

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 6 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710186

研究課題名(和文) ベイジアンネットを応用した操作者スキル適応型動的フィードバック生産システムの開発

研究課題名(英文) Dynamic Production Planning using Bayesian Network for Management Operation Skills

研究代表者

片岡 隆之 (KATAOKA, Takayuki)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号：40411649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円、(間接経費) 480,000円

研究成果の概要(和文)：世界経済が停滞する中、各国の製造現場は多種多様な人材で支えられており、熟練技術者は人材スキルを考慮しながら、複雑な生産計画を設計している。しかしながら、管理技術ノウハウに関するモデリング研究は、具体的事例が散見される程度である。そこで本研究は、近年、確率推論の一つとして注目を浴びているベイジアンネット推論技術を適用し、非熟練技術者でも熟練技術者に近い最終評価値が求められるような、操作者スキルに適応した動的フィードバック生産計画支援システムのプロトタイプを開発した。

研究成果の概要(英文)：Given the poor state of the economies all over the world, almost every manufacturing site has been supported by a lot of part-time, temporary, or mid-career personnel. And expert managers of front-line workers must design more complex production planning that take into consideration the workers' skills. Therefore, the purpose of our study is to develop a model with a Bayesian network using the operation histories of expert managers, and to verify some factors that would make it easier for nonexperts to assign human resources. First, the operation histories are collected. Next, some differences of production planning procedures for expert managers and nonexperts are discussed by dividing into the purposes of either minimizing makespan or workload. Finally, the effectiveness of the expert managers' operations is verified by constructing a Bayesian network model based on the operation records, and is this discussed by way of probabilistic inference.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：経営工学

## 1. 研究開始当初の背景

ものづくりにおける技能技術伝承と人材育成の必要性は、“ものづくり経営”の視点から藤本らによって、今後益々高まるものと提言されており、組織論的な論文が多数発表されている。一方、“工学的”視点から見ると、知識工学や画像工学分野において、3D画像を駆使した“技能系”での伝承システムに関する論文が数多く発表されているものの、生産工学分野における“管理技術”においては、不確実性推論によるオペレータの意図推論手法や生産スケジュールの評価手法等に関する論文が散見される程度である。以上を踏まえ、研究代表者は平成17年度より、管理技術支援ツールの開発と管理技術伝承を目的とした操作履歴によるスキル抽出の研究を開始した。その研究課題は以下の3つに大別される。

- (1) 個別事例に対応した管理技術支援ツールの開発
- (2) 熟練技術者の操作履歴に基づくスキルの抽出とモデリング
- (3) 操作者適応型生産システムの管理方式の解明

研究代表者は、まず研究課題(1)として、平成18年度に(社)日本経営工学会経営工学実践賞を受賞したマツダ(株)と広島大学との共同論文の中で、対話型レイアウト決定支援ツールに基づくサポートにより、教育期間の大幅な短縮を実現させる一方、現場レベルでの日程計画操作に熟練管理技術が不可欠と再確認した。

そこで研究課題(2)について、平成18年度からの2年間に科学研究費補助金の助成を受け、活動基準原価計算(ABC)手法を応用したスキル対応型人材派遣要員計画スケジュールを開発した。これは、派遣人材のスキルを考慮した要員計画を検討しつつ、同時にABC手法に基づく付加価値活動コストも抽出可能な支援ツールであり、操作者を支援するため、各指標から要員計画策定状態に合わせ、次にどの操作をしたら良いか(例:負荷が偏っている)を表示するステータスバー機能を作成し、その有効性を得た。

さらに研究課題(3)として、平成20年度より、推論技術として近年の各学会誌で注目を浴びているベイジアンネット技術を適用し、生産システムにおける日程計画スキルの習熟度を定量的に評価する手法の研究に取り組み、各種学会においても高い興味を得た。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、さらに1.の研究課題(2),(3)を発展させた次の課題に取り組むことにした。

- (1) 生産システム操作履歴に基づく計画スキル抽出法の確立とそのモデリング

研究代表者のこれまでの研究成果に基づき開発された対話型生産システム(プロジェクト・スケジューリング)の目的別(負荷平準化、メイクスパン最小化等)の操作履歴に基づき、ベイジアンネット構築支援ソフトによる条件付確率の変動に対する検知・調整方式を分析し、計画スキル抽出法のモデル化を試みる。さらに他の生産方式(ジョブ・ショップ及びライン・スケジューリング)においても分析・モデル化を試みる。

- (2) ベイジアンネット技術を応用した動的フィードバック管理方式の確立

(1)でモデル化されたベイジアンネットを対話型生産システムにビルトインし、熟練技術者と非熟練者の目的別操作履歴を各々抽出することで、各操作における条件付確率の差異を動的にフィードバックさせる新たな管理方式の提案を試みる。

## 3. 研究の方法

本研究では、管理技術として汎用性の高い以下の2つ( )の日程計画法を対象とし、以下のステップ(S1-S4)で、操作者に適応した動的フィードバック管理方式による生産システムを開発する。

多段の合流・分岐工程あるいは複合工程をなす仕事群の日程計画を行うプロジェクト・スケジューリング手法

多段の連続工程をなす仕事群の日程計画を行うジョブ・ショップ及びライン・スケジューリング手法

- S1: 操作習熟度を判断するための環境要因・操作プロセス・定量評価値の設定( )  
S2: 熟練技術者と非熟練技術者の操作履歴によるスキル抽出法の確立( )  
S3: ベイジアンネット技術と生産システムの動的フィードバック管理方式の確立( )  
S4: ジョブ・ショップ及びライン・スケジューリング方式への展開( )

## 4. 研究成果

3.におけるステップ(S1-S4)ごとの成果を以下に示す。

- S1: 操作習熟度を判断するための環境要因・操作プロセス・定量評価値の設定

操作履歴の収集やそのデータからベイジアンネットワークモデルの構築を検討する前に、まず操作習熟度を定量的に判断するための環境要因・操作プロセス・定量評価値の設定が必要不可欠である。本研究では、新たに工程数と作業者数の2軸を想定した4つのサンプルデータに対し、各変数を大きく3つに分類し、親ノードには作業者、操作における目的などの環境要因を配置し、1回目から10回目までの操作プロセスにおける目的(総作業時間と総作業重複)の増減値に因果関係

があるとし、そこから最終的な定量評価や日程計画の妨げとなる要因（手戻り操作）に因果関係があるとすることで、効果を挙げることができた。本研究で使用した計画ツールを図1に示す。

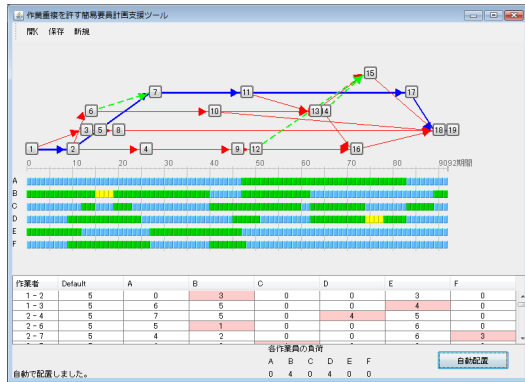


図1. PERT図を用いた簡易要員配置計画ツールの例

S2: 熟練技術者と非熟練技術者の操作履歴によるスキル抽出法の確立

次に操作履歴の収集を行い、熟練技術者と非熟練技術者における日程計画の計画手順の違いについて、操作の目的別（総作業時間を最小化する場合と総作業重複を最小化する場合）に分けて考察し、その特徴を明らかにした。具体的には、工程数が多い場合、非熟練者の総作業重複最小化は熟練者と大きな差が見られ、重複を減少させるための操作方法を理解していなかった。工程数が少ない場合、熟練者が少ない策定回数で最適近似解を出し、作業員数が少ない場合、非熟練者は“手戻り”が発生し易いという傾向が見られた。さらに、収集した操作履歴を基にベイジアンネットワークモデル(図2)を構築し、確率推論を行うことにより、熟練技術者の操作の有効性を検証するとともに(表1)、両者における操作の差を埋めることによって、熟練技術者に近い最終評価値が求められるような操作基準を検討し、その効果を確認できた。

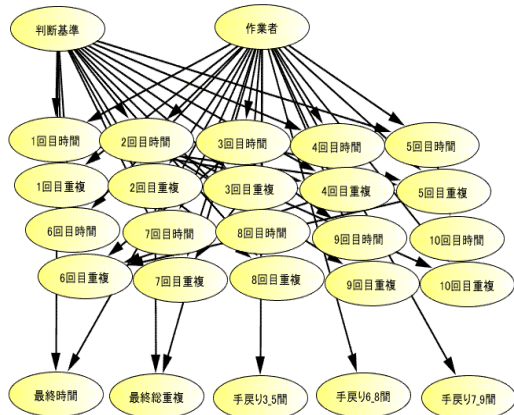


図2. 本研究のベイジアンネットワークモデル例

表1. 各サンプルの最終値の最頻値とCPT

|       |      | 総作業時間最小化 |     |       |     | 総作業重複最小化 |       |      |     |       |     |     |       |
|-------|------|----------|-----|-------|-----|----------|-------|------|-----|-------|-----|-----|-------|
|       |      | 熟練者      |     | 非熟練者  |     | 熟練者      |       | 非熟練者 |     |       |     |     |       |
|       |      | 境界値      | CPT | 境界値   | CPT | 境界値      | CPT   | 境界値  | CPT |       |     |     |       |
| サンプル0 | 最終時間 | 136      | 140 | 0.718 | 136 | 140      | 0.296 | 216  | 220 | 0.671 | 206 | 210 | 0.296 |
|       | 最終重複 | 131      | 135 | 0.25  | 136 | 140      | 0.083 | 21   | 25  | 0.238 | 46  | 50  | 0.071 |
| サンプル1 | 最終時間 | 131      | 135 | 0.681 | 141 | 145      | 0.246 | 206  | 210 | 0.289 | 216 | 220 | 0.144 |
|       | 最終重複 | 176      | 180 | 0.079 | 196 | 200      | 0.041 | 91   | 95  | 0.209 | 151 | 155 | 0.054 |
| サンプル2 | 最終時間 | 66       | 70  | 0.694 | 66  | 70       | 0.527 | 66   | 70  | 0.496 | 66  | 70  | 0.384 |
|       | 最終重複 | 0        | 0   | 0.688 | 0   | 0        | 0.35  | 0    | 0   | 0.079 | 0   | 0   | 0.726 |
| サンプル3 | 最終時間 | 96       | 100 | 0.898 | 96  | 100      | 0.898 | 111  | 115 | 0.527 | 111 | 115 | 0.527 |
|       | 最終重複 | 11       | 15  | 0.915 | 11  | 15       | 0.915 | 1    | 5   | 0.707 | 1   | 5   | 0.707 |

S3: ベイジアンネットワーク技術と生産システムの動的フィードバック管理方式の確立

S2にて分類・再抽出された環境要因・操作プロセス・定量評価値に基づくベイジアンネットワークモデルと既存の対話型生産システムを半同期化させ、どのレベルの操作者が作業しても、常に表示される次の操作に対するシナリオが作業員のレベルに適するように、その値を指示するフィードバック管理方式を構築できた。さらに、シナリオパターンを分類分けし、リスケジューリング時における各サンプルの傾向別分析により、熟練者の操作スキル伝承の可能性を示した(表2)。なおベイジアンネットワークモデルと対話型生産システムは、本研究における実験シナリオと各サンプルの性質上、多段階なシステムの構築となった。

表2. シナリオ伝達後の各サンプルの最終値の平均値

|       |     | 非熟練者   |        | 熟練者    |        | 実験後の改善率 |
|-------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|
|       |     | 実験前    | 実験後    | 実験前    | 実験後    |         |
| サンプル0 | 総時間 | 146.38 | 141.76 | 137.62 | 137.62 | 3.15%   |
|       | 最小化 | 153.4  | 152.38 | 140.26 | 140.26 | 0.66%   |
|       | 総重複 | 205.4  | 214.82 | 216.94 | 216.94 | 4.58%   |
|       | 最小化 | 79.88  | 36.2   | 32.34  | 32.34  | 54.6%   |
| サンプル1 | 総時間 | 148.2  | 131.92 | 132.76 | 132.76 | 10.9%   |
|       | 最小化 | 203.34 | 161.9  | 176.1  | 176.1  | 20.3%   |
|       | 総重複 | 210.64 | 170.62 | 196.1  | 196.1  | 18.9%   |
|       | 最小化 | 163.8  | 120.43 | 100.72 | 100.72 | 26.4%   |
| サンプル2 | 総時間 | 67.38  | 66     | 66     | 66     | 2%      |
|       | 最小化 | 3.6    | 0      | 0      | 0      | 100%    |
|       | 総重複 | 88.14  | 68.1   | 66.72  | 66.72  | 22.7%   |
|       | 最小化 | 0.32   | 0      | 0.2    | 0.2    | 100%    |
| サンプル3 | 総時間 | 92.32  | 97.22  | 96.04  | 96.04  | 5.3%    |
|       | 最小化 | 46.16  | 15.06  | 14.5   | 14.5   | 67.3%   |
|       | 総重複 | 129.42 | 113.16 | 112.28 | 112.28 | 12.5%   |
|       | 最小化 | 19.92  | 6.68   | 5.52   | 5.52   | 66.4%   |

S4: ジョブ・ショップ・スケジューリング方式及びライン生産方式への展開

個別生産方式の日程計画を支えるもう1つのジョブ・ショップ・スケジューリング方式について、新たに実験用生産システムのプロトタイプを構築し、各種投入順序ルールについて実験を行い、その特性をまとめることができた。さらにライン生産方式における要素作業規模、サイクルタイム、追加要素作業数の3要素を評価軸として、ベイズ推定を利用したロバスト性の高い生産計画システムのプロトタイプも構築した。さらに、要素作業数を100個とする大規模問題における追加

実験を行い,要素作業規模,サイクルタイム,追加要素作業数の3要素を分析・評価できた(図3)。本結果は,各製造現場の規模別ベンチマーク指標となるものと期待される。

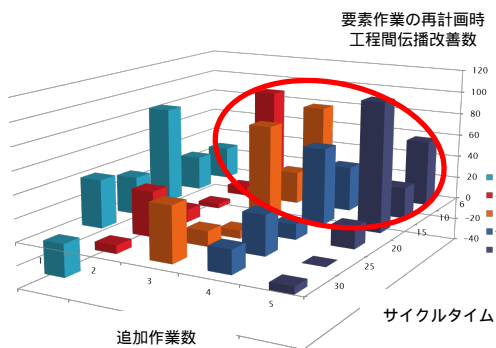


図3. 生産計画の安定性(Stability)評価例

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

Takayuki Kataoka, Atsushi Hanafuji, Masakazu Kanezashi, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, "Sustainable Production Planning using The Ranked Positional Weight Technique and Bayesian Estimation", International Journal of Japan Association for Management Systems (IJAMS), Vol.5, No.1, pp25-30, (2013),(査読有).

Takayuki Kataoka, Masakazu Kanezashi, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, "An Analysis Method of Rescheduling Skill on Human Resource Planning", Official Journal of The Japan Society of Logistics Systems, Vol.13, No1, pp113-120, (2013),(査読有).

片岡 隆之, 金指 正和, "作業間マッチングを評価可能なスタッフスケジューリング問題の一解法", 近畿大学工学部研究報告, No.47, pp.27-30, (2013),(査読無). [http://kurepo.clib.kindai.ac.jp/modules/xoonips/listitem.php?index\\_id=16095](http://kurepo.clib.kindai.ac.jp/modules/xoonips/listitem.php?index_id=16095)

Takayuki Kataoka, Atsushi Hanafuji, Masakazu Kanezashi, "A Comprehensive Solution in Production Planning using Bayesian Estimation", Proc. of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2012, December 2-5, 2012, Phuket, Thai, pp.570-576, (2012),(査読有).

Takayuki Kataoka, Kazumoto Tanaka, and Masakazu Kanezashi, "An Information Sharing Method for Skilled Management Operations Based on Bayesian Network Inference", Proc. of The 4th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing, October 4-7, Barcelona, Spain, pp.257-260, (2012),(査読有).

Atsushi Hanafuji, Takayuki Kataoka, Masakazu Kanezashi, "A Solution of Improvement in Production Planning Using Bayesian Estimation", Proc. of the International Conference on Industrial Management, August 29-31, Tokyo, Japan, pp.115-120, (2012),(査読有).

Takayuki Kataoka, Masakazu Kanezashi, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, "A Study of Improvement and Analysis Points for HRP using Bayesian Networks", Proc. of The 7th International Congress on Logistics and SCM Systems, June 7-9, Seoul, Korea, p.80(7 pages), (2012),(査読有).

Takayuki Kataoka, Masakazu Kanezashi, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, "A Probabilistic Inference Model for Management Operation's Skill using Bayesian Networks", Official Journal of The Japan Society of Logistics Systems, Vol.11, No1, pp37-44, (2011),(査読有).

Takayuki Kataoka, Masakazu Kanezashi, Katsumi Morikawa, and Katsuhiko Takahashi, "An Inference Method of Management Operations using Bayesian Networks", Proc. of 21st International Conference on Production Research, July31-August4, Stuttgart, Germany, p.230(6 pages), (2011),(査読有).

[学会発表](計7件)

片岡隆之, 非正規労働者の特性を考慮した組立ラインの要員最小化モデル, 日本ロジスティクスシステム学会中国四国支部2014年度第4回研究会, 発表資料PP.1-4, 2014年1月11日, 広島県(県立広島大学SC)

片岡隆之, 谷崎隆士, ハイ・サービス日本300選企業に対する地域・業種別調査分析, 日本経営システム学会第51回全国研究発表大会予稿集, 2013年12月8日, pp.160-163, 広島県(広島経済大学)

片岡隆之, 地域・業種別のサービス産業生産性向上に関する戦略考察, 日本ロジスティクスシステム学会中国四国支部 2012年度第2回研究会, 発表資料 PP.1-6, 2012年7月14日, 広島県(広島修道大学)

花藤篤史, 片岡隆之, 分枝限定法とベイズ推定を用いた緊急発注対応型生産計画改善法の一提案, 日本経営システム学会第47回全国研究発表大会予稿集, pp.230-231, 2011年12月4日, 山梨県(山梨学院大学)

花藤篤史, 片岡隆之, ベイズ推定によるロバストネス性を考慮した生産計画法の一提案, 近畿大学第2回サイエンスネットワーク院生サミット~環境とエネルギーを考える~院生サミット要旨集シ-28P, 2011年11月26日, 広島県(近畿大学)

花藤篤史, 片岡隆之, 動的ベイジアンネットワークによる複雑システムの信頼性モデリングとその応用, 日本経営工学会中国四国支部平成23年度第1回若手研究会予稿集, pp.14-15, 2011年8月31日, 広島県(広島大学東広島キャンパス)

片岡隆之, 花藤篤史, 森川克己, 高橋勝彦, ベイジアンネットワークを用いた要員配置計画の改善方策に関する研究, 日本ロジスティクスシステム学会平成23年度第14回全国大会予稿集, pp.11-14, 2011年6月11日, 東京都(LEC大学)

〔図書〕(計1件)

日本経営工学会(片岡隆之), 朝倉書店, ものづくりに役立つ 経営工学の事典 - 180の知識 -, 管理会計, 2013年, pp.408 (pp.126-127), (分担執筆).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.hiro.kindai.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片岡 隆之 (KATAOKA, Takayuki)

近畿大学・工学部・准教授

研究者番号: 40411649

(2) 研究協力者

高橋 勝彦 (TAKAHASHI, Katsuhiko)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号: 00187999

森川 克己 (MORIKAWA, Katsumi)

広島大学・工学研究院・准教授

研究者番号: 10200396