

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2012

課題番号：20310087

研究課題名（和文） 暗黙知の集約・統合化による生産システムの競争力向上

研究課題名（英文） Competitiveness enhancement of a manufacturing system through aggregating and integrating tacit knowledge

研究代表者

水山 元 (MIZUYAMA HAJIME)

青山学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：40252473

研究成果の概要（和文）：本研究では、生産システムの競争力向上に寄与し得る集合知メカニズムを開発した。集合知メカニズムとは、「組織内外の複数の関係者の頭の中に分散している知識や、それらの関係者の認知能力をうまく統合することによって、価値のある情報や知識（知識資産）を生み出す仕組み」である。例えば、需要予測のための仕組みであれば予測分布が、配送計画のための仕組みであれば配送経路が、その仕組みから生み出される成果物となる。

研究成果の概要（英文）：This research project successfully developed several collective intelligence mechanisms for enhancing the competitiveness of a manufacturing system. Each of the mechanisms provides an effective and efficient approach for producing valuable information or knowledge, i.e., knowledge asset, through aggregating and integrating dispersed knowledge or intellectual capability from multiple stakeholders. The output knowledge asset can be a demand forecast, a delivery route, etc.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2012年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：経営工学

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：暗黙知，集合知，生産システム

1. 研究開始当初の背景

製品やサービスを生み出す「生産システム」は、一般に、複数の人間が協業する組織としての性質を持っている。従来、特に我が国の産業界では、生産システムの第一線の構成員に対して、所与の業務を間違いなくこなすことだけでなく、主体的な創意工夫を通じて所与の業務自体を変容させていくことが期待されてきた。日本の生産システムは、形式知ベースで中央集権的な意思決定と、暗黙知ベースで自律分散的な意思決定との相互

補完によって駆動されてきたともいえる。そして、このことが、変化に適応する性質や時間とともに成長する性質を生み出し、日本の生産システムの強みの源泉になってきたといえる。

しかし近年、市場環境の成熟化によって、生産システムの競争要因が多様化してきたこと、生産対象物の量・種類、生産システムの構成などが目まぐるしく変化するようになったこと、生産システムの複雑化によって、部分と全体の関係が見えにくくなってきた

こと、などのために、構成員の個別の創意工夫が生産システム全体の競争力に与える影響の大きさや、その経路が見えにくくなってきた。さらにその結果として、個別の創意工夫を適切に評価することが難しくなっており、適切に評価されない創意工夫へのインセンティブも維持しにくくなっている。これらのため、従来の日本の生産システムの強みが有効には機能しにくくなっているのが本研究開始当初の状況であった。

しかしながら、第一線の構成員が日々の業務を通じて蓄積する暗黙的な知識は、生産システムの競争力向上のための有力な源泉であることに変わりはないはずである。むしろ、それを競争力向上につなげるための仕組みが現在の市場環境にそぐわなくなっているところにこそ問題があるといえる。そのため、第一線の暗黙知を効果的に競争力向上につなげるための新たな仕組みの構築が求められていた。

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、第一線の構成員が日々の業務を通じて蓄積していく暗黙的な知識やその集まりである集合知を生産システムの競争力向上に効果的につなげるためのシステムティックな手段を提供することである。

3. 研究の方法

暗黙知や集合知は、何らかの意思決定に反映されることを通じて、生産システムの競争力に変化をもたらす。本研究では、特に、「製造現場に関する知識」と「市場環境に関する知識」を、「システム運用上の意思決定」と「システム変革上の意思決定」に反映させる、 $2 \times 2 = 4$ 通りの経路を対象として、それぞれ暗黙知や集合知の意思決定への適切な活用を支援するための集合知メカニズムを検討するとともに、そのプロトタイプの実装や機能検証を行う。

4. 研究成果

(1)「製造現場に関する知識」の「システム運用上の意思決定」への活用：

この経路は、例えば、現場の監督者が自身の持つ暗黙的な知識を生産指示・差し立てなどの意思決定に反映させることで、製造品質、製造原価、製造リードタイムなどの競争要因の水準を向上させるという経路である。これに有用な知識としては、作業員、生産設備、生産対象物などの状態や、それらの間の関係などが含まれる。

上述のような、生産システム運用上の意思決定は、一般に、組合せ最適化問題として捉えられることが多い。それらは、明確に捉えられ、適切に定式化されさえすれば、コンピ

ュータアルゴリズムによって処理できるようになる。しかし、問題を明確に記述するために必要な知識は、すべてが意思決定者の手の内にあるわけではなく、現実には、複数の関係者の間に分散して存在していることが多い。そして、このことが、しばしば、不明確で、意思決定者一人の手には負えない問題状況を生み出している。

そこで本経路では、そうした問題状況の一例として、不明確な最短経路問題を想定し、その問題を複数の関係者の集合知に基づいて解決するための、予測市場によるアプローチを開発した。提案法は、不明確な問題状況に関する分散した知識を複数の関係者から市場メカニズムを用いて集約し、活用するものである。想定する不明確な問題状況を、あく長に不確実性を伴う最短経路問題として定式化し、この問題状況へのアプローチに適した予測証券と市場制度を設計した。さらに、実際に被験者実験を行い、提案法の機能を確認した。また、最短経路問題の基礎となる経路網のトポロジーにも不確実性が存在する場合に、提案法を拡張するための方法を示した。

(2)「製造現場に関する知識」の「システム変革上の意思決定」への活用：

この経路は、例えば、現場小集団のメンバーが持つ暗黙的な知識を当該小集団の改善活動計画に反映させることで、より現場の実態に即した改善効果を得るといった経路である。これに有用な知識としては、現場の課題（ロス、ムダなどと一般に呼ばれるもの）の発生状況、それらの発生要因や発生メカニズム、それらへの対策案とその効果などが含まれる。

上述のような、生産システム変革上の意思決定は、一般化すると、ある問題状況に対して複数の代替案を創案し、比較検討し、順序付けを行う集団意思決定として捉えられる。また、多くの場合、それは、所与の解空間からの単なる選択ではなく、解自体やそれに先立つ問題自体を創出していく創造的意思決定でもある。そうした意思決定では、複数のメンバーが異なる知識を持ち寄り、ただ成行きに任せて議論するだけで、自然と代替案や評価尺度が充実し、それらの精度や重み付けの妥当性が高まるというわけではない。むしろ、一般にグループシンクや浅慮と呼ばれるような、それとは正反対の現象も生じ得る。

グループシンクや浅慮は、一部の限られた代替案や評価尺度しか考慮されない、評価値に大きな誤差が含まれたまま放置される、評価尺度間の重み付けが不適切なまま放置される、などの要因によって、質の低い解が出力されてしまう現象として捉えることができる。

一部のメンバーが意図的に解の質を低下させているような、悪意のあるケースを除外すると、各メンバーにとって、知的貢献を付加できるかどうか、どのような知的貢献をすべきか、などが不明瞭であることがこうした現象の一つの原因である。この結果、特にマイノリティの所持していた、代替案のアイデア、評価尺度、評価値の精度を高めるための知識などが、議論の組上に上げられることなく無駄にされてしまう。

以上より、集団意思決定プロセスを通じて最終的に得られる解の質は、議論の中で考慮された評価尺度の網羅性、それらの評価値の精度、それらに付与された重みの妥当性の三つに依存すると考えられる。そこで本経路では、それら三つの要因の改善に寄与し得る知識を議論の組上に自然かつ効果的に引き出すことを目的として、デルファイ法型インタラクショナルを取り入れた議論プロセスを設計し、被験者実験によってその効果を検証した。実験の結果、提案法に従って議論を進めた方が、構造化されていない自由な議論形式を用いた場合よりも多くの評価尺度が考慮され、マイノリティの知識が表出化されやすいという傾向が確認できた。

(3)「市場環境に関する知識」の「システム運用上の意思決定」への活用：

この経路は、例えば、第一線の営業員が日々の営業活動の過程で取得する、製品の需要に関する知識を、当該製品の需要予測に反映させることで、より市場の実態の即した生産計画を得るという経路である。これは、過去の実績から何らかのパターンを抽出し、それを未来に外挿する従来型の需要予測手法が有効に機能しにくい、新製品の需要を予測したい場合や、既存製品であっても需要パターンに構造変化が生じやすい場合において、特に有効であると期待される。このためには、「需要獲得の手ごたえ」などといった暗黙的な知識を、個々の営業員から、低コストかつ短時間で、できれば動的に、集約し、需要予測分布などの形に形式知化するためのアプローチが求められる。

そこで本経路では、予測市場を応用した衆知集約型需要予測システムの研究に取り組んだ。需要予測に適した新たな予測証券として、自律的区間調整機能を持つ区間証券（Self-adjustable Interval Prediction Security: SIPS）と、可変区間型予測証券（Variable Interval Prediction Security: VIPS）の二つを提案し、それらを利用した予測市場システムを開発した。

まず、SIPSは、予測市場を運営していく過程で、任意の予測区間を細分割したり、隣り合った予測区間を統合したりすることによって、時々刻々変化していく集合的な予測分

布を捕捉するのに適したように、予測区間の分割の仕方を動的に調整していく機能を持った区間証券である。具体的には、区間証券の価格分布から、その背後にある集合的な予測分布を大まかに推定し、任意の予測区間を細分割することでその捕捉精度がどの程度向上するかを近似的に評価する。そして、その評価値がある閾値を超えると実際に分割し、同時に、区間数が膨大になることを防ぐために、捕捉精度を阻害しにくい区間のペアを統合するというものである。これによって、予測証券の区間設定が実態にそぐわなくなっても、事後的に適切な区間設定に調整されていくようになる。

一方、VIPSは、市場運営側が予測区間を設定するのではなく、市場参加者側が任意に予測区間を指定できるようにしようというアイデアである。これによって、事前にどのような区間設定をすればよいかという問題自体を回避できる。また、市場参加者は、直観的に理解しやすいインタフェースを介して、所持したい予測区間と証券枚数を容易に指定することができるため、認知負荷の点でもメリットが期待できる。また、実際に被験者実験を行うことによって、これらの需要予測システムが所期の機能を果たせることが確認できた。

(4)「市場環境に関する知識」の「システム変革上の意思決定」への活用：

生産システム革新投資の計画においては、市場での自社や競合他社の位置付け、市場に存在する機会および脅威などを把握する必要がある。本経路は、それらに関する手掛かりの一つとして、例えば、営業員の知識を活用しようというものである。「もしこの条件がこうだったらこの注文の獲得は難しかったらろう」、「もしこの条件がこうだったらあの注文は獲得できたたらろう」といった、通常は見過ごされがちな「たら・れば情報」などである。

そこで本経路では、まず、そういった営業員一人一人の暗黙的な知識を集約し、市場機会マップなどの形で形式知化するためのアプローチを開発した。具体的には、複数の営業員らが、メンバー全員にとって納得感のある市場機会マップを、相互作用を通じて作成していく過程に着目し、その過程を支援するための予測市場システムを開発した。また、被験者実験を通じて、提案システムが実際に合意形成促進の効果を持つことを確認した。

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8件）

- ① H. Mizuyama: Prediction Market System Using VIPS, Gaussian Forecast Distribution and Batch-Updating Central Market Maker for Demand Forecasting, Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.64, No.2E, (2013) to appear. 査読有
- ② 水山 元: 完全な記述が困難な最短経路問題への予測市場を用いた集合知援用の解法アプローチ, 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.6, pp.328-337 (2012) 査読有
<http://dx.doi.org/10.1527/tjsai.27.328>
- ③ 水山 元: 集合知に基づく予測ツールとしての予測市場技術とその需要予測への応用, オペレーションズ・リサーチ, Vol.55, No.4, pp.215-220 (2010) 査読無
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007610148>
- ④ H. Mizuyama and T. Komatsu: A Prediction Market Approach to Facilitating Consensus Building among Supply Chain Partners, E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.2, No.3, pp.149-159 (2010) 査読有
<http://www.jsm.or.jp/ejam/Vol.2.No.3/AA/24.html>
- ⑤ 水山 元: 可変区間型予測証券を用いた衆知集約型需要予測法のための間欠更新マーケットメカ, 精密工学会誌, Vol.76, No.3, pp.354-360 (2010) 査読有
<http://dx.doi.org/10.2493/jjspe.76.354>
- ⑥ H. Mizuyama, M. Ueda, K. Asada and Y. Tagaya: Experimental Testing of Prediction Market System Using VIPS, Gaussian Price Density and a Weighted-Average Type Market Maker, Journal of Japan Industrial Management Association, Vol.60, No.6E, pp.342-350 (2010) 査読有
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007605559>
- ⑦ 水山 元, 鎌田瑛介: 予測市場システムに基づく衆知集約型需要予測法の研究, 日本経営工学会論文誌, Vol.59, No.4, pp.330-341 (2008) 査読有
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007521779>

[学会発表] (計 40 件)

- ① H. Mizuyama: A Comparison between Choice Experiments and Prediction Markets for Collecting Preference Data in Conjoint Analysis, The 3rd International Symposium on Operations Management and Strategy: ISOMS 2013, Osaka Japan, June 2nd (2013)
- ② H. Mizuyama: Design and Simulation-Based Testing of a Prediction Market System Using SIPS for Demand Forecasting, Proceedings of the International Conference on Advances in Production Management Systems: APMS 2012, USB-Stick, Rhodes Greece, Sep. 26th (2012)
- ③ H. Mizuyama: A Knowledge-Driven

Approach Using Prediction Markets for Planning and Marketing of a New Product, Proceedings of the 4th World Conference on Production and Operations Management, Amsterdam the Netherlands, July 2nd (2012)

- ④ H. Mizuyama and Y. Maeda: Prediction Market System Using SIPS and Generalized LMSR for Collective-Knowledge-Based Demand Forecasting, Proceedings of the 40th International Conference on Computers and Industrial Engineering, CD-ROM, Awaji Island Japan, July 27th (2010)
- ⑤ H. Mizuyama: Agent-Based Modeling and Simulation of Autonomous Small Groups Running Kaizen Activities in a Manufacturing System, Proceedings of the International Conference on Innovations in Networks: APMS 2008, pp.387-396, Espoo Finland, Sep. 16th (2008)
- ⑥ H. Mizuyama: Intra-Firm Prediction Market System Using VIPS for Demand Forecasting, The 3rd Workshop on Prediction Markets, in conjunction with ACM Conference on Electronic Commerce (EC'08), Chicago Illinois, July 9th (2008)

[図書] (計 2 件)

- ① H. Mizuyama: How Innovation and Improvement Ideas Are Created for a Production System by a Kaizen Team: A Protocol Analysis, Advances in Production Management Systems: Value Networks: Innovation, Technologies, and Management, Edited by J. Frick and B.T. Laugen, Springer, Boston, pp.586-597 (2012).
- ② H. Mizuyama, M. Ueda, K. Asada and Y. Tagaya: Experimental Evaluation of Inventory-Based Discrete-Updating Market Maker for Intra-Firm Prediction Market System Using VIPS, Advances in Production Management Systems: New Challenges, New Approaches, Edited by B. Vallespir and T. Alix, Springer, Boston, pp.49-56 (2010)

[その他]

ホームページ等

<http://www.collective-knowledge.net/b20310087/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水山 元 (MIZUYAMA HAJIME)
青山学院大学・理工学部・准教授
研究者番号: 40252473