

21世紀のシステムをどう捉えるか

吉村 忍

東京大学大学院工学系研究科
システム創成学専攻
yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp
<http://save.sys.t.u-tokyo.ac.jp>

21世紀の社会の基調

世界の状況

人口が増大し、環境・エネルギー・資源制約が次第に強まる中で、持続可能な社会システム(人・人工物・自然の調和した社会)の構築が人類共通の課題として浮上

日本の状況

急速に進む少子高齢化、国際産業競争力の相対的低下

21世紀の工学の基調

工学は「ターゲットの拡散」、「スコープの拡散」および「ディシプリンの拡散」という3つの拡散現象の潮流に直面

ターゲットの拡散:

物象的人工物

⇒ 抽象的人工物

物象的人工物と抽象的人工物の融合

21世紀の工学の基調(続き)

物象的人工物: 構造物や工業製品等

抽象的人工物: ソフトウェア、ヒューマンウェア、マネジメント、ロジスティック、サービス、社会制度等

物象的人工物と抽象的人工物の融合:

物象的人工物に多様なソフトウェアやセンサーが組み込まれる
人工物群と環境がネットワーク化

21世紀の工学の基調(続き)

スコープの拡散:

⇒ ミクロからマクロまで
ライフサイクル全般

ディシプリンの拡散:

自然科学系、数理科学系の限定された視点・知識
⇒ 分野横断的、分野特有の知識、視点、
方法論

巨大複雑系社会経済システムの登場

- 人間の意図のもとに設計され製造されたはずの人工物が、しばしば予期せぬ複雑な振る舞いを示す。
- そもそもすべての人工物を意図通りに創れるかということも、おそらく自明とは言えない。
- 観測や制御が困難となる人工物は巨大複雑系という特徴を有し、さらに社会や経済に大きな影響を及ぼす。
- その影響は本質的に相反する二方向に向う。一方では、“創造”という新しい可能性をもたらすが、他方では“暴走”というリスクを招く。

巨大複雑系という特徴を有する人工システムと
社会経済が相互作用するシステム
「巨大複雑系社会経済システム」

第20期(2006.10-2008.9)の日本学術会議 総合工学委員会「巨大複雑系社会経済システムの創成力を考える分科会」の目的

物象的人工物であるか抽象的人工物であるかを問わず、巨大複雑系社会経済システムを対象として、その**本質的特性を抽出するとともに、巨大複雑系社会経済システムの創成力を強化するための方策**を提言する。

巨大複雑系社会経済システムの定義と例

空間的あるいは物理的あるいは社会的広がりが巨大であり、その中に内包される多数の要素の相互関係が複雑であり、かつ社会や経済に多大な影響を与えるシステム

- 人工システムが単体として大規模複雑系であるもの
例: 宇宙システム
- 単体として大規模であっても構造は複雑とは限らないが社会経済と複雑に相互作用する人工システム
例: 原子力システム
- 単体として規模は大きくないものの、人間の介在により結合されて巨大なネットワークを構成し、その間の関係性が複雑となり、社会経済システムに埋め込まれた人工システム
例: インターネットのような人工物ネットワーク

共通特性分析の対象

- 原子力システム
- 宇宙システム
- 人工物ネットワーク
- 金融システム
- 携帯電話システム

特性項目

- ①システムの特性
- ②技術的特性
- ③社会的価値の特性
- ④人材育成・教育の特性
- ⑤セクターの役割・課題の特性

特性項目：①システムの特性

1. 社会的影響力の内容・大きさ
2. 安全性・信頼性・頑健性の内容・程度
3. 広範複合領域の程度
4. 開発期間のオーダー・システム寿命
5. 開発(運用)期間中の社会的変動との関係
6. 技術の波及性の内容・程度
7. システムの副作用
8. **オープンシステム／クローズドシステム**
9. **トップダウン型システム／ボトムアップ型システム**
10. System of Systems Engineeringとしての特性

特性項目：②技術的特性

1. 要素技術レベル
2. システム技術レベル
3. 可観測性の程度
4. 可制御性の程度
5. 非線形性・多目的性
6. **人間系の関与の内容・程度**

特性項目：③社会的価値の特性

1. 近未来の産業的社会的価値
2. 50年後の産業的社会的価値
3. 持続性社会の構築
4. 設計の方式

特性項目：④⑤

④人材育成・教育の特性

1. 有効人材種類
2. 有効人材育成法
3. システムへの社会的関心(若者の関心)
4. 専門職・技能者育成体制

⑤セクターの役割・課題の特性

1. 国
2. 民間(社会・産業界)
3. 大学

オープンシステム

システムの設計要件が外部環境から影響を受けて変化し、構成要素も外部環境との間で出入りがある。このため、システムは外部環境から常に影響を受けている。環境変化に対応して柔軟にシステムの変化や進化が起こる、また、後発の要件や構成要素を取り込めるという利点がある反面、意図的な制御が困難になるという欠点もある。

クローズドシステム

システムの設計要件や構成要素(人間系を含む)が確定しており、それらの情報のみで自己完結的にすべてが決定されるシステム。統合度を高められるという利点がある反面、システムの変更がしにくいという欠点がある。

トップダウン型システム

比較的少数の設計者によって、問題設定、要求仕様設定、設計、構築の順に構築されるシステム。

ボトムアップ型システム

個々の構成要素や個々の設計要件に埋め込まれた情報を手がかりとして、システムが自発的に構成されるシステム

巨大複雑系社会経済システムの共通特性(1)

- 第一の特徴: 巨大複雑系社会経済システムにおいては、ある特定のシステムに着目しても、設計開発段階や利用・普及段階、あるいはシステム創成の初期段階や発展段階によって、**システムの主な特性が大きく変動**する
- たとえば、原子力システムなどでは、設計開発段階ではシステムの設置者と規制側がトップダウン的に、しかも限られた専門家のみが関わりクローズドな状況で設計される。しかし、利用・普及段階では、様々な不特定多数の人間(ユーザであったり、地域住民であったり、保守点検にあたる検査官や作業員など)が係ることになることから、ボトムアップ的でオープンなシステムとしての特性が顕著になってくる。

巨大複雑系社会経済システムの共通特性(1')

- 宇宙システムにおいても、衛星は事業者のトップダウン的かつクローズドなシステムとして設計・開発・運用されるが、通信など社会への展開を考えるとボトムアップ的でオープンなシステムとなってくる。
- 携帯電話については、個々の機器を設計するプロセスはトップダウン的であるが、それがマーケットの中で利用され、そこで出される要望が設計・運用側にフィードバックされながら次第に成長するプロセスはボトムアップ的である。さらに技術の普及が進むと技術の標準化の機運が生じ、これはトップダウン的に進められる。つまり、両者が相互作用しながら、さらにシステムが成長する。

巨大複雑系社会経済システムの共通特性(2)

- 第二の特徴:巨大複雑系社会経済システムにおいては、さまざまなフェーズにおいて**人間系が関与**し、その関与の仕方がそのシステムの特徴付けに重要な働きを果たしている。
- たとえば、少数の専門家が関連する場合から、多様な専門的バックグラウンドを有する専門職員や技術者、作業員が製作、運用・管理に関連する場合や不特定多数の一般ユーザーがマーケットを介して関連する場合まで幅広い。また、社会や人間系との関係においてそのシステムの社会的価値が決まってくる。したがって、人間社会系との相互作用の理解なしに、巨大複雑系社会経済システムを理解することはできない。

人工システムとクラス(1)

環境との係りと目的の状況によって人工システムを分類

- クラスI: 完全情報問題
- クラスII: 不完全環境情報問題
- クラスIII: 不完全目的情報問題

クラスI: 完全情報問題

目的および環境に関する情報が観測者にとって既知であり、問題を完全に記述できる。

このクラスの問題では、**最適解探索**が中心課題となる。

例: 工場のスケジューリング問題

クラスII: 不完全環境情報問題

目的に関する情報は既知であるが、環境に関する情報が観測者には予測できず、問題を完全に記述できない。

このクラスの問題では環境の変化に応じて**適応的解探索**が中心課題となる。

例: 原子力発電システムの耐震性能問題

クラスIII: 不完全目的情報問題

環境ばかりでなく、目的に関する情報も観測者には予測できず、問題を完全に記述できない。

このクラスの問題では、目的も同時に定めていく必要がある共創的解探索が中心課題となる。

例: インターネット

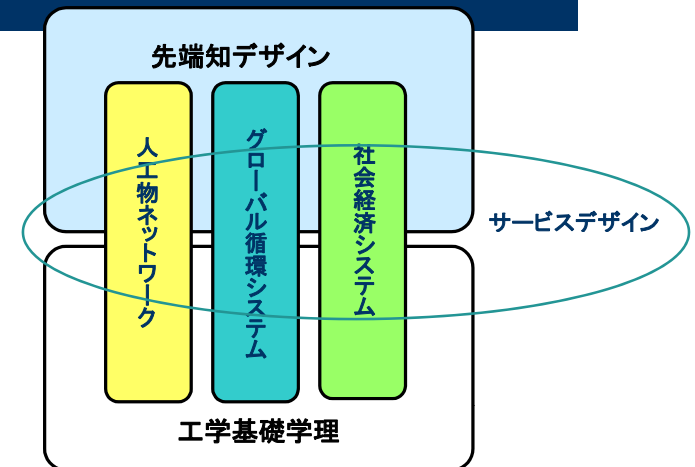
クラスII、IIIとしての巨大複雑系社会経済システム

- 巨大複雑系社会経済システムにおいては、人工システムを社会(環境)や人間から孤立した系として扱うことに根拠がなく、したがって、本質的にクラスIIないしクラスIIIのシステムとなる。
- 設計時にはクラスIのシステムとして設計されたにもかかわらず、利用され、普及することによって、後天的にクラスIIないしクラスIIIとしての特徴を帯びるようになる。
- クラスIIあるいはクラスIIIとしての特徴を有するシステムを、クラスIであるかのように認識し取り扱うときに様々な齟齬が発生する。
- 個々の巨大複雑系社会経済システムの表層の特性に惑わされることなく、クラスIIないしクラスIIIとしてのシステムの本質的な特徴を理解し、それを構想、設計、製作、管理・運用するための創成力を磨くことが肝要である。

システム創成学専攻の設置目的

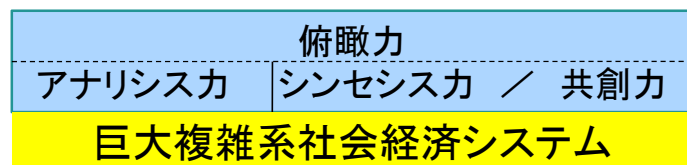
人間、人工物、自然を多面的、俯瞰的視点からとらえるシステム科学を基礎として専門領域に細分化された工学知を統合し、自然や社会と調和のとれた革新的システムの実現のための原理と方法論に関する研究教育を展開する。

システム創成学専攻における重点4分野と1プロジェクトの全体構造



巨大複雑系社会経済システムの創成力(1)

- システムの構成要素を正確に分析し理解するための、いくつかの深い専門能力(アナリシス力)
- 同時に、システム全体を俯瞰する力(俯瞰力)
- その上で、シンセシスや共創を実現するための力(シンセシス力や共創力)



シンセシス

使用環境においてシステムの機能が目的を満たすようにシステムの構造を決定すること。人工物の創出のための広義の設計。

共創

狭義には、複数の主体の相互作用によって、有効な解を創出することであり、普通、主体の組み合わせには、人工物と人工物、人と人工物、人と人、組織と組織などがある。ここではさらに、環境や目的に関する情報が不完全な状況下において、成立可能な人工システムの機能と環境や目的を同時に創出すること。

システム創成学が主たるターゲットとすべきシステム

クラスIの人工システムではなく、

クラスII、IIIとしての特徴を有する巨大複雑系社会経済システム

それらを如何にデザインし、制御し、運用していくか、について研究、人材育成の両面から積極的にチャレンジしていくべきであろう。

事例：交通・運輸問題

交通・輸送の基本技術は、自動車や列車、船舶などの人工物であるが、低燃費で安全性に優れた人工物を構築できれば、交通の引き起こす諸課題、すなわち交通渋滞や環境負荷、交通起因のCO₂問題、都市の空洞化、地方の公共交通衰退、物流などは解決するであろうか。

交通問題における環境は何か、目的は何か、利害関係者は誰か。

事例：原子力問題

個別の原子力技術のレベル向上を図り、それらを寄せ集めるだけで、次世代原子炉を実現できるのか。

自然現象と人工システムの相互作用が本質的な問題であり、しかもその影響が様々な利害関係者に及ぶ原子力耐震問題を、要素技術の視点だけで解くことができるのか。

事例：サービスの問題

すぐれた技術を実装したサービスが必ずしも社会的価値を有するとは限らないことは自明であろう。

サービスの目的も、提供者から見れば、サービスによって金銭的な利益を生み出すことであるが、ユーザにとっては、サービスの価値や満足度は、各個人の感性や心に依拠する問題となる。

事例：ものづくりの問題

従来日本の国力の源泉の一つであった製造業分野においても、今やモノづくりプロセスにおいて単に生産効率を上げることが本質的な課題なのではない。

いかにして、消費者に受け入れられる人工システムを効率的に生産できるか、持続可能社会づくりに貢献できる人工物を生産し、提供するのか、そのための方法論の開発が求められている。