食品製造におけるスマートファクトリー構築に関する研究

２０２０年度

松　本　卓　夫

別表５
(3)

主　論　文　要　旨

No.1

報告番号	(甲)乙　第　　号	氏　名	松本　卓夫

主 論 文 題 名：
食品製造におけるスマートファクトリー構築に関する研究

インダストリー4.0 の概念が提唱され、ＩＴ先端技術の開発は著しく進化してきている。その中で巨大ＩＴ関連企業ＧＡＦＡ（Google、Apple、 Facebook、Amazon)が消費者市場で発展を続けている。

これに対して製造業では、インダストリー4.0 の概念を具現化させるスマートファクトリーの構築が注目され、多くの研究が行われているが、いずれもスマートファクトリーの構築に貢献するためのコンポーネントや、通信技術、ＡＩ技術、ロボティクス技術等固有技術に関するものが多く、具体的なスマートファクトリー構築の事例は少ない。スマートファクトリー構築とその活用には、ツールであるＩＴ技術を実際の工場を稼働させるためのＯＴ（Operation Technology）に融合させることが非常に重要である。本研究では、日本の食品業界に焦点を当て、まず日本の食品業界の現状をサプライチェーンの視点から調査分析した。その内容は、食品ロス低減対策のための、食品の日付別管理、納品ルール、サプライチェーン効率化、食品の安全確保のためのトレーサビリティ等である。

次に、スマートファクトリーの構築と運用においては、調達と販売を含めてサプライチェーンを効率的に運用することが不可欠であるために、特にスマート化と係りが深い需要分析、及び生産計画作成のアルゴリズムについて事例分析を行った。また、大手乳業会社の新工場と物流センター建設を事例として、スマートファクトリー構築のグランドデザインの方法論を提案し、効果分析を行った。

本研究の提案モデルは、スマートファクトリーに向けた、食品工場における最適製造ライン設計問題と工場のシステムにおける水平階層型システムモデルの２つである。

具体的には、最適製造ライン設計問題についてプロセスチーズ工場の設備投資問題の事例をもとに、連続した２工程間の設備投資最適化モデルを構築し、設備投資後の運用費用も考慮して初期の設備投資問題として定式化を行い、実用的な解法アルゴリズムを開発した。このモデルの特徴は、設備投資費用だけでなく、運用費用として２工程間の設備能力の同期化費用及び需要変動に追随するための稼働費用(柔軟性費用)を考慮して設備投資の意思決定を行うことである。

スマートファクトリー構築のグランドデザインの方法論では、水平階層型システムモデルを中心に、従来の製造ごとに分かれた垂直型システムモデルの短所を克服できるように、製造工程を５つの水平方向に区分し各水平階層の機能を標準化するシステムモデルを提案した。このシス

別表５
(3)

主　論　文　要　旨

テムモデルでは、システムの接続性が標準化され、拡張と運用の切り替えが容易になる特徴がある。また、各システム機能がモジュール化できるので、横展開が容易になる。そのためＯＴの標準化が容易になり、新工場建設及び増設における効率が飛躍的に向上し、インダストリー4.0 の概念である水平・垂直統合に大きく貢献できる。提案した方法論については、操作機能と可視化機能、ノウハウの蓄積と活用、トレーサビリティ確保、ロボット管理機能、ＩＴとＯＴ及びMTとＩＴの融合機能及びサイバー・フィジカルの階層による区分について、事例を用いて有効性に関する検証を行った。そして、大手乳業メーカーY 社のヨーグルトとデザート製造工場のシステム導入・更新時の工数と費用等について比較を行い、総じて 30～50%の費用が削減できることを確認した。

別表６
（３）

Keio University

Thesis Abstract

No. 1

Registration Number	□ "KOU" □ "OTSU" No. *Office use only	Name	TAKAO MATSUMOTO

Thesis Title

A Study of building smart factories in food manufacturing industry

Thesis Summary

The concept of Industry 4.0 has been advocated, and the development of advanced IT technology has evolved significantly. Among them, the giant IT-related company (GAFA) continues to develop in the consumer market.

On the other hand, in the manufacturing industry, attention has been paid to the construction of smart factories that embody the concept of Industry 4.0, and much research has been conducted. However, most of them are related to IT technology such as components for contributing to smart factories, communication technology, AI utilization, robotics technology, etc., and there are few concrete examples of smart factory construction. In order to build a smart factory and utilize it, it is very important to integrate IT technology, which is a tool, with the OT (Operation Technology) for operating an actual factory.

In this study, we focused on the Japanese food industry, and first investigated and analyzed the current state of the Japanese food industry from the perspective of the supply chain. The contents include food date management and delivery rules for food loss reduction measures, supply chain efficiency, and traceability for ensuring food safety.

Next, in order to build and operate a smart factory, it is indispensable that the SCM system is built and operated efficiently. In particular, we conducted case analysis on demand analysis and production planning, which are closely related to smart factories, and created the algorithm. After that, we analyzed the grand design and effects of smart factory construction, taking the construction of a new factory and distribution center of a major dairy company as an example.

There are two models proposed in this study: the optimal equipment placement problem in food factories and the horizontal hierarchical system model in factory systems for smart factories. The optimal equipment placement problem is a case study of the equipment placement problem in a processed cheese factory. In this case study, we created a model and solution for the problem of optimizing the equipment capacity and the number of installed units between two consecutive processes, and optimizing the number of operating units for each period according to demand. The feature of this model is that the line operation cost is not only the equipment average investment cost and the operation cost, but also the loss cost caused by the equipment capacity difference between the two processes which we call the synchronization cost, and the cost caused by the equipment capacity difference with respect to the demand fluctuation which we call the flexible cost. As a result, it was possible invest for proper equipment which can minimize operating cost throughout the product

lifecycle and can minimize operating costs after investment.

Next, a horizontal-hierarchical system model is proposed which is the system configuration and operation model of the entire factory. This system model is not a vertical system model that is conventionally divided for each product and manufacturing area, but a system model that divides each manufacturing process into five horizontal directions and standardizes the functions of each horizontal-hierarchy. This model standardizes system connectivity and improves scalability. In addition, each system function can be modularized, facilitating horizontal deployment.

Therefore, standardization of OT becomes easy, and new factory construction and expansion can be carried out efficiently. Therefore, it is a system model that greatly contributes to horizontal and vertical integration, which is the concept of Industry 4.0. In this research, we propose the system configuration and functions of each horizontal layer, and evaluate the model as an operation function and a visualization function, accumulation and utilization of know-how, traceability assurance, robot management function, IT and OT fusion function.

The classification by the hierarchy of cyber and physical system was carried out. Then, we numerically verified the effectiveness of the proposed system model. As a evaluation, we compared the man-hours and costs for introducing and updating the system at a yogurt and dessert manufacturing factories in a Japanese company, with the reduction of 30 to 50% cost reduction applying the proposed system design methods.