

# 船舶運航シミュレータを用いた 海事産業へのIoT技術導入評価に関する研究

## A Study on Evaluation of Introducing IoT Technology to the Maritime Industry using Ship Operation Simulator

稗方和夫<sup>1\*</sup> 満行泰河<sup>2</sup> 上野隆治<sup>1</sup> 和田良太<sup>1</sup>  
Kazuo Hiekata<sup>1</sup> Taiga Mitsuyuki<sup>2</sup> Ryuji Ueno<sup>1</sup> Ryota Wada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo

<sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>2</sup> Graduate School of Engineering, University of Tokyo

**Abstract:** In deciding which IoT technologies should be introduced in the maritime industry, it is important to quantitatively compare their diverse functions. In this research, an evaluation method using a parametric ship operation simulator is proposed. The simulator consists of three models, shipping, loading and docking, with the shipper's QCD (safety, economy and delivery reliability) as evaluation criteria. The effect of introducing IoT technologies is evaluated by changing input parameter value. As a case study, evaluation of various kinds of actual IoT technologies was conducted. The Result showed that the proposed method can quantitatively compare each IoT technology considering technology's maturity levels.

## 1 序論

近年、情報通信技術の発達によって、従来はリアルタイムに得ることが難しかった運航中船舶の船用機器などの大量のデータを、陸上へ送信・分析し、船舶へフィードバックすることができるようになった[1]。これに伴い、海事産業全体でIoT (Internet of Things) 技術の効果的な利活用方法が模索・検討されている。一方で、海事産業に導入検討されているIoT技術は機能や適用箇所が多種多様であるため、導入判断を行うには多くの専門性が要求される。また、技術導入によって影響の及ぶサブシステムが多岐に渡ることから過去の経験のみからの評価は困難であり、複雑な船舶運航サービス全体を考慮したIoT技術の比較評価手法が必要となっている。

本研究では、海事産業に導入が検討される様々なIoT技術の導入効果を比較評価することを目的とする。アプローチとして、IoT技術導入の評価軸と評価機能を定義するために海事産業のシステム分析を行い、分析に基づいて作成した船舶運航シミュレータによってIoT技術の定量的な導入評価を行う。

## 2 海事産業の分析

### 2.1 はじめに

IoT技術の導入効果を比較評価するために、一元的な評価軸と評価対象機能を決定する必要がある。本研究では、海事産業界が応える要求と機能についてSystems Approachの先行研究[2][3][4]に基づいた分析を行い、IoT技術導入の評価軸と評価機能を決定する。

### 2.2 IoT技術導入の評価軸の選定

まず、IoT技術導入の評価軸を海事産業が応える要求から選定する。図1に海事産業やその周辺の利害関係をSVN (Stakeholder Value Network) [4]を用いて表したものを示す。利害関係者を四角で表し、利害関係者間のモノやサービスなどの流れを矢印で示している。なお、図1は海事産業従事者へのインタビューを基に作成・編集した。

本研究では、IoT技術導入の動機を「海事産業の競争力強化」と定義した上で、海事産業が応える要求を図1中の太線で示す「船会社と荷主間の船舶運航サービスの向上」とした。運航サービスの評価指標としてはQCD (Quality, Cost, Deliverly)を使用する。つまり船舶

\*連絡先：東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5 環境棟274号室  
E-mail:hiekata@edu.k.u-tokyo.ac.jp

運航サービスにおける「安全確実な輸送 (Quality)」・「安価な輸送 (Cost)」・「納期確実な輸送 (Delivery)」の QCD の 3 指標で IoT 技術を比較評価する。

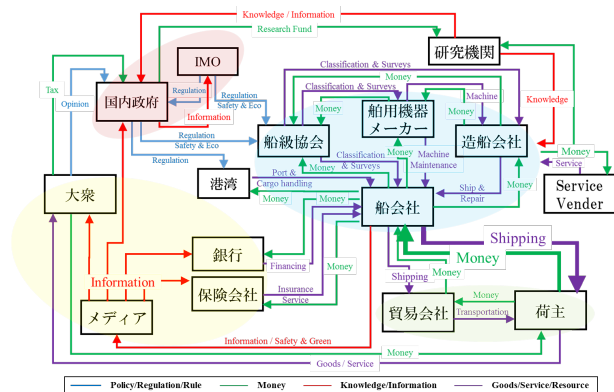


図 1: 海事産業とその周りの利害関係

### 2.3 IoT 技術の評価機能の定義

次に、IoT 技術の評価対象機能を定義するために、2.2 で選定した要求に対して海事産業が担う機能を分析する。図 2 にシステムモデリング言語を用いて [3] 海事産業の機能分析を行った結果を示す。分析は参考文献の調査と海事産業従事者へのインタビューを基に作成・編集した。2.2 で選定した運航サービスの QCD 向上という要求に対して、海事産業が取り組むべき機能をプロセス (図中丸印) で表現している。

本研究で評価対象とする IoT 技術は図中の機能 (プロセス) を実現するため技術であると考え、各々の技術をこれらの機能と紐づけることで評価を行う。また、評価シミュレータの作成にあたっては、これらの機能の変化が評価軸 QCD に与える影響を定量的に評価可能であることが必要要件となる。

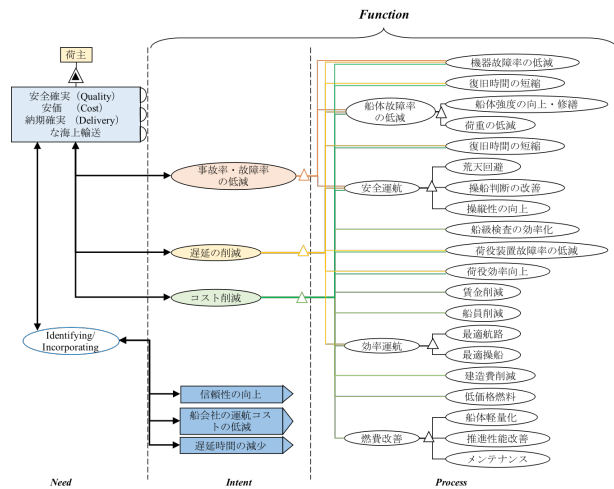


図 2: 海事産業の機能分析

## 3 評価手法

### 3.1 概要

評価手法の概要を図 3 に示す。IoT 技術導入の評価は船舶運航シミュレーションによって行う。運航中の船舶がとり得る状態を運航・荷役・入渠の 3 状態であるとしたうえで各々モデル化する。運航利益計算用の利益モデルも作成する。出力結果は「事故・故障数 (Q)」、「運航利益 (C)」、「遅延時間 (D)」の 3 指標とする。

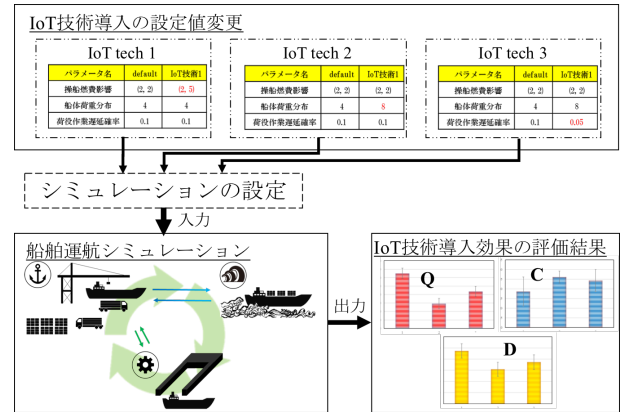


図 3: 評価手法の概要

事故・故障数 (Q) は運航中の事故・故障件数、運航利益 (C) は利益モデルにより算出される値、遅延時間 (D) は運航中の事故・故障遅れおよび荷役作業遅れ、荷役装置遅れを対象とする。また外部影響は気象のみを考慮し、市場変動は考慮しない。IoT 技術導入の効果は入力値の変更によって表現し、QCD の出力値を比較検討することで評価を行う。

### 3.2 モデルの作成

**運航モデル:** 運航モデルは燃費モデルと事故・故障モデルから為る。燃費モデルは、先行研究 [5] を参考に、船体重量・操船影響を組み込んだモデル化を行う。事故・故障モデルは、海難事故および疲労蓄積を考慮した船体・機器故障、気象・操船影響をモデル化する。

**荷役モデル:** 荷役モデルでは荷役作業遅延確率と荷役故障を定義し、運航利益・遅延時間に影響を与える。

**入渠モデル:** 入渠モデルでは船の入渠時期を決定し、「2.5年に一度」「汚損影響の考慮」「疲労蓄積の考慮」の3つの入渠ルールを定義する。入渠時は汚損影響、疲労蓄積をリセットする。

**利益モデル:** 利益モデルは運賃、積載量、運航回数で表現される収入と、燃料費、荷役費、修繕・検査費、船員費、建造費の和で表現されるコストで定義する。

## 4 ケーススタディ

### 4.1 設定

ケーススタディとして、現在考案されているものを含む 25 個の IoT 技術導入の評価を行い評価手法の有用性を検討する。評価する IoT 技術と変更パラメータの一覧を表 1 に示す。想定する設定として、東京-ロサンゼルス間 (8,843km) を船速 19knot (50 %出力) で往復運航する 6600TEU 積みのコンテナ船とし、運航期間は 20 年間とした。

表 1: 評価対象の IoT 技術一覧

ID	IoT technology	変更パラメータ
1	船用機器モニタリング (主機)	主機故障率 [case/h]
2	船用機器モニタリング (航海機器)	航海機器故障率 [case/h]
3	船用機器モニタリング (補機)	補機故障率 [case/h]
4	船用機器リモートメンテナンス (主機)	主機復旧時間 [h/case]
5	船用機器リモートメンテナンス (航海機器)	船員数 [man]
		船用機器復旧時間 [h/case]
6	船用機器リモートメンテナンス (補機)	船員数 [man]
		補機復旧時間 [h/case]
7	高強度船開発	船体故障寿命 [year]
8	荷重制御支援 (荷重軽減)	荷重確率分布
9	荷重制御支援 (船体軽量化)	船体重量率
10	船体構造モニタリング (情報共有)	船体復旧時間 [h]
11	船体構造モニタリング (入渠時期判断)	入渠ルール
12	ウェザールーティング	気象遭遇確率
13	安全操船支援 (操船判断の改善)	事故率 [case/voyage]
14	安全操船支援 (低賃金船員の雇用)	船員賃金 [\$/ (man*month)]
15	リスクベース検査	船級検査費用 [\$/]
16	荷役装置モニタリング	船級検査時間 [h]
		荷役装置故障確率 [case/port]
17	荷役遠隔操作・自動荷役システム	荷役装置復旧時間 [h/case]
		荷役費 [\$/]
18	港湾作業マネジメントシステム	荷役作業遅延確率 [case/port]
		荷役作業遅延時間 [h/case]
19	遠隔操作・自律船	港費 [\$/]
		荷役作業遅延確率 [case/port]
20	省エネ操船支援	荷役作業遅延時間 [h/case]
		船員賃金 [\$/ (man*month)]
21	造船 IoT 化・自動化	船員数 [man]
22	設計開発 IoT 統合	操船燃費消費量確率分布
23	省エネ船開発 (船型)	船費 (建造費) [\$/]
24	省エネ船開発 (プロペラ)	船費 (設計費) [\$/]
25	省エネ船開発 (エンジン)	船体抵抗 [kg]
		プロペラ効率 [-]
		エンジン効率 [BHP/fuel]

も高いことが分かる。これは船舶建造費中の材料費削減が効果的であることを示している。また、荷役作業の効率化 (ID. 17、ID. 18) やエンジン性能向上 (ID. 25) も効果的だと読み取れる。遅延時間の削減を主目的とした場合、船用機器復旧時間に関わる船用機器リモートメンテナンス (補機) (ID. 6) や荷役遅れに関わる荷役遠隔操作・自動荷役システム (ID. 12) の効果が大きいことが分かる。また荷役故障検知は荷役作業改善よりも効果が小さいことも分かる。

以上のように、種々の IoT 技術の影響を変更パラメータとして付与することで、有効な IoT 技術を各評価軸の観点から各々比較しながら議論可能になる。

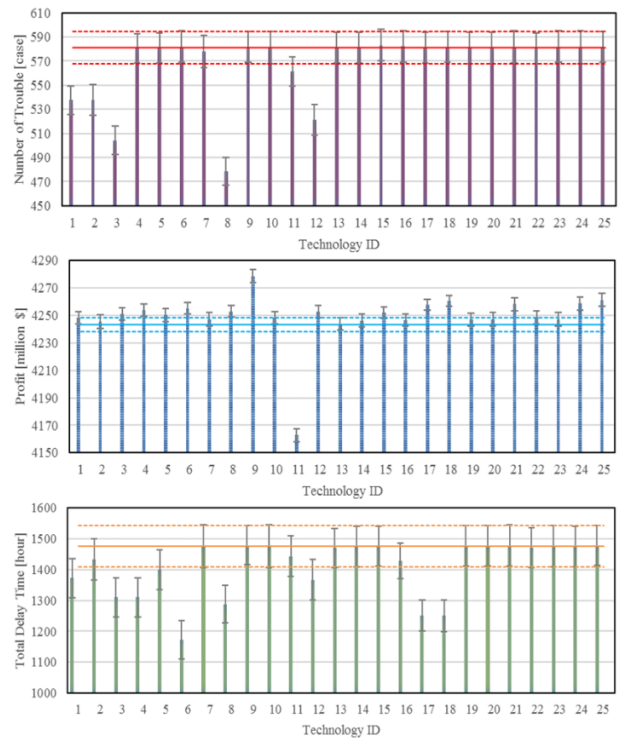


図 4: IoT 技術導入効果の評価結果

### 4.2 評価結果

各 IoT 技術導入による事故数・故障数、運航利益、遅延時間のシミュレーション結果を図 4 に示す。横軸の ID は表 1 中の ID と対応しており、エラーバーは 1000 回のモンテカルロシミュレーションの標準偏差を示している。また IoT 技術導入を考慮しない場合の平均値、標準偏差をそれぞれ実線と点線で示した。

事故・故障数の低減を主目的とした場合、荷重制御支援 (荷重軽減) (ID. 8) の効果が高いことが分かる。荷重制御支援技術は船体疲労度と船用機器疲労度の両方を軽減することで、複数箇所の故障を削減するためだと考えられる。運航利益の向上を主目的とした場合、荷重制御支援技術 (船体重量軽減) (ID. 9) の効果が最

### 4.3 技術成熟度を考慮した検討

IoT 技術の技術成熟度の違いを想定して複数のパラメータ変更値で評価を行い、IoT 技術のパラメータ値の感度や技術成熟度向上の効果について考察した。図 5 に技術成熟度を考慮した評価結果を示す。i が技術成熟度の低い場合、ii が中程度、iii が高い場合の評価値である。なお、4.3 では ii の値を用いている。

事故・故障数の観点では、船用機器モニタリング (ID. 1、ID. 2、ID. 3) と荷重制御 (ID. 8)、ウェザールーティング (ID. 12) の効果が大きい。これらの技術は遅延時間に関しても同様の関係がある。運航利益の観点では、荷重制御支援技術 (ID. 9) の感度が高く、遅

延時間の観点では、船用機器メンテナンス（補機）の向上（ID. 6）と荷役関連技術（ID. 17、ID. 18）の感度が大きいことが分かる。

上述した IoT 技術は、妥当な評価を下すためには技術成熟度の精査が必要である一方で、開発レベルに応じて価値向上が期待できる。技術成熟度を考慮した検討によって、技術成熟度の精査が必要な技術や積極的な投資の価値がある技術を議論できる。

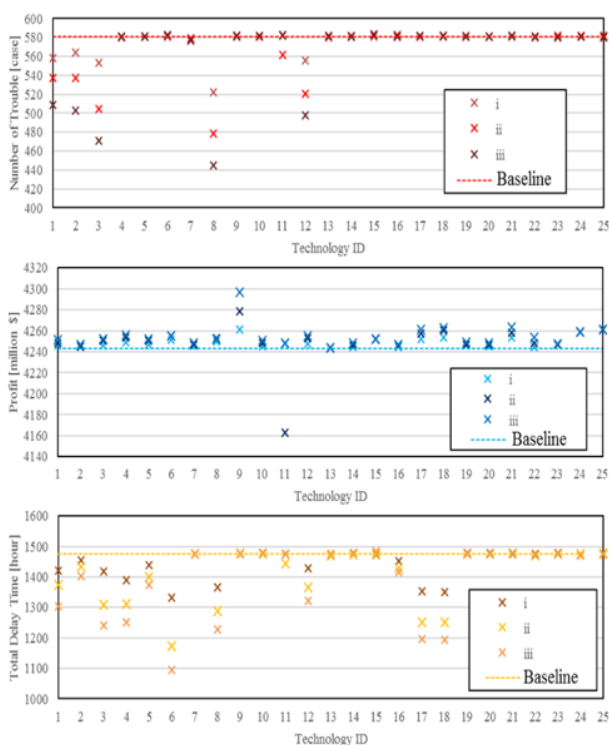


図 5: 技術成熟度を考慮した評価結果

## 5 考察

本研究では、海事産業における IoT 技術の導入効果を荷主の QCD を評価軸として選定することで一元的に評価した。一方で、多種多様な IoT 技術の中には環境安全性や CSR など、本研究で定義した評価軸では十分に評価できないものも存在する。その場合、本研究と同様の分析手順で要求定義・機能分析を行うことで、評価軸、評価機能およびシミュレータの必要要件の決定が可能であると考えられる。

また、本研究では導入の過程で発生する新たな付加価値や技術的困難性および開発コストに関しては検討していない。これらの検討が必要になった場合は、本研究ではその都度、設定値を変更することでの対応を想定しており、再検討の容易さという側面でも本手法は有用であると考えられる。

船舶運航シミュレーションでは一隻の船の運航を想

定したが、IoT 技術の中には船団に導入することで効果を発揮するものや船種によって効果が異なるものも存在する。この場合はシミュレーションのモデルを新たに作成する必要がある。

## 6 結論

本研究では、海事産業において導入検討され得る様々な IoT 技術を対象に導入効果を比較評価することを目的として、海事産業の分析に基づいて IoT 技術の評価軸と評価機能を選定し、船舶運航サービスの QCD を評価軸とした、運航・荷役・入渠からなる船舶運航シミュレータを作成した。

ケーススタディにおいて、本提案手法を用いた 25 個の多様な IoT 技術導入評価を行い、QCD の観点から各々の導入価値を相対的に評価・判断できることを示し、本手法の有用性を確認した。また、技術成熟度を考慮した感度解析によって、IoT 技術の成熟度精査の必要性や導入開発の投資の程度についても議論することができた。

## 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金（基盤 (B) 15H04208）の助成を受けて実施したものである。ここに深く謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 安藤英幸: 環境負荷低減のための運航モニタリング, 計測と制御, Vol. 50, No. 6, pp. 398–404 (2011)
- [2] E. Crawley, B. Cameron, D. Selva: Systems Architecture, PEARSON, (2016)
- [3] M. Kinnunen: Complexity Measures for System Architecture Models, Master thesis, Massachusetts Institute of Technology System Design and Management Program, (2006)
- [4] B. Cameron, E. Crawley, G. Loureiro, E. Rebenitsch: Value flow mapping: Using networks to inform stakeholder analysis, Acta Astronautica, Vol. 62, pp. 324–333 (2008)
- [5] 稗方和夫, 満行泰河, Moser Bryan, 大和裕幸, 齋藤智輝, 和中真之介: リアルオプションを導入した船舶のライフサイクル価値向上に関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol. 23, pp. 231–237 (2016)