

サイバーと人間社会の協同システムを開発 —個人の向社会的行動と集団の合意形成を支援—

概要

現在の情報化社会（Society 4.0）に続く、サイバー（仮想）空間とフィジカル（現実）空間の融合によって実現する超スマート社会（Society 5.0）のあり方が議論され、さらにその先にあるスマートだけでは実現されない幸せな社会（ビヨンド・スマートライフ^{参考1}）に向けた技術開発が進んでいます。

加藤猛 京都大学オープンイノベーション機構 特定准教授は、日立京大ラボ（日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センタ 日立京大ラボ 工藤泰幸 主任研究員、宮越純一 同主任研究員、大輪美沙 同研究員、朝康博 同研究員、沼田崇志 同研究員、嶺竜治 同主任研究員、水野弘之 同主管研究長）の研究グループと共同で、多様な個人の自由と連帯を両立させる「混生社会^{参考1}」を目指して、サイバーと人間社会が互いに協同する Cyber-Human Social System（CHSS）という新しいコンセプトを提案しました。この概念は、これまでの Cyber-Physical System（CPS）^{※1}をより強化するものです。

CHSS は、CPS に人間社会の仕組みを取り入れて個人の向社会的行動を促進し、集団の合意形成を支援することで、従来の人間を機械のように扱ってきた CPS を発展させるものです。今回研究グループは、CHSS の概念を具現化する基本設計（アーキテクチャ）として、サイバーと人間社会を融合した Cyber-Human Social Co-Operating System（Social Co-OS）を開発しました。このアーキテクチャでは、サイバーと人間社会がファストループ（運用・行政）^{※2}とスローループ（合議・政治）^{※2}を介して協同します。Social Co-OS の基本機能は、ファストループにおける個人の行動診断と介入、スローループにおける集団の意思診断と合意形成で構成されています。なお、このシステムにより、将来的には相互扶助コミュニティやプラットフォーム協同組合の形成と円滑な運営に貢献することが期待されます。

本研究成果は、2022 年 9 月 17 日に国際学術誌「IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications」にオンライン掲載されました。



イメージ画像(提供：Adobe Stock)

1. 背景

Society 5.0 とは、日本の第 5 期科学技術基本計画で提唱された「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」です。Society 5.0 や SDGs（持続可能な開発目標）が挙げている格差や不平等、環境やエネルギーなどの社会課題を解決するうえで、人間社会とサイバーの関係を改めて問い直す必要があります。

現状の Society 5.0 像は、Cyber-Physical System (CPS) であり、サイバー空間に現実の人間や社会のデジタルツインを再現しようとしています。しかし、現実の全てをデータ化することはできず、人間は必ずしもデータ通りに合理的に行動するとは限りません。したがって、完全なデジタルツインを再現することは不可能であり、CPS によって「社会システム全体が最適化される」という Society 5.0 像を見直さざるを得ないのが現状です。

CPS に人間のモデルを取り込む研究として、Cyber-Human System (CHS)^{※3}を補完的に位置づける動きがあります。CPS と CHS の様々な組合せの中で、人間を機械的なモデルとして取り込む Human-Cyber-Physical System (HCPS)^{※4}や人間自体を自動制御ループの中に取り込む Human-In-The-Loop CPS (HiLCPS)^{※5}があります。従来の HCPS や HiLCPS は人間を利用して産業システムのパフォーマンスを向上させることに重きを置き、従来の CHS は個人のパフォーマンスを向上させることに重きを置いています。

しかし、人間社会の課題を解決するためには、CPS が人間社会の仕組みを取り入れて個人や集団の行動や意思決定に向社会的に関わり、人間社会そのものに介入や支援を行う必要があります。この方法により見直された Society 5.0 では、パフォーマンスではなく人間社会に重きを置くことになります。ただし、上述したようにサイバーによる人間社会の最適化は不可能ですから、サイバーが人間社会と関わり合いながら漸次それを改善していくシステムを構想する必要があります。

私たちは、従来の CPS や CHS に代わって、サイバー社会と人間社会が協同する新しいシステムを提供することを目指しています。その際、社会問題の背景にある経済価値だけではなく、社会・環境価値を含む多面的な価値、個々の人間の価値観の多様性、それらの価値観を左右する社会規範を考慮する必要があります。これらを踏まえて、私たちは、従来考えられてきた人々が共に助け合って生きる「共生社会」をさらに推し進めて、サイバーを介して多様な人々が自由でありつつ互いに信頼し合って生きる「混生社会」を目指しています。

2. 研究手法・成果

今回の研究成果について、その(1)コンセプト、(2)基本設計（アーキテクチャ）、(3)アーキテクチャを実現する基本機能を説明します。

(1) コンセプト：Cyber-Human Social System (CHSS)

Society 5.0 では、IoT (Internet of Things) により様々なモノや人がつながり、ビッグデータを IT (情報技術) や AI (人工知能) により処理することで、人間社会に対するリアルタイムな分析とダイナミックな介入が可能になると考えられます。

従来の介入モデルは、ノンリアルタイムな物理学モデル（データ解析→理論説明→予測）や歴史学モデル（歴史分析→未来洞察→予防）に依拠していましたが、Society 5.0 ではリアルタイムな臨床医学モデル（診断→予後予想→介入）へシフトすると考えられます。このため、従来は事後的な価値判断に基づいて社会への介入が行われてきましたが、今後は事前的に価値判断や意思決定のプロセスを予め組み込み、サイバーと人間社会の間に循環的でダイナミックな関係を構築する必要があります。

人間は、脳だけではなく身体や環境といった「外的な足場」に「拡張された心」を持ち、“わたし”だけの独

立した存在ではありません。京都大学の出口康夫教授が提唱されているように、人間は“わたし”と共に身体、他者、道具、環境といった複数の行為者（エージェント）から成る「われわれ」としての自己」なのです。この観点に立てば、サイバーもまた「外的な足場」の一つであり、“われわれ”の中の一つのエージェントであると言えます。

そこで、私たちは、“われわれ”から成る人間社会の一部にサイバーが組み込まれつつ、サイバー空間で“われわれ”モデルが動作するという、サイバーと人間社会が互いに入れ子構造になった「拡張された社会」としての Cyber-Human Social System (CHSS) を提案しています。上述したように、“われわれ”モデルは不完全なデジタルツインであるため、現実の人間社会との間で循環的な関係をもって随時更新される必要があります。

すなわち、図1に示すように、現実の人間社会から“われわれ”モデルが作られ、それに基づいてサイバーから人間社会へ介入が行われ、介入の結果が“われわれ”モデルへ再帰的に反映されて、再び新たな介入が行われることになります。介入は、社会的合意を経た社会規範に基づいて行われますが、その社会規範は人間関係や環境の変化に応じて合意形成や集団意思決定のプロセスを経て見直されます。こうして、CHSS では、サイバーと人間社会が互いに協同します。

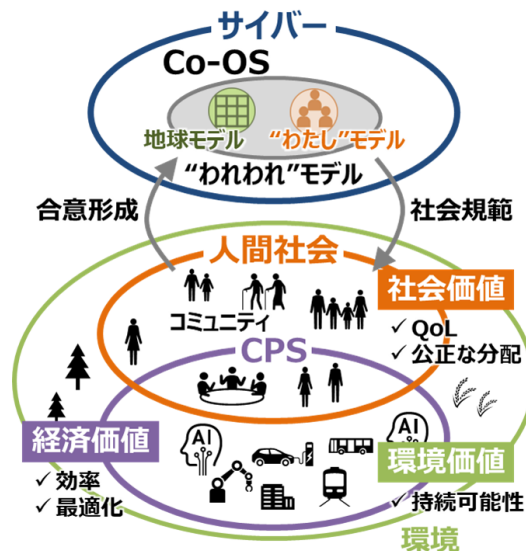


図1：Cyber-Human Social System (CHSS) のコンセプト

(2) アーキテクチャ：Cyber-Human Social Co-Operating System (Social Co-OS)

ルーマンの社会システム論^{参考2}や青木の社会制度論^{参考3}を総合すると、社会システムとは、個人行動・対人相互作用・制度形成という3つの階層から成るダイナミックな循環システムであると考えられます。すなわち、対人相互作用によって社会秩序が作り出され、その社会秩序が記号化されて制度がもたらされ、制度が個人の性向に影響を与え、行動を引き起こすと考えられます。

ブランダムやヒースの社会規範論^{参考4}によれば、社会規範とは対人相互作用における互恵的な相互期待・承認から生じるものであり、社会的な秩序や制度の基になるものです。社会課題を解決するためには社会規範や倫理を醸成することが必要であり、CHSSにおいてサイバーが担う役割は、社会システムの3つの階層に対するデータ収集に基づいて規範的な介入や支援を行うことにあります。

カーネマンの二重プロセス理論^{参考5}によれば、人間の情報処理は自動的・直観的なファストシステムと熟慮的・推論的なスローシステムから成ります。また、ウィルソンによれば^{参考6}、社会システムは行政におけるファストな運用と政治におけるスローな合議から成ります。これらを考慮すると、サイバーが担う役割は、ファ

ストな運用において対人相互作用に規範的に介入し、スローな合議において制度形成を支援することになります。

以上を踏まえて、CHSS のコンセプトを具体化した、サイバーと人間社会の協同システム（Social Co-OS）のアーキテクチャを図 2 に示します。Social Co-OS は、運用・行政を担うファストループと合議・政治を担うスローループから成ります。ファストループでは、サイバーが個人行動データを収集して診断し、社会規範を生む対人相互作用の代わりに個人行動に介入します。スローループでは、サイバーが多面的価値の予後予想に対する集団意思データを収集して診断し、社会的選択肢に対する合意形成を支援します。ファストループの秩序はスローループにおける合意に基づいて維持され、その合意はファストループにおける秩序の変化に応じて適宜更新されていきます。ここで、協同とは、サイバーと人間社会の協同と、ファストループとスローループの協同という二重の意味を含んでいます。

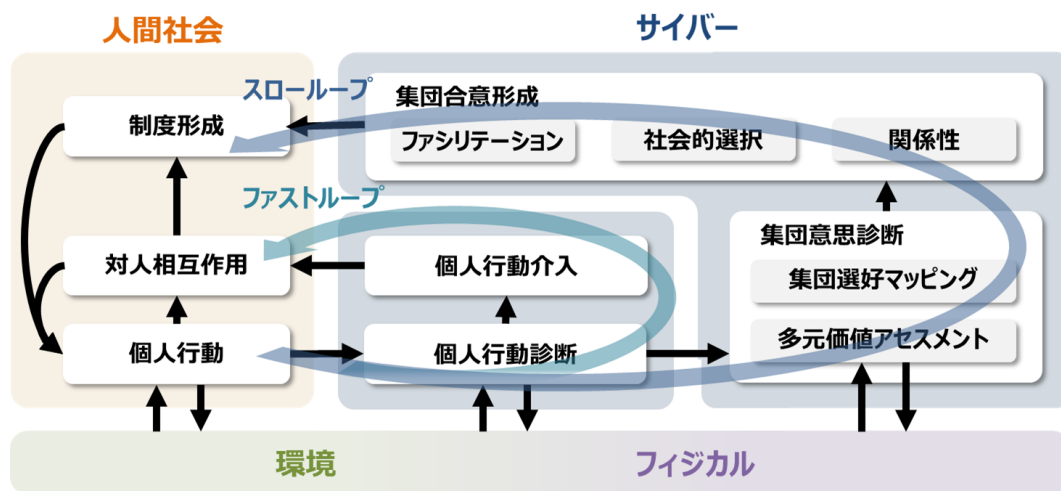


図 2：Social Co-Operating System (Social Co-OS) のアーキテクチャ

(3) Social Co-OS の基本機能

Social Co-OS の基本機能は、ファストループの個人行動診断と個人行動介入、スローループの集団意思診断と集団合意形成から成ります。ここでは、これらの基本機能について、私たちが取り組んでいる技術の内容を簡単に説明します。詳細は国際学術誌の論文または日本語参考文献を参照ください。

①**ファストループ—個人行動診断**：個人の行動は、経済的な効用や社会的な規範だけではなく、パーソナリティ（性格特性）とも結び付いています。私たちは、一般的なアンケートではなく、日常の生活行動からパーソナリティを推定する技術を開発しています。生活行動を電力センサ（電力量、使用時間など）や動力センサ（動作量、回転量、方向変化量など）を用いて測定することにより、5 つの特性（神経症傾向、外向性、開放性、調和性、誠実性）のうち、誠実性を除く 4 つの特性が生活行動と有意な相関があることがわかっています。

②**ファストループ—個人行動介入**：介入方法には制度的および心理的なアプローチがありますが、前者はスローループに対応するため、ファストループでは後者を採用しています。従来の心理的アプローチとしてナッジ^{※6}やバリュー・センシティブ・デザイン^{※7}などが知られていますが、私たちは様々な社会問題に関する心理学実験データを機械学習することにより協力行動を促す介入策を導く技術を開発しています。また、上記のパーソナリティ情報を機械学習モデルに接続することで、より個々人に適した効果的な介入が可能になります。

③**スローループ—集団意思診断**：第一ステップでは、集団に関わる多面的な価値指標をマルチエージェント・シミュレーション技術^{※8}を用いて計算しています。第二ステップでは、個人に一対比較設問^{※9}を繰り返して、それらの回答を機械学習することにより、個人の主観的選好を集計する技術を開発しています。第三ステップ

では、個人の選好結果を多元的な価値指標のグラフの上にマッピングして、それらをグループ化することにより、多数派や少数派などから成るグループの意思を診断する技術を開発しています。

④**スローループ—集団合意形成**：多数決による合意の強制ではなく、手続き的公正プロセスを通じた全員合意（誰ひとり合意を拒否するほどではない妥協案を引き出すこと）を目指しています。そこで、私たちは、多元的な価値指標のアセスメントと集団意思診断に基づいて、グループ間の合意参照点および対立関係とともに、対立を緩和し得る妥協可能関係を提示する技術を開発しています。一般的に合意形成プロセスは招集、役割と責任の分担、ファシリテーション、合意の達成、約束の実行という5つのステップから成りますが、対立関係や妥協可能関係の提示はファシリテーションを支援することになります。

3. 波及効果、今後の予定

Social Co-OS では、例えば個人の属性情報やパーソナリティ情報、個人の社会的地位や人間関係ネットワークの情報が得られれば、より効果的に行動介入や合意形成を行えます。すなわち、個人情報保護と、行動介入や合意形成の効果との間にはトレードオフの関係があり、Social Co-OS では倫理への配慮が必要になります。ただし、Social Co-OS は行動介入や合意形成を支援するにすぎず、最終的には個人や集団の意思決定に委ねられるので、倫理の問題は Social Co-OS というコミュニティへの共感や信頼に帰着すると考えられます。

個人行動介入に関しては、行動経済学のナッジと同様に、家父長主義的な干渉に対する懸念があります。しかし、予め Social Co-OS への参加の自由と同意が得られていれば介入は許容されると考えています。例えば利己的なフリーライダーによって社会秩序が乱れることを防ぐためには、介入が必要になります。オストロムのコモنزの設計原則^{参考7}では段階的制裁が示されていますが、より柔らかなルールへ置き換えた介入が望ましいでしょう。

合意形成に関しては、少数派と利己主義者との区別が課題になります。SDGs のような共通目標に対して同意が得られていれば、集団意思診断において利己主義者の選好を可視化し、利己主義者自身と周囲の他者に共通目標からのズレを認識させることで、利己主義者に妥協を促すことができるでしょう。ボウルズが示したりベラルトリレンマ^{参考8}では、パレート効率性と自発的参加と選好中立性の三者を同時に満たすことができません。共通目標へ妥協を促すことは、利己主義者の選好中立性を抑え、Social Co-OS のパレート効率性^{※10}と自発的参加を重んじることに通じます。

今後の展開として、Social Co-OS の機能の拡充を進めていきます。例えば、個人行動診断ではマルチモーダル情報^{※11}を利用する感情分析技術や、個人行動介入ではマルチモーダルなインタラクション技術を取り入れていきます。集団意思診断や合意形成に関しては、既存の合意形成支援ツール、例えば市民参加型プラットフォームやオンライン集団意思決定ツールとの結合を進めていきます。

将来的に、Social Co-OS の社会実践では、地方自治体や社会的事業のような相互扶助コミュニティを対象としていきます。また、GDPR（General Data Protection Regulation, 一般データ保護規則）によるデータ民主化、さらにデジタル民主主義やプラットフォーム協同組合主義の動きがあります。Social Co-OS は、これらの動きに貢献するでしょう。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の推進母体である日立京大ラボは、京都大学と日立製作所の共同研究部門として2016年6月に開設されました。本研究成果は、日立京大ラボの「ヒトと文化の理解に基づく基礎と学理の探究」という文理融合研究の一環として、文学研究科との「共生社会システムに関する哲学的研究」、こころの未来研究センター（現：

人と社会の未来研究院)との「社会構想及び共生社会システムに関する研究」の中で生まれました。

本研究は、京都大学大学院文学研究科 出口康夫 教授、大塚淳 同准教授、長浜バイオ大学フロンティアバイオサイエンス学科 西郷甲矢人 教授、東京大学大学院人文社会系研究科 唐沢かおり 教授、九州大学大学院人間環境学研究院 山口裕幸 教授、京都大学人と社会の未来研究院 広井良典 教授の協力のもと実施されました。

<用語解説>

※1 **Cyber-Physical System (CPS)** : サイバー空間（仮想世界）にフィジカル空間（実世界）の情報を収集して情報処理を行うことで実世界を制御するシステム。

※2 **ファストループ（運用・行政）、スローループ（合議・政治）** : サイバー空間とフィジカル空間の間に設けた循環的な二重のループであり、一方がファストな（速い）介入、他方がスローな（遅い）介入を表す。

※3 **Cyber-Human System (CHS)** : サイバー空間に人間のモデルを組み込んだシステム。

※4 **Human-Cyber-Physical System (HCPS)** : サイバー空間に実世界と人間の両方のモデルを組み込んだシステム。

※5 **Human-In-The-Loop CPS (HiLCPS)** : サイバー空間とフィジカル空間の間の自動制御ループの中に人間自体を組み込んだシステム。

※6 **ナッジ** : 「そっと後押しする」という意味であり、人々が望ましい行動を取れるように手助けするアプローチ。

※7 **バリュー・センシティブ・デザイン** : 人間の価値に着目して、利害関係者の調査に基づいて情報システムを設計するアプローチ。

※8 **マルチエージェント・シミュレーション技術** : 行為者（エージェント）の間の相互作用をモデル化して計算することで、複数のエージェントから成るシステム全体の振る舞いを調べる技術。

※9 **一対比較設問** : 被験者に2つの対象物を示し、大小や好嫌などの比較について回答させる検査方法。

※10 **パレート効率性** : 集団内の誰かの効用（満足度）を犠牲にしなければ他の誰かの効用を高めることができない状態であり、資源が無駄なく配分された状態を表す。

※11 **マルチモーダル情報** : 画像、音声、テキストなどの複数の種類のデータ。

<参考>

参考1 : 日立京大ラボ編著「BEYOND SMART LIFE ― 好奇心が駆動する社会」

参考2 : ゲオルク・クニール、アルミン・ナセヒ著「ルーマン 社会システム理論」

参考3 : 青木昌彦著「比較制度分析に向けて 新装版」

参考4 : ジョセフ・ヒース著「ルールに従う ― 社会科学の規範理論序説」

参考5 : ダニエル・カーネマン著「ファスト&スロー ― あなたの意思はどのように決まるか? (上) (下)」

参考6 : Wilson W. The study of administration. Polit Sci Q. 1887;2(2):197-222.

<https://doi.org/10.2307/2139277>

参考7 : Ostrom E, Walker J. Neither markets nor states: Linking transformation processes in collective action arenas. In Mueller CD, ed., Perspectives on public choice: a handbook. Cambridge, MA: Cambridge University Press: 1996.

参考 8：サミュエル・ポウルズ著「モラル・エコノミー ― インセンティブか善き市民か」

<研究者のコメント>

本研究成果は、京都大学と日立製作所の文理融合・産学連携研究から生まれたものです。哲学、社会心理学、社会構想に関するご助言をいただきながら、情報システムの学術分野において新たに Cyber-Human Social System のコンセプトと Social Co-Operating System のアーキテクチャを世に問えたことを大変うれしく思います。（日立京大ラボ一同）

<論文タイトルと著者>

タイトル：Social Co-OS: Cyber-Human Social Co-Operating System（サイバーと人間社会の協同システム）

著 者：加藤猛、工藤泰幸、宮越純一、大輪美沙、朝康博、沼田崇志、嶺竜治、水野弘之

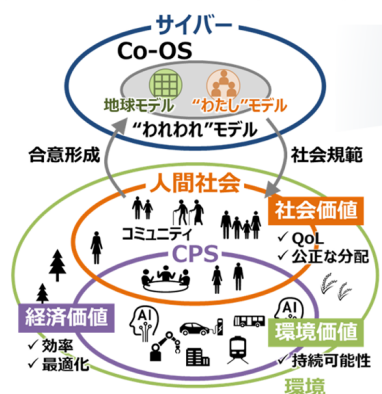
掲 載 誌：IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications

D O I：<https://doi.org/10.1049/cps2.12037>

日本語参考文献：[IEICE Conferences Archives - サイバーと人間社会の協同システム](#)

<参考図表>

Cyber-Human Social System (CHSS)



Social Co-Operating System (Social Co-OS)

