

中小製造業のデジタル化のためのソシオテクニカルデザイン

アクションリサーチを通じたデザインの記述

Socio-Technical Design for Digitalization of Small and Medium-Sized Manufacturing Firms: Describing a Design Process based on Action Research

○根本 裕太郎（東京都立産業技術研究センター）^{*1} 綾部 豊樹（東京都立産業技術研究センター）^{*2}
 中川 善継（東京都立産業技術研究センター）^{*3} 田中 光一（株式会社名取製作所）^{*4}
 名取 秀幸（株式会社名取製作所）^{*5}

^{*1} Yutaro Nemoto, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute (TIRI), Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, nemoto.yutaro@iri-tokyo.jp

^{*2} Toyoki Ayabe, TIRI, Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, ayabe.toyoki@iri-tokyo.jp

^{*3} Yoshitsugu Nakagawa, TIRI, Aomi 2-4-10, Koto-ku, Tokyo, 135-0064, nakagawa.yoshitsugu@iri-tokyo.jp

^{*4} Koichi Tanaka, Natori-mnf Inc., Atago 3-15-14, Ageo, Saitama, 362-0034, tanaka@natori-mnf.co.jp

^{*5} Hideyuki Natori, Natori-mnf Inc., Atago 3-15-14, Ageo, Saitama, 362-0034, natori-kuki@natori-mnf.co.jp

キーワード: IoT, デジタル化, ソシオテクニカルアプローチ, アクションリサーチ, デザインプロセス

1. はじめに

近年、産業界に最も大きな影響をもたらしているのは、デジタル化の潮流であろう⁽¹⁾。その有力な技術要因の一つである Internet of Things (IoT) は、機械や人間、環境に関するデータをリアルタイムに収集し、それを解析することで有用な情報資源を得ること、あるいはそのための技術群のことを意味する。IoT により導出された情報資源を利用することによって、企業は自社が提供する製品やサービスをスマート化し顧客に新たな便益を提供することや、自社組織のプロセスを抜本的に改善することが期待でき、様々な分野で活用が進められている。

本研究は、IoT の用途として組織プロセスの変革に焦点を当てる。企業組織内に IoT を導入するにあたり、そのシステムをデザインする際には、センサ、通信、データ解析等の技術コンポーネントをどのように組み合わせるかといった議論がなされることが多い。一方、IoT を通じて実現されるデジタル化 (Digitalization⁽¹⁾) は、技術的な側面だけでなく、組織の制度やルーチンなどの社会的な側面の変化を伴う、ソシオテクニカルなプロセスである⁽²⁾。そのため望ましいアウトカムを引き出すためには、そこで利用される技術だけでなく、制度やルーチンを考慮に入れて最適化することが必要である。デザインは問題解決である⁽³⁾だけでなく、人の行動を変化させるものでもある⁽⁴⁾。その意味で、IoT のデザインの射程は、技術だけでなく、人が論点となる社会の側面も含むべきである。しかしながら、このような観点から IoT のデザインを議論する研究は数少なく、このことは IoT の導入や成果につながらない要因の一つであると推測される。

本研究の目的は、組織プロセスの変革のために IoT を活

用する際に、どのようなデザインをすることが有効であるかを明らかにすることである。この目的に対して、本稿では、金属加工を主業とする中小製造業において実践した IoT の導入を、技術・社会の両側面のデザインプロセスと捉えて記述する。そして記述結果から得られた学びを、IoT デザインの方策としてまとめることで、理論的・実務的示唆を提供する。

2. 理論的背景

2.1. IoT のデザインと使用

IoT のデザインについて、それに特化した学術的な蓄積は少なく、一般的な設計・開発方法論に基づいて議論されることが多い。例えば、Tomiyama らはスマートな製品やサービスを開発するために、V モデルや QFD 等の工学的設計手法がどう役立つかを整理している⁽⁵⁾。デジタル化の潮流を踏まえた新たな方法論としては、原らによるデータ駆動のサービス構成法が挙げられる⁽⁶⁾。自社・顧客・協力企業の三者構造を前提に、各々の事業における PDSA サイクルの連鎖をモデル化し、データに基づく継続的な知識蓄積によるシナジーをデザインする。Watanabe らは、これらと同様に製品・サービスを対象にしながらも、それらの作り込みだけでなく現場の変革にまで踏み込んだ枠組みを提案している⁽⁷⁾。そこでは Data cycle (データの還流)、Ex-system design (製品サービス自体の改善)、In-system design (使用現場での知識生成や改善) の 3 サイクルにより、製品・サービスやそのアウトカムが進化していくプロセスが描かれている。

以上のような枠組みで対象となるのは、一般的なデザイン対象である製品やサービスである。これらは提供者の目

線から、顧客にとっての価値を考慮しながらデザインされる。一方、本研究の対象とする組織プロセスの変革を目的としたIoT導入に焦点を当てたデザインの方法やプロセスは十分に議論されていない。製品やサービスをデザインする場合との大きな違いは、デザインの対象が広範に渡ることである。企業がIoTを導入する場合、システムを専用開発するか、既成サービスを使うかによってデザインの範囲は異なるし、部分的にそれらを組み合わせるような選択肢もある。さらに、システムの機能や構成だけでなく、それをどのように使うか、またそのために社内プロセスや制度をどう作り変えるかも考えなければならない。それらは、提供者目線でデザインする場合ならば顧客の領域にあり、基本的にデザインの対象となることはない。しかし、自社組織に導入する場合、むしろそちらの比重が大きいと考えられる。そのため、本研究では、この目的に特化したデザインの方策を論じることは意義があると考えられる。

2.2. ソシオテクニカルアプローチ

社会と技術の両側面から対象を見るソシオテクニカルな観点では、様々な要因が複雑に絡み合ったマクロな社会問題を取り扱う政策学やイノベーション論⁽⁸⁾、あるいは組織における情報システム (IS) の役割や効果を論じる IS 研究や組織論⁽⁹⁾において蓄積がある。本研究の目的を鑑みて、ここでは後者に絞ってレビューを行う。

IS 研究におけるソシオテクニカルアプローチは、IS が企業組織の実践を一方向的に決定するという決定論へのアンチテーゼとして提出された⁽⁹⁾。その特徴は、社会コンポーネント (組織、制度、ルーチン、コミュニケーション、スキル等) と、技術コンポーネント (IS やその他の物質的環境) の間に相互作用があることを前提とし、それらの調和的な最適化を目指すことにある⁽⁹⁾。これにより達成されるアウトカムもまた、パフォーマンスや経済性といった道具的なもの (技術) と、従業員満足度やワークライフの質といった人間的なもの (社会) に分類される⁽⁹⁾。

技術と社会の相互作用については、Orlikowski のモデル⁽¹⁰⁾が広く引用されている。Giddens の構造化理論⁽¹¹⁾に基づき、人間と技術そして制度が次のように関係づけられる：(a) 技術は人間の行為によりデザインされ保守され調整される (人間→技術)、(b) 技術は人間の行為の媒体としてそれを促進/制約する (技術→人間)、(c) 人間の行為は制度的特性によって促進/制約される (制度→人間)、(d) 人間と技術の相互行為による帰結として制度的特性が変化する (技術→制度)。このモデルにおいて、人と技術の相互作用には、デザインモード (技術を構成し固定化する段階) と使用モード (技術が固定的な構造として利用される段階) があるが、使用の過程で新たな使い方が生まれることができるように、それらは現実的には絡み合っている。

上記モデルにおいて Orlikowski は、エージェンシー (目的を形成し遂行する能力) は人間に固有のものであることを前提としていた。しかし近年では、技術もまたエージェンシーをもつことができ、それゆえエージェンシーは人間と技術の間を流動するものであると見方を変えている⁽¹²⁾。このように人間を脱中心化するパラダイムはソシオマテリアリティ (社会物質性)⁽¹²⁾⁻⁽¹³⁾と呼ばれ、熱心な議論を呼んでいる。その提唱者の一人である Leonardi は、人間と技術

が重層的にエージェンシーを発揮し、そのアウトプットとして技術やルーチンが変化していく構造を描いている⁽¹³⁾。さらに Hultin & Mähring は、こうした技術やルーチンの変化と制度的論理 (社会的・歴史的に構築された実践のパターンであり、組織のもつ仮定や信念、価値等) との相互作用をモデル化した⁽¹⁴⁾。具体的には、ソシオマテリアルな実践により生まれた技術やルーチンの変化に意味づけがなされ、組織全体に定着し、最終的には制度的論理を変化させること、また制度的論理はエージェンシーに影響し、どのような関心が生まれるかを変化させることの二つを提案している。以上のようなソシオマテリアリティの議論は、技術と人の相互作用を、独立したもの同士が互いに影響し合うというソシオテクニカルな見方から、それぞれが絡み合って実践を創り出すという見方にシフトさせるものである。

2.3. 分析のための枠組み

以上のようにソシオテクニカル/ソシオマテリアルな観点のもと、IS 研究では、人と技術の複雑な相互作用やそのアウトプットを説明する理論・モデルが構築されてきた。本研究では、主に Hultin & Mähring のモデル⁽¹⁴⁾を参考に、次のような枠組みを構成し、デザインプロセスを分析するために用いる。

まず、デザインの対象を技術、使用、ルーチンの3つに区分する。ここではデザインを、技術・使用・ルーチンの変化を創り出す行為と捉える。技術のデザインは、IoT やその他の技術要素の機能を設計し実装することを指す。これにより技術が変化する。ルーチンのデザインは、生産作業の方法や手順を設計し習慣化することを指す (標準的なものだけでなく個人的なものも含む)。これによりルーチンが変化する。それらの中に位置するのが使用のデザインである。技術にもルーチンにも関連するが、IoT に関連する技術の使用方法を考案し習慣化することを指す。これにより技術の使用ルーチンが変化する。このようにデザインと変化は表裏であるが、デザインにおいて意図された変化が達成されるとは限らず、当初の意図とは異なる変化が生じることもある。

これら技術・使用・ルーチンのデザインは、組織を特徴づける制度的論理の影響のもとで、人や技術のエージェンシーによって駆動され実践される。またデザインの結果生まれた技術・使用・ルーチンの変化により、新たな制度的論理や次なる変化を追求するエージェンシーが立ち現れるため相互作用的な関係にある。

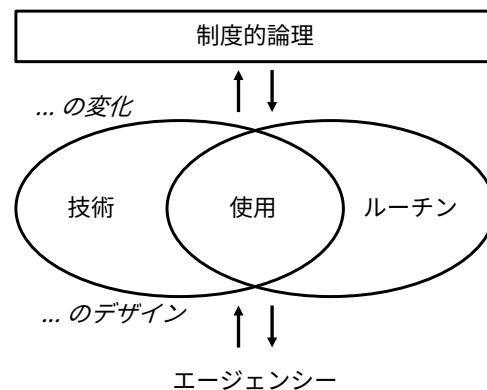


Fig.1 分析のためのフレームワーク

本研究では、このような枠組みを用いて、実際のデザインプロセスを分析し記述する。技術とルーチンの間に使用を括り出した点に特徴があるが、それには二つの理由がある。一つ目は、前述した通り、自社組織へのシステム導入においては、その使用方法のデザインが大きなウェイトを占めるためである。二つ目は、IoT の特性にある。IoT は組織のあり様をさまざまな粒度の情報という形で映す“鏡”として機能する。“鏡”をどのように使うか（使用のデザイン）だけでは、最終的な成果にはつながらない。“鏡”を使って組織プロセスをどのように変えるかという異なる実践（ルーチンのデザイン）が必要である。前者の段階では、技術はまだ固定化されていないが、後者の段階では、既に固定化された技術を使用するだけであるという違いもある。以上のことから、本研究では、技術とルーチンの間に使用を置き、そのデザインや変化を注視する。

3. 研究方法

3.1. アクションデザイン・リサーチ

本研究が焦点を当てる IoT 導入の目的は、組織プロセスの変革であった。組織の変化を研究するための方法論としてアクションリサーチが知られている⁽¹⁵⁾。アクションリサーチは、ある組織やコミュニティの問題状況を改善するために、研究者自身が一人の当事者として参画し介入（アクション）しながら、その経験を通して知識を創造する研究態度である。近年では、問題解決のためにシステムの構築・評価を行うデザインリサーチ⁽¹⁶⁾と合流し、アクションデザイン・リサーチ（ADR）と呼ばれる方法が提案されている⁽¹⁷⁾⁻⁽¹⁸⁾。ADR は、情報システムのデザイン（技術や使用など狭義のデザイン）と組織的なアクション（使用やルーチンなど広義のデザイン）を相補的に実践し、そこからの学びを抽出する。ADR の手順は、(1) 問題の定式化、(2) 構築・介入・評価、(3) 内省と学習、(4) 学びの形式化である⁽¹⁷⁾。本研究では、研究目的および分析枠組みとの合致から、この ADR を採用し、次のようなプロジェクトにおいて研究を実施した。

3.2. 対象プロジェクト

本稿で取り上げるのは、東京都立産業技術研究センター（都産技研）と株式会社名取製作所が共同で実施してきた IoT 導入のプロジェクトである。名取製作所は、埼玉県久喜市に工場を置く中小製造企業である。金属部品の 3 次元加工（穴あけ、ねじり、ひねり）の高度な技術を強みとし、ワイパーアーム等の自動車部品やスポーツ用義肢を生産している。生製品の大部分を占める自動車部品は、いわゆる多品種少量生産が求められる。高頻度で供給が望まれる品番から、年に数回だけ発注が入る品番まで様々であり、それらを短いリードタイムで納入するために柔軟な生産が求められる。

プロジェクトの実施期間は約 2 年半であり、2018 年 10 月～2019 年 9 月の第 1 期と、2020 年 2 月～2021 年 3 月の第 2 期、それらの間に振り返りと新たな問題設定を行う期間があった。同社からプロジェクトに参加したのは、経営者と生産技術・経営企画の担当者（以下、担当者と略記）である。また、都産技研の研究者はそれぞれの専門知識や

実務経験を活かしながら、第 1 期は助言を中心に、第 2 期はデータ解析やシステム開発の一部を中心に支援者として参画した。また第 1 期には、システム開発を専門とする企業（本稿では A 社とする）も支援者として参画した。

第 1 期序盤は、名取製作所が提示した目的をもとに実施内容や計画を明確化することに時間が割かれた（「(1) 問題の定式化」に該当）。2 年半の活動を通じて、IoT システムやその使用方法のデザイン、また実際にそれを使用した作業手順や環境の改善を実施し、いくつかの顕著なアウトカムが得られた（「(2) 構築・介入・評価」）。計画した内容のすべてが予定通りの成果を得たわけではなく、本プロジェクトがデジタル化の「成功事例」と言えるかどうかを客観的に判断できないが、中小製造業における IoT 導入の一例として豊かな文脈を提供する点で価値がある。そして、その点こそが ADR の成果として重要である。

3.3. 研究データと分析方法

アクションリサーチの妥当性を高めるためには、複数のデータソースを多角的に分析することが有用である⁽¹⁵⁾。本研究では、2 年半の活動の過程で蓄積した文書（計画書や報告書、会議録、電子メール、電子ファイル）に加えて、当事者への個別の回顧的インタビュー（2021 年 5 月実施、聞き手：第 1 著者、話し手：第 2～5 著者、それぞれ 45 分程度）の書き起こしを、分析対象データとした。

分析対象データの整備に際して、まず、収集した文書を時系列に並べ定性的に分析し、プロジェクト中に行ったデザイン（アクションを含む）の年表を作成した。そして、年表を見ながら回顧的インタビューを実施し、各当事者の認識や文書に記録されていなかった出来事に関するデータを得た（「(3) 内省と学習」、インタビュー以外にも期ごとの報告書作成など、(3)に該当する機会があった）。

データ分析は、年表上に整理された 4 つのライン（デザインの連鎖）⁽¹⁹⁾に、Fig.1 にまとめた要素をそれぞれ対応付け、全体的な推移や個別のエピソードを定性的に振り返ることにより実施した。これにより得られた学びを、中小製造業における IoT デザインという観点から考察し直すことで、一般化しうる示唆を得た（「(4) 学びの一般化」）。

4. デザインプロセスの記述結果

4.1. デザインプロセスの推移

上述した年表を、2.3 節で構成した分析の枠組みをもとに再構成したものを Fig. 2 に示す。全体のデザインプロセスは、四つのラインからなる。データの収集を目的として実施されたのは、プレス機の生産データの収集、品質のばらつき要因を検討するためのオペレーションデータの収集、異なるデータソースとしてカメラの導入の三つである。加えて、もう一つの長大なラインに、収集したデータを活用するための見える化システムの開発と使用がある。以下では、本プロジェクトにおける IoT 導入の目的を述べたうえで、各ラインについてどのようなプロセスで、技術・使用・ルーチンのデザインが進んでいったかを記述する。

4.2. IoT 導入の目的

IoT の導入にあたり、名取製作所が提案した目的は以下

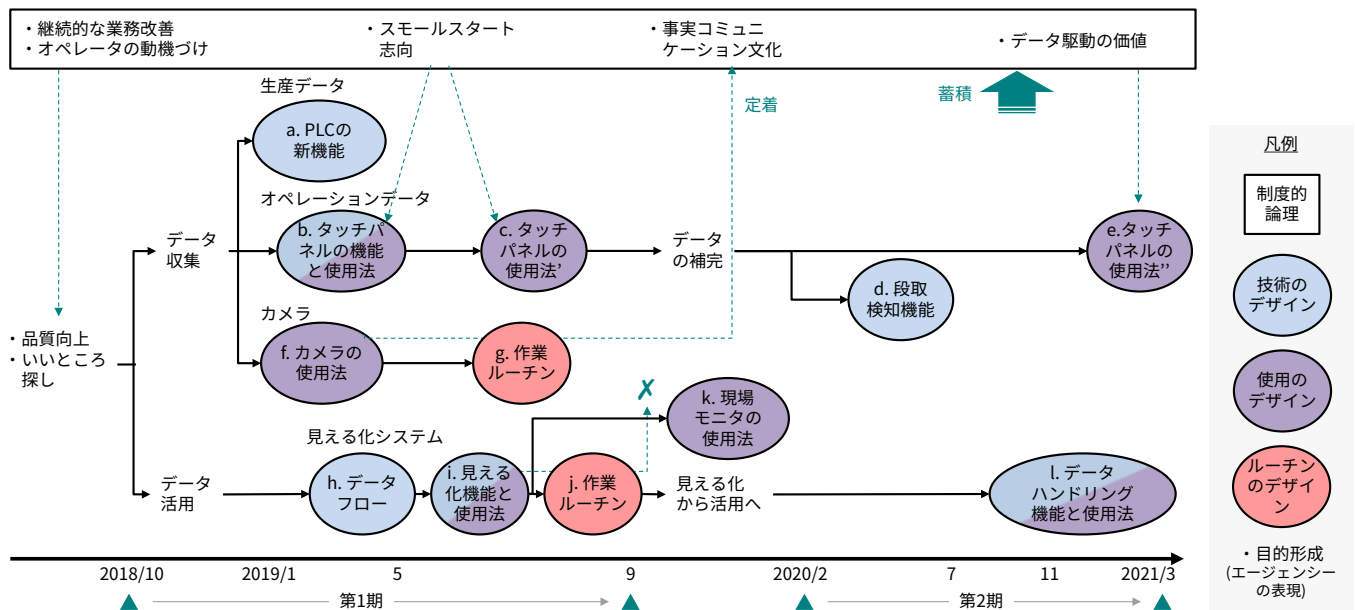


Fig.2 デザインプロセスの全体像

の二つであった。一つ目は品質の向上である。同社の生産ラインには一部ロボットが導入されているものの、大きな割合を占めるのは、プレス機を用いた人手での加工である。不良発生や生産性低下の原因究明において、生産のばらつき（人、機械、金型等）に起因するという仮説をもっていたが、それを正確に検証する手段がなかった。同社はそのような背景からIoTに関心をもった。二つ目は、従業員のモチベーションの向上である。こうしたデジタル化やプロセス改善の取り組みは、仕事ぶりの監視につながったり、マイナスの部分ばかりがクローズアップされたりと、従業員の意欲や信頼を損ねることも多い。そのため、同社は、各従業員の悪いところ（改善点）を探すだけでなく、いいところ探しを行い、適正に評価するためにIoTを活用したいという意図を持っていた。

プロジェクト開始前は、デジタル技術の活用はほとんど進んでいなかったが、これらの目的に沿う下地があった。品質向上については、アナログの作業日報をもとにデータを作りトップダウンで改善活動を行ったり、ボトムアップで気づきを収集する改善提案を行ったりと、継続的な改善が組織の制度的論理として根付いていた。また、そうした改善活動は、単に生産性を上げるためだけでなく、従業員を適正に評価し動機づけするという目的でも行われていた。その意味で、本プロジェクトは、既に組織の論理として定着したものを、IoTにより客観的かつ正確なやり方に変えていくものであったと言える。

4.3. ライン1：生産データの収集

同社の生産現場には、30台前後のプレス機がある。複数の異なる機種が混在しており、各プレス機を動かすPLC (Programmable Logic Controller) も様々である。第1期の序盤には、有線LANが敷設され、複数のPLCから生産データを収集するために、タッチパネルのプログラミングが試みられた。しかし、他所で実績があったにもかかわらず、その機能実装は難航した。そのタイミングで、あるメーカーから、機種異なるPLCと通信しデータを集約できる機能を

もつPLCが発売になった。それを導入し親PLCとすることで、上記の問題が解決し、データを収集することが可能になった (Fig.2 a)。以後は安定的に稼働し、生産データの収集が新たな実践として定着した。日常的な実践においては、人が介在することなくPLCがエージェントをもち、データを収集しサーバに蓄積する。そのため、人による使用をデザインする必要はなく、技術のデザインのみで完結している。

4.4. ライン2：オペレーションデータの収集

上記の生産データはプレス回数の推移を表すものである。それだけでは、目的の一つである品質のばらつき要因を検討することは不可能である。そのため、第1期の序盤には、誰がどの機械で何の作業（品番、段取/生産）をするのかをデータ化することを意図して、現場に一台のタッチパネルが導入された (Fig.2 b)。画面に表示された情報を選択していくことで上記のデータを親PLC上に記録する機能が実装された。しかし、このタッチパネルは各プレス機から数mの距離があることもあり、担当者が入力を依頼した当初は、十分にデータ入力が行なわれなかった。担当者は次のように振り返る。

“（データを）入れなくても生産はできるので。それと運用のことははっきり決まっていなかったんで、5月の時点では。[...] 僕もそのデータで足りているか分からなかったし、現場の人にもそういうあやふやな状態で「やってね」って強く言えなかった。”

このように導入当初は、タッチパネルの使い方を簡単に定めて入力を依頼したものの、それがルーチン化されることなく、余力があるときに入力するものとして使用された。つまり、使用のデザインが意図した変化を生まなかった。

その後、第1期の終盤に差し掛かり、見える化システムが出来上がったタイミングで、今度は経営者から現場のオペレータにデータ入力を依頼することとなった。そこでは、段取作業に従事せず生産のみに専念するオペレータに

を依頼することとした。対象者を絞った理由は、まずは生産の様子だけでも見える化したい、また入力の手間が比較的少ないというものであった。対象となったオペレータはタッチパネルを使用するようになり、収集されるデータが充実するようになった (Fig.2 c)。

二つの使用のデザインに共通するのは、データがどのように使われるか、どの程度有用なのかを実感されていない段階では、組織のルーチンを大きく変化させることなく、スモールスタートすることが志向された点である。そのような制度的論理がはたらき、デザインに影響を与えたと見ることができる。その後、見える化を通じてデータの有効性が確認されてからも、タッチパネルに関しては上記のような限定的な運用が継続することとなる。

第2期には、オペレータの負担を増やすことなく、オペレーションデータを充実させる方法が模索された。タッチパネルの使用をリデザインするのではなく、技術単独での問題解決が目指されたのである。最終的に採用されたのは、プレス機に標準装備されている安全ガードに近接センサを付加し、その着脱をもとに段取開始・終了を自動検知・記録する方法であった。安全ガードの着脱は既にルーチン化していたため、オペレータの行動を変えなくデータを充実させることができた (Fig.2 d)。

さらに第2期終了後には、現場のオペレータ全員にタッチパネルでのデータ入力をしてもらうよう、使い方を改めることになった (Fig.2 e)。主な理由は、4.5節で後述するように、品質向上の目的が十全に達せられたことで、段取の改善という次の目的に進むことになったためである。加えて、さまざまな取り組みを経て、IoTによるデータ駆動の改善活動に確かな手応えを感じ、導入当初の「あやふやな状態」を抜けられたからでもある。

4.5. ライン3: カメラの導入

製造現場の天井に有線 LAN を敷設した際、名取製作所内でカメラを導入することが検討された。カメラは監視のシンボルであり現場から抵抗にあうことが懸念される。どのように導入を進めたかを、経営者は次のように振り返る。

“(カメラについて、従業員への) 伝え方もドライブレコーダに絞りました。[...] みんなで見られるようにとか、色々議論はあったんですが、ドライブレコーダとして使うっていうやり方だけちゃんと守っておけば、ハードルが下がっていくんじゃないのと提案しました。結果大丈夫でした。”

経営者はカメラの使い方として、ドライブレコーダのアナロジーを利用し、従業員に提示した (Fig.2 f)。映像を常時モニタリングするのではなく、不良品が発生したときや、作業標準からの逸脱を目にしたりしたときに、後追いで確認するために使用するということである。これにより、従業員の抵抗なく導入することができた。

ドライブレコーダ的なカメラの使用方法は、経営者だけでなく生産管理者なども遵守し、現場のコミュニケーションが変化していった。何か問題点を指摘する際に、主観的な認識や感情をもとにしていたのでは、話が噛み合わないことがある。しかし、映像という客観的な事実に基づいてコミュニケーションをすると、互いの認識が合致し、指摘

されたことに納得できる。経営者は次のように振り返る。

“事実はみんな認めざるをえない。自分がどう見えているかと、自分がどうやったかは別なので。こうやって見えていたのか、っていうのはだいぶ効きましたよ。”

カメラ映像を媒介とした指摘する側とされる側のコミュニケーションの変化は、指摘される側であったオペレータの作業ルーチンを変化させた (Fig.2 g)。それだけでなく、次第に同社の新たな文化 (制度的論理) として定着していった。その結果として、2018年以降、顧客への納入不良は段階的に低下し、顧客から表彰を受けるまでになった。その間ミスの発生を抑止するような環境の改善もいくつか加えたものの、生産作業の規範となる手順書は変更していない。経営者は、こうしたカメラ映像の使用をめぐる実践が、より正確な改善へとつながり品質向上に大きく寄与したものと認識している。

4.6. ライン4: データの活用

4.3節および4.4節で説明した生産データやオペレーションデータは、タイムスタンプをもとに統合され、最終的にはプロジェクト中に開発されたソフトウェア上で見える化される。このソフトウェアの開発は第1期ではA社が中心となり実施された。開発は以下のように進められた。

まず行われたのはデータフローのデザインであった (Fig.2 h)。PLCが提供できるデータ形式が明らかになった段階で、それぞれのデータをどのように加工し、どこに保管するかが決定された。次に、実際にデータの収集が可能になったタイミングで見える化の仕様が議論されるようになった。ここでは、A社から名取製作所に、見える化することで検証したい仮説は何かという投げかけがなされた。それへの回答をもとに、どのようにデータを見ればよいか議論され、グラフの仕様が固まっていった (Fig.2 i)。

メインの画面となるのが、プレス機の一日の稼働状況を一望できるガントチャートである。Fig.3に示すように、緑 (稼働)、黄 (停止)、赤 (非常停止) の三色で各プレス機 (縦軸) の稼働履歴を見える化する。第1期終盤に、実際に収集されたデータをガントチャートで見た経験を、経営者は次のように振り返る。

“ポイントは最初のガントチャートでしたね。こんなに (プレス機が) 止まっているの? と。現場に行くと動いている、動いていないというのは何となく分かるんですけど、ああやって見ると……。まずは現状把握ですよ。 (それは仮説になかったのでは? という質問に対して) “想像以上でした。ということは、それだけ止まっているんだから、改善ももっとできるよねという問題意識になった。”

ここで初めて、データやその見える化が組織的意義を帯びた存在として立ち現れ、経営者に実感されたと言える。



Fig. 3 開発されたガントチャート

いくつかの仮説をもとに、ガントチャート以外にも、生産高や効率を表すグラフが開発された。第1期最終盤にはそれらを使用して、現場での改善が施された (Fig.2j)。例えば、機械別生産効率（平均）のグラフから、あるプレス機の生産効率が前週よりも低いことが判明した。原因を調べると担当したオペレータの能力ではなく、機械の部品が劣化していたことが明らかになった。それを補修することで効率が戻ることが確認できた。

しかしながら、この時点で、見える化システムは、プロジェクト関係者が主導する改善には活用されたものの、それらは散発的でありデータに基づく改善が現場を巻き込む組織的な活動になることはなかった。現場にもモニタを設置し、見える化システムを誰でも確認できるようしたが、現状把握に使用されるにとどまった (Fig.2k)。第1期終了時点での成果について、経営者と担当者はそれぞれ次のように振り返っている。

“見えるようにはなったんですけど、見えるだけだと、どう使うのっていう。[...] 製造のことを (A社に) 我々もちゃんと伝えられなかったの。結果は見えるんですけど……。”

“(見える化システムが) できましたという報告を職場でもしたんですけども、その後、皆と話をしていくなかで、そのデータは本当に役に立つか、じゃあどんな風に使うか、といったときに、ちょっと足りないなと気づけたのが大きいと思いますね。”

第1期で開発された見える化システムでは、一日の稼働状況やある期間の平均値のような表面的な結果しか見えないために、なぜ、どのようにその結果に至ったのかを追跡的に原因分析することができなかった。システムの仕様を固める段階では、同社にとってIoTの意義がまだ臆気であり、何をどのように見たいのかが、うまく言語化できなかったことがその原因だと認識されている。支援者であるA社や研究者もまた、そのことを見抜いて仕様に反映させることができなかった。さらに、システム開発に用いていたプラットフォームには技術的な制約があり、望ましい見える化を追加実装することが難しいことが、第1期最終盤に明らかになった。この経験が、第2期の方向性を決めることになる。

第2期では、上記の問題意識から出発し、なぜその結果

が起きたかを分析できるような仕組みを開発することが主なテーマとなった (Fig.2l)。研究者らは、その仕組みを「データハンドリング」と呼び、それがプロジェクトの共通言語となった。データハンドリングのコンセプトは、現状を「見える化」するだけでなく、現場の人々が自ら必要な情報を組み上げていき、自分や他のオペレータのいい点や悪い点を「分かる化」できるように、データの取り回しや統合の仕方を工夫することであった。ここで重要なことは、システムの利用者として、プロジェクト関係者だけでなく、現場の生産管理者やオペレータが明確に想定されるようになったことである。この変化について、経営者と担当者はそれぞれ次のように振り返っている。

“ボトムアップの改善提案のところに、今までは主観的なものしかなかったんですけど、客観的に見えるデータから改善提案につなげられるといいのかなと思いました。”

“所詮、管理者側は作る人ではないので。品質もそうですけど、やっているオペレータが作業しているし、作っているから、自分の頑張り度合いを評価してもらいたいと思っているだろうなと。そう思いながらデータの整理に取り組んだっていうイメージです。”

データハンドリングの仕組みを開発するにあたっては、どのような使い方が便利で有益かについて、実際のデータの再加工や分析を行いながら議論が繰り返された。結果として、第2期終了時には、データハンドリングシステムのプロトタイプが構築されるに至った。実運用に向けてはまだ改良が必要であり、本稿執筆時点でも議論が継続されている。見える化から分かる化への進展について、経営者は次のように振り返っている。

“買ったソフトじゃここまでいかない。こういうもんだと。それを使うだけなので、そこから先にさらにどうしたいというのも起きないと思います。”

このことは、既成の製品やサービスに見える化を謳ったものが多く存在するが、見えた後にその先を掘り下げようとした場合に先に進む助けがないことを示している。IoTの導入が先の成果につながらない要因の一つを発見出来たことも成果と言えよう。

5. 考 察

5.1 IoT デザインのマクロな方策

本章では、以上のようなデザインプロセスから得られた学びを整理し、一般化することを試みる。本節では、マクロな方策、すなわちデザインの大きな指針や進め方に関する学びについて考察する。

(1) 技術と使用のデザインを往復しエージェンシーをはたらかせる!

中小企業の特徴として資源の制約があげられる⁽²⁾。それゆえ、IoTの“導入”は既存のツールを調達し使用してみる、すなわち使用のデザインに特化するという方策が採られることが多い。本プロジェクトの立場は、カメラ等の例外を除き、基本的には企業とその支援者とがシステムを共同開

発するというものであった。言い換えれば、導入企業にとっては使用のデザインだけでなく、技術のデザインにもチャンネルが開いていた。前章最後の経営者の語りにあるように、当事者として技術のデザインを主導したことは、次に何をするかを考えて実行するというエージェンシーをはたかせ続けるために不可欠であった。そうでなければ、外部の支援者や IoT システムばかりがエージェンシーを担い、真の当事者が蚊帳の外になってしまう可能性もあった。そうなってしまうと、与えられたシステムを使うだけになり、望ましいアウトカムに辿り着けない可能性が高まる。

一方、上記の技術のデザインに関する示唆は、当然、使用のデザインが不要であることを意味しない。これまでに見てきたタッチパネルや見える化システムのデザインにおいて、どう使うか、どう使ってもらおうかという使用のデザインに関する問いは、プロジェクトが成熟するにつれて中心化し、また技術のデザインによる問題解決の必要性に気づく契機にもなった。以上から得られる学びは次のような方策として表現できる。

- ・ 技術のデザインへのチャンネルを IoT の導入先である当事者にも開いておくこと
- ・ 技術と使用のデザインを往復し、エージェンシーをはたかせ続けること

(2) 制度的論理を延伸せよ！だが社会視点を忘れるな！

デジタル化を推進し組織プロセスの変革を成し遂げることは、組織の制度的論理⁽⁴⁾を変えていくことに他ならない。一方、本プロジェクトは、制度的論理の変化自体を目的とするのではなく、むしろ現在の制度的論理と一貫性をもった目的としてデザインプロセスが推進された。具体的には、IoT 導入目的は組織に定着した改善文化の延長線上にあったし、データ収集の段階ではなるべく厳格なルールを作らずにスモールスタートすることが志向された。これらのアプローチは外部から入ってくる新しい技術が受容されるために有効であったと考えられる。こうして技術が受容された結果として、人と技術が協調したコミュニケーションの実践（例えば、カメラの使用をめぐる実践）が生まれ、最終的にはデジタル化の成熟と言ってもよい、新しい制度的論理が形成されるに至った。このように制度的論理の変化を直接の目的とせず、それまでの論理に沿った目的を設定するアプローチは、IoT を導入するうえで有効であった。

付言しておくべきは、上記のアプローチが機能したのは、既にデジタル化と相性のよい論理があったからではないか、という点である。確かに、本プロジェクトにおいて、継続的改善という技術視点の論理と、モチベーション向上という社会視点の論理がすでに根付いていたことは見逃せない。特筆すべきは後者である。冒頭に述べたように、IoT のような技術的なトピックを議論する際に、社会視点の論理が抜け落ちてしまうことは多い。本プロジェクトが従業員からの抵抗少なく進んだ要因の一つは、こうした社会視点の論理が根付いていたこと、さらに目的の一つとして掲げられていたことにあると考える。

加えて、このプロジェクトでは、その場でどのような論理がはたしているかを知らない外部の支援者がデザインプロセスに参画した。組織の論理が IoT の導入目的として文章化されていたことで、支援者がその組織のあり方を（明

確にはないにせよ）理解できたことは、支援者が誤った介入を行い、組織に全く馴染まないシステムがデザインされてしまうことを防いだとも考えられるだろう。

以上を一般化しつつ総括すると、デザインの方策としては次の3つが考えられる。

- ・ 組織の制度的論理に一貫した目的のもとでデザインを試みること
- ・ 従業員の満足やモチベーション等をどう考えるかといった社会視点の論理にも注目し、それを IoT 導入の目的に組み入れること
- ・ 外部の支援者がいる場合は、組織の制度的論理について共通理解を醸成すること

5.2 IoT デザインのマイクロな方策

本節では、マイクロな方策、すなわち IoT に関する個別の技術や使用のデザインについての学びを考察する。

(3) 複眼的な使用のデザインにより多重の便益をイメージせよ！

データを活用可能にし、現場の作業ルーチンを変化させるという意味で、本プロジェクトにおいてカメラと見える化システムは類似した役割をもつ。一方で、現時点での定着度合いには差がついた。その要因として、使用のデザインの差が考えられる。カメラの導入の場合は、ドライブレコーダのアナロジーによりその使用をデザインし、それが受容され実践されたことで、コミュニケーションのスタイルとして定着するに至った。ここでは異なる立場の使用者（経営者、管理者、オペレータ）が、それぞれ自身にとっての便益をイメージできたことが大きいと考えられる。言い換えれば、使用のデザインが複眼的になされ、分かりやすくアウトプットされたと言える。一方で、見える化システムは、後になって、機能の不備やどう使うのかという問いが生じたように、使用のデザインは不十分であった。カメラと違って、そのシステムが一度使用できるようにならない限り、よりよい使用をイメージすることが難しかったためである。一度使用した後は、システムの利用者として現場のオペレータを考慮に入れるようになるなど、組織的な実践に必要な機能の開発に着手することができるようになった。以上から得られる学びは次のように表現できる。

- ・ 使用のデザインでは、異なる立場の利用者にとっての便益を考慮すること
- ・ 使用のデザインは、その使用者が自身にとっての便益がイメージしやすいようにアウトプットすること
- ・ 上記が難しい場合は、早々に使用を経験できるプロトタイプをつくること

(4) ダブルループ的な問題解決を志向せよ！

IoT を構成するセンサ技術には多くの種類があり、AI によるデータ処理技術の普及も進んでいる。IoT システムの特徴の一つは、新たなセンサやデータ処理を追加してシステムを拡張することが、安価かつ容易に実現できることである。本研究で記述したデザインプロセスにおいては、いくつかの躓きがあった。その解決にあたっては、現状の方法に固執しつつデザインのループを回すのではなく、前提から見直し、別のアプローチを選択することが有効であった。例えば、タッチパネルの使用を現場に定着させられず、

オペレーションデータ収集に問題が生じた際、その解決策として、使用のデザインの範囲で試行を続けるのではなく、安全ガードの着脱検知によるデータ補完という技術のデザインによる解決が選択された。このようにデザインの対象を切り替えることで、シングルループから抜け出し新たな方法を試行するダブルループ⁽²⁰⁾的な問題解決は、IoT システムの拡張性と相まって有効に働いた。以上より、次のような方策が得られた。

- ・ 使用のデザインにおいて行き詰まったら、IoT の拡張性を活かし、技術のデザインでの解決を模索すること

6. おわりに

本研究の目的は、組織プロセスの変革のために IoT を活用する際に、どのようなデザインが必要であるかを明らかにすることである。この目的に対して、本稿では、金属加工を生業とする中小製造業において IoT 導入のアクションデザイン・リサーチを実行した。その過程をソシオテクニカルなデザインプロセスと捉えて記述し、そこから得られた学びについて考察することで、中小企業における IoT デザインの方法について、大きく四つの示唆を得た。

本研究で採用したソシオテクニカル／ソシオマテリアルな観点には、プロジェクトで実施されたさまざまなデザイン行為やそれによる変化を解きほぐし、言語化するうえで有効であった。特に使用のデザインを中心とした示唆を得られたことは、本研究の分析枠組みによる成果であり、また多くの中小企業の IoT 導入に貢献できる成果だと考える。今後の課題は、得られた示唆を理論的に定位することであり、そのためにはさらなる文献調査が必要である。

また本研究の限界は、アクションデザイン・リサーチという研究方法に起因する。「一度きりの旅」⁽⁴⁵⁾とも表現されるように、本研究を通じて得られた示唆は、対象プロジェクトの文脈に特殊化されたものである可能性を現段階では否定できない。それを乗り越えるためには、ここで得られた示唆を異なる文脈において実践し、その有用性やその範囲を検証することが考えられる。本稿の貢献の一つは、そのための材料を豊かな文脈のもと提供したという点にある。

謝 辞

本研究は、本稿の著者以外のプロジェクト関係者の協力によって成立している。この場を借りてあらためて謝意を示したい。また、本研究の一部は、JSPS 科研費 20K20128 の助成を受けて実施された。

文 献

- (1) Verhoef, P. C. et al.: Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, Vol. 122, 889–901, 2021.
- (2) Eller, R., Alford, P., Kallmünzer, A. & Peters, M.: Antecedents, consequences, and challenges of small and medium-sized enterprise digitalization. *Journal of Business Research*, Vol. 112, 119–127, 2020.
- (3) サイモン H. A.: システムの科学 [第 3 版], (訳) 稲葉元吉, 吉原英樹, パーソナルメディア, 1999.
- (4) 山内裕, 平本毅, 杉万俊夫: 組織・コミュニティデザイン, 共立出版, 2017.
- (5) Tomiyama, T., Lutters, E., Stark, R., & Abramovici, M.: Development capabilities for smart products. *CIRP Annals*, Vol. 68, No. 2, 727–750, 2019.
- (6) 原辰徳 他: サービスの連鎖と継続提供に着目した共創を促進するサービスシステムの構成手法. *日本機械学会論文集*, Vol. 86, No. 891, 2020.
- (7) Watanabe, K., Okuma, T. & Takenaka, T.: Evolutionary design framework for Smart PSS: Service engineering approach. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 45, 101–119, 2020.
- (8) Geels, F. W.: From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, Vol. 33, No. 6–7, 897–920, 2004.
- (9) Sarker, S., Chatterjee, S., Xiao, X. & Elbanna, A.: The sociotechnical axis of cohesion for the IS discipline: Its historical legacy and its continued relevance. *MIS Quarterly*, Vol. 43, No. 3, 695–719, 2019.
- (10) Orlikowski, W. J.: The duality of technology: Rethinking the concept of technology in organizations. *Organization Science*, Vol. 3, No. 3, 398–427, 1992.
- (11) Giddens A.: *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. Univ of California Press, 1984.
- (12) Orlikowski, W. J.: Sociomaterial Practices: Exploring technology at work, *Organization Studies*, Vol. 28, No. 9, 1435–1448, 2007.
- (13) Leonardi, P. M.: When flexible routines meet flexible technologies: Affordance, constraint, and the imbrication of human and material agencies. *MIS Quarterly*, Vol. 35, No. 1, 147–167, 2011.
- (14) Hultin, L. & Mähring, M. Visualizing institutional logics in sociomaterial practices. *Information in Organization*. Vol. 24, No. 3, 129–155 (2014).
- (15) Melrose, M. J.: Maximizing the rigor of action research: Why would you want to? How could you? *Field Methods*, Vol. 13, No. 2, 160–180 (2001).
- (16) Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. & Chatterjee, S.: A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, Vol. 24, No. 3, 45–77, 2007.
- (17) Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M. & Lindgren, R.: Action Design Research. *MIS Quarterly*, Vol. 35, No. 1, 37–56, 2011.
- (18) 木嶋恭一: 社会デザイン・リサーチ—複雑な問題状況の設計・介入のためのシステムズ・アプローチ. 計測と制御, Vol. 55, 18–21, 2016.
- (19) Baygi, R. M., Introna, L. D. & Hultin, L.: Everything flows: Studying continuous socio-technological transformation in a fluid and dynamic digital world. *MIS Quarterly*, Vol. 45, No. 1, 423–452, 2021.
- (20) Argyris, C.: Double loop learning in organizations. *Harvard business review*, Vol. 55, No. 5, 115–125, 1977.