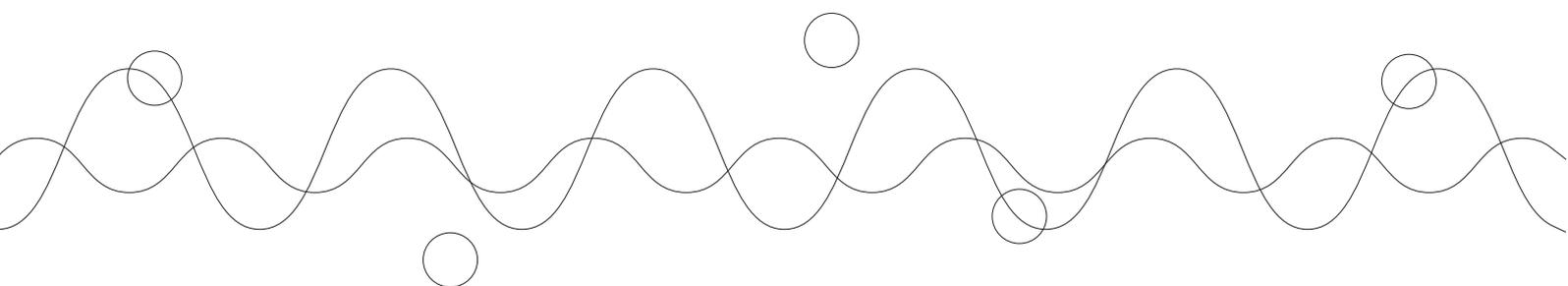


調査報告書

科学技術イノベーション政策の科学における 政策オプションの作成

～ ICT分野の政策オプション作成プロセス ～



エグゼクティブサマリー

21世紀はIoTを含む情報通信技術(ICT)が社会経済の構造を一変させるような技術革新の流れの中にあるといえる。この調査研究の目的は、複数の科学技術イノベーション政策の社会経済的な影響を分析、評価し、政策の効果を試すことができるような手法を開発することにある。

ここで提案する手法は、まずエビデンスに基づく技術シナリオを作り、それと未来ビジョンとのギャップ分析によって政策課題を導く。そして生産性の向上係数(P-index)によって導出された3つの政策パターンを示し、それぞれの政策パターンごとに経済的影響を比較する。

経済的影響のシミュレーションは「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」に基づく。このモデルで用いるデータは日本国内の産業連関表を拡張して短期・長期ブロック、労働市場、賃金、海外および最終需要などのブロックなどを加味して、有形・無形資産を反映したものである。

今回のシミュレーション結果では、IoTの進展によって総生産量とGDPが増加する一方、技術的な失業と労働需要の移動が見られた。また需要側でのプロセス変化に対する全生産性(TFP)の向上だけでなく、プラットフォーム・ビジネスを拡大するような情報提供サービス部門の生産性向上や、新しい市場の創造や国際的な生産ネットワークの構造の変化促進までを示唆している。今後、人と機械の新しい関係を構築するためには、情報技術を横断的に利用できる、そのようなビジネス・プラットフォームが不可欠であろう。

この調査報告で示した分析的な枠組みは、IoTに限らず、多くの領域においてエビデンスに基づく量的な政策評価アプローチを提供しようとするものである。

Executive Summary

The 21st century marks the prosperity of internet of things (IoT), Information and Communication Technology (ICT) systems with the stream of technology change that drastically reshaped the social economy structure. The study aims to develop the method of alternative policy-option for analyzing social economic impact and assessment on the science for science, innovation and technology policies and examine the effectiveness the implementation of IoT and ICT for its information allocation and processioning to accelerate the productivity. The data used in the model were sourced from Japan's input-output table with expansion of the tangible and non-tangible capital investment by considering long/short run block, labor market modeling, value-added and wage determinant, government balance sheet, foreign and the final demand block.

The study interpreted interconnection of exogenous technology scenarios in comparison with the policy options with the baseline of business as usual (BAU) to derive the impact in the general interdependency of economy constituted the multi-sectoral general equilibrium economic model. The process of setting policy-issues and making policy-options were undergone through gap-analysis between future-vision and social/technological approach that consists of evidence-based scenarios and patterns for simulations. In the impact measurement, three policy options were made with different level of input of subsidy and implementation of IoT and ICT applications. The study demonstrated policy options by introducing different level of the processing efficiency index (P-index) in the economic activities. The simulation results showed that infiltration process of IoT would increase a total volume of production and GDP, while the gap of knowledge caused by technological unemployment and transition of labor demand was increased.

The method of making alternative policy-option is expected to shed lights on implication of total factor productivity (TFP) for its process change on the demand side while the productivity improvement in information provision service sector that enlarges the platform business, assisting manufacturing sectors to create new market and to variate the international production networking structure. Such business platform is indispensable for utilizing the cross-sectoral information technology to construct a new relationship of human kind and machine. The analytical framework in the study provides an evidence-based quantitative approach on several domains.

目 次

エグゼクティブサマリー

I. 序論	1
I.1. 科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」について	1
<コラム 1> 「エビデンスに基づく政策」への期待	3
I.2. 政策オプション	4
I.2.1 政策オプションとは	4
I.2.2 政策オプションの作成	5
I.3. 本報告の概要	7
I.3.1 調査研究の目的	7
I.3.2 調査研究の概要と工夫点	9
I.3.3 調査の体制	12
<コラム 2> 科学技術を見つめる経済学	15
II. 技術・研究開発動向の調査	18
II.1. IoT/CPS サービスに係わる技術・研究開発動向および影響の整理	18
II.1.1 我が国における動向（総務省）	18
II.1.2 我が国における動向（経済産業省）	26
II.1.3 我が国における動向（文部科学省）	29
<コラム 3> 超スマート社会 Society 5.0 をめざして（第5次科学技術基本計画）	31
II.1.4 諸外国における動向（米国）	32
II.1.5 諸外国における動向（欧州全体）	40
II.1.6 諸外国における動向（ドイツ）	41
II.1.7 IoT/CPS サービスの実現がもたらす社会的・経済的影響	44
II.1.8 研究開発環境の変化	52
II.2. IoT/CPS サービスを実現する上で必要となる技術の整理	56
II.2.1 ICTに係わる技術分類の考え方	56
II.2.2 製造業におけるIoT/CPSサービスの検討	58
II.2.3 IoT/CPS サービスの実現に求められる技術	63
II.2.4 IoT/CPS の標準化動向	68
II.3. IoT/CPS 研究開発への公的投資状況の調査	70
II.3.1 国内公的機関によるIoT/CPS関連の研究開発投資	70
II.3.2 米国 NSF におけるIoT/CPS関係の研究開発投資	73
II.3.3 EU Horizon 2020 におけるIoT/CPS関係の研究開発投資	75

Ⅲ. 政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）の作成	76
Ⅲ. 1. ロードマップの作成	76
Ⅲ. 1. 1 IoT/CPS サービスの高度化のシナリオ	76
Ⅲ. 1. 2 IoT/CPS サービスのロードマップ	80
Ⅲ. 2. 政策パターンの検討	82
Ⅲ. 2. 1 政策パターンのフレームワーク	82
Ⅲ. 2. 2 政策パターンの作成	83
Ⅳ. 政策効果の推計	90
Ⅳ. 1. 推計方法	90
Ⅳ. 1. 1 推計方法の概要	90
Ⅳ. 1. 2 モデルで表現しようとする情報通信技術の特性	90
<コラム 4> 経済シミュレーションのモデルにはどんな種類があるのか？	98
Ⅳ. 2. 多部門経済一般均衡的相互依存モデル	100
Ⅳ. 3. 推計結果の評価	102
Ⅴ. 作業部会	106
Ⅴ. 1. 作業部会の設定	106
Ⅴ. 2. 作業部会の運営	107
Ⅴ. 2. 1 作業部会の運営業務	107
Ⅴ. 2. 2 作業部会の開催	108
Ⅵ. まとめ	109
Ⅵ. 1. 政策オプション作成プロセスについて	109
Ⅵ. 2. 推計モデルと推計結果について	109
Ⅵ. 3. 今後の課題	110
謝辞	113

用語・略称の一覧

本報告書では、以下のとおり用語、および略称の統一を図る。

本報告書での用語・略称	意味・定義
エビデンス	政策の策定、決定に寄与する客観的な根拠を意味し、理論的な仮説に基づく観察値（Observation）を指す。そうしたエビデンスに基づく課題の発見とその解決を目指すことを目標として、「エビデンスに基づく政策形成（evidence-based policy making）」と表現する。
将来ビジョン	将来において望ましいと考えられる社会像。
政策課題	技術トレンドから予想される将来像から将来ビジョンに近づくために必要と考えられる政策的課題。すなわち現状以上の政策を講じない自然の流れに任せておいては将来ビジョンが実現されないと予想される場合に、政策として実施すべきこと。政策課題の発見には、現時点を起点として将来の姿を見通すことによって、将来ビジョンで想定した姿とのギャップを課題と考える Forecast と呼ばれる方法と、逆に将来ビジョンのあるべき姿を起点として、そのギャップを課題とする Backcast と呼ばれる方法がある。
政策手段	政策課題の達成目標に向けて実施しようとする具体的な方策。一つの政策課題に対しては複数の政策手段があり得る。本書では科学技術イノベーションに係わるものとする。
政策パターン	政策により達成を目指す目標（政策の「達成目標」）とこれを実現するための「政策手段」を対にしたもの。
政策オプション	政策課題の解決を目指した「政策手段」を選択するに際して、選択可能な複数の「政策パターン」について、それを実行した場合の「各政策パターンによる社会的・経済的影響の評価指標」を対にして、政策手段の功罪を評価する選択肢を示したもの。その政策オプションを作成するための社会・経済を描写するモデルを「政策シミュレータ」と呼ぶ。
BAU	Business As Usual の略。現状以上の政策を講じない自然のまま社会・経済が推移した場合の将来像。
IoT	Internet of Things の略。
CPS	Cyber Physical Systems の略。現実の物理的な世界(Physical Space)に IoT 技術によって、仮想的・人工的に構築したシステムを導入すること。基本的には IoT と同義である。
IoT/CPS IoT/CPS サービス	IoT あるいは CPS の技術やシステムを指す。IoT/CPS サービスはそれらの応用として提供されるもの全般を指す。

I. 序論

I.1. 科学技術イノベーション政策における「政策のための科学」について

<経緯>

現代社会においては、科学技術の進歩がイノベーションをもたらし、社会の発展に大きく寄与しているとともに、さまざまな社会的課題ももたらしている。これらの課題に対応するためにも、さらなる科学技術イノベーションの実現が期待されている。そのような期待に答えるために科学技術イノベーション政策を展開するにあたっては、社会・経済の動向を多面的かつ体系的に把握、分析し、科学技術が対応すべき課題を発見すること、そして科学技術の現状と潜在的可能性を踏まえた上で、これらを体系的なエビデンス（客観的根拠）としてとらえて解決の処方提示し、科学的合理性のある政策を形成することが求められている。

一方で、このような科学技術の進歩やそれに伴う将来の社会的課題を考察するということが、ともすれば「予測」や「予言」などと捉えられる傾向がある。しかしここで目指しているのは、より広範に衆智を集め、合理的な政策作成を行うための「枠組み」の構築である。たとえば米国の国家情報会議（NIC）の報告書¹では、すでに未来の展望について次のような認識が述べられている。

“As with the NIC’s previous Global Trends reports, we do not seek to predict the future—which would be an impossible feat—but instead provide a framework for thinking about possible futures and their implications.”

先立つ報告と同様、我々は未来を予言しない—それは不可能な仕事であろう—代わりに、可能な未来とそれらが意味するものについて考えるためのフレームワークを提供する。

我が国の科学技術イノベーション政策においても、このような合理的な政策作成の「枠組み」を作るべく、JST 研究開発戦略センター（以下 CRDS）では、エビデンスに基づく政策形成のための「科学技術イノベーション政策の科学」構築の戦略提言 [1]をはじめ、さまざまな検討を行ってきた。

それらの CRDS の検討や提言を踏まえて、文部科学省は関係機関と連携して制度設計を行い、2011 年度より「科学技術イノベーション政策における『政策のための科学』（SciREX²）推進事業を開始し、現在に至っている。

¹ "Global Trends 2030: Alternative Worlds", Executive Summary, The National Intelligence Council, 2012.12

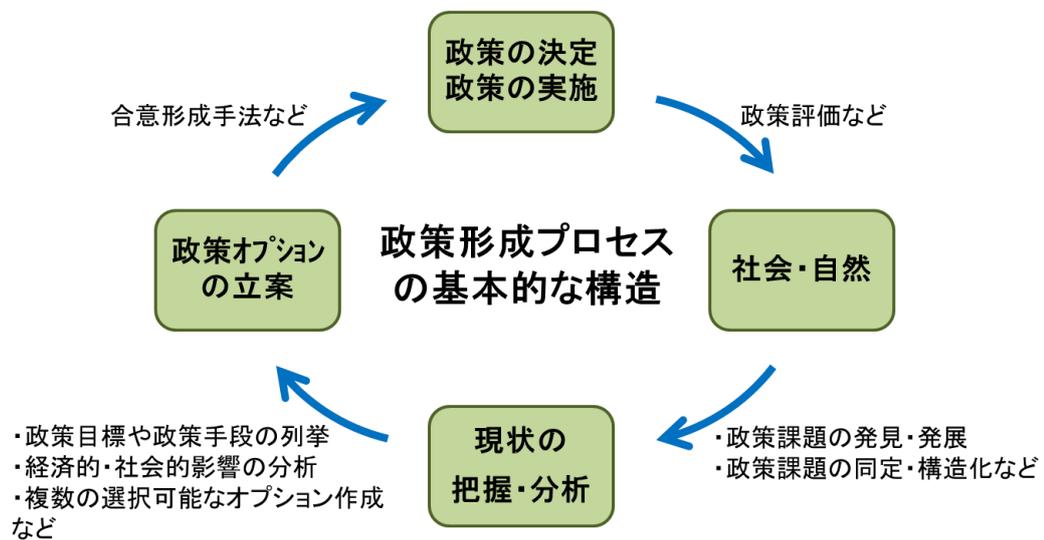
² Science for RE- designing Science, Technology and Innovation Policy. SciREX 事業の全体については <http://www.jst.go.jp/crds/scirex/> を参照。2015 年に政策研究大学院大学(GRIPS)内に科学技術イノベーション政策センターが設置された (<http://scirex.grips.ac.jp/center/ja/>)。

<事業の目標>

文部科学省の「科学技術イノベーション政策における『政策のための科学』(SciREX)事業では次のような全体目標を掲げている。

- ① 様々な社会的課題のうち、科学技術イノベーション政策によって解決すべき課題を科学的な視野から発見・発掘すること
- ② 政策課題を同定し、経済的・社会的影響分析を盛り込んで選択可能な複数の政策オプションを立案すること
- ③ 立案された政策オプションを合理的に選択し政策を決定・実施することにより、政策課題の解決を目指すこと

これらは政策形成において一つのPDCA³の循環を確立させることを目指している(図 I.1-1 参照)。



出所) 文部科学省発表資料⁴から抜粋、編集

図 I.1-1 政策形成プロセスの構造

³ Plan-Do-Check-Action の継続的改善サイクル。

⁴ 文部科学省 平成 28 年度 科学技術関係予算(案)の概要 7, http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2016/01/08/1365890_7.pdf

<コラム 1> 「エビデンスに基づく政策」への期待

エビデンスに基づく政策、あるいは SciREX 事業に関しては、以下のような期待感をもった公式的な言及がなされている。

(1) 第4期科学技術基本計画（平成23～27年度、平成23年8月19日閣議決定）⁵

3. 実効性のある科学技術イノベーション政策の推進

(1) 政策の企画立案及び推進機能の強化

<推進方策>

.....

- ・ 国は、「**科学技術イノベーション政策のための科学**」を推進し、客観的根拠（エビデンス）に基づく政策の企画立案、その評価及び検証結果の政策への反映を進めるとともに、政策の前提条件を評価し、それを政策の企画立案等に反映するプロセスを確立する。その際、自然科学の研究者はもとより、広く人文社会科学の研究者の参画を得て、これらの取組を通じ、政策形成に携わる人材の養成を進める。

(2) 第5期科学技術基本計画の立案にあたっての山口内閣府特命担当大臣記者会見要旨（平成27年9月11日）⁶（政務三役と総合科学技術会議の有識者会合については脚注⁷）

(問) 昨日の政務三役と総合科学技術会議の有識者会合でも出たんですけども、**政策にどうちゃんとエビデンスを持ってやるという考え方**、ただ、実際にああいうのもなかなかエビデンスの作り方が難しい。ただ、政策にエビデンスを求めること自体は、ヨーロッパでもアメリカでも行われているので、それをどういうふうに科学技術政策とか他のIT政策、そういうところにつなげていくのか、そこら辺の大臣のお考えをお聞かせください。

(答) お話のとおりなのですが、昨日もプレゼンがあって、今からスタートのような部分も相当あるんですね。これからもう少し進んで検討というか、それなりの考え方というのが明確になってくるでしょうけど、大事な話なので、そこをうまく理屈づけをきちんとすることによって、予算の要求に対してもまた一つの根拠ができますので、**これはしっかり行ってもらいたい**など、お話を聞きながらそう思っております。

⁵ http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/fieldfile/2011/08/19/1293746_02.pdf

⁶ http://www.cao.go.jp/minister/1412_s_yamaguchi/kaiken/2015/0911kaiken.html

⁷ 内閣府・科学技術政策担当大臣等政務三役と総合科学技術・イノベーション会議有識者議員との会合（平成27年9月10日開催）、<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20150910.html>

1.2. 政策オプション

1.2.1 政策オプションとは

本調査研究は、SciREX 事業の推進にあたって、その構成要素のうち、未だ作成手法が確立されていない「政策オプション」の作成およびその作成手法の構築を目的としている。この「政策オプション」とは、科学技術イノベーション政策を決定する際の選択肢であり、具体的には「科学技術イノベーション政策に関する政策パターン」を「各パターンによる社会的・経済的影響の評価指標」と合わせて示したものを意味する（図 I.2-1 参照）。また、ここにおける「政策パターン」とは、政策により達成を目指す目標（政策の達成目標）とこれを実現するための政策手段（達成目標実現のための政策手段）を組み合わせたものを意味する。

実際の政策決定の際には、複数の政策オプションを作成し、これらの比較検討を通じてステークホルダーの間で合意形成を図り、適切なオプションを選択することになる。

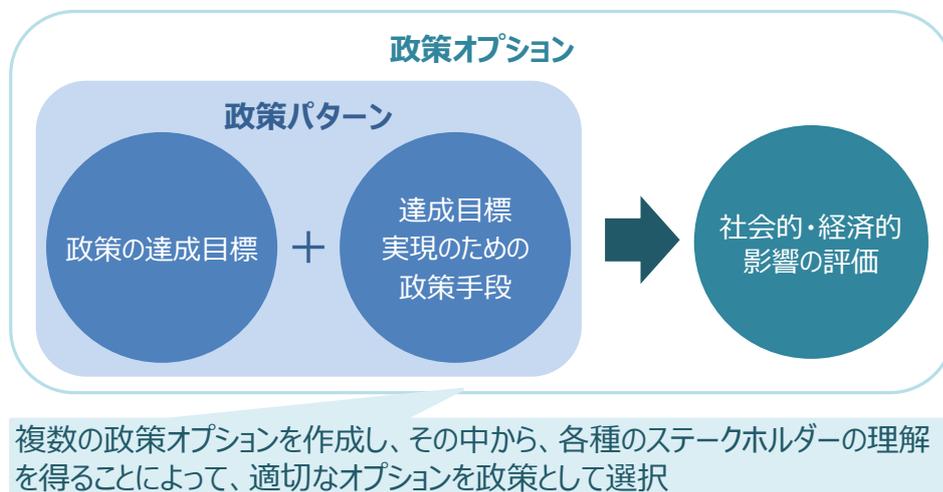


図 I.2-1 政策オプション・政策パターンの概念図

I.2.2 政策オプションの作成

科学技術イノベーション政策の科学における政策オプションは、科学技術イノベーション政策により解決すべき課題・達成すべき目標を定めたうえで、これらを実現する政策手段の選定、各政策手段の実施による社会的・経済的影響の評価を行うことにより作成する。そのためには、社会・経済の現状を観察事実を踏まえて描写し、政策の実行がもたらす社会・経済的影響を評価できるモデル（ここでは政策シミュレータと呼ぶ）を作成することが必要となる。

この手順の概要は、次のとおりである。

(1) 政策課題の設定

政策オプションの前提となる「政策課題」を設定する。具体的には次のような順序で考える（図 I.2-2 参照）。

- ① 将来において望ましいと考える社会像（以下、将来ビジョン）を想定する。その社会像は、国民の社会的期待に基づくものであることが望ましい。
- ② 客観的根拠に基づいたトレンドから導出される将来像（科学技術シナリオ⁸や社会シナリオ⁹などから導かれる）を想定する。
- ③ 上記の二つを比較する。その方法には、Forecast、Backcast¹⁰などのいくつかの方法が適用される。またその検討の過程で、多くのステークホルダーの参加が望ましい。
- ④ 将来ビジョンに近づくために必要な「政策課題」を明らかにする。この「政策課題」としては、主に科学技術イノベーションで解決すべきものを選ぶ。
- ⑤ 「政策課題」が解決されたかどうかを判断するための「達成目標」を設定する。

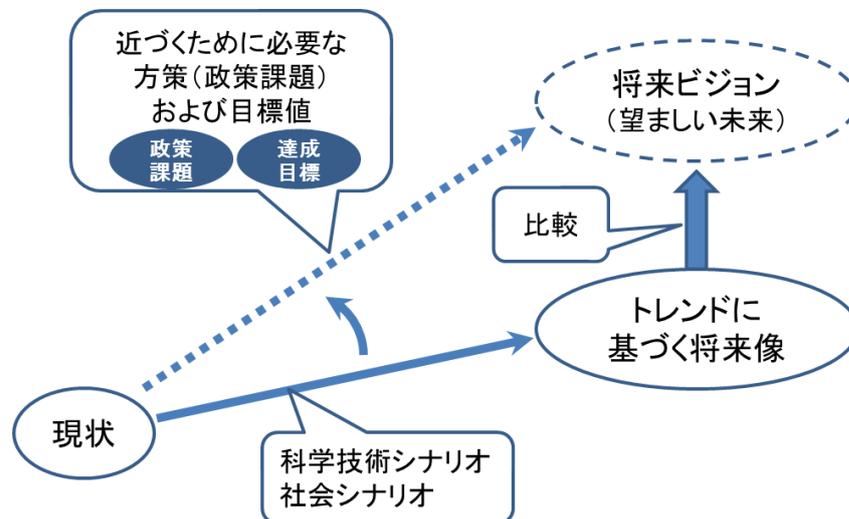


図 I.2-2 政策課題の設定

⁸ 将来における科学技術の開発見通しとそれに至る道筋を記述したもの

⁹ 将来における社会の仕組み（法制度など）の変化の見通しとそれに至る道筋を記述したもの

¹⁰ Forecast は現在からの延長上に未来を見ること、Backcast は未来の理想に向けて現在の取り組みを決めること。

(2) 政策オプションの作成

政策課題の解決策として「政策オプション」を検討する（図 I.2-3 参照）。

- ① 「政策課題」に関連する科学技術イノベーション政策を俯瞰し、そこから「政策課題」の解決（すなわち達成目標の実現）に資する「政策手段」を抽出する。
- ② 当該「政策手段」が研究開発を伴うものであれば、その研究開発の技術ロードマップ、それに係わる研究投資、および社会受容方策を補完的に検討する。
- ③ 抽出した「政策手段」について、それを実施したことによる社会的・経済的影響を分析するための「政策シミュレータ」を作成する。
- ④ 政策シミュレータを用いて、BAUの社会・経済の状況と、「政策手段」を実施した場合の社会・経済の状況を分析し、双方の結果を比較する。
- ⑤ 以上から、「政策パターン」（政策の達成目標と政策手段）と「政策手段」がもたらす社会的・経済的影響の評価結果を合わせて、選択可能な複数の「政策オプション」を完成させる。

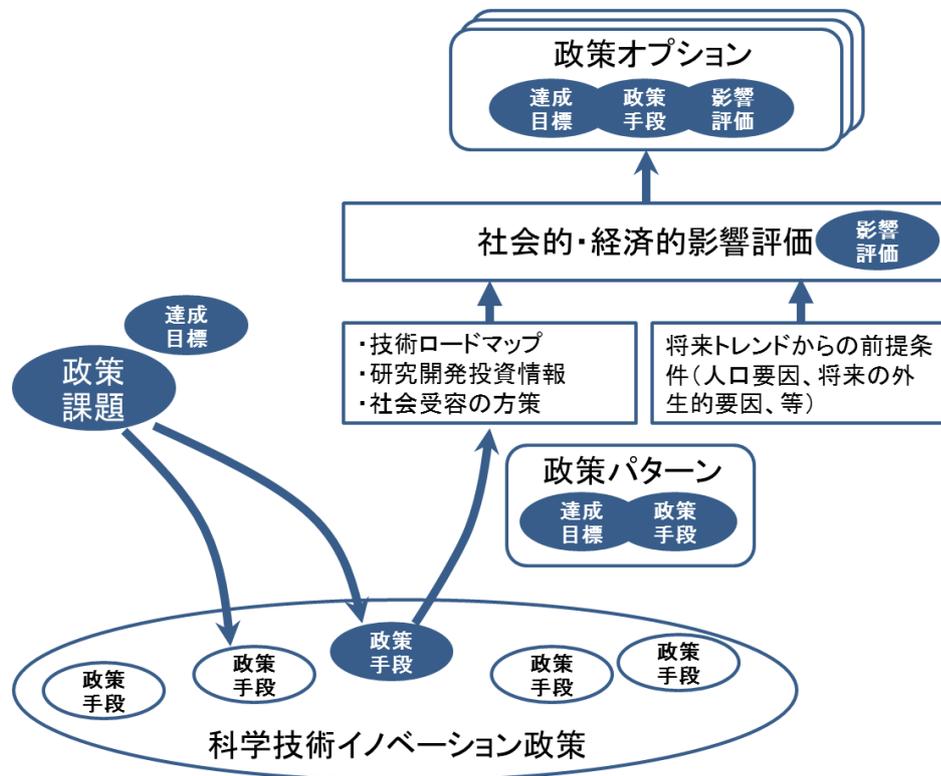
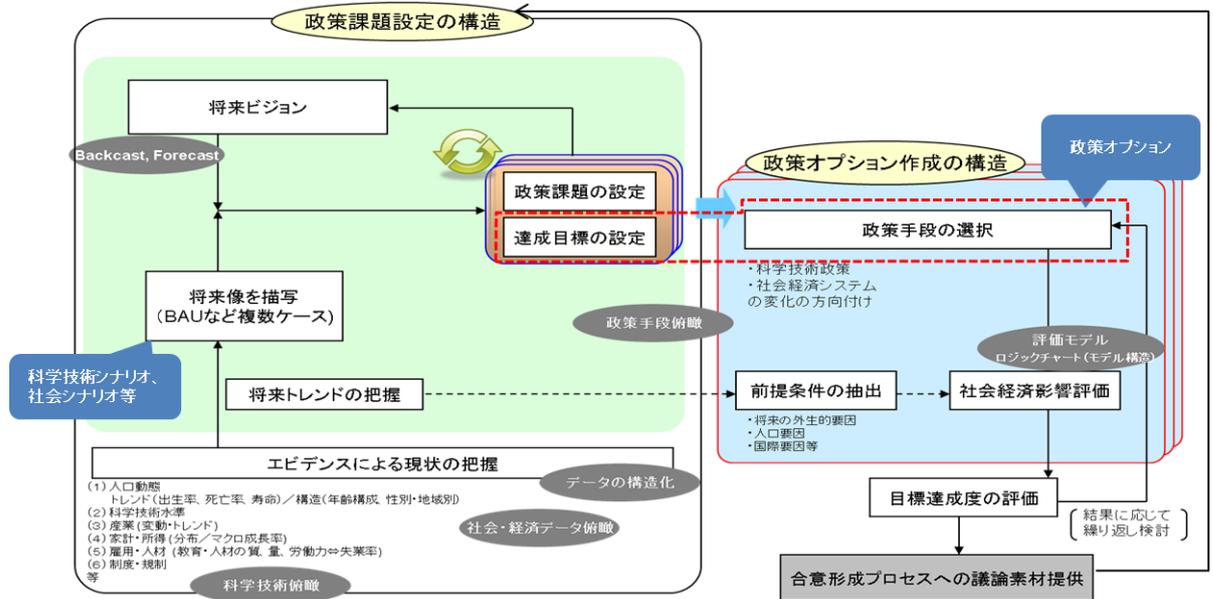


図 I.2-3 政策オプションの作成

「政策課題」設定から「政策オプション」作成にわたる全体像を図 I.2-4 に示す。



出所) CRDS 資料 [3], p.79 に一部加筆

図 I. 2-4 政策オプション作成の全体枠組み

I. 3. 本報告の概要

本報告書は CRDS が 2014 年 11 月～2015 年 3 月に実施した「政策のための科学における ICT 分野政策オプションの調査研究」をもとにしている。その後、CRDS は SciREX センターと共同して、調査研究結果について全面的な再吟味と整理を行った。本報告書はそのうち、政策オプションの一連の作成プロセスを再トレースして、方法論として記述したものである¹¹。

I. 3.1 調査研究の目的

これまで CRDS では、「科学技術イノベーション政策における『政策のための科学』(SciREX) 推進事業に資するためのさまざまな調査、提言を長年に渡って行ってきた [1] [4] [5] [6] [7]。

その一環として、政策オプション（複数の政策案と、その特定の政策が行われたときの社会的・経済的影響評価の組）の作成手法の開発を進めている。ある政策課題に対して、エビデンスに基づいて作成された「政策シミュレータ」を用いて、いくつかの政策手段に対応する複数の政策オプションを合理的かつ効率的に作成することがその目標である。

今回に先んじて、SciREX 事業の中では「糖尿病の予知・予防」をテーマとして、政策オプションの作成を試行し、計算モデルの設計からシミュレーションまでを行い、具体的な成果をあげた [8]。この試行では、すでに政策課題が“糖尿病の予知・予防”に設定

¹¹ 作成プロセスの中の社会・経済的影響の推計部については別の報告書 [9]を参照されたい。

されているところから検討が始まり、糖尿病専門家の知見に従ってあらかじめ政策手段の探索領域も設定されていたという前提があった。

しかしながら、実際の政策オプション作成においては、科学技術が社会に寄与できるような将来ビジョンの候補が広く散らばっており、その中から対象分野を絞り、解決手段を探ることから始めなければならないことが多いと予想される。したがって、将来ビジョンの明確な確立そのものが課題であり、その確立のためには、SciREX 構想全体のPDCAの繰り返しが必要である。そこでは議論すべき対象がはっきりと定まっていない中から、具体的な政策課題の選択、専門家の意見ヒアリング、社会的・経済的影響評価、政策オプションの作成などを合理的に進めるための一連のプロセスが必要となる。したがって今回は、その最終目的実現への第一プロセスの調査であり、ここでは仮想的な将来ビジョンを設定するという状況から出発して、政策課題の抽出、政策パターンの作成、影響評価、政策オプション完成までのプロセスを開発することを目的とした。当然、今回めざすべき政策オプション作成プロセスは、先行する「糖尿病の予知・予防」調査研究で開発した試行プロセスでの知見を活かしたものである。

本調査研究では議論の出発点とするテーマを「ICT¹²分野の技術進展」とした。今やICTはあらゆる社会活動の基盤となっており、ICTが進歩することの社会的・経済的影響はきわめて大きいと言われている。反面、社会の基盤を支える技術であるがゆえに、ICTの中の“特定”の技術が進歩した場合、それがどの分野にどの程度の影響を与えるかは測りにくいという特性がある。これはICTにおいては、CPU（演算装置）の演算速度、メモリや通信の容量、消費電力などの性能向上による直接的効用だけでなく、従来にない新しい機能による間接的効用からさまざまな応用が生まれ、さらにその応用が社会・産業分野を越えて次々に拡大していくため、影響の範囲や程度が必ずしも明確には把握できていないというのが現状である。たとえば、ドローン¹³や3次元プリンター¹⁴がサービス業、製造業の業態の革新にまで影響を及ぼしつつある状況が挙げられる。このような特性は、先行調査の「糖尿病の予知・予防」において選択した政策手段の影響分析の場合以上に、われわれが過去に経験していない社会・経済的影響をもたらすこともあり得ると考えなければならない。

このようなICTの技術進展を調査テーマに取り上げることにより、基盤的性格をもつ技術分野¹⁵の進展をどのような視点から観察するか、社会的・経済的影響をどのような尺度や断面でとらえるか、など政策オプション作成のためにさらに検討しなければならない要件を明確にすることが期待できる。

この調査研究を通じて、さまざまな科学技術分野にわたる政策評価の手法と政策オプションを作成するための、合理的、汎用的手段を提供することによって、科学技術政策立案に寄与することをめざす。

¹² Information and Communication Technology. 情報通信技術。

¹³ Drone. 自律的な小型無人機。安価なミニコプタークラスのものも普及している。

¹⁴ 3次元CADデータを元に、樹脂を積層あるいは切削することによって立体物を生成する装置。個人が購入できるクラスの物も出回っている。

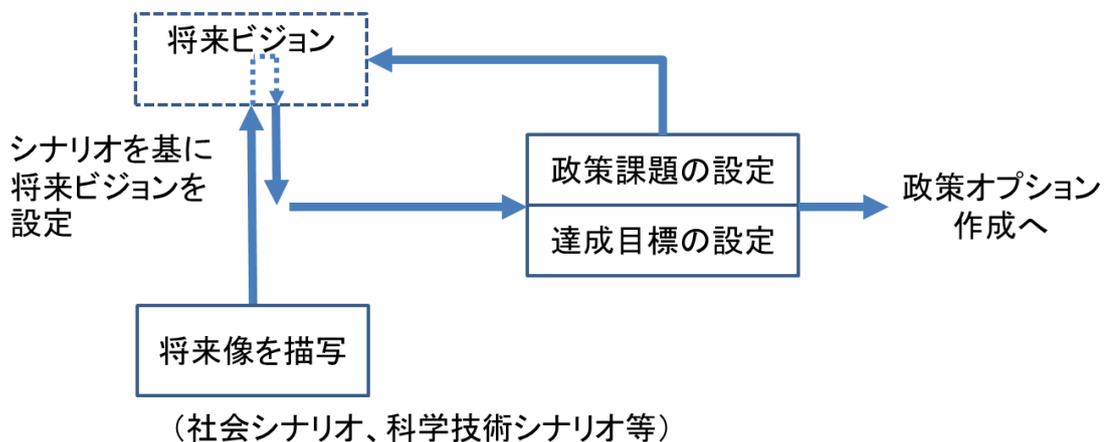
¹⁵ すべての科学技術はあらゆる応用の可能性をもつが、ここでは特に幅広い応用先に利用できることを科学技術の階層体系上で期待されているもの全般を指す。共通技術、コア技術などとも呼ばれる。ICT以外にも、たとえば材料技術、ゲノム科学などを想定している。

I.3.2 調査研究の概要と工夫点

本報告書で述べる政策オプション作成の進め方は、大枠では I.2.2 に述べた枠組みに沿っているが、具体的には「ICT 分野の技術進展」のテーマに合わせて、下記のようにいくつか工夫を加えた。

(1) 将来ビジョンの設定

図 I.2-2 に示したように、一般的にはまず将来ビジョンの想定を行い、その後、その分野における現状調査から得たシナリオにもとづいて、政策課題を定める。しかし ICT 分野が基盤分野であるために、ICT の技術が発展した理想的な社会像が拡がりすぎて、具体的な将来ビジョンを設定しにくい。そこで本調査では、現状調査およびシナリオ作りを先に行い、そのシナリオが BAU に比べて進展した姿を将来ビジョンとして設定することにした（図 I.3-1）。すなわち理想的な姿を先に描くのではなく、技術の発展方向の分析と、それにもとづいたシナリオ作成といったボトムアップ・アプローチを行い、将来ビジョンを Forecast 的に設定することにした。



（図 I.2-4 の一部を簡略化、改変）

図 I.3-1 今回調査における政策課題設定の構造

(2) テーマの再定義

ICT の技術進展という一般的なテーマを、技術トレンドである「IoT/CPS サービスの高度化」というテーマに置きなおし、その中でさらに「製造業における生産性向上」という側面で社会的・経済的影響を見ることにした。その設定理由は次の通りである。

〈なぜ「IoT/CPS サービス」をテーマとしたか〉

最近、Internet of Things (IoT) や Cyber Physical Systems (CPS) というキーワードに象徴されるように、人とモノ、モノとモノの間に陰に陽に深く ICT が係わり、従来にはない新しいさまざまなサービスが提供されつつある¹⁶。このようなサービスを以下 IoT/CPS サービスと総称することにする。IoT/CPS を含む ICT は、20 世紀半ばから急速に進化し、21 世紀に入ってさらに急加速しながら、人類社会のすべての領域で大きな影響をもたらすであろうと考えられている。その意味で ICT は 21 世紀の社会・経済のあらゆる構造を変化させる科学技術の根幹の要素技術といえる。その中でも IoT/CPS は、Real Physical System が Cyber Physical System と融合した社会・経済システムの実現が期待されて、産業構造への影響が最も大きく、その影響を検討するためのシミュレータの開発が不可欠である。政策オプションではおおよそ数年～数十年先の状況を検討するが、ICT の中でも IoT/CPS サービスのような急速に変化するであろうトレンドな領域を取り上げることによって、政策的影響をより鮮明に見ることができる。

〈なぜ「製造業における生産性向上」に着目したか〉

次にその対象領域の変化をどのような断面で観測するかが重要となる。また個々の IoT/CPS サービスが一次的に社会・経済に与える影響だけでなく、二次的、三次的にどのように波及していくのかを測る必要がある。一般に IoT の影響を効率的に生かすためには、情報サービスを体系的に利用できるプラットフォーム（共通の土台）の形成が不可欠であると言われている¹⁷。そのようなプラットフォーム形成から見て、IoT/CPS サービスが有効に機能するであろう領域として、「製造業における生産性向上」に着目することにした。

製造業の生産性向上には、マーケティングから設計、製造、流通に至るさまざまな段階において IoT/CPS サービスが寄与することが期待されるだけでなく、国レベルでの大きな経済的インパクトを与えると予想される。第一には、センサ技術による情報収集と情報処理技術がプロセスイノベーションをもたらし、モノづくり産業全体の生産性を大きく向上させることが挙げられる¹⁸。第二に、これらの生産技術の進歩がさらなる生産物そのものの機能の深化、いわゆるプロダクトイノベーションをもたらすであろう。

生産プロセスにおけるイノベーションは、産業内での雇用構造に、“機械と人間”の代替という形で大きな影響を与える。プロセスにおける生産性の向上は、いわゆる技術失業、非技能的な労働力の失業や雇用シフトを生み出す可能性がある¹⁹。また新しいプロダクトの上市は市場の需要構造に変化をもたらすであろう。一方で、情報の収集、蓄積、解析の各技術の向上によって情報提供サービス部門の生産性が上昇し、いわゆる“プラットフォーム型ビジネス”の拡大を生み、モノづくり産業の構造や国際的な分業の構造まで

¹⁶ たとえば身近ではセンサを使った健康管理サービスや防犯サービスなど。「到来 IoT 時代—個人生活編」, 日経コンピュータ 2014 年 2 月 6 日号, pp.44-49.

¹⁷ たとえば総務省資料, http://www.soumu.go.jp/main_content/000343568.pdf

¹⁸ たとえば「製造業に革命、ビッグデータで故障予知や原料コスト減」, 日経新聞電子版 2014 年 4 月 2 日, http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2004S_Q4A320C1000000/.

¹⁹ たとえば経済産業省・日本の「稼ぐ力」創出研究会第 10 回資料「ビッグデータ・人工知能がもたらす経済社会の変革」, 2015 年 4 月 21 日, http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sansei/kaseguchikara/pdf/010_03_03.pdf

変えていくと予想される²⁰。このような流れの中で、我が国でも技術優位性を将来にわたって発揮させるためには、産業横断的なプラットフォーム構築が不可欠と考えられる。そのようなプラットフォーム構築の政策検討に資することは、今回の政策オプション作成の目的にかなっているであろう。

また IoT/CPS サービスが社会の知識ストックの構造に変化をもたらすことが期待される。知的ストックを無形固定資産の蓄積としてどのように捉えるかを工夫することによって、他の各分野にも応用できる政策シミュレータを完成させることができると考えている。

以上のような点で IoT/CPS サービスが政策オプションの対象題材としてふさわしいと考えた。今回の政策オプションの作成によって、市場経済における情報サービス技術の普及による効果を政策の選択によって可視化することが期待される。

(3) IoT/CPS サービスのロードマップ・シナリオ（政策パターン案）の作成

本来、政策オプションの作成では政策課題と達成目標の対（政策パターン）をどのような角度からいくつ設定してもかまわない。しかし実際には、特定のシナリオに沿って技術が段階的に発展していく様相を見て、各段階を順次実現していくような政策オプションが考えやすい。このような技術の段階的発展をロードマップの形で整理し、それに沿って作成した政策パターン案を特に「ロードマップ・シナリオ」とよぶことにする。

「製造業における生産性向上」に対する科学技術シナリオの検討では、IoT/CPS サービスについて要素技術の相互関係やそれぞれの発展予想を元に、最終的には3つの発展段階をもつロードマップを作成した。このロードマップを元に、BAUを考慮しつつ、3つの政策パターン案を導出した。

なお、このロードマップの作成にあたっては、CRDSの技術俯瞰²¹や文部科学省科学技術・学術政策研究所（NISTEP）の研究開発予測・研究開発動向²²を参照した。また専門家の知見を作業部会（後述）を通じて反映させた。

(4) ICT分野向けの推計モデルの構築及び、政策効果の推計

政策パターンを実施したことによる経済的影響を推計する方法について、先行する調査研究の成果 [8]を参考にしつつ、産業連関表に基づく「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」による計算方法を開発した。この際、IoT/CPS サービスが含まれる ICT 部門を起点とした経済的影響を的確に捉えられるようにするために、産業連関表の既存の IO 表に対して「ICT 部門の研究開発投資構造の詳細化」、「企業内情報処理部門の設定」などの改変を行い、これを用いて推計を行った。

²⁰ たとえば『『デジタル先進企業はビジネスのすべてをプラットフォーム化』、米ガートナーのフェローが指摘』、2015年10月29日、<http://itpro.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/102903552/>。

²¹ 科学技術振興機構・研究開発戦略センター：研究開発の俯瞰報告書 2015、<http://www.jst.go.jp/crds/report/report02.html>

²² 文部科学省 NISTEP：科学技術予測・科学技術動向、<http://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-foresight-and-science-and-technology-trends>

社会の知識ストックの構造に変化が現れることを予想して、知的ストックを無形固定資産の蓄積として捉えるようなモデルを作成した。また人間と機械の代替という、雇用市場の変化によって、雇用への長期的影響を見られるように配慮した。

推計では市場におけるプラットフォームの形成が、垂直的分業から水平的分業という新しい産業構造を成立させることを示す。その分業を促進させる誘引が、科学技術の進歩による機能の分化であることを示すために、新たに **P-Index** という生産性と機能進化を結びつける指数を導入した。

この経済的影響の推計結果と政策パターンを組み合わせ、IoT/CPS サービスにおける3つの政策オプションを作成した。

なおこの推計モデルの構築及び、政策効果の推計についての詳細な説明を別の報告書に譲る [9]。

(5) 作業部会の設定、運営

本調査研究について専門的見地から助言を得るとともに、各成果の妥当性を確認するために、関係する専門家や有識者で構成される作業部会を設置し、10回にわたり開催した。

以上のそれぞれの関係性は、図 I.3-2 に示す通りである。また章の内容との対応は図 I.3-3 に示すとおりである。

I.3.3 調査の体制

本調査研究では、全体の取りまとめと政策オプション作成のプロセス作りを CRDS が担当し、経済的影響のシミュレーション部の基本設計を SciREX センターが担当した。また本調査研究全体について作業部会 (V.参照) を構成する有識者の方々の助言を得た。

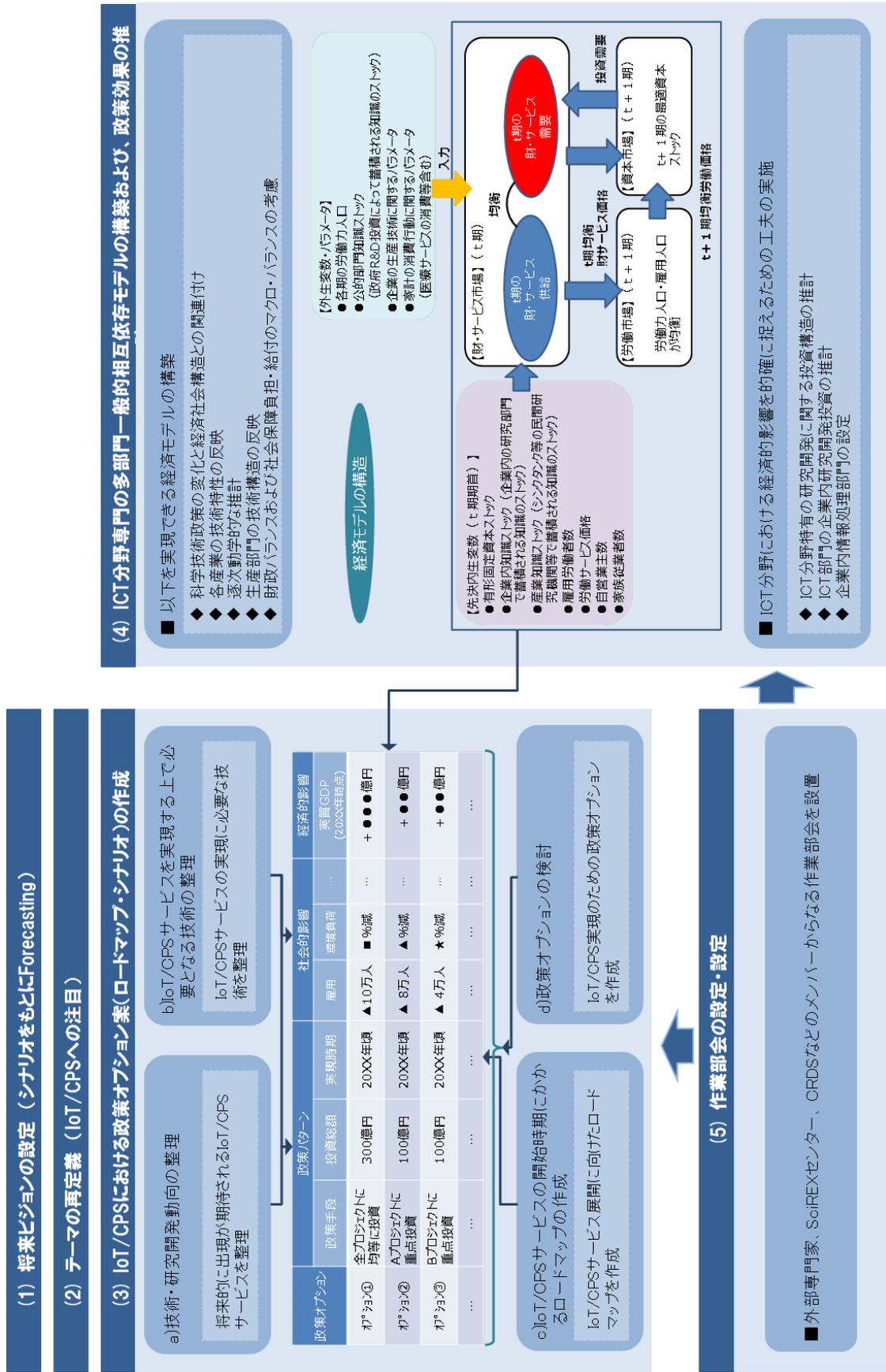


図 I.3-2 調査研究事項の関係と各事項のポイント

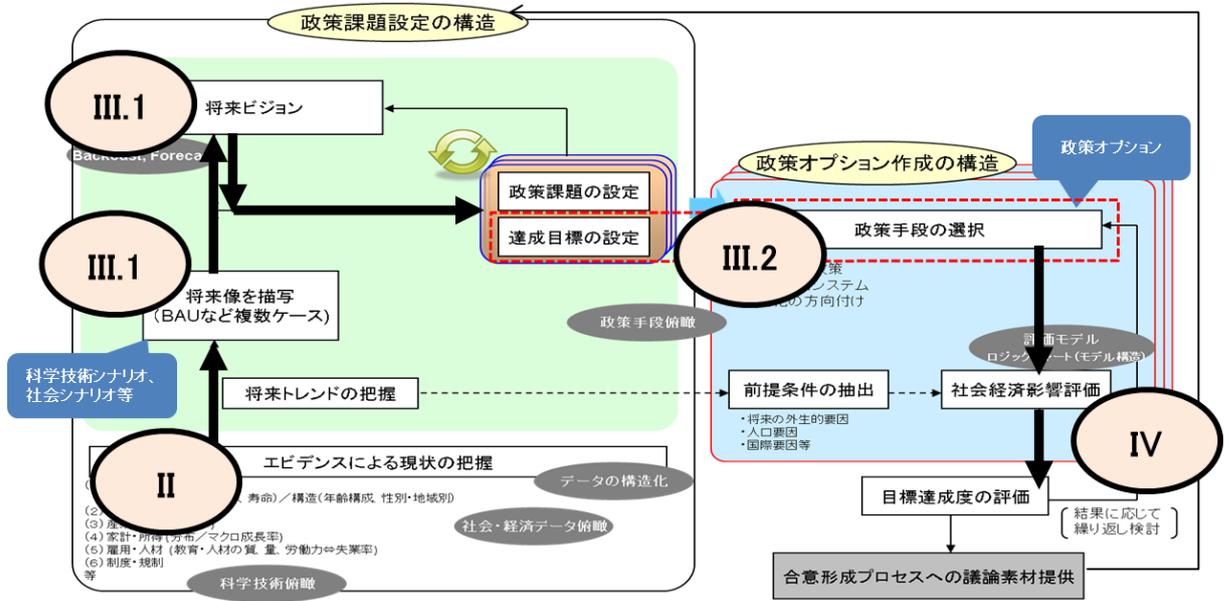


図 I.3-3 本書の章構成と政策オプション作成の枠組みの関係

<コラム 2> 科学技術を見つめる経済学

エビデンスに基づいてできるだけ合理的に科学技術イノベーション政策を立案してゆこうとするとき、その政策が社会に与える影響を事前にも事後においても正確に測り、構造や因果関係を説明できることが望まれる。その計測と説明のための強力な思考体系として経済学がある。経済学は国家や富を論じるために、生産、商取引、税金などの社会の諸活動を分析するところから始まったが、特に近世以後は蒸気機関、電気、医学、原子力、コンピュータなどに代表される科学技術の進展が、経済学が対象とする社会の諸活動にきわめて大きな影響を与えるようになった。言いかえれば、科学技術を抜きにしては社会活動を語れず、常に科学技術は経済学における重要テーマであった。科学技術を含むイノベーション政策を論じるとき、これまで経済学が蓄積してきた知見がきわめて有用なはずである。現に本報告においても、政策が影響を与えるであろう各産業部門の経済活動を数理的に分析する経済シミュレーション・モデルを利用して、政策オプションの影響評価を行っている。

このコラムでは、経済学の始まりから科学技術が及ぼしてきた歴史的な影響、そして現在の経済学、特に数理経済学に焦点をあてて、科学技術イノベーション政策に対してどのような視座とツールを提供できるか、を概観する。

アダム・スミスが眺めた産業革命の実相

経済学の父とよばれるアダム・スミス(Adam Smith, 1723-1790)が「道徳感情論」(1759)、「国富論」(1776)を上梓した18世紀は、羅針盤、印刷術、火薬という技術の進歩による大航海時代を経て、ワットの蒸気機関に代表される産業革命によって世界の富の分布がアジアからヨーロッパに大きく移る時代でもあった。スミスは、科学技術の急速な進歩が生産プロセスの分業化を進め、農業生産力を拡大し、鉱工業の生産性向上に寄与したこと、農業生産力の拡大が農地の囲い込みを進めて農業労働力を都市に転出させ、都市の貧民層を生み出した、という現実をよく見ていた。彼が「道徳感情論」と「国富論」で示そうとしたのは、人間がその本性としてもつ利他主義的な特性と、利己主義的な行動原理を両立させるような社会デザインであり、それが本来の自由競争市場の原理であり、“神の見えざる手”と呼んだ仕組みであった。しかし現実には、デザインした自由競争が正当に働いているとはいえない状況であった。

古典派経済学の始まりにおいて、すでに科学技術の進歩が単なる生産性向上にとどまらず、社会全体を急速に変化させるものであることが示されていたことになる。

自然科学からの強い影響

数学や医学など自然科学の視点から経済活動を分析しようとする試みは、古くはペティ(William Petty, 1623-1687)やケネー(François Quesnay, 1694-1774)が行っていた。ケネーの「経済表」(1758)は、経済の循環活動を血液の循環理論になぞらえて分析的手法で説明しようとするものであった。

クールノー(Augustin Cournot, 1801-1877)は、経済の一般的相互依存の全体を同時にとらえることは、当時(19世紀前半)の数学的解析能力からして不可能であるとして、代わりに一部の市場を取り出し、その中での市場均衡の過程を描こうとした。彼は需要関数、効用関数などの数学的表現を導入して独占や寡占を論じた(1838)が、これが数理経済学の始まりとされる。

数学による抽象化

クールノー以降、19世紀後半になって、ジェヴォンズ(William Stanley Jevons,

1835-1882)、メンガー(Carl Menger, 1840-1921)、ワルラス(Marie Esprit Léon Walras, 1834-1910)らが、価値の微分係数に相当する「限界効用」の概念を提案した(限界革命とよばれる)。

特にワルラスは、初めて経済メカニズムの数学的な理論モデル(純粋一般均衡モデル)を提示し、消費者、生産者、政府などの主体が相互依存的な関係にあるとした。彼は「社会的事実」を経済学の対象であるとした一方で、その分析にあたっては“競争の観点から見て完全な組織をもっている市場”を想定した。これは“純粋力学において、摩擦のない機械を仮定する”のと同様な考え方であり、ニュートン力学に代表される近代自然科学の方法論の影響が強い。以後、解の一意性、安定性など数学的な精緻さを追求して一般均衡理論の体系を完成しようとする研究が活発化した。

一方、マーシャル(Alfred Marshall, 1842-1924)は、「他の事情が等しければ」という条件下で特定の需要・供給関係を実証的に分析するという部分均衡分析手法を確立した。これは自然科学における、管理された実験室実験の発想に近い。

計算機の登場と実証科学への挑戦

ムーア(Henry Ludwell Moore, 1869-1958)は一般均衡理論の計量化に挑戦したが、当時の環境ではかなりの困難を伴っていた。その後、計量化に大きな業績を上げるのはレオンチェフ(Wassily W. Leontief, 1905-1999)である。彼は、経済の一般的相互依存関係を実証的に把握するツールとしての産業連関表(投入・産出表)を公表した(1936)。彼の産業連関分析は、一般均衡理論の実証科学としての分析枠組みを提示したものであり、科学技術の特性を、商品の生産に際しての投入構造として把握しようとしたものである。一連の研究は1940年代に計算機Harvard Mark IIを用いて行われたものであり、実証科学としての経済学の嚆矢であるといえる。ムーアが実現できなかった総合経済学の夢を実現できる計算機が登場したのは、まさしく科学技術そのものの恩恵であった。以降、計算機能力の向上と普及に足並みを揃えて、さまざまな計算モデルが作られ、実証的研究が進んだ。

実用的な計算モデルの登場

1960年代前半頃、英国のストーン(John Richard Nicholas Stone, 1913-1991)らが作成したケンブリッジモデルは、産業連関表をベースとした多部門モデルである。その手法はComputable General Equilibrium Model(CGE)として、多くの国で用いられてきた。

これを発展させたのが応用一般均衡モデル(Applied General Equilibrium Model(AGE))である。これにはスカーフ(Herbert Eli Scarf, 1930-2015)による、一般均衡解の「不動点定理」の実証的解法の考案の寄与が大きい。これでワルラスの一般均衡理論の体系が、具体的な政策のシミュレーションに用いられる道が開いた。とりわけ、世界銀行などで、発展途上国の限られたデータから政策効果を推定する道具として用いられた。

また、パデュー大学のハーテル(Thomas Warren Hertel)らを中心としたGTAP(Global Trade Analysis Project)モデルは、国際貿易の政策効果分析に使われたグローバルモデルであり、30か国・地域と37の産業部門からなる国際産業連関表を基礎として、各国の研究者がソフトウェアの開発やデータベースの共有化を行うという形で進められてきた。

国連では前出のストーンを議長として大規模な国民経済計算体系(System of National Accounts: SNA)の改訂作業が行われ、1968年に新しいSNAができた。この目的は生産勘定におけるレオンチェフの産業連関表と、国民所得勘定及び資金循環勘定との体系的な接合であった。ここで整備された体系の下で、定量的な一般均衡モ

デルを社会会計体系に基づき構築する研究が進められた。

産業連関表を基礎とした定量的一般均衡モデルの先駆けの一つとなったのは、辻村江太郎・黒田昌裕による KEO(Keio Economic Observatory)多部門モデルである(1974)。その後、エネルギー政策および環境問題の政策シミュレーション・モデルとして研究が継続された。

科学技術イノベーション分野における定量的評価

シュンペーター(Joseph Alois Schumpeter, 1883-1950)が経済成長における「イノベーション」の重要性を指摘していたが、技術進歩と経済指標との具体的関係は明らかになっていなかった。ダグラス(Paul Howard Douglas, 1892-1976)は製造業の雇用者数、固定資産量、生産指数などの動きに安定的な傾向があることを観察して、所得分配率の観測値と理論値が一致することを実証した。ソロー(Robert Merton Solow, 1924-)は、技術進歩が生産効率を変えることを、最初の実証分析としてその効果を測定して示した(1957)。彼は 1909 年～1949 年の米国の実質 GDP 成長率について、労働要素や資本要素の明示的な変数によって 20%しか説明できず、残り 80%は“技術進歩率”という明示できない変数の変化に依存している、と結論づけた。このソローの結論は、科学技術の進歩を経済モデルの中の経済変数としてどのように取り入れるのかという根元的な議論を生み、以後の経済研究に大きな影響を与えた。

労働や資本の投入量の測定に関して、デニソン(Edward Fulton Denison, 1915-1992)、ジョルゲンソン(Dale Weldeau Jorgenson, 1933-)、グリリカス(Hirsh Zvi Griliches, 1930-1999)らの議論から、全要素生産性(Total Factor Productivity: TFP)の測定の理論に発展する。さらに資本の測定、資本サービス概念の明確化に関する活発な議論が繰り返され、技術の経済構造への反映の測定、評価の手法に大きな影響を与えた。

日本においては 1990 年代に財政状態が厳しくなったことと重なって、政府研究開発投資の経済効果の評価の観点からも、科学技術の経済への影響を直接的に測定することに関心が高まってきた。永田晃也は、研究開発が内生的な経済成長を生み出すプロセスを中心に置き、経済効果を予測するためのマクロ経済モデルを構築した(1998)。このモデルは科学技術関係経費を入力データとして、政府研究開発の投資効果の概要を把握可能であり、政策担当者が理解しやすいコンパクトな構造となっている。赤池伸一らは、研究開発投資についての指標群を政府の標準的な経済モデルに接続することを目指し、MaeSTIP (Macroeconomic Model for Science, Technology and Innovation Policy) モデルを開発した(2013)。このモデルでは、政府の研究開発投資が企業や大学での研究開発活動に用いられ、研究開発による技術革新によって TFP が向上し、最終的には経済成長が実現するとしている。(＜コラム 4＞を参照)

「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」の意義

しかしながら、これらのモデルでは、基本的には研究開発投資の多寡が直接的に TFP に影響するようなモデル構造となっているため、研究開発投資が具体的にどのようなプロセスを経て産業の技術構造に影響を与え、最終的な経済効果を生み出すかについて明示的に記述することができない欠点があった。本報告書で用いた「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」は、科学技術分野を細分化した産業連関表をベースとし、こうしたプロセスまでも内生的に表現可能なモデル構造とすることで、よりエビデンスに依拠した政策分析が実施できるように工夫している。

II. 技術・研究開発動向の調査

ここでは ICT 分野がどのように動いており、そこから IoT/CPS に注目が集まっている理由、背景、期待などについて、国内外の状況を調査した。また IoT/CPS がどのような要素技術と関連しているか、についても調査した。これらは次に政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）を具体的に検討する上での材料とした。

以下、各調査結果を順番に説明する。

II.1. IoT/CPS サービスに係わる技術・研究開発動向および影響の整理

ここでは、将来的に出現が期待される IoT/CPS サービスについて、関係府省庁などが提示している研究開発動向、将来的ビジョン、将来的計画・戦略などを参照しつつ整理した。

II.1.1 我が国における動向（総務省）

総務省が平成 26 年 8 月に取りまとめた「ICT 新事業創出推進事業」の報告書では、ICT 技術とデータを利活用することが、様々な分野、様々な局面において、サービスの付加価値の向上やビジネスの新しい仕組みの構築につながるとしている。

同報告書では、具体的に取り組むべき施策の例として、以下に示すようなものを挙げている。

- センシングにより集積したビッグデータを分析・検証することにより、高い生産技術を有する篤農家の知恵を共有・活用するとともに、データ連携により、生産から流通・消費までの一貫したバリューチェーンを構築することにより、農業の生産性向上や高付加価値化を可能とする取組が始まっており、引き続き推進していく必要がある。
- 近年発展の著しいウェアラブル機器の活用は、製造や保守などの現場や医療・健康、スポーツなど多彩な分野で進んでいる。また、端末をウェアラブル化する取組が始まっており、あらゆる物品に IoT、M2M の端末としてビッグデータの収集・解析の役割を担わせ、新しい産業や価値を生み出す取組を展開していくべきである。
- 工場や生産現場における M2M、ビッグデータ（製造状況や気象・天候情報など）や 3D プリンタの活用により、生産・流通・消費のすべての過程における効率化・高度化を推進していくべきである。

概要

【目標】利用者視点に立ち、高い付加価値を創出

<スマートアグリ>
 ○ ビッグデータを分析することで、高い生産技術を有する熟練農家の知恵を共有・活用するとともに、データ連携により、生産から流通、消費までの一貫したバリューチェーンを構築することにより、農業の生産性向上や高付加価値化を実現

<ウェアラブル×多彩な分野>
 ○ ウェアラブル機器の活用により、製造や保守などの現場や医療健康、スポーツなど多彩な分野での展開

<スマート工場>
 ○ M2M、ビッグデータ(製造状況や気象・天候情報など)や3Dプリンタの活用により、生産、流通、消費の全ての過程における効率化・高度化を推進

Key Technology

- センサー技術
- ウェアラブル
- ビッグデータ処理・解析技術

提案例

マイクロセンサースポーツ分析

マイクロセンサースポーツ分析

- ・ サッカーシューズ・水泳ゴーグルなどにつけたセンサーで、アスリートのバイタル・動きを分析。トップアスリートの動線軌跡と比較することで、オリンピックに向けた若年世代の指導に貢献
- ・ 競技中アスリートのデータを小型通信モジュールでリアルタイムに取得して、テレビ中継に活用



【出典】第1回ICT新事業創出推進会議森川構成員配布資料(2013年12月25日)

遠隔監視・遠隔制御・最適化制御

デバイスにおけるIoT工場

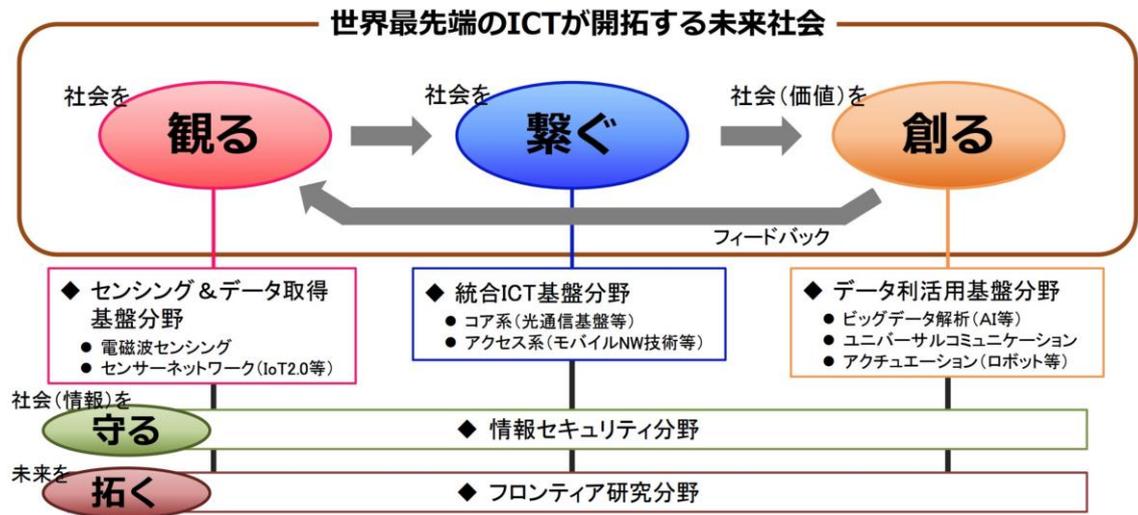
遠隔監視・遠隔制御・最適化制御



【出典】第2回ICT新事業創出推進会議岡田構成員配布資料(2014年1月27日)

出所) 総務省「ICT新事業創出推進事業」(平成26年8月) 23

図 II. 1-1 コトづくり PROJECT



出所) 総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会 技術戦略委員会第3回資料 (平成27年3月) 24

図 II. 1-2 重点研究開発分野の考え方 (叩き台)

²³ http://www.soumu.go.jp/main_content/000310383.pdf

²⁴ http://www.soumu.go.jp/main_content/000352374.pdf

また、情報通信審議会 情報通信技術分科会の下に、平成 27 年 1 月より技術戦略委員会が設置され、「世界最先端の ICT による新たな社会価値創造、社会システムの変革」を実現するために、今後 5 年間で国および NICT が行うべき研究開発に関する議論・検討が進められている。

同委員会では、今後 ICT によりサイバーとフィジカルの垣根がなくなり、すべてのものがデジタル化され相互に接続・連携する社会に向かっていくとした上で、それを実現するために必要となる技術分野の整理を行なっている。

具体的には、以下に示す通り技術分野の整理を行なっており、それぞれの分野において研究開発すべき技術の抽出を行なっている。

(1) センシング&データ取得基盤分野

本格的な IoT 社会に向け、フィジカル空間からサイバー空間に様々な情報を収集・入力する基盤技術に関する分野。多種多様なセンサネットワーク技術、電磁波センシングやリモートセンシングデータ融合技術、太陽・太陽風/電離圏/磁気圏の観測・シミュレーション技術などの研究開発が対象。

表 II. 1-1 センシング&データ取得基盤分野における重点研究開発課題（例）

重点研究開発課題（案）	
(1) センサネットワーク技術	① バッテリーレスセンサ、パッシブデバイス活用センサに関する研究開発
(2) リモートセンシング技術	① リモートセンシングデータの融合などに関する研究開発
(3) 高周波電磁波によるセンシング技術	① 光アクティブセンシングの研究開発
	② テラヘルツ帯センシングの研究開発
(4) 非破壊センシング・イメージング技術	① 非破壊センシングの実用化に向けた研究開発
(5) 宇宙環境計測技術	① 電離圏観測・シミュレーションに関する研究開発
	② 磁気圏観測・シミュレーションに関する研究開発
	③ 太陽・太陽風観測・シミュレーションに関する研究開発

出所) 同上

(2) 統合 ICT 基盤分野 (コア系)

フォトニックネットワーク技術など、コア系のネットワークを構成する基盤技術に関する分野。超大容量の情報をシームレスに広域に繋ぎ、安定的かつ高品質に伝送する技術などの研究開発が対象。

表 II. 1-2 統合 ICT 基盤分野 (コア系) における重点研究開発課題 (例)

重点研究開発課題 (案)	
(1) 最先端 ICT ネットワーク基盤技術	① 新たな IoT 時代に対応した最先端 ICT ネットワーク基盤技術 (ユーザセントリックなプログラマブル・ネットワーク基盤技術) の研究開発
	② データセントリックなネットワーク技術などの研究開発
(2) 最先端テストベッド技術	① 世界最先端の次世代テストベッド (スーパーテストベッド) の展開
(3) フォトニックネットワークシステム技術	① フォトニックネットワークシステムの基盤技術に関する研究開発
	② 光統合ネットワーク実現に向けた研究開発
(4) 衛星通信技術	① グローバル光衛星通信ネットワークの基盤技術の研究開発
	② 宇宙・海洋ブロードバンド衛星通信ネットワークの基盤技術の研究開発
(5) 極限環境通信技術	① 極限環境における通信技術の研究開発
(6) 災害に強いネットワーク技術	① 災害に強いネットワーク技術の研究開発 (コア系)

出所) 同上

(3) 統合 ICT 基盤分野（アクセス系）

無線通信技術などを中心に、アクセス系のネットワークを構成する基盤技術に関する分野。コア系とシームレスに連携し、膨大で多種多様な物理空間からの情報を高効率かつ柔軟に伝送する技術などの研究開発が対象。

表 II. 1-3 統合 ICT 基盤分野分野（アクセス系）における重点研究開発課題（例）

重点研究開発課題（案）	
(1) 5G/Beyond5Gに向けたモバイルネットワーク技術	① 無線通信の大幅な大容量化・高速化を実現するための研究開発
	② 協調統合型ワイヤレスの研究開発
	③ 高信頼ワイヤレス伝送技術の研究開発
	④ 光モバイルアクセスおよび光コア融合ネットワーク技術の研究開発
	⑤ アクセス系に係わる光基盤技術の研究開発
(2) ユーザの利用環境や要求を認識したネットワーク構築・制御技術	① 次世代センサネットワーク（環境融和型ワイヤレス）技術の研究開発
(3) 災害に強いネットワーク技術	① 高度分散ネットワーク技術の研究開発
	② 災害に強いネットワーク技術の研究開発（アクセス系）

出所) 同上

(4) データ利活用基盤分野

人とモノをシームレスに接続して情報を円滑に伝達するとともに、情報に基づき、知識・価値を創出して利活用するための基盤技術に関する分野。音声認識・翻訳、超臨場感、情報分析、画像分析、ロボット（AIなどと連携）、ヒューマンインタフェースなどに係わる技術の研究開発が対象。

表 II. 1-4 データ利活用基盤分野における重点研究開発課題（例）

重点研究開発課題（案）	
(1) 音声翻訳・対話システムの多言語化・多分野化・高精度化、高度化	① 音声翻訳・対話システムの多言語化、多分野化、高精度化の実現
	② 現場音声認識の精度向上およびクロスリンガル音声対話の実現
	③ 長文音声翻訳に対応した自動翻訳技術の実現
	④ 文脈を用いた自動翻訳技術の研究開発
(2) 社会知解析技術	① 社会知解析技術の研究開発
	② ソーシャル ICT 情報利活用基盤に関する研究開発
	③ データアナリティクスによる可視化、予測、知の創出に関する研究開発
	④ 次世代高速解析技術の研究開発
(3) ロボット技術	① ネットワークロボット・プラットフォーム技術（スマートロボット技術）の研究開発
(4) 空間構造の解析・理解技術	① 空間構造解析・理解に関する研究開発
(5) 超臨場感映像技術	① 空間情報伝送再現システムに関する研究開発
	② 超臨場感映像を実現する圧縮・伝送技術の確立
	③ 高出力広帯域ミリ波帯デバイスに関する研究開発
(6) 超高精細度映像などの高効率伝送技術	① 超高精細度映像の効率的な伝送技術などに関する研究開発
	② 狭帯域ネットワークでの安定した映像情報伝送技術の研究開発
(7) 脳の感覚統合機能解析技術	① 感覚機能の解析技術、情報通信の体感品質の評価技術などの確立

出所) 同上

(5) 情報セキュリティ分野

自律的・能動的なサイバーセキュリティ技術の確立、サイバー攻撃に対する観測/可視化/分析/対策技術の高度化、本格的なIoT社会に適切に対応する情報セキュリティの実現に向けた基盤技術に関する分野。ネットワークセキュリティに加え、情報・コンテンツなどに係わる幅広い側面からの情報セキュリティ対策の研究開発が対象。

表 II. 1-5 情報セキュリティ分野における重点研究開発課題（例）

重点研究開発課題（案）	
(1) サイバーセキュリティ技術	① 未来型サイバーセキュリティ技術の研究開発
	② IoT社会の本格的展開に適切に対応したセキュリティ技術の研究開発
(2) 組織内でのセキュリティ対策自動化技術	① セキュリティ技術の自動化に係わる研究開発
(3) プライバシー保護技術	① パーソナルデータ利活用のためのプライバシー保護技術に係わる研究開発

出所) 同上

(6) フロンティア研究分野

各分野に跨がり、次世代の抜本的ブレークスルーにつながる先端的な基盤技術に関する分野。先端的な基盤技術に係わる基礎的アプローチからの研究開発や基盤技術の更なる深化に加えて、先進的な融合領域の開拓、裾野拡大、他分野へのシーズ展開などに資する研究開発が対象。

表 II. 1-6 フロンティア研究分野における重点研究開発課題（例）

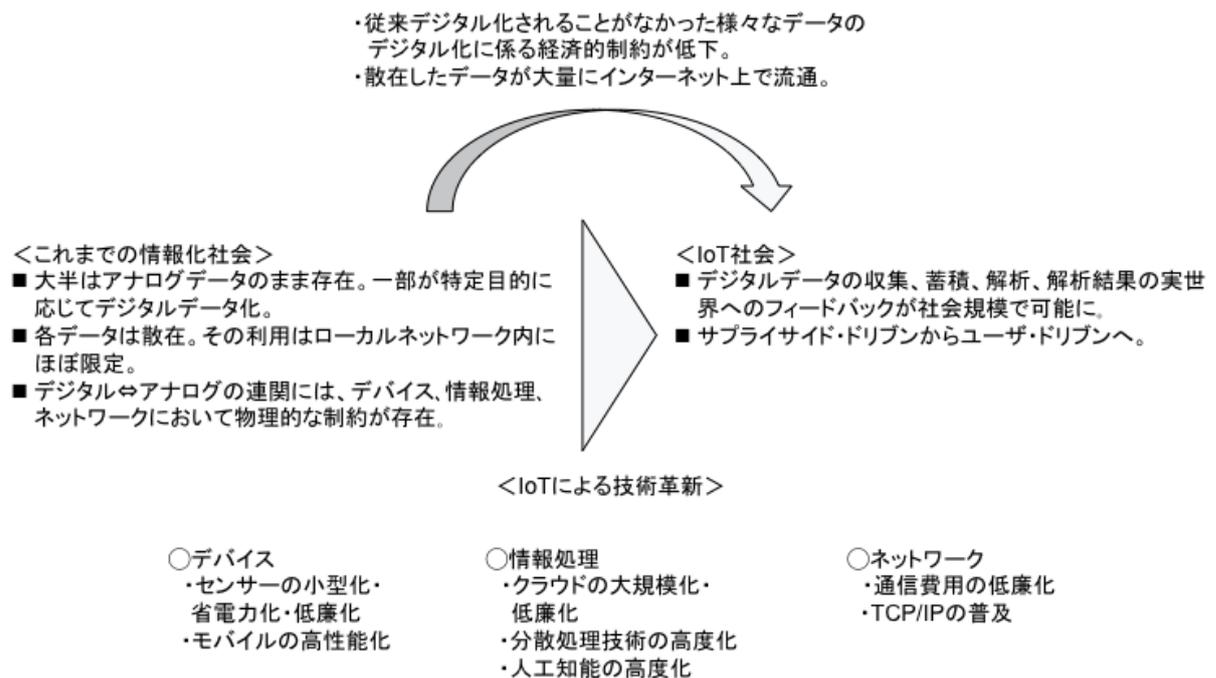
重点研究開発課題（案）	
(1) 量子 ICT	① 量子フォトニックネットワーク技術の研究開発
	② 量子ノード技術の研究開発
(2) ナノ ICT	① 有機ナノ ICT 技術の研究開発
	② 深紫外光 ICT デバイスに関する研究開発
	③ 酸化物、窒化物半導体電子デバイスに関する研究開発
	④ 超伝導単一光子検出器（SSPD）、超伝導省電力ロジックデバイスに関する研究開発
	⑤ 高効率・低消費電力化、エネルギーハーベスティングに関する材料・素子技術の研究開発
(3) バイオ ICT	① バイオ ICT の研究開発
(4) 脳情報通信技術	① 脳科学による ICT イノベーション創出
(5) 高周波・THz 技術	① 超高周波無線通信基盤技術の研究開発
	② 超高周波光源技術の研究開発
	③ THz 帯における無線通信・計測技術などの研究開発
(6) 電磁波計測基盤技術 （時空標準技術）	① 標準時および周波数標準の安定的な発生・供給のための技術開発
	② 超高精度周波数標準の実現に関する技術開発
	③ 周波数標準の新たな利活用領域拡大に資する技術開発
(7) 電磁波計測基盤技術 （電磁環境技術）	① 先端 EMC 計測技術の研究開発
	② 生体 EMC 技術の研究開発

出所) 同上

II.1.2 我が国における動向（経済産業省）

経済産業省では、平成 26 年 12 月に産業構造審議会 商務流通情報分科会 情報経済小委員会を設置し、IoT 時代に対応したデータ経営 2.0 の促進を進めるとしている。同検討においては、これまでの情報化社会と IoT 社会とでは、以下の様な違いが生じている。

IoT 社会では従来デジタル化されることがなかった様々なデータのデジタル化に係わる経済的制約が低下し、散在したデータが大量にインターネット上で流通するようになるとしており、これを下支えする技術として、デバイス、情報処理、ネットワークがあるとしている。



出所) 経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会 情報経済小委員会 第三回「対応の方向性(案)(論点整理)」(平成 27 年 3 月)²⁵をもとに作成

図 II.1-3 これまでの「情報化社会」と「IoT社会」との違い

第三回会合において事務局から提示された資料によれば、IoT 社会の実現に向けて、以下に示すような施策の方向性があるとしている。

²⁵ http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/pdf/003_02_00.pdf

表 II. 1-7 IoT時代に対応したデータ経営 2.0に係わる施策の方向性

項目	概要
<p>企業間連携の促進と個別ユースケースの創出</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 産業横断的な連携の場 <ul style="list-style-type: none"> ▶ IoTによるビジネス・技術革新を踏まえた産業・社会の将来ビジョンを産学官で共有 ▶ 各産業界のニーズなどを踏まえた個別ユースケースの組成や、個別ユースケースを踏まえた横断的課題の抽出 ■ 個別ユースケースにおける課題の抽出 <ul style="list-style-type: none"> ▶ ユーザドリブンによるルールメイキングや非競争領域の特定による共同研究開発の実施など、個別ユースケースを踏まえた分野特有の課題の抽出
<p>大企業やベンチャーがチャレンジするための環境整備</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ IT・データの戦略的活用の促進 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 攻めのIT経営が国内外の投資家や株式市場などから適切な評価を得られるよう、攻めのIT経営に係わるディスクロージャーの促進策を検討 ■ 突き抜けた才能をもつITイノベータを発掘し、新ビジネスへ挑戦させる環境整備 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 官民が連携した、才能ある個人の発掘・育成から、事業化・事業拡大までシームレスな支援の枠組を構築 ▶ 起業成功者が起業家を育てる民間スタートアップアクセラレータ組成を促進 ■ AI、ビッグデータなどを活用した新事業の支援 <ul style="list-style-type: none"> ▶ AI、ビッグデータなどを活用して新サービスの展開やプラットフォームとなることを目指す事業者に対する支援を強化
<p>データの二次利用などに係わるルールの整備</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ データ利活用を阻むグレーゾーンの解消 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 革新的なビジネスモデルについて、規制の例外措置を一定期間認めるなども含めた解消策 ▶ AIの研究などで各社が協調してビッグデータを提供・集約する場合の特例措置・ルール整備 ■ 企業間データ共有の促進 <ul style="list-style-type: none"> ▶ IoTにおけるデータの活用権限などの権利関係の整理 ▶ データ連携・共同利用の標準契約ひな形などの策定 ▶ データ連携仲介ベンチャーの支援 ■ その他 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 越境移転に伴うデータ保護・流通などに係わる法執行の在り方、データ独占に伴う競争法上の取扱などについて、欧州などとの政府間対話や国際的な議論も踏まえて検討

項目	概要
情報セキュリティの強化	<ul style="list-style-type: none"> ■ セキュリティ経営の促進 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 経営層のリーダーシップの下にサイバーセキュリティ対策を促進するためのガイドライン策定 ➢ サイバーセキュリティに備えた経営のベストプラクティスの共有 ➢ サイバーセキュリティ対策に係わる情報開示ルールの策定や第三者からの評価の導入 ➢ サイバー保険によるセキュリティリスクの市場化の促進 ➢ 業種を越えたサイバー攻撃情報の共有 ■ 政府対応能力の強化 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 情報収集能力の強化などにより、政府関係機関や重要インフラ事業者などに対する深刻なサイバー攻撃への緊急対応能力の強化
技術開発の強化	<ul style="list-style-type: none"> ■ IoTに係わる技術・ビジネスの調査分析機能 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 必要な技術開発・ビジネス化の方向性などについて調査分析する機能の強化 ■ IoT時代に向けたオープンイノベーションの推進 <ul style="list-style-type: none"> ➢ IoTに関するキーテクノロジー（人工知能、センサ、セキュリティなど）の研究開発を、産官学の連携体制の下で実施し、世界トップクラスの先端的な技術や知見を集約 ➢ 技術ライブラリの整備、関連知財の集中管理、国際標準化の促進、国際連携などにより、国内外からの投資を促進し、分野・業種の壁を越えた我が国発のオープンイノベーションを推進
IT人材の強化	<ul style="list-style-type: none"> ■ IT人材の質の向上 <ul style="list-style-type: none"> ➢ IoT時代に対応したスキルの明確化や能力認定制度の見直し ■ IT人材の量的確保 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 高いITスキルを有する外国人の活用のための環境の整備など ■ 開発・運用現場の生産性向上・リスク低減 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 開発・運用現場の生産性向上・高付加価値化を図るとともに、セキュリティリスクの低減を目指した、下請契約などに係わるガイドラインの策定

出所) 経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会 情報経済小委員会 第三回「対応の方向性(案)(論点整理)」(平成27年3月)²⁶をもとに作成

²⁶ http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/pdf/003_02_00.pdf

II.1.3 我が国における動向（文部科学省）

文部科学省では、総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）において検討が進められた第5期科学技術基本計画（平成28～32年度の計画）の議論に資する材料の提供を行なっていくことを目的として、総合政策特別委員会が平成26年7月に設置されている。同委員会では、平成27年9月に「我が国の中長期を展望した科学技術イノベーション政策について～ポスト第4期科学技術基本計画に向けて～」と題した最終とりまとめ²⁷を公表している。（なお本調査研究を実施した平成27年3月時点では中間とりまとめ²⁸を参照した。）

ここでは、情報通信技術の進化に伴い、20世紀終盤頃からインターネット上にサイバー空間が構築され、同空間中で様々な情報がやり取りされるようになってきたが、近年のデジタル情報機器、センサ技術、ネットワーク技術の著しい発展と普及に伴い、様々な情報やサービスなどが必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供することが可能となる。特に、近年のセンサネットワークの進化などにより分野を超えて収集、共有、解析された情報を活用することで、社会の様々なニーズに対し、きめ細やかに、かつ、効率よく対応できる社会（超スマート社会）が到来しつつあると指摘している。

超スマート社会においては、サイバー空間と実空間の一体化が進み、ビッグデータを基盤としてデータ工学や機械学習などの高度な進化によりアンビエントサービス²⁹に代表される新しいサービスが展開されるようになるとしている。また同時に、サイバー空間での活動が拡大・発展することで、AIが搭載されたロボットなどによる事象に対する責任や、ネットワーク上の個人情報削除の権利の問題、サイバー攻撃への対応などが発生することも予想される。

こうした来るべき社会に対応していくためには、情報通信技術分野に関しては、単に当該分野の振興という観点で対応するのではなく、人文学、社会科学及び自然科学のあらゆる分野との協働などを図っていくことが重要であるとしている。また、その具体的な推進方策としては、以下に示すようなことに取り組んでいく必要があるとしている。

²⁷ http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/10/27/1363255_01.pdf

²⁸ http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/02/13/1355038_1.pdf

²⁹ Ambient service. 環境が空間的・時間的に連続して能動的に提供するサービス。

表 II. 1-8 望ましい「超スマート社会」の実現

取組の方向性
<ul style="list-style-type: none"> ■ 我が国の強みであるものづくりをはじめとして現実社会との接続も含めた包括的な枠組みで、必要な技術の研究開発を推進していくこと ■ 多種多様なビッグデータの利活用技術や、それらの技術の背後にある数理的理論、AI 技術やセンサ活用技術の研究開発を推進し、サイバー空間の知的情報処理を先導 ■ 実社会から情報を集約し、最適な解や方向性を導き社会にフィードバックできる統合的なシステム技術、様々な課題解決への適用を促進するためのプラットフォームの開発 ■ 情報システムの超低消費電力化を実現するアーキテクチャやそれを活用するアルゴリズム、災害に強いレジリエントな情報システムの基盤技術、人とコンテンツのインタラクションを促すヒューマンインタフェース技術の研究開発

出所) 文部科学省総合政策特別委員会「我が国の中長期を展望した科学技術イノベーション政策について ～ポスト第4期科学技術基本計画に向けて～」(最終取りまとめ)(平成27年9月28日)

CSTI ではこの資料を参考にしながら検討を進め、第5期科学技術基本計画案を平成27年12月に答申した。その結果、平成28年1月に正式に閣議決定に至った。

<コラム 3> 超スマート社会 Society 5.0 をめざして（第5次科学技術基本計画）

第5次科学技術基本計画では、未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創造の取組みの一つとして「Society 5.0」を掲げている。

サイバー空間とフィジカル空間（現実社会）が高度に融合した「超スマート社会」を未来の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を「Society 5.0」とし、更に深化させつつ強力に推進する。5.0とは狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くような新たな社会を生み出す変革を科学技術イノベーションが先導していく、という意味を込めている。

この実現に向けて、総合戦略 2015³⁰で定めた11の個別システム（下記）を先行して開発し、それぞれの高度化を通じて、段階的に連携協調を進めるとしている。特に複数のシステムとの連携促進や産業競争力向上の観点から、下線の3つをコアシステムとする。

- 「エネルギーバリューチェーンの最適化」
- 「地球環境情報プラットフォームの構築」
- 「効率的かつ効果的なインフラ維持管理・更新の実現」
- 「自然災害に対する強靱な社会の実現」
- 「高度道路交通システム」
- 「新たなものづくりシステム」
- 「統合型材料開発システム」
- 「地域包括ケアシステムの推進」
- 「おもてなしシステム」
- 「スマート・フードチェーンシステム」
- 「スマート生産システム」

以上を踏まえ、産学官・関係府省連携の下で、超スマート社会の実現に向けてIoTを有効活用した共通のプラットフォーム（「超スマート社会サービスプラットフォーム」）の構築を推進する。

このプラットフォームの構築に必要な基盤技術として、以下のようなものをあげている。

サイバーセキュリティ技術、IoTシステム構築技術、ビッグデータ解析技術、AI技術、デバイス技術、ネットワーク技術、横断的な科学技術として数理科学

さらに新たな価値創出のコアとなる強みを有する基盤技術として、以下のものをあげている。

ロボット技術、センサ技術、アクチュエータ技術、バイオテクノロジー、
ヒューマンインタフェース技術、素材・ナノテクノロジー、
革新的な計測技術、情報・エネルギー伝達技術、加工技術など

これらの技術間の連携と統合にも十分留意するとともに、社会実装に向けた開発と基礎研究とが相互に刺激し合い、（リニアモデルではなく）スパイラル的に研究開発することにより、新たな科学の創出、革新的技術の実現、実用化及び事業化を同時並行的に進めることのできる環境を整備することを重視する。

³⁰ 「科学技術イノベーション総合戦略 2015」、平成 27 年 6 月 19 日閣議決定。
<http://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2015/honbun2015.pdf>

II.1.4 諸外国における動向（米国）

NITRD

米国では、ICT研究開発に関してはNITRD(Networking and Information Technology Research Development)プログラムにより省庁横断的で実施されており、2015年は38.1億USDの予算要求がなされている。

基本的な重点領域として8つの分野、セキュリティと情報保証(CSIA)、高信頼なソフトウェアとシステム(HCSS)、ハイエンドコンピュータのインフラとアプリケーション(HECIA)、ハイエンドコンピュータの研究開発(HECRD)、人間とコンピュータのインタラクションと情報管理(HCIIM)、大規模ネットワーク(LSN)、社会・経済・雇用との連携および人材開発(SEW)、ソフトウェアの設計と生産性(SDP)が設定されている。さらに、6つの追加領域、ビッグデータ R&D (BD)、CPS R&D、セキュリティと情報保証 R&D、健康情報技術 R&D (HITRD)、周波数割当 R&D、科学技術教育研究の迅速な運営 (FASTER) が設定され、研究開発が進められている。

IoT/CPS に関しては、2012年にCPSシニアステアリンググループ(SSG)が設置され、研究開発が進められている。同SSGでは、IoT/CPSの普及を促進する領域として、農業、建物管理、防衛、緊急対応、エネルギー、ヘルスケア、製造業・産業、社会、交通を掲げている。

また、すべての領域でCPSを社会実装していくために、サイバーセキュリティ、経済性、相互接続性、プライバシー、安全性および信頼性、CPSの社会技術課題などを検討していく必要があるとしており、IoT/CPSを実現するに際しての具体的な課題として、以下の内容を挙げている。

表 II. 1-9 NITRD の CPS Vision Statement に掲げられた技術課題

項目	概要
抽象化、モジュラリティ、構成可能性	安全性、セキュリティ、信頼性を維持したまま CPS の要素を結合したり、再利用することを可能とする。
アーキテクチャおよび標準に基づくシステムエンジニアリング	レガシーシステムとの相互接続性や統合性を担保しつつ、信頼性のある CPS システムの効率的な設計・実装を可能とする。
適用性および予測性を有する階層的な制御	本質的に同期、分散、ノイジーな複数のシステムにおいて、しっかりと調整、同期された挙動と相互作用を実現する。
複数の物理モデルの統合、およびソフトウェアのモデル化	システムの挙動を予測可能な、物理的な要素と計算要素の協調設計を可能とする。
分散センシング、コミュニケーション、認知	柔軟で信頼性があり、高い性能を有する CPS の分散ネットワークは、事象が正確で信頼性のあるモデル構築に役立ち、また時間センシティブな機能を可能とする。
診断と予後	複雑なシステムにおける障害の特定、予測、防止、および復旧を行う。
サイバーセキュリティ	CPS システムを悪意ある攻撃から保護し、安全性を保障する。
検証、検査、および認証	システムの安全性と機能性の高い信頼性を確保しながら、市場に革新をもたらすデザインサイクルを高速化する。
自律と、人との対話	自律的な CPS システム、および人が当該モデルシステムを利用する際に必要となる連携機能を開発する。

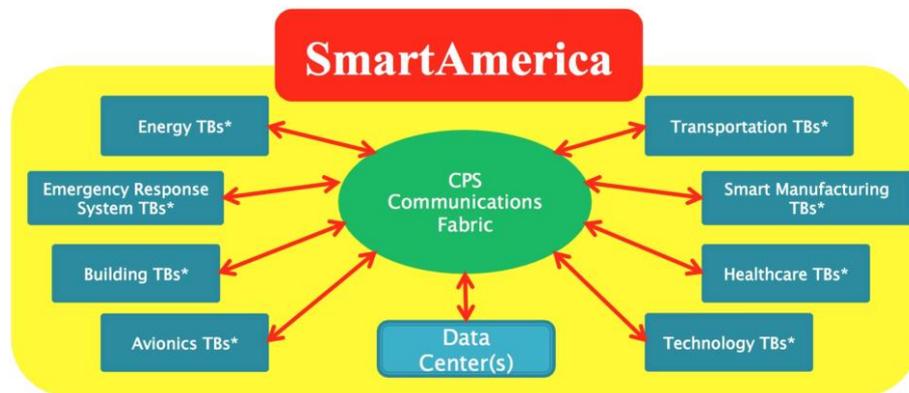
出所) NITRD “CPS Vision Statement”³¹³¹ [https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_\(CPS\)_Vision_Statement.pdf](https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_(CPS)_Vision_Statement.pdf)

Smart America Challenge

大統領直轄のプロジェクトとして民間から選ばれた Presidential Innovation Fellows (PIF) 2名が、プロジェクトマネージャーとして NIST（米国国立標準技術研究所）の協力により、2012年より推進しているチャレンジである。

同チャレンジでは、IoT/CPSの研究開発は進んでいる一方で、日常での利用との間に大きなギャップがあり社会実装には至っていないという問題認識のもと、IoT/CPSがいかに米国における雇用・新規事業機会および社会経済的便益の創出につながるかを明らかにすることを目的としている。

これを具体的に評価するため、以下に示す通り、8分野（「住宅／建築物」、「災害復旧」、「輸送」、「セキュリティ」、「気候／環境」、「製造業」、「ヘルスケア」、「エネルギー」）を対象として、大学・民間企業が連携して実証を行なっている。



出所) Sokwoo Rhee & Geoff Mulligan “Smart America Challenge”³²

図 II.1-4 Smart America Challenge の全体像³³

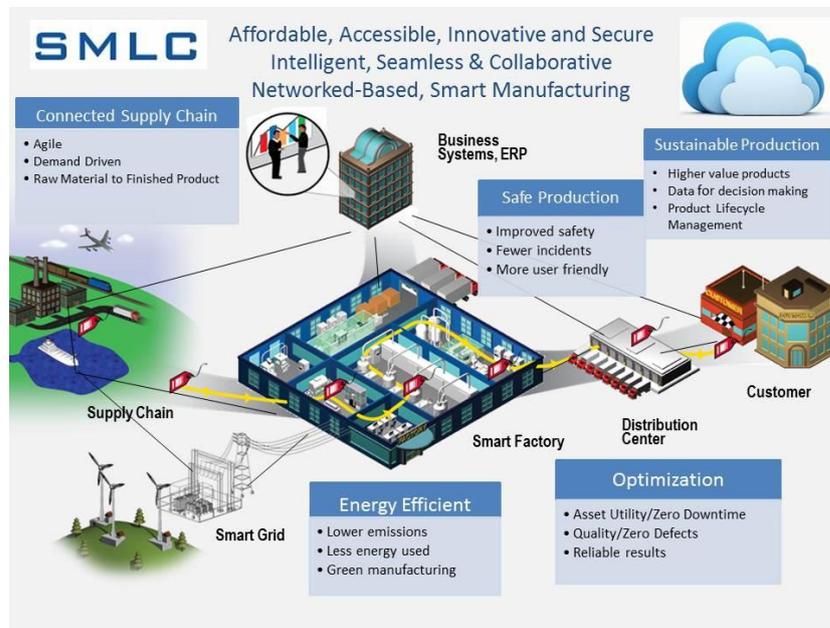
2014年8月からは、US Ignite³⁴のチャレンジの1つ（Global City Team Challenge）として実施されている。Global City Team Challengeは、NISTおよびUS Igniteが運輸省、NSF、商務省国際貿易局、保健福祉省、エネルギー省と連携しながら進めているプロジェクトであり、スマートシティおよびスマートコミュニティにおけるIoT/CPSの社会実装を加速化できるPPP（Public-Private Partnership）の構築を促進するプロジェクトである。

例えば、製造業については、以下に示すように Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) というプロジェクトが進められている。

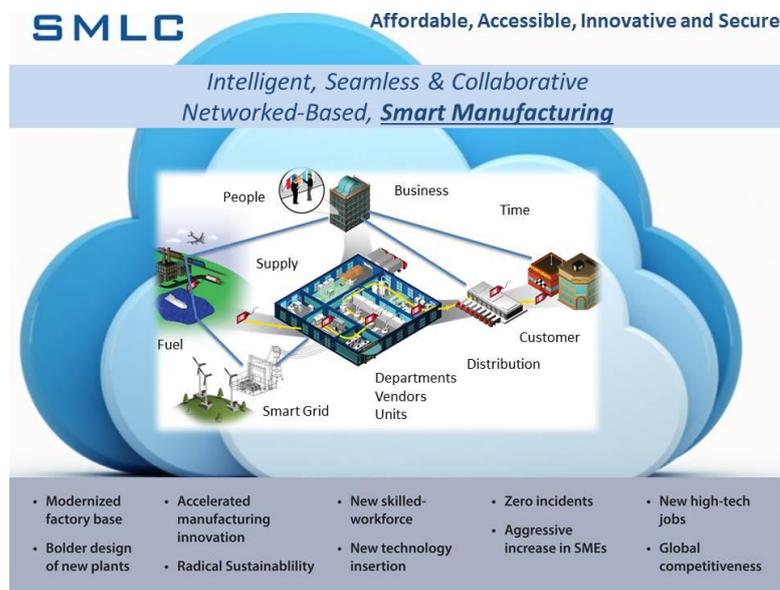
³² <http://www.nist.gov/el/upload/Smart-America-Challenge-r1-25p.pdf>

³³ TBs: TestBeds/テストベッド

³⁴ 2012年に超高速ブロードバンド環境整備のためにオバマ政権が公表したイニシアティブ。II.1.8(1)オープンイノベーション参照。 <https://www.us-ignite.org/>



技術・研究開発動向の調査



出所) Smart America Challenge HP³⁵

図 II. 1-5 Smart Manufacturing

³⁵ <https://smartmanufacturingcoalition.org/>

Industrial Internet

Industrial Internet は、GE によって 2012 年に発表されたコンセプトであり、ソフトウェアと分析、データ可視化ツール、直感的に操作できるユーザ・インタフェースを備えたモバイル・コラボレーション・デバイスと適切な情報を通じて、時間と資金の効率化を高め、より生産性の高い社会を実現することを指向している。

GE では、Industrial Internet の実現に際して、1つのアーキテクチャ、1つのプラットフォーム戦略を採用しており、その設計においては4つのコンセプト（(1)マシンセントリック、(2)産業用ビッグデータ、(3)現代的なアーキテクチャ、(4)高信頼性および安全）を掲げている。

表 II. 1-10 Industrial Internet のコンセプト

コンセプト		概要
(1)	マシンセントリック	機械（マシン）に対して、IoT 接続の機能や、解析に結び付けるための機能を与え、ソフトウェアの変更方法などを標準化する。機器自身に IoT やビッグデータの発想に基づいた機能を標準装備する。
(2)	産業用ビッグデータ	すべての資産を管理すると同時に、データを収集し、分析・予測した結果を行動にフィードバックできるようにする。実体である機器情報や環境情報をデータとして収集し、それを分析し最適化・効率化を図るとともに、より精度の高い解析・分析のためにデータを蓄積する。
(3)	現代的なアーキテクチャ	モバイルのようなコンシューマ向けに実現されている使いやすさを、制御や分析・予測分野にも適用することで、機器、データ、人を有機的につなげられるようにする。コンシューマ分野の進んだユーザインタフェースや、SNS（Social Networking Service）の使い方、それらの解析技術を開発／製造にも活用する。Hadoop のような解析プラットフォームも使用できるようにする。
(4)	高信頼性および安全	高可用性と、セキュリティ対策を実現する。リアルタイム性の必要性も増し、またサイバー攻撃対策や、データに対する強固なセキュリティ対策の実現を目指す。

出所) IT Leaders “【第 11 回】 Industrial Internet と Industry 4.0 にみる製造業への IT インパクト” (2014 年 9 月 16 日) ³⁶をもとに作成

³⁶ <http://it.impressbm.co.jp/articles/-/11707>

GE が 2012 年に発表したホワイトペーパー「The Industrial Internet @ Work」では、Industrial Internet のユースケースとして風力タービンの例を示している。具体的なフローは以下のとおりである。

- ① 自己監視・風力タービンからセンサ・データを送信
- ② 受信したデータを記録して、メンテナンス・コストと運用コストを削減する機会を特定
- ③ データ分析によって予防保守の必要性を認識
- ④ 適切な知識とツールによって技術者が迅速かつ効率的に作業を完了
- ⑤ 離れた場所からのコラボレーションと将来的な利用のために、インダストリアル・インターネットにデータを転送 ⇒ 以降、①に戻る



出所) GE “The Industrial Internet @ Work”³⁷

図 II. 1-6 Industry Internet の概念

³⁷ http://www.ge.com/jp/docs/1389000498785_Japan_IndustrialInternetatWork_0106s.pdf

表 II. 1-11 Industry Internet の利用シーン、実現目標及び必要機能

作業場所	効率化ニーズ	
現場	実施作業	■ 機器の停止、交換あるいは配置換え など
	実現目標	■ 予想外のダウンタイムの最小化による、コストとエンドユーザの作業中断の最小化
	必要機能	■ サービスの調整やモデルの作成によるパフォーマンスと可用性の最適化 ■ 上記によるメンテナンスと計画の改善
サービス・センター	実施作業	■ 現場で対応困難な（より専門性を要する）機器のメンテナンス、修理およびアップグレード
	実現目標	■ 同センターの高度な修理プロセスによる運用維持の向上、コンポーネントの寿命延長による品質と信頼性の向上 ■ 自動的なメンテナンス計画を地域で管理することによる可用性の最適化
	必要機能	■ 同センターの戦略的な配置による世界規模のネットワークの構築
オペレーション・センター	実施作業	■ 運用の分析、診断/最適化ツールによるアラームとイベントの評価、フリートでの作業の評価
	実現目標	■ データの分類/フィルタリングによるフリートの状況表示、履歴分析、リアルタイム分析/予測による問題発生前のユニットの改善 ■ 材料の注文、在庫管理、倉庫保管、輸出入の処理、パーツの調達などロジスティクス全般の最適管理
	必要機能	■ モバイルを利用したコラボレーションとコミュニケーション

出所) 同上

Industrial Internet では、主に機器のメンテナンスに毎年必要とされる労働時間を対象とし、IoT/CPS を導入することでそれをどの程度短縮・効率できるかの検討を行なっている。GE の試算によれば、世界の蒸気タービンとガス・タービン、航空機のエンジン、貨物輸送機、CT および MRI スキャンのメンテナンスには年間 3 億 1,300 万時間が必要であり、この作業コストの合計は年間 200 億ドルに上るとされる。例えば、全体で 1% 効率化しただけでも年間 2 億ドルもの価値を創出することが可能であるとしている。

産業	機器	メンテナンスにかかる時間 (年間の労働時間)	人件費の予測
 電力	蒸気タービンと ガス・タービン	5,200億	\$70億
 航空	航空機エンジン	2億500万	\$10億
 鉄道	貨物用機関庫	5,200億	\$30億
 医療	CTとMRI	400万	\$2億5,000万

出所) 同上

図 II. 1-7 Industry Internet が主たる対象とする領域

また、米フロリダ州の Aventura Hospital という病院では、GE Healthcare の「AgileTrac」という RFID を使った患者追跡システムを導入することで、入院の待ち時間を 68%減らすことに成功している³⁸。具体的には、患者を RFID タグで管理し、患者が退院する際には、タグを予め定められた場所に戻すことにより、患者の退院を迅速に把握し、清掃を行えるようにすることで、ベッドの回転率を向上させている。

³⁸ <http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1305/28/news111.html> をもとに作成

II.1.5 諸外国における動向（欧州全体）

Horizon 2020 では、IoT/CPS に係わる研究開発の施策として、ICT1-2014「Smart Cyber-Physical Systems」、および ICT30 - 2015「Internet of Things and Platforms for Connected Smart Object」が設定されている。

■ ICT1-2014「Smart Cyber-Physical Systems」の概要

CPS は、IoT を通じて相互に接続、連携するとともに、市民やビジネスに対して幅広い革新的なアプリケーションやサービスを提供する次世代組み込み型 ICT システムである。CPS は様々な領域への適用が進められており、欧州の産業力を強化するのみならず、新しい市場の開拓が期待されている。

一方で、IoT/CPS は制御、監視、データ収集機能を有しているため、安心・安全、プライバシー、限りなく小さい電力消費、サイズ、ユーザビリティ、順応性なども加味する必要がある。

これらを踏まえ、IoT/CPS の領域における注目すべき技術として、以下が挙げられている。

- 各アプリケーション部門間の障壁を超越して、垂直市場化を解消し、特定業種に特化するのではなく、大衆消費者市場を含めた幅広い市場にサービスを提供する、CPS プラットフォームによる技術ソリューション。
- コンポーネントやカスタマイズされたコンピューティングシステムの供給者からシステムインテグレータやエンドユーザまで、バリューチェーン上の関係各者の統括。
- 自動車、健康、スマート建築やエネルギーから無線通信やデジタル消費製品・サービスまで、垂直市場および中核的な市場の双方に対応した新たなプラットフォームの形成。

また、この研究開発の期待する成果として、以下が挙げられている。

- 2013 年時点の最新の方式と比較して、CPS の開発期間を 30% 減少させるとともに、維持管理費用を大幅に減少させること。
- コンポーネントやハードウェアから、オープンなイノベーションエコシステムを形成し、オープンなツール、プラットフォーム、標準に基づいた合意を促すより高度なシステムまで、バリューチェーンや技術水準を超越して、ヨーロッパ全体の協調を強化すること。
- ヨーロッパにおいて、オペレーティングシステムやミドルウェアからアプリケーション開発やセキュリティを組み込んだ展開ツールにわたる、競争力のある次世代の中心的な ICT プラットフォームを開発すること。これにより、この分野や組み込み ICT による、さらに付加価値の高い市場でのヨーロッパのシェアが大幅に向上することにつながる。
- ネットワーク化された組み込み ICT がより広く採用されることで、あらゆる経済部門、特に中小企業におけるヨーロッパのイノベーション能力と競争力を向上させること。

II.1.6 諸外国における動向（ドイツ）

ドイツでは、2011年11月に「High-Tech Strategy 2020 Action Plan（高度技術戦略の2020年に向けた実行計画）」における戦略的な施策の一つとして、「Industrie4.0/インダストリー4.0」と呼ばれる施策を進めている。インダストリー4.0を進めるため、産官学共同のプロジェクトが設立され、現在は、ドイツにおける電機、通信、機械などの工業会（BITKOM、VDMA、ZVEI）によって運営される「インダストリー4.0プラットフォーム」と名付けられた事務局の下で産官学のワーキンググループが活動を行っている。

インダストリー4.0の基本的なコンセプトは以下に示すとおりであり、製造業へのIoTの適用を実現する際のシステム、およびそれが実現された社会におけるポテンシャル、社会的な意義、さらにはそれを実現するために実現すべき事項などを掲げている。

表 II.1-12 インダストリー4.0の基本コンセプト

項目	概要
原理	Internet of Things と Internet of Services を製造事業に採り入れることで第4次産業革命がもたらされる。Industrie 4.0において、企業は、機械、(原材料、部品、最終製品の)貯蔵・在庫システム、生産施設を Cyber-Physical System(CPS) の形に統合したグローバル・ネットワークを構築する。CPS は、相互に情報をやりとりし、動作させ、そして、制御し合うスマート・マシーン、貯蔵システム、生産施設から構成される。これにより、製造、エンジニアリング、原材料の利用、サプライチェーン管理、ライフサイクル管理といった各プロセスの抜本的なグレードアップがもたらされる。
システム	こうした技術、施設を通じて、(i)工場内や企業内で、各ビジネス・プロセスが垂直的にネットワーク化されるとともに、(ii)それらが広範なバリューネットワークと水平的に連結している。これらはリアル・タイムで制御される。そして、(iii)バリューチェーン全体にわたって包括的なエンジニアリング活動が行われる。
製品面、ビジネスモデル面でのポテンシャル	ここから巨大なポテンシャルが期待される。上記の仕組みを用いたプロセスや物の組み合わせは無数にあることから、たとえば、顧客の極めて個別的な要請に応じた製品を1回限りで、しかも、低コストで効率的に製造することができる。また、最終段階での仕様の変更にも対応できるし、部品供給の乱れや不具合にも柔軟に対応することができる。
社会的な意義	資源投入の面からの生産性や効率性が向上する。また、日常的な作業はシステムにまかせ、人は創造的な仕事に集中できることから、生産年齢人口の減少などの人口動態の変化に適切に対応できることになる。さらに、柔軟な勤務条件の実現を通じて、ワークライフバランスの増進にも寄与する。

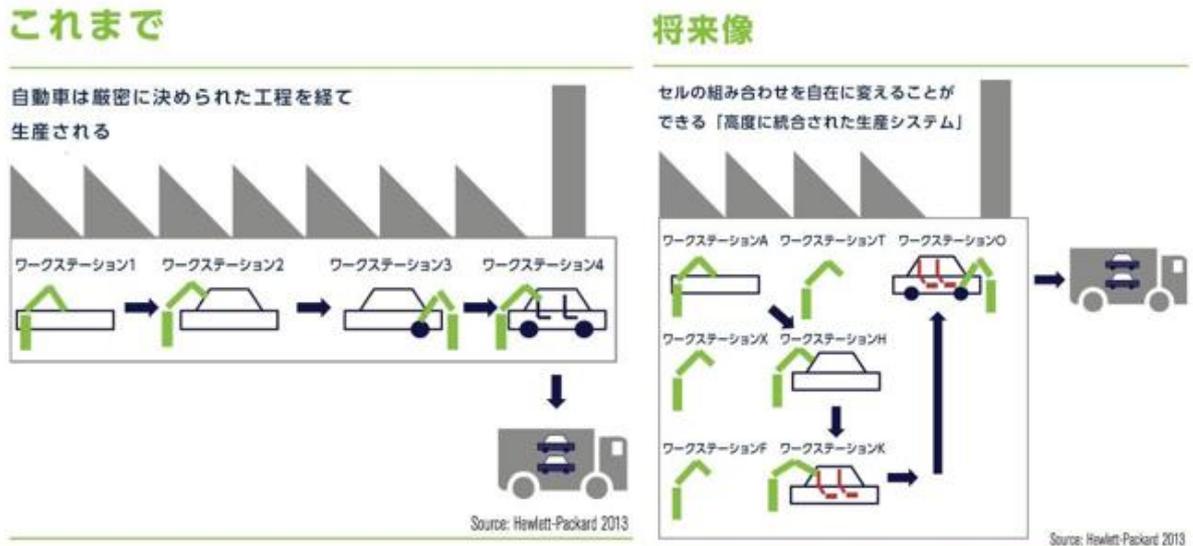
項目	概要
二重戦略	伝統的に高品質の産業機械を製造する国であると同時に、高度なICT技術を有する国として、(i)産業機械に関する優位を維持するべく、ドイツ企業が製造する産業機械にICT技術を取り入れることにより、個々のスマート製造技術・機器のリーディング・サプライヤーになる、(ii)ドイツ国内の様々な製造業にCPSが導入されることにより、ドイツがIndustrie 4.0のリーディング・マーケットになる、という「二重戦略」を追究する。つまり、Industrie 4.0、CPS、スマート工場に関し、ドイツはそのサプライヤーとしてもマーケットとしても世界の最先端に立つことを目指す。
3つの統合	CPSを用いて、Industrie 4.0を構成する3つの統合を実施することが目標である。すなわち、(i)バリューネットワークを通じた水平的統合、(ii)すべてのバリューチェーンを通じたエンジニアリングの統合、(iii)製造システムの垂直的統合を行うことを目指す。
研究開発とインフラ	Industrie 4.0を進めるには、上記の3つの統合に関する研究開発と産業上および産業政策上の決定の双方が必要である。

出所) 国際社会研究所 草桶左信「ドイツの『Industrie 4.0』戦略について」³⁹より引用

より簡潔に言えば、インダストリー4.0は、生産工程のデジタル化・自動化・バーチャル化のレベルを現在よりも大幅に高めることにより、コストの極小化を目指すものであり、生産工程に係わる企業が、ネットを介して伝達される情報に反応して、生産・供給活動を自動的に行う仕組みである。工場の中のあらゆる場所に設置されたセンサが、機械の異常やパフォーマンスの低下などを感知し、システムがこれに反応して自動的に修理するなどのことが可能になるとされている。

インダストリー4.0では、製造業の最適化に向けて様々な手法を提案しているが、そのうちの1つとして、ダイナミックセル生産方式が上げられる。ダイナミックセル生産方式は、工程作業を行うロボット(ワークステーション)が、ネットワークを介して情報にリアルタイムにアクセスし、情報に応じて自由に生産方式や生産するモノなどを組み替えて、最適な生産を実現する仕組みである。これにより、顧客/製品ごとに異なるデザインや機械、注文、計画、生産、配送を無駄なく円滑に実現することが可能であり、さらには生産中の仕様変更にも柔軟に対応することが可能となるとしている。

³⁹ http://www.i-ise.com/jp/information/report/pdf/industrie40_04.pdf



出所) http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1404/04/news014_2.html

図 II.1-8 従来の生産ラインと未来のスマート工場の姿

インダストリー4.0の事例としては、欧州最大のキッチンメーカーであるドイツの nobilia（ノビリア）による取組が挙げられる⁴⁰。ノビリアは毎日2600／年間58万セットのキッチンを生産しているが、そのすべてが特注仕様となっている。同社では製造を効率化するため、材料を部品に加工する「前工程」と部品を完成に組み立てる「後工程」に分け、それぞれにおいてITを使った効率化を図っている。

前工程では、部品や用途ごとに異なる組み立て用の穴位置をすべてオラクルで動作するデータウェアハウスで管理し、例えばドリルの穴開け時のスピンドルモータの電流値や電力、モータやワークの振動、穴の形成過程と切りくずの形状や温度など、あらゆる生産工程のデータがMESによって記録され、部品品質の最適化のために活用されている。

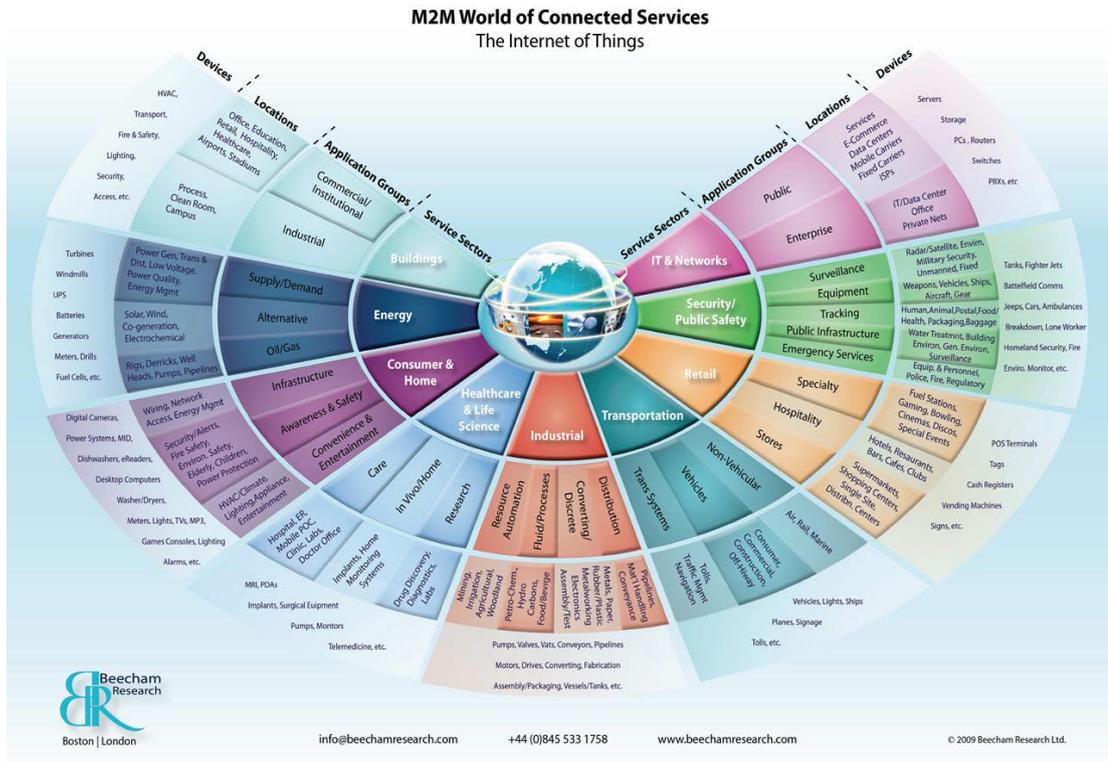
後工程では、在庫された加工済み部品からERP・MESが注文ごとに必要な部品を選定し、ピッキングされた部品に個体識別用のRFIDタグやバーコードが付けられる。この時点で生産工程とERPが直結され、どの部品がどの顧客から注文を受けたキッチンのどこに収まる部品で、いつどこに届けられる必要があるのかといった情報が把握可能となる。

⁴⁰ http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1404/04/news014_2.html

II.1.7 IoT/CPS サービスの実現がもたらす社会的・経済的影響

(1) IoT/CPS の適用領域

IoT/CPS は前述のとおり、幅広い領域への適用が期待されており、例えば、以下に示すような領域への適用が期待されている。



出所) BeechamResearch “M2M World of Connected Services”⁴¹

図 II.1-9 IoT の適用領域 (例)

⁴¹ <http://blog.m2mapps.com/wp-content/uploads/Beecham-Research-Sector-Map.jpg>

表 II. 1-13 IoTの適用領域（例）

分野	適用場所
施設	<ul style="list-style-type: none"> ■ 施設内設備（HVAC、照明、防災&防犯、入退出管理 など）管理の高度化（自動監視・制御など）
エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ■ 需給関係設備（発電設備、送配電設備、再生可能エネルギー、メータなど）の管理を通じた電力需給管理の高度化（電力品質管理、電力需給管理）
	<ul style="list-style-type: none"> ■ エネルギー源となる資源（石油、ガスなど）の採掘、運搬などに係わる管理の高度化
家庭	<ul style="list-style-type: none"> ■ 宅内基盤設備（宅内の配線、ネットワークアクセス、HEMS など）管理の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 宅内安全・安全サービス（家庭の安全&火災警報、高齢者／子供などの見守りなど）の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 宅内での活動に係わるサービス（宅内の温度／照明調節、電化製品／エンターテイメント関連）の高度化（機器の自動運転などを含む）
ヘルスケア &生命科学	<ul style="list-style-type: none"> ■ 医療機関/診察管理（病院、クリニックなどにおけるコスト／治療双方の効率化を目指す遠隔治療、資産管理、サプライチェーン最適化など）の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 患者や高齢者のバイタル（ペースメーカーなども含む）管理の高度化や、治療オプションの最適化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 創薬や診断支援などの研究活動の高度化
産業	<ul style="list-style-type: none"> ■ 工場プロセスの広範囲に適用可能な産業用設備の管理・追跡（インフラ／サプライチェーン管理、製造工程管理、稼働パフォーマンス管理、配送管理、バージョン管理、位置分析など）の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 鉱業、灌漑、農林業などにおける資源の自動化
運輸・物流	<ul style="list-style-type: none"> ■ 自動車、トラック、トレーラーなどの管理（車両テレマティクス、追跡システム、モバイルコミュニケーションシステムなど）の高度化（車両テレマティクスは、ナビゲーション、車両診断、盗難車両救出、サプライチェーン統合などを可能とする）
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 飛行機、船舶、コンテナなど非車両を対象とした輸送管理の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 旅客情報サービス、道路課金システム、駐車システム、渋滞課金システムなど主に都市部における交通システム管理の高度化
小売	<ul style="list-style-type: none"> ■ 小売業者に対する、より高度なサプライチェーンの可視化、顧客&製品情報の収集、在庫管理の改善、エネルギー消費の低減、資産とセキュリティの追跡を可能とするネットワークシステムおよびデバイスの提供

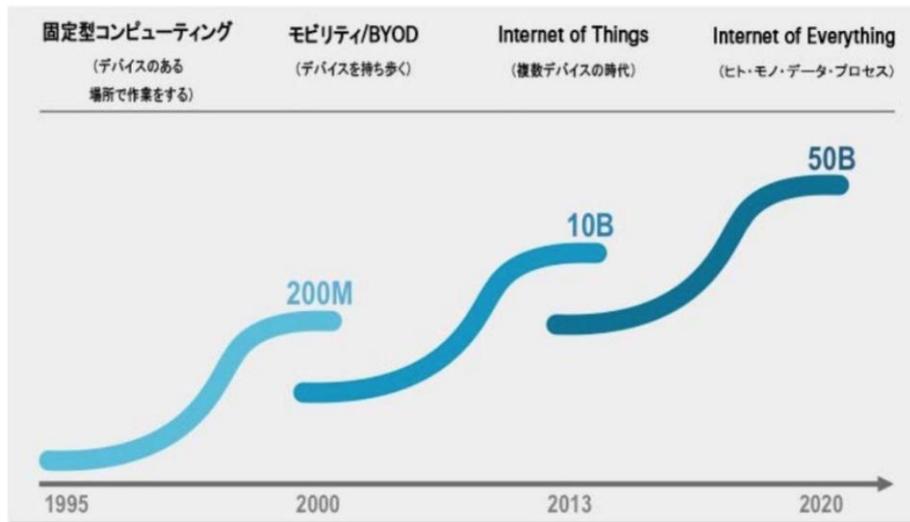
分野	適用場所
セキュリティ & 公衆安全	<ul style="list-style-type: none"> ■ セキュリティ&公衆安全に関しては、以下に示すようなサービス領域における高度化 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 緊急サービス：警察、消防、救急、車両故障、その他ホームランドセキュリティに係わる規制関係のサービスなど ➤ 公共インフラ：氾濫原、水処理プラント、気候関連などの環境モニタリングなど ➤ 追跡システム：人（孤独な労働者、仮出所者）、動物、配送、郵便、食（生産者⇒消費者）、手荷物などのトレーシング ➤ 機器：武器、軍用車両/船舶/航空機など主に軍事関係の機器管理 ➤ 監視：CCTV、高速カメラ、軍事関係のセキュリティ、レーダー/衛星などによる監視
IT&NW	<ul style="list-style-type: none"> ■ オフィス関連機器（コピー機、プリンタ、FAX、PBXの遠隔監視、IT/データセンター、イントラの機器類）の監視・管理の高度化
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 携帯基地局、公共データセンター（およびその中のコンポーネント：サーバー、ブレード、電源、空調など）の監視・管理の高度化

出所) 同上

(2) シスコシステムズ社による IoT 関連市場の予測

シスコシステムズ社では、モノとモノが繋がる IoT (Internet of Things)のさらに先をいくものとして、IoE (Internet of Everything) を提唱している。IoE ではモノとモノが通信するのみならず、モノ、人、プロセス、データが有機的に連携することにより、今までより効率性が高まったり、新しい付加価値が生まれるようになるとしている。

同社の試算によれば、2000年には約2億個のモノがインターネットに接続されていたのに対して、モバイルコンピューティングなどの技術の進歩により、現在はその数字が約100億に増加し、さらにIoEの世界ではそれが約500億に増加するとしている。

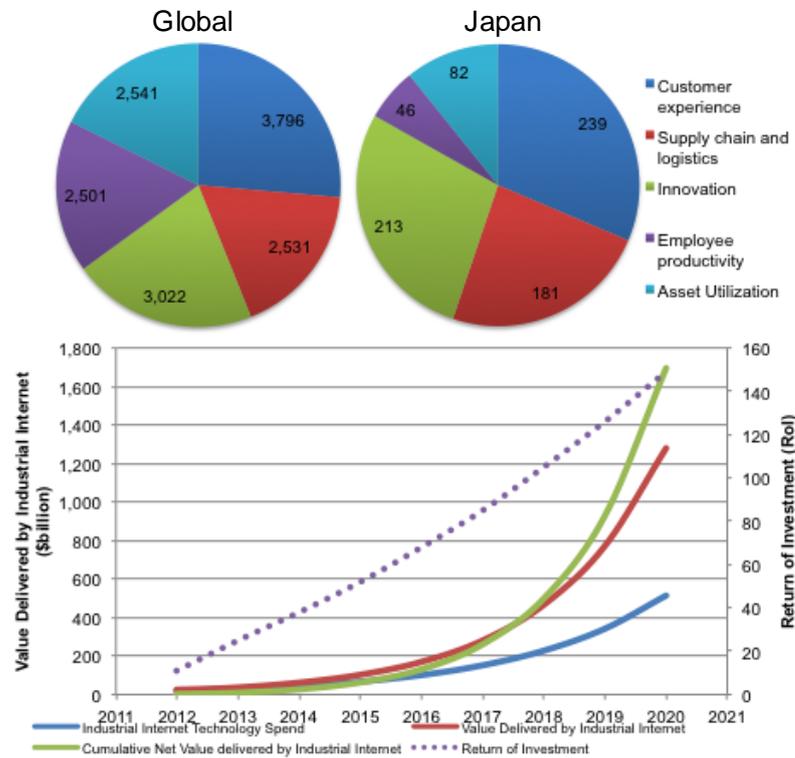


出所) Cisco IBSG、2013

図 II. 1-10 インターネットにつながるモノの数が急増

同社が2013年に発表した資料によれば、今後10年間で企業が生み出すIoEの経済価値は、累計で76.1兆円(日本) / 1,440兆円(世界)になるとしており、特定産業に閉じたもので58.1兆円(日本) / 950兆円(世界)、産業間の連携によるもので18兆円(日本) / 490兆円(世界)になるとしている。

技術・研究開発動向の調査



出所) ”Internet of Everything の積極的な推進で 14.4 兆ドルの可能性を日本に”⁴²

図 II. 1-11 IoE の経済価値

IoE は、例えば、以下に示すような領域への適用が期待されている。

表 II. 1-14 IoE が今後 10 年間で生み出す経済価値

領域	今後 10 年間で期待される経済価値
スマートファクトリー	1.95 兆ドル
マーケティング・広告	1.95 兆ドル
スマートグリッド	7,570 億ドル
ゲーム・エンターテインメント	6,350 億ドル
スマートビルディング	3,490 億ドル
商用車	3,470 億ドル
ヘルスケア・患者モニタ	1,060 億ドル
プライベートカレッジ教育	780 億ドル

出所) Cisco “Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion”⁴³

特に大きな経済価値が期待されるスマートファクトリー、およびマーケティング・広告に関しては、以下に示すようなシナリオが想定されるとしている。

⁴² http://www.cisco.com/web/JP/tomorrow-starts-here/files/14.4_trillion_whitepages.pdf

⁴³ http://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoE_Economy.pdf

■ スマートファクトリー

製造プロセスやアプリケーションに接続性を付加することで、①工場の生産性を高め、②リアルタイムの供給によって在庫を減らし、③製造とサプライチェーンコストを削減する。価値の大部分は、センサの改良、他の機械との接続性の向上、より直感的なユーザインタフェースなどから生み出される。さらに、バックエンドでクラウドに接続して分析を行うことで、労働力、資本、テクノロジーをより効果的に統合可能。

表 II. 1-15 IoEによりもたらされるスマートファクトリーの効果

2013年 現在の状態 (IoE なし)	2022年 IoE がもたらす可能性
自動組立機械は高価で、開発と設置が複雑。	製造や展開を行う自動ツールの価格が下がり、コストが削減される。
製品ラインの変更には柔軟性がなく、多額の費用がかかることが多い。	さまざまな材料で複数の製品を製造できるため、収益が増加する。製品のきめ細かいカスタマイズが可能になり、製品ラインを小型化できる。
品質は人間の知覚と器用さに左右される。	センサを使って製品品質を向上する。
低コストの製造国に依存。IT とデータ解釈のスキルを備えた従業員は高給で数も限られている。	知識の共有によってスキル曲線が平坦になる。IoE によって人材プールを低コストで活用できる。
生産に重要な原材料の使用が非効率的。組立を行う場所の柔軟性に欠ける。	資材やエネルギーの無駄の削減。生産場所の再配置や原材料の最適化について自由度と俊敏性が向上。

出所) "Internet of Everything の積極的な推進で 14.4 兆ドルの可能性を日本に"

■ マーケティング・広告

マーケティングや広告向けの幅広い IT およびソーシャルアプリケーションにより、企業における顧客エンゲージメント、顧客行動の分析、顧客とのコミュニケーションのインパクト最適化を変革する。

具体的には、ロケーションベースのサービス、バイラルマーケティング、モバイル広告など。

表 II. 1-16 IoEによりもたらされるマーケティング・広告の効果

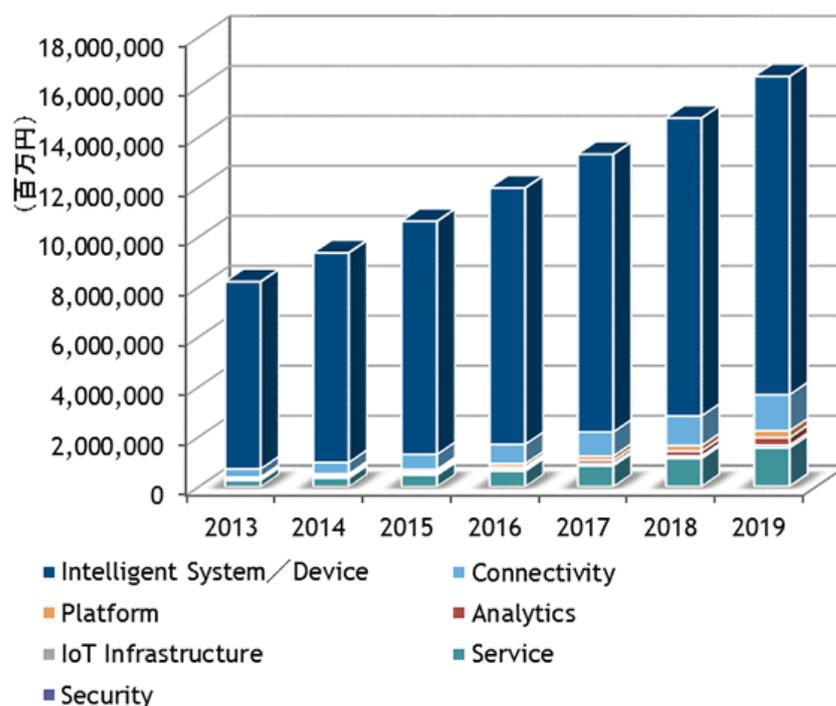
2013年 現在の状態 (IoE なし)	2022年 IoE がもたらす可能性
販売機会を逃す、または営業機会に気が付かない。	リアルタイムでの市場評価および対応による売上増加。
非効率的な地域別の営業体制。	ロケーションベースの販売による売上増加。
製品ラインナップに柔軟性がない。	インターネットを活用した「フリーミアム」の利用による売上増加。
競争激化や時期逸失による売上減少。	営業状況や顧客の支払い能力に応じた価格設定による売上増加。

出所) "Internet of Everything の積極的な推進で 14.4 兆ドルの可能性を日本に"

(3) IDC 社による IoT 関連市場の予測

IDC 社が 2015 年 2 月に発表した予測によれば、日本国内の IoT 市場売上規模は 2014 年には 9.4 兆円であり、これが 2019 年には 16.4 兆円まで拡大するとしている。また、IoT デバイスの普及台数は 2014 年には 5 億 5,700 万台であり、2019 年には 9 億 5,600 万台に増加するとしている。

このうち、デバイスの占める比率が現時点では 8～9 割ほどに達するのに対して、2019 年にはデバイスの汎用化などに伴い、約 7 割に低下する。



出所) 国内 IoT 市場 2014 年の推定と 2015 年～2019 年の予測⁴⁴

図 II. 1-12 国内 IoT 市場 テクノロジー要素別売上規模予測

また、世界 (2014 年 11 月発表) では、2013 年に 1 兆 3,000 億 USD であった市場が、年平均 13% で成長し、2020 年には 3 兆 400 億 USD に拡大するとしている。また、2020 年には IoT 向けインテリジェントシステム/エッジデバイスの接続数は約 300 億台に達するとしている。

⁴⁴ <http://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20150205Apr.html>

(4) IoT/CPS 関連の民間コンソーシアムなどの動き

前述のとおり、IoT/CPS に関しては、官民挙げて取組みが行われている状況であり、民間主導によるコンソーシアムも複数設立・運営されている。

表 II. 1-17 IoT/CPS 関係の民間コンソーシアムの動き

コンソーシアム名	設立時期	概要
IIC (Industrial Internet Consortium)	2014年 3月	GE、AT&T、Cisco、IBM、Intelの5社が設立したコンソーシアムであり、以下に示す目的を実現するため活動を行なっている。 <ul style="list-style-type: none"> ■ 既存/新規のユースケースを活用、規定して、実世界でのテストベッドを提供する。 ■ 技術導入を容易にするための、ベストプラクティス、レファレンスアーキテクチャ、ケーススタディ、標準化要求条件を提供する。 ■ インターネットと産業システムの標準化策定の提言を行う。 ■ 公開フォーラムを運営して、実世界のアイデア・実践・学習・知見の共有を進める。 ■ 革新的アプローチに求められるセキュリティに求められる信頼性を確保する。
AllSeen Alliance	2013年 12月	Linux Foundationが主体となり設立されたIoT関連の業界団体であり、クアルコム、LG、シャープ、ハイアール、パナソニック、シスコシステムズ、シリコン・イメージ、TP-リンクなど23社が設立時の参加を表明した。 クアルコムが開発したデバイス接続技術(AllJoyn: P2P型のデバイス接続フレームワーク)のソースコードが団体に提供されており、同コードをオープンソース化することで、スマートテレビやスマート家電などの連携を図っていくことを目指している。
Open Interconnect Consortium	2014年 7月	Atmel、Broadcom、Dell、Intel、Samsung Electronics、Wind Riverの6社が初期メンバーとして設立した標準化団体であり、IoTデバイスの相互接続性を高めるため、業界標準技術をベースとした共通のフレームワークを用いて、プロトコル仕様、オープンソースの実装などを定義した接続要件の提示、および認定プログラムを提供している。 最初のオープンソースとしては、リモートコントローラ、スマートフォン/タブレット/PCでの通知受信仕様が対象となっている。

II.1.8 研究開発環境の変化

(1) オープンイノベーション

従来、研究開発を行う場合、知財やノウハウ・知見などを独占し、それにより先行者利得や権利収入を得るため、特定の組織に閉じて行われるのが一般的であったが、競争環境の激化、イノベーションの不確実性、研究開発費の高騰、株主からの短期的成果要請などから研究開発を単独で行うことが困難になりつつある。

そのため、自組織以外のリソース、具体的には大学や他企業など、と積極的に連携をすることで、研究開発を効率化・加速化する手法（オープンイノベーション）が採用されるようになってきている。

ただし、EUによれば、オープンイノベーションは、基本的に外部に焦点を合わせ、対外的に協調してイノベーションが進められるものの、基本的にはある初期点からゴールに向かって進むという流れ自体は従来型のクロズドイノベーションと変化がない。それに対して、EUでは、個々の企業や研究機関がイノベーションを進めるのではなく、ユーザも含めたステークホルダーが分野を越えて有機的に影響し合い、大きな成功を生み出すエコシステム（オープンイノベーション 2.0）が必要であるとしている。

オープンイノベーション 2.0 は、産官学および市民による 4 重の螺旋構造 (quadruple helix model) に基づいた、未来を共創し、社会に構造的な変化をもたらすイノベーションのための新たなパラダイムであり、アイデアを交配させて実世界での実験と試行に結び付けることで、迅速に社会に受容される、ユーザ指向のイノベーションを指向している (図 II.1-13、表 II.1-18)。

これを具体的に実現するための体制として、従来型の官民パートナーシップに一般市民も参加した PPPP (Public-Private-People Partnership) という形を提唱している。

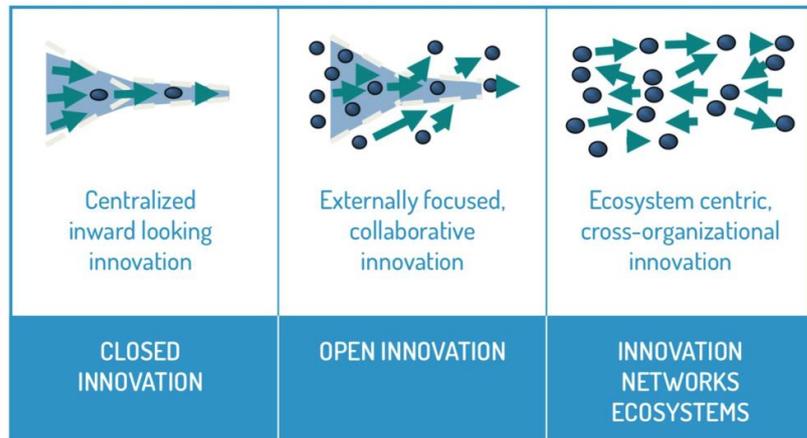


Figure 1: The Evolution of Innovation

Source: EU Open Innovation Strategy and Policy Group, 2013

出所) EU Open Innovation Strategy and Policy Group, 2013⁴⁵

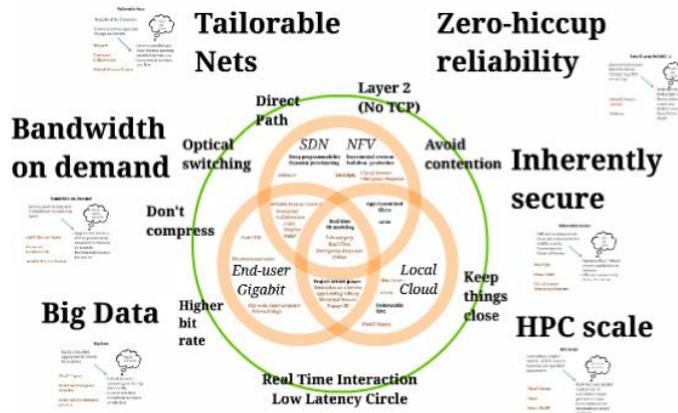
図 II. 1-13 Open Innovation 2.0

表 II. 1-18 Open Innovation 2.0 への発展

<p>■ 従来の Closed innovation では、突出した研究者の発明などによる、研究所内での直線的な流れでイノベーションが進展。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>■ Open Innovation では、外部に焦点を合わせ、対外的に協調してイノベーションが進められるが、基本的な流れは直線的構造。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>■ Open Innovation 2.0 では、<u>個々の企業や研究機関がイノベーションを進めるのではなく、ユーザも含めたステークホルダーが分野を越えて有機的に影響し合い、大きな成功を産み出すエコシステムを形成。</u></p> <p>■ イノベーションエコシステムの実践として、官民パートナーシップに一般市民も参加(PPPP : public-private-people partnership)する Living Labs の活動と、それらのネットワーク化が進められており、2006年の FP6において設立された European Network of Living Labs (ENoLL)には、現在 340 以上の Living Labs が参加。</p>
--

⁴⁵ http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/document.cfm?doc_id=6853

米国では、ホワイトハウス科学技術政策局（OSTP）と全米科学財団（NSF）が協力して推進するイニシアチブとして、US Ignite Partnership が推進されている。US Ignite では、政府などが広帯域ネットワークと新しいアーキテクチャやプロトコルを柔軟に導入・検証可能なプログラマブルで、かつ相互に影響しないようなネットワークテストベッドを用意している（図 II.1-14）。これらを通じて、大学、民間企業、非営利組織、一般市民などが米国にとって重要度の高い 6 つの公共分野(教育と人材開発、先進的製造業、健康、交通、公衆安全、クリーン・エネルギー)において、次世代アプリケーションやサービスを開発(目標 60 個) できる環境を構築・提供している。



出所) Glenn Ricart (US Ignite CTO), “Innovative Public Benefit Applications of New Networking Technologies”. <https://prezi.com/lrrgjq6ltwc/us-ignite>

図 II.1-14 US Ignite Partnership の技術的対象領域

(2) ハッカソン

ハッカソン (Hackathon) は、ハック (Hack) とマラソン (Marathon) を組合せた造語であり、あるテーマに対して、それに興味・関心をもつ様々な人達 (プログラマー、エンジニア、デザイナー、プランナー、マーケッターなど) が一同に介し、短期間 (1日～1週間程度) に集中して、アプリケーションやシステムなどの企画、設計、プロトタイプ実装を行うイベントである。

手法としては、あるテーマ (たとえば、高齢者に役立つアプリケーション、サービスの開発、など) を決めて行う場合もあるし、利用する技術 (たとえば、ある会社が保有する特許、など) を決めて、その利活用策を検討する場合などさまざまである。

ハッカソンの創成期には、ある会社の社内で開発のスピードアップや、様々な部署の人々を連携させることなどを目的として、比較的限定されたコミュニティで運用されていた。

しかし、近年では、ITベンダーなどがオープンな形で実施することも増えてきている。

例えば、Yahoo!が主催する Open Hack Day (図 II.1-15) では、複数の企業からの協賛のもとで、一般人を対象としてハッカソンを行なっている。協賛企業は、自社の製品やサービスを一般人に対して提供し、一般人はそれを活用する、あるいは新しい付加価値を生む製品やサービスを短時間で実装し、発表する。

ハッカソンで得られた成果がそのまま商用化に繋がる場合もあるし、それをさらにブラッシュアップされたものが市場に投入される場合もある。



出所) <http://hackday.jp/open>

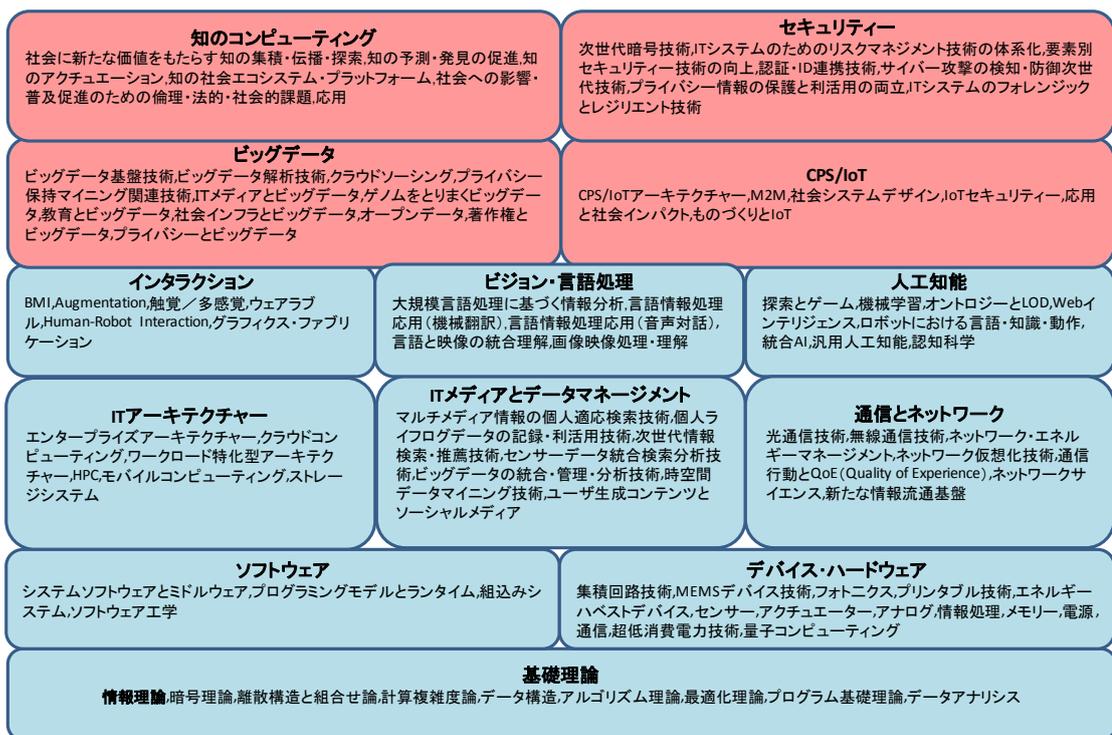
図 II.1-15 Open Hack Day のホームページ

II.2. IoT/CPS サービスを実現する上で必要となる技術の整理

II.2.1 ICTに係わる技術分類の考え方

IoT/CPS サービスにおいて必要となる技術の整理に際しては、まず ICT 技術全般を俯瞰し、その上で、IoT/CPS サービスに必要とされる技術の検討を行なった。この際、ICT 技術全般については、CRDS が作成した ICT の技術俯瞰を参考にした。

以下に、CRDS による ICT の技術俯瞰を示す。同俯瞰では、基盤の技術分野として、基礎理論、デバイス・ハードウェア、ソフトウェア、通信とネットワーク、IT メディアとデータマネジメント、IT アーキテクチャ、人工知能、ビジョン・言語処理、インタラクションがあり、その上に応用領域の技術分野、CPS/IoT、ビッグデータ、セキュリティ、知のコンピューティングが規定されている。



出所) CRDS「研究開発の俯瞰報告書 情報科学技術分野(2015年)」⁴⁶

図 II.2-1 ICTの技術俯瞰

基盤の技術分野、および応用領域としてのIoT/CPSにおける技術キーワードは以下に示すとおりである。

⁴⁶ <http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/FR/CRDS-FY2015-FR-04.pdf>

表 II. 2-1 ICT 基盤技術分野及び IoT/CPS に係わる要素技術群

技術分野	技術キーワード
IoT/CPS	CPS/IoT アーキテクチャ, M2M, 社会システムデザイン, IoT セキュリティ, 応用と社会インパクト, ものづくりと IoT
基礎理論	情報理論, 暗号理論, 離散構造と組合せ論, 計算複雑度論, データ構造, アルゴリズム理論, 最適化理論, プログラム基礎理論, データアナリシス
デバイス・ハードウェア	集積回路技術, MEMS デバイス技術, フォトニクス, プリンタブル技術, エネルギーハバーストデバイス, センサ, アクチュエーター, アナログ, 情報処理, メモリ, 電源, 通信, 超低消費電力技術, 量子コンピューティング
通信とネットワーク	光通信技術, 無線通信技術, ネットワーク・エネルギーマネジメント, ネットワーク仮想化技術, 通信行動と QoE (Quality of Experience), ネットワークサイエンス, 新たな情報流通基盤
ソフトウェア	システムソフトウェアとミドルウェア, プログラミングモデルとランタイム, 組込みシステム, ソフトウェア工学
IT アーキテクチャ	エンタープライズアーキテクチャ, クラウドコンピューティング, ワークロード特化型アーキテクチャ, HPC, モバイルコンピューティング, ストレージシステム
IT メディアとデータマネジメント	マルチメディア情報の個人適応検索技術, 個人ライフログデータの記録・利活用技術, 次世代情報検索・推薦技術, センサデータ統合検索分析技術, ビッグデータの統合・管理・分析技術, 時空間データマイニング技術, ユーザ生成コンテンツとソーシャルメディア
人工知能	探索とゲーム, 機械学習, オントロジーと LOD, Web インテリジェンス, ロボットにおける言語・知識・動作, 統合 AI, 汎用人工知能, 認知科学
ビジョン・言語処理	大規模言語処理に基づく情報分析, 言語情報処理応用 (機械翻訳), 言語情報処理応用 (音声対話), 言語と映像の統合理解, 画像映像処理・理解
インタラクション	BMI, Augmentation, 触覚/多感覚, ウェアラブル, Human-Robot Interaction, グラフィクス・ファブリケーション

本調査研究では、この技術キーワードレベルで、IoT/CPS サービス実現に対する必要性を検討した。

II.2.2 製造業におけるIoT/CPSサービスの検討

「II.1. IoT/CPS サービスに係わる技術・研究開発動向および影響の整理」にも示したとおり、IoT/CPS は幅広い領域への適用が期待されているところであるが、それぞれの領域によって提供されるサービスとしては、領域横断で共通のものと領域ごとに異なる部分が出てくると想定される。そのため、IoT/CPS サービスが提供されるすべての領域を対象とすると、その範囲が広範になるため、本調査研究においては、米国における Industrial Internet や、ドイツにおける Industrie 4.0 などの動向、日本における産業規模（製造業は国内総生産の約 20%に達する）などを考慮し、特に製造業に注目し、IoT/CPS サービスの展開について検討を行うこととした。

製造業においては、従来、業務プロセスと製造プロセスがそれぞれ独立して ICT による高度化・効率化を進めてきたが、IoT/CPS の出現に伴い、それらが統合管理されるようになる可能性があり、今後大きく事業モデルが変化していく可能性が指摘されている（図 II.2-2）。

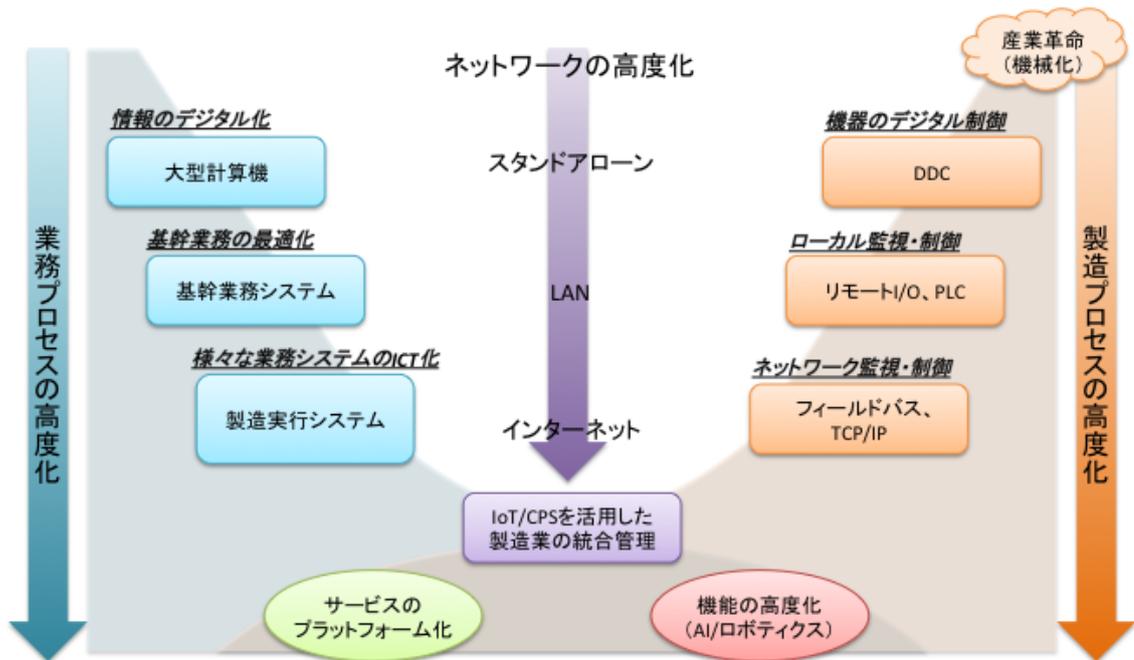


図 II.2-2 製造業におけるプロセスの高度化

本調査研究では、製造業へのIoT/CPSサービスの適用を考えるにあたり、ワークフローを、図 II.2-3 に示すとおり、大きく7つに分類・整理した。それぞれのワークフローにおける目的、および具体的な内容は表 II.2-2 に示すとおりである。

マーケティング	企画	設計・開発	調達	製造	営業販売	保守
ユーザニーズの把握	ユーザ連携の実現	柔軟、迅速で手戻りのない設計・開発	在庫最適化による効率化	製造プロセスの効率化	需要発生	予防保守による稼働率向上
<ul style="list-style-type: none"> 市場概況調査・把握 市場ニーズ調査・把握 市場規模・競合分析 	<ul style="list-style-type: none"> 製品コンセプト検討 製品仕様策定 製造・販売コスト算出 販売価格設定(企画時点) 販売促進・広告宣伝 広報、PR活動 	<ul style="list-style-type: none"> 概念・基本設計 詳細設計 解析・試作・量産試作 工程設計(検査/工程管理設計) 	<ul style="list-style-type: none"> 調達戦略策定 調達仕様決定 サプライヤ管理 調達管理(発注、検収、支払) 在庫管理(部材) 	<ul style="list-style-type: none"> 製造ライン設計・構築 生産計画策定 製造ライン管理 品質管理 	<ul style="list-style-type: none"> 販売戦略策定 販売価格決定(販売時点) 顧客開拓・管理 在庫管理(製品) 販売管理(代金徴収・売上処理) 	<ul style="list-style-type: none"> 製品稼働状況収集・分析 交換・修理時期判断・計画策定 部品交換・修理

図 II. 2-3 製造業において想定されるワークフロー

技術・研究開発動向の調査

表 II. 2-2 ワークフローの概要

ワークフロー	目的	具体的な業務内容
マーケティング	ユーザニーズの迅速・適切な把握	<ul style="list-style-type: none"> 市場概況調査・把握 市場ニーズ調査・把握 市場規模・競合分析
企画	ユーザニーズに合致した企画の立案	<ul style="list-style-type: none"> 製品コンセプト検討 製品仕様策定 製造・販売コスト算出 販売価格設定(企画時点) 販売促進・広告宣伝 広報、PR活動
設計・開発	柔軟、迅速で手戻りのない設計・開発	<ul style="list-style-type: none"> 概念・基本設計 詳細設計 解析・試作・量産試作 工程設計(検査/工程管理設計)
調達	在庫最適化による効率化	<ul style="list-style-type: none"> 調達戦略策定 調達仕様決定 サプライヤ管理 調達管理(発注、検収、支払) 在庫管理(部材)
製造	製造プロセスの効率化	<ul style="list-style-type: none"> 製造ライン設計・構築 生産計画策定 製造ライン管理 品質管理

ワークフロー	目的	具体的な業務内容
営業販売	需要に応じた販売計画の立案、遂行	<ul style="list-style-type: none"> ■ 販売戦略策定 ■ 販売価格決定（販売時点） ■ 顧客開拓・管理 ■ 在庫管理（製品） ■ 販売管理（代金徴収・売上処理）
運用・保守	予防保守などによる稼働率の向上	<ul style="list-style-type: none"> ■ 製品稼働状況収集・分析 ■ 交換・修理時期判断・計画策定 ■ 部品交換・修理

これら個別の業務内容に関して、業務の高度化・効率化に寄与する可能性のある情報としては、以下の表 II.2-3 が考えられる。すなわち、これらの情報について IoT/CPS を活用することで収集することができれば、IoT/CPS の活用により、当該業務の高度化・効率化を図ることが可能であると考えられる。

表 II.2-3 各業務内容の高度化・効率化を図る上で利活用可能性のある情報

フロー	業務内容	利活用可能性のある情報
マーケティング	市場概況調査・把握	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各種統計情報 ・ マスメディア情報 など
	市場ニーズ調査・把握	<ul style="list-style-type: none"> ・ 利用者アンケート、ヒアリング ・ 各種技術予測レポート など
	市場規模・競合分析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市場動向分析レポート ・ 競合他社の IR 関連資料 など
企画	製品コンセプト検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存／潜在顧客ニーズ など (アンケート、ヒアリングなど)
	製品仕様策定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自社・競合技術評価分析 ・ 部材などのスペック など
	製造・販売コスト算出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 部材などの概算費用 ・ 製造に係わる概算費用 (内製分、外注分) など
	販売価格設定（企画時点）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 競合／類似製品の価格
	販売促進・広告宣伝	<ul style="list-style-type: none"> ・ ターゲット顧客分析データ ・ 手法別必要費用
	広報、PR 活動	<ul style="list-style-type: none"> ・ ・ ・
設計・開発	概念・基本設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ ・ ・
	詳細設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ ・ ・
	解析・試作・量産試作	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試作ごとの製造機のパラメータ ・ 試作品ごとの性能評価結果 など
	工程設計(検査/工程管理設計)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ・ ・

フロー	業務内容	利活用可能性のある情報
調達	調達戦略策定	・サプライヤ動向 など
	調達仕様決定	・ . . .
	サプライヤ管理	・サプライチェーン詳細情報
	調達管理 (発注、検収、支払)	・製品の受発注情報・生産予測 ・製造ラインの稼働状況 ・経費関連情報 など
	在庫管理 (部材)	・部材ごとの在庫情報 ・保管場所など情報 など
製造	製造ライン設計・構築	・製造機械スペック ・工程設計情報 など
	生産計画策定	・製品の受発注情報・生産予測
	製造ライン管理	・ライン上の機器の稼働状況 (稼働時間、異常、負荷など) ・ライン上の機器の保守情報 など
	品質管理	・製造環境情報 (気温、湿度など) ・製品の性能評価結果 など
営業販売	販売戦略策定	・ . . .
	販売価格決定 (販売時点)	・自社製品の製造コスト ・競合他社の価格 ・受発注、在庫状況 など
	顧客開拓・管理	・既存顧客情報 ・潜在顧客情報 など
	在庫管理 (製品)	・製品の受発注情報・生産予測 ・保管場所など情報
	販売管理 (代金徴収・売上処理)	・配送先など流通関連情報 ・経費関連情報 など
	運用・保守	製品稼働状況収集・分析
交換・修理時期判断・計画策定		・全体最適化に向けた全体保守情 報など
部品交換・修理		・ . . .

このように業務およびそこで利活用の可能性がある情報は多岐にわたる。本来であれば、これらすべてについて、その IoT/CPS の可能性を検証することが望ましいが、これらすべてについて、定量的に評価可能なデータは存在していないため、Industrial Internet や Industrie 4.0 が期待される効果が大きいとされている製造、運用・保守、あるいはサプライチェーン管理などを主たる対象として、IoT/CPS サービスの検討を実施した (図 II.2-4)。

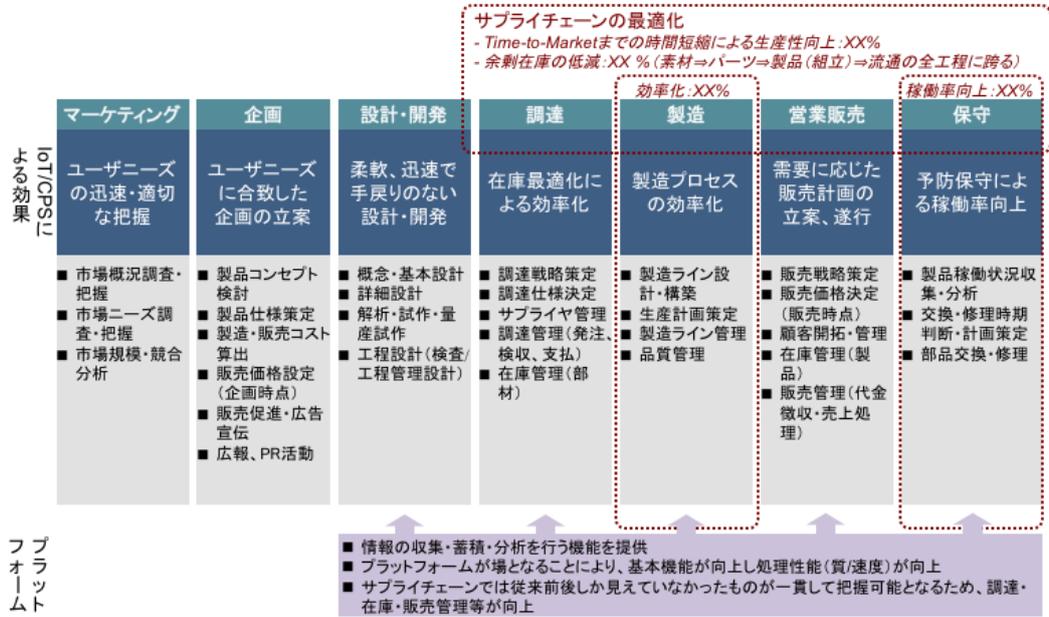


図 II. 2-4 本調査研究が主たる対象とする IoT/CPS サービスの領域

II.2.3 IoT/CPS サービスの実現に求められる技術

IoT/CPS サービスの実現に求められる技術の検討に際しては、表 II.2-3 に示した業務内容、および利活用可能性のある情報をもとに、そこで示した情報がどのような ICT 技術によって利活用される得るかについて検討を行った。

例えば、製造における生産計画の策定であれば、製品の受注情報や生産予測を行う必要があるが、この場合にはマクロ的な経済情勢や現在の製品在庫の状況、部材などのストック状況の情報を活用しながら、工場の稼働を最適化する必要がある。これを具体的に実現するためには、データの処理という観点から、ビッグデータの統合・管理・分析技術が必要になるし、それを支える基盤という観点からクラウドコンピューティングが必要となる。

また、製造ラインの管理については、製造ラインが現在どのように動いているか、機器の負荷はどのようになっているか、といった情報を把握する必要があり、これを具体的に実現するためには、機器の稼働状況をリアルタイムに把握するためのセンシング技術や、センサデータ統合検索分析技術が必要となる。また、ライン上の機器が故障・障害を起こさないように予防保全を行う場合には、過去の稼働と故障の関係性などを分析し、どの程度時間が経過したら機器の保守を行なった方がよいか、といった分析を実施できる必要がある。そして、これを実現するためには、機械学習や、場合によっては汎用人工知能といった技術も必要となる。

このような検討を踏まえ、業務単位で利活用されうる ICT 技術の整理を行なった結果を次の表 II.2-4、表 II.2-5、表 II.2-6 に示す。

表 II. 2-4 各業務の高度化・効率化実現に際して利用されうる ICT 技術の整理 (1)

フロー	業務内容	MEMS デバイス	センサ・ アクチュエータ	超低消費 電力技術	無線通信 技術
マーケティング	市場概況調査・把握				
	市場ニーズ調査・把握				
	市場規模・競合分析				
企画	製品コンセプト検討				
	製品仕様策定				
	製造・販売コスト算出				
	販売価格設定 (企画時点)				
	販売促進・広告宣伝				
	広報、PR 活動				
設計・ 開発	概念・基本設計				
	詳細設計				
	解析・試作・量産試作	◎	◎		
	工程設計 (検査/工程管理設計)				
調達	調達戦略策定				
	調達仕様決定				
	サプライヤ管理				
	調達管理 (発注、検収、支払)				
	在庫管理 (部材)	○	◎	◎	○
製造	製造ライン設計・構築				
	生産計画策定				
	製造ライン管理	◎	◎	◎	○
	品質管理	◎	◎	◎	○
営業販売	販売戦略策定				
	販売価格決定 (販売時点)				
	顧客開拓・管理				
	在庫管理 (製品)	○	◎	◎	○
	販売管理 (代金徴収・売上処理)				
運用・ 保守	製品稼働状況収集・分析	◎	◎	◎	○
	交換・修理時期判断・計画策定				
	部品交換・修理				

凡例：◎ 特に重要と想定される技術、○ 利用が想定される技術

表 II. 2-5 各業務の高度化・効率化実現に際して利用されうる ICT 技術の整理 (2)

フロー	業務内容	クラウドコンピューティング	センサデータ統合検索分析	ビッグデータの統合・管理・分析	時空間データマイニング
マーケティング	市場概況調査・把握	○		○	○
	市場ニーズ調査・把握	○		○	○
	市場規模・競合分析	○		○	
企画	製品コンセプト検討				
	製品仕様策定				
	製造・販売コスト算出				
	販売価格設定 (企画時点)	○		○	
	販売促進・広告宣伝				
	広報、PR 活動				
設計・開発	概念・基本設計				
	詳細設計				
	解析・試作・量産試作	○	◎	◎	
	工程設計 (検査/工程管理設計)				
調達	調達戦略策定				
	調達仕様決定				
	サプライヤ管理	○		◎	
	調達管理 (発注、検収、支払)	○			
	在庫管理 (部材)	○		◎	
製造	製造ライン設計・構築				
	生産計画策定	○		○	
	製造ライン管理	○	◎	◎	○
	品質管理	○	◎	◎	
営業販売	販売戦略策定				
	販売価格決定 (販売時点)	○		○	
	顧客開拓・管理			○	
	在庫管理 (製品)	○		◎	
	販売管理 (代金徴収・売上処理)	○			
運用・保守	製品稼働状況収集・分析	○	◎	◎	
	交換・修理時期判断・計画策定	○	◎	◎	○
	部品交換・修理				

凡例：◎ 特に重要と想定される技術、○ 利用が想定される技術

表 II. 2-6 各業務の高度化・効率化実現に際して利用されうる ICT 技術の整理 (3)

フロー	業務内容	機械 学習	汎用人工 知能	CPS/IoT アーキテクチャ	IoT セキュリティ	メタデータ 連携技術
マーケティング	市場概況調査・把握					
	市場ニーズ調査・把握					
	市場規模・競合分析					
企画	製品コンセプト検討					
	製品仕様策定					
	製造・販売コスト算出					
	販売価格設定 (企画時点)					
	販売促進・広告宣伝					
	広報、PR 活動					
設計・ 開発	概念・基本設計					
	詳細設計					
	解析・試作・量産試作			◎	◎	
	工程設計 (検査/工程管理設計)					
調達	調達戦略策定					
	調達仕様決定					
	サプライヤ管理				◎	
	調達管理 (発注、検収、支払)	○	○			
	在庫管理 (部材)			◎	◎	
製造	製造ライン設計・構築					
	生産計画策定					
	製造ライン管理	○	○	◎	◎	
	品質管理			◎	◎	
営業販売	販売戦略策定					
	販売価格決定 (販売時点)					
	顧客開拓・管理					
	在庫管理 (製品)	○	○	◎	◎	
	販売管理 (代金徴収・売上処理)					
運用・ 保守	製品稼働状況収集・分析	○	○	◎	◎	
	交換・修理時期判断・ 計画策定	○	○			
	部品交換・修理					

凡例：◎ 特に重要と想定される技術、○ 利用が想定される技術

ここで ICT に係わるサービスと技術の関係を俯瞰しておく (図 II.2-5)。この図の下部は図 II.2-1 と同じものである。その上にアプリケーションやサービスのレイヤがある。ここでは具体的な保守管理や在庫管理のような機能を提供する。さらにそれらを使うことによる期待として、プロセス・イノベーションにおいては稼働無駄の削減、生産効率の向上などが、またプロダクト・イノベーションにおいては新規ニーズの発掘などがある。国全体としては、労働需要への影響や財・サービスの多様化などが現れるはずである。

IoT/CPS のサービスを検討するに際しては、こうした ICT が提供する機能についても留意する必要がある。

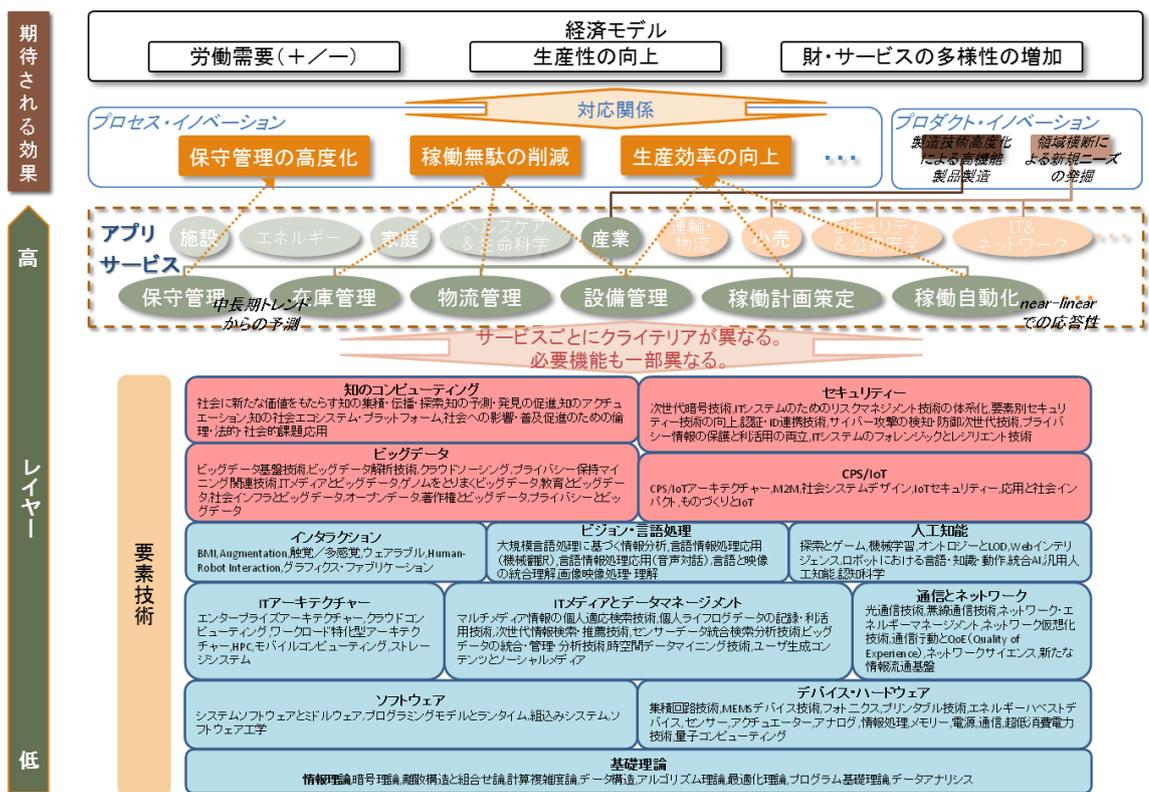
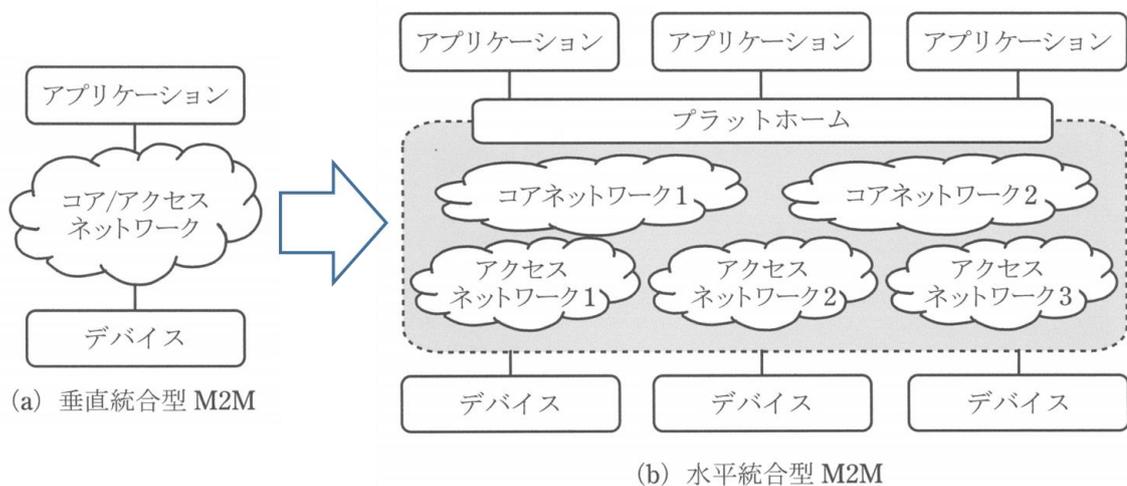


図 II.2-5 ICT サービスにおけるレイヤ構造

II.2.4 IoT/CPSの標準化動向

前述した通り、IoT/CPSの社会実装に向けては、以下に示すように、従来型の垂直統合モデルから水平統合モデルに変化していくことが重要である。従来は、システム全体が垂直統合モデルにより構築されており、システムとしての一貫性は保ちやすい一方で、相互接続性が低く、システムの構築・運用コストが高くなる傾向にあった。こうした問題を解消していくためには、ハードウェアの汎用化、およびソフトウェアの再利用可能性を高めることが重要である。

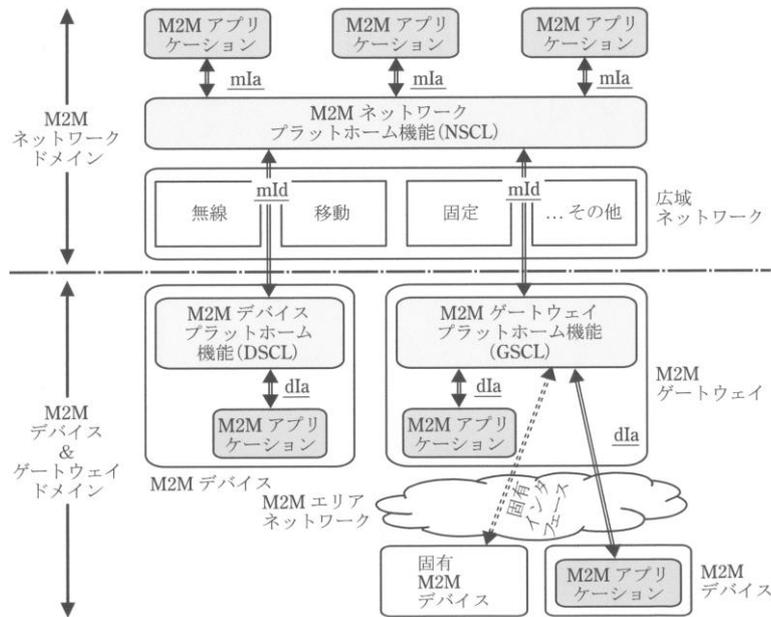


出所) 電子情報通信学会誌 [10]をもとに作成

図 II.2-6 IoT/CPS アーキテクチャの変化

こうした考えのもと、欧米ではIoT/CPS (M2M)アーキテクチャの水平統合化を実現すべく、標準化が積極的に進められている。

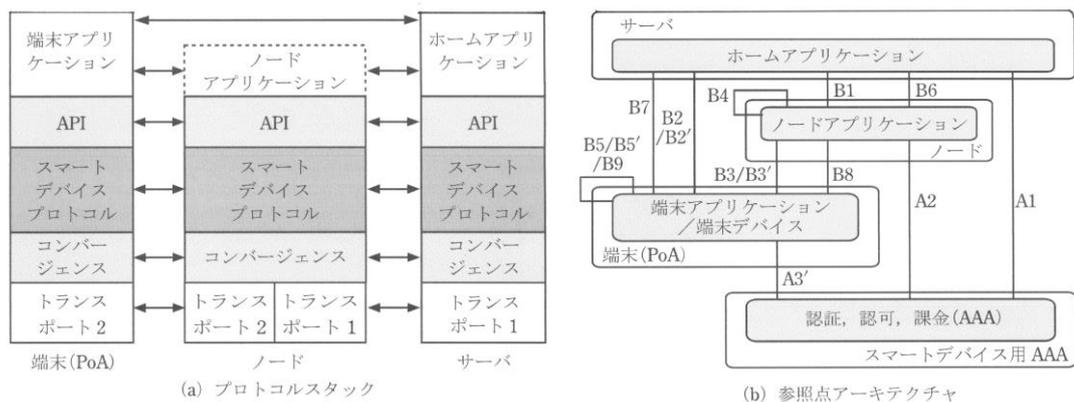
欧州では、IoT/CPS(M2M)の標準化に係わる活動として ETSI TC M2M が存在する。ETSI TC M2M では、マルチサービスに対応可能な M2M アーキテクチャを規定することで、M2M システム構築の低コスト化を目指している。具体的には、ネットワーク/ゲートウェイ/デバイスのそれぞれにプラットフォーム機能 (Service Capability Layer : SCL) をもたせ、それらおよびアプリケーション間でデータのやり取りするための API を標準化することでアプリケーション開発の簡易化を図っている (図 II.2-7)。



出所) 電子情報通信学会誌 [10]

図 II. 2-7 ETSI M2M アーキテクチャ

北米では、TIA が M2M の標準化を進めており、TIA TR-50 としてリファレンスアーキテクチャを定義している (図 II. 2-8)。各コンポーネント間の M2M 通信をサポートするスマートデバイスプロトコルを中心として、利用ネットワークの差異を吸収するコンバージェンスレイヤ、アプリケーションに API を提供する API レイヤなどから構成される。



出所) 電子情報通信学会誌 [10]

図 II. 2-8 TIA TR-50 アーキテクチャ

II.3. IoT/CPS 研究開発への公的投資状況の調査

政策パターンを検討する上で、パラメータ要素の一部となる研究開発予算およびその期間に示唆を得ることを目的として、国内外における IoT/CPS の研究開発投資の規模、およびその実施期間に関して、調査を実施した。

II.3.1 国内公的機関による IoT/CPS 関連の研究開発投資

(1) IoT/CPS 関連の研究開発投資

日本国内において、IoT/CPS 関連で近年実施されている研究開発は以下に示すとおりである。

下表から明らかなおと、研究開発の実施期間は1～5年と幅があり、またそれに応じて、予算規模も1億円程度から15億円まで幅広い状況である。ただし、単年度という観点で見ると数千万から3億円程度という状況である。

表 II.3-1 国内公的機関による IoT/CPS 関連の研究開発投資

施策名	機関	期間	予算額 ⁴⁷
社会システム・サービスの最適化のための IT 統合システム構築	文部科学省	H24～28年度	2.5億円
機器間相互認証に用いる L S I のセキュリティ対策に関する研究開発	経済産業省	H24～25年度	0.7億円
「モノのインターネット」時代の通信規格の開発・実証	総務省	H24～26年度	2億円
ロバストなビッグデータ利活用基盤技術の研究開発	総務省	H25年度	1億円
膨大な数の極小データの効率的な配送基盤技術の研究開発	総務省	H25年度	1億円
メッシュ型地域ネットワークのプラットフォーム技術の研究開発	NICT	H26～28年度	1.2億円
新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発	NICT	H25～27年度	計 2.3 百万€ 日本 1.6 百万€
グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクト	NEDO	H23～25年度	7.3億円
IT 融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト	NEDO	H24～28年度	15億円

出所) 岩野和生、高島洋典「サイバーフィジカルシステムと IoT(モノのインターネット)」
(情報管理 Vol.57 no.11、2015年2月)

⁴⁷ 予算額は施策開始時の募集要項、実施方針(各機関公表資料)などから抜粋。次の施策以外の予算額は、研究開発初年度の予算額。

- ・新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発
- ・グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクト

(2) その他の ICT 関連の研究開発投資

公的機関（総務省、文部科学省）によるその他の ICT 関連の研究開発投資の額は以下に示す通りである。

表 II. 3-2 その他 ICT に関連する研究開発への投資

施策名	機関	期間	予算額 ⁴⁸
G 空間プラットフォームにおけるリアルタイム情報の利活用技術に関する研究開発	総務省	H26 年度	3.3 億円
スマートなインフラ維持管理に向けた ICT 基盤の確立	総務省	H26 年度	2.1 億円
海洋資源調査のための次世代衛星通信技術に関する研究開発	総務省	H26 年度	1.0 億円
次世代ブラウザにおける通信環境透過技術	総務省	H26 年度	1.4 億円
ネットワーク仮想化基盤技術の研究開発	総務省	H25 年度	23.7 億円
ネットワーク仮想化統合技術の研究開発	総務省	H25 年度	12.7 億円
膨大な数の極小データの効率的な配送基盤技術の研究開発	総務省	H25 年度	1.0 億円
ロバストなビッグデータ利活用基盤技術の研究開発	総務省	H25 年度	1.0 億円
変動する通信状況に適応する省エネなネットワーク制御基盤技術の研究開発	総務省	H25 年度	1.0 億円
大規模通信混雑時における通信処理機能のネットワーク化に関する研究開発	総務省	H24 年度	6.5 億円
被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発	総務省	H24 年度	3.0 億円
災害時避難所などにおける局所的同報配信技術の研究開発	総務省	H24 年度	0.8 億円
災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発	総務省	H24 年度	9.7 億円
電磁波エネルギー回収技術の研究開発	総務省	H24 年度	2.0 億円
小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの研究開発	総務省	H24 年度	9.5 億円
スマートコミュニティにおけるエネルギーマネジメント通信技術	総務省	H24 年度	2.2 億円
次世代ブラウザ技術を利用した災害時における情報伝達のための端末間情報連携技術	総務省	H24 年度	1.5 億円
「モノのインターネット」時代の通信規格の開発・実証	総務省	H24 年度	2.0 億円
ビッグデータ利活用のための研究開発	文部科学省	H26 年度	1.4 億円

⁴⁸ 予算額は施策開始時の募集要項、実施方針（各機関公表資料）などから抜粋。

施策名	機関	期間	予算額 ⁴⁸
ビッグデータ利活用によるイノベーション人材育成ネットワークの形成	文部科学省	H25年度	0.3億円
データ連携技術などに係わるフィージビリティスタディ及び予備研究	文部科学省	H25年度	0.3億円
アカデミッククラウド環境構築に係わるシステム研究	文部科学省	H25年度	0.2億円
社会システム・サービスの最適化のためのIT統合システムの構築	文部科学省	H24年度	2.4億円
イノベーション創出を支える情報基盤強化のための新技術開発	文部科学省	H24年度	3.1億円
イノベーション創出の基盤となるシミュレーションソフトウェアの研究開発	文部科学省	H24年度	4.0億円

出所) 各種情報をもとに作成

II.3.2 米国 NSF における IoT/CPS 関係の研究開発投資

NFS では、主に大学を対象に IoT/CPS に係わる研究開発への投資を行なっている。

以下に、IoT/CPS 関連の研究開発投資のうち、研究予算の大きい上位 20 プロジェクトを示す（2015 年 3 月 25 日時点）。表中に記載されているものは、100 万ドル以上のものとなっているが、十～数十万ドル規模のものも多数実施されており、全体で約 150 のプロジェクトが実施されている。

表 II.3-3 米国 NSF の IoT/CPS への研究開発投資状況

プロジェクト名	開始時期	終了時期	予算額[USD]
CPS: Large: ActionWebs	09/15/2009	08/31/2015	5,031,031
CPS: Large: Assuring the Safety, Security and Reliability of Medical Device Cyber Physical Systems	10/01/2010	09/30/2015	4,950,003
CPS:VO: Virtual Organization for Cyber-Physical Research (VO-CyPhER)	03/01/2010	02/29/2016	3,523,662
CPS: Large: Cybernetic Interfaces for the Restoration of Human Movement through Functional Electrical Stimulation	10/01/2009	09/30/2015	3,440,008
Collaborative Research: An Expedition in Computing for Compiling Printable Programmable Machines	04/01/2012	03/31/2017	3,181,000
CPS: Medium: Image Guided Robot-Assisted Medical Interventions	09/01/2009	02/29/2016	1,558,492
CPS: TTP Option: Synergy: Human-Machine Interaction with Mobility Enhancing Soft Exosuits	03/01/2015	02/28/2019	1,411,482
CPS: Synergy: Software Defined Buildings	10/01/2012	09/30/2016	1,200,000
CPS: TTP Option: Synergy: Collaborative Research: Calibration of Personal Air Quality Sensors in the Field - Coping with Noise and Extending Capabilities	01/01/2015	12/31/2018	1,109,985
CPS: Synergy: Foundations of Cyber-Physical Infrastructure for Creative Design and Making of Cyber-physical Products	09/01/2013	08/31/2017	1,075,000
CPS:Medium: GoingEasy with Crowdsourcing - Building Cyber-Physical Systems for People with Visual Impairment	10/01/2011	09/30/2015	1,032,000
CPS: Medium: GOALI: An Architecture Approach to Heterogeneous Verification of Cyber-Physical Systems	09/15/2010	08/31/2015	1,031,001
CPS: Synergy: Integrated Sensing and Control Algorithms for Computer-Assisted Training	10/01/2013	09/30/2016	1,029,403

プロジェクト名	開始時期	終了時期	予算額[USD]
CPS:Medium:Quantitative Visual Sensing of Dynamic Behaviors for Home-based Progressive Rehabilitation	08/29/2012	11/30/2015	1,027,398
CPS: Synergy: Integrated Modeling, Analysis and Synthesis of Miniature Medical Devices	12/01/2012	11/30/2016	1,016,000
INSPIRE Track I: Distributed Sensing Collective to Capture 3D Soundscapes	10/01/2013	09/30/2017	1,009,748
CPS: Synergy: Multi-Robot Cyberphysical System for Assisting Young Developmentally-Delayed Children in Learning to Walk	10/01/2013	09/30/2017	1,000,000
CPS: Synergy: Doing More With Less: Cost-Effective Infrastructure for Automotive Vision Capabilities	01/01/2015	12/31/2017	1,000,000
CPS: Synergy: Collaborative Research: A Signal-Aware-Based Low-Power, Fully Human Implantable Brain-Computer Interface System to Restore Walking after Spinal Cord Injury	10/01/2014	09/30/2018	1,000,000
CPS: Synergy: Tracking Fish Movement with a School of Gliding Robotic Fish	11/01/2014	10/31/2018	1,000,000

出所) NSF の公表情報をもとに作成

II.3.3 EU Horizon 2020 における IoT/CPS 関係の研究開発投資

Horizon2020 では、前述のとおり、ICT1-2014 「Smart Cyber-Physical Systems」、および ICT30 – 2015 「Internet of Things and Platforms for Connected Smart Object」において IoT/CPS 関連の研究開発予算が割当てられている。前者に関しては、タイプとして Research & Innovation Area と Innovation Actions、Coordination and Support Actions が存在し、それぞれ 3,700 万ユーロ、1,700 万ユーロ、200 万ユーロが割当てられている。後者に関しては、タイプとして、Research & Innovation Actions と Coordination and Support Actions が存在し、前者は 4,800 万ユーロ、後者は 200 万ユーロが割当てられている。

FP6 および FP7 において実施された IoT 関連のプロジェクトの概要は以下に示すとおりである。

表 II.3-4 EU Horizon 2020 における IoT/CPS への研究開発投資状況

プロジェクト名	開始時期	終了時期	予算額[EUR]
Advanced Sensors and lightweight Programmable middleware for Innovative Rfid Enterprise applications	2008/01/01	2011/06/30	5,945,397
Coordination and support action for global RFID-related activities and standardisation	2008/01/01	2009/06/30	533,711
Customer in the Loop: Using Networked Devices enabled Intelligence for Proactive Customers Integration as Drivers of Integrated Enterprise	2008/02/01	2011/04/30	3,604,001
Global RFID interoperability forum for standards	2008/01/01	2009/12/31	490,500
An interoperability service utility for collaborative supply chain planning across multiple domains supported by RFID devices	2008/02/01	2010/07/31	3,129,337
Coordinating European efforts for promoting the European RFID value chain	2006/04/01	2008/03/31	1,421,737
Intelligent distributed process utilisation and blazing environmental key	2006/10/01	2009/09/30	12,666,491
Intelligent integration of supply chain processes and consumer services based on unique product identification in a networked business Environment	2006/11/01	2009/04/30	2,594,351
Store Logistics and Payment with NFC	2006/07/01	2009/12/31	8,812,173
STOP Tampering of Products	2006/11/01	2009/04/30	4,888,448
Identity Based Tracking and Web-Services for SMEs	2006/06/01	2009/05/31	2,473,434

出所) EU CORDIS “RFID and Internet of Things Cluster”⁴⁹

⁴⁹ http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/rfid-iot-projects_en.html

Ⅲ. 政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）の作成

Ⅲ.1. ロードマップの作成

Ⅲ.1.1 IoT/CPS サービスの高度化のシナリオ

IoT/CPS サービスの開始時期に係わるロードマップの作成に際しては、製造業（特に製造、調達、運用・保守のワークフロー）においてIoT/CPS サービスがどのように利用されるかという点について、有識者の意見などを踏まえつつ、シナリオの作成を行なった。

表Ⅲ.1-1に製造、表Ⅲ.1-2に調達、表Ⅲ.1-3に運用・保守に係わるIoT/CPS サービスの高度化のシナリオを示す。

表Ⅲ.1-1 IoT/CPS を活用した製造の高度化の方向性

項目	概要	
製造ラインの効率化	実現目標	リアルタイムな需給予測に基づき、製造ラインを効率化し、製造単価の最適化を図る
	必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> □ 出荷前の製造済み製品の在庫・出荷予定、製品を製造するために必要な材料の在庫・入荷予定などをリアルタイムに把握できる機能 □ リアルタイムに把握した情報をもとに、製造ラインの最適運転計画を立案する機能 □ 最適運転計画に基づき、製造ラインの制御・動的な組み替えを実現する機能
	必要な技術	<ul style="list-style-type: none"> □ センサ・アクチュエータ技術（データの計測・機器の制御） □ 無線通信技術（データの収集） □ センサデータ統合検索分析技術、機械学習技術、ビッグデータ統合管理分析技術（データの解析・分析） □ IoTセキュリティ技術（セキュアなデータ授受）
	進化のプロセス	<ul style="list-style-type: none"> ① 製造ラインの運転状態をセンサや無線技術を活用して、稼働の無駄を把握する ② 従来、属人的に行われていた機能（暗黙知）を形式知化し、運転・管理を高度化する ③ サプライチェーン全体の在庫など情報をプラットフォーム上で共有し、最適運転計画を立案・運転する
製品品質の向上 ↓ 製造機器の保守効率化	実現目標	製造ラインのリアルタイム監視を行い、異常の早期発見による製造歩留まりの向上／廃棄の低減を図る
	必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> □ 製造ラインの稼働状況をリアルタイムに把握できる機能 □ 稼働状況（パターン）などから、障害予兆の把握などを解析する機能

必要な技術	<ul style="list-style-type: none"> ❑ センサ・アクチュエータ技術（データの計測） ❑ 無線通信技術（データの収集） ❑ センサデータ統合検索分析技術、機械学習技術、ビッグデータ統合管理分析技術（データの解析・分析） ❑ IoTセキュリティ技術（セキュアなデータ授受）
進化のプロセス	<ol style="list-style-type: none"> ① 製造ラインの運転状態をセンサや無線技術を活用して、ライン上の機器の負荷状況を把握する ② 人間の経験やノウハウに依存していた情報を形式知化し、障害予兆分析の高度化を図る ③ 当該製造機器を提供する事業者が機器の運転・障害情報を集約し、予兆診断などをプラットフォームサービスとして提供する

表 III. 1-2 IoT/CPS を活用した調達の高度化の方向性

項目	概要	
製造ラインの効率化	実現目標	在庫ストックの最適化を図る
	必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> ❑ 出荷前の製造済み製品の在庫・出荷予定、製品を製造するために必要な材料の在庫・入荷予定などをリアルタイムに把握することのできる機能 ❑ 需給予測を正確に予測することのできる機能
	必要な技術	<ul style="list-style-type: none"> ❑ センサ・アクチュエータ技術（データの計測） ❑ 無線通信技術（データの収集） ❑ センサデータ統合検索分析技術、機械学習技術、ビッグデータ統合管理分析技術（データの解析・分析） ❑ IoTセキュリティ技術（セキュアなデータ授受）
	進化のプロセス	<ol style="list-style-type: none"> ① 製品および部材の在庫情報をセンサや無線技術を活用して、リアルタイムに把握する ② 市場のマクロ情報などに基づき需要予測などを行い、調達の高度化を実現 ③ サプライチェーン全体の需給情報（最終需要を含む）をプラットフォーム上で共有し、最適な調達管理を実現する

政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）の作成

表 III. 1-3 IoT/CPS を活用した運用・保守の高度化の方向性

項目	概要	
製造ラインの効率化	実現目標	納入した製品のリアルタイム監視を行い、異常の早期発見による最適な保守を実現し、ライフサイクルの最適化を図る
	必要な機能	<ul style="list-style-type: none"> ❑ 製品の稼働状況をリアルタイムに把握することのできる機能 ❑ 稼働状況（パターン）などから、障害予兆の把握などを解析する機能
	必要な技術	<ul style="list-style-type: none"> ❑ センサ・アクチュエータ技術（データの計測） ❑ 無線通信技術（データの収集） ❑ センサデータ統合検索分析技術、機械学習技術、ビッグデータ統合管理分析技術（データの解析・分析） ❑ IoTセキュリティ技術（セキュアなデータ授受）
	進化のプロセス	<ul style="list-style-type: none"> ① 製造ラインの運転状態をセンサや無線技術などを活用して、製品の運転・負荷状況などを把握する（運転・負荷に係わるログを定期的に人が取得しに行き、オフラインで分析を行う） ② 人間の経験やノウハウに依存していた情報を形式知化し、障害予兆分析の高度化を図る ③ 製品の運転・障害情報を集約し、予兆診断などをプラットフォームサービスとして提供する

これらのシナリオの共通点は以下のように整理できる（表 III.1-4、図 III.1-1）。

表 III. 1-4 IoT/CPS サービスの製造業における利活用ユースケース

ユースケース	概要	特に重要とされる技術
① 状態・状況のリアルタイム把握および分析	機械などの稼働状況に係わる情報のデジタル化、およびそのデータの分析、分析に基づく制御、アクチュエーションの実施。Industrial Internetの主たる対象でもある。	<ul style="list-style-type: none"> ■ データアナリシス ■ センサ・アクチュエータ技術 ■ センサデータ統合検索分析技術
② 知見・ノウハウのデータベース化、およびそれに基づく制御	人に蓄積されている知見・ノウハウ（暗黙知）のデジタル化・定量化による、形式知・共有知化。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 言語と映像の統合理解 ■ 大規模言語処理に基づく情報分析 ■ 機械学習、人工知能
③ ワークフロー横断での最適化	ワークフロー／業務横断での各種情報の統合化、およびそれに基づく情報処理の高度化。Industrie 4.0のスクープの1つでもある。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 最適化理論 ■ CPS/IoT アーキテクチャ ■ ビッグデータの統合・管理・分析技術 ■ クラウドコンピューティング

政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）の作成

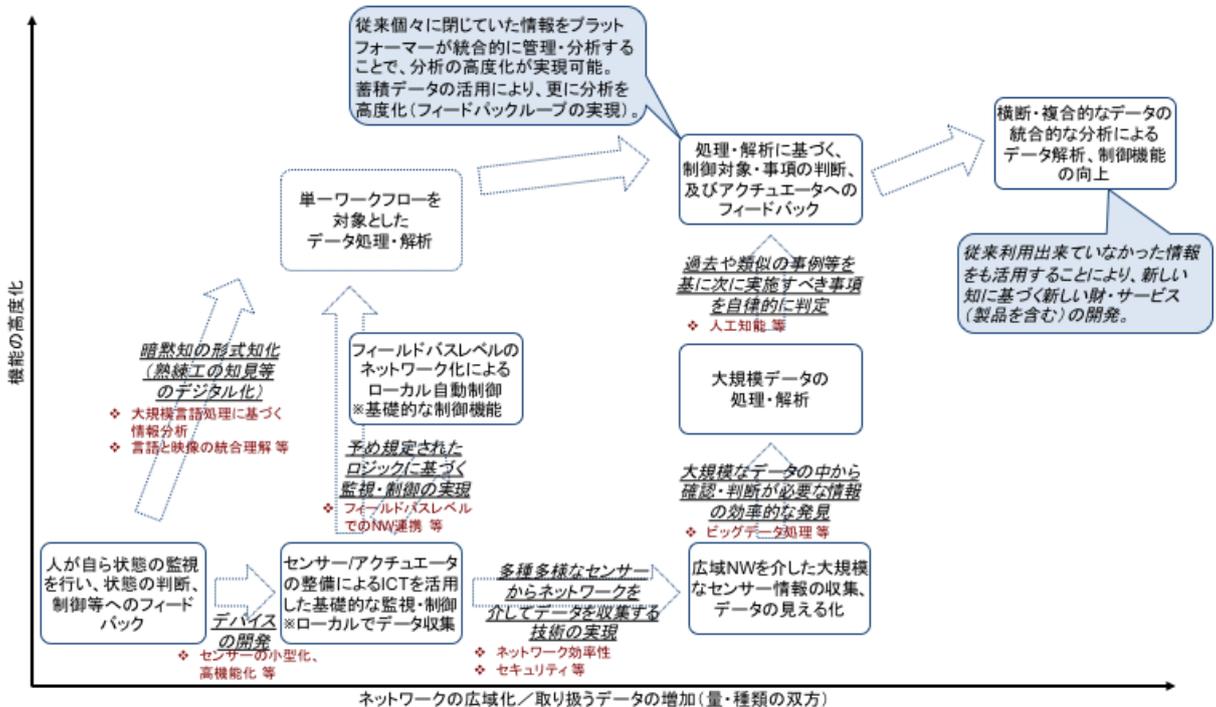


図 III. 1-1 IoT/CPS の進化の方向性

Ⅲ.1.2 IoT/CPS サービスのロードマップ

上記のように設定したシナリオに対して、有識者の意見および NISTEP「第10回科学技術予測調査」の結果を踏まえ、IoT/CPS サービスの開始時期に係わるロードマップの作成を行なった。

まず NISTEP「第10回科学技術予測調査」のうち、今回設定した IoT/CPS サービスに関係する部分を抜粋したものを示す（表Ⅲ.1-5）。具体的には、同調査のうち、IoT/CPS サービスの製造業における利活用ユースケースに特に関係性が高いと考えられるセンサによる情報収集・処理技術の高度化、暗黙知の形式知化、製造業などにおける産業の高度化に係わる予測を抽出している。

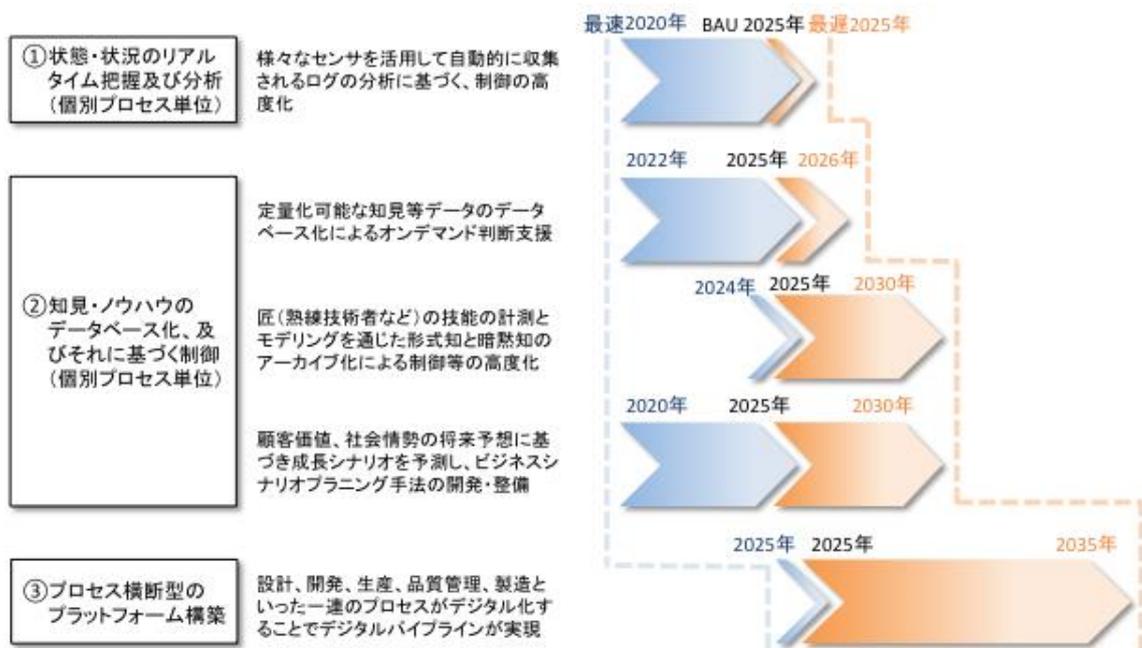
表Ⅲ.1-5 NISTEP「第10回科学技術予測調査」のうち関係部分を抜粋

[課題番号] 実現されるサービス	技術実現予測時期			社会実装予測時期		
	最速	中央値	最遅	最速	中央値	最遅
[1008011] 様々なセンサを活用して自動的に収集されるサービスのログに基づく振り返り分析により、サービスの質と効率を向上させるための教育システムが実現する	2020	2020	2024	2020	2025	2025
[1008015] サービス知識がデータベース化され、状況変化に適応したサービスの提供をリアルタイムで支援するナビゲーションツールが開発される	2020	2020	2025	2022	2025	2026
[1006029] 優れた芸人の所作や匠（熟練技術者など）の技能の計測とモデリングを通じた形式知と暗黙知のアーカイブ化による文化・技術の伝承システムが活用される	2020	2024	2025	2024	2025	2030
[1008027] 顧客価値、社会情勢の将来予想に基づいて、製品サービスシステムの成長シナリオをバックキャスト的に予測し、自社ビジネスの中長期計画をより論理的に構成可能とするビジネスシナリオプランニング手法が開発・整備される	2019	2022	2025	2020	2025	2030
[1008025] 設計、開発、生産、品質管理、製造といった一連のプロセスがデジタル化することでデジタルパイプラインが実現し、統一フォーマットによって社内外でのオープンイノベーションが活発化する	2020	2025	2025	2025	2026	2035

出所) NISTEP 「第10回科学技術予測調査」

前章で述べた技術・研究開発動向の調査結果から、IoT/CPS サービスの基礎となる要素技術については、おおむねその基盤技術がすでに確立されており、今後はIoT/CPS サービスの実現に向けて基盤技術の統合化、及びその社会実装に向けた課題解決などに取り組んでいく必要があると結論づけた。よって、科学技術予測調査で予測の対象となっている技術実現予測時期、社会実装予測時期のうち、特に後者の方がIoT/CPS サービスの開始により強い影響を及ぼすと仮定した。

同調査では、関係する研究者へのアンケート調査結果をもとに、個々の実現時期の分布をとっており、最速、中央値（BAU）、最遅を導出しており、それらを整理すると以下ようになる。



政策パターン案(ロードマップ・シナリオ)の作成

図 III. 1-2 IoT/CPS サービスの開始時期に係わるロードマップ

Ⅲ.2. 政策パターンの検討

Ⅲ.2.1 政策パターンのフレームワーク

政策オプションを構成する政策パターンは、政策により達成を目指す目標（政策の達成目標）とこれを実現するための政策手段（達成目標実現のための政策手段）を組み合わせたものである（図 Ⅲ.2-1 参照）。一般的に科学技術イノベーション政策で用いられる政策手段は、その発展段階により、技術の研究開発を支援する「研究開発フェーズ」と、開発された技術の社会実装を支援する「社会実装フェーズ」の2つのフェーズに大別できる。

また個々の政策手段としては経験的に図 Ⅲ.2-1 に示すようなものが挙げられる。

政策の達成目標の実現に向け、フェーズごとに採用する政策手段の種類、規模、手順の組み合わせ（政策パターン）を考え、それぞれがもたらす社会的・経済的影響の大きさを比較考量することにより、最適なパターンを選択することになる。

以降の節では、このフレームワークに基づき、製造業の生産性向上に寄与するIoT/CPS サービスに必要とされる技術の研究開発、および社会実装を支援する政策パターンを複数検討する。



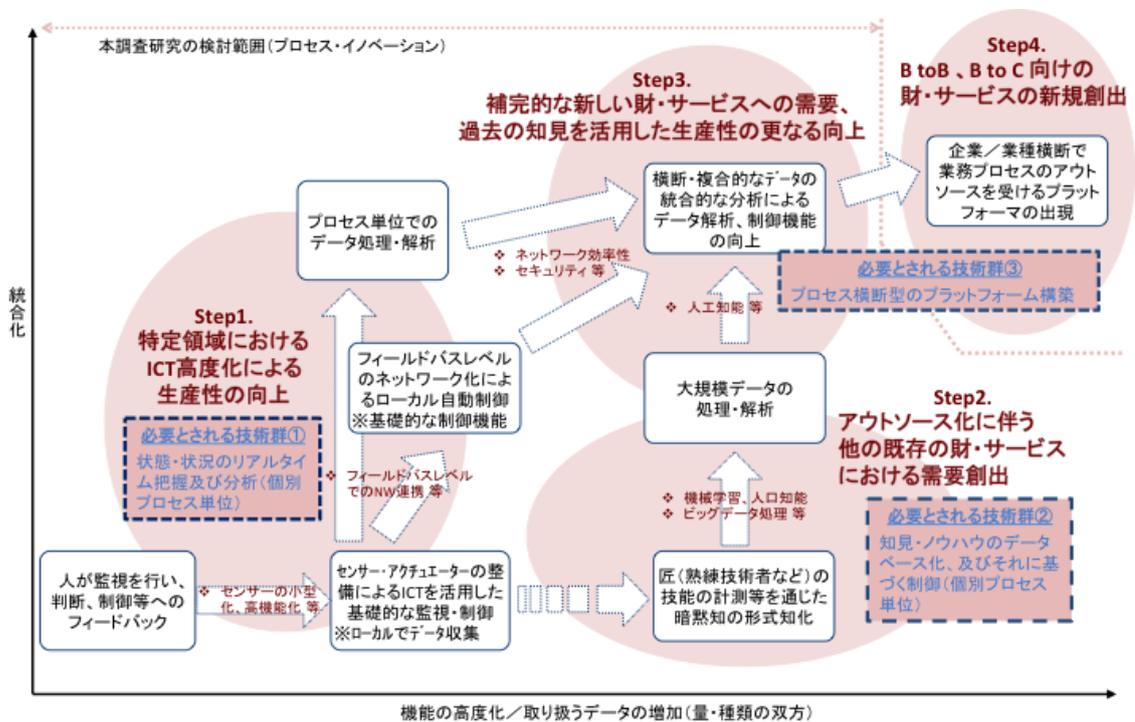
図 Ⅲ.2-1 政策パターンのフレームワーク

Ⅲ.2.2 政策パターンの作成

(1) 実現過程の整理

「Ⅲ.1. ロードマップの作成」における検討結果から、製造業においては、IoT/CPS サービスが以下に示すような過程を辿り、高度化すると考えられる。図 Ⅲ.2-2 は図 Ⅲ.1-1 を整理し、段階的に高度化していく過程を示している。

図 Ⅲ.2-2 に示した実現過程をもとに、以降で具体的に政策パターンを作成した。



政策パターン案(ロードマップ・シナリオ)の作成

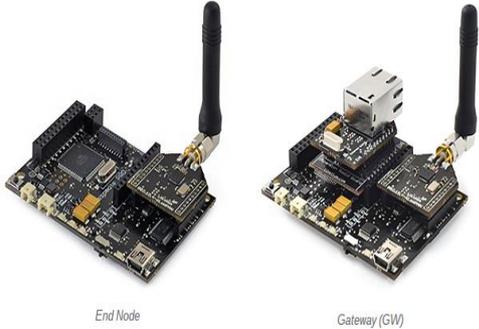
図 Ⅲ.2-2 製造業における IoT/CPS サービスの実現による産業の高度化の過程

(2) 個別の実現目標と必要技術の整理

政策パターンは達成すべき達成目標と、それを実現するための政策手段を組としたものである。

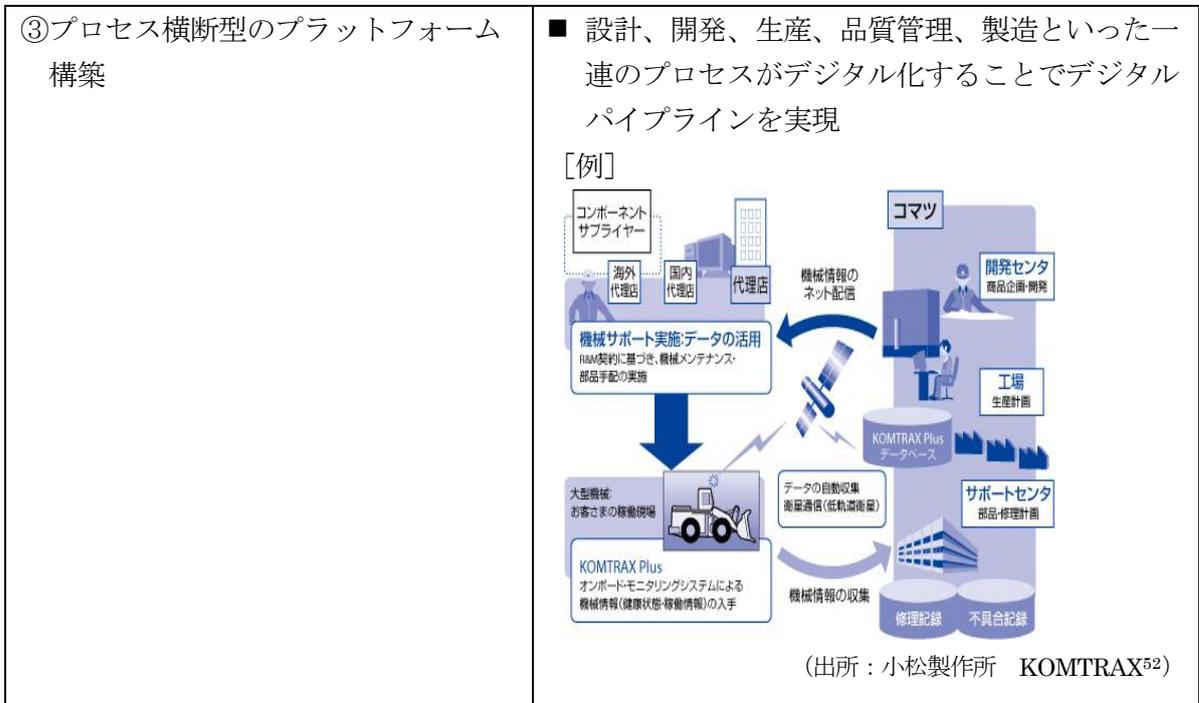
ここでは大きな政策課題が「IoT/CPS サービスの実現による製造業の高度化」であるならば、さらに高度化の過程(図 Ⅲ.2-2)を踏まえて、それぞれのステップの実現目標に分解することができる。以下、今までの検討をまとめて、次のように個別の実現目標とそれに必要な技術を整理した。

表 III. 2-1 個別の実現目標とそれに必要な技術の整理

個別の実現目標	実現に必要と考えられる技術とその例
<p>①状態・状況のリアルタイム把握及び分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ さまざまなセンサを活用して自動的に収集されるログの分析に基づく、制御の高度化 <p>[例]</p> <div style="text-align: center;">  <p>End Node Gateway (GW)</p> </div> <p>(出所: Atmel powers Waspote Mote Runner for the IoT⁵⁰)</p>
<p>②知見・ノウハウのデータベース化、及びそれに基づく制御</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定量化可能な知見などデータのデータベース化によるオンデマンド判断支援 ■ 匠（熟練技術者など）の技能の計測をモデリングを通じた形式知と暗黙知もアーカイブ化による制御などの高度化 ■ 顧客価値、社会情勢の将来予測に基づき、成長シナリオを予測し、ビジネスシナリオプランニング手法の開発・整備 <p>[例]</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>(出所: Oracle⁵¹)</p>

⁵⁰ <http://blog.atmel.com/2013/10/22/atmel-powers-waspote-mote-runner-for-the-iot/>

⁵¹ <http://image.slidesharecdn.com/02oracle-140801031643-phpapp01/95/device-to-intelligence-iot-and-big-data-in-oracle-6-638.jpg?cb=1407125397>



政策パターン案(ロードマップ・シナリオ)の作成

(3) 実現時期に関する検討

ICT 研究開発の領域は民間投資が活発な領域であるため⁵³、政策パターンの実施による効果は、基本的にある技術／サービスの実現速度に対するインパクトとして出現し、仮に何も政策を実施しなかった場合でも、必要な技術／サービスはその実現時期は遅れるものの必ず実現されるものと仮定した。ここでは政策として従来レベルでの研究開発投資を行うことを BAU とした (表 III.2-2)。

その上で、NISTEP の科学技術予測調査における最速、中央値、最遅という実現時期の要素に着目し、各ステップの実現時期を図 III.2-3 の形で整理した。

表 III.2-2 政策パターンの実施有無による IoT/CPS サービス実現時期に対する考え方

科学技術予測調査	政策パターンの観点からの考え方
最速	当該サービスに対して積極的に研究開発投資を実施し、想定し得る最速でサービスを実現する。
BAU (中央値)	最速と最遅の間に位置し、政策的な研究開発投資を行うものの、最速を実現するほどの投資は行わない。
最遅	政策として当該 IoT/CPS サービスの実現に投資を行わず、民間のみの投資によりサービス実現を図る。

⁵² http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/profile/product_supports/

⁵³ 国の ICT 研究開発投資が年間 1,000 億円程度であるのに対して、民間の ICT 研究開発投資は年間 2 兆円後半から 3 兆円程度である。

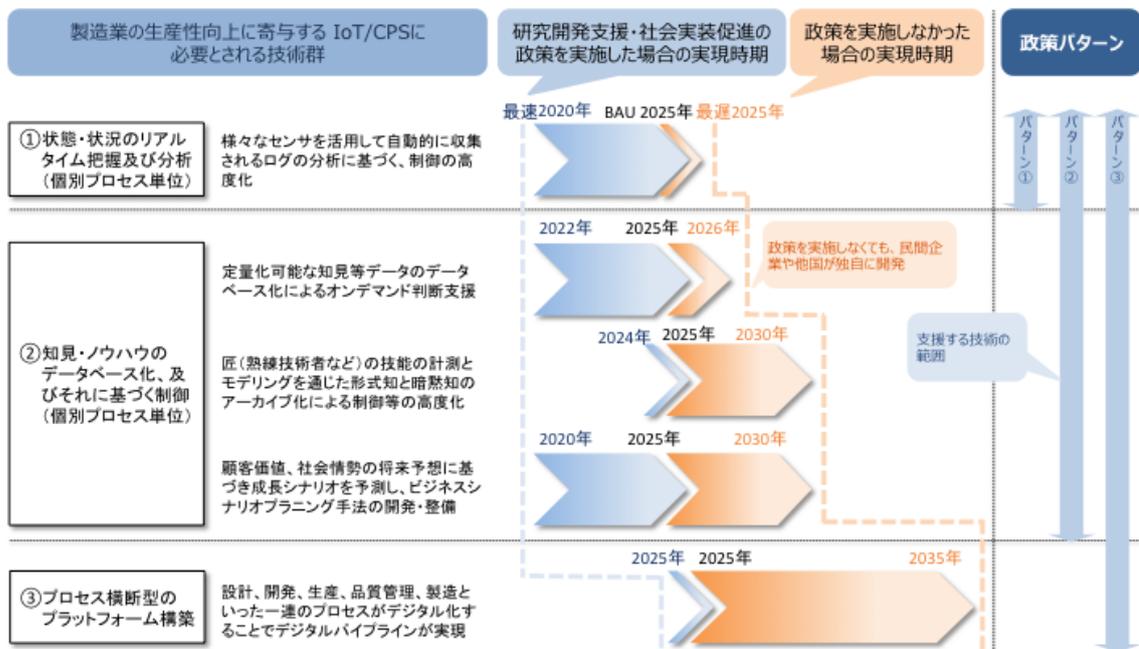


図 III. 2-3 IoT/CPS サービスに係わる政策パターンの考え方

例えば、「①状態・状況のリアルタイム把握および分析」の場合、国が積極的に研究開発投資を行えば、最速で2020年にサービスが実現されるのに対して、国として研究開発投資を行わなかった場合にはその実現時期が2025年となる。このサービスの場合、BAUも最遅と同じ2025年となっている。これはBAUレベルの中途半端な研究開発投資はサービス実現の前倒しには寄与せず、投資が実質的に無駄になる可能性があると考えることができる。

他方、「③プロセス横断型での最適化」に関しては、サービス実現時期は最速で2025年、最遅で2035年となっている。またBAUは最速と同じ2025年である。すなわち国が研究開発投資を従来通りのペースで行うか、積極的に投資するか、では実現時期に差はない。この場合、投資規模の大小はIoT/CPSサービスの実現時期には大きな影響を及ぼさないが、国が当該領域に研究開発投資を行うということ自体に意味がある、と解釈することができる。

このように、それぞれのサービスごとに最速、BAU、最遅が設定可能であることから、サービスごとにどの程度で研究開発投資を行うかを設定することが可能である。その上で、あるIoT/CPSサービスの早期実現に積極的な投資を行う一方で、別のIoT/CPSサービスには積極的な投資を行わない場合の経済効果を評価することが可能となる（図 III. 2-3）。

(4) 政策パターンの設定

図 III.2-2 に示すように、ステップ1が実現されないとステップ2の実現が難しい。さらにステップ1とステップ2の両方が実現されないとステップ3以降の発展はできない。このように考えると研究開発投資の政策パターンはステップ1への公的投資、続いてステップ2への公的投資、そしてステップ3への公的投資、という投資順序についての制約条件が付くことになる。これを政策パターンに反映させると、次のような案を作成することができる。図 III.2-3にも同じ内容を示している。

表 III.2-3 政策パターン案

政策パターン	達成目標	政策手段
政策パターン①	①状態・状況のリアルタイム把握及び分析の実現 <実現時期 2020年(最速)>	ステップ1への公的投資
政策パターン②	①状態・状況のリアルタイム把握及び分析の実現、かつ ②知見・ノウハウのデータベース化、及びそれに基づく制御の実現 <実現時期 2020年(最速)、一部は2024年>	ステップ1とステップ2への公的投資
政策パターン③	①状態・状況のリアルタイム把握及び分析の実現、かつ ②知見・ノウハウのデータベース化、及びそれに基づく制御の実現、かつ ③プロセス横断型のプラットフォーム構築の実現 <実現時期 2025年(最速)>	ステップ1～3すべてへの公的投資

また、ステップごとに具体的に実現するための、より具体的な政策パターン（案）と
 その中で実施することが想定される政策手段（例）としては、表 III.2-4 のようなもの
 が想定される。なおこの表 III.2-4 では個別の政策パターンに必要な政策手段を掲げて
 いるが、①と②を同時に目指すような複合した政策パターンの場合には政策手段はより多
 様になるであろう。

表 III.2-4 個別の政策パターン（案）と政策手段（例）

IoT/CPS サービス	個別の政策パターン案	個別の政策手段例
①状態・状況のリアルタイム把握および分析（個別プロセス単位）		
様々なセンサを活用して自動的 に収集されるログの分析に基 づく、制御の高度化	要素技術の研究開発を支援し、 その後開発した技術の有効性を 検証するための実証実験を 実施。有効性が確認された技術 の国際標準化を支援するととも に、当該技術の商品化支援、 製品の導入事業者に対する税 制優遇、加えて工場などに機器 を導入する際の安全基準の策 定などを行うことにより、社会 実装を加速化。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 補助金・助成（研究費） ■ 実証実験 ■ 補助金・助成（商品化支援） ■ 税制優遇（技術導入企業） ■ 社会普及に資する関連制度創設 ■ 国際標準化など規格化支援
②知見・ノウハウのデータベース化、およびそれに基づく制御（個別プロセス単位）		
定量化可能な知見などデータ のデータベース化によるオン デマンド判断支援 匠（熟練技術者など）の技能 の計測とモデリングを通じた 形式知と暗黙知のアーカイブ 化による制御などの高度化	要素技術の研究開発を支援し、 その後開発技術の有効性を 検証するための実証実験を 実施。 従来データ化されていなかった 情報のデータ化に係わる規格 の国際標準化を図り、メタ データの流通促進基盤を整備。 データアナリティクスを専業 とするベンチャー企業の起業 支援などを通じて、新しい市場 の確立を支援するとともに、 企業内でも当該業務を実施 できるアナリティクス人材の 育成を支援（キャパシティ・ ビルディング）。	<ul style="list-style-type: none"> ■ 補助金・助成（研究費） ■ キャパシティ・ビルディング ■ 実証実験 ■ ベンチャー企業支援 ■ 国際標準化など規格化支援

<p>顧客価値、社会情勢の将来予想に基づき成長シナリオを予測し、ビジネスシナリオプランニング手法の開発・整備</p>	<p>社会予測などを行う際に利用可能な基盤情報を整備するとともに、オープンデータなどにより容易に利用可能な環境を整備。</p> <p>ビッグデータによる解析結果を解釈したり、個々の状況にあった分析を行うことを可能とするアナリティクス人材の育成を支援。必要に応じて、より高度なビッグデータ解析を可能とする技術の研究開発を支援。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 補助金・助成（研究費） ■ 補助金・助成（研究人材） ■ キャパシティ・ビルディング ■ 基盤情報の整備
<p>③プロセス横断型のプラットフォーム構築</p>		
<p>設計、開発、生産、品質管理、製造といった一連のプロセスがデジタル化することでデジタルパイプラインが実現</p>	<p>関係者間で情報流通を促進・加速化するため、モデル的に複数事業者が連携して実証検証を行う連携プロジェクト（場の提供）を支援。</p> <p>各工程あるいはその複合工程の高度化に資するデータ解析などを専業とするベンチャー企業の起業支援などを通じて、新しい市場の確立を支援。関係者間で企業機密などに係わる情報を流通させる際に遵守すべきセキュリティ要件などのガイドライン・制度化を図る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 補助金・助成（連携プロジェクト） ■ 実証実験 ■ ベンチャー企業支援 ■ 社会普及に資する関連制度創設

政策パターン案（ロードマップ・シナリオ）の作成

IV. 政策効果の推計

IV.1. 推計方法

IV.1.1 推計方法の概要

政策パターンを具体的にシミュレーションするためには、計算のモデルとデータを用意する必要がある。今回は、科学技術の特性とその社会・経済的な影響を産業部門別にとらえるために、産業連関表を用いた分析方法を採用し、経済の一般的相互依存関係を踏まえた政策影響評価モデル（「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」と呼ぶ）を作成し、それによって定量的に政策の影響評価を行う。

前章までの検討によって、ICTの開発投資による各種の要素技術の進歩の将来動向を、有識者の意見を踏まえて、ロードマップとして捉えた（表 III.1-4、図 III.1-1）。それを実現するためのR&D投資シナリオに基づく知識ストックの蓄積と関連付けて、IoT/CPSサービスの実現過程を整理した（図 III.2-2）。そして政策手段としてのR&D投資シナリオと科学技術発展のロードマップの実現シナリオのセットを選択可能な政策パターンとして与える（図 III.2-3）。多部門経済一般均衡的相互依存モデルでは、政策パターンを外生的にモデルに入力し、ICT分野における機能の進歩・変化による経済的・社会的影響を産業部門ごとに振り分け、産業連関表の上で動学的⁵⁴に分析する。

このような影響評価モデルの開発で、政策パターンとして表現された選択可能な政策シナリオによる経済的・社会的な効果や影響の差異を分析できる。この分析は、政策選択の判断に必要な議論の素材となると考えられる。

IV.1.2 モデルで表現しようとする情報通信技術の特性

ここでは、適切な政策評価モデルを構築する上で把握が必要となる情報通信技術の特性について述べる。

⁵⁴ 時間的な要素や原因・結果の関係などを含めて経済現象を分析する。

(1) 情報通信分野の要素技術の層化

情報通信分野の要素技術は、以下の(1)から(3)に示す各レイヤに分けて層化することができる。(図 II.2-5 参照)

表 IV.1-1 情報通信分野の要素技術

(1)基礎理論 (情報科学の基礎科学レイヤ)	
	暗号理論、離散構造と組合せ理論、計算複雑度論、データ構造論、アルゴリズム理論、最適化理論、プログラム基礎理論、データ分析基礎理論などを含む
(2)応用技術要素 I	
①ソフトウェア開発 (情報処理・分析に係わる速度、省力効果)	システムソフトとミドルウェア、プログラミングモデルとランタイム、組込みシステム、ソフトウェア工学など OS やアプリケーションソフトなど
②デバイス・ハードウェア (情報処理に係わる機器・デバイスの性能向上)	集積回路技術、MEMS デバイス技術、フォトリソ、プロダクト技術、エネルギーハーベスト技術、センサ、アーキテクチャ、情報処理、メモリ、電源、通信、超低消費電力技術、量子コンピューティング技術など
③IT アーキテクチャ (情報処理、蓄積、伝搬などに係る機能向上)	エンタープライズアーキテクチャ、クラウドコンピューティング、ワークロード特化型アーキテクチャ、HPC、モバイルコンピューティング、ストレージシステムなど
④IT メディアとデータマネジメント (データマネジメント技術効率化とソーシャルメディア利用技術の向上)	マルチメディア情報の個人適応検索技術、個人ライフログデータの記録・利活用技術、次世代情報検索・推薦技術、センサデータ統合検索分析技術、ビッグデータの統合・管理・分析技術、時空間データマイニング技術、ユーザ生成コンテンツとソーシャルメディアなど
⑤通信とネットワーク (情報流通基盤など情報の伝搬効率の向上および情報ネットワークの効率化技術)	光通信技術、無線通信技術、ネットワーク、エネルギーマネジメント、ネットワーク仮想化技術、通信行動と QoE(Quality of Experience)、ネットワークサイエンス
⑥インタラクション (インタラクションの機能効率化技術)	BMI、Augmentation、触覚/多感覚、ウェアラブル、Human-Robot Interaction、グラフィックス・ファブリケーションなど
⑦ビジョン・言語処理 (情報利用技術、解析技術の向上)	大規模言語処理に基づく情報処理、言語情報処理応用 (機械翻訳、音声対話)、言語処理と映像の統合理解、画像映像処理・理解など言語、音声、映像情報の処理技術の向上など

⑧人工知能（AIの性能向上技術）	検索とゲーム、機械学習、オントロジーとIDD、Webインテリジェンス、ロボットにおける言語、知能、動作、統合AI、汎用人工頭脳、認知科学など
(3)応用技術要素 II	
①ビッグデータ（ビッグデータ利用に係わる処理解析技術の向上とビッグデータの他分野への利用拡張技術ならびに安全管理技術の向上）	ビッグデータ基盤技術、解析技術、マイニング関連技術、ITメディアとビッグデータ、ゲノムを取り巻くビッグデータ、教育とビッグデータ、社会インフラとビッグデータ、オープンデータ、著作権とビッグデータ、プライバシーとビッグデータなど
②CPS/IoT（情報の他分野産業での利用によるプロセスイノベーションの深化）	CPS/IoTアーキテクチャ、M2M、社会システムデザイン、IoTセキュリティの応用と社会インパクト、ものづくりとIoTなど
③セキュリティ（セキュリティ技術の確立）	次世代暗号技術、ITシステムのためのリスクマネジメント技術の体系化、要素別セキュリティ技術の向上、ID連携技術、サーバー攻撃の探知・防御次世代技術、プライバシー情報の保護と利活用の両立、デジタル・フォレンジックなど
④知のコンピューティング（次世代社会の課題発見と解決への知見の蓄積）	知の集積・伝搬・探索、知の予測・発見の促進、知のアーキテクチャー、知の社会エコシステム・プラットフォーム、社会への影響・普及・促進のための倫理、法的、社会的課題応用など

(2) 情報通信技術の要素技術の進歩による機能向上

技術の各レイヤでの要素技術の進歩による機能の向上が社会・経済に与える影響を下記のようにまとめる。

● プロセスイノベーションとプロダクトイノベーション

財・サービスの供給構造における影響をその生産におけるプロセスイノベーションとプロダクトイノベーションの観点からとらえる。プロセスイノベーションは、技術深化による各種財の生産プロセスの分業形態の進化として捉え、一方で分業の進化とともに、技術進化が新たな財・サービスの創造をもたらすことによってプロダクトイノベーションを生み出すと考える。生産プロセスの分業の進化は生産プロセスの機能分化であり、その機能を新たな財・サービスの市場へ提供するような生産機能の分化が伴うと考える。生産プロセスの分化に関しては、ソフトウェアの開発による自己開発ソフトの外部化、データマネジメント、ITアーキテクチャの進化、ビッグデータ、CPS/IOT、セキュリティ技術の進歩などによる情報処理、蓄積、分析技術の進歩による情報処理の外部化、ネットワークの技術進化による情報受容の形態変化による生産プロセス変化など、多岐にわたる。そしてそれらのプロセスの分化が一方で新しい財・サービスを市場に生み出すことになる。

● プラットフォームビジネスの拡大

情報通信技術の進化がもたらす上記の影響は、情報技術の伝搬と効率化に向けてのプラットフォームビジネスの拡大をもたらすことが考えられる。すなわちプラットフォームとよばれる業者が複数の顧客にプラットフォームを提供し、便益を与えるというビジネスが成立する。プラットフォームによる効用が大きければ、プラットフォームビジネスは一層拡大する。機能の標準化や規格化の進展など市場に与える影響は大きい。

● ハードウェアの進化によるプロダクトイノベーション

プロダクトイノベーションのもう一つの形態として、デバイスや材料、センサ技術の開発やインタラクション機能の開発によるハードウェアの進化によるプロダクトイノベーションも考えられる。

● 他の科学領域の研究開発への影響

情報通信技術の進歩が、他の科学領域の研究開発にも進歩をもたらす。ナノ材料技術、生化学・バイオ技術、ライフ技術、エネルギー技術などの進歩への影響は、観測機器の精度向上や分析・実験機器の改良、情報ネットワークの充実などを通じて、R&Dによる知識ストックの拡大、向上に大きな影響を及ぼす。そしてそれらの科学分野の知識の進化が、社会・経済の全体に波及する影響は大きい。

● 消費者の労働供給行動や需要行動への影響

情報通信技術のもう一つの波及は、直接最終需要、とりわけ消費者の労働供給行動や需要行動に影響することであろう。消費者の効用充足の機能分化が進展し、その結果が所得・余暇選好や財・サービスの需要の構造を変化させる。財・サービスの一体化、インターネットを通じた情報の広告効果の波及などソーシャルネットワークを通じた市場構造への変化が大きい。要素技術レイヤ区分の中での「知のコンピューティング」で指摘した ELSI⁵⁵、SSH⁵⁶などの観点も重要であろう [11]。

これまで述べてきた情報通信技術の特性と、情報通信技術の進展が社会および経済に及ぼす影響について全体像を模式的に表すと図 IV.1-1 のようになる。

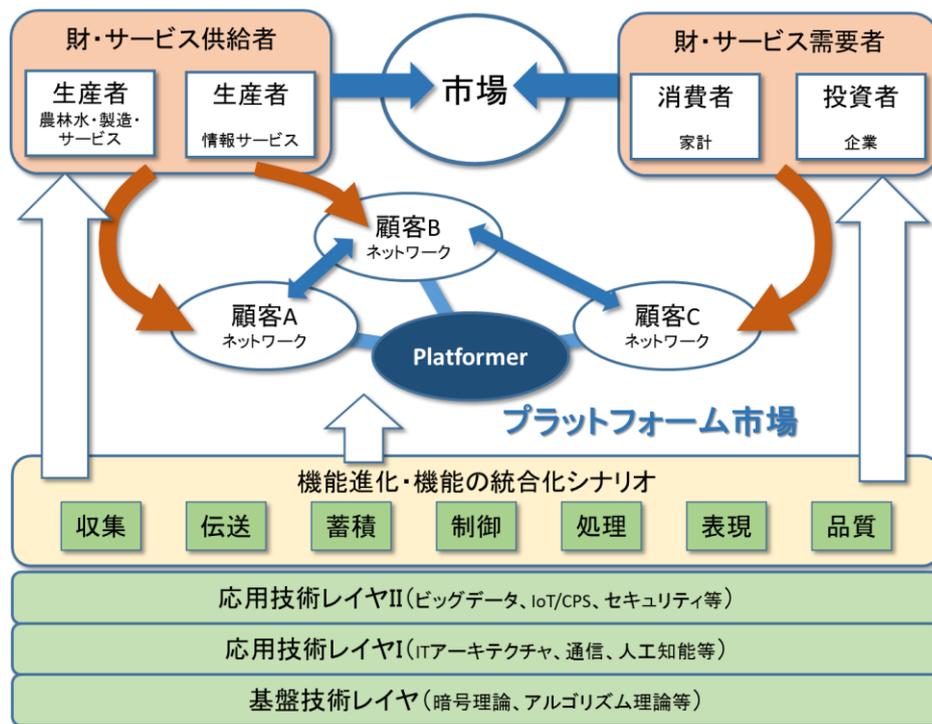


図 IV. 1-1 情報通信技術の進展が社会・経済に与える影響

⁵⁵ Ethical, Legal and Social Issues の略。研究に対する倫理的、法的、社会的議論。

⁵⁶ Social Sciences and Humanities の略。人文社会科学。

(3) 情報通信技術の機能進化と製造業の生産性向上の関係

情報通信技術の要素技術は、上記の基礎理論レイヤ、応用技術要素 I レイヤ、応用技術要素 II レイヤに層化された技術構造を有しており、さらにそれらの要素技術を機能ごとに束ねた統合化レイヤが考えられる。図 IV.1-1 における「収集」、「伝送」、「蓄積」などの上位の機能群である。

これらの統合化レイヤの機能群は、下位レイヤの要素技術が進化することによって進化する。その機能の進歩を表すものを**機能進化指数 (F-Index)** と呼ぶことにする。その指数の変化は、それぞれの科学技術シーズに対応するロードマップ・シナリオにしたがって時間経路をもって動的に動くものとする。ロードマップ・シナリオ (政策パターン) は外生的に与えられるものとする。

さらにこれらの統合化レイヤの機能進化は最終的には IoT/CPS サービスの進化につながり、製造業の生産性を向上させるはずである。ここで、製造業の生産プロセスを「マーケティング」、「企画」、「設計・開発」、「調達」、「製造」、「営業・販売」、「保守」の 7 プロセスで成っていると仮定する (II.2.2 参照)。ある技術の進化はこれら 7 プロセスのすべて、あるいは一部の生産性を上げることにつながる。各プロセスの生産性向上の度合いを**技術効率指数 (P-Index)** と呼ぶことにする。P-Index は計算上、年率 (%) で表される。P-Index が生産プロセスに与える影響、およびその結果として現れる経済効果については図 IV.1-2 に示すようなルート进行を仮定している。政策パターンごとに生産プロセスに与える影響は変わってくる。また各生産プロセスには表 IV.1-2 のような影響が現れると考える。このような影響は製造業の分野ごとに異なると予想されるため、P-Index は分野ごとに作成する必要があるだろう。

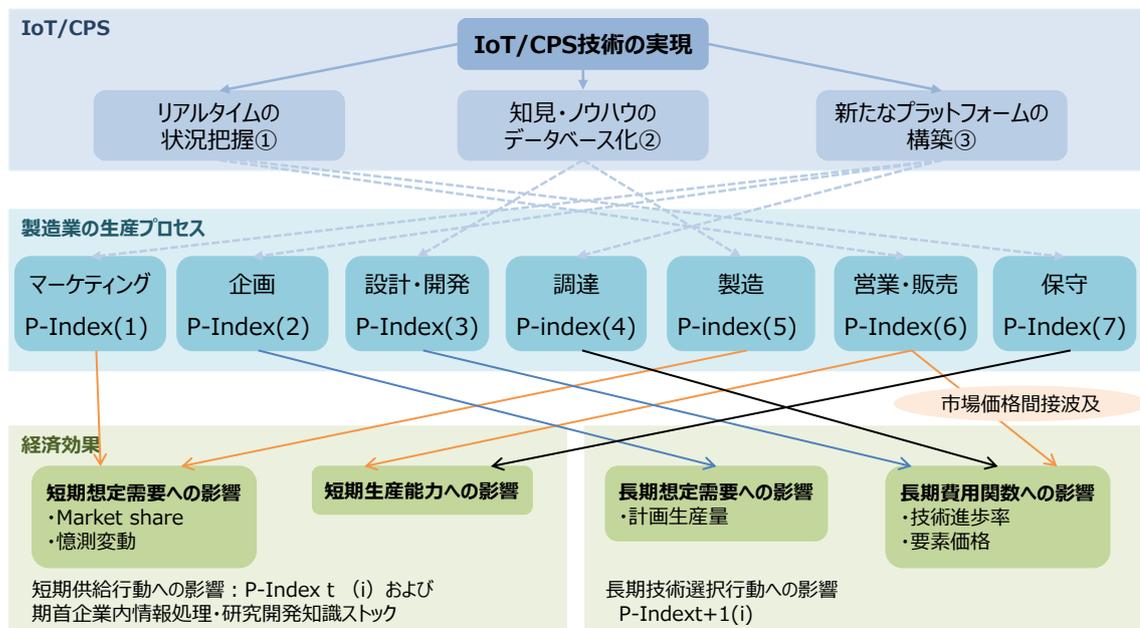


図 IV.1-2 技術効率指数 (P-Index) の生産プロセスへの反映と経済効果

政策効果の推計

表 IV. 1-2 技術進歩が生産プロセスへ与える影響

生産プロセス	影 響
マーケティング	情報の「収集」、「蓄積」、「解析」などの機能が寄与し、短期の想定需要に影響を与える。
企画	長期的な生産計画とその想定に基づく技術選択に影響が現れる。また企業内情報処理部門と企業内研究開発部門による無形固定資産からの知識ストックが長期的な生産性をシフトさせる。
設計・開発	長期的な生産計画に影響するが、生産技術の選択を通じての影響は企業内研究開発活動に反映され、その知的資産の蓄積が長期の技術選択に影響する。
調達	短期的には原材料など中間投入の価格への影響として、他部門からの影響を受けるが、長期的には、労働、資本などの要素価格や中間財投入への影響を通じて、技術選択に影響する。
製造	IoT/CPS サービスのすべての機能が影響するが、短期的な想定需要および生産能力に関係するものと、長期的な費用関数における全要素生産性の変化に分けられる。
営業・販売	短期の想定需要に影響する。
保守	短期的な保守中間財の投入価格の低下として、他部門からの投入価格が変化する。

具体的にシミュレーション計算する際に外生的に与える P-Index は、政策パターンごとに下図（図 IV.1-3）のように設定した。現時点では P-Index が生産プロセスに与える影響の度合いを客観的に測定したデータや経験則などが無いため、政策パターン①～③に応じて一律に年率 0.1%、0.5%、0.7%を与えている。

また政策パターン①～③に対する投資額（年）も与えている。

P-Indexの変化率 (%)							
	マーケティング P-Index(1)	企画 P-Index(2)	設計・開発 P-Index(3)	調達 P-index(4)	製造 P-index(5)	営業・販売 P-Index(6)	保守 P-Index(7)
※P-Indexは製造業にのみ影響							
政策オプション①	P-Index(1)	P-Index(2)	P-Index(3)	P-index(4)	P-index(5)	P-Index(6)	P-Index(7)
主生産部門					0.1		0.1
企業内情報処理部門					0.1		0.1
企業内研究部門							
政策オプション②	P-Index(1)	P-Index(2)	P-Index(3)	P-index(4)	P-index(5)	P-Index(6)	P-Index(7)
主生産部門	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5
企業内情報処理部門	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
企業内研究部門			0.5				
政策オプション③	P-Index(1)	P-Index(2)	P-Index(3)	P-index(4)	P-index(5)	P-Index(6)	P-Index(7)
主生産部門	0.7	0.7		0.7	0.7	0.7	0.7
企業内情報処理部門	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
企業内研究部門			0.7				

投資額	リアルタイムの状況把握①	知見・ノウハウのデータベース化②	新たなプラットフォームの構築③	
政策オプション	リアルタイムの状況把握①	知見・ノウハウのデータベース化②	新たなプラットフォームの構築③	投資額合計
政策オプション①	20億円/年			20億円/年
政策オプション②	20億円/年	20億円/年		40億円/年
政策オプション③	20億円/年	20億円/年	20億円/年	60億円/年

図 IV.1-3 P-Index の変化率および政策オプションごとの投資額の設定

<コラム 4> 経済シミュレーションのモデルにはどんな種類があるのか？

経済的影響をシミュレーションする方法は多種多様であり、目的に応じて方法を選択する必要がある。今回、シミュレーションに用いた「多部門経済一般均衡的相互依存モデル」は、ICT という特定の技術分野の発達が日本国内全体の経済活動に及ぼす影響を見るために、ICT に係わる産業部門を具体的に区分できる産業連関表を用いたものである。このモデルを用いることにより、マクロ的な政策の経済的影響を見るとともに、産業ごとの雇用変化などミクロ的な分析ができる。

その他、国内外で用いられている代表的な経済モデルをあげる。科学技術イノベーション政策や研究開発を考慮しているかどうかで区分したのが下表であり、さらにその中で国内で開発された主なモデル（表中の■印）の特徴をその後に掲げた（SciREX センターの調査結果⁵⁷による）。

表 国内外の代表的な公的な経済モデル

分類	科学技術イノベーション政策、研究開発などの扱い		大規模 複雑	データ 間の相 関性に依 存
	考慮しない	考慮する		
従来型マクロ経済モデル（マクロ計量モデル）	・ 経済財政モデル(内閣府)	■ NISTEP 従来モデル (NISTEP) ・ NEMESIS(EU) ■ MaeSTIP(NISTEP)	↓	↓
動学一般均衡モデル ハイブリッド型モデル	・ Q-JEM(日銀) ・ 短期日本経済マクロ計量モデル(内閣府) ・ MULTIMOD Mark III(IMF) ・ FRB Global(FRB)	・ MULTIMOD Mark III拡張版(IMF) ■ R&D 動学一般均衡 (DGE) モデル(一橋大) ■ 多部門経済一般均衡的相互依存モデル(SciREX センター、CRDS)		

出所) [2]を元に加筆

多部門経済一般均衡的相互依存モデル

利点

- 産業ごとの経済厚生の変化を描写できる
- 政策実施による影響を把握しやすい
- 糖尿病およびIoT モデルをこれまでに開発

モデルの構造

- 政策立案および実施時に想定されるシミュレーションを可能とするため、各産業の技術的な特性を反映させている。これにより、将来に渡る産業ごとのTFP成長率、労働人口動態(年齢別、性別)、価格変化などを年ごとに把握することが可能。

糖尿病モデルの分析イメージ
(政策ごとの経済効果を測定可能)

参考文献: 黒田昌裕, 池内健太, 原泰史: 科学技術イノベーション政策における政策オプションの作成—政策シミュレーター構築— (モデル構築編), SciREX-WP-2015-#01, 2015.11 [近刊]

⁵⁷ 科学技術イノベーション政策のための科学推進委員会 (第 21 回) 別添 3 「SciREX 等エビデンススペースの政策形成に向けた取組の成果」、平成 27 年 12 月 21 日

R&D 動学一般均衡 (DGE) モデル

利点

- 経済学の理論的根拠を重視した標準モデル。経済主体の将来的な行動を織り込んでいる。

モデルの構造

- 今日のマクロ経済学の代表的な動学モデルに R&D モデルを導入することで、企業や家計が長期的な最適化行動を行うなかで、政府の研究開発投資が与える影響を測定する。

政策が民間研究開発投資に及ぼす影響の測定

政策が家計消費に及ぼす影響の測定

参考文献：楡井誠：科学技術イノベーション政策の経済成長分析・評価、JST/RISTEX 科学技術イノベーション政策のための科学研究開発プログラム 平成 26 年度プログラム全体会議（発表資料）、2015.2

MaeSTIP モデル

利点

- マクロ経済に係わる指標をすべて網羅
- 家計・企業・政府の行動関数を内包

モデルの構造

- 政府による研究開発投資が企業や大学での研究開発活動に用いられ、それらの成果が知識ストックとして蓄積されたとき、イノベーションを促進し、TFP (全要素生産性) を向上させ、経済成長を牽引すると定義。これらの動態をマクロ経済指標を用いてシミュレートする。

標準モデルとインパクトケース（科学技術関係経費が年率 6%成長する）場合の潜在 GDP と TFP の変化率

参考文献：文部科学省 科学技術・学術政策研究所 一橋大学 イノベーション研究センター 赤池伸一 藤田健一 外木暁幸 花田真一：科学技術イノベーション政策のマクロ経済政策体系への導入に関する調査研究、2013.10 <http://hdl.handle.net/11035/2433>

NISTEP モデル

利点

- シンプルかつコンパクトなモデル設計
- 迅速に分析を行うことが可能

モデルの構造

- 科学技術関係経費を入力データにしたマクロ経済モデル。支出、生産、価格、雇用分配および研究開発のブロックから構成
- GDP 総額、雇用量の総量、輸出入や民間の研究開発投資の把握、研究開発投資が貿易に与える影響も分析可能

科学技術関係予算の想定シナリオごとの
実質 GDP への影響

第 4 期及び第 5 期の科学技術関係予算の累計と第 3 期の実績値 (21.7 兆円)との差	2027 年度までの累積実質 GDP の差
① -3.3 兆円 (第 4 期分) +3.3 兆円 (第 5 期分) = +0.0 兆円	+29.8 兆円
② -3.3 兆円 (第 4 期分) +5.3 兆円 (第 5 期分) = +2.0 兆円	+34.8 兆円
③ -3.3 兆円 (第 4 期分) +8.3 兆円 (第 5 期分) = +5.0 兆円	+43.2 兆円

※シナリオタイプ： ①予算総額 25 兆円、②予算総額 27 兆円、③予算総額 30 兆円

参考文献：永田晃也：マクロモデルによる政府研究開発投資の経済効果の計測、DISCUSSION PAPER、科学技術庁科学技術政策研究所、1998.3 <http://hdl.handle.net/11035/422>

IV.2. 多部門経済一般均衡的相互依存モデル

今回開発した多部門経済一般均衡的相互依存モデルの詳細については、別の報告書 [9] に詳しく述べているので、本章では特徴のみまとめる。

(1) 産業部門の考え方

- 今回、使用した産業連関表⁵⁸は 2005 年基本表である。ICT 分野に着目するために、既存の産業部門を下記のように分割した。
- 財・サービス生産部門の活動を「主生産活動部門」、「企業内情報処理部門」、「企業内 R&D 活動部門」に細分化（ただし農業、鉱業は「主生産活動部門」、「企業内情報処理部門」のみ、医療サービス部門と教育部門は分割なし）。
- 産業として「情報機器関連部門」、「情報サービス提供部門」などを特掲し、「情報サービス提供部門」、「インターネット産業」、「ソフトウェア産業」に 3 分割し、さらにそれぞれを「主生産部門」と「企業内 R&D 活動部門」に分けた。
- 各産業への研究開発の影響を分析するために、研究開発部門の内部研究費の内訳を調査している総務省「科学技術研究調査」⁵⁹を利用した。この調査では特定目的別研究開発の 8 分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、物質・材料、ナノテクノロジー、エネルギー、宇宙開発、海洋開発）別に内部研究費を集計している。
- 研究開発部門として、「政府 R&D 活動部門」、「産業 R&D 活動部門」をそれぞれ「科学技術研究調査」の目的 5 分類（ライフサイエンス、情報通信、物質・材料、環境・エネルギー、その他）に対応して設定した。しかし「科学技術研究調査」では、その費用構成は調査されていないため、元の制度部門の投入構造をそのまま用いた。
- 現行の産業連関表では「研究開発」は中間財または最終消費財扱いであるが、今回は「資本財」として扱っている。具体的には最終需要部門に新たに「無形固定資本形成（公的）」と「無形固定資本形成（民間）」に計上している。
- 結果として産業部門は 93 となった。

(2) 逐次的動学モデル

- 産業連関表を用いた計算では、今期と来期の二期間連続の最適化を行う逐次的動学モデルにより、各部門の財・サービスの需要・供給が均衡するまで、全体の繰り返し計算を行う。各生産部門において、期首に「就業労働者数」、「有形固定資本」、「無形固定資本（知識ストック）」の資本ストック量、中間投入の（実質）投入係数が、前期に選択された技術条件に基づいて先決されていることが前提である。

⁵⁸ http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm

⁵⁹ <http://www.stat.go.jp/data/kagaku/>

- 労働市場においては、性別・年齢別人口分布（国立社会保障・人口問題研究所⁶⁰の推計）を外生的に与えて、性別・年齢別就業可能人口を求めた。
- この動学モデルにより、ICTの中長期的な影響力をダイナミックに考慮することが可能である。本モデルの骨格を表現すると図 IV.2-1 のようになる。

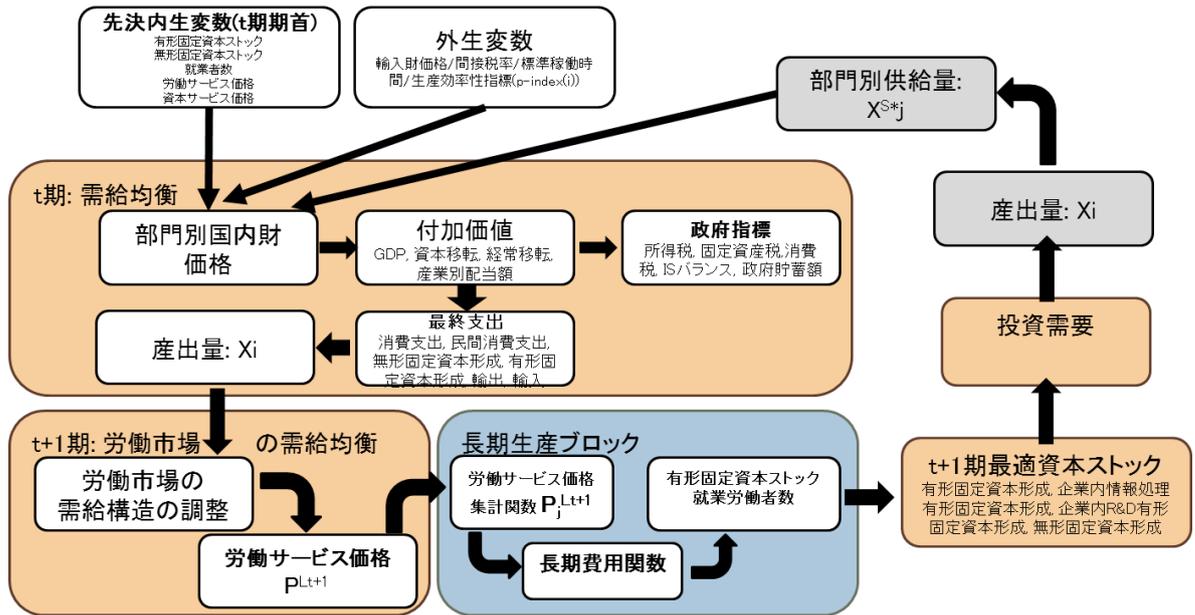


図 IV.2-1 逐次的動学モデルの骨格

(3) 政策パターンのシミュレーション

- 図 III.2-3 に示した政策パターン①～③と「政策無し」のそれぞれについて、上記のモデルによるシミュレーションを、2005～2050年まで実行した⁶¹。
- 政策パターン①～③について図 IV.1-3 に示した投資額を2015～2019年の5年間に毎年投資し、それらの政策効果は2020～2025年に現れるものとした。
- 政策の効果は実質 GDP⁶²で比較した。

政策効果の推計

⁶⁰ <http://www.ipss.go.jp/>

⁶¹ 「政策無し」ケースでは2005～2013年については実績のGDPをある程度トレースできるように、また2014年以降は約2%で成長するようにモデルを調整（キャリブレート）している。

⁶² Gross Domestic Product の略。国内総生産。実質 GDP はインフレーション調整を行ったもの。

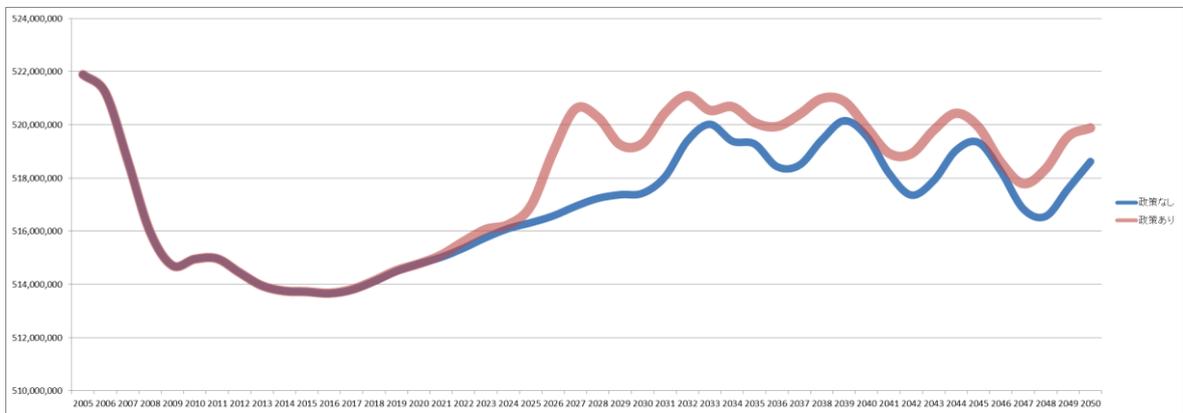
IV.3. 推計結果の評価

ここでは推計結果を概観する [12]。

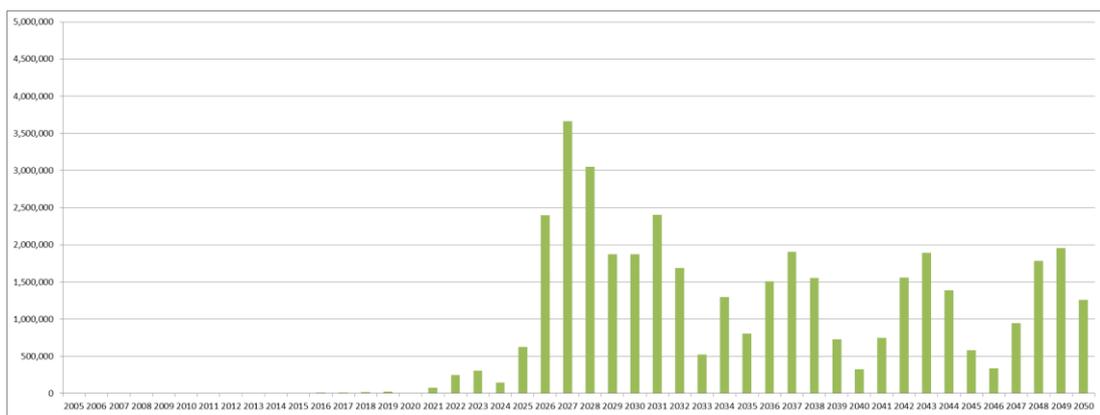
図 IV.3-1 では 2005～2050 年にわたって、政策パターン③と BAU（特に政策投資をおこなわなかった場合）の実質 GDP と、その差の推移を示している（茶色の線は政策パターン③、青色の線は BAU）。

この図から次のように言える。

- 政策パターン③を採用した場合、2021 年頃から BAU と差が現れ始め、2027 年頃に差のピーク（プラス 3.6 兆円）が現れる。その後、変動しながらも常に BAU より実質 GDP が高い傾向が続く。
- 変化の推移を見ると、政策パターン③によって BAU よりも常に早く GDP が立ち上がる傾向があり、特に最初の波の立ち上がりに約 6 年の開きがある（2024 年頃と 2030 年頃）。これは早い時期での政策投資が効果的であることを示唆していると考えられる。



(a) 実質 GDP



(b) 実質 GDP の差

図 IV.3-1 実質 GDP への影響（政策パターン③の場合）

表 IV.3-1 は政策パターン③を採用した場合の各産業部門の変化を推測した表である(2020～2036年の部分のみ表示)。また図 IV.3-2 は主たる産業部門の雇用変化率を比較したものである。これからは次のような傾向が見える。

- 主生産部門の生産量は一部の産業（エネルギー関連など）を除いて増加する傾向にある。
- 価格はほぼすべての産業部門で低下する。
- 一般機械、民生電子などの企業内情報処理部門の雇用は減少するが、政策パターン③によってその傾向は一層加速する。反面、インターネット業の研究開発や民生電子の研究開発の雇用は増加する。

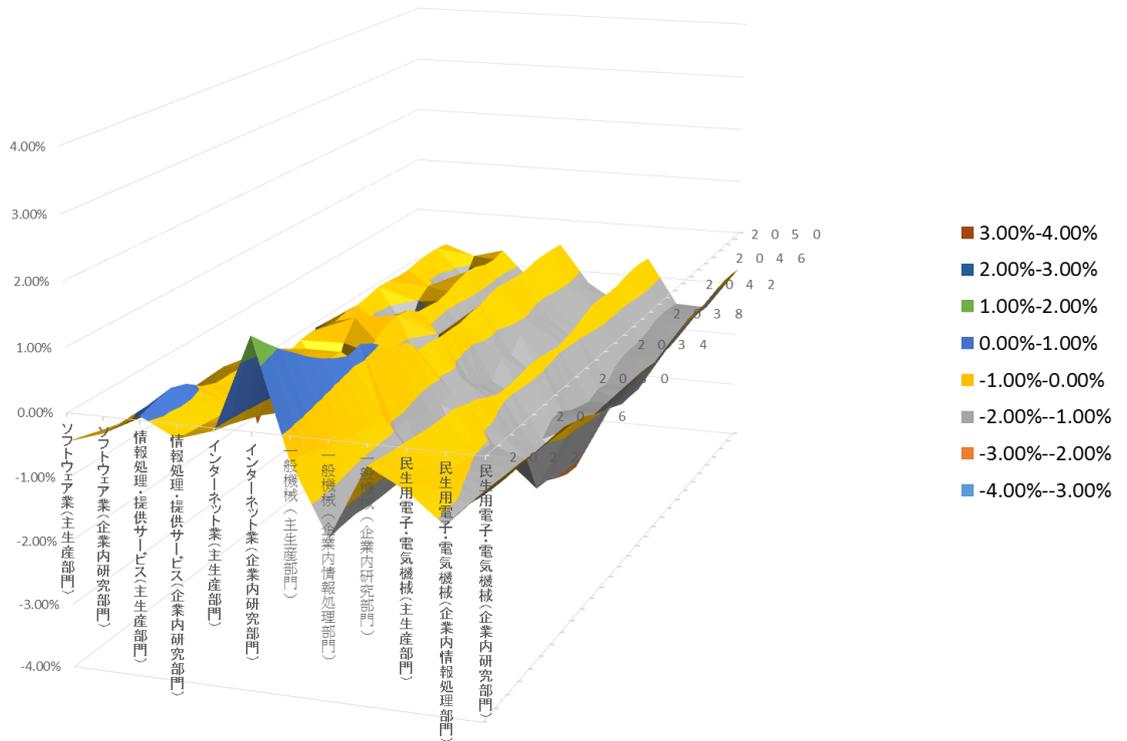
表 IV.3-1 産業構造の変化(政策パターン③の場合)

(a) 生産額の変化率(主生産部門)

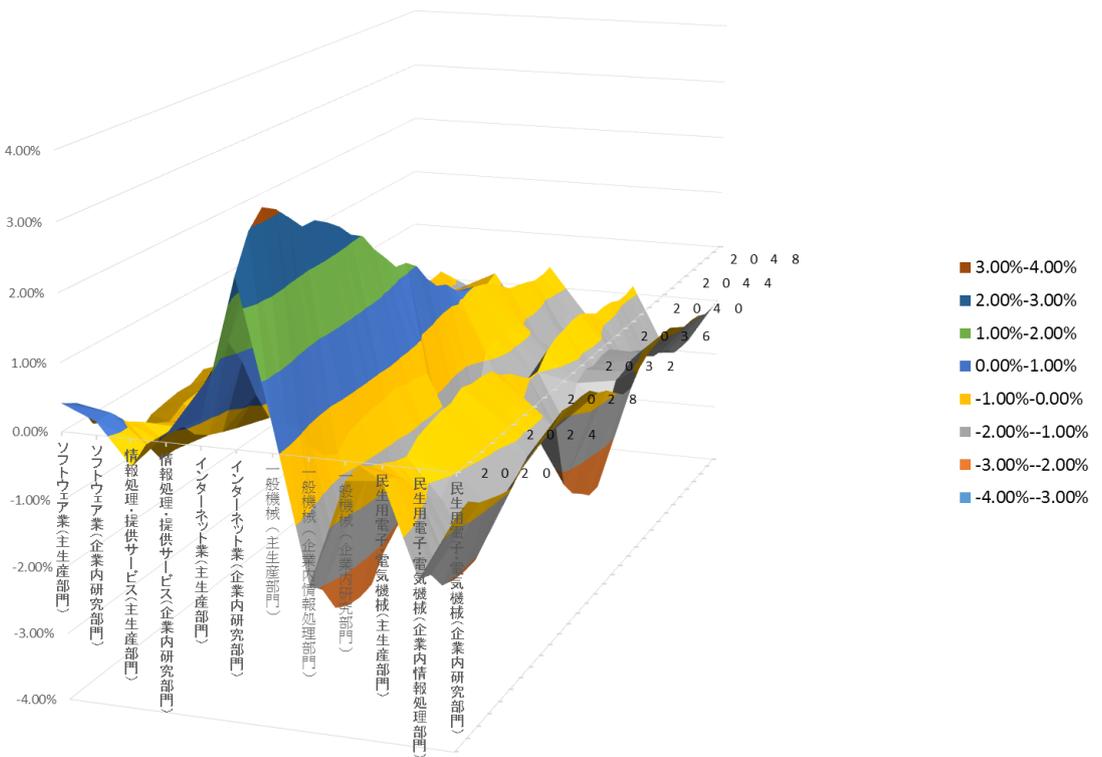
部門番号	部門名	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
001	農林水産業(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	0.044	0.031	-0.004	0.002	0.211	0.495	0.185	0.064	0.125	-0.171	-0.095	0.083	0.228	0.222	-0.281	0.021	0.162
003	医薬品製造(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	0.012	-0.013	-0.024	-0.022	0.077	-0.101	-0.295	-0.225	-0.229	-0.325	-0.232	-0.038	0.095	-0.121	-0.121	-0.024	0.143
005	食品製造(畜主生産部門)	0.095	0.200	0.281	0.311	0.900	2.035	3.035	3.485	3.445	3.225	2.825	2.215	1.695	1.395	1.095	1.385	1.425
008	繊維・木材製材(畜主生産部門)	0.085	0.225	0.425	0.425	1.025	2.745	4.415	4.935	4.715	4.465	3.975	2.785	1.835	1.575	1.795	1.845	1.865
011	パルプ・紙製造(畜主生産部門)	0.025	0.245	0.465	0.445	1.225	2.225	4.055	4.525	4.185	3.775	2.865	1.745	1.275	1.225	1.225	1.225	1.225
014	化学工業(畜主生産部門)	0.055	0.185	0.285	0.225	0.835	1.815	3.045	3.445	3.205	3.005	2.795	2.045	1.305	1.075	1.225	1.385	1.315
017	窯業・土石製品製造(畜主生産部門)	0.075	0.285	0.475	0.515	0.885	2.885	5.155	6.185	5.935	5.465	4.915	3.475	2.105	1.765	2.185	2.435	2.425
020	一般機械(畜主生産部門)	0.135	0.315	0.385	0.405	1.605	3.395	4.285	4.685	4.685	4.905	3.875	2.705	2.285	2.135	2.185	2.205	2.225
023	民生用電子・電気機械(畜主生産部門)	0.135	0.235	0.245	0.215	1.135	2.295	2.695	2.415	2.075	1.905	1.615	0.985	0.525	0.585	0.895	0.895	0.895
026	ソフトウェア・ケーブル(畜主生産部門)	0.085	0.235	0.315	0.315	0.885	2.145	3.195	3.315	2.795	2.375	1.835	1.015	0.485	0.485	0.895	1.105	1.115
029	半導体製造(畜主生産部門)	0.135	0.225	0.255	0.255	1.325	2.435	2.705	2.715	2.725	2.815	1.875	1.225	1.135	1.105	1.155	1.185	1.205
032	通信機械(畜主生産部門)	0.135	0.225	0.255	0.245	0.775	2.025	2.295	2.235	2.185	2.195	1.545	0.995	0.685	0.845	1.005	0.985	0.985
035	電子計算機・周辺機器(畜主生産部門)	0.105	0.135	0.125	0.115	0.895	1.075	0.865	0.625	0.575	0.595	0.685	-0.175	-0.085	-0.015	0.175	0.035	0.125
038	半導体素子・集積回路(畜主生産部門)	0.115	0.225	0.255	0.285	0.885	2.275	2.845	2.905	2.845	2.945	2.295	1.495	1.195	1.155	1.355	1.215	1.225
041	映像部品(畜主生産部門)	0.105	0.245	0.355	0.355	1.125	2.725	3.395	4.225	4.085	4.005	3.405	2.255	1.555	1.505	1.845	1.705	1.685
044	情報機器・輸送機器(畜主生産部門)	0.145	0.305	0.375	0.385	1.445	3.165	4.185	4.465	4.465	4.695	3.625	2.485	2.015	1.915	2.045	1.925	1.925
047	ロボット(畜主生産部門)	0.085	0.285	0.415	0.425	1.085	1.865	1.885	1.775	1.885	1.895	1.435	0.915	0.775	0.735	0.825	0.985	1.095
050	その他機械(畜主生産部門)	0.125	0.245	0.285	0.285	1.205	2.465	3.045	3.135	3.075	3.025	2.285	1.515	1.255	1.175	1.375	1.345	1.345
053	石油・石炭製品(畜主生産部門)	-0.015	-0.055	-0.105	-0.125	-0.125	-0.485	-1.185	-1.685	-1.685	-1.425	-1.325	-1.125	-0.895	-0.825	-0.545	-0.745	-0.715
056	その他の製造業(畜主生産部門)	0.075	0.305	0.485	0.515	1.025	2.495	5.195	5.685	5.685	5.305	4.735	3.305	2.055	1.775	2.145	2.355	2.355
059	エネルギー産業(畜主生産部門)	0.015	-0.025	-0.055	-0.055	0.025	-0.155	-0.475	-0.715	-0.865	-0.855	-0.775	-0.515	-0.385	-0.415	-0.225	-0.245	-0.225
062	建設(畜主生産部門)	-0.015	0.015	0.035	0.045	-0.025	-0.055	0.205	0.435	0.285	-0.045	-0.095	0.085	-0.085	-0.245	-0.245	-0.055	0.145
065	運輸(畜主生産部門)	0.005	-0.015	0.005	0.005	-0.025	-0.025	0.065	0.205	0.195	-0.085	-0.205	0.055	0.125	-0.125	-0.125	-0.025	0.245
068	通信・放送(畜主生産部門)	0.005	0.005	0.035	0.035	-0.065	0.005	0.325	0.355	0.305	-0.245	0.005	0.235	0.025	-0.225	-0.115	-0.115	0.185
071	娯楽(畜主生産部門)	-0.015	-0.025	0.025	0.025	-0.065	-0.155	0.175	0.475	0.195	-0.185	-0.095	0.225	0.065	-0.285	-0.185	-0.035	0.025
074	ソフトウェア業(畜主生産部門)	0.025	0.095	0.065	0.065	-0.235	1.215	3.675	4.675	5.145	5.295	4.525	3.745	2.595	2.315	2.595	3.375	2.885
076	情報処理・提供サービス(畜主生産部門)	0.245	0.225	0.215	0.235	0.325	0.175	4.285	10.725	10.545	9.485	5.315	3.105	6.285	9.485	8.225	5.115	3.945
078	インターネット(畜主生産部門)	0.135	0.145	0.155	0.155	0.135	0.305	2.225	4.685	4.985	4.285	4.185	4.725	4.795	4.295	4.695	3.965	3.105
080	医療福祉サービス(畜主生産部門)	0.005	0.045	0.105	0.105	-0.025	0.215	1.125	1.695	1.915	0.915	-0.195	0.685	0.685	-0.085	-0.185	0.985	0.985
081	教育(畜主生産部門)	0.075	0.185	0.185	0.185	0.005	0.015	1.095	1.695	1.695	0.915	-0.015	0.425	1.185	0.555	-0.295	0.025	0.755
082	その他サービス(畜主生産部門)	0.005	0.005	0.025	0.025	-0.035	0.035	0.275	0.275	0.085	-0.105	0.045	0.215	0.105	-0.105	-0.085	-0.095	0.085

(b) 価格の変化率(主生産部門)

部門番号	部門名	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
001	農林水産業(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	-0.055	-0.105	-0.145	-0.145	-0.445	-1.145	-1.145	-2.105	-1.675	-1.425	-1.485	-1.485	-1.485	-1.485	-1.485	-1.485	-1.485
003	医薬品製造(畜主生産部門・組織部門・情報処理部門)	-0.055	-0.125	-0.185	-0.135	-0.405	-1.285	-2.345	-2.415	-1.335	-1.405	-1.435	-1.215	-0.735	-0.575	-1.005	-1.095	-1.115
005	食品製造(畜主生産部門)	-0.185	-0.215	-0.445	-0.445	-1.685	-3.485	-3.485	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785
008	繊維・木材製材(畜主生産部門)	-0.225	-0.225	-0.555	-0.555	-2.415	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615
011	パルプ・紙製造(畜主生産部門)	-0.225	-0.555	-0.685	-0.555	-2.415	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615	-4.615
014	化学工業(畜主生産部門)	-0.195	-0.385	-0.425	-0.385	-1.485	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185
017	窯業・土石製品製造(畜主生産部門)	-0.325	-0.595	-0.745	-0.685	-2.685	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
020	一般機械(畜主生産部門)	-0.325	-0.625	-0.795	-0.675	-2.685	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
023	民生用電子・電気機械(畜主生産部門)	-0.215	-0.385	-0.415	-0.385	-1.375	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185
026	ソフトウェア・ケーブル(畜主生産部門)	-0.265	-0.585	-0.585	-0.485	-2.125	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285
029	半導体製造(畜主生産部門)	-0.265	-0.465	-0.465	-0.465	-1.925	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285
032	通信機械(畜主生産部門)	-0.265	-0.465	-0.465	-0.465	-1.925	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285
035	電子計算機・周辺機器(畜主生産部門)	-0.215	-0.375	-0.385	-0.325	-1.345	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185	-3.185
038	半導体素子・集積回路(畜主生産部門)	-0.245	-0.465	-0.585	-0.465	-2.125	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285	-4.285
041	映像部品(畜主生産部門)	-0.285	-0.545	-0.585	-0.585	-2.685	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
044	情報機器・輸送機器(畜主生産部門)	-0.285	-0.545	-0.585	-0.585	-2.685	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
047	ロボット(畜主生産部門)	-0.445	-0.705	-0.705	-0.705	-2.815	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
050	その他機械(畜主生産部門)	-0.275	-0.585	-0.585	-0.585	-2.465	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
053	石油・石炭製品(畜主生産部門)	-0.025	-0.035	-0.045	-0.035	-0.125	-0.395	-0.445	-0.305	-0.315	-0.305	-0.205	-0.105	-0.125	-0.125	-0.125	-0.125	-0.125
056	その他の製造業(畜主生産部門)	-0.305	-0.645	-0.795	-0.685	-2.705	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985	-4.985
059	エネルギー産業(畜主生産部門)	-0.035	-0.095	-0.115	-0.095	-0.245	-0.895	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545	-1.545
062	建設(畜主生産部門)	-0.095																



(a) BAU の場合



(b) 政策パターン③の場合

図 IV. 3-2 主たる産業部門における雇用の変化率

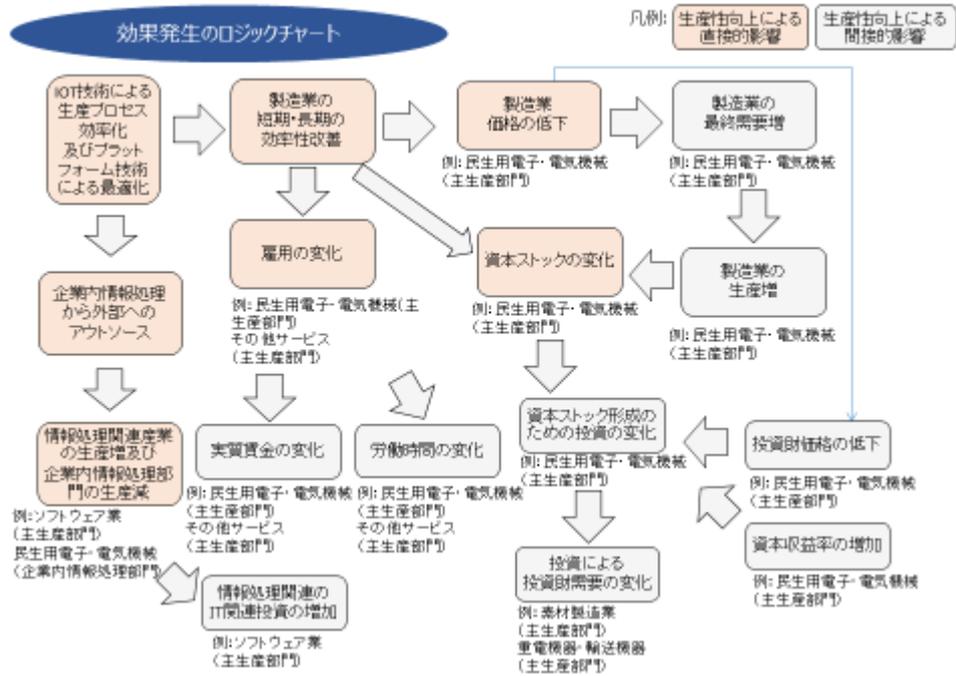


図 IV. 3-3 効果発生ロジックチャート

図 IV. 3-3 は、経済効果発生の流れがわかるようにロジックチャート形式で表したものである。

以上の推計結果をまとめると、次のような示唆が得られる。

- IoT の技術進歩は、施策が進むとともに、製造業（主生産部門）の生産性を上昇させ、そこでの雇用を減少させるが、情報処理プロセスのアウトソース化が進み、情報サービス産業を中心にサービス業の価値創出と雇用を増加させる。
- 短期では失業が生まれるものの、長期的には産業構造の調整が進み、情報サービス産業やサービス業が雇用の受け皿の役割を果たす。
- IoT の拡大によって、製造業での「機械と労働」の代替は進むが、情報処理サービスなどのサービス部門での雇用は拡大し、全体の実質 GDP は成長を保ちうる。
- 製造業では、効率性の改善により価格が低下し、消費や投資需要を中心に実質最終需要が拡大し、生産量は増加する。
- 研究開発活動は活性化し、研究開発従事者の需要は拡大する。
- 研究開発の従事できる人材の育成が重要な課題となる。

今回の推計では、政策パターンをかなり単純化し、関係式にも大胆な仮定を置いている。しかし実質 GDP の定性的傾向はある程度、明らかになったといえる。

推計の方法において改善すべき点はなお多く存在するが、推計モデルの論理は明確であり、推計の透明性は保たれている。

V. 作業部会

V.1. 作業部会の設定

今回の調査において、専門的見地から助言を得るとともに、各章の検討結果の妥当性を確認するために、関係する専門家や有識者である表 V.1-1 に示したメンバーから構成される作業部会を設置した。

表 V.1-1 作業部会委員などのリスト

(委員)

氏名(敬称略)	所属など(当時)
黒田 昌裕	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
岩野 和生	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
私市 光生	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
佐野 多紀子	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
高島 洋典	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
茂木 強	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
星野 悠哉	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
池内 健太	文部科学省 科学技術・学術政策研究所 第1研究グループ 研究員
原 泰史	一橋大学イノベーション研究センター 特任助手
井上 敦	政策研究大学院大学 科学技術イノベーション政策プログラム 専門職

(文部科学省担当者)

氏名(敬称略)	所属など(当時)
坂下 鈴鹿	文部科学省 科学技術・学術政策局 企画評価課 企画官
赤池 伸一	文部科学省 科学技術・学術政策局 企画評価課 分析官

V.2. 作業部会の運営

V.2.1 作業部会の運営業務

作業部会の開催準備からまとめに至るまでに、表 V.2-1 に示した業務を実施した。

表 V.2-1 作業部会開催のために実施した業務

実施時期	業務内容
開催前	<ul style="list-style-type: none">作業部会の議題・議事進行に関する部会長（または部会員）との事前調整作業部会開催の日程調整会場確保作業部会の資料作成・調整
開催当日	<ul style="list-style-type: none">会場設営資料配布作業部会の議事進行討議内容などの録音
開催後	<ul style="list-style-type: none">議事録の作成、関係者への内容確認（次回の部会開催時に実施）議事録の文部科学省担当者、および関係者への送付作業部会委員への謝金・交通費の支払い

V.2.2 作業部会の開催

作業部会を表 V.2-2 のとおり開催した。なお、各部会ごとの配布資料、参加者、議事録については省略する。

表 V.2-2 作業部会の開催状況

回	開催日時	議事内容
1	2014年10月30日 18:15～20:00	・ 政策オプションの検討方法について
2	2014年11月10日 16:00～18:00	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオについて
3	2014年11月18日 16:00～18:00	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオについて
4	2014年11月28日 18:15～20:00	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオについて ・ 製造業のフェーズごとのデータ取得可能性
5	2014年12月10日 18:00～20:00	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオについて
6	2014年12月25日 18:30～19:30	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオについて
7	2015年1月9日 10:00～12:00	・ IoTの技術ロードマップ・シナリオと経済モデルの接合について
8	2015年1月23日 15:00～16:40	・ 政策オプション（案）について ・ 有識者インタビューについて
9	2015年3月6日 9:30～11:30	・ 政策オプション（案）について
10	2015年3月23日 15:00～17:00	・ 政策オプション（案）について ・ 経済効果の推計結果について

VI. まとめ

VI.1. 政策オプション作成プロセスについて

今回の調査研究では、「ICTの技術進展」という一般的なテーマから出発して、その中でも政策的影響をより鮮明に見ることができると思われるトレンドな領域に絞ることにし、「IoT/CPSサービスの高度化」というテーマに置きなおした。さらに、産業横断的なプラットフォーム構築が大きな鍵を握ることに着目して、「製造業における生産性向上」という側面で社会的・経済的影響を見ることにした。科学技術の進歩は特定のプロダクトイノベーションだけでなく、生産性向上からプロセスイノベーションを起こし、さらにそれが新たなプロダクトイノベーションにつながるとした。このように当初のテーマを、影響あるいは政策効果がより発現しやすいテーマに再設定し直すというプロセスは今回追加したものである。

次に「製造業における生産性向上」の将来シナリオをロードマップの形でまとめ、そのロードマップに沿って、3つの公的投資のパターン案を構成した。ここでは、IoT/CPSサービスを生産現場における「知識共有」のロードマップの形に展開し、そこから政策パターン案を策定した。このように直接には把握しにくいICTというテーマを、いったん別の軸（ここではロードマップ）に投影することによって、政策パターンを考えやすくした⁶³。

VI.2. 推計モデルと推計結果について

ICTの研究開発に対応して、産業連関表の部門を部分的に分解し、全体で93部門とした。もしICTに係わる別の科学技術を対象とするならば、この93部門の区分をほぼそのまま踏襲することが可能であろう。

ICTの多くの要素技術が下位レイヤから上位レイヤに向かって総合的にIoT/CPSサービスに貢献する構造を考え、技術効率指数（P-Index）を外生変数として導入した。しかし現段階ではまだ個々のP-Index値の根拠となる明確な基礎データがないため、一定の値を暫定利用した。オプション間の差異を（実質GDPの絶対値ではなく）定性的な傾向で捉える限り、暫定値を使っても結論に大きなズレは生じないと考えている。この点のさらなる検討と改良は今後の研究に委ねる。

⁶³ 前回の「糖尿病の予知・予防」の調査研究では、対策と期待効果の関係はすでに専門家の知見に含まれていて、そこから政策パターンを導出した。

VI.3. 今後の課題

(1) 政策オプション作成プロセスの継続的改良

今回の「ICT分野」を対象とした政策オプション検討は、2014年に実施した「糖尿病の予知・予防」に続く2例目となる。「I. 序論」で述べたように、今回の調査検討のプロセスは大枠の政策オプション作成手順に沿っているものの、「ICT分野」特有の性質に合わせて、検討手順やテーマ設定に変更を加えたりした。その意味で、まだ政策オプション作成の手順は確定したものではなく、今後、多くの事例研究を経験しながら、見直しと改良を行っていく必要がある。

継続的な改良において、特に注力すべきは次のような点と考えている。

○ 多様な典型へのアプローチ

「糖尿病の予知・予防」[8]は比較的狭い科学技術の領域内で、糖尿病専門家の参与によって、政策パターンの選択幅を早期に絞り込むことができた例である。今回の「ICT分野」では基盤技術として幅広い影響を及ぼす性格のものを扱い、新しい工夫として要素技術と生産性向上の関係を指数の形で関係付けた。このように政策オプション作成には、さまざまな科学技術領域の特性に合わせた工夫が必要となるであろう。

したがって、この2例以外にも科学技術のいろいろな典型例を取り上げて、政策オプション作成の基本原則（共通した考え方）と、テーマに応じて個別対応するためのノウハウを分けて整理していくことが重要である。たとえば科学技術と国の法律・規制が複雑に関係する分野（医療、自動車の自動運転、フィンテック⁶⁴など）、原子力のように市民・社会の許容姿勢が作用する分野などでは、政策パターンの検討にあたって幅広い知識（たとえば人文科学など）を動員するなど、新しいアプローチが求められる。

○ 推計モデルの信頼化と多様化

政策オプション作成にあたっては、政策パターンに対する社会・経済的影響シミュレーションの信頼性が求められる。そのためには推計モデルの中で仮定したさまざまなパラメータの根拠、計算過程の妥当性、推計結果の解釈の仕方とその限界、などを政策立案者を含む非専門家へ説明できるようにする必要がある。

また今後、より広い分野のシミュレーションを行うことを想定すると、それぞれの分野に適した多種多様な推計モデルを用意しておくこと、そして政策課題が決まってから短期間内に最適な推計モデルとデータを選択できるようにすること、などが要求されるであろう。

○ 作成プロセスの作業軽減と整備

これまでの政策オプション作成の2例では、いずれも科学技術動向の調査、専門家意見の収集、経済的影響のシミュレーションの一連のプロセスの実施に対して、相応の専門家の協力や時間を要した。現実には現場で政策オプションの作成を進めるためには、より簡易で労力の少ない方法をとることが望ましい。先に挙げたような多くの事例の追加と合わせて、手順の整理とマニュアル整備など、政策オプション作りが広範に使われるための努力も必要である。

⁶⁴ 金融 Financial と技術 Technology の合成語。

(2) データプラットフォームの整備

政策オプション作成のためにはエビデンスとして多種多様な基礎データが必要となる。たとえば今回の調査で利用したデータは、技術の動向について「技術俯瞰」⁶⁵、技術予測として「研究開発予測・研究開発動向」⁶⁶、研究開発費の推定のために「科学技術研究調査」⁶⁷、推計モデルのベースとしての「産業連関表」⁶⁸などである。さらに今後はさまざまな推計モデルに対応するために、研究開発に対する公的投資に関する詳細なデータ、研究開発の成果データ（特許、論文など）、民間企業の新製品発表（プレスリリース）に関するデータも参照する必要も出てくるであろう。

これらのデータベースは1～数年ごとに更新されるので、常に新しいものを参照する必要がある。また時間的推移を見るために過去のデータベースもいつでも利用できることが望ましい。

政策オプション作成に限らず、エビデンスに基づく政策形成のための「科学技術イノベーション政策の科学」を推進していくためには、これらのデータベースを統合したデータプラットフォームを計画的に構築して、政策検討や政策選択の実務者が利用できるようにしていくことが必要である。その構想を図 VI.3-1 に示す。その構想実現のためには、現在、国の省庁や地方自治体など、さまざまな機関で集計されている情報の公開利用を促すような働きかけも必要となろう。

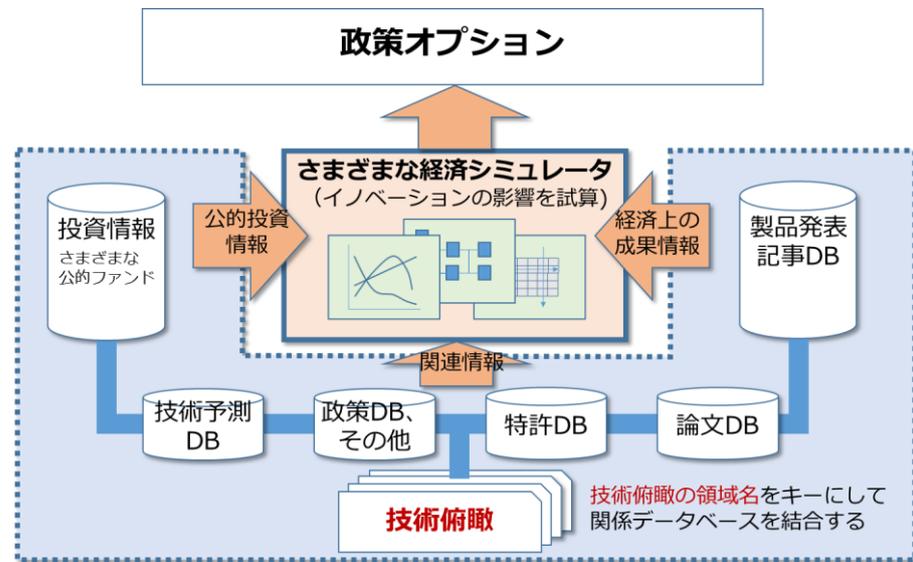


図 VI.3-1 データプラットフォームの構想

⁶⁵ 科学技術振興機構・研究開発戦略センター：研究開発の俯瞰報告書，
<http://www.jst.go.jp/crds/report/report02.html>

⁶⁶ 文部科学省 NISTEP：科学技術予測・科学技術動向，
<http://www.nistep.go.jp/research/science-and-technology-foresight-and-science-and-technology-trends>

⁶⁷ <http://www.stat.go.jp/data/kagaku/>

⁶⁸ http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm

(3) 政策立案における実践

今後、政策オプション作成の事例を研究し、方法論を確立していくと同時に、本来の政策立案に適用することを常に念頭に置く必要がある。2011年のCRDS提言 [1](p.14)では次のような体制構築を提案している。

“政策の科学の成果を積極的に活用し、政策立案や予算編成に反映していくとともに、政策形成に携わる者の人事交流などの制度も含めて、総合的な取組みを目指した体制整備を行う必要がある。”

“政府内に設置する政策の科学を推進する担当部署において、他の政策立案担当部署と連携して政策課題の抽出を行うとともに、政策の科学から得られた研究成果や政策メニューなどを精査し、政策立案担当課に対して成果利用に働きかけなどの調整を行う。”

“政策形成と政策の科学の研究をつなぐために、政府と研究コミュニティの間の人事交流制度などの導入により、双方の知見に移転を促進させることが必要である。”

すなわち研究サイドと政策立案担当者との交流を行い、政策立案現場からの課題の抽出、研究サイドでの分析と提案、そして政策立案への採用、という構造(図 I.1-1)になることが望まれる。

最終的には、「エビデンスに基づく政策形成」を目指して、政策立案担当者、政策に係わるステークホルダー、研究者などが合理的に、かつ短期間に政策パターンを討議し、合意形成できるような「枠組み」作りを推進していく。

謝辞

今回の調査研究では作成担当者以外の多数の方々のご支援をいただいた。

文部科学省科学技術・学術政策研究所研究員・池内健太氏、政策研究大学院大学 SciREX センター専門職・原泰史氏、同センターポストドクトラルフェロー・黄俊揚氏には、政策パターンの経済的推計モデル（多部門経済一般均衡的相互依存モデル）の設計・実装・分析を全面的に担当していただいた。そしてこのモデルの詳細については政策研究大学院大学から研究発表および報告書公開がなされている。

株式会社三菱総合研究所・尾花尚弥氏、土谷和之氏はじめ政策評価チームのメンバーからは、政策オプションに係わる技術調査、作業部会の開催、経済的推計モデルの評価分析などにおいて、多くの支援を得た。

SciREX 推進事業に長年に渡って係わってこられた、文部科学省科学技術・学術政策局企画評価課分析官・赤池伸一氏には、本調査研究の推進にあたり、さまざまな面からご協力とご助言を得た。

最後に、本調査研究の期間にわたり、さまざまな観点からコメントをいただいた研究開発戦略センター内の方々に感謝する。

引用文献

- [1] CRDS, エビデンスに基づく政策形成のための「科学技術イノベーション政策の科学」の構築, 戦略提言 CRDS-FY2010-SP-13, 2011.3.
- [2] 赤池伸一, “エビデンスベースの政策形成に向けた取組の課題と展望—SciREX と科学技術イノベーション政策—,” 研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集 29, pp.171-176, 草津市, 2014.10.18.
- [3] CRDS, 「科学技術イノベーション政策の科学」構造化研究会, 開催報告書 CRDS-FY2013-WR-15, 2014.3.
- [4] CRDS, 科学技術・イノベーション政策の科学～米国における取組の概要～, ワークショップ報告書 CRDS-FY2011-WR-13, 2010.3.
- [5] CRDS, 「エビデンスベースの科学技術・イノベーション政策の立案」:エビデンスをどう「つくり」「つたえ」「つかう」か?, ワークショップ報告書 CRDS-FY2010-WR-02, 2010.5.
- [6] CRDS, 「科学技術イノベーション政策の科学」に関連する海外教育研究機関, 海外調査報告書 CRDS-FY2010-OR-09, 2011.3.
- [7] CRDS, 「科学技術イノベーション政策の科学」の俯瞰・構造化に向けた検討, ワークショップ報告書 CRDS-FY2011-WR-13, 2012.3.
- [8] 尾花尚弥、他, “「糖尿病の予知・予防」に係る政策オプションの作成,” 研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集 29, pp.157-162, 草津市, 2014.10.18.
- [9] 黒田昌裕、池内健太、原泰史, “科学技術イノベーション政策における政策オプションの作成—政策シミュレーターの構築— (モデル構築編), ”, SciREX-WP-2015-#01, 2015.11. (近刊)
- [10] 藤田隆史、他, “M2M アークテクチャと技術課題,” 電子情報通信学会誌 Vol.96 No.5 pp.305-312, 2013.5.
- [11] CRDS, 科学技術未来戦略ワークショップ「知のコンピューティングと ELSI/SSH」, 開催報告書 CRDS-FY2014-WR-09, 2014.9.8.
- [12] 黒田昌裕、池内健太、原泰史, “経済モデルからみる、科学技術イノベーション政策・政府研究開発投資の経済的効果,” SciREX セミナー配布資料 <http://scirex.grips.ac.jp/center/ja/555>, 2015.10.21.

■調査報告書作成担当者■

有本 建男	上席フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット）
黒田 昌裕	上席フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット）
私市 光生	上席フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット）
岩野 和生	上席フェロー（システム・情報科学技術ユニット）
高島 洋典	フェロー（システム・情報科学技術ユニット）
佐野 多紀子	フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット）
星野 悠哉	フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット、 2015年4月まで）
○原田 裕明	フェロー（科学技術イノベーション政策ユニット）

○主担当

※お問い合わせなどは下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2015-RR-07

調査報告書

科学技術イノベーション政策の科学における政策オプションの作成 ～ ICT 分野の政策オプション作成プロセス ～

平成 28 年 3 月 March 2016

ISBN 978-4-88890-490-2

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
科学技術イノベーション政策ユニット

Science, Technology and Innovation Policy Unit, Center for Research and
Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

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

©2016 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.

