

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04234

研究課題名（和文）スマート製造システムのユースケース駆動型モデルベース開発

研究課題名（英文）Use-case mode-driven development of smart manufacturing systems

研究代表者

高本 仁志（Komoto, Hitoshi）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：30613244

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）：本研究では、2020年度～2022年度の3年間の中で、製造システムのユースケース駆動型モデルベース開発を行うための技術を開発した。具体的には、ユースケースの記述モデルと機能要件の記述モデルとを段階的に活用して製造システムのシミュレーションモデルを生成する技術を開発した。スマート製造システムのモデリング技術の研究の大多数は、スマート製造システムやその構成要素と対応する各モデルの構築を目的とするが、本研究ではこれらの各モデルがシミュレーションモデル上で機能し、ユースケースを参照した挙動が生成できたことが画期的である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

製造システムの開発プロセスのデジタル化・仮想化が推進される昨今、製造システムの使われ方や仕様を検討する段階において、製造システムの挙動を検証するシミュレーション技術には社会的なニーズが高い。また、製造システムのモデルベース開発という観点から、製造システムのモデルベース設計事例を複数件実施し、本課題が提案する手法の実現可能性を検証した点において、その学術的意義が認められる。

研究成果の概要（英文）：This study had been conducted between 2020.04 and 2023.03 for three years. The research studies a process to develop smart manufacturing systems based on its use case description. The use case is described with UML sequence diagram, which represents the flows of physical objects and information. Each element is transformed to an agent of multi-agent simulation framework. In the framework, these agents interact one another to realize the flows of physical objects and information specified by the sequence diagram.

研究分野：設計工学

キーワード：Multi Agent Simulation Smart Manufacturing

1. 研究開始当初の背景

我が国の主力産業の一つである製造業は、工場の自動化や継続的なカイゼンを進め、製造プロセスの生産性や品質などを向上させてきた。そして近年、製造システムに人工知能技術や情報通信技術を駆使して、生産計画系・生産指示系・工作機械・ロボット・センサ・制御装置などが柔軟に機能を分担・連携できるスマート製造システムの開発が進みつつある。しかし、スマート製造システムの体系的な設計方法論は未成熟で、現状、個別具体的な現場の要求に対するアドホックな既存製造システムの拡張(データ取得センサや分析モジュールの追加など)に甘んじている。

この現状は、我が国だけではなく、欧米の製造業においても課題として認識されている。例えば米国では、この課題を打開するため、Industrial Internet Consortium (IIC) が、システム・ソフトウェア工学におけるアーキテクチャ記述の標準規格[ISO/IEC/IEEE 42010:2011]に基づき、Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) と呼ばれる産業 IoT システムの体系的設計指針を提案した。IIRA は、Business (事業目的)・Usage (使われ方、即ちユースケース)・Function (機能要件)・Implementation (実装) の複数の視点に分けた段階的なシステム設計を推奨している(図1)。

しかし、IIRA が示す設計指針は抽象的であり、各視点で用いるべきシステムのモデルとモデル間の関係を具体的に定めない。このため、IIRA のみではユースケースを構成する事業者間の役割やスマート製造システムの機能の妥当性を分析・評価できないため、IIRA を補完し事業者間の役割やスマート製造システムの機能を具体的に表現し、関連付ける手法が求められている。

2. 研究の目的

「モデルベース開発」とは、設計知識を再利用し開発期間とコストを低減する革新的な設計生産の概念であり、スマート設計システムの開発においても不可欠あると考え、本研究では、IIRA を補完するために、「モデルベース開発」という概念に基づき、IIRA が与えるユースケースと機能要件の両視点でのスマート製造システムモデルの關係に注目し、スマート製造システムのユースケースのモデルを入力とし、スマート製造システムの機能を分析・評価できるシミュレーションモデルを生成する手法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、2020年度～2022年度の3年間の中で、図2に示す2種類のモデルを準備し、両者を段階的に活用して、シミュレーションモデルを生成する手法を検討した。

- ・ ユースケースの記述モデル：システムの開発・管理・利用・保全などの汎用的なアクティビティで構成され、事業者やスマート製造システムの構成要素の間での情報とものの流れを定めたモデル。
- ・ 機能要件の記述モデル：スマート製造システムの構成要素が持つべき汎用的機能(加工・搬送・検査・情報の発信・受信・分析など)や設計変数の目標値(精度や時間遅れなど)や要求仕様などを定めたモデル。マルチエージェントシミュレーション (Multi Agent Simulation: MAS) で実行可能な構成要素モデルを構成する。

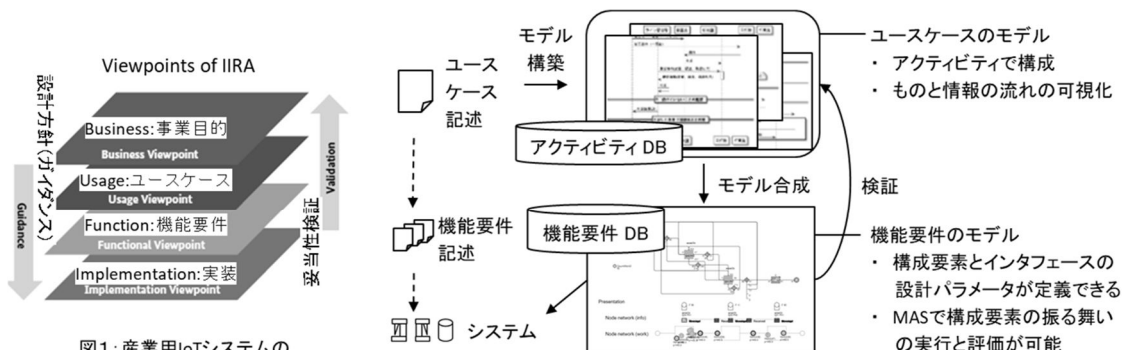


図1: 産業用IoTシステムの体系的設計手法 (IIRA)

図2: IIRA設計プロセス(点線部)を補完するユースケース駆動型モデルベース設計(実線部)

2020年度は、「ユースケース駆動型モデルベース開発の理論化」という研究テーマを掲げ、ユースケースと機能要件の両視点で記述したスマート製造システムのモデルを開発し、前者から後者を生成するアルゴリズムの開発を目指した。

2021年度は「ユースケース開発と分析」という研究テーマを掲げ、製造システムの運用データを積極的に活用し、製造システムの利用者に価値を提供する Value-Based Service (VBS) と呼

ばれるユースケースをモデル化し、シミュレーションを用いて分析することを目指した。

2022 年度は「モデルベース開発環境の構築」という研究テーマを掲げ、国内外のスマート製造システムの研究者や開発実務者が、ユースケースを本手法に従う形でモデル化し、スマート製造システムの構成要素の機能要求をシミュレーションにより分析・評価できるモデルベース開発環境の構築を目指した。

4．研究成果

2020 年度は、ユースケース駆動型モデルベース開発の理論化に取り組んだ。ユースケースと機能要件の両視点で記述したスマート製造システムのモデルを開発し、前者から後者を生成するアルゴリズムを開発できた。ユースケースのモデルは、ソフトウェア開発の標準である UML の Sequence Diagram に基づき開発した。機能要件のモデルは、工場の管理者や作業員・工作機械・搬送用ロボットなどのアクティビティに基づきスマート製造システムの挙動を計算できるマルチエージェントシミュレーションモデルを用いた。このモデルは、各エージェントが持つべき汎用的機能を持つエージェントの設備ライブラリと、Sequence Diagram から生成される、設備間の関係モデルからなる。関係モデルを生成するために、Robot Process Automation ソフトウェアを活用した。スマート製造システムのモデリング技術の研究の大多数は、スマート製造システムやその構成要素と対応するモデルの構築を目的とするが、本研究ではユースケースを要件としてスマート製造システムを合成することができたことが画期的であると考えられる。

2021 年度は、2020 年度に開発したユースケース駆動型モデルベース開発手法に基づき、製造システムの運用データを積極的に活用し、製造システムの利用者に価値を提供する Value-Based Service (VBS) と呼ばれるユースケースの一例として、複数の工作機械が主な構成要素である生産ラインのモデルベース開発を行った。開発された生産モデルは、生産システムシミュレーションにより分析できるものであり、複数台の工作機械、前後工程機械、搬送機械、ライン使用者、中央制御機構などを含め 10 程度のエージェントで構成される大規模なものとなった。また、それぞれのエージェントのアクティビティのあいだでやり取りされる情報の流れを UML 図の一つであるシーケンス図で記述し、シミュレーションにより生成される情報の流れを確認できた。開発された生産ラインモデルは、工作機械の加工速度を生産要求量と工具の状態とその予測に基づき制御し生産ラインコストを低減できること、また、工作機械の実機からインタフェースを用いて工作機械の状態を取り入れることの 2 点で画期的なものである。

2022 年度は、スマート製造システムの研究者や開発実務者が、本手法に従い、ユースケース記述から製造システムのシミュレーションシステムを構築し、システムの構成要素の機能要求や設計変数をシミュレーションにより分析・評価できる環境の構築を開発した。本環境は、Sequence Diagram を記述するツール (PlantUML)、製造システムのマルチエージェントシステムシミュレーションを実行するツール (Anylogic) で構成される。Sequence 図の各軸は製造システムの構成要素とその種別を定義しており、その種別に応じて構成要素が持つ基本機能が定められる。Anylogic 上では、システムの構成要素名に対応する Agent が生成され、構成要素の種別により、Agent の基本挙動が定義される。本研究では、開発した手法をスマート製造分野で定める関係の国際標準に対応させることを予定しており、今後、製造設備共通のモデル標準規格 (Asset Administration Shell 等) に合わせて、製造システムの構成要素のモデル化を推進したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Komoto Hitoshi	4. 巻 70
2. 論文標題 Design space computation based on general design theory applied to knowledge formulation in simulation-based production planning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 107-110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cirp.2021.04.018	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 Kishita Yusuke, Mizuno Yuji, Fukushige Shinichi, Umeda Yasushi	4. 巻 160
2. 論文標題 Scenario structuring methodology for computer-aided scenario design: An application to envisioning sustainable futures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Technological Forecasting and Social Change	6. 最初と最後の頁 120207 ~ 120207
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.techfore.2020.120207	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 Kondoh Shinsuke, Kishita Yusuke, Komoto Hitoshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Adaptive decision-making method of life cycle options by using process data collected over multiple life cycle stages	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 382 ~ 387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.procir.2021.01.121	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 Komoto Hitoshi, Matsumoto Mitsutaka, Kondoh Shinsuke	4. 巻 98
2. 論文標題 Library of facility models for structural and graphical definition of recycling system simulation considering information flows	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 187 ~ 192
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.procir.2021.01.028	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 Komoto Hitoshi, Herrera German, Herwan Jonny	4. 巻 69
2. 論文標題 An evolvable model of machine tool behavior applied to energy usage prediction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 129 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2020.04.082	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 Komoto Hitoshi, Furukawa Yoshiyuki	4. 巻 107
2. 論文標題 Modeling environmental performance of manufacturing systems from semantic and computational aspects	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 1011 ~ 1016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procir.2022.05.100	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 Sawada Hiroyuki, Nakabo Yoshihiro, Furukawa Yoshiyuki, Ando Noriaki, Okuma Takashi, Komoto Hitoshi, Masui Keijiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Digital Tools Integration and Human Resources Development for Smart Factories	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 250 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2022.p0250	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 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Hitoshi Komoto
2. 発表標題 Analyzing information flow collected across planning and execution stages of machine tools operations
3. 学会等名 Proceedings of The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hitoshi Komoto
2. 発表標題 Recording of machine tool operation plan for the generation of the CNC programs of a parametric CAD model
3. 学会等名 Proceedings of The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing (LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kondoh Shinsuke
2. 発表標題 Adaptive decision-making method of life cycle options by using process data collected over multiple life cycle stages
3. 学会等名 The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Komoto Hitoshi
2. 発表標題 Library of facility models for structural and graphical definition of recycling system simulation considering information flows
3. 学会等名 The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Komoto Hitoshi
2. 発表標題 An evolvable model of machine tool behavior applied to energy usage prediction
3. 学会等名 The 69th CIRP General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Komoto Hitoshi
2. 発表標題 Modeling environmental performance evaluation of manufacturing systems from semantic and computational aspects
3. 学会等名 The 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tianzheng Gao, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda
2. 発表標題 Semi-automated visualization method of sustainability scenarios using natural language processing
3. 学会等名 The 15th International Conference on EcoBalance 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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	近藤 伸亮 (Kondoh Shinsuke) (40336516)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任教授 (12601)	
研究 分担者	木下 裕介 (Kishita Yusuke) (60617158)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	

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