

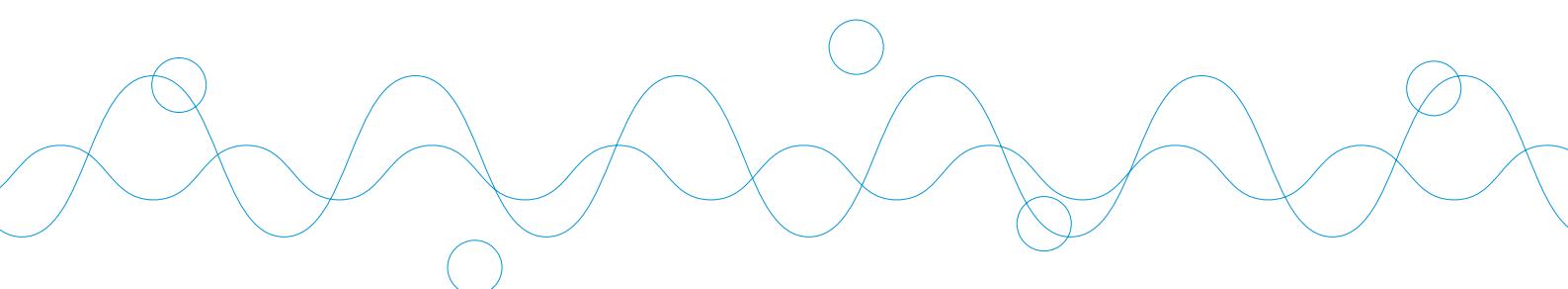
戦略提言

システム構築による重要課題の解決にむけて

～システム科学技術の推進方策に関する戦略提言～

STRATEGIC PROPOSAL

Towards solving important social issues by
system-building through systems science
and technology



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

エグゼクティブサマリー

科学技術の恩恵は様々な形のシステムを通して享受されるのが「システムの時代」である現代の特徴である。システムとは機能を実現するために要素を適切に結びつけた複合体であり、最近のシステムは、ますます複雑で大規模なものになる傾向にある。そのため、システムにかかる科学技術、すなわち「システム科学技術」がシステムを解析、設計、運用する上で重要な役割を演じている。しかし、我が国の科学技術政策ではシステム科学技術が本格的な対象となったことはなく、「忘れられた科学技術」に近い存在であった。そのような状況に置かれた原因や経緯については、本提言を準備する過程で発行した中間報告書「システム科学技術の役割と日本の課題」(CRDS-FY2010-XR-07)において詳しく分析している。

システム科学技術は通常の個別分野における科学技術とは基本的に異なる性格をいくつか持つおり、その振興策も他の科学技術とは異なった形が必要である。

その第一の特徴は、システム科学技術は分野の個別性を捨象した人工物の論理の普遍性を追求するという点である。したがってその成果は抽象的な理論、あるいは論理的な手法として表現されるので、新物質の発見やデバイスの作成などのような通常の科学技術の成果とは異なり、見たり触ったりすることはできない。実際、システムそれ自体を見たり触ったりすることはできないから、それに関する成果も見たり触ったりできないのは当然である。

第二の特徴は、システム科学技術は様々な機能を持つ要素を統合して一つの全体機能を実現することを目的としている点である。システム科学技術の研究は基礎研究と応用研究を結びつける場所に位置づけられることが多く、そのような位置に立つ時に最もその真価を發揮することができる。

第三の特徴は、システム科学技術の研究は実際のプロジェクト構築と常に接点をもち、そのなかで実効をあげることを通じて鍛えられることが重要であるという点である。その場合、システム科学技術の普遍的な性格からひとつの成果が他に相乗効果や波及効果をもたらす可能性が高いこと、それを十分に組み上げる研究組織の構造を作り上げることが必要である。

本提言は、以上のシステム科学技術の特徴を踏まえ、現代社会が直面する重要課題を解決するためのシステム科学技術の振興策を提案する。まず何よりも重要なことは、重要課題を解決するために要請されているシステム構築の必要性を抽出し顕在化させることである。もちろんすべての重要課題がシステム構築を必要としているわけではないが、適切なシステム構築が最終解決策となるものは多い。そのような課題やプロジェクトでは、システム構築の視点を常に正面に掲げ、その視点から必要な要素研究を抽出、構造化し、要素研究の課題の合目的性を担保することが必要である。このことは、いわゆる企画力や目標管理のマネジメントだけでは達成されず、最先端の研究が必要である。この目的のために本提言では「システム構築戦略研究」とよばれる新しい研究のカテゴリーを提案する。「システム構築戦略研究」は関連する個別テーマをシステムとして統合する方策を明示し、そのために必要な意思決定を合理的に行うための全体研究を担う。「システム構築戦略研究」は計画段階だけでなく、実際のプロジェクト遂行の過程でも環境変動による目標の調整進化も同時に担う。これまで

我が国の研究開発プロジェクトは開始後に計画の大幅な変更は不可能であり、そのためにプロジェクト遂行に柔軟性が欠けることが指摘されてきたが、「システム構築戦略研究」によつてこの欠点を補いプロジェクトの時間的な進化を担保することが可能となる。

「システム構築戦略研究」の提案は、システム科学技術の学問としての性格、すなわち基礎研究と応用研究を兼ね備えた本来的に課題の解決を目指す科学技術であること、を踏まえた振興策であり、「システム構築戦略研究」を通してシステム科学の基礎研究の発展と課題解決型の科学技術としてのシステム科学技術を鍛え上げることの両方が達成される。

より具体的には、本提言では、以下の3点を提案する。

- ①新成長戦略に示された重要課題であるグリーンおよびライフの2大イノベーションのなかでシステム構築を課題解決の核とするものに「システム構築戦略研究」を早急に実装し、その有効性を検証する。
- ②その延長上に、システム構築がカギとなる我が国の直面する3つの重要課題において、システム構築戦略研究を本格的に実装する。
- ③システム科学技術の相乗効果・波及効果を発揮させるため、上記振興策の発展に応じてシステム科学技術の研究拠点を順次創出し、将来的にさらにそれらを統括するシステム科学技術研究の中央組織を設置する。

システム科学技術が日本の科学者コミュニティで大きな存在感を持つことによって、分野別から課題解決型への科学技術政策の転換が加速されることが期待される。また、システム構築の意図を顕在化させた課題の定式化によって、ファンディングを効率化できる。現代の複雑な社会に科学技術を実装するには、技術の世界で閉じたシステムではなく、社会に開かれたオープンなシステムを構築することが必要である。それには、人間の性向、行動パターンなどのしっかりした調査研究の基盤の上に立つ必要がある。したがって、システム構築戦略研究では社会科学、人文科学との協力が不可欠である。また、システム科学技術は経営・経済学やモデリング・社会シミュレーションなどの社会科学と隣接する研究領域を抱えており、その意味でも文理融合を今以上に促進する触媒の役割を果たす。

1972年のローマクラブによる「成長の限界」の出版は、システム科学技術研究の活性化に大きな役割を果たした。世界各地にシステム科学技術研究の大きな組織はたくさんある。特に中国ではシステム科学の研究が盛んであり、科学院のシステム科学研究所は巨大な組織である。我が国にはシステム科学技術を中心とした研究所は皆無であるだけでなく、大学や独法にもそのような研究組織は見当たらない。本提言の実施によってシステム科学技術のレベルアップを図り、新成長戦略という課題を解決するモデル国になることを期待したい。

Executive Summary

Enjoying the benefits of science and technology through a variety of systems is a characteristic of the present “age of systems”. The system is a complex which connects appropriate elements to realize purposefull functions. The recent systems tend to be more complex and larger scale than ever. Thus, the science and technology related to the system, in other words, “systems science and technology” plays an important role as the academic science necessary to analyze, design and implement the system. However, systems science and technology has never been the subject of a full-scale government promotion measure in Japan, but almost a “neglected science and technology”. How and why it became so is analyzed in detail in the interim report, “The Role of Systems Science and Its Issues in Japan” (CRDS-FY2010-XR-07), which we made in the process of preparing this recommendation.

Systems science and technology basically has a different character from science and technology in conventional fields in several aspects, thus its promotion measure is inevitably different from other sciences and technology. The first feature is that systems science and technology seeks the logic universality of the artifacts by eliminating the individuality of the fields. Therefore, its results are expressed as abstract theories or theoretic approaches, different from the results of conventional science and technology where one would be able to see or touch something in the case of the discovery of a new substance or completion of a device. As a matter of fact, the system itself cannot be seen or touched, making its results even more the same. The second feature is that since systems science and technology originally seeks to integrate the elements with various functions into one general function, it is often placed in a phase which connects basic and applied research, where its ability can be fully extended. The third feature is that systems science and technology research is constantly connected to building the actual project. It is important that it is tempered by producing effective results in such circumstances. In such cases, one must recognize that, from the universal characteristic of systems science and technology, there may well be a synergetic or ripple effect. Thus it is important to build a research organization which could adequately soak up such results.

This recommendation proposes the promotion measures for systems science and technology in order to solve the present issues that it faces, taking its features previously mentioned into consideration. Most important of all is to extract the necessity to build a system required to solve socially anticipated high-priority issues and specify it. Of course not all priority issues need to build a system, but in many cases, building appropriate systems become the final solution. For such issues and projects, to keep a right perspective from the view point of building systems, to extract and structure the necessary element researches from that perspective, and to guarantee the purposiveness

of the element researches, are desired. This cannot be achieved by trendy planning abilities or management by objectives. We need cutting edge research. For this purpose, we propose a new research category called “*Strategic Research for Building Systems*” in this recommendation. “Strategic Research for Building Systems” would specify the measures to integrate the related individual themes as a system, and take the leadership in the entire research which would streamline the necessary decision making. “Strategic Research for Building Systems” would not only take the leadership in the planning stages, but also in the actual implementation process of the research in order to adjust and advance the purpose according to environmental changes. Up till now, in the top-down government projects, it has been impossible to make drastic changes in a plan once it is started. The lack of flexibility in the project implementation has often been pointed out. However, “Strategic Research for Building Systems” would be able to compensate for such drawbacks and secure the timely evolution of the project.

Proposing “Strategic Research for Building Systems” would be a promotion measure taking into account its academic character of systems science and technology, in other words, it is a science and technology combined with both basic and applied research, intrinsically aiming at the solution of issues. At the same time, “Strategic Research for Building Systems” would not only temper systems science and technology as an issue-solving type of science and technology, but also advance the fundamental research of systems science.

To be more concrete, we intend to implement “Strategic Research for Building Systems” immediately to those whose missions are to build systems among the projects which are scheduled to be conducted under the new growth strategy, and validate its effectiveness. Along the same line, we will pick up issues which we face where the system construction is a key factor, and fully implement the “Strategic Research for Building Systems”. As examples of such issues, we propose three projects. As we have already mentioned, the abstraction and universality of systems science and technology will bring synergetic or ripple effects to the results. In order to soak up such synergetic or ripple effects, it is necessary to have a central organization to conduct and integrate systems science and technology in the process of promotion of systems science and technology.

By making systems science and technology have a strong presence in the science and researcher communities in Japan, the rapid transition of science and technology policy from field specific to problem-solving types is anticipated. Also, by formulating the issues which specify the intentions of building systems, we could structure element researches and streamline funding. In order to implement science and technology in today’s complicated society, it is necessary to build a system open to society, not one that is closed in its own local technical world. Thus we need to stand on a solid research base of human mentality and behavior. Therefore, “Strategic Research for Building Systems” requires cooperation from the fields of social science and humanities. Systems science and

technology also holds research areas adjacent to social sciences such as business administration, economics, modeling, and social simulation, which implies that it will play the role of catalyst by further increasing the present integration of humanities and sciences.

“The Limits to Growth” commissioned by the Club of Rome in 1972 gave a revitalizing role to systems science and technology. There are many large organizations for the research of systems science and technology in the world. Among them, China is active in the research of systems science and technology, and the Chinese Academy of Sciences has a large research organization for the field. In Japan, there are presently no research organizations which focus on systems science and technology, let alone the existence of such research organizations in any university or government institution. With this recommendation, we plan to improve the level of systems science and technology, and hope to become a model country for solving problems as referred to in the new growth strategy.

目 次

エグゼクティブサマリー

1 提言の内容.....	1
2 現状の課題と提言を実施する意義.....	5
3 具体的な提言の内容	12
4 科学技術政策上の効果.....	24
5 社会・経済的効果.....	26
6 時間軸に対する考察	28
7 検討の経緯.....	29
付録.....	36
用語説明	37

1 提言の内容

1. 1. システム構築による重要課題の解決

現代技術が生み出す製品はすべて多くの要素が統合されて様々な機能を果たす高度なシステムであり、我々の生活はそのうえに成り立っている。我々はライフラインのインフラを始め交通、通信、医療、サービス、教育など数々の大規模な社会システムに要素として否応なしに組み込まれて生活している。このように、現代は「システムの時代」と言ってよい。システムの時代では科学技術の恩恵は主としてシステムを通して享受されるので、科学技術の成果と人間の生活を結び付ける社会システムの役割は大きく、現代社会で発生する科学技術に関連した重要課題の解決は最終的にシステムの構築に帰着されることが多い。現代社会が求めるイノベーション¹の多くは、このように科学技術を社会に組み込むための社会システムの構築を通じて実現する。そして、国の戦略的な取り組みを必要とするのはこのようなイノベーションである。

1. 2. システム構築を担う科学技術の特徴とその振興の重要性

複雑化した社会に大規模なシステムを構築し発展させるのは簡単なことではなく、考え方された合理的な基盤に基づく意思決定と研ぎ澄まされた高度な論理的な手法が必要である。これを提供するのがシステム科学技術である。システム技術はシステムを解析・設計・実装するための様々なツールの集合であり、システム科学はそれを普遍的な人工物の科学として体系化したものである（システム科学技術の内容については、巻末の付録を参照）。

システム科学技術は対象の個別性に依存しない普遍的な論理を武器とするので、学問の成果も抽象的な理論として表現される。我が国では新しい材料の創成や現象の発見のような個別的な「目に見える」成果に目を向ける傾向が根強いが、システム科学技術が生み出すシステムにかかる新しい理論的な知見の確立やシステム構築の新方式の創出などの「目に見えない」成果も科学技術の発展に大きな役割を演じている。両者の調和のとれた発展を図ることが、今後の日本の科学技術政策の要諦である。

システム科学技術は、人工物の基礎研究としての純粹理論的な側面と、様々な分野における基礎研究の成果を社会システムに結び付ける実践応用的な側面の両者を併せ持つ。システム科学技術に基づいてシステム構築を遂行する基礎研究のカテゴリーはこれまでの基礎研究とかなり違った様相をもち、これを吉川は「第二種の基礎研究」と呼んでいる²。現代技術が生み出した巨大なシステムは、手に負えない複雑さとそれが生み出す不確かさにさらされており、それによってすでに多くの社会問題が発生している。巨大化したシステムを適切に取り扱う普遍的な手法を獲得するためのシステム科学技術の進歩への期待は大きい。にもかかわらず、中間報告書「システム科学技術の役割と日本の課題」(CRDS-FY2010-XR-07)で示したように、これまでの我が国の科学技術政策は、個別分野の成果と要素技術の振興を重視する傾向にあり、システム科学技術は本格的な対象とされてこなかった。今後はシステム科

1 CRDS では、イノベーションを「科学的知識を社会的・経済的価値の実現に結びつけていくこと」と定義している。（科学技術振興機構研究開発戦略センター編、「21世紀の科学技術イノベーション 日本の進むべき道」、丸善プラネット、2009）

2 科学技術振興機構研究開発戦略センター編、「研究開発戦略立案の方法論－持続性社会の実現のために－」、2010）

学技術の振興にも注力することによって、科学技術政策で要素とシステムのバランスをとり、社会の科学技術への期待に応えていく必要がある。

1. 3. システム構築戦略研究

システム構築が課題解決のための実質的な目標であるようなプロジェクトは、これまでにも数多く実施してきた。しかしシステムとしての課題を掘り起こす努力、すなわちシステム構築の視点からの問題設定と評価軸が弱いために、当初の目的が十分達成されず、関連分野の部分的な成果や要素技術の局所的なレベル向上で終わったケースが多いことが指摘されている。

課題の解決が全体的なシステムの構築であることを強く意識したプロジェクトの戦略的一貫性を保持することは、プロジェクトの合目的性を担保し、資金の効率的な使用をはかり、さらに成果を正しく評価するためにも不可欠の要件と考える。これは単なるプロジェクトの企画力や目標管理のマネージメントの問題ではなく、激しく変化する社会情勢と環境条件、進歩の激しい技術レベルのもとで長期にわたってシステムを構築するにはダイナミックに構想を進化させることが必要であり、発生する変化に最先端の知を動員して対処することが必要となる。

この要件を満たすために、システム構築を目標とするプロジェクトにおいて「システム構築戦略研究」とよぶ新しい研究のカテゴリーを提案し、プロジェクトの計画段階、実行段階、実装段階にこの範疇の研究を実施することを提案する。

「システム構築戦略研究」は、関連するプロジェクトの各要素をシステムとして統合する方策を明示し、そのために必要な意思決定を合理的に行うための全体研究を担う。特に各時点で構築すべきシステムのイメージができるかぎり明示的かつ定量的に記述し、そのもとでプロジェクト進行における既知と未知、確実さと不確かさ、達成と未達の境界を常に明らかにし、全体としての目標管理を行うとともに、それによって得られた知見をもとに未知を既知とし、不確実性を縮小し、達成度を高める。これまでの我が国のプロジェクトでは、いつたん開始すると計画に大幅な修正を加えたり目標を環境条件の変動に合わせて進化させることはほとんど不可能であり、プロジェクト遂行に柔軟性が欠けていることが指摘されていた。システム構築戦略研究によってプロジェクトの時間的な進化を担保することが可能となる。

1. 4. システム科学技術の推進方策

すでに述べたように、システム科学技術は基礎研究としての普遍的な理論研究と、現実のイノベーション実現のプロジェクトで要素技術を結び付ける役割を果たす応用研究の二つの側面がある。どちらの側面もシステム科学技術の発展にとって同じように重要であり、車の両輪となってお互いに刺激し合い補強しあって進んでいくことが望ましい。特に個別プロジェクトの開発で得られた成果は、システム科学技術の性格から他の課題解決に転用展開ができる可能性が高い。言い換えればひとつの成果の相乗効果波及効果が期待できる。以上のことを踏まえて以下の施策を提案する。

①グリーン、ライフの二つのイノベーションの中で実行されようとしている個々のプロジェクトのうち、特にシステム構築を目標とするものなかで、システム構築戦略研究を積極的に実施する。また、これに資するため、第4期科学技術基本計画に示された、重要課題ごとに設置される予定のイノベーション戦略協議会（仮称）において、システム構築の全体設計の調整を図る。

②我が国が社会が直面している重要かつ深刻な課題でシステム構築が核心的な解決策となるプロジェクトを策定し、そのなかでシステム構築戦略研究を強力に推進する。以下の3つのプロジェクトを提案する。

- ❖ 分散再生エネルギー源を含む安定かつ持続可能なエネルギー供給を可能とする社会システムの構築
- ❖ 高齢化社会に対応した生活支援ロボットの構成とその実用化
- ❖ 地域社会の構造に適合した水循環システムの構築

これらのプロジェクトはイノベーション政策の実施状況とファンディングの可能性を勘案しつつ、既存のプロジェクトを統合するか、あるいは新規にプロジェクトを起こし、省庁の壁を越えた取り組みのもとに実施されることが望ましい。個々の詳しい内容については3.4.節で述べる。

③上記①②の具体的なプロジェクトにおけるシステム構築戦略研究の成果を統合し相互の波及効果相乗効果をもたらすため、システム構築戦略研究の進展を勘案しつつ、将来的にシステムが科学技術の研究を担う研究教育拠点を統括する中央組織を設置する。この中央組織は知の統合と政策決定の合理的な基盤形成を構築する学術を実質的に推進する研究者の集団を含み、科学技術の全体的俯瞰的な視点からシステム科学技術の戦略的な課題を明らかにする。

1. 5. 長期的な視点に立った施策

広い視野に立った施策の推進

システムはそれ自体直接見えにくい対象であり、したがってシステム科学技術の成果も抽象的な理論で表現される。材料やデバイスなどの分野の成果とは異なり一般には分かりにくく、マスメディアの報道に乗りにくい面がある。このような学問の本質的な属性からくるハンディキャップを克服することはシステム科学技術に携わる研究者自身の問題であるが、同時に科学技術行政も直接的で分かりやすい成果（新物質の創成や新現象の発見など）だけではなく、科学技術の深い地下水脈にかかる包括的なシステム構築の視点から長期的な視野を持って施策を推進することが望まれる。

人材育成と数理科学教育の重視

システム科学技術の研究を担う研究教育拠点を大学内に設置し、システム構築戦略研究の一部となりうる研究の安定的な推進と、これを通じた研究人材の育成をはかる。これらの研究拠点は、前節で提案したシステム科学技術研究の中央組織と連携しつつ、システム指向型

プロジェクトにおけるシステム構築戦略研究に積極的に参画する。

システム科学技術を支える重要な基盤の一つは数理科学である。数理科学的な思考力を養成するため、工学部をはじめとする幅広い専攻の大学学部課程において、関連科目を拡充し、必修化の枠組みを広げる。また、システム科学技術の専門職大学院を設置し、システム構築戦略研究に参画する人材を育成する。

情報基盤の整備

基盤的データ環境とその高度な利用環境の整備は、あらゆる研究分野において重要な情報基盤である。特にシステム科学技術の研究全般において重要な役割を果たすモデリングに必要な情報利用環境の確立、およびこれを促進するための国際標準化への積極的な関与を図る。

2 現状の課題と提言を実施する意義

2. 1. 現状の課題

システム化は持続可能な社会を実現するための現代科学技術の普遍的な要請である

現代技術はシステム化の歴史であったと言っても過言ではない。システム化は現代技術が、より快適な生活をもとめる人々の期待に応える有力な手段のひとつであったと言ってよい。機器の要素が多くなればそれらを結び付けるための科学と技術、すなわちシステム科学技術が必要になる。しかし体系的なシステム科学技術の手法が使われたのは一部で、手法の多くは製品や製法の個別性に依存した特殊性の強い技法の集合であり、システム構築の核となつたのは職人芸の域をあまり出ない、手作業に近い非効率的な手法と言ってよい。このようなシステム構築における普遍的な手法の欠如は、対象を認識解析する手法の一貫性とは対照的であり、システム科学技術が克服すべき主要な困難のひとつである。一方、狭い局限された要素の研究はすでに限界にあり、新しい成果を得るために突破口は、他の分野の成果を結びつけるシステム構築にあることは多くの分野の科学コミュニティの共通認識となっている。要素技術の進歩をシステムとして受け止め社会に接続することが持続可能な世界へ科学技術が貢献する道であることは、すでに科学技術のコミュニティでは基本的な合意が得られていると言えよう。にもかかわらず、システム構築が現実の科学技術の営みのなかで実績をあげるまでに至っていない主な原因は、すでに述べたように要素研究の成果をシステム構築にうまくつなげ、システムの全体機能の発現に生かす方法がまだ確立されていないからであろう。

科学技術は社会システムを通して享受される・・・オープン型システムとバウンダリー型システム

冒頭に述べたように現代はシステムの時代である。自動車、家電など工業製品はすべて複雑なシステムで、我々はそれに依存して生きている。我々が利用する交通機関や電気、水道、ガスなどのライフライン、電話やインターネットなどの通信もシステムであるし、私たちが働いている企業や工場、病院、金融や株式市場や税制もシステムである。さらには自治体や国もシステムと言ってよい。すなわち、システムは現代を代表するキーワードのひとつであり、我々が生きている技術文明の位相を象徴する概念である。科学技術の成果が社会的な価値をもたらすにはシステムを介することが必要であり、その意味でイノベーションは社会システムの構築を通して実現する場合が多い。

工業製品など技術が作り出したシステムは人為的なものであり、それ自体は社会とは独立して作られる。流通販売網を通じて社会に供給され、使用者からの直接のフィードバックは、故障が生じたときのクレームだけと言ってよい。一方、電力、水、ガスなどのエネルギー供給や交通・通信などインフラシステムでは生産・供給側と消費側が常にネットワークを通して結び付いており、社会の構造やその状態、個人の性向や活動パターンがシステムの挙動に直接影響を与える。技術システムの場合は、システムの社会への影響が限定的でありシステムの内部と外部の境界がはっきりしているのに対して、社会インフラシステムは社会と一体になっており、どこまでがシステムの内部でありどこからが外部であるかはっきりしない。例えば、電気料金の設定と集金作業は、電力供給システムの内部であるかどうかはっきりし

ない。後者のようなシステムを社会や人間に対して開いているという意味で「オープン型」とよび、それに対して境界の比較的はつきりしている前者を「バウンダリー型」とよぶ。

両者の区別はあくまでも便宜的である。バウンダリー型のシステムも、システムを作ることから一歩踏み込んで、そのシステムが個々のユーザにどう使われるか考慮するとオープンの側面が一挙に拡大し、その社会性がクローズアップされる。国が戦略的に支援しなければならないのは、このような事情も含めたオープン型のシステム構築を通したイノベーションである。

システムの複雑さは現代技術が直面する主要な困難の一つである

バウンダリー型とオープン型のどちらも複雑さは急速に増してきており、複雑さが不確かさを生み出し、それに対処できないシステム設計の不具合が深刻な社会問題を生じた例は枚挙にいとまがない。例えば 10 年前の自動車のエンジンは、設計時に各種部品の諸元を決めれば、出荷後はそれらが変更されることは滅多になかった。しかし様々な運転条件で要求される性能が高度化し機能が増えるとともに、運転の状態を観測しつつ実時間で決定しなければならない可変パラメータが次第に増え、それに応じてパラメータを決定するための制御ルールが急増している。その結果、運転条件によって干渉を起こす制御系の組合せの数が爆発的に増え、それらを出荷時にすべてチェックすることは不可能になる。このような対処できる限界を超えた複雑さによる不具合の発生が増加の傾向にあることは明らかである。

生じる組み合わせの数がさらに大きいソフトウェアの世界では、複雑さはさらに深刻な問題を生みだしている。新しい機能を付加するたびに不確かさが増し、予測できなかつた不具合の危険が増す。不具合が発生した場合、それに対処するために取られる手段の多くは、性能を犠牲にして機能を縮減することである。せっかく作った装置も宝の持ち腐れになる。誤動作によるクレームよりもそのほうが企業としては受け入れやすい。このように、技術の進歩が生み出した機能の増加によるシステムの複雑さは現代技術のはらむ基本的な矛盾であり、システム科学技術が直面する最も深刻な課題のひとつである。

システムの複雑さが生み出す困難は、いずれも技術と人間・社会との界面で発生するものであるが、バウンダリー型とオープン型では若干質を異にする。前者の複雑さは科学技術の問題に最終的に帰着できるし、その研究開発は主として国ではなく企業が担う。後者の複雑さには社会の複雑さが絡み、システム科学技術の視点で社会をどこまで定量的にしかも十分の深度をもってとらえられるか、また社会と人間に關する知見を蓄積している人文社会科学がそれを用いてシステム構築にどのような指針をもたらし得るか、にかかっている。社会システムの構築はこれまでに成功例が少なく、きわめて挑戦的なテーマと言えよう。

2. 2. 提言を実施する意義

課題達成型科学技術への転換を促進

第 4 期科学技術基本計画では、分野別の科学技術振興から課題達成のための科学技術への転換が基本方針として提示されている。科学技術関連の経費が国民に大きな負担を強いていくこと、科学技術の進歩が社会に負の効果ももたらしつつあることなどを考えると、この政策転換は正しく、世界の趨勢にも合致している。すでに述べてきたように、システム科学技

術は課題解決を目指す科学技術であり、社会の期待を科学技術の成果に結び付けるのが本来の役割である。本提言を実施することにより、課題達成型科学技術への軸足移動を加速することができる。

システム科学技術は新成長戦略を支える柱である

政府が策定した「新成長戦略」では、我が国は「課題を解決するモデル国」となることを目指すことが明快に謳われている。第4期科学技術基本計画の文面にも同様の記述がなされている。我が国がモデル国になるだけでなく、我が国の知見を諸外国に輸出してその先進性を売り込むことも同時に謳われている。国家レベルの課題解決とは、我々の視点でみると社会システムの構築を通じたイノベーションの実現である。新成長戦略をこの文脈で読むと、システム科学技術が果たすべき役割の大きさを実感することができる。本提言は、我が国がこの面での先進国になるための方策を述べている。幸い第4期科学技術基本計画ではシステム科学技術の重要性が陽に記述されており、4期の計画期間を通じてシステム科学技術を我が国の科学技術のあらゆる側面で活性化させ根付かせることは、我が国が将来にわたって科学技術のリーダーシップを確保し続けるためにどうしてもやらねばならないことである。

システムに関する基礎研究の重要性

システム科学技術は、人工物を対象とし、個別分野の成果や要素技術の発展をシステム統合によって実システムに実装するための普遍的な方法論の確立を目的としている。これまで我が国では基礎研究と応用研究の区別は強く意識されてきたが、両者を結び付ける研究の必要性についての明確な認識は欠けていたと言ってよい。むしろ両者を結び付ける困難さ（例えば死の谷やダーウィンの海など）が強調されてきた。システム科学技術は、基礎研究と応用研究を結び付ける合理的な方法論を提供することを通じて、両者のギャップを強調する宿命論を打破する。この考え方は吉川により第二種の基礎研究として詳細に意味づけられている。

これまでの多くのプロジェクトでは、要素とシステムにテーマを分類した場合、要素に対しては基礎研究を設定するが、システムに対しては応用研究、あるいは実証研究のみを設定し基礎研究は設定されていない。このような構成では適切なシステムを構築することができない。本提言では、システムに関する重要な基礎研究のテーマが豊富に存在するだけでなく、それらの向上がイノベーションの実現にとって不可欠であることを、システム構築戦略研究という新しい研究のカテゴリーを通して主張したい。

社会システムの構築を通して文理融合を促進する

科学技術の成果を社会に実装する媒介となる社会システムは、技術が生み出すシステム要素を自然発的に結び付けることによっていわば無自覚的に構成され、それに人為的な改良が加えられたものが多い。今後の社会システムは、システム構築の視点から人間の社会的性向や環境への対応、価値観の変化などの十分な知見にもとづく合理的なものでなければならない。その意味で人文社会科学の知見を動員するだけではなく、人文社会科学の研究者の協力が不可欠である。システム科学技術は人文社会科学と研究の基本的な考え方が似通っており、共通の課題と協力の場が与えられれば、共同研究の可能性は高い。システム科学技術の

進展を通して文理融合が確実に進むことが期待される。

ファンディングの効率向上

システム構築戦略研究の実施によりファンディングの効率も向上する。これまで我が国の研究開発プロジェクトでは、目標が掲げられても全体目標が達成される道筋についての議論が十分に練り上げられない傾向が色濃くあった。プロジェクトを達成するために必要とされる個別的な要素研究のテーマが選択され、要素研究のテーマごとにチームが作られそれにファンディングがなされる、というケースが非常に多い。要素研究を統合し結び付ける仕組みを欠いているため、システム構築という本来の目標が達成されないままに各要素技術の幾つかの底上げを成果とせざるを得ない。我が国の科学技術が要素の研究開発に大きく重心がかかり、それらを統合するシステムとしての俯瞰的な視点が弱いのは、このようなプロジェクトの実施形態にも問題があると思われる。システム構築戦略研究の実施により、重要課題の解決に向けて構築すべきシステムの姿とシナリオ（プロセス）が明らかになるため、システム指向型プロジェクトにおいて、実証事業に着手する際に必要な様々な意思決定を合理的に行うことが可能となる。また、システム構築戦略研究は、システム指向型プロジェクトの進捗や状況の変動に応じた柔軟な計画変更を容易にするため、プロジェクトの成功率が高くなり、システム構築を通じた重要課題の解決とイノベーションの実現へつながる。さらに、システム構築戦略研究によって要素技術の研究成果がシステム構築に活かされる確率を高めることができ、ファンディング効率の向上につなげることができる。

システム指向型産業の育成強化

我が国の産業構造は、素材とデバイスにかかる産業が圧倒的に優勢であり、加工や組み立てなどにかかる産業技術の国際競争力は近年著しく低下してきた。システム構築型のプロジェクトを通じたシステム科学技術の底上げにより、加工、組み立てだけでなく、インフラの整備を含む「システム指向型産業」の強化を図ることが必要である。

2. 3. 海外におけるシステム科学技術の発展と研究体制

システム科学技術は、海外では長期にわたる研究開発の実績がある。システムを対象とした人工物の科学は、すでに 1930 年代から研究が開始されている。システムそのものを対象とした独立した研究分野は第二次大戦後に生まれた。1968 年に出たシステム科学に関する最初の教科書ともいえるベルタランフィの著書³では、すでに 1930 年代から主に生物学の分野を中心にシステム科学の研究が始まっていることが書かれている。しかしその研究は普遍的抽象的なテーマに偏り、当時急速な発展を遂げつつあったレーザー、半導体、新素材などの要素技術の発展をその視野に入れることができず、閉ざされた研究コミュニティとみられて次第に活力を失った。計算機技術の発展とともに、科学の細分化や行き過ぎた還元主義に対する批判を軸としたシステム科学の主張は、一部の科学者の注目を集めようになった。そのきっかけになったのは 1972 年のローマクラブによる「成長の限界」の出版である。これは世界をトータルな動的なシステムと捉え、その状態変動のメカニズムを記述するモデルに

³ Ludwig von Bertalanffy (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.

もとづいて将来予測を行なったもので、その悲観的な予測結果とともに世界を思い切って簡略化した定量モデルで記述するその方法論の斬新さは学問的にも大きな注目を集めた。同じ年にウィーンに国際応用システム研究所（IIASA）が設立されたが、冷戦下の世界で東西の研究者が共同研究を行なうテーマとして適切な世界モデルの構築が IIASA 設立の追い風になったと思われる。IIASA は現在でも 17 カ国 200 名のスタッフを抱え、地球温暖化問題や人口問題をシステム科学の視点で取り組む活発な研究組織である。IIASA に限らずシステム科学技術の研究拠点は海外に多く、各国は重要戦略分野のひとつとして振興に力を注いでいる。主要な拠点は、囲み記事にて示すとおりである。中国がこの分野を重視していることは特筆すべきことである。中国科学院のシステム科学研究所は数学、応用数学をも活動範囲に包含する大規模な研究組織で、その初代所長は中国ではじめて 30 歳台で科学院会員に選ばれている。

■システム科学技術の海外研究拠点の概要

1. 米国

(1) サンタフェ研究所（Santa Fe Institute）

- ニューメキシコ州サンタフェに所在する非営利の研究・教育機関。1984 年設立。「物理学」「生物学」「計算科学」「社会科学」を融合した研究を取り組む。主要研究対象として「人間挙動」「生態系」「複雑系」「進化系」などを掲げている。
- 科学や社会が直面する難解な課題をもたらしている「複雑なシステムを理解するための基本原理の発見」をミッションとする。
- 2009 年度の予算規模は約 1400 万ドルであり、内訳は各種財団が 65%、政府が 22%、産業界が 9%などの構成となっている。

(2) ニューイングランド複雑系研究所

(New England Complex Systems Institute)

- マサチューセッツ州ケンブリッジに所在する独立した研究・教育機関。1996 年設立。独自の研究チームに加え、MIT、ハーバード大学、ブランダイス大学を含む米国内外の大学教授等が活動に参画している。
- 「複雑系の科学」の構築およびその応用を目指しており、「システムと行動形態の関係性」や「システムと外部環境との関係性」の研究に取り組んでいる。
- 「数学」を基盤に、「物理学」「生物学」「社会科学」「工学」「経営学」「医学」を融合した研究を開拓している。

2. 中国

(1) 中国科学院数学与系統科学研究院系統科学研究所

(Institute of Systems Science)

設立： 1998 年 12 月 28 日

職員数： 2008 年末で 310 人（うち、科学技術関係スタッフ 232 人）

研究領域： 数学領域では数論、代数、幾何とトポロジー、オペレーションズ・リサーチと管理科学、システムと制御の科学、確率統計、科学計算、計算機数学など。新興および複合領域としては、金融数学、生物情報学、複雑系科学、不確実性戦略、複雑ネットワーク理論、計算材料科学、知識科学理論など。

(2) 中国科学院自動化研究所 (Institute of Automation)

設立： 1956 年 10 月

職員数： 2008 年末までに 350 人（うち科学技術スタッフ 175 人）

研究領域： 知能情報処理、複雑系と知能コントロールの研究を主に行い、基礎から応用開発から経営生産まで一体化した新しい科学研究機構である。

3. 欧州国際機関

(1) International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)

- 1972 年（米ソ冷戦時代）、ウィーン近郊に設立。
- 一国あるいは一つの学問分野では解決できない、大規模あるいは複雑な問題に向け、政策研究を行う国際研究組織。
- 具体プロジェクトの他、意思決定支援手法、グローバルデータベース、システム分析手法の整備も行う。
- スタッフ数： 200 名（数学、社会科学、自然科学、経済学、工学）
- 予算： 1640 万ユーロ（2009 年）
- 収入： メンバー国（日、米、露、独、奥、南ア、中、印、韓、他 17 ケ国）から半分、残りは研究助成金／契約／寄付。
- プロジェクト例；温暖化問題、人口問題、エネルギー安全保障、持続的開発、等。

4. 英国

(1) サウサンプトン大学複雑系シミュレーション研究所 (Institute for Complex Systems Simulation (ICSS), University of Southampton)

- 2009 年に、工学・物理科学研究会議 (EPSRC) とサウサンプトン大学等が 1,200 万ポンドを投資して設立。
- 設立目的は、complex systems ideas and tools を computational methods と融合させる学際研究の中心となり、気候、薬学、バイオサイエンス、ナノサイエンス、医学、化学システム、運輸、環境、エンジニアリングおよびコンピューティング等にわたる主要応用ドメイン (key application domains) 内における課題の解決を行うこと。
- ICSS が行う研究活動は、以下のドメインおよびキーテーマ
 - ❖ Core Complex Systems Simulation Research: Complexity; Simulation; Mathematics
 - ❖ Physical Systems Domain: Quantum Chromodynamics; Turbulence; Functional Nanodevices; Quantum Dynamics
 - ❖ Biological Systems Domain: Ecology & Evolution; Biomedical;

Biomolecular Organisation; Nanoscale Assemblies

- ❖ Environmental Systems Domain: Climate; Transport; Ecosystems
- ❖ Socio-technological Systems Domain: Value-Driven Design; Pervasive Computing; Massive Multi-Agent Systems

5. ドイツ

(1) フラウンホーファー協会システム・イノベーション研究所

- イノベーションに関する各種社会科学的分析を行っている。
- スタッフ数： 180 名（科学者 120 名：社会科学、経済学、工学、自然科学）
- 予算： 1900 万ユーロ（2009 年）
- 報告の提供先は産業、行政、政策担当者、科学者など。
- プロジェクト、報告書の例；再生可能エネルギーの経済的展望、イノベーションと技術管理、電気自動車、等。

3 具体的な提言の内容

この章では1章で述べた提言の内容についてさらに詳しく述べる。

3. 1. システム構築による重要課題の解決

社会で発生する科学技術に関連した重要課題の解決は、技術が社会に重層的に織り込まれた適切なシステムを構築することによって達成されることが多い。すなわち、イノベーションの多くはシステムの構築を通じて実現するが、このようなイノベーションは国の戦略的な推進を必要としている。

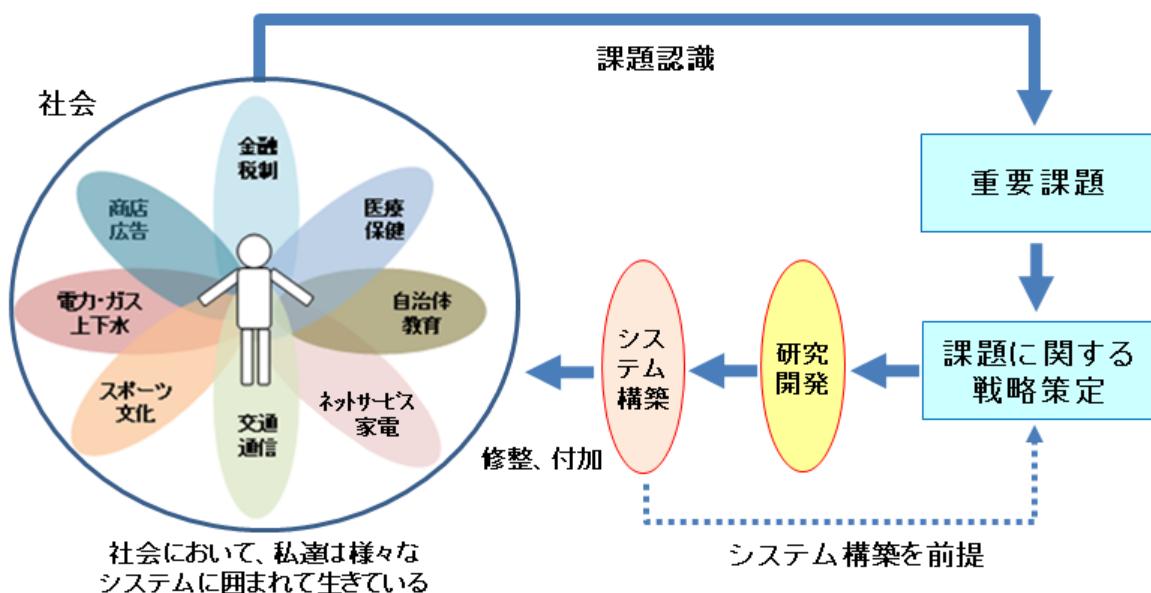


図3-1 重要課題の解決とシステム構築

現在私達は、図3-1の左側の円内に示されるように、複雑な社会の中で、多くのシステムを使い、あるいはシステムの要素としてシステムに囲まれた生活を営んでいる。電力、鉄道、上下水道などのインフラシステムを始め、通信、インターネット、バンキングなどの情報システム、税制、医療、教育、各種サービスなどの制度的システム、等々の多種多様な社会システムである。このような「システムの時代」の現代で、重要課題はシステムの課題として発生し、社会的な期待は適切なシステム構築への期待として受け取ることができる場合が少なくない。社会システムの多くは自然発的に生まれ、それに人為的な改良が加えられたものが多い。新しい科学技術の成果はこのような既存の社会システムを通して人々の生活に浸透し、その結果、科学技術が社会に大きなインパクトを与え、社会システムに変化をもたらし、人々の生活スタイルや考え方方が変わる。すなわち、社会システムを通して科学技術と人間は相対し、相互に結び付いている。したがって、科学技術の成果を人々が享受するには、

社会システムを構築、修正、付加する必要がある。いずれにせよ、現代の科学技術を考える上で社会システムの存在とその構造は大きな比重をもつ。本提言ではシステム構築がイノベーションの実現に結びつく具体的な3つの課題を次節で述べる。

図3-1は、これまで述べてきたものを模式的に示したものである。すなわち、社会的期待として抽出された課題について、システム構築を前提に課題解決の戦略が検討され策定される。得られた戦略にもとづいて研究開発、システム構築がなされる。構築されたシステムは進化的に改良をうけながら社会に徐々に埋め込まれる。

社会課題解決について戦略を立てるときに、「課題解決は新しいシステムの構築によってなされる」という視点に立つと見えてくるものも多い。例えば、課題解決のためのシステムの社会コストと効果の関係、システムの普及における課題、システムを支える既存技術と新たに望まれる技術、実証しておくべきサブシステム、等である。

3. 2. システム構築を担う科学技術の特徴とその振興の重要性

現代の複雑な社会で科学技術を実装するための社会システムを構築することはきわめて困難な作業であり、それを遂行するためには様々な知を動員する必要がある。システムを解析、設計、実装するための知は、産業技術が大量生産と大量消費を実現した20世紀初頭に生まれており、すでに長い歴史を経ている。それが本格的な科学として体系化の道をたどり始めたのは1930年代から40年代にかけてであり、自然科学とは独立な人工物の科学として急速な発展を遂げた。制御工学、モデリング、設計学、最適化技術、計算科学や情報科学、予測技術、信頼性工学などがこの範疇にはいる科学である。これらの科学とは別に、システム構築にかかわる様々なツールや技法がシステム構築の過程で生み出されてきた。ここでは前者をシステム科学、後者をシステム技術、両者を総称してシステム科学技術とよぶ。

以下のように、システム科学技術は通常の研究分野とは異なる側面をいくつか持つ。

- ①自然科学には依拠しない独立した理論体系をもつ。
- ②既存の領域を横断する普遍的な人工物の論理を探求する。
- ③成果は普遍的な理論であり、目に見える形で表現することは困難である。
- ④特定の対象の深掘りではなく、複数分野の統合によって基礎研究と応用研究を結び付けることを使命とする。
- ⑤本質的に課題解決型の科学技術である。

局所的な対象への傾倒と資源集中が生み出す「ブレークスルー」を高く評価し、要素技術の深掘に深い理解を持つ我が国では、上記のような特徴をもつシステム科学技術への認識は希薄であった。そのため現代技術のカギを握るシステム構築の重要性に対する認識を欠き、政策として意図的にシステム科学技術の振興が図られることはほとんどなかったと言ってよい。その結果、システム構築を担うべき人材が不足し、科学技術全域を覆うシステム化の遅れが我が国科学技術の基本的な弱点として次第に顕在化しつつある。このことへの反省は生まれつつあるが、この弱点を正面から克服する本格的な科学技術の施策はまだ着手されていない。

3. 3. システム構築戦略研究

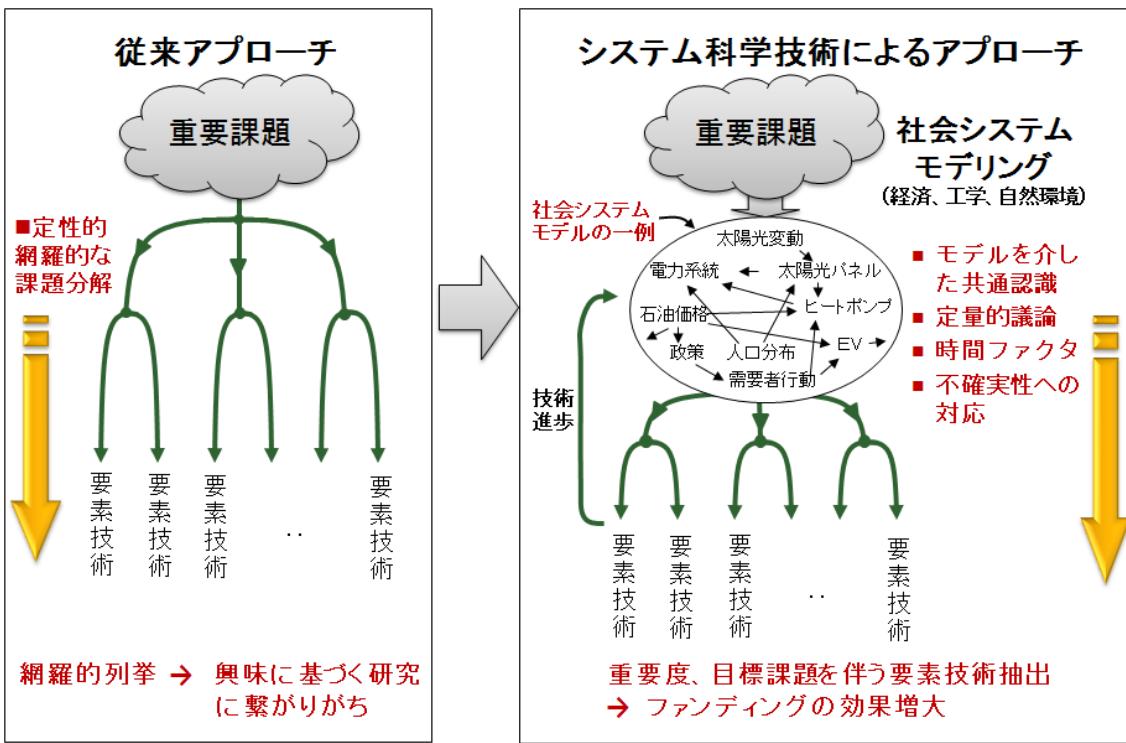
3. 3. 1. システム構築戦略研究が必要となる理由

科学技術の成果を実装する社会システムを構築するには大きな困難が伴う。社会を構成する様々なステークホルダやプレーヤの価値観、嗜好、行動パターンなどはきわめて多様であり、社会システムを構成するための要因も数多くその同定はきわめて困難だからである。したがって、一人のリーダーが、初期計画から実装段階まで俯瞰的戦略的な視点にもとづいて異なった多くの関連分野の知を統合し、それを実際に活かすための合理的な意思決定を行っていくことはきわめて難しい。この困難を克服するために、本提言では新しい研究のカテゴリーとして、俯瞰的視点にもとづく知の統合と合理的な意思決定を保証する「システム構築戦略研究」とよばれる研究カテゴリーを提案する。

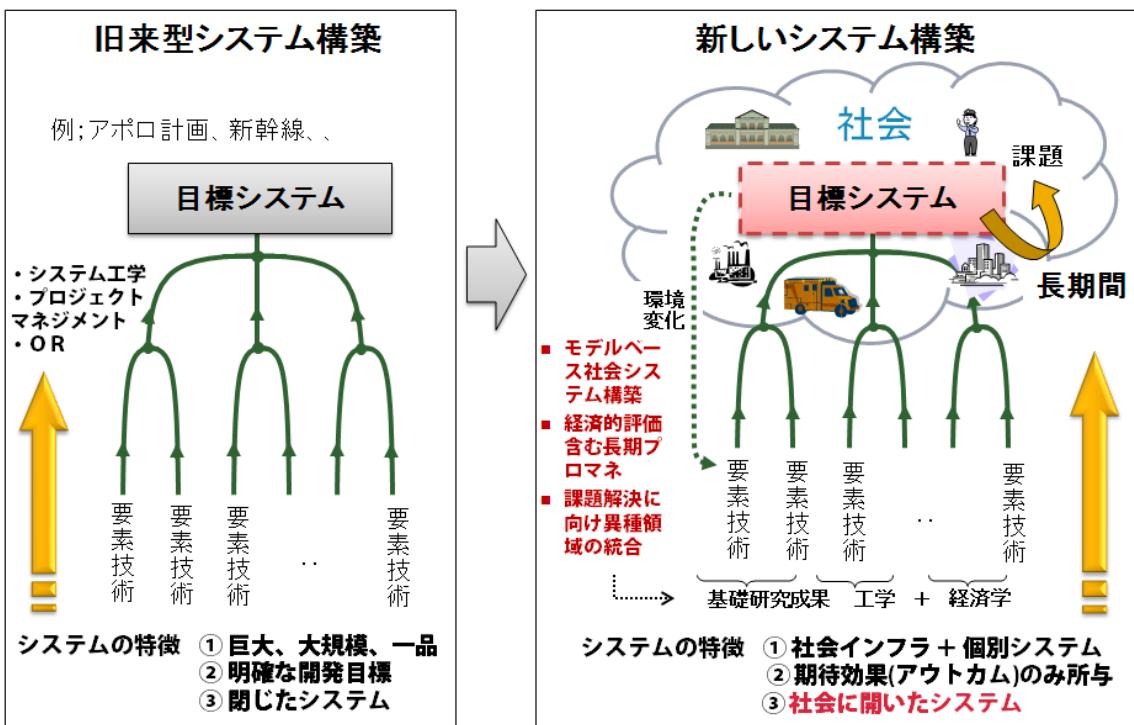
従来の課題解決へのアプローチは、課題が設定されるとその解決のために必要と考えられる研究課題や要素技術が網羅的に選択され、それらに応じた部分的な研究課題を担当する研究チームがいくつか作られる。研究チームの課題の多くは境界がはっきりした限定された範囲で設定され、出口がはっきりしていることが多い。しかし研究チームの成果がシステム全体の機能の中でどのような役割を演じお互いにどのように関連しあっているか、それらがどのように統合されて最終的なシステム構築に導かれるかの筋道はあまり議論されない。研究チームの編成を任されるリーダーは、容易なテーマを各チームに設定することによって、プロジェクトの具体的な成果を得られやすくする傾向をもつ。その結果、個々の要素技術のレベル向上や、関連する個別的なテーマで成果が得られても、本来の目的であったはずのシステムに要素が統合されることなく、現実の運用で円滑に作動することが難しいという事態が発生する。このような状況に陥らないようには、システム構築にはあらかじめ次の問題について十分に考慮することが必要である。

- ①ステークホルダ間でシステムの機能について認識を共有すること
- ②システムの挙動についてはできるだけ定量的に予測すること
- ③システム構築に必要な時間経過の間の環境変化に対応する時間ファクタの考慮
- ④システムが環境と相互作用をする際の不確実性を最低限に抑える
- ⑤システムの社会コストと効果についての経済性を把握する

従来アプローチと比べ、システム構築戦略研究がシステム分析とシステム設計のフェーズにおいてどのように有効であるかを、図3-2の(a) (b)により模式的に示す。同図(a)では、構築すべきシステムとその社会的、経済的、技術的条件を合わせて社会システムモデルを用意し、分析することを示している。図はスマートグリッドシステムをイメージした例である。同図(b)のシステム設計構築フェーズでも、上記モデルが基盤となり社会技術環境の時間変化をモデルに反映しつつ、長期的に目標システムの構築を図ることになる。



(a) システムの分析



(b) システムの設計

図 3-2 複雑で多様な社会でのシステム構築におけるシステム科学技術の役割

3.3.2. システム構築戦略研究とは何か

システム構築戦略研究は、関連する個別研究テーマをシステムとして統合する方策を明示し、そのために必要な意思決定を合理的に行うための全体研究を担うものであることは、1. 3. 節で述べたとおりである。ここではさらに、システム構築戦略研究が研究プロセスで担うべき課題を述べる。

前節で述べたシステム構築のための作業を行うシステム構築戦略研究の内容は多岐にわたり、構築すべきシステムによって様々な形をとるが、共通の項目を抽出すると以下のようになる。

- ①課題克服のために必要なサブシステムあるいは要素への分解と構造化
- ②システムならびにサブシステムの特性の定量的評価と検証
- ③関連要素技術の将来予測と応用可能性の評価
- ④シナリオ（システム再構成案）による効果の定量的な予測・評価
- ⑤社会との適合アセスメント

システム構築戦略研究の概要と位置づけを図3-3に示す。

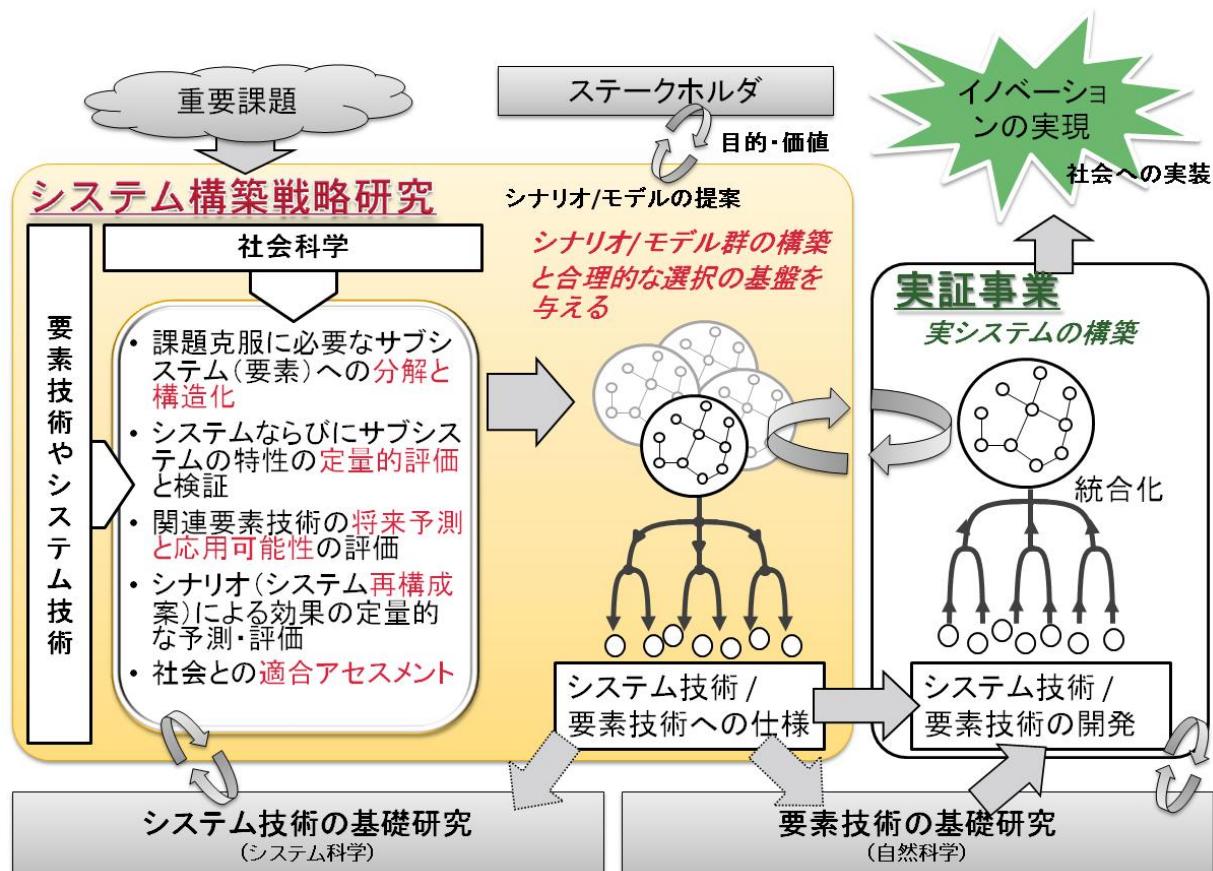


図3-3 システム構築戦略研究の概要と位置づけ

以上を推進するにあたり、課題ごとにまず a) 手法・モデル・データなどの基盤作りを行い、次に b) シナリオの提案、c) 研究開発すべき技術の抽出、d) 実証すべき技術・システ

ムの計画を行い、戦略研究のアウトプットとする。本プロセスは、要素技術の評価と並んで人間・社会の理解を深める社会科学と、両者を統合するシステム技術がベースとなり、基礎科学としてのシステム科学を基盤として進められる。

システム構築戦略研究は、課題解決のフェーズが、戦略の計画策定段階から実際の研究開発、実証事業に移り、さらにシステムの社会実装の段階に移った後も継続される。計画が進行する間に、

- i) 技術開発の状況変化
- ii) 実証事業からのフィードバック
- iii) システム構築の円滑な進行を阻む予期できぬ事態の発生

が生ずるためであり、これらに対応するため、上記①～⑤をさらに繰り返し、計画の修正を行うことになる。以上のプロセスにより、戦略研究は課題解決、イノベーションの実現に向け最終的なシステム構築の合理性、合目的性を確保する役割を果たすことができる。

システム構築戦略研究は、個別で具体的な新しい重要課題テーマに対し、関連する複数の専門分野を統合することを通じて、上記プロセスを進める。そのため、常に解決すべき新しい研究課題が生じることが予想され、それを解決する方法を作り上げることが要請される。一方、プロセス図3-3には標準的な部分（コンピュータシステムのOS（オペレーティングシステム）に相当）が存在するため、共通的な基盤をあらかじめ用意することが望ましい。課題に関連する複数のセクターが各々固有に持つ将来シナリオ、客觀性を有する前提データ、物理的モデル、経済モデル、制御方式、評価等々を統合し利用するための基盤であり、システムを構築し、解決すべき個別課題に共通的に利用できる手法やデータを備えた広義の情報基盤である。

3.3.3. システム構築戦略研究を担う新しい研究の振興

システム構築戦略研究を円滑に遂行するためには、システム構築戦略研究を担う俯瞰的戦略的な知の統合と、合理的な基盤に基づく意思決定の方法論を強化し科学として体系化することが必要である。国はこの分野の振興に積極的に取り組むべきである。システム構築戦略研究を担う科学の要素は、システム科学技術の諸分野に分散して存在するが、その体系化と上記観点での高度化は急務である。

システム構築戦略研究において課題の分析、システム設計に関連するシステム科学技術の主な分野は、モデリング、最適化技術、制御工学、マネジメント、またこれらの基礎となる数理科学などであるが、高度化すべき主な共通的課題の例を以下に示す。

- i) 複雑、不確実な人間・社会に対する意思決定の合理的基盤の提供
- ii) 経済、工学、自然現象の統合的モデリング
- iii) 計算能力の向上を背景とする、新しい手法の創出
- iv) 複数の既存システムの統合と関係性の動的制御
- v) 広域にまたがる大規模複雑系の安全・安定な運用
- vi) 局所最適化と大域最適化の矛盾の調和

なお、システム構築戦略研究が対象とする重要課題としては、様々な粒度のものがあり得る。日本におけるトップレベルの重要課題、そこからブレークダウンされる課題、さらにそのサブ課題（例えば、特定プログラムの特定プロジェクト）など、異なる大きさのテーマが考えられる。一つの研究開発が課題解決に直結する類の課題でなく、システムの構築と社会への定着が重要なテーマでは、どのような粒度のものについても、システム構築戦略研究が有効である。

3. 4. システム科学技術の推進方策

1. 4. 節で述べたように、システム科学技術の推進方策は次の3段階に分けて経時的に実施されることを提言する。

①アクション・プランに示された施策パッケージ等に対するシステム構築戦略研究の実装

平成23年度の「科学・技術重要施策アクション・プラン」において、グリーンおよびライフの二大イノベーションの実現に向けた方策として示された次の施策パッケージ等に含まれる施策には、システム構築が実質的な課題解決のカギを握る施策がいくつかある。これらの施策について、システム構築戦略研究を実装し、システム構築の戦略的視点を徹底することを通してその実質的な成功の確度を上げることが望まれる。またこれに資するため、第4期科学技術基本計画で示され、重要課題ごとに設置される予定のイノベーション戦略協議会（仮称）において、システム構築の全体設計の調整を図る。

グリーンイノベーション

(施策パッケージ) 情報通信技術の活用による低炭素化

(方策) 次世代自動車の普及による交通運輸分野の低炭素化

(方策) 住まい、交通、地域の環境先進化

ライフイノベーション

(施策パッケージ) 高齢者・障がい者の生活支援技術の開発

②我が国が直面しているシステム構築により解決しなければならない重要課題

上記の活動の中で十分な経験を蓄積しつつ、システム構築が基盤的な解決策となる以下の3つの課題を設定し、システム構築戦略研究を十分に生かして解決する。

■分散再生エネルギー源を含む安定かつ持続可能なエネルギー供給を可能とする社会システムの構築

19世紀末から20世紀初めにかけて急速に進んだ配電網の展開は、スケールメリットを期待した発電源の巨大化と集中化を軸としていた。低炭素化社会を実現するために各種の再生可能エネルギー発生装置、燃料電池、コジェネレーション、ヒートポンプ、電気自動車などが登場し、電源は一挙に多様化しつつある。スマートグリッドやマイクロ

グリッドは、すでに概念のレベルから実現の段階に来ている。これはシステム構築を核とする典型的な課題であり、その解決のためには要素技術の研究開発とともに、システム科学技術が大きな役割を演じなければならない。

エネルギーという物理的なシステムのダイナミクスだけではなく、生活スタイルを含めた社会経済システムに関するダイナミクスをも兼ね備えた、新たな次世代エネルギー・システムを構築していくかなくてはならない。企業、家庭等異なった生活規範のもとで異なったエネルギーの使い方をする構成員がいるなかで、全体が合意できるような社会システム設計の基盤構築を目指す。

システム構築戦略研究では、各地で実施されているエネルギー関連プロジェクトのデータも利用しながら、各種再生可能エネルギー等の代替普及シナリオ、個人消費行動を取り入れた電力市場のモデル、運輸や民生セクターといった需要側の各々の利己的決定と多くの異なった種類の発電機を含む電力供給側の各々の制御とを、エネルギー・ネットワーク全体の性能向上（経済性、省エネルギー性、信頼性、安定性など）につなげるための制御論等を研究する。

システムの範囲や要件を定義するために、シナリオ・モデル群という合理的な選択のための統合基盤を築くことが第一ステップであり、このステップの後に、最終的にどのようなエネルギー・マネジメントシステムを構築するかについてステークホルダが意思決定をする第二ステップ、新たに構築するシステムに必要な要素技術開発や実証事業等を実際に進めていく第三ステップが続くことになる。ステークホルダが示す条件、システムを構築する場所や範囲、時期、期間等によって、どのようなエネルギー・システムを最適に構築するかという方針が異なってくるため、ここでは統合基盤を作るという最初の共通のステップを示した。

■高齢化社会に対応した生活支援ロボットの構成とその実用化

高齢化社会の急激な到来はかつて我が国が経験したことのない様々な深刻な問題を発生させることが予想され、それに対処することは我が国にとって喫緊かつ最も重要な課題である。なかでも、将来人口の主要部分を占めるにいたる高齢者の生活を支援することは、膨大な人手と神経をすり減らす細かい作業と、そしてそれを整えるための行き届いた環境整備が必要である。そのような作業の総体をどこまで省力化できるかは大きな問題であり、そのための核心的な技術が生活支援ロボットの開発である。

生活支援ロボットを開発するにはロボットの要素技術の開発も必要であるが、それ以上に重要なのは高齢者が実際に生活する場を想定したシステムの構築である。そのためにはロボットだけでなく、高齢者の施設や地域医療システム、さらに居住インフラや場合によっては文化施設の整備まで視野に入れた全体システムを展望し、その視野でシステム構築の戦略を練る必要がある。それにはロボット工学、老人学、脳科学、建築学、臨床医学、ヒューマンインターフェイスなど広範な研究分野を糾合した研究システムの構成がまず必要である。これまで我が国ではこのテーマについて多くの研究資金が投入されてきたにもかかわらず、具体的な成果が実用には程遠いロボットの動作実現に限られてきたのは、ロボット技術を担当する経済産業省と高齢者医療を担当する厚生労働省、脳科学を担当する文部科学省など関連各省庁がそれぞれ別々に研究を支援し、実用化に

向けた統合システムの研究開発が不十分であったからと思われる。最近経済産業、厚生労働の両省が研究のプラットフォームを共有する計画がスタートしたが、さらに進めてシステム科学技術と各要素研究分野が一体となったシステム構築戦略研究の実施が望まれる。

この分野は日本だけではなく国際的にも巨大な市場が見込まれ、産業としての可能性は高いので、我が国の国際競争力の維持のためにも、この課題をシステムとして解決し、システムとして輸出する展望をもって国が積極的に支援することを望みたい。

■地域社会に適合した水循環システム

世界における人口の増加、一人当たりの水需要の増大に伴い、2025年の世界の水市場は、07年比で倍増すると予想され、同時に水不足・水紛争が各地で深刻化することも懸念されている。海水の淡水化、下水の浄化再利用を含む水循環システムは、上記問題に対処するものとして期待されている。水循環システム（あるいは総合水資源管理システム）は、第4期科学技術基本計画の「社会インフラのグリーン化」の重要課題において、構築すべきシステムの一つであり、社会インフラの海外展開の期待に応える可能性も持つ。本システムの構築では、対象とする地域の自然環境、社会・経済環境、生活利用以外の農業・産業利用の有無を考慮し、課題を明確にし、地域に最適な計画を立案することが重要である。

水循環システムでは、ナノ・テクノロジーに関連した逆浸透膜やろ過膜などの膜技術が、水処理の効率化や水質の確保のため基本的要素となる。一方、複数の特性の膜装置を組合せ、ポンプなどと共に設備として運転する水処理プラントの構成制御も重要であり、上下水水処理プラントや水の地域内ネットワークの計画もよく検討せねばならない。これら要素技術を包含し階層性を持つシステムを、異なる地域事情に合わせ最適に計画するには、新しいシステムモデリングおよび最適化技法が求められると同時に、社会経済的課題を明確化する方法論としてのシステム技術も重要となる。したがって、水問題におけるシステム構築戦略研究では、社会・経済も含め、階層型の水循環システムをモデル化するところから始め、モデルを基盤に、最適化、課題の分解、効果の定量的予測評価、時間経過も考慮した社会との適合アセスメントを行うことになる。このようなシステム構築戦略研究は、膜研究等の要素研究にフィードバックを行いつつ、世界的に競争力のある水循環システム構築と、そのための研究戦略策定に資すると期待される。

③システム科学技術の研究を統括する中央組織の設置

システム科学技術は普遍性を持つため、個別のプロジェクトであがった成果はそのプロジェクトのみに閉じず、大きな波及効果相乗効果が得られる。成果を組み上げ、最大限に波及効果相乗効果を発揮させるために、システム指向型プロジェクトの中で行われるシステム構築戦略研究を全体として統括する省庁横断的なシステム科学技術中央組織をシステム構築戦略研究の進展を勘案しつつ、将来的に設置することを提言する。

システム科学技術中央組織（仮称）の役割は以下のとおりである。

<システム構築戦略研究グループの全体統括>

- 各システム構築戦略研究グループに配置されたシステム科学技術の専門家を横断的に統括するとともに、相互の連携・相互調整・知識共有等をはかる。
- システム科学技術の研究者コミュニティと密接に連携し、必要な人材をシステム指向型プロジェクトおよびその中のシステム構築戦略研究グループへの参画を促す。

<システムアドバイザ制度の設置>

- システム科学技術中央組織(仮称)に、システムアドバイザのポジションを設置する。システムアドバイザ自体も育成していく必要があるため、キャリアパスを考慮した職制とする。
- システムアドバイザは適宜外部有識者を加えて評価委員会を作り、イノベーション戦略協議会が指定したプロジェクトおよび自ら希望するプロジェクトに対し、システム構築の視点からプロジェクト評価を行う。
- システム指向型プロジェクトのP0/PDや研究者からの要請があれば、アドバイザとして当該プロジェクトに参画し、プロジェクトを進めるなかでシステム構築に必要な視点やシステム科学技術の知識を有する人材を育成する。

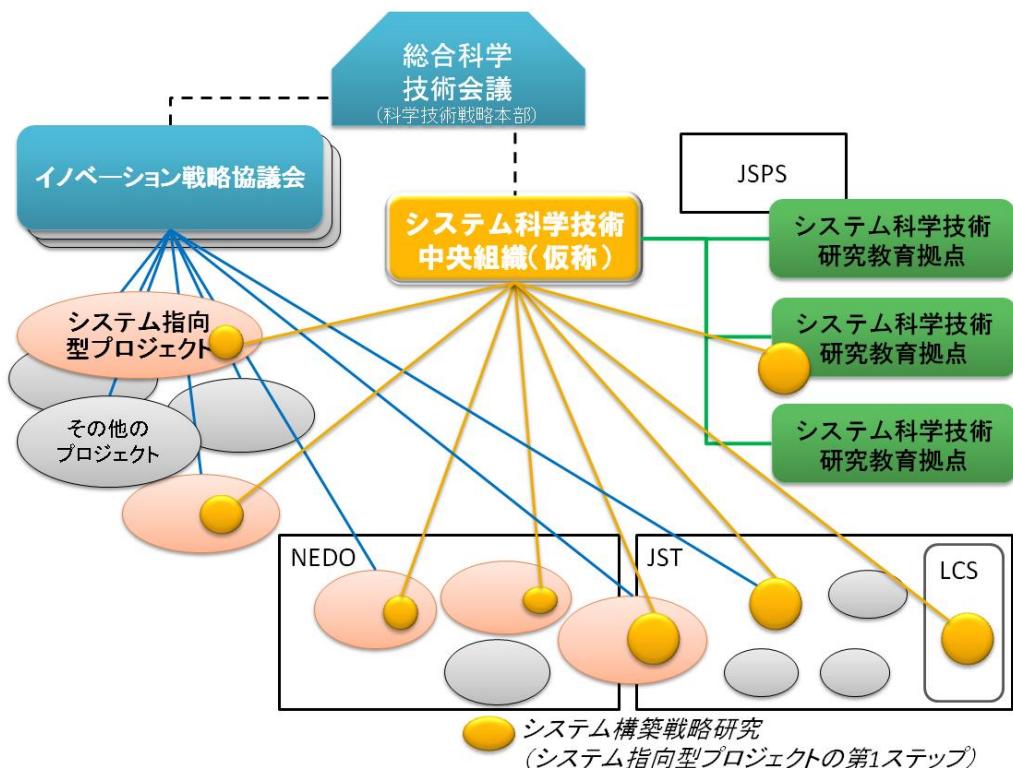


図 3-4 システム科学技術中央組織の位置づけ

3. 5. 長期的な視点に立った施策

システム科学技術の研究を以下のような方策により積極的に推進することにより、課題解決に寄与する科学技術の発展をはかるとともに、システム科学技術のフロンティア拡大・領域の体系的発展へつなげる。また、これらを通じた、長期的な視点からの人材育成や基盤整備をはかる。

3. 5. 1. 研究資金の拡充と効果的な運用

システム科学技術の様々な研究成果をシステム構築に活用していくためには、自由発想による基礎研究、目的基礎研究の双方の拡充、及びこれらの効果的な運用により、効果的なシーズの蓄積が必要である。

- 科学研究費補助金の「系・分野・分科・細目表」において、システム科学技術の諸分野に該当する項目を、「分科」レベルで追加する。
- 目的基礎研究の研究資金制度において、課題解決のためのシステム構築の視点を明確に取り入れた領域を新たに設定する。また、既存の領域を含め、システム構築戦略研究に資する研究課題の採択枠を設けるなどの方策により、採択が要素技術に集中しないように工夫する。
- 将来的には、前節で提案したシステム科学技術中央組織においては、既存の研究資金制度によって得られた成果をシステム構築の観点から評価・分析することなどを通じて、これらの成果が有効に活用されるよう図る。具体的には、要素技術の成果を持つ研究者とシステム科学技術の研究者が集い、新しいシステム構築のアイディアを検討する場を設定し、優れたアイディア対し初期段階の研究資金を配分する「システムランニングスキーム（仮称）」を推進する。

3. 5. 2. 人材育成

システム構築による課題解決を実現するには、システム科学技術を担う研究人材の育成、大学学部教育を通じた裾野の拡大、システム構築戦略研究に参画できる人材の育成の3つの柱が必要であり、それぞれ次の方策を実施する。

研究教育拠点の形成

- システム科学技術の研究を担う研究教育拠点を、新設もしくは既存の関連組織を拡充・再編することによって大学内に設置し、システム構築戦略研究の一部となりうる研究の安定的な推進と、これを通じた研究人材の育成をはかる。
- これらの研究教育拠点は、将来的には、前節で提案したシステム科学技術中央組織と連携しつつ、システム指向型プロジェクトの一環として実施されるシステム構築戦略研究にも積極的に参画する。

大学学部における数理科学教育の重視

- システム科学技術の根幹的な基礎となる数理科学的な思考力の涵養をはかるため、工学系の学部を中心に幅広い専攻の大学学部過程において、関連科目の拡充や必修化の枠

組みを広げる。

- 大学入試において数理科学的な“考える力”的な素養を重視した選抜方式を採用する。

専門職大学院の設置

- システム構築戦略研究に参画する人材育成を目的とした、システム科学技術の専門職大学院を設置する。
- 入学者は、社会の課題解決に必要な特定分野（物質・材料、地球環境、ライフサイエンス等）、もしくは数理科学について修士以上のバックグラウンドを持つ社会人を含む者を想定する。
- 以下を修了者の要件とする。
 - ❖ システム構築戦略研究に関するケーススタディの実施（システム構築戦略研究がなされなかつたために不成功となった事例研究を含む。）
 - ❖ 特定分野に必要なモデリングの知識に加え、汎用的なモデリング学の知識の獲得。将来的には、困難性の高い課題や未踏の新規課題を中心に独自のモデリング開発が可能な専門家の育成を目指す。

3.5.3. 情報基盤の整備

基盤的データ環境とその高度な利用環境の整備は、あらゆる研究分野において重要な情報基盤であるが、システム科学技術の研究において、特に次の方策が重要である。

- データベース整備と相互のリンクエージ、ツールや研究コンサルテーション機能等も含めたモデリング環境の確立
- これらの整備・利用を促進するための国際標準化への積極的な関与

4 科学技術政策上の効果

システム構築による社会の重要課題解決を目指した諸方策が実施されることにより、以下のような科学技術政策上の効果が得られる。

4. 1. 科学技術政策における要素とシステムのバランスの確保

これまでの我が国の科学技術政策では、システム科学技術はほぼ関心の外側にあった。これは要素技術の深掘を「技」として尊重する我が国の技術文化が大きく影響していると思われる。本格的な「システムの時代」を迎えてシステム構築がイノベーションのカギを握ることになった現在、要素研究とシステム研究を車の両輪として発展させる必要がある。両者のバランスこそが科学技術政策の要諦であり、両者が整合する科学技術政策の立案はきわめて難しい行政的な課題である。本提言はシステム構築戦略研究という実際のシステム構築に即した研究の新しいカテゴリーがこの問題を解決することを期待している。

4. 2. 政策決定の合理性の確保

システム構築戦略研究の実施により、重要課題の解決に向けて構築すべきシステムの姿と、システム構築に至るシナリオ（プロセス）が明確化するため、システム指向型プロジェクトにおいて、実証事業に着手する前の計画段階で意思決定を合理的に行う基盤を与えることができる。また、システム構築戦略研究の実施は、プロジェクトの進捗や状況の変動に応じた計画変更等を容易にし、プロジェクトの成功率を高めることにつながる。またこれらの総合的な効果として、システム指向型のプロジェクトのコスト削減が可能となる。

4. 3. ファンディング効率の向上

システム構築戦略研究の重要な役割のひとつは、課題解決のために必要な要素技術の抽出をそれらを統合するシステム構築の視点で行い構造化することである。また、システム構築の観点から要素技術に対する新たな性能向上への要求も提起され、要素研究の統合的な推進が図られる。これらによって、開発すべき要素研究のシステム視点での意義が明らかにされ、要素技術の研究開発に対する適正な指針が示され、余剰な要素研究を省き、研究開発に対するファンディング効率を向上させることができる。

4. 4. 「システムを科学する」研究を切り開く

すでに述べたように、これまでの我が国のトップダウンにもとづく研究課題のほとんどは要素研究にかかわるものである。多くの技術分野や科学研究にとって共通の普遍的なツールの開発や理論の確立がトップダウンの研究テーマとして設定されることはない。すでに述べたようにシステム科学技術は長い歴史をもち、「システムを科学する」ための体系的な理論

と手法を発展させてきた。「システムを科学する」ことについて深い研究と体系的な成果がすでに存在し、それが現代科学技術で重要な課題を背負っていることに対する認識を高めることによって、我が国の研究開発の奥行きと広さを増すことができる。

4. 5. 分野別の科学技術から課題達成型の科学技術への転換を促進する

2. 2節で述べたように、システム科学技術は本来課題解決型の科学技術である。この分野を振興させ、得られた手法を現実のプロジェクトへ実装していくことにより、第4期科学技術基本計画で謳われた課題達成型の科学技術への軸足移動を加速することができる。

4. 6. 文理融合の進展と科学技術フロンティアの拡大

システム科学技術の推進方策により、システム構築戦略研究において重要な役割を果たすシステム科学技術の研究に対し長期的な視野で取り組むことが可能となる。これにより、継続的に研究成果を得ることが可能となり、システム科学技術の領域としての一体性が確保される。

また、特に社会の価値観や人間行動などを取り込む形のオープン型のシステム構築戦略研究においては、社会科学・人文科学の知を取り込むことが不可欠となる。したがって、様々な科学技術分野の知の統合に加え、社会科学・人文科学の知が統合される形となり、文理融合が進展する。こうしたシステム構築のための考察と対話の場を通じて、それぞれの分野の知が深まり、またシステム科学技術の新たな成果がこれらの知の統合に適切に寄与することを通じて、科学技術の新たなフロンティアが拡大する。

5 社会・経済的效果

システム構築による社会の重要課題解決を目指した諸方策が実施されることにより、以下のような社会的効果、経済的効果が得られる。

5. 1. 内外の重要課題解決への貢献と日本のプレゼンス向上

システム指向型プロジェクトにおいて「システム構築戦略研究」が実施されることにより、プロジェクトの成功率が高まり、重要課題の実質的な解決に結びつく確率が高くなる。また、「システム構築戦略研究」の研究成果は汎用性が高いため、他の様々な課題への適用が可能であり、日本国内のみならず、海外においても重要課題の解決力の向上につなげることができる。海外での重要課題の解決力が示されることによって、国際社会における日本のプレゼンスを向上させることができる。

5. 2. イノベーションへの貢献

あらゆるものがシステムとして機能している現代社会において、社会が期待するイノベーションの多くは、システム構築によって実現される（3.1 参照）。システム指向型プロジェクト内でシステム構築戦略研究が実施されることにより、プロジェクトの成功率が高まることは、科学技術の成果を利用したイノベーションの実現にも貢献する。

5. 3. システム指向型産業の創出と国際競争力の向上

システム構築戦略研究の研究成果によって、日本の強みが活かせる戦略的な要素技術を適切に選択し、社会的・制度的な条件も勘案した上でこれらを組み合わせた、新たなシステムを構築することが可能となる。これによって、社会的にも経済的にも価値を生み出す「システム指向型産業」が創成される。これを通じて、日本の優れた要素技術が活かせるとともに、競争力のあるシステム指向型産業が育成され、産業の国際競争力の向上に結びつけていくことができる。

※システム指向型産業の具体例として次のようなものが考えられる。

- ❖ 海水淡水化による水ビジネス：海水濾過膜とこれを組み込んだ構造体、低消費電力による海水濾過装置・プラントの設計・建設、現地の社会状況に応じた運用管理・メンテナンスの受注も含めた総合的な水循環産業
- ❖ 汎用的電力需給システムの展開：太陽光発電など、多様かつダイナミクスを持つ供給源や需要側の利己的使用も含めて制御できる、汎用的な電力需給システムを現地の自然環境や社会経済状況に応じて展開するインフラ産業

なお、CRDS が 2008 年に提案したアンブレラ産業は、「部品や材料を組み合わせ、システムとして構築したもの、あるいはそれらハードウェア技術と、全体システムとして最適な機

能を発揮するためのソフトウェア技術とを組み合わせ、付加価値の大きなシステムを構築し、産業連関的にも、社会的・経済的にも、大きな価値を生み出すシステムを生産する産業」⁴と定義されている。システム指向型産業は、このうち情報通信機器、自動車等の「部品や材料を組み合わせ、システムとして構築した」製品を除いた産業に該当する。

5. 4. 俯瞰的視野をもった人材の輩出

システム指向型プロジェクトによる課題解決の成功や、システム科学技術の研究教育拠点の運営や大学各部教育、専門職大学院などでの実績を積み重ねることを通じて、要素を統合する俯瞰的視点や、経験を乗り越えて到達する普遍性を尊重する気風を持った人材が輩出される。また、社会科学・人文科学を含めた積極的な分野間の交流が不可欠なシステム構築戦略研究を推進することによって、文理融合の経験を持った人材が育成される。

4 戰略提言「国際競争力のための研究開発戦略立案手法の開発—日本の誇る「エレメント産業」の活用による「アンブレラ産業」の創造・育成」(CRDS-FY2008-SP-10)

6 時間軸に対する考察

システム構築戦略研究をはじめシステム科学技術の推進は、課題達成型の研究プロジェクトをより戦略的に計画し推進する上で有効であり、早急に進めることが期待される。また、第4期科学技術基本計画は、分野別の科学技術から課題達成型の科学技術に方向を転換したことから、本計画の立ち上がりに資するという観点でも、早い開始が望まれる。

これまで提案したそれぞれのシステム科学技術推進方策の、時間軸上での位置づけを図6-1に示す。

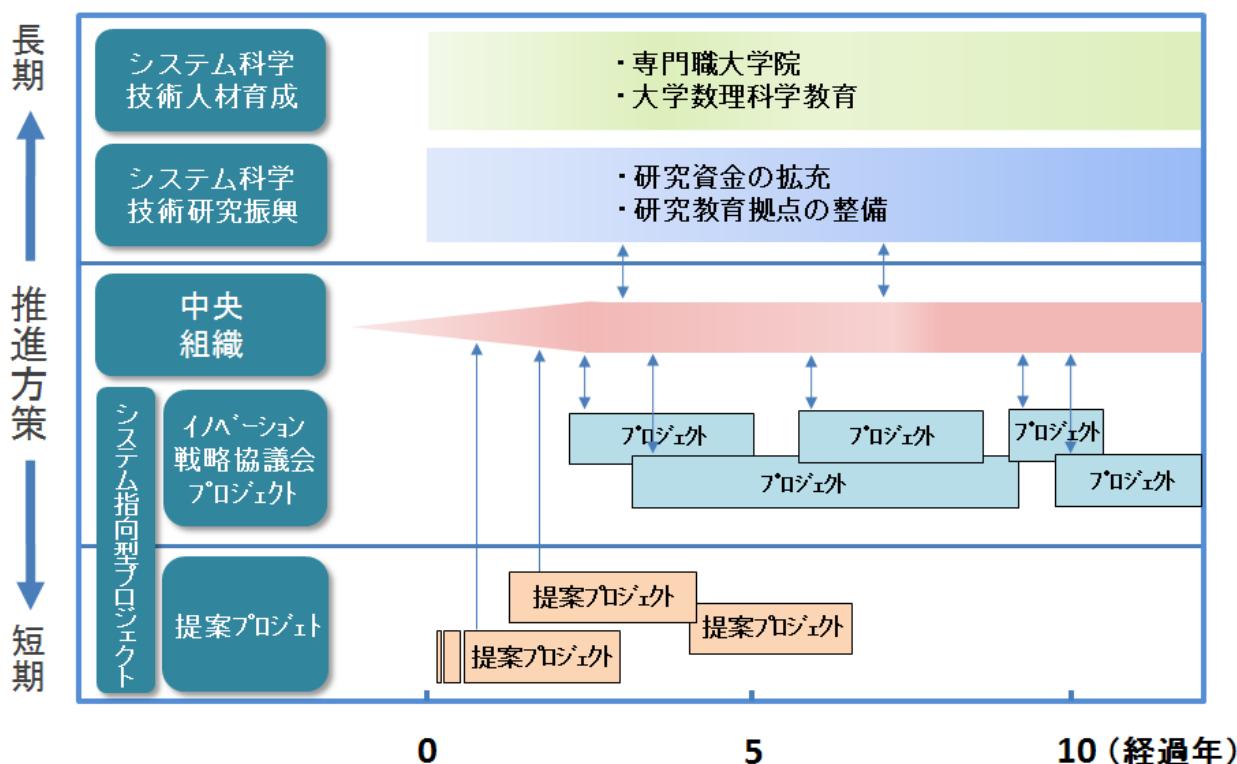


図6-1 時間軸上での各提案推進方策の位置づけ

それの方策は、下から上へ短期的なものから長期的なものへの順に示してある。まず下段に示すように、3.3.節で述べたグリーン・イノベーションとライフ・イノベーションのテーマについて提案プロジェクトを進め、システム構築戦略研究の有効性を検証する。そこでの実績も踏まえ、イノベーション戦略協議会が重要課題あるいはそのサブテーマのなかから指定するプロジェクトにおいて、システム構築戦略研究を推進する。図の中段に示す中央組織（仮称）は3.3.節で述べたように、各プロジェクトのシステム構築戦略研究を統括し、システム科学技術の高度化のための基礎研究とも連携をとる。初期のプロジェクトからの知見をもとに組織の構成を検討し、中期的に立ち上げを目指す。

長期的には、図に示すように、人材育成、基礎研究としてのシステム科学技術研究振興のための資金の拡充、研究教育拠点形成を進めることが必要である。

7 検討の経緯

本提案に至るまで、JST 研究開発戦略センターにおける関連検討会として、2010 年 2 月より「システム科学技術推進委員会」(10 回開催)、「同委員会制御分科会」(5 回開催)、「社会と数理科学分科会」(3 回開催)、「モデリング分科会」(4 回開催)を開催し、2011 年 1 月には「システム科学技術」俯瞰ワークショップを開催し、議論を深めてきた。これらの内容を以下に示す。

7. 1. システム科学技術推進委員会

10 回にわたり、下記のテーマで開催した。

第 1 回 「システム科学の展望」

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-01)

日 時 : 2010 年 2 月 24 日 (水) 10:00~13:00

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2 階大会議室

講 演 : CRDS の活動とシステム科学

[吉川弘之 JST/CRDS センター長]

システム科学の展望

[木村英紀 JST/CRDS 上席フェロー]

システム科学の必要性—産業界の視点から

[桑原洋 (株)日立製作所 特別顧問]

第 2 回 「日本におけるソフトウェア産業とシステム科学の問題点」

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-02)

日 時 : 2010 年 3 月 8 日 (月) 10:00~13:00

場 所 : JST 三番町ビル 7 階特別会議室

講 演 : システム思考はなぜ弱くなったのか—製鉄産業の経験から

[岩橋良雄 日鉄日立システムエンジニアリング(株) 代表取締役社長]

日本のソフトウェア産業 (参考データの紹介) [前田知子 JST/CRDS フェロー]

システム思考の重要性と人材育成—ソフトウェア開発企業の経験から

[長田康久 (株)ヒューマンストラテジー 代表取締役]

第 3 回 「社会と数理科学」

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-04)

日 時 : 2010 年 4 月 3 日 (土) 10:00~12:00

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2 階大会議室

講 演 : 数理科学の役割とその展望

[甘利俊一 理化学研究所脳科学総合研究センター 特別顧問]

数学振興策の現状と課題

[杉原正顯 東京大学 大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻 教授]

今、数理科学に求められること—科学技術立国の再建のために—

[中村佳正 京都大学情報学研究科数理工学専攻 研究科長・教授]

第4回 「制御工学とシステム科学」

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-06)

日 時 : 2010年5月7日(金) 10:00~12:30

場 所 : JST研究開発戦略センター 2階大会議室

講 演 : 制御システム分野の役割と展望

[内田健康 早稲田大学理工学術院電気・情報生命工学科 教授]

制御システム分野のファンディングの現況

[三平満司 東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻 教授]

グリーンイノベーションへ向けた制御システム工学の課題

・環境の視点から

[船橋誠壽 (株)日立製作所システム開発研究所 技術顧問]

・エネルギー技術分野の視点から

[飯野穣 (株)東芝電力・社会システム技術開発センター 主幹]

第5回 「日本の産業競争力とシステム科学技術」

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-09)

日 時 : 2010年5月28日(金) 10:00~12:30

場 所 : JST研究開発戦略センター 2階大会議室

講 演 : 日本の技術開発力を高める - アンブレラ産業・エレメント産業による成長戦略 -

[安藤健 JSTイノベーション推進本部 上席フェロー]

JST/CRDSシステム科学ユニットからの調査報告

[前田知子・武内里香 JST/CRDS フェロー]

自動車制御システム開発の複雑さについて

[大畠明 トヨタ自動車株式会社 理事]

第6回 「システム科学技術と日本の課題」(公開WS)

(記録集 : CRDS-FY2010-XR-10)

日 時 : 2010年6月21日(月) 13:00~17:00

場 所 : JST研究開発戦略センター 2階大会議室

講 演 : システム科学技術と日本の課題 [吉川弘之 JST/CRDSセンター長]

システム科学による情報循環加速を支えるモデリングとその体系化

[椿広計 統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター センター長]

システム創成のマネジメント－ナショナルプロジェクトの進め方－

[宮田秀明 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授]

中間報告書作成に向けて－日本のシステム科学技術の現状－

[木村英紀 JST/CRDS 上席フェロー]

パネルディスカッション：システム科学技術の役割を考える

司会 植田秀史 (JST研究開発戦略センター 副センター長)

パネリスト

安岡善文 (国立環境研究所 理事)

丸山宏 (キヤノン株式会社 DPF開発本部 副本部長)

赤松幹之 (AISTヒューマンライフテクノロジー研究部門 研究部門長)

黒田昌裕 (JST研究開発戦略センター 上席フェロー)

第7回 「提言に向けて」 (記録集 : CRDS-FY2010-XR-11)

日 時 : 2010年8月26日 (木) 10:00~12:30

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

講 演 : 中間報告書について [木村英紀 JST/CRDS 上席フェロー]

1960年代の日本のシステム技術 -新幹線と汎用コンピュータ

[佐藤靖 JST/CRDS フェロー]

委員へのアンケート結果報告

総合討論 : 今後の進め方について

第8回 「システム科学技術と人材育成」 (記録集 : CRDS-FY2010-XR-12)

日 時 : 2010年9月22日 (木) 10:00~12:30

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

講 演 : システム思考・能力を涵養する実践的人材育成

[市原健介 日本貿易振興機構 産業技術部長]

慶應システムデザイン・マネジメント研究科の挑戦 :

大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材の育成

[神武直彦 慶應義塾大学 准教授]

総合討論 1 : システム科学技術を担う人材育成について

総合討論 2 : 第7回の討論を踏まえて

第9回 「システム構築による社会的課題解決プロジェクト」 (記録集なし)

日 時 : 2010年10月15日 (木) 10:00~12:30

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

議 題 : 国の施策の現状と問題点 [前田知子 JST/CRDS フェロー]

システム構築による社会的課題解決プロジェクトの提案

・システム科学ユニットから [本間弘一 JST/CRDS フェロー]

・産から [桑原洋 (株)日立製作所 特別顧問]

・学から

[内田健康 早稲田大学理工学術院 教授]

[三平満司 東京工業大学大学院理工学研究科 教授]

[出口光一郎 東北大学大学院情報科学研究科 教授]

総合討論

第10回 「システム科学技術の推進方策に関する戦略提言（案）について」 (記録集なし)

日 時 : 2010年11月25日 (木) 15:00~17:30

場 所 : JST 研究開発戦略センター 2階大会議室

議 題 : CRDSにおける提言の位置づけ [武内里香 JST/CRDS フェロー]

提言骨子「システム構築による重要課題の解決にむけて」

[木村英紀 JST/CRDS 上席フェロー]

総合討論

講演および議論を通じ、前半では日本のシステム科学技術・システム思考が世界に比べ弱いこと、それが引き起こす問題について検討した。その内容は、第6回委員会の公開ワークショップでさらに広く議論され、中間報告「システム科学技術の役割と日本の課題」(CRDS-FY2010-XR-07)としてまとめられた。後半は、本戦略提言に向け人材育成とシステム構築による社会課題解決プロジェクトについて議論を行った。委員会メンバー(9月時点)を以下に示す。

《産業界》

岩橋 良雄	日鉄日立システムエンジニアリング株式会社 代表取締役社長
桑原 洋	株式会社日立製作所 名誉顧問 / 日立マクセル株式会社 名誉相談役
前山 淳次	株式会社富士通エフサス 顧問
丸山 宏	元キヤノン株式会社デジタルプラットフォーム開発本部 副本部長

《学界》

赤松 幹之	産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門 研究部門長
内田 健康	早稲田大学理工学院先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授
倉橋 節也	筑波大学大学院ビジネス科学研究科 経営システム科学専攻 准教授
三平 満司	東京工業大学大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授
杉原 正顯	東京大学大学院情報理工学研究科 数理情報学専攻 教授
津田 博史	同志社大学理工学部 数理システム学科 教授
椿 広計	情報・システム研究機構 統計数理研究所 副所長
出口 光一郎	東北大学大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻 教授
中村 佳正	京都大学大学院情報学研究科 数理工学専攻 教授・研究科長
古田 一雄	東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授
安岡 善文	国立環境研究所 理事
吉岡 真治	北海道大学情報科学研究科 コンピュータサイエンス専攻 准教授

《官》

市原 健介	日本貿易振興機構 産業技術部長
板倉 康洋	東京農工大学 学長特任補佐

《JST 関係者》

吉川 弘之	JST/CRDS センター長
有本 建男	JST/RISTEX センター長
黒田 昌裕	JST/CRDS 上席フェロー
丹羽 邦彦	JST/CRDS 電子情報通信ユニット 上席フェロー
笠木 伸英	JST/CRDS 環境技術ユニット 上席フェロー

《事務局》

木村 英紀	JST/CRDS システム科学ユニット 上席フェロー
本間 弘一	JST/CRDS システム科学ユニット フェロー
前田 知子	JST/CRDS システム科学ユニット フェロー
武内 里香	JST/CRDS システム科学ユニット フェロー

7. 2. 分科会

以下のように、3 分科会を立ち上げ、システム科学技術の重要な要素である制御、数理科学、モデリングについて、下記委員により検討を重ねた。

制御システム分科会

	テーマ・講演タイトル	開催日
1	・制御の未来：今までに足りなかつたもの／制御の未来：新たな展開へ ／制御の未来：社会科学との融合	2010年2月 21・22日
2	・スマートグリッド－実用化に向けた NEDO の取り組み／都市環境・ スマートシティ／エネルギー・マネジメント・スマートハウス／エネルギー 一技術分野からのシステム制御技術への期待	4月 21 日
3	・予測医療／ネットワーク医療：ICT とユビキタス医療健康空間／循環 器疾患における制御医療／生理状態の自動制御システム／移動知：生物 の適応機能生成メカニズムのモデル化と理解	7月 19 日
4	・時空間を超えたエネルギー・システム（電力需要予測と電力ネットワー クの分散予測制御など） ・エネルギー・マネジメント/ネットワーク（配電系統における電圧制御と プライシングなど）	10月 2 日
5	・俯瞰図について／戦略提言について	12月 2 日

- 主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
内田 健康 早稲田大学理工学術院先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授
- 副主査 (システム科学技術推進委員会 委員)
三平 満司 東京工業大学大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授
- 委員
足立 修一 慶應義塾大学理工学部 物理情報工学科 教授
池田 雅夫 大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室 特任教授・統括マネージャ
杉江 俊治 京都大学大学院情報学研究科 システム科学専攻 教授
高橋 桂子 海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター プログラムディレクタ
橋本 秀紀 東京大学大学院工学系研究科 電気工学専攻 准教授
原 辰次 東京大学大学院情報理工学系研究科 システム情報学専攻 教授
早川 義一 名古屋大学工学研究科 機械理工学専攻 教授
藤田 政之 東京工業大学大学院理工学研究科 機械制御システム専攻 教授
船橋 誠壽 株式会社日立製作所システム開発研究所 技術顧問
三宅 美博 東京工業大学大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 准教授
山本 義春 東京大学大学院教育学研究科 身体教育学コース 教授

社会と数理科学分科会

	テーマ・講演タイトル	開催日
1	・分科会設置にあたっての趣旨説明／「忘れられた科学－数学」以降の数学振興策	2010年 3月22日
2	・現代社会における数理科学の重要性と社会に与えたインパクト／文部科学省委託事業について／数理科学拠点における科学技術共通基盤の構築について	7月31日
3	・数理科学を巡る政策動向を振り返って／システム科学技術の領域俯瞰図について／戦略提言について	12月27日

■主査 (システム科学技術推進委員会 委員)

杉原 正顯 東京大学大学院情報理工学研究科 数理情報学専攻 教授

■副主査 (システム科学技術推進委員会 委員)

中村 佳正 京都大学大学院 情報学研究科 教授・研究科長

■委員

甘利 俊一 理化学研究所脳科学総合研究センター脳数理研究チームリーダー

伊藤 聰 株式会社東芝 研究開発センター 先端機能材料ラボラトリ－研究主幹

大石 進一 早稲田大学理工学術院 応用数理学科教授 教授

大庭 昭彦 野村證券金融工学研究センター 主任研究員

岡本 和夫 独立行政法人大学評価・学位授与機構 理事

岡本 龍明 NTT 情報流通プラットフォーム研究所 岡本特別研究室 室長

桂 利行 法政大学理工学部 経営システム工学科 教授

田中 利幸 京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻 教授

若山 正人 九州大学大学院数理学研究院 教授

モデリング分科会

	テーマ・講演タイトル	開催日
1	・分科会の狙いと目標	2010年 7月19日
2	・各専門分野のモデリングと分野横断的モデリング／提言のまとめ方にについて	9月10日
3	・モデリング情報基盤について／提言骨子まとめ方	10月11日
4	・システム科学技術におけるモデリングの位置づけについて／俯瞰図について	12月28日

■主査 (システム科学技術推進委員会 委員)

椿 広計 統計数理研究所副所長、CRDS システム科学ユニット特任フェロー

■委員

合原 一幸 東京大学生産技術研究所 教授

江守 正多 国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化リスク評価研究室 室長

大澤 幸生	東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻 教授
大畠 明	トヨタ自動車株式会社 理事
小野田 崇	財団法人電力中央研究所 システム技術研究所 上席研究員
国友 直人	東京大学大学院 経済学研究科 教授
倉橋 節也	筑波大学大学院 ビジネス科学研究科 准教授
桜庭 千尋	日本銀行 調査統計局 審議役
水流 聰子	東京大学工学系研究科 化学システム工学科 教授
豊田 秀樹	早稲田大学文学部 文学研究科 教授
樋口 知之	統計数理研究所 モデリング研究系・時空間モデリング部門 教授
増井 利彦	国立環境研究所 社会環境システム研究領域 総合評価研究室 室長
丸山 宏	キヤノン株式会社 デジタルプラットフォーム開発本部 副本部長
山田 雄二	筑波大学大学院ビジネス科学研究科 経営システム科学専攻 准教授
吉瀬 章子	筑波大学システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻教授

7. 3. システム科学技術俯瞰ワークショップ

2011年1月10日（月）に平成22年度システム科学技術俯瞰ワークショップを開催し、推進委員会および各分科会の委員39名の参加のもとに、システム科学技術についての俯瞰図を検討した。2010年度版の俯瞰図は、付録にて示すとおりである。検討内容の詳細については、俯瞰図作成報告書（CRDS-FY2010-XR-19）にまとめている。

付録

システム科学技術の領域俯瞰図の2010年度版を下図に示す⁵。

図では、現実の社会が持つ課題や社会的期待をシステム構築の視点から捉え、システム構築に向けて認識（analysis）と設計（synthesis）のプロセスが繰り返されることを通じて課題解決に結びしていく、という枠組によってシステム科学およびシステム技術を捉え、具体的な研究領域をマッピングした。ここで、システム科学とシステム技術の区分は絶対的なものではない。また、システム科学およびシステム技術とシステム構築をつなぐ役割を果たすものを「システム構築方法論」と名付け、ここにシステム科学技術としてまだ確立されていない様々な行為や方法を示した。さらに、システム科学技術が、様々な要素技術や諸分野の統合化において重要な役割を果たすという点もあわせて表現した。数理科学については、システム科学技術のみならず、システム科学技術を通じて統合化される関連領域を含め、これらの幅広い基盤となる研究領域として表現した。

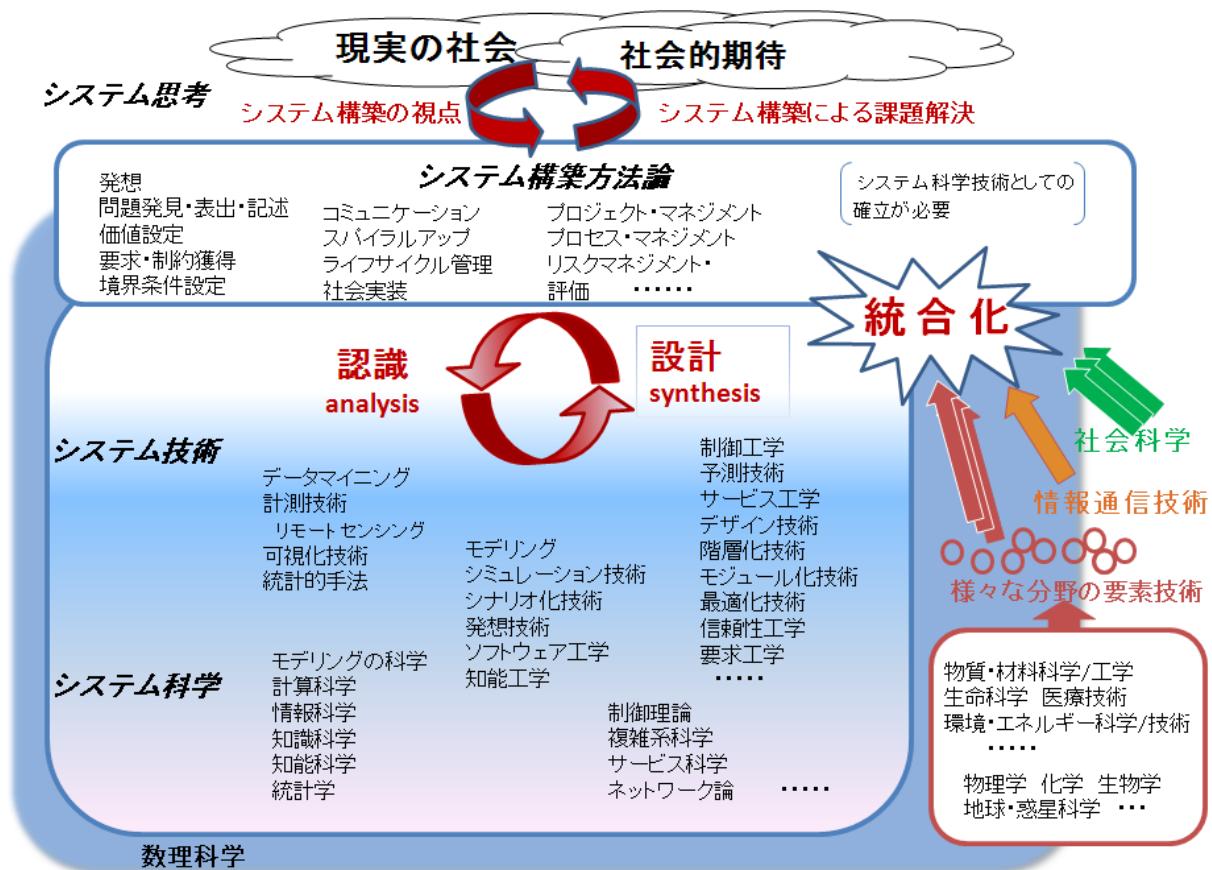


図 システム科学技術の領域俯瞰図（2010年度版）

5 詳細は、次を参照のこと。

科学技術振興機構研究開発戦略センター「俯瞰図作成報告書 2010年度版 システム科学技術領域俯瞰図の作成」（2011年3月）
CRDS-FY2010-XR-19

用語説明

([] 内は頁番号)

システム科学 [1]

課題解決に必要な様々なシステム技術の基礎を形成する普遍的な科学。

システム技術 [1]

課題解決のためのシステム構築に必要な、課題の認識・分析・解明、システムの設計、要素技術の統合化などを実現する技術。

システム構築戦略研究 [2]

関連する個別研究テーマをシステムとして統合する方策を明示し、そのために必要な意思決定を合理的に行うための全体研究を担う。

バウンダリー型システム [5]

自動車や家電、プラントなどのように、機械的システムとして製造、建設され、その内部と外部の境界が明確なシステム。

オープン型システム [5]

電力、通信などの社会インフラシステムのように、社会の中でネットワークを形成し、社会の構造や個人の性向などがシステムの構成や挙動に直接影響を与え、その内外の境界が明確ではないシステム。

システム構築方法論 [36]

システム科学及びシステム技術とシステム構築をつなぐ役割を果たす方法論。

システム思考 [36 図中]

現実社会の課題を、システム構築の視点から把握し、システム構築による課題解決に結びつけていくことができる能力。

■戦略プロポーザル作成メンバー■

木村 英紀	上席フェロー	(システム科学ユニット)
本間 弘一	フェロー	(システム科学ユニット)
前田 知子	フェロー	(システム科学ユニット)
武内 里香	フェロー	(システム科学ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2010-SP-04

戦略提言

システム構築による重要課題の解決にむけて ～システム科学技術の推進方策に関する戦略提言～

STRATEGIC PROPOSAL

Towards solving important social issues by system-building
through systems science and technology

平成 23 年 3 月 March 2011

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター システム科学ユニット
Systems Science Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7487

ファックス 03-5214-7558

<http://crds.jst.go.jp/>

©2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA CCTAACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

