

SoS分科会活動報告書

一般社団法人 システムイノベーションセンター
System of Systems分科会
2024年12月18日

© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

SoS分科会活動報告書 目次

章	節	頁
1章 はじめに	1-1. 分科会の目的 1-2. 分科会メンバーと謝辞 1-3. 分科会スケジュール	2
2章 SoSの歴史と特徴	2-1. System of Systems とは 2-2. SoSの歴史 2-3. SoSの特徴 2-4. SoSの分類	7
3章 SoSからCPHSへ(Society 5.0)	3-1. Cyber Physical Human System(CPHS)とは 3-2. SoSからCPHSへの流れ 3-3. (参考) 人の要素の重要性	14
4章 SoSのアーキテクチャ	4-1. SoSのアーキテクチャの概要 4-2. SoSのアーキテクチャの重要性 4-3. 人の要素の統合：その技術外の側面	18
5章 アーキテクチャモデリング言語	5-1. モデリング対象に応じた代表的なアーキテクチャモデリング言語 5-2. ArchiMate -EAモデリング言語の国際標準- 5-3. Archi -EAモデリングのオープンソースソフトウェア-	22
6章 事例の分析	6-1. 目的と手法 6-2. 分析対象とした事例 6-3. ArchiMateによるモデリング	27
7章 まとめ	7-1. 得られた知見：SoS分類と「人」との関係性 7-2. 人の不合理性、不確実性について 7-3. 専門家との議論 7-4. 今後に向けて（提言に代えて）	53
8章 参考文献	8-1. 論文等 8-2. 事例	59
補足・参考資料	補足 1：第14回横幹連合コンファレンス 企画セッション 補足 2：分科会実施会合	65

© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

1章 はじめに

- 1-1. 分科会の目的
- 1-2. 分科会メンバーと謝辞
- 1-3. 分科会スケジュール

1-1. SoS分科会の目的

- ◆ 第5期科学技術・イノベーション基本計画にて策定されたSociety 5.0^[1]については、農業や医療など、様々な分野でその取り組みがなされている。
- ◆ これは、システムという観点で見ると、リアルな情報を収集し、サイバー上で分析・判断等を行い、リアルな制御へと繋げるという、Cyber Physical Systemと言える。
- ◆ 一方で、個々の領域ごとに「Society 5.0 for XX」が進んだとき、社会において、各領域は単独では存在せず相互に深く関連しており、複数の領域を統合・連携した社会全体システムをSystem of Systems (SoS) としてのモデル化と構築が重要と考える。
- ◆ 本分科会では、Society 5.0にて重要とされる「人間中心の社会」において、鍵となる構成要素の人に着目し、社会システム全体のモデル化に焦点を当てて、モデル化する際の課題や難しさを明らかにすることを目的とする。

[1] 内閣府, Society 5.0, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/

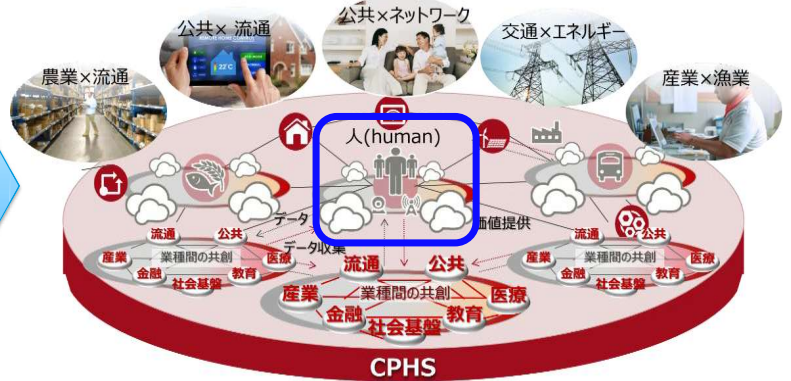
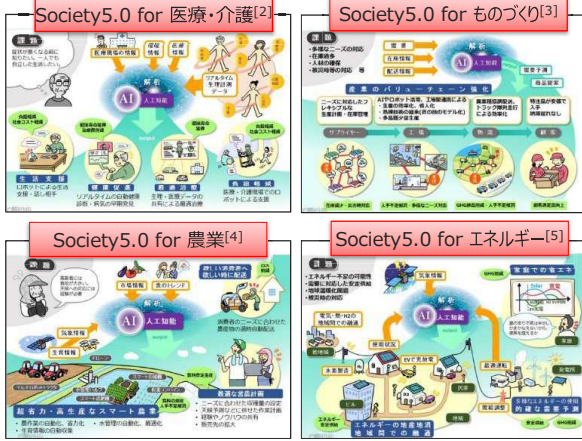
1-1. SoS分科会の目的

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、
経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会
(Society 5.0)

= Cyber Physical System

各領域は相互に深く関連しており、複数の領域を統合・連携した
社会システム全体をどう取り扱うか、モデル化と構築論が重要
各領域を渡り歩く人の扱いに着目 (総合知^[6])

= Cyber Physical **Human** System



本分科会では、鍵となる人の扱いに着目し、社会システム全体のモデル化に焦点を当てて、モデル化する際の課題や難しさを明らかにすることを目的とする

[2] 内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例(医療・介護), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/medical.html, [3] 内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例(ものづくり), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/monodukuri.html, [4] 内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例(農業), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/agriculture.html, [5] 内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例(エネルギー), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/energy.html, [6] 内閣府, 総合知ポータルサイト, <https://www8.cao.go.jp/cstp/sogochi/index.html>

1-2. 分科会メンバー一覧

◆ 主査: 藤田 政之 (金沢工業大学 教授)

◆ メンバ(敬称略 順不同):

- 慶應義塾大学: 鈴木 羽留香
- 株式会社日立製作所: 高橋 由泰
- 東芝デジタルソリューションズ株式会社: 中山 伊央, 田村 滋
- 横河電機株式会社: 鎌田 健一, 熊谷 渉, 奥田 有紀
- 日本総合研究所: 市原 紘平
- 電腦バンク株式会社: 浦田 敏
- 三菱重工業株式会社: 佐々木 裕一
- 富士通株式会社: 植木 美和, 柳沼 義典, 蜂谷 彰悟, 宮前 義彦, 増本 大器, 更科 渉

◆ 謝辞

- 下記の方々、分科会メンバーではありませんが、分科会や横幹連合コンファレンスなどにおいて、研究のご紹介^{[39][40][41][42]}や活発な議論をさせていただきました。SoSへの理解が深まり、分科会活動を大きく進展させることができました。ここに謝辞を記したいと思います。
- 慶應義塾大学: 西村 秀和 教授, 井上 正樹 准教授
- 富山大学: 平田 研二 教授
- 早稲田大学: 和佐 泰明 准教授
- 東京科学大学: 畑中 健志 教授

1-3. 分科会スケジュール

- ◆ 先端技術を包括的に捉えた CPS と人間を繋ぐ CPHS (Cyber Physical Human Systems) としてのシステムオブシステムズ研究が重要
- ◆ 課題に関して参加メンバーや各分野の専門家からヒアリングを行い、委員間で意見交換や討論を行う
- ◆ その結果を踏まえ、提言や具体的な施策に関する活動計画としてまとめることを目指す

タスク	タスク概要	2023年												2024年											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
スコープ整理	<ul style="list-style-type: none"> SoSの対象範囲の明確化 参加者同士の認識共有 有識者による講義等による理解の深化 	SoS基礎・手法学習							SoSと「人」の関係性について議論												▼有識者ヒアリング	▼有識者ヒアリング			
詳細検討／実装	<ul style="list-style-type: none"> 実践対象の抽出 アーキテクチャ検討 モデリングの実践 						事例研究					抽出事例をベースとしたアーキテクチャ検討					抽出事例をベースとしたモデリングの実践								
成果物作成	<ul style="list-style-type: none"> 横幹コンファレンス 発表 検討結果及び報告書の取り纏め 								OS企画/論文寄稿					▼横幹コンファレンス発表					報告書作成						

2章 SoSの歴史と特徴

- 2-1. System of Systems とは
- 2-2. SoSの歴史
- 2-3. SoSの特徴
- 2-4. SoSの分類

2-1. System of Systems (SoS) とは

- ◆ システム・オブ・システムズ (SoS) とは、独立して運用される複数のシステム (要素システム) が相互に連携し、全体として新たな機能や能力を提供する構造を指す。
- ◆ SoSの要素システムは独自の目的を持ちながら、相互作用を通じて全体の目標を達成するために協力する。
- ◆ SoSは、軍事、交通、通信などの複雑な分野で広く応用されている。

2-2. SoSの歴史 (1 / 2) (Alexら^[7])

- ◆ SoSの歴史は、複雑なシステムの理解と管理の進化を反映している。

- ◆ SoSの歴史的発展の主要ポイント^[7]

1. **初期の概念:** SoSの概念は、Boulding^[8]やAckoff^[9]などの理論家によって1980年代に初めて提唱された。BouldingはSoSを「全体が部分の合計以上のもの」として捉え、Ackoffはそれを「統合されたシステムのセット」と定義した。
2. **戦略防衛構想 (1989):** 1989年の米国の戦略防衛構想において、初めてSoSという用語が使用された^[10]。
3. **1990年代の発展:** 1995年には、Holland^[11]がSoSを人工的な適応的な複雑システムとして研究することを提案した。1996年にはMaier^[12]が、モリシックなシステムと区別するために、SoSの特徴を定義した。Maierは、運用独立性、管理独立性、進化的な発展、創発的な行動、などの特性を強調した。
4. **2000年代の進展:** 2000年にPei^[13]が「System of Systems Integration (SOSI)」の概念を導入し、SoSの開発と統合の重要性が認識された。2001年には、様々な研究者がSoSの開発に関する重要な貢献を行った。例えば、SageとCupan^[14]は、「新しい連邦主義(new federalism)」を提案し、Cook^[15]は、「システム属性と獲得アプローチ」に基づきモリシックなシステムとSoSの区別を試みた。また、CarlockとFenton^[16]は、伝統的なシステムエンジニアリング活動を戦略計画や投資分析との結合を提案し、Shenhar^[17]は、彼の以前の研究である「アレイ(array)」かの概念を拡張した。本報告書では個々の詳細は割愛するが、興味ある方は参考文献を参照されたい。
5. **標準化とガイドライン:** 2004年には、米国防総省がSoSに関するガイドライン^[18]を発表し、2006年にはSoSに特化したIEEEの会議 (IEEE 1st System of Systems Engineering Conference)が開催された。これにより、SoSの理論と実践がさらに進展した。
6. **現在の状況:** 現在、SoSの研究は急速に進展しており、さまざまな分野での応用が模索されているが、依然として確立された知識体系や管理フレームワークが不足している状況である。

2-2. SoSの歴史 (2 / 2)

SoSの近代史^[7]を振り返っても、SoSの定義や解釈は多岐に渡ることが確認できる。

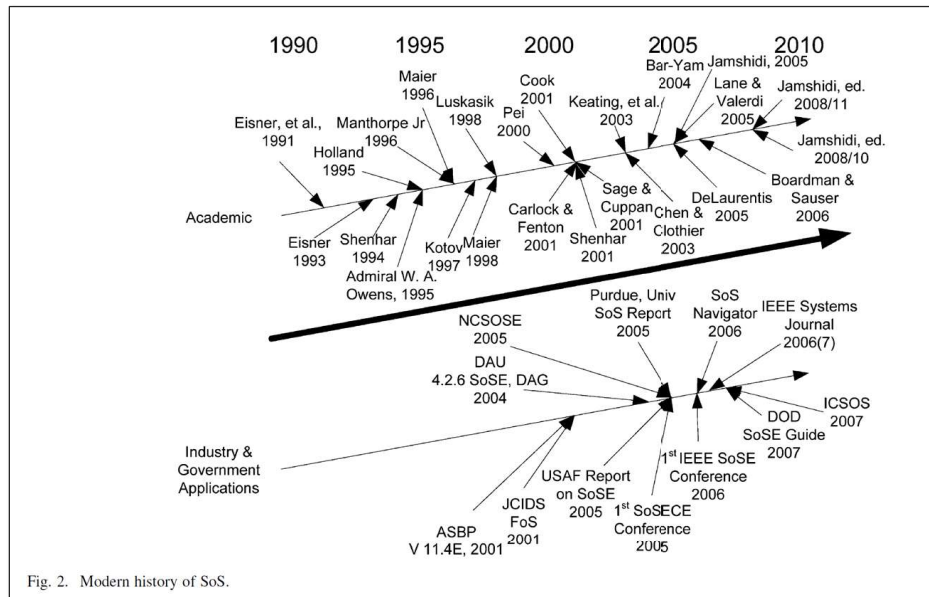


Fig. 2. Modern history of SoS.

2-3. SoSの特徴

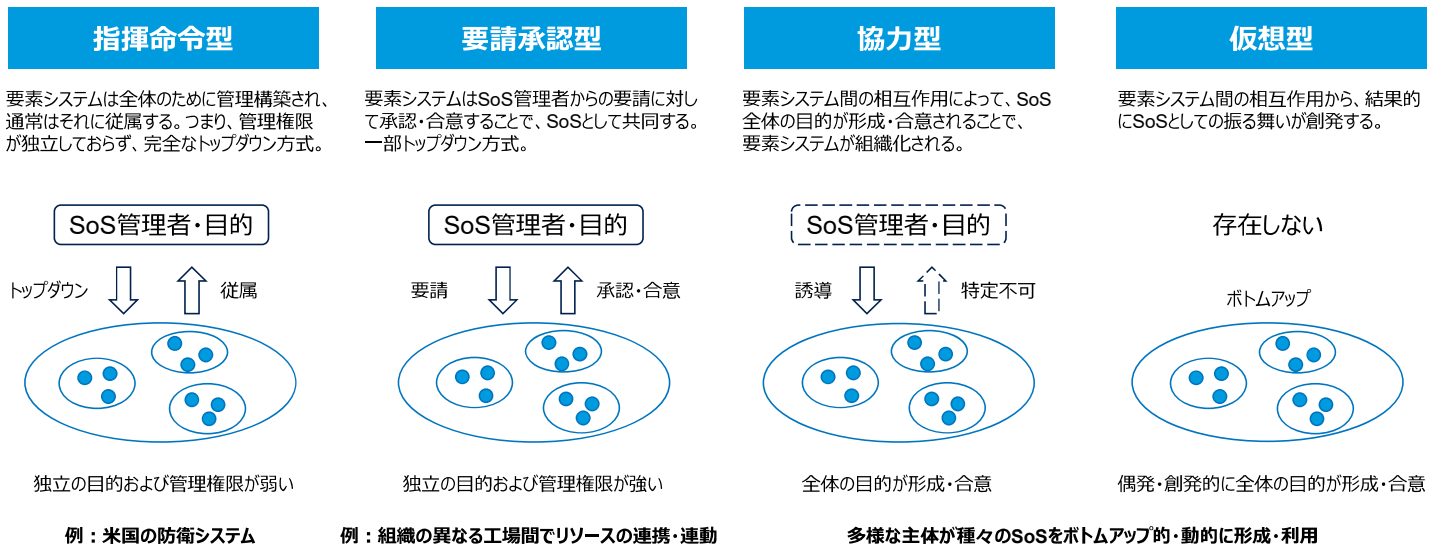
◆ Alexら^[7]が提示しているSoSの特徴

- 1. 自律性 (Autonomy):** SoS内の各システムが独立して選択を行う能力を指す。これは、管理的および運用的な独立性を含み、SoSの目的を達成するために重要である。
- 2. 帰属 (Belonging):** システムがSoSの一部として認識される程度を示す。帰属は、接続性や出現特性に影響を与える可能性がある。
- 3. 接続性 (Connectivity):** SoS内のシステム同士がどれだけ相互に接続されているかを示す。接続性は、システム間の相互作用や協力を影響を与える。
- 4. 多様性 (Diversity):** SoS内のシステムやコンポーネントの多様性を指す。多様性は、システムの能力やレジリエンスを高める要因となる。
- 5. 創発性 (Emergence):** SoSが個々のシステムには存在しない行動や特性を示す能力を指す。これは、システム間の相互作用から生じるものである。

◆ Maier^[12]が提示しているSoSの特徴

- 1. 運用的独立性:** 要素システムが独立しても、各要素システムの目的に対して正しく機能する。
- 2. 管理的独立性:** 各要素システムの管理は独立的に存在している。

2-4. SoSの分類例

◆ SoSや要素システムの管理権限によって、4つに大別できる^[19, 20, 21]。

2章のまとめ

- ◆ システム・オブ・システムズ (SoS) は、独立して運用される複数のシステム (要素システム) が相互に連携し、全体として新たな機能や能力を提供する構造を指す。
- ◆ 様々な文献を調査した結果、SoSの詳細な定義や解釈については、歴史の過程で多岐に渡っており、一意には定まっていないことを確認した。
- ◆ 本分科会では、これらの多義的な定義を認めつつも、以降の事例分析においては過去文献の中で適した定義や分類を適宜利用する。

第3章 SoSからCPHSへ

- 3-1 : Cyber Physical Human System(CPHS)とは
- 3-2 : SoSからCPHSへの流れ
- 3-3. 人の要素の重要性

3-1 : Cyber Physical Human System(CPHS)とは

CPHSとは、物理的なシステムとデジタルシステムが統合されたものである。

リアルタイムでのデータ収集と分析を可能にするので、効率的な運用や新しいサービスの創出が期待される。

- ◆ CPHSは、IoT (Internet of Things) やAI (Artificial Intelligence) などの技術と密接に関連している。

特に、システムの検討に際し、これまで語られることが少なかったHuman(人) に、焦点を当てることで、異なる領域間が連携・統合された社会システム全体についてのシステムデザインに繋がると考える

3-2 : SoSからCPHSへの流れ (斎藤^[23])

SoSとCPHSは、相互に関連し合いながら進化している。SoSの枠組みを利用することで、異なるシステム間の連携が強化され、CPHSの実現が促進される。

具体的には、以下のような流れがある。

- ◆**統合の必要性:** SoSの概念が広がる中で、異なる領域を実現する異なるシステムの統合が求められる。統合の際に重要となるのは、異なる領域を渡り歩く人であり、よって人を検討することがCPHSの基盤形成に繋がる。
- ◆**データの相互運用性:** SoSにおけるデータの共有と相互運用性が、CPHSの実装において重要な要素となる。
- ◆**リアルタイム処理の強化:** SoSの枠組みを通じて、CPHSはリアルタイムでのデータ処理能力を向上させ、迅速な意思決定を可能にする。

3-3. (参考) 人の要素の重要性

なお本分科会の検討範囲外ではあるが、今後のSoSについては、技術的側面でない人の要素も重要である。参考として以下に触れておく。

- ◆**ユーザー中心の設計:** システムの設計において、ユーザーのニーズや行動を考慮することで、より使いやすく効果的なシステムを構築できる。
- ◆**人間と機械の協働:** 人間と機械が協力して作業を行うことで、効率性や安全性が向上する。特に、CPHSにおいては、リアルタイムでのフィードバックが重要である。
- ◆**教育とトレーニング:** 新しい技術に対応できる人材の育成が、SoSとCPHSの成功に不可欠である。教育機関と企業が連携し、実践的なトレーニングを提供することが求められる。

4章 SoSのアーキテクチャ

- 4-1. SoSのアーキテクチャの概要
- 4-2. SoSのアーキテクチャの重要性
- 4-3. 人の要素の統合：その技術外の側面

4-1. SoSのアーキテクチャの概要

この章では、一般的なSoSのアーキテクチャについて述べる

- ◆ SoSアーキテクチャとは、構成要素の構造、相互関係、設計と進化を支配する原則を含む。
- ◆ 効果的なアーキテクチャは、SoSの複雑さを管理し、システムの開発と進化において重要な役割を果たす。
- ◆ 大規模なデザインスペースから望ましいアーキテクチャの特定を狙いとするSoSアーキテクチャの選択は、アーキテクチャ設計を成功させるための、初期段階だが重要なステップである。

4-2. SoSのアーキテクチャの重要性

◆ Zhemei^[24]は、以下の5つの点において、SoSのアーキテクチャを記載することは重要であると述べている。

1. 複雑性の管理:

SoSは、複数の独立したシステムが相互に連携して機能するため、システム間の相互依存性や動的な変化が生じる。効果的なアーキテクチャは、これらの複雑な関係を整理し、全体のシステムが効率的に機能するように設計される必要がある。

2. エマージェント効果の促進:

SoSの特性の一つに、エマージェント効果がある。これは、個々のシステムが単独で持つ機能以上の価値を、相互作用によって生み出すことを指す。適切なアーキテクチャは、これらのエマージェント効果を最大化するための基盤を提供する。

3. 意思決定の支援:

SoSのアーキテクチャは、意思決定者が複数の選択肢から最適なアーキテクチャを選ぶためのフレームワークを提供する。これにより、リスクや不確実性を考慮した上で、より良い意思決定が可能になる。

4. 適応性と進化:

SoSは、環境や要求の変化に応じて進化する必要がある。アーキテクチャが柔軟であれば、システムは新しい要件に迅速に適応でき、持続可能な運用が可能になる。

5. 利害関係者の調整:

SoSのアーキテクチャは、異なる利害関係者のニーズや目標を調整するための枠組みを提供する。これにより、各システムの目的が整合し、全体としての目標達成が促進される。

4-3. 人の要素の統合：その技術外の側面

◆ 今後のSoSにおいては、人の要素の統合、すなわちCPHSの考えが不可欠であり、以下の理由から、これが重要であると考えられる。

- **意思決定の質の向上:** 人間の判断や経験は、システムの自律性や相互依存性を考慮する際に重要な役割を果たす。人間の視点を取り入れることで、より柔軟で適応的なアーキテクチャ設計が可能になる。
- **信頼と協力の促進:** SoSは、異なるシステム間の信頼と協力を依存している。人の要素を考慮することで、システム間の信頼関係を構築し、効果的な協力を促進することができる。
- **動的進化への対応:** SoSは、環境の変化に応じて進化する必要がある。人のフィードバックを取り入れることで、システムの進化をより効果的に管理し、適応することが可能になる。

なお5章において、このSoSのアーキテクチャをCPHSへと拡張することについて述べていく

5章 アーキテクチャモデリング言語

- 5-1. モデリング対象に応じた代表的なアーキテクチャモデリング言語
- 5-2. ArchiMate -EAモデリング言語の国際標準-
- 5-3. Archi -EAモデリングのオープンソースソフトウェア-

5章 アーキテクチャモデリング言語

5-1. モデリング対象に応じた代表的なアーキテクチャモデリング言語

- ◆ 「システム」のモデリングを行うためのモデリング言語は、モデリング対象ごとに様々なものがあり、標準化団体等により開発されている。(下表^[25])
- ◆ ステークホルダの関心事を含めた『組織全体の業務とシステムを共通言語と統一的手法でモデル化し、最適化を図る設計手法』^[26]として、エンタープライズアーキテクチャ (EA: Enterprise Architecture)がある。
- ◆ 本分科会で扱うCPHSでは、人(Human)の興味・関心を取り扱うことから、EAのモデリング言語であるArchiMateでのモデリングを採用した。

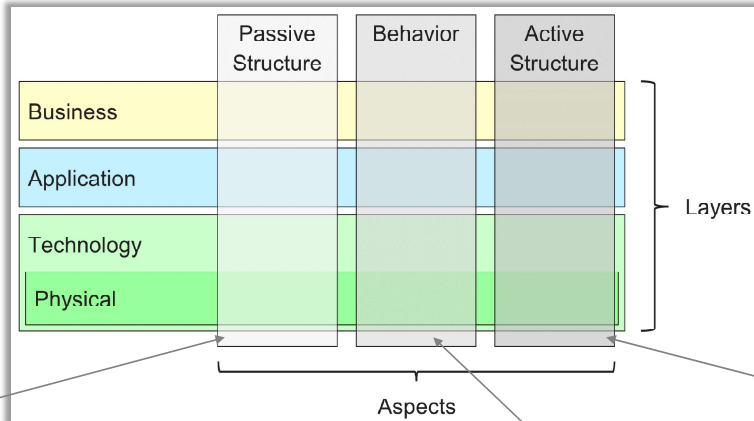
モデリング対象	モデリング言語	言語の開発組織	モデリングツール例
エンタープライズ アーキテクチャ	ArchiMate	The Open Group(TOG) UNIX(商標)やTOGAFを管理する業界団体	Archi 個人によるOSS(MIT License)
業務プロセス	BPMN (Business Process Modeling and Notation) ISO19510として標準化	The Object Management Group(OMG) IT業界の非営利標準化コンソーシアム	<ul style="list-style-type: none"> • Camunda BPM (Camunda Services GmbH) OSS(Apache 2.0) • Pega Infinity (Pegasystems Inc.) 他
ソフトウェアや データモデル	UML (Unified Modeling Language) ISO19505として標準化	The Object Management Group(OMG) IT業界の非営利標準化コンソーシアム	<ul style="list-style-type: none"> • PlantUML 個人によるOSS(GNU GPL) • Mermaid OSS(MIT License) 他
システム	SysML (Systems Modeling Language)	OMGとINCOSE*による共同 UMLのサブセットを拡張したもの (*システムズエンジニアリングに関する非営利専門組織)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelio (Modeliosoft社) OSS(GNU GPL) • Papyrus (仏 原子力・代替エネルギー庁) OSS(EPL) • MagicDraw (No Magic社) 他

[25]市原純平, "EAの活用動向とArchiMateの概説", (株)日本総合研究所, 2024/7/26, https://www.jti.co.jp/page_ssp?id=108481 (accessed on 2024/11/11)

[26]デジタル庁, "データ環境整備のためのアーキテクチャ管理 導入実践ガイドブック", デジタル社会推進標準ガイドライン, 2024/3/27, https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/4e06cf86-4403-47a8-bd67-52f8ea5ec66b/d2a7c71/GIF-1.39.zip (accessed on 2024/11/11)

5-2. ArchiMate -EAモデリング言語の国際標準-

- ◆ ArchiMateは、世界的に広く使われているEAのモデリング言語。3つのレイヤーからなるコアフレームワークと、追加の2つのレイヤーを含むフルフレームワークがある。
- ◆ ArchiMateコアフレームワークは、ArchiMateのアーキテクチャ要素(エレメント)を分類するための3層のレイヤーと3つのアスペクトで構成される9セルのフレームワーク。3層のレイヤーとは、ビジネス、アプリケーション、テクノロジーであり、TOGAFのドメイン(全4領域)に対応するが、ArchiMateではデータについては1つのレイヤーとして区分せず、全てのレイヤーの側面(アスペクト)として捉える。[27]



受動的構造アスペクト
(Passive Structure Aspect)

- 動作が実行されるオブジェクトを表す。
- 通常、ビジネス層の情報オブジェクト、アプリケーション層のデータオブジェクトであるが、物理オブジェクトを表すためにも使用される。

振る舞いアスペクト
(Behavior Aspect)

- アクターによって実行される行動(プロセス、機能、イベント、サービス)を表す。
- 構造要素は行動要素(behavioral elements)に割り当てられ、誰がまたは何が行動を示すかを示す。

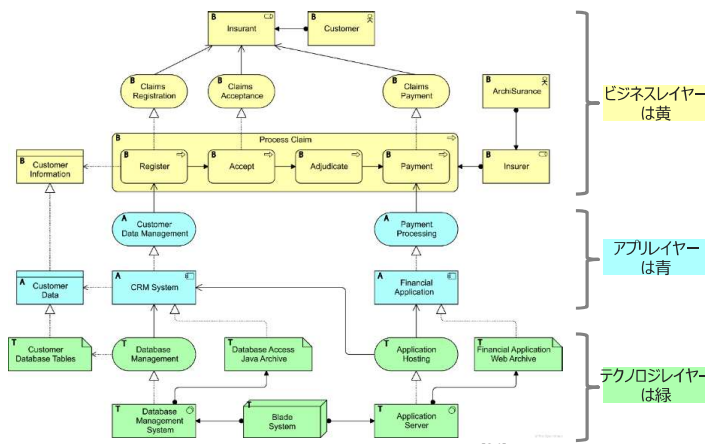
能動的構造アスペクト
(Active Structure Aspect)

実際の動作を示すビジネスアクター、アプリケーションコンポーネント、デバイス、などアクティビティの「主体」となる構造要素(structural elements)を表す。

[27]Ed Walters, "Understanding the Basics An Introduction to the ArchiMate® Modeling Language, Version 3.0", The website of Ed Walters, 2017/4/xx, <https://fmedic.co.uk/truecom/whitepaper2.pdf> (accessed on 2024/11/11)

5-2. ArchiMate -EAモデリング言語の国際標準-

- ◆ アーキテクチャをモデリングするにあたり、アーキテクチャ要素(エレメント)をアイコンで表現し、アイコン同士を線で繋げることで関係を表現する。
 - ✓ アイコンには多数の種類があり厳密な使い分けが難しい面もあるため、一部のアイコンに絞って使用する場合がある。
 - ✓ アイコンの配色には正式な意味は割り当てられておらず、モデラーに任されている[28]。ただし、公式解説にあるサンプルの配色(以下)に従って記述されることが多い。
 - ビジネスレイヤーは黄、アプリケーションレイヤーは青、テクノロジーレイヤーは緑



- 本事例では左上隅に文字を表記しレイヤーを区別している。(オプションの表記法)
- 各アイコン、接続線(矢印)の意味については、TOGが参照カードを公開している([ArchiMate 3.2 Specification Reference Cards](#)) [29]
- デジタル庁の取り組みで使用したアイコンと、その資料中での意味付けも、同行資料にまとめられている。[30]

[28]The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification", The Open Group Library, 2023/1/3, <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/ch-Language-Structure.html#sec-Use-of-Colors-and-Notational-Cues> (accessed on 2024/11/11)

[29]The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification Reference Cards", The Open Group, 2022/11/28, <https://www.opengroup.org/sites/default/files/docs/downloads/n221p.pdf> (accessed on 2024/11/11)

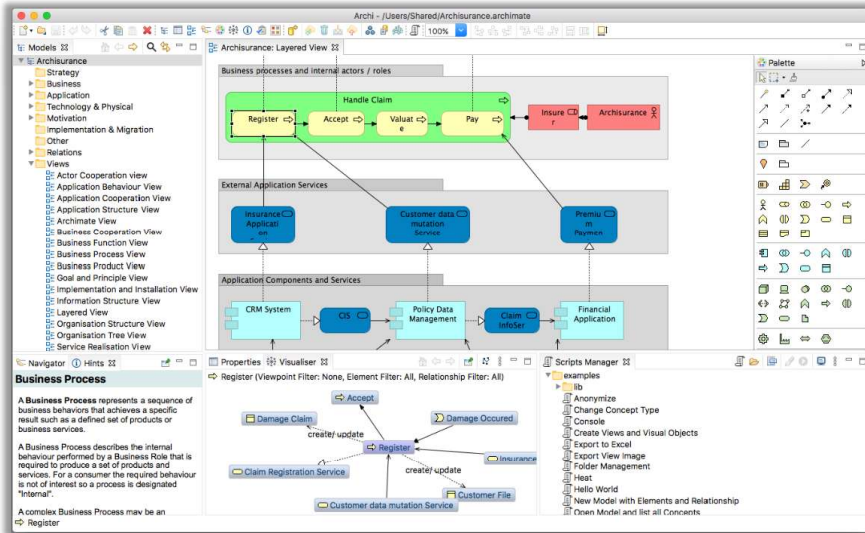
[30]デジタル庁, "データ環境整備のためのアーキテクチャ管理 導入実践ガイドブック", デジタル社会推進標準ガイドライン, 2024/3/27, https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/4e06cf86-4403-47a8-bd67-52f8ea5ec66b/cf2a7c71/GIF-1.39.zip (accessed on 2024/11/11)

[31] [図出典]The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification", The Open Group Library, 2023/1/3, <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/ch-Relationships-Between-Core-Layers.html> (accessed on 2024/11/11)

5-3. Archi -EAモデリングのオープンソースソフトウェア-

- ◆ Archiは、オープンソースのArchiMateモデリングツール(ソースコードはGitHubで公開)。EUや日本のデジタル庁の取り組みなど、国際的に広く使用されている。本分科会の取り組みでも国際的な実績と無料使用が可能なおことから採用した。
- ◆ Archi等モデリングツールによりモデリングされたアーキテクチャは、各アーキテクチャ要素(エレメント)とそのプロパティ、関係性などの構造化された情報の集合であり、裏側の情報を持たない、描画ツールによる単なる図のデータとは異なる。

モデルウィンドウ
モデルを構成する様々な概念(concepts)がフォルダに整理されたツリー構造で表示される。



パレットウィンドウ
モデリングにあたり使用するアイコンや接続線(矢印)が並べられている。

ビジュアライザ
(画面下部中央)

- 選択したモデル要素とその他のモデル要素との関係全てを放射状のツリーグラフィックで表示する。
- ドルダウンしていくことで多くの接続が表示される。

[32]

[32] [図出典]Philip Beauvoir & Jean-Baptiste Sarrodie, "Archi-Full.png", Archi - Open Source ArchiMate Modelling, 1900/1/0, <https://www.archimatetool.com/> (accessed on 2024/11/11)

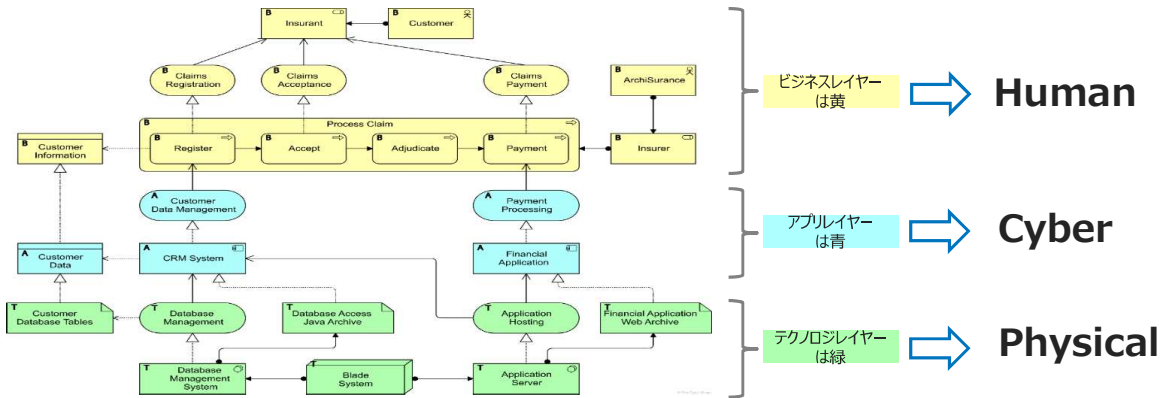
© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

第6章 事例の分析

- 6-1. 目的と手法
- 6-2. 分析対象とした事例
- 6-3. ArchiMateを用いたモデリングのトライアル
- 6-4. 人とシステムの関わりを意識したモデリング

6-1. 目的と手法

- ◆ 人がどのようにシステムと関わるか検討するために、具体的な事例を通して、人を含めたSoSのアーキテクチャを表現することを試みた
- ◆ モデリング言語として、国際標準のArchiMateを用いた（第5章参照）
- ◆ 本来ArchiMateでは、重要な3要素であるビジネスレイヤー/アプリアレイヤー/テクノロジーレイヤーを一目で理解しやすいように、黄/青/緑の色を割り当てて描画している。
- ◆ 当分科会では、Cyber Physical SystemにHumanがどのように関係するかの検討を目的としているので、Cyber/Physical/Humanの各構成要素が理解しやすいように、下記のように読み替えた上で描画した。



6-2 分析対象事例の一覧（1/4）

CPHSの理解のために

- ◆ プレスリリース等の公開情報からCPHSに関わる事例を検索し、42事例をピックアップした（全事例は補足・参考資料に記載）

No.	事例の名称 (公開情報から抽出)	ビジネスレイヤー				アプリアレイヤー					産業分野	CPHSの理解のために														
		顧客情報	保険金	請求	支払	データベース	アプリケーション	インフラ	セキュリティ	バックアップ		クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI
1	生命保険会社 A に関する事例	顧客情報	保険金	請求	支払	データベース	アプリケーション	インフラ	セキュリティ	バックアップ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ	クラウド	IoT	AI	ビッグデータ

6-2分析対象事例の一覧 (2/4)

CPHS事例候補 (n=42) について、下記のカテゴリ候補に分類し、傾向を確認 (次頁)

◆ システムにおける人間の役割・パターン

- A. 人間が工学システムのスーパーバイザやオペレータの役割を担う
- B. 人間自体が制御すべき対象となる
- C. 人間が工学システムに目的・価値を与える
- D. 人間を工学システムと共生する主体とみなす

◆ SDGs 17の目標^[33]

1. 貧困をなくそう、2. 飢餓をゼロに、3. すべての人に健康と福祉を、4. 質の高い教育をみんなに、5. ジェンダー平等を実現しよう、6. 安全な水とトイレを世界中に、7. エネルギーをみんなに、そしてクリーンに、8. 働きがいも経済成長も、9. 産業と技術革新の基盤をつくろう、10. 人や国の不平等をなくそう、11. 住み続けられるまちづくりを、12. つくる責任、つかう責任、13. 気候変動に具体的な対策を、14. 海の豊かさを守ろう、15. 陸の豊かさを守ろう、16. 平和と公正をすべての人に、17. パートナリシップで目標を達成しよう

◆ ヒューマンファクター ※関係ステークホルダについて具体的な対象の洗い出しを実施

- ① 意思決定する人 (システムの目的を決める人)
- ② 開発・運用する人 (システムを開発・運用する人)
- ③ 顧客 (システムを利用する人、メリットを享受する人)

[33] 外務省、JAPAN SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/index.html>

6-2分析対象事例の一覧 (3/4)

分類結果 (赤枠は、該当事例が多かったカテゴリ)

◆ システムにおける人間の役割・パターン

システムにおける人間の役割・パターン			
A. 人間が工学システムのスーパーバイザやオペレータの役割を担う	B. 人間自体が制御すべき対象となる	C. 人間が工学システムに目的・価値を与える	D. 人間を工学システムと共生する主体とみなす
14	3	9	16

◆ 「SDGs 17の目標」に該当する事例

1 貧困をなくそう	2 飢餓をゼロに	3 すべての人に健康と福祉を	4 質の高い教育をみんなに	5 ジェンダー平等を実現しよう	6 安全な水とトイレを世界中に	7 エネルギーをみんなに、そしてクリーンに	8 働きがいも経済成長も	9 産業と技術革新の基盤をつくろう	10 人や国の不平等をなくそう	11 住み続けられるまちづくりを	12 つくる責任、つかう責任	13 気候変動に具体的な対策を	14 海の豊かさを守ろう	15 陸の豊かさを守ろう	16 平和と公正をすべての人に	17 パートナリシップで目標を達成しよう
0	1	13	1	0	0	9	5	31	0	15	2	7	0	1	4	12

⇒ 3、7、11、17など人に関係する事例が多い (赤枠)

◆ 複数の「SDGs 17の目標」に該当する事例数

- ◆ 6つ:2事例、5つ:1事例、4つ:2事例、3つ:13事例、2つ:15事例、1つ:7事例、該当なし:3事例

⇒ 複数の目標を持つ複雑な事例は、42事例中32事例と多く存在

⇒ 目標9は、31事例が該当し最も多い (青枠)。目標9の内容は、一見すると人と無関係と見えるが、31事例中26事例は、人に関係する目標も併せ持っており、人が重要であると確認できた

6-2. 分析対象事例の一覧 (4/4)

前頁に記載した42事例に対し、分科会メンバで議論し、モデリング対象とする3事例を抽出。

さらに(慶應大)井上先生、(富山大)平田先生よりご紹介いただいた2つの研究事例と合わせ、下記5事例を対象に、ArchiMateによるアーキテクチャのモデリングを実施

◆42事例から抽出した3事例

- ◆事例1：カーボンニュートラルなコンビナートの実現
- ◆事例2：SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク; Shared Information Platform for Disaster Management)
- ◆事例3：スマートシティ実証事業（長崎県五島市、徳島県美波町）

◆ご紹介いただいた2つの研究事例

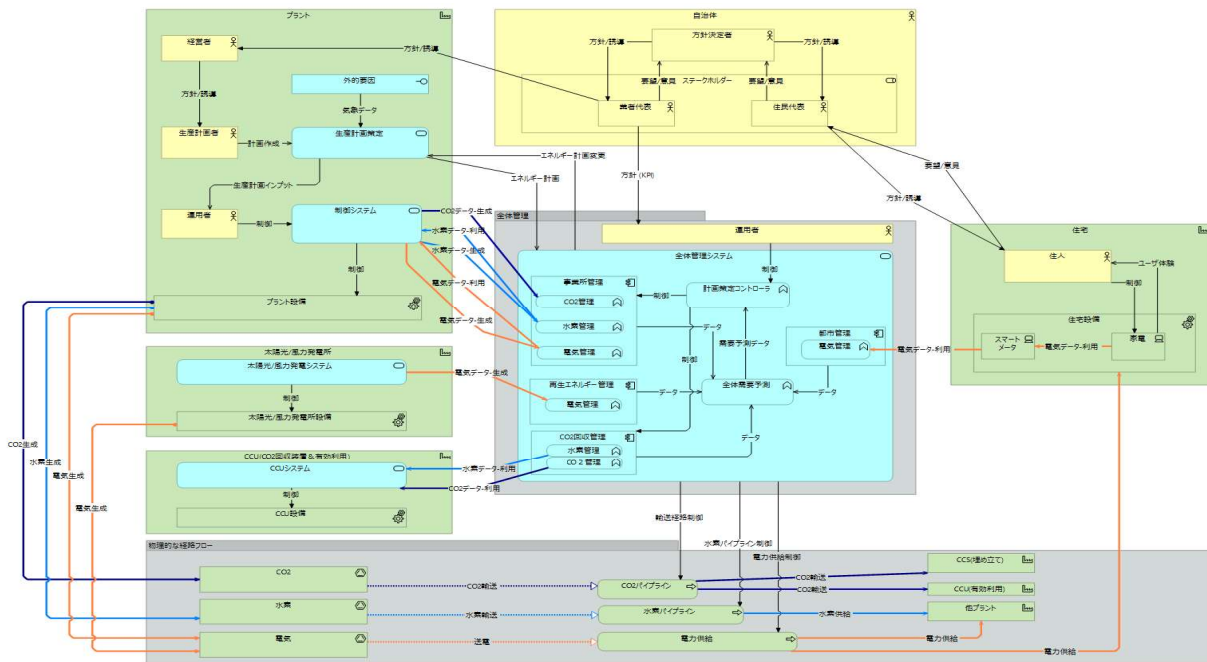
- ◆事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化（富山大 平田先生の研究事例）
- ◆事例5：航空管制システム（慶應大 井上先生の研究事例）

なお、アーキテクチャのモデリングに際し、全体像の観点で、不足と感じたり、将来に向けて追記したいと感じたりした要素・機能について、公開情報や研究事例から発想を膨らませて加筆した

6-3. ArchiMateによるモデリング

- | | |
|---|---------------------------|
| ◆ 事例1：カーボンニュートラルなコンビナートの実現 | 【検討メンバ：高橋、熊谷、植木、蜂谷】 |
| ◆ 事例2：SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク; Shared Information Platform for Disaster Management) | 【検討メンバ：鈴木、市原、奥田、柳沼】 |
| ◆ 事例3：スマートシティ実証事業（長崎県五島市、徳島県美波町） | 【検討メンバ：鎌田、田村、浦田、宮前】 |
| ◆ 事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化（富山大 平田先生） | 【検討メンバ：中山、熊谷、浦田、宮前、蜂谷】 |
| ◆ 事例5：航空管制システム（慶應大 井上先生） | 【検討メンバ：鈴木、高橋、鎌田、市原、植木、柳沼】 |

6-3-事例 1 : カーボンニュートラルなコンビナートの実現 - ArchiMateを用いたモデリング -



© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

36 / 69

6-3-事例 1 : カーボンニュートラルなコンビナートの実現 - システムと人の関わり -

◆ 事例により人がどのような役割を担っているか？

- ◆この事例において、人は住宅(地域住人)、自治体、各設備のオペレータに大別される。
- ◆プラントの中のオペレータはプラントを操作するため、SoSの分類だと「指揮命令型」で動作し、住民は基本的に「協力型」に近い動きをすると思う。

◆ システム+人をアーキテクチャで記載する際の注意点/難しさ

- ◆システムや住民の役割が分かりやすい事例のため、アーキテクチャで記載する際の難しさはあまり無かった印象である。
- ◆しかし、緊急時などの場合に自治体から住民やプラント管理者への要望や強制力を持った命令など各々の役割の変化を表現することは非常に難しい。あくまで、作成したアーキテクチャは平常時を想定した一場面を表しているものである。

© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

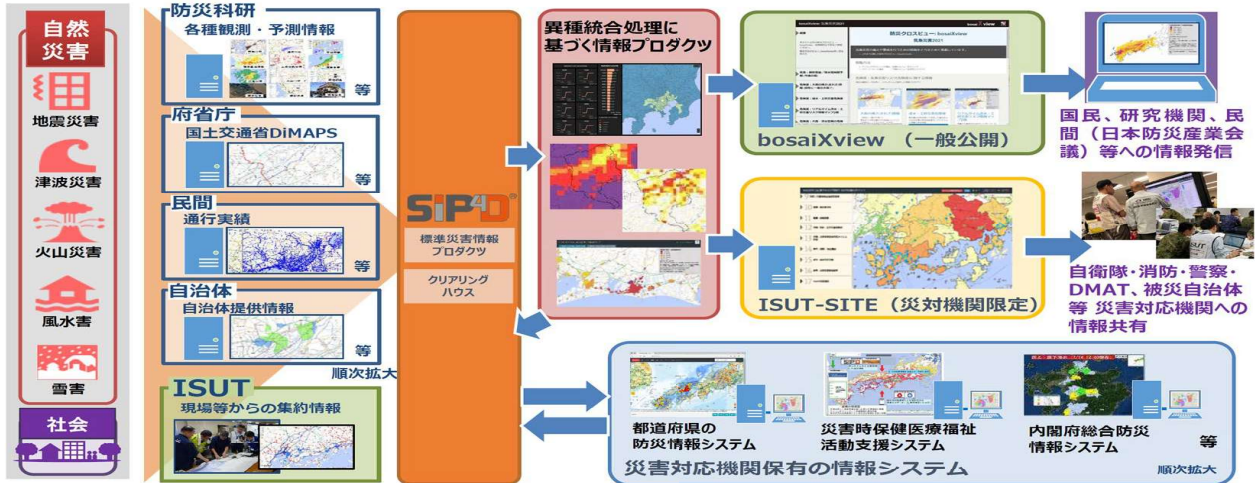
37 / 69

6-3-事例 2 :SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク) - 概要 -

◆ SIP4Dは、公共のための災害対応支援を目的とした情報共有のネットワークシステム^[35]

- ◆ 被災自治体における災害対応に携わる機関・組織を支援する情報プロダクツを提供
- ◆ 災害対応に携わる機関・組織が相互に情報を共有し合い、状況認識を統一できるように
- ◆ 災害対応に携わる機関・組織の職員・構成員の情報集約の負担を可能な限り軽減すること

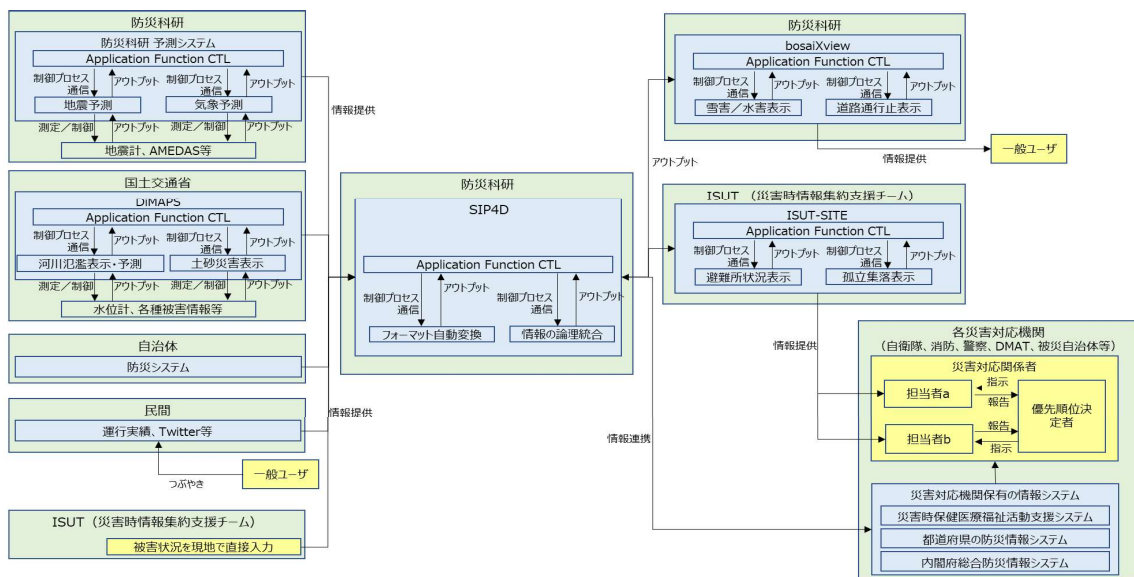
SIP4Dシステム接続概要説明資料のP5抜粋
(<https://www.sip4d.jp/download/>)



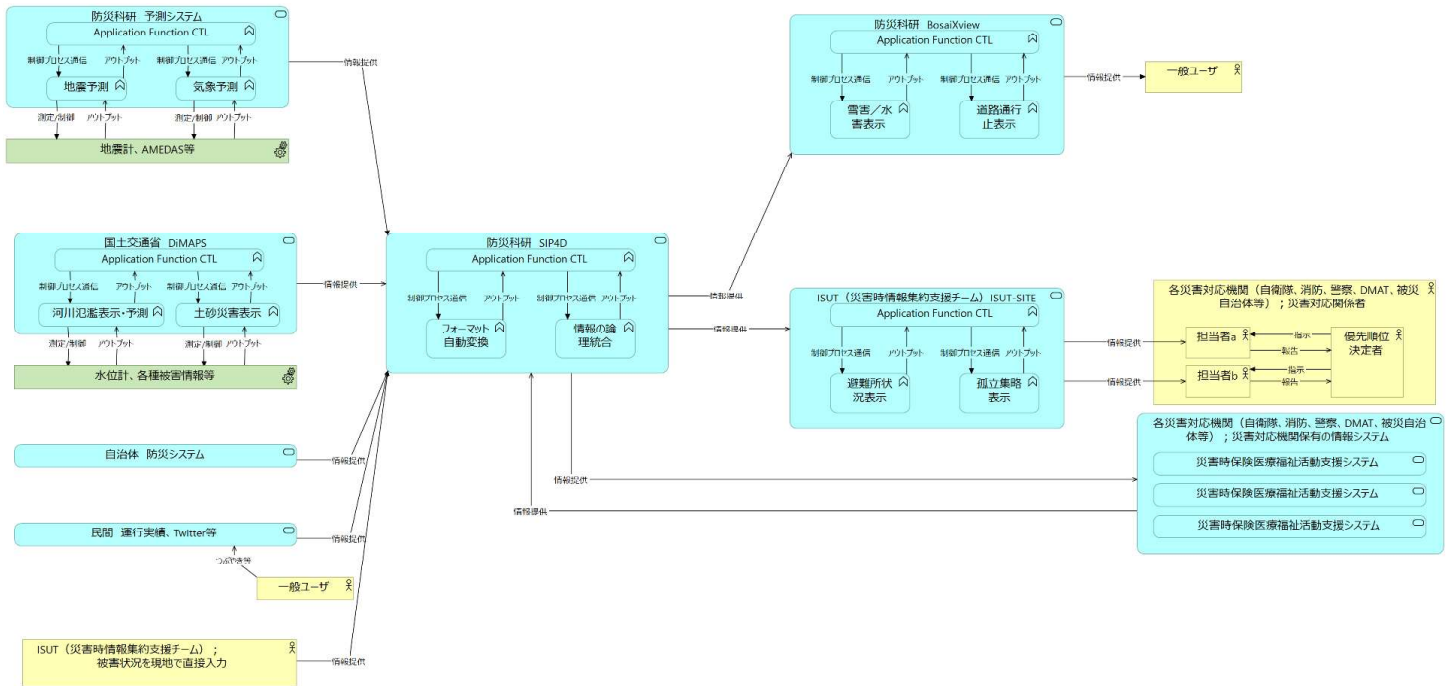
[35] 国立研究開発法人防災科学技術研究所, 国、地方公共団体、指定公共機関等、複数組織間で災害時の状況共有を行うシステム：基盤型防災情報流通ネットワーク SIP4D, <https://www.sip4d.jp/>

6-3-事例 2 : SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク) - 人の要素を追加したアーキテクチャの検討 -

◆ 前頁の絵をベースに全体像を構成
情報をインプットする一般ユーザ、利用する一般ユーザを追記



6-3-事例 2 : SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク) - ArchiMateを用いたモデリング -



6-3-事例 2 : SIP4D(基盤的防災情報流通ネットワーク) - システムと人の関り -

事例により人がどのような役割を担っているか？

- ◆ 災害対応関係者と一般ユーザとが、下記のような役割を担う

	情報収集	得られた情報を基に行動
災害対応関係者	被害情報を現地で直接入力	被災者支援、被害拡大の防止 など
一般ユーザ	SNSによる被害状況のつぶやき など	避難行動 など

システム+人をアーキテクチャで記載する際の注意点/難しさ

- ◆ 一般ユーザについては、
 - ◆ その人の状況に応じて、情報の適切な与え方があると感じるが、どのようにアーキテクチャ上で表現すべきか
 - ◆ 同じ情報を受けても、個々人の背景や考え方の違いから、同じ行動をとるとは限らない、ということ、どのようにアーキテクチャ上で表現すべきか
- ◆ 災害対応関係者については、事前に決められた行動指針に従って行動する、つまり不確定要素や確率的要素はないものと捉えたが、そもそもその考え方で良いか

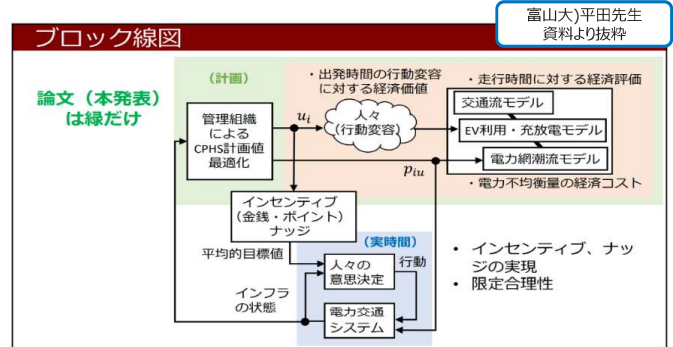
6-3-事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化^[39] - 概要 -

◆ 研究の目的

- ◆ EVを利用し、エネルギーとモビリティの両サービスを適正に運用するために以下に検討
- ◆ 交通システムのダイナミクスを考慮したエネルギー需給管理の数理モデリング
- ◆ 両システムを適正に評価・運用するための最適制御手法

◆ 概要

- ◆ 3つのモデルを構築
 - ◆ 領内の車両密度変化に着目した、交通流モデル
 - ◆ タイムスケールが交通システムに比べ短いため静的システムとみなす送電網モデル
 - ◆ 地域内のEV台数の時間変化と、EVからの電力の制約を考慮した、エネルギー・モビリティを繋ぐEVモデル
- ◆ 経済コストを換算する重みを導入、物理量の異なる上記の3つを結合し、経済評価に基づく動的最適化問題を定式化



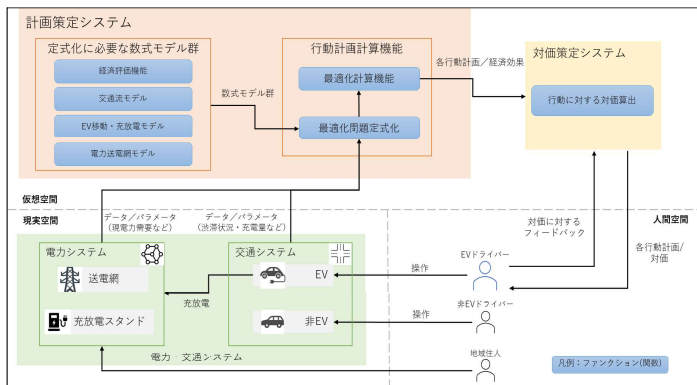
[39] 平田 研二、和佐 泰明, "SICEにおけるCyber Physical Human Systems調査研究",第14回横幹連合コンファレンス:05-15, 2023
© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

6-3-事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化 - 人の要素を追加したアーキテクチャの検討 -

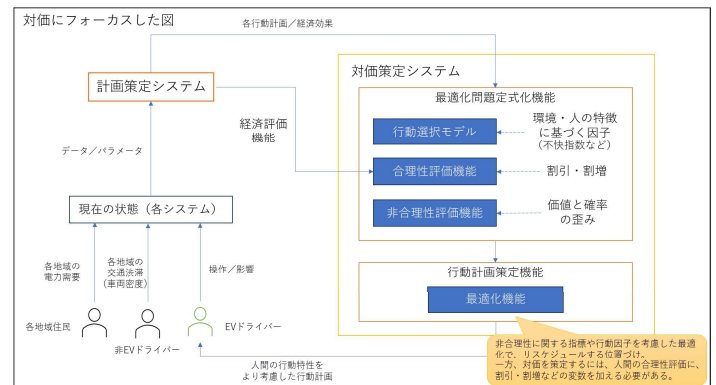
◆ システムと人の関りをモデリング

- ◆ ブロック線図からシステムアーキテクチャを検討し、人の要素を追加
- ◆ EVドライバーへ行動計画を提示する「対価策定システム」について検討し、人へ行動を促すために必要なモデルや機能、影響データについて検討

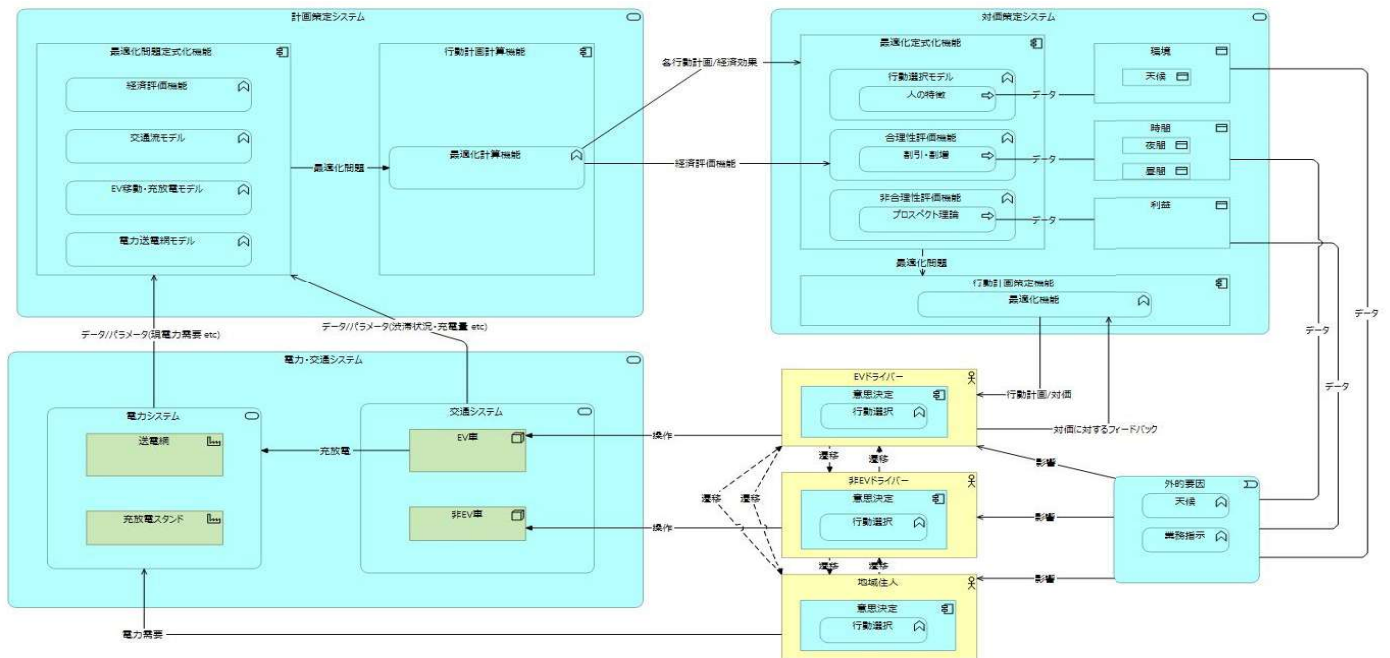
・システムアーキテクチャ



・対価策定システムにフォーカスしたアーキテクチャ



6-3-事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化 - ArchiMateを用いたモデリング -



© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

46 / 69

6-3-事例4：人の意思決定を考慮した電力・交通システム併用運用の動的最適化 - システムと人の関わり -

◆ 事例により人がどのような役割を担っているか？

◆ 同一人物でも役割が柔軟に変わる

- 今回の事例では、人は電力・交通システムにおける因子（EVドライバーとしての行動）でもあり、外乱（需要家）でもあり、対価策定システムの情報利用者でもあり、場面で役割が変わる。
- ドライバへのインセンティブがあっても、人は各個人の制約（家庭の事情や業務指示）も課されるため不合理な選択を行う可能性もある。

システム+人をアーキテクチャで記載する際の注意点/難しさ

◆ CPHS（特にSoSのような大規模かつ複数のシステムを含む場合）において、人は複数の役割（アクター）を柔軟に果たすため、限られた機能(固定された機能)を持つことを前提としづらい。

- 人間は元々様々な機能・役割を有しているが、ローカルなシステムにおいては人間の限定的な部分に注目しているに過ぎない。（生物学では生物学的な機能、社会学では社会における人の役割）

◆ 上記で示したように、時系列で人の役割が変化するため、それを現在のモデリングツールで表現するには限界がある。

その他で気が付いた点

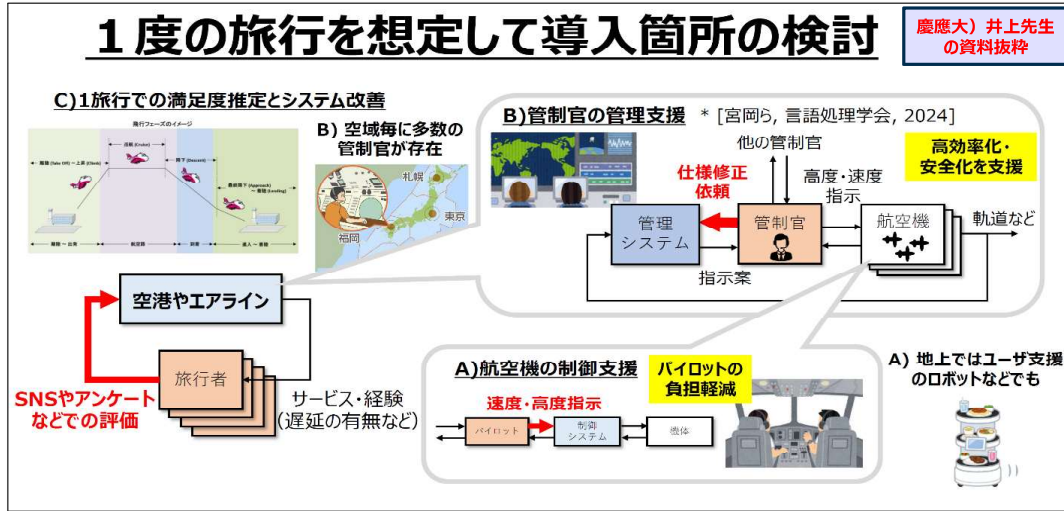
- ◆ EVドライバーへの行動計画の情報提示は、透明性の高い情報を提示することが必要になる。しかし、AI的な要素が入るとブラックボックスになる可能性があり、情報のトラッキングが難しくなる。

© 2024 Systems Innovation Center (except where indicated)

47 / 69

6-3-事例5：航空管制システム^[40] - 概要 -

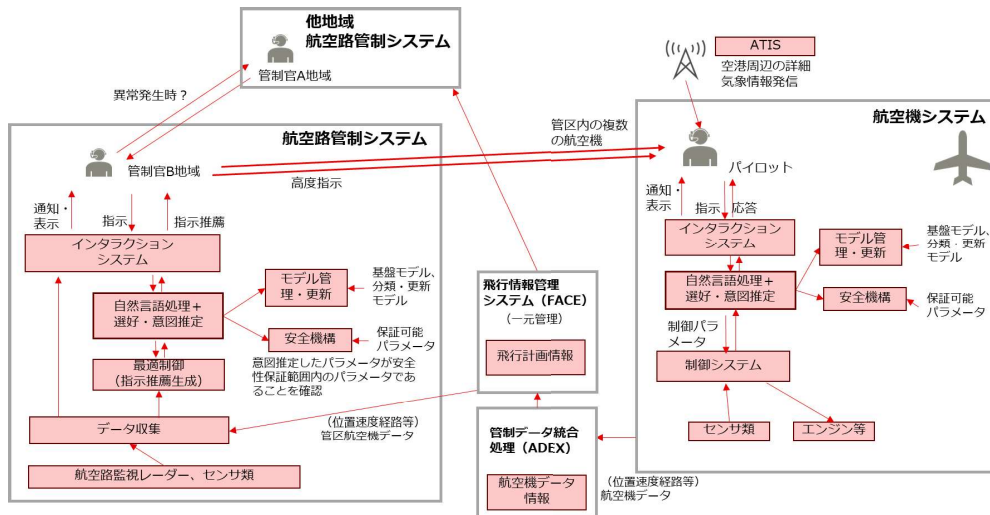
- ◆ 人の心理状態など内面状態の推定のために、NLPを“間接センシング”として使い、自然言語のチャット情報から個人のシステムへの要求を推定するモデル(Chat2Spec)を提案
- ◆ 航空交通管理の補助として、曖昧な指示から具体的な指示へと変換することでパイロット負担低減する実験事例を紹介



[40] 井上 正樹, 宮岡 佑弥, "Chat2Spec: チャットからCyber Physical Human Systemsの仕様設計へ", 第14回機幹連合コンファレンス:OS-15, 2023

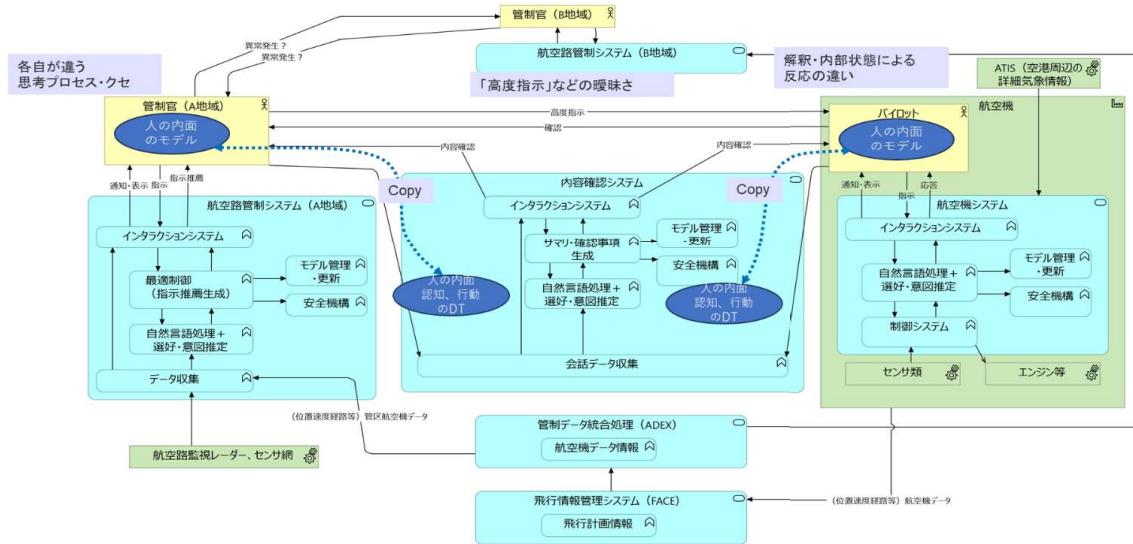
6-3-事例5：航空管制システムの全体像 - 人の要素追加したアーキテクチャの検討

- ◆ 管制官とパイロットにフォーカスし、航空機システムとパイロット、航空管制システムと管制官の、それぞれのやりとりのインタラクションシステムを検討



6-3-事例 5 : 航空管制システム - ArchiMateを用いたモデリング -

- ◆ さらに、大規模LLMの更なる活用を想定し、パイロットと管制官の会話を基に、内容を確認する「内容確認システム」を想定導入
- ◆ 内容確認システムは、管制官・パイロットの内面モデルをDigital Twinとして所持することで、人が間違いやすい言い回しなどを抽出し、確認を促す



6-3-事例 5 : 航空管制システム - システムと人の関わり -

◆ 事例により人がどのような役割を担っているか？

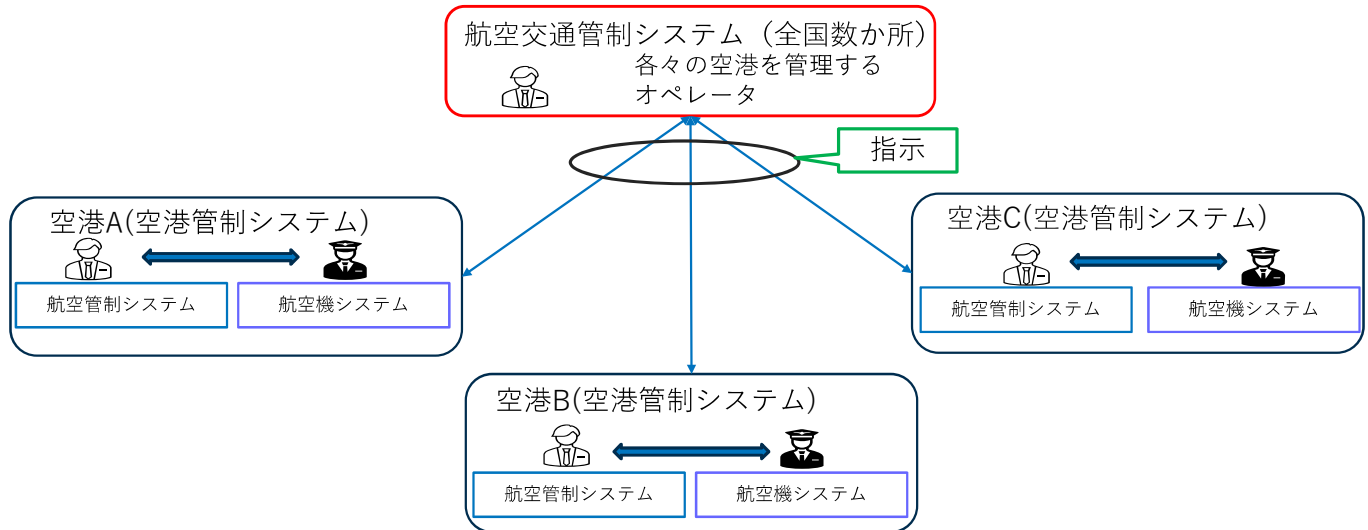
- ◆ 登場人物は、いずれも専門的な教育を受け、経験を積んだプロフェッショナルである
 - ◆ 今回の事例では、様々な情報をもとに飛行機の離着陸を指示・サポートすることで円滑に空港を運営したい管制官と、様々な情報をもとに飛行機を操縦したいパイロットである
 - ◆ 安心・安全に飛行機を運行する点において、両者の目的は一致している (効率化・節約などの目的もあるかもしれないが、それは副次的である)
- ◆ しかし、目的が一致したプロフェッショナルでもヒューマンエラーが発生する
 - ◆ 様々な情報から短時間でのやりとりと判断、並行した業務 (操縦するパイロット、複数飛行機に指示する管制官) の中で、聞き間違いや、聞き洩らし、認識違いなどが発生しうると考える

◆ システム+人をアーキテクチャで記載する際の注意点/難しさ

- ◆ 人の役割をシンプルに、情報を受け取る、指示を出す、等と表現するのは難しい
- ◆ しかし実際には、受け取った情報に対し、なんらかの理由から一定確率で間違えて受け取る (あるいは気づかない) 等がヒューマンエラーであり、これを含めてどのように表現すべきか
 - ◆ 本事例ではないが、行動変容のように、マスとしての人々の中の、一定割合がある行動をとる、という表現はどうすべきか
- ◆ 人も (人の群も) システムとらえ、人を、確率的モデルや機能等へと分解して表現すべきか
- ◆ ヒューマンエラーに対処するシステムを考える際には、この確率モデルや機能と対になってカバーする機能やモデルを考え、それをシステム上で表現することができるか (= 人の内面のデジタルツイン)

6-3-事例5：航空管制システム - 航空管制システムにおける全体最適化について -

- ◆ 各々の独立した空港管制システムは、各々の範囲・役割で動作する。
- ◆ それら複数の空港管制システム全体を最適管理する航空交通管制システムは、飛行機を引き継ぐ司令塔の役割を担うものであり、この場合は階層的なアーキテクチャとなる。

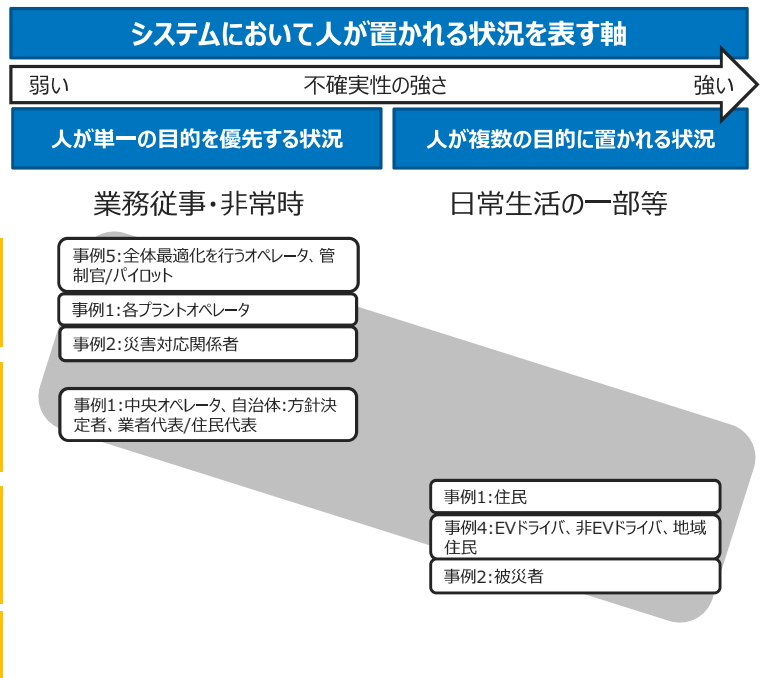


7章 まとめ

- 7-1. 得られた知見：SoS分類と「人」との関係性
- 7-2. 人の不合理性、不確実性について
- 7-3. 専門家との議論
- 7-4. 今後に向けて（提言に代えて）

7-1. 得られた知見：SoS分類と「人」の関係性（1/2）

- 2軸で各事例に現れる人を表現
 - ◆ 縦軸…システムの自律性の強さ
 - ◆ 横軸…人の不確実性の強さ
- 今後は、様々なシステムと人が複雑に絡みあう、右下が中心になると考える



*Maierらの分類 [19]

7-1. 得られた知見：SoS分類と「人」の関係性（2/2）

- ◆ 前頁では、従来のSoS分類に対して、「人」という軸を強調・追加した際の事例の分類を試みた → 結果、左上と右下に事例が集まる形になった

◆ 考察

- ◆ SoS分類の自律性(縦軸)と人の不確実性(横軸)は、共に **目的達成への強制力の強さ** や **目的に対する役割・行動の明確さ** と関係があると考えられる。
- ◆ 例えば、目的達成への強制力が強いと、各システムの事情や個人の思考は配慮されないため、以下の傾向が想定される。
 - ◆ SoS管理者がトップダウンで強制的な命令するため、SoS分類の自律性が弱くなる傾向
 - ◆ 人の自由を制限して、単一の目的のために動くように命令するため、人の不確実性が弱くなる傾向
- ◆ また、とるべき行動が明確でなければ、己の判断で良かれと行動するため不確実性が高まる
- ◆ その結果「SoS分類の自律性が強い」と「人の不確実性が強い」傾向があると考える
 - ⇒ **すなわち両者には相関があるので、左上と右下に事例が集まる形になる**
- ◆ 一方で、前頁の人の不確実性（横軸）については、時間不足から検討に不十分な面がある
 - ◆ 複数目的でも、人に選択の自由がなければ不確実性は低くなり、単一目的でもバイアスの影響等といった個人差にて不確実性は高くなるので、目的が単一か、複数かだけでは不確実性は語り切れない
 - ◆ また別の観点として、人とシステムの関係が、1対1、多対1、多対多などでも不確実性は変わるだろう。マスとしての人が対象でも、統計的に捉えて一律に提供するサービス、その対極として人にパーソナライズするサービス、その間にはクラスタリングして人のクラスタごとに提供するサービスが考えられ、それらによって不確実性の捉え方も異なると考える。
- ⇒ 人の不確実性についての一層の検討深堀は、今後の課題としたい

7-2. 人の不合理性・不確実性について

- ◆ 今後、Society 5.0に向かうにつれて、複数のシステムが連携し、様々な役割や目的を持つ、不合理・不確実な人がシステムに深く関わってくる
⇒ 複雑化するシステム全体を設計・運用するためには、どのようにアーキテクチャとして記述すべきかが、今後の課題
- ◆ 人の不合理性・不確実性の例
 - ◆ 目的
 - ◆ 個々人の抱える背景や制約によって、認知・判断・行動が異なる場合がある
 - ◆ 業務など、人が明確で単一の目的を持つ場合は、input/output/認知・判断・行動のfunctionとして、人を表現できそう
 - ◆ 認知・判断
 - ◆ 例え専門教育・経験を積んだプロでもヒューマンエラーは起き得る
 - ◆ 人は認知・判断に際し、様々なバイアスの影響を受ける（現状維持バイアス、正常性バイアス、スイッチングコストなど）
 - ◆ 行動
 - ◆ 同じ行動をとろうとしても、人の能力上の制約で行動内容が変わり得る
 - ◆ 役割変化
 - ◆ 人は、時間や場面に伴って役割が変化する

7-3. 専門家との議論

慶應義塾大 西村教授 (9/25)

- ◆ SoS分科会の目的をどこに置くのか
 - 本来、アーキテクチャを描きモデル化する目的は、自身の頭の中にあるものを明確化し、それを関係者間で共有し、課題や認識の違いを見つけ議論すること。
 - これで完璧というものはない。特に人が関わるSoSは不確定性が高いと考えられ、そうしたことを見出したことは一つの成果と言える。
 - ただ、実際に関係者間で考えたアーキテクチャをもとにしたSoSを社会に出した時に何が起るのか、そこでだれが責任を持つのかなどを含めて、1つの事例をとことんやり遂げてみるのが重要。
- ◆ コメント・アドバイス
 - はじめから数理モデルを念頭においたり、特定のモデリング記述を用いることは、制約をかけてしまうことになりかねない。
 - ArchiMateで、色の読み替えを行っている点は気になる。本来は素のArchiMateで記述し、記述できないことを明らかにした方が良い
 - 異なる専門性を持つ人が関わるプロジェクトでは特に、最初にオントロジーの共通化に時間をかける

7-4. 今後に向けて（提言に代えて）

- ◆ **我々は、複数の領域が連携し統合した社会システムのモデル化の検討に際し、Society 5.0にて重要とされる「人間中心の社会」において、鍵となる構成要素の人に注目することで、以下を明らかにした。**
 - ◆ 実際に複数事例のモデル化を行うことで、人は様々な領域の場面を渡り歩くので、特定領域・場面での目的や役割が明確であったとしても、別の領域・場面によっては目的や役割が変化し得ること
 - ◆ また人の認知は、個々人の背景知識や制約条件、置かれた状況等からくるバイアスの影響を受け、必ずしも単一的、合理的な判断をするわけではないため、人を取り込んだシステムのモデル表現が難しいこと
 - ◆ 今後はこのような、不合理・不確実な人が深く関係し、社会システム全体が、複数の目的を持ち自由度が高く複雑な方向へと進んでいくこと
 - ◆ なお人の不確実性については、目的が単一か複数か、人の選択の自由度、人とシステムの関係が1対1か多対多か等によって異なると考えられる。時間不足からこの点の検討深掘は不十分であり、将来の課題として明記しておきたい。
- ◆ **以上、人をシステムの中でどのように扱うべきか検討することが、将来の社会システムにとって重要である。**
- ◆ **これは、システム観点ではCPSからCPHSへと、システムと人との関係に焦点を当てることを意味し、また第6期科学技術・イノベーション基本計画において策定された人文・社会科学を合わせた「総合知」の考え方も合致すると捉えている。**
- ◆ **一方、(慶應大) 西村教授のご指摘の通り、アーキテクチャによるモデル化は社会実装に向けた過程であり、これより先は、社会実装を実現するための構築論を検討していくフェーズと考える。**
 - ◆ 構築論については、具体的な複数事例を対象に、社会実装に関わるステークホルダとシステム構築を検討しながら、その共通項や注意点、課題などを明らかにしていくことが重要である。

本SoS分科会では、全体システムのモデル化に焦点を当てて検討を行った。本報告書が複数システムが連携・統合した人間中心の社会システムの実現に対し、何等かの気づきを与えることができたなら幸いである。

第8章 参考文献

- 8-1. 論文等
- 8-2. 事例

8-1. 論文等 (1/3)

- 1.内閣府, Society 5.0, https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- 2.内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例 (医療・介護), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/medical.html
- 3.内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例 (ものづくり), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/monodukuri.html
- 4.内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例 (農業), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/agriculture.html
- 5.内閣府, Society 5.0 新たな価値の事例 (エネルギー), https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/energy.html
- 6.内閣府, 総合知ポータルサイト, <https://www8.cao.go.jp/cstp/sogochi/index.html>
- 7.Alex Gorod, Brian Sauser, and John Boardman, "System-of-Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward", IEEE SYSTEMS JOURNAL, VOL. 2, NO. 4, Dec., 2008
- 8.K. E. Boulding, "General systems theory - The skeleton of science," *Manag. Sci.*, vol. 2, no. 3, p. 197, 1956.
- 9.R. Ackoff, "Towards a system of systems concepts," *Manag. Sci.*, vol.17, no. 11, pp. 661-672, 1971.
- 10.G.P.O, U.S., "Restructuring of the strategic defense initiative (SDI) program," 1989.
- 11.J. H. Holland, *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.
- 12.M. Maier, "Architecting principles of systems-of-systems," presented at the 6th Ann. Int. Symp. Int. Council Syst. Eng., Boston, MA, 1996.
- 13.R. Pei, "System of systems integration (SoSI)—A smart way of acquiring army C412WS systems," in *Summer Comput. Simulation Conf.*, 2000, pp. 574–579.
- 14.A. P. Sage and C. D. Cuppan, "On the systems engineering and management of systems of systems and federations of systems," *Inf.,Knowl., Syst. Management*, vol. 2, pp. 325–345, 2001.
- 15.S. C. Cook, "On the acquisition of systems of systems," presented at the INCOSE Ann. Symp., Melbourne, Australia, 2001.
- 16.P. G. Carlock and R. E. Fenton, "System of systems (SoS) enterprise systems engineering for information-intensive organizations," *Syst. Eng.*, vol. 4, no. 4, pp. 242–261, 2001.
- 17.A. Shenhar, "One size does not fit all projects: Exploring classical contingency domains," *Manag. Sci.*, vol. 47, no. 3, pp. 394–414, 2001.
- 18.DAU, "Defense acquisition guidebook," 2004.

8-1. 論文等 (2/3)

- 19.M.W. Maier: "Architecting Principles for Systems-of-Systems, Systems Engineering," Vol.1, No.4, pp.267-284 (1999)
- 20.J. Dahmann and K. Baldwin: "Understanding the Current State of US Defense Systems of Systems and the Implications for Systems Engineering," IEEE Systems Conference, pp.7-10 (2008)
- 21.貝原俊也・下原勝憲: 「System of Systemsコンセプトと超スマート社会」、計測と制御、Vol.55、No.4 (2016)
- 22.Cyber-Physical & Human Systems調査研究会, <http://is.eei.eng.osaka-u.ac.jp/hatanaka/CPHS/index.php>
- 23.齊藤裕, "アーキテクチャのデザインによる産業競争力強化の提言", システム/制御/情報、Vol 66, No.8, pp.299-302, 2022
- 24.Zhemei Fnag, "System of Systems Architecture Selection: A Survey of Issues Methods and Opportunities", IEEE System Journal, Vol.16, No.3, Sept. 2022
- 25.市原紘平, "EAの活用動向とArchiMateの概説", (株)日本総合研究所, 2024/7/26, <https://www.jri.co.jp/page.jsp?id=108481> (accessed on 2024/11/11)
- 26.デジタル庁, "データ環境整備のためのアーキテクチャ管理 導入実践ガイドブック", デジタル社会推進標準ガイドライン, 2024/3/27, https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/4e06cf86-4403-47a8-bd67-52f8ea5ec66b/cf2a7c71/GIF-1.39.zip (accessed on 2024/11/11)
- 27.Ed Walters, "Understanding the Basics An Introduction to the ArchiMate® Modeling Language, Version 3.0", The website of Ed Walters, 2017/4/xx, <https://fmedic.co.uk/truecom/whitepaper2.pdf> (accessed on 2024/11/11)
- 28.The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification", The Open Group Library, 2023/1/3, <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/ch-Language-Structure.html#sec-Use-of-Colors-and-Notational-Cues> (accessed on 2024/11/11)
- 29.The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification Reference Cards", The Open Group, 2022/11/28, <https://www.opengroup.org/sites/default/files/docs/downloads/n221p.pdf> (accessed on 2024/11/11)
- 30.デジタル庁, "データ環境整備のためのアーキテクチャ管理 導入実践ガイドブック", デジタル社会推進標準ガイドライン, 2024/3/27, https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/4e06cf86-4403-47a8-bd67-52f8ea5ec66b/cf2a7c71/GIF-1.39.zip (accessed on 2024/11/11)
- 31.[図出典]The Open Group, "ArchiMate® 3.2 Specification", The Open Group Library, 2023/1/3, <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/ch-Relationships-Between-Core-Layers.html> (accessed on 2024/11/11)
- 32.[図出典]Phillip Beauvoir & Jean-Baptiste Sarrodie, "Archi-Full.png", Archi - Open Source ArchiMate Modelling, 1900/1/0, <https://www.archimatetool.com/> (accessed on 2024/11/11)

8-1. 論文等 (3/3)

33. 外務省、JAPAN SDGs Action Platform, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/index.html>
34. 岩谷産業株式会社, 宇部マテリアルズ株式会社, KHネオケム株式会社, コスモ石油株式会社, JFEスチール株式会社, JNC株式会社, デンカ株式会社, 丸善石油化学株式会社, UBEエラストマー株式会社, 横河電機株式会社, 千葉県市原市五井地区、千葉県蘇我地区におけるカーボンニュートラルなコンビナートの実現に向けた共同検討の覚書を締結, <https://www.jfe-steel.co.jp/release/2022/12/221208-1.html>
35. 国立研究開発法人防災科学技術研究所, 国、地方公共団体、指定公共機関等、複数組織間で災害時の状況共有を行うシステム：基盤型防災情報流通ネットワーク SIP4D, <https://www.sip4d.jp/>
36. スマートシティプロジェクト, <https://www.mlit.go.jp/scpf/projects/index.html>
37. 徳島県美波町, 美波町スマートシティコンソーシアム (徳島県美波町), [https://www.mlit.go.jp/scpf/projects/docs/smartcityproject_mlit\(2\)%2018_minami.pdf](https://www.mlit.go.jp/scpf/projects/docs/smartcityproject_mlit(2)%2018_minami.pdf)
38. 長崎県五島市福江島等, スマートアイランド推進実証調査, https://www.mlit.go.jp/scpf/projects/docs/smartiland_mlit%2001_goshima.pdf
39. 平田 研二, 和佐 泰明, "SICEにおけるCyber Physical Human Systems調査研究", 第14回横幹連合コンファレンス:OS-15, 2023,
40. 井上 正樹, 宮岡 佑弥, "Chat2Spec : チャットからCyber Physical Human Systemsの仕様設計へ", 第14回横幹連合コンファレンス:OS-15, 2023
41. 渡邊 泰斗, 和佐 泰明, 薄 良彦, 平田 研二, 田中 健太, "行動変容効果を考慮した電力・交通システムの動的最適化と環境負荷評価," 計測自動制御学会論文集, 59(9):410-417, 2023
42. T. Watanabe, Y. Wasa, Y. Susuki, K. Hirata, K. Tanaka, "Dynamic Energy/Mobility Allocation with EV Consumer Behavior Coupling Transmission Power and Traffic Systems," IFAC PaperOnLine, 55(41):26-31, 2022

8-2. 関連事例の情報

分析対象とした事例

No.	事例(Webサイト含む)	参照元	関連企業/団体など	システムにおける人間の役割/パターン	SDGs
1	元町ウエルネスパーク	https://motomachi1927.jp/index.html	文京区/順天堂大学/東京ユニテッドFC/エフステージ/清水建設	D	3,11
2	県の高齢ドライバー安全運転対策事業に「Ever Drive」が選定	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000292.000023075.html	オリックス株式会社	B	3
3	「MODEロボットクラウド」群ロボシステムに対応	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000054.000035514.html	MODE, Inc	A	9
4	三菱電機とゾルタン、ラストワンマイル移動サービスの実証実験を開始	https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230228-2603750/	三菱電機株式会社/ゾルタン株式会社	D	3,11
5	JFEスチール 千葉県市原市五井地区、千葉県蘇我地区におけるカーボンニュートラルなコンビナートの実現に向けた共同検討の覚書を締結	https://www.jfe-steel.co.jp/release/2022/12/221208-1.html	岩谷産業株式会社/宇部マテリアルズ株式会社 KHネオケム株式会社/コスモ石油株式会社 JFEスチール株式会社/JNC株式会社/デンカ株式会社 丸善石油化学株式会社/UBEエラストマー株式会社 横河電機株式会社	A	7,9,11
6	国、地方公共団体、指定公共機関等、複数組織間で災害時の状況共有を行うシステム：基盤型防災情報流通ネットワーク SIP4D	https://www.sip4d.jp/	国立研究開発法人防災科学技術研究所	A	3,11,13
7	COCOA	https://www.digital.go.jp/policies/cocoa	厚生労働省	B	3
8	各種テレワーク推進事業	https://www.kankyobusiness.jp/column/028566.php	東京電力パンチヤーズ	A	該当なし
9	空港管制システム	https://www.tel.co.jp/museum/magazine/mobility/140912_interview/index.html	TELESCOPE Magazineの記事	C	該当なし
10	TOYOTA WOVEN CITY	https://www.woven-city.global/jpn/	トヨタ自動車株式会社	D	該当なし
11	スマートシティプロジェクト	https://www.mlit.go.jp/scpf/projects/index.html	全国のスマートシティの事例を集めたサイト	D	4,7,8,9,11,13
12	ERP、SCM、CRMの次に打つべき「一手」—データ活用がビジネスを変え—	https://www.itmedia.co.jp/it/articles/0402/17/news064.html	ITmedia エンタープライズの記事	C	8,9
13	日本初、ごみ処理施設におけるETC多目的利用サービスの試行運用を開始	https://www.oki.com.jp/press/2021/11/z21081.html	沖電気工業株式会社	D	7,9,12
14	高齢者見守り (生活バイタルIoT×サービス) エアコンで居室内の要介護者を見守り	-	-	C	3,11
15	System-of-systems validation for automotive design	https://resources.sw.siemens.com/ja-JP/white-paper-system-of-systems-validation-for-automotive-design	SIEMENS	C	9,12
16	The Cost Challenges of System of Systems	https://sicamp.org/the-cost-challenges-of-system-of-systems/	SIEMENS	A	16
17	システムオペレーション技術の船舶海洋工学分野への活用	https://www.jstage.jst.go.jp/article/conf/27/0/27_103/_pdf	日本船舶海洋工学会講演会論文集 第 27 号	A	9
18	東芝が注力するインフラサービス事業、その「SW1H」とは	https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2012/07/news049_3.html	株式会社 東芝	A	7,9
19	A system-of-systems (SoS) perspective on additive manufacturing decisions for space applications	https://ieeexplore.ieee.org/document/9812665	IEEE論文	C	7,9
20	製造業DX取組事例集	https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/2019FY/000312.pdf	-	D	9
21	エネルギーシステムの一体改革について	https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/energy_system_reform/	経済産業省	D	7,9,11,13,17

8-2. 関連事例の情報

No.	事例(Webサイト含む)	参照元	関連企業/団体など	システムにおける人間の役割・パターン	SDGs
22	電力制御システム	https://www.khi.co.jp/energy/management/	川崎重工業株式会社	A	7,9
23	分野間データ連携基盤	https://sip-cyber-x.jp/	株式会社日立製作所/国立情報学研究所 SBテック/ロジック株式会社/東京大学/日本電気株式会社 富士通株式会社/株式会社エヌ・ティ・ティ・データ JIPテクノサイエンス株式会社	B	7,8,9,11
24	日立のスマートモビリティが都市の全交通網をデジタルで接続	https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2022/07/0720.html	株式会社日立製作所	D	9
25	北海道民の生涯を通じた全世代型予防・健康づくりをめざし、人口の約7割を対象とする「健康・医療情報分析プラットフォーム」が本格稼働	https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2023/04/0403.html	株式会社日立製作所	A	3,9,11
26	日立ヴァンタラとオーストラリアのゴールドテン・グローブ農園が、データ駆動型の分析による、持続可能な用水管理を実現	https://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2023/03/0329c.html	株式会社日立製作所	A	2,15
27	Synerexによる移動サービス革命を目指して	https://www.gremo.mirai.nagoya-u.ac.jp/media-download/85/2954e02b4da68bb2/	株式会社日立製作所	D	9,11
28	Society 5.0を支えるトラスト&セキュアなサービス・システム	https://www.hitachihyeron.com/jp/archive/2020s/2021/02/02b04/index.html	株式会社日立製作所	D	9,16
29	Rebuilding Trust and Governance: Towards Data Free Flow with Trust (DFFT)	https://www3.weforum.org/docs/WEF_rebuilding_trust_and_Governance_2021_JPN.pdf	WORLD ECONOMIC FORUM	C	9,16
30	人工知能間の交渉・協働・連携	http://www.cocn.jp/report/theme98-L.pdf	産業競争力会議 2017年度 プロジェクト 最終報告	A,D	9,11,16
31	クラウドマニファクチャリング	https://www.hitachi.co.jp/rd/research/design/vision_design/future/manufacturing/index.html	株式会社日立製作所	D	8,9,11
32	災害情報統合	https://www.hitachi.co.jp/rd/sc/story/sip4d/index.html	株式会社日立製作所	A	11,13
33	東芝とDeNAライブサイエンスがゲノムデータを含むヘルスデータの利活用に関する協業検討を開始	https://dena.com/jp/news/4942/	株式会社 東芝/株式会社DeNAライブサイエンス	D	3,9,17
34	6年先までの生活習慣病リスクを予測するAIのサービス提供を開始	https://www.global.toshiba/jp/company/digitalsolution/news/2020/0713.html#id01	東芝デジタルソリューションズ株式会社	A	3,9,17
35	顔認識技術による登園把握の実証実験	https://reseed.resemom.jp/article/2023/02/10/5636.html	西日本電信電話株式会社/株式会社コトモン	C	9,17
36	飲食×タクシーが異業種コラボ 宅配サービス「まうちごち」誕生	https://www.week.co.jp/postpic/65738/	株式会社新潟博覧堂/富士タクシー	D	3,9,17
37	過疎地からロボットで接客！ロボット店員が「実演販売」を行う実証実験を大阪南港ATCにて実施	https://www.tokyu-land.co.jp/news/2020/001093.html	株式会社サイバーエージェント/大阪大学/株式会社アルペログランデ	C	3,9,17
38	「RIZAP低糖質米プログラム（仮称）」を2018年3月下旬より開始	https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000003.000030866.html	タイカー療法薬株式会社/RIZAPグループ株式会社	D	3,9,17
39	とくし丸:買い物弱者向け移動スーパー	https://www.tokushimaru.jp/about/	株式会社 とくし丸	D	3,9,11,17
40	アサヒビール、キリンビール物流分野における協業拡大	https://www.mlit.go.jp/common/001259483.pdf	日本通運株式会社/アサヒビール株式会社/キリンビール株式会社 日本貨物鉄道株式会社	A	9,13,17
41	ソーシャルベンチャー×林業による林業価値向上	https://mirasapo-plus.go.jp/jirei-navi/case_studies/1696	経済産業省 ミラサポplus	-	9,13,17
42	一般社団法人量子技術による新産業創出協議会 (Q-STAR)	https://qstar.jp/	一般社団法人 量子技術による新産業創出協議会	-	9,17

補足・参考資料

- 補足 1 : 第14回横幹連合コンファレンス 企画セッション
- 補足 2 : 分科会実施会合

補足 1 : 第14回横幹連合コンファレンス 企画セッション (1/2)

◆ 第14回横幹連合コンファレンス : 2023.12.16-17 @東大駒場キャンパス

◆ 企画セッション : 2023.12.17 15:00-17:00

- ◆ タイトル : 「Cyber Physical Human Systemsが導く未来」(OS-15)
- ◆ セッションオーガナイザー : 柳沼義典 (富士通株式会社)

	タイトル、著者	概要
1	SICE における Cyber Physical Human Systems 調査研究 平田研二(富山大学), 和佐泰明(早稲田大学)	第6期科学技術・イノベーション基本計画において、人間中心の社会を目指した CPS への変革が求められる中で、計測自動制御学会における「人につながる制御システム調査研究会」(主査: 平田、副主査: 和佐、井上) による CPHS 調査研究の取組みを紹介した。
2	Chat2Spec—チャットから Cyber Physical Human Systems の仕様設計へ— 井上 正樹、宮岡 佑弥(慶應義塾大学)	CPHS を実現する要素技術の1つとして、人の心理状態など内面状態の推定のために、NLP という“間接センシング”を用いて、自然言語のチャット情報から個人のシステムへの要求・仕様を推定するモデル(Chat2Spec)と、航空交通管理の補助などの具体事例を概説した。
3	Smart Manufacturing と System of Systems 熊谷渉、鎌田健一、奥田有紀(横河電機株式会社)	Society 5.0 の社会実装において重要な SoS として、鉄道システムや地域エネルギー管理システムの事例を紹介した。また、製造業から見た SoS や CPHS の展望として、工場・プラント中心のエネルギーやリサイクル原料の物流ネットワークが変容するに伴って、労働の在り方が変化するような将来像を説明した。

補足 1 : 第14回横幹連合コンファレンス 企画セッション (2/2)

	タイトル、著者	概要
4	社会インフラシステムを Cyber Physical Human Systems として捉える新たな開発プロセスに関する検討 高橋由泰、志村明俊(株式会社日立製作所)	ニーズの多様化、ニーズや環境が大きく変化する今日では、システムを動的なものにとらえ、運用者や利用者などのステークホルダから意見を取り入れながらシステムを改良していく方式が重要である。人間のシステム開発への関わり方は、CPHS としてシステムを捉えなおすことであり、CPHS を用いた社会インフラシステムの開発とその際のシステムアーキテクチャについて説明した。
5	Cyber Physical Human Systems の事前検証を可能にするソーシャルデジタルツイン 高橋英一、板倉宏太、山岡久俊、植木美和(富士通株式会社)	人、モノ、コトが複雑に関係し合う社会において、社会課題の解決施策の影響を分野横断的に事前検証するために、行動経済学の知見等をもとに、人の行動選択や社会の活動を高度にモデル化して再現するソーシャルデジタルツイン(SDT)を開発中である。CPHS の検証インフラとして活用ができる本技術について、特長と構成を示した後、技術課題である同期処理とその解決に向けた取り組みを説明した。
6	パネルディスカッション : Cyber Physical Systems と Human との関わりについて モデレータ: 藤田 政之(東京大学) パネリスト: 熊谷渉(横河電機株式会社), 市原紘平(株式会社三井住友銀行), 鈴木羽留香(慶應義塾大学), 植木美和(富士通株式会社)	今回の OS 企画では2つのグループの融合を図った。1つは計測自動制御学会の CPHS 調査研究会で、もう1つはシステムイノベーションセンターのSoS 分科会である。2つのグループは非常に親和性が高く、横幹連合コンファレンスは良い機会と捉えた。これまで出会った事がない方々が Human というキーワードから CPHS という目的に向けて議論を始める良い機会となった。CPHS は非常に難しい問題で、解がでるのはまだ先だが、出会ったのが横幹連合の場であったのは歴史の必然と考える。この場をきっかけに、今後双方の情報交換を行いながら CPHS についてより深く理解を進めたい。

補足 2 : 分科会実施会合

回数	日時	概要
第1回	2023年02月10日(金) 15:30~17:00	SoS分科会のキックオフ
第2回	2023年03月06日(月) 15:00~16:00	興味あるCPHSの取り組み事例や、分科会で取り組みたいテーマの共有・検討
第3回	2023年04月19日(水) 14:00~15:30	CPHSの事例調査で得られた、42事例について分析
第4回	2023年06月07日(水) 09:00~10:30	事例におけるHuman要素まとめ/Human要素を含むヘテロジニアスな事例の分類/Humanの観点から見たシステムの成熟度について議論
第5回	2023年07月20日(木) 16:00~17:45	システムと人間の関わり方、およびSoS成熟度に関するディスカッション(オフライン開催)
第6回	2023年08月30日(水) 14:00~15:20	SoSの分類・軸に関する議論
第7回	2023年09月26日(水) 15:30~17:00	3グループに分かれHuman要素を含むアーキテクチャについて議論
第8回	2023年10月31日(火) 15:30~17:00	3グループに分かれHuman要素を含むアーキテクチャについて議論(継続)
第9回	2023年12月06日(水) 15:00~16:30	3グループに分かれHuman要素を含むアーキテクチャについて議論(PPTベースでアーキテクチャ作成)
第10回	2024年01月24日(水) 13:00~14:30	3グループに分かれHuman要素を含むアーキテクチャについて議論(Archimateによるアーキテクチャ作成)
第11回	2024年02月27日(火) 09:30~11:00	詳細議論可能な研究事例によるアーキテクチャ検討(研究者にご紹介いただくことを想定し、横幹連合コンファレンス発表資料・論文より選択)
第12回	2024年03月29日(金) 15:00~16:00	慶應大学 井上先生より、研究事例をご紹介いただき、議論
第13回	2024年04月10日(水) 10:30~12:00	富山大学 平田先生、早稲田大学 和佐先生、東京工業大学 畑中先生より、それぞれ研究事例をご紹介いただき、議論
第14回	2024年04月25日(木) 14:00~15:00	ご紹介いただいた研究事例の中から2つの事例を選択し、CPHSを考慮したアーキテクチャ検討
第15回	2024年05月30日(木) 14:00~15:30	作成したアーキテクチャを共有し、アーキテクチャからHuman要素の気づきを議論
第16回	2024年06月27日(木) 15:30~17:00	検討したアーキテクチャをArchimateでモデリングし、作成時の課題などを検討
第17回	2024年07月31日(木) 15:30~17:00	報告書の骨子を分科会メンバーと議論
第18回	2024年09月05日(木) 10:00~11:00	ブラッシュアップした報告書を分科会メンバーと議論
第19回	2024年09月25日(木) 14:30~15:40	報告書をベースに、慶應大学 西村先生と事例のモデル化を通じた人とシステムの関わりについて議論
第20回	2024年10月30日(水) 14:30~15:40	報告書作成に向けて議論
第21回	2024年11月18日(月) 13:30~15:00	報告書作成に向けて議論
第22回	2024年12月18日(水) 14:30~16:00	報告書の最終確認と、SoS分科会のクロージング

Thank you