

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H01719

研究課題名(和文) エージェントベースモデリングの実世界応用-シミュレーションから実世界OSまで

研究課題名(英文) Agent Based Modeling & Its Real World Application - from Simulation to Real World Operating System

研究代表者

出口 弘 (Deguchi, Hiroshi)

東京工業大学・情報理工学院・教授

研究者番号：60192655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,760,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の最終成果として、工場のものづくりからサービスに至る活動を、マイクロプロジェクトとして把握し、それをマネジメントするための、プロジェクト実行管理システム(PEMS)の概念枠組みを確立し、その実行管理のための、実世界OSによるシミュレーション世界と実世界とを結ぶデジタルツインの基礎枠組みを確立した。さらに、実世界OSのプロジェクトプログラミングのプロトタイプ制御言語OWLIEと、それをういエージェントとのデータのやりとりをするServalCatコンテナの実装が終わり、その概念実証(POC)のための工場での導入試験を、切削加工と溶接のロボットセルのプロセスで行い、成果をあげることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、工場でのものづくりからサービス生産までマイクロプロジェクトとしてこれを把握し、その実行管理をするためのマネジメントとそのプロジェクト実行管理(PEMS)の枠組みを提起し、それを支援するための実世界OSによるシミュレーション世界と実世界とを結ぶデジタルツインの基礎枠組みを確立したことである。その社会的意義としては、実世界OSの実行管理枠組みの概念実証(POC)のために、工場での導入試験を、切削加工と溶接のロボットセルのプロセスで行ったことである。これにより、単に見える化のためのデジタルツインではなくプロセス管理のためのデジタルツインの基礎を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：We have established a micro project-based management framework and its project execution management system(PEMS). We have also established a basic framework for a digital twin between the simulation world and the real world using the concept of Real-world Operating System. OWLIE is a prototype programming language of project programming for Real World Operating System. Serval Cat Container is a Web Servlet to show the transition process of a project by using web socket. As a Proof of Concept (POC) of our framework in an actual case we have introduced our system in a factory of robot cells and machining processes.

研究分野：エージェントベースモデリング

キーワード：エージェントベースモデリング 社会シミュレーション 社会経済システム論 リアルワールドOS IoT
マイクロプロジェクト プロジェクトマネジメント

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

研究の開始当初には、デジタルツインの概念は社会的に認知されておらず、他方で Open Fog Consortium が設立されエッジサイドでの IoT が過大に評価されていた。しかし Open Fog Consortium は、期待に答える具体的な成果も理論的な枠組みも十分に出すことがなく、**Industrial Internet Consortium(IIC)**に吸収された。しかし他方で、工場のみならず社会全体での IoT の利活用についての期待は高まりつつあり、デジタル世界と現実世界の間関係をどのように把握するかが、デジタルツインという概念とともに新たな課題として浮上した。しかし、研究開始当初から今に至るまで、現実世界のデータを IoT 機器を用いて見える化することに主眼が置かれ、それを見るかしたあとで、現実世界のプロセスを如何に管理するかという制御の視点が欠けたままである。

また現実世界の人・もの・ソフトウェアからなる膨大なエージェントが実世界で並列に相互作用するプロセスのモデル化を行うための、エージェントベースシミュレーションとモデリングの手法そのものも、我々が開発したエージェントベースシミュレーション言語 SOARS で提起したステージモデル以外に存在せず、また数千万エージェントの相互作用をシミュレーションするための十分なアーキテクチャも存在しなかった。

さらに現実世界の人・もの・ソフトウェアからなる様々な仕事をどのように把握するかそのもの、方法を確立することが課題であった。すでにあるビジネスワークフローの様々な記法や UML のシーケンス図などでは、並列的に実行されるエージェントのタスクをうまく表現し、支援することができなかった。

他方で、Industry 4.0 の名前で構想された EMS(Execution Management System)は、下層に機械を置き、その上に PLC などのコントローラを置いて、それを上層の ERP などで管理する枠組みであり、人・もの・ソフトウェアからなるタスクに対する枠組みではなく、さらに ERP などのモノリシックなシステムを上層に置くことで、頻繁な組み替えに耐えるアーキテクチャになっていなかった。これは、工場の現場でラインが月単位に組み替えられている現実到底追従できるようなアーキテクチャではなかった。

2. 研究の目的

本研究では、エージェントベースモデリングの方法論に基づき、現実世界の人・もの・ソフトウェアからなるエージェントが相互作用して、様々な活動を行うプロセスを明らかにし、その制御原理を明らかにすることを目的とした。とりわけ、工場でのものづくりやサービスプロセスなどをマイクロプロジェクトとして把握し、膨大なマイクロプロジェクトが稼働している現実世界と、そのシミュレーション世界とのデジタルツインとしての関係づけと、現実世界のマイクロプロジェクトのマネジメントの支援枠組みを確立することが目的となる。

そこでは、人・もの・ソフトウェアからなるエージェントが柔軟に組み替えることのできる、ダウンサイジングされたマネジメントの原理の確立もまた大きな課題となる。

3. 研究の方法

本研究では、現実世界の人・もの・ソフトウェアからなるエージェントが相互作用して形成される、工場のものづくりから、サービス業に至る様々な仕事を、タスクとその半順序の結合による、マイクロプロジェクトと見做しこれを把握し制御するために、現実世界のタスクとプロジェクトの遂行を管理するための現実世界のプロセスのためのオペレーティングシステムとして、リアルワールド OS (実世界 OS) という枠組みを導入する。リアルワールド OS では、専用のタスク・プロジェクトの遂行管理言語として開発された OWLIE により、現実世界のタスクの状態とプロジェクトの遂行状態が Pub/Sub プロトコルを用いて把握されさらに実行管理される。さらにその実行管理のために、Web Socket を通じて Pub/Sub プロトコルを用い人との情報やコマンドのやりとりする ServalCat コンテナが開発された。

これらを用い、実世界のマイクロプロジェクトを単に把握するだけでなく、実行管理することが我々の基本的な方法的枠組みとなる。

4 . 研究成果

本研究の最終成果として、工場のものづくりからサービスに至る活動を、マイクロプロジェクトとして把握し、それをマネジメントするための、プロジェクト実行管理システム(PEMS)の概念枠組みを確立し、その実行管理のための、実世界 OS によるシミュレーション世界と実世界とを結ぶデジタルツインの基礎枠組みを確立した。

ここでは、現実世界のマイクロプロジェクトの持つ、タスク間の半順序関係を、実世界 OS のプロジェクトプログラミングと対応させることで、プロジェクトの実行監視だけでなく、プロジェクトの遂行の管理が行えることが示された。

これにより、従来の工場のロット生産などで自然な単位であった、マイクロプロジェクトをマネジメントの基盤に据えた、ダウンサイジングされたマネジメントの基盤が確立された。これは工場のものづくりのみならず、様々なサービスの設計・実装・マネジメントにも適用できることも示された。

さらに、実世界の無数のマイクロプロジェクトの管理を支援するための、実世界 OS のプロジェクトプログラミングのプロトタイプ制御言語 OWLIE のプロトタイプの実装がなされ、それを用いエージェントとのデータをやりとりをするための ServalCat コンテナの実装がなされた。これらの支援枠組みの概念実証(POC)のための工場での導入試験は、切削加工と溶接のロボットセルが稼働している工場で行われ、成果をあげることができた。すでにロボットセルについては、工場での実用化の段階に至っている。また、直接デジタルツインとして制御できない社会領域に関しても、マイクロプロジェクトとしてそのマネジメントを EBPM(Evidence Based Policy Making) を通じて介入、管理するための枠組みも発展させることができた。

実時間で実世界のプロジェクトを管理するプロジェクトプログラミングとは別に、現実世界のエージェント相互作用を事前にエージェントベースでモデリングし、それをシミュレーションすることで、システムの妥当性を検証するためのエージェントベースシミュレーションそのものも、エージェントベースシミュレーション言語 SOARS の大幅な強化が行われた。この強化は現在も進行中である。

我々はさらに今後、様々なマイクロプロジェクトのデジタルツインについて、その設計・実装・実行管理を行うのみならず、そこでの原価計算や、廃棄物処理、CO2 の排出管理などをタスク単位の実物簿記の代数的扱いにより可能とする、さらなるマイクロマネジメントの拡張に取り組む予定である。これは現在課題となっている、SDGs 対応の、サステイナブルなデジタル社会に

必須のアプローチであり、本研究によってそのマネジメントと情報システム基盤を構築することができ、その上に新たな展開が可能となりつつある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 石塚 康成, 倉田 正, 橋場 浩之, 成瀬 慶亮, 出口 弘	4. 巻 140
2. 論文標題 IoTを用いた製造工程における状態管理システムの研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 573-582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.573	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 出口弘	4. 巻 Vol.69
2. 論文標題 製造業における IoT の導入支援	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊化学工業	6. 最初と最後の頁 14-21
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 KURATA, Tadashi; DEGUCHI, Hiroshi; ICHIKAWA, Manabu	4. 巻 10
2. 論文標題 A Study of the Model Method Driven Architecture (MMDA) and Its Modeling Environment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 450-459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/jcmsi.10.450	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 市川 学, 石峯 康浩, 近藤 祐史, 出口 弘, 金谷 泰宏	4. 巻 12
2. 論文標題 災害時における保健医療支援活動プログラムとマネジメント	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 国際P2M学会誌	6. 最初と最後の頁 21-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20702/iappmjour.12.1_21	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 出口弘	4. 巻 Vol.55 No.01
2. 論文標題 組織・産業・経済システムの人工作としてのデザイン論ーIoT時代の組織・産業・経済システムの現実の再構築に向けてー	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 59-70
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 山田 訓平, 出口 弘	4. 巻 Vol. 52 No. 10
2. 論文標題 自律的な転居を考慮した大都市郊外の人口動態シミュレーション	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 555-565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.52.555	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 徳弘 龍太郎, 出口 弘	4. 巻 Vol. 52 No. 12
2. 論文標題 生活行動と呼吸量を考慮した汚染物質暴露評価システムの構築	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 678-689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.52.678	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 小森賢一郎, 市川学, 出口弘	4. 巻 25(1)
2. 論文標題 機能的役割を用いた市街地大型商業施設跡再生に関する研究	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 経営情報学会誌	6. 最初と最後の頁 29-45
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 Shuang Chang, Manabu Ichikawa, Hiroshi Deguchi and Yasuhiro Kanatani	4. 巻 10(2)
2. 論文標題 A General Framework of Resource Allocation Optimization and Dynamic Scheduling	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement and System Integration	6. 最初と最後の頁 77-84
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 出口弘	4. 巻 55-1
2. 論文標題 組織・産業・経済システムの人工作としてのデザイン論ーIoT時代の組織・産業・経済システムの現実の再構築に向けてー	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 59-70
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 出口弘	4. 巻 9-2
2. 論文標題 IoT時代のP2M支援環境としての実世界OS-Real World OS as an Infrastructure of P2M for IOE Era-	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 一般社団法人国際P2M学会誌	6. 最初と最後の頁 99-121
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 出口弘, 竹林 知善, 吉田 宏章, 梅宮茂良, 紺野剛史, 石塚康成, 木寺重樹, 倉田正, Shuang Chang	4. 巻 10-1
2. 論文標題 エネルギー会計によるエネルギー運用計画デザイン	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 一般社団法人国際P2M学会誌	6. 最初と最後の頁 191-214
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29件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 新型コロナに対する感染リスクフリーの経済対策
3. 学会等名 進化経済学会特別シンポジウム：感染リスクフリ/ 進化経済学会特別シンポジウム：感染リスクフリーの経済対策を考える
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野功, 市川学, 出口弘
2. 発表標題 大規模エージェントベースシミュレーションのための SOARS Toolkit の提案
3. 学会等名 計測自動制御学会 SSI2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水谷美知, 出口弘
2. 発表標題 Evidence-Based Policy Making(EBPM)に基づく政策の推進に関する研究
3. 学会等名 第22回社会システム部会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 新型コロナ対策の理論と対策の研究課題と今後の方向性 - エージェントベースのマイクロモデリングと社会経済システム論の視点から
3. 学会等名 「感染症に強い国づくりに向けた感染症研究 プラットフォームの構築に関する提言」 CRDS-FY2020-RR-05
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasunari Ishizuka, Tadashi Kurata, Shuang Chang and Hiroshi Deguchi
2. 発表標題 Language Design for Task Management using State Transition Modeling
3. 学会等名 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 TANIZAKI, Koichi; CHANG, Shuang; DEGUCHI, Hiroshi
2. 発表標題 Propose a Method of Requirements Review Considering Adverse Conditions
3. 学会等名 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 工場でのIoT導入の目的・計画・実践
3. 学会等名 塩尻市振興公社 IoT/AI技術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 IoTベースのものづくりマネージメントシステム
3. 学会等名 DTF国際ワークショップ in 諏訪 講演（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 IoT/AI時代の社会技術複合体の新しい現実とその課題
3. 学会等名 進化経済学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 プロジェクト型ビジネスプロセスのIoTマネージメント
3. 学会等名 経営情報学会2017年秋季全国研究発表大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 マイクロプロジェクト型サービスとしての現場からの工場IoTの構築
3. 学会等名 愛知県IoT推進ラボ 第1回IoT推進アドバイザーボード・記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 ものづくり中小企業IoT～疎結合型IoTについて～
3. 学会等名 京都府中小企業技術センター講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小西啓貴 Shuang Chang 出口弘
2. 発表標題 交換代数を用いた電力消費行動モデルの研究
3. 学会等名 計測自動制御学会第12回 社会システム部会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青松祐亮 Chang Shuang 出口弘
2. 発表標題 生産プロジェクトにおけるリスケジューリング手法の提案及び適用
3. 学会等名 計測自動制御学会第12回 社会システム部会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木貴之, Shuang Chang 出口弘
2. 発表標題 構造物における資本サービスコストと原価計算システムの研究
3. 学会等名 計測自動制御学会第12回 社会システム部会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹林康太, 浦口智貴, Chang Shuang, 出口弘
2. 発表標題 生産管理のための疎結合アーキテクチャの研究
3. 学会等名 計測自動制御学会第12回 社会システム部会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 マイクロプロジェクト型サービスとしてのIoTシステムの開発・実装・運用のためのフレームワーク
3. 学会等名 計測自動制御学会第12回 社会システム部会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩崎大貴、金谷泰宏、市川 学、出口 弘
2. 発表標題 社会シミュレーションを用いた広域災害時の医療需要予測と精度向上に向けた検討
3. 学会等名 第75回日本公衆衛生学会総会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 出口弘，齋藤智也， 藤本修平，市川学
2. 発表標題 感染症疫学にエージェントベースシミュレーションを適用する為の方法論とその意義
3. 学会等名 第75回日本公衆衛生学会総会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 マイクロプロジェクト型サービスとしての現場からの工場IoTの構築
3. 学会等名 愛知県IoT推進ラボ記念講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Deguchi
2. 発表標題 Soft Systems Design in IoT Era
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Service Systems Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 現場からのカイゼンとしての工場のIoT化
3. 学会等名 諏訪圏工業メッセ (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroshi Deguchi
2. 発表標題 Hybridity of Multiple Realities on our Life World and How to Construct New Realities and Its Accommodation
3. 学会等名 The International Simulation And Gaming Association (ISAGA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 IoT時代のもの・サービスの生産支援システム- 代数的多元簿記に基づく自律分散協調型システムとして -
3. 学会等名 経営情報学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 回路としての生産システムからサービス・サプライチェーンまで CPS(Cyber Physical Space) 上でのものとサービスの生成流通の回路網分析
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 出口弘
2. 発表標題 リアルワールドOSとIoEワークフロー・アーキテクチャ- IoE時代の自律分散協調型のワークフロー構築とマネージメントの為のオープン・プラットフォーム・アーキテクチャを目指して -
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹林 康太, 出口 弘, 倉田 正, 石塚 康成, 木寺 重樹
2. 発表標題 IoTアーキテクチャとしてのリアルワールドOSアーキテクチャ デザイン
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 薛キョウ, 市川 学, 出口 弘
2. 発表標題 予防接種シミュレーションを用いた保健医療政策的意思決定支援
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山田 訓平, 出口 弘
2. 発表標題 自律的な転居を考慮した大都市郊外の人口動態シミュレーション
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計5件

産業財産権の名称 情報処理装置、監査支援方法、およびコンピュータプログラム	発明者 出口弘	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、2018-001214	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 Management support device and management support method.	発明者 Hiroshi Deguchi	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、U.S. Patent 15/773,780	出願年 2018年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 Workflow management apparatus, workflow management method, and workflow management program	発明者 出口弘	権利者 JST
産業財産権の種類、番号 特許、U.S. Patent No 15/304,218	出願年 2017年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 管理装置、管理システム、管理方法およびコンピュータプログラム	発明者 出口弘	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、2016-201036	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 融通管理装置、バズ移転管理装置、融通管理方法およびコンピュータプログラム	発明者 出口弘	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2015-162143	出願年 2015年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 管理支援装置および管理支援方法	発明者 出口弘	権利者 東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2015-217891	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

