



# システム科学技術とイノベーション

木村 英紀\*

## Innovation via Systems Science and Technology

Hidenori KIMURA\*

**Abstract**— System plays a key role in contemporary world. The world is now at the age of systems in which systems in various kinds play crucial roles in every aspect of human life. If we think that the innovation is an advent of a new life style due to the advance of sciences and technology, the system building must be a key factor of innovation. Therefore, systems science and technology must lead the innovation. In this article, we advocate the importance and implication of systems sciences and technology in the process of realizing innovation. The notion of *systems buliding strategic research* (SBSR) which was proposed by JST as a powerful device to promote systems science and technology is fully discussed. It is emphasized that SBSR can provide a good platform for the collaboration of various disciplines and rational decision making in the planning stage of systems building projects. Systems science and technology has many distinguishable characteristics which the other traditional sciences and technology do not share. Its real achievements cannot be presented in a concrete form. Its message is always represented as an abstract and invisible theory. So, it needs some special consideration to appreciate the importance of its result. The relevance of systems science and technology to a new growth strategy is discussed extensively.

**Keywords**— systems, elements, systems science and technology, innovation, strategic research

### 1. はじめに

万有引力の法則が述べられているニュートンのプリンキピア第3巻のタイトルは「The System of the World」(De Mundi Systemate)である。要素が相互に影響を及ぼしあいながらひとつの全体を型造る、という我々がもつシステムの概念が近代科学の誕生と同時に生れたことは注目に値する。要素還元主義で駆動されてきた近代科学の背後に要素を統合する「システム」概念がにらみを利かせてきたのである。

1913年にデトロイトに開業したフォードのハイランド・パーク工場は自動車生産の方式を一変させた。これまでは工場のフロアに並んだ作業台に車体や部品が運びこまれて、自動車が各作業台の上で組み立てられていた。ハイランド・パーク工場では工場内の各所を流れるコンベイヤーの上を製造中の自動車が運ばれ、脇に作業員や様々の工作用の機械が並んで部品や車体を少しずつ組み立てて行く。工場の風景は「静」から「動」へ変った、

と言ってよい。このことを当時の「デトロイト・ジャーナル」紙は「システム・システム・システム」と書いている [1]。

ニュートンの「世界のシステム」が科学の世界でのシステム概念の産声であったとすれば、フォードの流れ作業は技術の世界での本格的なシステムの登場であった。技術の歴史は新しい機器の提案、新しい製法の確立、新しい材料や物質の発見など要素技術の発達で華やかに彩られてきたが、その背後には要素技術を統合するシステムの視点が脈々と受け継がれてきたのである。

要素技術の進歩が新しいシステムの可能性を生み、新しいシステムの構築が要素技術への新しいニーズを生み出す。要素技術とシステム技術はお互いに相補いながら技術を進歩させてきた。今世紀に入って両者の関係は新しい位相に入ったと言えよう。技術が社会の深部に根をおろし、人々の生活の主要な側面が技術にからめ取られる状況のもとで、技術と人間が社会システムを通して結びつく傾向が顕著になった。そのためシステム技術は技術のシステム化の中に社会を取り込むことがこれまで以上に必要になってきた。社会という奥の深い得体の知れない存在に向って開かれた技術のシステムを構築するためには、システム技術のレベルを一段高める必要がある。

\*独立行政法人理化学研究所 BSI-トヨタ連携センター 埼玉県和光市広沢 2-1

\*RIKEN BSI-TOYOTA Collaboration Center, 2-1 Hiroosawa, Wako, Saitama

Received: 4 March 2011, 10 March 2011

我が国の技術は「ものづくり」という言葉で象徴されることから分るように要素技術に重心が大きく傾いている。「システム化」をもとめる声があらゆる所から聞こえてくるにもかかわらず、あるいはそうであるが故にシステム技術は強くないのである。このことが日本の産業競争力に暗い影を投げかけていることはすでに拙書で指摘した [2]。しかし日本人がシステム技術に先天的に弱いということはある得ない。要素技術の豊かな基盤にもとづいて新しい位相に到達したシステム技術を日本独自の視点で発展させることは可能であり、やらなければならないことである。逆にこれが出来なければ「システムの時代」における日本復権のシナリオはあり得ない。

## 2. システムの時代

現代社会はシステムで満たされている。私達の使う工業製品はカメラでも自動車でもパソコンでもすべて高度なシステムである。私達の生活基盤となっている電力やガス、水道の供給網、交通や通信、輸送などのインフラ、金融、サービスのネットワークは私達が要素として取り込まれているシステムである。このように現代は「システムの時代」と言ってよい。人間の活動をすみずみまでシステム化しようとする流れはますます強まっていると言えよう。

もっともシステム化の流れは最近起った訳ではなく、少くとも近代技術がはじまった頃から始まっている。マルクスは 19 世紀の半ばに、産業革命期の紡績機が道具機、伝達機、原動機の 3 つの部分から成ることに注目し、機械は必ずシステムとして発展することを看破している。それだけでなくシステム化はやがて自動化に発展することを予言している [3]。マルクスの他の予言は当らなかったが、この部分は恐ろしい程的中した。

ものづくりにおける本格的なシステム化のはじまりを象徴するのがすでに述べたフォードによる自動車の生産の流れ作業化であろう。フォードは徹底的に細分化要素化された工程を時間的空間的に統合することを通じて生産性の向上を図った。典型的なシステム化の試みであった。フォードの製造システムは自動車の価格を 4 分の 1 に下げ、マイカー時代をもたらした。製造のシステム化は以後自動車以外の機械組立や化学工業などに急速に拡がり、やがてオートメーションによるさらに進んだ効率化につながる。

製造のシステム化にやや遅れてシステム化が進んだのは製品である。製品のシステム化は性能の向上を狙って部品の数が増えることと軌を一にして進んだ。たとえば現代の乗用車は 25000 個の部品とそれらを管理統括する 30 台近い計算機がネットワークで結ばれ、それらに組み込まれているソフトウェアは 1000 万ステップを超

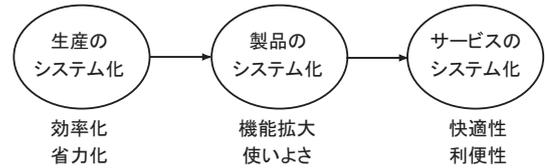


Fig. 1: システム化の流れ

えるという。自動車だけでなく、カメラ、家電、PC、携帯電話、健康器具、警備など我々が日常使う工業製品も著しくシステム化された。大量生産の製品だけでなく、交通や通信などインフラのシステム化も著しく進んでいる。製品のシステム化は生産のシステム化をさらに加速するので両者は車の両輪の関係にある。また、我々が日常的に使っている研究機器もシステム化され、実験、測定、データ処理の効率が極限まで向上したことは実感しておられる方が多いと思う。

最近顕著なのはサービスのシステム化である。銀行の ATM や証券会社のネットによる証券の売買はすでに生活に溶けこんでいるが、最近では観光、医療、教育、農業などにもシステム化の波が押し寄せている。

このようなシステム化のツールとなっているのが情報通信技術 (ICT) である。世の中では ICT がシステム化を引き起こしたように言われているが、実際はそうではない。すでに述べたように ICT が発達する前からシステム化は進んでおり、ICT はシステム化を加速したにすぎない。システム化は技術のひとつの本質的な属性であり、技術の進歩の度合をシステム化の進み具合で評価できるとも言える。Fig. 1 に上で述べたシステム化の流れとそれを駆動した技術への人々の要求を示した。システム化は人々が技術に抱く期待をそのままに体現することを目指して進んできたことが理解されよう。

システムは現代技術、そしてそれが支える現代の物質文明をもっとも直截に表現するキーワードである。システムの時代では科学技術の成果はシステムとして実現し、システムとして享受されることが多い。たとえば時速 300 km で安定して走る新幹線の列車はそれ自体多くの要素を含むきわめて複雑なシステムであるが、それを実際に交通機関として人々が使えるようにするには運行制御システムと予約ネットワークというさらに高度なシステムが必要である。すなわち交通や通信、エネルギーなどの分野の進歩した技術をユーザーに届けるには社会に張りめぐらされたインフラというシステムが必要である。医療や介護も、それが実際に行われるシステムを想定しなければ技術開発を進めることは難しい。

システムはますます大きく複雑になっていく傾向にある。システム化をもとめる圧力は強まる一方である。複雑になるとシステムの取り得る状態の組み合わせの数が爆発的に大きくなる。それらがユーザーが引き起す様々

の環境変動に対してどのようなシステムの挙動を生み出すかをあらかじめすべてチェックすることはほとんど不可能となりつつある。その結果システムは不確かさを抱え込むことになる。

### 3. システム構築によるイノベーションの実現

イノベーションとは何かについてはすでに多くの議論がなされてきたが、現状では「科学技術の成果を社会経済的価値に転換するすべての行為」という定義に落ち着いているようである [4]。これについては筆者は正直の所あきたりないものを感じる。「社会的価値」という言葉が余りにも漠然としており、捉え難いのである。製品はそれがユーザーの手に渡りユーザーがそこから何かの恩恵を受ければそれは社会的価値を生んだことになる。こう考えると、製品化された技術はすべてイノベーションを生み出したことになる。これではイノベーションという言葉が何を意味しているのか分らない。

私は科学技術が人々の生活スタイルを変えるとき、それをイノベーションとよびたい。生活スタイルという言葉もあいまいさを逃れられないが、文明の進歩と共に科学技術が確実に変えてきたものである。

たとえばエジソンが発明した白熱電灯は人々の生活スタイルを一変させた。夜は昼の続きとなり、1日の実質的な活動時間が大幅に延びた。集積回路の発明はやがて計算機の進歩につながり、情報化社会をもたらした。このようなイノベーションは、白熱電灯、集積回路などの発明が生み出したものである。

単品の発明ではなく、新しいシステムの構築がイノベーションを引き起した例も少なくない。たとえばすでに述べたフォードの流れ作業による自動車生産の工程連続化はそこに目を見張るような新しい発明があるわけではなく、工程全体の要素分解とその統合に新しさがあった。これによって自動車の価格は4分の1に下り、マイカー時代が到来したのであるからまさしくイノベーションであった。GPSは3つの人工衛星との距離を測ることによって地球上の1点を同定しようとするシステムである。様々の革新的な技術が折り込まれているとは言え、GPSのキーとなるのはその名が示す通り衛星の運用システムである。このように、システム構築が主役を演じているイノベーションが増えつつある。「システムの時代」ではシステムが科学技術と人間を結びつける媒介となっている。このことを考えればシステム構築がイノベーションを担うケースは増えつつあるのは自然なことと言ってよい。

すでに述べた単品の発明によるイノベーションでも実際はシステムを構築することによってはじめてイノベーションに結びついた場合も多い。例として挙げた白熱電

灯も、電力をユーザーに送る配電網がなければ役に立たない。配電網は典型的なシステムであり、エジソンの白熱電灯は配電網にうまく適合していたからこそ当時の数ある照明器具を圧倒することが出来たのである。要素がシステムと整合することによってイノベーションを達成した1つの典型例が白熱電灯である。もっとも、配電網ではエジソンの想定していた直流ではなく交流が採用されている。集積回路もトランジスターの発明をシステムとして発展させた典型的なシステム技術の成果と考えてよい。集積回路の生産は現代の技術で最も複雑な工程であり、システム技術の巨大なるつぼである。

要素技術とシステム技術が結びついてイノベーションを実現した例をもうひとつ述べよう。それは「空中窒素の固定」である。前世紀のはじめの人工肥料はチリ硝石の硝酸ナトリウムに頼っていた。チリ硝石の埋蔵量は多くなく、人工肥料が早晚底をつき、それによる食糧危機が到来するおそれが当時深刻な話題となっていた。丁度今の原油と同じである。空气中に無尽蔵に含まれている窒素を分離してとり出すことが出来れば肥料はいくらでも作れる。世界から期待されていたこの課題を解決したのがドイツの化学者ハーバーとヴォッシュである。彼らの成功のカギとなったのは窒素と水素を結合させるための触媒の発見であるが、高い収量を達成するためには高温、高压で何回も循環させることが必要である。温度や圧力が低すぎれば反応は進まないし、高すぎれば容器の寿命が短くなる。容器の耐熱、耐圧の限界を定常的に保持する環境を作り出す制御システムの構築が「空中窒素の固定」を工業的に実現する必須の条件だったのである。実際この装置はプロセス制御とよばれる化学反応装置の自動化のマイルストーンとなった。

このようにイノベーションは要素技術の創出とそれを社会的価値に結びつけるシステムの構築が車の両輪となって実現する場合が多い。革新的な要素技術の出現に人々は目を奪われがちであるが、それを生産に結びつけさらに社会に送り出すための地道なシステム技術がその価値を支えてきたことを知る必要がある。特に最近のイノベーションではシステムの側面が強くなっているだけでなく、科学技術が生み出した物理的なシステムが社会のなかに深く取り込まれた「社会システム」として構築されることが多くなった。

社会システムは人間という生物を含むが故に物理システムとは多くの異なった点がある。社会システムは社会学の研究対象であるが、社会学では「再帰的自己創出型」システムととらえるのが主流のようである [5]。この長い言葉は心理学者であるマトウラーナとヴァレラが生物システムに対して提起した「オートポイエシス」の訳語であり、文献 [6] によるとその定義は次のようになる。

「構成要素を生産（変容，破壊）するプロセス（または関係）のネットワークであり，それらの構成要素は（1）インタラクションや変容を通じて自身を作ったプロセス（または関係）のネットワークを絶えず再生産し，（2）それら（の構成要素）が存在している空間で（機械を）そのようなネットワークとして実体化するトポロジカルな領域を規定することによって，有形の統合体として（機械を）再構成する」

要するに要素もその間の関係も常に変容し続け再構成が不断に続く統合体が生物システムである，ということである．社会システムは生物システムにさらに言語という複雑かつ抽象的な要素間のコミュニケーションの手段が付与され，ミクロな要素の相互作用が形造るマクロな構造が大きな役割を演ずる [6]．このような複雑な社会システムに科学技術が作り出した物理システムが埋め込まれることによって現代のイノベーションは実現されるのである．

## 4. システム構築戦略研究

### 4.1 歴史の事例

ある興味深い歴史的な事実から始めよう [7]．オランダは陸地にコの字型に囲まれたゾイデル海に面していた．ゾイデル海の約 30 km の開口部分をダムでふさぐことによりゾイデル海を淡水化して水源を確保し，あわせて海抜よりも低いオランダの国土を高潮などの影響から守ろうとする計画をオランダ政府は立案した．文字通り国を挙げた大プロジェクトと言ってよい．このプロジェクトを実施する上で最大の問題は，堤防を作った後にゾイデル海の外海にあるワッテン諸島がどのような影響を受けるか，であった．堤防によって海流が増大するのでワッテン諸島には新しく堤防を築かなければならないが，その高さをどれ位にするか，を決めなければならない．それを政府から諮問されたのがローレンツ変換で有名な大物理学者ローレンツである．

1918 年にローレンツがこの仕事を引き受けたときは海洋学や土木工学には全く素人であった．ローレンツのチームは 9 年の歳月をかけてこの問題に取り組み，その堤防が予想よりも低くてよいことを理論的に示した．堤防に反射して戻る海水と島々の隙間から流れ込む海水が干渉を起して定常的な流れの節となることを利用したのである．この計算結果のもとに計画は実施され，ワッテン諸島の堤防の増築は費用が少なく済んだ．それだけでなく，その後の何度かの集中豪雨や高潮でもワッテン諸島の水域はローレンツの計算通りの挙動を示して安全に保たれたとのことである．

この成功事例は多くのことを我々に語ってくれる．ま

ず，計画の事前検討が工事に利害関係を持ちそうな土木や海洋の専門家ではなく，中立的な立場の高名な物理学者であるローレンツにゆだねられたこと，また，ローレンツの率いるチームが科学にもとづいて納得の行く結果を出すまで工事に着手することなく気長に待ち続けたこと，そして，チームが出した結論を信頼してプロジェクトを実施したこと，である．9 年の歳月を費やして準備された報告書の半分以上はローレンツ自身の計算結果にもとづき彼自身が執筆した文章であるとのこと，彼が単に名前を貸したのではなく，学者としての力量と努力をこの国家的事業に投じたことが分る．ローレンツという個人とオランダ政府のレベルの高さが結実したイノベーションの実例である．

### 4.2 システム構築の難しさ

ゾイデル海の干拓問題は物理的な現象を予測することにほぼ限られていた．従って問題はそれほど複雑ではなく，おそらく現代なら計算機を使ってずっと早くローレンツと同じ結果に到達したはずである．21 世紀の現代，システム構築によるイノベーションの実現ははるかに複雑な様相を呈する．それは技術の発達が人々の生活に深くかかわってくるからである．そのためステークホルダーの数が増え，それら間の利害調整がきわめて難しい問題を提起する．ゾイデル海の干拓で水質汚染や漁業への影響などを考慮しなければならなかったら，ローレンツはもっと頭を悩ましたに違いない．

問題の所在が単純なゾイデル海干拓の場合ですらそれを解決するのにローレンツは 9 年の年月を費やした．オランダ政府はそれを許容した．問題がはるかに複雑になった現在，システム構築には十分慎重に対応しなければならないはずである．

日本ではこれまで多くの公共事業が行われてきており，これに対する批判も根強い．公共事業自体は国土の有効利用と生活の質の改善から必要なことである．しかし，それらが十分な事前の検討を経ないままに安易に着手され，その結果巨額の費用をかけたにもかかわらず期待されたはずの成果が得られなかったり，想定外の要因によってそのプロジェクトの意義が途中で半減してしまった例は少なくない．近年話題になった諫早湾干拓事業や八ッ場ダム建設などは技術が社会システムとして実現するときには生じる問題の難しさを示している．

公共事業だけではなく国が責任をもって実施する科学技術の研究プロジェクトについても同じようなことが言える．今後イノベーションが社会システムの構築として実現される場合はこのような我が国の科学技術の風土を改めることが必要である．

### 4.3 システム構築戦略研究

そのためのひとつの方法として「システム構築戦略研究」とよぶ新しい研究の категорияが JST の研究開発戦略センター (CRDS) によって提案された [8]. この研究カテゴリーはシステム科学技術をシステム構築型プロジェクトに生かすための場となるだけでなく、システム科学技術の新しい研究のニーズを掘り起す場ともなる。以下これについて少し詳しく述べたい。

システム構築戦略研究の目的は、システムを構築するという最終目標に向って多くの必要な研究・開発を統合させ、部分目標の間の整合性を確保しつつプロジェクトを効率的に実行することと、環境変動や技術進歩などの完全に予測出来ない不確かさに遭遇したときに合理的な意志決定を行いプロジェクトを進化させることが可能なようにシナリオ評価を十分に行うこと、社会システムとしての実効性を確保するためにステークホルダー相互の合意形成の合理的なベースを提供し続けることにある。具体的には次のような作業を行う。

- ① 課題からシステム構築の必要性を掘り起し構築すべきシステムの機能と特性を定義する
  - … 機能の定式化
- ② システム構築の際の制約条件を定式化すること
  - … 制約条件の定式化
- ③ 構築されるべきシステムが包含する要素とその間の関連を明らかにすること
  - … 要素への分解と統合
- ④ 考えられる環境条件の変化や多様性を考慮したシステム挙動のシナリオ作製とその評価
  - … 不確かさに対応するシナリオ評価
- ⑤ 関連要素技術の将来予測とその応用可能性
  - … 技術予測
- ⑥ 社会変動とステークホルダー間の調整
  - … 社会アセスメント

以上の作業は主としてプロジェクトの計画時に行うものであるが、「システム構築戦略研究」はプロジェクト実施時も計画時に引き続いて実施される。この場合は

- ① システムの全体研究と要素研究の間の整合性がとれているか
- ② 実証研究の結果が計画時の期待と整合しているか
- ③ ステークホルダー間の調整は進んでいるか

をチェックポイントにする。Fig. 2 にシステム構築戦略研究の構造を示す。システム構築戦略研究は決して新しいものではなく、すでに企業の商品開発やソフトウェア

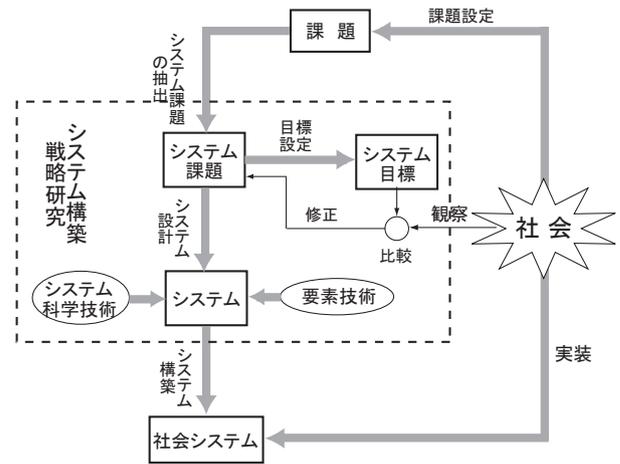


Fig. 2: システム構築戦略研究の位置づけ (太い線は計画時, 細線は実施後)

開発では同じようなステップが踏まれている。それをひとつの統一された概念として明示したものである。

私の専門は制御工学であるが、制御系の設計では「システム解析戦略研究」に対応する研究はすでに普通に行われている。制御系の設計は制御しようとする対象のモデルを構築することからはじまる。対象のモデルとは、対象に操作入力を加えるとどのような出力を生ずるかを予測する定量的な写像である。モデルは対象が従う様々の物理法則を援用し、対象を表現する幾多のパラメータを測定することを通して作り上げられる。出来上がったモデルに対して制御系を計算機を用いて計算し、それが望ましい挙動を示すかどうかをシミュレーションによって検証する。望ましい挙動が得られなければ設計計算をやり直し、良好な制御系が得られるまで繰り返す。ここまですべてが主として計算機による仮想的な世界の話である。

シミュレーションでよい制御系が得られれば、それを実際にハードウェアとして制御対象に実装する。制御系を実装した制御対象が良好な性能を発揮すればそれで制御系の設計は終了であるが、そうでない場合は再び計算機の世界に戻って設計をやり直す。場合によってはモデルを作り直す必要が生じる。以上を図に示すと Fig. 3 のようになる。点線で囲ったモデリングと設計の部分がシステム構築戦略研究に相当する。

かつて制御系の設計はモデルを経ることなく直接汎用の制御器のハードウェアを対象に持ち込んで制御器のパラメータを実際の対象の挙動を見ながら調整していた。このような方法は対象が簡単な場合はよいが、少し複雑になるとうまい挙動を示すような制御器のパラメータが見つからず、パラメータの数を増やすことが必要になる。さらに対象が複雑になり操作量の数が1つだけでなく複数個ある場合はパラメータの調整がさらに難しくなり設計が不可能となる場合がしばしば起るようになった。こ

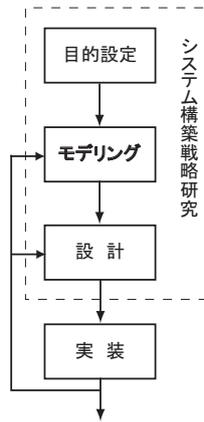


Fig. 3: 制御系設計の手順

うして、モデルを通した制御対象の定量的な解析に基礎づけられた合理的な設計が行われるようになり、制御系設計のパラダイムは「モデルフリー制御」から「モデルにもとづく制御」にパラダイムシフトした。現在では多少とも複雑な対象でそれなりの制御性能が要求される場合はモデルにもとづく制御が用いられる。

制御系設計の場合でもこのような計画段階での十分な解析が合理性を担保するためには必要である。まして、社会システムのような複雑さ、不確かさに満ち、しかもステークホルダー間の利害関係が錯綜しているシステムを作り上げるには十分すぎるほどの事前の解析と設計が必要である。これを実行するのが「システム構築戦略研究」である。しかし我が国のプロジェクト研究ではこのような計画段階での周到な体系的な検討は行われず、安易な実証事業が先行することが多い。

システム構築戦略研究は社会システムを対象とする場合は人文・社会科学との十分な連携をとることが必要である。

## 5. 課題解決に不可欠なシステム科学技術

政府は2010年6月にライフイノベーションとグリーンイノベーションを主な課題として掲げた新成長戦略を閣議決定した。それに対応して2011年4月から5年間にわたって実行される第4期科学技術基本計画では、これまでの重点分野別の振興施策から課題ごとの振興施策に軸足を移動し、「課題を解決することの出来る科学技術」を国として獲得することを第一の目標に掲げている。「課題を解決することの出来る科学技術」は「本当のイノベーションを起すことのできる科学技術」であり、そしてそれはすでに述べてきたようにシステム構築を実現する科学技術でもある。システム科学技術はこのような期待を担う分野として第4期基本計画の中で振興の対

象となった。

たとえば第4期科学技術基本計画ではグリーンイノベーションを達成する課題として次の3つを挙げている。

- ① エネルギー供給の低炭素化
- ② エネルギー利用の高効率化及びスマート化
- ③ 社会インフラのグリーン化

これらの課題はいずれも科学技術の成果を社会システムとして実装することを含み、システムという表現は使われていないがシステム構築が最終的なソリューションとなることは明らかである。これらの課題を解決するには現在の技術の限界を打ち破る多くの新しい技術が必要である。たとえば再生エネルギーの効率、寿命、軽量化、収量、保持などにかかわる様々の要素技術の進歩がなければ目標のイノベーションは達成され得ない。しかし同時にイノベーションがどのような形で社会に実装されそれが人々にどのような恩恵を与えるかを、関与するステークホルダーが負担すべきコストと将来の様々な環境変動による不確かさを考慮に入れつつ、システムとしてのイノベーションを構想設計して行くことが必要である。要素技術の配置はそのような俯瞰的な視点で現状の利害から離れて行くべきであろう。

システム構築戦略研究は現状では未だ抽象的な概念の域にとどまっており、将来現実の試練のなかで打ち鍛えられ豊富な肉付けを与えて行く必要がある。グリーンイノベーションはそのための大きな機会を与えてくれる。

## 6. むすび

現代の科学技術は多くの要素や部品を含む巨大かつ精巧なシステムを作り上げてきた。たとえばジャンボジェット機は25万個の部品をもっている。スペースシャトルに至っては部品の数は250万個にのぼるそうである。このような巨大なシステムを作り上げる能力をすでに現代の技術は手中におさめている。企業は様々の部品を要素として組み込み、それを1つのシステムとして実現する様々の手法を経験を通して獲得している。しかし、システム科学技術がすでに確立した体系的な手法ははまだ部分的にしか用いられず、手法の多くは製品や製造の個別性がはりついた特殊性の強い技法の集合であり、システム構築のプロセスの核となる部分は職人技の域をそれほど出していない。新しいシステムの構築の実態は手作業に近い非効率なものと言ってよい。従って、出来上がったシステムが社会との整合性をとれず未熟な姿をさらけ出すのも現状ではやむを得ないことである。巨大なシステムの出現に対応する科学の不十分さは明らかである。

システム科学とよばれる研究領域は1950年代の終りから60年代にかけて多くの著名な科学者によって提案

されている。ベルタランフィー、ラシェフスキー、サイモン、メサロビッチ、ポールソンらである。しかし、これらの人々はシステムをあまりにも抽象的、概念的に捉え具体的な問題に取り組む姿勢が希薄であった。加えて要素還元主義に対する批判があまりにも急進的であったことなどが災いして、大きな支持を得ることはなかった。その後少し異なる視野から複雑性や創発性、開放性などに着目する新しいシステム科学（理論）が提唱され大きなインパクトを与えたが、システムの構築にかかわる課題の本質に切り込む学問としては力不足である。

今はシステムの時代である。システム化が重要であるという声が至る所から聞こえてくる現代、本当の意味でシステムを科学し、システムを構築するシステムの科学と技術の発展が望まれる。

**謝辞:** 本稿は執筆の過程で科学技術振興機構研究開発戦略センターのフェロー前田、本間、武内氏の協力を得た。謝意を表したい。

### 参考文献

- [1] デーヴィッド・ハウンシェル: “アメリカン・システムから大量生産へ: 1800-1932,” 和田一夫他訳, 名古屋大学出版会, 1998.

- [2] 木村英紀: “ものづくり敗戦,” 日経出版, 2009.
- [3] カール・マルクス: “資本論,” 第1部, 第4篇, 第13章, 向坂逸郎訳, 岩波書店, 1953.
- [4] 柘植俊夫 (監): “イノベーション日本 — 国創りに結実する科学技術戦略,” オーム社, 2006.
- [5] ゲオルグ・クニール, アルミン・ナセヒ: “ルーマン社会システム理論,” 館野他訳, 新泉社, 1995.
- [6] 遠藤薫: “三層モラルコンフリクトとオルトエリート: 社会変動をどうとらえるか,” 勁草書房, 2010.
- [7] 朝永振一郎: “ゾイデル海の水防とローレンツ,” 自然, 1960年1月号.
- [8] 科学技術振興機構研究開発戦略センター: “戦略提言: 「システム構築による重要課題の解決にむけて」,” CRDSFY2010-SP-04.

木村 英紀



1970年東京大学大学院工学系博士課程修了, 工学博士. 大阪大学工学部教授, 東京大学大学院工学系研究科教授, 同大学院新領域創成科学研究科教授, 理化学研究所生物制御システム研究チームリーダーなどを経て, 07年より理研BSI-トヨタ連携センター長. 横断型基幹科学技術研究団体連合会長, 科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー. 専門は制御工学, システム科学, 生物制御. 2011年IFAC (国際自動制御連盟) より Giorgio Quazza メダル受賞.