



項目をクリックすることで当該記事に進みます



## 論説

### 産業構造変革とシステムズ・アプローチ

—ロボット革命・産業IoT イニシアティブ協議会における産業IoT ロードマップ検討—

ロボット革命・産業IoT イニシアティブ協議会 産業IoT アドバイザー 水上 潔(SIC 実行委員)

## コラム

### 「ソサイエティ5.0」と「デジタル社会」

SIC 理事・副センター長 木村英紀(東京大学・大阪大学名誉教授)

## 目次

### I センター情報

1. SIC学術協議会 特別講義(第3回) 開催報告
2. SIC2022年度連続講義 「現代システム科学講座」第4回目 開催報告

### II 活動報告

#### 1. 会合予定

##### ① 第1回SIC戦略フォーラム(8月30日(火)14:00-16:30)開催案内

【講演テーマ:経営】 タイトル 「マクロ経済モデルの現状とNEEDS 日本経済モデル」

講師 渡部 肇 氏 日本経済新聞社

【講演テーマ:科学技術】 タイトル 「危機に瀕する科学技術立国日本」

講師 豊田長康 氏 鈴鹿医療科学大学学長

##### ② 第2回SIC戦略フォーラム(8月31日(水)15:00-16:00)開催案内

【講演テーマ:防災・減災】 タイトル 「防災・減災におけるシステム化について」

講師 林 春男 氏 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 理事長

### III 正会員一覧

# 産業構造変革とシステムズ・アプローチ

—ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会における産業IoTロードマップ検討—

ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会 産業IoTアドバイザー 水上 潔(SIC 実行委員)

ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会(RRI)\*<sup>1</sup>では、第4次産業革命やSociety5.0、DX等で示される産業構造の大転換期にある現在において、日本製造業の変革というテーマに対し、システムズ・アプローチを適用した産業IoTロードマップの検討を行っている。これを通して得た知見を報告する。

## 1. 国内外の動向

第4次産業革命が日本のメディアでも取り上げられてきた2015年、内閣府の方針に沿って、製造ビジネス変革を推進する組織としてRRIが発足した。2016年には行政における日独連携に呼応して、独のIndutrie4.0の推進イニシアティブと連携協力していくことが決まり今日に至る。この間、独と欧州は欧州クラウド構想GAIA-Xなるデータ連携インフラを試行するまでに至り、自動車・農業・生産・サプライヤネットワーク・モビリティ・クラウドインフラなど多様な領域でLight House Projectが動き出している。加えて、そのデータ連携の基盤技術であるInternational Data Space(IDS)において、サプライチェーン・製造・エネルギー・モビリティ・自動車・スマートシティ他の分野で約60のプロジェクトが数百の企業のエコシステムとして始動している。これらの取組みは、一つのデータ連携構造をあらゆる産業・様々な視点・複数のシステム階層において試行しながら、未来の具体的姿を模索するという「未来を創る、産み出す活動」と捉えることができる。彼らは第4次産業革命に向けた変革の歩みを着実に進めていると言える。

日本では2016年に科学技術基本計画において、次代社会の姿としてSociety5.0\*<sup>2</sup>—サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)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)—、2017年に産業のあり方のビジョンとして Connected Industries\*<sup>3</sup>が打ち出され、さらに、DX具現化のためのアーキテクチャー検討を担うデジタル・アーキテクチャー・デザイン・センター\*<sup>4</sup>、データ連携に係る既存の取組が協調した連邦型の分野を横断するデータ連携をめざすプラットフォーム DATA-EX を推進するデータ社会推進協議会\*<sup>5</sup>など様々な動きが始まっている。

これら国内外の活動を受けRRIでは、どのような未来(産業構造)をどのように創っていくべきかを示す産業IoTロードマップを、システムズ・アプローチを適用し検討している。

\*<sup>1</sup> [ロボット革命イニシアティブ \(jmfrii.gr.jp\)](http://jmfrii.gr.jp)

\*<sup>2</sup> [Society 5.0 - 科学技術政策 - 内閣府 \(cao.go.jp\)](http://cao.go.jp)

\*<sup>3</sup> [Connected Industries \(METI/経済産業省\)](http://meti.go.jp)

\*<sup>4</sup> [デジタルアーキテクチャー・デザインセンター \(ipa.go.jp\)](http://ipa.go.jp)

\*<sup>5</sup> [一般社団法人データ社会推進協議会 | Data Society Alliance\(DSA\) \(data-society-alliance.org\)](http://data-society-alliance.org)

## 2. 産業構造変革 未来社会を設計・開発することの必要性

何故、未来社会の設計・開発が必要なのか。その理由の一つとして、技術がパラダイム・シフト<sup>\*6</sup>を伴う社会変革・産業革命を引き起こす考え方が挙げられる。第1次産業革命は蒸気機関の誕生が目撃されるが、織物製造などの分野における家内制手工業から工場制機械工業への移行の影響が社会構造の変化に及んだ点も無視できない。英国ではこの変化に追従できない人々が暴動を起こすなど社会不安が増大し、経済が長期に低迷している。また、工場勤務を目的とした地方農業従事者等の都会への急激な人の移動が都市環境の悪化を招いた。技術は時にこうした負の部分を作り出す。第4次産業革命においても同様の事態が想定され、例えばAI技術によりもたらされるシンギュラリティによって、様々な産業分野において人が職を失う可能性が示唆されている。負の部分が事前に想定されるのであれば、それをできるだけ回避するように設計が必要だ。

第4次産業革命の無視できない点として、AIを含む情報技術、バイオ、ナノ、量子・・・などに代表されるイノベーションの加速化も挙げられる。<sup>\*7</sup> 過去の産業革命においては、第1次での機械化、第2次での電気・電動化(他に化学、物理、フォード生産方式、etc)、第3次での情報化や電子化(経営、複雑系、システム、脳、etc)のイノベーションがあったが、特に近年はインターネットにより科学技術の進化速度が加速化している。技術進化に追従することが困難な人々の存在に注視しておく必要があり、イノベーションが人々の生活をより豊かにするような設計が必要だ。

更に、最近時における温暖化・気候変動対応のためのGX、カーボンニュートラル、循環経済、ESG投資などに対する注目度が高くなり、正にSociety5.0で示している社会課題への対応がより重要になってきており、これら社会課題が解決されるような設計が必要だ。

<sup>\*6</sup> トーマス・クーンは『科学革命の構造(The structure of scientific revolutions)』においてパラダイムの概念を示し、一般に言うパラダイム・シフトの概念に解釈が拡張されて今日に至る。

<sup>\*7</sup> 世界経済フォーラム クラウス・シュワブ著『第四次産業革命』など

## 3. システムズ・アプローチによるロードマップ検討

### 3.1. システムズ・アプローチ

まず、システムズ・アプローチについて簡単に触れておく。INCOSEのSEBoK<sup>\*8</sup>では、システムの「思考」アプローチを指すとしており、対象システムを含むシステムを全体的に捉えて検討することを意味している。

その1つの例として、国際標準化におけるシステムズ・アプローチを示す(図1)。関心領域であるシステムのスコープを決めて、影響を受ける利害関係者を特定し、アーキテクチャーを考え、その構造でのユースケースを分析し、メタのモデリングを行い、インタフェースなどの関連する基準を確認し、求める要件に対してのギャップを特定するプロセスを指す。



図1 システムズ・アプローチ IEC 資料より

### 3.2. これまでの活動

未来(多くの人にとって望ましい未来)の予測は簡単ではなく、唯一の正解があるわけでもない。その内容は検討する側の知識量や思考特性などに依存する。また現在の課題認識にも影響され、未来はそれが解決された状態が反映される。加えて、個人の知識量には限界があり、かつ認知バイアスもある(同じ対象でも、その認識は個々で異なる)。産業IoTロードマップ検討は、これらを前提としている。

この前提で機械・電気系技術者の知識や思考特性を見たとき、情報技術の視点で現状を捉え未来を想像することが弱い傾向が見て取れた。よって2018年に下記テーマで国際および日本の動向を学び、日本は他国と異なる方向にIT化を進めていたことが認識できた。

- PLM、MBSE(Model Based Systems Engineering)
- オントロジー、オブジェクト化、情報プロファイル
- ERP(Enterprise Resource Planning)
- BPR(Business Process Reengineering)、BPM(Business Process Management)、BA(Business Architecture)
- Supply Chain Management
- Business Ecosystem

上記知識獲得に加え、2019年にはシステムズ・アプローチを実践的にワークショップ形式で学び、以下の手法を獲得した。(但し、後半でコロナ禍の影響により中断)

- 認知バイアス、メタ認知、多様性の意義
- 20程度のフレームワークを適宜活用した思考の可視化、発散と収束、抽象度管理
- 7 Samurai<sup>\*9</sup> –Dealing with the Complexity of 7 Interrelated Systems

ロードマップ検討に必要な知識と手法を得て、2020年は30年後の創りたい社会を議論した。但し、個々の認知バイアスの影響を軽減させる目的で採用する多様性を取り入れた対面形式によるワークショップの実施が困難となったため、ITツールを利用したオンライン形式とした。その結果、オンライン化に伴う制約(会議時間長さやアフォーダンスの不足など)が思考を妨げたこと等が原因で、議論は相当な困難さを伴った。しかしながら、個人と社会との関係性、教育・学習のあり方、パラダイム・シフトの捉え方など、議論を通し描いた世界へ展開する重要な視点が得られた。また、望ましい世界を議論し行きついた結果が監視社会となった経験も得た。これは教訓として、日常において当たり前として享受している人間尊重、自由主義、資本主義、民主主義などの暗黙を意識し議論する必要性が認識できたと考えている。データ連携においてもセキュリティとプライバシー以外に重要な観点が存在する点からも想像できるように、未来の検討には社会学、法学、政治学、経済学、経営学、技術＝理工学、倫理学、哲学、人文科学の幅広い知識が必要となる。特に、多分野・多領域にまたがる知識・関心事を統合し一つのシステムに形作る工学的アプローチ及び手法であるシステムズ・エンジニアリングは重要である。RRIは小さな試みではあるが、エンジニアリングとしては重要な試行である。

### 3.3. ロードマップ検討

2021年度では将来像として、GAIA-X やIDSのプロジェクト、SKYWISE<sup>\*10</sup> 他から推定した「ものづくり×インフラ×サービス」という仕組みを持つ産業構造を実現するためのロードマップの検討に着手した。

イノベーションは人工物によりもたらされ、多くの人工物は製造業から作り出される。つまり人工物は全産業に影響を及ぼし、多くの仕組みの運用に寄与する。加えて、CPS化により運用も含めた人工物に関するデータが活用できると、運用の可視化によって予測が可能となり、更なる効率化・高付加価値化が実現され得る。これを実現する仕組みが「ものづくり×インフラ×サービス(製造aaSシステム)」である。

ところでロードマップ検討自体をシステムとして捉えると、様々な仕組みを内包する現在社会と、次世代産業構造としての製造 aaS システムも仕組みに含む将来社会との間には多くのパラダイム・シフトやギャップが想定され、このパラダイム・シフト及びギャップからロードマップの施策(=コンテンツ)が生まれる(図 2)。一方ロードマップ自身はロードマップの枠組みを持つシステムであり、その枠組みで施策が産み出され、現在社会におけるステークホルダーへの働きかけを通じ、施策が機能する。よって下記を整理した上で、施策を検討することが肝要であり、これをオンラインワークショップ形式で進めた

- 製造 aaS システムによる次世代産業構造
- 産業のパラダイム・シフト
- ロードマップシステム

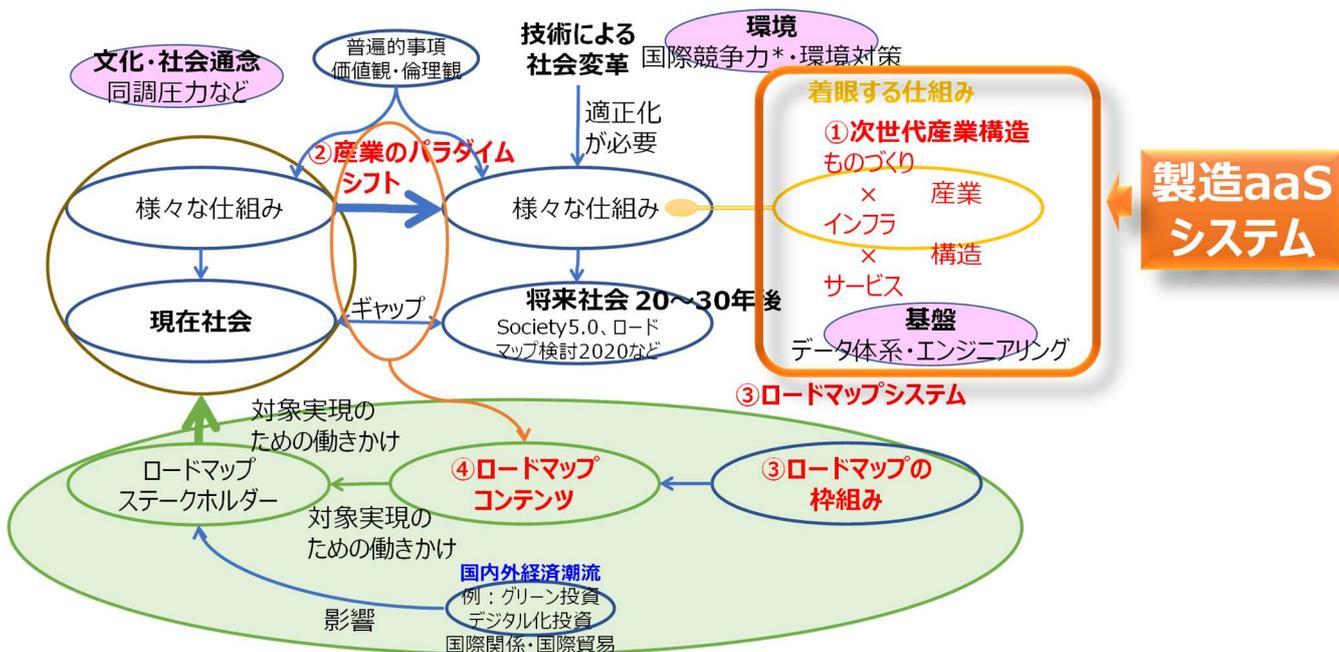


図2 ロードマップ検討の全体構造

\*8 [https://www.sebokwiki.org/wiki/Overview\\_of\\_the\\_Systems\\_Approach](https://www.sebokwiki.org/wiki/Overview_of_the_Systems_Approach)

\*9 Martin, J., The Seven Samurai of Systems Engineering, INCOSE International Conference, 2004  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.3253&rep=rep1&type=pdf>

\*10 [Skywise | Enhance | Services | Airbus Aircraft](#)

#### 4. 活動から得られた事

- 製造 aaS システムを含む産業構造は、“プロダクト”と“プロダクション”の相互に関連する異なるシステムにおける各ライフサイクル上のデータ連携が漠然としており、この解明が必要である。これには多くの関係者と、将来像や現状から考えたメリット・デメリットを共有・議論する必要がある。

- パラダイム・シフトは一つのパラダイムが単独でシフトするのではなく、様々なパラダイムが相互に干渉し合いながら進むダイナミックなものであり、一部は既に現象として表出している。その構造は一義的でなく、唯一の正解がないことから、仮説設定と検証の繰り返しが必要となる。
- これまでのロードマップは、狭い分野でゴールを明確にしたバックキャストでの検討によるものだった。今回は、社会を含め直接コントロールできない対象へ間接的に影響を与える要素を含んでいる。
- 以上を前提に、施策案を思いつくまま出し、7Samurai に着想を得た7つのシステム(図 3)で整理することとした。
- 施策検討においては、思うような発想ができない課題が判明した。例えば課題として脱炭素に着目すると、二酸化炭素量の測定など課題解決に寄与する施策は出るものの、製造 aaS システム自体が脱炭素に貢献する施策が出ない。これは、XaaS システムが存在する外面と製造 aaS システム自身の内面の区別(図 4)、及び特定課題の具体的な施策と様々な XaaS システムに共通する施策を結びつける抽象レベルの区別(図 5)の難しさを克服する必要があることを意味する。

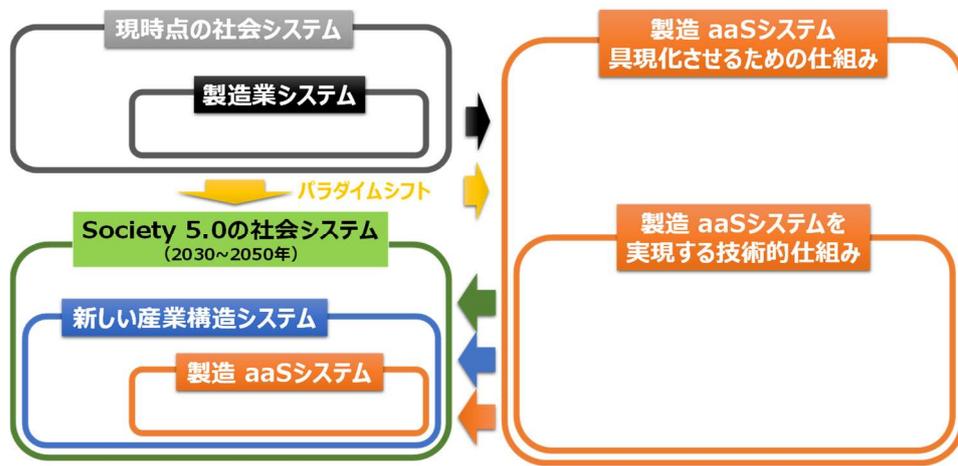


図3 7つのシステム

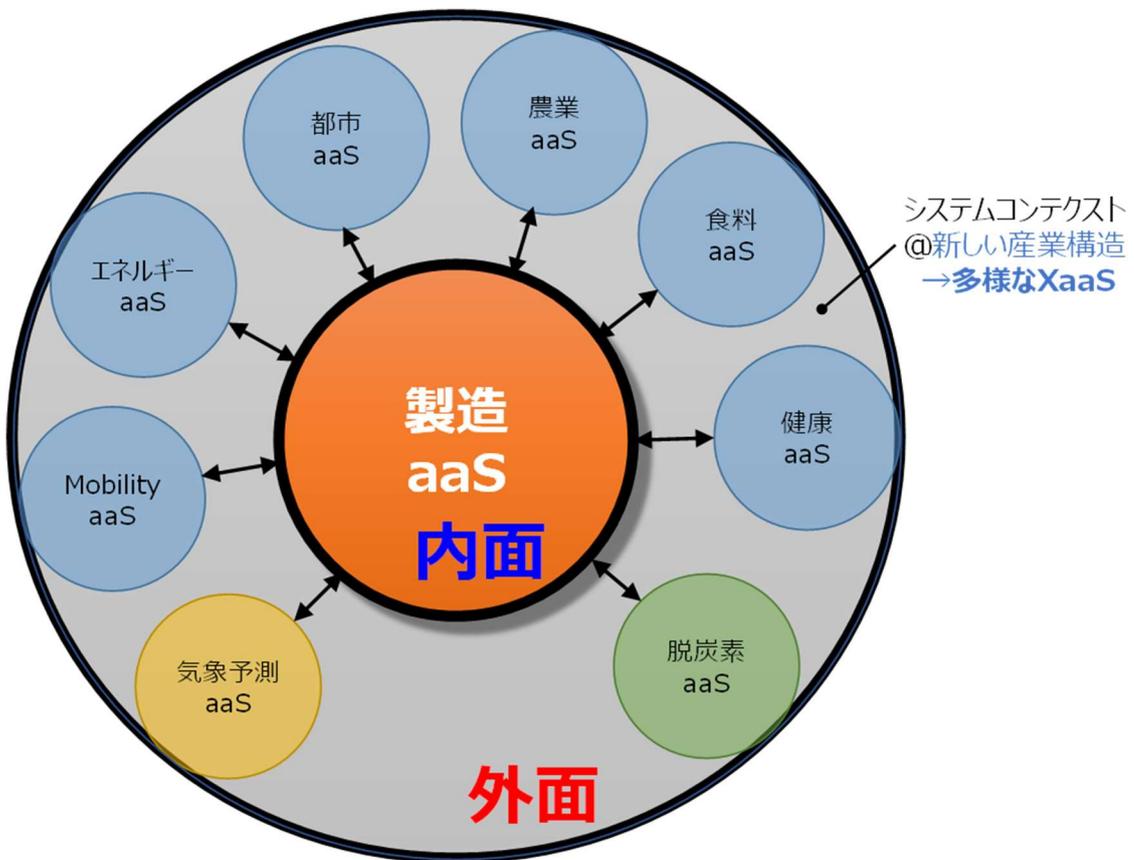


図4 内面と外面

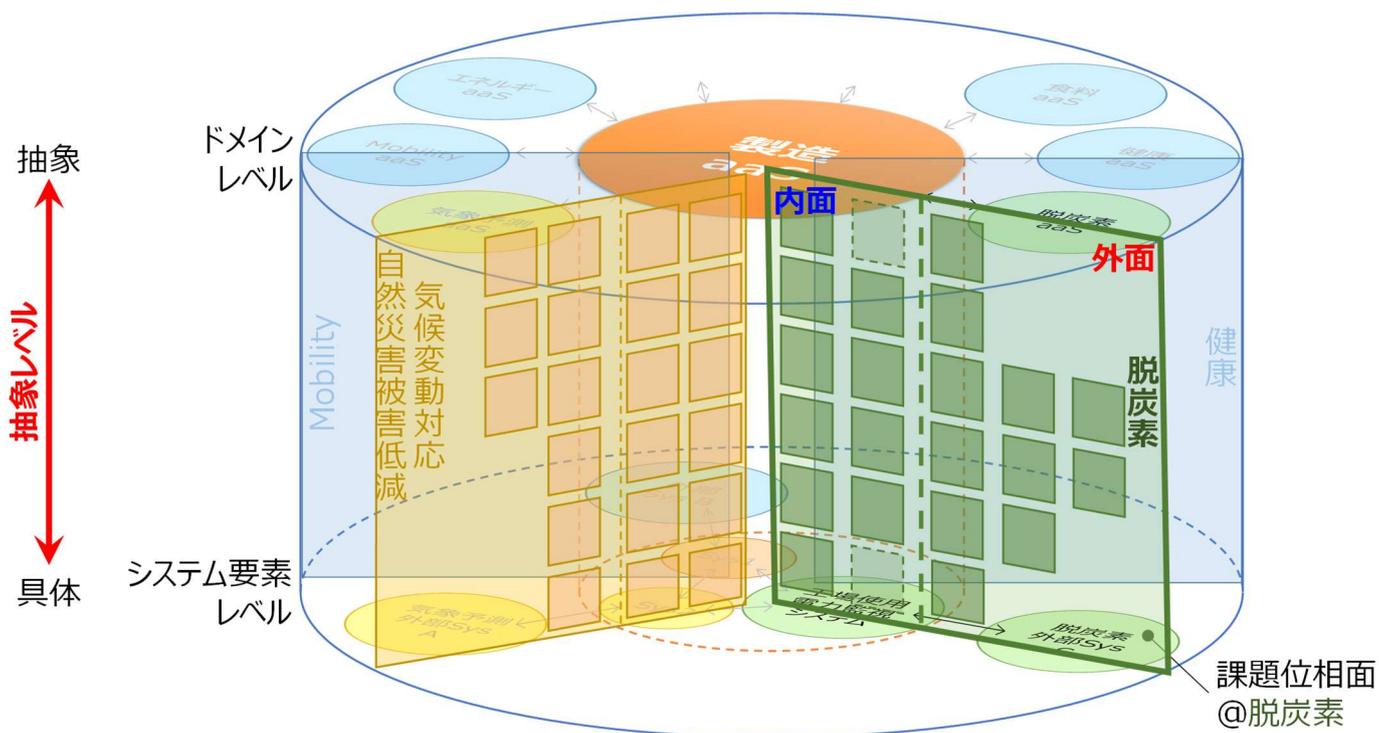


図5 抽象度

以上、ロードマップ検討は施策を生み出す思考の前提や過程を整理しながら進めてきた。これらは、施策が生み出された根拠であり、施策を実施していく段階で新たな課題や環境変化があった場合の再検討ポイントを導き出す拠り所になる。また施策に不備があった場合の要因分析が可能になる。こうしたシステムズ・アプローチは、米中摩擦、コロナ禍、ウクライナ問題など環境が目まぐるしく変化する現在だからこそ、しっかりと取り組むべきことと認識する。本活動では既に過去の取組みを3冊のレポート<sup>\*11</sup>として出している。昨年度の活動も近日公開する予定であり、これらを通じて理解を深めていただくと幸いである。

最後にロードマップ検討はRRI並びにSICの方々のご協力が進められており、これら成果に関して関係者の尽力に感謝申し上げます。

\*11 [ロボット革命イニシアティブ|WG1「産業IoTロードマップ調査研究委員会」活動報告書のリリース \(jmfrri.gr.jp\)](https://www.jmfrri.gr.jp/)

(2022年7月4日原稿受領)

## 科学技術基本計画

「ソサイエティ5.0」は、2016年に策定された内閣府の「第5期科学技術基本計画」(現在は「科学技術・イノベーション基本計画」、以下「計画」)で日本の未来社会をイメージするコンセプトとして提案されました。「5.0」は「狩猟」「農耕」「工業」「情報」の4つの先立つ社会に続く5番目の未来社会を表現しものです。

SICではこのコンセプトについて詳しく議論したことはありませんが、暗黙のうちにこれを「システム化」の上位の指導理念として受け入れてきました。齊藤裕前SICセンター長の強調されている「新しい山」も、ソサイエティ5.0を産業界へ写像したものと理解できます。このたびSICでは新しい戦略提言を発信することになりましたが、その提言も最終的には「ソサイエティ5.0」の実現を目指すものとなるはずです。このコラムでは、ソサイエティ5.0について会員の皆様の理解を深めて頂くことを目指すとともに、関連するひとつの疑問を提示したいと思います。まずソサイエティ5.0が策定された「計画」について少しだけ説明します。

1995年に政府は「科学技術基本法」(現在は「科学技術・イノベーション基本法」)を制定しました。そこで「科学技術立国」が宣言され、科学技術の振興は重要な「国是」の一つとなり、科学技術に関する国の予算は急増しました。基本法に従って内閣府の「科学技術会議」(現在は「総合科学技術イノベーション会議」、以下CSTI)が「科学技術基本計画」を5年に一度策定することになりました。CSTIは総理大臣を議長とする主要閣僚と民間の有識者からなる会議体で、国の科学技術政策の司令塔と位置付けられています。したがって、「計画」は国の最も重要な定期発行の戦略文書の一つといえるでしょう。また、「計画」に沿って各年次の政策実施計画が「科学技術総合戦略」として毎年策定されています。ちなみにSICの現理事の久間和生氏も常勤議員を務めておられました。

筆者が科学技術振興機構(JST)の研究開発戦略センターに在職して科学技術政策の末端にかかわりはじめたころ(2009年)は第3期の末期にあたっており、第3期に実施された4分野(ナノテク、環境、IT、バイオ)の重点化の功罪が論じられていました。続く第4期では科学技術の特定分野にこだわるよりも分野を超えた社会課題の解決を重視すべきであるという意見が強まり、「計画」の方向性が科学技術から社会へ大きくシフトしました。この方向は私が担当していた「システム科学」の目標と整合するものであり、大賛成でした。私がJSTを辞任したとき(2015年)は次の年から始まる第5期の「計画」の方向性が議論されていましたが、文科省や内閣府では「超スマート社会」を主軸とすることが固まりかけ根回しも進んでいたようです。「社会」へのベクトルがさらに強まるとともに、私たちがアピールしていたシステムの重要性にもそれなりに理解が広がったと思います。ふたを開けてみると第5期の「計画」では確かに「超スマート社会」という言葉が随所に使われています。しかしソサイエティ5.0という言葉はほとんど出てきていません。冒頭の「概要」にも現れずようやく10ページ目に超スマート社会の別名としてカッコつきで「ソサイエティ5.0」と書かれているだけです。このような新語を使うことに、慣行順守を旨とするお役人には抵抗があったのでしょうか？

第5期の「計画」ではシステムの重要性が随所で説かれています。一か所引用します。

**超スマート社会の実現には、様々な「もの」がネットワークを通してつながり、それらが高度にシステム化されるとと**

もに、複数のシステムを連携協調させることが必要である。それにより多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々に生まれてくる。(11ページ)

不十分な点もありますが、SICの主張そのものと言ってもよいくらいです。つまり「総論」としてはシステム化の重要性はすでに7年前にある程度理解されていたのです。しかし、「各論」としてそれが社会に行きわたっていないことは明らかで、そのことがSICの存在理由でもあります。「総論」をアピールすることはまだまだ必要ですが、それだけで済む時代ではなくなったことは上の一文からも明らかと思います。

「総論」だけで済まないことは内閣府もわかっていたと見えて、「各論」にあたる具体的なシステムの構築を第4期の最終年度である2015年度の科学技術総合戦略に提案し、5期に引き継いでいます。そのリストを参考までに書いておきます

- ・エネルギーバリューチェーンの最適化
- ・地球環境情報プラットフォームシステム
- ・効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新を実現するシステム
- ・自然災害に対する強靱な社会を実現するシステム
- ・高度道路交通システム
- ・新たなものづくりシステム
- ・統合型材料開発システム(マテリアルズインテグレーションシステム)
- ・地域包括ケアシステムの推進
- ・おもてなしシステム
- ・スマート・フードチェーンシステム
- ・スマート農業生産システム

しかし私たちから見るとこれらも「総論」の域を出ていません。SICの今回の提言ではさらにもう一步踏み込んだ具体的なシステムの構築を提案したいと思っています。

昨年からは始まった第6期の「計画」ではソサイエティ5.0は固有名詞から普通名詞に格上げされ、堂々と大手を振って頻繁に使われています。むしろそれ一色と言ってよいくらいです。「計画」の主な内容である第二章のタイトルは「ソサイエティ5.0の実現に向けたイノベーション政策」となっています。5年間でこの言葉がある程度人口に膾炙し、内閣府も自信を持ったのでしょう。あらためてソサイエティ5.0とは何かと問うと、第5期の「計画」では以下のように定義しています。

**「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が両立する人間中心の社会」**

システムが主役として位置づけられていることにご注目下さい。

## e-ジャパン構想

終わりに疑問を一つ提示しておきます。日本のシステム化を考えていくうえで重要なもうひとつの政策の流れがあります。それは1995年の「科学技術創造立国」宣言に少し遅れて華々しく打ち上げられた「e-ジャパン」構想です。「科学技術基本計画」は内閣府の主管ですがこちらは内閣官房です。総合科学技術・イノベーション会議に対応する組織は「IT 戦略本部」ですが、それはデジタル庁の発足に伴って廃止されたので、デジタル庁はこの流れの行き着いた先ともいえるでしょう。

この二つの流れの出自は異なります。前者は科学技術の戦略で産業界や学会を含む一般社会が対象ですが、後者はITに特化し公共が対象です。しかし出発以来30年近くの月日を経て両者の軌道は限りなく近づいたと言ってよいでしょう。どちらも日本の未来社会を措定し、ITを基盤技術とする政策展開を展望しています。「e-ジャパン」も公共だけでなくインフラや農業、医療や福祉などを「準公共」として視野に収めていますので、そのスコープは「計画」とほとんど同じになるくらい広がっています。最大の違いは何かと言えば、目標に置いている未来社会を前者は「ソサイエティ5.0」とよび、後者は「デジタル社会」と呼んでいることです。冗談で言っているのではなく本気です。ここ数年で発出された e-ジャパン関連の戦略文書は山ほどあります。例えば「世界最先端デジタル国家創造宣言」(2020年7月)という威勢の良いタイトルの文書もあります。また関連して制定された法律もいくつかあります。そのかなりの部分を調べてみました。「デジタル社会」はいやというほど連発されていますが、ソサイエティ5.0への言及は見当たりませんでした。一方、第6期基本計画の中ではデジタル庁の発足が簡単に言及されていますが、そこで担うべき業務がソサイエティ5.0の実現のために位置づけられていません。この2つのコンセプトは同じなのでしょうか？それとも違うのでしょうか？違ふとすればどこがどう違うのでしょうか？私には具体的な施策のレベルでみる限り両者に大きな差はないと思えます。もし目標とする未来社会の呼称が統一されれば、両者を一つの文書として統合するか、あるいは両者で分担を調整して互いに引用し合う双頭の文書とすれば、はるかにインパクトのある戦略文書になると思います。縦割りの霞が関では無理なことでしょうか？

(2022年7月31日原稿受領)

# I センター情報

## 1. SIC学術協議会 特別講義(第3回) 開催報告

SIC学術協議会主査 青山和浩(東京大学大学院工学系研究科教授)

SIC人財育成協議会(主査:木村英紀SIC副センター長)では、2022年度より学術協議会に属する先生方から、ご研究の最前線の話題やその背景にある科学技術の流れなどを、産業界のニーズに対応する形で切り取って講義としてお話し頂く「SIC学術協議会 特別講義」を企画いたしました。その第3回目として、東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授 鳥海 不二夫 氏に下記のタイトルで講義をお願いしました。以下その報告です。

### 【タイトル】 計算社会科学で社会の動きを観る

【講師】 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授 鳥海 不二夫 氏

【開催日時】 6月22日(水)10:00-12:00 Microsoft Teams によるオンライン開催

【参加者数】 40名(SIC正会員18社30名、個人会員3名、非会員2社・5大学7名)

### 【講義ルポ】

鳥海氏の講義では、最初に計算社会科学が紹介された。計算社会科学は人間・社会と計算の組み合わせが可能となったことで実現した新しい学際科学である。この分野はデジタル化社会のデジタルデータの世界により誕生した。デジタル化社会は人々の行動が日々記録される世界であり、これらのデータを有効活用するためにコンピュータサイエンスを社会科学へ展開することが望まれている現状が丁寧に紹介された。ビックデータの時代に重要な情報は人の「行動」である。SNSなどにより記録、蓄積される詳細な時系列データは行動ログのビックデータとして社会に価値を提供する、例えば人間の相互作用がビックデータから抽出できるのである。鳥海氏は「ビット・バイ・ビット:デジタル社会調査入門」の第2章を引用し、「物事を数える」、「将来予測と現在予測」、「実験に近づける」の三つがビックデータの研究戦略として重要であると紹介された。

講義では社会データ分析において重要な役割を担うソーシャルセンサという基本的な考え方が紹介された。ソーシャルセンサーとはユーザを物理センサと同様の「現実世界を観測するセンサの一つ」として捉える考え方である。講義では「コロナ」と共起する感情語の変化に関する分析事例としてソーシャルメディアの分析例が紹介された。この分析の中で、感情のクラスタリング処理、感情と新型コロナ関係イベントとの関係分析についての手法の概要がいくつか紹介された。

続いて社会データ分析の発展としての社会ビックデータ分析についての紹介があり、ビックデータとして扱うロー(生)データの活用の重要性が述べられた。ローデータはベクトル型データとネットワーク型データに分類されるが、それらの特徴と分析への期待が紹介されると共に、社会ビックデータ分析の二つの事例が紹介された。

## 【講師プロフィール】

鳥海 不二夫(とりうみ ふじお)

### 職歴

2022 年度: 東京大学, 大学院工学系研究科(工学部), 教授  
2016 年度 - 2021 年度: 東京大学, 大学院工学系研究科(工学部), 准教授  
2019 年度: 東京大学, 大学院工学系研究科システム創生学専攻, 准教授  
2012 年度 - 2016 年度: 東京大学, 工学(系)研究科(研究院), 准教授  
2015 年度: 東京大学, 工学研究科, 准教授  
2014 年度: 東京大学, 工学系研究科, 准教授  
2013 年度: 東京大学, 工学研究科, 准教授  
2012 年度: 東京大学, 大学院・工学系研究科, 准教授  
2010 年度 - 2011 年度: 名古屋大学, 情報科学研究科, 助教  
2008 年度: 名古屋大学, 大学院・情報科学研究科, 助教  
2007 年度 - 2008 年度: 名古屋大学, 情報科学研究科, 助教



オンライン講義中の鳥海氏

### 学歴

2004 年 3 月 東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻 博士課程修了 博士(工学)  
2001 年 3 月 東京工業大学大学院理工学研究科制御工学専攻修士課程修了  
1999 年 3 月 東京工業大学工学部卒業  
1995 年 3 月 長野県上田高等学校卒業

(KAKEN ホームページより)

以上

## 2. SIC2022年度連続講義「現代システム科学講座」第4回目 開催報告

開催日時： 2022年7月9日(土) 13:00-17:30

開催場所： 講義会場(住友不動産新宿グランドタワー(西新宿)5F 会議室)と  
オンライン参加のハイブリッド形式

受講者数： 申込者76名:受講者75名(内会場受講11名)、欠席者1名

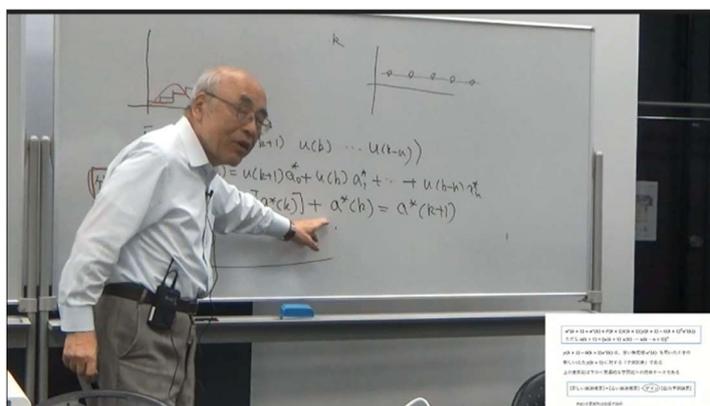
### 講義4 テーマ:「モデリング:システム解析の知的基礎」

#### 【受講者ルポ】

「現代システム科学講座」第4回目の講義ではシステムにおける「モデリング」について木村英紀先生より数理的基礎の説明を受けた後、木村先生の弟子である奥宏史先生指導で最新ツールを用いた演習を実施した。

#### 講義4-1:「モデルの基礎」 講師:木村英紀先生(SIC 副センター長、東京大学・大阪大学名誉教授)

基礎内容の説明は「モデル」という言葉の意味から始まった。「システム」と同様に「モデル」も日常生活に良く用いられる言葉であり、様々な意味が存在する。ファッションモデル、モデルルーム、モデルガンやビジネスモデル等の用例がある。日本語に直接訳すのであれば「模型」は最も意味が近い。モデルという言葉が科学で最初に用いられたのは原子核モデルであり、その提案者が日本人研究者の長岡半太郎であった話しも余談として述べられた。



続いて現代科学において用いられているモデリングとシミュレーションによる研究手法についての説明があった。計算機の普及と発展により自然法則に基づいて作られたモデルを用いたシミュレーション技術が工学分野において広く使われるようになった。Computer Aided Engineering (CAE)と略されるこのようなシミュレーション技術の適用例として自動車の衝突解析及びボーイング777旅客機の設計について紹介いただいた。現在は物理系だけではなく、生物系、医学系、経済系などとCAEが適用される範囲が拡大している。

モデリングの具体的な説明に入る前に、システム科学の各分野とモデリングの関係について以前の講義でも挙げられた相互関係図を基に振り返りをしました。モデリングは各分野と直接関係を持つ特徴がある。制御、予測やネットワークを行うために事前にモデリングが必要であり、適切なモデリングを実施するために最適化と学習が必要である。

続いて数理モデルの主要な種類である状態モデルと入出力モデルに関して基本定義と具体例の説明があった。システムの入力に関するデータとその入力に対する出力データのみから定義されるモデルは入出力モデルである。システムに関する入力と出力に加えて物理法則などに基づく先験的知識や構造、性質などに関する状態の情報を基に定義されるモデルは状態モデルである。まずは状態モデルに関する説明が続いた。システムの状態が微分方程式を用いて定義される状態モデルが多い。ニュートン力学系のような2階以上の微分方程式を用いて定義されるモデルは一般解が難しいが、本講義では1階の微分方程式に基づくコンパートメントモデルの紹介があっ

た。薬理学が発祥のコンパートメントモデルは微分方程式が簡易のため一般解が簡単に得られる特徴がある。2階以上の微分方程式や非線形性をモデルの例として木村先生が研究された台車型倒立振子及び敗血症という病気のモデルの紹介があった。敗血症のモデルは研究当時の学生さんが作成された資料が本講義でも説明に用いられ、病気自体の説明から微分方程式の構成までの複雑な話を非常に分かりやすく紹介いただいた。

これまでのシステムのモデリングにおける時間は連続時間と仮定されていたが、計算機が扱う情報は実際デジタル処理のため離散的に定義される。そこで今回の講義では離散時間システムの入出力関係を表現するZ変換の取り組みについての紹介があった。離散化によって普通は情報が失われるが、情報の周期帯に対して適切なサンプリング間隔を選択すれば元の情報が完全復元される。状態モデルの次に入出力モデルに関する説明が続いた。状態モデルと異なりシステムの性質や構造に関する情報を不要とし、入力と出力の情報のみでシステムの定義が可能なため「ブラックボックス」モデルとも呼ばれる。入力と出力の情報を用いてブラックボックスであるシステム特性を推定することはシステム同定や System Identification と呼ばれ、制御工学の分野で古くから研究されてきた。入出力モデルの基本となる線形回帰については第3回の最適化の講義で詳しい説明があった。今回の講義では多重回帰と自己回帰に基づく入出力のモデリング手法を紹介いただいた。

#### 講義4-2: 「演習と最新ツール」 講師:奥 宏史先生(大阪工業大学電子情報システム工学科教授)

今回の演習の準備として、SIC事務局の案内に基づき、受講者が MathWorks のアカウントを事前に登録された。講義当日は作成されたアカウントを用いて MathWorks の製品である MATLAB Grader による様々な演習が実施された。

まずはシステム同定の基本例として数値を使った簡易数式に基づくモデルを紹介いただいた。続いてシステム同定の実用例として制御の分野で用いられるシステム同定の取り組みを紹介いただいた。演習に先立



ち、最小二乗法による線形回帰モデルの同定に関して数学的基本を復習した。演習の第一弾としてエクセルを用いて最小二乗法による線形回帰のパラメータ計算を実施いただいた。具体的にエクセルの関数として用意されている行列演算関数が使用された。エクセルはパラメータの計算ができるが追加のデータを用いた検証やその他の複雑なデータ処理は困難である。そこで今回の講義は MATLAB を用いた演習も実施いただいた。データの定義やシステムパラメータの計算等は簡単に実施でき、検証やデータ分析も MATLAB の関数を用いて簡単に実行できた。

続いて最小二乗法の実用的解法の一つとして行列分解を使った方法を紹介いただいた。データ行列のQR分解は、データから抽出した推定すべきパラメータの情報を上三角行列の部分に集約するので数値計算において信頼性の高い推定値が得られる。このQR分解について MATLAB を用いた演習を実施いただき、MATLAB のQR分解関数の正しい使い方を説明いただいた。

最後にシステムのインパルス応答から入力と出力の関係を求める方法の一つとして Ho-Kalman の実現アルゴリズムに関して説明いただいた。Markovパラメータとも呼ばれるインパルス応答からヘンケル行列を作成し、ヘンケル行列の特異値分解をすることでモデルのパラメータが求められる。こちらに関しても MATLAB を用いた演習を実施いただいた。インパルス応答の計算、ヘンケル行列の作成及び特異値分解を MATLAB の関数を用いて行い、システムのパラメータを算定した。

(ルポ:トリウエディ・シュバーン(構造計画研究所))

## 【講師プロフィール】

木村英紀(きむら ひでのり)

1970年東京大学大学院博士課程修了、大阪大学基礎工学部助手、講師を経て1986年大阪大学工学部教授、1995年東京大学工学部教授、2001年理研トヨタ連携センター長、2011年科学技術振興機構研究開発戦略センターシステム科学ユニットリーダー、2015年早稲田大学特別招聘教授、2019年(一社)システムイノベーションセンター(SIC)理事・副センター長、この間計測自動制御学会会長、横幹連合会長、日本学術会議会員、アジア制御協会会長などを歴任。国際自動制御連合(IFAC)より Giorgio Quazza メダル、2021年には IEEE Control Systems Award をそれぞれアジアで初めて受賞されるなど、国内外にて多数の賞を受賞

奥 宏史(おく ひろし)

2000年 東京大学大学院工学系研究科博士後期課程修了 博士(工学)

同年、オランダ トウエンテ大学 博士研究員

2002年 大阪工業大学 講師

2021年 同大学 教授 システム同定の理論と応用に関する研究に従事

この間、システム制御情報学会論文賞砂原賞受賞(2005年)

現在、IEEE CSS、計測自動制御学会、システム制御情報学会、日本航空宇宙学会の会員

## SIC事務局よりお知らせ

諸般の事情により当初 8月13日(土)午後開催予定の第5回目「学習: AI の過去・現在・未来」は、第9回目開催予定日の12月10日(土)午後開催に変更されました。8月13日(土)は休講です。それに伴い第9回目開催予定の「総集編と懇親会」は2021年1月14日(土)午後開催予定です

第6回目「ネットワーク: システムと社会の接点」(9月10日(土)午後開催)以降8回目までは予定通りの日程で開催されます。第6回目以降の個別受講を申込される方は、下記 URL より申し込みください。

<https://sysic-org.sakura.ne.jp/SICregistration.html>

以上

## Ⅱ 活動報告

### 1. 会合予定

#### ① 第1回SIC戦略フォーラム(8月30日(火)14:00-16:30)開催案内

SIC戦略委員会では、「日本が直面する課題を卓越したシステムの構築によって解決するためのSIC戦略提言」の策定のための情報共有として各分野の有識者を招聘しての「戦略フォーラム」を連続的に開催することとしました。その第1回目として、「経営」と「科学技術」のテーマで、下記の2名の講師の方に講演を企画しました。

開催形式: Microsoft Teams によるオンライン開催

参加資格者: SIC会員限定(正会員企業に所属する方、個人会員、学会会員)

参加申込: 参加申込は、[SIC イベント参加登録ページ](#)

<https://sysic-org.sakura.ne.jp/SICregistration.html>

内の「第1回SIC戦略フォーラム(2022年8月30日(火))」よりお願いします

#### 【講演テーマ: 経営】

タイトル 「マクロ経済モデルの現状と NEEDS 日本経済モデル」(14:00-15:00)

講師 渡部 肇 氏 日本経済新聞社

情報サービス部門 情報サービスユニット シニアマネジャー

#### 概要

「NEEDS 日本経済モデル」について、その創出過程、経済学的な位置づけ、企業各社の利用状況、将来の展開などを解説する。

#### 【講演テーマ: 科学技術】

タイトル 「危機に瀕する科学技術立国日本」(15:30-16:30)

講師 豊田長康 氏 鈴鹿医療科学大学学長

#### 概要

日本の科学技術の実力は前世紀末以来低下の一途をたどっている。科学技術立国を宣言した日本にとっては深刻な問題である。本講演では、定量的な指標の推移を通してこの状況を提示し、その原因を探る。また、この課題に対する産業界の取り組みへの期待も述べる。

以上

## ② 第2回SIC戦略フォーラム(8月31日(火)15:00-16:00)開催案内

SIC戦略委員会では、「日本が直面する課題を卓越したシステムの構築によって解決するためのSIC戦略提言」の策定のための情報共有として各分野の有識者を招聘しての「戦略フォーラム」を連続的に開催することとしました。その第2回目として、「防災・減災」のテーマで下記の講演を企画しました。

開催形式： Microsoft Teams によるオンライン開催

参加資格者： SIC会員限定(正会員企業に所属する方、個人会員、学会会員)

参加申込： 参加申込は、[SIC イベント参加登録ページ](#)

<https://sysic-org.sakura.ne.jp/SICregistration.html>

内の「第2回SIC戦略フォーラム(2022年8月31日(水))」よりお願いします

### 【講演テーマ： 防災・減災】

タイトル 「防災・減災におけるシステム化について」

講師 林 春男 氏 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 理事長

#### 概要

関係者が広範囲の多岐、多層にわたる防災・減災においては、System of Systems としてシステム化を捉える必要がある。

防災・減災を構成する予測力・予防力・対応力・防災基礎力の4側面からシステム化の現状と課題を検討する。

以上

## 2. 会合報告

### ① 2022. 7. 12 15:00-17:00 2022年度第7回実行委員会開催報告

開催形式: Microsoft Teams によるオンライン開催

参加人数: 実行委員会議メンバー16名(事務局含む)、監事1名 計17名

#### 議題

司会 松本隆明実行委員長

#### 1. 審議事項

- ① 上半期の活動報告・予算執行状況

久保忠伴事務局次長

#### 2. 協議事項

- ① 「システム人交流会」開催(8月5日(金)午後)について

同上

##### 開催趣旨:

これまでの SIC 人財育成協議会主催の各種研修会に参加した方を

「システム人」と呼び、コロナ禍でリモート開催が中心だったため、

対面での交流会を行い親睦を深める

(その後コロナ感染拡大のため、延期となりました)

#### 3. 報告事項

- ① 「現代システム科学講座」第3回目(6月11日(土))開催報告

同上

アンケート結果報告等

- ② 第3回特別講義(6月22日(水))開催報告

同上

講義タイトル 「計算社会科学で社会の動きを観る」

講師 鳥海不二夫氏(東京大学大学院教授)

参加者数40名/申込者数40名

アンケート結果等報告

#### 3. その他事項

SIC戦略委員会作成「日本が直面する課題を卓越したシステムの構築に

よって解決するための戦略提言」の最終確認

#### 次回、次々回の実行委員会開催日

2022年度第8回実行委員会 8月10日(水) 15:00-17:00

2022年度第9回実行委員会 9月14日(水) 15:00-17:00

以上

## Ⅲ 正会員一覧

SCSK株式会社	NTTコミュニケーションズ株式会社
NTTコムウェア株式会社	KDDI株式会社
株式会社NTTドコモ	株式会社クエスト
株式会社構造計画研究所	株式会社JSOL
株式会社テクノバ	株式会社東芝
株式会社ニューチャーターネットワークス	株式会社野村総合研究所
株式会社日立国際電気	株式会社日立産業制御ソリューションズ
株式会社日立システムズ	株式会社日立製作所 研究開発グループ
	社会システムイノベーションセンター
株式会社日立物流	株式会社三井住友銀行
株式会社三菱UFJ銀行	損害保険ジャパン株式会社
デンソー株式会社	東京ガス株式会社
トヨタ・リサーチ・インスティテュート	日鉄ソリューションズ株式会社
ファナック株式会社	富士通株式会社
マツダ株式会社	三菱重工業株式会社 ICTソリューション本部
三菱電機株式会社	横河電機株式会社

2022年8月1日現在30社(五十音順)

©SIC 2022. 8

発行者: 一般社団法人 システムイノベーションセンター(SIC)  
代表理事・センター長 浦川伸一

編集者: SIC 実行委員 中野一夫 (株式会社構造計画研究所)  
事務局 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-12-7 ストック新宿 B-19 号  
URL: <https://sysic.org> E-mail: [office@sysic.org](mailto:office@sysic.org) Tel.Fax: 03-5381-3567