

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K00284

研究課題名（和文）日本製造業におけるインダストリアルIoTの特質と基盤的産業技術の形成

研究課題名（英文）Characteristics of Industrial Internet of things in Japanese Manufacturing Industry and Formation of Basic Industrial Technology

研究代表者

山崎 文徳 (Yamazaki, Fuminori)

立命館大学・経営学部・教授

研究者番号：70411204

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）：20世紀後半の日本企業の自動化では、市場ニーズに対応しながら、生産やアフターマーケットにおける課題が設計・開発にフィードバックされ、企業や工場ごとに個別最適化を重ねて、その蓄積によって企業利益を最大化させた。研究開発における欧米企業のリニアモデルに対して、日本企業は連鎖モデルという特徴がみられる。生産プロセスの川下から川上にフィードバックを繰り返すことを強みとしてきた日本企業にとって、通信規格の共通化や開発・生産プロセスのデジタル化を川上から川下に進めて標準化し、全体最適化によって企業利益を最大化しようとする欧米企業とは、インダストリアルIoTのあり方が異なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本製造業は、欧米に比べてインダストリアルIoT（Industrial Internet of Things）が遅れていると評価されることがある（欧米＝積極的、日本＝消極的）。この点について、本研究では、1970～90年代には世界に先駆けてオートメーション（自動化）を実現してきた日本製造業が、インダストリアルIoTで遅れていると評価される理由を、日本企業のオートメーションの実態と欧米企業のインダストリアルIoTを比較することで明らかにした。

日本と欧米企業にみられる開発・生産上の特性からの学術的な分析は独自のなものであり、産業界においても参照しうる社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the automation of Japanese companies in the latter half of the 20th century, while responding to market needs, issues in production and the aftermarket were fed back to design and development, and individual optimization was repeated for each company and plant, maximizing corporate profits through accumulation. In contrast to the linear model of R&D of Western companies, Japanese companies are characterized by a chain model. For Japanese companies, whose strength lies in the repetition of feedback from downstream to upstream in the production process, the way of industrial IoT differs from that of Western companies, which seek to maximize corporate profits through total optimization by standardizing the commonization of communication standards and digitalization of the development and production process from upstream to downstream. The way of industrial IoT was different from that of European and U.S. companies.

研究分野：技術史・技術論

キーワード：基盤的産業技術 機械工業 装置工業 自動化 FA PA 課題解決型ソリューション

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。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

住宅・金融バブルに頼った成長が破綻した 2008 年のリーマンショック以降、各国はデジタル技術の活用による製造業の強化を試みた。アメリカでは 2012 年に GE が Industrial Internet を宣言して Industrial Internet Consortium (IIC) を発足させ、GAFA (Google、Apple、Facebook、Amazon) に代表される IT 企業が経済を牽引するサイクルが形成された。一方、ドイツでは政府が 2011 年に Industry 4.0 を採択して Industry 4.0 Platform を発足させた。シーメンス、ダイムラー、ボッシュなどの欧州企業は成長率の高い新興国市場に成長戦略をシフトさせ、自らのモジュール (製造技術など) をブラックボックスとしながら、工場間の受発注や在庫管理、コスト管理等のデータを共通化して効率的に国際展開するために、モジュール同士をつなぐインターフェースの標準化、オープン化を進めている。つまり、競争領域をブラックボックス化して競争力を保ちながら、非競争領域を標準化したオープン・イノベーションによって外部の資源を利用しようとしているのである。

その一方で日本製造業は、生産工程に付随するデータの囲い込み意識が強く、自動制御に用いるハードウェアの競争力は高いが工場内でクローズドなシステムをつくる傾向にあり、欧米に比べて IIoT (Industrial Internet of Things) が遅れていると評価されている (欧米 = 積極的、日本 = 消極的)。しかし、この評価は客観的で妥当なものであろうか。1970 ~ 90 年代には世界に先駆けてオートメーション (自動化) を実現してきた日本製造業が、なぜ IIoT では遅れていると評価されるのであろうか。

自動制御機器の使用形態にみる日本製造業の特徴は、第 1 に、ドイツとは異なる日本における IIoT の目的である。先述のように、ドイツではオープン & クローズ戦略のもとで、工場間もしくは設備間のインターフェースの領域をオープンかつネットワーク化することで製造業の国際展開を効率的に進めることが目的であった。それに対して、日本ではトヨタ自動車をはじめとする個別の企業が、海外拠点でも高い生産性を実現させることが IIoT の目的となっている。つまり、現場レベルでのカイゼン (PDCA) に必要な限りで、必要なデータを必要な時に活用しているのである。そのため日本の製造業は、クラウドを利用した情報の管理・分析にはセキュリティの面から概ね否定的であり、クローズドな範囲でのエッジコンピューティングを好む傾向にある。

第 2 に自動制御機器の供給構造は機械工業と装置工業で異なる。機械工業の FA (Factory Automation) では三菱電機やオムロン、ファナックが PLC (Programmable Logic Controller) を提供し、装置工業の PA (Process Automation) では横河電機などが DCS (Distributed Control System) を供給して、従来のリレー制御が置き換えられてきた。ここで興味深いのは、機械工業に対する FA 機器が日系企業の工場展開と並行した展開をみせるなどドメスティックもしくは地域限定的な志向をみせてきた (たとえば三菱電機の市場はアジアに限定される) 一方で、装置工業に対する PA 機器は自律的でグローバルな志向をみせてきたことである。

以上をふまえ、本研究では、欧米とは異なって現場でのカイゼンという目的のもとで日本製造業の IIoT が進められた理由を、機械工業と装置工業におけるオートメーション (自動化) の歴史的展開から明らかにすることとした。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、日本製造業のオートメーション (自動化) の展開を、FA と PA の違いをふまえて歴史的に分析し、IIoT の技術的基礎と日本的特質を明らかにすることである。

第 1 に、日本製造業の IIoT の特質を明らかにするために、自動化及び IIoT の手段を供給するメーカー群を対象に調査・分析する。メーカー群は、自動制御機器メーカーを中心に工作機械メーカーや産業用ロボットメーカー、装置メーカー、センサメーカーなどの基盤的産業技術の供給企業群から構成される。ここには開発・設計段階で 3 次元 CAD や 3D プリンタを提供するメーカーも含まれる。これらはいずれも BtoB 企業であることから、ユーザーは基盤的産業技術の使用企業群である。今日ではハードウェアの汎用性が高まり、ソフトウェアによる競争が支配的となっているが、日本企業はハードウェア・ソフトウェア一体型 (ハードウェアリッチ) の自動制御機器を主に供給している。このような特徴は、使用企業群のニーズをふまえて供給企業群が基盤的産業技術を提供、カスタマイズすることによって歴史的に形成されてきた。

第 2 に、機械工業の FA を実現する FA 供給企業群と、装置工業の PA を実現する PA 供給企業群という 2 つのタイプの基盤的産業技術の供給企業群を対象とする。一方はドメスティック、他方はグローバルと対照的な展開の志向性をもつことから、両者の比較によってグローバル市場における日本の基盤的産業技術の普遍的な性格と特殊的な性格を明らかにできる。

第 3 に自動化及び IIoT を実現するユーザー群を対象に調査・分析する。供給企業群が FA 供給企業群と PA 供給企業群に分けられることから、基盤的産業技術の使用企業群は機械工業と装置工業に分けられる。機械工業としては量産型の自動車産業と非量産型の航空機産業、装置工業としては素材形成で欠かすことのできない鉄鋼業と化学工業、鋳物工業という典型的な産業を対象とする。

第 4 に、基盤的産業技術の供給企業群と使用企業群の両側面から相互的に分析を行う。従来は、供給企業群と使用企業群のいずれか一方に着目した研究がみられたが、その相互関係はほとんど重視されてこなかった。しかし、メーカーとしての供給企業群が直接的には基盤的産業技術を

提供するが、その技術的特質は、使用企業群における具体的な使用形態によって規定される。基盤的産業技術の日本の特質はメーカーとユーザーの双方から二重的に規定されるのであり、オートメーションでは積極的に評価されていた基盤的産業技術が、IIoT では消極的に評価されている理由を、技術の日本の特質という面から明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、オートメーション（自動化）と IIoT にみる日本製造業の技術的特質を明らかにするために、基盤的産業技術の供給企業群（FA 供給企業群と PA 供給企業群）と使用企業群の両側面から実態調査、資料調査を行った。調査計画、進捗、各人の研究成果の共有は、技術史技術論研究会にて行い、適宜研究論文、学会報告にて研究成果を公表した。

研究対象のユーザーは、基盤的産業技術を供給するか使用するか（供給企業群 / 使用企業群）、技術区分（機械工業 / 装置工業）にもとづき選択した。調査対象の時期は、主にはオートメーションが論じられた 1970～2000 年代としたが、その延長の IIoT の時代も必要な限りで含めた。それによってオートメーション（FA や PA）を実現した基盤的産業技術が、日本の特質に規定された IIoT を実現していることを明らかにし、IIoT で日本の課題とされる内容の妥当性を分析した。

### 4. 研究成果

本研究では、第一に、企業調査及び日本科学史学会の公開シンポジウム（2019 年 5 月）をもとに、『科学史研究』に研究成果をまとめた。つまり、日本製造業において、既存の取り組みである現場労働者の多能工化や改善活動の「見える化」を、常時作業・工程を監視するセンサーを導入する産業 IoT によって作業・管理の熟練機能の強化・補完がなされていることを明らかにした。また、設計技術者だけでなく生産技術者や現場工員の有効な提案を製品設計に取り入れたり、企業や工場の特長にあわせて生産性を高めてきた 1970 年代末からの自動化の取り組みの延長に産業 IoT が位置づいていること、したがって顧客の特長にニーズに応える課題解決型のソリューションサービスを日本の産業 IoT の特徴とした。

ドイツが「インダストリー4.0」をモデルとして、経済成長や競争力強化、効率化推進を基本的目標として通信規格などの標準化を試みるのに対しては、日本の「ソサエティー5.0」は長期的な政策理念および中小企業対策が欠如している。産業政策や労働環境を含めて特徴づければ、日本企業の自前主義・個別最適化・リーン生産・長期雇用・長時間過密労働等の要因により、標準化に対しては独自の困難を抱えているのである。

第二に、コロナ禍の影響が続いて共同研究・共同調査の実施が大きく制約される中では、個別の研究課題を中心に文献調査や対面もしくはオンラインによるヒアリング調査を各自で実施した。

まず、機械工業（航空機産業の FA）の分野では、無人化技術としてドローンを取り上げ、市場で独占的な地位を占める中国企業と日本企業を比較しながら調査研究を行なった。日本国内の有力なドローンメーカーに対して、また中国深センのドローンの業界団体に対してそれぞれオンラインによるヒアリング調査を行ない、中国では産業集積を活用しながら、技術革新を連続的に行うことでドローンメーカーが競争力を維持していることを明らかにした。また、それらのドローンは日本企業でも活用が広がっており、工場設備の点検や予防保全、農薬散布などの効率を上げていることが明らかになった。

次に、装置工業（化学工業）のデジタル化に関して、主にオンライン講演企画に参加し、昨今の化学工業での、工場安全に向けてのデジタル化の取り組みと技能形成に関する実情、工場オペレーターの技能依存型のあり方から AI 操業の試み、に関するオンラインインタビュー調査を実施した。

さらに、装置工業（鋳物工業）について、これまでに蓄積した研究にもとづいて、戦時期及び高度成長期の技術形成の特徴を明らかにした。

第三に、研究代表者が 2022 年に 1 年間の在外研究を行なったドイツ・ハンブルクを拠点に、日本製造業のインダストリアル IoT の特質を明らかにした。欧州では、ハノーファーメッセや SPS (Smart Production Solutions) 展で欧州企業とコネクションをつくり、日系の工作機械メーカー 4 社、産業用ロボットメーカー 3 社、制御機器や通信メーカー 3 社、半導体製造装置メーカー 1 社（オンライン）といった基盤的産業技術の供給企業群、航空機の機体やシステムを生産する基盤的産業技術の使用企業群を訪問調査し、日本製造業のインダストリアル IoT の特質を明らかにした。

第四に、研究開発における欧米企業のリニアモデルに対して、生産やアフターマーケットにおける課題が設計・開発にフィードバックされる日本企業の連鎖モデルを、開発技術者や生産現場の技術者や工員との力関係、職務が明確に区分されて互いが干渉し合わない関係、労働組合の形態の違いから分析した。このため、欧米では通信規格を共通化してデジタル・ツインなど開発・生産プロセスのデジタル化が IoT と共に導入されたのに対して、日本企業では生産プロセスの上流からの標準化の取り組みが進展しなかったと考えることができる。

研究期間を通じた研究成果として、日本企業のインダストリアル IoT (Industrial Internet of Things) は、多品種生産と企業利益の獲得を両立させる手段という意味では欧米企業と違いはない。しかし、欧米企業が標準モデルを構築して個別の工場や生産現場に展開する全体最適化で企業利益を最大化するベストプラクティス型の技術革新を行なうのに対して、日本企業は、市場二

ーズに対応しながら、企業の事業部門、工場、生産現場ごとに徹底してつくり込む個別最適化を優先し、その蓄積によって企業利益を最大化させる市場適応型の技術革新を追求したことを明らかにした。つまり、現場でのカイゼンをベースに技術革新を進めていく日本企業の特徴が、オートメーションやIIOTの展開においても影響したとみることができる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 永島 昂	4. 巻 57(1)
2. 論文標題 高度成長期の鋳物産業(下)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 立命館産業社会論集	6. 最初と最後の頁 131-144
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 中村真悟	4. 巻 47(3)
2. 論文標題 PETボトルリサイクルシステムの新展開－官民連携での回収・リサイクルループ形成の意義	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人間と環境	6. 最初と最後の頁 23-44
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 山崎文徳	4. 巻 59
2. 論文標題 日本製造業における自動化の展開と産業IoT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学史研究	6. 最初と最後の頁 237-242
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 中村真悟	4. 巻 59
2. 論文標題 FAの展開と産業IoT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学史研究	6. 最初と最後の頁 215-221
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 杉本通百則	4. 巻 59
2. 論文標題 ドイツの科学技術・産業政策における産学公連携の特質：it's OWLを中心に	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学史研究	6. 最初と最後の頁 221-227
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 永島昂	4. 巻 59
2. 論文標題 DMG森精機の「インダストリー4.0」に向けた取り組み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学史研究	6. 最初と最後の頁 227-231
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 杉本通百則	4. 巻 5
2. 論文標題 ドイツヘッセン州ミッテルヘッセン地域における産業IoTの取り組み 「インダストリー4.0」調査報告（Bender / Rittal / Schneider）	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 R-RDIRI Forum -Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-18
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 山崎文徳	4. 巻 832
2. 論文標題 アメリカの軍事技術開発と「デュアルユース技術」の軍事利用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 歴史評論	6. 最初と最後の頁 59-69
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 永島昂	4. 巻 55
2. 論文標題 立命館産業社会論集	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 高度成長期の鋳物産業（中）	6. 最初と最後の頁 41-64
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 中村真悟・永島昂・今田治	4. 巻 29
2. 論文標題 [調査報告]DMG MORIの産業IoTの展開	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 立命館大学イノベーション・マネジメント研究センター Discussion Paper Series	6. 最初と最後の頁 1-23
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 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 永島昂
2. 発表標題 株主資本主義下の素形材産業
3. 学会等名 日本比較経営学会（立命館大学）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永島昂
2. 発表標題 戦時鋳物工業統制の展開と実態
3. 学会等名 経営史学会（東北大学）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 ボーイングにおける民間航空機の開発と生産：技術的な独占を保障する社会的制度としての認証プロセス
3. 学会等名 産業学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 航空機エンジン用の精密鋳造空冷翼の開発と実用化
3. 学会等名 日本科学史学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 Industrial competitiveness of Japanese companies and problem-solving industrial IoT
3. 学会等名 Japanese-German Mini-Symposium (Session3)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 アメリカ連邦政府の科学技術政策と科学研究
3. 学会等名 日本科学史学会技術史分科会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 航空機開発における社会的制約としての認証プロセス
3. 学会等名 産業学会 中部部会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村真悟
2. 発表標題 Efforts for Digitalization on Process Industries in Japan
3. 学会等名 Japanese-German Mini-Symposium (Session2)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fuminori Yamazaki
2. 発表標題 Automation and Industrial IoT in Japanese Industry
3. 学会等名 Deutsch-japanisches Forschungskolloquium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 軍事技術開発とデュアルユース活用論
3. 学会等名 日本科学史学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎文徳
2. 発表標題 日本の産業IoTとコネクテッドインダストリーズ
3. 学会等名 日本科学史学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本通百則
2. 発表標題 ドイツの科学技術・産業政策における産学公連携の特質 it's OWLを中心に
3. 学会等名 日本科学史学会第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村真悟
2. 発表標題 リサイクル業における自立的経営とその基盤的条件ー協栄産業のPETボトルリサイクルビジネスを事例にー
3. 学会等名 日本経営学会関西支部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村真悟
2. 発表標題 日独中における産業IoTの展開と科学技術体制
3. 学会等名 日本科学史学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村真悟
2. 発表標題 Research project in Germany
3. 学会等名 Automation and Industrial IoT in Japanese Industry Deutsch-japanisches Forschungskolloquium (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 杉本通百則 (日本科学史学会編)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 758
3. 書名 科学史事典 (「公害 国と企業の責任を問う」を執筆)	

1. 著者名 杉本通百則 (日本科学史学会編)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 758
3. 書名 科学史事典 (「廃棄物問題 大量生産・大量消費社会を問う」を執筆)	

1. 著者名 山崎文徳 (日本科学史学会編)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 758
3. 書名 科学史事典 (「世界の原子力開発の歴史：原子力の軍事利用と「平和」利用の相互的關係」を執筆)	

1. 著者名 兵藤友博・小林学・中村真悟・山崎文徳	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ムイスリ出版社	5. 総ページ数 227
3. 書名 科学と技術のあゆみ	

1. 著者名 杉本通百則訳ノアンドリュー・セイヤー著（佐藤春吉監訳）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 ナカニシヤ出版	5. 総ページ数 303
3. 書名 社会科学の方法 実在論的アプローチ	

〔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	中村 真悟 (Nakamura Shingo)  (10623358)	立命館大学・経営学部・教授  (34315)	
研究分担者	永島 昂 (Nagashima Takashi)  (10733321)	立命館大学・産業社会学部・准教授  (34315)	
研究分担者	杉本 通百則 (Sugimoto Tsuyunori)  (40454508)	立命館大学・産業社会学部・教授  (34315)	

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 Automation and Industrial IoT in Japanese Industry Deutsch-japanisches Forschungskolloquium	開催年 2019年～2019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
---------	---------