

# Society5.0 を形づくる

西村 秀和\*1

## Shaping Society5.0

Hidekazu NISHIMURA\*1

**Abstract**– In this article, a project “Vison-Driven Architecture and Its Management Framework for S5.0” is introduced, describing its purpose and direction to shape Society5.0. An SoS (System of Systems) architecture with a social viewpoint, where abstract contracts are settled on, is needed to allow system cooperation in dynamic composition in the changes of needs from society, economics, environments, and technologies flexibly as well as sustaining safety.

**Keywords**– Society5.0, system of systems, system cooperation, system model, SysML: Systems Modeling Language

### 1. はじめに

JST (Japan Science and Technology Agency) は未来社会創造事業の「超スマート社会の実現」領域で、“多種・多様なコンポーネントを連携・協調させ、新たなサービスの創生を可能とするサービスプラットフォームの構築”を掲げている。これは Society5.0[1] を実現するために必須となるシステム連携を技術的に確立させ、サービスを社会に提供するための重要な研究領域である。

「超スマート社会の実現」領域で募集された探索研究に対し、特定非営利活動法人 横断型基幹科学技術研究団体連合（以下、横幹連合）を主体とするメンバーは、Society5.0 を実現しようとするには、経済や環境、技術的な変化を適切に捉える必要があると考えた。そして、安全性を確保した上で、その社会を形成する人々へ適切なサービスを介して価値を提供することが重要であるという共通認識のもと、「構想駆動型社会システムマネジメントの確立」を提案し、このたび採択された。

Internet of Things（以下、IoT）技術の発展はめざましいものがあり、さまざまなものがつながることで提供されるサービスシステムは、いわゆる System of Systems（以下、SoS）となり、創発的な振る舞いをする事が懸念される [2]。本稿では、JST に提案した研究の目指す

方向性と、そこに期待していることを中心に述べたい。

### 2. System of Systems の特徴

異質な個々のシステムが独立して動作可能ではあるが、ある共通したゴールに向けて共にネットワークされている大規模な統合された複数システムは SoS と呼ばれる [2]。例えば Fig. 1 に示すように企業 A があるサービスを社会に提供しようとした場合、いわゆる IoT 関連の技術を利用すると、そのサービスに関連する複数の別の構成システムを活用することが容易になることが期待される。しかしながら、この結果、企業 A は他の企業 B～E が提供するサービスと複雑に相互に関係性をもつ

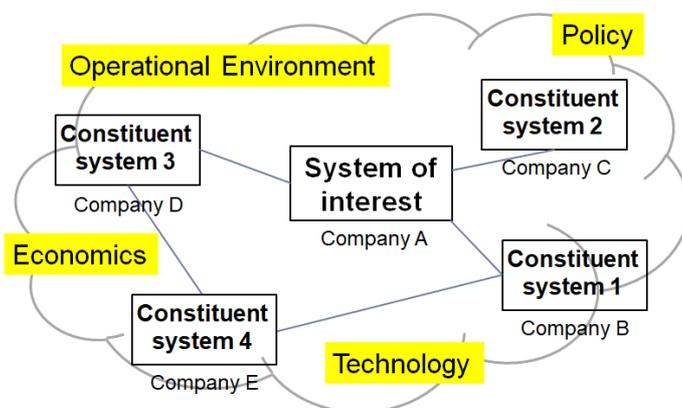


Fig. 1: System of Systems in operational environment

\*1 慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1

\*1 Keio University, 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa

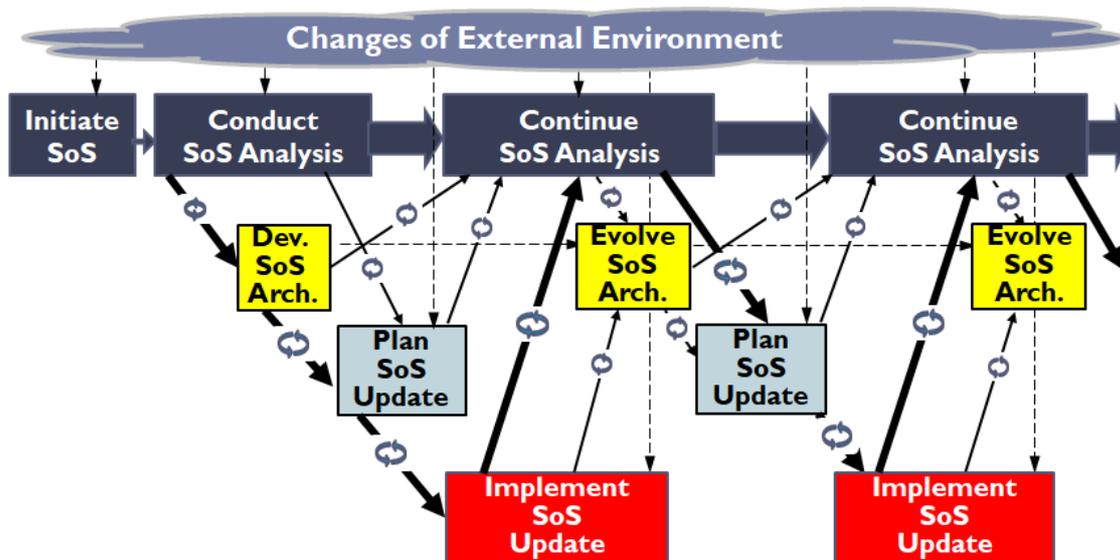


Fig. 2: Wave model [6]

ことになる。企業 A がこのシステムのライフサイクル全般にわたるマネジメントを行うには、本来であれば、企業 B～E の提供する他のサービスもマネジメントする必要があるが、企業 A にとってそれは容易なことではない。

SoS は、必ずしも運用、管理が及ばない複数のシステムで構成されるため、経済的、政策的、技術的な環境変化の可能性があるライフサイクル全般にわたって、SoS 全体として求められる機能、特性を維持することを保証するのは難しい。

Maier は、このような SoS を次のように特徴付けている [2]。

- 個々の構成システムが運用の独立性をもつ。
- 個々の構成システムが管理の独立性をもつ。
- 個々の構成システムが地理的に分布している。
- 創発的な振る舞いをしてしまう可能性がある。
- 進化的で適応的な発展をする。

Meier の SoS に関する論文が発表されて以来、SoS エンジニアリングに関する議論が数多くなされてきた [3]。ここでは、これまでのシステムズエンジニアリング [4], [5] の単なる拡張では立ち行かなくなる可能性が様々な観点から指摘されている。例えば、先の Fig. 1 の例で、企業 A が企業 E の提供するサービスの代わりに、新たに企業 F が提供するサービスに切り替えようとする場合に、接続性、互換性、相互運用性が確保されていれば、すぐに繋いで良いのだろうか？ SoS が社会に与える影響が無視できないような場合には、このような構成システムの変更を容易に決めることはできないであろう。Meier

の指摘する“創発的な振る舞い”が起きてしまうと、意図しない影響を外部システムに与えてしまう可能性があるからである。外部環境の変化等に応じて、SoS は進化的で適応的な発展をする必要がある。

そこで、SoS アーキテクチャを構築した後、環境の変化に応じて SoS アーキテクチャを更新することが望ましい [6]。アーキテクチャにはトレーサビリティが確保されていることが求められるため、複雑な SoS アーキテクチャを記述することが求められる [7]。その記述にはアーキテクチャビューポイントが決定するビューとシステムモデルを用いることが必要となる。システムモデルには構成システム間の構造的関係、振る舞いの関係およびそれらに関連する要求および制約が記述される [8]。

このような SoS をマネジメントするためのモデルとして Wave Model (Fig. 2) がすでに提案されている [6]。外部環境の変化に対して SoS 分析を継続的に実施し、SoS アーキテクチャの策定、更新計画を実施し、更新した SoS を環境の中へ実装し、さらに SoS アーキテクチャを進化させ、更新、実装を繰り返すことが表されている。一度策定し実装した SoS をそのまま運用するのではなく、外部環境の変化に影響を受けた SoS の分析結果に基づき、アーキテクチャを進化させ SoS をマネジメントするという考え方は、IoT で様々なものやことが繋がる Society5.0 では、極めて重要なことであろう。

このようなマネジメントを誰がどのように実施するかについては、様々な意見があると考えられるが、SoS の社会への影響の大きさや提供するサービスの内容に応じて、マネジメントを行う主体やその内容、方法は変わってくると考えられる。

### 3. 社会ビューポイントをもつアーキテクチャ

産業の効率化を意図してIoTで繋がることによって形成される Industrial Internet Systems (以下, IISs) では, ビジネス, 利用, 機能, 実装のビューポイントの4階層をもつ参照アーキテクチャが提案されている (Fig. 3) [9]. エネルギー, ヘルスケア, 製造, 運輸, 公共部門および関連産業システムを網羅する IISs では, ビジネスとしての成立性を念頭に置くため, 最上位のレイヤーがビジネスビューポイントとなる. 例えば, セキュリティの脅威に関して対処を要する場合に, 実装のレイヤーのみ, これを実施すれば良いのではなく, ビジネス/利用/機能のそれぞれのレイヤーで対処する必要があることを表している. ビジネスビューポイントではビジネス価値とその根拠を持ち, 利用ビューポイントでは特定のアクティビティと役割で協働し, 機能ビューポイントでは特定のセキュリティ機能を持ち, そして実装ビューポイントでは, 特定の特性をもった技術に依存する必要がある.

このようなIoTで繋がるシステムは, Cyber Physical System を含めて, SoS を形成すると解釈できる [10]. ビジネスとして成立させるためには, 社会への価値の提供が求められ, また, 社会からの受容性を確保することが求められる. IIC が発行するビジネス戦略とイノベーションフレームワーク [11] でもこのことへの言及がある. 2章で述べたとおり, SoS である IISs は, 経済的, 政策的, 技術的な変化があってもその機能を維持しようとするならば, マネジメントが必要となる. 著者は自動運転車を取り巻く交通システムを SoS としてとらえ, 社会ビューポイントを設けて安全性に関するアーキテクチャ定義を試み, システムモデル記述を行った [12].

そこで, JST 未来社会創造事業「超スマート社会の実現」領域の探索研究では, 社会動態の計測, 分析, 評価をもとにマネジメントする枠組みの確立が必要と考え, Fig. 3 のビジネスビューポイントのレイヤーの上にさら

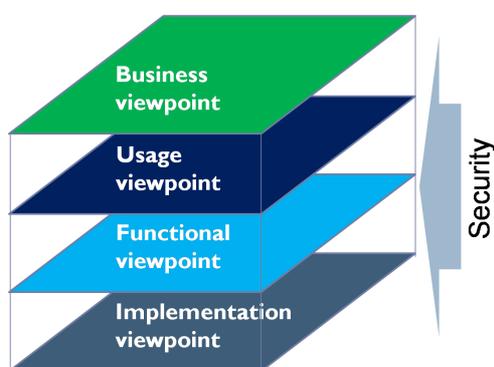


Fig. 3: Industrial Internet Reference Architecture [9]

に社会ビューポイントを置いた SoS アーキテクチャを構築することを提案している. 提案する SoS アーキテクチャとその実例として高度交通システム (ATS: Advances Transportation System) との関係性を Fig. 4 に示す.

この SoS アーキテクチャは, 社会/ビジネス/利用/機能/実装の5階層とし, ビジネスが社会に対してどのような効果をもたらすのかを明確に示すことを意図している. 当然ながら, 各階層は互いに連携がとられ, トレーサビリティが確保される必要がある. 例えば, 高度交通システムで新たに構成システム (Constituent System 以下, CS) を接続したい場合には, SoS アーキテクチャに基づき, その変更を許すか否かの判断が可能となる. 下位のレイヤーから順次判断の確認をとり, 最終的には, 最上位の社会ビューポイントまで遡ることになる. このため, 社会ビューポイントのレイヤーには, その利害関係者の関心事や懸念を反映した社会としてのビジョンを見据えた社会的合意をとりまとめた (compile) 抽象的約定 (Abstract Contract, 以下 AC) を設定する.

社会的な合意の背景には, グローバルには地域の文化, 倫理, 宗教, 民族までもが考慮されなければならない. また, 当然ながら, 利害関係者の関心事やニーズは, 安全性, 持続可能性, 強靱性などの品質や, 他に信頼性, 可用性, 保守性, セキュリティに関連する. システムズエンジニアリングでは, こうした品質特性を維持するためにアーキテクチャがビューをもつことが求められる [7] が, このようなシステムズエンジニアリングアプローチが, そのまま SoS エンジニアリングで活用できるのかどうかは明確になっていないため, 現在, SoS エンジニアリングに関する標準の策定が進められている.

2章で述べたように CS の運用, 管理上の独立がある中で, 創発的な振る舞いをしてしまう可能性のある SoS をどのようにマネジメントするべきか? 進化的に適応的に発展していくためには Fig. 2 に示した Wave Model でマネジメントしていく必要があると言われるが, 具体的にどのような仕組みで進めていけば良いか明確ではない.

Fig. 4 には, AC を含めたアーキテクチャが SoS を見渡し, 社会的合意をとりまとめている AC の最終的な判断のもとで, システム連携を許可することを表している. AC の役割は極めて大きく, 新たに繋ごうとする CS を特定し, 最終的な安全の保証と整合をとることが求められる. このためには, SoS に対して継続的に分析および評価を行う必要があると考えられる. AC は SoS の進化的で適応的な発展を実現するために必須のメカニズムであり, 社会の合意の変化をも捉え, SoS アーキテクチャの更新に関与するものになると考えている.

さらに産業あるいはサービス分野としてそれぞれに構

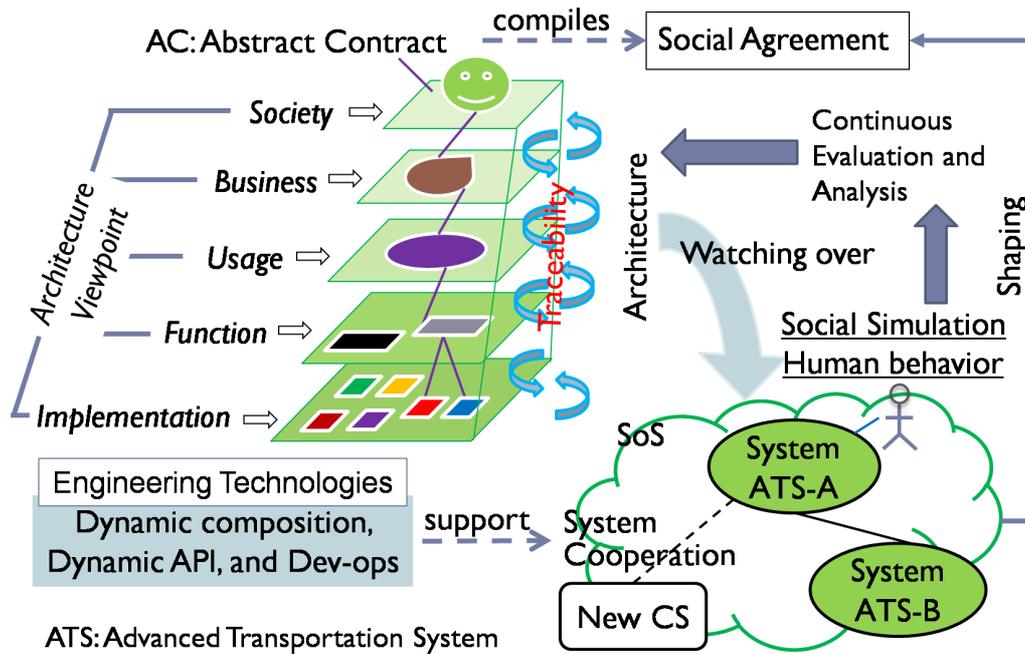


Fig. 4: Proposal of 5-layer Architecture Including Abstract Contract

成されている複数の SoS を連携させることが社会から要請されることも考えられる。例えば、高度交通システムと電力エネルギーシステムの連携により、エネルギーの適切な配分や、エネルギー供給が逼迫した際の対処が可能となる場合には、SoS 同士を連携させることが求められる。こうした SoS 間連携の実現には、SoS を動的に再構成するための仕組み、動的にシステム間を繋ぐための API (Application Program Interface)、運用中にソフトウェアを開発する活動である DevOps など、エンジニアリング技術に関連する裏付けが必要となる。こうしたチャレンジングな研究を進める一方で、これらの技術を支えるエンジニアを育てる必要もある。

#### 4. プロジェクト推進のための体制

本プロジェクトでは、代表者グループのもとで、5つのグループ a~e が連携して推進する体制をとっている。グループ a は遠藤 薫 教授 (学習院大学) が中心となり、社会的な観点からの SoS の評価を行うため、社会ビジョンを策定する仕組みとビジョンに基づく評価方法を研究する。グループ b は貝原 俊也 教授 (神戸大学) が中心となり、グループ a と共同してアダプタクションに基づく社会シミュレーションとシステムデザインを実施する。グループ a, b は代表者グループとともに、SoS アーキテクチャの社会およびビジネスのレイヤーを担当する。

グループ c は滑川 徹 教授 (慶應義塾大学) を中心に都市エネルギーシステムのモデル化と分散最適化アルゴ

リズムの構築を担当する。グループ d は永原 正章 教授 (北九州市立大学) を中心として、個別システム連携のための計測・制御 API とこの技術を支えるクラウド SoS の開発を担当する。システム間連携、Plug & Play 技術の構築のため、グループ c, d は協力関係にあり、代表者グループとともに SoS アーキテクチャの利用、機能、実装のレイヤーを担当する。さらにグループ e は戸辺 義人 教授 (青山学院大学) を中心に社会システムでの利用を念頭に人の行動パターンを把握するシステムの開発を目指す。グループ d が中心となって北九州市で概念実証実験を行う際にはグループ e が連携して、マクロな人の動態把握に関する実験を行う。

代表者グループはグループ a~e と共同して、SoS アーキテクチャの策定とそれに基づくマネジメントの仕組みを構築する。主としてグループ a と b が SoS アーキテクチャの上位にあたる社会とビジネスのレイヤーを、グループ c と d が利用、機能、実装のレイヤーを担当するが、代表者グループはこれらの間の調停を行うことで、レイヤー間のトレーサビリティを確保する。

#### 5. 自律と協生

Society5.0 を実現するためには、3章で述べたとおり動的再構成、動的 API、DevOps といったエンジニアリング技術が欠かせない。一方で今後、これらの多くの技術は AI (Artificial Intelligence) との関わり合いをもつものと想像される。すでに自動車の自動運転に関して

は、自律的に AI が自動車を操作するための技術動向が注目されている。さまざまなものやことが IoT で繋がり、AI によって自律的にシステムが運用され、便利で効率的なサービスの提供によって快適に暮らせるようになった人々は、そうした社会を受容するのか？

この問いに、容易に Yes と答えることは決して簡単なことではないと考える。では、こうした社会へ入ろうとするときに、科学技術を担う私たち研究者やエンジニアは何をする必要があるか？少なくとも、エンジニアリング教育の重要性を見逃してはいけなくと考える。今後、さまざまなものやことが極めて複雑に関係し合い、そしてある種の機能をもって、社会や人に働きかける「システム」が人の手によって、あるいは AI の技術を借りて、数多くつくられて行くことになる。そのときに自律的に作用するいわゆる Autonomous System の構築がさまざまな分野で望まれ、そうした技術に関わるエンジニアが多くの場面で必要となる [13]。

その中で一つには、システムズエンジニアリングの基本 [5] を理解することは必須になるであろう。システムズエンジニアリングを国際的に推進する INCOSE (International Council on Systems Engineering) では、SE Vision 2025[14] を発行し、その中で 2025 年にはモデルベースシステムズエンジニアリングが企業での活動に必須のものになると述べており、これは、ベースラインとして考えておくべきものである。そして、もう一つは“自律と協生”の理解である。Autonomous は self-governance (自律) を意味するが、自律は必ずしも、他者を考慮することを意味しない。自律システムを社会に役立てるにはそこに、互いに協力して生きていくことを意味する協生 (Symbiosis) が必要となる。Society5.0 の実現には、“自律と協生”、すなわち社会に住む人々と自律システムとの協調を理解できるシステムズエンジニアが必須になるものと考えられる。

## 参考文献

- [1] 第 5 次科学技術基本計画の概要, <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5gaiyo.pdf>
- [2] Maier, Mark W.: Architecting principles for systems-of-systems Systems Engineering, Vol.1, No.4, pp. 267-284, 1998.

- [3] Mohammad, Jamshidi, ed.: System of systems engineering: innovations for the twenty-first century. John Wiley & Sons, 2011.
- [4] International Standard, ISO/IEC 15288:2015, First edition, 2015-05-15.
- [5] Systems Engineering Handbook, A Guide for System Life Cycle Process and Activities. , Fourth Edition, 2015.
- [6] Dahmann, Judith; Rebovich, George; Lowry, Ralph; Lane, JoAnn; Baldwin, Kristen: An implementers' view of systems engineering for systems of systems. Systems Conference (SysCon), 2011 IEEE International, pp. 212-217, 2011.
- [7] International Standard ISO/IEC/IEEE 42010 1st ed., Systems and software engineering - Architecture description, 2011.
- [8] システムズモデリング言語 SysML (翻訳: A Practical Guide to SysML), 西村 秀和 (監訳), 東京電機大学出版局, 2012.
- [9] Industrial Internet Reference Architecture, tech-arch.tr. 001, Version 1.7, 2015-06-04, <http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>
- [10] 西村秀和, 産業をコトでつなぐシステムの参照アーキテクチャ～システムズエンジニアリングからの解釈～, 計測と制御, Vol.55, No.4, pp. 291-294, 2016.
- [11] The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework, 2016-11-15, [https://www.iiconsortium.org/pdf/Business\\_Strategy\\_and\\_Innovation\\_Framework\\_Nov\\_2016.pdf](https://www.iiconsortium.org/pdf/Business_Strategy_and_Innovation_Framework_Nov_2016.pdf)
- [12] 西村秀和, システムモデルと繰り返し型モデル検査による次世代自動運転車を取り巻く System of Systems のアーキテクチャ設計, 独立行政法人情報処理推進機構, ソフトウェア高信頼化センター, 2014 年度ソフトウェア工学分野の先導的研究支援事業, <https://www.ipa.go.jp/files/000053712.pdf>
- [13] Philipp Helle, Wladimir Schamai, Carsten Strobel: Testing of Autonomous Systems -Challenges and Current State-of-the-Art, 26th Annual INCOSE International Symposium, 2016.
- [14] INCOSE Systems Engineering Vision 2025 (June 2014), <http://www.incose.org/docs/default-source/aboutse/se-vision-2025.pdf?sfvrsn=4>

## 西村 秀和



1963 年 1 月 26 日生。90 年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程機械工学専攻修了。90 年千葉大学工学部機械工学科助手, 95 年同助教授, 2007 年 2 月～3 月バージニア大学訪問准教授, 2007 年より慶應義塾大学教授となり, 現在に至る。モデルベースシステムズエンジニアリング, システム安全, 自動運転システムなどの研究に従事。工学博士。INCOSE, IEEE, ASME, 計測自動制御学会などの会員, 日本機械学会フェロー。