

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01266

研究課題名(和文) データビジュアライゼーションの探究と生産マネジメントへの応用

研究課題名(英文) An investigation of data visualization and its application to production and operation management

研究代表者

竹本 康彦 (TAKEMOTO, YASUHIKO)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：70382257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生産現場での「見える化」「可視化」に焦点を絞り、生産マネジメントをより効率的・効果的に実践するための方法を考察した。特に、生産マネジメント上の問題として「品質」を取り上げ、個々の生産現場および生産現場間で発生する問題の「見える化」「可視化」の方法を検討した。このとき、より緻密なデータ分析やICTと組み合わせることで、より視覚に訴求したデータビジュアライゼーションを実現し、すぐわかる、誰でもわかる、さらに「見える化」したデータから気付きを得て、実際のアクションにつなげられる方法を探究した。結果として、いくつかの方法を提案し、アプリケーションのプロトタイプ的设计開発を実践した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における学術的意義として、統計的方法と情報理論の融合による新たな解析手法を提案するに至ったことが挙げられる。尤度理論と情報量規準を用いることで、従来のような統計的方法の枠組みに収まった解法を発展させ、より高速かつ実践的な解法を提案することができた。また、ベイズ統計理論と情報理論を用いることで、「安定性」に対する新たな評価方法を提案した。一方、本研究における社会的意義として、本研究のテーマとして取り上げた「品質」の問題において、単に一拠点における問題に留まらず伝播・波及していくことを確認できたこととあわせて、その影響の定量的評価を可視化するための方法を提案したことが挙げられる。

研究成果の概要(英文)：Our research team in this project have focused on visualization, translating invisible perception to visible image, in production site and considered some practical methods for improving productivity through utilizing visualization in production management. We have, in particular, discussed various solutions through visualization for some problems with respect to quality in individual production process and between production processes. We have aimed at design and development of some practical methods based on data visualization integrating advanced statistical method and information and communication technology (ICT). As a result, several advanced statistical methods have been proposed and a prototype of the application have been designed and developed.

研究分野：経営工学，統計学，ベイズ統計学，情報理論，統計科学，生産管理，品質管理

キーワード：統計的工程管理 変化点検出 安定性評価 初期流動管理 サプライ・チェーン・マネジメント ブルウィップ効果 SCM契約手法

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

「見える化」や「可視化」といった言葉が叫ばれるようになって久しい。一方、近年の情報技術の著しい進展の中、コンピュータによる情報の「見える化」や「可視化」の新しい取組みとして、「データビジュアライゼーション」[1]という言葉が聞かれるようになっていた。データビジュアライゼーションは情報伝達の一手法であり、そのままと視覚しづらい情報を、人間が理解できる形に落とし込む方法を探る取組みをいう。データビジュアライゼーションは類似する研究を含めれば歴史は古い。一方、現代のデータビジュアライゼーションで重要な役割を担う情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）を活用することにより、現代の問題やニーズに合った新たなデータビジュアライゼーションの方法の構築が期待された。特に、インダストリー4.0と関連して、生産マネジメント分野での取組は非常に活発に行われていた[2]。

## 2. 研究の目的

本研究では、生産現場での「見える化」「可視化」に焦点を絞り、生産マネジメントをより効率的・効果的に実践するための方法を探ることを目的とした。特に、生産マネジメント上の問題として「品質」を取り上げ、個々の生産現場および生産現場間で発生する問題の「見える化」「可視化」の方法を検討した。このとき、より緻密なデータ分析や ICT と組合せることで、より視覚に訴求したデータビジュアライゼーションを実現し、すぐわかる、誰でもわかる、さらに「見える化」したデータから気付きを得て、実際のアクションにつなげられる方法を探した。

## 3. 研究の方法

本研究では、データビジュアライゼーションの探究とその生産マネジメントへの応用に関する研究の進め方として、以下の手順で実践した。

- (1) データビジュアライゼーションならびに視覚表現方法について文献調査を行う。また、生産現場での「見える化」「可視化」の取組みについて調査する。
- (2) 調査結果を整理し、問題点ならびに改善点などを精査する。
- (3) 生産マネジメントへの応用を前提としたデータビジュアライゼーションの方法と、それを実現するためのデータ分析に関する研究を実践する。
- (4) 生産マネジメントへの応用方法について検討する。

## 4. 研究成果

- (1) サプライ・チェーン上での需要変動の増大現象はブルウィップ効果としてよく知られており、この対策に関する研究が実践されている。一方、工程では不良品が発生することがしばしばあり、これを踏まえて生産に必要な原材料が前工程に要求される。本研究では、不良数による歩留率の推定が、後工程の需要に対応するために必要とする在庫量の変動に比べて前工程への発注量の変動を大きくする、すなわちブルウィップ効果が存在することを確認した。さらに、その影響の大きさに関する「可視化」を検討した。以下に具体的な成果の一部を説明する。

図1は、ある工程での、後工程からの要求量と前工程への発注量をコンピュータ・シミュレーションより得た結果である。図1より、要求量の変動に対して発注量の変動がより大きくなっていることが確認できる。より詳細な数値結果から、歩留率の観点において製造量の増加が確認され、その上で、変動の拡大現象が確認できた。この点はコンピュータ・シミュレーションに留まらず、理論モデルの数式上においても説明することができた。結果として、ブルウィップ効果が発生する要因として、これまで挙げられてきたリードタイムの存在などに加え、歩留りの影響が確認された。特に理論展開の結果として、定量的な増加の度合いについて考察結果を得ることができた。

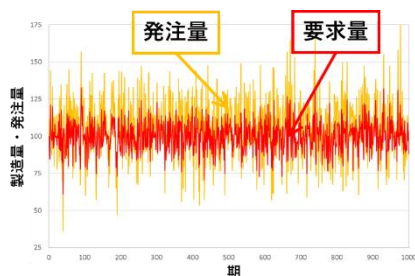


図1: 発注量と製造量の関係

- (2) サプライ・チェーン上では、サプライヤーとリテイラーの両者の取引において Win-Win の関係を構

築するために、SCM 契約手法が導入されることがしばしばある。本研究では、まず不良品の混入における不確実性によって、納品物の卸値以上の損失が生じることを示した。さらに補償のための SCM 契約でのパラメータ設計において、意思決定を行うための情報を「可視化」する方法を提案した。くわえて、キャパシティ予約契約について考察し、契約手法上でのパラメータの意思決定が両者にどのような影響を与えるかを可視化し、契約合意に至るまでのプロセスを提案した。以下に成具体的な果の一部を説明する。

図2は、不良補償契約を導入した場合に、サプライヤーとリテイラーの両者の取引において Win-Win の関係を構築するための契約パラメータの条件を示す。図2(a)において、不良補償契約を導入することで、不良品がそもそも存在しない理想的な状況での利益値を上回るパラメータ条件を確認することができた。同時に、サプライヤーにおける不良率の増加が不良補償契約そのものを有意としない結果が得られた。不良補償契約の有効性が品質の高さと連動することが確認できた。

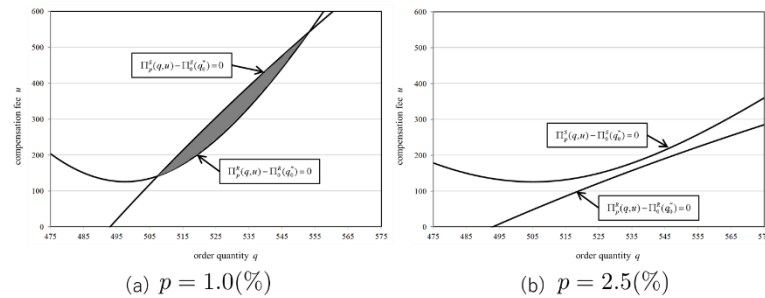


図2 不良率と合意契約における関係の変化

- (3) 生産マネジメント上の問題のいくつかは、組合せ最適化問題として定式化することができる。組合せ最適化問題の解法のひとつとして、蟻コロニー最適化手法が提案されている。本研究では、既存の蟻コロニー最適化手法における社会情報にくわえて、個々の蟻の経験・記憶に基づく個別情報を経路選択に反映させる新しいモデルを構築し、その有用性について検討した。この際、蟻コロニーにおける経路生成過程を可視化することにより、構築した新規モデルの軌道収斂性と逸脱性とのバランスが従来モデルのそれらよりも優れていることを確認した。

- (4) 通常工程で製造される製品にはバラツキが存在する。本研究では、バラツキとして表現される品質をコスト概念と結びつけ、工程異常の見逃しがどれだけのムダを生じるのか、あるいはどれだけの損失を生じるのか、といった点を可視化する方法について探究した。理論構築を実践するとともに、複数の特性を2次元平面上に表現するための情報可視化手法について検討し、「情報可視化」のための情報技術を用いたアプリケーション開発に着手し、プロトタイプの実成に至った。以下に成具体的な果の一部を説明する。

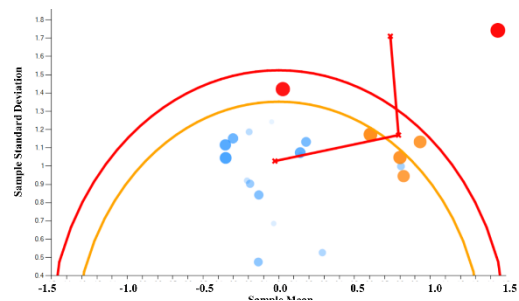


図3: 損失評価に基づく工程管理図

図3は、Taguchiによる損失関数を採用し、良・不良にかかわらず、目標値からの乖離により損失を評価し、これを工程管理における同時管理図法に反映した結果である。工程での特性値の推移だけでなく、品質損失値の水も確認することができる。なお、同図は開発したアプリケーションのスクリーンショットである。

- (5) 統計的工程管理分野の研究に、変化点検出(CPD: Change Point Detection)と呼ばれる研究がある。CPDでは、時系列的データにおいてデータの分布特性の経時的変化を念頭に、いつ変化したのか、またどのように変化したのかを得られたデータから推定する方法である。本研究では、工程特性として不適合品率および欠点数を対象とし、従来と比較して、工程状態の推移をより緻密に抽出することができる方法を提案した。また、「情報可視化」のための情報技術を用いたアプリケーション開発に着手し、プロトタイプの実成に至った。以下に成具体的な果の一部を説明する。

図4(a)では、従来のCDP手法が示されている。一方、図4(b)では、同一データに対して提案するCPD手法が適用された結果である。状態変化の推移をより緻密に追跡している状況が確認できる。

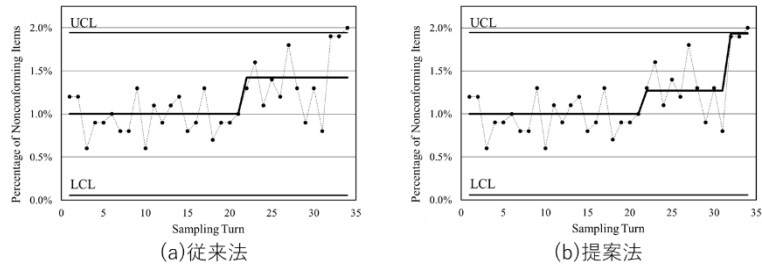


図 4 状態変化追跡手法の検証

(6) 一般に、製造工程において安定的な製造を実現するまでには一定の時間を要する。この状況下で、量産体制への移行を実現するために工程状態が安定状態にあるか否かを見極めることが必要となる。本研究では、ベイズ理論と情報理論を用いて、工程の安定性の「情報可視化」手法を構築した。加えて、安定性評価のためのルール設計法についても考察し、一方法を提案した。以下に成具体的な果の一部を説明する。

図 5(a)は、工程平均のパラメータの推移をベイズ更新によって追跡した結果である。ベイズ推定であることから、同時に工程平均の可能性分布を得ることができており、この更新プロセスにおける分布の変化を K-L 情報量により定量化し、その収束過程を図 5(b)に示している。これにより、安定性を具体的に定量化することができた。

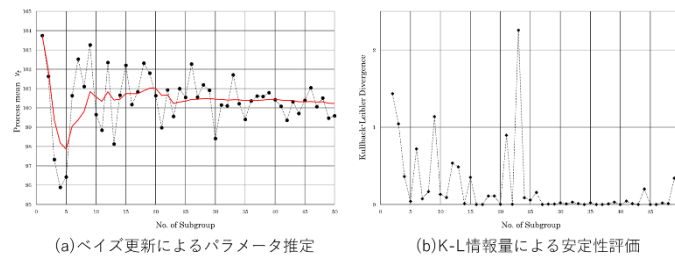


図 5 初期流動管理における工程の安定性評価

<引用文献>

- [1] 加藤慶信, 西村崇: “データビジュアライゼーションの極意”, 日経情報ストラテジー, 2016 年 1 月号, No.285, pp.22-41 (2015)
- [2] 川又英紀, 加藤慶信, 小林暢子: “IoT を究めるオムロンの挑戦”, 日経情報ストラテジー, 2016 年 3 月号, No.287, pp.23-35 (2016)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takemoto, Y. and Arizono, I.	4. 巻 58
2. 論文標題 Moral hazard problem and collaborative coordination in supply chain with capacity reservation contract	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Production Research	6. 最初と最後の頁 2510-2526
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00207543.2019.1633027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takemoto, Y. and Arizono, I.	4. 巻 16
2. 論文標題 Information visualization about changes of process mean and variance on $(\bar{x}, s)$ control chart	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quality Technology & Quantitative Management	6. 最初と最後の頁 496-510
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/16843703.2018.1466410	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takemoto, Y. and Arizono, I.	4. 巻 -
2. 論文標題 Stability evaluation in process mean using Bayesian statistics and information theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quality and Reliability Engineering International	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/qre.3028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 棚橋秀斗, 竹本康彦, 有園育生	4. 巻 72
2. 論文標題 ポアソン過程における状態追跡法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 159-168
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11221/jima.72.159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Takemoto, Y. and Arizono, I.
2. 発表標題 A Study on Evaluation of Stability in Process Mean Using Bayesian Updating
3. 学会等名 The 9th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今西駿, 竹本康彦
2. 発表標題 製造工程でのバッチ処理による歩留まりを起因とするブルウィップ現象への影響
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部令和2年度学生論文発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本康彦
2. 発表標題 品質問題に伴う不確実性の生産・在庫マネジメントへの影響
3. 学会等名 日本OR学会「不確実状況下における意思決定とその周辺」研究部会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takemoto, Y. and Arizono, I
2. 発表標題 Study on State Transition Tracking Method in Process Fraction Nonconforming
3. 学会等名 Proceedings of 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植中隆平, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 ベイズ理論に基づく工程分散の安定性評価に関する一考察
3. 学会等名 日本品質管理学会第121回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 湯浅景也, 竹本康彦
2. 発表標題 需要と品質のパラツキによるブルウィップ現象の検証
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部令和元年度学生論文発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植中 隆平, 竹本康彦
2. 発表標題 ベイズ理論に基づく工程分散の安定性評価に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部令和元年度学生論文発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takemoto, Y. and Arizono, I.
2. 発表標題 A Study on Joinpoint Regression Model Using Log-likelihood and Information Criterion
3. 学会等名 Proceedings of 180th The IIER International Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大谷尚哉, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 工程損失に関する管理図の情報可視化に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 製造工程での歩留まりの推定による発注量の変動の増大に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口耀大, 竹本康彦
2. 発表標題 製造工程での歩留まりの推定による発注量のブルウィップ現象に関する研究
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部平成30年度学生論文発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田翔, 竹本康彦
2. 発表標題 製造工程における不適合品率の変化点検出に関する研究
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部平成30年度学生論文発表会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 大谷尚哉, 竹本康彦
2. 発表標題 工程損失に関する管理図の情報可視化に関する研究
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部平成30年度学生論文発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大谷尚哉, 竹本康彦
2. 発表標題 Taguchiの損失関数を応用した工程管理に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会関西支部平成29年度学生論文発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takemoto, Y. and Arizono, I
2. 発表標題 A Study of Compensation Problem for Uncertainty of Quality in Supply Chain
3. 学会等名 International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakiyama, T., Hashimoto, T., Arizono, I.
2. 発表標題 Ant Colony Optimization with Function of Autonomously Switching Rules of Route Selection
3. 学会等名 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Uneme, K., Sakiyama T., Arizono, I.
2. 発表標題 Proposal of New Ant System based on Consistency and Discrepancy of Subjective Ranking
3. 学会等名 International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本雄大, 崎山朋子, 有園育生
2. 発表標題 局所情報に基づくエージェントシステムの巡回セールスマン問題への適用
3. 学会等名 日本経営工学会 2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 采女鈺太郎, 崎山朋子, 有園育生
2. 発表標題 主観的階級の一致と齟齬に基づいたRank based 蟻コロニー最適化モデル
3. 学会等名 日本経営工学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石濱雅大, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 ベイズ理論と情報理論に基づく工程不良率の安定性評価に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会2022年春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 不良率管理のための状態変化追跡方法に関する研究
3. 学会等名 日本品質管理学会第127回研究発表会(関西)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 製造工程における歩留まりを起因とするブルウィップ効果の検証
3. 学会等名 日本経営工学会2021年春季大会予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 棚橋秀斗, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 ポアソン過程のための状態追跡法
3. 学会等名 日本経営工学会2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tanabashi, S., Torisaka, Y., Takemoto, Y. and Arizono, I.
2. 発表標題 A State Tracing Method for the System Data Obeying Poisson Distribution
3. 学会等名 Distribution, The 26th International Conference on Production Research (ICPR2021)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	有園 育生  (Arizono Ikuo)  (20175988)	岡山大学・自然科学研究科・教授   (15301)	
研究 分担者	崎山 朋子  (Sakiyama Tomoko)  (30770052)	岡山大学・自然科学研究科・助教   (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------