

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K01921

研究課題名（和文）IoTを活用した経営・マネジメントシステムと生産実施の連結と統合化

研究課題名（英文）Integration of Management and Manufacturing Using IoT

研究代表者

高桑 宗右工門（TAKAKUWA, Soemon）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：50112016

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者は生産・サービス活動における生産システム、マネジメントシステム、シミュレーションの三者の統合の概念を提唱してきた。本研究課題では、それらのうちの二者間の統合のための種々の研究テーマを設定して研究を実施した。そして、生産・サービスのパフォーマンス分析に有用な役割を果たすシステムシミュレーション分析を実施するために、データ収集・活用の観点から、新しいアプローチを開発した。そして、工場（生産システム）とともに医療機関（病院）を応用対象として、国内ならびに海外の学会にて研究成果を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生産システム（模擬工場）とシミュレーションモデルの連結では、生産システムからセンサーを介してExcelに書き込んだデータを、リアルタイムに参照するシミュレーションモデルを構築するためのシステム設計を行い、そのアルゴリズムが提案された。インダストリー4.0環境下におけるサイバーフィジカルシステムのためのデジタルツインシミュレーションとしてのリアルタイムシミュレーションや応用例が提案された。発表した一連の研究論文は、該当分野において国際的にも嚆矢となるもので、ResearchGateによれば、多くの研究論文においても引用された、との報告を受けた。

研究成果の概要（英文）：A framework for integrating a management system, a manufacturing system in the shop floor, and the associated simulation model is studied to improve decision making. In the IoT/Industry 4.0 environment, it is useful to perform real-time simulation. The required data for performing simulation must be obtained from big data collected by devices including sensors or RFID technologies for manufacturing or service systems in an IoT environment. In addition, application examples for manufacturing systems and healthcare service systems are introduced.

研究分野：経営学

キーワード：マネジメント IoT 生産システム サービスシステム シミュレーション センサー RFID

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 生産システムの工程管理において、IoT (Internet of Things) の導入により、予期せぬ作業の中断などへの対応は、工場のモニター(監視)システムにより劇的に改善されるようになり、ショップフロアにおける細かな種々のトラブルによる遅れや非効率を低減することができるようになってきた。工場における監視はショップフロアコントロールにとって不可欠であるものの、それだけでは進捗管理を有効に遂行するには難点がある。なぜなら、監視自体は現状を正確に把握するための手段であって、各種の生産・作業の進捗度合いに対して、有効な解決策を提供するには難があるからである。

(2) 上述の問題を克服するためには、マネジメントにおいても IoT を取り入れることが必要であることを着想した。特に、IoT の進展に伴って進化してきた ERP (Enterprise Resource Planning) システムならびに MES (Manufacturing Execution System: 製造実行システム) の機能と対応させながら、生産計画に対するさまざまな原因による差異について進捗管理を実施するために、IoT を取り入れていく方策が必要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、IoT 環境下において、クラウドなどを含めたネットワークを駆使して、経営管理のうち、生産管理における新しい工程管理、とりわけ進捗管理のための手順について提案することを目的とする。特に、リアルタイムに実行するシミュレーション分析を中心に位置づけて、有効に駆使することにより、従来のマネジメントでは迅速かつ確な対応が困難となりつつある IoT 環境下における工場管理に寄与するアプローチを提案する。

(2) 統合基幹システムである ERP システムは、MES を介して生産現場であるショップフロアの設備をコントロールできるようになった。本研究では、この点に着目して、シミュレーション・スケジューリングを用いて、工程管理・進捗管理を遂行するための概念設計とシステム構築を行う。

(3) 上述の課題に対して理論面だけでなく実践面にも有効な新しい工程管理・進捗管理の進め方を提案する。そして、実際の生産活動を念頭に置き、提案する新しい経営・マネジメントの手順を適用して、インダストリー4.0 模擬工場を用いた実証実験を実施することにより、有効性を検証する。さらに、病院におけるサービスシステムに対しても同様に検討する。

3. 研究の方法

(1) IoT を活用した経営・マネジメントシステムと生産実施の統合に関して、迅速かつ適切に管理活動を遂行するために、IoT という共通のプラットフォーム上で、ERP システムと生産工場、そしてシミュレーションモデルの三者を連結した新しいシステム概念が設計された。概念設計の枠組みの概要を図1に示す [1, 2]。図1に示す枠組みを具体化するために、(A) サプライチェーンを念頭に置いた ERP システム・MES と生産工程(本研究ではインダストリー4.0 模擬工場)の連結、(B) ERP システム・MES とシミュレーションモデルの連結、(C) 生産工程(模擬工場)とシミュレーションモデルの連結、の3つのサブテーマについて検討する。

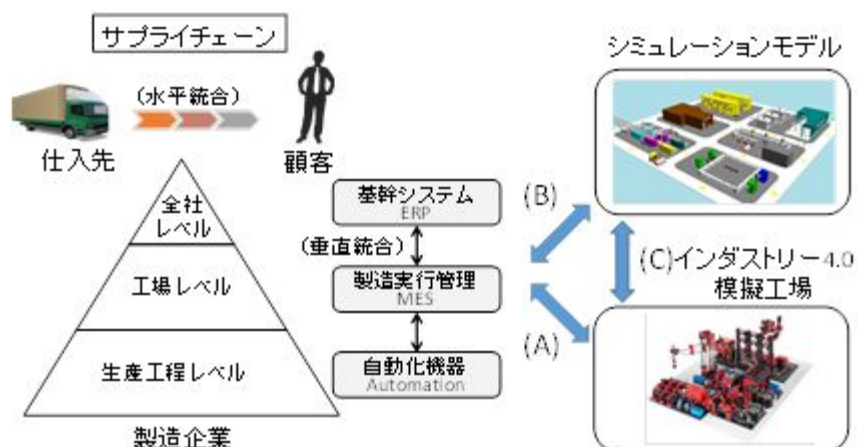


図1. 本研究課題の概念設計の枠組み

(2) ERP システム・MES と生産工程の連結に関しては、ERP システムとして、SAP ERP を採用す

る。経営から生産工程に至る企業内部、すなわち、図1の全社レベル・工場レベル・工程レベルにおいては、ERPと連結するMESがショップフロアコントロールと密接に関連する。SAP ERPを用いて、模擬工場の生産工程における生産実施と連結することが研究課題となる。これに関しては、予備実験を終えており、生産計画の実データを用いて検証する。

(3) ERPシステム・MESとシミュレーションモデルの連結に関しては、サプライチェーンでの取引を経て、生産計画 - 生産実施 - 生産統制の一連の状況をコンピュータ上でシミュレーションを実行することにより、現状をリアルタイムに表現することが課題である。

(4) 生産工程（模擬工場）とシミュレーションモデルの連結に関しては、研究室所有の模擬工場を対象として、センサーを介して、生産進捗データをリアルタイムに参照するためのIoTデータ収集システムの構築と実装を行う。生産システム内部のセンサーや各種機器を介して、シミュレーションモデルに必要なデータを直接取得することにより、リアルタイムで進捗管理が可能となる。そして、生産状況を基に、狭義の生産管理のための方策を、通常のシミュレーション分析を通して実施する。

4. 研究成果

(1) 研究室に設置したインダストリー4.0実験設備である、FESTO MPS System203 Industry 4.0ならびに Fischertechnik Factory Simulation v9を用いて、生産システム内のオペレーションを実施した。それにより、RFID (radio frequency identification) やセンサー技術のデータ収集・処理について詳細に検討することにより、インダストリー4.0のしくみに関して種々の知見を得ることができた。

(2) MRP (Material Requirements Planning) と DDMRP (Demand Driven MRP) をバイクの生産工場を例として比較・検討を行った。バイクの生産工場のデータはERPから得られたデータをもとにMRPで管理される生産ライン・DDMRPで管理される生産ラインのシミュレーションモデルを作成する。シミュレーションモデルには、離散型シミュレーションを作成・実行することができるSimioを使用する。シミュレーションの実行中に、需要オーダーをモデルに与える。この需要オーダーは、シナリオとして複数個用意される。需要オーダーごとに特性を持たせ、シナリオ毎にMRP・DDMRPでパフォーマンスの違いがみられるか分析した。その結果、DDMRPがさまざまな需要変動に対応することができることが分かった。特に、デカップリングポイントに設定した完成品の在庫水準はMRPと比べて少ない水準であることが分かった。

(3) 生産システム（模擬工場）とシミュレーションモデルのデータを介した連結では、生産システムからセンサーを介してExcelに書き込んだデータを、リアルタイムに参照するシミュレーションモデルを構築するためのシステム設計を行い、そのアルゴリズムが提案された。シミュレーションモデルと連動したデータ収集システムを構築した。また、インダストリー4.0環境下におけるサイバーフィジカルシステムのためのデジタルツインとしてのリアルタイムシミュレーションが提案され、IoTを念頭に置いたリアルタイムシミュレーションの新しい応用事例が提示された。また、部品生産の生産システムを取り上げ、スケジューリングルールにより使用する機械を選択する問題について検討された。この生産システムでは、完成品に関して、それぞれは独自の工程順序があり、段取時間および処理時間を有する。一連のCSVファイルを通して、モデルの主要部分が自動的に生成され、Simio data Add-insを用いて、データ駆動型スケジューリングモデル (data-driven scheduling model) が自動生成される。進捗管理において、改めてスケジューリングによる納期の遵守について、リスクを含めた分析が可能となり、有効であることが解明された。

(4) RFID技術を採用した病院内の医療スタッフの屋内位置情報システムにおいて、収集される膨大なデータに関して、特に1日の歩行(移動)距離、部屋毎で費やした滞在時間などを集計するための手順について提案し、詳細な結果が得られることを確認した。また、提案した手順により得られる結果は、同じくRFIDデータに基づくシミュレーションモデリングのためのデータ準備と、シミュレーション結果の検証に用いることができることが確認できた。さらに、RFIDデータを活用して、リアルタイムでシミュレーションを実行するための一連の手続きへと発展することが可能となる。

<引用文献>

- [1] Takakuwa, S.: "Integration of manufacturing and simulation for manufacturing systems," DAAAM International Scientific Book 2018, DAAAM International, 273-284, 2018.
- [2] 高桑宗右衛門: 「IoT・インダストリー4.0環境下における生産システムのシミュレーション」 『オペレーションズ・リサーチ』, Vol.63, No.4, 234-240, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 譚 奕飛、楊 文賀、吉田孝太郎、高桑宗右工門	4. 巻 Vol.40, No.4
2. 論文標題 IoT環境下のデジタルツイン構築の課題と試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本情報経営学会誌	6. 最初と最後の頁 41, 48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 楊 文賀、高桑宗右工門	4. 巻 Vol.40, No.4
2. 論文標題 IoT環境下の港湾のデジタル変革とシミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本情報経営学会誌	6. 最初と最後の頁 49, 55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tan, Y, Yang, W., Yoshida, K., Takakuwa, S.	4. 巻 7-2
2. 論文標題 Application of IoT-Aided Simulation to Manufacturing Systems in Cyber-Physical System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Machines	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） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takakuwa, S. & Yoshida, K.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Application of data collected in IoT environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 DAAAM International Scientific Book 2021	6. 最初と最後の頁 29, 38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yang, W., Tan, Y., Hu, S., Gaku, R. & Takakuwa, S.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Modeling and analysis of healthcare facilities using RFID data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 DAAAM International Scientific Book 2021	6. 最初と最後の頁 85, 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Gaku, R., Luangkesorn, L. & Takakuwa, S.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Life cycle assessment for long-term production operation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 DAAAM International Scientific Book 2021	6. 最初と最後の頁 131, 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 高桑宗右エ門
2. 発表標題 IoTを活用したマネジメントシステムと生産の統合
3. 学会等名 日本情報経営学会第78回全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gaku, R., Takakuwa, S.
2. 発表標題 A case study of demand forecasting with data mining methods for new short-life-cycle products
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang, W., Kuwahara, K., Takakuwa, S.
2. 発表標題 Evaluating demand-driven material resource planning for an assembly line using discrete-event simulation
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takakuwa, S.
2. 発表標題 Production control in conjunction with real-time simulation using IoT
3. 学会等名 INFORMS Annual Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Gaku, R., Takakuwa, S.
2. 発表標題 Using operational approaches to predict the performance of large-scale shuttle-vehicle-type mini-load AS/RS systems
3. 学会等名 Winter Simulation Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang, W., Kuwahara, K., Takakuwa, S.
2. 発表標題 Performance analysis of demand-driven material requirements planning for a bicycle assembly company
3. 学会等名 Winter Simulation Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 譚奕飛、楊文賀、吉田孝太郎、高桑宗右工門
2. 発表標題 デジタルツインの構築におけるモニタリングモードと予測実験モード間の連携について
3. 学会等名 日本情報経営学会第79回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊文賀、桑原健太郎、吉田孝太郎、高桑宗右工門
2. 発表標題 ERPデータを活用したシステムシミュレーション
3. 学会等名 日本情報経営学会第79回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高桑宗右工門
2. 発表標題 IoTを活用したシミュレーションのためのデータ収集
3. 学会等名 日本情報経営学会第79回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高桑宗右工門、胡斯可、譚奕飛、楊文賀、岳理恵
2. 発表標題 RFID データを用いた人の移動に関するパフォーマンス分析
3. 学会等名 日本情報経営学会 第 82 回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 譚 奕飛、楊 文賀、岳 理恵、高桑 宗右工門
2. 発表標題 シミュレーションモデリングにおけるRFID データの活用
3. 学会等名 日本情報経営学会 第 82 回全国大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Smith, J.S., Sturrock, D.T., Takakuwa, S.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Simio LLC (米国)	5. 総ページ数 415
3. 書名 Simioとシミュレーション -モデリング・解析・応用- 第6版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

高桑宗右工門 research map https://researchmap.jp/read0183865
--

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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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1件

国際研究集会 International Symposium on IoT/Industry 4.0 in East Asia	開催年 2020年～2020年
--	--------------------

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
---------	---------