



サービス業務の動的スケジューリング問題

石井 信明

Dynamic Scheduling Problem on Service Operations

Nobuaki ISHII

1. はじめに

最終製品の姿が明確なモノ作りと異なり、顧客対応、営業活動など、いわゆるサービス業務には、業務が完了した際の状況、すなわちゴールの姿が明確で無い場合が多い。また、ゴールが明らかであっても、そこに至るまでのプロセスと投入する資源は状況によりまちまちである。たとえば営業活動では、顧客から注文を得ることがゴールと言えるが、どのようなアプローチで時間と手間を何処まで掛けるかは状況しだいといえる。標準的な営業プロセスとマニュアルがあっても、プロセスの途中で受注に成功する、あるいは、営業活動を断念する場合もある。多くの資源を投入しても、受注に至らない、あるいは、受注をしても大きな損失をとまなうこともある。

このような営業活動をはじめとして、これまでサービス業務は、経験と勘に依存した管理が中心であった。しかし、サービス産業に限らず、第一次産業、第二次産業においても、現在はモノを売るだけに留まらず、サービス業務が成長の要になっている。そのため、サービス業務の生産性向上が求められる。例として取り上げた営業活動においても、プロセスの合理化、情報の一元化、投入資源管理が求められており、クラウドサービスのSalesForce.com (<https://www.salesforce.com/jp/>)をはじめとして多数の営業支援システムが業種を問わず急速に普及している。経済産業省においても、サービス産業の底上げのためには経験と勘だけに頼った経営ではなく、より効率化・標準化・正確化された経営プロセスを実践し、さらなる付加価値向上をめざす必要のあることから、中小企業をはじめとしたサービス事業者のイノベーションを促進することを目的に生産性向上の標準的な改善手法

として「サービス業務改善標準」を広めている。

(http://www.meti.go.jp/policy/servicepolicy/service/about_METI/)すなわち、経験と勘に依存した現在の管理を改め、サービス業務の生産性向上が急務であるといえる。

本報では上記の状況を背景に、サービス業務のスケジューリング問題について検討する。すなわち、(1)サービス業務の特性を考えたシミュレーションモデル、(2)限られた資源を効果的にサービス業務に投入する動的スケジューリング手法を検討する。

また、サービス業務のスケジューリング問題としてプロジェクト見積業務を取り上げ、シミュレーションモデルの見積業務プロセスへの適用と、動的スケジューリング手法の有効性について考察する。

2. サービス業務のスケジューリング問題

一般にスケジューリング問題⁽¹⁾は、納期、各種資源を制約として、滞留時間最小費用最小を実現する計画を立案する問題と言える。その際の条件として、工程条件、各工程の作業時間などが与えられる。モノ作りを対象とした生産スケジューリングでは、生産システムの構成、工程順序により、ジョブショップスケジューリング、フローショップスケジューリング等の問題がある。また、スケジューリングで扱うデータの性格により、確定的スケジューリングと確率的スケジューリングに分類される。さらに、スケジューリング対象となるジョブ（オーダー）の到着の仕方から、全てのジョブの情報が予め明らかである静的スケジューリング問題と、ジョブが確率的かつ連続的に到着する動的スケジューリング問題に分類される。いずれの場合も、生産スケジューリング問題では成果物を得る工程は決まっており、その途中段階で終えても成果物を得られない。

これに対しサービス業務を対象としたスケジューリン

*教授 経営工学科

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

グでは、その目的、制約条件など、生産スケジューリングとは異なる観点が求められる。特に得られる成果について、モノ作りでは生産対象の仕様と数量は予め決まっているが、サービス業務の場合、投入する資源、工数、時間により、成果物の価値が変化する。また、サービス業務の場合、状況に応じて工程を省略することができる。

たとえば営業業務の場合、時間をかけて丁寧に顧客に対応することで、継続的に有利な条件の受注ができる可能性が高まる。しかし、他により有望な顧客が現れた場合、そちらに資源を振り分け、既存顧客への営業活動を縮小することも出来る。このようにサービス業務の場合、投入する資源、工数を変更することが出来、その結果として成果物に期待される価値が変化する。そのためスケジューリングの評価についても、数量と価値が予め決まっている生産スケジューリングで滞留時間最小あるいは費用最小が評価の基本となるのに対し、サービス業務では、顧客満足度最大化、受注額最大化など、生み出す価値の最大化が評価尺度となる。サービス業務と生産スケジューリングの違いについて、表 1 に概要を示す。

表 1 サービス業務と生産スケジューリングの比較

	サービス業務	生産スケジューリング
評価	期待利益、受注額、顧客満足度、など	コスト、滞留時間
工程	状況により工程を変更、省略	工程は固定
成果物	投入する資源と工数により価値が変化	仕様により予め決定

3. サービス業務のモデル化

前節に示したサービス業務の特徴から、図 1 に示す様に、サービス業務の一般モデルを設定する。

すなわちサービス業務では、業務をクラス N から 1 までの業務に分け、クラス N から始めて、徐々に業務が詳細化すると想定する。状況により工程（業務プロセス）の省略、すなわち、クラス 1 になる前に業務を終える場合、終了となったクラスまでの業務で得た成果物により評価を行い、評価に応じて目標の設定を変更する。成果物評価を終えると、そのジョブはモデルから離れるものとする。また、工程はジョブに必要な資源が割り当てられたときに開始される。必要な資源が割り当てられるまで、ジョブは $Q_N \sim Q_1$ の待ちファイルにて待機する。評価をうける期限までに必要な資源が割り当てられないジョブは、その時点で待ちファイルから抜け、その段階までの成果物により評価を受けることになる。

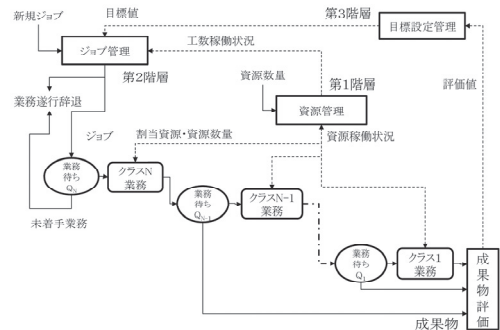


図 1 サービス業務の一般モデル

また一般モデルでは、サービス業務を次の 3 階層で管理することを想定している。

- ・第1階層（資源管理）：利用出来る資源の範囲内で、待ちファイル内の各ジョブに対し業務遂行に必要な資源を配分する。
- ・第2階層（ジョブ管理）：到着するジョブについて、設定された目標値から、業務を行うか辞退するかを判断する。
- ・第3階層（目標設定管理）：サービス業務遂行の結果から、目標値を逐次修正する。

4. スケジューリング手法

スケジューリングについては、これまでに多数の手法が提案されている。本報では、サービス業務モデルの特徴に合わせ、柔軟性の高い動的スケジューリング手法として、シミュレーションを利用したスケジューリングを示す。

図 2 に、スケジューリング・シミュレーションの基本的な仕組みを示す。すなわち、サービス業務モデルを利用して、新規にジョブが到着する、あるいは、工程のいずれかが終了すると、シミュレーションルールに従いサービス業務の進行をシミュレーションする。シミュレーションルールとは、前節に示した各管理階層で用いるルールである。たとえば第1階層（資源管理）では、待ちファイル内の各ジョブへの資源の配分方法がルールとなる。

シミュレーションは、サービス業務がどの様に進行するのかを予測することになる。シミュレーション結果に改善の余地がある場合はシミュレーションルールを変更し、新たにシミュレーションを行う。改善の余地がないと判断されると、その際のシミュレーションルールが実環境における最適な動的スケジューリングのルールとなる。

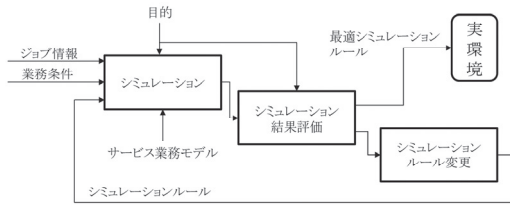


図2 スケジューリング・シミュレーションの仕組み

5. プロジェクト見積業務への適用

プロジェクト見積業務は、入札期限を納期とするプロジェクト⁽⁴⁵⁾といえる。ただし通常の繰り返し業務と異なり、成果物への要求品質、投入工数は、見積りの都度決めることが出来る。品質の高い見積りを行うには多くの工数を投入するが、その必要が無い場合は、ほどほどになる。すなわちプロジェクト見積業務では、出来るところまでで終了とし、入札に臨むことが出来る。ただし、不十分な工数では見積精度が低く、受注をしても期待利益は小さくなく、赤字プロジェクトの可能性も高まる。このようなプロジェクト見積業務の特徴は、サービス業務と類似点が多い。以下では、先に示したサービス業務の一般モデルとスケジューリング手法を、プロジェクト見積業務に適用した例を示す。

5. 1 プロジェクト見積業務のモデル化

本報では、見積業務を図3に示す見積業務モデルに表現する⁽⁴⁶⁾。ここでは、図1で示した「ジョブ」を「見積案件」と見なしている。また、AACE International⁽⁴⁶⁾では見積りに5段階のクラスを設定しているが、本モデルでは、入札までの見積業務として3段階のクラスを設定する。ここで、クラス4が最も見積精度が低く、クラス3、クラス2の順に精度が高くなる。

なお本モデルでは、3節に示した管理階層を、以下の様に、見積工数配分、見積案件選択、見積目標設定の3階層に置き換えている。

- ・第1階層（見積工数配分）：予め設定した工数制約の範囲内で、見積り待ちの案件に各クラスの見積りに必要な工数を配分する。工数が配分された最終の見積クラスにより、案件の期待利益が定まる。
- ・第2階層（見積案件選択）：到着する見積案件について、受注額目標、期待利益目標の観点から、見積りを行うか、辞退するかを判断する。
- ・第3階層（見積目標設定）：入札結果、受注残から、受注額目標、期待利益目標を逐次設定し、プロジェクト受注量と利益を確保する。

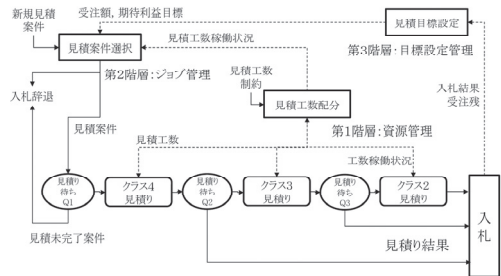


図3 見積業務モデル

本モデルでは見積り待ち Q1 の状態のまま入札期限までに見積工数が配分されない見積案件については、入札辞退としている。また、見積り待ち Q2、Q3 から入札を行う状況は、見積工数制約から入札期限までクラス2までの見積りに必要な工数が確保出来ず、クラス4、あるいは、クラス3の見積結果で入札に臨んでいることを示す。これらの場合、クラス2の見積りによる入札に比べ延べ見積工数が少ないため、プロジェクトからの期待利益も小さくなることが知られている⁽⁷⁸⁾。

5. 2 ヒューリスティック手法

見積業務モデルを前提に、確率分布に基づき動的に到着する見積案件からの期待利益最大化を目的とした、見積案件への見積工数配分と見積案件選択に関する簡易なヒューリスティック手法⁽⁴⁸⁾を示す。なお、ここでは、以下の前提条件を設定する。

前提条件

- ・見積案件は確率分布に従い到着する
- ・予め、各見積案件の期待利益、見積工数、見積期間が、見積クラス別に決まっている
- ・見積案件の受注確率が予め設定される

(1) 見積案件選択

見積案件選択では、売上、利益など財務上の視点だけでなく、顧客との長期的な関係、新規分野開拓など、多くの要素を考慮した意思決定が必要とされる。ここでは、あくまでも期待利益最大化を目指した見積業務の視点から、次の様に選択を行う。

Step 1：到着した新規見積案件 i に投入する延べ見積工数 (MH: Man-Hour; 人時) 当たりの期待利益として、見積工数期待利益 $[¥/MH]$ $EPPC_i$ を(1)式により求める。ただし、期待利益、見積工数は、クラス2の見積りによる値を用いる。

$$EPPC_i = EP_i + EC_i \quad (1)$$

ここで、 $EPPC_i$ は見積案件 i の見積工数期待利益、 EP_i は見積案件 i の期待利益、 EC_i は見積案件 i の延べ見積工数を示す。

Step 2：見積案件 i が到着した時の稼働中見積工数 NU (MH 稼働数) が、 $EPPC_i$ の値により定める見積工数稼働上限 $NU_{up}(EPPC_i)$ より小さい場合、見積りを行う。 NU が、 $NU_{up}(EPPC_i)$ 以上である場合、入札を辞退する。すなわち、見積工数に余裕が無い場合は、期待利益の大きな案件のみに見積りを制限し、余裕がある場合は、期待利益の制約を緩和することで、見積工数の適度な稼働と新規見積案件数をバランスさせ、見積案件からの期待利益最大化を実現する。たとえば図 4⁶⁾ の場合、見積り実施と入札辞退の領域を分ける線が、 $NU_{up}(EPPC_i)$ を示している。

$NU_{up}(EPPC_i)$ は、見積案件の到着順序など、多くの条件により変化するため、最適な値の決定は簡単ではない。本報では、図 4 に示すように、探索する点を 3 点とし、見積業務モデルを用いたシミュレーション実験により、見積案件からの期待利益の平均値が最大となる $NU_{up}(EPPC_i)$ を試行錯誤的に探索する方法を採用する。探索では、 (N_2, E_2) 、 (N_3, E_3) 、 (N_1, E_1) の順に期待利益の平均値が最大となる点を求め、徐々に、入札辞退範囲を広めていく。

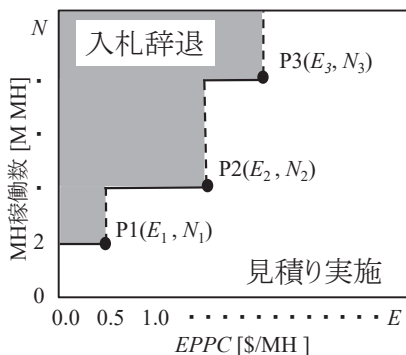


図 4 見積り実施と入札辞退の領域

(2) 見積工数配分

見積工数配分では、見積りの終了により見積工数が解放された場合に、Q1、Q2、Q3 で見積り待ちの案件の中からディスパッチングルールにより案件を選択し、見積工数を配分する。適用するディスパッチングルールとしては、最も公平な選択を行うとされる FIFO (First-In

First-Out) ルール、期待利益基準のルール、納期基準のルールなどが考えられる。

5. 3 シミュレーション実験

図 3 の見積業務モデルを基に見積業務シミュレータを作成し、シミュレーション実験により提案手法を検証する。シミュレーションモデルの作成と実験には、離散系シミュレーションシステムの VisualSlam[®]を使用した。また、 $NU_{up}(EPPC_i)$ の決定は、 (N_2, E_2) 、 (N_3, E_3) 、 (N_1, E_1) の順で値を仮定し、複数回のシミュレーションから得られる見積案件期待利益の平均と分散から、Nelson らによる最適シナリオの選別方法⁹⁾¹⁰⁾を使用して行った。なお、利用可能な見積工数を 1 期あたり 16[MH] (16,000MH) とした。また、シミュレーション期間は 1200 [期] とした。

シミュレーション実験では、見積案件の期間あたり到着数を変えたケース A、ケース B、ケース C を表 2 のように設定した。それぞれのケースでは、見積案件を小規模、中規模、大規模とし、見積クラス別の期待利益、受注確率、見積期間、見積工数などを表 3、4、5 のように設定した⁹⁾。

各ケースでは、「成り行き」、「案件選択」の 2 つの方法による比較を行った。ここで「成り行き」とは、見積案件の選択を行わず、到着する案件全てを見積する方法である。これに対し「案件選択」では、5.2 節のヒューリスティック手法により、到着した案件の選択を行う。ただしどちらの場合も、見積工数配分は、FIFO ルールに従うものとする。

図 5 に、各ケースの 1 期当たり平均期待利益を示す。また表 6 に、各見積案件に対する見積クラスと入札辞退の割合を示す。

図 5 から、全ケースにおいて見積案件の選択を行う「案件選択」が見積案件の選択を行わない「成り行き」の場合と比べ期待利益が大きく、5.2 節のヒューリスティック手法による見積案件の選択が期待利益向上に有効であるといえる。また表 6 から、全ケースにおいて、「案件選択」では「成り行き」に比べ入札辞退とクラス 2 による見積りの割合が大きくなる。図 5 から、全ケースにおいて見積案件の選択を行う「案件選択」が見積案件の選択を行わない「成り行き」の場合と比べ期待利益が大きく、5.2 節のヒューリスティック手法による見積案件の選択が期待利益向上に有効であるといえる。また表 6 から、全ケースにおいて、「案件選択」では「成り行き」に比べ入札辞退とクラス 2 による見積りの割合が大きくなる。

表 2 見積案件到着間隔 [見積案件/期間]

	三角分布 パラメータ	見積案件規模		
		小	中	大
ケース A	最小値	1.05	2.70	3.15
	最頻値	1.50	3.00	4.50
	最大値	1.95	3.90	5.85
ケース B	最小値	0.84	1.68	2.52
	最頻値	1.20	2.40	3.60
	最大値	1.56	3.12	4.68
ケース C	最小値	0.70	1.40	2.10
	最頻値	1.00	2.00	3.00
	最大値	1.30	2.60	3.90

表3 見積案件期待利益 [MM\$] (10⁶\$)

	見積案件規模		
	小	中	大
クラス4	0.5	1.0	1.5
クラス3	5.0	10.0	15.0
クラス2	20.0	40.0	60.0

表4 見積案件受注確率 (全ケース)

		見積案件規模		
		小	中	大
三角分布 パラメータ	最小値	0.05	0.05	0.05
	最頻値	0.20	0.30	0.40
	最大値	0.90	0.90	0.90

表5 見積り条件 (全ケース)

		見積案件規模		
		小	中	大
見積り期間		8	8	8
見積期間	クラス4	1	1	1
	クラス3	2	2	2
	クラス2	3	3	3
見積 MH [M MH]	クラス4	1	2	3
	クラス3	2	3	4
	クラス2	3	4	6

特に、見積案件の到着数が最も多いケースCで、他のケースに比べて期待利益の改善効果が大い。すなわちケースCでは、期待利益が98から166と68改善しており、改善額32および51のケースA、Bに比べ、およそ1.3~2倍の改善となっている。これは表6に示す様に、見積案件の到着が最も多いケースCでは、「成り行き」の場合、見積工数の不足からクラス3の見積りの割合が87.0%と最も多いが、「案件選択」では入札辞退により見積案件数を制御することで、期待利益の大きいクラス2の見積もりが31.8%と「成り行き」に比べて増加したことが、期待利益の改善につながったと言える。対照的に、見積案件の到着が最も少ないケースAでは、「成り行き」の場合でもクラス2の見積もりが49.9%であり、ある程度効果的な見積りを行っているといえる。すなわち見積案件が少ない場合は、「案件選択」による期待利益向上の効果が小さいと言える。さらに図5から、今回のシミュレーション条件の場合、見積案件の到着数が増加するに従い「案件選択」では期待利益が増加するが、「成り行き」では期待利益が減少することがわかる。

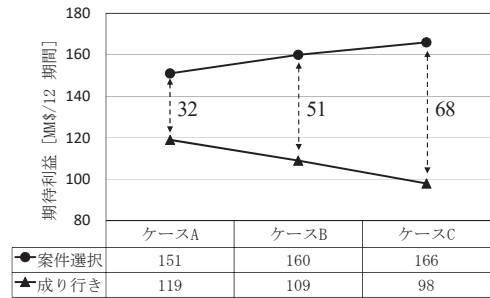


図5 各ケースの期待利益

表6 見積りのクラス別割合 [%]

	ケース A		ケース B		ケース C	
	案件 選択	成り 行き	案件 選択	成り 行き	案件 選択	成り 行き
入札辞退	38.7	0.0	50.4	0.0	62.0	0.0
クラス4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6
クラス3	7.6	50.1	8.5	71.9	6.2	87.0
クラス2	53.7	49.9	41.2	28.1	31.8	12.3

図6⁽⁵⁾は、ケースAにおける Nu_{up} (EPPC)を示す3点(0.4, 8) (0.8, 11) (1.0, 15)と、それらの点を結んだ入札辞退範囲を示している。たとえば、図6においてEPPCが0.7の新規の見積案件が到着した場合、 Nu が11以上であれば入札を辞退し、11未満であれば、見積りを実施することを示している。

また図7と8⁽⁵⁾は、ケースBおよびCの入札辞退範囲を示している。図6、7、8より、見積案件の到着数が増加するに従い、入札辞退の範囲が拡大することがわかる。その際、MH稼働数制約の方が期待利益率を基にしたEPPCよりも感度が高いことから、今回のシミュレーション実験のデータ設定においては、入札辞退の判断は、MH稼働数が支配的であると想定できる。

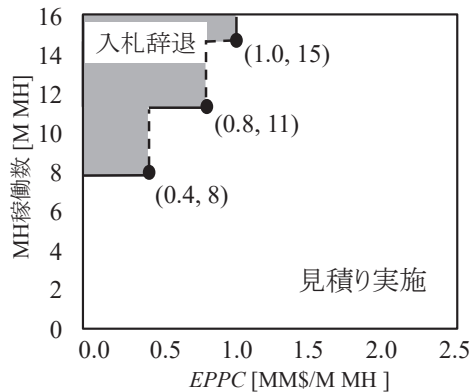


図6 入札辞退範囲 (ケースA)

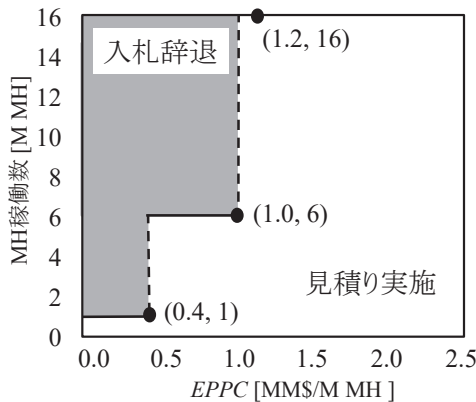


図 7 入札辞退範囲 (ケース B)

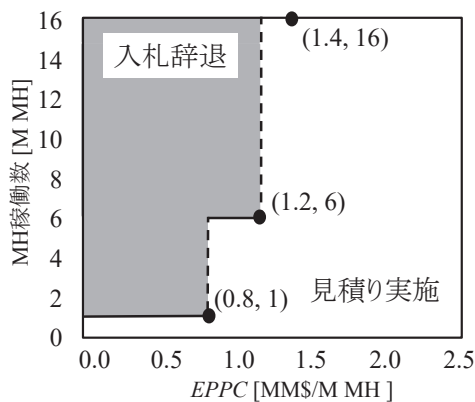


図 8 入札辞退範囲 (ケース C)

6. まとめ

本報では、生産性向上が急がれているサービス業務を取り上げ、サービス業務を効率化するためのスケジューリング問題について検討した。すなわち、サービス業務の特性を考えたモデルを示し、限られた資源を効果的にサービス業務に投入する動的スケジューリング手法を検討した。さらに、サービス業務のスケジューリング問題の例としてプロジェクト見積業務を取り上げ、一般モデルとして示したサービス業務のモデルを見積業務に適用し、動的スケジューリング手法とその有効性について考察した。

今後の課題として、例として示したプロジェクト見積業務を含め、事例の蓄積によるモデルの検証と改良があげられる。サービス業務には、プロジェクト見積業務と同様に、納期の設定はあるが成果物の最終の姿が一樣でなく、資源量と時間をかけることでより多くの成果が期待出来る問題がさまざまな分野に存在する。たとえば、営業活動、メンテナンス、トレーニング、ソフトウェア

テストなどは、期待される成果が投入する資源量と時間に依存する。これらの問題は、これまで管理技術の分野において中心的研究対象とはなっていなかったが、サービス業務の生産性向上の観点から、今後、新たな管理技術としての研究の可能性を検討する必要がある。

謝辞

本報をまとめるにあたり、東京工業大学名誉教授 村木正昭先生、専修大学 高野祐一先生から有益な助言をいただきました。ここに感謝をいたします。

参考文献

- (1) 田中克己, 石井 信明, “スケジューリングとシミュレーション”, (1995), コロナ社.
- (2) 日本プロジェクトマネジメント協会, “改訂 3 版 P2M プログラム&プロジェクトマネジメント標準ガイドブック”, (2014), 日本能率協会マネジメントセンター.
- (3) Turner, J. R., Handbook of project-based management, (2014), McGraw-Hill.
- (4) 石井信明, 高野祐一, 村木正昭, “プロジェクト見積業務の動的スケジューリング問題”, スケジューリング・シンポジウム 2015 講演論文集, (2015), pp. 119-124.
- (5) Ishii, N., Takano, Y., and Muraki, M., “A dynamic scheduling problem in cost estimation process of EPC projects,” Proceedings of the 6th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, (2016), pp. 187-194, Lisbon, Portugal.
- (6) The Association for the Advancement of Cost Engineering, “Cost estimate classification system – As applied in Engineering, Procurement, and Construction for the process industries,” AACE International Recommended Practice No. 18R-97, (2011)
- (7) Ishii, N., Takano, Y., and Muraki, M., “A revised algorithm for competitive bidding price decision under limited engineering Man-Hours in EPC projects,” Oukan, Journal of Transdisciplinary Federation of Science and Technology, (2016), **10**-1, pp. 47-56.
- (8) Ishii, N., Takano, Y., and Muraki, M., “A Heuristic bidding price decision algorithm based on cost estimation accuracy under limited engineering man-hours in EPC projects,” Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications Advances in Intelligent Systems and Computing, (2015), **319**, pp.101-118.
- (9) 森戸 晋, 相沢りえ子, 貝原俊也, “Visual SLAM によるシステムシミュレーション”, (2001), 構造計画研究所.
- (10) Nelson, B. L., Swann, J., Goldsman, D., and Song, W., “Simple procedures for selecting the best simulated system when the number of alternatives is large,” Operations Research, **49**-6 (2001), pp. 950-963.