

コンサルティングプロジェクト

## 中小製造業への IoT 導入における成功要因の分析<sup>1</sup>

一橋大学国際・公共政策大学院  
公共経済プログラム 修士2年

濱野敦

2019年12月

---

<sup>1</sup>本稿は、一橋大学国際・公共政策大学院公共経済プログラムにおける、コンサルティング・プロジェクトの最終報告書として、受入機関である民間シンクタンクへ提出したものである。本稿の内容は全て筆者の個人的見解であり、受入機関の見解を示すものではない。

## 要約

本稿は、ドイツをはじめとした国外の製造業が、IoT等デジタル技術を活用した生産性革命を実行し着実に成果を挙げつつある一方で、日本の製造業においては取り組みが進んでおらず、デジタル変革を行えていないことを背景として、製造業の情報システム及びIoTを取り巻く全体像を俯瞰したうえで、IoT利活用における成功要因を分析し、日本の製造業、特に中小企業が自社で効果的にIoTを活用するにはどう対応すべきか、を明らかにすることを目的にした。

第2章で製造業の情報システム化の変遷を、第3章で現在の製造業システム化(IoT、AI)の潮流について整理し、中小製造業のITシステム化について検討を行い、第4章でIoTユースケースを用いて、IoT導入による効果、日本企業とドイツ企業の差異、IoT利活用の成功事例における特徴について分析を行い、今後の中小製造業へのIoT利活用を促進するための施策への提言を行う。

## 謝辞

本稿は、一橋大学国際・公共政策大学院、公共経済プログラムにおける、コンサルティング・プロジェクトの一環として行われたものである。

受入機関として本プロジェクトをお引き受け頂いた、民間シンクタンクの研究員の方々には貴重なお時間を頂き、多大な協力と有益なご指導、ご助言を頂いた。

また、担当教員である山重慎二教授、佐藤主光教授にも授業やゼミで多くのご指導、ご助言を頂いた。

本プロジェクトを通して、貴重なご指導とご助言を頂いたすべての方へ、厚く御礼申し上げます。

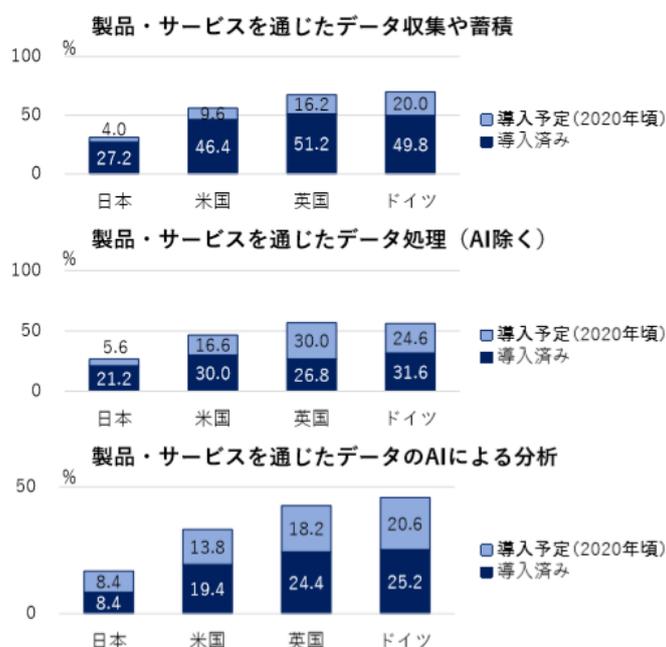
## 目次

1. イントロダクション .....	3
2. 製造業における情報システムの発展 .....	4
2-1 個別事例 .....	5
2-2 情報システム化のまとめ .....	8
2-3 得られた示唆 .....	9
3. 現在の製造業、DXの潮流 .....	9
3-1 IoT .....	10
3-2 IoT ビジネスモデル、大企業と中小企業の差異 .....	11
4. 研究・分析対象 .....	13
4-1 カテゴリーズ .....	13
4-2 テキストマイニング .....	15
5. まとめ .....	24
参考文献 .....	25

## 1. イントロダクション

製造業には現在第四次産業革命という IT 化、DX (デジタルトランスフォーメーション) のトレンドがある。それは労働者の減少やマスカスタマイゼーションの実現など製造企業側の社会的要請が強まっていることに加え、それを解決する IoT や AI などの近年の飛躍的な技術進歩が実現しつつあり、実際に活用され始めているという現状があるためである。IoT 等を活用している企業は一般的には生産性の向上などの効果を上げており、各国の企業は IT 投資を今まで以上に行い、IoT 等の活用によるシステム化が進められている。

しかし、この分野で日本企業は各国に比べ遅れを取っている。全産業における IoT、AI の導入企業はそれぞれ 14~15% となっており、データや AI の活用は軒並み低い水準となっている。(図表 1)



(出所) 田原健吾(2019)「日本企業の AI・IoT の導入状況」JCER,第五回 AI 経済検討会,p11

図表 1：導入状況 4 ヶ国比較

IoT を導入しない企業の主な理由は、ビジネスモデルが不明確であること、人材不足、コストがかかる、IoT がそもそも何なのかがわかっていない、導入に必要なインフラ整備が不十分である、などが挙げられる。また、様々な研究により日本企業の IT 投資が進まない要因の分析が行われており、経営組織 (乾・金,2018)<sup>2</sup>や日本の経営者によるコスト削減のため

<sup>2</sup> 乾友彦, 金榮愨(2018)「日本企業の IT 化がなぜ遅れたのか」RIETI Discussion Paper Series 18-J-014

の「守りの IT 投資」が多いこと(岩本,2016)<sup>3</sup>などが指摘されている。また、IoT 導入は大企業で進む傾向<sup>4</sup>にあり、中小企業であればあるほど前述のような阻害要因により IoT 等の導入を見送っている企業が多く存在する。

この先生産性を高め、国際競争力を向上させるためにも日本の中小製造業は IoT 等の利活用をしていく必要がある。しかし、現在の製造業における IoT 推進や DX の研究分野の中では IoT 投資を阻害する要因の分析に留まっているものや、利活用・推進の遅れが各国で課題であるのにもかかわらず、トピック・アンケート・事例集・技術紹介収集に留まっているものが多くあり、企業のビジネス化の直接的な参考となっていないという課題がある。よって、本研究では、製造業の情報システム及び IoT を取り巻く全体像を俯瞰し、日本企業（中小製造業）が自社で効果的に IoT を活用するにはどう対応すべきか、を明らかにすることを目的にした。そのため、当研究では、製造業の情報システム化の変遷のまとめ、現在のシステム化（IoT、AI）の潮流のまとめ、大企業と中小企業での差異、IoT ユースケースを分析することにより成功事例の特徴を抽出、というプロセスで、IoT 利活用の推進に当たって生かせる情報システム化における過去の知見と、IoT 利活用の成功事例の特徴を解明し、中小製造業の IoT 利活用の推進に必要な提言を行いたい。

## 2. 製造業における情報システムの発展

コンピュータの技術進歩は計算スピードを速め、通信の技術進歩はコンピュータと連動し時間と空間を縮めた。情報システムの発展は IT 技術の発展、及び経済・社会的環境が新しいシステムを創出している面からなる。

製造業における基幹業務のシステム化は QCD の追及を主な目的として進化・発展してきた。また、高品質の維持、製造原価の低減、タイムリーにユーザのニーズに応えるための生産方式や生産管理方式、販売方式、販売管理方式を実現するために改善、改革を重ねてきた。多くの企業は生産の安定化を目指して大量生産方式、機械化による省人化生産方式、ジャストインタイム方式など、様々な生産・販売方式を体系化してきた。

製造業の情報システム化は主に大企業で行われてきた。よって以下に TOYOTA、東芝、日本精工の情報システム化の個別事例をまとめ、続いてそれらを体系的にまとめ、最後にそれらから得られる現在の中小製造業の情報システム化の知見をまとめる。

---

<sup>3</sup> 岩本晃一(2016)「IT 投資で世界の潮流に遅れ、グローバル化で遅れた日本企業;国際競争力低下の大きな要因」RIETI,<<https://www.rieti.go.jp/users/iwamoto-koichi/serial/010.html>>, 2019 年 12 月 4 日アクセス

<sup>4</sup> 田原健吾(2019)「日本企業の AI・IoT の導入状況」JCER,第五回 AI 経済検討会

## 2-1 個別事例

### 2-1-1 TOYOTA<sup>5</sup>

1960年代、管理部門における株式事務、人事統計、工場における工数計算、材料原価計算などの電算化を行い、帳票の整理と標準化、事務処理の合理化・標準化を推進（IBM 統計会計機）、生産管理業務の事務機械化を行った。66年、オンラインでの生産指示システムを開始（ALC、Assembly Line Control）、販売系の分野では日本で初めての磁気ディスク装置を使って補給部品のインハウスリアルタイム処理を開始される。このシステムはサービス部品のオンラインリアルタイムシステムに発展、車の受注システムもオーダーシステムが構築される。技術系の分野では、カムの形状など部品の設計計算や実験データの処理を行うようになった（富士通 FACOM202）。その後、多くの技術者が電算機を使える環境を実現するために TSS の運用を開始する。

70年代、中核である車部品表システムが73年に本格的データベースシステムとして、車の部品表が電算化（SMS）された。生産と販売業務でも SMS の部品表を中心とした受注システム、工場での生産指示をする ALS システムが各工場に展開する。技術系の分野では、車の形状モデルの数値化を意図したスタイル CAD やプレス金型の NC 切削のためのシステムが開発された（TINCA）。

80年代、IBM のシステムを中心とした情報システムだけでなく、ミニコンや EWS、パソコン、マイコンを多用して現業部門を中心に情報システム化が開始された。この時期には業務アプリケーションレベルのものが多数実現される。組み立て工場の車両生産指示システム ALC は 60・70年代は大型機による集中方式で工場の車両組み立てラインに設置された端末にオンライン生産指示していたが、80年代には工場と工程ごとに分散したミニコンを通信ネットワークで結合、さらに FA コンピュータやパソコンが結合した自律分散型システムが実現される。また、企業合併により製販統合を迎える。グループ全体での情報ネットワーク構築がスタートし、トヨタとしてのグローバルネットワークの構築がスタートする。86年にはトヨタと販売店間をオンライン化（TNS）する。技術系の分野では70年代後半からボディ開発工程のプロセスに CAD・CAM が実用化されてきたが、80年代には車のデザインからプレス金型製作までボディ開発工程がトータルな CAD・CAM システムとして統合化。車や部品の設計・試験・評価のための技術分野での情報システム適用の増大、解析・シミュレーションの高精度化ニーズが高まり、従来の汎用機ではなく CAE 分野にはスーパーコンピュータが導入される。車のデザイン分野では81年にデザイン分野のスタイル CAD が開発された。これにより意匠設計や立体モデルも電算化され、デザイン開発体制が強化された。

90年代、情報システム高度化プログラムにより全社的な IT 化が促進。デジタルエンジニ

---

<sup>5</sup> 経営情報学会情報システム発展史特設研究部会「明日の IT 経営のための情報システム発展史製造業編」専修大学出版局,2010.9,pp39-79

アリング、組み立て工場の自律分散型システム、かんばん方式の情報化、EC サイトの創設などが行われた。また、情報ネットワーク化が推進された。販売店とのネットワーク化では販売店の業務支援システム、販売店総合支援システム、補給部品システムなどが展開された。また、世界最適調達を意図した e マーケットプレイス、経理システム、トヨタ独自の CAD・CAM システムなどが開発。技術部門ネットワークシステムも 90 年初めに導入され、新車開発のコンカレントエンジニアリングが導入された。加えて、グローバル展開を図るため、海外含めた現場重視の個別システムの統合、部分最適の情報システム化からグローバルでの全体最適への転換がはかれる。既存の情報システムのグローバル化対応への再構築及びシステム統合化に取り組み始める。

2000 年代、①SMS の再構築、②3 次元データモデルによる独自開発した CAD・CAM を市販パッケージとして CATIA へ更新、③インターネットを駆使した部品の世界最適調達を実現するシステム (WARP) の適用、④米会計基準に対応するためアメリカ企業の ERP パッケージを導入する。SMS は車の CAD データと情報インフラとして進化し、車や部品のライフサイクルに至る情報の共有、流通のための中核として発展。IT 業界では商品開発のキーは PDM や PLM。トヨタの PDM はグローバル統合化部品表と CATIA や生成されたボディや部品の形状データで構成される。作成された車や部品の製品データは新車の企画・構想段階から設計、生産準備、生産、アフターマーケット、車の廃棄までのライフサイクル全般にわたって、それぞれの業務目的に合わせ電子データが流通加工、協働利用される。異種間での CAD・CAM・CAE のデータ交換、電子データ交換、業務アプリ間で情報システムが統合化、情報共有化が進展していく。

### 2-1-2 東芝<sup>6</sup>

50 年代までは PCS による事務機械化が行われていた。

60 年代、東芝には 8 つの大工場が存在し、それぞれの場所で情報システム化が行われた。技術計算や図面作成のコンピュータへの置き換え、給与計算業務、固定資産管理業務、資材系列 (購買) 業務を全社的事務機械化する。すべての工場と同じ業務を行うことで事務処理システム開発を進めた。

70 年代、IC の設計のためコンピュータの利用が拡大する。パターン設計にはミニコンで稼働する対話型図形処理システム、パターン検査にはメインフレーム (大型コンピュータ) による自動検査ソフト、回路シミュレーションは汎用コンピュータで行った。

80 年代、メモリの大容量化、製造条件の複雑化によりシミュレーションを行うためにスーパーコンピュータが用いられるようになった。ここまで、IC 設計には汎用大型コンピュータが使われてきていたが、課題としてコストパフォーマンスと処理のターンアラウンド

---

<sup>6</sup> 経営情報学会情報システム発展史特設研究部会「明日の IT 経営のための情報システム発展史製造業編」専修大学出版局,2010.9,pp81-122

タイムが改善されないことがあった。1980年代になりダウンサイジングの波が到来、およびEWSが登場し、CADソフトもEWSで利用できるようになった。

製造条件通りに半導体製品を製造し、高品質低コストの半導体を製造すること、客先に約束した納期通りに製造を行う事の2つを目的とし、半導体製造管理システムが構築された。また、オフィスオートメーションの進展とともに、従来の集中型の生産システムから分散型の生産システムへと再構築が進められた。製造ラインの改善、新調達システムによる調達方法の改善、設計のCAD化・電子図面化が進められワークフロー管理と生産システムの情報連携が促進、FAと生産管理システムとの統合に加えCADによる設計自動化と設計情報の連携強化により工場CIMの完成、などにより分散型生産システムが構築された。

CIMシステムにより生産リードタイムと部品在庫の削減が進んだ。納期回答システムの展開により営業部門及び工場部門に顧客の進捗が共有・可視化された。生産と販売が同じ情報を共有することで、情報伝達が容易になった。営業業務もワークフローの電子化を進め、また、リードタイムや在庫もデータを収集し可視化することによりシステム効果をモニタリングできるようになる。また、需給機能を内包したCIMシステムの完成により生産リードタイム半減化と在庫半減化を実現するSCMシステムが完成した。

東芝のシステム発展段階をまとめると①手計算をPCSに切り替え、事務処理の省人化・省力化を図る単純変換、②単なる事務処理から事務機械を使い経営に貢献するシステムの構築を模索、③独立した処理を統合し事業所のシステムを連携、④各事業所で構築されたシステムを全社的に統合し、販売状況を生産につなげ、生産・販売・本社部門を統括して新しいシステムを構築、戦略システム化⑤顧客の動向を察知し、その情報を生産部門に伝え、機会損失や不良在庫の減少に貢献し、その情報を顧客サービスに繋げるシステムの構築⑥インターネットの活用により顧客創造を行う、となっている。

### 2-1-3 日本精工<sup>7</sup>

60年代は計画の策定、データベースを中心としたオンラインシステムの構築が目指される。70年代、生販技統合システム(MAGMA)を構築開始。これは販売計画、利益計画、生産計画、在庫計画に対して、リアルタイムに投入されるデータをつなぎ、納品につなぐシステムである。生産管理システムとも連携をとるようになり、拡張されていく。また、技術システムとして72年にDEのコンセプトがMAGMAシステムの一環として位置づけられた。データベースシステムは、製品在庫管理、販売システム、生産システム分野に留まらず、設計部門まで適用を拡充。販売、生産と連携する設計を企業の中核活動と位置付けられる。

FENICSによる技術販売生産システムの統合を開始する。技術情報システムは生産システムだけでなく、販売の営業活動とも連携する。メーカーとの共同開発によりコンピュータ

---

<sup>7</sup> 経営情報学会情報システム発展史特設研究部会「明日のIT経営のための情報システム発展史製造業編」専修大学出版局,2010.9,pp123-163

とファクシミリの連動を実現、このシステムはベアリング選定システム BEST として発展する。BEST、DE、技術情報管理システムを総称し、80年代から FENICS と総称する。MAGMA は FENICS や経営管理システムを連携、統合させ、生産、販売、技術、販売店、協力会社にまたがる業務機能を統合した NSK のシステムの総称となっている。

1984年、福島の新工場にて CIM の構築を開始する。生産ライン現場へ低廉パソコンモニタを配置し、オンラインによる加工条件の指示、機械設備の稼働状況をリアルタイムに把握しこれを表示する仕組みを導入する。

販売店・協力企業への展開として、1969年から販売業務処理システムが運用、81年から分散処理の販売システムを運用開始する。84年より PARTNER システムを運用。販売 PARTNER は日本精工と代理店間の受発注、納品・仕入、販売店の販売管理、在庫管理を行うシステムであり、生産 PARTNER は NSK の生産システム、各工場システムと協力企業システムを連携させ、受発注、協力企業への計画に基づく出荷指示、協力企業の在庫管理を行うシステムであった。日本精工の MAGMA は販売店、代理店、協力企業との連携を強め、CIM の完成、SCM のビジネスモデルを構築していく。

日本精工は販売、生産、技術のシステム化から着手した。その理由は経理や財務部門から始めると新しいことに対する抵抗感が生まれやすく、下手に機械化すると後々またシステム化する際にネックとなりうるためである。まず生産現場からコンピュータを導入し、事務は後回しとした。

## 2-2 情報システム化のまとめ

製造業の情報システムの発展は 1960 年代、生産管理や販売管理など個別業務の機械化、1960 年代半ば以降オンライン化の進展、生産オンライン、販売オンラインなど個別業務のオンラインシステムの構築、70-80 年代にはシステムの拡大と統合、80 年代後半から CIM (生産、販売、技術、経営の統合)、90 年代には ERP (企業内基幹業務) が統合化、また、外部企業との連携を行うシステムとしては、80 年代販売代理店や生産協力企業とのオンライン化が開始され、90 年代には SCM による企業共同体が構築、00 年代にはグローバルでの企業共同体が構築、というプロセスであった。

次に、製造業における生産システムの発展史について田中(2005)<sup>8</sup>を参考に概観すると、1950 年代には自動省力化の先駆けである NC 工作機械の開発、60 年代には NC 工作機械を管理する DNC システムの開発、70 年代には NC 工作機械がコンピュータ制御により自動化された CNC 工作機械の開発、80 年代にはロボットの普及により多品種小ロット生産に対応した FMS の導入及び LAN や自動搬送装置の活用による FA 化の取り組みの進展、90 年代以降になると自動化やコンピュータの活用ではなくコスト削減を重視したセル生産が

---

<sup>8</sup> 田中邦明 (2005)「第7回 生産システムとシステムインテグレーション」『計測と制御』,第 44 巻,第 6 号,pp414-415

主流となる、という発展過程であった。

## 2-3 得られた示唆

まず、情報システム化の対象領域は 3 つ存在し、①企業内業務のシステム化②国内の関連企業・共同体企業・顧客とのシステム化、連携③海外業務・海外連携先とのグローバルシステム化、である。システムの深化は、個別業務システムの開発、範囲の拡大、業務システムの統合、発展を繰り返して発展してきた。統合には業務の統合、情報基盤の統合、データの統合、アプリケーションの統合がある。この統合深化のプロセスは経営上のニーズからもたらされる。

次に情報システムの経営への効果として、省力化、在庫費用・物流費・調達費・経費の削減などコストの削減効果、増力化によるビジネスの拡大、増脳化による管理者の意思決定支援と経営の高度化・効率化、戦略の形成と業務改革の実現、業務改善と生産性向上、FA やロボットの活用による現場作業改善、工程管理や品質確保がスムーズに行われニーズに合わせた安定した生産を確保、技能継承の簡素化、などが挙げられる。また、情報システムの人・組織への効果として、人間の労働作業・知的作業の代替、企業の行動様式の変化、組織のフラット化などが挙げられる。

そして、TOYOTA ほどの大企業であっても、社内の情報システム化は当初は IBM や富士通など外部企業との連携により達成されてきており、システム化の深化が進むにつれ情報システムの自社開発も並行して行うようになってきている。

これらから得られる中小企業の情報システム化への知見として、まず情報システムの対象を明確にする必要があることが挙げられる。近年の IoT などは企業内に閉じるものもあれば生産拠点ごとに連携させ、機能するシステムも存在する。自社が必要なシステムがどの範囲を対象としたものなのか、しっかりと吟味しなければならない。また次に情報システム化により求める効果をしっかりと得られるシステム作りが必要である。最後に、情報システム化は他社との協業により成り立つものである。近年の IoT は元来の IT システムよりはるかに協業によりもたらされる便益が大きい。以前までであれば日本の中小企業は大企業の下請け、系列として存在し、他社とのコラボレーションが行われることが少なかったが、グローバル化、製造業のサービス化が叫ばれている今、中小企業であっても積極的に他社と関わりを持ち、連携させた情報システムを構築することが今後の企業の成長にとって必要なものとなってくると考えられる。

## 3. 現在の製造業、DX の潮流

近年の市場は消費者の価値観の多様化・個性化、高度化の欲求が進展し、顧客や市場の要求は複雑化し、多様化してきている。近年の製造の潮流は、低コストの大量生産とコンピュータやネットワーク、IoT や AI を活用して個々の顧客の要望に適した柔軟な生産システム

の構築、いわゆるマスカスタマイゼーションの実現である。加えて、先進国では労働者の人口が減少しており、省人化のより一層の進展も必要不可欠である。

また、製造業という産業のデジタル化が進んでいる。現代の製造業におけるデジタル化とは、製品の多種多様化、製品のデジタル化とライフサイクルの短縮、IoT などの技術進展、などのことである。デジタル化の背景にはモノづくり、販売・マーケティング、SCM、ビジネスモデル変革などにおけるデジタル化が存在する。特に IoT 技術の進展は製造業のビジネスモデルの変革を可能にしており、マスカスタマイゼーションや圧倒的な省力化を実現しようとしている。しかし、各国企業はそれらデジタル技術を活用した確立されたビジネスの変革は起こせていない状況にある。産業全体の設備投資が鈍化している中、デジタル化に関する投資は世界中で比較的進んできてはいるものの、特に日本は企業の危機意識が不足、取り組みの遅れなどが目立つ状況であり、日本の製造業が国外のデジタル化に成功した製造企業に淘汰される危機に晒されているのが現状である。

### 3-1 IoT

IoT とは、様々なモノ（タブレット等の情報通信機器に加え、センサー全般、産業用機械、車両など）がインターネットなどのネットワークで接続され、状況をデジタルデータ化し収集・蓄積すること、若しくは、製品・サービスの活用から廃棄までに至るバリューチェーン内で発生するデータを、センサー、ネットワークを通じて取得・分析し、商品やバリューチェーンにおける価値向上を実現するための手段の体系のことである。

IoT を用いた製造とは、清水(2017)<sup>9</sup>によると、製品開発プロセスを管理する PLM と製造現場のプロセスを管理する MES を企業経営プロセスを管理する ERP により連携させ、経営資源の最適化を図るものとされており、その実現のために開発、製造、企業経営のプロセスをそれぞれ見える化し、効率的につなぐ取り組みが必要不可欠であるとされている。中でもネットワークの標準化や工場全体の稼働状況の見える化などの議論が先行し、導入が進んでいる。人々が製造業の IoT システムにも求める効果は、生産性の向上や省人化、マスカスタマイゼーションの実現、サービス化の進展などである。

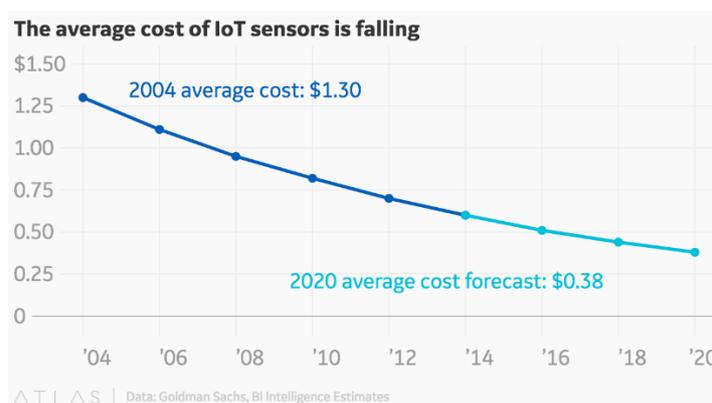
しかし、IoT の導入は実証段階にとどまるものが多くあり、すべてが上手く活用されている状況ではないのが現状である。IoT エコシステムおよび組織の課題、セキュリティ侵害、スキル不足、統合の課題などの要因により、IoT の導入は複雑で、費用がかかり、リスクが高いものとなっている。再現性のあるモデルと投資収益率の開発方法をしっかりと確立するには膨大な時間がかかるため、このようなコストと実装期間も IoT の採用を妨げる主な障壁であると考えられる<sup>10</sup>。IoT デバイスの価格が下がっているのにも関わらず(図表 2)、

---

<sup>9</sup> 清水伸二(2017)「IoT、インダストリ 4.0 時代に精密工学は何をすべきか」精密工学会誌 /Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol83, No1, p7

<sup>10</sup> Forbes(2019) ” The IoT: Yesterday's Predictions Vs. Today's Reality”

IoT デバイスの販売数も伸びてはいない。多くの新しい IoT デバイスを追加すると、より多くの誤検知が発生してしまうため、絶えず修正が必要になる。また、従来のシステムやインフラストラクチャへの統合が、複雑で時間がかかるものである。このような阻害要因を払拭するためには成功事例を分析し、再現性のあるモデルを確立することが必要である。



(出所) Goldman Sachs “The average cost of IoT sensors is falling”

<<https://www.theatlans.com/charts/BJsmCFAI>>

図表 2 : IoT センサーの価格の推移

### 3-2IoT ビジネスモデル、大企業と中小企業の差異

IoT の技術階層は以下のようにになっている。モノや設備に取り付けられたセンサーがデータを発信し、ネットワークを介しクラウドへ集約、格納される。こうして集められたビッグデータとそのデータをリアルタイムで処理する基盤となるのが IoT プラットフォームである。ビッグデータはプラットフォーム上の人工知能（機械学習及び深層学習：画像認識、音声認識、言語処理、パターン解析）を中核としたアナリティクスソフトウェアで分析、それを各産業分野別に開発された産業別アプリケーションソフトウェアを用いて活用する、という流れになっている（図表 3）。

---

< <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/05/02/the-iot-yesterdays-predictions-vs-todays-reality/#35e54436512b>> 2019 年 12 月 8 日アクセス



(出所) 大野治(2016)「IoT で激変する日本型製造業ビジネスモデル」日刊工業新聞社より筆者作成

図表 3 : IoT ビジネスモデルの概念図

IoT のビジネスモデルは垂直統合戦略、水平統合戦略、モノ・設備重点戦略の 3 種類ある。垂直統合の例として、GE やボッシュなどの企業は産業個別（製造業など）での導入サービスを一通貫で行う。水平統合の例として、Google や Amazon といった企業は AI 技術開発やクラウドなどを産業横断で提供し、プラットフォームを形作っている。垂直、水平統合ビジネスを行うことができる企業はごくわずかで、他の企業は GE などの産業プラットフォーム若しくは Google などのアプリケーションを導入し IoT 化を進めるか、自社の製品や設備を IoT 化し自発的にデータ収集を行い、プロセスを最適化するモノ・設備重点戦略をとっている。日本企業は日立の Lumada などいくつかの企業が垂直統合を行い、IoT プラットフォームを確立しようとしているが未発達である。

上記のような IoT ビジネスを行うのは主に大企業である。大企業は従来は 2 章で見たようにシステムを外注しシステム化や統合を行ってきたが、近年は大企業がシステム開発を内部化し、統合し、プラットフォームを作るのがトレンドとなっている。IoT をビジネスに積極的に活用している大企業は、データ中心のビジネスシステムを構築し、かつ企業間連携のビジネスシステムを構築することに成功している<sup>11</sup>。一方で自社で開発する能力のない中小企業の IoT 化は先行大企業の導入サービスの活用や政府・自治体の支援を基に行われることが多い。よって中小企業のビジネスは上記の図の最も下段で行われる。中小企業は“IoT で状況をデジタルデータ化し収集・蓄積すること”に主眼を置き、製造現場の改善を行っているのが現状である。

<sup>11</sup> 安田弘一,伊佐田文彦(2017)「IoT 環境における中小企業のビジネスシステムの実証研究」年次学術大会講演要旨集, 32: 97-101

一方で例は少ないが IoT の活用に成功している中小企業も多く存在する。いまだに活用が遅れている中小企業も追随できるはずである。成功している企業がなぜ成果が出ているのか、成功事例を見て探ることとする。次章より中小企業のユースケースを対象に事例分析を行う。

## 4. 研究・分析対象

本研究では中小製造業における IoT 導入による効果、日本企業とドイツ企業の差異、成功事例の特徴、について分析を行う。ここで、中小企業を分析の対象とする理由を改めて以下に示す。①日本の製造業を支えるのは、高い技術力を持った中小企業である。②少子高齢化による人手不足が中小企業では特に顕著である。③中小企業は経営者に高齢者が多くデジタル化、IoT 導入が進みにくい、ところもある一方で、大きな転換を果たした企業も少なからず存在しており、その成功事例を分析することは意義がある。

事例は経済産業省中小ものづくり企業 IoT 等活用事例集<sup>12</sup>、ロボット革命イニシアティブ（日本）<sup>13</sup>、Industrie4.0（ドイツ）<sup>14</sup>、のユースケースから、対象を中小製造業向けの IoT ユースケースに絞り 100 事例を用いた。ドイツのユースケースを用いて日本企業とドイツ企業の比較を行うのは、ドイツ企業が日本企業よりも IoT 利活用が進んでいるという文献が数多くあるため、日本との差異がどこにあるのか、検証するためである。

### 4-1 カテゴリー

まず、導入内容から得られた生産性の向上に寄与する定性的な導入効果、導入フェーズ、プロジェクトの発展段階、の3つについて、各事例がどこに当てはまるか、分類した。

定性的な導入効果については、経済産業省関東経済産業局(2017)<sup>15</sup>を参考に、現場作業改善（人員不足の解消等）、工程管理（短納期対応等）、品質確保（検査の迅速化等）、事務作業効率化（見積もり作業の効率化等）、技能継承/脱属人化（熟練者の技能の継承等）、経営改善（適切な人材配置等）、設備保全（状態監視等）の7つを設定した。導入フェーズについては開発、設計、生産、販売・保守の4つを設定した。プロジェクトの発展段階については、準備（研究開発段階）、施行（実証実験）、確立、拡張（他のシステムとの統合、他社への販売）の4つを設定した。それぞれに従い、以下のような表を作成し、分類を行った。

---

<sup>12</sup> 経済産業省関東経済産業局(2017)「中小ものづくり企業 IoT 等活用事例集」

<sup>13</sup> ロボット革命イニシアティブ協議会「IoT ユースケースマップ」

< <https://www.jmfrri.gr.jp/iot/429.html> > 2019年12月20日アクセス

<sup>14</sup> 同上

<sup>15</sup> 経済産業省関東経済産業局(2017)「中小ものづくり企業 IoT 等活用事例集」

企業名 実施事例	効果					フェーズ				実施段階				
	現場作業	工程管理	品質確保	事務作業	技能継承・経営改善	設備保全	開発	設計	製造 生産管理	販売・保	準備	施行	確立	拡張
<b>早川工業</b> データを活用した生産管理システムにより、見込生産や繰り返し生産に対応、情報共有や事務作業がスムーズに行われるようになった。		○		○					○				○	
<b>スザキ工業所</b> プレス加工機にIoT端末を取り付け、稼働状況をリアルタイムで監視し、異常停止した際に即座に基幹システムに通知が送られるようなシステムを導入。これにより機械トラブルに迅速に対応することが可能となった。			○	○					○				○	
<b>近藤製作所</b> 柔らかいものをつぶしてしうという従来のエア・油圧ハンドの課題を克服するため、ハンド先端にセンサーを取り付け、対象物の特徴に合わせた柔軟な動作を行うことのできる「AI学習ハンド」を開発。	○			○					○		○			
<b>住吉工業</b> 砕石プラントにおいて、各機器の運転状況を把握して効率的な運転やコストの削減、故障・事故の未然防止を行い生産効率を向上させるため、クラウド型のエネルギー監視システムを導入。砕石製造プロセスの効率的な維持管理に役立っている。	○	○							○					○
<b>アルファTKG</b> 生産設備やカメラ等から得られる情報、図面等の見える化を実現するIoTプラットフォームを開発し、中小企業モノづくり企業へ提供し、活動を支えている。				○	○	○	○	○					○	

(出所) 筆者作成、一部

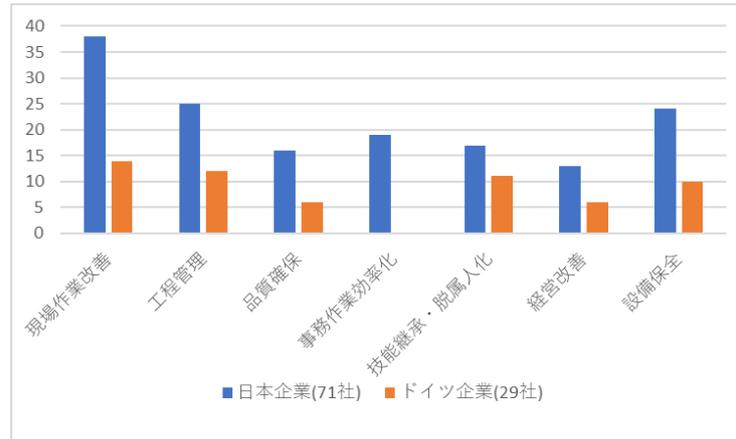
図表 4：各事例の分類

ここから得られた示唆を下記に記す。

まず、導入フェーズに着目すると、生産、製造工程の事例が圧倒的に多い。日本ビジネスクリエイト(2018)<sup>16</sup>によると、製造業のバリューチェーンの中でも生産やオペレーションは一般的にコストの80%を消費しており、この事業領域が最も投入した経営資源が多く、要員数も多いため、経営管理上重要な機能であるとされている。また、ビジネスのグローバル化によりコスト競争が激化しており、かつ生産構造や生産管理が複雑化しており、重要度を増している。また、製造フェーズで収集されるデータが軸となり、IoTの活用やデータの連携が行われることが多くある。そのため、このフェーズへの活用事例が多く存在していると考えられる。

次に得られた効果について、日本企業とドイツ企業で事例の割合に大きく差はなかったが、事務作業効率化を効果とした事例は日本にしか存在しておらず、ドイツ企業は該当しなかった。事務作業効率化はIT化の初歩として行われることが多いため、日本企業がいまだにIT利活用において未熟であることを示す結果となっている(図表5)。

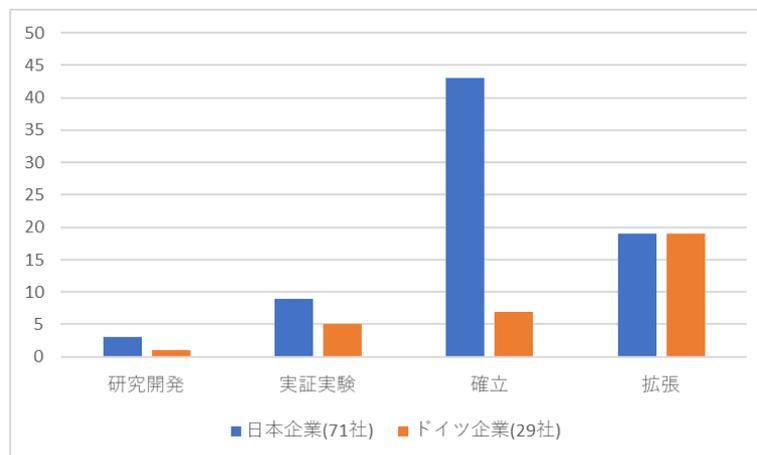
<sup>16</sup> 日本ビジネスクリエイト(2018)「IoT時代のバリューチェーン革命」幻冬舎メディアコンサルティング



(出所)筆者作成

図表 5：定性的な効果

次にプロジェクトの発展段階について日本企業は確立段階にある企業の割合が高い一方で、ドイツ企業は拡張段階にある企業の割合が高く見られた。事例として扱ったドイツ企業が純粋な製造業ではなく、システム会社も兼ねたような企業が多く含まれていることも影響していると考えられるが、ドイツ企業の IoT 利活用のほうが日本企業のそれより、システムとして成熟しており、外販や自社以外との協業を行っている傾向にあることが示された（図表 6）。



(出所) 筆者作成

図表 6：プロジェクトの発展段階

#### 4-2 テキストマイニング

次に、事例本文のデータに対して直接テキストマイニングを行うことで、情報を抽出してその情報を分析することを目的とする。特に、語句同士の共起関係に注目する事で、通常で

は見つけにくい間接的な関係構造についての情報の抽出と分析を試みる。

ユースケース集から、各事例の本文要素(事例概要、事例による効果・メリット)のみを取り出し、そのテキストデータ 100 件(日本企業 71 社、ドイツ企業 29 社)を文書集合とする。

事例をテキストマイニングした研究として清水,高田,武田,野中(2018)<sup>17</sup>がある。これに倣い、本研究で計量的に分析する方法としてフリーソフトウェア「KH Coder」を利用した(樋口,2012)。これは定型化されていない文章の集まりを、自然言語処理の手法を使って単語やフレーズに分割し、それらの出現頻度や相関関係を分析して、有用な情報を抽出するものである。本研究では、このフリーソフトウェア「KH Coder」を用いて、成功事例に多く出現する用語を抽出し、類似性や関係性を検討する。すなわち、成功事例の中に潜んでいる有用な情報を見つけ出し、ほかのどのような情報と関連付けて取り扱われ、意味付けられているのかを検討・比較することを目的とする。また、活動の可視化から特徴的なパターンを特定することを目的としている。

そのために、ここでは抽出された出現頻度の高い語から、共起ネットワークを分析し、成功事例のパターンを検証することとする。このことによって、今後の中小企業における IoT 活用の活動方針や具体的なプランを策定する際の補助的資料として提案したい。

#### 4-2-1 日本企業

図表 7 は、事例本文の中で、多く出現している語を、出現回数の順に並べて表したものである。図表 7 の抽出語リストを見ると、「生産」(352 回)が最も多く出現しており、次に「データ」(308 回)、「作業」(291 回)の出現回数が多い。さらに、「管理」や「システム」、「情報」、「製造」、「可能」、「活用」、「状況」の語の出現が多い。活動の内容を示すサ行変格名詞(以後、サ変名詞という)では、「生産」する、「作業」する、「管理」する、「製造」する、「活用」する、「開発」する、「加工」する、の順で多い。活動の内容が多岐に亘っていることが示されているとともに、活動パターンの多さの順位を見て取ることができる。

---

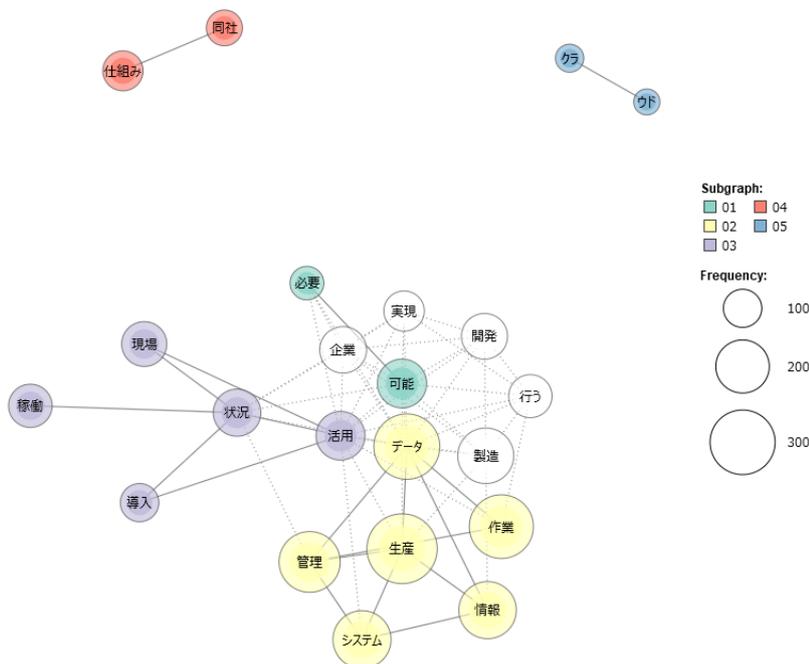
<sup>17</sup> 清水鞠香,高田瑛莉,武田みなみ,野中誠(2018)「業界別に見る「攻め」と「守り」の IoT 活用事例の特徴分析」2018 年春季全国研究発表大会

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
生産	352	成形	58	異常	31
データ	308	削減	57	使う	31
作業	291	自動	57	状態	31
管理	264	利用	57	通信	31
システム	238	効率	56	記録	30
情報	232	中小	55	支援	30
製造	220	クラ	53	条件	30
可能	169	連携	53	切削	30
活用	167	IT	52	センサ	29
状況	157	監視	51	センサー	29
企業	152	受注	51	メーカー	29
設備	150	リアルタイム	50	検査	29
開発	147	見える	49	使用	29
加工	143	従来	48	解決	28
現場	141	設計	48	工数	27
稼働	131	蓄積	47	精度	27
行う	129	人力	47	動作	27
IoT	119	自社	46	年	27
実現	112	ウド	45	PC	26
仕組み	111	コスト	45	ノウハウ	26
機械	103	遠隔	45	環境	26
技術	103	効果	43	故障	26
工程	102	実績	43	工具	26
導入	101	出来る	43	最適	26
収集	90	計画	42	装置	26
同社	88	進捗	41	多い	26
把握	88	測定	41	担当	26
改善	86	販売	41	表示	26
取得	86	様々	40	メーカー	25
時間	84	可視	39	簡単	25
機能	83	経営	39	具体	25
向上	83	計測	38	考える	25
提供	82	作成	38	指示	25
製品	80	用いる	38	実施	25
顧客	77	社内	37	図る	25
必要	77	納期	37	端末	25
品質	75	方法	37	得る	25
対応	74	稼働	36	スマート	24
サービス	73	工作	36	適切	24
見積	72	上記	35	容易	24
ツール	71	停止	35	ビジネス	23
業務	71	今後	34	画面	23
工場	68	展開	34	株式会社	23
金	63	発生	34	結果	23
部品	63	3D	33	場合	23
課題	62	IoT	33	ニーズ	22
構築	62	ライン	33	価値	22
機器	61	設置	33	検討	22
確認	60	高い	32	在庫	22
分析	59	事業	32	新た	22

(出所)筆者作成

図表 7 : 抽出 150 語のリスト

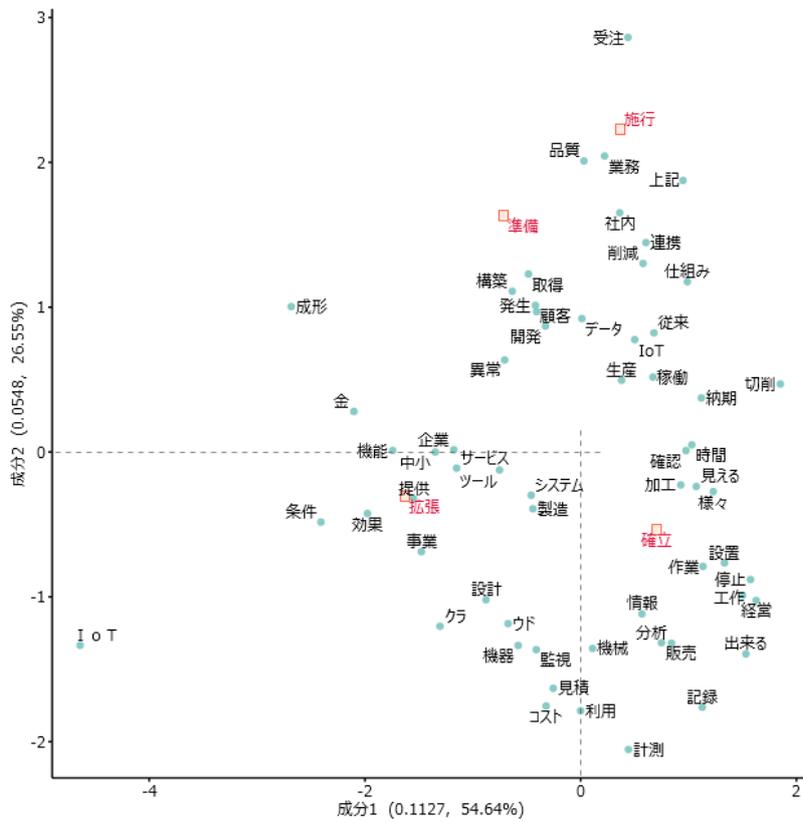
次に共起ネットワーク分析を行う。活動パターンの傾向や関連語を見出すためには、さらに主要な抽出語が出現している文書中に、特に高い確率で出現した語とほかの語との間の関係を明らかにする必要がある。そのために、ここでは抽出された出現頻度の高い語から、活動の共起ネットワークを分析し、成功事例の活動パターンを検証することとする。すると図表 8 のようになった。データの活用による生産や管理、作業が行われていることが見て取れる。



(出所) 筆者作成

図表 8 : 全事例の共起ネットワーク

次に対応分析と共起ネットワーク分析を行い、プロジェクトの発展段階別の IoT 活用の特徴の抽出を行う。対応分析は、質的データを分析する多変量解析法で、クロス集計結果を用いて、行の要素と列の要素の相関関係が最大になるように数量化して、行の要素と列の要素を多次元空間であらわすことができる。対応分析の結果を図表 9 に示す。図表 9 の四角記号は業界の平均値を示している。分析の結果発展段階によって特徴語の現れ方に違いがあることが確認できた。特に特徴が見られたのは確立段階の事例であり、「作業」、「生産」、「情報」などが特徴語として抽出された。続いて、共起ネットワーク分析により、各段階別の特徴語を導出したのが図表 11 である。準備段階では特徴語は見られず、施行段階では「加工」や「サービス」が特徴語となっている。また、確立段階では「作業」、「データ」、「システム」、「生産」、「管理」などが特徴語であり、拡張段階では「顧客」、「提供」、「収集」が特徴語となっている。拡張段階にある企業のみ他社との協業姿勢が見て取れた。



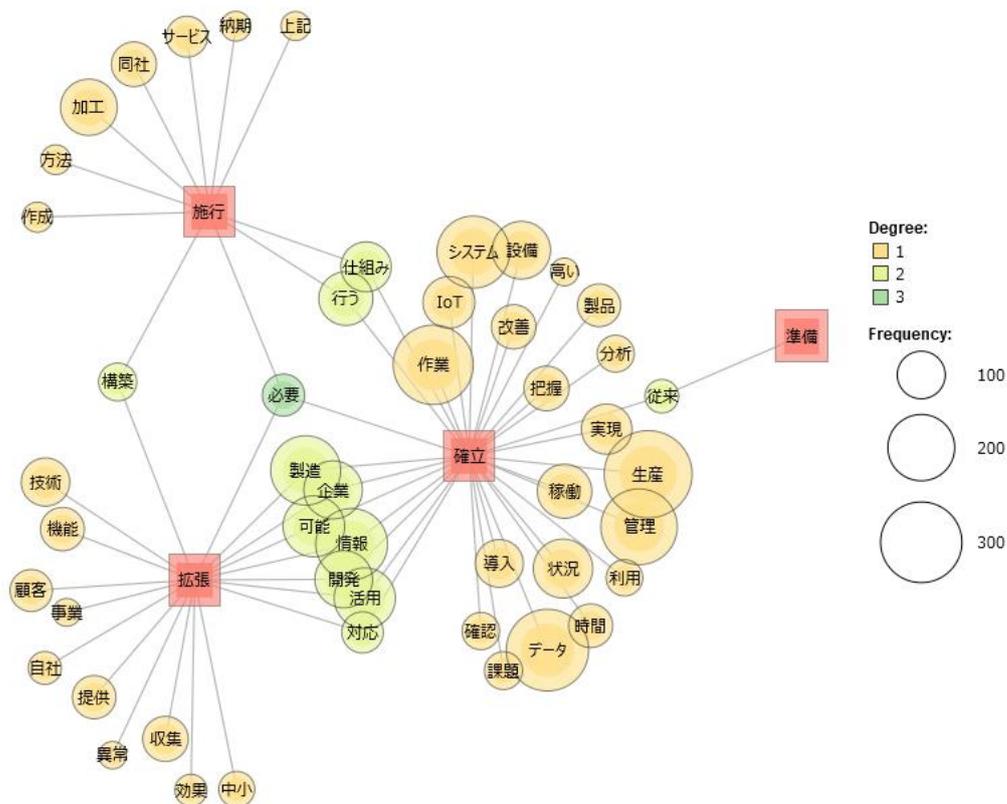
(出所)筆者作成

図表9：プロジェクトの発展段階別の対応分析

準備		実行		確立		拡張	
柔らかい	.103	データ	.114	作業	.166	企業	.116
ハンド	.098	生産	.102	生産	.146	システム	.109
顧客	.086	管理	.079	情報	.137	製造	.092
硬い	.085	仕組み	.073	システム	.110	活用	.091
金	.080	状況	.067	製造	.102	可能	.087
センサー	.078	稼働	.063	活用	.089	現場	.074
サーボ	.069	業務	.062	設備	.083	成形	.072
重い	.069	IoT	.057	加工	.081	提供	.067
電極	.069	開発	.055	状況	.076	開発	.067
位置	.065	設備	.055	実現	.075	技術	.066

(出所) 筆者作成

図表10：図表9における特徴語



(出所) 筆者作成

図表 11：プロジェクトの発展段階別の共起ネットワーク

#### 4-2-2 ドイツ企業

図表 12 は、事例本文の中で、多く出現している語を、出現回数の順に並べて表したものである。図表 12 の抽出語リストを見ると、be や we を除くと「system」(173 回) が最も多く出現しており、次に「production」(148 回)、「process」(142 回) の出現回数が多い。さらに、「solution」、「achieve」、「customer」、「company」、「information」の語の出現が多い。次に共起ネットワーク分析を行う。すると図表 13 のようになった。「information」と「provide」、「production」と「process」などの強い関連が見て取れた。

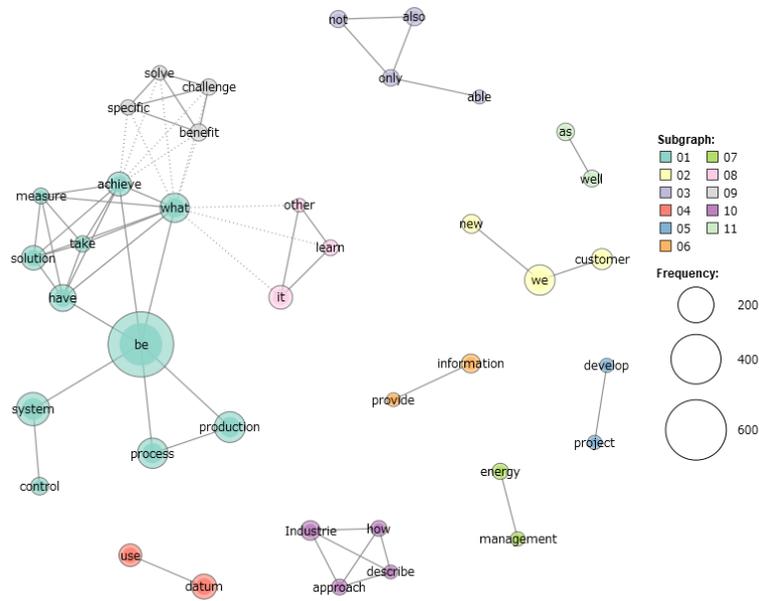
次に対応分析と共起ネットワーク分析を行い、プロジェクトの発展段階別の IoT 活用の特徴の抽出を行う。対応分析の結果を図表 14 に示す。分析の結果発展段階によって特徴語の現れ方に違いがあることが確認できる。特に特徴が見られたのは準備段階、施行段階、拡張段階であった。準備段階では「scenario」、施行段階では「system」、拡張段階では「system」、「production」、「process」などが特徴語として抽出された。続いて、共起ネットワーク分析により、各段階別の特徴語を導出したのが図表 16 である。準備段階では「employee」、施行段階では「machine」などが特徴語となっている。また、確立段階では「information」、「energy」、などが特徴語であり、拡張段階では「process」、「software」、「product」が特徴

語となっている。

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
be	702	managemel	28	process	17
system	173	plant	28	require	17
production	148	solve	28	result	17
we	143	step	28	basis	16
process	142	develop	27	business	16
what	131	project	27	create	16
have	110	able	26	directly	16
datum	95	describe	26	due	16
solution	90	provide	26	efficient	16
achieve	87	communic	25	its	16
it	84	device	25	optimize	16
use	77	GmbH	25	supplier	16
customer	66	manufactu	25	additional	15
company	64	other	25	condition	15
Industrie	56	that	25	error	15
they	54	do	24	even	15
information	52	implement	24	individual	15
new	52	more	24	lead	15
machine	50	sensor	24	line	15
which	49	training	24	maintenanc	15
also	47	user	24	next	15
time	47	developmei	23	therefore	15
industry	46	enable	23	tighten	15
software	45	industrial	23	you	15
as	44	possible	23	addition	14
control	44	reduce	23	available	14
product	43	support	23	change	14
benefit	42	tool	23	environmer	14
technology	42	other	22	goods	14
not	41	allow	21	high	14
well	40	assembly	21	manufactur	14
only	38	exist	21	monitor	14
quality	38	requiremen	21	operation	14
challenge	37	use	21	place	14
employee	37	component	20	service	14
energy	37	implementa	20	so	14
integrate	37	manufactu	20	technical	14
take	37	area	19	thus	14
application	35	digital	19	very	14
approach	35	integration	19	case	13
how	35	different	18	CodeMeter	13
learn	35	such	18	current	13
measure	35	work	18	network	13
order	35	analysis	17	nutrunner	13
make	34	concept	17	produce	13
cost	32	flexible	17	real	13
specific	31	interface	17	server	13
part	30	monitoring	17	together	13
way	30	necessary	17	value	13
automatica	28	platform	17	work	13

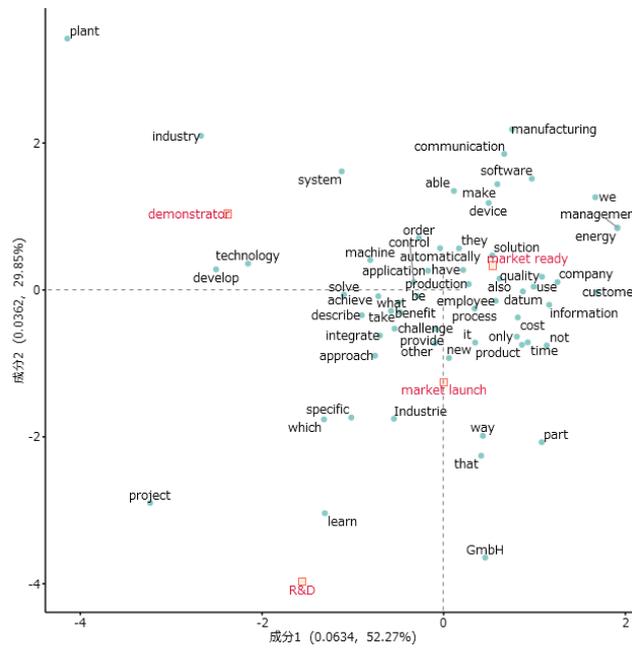
(出所) 筆者作成

図表 12：抽出 150 語のリスト



(出所) 筆者作成

図表 13：全事例の共起ネットワーク



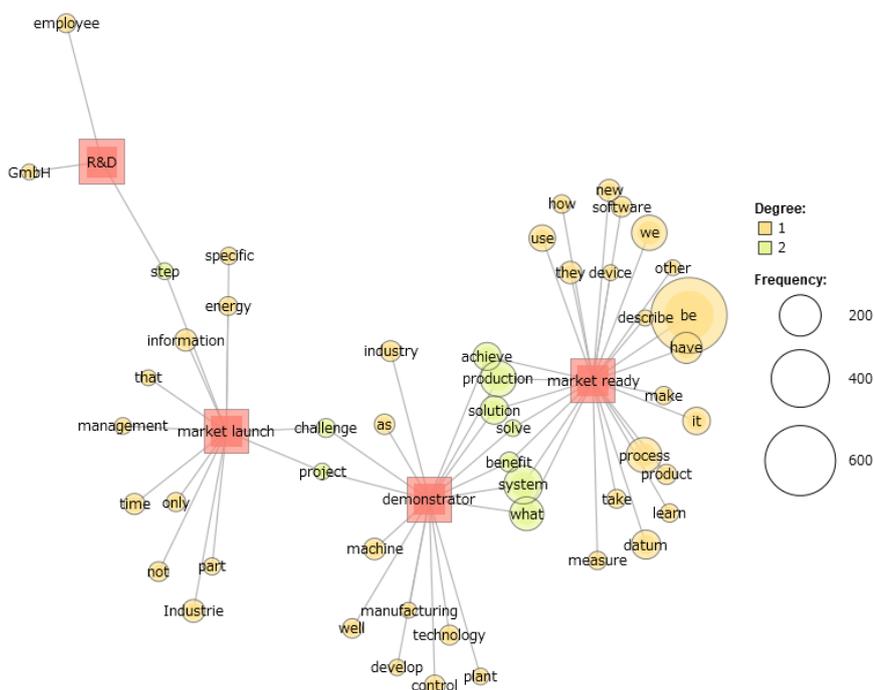
(出所) 筆者作成

図表 14：プロジェクトの発展段階別の対応分析

R&D		demonstrator		market launch		market ready	
scenario	.200	system	.165	production	.119	we	.164
on-the-job	.111	be	.139	process	.107	system	.157
learning	.108	industry	.108	what	.088	production	.140
skill	.108	training	.100	datum	.085	process	.135
holistic	.098	plant	.083	achieve	.077	have	.122
training	.093	what	.082	it	.070	solution	.112
learn	.092	achieve	.079	Industrie	.062	datum	.106
project	.088	technology	.076	development	.062	use	.099
dimension	.083	possible	.062	customer	.060	company	.091
view	.083	machine	.061	time	.060	it	.091

(出所) 筆者作成

図表 15：図表 14 における特徴語



(出所) 筆者作成

図表 16：プロジェクトの発展段階別の共起ネットワーク

#### 4-2-3 考察

抽出語のリスト出現する単語には大きな差異は見受けられなかった。そして、活用の事例に大きな差は見られず、成功事例はある程度確立されていると考えられる。加えて、両国の成功事例では共通して、最も活発なプロジェクトの発展段階（日本企業では拡張段階、ドイツ企業では拡張段階）において「生産(production)」や「システム(system)」が特徴語として抽出されている。

また、日本企業の事例では生産現場においてのデータの活用やシステムの確立、作業効率

化を目的としたものが多く、ドイツ企業の事例では拡張段階における試行錯誤を多く行っている傾向がある。

## 5. まとめ

中小企業が情報システム化、IoT 利活用を進めるために何が必要か、を情報システムの発展史や IoT のビジネスモデル、成功事例の事例分析から分析した。成功事例に共通する傾向については抽出出来た。ドイツの取り組みが一步先に進んでいる面もあるが、一方で IoT はまだまだ模索段階で開発段階のものも多く、日本企業もさらなる可能性を秘めていると考えられる。

今後の中小製造業への IoT 利活用を促進する施策としては、まず企業同士の連携の強化を図り中小製造業の IT システム化を推進すること、その上で分析に用いたような成功事例を情報として活用できていない企業へ周知させること、成功事例の特徴語に頻繁に出てきた「生産」や「データ」に関連した IoT 利活用を行おうとしている企業に対してその取り組みを更に推進するための支援を行うこと、といった取り組みが必要であると考えられる。加えて、今回用いた成功事例だけでなく、失敗事例も収集すべきである。IoT 利活用に取り組んだがうまくいかなかった事例は成功事例よりも多く存在するはずである。失敗事例の収集も行うことで、どのような要因が成功と失敗を分けるのか、正確に把握することが可能となると考えられ、その差の分析を行うことは、日本の企業に対してのさらなる知見になると考えられる。

## 参考文献

- 青嶋稔(2017)「製造業のデジタル化戦略の潮流」知的資産創造,pp8-21
- 岩本晃一,波多野文(2017)「IoT/AI が雇用に与える影響と社会政策 in 第 4 次産業革命」  
RIETI Policy Discussion Paper Series 17-P-029
- 乾友彦, 金榮慤(2018)「日本企業の IT 化がなぜ遅れたのか」RIETI Discussion Paper Series  
18-J-014
- 大野治(2016)「IoT で激変する日本型製造業ビジネスモデル」日刊工業新聞社,pp32-42
- 経営情報学会情報システム発展史特設研究部会(2010)「明日の IT 経営のための情報システム  
発展史製造業編」専修大学出版局,pp39-163
- 経済産業省関東経済産業局(2017)「中小ものづくり企業 IoT 等活用事例集」
- 清水鞠香,高田瑛莉,武田みなみ,野中誠(2018)「業界別に見る「攻め」と「守り」の IoT 活  
用事例の特徴分析」2018 年春季全国研究発表大会
- 清水伸二(2017)「IoT、インダストリ 4.0 時代に精密工学は何をすべきか」精密工学会誌  
/Journal of the Japan Society for Precision Engineering,Vol83,No1,p7
- 田中邦明 (2005)「第 7 回 生産システムとシステムインテグレーション」『計測と制御』,  
第 44 巻,第 6 号,pp414-415
- 田原健吾(2019)「日本企業の AI・IoT の導入状況」JCER,第五回 AI 経済検討会
- 日本ビジネスクリエイト(2018)「IoT 時代のバリューチェーン革命」幻冬舎メディアコンサ  
ルティング
- 安田弘一,伊佐田文彦(2017)「IoT 環境における中小企業のビジネスシステムの実証研究」  
年次学術大会講演要旨集, 32: 97-101

## ウェブサイト

- ロボット革命イニシアティブ協議会「IoT ユースケースマップ」  
< <https://www.jmfrii.gr.jp/iot/429.html> > 2019 年 12 月 20 日最終アクセス
- Goldman Sachs “The average cost of IoT sensors is falling”  
< <https://www.theatlantic.com/charts/BJsmCFAI> > 2019 年 12 月 25 日最終アクセス
- Forbes(2019)” The IoT: Yesterday's Predictions Vs. Today's Reality”  
< <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/05/02/the-iot-yesterdays-predictions-vs-todays-reality/#35e54436512b> > 2019 年 12 月 8 日最終アクセス