ては年度の初めに行うこととする。施策の効果を予測する対象期間において、どの機器にどのような不具合が発生するかは未知であるため、過去の保守パターンまたは仮想的な保守タスクパターンを用いて目的関数の計算を行う。目的関数のランドスケープの特性が未知であるため、多点探索型のメタヒューリスティクスである GA を用いて最適化を行う。

図 2 に最適化ソルバの処理手順を示す。解 (保守技術者の割当て) の候補の生成および評価を繰り返すことで、良好な割当て案の作成を行う。あらかじめ定められた繰り返し回数を満たした場合に最適化を終了し、解候補集団内で最良の解を出力する。解候補の評価は次節で述べる保守業務シミュレーションによって行う。

4.5 保守業務シミュレーション

保守業務シミュレーションは、単体として保守品質の予測を行うために用いられるほか、GA により保守作業者の機器への割当てを決定する際の評価器としても用いられる。

4.5.1 処理の流れ

保守業務シミュレータは、与えられた施策、保守作業者割当て、および、保守パターンに基づいて保守業務のシミュレーションを行い、保守業務履歴および保守品質指標の予測値を出力する。

保守業務シミュレータは、コールセンタシミュレータおよび保守技術者シミュレータからなる。保守業務シミュレータの処理手順を図 3 に示す。コールセンタシミュレータは、保守パターン内のタスクを、指定された日時に保守作業者に割り当てる。保守作業者シミュレータは、割り当てられたタスクを順次実施する。両シミュレータの詳細については、4.5.2 節および 4.5.3 節にて述べる。

4.5.2 コールセンターの行動決定

コールセンターは顧客からの緊急保守を受付ける組織であり、受付けた緊急保守の保守技術者への割り当てを行う。コールセンターの行動決定規則を以下に示す。

- 定期保守および導入を、各保守日早朝の業務開始時刻

t_{start} に担当の保守技術者に割り当てる。

- 緊急保守を、以下の規則に基づいて割り当てる。
 - 緊急保守受付時刻において、対象機器の担当保守技術者が、2件未満の緊急および継続保守タスクを抱えている場合は、担当保守技術者に割り当てる。
 - 対象機器の担当保守技術者が、2件以上の緊急保守または継続保守タスクを抱えている場合は、ランダムに選択された他の保守技術者に割り当てを行う。

4.5.3 保守技術者の行動決定

提案する方式では、保守技術者が理想的で安定した動作を行うよう、規則に基づいて行動を決定する。保守作業者は、待機中と作業中の2つの状態を持つ。保守タスクがコールセンターによって割り当てられていない場合、あるいは、着手可能なタスクがない場合は、拠点または直前のタスクを終えた場所で待機するものとし、着手可能なタスクが割り当てられた場合に、当該タスクを実施する。図4および以下に、保守作業者の行動を決定する手順と規則を示す。初期化処理は各保守日の業務開始時刻 t_{start} に実施し、以後の行動決定は分単位で行うこととする。

- 1) 初期化: 業務開始の際の初期化処理として、定期保守タスクのスケジューリングを行う。すなわち、割り当てられている導入タスクおよび定期保守タスクのそれぞれについて、到着可能時間帯を考慮して出発可能であるかどうかの判断を行い、実施予定リストを作成する。
- 2) タスクを選択: 時刻 t において何らかのタスクに従事していない場合は、着手可能なタスクの一覧を作成し、着手するタスクを選択する。
まず、昼食休憩を取得していない場合は、昼食休憩の取得の可否を確認する。
次に、出発可能なタスクが存在するかどうかを判断する。そのタスクの到着許可時間に到着でき、かつ、そのタスクに着手しても、他のタスクの締切りを守ることができるタスクが、出発可能なタスクとなる。
最後に、出発可能なタスク一覧のなかで、もっとも優先度が高いタスクに着手する。優先度はタスクの種類や受付からの経過時間などの情報から算出する。
なお、業務開始時刻には朝礼や打合せを行うことを想定し、緊急または継続保守を担当している場合は業務開始時刻 t_{start} に行動を開始し、担当していない場合は t_{start} の30分後よりタスクに従事する。
- 3) タスクを実施: 時刻 t において何らかのタスクに従事している場合は、そのタスクの実施を行う。タスクは、移動、作業、退出の3つのフェーズよりなり、実保守履歴に記載された時間、または、保守タスク発生シミュレータにより定められた時間を消費する。タスクの従事中に他の緊急保守タスクを割り当てられる場合であっても、実施中のタスクを終了するまでは、行

表3 実験条件：予測段階における利用データ

	実験1	実験2	実験3	実験4
保守技術者割当	実割当 (学習を行わない)	仮想割当 (実パターンで学習)	仮想割当 (仮想パターンで学習)	
保守パターン	実パターン			仮想パターン

表4 提案手法により予測された RT_r [%]

拠点	対象データ	実験1	実験2	実験3	実験4
SS ₁	訓練データ (2013年度)	-5.03	-7.74	-4.92	-11.97
	評価データ (2014年度)	-7.96	-6.26	-7.12	-9.58

動を変更しない。実施しているタスクが終了した段階で、タスク選択を行う。

実施したタスクの成否は、実保守履歴に記載された結果、または、保守タスク発生シミュレータにより定められた結果に従うものとする。

5. 評価実験

5.1 準備

複写機および印刷機の保守業務を対象として評価実験を行い、提案手法の有効性を検証する。都市部に設けられた保守拠点 SS₁ において、2013年4月から2015年3月にかけて収集された保守業務履歴を用いる。2013年4月から2014年3月にかけて収集した保守業務履歴を訓練データ、2014年4月から2015年3月にかけて収集した保守業務履歴をテストデータとする。

本実験において品質指標の変化を予測する際、保守技術者の対象機器への割り当て方法は、実際の保守業務履歴に基づく割当て(実割当)を用いるか、訓練データを用いて最適化により決定した割当て(仮想割当)を用いる。また、品質を予測する際の対象となる保守パターンは、過去の保守業務履歴をもとに作成した実保守パターン、または、保守タスク発生シミュレータを用いて作成した仮想保守パターンを用いる。

なお、保守品質として着目する実際のRTの値は企業秘密にあたるため、本論文では実際の値と予測値との比 RT_r により相対的に表すこととする。

5.2 保守業務品質の予測精度の評価

5.2.1 実験条件

提案方式による品質指標の予測性能の評価を行うため、以下および表3に示す実験1から4を行う。

実験1: 学習を行わずに実際の保守作業者割当てを用い、実保守パターンを用いて品質指標の予測を行う。これによって、提案手法と実際の保守作業との間にどの程度の差異があるかを確認する。

実験2: 実保守パターンを利用した最適化により保守技術

表 5 保守品質指標の相対的な変化を予測した結果

	実際の RT の変化率	提案方式で予測された RT の変化率			
		実験 1	実験 2	実験 3	実験 4
SS ₁	96.50%	93.88%	97.85%	94.98%	98.69%

者の割当てを決定し、実割当てと仮想割当ての間での程度の差異が生じるかを確認する。

実験 3: 学習段階において仮想保守パターンを用いて仮想割当てを決定し、テスト段階においては実保守パターンを用いて予測を行う。

実験 4: 実験 3 と同様に保守技術者割当てを決定するが、予測段階においても仮想保守パターンを用いて予測を行う。これにより、仮想保守パターンを用いた際の品質指標予測の精度を検証する。

5.2.2 実験結果

実験 1 から 4 までの RT_r を表 4 に示す。仮想パターンを用いる実験 3 および 4 については試行回数を 5 回とし、結果の平均を表 4 に掲載した。

まず、表 4 における実験 1 の結果に着目する。拠点 SS₁ において、2014 年 4 月から 2015 年 3 月の 1 年分の実保守パターンを用いて保守品質の予測を行ったところ、提案手法は実際の RT よりも 6~8%程度短い RT を予測した。実験 1 では、実際とほぼ同様に保守技術者を対象機器に割り当て、実保守パターンに従って保守タスクを発生させている。また、実際の保守業務で必要とされた作業時間を本実験においても作業時間としてするため、実際の RT と予測 RT との差異は、保守技術者の挙動の違いにより生じる。

次に、実験 2 の結果に着目し、仮想割当てと実割当て (実験 1) との違いにより、保守品質にどの程度の差異が生じるかを確認した。実験 2 の予測段階における結果 (表 4) に着目すると、実験 1 と比較して、訓練データに対して予測 RT が短縮されることがわかった。これは、2013 年度のデータのみを用いて割当てを決定しているため、訓練データに特化する保守技術者割当てが得られるためである。これは、実際の保守技術者の割り当てに改善の余地がある可能性があることを示唆している。

最後に、仮想保守パターンを用いる実験 3 および 4 の結果に着目する。実験 3 および 4 では、3 種類の仮想保守パターンにおける RT の平均を目的関数として、これを最小化するように保守技術者の割当てを行った。また、試行毎に異なる仮想保守パターンを用いることとした。

表 4 に示す実験 3 および実験 4 の結果から、仮想保守パターンに対して保守品質の予測を行う場合は、実保守パターンと比較して、提案方式はより短い RT の値を予測することがわかる。これは、2013 年の実保守履歴をもとに予想された仮想パターンに含まれるタスク数が、2014 年の実パターンと比較して、6%程度少なかったことが原因である。

5.2.3 考察: 指標の変化の予測精度

実験 4 に示す結果のように、提案手法を用いてある期間の保守品質指標の予測を行う場合、その誤差は 12%程度となる。一方で、保守品質指標の値を直接予測するのではなく、相対的な変化を予測する場合は、より小さな誤差で予測が可能となる。訓練データ (2013 年度) に対する評価データ (2014 年度) の RT の比を算出した結果を表 5 に示す。表より、保守指標の変化率を予測する場合は、 $98.69\% - 96.50\% = 2.19\%$ 程度の小さな誤差で予測を行うことが確認できる。

6. おわりに

本論文では、エージェントシミュレーションと最適化の組み合わせにより、フィールド保守において新たな方策を導入した際に品質指標の変化を予測する方式を提案した。

実験により、保守品質指標の相対的な変化を低い誤差で予測できることを確認した。

今後は、保守技術者の間接業務、保守技術者と顧客との時間調整、および、保守技術者間の連携のモデル化を行うことが重要な課題である。また、提案方式を地方部、特に人口過疎地域に対応できるモデルに発展させ、営利面および地域社会貢献の双方の観点から保守業務を継続できるように施策の立案に貢献することを目指す。

謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構 地域産学バリュープログラム の支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] 難波 功, 山中英樹, 柳瀬隆史: サポート業務効率化のための分析技術, 雑誌 FUJITSU, Vol. 58, No. 3, pp. 194-199 (2007).
- [2] Durfee, E. H. and Rosenschein, J. S.: Distributed problem solving and multiagent systems: Comparisons and examples, *Proceedings of the 13th International Workshop on DAI* (Klein, M., ed.), Lake Quinalt, WA, pp. 94-104 (1994).
- [3] Wooldridge, M. and Jennings, N. R.: Intelligent agents: Theory and practice, *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 10, No. 2, pp. 115-152 (1995).
- [4] Ferber, J.: *Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence*, Vol. 1, Addison-Wesley Reading (1999).
- [5] Stone, P. and Veloso, M. M.: Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective, *Autonomous Robots*, Vol. 8, No. 3, pp. 345-383 (2000).
- [6] Gallab, M., Bouloiz, H., Tkiouat, M., Garbolino, E. and ElKilani, M. A.: Simulation of Failure Scenarios related to Maintenance Activities, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 11, No. 24, pp. 11935-11949 (2016).