

# 生産プロセスの違いを考慮した 組織パフォーマンス評価手法に関する研究

A study on evaluation of organizational performance considering the difference of  
productive process

大和 裕幸<sup>1</sup> 稗方 和夫<sup>2</sup> 満行 泰河<sup>1</sup>

Hiroyuki Yamato<sup>1</sup>, Kazuo Hiekata<sup>2</sup>, and Taiga Mitsuyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院 新領域創成科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

<sup>2</sup> 東京大学大学院 工学系研究科

<sup>2</sup> Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

**要旨:** 生産を行う組織の構造によって最適な生産プロセスは異なる。本研究では組織と個人スキルの制約の中で必要な所要時間を最小にする作業計画を立案するエンジンを開発した。また、ブロック組立工程のケーススタディにおいて、個人のスキルの違いによる組織全体のパフォーマンスの変化を開発したエンジンによって定量化することで、どの構成員のどのスキルを向上させることが組立工程の効率向上に最適であるか明らかにし、提案手法の有効性を示した。

## 1. 緒言

組織は競争に勝ち抜くために、社会経済の環境変化や情報技術を中心とした科学技術の発達などの様々な変化に対して組織のパフォーマンスを評価・向上させていく必要がある。

組織のパフォーマンスを評価する手法はいくつか提案されているが、代表的な手法としてビジネスプロセスのシミュレーションによる組織パフォーマンス評価手法が挙げられる。その代表例として、IBMのFileNet Business Process Managerの機能の一つであるプロセスシミュレータ[1]や日本海洋科学株式会社のPMT (Process Management Tool) [2]は各作業員のスキルに基づく組織のシミュレーションを行うことはできるが、組織の最適化を行うことはできない。またArena [3]はシミュレーションによる製造設備の最適化を行うことはできるが、作業員とスキルのモデリングを行うことができない。

そこで本論文では、人と組織の最適化に主眼を置いた組織パフォーマンス評価手法を提案する。具体的には、スキルセットによって定義されたプロセスと作業員のモデルから、全体の仕事の所要時間を最

小にするための各作業員の最適な振る舞いに基づく作業計画を導出する方法と、導出された作業計画をもとにした組織パフォーマンスの評価・向上を行う手法を提案し、提案した手法を造船所のブロック製作部門におけるいくつかのケーススタディをもとに検証・考察することで提案手法の有用性を論じる。

## 2. 提案手法

提案手法では大きく分けて以下の3つのステップからなる。

1. エンタープライズモデルの作成
2. 最適作業計画の立案
3. エンタープライズモデルの評価

初めに、組織のメンバーと仕事とスキルセットからエンタープライズモデルを作成する。次に作成されたエンタープライズモデルから最適な作業計画を計算する。最後に作成された作業計画をもとにエンタープライズモデルを評価することで組織のパフォーマンスを評価する。

## 2.1 エンタープライズモデル

本論文におけるエンタープライズモデルの概要を図1に示す。

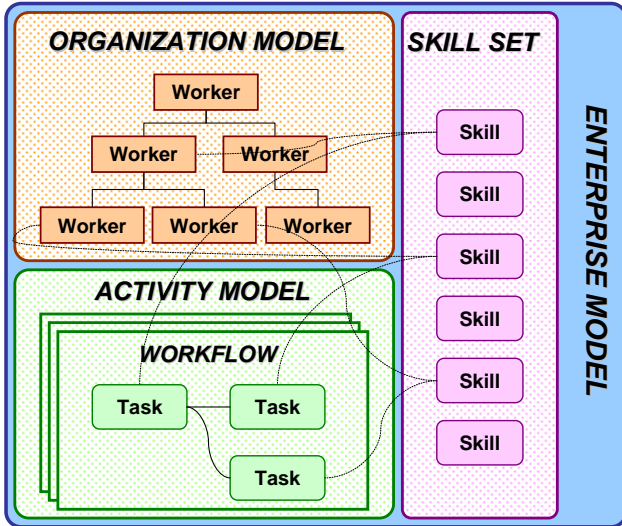


図1: エンタープライズモデルの概要

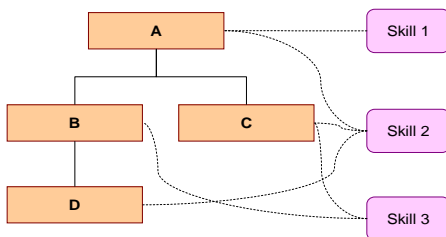
エンタープライズモデルはスキルセット・組織モデル・アクティビティモデルの3つとそれらの関連からなる。

### 2.1.1 スキルセット

スキルセットは組織内で必要なスキルの集合である。スキルセット内のスキルをもとに組織モデル内の作業員やアクティビティ内のタスクを定義する。

### 2.1.2 組織モデル

組織モデルは作業員の集合で構成される。各作業員は所属とスキルセット内の各スキルの有無で定義される。図2にその例を示す。



	Position	Skill 1	Skill 2	Skill 3
A		1	1	0
B	A	0	0	1
C	A	0	1	1
D	B	0	1	0

図2: 組織モデルの例

所属に関しては、各作業員の上司を記入する。本論文では組織モデルを Excel 形式で記述する。

### 2.1.3 アクティビティモデル

アクティビティモデルは一つの仕事を完了させるワークフローの集合である。ワークフローは各タスクとそれぞれの前後関係から成る。ワークフロー記述アプリケーションとしては、本研究室で開発された「ShareFast」[4]を用いた。図3にShareFastのインターフェイスを示す。

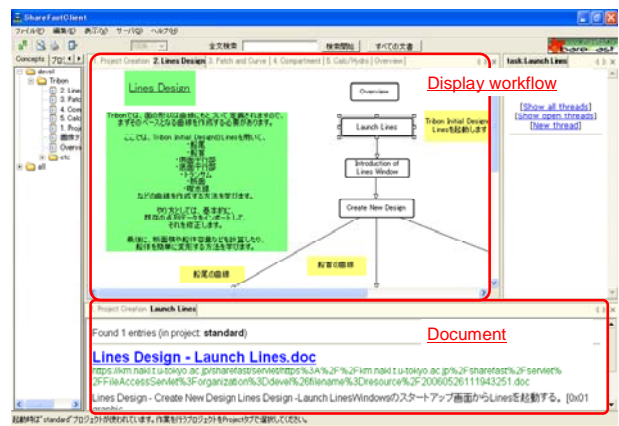
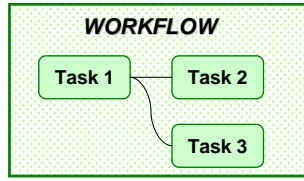


図3: ShareFast インターフェイス

ShareFast では容易にワークフローを記述できるだけでなく、文書管理システムの面もあるが、本論文ではワークフロー記述機能のみを用いる。提案する手法では、スキルセットに合わせたワークフローを、ShareFast を用いて記述することで必要な情報を BPMN[5]に基づいて XML 形式で容易に記述できる。図4にその例を示す。



	URI of task	URI of previous task	Duration	Condition	Task performer	Start time	Finish time	Deadline
Task 1	http://task1		10	Completed	A	20090820	20090830	20090901
Task 2	http://task2	http://task1	30	Ready	B	20090820	20090830	20090901
Task 3	http://task3	http://task2	10	None	C	20090820	20090830	20090901

```

<dc:title>Task1</dc:title>
<sf:duration>10</sf:duration>
<sf:processStatus>Ready</sf:processStatus>
<sf:performer>A</sf:performer>
<sf:startDate>2009-08-20T10:48:10</sf:startDate>
  
```

図 4: XML 形式で記述されたワークフローデータ

## 2.2 最適作業計画の立案

前の節のエンタープライズモデルから遺伝的アルゴリズムを用いた計算により最適な作業計画を立案できるエンジンを実装した。本論文ではすべてのタスクが終了する時刻を最小にする時刻を最小にすることをのみを目的として作業計画を立案するものとする。

手法としては以下の4つのプロセスを踏むことで作業計画を立案する。

- 目的関数を定式化する
- 制約条件を定式化する
- すべてのタスクの基本情報を求める
- 作業計画を計算する

### 2.2.1 目的関数

目的関数は以下のように設定した。

$$\sum_{t=0}^T t * x_{j+1,t} \rightarrow \min \quad (1)$$

ここで、 $t$ はスケジュール時刻 ( $0 \leq t \leq T$ ) を、 $j$ はタスク番号を、 $x_{j,t}$ は時刻  $t$  に作業  $j$  が終了したかどうかを表す変数であり、 $x_{j,t}$  は以下のように定義される。

$$\sum_{t=0}^T x_{j,t} = 1, \quad (x_{j,t} \in \{0,1\}) \quad (2)$$

### 2.2.2 制約条件

エンタープライズモデルをもとにして作成される制約条件を以下に示す。

$$\sum_{t=0}^T t * x_{h,t} \leq \sum_{t=0}^T (t - p_j) * x_{j,t} \quad (h \in P_j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^J \sum_{b=t}^{t+p_j-1} r_{j,k} (t + p_j - b) * x_{j,b} \leq R(t) \quad (4)$$

$$r_{j,k}(t) = \{0,1\} \quad (5)$$

ここで、 $h$ は作業  $j$  の先行作業のうちのひとつを、 $P_j$ は作業  $j$  の先行作業の集合を、 $k$ は作業員の番号を、 $r_{j,k}(t)$ は時刻  $t$  において作業員  $k$  が作業  $j$  を実行できるかどうかを表す変数を、 $R(t)$ は時刻  $t$  において作業可能な作業員数を表す。また、式(3)はタスクの前後関係を、式(4)は作業員数の制限を表す制約条件である。

また、これとは別の制約条件として、①同時刻におけるタスクの掛け持ちの禁止 (式(6))、②1つのタスクに対する担当者は1人 (式(7))、を設けた。以下にその制約式を示す。

$$\sum_{j=0}^{J+1} r_{j,k}(t) \leq 1 \quad (6)$$

$$\sum_{k=0}^K r_{j,k}(t) \leq 1 \quad (7)$$

### 2.2.3 基本情報

すべてのタスクの基本情報を求めることで各タスクの前後関係を求める。求める情報は各タスクの最

早開始時刻と最早終了時刻である。手法としてはPERT (Program Evaluation and Review Technique) を用いる。

### 2.2.4 作業計画の計算

前節までの目的関数・制約条件・基本情報をもとに遺伝的アルゴリズムを用いて作業計画の計算を行う。遺伝的アルゴリズムの手法としては、タスク実行順序にランダムキー型ベースエンコーディング法[6]を用い、作業員選択には作業員のスキル値の合計をもとにしたアクティブな選択法を用いる。

ランダムキー型ベースエンコーディング法では、各タスクの優先度を0以上1未満の実数で表現する。次に各タスクの優先度と基本情報からタスク実行順序を決定する。図5にその概念を表す図を示す。

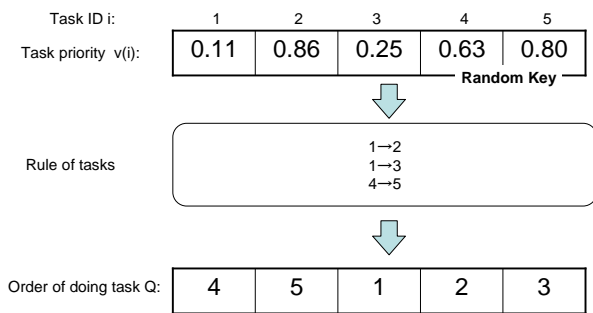


図5：ランダムキー型ベースエンコーディング法

得られたタスク実行順序と作業員情報をもとに作業を実行するシミュレーションを行う。各タスクに対する作業員の選択は以下のように行う。

1. タスクに対してその時に実行可能な作業員群を抽出する
2. 1で選択された作業員の中で、対象となるタスク以外の未完了のタスク群に対するスキル量が最も低い作業員をそのタスクの担当者とする

### 2.3 エンタープライズモデルの評価

前節をもとに作成された最適な作業計画から、仕事にかかる所要時間、各作業員の作業率などからエンタープライズモデルを評価する。

## 3. ケーススタディ

いくつかのシナリオを用いて2章で提案した手法を用いる。本論文では造船所におけるブロック製作部門を対象として2つのシナリオを用いて提案手法の検証を行う。

2つのシナリオで対象とするブロックとそれを製造するためのワークフローを図6で示す。

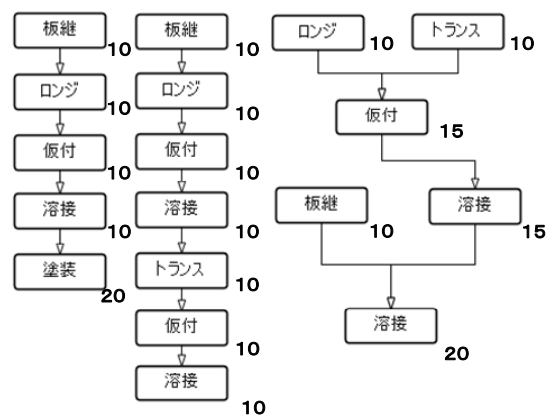
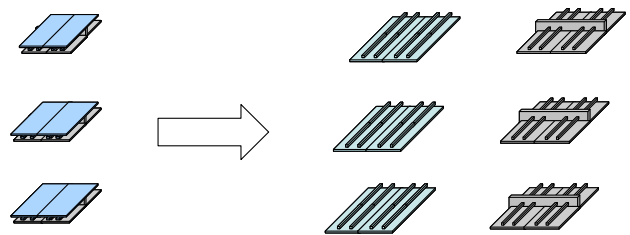


図6：対象とする問題とそのワークフロー

2つのシナリオでは、外部パネルと内部構造ブロックからなる2種類の船殻ブロックを合計3つ生成しなければならないとする。図7のワークフローは左端が外部パネルを生成するワークフロー、真ん中が2つの船殻ブロックに必要な内部構造ブロックを生成するワークフロー、右端が残りひとつの船殻ブロックを生成するためのワークフローを表すものとする。また、ワークフローの各タスクの横の数字はそれぞれの工数を示している。作業計画者は自分の部下のみを作業員として計画に組み込むことができるものとする。

また、2つのシナリオで最適計画を計算する際の遺伝的アルゴリズムの設定は表1のように行った。

表 1: 遺伝的アルゴリズムの設定

遺伝子長	タスク数
個体数	10
世代数	200
突然変異率	0.1
交叉	一点交叉
交叉率	0.7
選択	ルーレット選択

### 3.1 ケース 1

ここで想定する部門の組織構造情報を表 2 で示す。ケース 1 では部門長が作業計画を作成する。なお、本論文では、必要な作業員情報として作業計画立案者とその直属の部下のスキル情報に限定して抽出を行っている。

表 2: ケース 1 における部門のスキルリスト

	所属	スキル					
		板継	ロンジ	トランス	仮付	溶接	塗装
部門長 A	S	○	○	○	○	×	○
作業員 A-1	A	○	×	×	×	○	×
作業員 A-2	A	×	○	○	○	×	×
作業員 A-3	A	×	○	×	○	×	○

この組織構造情報をもとにして、作業計画を行ったところ表 3 のような作業計画が立案され、所要時間は 150 となった。

全体の作業計画表では各作業者がどの時刻に何をしているかをタスク単位で表示される。表 3 では、縦軸が作業計画対象となる作業者、横軸が時間を表し、右端にそれぞれの作業者の稼働率を示している。また、作業者個別の作業計画表も同時に作成される。しかしながら、表 3 の結果では各作業員の稼働率に差がありすぎるため、組織として健全な運用ができていないと言える。その原因として「溶接」タスクを行える作業者が一人しかいないことが考えられる。

### 3.2 ケース 2

ここで想定する部門の組織構造情報を表 4 で示す。ケース 1 と比較すると、先ほど作成された作業計画で稼働率が最も低かった作業員 A-3 に「溶接」タスクスキルを新たに加えたものになっている。

表 4: ケース 2 における部門のスキルリスト

	所属	スキル					
		板継	ロンジ	トランス	仮付	溶接	塗装
部門長 A	S	○	○	○	○	×	○
作業員 A-1	A	○	×	×	×	○	×
作業員 A-2	A	×	○	○	○	×	×
作業員 A-3	A	×	○	×	○	○	○

この組織構造情報をもとにして、作業計画を行ったところ表 5 のような作業計画が立案され、所要時間は 120 となった。

## 4. 考察

### 4.1 組織パフォーマンス評価

2 つのシナリオに対して開発したエンジンを用いたところ、組織の構造と仕事から組織の最適な作業計画を立案でき、最適な作業計画に基づいた所要時間によって定量的に組織パフォーマンスを評価できることがわかった。このことから、開発したエンジンは組織構造から組織パフォーマンスを評価する際に有効であると言える。

### 4.2 組織パフォーマンス向上

本論文ではケース 1 のシナリオから稼働率の最も低かった作業員 A-3 に「溶接」教育を行ったところ所要時間が 30 短縮された。このことは、この組織が作業員 A-3 への「溶接」教育という戦略をとったことにより組織パフォーマンスを向上させることに成功したといえる。

また、ケース 1 の「作業員 A-3 に溶接教育を行う」という戦略がこの組織にとって最適な選択であったかどうかを検証するために、1 人に一つの教育しか行えないという制約の下、すべての場合について検証を行った図 7 にその検証結果を示す。図 7 では各作業員にスキル教育を行った場合の所要時間を示している。

表3： ケース1における最適作業計画表

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	稼働率
A	[Gantt chart for Case 1, A]																														0.8	
A-1	[Gantt chart for Case 1, A-1]																														0.9	
A-2	[Gantt chart for Case 1, A-2]																														0.633	
A-3	[Gantt chart for Case 1, A-3]																														0.333	

表5： ケース2における最適作業計画表

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	稼働率
A	[Gantt chart for Case 2, A]																								0.75	
A-1	[Gantt chart for Case 2, A-1]																								0.875	
A-2	[Gantt chart for Case 2, A-2]																								0.791	
A-3	[Gantt chart for Case 2, A-3]																								0.917	

	色
板継	[Pattern]
ロンジ	[Pattern]
トランス	[Pattern]
仮付	[Pattern]
溶接	[Pattern]
塗装	[Pattern]

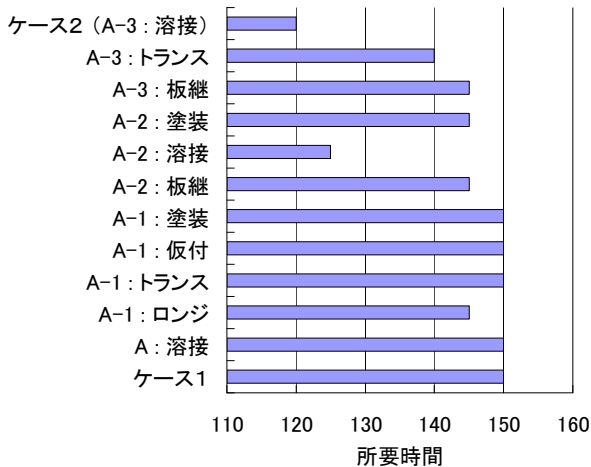


図7：戦略の評価

図7から、「作業員 A-3 に溶接教育を行う」という戦略は最も所要時間を最短にする戦略であったことがわかる。このことから、確かに「作業員 A-3 に溶接教育を行う」という戦略はこの組織において最適な戦略であったといえる。

## 5. 結論

本論文では、組織の仕事と人員の情報から最適な作業計画を計算し分析することで組織パフォーマンスを評価する手法を提案した。具体的には、仕事をBPMNに基づいたXML形式のワークフローで、人員を権限とスキルの有無で定義し、遺伝的アルゴリズムを用いてタスクの実行順番を決定することで最適な作業計画が計算できることを示した。

また、組織パフォーマンス評価の結果をもとにして各作業員への教育を組織構造情報に反映させることで教育の効果を定量的に分析でき、組織パフォーマンスの向上への知見を得られることを示した。

今後は、実際のデータを用いて計算を行うことで本手法の有用性を示すことが求められる。

## 謝辞

本研究は科研費基盤研究 (A) 20246123 の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] IBM, 'FileNet Business Process Manager', <http://www-01.ibm.com/software/data/content-management/filenet-business-process-manager/simulator.html>
- [2] (株)日本海洋科学, 'PMT (Process Management Tool)', 2009
- [3] Deborah Sadowski, Vivek Bapat, 'THE ARENA PRODUCT FAMILY: ENTERPRISE MODELING SOLUTIONS', Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, p159-p166, 1999
- [4] Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, Wataru Oishi, Yuichi Sasaki, Kei Sato, 'A Knowledge Management Framework for Marine Propeller Design', International Conference on Computer Applications in Shipbuilding, 2007
- [5] BPMN ver1.0, <http://www.diveintobpm.org/>
- [6] Bean.J.C, 'GENETICS AND RANDOM KEYS FOR SEQUENCING AND OPTIMIZATION', ORSA Journal on Computing ,6, p154-160, 1994