

# 企業ロボットとシステムエンジニアリングの役割

石井 信明\*

## The Role of Systems Engineering in Enterprise Robot

Nobuaki ISHII \*

### 1. はじめに

現代社会は、IoT（モノのインターネット）、AI（人工知能）、ビッグ・データなど、ICT（情報通信技術）が直接に及ぼす変化と相乗効果により予想の出来ない未知なる世界に突入している。ICTでヒト・モノ・カネ・知の膨大な社会・経営の情報が結ばれ、これらを利用したロボット、AIなどの「人工体」が、経済、経営、福祉、教育、家事、育児など、社会のあらゆる場面で重要な意思決定にかかわるICT管理化社会が到来している。LLM（大規模言語モデル）の実用化は、それらを加速している。人々は人工体に意思決定を仰ぎ、その結果、人工体が社会を左右する可能性がある<sup>[1]</sup>。

このような状況を背景として、2016年10月に神奈川大学工学研究所に設置した「企業ロボット開発研究所」（以下、本研究）では、これまで人間が作り上げてきた生産企業体、公共事業体などのさまざまな人工体の調査・研究を行い、人工体の仕組みを明らかにする挑戦を継続している。具体的には、企業ロボットの概念として三相型の人工体を提示<sup>[1]</sup>し、ICT管理化社会を人間社会となじみのある、人間中心の「ICT共生社会」にすることを目指し、中央相にあたる管理・分析系と人間のかかわりに焦点を当てた研究を行っている。

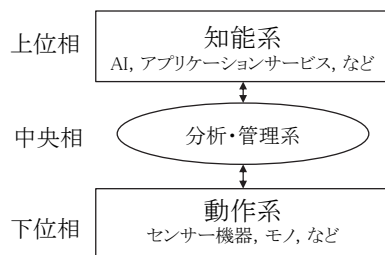


図1 三相型人工体の基本構造<sup>[1]</sup>

本稿では、複雑系の人工体を実現し運用する際に欠かせない技術体系として、現在調査・研究を進めているシステムエンジニアリング（以下、SE）を取り上げ、その役割と課題を示す。

### 2. 複雑系システムとシステムエンジニアリング

現代社会において、人々が求める人工体は多くのシステムとネッ

トワークで結ばれた大規模かつ複雑なシステムである。しかも人々の要求は従来にもまして高速に変化するため、その運用も複雑になる。すなわち、人工体システムへの要求と目的を理解し、それらを最もよく達成するためにシステムの構成要素、制御機構、インターフェースを分析・設計し、ライフサイクル指向でシステムを創造する分野横断的な技術を持つことが必須となっている。

大規模・複雑なシステムの開発と運用のための技術とフレームワークが「システムエンジニアリング（SE）」であり、人工体の開発・運用にも欠かせない技術となっている。SEは、1950年ごろから体系化が進み、1969年には米国国防総省(DoD)がMIL-STD-499として規格を制定した<sup>[2]</sup>。ちなみに米国国防総省は、WBS、ソフトウェア工学、構成管理、EVMなどの規格も制定している。

いくつかの団体が、SEの定義を示している<sup>[3]</sup>。代表的なものに、INCOSE Systems Engineering Handbook (INCOSE-TP-2003-002-03.2.2)、NASA Systems Engineering Handbook (NASA/SP-2007-6105)、米国国防総省（MIL-STD-499C）の定義がある。またJISでは、システムライフサイクルプロセス(X 0170:2020)において、「利害関係者のニーズ、期待及び制約の集合を、解決するソリューションへ変換するため、及びソリューションが用いられる全期間を通じて、それを支援するために要求される、技術上及び管理上の作業の全体を統括するような、複数の専門分野を横断した取組方法。」としている。

それぞれの団体の成り立ちによりとらえ方は多少異なるが、次の視点がSEに特徴的な視点と言える。

#### (1) 学際的である点

SEは、図2のように細分化した固有技術を経系とすると、それらを織る緯糸の役割をもつ技術体系である。要求を満足するシステムを提供するために、要求を分析し機能に落とした上で、必要な固有技術を活用して要求を実現する。その際、システム全体を俯瞰しながら固有技術を評価し、システムの能力、リスク、費用、スケジュールなどの最適なバランスを実現する。

#### (2) システムのライフサイクルを対象とする点

SEは、システムへの要求分析から廃棄にいたるライフサイクルの全てにわたり関わりを持つ。すなわちSEでは、「システム」をサブシステム、コンポーネントからなる「システム要素」と「システム」の目的達成の支援要素に分け、そのどちらにも関与する。支援要素には、システムの維持、廃棄、システム開発に必要なプロセス、テスト、トレーニングと、それらに必要なツールなどを含む。

\*教授 経営工学科  
Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management

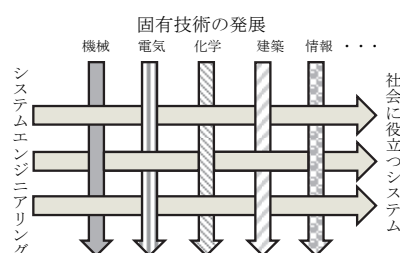


図2 システムエンジニアリングと固有技術<sup>[4]</sup>

### 3. 人工体開発におけるシステムエンジニアリングの役割と課題

人工体をはじめとして、大規模・複雑なシステムの開発・運用に欠かせない SE であるが、日本の社会には十分に浸透していないようである。実際、我が国の要素技術への国際的な評価は高いが、システム製品はガラパゴス化が進み、高性能でも海外では売れない状況が多発している。さらに、プラント輸出など、大規模で複雑なシステム開発・運用での主導権を取れず、要素技術の提供にとどまるケースが増加している。情報技術は特に顕著で、日本のデジタル赤字はエネルギー輸入額に近付いている。これは、SE への理解不足と、SE の根底にあり、古代ギリシャから欧米に伝わる「システム思考」に、日本社会はなじみがないためと考えられる<sup>[4][5]</sup>。

SE では、システム思考に基づきシステムを階層的に分解し、システムの目標達成に重要な機能を特定した上で、能力、リスク、費用、スケジュールなどのバランスを考えながら、限られた資源を重要度に応じて配分する。しかし日本の社会では、まずは平等を重んじる。そのため、メリハリを効かす重点主義のシステム思考を理解しにくいようである。また、システムの開発と運用を分けて捉える傾向があり、システムライフサイクルに渡るシステムマネジメントへの備えが不十分なことが多い。

さらに、日本企業では現場部門の発言力が強く、全体目標が部門の行動にまで落ちてこないことが多い。そのためボトムアップの力は強いがトップダウンが苦手であり、経営者は現場力に会社の運用を依存し、中間管理職も本来の役割を果たしていないケースが見られる。1990 年頃まで、日本の強みは優秀な現場からのボトムアップによる意思決定であったが、社会が複雑になり、グローバル化してシステムの相互接続が増大した現在、全体を俯瞰する機能も役割も持たない現場の力が強いことは、むしろ弱点になりかねない。近年明らかになっている現場の不正も、この点に根があるかもしれない。図1の三相型人工体の基本構造に照らすと、下位相の意思決定が強く、上位相と中央相がそれを管理できていない状況と言えよう。

役に立つ人工体を開発・運用するには、目標達成に向けてシステム思考を意識し、SE のプロセスにより開発・運用を進めるべきである。SE の一層の理解の増進と普及を意識して取り組む必要がある。

### 4. 企業ロボット開発研究所の研究成果

企業ロボット開発研究所では、成果の発表を継続している。横幹連合コンファレンスには、毎年、企画セッションを設け、研究成果の発表と議論を行っている。今年度は、「企業経営・社会活動分析への MATRIX 活用等アプローチと意思決定プロセス化の研究 2023」をテーマに、5 件の発表を行った (<https://www.trafst.jp/conf2023/>

onboard\_pre.html)。

なお、2022 年以降に公表した主な研究成果は、次のようである。

Ishii, N. and Ohba, M., Quantitative evaluation of an information network in a supply chain, *International Journal of Production Economics*, 261, 1-13, 108889 (2023).

M. Matsui, E. Ohto-Fujita, N. Ishii, Humanized robot of new method and time system and its management: A digital transformation case of convenience store type, *Intelligent and Transformative Production in Pandemic Times: Lecture Notes in Production Engineering*, 91-99 (2023).

石井信明, デジタルツインが開く製造業 DX ー期待と課題ー, *経営システム*, 33, 16-21 (2023).

大場允晶, 石井信明, マトリックス・アプローチによるサプライチェーン業務の情報ネットワークの定量評価ー AI を加えた場合ー, 第 14 回横幹連合コンファレンス, E-3-2 (東京大学, 東京) (2023).

石井信明, 大場允晶, 会議の生産性向上に向けた会議支援システムの提案, *スケジューリング学会 スケジューリング・シンポジウム 2023, GS6-4* (大阪公立大学 I-site なんば (2023)

松井正之, 動く軌道マネジメントとペア(アクセル, ブレーキ)術ーペア地対天動人工体の科学とその企業ロボットの新しい働運動フレーム法ー, 第 13 回横幹連合コンファレンス, C-3-1 (早稲田大学, 東京) (2022).

石井信明, 大場允晶, 情報リンク分析による会議の定量的評価と管理, *情報システム学会 第 18 回全国大会・研究発表大会* (新潟国際情報大学 新潟中央キャンパス (2022).

### 5. まとめ

企業ロボット開発研究所では、従来、人工体を動作系と知能系の二相構造でとらえている点に着目し、両者を結びつける中央相として人間がかかわる分析・管理系を加えた三相構造を提案して、研究を進めている。本報では、人工体の開発・運用に欠かせないシステムエンジニアリングについて考察した。

本研究所では、今後とも、人間社会となじみのある、人間中心の ICT 共生社会の実現を目指し、その仕組みを明らかにすることに挑戦をしていく。

### 参考文献

- [1] 石井信明, 企業ロボット研究の挑戦, *神奈川大学工学研究*, 6, pp.56-57 (2023).
- [2] 斎藤一弥, “米国防総省：調達システム改革の変遷”, *月刊ロジスティクス・ビジネス*, 2013 年 4 月号, 2013, pp. 90-93 (2013).
- [3] Blanchard, B. S., Blyler, J. E., *System Engineering Management 5th Edition*, Wiley (2016).
- [4] 石井信明, システムエンジニアリングマネジメントのすすめ, *情報システム学会 第 19 回全国大会・研究発表大会* (文教大学湘南キャンパス (2023).
- [5] 早瀬篤, 学問の誕生を告知する「パイドロス」, *西洋古典叢書*, 134 (2018).