

# システムシンキングによる 意思決定のための知識伝承

東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻  
准教授 稗方 和夫

Kazuo Hiekata, Associate Professor  
Graduate School of Frontier Sciences,  
The University of Tokyo



GLOBAL TEAMWORK LAB

## 概要



GLOBAL TEAMWORK LAB

知識や経験の伝承は、産業現場や社会制度の現行オペレーションの維持継続が目的である。一方で、企業や社会の重要な課題を取り巻くシステムはAIやIoTといった近年の技術の浸透により複雑化・大規模化が進んでおり、過去の経験に基づいた意思決定が必ずしも有効ではない。今後は蓄積されている知識や経験をシステムシンキングにおける対象のモデル構築に活用し、モデルベースで意思決定を行うプロセスの組織への実装が有益と考えられる。

本発表ではシステムシンキング、モデルベースの意思決定のための手法とケース、また、知識伝承との関係について述べる。

	経験による対応	形式知による経験の代替	人間の能力(経験)を超える大規模システムの管理
製品複雑度のイメージ(車載マイコン数)	1980年代 10個程度	2000年の車載マイコン50個程度	2015年以降の車載マイコン最大200個
	経験ベース	ルールベース	システムズシンキング・モデルベース
意思決定根拠	暗黙知や経験に基づいた意思決定	マニュアル、作業標準、技術文書等で示される形式知による意思決定	Needs、Intent、Function、Formによるシステムモデル記述を中心とした形式知化
伝承方法および伝承品質	OJT等により伝承し、伝わる内容は個人の資質に依存 伝承された個人によりプロセスを維持	文書等により形式知化された内容を伝承理解を伴わなくともルールによりプロセスの反復が可能 AI/情報技術の支援が有効	システムとしての理解を伝承 ルールベースによる知識伝承と併用してプロセスを維持

## 目次

- システム思考・システムズアプローチによる意思決定
  - Stakeholder Analysis
  - システムモデリング
  - モデルベース意思決定
- ケーススタディ
- システムシンキングによる意思決定のための知識伝承

- ▶ ステークホルダーの関係性の記述、また、対象とするシステムの設計において注目すべき特定のステークホルダーのニーズを明確に定義する。通常は対象とするシステムの規模と複雑性から完全なモデルの記述が困難であるが、後の工程で最良なモデルへとRe-Designする前提で初期のシステムモデリングを行う

## SYSTEM THINKINGによる意思決定

### システムズシンキング・システムズアプローチ

GLOBAL TEAMWORK LAB

対象をシステムとしてとらえること。組織への実用を指向するため、本プログラムでは以下の流れに限定している。

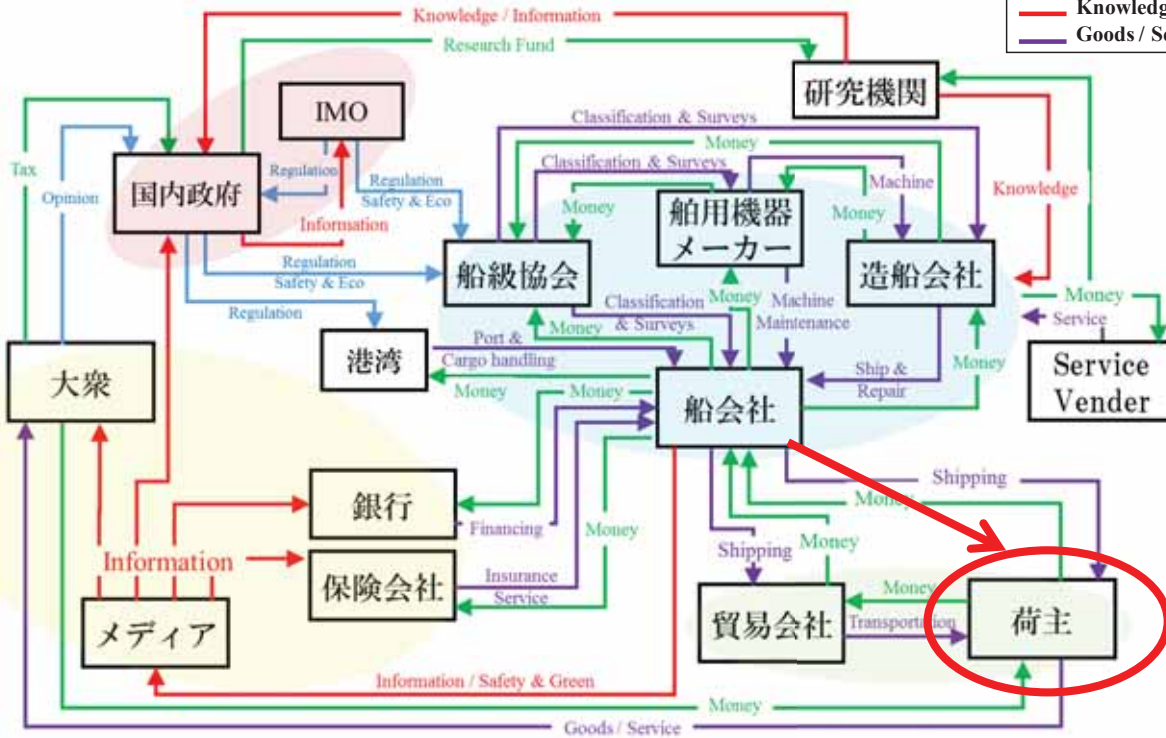
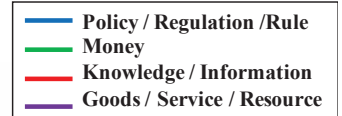
1. システムの価値の明示化
  - システムシンキングの手法により、ステークホルダーとそのニーズを明示的に(再)定義することで対象とするシステム境界を記述
2. モデルベースでのシステムアーキテクチャとシステムズエンジニアリング
3. チーム作業によるシステム再設計
  - 多様な構成のチームによる協働やワークショップを通じた、より良いシステムの設計解の探索

# 利害関係者の分析と受益者の選定



GLOBAL TEAMWORK LAB

## 海運業のValue Flowと受益者の選定



## 受益者の期待の定義・システムモデリングと意思決定



GLOBAL TEAMWORK LAB

### Expectation

Focal Stakeholder  
の期待

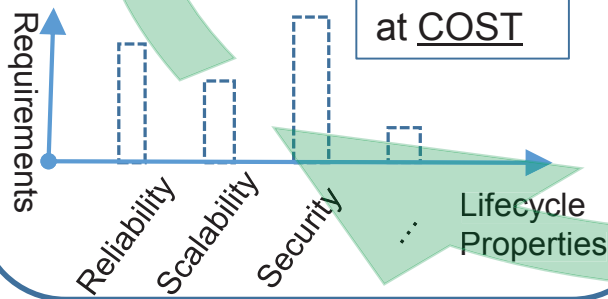
#### Needs/Intent

ユーザーにとっての第一の目的  
例：貨物を出発地から目的地に移動すること



#### Lifecycle Properties/ilities

サービスに付帯する各属性への要求  
主観的・属人的であることもあり明示的な認識が困難



### Architecting

機能(Function)をサブシステム(Form)の組み合わせで実現し、Needsを充足

### Engineering

トレードオフの関係にある各属性のパフォーマンスを設計  
同一水準でのコスト削減



### Decision Making / Implementing

シミュレーションや実験のデータの精度や人間系の不確実性等を検討し、意思決定・実装・評価



荷主のNeeds/Intent	Lifecycle Properties (ilities)
(Needs)目的地にある貨物があるとビジネス上メリットがある	信頼性
(Intent) 貨物を出発地から目的地に移動したい	定時性
	環境性
	...

SE(青):  
システムの評価軸となるべきLifecycle Propertiesのトレードオフの検討

SA(赤):  
FunctionとFormを結ぶConcept決定を含むNeedsを満たすForm群で構成されるシステム

Function		Form
海上輸送	貨物の搭載	貨物艙
	浮力	船殻
	<b>Concept</b>	水中翼
	推進	主機+プロペラ
	...	

Function		Form
航空輸送	貨物の搭載	貨物艙
	...	

## モデルベースでの意思決定支援



### Morphological Matrix (MM)

Concept  
設計項目  
  
重要な設計  
項目

Decision	alt A	alt B	alt C	alt D	alt E	alt F	alt G
Number of Crew	3	4	5				
Number of Crew Compartments	1	2					
Number of Propellant Stages	2		4				
Prop Type -- Stage 1	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50				
Prop Type -- Stage 2	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50				
Prop Type -- Stage 3	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50	N/A			
Prop Type -- Stage 4	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50	N/A			
Stage / Maneuver Assignments	type A	type B	type C	type D	type E	type F	type G
Moon LV Solution	Ares Iplus / Ares V	AresIminus / Ares V	Ares V only				
ISS LV Solution	Ares Iplus	Ares Iminus	Foreign	COTS			

Willard Lennox Simmons (2008): A Framework for Decision Support in Systems Architecting, Doctoral thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology.

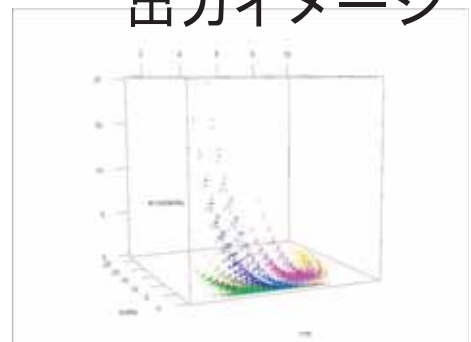


Conceptや不確実性によるLife Cycle Properties (ilities)への影響をモデルにより評価

専門性は全体の意思決定よりも専門領域内のモデル構築に貢献

Life Cycle Properties (ilities)間のトレードオフの可視化による合意形成

### 出力イメージ



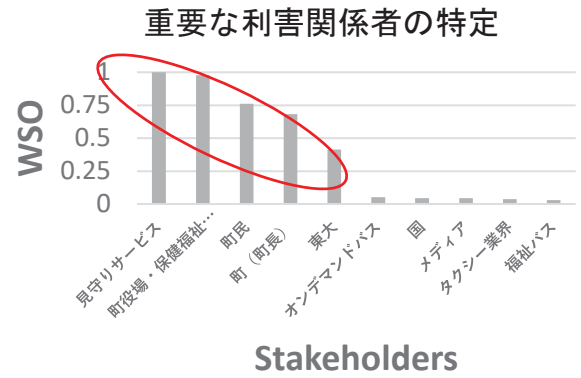
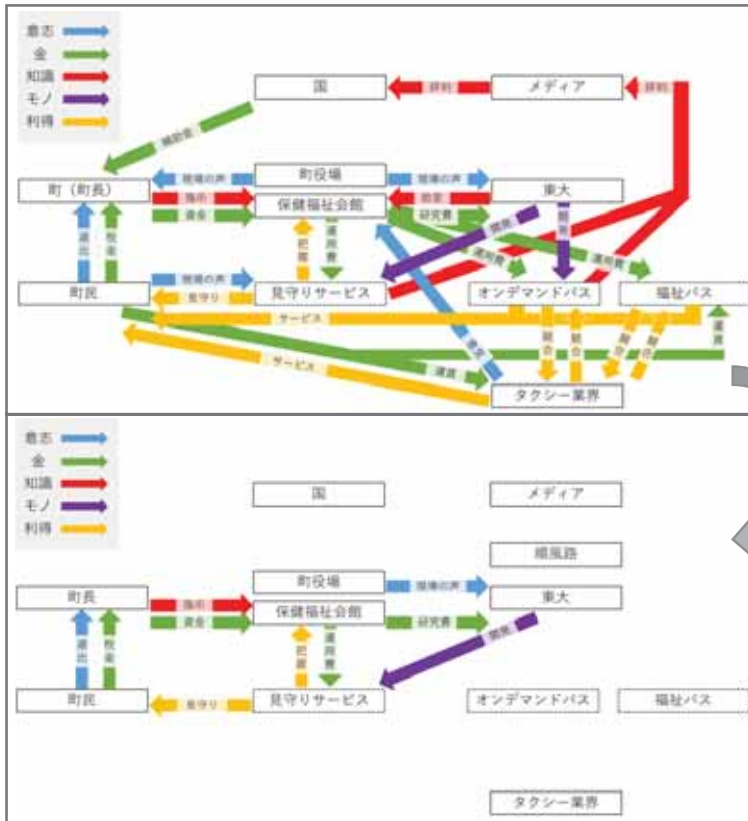
# STAKEHOLDER ANALYSIS

## Stakeholder Analysis



GLOBAL TEAMWORK LAB

- 利害関係者は意思決定を行うコンテキストにおいて利害関係をもつ主体である。システム全体を考えた設計をする上で、日本語では「利害関係者」と訳されることが多い「Stakeholder」という存在が重要になる。FreemanはStakeholderを” any group or individual who can affect or is affected by the achievement of the organization’s objectives”と定義した。



分析\*による重要な要素の特定

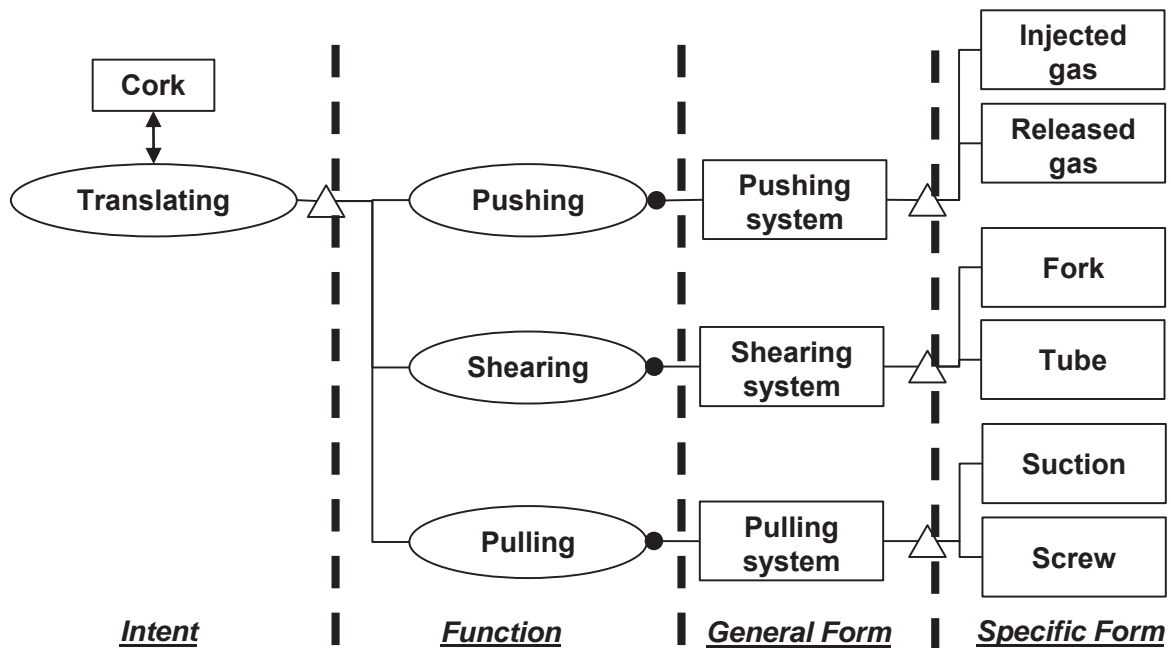
\* Wen Feng 氏: Understanding the Impacts of Indirect Stakeholder Relationships – Stakeholder Value Network Analysis and Its Application to Large Engineering Projects, Massachusetts Institute of Technology Sloan School Working Paper 4978-12.

## Stakeholder Analysisの目的

- 特定のプロジェクトや目的に対して、フォーカスすべきstakeholderやvalue flowを選定すること
  - 影響を及ぼす利害関係者とその関係性の記述
  - 受益者とそのニーズの定義
  - 定義したニーズにとって、重要なライフサイクルプロパティの選定
- 次ステップでは選定したstakeholderやvalue flowを中心に、そのneedsを実現しているfunction/formの記述を行う

# モデルベース設計

## システムモデリング言語 Object Process Methodology(OPM)による機能モデル



栓抜きのOPMIによる分析例

Edward Crawley, et al : System Architecture, PEARSON, (2016) をもとに著者が編集



## (参考) 用語の定義



用語	定義
Object	実体となりうる 物理的な存在あるいは理解可能な概念 プロセスにより変化する状態を持つ 名詞と関連付けられる
Needs	必要性 全体的な要望 不足しているものへの願望 システムが特定のBeneficiaryのために達成すべき第一の目的 Needsは関係の深いLifecycle Propertiesを持つ e.g. 物流であれば、荷主をBeneficiaryとしたときのNeedsは貨物を目的地に運ぶことであり、信頼性、定時性等のLifecycle Propertiesが関連付けられる
Intent	便益を表現するための変数の定義と、(対象の変数を変化させる)変換プロセスからなる e.g. 海上物流であれば、「貨物の位置」という変数に、「船による移動」という変換プロセスを割り当てる 貨物が流体であれば、「貨物の位置」という変数に、「パイプラインによる輸送」という変換プロセスを割り当てることも可能である

## (参考) 用語の定義



用語	定義
Function	システムの挙動であり、動詞形で示される プロセスとそのプロセスの対象(オペランド)として定義される 発生(emerge)する 実現・実装にはFormが必要である 便益に関連付けられる
Form	実在するシステムであり、名詞形で示される 構造を持つオブジェクトとして定義される 集合体であり、要素への分解が可能である 機能を実現する コストに関連付けられる

# (参考)ニーズと機能のモデリング



用語	定義
Value	Costに対するBenefit
Benefit	主観的な便益 NeedsとLifecycle Propertiesの組み合わせで表現される
Cost	システムのFormの実現および維持に必要な費用
Lifecycle Properties/ilities/ Non functional requirements	開発、運用、メンテナンスの要件のうち、考慮の必要なもの ライフサイクルプロパティ・イリティ・非機能要件 例: 信頼性、可用性、拡張性...

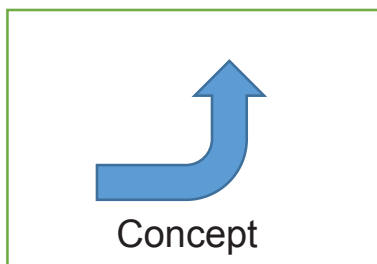
# (参考)ニーズと機能のモデリング



用語	定義
Concept	Function(Benefit)とForm(Cost)の関連付け Functionを実現するためのFormの基本方針を包含 Formの抽象概念を含む
Architecture	FunctionにFormを詳細に割り当てたもの Function(Benefit)とForm(Cost)が描く曲線上の一点の詳細化

モデリングにはOPM(Object Process Methodology)の利用を想定

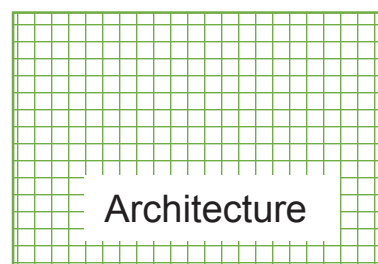
Function  
(Benefit)



Concept

Form (Cost)

Function  
(Benefit)

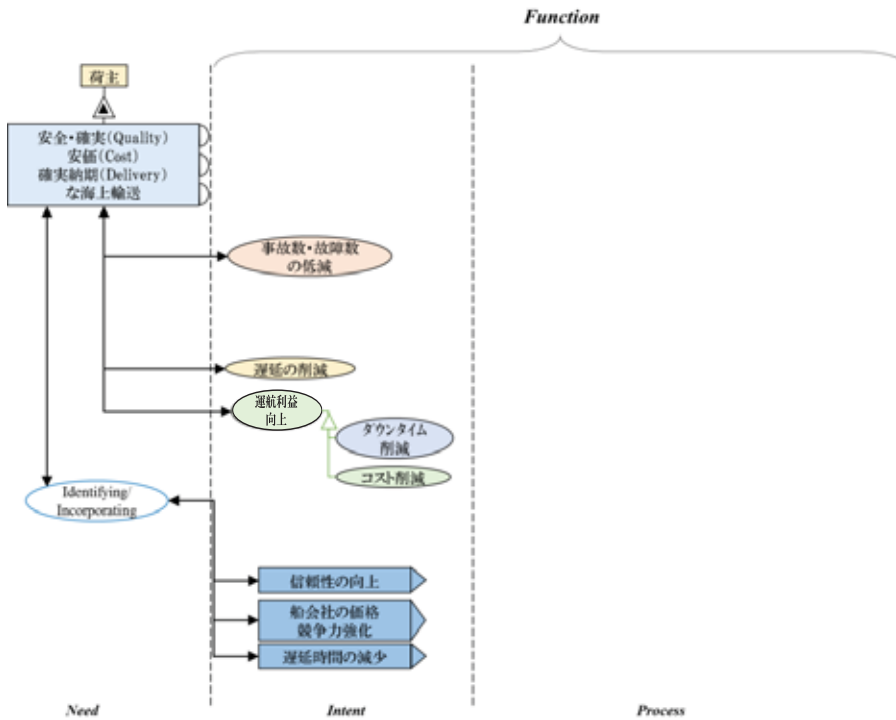


Architecture

Form (Cost)

# 海上物流システムの機能のモデリング例

- ニーズやイリティを達成するためのIntentの定義



- 受益者: 荷主
- ニーズ: 荷物を目的地に移動
- イリティ: QCD

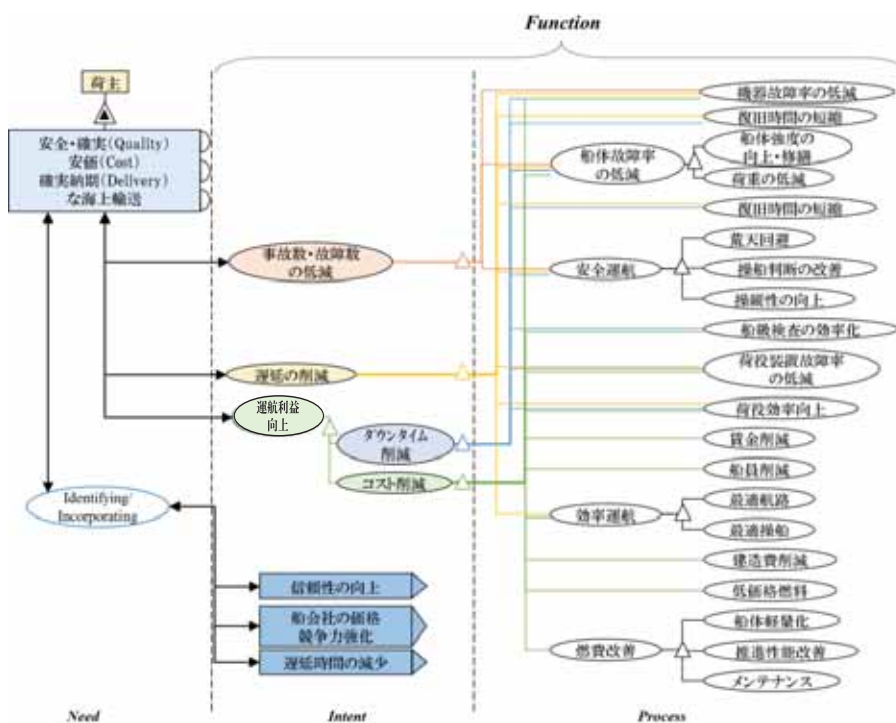
**Q: 安全・確実な運航**  
→ 事故・故障数の低減

**C: 安価な運航**  
→ 運航利益の向上

**D: 納期確実な運航**  
→ 遅延時間の削減

# 海上物流システムの機能のモデリング例

- Functionの定義



- 受益者: 荷主
- ニーズ: 荷物を目的地に移動
- イリティ: QCD

**Q: 安全・確実な運航**  
→ 事故・故障数の低減

**C: 安価な運航**  
→ 運航利益の向上

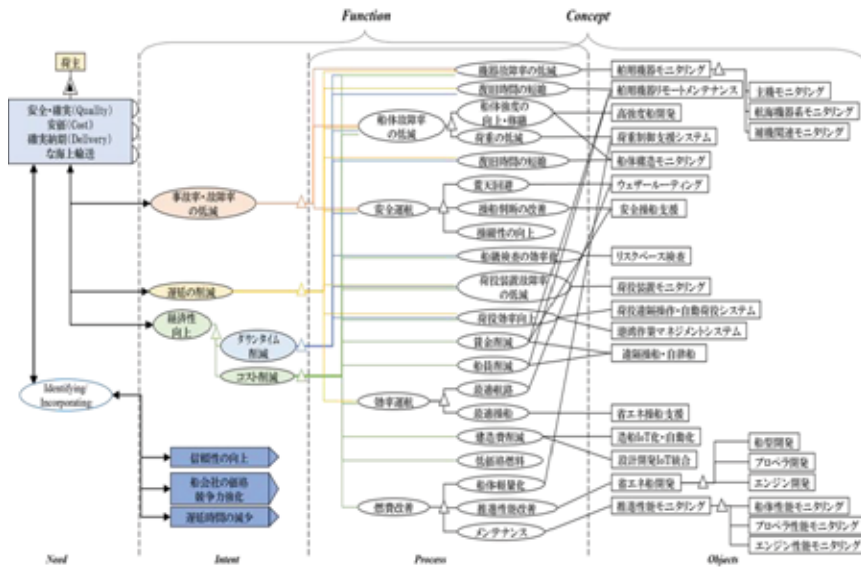
**D: 納期確実な運航**  
→ 遅延時間の削減

• Intentと機能(function)の定義

# 海上物流システムの機能のモデリング例

## • Concept (Function - Form)の決定

※参考文献をもとに想定されるIoT技術を選定、  
定量化可能なレベルまで機能を詳細化



IoT技術 (Form)	機能 (Function)	詳細機能
船用機器モニタリング	機器故障率の低減	機器故障率 [case/k]: ↓
船用機器リモートメンテナンス	機器復旧時間の短縮 船員数の削減	復旧時間 [h/case]: ↓ 船員数 [man]: ↓
高機能船舶	船体強度の向上	船体強度寿命 [case/k]: ↑
荷役制御支援システム	船体荷重の低減 船体軽量化	荷重分布: 改善 船体重量 [ton]: ↓
船体構造モニタリング	船体復旧時間の短縮 船体強度の低減	修復時間 [h/case]: ↓ 入港時間: 改善
ウェザースーティング	悪天回避 着工最適化	遭遇船舶の確率分布: 改善
安全船舶支援	船舶判断の改善 船員負担の削減	事故率 [case/voyage]: ↓ 船員負担 [h/man・month]: ↓
リスクベース検査	船舶検査の効率化	検査費 [円]: ↓ 検査時間 [h]: ↓
荷役結果モニタリング	荷役装置故障率の低減	荷役装置故障率 [case/h]: ↓ 復旧時間 [h/case]: ↓
荷役遠隔操作・自動荷役システム	荷役効率の向上	荷役時間 [h]: ↓ 荷役装置稼働率 [case/part]: ↓ 荷役遅延時間 [h/case]: ↓
遠隔作業マネジメントシステム	荷役効率の向上	荷役費 [円]: ↓ 荷役遅延率 [case/part]: ↓ 荷役遅延時間 [h/case]: ↓
遠隔船舶・自律船	船員負担の削減 船員数の削減	船員負担 [h/man・month]: ↓ 船員数 [man]: ↓
省エネ船舶支援	省エネ最適運転	燃費分布: 改善
造船IoT化・自動化	建造費の削減	建造費 [円]: ↓
設計開発IoT統合	建造費の削減	建造費 (設計費) [円]: ↓
省エネ船舶開発	燃費効率の向上	燃費削減 [kg]: ↓ プロベナ燃費 [BHP/BHP]: ↑ エンジン燃費 [BHP/wh]: ↑
推進性能モニタリング	メンテナンス	入港時間: 改善

トレードスペース

# Morphological Matrix



GLOBAL TEAMWORK LAB

- Morphological Matrix (MM) は、Fritz Zwicky が 1950年代に提唱した説明変数を表形式で網羅的に表す一般的な技法である。MMは意思決定支援ツールとして、PahlらやRitcheyなど多くの研究者によって使い方が提案されている。
- MMの例を示す。行には説明変数、列には説明変数ごとの選択肢 (alternative、alt) が列挙されている。

意思決定項目

Decision	alt A	alt B	alt C	alt D	alt E	alt F	alt G
Number of Crew	3	4	5				
Number of Crew Compartments	1	2					
Number of Propellant Stages	2	3	4				
Prop Type -- Stage 1	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50				
Prop Type -- Stage 2	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50				
Prop Type -- Stage 3	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50	N/A			
Prop Type -- Stage 4	LOX/LH2	LOX/LCH4	N2O4/Aerozine-50	N/A			
Stage / Maneuver Assignments	type A	type B	type C	type D	type E	type F	type G
Moon LV Solution	Ares Iplus / Ares V	Ares Iminus / Ares V	Ares V only				
ISS LV Solution	Ares Iplus	Ares Iminus	Foreign	COTS			

Willard Lennox Simmons (2008): A Framework for Decision Support in Systems Architecting, Doctoral thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology

18 March 2015 GTL



25

# Pareto Front View

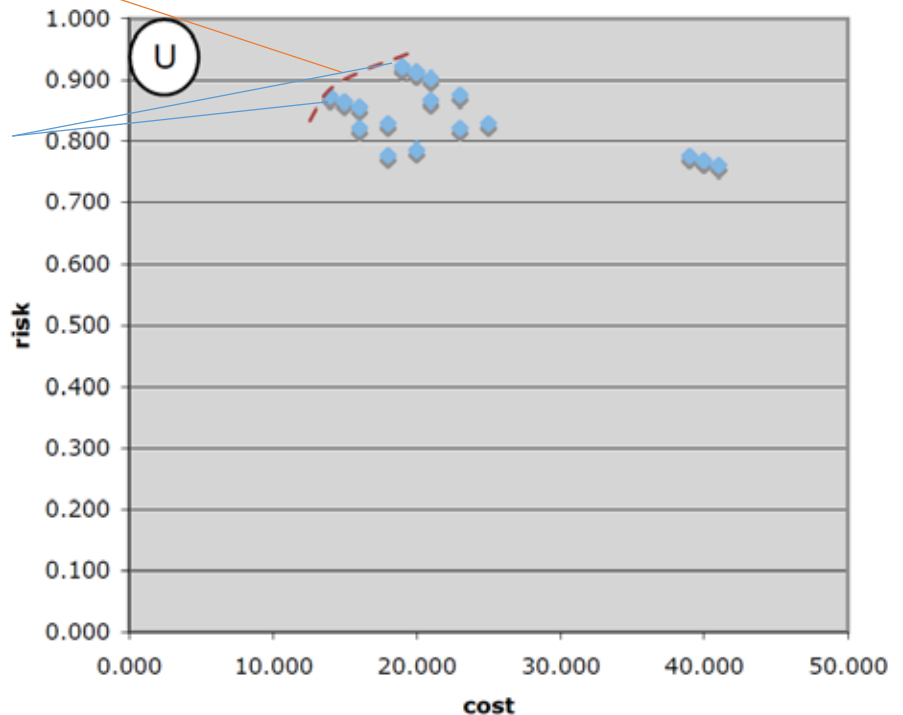


GLOBAL TEAMWORK LAB

## Pareto Front View

cost vs. risk

Possible Combination



26

- MMに記述された実行可能な選択肢のうち、以下の2つが特に大きいものをArchitectural Decisionと呼ぶ

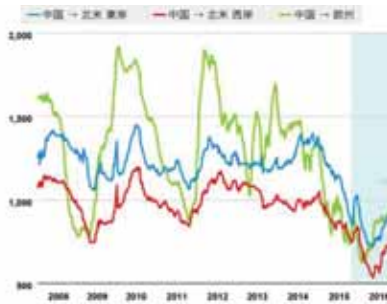
Connectivity (他のサブシステムへの依存度)

Sensitivity (パフォーマンスへの感度)

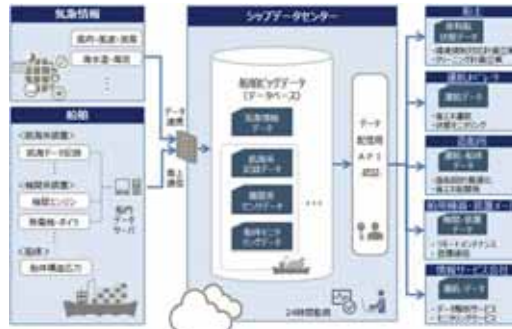
CASE STUDY

# 海上物流システムへのIoT技術導入への適用事例

- 近年の海事産業界の不況により、競争力強化が不可欠
  - コンテナ船18社が14社に集約
  - 国内海運大手3社のコンテナ船事業統合
- 産業界全体で情報通信技術が発展。IoT技術の利活用。
  - 海事産業でもIoT技術導入の検討



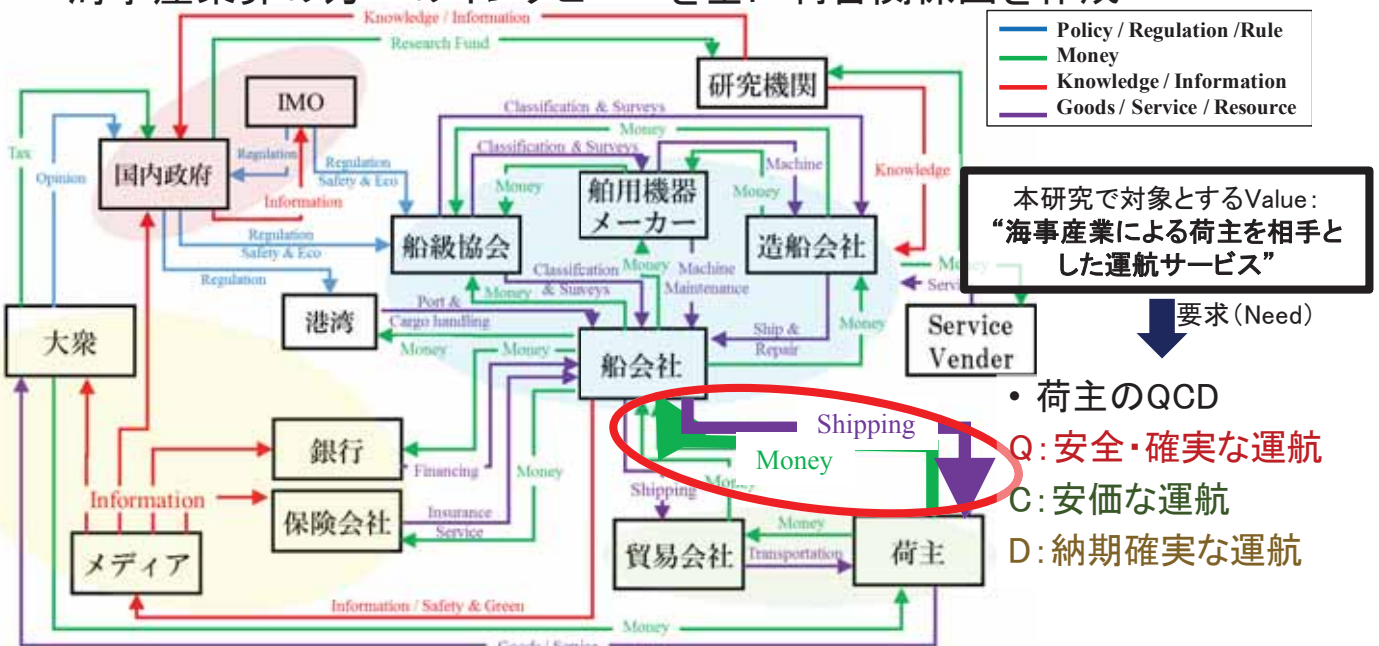
近年の海運市況(日本郵船HPより)



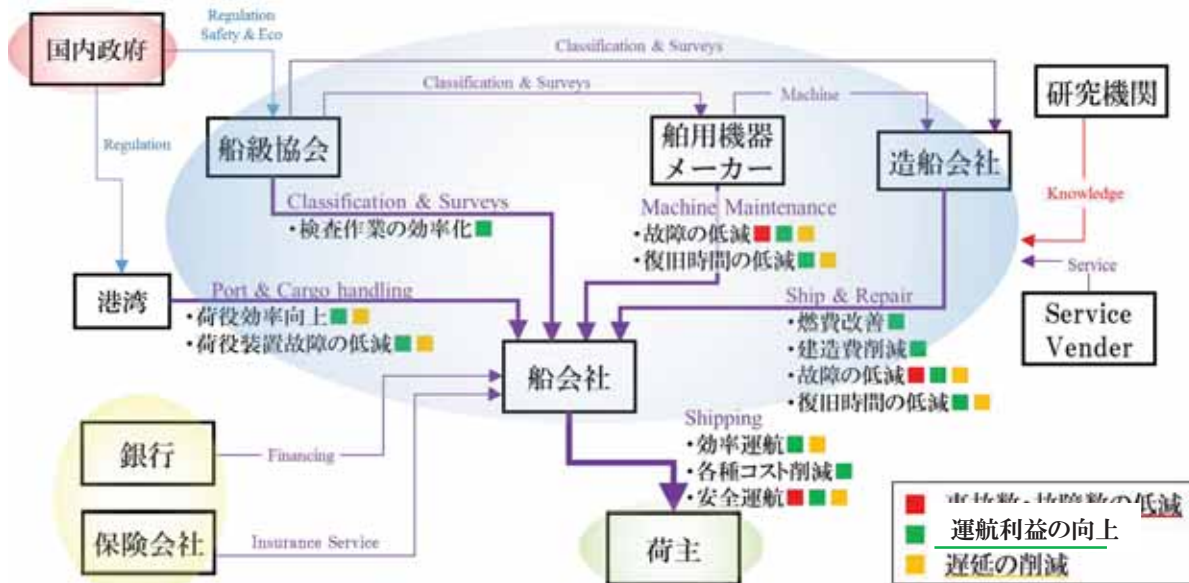
船舶ビッグデータプラットフォームのシステム概要(富士通HP)

# Stakeholder分析

- 海事産業界の方へのインタビューを基に利害関係図を作成



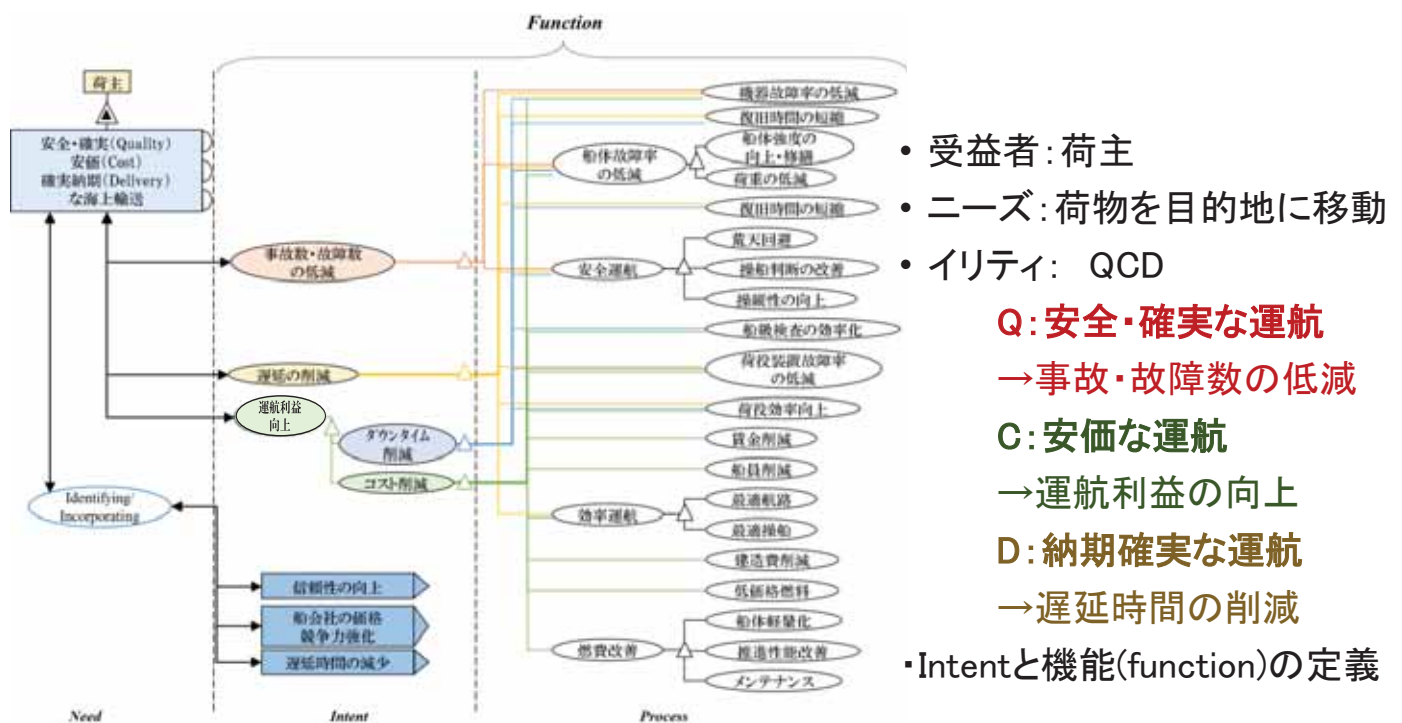
# ニーズとイリティ充足のための機能



- 荷主にとっての運航サービス向上に影響が大きい要因(参考文献とインタビューを基に作成)

## 海上物流システムの機能のモデリング例

- Functionの定義

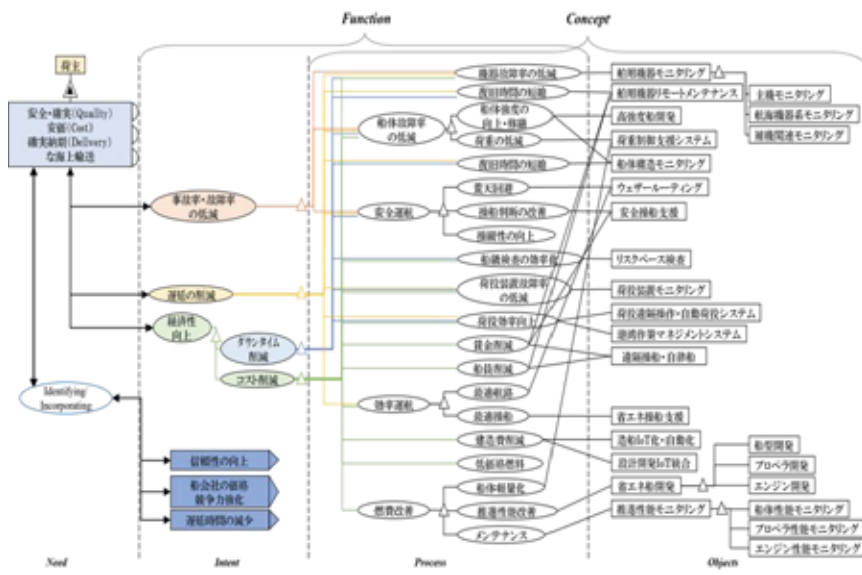




# 海事産業システムの機能の記述

## IoT技術と海上物流システムの関連付け

※参考文献をもとに想定されるIoT技術を選定、  
定量化可能なレベルまで機能を詳細化



IoT技術 (Form)	機能 (Function)	詳細機能
船舶機器モニタリング	機器故障率の低減	機器故障率 [case/k]: ↓
船舶修理モニタリング	機器修理時間の短縮 船員数の削減	修理時間 [h/case]: ↓ 船員数 [man]: ↓
高機能船舶	船体強度の向上	船体強度寿命 [case/k]: ↑
荷役制御システム	船体荷重の低減 船体軽量化	荷重分布: 改善 船体重量 [ton]: ↓
船体構造モニタリング	船体修理時間の短縮 船体強度の維持	修理時間 [h/case]: ↓ 入港時期: 改善
ウェアラブルモニタリング	寛大回廊 省エネ最適航路	遭難海象の発生分布: 改善
安全船舶支援	船舶判断の改善 船員資金の削減	事故率 [case/voyage]: ↓ 船員資金 [\$/man・month]: ↓
リスクベース検査	船舶検査の効率化	検査費 [\$/]: ↓ 検査時間 [h]: ↓
荷役装置モニタリング	荷役装置故障率の低減	荷役装置故障率 [case/h]: ↓ 荷役時間 [h/case]: ↓
荷役遠隔操作・自動荷役システム	荷役効率の向上	荷役時間 [h]: ↓ 荷役遅延率 [case/part]: ↓ 荷役遅延時間 [h/case]: ↓
連携作業マネジメントシステム	荷役効率の向上	荷役費 [\$/]: ↓ 荷役遅延率 [case/part]: ↓ 荷役遅延時間 [h/case]: ↓
遠隔操作・自律船	船員資金の削減 船員数	船員資金 [\$/man・month]: ↓ 船員数 [man]: ↓
省エネ船舶支援	省エネ最適航路	燃費分布: 改善
遠隔IoT化・自動化	建造費の削減	建造費 [\$/]: ↓
設計開発IoT統合	建造費の削減	建造費 [\$/]: ↓
省エネ船開発	燃費効率の向上	船体抵抗 [kg]: ↓ プロペラ効率 [RHP/RHP]: ↑ エンジン効率 [RHP/HP]: ↑
推進性能モニタリング	メンテナンス	入港時期: 改善

## シミュレータの基本設定

### ・シミュレータの基本設定



料荷モデル/所要時間パラメータ				燃費モデルのパラメータ			
パラメータ名	記号	単位	値	パラメータ名	記号	単位	値
シミュレーション回数	N <sub>sim</sub>	[number]	1,000	船速	V	[kn]	24.0
ライフサイクル期間	L <sub>TC</sub>	[year]	20	淡水消費	S	[m <sup>3</sup> ]	13,301
一航路回遊	I	[3-wayage]	12	船空重量	W	[t]	1
	I	[3-wayage]	1	積込燃料消費係数	C <sub>fuel</sub>	[t]	-1.07E-06
燃料価格	P <sub>fuel</sub>	[\$/ton]	300	C <sub>fuel</sub>	[t]		7.44E-06
航路長	D	[km]	8,843	C <sub>fuel</sub>	[t]		4.23E-06
運航船速	v	[knot]	19	船体重量	W <sub>hull</sub>	[t]	0.85
船員数	P <sub>man</sub>	[\$/man・month]	1,000	プロペラ効率	η <sub>p</sub>	[%]	1.00
船員費	N <sub>man</sub>	[man]	20	プロペラ風損率	η <sub>w</sub>	[%]	0.80
入港料	C <sub>port</sub>	[\$]	100,000	船体重量	W <sub>hull</sub>	[t]	1.00
燃料費 (燃料)	C <sub>fuel</sub>	[\$/case]	1,000	船体重量	W <sub>hull</sub>	[t]	1.00
燃料費 (船)	C <sub>fuel</sub>	[\$/case]	10,000	エンジン最大出力	RHP <sub>max</sub>	[kW]	61,000
事故対応費	C <sub>acc</sub>	[\$/case]	100,000	燃料消費率係数	SFOC <sub>1</sub>	[g/kWh]	191.660
運送費	C <sub>car</sub>	[\$]	200,000,000	SFOC <sub>2</sub>	[g/kWh]		-45.578
貨物費	C <sub>car</sub>	[\$/part]	50,000	SFOC <sub>3</sub>	[g/kWh]		25.514
運賃	C <sub>car</sub>	[\$/part]	50,000	船体効率低下率	η <sub>hull</sub>	[%/month]	0.002
船体重量	C <sub>car</sub>	[\$/hour]	10,000	プロペラ効率低下率	η <sub>p</sub>	[%/month]	0.001
標準的な航路	T <sub>car</sub>	[hour/part]	48	エンジン効率低下率	η <sub>e</sub>	[%/month]	0.001
入港料発生時間	T <sub>port</sub>	[hour]	96	船体効率低下率	η <sub>e</sub>	[%/month]	0.015
燃費モデルのパラメータ				燃費モデルのパラメータ			
パラメータ名	記号	単位	値	パラメータ名	記号	単位	値
船体重量	W <sub>hull</sub>	[t]	(129600.1)	プロペラ効率低下率	η <sub>p</sub>	[%/month]	0.010
主機出力	P <sub>out</sub>	[t]	(11640.1)	気象影響係数	±SFOC	[%]	-0.0139
船体重量係数	W <sub>hull</sub>	[t]	(0.81.1)	±SFOC	[%]		0.0192
船体重量係数	W <sub>hull</sub>	[t]	(0.11.1)	±SFOC	[%]		-0.0071
事故率	P <sub>acc</sub>	[case/voyage]	0.001	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	0.0010
燃料費	P <sub>fuel</sub>	[\$]	4	船体重量	W <sub>hull</sub>	[t]	2
船体平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	24	W <sub>hull</sub>	[t]		2
主機平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	2.37	燃費モデルのパラメータ			
船体重量平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	0.93	燃料消費率係数	P <sub>fuel</sub>	[case/part]	0.10
運賃平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	2.15	運賃平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	12
事故対応平均航路時間	T <sub>car</sub>	[hour/case]	42	運賃時間係数	η <sub>car</sub>	[%]	2
燃費モデルのパラメータ				燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	2
パラメータ名	記号	単位	値	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	2
気象影響係数	η <sub>weather</sub>	[%]	2	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	0.010
燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	2	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	2
入港料発生率	N <sub>port</sub>	[t]	1	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	0.010
入港料発生率	N <sub>port</sub>	[t]	0	燃料消費率	η <sub>fuel</sub>	[%]	2

# 導入検討するIoT技術群とパラメトリックな表現

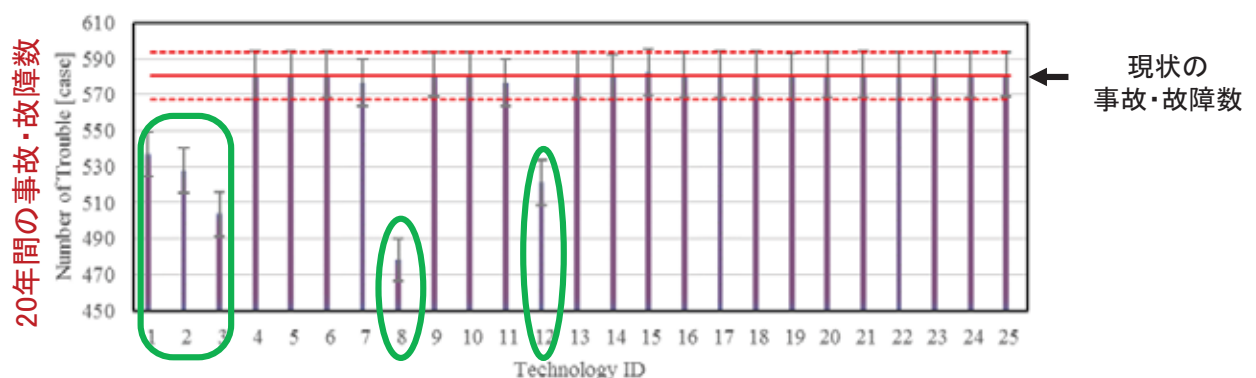
Tech ID	導入するIoT技術	変更項目	従来 →	変更後
1	船用機器モニタリング(主機)	主機故障率 [case/h]	$0.55 \times 10^{-4}$	$0.00 \times 10^{-4}$
2	船用機器モニタリング(航海機器)	航海機器故障率 [case/h]	$1.25 \times 10^{-4}$	$0.50 \times 10^{-4}$
3	船用機器モニタリング(補機)	補機故障率 [case/h]	$3.21 \times 10^{-4}$	$1.50 \times 10^{-4}$
4	船用機器リモートメンテナンス(主機)	主機修理時間 [h/case] 船員数 [man]	2.87 30	1 15
5	船用機器リモートメンテナンス(航海機器)	航海機器修理時間 [h/case] 船員数 [man]	0.55 30	0.5 15
6	船用機器リモートメンテナンス(補機)	補機修理時間 [h/case] 船員数 [man]	2.15 30	1.5 15
7	荷重制御開発	平均故障時間 [year]	15	30
8	荷重制御支援(荷重軽減)	一航海の積方分率 (←航海時間)	Beta(BF, A)	Beta(BF, A)
9	荷重制御支援(船体軽量化)	船体重量率	1	0.5
10	船体構造モニタリング(警報共有)	船体修理時間 [h]	24	15
11	モニタリングによる入港時間の柔軟化	入港時間	2.5年毎	検定判断の検定
12	ウェザールーティング	航海速度遅延率 (I-T)	Beta(B, D)	Beta(B, D)
13	安全操船支援(操船判断の改善)	事故率 [case/voyage]	0.001	0.0005

14	安全操船支援(船員金船員の雇用)	船員賃金 [\$/man*month]	1,000	→	2,500
15	リスクベース検定	船舶検定費用 [\$/] 船舶検定時間 [h]	10000 96	→	30000 48
16	荷役装置モニタリング	荷役装置故障率 [case/port] 荷役装置修理時間 [h/case]	0.01 24	→	0.005 12
17	荷役遠隔操作・自動荷役システム	荷役費 [\$/port] 荷役作業遅延率 [case/port] 荷役作業遅延時間 (h) [h-12h]	50,000 0.1 Beta(B, D)	→	45,000 0.05 Beta(B, D)
18	遠隔作業マネジメントシステム	遠費 [\$/port] 荷役作業遅延率 [case/port] 荷役作業遅延時間 (h) [h-12h]	50,000 0.1 Beta(B, D)	→	45,000 0.05 Beta(B, D)
19	遠隔操作・自律船	船員賃金 [\$/man*month] 船員数 [man]	1,000 20	→	2,500 10
20	省エネ船舶支援	機軸燃料消費増加率 (0-0.1)	Beta(B, D)	→	Beta(B, D)
21	造船IoT化・自動化	建造費 [\$/]	$200 \times 10^6$	→	$180 \times 10^6$
22	設計開発IoT統合	建造費 [\$/]	$200 \times 10^6$	→	$180 \times 10^6$
23	省エネ船開発(船型)	建造船体係数 ( $C_w, C_D, C_R$ )	$-10.975 \times 10^{-4}$ $7.4173 \times 10^{-4}$ $4.2253 \times 10^{-4}$	→	$-9.5009 \times 10^{-4}$ $6.6036 \times 10^{-4}$ $3.8028 \times 10^{-4}$
24	省エネ船開発(プロペラ)	プロペラ単位効率 [%]	6.8	→	6.88
25	省エネ船開発(エンジン)	エンジン燃料消費効率 (SFOC, SFOC, SFOC)	191.06 -45.579 25.914	→	172.49 -41.020 22.902

設定値変更の観点: 文献などを参考に、数年以内に達成可能な尤もらしい値を設定

35

## IoT導入の評価結果(事故・故障数)

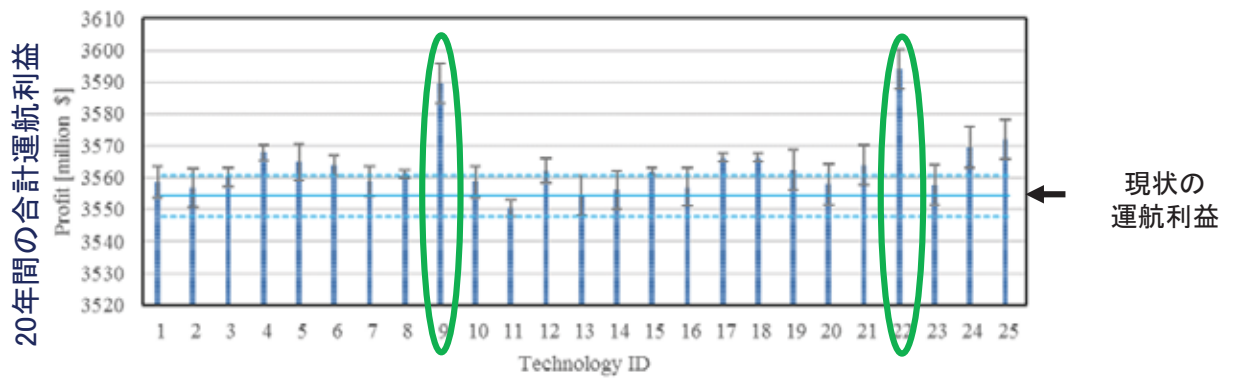


- ID. 1 船用機器モニタリング(主機)
- ID. 2 船用機器モニタリング(航海機器)
- ID. 3 船用機器モニタリング(補機)
- ID. 8 荷重制御支援(荷重軽減)
- ID. 12 安全操船支援(操船判断の改善)

- 故障回数が比較的多い箇所の故障を複数同時に制御可能な技術が優位にある

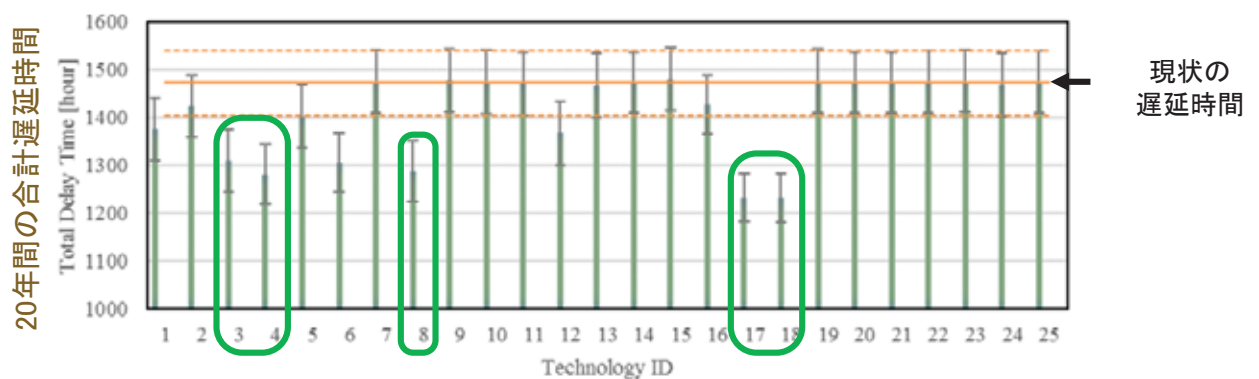
36

# IoT導入の評価結果(運航利益)



- ID. 9 荷重制御支援(材料費削減)
- ID. 22 設計開発IoT統合 (設計費削減)
- 船価削減に繋がる技術が優位にある

# IoT導入の評価結果(遅延時間)



- ID. 3 船用機器モニタリング(補機)
- ID. 4 船用機器リモートメンテナンス(主機)
- ID. 6 船用機器リモートメンテナンス(補機)
- ID. 8 荷重制御支援(荷重軽減)
- ID. 17 荷役遠隔操作・自動荷役システム
- ID. 18 港湾作業マネジメントシステム
- 故障回数が比較的多い箇所に影響を持つ技術、港湾の荷役作業の効率化を図る技術が優位にある。

# システムシンキングによる 意思決定のための知識伝承

## システムズアプローチとチームワーク



GLOBAL TEAMWORK LAB

- 専門性は全体の意思決定ではなく作成されるダイアグラムや専門領域内のモデル構築に貢献
- モデリングには正解がなく、多様な視点が必須
- 受益者のニーズ充足への影響が大きい要素の適切なモデル化が重要
- すべてのチームメンバーによる貢献とチーム作業での合意形成



# 参考文献



GLOBAL TEAMWORK LAB

- Edward Crawley, Bruce Cameron, Daniel Selva :  
System Architecture: Strategy and Product  
Development for Complex Systems 1st Edition,  
Pearson (April 25, 2015)



41

THANK YOU



GLOBAL TEAMWORK LAB