

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01191

研究課題名(和文)次世代生産システムに向けたICTに基づく品質マネジメントシステムの提案

研究課題名(英文)Proposal of quality management system based on the information and communication technology (ICT) towards the next generation production system

研究代表者

有蘭 育生 (ARIZONO, Ikuo)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：20175988

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：次世代生産システムの思想を与える「インダストリー4.0」と呼ばれるプロジェクトを背景として、生産現場でICTを活用した取り組みが急速に進められている。特に、ネットワークで繋がれた工場内の各種装置から抽出される大量のデータを分析する取り組みはその中心である。本研究課題では、ICTが整備された製造環境に即したデータ分析に基づく品質マネジメントシステムについて考察した。このとき、データ分析をコスト概念と結びつけ、ムダや損失をヒトが知覚可能な形へ可視化するための方法論について検討した。

研究成果の概要(英文)：With the project called "Industry 4.0" that gives the idea of the next generation production system, efforts utilizing ICT at the production scenes are underway rapidly. In particular, efforts to analyze large amounts of data extracted from various devices in the factory connected by a network are central to that. In this research project, we considered the quality management systems based on data analysis based on the manufacturing environment in which ICT was developed. Concretely, we examined a methodology for linking data analysis with the concept of cost and visualizing waste and losses into perceivable form by human beings.

研究分野：社会・システム工学

キーワード：管理図 抜取検査 可視化 工程管理 品質損失 品質保証

1. 研究開始当初の背景

生産現場に大きなイノベーションの波が来ていた。なお、現在では、生産現場でのイノベーションはより広範な範囲に拡大していると言える。日本 IBM では、生産機器から得られる生産条件のログデータや製品の測定データをリアルタイムに収集・分析し、異常や故障につながる予兆を予測し、予防保全を支援するソリューションの提供を開始した[1]。コンサルティングを含めたパッケージ価格は 4000 万円にもおよび、その価値を窺い知ることができた。また、富士通は、オムロンの一工場生産機器からのログデータをもとに、生産状況をリアルタイムに把握するシステムを構築した。ここでは収集されたデータの単なる分析に留まらず、生産ラインの可視化を実現し、生産ラインに潜むムダを見つけ出す取組みを実践した[2]。生産現場で ICT (Information and Communication Technology) を活用したこれらの取組みの背景には、次世代生産システムの思想を与える「インダストリー 4.0」と呼ばれるプロジェクトがあった。

インダストリー 4.0 とは、ドイツにおける第 4 次産業革命を意味し、工場内の装置をネットワークでつなぎ、自律・分散して連携する新たな生産体制の確立を目指すドイツが産学官共同で推進するプロジェクトの名称である[3]。特に、ドイツが 2011 年 11 月に発表した高度技術戦略「High-Tech Strategy 2020 Action Plan」で掲げた施策の 1 つとして上げられている[4]。このプロジェクトが目指すものの好例は「スマート工場」であろう。

インダストリー 4.0 の根底を支える技術として、インターネットを基幹とする ICT は必須である。特に、工作機械や加工装置をインターネットと接続して他の機器やコンピュータと連動する仕組みを提供する IoT (Internet of Things) 技術[5]は重要である。IoT 技術の実用例として、加工装置を手掛ける機械メーカーにおいて、これまでは現地に行かないと確認できなかった稼働状況データをインターネット経由で一元管理し、障害やエラーなどのトラブルに対処する取組みがある[3]。具体的には、センサーを通じて収集された製造条件や製造装置の稼働状況などのデータがネットワークを通じてリアルタイムに送信され、データをシステムにより一元管理し、サポート対応の担当者がアクセスして分析する。データに対する分析を通じて、異常検知、障害対応や予防保全などのサービスの提供に取り組んでいる。ここで重要となるのがデータの分析である。

伝統的な品質管理の方法では、品質規格値外の製品を不適合品とし、不適合品の発生割合を品質の基本的概念・指標として、これを管理・保証することが主たる眼目と考えられてきていた。したがって、多くの品質管理手法においてもこの概念を踏襲する形で方法論が形成されてきた経緯があった。しかしな

がら、これらの解析方法は収集されたデータ・情報を十分に活用するものとは言い難い。同じ適合品であっても、規格値付近と目標値付近の製品では、出荷後に消費者に与える影響には雲泥の差を生じる恐れがある。

我々の研究グループでは、伝統的な品質管理の方法論における問題点に早い段階からアプローチをしてきた。特に、計量データの解析に際して、田口氏によって提唱されたタグチメソッド[6]における品質評価法である損失関数を採用し、製品に関してコスト基準に基づく緻密な損失評価を与えた上でロットの合否を与える抜取検査方式を開発した[7]。これ以降、本系統の研究は密度を増しつつ、最新の成果[8]に関しても学術専門誌において一定の評価を得ている。なお、この研究については別の研究グループの成果[9,10]と競合関係にあり、日々研究を推進している。

また、リアルタイムモニタリングの方法は、既述の通り製造現場に ICT 環境が整備されてきた現代の問題である。これに対して我々の研究グループは、製造工程における工程状態の「見える化」をリアルタイムに実践する状態変化追跡方法を開発し、これを応用した工程管理支援システムを提案している[11]。データサイエンスが隆盛する現在において、ICT が整備された製造環境に即したデータ分析手法の確立は重要な一分野として考えられている。

参考文献

- [1] MONOist: “日本 IBM, 生産設備などの測定データを分析し、予防保全を支援するソリューションを提供(2013年8月19日掲載記事)”, <http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1308/19/news042.html> 2014年10月20日閲覧。
- [2] MONOist: “モノづくりをビッグデータ分析! 富士通がオムロン草津工場で実証実験開始(2014年4月22日記事)”, <http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1404/22/news067.html>, 2014年10月20日閲覧。
- [3] 日経 BP: 「日経情報ストラテジー」, Vol.9 (2014)
- [4] 望月智治, コリア・クリューガ: “ドイツ - Industrie 4.0: 製造業に革新を”, ジェトロセンサー, Vol.9, pp.66-67 (2013)
- [5] IT用語辞典 e-Words: モノのインターネット, <http://e-words.jp/w/IoT.html>, 2014年10月19日閲覧。
- [6] Taguchi, G: *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo, Japan 1986.
- [7] Arizono, I., Kanagawa, A., Ohta, H., Watanabe, K., and Tateishi, K.: “Variable Sampling Plans for Normal Distribution Indexed by Taguchi's Loss Function,” *Naval Research Logistics*, Vol.44, No.6, 591-603 (1997)

- [8] Arizono, I., Miyazaki, T., and Takemoto, Y.: "Variable Sampling Inspection Plans with Screening Indexed by Taguchi's Quality Loss for Optimising Average Total Inspection," *International Journal of Production Research*, Vol.52, No.2, 405-418 (2014).
- [9] Wu, C.W.: "An efficient inspection scheme for variables based on Taguchi capability index," *European Journal of Operational Research*. Vol.223, No.1, Pages 116-122 (2012)
- [10] Aslam, M., Yen, C.H., Chang, C.H., Jun, C.H.: "Multiple states repetitive group sampling plans with process loss consideration," *Applied Mathematical Modelling*. Vol.37, No.20-21, pp.9063-9075 (2013).
- [11] 竹本康彦, 有蘭育生: "状態変化追跡方法, 工程管理支援装置, 工程管理支援方法, 及び状態変化追跡方法及び工程管理支援方法を実行させるためのプログラム", 特開 2013 - 029901.

2. 研究の目的

本研究では, 既述の富士通[2]や加工装置メーカー[3]におけるデータ収集環境下を想定し, リアルタイムなデータ分析を活用する品質管理手法の開発を目指す。特に, 単なる計量データの分析に留まらず, これらをコスト概念と結びつけ, 工程異常の見過ごしがどれだけのムダを発生するのか, 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する。そもそも品質管理自体は直接的な正の財を生まない。だからこそ, それを疎かにすることの損失を示すことにより厳格な品質管理への道標を与えることを意図する。

本研究では, 生産現場において整備されつつあるICT環境を前提に, ICTを活用することによるより高度な品質データの解析を組み込んだ次世代生産システムに対応した品質マネジメント手法について検討する。特に, リアルタイムなデータ分析を中心に, 品質データをコスト概念と結びつけたマネジメント手法を開発する。また, データやその分析結果はヒトが理解できてはじめて価値を有する。本研究では, データをヒトの目で知覚可能な形へと可視化するプロセスにも着目し, 従来から叫ばれる「見える化」「可視化」から, 分析を通じてデータのもつ特性をグラフィカルにわかりやすく表現する「情報可視化」「見せる化」の技術についても取り入れていくことも考えている。

3. 研究の方法

本研究では, ICT を活用する次世代生産システムに向けた品質マネジメントシステムについて考察する。この研究の進め方として, 以下の手順を考えている。

まず生産現場における ICT の活用実態ならびに期待される活用法を調査する。また, 組込まれて活用されるデータ分析の方法を整理する。さらに, 生産現場における「可視化」「見える化」の取組みを調査する。調査結果を受けて, 問題点ならびに改善点について検討する。品質データをコスト概念とリンクさせたデータ分析手法ならびに品質管理手法の開発を遂行する。「見える化」から「見せる化」を意識した品質マネジメントシステムを考察する。

4. 研究成果

次世代生産システムの思想を与える「インダストリー4.0」と呼ばれるプロジェクトを背景として, 生産現場でICTを活用した取り組みが急速に進められている。特に, ネットワークで繋がれた工場内の各種装置から抽出される大量のデータを分析する取組みはその中心である。本研究課題では, ICT が整備された製造環境に即したデータ分析に基づく品質マネジメントシステムについて考察した。このとき, データ分析をコスト概念と結びつけ, ムダや損失をヒトが知覚可能な形へ可視化するための方法論について検討した。

その成果として, 工程における品質データに基づき, 工程異常が検知された場合に工程状態の変化点や工程異常に至るまでの状態変化の軌跡を抽出する状態変化追跡方法を構築した(雑誌論文[6])。さらに, 工程の平均と分散を同時に管理する(\bar{x}, s)同時管理図において, 工程の状態変化を視覚的に捉えるための方法を提案した(雑誌論文[1]; Impact Factor 0.486 (2016), 学会発表[8])。一方, 分散は工程の安定性を評価する指標であり, 平均とは別に特に個別に挙動をモニタリングすることが重要視されている。 s 管理図にのみ特化した状態変化追跡方法について新たに考察し, その提案に至った(学会発表[4, 10])。

また, 製品の出荷品質を保証するための抜取検査法に関して, 従来の品質評価指標である不適合品率に比べてより厳格な品質評価を与える品質損失に基づく新しい抜取検査法を提案した。具体的には, 限界品質のロットを合格と判定してしまう消費者危険を指定値以下に抑えるための繰返グループ抜取検査方式(雑誌論文[5]; Impact Factor 2.209 (2016))と出荷品質の上限が指定値以下になることを期待値的に保証するための繰返グループ抜取検査方式(雑誌論文[2]; Impact Factor 2.209 (2016), 学会発表[7, 11])を提案し, これらの経済的な設計アルゴリズムを構築した。さらに, 品質損失に基づく計量規準型逐次抜取検査の設計法を構築し, この検査方式が品質損失に基づく各種の計量規準型抜取検査方式のなかで最も経済的な検査方

式であることを示した（雑誌論文[4]; Impact Factor 2.325 (2017)）。くわえて、品質損失に基づく既存の計量規準型一回抜取検査の設計法が近似を用いた設計法であることに鑑み、近似によらない厳密な設計法を構築した（雑誌論文[3], 学会発表[6]）。これらの両設計法により導かれる検査方式を比較し、近似を用いた設計法の実用性を改めて確認した。さらに、検査における判定を多段的に行う検査方式として、抜取検査に必要とされる平均検査量と平均検査回数のバランスを考慮する観点から、品質損失に基づく計量規準型 2 段抜取検査（学会発表[5, 9]）および計量選別型 2 段抜取検査（学会発表[1, 3]）について考察した。同様に、品質損失を考慮した C_{pm} 管理図に関して、2 段抜取方式を援用し、経済的な運用法について明らかにした（学会発表[2], 図書[1]）。

また、本研究課題でのテーマの内、データおよび解析データの可視化に関しては、科学研究費助成事業、基盤研究(C)（課題番号：17K01266, 研究代表者：竹本康彦）「データビジュアライゼーションの探求と生産マネジメントへの応用」として、また不確定要素をもつ観測データ解析手法の開発に関しては、科学研究費助成事業、基盤研究(C)（課題番号：18K04611, 研究代表者：有園育生）「不完全情報環境下におけるシステムの性能・信頼性評価」の一部としてそれぞれ派生的・発展的に研究を継続している。

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 6 件)

- [1] Y. Takemoto, I. Arizono: “Information Visualization about Changes of Process Mean and Variance on (\bar{x}, s) Control Chart”, *Quality Technology & Quantitative Management*, Accepted on Apr 15, 2018, Published online: 26 Apr 2018. (査読有り)
DOI: 10.1080/16843703.2018.1466410
- [2] I. Arizono, Y. Okada, R. Tomohiro, Y. Takemoto: “Rectifying Inspection for PAOSQLL Scheme Based on Variable Repetitive Group Sampling Plan”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.94, No.1-4, pp.145-154 (2018). (査読有り)
DOI: 10.1007/s00170-017-0890-0
- [3] Y. Ishii, I. Arizono, R. Tomohiro, and Y. Takemoto: “Comparison of Rigorous Design Procedure with Approximate Design Procedure for Variable Sampling Plans Indexed by Quality Loss”, *Industrial Engineering and Management Systems: An International Journal*, Vol.15, No.3, pp.231-238 (2016). (査読有り)
DOI: 10.7232/iems.2016.15.3.231

- [4] R. Tomohiro, I. Arizono, Y. Takemoto: “Proposal of Variable Sequential Sampling Plan Having Desired Operating Characteristics Indexed by Quality Loss”, *International Journal of Productions Research*, Vol.54, No.19, pp.5742-5760 (2016). (査読有り)
DOI: 10.1080/00207543.2016.1173249
- [5] I. Arizono, Y. Okada, R. Tomohiro, Y. Takemoto: “Rectifying Inspection for Acceptable Quality Loss Limit Based on Variable Repetitive Group Sampling Plan”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.85, No.9, pp.2413-2423 (2016). (査読有り)
DOI: 10.1007/s00170-015-8090-2
- [6] 竹本康彦, 有園育生: “状態変化追跡方法の提案とその利活用に関する一考察”, *日本経営工学会論文誌*, Vol.66, No.3, pp.240-248 (2015). (査読有り)
DOI: 10.11221/jima.66.240

〔学会発表〕(計 11 件)

- [1] K. Yoshimoto, R. Tomohiro, I. Arizono: “Variable Stage-Independent Double Sampling Plan with Screening for Acceptance Quality Loss Limit”, The 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2017), December 3-6, 2017 Yogyakarta (Indonesia).
- [2] R. Tomohiro, I. Arizono, Y. Takemoto: “Economic Design of Double Sampling C_{pm} Control Chart for Monitoring Process Capability Index”, The 24th International Conference of Production Research (ICPR 24), July 19-August 3, 2017, Poznan (Poland).
- [3] 吉本知倫, 有園育生, 友廣亮介: “品質損失に関する AQLL 保証のための Stage-Independent Double Sampling Plan の設計”, 公益社団法人日本経営工学会 2017 年度春季大会 2017 年 5 月 26 日~27 日, 龍谷大学 (京都・京都).
- [4] Y. Takemoto and I. Arizono, “A Study of Method for Tracing State Transition on Time Series of Process Variance”, The 17th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2016), Dec, 7-10, 2016, Taipei, (R.O.C)
- [5] R. Tomohiro, I. Arizono, Y. Takemoto: “Variable Stage-Independent Double Sampling Plan Having Desired Operating Characteristics Indexed by Quality Loss”, INFORMS International Meeting 2016, June 12-15, 2016, Hawaii (U.S.A.).
- [6] Y. Ishii, I. Arizono, R. Tomohiro, Y. Takemoto: “Comparison of Exact with Approximate Procedures for Designing

Variable Sampling Plans Indexed by Quality Loss”, The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2015), December 8-11, 2015 Ho Chi Minh (Vietnam).

- [7] Y. Okada, I. Arizono, R. Tomohiro, Y. Takemoto: “Variable Repetitive Group Sampling Plan with Screening for Permissible Average Outgoing Surplus Quality Loss Limit”, The 16th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2015), December 8-11, 2015 Ho Chi Minh (Vietnam).
- [8] Y. Takemoto and I. Arizono, “A Study on Information Visualization of Changes in Process Mean and Dispersion on (\bar{x}, s) Control Chart”, The 16th Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS2015), December 8-11, 2015 Ho Chi Minh (Vietnam).
- [9] 友廣亮介, 有園育生, 竹本康彦: “品質損失のもとでの計量規準型 Repetitive Double 抜取検査”, 公益社団法人日本経営工学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 11 月 28 日 ~ 29 日, 金沢工業大学 (石川・野々市).
- [10] 藤原晃平, 竹本康彦, 有園育生: “s 管理図における複数の状態変化の抽出方法に関する一考察”, 公益社団法人日本経営工学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 11 月 28 日 ~ 29 日, 金沢工業大学 (石川・野々市).
- [11] 岡田祐亮, 有園育生, 友廣亮介, 竹本康彦: “PAOSQLL 保証のための計量選別型繰返グループ抜取検査”, 公益社団法人日本経営工学会 2015 年度春季大会, 2015 年 5 月 16 日 ~ 17 日, 首都大学東京 (東京・八王子).

〔図書〕(計 1 件)

- [1] R. Tomohiro, I. Arizono, Y. Takemoto, 24th International Conference on Production Research (ICPR 2017), 306-311, DEStech Publications, Inc., 2017, 分担執筆
ISBN 978-1-60595-507-0

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有園 育生 (Ikuo Arizono)
岡山大学・自然科学研究科・教授
研究者番号：20175988

(2) 研究分担者

竹本 康彦 (Yasuhiko Takemoto)
近畿大学・理工学部・准教授
研究者番号：70382257

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()