

**調査報告書**

# **次世代ものづくり**

## **～基盤技術とプラットフォームの統合化戦略～**

### **<中間とりまとめ>**



## エグゼクティブ・サマリー

今日世界的に製造業が変貌しつつある。これを駆動するのは国際規模でダイナミックに展開するサービス指向ものづくりであり、情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）の進展と経済活動のボーダレス化がこれを支えていると言われている。このような中で、我が国は素材や部品などで優位性を維持するものの、システムインテグレーションやものづくりとサービス事業の統合では欧米に遅れをとっていると認識されている。

我が国は、電機産業などの構造改革が進む一方で、少子高齢化の急速な進展への対応や地域産業の活性化など大きな課題を抱えている。また、生産拠点の海外移転が進んできた結果、最近の円安にもかかわらず輸出が伸び悩み、貿易赤字が続いている。このような中で、ものづくりのあり方についての新しいビジョンが求められている。本調査報告では、次世代ものづくりの方向性とこれを支える基盤技術のあり方について、以下のような問題意識のもとで検討した。

- － ものづくり分野でどのようなパラダイムシフトが起きているのか？これを加速するために、基盤技術はどのように進展すべきか？
- － 我が国の製造産業が国際的な競争優位を獲得するために、これからのものづくり文化はどうあるべきか？
- － 我が国の次世代ものづくりに関する研究開発をどのように推進すべきか？

1990年代後半より、設計やサービスは先進国が担い、製造プロセスは人件費の安価な新興国が分担する形で製造業の国際的な水平分業が進展したが、近年、欧米を中心として先進各国で自国に製造業を回帰させること（Re-shoring）が検討され、国内の雇用確保を図るためのものづくり政策が打ち出されている。また、業務プロセス管理技術（OT：Operation technology）やスマートフォンなど ICT ネットワーク技術を応用したサービス基盤事業にシフトすることにより、競争優位に立つ動きが顕著である。このために、クラウド技術、Internet of Things (IoT) など先端的な ICT やシミュレーション、大規模データ解析などの数理科学、3次元プリンタやロボットなどの生産システム技術などの新しい基盤技術の開発と利活用が積極的に展開されている。これらの結果、ものづくりが生産者の独占行為ではなく、消費者や市民との共創のもとで進めるという新しいものづくり文化が芽生えつつある。ものづくりの民主化とも言われる。さらに、要素技術の研究開発に留まらず、それらを統合化して製造業のサービスの付加価値の向上につなげるために、様々な関係者が参加する統合型研究開発拠点の構築が進められている。

我が国は、素材、部品産業や自動車に代表されるメカトロニクス産業のような「すり合せ型ものづくり」において半世紀近く世界をリードしてきた。この強みを維持発展するために、これらを支えるナノテクノロジーや材料技術、加工技術、エレクトロニクス技術、メカトロ

ニクスなどの研究開発に国や産業界が投資を続けてきた。一方で、サービス科学に代表されるような「サービス指向ものづくり」に関しても、内閣府の「科学技術イノベーション総合戦略 2014」において、「スマート化」、「システム化」、「グローバル化」に取り組むべきことが明記され、国としてものづくり文化の変革に向けた検討が急がれている。また、特区制度の活用やベンチャー起業の促進、地域資源の活用、知財・標準化戦略の推進などの観点から、ものづくり基盤の強化が求められている。我が国の成長戦略における次世代ものづくりの果たすべき役割の明確化と、「伝承と変革」を軸にした戦略的取り組みが望まれる。

本調査報告では、新しい時代の製造業とそれを支えるものづくり基盤技術を俯瞰し、我が国の製造業の発展のための研究開発の推進策について議論する。とりわけ、次世代のものづくりを支える新しい基盤技術を設計技術やプロセス技術を中心に検討した。また、ネットワーク上でサービスを提供するためのものづくり戦略の観点から以下の 2 テーマを取り上げ、具体的な推進策について考察した。

－戦略 1 「サービス・システムとものづくりの統合化」

ICT を核にしたサービス・システム基盤の構築とサービス指向ものづくりを軸に、我が国の製造業の新しい方向を打ち出すことが求められている。このために、多様な関係者が協同で具体的な研究開発課題を設定しロードマップを策定して、主体的に推進することが重要であり、国はそのような動きを支援する必要がある。

－戦略 2 「グローバル競争力を有するものづくり技術の市場化加速」

ものづくり基盤技術の開発のためのオープンで永続的な分散ネットワーク型研究開発拠点の整備と、要素研究からサービス・システムの実証までの統合型研究の推進に、産学官が連携して取り組むべきである。

本調査報告が、第 5 期科学技術基本計画などにおいて、我が国製造業の国際競争力強化に向けた政策策定の一助になれば幸いである。また、我が国の持続的成長に資する科学技術イノベーションの推進に当たる産業界、大学、研究機関、行政、NPO など幅広い関係者の間で、次世代ものづくりのあり方の議論に活用されることを期待したい。

## 目 次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| エグゼクティブ・サマリー                         | i  |
| 1. はじめに                              | 1  |
| 2. 日本におけるものづくりの現状及び関連政策              | 3  |
| 2-1. 日本におけるものづくりの概況                  | 3  |
| (1) 日本のものづくりの現状と外部環境                 | 4  |
| (2) 日本の製造業の強み/弱み                     | 6  |
| 2-2. ものづくりに関連した政策動向                  | 10 |
| (1) 近年の我が国の政策動向                      | 10 |
| (2) ものづくりに関連した科学技術分野の施策              | 11 |
| 3. 諸外国におけるものづくりのトレンド                 | 14 |
| 3-1. グローバルなトレンド                      | 14 |
| (1) 製造業のグローバルな分業とネットワーク化             | 14 |
| (2) 製品とサービスの一体化～サービス・ドミナント・ロジック      | 14 |
| (3) 消費者と生産者による価値共創                   | 15 |
| (4) 持続可能な製造業（経済・社会・環境面で）             | 16 |
| 3-2. 諸外国における製造業強化に係る政策               | 18 |
| 4. 次世代ものづくりと基盤技術                     | 21 |
| 4-1. 次世代ものづくりとは何か                    | 21 |
| (1) ものづくりのパラダイムシフト                   | 21 |
| (2) ものづくりの変容                         | 24 |
| (3) 次世代ものづくりの定義                      | 26 |
| (4) 次世代ものづくりシステム～需要者と供給者とのダイナミックな連携  | 27 |
| 4-2. 基盤技術の俯瞰                         | 30 |
| (1) 基盤技術の定義                          | 30 |
| (2) 次世代ものづくり基盤技術の俯瞰                  | 30 |
| 5. 提言～基盤技術とプラットフォームの統合化戦略            | 40 |
| 5-1. 日本が取るべき戦略                       | 40 |
| (1) プラットフォーマーとの連携の重要性                | 40 |
| (2) 日本の目指すべきものづくりの方向性～2つの統合化         | 41 |
| (3) 研究開発テーマ設定のフレームワーク                | 43 |
| 5-2. 戦略1「サービス・システムとものづくりの統合化」の推進策    | 44 |
| (1) 研究開発テーマ                          | 44 |
| (2) 推進策～戦略立案コンソーシアム×研究開発プロジェクト型による運営 | 48 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| (3) 各種政策ツールとの連携                                             | 49 |
| 5-3. 戦略2「グローバル競争力のある技術の市場化加速」の推進策                           | 50 |
| (1) 研究開発テーマ                                                 | 50 |
| (2) 推進策～統合型ものづくり研究開発ハブ（仮称）の設置                               | 51 |
| (3) 革新的基盤技術と市場動向のモニタリングと分析                                  | 52 |
| (4) 研究開発ハブを活用した人材育成策                                        | 54 |
| 付録1. 検討経緯                                                   | 56 |
| 1. インタビュー先リスト                                               | 56 |
| 2. ワークショップ                                                  | 57 |
| (1) 設計・製造                                                   | 57 |
| (2) ICT ワークショップ                                             | 59 |
| 付録2. 日本のものづくりの歴史的経緯                                         | 61 |
| (1) 国際的競争優位の獲得                                              | 61 |
| (2) アカデミアとの関係                                               | 62 |
| (3) 経済のグローバル化と情報通信革命の影響                                     | 63 |
| 付録3. ものづくりに関連した科学技術分野の施策                                    | 65 |
| (1) 世界的なナノテクノロジー研究・教育拠点                                     | 65 |
| (2) 大学を核とした拠点形成策・センターオブイノベーションプログラム（COI）                    | 66 |
| (3) 先端大型研究施設と研究施設共用                                         | 67 |
| (4) ベンチャー創出支援策：大学発新産業創出拠点プロジェクト（START）                      | 69 |
| (5) イノベーション拠点に求められる支援機能                                     | 70 |
| 付録4. ものづくりの将来像についての議論                                       | 71 |
| 付録5. 諸外国における製造業強化策                                          | 74 |
| (1) アメリカ                                                    | 74 |
| (2) ドイツ                                                     | 76 |
| (3) イギリス                                                    | 78 |
| (4) EU                                                      | 79 |
| (5) 中国                                                      | 81 |
| (6) 韓国                                                      | 82 |
| (7) 台湾                                                      | 84 |
| 付録6. 戦略検討に向けたケーススタディ                                        | 85 |
| (1) 戦略1「サービス・システムとものづくりの統合化」の推進事例～<br>医療サービス・システム（事例：医療機器）  | 85 |
| (2) 戦略2「グローバル競争力のある技術の市場化加速」の推進事例～<br>材料から製品まで一貫したものづくり研究拠点 | 89 |
| 参考文献                                                        | 91 |

## 1. はじめに

ものづくりの重心が欧米からアジアへとシフトしている。アジアの中で先陣を切って工業化に成功した我が国であるが、近年、かつては得意としてきた半導体、テレビ産業などの領域において競争力を失っており、貿易赤字が年々拡大している。その大きな要因の一つに低コストの労働力を梃子に工業化に成功した中国、韓国等の台頭がある。さらには、エレクトロニクスや家電等、競争ルールの変化が著しい分野において、ビジネスモデルや知財戦略を適切に進化させるなど、情報通信技術（ICT）と連携したサービスの提供において出遅れたことも背景にある。

一方近年、先進諸国において製造業は雇用確保や自国経済活性化と基盤の強化のために重要との認識から関連する研究開発戦略が次々と打ち出されている。特に、ICTをはじめとする様々な技術革新が先進国の製造業に対し新たな機会をもたらすとの考えから、科学技術イノベーション創出への期待が高まっている。

このような中、以下の様な問題意識のもと、JST 研究開発戦略センターでは、次世代ものづくり基盤技術についての検討を行うための分野横断グループを2014年4月に立ち上げた。

- － ものづくり分野でどのようなパラダイムシフトが起きているのか？これを加速するために、基盤技術はどのように進展すべきか？
- － 我が国の製造産業が国際的な競争優位を獲得するために、これからのものづくり文化はどうあるべきか？
- － 我が国の次世代ものづくりに関する研究開発をどのように推進すべきか？

本横断グループでは、20回以上に亘るグループ内検討、20名前後の有識者へのインタビュー及び外部専門家を招聘した2回のワークショップにおける議論やCRDS内部での検討を行った。本稿は、最初の半年間の活動成果をとりまとめた中間報告書である。その構成は、第2章で日本におけるものづくりの現状及び関連政策を概観し、第3章で諸外国におけるものづくりのトレンドを参照した上で、独自の検討として行った次世代ものづくりの方向性及び基盤技術の俯瞰を第4章にまとめた。また、これら検討を踏まえ、第5章に政府が実施する政策として「基盤技術とプラットフォームの統合化戦略」を提言する。

なお、この中間とりまとめを公表し、各方面からのコメントを受け、再検討した上で、最終報告書をできるだけ早期にとりまとめる予定である。

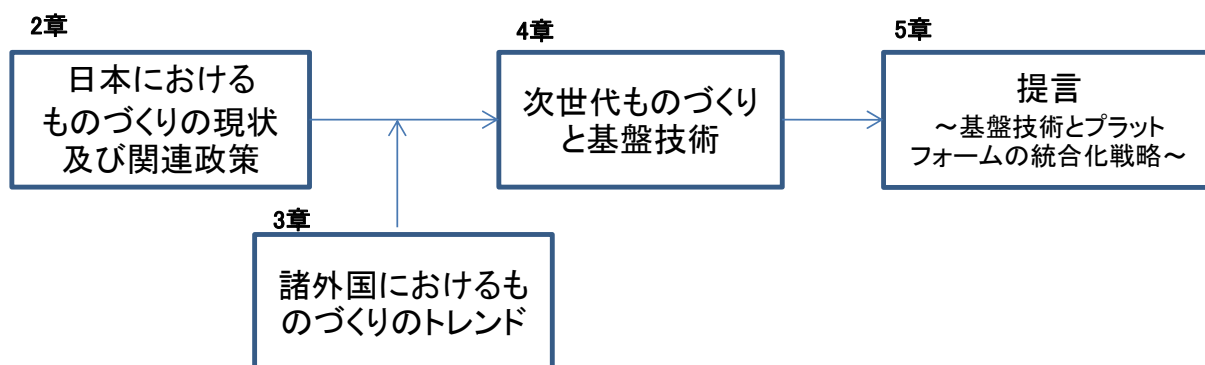


図1-1：本報告書の構成

本中間とりまとめは、付録1に記した多くの外部有識者から伺った内容や中村理事長をはじめとするJST内の民間企業出身の役職員との密な議論のもと作成したものである。この場を借りて、ご協力いただいた皆様に御礼申し上げる。



## 2. 日本におけるものづくりの現状及び関連政策

日本のものづくりを再び経済成長の原動力とするには、これまでに築きあげられた設計・製造技術の競争優位性を最大限に利用すると同時に、グローバルな競争環境の変化に対応する新しいビジネスモデルの構築や、国全体のイノベーションシステムの再デザインが必要と考えられる。本章では、日本の製造業が持つ強みと弱み、現在の状況に至るまでに歩んできた軌跡を概観するとともに、今後ものづくりの競争力を回復し、発展させるために打ち出されている政策の動向を示す。

### 2-1. 日本におけるものづくりの概況

第二次世界大戦後、日本経済は製造業における競争力を主要な推進力として復興と急速な成長を遂げた。日本のものづくりは1960年代から1980年代にかけて画期的な新製品を次々に生み出し、家電や自動車をはじめとする日本製品は高い品質と性能で世界市場を圧倒する高い競争力を獲得した。

しかし、1990年代からの急速なグローバル化の中で、ものづくり産業を取り巻く環境は急速に変化し、半導体やデジタル家電を中心に日本製品の競争力は大幅に低下してきた。ハードウェア製品とソフトウェアの一体化や、製品販売後のサービスや製造過程にICTが大きく関わってくるなど、製造業のバリューチェーンは複雑化しており、日本の企業はこれに必ずしも適切に対応できていない状況にある。また、少子高齢化を迎える中で、先端医療分野での輸入超過が続いているなど、社会の需要とものづくり力との不整合が課題になっている。

日本の品目別の輸出額をみると、自動車や電気機器を中心とした工業製品が大部分を占めており、日本が獲得する外貨の大半は製造業由来である。今後人口減少により国内消費が減少し続けることを考えると、外需による経済成長のために製造業の持続的な発展は不可欠であると言える。

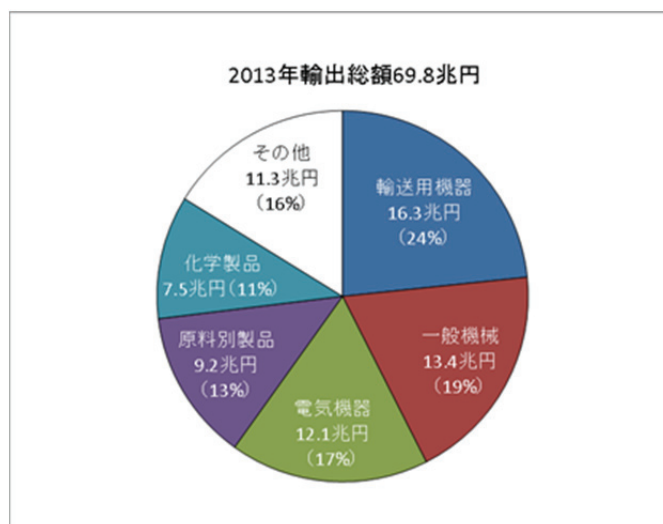


図2-1：2013年の品目別輸出額（出典：財務省「貿易統計」）



安倍政権の経済政策の下で日本の企業の業績回復が全体的に進む中で、製造業は全産業と非製造業を大きく上回る伸び率を示しており（2013 年第 4 四半期で、前年同期比 70%の成長）、再び経済成長における重要性が増しつつあるといえる。

## （１）日本のものづくりの現状と外部環境

### ●日本製品の輸出力低下

1990 年以降、急激な円高や、エネルギー価格の高騰、アジア通貨危機や IT バブル崩壊による国内外景気の悪化といった、日本の製造業にとって不利にする事象が連続した。さらに 2008 年から 2009 年の金融危機に伴う世界規模での深刻な景気後退では、日本が得意とする自動車などの耐久消費財や工作機械など資本財を中心に世界の需要が大幅に減少したため、輸出が落ち込み、貿易黒字が急減した。その後 2011 年には、東日本大震災による国内生産の停滞や世界経済の減速に伴う輸出の低迷、および原子力発電所の稼働停止に伴う化石燃料の輸入増加によって貿易赤字に転落した。



図 2-2：品目別貿易収支の推移（出典：経済産業省「ものづくり白書 2013」）

貿易収支の赤字化は、こうした外部環境の変化に加え、エレクトロニクス産業の競争力の低下と、貿易黒字を稼ぐ力が衰えつつあることが一因となっている。例えば、テレビや携帯電話の輸入額は年々増加基調にあり、2012 年にはテレビと携帯電話の貿易赤字額は合わせて 1 兆円を超えた。テレビのようなコモディティ化が進んだ分野では、製品の性能による差別化が図りにくく、価格競争に陥りやすい。そのため円高が進むと日本企業の製品は価格競争力が低下する。また、携帯電話は国内市場においても、米国や韓国の企業の製品が人気を集めており、日本企業は苦戦を強いられている。

## ●労働力のサービス産業へのシフト

第2次産業の就業者数は、構成比で1973年の36.6%、実数でも1992年の2,194万人をピークとして現在に至るまで減少傾向が続いており、GDPにおける構成比も2012年度時点で18.2%と、かつてに比べれば小さくなっているのが現状である。しかし、波及効果倍率<sup>1</sup>を産業別に比較した場合、自動車産業を中心とする「輸送機械」は最も大きい3.3倍で、次点の「鉄鋼」も3.0倍である。製造業は全般的に非製造業よりも波及効果倍率が大きくなっており、経済全体に対する波及効果が高い。また、製造業の就業者数は2012年時点で1,032万人だが、非製造業に従事する雇用のうち、製造業に関連する間接雇用者数は688万人含まれる。したがって製造業は、生産面においても雇用面においても、依然として裾野の広い産業であるといえる。

この一方で、日本のサービス産業の比重は、GDPに占める割合においても、就業者数においても、1980年に5割程度だったものが2010年時点で7割弱まで上昇している。これは他の先進国と共通した傾向である。

## ●ものづくり産業の海外移転

日本は人件費が高いため、グローバルな企業は従前から人件費の安い国での活動の比重を大きくしている。特にメーカーは人件費に加えて為替リスクを回避し、人口の縮小と高齢化に伴う国内の需要減に対応するため、生産の多くを海外に移転している。市場のグローバル化に伴う生産拠点の海外移転の動きとあいまって、2007年から2011年にかけて円が対ドルで50%急伸した後、生産の海外シフトはさらに加速した。

日本は、法人所得課税率が主要な先進国や新興国と比べて高い水準にあり、メーカーにとって望ましい立地とは言えない。自由貿易協定への対応の遅れ、労働市場の規制、環境規制、高い電力価格といった要素も日本から製造業を遠ざけている。

さらに、台湾に代表される新興国では、新規に設置された法人に対する法人税の無税期間が設定されていたり、設備投資に応じた投資税額控除の幅が大きかったりと、投資を促進し、製品の販売原価を引き下げるといった税制が導入されているほか、大規模な生産設備の減価償却の方式を柔軟に設定できるなど、会計制度上も企業立地に対するインセンティブが付与されている。柔軟性に欠ける税制と償却制度を持つ日本では、メーカーは販売価格で勝負できなくなるため、生産拠点を移転するか、品質と信頼性を追求して差別化を図る以外に選択肢が無くなっている。

<sup>1</sup> 当該部門の国内需要が1単位増える場合に経済全体の生産額がどの程度増えるかを示す指標。

## （２）日本の製造業の強み/弱み

### ●輸出入動向から見た強み/弱み

図 2-2 に示した貿易収支の最新データの内訳をより詳しく示したのが図 2-3 である。日本のものづくりの輸出競争力について分析する。

まず、強みとなる分野であるが、輸出高が最も多いのは輸送用機器の中でも自動車が出撃しており、自動車部品の輸出も多い。次いで輸出額の多いのが一般機械であり、この中では原動機の輸出が最も多い。さらに、原料品別製品・化学製品の中では、鉄鋼とプラスチックの輸出競争力が高い様子が見受けられた。電気機器の中では、電気回路等の機器や電気計測機器が黒字を維持している。これらは過去の投資の蓄積に基づく強みを有するシステム型産業、あるいは部品・素材産業に該当するものである。

一方、弱みといえる分野であるが、電気機器における通信機や、一般機械における電算機類などが挙げられる。これらは主としてデジタル製品やコモディティ化が進んだ分野であると想定される。高齢化社会を迎える中、需要の伸びが想定される分野でもある医薬品も完全に輸入に依存している。

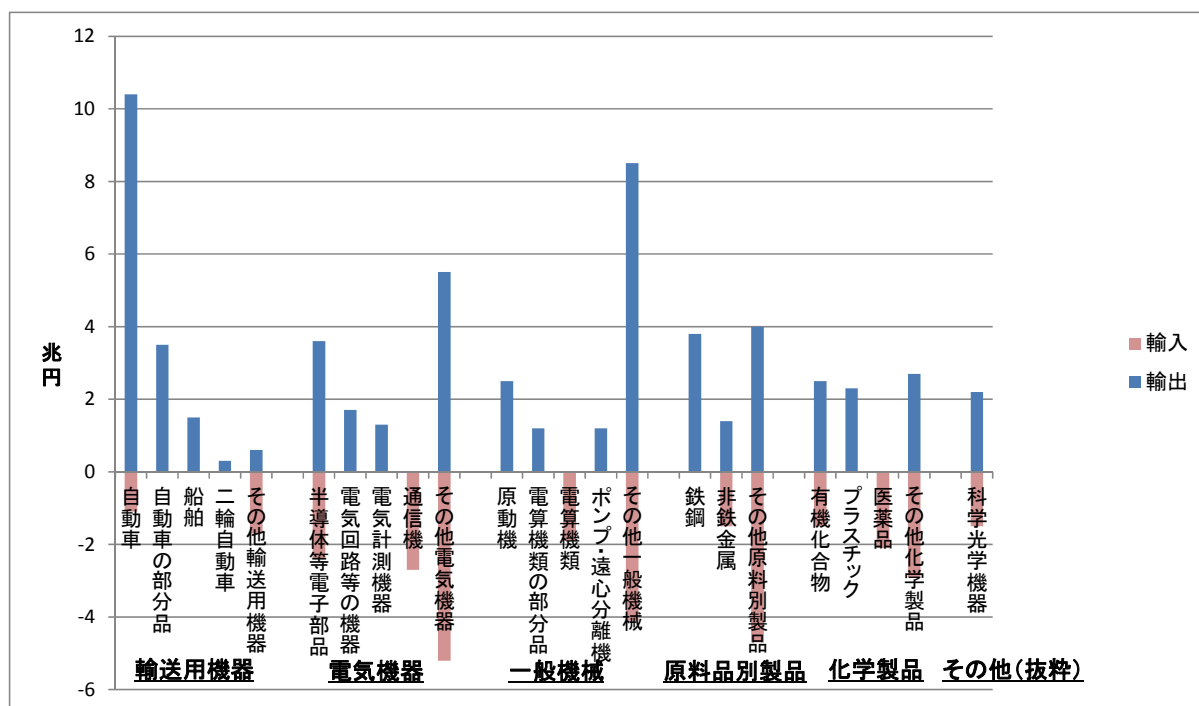


図 2-3：日本の主要輸出品における輸出入内訳（2013 年、財務省）

## ●安定した企業環境のもと、経験と蓄積が効くすり合わせ型製品・信頼性の高い製品に強み

日本の製造業は、「すり合わせ型」と呼ばれる、構成要素が相互に密接に関連していて、一部分の変更が他の箇所に与える影響が大きいタイプの製品に伝統的に強い。アナログ技術のすり合わせの要素が強く残っている領域では高い優位性を維持している。技術の全体系を一社の中で抱え、設計と生産部門の協業があつてはじめて高い品質の製品を作ることができる、あるいは長期に亘る企業間取引関係の中で培われた信頼のもと部品メーカーと完成品メーカー間での調整を要する精密機械や自動車といったカテゴリでは、高度経済成長期の成功を通じて醸成された技術文化と投資の蓄積が強みを発揮している。例えば DVD プレーヤーでは、半導体レーザーやプラスチックレンズなどの光学系、精密アクチュエータや精密モーター、記録材料及びその製造装置の分野で、2008 年時点で日本企業はそれぞれ 90%以上の市場シェアを持っている。これらの製品は、技術が伝播しにくいだけでなく、たとえ国境を越えて伝播しても他国企業は低コストで量産できない。

材料も日本企業が強い競争力を持つ分野である。代表的なものとして炭素繊維は、長期にわたる研究開発に裏付けられた原料処方や製造プロセスが他国企業にとって参入障壁となっているばかりでなく、顧客企業からの多様な物性の要求に応じてきた実績が、グローバルサプライチェーンの中での信頼と地位の確立に繋がっている。

エネルギー関連の機器や医療・介護において使われる製品など、信頼性・安全性等の要求水準が高い領域でも、この技術文化により優位性を保っている。例えば、日本のメーカーが世界シェア第一位である内視鏡は、様々なすり合わせ技術が集約される製品であるばかりか、それを運用する医師の技能ともすり合わせ要素が存在するため、切り替え費用（スイッチングコスト）が高い。つまり、複雑な技術の累積と、高い信頼性の両方を要求される領域では、ゲームチェンジングな技術革新が起きにくいため、日本の製造業が競争優位性を保っているのである。

## ●デジタル化の影響を受けたモジュール化、コモディティ化への対応の遅れ

一方で、日本の製造業は一部の製品の製造プロセスのモジュール化には十分に対応できていない。かつてはすり合わせ型だったにも関わらず、構成要素間の連結が規格化され、モジュラー型が主流になった製品が存在する。例えば、半導体の製造技術は過去には非常に高度なすり合わせを必要としていた。すり合わせを得意とする日本のメーカーは、1 M ビット DRAM も 4 M ビットも世界に先立って達成した。ところが次第に、半導体製造装置メーカーがすり合わせを代替するようになる。特定のメーカーから製造装置を買えば、誰でも製造プロセスを模倣できるようになり、半導体産業はコモディティ化した。1990 年代以降、パーソナルコンピュータの普及で DRAM の低価格化ニーズが進行する中、日本メーカーにとっても製造原価を抑えて利益率を向上させることが至上命題であった。しかし、かつて世界的な優位性を誇った時代の競争環境に過剰適応して

いた各社は、高品質の追及とそのためのプロセス技術力の強化から抜け出せず、大規模投資のもと DRAM を短期かつ低コストで製造する技術力を向上させた新興国メーカーの後塵を拝してしまった。

その後 DRAM から撤退した我が国の半導体企業は、SOC (System on a chip) に注力した。政府主導のコンソーシアムや国家プロジェクトを立ち上げることにより、プロセス技術力の強化を通じて半導体産業の復権を図ろうとした。しかし仮にプロセス技術力が強化されたとしても、いわばニッチの集合体である SOC にとっては競争力の源泉とはならない。むしろ必要とされたのは、グローバル化した市場の中でどの国のどの産業がどのような半導体を必要としているか、あるいは必要とするようになるかを探るマーケティングだった。また、SOC の付加価値はチップ上で動くソフトウェアにあり、システム設計力が必要であったが、強化は十分でなかった。

半導体同様、テレビ産業もまた高品質を追求する技術文化が足枷となって競争力を失っている製品の典型例である。品質至上主義に加え、グローバル展開の不備、マーケティング不足もあるが、決定的なのは、デジタルテレビのコモディティ化に迅速に対応できていなかったことである。例えば液晶パネルは、液晶、配向膜、カラーフィルタ、透明導電膜、ガラス、偏光板、薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor, TFT) アレイ、バックライト、ドライバーIC というモジュールから構成される。これらのうち TFT アレイ以外は、すべて購入可能で、しかもそのほとんどが日本の材料メーカーによる独占的シェア状態である。したがって、いくら液晶パネルの一貫生産を「ブラックボックス」化しても、技術者や製造装置を通じたスピルオーバーによって韓国や台湾のメーカーが短期間にキャッチアップしてしまうという苦境に立たされる状況にある。

## ●ICT を活用したサービスとの連携による高付加価値化・社会ニーズ充足

製造業における付加価値は、製品そのものに加えて、多くの部分を販売後のサービスから生じるようになってきている。我が国の製造業においても、高性能で高品質な製品作りに定評のあるものづくりに、高信頼なサービスを付加する形で収益性向上を図っている成功事例が車両、原動機、建機、エレベータをはじめとする様々な分野で見られる。しかし近年、従来の産業分類の枠組みでは捉えられない製品開発とサービス提供を融合させたプラットフォーム型のサービス企業（次項、「コラム1：プラットフォーマーの台頭とグローバルな価値創造」参照）が米国などから出現し、製造業のビジネスモデルを変革すると見方が出てきている。このような動きについて、今後注視する必要がある。

上述のような動向を踏まえ、後述するように、2014 年版の科学技術イノベーション総合戦略は、「スマート化」、「システム化」、「グローバル化」を強調しており、政策レベルでの対応が開始されようとしている。今後、グローバル、あるいはローカルな地域・社会が抱える課題を解決するシステムをものづくりと両輪で推進することは、ものづくりの高付加価値化を図る上で重要になると考えられる。

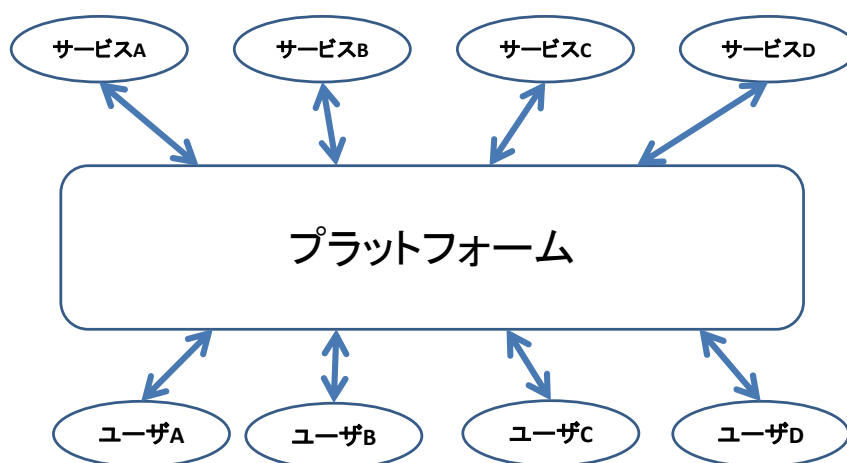


## コラム1：プラットフォーマーの台頭とグローバルな価値創造

あるバリューチェーンの中の基幹的な共通機能を、他社が真似できない質的・量的差別化能力によって支配するとともに、それ以外の領域で他の事業者同士の競争を促して、低価格化を実現することで利用者を広めるビジネスモデルを採用する企業「プラットフォーマー」が近年注目されている。従来からこのようなビジネスモデルは存在していたが、近年の ICT の進展に伴い、Google や Amazon をはじめとするインターネットサービス事業者が、

- ・ 基幹的領域における共通機能を「プラットフォーム」として提供し、共同利用することで当該機能に係るコストの削減
- ・ サービス提供者とユーザは既存の組織や業種、業態の壁を越え参加・連携することが可能であるため、サービスが増えるとそれに魅力を感じるユーザが増え、ユーザが増えるとサービス提供者も増える、という相乗効果によりプラットフォームそのものの魅力が向上する「ネットワーク効果」
- ・ ユーザ情報等が蓄積されたビッグデータの分析・活用等のデータ駆動型イノベーションにより、プラットフォームそのものが提供する機能の向上

といった点においてグローバル規模で価値創造能力を強化しており、これら企業の活動がものづくりを取り巻く産業構造の変革をも促すとの危惧がグローバルトップの製造業の経営層の間で徐々に広がっている。



## 2-2. ものづくりに関連した政策動向

### (1) 近年の我が国の政策動向

近年の日本のものづくり産業関連政策の方向性を包括的に定めた政策は、1999年3月に制定された「ものづくり基盤技術振興基本法」（以下、ものづくり基本法）と、その下で策定された2000年9月の「ものづくり基盤技術振興基本計画」（以下、ものづくり基本計画）である。ものづくり基本法において定められている「ものづくり基盤技術」には26分類あるが、このうち工業製品の設計に関わるものは1分類だけで、ほとんどは製造や修理のプロセスに関わるものである。また、ものづくり基本計画においては、製造業を支える基盤技術の研究開発のほか、産学連携や人材育成等の幅広い側面に触れられているが、いずれも前節で述べたような競争環境の変化を明示的に踏まえた記述になってはいない。

一方、1990年代の終りから連続して産学連携政策が打ち出された。例えば1998年には大学等技術移転促進法が施行され、技術移転機関（Technology Licensing Organization, TLO）の大学への設置が推進された。1999年には産業活力再生特別措置法、いわゆる日本版バイドール法が施行され、国からの研究開発投資の成果に係る知的財産の帰属先が大学と研究者に移り、大学からの技術移転がさらに促進された。さらに、2000年に施行された産業競争力強化法では国立大学教員の兼業要件が緩和され、アカデミアと産業界の距離をさらに縮めることが目指されている。

またこの時期にも、日本の製造業が品質至上主義的な技術文化に拘泥することなく、フロントランナー型のものづくりにシフトしていくことを目指した提言が既に行われていた。2000年に国家産業技術戦略検討会が策定した「国家産業技術戦略」においては、従来のプロセス・イノベーションにおける強みを活かしつつも、新しい市場の創出も射程に入れたプロダクト・イノベーションが日本経済の持続的成長にとって不可欠であると指摘されている。

科学技術政策の側では、1995年に議員立法により科学技術基本法が成立し、その後5年毎に策定される科学技術基本計画に基づいて、基礎研究と革新的技術研究の推進が強化されるようになった。

2006年に決定された第3期科学技術基本計画では、政策課題対応型研究開発における推進4分野のひとつとして「ものづくり技術」が書き込まれ、科学技術政策のターゲットとして製造現場におけるプロセス・イノベーションにフォーカスした製造業の振興策が「ものづくりナンバーワン国家の実現」と題して明示的に組み込まれた。また、同計画では、科学技術基本計画としては初めて「イノベーション」の創出が主眼に置かれ、単なる科学技術の研究開発シーズを増やすことに留まらず、研究開発の成果を社会的・経済的価値において発現させようとする問題意識が科学技術政策においても表出した最初のエポックとなっている。

製造業を取り巻くグローバルな競争環境の変化を読み込んだ政策提言は、最近になってようやく明確になりつつある。2014年6月に閣議決定された日本再興戦略には、産



学官連携を通じた革新的な技術シーズ創出や、そのシーズを新しいビジネスモデルにつなげるための「橋渡し」機能の重要性に加えて、知的財産に関する国際紛争や国際標準獲得の主導権争いに的確に対応することによる「知財立国」の実現を目指すという文言が盛り込まれた。この「橋渡し」機能の重要性については、経済産業省産業構造審議会による 2014 年 6 月の中間とりまとめでも強調されており、産業技術総合研究所などの公的機関は、技術シーズを事業化するシステムの重要な構成要素になると述べられている。また、2014 年版の科学技術イノベーション総合戦略では、「政策課題解決に向けた戦略的視点」として、「スマート化」、「システム化」、「グローバル化」が掲げられている。「スマート化」は、ICT の活用による情報の連携・蓄積・活用を通じた産業の革新、「システム化」は優位性のある製品・技術を複数組み合わせることで高付加価値化したうえでの市場展開、「グローバル化」は、グローバル競争への対応を意識するとともに、海外からの人材・技術・資金の取り込みを目指した行動をそれぞれ指しており、いずれも今後のものづくり関連政策にとって大きな含意を持つと考えられる。

## （２）ものづくりに関連した科学技術分野の施策

我が国においては、大学・研究機関の知を産業へと移転する科学技術・イノベーション推進に向け、1990 年代後半以降、（１）に述べた通りの産学連携促進策を次々と打ち出してきた。しかし、産学共同研究費は近年横ばい傾向、大学発ベンチャーの企業数は減少傾向にあるといった現状を鑑みるに、産学連携を行った結果が効果的にイノベーションに繋がっているとは考え難い状況にある。この要因としては、イノベーションを支える研究支援機能の不足、産業界における自前主義や大学における部局自治の壁、さらには産学間の人材流動性が低いといった事情や、教育システムの問題等がある。このような問題を打破するため、基礎・応用・開発の各研究を繋ぐ「本格研究」への取り組みと企業の積極的参画が必要と考えられる<sup>2,3</sup>。

次世代ものづくり基盤技術の研究開発においても、まず産学官が連携して研究開発テーマの検討や研究開発活動を行う場の形成、計測・分析機器等の研究施設・設備が必要となる。我が国においては、上記の課題に対する対応として既にいくつかの産学連携拠点を形成する取り組みが実施されている。中でもものづくり基盤技術の研究開発推進との関係が深いものとして、「つくばイノベーションアリーナ TIA-nano（ティアナノ）」、「革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）」、「特定先端大型研究施設」、「ナノテクノロジープラットフォーム」、「先端医療産業特区」等が挙げられるが、これらの取り組みには、研究支援人材の拡充、研究成果の国際化・市場化加速、研究と人材育成の一体的推進といった点において課題も残されている。各施策の特長と今後の検討課題について、表 2-1 にまとめる。（詳細は付録 3 参照）

<sup>2</sup> JST/CRDS ワークショップ報告書「日中若手トップレベル研究者を取り巻く研究環境」（平成 26 年 8 月）

<sup>3</sup> JST/CRDS 戦略プロポーザル「チームコラボレーションの時代ー産学共創イノベーションの深化に向けて」（平成 26 年 3 月）

表 2-1：ものづくりに関連した拠点系施策の例及びその特長と今後の検討課題

| プログラム            | 特長                                                                                                                                                                                                                                            | 今後の検討課題                                                                                                                            |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TIA-nano         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・エレクトロニクス材料研究のための産学連携の場の提供</li> <li>・ナノエレクトロニクス・パワーエレクトロニクス・N-MEMS・ナノグリーン・カーボンナノチューブ・ナノ材料安全性評価をコア領域とする産学官の多様な人材が参画（産総研、NIMS、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構（KEK）が中核。経団連とも連携）</li> <li>・一部企業会員からの出資金により運営</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・市場への成果の投入・普及</li> <li>・国際化、市場理解</li> <li>・人材育成機能の強化</li> <li>・自立的な運営体制</li> </ul>          |
| COI STREAM       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・大学における拠点形成支援策（最大 10 億円×9 年）</li> <li>・10 年後の社会ビジョン達成に向けた潜在的社会ニーズ発掘等に主眼を置いたハイリスク研究を支援</li> <li>・異分野の融合・連携型のテーマ設定</li> <li>・産学が連携する研究開発チームへの支援</li> </ul>                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究の進捗等に応じたロードマップ見直し</li> <li>・アイデアの実証（Proof of concept）、橋渡し</li> <li>・人材育成機能の強化</li> </ul> |
| 特定先端大型研究施設       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・特定放射光施設（大型放射光施設（SPring-8）、X 線自由電子レーザー施設（SACLA）、特定高速電子計算機施設（スーパーコンピュータ「京」）、特定中性子線施設（大強度陽子加速器施設（J-PARC））</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・成果の市場化、社会還元</li> <li>・後継機開発のコスト負担</li> <li>・分析の要求水準に応じた利用機器の最適化</li> </ul>                 |
| ナノテクノロジープラットフォーム | <ul style="list-style-type: none"> <li>・高価な先端装置類の集約・共用化による公的研究開発投資の効率向上と、そこに集まった異分野の人材の連携・融合促進の双方に主眼</li> <li>・国の予算と課金収入により運営</li> </ul>                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・高度専門人材（テクニシャン）の専属配置と育成・キャリアパス形成</li> <li>・自立的な運営体制</li> <li>・最先端設備の維持</li> </ul>           |
| 先端医療産業特区～幹細胞治療拠点 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・iPS をはじめとする幹細胞研究の成果を創出し、その一方で規制緩和における臨床研究の体制強化</li> <li>・がん治療、ロボット手術等の先端医療に取り組む計画</li> <li>・幹細胞の治療拠点として国家戦略特区に指定</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・臨床試験の加速、コストダウンを含めた成果の活用・普及の加速、市場・技術の俯瞰と推進戦略立案機能</li> <li>・国際的な安全基準の策定、標準化</li> </ul>       |

これら既存施策の検討課題として挙げられたもののうち、高度専門人材等の研究支援人材に係るものについては、現行のリサーチアドミニストレータ（RA）制度を多様な分野に広げて拡充する等の取り組みが必要と考えられる。

また、国際化については、世界最先端のスペックの施設のもと、拠点の国際化活動を

積極的に推進する専門の営業部隊を擁するベルギーの IMEC 等の取り組みが参考になる。

研究成果の市場化の加速については、新技術の全米への拡散をはかる全米製造イノベーションネットワーク (NNMI : National Network for Manufacturing Innovation) の取り組みが参考となる。このプログラムの拠点では、技術開発だけではなく、テクノロジーアセスメント、ビジネスモデルコンテスト等、新技術を市場に需要・普及させるための様々な試みがなされている。(詳細は付録 5 参照)

人材育成、研究の進捗等に応じたロードマップ見直し、運用等については、例えば、米・NSF で実施している工学分野における大学研究センター設置支援策である、Engineering Research Center (ERC) の取り組みが参考になる<sup>4</sup>。工学系の Transformative な融合研究の推進を支援する ERC では、10 年間の支援期間中、拠点における人材育成や産学連携が実質的に機能しているかを毎年多分野の専門家により設置される評価パネルがサイトビジットを行い、評価や改善に向けた議論が徹底的に行われる。また、産業化に資する研究成果が出た際には、ベンチャー支援等の別のファンディングプログラムと組み合わせた支援が行われる。毎年の評価の際には、国内外の市場・技術動向等を見据えて柔軟な計画変更を行なうことが研究者と資金配分機関との間での密な議論の元に決定されたり、NSF の支援終了後も拠点が持続的に継続するための資金源の確保に向けた方策が検討されたりする。

研究開発拠点発の成果を移転する仕組みとしては、近年始まった大学発新産業創出拠点プロジェクト (START) の様に、ベンチャーキャピタリストをはじめとする事業の専門家とシームレスに連携するメカニズムの構築等が必要と考えられる。

<sup>4</sup> JST/CRDS 平成 26 年度調査報告書「米国の Engineering Research Centers(ERC) - 融合型研究センターの Federal Flagship Scheme」

### 3. 諸外国におけるものづくりのトレンド

#### 3-1. グローバルなトレンド

近年、ICTの進展や情報ネットワークの拡大、市場環境の変化等に伴い、製造における生産拠点や製品・サービスのあり方、顧客との関係等が急激に変化している。これらの動向を本節にまとめる。

##### (1) 製造業のグローバルな分業とネットワーク化

1990年代後半より、デザイン・設計やサービス等のプロセスは先進国が担い、製造プロセスは人件費の安価な新興国が担う形で製造業のグローバルな水平分業が進展した。世界における製造の中心は北米から中国へと徐々に移行が進み、2010年には、製造業の生産額は中国が世界トップに躍り出た。

しかし最近、製造業は雇用の確保と産業基盤全体の維持にとって重要な産業であると感じられるようになり、欧米を中心とした先進各国では製造業強化策が相次いで打ち出されている（詳細は付録5を参照）。このため、製造業のグローバルな分業体制は今後とも動的に変化する可能性がある。

例えば、自国内ではサービス産業を強化し、製造業の製造プロセスの海外移転を進めて来た米英では、リーマンショックを経て自国内に製造拠点を持つことが経済基盤として重要であると認識されるようになった。さらに、米国競争力協議会は製品と製造プロセスとの間にすり合わせを要する製品（先進材料、ナノ材料、バイオ医薬、微細加工等）は、製造から簡単には切り離せないため、このまま海外移転が進めば先進国における製造業の優位性がいずれ失われると報告している。このような背景を受け、米英では現在、製造プロセスそのものを強化し、自国に製造業を回帰させることに主眼を置いたイノベーション政策が実施されている。

一方、先進国の中でもドイツの様に従前より製造業を重視してきた国においても、製造業強化策が打ち出されている。そもそも、欧米のアカデミアでは、市場機会、顧客ニーズ、技術革新等に応じて柔軟に対応できる企業体・生産システム構築を行う必要があるとの見解が示されており、工場のネットワーク化による動的なサプライチェーン管理や、製造プロセス及び市場のあらゆる知識・情報を効果的に活用できる仕組みづくり、更には設計から製造までの全ての工程を同時平行的に処理することで、製品の開発や製造プロセスを効率的かつ短期化すること（オペレーションのコンカレント化）が今後の製造業の課題の一つとして認識されていた。現在 EU やドイツにおいて取り組まれている、工場のネットワーク化に向けた取り組みは、この流れを汲むものと捉えることができる。

##### (2) 製品とサービスの一体化～サービス・ドミナント・ロジック

世界に工業製品があふれるモノ余りの時代となり、顧客の求める価値が商品そのもの



から商品を使ったサービス提供にまで広がった。製造業は製品の高付加価値化のための方策として、関連する金融・運用・保守といったサービスを一層重視するようになった。

製品（モノ）の側から見ると、日本の大手製造業においては、製品の運用・保守を行うサービス業を展開する際、直営店等を通じた顧客とのリアルなコミュニケーションや、機器をネットワークで接続し、そこから得られるデータの分析結果をサービスの向上に活用するバーチャルなコミュニケーションを活用した取り組みがなされてきた。GE はこの考えを更に推し進め、「インダストリアル・インターネット」の概念を提唱している。これは、医療、鉄道、航空機分野等におけるサービスや安全性の向上を図ることを目的に、高度なコンピューティング、低コストのセンサーを備えたインテリジェント機器をネットワークで接続し、そこから得られるデータ分析結果を自社のみならず顧客も含め広く意思決定に係る関係者が活用できる仕組み作りを行うものである。

一方、サービスの側から見ると、古くは金融機関における ATM の活用、最近ではエネルギー供給におけるスマートメータの活用や、配送サービスにおける無人航空機使用等、ネットワークで繋がった ICT 機器を活用することにより、サービスの効率を飛躍的に向上させようとする取り組みが各所でなされている。ICT を社会インフラに活用して、個人だけでなく地域コミュニティ全体へサービスを展開し付加価値を高める取組みも活発化している。

このように、サービスを通じた高付加価値化が注目されているところであるが、多くのサービスのプロセスは形式知化されていない。そこで、サービスに対する理解を深めることが必要との認識から、例えば IBM は、今日の経済と社会を形成する複雑なサービス・システムを統合的に理解するための学問として「サービスサイエンス」を提唱している。ここでは、Vargo と Lusch が 2004 年に提唱した「サービス・ドミナント・ロジック」を受け、全ての経済活動は、基本的にサービスの交換により成り立っていると的前提に立つとともに、製品は有形のサービスとして無形のサービスと同等に捉えられている。

### （３）消費者と生産者による価値共創

製品のライフサイクルが短期化する中、前節で述べた通り、製造業が製品の付加価値としてサービスを併せて提供する取り組みが増えている。顧客ニーズの多様化という側面では、市場がグローバル化する中、個別の消費者ニーズ、あるいは国・地域特有の多様なニーズをくみ上げた製品・サービスの提供が益々求められる。投資家も事業の効率性だけでなく、エンドユーザーのニーズを踏まえた事業の成長可能性により投資判断を行うようになってきている。

では、優れたサービス、イノベーションはいかにして生まれるものなのか。ここで最も重要な要素として指摘されているのは、顧客、従業員、経営者といった「人」である。

対顧客の方策としては、社会的な価値を企業と顧客とが共につくりあげる CSV（Creating Shared Value：企業の本業外で実施される CSR に対して、企業の本業に即して社会的課題を解決する取り組みとして、マイケルポーターが提唱）が重要との指摘

がなされている。サービスプロセスを生産・提供・経験している人々の間で適切な心理的・社会的コンテキスト（文化・風土）が醸成されているとき、価値共創が最も効果的に生じるとされる。このような価値を共有している顧客は、周囲の人々にプラスの顧客体験を語ったり、新しい製品やサービス向上のための方策を提案する等、企業の利益・成長の糧として極めて重要とされている。

対従業員の方策としては、あらゆる技術を労働環境改善に向けて活用することが重要となる。例えば先に述べたドイツの政策では、労働組合と提携し、工場の労働環境をホワイトカラー化することを目指した取り組みがなされている。

対経営者の方策としては、顧客と従業員との間で共創された価値を（１）でも述べた「市場のあらゆる知識・情報」の一環として捉え、意思決定に活用することが望まれる。

また、デジタル製造技術の普及に伴い、従来行われてきたマスカスタマイゼーションを一步進め、商品のパーソナライズ化、あるいはローカライズ化が可能になる。従来は、先進国の顧客向けに開発した製品やサービスを新興国のニーズに合わせていく、いわゆる「グローカリゼーション」が主流であった。しかし、逆に、新興国向けに開発した製品やサービスを先進国に還流する「リバーズ・イノベーション」が近年では注目を集めている。このような中、洗練された顧客が自らのニーズに適合した商品を自ら製作するようになるとの予測もある。例えば、3D プリンタやデジタルデータによる製品設計が個人にも普及すれば、これまで企業が生産していた製品を個人が家庭で製造できるようになる。あるいは、個人が企業に部品を供給するようになる可能性もある。さらには、地域コミュニティが製品・サービスを単に消費する者から生産を担う側へと変貌する可能性を持つとする見方もあり、企業は地域コミュニティとの価値共創を行うようになるとの考えもある。

#### （４）持続可能な製造業（経済・社会・環境面で）

現在我々は、資源・エネルギーの枯渇、環境問題の深刻化、格差拡大等の面で持続可能性に係る問題に直面している。そこで、これらを解決するものづくりのあり方としてアカデミアにおいて提唱されているのは、経済・社会・環境面における「持続可能な製造業」である。これに求められる要件は、プロダクト、サービス、生産プロセスやビジネスモデル構築の際に、新しい富・サービスの創出により、企業・産業としての競争優位性を持ち続けること、資源利用を最小化し環境負荷を削減すること、社会の発展を通じた生活の質向上や雇用創出に貢献すること等としている。具体的には、日本発で吉川らが提唱した、人に価値を与えるのは製品そのものではなく、製品の中に埋め込まれたサービス機能（Functionality）であり、モノ（資源投入）を最小化し、サービスを最大化するために、製品のライフサイクル全般を俯瞰し最適化するとの考えに基づくものづくり等を包含する概念である。これは、1989年に日本が提案し、1995年に開始した次世代製造業に係る国際共同研究プログラム、IMS (Intelligent Manufacturing Systems) のもととなる概念であり、後述する EU の Manufuture のコンセプトにも影響を与えている。持続可能な製造業の議論においては、製品とサービスとは一体的に捉えられると



ともに、個人に留まらず広く社会的な価値のデザインも包含する概念として捉えられている。このため、持続可能なものづくりは、前節までに述べた（１）～（３）を包含する概念と理解することができる。なお、モノを最小化するための具体的な技術としては、微細化・新素材、ソフトウェアによるハードウェアの代替、省エネルギー生産等が挙げられている。

### 3-2. 諸外国における製造業強化に係る政策

ものづくりの重心が欧米からアジアへとシフトしている。とりわけ東アジアの国々では工業化の初期段階に海外からの技術移転を基本とした産業技術政策を展開し、自国のものづくり産業を強化してきた歴史的経緯がある中、日本に次いで韓国、台湾、そして中国本土が、次々と工業化に成功した。とりわけ中国は、製造業の生産高（名目）について 2010 年に米国を抜き、世界 1 位となるなど急速な伸びを示している。図 3-1 に主要国における製造業の生産高推移を示すが、ここでは経年比較を可能な実質値を用いたため、中国の値が 2010 年以降も米国を下回っている点に留意されたい。

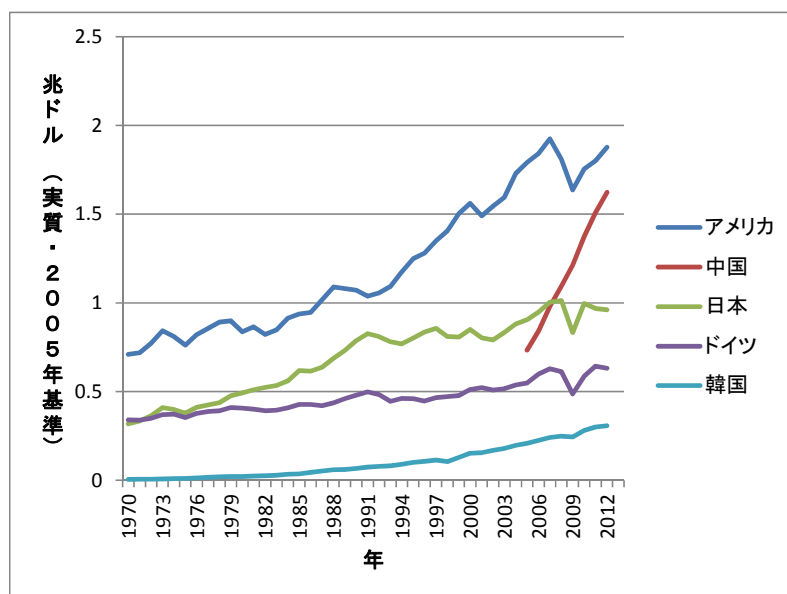


図 3-1：主要国における製造業の生産高（実質）推移（2012 年の上位五カ国）  
（出典：国際連合）

#### ●東アジアにおける製造業の台頭

各国・地域では、海外からの技術移転に加え、低価格な人件費を梃子に国際競争力を発揮する中、技術移転の他にも、税優遇、電気料金等の公的支援による低価格化、関税・非関税障壁による外資参入の規制をかけることで自国産業の保護・育成が図られてきた。

韓国においては、技術移転の主体として財閥が急成長し、輸出および 1960 年代後半からの経済成長を主導する役割を担うこととなった。しかし、1990 年頃になると人件費面での競争優位性は維持できなくなった。情報通信産業の技術開発への重点化等が模索され、2000 年代に入るとサムスン電子、LG 電子等は世界市場においても大きな存在感を発揮するに至った。これら財閥系企業の最大手であるサムスン電子は、1990 年代に入ると日本から輸入した高価な部品・素材を組み立てていち早く市場に届けるスピード経営やブランドマネジメント等の無形資産構築を強みとするビジネスモデルの確立を志向した。この努力が 2000 年代に花開く一方で、このビジネスモデルに由来する対日貿易

赤字の増大が政治問題化し、韓国政府は長期に亘り部品・素材産業の育成支援を行う等の対応に迫られた。また、情報通信産業での成功を他産業・中小企業育成に展開することが経済政策上の最重要課題となっている。そこで、2013年に発足した現・朴槿恵政権下では、あらゆる科学技術を自国産業の強みである ICT 産業と融合させ、新たなイノベーションを生み出す「創造経済」を国家戦略に掲げる中、ものづくり分野においてはウェアラブル・スマートデバイス、自律走行車等のシステム産業や、輸送機器用軽量材料、チタン素材等の部品・素材分野を未来産業のエンジンと定め研究開発の重点化を行っている。また、柔軟なプロジェクト推進ができるよう、国内外の技術動向・環境変化・法制度の分析結果に基づき研究目標・内容を修正する「Moving Target 運営」を行うことが基本計画に明記されている。

台湾においては、海外からの技術導入の中核機関として 1973 年に經濟部傘下に設立された工業技術研究院（ITRI：Industrial technology Research Institute）が活躍している。とりわけ、ITRI で 1984 年に実施された超 LSI 事業の成果に基づき 1987 年に世界初のファウンダリ専業というビジネスモデルを世界で初めて採用した TSMC（Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd.）を設立したことは大きな成果とされている。TSMC の社長は、当時の ITRI の院長が兼務した。TSMC は現在においても半導体製造委託事業において世界シェア 1 位、営業利益率も 30%前後で推移しており、特化した領域において世界市場を席巻する水平分業型のビジネスモデルに成功している。現在においても、ITRI は政府技術開発プロジェクトの中心的役割を担っている。今後、クラウド・コンピューティング、電気自動車、発明・特許の産業化、スマートグリーン建築の 4 分野において、台湾のエレクトロニクス産業の競争力を活用し高度化することを目指している。

中国では、1978 年に改革開放路線に踏み出し、急速な経済成長を遂げた。科学技術は第一の生産力と位置づけられ、経済特区等を通じ、外資系企業からの技術導入を重視したハイテク産業振興策が採られた。今後は、自国の研究開発成果をイノベーションに繋げる「イノベーション型国家建設」を目指している。中国は今世紀半ばには「世界における科学技術強国」となることを目標とし、2020 年までに基礎研究から先端分野における応用技術開発に至るまでの重要領域において世界で一定の存在感を示すこと、「科学技術国際協力プロジェクトを通じて諸外国の技術を消化・吸収し、中国企業へと技術移転することで、企業のイノベーション能力を強化する」ことを目指している。2011 年に打ち出された国家方針である第 12 次五カ年計画（2011-2015 年）では、新たに「戦略的新興産業」を打ち出し、先端設備製造、新エネルギー、新素材、電気自動車等の分野について、重点的に研究開発成果の産業化を加速させる方針が掲げられた。

### ●先進国における製造業強化策

先進主要国では、上述のような新興国の台頭に対する危機感や、雇用基盤としての製造業の重要性への認識、あるいは自国経済活性化のために重要といった理由から、製造業強化に向けた研究開発戦略が次々と打ち出されている。

米国では、製造機能が国内になくなると、雇用が確保できないばかりでなく、米国が

得意とし特化してきた R&D、デザイン、サービスも徐々に新興国に移行してしまうとの危機意識が高まる中、オバマ大統領のイニシアチブにより先進製造を強化する一連の政策が展開されている。特に重要な施策として、全米製造イノベーション・ネットワーク（NNMI）プログラムがある。本プログラムは、全国的な先進製造ネットワーク及びパートナーシップを構築し研究開発の重点化を行い、新たなツール・技術・施設を利用可能とすること目的に金属付加製造（3D プリンタ）、パワーエレクトロニクス、軽量金属材料、デジタル設計・製造等の先進製造技術を対象に産学のコンソーシアム組織、製造革新機構（IMI：Institutes of Manufacturing Innovation）の設置を行い、技術の普及・拡散に努めている。2014 年 10 月には PCAST より NNMI の取り組みを補完する製造センターオブエクセレンスの設置が提案されるなど、先進製造イノベーション加速に向けた取り組みを強化している。

ドイツでは、ハイテク戦略の一環として、Cyber Physical System（CPS）でネットワーク化された「考える工場」の実現を目指すプロジェクト”Industrie 4.0”を実施している。このプロジェクトは、機械、自動車、化学製品等の輸出競争力のある製品の輸出強化と、工作機械の輸出大国としてのスマートファクトリーの生産技術そのものを輸出する二段階の戦略（デュアル戦略）に基づき実施されている。このための基盤技術として、米・日に次いで第 3 位の規模の生産額を誇る組み込みシステムを重視した CPS を主軸に、スマートファクトリー、IT セキュリティ、クラウド・コンピューティング、通信基盤等の革新的な生産技術、プロセスの研究開発を強化している。

イギリスでは、技術戦略審議会（TSB：Technology Strategy Board）が特定の技術分野において世界レベルの技術・イノベーション拠点となるよう、技術イノベーションのための産学連携の場としてカタパルト・センターの設置を進めており、その最初の取り組みとして 2011 年 10 月に設立された高価値製造業（High Value Manufacturing）が実施されている。ここでは、既存の 7 つの製造関連の研究・技術センターを統合し、個々の企業や大学だけでは投資できない最新の研究設備を整備すること等により、多様な製造業（医薬品・バイオテクノロジー、食物・飲料、ヘルスケア、航空機、自動車、エネルギー、化学、電子等）を幅広く支援し、研究成果の迅速な商業化を目指している。

EU では、2004 年に Manufuture という製造分野の戦略策定を目的とした産学官連携型の組織が立ち上げられ、2006 年に戦略提言を出している。その内容は、新興国との競争、技術ライフサイクルの短期化、環境問題などを前提に、高付加価値の新しい製品・サービスや新しいビジネスモデルの創出、新しい製造工学・科学の創出、世界レベルの製造業創出のための研究・教育インフラの転換、といった課題について産業分野横断的に取り組むべきというものである。この Manufuture で策定された戦略提言を受け、2008 年、「欧州『未来の工場』研究協会（EFFRA：European Factories of Future Research Association）」が設立された。EFFRA は、Manufuture の戦略に基づき研究開発ロードマップを策定し、それに従い EU 枠組みプログラムである Horizon2020 のファンディングも実施している。

## 4. 次世代ものづくりと基盤技術

### 4-1. 次世代ものづくりとは何か

#### (1) ものづくりのパラダイムシフト

前章までに述べた通り、ものづくりの拠点が欧米からアジアへとシフトし、新興国へと市場が拡大している。供給者側の論理で進められてきたものづくりは、多様な消費者を対象とした需要者主導型のものづくりへとシフトすることが求められている。

近年の技術革新は、ものづくりを様々な面から高度化させた。ICTの進展により、現在、境界がないボーダレスなネットワーク上で製造プロセス等の連携や顧客との対話・価値共創等の連携が可能となった。また、ナノテク・材料技術の進展により製品の微細化加工等が可能となった。これら技術革新は、既存のバリューチェーンの変革・再構築など、ものづくりのルールを変えるポテンシャルがある。単に「技術」として理解するのではなく、その技術が何の変革を促すのか、その影響力に着目した理解を行うことが必要である。

とりわけ、日々拡大する情報ネットワークと様々な技術の融合は、生産システムの再構成（re-configuration）、製品とサービスの一体化、生産者と需要者の価値共有等を深化させ、ものづくりのパラダイムシフトを起こしていくものであると考えられる。

#### ●情報ネットワークとものづくりのパラダイムシフト

情報ネットワークと技術の融合は、ものづくりのルールをどのように変え得るのだろうか。生産システムの再構成、製品とサービスの一体化、生産者と需要者の価値共有の視点から見た一例を示す。

生産システムの再構成の視点から見ると、クラウド上のデータを必要な時に必要な場所で3Dプリンタにより出力することで、従来は企業が行ってきたものづくりを個人が行えるようになる、あるいは、領域によっては、ものづくりに付随して生じる物流プロセスがバリューチェーンから消えることも想定され、実際このような現象が一部で始めている。

製品とサービスの一体化の視点から見ると、クラウドとIoTの連携により、従来は個々に提供されていた製品同士が連動して、従来にはなかったサービスを提供できる可能性が広がった。このような中、Web等のサービスを提供してきたいわゆる「プラットフォーム型」の企業がビッグデータ等の情報基盤の強みを梃子に人とネットワークとのインターフェース製品となり得るロボットやセンサーなどの技術を持つ企業の買収攻勢を仕掛け、情報収集基盤強化に向けた取り組みを拡充している。これら企業の活動は、従来原価積み上げ型で設定されてきた製品本体の価格構造を根底から覆し得るものと見られる。例えば Google は、スマートフォンのパーツをユーザが自由に選び、筐体を3Dプリンタで作成することにより、現状と比較して極めて低価格な製品を売り出す企画で



ある「プロジェクト Ara」を 2014 年 4 月に公表している。

生産者と需要者の価値共有の視点から見ると、例えば、インターネット上のトランザクションや、GPS やセンサー等を通じて得られる情報がビッグデータとして蓄積されるようになることで、顧客の行動分析の幅が広がり、マーケティングが深化する可能性が開かれた。今後、多様なデータと組み合わせた情報分析を行うことで、個別ニーズに対応した製品の提供や、製造プロセスの最適化・ジャストインタイム化にもつながると期待される。

このように、情報を基盤とする様々な技術の組み合わせにより、サプライチェーンやバリューチェーンの変革、従来は想定できなかったサービスの提供等、多岐に亘るインパクトが今後とも広がっていくと考えられる。

### ●バリューチェーンの川上・川下における競争環境の変化

業種によって違いはあるが、多くの製造業において、バリューチェーンの川上である企画・設計、研究開発等の領域と、川下である販売・運用・メンテナンスといった領域の付加価値が高く、製造の付加価値が低いという現象が見られる。この場合、バリューチェーンにおける機能を横軸に、付加価値を縦軸にプロットすると、いわゆるスマイルカーブが描かれる。このような分析に基づき、多くの先進国の製造業において、自らは付加価値が相対的に高い川上と川下の領域における事業活動を強化し、付加価値が相対的に低い製造機能を新興国に移転するといった意思決定がなされてきた。このため、製造を主体としたものづくりはプレイヤーが増えて益々市場における競争が激化する傾向にある。一方、近年、高収益を誇る企業の中には、バリューチェーンの川上と川下で、一定規模の市場を一旦確保すると利益を独占し続けやすい構造をうまく活用している例が見られる。

川上側の例としては、インテルに代表される、高度な知財戦略により基盤技術を囲い込むことで、事業の高収益化を図る取り組みが挙げられる。川下の例としては、マイクロソフト OS や Google の 안드로이드 OS など、コラム 1 で述べたプラットフォーム型の事業展開により、一旦波及すると互換性の問題等から市場が置き換わり難い現象が起きることを利用し、顧客を囲い込むことで高収益化を図る取り組みが挙げられる。（詳細は後述の「コラム 2：ネットワーク経済の法則」参照）

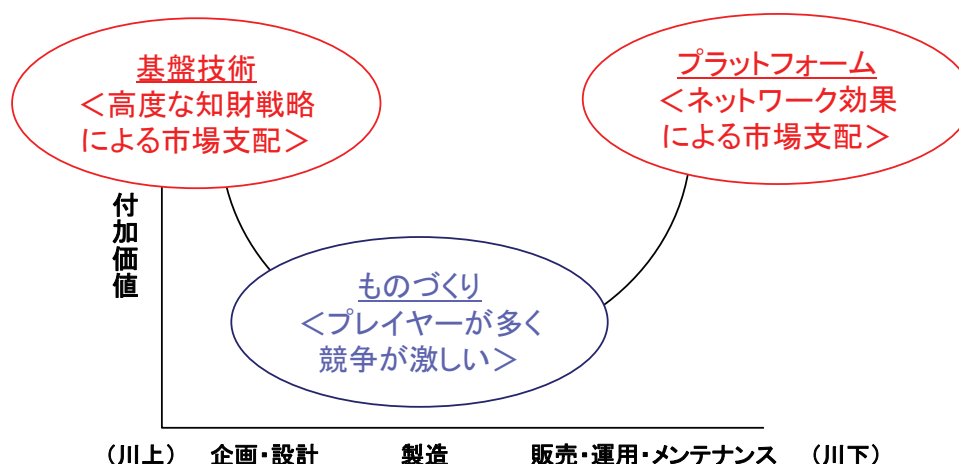


図4-1：バリューチェーンの川上・川下における競争環境の変化

(出典：産学共創経営基盤 CEO 富山和彦氏講演 (CRDS シンポジウム・2014/11/7 開催)  
小川紘一著「オープン&クロズド戦略」等を参考に CRDS 作成)

海外の取り組み事例の中でも、米国やドイツの政策は、図4-1に示したような競争環境を踏まえ、製造業が基盤技術とプラットフォーム双方を活用するための環境づくりを、それぞれの国情に合わせ以下の様な官民の役割分担のもと実施している点が注目に値する。

- ・米国：サービス業の基盤が強い米国では、プラットフォームづくりは民主導により実施されている。Google, Amazon に代表されるインターネットサービス業から、製造業が連携して取り組む Industrial Internet に至るまで、サービス提供者と顧客がそれぞれオープンに参画できるプラットフォームづくりが積極的に行われている。一方、国の役割としては、プラットフォームを支える基盤技術や、自国の製造基盤強化が重視されている。このため、NNMI に代表される米国の先進製造にかかる政策は、製造技術を重視する政策が展開されているものと考えられる。
- ・ドイツ：ドイツは自国の製造業の基盤が強い今のうちに、次世代のものづくり基盤を強化しなければならないとの危機感を持っている。このため、ものづくり分野におけるプラットフォームの強化策として Industrie4.0 を実施し、世界中の工作機械や工場システムがこれに接続可能なものとなるよう、官民が連携し、世界中に喧伝しているものと考えられる（詳細は後述の「コラム3：ITによるロックインを効果的に活用した Industrie4.0」参照）。一方、自国産業が強い領域における技術開発は、国際連携を行わず自国内で研究開発を行うという、従前からのドイツ政府の一貫した方針があるため、国際的に目立った取り組みが見え難い状況になっているものと考えられる。

## (2) ものづくりの変容

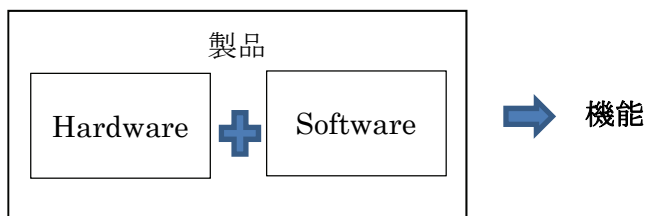
(1) で述べた変化を受けて、ものづくりはどのように変容しているのだろうか。ものづくりは、「何を作るか？ (What to make=製品、プロダクト)」と「どのように作るか？ (How to make=製造プロセス)」の2要素から構成される。ここでは、ものづくりの変容について、製品、製造プロセス、およびものづくり総体として何が変容したかについて、ハードウェア型、ソフトウェア組込型、ネットワーク型へと多様化してきたとの考えに基づき述べる。

### ●プロダクト（製品）の変容

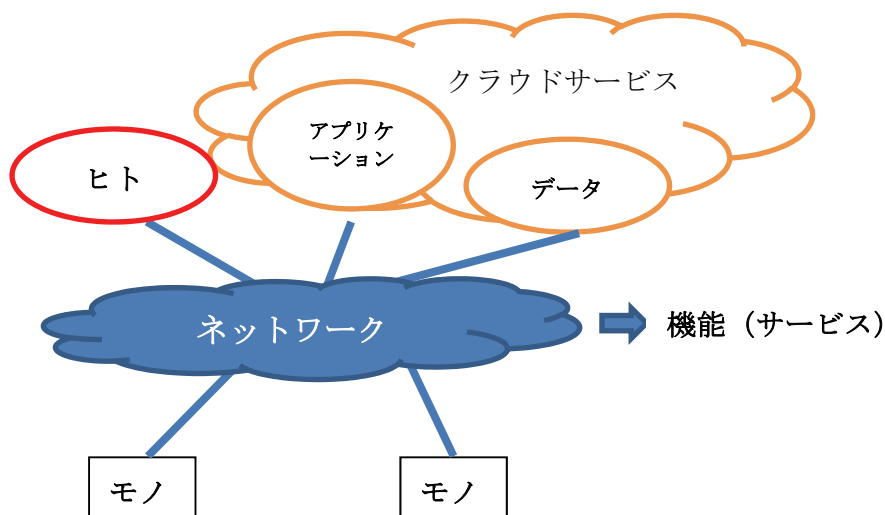
- ① ハードウェア型：従来の製品は物質の特性を利用して機能を実現してきた。



- ② ソフトウェア組込型：マイクロコンピューターに代表されるような、デジタル機器の登場により、製品に新たな機能が付加され、高度な制御が行えるようになった。



- ③ ネットワーク型：さらに、これまで単体で存在してきた製品がネットワークを介して相互に接続されるようになってきた。単体ではなしえなかった機能が実現され、あるいはサービスとの連携が実現されてきた。いわば、ネットワーク化による機能の連携である。



ただし、これらのプロダクトの変化が起きてはいるものの、例えば「①ハードウェア型」がなくなるわけではなく、それは依然として価値を持つ。プロダクトの種類が増えているのである。

## ●製造プロセスの変容

上記のプロダクトに対し、それぞれの製造プロセスも変わりつつある。

- ① ハードウェア型：材料開発においては、コンピュータによって候補物質を事前に絞り込んだり、シミュレーションによって材料の性質をあらかじめ確認することができるようになってきた。これにより、原子・分子レベルでの物質の設計による機能制御が可能となりつつある。
- ② ソフトウェア組込型：自動車や家電製品などにおいても組み込みソフトウェアの占める部分が多くなり、便利な機能が提供されるようになった。これに伴い、ソフトウェアとハードウェアとのコンカレントな設計・開発が重要になっている。一方で、開発コストが増大したり、セキュリティの面での問題が指摘されるようになってきた。
- ③ ネットワーク型：製品と製品、製品とサービスの連携が進むと、一つの企業がすべてを設計・開発・運用することはもはや不可能であり、他社との連携を考慮して製品を製造することが重要になっている。また、周囲の環境が動的に変化することから、それらへの対応も必要である。

さらに、製造工程短縮への要求、環境への配慮などの観点からも製造プロセスは変化している。

- ・人々の要求の多様化に対応するため、できるだけ製造工程を短縮し、すばやくニーズに応える必要がある。そのためには開発と製造の一体化、すばやいプロトタイピング、素材・部品・製品の連続的な生産が行われるようになってきている。
- ・サステナブルな社会を実現するためには、Reduce、Reuse、Recycle が重要であるが、これらを後付けで実現するのではなく、設計・開発の段階から考慮しておく必要がある。

## ●「ものづくり」の変容

プロダクトと製造プロセスだけでなく、「ものづくり」のビジネスとそれを取り巻く環境も大きく変化している。従来は供給者が製品を製造し、需要者がそれを受け取って使用する、というように供給者と需要者の関係は「販売」という局面だけの接触であり、きわめて限定的な関係になっていた。製品が不足しており、必要とされる製品が分かっている場合には、このような関係でもビジネスが成り立っていたが、需要者のニーズが多様化し、選択の範囲が広がってくると、販売という局面だけで両者の関係は完了しなくなってきた。需要者は製品を欲しているのではなく、製品が提供する機能によって自らの課題を解決し、生活の質を向上させ、満足を得ることを要求している。この場合、需要者と供給者の関係は販売にとどまらず、製品の使用や運用、保守、あるいは廃棄にわたるまで続く。さらに、製品を購入するためのファイナンスや、利用するための教育なども含めて考える必要がある。すなわち、製品を媒介としながらも、その周辺のサービスをも包含した形で「ものづくり」ビジネスを考える必要が出てきている。

また、需要者と供給者と言う関係も曖昧になってきている。3Dプリンタに代表されるように、需要者が必要とするものを自分で作るという動きが出てきている。これまでの物言わぬ消費者ではなく、自分の欲するものを要求する、あるいは自分で作り出すという消費者の変容が起きている。供給者も、何を作ればいいのかということを需要者から聞き出そうとしており、これら両者の情報共有による新たなものの作り方が始まりつつあるといえる。

### (3) 次世代ものづくりの定義

従来、ものづくりとは原材料等を加工することにより、一定の機能を満たすことを目的に製造された製品（＝もの）及びその製造プロセス（＝つくり）を対象としてきた。しかし近年では、前節で述べたようなものづくりの変容が起きている。この状況を踏まえ、我々は、次世代ものづくりについて、近年の情報通信ネットワークの発展により、時間・空間を超えた情報の収集・提供、サービスの提供が可能になったことや需要者を巻き込んだプロセスがネットワークで繋がり相互連携可能となること等を念頭に置き、次の通りに定義した。

次世代ものづくり：原材料等の加工に主眼を置いてきた従来のものづくりの概念に、（原材料から再利用に至るまでの）製品のライフサイクルや、製品を取り巻くサービスの（潜在ニーズの発掘から使用・廃棄に至るまでの）ライフサイクルを加えた概念

以降に検討するものづくりは、「ものづくり基盤技術振興基本法」の定義を超えた範囲でもものづくり基盤技術を捉えている点に留意されたい。



#### （４）次世代ものづくりシステム～需要者と供給者とのダイナミックな連携

次世代ものづくりにおける製造プロセスについて検討する上での出発点として、我々はまず、米国先進製造の議論を先導する MIT のグループが提案した下図のプロセスを参照した。これは、製品の製造プロセスについてポイントが示されたものである。

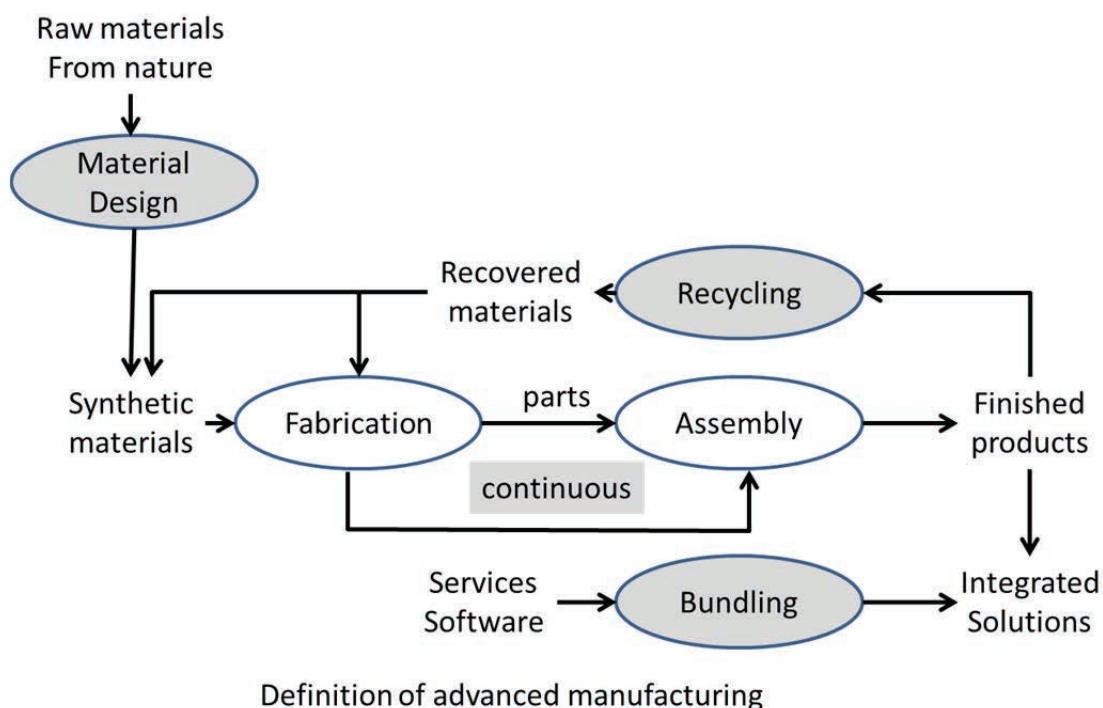


図 4-2：米国における先進製造技術俯瞰で検討された製造プロセス  
(出典：Oliver De Weck, Darci Reed, Sanjay Sarma and Martin Schmidt, 2014)

我が国においては、従来製造プロセスを強化してきた歴史的経緯を有する一方で、米国が得意とするサービスや ICT を活用した顧客とのインタラクションといった点こそが課題となっている。そこで、我が国のものづくりを強化する上では、図 4-2 のような供給者だけのプロセスではなく、需要者の使用や保守などのサービスや、需要者と供給者の情報共有による新たなものづくりの形態も、単なる製造プロセスではなく広くシステムとして捉えて表現することが必要と考えた。そこで、これらを取り入れた次世代ものづくりシステムについて、有識者へのインタビュー等をもとに作成したのが図 4-3 である。

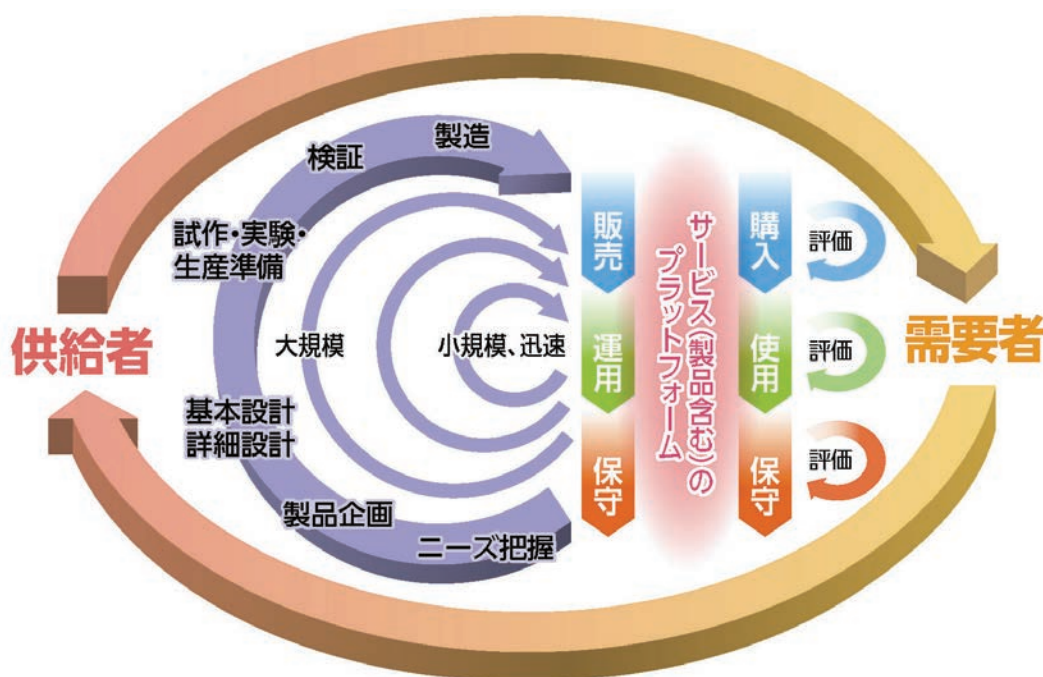


図4-3：次世代ものづくりシステム～需要者と供給者とのダイナミックな連携

ここでは、ニーズ把握から製造に至るまでの廻る部分で供給者の製造プロセスを表現している。大きな流れは長い時間を要するものづくりを表し、小さな矢印は小規模・迅速なものづくりを表し、アジャイルものづくりに相当する。右側の需要者は、供給者とは販売・購入の関係だけではなく、使用・運用・保守といったライフサイクル全体にわたって関係を持つ。

さらに、需要者は製品が提供する機能についての要望や、製品使用時の要求などを供給者と共有し、供給者はそれらの意見を取り入れて、新しい製品や改良された製品を作り出したり、製造プロセスの改善に活かしたりする。

調査、分析などのものづくりのプロセスは一つの供給者で閉じるのではなく、それぞれに、あるいは全体を通したエコシステム<sup>5</sup>がダイナミックに構成されなければならない。特に、ネットワーク化した製品をつくる場合には、単独の供給者では製品のライフサイクルサポートが完結しないため、他者との協働は必須である。

また、今後のビジネス展開を考えると、従来のもの売りだけでは需要者に受け入れられない場面が多々あると考えられる。企業間取引であっても、最終顧客のニーズを踏まえたプロダクト・サービスの提供が求められ、日々の運用や保守、あるいは導入にあたっての金融や保守要員の教育、ユーザのサポートなども要求される。これらは地域的な変化が大きく、特に海外ビジネス展開については、それぞれの国の政策や法律、社会インフラ、国民性などを十分に考慮したうえでのローカライズが求められる。そのためには、グローバルなビジネス基盤とローカルに適応するビジネスを切り分けて、対応しな

<sup>5</sup> 複数の企業がプロダクト開発や生産、販売、サービス提供などを連携して行い、それぞれがウィン・ウィンの関係を持っていること。広義には消費者や、競合企業なども含めて考える。

ければならない。いわば、ビジネスにおけるプロダクトライン<sup>6</sup>化が必要になると考えられる。

## コラム2：ネットワーク経済の法則

ネットワーク化された環境下においては従来とは異なる競争原理が働くことがある。その結果、市場の寡占化が起きたり、必ずしも効率的・高性能の商品ではないものが使われ続けたりすることがある。

- ・ ネットワーク外部性～需要の相互依存性：生産による規模の経済性ではなく、需要の規模の経済性が働き、クリティカルマスに達すると一挙に特定の商品やサービスの普及が進むこと。たとえば、一人だけが電話を持っても何の役にも立たないが、10人、100人、1000人と電話を持つ人が増えると、その利便性が向上する。立ち上がりは穏やかであるが、ある一定数を超えると急速に普及が進むことが特徴である。
- ・ ロックイン：ある時点で特定の技術や仕組みが選択され、長期にわたりその地位がゆるぎないものになること。例えば、コンピュータのように、一度使い始めると買い替える場合にも同じメーカーのものを選ぶことがある。ユーザは、使い方やデータの利用、ソフトウェアの継続性などを考慮すると、他の機種にするには大きなコストが発生するために、同じメーカーのものを使い続けることとなる。この結果として、非効率な商品やサービスが市場で生き残る場合がある。
- ・ バンドワゴン効果：ある商品やサービスが多くの人に選ばれ流行しているという情報が流れることによって、その流行がさらに加速する現象のこと。上述の外部性と近い効果である。

<sup>6</sup> ソフトウェア開発において使われる手法。ソフトウェアを共通に使われる部分と、品揃えに応じて変化する部分に分けることによって、開発の効率化と個別適応を両立させることができる。

## 4－2．基盤技術の俯瞰

### （１）基盤技術の定義

ものづくりの重要な技術として、例えば、顧客を含めたバリューチェーン全体を把握し意思決定を支援するために、ビッグデータを活用すること等が考えられるが、このように一つの業種にとどまらず、多様な業種で利用可能な技術がある。また、バイオ医薬品のように特定産業に特化したものであるが、新しい医薬品の発見が製品にとどまらず製造プロセスの変革を促すような技術もある。このような状況を踏まえ、本検討においては、基盤技術を次の通りに定義する。

基盤技術：「一つの業種にとどまらず、多様な業種において共通に利用可能な製造技術」あるいは、「産業競争力の源泉となる重要技術」

### （２）次世代ものづくり基盤技術の俯瞰

次世代ものづくりの基盤技術について、①製品・サービス・生産システムの連携、効率化、顧客との価値共創のための ICT の戦略的活用、②プロダクト・サービスの企画・設計に係る基盤技術、③製造プロセスの高度化に係る基盤技術、④ナノ・ライフサイエンスに分けて俯瞰する。

#### ① 製品・サービス・生産システムの連携、効率化、顧客との価値共創のための ICT の戦略的活用

ICT は、ものづくりのサービス化等のパラダイムシフトを促す主要因と捉え、重視すべきである。その基盤技術は、業務プロセス間、産業間、顧客といったものづくりのステークホルダ間での接続性（ビジネス・コネクティビティ）を確保するばかりでなく、個人・顧客が自らものづくりを行う「ものづくりの民主化」にも貢献し得るものであり、多様な企業・研究者・個人のアイデアにより技術・標準が常に変わりゆく可能性が高い。以下に「次世代ものづくり支援」及び「情報ネットワーク基盤」として重要な技術を列挙するが、常に新しい技術の出現に目を配ることが必要である。

#### ●次世代ものづくり支援

##### ・ロボット

製造現場ではすでに多くのロボットが実用化されており、製造の自動化に大きく貢献している。しかしながら、現状のロボットはまだ特定の作業に向けて専用的に利用されており、次の通りより柔軟かつ汎用性のあるロボットの実現が待たれている。

- － 人工知能（AI）との融合による工作機械の知能化、自律化（考える工作機械、柔軟な工作機械）
- － 機械加工等に使える（工作機械よりフレキシブルな）高精度加工ロボットによ

る、汎用のハンド、周辺装置や治具を用いない作業や簡単な教示での作業等の実現

・ 3D スキャナー／3DCAD／3D プリンタ

3Dスキャナーによる物質のデータ化や、3DCAD／3Dプリンタを活用したデータの物質化により、実世界（atom）と仮想世界（bit）の相互変換が容易にできるようになった。特に、名古屋市工業試験所小島秀夫氏の特許（1980）に基づく発明である3Dプリンタは、様々な応用が期待されている。迅速なプロトタイピング、ロングテールに対応したものづくり等がその代表例であるが、空間的制約を超えたモノの移動（擬似的なトランスポート）が可能になったとの見方もある。

・ シミュレーション

- － 工程ラインの最適設計のための、時間軸、空間軸なども含めたシミュレーション技術
- － 実験や試作の代替を行うモデリング、シミュレーション技術
- － マイクロ・ナノオーダーにおける現象メカニズムの解明・制御のためのシミュレーション

●情報ネットワーク基盤

・ クラウド・コンピューティング（Cloud Computing）<sup>7</sup>

研究開発や製造の過程において、今後クラウド・コンピューティング（大量データ処理プラットフォームやクラウド・ソーシング（Crowd Sourcing）などを含む）を活用し、ダイナミックな組織間連携が実現される可能性がある。その場合、秘匿性の高いデータ、たとえば設計情報や、利用者に関する情報をセキュアに共有するための技術が必要になる。

また、プロダクト・サービスにおいても従来は製品の中に埋め込まれた機能・情報を、仮想空間に置くことができるようになったため、クラウド上のソフトウェアと製品の中の組込 OS との連携や、クラウド上へのデータ蓄積等ができるようになった。結果として、製品の機能の高度化・スリム化を一層図ることができるようになる等、最小のモノでサービスを最大化する技術としての活用が期待される。

・ ビッグデータ<sup>8</sup>

ビッグデータとは、通常、収集 取捨選択、管理、および許容される時間内にデータを処理するために一般的に使用されるソフトウェアツールの能力を超えたサイズのデ

<sup>7</sup> ネットワークを経由して計算資源を利用すること。多くの機能はサービスとしてネットワーク上から提供され、エンドユーザーは自らハードウェア資源やソフトウェア資源を所有する必要がなくなるため、所有から使用への転換を加速する技術としても期待されている。

<sup>8</sup> 通常、収集 取捨選択、管理、および許容される時間内にデータを処理するために一般的に使用されるソフトウェアツールの能力を超えたサイズのデータ集合のことをいう。



ータ集合のことをいう。近年では、ビッグデータの解析ツールとして量子コンピュータが実用化された。また、新しい分析手法として機械学習に注目が集まっている。インターネットを通じて集めた大量の情報を個人マーケティング等、「事業に役立つ知見を導出するためのデータ」として活用することにより、バリューチェーンにおいて「情報・情報蓄積」の価値が大幅に高まる可能性がある。

- ・セキュリティ

上述の基盤技術は全て、個人情報等のデータを扱い得るものである。これら技術を用いてモノとサービスが ICT で融合する中、情報・ネットワークセキュリティーに係る基盤技術を構築することを併せて実施する必要がある。

- ・IoT (Internet of Things) /M2M (Machine to Machine) <sup>9</sup>

モノがネットワークを介して、他のものやサービス、人と接続される。ネットワークと接続されることによって、もの単体では提供し得なかった高度な機能を実現できるようになる。また、接続されたものの情報が得られるため、適切な保守・管理・運用を行えるとともに、利用状況や利用者の情報を利用して新たなものやサービスの企画・開発が行えるようになると期待されている。

- ・Trillion Sensor

製品にセンサーを付加することにより、その内外の環境を計測することが可能となる。具体例としては、ユーザの体温・脈拍等の健康状態のモニタリングや、GPS による位置情報の取得等、多岐にわたる。センサーの小型化により、今後は、すべてのモノにセンサーが内蔵され 1 兆個のセンサーが医療/農業/建物/交通を覆う Trillion Sensor の時代を創り出そうとする米国ベンチャー企業の活動が国際化している。センサー情報は、ビッグデータを大幅に充実化するものであり、そのインパクトは未知数である。

## ② プロダクト・サービスの企画・設計に係る基盤技術

日本がキャッチアップの途上にあった時代には、何を製造するかは先進国の取り組みを見れば自明であり、作れば売れた。「何を作るか」ではなく、「いかに作るか」に重点が置かれていた。しかし、日本が先進国になるにつれて、低コストの人件費を梃子とした競争優位性が徐々に喪失するとともに、国内市場においても人々の生活が向上し、人々の要求が高度化し、顧客ニーズも多様化していった。今日では、「いかに作るか」ではなく、「何を作るか」が重要になってきた。

人々に受け入れられるものを作るには、人々の要求を的確に把握する必要がある。あ

<sup>9</sup> コンピュータネットワークに繋がれた機械同士が人間を介在せずに相互に情報交換し、自動的に最適な制御が行われるシステム。

るいは、潜在的な要求を作り出すことも必要となってくる。人々の要求を知るために、これまでも様々な活動が行われてきたが、そこに ICT を中心とした技術の適用が可能になっている。そのための技術開発が望まれている。

また、人々は製品ではなく、その製品が提供する機能、すなわちサービスを欲している。自動車が欲しいのではなく、快適な移動手段が欲しいのである。そのように、ものづくりを人々へのソリューション提供であると考えれば、ものづくりには様々な可能性が広がる。従来の狭い枠の中で考えていると、世界の流れから取り残されてしまう可能性がある。本質的に提供すべき機能は何か、ということ把握するための技術が必要になってくる。

ものづくりを、サービスと一体化したソリューション提供と捉えると、必ずしも一つの製品で人々の要求を満足させる必要は無い。いくつかの製品やサービスが連携することによって、最適なソリューションが提供されることが重要である。この場合、一つの企業、あるいは固定的な企業間連携ではなく、必要に応じて、複数の企業がバリューチェーンをダイナミックに構成することが、大きな強みになる。これも ICT を中心とした技術によって、実現される。研究開発項目としては、以下の製品とサービスをつなぐ設計手法（技術）が挙げられる。

## ●プロダクト設計

ものづくりのビジネスを、製品を販売するだけと捉えるのではなく、需要者に便益を提供すること、すなわちサービスを提供し需要者の抱えている問題を解決することであると捉え直す。これにより、需要者の抱えている問題の把握、それに対応する製品の設計・開発・製造、製品を需要者に届けるための仕組み、需要者がサービスを受け入れるための方策、サービスを利用し続け、さらに次のビジネスへとつながる仕掛けを提供することなどが重要になる。例えば、以下のような基盤技術が今後必要となる。

- ・デザインブレインマッピング<sup>10</sup>（パラメータベースコミュニケーション）
- ・マルチドメイン CAE<sup>11</sup>（システム解析ツール）
- ・人間の好みや感性を対象に反映させるデライト設計（フロントローディング、ビッグデータ解析）
- ・サービス科学による提供価値、サービスコンテンツ、サービス活動の設計
- ・ユーザーエクスペリエンスデザイン
- ・フロントローディング<sup>12</sup>設計
- ・機械学習（ディープラーニングによる需要予測・マーケティング等）
- ・計算論的社会変動予測<sup>13</sup>

<sup>10</sup> 機械特性、熱流体特性、電気磁気特性など様々な観点から設計要素が満足すべき関係、制約、設計意図などをグラフ構造として表現するツール。

<sup>11</sup> 従来の機械や電気、流れといった個別の領域から通信・制御などサイバネティクスまでを含めた、複数の領域にまたがる様々な現象を同時にまた連続的に解析・シミュレーションすることにより、製品の設計、製造や工程設計の事前検討の支援をコンピュータにより行うためのツール。

<sup>12</sup> モノづくりにおいては、できるだけ上流工程で不具合をなくしておくことが重要である。開発の初期の段階である設計工程にリソースを投入し、下流工程での変更を少なくすることを言う。

<sup>13</sup> 人々の多様性、不確実性の存在を前提とした社会変動予測（事象発生俯瞰的な発見を目指したモデル化）。

## ●サービス企画

複数の企業がダイナミックなバリューチェーンを構築するためには、従来の重厚長大なエンタープライズアーキテクチャーから、より簡易なビジネスアーキテクチャーへと踏み出した対応が必要である。企業間の連携に対応したガバナンスの最適化など、ビジネス環境の変化に柔軟に対応することが重視されている。たとえば、以下のようなサービス企画・ユーザ連携のための基盤技術が今後必要となる。

- ・アジャイル開発手法<sup>14</sup>
- ・リーンスタートアップ手法<sup>15</sup>

## ③ 製造プロセスの高度化に係る基盤技術

製造プロセスはモノに付加価値をつける作業であり、従来日本が最も得意としてきた領域である。我が国の製造業は、製造プロセスの低コスト化にはじまり、あくなき改善により、高品質化を実現してきた。そして結果として世界の工場としての地位を築いた歴史を持つ。しかし、その過程で品質へのこだわりの強さから、市場のニーズを見誤ることも起きてきた。とはいえ、日本は依然として製造プロセスにおけるさまざまな優位性を持つ。この強みを適切に発揮することによって、真の競争力へと昇華させることが必要である。

今日でも研究室で新発見された先端物質が実用化され市場に出るまでの過程は、一般的に 10-30 年という長期間を要する状態が続いているのも事実である。多くの産業がグローバル化し、科学技術が一部の先進国のものではなくなった今日、この過程を加速・短縮することなくして我が国の科学技術力、産業競争力の維持は難しい。素材、材料の開発（設計、製造）をスピードアップさせるとともに、部材、システムまでの一層の垂直連携が求められる。

また、同時に我が国が先進国へと進む過程で失ってきたメリット、すなわちコスト優位性を技術で補うことで、再び世界のものづくりの拠点として復活することを目指すことが必要である。具体的な研究開発項目としては、以下が挙げられる。

## ●柔軟な製造

設計の自由度を高めることで、コストを下げつつ、製品性能を圧倒的に上げられる製造技術が必要であり、ものづくりの過程で、どういう現象が起こっているのか、またはどこで何によって機能が付与されているのかを、原理原則に基づいて考え、開発することが重要である。たとえば、以下のような基盤技術が今後必要となる。

- ・工作機械の知能化、自律化（考える工作機械、柔軟な工作機械）
- ・単に機械を制御するという発想からプロセスを制御するという発想へ転換し、CAD、

<sup>14</sup> ソフトウェア開発において使われる手法。小さなプロトタイプをつくり、ユーザの評価を経て、反復して開発することにより、最終的な目的を達成する。

<sup>15</sup> 必要最低限の機能を持った製品を迅速に作成し、利用者からのフィードバックにより、改良を図る。

CAM、NC が実時間で情報を交換して、工具や素材の状況に柔軟に対応するシステムを構築

- ・機械加工等に使える（工作機械よりフレキシブルな）高精度加工ロボット
- ・付加価値を著しく向上させる機能形状を実現するアディティブ・マニファクチャリング
- ・共通言語・モデル化手法の開発

複数の開発者が協同でものづくりを行うための共通の言語、実験や試作の代替となるシミュレーションを行うためのモデル化手法

## ●製造プロセスの効率化

工場においては、製造プロセスの各工程を計測し、生産機器を制御するための装置が設置されている。またファクトリーオートメーションでは、製造装置そのものが自動的に運転されている。これらの様々な装置の操作を高度化するための技術を OT（Operational Technology）と呼ぶ。一方、ERP（Enterprise Resource Planning）や SCM（Supply Chain Management）など生産そのものではないが、生産に関わる情報の処理にはいわゆる IT（Information Technology）が使われてきた。従来はこの OT と IT が分断されており、必ずしも効果的な運用、開発が行われてこなかった。しかし、最近になって OT の高度化とともに、OT にも IT 同様の技術基盤が適用されるようになり、OT と IT の統合化への期待が高まってきている。OT（企画から、調達、生産、リサイクルまでの各プロセスに関連する技術全般）と IT の統合によるものづくり活動の大規模な全体最適化（最少のリソースで最大のアウトプットを出すものづくりを可能とする）が重要である。そのためには、例えば、以下のような基盤技術が今後必要となる。

- ・ OT/IT 融合領域におけるインテグレーションの推進
- ・ データフォーマット、通信プロトコルの統合化
- ・ OT セキュリティ技術
- ・ リアルタイム情報処理
- ・ ソフトウェアライフサイクル管理技術

## ④ ナノ・ライフサイエンス

多くの産業がグローバル化した今日でも研究室で新発見された先端物質が実用化され市場に出るまでの過程は、一般的に 10～30 年という長期間を要する状態が続いている。今後、科学技術が一部の先進国のものではなくなってくるにつれ、この過程を加速・短縮することなくして我が国の科学技術力、産業競争力の維持は難しい。材料の開発（設計、製造）をハイスループットに行うとともに、新しい付加価値を提供する技術や材料を他の国に先駆けて開発し続けることが日本の強みを活かす道の一つである。そのためには、ナノテクノロジーのような最先端の技術からもたらされる新しい機能を部材、システムまで実装していくシステム（仕組み）が必要である。

一方、ライフサイエンステクノロジー分野の研究の成果は、医学・医療技術のみなら

ず公衆衛生・健康などの応用分野への展開への期待が大きい。しかしながら、人の生命・健康を対象とした「ものづくり」を考えた場合、高い安全性や、人の個性を考慮した対応が求められるなど、様々な壁を乗り越える必要があり、一つの発見がそのまますぐに産業化・実用化されることは殆ど無い。医薬品を考えた場合、1つの新薬が承認されるまでに約500億円前後の費用が投じられ、少なくとも10年前後の期間が必要である。このような開発の困難性は程度の差こそあれ、医療機器、健康食品、診断薬などヒトを対象とする全ての製品開発に共通する問題である。これらの製品の加速の為、要素技術である「設計・制御技術」の開発とともに、各研究から生み出されるデータを構造化しデータベースとして構築する技術である「生命現象の理解/データの統合化」が必要となる。

### ●目的とする機能を実現させるための構造の設計・制御技術

#### ・材料系

製造・加工・プロセス、計測・解析・評価、さらには理論・計算といった共通基盤技術群の上位レイヤーとして、ナノテクノロジー・材料全体に関与する特有の設計・制御概念がある。具体的には、「マテリアルズ・インフォマティクス」、「元素戦略」、「分子技術」、「空間制御」や「界面制御」、「バイオミメティクス」等であり、これらはいずれも目的とする機能を実現させるための構造の設計・制御手法として、サイエンスの新局面を拓くことによって社会・産業に貢献しうる領域である。

- ー マテリアルズ・インフォマティクス:いま世界中で注目を集めている手法である。これは、計算科学による特性予測、それを実証するハイスループット材料合成と評価、それらのデータを統合管理する材料データベースや機械学習などを統合的に活用した物質・材料探索・設計の取り組み全般を指す。実験、計算で得られた物質・材料に関する知識とデータに加えて、統計的手法を駆使して、新物質、新材料の「発見」を加速し、物質・材料の機能を制御する規則を探る。究極には、理論研究者の参画により、規則の背景にある材料特性を支配する法則を「理解」し、自在な材料「設計」を可能とする系統的アプローチを構築することを目指すものである。これにより新機能材料の開発速度の加速、およびコストの大幅低減が可能となり、我が国の産業競争力強化にもつながることが期待されている。
- ー 元素戦略:比較的豊富に存在する元素や有機材料などを用いて、目的とする機能を備えた材料を開発するために、電子状態、原子配列、分子構造などの微視的な観点から目的機能を如何に発現させるかを検討し、計測技術や計算科学を活用して構造・機能・反応をデザインするものである。
- ー 分子技術:分子を設計・合成・制御・集積することによって、分子の特性を活かして所望の機能を創出し、応用に供するために必要な一連の技術群を指し、設計・創成、変換・プロセス、電子状態制御、形状・構造制御、集合体・複合体の制御、輸送・移動制御から成る。
- ー 空間制御:物質・材料中の微細な空間構造や空隙構造の次元、形状、大きさ、組



成、規則性、結晶性および界面をナノ～メソ～マイクロメートルで設計・制御・階層組織化することによって、従来の空間利用の常識を超える機能を発現する材料を開発するものである。

- － 界面制御：理論解析と精密な分子設計や構造制御による界面の創成、および計測法の開発やモデリングに基づく界面の特性解析を行い、界面が関与する新奇現象・物性を解明するとともに、界面の特性を活かした新たな機能材料、デバイスの開発を対象とする領域である。今後特に、細胞のような生体物質と半導体のような人工物の間の制御が重要になる。
- － バイオミメティクス：生物の構造と機能に関する知見を、材料、デバイス、システムの設計・製造に系統的に活用するための研究開発である。生物に学ぶことにより、製造・使用時のエネルギー消費が少なく、環境適合性の高い材料、デバイス、システムを実現することを目指すものである。

#### ・生命系

- － ゲノム編集：ゲノム中の任意の配列を切断する部位特異的ヌクレアーゼを利用して、培養細胞から動物や植物において目的の遺伝子を自在に改変する技術である。基礎から応用までの生命科学研究を大きく転換させる次世代のバイオテクノロジーとして注目されている。
- － ゲノムインフォマティクス：DNA 配列を解読し、DNA 上にコードされた遺伝子領域を同定し、遺伝子発現を制御する機構を解明することを目指した研究開発領域である。
- － メディシナルケミストリー：「医薬品化学」、「創薬化学」とも呼ばれ、有機合成化学を用いて低分子医薬品の開発候補化合物を見出す技術である。
- － *in silico* 創薬技術：コンピュータを用いて実験を代替する予測、膨大な実験結果の解析や新規知見の発見、医薬品の分子設計を行うなど医薬品開発を支援する計算科学技術である。
- － 構造生命化学：複雑な生命の仕組みを、遺伝子や蛋白質のレベルの解析、生体分子の立体構造を決定し、原子分解能のレベルで解明する事で、その分子メカニズムを根本的に理解し、創薬など応用的な産業分野に還元する事が可能な研究領域である。
- － 分子イメージング技術：最新の医工学際的融合研究により、生体を「生きたまま」で観察し、その分子・細胞の動態をリアルタイムで可視化（イメージング）する技術である。種々のライフサイエンス領域における新知見の創出・新規の疾患診断・治療法の開発が期待されている。
- － バイオマーカー解析技術：体液診断(liquid biopsy)の進展により、血液等の体液中のマイクロ RNA、DNA、エクソソーム等を用いた新規がんバイオマーカー解析技術として開発が期待されている。

## ●生理現象の理解/データとの統合化

ライフサイエンスの研究から生み出されたデータを理解し、構造化、データベースとして活用可能とするために必要な基盤技術として、以下が挙げられる。

### ・トランスオミクス解析技術

ゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームといった様々なオミクス情報を階層縦断的に統合することにより、生命現象や各種疾患をゲノムや遺伝子、タンパク質、代謝物など個別にとらえるのではなく、それらの相互作用を含んだトランスオミクスネットワークとして包括的にとらえる解析手法である。

### ・システムズバイオロジー

分子メカニズムから生理学的現象まで、生命現象をシステムとして理解する、医療・創薬などに応用することを目的とする研究領域である。

### ・医療 IT

医療の実践に伴って生成される多様な診療データや管理業務データをデジタルデータとして情報システムにより管理し、その情報を多面的に診療と研究に活用することによって、医療の効率化、質と安全性の向上、正確な医療知識の一般への普及、新たな医学的知見の獲得と高度医療の開発、さらには医療システム全体の変革に必要となる情報技術全般に関する研究開発を行う領域である。

以上に述べた次世代ものづくり基盤技術を図4-3にまとめる。

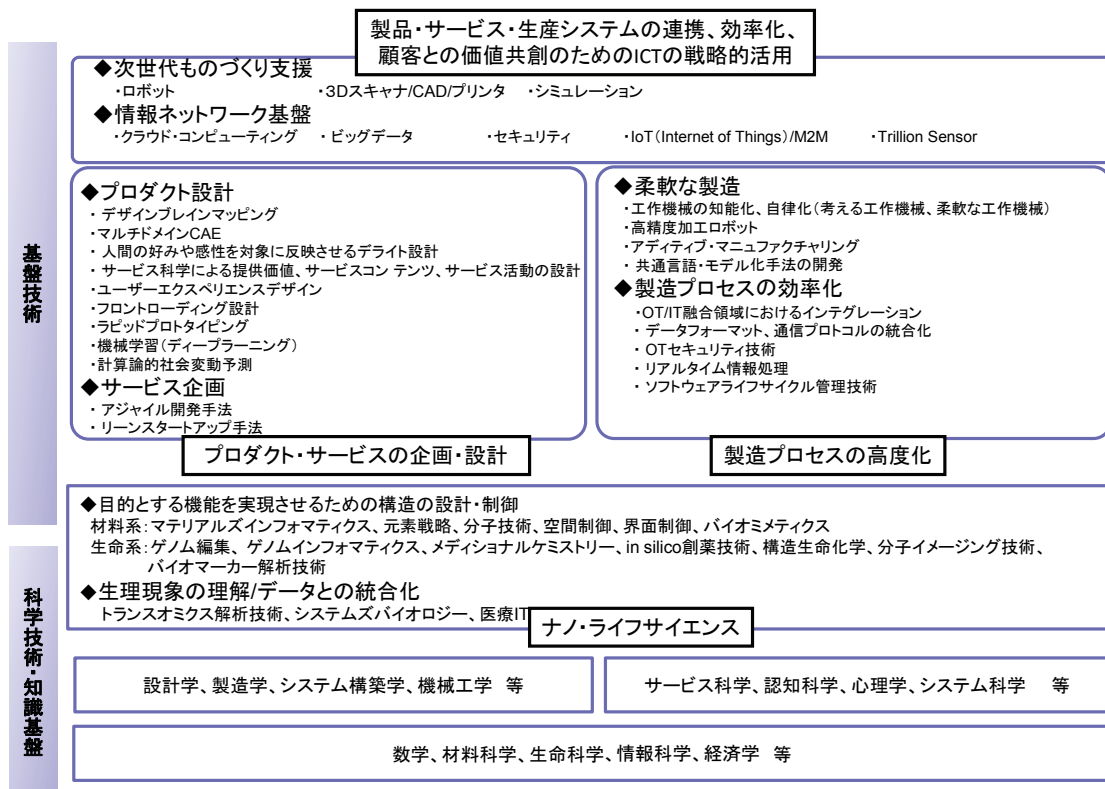


図4-3：次世代ものづくり基盤技術（中間とりまとめ）

本節で述べた基盤技術は、次世代ものづくりにとって重要なものである。しかし、更に重要なのは、これら技術をどのように統合化し、高付加価値な製品・サービスを提供するか、あるいは製造能力そのものの高度化やビジネスモデルの革新等のイノベーション創出にどのように繋げるか、という点にある。次章では、これら状況を踏まえ、我が国が取るべき戦略・推進策について提言する。

### コラム3：ITによるロックインを効果的に活用した Industrie4.0

ドイツの SAP 社<sup>16</sup>は、「製造プロセスの効率化」の IT 技術として先に述べた ERP (Enterprise Resource Planning) ソフトウェア<sup>17</sup>市場トップを誇る。このようなソフトウェアは、しばしば BPR (Business Process Reengineering) と呼ばれる大規模な業務改革と併せて導入されるため、一旦使用すると代替品に変更することが難しく、ロックインされやすい市場といえる。ドイツは、このようなソフトウェア市場における優位性を活かしながら、そこと連動しうる OT としても一定の優位性を誇る、工作機械の高度化・標準化に取り組んでいると見ることもできる。実際、ドイツで Industrie4.0 を推進している関係者はこの優位性を発揮できている間に標準化を行わなければならないと分析している（下図）。Industrie4.0 は、ロックインした IT ソフトウェアのもと、OT を効果的に組み合わせた、ドイツ発のプロダクト・サービス・システムのグローバルな普及策として理解すべきであろう。

#### ドイツが標準化を急ぐ理由： 技術標準を握ることが Industrie 4.0 成功の鍵



（出典：ドイツ人工知能研究センター W. Wahlster 教授の講演資料をもとに作成）

<sup>16</sup> マイクロソフト、オラクル、IBM に次ぐ世界第4位のソフトウェアベンダー企業（2013年 Gartner 社調べ）。1972年創業。

<sup>17</sup> ERP が一般的に扱うものは企業における製造・物流・販売・調達・人事・財務会計。ERP ソフトウェアは、これら基幹業務に関する業務活動の情報管理をパッケージ化し、支援する。

## 5. 提言～基盤技術とプラットフォームの統合化戦略

### 5-1. 日本が取るべき戦略

#### (1) プラットフォーマーとの連携の重要性

我が国のものづくり産業は、輸送用機器等の安全性能要求の厳しい製品や、部品・材料分野等のすり合わせ技術といったコモディティ化し難い技術分野において、これまでの経験の蓄積に基づく強みを持つ（下図：①ハードウェア型 or ②ソフトウェア組込型）。一方、ソフトウェア化によりコモディティ化が進行しやすい領域である家電、パソコン、スマートフォン等を製品単体で販売する領域においては新興国の台頭に伴い苦戦を強いられるようになってきた（下図：②ソフトウェア組込型）。このコモディティ化を克服するための方策として、欧米企業を中心に、情報ネットワークを活用し、製品単体ではなく、サービスを併せて商品売り込むことで、長期に亘り使用・運用費等を回収するビジネスモデル構築が模索されている（下図：③ネットワーク型）。特に、前節の Industrie4.0 の例で見た通り、ERP のような OT/IT 融合領域のプラットフォームにおいて、ロックインされたドミナントな領域を構築し、工作機械等のモノとの接続点を標準化することで、ICT サービスと製品とを両輪で強化していく取り組みは注目に値する。我々は、我が国のものづくり戦略として、このようなプラットフォームとの連携を見すえたものづくりによる高付加価値化が重要と考える。

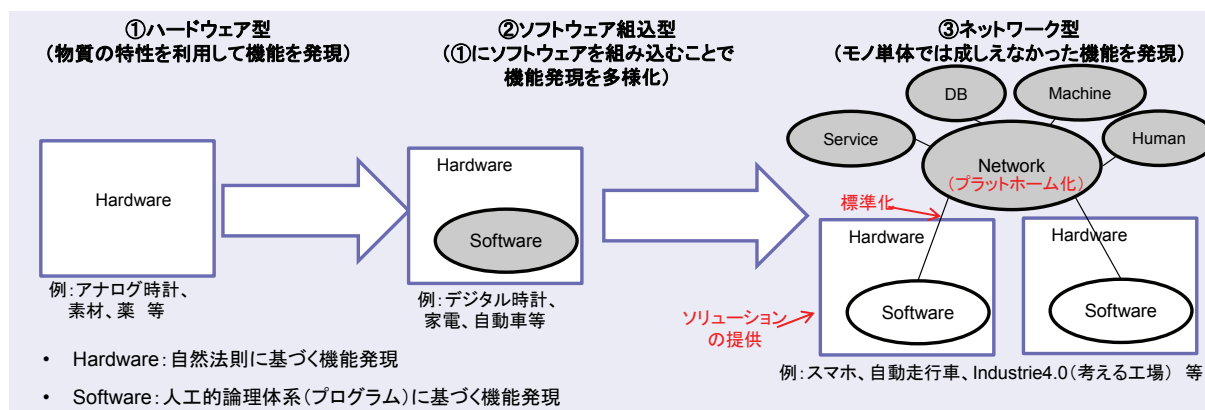


図 5-1：製品の3分類

## （２）日本の目指すべきものづくりの方向性～２つの統合化

プラットフォームの台頭をはじめとする産業構造変化に対応するための変革を促しつつ、我が国が伝統的に強みを有する技術を伝承する、「変革と伝承」を軸とした次世代ものづくり戦略立案に向け、その目指すべき方向性として、２つの統合化を提案する。

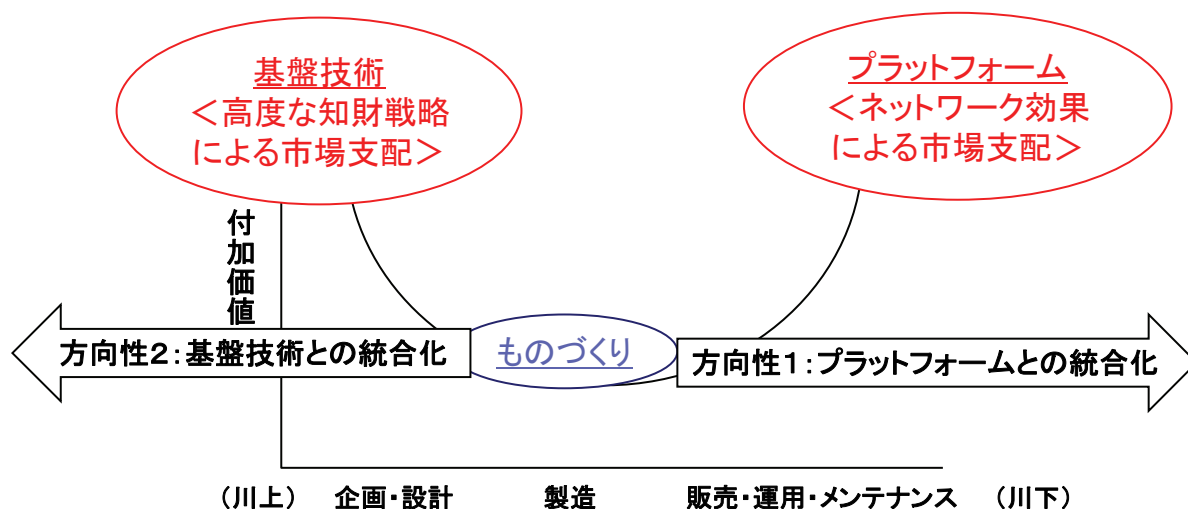


図5-2：日本のものづくりが目指すべき方向性～２つの統合化

### ●方向性1：プラットフォームとの統合化

我が国の産業は、製造業の輸出競争力の低下、サービス業の効率化停滞による人手不足等に悩んでいる。また、医療・介護等の公的サービスについてはこれを支える財源の不足が深刻化している。技術はあるが、What to make の定義で多くの企業が苦慮している現状を鑑みると、これらのような課題、即ちニーズのある領域を育成し、地域創生につなげていくことは、我が国が目指すべきものづくりの一つの方向性として重要であると言える。そこで我々は、上述の「③ネットワーク型」のビジネスモデルを活用したサービス・システムと融合した、社会的課題解決・地域創生に向けたものづくりを、日本が目指すべき方向性の一つとして提案する。

「③ネットワーク型」のものづくりを検討する際には、プロダクト（図5-1 ①、②）をどのようにして強化するか、ということに加え、一つの製品売り切りではなく、運用・保守・教育・金融等のサービスとセットでグローバル展開するサービス・プラットフォーム（SAP社のERPや、GoogleのAndroid等）についても併せて検討を行う必要がある。サービス・プラットフォームは、一旦普及すると「ロックイン」効果があらわれやすい領域である。このため、サービス・プラットフォームが独占されていない市場を対象に、グローバルにドミナントなシステムを普及させるという目標のもと、当該システムと接続可能な製品が国際標準を獲得できる仕掛けをインプリメントする必要がある。一方、製品やサービスはローカルな事情に即して提供するため、グローバルに共通するプラットフォームとローカルなニーズに則した製品・サービスとの両輪でシ



システム全体の普及策を考えることが、次世代のものづくりにおいて極めて重要となる。

## ●方向性２：基盤技術との統合化

日本は元来、ものづくり技術が強いはずであるが、上述のようなプラットフォーム型のビジネスモデルにおける優位性が発揮できていないことに加え、技術の目利きや市場化のスピードが課題となる。このため、せっかく国内に世界最先端の知見（＝基盤技術の有力候補）があるにも関わらず、その知識をうまく活用するのは国外企業という例が昨今散見される。そこで、我が国のものづくり強化に向けたもう一つの方向性として、強みをもつ技術の市場化を加速することが必要と考える。また、大学等における研究開発の成果は、異分野技術との融合、統合化を経て、バリューチェーンの革新や新製品の市場投入等の経済・社会的価値を創出する機会が多いため、成果の市場化加速にあたっては、これらの多様な情報・動向を踏まえた取り組みを行うことが求められる。

以上を踏まえ、我が国のものづくりを強化するためには産学官でビジョンを共有する場を形成するとともに、国内に散在する資源（研究、データ、拠点、ファンディング、その他エコシステム）を統合する方針が必要との考えから、次世代ものづくり基盤技術の推進策として、次の２つの戦略を提案する。

### <次世代ものづくり推進に向けた戦略>

- ・戦略１：サービス・システムとものづくりの統合化
- ・戦略２：グローバル競争力のある技術の市場化加速

### （３）研究開発テーマ設定のフレームワーク

具体的な研究開発テーマを設定する際には、社会・市場ニーズに基づく要求に応えるシステムを設計した上で、それに応える基盤技術と科学技術とを関連付けた研究計画策定が必要となる。以降に記す提言では、下図に示した統合型ものづくりシステム概念図をもとに、研究開発テーマを提案する。

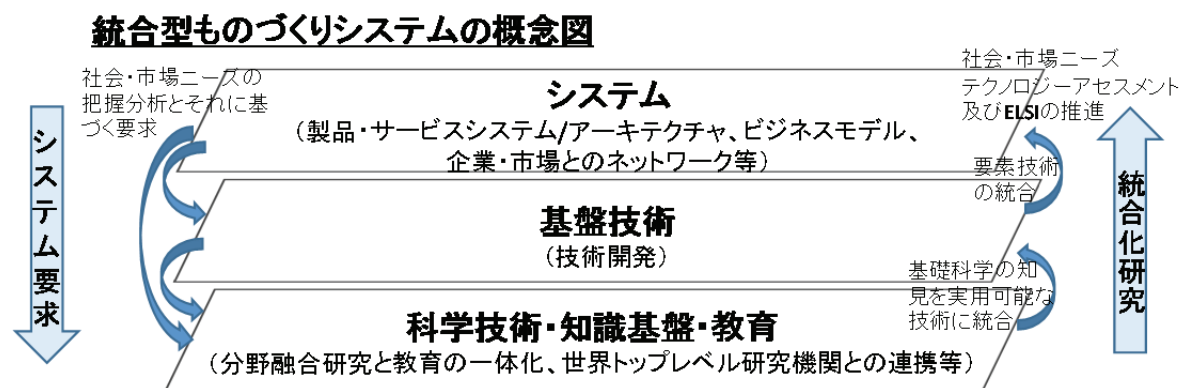


図 5-3：統合型ものづくりシステムの概念図

（出典：NSF, Engineering Research Centers, “Three Plane Diagram” を参考に作成）

## 5-2. 戦略1「サービス・システムとものづくりの統合化」の推進策

戦略1「サービス・システムとものづくりの統合化」では、ICTを核にしたサービス・システム基盤の構築とサービス指向ものづくりを軸に、我が国の製造業の新しい方向を打ち出すことを目指す。

### (1) 研究開発テーマ

#### ●ターゲット領域

一般に同領域への取り組みは民間企業が主体となり実施すべきものであるが、我が国の産業競争力強化や社会的課題解決・地域創生に資する領域、とりわけ、各種規制や、各地域でバラバラに取り組まれてきた領域については、国が関与することで、公的サービスの向上や地域活性化につながると期待される。このような領域については、公的投資による研究開発を推進すべきと考える。具体的には、スマートハウスから都市・交通に至る地域インフラ分野、医療・介護等のヘルスケア分野、電力システム等のエネルギー分野、等が挙げられる。

さらに、戦略1におけるプロダクトは、サービスを提供するための①基幹システム（独・SAP社・ERPに代表されるソフトウェア等）と、②基幹システム連携可能な製品・機器群により構成される。①の基幹システム開発の担い手はベンチャーの活躍できる余地が大きい領域であることを認識するとともに、当該市場は「ロックオン」されやすいものであるため、担い手となる我が国の企業が存在し、グローバル市場で優位性を発揮し、ドミナントなポジションを獲得できる可能性があるか、という点についても、ターゲット選定時に慎重に考慮することが必要である。併せて、国内でのプロダクト・サービス・システムの基盤整備と海外へのシステム輸出の双方を視野に入れたデュアル戦略を立案可能な領域であることが望まれる。国内・国外市場の相方を見据えることにより、自国の基盤をガラパゴス化することなく強化できると期待するからである。

#### <ターゲット領域設定のポイント>

- ・従来は単体（病院・医療機器、自動車等）で運営・運転されてきたシステムを繋ぐICTプラットフォーム市場において、日本企業に有益な市場機会があると認められること
- ・当該システムを通じたソリューション提供が、産業競争力向上、あるいは地域創生に資すること
- ・システムを国外輸出できる市場ポテンシャルがあること

従来のサービス・システムとものづくりの統合化の成功事例としては、スマートフォンやエレベータの運用監視システム等が挙げられる。具体的には、表5-1の通り様々な社会ニーズを踏まえたターゲット領域設定を行うことが考えられる。なお、これらの領域はものづくりだけでなく、図5-4に示すとおり、将来的には、相互のシステム間連携も念頭に置く必要がある。

表5-1：サービス・システムとものづくりの統合化のターゲット領域・課題例

| ターゲット領域                 | 中長期的な課題（例）                         | プラットフォームとの統合化の基盤となり得る研究開発の実施事例        |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| モビリティ                   | 各種モビリティのオンデマンド化                    | SIP・自動走行車                             |
| ヘルスケア                   | ホスピタルオートメーションシステム～地域ヘルスケアシステムとの統合化 | 総務省・医療 ICT 事業                         |
| スマートハウス<br>（快適な生活ができる家） | 住人にとっての快適な生活を学習・提供する家              | 京都産業大学・インテリジェントハウス研究                  |
| スマートシティ<br>（明るくすみやすい街）  | 各種都市機能の有機的連携（交通、医療、観光等）            | スマートシティはこだて                           |
| 社会インフラ・防災               | 持続可能でレジリエンス、かつ利便性の高いインフラの整備        | SIP・インフラ維持管理・更新・マネジメント技術              |
| エネルギーシステム               | 個別分散したノードの統合化                      | 各種スマートシティ・スマートハウスプロジェクト、SIP・エネルギーキャリア |
| 食糧生産                    | 安定した食物生産と地産地消                      | SIP・次世代農林水産業創造技術                      |

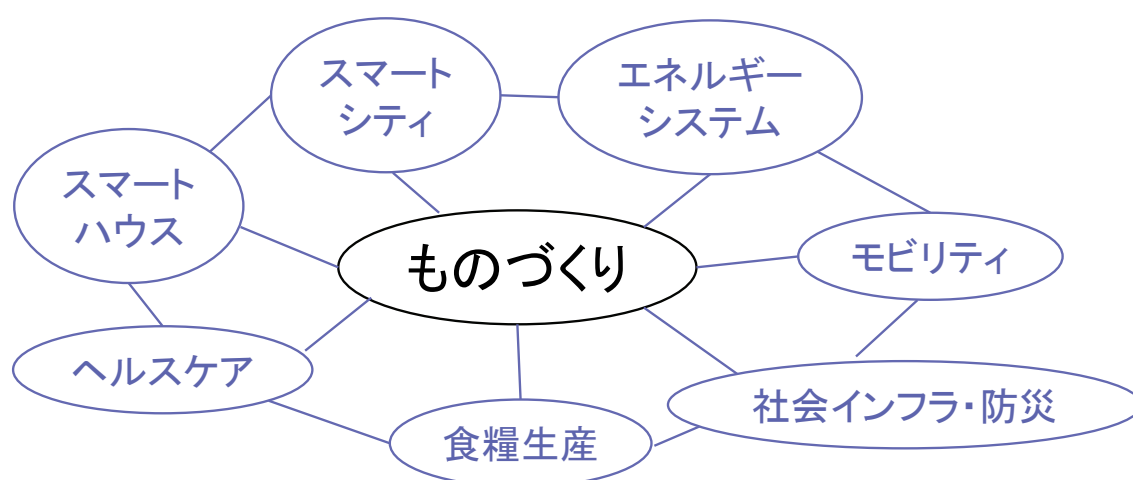


図5-4：ものづくりとターゲット領域間の関係（イメージ）

以降ではテーマ設定の考え方を具体的に示すため、モビリティ領域の例として「各種モビリティのオープンネットワーク型統合システム」、医療・介護等のヘルスケア領域の例として「統合型地域ヘルスケアシステム」の2つを示す。なお、それぞれの事例において共通する点は次の通りである。

- ・長期的な課題として、極めてハードルの高い難題を掲げつつも、短期的に実現し得る技術開発課題を提示し、国主導でのプロジェクトを組成することで、分野・産業を超えた連携を行うきっかけづくりを行う。
- ・①プラットフォーム型のビジネスモデルを採用する「基幹システム」、②ものづくりとプラットフォームの統合化を実現する「製品システム」、③プロジェクト実施を通じて付帯的に発生するサービス・システムの3点を対象とする研究開発を行う。

### ●具体的なテーマ例1：各種モビリティのオープンネットワーク型統合システム

モビリティ領域の長期的な目標として、「各種モビリティのオープンネットワーク型統合システムによる最適なオンデマンド交通の実現」を掲げる。例えば、自律走行車と鉄道システム等の多様なモビリティに係るプラットフォーム間連携を視野に入れる。

ただし、この長期目標に向けた最初のステップには、「自律走行車」等、より小さな単位でのプラットフォーム形成を目指したテーマを設定する。また、地図情報やシミュレーションデータ等のICT基盤と他領域とが融合・連携すること可能とするため、オープンに活用可能な研究用ビッグデータ（仮称：サイエンス・ビッグデータ）整備し、顧客の潜在ニーズ発掘等、プロダクト・サービスのイノベーション創出に向けた活用も視野に入れる。

短期的な目標について、統合型ものづくりシステムの枠組みに沿い課題設定を行った例を図5-5に示す。これを具体的に推進する際の研究開発テーマとしては、以下の様なものが考えられる。

- ① 基幹システム：次世代交通制御システムに関する研究開発等
- ② 製品システム（自律走行車）：自律走行可能な自動車の研究開発及び標準化研究等
- ③ その他関連サービス・システム：利用者の多様なニーズに応える融合研究実施のためのICT基盤としてのサイエンス・ビッグデータ（仮称）の整備及びデータ解析・潜在ニーズ発掘研究、インターモーダル輸送システムに関する研究開発等

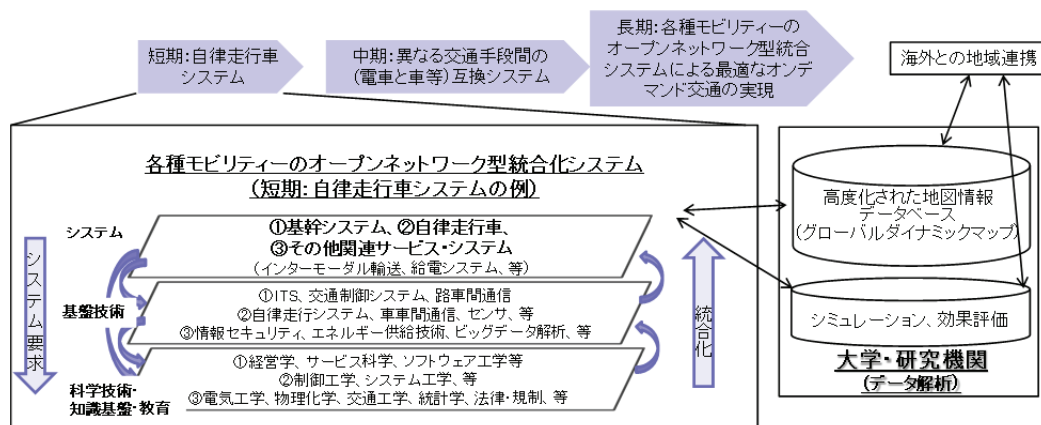


図5-5：次世代統合モビリティシステムの概念図



## ●具体的なテーマ例2：統合型地域ヘルスケアシステム

ヘルスケア領域の長期的な目標として、「地域ヘルスケアシステムと連携した統合医療システム（統合型地域ヘルスケアシステム）」を掲げる。これは、中期的には地域の医療機関の人手不足解消に向け、病院を極力自動化することで医師・看護師等の医療従事者が人間にしかできない仕事に専念する仕組みを想定したものであるが、長期的には健康者、患者の生活データ・ニーズと連携した予防医療システムや、都市システムと連携し、介護ゼロ社会といった目標に向け、地域のヘルスケアサポートシステム等との連携を視野に入れる等、多様な広がりを見込めるものである。

この長期目標に向けた最初のステップとして、「考える医療機器」を用いた「簡易なルーチンワークの自動化」等、比較的短期間で実現可能なテーマを設定する。さらには、医療・介護等の公的サービスと、ICT 融合基盤との連携により、健康者や患者と対話型でオープンに活用可能なプラットフォームのもとでサイエンス・ビッグデータ（仮称）の整備を行い、顧客の潜在ニーズ発掘等、プロダクト・サービスのイノベーション創出に向けて活用することも視野に入れる。

短期的な目標については、統合型ものづくりシステムの枠組みに沿って課題設定を行った例を図5-6に示す。これを具体的に推進する際の研究開発テーマとしては、以下の様なものが考えられる。

- ① 基幹システム：考える医療機器の制御システム及び病院向け基幹システム（ERP）設計に向けた BPR（Business Process Reengineering）としてのサービス科学研究とビジネスプロセスの国際比較研究等
- ② 製品システム（考える医療機器）：病院基幹システムと連携可能な「考える医療機器」の研究開発及びシステム間のインターフェースの標準化研究等
- ③ その他関連サービス・システム：利用者の多様なニーズに応える融合研究実施のための ICT 基盤としてのサイエンス・ビッグデータ（仮称）の整備及びデータ解析・潜在ニーズ発掘研究等

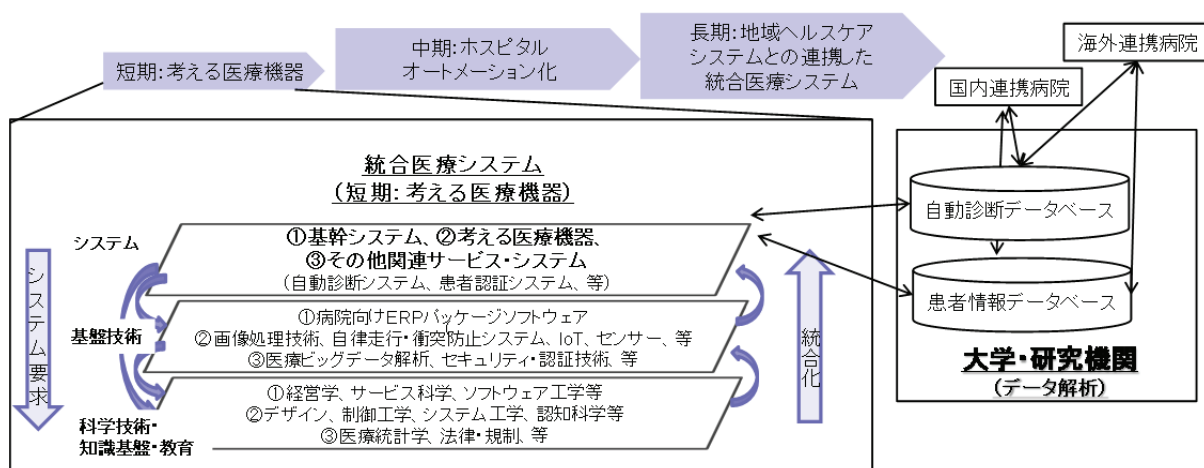


図5-6：統合医療システムの概念図

## （２）推進策～戦略立案コンソーシアム×研究開発プロジェクト型による運営

（１）に例示した、サービス・システムとものづくりの統合化について、具体的な戦略立案を行うコンソーシアムの組成および当該戦略を推進するプロジェクトへの助成を４段階のステップにより推進することを提案する。

### ステップ１：ターゲット領域の設定

国は、前節に述べた方針に従い、ターゲット領域の設定を行う。具体例としては先に述べた各種モビリティのオープンネットワーク型統合システム（先行事例：内閣府 SIP・自動運転（自動走行）システム等）、統合型地域ヘルスケアシステムに加え、スマートシティ、スマートハウス、スマートグリッド等、図５－４に示した領域が考えられる。複数のターゲット領域を第５期科学技術基本計画に掲げ、プロジェクトを順次実施していくことを提案する。

### ステップ２：産学官、関連省庁等の多様なステークホルダによる戦略立案コンソーシアムの立ち上げと具体的な研究開発課題の設定・ロードマップ作成

国を挙げて産学官で商品・システム開発を行うには、各分野のステークホルダのコンセンサス・協力を得ることが必要となる。このため、関係者が一堂に会し、具体的目標・戦略・ロードマップ設定等について議論を行う場の設定が必要となる。このような場の設定は、欧米においては様々な試みがなされている。例えば、EU で実施された **Manufuture** は、戦略策定のみを目的とした組織が 2004 年に立ち上がり、2 年間の検討を経て 2006 年に初めての戦略提言が行われた。ドイツの **Industrie 4.0** においても同様なプロセスを経て戦略策定が行われており、例えば、工場の効率化に対して一般論としては反対する立場を取りがちな労働組合をも協力者としてプロジェクトに参画するという関係を築いている。我が国においても、例えば **TIA**（つくばイノベーションアリーナ）のような場において、産学官のステークホルダが継続的に議論を重ね、次世代の戦略策定を行う場ができつつあるとの見方もあるが、オールジャパン体制で、政府が主導し、多様な産業が参画する中で、このような取り組みを波及させることが必要である。

### ステップ３：プロジェクトの推進および KPI を導入した評価体制の整備・定期的な評価の実施

本プロジェクトは、市場を見据えた研究開発であるため、プロジェクトが立ち上がり推進していく中でも、その時々市場環境、技術動向等に応じて適切に計画の見直しや大幅なテーマ変更等を行うことを前提とする必要がある。このため、本プロジェクトの推進においては、企業経営において組織の目標達成度合いを測定する手法として広く導

入されている KPI（重要業績評価指標：Key Performance Indicator）等を導入し、常時レビュー・評価を行える体制を整備することを推奨する。

これらの評価指標は、その組織の特性や戦略によって大きく異なる指標である。このため、上述のステップ2において、どのようなアジェンダが、どのような戦略のもとで設定されるかを検討する中で、指標設定の鍵となる指針も同時に策定することが必要となる。

ステップ4：政策推進と同時並行して、ELSI（Ethical, Legal and Social Issues）、規制、人材育成、技術・市場変化等の状況を常時モニタリングし、適宜計画修正を許容する体制づくり

国内外の市場の変化や、新技術の発見等により競争環境は常に変化する。商品システム開発を意図したプロジェクトを推進する際には、このような外部環境を常時モニタリングし、必要に応じて計画を修正する柔軟な運営を行わなければ、多額の国費を投入して完成した製品システムが市場と大きくミスマッチしてしまうことが懸念される。そのため、KPI の設定を含め、これを回避するためのあらゆる方策を事前に設計しておくことが必要となる。

### （3）各種政策ツールとの連携

ここで提案する研究開発プロジェクトの成果は、国内のみならず国外の社会的課題解決にも活用可能なものとするのが望まれる。そこで、文化・風土の異なる地域において、サービス・システムの受容性確認等を目的とした国際科学技術協力プロジェクト等と連携した推進策の立案が望まれる。また、新興国における技術指導・運用・保守等が必要な分野においては、現役の研究者・技術者だけでなく、退職したシニア技術者が集団で当該地に出向指導にあたるという選択肢もある。

以下に示すようなものづくり関連の既存政策と効果的に連携させる方策についても上述のコンソーシアムにおいて検討を行い、関係府省が連携して支援を行う仕組みづくりが必要となる。

#### <連携すべきものづくり関連政策・施策>

- ・ 知財・標準化戦略（基幹システムと機器との間のインターフェース設計）
- ・ 特区制度を含む規制緩和・各種税優遇策（システムの試行・全国展開）
- ・ 人材育成
- ・ サイエンス・ビッグデータ（仮称）の構築等、情報基盤の整備
- ・ 国際科学技術協力プログラム（新システム・サービスの受容性検証）

### 5-3. 戦略2「グローバル競争力のある技術の市場化加速」の推進策

戦略2「グローバル競争力のある技術の市場化加速」では、ものづくり基盤技術の開発のためのオープンで永続的な分散ネットワーク型研究開発拠点の整備と、要素研究からサービス・システムの実証までの統合型研究の推進に、産学官が連携して取り組む場づくりを目指す。

#### (1) 研究開発テーマ

##### ●ターゲット領域

従来、ものづくりに関連した政府の支援は単独技術の開発や、あるいは個別分散した拠点への支援が数多くなされてきたが、ものづくり技術全般を統合的に理解する拠点・ハブがなかった。そこで、製造プロセス全体を対象に、技術全般を俯瞰的に理解・最新動向を把握するとともに、グローバル競争力のある技術の市場化・統合化の加速が必要となる。具体的には、次項以降に示す市場のモニタリング、人材育成を含めた統合型ものづくり研究開発ハブを提案する。

##### ●具体的なテーマ例～素材から製品・市場・社会までのものづくり技術の統合

多様な産業に共通して活用可能な製造技術について、統合的に理解し、異業種への波及加速させる具体的なテーマ例として、「素材から製品までのものづくり技術の統合」を挙げる。ここでは、下図のような統合型ものづくりシステムに基づき、最終製品を見据えた材料機能解析・機能創成や素材、設計研究等を統合的に行うことが考えられる。なお、当該ハブの活動は、既に大学等で実施されている航空機、自動車等を見据えた材料開発等の既存の取り組みと融合・連携する形での推進が望まれる。

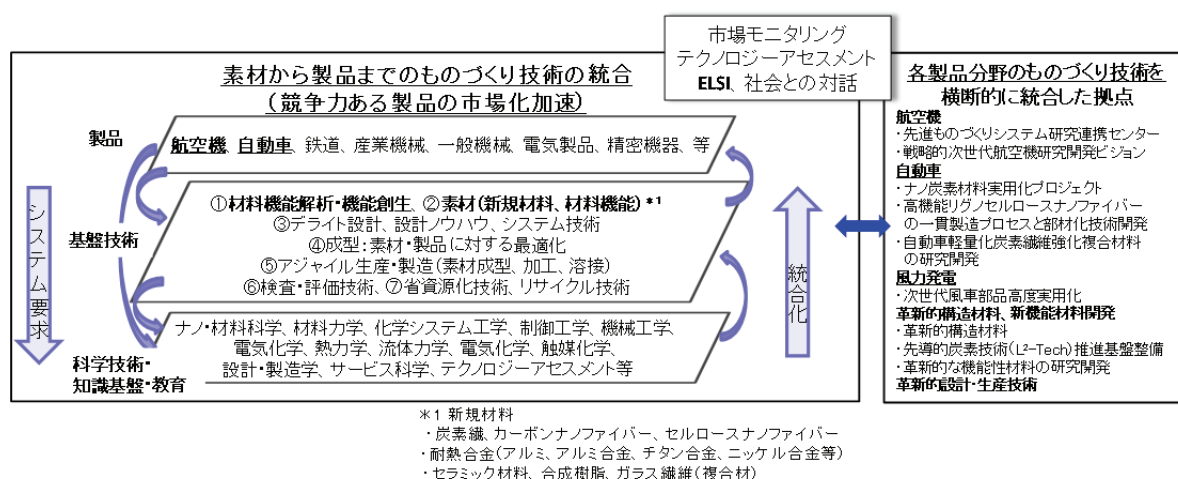


図5-7：素材から製品までのものづくり技術の統合

## （２）推進策～統合型ものづくり研究開発ハブ（仮称）の設置

今後、益々国際競争が激化すると考えられるものづくり分野において、我が国が一定の競争力を得るには、国内に分散している知識・リソースをネットワーク化し、各所で取り組まれてきた製造技術研究を統合することが必要となる。これらの多様な知見を集約するハブ拠点（仮称：統合型ものづくり研究開発ハブ）の設置を提案する。

このハブに求められる機能を以下及び図5-8に示す。

### ① 統合型ものづくり研究開発センター

ハブの中核機能を担う研究開発センターでは、次のような取り組みを行うことが望まれる。

- ・ものづくり基盤技術についての教育と研究の一体的推進（教育についての詳細は（４）に後述）
- ・社会・市場・技術動向のモニタリングやフォーサイトと、ビジネスモデル研究・ものづくり戦略との連携（詳細は（３）に後述）
- ・自然科学者のみならず人文社会学者も含めた多様な専門分野の人材が一堂に会する融合研究の推進

### ② 将来の自立を見据えた、会員企業の資金に基づく運営

立ち上げ初期は国の資金による運営を行いつつも、徐々に会員企業を増やし、将来的には自立運営可能な拠点形成を目指すことが望まれる。これにより、企業個別の活動とコンフリクトする領域や、市場ニーズのない研究を廃止し、新規領域に取り組める組織・体制づくりが行えると期待される。このためには、ハブ内にもものづくりコンサルティング会社を立ち上げ、研究者が当該企業と兼務する形で産学連携の場づくりを行う等の対応が考えられる。

### ③ 多様な政策ツールとシームレスに連携可能な体制づくり

産学連携支援、ベンチャー創出支援、教育・カリキュラム開発、各種研究支援体制の整備等の各種政策ツールや、国の大型施設、戦略1を通じて得られたサイエンス・ビッグデータ（仮称）等の研究資源とも円滑に連携可能な体制づくりを行うことが望まれる。

### ④ 国外機関との連携体制

国内外の主要なものづくり関連研究機関とのネットワークを形成し、世界中のトップレベル情報へのアクセスルートを確保するとともに、グローバルな製造技術情報を精力的に取り込むことでハブとしての機能を強化する。



## ⑤ ハブを育てる対話型評価の実施

センターの運営に関しては外部専門家による評価パネルを組織し、拠点をより良く育てるためサイトビジットを伴う検討会を年次で実施する等、定期的に外部の視点から改善を促す仕組み作りを併せて行うことが望まれる。また、社会、市場との対話を促進する。このためには、KPIを含む評価指標設定と人事制度等のインセンティブ制度との連携をあらかじめ設計するとともに、実情にあわせ、評価制度の再設計・見直しを行うことも見据えることが必要となる。

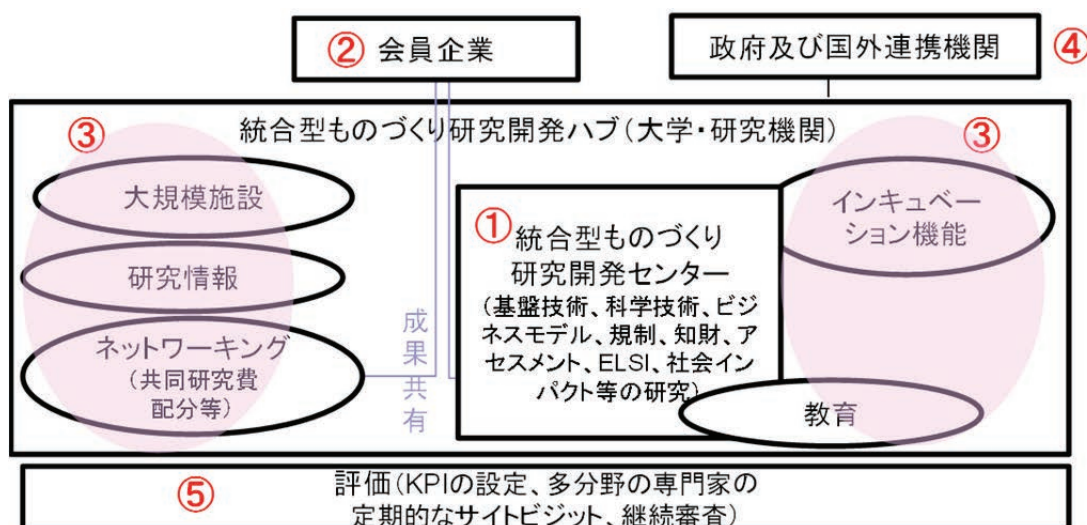


図5-8：統合型ものづくり研究開発ハブ(仮称)に必要な機能（案）

上述のハブにおける機能のうち、特に重要かつ日本では取り組みが十分でないと考えられる「革新的基盤技術と市場動向のモニタリング」及び「研究開発ハブを活用した人材育成策」について、以降詳述する。

### （3）革新的基盤技術と市場動向のモニタリングと分析

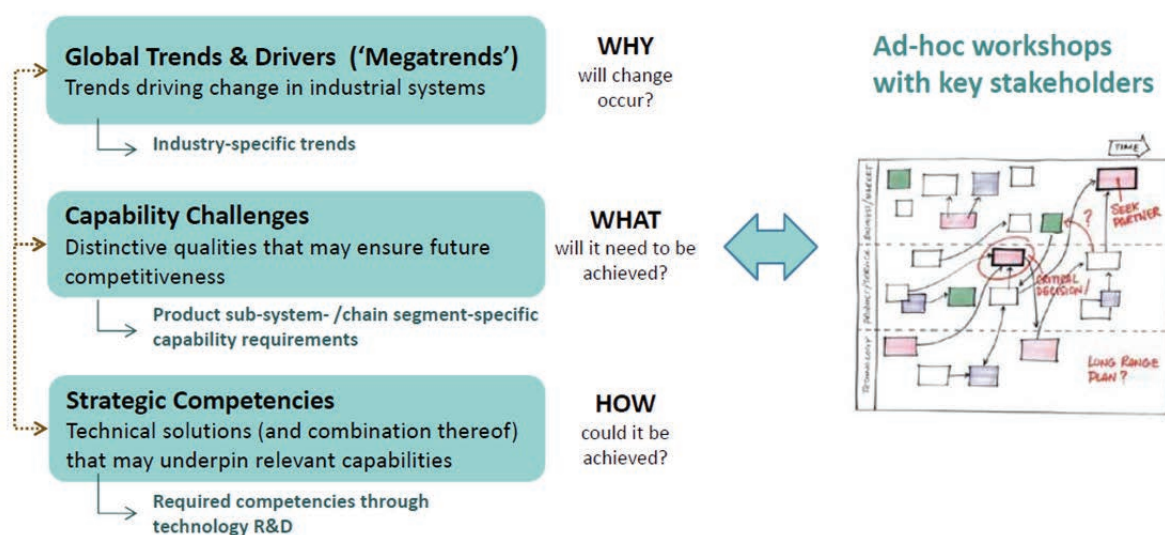
技術革新と連動してサービス業からプラットフォーマーが台頭するなど、産業構造が大きく変化しようとする現在、革新的な技術や市場の動向を常時モニタリングし、その意味するところを的確に理解することで、政策担当者に向けた提言を行う、あるいはビジネスモデル研究等を通じ企業活動に役立つ情報として提供する機能は極めて重要である。統合型ものづくり研究開発ハブ（仮称）においても、これは特に重要な機能の一つと認識すべきである。

新技術の発見、あるいは技術融合による新たなイノベーションの可能性は、日々開拓され、環境は変化している。例えば、2006年に誕生したiPS細胞は今年実用化され、網膜手術に活用された。一方で、3Dプリンタの様に日本発の技術でありながら長年埋もれ、最近になって米国でブームに火がつき、ものづくりのあり方を大きく変革する技術に成長するに至った例もあり、新たな技術が持つ本質的な機能・意義(Functionality)

を見過ぐすと、せっかくの研究開発成果も活用されないこととなる。

このような取り組みの先行事例として、ケンブリッジ大学の製造技術研究所がある。同研究所は、ものづくりについて統合的に理解し、政府や企業と連携した活動を行う拠点としてケンブリッジ大学内に設置されている。研究所内には、研究機能（技術開発、政策研究、教育システム等）、教育機能（大学3,4年制の学部・修士・博士課程のプログラム、ポスドクのトレーニング等）、サービス機能（企業幹部への経営教育、産学連携促進のためのコンサルティング等）を担う組織がある。中でも、政策についての研究機能を担う組織である科学技術イノベーション政策センターは、グローバルなメガトレンドについてのモニタリングを行い、自国の基盤や競争優位等について考慮した上で英国の製造業に係る政策立案支援を行う活動を行っている（図5-9）。これは、製造業が抱える最新の情報・課題等を理解し国の政策と連携した活動が行えるという点において、極めて有意義な取り組みである。

### Systematic Analysis Strategy



Adapted from López-Gómez, C., O'Sullivan, E., Gregory, M., Fleury, A., & Gomes, L. (2012). *Emerging Trends in Global Manufacturing Industries and Implications for Latin America*. Report to UNIDO.

図5-9：ケンブリッジ大学製造技術研究所  
科学技術イノベーション政策センターにおける戦略検討手法  
（出典：ケンブリッジ大学製造技術研究所）

#### （４）研究開発ハブを活用した人材育成策

統合型ものづくり研究開発ハブ（仮称）においては、次世代のものづくりを担う人材育成も重要な機能の一つとなる。本調査活動を通じて多くの専門家が共通して指摘したものづくりに係る人材育成の課題は、以下の通りであった。

##### <ものづくりに係る人材育成の課題>

- ・システム全体を通して見渡せる人材が不足

社会・市場のニーズを把握・分析し、課題を設定し、システムアーキテクチャ全体を設計できる人材が必要だが、現状このような人材は圧倒的に不足している。この種の人材を育成する仕組みが現状の教育システムに十分に組み込まれていない。工学的思考やデザイン感覚といった複合的な素養を持つ人材の必要性が高まっているが、我が国においてはこのような人材が育ち難い状況にある。

- ・基盤技術を担う人材の不足

今後益々重要になる、ソフトウェア分野やサイバーセキュリティを担う人材が圧倒的に不足している。また、製造技術に携わる研究者（CAD や機械加工等）も減少しており、従来日本が強みを有してきた製造プロセスについても研究・教育体制を維持できるかが懸念される。

以上のような課題が生じた背景としては、科学技術のフロンティア拡大に伴い、アカデミアにおける研究領域が細分化されるにつれ、限定された領域の専門家は育成される一方、全体を俯瞰できる人材育成が行われ難い状況にあるという研究開発システム上の課題があると考えられる。しかし、産業界のニーズや社会的課題に応える多くの技術は、上述の課題に挙げられた通り、全体を俯瞰し、多様な分野と適切に融合させることが求められる。このようなギャップの存在は、産業界とアカデミアとの連携を行う際の大きな障壁になっていると考えられる。そこで、その対策として、第２章で紹介した米・NSF が支援する **Engineering Research Center** の取り組みを参考にしながら、以下のような機能を拠点に持たせることが有効と考える。

##### <統合型ものづくり研究開発ハブ（仮称）における人材育成機能>

- ・図 5-8 に示したような基礎研究からシステム化研究までを統合的に行う場の下、多様な分野の研究者や企業の研究者等と共同研究を行う機会を学生に与える
- ・資金配分機関が、定期的な評価を行い、融合人材育成の教育効果が学生に浸透しているか、専門家の目で確認を行う
- ・センターでの活動を通じ、ものづくり技術を俯瞰的に理解することで、同分野における目利き人材が育成される仕掛けを導入する

以上のような取り組みは、システム化研究、基盤技術、科学技術との相互関係を明確にすることで、細分化された研究領域を再統合する道筋を明確に示し、「システム全体を通して見渡せる人材が不足」という問題の解決や、一部領域での「基盤技術を担う人材の不足」といった問題の解決にも繋がることが期待される。

また、上述のような仕組みを運用するためには、資金配分機関及び研究現場の双方において研究マネジメントのプロフェッショナル育成が必要となる。システム全体が機能しているかを確認し、改善策を提案する評価のプロフェッショナルの育成についても対応が求められる。

## 付録 1. 検討経緯

### 1. インタビュー先リスト

五十音順

|        |           |                       |
|--------|-----------|-----------------------|
| ・新井民夫  | 教授        | (芝浦工業大学)              |
| ・井上友二  | 代表取締役会長   | (トヨタ IT 開発センター)       |
| ・小笠原敦  | センター長     | (NISTEP 科学技術動向研究センター) |
| ・小菅一弘  | 教授        | (東北大学)                |
| ・斉藤剛   | パートナー     | (株式会社経営共創基盤)          |
| ・坂上好功  | 理事        | (リコー)                 |
| ・桜田一洋  | シニアリサーチャー | (ソニーコンピューターサイエンス研究所)  |
| ・佐々木直哉 | 政策参与      | (内閣府)                 |
| ・新誠一   | 教授        | (電機通信大学)              |
| ・瀬戸屋英雄 | 理事        | (一般財団法人製造科学技術センター)    |
| ・高田広章  | 教授        | (名古屋大学)               |
| ・手塚明   | 総括研究主幹    | (産業技術総合研究所)           |
| ・西野壽一  | 執行役専務     | (日立製作所)               |
| ・原辰徳   | 准教授       | (東京大学)                |
| ・南悦郎   | 執行役員      | (新日鐵住金ソリューションズ)       |
| ・持丸正明  | センター長     | (産業技術総合研究所)           |
| ・脇田玲   | 教授        | (慶応義塾大学)              |



## 2. ワークショップ

### (1) 設計・製造

日時：2014年5月9日（金）10：00～18：00

会場：科学技術振興機構 東京本部別館2階セミナー室（東京都千代田区五番町7）

オーガナイザー：曾根純一（JST-CRDS 上席フェロー）

プログラム（敬称略）

|             |                                                                                                                                                                                                        |                                               |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 10:00～10:10 | 開会挨拶                                                                                                                                                                                                   | 曾根純一（JST-CRDS）<br>中村道治（JST）<br>吉川弘之（JST-CRDS） |
| 10:10～10:25 | ワークショップの趣旨説明                                                                                                                                                                                           | 島津博基（JST-CRDS）                                |
| 10:25～11:15 | 基調講演「ものづくりのトレンドと今後の展望」（各講演 20 分+議論 5 分）<br>「生産技術の課題と大学・研究機関との連携」<br>森郁夫（東芝 生産技術センター）<br>「自動車生産技術の現状と今後の動向」<br>前田千芳利（トヨタ自動車 生技開発部）                                                                      |                                               |
| 11:15～12:35 | 話題提供①「設計、IT の活用」（各講演 15 分+議論 5 分）<br>「CAD の研究開発の展望」 鈴木宏正（東京大学）<br>「工作機械の知能化・自律化と CAD/CAM/NC 連携の現状、課題と今後の展望」 白瀬敬一（神戸大学）<br>「クラウドを活用した新しい「ものづくり」の目指すところ」 村上和彰（九州大学）<br>「スパコンによるものづくりの革新を目指して」 加藤千幸（東京大学） |                                               |
| 12:35～13:05 | 休憩                                                                                                                                                                                                     |                                               |
| 13:05～14:05 | 話題提供①「成形・除去製造・加工」（各講演 15 分+議論 5 分）<br>「切削加工に関する現状、課題と今後の展望」 帯川利之（東京大学）<br>「複合材成形に関する現状、課題と今後の展望」 石川隆司（名古屋大学）<br>「超精密加工技術の研究開発と取り組み事例について」 大森整（理化学研究所）                                                  |                                               |
| 14:05～16:25 | 話題提供②「付加製造・加工」（各講演 15 分+議論 5 分）<br>「付加製造を核とした新しいものづくり」 新野俊樹（東京大学）<br>「電子ビーム積層造形技術に関する現状、課題と今後の展望」 千葉晶彦（東北大学）                                                                                           |                                               |

「レーザー加工に関する現状、課題と今後の展望」

塚本雅裕（大阪大学）

「接合技術から考える、ものづくり技術の革新」

藤井英俊（大阪大学）

「先進コーティング技術を通して見えてきた、産学連携、技術移転の実態と実用化への課題」

明渡純（産業総合技術研究所）

「エレクトロニクス実装とプリントエレクトロニクス」

菅沼克昭（大阪大学）

16:25～17:55 総合討論（参加者コメント）

17:55～18:00 閉会 (JST-CRDS)

コーディネーター：

田中秀治（JST-CRDS 特任フェロー、東北大学 教授）

コメンテータ：

笠木伸英（JST-CRDS）

佐々木直哉（日立製作所）

## (2) ICT ワークショップ

日時：2014 年 8 月 14 日（木）10：00～17：30

会場：科学技術振興機構 東京本部別館 1 階ホール（東京都千代田区五番町 7）

オーガナイザー：有本建男（JST-CRDS 副センター長）

岩野和生（JST-CRDS 上席フェロー）

プログラム：

|             |              |                |
|-------------|--------------|----------------|
| 10:00～10:05 | 開会挨拶         | 中村道治（JST）      |
| 10:05～10:30 | ワークショップの趣旨説明 | 有本建男（JST-CRDS） |
|             |              | 岩野和生（JST-CRDS） |
|             | CRDS からの問題提起 | 岡山純子（JST-CRDS） |

10:30～11:50 「セッション1：次世代ものづくりに向けたエコシステムの再デザイン」

「デジタルによる産業の確信が注目される背景について」

西野壽一（日立製作所）

「業際イノベーションと運用系のセットで」

井上友二（トヨタ IT 開発センター）

「製品のコモディティ化と製造業のサービス化」

持丸正明（産業技術総合研究所）

「ものづくり戦略と情報セキュリティ」 新誠一（電気通信大学）

11:50～12:30 討 論

12:30～13:15 昼 食

13:15～15:15 「セッション2：次世代ものづくりにむけた技術変革」

「ものづくり・デザイン・顧客」 手塚明（産業技術総合研究所）

「プロダクトからサービスへ」 原辰徳（東京大学）

「ものづくりとロボット」 小菅一弘（東北大学）

「ものづくりと IT」 南悦郎（新日鉄住金ソリューションズ）

「Trillion Sensors Universe 時代のものづくり」

桜田一洋（ソニーCSL）

「精神文明としてのものづくりへ」

脇田玲（慶応義塾大学）

15:15～15:55 討 論

15:55～16:10 休 憩

16:10～17:20 総合討論・まとめ

17:20～17:30 総合コメント・閉会 吉川弘之（JST-CRDS）

ディスカッサント（五十音順）

小笠原敦（NISTEP 科学技術動向研究センター）

齊藤剛       (株式会社経営共創基盤)  
瀬戸屋英雄 (一般財団法人製造科学技術センター)  
曽根純一    (JST/CRDS ナノテク・材料ユニット)  
竹田陽子    (横浜国立大学大学院環境情報研究院)  
田中信彦    (経済産業省 産業技術環境局 研究開発課)  
三宅隆悟    (文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発基盤課)  
守屋直文    (内閣府 政策統括官(科学技術政策・イノベーション担当) 付)

## 付録2. 日本のものづくりの歴史的経緯

「2-1 日本におけるものづくりの概況」の関係情報として、日本のものづくりの歴史的経緯について以下に示す。

### (1) 国際的競争優位の獲得

#### ●プロセス・イノベーションによる競争優位の確立

戦後、特に東西冷戦を背景として、1950年代から日本は加工貿易立国で経済成長した。当時の日本の経済社会で非常に重要な問題は労働力の不足であり、過剰な流動性を持っていた労働者を固定させるために多くの大企業が終身雇用制度と年功序列制を導入した。

同質的かつ連続的で雇用環境が安定した企業体で物を作る場合、過去の経験が必ず将来のプラスに積み上がってくることが多く、多様な技術のすり合わせや積み上げが、ものづくりにおいて大きな強みとなる。

こうした条件下では、製品の検査段階で不良品を排除するのではなく、不良品を出さないよう、製造工程そのものを工夫することが可能になる。信頼性向上と生産性向上の両方を実現できるため、結果的に製品を安価で供給することができる。

こうして、熱や力の負荷がかかる高度生産品であり、かつ作業工程と部品点数が非常に多い精密機械や自動車、半導体の分野で、日本企業は世界的な競争優位を獲得した。ボトムアップで精密なすり合わせを行い、高い信頼性を有する低価格・高品質な製品を量産していくという技術文化が醸成された。

このような日本の製造業の成功は、国による産業政策に支えられてもいた。例えば、1950年代の戦後復興期に重化学工業を立ち上げるために実施された傾斜生産方式があげられる。

石炭、鉄鋼、あるいは化学工業に、重点的に人、物、金をつぎ込むという、ある種の経済統制を当時の通商産業省が旗振り役となって行った。この施策は成功し、戦後復興の礎を築いた。また、1970年代の半導体製造振興策も顕著な例である。米国における半導体メーカーの成功を受け、それに追随すべく、さまざまな電機メーカーや化学メーカー等、半導体製造に必要な要素技術を持っている事業者をコンソーシアム方式で集め、企業連合体「超 LSI 研究組合」を作って半導体産業を強化した。これも奏功し、1970年代後半から急成長を始めた日本の半導体メーカーは、1980年代半ばには、DRAMの世界シェア80%を獲得した。

#### ●日米貿易摩擦

製造業に先導された日本経済は、1970年代後半から1980年代を通じて世界を圧倒する存在となった。省エネルギー・省資源技術や軽薄短小化のための先端技術の積極的導入により、比較優位に合致した方向へ産業貿易構造を進化させた日本は、自動車産業や



電子電気機器産業において世界市場を席卷する。特に、日本に対する巨大な貿易赤字を抱え込んだ米国では、日本脅威論が盛んに語られた。

日米間の貿易摩擦は戦後、繊維製品、鉄鋼、カラーテレビと、製品カテゴリを変えながら断続的に熾っていたが、1980年代になって摩擦の分野が自動車や半導体等米国経済の根幹をなす産業に及ぶと極限に達した。業界団体が日本製品の輸出価格をダンピングであると提訴し、価格規制や輸出自主規制が導入された。低価格による競争力を失った日本のメーカーは、高機能・高品質を追及する方向性にシフトすることになる。

## (2) アカデミアとの関係

### ●基礎研究への注力

日米貿易摩擦の文脈では、「基礎研究ただ乗り論」も語られた。当時の日本はGDP比で見た研究開発費が少なく、また、そのほとんどは民間セクターによって担われていた。日本の産業の繁栄の背景には、それを支える基礎研究の成果があるはずだが、日本では基礎研究で目覚ましい成果があったわけではない。そのため、日本は各国、主に米国が大金を投入して基礎を築いてきた科学技術を利用し、製品に仕立てて他国に売り込み、繁栄を実現している、という非難が起こったのである。

「ただ乗り論」や日米構造協議の結果を受けて、政府も応用・開発研究から基礎研究へのシフトを推進する政策をとった。産業競争力強化を目指した大規模な国家プロジェクトは数を減らし、基礎的研究への投資に切り替えられた。また、日本の各企業は中央研究所機能を拡大・強化しはじめ、自前での研究、基礎研究への志向を強めていった。さらに、1990年代初頭からの大学院重点化により、日本と海外の大学や研究所との間での人材交流に際して、待遇の対称性などを確保するために当時国際的基準に照らして圧倒的に少なかった博士号保持者を大量に増やすことが試みられた。

### ●バブル崩壊の影響

日本の製造業の覇権は、バブル経済の崩壊によって世界経済における日本のプレゼンスが低下するとともに終わりを迎えた。1985年のプラザ合意を契機として一気に円高が進み、輸出産業だった製造業は相対的な競争力を失った。マクロ政策協調の一環として、日本には内需主導の経済成長が求められ、製造業の貿易黒字は1990年代以降減少に転じる。

また、バブル経済が崩壊した後、少なからぬメーカーが、コスト削減のために大規模なリストラを実施した。この結果、製造業として重要な固有技術を属人的に持っていたベテランの設計者や技術者が離職に追い込まれたため、競争力の基盤たる技術の継承に影響があったと言われている。さらに、リストラの一環として大企業の中央研究所の多くが廃止ないし規模縮小された。当時、メーカーの中央研究所は博士人材の受け皿となっており、大学と企業の知識や技術を、人材を介して連携させる働きも持っていた。このような機能が失われたことにより、日本のメーカーの活動はアカデミアからの独立性

をさらに高めた。

### (3) 経済のグローバル化と情報通信革命の影響

#### ●製造拠点のグローバル化

冷戦が終結し、1990年代を迎えると経済は急速にグローバル化し、新興国・発展途上国のプレゼンスが製造業の領域においても拡大した。日本が DRAM 製造で世界市場を席巻した頃から、半導体の急激なコストダウンと高性能化が進展し、徐々にソフトウェアを組み込んだハイテク製品が生産・販売されるようになっていった。同時に、インターネットの普及に象徴されるように、情報ネットワークで世界中が接続される時代を迎えた。この結果、アナログな技術のすりあわせによるものづくりに対置されるような、製造業のデジタル化が進むことになった。また、多能工に依存しない、技術の細分化と再統合の仕組が発達し、製品の生産のプロセスがモジュール化されていった。

先進国の大企業が、相対的に人件費の安い、あるいは成長市場に近い新興国・発展途上国に生産拠点を移転する動きは従前から存在した。日本でも 1980 年代から海外現地生産比率は上昇し続けており、2012 年の実績値では 20.3%に達している（図 A-1）。ハイテク製品の生産拠点がグローバルに拡大し、新興国・途上国が台頭すると、国際的な水平分業が進展した。

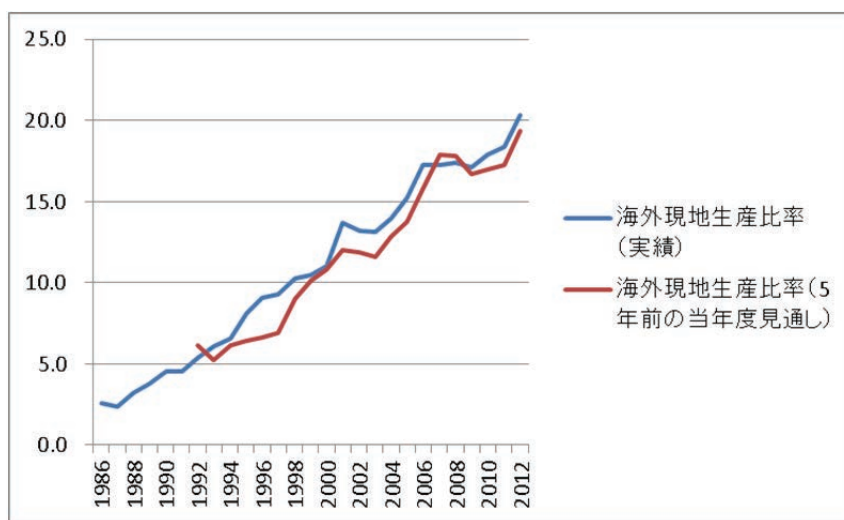


図 A-1 日本の製造業の海外現地生産比率の推移（出典：通商白書 2014）

これとデジタル化やモジュール化の趨勢が組み合わさった結果、製造装置を介した技術のスピルオーバーが容易に発生するようになった。ファブレス・デザイン・カンパニーやファンドリーのような業態の登場はこれを象徴する現象である。

#### ●市場のグローバル化

製造拠点がグローバルな拡大を見せるなかで、市場のグローバル化も同時に進行した。

新興国の経済成長によって、現代ではひとつの商品を一気に全世界 50 億人、60 億人の顧客がいるような市場に売り込めるようになってきている。

また、国際的なサプライヤー網の発達もこの背景にある。グローバルな多売戦略により、メーカーの原材料サプライヤーに対する価格交渉力は必然的に強くなる。したがって、ある製品をどこで設計し、どこから材料を調達し、どこで組み立て、どこで売るか、すべての選択肢がグローバル化しており、サプライチェーン・マネジメントに変容をもたらしている。

これに伴い、企業の海外展開の主眼が単なる組立から、現地ニーズを取り込むための製品開発と一体となった量産へとシフトしつつある。単なる量産ではない機能の海外移転事例が相次いでおり、メーカーの海外拠点の役割の高度化や技術水準の向上が進むと見込まれている。

## ●ハードウェアとソフトウェアの融合

20 世紀の後半以降、急速に発展した計算機と情報通信技術は社会や生活のあり方に劇的な変化をもたらし、その影響は産業全体に及んでいる。製造業の文脈では、ハードウェアとソフトウェア、デジタルなコンテンツとプラットフォームが連携しなければ実現できない補完性の強いビジネスが高い付加価値を生み出すようになった。

こうしたビジネスでは集権的な組織のほうが有利だが、1970 年代の成長とバブル経済を経て組織を巨大化させた日本の大手メーカーは、トップダウンの意思決定を徹底させた新興国のメーカーに対して、統合的な戦略作りの面で不利である。

特にハードウェアにこだわるアナログ技術部門と、ソフトウェアに転換するデジタル技術部門の間の協働の問題は大きい。現在では、日本のメーカーが得意としたハードウェアの性能向上よりも、ソフトウェアとデータ量によってアナログ的な品質も決まるようになってきているため、ソフトウェア部門との連携は魅力的なハードウェア作りに欠かせない要素になっている。

また、上述したグローバル化や、製品とサービスの一体化によって、ひとつの製品のバリューチェーンは複雑化している。こうした中、他社や他業種との協力関係を通した、あるいは産学官を跨いだオープンイノベーションの仕組みづくりも重要になっている。

## 付録3. ものづくりに関連した科学技術分野の施策

「2-2（2）ものづくりに関連した科学技術分野の施策」の関係情報を以下に示す。

### （1）世界的なナノテクノロジー研究・教育拠点

ナノエレクトロニクスの研究開発拠点は、米国の Albany Nano Tech (ANT)、ベルギーの IMEC、フランスの MINATEC など、限られた拠点到絞られて、そこに先端の半導体そのものの研究や半導体を活用した研究が寡占的に集中し始めている。

日本では、2010年4月にスタートしたつくばイノベーションアリーナ TIA-nano（ティア-ナノ）は、産総研、NIMS、筑波大学、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（KEK）が中核となり、日本経済団体連合会（経団連）とも連携した、世界的に魅力あるナノテクノロジー研究拠点を造り上げようとする取り組みである。

産業化に直結する6つの重点研究領域（ナノエレクトロニクス・パワーエレクトロニクス・N-MEMS・ナノグリーン・カーボンナノチューブ・ナノ材料安全性評価）をコア研究領域として定め、産学官の資金・人材を集約し研究開発を行っている。また、実証デバイスの試作・評価、ナノテク先端装置群の共用、人材育成の推進に関わる仕組みを、3つのコアインフラとして整備している。

6つの重点領域については、FIRST などいろいろな国のプロジェクトが TIA を活用して進められ、多くの成果が創出されており、TIA 活用企業が200社を超え、外部から1000人近い人が集まっていることから、イノベーションハブとして機能も徐々に高まっている。

なかでも、ナノグリーン領域における、NOIC（NIMS Open Innovation Center）やパワエレ領域における、つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション（TPEC：Tsukuba Power-Electronics Constellations）のようにオープンイノベーションを促進すべく、国の資金のみならず、企業会員からの出資によって拠点経営を実践している例も出始めている。

一方で、TIA 全体としては、ANT、IMEC、MINATEC では、大学院学生が数百人規模で出入りしているのに比して、教育・人材育成の面で弱い、コア技術開発が日本企業だけで多様性がない、海外からのユーザ・ニーズが少ない、TIA 活動の評価軸を明確にすべき、企業に対する PR が弱いといったような指摘もあり、第2期中期計画の取り組みが期待される。



(出典：NOIC)



(出典：TPEC)

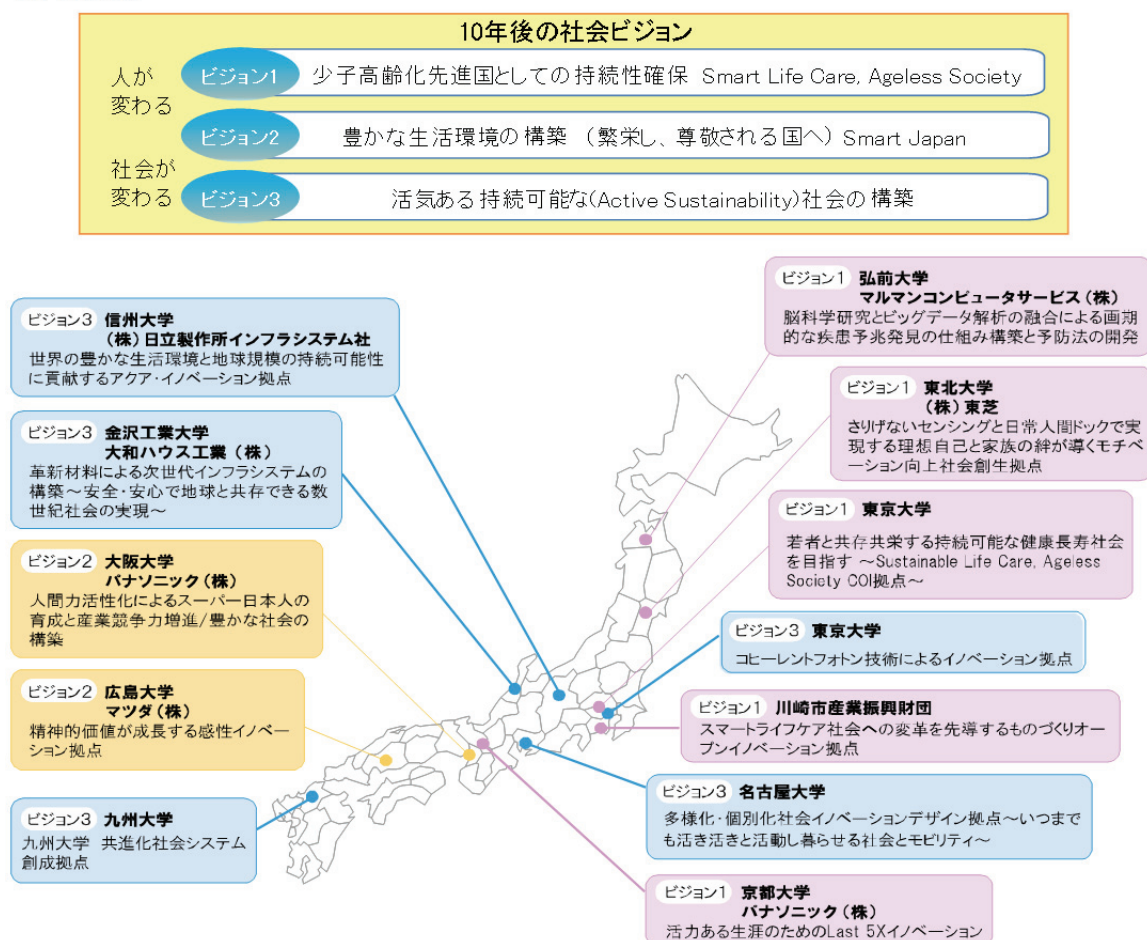


## (2) 大学を核とした拠点形成策・センターオブイノベーションプログラム (COI)

我が国が、今後国際的な競争の中で生き残り、経済再生を果たしていくためには、革新的なイノベーションを連続的に生み出していくことが必要である。文部科学省は平成25年度から「革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM)」を開始し、現在潜在している将来社会のニーズから導き出されるあるべき社会の姿、暮らしのあり方について3つのビジョンを設定し、革新的なイノベーションの創出を目指している。COIプログラムでは、COI STREAMのビジョンに沿って、ハイリスクではあるが実用化の期待が大きい異分野融合・連携型の基盤的テーマに挑戦する、産学が連携する研究開発チームに集中的な支援を行っている。平成25年度は12拠点を採択し、1拠点当たり年間最大10億円程度の研究開発費を最長9年度支援する。今後の課題として以下の2点が挙げられる。(1) 学生や若手研究者の参画を促進し、教育・育成を強化する。(2) ビジョン達成のための社会実装に向けたロードマップを、研究の進捗に応じて繰り返し見直し、活動を着実に推進する。



10年後、どのように社会が変わるのか、人が変わるのか、その目指すべき社会像を見据えたビジョン主導型のチャレンジング・ハイリスクな研究開発を支援



図A-2：COI事業のスキーム

(出典：文部科学省・JST「COIプログラム」パンフレット等)



### （３）先端大型研究施設と研究施設共用

科学技術活動全般を支える基盤である研究施設・設備は、基礎研究からイノベーション創出に至るまでの研究開発に不可欠であり、文部科学省では、広範な研究開発領域や、産学官の多様な研究機関に用いられる共通的、基盤的な施設・設備に関して、その有効利用、活用を促進するとともに、これらの施設・設備の相互のネットワーク化を促進し、利便性、相互補完性等を向上するための取組を進めている。

#### ●放射光とスーパーコンピューターを活用したものづくり

国の特定先端大型研究施設として、特定放射光施設（大型放射光施設（SPring-8）、X線自由電子レーザー施設（SACLA））、特定高速電子計算機施設（スーパーコンピューター「京」）、特定中性子線施設（大強度陽子加速器施設（J-PARC））が規定されている。

- ・ SPring-8：光速近くまで加速した電子の進行方向を曲げたときに発生する「放射光」を用いて、物質の原子・分子レベルの構造や機能を解析
- ・ 京：物で実験するのが難しい、実験そのものができる事象について、コンピュータ上で再現し、複雑で困難な課題の背後にあるさまざまな要素を科学的に読み解き、最適な解決策を導く。
- ・ J-PARC：世界最高レベルのビーム強度を持つ陽子加速器から生成される中性子、ニュートリノ等の多彩な二次粒子を利用して、物質の原子・分子レベルの構造や機能を解析

これらの施設を活用した具体的な事例として、自動車用タイヤの例を挙げる。タイヤに用いられるゴムは、骨格材料となるポリマー、ゴムの補強材であるフィラー（カーボンブラックやシリカなどのナノ粒子）、ポリマーを連結する架橋剤（硫黄）や結合剤が複雑な構造を形成することで機能を生み出している。そのため、材料の内部構造を理解しコントロールすることは、相反する低燃費性能とグリップ性能といったタイヤ性能を高次元で両立し、タイヤゴムを高機能化させ、自動車の低燃費化に繋がる。

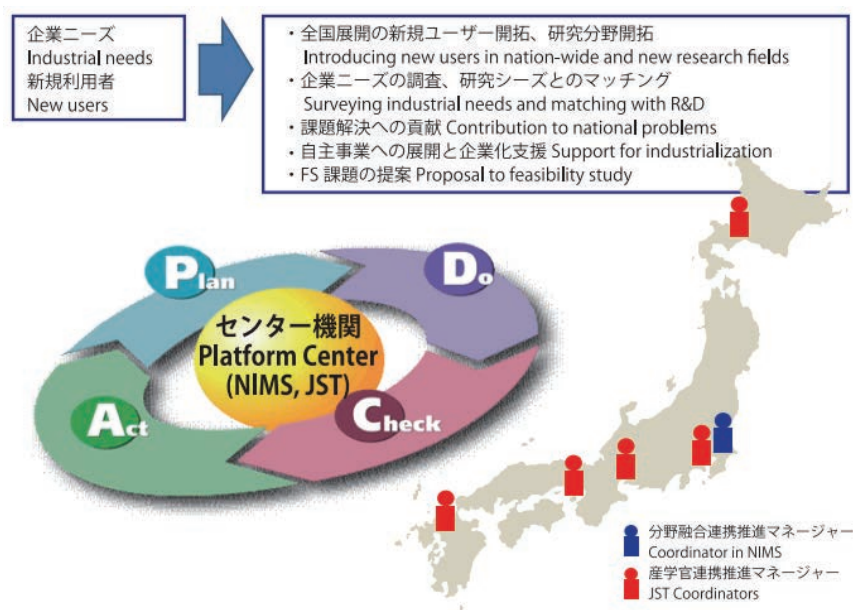
大型放射光施設 SPring-8 を活用することで、従来は不可能であった精度で、ゴム内部におけるナノ構造の可視化から分子の結合状態やフィラーの分散、各材料のネットワークなど各々のスケールにおける機能を予測してシミュレーションを行うことが可能になり、その結果、低燃費性能とグリップ性能を両立させる新素材「両末端マルチ変性ポリマー」を開発し製品化した。「京」の登場により大規模でありながら分子レベルの詳細なシミュレーションが可能となり、実際のゴム内部で複雑に関係しているナノ結合レベルからシリカ分散・ネットワークなどのマイクロレベルの現象を包括して解明し、タイヤを高機能化させるための研究を進めている。

#### ●共用施設のネットワークを活用したものづくり

一般的には高額で一研究室単独では整備が困難な最先端の研究設備を活用し、我が国の研究基盤を強化することを目的として、ナノテクノロジー研究設備の共用ネットワー

クを構築し、画期的な材料開発に挑む産学官の利用者に対して、最先端の計測、分析、加工設備の利用機会を高度な技術支援とともに提供している。

3つの技術領域（微細構造解析、微細加工、分子・物質合成）に応じて、それぞれ外部共用を行う実施機関及びその代表となる機関、あわせて 25 機関で構成され、プラットフォーム全体の支援機能の高度化や利用促進を図るため、センター機関（JST、NIMS）を設置している。



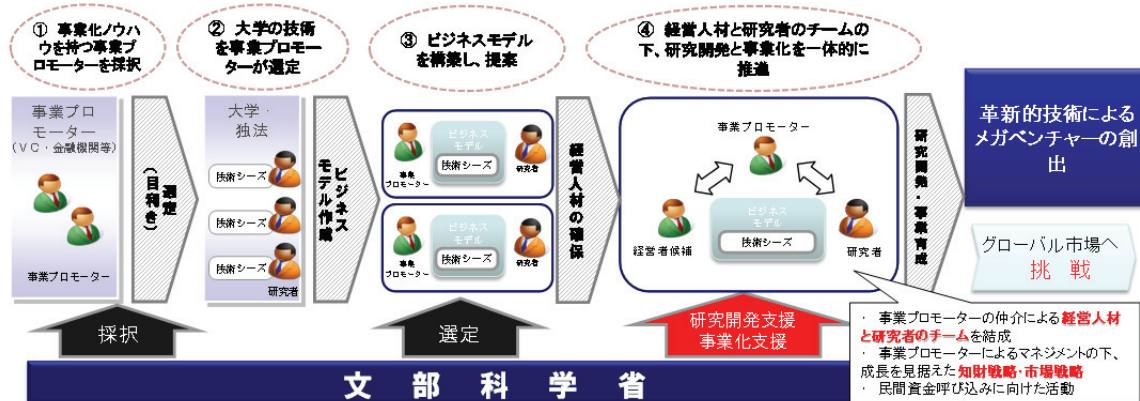
（出典：ナノテクノロジープラットフォームホームページより）

多くの機関で利用件数も増加しており、全体として成果事例も着実に積みあがっている。（<https://nanonet.go.jp/case/>）

一方で、外部利用体制や運転資金、人的リソースの不足等により、潜在的なニーズに比して十分な活用がなされていないという指摘もある。課金による自己収入の増加のため各運用機関の自主努力、設備の維持・管理・運用を行う高度技術専門人材のキャリアパスの確立が問題となっている。

## (4) ベンチャー創出支援策：大学発新産業創出拠点プロジェクト（START）

我が国では様々な産学連携政策や大学発ベンチャー振興策を2000年前後に打ち出し、2004年までは創業数が伸びたものの、2005年以降は急減している。従来、我が国における大学発ベンチャーは、研究者が中心となり創業するケースが多いと見られる。しかし、企業の経営は、技術をコアコンピタンスとする企業であっても、事業戦略・計画、知財戦略の立案から内部統制を含む事業の遂行に至るまでの多様な知識と経験を要する。そこで、2012年度に文部科学省が開始したSTART事業では、事業化ノウハウを持ったベンチャーキャピタルや金融機関等を「事業プロモーターユニット」として登用することで、大学等発ベンチャー起業前の技術シーズ育成や事業育成のための政府資金のもと、民間の事業化ノウハウを取り入れる仕組みを構築した。事業プロモーターへの支援期間は最大5年間、2014年8月時点で12機関を支援中。1事業プロモーターあたりの活動経費は上限年間2,500万円程度。研究プロジェクトへの支援は原則3年以内で、1プロジェクト当たりの配分額は平均年間約3,000万円、2014年8月時点までに49プロジェクトを支援している。本スキームは、リスクは高いがポテンシャルの高い技術シーズについて、事業戦略・知財戦略を構築しつつ、市場や出口を見据えた事業化をよりフィージブルなものにできると期待され、後にはNEDO「研究開発型ベンチャー支援事業」や総務省「ICTイノベーション創出チャレンジプログラム」といったベンチャー支援制度も始まった。今後、本事業を通じて立ち上がったベンチャーをグローバル企業へと育成する、あるいは我が国の大企業がベンチャーを活用する風土醸成を行う上で政府の支援はどうあるべきか、といったことと併せて検討を行い、他の政策と有機的に連携させるスキームづくりが必要になると考えられる。



図A-3：START事業のスキーム

(出典：文部科学省)

### （５）イノベーション拠点に求められる支援機能

我が国では一般に、大学や国立研究所等における研究者への支援機能が弱く、必ずしも望ましい研究体制や研究環境が実現できていないと認識されている。例えば米国の大学では、ファカルティクラスの研究者 1 名に対して事務担当や研究補助員等支援要員が 6 名程度配置されていると言われるが、日本では研究者 6 名あたり 1 名の支援要員しかいないとも言われる。今後、イノベーションの拠点となる組織が国際的な競争力を備えるためには、先進的な研究マネジメントを実施することが必須である。2013 年度から開始された「研究大学強化促進事業」では、大学等による、研究マネジメント人材（リサーチ・アドミニストレータを含む）群の確保・活用と集中的な研究環境改革（競争力のある研究の加速化促進、先駆的な研究分野の創出、国際水準の研究環境の整備等）を組み合わせた研究力強化の取組を支援している。現在対象として 22 機関が選定され、年間 2 ～ 4 億円の規模で 10 年間の支援が実施される予定である。世界トップレベルの研究者を招聘することによって拠点を強化するほか、先端・融合研究推奨のための研究支援、環境整備や若手研究者・女性研究者に対する研究活動支援を行っていく。また、国際共同研究推進の環境整備や、国際事務サポート体制の充実を実施し、世界を見たうえでの研究支援体制の整備が推進される。今後、この取り組みの波及効果として、大学等の研究支援体制に対する問題意識が醸成され、研究支援要員のキャリアパスが確立されれば、日本全体での科学技術イノベーション創出に対する大きな貢献が期待できる。

## 付録4. ものづくりの将来像についての議論

「3-1. グローバルなトレンド」に関係する文献の要約を以下に示す。

### 未来のものづくりの方向性を示すキーワード

個別化・パーソナル化に対応した製品づくり、大量生産の終焉  
製造技術のデジタル化・オンライン化・ネットワーク化

### 主な議論の要旨

『The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production（新たな産業革命：消費者、グローバル化と大量生産の終焉）』

ピーター・マーシュ／エール大学出版／2012 年

1780 年から約 80 年間の第 1 次産業革命、1850 年から 1900 年までの間の第 2 次産業革命、1870 年から 1930 年までの間の第 3 次産業革命、1950 年から約 50 年間の第 4 次産業革命に続き、新たな産業革命が 2005 年頃から起こっており約 50 年間続くと予測。今回の産業革命の特徴は以下の 7 つと指摘。1) 新材料や自動化、生物プロセッシング等を利用した、非常に多くの新しく異なる技術の融合、2) 特異性やニッチ性に基づく産業の細分化、3) 個別化・パーソナル化に対応した製品づくりの重要性の増大、4) 世界をつなぐ複雑な知的・物質的ネットワークの発展的役割、5) 否定するようになって補完する性質や、特定の地域における集団が相互に協力して世界に大きなインパクトを与える影響の重要性の増大、6) 中国の急成長が国内だけでなく世界中の組織に恩恵を与えるような現象、7) 製造業者が製品を利用して、環境に対する人間活動の負の影響を削減しようとする行動。

『MAKERS—21 世紀の産業革命が始まる』

クリス・アンダーソン／NHK 出版／2012 年

第 3 の産業革命「メイカーズムーブメント」によってものづくりのあり方が大きく変わると提唱。ウェブ世代が現実の世界と交わることで、世界中のガレージがオンライン化し、デジタルファイルや CAD や 3D プリンタなどを使うデジタル製造が拡大すると予測。

『A Third Industrial Revolution』

The Economist／2012 年 4 月 21 日号

製造技術のデジタル化によって、第 3 の産業革命が進みつつあると指摘。新材料のほか、3D プリンティングや操作が容易なロボット、オンライン上で利用できる協働型製造サービス等の新たなプロセスを用いて、少量を経済的に、フレキシブルに、少ない労働で生産できるようになり、大量生産から個別化に対応した製品づくりに移行すると予測。省資源・省力



化製造技術が中国等新興国での製造コストに勝る可能性、研究開発・製造技術開発・製品デザインを同時的に推進し、新しい材料や技術をいち早く取り入れることの重要性、3D プリンタ等を用いた付加製造技術（Additive Manufacturing）による開発・試作・製造プロセスの革新の可能性、製品デザイン・シミュレーションのオンライン化や人間と協業する産業用ロボットから得うる中小企業の恩恵等を指摘。

### 『Make: An American Manufacturing Movement』

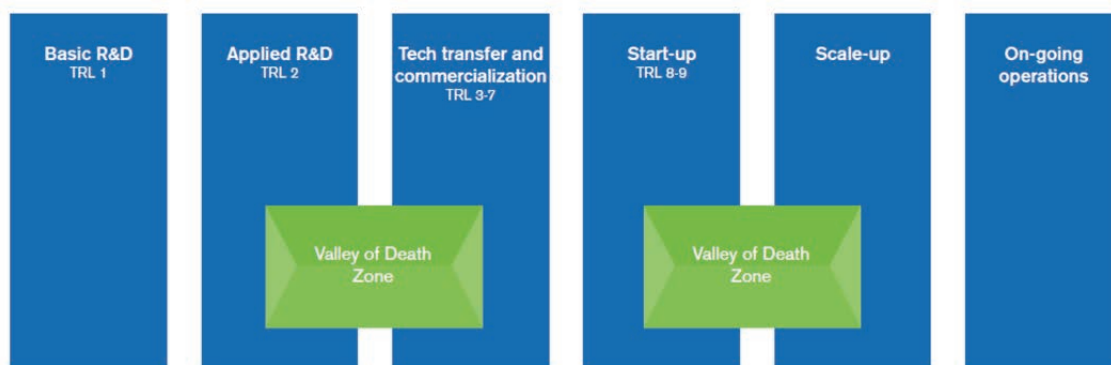
Council on Competitiveness／2011 年 12 月

米国の製造業復権のため、以下の 5 つの挑戦と解決策を提唱。1) 挑戦：スタートアップからスケールアップまでイノベーションと製造経済の活性化。解決策：財政改革と税制改革、規制緩和、構造原価削減を実行し、雇用を創出。2) 挑戦：輸出拡大、貿易赤字削減、市場参入増大、国内市場を保護する外国政府への対応。解決策：多国間フォーラムの活用や新たな協定の締結、知財保護や標準、輸出管理規則の促進によって、高額投資を増大し、輸出を拡大。3) 挑戦：将来のスキル競争に勝利するための米国の人材の力と可能性の強化。解決策：次世代のイノベーター、研究者、高度労働者を育成。4) 挑戦：スマートなイノベーションと製造技術による次世代の生産性の達成。解決策：高度製造技術のクラスターやネットワーク、パートナーシップの創設、研究開発投資の重点化、新たなツールや技術、施設の配置を行い、新たな製品・サービスの商業化を促進。5) 挑戦：次世代の供給ネットワークや高度物流による競争優位性の創出。解決策：スマートで持続可能かつレジリエントなエネルギーや輸送、製造、情報基盤を開発し配備。

### 『The Power of Partnerships』

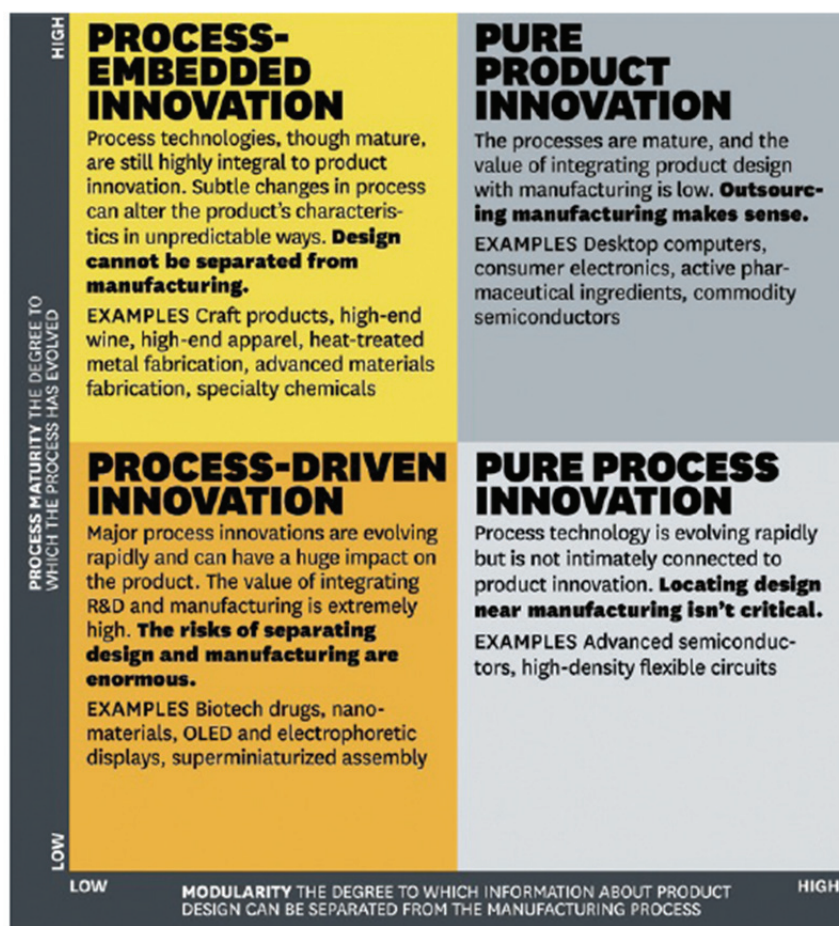
Council on Competitiveness／2013 年 4 月

エネルギー効率と再生可能エネルギーに関する技術を中心に、ものづくりの障壁として以下の 7 点指摘。1) 資本の必要性、2) イノベーション基盤、3) 高度製造技術への少ない投資、4) 人材、5) 構造原価、6) 公的情報基盤、7) 貿易政策。1) 資本の必要性については、スタートアップ企業が直面する 2 つの「死の谷」を指摘（図 A-4 参照）。3) 高度製造技術への少ない投資については、PCAST が重視する以下の技術への投資の必要性を提唱。a. 高度なセンシング・計測・プロセス管理、b. 高度な材料の設計・合成・加工、c. 可視化技術、インフォマティクス、デジタル製造技術、d. 持続可能な製造技術、e. ナノ製造技術、f. フレキシブルエレクトロニクス製造技術、g. バイオマニファクチャリングとバイオインフォマティクス、h. 付加製造技術、i. 高度製造技術と試験装置、j. 産業ロボティクス、k. 高度な成形技術・接合技術。モデリングやシミュレーションへの高性能計算（HPC）の利用の重要性も指摘。さらに、基礎・応用研究から製造技術・プロセスにわたる定常的な投資を確保するよう提案しつつ、自律度（モジュール性）と（製造プロセスの）成熟度との関係に関する研究を引用し、モジュール性が高いほど製造と研究開発との乖離があっても問題ないことを紹介（図 A-5 参照）。



図A-4：Manufacturing Innovation Investment Gaps

(出典：米国競争力協議会 (CoC))



図A-5：Modularity-Maturity Index

(出典：米国競争力協議会 (CoC)，原典：Gary Pisano and Willy Shih, Harvard)

## 付録5. 諸外国における製造業強化策

「3-2. 諸外国における製造業強化に係る政策」の関係情報を以下に示す。

### (1) アメリカ

製造をおさえないと、雇用が確保できないばかりでなく、米国が得意とし特化してきた R&D、デザイン、サービスも徐々に新興国に取られてしまうとの危機意識が高まっている。

米国競争力協議会 (CoC) は 2011 年 12 月、製造業に関する報告書「**Make: An American Manufacturing Movement**」を公表し、米国製造業が繁栄するために必要な戦略を提言した。これは、米国製造業が直面している 5 つの課題を特定し、米国議会・政府・企業などのステークホルダーに対し、課題解決に必要な行動項目を提示したものである。

1. イノベーションへの投資増大とスタートアップからスケールアップまでのステージを含めた生産経済の刺激
2. 輸出の拡大、貿易赤字の縮小、市場アクセスの拡大、国内生産者を保護する外国政府への対応
3. 将来のスキル競争に勝つための米国人の才能と可能性の利用
4. 次世代生産性に拍車をかけるための産業基盤からスマート製造およびイノベーション・ネットワークへの変容
5. 先端ロジスティクスを含めた次世代供給ネットワークの最適化と統合化

このような背景を受け、オバマ大統領のイニシアチブにより先進製造を強化する先進製造パートナーシップ (AMP) と呼ばれる一連の政策が展開されている。AMP では、技術ブレークスルーのためのプラットフォーム提供、先進製造技術ロードマップ作成、中小企業が使用可能な施設整備等を推進する中、重点領域として、安全保障、先端材料、次世代ロボティクス、製造プロセス・エネルギーの効率使用の 4 つを指定している。

この AMP の取り組みの中でも特に重要とされるのが、上記 CoC の報告書の中で 4 番目に挙げられた課題を踏まえ設置された、全米製造イノベーション・ネットワーク (NNMI) プログラムである。NNMI の目的は、ラボの中に眠っている製造業のルールを変え得る技術を産業にフィードバックし、広く米国企業に拡散させることで米国製造業の競争優位性を築き上げることである。本プログラムに基づき、全国的な先進製造ネットワーク及びパートナーシップを構築し研究開発の重点化を行い、新たなツール・技術・施設を利用可能とすること目的に付加製造をはじめとする、先進製造技術・45 分野を対象に産学のコンソーシアム組織、製造革新機構 (IMI) の設置が進められている。これまでに設置・計画されている 5 拠点は次表の通りである。オバマ大統領は 2014 年の一般教書演説で「今年は更に 6 拠点を立ち上げる計画であり、議会の超党派の合意があれば拠点を倍増することも雇用増大も可能」と述べている。

表 A-1 NNMI に基づき設置される IMI (2014 年 11 月現在・予定を含む)

| 分野<br>(主導官庁)                | 名称                                                                                                                 | 発表<br>時期 | 設立場所                                 | メンバー企業                                   |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| 金属付加製造技術<br>(国防総省)          | 付加製造革新機構<br>National Additive<br>Manufacturing Innovation<br>Institute (NAMII)<br>通称: America Makes                | 2012.8   | オハイオ州<br>ヤングスタウン                     | ロッキード・マーティン、パイ<br>エルマテリアルサイエンス、<br>GE、他  |
| パワーエレクトロニ<br>クス(エネルギー<br>省) | 次世代パワーエレクトロニク<br>ス技術革新機構<br>Next Generation Power<br>Electronics National<br>Manufacturing Innovation<br>Institute | 2014.1   | ノースカロライナ州<br>ローリー(ノースカロ<br>ライナ州立大学内) | ABB、APEI、クリー、デル<br>ファイ、東芝インターナシヨナ<br>ル、他 |
| 軽量金属材料<br>(国防総省)            | 軽量金属製造革新機構<br>Lightweight and Modern<br>Metals Innovation<br>Institutes                                            | 2014.2   | ミシガン州<br>デトロイト                       | アルコア・テクノロジーズ、<br>ボーイング、GE、ホンダ、他          |
| デジタル製造・設計<br>(国防総省)         | デジタル製造・設計革新機<br>構<br>Digital Manufacturing and<br>Design Innovation                                                | 2014.2   | イリノイ州<br>シカゴ                         | 3Dシステムズ、ボーイング、<br>キャタピラー、GE、P&G、他        |
| クリーンエネルギー<br>製造(エネルギー<br>省) | Clean Energy<br>Manufacturing Innovation<br>Institute for Composites<br>Materials and Structures                   | 未定       | 選定中                                  |                                          |

なお、2014 年 10 月の PCAST 報告書“Acceleration U.S. Advanced Manufacturing”では、戦略的に重要な分野として次の製造技術を特定している。

- ① 製造のための高度センサー・制御・プラットフォーム (Advanced Sensing, Controls, and Platforms for manufacturing: ASCPM)
- ② 視覚化・インフォマティクス・デジタル製造 (Visualization, Informatics & Digital Manufacturing: VIDM)
- ③ 先進材料製造 (Advanced Materials Manufacturing: AMM)

さらには、多様な技術成熟度の技術を支援するための方策として、NNMI の製造イノベーション研究所の取り組みを技術の初期・後期段階でそれぞれ補完する役割を担う製造センターオブエクセレンス (MCEs) と製造技術テストベッド (MTTs) の設立が提案された。



## (2) ドイツ

ドイツでは、ハイテク戦略の一環として、Cyber Physical System でネットワーク化された「考える工場」の実現を目指すプロジェクト”Industrie 4.0”を実施している。このプロジェクトは、機械、自動車、化学製品等の輸出競争力のある製品の輸出強化と、工作機械の輸出大国としてのスマートファクトリーの生産技術そのものを輸出する二段階の戦略（デュアル戦略）に基づき実施されている。このための基盤技術として、米・日に次いで第3位の規模の生産額を誇る組み込みシステムを重視した CPS を主軸に、下図通り、スマートファクトリー、ITセキュリティ、クラウド・コンピューティング、通信基盤。様な革新的な生産技術、プロセスの研究、開発を強化している。

2025年までに米国、中国を抜いて輸出世界第1位になるという目標が明記されていることに見られるとおり、製造プロセスの標準化をいち早く推し進め、世界中の工場で一番のカギとなる部分をドイツが握るというのが「インダストリー4.0」の真の目的である。

「インダストリー4.0」では、スマートな考える工場の実現を目指しているが、簡単に言えば、

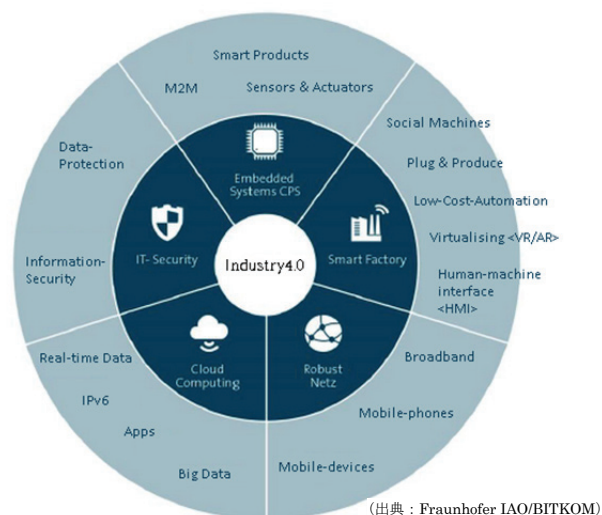
(1) 全ての製品は製造に必要なデータを備え、(2) 製造工程の全ての機械がネットワークにつながり自立的に動作し、(3) 生産の状況に応じて機械、プロセスが適宜最適化されるということである。資源やエネルギーの無駄の少ない工場で、小ロットでも低コストの生産を可能にすることが期待されるのが未来のスマート工場である。

上述のデュアル戦略達成のためには以下の3つの要素が不可欠である。

- ・ 水平方向（サプライチェーン）の統合をベースとする企業の垣根を越えた工場間連携
- ・ 生産システムのデジタル化と一貫したエンジニアリング
- ・ 工場内の垂直方向の統合における柔軟な生産システムの構築

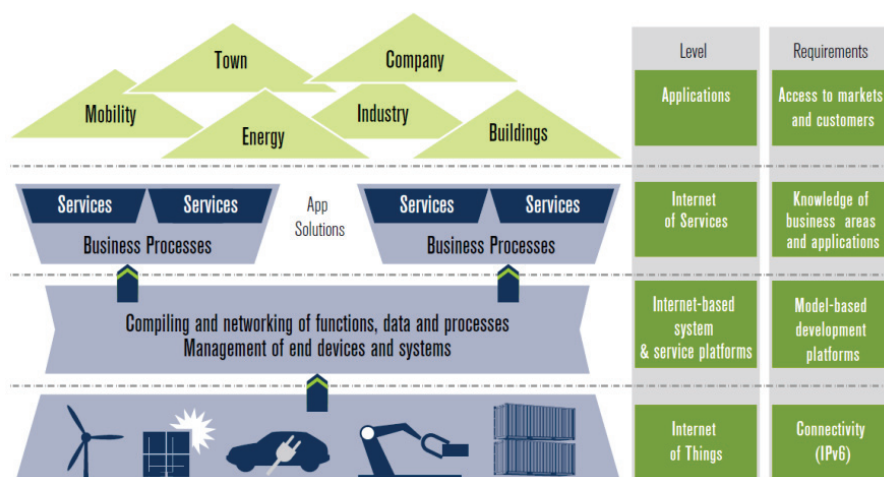
2013年にドイツ電気技術者協会（VDE）が「インダストリー4.0」の標準化ロードマップ（Die deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0）を発表。プラットフォームにおける標準化作業グループの作業を踏まえ、「インダストリー4.0」を実現するにあたって重要な領域、とりわけ、オートメーション技術と IT 技術を中心に標準化についての

図A-6 インダストリー4.0に示された基盤技術





提言を行っている。複数の工場をネットワークで結ぶには技術の標準化が必須で、相互にシームレスな仕様や実用段階の規則を「参照アーキテクチャ」と総称している。このアーキテクチャ・モデルは技術的な中立性を保ち、生産現場におけるあらゆるシステム、サービスに搭載して利用可能とするものである。国際電気標準会議（IEC）では 2014 年 6 月に、「インダストリー4.0」のための戦略グループ（SG8）を設置、標準化の検討を本格化している。



図A-7：インダストリー4.0の生産システムにおけるレベル毎の標準化 参照モデル

（出典：Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie4.0）

インダストリー4.0 プラットフォームによると、生産と物流システムに適したサイバーフィジカルプロダクションシステム（CPPS）の開発のため、機械工学と設備工学の強みを活かし、自動化技術および情報工学の能力と統合することを中期的な目標としている。さらに、センサー・アクチュエータ技術と、バーチャルな情報技術を組み合わせ、モジュール化して考える工場の実現を 2030 年ぐらいまで実現したいとしている。今後は、ネットワークのセキュリティ技術の確立が当面の大きな課題となると見られる。

### （３）イギリス

イギリスは 1990 年には GDP の約 17% を占めていた製造業は、現在は 10% 程度に落ち込んだ。加えて、新たな産業や技術が出現し、競争は激化し、製品やサービスに対する需要も変化してきている。こうした背景を踏まえ、2050 年を見据え英国製造業の発展・回復の為の政策” 製造業の将来（The Future of Manufacturing）” がフォーサイトレポートとして提言された。世界的なトレンドや課題（drivers of change）を調査し、最終的に、将来の不確実性に対してレジリエンスを備えるため、政府、産業界、学术界、その他のグループがそれぞれ起こすべきアクションを決定している。そのポイントは、①従来型の「作って売る」という製造業ではなく、サービス・再生産を重要視（製造を中心とするバリューチェーン全体を考える必要性。図 A-8 を参照）、②より速く、より敏感に顧客にニーズに対応、③新たな市場の機会の顕在化、④持続可能な発展、⑤質の高い労働力へのニーズ増大、の 5 つである。

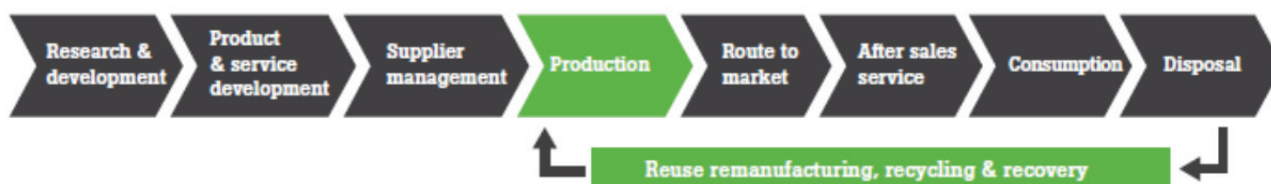


図 A-8：製造業バリューチェーンの単純モデル  
（出典：GoScience ” The Future of Manufacturing”）

特に、「②より早く、より敏感に顧客ニーズに対応」するための方策として、カスタマイズ製品の低コスト生産の実現、技術革新によりこれまで製造不可能であったデザインの表現やバリューチェーンを ICT で繋ぐといった方針が打ち出されており、11 の有望技術（ICT、センサー、先進機能材料、生命技術、持続可能なグリーン技術、ビッグデータ・知識基盤自動化、IoT、先進自律型ロボット、付加製造、クラウド・コンピューティング、モバイルインターネット）が示されている。

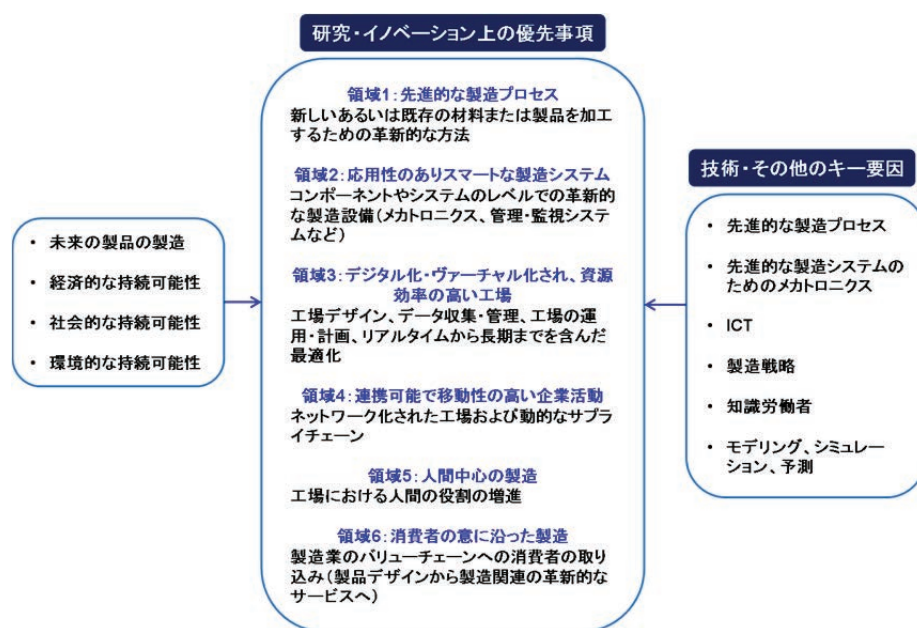
また、技術戦略審議会（TSB）は特定の技術分野において世界レベルの技術・イノベーション拠点となるよう、技術イノベーションのための産学連携の場としてカタパルト・センターの設置を進めているが、その最初の例が、2011 年 10 月に設立された高価値製造業（High Value Manufacturing）である。ここでは、既存の 7 つの製造関連の研究・技術センターを統合し、個々の企業や大学だけでは投資できないような最新の研究設備を整備すること等により、多様な製造業（医薬品・バイオテクノロジー、食物・飲料、ヘルスケア、航空機、自動車、エネルギー、化学、電子等）を幅広く支援し、研究成果の迅速な商業化を目指している。

## (4) EU

EU では、2004 年に Manufuture という製造分野の戦略策定を目的とした産学官連携型の組織が立ち上げられた。Manufuture が 2006 年に行った戦略提言では、新興国との競争、技術ライフサイクルの短期化、環境問題などを前提に、高付加価値の新しい製品・サービスや新しいビジネスモデルの創出、新しい製造工学・科学の創出、世界レベルの製造業創出のための研究・教育インフラの転換、といった課題について産業分野横断的に取り組むべきとしている。

Manufuture で策定された戦略提言を受け、2008 年、「欧州『未来の工場』研究協会（EFFRA：European Factories of Future Research Association）」が設立された。EFFRA は、Manufuture の戦略を洗練させつつ研究開発のロードマップを策定し、それに従った EU 枠組みプログラムのファンディングを行う産学官連携型の組織である。このように、EU では、産学官連携型の組織に戦略策定やファンディングの一部を任せざる仕組みがある。

下図は、EFFRA が 2013 年に提案したロードマップの全体像である。それによると、製造プロセスの改善（領域 1、2）、デジタル技術を用いた工場間の接続（領域 3、4）、製造における資源効率の向上（領域 3）、働く人にとって魅力的な工場の建設（領域 5）、消費者の意見を取り込んだ製造の仕組みの構築（領域 6）といったテーマについて研究を行うべきとされている。経済的に高付加価値な製品・サービスを開発し、労働者の視点から見て高付加価値な労働環境を提供し、資源効率・環境負荷の面で高付加価値な製造プロセスを構築しようとしている。



図A-9：先進製造分野の研究開発ロードマップ

（出典：European Commission (2013), "Factories of the Future 2020: Multi-Annual Roadmap for the Contractual PPP under Horizon 2020")

製造分野の研究開発における EU レベルでの取り組みとは、メンバー国政府や企業だけに任せていては進まない、大規模でリスクの高い研究開発や、メンバー国間の連携といった領域を中心に、補完的に行われるものといえる。Manufuture や EFFRA では産業分野に依存しない広範な研究戦略が策定され、それに基づいたファンディングが行われるとともに、推進の仕組み自体が EU 全体の産業界を巻き込むものとなっている。

## (5) 中国

中国は 1978 年に改革開放路線に踏み出して以降、科学技術は第一の生産力のスローガンのもと、経済特区等を通じ外資系企業からの技術導入を核としたハイテク産業振興策を採る中、急速な経済成長を遂げた。今後は、自国の研究開発成果をイノベーションに繋げる「イノベーション型国家建設」を目指している。中国の科学技術政策の長期的方針を示した国家中長期科学技術発展計画（2006-2020 年）をみると、今世紀半ばに中国が「世界における科学技術強国」となることをめざし、2020 年までに基礎研究から先端分野における応用技術開発に至るまでの重要領域において世界で一定の存在感を示すことに加え、「科学技術国際協力プロジェクトを通じて諸外国の技術を消化・吸収し、中国企業へと技術移転することで、企業のイノベーション能力を強化する」ことをも併せて目指している。2011 年に打ち出された国家方針である第 12 次五か年計画（2011-2015 年）では、新たに「戦略的新興産業」を打ち出し、先端設備製造、新エネルギー、新素材、電気自動車等の 7 分野について、重点的に研究開発成果の産業化を加速させる方針が掲げられた。

表 A-2：第 12 次五か年計画に記された「戦略的新興産業」

| 技術分野     | 内容の詳細                                                                                                                                          |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 省エネ・環境保護 | 省エネ・環境保全の重大モデルプロジェクトの実施。省エネの高効率化、先進的な環境保護と資源循環利用の産業化推進。                                                                                        |
| 次世代情報技術  | 次世代移動通信網、次世代インターネット、デジタル放送のテレビ網の建設。<br>モノのインターネット応用モデルプロジェクト建設。ネットワーク製品産業化プロジェクトの実施。<br>集積回路、フラットパネル、ソフトウェア、情報サービス等の産業拠点建設。                    |
| バイオ      | 医薬、動植物、工業用微生物菌種等の遺伝子資源データベース構築。<br>バイオ薬品、バイオ医学工学製品の研究開発と産業拠点の建設。<br>バイオ育種の研究、開発、試験、実証および優良品種繁殖拠点の建設。バイオ製造プラットフォームの建設。                          |
| 先端設備製造   | 新型国産の幹線・支線航空機、一般航空機、ヘリコプターの産業化プラットフォーム建設。<br>ナビゲーション、リモートセンシング、通信等の衛星を活用した宇宙インフラの骨格を建設。<br>インテリジェント制御システム、高度デジタル制御装置、高速列車および都市軌道交通設備の開発。       |
| 新エネルギー   | 次世代原子力発電設備、大型風力発電ユニットおよび部品、効率的な太陽エネルギー発電・熱利用の新モジュール、バイオマスエネルギー転換利用技術、スマートグリッド設備等の産業拠点の建設。<br>海上風力発電、太陽エネルギー発電、バイオマスエネルギーの大規模応用に係るモデルプロジェクトの実施。 |
| 新素材      | 航空・宇宙、エネルギー資源、交通運輸、重要設備等の領域で喫緊の需要があるカーボンファイバー、半導体材料、高温合金材料、超伝導材料、高性能レアアース材料、ナノ材料等の研究開発と産業化を推進。                                                 |
| 新エネ自動車   | プラグインハイブリッド車、純電気自動車の研究開発および大規模商業化モデルプロジェクトを展開。産業化応用を推進。                                                                                        |

(出典：第 12 次五か年計画)



## （６）韓国

韓国は朝鮮戦争後、政府主導により繊維、造船、製鉄、エレクトロニクス等の分野で積極的に産業を育成し、飛躍的な経済発展を遂げた。産業化初期（1960-70年代）の韓国産業の競争力の源泉は低価格な労働力であり、資本と技術については外国からの技術移転に依存していた。この際、技術移転の主体として財閥が急成長し、輸出および経済成長を主導する役割を担うこととなった。しかし、1990年頃になると人件費面での競争優位性は維持できなくなり、情報通信産業の技術開発への重点化等が模索され、2000年代に入るとサムスン電子、LG 電子等は世界市場においても大きな存在感を発揮するに至った。2008年発足の李明博政権下では、ICT 以外の産業領域も育成すべき、他の全ての法律に優先して実施する「低炭素・グリーン成長基本法」を制定するなど、科学技術・イノベーションに主眼を置いた出口志向の政策が採られるようになった。2013年に発足した現・朴槿恵政権下では、あらゆる科学技術を自国産業の強みである IT 産業と融合させ、新たなイノベーションを生み出す「創造経済」を国家戦略として掲げられている。

韓国では日本と同様、科学技術基本計画が5年おきに策定されているが、現在実施されている第3次科学技術基本計画（2013-2017年）は、事業アイデア→創業→中小企業→中堅企業へと育て上げる支援を企業ステージに即して提供する「トータルソリューション型政策」を導入することで、多様な中堅企業を生み出すことを狙っている。また、これら政策をシームレスにつなげるため、科学技術・ICT・中小企業・知財や研究開発予算編成などの行政府の機能を「未来創造科学省」として一元化することで省庁間の壁を廃した。一方、創造的なアイデアの源としては、アカデミアと一般国民、双方に期待が寄せられている。アカデミアにおいては、基礎研究への投資拡充、研究者が創造性を発揮できる、自由な研究環境づくり等に取り組むばかりでなく、失敗を許す文化づくりをも目指しており、これに伴う評価制度改革も行うことを予定している。一般国民に対しては、「創造経済タウン」と称したポータルサイトを通じて事業アイデアを持つ国民に対し、産官学の多分野の専門家が事業化支援に係るアドバイスを行う取組みに着手するなど、国民を総動員しイノベーションを起こそうとする試みが実施されている。創造経済を抱える人材として、以下が例示されている。

表A-3 創造経済を支える新たな専門家・職業群（基本計画における提案）

| 分 野        | 専門家および職業群（案）                                               |
|------------|------------------------------------------------------------|
| ◦ ロボット     | ロボット開発者、ロボットプログラマー、ロボットデザイナー、産業用ロボット、システム開発者、ロボットファンド投資専門家 |
| ◦ 情報セキュリティ | サイジャック（cyjacks：ハッカーを捕える職業）、サイバー警察                          |
| ◦ ビッグデータ   | DB ソリューション・サービス・コンサルティング関連データ科学者                           |
| ◦ 認知脳科学    | 人工知能開発者、頭脳開発訓練、頭脳映像専門家、脳分析・脳疾患専門家、脳健康管理士                   |
| ◦ 老人医療     | 老化防止ヘルスケア専門家、シルバーセンター、シルバー用品開発者                            |
| ◦ 医工学      | 医療装備・人工臓器・遠隔医療技術装備開発者、遺伝子検査分析専門家、疾病マップ専門家                  |
| ◦ 文化コンテンツ  | 文化融合コンテンツ創作者、仮想文化観光ツアーリスト、先端公演キュレーター                       |

（出典：韓国第3次科学技術基本計画）

また、国主導の研究開発において柔軟なプロジェクト推進ができるよう、国内外の技術動向・環境変化・法制度の分析結果に基づき研究目標・内容を修正する「Moving Target 運営」を行うことが基本計画に明記されている。

以上のような創造経済政策を国家戦略として掲げる中、ものづくり分野としては基本計画の下位計画である「第6次産業革新五ヵ年計画（2014-2018年）」において、ウェアラブル・スマートデバイス、自律走行車等のシステム産業や、輸送機器用軽量材料、チタン素材等の部品・素材分野が未来産業のエンジンと定められ、研究開発の重点化がなされている。

## （７）台湾

1970年頃から台湾では、産業振興策として海外技術を導入し、自国産業に移転させる政策が志向されるようになった。その中核機関として活躍しているのが1973年に經濟部傘下に設立された研究所、工業技術研究院（ITRI）である。ITRIでは、1974年に政府の政策「ICパイロットプラント設置計画」に基づき、米国企業から $7.0\mu\text{m}$  CMOS製造技術の導入を行い、その後ICモデル工場を設立、民生電子製品用のICを香港等に輸出するに至る。このモデル工場建設で得たノウハウや人材を活用して、台湾初のICメーカーであるUMCが1980年に設立された。また、ITRIは1984年に超LSI実験工場の建設に着手し、この成果に基づき1987年に世界初のファウンドリ専業という事業形態を採用したTSMCを設立した。ちなみに、TSMCの董事長は、当時のITRIの院長であり、米・テキサスインスツルメンツ社の副社長を務めた経験を有する張忠謀（モリス・チャン）氏が兼務した。半導体製造委託事業であるファウンドリ大手のTSMCは現在においても世界シェア1位、営業利益率30%を誇る企業であり、特化したニッチの領域において世界市場を席巻する水平分業型のビジネスモデルに成功している。

現在においても、ITRIは政府技術開発プロジェクトの中心的役割を担っており、經濟部のプロジェクト資金の75%がITRIにおいて実施されている。一方、近年においては民間企業の研究開発投資も伸びてきている。そこで、民間の活力もいかしつつ、産業を多様化する、あるいは強い分野をより強くする、との2つの方針で産業政策として現在実施されているのが「六大新興産業」と「四大新興智慧型産業」である。

「六大新興産業」は、台湾の産業構造がエレクトロニクス分野に集中している現状を鑑み、より多元的な産業発展を目指すものであり、バイオテクノロジー、観光業、グリーンエネルギー、医療介護、ハイエンド型農業、文化・創造産業を振興するものである。総じて生活密着型、あるいは課題解決型の分野を対象に、萌芽段階にある領域を支援するものである。

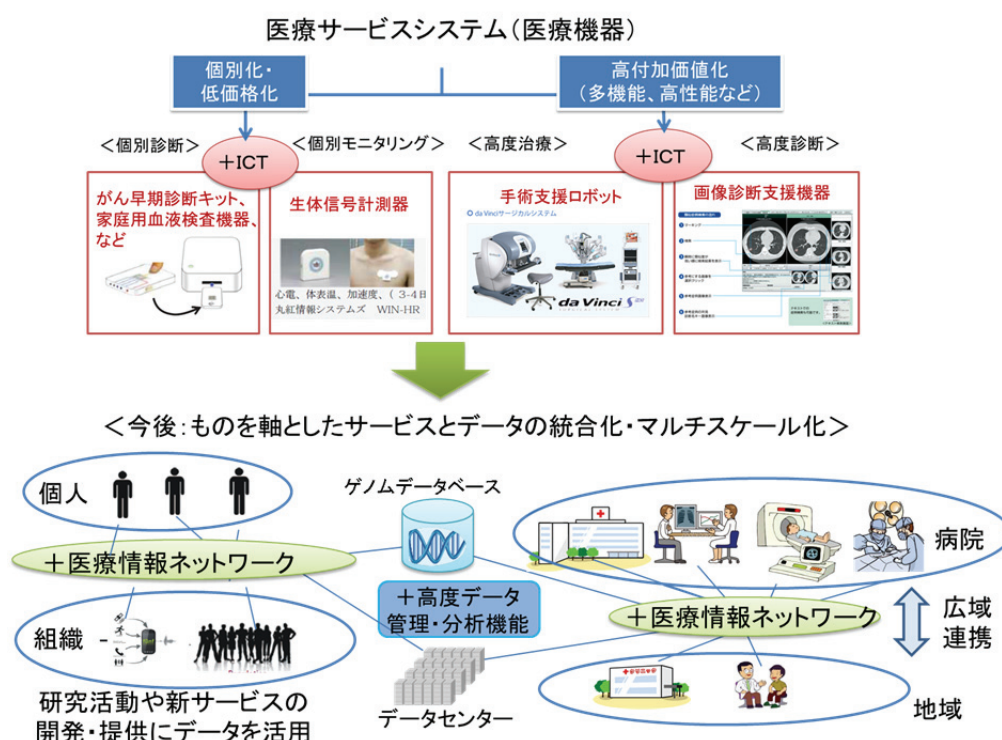
「四大新興智慧型産業」は、台湾のエレクトロニクス産業の競争力を活用し、これを更に高めることを目的としており、クラウド・コンピューティング、電気自動車、発明・特許の産業化、スマートグリーン建築が対象となっている。

## 付録6. 戦略検討に向けたケーススタディ

「第5章 提言」で提示した、「戦略1：サービス・システムとものづくりの統合化」と、「戦略2：グローバル競争力ある技術の市場化加速」の推進策の検討にあたり実施したケーススタディの詳細情報を以下に示す。

### (1) 戦略1「サービス・システムとものづくりの統合化」の推進事例

～医療サービス・システム（事例：医療機器）<sup>18</sup>



### 《現状の課題》

現在の医療機器開発の流れは、大きく個別化・低価格化と、高付加価値化の二極に分類される。個別化・低価格化の例としてはがん早期診断キット等のような個別診断を目的とした比較的安価で、誰もが手軽に利用し、診断を受けることが可能なシステム。高付加価値化の例としては、高度治療を目的とした手術支援ロボット、高度診断を目的とした画像診断支援機器といった高度な診断・治療が可能なシステムである。

日本では、政府が取り上げているがん、心疾患や脳疾患の早期高精度診断・低侵襲治療や患者のQOL（生活の質）向上に資する医療機器といった一部の科学技術の支援（経済産業省では、「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業」、ものづくり中小企業の医療機器分野参入を促進する「課題解決型医療機器等開発事業（H26年からは

<sup>18</sup> JST/CRDS 戦略プロポーザル「ライフサイエンス・臨床医学分野におけるデータベースの統合的活用戦略」

医工連携事業化推進事業)」、介護現場で使えるロボットの開発企業を支援する「ロボット介護機器開発・導入促進事業」を進行中または要求中である)も十分ではないのが現状であり、医療機器分野全体の底上げができていないと言え難い。特に大学を中心とするアカデミアの研究開発支援は遅れている。

このような状況で、PETや光学系のセンサー、分光診断技術、標識薬剤等は放射線医学総合研究所や理化学研究所、企業では浜松ホトニクス社などで世界トップクラスの基礎研究が行われている。CT、内視鏡や質量分析装置などは、国内企業が強みを持つが、マーケットの規模、あるいはシェアが大きいために、資本力に劣る国内メーカーは大きな開発投資を伴う新商品開発には慎重であり、事業機会を逃してしまう場合が多々ある。

米国では、世界最大の医療マーケットが存在することもあり、NIH 主導による戦略的な予算配分などで大学等での研究開発は活発で、大学を中心に医用工学の研究開発が積極的に行われている。また、最先端のニーズを生み出す米国医療機関、医師、検査技師らとの連携が得られるという恵まれた環境において、手術支援ロボット、画像誘導治療用ソフトウェア、埋め込み型治療機器など新たな治療技術開発とその前臨床評価のための研究が活発に行われている。欧州では、世界市場向けの製品開発を行うことで、米国メーカーに先行する場合も多い。第三者認証機関より CE マークを取得すれば欧州市場で自由に製品を流通させることが可能であり、規制も米国や日本に比較して厳しくないため、国際的な製品流通が行いやすい。

このように各国で医療機器の開発は行なわれているものの、何れのシステムも一つの病院、あるいは家庭の中で利用される一つの装置に過ぎなければ、それ以上の付加価値は生まれない。単体の装置としての性能や使い勝手を上げることは無論重要ではあるが、現状では患者、病院、企業、行政の有機的な連携が十分でないがために、システム的な視点で、周辺サービスや、病院サービス、そして地域サービス全体を含むニーズにはまだ十分に対応できていないことが課題である。

日本では一般消費者向けの医療機器の普及率も高いことから、上手く家庭の医療機器(血圧計、体重計、体温計、あるいはデバイス)で取得した計測結果や日常の生活情報を収集、集約するシステムを構築し、更には地域の医療専門機関が持つ、高度な検査機器の測定結果と連携する事で、適切な診断や個人への様々な健康サービスに活用できると考えられる。

さらには、集約した情報やサービスの利用履歴のデータなどを、各種の製品やシステムの設計・開発にフィードバックすることで、ものづくりプロセスの付加価値を上げ、製品の競争力を強化させる出来る仕組みが求められる。

### 《今後医療サービス・システムのあるべき姿とは》

医療サービス・システムのあるべき姿として個人、個々の機器、そして病院・介護施設まで、地域全体をつなぐ情報ネットワークの構築が不可欠であり、その実現のためには、制度と技術とが一体となった基盤整備や関連技術開発の取組みが必要である。



我が国では、少子高齢化に伴う医療介護費の増大や、生産年齢人口の減少による労働力、生産性の低下が社会問題となっている。また都市型高齢社会において、病院診療から在宅診療（更にはイン・プレイス型ケア）へと医療ニーズのシフトが進んでいる。

こうした背景の中、個人の日常データから病院での検査データまでを幅広く記録、集約し、疾患の発症予防から、治療、介護に至るまで全ての健康医療ニーズに対応できる健康・医療サービス・システムを構築し、さらには地域の医療専門機関が持つ、高度な検査機器の測定結果と連携することで、適切な診断や個人への様々な健康サービスに活用可能である。

具体的に推進すべき研究開発テーマを以下に示す。

#### （１）情報ネットワークの基盤整備（データ規格の標準化、個人情報保護とデータ活用のための法整備）

日本では、ライフサイエンス系、臨床系、ヒトゲノム系等の様々なデータベースを統合する為のネットワーク統合基盤整備が十分ではない。これまでのデータベースプロジェクトの成果（ライフサイエンス系DB：日本DNAデータバンク（DDBJ）、バイオサイエンスデータベースセンター（NBDC）、医療系データベース：ナショナルレセプト情報データベース（NRDB）、特定検診・保健指導情報データベース、医薬品等安全対策のための医療情報データベース、ヒトゲノムデータベース：ヒトゲノムバリデーションデータベース、H-Invitational Database、東北メディカル・メガバンク機構等）を生かした、発展的かつ実践的なデータベース間ネットワークが必要であり、基礎科学情報、臨床系情報さらには個人ゲノム情報をつないだ情報ネットワークの構築が求められる。また、データ規格の標準化推進、個人情報保護とデータ活用とを両立させる法整備、個人や社会の意識改革に向けた制度設計も必要となる。

#### （２）情報収集技術、情報処理・解析技術（セキュリティ管理技術、データ構造化技術、データ解析技術）

日本では超高齢化社会がさらに進むにもかかわらず（2025年60歳以上高齢者割合が約30%）、日常で利用可能な医療機器開発を推進するプロジェクトが連携していない（さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点（COI STREAM）等）。

個人の生活情報や医療情報をイノベーションに結びつけるには、個人情報の収集、収集された個人の多様な情報を集約し、得られた膨大な非構造化データを連結し、さらに新しい切り口で構造化した上で、高速に解析することで、有用な情報へと変換する必要がある。そのためには、最新の理論を駆使したデータ収集技術、データ構造化技術や解析・統合技術の研究開発の推進が求められる。

#### （３）医療情報流通技術

新しい医療情報流通技術は従来の医療システムや産業構造を変える可能性があるもの

の、府省間の横断的な連携や機関設置、予算措置が十分でない（ライフコース・データに基づく健康医療情報プラットフォームの構築と新しいパブリックヘルスの実現（COI STREAM）、未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業（経済産業省）等）

集約・分析された医療情報は、個人への様々な健康サービス、医療機関の治療計画、医療機器メーカーや製薬会社などの製品計画・設計・改良などに有効に活用するために、適切な精度と開示範囲で流通させる必要がある。

ここで扱われる情報は診療情報等の非常に機微な個人情報や組織外秘情報等を含むことから、セキュリティ管理技術についても開発を推進する必要がある。

また、医療に関する個人情報を保護する技術だけでなく、プライバシーを守る為の法的な制度も必須である。

#### （４）医療情報を活用した機器の設計・製造

医学会と産業界（エレクトロニクス、通信産業、IT、自動車など）の連携するシステムが国内には少なく、共同研究を展開する枠組みも十分ではない（医工連携事業化推進事業（経済産業省）等）。

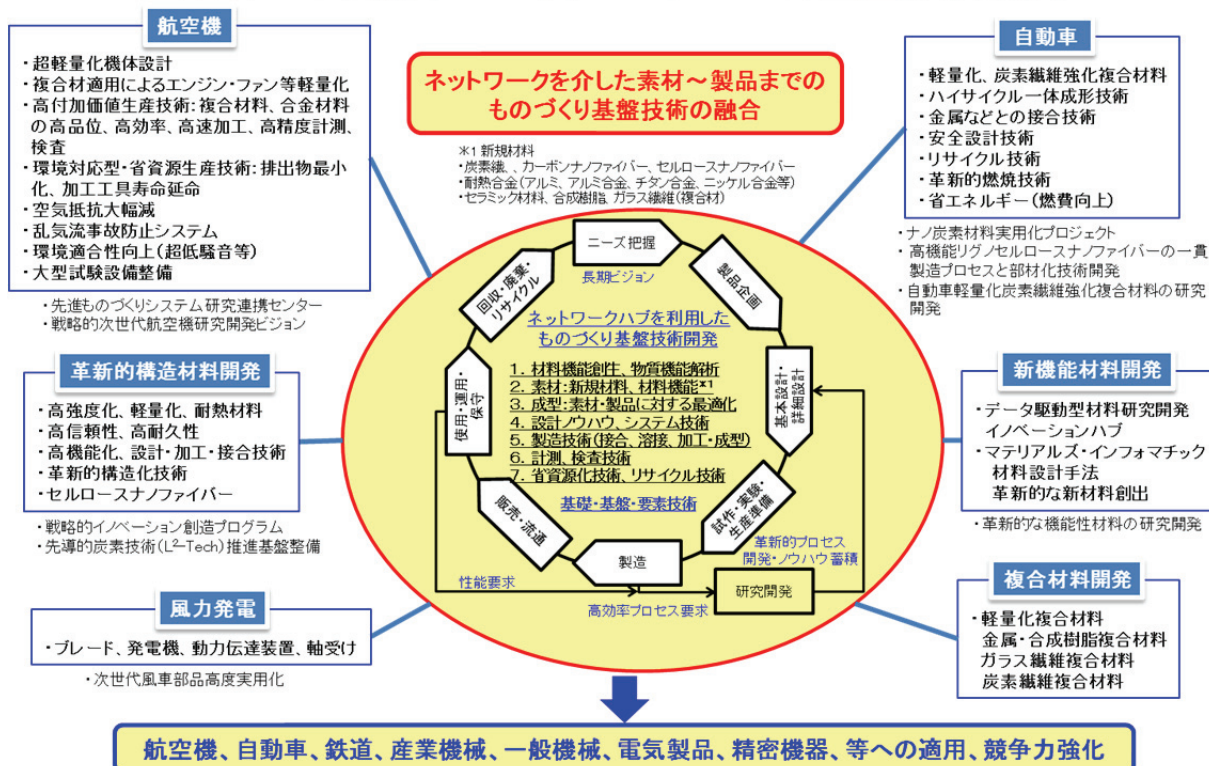
医師と理工系研究者・技術者が医療機器を積極的に開発する為の環境の整備（ニーズと課題の抽出、共同研究、試作開発等）を行なうことが必要である。医療情報をフィードバックすることで、個々の医療機器の機能や性能の向上のみならず、医療サービス・システムの中で、例えば個人の発症予防、治療・介護計画などにいかに寄与できるかという観点での企画・設計が可能となる。

これらの技術開発や制度の改革を推進し、さらにこれまで以上に各府省、企業、個人を含む地域との連携を行なうことにより、ものづくりのイノベーションを誘発する医療情報エコシステムが構築できる。このシステムの中で、新規産業やビジネスモデルの創出を加速するとともに、実データの収集・集約・分析・流通を通じて、サービス提供や製品開発の実績を蓄積することで、我が国の医療サービス・プロダクト・システム全体の国際競争力の向上が期待される。

## (2) 戦略2「グローバル競争力のある技術の市場化加速」の推進事例

～材料から製品まで一貫したものづくり研究拠点<sup>19</sup>

## 素材から製品まで一貫したものづくり基盤技術開発



## 《現状の課題》

メーカーシェア 70%を有する炭素繊維を代表として、我が国の素材産業は国際競争力を有している。また、世界シェア 23%を占める自動車産業は我が国のものづくりを牽引しており、一方、世界シェアの 4%を占める航空機産業を成長産業とするため積極的に取り組んでいくビジョンが示されている。

自動車分野では、大幅な軽量化により、燃費の改善や運動性能向上が見込まれ炭素繊維の研究開発が進んでいる。ドイツ BMW 社では電気自動車「i3」の骨格として熱硬化性 CFRP 選択肢し、原料、素材、成型、部品、車体組立てを一貫して行うことにより、部品点数の低減や、組立て時間の短縮を達成している。一方、航空機でも耐熱材料の材料開発、部品の製造・加工技術、エンジンの高効率化ならびにトータルシステムとして高効率化、リサイクルを含めた省資源化、環境負荷低減のための取り組みがなされている。しかし、これらの開発はエネルギー機器や産業機器への展開も視野に入れているものに、自動車や航空機を製品対象とした開発となっている。原料の選択、素材、成型・加工、製品組立てまでのものづくりのバリューチェーンの視点から、各々の段階で共通となる基盤技術があり、これらの共通基盤技術を整理し、我が国のものづくりへ反映し

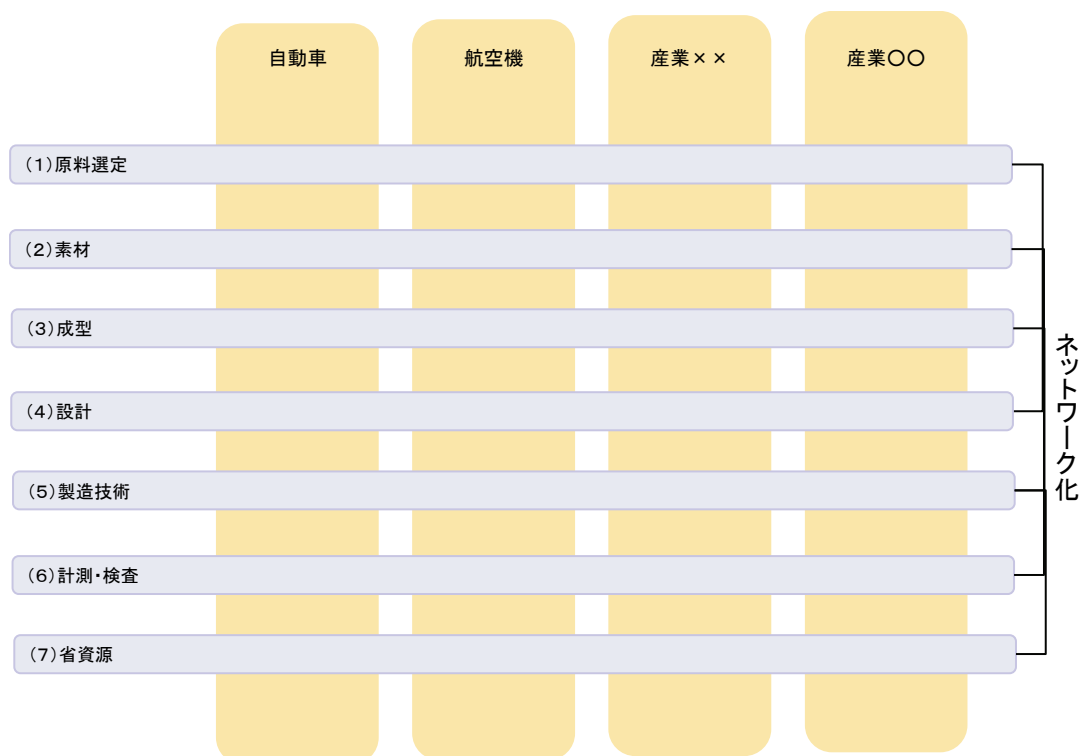
<sup>19</sup>戦略的次世代航空機研究開発ビジョン、次世代航空科学技術タスクフォース 文科省、2014 年 6 月

産業競争力を維持、強化していく取組が必要である。

### 《あるべき姿とは》

様々な取組の成果をネットワークハブにより集約、整理し、ものづくりのバリューチェーン全体を通した基礎基盤技術を開発する拠点を設置する。製品に要求される仕様から、材料から製品まで一貫したものづくりを視野に入れた基礎研究を行とともに、多くの製品に関する情報をネットワークを介して収集、解析し基礎基盤技術の研究開発に反映する。具体的には、以下のプロセスがあげられ、費用対効果を十分に検討しながら、一貫した基礎研究を行う。

- (1) 原料選定 : 材料機能創生、物質機能解析（マイクロ界面解析）
- (2) 素材 : 新規材料、材料機能
- (3) 成型 : 素材・製品に対する最適化
- (4) 設計 : 設計ノウハウ、システム技術
- (5) 製造技術 : 成型、接合、溶接、加工、製造プロセスの革新
- (6) 計測、検査 : 高精度計測、検査技術
- (7) 省資源 : リサイクル技術



## 参考文献

### 第2章

- ・池田信夫「イノベーションとは何か」東洋経済新報社、2011年.
- ・エリック・シュミット「第五の権力」ダイヤモンド社、2014年
- ・小川紘一「オープン&クローズ戦略：日本企業再興の条件」翔泳社、2014年.
- ・株式会社富士キメラ総研「我が国企業の国際競争ポジションの定量的調査報告書」2014年
- ・経済産業省「ものづくり白書 2014」2014年.
- ・経済産業省「通商白書 2014」2014年.
- ・経済産業省「ものづくり基盤技術基本計画」2000年.
- ・経済産業省「国家産業技術戦略」2000年  
「日本再興戦略」改訂 2014：未来への挑戦」2014年
- ・経済産業省「産業構造審議会情報経済分科会 中間とりまとめ」2014年.
- ・富山和彦「なぜローカル経済から日本は蘇るのか」PHP研究所、2014年
- ・内閣府「科学技術イノベーション総合戦略 2014：未来創造に向けたイノベーションの架け橋」、2014年.
- ・内閣府「第3期科学技術基本計画（平成18～22年度）」2006年.
- ・中山一郎「「プロパテント」と「アンチコモنز」：特許とイノベーションに関する研究が示唆する「プロパテント」の意義・効果・課題」RIETI Discussion Paper Series 02-J-019. 経済産業研究所、2002年
- ・中山茂・後藤邦夫・吉岡斉編集『[通史]日本の科学技術 第5巻[国際期]』学陽社、1995年
- ・藤本隆宏「日本のもの造り哲学」日本経済新聞社、2004年
- ・平成11年3月19日法律第二号「ものづくり基盤技術振興基本法」
- ・元橋一之「日はまた高く産業競争力の再生」日本経済新聞社、2014年
- ・西村吉雄「電子立国は、なぜ凋落したか」日経BP社、2014年.
- ・湯之上隆「日本型モノづくりの敗北：冷戦・半導体・テレビ」文藝春秋、2013年.
- ・JST/CRDS ワークショップ報告書「日中若手トップレベル研究者を取り巻く研究環境」（平成26年8月）
- ・JST/CRDS 戦略プロポーザル「チームコラボレーションの時代ー産学共創イノベーションの深化に向けて」（平成26年3月）

### 第3章

- ・クリス・アンダーソン「メイカーズ：21世紀の産業革命が始まる」NHK 出版、2012年
- ・ビジャイ・コビンドラジャン「リバースイノベーション：新興国の名もない企業が世界



市場を支配するとき」ダイヤモンド社、2012 年

- ・ F. Jovane, H.Yoshikawa, L. Alting, C.R.Boer, E.Westkamper, D.Williams, M. Tseng, G.Seliger, A.M.Paci, “The Incoming Global Technological and Industrial Revolution towards Competitive Sustainable Manufacturing” , CIRP Annuals - Manufacturing Technology, Vol. 57, Issue 2, 641-659, 2008
- ・ GoScience “Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK” , Foresight, 2013
- ・ IMS International “Proceedings of the IMS Vision 2020” 清文閣、2000
- ・ IMS International ”Global Solutions to Challenges in Manufacturing” 清文閣、2007
- ・ JST/CRDS 「主要国の研究開発戦略」 2013 年
- ・ JST/CRDS 「米国：先進製造技術の研究開発動向」 2012 年 6 月 26 日
- ・ JST/CRDS 「科学技術・イノベーション動向報告～EU 編～」 2013 年度
- ・ JST/CRDS 「科学技術・イノベーション動向報告～韓国編～」 2013 年度
- ・ JST/CRDS 「競争力のある小国の科学技術動向」 2013 年度
- ・ National Research Council, “Visionary Manufacturing Challenges for 2020” , National Academies Press, 1998
- ・ National Research Council, “Rising to the Challenge: U.S. Innovation Policy for the Global Economy” , The National Academies Press, 2012
- ・ National Research Council, “21st Century Manufacturing: The Role of the Manufacturing Extension Partnership” , The National Academies Press, 2013
- ・ Paul P. Maglio, Cheryl A. Kieliszewski, James C. Spohrer 編、「サービスサイエンスハンドブック」東京電機大学出版局、2014 年
- ・ PCAST, “Report to the President: Accelerating U.S. Advanced Manufacturing” , October 2014
- ・ Peter C. Evans and Marco Annunziata 「インダストリアル・インターネット-人と機械の境界が融合する-」 2011 年 11 月 26 日
- ・ Plattform Industrie4.0, “Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie4.0”
- ・ United Nations, National Accounts Main Aggregates Database, Dec. 2013

#### 第4章

- ・ 小川紘一「オープン&クローズ戦略：日本企業再興の条件」翔泳社、2014 年
- ・ 日経エレクトロニクス「Project Ara で始まる、スマホメーカーの終焉」、2014 年 7 月 7 日
- ・ CRDS シンポジウム富山和彦氏講演（2014 年 11 月 7 日開催）  
[http://www.jst.go.jp/crds/sympo/20141107/pdf/20141107\\_crds02.pdf](http://www.jst.go.jp/crds/sympo/20141107/pdf/20141107_crds02.pdf)
- ・ JST/CRDS 「研究開発の俯瞰報告書（ナノテクノロジー・材料分野）」 2014 年度版（年度内公開予定）

- ・ JST/CRDS「研究開発の俯瞰報告書（ライフサイエンス分野）」2014 年度版（年度内公開予定）
- ・ JST/CRDS、ナノテクノロジー・材料分野「俯瞰ワークショップ報告書 ものづくり基盤技術分科会」（平成 26 年 5 月 9 日開催）
- ・ JST/CRDS、情報科学技術分野「俯瞰ワークショップ報告書 次世代ものづくり基盤技術」（平成 26 年 8 月 14 日開催）（年内公開予定）
- ・ Richard M. Locke, Rachel L. Wellhausen, “Production in the Innovation Economy”, The MIT Press, 2014

## 第 5 章

- ・ 環境省、先導的炭素技術（L2-Tech）推進基盤整備、2014 年 9 月
- ・ 岸輝雄、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）研究開発計画案中間発表戦略的イノベーション創造プログラム「革新的構造材料」
- ・ 経済産業省「高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発」平成 27 年度 概算要求資料、2016 年 9 月
- ・ 佐々木直哉、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）研究開発計画案中間発表戦略的イノベーション創造プログラム「革新的設計・生産技術」
- ・ 先進ものづくりシステム研究連携センターHP、<https://www.cmi.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- ・ 内閣府「構造材料研究拠点（オールジャパンのハブ拠点）の構築」、  
[http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/wg\\_nano/3kai/siryo2-3-4.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/wg_nano/3kai/siryo2-3-4.pdf)
- ・ 物質・材料研究機構「グリーンイノベーションに関する取り組み」2014 年 10 月
- ・ 文部科学省「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」、2014 年 8 月
- ・ 日経ものづくり「CFRP が大衆車へ搭載へ 鉄並みに安くなる炭素繊維」2014 年 10 月
- ・ JST/CRDS 戦略プロポーザル「ライフサイエンス・臨床医学分野におけるデータベースの統合的活用戦略」（平成 25 年 3 月）
- ・ JST/CRDS 戦略提言「地球規模の問題解決に向けたグローバル・イノベーション・エコシステムの構築-環境・エネルギー・食糧・水問題-」（平成 20 年 3 月）
- ・ NEDO「カーボンナノファイバー複合材料プロジェクト」事後評価報告書、平成 19 年 3 月
- ・ NEDO、低炭素社会を実現するナノ炭素材料実用化プロジェクト、2016 年 3 月
- ・ NEDO「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発」（2003 年度～2007 年度 5 年間）プロジェクトの概要、2008 年 11 月

## ■報告書作成メンバー■

|       |        |                           |
|-------|--------|---------------------------|
| 有本 建男 | 副センター長 | (総括責任者)                   |
| 岡山 純子 | フェロー   | (リーダー・海外動向ユニット)           |
| 高島 洋典 | フェロー   | (情報科学技術ユニット)              |
| 宮下 哲  | フェロー   | (情報科学技術ユニット)              |
| 馬場 寿夫 | フェロー   | (ナノテクノロジー・材料ユニット)         |
| 島津 博基 | フェロー   | (ナノテクノロジー・材料ユニット)         |
| 緒方 寛  | フェロー   | (環境・エネルギーユニット)            |
| 豊内 順一 | 特任フェロー | (システム科学ユニット)              |
| 飛田 浩之 | フェロー   | (ライフサイエンス・臨床医学ユニット)       |
| 福田佳也乃 | フェロー   | (イノベーションユニット)             |
| 己斐 裕一 | フェロー   | (政策ユニット) ※2014 年 10 月迄    |
| 北場 林  | フェロー   | (海外動向ユニット) ※2014 年 9 月迄   |
| 富川 弓子 | フェロー   | (システム科学ユニット) ※2014 年 9 月～ |
| 日紫喜 豊 | 調査役    | (企画運営室) ※2014 年 9 月～      |
| 中山 智弘 | 参事役    | (経営企画部)                   |
| 古川 雅士 | 研究監    | (経営企画部)                   |
| 浅野 佳那 | 副調査役   | (経営企画部)                   |

※お問い合わせ等は下記までお願いします。

CRDS-FY2014-XR-04

### 調査報告書

## 次世代ものづくり ～基盤技術とプラットフォームの統合化戦略～

< 中間とりまとめ >

平成 26 年 12 月 December 2014

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター  
次世代ものづくり基盤技術に関する横断グループ  
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 (代表)  
ファックス 03-5214-7385  
<http://www.jst.go.jp/crds>  
©2014 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](mailto:crds@jst.go.jp). Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

