

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	中小食品製造業におけるIoT活用に見る生産性向上の研究
Title(English)	
著者(和文)	佐野智紀
Author(English)	Tomonori Sano
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第31号, 授与年月日:2024年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山村 雅幸,三宅 美博,小野 功,瀧ノ上 正浩,高安 美佐子
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第31号, Conferred date:2024/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

2024 年度 博士論文

中小食品製造業における IoT 活用に見る 生産性向上の研究

東京科学大学
情報理工学院
知能情報コース

佐野 智紀

目次

概要	5
第1章 序論	6
1.1 研究の目的	6
1.1.1 中小企業の生産性の現状.....	6
1.1.2 中小食品生産ラインの生産管理の課題.....	7
1.1.3 中小食品生産ラインの物的生産性と付加価値生産性の課題.....	7
1.1.4 中小食品生産ラインのIoT化の課題.....	8
1.1.5 中小食品生産ラインに導入可能な新たな管理手法.....	8
1.1.6 本研究の全体像と論点.....	9
1.2 対象工場の課題と分析のフレームワーク.....	10
1.3 研究の構成	20
1.4 先行研究との関連性と本研究の意義.....	22
1.5 本研究で活用したデータと概況.....	23
第2章 生産管理と生産性向上の意思決定.....	25
2.1 食品業界を中心とした生産管理.....	25
2.1.1 PDCA サイクルによる品質・衛生管理	25
2.1.2 国際基準での品質・衛生管理.....	25
2.1.3 OODA ループによる不確実性の高い現場にかかる管理手法	26
2.2 製造業にかかる生産管理の概念.....	26
2.2.1 第一の生産管理：品質管理.....	27
2.2.2 第二の生産管理：コスト・在庫管理.....	28
2.2.3 第三の生産管理：段取り替え管理.....	28
2.2.4 第四の生産管理：生産管理的意思決定.....	29
2.3 IoTにかかる生産管理	30
2.3.1 製造工場にかかるIoT導入の動向.....	30
2.3.2 エッジコンピューティング及びクラウドコンピューティングを用いたIoT導入 の動向	32
2.3.3 中小生産ラインにかかるIoT導入の動向.....	33
第3章 IoTを用いた品質管理と検品効率化による生産性向上の実証研究	35
3.1 研究構成	35
3.1.1 背景	35
3.1.2 対象工場Aの品質管理における課題.....	36
3.1.3 実証研究前後の品質管理方法.....	37
3.2 実証研究	39

3.2.1	生産ラインの IoT 化.....	39
3.2.2	商品情報 IoT 化による生産性改善の仮説検証.....	40
3.3	本章の結論と考察.....	44
3.3.1	ヒアリング調査結果.....	45
3.3.2	今後の課題.....	45
第 4 章	IoT を用いた生産量改善による生産性向上の実証研究	47
4.1	研究構成	47
4.1.1	背景	47
4.1.2	対象工場 A の生産量における課題.....	47
4.1.3	IoT を用いた OODA ループの管理手法	48
4.1.4	HACCP に適応した対象ライン A の IoT 化	51
4.2	実証研究	52
4.2.1	前提	52
4.2.3	仮説検証.....	52
4.2.3	付加価値要素検証.....	60
4.2.4	導入コストの検証.....	61
4.3	本章の結論と考察.....	62
第 5 章	IoT を用いた管理的意思決定改善による生産性向上の実証研究	65
5.1	研究構成	65
5.1.1	背景	65
5.1.2	対象工場 A における管理的意思決定の課題.....	66
5.2	実証研究	69
5.3	本章の結論と考察.....	70
第 6 章	IoT を用いた外注企業連携による生産性向上の実証研究	71
6.1	研究構成	71
6.1.1	背景	71
6.1.2	対象工場 B における生産性の課題.....	71
6.2	実証研究	72
6.2.1	前提	72
6.2.2	仮説検証.....	75
6.3	対象工場 A と対象工場 B の連携.....	79
6.3	本章の結論と考察.....	80
第 7 章	まとめと今後の課題.....	82
7.1	まとめ	82
7.2	成果と課題	82
7.3	結論	83

7.4 今後の課題と展望.....	84
謝辞	86
参考文献	87
付録	92
研究業績一覧	117

概要

近年、企業、特に中小企業では労働力及び資本不足を補うためデジタルトランスフォーメーション(DX)の重要性が増している。特に食品製造業は、衛生管理基準に準じた食の品質を優先しながら生産性を改善するという、相反する2目標管理が必要となる。本研究は、食品製造業に導入可能な方法で生産性改善を目的とし、実証研究において生産ラインをIoT化し、OODAループの実施と管理的意思決定改善により生産性改善を示す。本研究は従業員を減らした生産性向上は目的とせず、工程単位での生産性向上を目的とし分析する。本研究の生産性に関する取り組みは、IoTとOODAループを用い、実証研究により示された結果をもとに検証した生産性改善の提言である。

実証研究の結果をもとに、IoTとOODAループを用いることで四つの改善が可能であることを示す。第一に管理的意思決定の判断改善により品質管理の質が向上し生産性改善が可能であること、第二に管理的意思決定にいたる待ち時間改善により機械停止時間が短縮し生産量改善が可能であること、第三に管理的意思決定の優先順位改善により生産性改善が可能であること、第四に外注先との連携を強化し段取り準備に関わるスケジュールの管理的意思決定が迅速になり生産性改善が可能であることを示す。IoTにより生産ラインの見える化を実証するだけでなく、それをいかに運用するかを明示することで、製造工程においてこれまで管理者の能力に依存されていた意思決定の差異を減らし、物的生産性及び付加価値生産性の観点から生産性改善が可能であることを示す。また、生産性に直結しない社員間のコミュニケーション改善や教育にも寄与する可能性を示唆し、業務の質を落とすことなく、生産量を増やすパレート改善が可能であることを示す。

本研究の主要な貢献は次の2点である。一つ目は、中小食品工場が商品や業務の質を落とすことなく生産性改善が可能である一般性を持つこと、また、食品業界だけでなく、菓子製造、化粧品製造などで類似の生産ラインを持つ企業に対しても一般性を持つ可能性があることである。二つ目は、品質向上による顧客との信頼関係の強化及び社員間のコミュニケーションの改善に寄与する可能性がある点である。また、生産ラインのIoT化は低価格で実現したことから中小企業が広く導入する動機にも寄与する。

本研究では、IoTとOODAループを用いた管理手法により生産性改善を明らかにしたが、AI(Artificial Intelligence)を用いることで人に代替できる業務があったと確認できた。それにより、更なる生産性改善への可能性は示唆されたが、実証研究までは至っていない。この解明が今後の課題である。

第 1 章 序論

1.1 研究の目的

1.1.1 中小企業の生産性の現状

本研究の目的は、中小企業製造業、特に食品製造業の製造現場が、品質重視や多品種少量の事業形態、人手不足等の複合的課題を抱えた中での管理故に発生する低生産性から脱却できない課題がある。食の安全を優先するため、生産性改善への取り組みが疎かになり利益率が低く持続性に欠け、結果として近年の中小企業の後継者不足や、長年の廃業倒産件数が新規設立数を上回る結果の一因となった側面がある。付加価値の高い商品を創り利益確保にいつそう努める必要がある一方で、汎用品を継続して供給することも消費者から求められており、付加価値の有無に関わらず生産性改善への課題に応えることが、中小食品製造業にとって安定した利益確保に繋がる。本研究はこの課題に対し、IoT (Internet of Things) を用いた新たな管理手法を導入することで少量多品種や品質、人手不足を補いながら生産性の改善が可能であることを実証研究により示し、それが一般性を持つ方法であることを論じる。品質と利益や人手不足と利益等の 2 つの目標は、しばしば相反する方向性を持つが、本研究では中小企業が抱える生産性と対極にあるいくつかの条件を維持しながら、生産性改善し利益を上げるという、一方を犠牲にすることなくもう一方の効用を高めるパレート改善が可能であることを示す。

中小企業基本法第 2 条第 1 項の規定で定める中小企業及び小規模事業者は、1999 年に 485 万社であったが 2016 年には 359 万社まで減少し毎年平均 7 万社以上が倒産もしくは廃業している(中小企業庁, 2019)。2021 年度版中小企業白書では、生産性の 1 つである労働生産性を 100 回以上記載しており、いかに中小企業にとって生産性改善が喫緊の課題であるかを浮き彫りにしている。国内製造業で比較すると、中小企業の労働生産性は大企業の約 2 分の 1 と 2 倍の差があり、大企業が 2010 年以降緩やかに改善しているにも関わらず、中小企業は 2000 年代前半から 10 年以上改善は見られない(中小企業庁, 2021)。世界的に見ても大小企業含め日本の労働生産性は 21 位と先進国の中でも下位に位置している(中小企業庁, 2019)。中小企業の実産性の低迷が日本経済発展の足かせになっている可能性がある。付加価値生産性要素である付加価値額に関わる営業利益についても大企業はリーマン・ショック以降、緩やかな上昇を続けているが中小企業はほとんど横ばいで変わらず、付加価値の高い商品やサービスを大企業に比べ提供できずにいる。この課題に対する原因は様々考えられるが、本研究では IoT と管理的意思決定による OODA ループを用いた品質向上での生産性改善、IoT と管理的意思決定による OODA ループを用いた物的生産性向上での生産性改善、IoT と管理的意思決定による OODA ループを用いた付加価値生産性向上での生産性改善の 3 つの実証研究により課題解決の分析を行う。

1.1.2 中小食品生産ラインの生産管理の課題

これまで中小食品工場は、食品安全の側面から品質管理に重点が置かれた管理方法が導入されてきた。厚生労働省(2022)は、2021年6月1日から原則として国内全ての食品等事業者はHACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)管理を求める内容を制度化している。厚生労働省はHACCPを「食品等事業者自らが食中毒菌汚染や異物混入等の危害要因を把握した上で、原材料の入荷から製品の出荷に至る全工程の中で、それらの危害要因を除去又は低減させるために特に重要な工程を管理し、製品の安全性を確保しようとする衛生管理の手法」としている。従来の製造方法に比べHACCPはより効率的に問題のある製品の出荷を未然に防ぐことに寄与するとし、その手引書を113の業種に分け作成している。HACCPに基づく衛生管理では、厚生労働省(2022)はホームページ上で手引書を掲載しており、その中でPDCA(Plan Do Check Action)サイクルを回し、衛生管理レベルを上げていくことが重要であると記載している。衛生管理計画の作成では、科学的根拠に基づき重要管理点、CCP(Critical Control Point)を設定し、CCPの管理基準であるCL(Critical Limit)及びCCPの管理状態をモニタリングする導入方法を明示している。HACCP7原則では危害要因の分析、CCPの決定、CLの設定、モニタリング方法の設定、改善措置の設定、検証方法の設定、記録の保存方法と設定の7項目に分け工程フロー図作成とHACCPチーム作りを経てPDCAサイクルを回し管理する方法としている。これら管理とモニタリングは書面での運用と保管が一般的でありITの活用については特に言及されていない。予め計画を設定し、一定期間の運用後、その効果を検証し改善するPDCAサイクルは本来、工場でも反復回数が多く、不確実性の低い業務が念頭に置かれている。そのため、計画作成や実施では書面の代わりにタブレットなどを使用するデジタル化の方法もあるが、人材育成やHACCP7原則策定、運用等、一連のサイクルを回すには中長期的な視野に立った時間設定を前提とする実施方法である。HACCP以外にもGFSI(Global Food Safety Initiative)やISO(International Organization for Standardization)が国際基準に合った食品安全、品質安全のための認証制度を行っており、中小企業でも一定の導入が進んでいる。この様に、品質に関する管理方法、いわゆる不良品を出さない管理方法は広く中小企業で実施され、日本の食品は高品質という国内外からの評価を得る一方で、不確実性の高い目の前で起きた予測不能な生産ラインでの問題に即時対応し生産性及び利益改善する管理方法はほとんど実施されず、結果として品質は高いが生産性は低いという生産ラインが一般化してしまった課題がある。

1.1.3 中小食品生産ラインの物的生産性と付加価値生産性の課題

生産性は主に生産量の観点から定義される物的生産性と、付加価値額の観点から定義される付加価値生産性がある。本研究では物的生産性、付加価値生産性共に公益財団法人日本生産性本部(2022)が定義する生産性の式を用いる。また、付加価値額については2021年版中小企業白書で定義する式を用い、以下の様に変換している(中小企業庁, 2021)。

$$\text{付加価値額} = \text{人材関連費} + \text{減価償却費} + \text{営業利益} + \text{その他費用} \quad (1)$$

ここで、人材関連費＝給与総額＋福利厚生費、その他費用＝動産・不動産賃借料＋租税公課としている。本研究で扱う生産性は生産ラインに焦点を当てたため、後述する生産性分析は会社全体としてではなく生産ラインごとの結果として用いる。これまで生産性の低い中小企業は利益を捻出するため、人材関連費や減価償却費を抑え利益を確保する傾向にあった。式(1)で示した通り、生産性は人、もの、金の和であることから、コスト削減の意識が先行した利益追求は結果として、人材不足や設備不足を誘発し生産性を下げる課題がある。そのため本研究では生産ラインの労働者数や労働時間を減らしたり、新たに多額の資金を投じ IoT 化又は機械更新したりする生産性改善の研究を目的とせず、労働者数や労働時間、資本、また式(1)で示した人材関連費、減価償却関連費、その他費用は一定と仮定し、生産量を上げることで生産性改善することを生産性改善の目的とする。結果として物的生産性及び付加価値生産性はそれぞれ生産量及び営業利益にのみ依存する。

1.1.4 中小食品生産ラインの IoT 化の課題

中小食品工場において、生産ラインの見える化は長年の課題であり IoT 無しでは実現することは非常に困難である。しかし近年の技術進歩により、現在では生産ラインを IoT 化することでリアルタイムの見える化が可能となる。一方で生産性の観点から IoT により生産ラインの見える化が実現したとしても生産量や利益が改善するとは限らず、IoT を如何に活用し、中小生産ラインが抱える課題に対する答えを明示する必要がある。

1.1.5 中小食品生産ラインに導入可能な新たな管理手法

前述の通り、中小食品製造業でも、PDCA サイクルを用いた HACCP 管理や CCP 管理等を進めることで、クレームや不良品を抑え食品安全を担保でき品質の面からは一定の成果を得ている。反復回数を増やすことで確実性を高められる PDCA サイクルは品質向上に寄与する一方、以前に比べ品質の管理項目が増え確認書類も増加し、教育など含めこれまで以上に生産以外で時間を取られ、結果として生産性について重点を置きづらくなり、利益改善が困難になる課題がある。製品の品質を落とすことはできないため、現状の管理体制を維持しつつ、効果的に生産数を伸ばす必要性が求められる。PDCA サイクルを用いた生産性向上の取組みは、不確実性の高い現場の問題やトラブルに対し迅速な判断や決断、実行ができず、日々の生産数を増やし生産性を改善するには効果が低い。不確実性の高い問題発生に対しリアルタイムで臨機応変に対応する方法として OODA (Observe, Orient, Decide, Act) ループがある。OODA ループは緊急時における意思決定モデルであり、直面する緊急事態に観察、判断、決定、行動の意思決定過程を繰り返すことで急に発生する問題に対処する手法である。また PDCA サイクルの様に予め計画を立てる必要が無く、目の前に起こる

事象に対しループとして、迅速に観察、意思決定後、実行又は変更できるのも特徴である。OODA ループは、戦場や災害などを想定したモデルとして用いられてきたが、中小食品工場の現場では、少量多品種製造故の緊急時に近い予測不能な状況が頻繁に発生していることはあまり知られていない。しかし OODA ループは PDCA サイクルと違い、管理者と作業者がコミュニケーションを取り合い計画する時間も無く、作業者が目の前の製造上の問題・トラブルに自ら観察、判断し実行する必要がある。その判断が常に正しいとは限らず現場に任せきりにすることを危惧し、管理者は率先して OODA ループの様な現場の判断に大きく依存する管理手法をこれまで導入できていない。OODA ループを導入するのみでは、これまでの管理体制と比べ大きな変化は得られない。そのため、IoT により管理者もリアルタイムに製造現場の情報を得る仕組みを構築し、作業者同様、管理者も並行して OODA ループを実施し、モニター越しで管理者の観察、判断を加味することで判断の選択肢を増やし短時間で問題に対処できる管理方法を考案した。IoT を活用した OODA ループを OODAIoT ループと呼ぶこととし、管理者含め複数人が同時に情報を共有し、より確実な意思決定と実行を促進する OODA ループを実施することで、前述の 3 つの課題解決に寄与することを実証研究により示す。

1.1.6 本研究の全体像と論点

本研究では、図 1-1 で示す通り、中小食品生産ラインが直面する、品質管理、生産量、管理者の意思決定に焦点を当て、IoT を活用した OODA ループ、OODAIoT ループを実施することでパレート改善が可能であることを実証研究により示す。

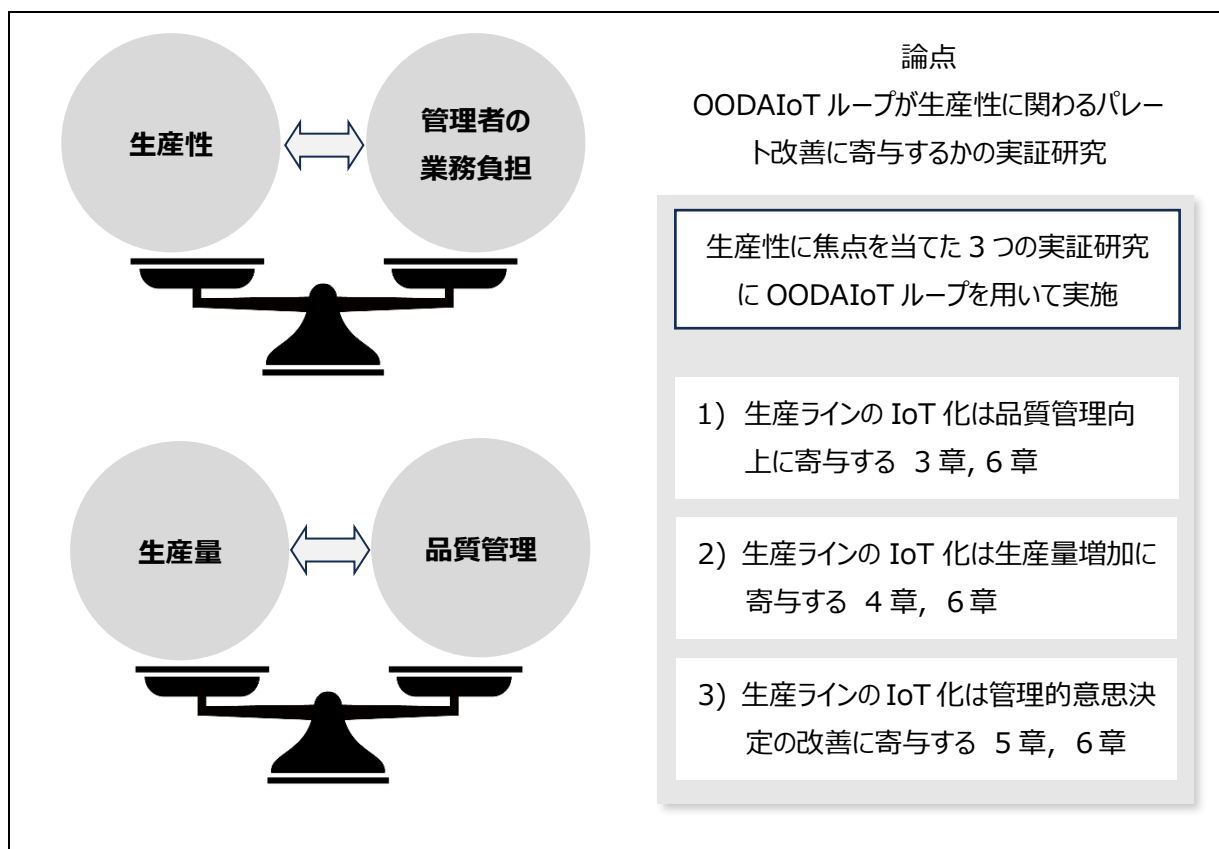


図 1-1 本研究の全体像

1.2 対象工場の課題と分析のフレームワーク

本研究では、中小食品生産ラインでの生産性改善を目的として、対象工場を設定し現場に深く入り込み、生産性に関する実証研究を行った。第 3 章～第 5 章における対象工場は、静岡市所在で中小食品製造業である社員約 70 名の静パック有限会社(以下、対象工場 A)に承諾を得て、生産ラインとそれに関わる管理者及び社員とする。第 6 章では、対象工場を同じく静岡市所在で社員約 40 名の食品関係のセット作業を中心とする事業を営む会社 S¹(以下、対象工場 B)の生産ラインとそれに関わる管理者・リーダー社員とする。対象工場を A と B の 2 つにした目的は、対象工場 A において複数の実証研究を実施し、その結果から一般性を確認する上で他社でも実証研究しその再現性を高めるためである。対象工場 A と対象工場 B は外注先関係でもあり、本研究では、対象工場 A から対象工場 B の生産状況を確認できるように IoT を構築し企業間の連携についても検証する。対象工場 A の生産ライン(以下、対象ライン A)と対象工場 B の生産ライン(以下、対象ライン B)は IoT 機器を設置するために必要な無線 LAN 環境及び電源設備等、必要環境も整っている。また対象工場 A の工場内には VPN(Virtual Private Network)が構築されており、必要に応じてそ

¹希望により会社名を匿名にするため S とした。

のネットワークを使用した。対象工場 A、対象工場 B は PDCA サイクルによる HACCP 管理に対応しており、対象ライン A、対象ライン B において日々の製造記録や品質管理等、大手企業が求めるレベルの品質管理を徹底し品質重視の経営を行っている。

1) 対象工場 A の課題分析

森ら(2006)は、企業改革における手法の研究において、経営環境分析として SWOT(Strength, Weakness, Opportunity, Threat)分析により自社のコアコンピタンスを抽出する必要性を述べ、業界構造分析を追加することで戦略決定における意思決定方法に用いている。岩切ら(2013)は、戦略的 PMO(Project Management Office)のリスクマネジメントのツールと技法において、リスク特定方法の一つとして SWOT 分析を取り上げている。本研究においても、実証研究を行う上で、関係者に理解を得る上でも経営課題を明確にする必要があり、品質リスクを管理することも想定されるため、対象工場 A の社員を対象に SWOT 分析を実施し、最初に会社課題を分析した。その後、筆者が生産性に関する独自因子を抽出した(表 1-2, 表 1-3, 図 1-2)。表 1-1 の矢印で示した通り、SWOT 分析は、弱み(Weakness)を強み(Strength)に変え、脅威(Threat)を排除し、機会(Opportunity)を強み(Strength)にし、強み(Strength)を次の機会(Opportunity)にすることを目的とする分析方法であるが、表 1-2 の結果を表 1-4 のように分類すると、共通因子を、効率、品質、価格、教育の 4 つにすることができる²。その内訳比率をグラフにまとめたのが図 1-2 である。価格は、顧客との折衝や対外的な交渉が影響し、生産ラインと直接関係ないため、本研究では対象外とした。そのため、生産ラインにおける生産性に関する課題の共通因子は、効率、品質、教育の 3 つであると分かる。

表 1-2 SWOT 分析結果 (対象工場 A)

Opportunity(機会) ・多品種少量製造により様々な提案可能【10】	Threat(脅威) ・クレーム対応【8】 ・資源高騰【5】 ・価格競争【3】
Strength(強み) ・多品種少量製造による技術力向上【12】 ・もの付く人材の確保【10】 ・多品種少量故に多くの顧客を保有し情報を得られる【8】 ・品質管理の認証保有(GFSI、有機 JAS 等)【7】	Weakness(弱み) ・少量多品種製造による効率の悪さ【11】 ・機械調整の複雑さ【9】 ・業務の多様化による負担【8】 ・多種機械保有による教育の複雑さ【3】

² 分類の際、内容が不明確の場合は、それぞれ意味を担当者に確認して分類分けした。

・短納期対応【4】

対象工場 A の社員 23 人対象に実施, 【】内は回答数

表 1-3 SWOT 分析による因子分析 (対象工場 A)

項目	因子	共通因子	内訳比率※ (%)
Opportunity (機会)	多品種少量製造により様々な提案可能	効率	100.0
Threat (脅威)	クレーム対応	品質	50.0
	資源高騰	価格	31.3
	価格競争	価格	18.8
Strength (強み)	多品種少量製造による技術力向上	効率	29.3
	「も」の付く人材の確保	教育	24.4
	多品種少量故に多くの顧客を保有し情報を得られる	効率	19.5
	品質管理の認証保有(GFSI、有機 JAS 等)	品質	17.1
	短納期対応	効率	9.8
Weakness (弱み)	少量多品種製造による効率の悪さ	効率	35.5
	機械調整の複雑さ	効率	29.0
	業務の多様化による負担	効率	25.8
	多種機械保有による教育の複雑さ	教育	9.7

※表 1-2 のそれぞれの区分における【】内の数字の内訳比率、少数第二位を四捨五入。

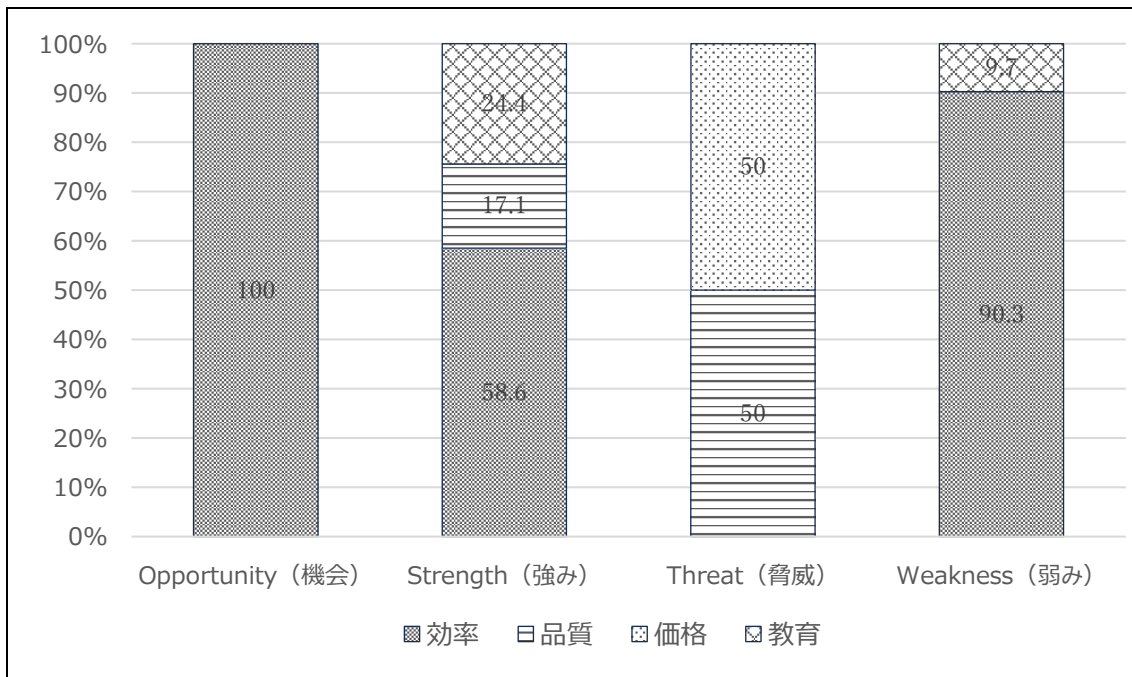


図 1-2 SWOT 分析による分類ごとの累積比率グラフ (対象工場 A)

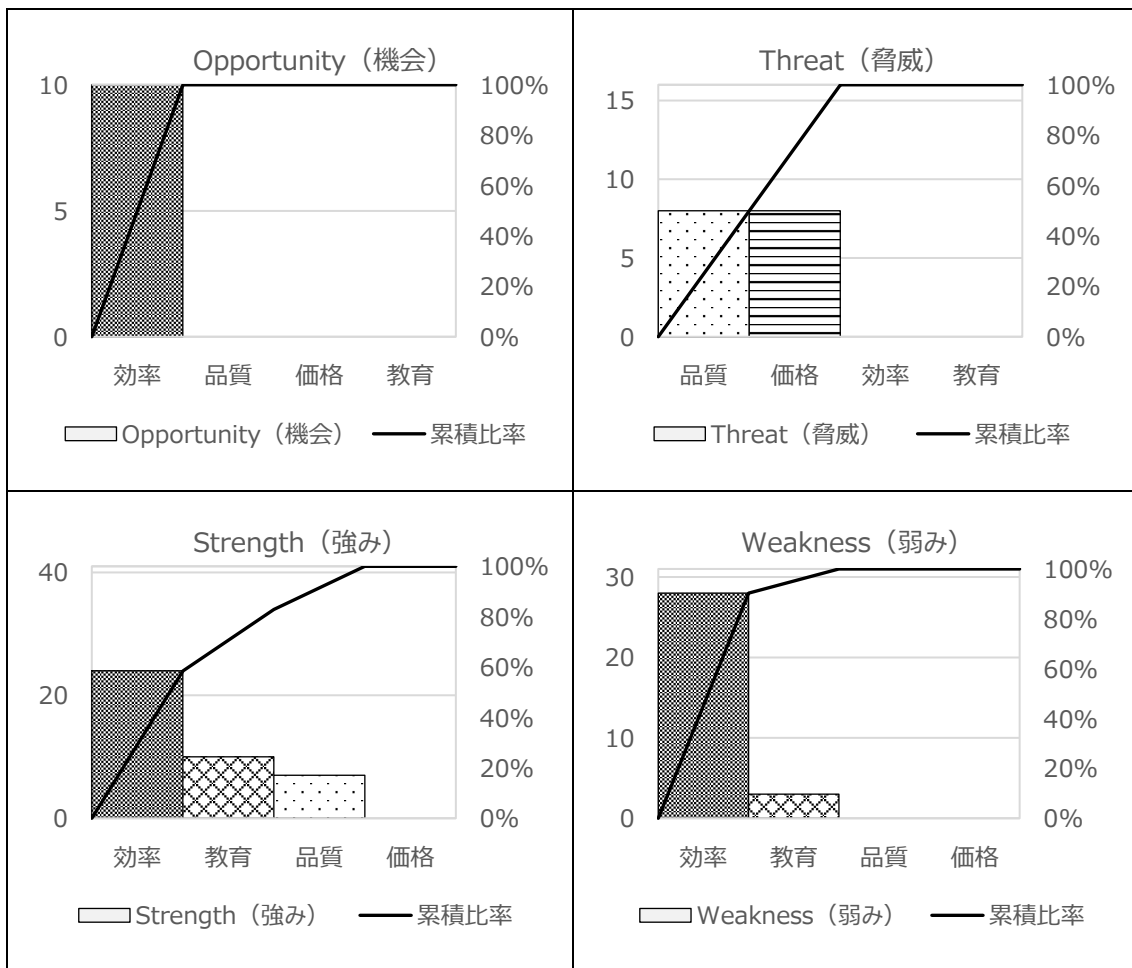


図 1-3 SWOT 分析の共通因子によるパレート図（対象工場 A）

図 1-3 の通り、対象工場 A は、現状の多くの中小企業の課題と類似の課題を抱えていることが分かる。多品種少量製造故の効率に課題がある。本研究では、SWOT 分析において比率の高い効率について多くの章において焦点を当て、実証研究を実施する。品質については、第 3 章において焦点を当て実証研究を実施する。教育については、教育自体に焦点を当てた実証研究は実施していないが、生産ラインは完全自動化には程遠く、多くの工程で人が携わることから、全ての実証研究において少なからず教育は関係しており、本研究が貢献する教育面についても述べる。価格については、顧客や仕入先との交渉が必要であり、生産ラインとの直接的な関係性は低いため本研究では省いている。

対象工場 A の SWOT 分析では、多品種少量生産ライン故の強みと弱みがあることが分かる。加藤ら(2001)は、日航機のニアミスの原因と具体的対策立案のために「なぜなぜ分析」を使用している。「なぜなぜ分析」は、「なぜ」を 5 回程度繰り返すことで、表面上の原因だけではなく、主原因の発見までたどり着くことを目的とした分析手法である。菅野(2016)は、鋳造現場において欠陥が発生した場合、その原因を理論的に追及し原因をつかみ確実に対策を打つために、改良型の「なぜなぜ分析」を実施している。改良型では特に「なぜ」を 5 回程度繰り返す必要はないが、分岐の数を 2 つにすることを提案している。本研究では、業界構造分析のような社外との関係を分析することを目的としておらず、社内の 1 つの現場である生産ラインという狭い範囲において、問題点を追及する目的において、現場リスクを分析する「なぜなぜ分析」は有効である。特に、多品種少量生産において重要となるのが効率であるが、商品の品質保証のリスクが常に懸念される現場では、管理者と「なぜなぜ分析」を実施することで、特定の因子の原因追及と確実な対策が打てる。

SWOT 分析における強みで出た多品種少量製造は、特に営業に携わる社員から強調され、様々な商品の提案ができることにつながることであった。一方、弱みでは、生産ラインの多品種少量故の非効率さがあげられ、生産性が落ちるとの意見であった。本研究は、生産ラインに焦点を当てた生産性改善を目的としているため、弱みである少量多品種製造をいかに強みに変えるかの分析が必要であり、真のリスク課題に近づくため、管理者による「なぜなぜ分析」を実施した。結果、現場と管理者の迅速かつ柔軟なコミュニケーションができていない原因により、予想以上に機械稼働の非効率さが課題であることが分かった。生産ラインの生産性を高めるためには、管理者の業務内容を適切に判断することであり、それが結果として生産性改善に繋がる可能性がある。

表 1-4 なぜなぜ分析形式によるヒアリング調査結果（対象工場 A）

課題		多品種少量製造はなぜ弱みか？	
	ヒアリング内容（なぜ）		回答（要因）

なぜ?x1	なぜ多品種少量製造は生産性が落ちるのか?	➡ 機械停止時間が増えるため
なぜ?x2	なぜ機械停止時間が増えるのか?	➡ 機械設定に時間がかかる
なぜ?x3	なぜ機械設定に時間がかかるのか?	➡ 作業者のみでは経験が足りず、管理者の判断を必要とする場合が多いが、管理者とのコミュニケーションが不足している
なぜ?x4	なぜ管理者とのコミュニケーション不足なのか?	➡ 管理者と連絡が取りづらい
なぜ?x5	なぜ管理者と連絡が取りづらいのか?	➡ 管理者が生産管理以外の業務も担うため、連絡を取りたい時に管理者が空いていない

前述の結果から、生産ラインの生産性向上には、管理者が今以上に自由度の高い意思決定が可能な環境づくりが必要であると仮説できる。後述するアンゾフの管理的意思決定を用いた OODA ループを実施するため、管理者から管理業務の状況についてヒアリング調査を実施した。管理者からは管理業務課題の焦点を明確にするため、ヒアリング内容を一つに絞り対話形式とした。その結果、管理者の課題は大きく分けて 4 つあることが分かった(表 1-5)。一つ目は、品質に関する不安から多くの時間を割く必要が生じていることであった。二つ目は、生産ラインの状況把握がリアルタイムに行えないために非効率な課題であった。三つ目は、ボトムアップの製造体制では、管理者自身が迅速な対応が困難であることが分かった。四つ目は、社外からの影響による調整に迅速に対応できないことであった。本研究では、この 4 つの内容を対象工場 A の生産性を改善するための課題であると仮説を立て、OODAIoT ループを用いた実証研究を実施した。表 1-5 の通り、一つ目の課題を 3 章で実施し、二つ目の課題を 4 章で実施し、三つ目と四つ目の課題を 5 章で実施した。

表 1-5 管理者のヒアリング調査結果 (対象工場 A)	
対象章	ヒアリング内容: 管理的意思決定を速めるために必要な事は何か?
3章	1. クレーム発生は不確実性が高く、品質管理を徹底しても目視や紙の記録では検査数に限界があり、記憶や記録の信憑性も不安が生じるため、 品質優先 の対応に多くの時間が割かれる。
4章	2. 生産ラインの優先順位は品質であり、設備投資せず生産量を伸ばすためには、常に 生産ラインの状況を確認 しなければならず、その他管理を行う状況では困難である。
5章	3. 製造現場のトラブルに迅速に対処したいが、不確実性の高い現場のトラブルに対し、急に現場から連絡が来ても、 目の前の他業務が優先 となり後手に回りやすく、その他管理を怠らずに生産量を伸ばすのは困難である。 4. 外注先の製造進捗は変化しやすく不確実性が高いため、生産調整や生産進捗を確

	認する電話やメール対応に時間がかかり、外注先の生産が遅れると自社の 生産ラインの計画が遅れ 、生産性が落ちる。
--	--

2) 対象工場 B の課題分析

対象工場 B においても、対象工場 A 同様、会社の課題における SWOT 分析を実施した。表 1-6 においても、生産性に関する独自因子を抽出しまとめた。対象工場 B は、対象工場 A 以上に共通因子である効率が強みでもあり弱みでもある結果であった。これは、対象工場 A よりも手作業が多い業態であり、より効率的に生産する必要性があることを示唆し、それにより他社との差別化に繋がる可能性がある。

表 1-6 SWOT 分析結果（対象工場 B）	
Opportunity(機会) ・多品種少量対応可能【3】 ・市場の変化に柔軟に対応できる【1】 ・異業種に参入可能【1】 ・多品種少量による仕事力の向上【1】	Threat(脅威) ・商品の取り扱いの難しさ、クレーム、納期等【2】 ・真似できる環境【1】 ・景気に左右される【1】
Strength(強み) ・多種多様な商品対応可能【5】 ・作業者が充実【1】 ・他社に比べ業界のノウハウがある【2】 ・資格不要な業界【1】 ・障害者、高齢者も作業可能【1】 ・短納期対応可能【1】 ・リピート顧客が多い【1】 ・チームワークの良さ【1】	Weakness(弱み) ・多品種少量故の安定した製造環境、継続受注が少ない【6】 ・機器に詳しい人がいない、社員の得意不得意【4】 ・社員間の信頼関係が低い【2】 ・在庫管理が不足【1】 ・残業がある【1】

対象工場 B の管理者・リーダー6 人対象に実施、【】内は回答数

表 1-7 SWOT 分析による因子分析（対象工場 B）

項目	因子	共通因子	内訳比率 (%)
Opportunity (機会)	多品種少量対応可能	効率	50.0
	市場の変化に柔軟に対応できる	効率	16.7
	異業種に参入可能	効率	16.7
	多品種少量による仕事力の向上	効率	16.7
Threat (脅威)	商品の取り扱いの難しさ、クレーム、納期等	品質	50.0
	真似できる環境	価格	25.0

	景気に左右される	効率	25.0
Strength (強み)	多種多様な商品対応可能	効率	38.5
	作業者が充実	教育	7.7
	他社に比べ業界のノウハウがある	効率	15.4
	資格不要な業界	品質	7.7
	障害者、高齢者も作業可能	効率	7.7
	短納期対応可能	効率	7.7
	リピート顧客が多い	効率	7.7
	チームワークの良さ	効率	7.7
Weakness (弱み)	多品種少量故の安定した製造環境, 継続受注が少ない	効率	42.9
	機器に詳しい人がいない, 社員の得意不得意	効率	28.6
	社員間の信頼関係が低い	効率	14.3
	在庫管理が不足	効率	7.1
	残業がある	効率	7.1

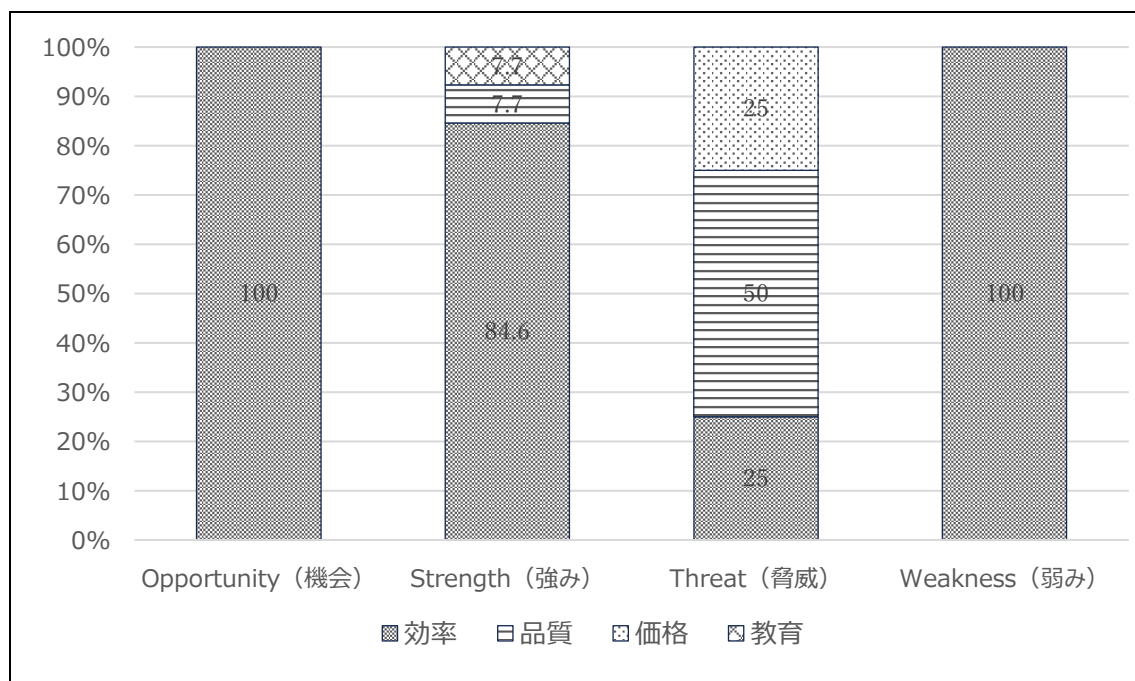


図 1-4 SWOT 分析による分類ごとの累積比率グラフ (対象工場 B)

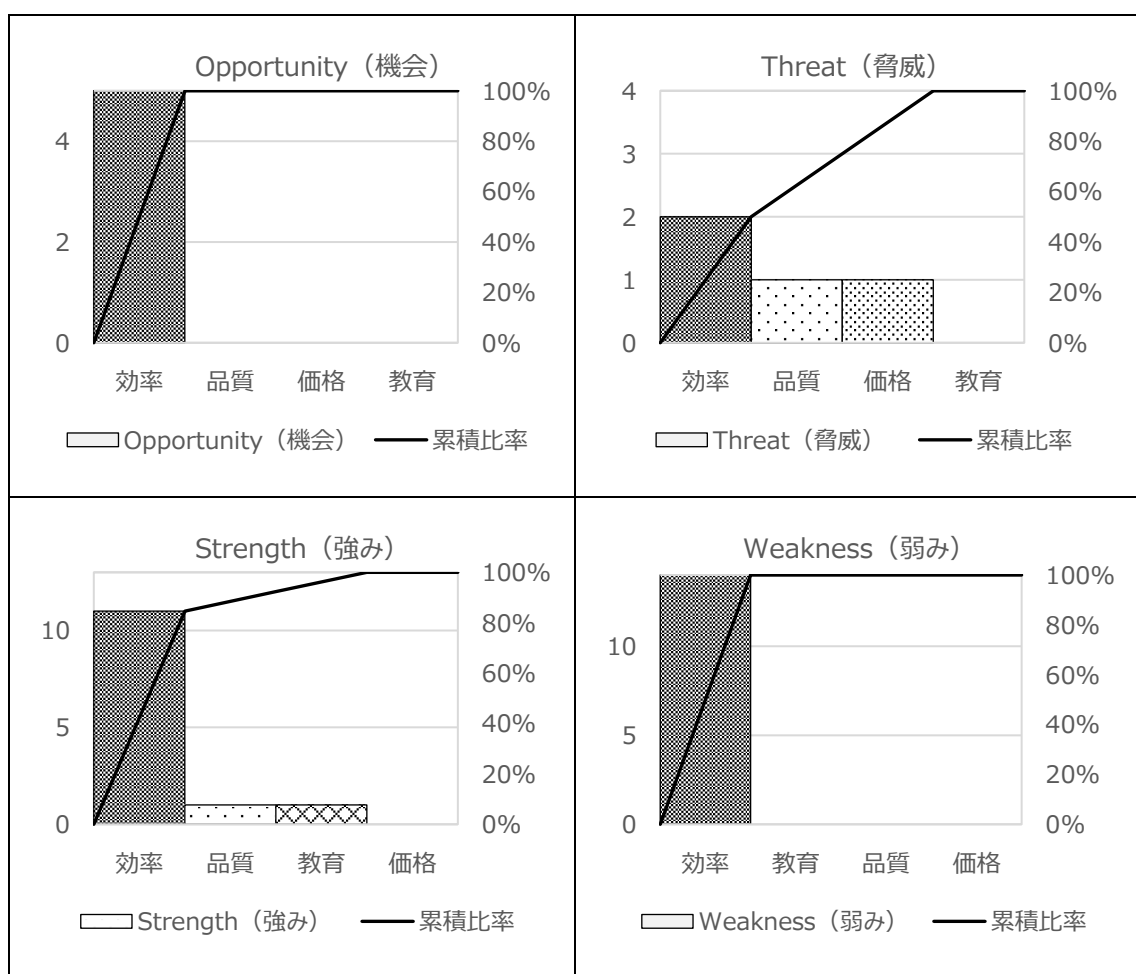


図 1-5 SWOT 分析の共通因子によるパレート図 (対象工場 B)

表 1-8 なぜなぜ分析形式によるヒアリング調査結果 (対象工場 B)

課題		多品種少量製造はなぜ弱みか?
	ヒアリング内容 (なぜ)	回答 (要因)
なぜ?x1	なぜ多品種少量製造は安定しないのか?	➡ 商品切り替えでの体制づくりに時間がかかるため
なぜ?x2	なぜ商品切り替えで時間がかかるのか?	➡ 手作業が多いため人の配置を計画するのに時間がかかる
なぜ?x3	なぜ人の配置に時間がかかるのか?	➡ 各人の能力にあった配置づくりをしないといけなため
なぜ?x4	なぜ各人の能力にあった配置づくりをしないといけなのか?	➡ 効率良く作業ができないため
なぜ?x5	なぜ効率良く作業ができないのか?	➡ 他業務を行いながら遠隔で生産状況をリアルタイムに確認する方法がないため

表 1-8, 表 1-9 が示す通り, 対象工場 B においても, 生産性向上の妨げになっている大きな要因は管理的意思決定のための環境づくりが不足しているためであることが分かる。管理者の意思決定がリアルタイムかつ遠隔で行えることで数時間先の生産スケジュールを予測でき迅速な生産体制づくりができるためである。第 6 章では, 対象工場 B において, IoT を用いることでこの課題に対する実証研究を実施し, 生産性向上に寄与するか, 生産量と品質の視点で分析した。対象工場 A と B の業種は異なるが, 少量多品種製造に注力する企業にとっては, 管理的意思決定の段階においての課題が大きいことが示された。

表 1-9 管理者のヒアリング調査結果 (対象工場 B)	
対象章	ヒアリング内容: 管理的意思決定を速めるために必要な課題は何か?
6章	1. 生産中の 生産量進捗 と 品質担保 が同時に確認でき, それにより数時間後の次の生産体制を計画することができ, 生産量増加と管理体制安定化に繋がる

アンゾフによれば, 企業の意思決定には 3 つの階層, 戦略的意思決定, 管理的意思決定, 業務的意思決定に分類される (森本, 1996)。牧浦ら (2011) は, コストマネジメントにおいての意思決定をトップマネジメントから関係者が認識できる AHP (Analysis Hierarchy Process) を用いた手法を述べた。戦略的意思決定は資本収益力を最大化する選択であり, 管理的意思決定は資本の能力発揮を最大化する体制づくりであり, 業務的意思決定は資本収益力の実現を最大化する行動といえる。本研究では, これまでの課題分析結果から, 管理的意思決定の向上が生産性改善に寄与すると仮説を立てた。そのため, 全ての実証研究で管理的意思決定に焦点を当てた。また, 管理的意思決定に従い業務実行することから, 各章において業務的意思決定も関係性があり, 管理的意思決定の補完要素として述べた。

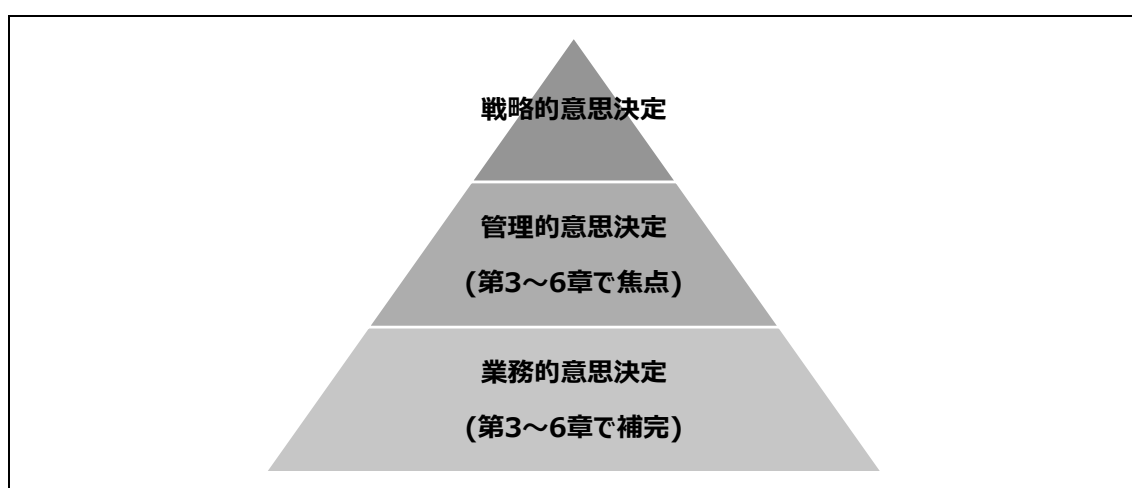


図 1-6 アンゾフの意思決定と本稿の関係図

田中 (2020) は, リチャーズ (2019) を参考に PDCA サイクルと OODA ループの比較を表にま

とめ、次世代型リーダーに求められる戦略的手順を述べた。表 1-1 は、その表をもとに筆者が加筆した。PDCA サイクルは、計画から実行、検証、改善まで中長期的視点に立つ場合が多く、生産現場における予測困難な問題・課題が頻繁に発生する可能性は高くない。また、経営者が中心となり改善計画を立案するのが一般的であるため、戦略的意思決定となる。一方、OODA ループは、目の前で発生した問題・課題に対し、即時に観察、判断し、実行に移すループのため、予測困難な状況を想定した場合が多く不確実性は高い。また、判断を上司に確認している時間がない場合を想定しているため、意思決定は現場にいる人間に依存し、管理的意思決定や業務的意思決定が中心となる。これは、「行動の判断」と同じ意味となるが、アンゾフの意思決定の観点からより細分化し行動の判断を明確にする。

表 1-1 PDCA サイクルと OODA ループの比較

	PDCA サイクル	OODA ループ
不確実性	低い	高い
意思決定	戦略的意思決定	管理的意思決定/業務的意思決定
論理	演繹法	帰納法
命令のタイプ	タスク型命令	ミッション型命令
専門性	低い	高い
タスク	反復的	経験的
対応の重点	事前対応	事後対応
行動の判断	上位判断	現場確認後の判断

食品生産ラインは、品質重視で稼働する一方、生産性を向上し持続的安定した利益確保も重要であり、品質と生産性の関係にはパレート最適が求められる。また、パレート最適を得る過程として、管理的意思決定の改善が重要であり、自社工場のみならず、製造工程が複数の企業を跨ぐ場合も同様である。自社で徹底した品質と生産管理が適切に行われていたとしても、その前後の工程で不良が発生すればその商品は不良品となる。一旦不良品が発見されると製造工程全てを見直す必要があり、自社に責任がなくても様々な書類提出や検査を実施し、安全性を担保するためそこに人手が取られ生産性が低下する要因となる。本研究の骨子は、一社生産ラインの品質と生産管理から外注先と連携した生産工程においても、実証研究により生産性改善が可能であることを示し、一般性を持つことを明らかにする。

1.3 研究の構成

本研究の構成は以下の通りである(図 1-7)。第 1 章で研究の目的及び課題を整理し、第 2 章で理論的な背景を述べる。第 3 章から第 5 章では、ある企業において、品質、生産

量・利益のそれぞれの観点から生産性に関する実証研究を行う。本項で定義する生産管理的意思決定とは、アンゾフの意思決定に IoT を組み合わせ、OODA ループの実施により、不確実性の高い生産ラインにおいて、意思決定を促進する生産管理手法とした。第 6 章では、別企業において第 3 章から第 5 章での再現性を実証研究する。第 7 章で全体の結論と考察、今後の課題を述べる。

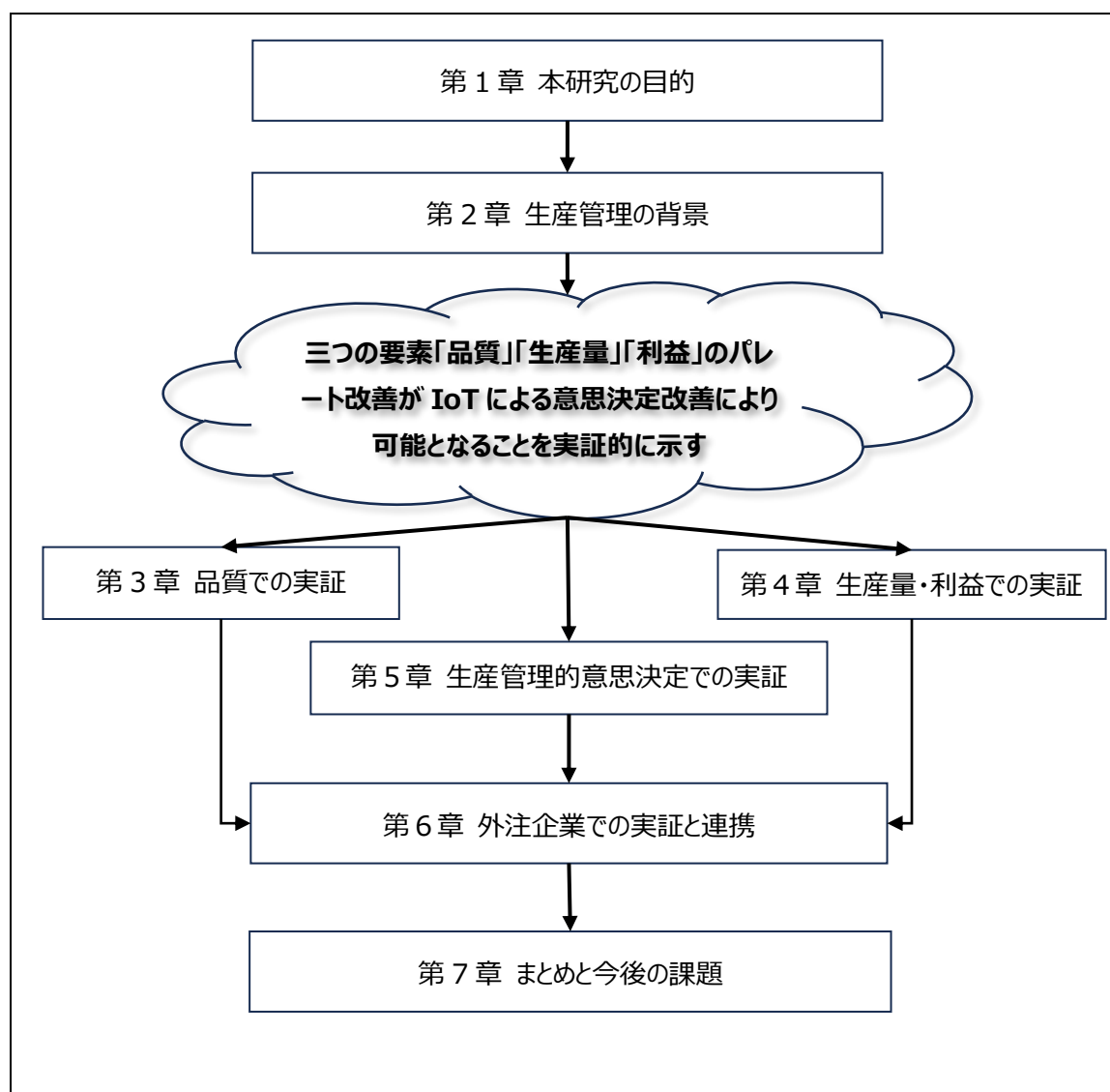


図 1-7 本研究のフロー

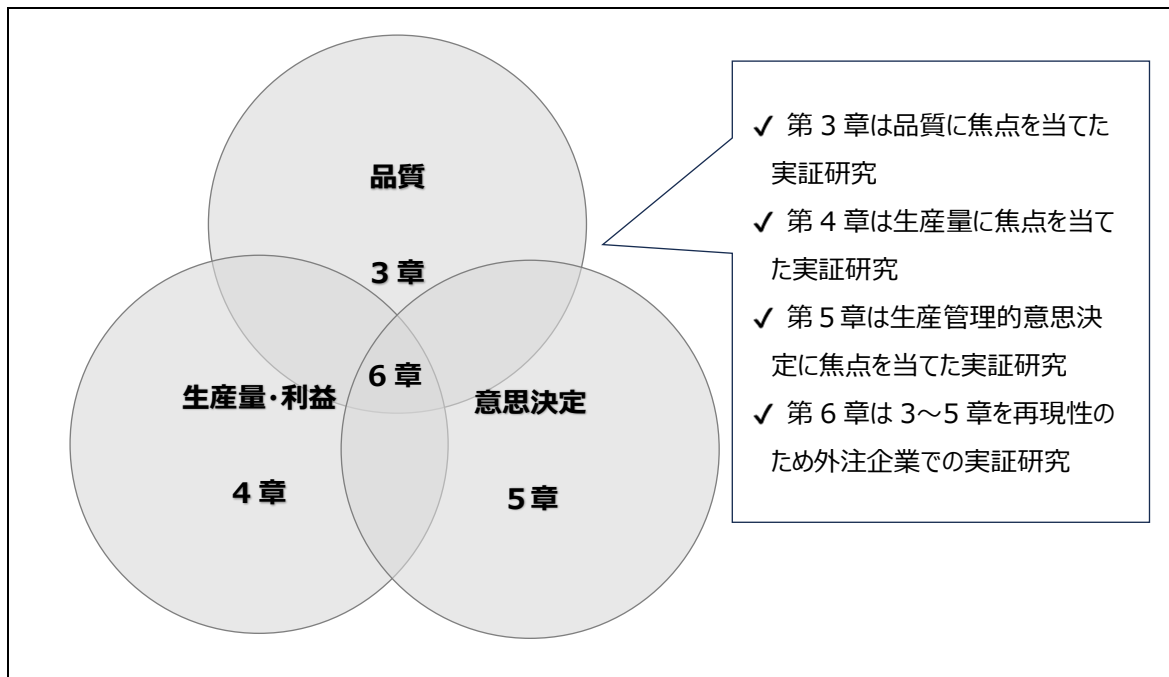


図 1-8 3～6章で実施した実証研究の関係

1.4 先行研究との関連性と本研究の意義

本研究は、先行研究に見る工場の IoT 活用と従来の生産管理を背景としつつも、生産管理的意思決定の改善を促す OODA ループを用いることで、生産性向上に貢献することについて実証研究を通じ示すものである。IoT 関連においては、工場の見える化の研究が多くされている。品質管理においては、不確実性の低い PDCA サイクルによる管理方法が研究されている。一方で、生産性に対する実証研究や、OODA ループによる意思決定改善に関わる研究は乏しく、本研究が、中小企業生産ラインの生産性改善に寄与するという意味においては、意義のある研究である。(図 1-9)

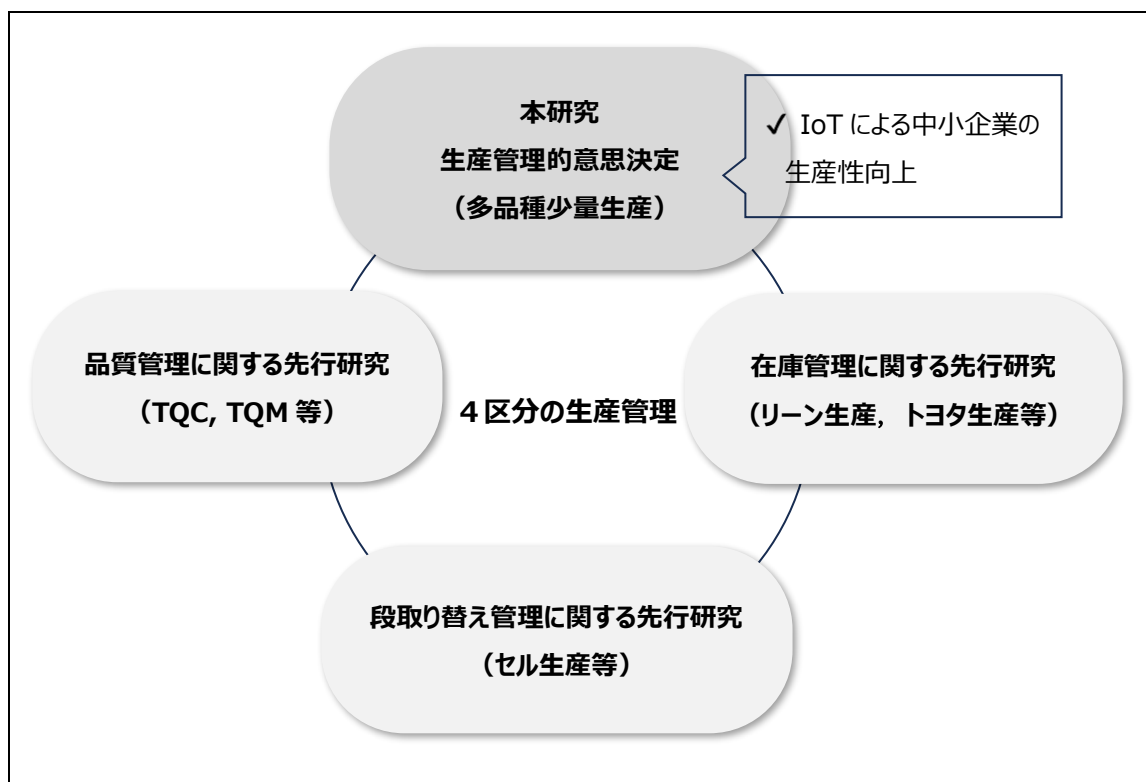


図 1-9 生産管理視点での先行研究と本研究の関係

1.5 本研究で活用したデータと概況

本研究は、第 2 章における先行研究及び第 3 章、第 5 章による定性的分析と、第 4 章、第 6 章における生産量を用いた定量的分析の 2 つのパートで構成される。第 4 章、第 6 章においては、定量的分析の後、管理的意思決定における定性的分析にも触れる。第 3 章では、対象工場 A の生産ラインで製造される商品の検査工程から得られた商品画像を使用した。第 4 章では、対象工場 A の三つの生産ラインから得られた生産量のデータを使用する。第 5 章では、第 4 章で得られたデータを使用した。第 6 章では、対象工場 B の一つのフロアで行われた生産量のデータを使用する。各々のデータ概要は表 1-10 の通りである。

表 1-10 第 3 章～第 6 章で実証する研究について

検証仮説	掲載箇所	検証内容	分析内容	対象者
1) OODAIoT ループ は検品時間短縮に寄 与する	3 章	商品画像	主：定性面	対象工場 A（顧客, 管理者, 作業者）
2) OODAIoT ループ は生産量改善に寄与 する	4 章	生産量	主：定量面 従：定性面	対象工場 A（管理者, 作業者）

3) OODAIoT ループ は管理的意思決定の 改善に寄与する	5 章	管理的意思決定 プロセス	主：定性面	対象工場 A（管理者, 作業者）
4) OODAIoT ループ は外注先の生産性向 上に寄与する	6 章	1), 2), 3)の連携 と再現性	主：定量面 従：定性面	対象工場 B（管理者, 作業者）

第 2 章 生産管理と生産性向上の意思決定

2.1 食品業界を中心とした生産管理

2.1.1 PDCA サイクルによる品質・衛生管理

本研究は、中小食品工場における生産性向上を目的としているが、食品製造業での生産管理は、品質及び衛生管理に焦点が置かれる場合が多い。PDCA サイクルにより品質改善をし生産を安定させるという流れが主である。北島ら(2014)は、SQDC(Safety, Quality, Delivery and Cost)工程表に基づいた生産管理を提案した。生産活動の見える化が QC 工程表に比べ明らかとなり、SQDC 工程表を用いた PDCA サイクルを廻すことで SQDC 工程管理診断・点検チェックシートによる業務実施状況が見える化し安全管理を自然に業務に取り入れることを可能とした。

2.1.2 国際基準での品質・衛生管理

1) HACCP

小川(2015)は、中小事業者の HACCP 導入支援における IT 活用において、HACCP は国連の国連農業食糧機構(FAO)と世界保健機関(WHO)の合同機関である食品規格(コーデックス)委員会が各国にその採用を推奨している国際的に認められた手法とした上で、ヒトと IT の共創の視点から、効率的効果的な施策やサービスを見いだせると提案した。武田(2015)は、農場 HACCP の事例を用い、農場 HACCP を養豚農場に導入することで、対外的な信用度が増す以上に、家畜の安全、食品としての安全について理解が進み仕事の効率化に繋がったと述べた。

2) GFSI

岸(2015)は、国際的には狂牛病などの食品事故が頻発した 2000 年以降、GFSI を通じ国際間で調和のとれた食品安全の確保・向上を目的に承認認証規格が確立されたと述べている。これらの制度・認証により、従来の企業ごとが独自で行う品質管理に比べ業界で統一され効果的に食品安全の確保が可能となった。小川ら(2023)は、食品安全文化(Food Safety Culture: FSC)を通じて従業員のウェルビーイングを高めることが結果として生産性や創造性が高まると述べた。FSC の一環として、国際コーデックス委員会や GFSI の提言を受け、組織の食品安全文化を高める項目が含まれている。

3) ISO

澤田(2003)は、ISO マネジメントシステムにより品質や環境、安全衛生に関して改善と維持により成果を上げる重要性を述べる一方で、品質・環境マネジメントシステムに利益・原価マネジメントシステムを統合させ、効率性を追求する必要があると述べた。また、こ

れらを方針管理・日常管理という経営管理活動に組み込みビジョンに向かい社員一丸で達成する重要性を述べた。利益・原価マネジメントシステムの ISO 化案として 3 段階に分け、第一段階を現状から方針管理・日常管理による改善、第二段階を ISO 認証取得後品質と環境の改善、第三段階を原価低減と利益向上のプロセスとした。

2.1.3 OODA ループによる不確実性の高い現場にかかる管理手法

藤本(2018)は、東日本大震災での岩手・宮城・福島県の小中学校を事例研究に体験談をもとにした観察、判断、決定、行動 4 つの段階ごと意思決定内容を分類・整理した。OODA ループを順調に回転させる要因としては、観察の段階で停電の影響を受けない情報通信機器を準備する、教職員が主体的に情報収集するとした。また、決定の段階では、時間をかけてベストの選択肢を選ぶよりも短時間でベターな選択肢を選ぶことを挙げた。生産ラインでは、正に自然災害のような予期せぬ突発的な事象が多く発生する環境であり、OODA ループを活用すべき不確実性が高い生産ラインは多い。しかし、生産ラインに OODA ループを用いた研究は乏しい。それは、OODA ループは迅速な意思決定と実行を求められるが、製造現場では、報連相(ほうれんそう)と言われる通り、現場が全ての実行権限を持つのは不良品や事故の原因にも繋がりがねず、一度は責任者に確認し、顧客への確認や社内での検討を経て意思決定する場合も多く、それら承認を得てから行動するプロセスが一般的である。そのため、即時の実行は難しく、故に OODA ループを生産ラインへ導入することは困難であった。

2.2 製造業にかかる生産管理の概念

本項では、食品業に限らず、製造業を中心とした生産管理の研究を述べる。生産性の改善は生産管理によるところが大きく、これまで多くの生産管理が取り組まれてきた。その中で、本研究の意義とこれまでの生産管理を明示するため、中小食品企業でも頻繁に参考される生産管理を先行研究から三つの区分で述べる。第一の生産管理を品質管理、第二の生産管理をコスト・在庫管理、第三の生産管理を段取り替え管理とする。第一の生産管理である品質管理は、食品業に関わらず全製造業において最も優先される管理である。品質管理には現場に重点を置いた Total Quality Control(全体的品質管理：TQC)と会社全体に視点を当てた Total Quality Management(総合的品質管理：TQM)がある。不良品を無くすことで、不良が発生した際のコストや時間を削減することによる生産性改善を目的としている。第二の生産管理であるコスト・在庫管理は、適切な在庫管理によりコストと生産を管理する方法であり、トヨタ生産やリーン生産などがある。中小食品企業が実際に導入する事例は少ないが、その理論的思考は頻繁に参考にされる。第三の生産管理である段取り替え管理は、多品種生産を目的とした生産方法である。段取り替え時間を短縮し生産性を上げることを目的としており、セル生産やロット生産などがある。第一から第三の生産管

理は、生産体制を確立すると少なくとも数ヶ月以上は製造が継続される傾向が強いため、それぞれ現場で起きる問題に対する不確実性はそれほど高くない。言い換えれば、問題や課題の発生に対し、即座に意思決定し実行するというよりも、問題や課題を記録、蓄積し、管理者や経営陣とある程度の時間をかけて解決する流れが一般である。第一の生産管理である品質管理は、中長期的な視点で計画を立て日々の改善を行うのが一般的であるため現場の不確実性は低い。第二の生産管理であるコスト・在庫管理においても在庫回転率は数日で大きく改善できるものではなく、日々出る課題に対し中長期的な視点で計画を立て実行するのが一般である。第三の生産管理である段取り替え管理は、生産体制が月単位で変更される場合はあるが、中小企業のような日単位で頻繁に生産体制が変更される場合は少なく、急なトラブルや課題が発生した場合でもある程度の時間的猶予があり、現場の不確実性はそれほど高くない。

一方、中小企業は、少量多品種生産が多いため、日単位で生産体制を変更する場合も多く、より現場の不確実性は高くなる。中小企業では、この不確実性の課題に対応するのは常に人であり、管理者及び現場の意思決定の正確さと迅速さが生産性に影響を及ぼす。そのため、本研究では、第四の生産管理として、生産管理的意思決定を用いた。本章では、第一から第三の生産管理の先行研究を述べるとともに、中小企業の実産性改善には課題があり、その課題解決として第四の生産管理である生産管理的意思決定、いわゆるタスク内での意思決定や行動のゆらぎの改善管理が必要であることを述べる。そして、第四の生産管理実現、つまり多品種少量生産における意思決定には、IoTを用いたOODAループ実施の必要性を述べる。

2.2.1 第一の生産管理: 品質管理

森部(1998)は、TQMの大きな柱であるQCサークル活動にはさまざまな問題が生じてきたことによりTQMへ移行がなされたと述べた。QCサークルは小集団により自主的に改善を促す活動であるが、時短・フレックスタイムの導入により集団活動がやりにくくなった点、やらされ感がある点などによる理由が考えられる。森ら(2012)は、医療領域において、院内で消毒薬管理のTQM活動に取り組むことで、消毒薬品目を39.4%削減でき経費削減に貢献したと述べた。圓川(1999)は、TQCからTQMへ移行することで、組織能力の中に、技術力、活力、対応力が加えられ、経営のインフラとして「人」とともに「情報」が柱として位置づけられると述べた。そして顧客満足から顧客の生涯価値の視点を持ち、経営成果に直結する役割があると述べた。鷲尾(2017)は、日本独自のTQMには、顧客第一、品質第一、Fact Control(事実に基づく管理)、PDCAサイクル、再発防止、人材育成と人間尊重・ものづくりは人づくり、結果よりもプロセスを重視する、という7つのコンセプトからTQMのシステムとなる、方針管理、新製品開発システム、生産システム、購買管理システム・カンバン、人材育成システムの5つのシステムと全員参加及び継続的改善から品質世界一になったと述べた。

2.2.2 第二の生産管理: コスト・在庫管理

トヨタ生産方式は、リーン生産方式、JIS(ジャスト・イン・タイム)方式ともいわれ、最も短い時間で効率的に造ることを目的としている。異常が発生したら機械が直ちに停止して、不良品をつくらない人偏のついた自動化と、各工程が必要なものを停滞なく生産するJISの2つの柱で確立されている。自動化とJISの思想がTPSと原価低減を徹底的に磨くことに寄与する³。弘中(2022)は、中小自動車部品メーカーを事例に、長年リーン生産方式を実施し、カイゼン活動を行ってきた企業が、簡易的なIoTを導入してみた結果、生産性を向上できる余地があることが分かったと述べた。IoTによりデータを見た現場からアイデアを出して来たり、作業がしやすくなりモチベーション向上に寄与したと述べた。今井(2020)は、企業の業績改善と利益確保には売上増加とコスト低減が必要であると、トヨタにおけるトヨタ生産システム(Toyota Production System:TPS)により支えられ、TPSの製造現場ではカイゼン(Kaizen)が積極的に行われることによりコスト低減に寄与していると述べた。また、本社機能によりカイゼンをサポートする利益管理システムがありこれにより利益増加を後押ししていると述べた。

これまでの生産性は、大量の商品を生産ラインを止めることなく、効率よく生産することに重点が置かれた。生産ラインでは、品質に重点が置かれることから、ジャスト・イン・タイム(JIT)等、サプライチェーン全体としての生産性改善が行われた。しかし、近年の不確実性の高い社会情勢によりサプライチェーンでの生産性向上はリスクが伴うことも明らかになった。食品業界は、品質重視であり、生産性向上の観点ではジャスト・イン・タイムによるサプライチェーン改善が挙げられる。小林(1995)は、トヨタ生産方式の基本思想は「徹底した無駄の排除」とし、それを支える2つの柱として、JITと自動化があると述べた。JITは、必要なものを必要なだけ供給するものであり、自動化は、異常があれば直ちに自ら検知して作業をストップし不良品を後工程に流さないことである。機械と人の役割を明確に分担することで自律的な不具合コントロールができると述べた。トヨタ生産方式の中でチョコ停という概念がある。生産ラインでわずかな時間だけ停止してしまうトラブルを意味するが、張(1997)は、生産性の向上やコストダウンを目的とした自動化や無人化を導入するにおいて、チョコ停がその目的を阻害する問題となっていると指摘した。張は、チョコ停の原因を7つの原理「廃除」「仕様の適正化」「性能の復元」「異常の隔離」「原因影響緩和」「作業条件の乖離の影響緩和」「作業機能の失敗の影響緩和」に分類し、チョコ停対策の知見を与える方法を述べた。

2.2.3 第三の生産管理: 段取り替え管理

³ トヨタ生産方式「<https://global.toyota/jp/company/vision-and-philosophy/production-system/>」 2023年12月22日時点。

小沢(2005)は、セル生産により生産性を増大させたという企業の事例が多く報告されており、いくつかの研究もあると述べた。PEC 産業教育センター(岐阜市:山田日登志所長, 以下 PEC)が指導するセル生産を対象とし、分業によりコストが増減する要因を示し、セル生産、すなわち作業統合によって生産性が増大するのは、過度の分業を最適な分業の程度まで是正する場面において可能であると推察した。松尾(2015)は、セル生産方式の導入により生産現場の労働生産性を向上させたが、継続的な労働生産性向上には、1セル当たりの編成人数の削減を実施する仕組みや制度、動作のムダを排除できる仕組みや制度、改善能力の高い作業者を育成する仕組みや制度の3つが重要であると述べた。また、原口ら(2013)は、セル生産システムは作業者の技能に大きく依存するため、人員配置の重要性を述べた。そのためには、生産性を維持しつつも、作業者が効率的に訓練ができる配置計画を試み、メイクスパンとスキルインデックスを用いて、技能習得に必要な訓練必要台数を考慮した配置及び作業配分の方法を提案した。

2.2.4 第四の生産管理: 生産管理的意思決定

生産管理は、主にライン生産による単一生産と分業を含めた多品種生産に分類できる。中小企業の多くは多品種生産に分類され、かつ少量生産である場合が多い。試作品製造も含めると1点ものから製造する会社も珍しくない。また、これまでの生産管理は、決められた生産体制を基準とした品質やコスト管理となるため、人による意思が入り込む余地は少ない。トヨタ生産方式の人偏の付いた自動化においても人の意思により生産ラインを停止することを行うが、停めるか否かの意思に留まる。そのため、少量多品種においては、リーン生産やトヨタ生産、セル生産を中心とした概念や生産管理では不十分であり、少量多品種における生産管理的意思決定については深く研究はされていない。

不確実性が高い生産現場ほど、人の意思決定プロセスが生産性に影響を与える。第四の生産管理とは、生産管理的意思決定であり本研究の骨子である。表 2-1 は、生産管理の4つの区分とそれに対する現場で起こる課題に対する不確実性度合の関係性を表す。

ここで、不確実性度合は、生産現場での予測困難な問題・課題が起こる頻度を示す。

「高」は、日々数回程度発生する問題・課題に対し、即時に管理者や職長の意思決定がないと生産性を落とす可能性のある現場を指す。数日おき、もしくは日々生産する商品が変化する多品種少量生産を主とする中小企業のような現場では、予測困難で即時に解決しないといけない問題・課題が日々頻発する可能性があるため、「高」となる。「中」は、数日から数ヶ月の間に数回程度発生する問題・課題に対し、管理者や職長が即時に意思決定し実行することで生産性を維持改善する現場を指す。大企業のような生産方法が既に確立され最低でも数ヶ月程度は同一商品を生産する前提での現場では、予測困難で即時に解決しないといけない問題・課題が日々頻繁に起こる可能性は低いため、「中」となる。

「低」は、数ヶ月から1年の間に数回程度発生する問題・課題に対し、管理者や職長が即時に意思決定し生産性を維持改善する現場を指す。生産性とは直接関係ないが、そのまま

にしておくとして結果として将来大きな問題を引き起こしかねない品質や現場環境改善などが「低」となる。

本研究の目的は、この第四の生産管理方法により中小食品企業の生産性向上を明示することである。第四の生産管理の中でも戦略的意思決定は、主に大企業において行われる意思決定であり、本研究の対象外としている。中小企業では、経営陣が現場管理も並行して行うことは一般的であり、経営陣と現場管理は一体と見る場合が多い。そのため、本研究で焦点を当てる生産ラインに従事する管理者と作業員、管理的意思決定と業務的意思決定による生産管理が対象の生産管理的意思決定となる。

しかしながら、第1章で述べたとおり、中小企業の現場管理者は、常に現場にいる訳ではなく、会社全体の多能工的存在であるため、生産管理的意思決定のみでは、現場がリアルタイムに把握できず生産性改善は困難である。この理由から、管理的意思決定、及び業務的意思決定にはIoT導入が必要であり、このIoTを組み入れ、OODAループを用いた意思決定を生産管理的意思決定とし、生産性向上に寄与することを実証研究により示す。

表 2-1 生産管理区分と不確実性の関係

区分	生産方法	基本思想	不確実性	管理要素
第一の生産管理	● TQC ● TQM	現場 会社全体	低	品質管理
第二の生産管理	■ リーン生産 ■ トヨタ生産	JIS 自働化	低～中	コスト・在庫管理
第三の生産管理	◆ セル生産 ◆ 個別生産 ◆ ロット生産		低～中	段取り替え管理
第四の生産管理	➤ 中小企業の多品種少量生産	IoT OODA ループ 管理的意思決定 業務的意思決定	中～高	生産管理的意思決定

生産方法は食品業で参考にされている代表的方法を記載

2.3 IoT にかかる生産管理

2.3.1 製造工場にかかる IoT 導入の動向

IoT を用いた工場内の生産工程の把握や管理、社員への指示などを行う情報システムは、これまで主に大企業向けに導入されてきた。主なものとして MES (Manufacturing Execution System : 製造実行システム) がある (中村; 正田, 2000)。MES の特徴は、工場の

生産ラインの各工程との連携にあり、作業の計画・品質管理・データ収集等を通じ作業効率向上を目的としたシステムでもある。MESはERP(Enterprise Resource Planning)等の経営情報システム及びPLC(Programmable Logic Controller)等の制御システムを繋ぐ役割とも位置づけられており、国際標準ANSI/ISA-95(IEC62264)において定義されている。この定義は、階層モデルで定義され、レベル0~4がある。レベル0~2は機器・制御層、レベル3は工場管理層、レベル4は経営管理層となる。MESではこのレベル4においてERPやSCM(Supply Chain Management)を通じ製造における実行管理を行うシステムとされているが、この規格はリファレンスモデルとして定義されているものであり、実際に情報システムを構築するためには、それぞれの現場環境に応じた柔軟性のあるシステムモデルを作成し、それに基づくソフトウェアの設計・実装及びハードウェアの構築をする必要がある。MESの機能区分にはデータ収集や作業管理もあるが、あくまで作業をサポートする機能であり、生産性改善に踏み込んだシステムではない。また、MESの様な大規模なシステムを中小企業が導入した場合、コスト面やシステムに精通した社員の不足から導入による生産性の改善より負担の方が大きくなる可能性は高い。今日では、Industry 4.0の様なデジタル化促進のためのスマート工場を導入する活動もあり、具体的なりファレンスモデルの開発が行われている。野中(2017)は、少子高齢化に伴うデジタル化による労働生産性革命として、生産シミュレーションを生産システムに応用し生産状況を予測することで生産性を低下させる問題が発生する前に先手策を打つS-Model生産システムを挙げた。生産実績の自動収集とパラメータ化により生産シミュレーションを可視化することである。MES同様、大規模且つ生産ラインが一定の工場でのシステム利用は期待されるが、生産ラインが頻繁に変わる中小企業工場での対応は難しい。IoTを用いた工場の見える化について、F. Giustiら(2018)は、Festo製品をベースにしたモニタリングシステムの設計を提唱している。IoT機器を無線LAN経由でクラウドサーバーへ接続しデータを送信することで遅延無くモニターに情報表示することを示した。M N Vijayakumarら(2018)は、CNC(コンピューター数値制御)機械において機械をIoT化することで製造工程のトレーサビリティや透明化が可能になると示している。地主ら(2016)は、工場の最適化においてオンプレミスの工場からM2M(Machine to Machine)を通じてクラウドサーバーへデータを蓄積し可視化する研究を行った。いずれも製造状況の可視化には有効であるが生産性改善への言及は乏しく、また、主に大企業向けであり中小企業が短期間で導入する方法としては障壁が高い。

一方で中小企業向けのIoT導入に関する研究として、近藤(2021)は、下請型中小企業の自立化とIoTでQCDの向上を述べた。Qを新技術開発・顧客と共同開発、Cをカイゼン活動・顧客との共同活動、Dを超特急対応や柔軟対応と位置付け、大企業の下請として自立化するにはIoTを用いたデータ連携により自社工程をサブライン化し発注先に積極的に取り込まれることでQCDが向上する方法があると述べた。また、将来はIoTがDに対応し、AI(Artificial Intelligence)がQに対応しさらなるQCD向上が期待できる。さらに、中

小企業の IoT 利活用のビジネスモデルとしてデマンド(需要)サイドとサプライ(供給)サイドに分けた。デマンドサイドでは IoT をツールとして導入し、生産性効率や省力化によるコスト削減(質的改善)と生産量の増大などによる生産性向上のビジネスモデルとした。サプライサイドでは自社の新しい商品やサービスに取り入れ売上・利益増加を目的としたビジネスモデルである(近藤, 2017)。Tamas Ruppert ら(2018)は、モンテカルロ・シミュレーションを用いて生産ラインのサイクル時間を解析し生産性改善を提唱した。中小企業の IoT 活用手法として出口(2017)は、ビジネスにおけるタスクやプロジェクトを単位ごとに分けるマイクロマネジメントを提唱している。DSEMDCATS(Design, Scheduling, Execution, Monitoring, Data Scanning, Control, Analysis, Traceability, Security)サイクルと呼ばれるマネジメントサイクルを通じて会社全体のプロセスを導き出し、そこから単位ごとに細分化した分析と設計をする手法である。また、疎結合型 IoT と呼ばれる構築方法により、安価で短時間に柔軟性のあるハードウェア設計が可能になると述べた。疎結合型 IoT の特徴は、出来上ったシステムを一括で導入し社内に適用させる方法ではなく、各生産ラインそれぞれの状況や作業者の意見に応じたタスク単位の結合や分離を自由に行う手法である(出口, 2018)。石塚ら(2020)は、中小企業における工作機械での生産性向上の実証モデル構築方法を提唱している。顧客の要望や仕事内容が日々変わる中小企業では、外部で完成されたシステムを導入するよりも各生産ラインに必要な機器を必要な分だけ購入し柔軟に素早く接続及び変更できる疎結合型システムの方が顧客の急な要望にも対応でき導入コストも低く抑えられる。これらは、IoT を用いた生産ラインの可視化に有用であり、特に疎結合型 IoT の概念を用いることで生産ラインの IoT 化が比較的容易になる。一方で、いずれの研究も IoT 導入による生産性改善の具体的管理方法や品質を保持した上での生産性に関する数値評価は乏しい。

2.3.2 エッジコンピューティング及びクラウドコンピューティングを用いた IoT 導入の動向

IoT 導入において、エッジコンピューティングとクラウドコンピューティングの双方が利用される環境になるが、商品品質やセキュリティ関連含め、実際の運用時には様々な課題や利活用方法がある。それら IoT 全般に関わる先行研究について述べる。Sunari ら(2014)は、画像のウェーブレット変換により著作権保護の方法を述べた。Hao ら(2017)は、フォグコンピューティングとクラウドコンピューティングの違いについて、それぞれの利点と欠点を述べた。Rutayisire ら(2017)は、ルワンダのコーヒー製造工場において、輸出する際に安全な商品を届けるため、センサーを用いた品質安定化の方法を述べた。Talwana ら(2016)は、IoT について、電子機器をはじめ、スマートシティや買い物システムなど様々な分野で利用可能であると具体例を含め述べた。Grosinger ら(2016)は、バッテリー不要の RFID(Radio Frequency Identification)センサータグのプロトタイプを研究した。Shah ら(2018)は、ECIoT(Elliptical Curve Internet of Things)プロトコルによりサーバーによるセッションキーの暗号化を提案した。Hahm ら(2011)は、IoT 時代における

異なるネットワーク構成の方法を提案した。Wang ら(2018)は、フォグコンピューティングを基本としたクラウドコンピューティングに3階層のプライバシー保護を設ける設計を提案した。Kim ら(2018)は、数多くのIoT機器がクラウドコンピューティングのストレージに接続することで一定の制限があるとし、フォグコンピューティングのストレージを利用した解決方法を提案した。Lee ら(2018)は、ハッシュ化のアルゴリズムであるSHA-512, SHA-512/224, SHA-512/256の3つを用いたSHAプロセッサについて研究した。Landge ら(2018)は、IoTブームによりセキュリティへの懸念を示し、ハッシュアルゴリズムであるMD5を用いたセキュリティ保護方法を述べた。Afifi ら(2018)は、IoT時代において不特定多数が機器にアクセスする環境では、H-MAP(Hash-Based Mutual Authentication Protocol)を用いたプライバシー保護を提案した。Ren ら(2017)は、近年、IoTやSDN(Software Defined Network)に注目が集まるが、複雑なIoT機器に対しては対応不足である点を踏まえ、IoT-SDNネットワークをクラスター化することを提案した。Tao ら(2014)は、製造業におけるIoTの様々なアプリケーションを提案した。Chen ら(2018)は、フォグコンピューティングが大規模データ処理において優位である点を研究した。ネットワークドメインが現場の機器とデータ領域に接続する過程において、大量にデータのやりとりをする現場においてはフォグコンピューティングを活用する利点を述べた。Bi ら(2014)は、インダストリー4.0において、IoTとDT(Digital Twins)が重要であると述べ、特にCNC(Computer Numerical Control)機械における分析方法を述べた。Zhang ら(2016)は、スマート工場を構築するためのIoTとして、リアルタイムのトレーサビリティ、見える化、相互運用性をあげた。Condry ら(2016)は、IoTはエンドユーザーに対し、迅速で透明性のある情報に接続できるとし、データのやりとりが複雑かつ大規模化する中でシステムゲートウェイのセキュリティの問題点と対処方法について述べた。Li ら(2018)は、IoTにより、3Dプリンターやロボティクス等のCMfg(Cloud Manufacturing)へシフトする状況を述べ、SDFs(Service Domain Features)の概念を提案した。Fernández-Caramés ら(2018)は、インダストリー4.0において、スマート機器への接続、機器接続のデザイン、サプライヤーや営業と繋がるのが重要であると述べ、QR(Quick Response)コードやRFIDタグの活用を提案した。Patel ら(2017)は、エッジコンピューティングのプラットフォーム構築とスマート工場の構築方法をマルチノードデプロイを活用し提案した。

これらの先行研究は、IoTに関するセキュリティやネットワーク等、スマート工場において考慮すべき点や、エッジコンピューティングにおける優勢性や大規模データを扱う上でのシステム構成の要素についての研究は多くされているが、実証研究において如何に活かされ、工場や社員に対しどのように利用し、それがどう影響したかについての分析・検証・評価には乏しい。また、食品業界に対する検証やIoTと食品安全との関係性についての研究も乏しい。

2.3.3 中小生産ラインにかかるIoT導入の動向

中小企業向けの IoT 導入に関する研究として、近藤(2021)は、下請型中小企業の自立化と IoT で QCD(Quality, Cost, Delivery)の向上を述べた。Q を新技術開発・顧客と共同開発、C をカイゼン活動・顧客との共同活動、D を超特急対応や柔軟対応と位置付け大企業の下請として自立化するには IoT を用いたデータ連携により自社工程をサブライン化し、発注先に積極的に取り込まれることで QCD が向上する方法があると述べた。また、将来は IoT が D に対応し AI(Artificial Intelligence)が Q に対応しさらなる QCD 向上が期待できる。Tamas Ruppert ら(2018)は、モンテカルロ・シミュレーションを用いて生産ラインのサイクル時間を解析し生産性改善を提唱した。中小企業の IoT 活用手法として出口(2019)は、ビジネスにおけるタスクやプロジェクトを単位ごとに分けるマイクロマネジメントを提唱している。DSEMDCATS(Design, Scheduling, Execution, Monitoring, Data Scanning, Control, Analysis, Traceability, Security)サイクルと呼ばれるマネジメントサイクルを通じて会社全体のプロセスを導き出しそこから単位ごとに細分化した分析と設計をする手法である。

いずれの研究も IoT 導入による生産ライン見える化は可能であるが、中小食品生産ラインで IoT を用いた生産性改善の管理方法に関する研究は乏しく実際に運用するに当り必要な品質管理に関する言及も少ない。

第3章 IoTを用いた品質管理と検品効率化による生産性向上の実証研究

3.1 研究構成

3.1.1 背景

近年、食品安全に対する関心は世界中に広がっている。インターネットの発展により、様々な方法で多様な商品をいつでもどこでも購入できるようになった。一方で商品の流通経路はより複雑になり、各商品の工程ごとの品質管理がより重要性を増している。製造業、特に食品製造業において、品質は最優先される事項であり、品質管理は、経営において重要事項のひとつである。消費者に届いた商品が不良品であった場合、顧客の信頼が損なわれれば会社の価値は低下し、補償問題に発展するなど、甚大な影響を受ける可能性があるからであり、迅速な対応が求められる。通常、不良品は製造過程で発生すると考えられている。この場合、製造者は、本当に製造過程で不良が発生したか、その可能性が低いのであれば、良品が確実に出荷されたことを証明し、製造上の不備はなかったことを明らかにする必要がある。しかし中小企業の品質検査は目視検査が中心であり、また書面による検査表は作成していても、商品自体の画像が残っていないため、絶対的安全性を明示することは難しい課題があった。カメラ検査機等の検査機器を導入している場合でも、検査機としては使用しているが、その瞬間の検査であり、検査した画像や情報を全て保存し迅速に確認できるシステムを構築している中小企業は少ない。一度クレームが発生すると、製造者はその対応に追われ、特に管理者は代替商品の準備や報告書作成、顧客との対話等に多くの時間を割かれ、管理者の業務効率を落とし、作業者も不良品に対する過度な不安などのストレスがあり、結果、生産性を下げる課題があった。不良品は、製造者の工場内で発生するケースが多いが、全てとは限らない。配送過程で荷崩れを起こし商品に欠陥が発生する場合や、販売先店舗の陳列時に発生する場合、顧客が手に取った際に何かの拍子で傷やへこみ、かすれ等が発生する場合もあり、いつどこで不良が発生したかを発見し追跡するのは非常に困難である。一般に、販売者は最初に製造者へ瑕疵の確認をする。製造者は不良品を現物確認し、製造工程で不備があったか製造報告書等をもとに調査する。製造上の不備が確認されれば、製造者の責任においてその後の対応が必要である。しかし製造上の責任が確認されなかった場合、製造者はその旨の説明を丁寧かつ的確に行い、製造上の瑕疵が無いことを伝えなければならない。必要であれば、その証明をしなければならない。製造者は、自社に製造上の不備がないと確認できても、どこで不備が起きたかを確認することは困難である。その観点から、製造者はどこで不良が発生したかを追求するのではなく、自社の生産ラインで不備がないことを証明し、迅速かつ明確に販売者に情報共有し、自社の信用を守る必要がある。

3.1.2 対象工場 A の品質管理における課題

本章では、第 1 章、表 1-3 で述べた通り、対象工場 A の社員を対象に、会社の SWOT 分析を実施しまとめた。その際の管理者からの具体的な内容のヒアリングにより、

「Threat(脅威)」で最も挙げられたクレーム対応に課題を抱えていることが分かった。対象工場 A のクレームの内容には様々挙げられるが、最も注意を払い負担に感じる部分が賞味期限印字ミスであった。賞味期限印字間違いは法律上認められず、商品回収や再製造など大きな問題に発展しかねない重要管理事項である。

中小食品製造者の課題である目視検査が中心だった品質担保証明について、IoT を活用し作業者の負担を増やすことなく、生産性改善する研究を実施した。生産ライン上に設置されたカメラ検査機器を検査機能のみを使用していた研究前から、機器を IoT 化することで商品画像をサーバーへ保存し、商品の安全性証明が迅速に行え、管理者のクレーム対応の時間短縮化や作業者のストレス緩和に寄与し生産性が改善すると仮説を立てた。検証は、対象工場 A の管理者及び製造に従事する作業者の 2 名を対象に 1 ヶ月間、仮説した環境で製造を実施し、実験後ヒアリング調査した。検証において、保存したデータを顧客と共有し、品質の確認や同意を求める場合が想定されるため、生産性の視点と並行してセキュリティの視点にも焦点を当てた。データを外部と共有する場合、データの安全性を担保するため、各データにタイムスタンプを付与し、データ圧縮後、ハッシュ値を出力することで、社内外においてデータ改ざんのない画像共有を担保することができる。これにより、より正確なデータを迅速に顧客と共有し、管理者の顧客対応における効果もヒアリング調査により合わせて検証した。実験は対象工場 A において、コーヒー粉をドリップバッグにした商品(以下、商品 1 とする)を製造するライン(以下、生産ライン 1 とする、図 3-1 画像 A)を選定した。商品 1 の CP(Critical Point)は賞味期限とし、製造する全商品 1 において、図 3-1 画像 B に示した賞味期限印字が欠損なく印字され、安全性が担保された商品であること迅速に社内外で共有する目的に焦点を当てた。

本章では、生産ラインから製造される商品 1 の印字をカメラで撮影し、無線 LAN を通じて商品 1 画像を NAS(ネットワーク・アタッチド・ストレージ)に保存した。そのデータを使用し暗号化圧縮して実装後、対象工場 A ホームページ上に、顧客のみがアクセスできるページを設定し顧客が特定の画像へアクセスできるリンクを掲載した。本研究により、商品販売時に賞味期限印字に不備があった場合でも、製造工場内で不良が発生したものではないと証明できるシステムとなり、管理者及び作業者の業務効率向上や社員のストレス軽減に寄与すると仮説し、実証研究後、ヒアリング調査により検証した⁴。商品 1 では 1 名の現場作業者及び管理者を対象とした。

⁴ 顧客との秘密保持契約の関係上、具体的な実証研究期間の明記は避けるが 2019 年中に実施した。

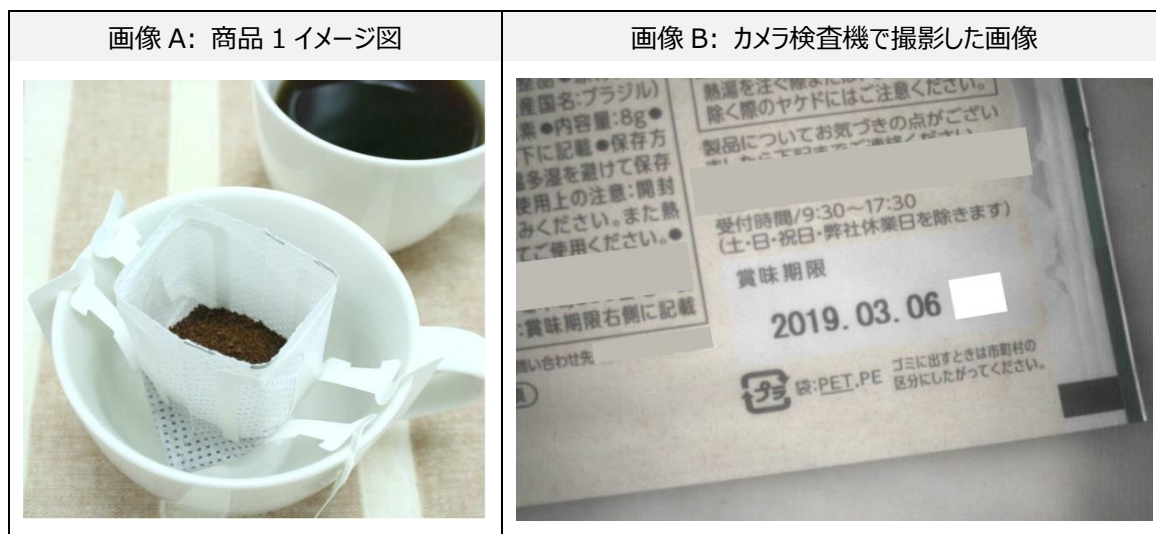


図 3-1 対象商品及び賞味期限印字のイメージ図

3.1.3 実証研究前後の品質管理方法

これまで中小規模の食品製造業では、商品の品質安全を確認する方法が限られていた。主な方法は、紙の検査シートを用いてチェックする方法がある。10 分間検査と呼ばれ、生産ラインから出てくる商品を 10 分間隔で目視検査する方法である。図 3-2 は、基本的な 10 分間検査の流れを示した、10 分間検査において不良品を発見した場合、機械停止後、機械不具合の確認と合わせて商品の再検査を行い、全ての不良品を排除してから機械再稼働となる。前述の通り、10 分間に 1 度の検査では、検査数が少なすぎる点、一度不良品が見つかり、最低でも 10 分前まで製造された全商品を再検査する必要がある、生産性を落とす結果となる。カメラ検査機器がある場合でも機器の不具合の可能性もあるため、再検査には同様の時間を要した。

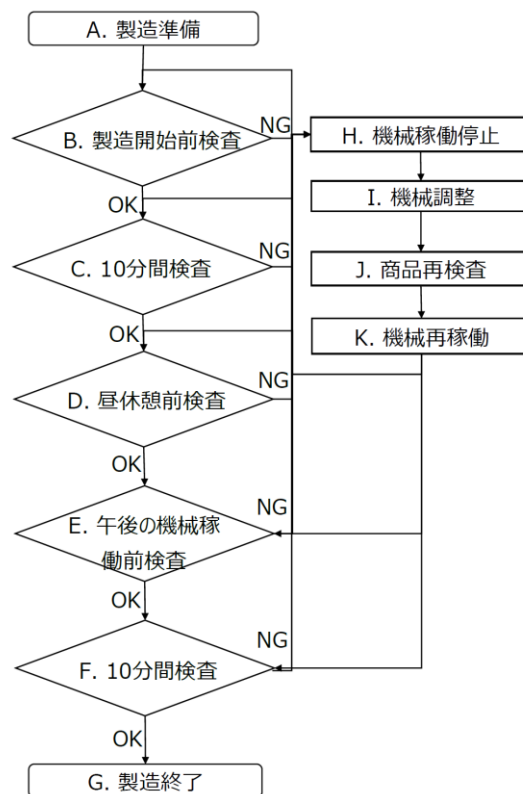


図 3-2 実証研究前の品質検査の流れ

作業者は商品の賞味期限印字等をチェックし、検査シートに良不良を記入する。検査シートは、管理者により少なくとも1年間は一定の場所に保管される。後日、不良品が見つかり、責任者は検査シートの履歴を確認する。製造当時、何か機械トラブル等気になる事象が発生していた場合、メモ書きが残される仕組みになっている。10分間検査の一番の課題は、全ての商品が検査されないということであった。仮に1分間に50個製造できるラインでは、500個に1個、0.2%しか検査されないため、検査時に不良が発生した場合、それより前に製造された10分間の商品全てを目視で再検査する必要が生じ、作業者の負担となっていた。また、目視検査は、完全な不良品排除が難しい。そのため作業者が不良品を見逃しているのではないかという、精神的ストレスも大きく作業効率を落とす課題があった。0.2%の検査率では、作業者と顧客双方において満足いく品質管理方法ではなかった。生産ライン1上に追加で1人を配置し、全数目視検査という方法もあるが、コスト面と作業者の体力面で持続性に欠けるのは明白である。生産ラインの中には、カメラ検査機器を導入し全数管理しつつ、10分間検査により、補完的にダブルチェックする場合もある。生産ライン1においても印字カメラ検査工程を導入しており、目視による10分間検査を補完的に実施していた。しかしカメラ検査は、検査自体はするが、画像の保存はされないため、製造時に問題が無くても、後日、不良品が発生し、その不良品の発生が生産ライン上で発生していないという証拠は明示できなかった。

3.2 実証研究

3.2.1 生産ラインの IoT 化

実証研究に当たり図 3-3 で示した生産ライン 1 上、最も重視される品質項目である賞味期限印字に焦点を当てた。10 分間検査はこれまで通り実施しつつも、表 3-4 の通り、カメラ検査機を IoT 化し、カメラによる賞味期限印字画像を VPN 経由でローカルサーバーに保存し、いつでも過去の画像を迅速に確認できる体制を構築することで、作業者の不安を低減する環境を構築した。

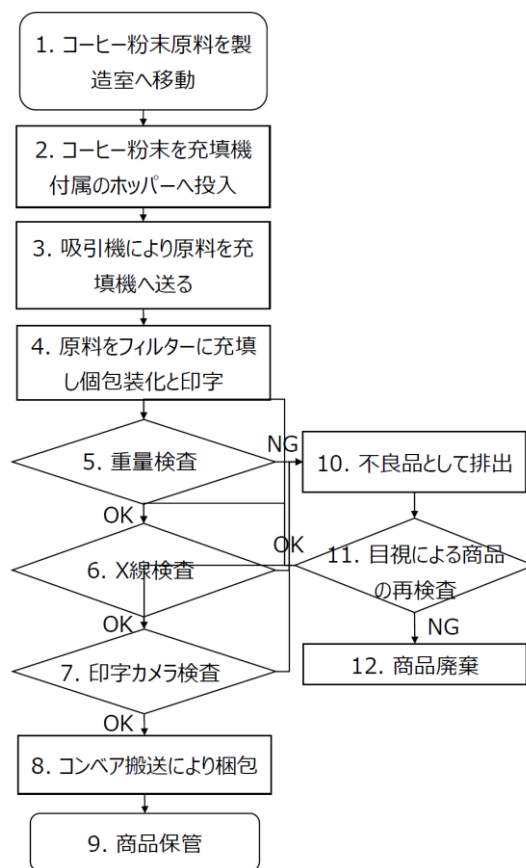


図 3-3 生産ライン 1 の流れ

図 3-4 はカメラ検査機器の IoT 構築の流れを示した。実証研究前は図 3-4 の 1 のみだった工程を 6 工程まで増やし、FTP (File Transfer Protocol) と無線 LAN 経由で画像データをローカルサーバーへ送信し、圧縮暗号化の後、HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) で顧客と共有する流れを構築した。画像を圧縮暗号化し、ハッシュ値をインターネット上に限定公開することで、クレームが発生した際、管理者が迅速かつ効率的に顧客へ対応できる

体制構築を実証した。前提条件として、カメラ検査機には、LAN ソケットが付属されており、検査情報をアウトプットできる機器を使用した。IoT 化については中小企業が求める低コストで設計が可能である。図 3-1 画像 B はカメラ検査機で撮影した画像であるが、画質は最小の JPEG(Joint Photographic Experts Group)に設定し、全ての商品 1 画像が漏れることなくサーバーへ保存される環境に設定した。

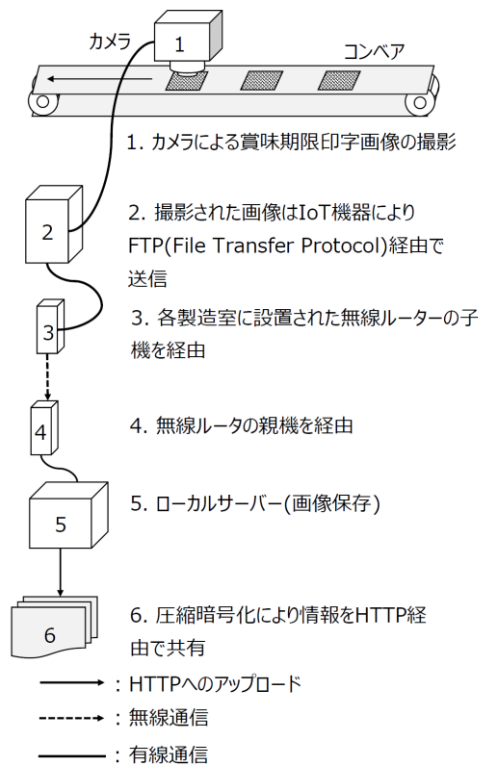


図 3-4 実証研究の生産ラインにおける IoT 化

3.2.2 商品情報 IoT 化による生産性改善の仮説検証

図3-4の6で画像をHTTP経由で共有する際、画像はクラウドサーバーへ保存された。クラウドサーバー上では、類似した構造データを持つ画像を識別・検証し、データの改ざんを防止するため、画像から固定長のバイナリコードに圧縮することを目的としたハッシュ関数を利用した。ハッシュ値を作成後、ライブラリを使用し、コマンド入力してデータベースに保存した。また、表3-1の通り、owner, name, algorithm, target, keyをそれぞれ定義した。

表 3-1 画像暗号化実施コマンド

```
java -jar archiver.jar -owner Shizupack -name image20181005
```

表 3-1 画像暗号化実施コマンド

-algorithm SHA-256 ⁵ -target data/Shizupack -key key/private_key.pk8	
-owner	Name of owner
-name	Name of data
-algorithm	Name of algorithm used for the encryption
-target	Address for folder of the image files placed to be compressed
-key	Name of secret key file

暗号化のハッシュ関数は、各フォルダーに対して機能する。図3-5で示した通り、フォルダーの最上層は機械名で定義され、その下は期間ごとにフォルダー分けされる。機械稼働中は、画像は同じフォルダーに保存される。作業者は、定期的に商品の包材交換をする関係上、機械が一時停止する。機械は毎日数回一時停止し、その都度新規フォルダーが生成される。1つのフォルダー内の画像数は機械稼働時間に依存するが、3,000枚前後の画像が格納されている。その後、各フォルダーに暗号化機能が適用され、ハッシュ値が生成される。

⁵ Secure Hash Algorithm 256-bit.

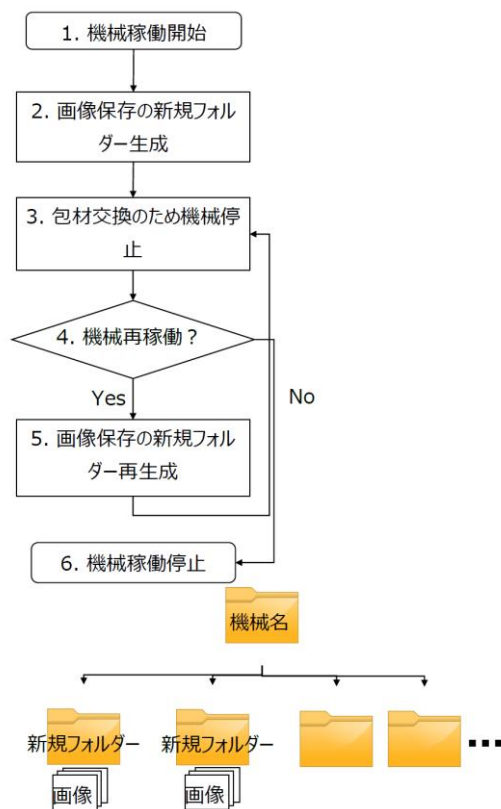


図 3-5 画像処理の整理方法

1日の製造で約20,000枚の画像が保存されるため、画像が適切な製品かどうかを手作業で個別に検査する必要があるが、日々のフォルダーが生成される数は7個前後のため、不良品発生時間が予測できれば、ある程度の範囲を特定することが可能となる。暗号化の実行が正常に終了するとハッシュ値が出力され、property.ymlというファイルに記述される。バイナリ暗号化圧縮データの復元が必要な場合は、このハッシュ値を使ってチェックし、生成された値を表3-2に示す。この値は、顧客から不良品が発見され、製造者がその品質を確認する場合に必要となる。

表 3-2 暗号化したハッシュ値出力コマンド

Hash	value: f50b4c5c325b15fe1134fabd025fa47f3c38953aad5dee8eb3fa abe72a2e7ab4
owner	Shizupack
name	Image20181005
algorithm	SHA-256

表3-3はコマンドプログラムの実行により出力される結果を確認するためのものである。

基本的にはデータベースに接続し、ハッシュ値で画像が含まれるフォルダーを圧縮し暗号化する。ハッシュ値が問題なく生成されれば、property.ymlというファイルに正常に出力される。またハッシュ値を使って圧縮暗号化したデータをバイナリで確認・復元し、そのハッシュ値をキーとしてデータベースとの整合性を確認する。引数には、ハッシュ値、データ名、公開鍵ファイルを指定します。公開鍵ファイルは、人々がリアルタイムで自由に更新を確認できる場所に公開する鍵である。一旦キー・ファイルが公開されれば、データの改ざんが困難となる。

表 3-3 ハッシュ値生成コマンド

<pre>java -jar extractor.jar f50b4c5c325b15fe1134fabd025fa47f3c38953aad5dee8eb3faabe 72a2e7ab4 image20181005 key/public_key.der</pre>
<pre>2018/10/05 18:18:06 : INFO : Connecting data base : OK 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Downloading 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Downloaded: OK 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Hash checked: started 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Hash checked: Correct hash value (SHA-256) : f50b4c5c325b15fe1134fabd025fa47f3c38953aad5dee8eb3faabe 72a2e7ab4 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Hash checked: In calculation 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Hash checked: Current hash value (SHA-256) : f50b4c5c325b15fe1134fabd025fa47f3c38953aad5dee8eb3faabe 72a2e7ab4 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Hash checked: OK 2018/10/05 18:18:06 : INFO : Unzip file: started 2018/10/05 18:18:07 : INFO : Unzip file: OK</pre>

表3-5では、コマンドプログラムの実行からdataフォルダーを作成し、画像データが格納される。keyフォルダーには、ハッシュ値を出力するための秘密鍵が格納される。archiveフォルダーには、暗号化されたファイルが格納される。extractフォルダーは、一度復元したファイルを格納する。フォルダー群は全てクラウドサーバーに保管されるように設計した。

表 3-5 生成フォルダー一覧

Folder name	実施データファイル
	<i>Saved a file as hash.zip</i>
data	Original image data
key	Secret key and generate open key script shrunk
archive	File generated when encrypting data is done image2018005.dat property.yml
extract	Restored image files

顧客との画像共有については、図3-6の通り、対象工場Aのホームページ上に、顧客ごとの専用ページを設け必要に応じて画像共有のリンクを表示し迅速な確認作業を行える環境を整えた。

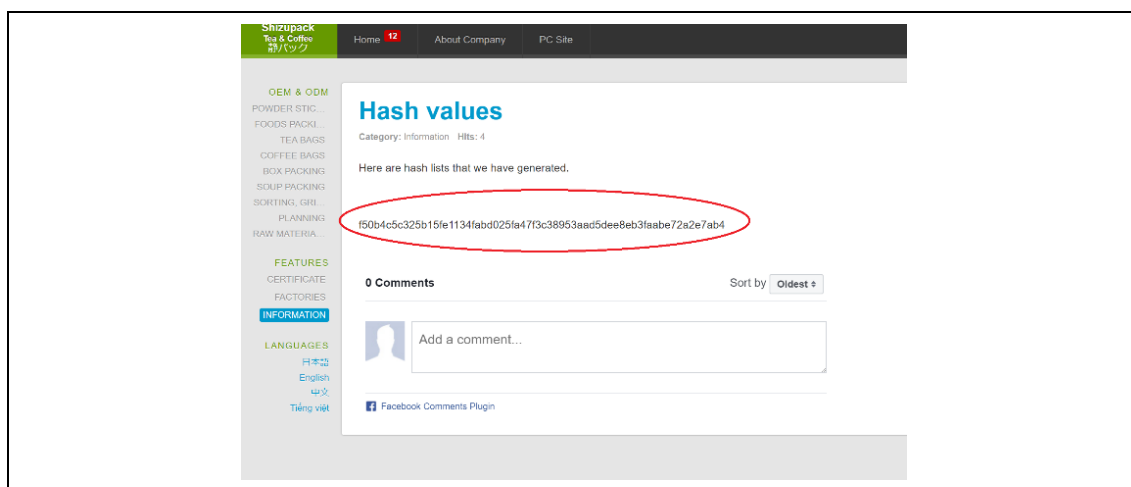


図 3-6 対象工場 A のホームページ上非公開ページに画像ファイルのリンクを共有

3.3 本章の結論と考察

本章で明らかにしたいことは2つであった。一つ目は、商品1の品質を保証する画像を保存するシステムを構築し、クレーム発生時に迅速に顧客と共有し管理者や作業者の生産性を向上することである。二つ目は、上記情報を顧客と共有する場合、商品画像を暗号化しハッシュ値を管理することで、社内外の画像改ざんを防止し、対象工場Aの更なる作業効率を改善することであった。前項で実施したIoT化により1ヶ月実証研究を実施し、結果、以下の成果と課題を得た。

3.3.1 ヒアリング調査結果

実証研究前後での業務環境の変化と業務効率について、管理者及び作業者の1ヶ月間の実証期間を経て、ヒアリング調査から次の結果を得た。

管理者は、実証期間中に商品1のクレームが発生しなかったため、顧客対応の効果は明示できなかったが、クレームを疑う場面が数回発生し、顧客から確認の連絡が来た際、画像を迅速に確認し顧客対応の時間短縮化になったとその有用性を述べた。実証期間中に画像を顧客と共有する状況は発生しなかったため、顧客との間で改ざんのない画像のやりとりが問題なく行われるかの検証には至らなかった。一方で、対象工場A内での画像改ざんは確認されなかった。画像の改ざんが困難なことが事前に分かっていたら、クレームが発生した際の画像提出も迅速にでき、画像の正当性を確認する手間が省けると述べた。特に製造後数ヶ月経つ画像については、意図的の有無に関わらず、削除や修正されている可能性もあるが、その心配が無くなるため、目先の作業効率よりも将来に対する安心に繋がると述べ業務負荷低減の持続性に寄与する可能性を示唆した。もう一つ大きな成果として、遠隔から商品1の品質を画像で全品確認できるようになったと述べた。日々提出される紙の製造記録において、品質に疑問を抱いた場合、後日でも過去の画像を確認し品質に対する不安を解消できることは顧客に対する自信と信頼に繋がる。業務効率については、日々管理業務に追われる中で、製造現場へ赴き現物確認をする回数を減らすことができるようになったと述べた。これまでの毎日現場へ行く回数から、少なくとも1日おきにすることができるようになると述べた。1日の時間にすると数十分程度の短縮ではあるが、日々積み重なると月に数時間の短縮になる。一方で、現場に行く回数が減ることで、社員とのコミュニケーション不足に懸念が出ると述べたが、本研究期間中では短いため、今後継続した運用期間を経て検証する必要がある。また、仮にコミュニケーション不足が発生する場合、管理者と作業者間でオンラインのコミュニケーションへ切り替えられないか等を検討する必要がある。

作業者は作業中に品質に対する不安が起きた場合、これまでは現物確認をする必要があったが、その負担が無くなり、画像確認で済むようになるのは時間の短縮にも繋がり、精神的ストレスも減るとその有用性を述べた。

3.3.2 今後の課題

今回の実証研究中にクレームが発生しなかったため、過去のデータを大規模に確認する機会にはなかった。しかし、過去のデータを何千枚と目視で確認するには多大な時間を費やすこととなり、有事の際の迅速な対応を整えておく必要性を確認できた。そのため生産ラインのIoT化と合わせて、画像分析を機械学習することで、さらなる作業効率化に寄与する可能性を得た。中小食品企業において、低コストでIoTとITの両面から生産性向上の管理手法を研究した事例は少なく、今後、深掘する必要がある。また、本章では、品質管理に関わる付加価値生産性の

面から述べたが、生産性向上には、物的生産性に関わる生産量の増加が必要である。その研究について、次章では対象工場 A における生産量に関わる実証研究を実施し検証した。

第4章 IoTを用いた生産量改善による生産性向上の実証研究

4.1 研究構成

4.1.1 背景

本章では、対象工場Aの生産ラインにおいてIoT機器を用い(以下、IoT機器A)、1社3生産ラインの生産性改善に関する実証研究を実施した。対象工場Aは品質を高める努力をすればするほど検査項目が増え、製造前機械検査・調整や商品検査等、機械停止時間が増え生産性の低下に繋がる課題を抱えていた。製品の不良率低下によりクレーム対応業務等の抑制という観点では品質管理の強化は生産性向上に寄与する。一方で不良品率低下を強化する反面、生産数が落ちれば必然的に売上・利益は減少するため生産数維持及び向上は不可欠である。

4.1.2 対象工場Aの生産量における課題

対象工場Aの現場では作業員がその日の生産数を製造記録書に記載し管理者に提出するのは当日16時半以降である。管理者が日々の生産数を確認し計画通り製造が行われたかの確認は早くても当日17:00以降又は翌日となり迅速な判断や改善に支障をきたしていた。仮に、対象ラインAで問題が発生し生産数が予定より落ち込んでいた場合、管理者がそれに気づくのは当日の生産終了後になる場合があり、そこから管理者は現場に原因を確認し、対策と改善を実施するのは早くても翌日以降になることがあった。これまで対象工場Aでは、製造中に対応が難しい問題が発生した場合、機械を停止し、内線等で管理者を呼び指示を仰ぎ、対処後に機械を再稼働するという取り決めを実行していた。対象ラインAでの機械停止を引き起こす主な原因は次の3つである。一つ目は、1日に何度も商品規格の違う製造を行うため、機械調整、段取り替え、清掃等に予想以上に時間を費やす。二つ目は、機械稼働中に予想外の機械トラブルが発生し機械を長時間停止する。三つ目は、機械稼働中に商品の不良に気づき検品作業を優先するため機械が停止する、である。製造中に何らかの問題が発生した場合、機械作業員は機械停止後、簡易的な問題以外は管理者を呼び確認し指示を仰ぐ徹底を決め事として定めていた。しかし管理者に確認しようとしても管理者が他の作業や客先対応に時間を取られ連絡が付かない場合も多く、迅速な対処が困難な場面が多々あり機械停止時間の長時間化に繋がっていた。管理者は現場からの連絡を常に優先するという徹底も考えられるが、仕入管理や納期管理等含め、日々、社内外で広くやりとりしている管理者に対し常に現場を最優先することは現実的に困難であり、管理者自身が臨機応変に判断し意思決定できる環境が必要である。一方現場は管理者に連絡がつかない場合、待ち時間を有効活用しようと自力で機械調整や検品作業等を試みていた。自立性や技術力向上という観点からは良い面もある。しかし、それが常態化してしまうと、先ず管理者を呼び現場確認後指示を仰ぐという初動が、先ず自力で努力し解決でき

なければ管理者を呼び指示を仰ぐという流れに変化し、次第に自力で解決しようとする時間が延び1, 2時間経っても管理者には連絡せず、最後にはその日の終わりに製造記録を管理者が見て生産数が予定数に届いていないことに気づく場合があった。機械が長時間停止した理由は商品の品質を保持するためであり HACCP 管理の観点では間違いはなく、管理者と迅速なコミュニケーションが取れないことが理由のため現場に非はない。作業者に製造上のトラブルで解決できない場合はすぐに管理者へ連絡することを徹底しても管理者は複数台の生産ラインを同時に管理しつつ社内外対応も求められる状況にあるため、作業者が徹底しても管理者がそれに対応できない状況が発生し、その徹底は物理的に困難であり中小企業が管理者を増やせる訳でもなく堂々巡りであった。管理者が自主的に生産ラインの稼働状況をモニター上で把握できれば、例えば、管理者がある顧客と長時間電話してもモニターを確認しながらの電話であれば、作業者からは管理者に連絡がつかない状況であっても管理者は製造状況を把握でき、一時電話を終了し現場に確認するなど自主的行動ができる。管理者が他生産ラインと電話で打合せしていても作業者からは連絡がつかない状況となるため同様な対応が可能で、管理者は生産ラインの異常に気づきやすく何を優先するかの判断もしやすい。機械停止の原因が何であれ、生産数が計画値に届くか否かを把握できれば、生産数減少や納期の遅れによる顧客満足の低下を避け、売上利益の維持向上に繋がる。管理者が現場以上のアイデアや指示を提供し機械停止時間を短縮することも可能である。機械調整に時間が掛かっている場合は、より特定の機械に詳しい社員に来てもらう指示を出したり、検品作業に時間が掛かっている場合は、機械稼働を優先するため、検品作業を他部署へ依頼し機械稼働を優先したりする等、突然発生する問題に対し管理者であれば迅速な判断と決断、実行ができる場合も多い。現場が OODA ループを実施すると同時に管理者も IoT を通じ OODA ループを実施する環境を整えば、現場と管理者のコミュニケーションが円滑になり機械停止時間を最小限に抑えられ生産量増加により利益改善に寄与すると仮説を立てた。

4.1.3 IoT を用いた OODA ループの管理手法

前述の課題と仮説を踏まえ、低コスト導入可能な IoT 機器を用い無線 LAN 経由でクラウドサーバーへデータを送信し HTTP (Hypertext Transfer Protocol) 上でリアルタイムに遠隔地から管理者がモニターを確認することで生産数を確認できる IoT を構築した。前章及び表 1 の通り、これまで対象ライン A において IoT 化できないことで管理者が OODA ループを実施するには難しい状況であったが、低価格機器と疎結合型 IoT を用いることで遠隔地から OODAIoT ループの実施を実現した。特に、これまで製造終了後に判明した製造の遅れをリアルタイムに管理者が把握し、管理者も並行して最短での機械再稼働に向け OODA ループを実施した。

表 4-1: 対象工場 A における OODA ループと OODAIoT ループの実施方法比較

	OODA ループを対象工場 A に導入する場合 (従来から実施されている対処方法)	OODAIoT ループを対象工場 A に導入する場合 (本研究で実施した対処方法)
対象者	作業者のみが対象(シングルループ)	作業者と管理者が対象(ダブルループ)
O(Observe: 観察)	【作業者】急に発生する問題に対し状況を観察.	【作業者】急に発生する問題に対し状況を観察. 【管理者】モニターを通じ問題が発生していないか定期的に状況を観察.
O(Orient: 状況判断, 方向づけ)	【作業者】状況判断し自ら解決できるか管理者に連絡するかを判断.	【作業者】状況判断し自ら解決できるか管理者に連絡するかを判断. 【管理者】モニターの状況で作業者に連絡し状況確認をするか, 現場へ赴き直接指示するか判断.
D(Decide: 意思決定)	【作業者】自ら解決を試みるか, 即時管理者へ連絡するかを意思を決定.	【作業者】自ら解決を試みるか, 即時管理者へ連絡するかを意思を決定. 【管理者】まずは作業者に連絡し状況確認するか, 即時現場へ赴くかの意思を決定.
A(Act: 実行)	【作業者】自ら解決を試みた際, 予想以上に解決に時間が掛かる場合がある. また, 即時管理者へ連絡する際, 管理者と連絡が取れず時間を要する場合があり, 結果自ら解決を試みようとする.	【作業者】自ら解決を試みた際, 予想以上に解決に時間が掛かる場合がある. また, 即時管理者へ連絡する際, 管理者と連絡が取れず時間を要する場合があり, 結果自ら解決を試みようとする. 【管理者】作業者に連絡する場合, 状況を確認し作業者自ら解決できそうか検証. 解決が難しいと管理者が判断すれば現場に赴く. 作業者で解決できると判断した場合は様子を見て再度連絡する. 即時現場へ赴く場合, 管理者自らが状況により指示を出す.

OODAIoT ループの実施により生産ラインでは, 品質管理を最優先にしつつ, 迅速な課題解決対応により生産数を極力落とすことなく品質と生産のバランス維持が可能となった. OODAIoT ループを用いる場合においても, HACCP では CCP 設定が必要である. ある商品を製造するに当り, 品質上最も気を付けなければいけない部分を事前に定義し, その品質保持の担保にどう取り組むかというものである. CCP と成り得る工程は, 品質において食品表示法や食品衛生法等に違反する恐れが生じる重大欠陥をとまなう工程である. 例えば賞味期限印字の不備や実物と表示の重量差異, 数量不足等が挙げられる. この観点から各対象ライン A における CCP はウェイトチェッカーによる計測工程とした. ウェイトチェッカーから MQTT(MQ Telemetry Transport)を通信プロトコルとし, 重量(g)情報をクラウドサーバーへ送信・蓄積し, 管理者が居る管理室のモニターに HTTP で表示し現場のリアルタ

イムな情報を管理者と共有できるシステムとした。

図1の通り各対象ラインAは、原料が充填機を通り包装された後、ウェイトチェッカーを通過し良品はコンベアで梱包まで運ばれる。ウェイトチェッカーは外部出力できるLAN(Local Area Network)が付属されIoT機器と接続することでデータ抽出が可能となる。出力されたデータはIoT機器を通じ無線LAN経由でクラウドサーバーへ送信されデータベースへ格納される。格納されたデータはHTTP経由でリアルタイムにモニターへ表示されるIoTシステムである。ウェイトチェッカーからは、タイムスタンプ、重量、OK/NG（良品/不良品）情報が抽出可能である。重量はgで表示され、OK/NGはOKが0、NGが1と表示される。排出カウントNo.は他連式ウェイトチェッカーで使用するため必要に応じて使用する項目である。これら情報を図1で使用したIoT機器内で表2のようなデータ一覧へ変換しクラウドサーバー上のデータベースへ格納した。WC IDは各生産ラインのウェイトチェッカーにIDを付与するため定義した項目で、これにより各WC IDごとOKとNGのデータ数を集計しそれぞれの総数をモニターへ表示することでリアルタイムのOK/NG生産数確認を可能にした。表の例では、良品生産数は3、不良品生産数は1とモニターへ表示される。なおモニターへ表示するデータ総数（生産数）は毎日24時で0に切り替わるようにシステム上で設定し深夜製造は行わない前提とした。

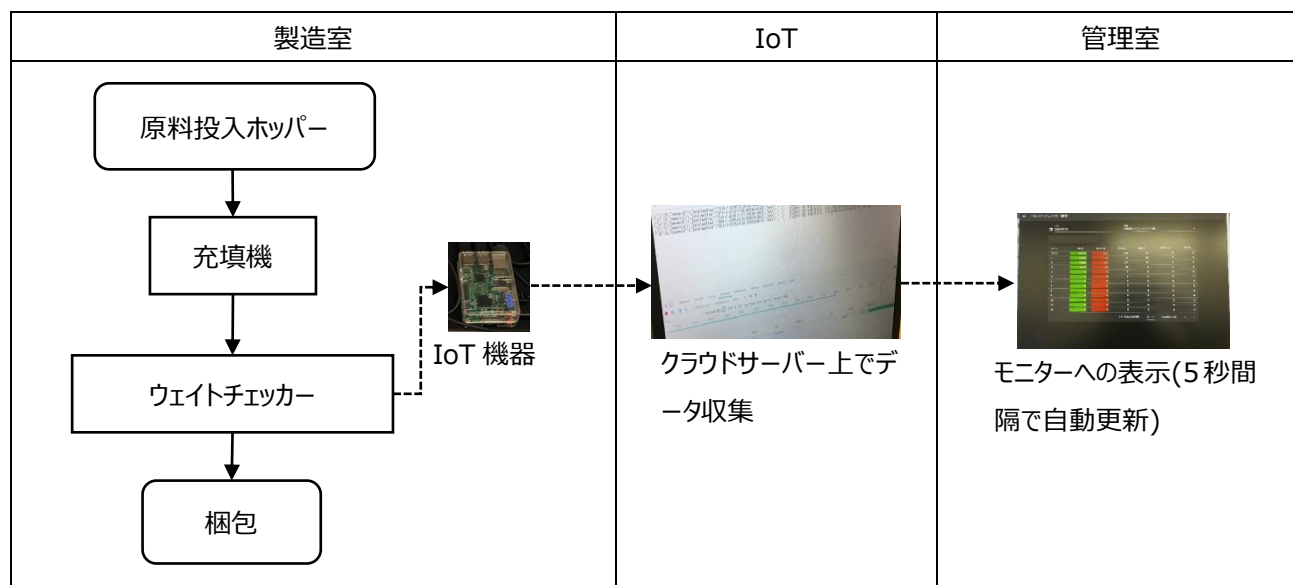


図4-1: 対象ラインAのIoT化

表4-2: ウェイトチェッカーの出力情報をIoT機器内で変換した項目とデータ例

タイムスタンプ	WC ID	排出カウントNo.	重量	OK/NG
2020-11-10 08:31:55.32	7	1	2.1	0
2020-11-10 08:31:56.56	7	1	2.2	0
2020-11-10 08:31:57.71	7	1	3.0	1

2020-11-10 08:31:59.08	7	1	2.2	0
------------------------	---	---	-----	---

※重量 2.0～2.3g をウェイトチェッカー上で良品と設定した場合の例

4.1.4 HACCP に適応した対象ライン A の IoT 化

前述の通り、食品工場の製造室内で最も優先されることは、品質管理であり作業者の適切な導線を確保することである。適切な導線が確保されず製造することは作業者の怪我や異物混入を誘発する恐れがあり、これが確立していなければ生産性改善以前の問題となる。この観点から、機器類のケーブルやコードを極力減らす必要が生じる。対象工場 A の品質管理部と検討した結果、電源は壁から配線するのではなく、天井から配線することとした。また、IoT 機器に出力されたデータをクラウドサーバーへ送信する際、本来であれば有線 LAN を経由することが通信安定性の観点から望ましいが、作業者導線の観点からは望ましいとは言えず、故に対象ライン A では無線 LAN 経由で送信することとした。このような食品工場特有の環境もあり、IoT 機器上では極力データの加工処理はせず、生データをそのままの形でクラウドサーバーへ送信する方法が適切であると判明した。図 2 画像 A では IoT 機器の電源コードを天井から引くことで作業者の導線を確保し転倒や異物混入を抑える対策をした。画像 B ではウェイトチェッカーから IoT 機器へ LAN ケーブルを接続する際、製造室内の原料由来による粉塵がウェイトチェッカー基盤内に侵入することを防ぐため、LAN ケーブルは基盤の下側から引き出し隙間を養生し固定した。画像 C では IoT 機器に粉塵が入り込まないように保護し、通信障害を起こさないため極力薄い素材で覆い、異物混入を防ぐため破れにくいポリエチレン製袋を使用した。

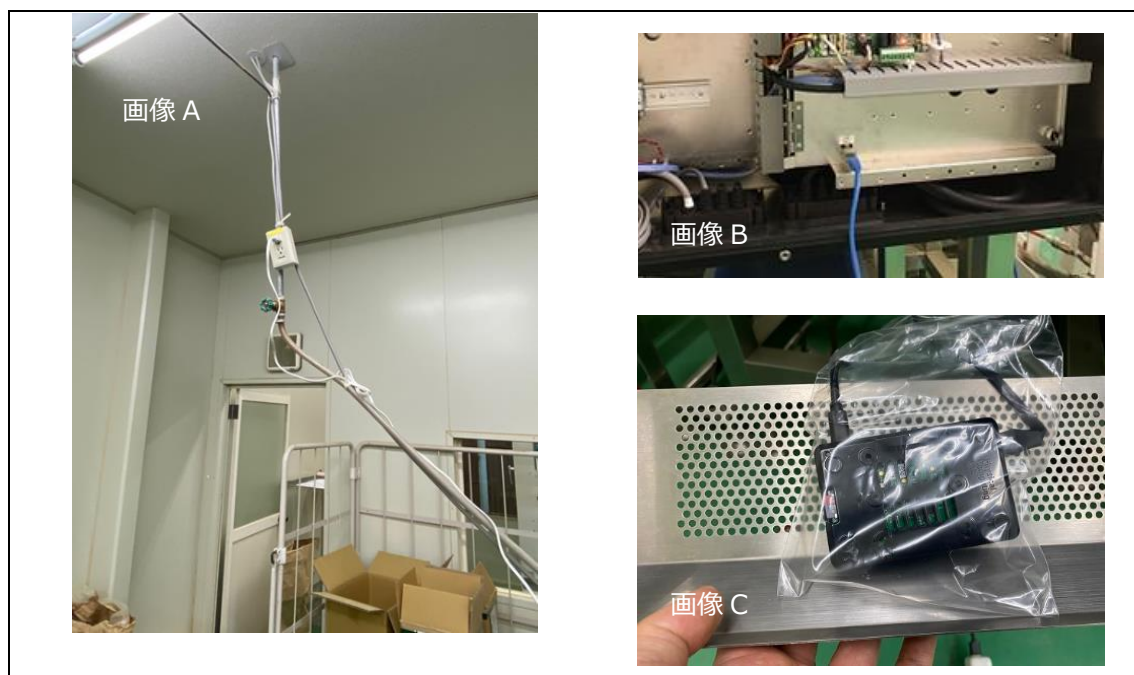


図 4-2: HACCP 対応した対象ライン A の IoT 化

4.2 実証研究

4.2.1 前提

対象ライン A の IoT システム設計後、各対象ライン A を稼働させ IoT 機器からのデータが漏れなくクラウドサーバーへ格納されているかの検証を行った。任意の 10 日間の製造において、各対象ライン A に設備されているウェイトチェッカーが記録した 1 日の製造総数と IoT 機器経由でクラウドサーバー上のデータベースに格納されたデータ数を比較したところ、3 つ全ての対象ライン A で 10 日間それぞれの生産数が一致し、通信障害や遅延により起こり得るデータ損失は発生していないことが分かった。

4.2.3 仮説検証

物的生産性における実証研究は、各製造室から離れた管理室で図 3 のモニターを設置し実施した⁶。モニターは 5 秒ごとに最新のデータが反映されるようプログラムした。対象工場 A において 3 つの別々の対象ライン A にそれぞれ IoT 機器を設置し、1 ラインずつ OODA IoT ループを実施し、1 日の生産数の推移の変化を検証した。最初の 2 対象ライン A の実証研究は、ともに商品形状は同じであるが、製造機の機種が異なる点と、最初に実験した対象ライン A (以下、ライン A) は、図 4 の管理モニターが置いてある場所 (以下、モニター室) と同一の工場内にあるが、2 番目に実証研究した対象ライン A (以下、ライン B) は、モニター室とは別の工場に設置してあり、モニター室からライン B まで人が移動するには 5 分程度の時間を要する点異なる。3 番目に実証研究した対象ライン A (以下、ライン C) は、ライン A、B とは全く異なる商品を製造する対象ライン A であり、ライン C は、モニター室から車で約 10 分の距離にある。ライン A、B を比較することで、物理的距離による効果の差を検証するとともに、ライン C で実証研究を行うことで、商品問わず OODA IoT ループの効果により生産数向上が期待できるかの検証を行った。モニター室には、製造管理者 1 名が既存業務に支障が出ない前提で、表 1 のループを念頭に最低でも 1 時間に 1 度、可能であれば 15 分間隔でモニター室から製造進捗を確認するよう依頼した。仮にモニター上に表示される生産数が製造予定数から乖離してデータが更新されない場合、現場は大きな問題に直面し自力で解決しようとしている可能性や管理者に連絡を試みたが連絡が付かなかった事態を想定し即座に現場の作業者に連絡又は現場へ赴き対象ライン A 上で不具合が起きていないかの確認と問題が起きているのであればその対処指示及びサポートを行うこととした。製造予定数からの乖離とは、何らかの問題が発生することで機械が停止

⁶ 顧客との秘密保持契約の関係上、具体的な実証研究期間の明記は避けるが 2019 年中に実施した。

し、モニター上の製造の数値が予定よりも増加しないことを意味する。現場作業者は、一旦何かに集中すると15分と思っていたのが気づいたら30分、1時間経っていたというのは良くあることである。作業者のみでは時間のコントロールは非常に難しい。また、モニターに表示されるNG数が極端に多い場合も何かしらのトラブルに見舞われている可能性があるため迅速な現場確認が必要である。



図 4-3: 管理者用確認モニター

機械作業者はこれまで通り必要に応じて都度、管理者の判断を仰ぐ試みはするが、同時に管理者が現場の機械稼働状況をモニター上の数値を頼りにいち早く気づき対策することで、可能な限り素早く原因追及を促し生産数増加に寄与すると予測した。次に、管理者と営業部の2名体制で最低でもそれぞれ1時間に1度、可能であれば15分に1度モニターから製造進捗を行うように依頼した。特に営業部にこだわる必要はなく、他部署でも製造トラブルに対処可能な人材であれば問題ない。最後に、もう1人確認者を加えた計3名体制での進捗確認を依頼した。これにより1名が確認する体制と3名同時に製造進捗を確認する体制とでは生産数に違いが出るかを検証した。実証研究前後での製造現場の対処方法の違いを図4、図5に示した。図4の通り、本研究以前は、日々の製造記録は製造終了後、書面の記録表を作成し退社直前に上司に提出する流れとなっていた。そのため、多くの場合製造上の問題が社内で共有されるのは当日の夕方移行、もしくは翌日であった。また、業務時間外の打合せも多くなる傾向にあり労働環境的にも改善が必要であると考えられていた。

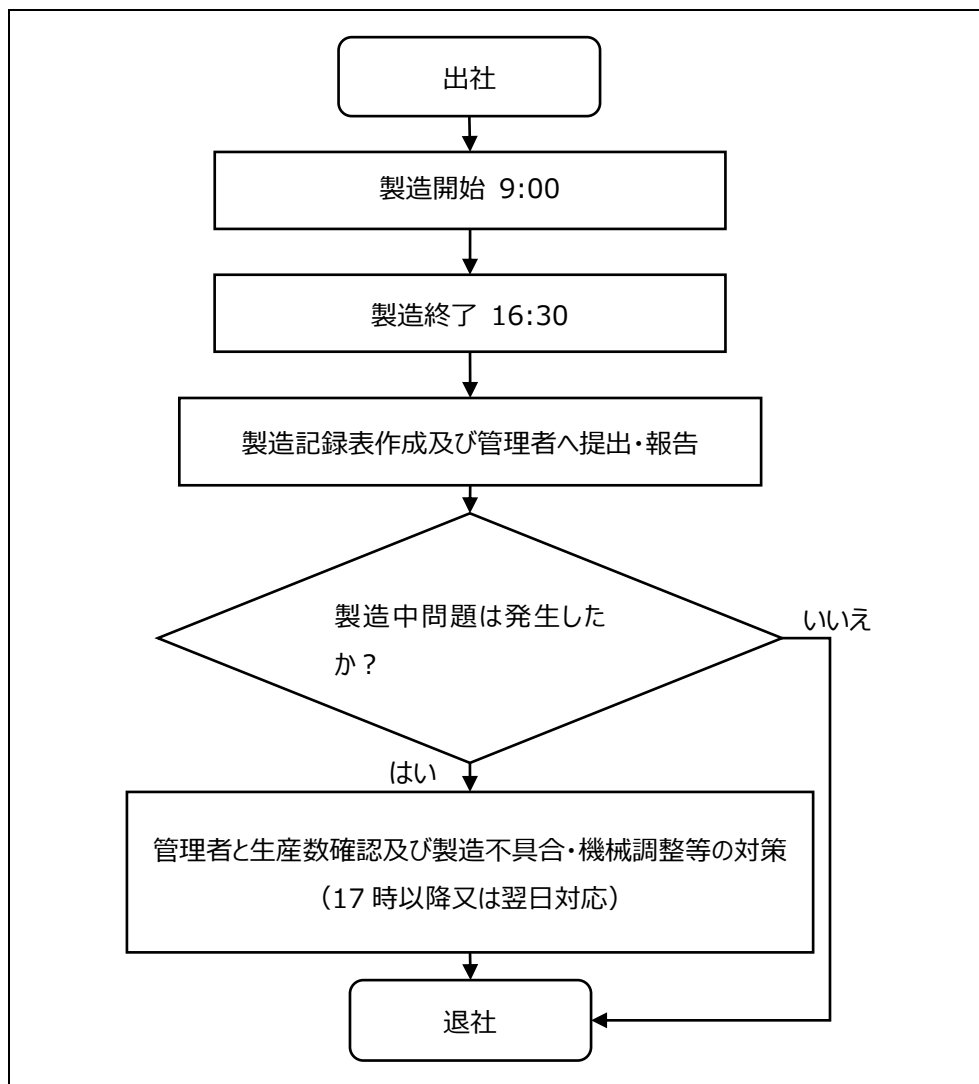


図 4-4: 実証研究前の 1 日の主な製造現場業務プロセス

一方、図 5 で示した本研究後の流れは、製造開始と同時に離れた場所に設置したモニターに製造進捗が表示されるため、リアルタイムに近い状態で状況確認が可能となった。仮に、モニターに表示される生産数が 15 分程度の一定時間増えなかった場合、管理者は製造現場で包材交換か原料交換のため機械が止まっていると予測することができる。しかし、20～30 分以上モニターの数字が上昇しないようであれば、何かしらの機械不具合が発生したか別の商品製造の準備をしていると予測ができ、迅速に現場に連絡し状況確認することが可能となる。15 分程度の機械停止で数字が上昇し始める場合であっても、それが短い周期で何度も発生するようであれば、機械を止めたり動かしたりしていることを意味し、商品の品質調整が上手くいかず時間を掛けている可能性が高く、現場からの報告が来なくても管理者が積極的にコミュニケーションを取ることで早期解決に繋がると考えられる。この様に、緊急的な業務管理手法の OODA ループと IoT を組合せることで、管理者と

現場作業員間で密な情報共有を可能にし、対象ライン A の異常事態に対し迅速な対応が可能となる。

また、実証研究後、従来に比べ従業員の業務内容や意識の持ち方において主に 3 つの点で改善が見られた。まず、管理者がリアルタイムに生産数を把握できるようになったため、予定通りの納期に出荷できるかの把握が実証研究前の当日 17 時以降、もしくは翌日であった状況から、当日 15 時迄には把握できるようになり、仮に納期が遅延する場合でも業務時間内に顧客に連絡し了承を得ることが可能となった。対象工場 A の営業担当者に実証研究前後での感想をインタビューしたところ、実証研究後では納期の心配をする心理的負担やストレスが軽減されたと話していた。また、実証研究前は、営業担当者も製造の遅れを確認するのは製造日翌日であることが多く、翌日の午前中から該当顧客への連絡に追われ本来やるべき仕事が後回しになる場合が多かった。しかし、実証研究後は、現場担当者と密に連携をとり、その流れで顧客への報告もより早く行うことが可能となり営業の効率化にも役立つということであった。次に、機械に不具合が発生した場合においても実証研究前は、その対応が当日の業務時間外、もしくは翌日になる場合が多く、業務時間外では機械メーカーに連絡しても担当者に繋がりにくく対応が翌日になることが多く残業時間の増加にも繋がっていた。実証研究後では、管理者がリアルタイムに近い間隔で機械異常や不具合を予測できるようになったため、念のため当日中に機械メーカーに連絡し相談する指示を担当者に出したり、管理者自身が現場を確認する機会も増えたりと、機械設備の異常や不具合対応に要する時間を 1~2 日減らせるようになった。また、現場担当者にインタビューしたところ、管理者側からの積極的なコミュニケーションが増え課題解決時間が短縮したという検証ができた。管理者及び現場相互で良いコミュニケーションが生まれれば教育の面でもより主体性のある社員育成が可能となる。これまで、管理者と現場作業員双方からは、実証研究前の 17 時以降に行う報告と対策等に掛かる時間が多かったが、実証研究後は報告時間も短時間で済ませることが可能となり、大きな問題が無い限りは速やかに退社する流れもできたと話していた。これら 3 つの点は、OODAIoT を活用することで式(1)の人材関連費を変えずに社員の能力開発を高められる可能性を示した。



図 4-5: 実証研究後の 1 日の主な製造現場業務プロセス

売上及び営業利益に関わる生産数については、ライン A, B, C において、ある特定商品を対象にそれぞれ 3 日間ずつモニター確認者を 1 人, 2 人, 3 人と増やし OODAIoT ループを実行し、各対象ライン A の生産数が改善されるか検証した。

ライン A は、前述の通りモニター室から一番近い場所にある対象ライン A である。表 4-3 の通りモニター確認者をこれまでの 0 人から 1 人へ増やした場合、平均約 1 割の生産数増加が確認された。また、モニター確認者を 2 人, 3 人と増やした結果、多少の増加は確認できたが 0 人から 1 人にした場合ほどの増加は確認されなかった。表 4-4 の通り分散が等しくないと仮定した 2 標本による検定の結果、確認者数が 0 人と 1 人, 0 人と 2 人及び 0 人と 3 人の間に有意な差が見られた。表 4-3' の通り、標準偏差の値はそれぞれ大きくないため、それぞれのばらつきは小さいことが分かる。日々発生する現場の課題に対し、遠隔からの見える化と OODA ループを実施することで現場課題の解決時間が縮小し生産数を増やす結果となった。一方、確認者数が 1 人と 2 人, 2 人と 3 人の間に有意な差は見られなかった。この結果から、モニター確認者が 1 人でもリアルタイムに製造状況を把握することで生産数を改善する効果があることを示した。一方で、確認者の数が 1 人から 2 人, 3 人に増えても有意な差には至らなかった。1 人目の確認者がある程度注意深くモニターを確認することで、2, 3 人の目視人数は不要ということが分かった。

表 4-3: モニター確認者数に対する生産数(ライン A)の結果

モニター確認数	生産数(本) 1 回目	生産数(本) 2 回目	生産数(本) 3 回目	平均値(本)	平均値の増加率(%)
0 人	28,000	29,000	28,500	28,500	-
1 人	30,000	31,000	32,000	31,000	8.8
2 人	31,500	32,000	32,500	32,000	12.3
3 人	33,000	32,500	32,000	32,500	14.0

表 4-3': モニター確認者数に対する生産数(ライン A)の結果

モニター確認数	中央値	標準偏差	最大値	最小値
0 人	28,500	500	29,000	28,000
1 人	31,000	1,000	32,000	30,000
2 人	32,000	500	32,500	31,500
3 人	32,500	500	33,000	32,000

表 4-4: モニター確認者数に対する生産数(ライン A)の検定結果

モニター確認数	<i>t</i>	<i>P</i>
0 人と 1 人	3.9	.0305*
0 人と 2 人	8.6	.0010**
0 人と 3 人	9.8	.0006**

* $p < .05$, ** $p < .01$

ライン B は、ライン A に比べモニター室から距離があるため、筆者から依頼はしなかったが、管理者が直接現場に足を運ぶという方法よりも内線等を活用した連絡を多く行っていることが分かった。最初に内線等で確認し、解決しない場合は現場に足を運ぶという具合であった。ライン B で製造した原料や資材はライン A とは異なるため、生産数に違いはあるが、表 4-5 の通りモニター確認者が 0 人の平均生産数は 29,500 本であったのに対し、1 人に増えたことでライン A 同様に約 1 割の 32,300 本に生産数が改善した。モニター確認者が 2 人、3 人と増えた場合は生産数に変化はほとんど見られなかった。表 4-6 の通り、検定の結果、モニター確認者が 0 人と 1 人の間に有意な差が見られた。表 4-5' の通り、標準偏差の値はそれぞれ大きくないため、それぞれのばらつきは小さいことが分かる。ライン A 同様、00DAIoT を用いることで生産数の増加が確認された。同様に 0 人と 2 人、0

人と3人の間にも有意な差は見られたが、実証研究後のインタビューで、ラインBのモニターを確認した管理者は頻繁にモニターを確認しており1人の時点で2、3人分の役割に相当する頻度でモニター確認を既にしていたことが分かった。その為、モニターの確認頻度を上げることで課題に気づくタイミングが早まり、OODAループを早期に実施することで改善も早まる傾向にあることを示した。

表 4-5: モニター確認者数に対する生産数(ライン B)の結果

モニター確認数	生産数(本) 1 回目	生産数(本) 2 回目	生産数(本) 3 回目	平均値(本)	平均値の増加率(%)
0 人	30,000	29,000	29,500	29,500	-
1 人	32,300	32,200	32,400	32,300	9.5
2 人	33,000	32,000	33,000	32,667	10.7
3 人	32,500	32,500	33,000	32,667	10.7

表 4-5': モニター確認者数に対する生産数(ライン B)の結果

モニター確認数	中央値	標準偏差	最大値	最小値
0 人	29,500	500	30,000	29,000
1 人	32,300	100	32,400	32,200
2 人	33,000	577	33,000	32,000
3 人	32,500	288	33,000	32,500

表 4-6: モニター確認者数に対する生産数(ライン B)の検定結果

モニター確認者数	<i>t</i>	<i>P</i>
0 人と 1 人	9.5	.011*
0 人と 2 人	7.2	.002**
0 人と 3 人	9.5	.003**

* $p < .05$, ** $p < .01$

ラインCは、ラインA、Bと全く異なるメーカーの機械であり、商品の形状や原料の種類も異なる。モニター室からの距離も一番遠く、ラインA、B同様のOODAIoTを実施した。表4-7の通りモニター管理者が0人の場合、1日の平均生産数が18,500個であったのに対し、1人増えたことで平均生産数が20,000個に増加した。顧客の要望上、区切りの良い数字で機械を止める必要があるため、機械稼働時間の数分～10分程度の誤差は生じたが、それを考慮しても約5%の生産数改善が認められた。表4-8の通り検定の結果、ラインA、B

同様、0人と2人、0人と3人との間にも有意な差は見られた。表4-7'の通り、標準偏差の値はそれぞれ大きくないため、それぞれのばらつきは小さいことが分かる。ラインA、Bに比べ生産数の増加が約5%と低かった要因は、ラインA、Bの機械よりもラインCの機械構造がシンプルであり、資材交換や機械トラブルに費やす時間が少なくて済むことが分かった。初めてOODAIoTループを実施した管理者からは、自ら顧客対応や配送を行う場合もあり、外出時等でもスマートフォン上から確認できるシステムであればより現場に適したOODAIoTループが実施でき安定した生産数の向上が見込めると話していた。管理者と現場が一体となり密なコミュニケーションにより、より良い製品づくりに取り組むという姿勢も見受けられた。

表 4-7: モニター確認者数に対する生産数(ライン C)の結果

モニター確認数	生産数(本) 1 回目	生産数(本) 2 回目	生産数(本) 3 回目	平均値(本)	平均値の増加率(%)
0 人	19,000	18,000	18,500	18,500	-
1 人	20,000	20,000	20,000	20,000	8.1
2 人	20,000	20,000	20,000	20,000	8.1
3 人	20,000	20,000	21,000	20,337	9.9

表 4-7': モニター確認者数に対する生産数(ライン C)の結果

モニター確認数	中央値	標準偏差	最大値	最小値
0 人	19,000	577	19,000	18,000
1 人	20,000	0	20,000	20,000
2 人	20,000	0	20,000	20,000
3 人	20,000	577	21,000	20,000

表 4-8: モニター確認者数に対する生産数(ライン C)の検定結果

モニター確認者数	t	P
0 人と 1 人	4.0	.035*
0 人と 2 人	4.0	.035*
0 人と 3 人	3.5	.014*

* $p < .05$

また、ライン A, B, C において確認者 0 人における平均値を上回った生産数と平均値以下の生産数、及び確認者 1 人以上における平均値を上回った生産数と平均値以下の生産数を用いてフィッシャーの正確検定を表 4-9 において実施した。結果、確認者 1 人以上の生産数が確認者 0 人の生産数の平均値と同等であることが 1%以下水準で否定され、有意差があることを示した。

表 4-9: ライン A, B, C におけるフィッシャーの正確検定

	確認者 0 人の平均 値を上回る	確認者 0 人の平 均値以下	全数
確認者 0 人	3	6	9
確認者 1 人以上	27	0	27
合計	30	6	36
p	.000043**		

4.2.3 付加価値要素検証

付加価値生産性の成果として、前項の実証研究結果を用い付加価値額要素の営業利益に関する成果検証を行った。物的生産性が約 1 割改善すると示されたことから対象ライン A の売上高が 10%増加すると仮定した。2020 年版中小企業白書によると 2018 年の主たる事業領域別の営業利益率の水準は、対象工場 A の事業領域に該当する最終製品の組立・製造で 3.3%である(中小企業庁, 2020)。仮に全ての原料資材が支給品であった場合、電気料等の細かい費用を除けばコストは変わらず売上高のみ 10%増加すると考えられる。その場合、売上高の増加分がそのまま営業利益増加分となる。会社経営は上記の様に単純ではないが、表 4-10 では原料資材完全支給により仕入及びその他経費は変化せず生産数のみが OODAIoT ループ実施により 5~10%改善した場合、売上高 1 千万円の生産ラインを想定し営業利益率の一覧を示した。生産数が従来より 5%増加すると営業利益率は 3.3%から 7.9%に増加し、生産数が 10%増加すると営業利益率は 3.3%から 12.1%に増加することが分かる。これにより、OODAIoT ループを通じ営業利益率を 10%以上改善できる可能性がある。式(1)より付加価値額は営業利益にのみ左右されるため、結果、営業利益が実験前の約 4 倍と付加価値生産性は大幅に改善できる可能性を示した。これはあくまである特定生産ラインで費用が増加しない想定ではあるが、OODAIoT ループを実施することで生産性は改善する可能性が高いと明示できる。会社全体では、様々な間接費が発生するため上記で得た結果がそのまま反映される訳ではないが、生産ラインごとに改善した生産性を積み重ねることで会社全体としての生産性改善にも繋がる。

表 4-10: 生産数増加率における営業利益率の推移

生産数増加率(%)	売上高(円)	営業利益(円)	営業利益(%)
-----------	--------	---------	---------

0.0	10,000,000	330,000	3.3
5.0	10,500,000	830,000	7.9
6.0	10,600,000	930,000	8.8
7.0	10,700,000	1,030,000	9.6
8.0	10,800,000	1,130,000	10.5
9.0	10,900,000	1,230,000	11.3
10.0	11,000,000	1,330,000	12.1

4.2.4 導入コストの検証

前項では、IoT 機器を用いて OODA ループを実施した生産ライン単体における付加価値額を検証した。ここで、本章で開発した IoT のシステムを第三者が導入した場合の費用を加味して費用対効果の検証をする。本研究で開発したシステムは主に現場側とサーバー側の二つに分けられる。現場側では、IoT 機器購入、設定、保守管理、導入に際した人工費用等が考えられる。サーバー側では、クラウドサーバーを使用した開発費、月額維持費等が考えられる。表 4-11 は、現場側及びサーバー側で発生する費用の一覧を示す。但し、サーバー側での開発費用は、本研究を通じて開発したプラットフォームを第三者にも提供する前提としたため考慮していない。また、それぞれの金額については 2024 年 2 月時点で可能な人工費用、市場価格と大差ない保守費用、及びインターネットを通じて購入可能な機器等を考慮して設定した。

表 4-11: IoT システム導入にかかる費用一覧

	現場側の費用	サーバー側の費用
初期費用	IoT 機器 : 15,000 円	IoT 機器とサーバーの連結作業費 : サーバー保守費に含める
	事前設定作業費 : 15,000 円 (3 時間 × 5,000 円)	
	現地接続費 : 15,000 + 交通費	
	導入先への教育 : 10,000 円 (使用説明書の提供含む)	
保守	定期ソフトウェア更新 : 15,000 円/回	サーバー保守費 : 3,000 円/月
	故障・不具合対応 : サーバー保守費に含める	
合計	初期費用 : 55,000 円 年間維持費用 : 5,000 円程度	年間維持費用 : 3,000 円

上記表から、多くを見積もっても初期費用は10万円未満となり、月額サブスクリプション費用は3,300円（税込）程度と設定できる。これら費用を表4-9に組み入れたのが表4-12である。

表 4-12: 費用を加味した生産数増加率における営業利益率の推移

生産数増加率 (%)	売上高 (円)	営業利益 (円)	IoT 導入コスト (円)	IoT 導入費込営業利益 (円)	営業利益率 (%)
0.0	10,000,000	330,000	0	330,000	3.3
5.0	10,500,000	830,000	100,000	730,000	7.0
6.0	10,600,000	930,000	100,000	830,000	7.8
7.0	10,700,000	1,030,000	100,000	930,000	8.7
8.0	10,800,000	1,130,000	100,000	1,030,000	9.5
9.0	10,900,000	1,230,000	100,000	1,130,000	10.4
10.0	11,000,000	1,330,000	100,000	1,230,000	11.2

表 4-9 に比べ営業利益率は減少するが、それでも導入しない場合と比較すると、なお10%近い生産ライン単位での向上が見込める。このことから、本研究で使用したIoTのシステムは、他社へ導入した場合においても効果が期待でき、中小企業生産ラインにおいて、費用面での一般性があることを示した。

4.3 本章の結論と考察

本章は、不確実性が高い中小食品生産ラインで起こるトラブルにおいて品質を維持しながら生産ライン停止時間を抑制し、生産性と利益改善に繋げるためIoTを用いOODAループを実施しその適用範囲を述べるとともにOODAIoTループが一般性を持つ方法であることを示した。1社の3生産ラインでOODAIoTループを実施した結果、3生産ライン全てにおいて生産数の増加が示され検定においても有意差が確認された。また、その過程で管理者と現場作業者との密なコミュニケーションによりトラブルへの対処方法指導の増加も見られた。本研究で導入した生産ラインのIoT化は少なくとも生産ラインの一部からデータ抽出可能である必要がある。全ての機器製品がそれに対応している訳ではなくメーカーによってはそれを許可していない場合もある。本研究で使用したウェイトチェッカーもメーカーと何度か交渉の末、データ抽出用のパラメータを得たことから建設的な関係構築の努力が必要である。また、データの相互通信は機器の故障に繋がる可能性があり避けるべきであり自社で機器を開発製造しない限りデータ抽出のみの一方通信に限定しデータ活用範囲を設定する必要がある。

定量面では、物的生産性の評価として実証研究の結果、OODAIoT ループを用いることで生産数が約 1 割改善すると見込まれたことから物的生産性も約 1 割改善すると示された。モニター確認者数が増えるほど生産数は増加する傾向にあったが、増加率は 2 人以上で微増となり人材関連費増加を考慮すると 1 人が合間を見て確認するのが良くより効果を求める場合は自動確認システム等を活用することが望ましいと考察できる。また、モニターの確認回数は 1 人で多数行う方が効果的なのか、複数人で行うことが効果的なのかの検証は実施できなかったが、どちらの方法であっても費用対効果を考慮すると目視によるモニター確認ではなく、自動確認システムを開発し、目視に頼らない確認するシステム開発が求められる。付加価値生産性の評価として営業利益率の検証により物的生産性同様、1 割以上改善することが示され、営業利益は実証研究前の約 4 倍に増加し付加価値生産性は大幅に改善できる可能性を明示した。

定性面での評価として OODAIoT ループを実施することで生産数改善を促すチームづくりにも寄与することを示した。IoT を用いリアルタイムに生産ラインのデータを見える化することで、リアルタイムに生産ラインを改善する機会を得たことになり、結果としてコミュニケーションの頻度が増える要因にもなった。コミュニケーション頻度が増えたことで、社員同士の新しい学びや気づきがあったことも対象工場 A でのインタビューから分かり、生産性改善を軸にした取り組みが人材育成へと発展できる可能性も示した。管理者と作業者は普段は離れた場所でそれぞれの仕事を行っており、自然と距離ができてしまうのも仕方ないことではあるが、本研究前は、それまでほとんど会話したことが無い社員同士が本研究中に改善点を話し合うという機会にも恵まれこれまであった距離の隔たりをデータが繋げたという評価を得た。生産性改善という目的の研究を軸にしたことで社員の能力開発を促し協力するチーム体制がつくれることを示唆した。

食品工場特有の食品衛生環境に関する品質の評価として、作業者の安全な導線確保を前提とした IoT 機器設置を行うことで HACCP にも対応できる設備が可能であることが実証できた。また、原料粉塵が機器に入り込まない対策を行いつつ通信障害も起こりにくい対策も可能であることが実証できた。

本研究で検証を行った OODAIoT ループの適用範囲として生産ラインごとに生産性を高め利益改善に貢献する管理方法であると示した。物的生産性の観点では、工場内にインターネット環境が整っており遠隔からモニターを確認する管理者がいる食品工場で実施可能である。本稿で述べた通り、食品生産ラインの CCP はウェイトチェッカーに設定でき、現在のウェイトチェッカーは多くがデジタル化されているため、比較的データを抽出しやすくなるなどの工場でも導入可能である。また、食品工場に限らず同様の課題を抱える中小菓子生産ラインや化粧品生産ライン、医薬品生産ライン等でも類似生産ラインを用いるため実施可能である。これら業種は、ウェイトチェッカーや金属探知機などのデジタル機器を生産ラインで使用するケースが多く本実証研究をフレームワークとして品質維持と生産性向上の両立が期待できる。但し、より厳格な品質管理を求められる業種では、製造前後の管理及び

検査体制も重要となり、また、製造室の構造や広さにより高価で安定した通信機器の使用が必要になる可能性があるため更なる深掘りが必要である。付加価値生産性の観点では、上記業種の範囲において原料資材の仕入れが自社で発生しない受託生産ラインである場合、表 9 で示した営業利益率の改善が見込める。自社商品等、直接原料資材仕入が発生する生産ラインでは、原料資材ロスを考慮する必要があり本研究で実施しなかった OODAIoT ループを用いた原料資材ロスの改善に寄与するか深掘りする必要がある。また、生産ライン機器のソフトウェア、ハードウェア更新が起きた際は IoT 機器やサーバー内のプログラム設定変更が必要になる場合があるため、機器メーカーとの継続的信頼関係も重要である。

第 5 章 IoT を用いた管理的意思決定改善による生産性向上の実証研究

5.1 研究構成

5.1.1 背景

第 4 章では、生産ラインにおいて、OODAIoT ループの実施により、品質を損なわず生産量が改善する、パレート改善が可能であることを示した。広義の意味で品質及び生産量は生産性に関わる要素であり、この 2 要素が OODAIoT ループにより改善する可能性を示した。本章では、前章をさらに探究するため、実証研究を通じた管理的意思決定について分析する。前述の通り、中小企業の管理者は、1 人で複数業務の管理を行う場合が多く、生産管理をする一方で、顧客対応や仕入・外注管理、工場内の細かな問題対処まで、工場運営全体を網羅した管理が必要である。生産ライン管理者が営業を行う場合さえある。生産管理以外の管理業務を「その他管理」と定義した場合、生産管理とその他管理は、しばしば相反する結果となる。生産管理に多くの時間を費やすと、その他管理が疎かになり、その逆も同様である。本章では、生産ラインの IoT 化が、品質と生産性向上に寄与することに加え、管理的意思決定の適格な優先順位判断に寄与するパレート改善が可能であることを示す。製造業において、チョコ停やドカ停の短縮や減少に対する取り組みは広くされており、チョコ停は空転ロスとも言われ、トヨタ生産方式の自動化を取り入れたカイゼンもその一つである。一方で、これら生産管理手法は、管理者が生産ラインに従事していることを前提としており、生産ライン体制も管理者がその他管理を行うことは前提としていない場合が多い。そのため、中小企業が生産ラインの方がより生産性が低くなる結果となり、チョコ停の頻度や時間は長くなる傾向にある。本章の前提は、中小企業の管理者が生産管理及びその他管理を日々行う上で、その他管理を疎かにすることなく、生産管理の重要な要素である生産量の改善が可能であることに焦点を当てる。現状の課題を明確化するため管理者による 5W2H(What, Why, Where, When, Who, How, How much) ツールを用いた。Tozin ら(2019)は、ポテトチップ製造ラインの生産性向上のため、5W2H により課題分析した。Menezes ら(2019)は、液体肥料産業におけるリーン生産での課題抽出と問題解決方法を、5W2H を用いて分析した。5W2H は生産現場で抱える課題と解決方法を整理するツールとして多く用いられる。また、松島(2010)は、経営情報学の方法論として、Burrell & Morgan(1979)が提示する社会科学の研究方法論として、4 つのパラダイムから現状(AsIs)と、あるべき姿(ToBe)に置き換え、構造改革と意識改革という新たなパラダイムを提起した。また、相原(2014)は、地域産業の展開に向けたあるべき姿をゴール(ToBe)としつつ、現状(AsIs)からの産業構造をバリューチェーンとして向かうべき方向性をまとめた。5W2H ツールは組織の意識改革が必要とされる場面

で多く用いられ、具体的な意識の方向性の決定を AsIs/ToBe 分析手法が用いられる。第 5 章では、5W2H ツールを用い、管理者の課題を評価方法を整理し、AsIs/ToBe により、OODAIoT ループを実施することでのそれまでの現状とあるべき姿の結果を分析した。

5.1.2 対象工場 A における管理的意思決定の課題

本章では、第 4 章の実証研究に参加した管理者 3 名を対象に、実証研究前に実施したヒアリング調査を参考に、実証研究後の管理的意思決定の変化について検証した。前章で行った実証実験の対象工場 A が中小企業という理由から、管理者の人数に限りがあり 3 名での調査となったが、中小企業の管理者業務は共通点が多く、3 名からのヒアリングを十分に行うことで、他中小企業に導入した場合の傾向が検証でき、次章で実施する外注先における生産性向上の実証研究に繋げると同時に、3 名が良く知る同業他社においても効果が期待できるかについてのヒアリングも追加項目とした。

第 1 章で実施した SWOT 分析及びなぜなぜ分析をもとに、第 4 章で行った実証研究前に 5W2H によるヒアリングシートを作成し内容をまとめた(表 5-1)。その後、お分析により現状と目指す体制の差異を確認し(表 5-2)、実証研究前後での管理的意思決定における変化を分析した。また、作業による対話を通じ業務的意思決定の変化についても検証した。管理者に実施した 5W2H によるヒアリング調査では、業務の質と生産の量を両立させることが実証研究前ではできていないことが課題であった。そして、As-Is/To-Be 分析により、さらに 5 つの具体的な内容な課題が出た。

一つ目の課題である生産ラインの生産結果報告が生産終了後になる課題については、リアルタイムに遠隔で管理者が意思決定できる環境体制を構築することで改善するとした。二つ目の生産ラインとのコミュニケーション不足については、管理者が OODAIoT ループを実施することで、管理者からの生産ラインへのアプローチが増え、コミュニケーションが増すと仮説を立てた。三つ目の業務量自体が多い課題については、業務量自体を減らすことは様々な要因が関係し難いため、同量の業務内容でも負担の軽減について調査した。四つ目の生産量は作業者の技術に左右する課題については、管理的意思決定の変化により作業者の技術向上に寄与するか調査した。五つ目の管理者の業務負荷が顧客要望のタイミングや量に依存する課題については、その他管理の中で顧客からの問合せが集中する場合や、連続して依頼が来る場合は、優先順位が生産ラインから顧客へ移ってしまうため、顧客への対応の質を落とすことなく生産ラインへの対応が可能と仮説を立てた。

表 5-1 5W2H での調査内容と仮説		
5W2H	ヒアリング内容	回答
What?	改善の目的は何か?	OODAIoT ループにより、生産管理とその他管理のバランスを取りつつ生産性を改善する

Why?	なぜ改善は必要か?	生産管理とその他管理はどちらも疎かにすることができないため
Who?	誰が決定するか?	自己分析 (As-Is/To-Be 分析)
When?	どのくらいの期間か?	2019 年中 ⁷
Where?	どこで実施するか?	対象工場 A 内
How?	どのように実施するか?	As-Is/To-Be 分析による第 4 章での実証研究
How much?	どの程度の改善を見込むか? どの程度の業界まで再現可能か?	これまでと同等以上の質と量 同業他社及びそれに近い業界で再現可能

表 5-2 自己分析における As-Is/To-Be 分析	
As-Is 生産管理業務とその他管理のバランスが取れず、 どちらか一方を優先するともう一方は疎かになる 	To-Be 1. 商品品質を落とさず生産量を増やす 2. その他管理の質を落とさず生産量を増やす 3. その他管理の質を落とさず生産ラインとのコミュニケーションを増やす 
課題 ① 生産ラインの報告が生産終了後である ② 生産ラインとのコミュニケーション不足 ③ 業務量自体が多い ④ 生産量は作業者の技術に左右する ⑤ 顧客要望に依存する	行動 ① リアルタイムに生産状況確認 ② 生産ラインとのコミュニケーションを増やす ③ 業務量を減らすのは難しいため業務効率を上げる ④ 技術者に左右されない生産管理をする ⑤ 顧客要望にも効率よく対応できる体制をつくる

図 5-1 で示した通り，As-Is 業務フローにおいて明らかなことは，管理者がその他管理及び生産ラインに対して依頼があってから行動する状況であるため，いつ対応に迫られるかの予測が難しい点である（課題②③）．課題④⑤が近いタイミングで発生し依頼が重複すれば，優先順位を決めて実行しなくてはならないため，管理者が低順位として意思決定した依頼は後回しとなる．大体において顧客に近い依頼から優先される傾向があるため，生産性が低下する要因にもなる．また，課題①のように，生産に課題があったとしてもそれを管理者が理解し，改善に取り掛かるのはその日の夕方又は翌日以降となる．

その他管理	
-------	--

⁷ 通常業務により事前に計画した日程が取れないため 3 名それぞれ対応可能な時期に実施した．

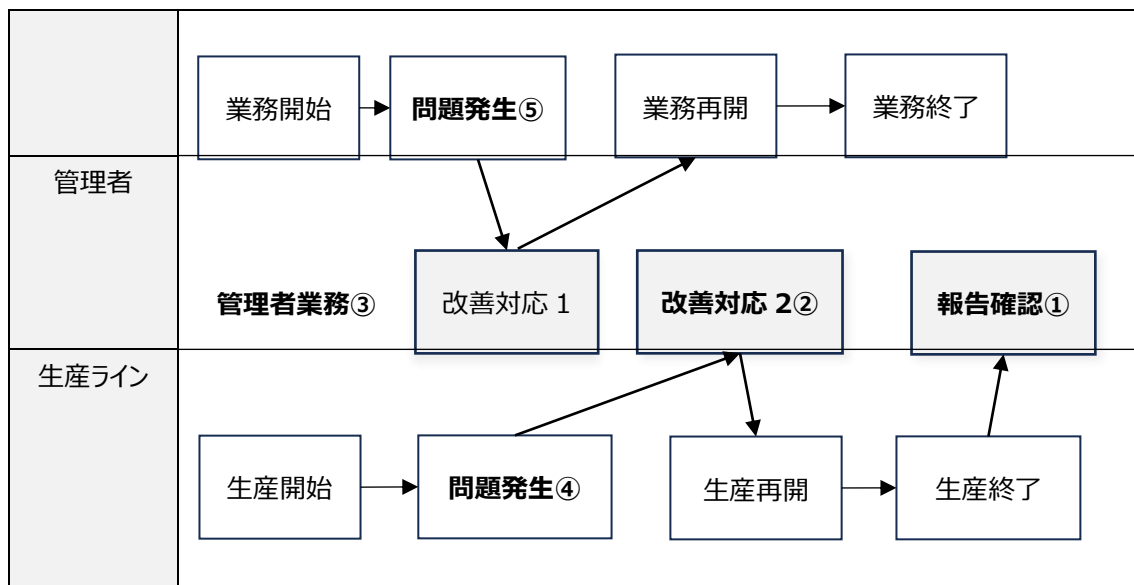


図 5-1 As-Is 業務フロー（課題）

表 5-2 及び図 5-2 の通り，行動⑤顧客からの依頼を管理者のタイミングで動くことは難しいことから，To-Be 業務フローにおいても，引き続き受動的対応となるが，生産ラインについては，行動④のように IoT を活用し，管理者が能動的に生産ラインの進捗を確認しながら行動することができるため，顧客からの依頼と生産ラインからの問合せが同時に来ても，並行して業務にあたり，生産ラインの停止時間を最小限に抑えつつ，顧客への対応も可能になると仮説を立てた（行動①②③）。

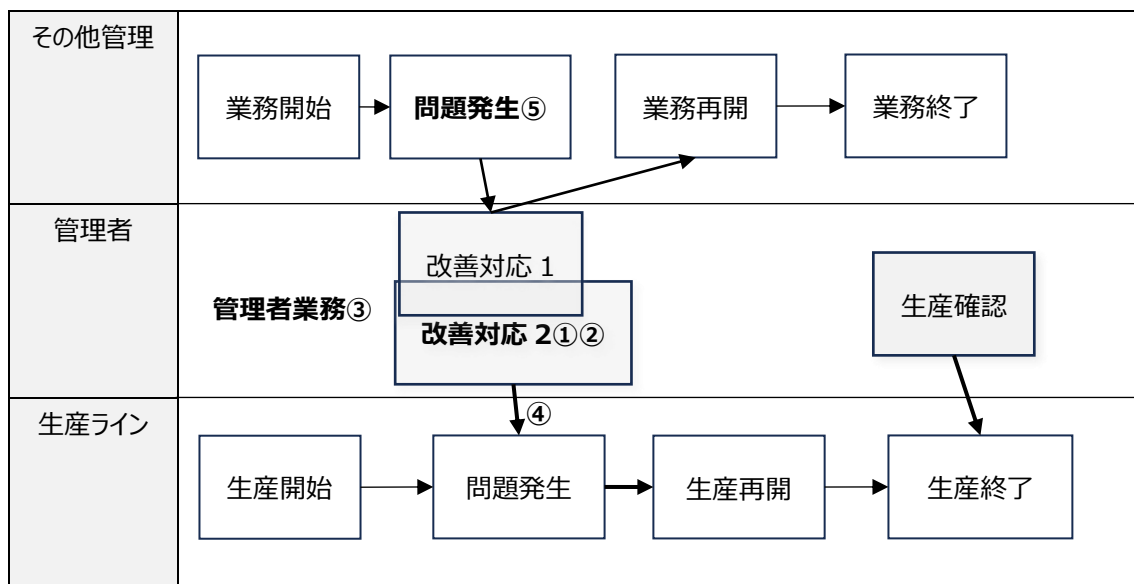


図 5-2 To-Be 業務フロー（行動）

5.2 実証研究

実証研究を通じた検証は、第4章で行った実証研究の前後に管理者からのヒアリングによる評価を実施した。前項で出した課題について表5-3に評価をまとめた。

表 5-3 As-Is/To-Be 分析評価

課題	実証研究後の評価
① 生産ラインの報告が生産終了後である	① リアルタイムに生産状況確認ができるようになった
② 生産ラインとのコミュニケーション不足	② 生産ラインとのコミュニケーションを増やす結果となった
③ 業務量自体が多い	③ 業務時間が短縮された
④ 生産量は作業者の技術に左右する	④ 生産ラインとのコミュニケーションが増えたことで教育も遠隔で行えるようになった
⑤ 顧客要望に依存する	⑤ 生産ラインを確認しながら顧客要望にも質を落とすことなく対応できるようになった

課題①については、リアルタイムに生産状況が確認できるようになったことは、管理者にとって大変意義があり、それだけでも生産スケジュールが立てやすくとても助かるという評価を得た。何よりもクラウドサーバーを使用していることにより、外出時でも生産量が把握でき、生産ラインとのコミュニケーションも取りやすくなると分かった。課題②については、課題①が解決したことで、管理者が積極的に生産ラインの進捗確認に参加できるようになったことで、社員とのコミュニケーションも円滑になるとの評価を得た。課題③については、仮説の通り、業務量を減らすことはできなかったが、その他管理と生産ラインの管理を並行して行う環境が整ったことで、業務時間の短縮に繋がると評価を得た。複数業務を同時に目配りすることへの変革はあるが、迅速な課題解決に繋がるため、課題解決に時間がかかるストレスの軽減に寄与すると評価を得た。課題④については、生産ラインとのコミュニケーションが増えることで、これまで出なかった機械に対する質問や課題が発言されるようになり、内線電話越しでも指導できる機会が増えたとの評価を得た。実際に作業者の技術が向上したかの評価は中長期的に確認する必要があるが、一朝一夕には技術向上は計れないとの意見を得た。

更に、上記の結果をもとに、現場からのヒアリングを実施した。要点としては、現場は、管理者とのコミュニケーションの機会が増えたことに対し評価をしていた。また、現場から管理者へ連絡がつかないという不安からくるストレス緩和にもつながるとの評価を得た。その上で現場の技術力向上には、もう一歩踏み込んだ余裕のあるコミュニケーションや研修の充実などが必要である課題も出た。

5.3 本章の結論と考察

本章では、対象工場 A の管理者が述べた「生産管理業務とその他管理のバランスが取れず、どちらか一方を優先するともう一方は疎かになる」という課題に対し、5W2H と As-Is/To-Be 分析により 5 つの課題に細分化し解決の仮説を立てた後、実証研究前後で管理的意思決定がどう変化し成果を得られるかヒアリング調査により評価した。

課題①の生産報告が生産終了後になることへの改善として、生産ラインを IoT 化し OODAIoT ループを実施した結果、生産ラインの進捗確認が迅速に行えるようになった上、それに付随して生産ラインへの連絡も増え、社員とのコミュニケーションが改善する結果となった。これは、顧客等のその他管理において来た依頼に対し、その依頼に応えながら並行して生産管理もできるようになる評価を得たのみならず、それを継続することで社員とのコミュニケーション増加による技術教育や意思決定の正確さと迅速さにも寄与する評価となった。意思決定については、管理的意思決定のみならず、生産ラインの作業員においても業務的意思決定にも好意的に寄与し、管理者とのコミュニケーションが増えることでの判断能力の向上や、仕事に対する前向きな姿勢も見てとれるようになった。結論として、5 つの課題は、最初の課題が解決すると、絡まった糸が解れるかのように比較的スムーズに全て解決できるという評価を得た。さらに、業務時間の短縮にも繋がり、OODAIoT ループが管理者の業務における生産性向上にも寄与することを示した。

本章の課題としては、中小企業特有の少人数の管理者体制により、調査対象を広く設定することができなかった。そのため、本章の評価が一般性を持つか次章で再検証する必要があるが、対象工場 A の管理者からは、同業他社での管理者が置かれた状況は似ていることから、同業他社への導入は可能であるとの評価を得た。また、本研究ではコミュニケーションの増加に対し、定性的議論を実施したが、管理者と現場の対話をチャットや音声録音などデータで残すことによりコミュニケーションの頻度、質、量等の定量的分析が可能になると予測できるため、今後の課題として、IoT のシステムにコミュニケーションツールのシステム開発及び導入と実施が必要である課題が出た。

第 6 章 IoT を用いた外注企業連携による生産性向上の実証研究

6.1 研究構成

6.1.1 背景

本章では、OODAIoT ループの再現性を確認するため、対象工場 A の外注先である、対象工場 B において IoT 機器を用い(以下、IoT 機器 B)、実証研究を実施した。対象工場 B は、対象工場 A が製造した商品を完成品へと仕上げる、いわゆる仕上げ工程を専門とした会社である。対象工場 A が扱わない様々な商品の仕上げ作業を行っている。中小企業の労働集約産業の代表的な形態であり、対象工場 A に比べ、より複雑な生産ラインと人員の配置を日々設計し生産している。IoT 機器 A と IoT 機器 B は同一メーカーのものを使用したが⁸、ウェイトチェッカー⁹のメーカーが異なり、製品規格も全く異なるため、IoT 機器 B 内のプログラムを再設計しなおした。最も大きな違いは、対象工場 A で使用したウェイトチェッカーは LAN ケーブルのみに対応していたが、対象工場 B で使用したデジタルはかりは、RS-232C¹⁰にのみ対応しているため、規格に対応するプログラム設計を行った¹¹。

6.1.2 対象工場 B における生産性の課題

本研究では、第 1 章、表 1-8 で明らかになった課題の実証研究及びその分析を実施した。課題であった生産量と品質の改善は、第 4 章で実施した IoT による生産ライン見える化では十分ではなく、製造進捗をさらに細かく見える化するためのプログラム変更を行った。具体的には、第 4 章では日々の合計生産量をリアルタイムで確認できたが、商品個々の重量は確認できなかった。対象工場 A での生産ラインは、作業者が 2 人配置されているため 2 人のコミュニケーションが取れば生産量だけの確認で問題なかったが、対象工場 B では手作業を中心としたライン作業のため、複数名の作業者がチームとなり、それぞれの作業を同時に行い最終商品に仕上げるため、より人為的ミスが起きやすい環境であった。そして、管理者は常に重量の品質に気を配る必要があり現場の目視確認だけでは追いつかない状況であった。そのため、本章では、HTTP 上で表示する生産進捗を図 6-1 の合計数に加え、図 6-2 のそれぞれの商品重量を遠隔からでもリアルタイムに表示できる改修を行った。

⁸ IoT 機器 A は Raspberry Pi3 Model B, IoT 機器 B は Raspberry Pi4 Model B を使用した。

⁹ 対象工場 A では、重量計測においてウェイトチェッカー(自動捕捉式はかり)を使用した。対象工場 B ではデジタルはかり(電子天秤)を使用したため、デジタルはかりと呼ぶ。

¹⁰ 電子機器間でシリアル通信を行うための接続規格。

¹¹ 主な設定は、ボーレートを 14400 に固定し、出力される文字列をデジタルはかりに合わせサーバーに送信するプログラム変更を行った。



図 6-1 対象工場 B での IoT による生産進捗の見える化



図 6-2 対象工場 B での IoT による商品毎での重量数の見える化

6.2 実証研究

6.2.1 前提

本章の研究では、対象工場 B の対象ライン B において、作業者が 8 名いるチームで 8 工程ある作業を決められた時間内に決められた数量を生産する生産ラインでの実証研究を行った¹²。図 6-3 の通り、生産工程は、前作業と後作業に分かれており、前作業では①～

¹² 顧客との秘密保持契約の関係上、具体的な実証研究期間の明記は避けるが 2023 年中に実施した。

⑥の6工程，後作業では⑦～⑧の2工程を行う生産ラインである．前作業では，工程①～③(以下，工程 A)に作業員 1 と 2 を配置し，賞味期限の印字作業とそのダブルチェック確認作業を行いながら，梱包用の段ボール作成を行う．工程④，⑤(以下，工程 B)に作業員 3～7 を配置し，商品の詰め作業と重量計測を行う．工程⑥(以下，工程 C)に作業員 8 を配置し，仕上がった商品を金属探知機に通し，異物混入が無いか確かめる．工程⑦，⑧(以下，工程 D)は後作業として，作業員全員で最終検品及び商品梱包をする流れである．

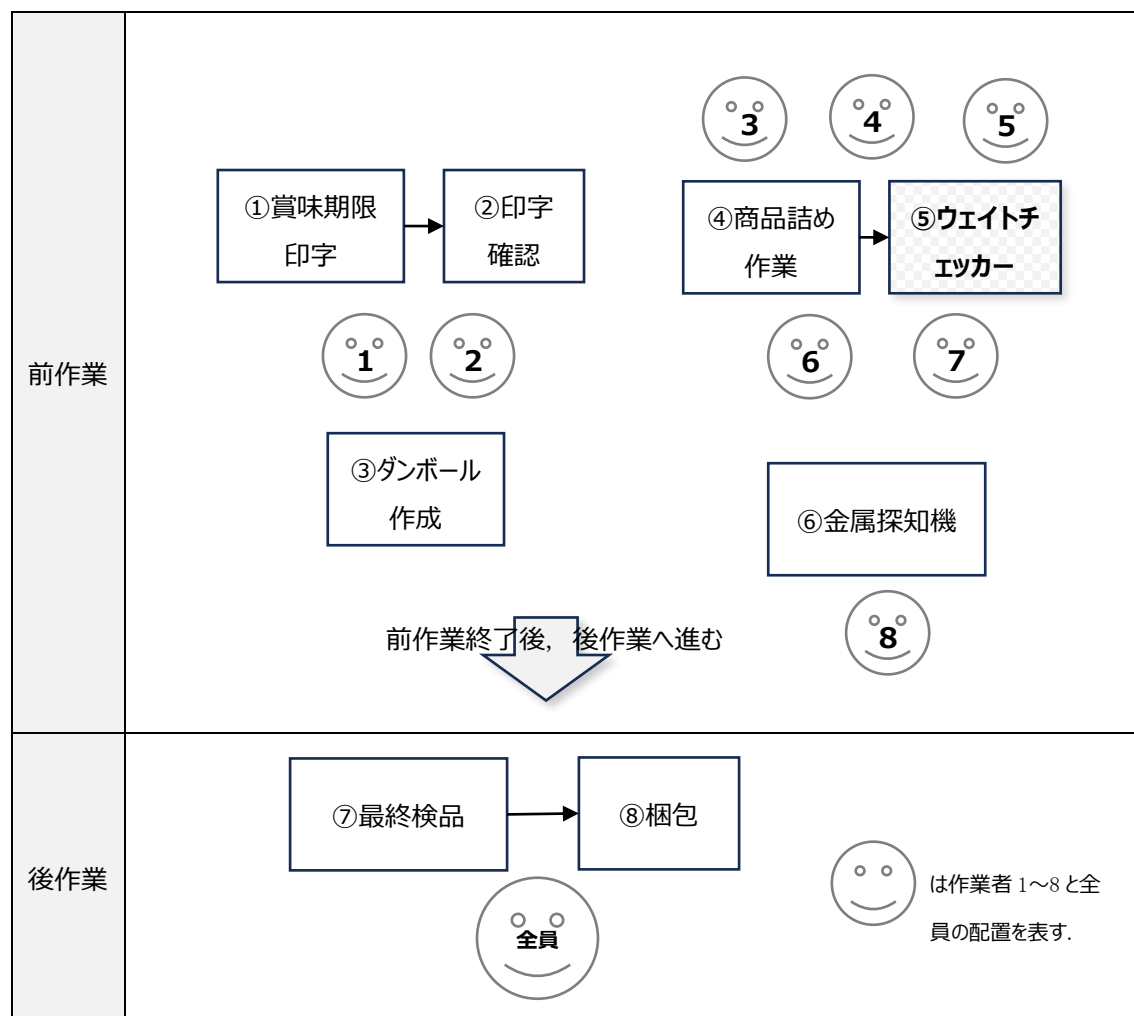


図 6-3 対象工場 B での作業内容と作業員配置図

工程⑤において，図 6-4 で示した IoT 機器 B をデジタルはかりと接続した．本研究では，対象工場 B の予算の都合があり作業員 3～7 の 5 名のうち 3 名が使用するデジタルはかりに IoT 機器 B を接続した．

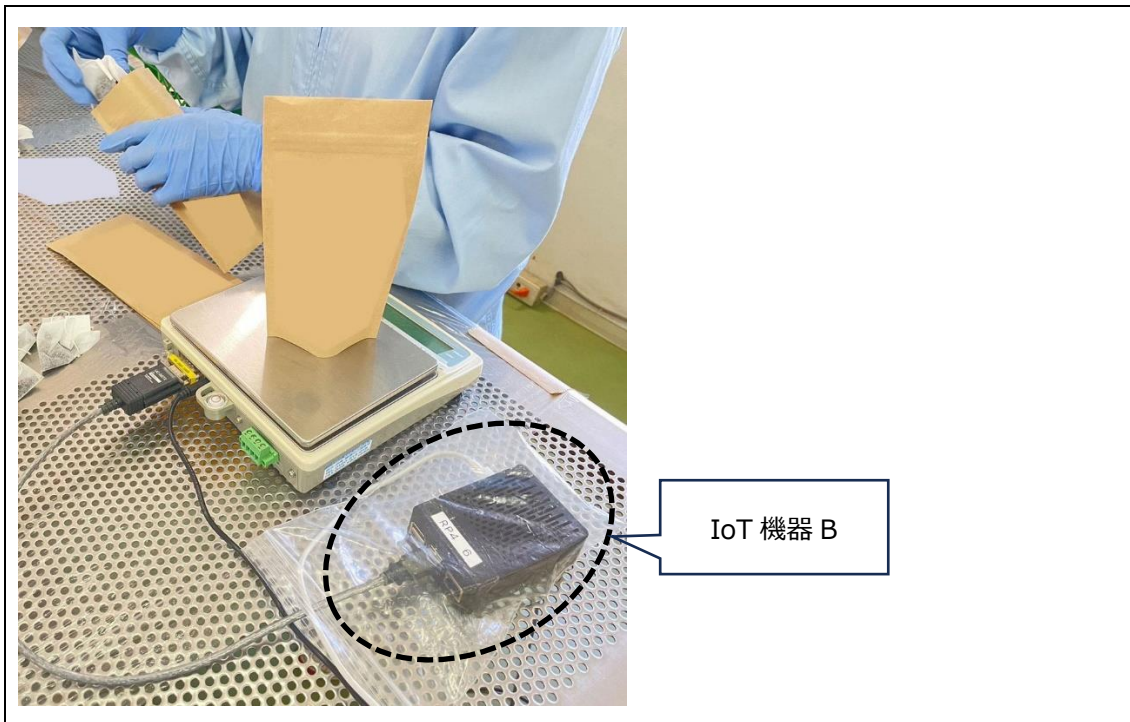


図 6-4 対象工場 B での IoT 機器 B を使用した生産現場

デジタルはかりの取得データ配列については、表 6-1 の通り、タイムスタンプ、WC ID(デジタルはかり ID)、排出カウンタの列数、重量の 4 項目である。本章で使用したデジタルはかりは NG の場合、ブザーが鳴る仕組みとなっており、データ内での OK/NG の判別はしていないが、生産性分析においては、良品の生産量のみを対象に抽出している。

表 6-1: ウェイトチェッカーの出力情報を IoT 機器 B 内で変換した項目とデータ例

タイムスタンプ	レーン番号	ステータス	重量
2024-02-13 12:18:14	1	OK	26.1
2023-02-13 12:18:26	1	OK	26.2
2023-02-13 12:18:36	1	OK	26.0
2023-02-13 12:19:01	1	NG	24.8

※重量 25.5～26.5g をウェイトチェッカー上で良品と設定した場合の例

図 6-5 の通り、作業者は 5 名体制で商品を袋詰めするが、そのうち作業者 3 名は管理者が遠隔からリアルタイムでの IoT 機器 B①～③それぞれの生産数及び各商品の重量が確認可能な状況にした。対象工場 B における CCP は対象工場 A 同様に重量検査であり、また、工程④、⑤にメンバーの半分以上を配置し生産性を決定づける重要な工程であるため、本章の調査対象は工程④、⑤とした。その生産性について、OODA IoT ループによる管理的意思決定が与える影響を分析した。



図 6-5 対象工場 B で複数ライン同時に IoT 化

6.2.2 仮説検証

本章では、第 4 章で実施した実証研究と同様の方法で生産量の検証を行った。ただし、対象工場 B においては、以下 3 つの点において対象工場 B との違いがある。一つ目は、対象工場 B は管理者が 1 人しかいないため、管理者 1 人が意思決定する。二つ目は、対象工場 A 以上に対象工場 B では少量多品種生産を行っており、実証研究前後で同一商品を生産する期間が限られていることである。三つ目は、顧客の要望により日々の生産量が決められており、その数量が日々変動するため、同一数量を 1 週間以上生産する期間が稀であり限られていることである。さらに、作業者の急な欠勤や早退があり、作業人数の条件が合わないなども発生することで更に期間が限られる結果となる。そのため、第 4 章で実施した、複数管理者と複数回に及ぶ実証研究は、本章では困難であるため、管理者 1 人を対象にし、IoT 機器 B を使用した場合と使用しなかった場合でそれぞれ 3 日間の生産量を 2 種類の商品、商品 A と商品 B において分析した。また、対象工場 B の管理者とは事前に入念に打ち合わせをし、実証研究前後で得た結果は、管理者の暗黙知として妥当な数値であり、期間を延ばした場合でも近い結果になるであろうという評価を得ている。

実証研究期間において、管理者が OODA IoT ループを実施する場合としない場合の生産数を商品 A と商品 B においてそれぞれ 3 日ずつ検証した。商品 A と商品 B では内容量や商品

サイズに差があり、商品 B の方が手間が掛かり不具合が起きやすい特徴がある。OODAIoT ループ実施に際して、管理者は工場外で荷物運搬や他工場の現場確認等をすることが多いため、管理者所有のスマートフォンから生産状況を確認することとし、スマートフォンを通して表 6-2 で示した OODA ループを実施した。生産ラインで問題が発生した場合、作業員から管理者へ連絡が取れる体制にはなっているが、管理者が常に対応できるとは限らないため、管理者も 1 時間に数回は生産状況を確認する流れとした。管理者が生産進捗で疑義が生じた場合は管理者から積極的に作業員へ連絡がとれるようにした。また、対象ライン B では、日々の生産数は顧客により決められているため、生産量の増加を目指すことは困難なことから、勤務時間内での 1 時間当りの生産量の変化を調べた。また、今回、対象工場 B の予算の都合上、作業員 5 人に対し、IoT 機器 B を 3 台した。管理者と検討し、経験年数が一番長い 1 人と経験年数が一番短い 2 名のラインにおいて IoT 機器 B を設置することとした。管理者は各作業員の生産進捗を確認する必要があると同時に生産総数も知る必要があり、一番早い人と遅い人を把握できれば全体を把握できるためということであった。

表 6-2: 対象工場 B における OODA ループと OODAIoT ループの実施方法比較

	OODA ループを対象工場 B に導入する場合 (従来から実施されている対処方法)	OODAIoT ループを対象工場 B に導入する場合 (本研究で実施した対処方法)
対象者	作業員のみが対象(シングルループ)	作業員と管理者が対象(ダブルループ)
O(Observe: 観察)	【作業員】急に発生する問題に対し状況を観察。	【作業員】急に発生する問題に対し状況を観察。 【管理者】スマートフォンを通じ問題が発生していないか定期的に状況を観察。
O(Orient: 状況判断, 方向づけ)	【作業員】状況判断し自ら解決できるか管理者に連絡するかを判断。	【作業員】状況判断し自ら解決できるか管理者に連絡するかを判断。 【管理者】生産進捗状況で作業員に連絡し状況確認をするか、現場へ赴き直接指示するか判断。
D(Decide: 意思決定)	【作業員】自ら解決を試みるか、即時管理者へ連絡するかを意思を決定。	【作業員】自ら解決を試みるか、即時管理者へ連絡するかを意思を決定。 【管理者】まずは作業員に連絡し状況確認するか、即時現場へ赴くかの意思を決定。
A(Act: 実行)	【作業員】自ら解決を試みた際、予想以上に解決に時間が掛かる場合がある。また、即時管理者へ連絡する際、管理者と連絡が取れず時間を要する場合があり、結果自ら解決を試みようとする。	【作業員】自ら解決を試みた際、予想以上に解決に時間が掛かる場合がある。また、即時管理者へ連絡する際、管理者と連絡が取れず時間を要する場合があり、結果自ら解決を試みようとする。 【管理者】作業員に連絡する場合、状況を確認し作

		業者自ら解決できそうか検証。解決が難しいと管理者が判断すれば現場に赴く。作業で解決できると判断した場合は様子を見て再度連絡する。即時現場へ赴く場合、管理者自らが状況により指示を出す。
--	--	---

IoT 機器 B は、袋単位の生産量の数値を取得した。IoT 機器 B を使用した場合と使用しなかった場合のそれぞれ 3 日間を通じて 2 種類の商品、商品 A と商品 B について研究した。商品 A については、IoT 機器を使用しなかった場合では、1 人当り時間平均 98.3 袋生産した。これは管理者も大体 100 袋超えない程度で考えているため妥当な値であるという評価を得た。IoT 機器 B 使用した場合は、平均 106 袋と増加し、IoT 機器 B 導入前と比べ約 7.8%生産量が増加した(表 6-3-1)。商品 B については、IoT 機器を使用しなかった場合では、1 人当り時間平均 93.2 袋生産した。これは管理者も大体 90 袋強程度で生産量を考えていたため妥当な値であるという評価を得た。IoT 機器 B 使用した場合は、平均 104.4 袋と増加し、IoT 機器 B 導入前と比べ約 12.0%生産量が増加した(表 6-3-2)。管理者が IoT 機器 B を使用し OODA ループを実施する OODAIoT ループを実施することで、遠隔から生産進捗の遅れに迅速に気づくことができるようになり、人員の配置体制や指示を柔軟に出すことができ、結果として生産量増加に寄与した。特に商品 B では、現場で不具合が何度か起きていたが、遠隔から管理者が生産量の進捗の遅さに疑問を持ち迅速に状況把握、判断、実行する OODA ループ実施により管理的意思決定がスムーズになり、生産の空転ロスの減少に繋がっていた。一方で、IoT 機器 B を使用しない場合は、現場の判断に多少の遅れが生じたり、現場では決断できない問題が発生すると生産に遅れが生じたりしていることが明らかとなった。

表 6-3-1: 工程④, ⑤の 1 人当りの時間生産量の結果 1 回目, 商品 A

	1 日目	2 日目	3 日目	平均値(袋)	平均値の増加率(%)
IoT 機器 不使用	100	100	95	98.3	-
IoT 機器 使用	105	108	108	106	7.8

表 6-3-2: 工程④, ⑤の 1 人当りの時間生産量の結果 2 回目, 商品 B

	1 日目	2 日目	3 日目	平均値(袋)	平均値の増加率(%)
IoT 機器 不使用	98	93	89	93.2	-

IoT 機器 使用	103	103	108	104.4	12.0
--------------	-----	-----	-----	-------	------

実証研究をもとに、商品 A と商品 B において、分散が等しくないと仮定した 2 標本により検定の結果、両商品において有意差があると示された(表 6-4)。

表 6-4: IoT 機器 B 使用有無の生産ライン B の検定結果

	<i>t</i>	<i>p</i>
IoT 機器使用/不使用 1 回目, 商品 A	4.5	.021*
IoT 機器使用/不使用 1 回目, 商品 B	3.6	.035*

* $p < .05$

実証研究の結果に管理者は、想像以上の成果を実感したと述べた。人手による作業のため、手作業のスピードを上げることは難しい理由から、数量を 5%でさえ増やすことは厳しいと考えていたという。実際、作業者の作業速度が上がったわけではなく、管理者自身の判断速度が上がったとの実感を得た。これまでは、日々決められた数字を勤務時間内に終わらせられるか心配で仕方なかったといい、それがリアルタイムに状況把握できることにより、数時間後の生産量も計算でき、翌日の準備もお昼過ぎには動き始められるという利点を述べた。仮に生産が間に合わないというリスクと不安は大幅に緩和されたという。さらに生産量も平均 5%以上増えたことで、今回 3 台の導入での研究であったが、今後は全てのラインに導入したいとの考えも出た。また、各袋ごとの重量もリアルタイムで確認できる状況であるため、管理者が常に一番不安視する重量不足の不安に対する問題も解決したと述べた。

実証研究の副産物の成果として、OODAIoT ループを用いることで管理的意思決定のプロセスが改善し、生産量増加に寄与するだけでなく、品質の向上や管理者の不安を低減、スケジュール管理の短縮化の 4 つの面で利点があることが示された。作業者の側面からも管理者が数量と重量をダブルチェックしていることでの安心感を与える結果となり、品質不良に不安を覚えながら作業を行うよりも、心にゆとりができ作業が行えるようになった。結果として管理者は、OODAIoT ループにより表 6-5 のように管理的意思決定を改善し実行できるようになった。

表 6-5: 管理者による OODAIoT ループの実施

	OODAIoT ループを対象工場 B に導入する場合 (本研究で実施した方法)
--	--

O(Observe: 観察)	スマートフォンを通じ問題が発生していないか定期的に状況を観察。
O(Orient: 状況判断, 方向づけ)	3 項目に注視しながら状況判断をする。 ①生産量 ②商品重量 ③次の生産準備のタイミング
D(Decide: 意思決定)	Orient の 3 項目に対し意思決定をする。 ①納期は間に合うか ②品質に問題はないか ③ロス時間の短縮
A(Act: 実行)	改善された管理的意思決定により実行。

対象工場 B は、実証研究により、生産量、品質、社員の不安解消に改善が見られ生産性向上に寄与することを明示した。

6.3 対象工場 A と対象工場 B の連携

本章では、対象工場 A と対象工場 B の IoT を通じた連携の簡易的検証を行った。対象工場 B で生産する対象工場 A の商品について、対象工場 A でも管理者のみに限り、生産進捗を確認できる体制とした。対象工場 A と対象工場 B の物理的距離は車で 15 分のところにある。2 社の連携について具体的な数量を検証することはなかったが、対象工場 A の管理者が対象工場 B の生産進捗をリアルタイムに確認することで、表 6-7 の新たな OODAIoT ループを実施することができるようになった。OODA ループの観察や状況判断でできるようになった項目は 3 つあり、合計生産量、各作業者の作業量のバラツキの確認、商品重量のバラツキである。実証研究前は、納品時以外で対象工場 A の管理者が対象ライン B の進捗を確認する機会はほとんどなく、対象工場 B の管理者に全てを任せている状況であった。当然のことではあるが、別会社どうしであるため、相手の生産ラインに関与することはなかった。

表 6-7: 対象工場 A の管理者による対象ライン B の OODAIoT ループの実施

O(Observe: 観察)	パソコンやスマートフォンを通じ対象ライン B の生産進捗を確認。
O(Orient: 状況判断, 方向づけ)	以下の点で進み具合に疑義を持った場合は、対象工場 B の管理者へ連絡。 ①合計生産量 ②各作業者の作業量のバラツキ

	③商品重量のバラつき
D(Decide: 意思決定)	管理者 B からの回答で理解できればそのまま経過観察し、疑義が解消されない場合は、管理者 B が対象ライン B に確認し対象工場 A へ回答。
A(Act: 実行)	改善が必要であれば対象ライン B の改善を実行。また、対象工場 A と対象工場 B 間での連携の改善点があれば合わせて実行。

製造者側の立場からすれば、自社生産ライン以外で生産しているものは責任範囲外と捉えるのは普通であるが、顧客からすればどこで生産しても同じ商品であることに変わりはない。大手企業が外部委託する場合は、再委託に関する事項も契約内容に明記されている場合が多く、今後中小企業どうしが生産ラインの情報を共有することに抵抗感が無くなる可能性もある。実際、今回の研究により、対象工場 B の管理者も対象工場 A が生産進捗を確認することで、安心感が増し、ミスを防げるという意見が出た。また、会社間のコミュニケーションも増え、より両社を信用できる環境づくりにも繋がるという意見もでた。何か問題が発生し、クレームとなってからでは、どうしても責任の所在探しに重きが置かれ、建設的な話し合いが進まないが、不良品を出さないための対策を日々細かく意見交換することでクレーム自体も減少し、会社間の関係改善にも寄与する。

6.3 本章の結論と考察

本章は、不確実性が高い手作業主体の中小食品生産ラインの少量多品種生産において、品質を維持しながら生産量を増やすことが可能であることを明示した。これにより、第4章の実証研究の再現性を示すとともに品質を維持向上するパレート改善が可能であることも示した。実証研究の回数に限りはあるが、少なくとも今回の実証研究では、生産量が7%強増えたことにより、対象工場 A と同業種の対象工場 B は表 4-9 を用いることができるため、営業利益率は 9%以上改善する可能性を示唆し、物的生産性及び付加価値生産性両面から改善が見込める結果となった(表 6-6)。

表 6-6: 生産数増加率における営業利益率の推移

生産数増加率(%)	売上高(円)	営業利益(円)	営業利益(%)
0.0	10,000,000	330,000	3.3
5.0	10,500,000	830,000	7.9
6.0	10,600,000	930,000	8.8

7.0	10,700,000	1,030,000	9.6
8.0	10,800,000	1,130,000	10.5
9.0	10,900,000	1,230,000	11.3
10.0	11,000,000	1,330,000	12.1

管理者や作業者の意識の観点からも常に品質や納期に対する不安を抱えながら生産，管理していたこれまでの状況が改善し，心にゆとりを持って仕事に従事できるようになった．また，対象工場 A と対象工場 B における 2 社連携の実証研究も実施し，結果，両社のコミュニケーションの増加や信頼構築促進，クレーム減少に貢献する可能性を示唆した．

第7章 まとめと今後の課題

7.1 まとめ

本章では、中小食品生産ラインにおいて、IoT 及び OODA ループを用いた OODAIoT ループが、第1章で述べた表7-1の課題に対し、第3章～第6章で行った実証研究を通じ、管理的意思決定がどのように改善し、結果として生産性について明らかになったことと、今後の課題について整理する。

表 7-1 本研究で取り上げた課題

課題整理	実証研究
① 対象工場 A において、商品品質の担保が十分にされておらず、その結果、管理者及び作業者は品質で問題が発生するとその対応に時間を取られ生産性が低下する	第 3 章
② 対象工場 A において、多品種少量生産が中心のため、生産ラインにおいて不確実性が高い問題が頻繁に発生し、その対応に管理者及び作業者の時間と負担がかかり生産性が低下する	第 4 章
③ 対象工場 A において、管理者が多様な業務を日々こなす中で、その他管理の質を低下させることなく、生産管理を迅速に行うことは難しく生産性が低下する	第 5 章
④ 対象工場 B において、対象工場 A の①～③と同様の課題を抱えており、さらに生産が人手を多く必要とする生産ラインのため、より正確な管理的意思決定を短時間で行わなければ生産性低下に繋がるリスクがある	第 6 章

7.2 成果と課題

表 7-1、①～④に対する主な発見は以下の通りである。①では、生産ラインのカメラ機器とサーバーを繋げることで商品の賞味期限印字画像を全数において保管するようにした。これまで、管理者は商品不具合が発生すると、生産ラインを止め、現場に赴き、作業者とともに検品作業に追われていたが、実証研究後は管理者が、遠隔から社内ネットワークを通じ、保存した画像を見返せる体制となった。そのため、管理的意思決定が迅速に行えるようになり、保存した画像を圧縮暗号化し、自社ホームページ経由等で画像共有することで、顧客とのコミュニケーションも円滑になり業務効率が改善することがインタビューにより明らかとなった。課題としては、サーバーに保管されている特定画像の選択を管理者がする場合、予想以上に画像を探すことに時間を使うことが判明したため、機械学習等により、事前に画像解析を実施し、リスクとなりそうな画像はリアルタイムに抽出できるな

どのシステムがあればさらに業務効率が上がる可能性を示唆した。

②では、生産ラインのウェイトチェッカーで得られた情報を、IoT 機器を使用しサーバーへ送信後、遠隔からでもリアルタイムの生産進捗を HTTP 経由で見える化することで、管理者が常に生産状況を把握できる環境に整えた。また、不確実性の高い現場で用いる管理手法の OODA ループを実施することで、これまで生産について受け身であった管理者が、自ら作業者と連携し、管理的意思決定の改善により機械停止時間が短縮し、生産量が約 1 割向上することを明らかにした。課題は、管理者が頻繁に生産進捗のモニターを確認する必要があるため、機械学習等により、生産予測やアラートを出す仕組みを構築することで、管理者の確認作業無しに生産性が向上する可能性を示唆した。

③では、①、②の実証研究において、管理者が遠隔かでも生産ラインの管理が可能となり、それにより生産ラインの生産性向上が明らかになった。そして、それによる管理者の生産以外の業務の質が落ちることは無く、これまでは一つずつ行っていた業務を生産状況を確認しつつ、その他管理を行えるようになったため、業務の並行が可能となり、管理的意思決定が改善し業務時間の短縮に繋がることが分かった。課題は、暗黙知等による管理者の業務能力により生産性が左右されるため、それを補完するための業務デジタル化及び社員教育は継続した実施が必要であることである。また、対象工場 A 以外の会社で同様の実証研究を実施した場合の再現性を検証する必要性である。

④では、対象工場 A で実施した研究を別企業の対象工場 B において実施検証し、商品品質及び生産量、管理的意思決定の改善において、再現性があることを明らかにした。対象工場 B は対象工場 A より手作業が多く、より詳細の情報をリアルタイムに確認する必要があるため、生産量に加え重量も確認できるような環境に改善し、管理者は、品質に不安を持つことなく管理的意思決定の改善により、生産量の増加に繋がり再現性があることを明らかにした。課題は、③同様、管理者の業務量の効率は上昇したが、業務量が減った訳ではなく、暗黙知等による管理者の能力により生産性が左右されてしまうため、それらをさらに形式知に変え業務量自体を減らすことでさらなる生産性向上を示唆した。

7.3 結論

本研究は、中小企業の生産性が IoT を活用することで得られる効果について OODA ループを用いて明らかにした。結果、物的生産性に寄与する生産量は約 1 割増加し、付加価値生産性に寄与する利益率も 1 割以上改善し、IoT を用いたマネジメント手法が品質保持と生産性改善の両立に繋がることが明らかにした。今後の課題は以下である。第一に、複数対象ライン A を同時に IoT 化し実証研究した場合、本研究の単一対象ライン A と同様の結果が得られるか深掘りする必要がある。本研究と近い結果が得られるのであれば、中小企業の生産性は IoT によりさらに改善できる可能性があると言える。第二に、対象工場 A 以外の企業で同様の実証研究を行った場合、類似の結果が得られるか明らかにする必要がある。

同様の結果が得られるのであれば、広い業種において活用できる手法であると実証できる。第三に、OODA IoT ループに自動確認システムの開発を用い、モニター確認をコンピューター自身が管理監督するシステムを導入した場合の効果検証である。モニター確認を目視ではなく、自動確認システムにより更なるリアルタイム確認が可能となり、並行して管理者はより自由度が増え生産性改善が見込める。また、中小製造業の IoT と IT 導入促進にも繋がり、その研究にも寄与する。最後に、工場の IoT 化は生産性改善のみならず社員間のコミュニケーションを促進することが示されたことで、IoT を活用した社員の能力開発に焦点を当てた研究も必要である。人材育成の観点から IoT の研究が進めば、本研究を通じ、中小企業の工場 IoT 化は中小企業製造業が抱える課題を広く解決する環境づくりとして重要な役割を担うことが期待される。

7.4 今後の課題と展望

本研究で明らかになった課題は、生産性向上には、IoT を活用した経営が重要であることを示したと同時に、確認システムの自動化による業務量を減らす研究の重要性が分かったことである。中小企業では特に今後必要性が増すと考えられ、管理的意思決定を IoT でサポートする管理手法が今後益々重要になる可能性がある。また、本研究の事例にあがらなかったその他の企業についても引き続き再現性を検証し、それぞれの企業に合った微妙な管理体制の違いによる調整を含めた管理方法の経験値を増やすことで、暗黙知が多い中小企業でも成果を得る可能性がある。

本研究の一般性については、本稿で述べた通り、食品生産ラインの CCP はウェイトチェッカーに設定でき、現在のウェイトチェッカーは多くがデジタル化されているため、比較的データを抽出しやすく、どの工場でも導入可能である。また、食品工場に限らず、同様の課題を抱える中小菓子生産ラインや化粧品生産ライン、医薬品生産ライン等でも類似生産ラインを用いるため実施可能である。これら業種は、ウェイトチェッカーや金属探知機などのデジタル機器を生産ラインで使用するケースが多く、本実証研究をフレームワークとして品質維持と生産性向上の両立が期待できる。但し、より厳格な品質管理を求められる業種では、製造前後の管理及び検査体制も重要となり、また、製造室の構造や広さにより高価で安定した通信機器の使用が必要になる可能性があるため更なる深掘りが必要である。付加価値生産性の観点では、上記業種の範囲において、原料資材の仕入れが自社で発生しない受託生産ラインである場合、シミュレーションで示した営業利益率の改善が見込める。自社商品等、直接原料資材仕入れが発生する生産ラインでは、原料資材ロスを考慮する必要がある。本研究で実施しなかった OODA IoT ループを用いた原料資材ロスの改善に寄与するか深掘りする必要がある。また、生産ライン機器のソフトウェア、ハードウェア更新が起きた際は IoT 機器やサーバー内のプログラム設定変更が必要になる場合があるため、機器メーカーとの継続的信頼関係も重要である。本研究では、品質重視により生産性

改善に課題を持ち、インターネット環境が整い、管理者が常駐し、受託製造を主とする中小食品生産ラインに一般性を持つ方法であることを示した。更に研究を深めることで自社商品を製造する中小食品生産ラインに加え、菓子及び化粧品、医薬品生産ラインにおいても一般性を持つ方法である可能性を示唆した。我が国においては、少子高齢化と人口減少により、中小企業製造業における IoT と IT を活用した経営は重要性を増している。安価に専門知識を多く必要とせず中小企業に適用可能な管理手法を今後も深堀することで、中小企業の活性化を促進し、結果、日本経済の発展に寄与することを今後の展望とする。

謝辞

本論文の作成にあたり，多くの方々からご指導とご支援を頂きました．

指導教官である東京工業大学大学院の山村雅幸先生と千葉商科大学大学院の出口弘先生には，研究に臨む姿勢や論文作成の心構えなど，多岐にわたる局面で広く深いご指導を頂戴し，導いていただきました．

そして，今回の実証研究を快く引き受けてくださった会社及び社員の方々に多大な協力をいただきました．皆様のご協力なしでは決して書き上げられなかった論文です．この場をお借りして厚く御礼申し上げます

最後に，著者を終始にわたり支え続けてくれた妻に最大の感謝を捧げます．

参考文献

- Abeysekera, I. and Guthrie, J. (2005) "An empirical investigation of annual reporting trends of intellectual capital in Sri Lanka", *Critical Perspectives on Accounting*, Vol. 16, No. 3, pp.151–63.
- Baotong Chen, Jiafu Wan, Antonio Celesti, Di Li, Haider Abbas and Qin Zhang, "Edge Computing in IoT-Based Manufacturing" *IEEE Communications Magazine* [Vol.: 56, Issue: 9], Sep. 2018.
- Burrell, G. & G. Morgan, *Sociological Paradigms and Organizational Analysis*, Heinemann Educational Books, 1979.
- Darshana Pritam Shah and Pritam Gajkumar Shah, "Revisting of elliptical curve cryptography for securing Internet of Things (IOT)", *IEEE 2018 ASET*, Apr. 2018.
- Donghyun Kim, Euiseong Ko, Junggab Son, Yeojin Kim and Jungtaek Seo, "A Lightweight and Transparent Compensation Mechanism for Fog-Cloud Storage Framework" *IEEE 2018 Fourth International Conference on BigDataService*, March 2018.
- Dr. M N Vijayakumar, Archana M S and Kamalakant W, "Exploratory Study On The Application Of IoT In CNC" *3rd IEEE International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions 2018*, pp.329 – 332.
- Fabrício Gomes Menezes Porto, Marcelo Bacci da Silva, José Roberto, Delalibera Finzer, "Lean Production System Applied to a Liquid Fertilizer Industry", *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, Vol-6, Issue-7, Jul- 2019.
- F. Giusti, M. Bevilacqua, S. Tedeschi and C. Emmanouilidis(2018), "Data Analytics and Production Efficiency Evaluation on a Flexible Manufacturing Cell" *2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2018, pp.382 - 387.
- Fei Tao, Ying Zuo, Li Da Xu and Lin Zhang, "IoT-Based Intelligent Perception and Access of Manufacturing Resource Toward Cloud Manufacturing" *IEEE Transactions on Industrial Informatics* [Vol.: 10, Issue: 2], May 2014.
- Irfan A. Landge and Hannan Satopay, "Secured IoT Through Hashing Using MD5" *IEEE 2018 Fourth International Conference on AEEICB*, Feb. 2018.
- Joachim Rutayisire, Sandor Markon and Ndacyayisaba Raymond, "IoT based Coffee quality monitoring and processing system in Rwanda" *IEEE 2017 ICASI*,

May 2017.

Jonathan Charity Talwana and Huang Jian Hua, "Smart World of Internet of Things (IoT) and Its Security Concerns" IEEE 2016 iThings and GreenCom and CPSCoM and SmartData, May 2017.

Jasmin Grosinger, Lukas Görtschacher and Wolfgang Bösch, "Sensor add-on for batteryless UHF RFID tags enabling a low cost IoT infrastructure" IEEE 2016 MTT-S IMS, May 2016.

M. H. Afifi, Liang Zhou, Shantanu Chakrabartty and Jian Ren, "HPMAP: A Hash-Based Privacy-Preserving Mutual Authentication Protocol for Passive IoT Devices Using Self-Powered Timers" IEEE 2018 ICC, May 2018.

Michael W. Condry and Catherine Blackadar Nelson, "Using Smart Edge IoT Devices for Safer, Rapid Response With Industry IoT Control Operations" Proceedings of the IEEE [Vol.: 104, Issue: 5], May 2016.

Oliver Hahm, Mesut Gunes, Felix Juraschek, Bastian Blywis and Nicolai Schmittberger, "An Experimental Facility for Wireless Multi-hop Networks in Future Internet Scenarios" IEEE 2011 International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing, Oct. 2011.

Ottílio João Tozin Junior, Marcelo Carneiro Gonçalves, "APPLICATION OF QUALITY AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT TOOLS IN A POTATO CHIPS PRODUCTION LINE", Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, 2019. Edition. 18.Vol: 05.

Pankesh Patel, Muhammad Intizar Ali and Amit Sheth, "On Using the Intelligent Edge for IoT Analytics" IEEE Intelligent Systems [Vol.: 32, Issue: 5], Sep/Oct. 2017.

Sang-Hyun Lee and Kyung-Wook Shin, "An efficient implementation of SHA processor including three hash algorithms (SHA-512, SHA-512/224, SHA-512/256)" IEEE 2018 ICEIC, Jan. 2018.

S. Sinari, A. Aurora, D. Ruparel and S. H. Karamchandani "Optimized techniques for image hashing" IEEE 2014 INDIACoM, March 2014.

Tamas Ruppert and Janos Abonyi, "Industrial Internet of Things based Cycle Time Control of Assembly Lines" 2018 IEEE International Conference on Future IoT Technologies (Future IoT), 1 -4, 2018.

Tiago M. Fernández-Caramés and Paula Fraga-Lamas, "A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0" IEEE Access [Vol.: 6], May 2018.

- Tian Wang, Jiyuan Zhou, Xinlei Chen Guojun Wang, Anfeng Liu and Yang Liu, "A Three-Layer Privacy Preserving Cloud Storage Scheme Based on Computational Intelligence in Fog Computing" IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence [Volume: 2, Issue: 1], Feb. 2018.
- Tianyang Li, Ting He, Zhongjie Wang and Yufeng Zhang, "An Approach to Iot Service Optimal Composition for Mass Customization on Cloud Manufacturing" IEEE Access [Vol.: 6], Sep. 2018.
- Wei Ren, Yan Sun, Tin-Yu Wu and Mohammad S. Obaidat, "A Hash-Based Distributed Storage Strategy of FlowTables in SDN-IoT Networks" IEEE GLOBECOM 2017.
- Yingfeng Zhang, Wenbo Wang, Naiqi Wu and Cheng Qian, "IoT-Enabled Real-Time Production Performance Analysis and Exception Diagnosis Model" IEEE Transactions on Automation Science and Engineering [Vol.: 13, Issue: 3], July 2016.
- Youndt, M.A. and Snell, S.A. (2004) "Human resource configurations, intellectual capital, and organizational performance", Journal of Managerial Issues, Vol. 16, No. 3, 37–361.
- Zhuming Bi, Li Da Xu and Chengen Wang, "Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing" IEEE Transactions on Industrial Informatics [Vol.: 10, Issue: 2], May 2014.
- Zijiang Hao, Ed Novak, Shanhe Yi and Qun Li, "Challenges and Software Architecture for Fog Computing" IEEE Internet Computing, March 2017
- 相原憲一『地域産業の展開に向けた新社会関係資本』日本情報経営学会誌, 34 巻 3 号 11-24, 2014年.
- 麻生良文(1989)「人的資本投資における政府の役割」『会計検査研究』第30号, 99-107 .
- 一般社団法人 日本冷凍食品協会『冷凍食品製造事業者向け HACCP に基づく衛生管理のための手引書』, 2021 年, 5-39 ページ.
- 岩切 博, 中前 雅之, 塚越 康裕 阪上 直人, 小倉 博行「定量的プロジェクトリスクマネジメント・ガイドの研究」『2013 年春季全国研究発表会』pp. 181-184.
- 今井 範行(2020)「トヨタ生産システムに整合するトヨタ的コスト低減の考察」『日本経営診断学会論集』20巻, pp. 32-37.
- 小川美香子, 河田史子, 姉尾大, 杉村宏之, 齊藤敦子, 平野雅章『食品安全文化のタイプ別にみる従業員の幸せ施策』経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, 247 – 250, 2023 年.
- 小川 美香子(2015)「中小企業者のHACCP支援におけるIT活用の可能性」『2015年秋季全国研究発表大会』 pp. 403-406, 経営情報学会.
- 小沢 浩(2005)「セル生産による生産性増大の原理」『組織科学』38巻, 3号, pp. 55-65.

加藤 江美子, 佐々木 正文「なぜなぜ分析の実施例 -日航機のニアミス-」『日本信頼性学会誌 信頼性』23 巻, 7 号, pp. 765-768, 2001.

小林 正人(1995)「トヨタ生産方式と自動化」『生産管理』2巻, 1号, pp. 173-176.

岸克樹『国際化する食品流通における Global Food Safety Initiative(GFSI)の役割』日本食品微生物学会雑誌, 32(1), 2015 年, 12-16 ページ.

公益財団法人日本生産性本部『生産性の定義』, <https://www.jpc-net.jp/movement/productivity.html>(2022 年 9 月 10 日).

厚生労働省『HACCP(ハサップ)』, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/haccp/index.html (2022 年 9 月 10 日).

厚生労働省『HACCP の考え方を取り入れた衛生管理のための手引書(五十音順)』, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000179028_00005.html(2022 年 9 月 10 日).

近藤信一『中小企業の外部連携活動による成長市場戦略-航空機部品及びヘルスケア関連機器などを中心に-』機械工業経済研究報告書 H29-2, 2021 年, 77-85 ページ, (一財)機械振興協会 経済研究所.

近藤信一『中小企業による能動的 IoT 利活用 -経営戦略論におけるビジネスモデルの観点からの考察-』機械経済研究, No.48, 2017 年, (一財)機械振興協会 経済研究所.

菅野 利猛「鋳造欠陥に対する改良型なぜなぜ分析」『鋳造工学』第 88 巻, 第 8 号, pp. 444-448, 2016.

澤田 善次郎(2003)「ISOマネジメントシステム体系化に関する一考察」『標準化研究』1巻, 1号, pp. 1-23.

中小企業庁『2019 年版 中小企業白書(HTML 版)』, 第 1-3-1 図, https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/2020/chusho/b1_3_1.html(2022 年 9 月 10 日).

中小企業庁『2019 年版 中小企業白書』, 2019 年, 第 1-4-16 図.

中小企業庁『2020 年版 中小企業白書』, 2020 年, 第 2-1-11 図.

中小企業庁『2021 年版 中小企業白書』, 2021 年, 第 1-2-11 図.

地主岳史・知崎一紘・川上祐介『IoT 活用による工場の生産活動最適化』FUJITSU, Vol-67 No. 2, 2016 年, 77-83 ページ.

田中 宏和『PDCA サイクルに代わる戦略的手順に関する考察』, 日本情報経営学会第 80 回全国大会, 2020 年, 145-148 ページ, 日本情報経営学会

チエット・リチャーズ, 『OODA LOOP』, 原田勉(訳), 東洋経済新報社, 2019 年 3 月

出口弘『IoT を基盤としたマネジメントのダウンサイジング - PEMS によるマイクロマネジメント -』第 28 回秋季研究発表大会予稿集, 2019 年, 131-147 ページ, 一般財団法人 国際 P2M 学会.

出口弘『IoT 時代の人工物としての社会技術複合システムの拡張モデリングサイクルとそのプロジェクト&

- プログラムマネジメント』第 25 回 国際 P2M 学会春季研究発表大会, 2018 年, 243-262 ページ, 一般財団法人 国際 P2M 学会.
- 中村実・正田耕一『MES 入門』工業調査会, 2000 年, 316 ページ.
- 野中洋一『Industorie4.0 と生産シミュレーション』日本機械学会 2017 年度年次大会 講演論文集, No.17-1, 2017 年.
- 原口晴海, 貝原俊也, 藤井信忠, 野中朋美『生産性と技能向上を目指したセル生産システムの効率的運用に関する研究』精密工学会学術講演会講演論文集, 753 – 754, 2013 年.
- 藤本一雄『OODA ループの観点から見た緊急対応時の校長の意思決定に影響を与える要因 -東日本大震災での岩手・宮城・福島県の小・中学校の事例研究-』自然災害科学, 36-4, 2018 年, 399-408 ページ.
- 保田洋・川向肇・西村治彦『中小企業プロジェクトの円滑なマネジメントに向けた失敗要因の分析』情報知識学会 2020 Vol. 30, No. 3.
- 松尾知也『セル生産方式におけるムダとりの思想と労働生産性』経済学論集第 85 集,(06)-1 – (06)2, 2015 年.
- 松島桂樹『経営情報学研究方法論』経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, C2-3, 2010.
- 北島 禎二・島田 行恭・渕野 哲郎・尾藤 清貴(2014)「安全性・品質・生産性の統合的視点に基づいた生産管理」『化学工学論文集』第40巻, 第3号, pp. 187-193.
- 武田 浩輝(2015)「農場HACCP認証養豚農場における管理獣医師の役割」『学術シンポジウムⅡ—農場HACCPの展開と獣医師の役割—』第6巻, 第2号, p. 109.
- 弘中 史子(2022)「中小企業における生産現場の IoT」『第84回大会予稿集』pp. 35-36.
- 張 書文(1997)「チョコ停対策の原理に関する研究」27巻, 4号, pp. 98-107.
- W I P ジャパン株式会社(2015), 教育と職業・雇用の連携に係る仕組みに関する国際比較についての調査研究(平成 26 年度 内閣府委託調査).
- 牧浦健二, 椿本晃久「コストマネジメントへの AHP の応用」『商経学叢』第 58 巻第 1 号, 2011 年 7 月.
- 森本三男(1996)「経営学入門」三訂版, 同文館.
- 森 尚義, 垣内 由美, 倉田みち子「TQM 活動による消毒薬採用品目の見直し効果」『環境感染誌』Vol. 27, no. 2, pp. 199-205, 2012.
- 森部陽一郎「TQM における QC サークル活動に関する一考察」『生産管理』5 巻, 1 号, pp. 196-199.
- 圓川隆夫「TQC から TQM へ」『日本機械学会誌』Vol. 102, No. 972, pp. 658-660, 1999.
- 鷲尾泰俊「『日本的 TQM(総合的品質経営)』を考える」『応用統計学』46 巻 3 号, pp. 159-161, 2017.
- 森 雅俊, 栗本 英和, 近藤 史人「企業改革における手法の研究～バランスト・スコアカードの活用と意思決定方法考察～」『日本生産管理学会論文誌』Vol.13, No. 1, pp. 33-41, 2006.

付録

本研究で開発した IoT システムのプログラム構成一覧.

格納場所	プログラムファイル一覧
サーバー側	IoT API
	IoT 機器管理
	IoT ログダウンロード
	IoT ログ表示
	IoT 機器 管理表示テンプレート
	IoT 機器 一覧表示テンプレート
	ログ表示テンプレート
	HTML の表示テンプレート
	API 呼び出し
	IoT 機器 管理 呼び出し
	ログダウンロード 呼び出し
	ログ表示 呼び出し
	システム共通のライブラリ
	システム共通の css javascript 等
	データベース (SQL)
現場側	ウェイトチェッカーデータ取得

プログラムを一部抜粋.

API プログラム

```
<?php
class WeightAPI extends Base
{
    private $self = "/weight_api";
    private $cipher = "aes-128-cbc";
    private $pass = "crypt";

    public function main()
    {
        $this->log = self::logger();

        $this->log->debug($_SERVER["REQUEST_URI"]);
```

```

$json = file_get_contents("php://input");
$content = json_decode($json, true);
$this->log->debug(var_export($content, true));

$check = str_replace($this->self."/","",$_SERVER["REQUEST_URI"]);
$check = str_replace("/","",$check);

switch($check) {
    case "token":
        $this->login($content);
        break;
    case "weightlog":
        $this->weightlog($content);
        break;
}
$this->header401();
}

private function login($content)
{
    if (is_null($content["deviceKey"])) $this->header401();

    $result = $this->db->getWeightChecker(array("device_key" =>
$content["deviceKey"]));
    $this->log->debug(var_export($result, true));

    if ($result["rows"] != 1) {
        $this->header401();
    } else {
        $udata = array();
        $udata["id"] = $result["data"][0]["id"];
        $udata["partner_id"] = $result["data"][0]["partner_id"];
        $udata["auth_date"] = date("Y-m-d H:i:s");
    }
}

```

```

        if (is_file(SYSTEM_PATH."/iv")) {
            $iv = file_get_contents(SYSTEM_PATH."/iv");
        } else {
            $ivlen = openssl_cipher_iv_length($this->cipher);
            $iv = openssl_random_pseudo_bytes($ivlen);
            file_put_contents(SYSTEM_PATH."/iv", $iv);
        }
        $ciphertext = bin2hex(openssl_encrypt(serialize($udata), $this-
>cipher, $this->pass, 0, $iv));

        $out_json = array();
        $out_json["token"] = $ciphertext;
        header("Content-Type: application/json");
        print json_encode($out_json);
        exit;
    }
}

private function weightlog($contents)
{
    $head = apache_request_headers();
    $data = str_replace("Bearer ", "", $head["Authorization"]);

    $out_json = array();
    $out_json["success"] = false;

    if (is_file(SYSTEM_PATH."/iv")) {
        $iv = file_get_contents(SYSTEM_PATH."/iv");
        $tmp = unserialize(openssl_decrypt(hex2bin($data), $this->cipher,
$this->pass, 0, $iv));

        if (strtotime($tmp["auth_date"]) <= time() - 28 * 24 * 60 * 60)
$this->header401();

        if (preg_match("/(¥d+(¥.¥d+))G/", $contents["data"], $match)) {
            $temp_weight = $match[1];

```

```

if (substr($temp_weight, 0, 1) == 2) $status = 1;
else $status = 2;// 2:-NG 3:+NG
$weight = substr($temp_weight, 1);

$set = new stdClass;
$set->partner_id = $tmp["partner_id"];
$set->weight_checker_id = $tmp["id"];
$set->line_number = 1;
$set->line_status = $status;
$set->line_weight = $weight;

        try {
            $this->db->begin();
            $this->db->setWeightCheckerLog($set);
            $this->db->commit();
            $out_json["success"] = true;
        } catch (PDOException $e) {
            // rollback
            $this->db->rollback();
            $this->log->error($e->getMessage());

            $out_json["success"] = false;
            $out_json["error"] = "Error in statement execution.¥n" .
var_export($e->getMessage(), true);
        }
    } elseif (strlen($contents["data"]) == 135 && preg_match("/^00
(.*)$/", $contents["data"], $match)) {
        $line_status = array(0 => 4, 1 => 2, 2 => 1, 'E' => 3, 'F' =>
5);

        $lines = str_split($match[1], 11);

        $weightdata = array();
        foreach($lines as $line) {
            $number = (int)substr($line, 0, 2);
            $status = trim(substr($line, 3, 1));
            $weight = trim(substr($line, 4, 7));

```

```

        if (strlen($status) == 0 || strlen($weight) == 0) continue;
        $weightdata[$number]["line_number"] = $number;
        $weightdata[$number]["line_status"] =
$line_status[$status];
        $weightdata[$number]["line_weight"] = $weight;
    }

    $set = new stdClass;
    $set->partner_id = $tmp["partner_id"];
    $set->weight_checker_id = $tmp["id"];
    try {
        $this->db->begin();
        foreach($weightdata as $tmp2) {
            $set->line_number = $tmp2["line_number"];
            $set->line_status = $tmp2["line_status"];
            $set->line_weight = $tmp2["line_weight"];
            $this->db->setWeightCheckerLog($set);
        }
        $this->db->commit();
        $out_json["success"] = true;
    } catch (PDOException $e) {
        // rollback
        $this->db->rollback();
        $this->log->error($e->getMessage());

        $out_json["success"] = false;
        $out_json["error"] = "Error in statement execution.¥n" .
var_export($e->getMessage(), true);
    }
    } else if (($set = $this->parseANDData($contents["data"],
$tmp)) !== null) { // ND EK-i/EW-i
        try {
            $this->db->begin();
            $this->db->setWeightCheckerLog($set);
            $this->db->commit();
            $out_json["success"] = true;

```

```

    } catch (PDOException $e) {
        // rollback
        $this->db->rollback();
        $this->log->error($e->getMessage());

        $out_json["success"] = false;
        $out_json["error"] = "Error in statement execution.¥n" .
var_export($e->getMessage(), true);
    }
} else {
    $out_json["success"] = false;
    $out_json["error"] = "データの形式が異なります。";
}
} else {
    $this->header401();
}

header("Content-Type: application/json");
print json_encode($out_json);
exit;
}

private function parseANDData($data, $tmp) {
    // データフォーマット (例: ST,+00000.00 g¥r¥n)
    $pattern = "/^(?P<header>ST|QT|US|OL),(?P<value>[+-]?[0-9]+(¥.[0-9]+)?)(?P<unit> g| PC| %)¥r¥n$/";

    if (preg_match($pattern, $data, $match)) {
        if ($match["unit"] !== " g") return null;

        switch ($match["header"]) {
            case "ST":
                $status = 1;
                break;
            case "QT":
                $status = -1;

```

```

        break;
    case "US":
        $status = -1;
        break;
    case "OL":
        $status = 5;
        break;
    default:
        $status = -1;
        break;
}

if ($status === -1) {
    return null;
}

$set = new stdClass;
$set->partner_id = $tmp["partner_id"];
$set->weight_checker_id = $tmp["id"];
$set->line_number = 1;
$set->line_status = $status;
$set->line_weight = (float)$match["value"];
return $set;
} else {
    return null;
}
}

private function header401() {
    Header("HTTP/1.1 401 Unauthorized");
    print "401 Unauthorized";
    exit;
}
}

(new WeightAPI())->main();

```

```

<?php
class WeightCheckerList extends BaseAdmin
{
    public function __construct()
    {
        parent::__construct();
        $this->datamenu = "weightchecker-list";
        $this->datapage = "weightchecker-list";
        $this->tmpl->assign("datamenu", $this->datamenu);
        $this->tmpl->assign("datapage", $this->datapage);

        $this->isUserAdmin();
        $this->callout();

        $this->error = false;
    }

    public function main()
    {
        $mode = $this->data->mode ?? "";
        switch ($mode) {
            case 'del':
                $where = array();
                $where["id"] = $this->data->id;
                $where['partner_id'] =
$_SESSION["login"]["partner_id"];
                $checker = $this->db-
>getWeightChecker($where);
                if ($checker["rows"] <= 0) {
                    $this->location("weightchecker-list");
                }
                try {
                    $set = new stdClass;
                    $set->id = $this->data->id;

```

```

        $set->partner_id =
$_SESSION["login"]["partner_id"];

        // begin transaction
        $this->db->begin();
        $this->db->delWeightChecker($set);
        // commit
        $this->db->commit();
        $param = "?success=2";
        $this->location("weightchecker-list",
$param);

    } catch (PDOException $e) {
        // rollback
        $this->db->rollback();
        $this->log->error($e-
>getMessage());

        $this->msg["error"][] = (new Utility)-
>msg["del_error"];

    }
    break;
case 'add':
    $this->tmpl->display("weightchecker.tpl");
    break;
case 'save':
    $id = $this->data->id ?? "";
    $set = new stdClass;
    $set->id = $this->data->id;
    $set->partner_id =
$_SESSION["login"]["partner_id"];
    $set->name = $this->data->name;

    if (strlen($set->name) == 0) {
        $this->error = true;
        $this->data->error = "msg";
        $this->data->msg = "名称が設定されてい
ません";

        $this->callout();

```

```

    } else {
        if ($id == "") {
            while (true) {
                $str =
substr(str_shuffle("ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZabcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789"), 0, 32);

                $result = $this->db-
>getWeightChecker(array("device_key" => $str));

                if ($result["rows"]
== 0) break;

            }
            $set->device_key = $str;
            try {
                // begin transaction
                $this->db->begin();
                $this->db-

>setWeightChecker($set);

                $this->data->id =

$this->db->lastInsertId();

                // commit
                $this->db-

>commit();

                $this->data-

>success = 1;

            } catch (PDOException $e) {
                // rollback
                $this->db-

>rollback();

                $this->log-

>error($e->getMessage());

                $this-

>msg["error"][] = (new Utility)->msg["add_error"];
            }
        } else {
            $this->db-

>editWeightChecker($set);

```

```

                                $this->data->success = 1;
                                }
                                $this->callout();
                                }
                                //break;
                                case 'detail': //詳細
                                    $id = $this->data->id ?? "";

                                    $where["id"] = $id;
                                    $where["partner_id"] =
$_SESSION["login"]["partner_id"];
                                    $checker = $this->db-
>getWeightChecker($where);
                                    if ($checker["rows"] == 1 || $this->error ==
true) {
                                        if ($this->error == true)
$checker["data"][0]["name"] = $this->data->name;
                                        $this->tpl->assign("item",
$checker["data"][0]);
                                        $this->tpl->assign("data", $this-
>data);
                                        $this->tpl->assign("msgSuccess",
$this->msg["success"]);
                                        $this->tpl-
>display("weightchecker.tpl");
                                    }
                                    //break;
                                    default:
                                        list($paging, $where, $query) = $this-
>pager();
                                        if (is_null($this->data->type)) {
                                            $this->data->type = "name_like";
                                        }
                                        $where["partner_id"] =
$_SESSION["login"]["partner_id"];

```

```

        $checker = $this->db-
>getWeightChecker($where);
        $checkerOffset = $this->db-
>getWeightChecker($where, $query);

        if ($checker["rows"] > 0) {
            $paging['max'] = $checker["rows"];
            $this->tmpl->assign("paging",
$paging);

            foreach ($checkerOffset["data"] as
$line) {
                $this->tmpl->append("list",
$line);
            }
        }
        $this->tmpl->assign("msgSuccess", $this-
>msg["success"]);
        $this->tmpl->assign("msgError", $this-
>msg["error"]);
        $this->tmpl->assign("data", $this->data);
        $this->tmpl->display($this->datapage .
".tpl");
        break;
    }
}
}
(new WeightCheckerList())->main();

```

ログ表示テンプレート

```

{include file="common/head.tpl"}
{include file="common/menu.tpl"}

<div class="content-wrapper">
    <div class="content-header">
        {include file="common/callout_direct.tpl"}
    </div>
</div>

```

```

        <div class="container-fluid">
            <div class="row mb-2">
                <div class="col-12">
                    <ol class="breadcrumb">
                        <li class="breadcrumb-
item">システム管理</li>
                        <li class="breadcrumb-item
active">モニタリング</li>
                    </ol>
                </div>
            </div>
        </div>
</div>
<!-- /.content-header -->
<div class="content">
    <div class="container-fluid">
        <div class="row">
            <div class="col-12">
                {include file="common/callout.tpl"}

                <div class="card card-outline card-
navy">
                    <div class="card-header">
                        <h3 class="card-
title">モニタリング 表示時間 : <span id="calculated_at"></span></h3>
                        <div class="card-
tools">
                            <form
id="search_form" method="POST">

                                <div class="input-group input-group-sm">

                                    <div class="input-group-prepend"><span class="input-group-text">日
付</span></div>

```

```
<input type="text" name="datepicker" value="{ $data->datepicker}"
class="search-option form-control datepicker" placeholder="日付">
```

```
<div class="input-group-prepend"><span class="input-group-text">デバ
イス</span></div>
```

```
<select name="device_id" class="search-option form-control">
```

```
{html_options options=$device selected=$data->device_id}
```

```
</select>
```

```
<button type="button" class="btn btn-sm btn-success btn-output no-
events">表示内容を出力</button>
```

```
</div>
```

```
</form>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<div class="card-body table-
```

```
responsive">
```

```
<table class="table
```

```
table-hover text-nowrap datalist">
```

```
<thead>
```

```
<tr>
```

```
<th>レーン</th>
```

```
<th>OK(1)</th>
```

```
<th>NG(2～5)</th>
```

```
<th>過少(2)</th>
```

```

<th>超過(3)</th>

<th>2 個乗(4)</th>

<th>OVF(5)</th>

</tr>

</thead>
<tbody>
</tbody>
</table>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
<!-- /.content -->
</div>
<!-- /.content-wrapper -->
<div class="modal fade" id="modal-info">
  <div class="modal-dialog modal-lg">
    <div class="modal-content">
      <div class="modal-body">
        <button type="button" class="close" data-
dismiss="modal" aria-label="Close">
          <span aria-hidden="true">x</span>
        </button>
        <div class="table-responsive">
          <table class="table table-hover text-
nowrap info-table">
            <thead>
              <tr>

```

```

<th>取得日
時</th>
<th>レーン番
号</th>
<th>デバイス
名称</th>
<th>ステータス
</th>
<th>重量
</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
</tbody>
</table>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<form id="output" action="weightlog-dl" method="post" target="_blank"
class="d-none"></form>

```

```

{include file="common/foot.tpl"}
<script>
$(document).ready(function(){
    moment.locale('ja');
    var s;
    if (moment('{ $data->datepicker }').isValid()) {
        s = moment('{ $data->datepicker }', 'YYYY-
MM-DD');
    } else {
        s = moment().startOf('day');
    }
    $('input.form-control.datepicker').daterangepicker({

```

```

        timePicker: false,
        singleDatePicker: true,
        autoApply: true,
        autoUpdateInput: false,
        startDate: s,
        locale: {
            format: 'YYYY-MM-DD'
        }
    }, function(start, end, label) {
        $('[name=datepicker]').val(start.format('YYYY-MM-DD'));

        $('[name=datepicker]').trigger("change");
    });
});
$(function(){
    getUpdate();
    $(document).on("change", ".search-option", function(){
        getUpdate(false);
    });
    function getUpdate(loop=true) {
        let val1 = $('[name=datepicker]').val();
        let val2 = $('[name=device_id]').val();
        $.ajax({
            {literal}
            url: 'ajax',
            data: {mode:
'search_weightlog', datepicker: val1, device_id: val2},
            timeout: 30000,
            success: function(response) {
                if
(response.result === 'true') {

                    $("#calculated_at").html(response.calculated_at);

                    $(".datalist > tbody").empty();

```

```
$.each(response.logdata, function(index, value) {  
  
    var lane = index;  
  
    var col1 = parseInt(value[1]);  
  
    if (typeof value[2] === "undefined") {  
  
        var col3 = 0;  
  
    } else {  
  
        var col3 = parseInt(value[2]);  
  
    }  
  
    if (typeof value[3] === "undefined") {  
  
        var col4 = 0;  
  
    } else {  
  
        var col4 = parseInt(value[3]);  
  
    }  
  
    if (typeof value[4] === "undefined") {  
  
        var col5 = 0;  
  
    } else {  
  
        var col5 = parseInt(value[4]);  
  
    }  
}
```

```

        if (typeof value[5] === "undefined") {

            var col6 = 0;

        } else {

            var col6 = parseInt(value[5]);

        }

        var col2 = col3 + col4 + col5 + col6;

        if (index == 0) {

            lane = 'すべて';

            var row = '<tr>' +

                '<td>' + lane + '</td>';

                if (col1 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col1 + '</span></td>';

                else                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="1">' + col1 +
'</a></td>';

                if (col2 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col2 + '</span></td>';

                else                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"

```

```

data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="all_ng">' + col2 +
'</a></td>';

                                if (col3 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col3 + '</span></td>';

                                else                                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="2">' + col3 +
'</a></td>';

                                if (col4 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col4 + '</span></td>';

                                else                                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="3">' + col4 +
'</a></td>';

                                if (col5 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col5 + '</span></td>';

                                else                                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="4">' + col5 +
'</a></td>';

                                if (col6 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col6 + '</span></td>';

                                else                                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="0" data-status="5">' + col6 +
'</a></td>';

                                row += '</tr>';

```

```

    } else {

        var row = '<tr>' +

            '<td>' + lane + '</td>';

            if (col1 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col1 + '</span></td>';

                else                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="1">' + col1 +
'</a></td>';

                    if (col2 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col2 + '</span></td>';

                        else                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="all_ng">' +
col2 + '</a></td>';

                            if (col3 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col3 + '</span></td>';

                                else                row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="2">' + col3 +
'</a></td>';

                                    if (col4 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col4 + '</span></td>';

```

```

else row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="3">' + col4 +
'</a></td>';

if (col5 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col5 + '</span></td>';

else row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="4">' + col5 +
'</a></td>';

if (col6 == 0) row += '<td><span
class="px-2">' + col6 + '</span></td>';

else row += '<td><a
class="info px-2 text-dark font-weight-bold cursor-pointer" data-toggle="modal"
data-target="#modal-info" data-lane="" + index + "" data-status="5">' + col6 +
'</a></td>';

row += '</tr>';

}

$(".datalist > tbody").append(row);

});

} else {

toastr.error('更新に失敗しました');

}

if (loop ==

true) {

```

```

        setTimeout(getUpdate, 1000);
    }
},
    error: function() {
        toastr.error('
サーバーから応答がありません');
        if (loop ==
true) {
            setTimeout(getUpdate, 1000);
        }
    }
}
{/literal}
});
}
var g_dtable = null;
$(document).on("click", ".info", function(){
    if (g_dtable) {
        g_dtable.state.clear();
        g_dtable.destroy();
    }
    $('.info-table tbody').empty();
    var lane = $(this).data('lane');
    var status = $(this).data('status');
    let date = $('[name=datepicker]').val();
    let dvid = $('[name=device_id]').val();
    $.ajax({
        {literal}
        url: 'ajax',
        data: {mode: 'get_weightlog',
lane: lane, status: status, date: date, dvid: dvid},
        timeout: 10000,
        success: function(response) {
            // DataTable

```

の2回目以降の表示を初期化

```

                                                                    if
(response.result === 'true') {

    if (typeof response.list === "undefined") {

        var row = '<tr><td colspan="4">表示項目がありません
</td></tr>';

        $(".info-table > tbody").append(row);

    } else {

        var datalists = response.list;

    }

                                                                    } else {

        toastr.error('更新に失敗しました');

                                                                    }

                                                                    g_dtable =

$('.info-table').DataTable({

    data: datalists,

    columnDefs: [

        { "orderable": false, "targets": 1 },

        { "orderable": false, "targets": 2 },

        { "orderable": false, "targets": 3 },

    ],

    order: [[ 0, "desc" ]],

```

```

false,
searching:
});
},
error: function() {
    toastr.error('
サーバーから応答がありません');
}
{/literal}
});
});
});
$(document).on("click", ".btn-output", function(){
    $('#output').empty();
    let date = $('[name=datepicker]').val();
    let dvid = $('[name=device_id]').val();
    $('#output').append('<input type="hidden" name="date"
value="" + date + ">');
    $('#output').append('<input type="hidden" name="dvid"
value="" + dvid + ">');
    $('#output').submit();
});
</script>
{include file="common/end.tpl"}

```

研究業績一覧

採録論文

- Tomonori Sano, Tomotaka Uraguchi, Hiroshi Deguchi and Tadashi Kurata
"Assignment of encryption data using fog computing technology in food manufacturing industry" 2019 12th Asian Control Conference (ASCC), IEEE.
- 佐野智紀, 山村雅幸, 出口弘『中小企業食品製造における IoT 活用に見る生産性向上の研究 —OODA ループを用いた実証研究をもとに—』経営情報学会, Vol.32 No.3, pp.1-18, 2023 年.

研究発表

- 佐野智紀 (2023) 中小企業食品製造における IoT 活用に見る生産性向上の研究, 社会・経済システム学会 第 42 回大会予稿集, pp.2-5.