

イノベーションが卓越したシステムを作って
実現できる時代が到来

GAFA

SICニュースレター Vol.6.12 (67号)

[項目をクリックすることで当該記事に進みます](#)

寄稿

みんなで創る次世代スマート工場

～デジタルツイン/サイバーフィジカルシステムで実現するスマート工場～

東京科学大学総合研究院デジタルツイン研究ユニット 特任助教 石倉 弘貴氏
同 教授 藤澤 克樹氏

コラム

「システム4.0」

SIC副センター長 木村英紀氏(東京大学・大阪大学名誉教授)

目次

I センター情報

- ① SIC2024年度第2回学術協議会特別講義「生成 AI とシステム構築」(12月10日(火))開催案内
- ② SIC人財育成協議会主催:第4回ケーススタディ研修講座
「SKYACTIV TECHNOLOGY によるクルマづくりのブレークスルーに学ぶ」開催報告
- ③ SIC2024年度連続講義「現代システム科学講座(第二回)」第6回(最終回)『制御』開催報告
- ④ SIC後援イベント「第15回横幹連合コンファレンス」(12月14日(土)-15日(日))開催案内

II 会員活動

- ① 2024. 11. 19 2024年度第11回実行委員会開催報告

III 会員一覧

SICのYouTubeチャンネルを開設しました、ホームページ(<https://sysic.org/>)よりアクセス可能です

みんなで創る次世代スマート工場

～デジタルツイン/サイバーフィジカルシステムで実現するスマート工場～

東京科学大学総合研究院デジタルツイン研究ユニット 特任助教 石倉 弘貴氏
同 教授 藤澤 克樹氏

1. AIの発展とスマート工場

近年、深層学習(Deep Learning)をはじめとするAIが急速に発展しており、特にOpenAI¹が2022年に発表したChatGPT²を契機として、大規模言語モデル(Large Language Model; LLM)を活用した生成AIは現在も活発に研究・開発が続いている。また、画像処理における深層学習の研究も進んでおり、カメラで撮影した画像内の物体を検知する技術としてYolo [1]シリーズが有名であり、2024年11月時点でYolo 11³までが開発されている。年々精度と計算速度が向上し、実社会での応用のハードルも低くなっている。

スマート工場(スマートファクトリー)は、こうしたAIやIoTを活用し、工場内の設備や機材のデータを分析し、効率的な生産活動を行う場である。AIやIoTの発展によって、生産設備や機器からの情報を収集・分析することが容易になり、スマート工場の実現が製造業における大きなトレンドとなっている。製薬・食品、大小の機械など、製造品目に関わらずスマート工場の導入は広まりつつあり、研究者によるさまざまな視点からの研究も行われている。直接スマート工場を対象としなくても、スマート工場での活用が期待されるAIの研究も多数存在し、LLMや物体検知技術はその代表例である。

2. スマート工場とデジタルツイン・サイバーフィジカルシステム

スマート工場の実現には、デジタルツインとサイバーフィジカルシステム(Cyber-Physical System; CPS) [2]の二つの重要な技術が必要不可欠である。デジタルツインは、「リアル(物理)空間にある情報をIoTなどで集め、送信されたデータを元にサイバー(仮想)空間でリアル空間を再現する技術」⁴を指し、CPSは「現実世界(フィジカル)で収集した様々なデータや情報を仮想空間(サイバー)で融合させ、分析や解析を行い、現実世界(フィジカル)へフィードバックすることで最適化を図る仕組み」⁵を意味する言葉だ。スマート工場の実現には、現場のデータを収集・活用し、その情報を基に現場にフィードバックするための仕組みが不可欠である。すなわち、デジタルツインで工場をデジタル化し、CPSを通じて現場のデータを解析しフィードバックするシステムがスマート工場と考えることができる。

図1はスマート工場におけるCPSの概念図である。例えば、工場内で働く従業員の安全確保と移動距離の削減のために、従業員の移動経路を最適化することを考える。まず、従業員の移動状況をデータ化する必要がある。ここで活用されるのが深層学習を用いた物体検知、物体追跡である。工場内にカメラを設置し、従業員の移動情報を動画として記録する。この動画に物体検知に関するAIを適用すると、従業員の動画内での位置情報を取得することが可能になる。さらにSORT [3]をはじめとする物体追跡と呼ばれる技術を適用することで、動画内に映った人物がどのような経路で移動しているかを自動的に取得することが可能となる。この移動情報のことを「動線」と呼ぶ。取得した動線情報(図の左下から左上への動き)をもとに、安全かつ効率的なルートを最適化等の技術で立案し(図の左上から右上への動き)、それを実際の従業員や管理者にフィードバックすること(図の右上から右下への動き)で効果的で安全な移動経路の確保を目指すことができる。

¹ <https://openai.com/ja-JP/>

² <https://chatgpt.com/>

³ <https://docs.ultralytics.com/ja>

⁴ ソフトバンク株式会社ビジネスブログ

(<https://www.softbank.jp/biz/blog/business/articles/202009/digital-twin/>) より

⁵ 三菱ITソリューションズ株式会社コラムページ

(https://www.mdsol.co.jp/column/column_123_2169.html) より

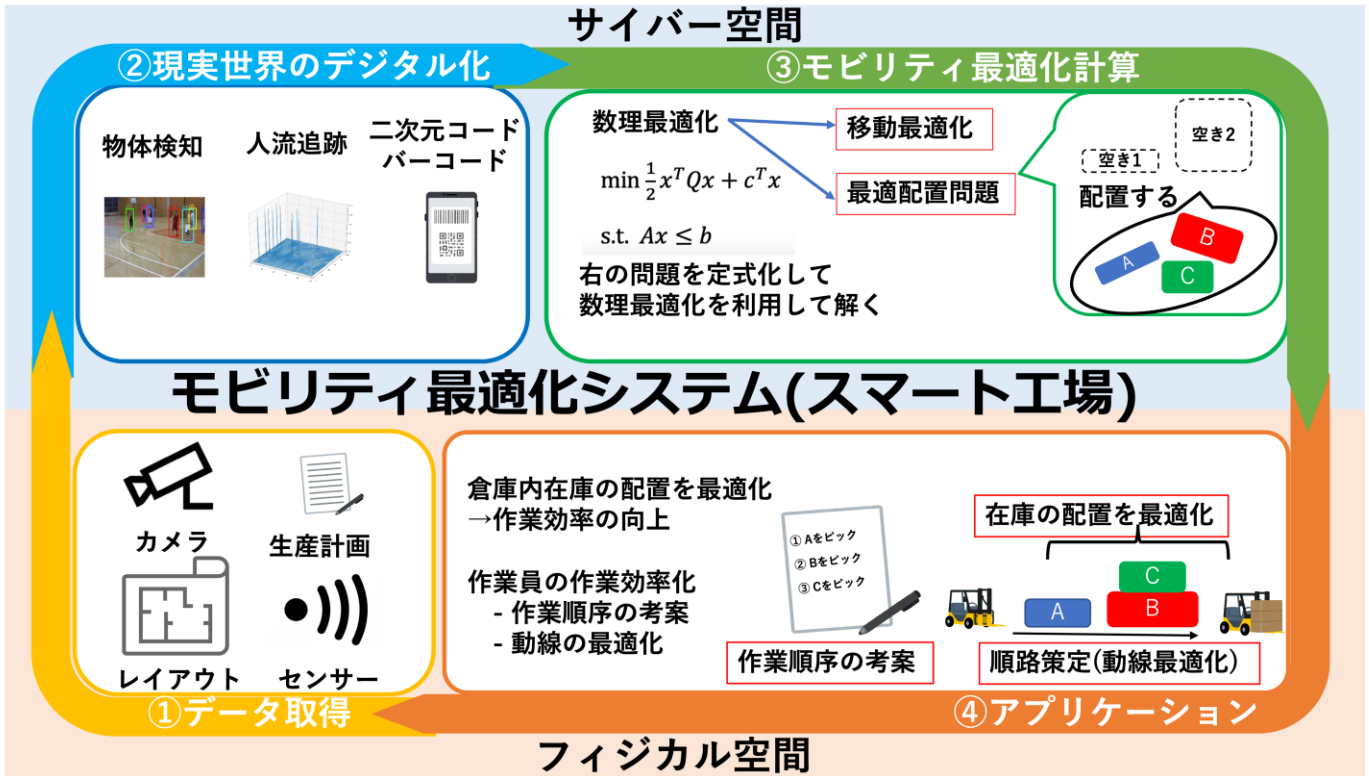


図1:スマート工場に関するCPSの概念図

他にも生産活動を考える上で重要な事項は多数存在する。例えば、リアルタイムや数日といった短期間を対象にすると「生産設備の効率的な運用方法の策定」、「異常品の検知」、数週間から数ヶ月といった中期的な目線では、「生産計画の策定」、「簡単に移動可能な設備、資材の配置の変更」などを考えることができる。また年単位などの長期的な取り組みでは、「工場の大規模なレイアウト変更」、「新商品の開発」などを考えることが可能である。いずれの取り組みでも「現状のデータを取得する」、「取得したデータを解析する」、「解析したデータを現場にフィードバックする」というCPSの根幹の流れを形成することは、スマート工場において非常に重要である。

3. 筆者らの目指すスマート工場の姿

筆者らはロート製薬株式会社と共同でスマート工場の実現に向けた研究を2019年から開始している。2022年10月には、ロート製薬の持つ国内の大規模生産拠点である上野テクノセンターのスマート工場化に関するプレスリリース⁶を発表した。上野テクノセンターを対象に、我々は二つのアプローチでスマート工場の実現を目指している。それが「アプリケーションドリブン」と「データドリブン」である。

「アプリケーションドリブン」は「ヒト・モノの検知追跡機能を追加し、工場全体で移動最適化及び、生産・移動能力推定による改善案提示機能」である。つまり、工場全体での生産活動を通して、製造のボトルネックになっている事象に直接アプローチしその解決を図ることで生産効率の向上を実現する。工場の従業員の動線最適化や、資材の配置最適化などが該当する。これらは現在の状況を取得し、改善の方向性をあらかじめ決めておき、改善のために必要な操作、改善後の理想的な状態を考えていく。

「データドリブン」は「工場全体で生成される複数データを学習データとする」改善方法の作り方である。現在では、LLMをはじめAIが人間よりも遥かに多くのデータをインプット、学習し、アウトリーチすることが可能となった。「生産活動の中で取得する映像、画像、センサーなどの数値データや日報やQCサークル等の人間の言語によるデータ」を大量に使うことでAIを学習し、これまでの生産活動では考えられていなかった新たな価値の発掘・創造を目指すことが、このデータドリブンにおける重要なポイントである。「データドリブン」では、人間(労働者)とAIは

⁶ https://www.rohto.co.jp/news/release/2022/1026_01/

共存、協調し、スマート工場での生産効率の向上という同じ目標を目指すことになる。ロート製薬のスマート工場では、このような「人とAIの共進化」も目指している。

4. 数学を活用したスマート工場のアプリケーション

ここでは、筆者らが藤澤克樹研究室の学生とともに上野テクノセンターのスマート工場実現に向けて行ってきた研究の一部を紹介する。上野テクノセンターは非常に大規模な生産拠点である。そのため、ここでの生産活動を全てデジタル化し最適化することは非常に困難である。そこで、上野テクノセンターでの生産活動の中でボトルネックとなっていた自動倉庫のモビリティ最適化から取り組むこととなった。

自動倉庫とは、荷物の運搬に機械を使うことで人手を使わずに荷物の出し入れを可能とした倉庫である(図2)。上野テクノセンターではその生産力の高さから、資材や中間製品、梱包材など非常に多くの物品をこの自動倉庫で管理している。工場での生産状況に合わせて、搬送機械(クレーン、Automated Guided Vehicle、Sorted Transfer Vehicle)が物品の出し入れを行っている。自動倉庫に関する研究では、搬送機械を効率的に制御することで物品の運搬にかかる時間を削減し、効率的な生産活動に繋げていく。

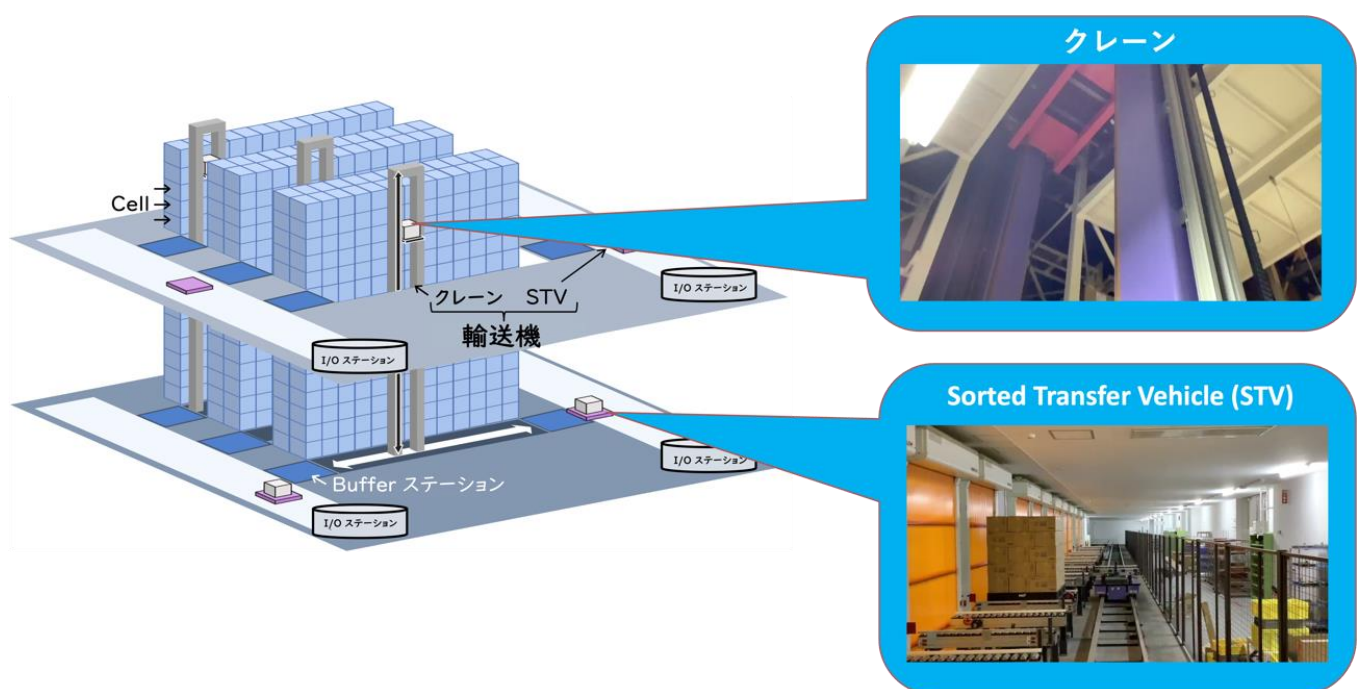
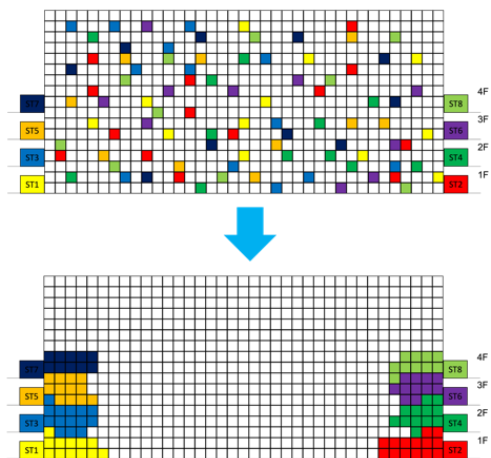


図2: 自動倉庫の概念図

筆者らは自動倉庫を対象に2つの研究を行ってきた(図3)。一つ目は「夜間棚替え」と呼んでいる研究である。上野テクノセンターは24時間稼働の工場ではない。そのため、工場が操業を停止している夜間はクレーンが停止している。この時間帯を活用し、倉庫に保管されている荷物の配置換えを行い、翌日の操業での荷物の搬送時間を削減することを目指す。CPSの流れを踏まえ、まずは現場の情報を収集することから始まる。夜間棚替えでは、倉庫に保管されている荷物の配置と、翌日に計画されている出庫予定の荷物の情報を収集する。次に、倉庫の状態を搬送時間の削減を目指す最適化モデル(数式)として定式化し、どのように配置換えを行えばいいかを計算する。最後に、配置換えをするために必要な荷物の運搬指示をクレーンに与え、実際に荷物の配置を変更する。

【夜間棚替え】

→工場の操業が停止している間（例：夜間）に倉庫内の荷物を再配置する



【自動倉庫運用最適化システム（リアルタイム最適化）】

→工場の操業中にデータを取得し、倉庫内の機械の制御をリアルタイムに最適化する

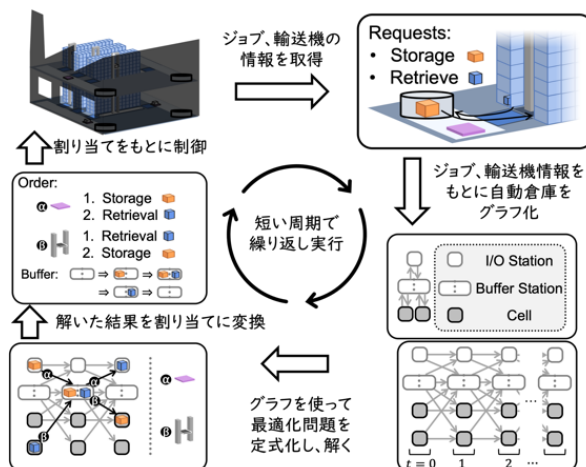
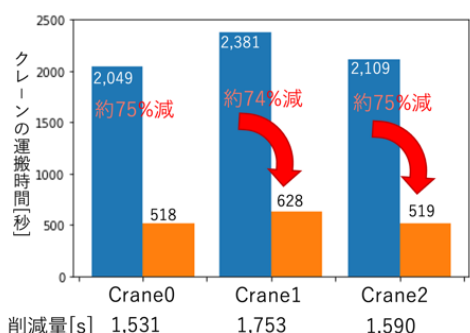


図3: 自動倉庫に関するモビリティ最適化の取り組み

効果の検証は、机上実験と実証実験の2種類を行った。まずは机上実験として、自動倉庫のシミュレータを開発し、実際の工場を使用せずに夜間棚替えの効果を検証した。机上実験時には、前述したプレスリリースにある新工場は稼働していなかったため、すでに20年以上稼働していた既設工場を対象とした。その結果を図4に示す。左の図は翌日に出庫する荷物のみを対象に、クレーンの運搬時間を比較した結果である。「夜間棚替え」の実行の有無で、約75%の運搬時間の短縮が可能であることがわかる。また、当日出庫が決まった荷物や入庫される荷物など、その日に運搬した全ての荷物を対象にした運搬時間の比較でも20%前後の運搬時間削減が可能であった。実証実験は、プレスリリースにある新工場で行った。実証実験を行った当時、新工場は稼働を開始したばかりで既設工場と比較すると荷物の運搬が少なく、その効果は既設工場でのシミュレーション実験に比べるとあまり大きくなかった。しかし、そのような状態でも運搬時間の削減は実現しており、「夜間棚替え」の運搬時間削減に関する効果を実際の自動倉庫を使用した場合でも確認することができた。

棚替え対象のパレットをクレーンが運搬した時間



すべてのパレットをクレーンが運搬した時間

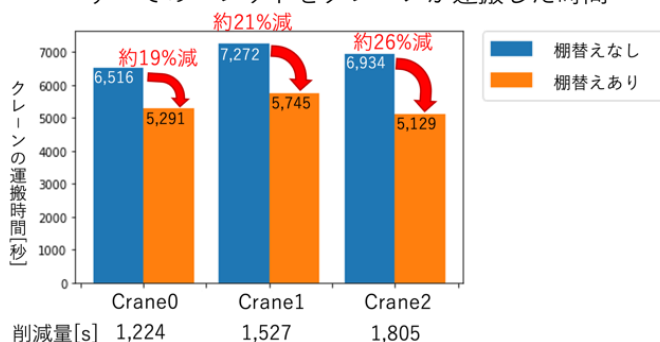


図4: 夜間棚替えによる荷物の搬送時間の削減効果

もう一つは工場の操業中に、搬送機械の運用方法を最適化する研究である。搬送機械や搬送指示、倉庫に保管されている荷物の情報をリアルタイムで取得し、効率的に荷物を運搬するための荷物の搬送順序を考えるものである。こちらは既設工場を模した小規模な自動倉庫を対象に机上実験を行った。詳細は私たちが書いた論文 [4]を参照してほしい。この手法を使うことで、荷物の搬送にかかる時間を簡単なルールベースの手法と比較して、6~10%ほど短縮することに成功した。現在、我々はこの論文を発展させ、実際の工場が操業中に最適化することを前提とした新たな手法に関して研究を行っている。こちらの手法も夜間棚替えと同じく、実証実験を行っていく予定である。

これらのアプローチはどちらも「アプリケーションドリブン」なものである。「自動倉庫におけるモビリティを最適化する」というアプリケーションをベースに考えられた研究であるためである。上野テクノセンターでは、自動倉庫以外に生産に必要な機械やシステムから多様なデータを取得している。これらを活用した「データドリブン」なアプローチも現在検討中である。

5. みんなで創るスマート工場

ここまで、CPS を活用したスマート工場について述べてきた。「アプリケーションドリブン」と「データドリブン」というアプローチのもと研究、開発が続いているが、非常に重要な考え方がもう一つ存在する。それは「最新技術(AI等)と人間の共進化を探るためのプラットフォームの構築」である。AI ははじめに述べたとおり、目覚ましいスピードで進化・発展が続いている。スマート工場はそれらの AI をスムーズに取り入れ、実際の現場で活用していくことが重要である。つまり、スマート工場とは、一度工場に CPS を導入すれば完成するものではなく、進化し続ける人類の叡智を取り込み続けることで、人とともに進化していく存在でなければならない。

また、AI の積極的な導入により、製品の異常検査といった過度に緊張を強いられる作業や単純作業の繰り返しといった仕事を軽減することが可能になる。そして CPS との連携により、作業員一人一人がそれぞれ得意な技能を伸ばし、工場ひいては所属する企業へさらに大きな貢献が可能になる。さらには、スマート工場に関わる人々の当事者意識を芽生えさせ、さまざまな視点からの生産活動を実現することで、スマート工場のさらなる発展が期待できる。

スマート工場では、CPS の実現のために実に多種多様な人材に関わることになる。工場の現場で働いている方々はもちろん、工場の生産を考える人、データ分析を行う部隊、時には我々のような大学関係者や他企業に所属する人など枚挙にいとまがない。そして、組織や役割を超えてみんなで創り上げていくものが本来のスマート工場であると考えている。

引用文献

- [1] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016.
- [2] K. Fujisawa, "サイバーフィジカルシステムにおけるモビリティ最適化エンジンの開発," *パナソニック技報*, vol. 65, no. 1, pp. 4-8, 2019.
- [3] A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos and B. Uprocft, "Simple online and realtime tracking," 2016 IEEE international conference on image processing (ICIP), 2016.
- [4] H. Ishikura, N. Tateiwa, S. Egi, I. Oe, N. Hata, T. Mitsutake, K. Yamamura, M. Fujii and K. Fujisawa, "Scheduling system for automated storage and retrieval system with multiple machines using a time-expanded network," *Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 2024.

著者プロフィール

石倉 弘貴(いしくら ひろき)氏

2024年3月、九州大学大学院数理学府博士課程修了、数理学博士。

2024年4月より、東京工業大学科学技術創成研究院デジタルツイン研究ユニット特任助教。

2024年10月より、東京工業大学の合併に伴い東京科学大学総合研究院デジタルツイン研究ユニット特任助教。

九州大学理学部数学科に在学中より、藤澤研究室(PI:藤澤克樹教授)に在籍しロート製薬株式会社をはじめとする様々な企業との共同研究に従事。専門は数理最適化。

藤澤 克樹(ふじさわ かつき)氏

1998年東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻博士課程修了、理学博士。

京都大学大学院工学研究科建築学専攻助手、東京電機大学理工学部数理科学科助教授、中央大学理工学部経営システム工学科准教授、教授さらに九州大学マス・フォア・インダストリ研究所教授を経て、

2023年12月より東京工業大学科学技術創成研究院デジタルツイン研究ユニット教授(ユニット長を兼務)、情報理工学院(数理・計算科学系)教授を兼任。

2024年10月より東京工業大学の合併に伴い、東京科学大学総合研究院デジタルツイン研究ユニット教授(ユニット長を兼務)と同情報理工学院(数理・計算科学系)教授に就任。

この間、産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリ ラボ長、産業技術総合研究所 人工知能研究センター クロスアポイントメントフェロー、産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター クロスアポイントメントフェローを兼務。専門はグラフ理論、数理最適化、高性能計算。また企業との共同研究による産学連携を活発に行っている。

(2024年11月16日原稿受領)

1. システムの発展を跡付ける

「現代はシステムの時代である」と問いかけても、「確かにその通りだね」との大方の共感は得られるが、「それがどうしたの」という気のない反応が返ってくることが多い。私たちは「システム」という言葉を日常的に使っているし、世の中にはシステムが溢れかえっている。システムという言葉に留意することによって何か新しい知見を見出すことは有りそうもないし、なにか実践的な指針が得られるとは感じていないからであろう。システムという言葉はあまりにも陳腐になってしまっているのである。

しかし、システムと言う言葉を意識して過去の歴史をあらためてひも解いてみると、この概念が大きな意味を持ち、重要な役割を演じてきたことが分かる。「システムの時代」が本当の意味で到来した今、この概念の持つ意味をもう一度問い直してやる必要があることを痛感する。システムがこれまで果たしてきた役割を認識することを通して、今の社会や産業や技術が直面している深刻な課題が明らかになってくるはずである。

「複数の機能要素を集めて新しい機能を生み出す複合体」は、「システム」の最もありふれた定義である。Wikipediaによると「システム」の語源は、「共に立てたもの」という意味を持つ「シユステイマ」(*συστημα*)というギリシャ語だそうである。*συσ*は英語では *syn* で、*synchronous* のような「同期」「同時」を現わす接頭語である。今風の言葉で言えば「協業で作ったもの」であろう。非常に広い範囲の対象に当てはまる単語であり、それが「システム」という言葉が支持する対象の広さとしても反映されている。

多分その始まりは人間の複合体であろう。人工物のない時代では機能要素は人間しかあり得ない。つまり、人間同士が協力すること以外にシステムはあり得ない。狩猟や採取、農耕のための大小様々の人間関係のシステムが部族単位に自然発生的に作られていたに違いない。それだけでなく、例えばピラミッドのような巨大な建造物を作るには、数万人の労働力を長期にわたって差配する大きなシステムなしには不可能であろう。人々が集い生活する都市や国家や教会の形成も、自然発生的なシステムの構成事例と考えるとよいだろう。人間を主な要素とするシステムは、「組織」と呼ばれることが多い。単純化を怖れずに言えば、歴史学とは組織の発生と消滅の論理的な分析を目的としているといつてよい。組織をシステムの特例とすれば、歴史学や考古学はシステム科学の一部である。

システムの進化の最初の大きな分水嶺となったのは、産業革命における機械の誕生である。機械は自然力に頼っていたエネルギー源を人工物に変え、人間の身体の動きに頼っていた作業を機械に置き換えた。機械をシステムとして捉えた最初の人であるカール・マルクスと言われている。彼は産業革命という言葉もなかった200年近く前に、産業革命期の紡績機を念頭において、機械は、原動機、伝達機、作業機の3つの機能の異なる機械からなるシステムであると言っている[1]。マルクスは、道具と機械の違いはシステムであるかどうかであると述べている。機械のその後の発展を見ると、マルクスの予測は当たっているといえよう。ついでに言うと、マルクスは機械が「自動化」を究極の目標として進化していくことを予測しており、のちの「オートメーション」の出現を先取りしている。

もっともシステムらしい機械の発明は、20世紀初頭のエジソンによる電力の送配電システムであろう。その少し前の白熱電灯の発明は、人々の生活の様相を大きく変えた輝かしいイノベーションであったが、その効用をさらに推し進め、エネルギーの伝達を容易にしたのが送配電システムである。システムの構築が達成したイノベーションの最初のそして最大のものが送配電システムである。

もちろんそれ以前にも鉄道、水道などのインフラ、銀行や保険などの金融、郵便や電話などの通信などのセクターでシステムの構築は進められていたが、これらはある意味で自然発生的に作られてきたシステムである。それに比べて送配電システムはあらかじめシステムを想定し、関連する革新的な技術が主導し、その波及効果が産業全体に広がったシステムであるという点でひとときわ光彩を放っている。

マルクスの指摘した機械のシステム化は2つの方向を辿った。一つは工程のシステム化であり、もう一つは製品のシステム化である。ヘンリー・フォードが生み出したコンベアラインによる自動車生産は、その生産効率を爆発的に上昇させ、アメリカ全土にモータリゼーションの波をひきおこした。

製品の高度化もシステムの高度化と軌を一にしている。その事例は枚挙にいとまがないが、例えば住宅建設は最も目につくシステム化の例である。建設現場に大工を見なくなって久しい。オフィスオートメーション、ホームオートメーションが騒がれた時代はすでに過去になったが、今でもその歩みは続いている。

計算機の登場はシステムの発展に新しい時代を画した。情報を伝達、変換、保存する新しいシステムの可能性が開けたのである。このシステムがもたらす未来社会は「情報化社会」と呼ばれ、1980年代に多くの論者がその展望を語った。代表的な論者はアービン・トフラーである[2]。彼は様々な未来社会の姿を語っているが、その1例として、20年後の情報化社会では、ビジネスはすべて家庭で行うことのできる規模に分散化され、大企業は不要になると書いている。「リモート勤務」が標準となる、と言うのである。20年後の2000年になってもビジネスはそうならなかったのは見てのとおりである。また彼は家庭にいながら買い物ができるホームショッピングの可能性を予測した。家庭に置かれた VDT と電話を結んで家庭から商品の発注が出来るシステムである。ファックスの双方化と考えてもよい。電電公社はこれを実現するため、東京のあるエリアに試験的に「キャプテンシステム」と呼ばれるネットワークを構築した。これは当時としてはそれなりに先進的なものであったが、結局は加入者が増えずに立ち消えとなったようである。もちろん現在ではホームショッピングはとうの昔に実現している。

2. 「システム4.0」の提案

人間のシステムから機械のシステムを経て情報のシステムに至るシステムの発展の歴史を跡付けてきた。「ソサイエティ5.0」、「インダストリー4.0」、「ウェーブ3.0」など、今流行のナンバリングで発展の現段階を表現するやり方に従うと、人間のシステムは「システム1.0」、機械のシステムは「システム2.0」、情報のシステムは「システム3.0」ということになる。

すでに述べた情報化社会論が世の中の流れを先導し、メインフレームからサーバーや PC に計算機の主軸がシフトし、IT や ICT のシステム化の推進が政府の主要な産業政策の柱になったのは1980年代である。このころが「システム3.0」の最盛期とすれば、すでに40年も昔のことである。いまの「システム」はそのころの「情報のシステム」としての在り様をはるかに超えた存在に進化していると思われる。今新しく生まれつつあるシステムの在り様を的確に捉えた「システム4.0」を提起すべきと思うがいかがであろうか？

1980年代の「情報化社会論」で全く議論されていなかったのがインターネットである。すでに述べたように、その前ぶれであったデータ通信はようやく試されつつあったが、電話網をベースとしたその試みは成功しなかった。インターネットは「自律分散」と「創発」を核に据えたこれまでにない全く新しい原理に基づくシステムで、多くの産業システムのプラットフォームとなっている。インターネットが生み出したさまざまな新しいシステムは、これまでの「情報処理」のレベルをはるかに超えた技術を駆使し、膨大な利用者の知恵を集約し、想像もつかなかったビジネスやエンターテインメントを作り出している。筆者が最初にインターネットの恩恵に浴したのは電子メールである。往復で2週間かかる航空郵便による海外の研究者との対話が、「口語体」での交流に代わったことは研究者としての日常を大きく変えた。次はブログの時代である。あっという間に広がったブログの氾濫には、人々がこんなにも自己表現の意欲を持っていることに驚かされた。

電子メールが1対1の対話とすれば、ブログは1対多の対話である。やがて電子掲示板が登場して多対多の対話を可能とし、さらに SNS がその輪に「公共」の権威を与えた。SNS には最近様々の問題点が出てきているが、それらの克服により今後も様々な対話システムが登場し、社会を変えて行くことであろう。

インターネットほど顕著ではないが、「情報化社会論」で議論の遡上に乗らなかったもうひとつの新しいシステムが GPS である。当時はすでに技術的にはほとんど完成していたが、民生化されていなかったのである。地球上のあらゆる人とモノの所在場所とその移動を探索できることは、大げさに言えば文明の性格を変えたと言ってよい。GPS はインターネットと並んで、新しいシステム構築のプラットフォームになりつつある。

インターネットと GPS の二つの新しいシステム技術を取り上げたが、これ以外にも認証、医療、サービス、金融、エネルギーなどの分野で新しいシステム技術が生まれつつある。これらが目指している方向性をひとつの概念に絞るのは難しいが、ここではあえて「社会」を挙げたい。「人間」「機械」「情報」に次ぐシステムのキーワードは「社会」と考えたい。「システム4.0」は「社会システム」である。

3. 卓越システム(Excellent System)

これまで人々はシステムに対して、「順調に動いていればよい」という受け身の捉え方が多かったと思う。故障や停止をしなければよいのである。最近ではシステムの故障や停止の事例が急速に増大しメディアをにぎわしているので、人々はますますその姿勢に傾きつつある。システムを構築する際も、そのような安全第一の構えを取り、無難なシステムを何となく作っていく場合が多いのではないだろうか？その結果、世の中には凡庸なシステムが溢れ、いったん故障が起こったら、内実を知らない人々が複雑さの網にからみとられ右往左往する状態が頻発している。いま社会がシステムで覆いつくされ、あらゆる政策や企画がシステムを構築することに帰着される現在、「システムの評価」の軸を設定することが重要ではないだろうか？つまり、良いシステムとよくないシス

テムを明確に分ける基準が必要なのである。そのため、「よいシステム」を「卓越システム」となづけ、その属性を以下のように定式化してみた。

- 目的がはっきりしている。
- システムの全体構成が理解しやすい。
- 出来ることとできないことの境界が明確。
- 運用しやすく、故障への対応が容易である。
- 拡張可能性(Scalability)がある。
- 技術の進歩を含む環境の変化に応じて進化できる。
- 利害関係者の多くを満足させることが出来る。
- 利用可能なテクノロジーを効率的に使っている。
- 堅牢で十分な持続可能性がある。
- システム構築、運用のコストが小さい。

皆様の身近のシステム、組織、手順、仕組みなどを常日頃から上記の基準に照らして検証していくことをお勧めする。これについては、さらに詳しい論考を行う予定である。

参考文献

- [1] カール・マルクス 「資本論」第1部、第4編、第13章、第1節、大内兵衛訳、大月書店、1965
- [2] アービン・トフラー 「第三の波」 徳岡隆夫訳、中公文庫、1982

(2024年11月27日原稿受領)

I センター情報

① SIC2024年度第2回学術協議会特別講義「生成AIとシステム構築」開催案内

講義タイトル: 「生成 AI とシステム構築」

講師: 麻生英樹氏 国立研究開発法人産業技術総合研究所

情報・人間工学領域 人工知能研究センター 招聘研究員

開催日時: 2024年12月10日(火) 15:00~17:00

開催形式: ハイブリッド形式(会場 及び オンライン(MS Teams による) 併用)

会場:住友不動産 新宿グランドタワー(西新宿)5F 会議室

講義概要:

2000年代に入ってインターネット上のサービスを通じて蓄積された莫大なデータを利用した機械学習によって大きな性能向上を果たした人工知能技術は、社会の多くの分野に大きなインパクトをもたらしました。2024年のノーベル賞を AI 関連の研究が受賞したことは、そのことを象徴していると思います。そうした中で、近年「生成 AI(Generative AI)」と呼ばれる、画像や文章など人間が生成するコンテンツ情報を生成する人工知能システムやそれを使ったサービスの性能も劇的に向上し、多くの分野で使われるようになっていきます。

本講義では、生成 AI を可能にしている深層学習技術の発展と現状をご紹介しますとともに、システム構築における応用事例、利用する際の注意点や課題、今後の展望についてお話しいたします。

講師プロフィール:

麻生英樹(あそう ひでき)氏

1981年東京大学工学部計数工学科卒業、1983年同大学院工学系研究科情報工学専攻修士課程修了、同年通商産業省工業技術院電子技術総合研究所入所、1993年から1994年ドイツ国立情報処理研究センター客員研究員、2015年から2020年国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センター副研究センター長、現在、同・人工知能研究センター招聘研究員。

脳の情報処理モデルへの興味にもとづき、ニューラルネットワーク、統計的機械学習、などの基礎理論・アルゴリズムと、学習能力を持つ知的情報処理システムへの応用に関する研究開発に従事。

著書:「ニューラルネットワーク情報処理」、「パターン認識と学習の統計学」(共著)、「深層学習」(共著)など。



参加資格: SIC会員・非会員どなたでも参加可能です

受講料: SIC正会員企業は原則2名まで無料、準会員は1名のみ無料です。

(上記の無料枠を越える正会員企業からの参加者は¥5,000/1名)

非会員は¥10,000/1名

参加費の支払いは請求書払い

申込方法: 参加申し込み時に、会場参加、または、オンライン参加を選択
以下の申込 URL より申し込みをお願いします。

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

(実会場での参加は 定員30名、先着順になります。オンライン参加には定員はありません。)

② SIC人財育成協議会主催：第4回ケーススタディ研修講座 「SKYACTIV TECHNOLOGY によるクルマづくりのブレークスルーに学ぶ」開催報告

後援：(公社)計測自動制御学会(SICE) 協賛：(公社)自動車技術会(JSAE)

開催日時：11月22日(金)11:00-20:00、23日(土・祝)9:00-13:00

場所：西新宿：新宿住友ビル47F 新宿住友スカイルーム

参加人数：受講者13名、コーディネータ1名、講師2名、ファシリテータ2名、SIC4名 計22名

報告 大道茂夫(東芝デジタルソリューションズ株式会社・
SICケーススタディ研修講座タスクフォースメンバー)

第4回となる今回は、マツダ株式会社の SKYACTIV TECHNOLOGY の創造を取り上げ、CAD、CAE、MBD(Model Based Design)に至るまでの変遷を学びつつ、卓越したシステムの実現について学びました。

マツダは歴史に残る多くの独創的な技術を生み出してきましたが、何度も経営難に陥り、外資系企業の傘下に入るなど、大きな変動に対応しながら改革に取り組み、今やモデルベースデザインの普及活動の一端を担うほどの知識・経験を有するまでになるほど、真摯に MBD に取り組み SKYACTIV TECHNOLOGY を生み出すに至りました。

研修講座では受講者に事前資料と演習を配布し、演習を通じてモデルベース開発への変革を当時の技術者の立場から考え、それを持ち寄り、講義やグループ討論により様々な視点に触れることでシステム人としての新たな視点獲得、視座向上に取り組みました。

講師には、マツダから今田道宏氏(執行役員・統合制御システム開発担当)、人見光夫氏(シニアフェローイノベーション)をお招きし、マツダの自動車開発の歴史に始まり、MBD 前史、MBD に至る背景、MBD の効能に触れ、今後の変革の時代を我々がどう生き抜いていくべきかについての展望までをご講演頂きました。



講演中の今田道弘氏



講演中の人見光夫氏

受講者には自動車、IT、運輸など異なる業界から参加し、自動車開発に関しては多くのメンバが明るくないながらも熱心に演習に取り組み、意見を集約してグループ発表を行い、参加者・有識者からの評価、コメントを交えながら活発な議論が行われました。

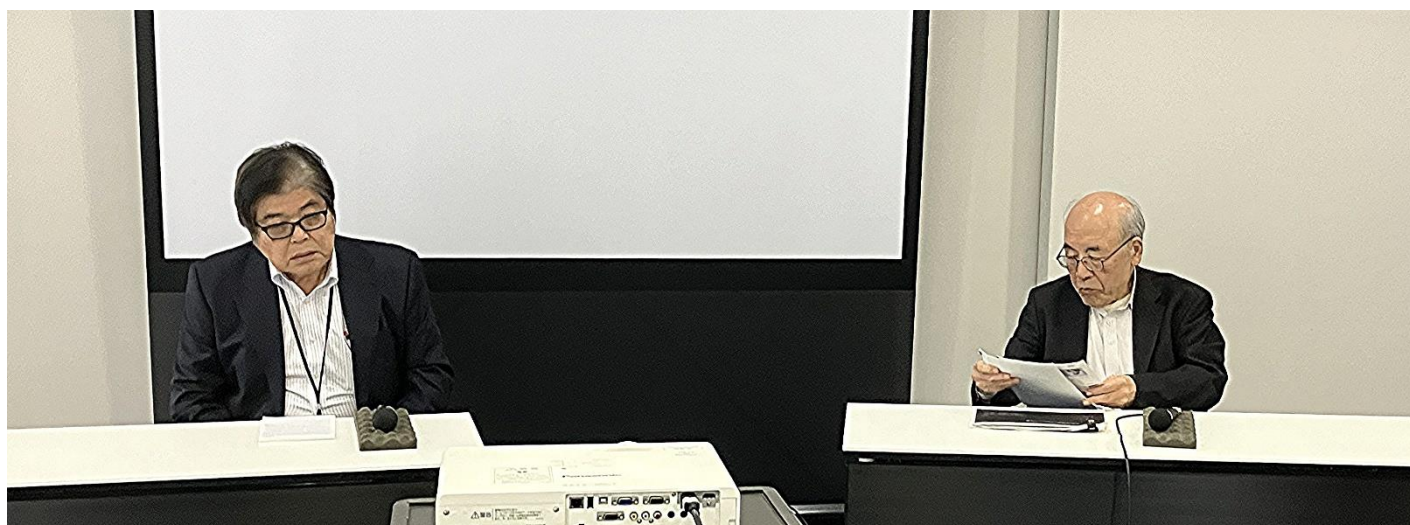


グループ討議風景



クラスディスカッション風景

講義の最後には人見氏、木村英紀氏(SIC副センター長・人財育成協議会主査)からご講評を頂き、卓越したシステム構築の中心となって活動してきた講師のお二人に質疑応答のお時間を頂くことで参加者に有意義な情報提供を行うことができ、2日間で合計12時間半にわたるプログラムを終了した。



人見光夫氏(左)と木村英紀氏(右)による講評風景

なお、研修講座を実施するにあたり、教材の準備、講習の設計など講師陣、マツダ株式会社、独立行政法人 情報処理推進機構 デジタルアーキテクチャ・デザインセンター、株式会社日立製作所より多大なご協力を頂きました。これらのご協力について改めて御礼を申し上げます。



第4回ケーススタディ研修講座参加者 集合写真

③ SIC2024年度連続講義「現代システム科学講座(第二回)」

第6回(最終回)『制御』開催報告

開催日時:10月25日(金)13:30-17:30、26日(土)9:30-12:00 (MS-Teams オンライン開催)

参加申込者数: 全6回申込者:38名

受講者ルポ① (10月25日(金)13:30-17:30)

講義6-1 「制御理論概論」 講師:木村英紀先生(東京大学・大阪大学名誉教授)

本講義では、制御工学について以下のテーマに沿って制御工学の基礎から応用例までご説明頂いた。

- ・制御工学の歩み
- ・制御対象の表現法
- ・フィードバックと安定性
- ・最適制御
- ・モデル予測制御
- ・応用例

はじめに、制御工学が産業革命から現代に至るまで社会変革に寄与してきたことが述べられ、制御の誕生として、ワットの调速機、アンモニアの反復合成など歴史的な装置の説明をいただいた。制御工学の発展により、繰り返し行う作業(オートメーション)を機械にさせ、産業の発展、ひいては現代の日常生活に根付いていることが実感できた。また、PID 制御の説明では、微分・積分・微分を組み合わせた PID 制御が紹介され、実際の制御パラメータの決定方法として、Ziegler-Nichols 法が例として挙げられていた。

次に、制御の表現方法として、時間領域を使用した状態空間モデルと周波数領域を使用した伝達関数の2つの表現方法を説明頂いた。状態空間表現の基本概念として、可制御性(controllability)と可観測性(observability)を説明され、両者の関係性について述べられた。

フィードバックの制御では、フィードバックが安定性を確保する一方で、不適切なフィードバックが不安定性を引き起こす危険性が説明された。安定性を確保するために、ナイキスト安定判別法やリャプノフの方法が紹介され、制御の奥深さとともにリスク管理の重要性も学んだ。

最適制御とモデル予測制御では、未来の動作を予測しながら制御を行うため、航空業界での応用が進んでいると理解した。またここではドローンを使った制御の実例を動画で紹介いただき、制御工学の発展の著しさを感じることが出来た。

最後に、制御の実例として、倒立振り子、アルミ圧延機、自動車のアクティブサスペンションが取り上げられ、説明された。制御工学がどのように社会の課題解決に役立っているかを具体的に理解できたと同時に、人間にかかわる様々な要因もシステムの要素として考えなければいけないこと、システム構築には「人間中心の始点」が大切だと強く感じた。

講義6-2 「演習」 講師:滑川 徹先生(慶応義塾大学教授)

本講義では、演習としてダム群の水位制御、磁気浮上系のロボスタ制御の2つの例を交えて制御の実用例を紹介いただいた。

ダムの水位制御では制御の項目として、ダムの貯水量、ゲート放流量、ダムへの流入量を変数としてモデル化し、ゲート放流量を制御する実例が挙げられていた。シミュレーションでは SimLink を使用し、外乱なし、外乱入力(ステップ)、外乱入力(周期的+ノイズ)の3つのシミュレーションを行い、貯水量が定義した値に制御されていることが示された。

磁気浮上のロボスタ制御では、磁気浮上システムに対してリカッチ方程式や LMI 解法を用いた制御法が適応されていることを説明頂いた。システムの安定性を評価する際、感度関数や周波数帯域における応答解析も行われ、MATLAB を用いてシミュレーションによる性能評価も実施されている。ロボスタ制御により、少々外乱が生じて安定浮上を維持する技術の奥深さを感じることが出来た。磁気浮上システムの応用例として、磁気浮上鉄道や人工心臓などが挙げられ、今後磁気浮上システムの発展が実世界でどのように役に立ってくるかを理解することができた。

(ルポ:倉橋 哲(構造計画研究所))

受講者ルポ②（10月26日(土)9:00-12:00）

講義6-3「制御の話題」講師：滑川 徹先生(慶応義塾大学教授)

本講義では、現代の制御理論の応用とその新展開について解説された。特に、分散制御・協調制御や、ネットワーク制御、最適化・モデル予測制御、ゲーム理論などの最新技術が、複雑な社会的課題の解決にどのように寄与するかについて、研究事例を交えながら説明された。

まず初めに、分散制御・協調制御の例として、マルチエージェントシステムを用いたフォーメーション制御について説明された。ネットワークにより制御された複数の UAV が互いに情報を交換することで、効率性、耐故障性が上がること、また、コスト面でも利点があることが理解することが出来た。滑川先生の研究では、UAV 間で分散的な情報交換を行いながら、フォーメーション飛行を実現するアルゴリズムが、数値シミュレーション、実機検証から提案されている。特に合意アルゴリズムを使って情報の共有と意思決定を行うことで、効率的なフォーメーション維持が実現されている点が興味深く感じた。

次に、ハイブリッド車の燃費最適化に関する研究として、モデル予測制御の応用例が紹介された。この研究では、加速時の燃料消費量・NOx 排出量の削減を行うために目標車速へ追従するためのトルクを決定すること、またエンジンの特性を考慮して燃費向上・NOx 排出率削減を行うためにエンジンとモータのトルク配分を決定することを目的としており、モデル予測制御を用いた最適化が行われていた。NOx 排出量のモデル化、エコドライブ問題、トルク配分問題、階層型モデル予測制御の適用と、様々なアプローチが組み合わさった研究となっている。このモデル予測制御では、時間スケールの異なる2つの問題に対応するために階層型制御構造を用いており、数値シミュレーションによって燃費向上・NOx 排出量削減の確認を行っている。階層型制御構造を使用することで時間軸の異なる2つの最適化、制御が行えることがよくわかる研究となっていた。

都市部の駐車場運営を最適化するためのスマートパーキングシステムについても説明していただいた。都市部の渋滞の約30%が駐車場探しによるものであり、効率的な駐車場割り当てが都市部の交通流改善に貢献されることが指摘されている。ドライバーと駐車場運営者双方の利益を考慮するために、メカニカルデザインとマッチング理論を活用し、さらに、動的な駐車料金設計や再分配アルゴリズムが提案されている。このように最適化や制御といった技術は様々な社会課題を解決することが可能なことを実感した研究である。

最後に、電気自動車を活用した HEMS に関する研究が紹介された。この研究では、EV の充電スケジューリングをモデル予測制御で行い、家庭内の空調システムの効率的な運用を図るとともに、電力会社からの勾配量の最適化を行っている。ここでは、各履歴を用いた状態遷移確率に基づくマルコフモデルを利用し、家庭の快適性を維持しつつ、エネルギーの効率的な利用が可能になることが示されている。

全体を振り返り、現代システムの制御工学があらゆる社会課題に対してアプローチ可能なこと、またその可能性に期待が湧く講義であった。

(ルポ:倉橋 哲(構造計画研究所))



講義スタジオでの木村英紀先生(右)と滑川 徹先生(左)

④ SIC後援イベント「第15回横幹連合コンファレンス」 (12月14日(土)-15日(日))開催案内

テーマ「多分野連携研究と横断型人材育成」

主催：特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)

目的・内容：

工学の諸分野間の連携にとどまらず、理学と工学の間の連携、また、医学・歯学と理工学の間
の連携、さらには、人文学・社会科学・医歯理工学の間連携など、多分野連携は新たな
展開を見せています。多分野連携研究が実を結び、社会課題の解決や新たな社会価値創造、
社会進化の推進に貢献するには何が必要か。そして、多分野連携研究を支える横断型人材
育成はどうあるべきか。コンファレンスは、多分野連携研究のあるべき姿、とるべき方向性、
達成すべき成果、そして、多分野連携研究を持続可能にするための横断型人材育成の理念
と方法を検討する機会といたします。

特別講演では多分野連携研究の新展開を、プレナリーセッションでは横断型人材育成への
取組を、それぞれ主たるテーマとして、第一線でご活躍の方々にご講演や問題提起をいた
たく予定です。

多分野連携研究の成果の発表の場として、また、横断型人材育成の実践の報告の場とし
て、SDGs, ESG, ELSI, DX, DS, AI, STEAM など現代的テーマに関連する、そして、それに限
定されない、専門的・横断的な、多様なテーマのオーガナイズドセッションが、みなさまから提
案されることを期待いたします。一般セッションとポスターセッションでは、みなさまからの基
盤的、創造的、萌芽的な個別発表のご投稿を受け付け、参加者間のネットワークの拡大を狙
います。

多分野連携研究を持続可能にするための横断型人材育成の方法のひとつとして、また、多
分野連携研究の社会貢献の形のひとつとして、今回のコンファレンスでは、「STEAM 教育セッ
ション」を中等教育機関と連携して設置・実施し、中高生による探究や、中高生・中等教育機
関・研究者の間の接続に資する場の設計についての知見を得ることにしています。

開催期間：

2024年12月14日(土)-15日(日)

場所：

東京科学大学大岡山キャンパス

詳細および申し込みは下記 URL よりお願いします

<https://www.trafst.jp/trafst2024/>

Ⅱ 会員活動

① 2024. 11. 19 15:00-17:00 2024年度第11回実行委員会開催報告

開催形式: MS-Teams によるオンライン開催

出席者数: 実行委員9名、副センター長・監事・事務局各1名、出席者合計12名

司会 松本隆明実行委員長

議題

1. 報告事項

- | | |
|---|-----------|
| 1. 1 SIC連続講義「現代システム科学講座」第6回(最終回)開催報告 | 久保忠件事務局次長 |
| 1. 2 2024年度第8回SICフォーラム(10/30(水)) 開催報告 | 同上 |
| 1. 3 第4回ケーススタディ研修講座(11/22(金)-23(土))集客状況報告 | 同上 |
| 1. 4 第2回学術協議会特別講義「生成 AI とシステム構築」(12/10(火))開催案内
https://sysic.org/news/4254.html | 同上 |
| 1. 5 SoS分科会活動報告
12月中旬に報告書を完成予定 | 宮前義彦実行委員 |
| 1. 6 SICの2024年度活動実績と11月時点予算執行状況と年度末予想の報告
2024年度活動実績と決算案に関しては、次回12月17日の実行委員会開催前に
開催されるSIC2024年度第2回理事会で承認を取ることになるため、
実行委員には事前にメールで報告 | 久保忠件事務局次長 |

2. 審議事項

- | | |
|--|------------|
| 2. 1 戦略提言シンポジウム企画 WG 報告
2025年度前半にシンポジウム開催予定 | 木村英紀副センター長 |
| 2. 2 今後の SIC の活動についてのフリーディスカッション | 松本隆明実行委員長 |

2. 広報活動

- | | |
|--|-----------|
| 2. 1 YouTube のSICチャンネルの利用方法について
広報利用と講演等のアーカイブ利用の切り分けが必要 | 久保忠件事務局次長 |
| 2. 3 次回(12月号)ニュースレター発行予定
12月3日(火)発行予定
掲載予定記事
寄稿 「みんなで創る次世代スマート工場
～デジタルツインサイバーフィジカルシステムで実現するスマート工場～」
東京科学大学総合研究院デジタルツイン研究ユニット 特任助教 石倉 弘貴氏、教授 藤澤克樹氏 | 中野一夫実行委員 |

次回、次々回の実行委員会開催予定日時

2024年度第12回実行委員会 12月17日(火) 15:00-17:00

2025年度第 1回実行委員会 1月21日(火) 15:00-17:00

Ⅲ 会員一覧

正会員

SCSK株式会社	NTTコムウェア株式会社
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
損害保険ジャパン株式会社	東京ガス株式会社
東京電力パワーグリッド株式会社	日鉄ソリューションズ株式会社
日本郵船グループ株式会社MTI	ファナック株式会社
富士通株式会社	マツダ株式会社
三菱電機株式会社	横河電機株式会社
ロジスティード株式会社(旧日立物流株式会社)	

準会員

電腦バンク株式会社(準1)	三菱重工業株式会社 デジタルイノベーション本部(準2)
---------------	--------------------------------

(準1)インキュベーション会員、(準2)人財育成限定会員
(2024年12月1日現在:五十音順)

©SIC 2024.12

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 (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 Tel.Fax: 03-5381-3567