

製造事業のIoT化に係る導入効果と障壁の分析手法の提案

首都大学東京 ○松本篤弥, 三竹祐矢, ◎下村芳樹

要旨

コスト削減や付加価値の向上に係る期待を背景として、製造業ビジネスにおけるIoTの導入が注視され、そのための研究開発や標準化の事例が増加している。一方で、IoT導入に関する経験の不足がその投資対効果の把握を妨げ、このことがIoT導入上の大きな障壁となっている。本稿は、IoTの導入が製造業の提供する製品やサービスのライフサイクルコストに与える影響を定量化することにより、IoTの導入効果の分析を支援する手法を提案する。

1. 序論

近年、コスト削減や製品の高付加価値化を目的として製造業ビジネスへのIoT (Internet of Things) 技術の導入に対する注目が急速に高まり、その技術開発や標準化に取り組む企業が増加している。しかしながら、国際的なIoTの普及状況に対比して、日本の導入実績は米国の半分程度に留まっている^[1]。企業におけるIoTの導入意向の観点においても、日本は他の先進国と比較してIoT技術に対する投資額が低いことが確認されている。このように、日本におけるIoT導入は必ずしも順調ではないが、その主な原因に、IoT導入による具体的な効果が把握しづらいことが挙げられる^[1]。これにより、IoT技術やその導入効果についての十分な知識や経験を持ち合わせない企業がIoTの導入に踏み切れない実情がある。すなわち、IoT導入に係る投資対効果を事前に予測できれば、その導入障壁を低減することが可能である。

上記の背景を踏まえ、本研究は製造業のIoTの導入障壁の解消を目的として、IoTの導入が製品のライフサイクルコスト (Life Cycle Cost : LCC) ^[2]に与える影響を定量化することにより、IoTの投資対効果の把握を支援する手法を提案する。

2. 既存研究と本研究のアプローチ

2.1. IoT導入支援に関する既存研究

種方らは、複雑な船舶運航サービスシステム全体への影響を考慮したIoTの導入意思決定の支援を目的に、船舶運航サービスにおけるQuality (事故数・故障数)、Cost (運航利益)、Delivery (遅延時間) (QCD) の3つの観点に基づくIoT導入効果の評価手法を提案している^[3]。本研究では、導入が検討される25種類のIoT技術を対象に、上記のQCDの観点に基づく船舶運航シミュレータを構築し、各IoT技術の導入効果の比較評価を可能とした。

石黒らは、中小企業へのIoT導入支援を目的に、生産現場のIT環境整備を容易化するシステム構築の基礎的研究を実施している^[4]。本システムは、次世代無線通信ネットワークを使用することで、IoTのベース技術となる多種多様なセンサからのデータ取得・保存を可能とし、IoTを導入する際の基礎的なシステムとしての活用が期待できる。

また、小林らは、障害者福祉施設へのIoT導入支援を目的に、その導入における施設職員の心理的障壁を分析した^[5]。その結果、心理的障壁の4つの分類とそれぞれの程度を特定した。例えば、施設内業務に専念できるIoTの活用方法や自身の体調のモニタリングなど、自身で利活用するIoTには抵抗が小さい一方で、排泄や寝室など被介護者のプライバシーや人権に関わるIoTの活用には抵抗が大きい。そのため、福祉施設へのIoT導入は、介護者の業務支援からの段階的な導入を推奨している。

2.2. 既存研究における課題と本研究のアプローチ

2.1に述べた既存研究は、IoT導入における技術的、心理的障壁の解消に取り組んでいる一方で、IoT導入の投資対効果、つまり、IoT導入に伴う製品のLCCの変動評価は検討されていない。

そこで本研究では、製造業のIoT導入が製品のLCCに与える影響の予測評価を支援することにより、その導入障壁を解消することを目的とする。本研究では、まず、IoTの導入に伴う費用や導入後に生じるコスト影響を整理する。その後、整理したコスト項目の因果関係を可視化する因果モデル図を構築し、それに基づくIoT導入シミュレーションによる定量化と可視化によって、IoT導入によるLCCへの影響を明確化する。

3. 提案内容

3.1. 提案手法の全体像

本研究では、企業のIoT導入による投資対効果の定量化及び可視化によるIoT導入効果の分析支援手法を提案する提案手法を構成するステップを説明する。

STEP1 : 分析範囲の定義

IoT導入による投資対効果の分析には、IoTを導入する対象のビジネスモデルを明確化し、影響を受けるLCCを特定する必要がある。そこで、初めに分析対象とするビジネスモデルの形態、ライフサイクルフェーズを定義する。

STEP2 : IoT化により変動するコスト項目の特定

本ステップでは、STEP1で定義した分析対象の調査を通して、製品使用に発生する稼働費用やメンテナンス・修理等の運用時に発生する人件費などを項目ごとに整理する。それに基づき、IoTの導入に伴い影響を受けるコスト項目を特定する。これにより、シミュレーションに入力するコスト項目を特定する。

STEP3 : 因果モデルの構築

次に、STEP2で整理したコスト項目を構成する変数項目とそれらの因果関係を整理した因果モデルを構築する。

因果モデルの構築においては、因果ループ図 (Causal-Loop Diagram : CLD) ^[6]の記法を採用する。因果ループ図とは、システム内の構成要素間の因果関係と時間遅れを含むフィードバック・ループを直観的に記述・説明するための手法である。図1に社会システムにおける人口変化の構造をCLDによりモデル化した例を示す。CLDでは構成要素間の関係を正と負の因果関係により記述する。またこれらの因果関係が時間遅滞的な影響を示す場合は、矢印上に二重線を記述することで表現する。図1に示すCLDは「出生」が増加すると「人口」の増加に繋がり (正の因果関係)、「死亡」が増加すると「人口」の減少に繋がる (負の因果関係) という関係を表している。さらに「人口」が増加すると時間遅滞的に「出生」が増加するという関係 (自己強化型ループ) と「人口」が増加すると時間遅滞的に「死亡」の数も増加するという関係 (バランス型ループ) も表している。

次に、本ステップでは、構築した因果モデル図を構成する各コスト項目の評価式を整理する。例えば、図1における「人口」は「出生数-死亡数」と表す。尚、本稿は、コスト構成要素間の因果関係のみを分析対象とするため、時間遅滞の影響は考慮しない。

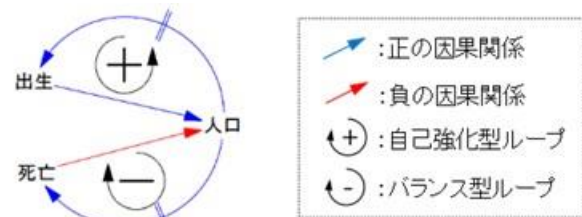


図1 因果ループ図の例

STEP4 : IoT導入の費用対効果の評価

本ステップでは、STEP3で構築した因果モデルと評価式を用いて、シミュレーションを実施し、IoT導入によるLCCへの影響を評価する。本シミュレータは、Microsoft Excelにより実装し、STEP2で特定したコスト項目の値を入力することで、IoT導入前後のLCCの変動をグラフ出力する。

4. 事例適用

4.1. 事例概要

本研究では、河川の溶存酸素量が多い表層水をポンプで引き込み、水の流動攪拌により水質浄化を行う製品「水質浄化装置」のIoT導入事例に対して提案手法を適用した。本装置は、24時間連続稼働や定期メンテナンスによる運用コストの肥大や、故障時の復旧までの長時間に及ぶダウンタイムの発生等の問題から、IoTの導入により装置運用コストの改善が求められている事例である。

4.2. 適用結果

STEP1: 分析範囲の定義

本ステップでは、分析範囲の定義を行った。本事例では、導入地域は「呑川（東京都大田区）における導入事例」、ビジネスモデルは「製品販売及び定期メンテナンスと故障時修理サービスの提供」の場合を対象とした。その上で、分析対象のライフサイクルフェーズを、「保守・運用」段階と定義した。

STEP2: IoT化により変動するコスト項目の特定

本ステップでは、企業へのインタビューに基づくデータ収集を行い、対象製品の運用コストとIoTの導入の影響を受けるコストを整理した。その結果、IoT導入により影響を受ける運用コストの構成要素として、「修理費」、「定期メンテナンス費」、「人件費」、「電気料金」を特定した。そして、IoT導入により新たに発生するコストとして、「IoTユニット投資費用」と「運用データ収集のためのクラウド使用料」を特定した。また、IoT導入により変動するコストとして、「修理費」、「定期メンテナンス費」、「人件費」を特定した。

STEP3: 因果モデルの構築

STEP2で整理したコストに基づき、図2に示す因果モデルを構築した。例えば、「定期メンテナンス費」に着目すると、「定期点検回数」と「人件費（モニタリング確認）」の増加は、「定期メンテナンス費」の増加に繋がるが、「IoT導入」により、「定期点検回数」と「人件費（モニタリング確認）」が減少し、結果的に「定期メンテナンス費」が削減される関係を表現している。尚、破線の項目はIoTを導入した際に新たに発生するコスト、また、それを構成する変数項目を示す。

また、作成した因果モデルを基に作成した各コスト項目の評価式の一部を表1に示す。例えば「修理費」の評価式は「部品代+現場人件費（故障確認・修理）+工場人件費（原因究明）」となる。

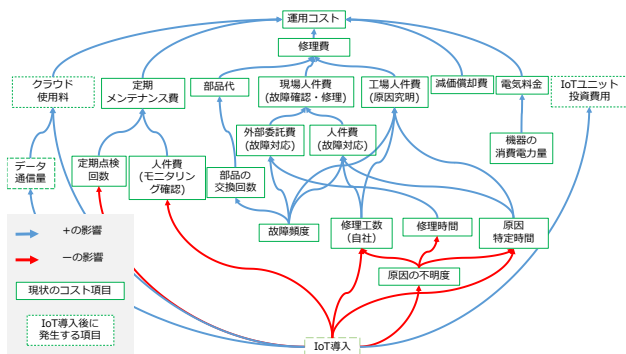


図2 水質浄化装置の因果モデル図

表1 各コスト項目の評価式の一部

コスト（年）	評価式
運用コスト	減価償却費+定期メンテナンス費+電気料金+修理費+クラウド使用料
定期メンテナンス費	(メンテナンス費/月)×12
電気料金	(平均電気料金/月)×12
修理費	部品代+現場人件費(故障確認・修理)+工場人件費(原因究明)
工場人件費(原因究明)	(工場人件費/回)×(故障回数)
人件費 (モニタリング確認)	(人件費/時間)×(作業時間/月)×12

STEP4: IoT導入の費用対効果の評価

本ステップでは、STEP3で整理した評価式からなるシミュレータをMicrosoft Excelを用いて実装し、IoT導入がLCCに与える影響を算出、可視化した。本シミュレーションでは、STEP2で行った実務家へのインタビュー結果を基に、故障回数などIoT導入による変動が予測される変数を操作し、IoT導入後のコストを算出した。その結果、IoT導入により、保守・運用コストの31%を削減可能であると評価した。IoT導入による各コスト項目の変動と導入後の運用コストの内訳を図3に示す。

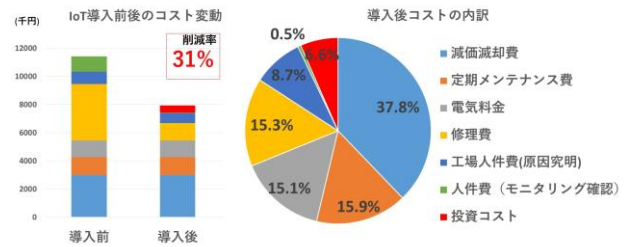


図3 導入前後のコストの変動と導入後のコスト内訳

5. 考察

本稿では、製造業におけるIoT導入障壁の解消を目的に、IoT導入効果の分析手法を提案し、実際のIoT事業への適用を行った。提案手法は、因果モデルを用いた対象LCCの項目整理により、当該LCCの構成要素とその因果関係の明確化を可能とした。適用事例では、IoT導入により、センサによる遠隔の機器管理が可能になり、これまで従業員が目視で実施していたモニタリングに係る人件費が削減されるなど、IoT導入がLCCの削減に繋がる根拠を論理的に把握可能とした。実際に、本事業に関わる実務家から「コストデータの収集及び数値化により、今まで自社で把握していなかったコストの把握が可能となった」という評価が得られた。

また、本稿で構築したシミュレータは、製造業のIoT化がLCCに与える影響を算出可能とした。シミュレーションにおける故障回数やモニタリング確認時間などの入力変数は、適用事例やIoTの導入シナリオに応じてチューニングすることが可能である。これにより、様々な条件下におけるIoT導入の投資対効果が分析し、IoT導入の是非の検討が可能となる。すなわち本提案手法は、製造業ビジネスのIoT導入の意思決定を支援可能とする上で一定の有効性を有すると言える。

続いて本手法の汎用性を考察する。本稿では、国内事例を対象に提案手法を適用したが、導入する地域や国の気候や規則の違いによって、IoT導入により影響を受けるコスト項目やIoT機器の導入費は異なる。例えば、対象事例における国内の製品保証期間が1年に設定されているのに対し、韓国では3年に設定されている。加えて、韓国では機器に使用する材料に対する貿易規制などの理由により、機器の構成を変更する必要性が生じている。一方で、今回構成したシミュレータは上記を考慮した構成としていない。また、提案手法では、不確実な環境要因に対する考慮が不足している。例えば、対象とした水質浄化装置は、悪天候などの影響により、故障に至るケースが存在するが、このような不確実な事象への対処の遅延も、装置の運用コストを増大させる一因となる。今後は、シミュレーション用モデルのカスタマイズ性の向上と、不確実事象の取り扱いに関する手法の統合により、より高い汎用性を有するシミュレータの構築に継続して取り組む。

6. 結論

本稿では、IoTの導入が製造業の提供する製品やサービスのライフサイクルコストに与える影響の定量化により、IoTの導入の投資対効果の評価を支援する手法を提案した。事例適用により、製造業におけるIoT導入障壁の低減という目的に対する本手法の有効性を示した。

参考文献

- [1] 総務省, “国際的なIoTの進展状況”, 情報通信白書 (2016).
- [2] Mearig, T., Coffee, N., Morgan, M. “Life Cycle Cost Analysis Handbook”, Alaska Department of Education and Early Development. (1999).
- [3] 稗方和夫他, “海事産業におけるIoT技術導入の意思決定支援に関する研究”, 日本船舶海洋工学会論文集 25 (2017): pp. 175-182.
- [4] 石黒聡, 藤井茂樹, 細谷肇, “次世代無線通信センサネットワークを活用したIoT支援に関する研究”, 群馬県立産業技術センター研究報告書 (2016): pp. 1-5.
- [5] 小林大祐他, “障害者福祉施設におけるIoTセルフモニタリングシステム導入への心理的障壁の分析”, 情報処理学会第80回全国大会講演論文集 (2018): pp. 469-470.
- [6] Sterman, J., “Business dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World”, Irwin-McGraw-Hill Education (2000).