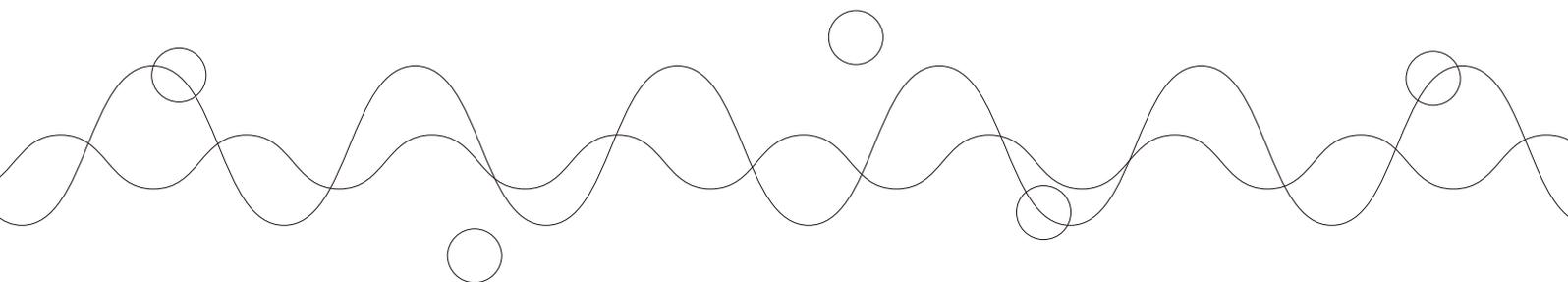


調査報告書

# 環境・エネルギー分野における非連続的な イノベーションを支える工学研究基盤強化



## エグゼクティブサマリー

我が国は、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」で目指す社会として「脱炭素社会」を掲げ、その実現に向けて「革新的環境イノベーション戦略」を策定した。同戦略では我が国が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的・非連続的なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現、これを世界に広めていくことを目指すとしている。

脱炭素社会の実現には環境・エネルギー機器や輸送機器、それらを構成する部品の高効率化、知能化、電動化における非連続的なイノベーションが必要であり、その基となる地道な連続的成長の積み重ねや、飛躍的進展をもたらす非連続的な発見・発明が必要である。これらを促す風土の醸成には、上記機器・部品の開発・設計・製造・保守を支える「工学基盤」、例えば、流体、伝熱、燃焼、振動、材料、構造・強度、化学、電気などの分野に広がる基盤科学技術の強化が不可欠である。しかしながらこうした工学基盤を取り巻く環境が現在どのような状況にあるかは十分に把握されていない。そこで国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センターでは、非連続的なイノベーション創出を支える工学基盤の状況を把握するための調査を、日本および他の主要国を対象として、「ファンディング」、「人材」、「機器・設備」、「データ基盤・標準化」の4つの観点から実施した。

主要国では、例えば英国電気機器メーカーのダイソン社は、流体力学に基づく技術を用いたデュアルサイクロンコンセプトの掃除機開発において、連続的・漸進的なイノベーションの長期的な積み重ねの上で非連続的なイノベーションを起こしている。同社のエンジニアは、数学、流体力学、空気力学、音響工学等と創造的思考を組み合わせるソリューションを見出し、優れた製品を迅速に構築し、イノベーションへと繋げた。また英国航空機エンジンメーカー大手のロールスロイス社は、主力の3軸式航空機エンジン「トレント」系列の後継となる2軸式「ウルトラファン(UltraFan)」の開発で、最新の冷却技術や空力技術、革新的な耐熱材料を用いることにより、従来技術では困難であった耐熱性能や空力性能を実現した。ウルトラファンの中核にあるのは、空気力学、熱流体力学、材料工学などである。また同社はインペリアル・カレッジ・ロンドンなどの大学と連携して開発を進めている。インペリアル・カレッジ・ロンドンには National Wind Tunnel Facility の一つとして 2014 年に英国工学・物理科学研究会議 (EPSRC) からの助成により設置された風洞試験設備があるが、こうした大学への設備投資を通じて英国政府がロールスロイス社などの自国企業の工学基盤を支えているという側面もある。

国内では、例えば工学基盤としての一部機器・設備の共有化とその利用は広がっているものの、共有設備の運用上の様々な課題が出てきていること、また科学研究費採択課題の中から基盤的な研究を目的とする課題の採択が減少している可能性があること等が示唆された。

こうした他国の事例調査および国内調査を比較・分析した結果を、本調査では、我が国の現状の課題、ならびにその克服に向けた今後の方向性としてとりまとめた(図 E.1)。今後の方向性としては、産学官が連携して構築する工学基盤マネジメントシステムの構築が必要であると考えられた。またこの工学基盤マネジメントシステムは、全国規模の拠点の形成およびそれらの拠点をつなぐネットワークの構築が中核になると考えられた(図 E.2)。欧州ではトライボロジーはリヨン、燃焼はアーヘンというように周知の拠点が存在する。これらが中核となってネットワーク化されることが工学基盤の強みの源泉となっていると考えられる。我が国においてもこうした体制構築を戦略的に進めてゆくための政策的議論・検討が今後必要である。

工学基盤に基づく非連続的イノベーションによる社会課題解決・社会的価値創出

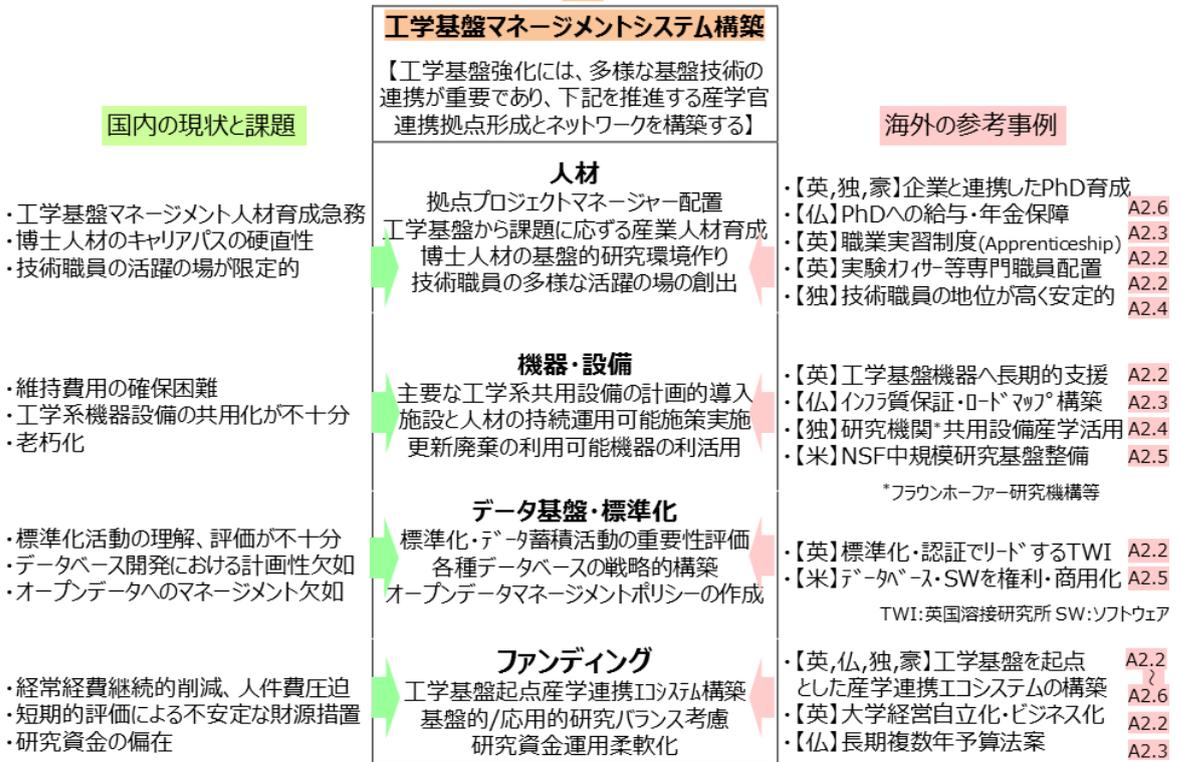


図 E.1 工学基盤マネジメントシステムの構築の必要性

(図中の海外の参考事例の A2.2 等は本稿での関連目次を示す)

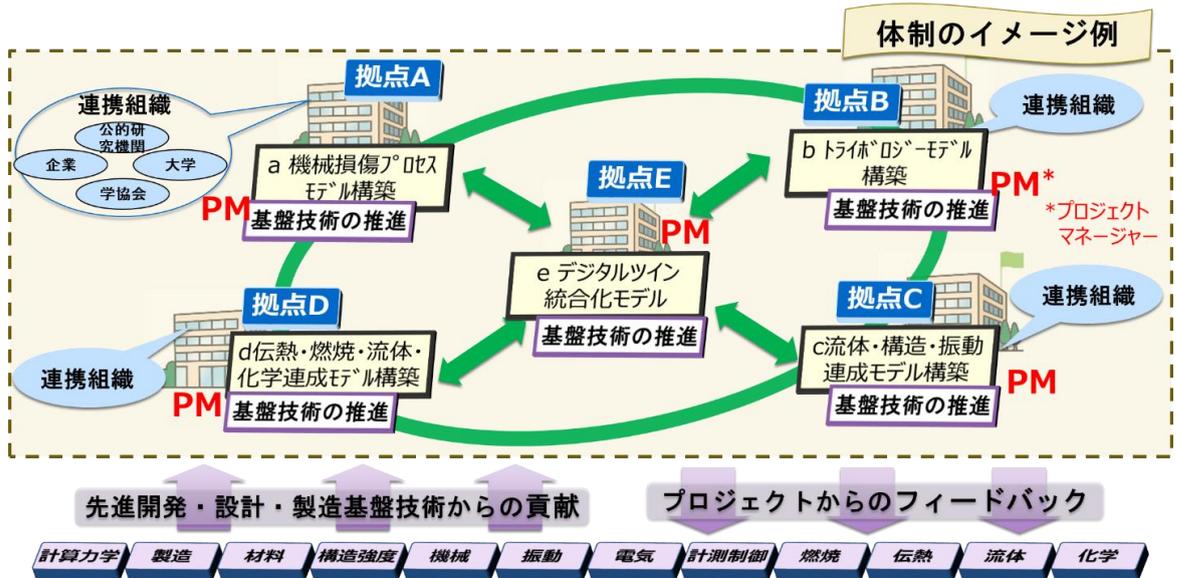


図 E.2 我が国の工学基盤の体制イメージ例 (工学基盤拠点形成とネットワーク構築)

## 目次

## エグゼクティブサマリー

1. はじめに	1
1. 1 背景と目的	1
1. 2 調査概要	4
2. 非連続的なイノベーションのための工学基盤に関する国内外比較	5
2. 1 人材	5
2. 2 機器・設備	7
2. 3 データ基盤・標準化	9
2. 4 ファンディング	9
3. 非連続的なイノベーション醸成に向けて	14
3. 1 国の研究開発基盤への取り組み事例から見える工学基盤の課題	14
3. 2 国の研究開発基盤への取り組み事例から見える工学基盤の課題	15
3. 3 科学研究費採択動向から見える工学基盤の課題	18
3. 4 今後取り組むべき研究開発課題例	19
4. まとめ	21
5. 謝辞	25
<b>Appendix 1 国内の工学基盤動向</b>	<b>26</b>
A 1. 1 概要	26
A 1. 2 ファンディング	28
A 1. 3 人材	30
A 1. 4 機器・設備	45
A 1. 5 データ基盤・標準化	53
<b>Appendix 2 海外の工学基盤強化に関する動向</b>	<b>64</b>
A 2. 1 データ基盤・標準化	64
A 2. 2 イギリス	66
A 2. 3 フランス	73
A 2. 4 ドイツ	82
A 2. 5 米国	88
A 2. 6 豪州	96

A 2. 7	中国	108
A 2. 8	ロシア	112
<b>Appendix 3</b>	<b>調査参加有識者</b>	<b>115</b>
<b>Appendix 4</b>	<b>国内・海外調査訪問先</b>	<b>116</b>

## 1. はじめに

### 1. 1 背景と目的

#### 【背景】

我が国は、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」(2019年6月)<sup>1</sup>で、最終到達点として「脱炭素社会」を掲げ、今世紀後半のできるだけ早期にそれを野心的に実現することを目指し、2050年までに80%のGHGの排出削減の実現に向け、大胆に取り組むことを宣言した。2020年1月には、我が国が強みを有するエネルギー・環境分野において革新的・非連続的なイノベーションを創出し、社会実装可能なコストを実現、これを世界に広めていくための、「革新的環境イノベーション戦略」を策定した<sup>2</sup>。同戦略では、脱炭素社会実現には、環境・エネルギー機器や輸送機器、それらを構成する部品の高効率化、知能化、電動化における非連続的なイノベーションが必要としている。

非連続的な成長は、必ずしも偶然には起こらず、その根幹にあるものは、「気づき」や「発見」である。この気づきや発見の頻度を高めていくことが、非連続的な成長の促進につながる。気づきや発見の頻度を高めるには、基盤となる日々の地道な連続的成長の積み重ね、複数の連続的成長の組み合わせが有力な方法である。基盤の連続的成長により非連続的成長の準備は整えられ、実際に非連続的な成長を生み出すことができる。連続及び非連続的成長を促す風土の醸成には、機器・部品の開発・設計・製造・保守を支える「工学基盤」、例えば、流体、伝熱、燃焼、振動、材料、構造・強度、機械、化学、電気などの分野に広がる基盤科学技術の強化が不可欠である。同様に、非連続的・破壊的なイノベーションには、直近の経済・社会の様々な課題の解決のための研究開発や、未来の産業創造と社会変革に向けたハイリスク・ハイインパクトな研究開発だけでなく、基盤となる日々の地道な連続的成長を積み重ねたり、基盤となる複数のものを組み合わせたりする研究開発も同時に進めることが重要である。特に、非連続的なイノベーションによる製品・サービスづくりには、工学基盤とそれを応用した工学的課題の解決、社会的価値創造の重要性が増している。

例えば、英国電気機器メーカーのダイソン社は、工学基盤となる流体力学技術を用いたデュアルサイクロンコンセプトの掃除機開発において、連続的・漸進的なイノベーションの積み重ねで非連続的なイノベーションを起こしている(図1.1)。従来型の紙パック式掃除機では、紙パックが満杯でなくても吸引力が落ちてきて交換しなければならないことに気付き、「フィルターを定期的に交換するか、あるいは、水洗浄することにより、紙パックが不要になる方式」として、デュアルサイクロン方式を発想した。その後、発見と実験のプロセスを経て、製品が市場に受け入れられるようになるまで、例えば79,000G以上の遠心力を生み出すサイクロン同心円状配置技術や毎分最大125,000回転を実現する最小・最軽量・最速・最強なデジタルモーター技術など、製品に対して何百もの小さな連続的イノベーションを行った。ダイソン社は、高品質で破壊的な掃除機を商品化するまでに15年を要し、5,127のプロトタイプを作製している。長期間の研究開発およびプロトタイプングは、ダイソン社の革新の根幹である。エンジニアは、数学、工学基盤(流

<sup>1</sup> 環境省、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の閣議決定について、<https://www.env.go.jp/press/106869.html> (2020年2月20日アクセス)

<sup>2</sup> 統合イノベーション戦略推進会議、革新的環境イノベーション戦略、<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.pdf> (2020年2月20日アクセス)

体力学、空気力学、音響工学等)、創造的思考によってソリューションを見つけ、優れた製品をより迅速に構築し、イノベーションを推進している。

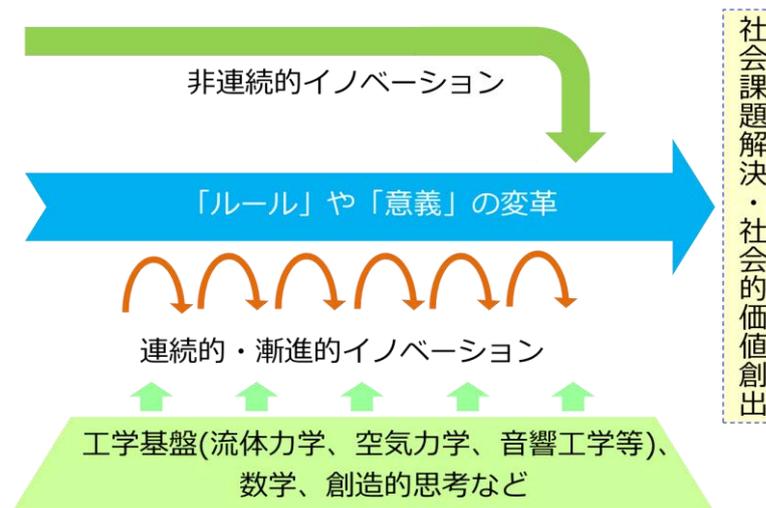


図 1.1 イノベーション The Dyson Way

(The Leadership Network の資料 <https://theleadershipnetwork.com/article/innovation-dyson-reimagining-appliances> などを参考に CRDS で作成)

ダイソン社のイノベーションエコシステムについては、政府や大学との連携が挙げられる。ダイソン社は元来秘密主義だったが、単独開発に限界を感じ、ケンブリッジ大学と共同研究を行い成功した。その後、ケンブリッジ大学やインペリアル・カレッジ・ロンドンなどの大学と、オープンイノベーションにより様々な共同研究や工学基盤の強化を進めている。英国のファンディング機関 EPSRC (工学・物理研究会議) とは、2012 年から戦略的パートナーシップ契約(Strategic Partnership agreement)を締結<sup>3</sup>、EPSRC も、英国の強みを展開させるために、意図を持ってダイソン社にファンディングしている。その他、EPSRC からは音響工学のプロジェクトや EPSRC Centre for Doctoral Training などで研究資金を得ている。

近年では、優秀なエンジニアの発掘や育成を目的に、寄付により、ケンブリッジ大学にダイソンセンターを設けている。ダイソンセンターは、学部生が入学初日から好きなものづくりができる場所で、基本的な工作機械から 3D プリンターやレーザー切断機等まで整備され、専門の技術職員が常駐している。また、次世代のエンジニアとプロジェクトリーダーを養成するため、インペリアル・カレッジ・ロンドンにはダイソン・スクール・オブ・デザイン・エンジニアリングを開校している。さらに、2020 年までに英国のエンジニアを現在の倍に増員することを掲げ、2017 年 9 月に「Dyson Institute of Engineering and Technology」を英国ウィルトシャー州のダイソン社の研究開発施設内に開校した<sup>4</sup>。学生は、同校の教育プログラムで大学同等の工学を学ぶ上、ダイソン社の研究開発キャンパスで、ダイソン社のエンジニアと一緒に現実の研究開発課題にも従事できる。ダイソン社は 5 年間で、同校に 1,500 万ポンド (約 27 億円) を投資することで、英国が抱える深刻なエンジニア不足の問題解決に取り組む。

<sup>3</sup> EPSRC, EPSRC Pioneer, 13, 2014 年 11 月, <https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/pioneer13nov2014/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>4</sup> Dyson, プレスリリース, 「ダイソン インスティテュート オブ テクノロジーが 2017 年に開校」, 2016 年 11 月 7 日, [https://www.dyson.co.jp/community/pressrelease/20161107\\_InstituteOfTechnology\\_release.aspx](https://www.dyson.co.jp/community/pressrelease/20161107_InstituteOfTechnology_release.aspx) (2020 年 1 月 31 日アクセス)

次に、英国航空機エンジンメーカー大手のロールスロイス社は、主力の3軸式航空機エンジン「トレント」系列の後継となる2軸式「ウルトラファン(UltraFan)」の開発で、工学基盤となる最新冷却技術や空力技術、革新的耐熱材料技術により、従来技術で困難であった耐熱性能や空力性能の非連続的なイノベーションを達成した。エンジン全体の圧力比を70以上に高め、現用の“トレント700”エンジンに比べ、熱効率、推進効率が向上、燃費では25%以上もの飛躍的な改善を見込む。ファンブレードには炭素繊維複合材料を用い、ファンと中圧コンプレッサーとの間に伝達能力10万馬力のパワー・ギアボックスを新しく入れ、ファンの高効率低速回転と、タービンの高効率高速回転を実現する。ロールスロイス社は、ウルトラファンの開発にエアバス社の協力を得て2020年代半ばの実用化を目指している。今後、ロールスロイス社保有の飛行試験機、ボーイング747-200型機に搭載し飛行試験を行う運びとなっている。現在、ロールスロイス社は、次世代の非連続的なイノベーションである電動航空機の開発も並行して進めている。

ロールスロイス社のウルトラファンのイノベーションにおける工学基盤は、空気力学技術、熱流体力学技術、材料工学技術などで、インペリアル・カレッジ・ロンドンなどの大学と連携して、開発を進めている。インペリアル・カレッジ・ロンドンの風洞試験設備は、National Wind Tunnel FacilityとしてEPSRCの提案により2014年に設置されており<sup>5</sup>、英国政府がロールスロイス社などの企業の工学基盤を支えてきている。EPSRCは、大学側にファンディングをすることを通じて企業とのパートナーシップを築き、人材育成と共に大学・企業とで共通するような工学基盤を支える研究を行っている。企業側も成果のメリットを感じ、大学へ研究投資している。英国の企業、大学で非連続的なイノベーションが起こるような長期的な仕組みをEPSRC側が作っていると考えられる。

上述の事例のように、非連続的なイノベーションを醸成していくには、長期的視点に立った工学基盤の構築が重要な役割を担っている。一方、我が国では、労働生産性は主要先進7カ国の中で最下位に位置付けられ<sup>6</sup>、各種ランキングにおける急速な地位の低下に見られるように国際競争力の劣化が懸念される。科学技術に因るものも含めた非連続的なイノベーションが先進国の成長の鍵を握るため、その能力を飛躍的に高め、生産性を大幅に改善していくことは我が国の中長期的な課題となっている。

## 【目的】

以上を踏まえ、本報告では非連続的なイノベーションのための工学基盤について、ファンディング、人材、機器・設備、データ基盤・標準化の4つの観点から日本と主要国の現状を比較、調査分析し、日本の課題を明確化するとともに、非連続的なイノベーション醸成のための我が国の工学研究基盤構築のための示唆を得ることを目的とした。なお、工学基盤は広範囲にわたるが、本報告では環境・エネルギー分野の機械工学を中心とした基盤科学技術(図1.2)とそれを支える研究費・研究人材・研究環境を含めて「工学基盤」と定義した。

<sup>5</sup> The National Wind Tunnel Facility (NWTF) ホームページ, <http://nwtf.ac.uk/html/index.html> (2019年12月20日アクセス)

<sup>6</sup> 公益財団法人日本生産性本部, 労働生産性の国際比較 2019, [https://www.jpc-net.jp/research/list/pdf/comparison\\_2019.pdf](https://www.jpc-net.jp/research/list/pdf/comparison_2019.pdf) (2020年3月16日アクセス)

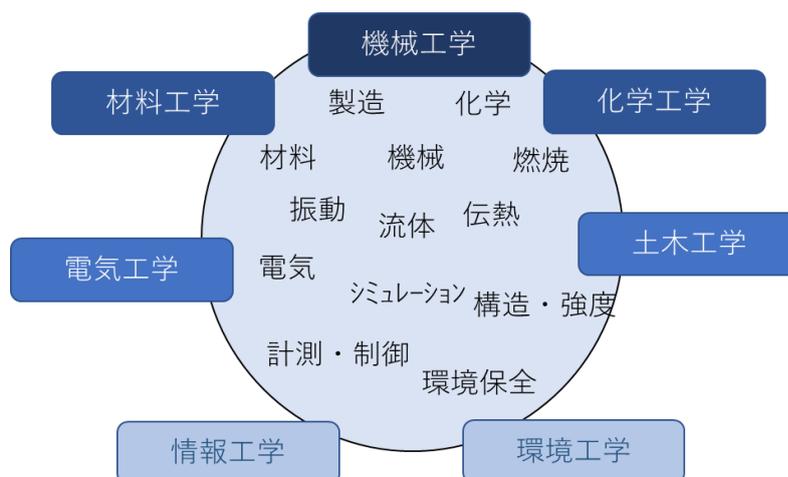


図 1.2 対象とした「工学基盤」の範囲

## 1. 2 調査概要

- 調査期間 2019年7月～2020年3月
- 調査体制 CRDSと日本機械学会が連携し、以下の体制にて調査を実施  
(機械学会からの調査参加有識者についてはAppendix 3を参照)
  - ・全体とりまとめ
  - ・人材グループ
  - ・機器・設備グループ
  - ・データ基盤・標準化グループ
  - ・海外調査グループ(欧州担当、豪州担当、米国担当)
- 調査方法 文献や公開データベースに基づく調査分析、ならびにインタビューや実地調査に基づく情報収集を行った。海外調査では欧州(英国、フランス、ドイツ)、米国、豪州を訪問した。その他の国については文献情報などを基に調査を実施した。  
(国内・海外調査訪問先についてはAppendix 4を参照)

## 2. 非連続的なイノベーションのための工学基盤に関する国内外比較

ここでは、日本および海外調査で訪問した主要5ヶ国の状況を、人材、機器・設備、データ基盤・標準化、ファンディングの4つの側面から比較する。

### 2.1 人材

表2.1にて、各国における研究人材の確保や教育方針に対する考え方と仕組みについてまとめた。

各国とも優秀な研究者の確保が教育・研究だけでなく、国際競争力の維持に欠かせないと位置付けている。例えば、豪州ではSTEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）教育を重要視するポリシーペーパーがChief Scientistから発行され、初中等教育も含めた教育をその起点として捉えている。そして、教育の質を高めることが、ひいては高度な博士人材の育成に繋がることが示されている。人材育成においては長期的な取り組みも必要であり、例えば、英国のEPSRCにおいては、5年先までを見越した継続的かつ戦略的な博士人材育成のための助成が行われている。さらに、ドイツや豪州における産学連携エコシステムの中でのPh.D.育成の仕組み、フランスにおける博士号取得者の企業採用促進等、産業界に必要な人材が産学双方にメリットがある形で育てられている。また、英国の職業実習制度や、英国や豪州の学協会における技術者資格制度等で、技術者とその雇用主双方に有益な形を作りながら、技術者のレベル強化や地位向上に取り組んでいる。

一方、日本では、現在、内閣府にて「研究力強化・若手研究者支援 総合パッケージ」が策定され、若手の研究環境の抜本的強化や研究人材の多様なキャリアパスの実現に向けて検討が進んでいる状況にある。しかしながら、企業の博士課程修了者の採用は二極化の傾向にあることが示唆されている<sup>7</sup>。本調査における企業へのヒアリングでも、各企業が博士人材のキャリアパスを少しずつ広げる取り組みは行われているものの、終身雇用制度や既存の採用・評価の枠組みといった制限があり、多様なキャリアパスの実現までは現時点では至っていなかった。企業が求める人材と、大学院の教育課程で輩出される人材との間に乖離が存在すると考えられ、産学が一体となり社会問題を工学系の基礎的原理から解ける人材を育てると共に、博士学生側も研究のみならず広い視野を持って社会で活躍していくことが期待されている。

また、大学側では技術職員の組織化やキャリアパスの整備など、各大学における工夫が見られたが、継続した雇用・技術の伝承には課題が残されている。技術職員の継続的な雇用が難しくなることで、学生の実習・実験に影響が及ぶ可能性も指摘されている。訪問した海外の大学では、技術職員が十分に配置され、実習・実験等をも担う体制が整えられていた。学生にとって教科書だけの学びだけでなく、装置を実際に見る・動かす等の経験は必須であるが、そのためにも技術職員の継続的な雇用は不可欠であり、さらには技術職員のスキルの高度化、そして多様な活躍の場の創出が求められている。

<sup>7</sup> 文部科学省科学技術・学術政策研究所，民間企業における博士の採用と活用－製造業の研究開発部門を中心とするインタビューからの示唆－，2014年12月，<https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-DP111-FullJ.pdf>（2020年1月31日アクセス）

表 2.1 各国における研究人材の確保や教育方針に対する考え方と仕組み

英国	<p>EPSRC では高等教育機関等での教育・研究を支える博士人材育成のための助成を 5 年先までを見越して継続的かつ戦略的に行っている。</p> <p><b>職業実習制度 (Apprenticeship)</b>  職業訓練政策の一貫として、2005 年に開始。訓練生は、雇用先において職業訓練を受けることで、雇用主が必要とする技能を修得しながら、同時に給与を受けとることができるため (最低賃金・有給休暇保障)、訓練生・雇用主双方に有益な制度となっている。</p> <p><b>大学における専門職員の配置</b>  Experimental Officer (実験室の機器管理から企業の技術相談などを対応する職員) や Operational Staff (経営や人事、助成金申請補助など、教育・研究以外の業務を専門的に担当する職員) を配置・活用し、Academic の研究環境を整えることで、高い研究力の維持を図っている。なお、教員・技術職員とは別のキャリアパス形成を目指している。</p> <p><b>技術者資格</b>  英国機械学会 (IMechE) が認定を行う CEng 等の技術者資格や TWI における溶接工の教育訓練・資格認定の取組によって、技術者の地位やモチベーションの向上につながっている。</p>
フランス	<p>2005 年の「研究協約」以降、「若手助教の教育負担軽減」、「大学と企業との関係強化による博士号取得者の企業による採用促進」等、研究キャリアの魅力および柔軟性向上のための施策の導入・推進により研究者数は一貫した増加傾向にある。特に Ph.D.に関する待遇は手厚く、年金掛け金も含めて大学側で負担されている。</p>
ドイツ	<p>将来に向けて優秀な科学者や専門家の確保は将来の国際競争力維持に向けて大きな関心事項となっており、さまざまな若手人材への助成を積極的に実施している。2000 年ごろから、博士号取得後の人材育成・助成政策が広く議論され、ポストドク研究者が安定したポジションに就くことを重要課題として取り組んできた。</p>
豪州	<p><b>技術者資格と工学カリキュラム認定制度</b>  エンジニアリング協会である Engineering Australia では工学カリキュラム認定制度とエンジニア登録制度が連携的に制度化されている。特に工学カリキュラム認定制度は、大学学部だけでなく、College (単科大学) や TAFE (Technical and Further Education College; 職業訓練学校) の工学系も対象としており、これらも含めてある一定水準での工学教育の質が担保されている。</p> <p><b>STEM 教育の重要性</b>  STEM 教育が豪州の経済のキーとして重要視されている。ひとつには STEM 教育修了者が様々な産業に広く就職し活躍している点である。もうひとつには、豪州が英語圏であることを強みとし、工学教育の質の向上や安定した教育環境の提供によって、海外からの留学生を増加させる点である。留学生は研究人材のリソースとしても活用され、さらには優秀な研究者であれば移住も可能であり、移民政策と一体となった教育政策が実施されている。</p>

	<p><b>Industry Ph.D.</b></p> <p>ARCによる Industrial Transformation Research Program センター型や DIIS による Cooperative Research Centres において産学が連携して Ph.D.育成に取り組んでいる。</p>
--	---

## 2. 2 機器・設備

表 2.2 にて、各国における研究施設・設備の整備に関する仕組みとその位置付けについてまとめた。

EU では ESFRI ロードマップ<sup>8</sup>が策定されている。2006 年、2010 年、2016 年、2018 年と以前のロードマップをアップデートする形で発行されており、2021 年版が最新である。ESFRI は EU 全体の研究インフラを 10 年以上に渡って俯瞰し、オープンサイエンスのコンセプトの下で、EU 加盟国と関連国の優秀な研究者が研究インフラの所在地に関わらず、アクセスできることを目指している。特に今回のアップデートでは、研究インフラのクラスター化とクラスター間のリンクに注力している。また EU 加盟各国は ESFRI ロードマップに合わせる形で、研究インフラのロードマップや施設・設備計画を策定している。ESFRI の対象とはなっていない研究インフラについても、フランスの EquipEX 等、各国がそれぞれ整備を進めている。これらの施策を通じた豊かな研究環境の創成が、世界中からの優秀な研究者を惹きつけるドライバーのひとつとなっている。

EU のように国と国が陸続きになっていない豪州でも、研究設備に対する考え方は EU と同じ方向である。例えば、類似の海外施設へのアクセス等も含む形でのサポートが可能であり、研究施設・設備の施策がその国に閉じられた形ではない。

日本においては、「研究力強化・若手研究者支援総合パッケージ」の中でも研究インフラの高度化・効率化・共用化が明記されている。研究インフラが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ると位置付けられているものの、日本国内に閉じた形である。また、施設の持続的な運用にはリソースの持続的な運用計画が必要であるが、費用的・人材的にも現状を維持する程度に留まっている。

<sup>8</sup> ESFRI, Roadmap2021, <https://www.esfri.eu/esfri-roadmap-2021> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

表 2.2 研究施設・設備の整備とその位置付け

英国	<p><b><u>National Research Facilities (EPSRC)</u></b> 世界最先端の研究施設・設備への支援を継続的に実施し、豊かな研究環境の創成が、優秀な研究者を世界中から惹きつけると位置付けしている。EPSRC は、価値があると判断した中型～大型施設の設置あるいは維持に対して戦略的な投資・支援を行うことで、例えば流体力学といった特定の研究分野における英国の国際的競争力を保っている。なお、大型施設については STFC (科学技術施設研究会議) によって整備されている。</p> <p><b><u>Equipment Roadmaps (EPSRC)</u></b> 機器に関して、個別プロジェクトでの単一利用から国内施設共同利用までの「利用規模」という指標の横軸と、基盤的機器から最先端機器という「機器の性質」という指標の縦軸の 2 軸マップで分類し、ロードマップを作成している。</p>
フランス	<p><b><u>研究インフラロードマップ</u></b> CNRS 等による管理と更新によりインフラの質保証がなされている。EU の研究インフラロードマップである ESFRI と合わせて改定されている。</p> <p><b><u>高度な研究設備 EquipEX</u></b> 「将来への投資計画」のもとに公募が行われたプログラムのうちのひとつであり、国の研究インフラロードマップや国際的な枠組みなどの対象外でありかつ、各公的研究機関の通常予算では負担できない規模の研究設備を対象とする。工学基盤となる研究設備も含まれる。高度な研究を推進するために必要となる中規模研究設備が対象となり、採択された研究設備は研究プラットフォーム化され、科学コミュニティーや産業界に対して開かれている。</p>
ドイツ	<p><b><u>研究基盤政策 ロードマップ</u></b> (MBF, 2011 年) さまざまな基盤プロジェクトの科学的な方向性、戦略的な科学技術政策の優先順位、ならびに社会的課題解決の可能性、実用化に向けた経済性の判断などの評価を目的としている。</p>
EU	<p><b><u>ESFRI ロードマップ 2021</u></b> 研究インフラのクラスター化、クラスター間のリンク、オープンサイエンスのコンセプトによる欧州全体での研究インフラのロードマップ。優秀な研究者が国境を越えて研究インフラにアクセスできるとしている。</p>
米国	<p><b><u>NSF ビッグアイデア「中規模研究インフラ」</u></b> 大規模研究機器・設備建設 (MREFC、予算規模：7 千万米ドル) と主要研究計装プログラム (MRI、予算規模：10～400 万米ドル) の間をつなぐ、600 万～2 千万米ドル規模の研究インフラを整備するというプロジェクトであり、工学関連も対象となっている。</p>
豪州	<p><b><u>Linkage Infrastructure, Equipment and Facilities (ARC)</u></b> 国内および国際的な研究施設における研究機器・設備を整備することで、優れた基礎研究や応用研究および研究トレーニングをサポートする。本プログラムに申請可能な組織が、他の組織・パートナー機関と、国内および国際的な研究施設における研究機器・設備の整備と使用を通じて、共同研究を発展させることを奨励する。</p>

## 2.3 データ基盤・標準化

今回の海外調査において、データ基盤・標準化に関する取り組みについてヒアリングが出来た英国と米国について表 2.3 にてまとめた。海外調査対象国以外の個別事例に関しては、A1.5 データ基盤・標準化の章に記載した。

一方、日本においては、データベース開発における計画性やオープンデータへのマネージメントが欠如しており、標準化活動への理解や評価が不十分であることが課題である。(A1.5 参照)

表 2.3 データ基盤・標準化に関する英国と米国の取り組み

英国	英国規格協会 (BSI: British Standards Institution) にて、幅広い業種・分野 (自動車、航空宇宙、安全・衛生、食品・飲料、建設等) におけるマネージメントシステムや医療機器の認証・審査、規格策定や研修、コンサルなどのサービスを展開している。また、溶接に特化した研究・技術組織である The Welding Institute (TWI) による標準化・認証への取り組みがある。
米国	国立研究所において基礎研究からツール化、世界に供給、やがて権利化し商用、という流れが自然と出来ており、またアメリカ国立標準技術研究所 (NIST) による標準化の促進が行われている。

## 2.4 ファunding

まず、表 2.4 にて各国における総研究開発費の対 GDP 費と総額、表 2.5 にてイノベーション戦略と産業政策、表 2.6 にて工学系の主な推進プログラム、拠点についてまとめた。

表 2.4 総研究開発費の対 GDP 費と総額、研究者 1 人当たり研究費<sup>9</sup>

	日本	英国	フランス	ドイツ	米国	豪州
対 GDP 費	3.14%	1.69%	2.25%	2.93%	2.74%	2.20%
総研究開発費 (億ドル)	1,686	472	622	1,182	5,111	220
研究者 1 人当たり研究費 (千ドル)	249.3	162.9	215.5	281.7	372.7	288.5

\* 豪州のみ 2013 年データ、それ以外は 2016 年データ

<sup>9</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略 (2019 年)」(CRDS-FY2018-FR-05) (2019 年 3 月)

表 2.5 イノベーション戦略と産業政策

英国	ビジネス・エネルギー・産業戦略省(EIS)「産業戦略：将来に適応する英国の建設」(2017年11月)では、2030年までに英国を世界最大のイノベーション国家へすることの長期構想を示した。「産業戦略」の中で、4つのグランドチャレンジ(AIとデータ、クリーン成長、モビリティの未来、高齢化社会)を設定し、産業戦略チャレンジ基金(ISCF)に7.25億£を追加投資している。
フランス	国家研究戦略「SNR France Europe 2020」(2015年3月)において10の社会的課題と5のテーマ別計画に基づく研究の方向性が示された。10の社会的課題の中に「産業の復興」が掲げられている。また、2017年末に「フランス製造業界の大きな目標」という製造業に関する方針が提示されており、政策課題の解決の焦点の一つとして車載用バッテリーへの注力が示されている。
ドイツ	メルケル政権の科学技術イノベーション政策指針をまとめた「ハイテク戦略(High-tech Strategy)」(2006年)から第4期として更新された「ハイテク戦略2025」(2018年9月, Industrie 4.0, 連邦教育研究省)がある。①持続性、エネルギー、環境保護、②経済4.0/労働4.0、③健康と介護、④輸送、⑤安全、⑥都市と地方、の6つを最優先課題として位置付けている。Industrie4.0プラットフォーム <sup>10</sup> を設置し、機械・電気・情報の各業界3団体が協力して執務する体制が取られた <sup>11</sup> 。現在は、運営主体が産業団体から政府へ変更され、連邦教育研究省(BMBF)と連邦経済エネルギー省(BMWi)による共同運営となっている。
EU	2014年～2020年「Horizon 2020」がフレームワークプログラムとして設置され、上位政策である Europe 2020 のフラグシップ・イニシアチブのうち、イノベーションユニオンを推進し、研究成果をイノベーション・経済成長・雇用につなげることを目的としている。なお、Horizon 2020 の後継として、2021年～2027年の7年間を対象とした「Horizon Europe」がフレームワークプログラムとして設置される。①オープンサイエンス、②グローバルチャレンジ・産業競争力、③オープンイノベーションを3本柱とした基本構造となっている。
米国	「米国イノベーション・競争力法」(2017年1月)では、基礎研究やSTEM教育を継続的に支援し、技術移転を促進してイノベーションを活性化させ、米国の競争優位性を確保する姿勢が示されている。なお、トランプ政権下では、科学技術イノベーション政策方針として、包括的・体系的に政策目標や計画を管理したような一貫した枠組みはないが、大統領予算教書において、研究開発に係る優先事項が示されている。産業政策としては、オバマ政権時に大統領イニシアチブ「イノベーション・競争力法先進製造パートナーシップ(AMP)」を立ち上げた。AMPを構成する具体的な官民パートナーシップ事業として「全米製造イノベーションネットワーク(NNMI、通称 Manufacturing USA)」を提案し、省庁横断的な取り組みが実施されている。トランプ政権では、製造業再生にさらなる策を講じ、安全で強い米国を実現するという意図が濃く現れている。

<sup>10</sup> <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Home/home.html> (2020年2月20日アクセス)

<sup>11</sup> [http://www.jmf.or.jp/content/files/houkokusho/27nendo/27jigyo\\_08s.pdf](http://www.jmf.or.jp/content/files/houkokusho/27nendo/27jigyo_08s.pdf) (2020年2月20日アクセス)

豪州	①教育、②産業、③政府、④研究開発を大きな4つの軸とした「Australia 2030」が産業イノベーション科学省 (DIIS) から示されている。特に研究開発では研究の移行・商業化の強化が明記されている。また、産業イノベーション科学省 (DIIS) の「Industry Growth Centres」では、①先進製造、②サイバーセキュリティ、③食料・農業ビジネス、④医療技術・医薬品、⑤採鉱機器・技術・サービス、⑥石油・ガス・エネルギー資源の6つを企業成長戦略優先分野として設定し、戦略的シンクタンクとして各優先分野でセンターが設立された。
----	--

表 2.6 工学系の主な推進プログラム、拠点

英国	UKRI および EPSRC は、研究プロジェクトに対する支援のほか、大学との連携協力の下、世界を牽引するトップクラス研究拠点の開発に戦略的な投資を行っている。2015 年にはデータ解析・応用拠点としてアランチューリング研究所が、2017-18 年には先端材料開発拠点としてヘンリー・ロイス研究所が設立されている。また政府は、イノベーション創出のために産学連携強化を重視しており、複数の戦略的プログラムを推進している。2016 年に発足した産業戦略チャレンジ基金 (ISCF) は、産学連携により技術的・社会的課題の解決を目的とするプログラムであり、Innovate UK が主体となり推進されている。いずれも産業戦略の4つのグランドチャレンジ関連する課題であり、第1次、2次までに17億ポンド以上が投じられており、2019年より第3次プロジェクトが進められている。
フランス	製造業再生政策を掲げ、イノベーションをベースにしたハイテク産業、知識集約型産業構造への転換を図る産業政策に基づき、2018年には総額100億ユーロのイノベーション基金が創設された。自動走行、電池（バッテリー）、ナノテク、廃棄物リサイクルなどを中心に非連続的なイノベーション技術開発に向けた研究プロジェクトに研究資金が供給されている。また、近年はイニシアティブエクセレンス (IDEX) 等による国の積極的投資により研究力を増強しつつある状況にある。高等教育機関は混成研究室 (UMR) と呼ばれる、国立研究機関や一部企業と共同で運営される研究室を設置することが一般的であり、UMR を通じて国立研究機関と大学・グランゼコールの人員が共同で研究が推進している。
ドイツ	ハイテク戦略は省庁横断型の戦略であり、ファンディングから研究開発システムに至るまで、幅広い施策や戦略が網羅されている。これは、公的資金をより効率的に利用することを目指したもので、知識の創出や普及によって、雇用や経済成長を促進することを目的としている。第四期「ハイテク戦略2025」では、先の3期分の基本戦略が概ね成功とされていることから大きな方向転換はなく、「知識から実用」をもたらすイノベーション重視の姿勢は変わらない。国内外ならびに産官学のステークホルダー共通の横串的な「ミッション」を定義して政策を実施する。なお、国内の地域間格差をイノベーション創出促進で是正するという課題が新たに追加されている。
豪州	ARC における Linkage Program の一つである Industrial Transformation Research Program (ITRP) 等、DIIS における Cooperative Research Centres (CRC)

2. 非連続的なイノベーションのための工学基盤に関する国内外比較

	や <b>Industry Growth Centres Initiative</b> 等によって、産学連携を強化。ARC は大学を通じた研究プロジェクト、DIIS は産業側主導によるコンソーシアム形成で進めている。
--	--

これらを通じて、各国におけるイノベーションエコシステムにおける工学の位置づけについて以下のようにまとめる。

英国においては、BEIS 傘下組織の UKRI の中に工学・物理科学研究会議(EPSC)があり、工学系の研究支援・人材育成を行っている。EPSC の Delivery Plan 2019<sup>12</sup>では、①工学・物理科学のランドスケープ、②工学・物理科学による新しい分野展開と才能ある研究者の支援、③経済的インパクトと社会繁栄の3つを掲げている。ポートフォリオと優先事項のマネジメント、最先端の研究インフラの整備、平等性・多様性・包摂性を通じた人材育成・研究環境の創成を通じて、工学・物理科学研究の底上げを行っている。豊かな研究環境の創成は優秀な研究者を世界中から惹きつけ、工学・物理科学研究が推進される。さらに「エクセレンス・ストラテジー」(旧：エクセレントイニシアチブプログラム)が採用されている。これは、トップレベルの研究強化、大学組織の発展に加え、ドイツの研究および高等教育システム内での協力を強化することを目的とした恒久的な資金措置事業である。

フランスにおいては、研究の可視化、自由、手段の再構築を目指して、研究に関する複数年予算案が検討されている。本質的に長い研究時間を考慮し、研究への公共投資の効果を増大させるために、一貫した持続可能な枠組みを提供することを目指し、2021年の Horizon Europe プログラムとも協調する。国民のニーズを満たすために実施される主要な研究プログラムを特定するとともに、知識のフロンティアを推進するいわゆる「基礎」研究を重視する。また、基盤経費が過去30年にわたって大きく減少してきたことがハイレベルな研究の展開を妨げていることを指摘し、民間からの研究資金の寄与率を増やすことで、複数年にわたる段階的な研究費のスケールアップを目指している。

ドイツにおいては、教育や研究、産業政策に関する州政府の権限が大きいことから、首都圏や特定の地域へのこれら機能の集中が回避され、各州あるいは各自治体に産業が分散されている。これは、地域ごとの特色を生み、州政府を含めた産官学連携および研究開発拠点支援策の運用を容易にする背景となっていると考えられる。(例えば、ブレーメンでは、小規模な地域であることを背景とした、教育機関と中規模産業が技術者の育成や産学間での往来を通じた地理的かつ制度的な連携関係が構築されている。) 国としては、限られた少数の大学に集中的に予算を配分し、より高いレベルの教育・研究が行えるためのクラスター政策(クラスター国際ネットワーク等)や企業と研究機関のパートナーシップを中長期的に支援するリサーチ・キャンパスの中で、工学基盤の強化も含まれている。

豪州においては、STEM教育の質の向上が、非常に重要である職業教育そして大学における教育の向上に繋がり、産業連携や商業化活動への効果が最も高いと位置付けられている。工学を含んだSTEM教育が産業力を牽引する非常に重要なファクターだと最初に位置付けていることとなる。また、研究開発をイノベーションにおける最初の重要なステップと捉え、イノベーションが生産性の向上と経済成長の増加につながるとしている。政府研究開発予算の約2割を占める

<sup>12</sup> EPSC, Delivery Plan 2019, <https://epsr.org.ukri.org/newsevents/pubs/deliveryplan2019/> (2020年2月20日アクセス)

R&D 税額控除制度により、特に中小企業における R&D 能力の拡大、企業における研究開発を後押ししている。豪州国内企業のみではなく、外国企業も対象となっており、豪州国内の市場が小さい場合等、海外展開も視野に入れた研究開発やグローバルな市場獲得を目指すことが可能となっている。

### 3. 非連続的なイノベーション醸成に向けて

本章では、我が国の工学基盤の現状をより詳細に把握するため、国の研究開発基盤強化への取り組み事例、幾つかの大学や企業からのヒアリング（※）、科学研究費採択動向を分析し、第2章にて示した国外の工学基盤との比較も踏まえ、非連続的なイノベーション醸成に向けての課題をまとめる。またこうした工学基盤の上で今後取り組むべき具体的な研究開発課題例も示す。

※ヒアリング先：

- ・大学としては、機器・設備の共用化で注目される東北大学流体科学研究所（風と流れのプラットフォーム<sup>13</sup>参画機関）と、我が国最大級の30MNの力を発生できる大型構造物試験機並びに試験棟を保有する日本大学大型構造物試験センター、地元産業と円滑に連携を進める地方の国立大学の一つとして山形大学工学部、岩手大学理工学部を調査した。
- ・企業としては、戦略的イノベーション創造プログラム「革新的燃焼技術」の終了後、新たな協調領域の工学基盤的研究を推進するA社の研究所、航空宇宙関連技術の工学基盤をもつB社を調査した。

#### 3. 1 国の研究開発基盤への取り組み事例から見える工学基盤の課題

運営費交付金が削減されてきた中で、研究開発投資の効果を高め、研究成果を持続的に創出していくためには、研究設備・機器の共用化を促進していくことが重要である。このため、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」が制定され、大型放射光施設「SPring-8」、スーパーコンピューター「京」、大強度陽子加速器施設「J-PARC」、X線自由電子レーザー施設「SACLA」の4施設が「特定先端大型研究施設」として産学官の研究者に共用されている。さらに、大学等における研究設備・機器の共用システムの導入を加速するとともに、産学官の共用促進に向けた施設・設備等のネットワーク化を支援する「先端研究基盤共用促進事業」が進められている。その中の「共用プラットフォーム形成支援プログラム」では、産学官が共用可能な研究施設・設備を保有する研究機関間の整備・運用を含めたネットワーク構築の支援を行い、「風と流れのプラットフォーム」、「光ビームプラットフォーム」、「電磁場解析プラットフォーム」などの6つの共用プラットフォームが運用されている<sup>14</sup>。また、「新たな共用システム導入支援プログラム」では競争的研究費の改革と連携し、研究開発投資の効果を最大化しながら研究設備・機器の共用化を促進している。このプログラムでは各研究所等で分散管理されている研究設備・機器群を一つのマネージメントの下で運営する共用システムの導入を支援している。

また、JST 未来社会創造事業「探索加速型（共通基盤領域）」では、「革新的な知や製品を創出する共通基盤システム・装置の実現」をテーマに、次の研究開発が実施されている<sup>15</sup>。

<sup>13</sup> 風と流れのプラットフォーム web サイト, <http://www.jamstec.go.jp/ceist/kazenagare-pf/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>14</sup> 文部科学省科学技術・学術審議会研究開発基盤部会（第1回）資料4-2, 2019年6月6日, [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu28/siryoo/\\_icsFiles/afiedfile/2019/07/02/1417931\\_06.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu28/siryoo/_icsFiles/afiedfile/2019/07/02/1417931_06.pdf) (2020年2月20日アクセス)

<sup>15</sup> JST, 未来社会創造事業 web サイト, <https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/core/index.html> (2020年2月20日アクセス)

- ①ハイリスク・ハイインパクトで先端的な計測分析技術・機器等の開発
- ②データ解析・処理技術等のアプリケーション開発やシステム化
- ③研究開発現場の生産性向上等に資する技術

上記のように、工学基盤としての一部機器・設備の共有化とその利用は広がっているものの、後述のように共有設備の運用上の様々な課題が出てきている。また、未来社会創造事業の「共通基盤領域」の基本コンセプトや採択課題は、量子計測などのハイリスク・ハイインパクトな課題や、クライオ電子顕微鏡の全自動計測技術、培養や化学合成の自動化技術などライフサイエンス分野の課題への重点化が顕著であり、工学基盤となる機械系の加工機械、旋盤機械、鋳造機械などの機器設備の維持・強化は十分でない。

### 3. 2 国の研究開発基盤への取り組み事例から見える工学基盤の課題

[東北大学流体科学研究所（風と流れのプラットフォーム参画機関）]

本研究所の次世代流動実験研究センター低乱風洞実験施設は、2009年度から2015年度まで文部科学省の先端研究基盤共用プラットフォーム形成事業「次世代環境適合技術流体実験共用促進事業」を通じて、2016年度から現在までは同省先端研究基盤共用促進事業「風と流れのプラットフォーム(風洞施設・数値シミュレーションの高度利用支援サービス)<sup>16</sup>」を通じて、施設の外部共用を進め、風と流れに関する様々な課題に対応しながら維持・管理に努めている。プラットフォーム全体の年間の利用件数は、2016年度が12件、2017年度が22件、2018年度が38件と年々増加している。しかしながら、同大学における利用料金は、設備の取得単価に基づく基礎額と単純に担当職員の人件費を日割り計算した単価に基づき算出されており、計測技術・分析のノウハウに対する対価は支払われておらず、支援プログラム終了後に共用設備制度を維持していく体制が整っていない。また、低乱風洞実験施設と衝撃波関連施設の技術職員はそれぞれ1名であり、今後数年は技術職員採用の予定がない可能性が高く、今後の測定技術の伝承が危惧されている(施設運用の現状と課題の詳細はA1.4のコラム3参照)。

非連続的なイノベーション醸成のための共用設備運用持続へ向けた今後の対策として、ノウハウ・技術への対価や試験前後の支援に対する対価、得られた収入の人件費へのフィードバックなどを、外部利用料の付加価値として設定することで必要な予算を獲得し、施設と人材を継続できる維持管理体制を構築することなどが考えられる。さらに、高度な最先端計測技術の開発拠点になることで、最先端の研究に触れながら、日々進歩する技術に対応した技術職員の育成拠点としての役割や、情報発信、研修などを通じたコミュニティ形成の場としての役割も期待できる。

[日本大学大型構造物試験センター]

本センターは30MN大型構造物試験機、テストフロア、多入力振動試験装置を有し、学内の学生だけでなく、外部の建設、航空宇宙関連分野の企業に利用されている(1件程度/月)。本クラスの大規模構造物試験機は日本に2機しかなく、貴重な機器設備となっている。日本大学理工学研究センターは、大型構造物センター以外にも、空気力学研究センター、材料創造研究センターなど8つ

<sup>16</sup> 高度な計測分析機器・計算機を中心としたイノベーション創出のためのプラットフォーム。産学官が共用可能な研究施設・設備等の整備・運用を含めた施設間のネットワークを構築。海洋研究開発機構地球情報基盤センターが代表機関で東北大等7機関が参画。

のセンターで、共同利用できる大型研究設備を所管している。技術職員は各センターに1名ずつ在籍しており、各センターの管理には関連する理工学部の教員が携わっている。各センターは学内予算と外部利用料で運営されており、特に大型構造物センターは、万が一物理的に故障した場合の修理が大きな課題となっている。本試験機器は、大型機器製品の実用化に関する非連続的なイノベーションの検証に必要な試験機器であり、我が国としても維持更新が重要な設備である。

#### 〔山形大学工学部〕

山形大学工学部は、大学を核とした世界に注目される地域づくりへの貢献を狙いに、国際事業化研究センターを設立し、①起業家教育支援、②研究事業化支援、③リーン・マネジメント支援の三つの取組みを推進している。工学基盤としての技術職員は現在 50 名程度が工学部技術部に在籍、技術部は業績だけでなく勤務実績や性格・能力・適正などの総合的な評価システムを取り入れ<sup>17</sup>、過去3年間で公募2名、配置換え1名により技術職員から助教になるなど多様なキャリアパスを整えてきている。東北大学や山形大学の博士課程を修了した人もいる。しかしながら、工学基盤となる機械系の加工機械、旋盤機械などの教育用・研究用の実験機器・設備は、例えば1964年設置のものなどを依然使用するなど非常に古くなっている。これまで設備更新を何度か企画したが、課題となっている。山形大学では地元の金融機関も含めた産学官金連携を推進しており、今後、工学基盤が充実されれば、機械加工、金型、繊維、木工、有機材料などの強みのある地場産業のイノベーションが期待できる。また、山形大学では、技術だけでなくリーダーシップ、リーン・マネジメント、戦略といった観点からの人材育成も合わせて強化しており、地場産業全体を俯瞰できる人材や起業家の育成も期待される。

#### 〔岩手大学理工学部〕

岩手大学の工学系は、金型技術、鋳造技術、溶射技術、航空宇宙関連技術、強電技術が比較的強く、5軸加工機等加工設備や鋳造設備、溶解設備、高電圧実験設備等の機器設備を保有している。岩手大学は、機器設備の共有化がイノベーション創成に向け非常に重要という認識のもと、全学として機器の共同利用を進め、理工学部でも現在、分析装置を主として外部にも貸出を行っている<sup>18</sup>。工学基盤を支える技術職員については、2008年より組織化に取り組み、仕事の定量化と技術者の有する技術力を評価する仕組みを構築してきた<sup>19</sup>。技術部理工学系技術部の技術職員は現在40名程度おり、組織として継続的に雇用、技術の伝承も行ってきている。技術職員のキャリアパスは、技術職員→技術専門職員→技術専門員→技術室長となっている。9つあるグループのリーダーは技術専門職員以上が担い、リーダーの経験は技術専門員への昇任判定で有利となる。技術室長およびグループリーダーは、長期的な設備戦略を検討する業務も担う。近年では若手の技術職員が多く在籍し、岩手大学の卒業生もおり、岩手で働きたいと考えている人の一つの選択肢となっている。しかしながら、運営費交付金が減少してきている中、長期的な人材の雇用や機器設備のメンテナンス・更新に十分な費用を充てることができないなどの課題が出てきてい

<sup>17</sup> 技術職員は毎年度「意向調査」と「業績評価」にて学位取得・論文執筆・国際会議発表等の状況リストを提出。統括技術長による勤務実績評価(項目:責任・知識・仕事の処理・協調・技術につき3段階評価)、および性格・能力・適正と合わせて総合評価される。

<sup>18</sup> 国立大学法人岩手大学研究推進機構 web サイト, <http://iwa-kiki.ccrd.iwate-u.ac.jp/> (2020年1月31日アクセス)

<sup>19</sup> 業績評価は技術力向上に加え、当組織内での業務経験を重視。技術専門職員と技術専門員に昇任する場合は過去10年間の業績を評価。さらに技術力を担保するために資格取得を推進。例えば、技術専門員昇任の評価項目は、体系的な技術習得(資格取得)、独創的な開発(特許取得等)、外部からの評価経験(受賞等)、課題解決に向けた計画(外部資金獲得)、成果等の公表(著作、論文、学会等発表等)、学生への指導経験(実習、演習、安全教育等)、設備管理経験、高度な学術体系の習得(学位)、技術に関する様々な企画経験(課題解決、技術やシステムの開発、研修等)、技術の伝承経験、研修等における講師経験、その他技術に関する優れた経験などである。

る。岩手大学の工学基盤となる教育用・研究用機器設備や技術職員の充実が、地場産業との繋がりが深い金型、鋳造、溶射、航空宇宙、強電分野、さらには、農業や水産業との農水工連携などの新しい分野のイノベーションへと波及することが期待されている。

#### 〔A社〕

A社には、社内先行開発業務を行う研究所があり、全社7万人のうち約3500名の人員を有し、その内約1000名がパワーTRAINカンパニーに所属している。A社では、エンジンなど自動車のコア部品の研究開発は自社で進め、その工学基盤となる計測技術などは社内で10年後に必要な計測技術のシナリオを描き、技術開発や設備導入を全社で行っている。一方で、エンジン燃焼の基礎現象解明研究までを自社のリソースだけで実施することは難しいと認識している。そこで、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的燃焼技術(2014~2018年度)」に自動車業界として参画し、大学と連携して基礎燃焼の現象解明研究を実施してきた。SIPでは産学連携体制の構築まで時間がかかったが、SIP後はAICE(自動車用内燃機関技術研究組合)などの協調領域テーマとして、あるいは、大学への個別委託研究の形で燃焼現象の解明などを進めている。SIPで投入された機器設備はAICEの研究で優先的に使われ、継続的に使えるように工夫がなされている。SIPなど国のプロジェクトの実施の際には、大学側での基盤技術に関わる研究機器・設備導入の支援が重要と考えている。A社では、大学との共同研究によって詳細な部分の現象解明が進んだが、シミュレーションモデルの構築やその利活用においてはまだ弱い部分があり、その部分でも産学連携への期待がある。

自動車業界における電動化を含むCASE<sup>20</sup>の流れから、電動化によるリソースのシフトは既に起こっている。このような従来の工学基盤の空洞化が懸念される中、A社は、短中長期の研究開発のバランスを考慮し、燃焼や流体、伝熱などの工学基盤となる技術への研究投資も依然重要だと認識している。

#### 〔B社〕

B社では、事業製品である航空宇宙関連、回転機械、ボイラなどに関連する基盤技術については、基本的に自前で維持強化を進めている。実用化に近い研究開発は迅速に開発できるように開発システムのシステム化や効率化も行い、その早さが競争力に繋がっている。一方、基盤技術の一部については、海外および国内の大学、国研などとの連携でカバーし、特に原理に基づく現象解明などの基礎研究、モデリングなどを大学に期待している。自社で力を入れている技術分野は、構造力学、材料力学、流体力学、熱力学、燃焼、材料分析、トライボロジー、溶接などである。加えて、A社における電動化・知能化を睨んだ電気関連技術やAI活用技術、およびレーザー計測などの高度な計測技術などは、社外リソースを活用している(高度な計測技術は、社内で人材、技術を維持することは難しいとの認識)。

工学基盤となる人材については、博士号保有者(社会人ドクター含)は研究部門で3~4割在籍している。キャリアパスは、研究だけでなく、社外連携や、現地の技術の目利き、活用企画など広がっている。技術者の養成は、技術伝承・教育を目的とした技術研修所で講座を開設している他、各事業部門においても製品に特化した講習を行っている。今後は、いわゆる4力学(流体

<sup>20</sup> C=コネクテッド(走行中のクルマが外部の情報ネットワークとつながること)、A=オートノマス(自動運転)、S=シェアリング(カーシェアやライドシェアなど新しいモビリティサービス)、E=エレクトリフィケーション(クルマの電動化)の4つ。

力学・熱力学、材料力学、機械力学)などの機械系工学+情報・制御がわかる工学基盤人材の育成が課題で、そのような人材が即戦力として求められる。近年、知能化や電動化の流れで、相対的に熱流体・燃焼分野よりも電気制御分野に技術者を多く配置しているが、製品・サービスのどこに AI 技術や制御技術を導入すればよいかかわかる人が必要と考えている。

工学基盤に関する国のプロジェクトの支援のあり方については、大学・国研に加えて、これまで、医療向け製品の開発で長野工業試験所(長野県工業技術総合センター)の保有機器設備や技術職員の知識が非常に有用であった経験から、工学基盤となる工業試験所の保有技術の向上や機器設備のサービス充実化、広範な PR 活動を期待している。

### 3. 3 科学研究費採択動向から見える工学基盤の課題

科学研究費における工学分野採択課題の動向分析から工学基盤の課題についてまとめる。

2019 年度の科学研究費助成事業で新規採択は「工学 (大区分 C および D)」が配分額ベースで約 18%ある(図 3.1)。この工学分野の機械力学分野の採択課題の研究キーワードの推移(表 3.1)<sup>21</sup>を見ると、基盤的な研究を示す「機械力学・制御」「振動制御」のキーワードが 2013-2014 年度、2015-2016 年度にはそれぞれ 38 個、47 個あったが、2018-2019 年度には 13 個と減少し、動吸振器、MEMS、アクチュエータ等の応用研究を示唆するキーワードが上位になっている。さらに精査が必要であるが、科学研究費採択課題においても、基盤的な研究の採択が減少している可能性があり、工学基盤となる研究の推進が懸念される。

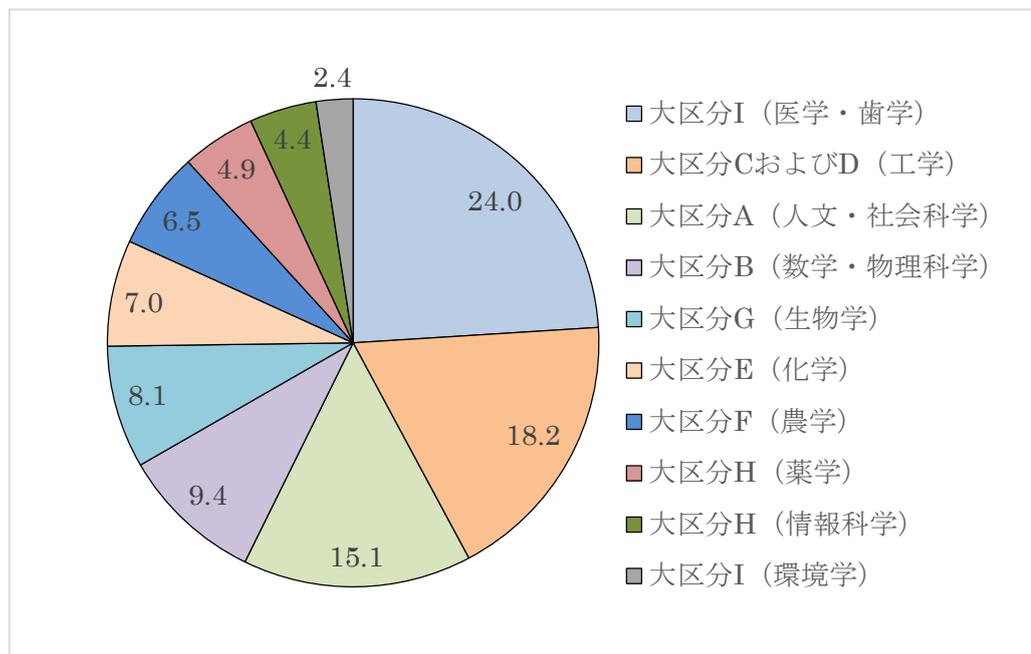


図 3.1 2019 年度科研費の大区分別配分割合(新規採択分)<sup>22</sup>

<sup>21</sup> 科研費 DB より①～③を抽出し、キーワードを検索。①2013-2014 採択課題 細目>理工系>工学>機械工学>機械力学・制御、②2015-2016 採択課題 細目>理工系>工学>機械工学>機械力学・制御、③2018-2019 採択課題 大区分 C>中区分 20:機械力学、ロボティクスおよびその関連分野>小区分 20010:機械力学およびメカトロニクス関連、2018 年から審査区分および審査方式を見直し、新たな審査区分として「小区分、中区分、大区分」を設定([https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/02\\_koubo/shinsakubun.html](https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/02_koubo/shinsakubun.html)) (2020 年 7 月 16 日アクセス)

<sup>22</sup> 日本学術振興会、科研費データ、大区分・中区分別配分状況配分額(直接経費)データをもとに CRDS にて作成

表 3.1 工学分野の機械力学分野採択課題のキーワード推移

2013-2014 採択課題 (119 件)		2015-2016 採択課題 (114 件)		2018-2019 採択課題 (121 件)	
機械力学・制御	28	機械力学・制御	35	自励振動	8
振動制御	10	振動制御	12	振動制御	7
制御工学	9	制御工学	10	機械力学・制御	6
機械力学	9	自励振動	8	超音波	6
振動	7	機械力学	7	動吸振器	5
磁気浮上	6	制振	6	非線形振動	5
自励振動	6	振動	6	MEMS	4
制振	5	超音波	5	アクチュエータ	4
非線形振動	5	非線形振動	5	交通事故	3
シミュレーション	4	モーションコントロール	4	姿勢制御	3
モデル化	4	モード解析	4	振動解析	3
制御	4	振動学	4	最適化	3
地震	4	流体関連振動	4	有限要素法	3
最適化	4	知能ロボティクス	4	有限要素解析	3
磁気軸受	4	自動運転	4	能動騒音制御	3
運動制御	4	マルチボディ分析	3	スロッシング	2
アクチュエータ	3	モデル予測制御	3	ソフトロボティクス	2
カルマンフィルタ	3	予防安全	3	マルチボディ分析	2
モデル予測制御	3	交通事故	3	メカトロニクス	2
人工心臓	3	固有振動数	3	モデル予測制御	2

注：全体課題数とキーワード毎の合計が合致していないのは一つの課題が複数キーワードに跨るため

### 3. 4 今後取り組むべき研究開発課題例

環境・エネルギー機器や輸送機器、これらを構成する部品の高効率化、知能化、電動化等を進めるために取り組むべき研究開発課題には、企業同士が競い合って取り組む競争領域課題と、企業の垣根を越えて産学官で取り組む協調領域課題がある。協調領域課題の中心は基礎基盤的でサイエンティフィックな要素の強い研究開発課題であり、将来の非連続的なイノベーションのきっかけになる可能性を秘めているため、工学基盤の一部としてどのような課題があるかを常に探索し精査する必要があると思われる。こうした観点から本調査では、日本機械学会協調領域技術懇談会 2018 年度技術調査結果<sup>23</sup>や、CRDS が作成した「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野(2019 年)<sup>24</sup>」の内容を基に研究開発課題例を取りまとめた。

<sup>23</sup> 日本機械学会協調領域技術懇談会, 日本機械学会 協調領域技術懇談会 2018 年度 技術調査, 2019 年 4 月 19 日, <https://www.jsme.or.jp/activity-com/uploads/sites/6/2019/04/2018COCNhoukoku.pdf> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>24</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野 (2019 年)」(CRDS-FY2018-FR-01) (2019 年 3 月)

表 3.2 工学基盤強化のために今後取り組むべき機械工学を中心とした研究開発課題例

番号	分野	工学的課題テーマ(例)
1	計算力学	マルチフィジックス連成・最適化
2	流体	微細凹凸表面による流体抵抗の低減
3		シールメカニズムの解明
4		高圧下の二相流挙動
5	界面	メゾ領域での力学の記述
6		接触熱抵抗の解明
7	燃焼	燃焼ダイナミクスの解明とモデル化
8		燃料多様化と詳細化学反応機構の構築
9	トライボロジー	摩耗寿命の評価法
10		潤滑油添加剤による低摩擦化
11	計測・デバイス	3次元温度非接触計測
12		メタマテリアル利用の輻射・音制御デバイス

※課題 1～6、11・12 は日本機械学会による「協調領域技術懇談会」の 2018 年度技術調査結果から、  
課題 7～10 は CRDS による「研究開発の俯瞰報告書 環境・エネルギー分野（2019 年）」から抜粋

## 4. まとめ

本調査では、図 4.1 に示すように、「人材」、「機器・設備」、「データ基盤・標準化」、「ファンディング」それぞれにおいて我が国が抱える課題が確認された。またこれらを包含する全体的な課題として、工学基盤を維持・強化する国としての一体的な戦略および体制の欠如が示唆された。主要国では、社会の変化や科学技術の発展に応じて、工学基盤の維持・強化については軍事を含めた国家基盤の強化や自国の産業競争力強化などに効果的に繋げるべく、産学官が密に連携して戦略的に取り組む様子が見られた。しかし、現状、我が国ではそのような工学基盤のマネジメントシステムが機能しておらず、従前の工学基盤の延長線上で、対処療法的な個別対応を重ねている状況と言わざるを得ない。そのため今後は、未来社会を支え、我が国の産業競争力強化にも貢献できる工学基盤マネジメントシステムを改めて構築していくことが必要であり、それが進むべき方向性であると考えられた。

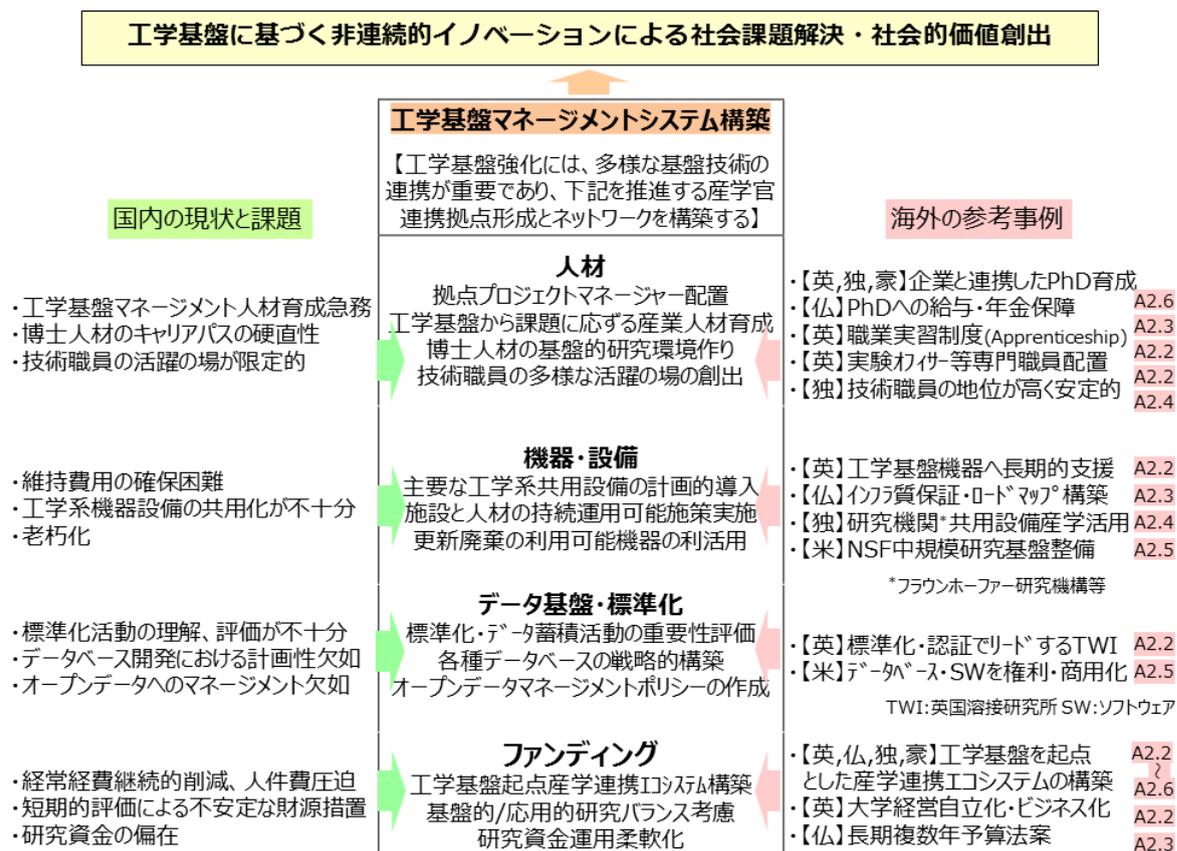


図 4.1 工学基盤マネジメントシステムの構築の必要性

(図中の海外の参考事例の A2.2 等は本稿での関連目次を示す)

**【人材】**

- 我が国において非連続的なイノベーションを醸成していくには、長期的視点に立った工学基盤の構築と研究拠点形成が重要で、その円滑かつ効率的な運用のためには優れたマネジメント人材が不可欠となる。このようなマネジメント人材の育成ならびにキャリア形成の構築が急務。
- 産業界の課題ニーズと大学の技術シーズの対応を理解し、社会的課題を工学系の基礎的原理を踏まえて解決できる産業人材が求められることから、大学の教育においては、工学全体を俯瞰しつつ教育プログラムをデザインし、工学基盤の確実な学修を促す授業科目や、装置等を実際に見る・動かす等の経験やプロジェクトの遂行を伴う実践的な学びができる科目を充実させ、教育の質を高めることが必要。また産業界で工学基盤に携わる人材に対する継続的な教育の充実も重要。
- 若手研究者の育成については、博士課程の学生も含めて、産学の共同研究や大型プロジェクト研究に従事しつつも、本人の自由な発想に基づく研究や工学基盤を深める研究に取り組める環境作りや、産官学に跨がる多様なキャリアパス形成を促す環境作りが必要。
- 技術職員の多様な活躍の場の創出や長期雇用を進めることによる工学基盤を支える人材の育成も必要。

**【機器・設備】**

- 主要機器・設備については、産学官が連携して、共同利用可能な設備導入ロードマップを作成し、その戦略的な導入の検討を、継続的な予算確保の仕組み構築の検討と合わせて進めることが必要。
- 機器・設備の運用機関が、外部利用に対して、技術支援等の付加価値を対価として利用料金に組み入れることで必要な予算を確保し、施設と人材を持続的に維持できる体制を整えられるよう、単年度会計の緩和等といった政策的支援を含め、環境作りを進めることが必要。
- 老朽化した設備については、要・不要の議論を行い、必要なものには投資をし、不要なものは廃棄を進めることが重要。その際、廃棄に必要な経費は導入時に予め予算に計上しておくなど計画的な運用を可能にする仕組みの整備が必要。国研などの一部の機関で廃棄される利用可能な機器・設備を大学等で利活用できる仕組みの構築も必要。

**【データ基盤・標準化】**

- 企業、大学、ファンディング機関にて、データの蓄積・標準化・規格化活動の重要性を認識した上で、これらの活動に世界動向なども注視しつつ戦略的に取り組む仕組みの構築が必要。その際、これらの活動への貢献を人事評価にも反映する等のことも重要。
- データ基盤に関する産学連携の横断的なプラットフォームや、各種データベース（例えば、従来産学で未実施の安全・安心の分野に関する衝撃破壊評価データベースや低炭素社会に向けた材料利活用データベース）の総合的な構築が必要。
- オープンデータのマネジメントに関する仕組みが国として未整備であるが、産学官が協力して、オープンデータマネジメントポリシーを工学基盤の形成の観点からも検討することが必要。

## 【ファンディング】

- 人材育成や共同研究を起点とした産学連携研究エコシステム<sup>25</sup>を工学基盤分野においても構築できるような検討を、ファンディングの在り方の見直し等も含め、国として進めることが必要。
- 関連省庁とファンディング機関において、中長期的な工学系分野の基盤的研究が非連続的なイノベーションを支えていることを認識し、基盤的研究と応用的・実用的研究の適切なポートフォリオの構築を進めることが必要。
- 大学等においては、国の支援の下、基盤的経費と競争的資金によるデュアルサポートを通じた多様性を確保しつつ、健全な経営自立化を図り、上記産学連携研究エコシステムの構築に向けた取組みを進めることが必要。

最後に、工学基盤マネジメントシステムの一部には、我が国における研究開発体制も含まれる。図 4.2 にそのイメージ例を示す。重要な点は、拠点の形成と、それらをつなぐネットワークの構築である。重要課題および関連基盤技術に係る研究開発をバーチャルまたはリアルな拠点を中心とした体制で推進しつつ、その拠点をネットワーク化することにより、基盤技術の個々の深化や統合化を一体的に進めることができる。トライボロジーはリヨン、燃焼はアーヘンといったように、欧州には誰もが思い浮かぶ明確な拠点が存在するが、そうした存在を我が国でも国として育てていくことが必要と考えられる。

推進方法としては以下のような一例が考えられる。拠点 A-D は、研究開発課題例(a-d)の推進に向けて、企業、大学等、公的研究機関、学協会等の連携組織と協力して研究に取り組む中心的な役割と、そうした課題の研究遂行を支える工学基盤としての「基盤技術」の推進の中心的な役割を担う。拠点 E は、研究開発課題(a-d)の統合化モデルに取組み、全体をマネジメントする。各拠点は、ある特定の大学に設置するが、力のある多様な大学、中小企業とも連携した多様性を担保した体制とする。各拠点にはプロジェクトマネージャー(PM)を配置し、PM が工学基盤としての基礎科学/社会実装/人材育成の同時達成を図り、研究開発課題の推進を統括する。本拠点を通して、1 拠点年間 10 名程度のものづくり工学系若手人材を育成する。産業界からの社会人コースドクター育成も含め、産業界やアカデミアの工学系基盤人材の底上げを図る。イノベティブかつ工学基盤として重要な研究要素を随時取り入れる柔軟な運用・連携の環境を整え、多様な産業界の課題ニーズへの適時の問題解決策の提供を増やすことが産学連携活性化に有効と考える。

<sup>25</sup> 多様な要素（企業、起業家、研究機関・大学、政府等）の相互作用（競争や協業、融合等）の中でイノベーションが創出される仕組みを生態系になぞらえたもの。各々の地域や経済圏特有の強み・資源を活用しながら自律的に発展するものと考えられる。なお、Ku-Hyun Jung [2006] によれば、エコシステムには、オープン、多様性、相互作用・フィードバック、進化、創出と淘汰などの特性がある（「アジアにおけるナショナル・イノベーション・システムと企業による研究開発の相互作用」日本学術会議講演資料）。

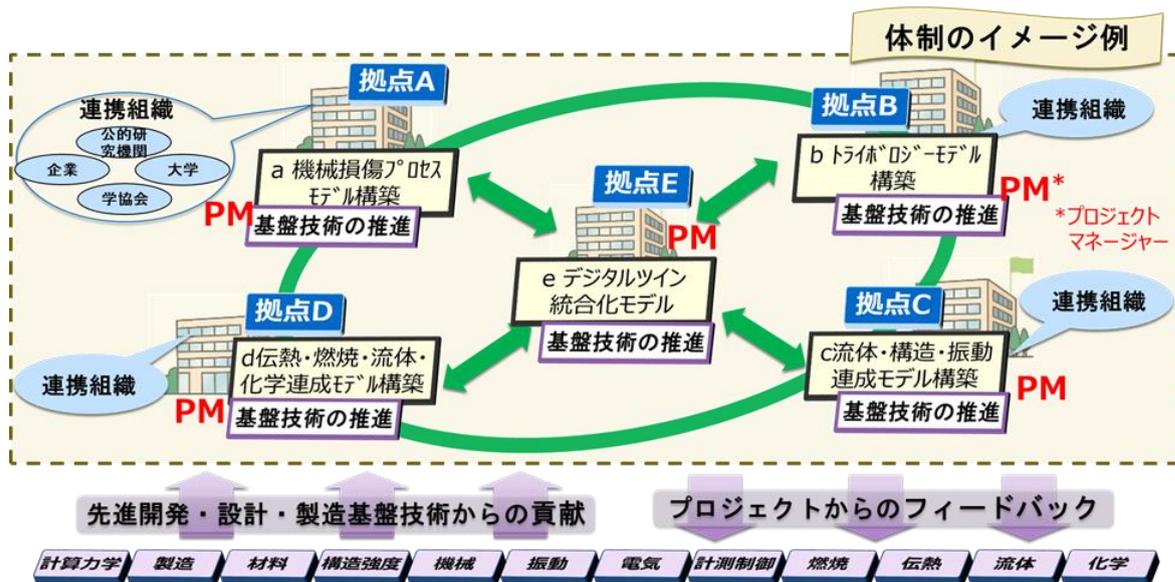


図 4.2 我が国の工学基盤の体制イメージ例（工学基盤拠点形成とネットワーク構築）

## 5. 謝辞

本調査にご協力いただいた大学、企業の方々、ならびに共同調査にご尽力いただいた機械学会の皆様へ感謝申し上げます。

## Appendix 1 国内の工学基盤動向

### A1.1 概要

国内の工学基盤動向として、ファンディング、人材（若手教員、技術職員、学部学生・大学院生、産業界人材）、機器・設備、データ基盤・標準化の現状と課題をまとめる。

ファンディングに関しては、近年、国立大学への運営費交付金が毎年のように削減され、ここ数年は下げ止まりの傾向が見られるものの、短期的な評価による不安定な財源措置が拡大しており、教員の人件費や教育研究環境等の基盤は、維持・確保すら困難な状況に陥っている。これに伴い、大学の経営基盤は不安定化・脆弱化してきており、非連続的なイノベーション醸成のための我が国の工学基盤の衰弱化さらには崩壊が懸念される。従来、運営費交付金で維持されてきた工学基盤の機器・設備は、競争的資金では維持が難しく、基盤となる運営費交付金の拡充と、工学基盤となる機器設備を導入できるような適切な競争的資金のデュアルサポートが必要な状況となっている。施設整備費予算額も減少し、施設の老朽化が進行、安全面・機能面等が大きな課題となっている。

人材面では、学士と修士の人材育成には基本的に大きな問題はなく、教育・育成方法を継続的に改善していけばよいと考えられている。これは、大学学部入試の志願者数と競争率および大学院修士課程への進学率の推移、さらには、日本機械学会の伝統的な学生表彰の「畠山賞」の授賞学生数の推移からも判断することができると考えられる。学部・修士教育方法の改善努力は必要であり、今後は学生が持つ潜在的な才能、やる気や学習行動を引き出すことが達成されるような教育プログラム・授業・研究室における指導を実現することが重要と思われる。

一方、博士人材については、以下のような重大な課題を有している。例えば、大学教員の職位構成人数の逆三角形構造状態（特に助教ポストの少なさ）という問題（基本的問題）、ポスドク・短期非正規研究職の問題、博士号取得者数の推移から見える問題、日本人学生の博士進学者数の減少の問題、日本の大学からの理系論文数の頭打ちまたは減少傾向の問題、欧米先進国における博士号取得人材の多様な分野（大学、国研、産業界、政府・行政機関、等々）での活躍と比べた場合の、日本ででの広がり少なさの問題などである。1990年代からの大学院重点化では博士後期課程定員を増やし、博士課程を修了した人材を産業界に次々と輩出しようとしたが、その試みは実現されず、大学教員の職位構成人数の逆三角形構造（特に助教ポストの削減）化の影響も加わり、問題が深刻化したと考えられる。日本の産業界は修士人材については非常に旺盛な採用意欲を維持し、強まっている状況であるが、博士人材についての状況は以前からほとんど変化していないと思われる。近年、自動車の自動運転技術開発などを中心とするいくつかの分野では、センサー技術、信号処理、AIアルゴリズムによる情報処理を応用した実システム開発などで、その専門技術人材・博士人材の獲得競争は激しくなっているが、それ以外の機械工学（工学基礎）全般への広がりは見られない。

機器・設備については、運営費交付金削減の中、研究設備・機器の共用化は重要であり、産学官の共有化が国立研究開発法人、先端研究基盤共用促進事業、一部の大学などで行われ、各大学内でも共用化が進められている。しかしながら、設備の老朽化がありながら費用的に新設が難しいこと、先端研究基盤共用促進事業における支援終了後の共有化維持の仕組み作り、技術職員不足による測定技術伝承の危惧などの問題がある。一方、日本大学大型構造物センターの主な利用

者である建築・建設・航空宇宙の分野では、企業による大学施設の利用数が多く、企業と大学が一体となって研究・開発が進められている。また建築業界では特に工学基盤の弱体化を感じていないとのことであった。他の工学分野でも、設備・機器の共有化を踏まえ産学の連携推進が重要であると思われる。

データ基盤については、データベース構築上の課題やデータベース開発における計画性の欠如、データの所有権の課題などがある。材料データベースでは試験法標準化やデータベース価値に対する理解が今後重要となる。また、オープンデータへのマネージメント欠如が見られ、オープンデータマネージメントポリシーの作成が急がれる。

標準化に対する課題としては、大学や国研などでは標準化活動が人事評価に入らなかったり、標準化の委員会で事実上委員長のみが大学関係者であったりすることなどの現状が挙げられる。一方で、例えば JIS(Japanese Industrial Standards、日本産業規格)の 95%は企業によって作られている。標準には公的なものというイメージが広がっており、標準そのものの理解を進める必要がある。その中では、今後、ものづくりの基準であった標準を、IoT を代表とする“つなげる技術”にどう組み込んでいくかなどの戦略の検討も必要である。

## A1.2 ファンディング

2004年度(平成16年度)の国立大学の法人化以来、運営費交付金は毎年のように削減され、ここ数年は下げ止まりの傾向が見られるものの(図A1.2.1)、短期的な評価による不安定な財源措置が拡大している。教員の人件費や教育研究環境等の基盤は、維持・確保すら困難な状況に陥っているとされている。さらに、近年、運営費交付金中の基幹経費を毎年一定割合で削減し、年度ごとの評価に基づいて、特定の戦略・目的等に関連付けられた経費として再配分される仕組みが導入され、この再配分の割合が拡大する方向にある。これに伴い、大学の経営基盤は不安定化・脆弱化してきており、我が国の工学基盤の衰弱化さらには崩壊が懸念される状況にまで陥っている。

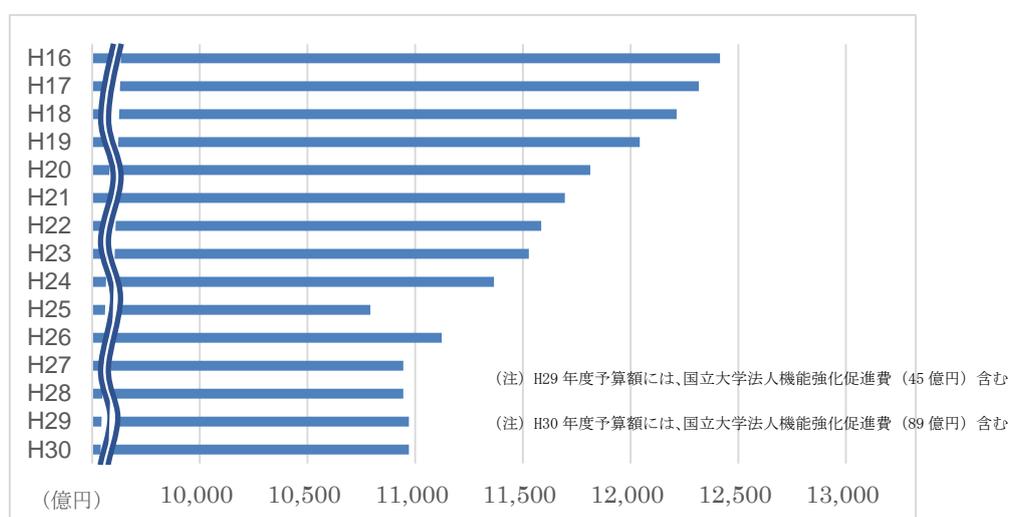


図 A1.2.1 国立大学法人運営費交付金等予算額の推移<sup>26</sup>

大学の予算配分バランスの変化(経常収入の内訳)は、図A1.2.2に示すように、競争的資金が拡充している。従来、運営費交付金で維持されてきた工学基盤の機器・設備は、競争的資金では維持が難しく、脆弱化が顕在化してきている。基盤となる運営費交付金の拡充と、工学基盤となる機器設備を導入できるような適切な競争的資金のデュアルサポートが必要な状況にある。

国立大学法人等施設整備費予算額の推移(国費相当分)を図A1.2.3に示す。施設整備費予算額も減少し、国立大学法人等施設のうち経年25年以上の老朽施設は全保有面積の62.2%、うち、未改修又は一部改修済(要改修)の老朽施設は全保有面積の33.5%を占める<sup>27</sup>など、施設の老朽化が進行しており、安全面・機能面等が大きな課題となっている。

<sup>26</sup> <https://www.janu.jp/news/files/20180807-wnew-giren3.pdf>(2020年2月アクセス) 図A1.2.2、図A1.2.3も同じ出典

<sup>27</sup> 文部科学省, 国立大学法人等施設の老朽化の状況(2019年5月1日現在),

[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shisetu/kokuritu/\\_icsFiles/afiedfile/2019/08/30/1318155\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/kokuritu/_icsFiles/afiedfile/2019/08/30/1318155_1.pdf) (2020年2月20日アクセス)

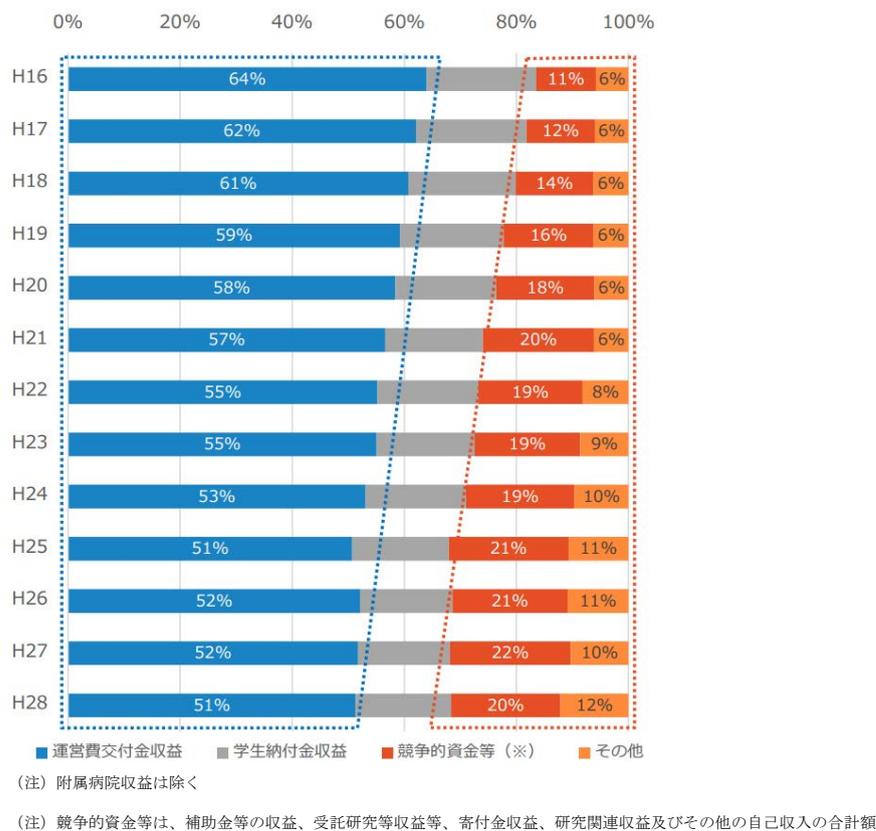


図 A1. 2. 2 予算配分バランスの変化（経常収入の内訳）

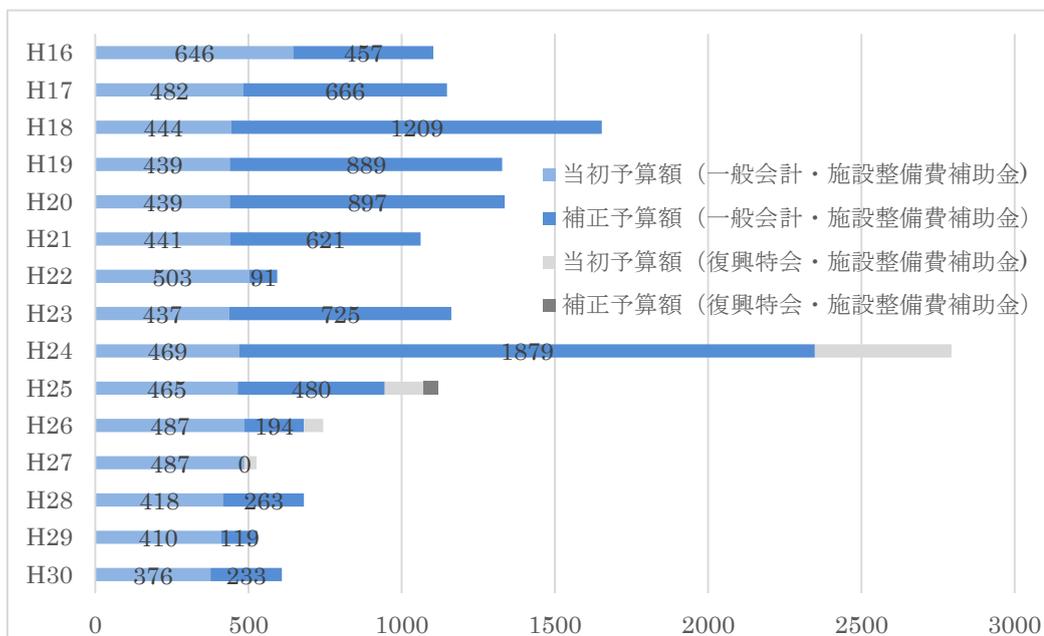


図 A1. 2. 3 国立大学法人等施設整備費予算額の推移（国費相当分）<sup>28</sup>

<sup>28</sup> 文部科学省,国立大学法人等施設整備費予算額の推移,  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shisetu/kokuritu/\\_icsFiles/afieldfile/2019/04/22/1318156.pdf](https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/kokuritu/_icsFiles/afieldfile/2019/04/22/1318156.pdf) (2020年2月20日アクセス)

## A1.3 人材

人材育成の重要性は科学技術に限ったことではなくすべての社会分野に言えることであるが、優れた人材そして適切十分な人数規模の人材を育成していき、その人たちの研究活動を活性化することは科学技術の未来戦略において根幹である。日本における工学基礎分野（主に機械工学）における研究者人材育成とその人材の研究活動の問題点の指摘と改善に向けた方向性についてまとめる。

### 【大学・国研の動向】

#### 1. 学士および修士の人材

結論を先に述べると、学士と修士の人材育成は基本的には大きな問題はなく、教育・育成方法を継続的に改善していけばよいと考えられる。これは、大学学部入試の志願者数と競争率および大学院修士課程への進学率の推移、さらには、以下に記載する日本機械学会の伝統的な学生表彰の「畠山賞」の授賞学生数の推移(表 A1.3.1)から判断することができる。

畠山賞は、国内の4年制大学、短期大学および高専での機械工学系学科等における優秀学生の表彰である。表 A1.3.1 が表彰学生数の大まかな推移である。このデータを参照すれば、機械工学系を有する大学数、学科数、表彰学生数が短大を例外として増加(学科数などが増加傾向である)しており、学部卒人材の充足は基本的には大きな問題はないと言える。

表 A1.3.1 日本機械学会畠山賞の表彰学生数推移（単位：人）<sup>29</sup>

	1998	1993	1998	2003	2008	2013	2018
大学機械工学系学科	198	199	212	271	264	260	265
短期大学機械工学系学科	14	12	7	9	10	10	7
工業高等専門学校機械工学系学科	53	59	68	69	68	71	69

なお、当然ながら学部・修士教育方法の改善の努力は引き続き必要である。教育と訳されている英単語の”education”の語源は、ラテン語で、「外へ」の”e”と「引き出す」の”duction”とのことである。学生が持っている潜在的な才能、やる気や学習行動を引き出す(“pull out”)ことが重要であり、それが達成されるような教育プログラム・授業・研究室における指導を実現することが大切となる。押し込むのではなく、引き出すことで学生の「(受け身的)知識の習得」から「(能動的)研究レベルの学び」への発展が生まれ教育の質が上がると期待される。

#### 2. 博士人材

一方、博士人材については、以下に示すような重大な問題がある。

- 1) 大学教員の職位構成人数の逆三角形構造状態（特に助教ポストの少なさ）の問題（基本的問題）
- 2) ポスドク・短期非正規研究職の問題

<sup>29</sup> 日本機械学会ホームページ, [https://www.jsme.or.jp/event\\_project/award/hatakeyama-award/](https://www.jsme.or.jp/event_project/award/hatakeyama-award/) (2020年2月20日アクセス)

- 3) 博士号取得者数の推移から見える問題
- 4) 日本人学生の博士進学者数の減少の問題
- 5) 日本の大学からの理系論文数の頭打ちまたは減少傾向の問題
- 6) 欧米先進国における博士号取得人材の多様な分野（大学、国研、産業界、政府・行政機関、等々）でのしっかりした立場と比べて、日本では広がりがない問題

博士人材の問題に関して、表 A1.3.2 にいくつかの大学における工学（機械工学）系の大学職員の職位構成人数を示す。工学系に限った問題ではないが、助教ポスト数が教授と准教授のポスト数よりも大幅に少ない逆三角構成になってしまっており、通常の組織での人材ピラミッド構成とは異なった形になってしまっている。日本の現状においては、博士後期課程修了人材の主な就職ポストとなる助教ポストが少なく、短期間有期雇用で報酬も社会的に少ないポストク制度などが、博士取得者数の減少やポストク問題などの主原因である。大学の役割の基本は「学生への教育」と「研究」である。研究の日々の活性化と成果達成および将来への人材計画には助教ポストの適切十分な数を維持することが要であると考えられる。

表 A1.3.2 各大学における工学系（機械工学）の大学教員の職位構成人数

*（）内は特任	東京大学	東京工業大学	埼玉大学	岩手大学	山形大学
教授	23(1)	36(2)	11	58	76(2)
准教授	16(2)	37(4)	11	53	75(9)
助教	5(3)	28	6	37	46(5)

\*東京大学：工学系研究科機械工学専攻

\*東京工業大学：工学院機械系＋システム制御系

\*埼玉大学：理工学研究科機械科学系専攻

\*広島大学：機械システム工学専攻＋機械物理工学専攻

\*岩手大学：理工学部

\*山形大学：理工学研究科 技術職員数には 60 歳以上の継続雇用 6 名を含む  
(2019 年度 CRDS 調べ)

博士課程への進学者数を見てみると、工学系の進学率は平成 28 年度で 5.6% となっており、理学系(16.8%)や農学系(10.0%)と比較してもかなり低いことが分かる。(図 A1.3.1) これは工学系の修士学生が、研究職で企業へ就職する割合が高いことを示していると考えられる。つまり、企業側が修士課程で研究を実施した経験のある程度評価し、研究人材として修士学生を採用し、企業側でさらに育成するという日本特有の就職システムが影響している。

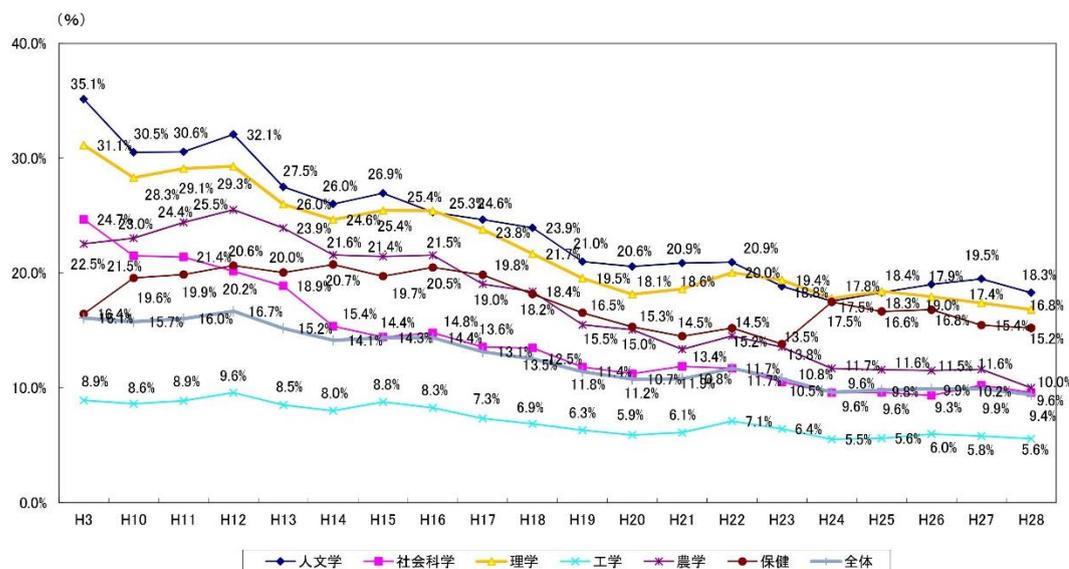


図 A1.3.1 修士課程修了者の進学率の推移 (分野別)

(出典：文部科学省中央教育審議会大学院分科会(第 81 回)資料<sup>30</sup>)

博士号取得者数は米国や中国ではここ 10 数年で増えている一方、日本においては減少している (表 A1.3.3)。米国での日本人の博士号取得者もここ 10 年で減少し続けているが、中国人の博士号取得者は増加し続けている (表 A1.3.4)。

表 A1.3.3 日本、米国、中国における博士号取得者概数

	日本	米国	中国
2008 年	16,735	67,758	42,217
2014 年	15,045	86,891	52,352

(出典：文部科学省 科学技術・学術政策研究所、「科学技術指標 2018」を基に、CRDS が加工・作成)

表 A1.3.4 米国における国籍別博士号取得者数<sup>31</sup>

	日本	中国
2009 年	256 人 (うち自然科学系 193 人)	4,101 人 (うち自然科学系 3,753 人)
2016 年	166 人 (うち自然科学系 129 人)	5,526 人 (うち自然科学系 5,140 人)
2018 年	117 人 (うち自然科学系 93 人)	6,182 人 (うち自然科学系 5,689 人)

\*temporary visa holders が対象

<sup>30</sup> 文部科学省中央教育審議会大学院分科会(第 81 回、2017 年 5 月 30 日実施)  
[https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/giji/\\_icsFiles/afieldfile/2017/07/24/1386653\\_05.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/giji/_icsFiles/afieldfile/2017/07/24/1386653_05.pdf) (2020 年 1 月 30 日アクセス)

<sup>31</sup> National Science Board, Science & Engineering Indicators 2018, Doctorates awarded for 10 largest countries of origin of temporary visa holders earning doctorates at U.S. colleges and universities, by country or economy of citizenship and field: 2009-18

現在の日本社会においては、博士の学位を要件とするところは、端的に言えば、大学および国程度のみである。産業界では、博士課程での研究内容が、企業がその時注力したい開発テーマに一致していれば優遇的に対応する可能性があるが、一般的には博士人材の評価は、初任給は学部卒就職者が5年経過した時、修士修了就職者の3年経過年の時の基準報酬と同額とする程度の配慮と言われている。就職後の評価は、あくまでその会社の仕事における成果主義であり、現時点では学位それ自体はほとんど意味をもたないと言わざるを得ない状況である。現在、内閣府にて「研究力強化・若手研究者支援 総合パッケージ」が策定され、博士課程への進学率の回復に向けた施策が今後、検討されることとなっているが、このような日本企業の就職・評価システムとも一体的に検討されなければならないと思われる。

博士人材を十分に活かすためには、大学教員の職位構成人数の逆三角形構造状態（特に1990年代からの大学院重点化政策などで減少された助教ポスト）を正常化させることが第一に重要と考えられる。また政府・政治主導で重点化が進んだ競争的研究予算配分法を見直し、適正な研究予算を基盤的研究へも広く配分することの必要性も生じていると思われる。さらにこうした方向転換の上で、10年程度の研究視界で研究活性化・加速化を促進すべき特定の分野・テーマがあると、その推進に向けた研究拠点構想の検討の必要性が生じてくる。なお研究拠点構想に関しては、1990年代以降の大学院重点化の時代にCenter of Excellence政策が行われ、ある程度多くの大学や構成化された研究グループに予算が重点的に配分された経緯を踏まえ、その結果を客観的に分析することも重要と思われる。

機械工学の特有の問題として、コラム1に記載したような、研究資金も研究人材も確保が難しい工学分野がある点が挙げられる。例えば機械工学の機械要素である、歯車・軸受・ボルト・運動伝達や締結要素などである。これらの分野は古くからある成熟した研究分野と見なされ、本来は基盤的な研究を支えるべき科研費でも採択されにくい状況にあるという声も聞こえてくる。大学からの予算も縮小されており、国内での研究分野は縮退している。事実、歯車の分野において30年前には東北大学・東京工業大学・京都大・九州大学の4大学が有力で、いくつかの地方大学でも研究室があり、4大学を支える構造にあったが、教授の退官に伴い、現在は4大学でも歯車をメインとして扱う研究室はほとんどなくなってしまっている。しかしながら、日本機械学会で開催されている「歯車」講習会は盛況で、たびたび満員となることから、歯車の技術基盤は、工学基盤として産業界からの需要は極めて大きいと言える。また、中国やインドではこれらの研究分野が進展しており、日本が取り残されてしまう可能性がある。基盤的な研究を維持しつつ、産業への繋がりを意識した研究を同時に進めることができるかが重要であり、Appendix2で後述する英国のポートフォリオマネージャーのように、長期的に当該分野を俯瞰し、国として必要な基盤技術を残していく戦略はひとつの有効な策と考えられる。

また、人材の多様性や、多様性に基づく知的交流・刺激からの研究者の自発的または自然発生的な創造性の増進が大切であることから、大学教員ポストへの外国人比率を適切に増加させることも重要と考えられる。学生構成についても同様なことが言え、多様な国籍の留学生が適切な比率（適切な比率は何%程度かを判断することは難しい問題であるが）で居るキャンパス環境で日本人学生と一緒に学べる環境が大切である。

博士人材の活躍の場のひとつとして大学講義がある。全国で非常に多くの非常勤講師が大学教育に貢献しているが、現状では各大学での非常勤講師手当は画一的で、金額は多少大学間で異なるものの、講義科目の種別、形態（単なる座学講義からコンピュータ利用など各種教育機器利用

による演習付き講義や演習、複数回のレポート・添削付き授業など多様な形態)、受講学生数の違い、などを適切に配慮した手当金額を実現していない。ある大学においては、非常に少人数での留学生日本語教室でも、100人規模でコンピュータを各学生が操作しながらの演習付き授業（レポート・添削も多数回実施）の理工系専門科目でも手当金額にほとんど差が無い状況もあるという。相当の講義数と受講学生数をこなす非常勤講師はその報酬で生活が適切十分に確保され、大学教員としてはフリーランスとしての立場でも自由な時間は自己研鑽・研究（他機関との相互協力研究も含む）ができるような雇用環境を実現する施策や、大学経営側の対応が、こうした状況の改善に向けて重要と考えられる。

### 3. 具体事例

大学側の動向について、山形大学工学部と岩手大学理工学部の事例を紹介する。技術職員が減少し、また活躍の場が限定的との課題に対し、技術職員の組織化やキャリアパスの整備など、各大学で工夫が見られたが、技術職員の継続した雇用や技術の伝承には課題が残されていることが明らかとなった。

#### 〔山形大学工学部〕

山形大学工学部技術部（図 A1.3.2）には、現在 50 名程度の技術職員が在籍している。技術職員のうち 6 名が 60 歳以上の継続雇用となっている。また、東北大学や山形大学の博士課程を修了した技術職員もいる。技術職員は「業績評価」にて学位取得・論文執筆・国際会議発表等の状況リストを提出し、統括技術長による勤務実績評価（項目；責任・知識・仕事の処理・協調・技術について 3 段階評価）、および性格・能力・適正について総合評価が実施される。また、過去 3 年間で、技術職員から助教公募に 2 名が応募・採用され、技術職員から助教へ 1 名が配置換えなど、実績を積んだ技術職員が助教、今後は准教授・教授へも昇任できるキャリアパスを整えている。また、山形大学では、技術だけでなくリーダーシップ、リーン・マネジメント、戦略といった観点からの人材育成も合わせて強化しており、地場産業全体を俯瞰できる人材や起業家の育成も期待される。

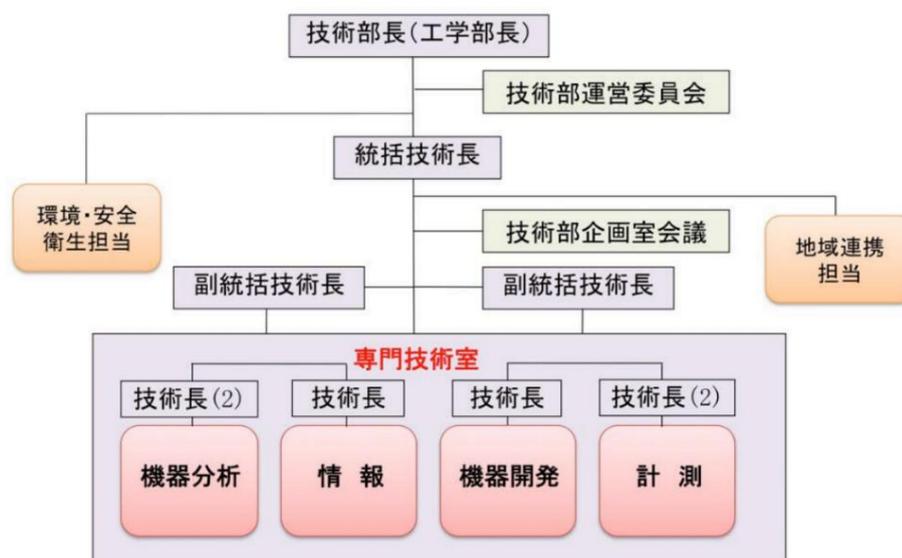


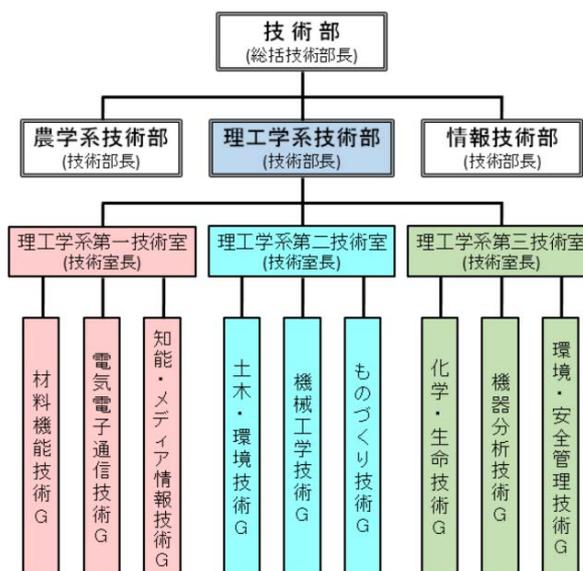
図 A1.3.2 山形大学工学部技術部の組織<sup>32</sup>

[岩手大学理工学部]

現在、技術職員は 40 名程度おり、組織として継続的に雇用、技術の伝承も行っている（図 A1.3.3）。技術職員のキャリアパスは、技術職員→技術専門職員→技術専門員→技術室長となっている。9 つあるグループのリーダーは技術専門職員以上が担い、リーダーの経験は技術専門員への昇任判定で有利となる。技術室長およびグループリーダーは、長期的な設備戦略を検討する業務も担う。近年では若手の技術職員が多く在籍し、岩手大学の卒業生もおり、岩手で働きたいと考えている人の一つの選択肢となっている。

しかしながら運営費交付金が人件費を含めて減少してきたため、長期的な人材の雇用が難しくなってきた。特に、人件費を抑えることで設備費用を捻出してきたことから、その自助努力にも限界が生じている。イノベーションを起こしていくために必要な要素として、技術職員の技術維持が不可欠であるとしているが、そのような状況の下で課題が出てきている。

<sup>32</sup> 山形大学工学部技術部, 2018 年度技術報告第 17 巻, [https://tech-staff.yz.yamagata-u.ac.jp/wp-content/uploads/gihou/TechReport2018\\_Yamagata\\_Univ.pdf](https://tech-staff.yz.yamagata-u.ac.jp/wp-content/uploads/gihou/TechReport2018_Yamagata_Univ.pdf) (2020 年 1 月 31 日アクセス)

図 A1.3.3 岩手大学技術部理工学系技術部の組織<sup>33</sup>

## 【産業界の動向】

1990年代からの大学院重点化で博士後期課程定員を増やし、博士課程を修了した人材を産業界に吸収してもらうとの方向性は、大学教員ポストの逆三角形構造状態（特に助教ポスト（当時は助手ポスト）の削減）への変更の影響も加わり、進まなかった。日本の産業界は修士人材については非常に旺盛な採用意欲を維持し、むしろ強まっている状況であるが、博士人材についてはほぼ変化していないと思われる。もちろん、近年、自動車の自動運転技術開発などを中心にいくつかの分野では、センサー技術、信号処理、AIアルゴリズムによる情報処理を応用した実システム開発などでは、その専門技術人材・博士人材の獲得競争は激しくなっているが、その他の機械工学（工学基礎）全般への広がりは見られない。ただし、近年は博士後期課程修了者（修了予定者）の就職支援事業（博士人材を求人する企業を集めた合同企業説明会や、逆に複数大学の博士後期課程学生が研究を企業側に紹介する内容を組み込んだ博士人材と企業のマッチングイベントなど）も行われるようになっており、これらによる効果を改めて見極めていくことが重要である。

### 1. 具体事例

産業界側の動向について、本文で述べた2社の事例を紹介する。

#### 〔A社〕

企業は、深く研究する人材よりも動き回ることのできる人材を重視し、求める人材が異なる。しかし、徐々に採用体系は変わってきており、現在は新卒・中途と言う枠組みの制限はあるものの、その中で博士人材であっても求める人材像にマッチすれば個別に採用する動きが出てきている。一方、キャリアを積む文化の欧米と終身雇用制度の日本という違いがあるため、欧米のような Industry Ph.D.の育成の実現は難しいとの見方をしている。

<sup>33</sup> 岩手大学技術部理工学系技術部ホームページ, [http://eng.tech.iwate-u.ac.jp/top/?page\\_id=148](http://eng.tech.iwate-u.ac.jp/top/?page_id=148) (2020年1月31日アクセス)

## 〔B社〕

工学基盤となる人材について、会社での博士号保有人材（研究部門で3～4割）のキャリアパスは、研究だけでなく、社外技術の目利き、活用企画など広がっている。また、2018年から新たな取り組みとして海外開発拠点に駐在員を置き、現地のスタートアップ企業の情報収集から共同開発までを行っている。技術アタッシュとしての活動もそのひとつに含まれている。しかしながら、博士卒人材の給与は、修士卒+3年経過の給与体系であり、人材評価の観点では、従来の品質・コスト・納期（いわゆるQCD）達成評価軸だけでなく、保有技術や知識なども別格に評価してもよいのではないかという議論がある。

技術者の養成は、技術伝承・教育を目的とした技術研究所で行っている。今後は、いわゆる4力学（流体力学・熱力学、材料力学、機械力学）などの機械系工学+情報・制御がわかる工学基盤人材の育成が課題で、そのような人材が即戦力として求められる。近年、知能化や電動化の流れで、相対的に熱流体・燃焼分野よりも電気制御分野に技術者を多く配置しているが、製品・サービスのどこにAI技術や、制御技術を導入すればよいかかわかる人材が必要とされている。

**【コラム1】 CRDS 工学基盤セミナー「工学基盤の研究・教育 ～維持すべきもの、融合すべきもの～」**

**(東京工業大学 工学院院长 岩附信行教授、2019年9月20日実施)より**

東京工業大学にて、2016年に「教育改革」「研究改革」「ガバナンス改革」を3つの柱とする大学改革が実施された。人材の観点から本コラムでは、大学改革を進める強力な体制構築を目的とした3つめの柱である「ガバナンス改革」について説明する。

「ガバナンス改革」では、学長と教員間の多くの対話を経て、学長のリーダーシップの下、人事面・組織面・スペース、インフラ面・財政面で、真の国際化を可能にする体制を構築した。

工学基盤分野の研究・教育人材の観点では、大学の人件費不足と大学の国際競争力のための論文発表実績の要求という外圧によって、これらに関わる人材確保が難しくなっており、特に若手研究者は難しい立場に立たされている。例えば、短期間に成果をあげなければならず、設計・試作に時間がかかる重厚な実験装置が必要な研究は敬遠され、基盤分野にはポストが配分されにくいことから、この分野のアカデミアに魅力がなくなっているとも言える。実際、運営費交付金が毎年、一定率削減されている中で、人事院勧告に基づき人件費は微増しており、教育・研究経費全体に占める人件費率は高く、給与体系の変革が必要な状況である。

そのような状況の中で、東京工業大学では2004年度から2017年度にかけて、特に助教の人数が減少したが、現在、人事ポストの全学管理体制に基づき、助教の増員を進めている。また、旧態の基盤分野を守るのではなく、基盤分野の融合により新たな分野の構築や細目の再編を促す努力を行っている。

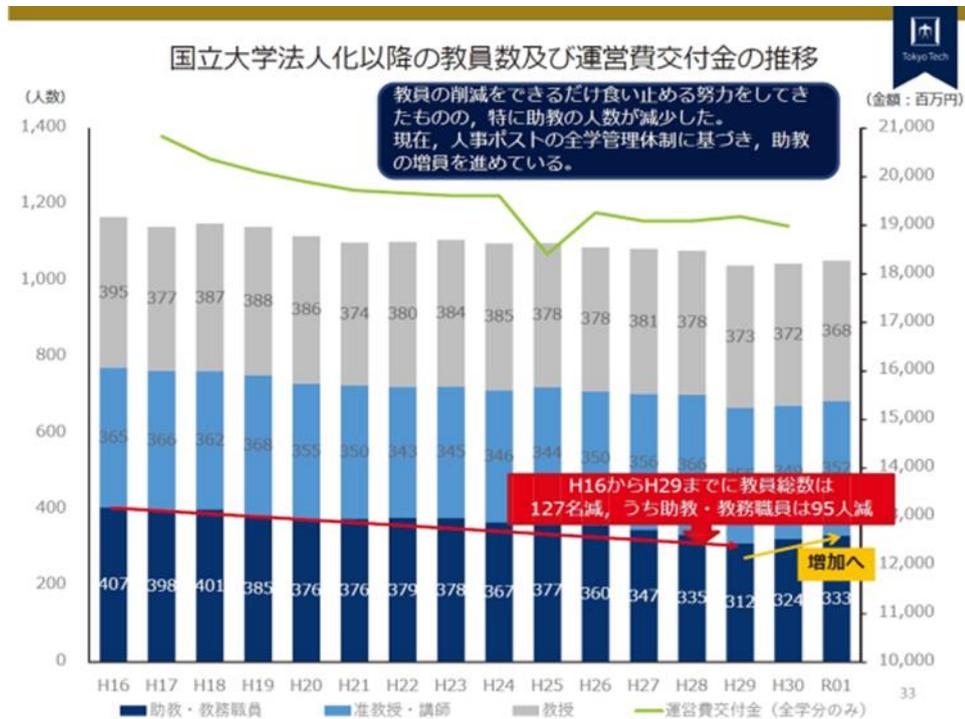


図 C1.1 国立大学法人化以降の教員数および運営費交付金の推移  
(提供：岩附信行教授)

工学基盤分野には、絶滅危惧種とも呼べる研究資金も研究人材も確保が難しい工学分野がある。例えば機械工学の機械要素である、歯車・軸受・ボルト・運動伝達や締結要素などである。これらの分野は古くからある成熟した研究分野と見なされ、本来基盤研究を支える科研費でも採択さ

れにくいという研究者からの声が聞こえている。さらに大学からの予算は縮小されており、国内での研究分野は縮退していると言える。事実、歯車の分野において30年前には東北大学・東京工業大学・京都大・九州大学の4大学が有力で、いくつかの地方大学でも研究室があり、4大学を支える構造にあったが、教授の退官に伴い、現在は4大学でも歯車をメインとして扱う研究室はほとんどなくなってしまった状況である。しかしながら、日本機械学会で開催されている「歯車」講習会は盛況で、たびたび満員となることから、歯車の技術基盤は、工学基盤として産業界からの需要は極めて大きいと言える。一方、中国やインドではこれらの研究分野が進展しており、日本が取り残されてしまう可能性がある。

**【コラム 2】 CRDS 工学基盤セミナー「工学教育における質保証」****(東北大学工学研究科 研究科長 長坂徹也、2019年7月25日実施)より**

八大学工学部長会議にて策定された「工学に関する用語の定義」<sup>34</sup>を紹介する。

<工学>

工学とは、数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問である。工学は、その目的を達成するために、新知識を求め、統合し、応用するばかりでなく、対象の広がりに応じてその領域を拡大し、周辺分野の学問と連携を保ちながら発展する。また、工学は地球規模での人間の福祉に対する寄与によってその価値が判断される。

<技術>

技術とは、自然や人工の事物・システムを改変・保全・操作して公共の安全、健康、および福祉に有用な事物や快適な環境を作り出す手段である。それらの人間の行為に知識体系を与える学問が工学である。

この定義の最初に、「工学とは数学と自然科学を基礎とし」とあるが、この「基礎」に当たる部分が、「工学基盤科学」に相当すると考えている。具体的には、4力学と呼ばれる熱力学、材料力学、流体力学、機械力学とさらに量子力学と構造力学を足した広義の6力学、また固体物理学、物理化学、無機化学、有機化学、電磁気学、水理学、冶金学、制御工学、塑性加工等が相当する。

工学教育の基本として、教育プログラムにおける教える側と教わる側が学習教育到達目標（アウトカム）を契約内容とした契約関係を結んでいる点が挙げられる(図 C2.1)。つまり教える側である教育プログラム提供者が学習教育到達目標に合致した教育を行う義務があり、教わる側であるプログラム履修者が目標に到達する教育を受ける権利と要求能力を習得する義務があるということである。

アウトカム保証のための一つの制度として、一般社団法人日本技術者教育認定機構（JABEE）における JABEE 認定がある。これは大学の理工系、農学系学士課程と一部の修士課程等の技術者教育プログラムを対象とし、学習成果の評価を中心とした審査によって認定が行われているものである。すなわち教育機関自らが掲げた学習・教育目標を達成する教育システムが整備されていることと、修生生の品質保証（世界標準の技術者能力を獲得していること）が担保されていることを JABEE が認証する。この認定制度はアメリカの ABET（Accreditation Board for Engineering and Technology<sup>35</sup>）を見本として策定されている。

<sup>34</sup> 工学における教育プログラムに関する検討委員会（1998年5月8日）「8大学工学部を中心とした工学における教育プログラムに関する検討」, <http://www.eng.hokudai.ac.jp/jeep/08-10/pdf/pamph01.pdf>（2020年2月20日アクセス）

<sup>35</sup> Accreditation Board for Engineering and Technology web サイト, <https://www.abet.org/>（2020年2月20日アクセス）

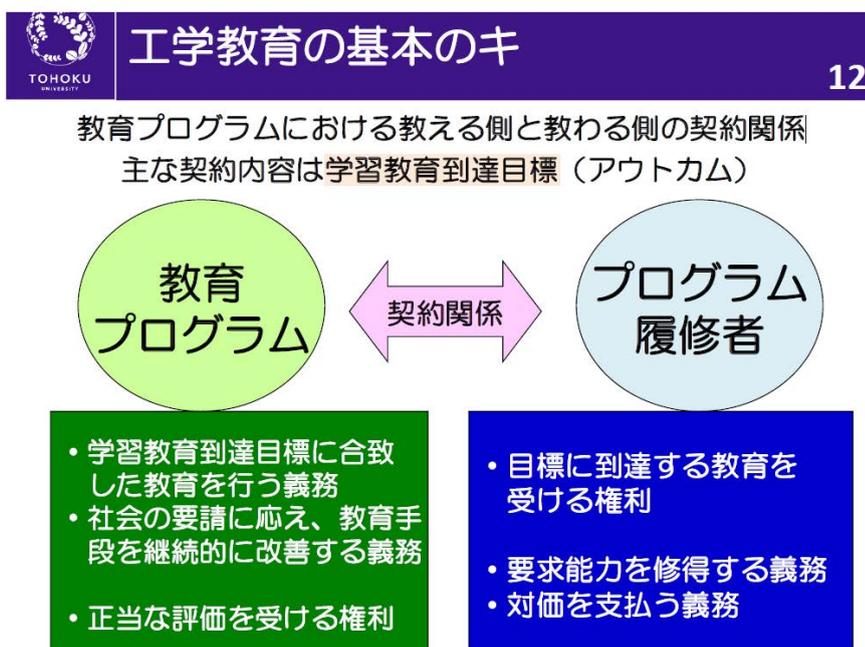


図 C2.1 工学教育の基本となる契約内容（学習教育到達目標）  
(提供：長坂徹也教授)

東北大学では工学教育院を作り、学部4年と大学院修士2年までの6年間一貫教育プログラムに編成した。6年一貫教育をベースに、工学教育の継続的な改善をPDCAサイクルにより実施している。

図 C2.2 は工学系の典型的な修了要件単位の内訳である。プログラムによって若干異なるが、卒業に必要な125単位のうち、約半分を専門応用科目が占め、工学基盤科学としては図中の専門基盤として示す部分が相当する。リベラルアーツ、英語、卒論研修の他に自由と記載した部分があるが、専門基盤をもう少し増やす必要があると考えている。また、中にはオムニバス形式の科目もあるが、応用面だけをトピック的に取り扱うため、学生の人気は高いが、原理原則まで踏み込み本格的な科学に触れることができるカリキュラム編成を行っていかなければならないと考える。

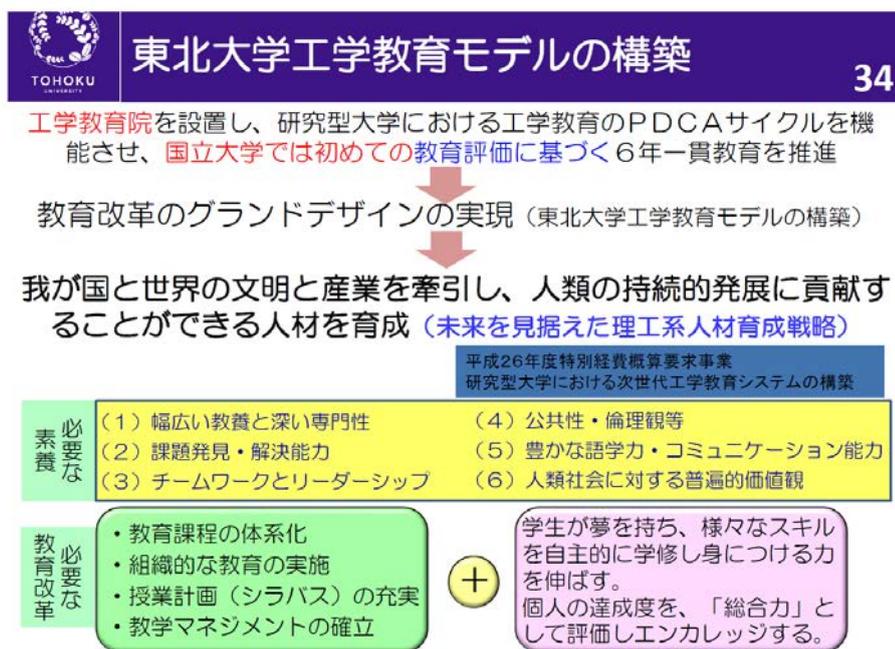


図 C2.2 東北大学工学教育モデルの構築

(提供：長坂徹也教授)

【補足】ABETは米国における28学協会の協定の下で活動している民間ベースの技術者教育認定会議であり、1932年からABETによる工学教育の最低要件が保証されていることを認証する制度を運営している。現在、米国を含めた32ヶ国、812大学の4,144プログラムが認定されている<sup>36</sup>。JABEEが認定したプログラムは約500であるが、認定対象となるプログラムは約2,000あり<sup>37</sup>、審査書類の準備に膨大な時間がかかることがJABEE審査のハードルとなっている。しかしながら、JABEE認定プログラム修了者は、「修習技術者」として技術士の第一次試験が免除され、技術士への道に繋がることから、今後対象となるプログラムが拡大することが期待される。

<sup>36</sup> Accreditation Board for Engineering and Technology web サイト, <https://www.abet.org/accreditation/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>37</sup> JABEE 創立 20 周年記念行事資料 (2019年11月14日), <https://jabee.org/doc/sympo20191126-1.pdf> (2020年2月20日アクセス)

**【コラム 3】 ある地方大学准教授の現状**

“なぜこんなに時間が無いのだろうと、日々思う。とにかくやらないといけないことが多い。これが実験やデータ整理、論文執筆、査読など直接研究に関係あることならば不満は無いのだが、おそらく私を含めて周りの同僚は「なんで自分がこんな仕事を？」と思いながらやっているからストレスが溜まるのだろう。特に近年の地方大学の状況について、中堅どころ、一般企業で言うところの中間管理職（准教授）が置かれている現状について述べたい。

まず、より良い教育カリキュラムを目指して、きちんとやろうと頑張れば頑張るほど雑務が増えていく。例えば JABEE 等の外部審査が必須になり、全ての科目で適宜対応することができなくなった。とても良いことである。ただ教員にとっては、業務は増える一方である。休講はできない、必ず再試験、出欠管理、レポート管理等々その全てを 200 人近くの受講生がいる必修講義で行うと、かなりの重労働となる。200 人から提出されたレポートを学籍番号順に並べるだけで 30 分はかかる。採点などしていると 1 日はあつという間に過ぎてゆく。学生実験や製図、昔は技術職員が手伝ってくれていた。ティーチング・アシスタント (TA) もかなり貢献して実質、学生が指導するというテーマもあった。ところが、教育は教員が行うという原理原則に伴い、長時間の学生指導が必須となった。レポートチェックも同様である。TA に任せてツイートでもされると大問題である。

一番の問題は人員が少ないことである。運営費交付金が減り続け、人件費がどんどん削減されてきた。その結果、2 人退職で 1 人雇えるのが良い方となってしまった。私の学科では今年度 2 人の教授が退職するが、人事は何も無かった。いろんな時限付きのプロジェクトで雇われた人達を、プロジェクト終了とともに大学の予算で雇う必要があり、新規雇用と言っても、その人達に非常に限られた人件費も持っていかれてしまう。外国人や企業出身の方が多く、あまり学科運営などの助力にはならない。結局、人員のみが減ってゆく。以前、教授は講義、助手が学生実験というイメージがあった。教授が退職して補充がないと、その穴を埋めるのは准教授である。実質的に講義負担が増える。一方、近年の若手採用はテニユアトラックで、研究に集中させるため、授業負担を減らす必要がある。その穴を埋めるのはまた准教授で、実験担当が増える。

このように人員が足りないのが全ての原因となるが、さらに効率化の名の下に事務職員も減らされている。非正規の事務職員が担当し、業務が分からなくなる。一般に 3 年程度配置担当されるのに、かなり独特なルールが山積みの教務や入試の仕事を完全に分かるはずがない。学生の卒業単位数の教え間違いも出てくる。そうすると、教員に責任が押し付けられ、指導教員という名前だけとっていたものが、実質指導が必要な立場となる。研究室学生であれば責任を持つが、低学年の学生は名前と顔も一致しないのが実情である。アパートに行って引きこもりの学生対応をしたり、親の苦情を聞いたりだ。研究がしたくて大学に残ったため、正直このような対応はどうして良いか分からない。

また入試問題を作成するなら当たり前と思うが、その袋入れから合格通知の発送まで教員がやっている。学生が進級基準を満たしているかの確認もやったことがある。雇用減に伴う技術職員の高年齢化も深刻である。現在私の所属する学科の技術職員は、半分が再雇用になった。技術を持っているのはその人達で、普段は就職の対応など学科の事務処理をやっている。そうになると、研究のためにモノが作りたくて学外の工場にお願いし、時間がかかる、もしくは精度が悪いということになる。結局、高い費用をかけて外注となる。さらに、機械実習すなわち溶接や旋盤などの実習が数年後に実施不可能になる可能性がある。ただ、実習をやめるわけにはいかない。そう

なるとここでもまた教員が教えないといけない。我々は教育職なのだからという正論には勝てない。そのうち学科事務も教員がやらなければならない可能性がある。人員が削減される中、新しいことを始める場合は何かを止める必要がある。そして研究や教育の本質に目を向けることが大切と感じる。

最後に、小講座制が撤廃されつつある地方大学は、准教授でも学部学生から博士学生までの指導教員になれる。講座制には弊害があると言われるが、役割分担がなされていたと考えれば良い面もある気がする。准教授が責任持って指導教員になると、教授会等の会議全てに参加する必要がある。学部の教務委員会、大学院博士過程の教授会と半日が潰れる。最近では、ほとんど准教授はすぐに博士の指導資格を取得できるが、教授では資格すら持っていない人もいる。(大学によっては、修士と博士が異なる部局のため、指導資格はそれぞれ異なるプロセスで審査される。) 人件費が限られる厳しい状況のため、予算が限られるのなら、教授と准教授のどちらが研究や教育を頑張っているか、常に頑張っている人が評価されるような仕組みが必要である。”

## A 1. 4 機器・設備

大学の運営費交付金が削減されており、各大学の研究機器・設備の老朽化や維持・管理が困難になってきている。研究機器・設備の維持管理は、実験、計測による研究成果の創出のみならず、それらの使用で培われた計測・分析等のノウハウは、我が国の研究や基幹産業を支える重要な技術である。また、研究予算の有効活用のために研究設備・機器の共用化が重要である。本節では、工学基盤となる機器・設備に関して、産学（企業および地方の大学）の現状と課題、研究設備・機器の共用化についてもその現状と課題をまとめる。

### 【大学・国研の動向】

#### 1. 地方大学における研究設備・機器の現状

運営費交付金削減の影響が大きい地方国立大学の工学基盤の現状調査のため、岩手大学、山形大学の状況を伺った。

##### 〔岩手大学理工学部〕

- 大学の予算として、運営費交付金が人件費を含めて減少してきたため、長期的な人材の雇用や機器設備のメンテナンス・更新に十分な費用を充てることができていないという課題がある。人件費を抑えることで、設備費用を捻出してきたが、その自助努力にも限界があり、機器設備の更新については八方ふさがりの状況である。
- 設備・機器は研究室間で囲い込むのではなく、誰でも使えるようなオープンな状態を保とうという流れにはなってきているが、依然として研究室に眠っている財産が多々あるという状態がある。
- 岩手大学の工学系は金型技術、鋳造技術、溶射技術、航空宇宙関連技術、強電技術が強みと考えている。今後、加工設備や鋳造設備、溶解設備、高電圧実験設備等の機器設備がさらに充実していけば、金型、鋳造、溶射、航空宇宙、強電分野のイノベーションが期待できる。農業や水産業との農水工連携などの新しい研究分野も期待したい。
- 大学の運営費が厳しくなっている中、技術職員の育成には成功していると考えている。2008年より技術職員の組織化に取り組み、仕事の定量化と技術者の有する技術力を評価する仕組みを構築している。総勢 40 名くらいいて、組織として継続的に雇用しているので、技術の伝承にも役立っている。技術職員は若手が多くおり、岩手大の卒業生もいて、岩手で働きたいと考えている人の一つの選択肢となっている。また、40 名いるテクニシャンの室長(各研究科 1 名)・グループリーダーが長期的な設備戦略を検討している。

##### 〔山形大学工学部〕

- 運営交付金は一研究室当たり 20 万円程度である。外部資金も含めた一研究室の平均予算は 200 万円程度であるが、ばらつきが大きい。地方銀行の銀行マンにも研究事業を提案し、産学官だけでなく金融との連携もできないかを考えている。
- 工学基盤となる機械系の加工機械、旋盤機械などの教育用の実験機器・設備は、非常に古くなっている（1964 年設置のもの）。これまで設備更新を何度か企画したが、うまくいっておらず課題と認識している。

- 山形大学の強みとして材料分野があり、この基盤を生かした戦略立案を行っている。組み立て技術が必要となる最終製品を目指すのではなく、部品を押さえること、日本人が得意な部品のモジュール化で勝負することを考えている。
- 技術職員は 50 名程度である。東北大や山形大の博士を修了した人もおり、助教になれるキャリアパスも整えている。

運営費交付金の削減により、機器設備の更新に資金が回らず、設備の老朽化が進んでいる。そうした中でも、各大学の強みを活かしながら地域産業との連携を図り、イノベーションを生み出す努力がなされている。非連続的なイノベーションの促進が可能となるような機器設備の充実が望まれる。また、研究機器・設備を維持管理する技術職員の雇用、技術の伝承も重要な課題である。技術職員が少なくなる中で、技術職員の組織化やキャリアパスの整備など、各大学で工夫が見られる。

## 2. 研究設備・機器の共用化

運営費交付金が削減されてきた中、研究開発投資の効果を高め、研究成果を持続的に創出していくためには、研究設備・機器の共用化を促進していくことが重要である。このため、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」が制定され、大型放射光施設「SPRING-8」、スーパーコンピューター「京」、大強度陽子加速器施設「J-PARC」、X線自由電子レーザー施設「SACLA」の4施設が「特定先端大型研究施設」として産学官の研究者に共用されている。さらに、大学等における研究設備・機器の共用システムの導入を加速するとともに、産学官の共用促進に向けた施設・設備等のネットワーク化を支援する「先端研究基盤共用促進事業」も進められている。その中の「共用プラットフォーム形成支援プログラム」では、産学官が共用可能な研究施設・設備を保有する研究機関間の整備・運用を含めたネットワーク構築の支援を行い、「風と流れのプラットフォーム」、「光ビームプラットフォーム」、「電磁場解析プラットフォーム」などの6つの共用プラットフォームが運用されている。また、科研費などの競争的資金で購入した大型研究設備・機器の原則共有化が決められており(2015年度)、各機関内での大型設備の共有化も進んでいる。その他、国立研究開発法人の設備や大学間コンソーシアムの共有設備もあり、流体、材料研究に関する共用設備のいくつかを表 A1.4.1 にまとめている。

以上のように、共有・機器の共有化とその利用は広がっているが、実際の状況を把握するため日本大学理工学部理工学研究所大型構造物試験センターと前述の「風と流れのプラットフォーム」の実施機関である東北大学流体科学研究所を訪問し、状況を伺った。ヒアリング内容を以下にまとめる。

[日本大学理工学部理工学研究所大型構造物試験センター]

- 大型構造物試験センターは昭和 51 年に完成した建築用実験設備である。日本で最大の 30MN 大型構造物試験機(圧縮試験機)があり(図 A1.4.1)、その他にはテストフロア、多入力振動試験装置がある。学内の研究と企業からの委託研究に使用されており、企業の利用が活発に行われてきた。ハニカムチューブ構造など、多くの重要な建築技術の開発に大型構造物センターは貢献してきた。現在も月に一度の頻度で企業の委託研究・計測がある。
- しかしながら、大型構造物試験機は製造後 45 年近く経ち、いつ壊れてもおかしくない状況

- で、なるべく負荷がかからないように使用している。補修しようにも予算が無い状況である。
- 日本大学理工学研究所は大型構造物試験センター以外にも、空気力学研究センター、材料創造研究センターなど8つのセンターをあり、共同利用できる大型研究設備を所管している。技術職員は各センターに1名ずつ在籍しており、各センターの管理には関連する理工学部の教員が携わっている。理工学研究所の平成30年度受託研究は120件あり、受入金額は220,649千円<sup>38</sup>となっている。設備の新設はなかなかできないものの、維持管理はなんとかかできている。

表 A1.4.1 流体、材料研究に関する共用設備例

所有組織	共有設備
国立研究開発法人 海洋技術安全研究所	400m 試験水槽、中水槽、実海域再現水槽、海洋構造物試験水槽、変動風水洞、深海水槽、高圧タンク、大型キャビテーション試験水槽、複合荷重試験装置、材料・化学分析システム、操船リスクシミュレータ、4サイクルディーゼル機関
ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム(慶應大、早大、東京工業大学、東大)	35種類以上の精密加工・観察装置 (成膜装置、転写装置、エッチング装置、評価・計測装置)
新潟工科大学	大型境界層風洞
国立研究開発法人 物質・材料研究機構	7つのステーション(材料創製・加工ステーション、電子顕微鏡ステーション、材料数値シミュレータステーション、材料分析ステーション、高輝度放射光ステーション、ナノテクノロジー融合ステーション、強磁場ステーション)
東北大学未来科学技術 共同研究センター	電子顕微鏡設備、表面分析設備、表面硬度試験設備、材料信頼性評価設備、各種評価・計測設備

<sup>38</sup> 日本大学理工学部理工学研究所ホームページ, 受託研究, <http://www.rist.cst.nihon-u.ac.jp/fund.html> (2020年2月20日アクセス)



図 A1.4.1 30MN 大型構造物試験機（日本大学理工学研究所）<sup>39</sup>

〔東北大学流体科学研究所〕

- － 東北大学流体科学研究所次世代流動実験研究センターの低乱風洞実験施設、衝撃波関連施設は、共用プラットフォーム形成支援プログラムの「風と流れのプラットフォーム」に採択され、高性能な実験装置と計測技術を企業に提供している。低乱熱伝達風洞（図 A1.4.2）は乱れが極めて低い流れを作ることができ、その性能は国内最高水準を誇る。また、磁力支持天秤装置があり、模型を支える支柱の影響が無い試験が可能である。
- － 同プラットフォーム事業全体としての年間の利用件数は、2016 年度が 12 件、2017 年度が 22 件、2018 年度が 38 件と年々増加している。しかしながら、同大学における利用料金は、設備の取得単価に基づく基礎額と単純に担当職員の人件費を日割り計算した単価に基づき算出されており、計測技術・分析のノウハウに対する対価は支払われておらず、支援プログラム終了後に共用設備制度を維持していく体制が整っていない。また、低乱風洞実験施設と衝撃波関連施設の技術職員はそれぞれ 1 名であり、今後数年は技術職員採用の予定がない可能性が高く、今後の測定技術の伝承が危惧される。

<sup>39</sup> 日本大学大型構造物試験センターヒアリング時の写真（提供：九州大学石川諭准教授）



図 A1.4.2 低乱熱伝達風洞（東北大学流体科学研究所）<sup>40</sup>

以上のように、運営費交付金削減のなか、研究設備・機器の共用化は重要であり、産官学の共有化は国立研究開発法人、先端研究基盤共用促進事業、一部の大学で行われ、各大学内でも共有化が進められている。しかしながら、設備の老朽化がありながら金銭的に新設が難しいこと、先端研究基盤共用促進事業における支援終了後の共有化維持の仕組み作り、技術職員不足による測定技術伝承の危惧などの問題がある。また、日本大学大型構造物センターの主な利用者である建築・建設・航空宇宙の分野では、企業による大学施設の利用数が多く、企業と大学が一体となって研究・開発を進める文化がある。これはA2.6で紹介するオーストラリアのWestern Sydney大学の視察でも同様の印象があった。日本大学の北嶋圭二教授によると、建築業界では特に工学基盤の弱体化を感じていないとのことで、他の工学分野でも、設備・機器の共有化を踏まえ産学の連携推進が重要であると思われる。

<sup>40</sup> 東北大学流体科学研究所 web サイト，共通施設，[http://www.ifs.tohoku.ac.jp/jpn/img/commonfacilities/kyoutu\\_img11.jpg](http://www.ifs.tohoku.ac.jp/jpn/img/commonfacilities/kyoutu_img11.jpg)（2020年2月20日アクセス）

**【コラム 4】 東北大学流体科学研究所 次世代流動実験研究センターにみる施設運用の現状と課題**

## ○施設運営の現状

センター長のもと特任教授 1 名（エフォート 50%）、リエゾン室員 1 名、技術職員 1 名、技術補佐員 1 名（週 18 時間）、事務補佐員 1 名（週 15 時間）の体制である。これに加え特任教授 1 名が、磁力支持天秤装置の技術指導として謝金にて支援している。このうち、リエゾン室員（エフォート 90%）、技術補佐員、事務補佐員、磁力支持天秤装置支援の特任教授は外部資金（先端研究基盤共用促進事業）による雇用である。当施設では、風洞が 3 基、ならびに世界最大の磁力支持天秤装置を運用しており、並行して利用されることから、最大 4 つの設備が同時に稼働することになる。これをリエゾン室員 1 名と技術職員 1 名の 2 名体制で実質運用している状況で、現状でも人員が不足しており、外部資金による雇用がなければ運用が成り立たない状況である。

「風と流れのプラットフォーム」事業開始初年度となる 2016(平成 28)年度は、リエゾン室員が共同研究を実施していたこともあり、事業費からの人件費の計上は他の年度よりも少なめであるが、その分、特任教授による技術指導料としての謝金額が多く計上されており、特任教授の旅費も含めると、実質として例年、人件費相当（上記 4 名）が 9 割程度を占めている。

事業委託費以外の収入は、外部利用料収入を年平均 300 万円程度、ならびに学内からの利用料収入を年平均 100 万円程度得ることにより、運営費交付金の年平均 70 万円のみでは賄うことが難しい施設の維持管理に必要な保守経費は賄えている状況である。一方、事業委託費がなければ人件費、年約 950 万円程度を賄うことが出来ていない状況である。

外部利用に伴う利用料は、東北大学テクニカルサポートセンターの規定に基づき算出されている。内訳は、貸付基礎額（取得価格と耐用年数から算出される）＋光熱水料＋保守点検等経費＋運転等消耗品費＋運転技術職員の人件費相当＋その他管理運営上必要となる経費からなり、これを年間稼働可能時間で除して時間単価が算出されている。

一方、学内外の教員（研究者）の多くは研究費を外部資金に頼る環境となっており、企業に課す利用料と同等額を負担することは困難なため減額して対応している。正規の料金を課しても各研究者が支払うことが可能であれば、上記算出方法からもわかるように 収支はバランスする計算となるが、それでは、特に大きな予算を持たないこれから活躍していくべき若手の研究者にとって、利用したくても利用できない設備となり、現実には施設の利用が減り、技術が失われていくことにも繋がる。例えば、本研究所では、共同利用・共同研究拠点「流体科学国際研究教育拠点」として共同研究を推進しており、学内研究者と学外研究者で行う公募共同研究を募集し実施しているが、各研究課題に割り当てられる予算は、申請可能額が 40 万円以内となっており、正規の風洞利用料に換算すれば、3 日程度の利用料の支払いで予算が尽きることになる。

## ○現状から見える問題点

## 1. 公益性の観点から料金体系に利益を得る仕組みが導入されていない

たとえば①技術・ノウハウに対する加算、②事前検討（設計支援、計画立案など）、事後評価（データ解析、評価など）に対する料金体系が存在しないことから、正味の施設利用時間のみとなっており実際に支援員が割いた労力と見合った収入となっていない。また、研究者への負担を減らす分、外部からの利用料を上乗せするなどの工夫も必要である。一方で、現料金体系は、大きな

予算を持たない中小企業にとっては、他の民間企業の風洞を用いるよりも安価に利用、支援を得られることで大きなメリットとなっていることから、中小企業支援のための枠組みも同時に取り組む必要がある。また、研究者においても、外部資金獲得時に、施設利用は無償であるという旧来の考えを捨て、施設利用も加味して予算獲得を目指す志も必要である。

## 2. 収入を技術職員に還元する仕組みがない

技術職員の人件費を10%削減する必要があると言われていた中、東北大では得られた利用料収入を人件費に充当する仕組みが存在しない。現行のテクニカルサポートセンターの利用料算出方法からもわかるように、利用料の相当額が技術職員の人件費相当であるから、本来は、該当部分を人件費に充当すべきである。しかしながら、現在はその仕組みがなく、維持管理に伴う費用や施設で個別に雇用する非常勤職員の人件費にしか充当することが出来ていない。これより、東北大では、人件費削減分に相当する、今後数年は技術職員採用の予定がない可能性まで出てきている。これは、技術の継承において由々しき問題である。

## 【産業界の動向】

産業界における工学基盤を支える機器・設備は、企業によって状況は異なると思われるが、ここでは、日本の産業界を代表する企業として、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的燃焼技術」の終了後、新たな協調領域の工学基盤の研究を推進するA社の研究所、航空宇宙関連技術の工学基盤をもつB社の機器・設備に関するヒアリング内容をまとめる。

### [A社]

- X部では、主にエンジンに関する研究開発を行っているが、電気自動車、自動運転などの時代の流れから、エンジン分野の人員を減らすなど配置転換が進んでいる状況である。ただし、流行りの研究テーマへの研究投資ばかりだけでなく、燃焼などの工学基盤の技術への研究投資も依然大事だと認識している。また、昔に導入した施設の老朽化、古くなった施設の廃棄問題等が一斉に生じているが、会社の利益があるため、ある程度の設備の新設は可能である。ライフサイクルアセスメント（LCA）や二酸化炭素排出削減の観点からエンジンに関して、やるべき研究はまだたくさんある。電気自動車（EV）の開発も進めるが、エンジン技術はきちんと維持・強化していきたい。エンジンの技術開発は、仕様の変更による高性能化は限界にきており、現象の深い理解が必要になっている。そのためにも大学の研究者の深い知見は重要であるが、SIPの「革新的燃焼技術」では大学の研究者との繋がりが増し、大きな成果があった。また、大学の機器設備は古いものが多いが、SIPで投入された最新設備によって、大学もより成果を得ることができるようになった。SIPで投入された機器設備は関連する継続の研究で優先的に使用し、継続的に使えるように工夫をしている。基盤技術に関わる大学の設備導入について国プロとして支援が求められる。計測の基盤技術は社内で10年後に必要な計測技術のシナリオを描き、技術開発が行われている。しかし、最近では委託研究の件数が増えている。解析や一部の計測は関連の外部企業でも行っている。

## 〔B社〕

- 自社のコア製品（例えば、航空宇宙関連製品）の工学基盤技術の半分は自前で維持強化し、一部は海外および国内の大学、国研などとの連携でカバーしている。近年では、海外に技術系人材を駐在させて、ベンチャーを含めた最新技術の調査を行っている。
- 知能化や電動化の流れで、相対的に熱流体・燃焼よりも電気制御分野に技術者を多く配置している。製品・サービスのどこに AI 技術や、制御技術を導入すればよいか分かる人が必要である。
- 分析装置については WG を設け、次の何年かを見据えた調査を行いながら、社内で導入・開発する装置を決めていく。
- 社内でイノベーション費用があり、公募によってトライできる環境を作っている。採択されて事業性、技術成立性があると判断されれば、少し大きめのプロジェクト化を目指す。
- 技術職員の教育（座学）は、技術伝承・教育を目的とした技術研修所で行っている。各製品に特化した技術分野は、それぞれの事業部門が実施している。
- 米国ではベンチャーが多く、質は様々だが突然変異が起こることがある。また、3D プリンターで高度なところまで試作ができ、アイデアの具現化までが早い。一方、日本では町工場に試作を気軽に頼めていたが、なくなりつつある。
- 工学基盤に関する国のプロジェクトの支援のあり方については、医療向け製品の開発で長野県工業技術総合センターの保有機器設備や技術職員の知識が非常に有用であった経験から、工学基盤となる工業試験所の保有技術の向上や機器設備のサービス充実化、広範な PR 活動を期待する。

産業界では、EV 化や自動化、知能化の流れで機械工学関連の人員が減らされているが、工学基盤技術・設備の維持は重要であるという認識はされており、維持する工夫もされている。また、大学や工業技術センターなどの公的機関の設備が充実するように国のプロジェクトの支援を期待している。

## A1.5 データ基盤・標準化

ここでは、我が国の工学基盤としてのデータ基盤・標準化の特徴と最近の動向、課題などについてまとめる。

### 【データ基盤にかかわる我が国の特徴と課題】

#### 1. データベース構築上の課題

工学の学術研究においては、産業界のデータが必要になることがたびたびあるが、データ入手に当たっては困難を極めることが多い。このような問題は、必要とするデータが、パブリックデータベースとして公開されていれば、問題は解決するが、そもそもパブリックデータベースとして公開されているものの数が極めて少ないように見受けられる。プラントなどの保全分野について例示する。我が国のプラントなどの圧力機器の保全の体系は、長期にわたって時間計画保全を基本としてきた。この考え方は、厳格な基準に基づいて、確定した検査間隔ごとに、確定した検査部位について、確定した検査手法で検査を行い、損傷が検出された部位について補修、交換などの措置を行うものである。このような方法は、新規プラントについてはさしたる問題は露見しないものの、経年化が進むと様々な問題が顕在化する。典型的な例を挙げると、老朽化プラントでは、基準で決められた検査箇所からは、あまり損傷が検出されない一方で、基準で決められていない部位から、たびたび損傷を検出することに遭遇する。このため、現場担当者から見ると、無駄な検査を実施している一方で、想定外の損傷検出は、計画外の作業の発生を伴うことになり、大きなコスト負担が発生することになる。我が国の石油精製、石油化学プラントは高度成長期に製造されたものが多く、新規プラントは極めて少ない。このような状況の中で、上記のような時間計画保全を継続することは、国際競争力の観点からも極めて不利な状況に置かれることになる。何故なら、中東、欧米では早期にこのような問題点を把握し、正味検査が必要な部位を評価することによって判断し、優先順位を考慮した上で検査計画を立案する、リスクベース検査手法を導入しているからである。我が国では、上記の状況の改善の一助となるよう、産官学の協力のもとリスクベース検査の規格・基準作りが長期にわたって行われ、2011年に民間規格<sup>41</sup>が発行した。ところが、規格の発行後に今日に至るまで、リスクベース検査が十分に産業界に浸透している状況にはない。その大きな理由の一つが、データベースが利用できないことだ。

リスクベース検査では、各検査部位のリスク評価をした上で、リスクの大きさに基づいて優先順位を決定する。リスクは、その部位の損傷確率と、損傷した際の影響度の大きさを考慮して評価される。我が国では、影響度の大きさの評価にも困難が伴うが、それにもまして損傷確率の評価には困難を極める。欧米では、この目的のために、利用できるデータベースが数多く存在する。例えば、スウェーデンにおける船級認定組織である DNV GL が発行する OREDA(Offshore and Onshore reliability Data)や、米国化学工学会の化学プロセス安全センターが発行する PERD(Guideline for Process Equipment Reliability Data, with Data Base Tables)、オランダ化学機構 TNO が発行する COMP など枚挙にいとまがない。我が国でも、損傷事例に関するデータベースを公開しているものもあるが、その多くが損傷確率評価に利用できるものとは見受けられない。国内外でこのような差異を生ずる一因として、我が国では企業内のデータは自社の私有物

<sup>41</sup> 一般社団法人日本高圧力技術協会, HPIS Z 106:2010 「リスクベースメンテナンス」(2010)

であり、パブリックで共有するものとの意識は極めて希薄である可能性がある。産業界全体の発展のためには、率先して自社データを供出し、パブリックデータベース構築に貢献する意識を醸成することが重要と考えられる。

## 2. データベース開発における計画性の欠如

我が国では、データベースという点とまず、データを集積しておくことに注力するよう見受けられる。このデータベースを利用して、何らかの評価を行う場合、当然のことながらそのデータベースは、評価の目的に資するものでなければならない。ところが、単にデータの集積物として開発されたデータベースは、得てして評価目的に合致しないことが多い。この場合、活動初期に評価の目的を明確にし、その目的に合致するようデータを収集してデータベースを開発しなければならない。

我が国では、損傷確率データベースとして利用できそうなものは数が限られる。原子力分野については、文献<sup>42</sup>に示すように比較的充実したものが公開されている。この理由は、原子力分野では統計の知識のある専門家が処理をしており、検査データの公開性も求められることから十分なデータが集積できるという利点があるためと考えられる。ところが、一般産業の機器損傷確率データについては、利用できるデータベースはほとんど見受けられない状況である。一般産業における高圧ガス事故にかかわるデータベースとして、日本高圧ガス保安協会が集積し、ウェブ上からも公開<sup>43</sup>しているデータベースが代表例としてたびたび取り上げられる。しかし、この内容を調査すると、損傷確率評価のためには利用できないことが判明している。その理由を要約すると以下ようになる。

- ① 事故件数の統計データであり、分母である機器数や運転時間の情報がないため、率の計算ができない。
- ② 配管や圧力容器の漏洩に関する事故件数が相当数集まっている。しかし、損傷確率評価のためには、基準化が必要となり、そのためには、配管の単位長さ当たり、単位運転時間当たり、もしくは圧力容器の単位面積当たりの評価が求められる。しかし、公開データの中に、分母に相当するこれらの量が含まれていないため、損傷確率評価は困難。

この高圧ガス保安協会から公開される事故情報は、もともとは事故の届け出義務に基づいて提出されたもので、損傷確率評価を意図して集められたものではない。従って、件数のみに注目してしまうのもやむを得ない面もある。届け出義務に基づくものであり、データ数は相当量に及ぶため、データベースとしての価値は高いが、集積されたデータから、その分母である機器数、配管長さ、圧力容器の表面積などを評価することは実質困難であるため、損傷確率評価と結びつけることができない。この点、OREDAのような海外の著名なデータベースでは、集積する段階でこれらの分母となる情報も組織的に集約している。つまり、データベースの構築段階において、利用目的を明確化し、そのために集積すべきデータを特定した上で、データを集めなければならないことを意味する。これらの分母の情報を集めることは、企業から見ればそれにかかる手間は並大抵のものではないが、それにもかかわらず組織的データ収集が実現できている背景には、リ

<sup>42</sup> 原子力情報センター，原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出(1982年度～1997年度 16カ年 49基データ改訂版) (2001)

<sup>43</sup> [https://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/statistics\\_material.html](https://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/statistics_material.html) (2020年2月20日アクセス)

スク評価という明確な目的意識をもっていることが挙げられる。我が国においても、真に産業界、学术界に有用なデータベースを構築するためには、構築する段階での目的意識の明確化、意識の共有、データフォーマットの策定を行うなどの計画的行動が望まれる。

### 3. データの所有権の課題

以下は、本調査メンバーの一人が某エレベーターメーカーとの共同研究を行った際に発生した課題であるが、我が国のデータベースを構築する上での共通する課題である。エレベーターのメンテナンスの合理化は、特にエレベーター保守を業務とする企業にとって重要な課題となっている。現状では、基本は時間計画保全であるが、計画外の保全要求が発生することも多く、この頻度は企業の経営も圧迫することになる。一方で、時間計画保全の検査計画の根拠は経験に基づくものが多く、明確な根拠が見いだせないものもある。このような状況を打破するためには、必然的に学術的根拠に基づくリスクベース検査の重要性が浮かび上がってくる。リスクベース検査のシステムを構築するためには、まず必要となるのが機器の損傷確率データベースである。メンテナンス業者には、当然のことながら、膨大な故障データの記録が存在する。当初は、この故障データを活用して容易に損傷確率データベースを構築できるものと考えられていたが、大きな壁が立ちだした。それが、検査データの所有権の問題である。我が国では、検査データの所有権は、設備の所有者にある。従って、設備の所有者の許可なく、そのデータを利用できない。そのデータが、メンテナンス業者のもとに残っていたとしても、その所有権はメンテナンス業者にはない。設備の所有者の許可をとろうと打診したところで、まず許可がおりることはない。何故なら、エレベーターの設備の所有者は、検査データを外部に出すことにメリットを感じることなく、むしろ故障データとなると、設置した建物のマイナスイメージにつながるのではないかという懸念につながり、後ろ向きの反応を示す傾向がある。結果として、貴重な故障データの宝庫も全く活用されることがない。このことは、一般産業の機器の故障データについても類似の傾向がある。結果として、我が国では機器の損傷確率評価のためのパブリックデータベースの構築は極めて困難な状況になっている。

エレベーターのリスクベースメンテナンスについて先進的な取り組みをしているカナダ・トロントで、州内の公衆安全規制を管轄している TSSA(Technical Standards and Safety Authority)の実践例<sup>44</sup>によると、TSSA は規制当局が登録しているエレベーターについて、全機の損傷状況を把握している。これに基づきリスク評価を行い、リスクの高いエレベーターを設置している建物管理者に、勧告を出すことができる。評価した安全リスク情報は、年間安全レポートとして発行され、誰もが閲覧することができる。我が国と比較すると、その状況の差異は歴然としている。そもそも、我が国では規制当局がこのような管理を行っていないので、老朽化したエレベーターの状況を規制当局が十分に把握できているとは言えない。カナダで、このような規制が実現できる根本にあるのは、故障データの管理である。つまり、カナダでは、エレベーターの主要な故障データを把握するために、TSSA の検査官がじかに検査を実施する。このため、エレベーター所有者が保有物としてデータを秘匿することは許されない。もし、秘匿するようなことがあるとエレベーター所有者にペナルティーが科される。このように、カナダと我が国とは、データの所有権に対する考え方に歴然とした差異が存在する。このことが、我が国のデータベース構築の大きな障壁となっ

<sup>44</sup> S.Mangalam, R.Feo, "Risk Informed Decision Making by a Public Safety Regulatory Authority in Canada: A Case Study involving Risk Based Scheduling of Periodic Inspections", WM'06 Conference, February 26-March 2(2006), Tucson, AZ.

ているものと考えられる。

#### 4. 材料データベースにおける試験法標準化の重要性

機械設計にあたっては、材料の機械的特性は不可欠である。その際に、最も基本となる材料の降伏点、引張強さ、伸び、絞り、衝撃値、硬さなどの材料特性は、材料の用途に対応して JIS 規格 (Japanese Industrial Standards、日本産業規格) が発行されている。第一段階の設計は JIS 規格の範囲内のデータで行うが、有限要素法などの数値計算による詳細解析を行うためには、材料構成式などの詳細なデータが必要となる。また、機械製品の使用環境に応じて、繰り返し荷重が付加される部位では、疲労設計のための疲労強度データが、また高温にさらされる部位では、高温強度設計のためのクリープデータが必要となる。詳細解析のために必要となるこれらの材料データは、パブリックデータベースがあれば、入手可能である。その代表的なものが、物質・材料研究機構が管理・運用している構造材料データシートである。数値解析技術の高度化と相まって、入力する材料データベースを充実させることが、有効な数値解析を実現するためには不可欠である。材料データベースの開発のために、試験法の標準化が極めて重要な役割を果たす。

確立した材料データベースが存在するという事は、その背景となる要件があり、試験法の標準化、試験法の標準化が確立していることが前提となっている。試験法の標準化が完了していれば、試験機メーカーは安心して試験機の製造・販売を行うことができ、その結果として試験機が幅広く普及することになる。必然的に、対応する強度データの集積も容易になってくる。一見、あたりまえのように見えるが、逆に標準化がされていない場合には、全く機能しなくなってしまい、データベースの構築も困難な状況が発生してしまう。近年の機械製品の衝撃問題では、このような問題に直面する。衝撃問題については、これまでは機械設計において衝撃値程度については考慮されていたものの、衝突時の変形、破壊に至るまでの解析が行われることはまれであった。自動車分野では板材の衝撃変形について重点的に取り上げられてきたが、他産業ではとりあげられることは少なかった。このため、この分野は大学や研究機関の研究者によって取り扱われることが多く、標準化ということにもそれほど関心がなかったものと思われる。また、衝突時の材料の高ひずみ速度下では、材料は一般に硬くなることが知られており、安全側の挙動であるものとして、産業界でも十分に配慮がされてこなかった。しかし、近年、福島第一原子力発電の事故や、台風・豪雨の大災害、火山噴火時の噴石による被災などがあり、衝撃破壊に対するより高精度の評価が求められるようになってきた。数値解析技術は高度化しているため、それを活用して有効な結果を得るためには、衝撃時の材料データベースの確立が不可欠となる。しかし、我が国では現状ではそのようなデータベースは存在していない。このような状況は、衝撃破壊に関する機械製品の規格開発において問題を生ずる。例えば、原子力発電では、過酷現象に対する対策の一つとして、竜巻時の飛来物に対する構造物の強度が求められるようになり、関連する規格開発が進められた。また、使用済み核燃料の輸送に使われるキャスクと呼ばれる容器については、輸送時の落下現象があったときにも、密封性が求められる。このように、以前には取り上げられなかったような衝撃時の強度、変形に対する高精度の評価が求められるようになったのである。こうしたことから、必要となる衝撃に対する材料データベースの開発が可能かどうか調査されると、上記に述べた材料データベース開発の要件が全く整っていなかったことが明らかとなった。例えば、衝撃変形を取得する代表的な試験機としてスプリット・ホプキンソン棒試験機があるが、この試験機を製造している試験機メーカーが存在しない。現状で使われている試験機は、大学や

企業で個別に設計、調達したものが多い。そもそも、衝撃試験のための試験法が、これ以外にも何種類か存在しており、その中には、我が国で独自に開発され、我が国でしか利用されていない方法もある。また、試験法の標準化も進められておらず、シャルピーの衝撃試験に対して JIS 規格が開発されている程度である。今後の我が国での産業界のニーズに答えるためにも、衝撃データベースの開発は不可欠であり、そのための出発点としてまずは、試験法の標準化が不可欠である。横浜国立大学酒井信介客員教授は、経済産業省の JIS 規格認定を行う組織である標準第一部会の部会長を務められ、スプリット・ホプキンソン棒試験機の試験法の標準化の可能性を考えた。その結果、この分野の第一人者である防衛大学校・山田准教授とも連携し、JIS 規格の制定に至った<sup>45</sup>。今後は、試験機メーカーも標準化によって安心して試験機開発ができるようになり、試験機の普及、データベースの開発へと発展していくことが期待される。

#### 5. データベース価値に対する理解の重要性

データベースの存在は、関連する学術分野や産業界の発展に欠かすことのできない重要なものであることは言うまでもない。しかし、データベースの開発段階では、膨大なコスト、労力が必要となる。例えば、データベースを意味あるものにするためには、集積されるデータ数を大きなものにする必要があるが、このためにはまずデータフォーマットの慎重な検討が必要である。また、データ品質の確保のためには、入力されたデータに対するチェックを欠かすことができない。データベースの構築で、作業が終了するわけではなく、その後の維持管理をどのようにするかということが、重要な課題となる。インターネットを通じた利用を考えるのであれば、データサーバのような設備が必要になるし、データの管理運用のためには専属作業員の割り当ても必要になる。これらの経費確保のために、課金システムを導入するときには、パスワード管理とともに、データ提供者への優遇策などの仕組みも必要となる。このように、データベースが基盤として位置づけられ、学術界や産業界に普及するためには、多くの労力と経費が必要となる。ところが、データベースは単なるデータの集積程度の認識でとらえられることもある。例えば、産業界の担当者がデータ管理担当者に直に電話にてデータの提供を求める事例もあったという話もある。

もう一つ、物質・材料研究機構が管理運用する構造材料データシートの事例を挙げる。本シートは、その量、品質ともに世界トップクラスであり、世界中の研究者、産業界から引用されているが、この世界に冠たるデータシートの運營業務が、機構内では公式の運營業務としての理解が十分に得られていないという現状があるようである。産業界が必要とするものであれば、受益者である産業界が管理運営すればよいのではないかとの指摘があるようである。このような意見が生じる背景には、データベースの存在意義に対する無理解があり、データベースとは単にデータを集める作業のみであるとの認識があるかもしれない。このようなデータベースへの無理解は、結局、我が国の学術界や産業界にはねかえってくることとなる。

中国では、次世代火力発電である 700°C 超々臨界圧発電システム (A-USC) の世界初の実現に近づいている。A-USC の実現のためには、高温蒸気に対する対策が不可欠であり、クリープ強度に関するデータが不可欠である。ところが、クリープ強度の取得には長時間を要し、クリープ寿命の長いものでは 40 年近くにもなるものもある。従って、クリープ強度に関するデータベースは何物にも代えがたい価値のあるものであるが、先の物質・材料研究機構が運営する構造材料データシ

<sup>45</sup> 日本規格協会, JIS Z 2205:2019 「スプリット・ホプキンソン棒法を用いた高変形速度試験方法」

ートの中には、クリープ強度に関するものも含まれている。クリープ試験データの世界最長記録は、物質・材料研究機構のデータシートが保有しており、いかにこのデータベースが価値あるものであるかが分かる。中国はクリープデータを十分に保有しておらず、この構造材料データシートが引用されているのではないかと議論がなされていた。もしそうであれば、データシート内の耐熱材料のクリープ強度データが、中国の火力発電プラントの先進的取り組みに大いに役立ったことを意味する。これらを踏まえ、今後は、データベースの構築や管理運用に対する予算等の環境を整えるとともに、データベース関連活動を適切に評価するための価値観の醸成が求められる。我が国で開発されたデータベースは、我が国の学术界、産業界の発展に資するようになっていくことが急務である。

### 【標準化を巡る最近の動向と課題】

ここでは、工学基盤に関する「標準を取り巻く環境の変化」と「標準化がもたらす影響」の二つの観点からまとめる。

#### 1. 標準を取り巻く環境の変化

##### (1) 展望

##### 対象分野の拡大

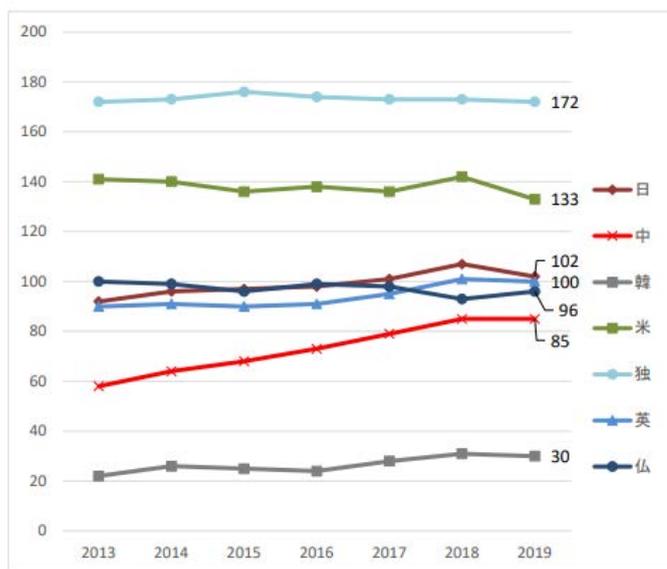
標準化という点とまず、工業標準が思い起こされるが、最近の動向の特徴として、標準化の対象とする分野の拡大を挙げることができる。その典型的な分野が、ロボットサービス、小口保冷配送などのサービス・マネジメント分野である。また、自動走行システムやサイバーセキュリティなどの社会システム分野も包含されるようになった。さらには、サステイナブルな投資、循環社会など SDGs (持続可能な開発目標)・環境分野も標準化の対象となっている。

##### 求められるスピード感

標準化に先行して急速に技術開発が行われ、早期に社会への普及が望まれる状況が発生する機会が多くなっている。その典型的な例が、生活支援ロボットであり、その社会実装のためには、安全評価方法の規格開発が必要と判断される。このような場合には、研究開発と並行して、安全関係データ収集が行われ、試験方法の確立、安全要求事項に関する国際標準化活動が行われる。例えば、生活支援ロボットに関するプロジェクトが終了した翌年である 2014 年には、安全要求事項に関する規格である ISO13482 (International Organization for Standardization、国際標準化機構) が制定されている。

##### 主導権争いの激化

ISO/IEC (International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議) における国際幹事は、委員会でのアジェンダセッティング等を主導する立場であることから、その国際幹事引受数が規格開発の活性化の一つのバロメータとなる。図 A1.5.1 に各国ごとの幹事引受数の推移を示す。日本は 2019 年段階で、世界で三番目に位置するものの、中国の台頭が著しく、数年後には逆転することも考えられる。

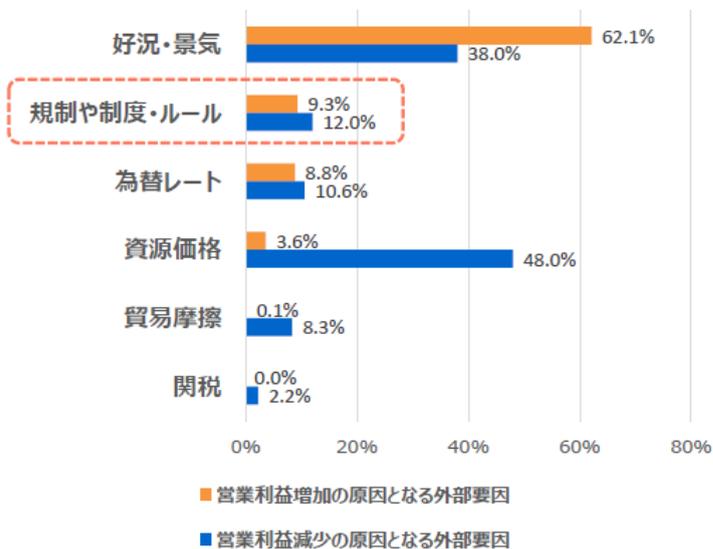


出典：日本工業標準調査会調べ

図 A1.5.1 ISO/IEC 国際幹事引受数の推移<sup>46</sup>

(2) 日本企業の標準化に対するスタンス

日本企業の標準化に対するスタンスを調査する目的で図 A1.5.2 に示すアンケートが実施された。



出典：経済産業省 2019年版ものづくり白書から作成

図 A1.5.2 営業利益に影響を及ぼす外部要因

(経済産業省ご提供資料より引用)

<sup>46</sup> 経済産業省 産業技術環境局, 標準化に関する最近の動向(2019年6月)

[https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/katsuyo/kondan/pdf/20190625\\_material.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun-kijun/katsuyo/kondan/pdf/20190625_material.pdf) ((2020年2月20日アクセス)

図 A1.5.2 は、企業の営業利益に影響を及ぼすと考えられる外部要因に関する回答結果である。回答結果の割合を、オレンジで示す利益増加の原因と、青色で示す利益減少の原因に分けて図示している。利益増加の原因と考えているのは、圧倒的に「好況・景気」である。また、利益減少の原因と考えているのはまずは「資源価格」であり、次に「好況・景気」である。一方、「規制や制度・ルール」が利益の増加・減少に影響を及ぼすと考えられる割合は、いずれについても 10%程度に過ぎない。つまり、日本企業は、標準化が企業利益に直結するという意識が希薄であることがうかがえる。

次に、図 A1.5.3 が、ルールへの対応状況に関する回答結果である。

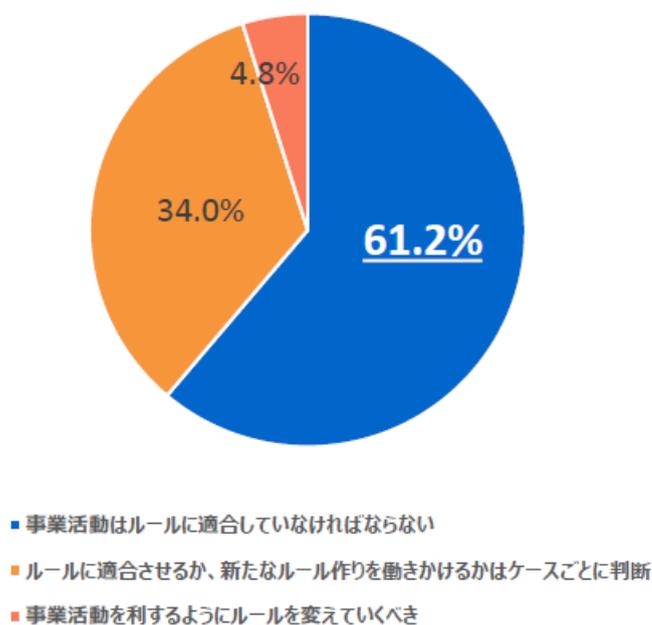


図 A1.5.3 ルールへの対応状況<sup>47</sup>

61.2%の企業は、事業活動がルールに適合しなければならない、と回答している。順法精神が高いと見ることもできる反面、受け身の姿勢であることが分かる。もう少し主体的な回答である「ルールに適合させるか、新たなルール作りを働きかけるかはケースごとに判断」は 34%である。積極的に「事業活動を利するようにルールを変えていくべき」という回答はわずか 4.8%に過ぎない。日本企業は、標準化を主体的に進める意識が希薄である傾向がわかる。

### (3) 国研、大学の標準化活動のための環境

2019年7月1日に施行された産業標準化法(通称、改正 JIS 法)において、法目的の中に、国際標準化の促進を追加するとともに、産業標準化および国際標準化に関する、国、国研および事業者の努力義務規定が整備された。具体的には、第一条に以下の法目的が追加された。

第一条 この法律は、適正かつ合理的な産業標準の制定及び普及により産業標準化を促進すること並びに国際標準の制定への協力により国際

<sup>47</sup> 経済産業省, 2019年版ものづくり白書

標準化を促進することによって、鉱工業品等の品質の改善、生産能率の増進その他生産等の合理化、取引の単純公正化及び使用又は消費の合理化を図り、あわせて公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。

また、第七十条には、以下の努力義務規定が追加された。

国立研究開発法人及び大学は、民間事業者と連携しつつ、産業標準化に資する研究開発、国際標準に関する国際団体その他の国際的な枠組みへの協力及びその他の産業標準化又は国際標準化に関する活動に主体的に取り組むよう努めるとともに、産業標準化又は国際標準化に関する業務に従事する者の職務がその重要性にふさわしい魅力あるものとなるよう、産業標準化又は国際標準化に関する業務に従事する者の適切な処遇の確保に努めるものとする。

この結果、国、国立研究開発法人、大学、事業者その他の関係者は、産業標準化又は国際標準化に関する施策が効果的かつ効率的に実施されるよう、適切な役割分担を行うとともに、相互に連携を図りながら協力するよう努力することが法律上明記された。

#### (4) 市場環境整備と標準化

新しい技術や製品・サービスなどに対して、実用化・普及拡大をする上での標準の役割が重要になってきている。例えば、強制力のある規制において、技術の性能表記や、評価手法、安全・環境にかかわる制度の整備などは欠かすことができないが、これらのものは任意として位置づけられる標準において整備し、規制サイドから引用するなどの連携により有効活用されていくことが期待される。

#### (5) 標準化に対する現状と問題点

大学や国研などが標準化を進めるための問題点としては、大学では標準化活動が人事評価に入らなかったり、事実上委員長のみが大学関係者であったりすることが挙げられる。一方で、例えば JIS 規格の 95% は企業によって作られている。標準というものはどうしても公的なものというイメージが広がっており、標準そのものの理解を進める必要がある。今後、ものづくりの基準であった標準を、IoT を代表とするつなげる技術にどう組み込んでいくかなどの戦略が必要である。

## 2. 標準化がもたらす影響

### (1) 標準化の長所・短所

標準化を達成することは必ずしも良い側面のみがもたらされるわけではない。表 A1.5.1 に示すように参入障壁の低下、価格の低下、非標準製品・サービスの排除などの面は、技術を確立している企業・メーカーにとっては、どちらかという短所と言える事象である。したがって、対象(技術、サービス等)の置かれた環境を分析し、とるべき戦略を検討することが肝要である。

表 A1.5.1 標準化の長所および短所

長所	市場創造・拡大	標準化によって一定の水準の製品・サービスを提供する事業者が増え、当該市場が拡大する可能性がある。
	市場の安定	標準化によって粗悪品や類似商品の排除、製品・サービスの質の保証が実現される可能性がある。
	競争領域の限定	標準化された領域では差別化が難しくなるため、非標準領域にリソースを重点配分できる可能性がある。
短所	参入障壁の低下	標準化された領域は技術がオープン化されるため、他社の参入が容易になる可能性がある。
	価格の低下	標準化された領域では競争が激化するため、価格が低下する可能性がある。
	非標準製品・サービスの排除	標準化された領域では、標準に外れた製品・サービスの提供が困難になる可能性がある。

(参考：経済産業省ご提供資料)

① 標準化した方が良い場合

標準化した方が良い典型的な幾つかの例を図 A1.5.4 に列挙する。(a)標準化（オープン化）する対象と補完財の関係にある製品（クローズ領域）を供給している場合、(b)標準化（モジュール化）すると差別化できるポジションにいる場合、(c)標準化（分類化）すると A ランクに入れる、かつコスト競争で勝てない相手はランクから締め出す場合、(d)標準化（焦点化）するとトップになれる、かつ当分の間は他社が自分を超えられない場合、などである<sup>48</sup>。

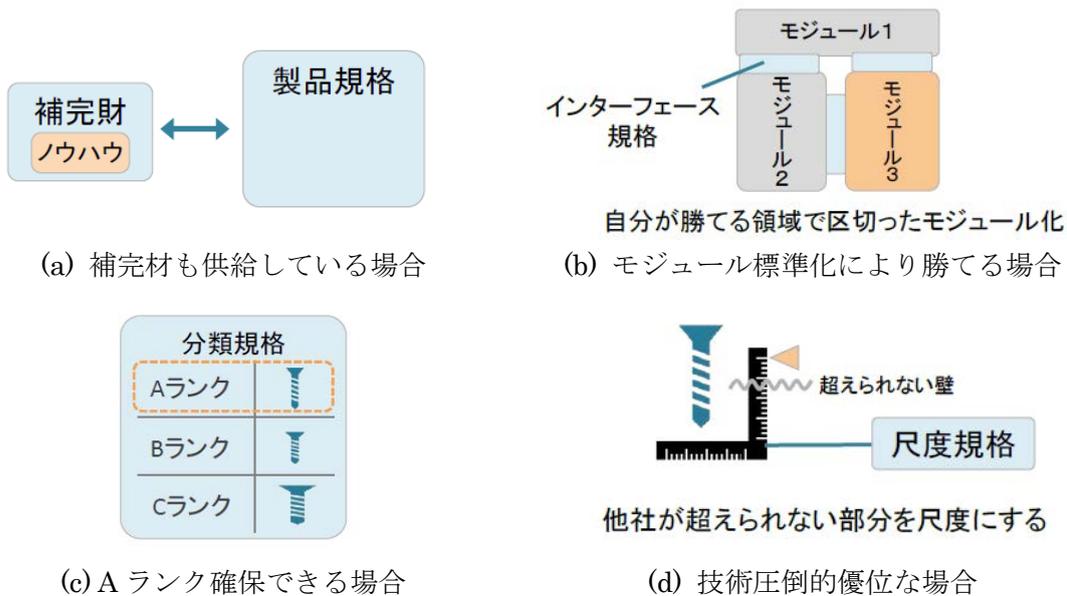


図 A1.5.4 標準化した方が良い典型的な例

<sup>48</sup> 図 A1.5.4 は、経済産業省基準認証政策課提供資料より引用

## ② 標準化してはいけない場合

逆に標準化しない方が良い、してはいけない典型的な例を幾つか列挙する。これは上記のした方が良い場合に対し対照的な場合を想定すればよい。(a)'：標準化（オープン化）すると困る情報が規格に含まれている場合、(b)'：標準化（モジュール化）すると差別化できないポジションにいる場合、(c)'：標準化（分類化）しても A ランクに入れない、またはランク内でコスト競争に勝てない場合、(d)'：標準化（焦点化）してもトップになれない、またはトップを維持できない、などの場合と言える。また、重要な知財（自社・自国の技術を守るもの、他社・他国の動きを封じ込めるもの）を確保していない場合には、技術力を保有していても標準化を進めることは得策でない場合が多い。

## (2) 戦略的取り組み事例（ナノ材料分析機器の欧州市場参入に向けた環境整備（産業技術総合研究所））

産業技術総合研究所と島津製作所等は、2013 年から自社の優れた要素技術を活かし、ナノ材料の分析技術・装置開発に着手した。しかしながら、欧州では既に、2011 年から各国でナノ材料を含む製品の届出、表示義務等のナノ材料の取扱いに関する規制が整備され始めていた。規制導入に伴い、分析法の信頼性、公平性担保のための標準化が必要になり、欧州連合内のプロジェクトで標準法が提案されるなど、欧州規格化の動きが先行していた。この局面では、欧州優位の方法が欧州規格を通じて将来の国際標準化につながるリスクがあった。

そこで、産業技術総合研究所と島津製作所等は、開発と並行する形で、急ピッチで国際標準化を進め、欧州規格に先行して ISO/TS を開発できた（2018 年発行）。欧州規格の開発機関にも日本主導の ISO/TS の整合化を求め、日本の優位をアピールした。さらに当該標準に準拠しつつ自社の強みを織り込んだ新装置を開発中である(図 A1.5.5)<sup>49</sup>。特に標準の存在が市場参加において優位に働く欧州において、日本主導の国際標準化が先行して実現された。自社技術・製品の市場環境整備に標準を戦略的に活用した好事例である。



図 A1.5.5 流動場分離法（Field Flow Fractionation : FFF）を用いたナノ材料分析装置<sup>49</sup>

<sup>49</sup> 産業技術総合研究所・島津製作所（写真提供）

## Appendix 2 海外の工学基盤強化に関する動向

### A 2. 1 データ基盤・標準化

海外の動向として、工学基盤を維持強化しているイギリス、フランス、ドイツ、米国、豪州、中国、ロシアの現状をまとめる。

イギリスでは、政府による施策だけではなく、大学、学部、あるいは学科単位で、工学基盤の維持さらには強化のための取り組みを行っている。研究費、人材、研究設備、データ基盤・標準化等について、長期的視点に基づいた大学独自の戦略が立てられているため、機器・設備や技術職員の長期維持が可能となっている。このことは、非連続的なイノベーション創成のための研究環境基盤になっていると考えられる。また UKRI/EPSC は、産学連携による研究開発を促進しており、大学への研究助成を通じて、大学・企業に共通する工学基盤の人材育成・研究開発を支援している。産学連携は、企業にとっても有益なことが多いため、大学に直接投資を行うケースも見られる。英国を代表するものづくり企業であるダイソン社やロールスロイスは、EPSC と Strategic Partnership を締結し、様々な大学との共同研究を通じて研究開発支援を受けており、上記のような工学基盤を上手に活用し、政府・大学と協力して非連続的なイノベーションを生むことに成功している。すなわち、英国の企業や大学における非連続的なイノベーションは、EPSC により戦略的な仕組みが作られているとも言える。

フランスの工学分野のイノベーションエコシステムは、グランゼコール、大学、国立科学センター (CNRS)、原子力・代替エネルギー庁 (CEA)、軍事省などで形成されており、特に、グランゼコールの存在が大きい。イノベーション省からの最新の入手情報によると、フランスは、工学基盤のような長期的な基礎研究を強化する目的で、2020 年度から研究資金の運用を柔軟に複数年にまたがって対応できるように複数年研究に関する法律を整備中である。複数の審議会 (ワーキンググループ) が設けられており、このワーキンググループの提案を元に、2021 年頭には法施行が予定されている。2021 年発効の Horizon Europe プログラムと連携させていくとみられる。

ドイツでは、工学基盤強化の観点で、地域ごとに特色ある、州政府を含めた産官学連携および研究開発拠点支援策が運用されている。例えば、フラウンホーファー応用研究促進協会は、私的・公的企業の直接的な利益のための応用研究をおこなっており、大学と企業のあいだで基礎研究とその社会実装を仲立ちする役割を果たしている。ドイツでは、このような仲立ちの機能を果たす中間的組織が複数存在し、コンサルティングや共同研究、ワークショップ実施に取り組んでおり、産学官の連携が強い。

産学クラスターが形成されているブレーメンでは、技術あるいは技術者が地域社会のなかで一体となって育成される仕組みがある。これは、資金的な観点から政府あるいは自治体からの支援を得つつ、学生あるいは技術者が産業と研究を行き来しながら鍛錬される、地域包括的な連携構造のあり方として捉えることができる。

米国は、全体的な傾向として、ベンチャー企業の創設に代表される、0 から 1 を産む仕組みのほか、国としての強みである工学基盤に関する資産を、未来を注視しながら合理的に変化・発展させている。しかしながら、一例として自動車を挙げると、米国は世界で初めて自動車を量産した自動車立国国家でありながら、GM、フォードなどの米国車の世界シェアは 2019 年に遂に 2 割を割った。テスラに代表される電気自動車による革新が起こっていると見ることも出来るが、

世界的に全ての自動車が電動化される可能性には否定的な意見を持つ専門家が多い。そのような中、日本が現実的な解であるハイブリッドカーをさらに洗練させ、また効率が50%を越える自動車エンジンを国として援助し開発したことが、日本の工学エコシステムがある程度健全であると米国には見えているようである。日本の弱みである0から1に配慮しながら、1からnのnを最大化する工学基盤の維持発展に、特に留意することが重要である。

豪州は、鉄鉱石・石炭といった天然資源や農業の他、それほど大きな産業がない国であるが、工学基盤分野には継続的に投資がなされ、特に豪州研究機構（ARC）リンケージプログラム等で工学的基盤が作られている。既存産業につなげる研究という位置付けとは異なる戦略を有している。また、工学教育では世界を牽引しており、人材育成面でも工学基盤の強化策を打ち出している。豪州で最大のエンジニアリング協会である Engineering Australia（EA）は、工学カリキュラム認定制度とエンジニア登録制度を実施している。これら工学教育の質保証と技術者の能力向上がEAにて連携的に制度化されている点は注目される。

中国では、日本と比較して相当に大きな科学技術予算が充当されている。その一つの背景には、科学技術予算が、国家事業と連動していることが挙げられる。有名な「一帯一路」の政策の中で、工学基盤としての標準化が重要な位置づけを形成している。工学基盤と関連する国家事業として「製造2025」も挙げられる。製造2025は中国の習近平指導部が掲げる産業政策で、2015年5月に発表され、次世代情報技術や新エネルギー車などの10の重点分野と232品目が設定されており、製造業の高度化を目指すとしている。分野としては人工知能（AI）、情報、先進的製造技術、クリーンエネルギー、水素利用自動車、環境、海洋、宇宙などが挙げられている。

ロシアでは、工学基盤や科学基盤を強化するため、ロシア外から研究者をリーダーとして招へいし、ロシア国内に研究拠点を構築するためのロシア初の大規模公募型、国際的研究支援制度、メガグラント・プロジェクトが2010年から進められている。その成果は、Science of Futureと称するロシア国内の国際会議で、ロシアの優秀な若手研究者（学生～大学院生～ポストドクまで）に還元、情報共有されている。

## A 2. 2 イギリス

### 1. 政策（科学技術・産業）とそこにおける工学の位置づけ

英国の科学技術イノベーションを支える研究開発と高等教育は、それぞれビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS: Department for Business, Energy & Industrial Strategy) と教育省 (DfE: Department for Education) 傘下の学生局 (OfS: Office for Students) の所管となっている (2020年2月現在)。BEIS は研究開発とイノベーションの促進を担う組織であり、英国研究・イノベーション機構 (UKRI: UK Research and Innovation) の他、英国宇宙庁や英国知的財産庁、気象庁など、約 50 の組織を傘下に擁する。BEIS は、2017年11月に「産業戦略：将来に適応する英国の建設」を発表しており、2030年までに英国を世界最大のイノベーション国家にすることを目指した長期構想を示している。本戦略は科学技術イノベーション政策の中核的存在として位置づけられ、将来英国が産業を主導するために解決すべき4つの世界的課題 (AI とデータ、クリーン成長、モビリティの未来、高齢化社会) を Grand Challenges として掲げている<sup>50, 51</sup>。

図 A2.2.1 に英国の科学技術政策にかかわる BEIS 関連組織を示す。BEIS 傘下組織の UKRI は、主に研究助成を担う7つの分野別研究会議の他、主に産業イノベーションを支援する Innovate UK およびイングランド地方の大学における研究支援を行う Research England を擁する。工学分野は、研究会議の一つである工学・物理科学研究会議 (EPSRC: The Engineering and Physical Sciences Research Council) によって、人材育成や研究支援などが行われている。

一方、首相と内閣に対しては、政府首席科学顧問 (GCSA: Government Chief Scientific Adviser) が、科学技術分野の助言を行う。GCSA は、多様な意見や主張をエビデンスに基づいてまとめ、One-voice として首相に伝える重要な役割を担う。GCSA が長官を務める政府科学局 (GO-Science) が BEIS 等各省庁の一段上に置かれており、GCSA の支援や省庁横断事務局としての機能を担う他、傘下にフォーサイト部門等を有して、科学技術政策全般の調査・推進活動を行う。また各省庁には、大臣に対し科学的助言を行う首席科学顧問 (CSA) が設置されており、省庁連携やエビデンスに基づいた政策検討の促進を図るための組織が構成されている。

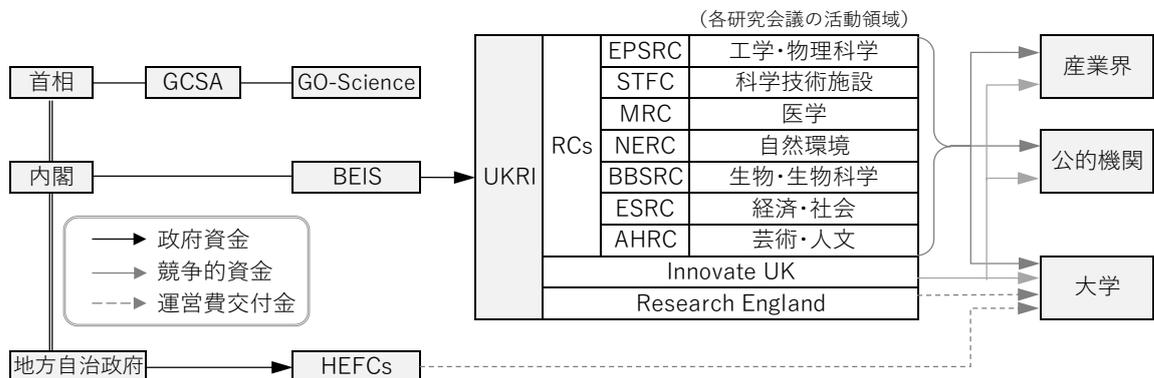


図 A2.2.1 英国の科学技術関連組織および研究資金の流れ (参考<sup>50</sup>)

<sup>50</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略 (2019年)」(CRDS-FY2018-FR-05) (2019年3月)

<sup>51</sup> The Industrial Strategy in action, [https://www.gov.uk/government/news/the-industrial-strategy-in-action%](https://www.gov.uk/government/news/the-industrial-strategy-in-action%20) (2020年2月20日アクセス)

## 2. 科学技術関連組織とファンディングシステム

### (1) 体制図

英国政府による研究開発投資は、その約3割がUKRIの各研究会議から配分され、約2割が高等教育機関に運営費交付金(ブロックグラント)を配分する組織、1割強が国防省(MoD: Ministry of Defence)、残りは各担当省からそれら管轄の研究機関に配分される。

工学系の高等教育機関への主な研究資金制度は、運営費交付金と競争的資金に大別される。運営費交付金は、イングランド地方ではResearch England、その他の地方では高等教育資金会議(HEFCs: Higher Education Funding Council for England)を通じて配分される。一方、競争的資金は、工学系においては主にEPSRCから提供される。

### (2) 政府研究開発予算内訳<sup>52、53、54</sup>

2019-20年のUKRIの総予算は約75億£(傘下組織配分予算約59億£+UKRI本部予算他約16億£)、UKRI傘下EPSRCの総予算は約11億£(UKRIからの配分約9.5億£+その他1.5億£、内研究開発関連予算は約7.6億£)である。例年EPSRCでは、研究開発関連予算より博士人材育成に約2割、研究開発に約8割の投資を行う。現在、研究開発費のうち6.5%が工学分野テーマに、さらに工学分野テーマの中では流体力学をはじめとした各研究分野に配分されている。図A2.2.2に、UKRI傘下組織EPSRCを中心に組織別、テーマ別、分野別の予算配分状況を示す。

UKRI傘下組織		百万£	テーマ別 Top10		百万£	研究分野別 Top10		百万£
RCs	EPSRC	953	人材教育(博士)	1335	流体力学・航空力学	41.6		
	STFC	609	物理学	524	機械の性能・検査	31.3		
	MRC	628	未来の製造業	351	施設・都市システム	19.4		
	NERC	370	工学	345	構造工学	17.3		
	BBSRC	391	情報通信技術	336	材料工学(複合材)	17.1		
	ESRC	169	エネルギー	298	ロボティクス	16.2		
	AHRC	92	研究施設	290	合成生物	15.6		
	Innovate UK	723	医療技術	268	センサ・計測	14.3		
Research England	1952	量子技術	211	地盤工学	13.4			
合計	5907	数理科学	101	構築環境	13.4			

(2019UKRI配分予算案より) (2020.2現在進行中プロジェクトの総予算) (2020.2現在進行中プロジェクトの総予算)

図 A2.2.2 UKRI 傘下組織別予算、テーマ別・分野別の予算配分例 (参考<sup>52、53、54</sup>)

(中図と右図予算額は現在進行中の複数年プロジェクト総予算額になるため、左図年度予算を超える)

### (3) 主要なプロジェクト<sup>55</sup>

UKRI および EPSRC は、研究プロジェクトに対する支援のほか、大学との連携協力の下、世界を牽引するトップクラス研究拠点の開発に戦略的な投資を行っている。2015年にはデータ解析・応用拠点としてアランチャーリング研究所が、2017-18年には先端材料開発拠点としてヘンリー・ロイス研究所が設立されている。また英国政府は、イノベーション創出のために産学連携強化を重視しており、複数の戦略的プログラムを推進している。この戦略的プログラムの1つとして、例えば、2016年に発足した産業戦略チャレンジ基金(ISCF: Industrial Strategy Challenge Fund)は、産学連携により技術的・社会的課題の解決を目的とするプログラムであり、Innovate

<sup>52</sup> UKRI Delivery Plan 2019, <https://www.ukri.org/files/about/dps/ukri-dp-2019/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>53</sup> EPSRC Delivery Plan 2019, <https://epsrc.ukri.org/about/plans/dp2019/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>54</sup> EPSRC, Visualising our Portfolio, <https://epsrc.ukri.org/research/ourportfolio/vop/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>55</sup> UKRI Annual Report and Accounts 2018/19, <https://www.ukri.org/files/about/ukri-annual-report-and-accounts-2018-2019-pdf/> (2020年2月20日アクセス)

UK が主体となり推進されている。いずれも先述の Grand Challenges に関連する課題であり、第 1 次、2 次までに 17 億ポンド以上が投じられており、2019 年より第 3 次プロジェクトが進められている。

### 3. 工学研究推進組織動向

#### (1) 大学

現在英国の大学では、大学や学部（あるいは学科）単位での経営の効率化・自立化が進められている。大学全体の教職員数は、Academic と Non-academic が約半々であり、Academic の研究環境を整えるために、専門技能を有する職員を積極的に雇用している。講義専従者に加え、経理、助成金申請、施設、技術相談、産学連携などを担当する様々な専門職員を、学部・学科単位で雇用している。

また競争的外部資金は、上記の専門職員や技術職員の雇用費を予算として計上することができる。そのため、外部資金の申請にあたっては、設備費と職員雇用費などの支出に対して、外部より徴収する利用料などによる収入を勘案して、新規設備を長期間維持できるような予算案を立てる。これにより、設備（および設備維持に必要な技術職員）を継続的に維持することが可能となっている。

このような「アカデミアのビジネス化」は、全てのアカデミックに快く受け入れられているわけではない。しかしながら、工学の持続的発展のために必要な施策であり、実際に経営の効率化・自立化を進めている大学では、収益および研究成果を生み出すことに成功している。

#### (2) 研究・コンサル機関<sup>56</sup>

The Welding Institute (TWI) は 1946 年に開設された溶接に特化した研究・技術組織であり、600 を超える会員企業から会費を集めて経営を行う、世界的にもユニークな形態の「企業<sup>57</sup>」である。技術相談、依頼調査、および非破壊検査や溶接のトレーニング・試験などのサービスを提供する。溶接に関する問題は、TWI で全て解決することができる One-Stop Shop として機能している。収入の 10% は会費であり、残りはトレーニングや依頼試験、認証・ライセンスなどによる。持続的経営のために、計画的な設備投資、世界各地での技術相談、委託研究、教育事業、不動産運営など、様々な努力を継続的に行っている。

また TWI のグループ会社のひとつとして、The National Structural Integrity Research Centre (NSIRC) があり、産業主導による大学院研究センターとして、産業ニーズの研究実施および修士・博士課程の提供を行っている。BEIS ビジネス・イノベーション・技能省と HEFCEs からも資金が投入されており、品質保証やリスクマネジメントに関する高レベルのエンジニアを育成する機能を担っている。

このようなユニークな経営と継続的努力により、多くの大型・最新設備（疲労試験機等）や技術職員を維持しつつ、企業として成長を続けている（2019 年収益は 80 百万 £）。

<sup>56</sup> TWI ホームページ, <https://www.twi-global.com/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>57</sup> 正式には保証有限責任会社というイギリス特有の会社形態であり、しばしば非営利向けの法人と見なされる。株式を持たないため社員は「会員 (member)」と呼ばれ、社員は会社の債務に対して「保証 (guarantee)」を提供する関係である。

### (3) 学協会<sup>58</sup>

英国機械学会 (IMechE) は 1847 年に設立された機械技術者協会である。現在全世界で 12 万人 (英国内で 8.8 万人) の会員を擁する。その主な活動は、後進チャータードエンジニア (CEng 等) の育成、大学教育カリキュラムの認証、社員教育システムの認証、学術誌の発行である。IMechE が認定を行う技術者資格 (CEng 等) は、工学分野で高いステータスを持つ上、社会的な認知度も高い。また、機械工学分野 (環境・エネルギー分野、自動車・航空機などの輸送分野から教育分野まで) に関する最新動向に基づき、様々な報告や提言 (2018 年は Automation & Autonomy や Smart Cities など 11 報) を発表している。(尚、IMechE を模範として設立された日本機械学会の運営形態や活動内容とは大きく異なる。)

その歴史と権威に甘んじることなく、会員にタイムリーで有益な情報を提供しつつ、卓越した経営の観点から幅広い活動を行う (2019-20 年の予算は 8.6 百万 £) と同時に、IMechE の活動は機械系技術者の社会認知度・地位向上にも貢献している。

## 4. 人材

### (1) 大学教職員<sup>59、60</sup>

英国の高等教育機関に勤める教職員の数は約 43 万人であり (2017-18)、約半数が Academic、残りが Non-academic として分類される。Academic は、講義専従あるいは研究専従、その両方に従事する者 (フルタイム勤務者の 6 割弱) とそれ以外に分けられる。講義専従者は、教授とは別のキャリアパスを歩む。工学分野 (Engineering & Technology) のアカデミックは約 26 千人である。そのうちの 4 割強が外国籍であり、多分野と比較して高い比率となっている。EPSRC では、高等教育機関等での教育・研究を支える博士人材育成のための助成を、5 年先までを見越して継続的かつ戦略的に行っている。

一方、高等教育機関において研究活動を支える技術職員は、Non-Academic として大学に雇用されている (プロジェクト専属の職員も一部存在)。技術職員数は、イングランド地方では 33 千人 (スコットランド地方を入れると 65 千人) を超える (2015-16)。しかしながら、その 40% 以上が 50 歳以上であり、将来的に深刻な人材不足が指摘されている。また、技術職員は研究基盤を支える縁の下の力持ちである一方で、職業認知度や評価が十分でないことから、その改善のための活動も行われている。

### (2) 取り組み例

#### ・職業実習制度 (Apprenticeship) <sup>61、62</sup>

英国政府は、技術者育成且つ若年層の雇用対策として、様々な職業訓練政策に取り組んでいる。2005 年に開始された Apprenticeship (職業実習制度) は、英国在住の 16 歳以上を対象とした制度である、訓練生は、雇用先において職業訓練を受けることで、雇用主が必要とする技能を修得しながら、同時に給与を受けとることができるため (最低賃金・有給休暇保障)、訓練生・雇用主

<sup>58</sup> Annual Report 2019/20, <https://www.imeche.org/policy-and-press/reports/detail/manufacturing-and-engineering-annual-report-2019-20%20> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>59</sup> The Higher Education Statistics Agency ホームページ, <https://www.hesa.ac.uk/data-and-analysis/staff> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>60</sup> Technical Development & Modernisation Project 2014-2017, <http://nationaltechnicianscentre.ac.uk/wp-content/uploads/2019/02/%20> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>61</sup> Apprenticeships, <https://www.gov.uk/topic/further-education-skills/apprenticeships%20> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>62</sup> Engineering UK 2018, <https://www.engineeringuk.com/media/1576/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

双方に有益な制度となっている。希望者は、業種と地域から雇用先を選択することができ、修得技能レベルに応じて1~5年かけて修了する。2015、2016年には、工学分野では130千人が本制度の利用を開始すると同時に、73千人が修了を収めた（北アイルランド地方を除く）。2015年からは、雇用先での就労の傍ら大学へ通学することで学士・修士号の学位が取得可能な Degree Apprenticeship も開始されている。

- ・ 専門職員の配置（Experimental Officer、Operational staff など）

英国の大学では、Experimental Officer 等の名称で、技術職員とは別に専門技能を有する人材を雇用している。その仕事は、実験室の機器管理から企業の技術相談など多岐に渡る。サウサンプトン大学では、「教員枠を減らしても必要」という判断の下、専門職員を積極的に雇用しており、教員・技術職員とは別のキャリアパス形成を目指している。さらに、各大学は学部・学科レベルにおいて、Operational staff 等の名称で、経営や人事、助成金申請補助など、教育・研究以外の業務を専門的に担当する職員を配置している。このような人材を活用し、Academic の研究環境を整えることで、高い研究力の維持を図っている。

- ・ 技術者資格

先述の通り、英国機械学会（IMechE）が認定を行う CEng 等の技術者資格は、高いステータスとして社会的に認められている。また The Welding Institute (TWI)では、研究開発だけでなく溶接工の教育訓練・資格認定にも力を入れている。（英国では溶接資格の取得により給与が大幅に昇給する。）このような学協会や企業における資格制度への取組は、技術者の地位およびモチベーションの向上につながっている。

- ・ EPSRC Centres for Doctoral Training<sup>63</sup>

EPSRC では、48の大学で75の博士課程トレーニングセンターを設置し、研究者・技術者の育成を行っている。EPSRC が半分を出資し、それと同等の額を1,400以上のパートナー企業と大学が負担し、4,600人以上の博士課程学生を育成している。

## 5. 機器・施設

### (1) National Research Facilities (EPSRC)<sup>64</sup>

EPSRC は、機器・施設支援の方針として、個別プロジェクトでの単一利用から国内施設共同利用までの「利用規模」という指標の横軸と、基盤的機器から最先端機器という「機器の性質」という指標の縦軸の2軸マップで機器・施設を分類している。個々の研究プロジェクトだけではなく、National Research Facilities と呼ばれる制度により、世界最先端の研究施設・設備への支援を継続的に行っている。現在、電子顕微鏡や質量分析計など12の最新鋭設備に支援が行われている。これらの設備は、設置機関以外の企業あるいは大学などの研究者も利用することができる。また EPSRC は、英国の流体力学分野における優れた国際競争力を保つため、現在英国に設置されている17の大型風洞設備に対して特別な支援（National Wind Tunnel Facilities）を行っている。例えば、インペリアル・カレッジ・ロンドンの風洞は、1985年に本田技研との共同研究

<sup>63</sup> <https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/epsrc-centres-for-doctoral-training-infographic/>（2020年7月16日アクセス）

<sup>64</sup> EPSRC web サイト, National Research Facilities, <https://epsrc.ukri.org/research/facilities/access/nationalresearch/>（2020年2月20日アクセス）

により設置された設備であるが、現在は本支援制度（2014-19年、13百万ポンド）により設備の維持・運用がなされている。

このように EPSRC は、価値があると判断した中型～大型施設の設置あるいは維持に対して戦略的な投資・支援を行うことで、特定の研究分野における英国の国際的競争力を保っている。

## （2）大学での取り組み例

既述の通り、現在英国の大学は経済的継続性のため経営の自立化・効率化が進められている。新規設備導入のために外部競争的資金を申請する際には、その汎用性・有用性を示し、且つ経営計画（学内外からの使用料徴収による収益等を計算）を示す必要がある。また英国では、競争的外部資金の申請の際に技術・専門職員の人件費を計上することができ、さらに複数のプロジェクト資金を合算して使用することができるため、長期的に設備を管理するため技術・専門職員の人件費を確保することができる。このようなスキームにより、施設・機器、およびそれを管理する技術職員を長期的に（助成期間終了後も）維持・運用することが可能となっている。

例えば、サウサンプトン大学工学部では、学部長補佐（設備担当）により戦略が立てられ、予算専門職員により予算案が立てられる。また、研究や授業（実習・実験等）で使用する機器（および技術職員）を、一部を共通利用することにより（機械・航空、土木・建築、船舶等の学科）、経営の効率化と研究力の強化を図っている。

## 6. データ基盤・標準化<sup>65</sup>

英国規格協会（BSI: British Standards Institution）は、1901年に設立された世界最古の工学標準化委員会である。幅広い業種・分野（自動車、航空宇宙、安全・衛生、食品・飲料、建設等）において、マネジメントシステムや医療機器の認証・審査、規格策定や研修、コンサルなどのサービスを展開している。売り上げ規模は512百万£（2018年）である。

現在、第4次産業革命（Industry 4.0）による産業構造の転換期にある。国際標準化の対象は、モノからサービス、さらに社会システムへと変化し、標準獲得競争が激化している。その中でBSIは自動運転やデジタルマニュファクチャリング・コンストラクションなどの新規分野における規格開発を行っている。例えば自動運転に関しては、コネクテッドカー&自動運転車センター（CCAV: Centre for Connected and Autonomous Vehicles）の支援を受け、自動運転車両の普及を加速するための業界主導の規格プログラムの開発を行っている。その他、充電スタンドに関するエナジースマートアプライアンスプログラムの展開や安全自動運転車の人間工学的設計などについて、政府や産業界と協力した取り組みを進めている。なお、溶接技術に関する標準化・認証活動では、前述したTWIが世界をリードしている。

## 7. イノベーションエコシステムにおける工学基盤動向

英国では、政府による施策だけではなく、大学、学部、あるいは学科単位で、工学基盤の維持さらには強化のための取り組みを行っている。研究費、人材、研究設備、データ基盤・標準化等について、長期的視点に基づいた大学独自の戦略が立てられているため、機器・設備や技術職員の長期維持が可能となっている。このことは、非連続的イノベーション創成のための研究環境基盤になっていると考えられる。

<sup>65</sup> BSI ホームページ web サイト、<https://www.bsigroup.com/ja-JP/>（2020年2月20日アクセス）

また UKRI/EPSC は、ポートフォリオマネージャーのような長期的にマネージングする人材を保有し、産学連携による研究開発を促進している。大学への研究助成を通じて、大学・企業に共通する工学基盤の人材育成・研究開発を支援している。産学連携は、企業にとっても有益なことが多いため、大学に直接投資を行うケースも見られる。英国を代表するものづくり企業であるダイソン社やロールスロイスは、EPSC と Strategic Partnership を締結し、様々な大学との共同研究を通じて研究開発支援を受けており、上記のような工学基盤を上手に活用し、政府・大学と協力して非連続的なイノベーションを生むことに成功している。すなわち、英国の企業や大学における非連続的なイノベーションは、EPSC により戦略的な仕組みが作られているとも言える。

**【コラム 5】 インペリアル・カレッジ・ロンドン(ICL)工学部機械工学科**

図 C5.1 に、機械工学科の人材・予算等に関するデータを示す。学科教職員（約 100 名）のうち、約半数が教員、残りの半分が職員である（フルタイム換算、講義専従者は職員にカウント）。学科収入のうち、約 5 割が外部研究資金、約 4 割が運営費交付金となっている。外部研究資金のうち、約 4 割が国内外企業（日系含む）、約 2 割が EPSC 等研究会議からの収入である。（学科内にロールスロイスやシェルとの共同研究のため 10 以上の研究所が設置されている。中国出資の研究所も多く存在する。2012-17 年の間に研究収入は 60%増加している。）

一方、学科支出（研究以外）の 6 割は大学本部へ納められ、3 割が学科内で人件費として使用される。また、研究費支出（直接経費以外）は半分以上が人件費、2 割が事務所維持などに費やされる。博士後期課程学生は約 250 名で、修了後は約半分が産業界で就職する。（博士研究の共同研究先とは関係ないことが多い。）このように、高い経営センスを持った学科運営により、非連続的なイノベーションを生むために必要な工学研究基盤が維持されている。

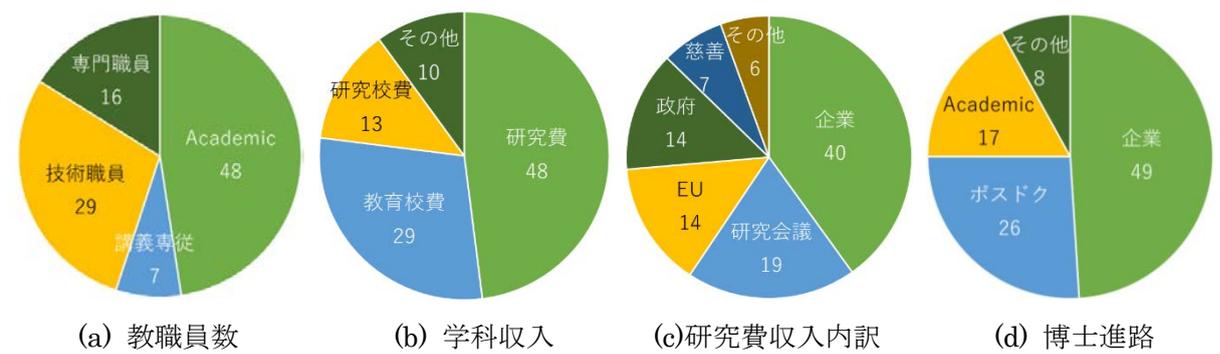


図 C5.1 インペリアル・カレッジ・ロンドン工学部機械工学科の状況（全て%）<sup>66</sup>

<sup>66</sup> ICL ホームページ, <https://www.imperial.ac.uk/mechanical-engineering> (2020年2月20日アクセス)および ICL 工学部機械工学科 Prof. Ricardo Martinez-Botas からのヒアリング資料 (2019年11月6日)

## A2.3 フランス

### 1. 政策（科学技術・産業）とそこにおける工学の位置づけ

フランスは、英国やドイツなどと並び、西欧諸国における科学技術の中心的な地位を 19 世紀後半以降占めてきたが、イレーヌ・ジョリオ＝キュリーらがノーベル化学賞を受賞した 1935 年以降 1965 年まで、実に 30 年間にわたり自然科学系のノーベル賞受賞者が出なかった。このような状況を打破するためフランス政府は色々な対応を行ったが、その一つが 1939 年に設立され現在世界最大の研究機関の一つとなっている国立科学研究センター（CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique）の強化である。CNRS は第二次世界大戦をはさんで発展し、フランスの様々な基礎研究やイノベーションを支えている。1965 年に、フランソワ・ジャコブ、ジャック・リュシアン・モノー、アンドレ・ミシェル・ルヴォフの 3 名がノーベル生理学・医学賞を受賞し、戦後の荒廃した状況を克服し、フランスの基礎研究の威力を再び世界に輝かせた。

その後、21 世紀の現在までを概観すると、圧倒的な科学技術力を誇る米国、戦後の経済発展に支えられた日本、21 世紀に入り怒涛の経済発展を遂げ急激に科学技術力強化を目指す中国などの陰に隠れ、必ずしも先端を行く科学技術の成果を十分に挙げてはいないが、独自の研究システムを築き、英国、ドイツなどと同等の科学技術パフォーマンスを確保している。

科学技術行政の中で工学がどの程度の割合を占めるのかについての正確な情報は不明であるが、研究開発に関わる予算がまとめられている、MIREs（研究・高等教育省際ミッション<sup>67</sup>）の直近（2020 年度）の配分（表 A2.3.1）を見ても工学分野は大きい割合を占めていることが伺える。

表 A2.3.1 MIREs 予算配分（2020 年度）<sup>68</sup>

プログラム番号	プログラム名	担当省	主要な配分先	2020年度の配分額 (億ユーロ)
150	大学における高等教育と研究	高等教育・研究・イノベーション省	大学（必要経費の約8割を賄う）、国立博物館	137.6
231	学生生活（奨学金の支給等）		大学ネットワーク	27.6
172	学際的な科学技術研究	高等教育・研究・イノベーション省	国立研究機構（ANR）、原子力・新エネルギー庁（CEA）・国立科学センター（CNRS）等の公的研究機関	69.4
193	宇宙分野の研究		国立宇宙研究センター（CNES）	20.3
190	エネルギー開発および持続可能な開発の研究	環境連帯移行省	IFP新エネルギー、放射線防護原子力安全研究所（IRSN）等の公的研究機関	17.6
192	経済および産業分野の研究と教育	経済省	国立高等鉱業学校、高等電気学校（Supélec）等のグランゼコール、テレコム研究所	7.8
191	民生および軍事のデュアル研究	国防省	CEA、CNES	1.5
186	文化研究および研究文化	文化省	Universcience（科学館）	1
142	農業分野の高等教育および研究	農業・食料省	ACTIA（農業系の組合）、農業・獣医系のグランゼコール	3.5
			計	286

<sup>67</sup> Mission interministérielle recherche et enseignement supérieur

<sup>68</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2019年）」（CRDS-FY2018-FR-05）（2019年3月）

産業政策としては、製造業再生政策を掲げ、イノベーションをベースにしたハイテク産業、知識集約型産業構造への転換を図ろうとしている。2018年に総額100億ユーロのイノベーション基金を創設、自動走行、電池（バッテリー）、ナノテク、廃棄物リサイクルなどを中心に非連続的なイノベーション技術開発に向けた研究プロジェクトに資金を供給している。

## 2. 科学技術関連組織とファンディングシステム

### (1) 体制図

高等教育・研究・イノベーション省(MESRI)が、フランスの科学技術・イノベーションの主要所管省となる。工学分野も含めた国の研究戦略は、首相の諮問機関である研究戦略会議(CSR)で立案され、その下部機能である運営委員会(ComOp)<sup>69</sup>がその執行の運営を司り、関係各省、研究連合(アリアンス)の各代表、公的研究機関や大学、グランゼコール、競争力拠点、カルノー機関などの研究に関わる諸機関の代表総勢30-40名が、高等教育・研究・イノベーション省の主導の下に参集する。また、首相府に属するフランス・ストラテジー<sup>70</sup>は、科学技術政策に限らず、国家全体の方針決定に資する調査・研究を行い、政策の評価、イノベーションや政策に関する情報提供や提言を行っている。

MESRI<sup>71</sup>は、高等教育と科学技術・イノベーションに関する政策、予算等を所管し、マクロン政権発足により、初等・中等教育を中心にあたる国民教育・青少年省<sup>72</sup>とは別に置かれることとなった。同省のほか、経済・財務省<sup>73</sup>、軍事省<sup>74</sup>、環境連帯移行省<sup>75</sup>等が、その傘下機関の活動を含めて、工学分野も含めた科学技術・イノベーションに関わっている。上記に関わる組織を機能ごとにまとめたものが図A2.3.1である。

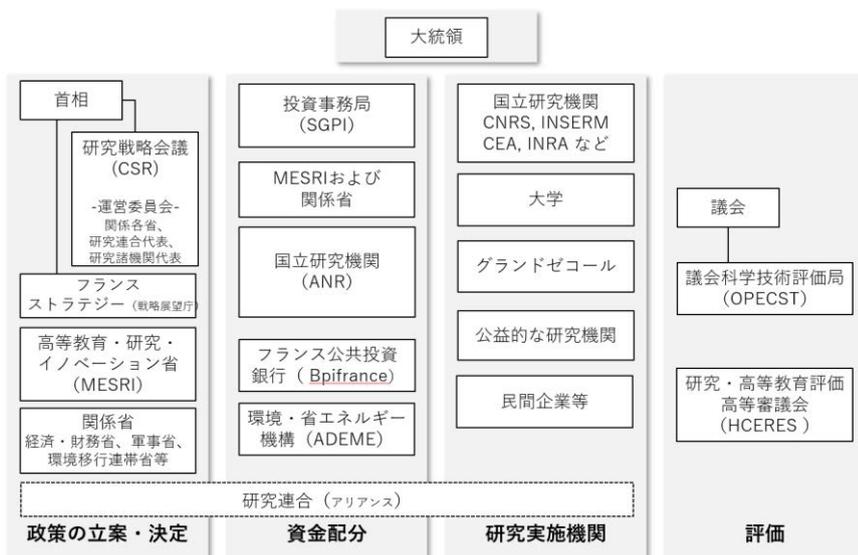


図 A2.3.1 フランスの科学技術政策体制<sup>76</sup>

<sup>69</sup> 運営委員会 (ComOp) <https://www.culture.gouv.fr/Sites-thematiques/Enseignement-superieur-et-Recherche/Actualites/Strategie-nationale-de-recherche-consultation-publique> (2020年2月20日アクセス)

<sup>70</sup> フランス・ストラテジー: France Stratégie - Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) 戦略展望庁 <https://www.strategie.gouv.fr/propos-de-france-strategie> (2020年2月20日アクセス)

<sup>71</sup> 高等教育・研究・イノベーション省: Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

<sup>72</sup> 前政権では、国民教育・高等教育・研究省下に研究・イノベーション総局が所属していた。

<sup>73</sup> 経済・財務省: Ministère de l'Économie et des Finances

<sup>74</sup> 軍事省: Ministère des Armées

<sup>75</sup> 環境連帯移行省: Ministère de la Transition écologique et solidaire

<sup>76</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略(2019年)」(CRDS-FY2018-FR-05(2019年3月))

(2) 政府研究開発予算内訳

高等教育・研究・イノベーション省によると、2017年における国内総研究開発費<sup>77</sup>は506億ユーロで、うち公的支出は約35%、民間支出は約65%の比率であった。公的支出先の多くは大学やグランゼコールなどの高等教育機関、CNRSやCNES（国立宇宙研究センター）およびCEA（原子力・代替エネルギー庁）などの公的研究機関である。

研究開発にかかる公的資金の公的研究機関や大学への支出は、その多くが機関補助と競争的資金の配分による。すなわち、機関補助については、所管省との間で原則として4、5年ごとに締結される契約に基づき、MESRI所管のMIREC（研究・高等教育省際ミッション）予算より毎年一定額が配分される。FutuRISの試算によると、2008年度は、大学へ配分される資金の94.2%、および国立研究機関へ配分される資金の92.9%が機関補助であったが、2019年1月MESRI発表資料<sup>78</sup>では、これらの機関補助の割合は、大学では76.6%、国立科学研究センター（CNRS）など科学・技術的性格の公的研究機関では76.6%、原子力・代替エネルギー庁（CEA）などの産業・商業的性格の公的研究機関では52.2%となっており、ここ10年の間に大学や公的研究機関の資金における機関補助の割合が減少している。2010年以降「将来への投資計画」施策など競争的資金の割合が高まった結果といえ、今後さらに競争的資金の割合を増額していくという政府の方針が着実に進んでいるといえる。

フランスの総研究開発費の推移は下記OECDの統計によるグラフ（図A2.3.2）のとおりである。リーマンショックによる影響が2009-2010年に伺えるものの、全体として研究開発費総額はこの15年増加傾向にある。しかし、研究開発費総額のGDP比は2.2%。EUの中期成長戦略「欧州2020」で定められた3.0%の目標を下回る。ドイツは3.0%、スウェーデンは3.4%となっている。

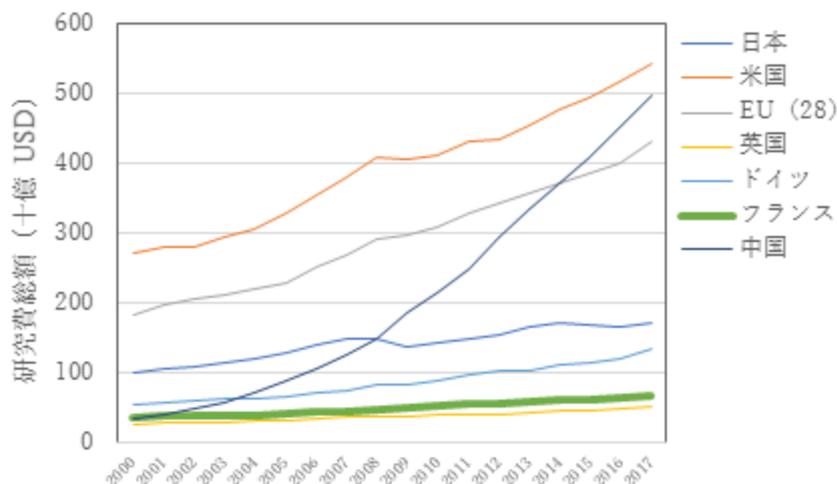


図 A2.3.2 フランスの研究開発費の推移  
出典：OECD, Main Science and Technology Indicators

<sup>77</sup> 国内総研究開発費 DIRD, [https://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/performance-publique/files/farandole/ressources/2020/pap/pdf/jaunes/Jaune2020\\_recherche.pdf](https://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/performance-publique/files/farandole/ressources/2020/pap/pdf/jaunes/Jaune2020_recherche.pdf) (2020年2月20日アクセス)

<sup>78</sup> Note d'information du SIES 19.01, [https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2019/30/6/NI\\_2019\\_1\\_RetD\\_agregats\\_1069306.pdf](https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2019/30/6/NI_2019_1_RetD_agregats_1069306.pdf) (2020年2月20日アクセス)

## (3) 主要なプロジェクト

OECD の Science、Technology and R&D Statistics によると、2016 年の政府研究開発予算の分野別配分は、以下の図 A2.3.3 のとおりであった。分野の指定があるものについては、保健分野が 7% で最も大きく、防衛 6.4%、エネルギー 6.3%、宇宙探査・利用 5.9% と続いた。工学基盤に関連する分野としては、防衛、エネルギー、宇宙探査・利用、輸送、工業生産・技術などが挙げられる。

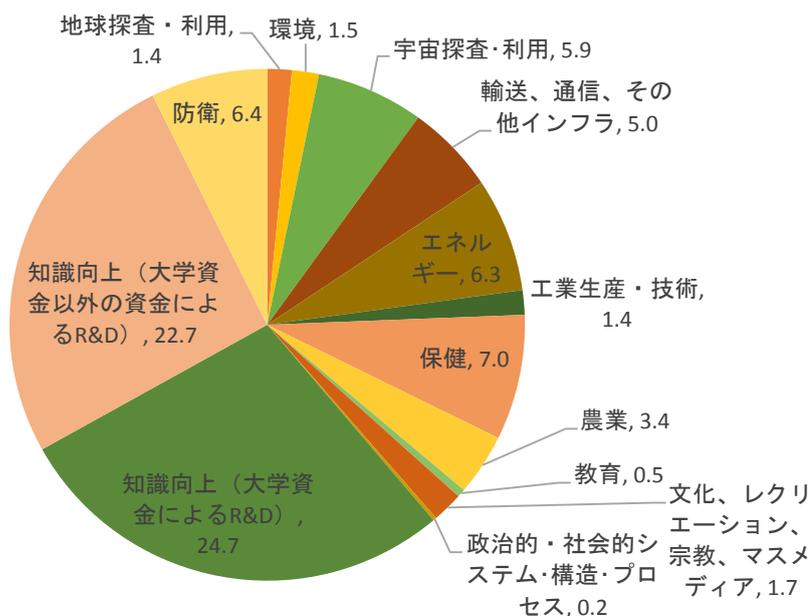


図 A2.3.3 政府による研究開発投資予算 分野別割合 (2016 年)

出典：OECD, Main Science and Technology Indicators

## 3. 工学研究推進組織動向

工学研究開発の主な推進主体は、高等教育・研究・イノベーション省と関連各省の両者の傘下に位置する国立研究機関である。国立科学センター (CNRS)、原子力・代替エネルギー庁 (CEA) といった研究所がある。

フランスでは、大学やグランゼコールなどの高等教育機関は歴史的に研究開発活動が相対的に活発ではなかった背景があるが、近年はイニシアティブエクセレンス (IDEX) 等による国の積極的投資により研究力を増強しつつある。また、これらの高等教育機関は混成研究室 (UMR) と呼ばれる、国立研究機関や一部企業と共同で運営される研究室を設置することが一般的であり、実際のところはこの UMR を通じて国立研究機関と大学・グランゼコールの人員が共同で研究が進めているという実態がある。

フランスの大学教育システムは複雑であることは有名で、工学系の多くの大学は理学部や文系学部が備わる世界の主流である総合大学 (University) に属しているのではなく、グランゼコールという教育機関として存在している方が一般的である。この理工学系のグランゼコールはフランス国内に約 250 存在している。代表的な Ecole として Ecole Normale Supérieure, Ecole Polytechnique, MINES ParisTech, Ecole Centrale/Supelec Paris がある。

フランスのトップクラスの教育研究機関であるグランゼコールポリテクニクでは、主な研究分野が Climate Studies, Applied mathematics, Power lasers 他である。主な機器設備に、3D

プリンター、微視的疲労試験、FIB&電子顕微鏡、画像処理、衝撃試験などの設備があり、ほぼ全ての実験室に技術常駐職員がいる。国防省・企業のプロジェクトが多く、予算の半分は大学、半分は公的助成金・民間企業等からで、給与は大学からとなる。

グランゼコールマインズパリテックでは、代表的な機器・設備として、**multiaxial testing machine, Xray tomography, Selective Laser Melting process** など、人数のわりにはかなり高価な設備が計画的に導入されている。フランスの理工学大学の中でも有数の実力を持つだけあり、充実した設備が多く、特に企業との連携が多い。30人の教員に対し190の共同研究が進行しているので平均してひとりあたり6以上の共同研究を持っている。計画的な設備投資や職員配置を可能にするために、単一研究室で判断できる範囲は狭く、各研究者も研究所全体での生き残り戦略を考える一員である。Ph.D.への給与額は高く、将来受領できる年金掛け金も大学側で負担されているため、日本に比べてはるかに博士課程への進学動機は高いと言える。

グランゼコールリオンは、トライボロジーラボラトリー<sup>79</sup>を有し、工学基盤となるトライボロジー分野の研究を推進している。研究分野は、表面とトライボロジーの物理化学がベースで、固体と振動力学の新しいトピックスも統合し、産学連携で基礎研究と応用研究をバランスよく実施している。近年、土木工学と構造物のダイナミクス、回転機械、振動音場の研究を強化している。

工学研究を担うフランスの企業・産業は、他先進国と同様にサービス経済化が進展し、実質GDPに占める製造業の割合は約14%である。フランスが国際競争力を持つ産業は、エアバス社航空機・アルストム社鉄道車両などの輸送機器、Framatome社<sup>80</sup>の原子力、スエズ社などの水処理といったインフラ整備、革バッグなどの高級ブランド、食品である。製造業再生政策を掲げ、イノベーションをベースにしたハイテク産業、知識集約型産業構造への転換を図る産業政策に基づき、2018年には総額100億ユーロのイノベーション基金が創設され、自動走行、電池（バッテリー）、ナノテク、廃棄物リサイクルなどを中心に非連続的なイノベーション技術開発に向けた研究プロジェクトに資金が供給されている。

#### 4. 人材

フランスでは、公的機関における有期労働契約について定めたサヴァデ法(2012年3月)の適用により、研究者やポスドク(博士号取得から3年以内)の有期労働契約は最長6年となっている。6年超の場合、自動的に無期労働契約に転換される<sup>81</sup>。

研究人材数は一貫した増加傾向にある(図A2.3.4)。なかでも2005年の「研究協約」以降、「若手助教の教育負担軽減」、「大学と企業との関係強化による博士号取得者の企業による採用促進」といった、研究キャリアの魅力および柔軟性向上のための施策の導入、推進により研究者数は、2016年に28万人以上となっており、主要国の中で総数では多くはないが、人口1万人あたりで見ると、日本より少ないものの、米国、英国など主要国と比べると多くなっている(平成30年度版科学技術要覧)。

例えば、MESRIが研究技術全国協会(ANRT: Association nationale recherche technologie)に委託したCIFRE(研究による産業教育協約、Convention Industrielles Formation par la Recherche)と言う制度がある。これは官民パートナーシップ研究の発展を促進することを目的

<sup>79</sup> グランゼコールリオンのトライボロジーラボラトリー, <http://ltds.ec-lyon.fr/spip/spip.php?rubrique1> (2020年2月20日アクセス)

<sup>80</sup> フランス電力会社(EDF社)の傘下企業として設立された原子力機器・システムの設計製造事業会社

<sup>81</sup> みずほ情報総研株式会社, 平成24年度科学技術戦略推進委託「海外の大学・研究機関における教員・研究者の雇用形態に関する調査」報告書(2013年3月), [https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20130411/ch3\\_3.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20130411/ch3_3.pdf) (2020年2月20日アクセス)

としている。仕組みとしては、企業が博士課程の学生を雇用して給与を支払い、企業と大学が契約を結ぶ。ANRT と企業は産業研究トレーニング契約（CIFRE）を締結し、年間 14,000 ユーロの補助金を企業に払う。企業はこの助成金の研究税額控除が可能となる。政府が企業の基礎研究貢献を推進し、学生は企業に技術者として雇用されたまま 3 年課程博士となる。Ph.D. は最大 3 年で、雇用者は最低月 1,300 ユーロ支払う義務（税・年金天引き後の手取り額、Ph.D.、ポストドクも社会保障あり）がある。政府が企業の基礎研究貢献を推進し、企業ニーズに沿った人材育成が可能となる仕組みである。

研究人材数の増加傾向には、この成果としての一面があると推測される。また、Ph.D. に関する待遇は手厚く平均的モデルにおいて 2300 ユーロ/月、将来受領できる年金掛け金 1300 ユーロ/月も大学側で負担されている。

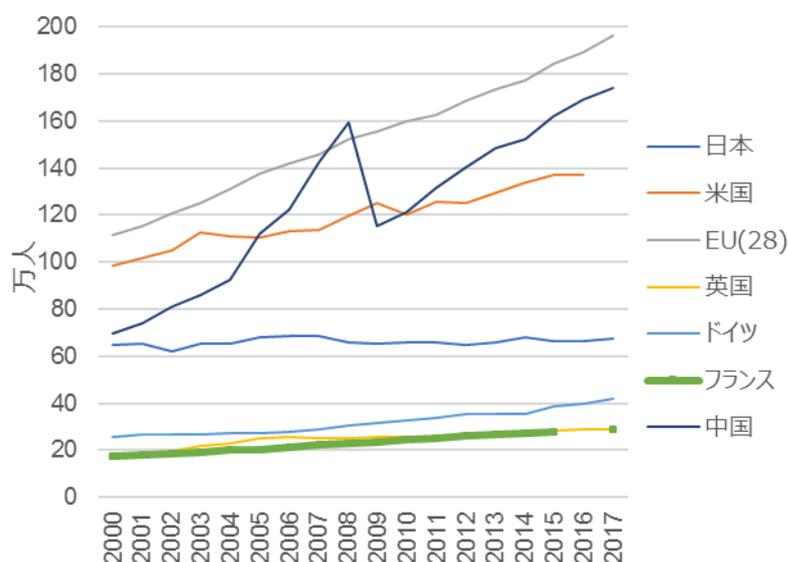


図 A2.3.4 フランスの研究者総数 (FTE 換算)

出典：OECD, Main Science and Technology Indicators

## 5. 機器・施設

「将来への投資計画」施策における戦略的優先事項の中で、高等教育および研究開発・イノベーション支援は大きな比重を占めており、下記に述べる工学基盤を含むいくつかの研究基盤整備プログラムが開始された。高額な機器設備については我が国に比べ計画的な配置が進んでおり、多くは共有の門戸を広く開いている。

### (1) イニシアティブ・エクセレンス (IDEX と I-SITE)

IDEX は、世界トップレベルの大学&研究の拠点を選抜認定し、資金を配分することで、大学を中心とした、グランゼコール、公的研究機関、企業、地域との連携による国際的な競争力強化を目的とした研究・教育の拠点化プログラムである。狙いは以下の二つある。①複数の大学・公的研究機関等が、形式を問わず、統合することで国際競争ができる組織になり、分野横断的な研究を行う。②研究のアクター（公的研究機関等や企業）と結ぶことで経済的競争力やイノベーション創出力を高める。サルコジ政権下で開始された I-SITE の目的は IDEX と同様であるが、科学・イノベーション・地域・経済を中心にテーマが若干限定される。

IDEX は 2011 年から 2012 年にわたり 6 拠点が選定、その後 2017 年にかけて 3 拠点が追加され、9 拠点となっている。具体的な拠点名を表 A2.3.2 に示す。2017 年に加わった I-SITE は 9 拠点で、ロレーヌ大学、ブルゴーニュ・フランシュコンテ大学、リール大学、モンペリエ大学、クレルモンフェラン大学、ナント大学、パリ東大学、セルジー・ポントワーズ大学、ポー大学である。これらの拠点は、i) 研究の質、ii) 教育と研究開発能力、iii) 地域経済社会との関連性、国際共同研究の充実、iv) プロジェクトを効果的に行う能力、の 4 つの基準で選ばれている。

配分される資金は 1 拠点あたり 10 年間で IDEX は概ね 7 億ユーロ程度、I-SITE は概ね 3.5 億ユーロである。ただし、この資金は” non-consommable ” という位置づけであり、実質的に利用可能な資金は配分される資金から発生する利子相当額となる。IDEX プログラム全体では「将来への投資計画」資金より 2014 年以降は年 103 億ユーロが資金配分されている。

表 A2.3.2 IDEX 拠点一覧<sup>82</sup>

拠点名	中心テーマ
ボルドー大学 (Université de Bordeaux)	情報学、数学等の基礎研究とその航空分野や医療分野への応用、光学の基礎・応用など
ストラスブール大学 (Université de Strasbourg)	ライフサイエンス、化学、物理、材料、ナノ、地球・宇宙科学、数学、工学、人文・社会科学など
パリ科学・人文学大学 (Paris Science et Lettres)	環境、エネルギー、宇宙、ライフサイエンス、健康インターフェイス、人文・社会学、など
エクス・マルセイユ大学 (Aix-Marseille Université)	エネルギー、環境、宇宙、医療・ライフサイエンス、異文化交流など
パリ・サクレー大学 (Campus Paris-Saclay)	数学、物理・宇宙・地球科学、農学・植物・動物学、工学、コンピューターサイエンスなど
ソルボンヌ大学 (Université Sorbonne)	デジタル革命のためのプラットフォーム創造、トランスレーショナルな医学研究、など
リヨン大学 (Université de Lyon)	人文・社会科学、医療、健康、スポーツ、トライボロジー・表面工学など
コートダジュール大学 (Université Côte d'Azur)	医療・福祉・高齢化社会、リスク予防・管理、デジタル化、教育イノベーションなど
グルノーブル・アルプ大学 (Université Grenoble Alpes)	数学・ICT、物理学・工学・材料科学、宇宙物理学・地球科学、化学・生物学、人文社会科学など

## (2) 高度な研究設備 (EquipEX)

EquipEX とは「将来への投資計画」のもとに公募が行われたプログラムのうちのひとつである。科学コミュニティーや産業界に対して開かれ、高度な研究を推進するために必要となる中規模研究設備に対して、1 プロジェクトあたり 100～2,000 万ユーロが配分される。先述した、国の研究インフラロードマップや国際的な枠組みなどの対象外でありかつ、各公的研究機関の通常予算では負担できない規模の研究設備を対象とする。工学基盤となる研究設備も含まれる。2011～2012

<sup>82</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略 (2019 年)」(CRDS-FY2018-FR-05) (2019 年 3 月)

年に2回に分けて公募が行われた。

1回目の公募では336件の応募中、52件が採択され3億4,000万ユーロの資金配分がされることとされた。このうち2億6,000万ユーロは機器設備購入のために直ちに使用可能な資金とされ、8,000万ユーロについては、直ちに使用できない資金であり、今後10年に亘りプロジェクト採択者に購入機器への投資、メンテナンス、維持費として資金配分されるものであった。機器設備の購入だけでなく、その維持、メンテナンス、設置あるいは機器設備の調整に必要な人員のコストなども、本プログラムにより賄われる。

1回目の公募のプロジェクトの研究領域の内訳は、ライフサイエンス29%、エネルギー・環境32%（エネルギー17%、環境15%）、ナノテクノロジー19%、情報科学10%、人文・社会10%であった。2回目の公募では、270件の応募に対し41件のプロジェクトが採択され、追加の資金が2020年をめどに配分される予定である。2017年に発表されたEQUIPEXの中間評価によると、本プログラムには合計5億9,100万ユーロの資金配分がなされ、さらに5億2,400万ユーロの追加共同出資が、海外ファンディング機関、公的ファンディング、地方自治体、民間などより必要とされている。

本プログラムによって賄われる研究プラットフォームは、購入した機器設備の存在する場所のみでなく、地域の全ての研究者、すなわち官民の研究パートナーシップを通じて産業界にも開かれており、研究ユニット間で共有またはネットワークで使用され、ひいては多くのフランスの研究者の研究やその国際的な発信の強化に貢献している。これまで228件の特許申請、2,638編の博士論文発表、13,350編の論文発表がなされた。分野ごとの主要な研究設備開発プロジェクトは、表A2.3.3のとおりである。

表 A2.3.3 主な EquipEX<sup>83</sup>

研究分野	プロジェクト名 (金額)	内容 (運営主体)
ライフサイエンス	ICGex (1,250 万ユーロ)	がんの発進メカニズム解明のための遺伝子レベルでの解析設備 (キュリー研究所)
エネルギー・環境	CLIEX (2,000 万ユーロ)	超高出力レーザー設備 (パリ・サクレー大学)
ナノテクノロジー	TEMPOS (1,350 万ユーロ)	ナノ物質の解析設備 (パリ・サクレー大学)
情報科学	ROBOTEX (1,050 万ユーロ)	ロボティクスの実験プラットフォーム (CNRS)
人文・社会	DIME-SHS (1,040 万ユーロ)	ウェブベースの、人文・社会系データの管理システム (パリ政治学院)

<sup>83</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略 (2019年)」(CRDS-FY2018-FR-05) (2019年3月)

## 6. イノベーションエコシステムにおける工学基盤動向

フランスの工学分野のイノベーションエコシステムは、グランゼコール、大学、国立科学センター（CNRS）、原子力・代替エネルギー庁（CEA）、軍事省などで形成されており、特に、グランゼコールの存在が大きい。大学は基礎研究、グランゼコールは応用（企業コネクション）に強く、融合による工学強化を図るのが狙いで、80 大学、200 グランゼコールの 10 大学への統合・再編成が進められているが、融合の実状は厳しいという声もある。イノベーション省からの最新の入手情報によると、フランスは、工学基盤のような長期的な基礎研究を強化する目的で、2020 年度から研究資金の運用を柔軟に複数年にまたがって対応できるように複数年研究に関する法律を整備中である<sup>84</sup>。複数の審議会（ワーキンググループ）が設けられており、このワーキンググループの提案を元に、2021 年頭には法施行が予定されている。2021 年発効の Horizon Europe プログラムと連携させていくとみられる。

一般的にポストクの 6 年以上の任期付雇用は法律で禁止されている。

<sup>84</sup> <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid145221/restitution-des-travaux-des-groupes-de-travail-pour-un-projet-de-loi-de-programmation-pluriannuelle-de-la-recherche.html>、<https://crds.jst.go.jp/dw/20191017/2019101721436/>、<https://crds.jst.go.jp/dw/20200213/2020021322251/>（2020 年 2 月 20 日アクセス）

## A2.4 ドイツ

### 1. 政策（科学技術・産業）とそこにおける工学の位置づけ<sup>85</sup>

ドイツ連邦教育研究省（BMBF）は、連邦政府の研究開発関連予算の約 60%を管理しており、科学技術・イノベーション分野においても様々な研究開発戦略を立案している。ドイツでの研究は、州政府が多くの権限を持っているという特徴が見られる。近年、大学の研究力を強化するため、連邦政府は大学間での競争を促し、また、教育や研究への支出を増やすなど、連邦と州が共同で施策実施にあたっている。

工学分野の科学・イノベーションに関しては、連邦経済エネルギー省（BMWi）は連邦政府の支出する研究開発予算の約 20%を管理しており、BMBF に次いで、工学分野の科学・イノベーション政策における重要な省となっている。

### 2. 科学技術関連組織とファンディングシステム<sup>85</sup>

#### (1) 体制図

研究資金助成機関は、BMBF を所管省としており、ドイツ研究振興協会（DFG）の他、政府から研究資金助成の業務を委託されたプロジェクト・エージェンシーなどがある。ドイツの科学技術関連組織図を A2.4.1 に示す。研究開発実施機関は、マックス・プランク科学振興協会、ヘルムホルツ協会ドイツ研究センター、フラウンホーファー応用研究促進協会、ゴットフリート・ヴィルヘルム・ライプニッツ科学連合などがある。

#### (2) 政府研究開発予算内訳

ドイツにおける研究開発資金の出資比率は、政府（連邦・州）が 28.1%、産業界が 66.1%であり、海外からの研究開発資金も 5.4%ある<sup>86</sup>（2015 年）。連邦政府と州政府の研究開発支出の分担比率は、2016 年予算で連邦政府が約 58%、州政府が約 42%である。2017 年の研究開発予算（政府原案）の 86.6%は、BMBF および BMWi に連邦防衛省（BMVg）の 3 省に配分されている。研究開発予算の総額 171.1 億ユーロのうち、BMBF が約 58.6%、BMWi が約 20.8%となっている。

競争的研究資金については、プロジェクト・エージェンシーを公募によって選定し、省庁がプロジェクト・エージェンシーとともに、研究所、大学や民間企業などからの意見を取りまとめ、研究戦略やプロジェクトを検討する。連邦政府からの助成は、政府から直接受ける場合もあるが、プロジェクト・エージェンシーを介して受けることもある。プロジェクト・ファンディング全体の規模は 2017 年（政府予算案）、83 億ユーロである。

基礎的研究に対する競争的資金による支援に関しては、DFG が実施している。DFG は工学的な分野も含め、ボトムアップで基礎的な研究を支援するとともに、様々な科学関連の表彰、研究者招聘プログラムの実施などの業務を行っている。

<sup>85</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2019 年）」（CRDS-FY2018-FR-05）（2019 年 3 月）

<sup>86</sup> Federal Report on Research and Innovation 2018 - Datenband: <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/en/B1.html>（2020 年 2 月アクセス）

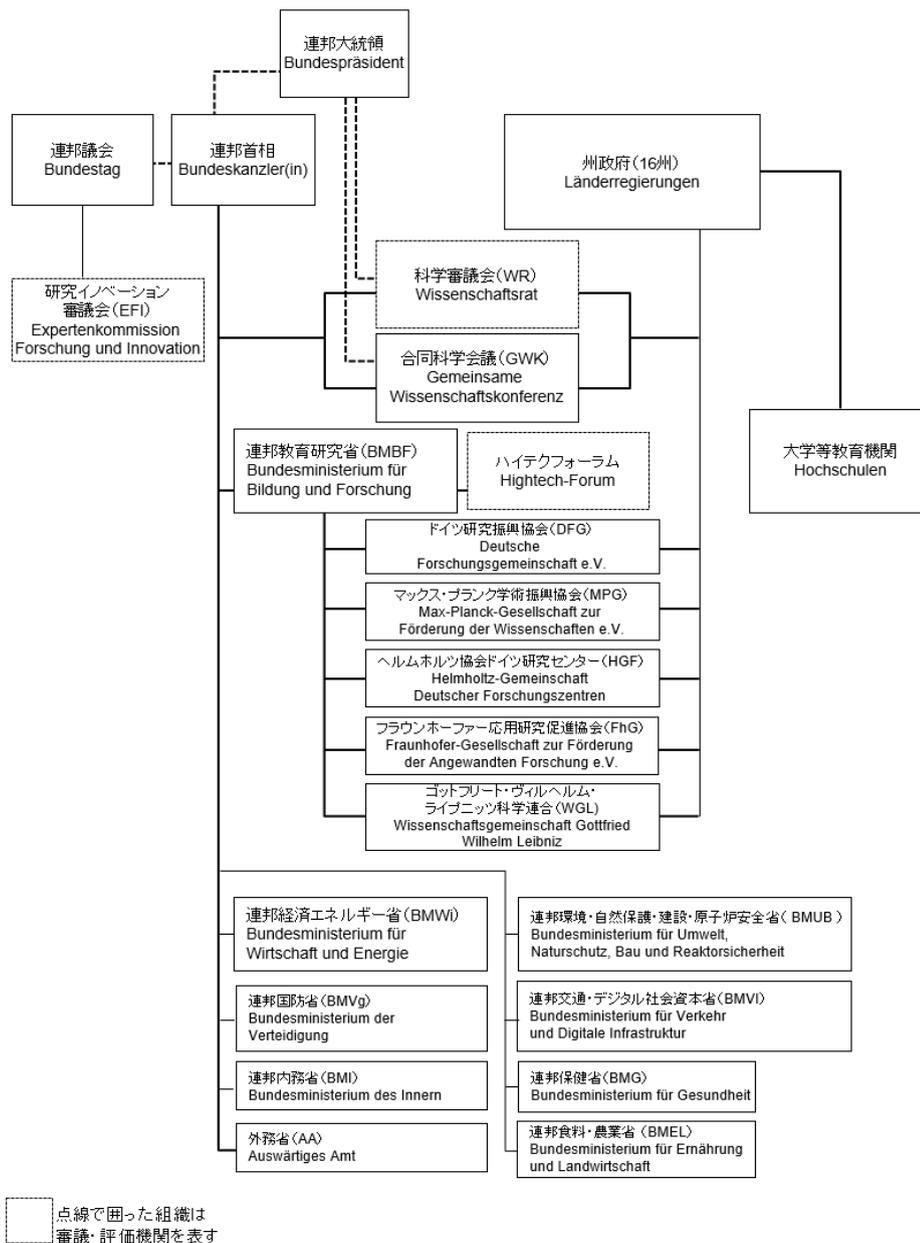


図 A2. 4. 1 ドイツの科学技術関連組織図 <sup>85</sup>

(3) 主要なプロジェクト

近年ドイツでは、将来に向けて優秀な人材を確保するため、限られた少数の大学に集中的に予算を配分し、より高いレベルの教育・研究が行えるための「エクセレンス・ストラテジー」(旧：エクセレントイニシアチブプログラム)が採用されている。これは、トップレベルの研究強化、大学組織の発展に加え、ドイツの研究および高等教育システム内での協力を強化することを目的とした恒久的な資金措置事業である。資金の 75%は連邦政府、25%は各州政府から提供される。

2019 年 7 月エクセレント委員会にて、アーヘン工科大学、ベルリン大学連合、ボン大学、ドレスデン工科大学、ハンブルグ大学、ハイデルベルク大学、カールスルーエ工科大学、コンスタンツ大学、ルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン、ミュンヘン工科大学、テュービンゲ

ン大学の 10 大学と 1 大学コンソーシアムがエクセレンス大学として選定された<sup>87</sup>。

例として、このエクセレント大学の一つであるアーヘン工科大学の機械工学部 IGMR では、①機械設計、②振動工学、③ロボット工学を中心としたメカトロニクスなどの先端的な研究や、ドイツ自動車産業とも連携し世界をリードする燃焼研究<sup>88</sup>などに取り組んでいる。

### 3. 工学研究推進組織動向

2011 年、ドイツ政府は産官学連携体制を整え、製造分野のデジタル化を推進するため、「インダストリー4.0」<sup>89</sup>と名付けた国家プロジェクトを掲げ、産官学が一体となって取り組む複数のプロジェクトを推進している。インダストリー4.0 は第 4 次産業革命とも呼ばれている。

図 A2.4.2 に、ドイツにおける 2018 年度の研究開発費の内訳（単位:百万ユーロ）を示す。工学基盤に関連する部門では、エネルギー分野に約 16.5 億ユーロ、情報・通信分野に約 12.9 億ユーロ、航空宇宙分野に約 6.3 億ユーロ、海事を含む車両・交通分野に約 5.6 億ユーロ、生産工学分野に約 5.5 億ユーロ、ナノテクノロジーと材料分野に約 5.2 億ユーロとなっており、全体の研究費のうちで工学分野が占める割合は高い<sup>90</sup>。

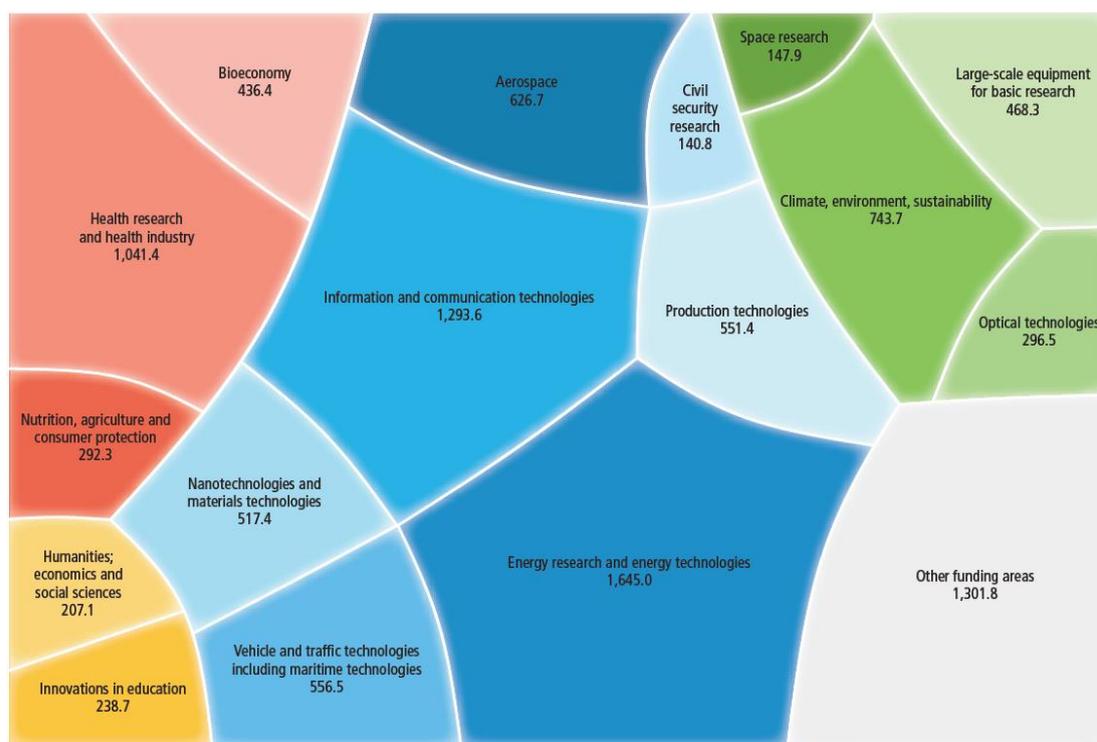


図 A2.4.2 ドイツにおける研究開発費の専門領域に関する内訳（単位：百万ユーロ）<sup>90</sup>

<sup>87</sup> 日本学術振興会ホームページ, <https://www-overseas-news.jsps.go.jp/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>88</sup> アーヘン工科大学燃焼機関研究所ホームページ, <https://www.vka.rwth-aachen.de/go/id/guln/%3Flidx%3D1&usg=ALkJrh-1My7HOItNnApWptDqhsVeKxS6g> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>89</sup> Industrie4.0: <http://www.plattform-i40.de/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>90</sup> Federal Report on Research and Innovation 2018 - Datenband: <http://www.datenportal.bmbf.de/portal/en/B1.html> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

図 A2.4.3 は、ドイツにおける研究開発費のうち、工学分野の内訳を示している。情報工学に約 3.2 億ユーロ、材料科学に約 1.7 億ユーロ、熱エネルギー技術、熱機械、流体力学に約 1.2 億ユーロ、材料工学に約 1.4 億ユーロ、システム工学に約 1.2 億ユーロ、電気工学・情報技術に約 1.2 億ユーロ、生産技術に、約 2.4 億ユーロ、機械と建設機械工学に約 1.2 億ユーロである。情報工学分野の割合が大きい一方、材料科学と材料工学に合わせて約 3 億ユーロが割り振られているなど、基盤的な工学の分野にも一定の資金が回されていることがわかる。



図 A2.4.3 ドイツにおける研究開発費の専門領域に関する内訳 (単位: 百万ユーロ)<sup>90</sup>

#### 4. 人材

ドイツでは、日本と同じく高齢化が進むなか、優秀な科学者や技術者をいかに確保するかということが大きな関心事項となっている。ここでは、ドイツにおける関連の人材確保状況について、ブレーメン州内の地域、ブレーメンに焦点をあて、そこにオフィスをもつ2つの研究所を例に取り上げる。

1つ目の例は、ブレーメン大学構内に設置された研究所、ライプニッツ材料工学研究所<sup>91</sup>(以下、IWT)である。IWTは、私法に基づく独立の研究所として、250社の企業が連なる熱処理材料学会<sup>92</sup>(以下、AWT)と連邦州としてのブレーメン州によって設立され、材料科学、プロセス工学、製造技術の3部門から成る<sup>93</sup>。ベースファンドの3分の1をAWTと州から、残りの3分の2を複数の他機関から得ているIWTでは、全体で約190名を雇用しており、このうち科学者は約100名、技術者は約50名である。活動内容は、研究とその実装の両方を志向したものであり、大学

<sup>91</sup> <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/en/institutes/leibniz-institutes-all-lists/leibniz-institute-for-materials-engineering-iwt.html> (2020年2月20日アクセス)

<sup>92</sup> <https://www.awt-online.org/en/awt.html> (2020年2月20日アクセス)

<sup>93</sup> IWT 提供資料より

と企業の両方と連携をもっている。とくに、自動車、駆動技術、金属、熱処理、航空宇宙、材料検査の各分野については、連携先企業を多く持っている。同時に、たとえば各部門のディレクターはそれぞれ大学での講義や実習を担うなど、大学での学生の教育にも携わっている。

なお、IWTにはCRC (Collaborative Research Centers) が存在し、このCRCで実施されている共同研究では、専門が異なる研究者を含めた分野横断的な研究もある。また、工学分野におけるCRCの規模は、4年間で1,000万ユーロ、研究期間は12年(3年×4)であり、比較的長期のスパンで基盤的研究に取り組んでいることが伺える<sup>93</sup>。

2つ目の例は、IWTと同じくブレーメン大学の構内にオフィスを構える研究所、フラウンホーファーIFAMである。フラウンホーファー応用研究促進協会は、私的・公的企業の直接的な利益のための応用研究をおこなっており、大学と企業のあいだで基礎研究とその社会実装を仲立ちする役割を果たしている<sup>94</sup>。ドイツでは、このような仲立ちの機能を果たす中間的組織が複数存在し、コンサルティングや共同研究、ワークショップ実施に取り組んでおり、産学官の連携が強い。フラウンホーファー応用研究促進協会は、ほかの中間的組織であるマックス・プランク科学振興協会、ヘルムホルツ協会、ライプニッツ協会のなかで最も産業向け応用研究に近い位置づけである。

フラウンホーファー応用研究促進協会の規模は大きく、具体的には、ドイツ国内に72の研究所とユニットを展開、約28,000名の雇用がある<sup>94</sup>。年間予算の約3割が連邦政府と州政府からのベースファンド、残りの約7割が企業や公的なプロジェクトの契約を通じたファンドであるこの組織のうち、フラウンホーファーIFAMは、成形・機能性材料と接着・表面技術の2つの材料科学部門に特化した研究所である。フラウンホーファーIFAMはブレーメンに本部を置き、約700名の雇用があるが、インターンの学生や、修了したばかりのPh.D.も含まれる。ここで受け入れられたこれら若手の人材は、基礎的な研究能力を鍛えると同時に、産業に関する知識やニーズも吸収することで、大学と企業のあいだをつなぐ素養を獲得していく。

## 5. 機器・施設

RWTHアーヘン工科大学の一部は、フラウンホーファーIPT内の施設にあり、組織は異なるものの、産学連携の体制が整えられている。アーヘン工科大学とフラウンホーファーIPTは共同研究を行っており、様々な共同設備を使いながら博士研究などにも取り組める環境となっている。その他、海外の企業との連携での研究も多く行われている。特に、工学基盤分野において加工技術などの機器設備が充実している。RWTHアーヘン工科大学の主たる研究領域は、デジタルフォーメーションで、切削、研磨、成形などの技術を自動制御するための技術である。また、産業界の主たる需要は、軽量化、光学技術、金型、ギア、ターボ機器および、ライフサイエンス工学となっている<sup>95</sup>。

## 6. イノベーションエコシステムにおける工学基盤動向 (ブレーメンにおける産学連携を例に)

ブレーメンでは、小規模な地域であることを背景に、産業と研究教育機関、政府のあいだでの資金や人の往来を通じた、制度的で物理的な連携関係が構築されている。

まず、資金の側面に関して、ブレーメンにおける大学や研究所の工学分野の資金源には、州政府と連邦政府からのベースファンドのほか、EUや企業からのリサーチファンドがあり、研究資

<sup>94</sup> Fraunhofer IFAM 提供資料より

<sup>95</sup> アーヘン工科大学提供資料より

金の調達先は複数存在している。例えば、ブレーメン大学の場合、年間予算のうちベースとなる予算については、州政府から約4割、残りの約6割を連邦政府やEU等複数の外部組織から得ている。また、フラウンホーファーIFAMでは、前述のように約3割が連邦政府と州政府からのベースファンド、そして残りの約7割が企業や公的なプロジェクトの契約を通じたファンドである<sup>94</sup>。

次に、人の往来の側面に関して、ブレーメンではとくに、大学や専門大学、中・大規模産業における学生や技術者の往来を促進する制度的な体制に加え、大学や研究所、企業の各人材をひとつ屋根の下に集約して連携を生み出そうとする物理的な拠点が存在し、活用されていることが特筆できる。

前者の制度的な体制については、この地域内の個々の産学間連携の仕組みを一体として捉えることで見いだせる。例えば、IWTでは、博士課程学生をエンジニアとして有給で雇用する制度がある。また、ブレーメン専門大学では、企業や研究所で働く技術者が同専門大学で教鞭を執ったり、企業や研究所と共同プロジェクトを実施したりする体制をもっている。さらに、産業では、各企業においてこれら大学や専門大学の学生をインターンとして受け入れることで、プロジェクトのなかで学生が現場経験を得ながら就業体験もできる機会をつくっている。同時に企業はこの機会を通じ、新規の人材採用につなげることもできる。これらブレーメン内にある複数主体間での協働による人材育成、技術維持の仕組みは、地域全体として取り組む産学連携のひとつのあり方であるといえる。

後者の物理的な拠点については、2019年5月から運用が開始されたECOMAT (Bremen Center for Eco-efficient Materials and Technologies) が挙げられる<sup>96</sup>。これは、科学と技術を扱う企業や研究所、大学からの人材を一カ所の物理的な拠点のもとに集約することで、そこでの空間的な交流を通じた多主体の連携と創発的なプロジェクトを促進する取り組みである。設立にはブレーメンから7,500万ユーロ、地域のR&Dファンディングから1,800万ユーロが投じられ、22,000㎡に及ぶオフィス空間と研究室、500の作業場が備えられている。参画主体には、ブレーメン大学、フラウンホーファーIFAM、IWT、AIRBUS<sup>97</sup>、DLR<sup>98</sup>などがある<sup>99</sup>。

以上のように、ブレーメンには技術あるいは技術者が地域社会のなかで一体となって育成される仕組みがある。これは、資金的な観点から政府あるいは自治体からの支援を得つつ、学生あるいは技術者が産業と研究を行き来しながら鍛錬される、地域包括的な連携構造のあり方として捉えることができる。

<sup>96</sup> ブレーメン州経済・労働・港担当省国際・管理ユニット提供資料より

<sup>97</sup> <https://www.airbus.com/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>98</sup> [https://www.dlr.de/DE/Home/home\\_node.html](https://www.dlr.de/DE/Home/home_node.html) (2020年2月20日アクセス)

<sup>99</sup> ブレーメン州経済・労働・港担当省国際・管理ユニット提供資料より

## A 2. 5 米国

### 1. 政策（科学技術・産業）とそこにおける工学の位置づけ

大統領府の科学技術政策局（OSTP: Office of Science and Technology Policy）が、予算と権限が分散する連邦政府内で科学技術政策の推進・調整役を担う。OSTP は、主に政府部内の調整と共に大統領への助言と科学に基づく政策形成の促進を行い、OSTP 局長は科学技術担当大統領補佐官（APST）として任命される場合もある。科学技術政策の基本的な方向性は OSTP を中心とする大統領府で決定され、政策立案と研究開発は、各分野を所管する各省庁とその傘下の公的研究所が担う。研究開発予算を計上する省庁は全体で 20 以上あるが、工学に関連する主だったものは国防総省（DOD: Department of Defense）、エネルギー省（DOE: Department of Energy）、航空宇宙局（NASA: National Aeronautics and Space Administration）、米国国立科学財団（NSF: National Science Foundation）、商務省（DOC: Department of Commerce）とその傘下の国立標準技術研究所（NIST: National Institute of Standards and Technology）および海洋大気局（NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration）、運輸省（DOT: Department of Transportation）などである<sup>100</sup>。エネルギー分野においてはエネルギー省（DOE）が所管省庁であり、科学局・エネルギー局・国家核安全保障局から構成されており、17 の国立研究所を所管している。

特に、燃焼工学や航空宇宙関連技術は、軍事・民生分野を問わず一国の技術力を象徴する工学分野であり、国際政治においてもしばしば国力誇示の手段として用いられる。米国の強大な軍事力の背景には、先端研究に基づく最新の動力・推進技術の継続的な発展があり、燃焼による動力・推進利用は一つの中核分野である。例えば、米国航空宇宙学会（AIAA: American Institute of Aeronautics and Astronautics）の国際会議 SciTech Forum<sup>101</sup>は、材料から推進まで広範な領域を含む航空宇宙分野の研究・開発・技術に関する世界最大のイベントで、2500 を超える論文発表がなされる。各国の政府関係者・大学・企業等から 5000 人を超える参加者が集い、米国を中心に航空宇宙産業各社やサプライヤーによる企業展示が行われる。

### 2. 科学技術関連組織とファンディングシステム

#### (1) 体制

米国は、各省庁とその傘下の国立研究所や連邦出資研究開発センター（FFRDC: Federally Funded Research and Development Center）が分野毎に基礎・応用・開発研究を支援・推進している。工学分野の基礎研究における主要な研究資金配分機関としては、工学・科学分野の米国国家科学財団（NSF: US National Science Foundation）、エネルギー分野の DOE 科学局（DOE/SC）、DOD、NASA 等が挙げられる。また、米国のファンディングシステムの特徴の一つとして、ハイリスク・ハイペイオフ研究支援を専門とする機関の存在が挙げられ、DOE においてはエネルギー高等研究計画局（ARPA-E: Advanced Research Projects Agency-Energy）が設けられている。

米国の科学技術イノベーション政策に関しては、包括的・体系的に政策目標や計画を管理したような一貫した枠組みはないが、毎年発表される大統領予算教書において研究開発における優先

<sup>100</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2019年）」（CRDS-FY2018-FR-05）（2019年3月）

<sup>101</sup> AIAA SciTech ホームページでは2020年2月現在、既に2021年1月の次回会議のアナウンスが行われている。

事項が示されている。2020年度は米国民の安全保障と並んで、「未来の産業」4領域であるAI・量子・5G・先進製造を優先事項として取り組むことが示されている。2020年度の研究開発予算優先事項（表 A2.5.1）は以下の通りである。

表 A2.5.1 2020 年度の研究開発予算優先事項

<p>&lt;研究開発優先領域&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国民の安全保障</li> <li>■ AI、量子情報科学、戦略的コンピューティングにおけるリーダーシップ</li> <li>■ 接続性および自律性</li> <li>■ 製造</li> <li>■ 宇宙探査・商業化</li> <li>■ エネルギー支配</li> <li>■ 医療イノベーション</li> <li>■ 農業</li> </ul>	<p>&lt;研究開発優先取組&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 21世紀型経済のための労働力教育・訓練</li> <li>■ 研究開発インフラの管理と最新化</li> <li>■ 機関間協調と分野横断型協働の最大化</li> <li>■ 研究室から市場への技術移転</li> <li>■ 産業界および学界との連携</li> </ul>
---	--

（海外トピック情報）米国：2020年度米国大統領予算教書 研究開発予算の概要/US20190514を参考に CRDS が作成

（2）政府研究開発予算内訳

政府開発費総額は2017年度で1,183億ドル、うちDOEは117億ドルを占めている。そのうち、ARPA-Eが27億ドル、科学局が45億ドルで、研究資金の6割を17ある内部研究所で使用しつつ、科学局等を通じて残りを外部向けに資金配分している。

表 A2.5.2. 米国政府開発費総額（2017年度）<sup>102</sup>

局（単位：千ドル）	R&D 開発費総額	基礎研究	応用研究	開発
エネルギー省（総額）	11,704,457.7	4,494,294.3	4,860,701.7	2,349,461.7
ARPA-E（内数）	273,844.9	0.0	150,614.7	123,230.2
科学局（内数）	4,484,693.2	4,401,954.4	82,738.8	0.0

2019年度のDOE研究開発予算を見ると、前年度から13.9%減の147億ドルとなっている。局毎の予算として、科学局・エネルギー局は予算減、対照に国家核安全保障局は予算増となっている。エクサスケールコンピューティングの実現、量子コンピュータ、AI/機械学習への投資拡大など、ハイテク・サイバー分野に重点化していることが特徴である。一方、予算が大幅に削減されたエネルギー局関連でも、特にエネルギー効率・再生可能エネルギー（EERE）関係の予算は大幅削減されており、去年に引き続きARPA-Eの廃止が再度、提案されている。

NSFは資金配分に特化した機関として、研究費のほぼ全て（98%）を大学など外部組織の研究者へ配分している。一方NSF以外の各組織は、内部研究機能と外部への資金配分機能の双方を合わせ持つ。例えばDODは、6割を外部に資金提供し、4割を内部研究に、対照的にDOEは、研究資金の6割を17ある内部研究所で使用しつつ、DOE/SC等を通じて残りを外部向けに資金

<sup>102</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書 主要国の研究開発戦略（2019年）」（CRDS-FY2019-FR-02）（2020年3月）

配分している。中心的なファンディング機関である NSF は、最新の戦略計画<sup>103</sup>『未来のための、発見とイノベーションへの投資：NSF 戦略計画 2018-2022』（2018）<sup>104</sup>の中で、①工学、科学、学習における知識の拡大②現在および将来の課題に対処するための国力の強化③NSF のミッションの遂行と業績の向上、という 3 つの戦略目標を掲げ、それらを実現するための短中長期の目標と達成手段を明示している。また、2019 年度事業の目玉として「NSF が未来に向けて投資すべき 10 のビッグアイデア」の予算化をしている。この 10 のビッグアイデアは、「NSF におけるコンバージェンス研究の拡大」、「NSF INCLUDES（理数教育を通じたダイバーシティの拡大）」、「中規模研究インフラ」、「NSF 2026（斬新なアイデアの長期支援）」を主題とする 4 つの「プロセス・アイデア」と、「データ革命」、「人間と技術のフロンティア」、「生命法則理解」、「量子飛躍」、「宇宙の窓」、「北極」を主題とする 6 つの「研究アイデア」で構成されている。

総額 60～70 億ドル程度とされる NSF 研究費（非国防予算）のうち、工学分野の一つである燃焼・プラズマなどの分野に配分されるのは、100～200 万ドル/年程度である。大学向けの研究費の単位は一件あたり 10 万～12 万ドル/年程度であるため、こうした水準の予算が年間で 10～20 件程度の研究に割り当てられることになる（大学院生の給与と大学へのオーバーヘッドで約 8 割差し引かれるので、研究者が実際に旅費や研究機器・消耗品に使用できるのは一件当たり年間 2 万ドル前後となる）。40～50 億ドル規模の DOE 研究費のうち燃焼関連に割り当てられるのは、年間 500 万ドル程度、そのうち 2/3 が国立研究所に、残りの 1/3 が大学に割り当てられる。大学には、10 万～12 万ドル/年を単位として 10 数件配分される。総額 130～140 億ドルの DOD 研究費は、燃焼工学関連に年間 1000 万ドル程度が配分され、研究プロジェクトあたり年間 20 万ドルの事業が 50 件ほど行われる。直近の 10 数年間で顕著に進捗した、プラズマ支援燃焼に関する研究補助はこの研究費により補助されたことになる（複数大学から著名研究者を集めて行われた多分野大学研究イニシアチブ（MURI）を含む）。プラズマ支援燃焼では米欧研究者の協力により、同分野の世界的な研究水準が著しく進展し、また多くの若手研究者が輩出された。こうした成果を実現できたのは、20 年近くにわたりこの分野を担当したプログラム・マネージャーによるところが大きい。この他、NASA 研究費は総額 190 億ドル程度で、そのうち燃焼工学には宇宙の火災安全に限り 100 万ドル/年程度が配分されるにとどまり、10 件に満たないプロジェクトが進められている。

上記のように、DOD の研究費はある程度まとまった規模、そして絞り込んだ研究分野の顕著な発展に大きく貢献している。日本には国防予算に基づく大学向けの研究費が存在しない<sup>105</sup>ことが、その是非は別として対照的である。米国研究者への聞き取りによると、DOD 研究費には 4 つのカテゴリーがあり、大学では最も基礎的な内容の第 1 カテゴリー（大学によっては第 2 まで）の研究のみに参画でき、より軍事的な色合いが強く、実際の応用に近い第 3、第 4 のカテゴリーには一切関わらないとのことである。第 1、第 2 カテゴリーの場合、半年以上長く論文等による成果公表を制限されることもないことが基準で、公開可能であるという観点から科学技術的には純粋な基礎研究に属するという考え方である。より応用に近い第 3、第 4 カテゴリーの研究開発は、主に航空宇宙・軍事関連企業が担当する。日本では、国防予算に基づく研究費には、大学は

<sup>103</sup> 連邦政府機関は、政府業績成果法（GPRA: Government Performance and Results Act）により、ミッションと長期の目標、及び達成手段を定めた戦略計画を策定することが求められており、議会による機関評価の対象となっている。

<sup>104</sup> Building the Future : Investing in Discovery and Innovation- NSF Strategic Plan for FY 2018-2022  
<https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18045/nsf18045.pdf>(2020 年 2 月アクセス)

<sup>105</sup> 日本学術会議報告により大学は軍事的安全保障研究について実質的に応募できないことになった。日本学術会議・安全保障と学術に関する検討委員会、2017.4.13.

如何なる形でも関わらないという方針を掲げている。国内にある研究リソースである大学の知と限られた研究費とを有効に活用し科学技術の進展に結びつけるという観点からは、米（中）の国防予算の巨大さとともにやはり大きな規模の差がある。

### (3) 主要なプロジェクト（事例紹介）

ここでは、工学基盤関連の主要なプロジェクトとして、過去 10 年程度内で特に顕著な進捗のあった DOD によるプラズマ支援燃焼関連のプロジェクトについて紹介する。

AFOSR (The Air Force Office of Scientific Research) による MURI (2009–2015) がその一つであり、タイトルは "Fundamental Mechanisms, Predictive Modeling, and Novel Aerospace Applications of Plasma Assisted Combustion"<sup>106</sup> である。元々複雑なプラズマ科学と燃焼科学との統合的な取り扱いが求められる分野であり、科学としてのプラズマ支援燃焼に大変顕著な進捗があった。多くの著名な研究者が、オハイオ州立大学、プリンストン大学、ジョージア工科大学といった米大学からばかりでなくフランス・イタリアの国立研究所、さらにロシアからもプロジェクトに参加し、実際に報告書が提出されている。報告書には、ロシアのプロジェクトである 5Top100 や、ロシア教育科学省の研究 Grant 番号と併記して AFOSR に対する謝辞が記されている。基礎研究カテゴリーとは言え、ほんの 5 年ほど前に AFOSR がロシアの研究機関に研究補助をしており、基礎研究を世界最高水準のものとしようとするプログラム・マネージャーあるいは研究者の強い意志が見られる。

## 3. 工学研究の推進における組織動向

ここでは、工学の中でも、熱工学あるいは流体工学も含む機械工学や化学、物理、数学などにまたがる境界領域としての位置づけにある燃焼工学研究を中心に推進する組織の動向をまとめる。

### ・大学

ジョージア工科大学の航空工学科では、Timothy Lieuwen 教授らが、ガスタービンに関する燃焼工学研究を実施している。ガスタービン研究グループ全体では、9 名の教授陣、8 名の Research staff、2 名の技術職員、70 名の学生が配置されている。学生の内訳は、50% が博士課程、残り 50% の半分ずつが修士と学部の学生である。そのうち燃焼研究グループでは最近、2 名の新しい教授陣を採用、Lieuwen 教授を含めて 3 名が燃焼研究を実施している。燃焼研究グループでは年間、200～500 万ドルの研究予算により運営を進めている。予算の半分は企業から、残りの半分が、NSF、DOE、DOD、米国連邦航空局 (FAA) からである。ガスタービン関連研究に手厚く人材・予算が配分され、研究が進められている。またハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 分野では上記とは別に 3 名の教授陣が反応流の数値計算を実施しており、学内や Oakridge 国立研究所のスーパーコンピューターを利用し研究を進めている。

プリンストン大学では Yiguang Ju 教授<sup>107</sup>らが、上記でも触れた直近 10 年ほどのプラズマ支援燃焼研究を進めている。国プロジェクトを行う上で重要な点として、研究面で若手のスターを輩出するような仕組みが重要であると認識し、日本で 1990 年代に燃焼分野で実施された、微小重力燃焼プロジェクト (NEDO 等) は非常に良い例であるとしている。また、米国では先に紹介し

<sup>106</sup> AFOSR による MURI の紹介、オハイオ州立大 HP、<https://netl.engineering.osu.edu/afosr-muri>

<sup>107</sup> Ju 教授は中国出身で清華大学を卒業後、日本の東北大学で学位を取得、その後、東北大学（当時）助教授、清華大学教授を経て 2001 年に渡米、現在に至っている。

た DOD による Defense University Research Instrumentation Program (DURIP) が有効であると考えている。日本の Center of Excellence (COE) や Global Center of Excellence (GCOE) プロジェクトは、博士課程学生の教育面では成果が出たが、研究面での成果に乏しいとの意見を持っている。さらに、近年の SIP (特に革新的燃焼技術) については、プロジェクトの技術内容の成功自体は良いとしながらも、研究参加者が日本人のみであること、評価者に国外の委員がいないことが課題との意見をもつ。

スタンフォード大学では、Hai Wang 教授らがナノエネルギー分野に取り組む。同教授らは、日本の基礎研究から実用までのエコシステムは良く機能しており、特に内燃機関の SIP をはじめとする産学連携の取り組みが現実を見据えた着実な取り組みで、派手さはないものの結果として素晴らしいものづくりに繋がる日本の強みでは無いかとの意見をもつ。米国のお家芸とされる、ベンチャー企業に代表される新規技術の積極的な拾い上げに関しては、やはり米国の強みであるとする意見がある一方、スタンフォードでその実情を間近で見ている Wang 教授の自己評価は、辛口である。日本での工学基盤に対する着実な努力の本質を、遠くにいても見ている人はいる。

#### ・研究機関

アルゴンヌ国立研究所 (イリノイ州) では、理論化学、燃焼化学、高圧燃焼、エンジン燃焼、これらを対象とする大規模数値計算分野にまたがる研究を、サンディア国立研究所 (カリフォルニア州リバモア) では、燃焼および大気化学、エンジン燃焼、科学計測、大規模数値計算分野の研究を進めている。これらの研究グループは、各分野で世界を代表する成果を挙げており、研究費に関しては恵まれ、やりたい研究が出来ている。

例えばアルゴンヌ国立研究所では、Steven Klippenstein 博士らが理論気体化学の研究グループを率い、数値シミュレーションによる理論化学、特に遷移状態理論の分野で先進的な成果を挙げている。Combustion Institute からは 2018 年に Ya. B. Zeldovich Gold Medal を受け、また The Royal Society of Chemistry から 2020 年に Polanyi Medal を受けることがすでに公表されている。同博士は、如何なる分野においても世界トップの研究者と積極的に交流することが大切であるとの持論を持ち、直近の 10 年で、米国で研究する日本人研究者をあまり見なくなったと指摘している。日本では 2000 年代初頭に文部省 (当時) の在外研究制度が廃止され、競争的資金化されたことで、海外で長期間研究する研究者の絶対数が減り、それが現在じわじわと国際共著論文数の低下などに効いてきている可能性がある。

アルゴンヌ国立研究所、サンディア国立研究所ともにほとんどの研究費は DOE から配分されるが、HPC (High Performance Computing) 分野の研究者は、米国外の石油メジャー、ドイツ重工企業、あるいはノルウェーの CCS を伴うアンモニアと水素の混合燃焼など、大規模数値計算の技術を活かせるプロジェクトに参画している。将来的にも、多国間の枠組みの中で研究を進める計画である。DOE 傘下の EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy) の下に Advanced Manufacturing Office (AMO)、Fuel Cell Technologies Offices (FCTO)、Vehicle Technologies Offices (VTO)、DOE' s Office of Fossil Energy (FE) などが組織され、内容に応じた研究費の配分がある。サンディア国立研究所の Jacqueline Chen 博士は、Combustion Research Facility の反応流研究グループで大規模数値計算を実施している。Exascale Simulation of Combustion in Turbulence (ExaCT) と称する反応流の DNS 分野で顕著な成果を挙げており、2018 年には Combustion Institute からやはり Bernard Lewis Gold Medal を受けている。一方、

サンディアでは数年前、反応流研究グループの半分を占めた乱流火炎の実験を主体とする研究グループが、予算打ち切りのためグループごと廃止されている。

アルゴンヌの数値計算のグループは、米国（すなわち世界）最高峰のスーパーコンピューターを用い、6人のスタッフ・サイエンティストの下、約20名のポストドクが配置され、Light Duty および Heavy Duty 用途レシプロエンジン、ガスタービンと Rotational Detonation Engine、材料、空力、AI と機械学習、また世界的に広く利用されている商用コード CONVERGE の開発を一部担っている。

上記2つの国立研究所では、潤沢な研究費を基に優れた人材が研究を自由に進め、世界をリードするが、一方で日本の技術や研究、研究者や技術者へのリスペクトも持っている。大学、企業を問わず、既知の日本人の名前を知っているが、若手の名前は少なく、早急な対応が求められる課題である。日本の強みは中間層の水準の高さ、という一般論に従えば、前述の在外研究制度などは、国の研究資源にとってもライフラインとも考えられ、選択と集中の仕方を今後、より洗練していく必要がある。

#### 4. 人材

大学では、ジョージア工科大学のガスタービン研究グループにおいて、新規に教授陣を雇用して、9名の教授陣、8名の Research staff、2名の Technician に対し70名の学生からなる研究グループを構成している。米国が自国の強みを認識して、適切な分野に国としての投資を継続している。

また、アルゴンヌ国立研究所、サンディア国立研究所などの国研でも、世界先端の成果を産み出す基礎研究分野（グループ）には惜しみなく投資を継続し、特定グループの科学研究水準を高く維持することに注力している。サンディア国立研究所の燃焼研究人材は、化学反応理論含めその応用先は非常に柔軟である。大気化学や惑星間化学反応現象など、普遍性のある科学の強みは無限に広がっており、近年は大気化学に関する研究へのエフォートが増加している。DOE 傘下の研究所において、科学研究の先端を担うということに対する方針が維持されている。

#### 5. 機器・施設

NSF ビッグアイデアの中に「中規模研究インフラ」が含まれているが、これは大規模研究機器・設備建設（MREFC、予算規模：7千万米ドル）と主要研究計装プログラム（MRI、予算規模：10～400万米ドル）の間をつなぐ、600万～2千万米ドル規模の研究インフラを整備するというプロジェクトである。

ジョージア工科大学では、ガスタービン関連の研究設備が例外的に充実している。また航空宇宙分野に関しては、Purdue 大学の設備が充実していることがよく知られている。

ツールとしてのスーパーコンピューターは、米国に世界最高の設備が存在する。実際に2019年11月現在の世界ランキング<sup>108</sup>をみても、米国のシステムが10位中5件を占めている<sup>109</sup>。米国の研究者は、これらのスーパーコンピューターを、手元のシステムと使い勝手に選択しながら使い分けている。日本では、国家規模で開発されたスーパーコンピューターの使用用途がどのよう

<sup>108</sup> スーパーコンピューター世界ランキングサイト, <https://www.top500.org/lists/2019/11/> (2020年2月20日アクセス)

<sup>109</sup> 世界首位は Oak Ridge 国立研究所の Summit、二位はサンディアと敷地を接する、Lawrence Livermore 国立研究所の Sierra である。10位までに中国のシステムが2件、その他は独、スイス、日本が各1件である。なお8位の日本のシステムは AIST の AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI) というシステムである。

な基準・プロセスで決定されているか不透明である。

## 6. データ基盤・標準化

燃焼化学反応の数値計算を行う場合、事実上の世界標準とされている一群のソフトウェア Chemkin は、1980～1990 年代にかけてサンディア国立研究所で開発され、その後、無償で誰にでもソースコードが提供される期間、登録制で守秘義務が発生する期間を経て、現在は商用コードの中の一つの化学反応専用パッケージ<sup>110</sup>の一つとしてライセンス販売に移行している。また、これらのコードの中で使用される熱力学データベース<sup>111</sup>、輸送係数のデータベースも NASA、NIST が標準化して世界に普及させた経緯があり、現在も世界中で広く使用されている。さらに「化学反応機構(リバモア・メカニズム)」と呼ばれる、素反応の一群を記述したデータベースも、1980 年代頃から始まった個別研究者による開発から、研究組織による系統的な開発へ移行した。例えば、メタンが空気と反応して燃焼し水と二酸化炭素を生成、副生成物として窒素酸化物が生じる過程、場合によってはススが生じる過程などの「化学反応機構」は、Lawrence Livermore 国立研究所により構築され、現在も一般に公開<sup>112</sup>されている。基礎研究を国(国立研究所)として補助、ツール化、世界に供給、やがて権利化し商用、という流れは米国では自然にできあがっているものと考えられる。なお、化学反応機構については、Lawrence Livermore 国立研究所で先端研究に従事した世界の研究者が帰国、あるいは元々、研究として取り組んでいたグループが、米の他、独仏伊、アイルランド、サウジアラビア、日本などで活躍を続けている。この中で顕著な最近の動向としては、特定分野に特化し、2008 年にサウジアラビアに創立された King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) を挙げることが出来る。三分野のみを対象にする単科大学院であるが、燃焼工学はそのうちの一つである。KAUST の Clean Combustion Research Center (CCRC)<sup>113</sup>は主として、欧米韓の研究者の移籍とイスラム圏、中国の優秀な学生の受入で 10 年ほどの間に、世界最大かつ最高水準の燃焼研究を行う研究グループに成長した。米国で一定の成果を挙げた、前述の化学反応機構、リバモア・メカニズムの後を受けて、同国のサウジアラムコの資金補助により世界最高水準の研究者への研究費補助が継続され、バージョンアップされ続けている。現在、より高精度で精緻なメカニズムは Aramco Mechanism XXXX のように呼ばれ、こちらも世界中で使用されている。この Aramco Mechanism は、研究の取りまとめを行ったアイルランド国立大学の研究グループの Web サイト<sup>114</sup>で、先端研究の成果の一部として他のメカニズムとともに公開されている。

こうした中、一人気を吐く日本人研究者<sup>115</sup>も存在する。先に触れた SIP 革新的燃焼技術において標準燃料が設定されたが、その中で化学反応機構構築を率い、現在、おそらく世界で最高精度の実用燃料(サロゲート燃料)に対する化学反応機構が公開<sup>116</sup>されている。こうした活動が研究

<sup>110</sup> <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-chemkin-pro> (2020 年 2 月 20 日アクセス)(Chemkin Pro として ANSYS に組込まれている)

<sup>111</sup> 研究者により紹介されている NASA 式熱力学データ表記。 [http://combustion.berkeley.edu/gri-mech/data/nasa\\_plnm.html](http://combustion.berkeley.edu/gri-mech/data/nasa_plnm.html) (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>112</sup> <https://combustion.llnl.gov/mechanisms> (2020 年 7 月 16 日アクセス) (リバモア・メカニズムと呼ばれる化学反応機構群が公開されている)

<sup>113</sup> KAUST の CCRC ホームページ, <https://ccrc.kaust.edu.sa/Pages/Home.aspx> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>114</sup> アイルランド国立大学の研究グループ, <http://www.nuigalway.ie/combustionchemistrycentre/mechanismdownloads/> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>115</sup> 広島大学・三好教授の個人ページで公開されるメカニズム KUCRS, <http://akrmys.com/KUCRS/index.htm.ja> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

<sup>116</sup> SIP 革新的燃焼技術で使用した燃料の化学反応機構(三好教授による), <http://akrmys.com/kinm/modl.html.ja> (2020 年 2 月 20 日アクセス)

者個人の活動として行われていることは、前述の世界動向とは対照をなすものである。

#### 7. イノベーションエコシステムにおける工学基盤動向

米国は、全体的な傾向として、ベンチャー企業の創設に代表される、0から1を産む仕組みのほか、国としての強みである工学基盤に関する資産を、未来を注視しながら合理的に変化・発展させている。しかしながら、一例として自動車を挙げると、米国は世界で初めて自動車を量産した自動車立国国家でありながら、GM、フォードなどの米国車の世界シェアは2019年に遂に2割を割った。テスラに代表される電気自動車による革新が起こっていると見ることも出来るが、世界的に全ての自動車が電動化される可能性には多くの専門家が否定的な意見を持っている。

一方、そのような中、日本が現実的な解であるハイブリッドカーをさらに洗練させ、また効率が50%を超える自動車エンジンを国として援助し開発したことが、日本の工学エコシステムがある程度健全と米国には見えているようである。日本の弱みである0から1に配慮しながら、1からnのnを最大化する工学基盤の維持発展に、特に留意することが重要である。

## A 2. 6 豪州

### 1. 政策（科学技術・産業）とそこにおける工学の位置づけ

豪州は、鉄鉱石・石炭といった天然資源や農業の他、それほど大きな産業がない国であるが、工学基盤分野には継続的に投資がなされ、特に豪州研究機構（ARC）リンケージプログラム等で工学的基盤が作られている。既存産業につなげる研究、という位置付けとは異なる戦略を有している。また、工学教育では世界を牽引しており、人材育成面でも工学基盤の強化策を打ち出している。

オーストラリアにおけるイノベーション戦略として、産業イノベーション科学省（DIIS: Department of Industry, Innovation and Science）から「Australia 2030<sup>117</sup>」が発行されている。Australia 2030 では、①教育、②産業、③政府、④研究開発を大きな4つの軸として、その重なり合うところに⑤文化と野心を位置付けている（図 A2.6.1）。特に研究開発では研究の移行・商業化を強化することが示されている。それは、今までの研究開発に対して、①大学での研究が産業へつながっていないこと、②Ph.D.学生の産業界への配置が少ないこと、この2点を踏まえた上で、強力に押し進める意向を示している。また、Australia 2030の最初の項としてSTEM教育の強化が挙げられていることは特徴と言える。STEM教育の質の向上が、非常に重要である職業教育そして大学における教育の向上に繋がり、産業連携や商業化活動への効果が最も高いと位置付けられている。工学を含んだSTEM教育が産業力を牽引する非常に重要なファクターだと最初に位置付けていることとなる。

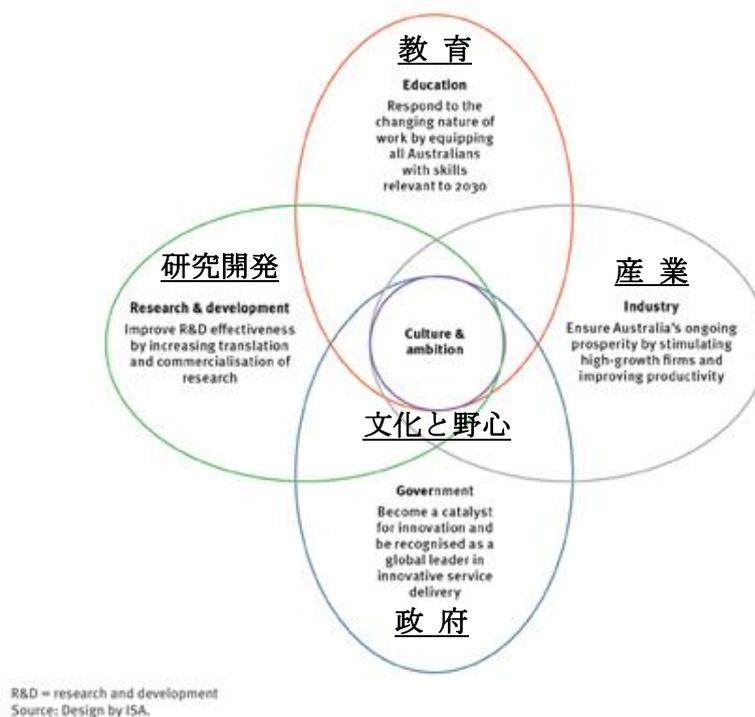


図 A2. 6. 1 Australia 2030 における 5 つの必須事項

<sup>117</sup> Australian Government, Australia2030: prosperity through innovation, 2017/11, [https://www.industry.gov.au/sites/default/files/May%202018/document/pdf/australia-2030-prosperity-through-innovation-full-report.pdf?acsf\\_files\\_redirect](https://www.industry.gov.au/sites/default/files/May%202018/document/pdf/australia-2030-prosperity-through-innovation-full-report.pdf?acsf_files_redirect) (2020年2月20日アクセス)

これは2016年に豪州の Chief Scientist である Alan Finkel AO 氏が、Australia's STEM Workforce<sup>118</sup>としてポリシーペーパーを発刊したことに由来する。STEM 教育修了者は科学技術的専門職のみならず、製造・教育・金融・行政等、様々な産業に広く就職しており、STEM 教育が豪州の経済のキーになることを Alan 氏は重要視した。このポリシーペーパーによって、DIIS は STEM 教育を強力に推進することとなり、イノベーション戦略である Australia 2030 でも STEM 教育の重要性を最初に挙げている。なお、ポリシーペーパーの中で Engineering は「科学、数学、技術的知識と方法で、人間に必要な安全性や信頼性を与える製品・システム・サービスをデザインし、実装する。その際、環境的・経済的・美的要因を考慮しなければならない」と定義されている。

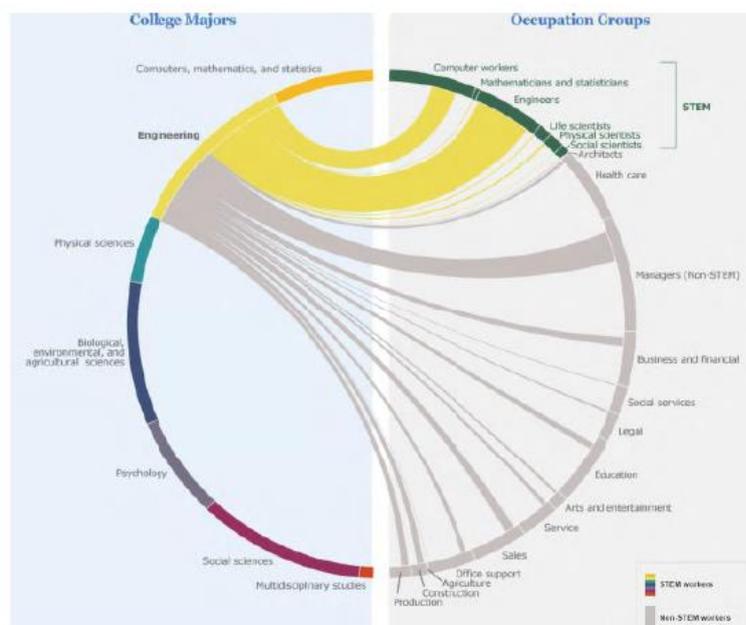
オーストラリア工学評議会 (ACED: The Australian Council of Engineering Deans) が、Engineering Future 2035<sup>119</sup> というレポートを発行している。そのレポートの中で、豪州が貢献したイノベーションの事例と、豪州の研究ブレークスルーに基づくものだが海外で商品化された事例を示し、多くの発見についてその価値を十分に引き出すことができていないことを指摘している。前者は Wi-Fi やプラスチック製のお札、電子ペースメーカー、人工内耳などであり、後者はブラックボックスフライトレコーダー、心臓ペースメーカー、太陽電池、X 線結晶構造解析などである。さらに、当初防衛目的で開発されたソナー技術が民間の地震用途へとスピノフし、豪州のエンジニア、科学者、技術者に新しい産業と雇用機会をもたらした例を挙げ、イノベーションが新しい国際的に競争力のあるビジネスの展開に役立つこと、その構成要素の一つが工学であることを強調している。人材に関しては、工学分野における移民への高い依存を問題として指摘しつつ、工学の多様性の広がりによってより多くの工学スキルを持った人材を多くの分野に輩出する必要性が述べられている。実際、図 A2.6.2 で示すように工学系人材は工学系に限らず多様なフィールドで活躍しており、創造性とキャリアの俊敏性・可動性を持った人材として位置付けられている。

<sup>118</sup> Australian Government, Australia's STEM Workforce: Science, Technology, Engineering and Mathematics, 2016/3, [https://www.chiefscientist.gov.au/sites/default/files/Australias-STEM-workforce\\_full-report.pdf](https://www.chiefscientist.gov.au/sites/default/files/Australias-STEM-workforce_full-report.pdf) (2020年2月20日アクセス)

<sup>119</sup> [http://www.aced.edu.au/downloads/Engineering%20Futures%202035\\_Stage%201%20report%20for%20ACED\\_May\\_16\\_2019.pdf](http://www.aced.edu.au/downloads/Engineering%20Futures%202035_Stage%201%20report%20for%20ACED_May_16_2019.pdf)

## 大学での専攻

※黄色が工学



## 職業グループ

※緑が STEM 分野

STEM 分野以外への就職が多い

図 A2.6.2 多様なフィールドで活躍する STEM 卒業生<sup>120</sup>2. 科学技術関連組織とファンディングシステム<sup>121</sup>

## (1) 体制図

豪州における科学技術関連組織として、科学技術、イノベーション、商業化に関しては、産業イノベーション科学省（DIIS）が、高等教育機関および高等教育研究機関における研究に関しては、教育省（DOE: Department of Education）が担当している。

DIIS 管轄の研究機関として、豪州連邦科学産業研究機構（CSIRO: The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation）や豪州原子力科学技術機構（ANSTO: Australia's Nuclear Science and Technology Organisation）、豪州海洋科学研究所（AIMS: Australian Institute of Marine Science）がある。中でも CSIRO はオーストラリア最大の研究機関であり、今回の調査で訪問を実施した。また、研究資金配分機関としては教育省管轄の豪州研究会議（ARC: Australian Research Council）があり、こちらも今回、訪問を実施した。ARC では医学・歯学を除く科学全般の基礎研究を支援している。医学・歯学については国立健康医学研究会議（NHMRC: National Health and Medical Research Council）が支援している。

## (2) 政府研究開発予算内訳

図 A2.6.3 に 2019 年度の政府研究開発予算内訳を示す。予算総額は 96.4 億豪ドル、内訳として産業イノベーション科学省が 38.0%、教育省が 32.4%、保健省が 14.6%を占める。

<sup>120</sup> シドニー大学, Archie Johnston 教授からのヒアリング資料 (2019 年 11 月 22 日)

<sup>121</sup> 科学技術振興機構研究開発戦略センター「科学技術・イノベーション動向報告～オーストラリア編～（2016 年度版）」(CRDS-FY2016-OR-04) (2017 年 3 月)

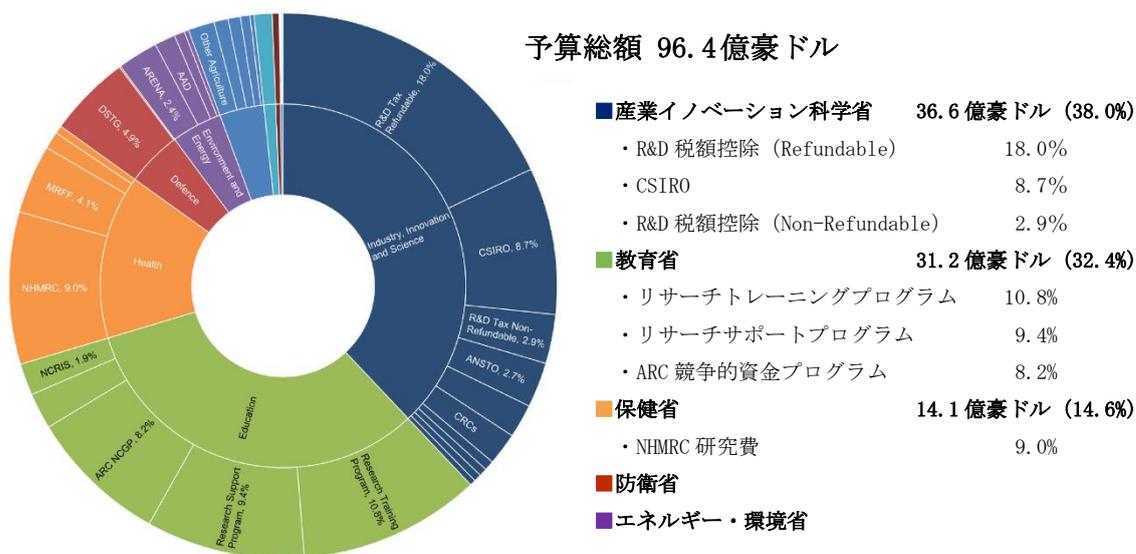


図 A2. 6. 3 2019 年度 政府研究開発予算内訳と主な施策・プログラム<sup>122</sup>

特に DIIS が管轄する R&D 税額控除は Refundable と Non-Refundable を合わせると政府研究開発予算の 20%以上を占める。DIIS は研究開発をイノベーションにおける最初の重要なステップと捉え、イノベーションが生産性の向上と経済成長の促進につながるとしている。研究開発プロジェクトが成功するか否かの不確実性ゆえ、企業が外部資金を獲得することが難しい状況に対し、このような R&D 税額控除制度により経済的に後押しし、企業における R&D 能力を拡大させている。特に売上高が 2,000 万豪ドル未満のいわゆる中小企業に対しては、Refundable タイプ、すなわち R&D 投資額に対し、税額を 0 まで控除した後、還付金として交付される仕組みがある。なお、対象となる企業は豪州国内企業のみではなく、外国企業も対象となっており、豪州国内の市場が小さい場合等、海外展開も視野に入れた研究開発への支援策が講じられている。売上高が 2,000 万豪ドル以上の企業は Non-Refundable タイプのみが利用可能であるが、Refundable タイプの比率が高いことから、政府として中小企業における研究開発を重視し、支援していることが分かる。

産業側での研究開発を後押しする DIIS に対し、DOE は大学側の研究開発の支援と役割が明確に決まっている。さらに DOE は大学へのブロックファンドの配分機関、ARC は競争的資金の配分機関となっている。ARC における各種プログラムは次節で詳しく述べる。なお、医療分野は研究開発投資に対するベネフィットが高く、保健省の Medical Research Future Fund (MRFF<sup>123</sup>) にて配分されている。また国防分野は全体の 5%を占める程度であるが、10 年程度の期間をかけて強化させたい意向があるとのことである。

<sup>122</sup> ARC, Policy and Integrity, Director Mr. Justin Withers からのヒアリング資料 (2019 年 11 月 18 日)

<sup>123</sup> <https://www.health.gov.au/initiatives-and-programs/medical-research-future-fund>(2020 年 2 月アクセス)

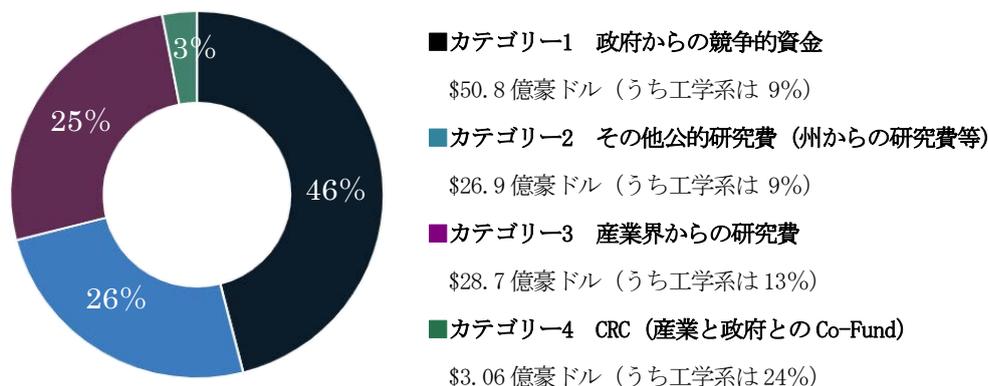


図 A2.6.4 4つの研究費カテゴリー (2018年度) <sup>124</sup>

図 A2.6.4 のように大学への研究費は大きく 4つのカテゴリーに分けられる。調査訪問時に、各研究者にどのように研究資金を得ているかについてヒアリングを実施したが、「政府からの研究費が約半分、それ以外の民間等から約半分」という答えが多く、図 A2.6.3 で示される割合と同程度であった。なお、内数として工学系が占める割合を示したが、カテゴリー1 や 2 と比較して、カテゴリー3 や 4 における比率が高く、工学系分野では産業界からの研究費の方が多く投入されていることが分かる。

ARC における競争的研究費の分野別配分を図 A2.6.5 に示した。ARC では 22 の分野に分けている。年度毎の多少の変動があるものの、工学分野においても毎年、2割程度の配分がある。

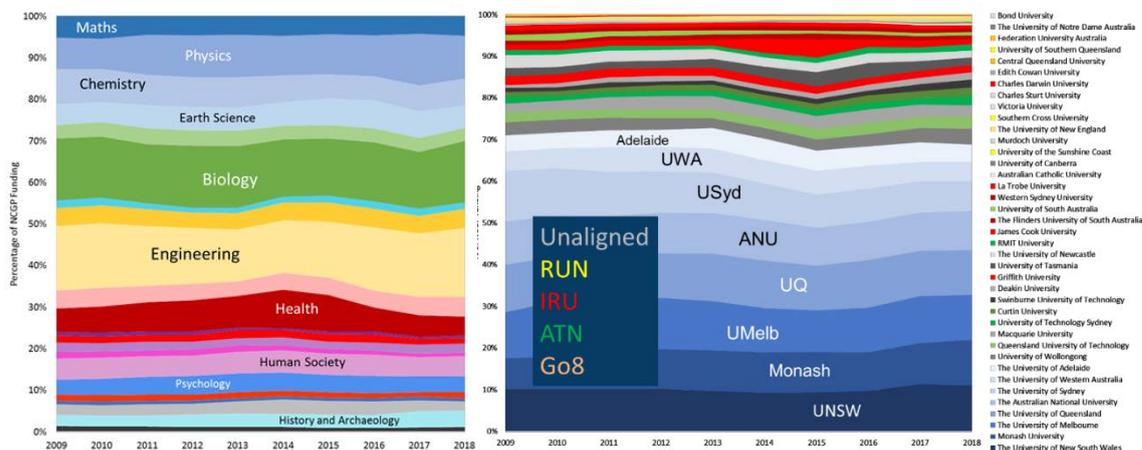


図 A2.6.5 ARC における競争的研究費の分野別 (左) および機関別 (右) 配分 <sup>125</sup>

図 A2.6.5 (右) は ARC における競争的研究費の機関別配分であるが、Go8<sup>126</sup> (Group of Eight) という国内トップ大学群に毎年、一定の割合で配分されていることが分かる。ARC からはピアレビューの結果、このような配分になると説明を受けたが、主要 8 大学を国として恒常的に支援し

<sup>124</sup> State of Australian University Research 2018-19 ERA National Report (ARC) <https://dataportal.arc.gov.au/ERA/NationalReport/2018/> (2020年2月アクセス)

<sup>125</sup> ARC, Policy and Integrity, Director Mr. Justin Withers からのヒアリング資料 (2019年11月18日)

<sup>126</sup> 豪州の 43 大学のうち国内トップ 8 大学 (オーストラリア国立大学、メルボルン大学、シドニー大学、ニューサウスウェールズ大学、クイーンズランド大学、モナシュ大学、ウェスタンオーストラリア大学、アデレード大学) が G8 (Group of Eight) として組織化されている。

ていることが分かる。一方、Go8 以外の大学は、地方大学 (RUN: Regional Universities Network)、イノベーション研究大学 (IRU: Innovative Research Universities)、オーストラリアテクノロジー大学 (ATN: The Australian Technology Network of Universities) のネットワークに所属するか、それ以外に分かれており、それぞれが特色ある形で研究費を獲得している。

(3) 主要なプロジェクト

ARC におけるファンディング概要を図 A2.6.6 で示す。ARC における競争的研究費は Discovery Program と Linkage Program に分けられる。イノベーションシステムにおける基礎研究の重要性から Discovery Program が位置付けられ、Discovery Program は日本の科研費に相当する Discovery Project の他、各種 Fellowship が用意されている。Fellowship は若手・中堅研究者だけでなく、国際的に研究分野を牽引する研究者に対する制度 (Laureate Fellowship) もある。研究費とポストドク雇用費にプラスして、自身の給与の上乗せ分も提供し、インセンティブを与える仕組みになっている。

Linkage Program では、国内外のイノベーションシステムにおける連携強化と研究成果の展開を目的としている。ARC では、大学で実施している研究が社会にインパクトを与えることを重視しており、本プログラムにより強力にサポートしている。特に、中小企業は R&D 機能を社内に設けることが難しいため、大学側との共同研究で成果を社会実装へと繋げようとしている。

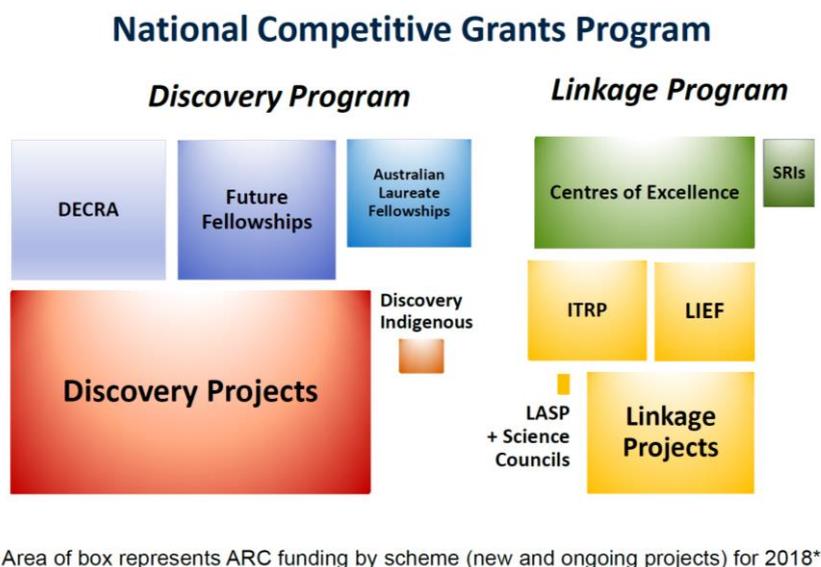


図 A2.6.6 ARC における研究ファンディング概要 <sup>125</sup>

- ・ ARC と DIIS による大学と企業、政府と企業間の連携強化

現在、①高度製造、②サイバーセキュリティ、③食品・アグリビジネス、④医療技術・医薬品、⑤採鉱技術・機器、⑥石油・ガス・エネルギー資源、の 6 つを重点分野とし、ARC 側では Industrial Transformation Research Program (ITRP) にて、DIIS 側では Industry Growth Centres Initiative にて、大学と企業、政府と企業間の連携強化を行っている。ITRP では、ハブ型とセンター型とがあり、大学との共同研究によって、重点分野における生産性・競争力の向上を目指し、産業界の問題解決を図ろうとしている。また、センター型の中で Industry Ph.D.を育成する仕組み

みがあり、産学が連携して必要な人材育成に取り組んでいる。Industry Growth Centres Initiative では、産業界の主導の下、非営利組織としてセンターを設立し、産業界でのネットワーク形成と能力強化を主眼とした 10 年スパンでの戦略を実行している。

#### ・ Cooperative Research Centres (CRC)

DIIS における産業界主導の共同研究支援スキームである。2 つ以上の企業との共同研究、うち 1 つは中小企業という条件が設けられており、企業と政府の Co-Fund によるコンソーシアム型で、34 拠点にて実施されている。アカデミアと産業界を繋いだ成功例のひとつである。10 年までの中長期的な CRC に対し、3 年程度の短期型である CRC-P の 2 タイプがある。前述の ITRP と同様に Industry Ph.D. を育成する仕組みがある。企業が給与相当の額を大学に拠出し、大学が Ph.D. 学生に給与として支払う形になっている。また、Ph.D. 学生は大学に所属しながら、企業での研究も実施が可能である。

### 3. 工学研究推進組織動向

#### (1) 研究機関

DIIS 所管のオーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) は 57 の研究所から構成されており、世界的にも 10 位に入る学際的な研究所である。基礎研究を行う大学とは異なり、CSIRO では応用研究を行い、ミッション指向型研究が実施されている。CSIRO の運営費の 50% は政府からの研究費、残り 50% は外部資金や IP ライセンス料の収入等で賄っている。CSIRO は年間 64.5B\$ の社会的な貢献をしていると推算されている。

CSIRO では、従前、共同研究から商業化に向けたトランジションが弱かったため、ラリー・マーサル氏をシリコンバレーからヘッドハンティングし、その部分の強化を精力的に進めている。研究者のマインドセットが起り、マーケットニーズ・カスタマーを考えると研究を始める形にここ数年で大きく変化してきた。さらに、アカデミア側からのスーパーバイザーと共に産業界の研究開発力を高める取り組みを行っている。

CSIRO 全体で 5,500 名の研究者・スタッフが在籍し、海外オフィス (シンガポール、US、フランス等) も展開しており、まもなくインドネシアや中国にもオフィスが設置される。オーストラリアのマーケットは小さいため、国を問わず市場を獲得すべくこれらの拠点が活用されている。アジア諸国とも CSIRO が持っているサプライチェーンへ繋げる等して連携を強化している。

国が策定した 6 つの重点領域に対し、4 年ごとに研究戦略を策定しており、現在 2017 年から 2020 年の研究戦略を実施中である。しかしながら 4 年ごとに全く新しい研究戦略を策定することに対して、継続性がないとの見方もあり、1 年ごとに見直しながら展開させるローリング・ストラテジーを今後、取り入れていく予定である。引き続き実施する研究と終了させる研究、新しく開始する研究を 1 年ごとに見直し、持続性を持たせることが狙いである。

また、9 つの研究分野があり、重点領域ごとにプロジェクトが組まれている。具体的な研究プロジェクトに対し、Future Science Platform というシステムを通じ、各研究グループから研究者がアサインされる。そのため、物理・化学・工学といったセクターには研究者・リソースが分かれていない。現在、こうした cross cutting capability を把握する取り組みを進めている。

## (2) 大学

豪州 43 大学のうち、国内トップ 8 大学である Go8 全体で豪州の競争的資金の 73% を獲得し、豪州の研究をリードする大学として位置づけられている。今回、訪問した 4 大学のうち、シドニー大学とニューサウスウェールズ大学が Go8、西シドニー大学は前述の IRU<sup>127</sup>、シドニー工科大学は ATN<sup>128</sup> のネットワークに加盟している。

### ① Go8 として位置付けられるニューサウスウェールズ大学 (UNSW: University of New South Wales)

研究資金に関しては、ARC の競争的研究費や産業界との共同研究の CRC からと、海外からの留学生の学費による収入 (40% 程度) で賄っている。なお、学生数は 3 万 9000 人で、約 1/3 を留学生が占める。留学生は中国からが大半でその他にインド、インドネシア、シンガポール等の学生が多い。学内の学生・スタッフに対する起業教育、ファンド、実際の起業をサポートする “Founders Program” という学内独自のスタートアップ研究費がある。

機械製造工学部の研究グループの実験設備や機械工房は “Willis Annexe” という実験施設の中に入っている。各研究グループには教授 2 名程度、研究員が 3 名程度在籍し、技術スタッフは各研究グループに 1 名ずつ、共通実験室に 2 名の体制で、全体として 12 名程度の技術スタッフがいる。2018 年から ARC の ITFR センター型を 2 件実施しており、1 つは自動車用の複合材料、もう 1 つは耐熱材および防火技術を研究テーマとしている。

Aeroacoustics and Vibration in Engineering Systems の研究グループの研究論文を見ると、基礎的な研究内容が多く、各研究者が年に 10 本程度を学術誌に投稿しており、他大学との共同研究が多い。機械工学科全体で ARC 研究費の中でもディスカバリープログラムが多く、産業界との連携よりも基礎的な研究を実施し、論文数を多く出すことを重要視しているように推測される。上海交通大学・大学学術ランキングの機械工学部門で UNSW は世界 45 位、オーストラリア内で 1 位となっている。留学生を確保するうえでも大学ランキングは重要で、論文を多く投稿することを重要視している。

### ② IRU のひとつである西シドニー大学 (WSU: Western Sydney University)

西シドニー大学は、Innovative Research Universities の一大学で、Centre for Infrastructure Engineering (CIE) は、世界クラスの構造試験設備として工学部からセンター化し、シドニー西方で新空港を中心とした開発が進んでいるエリアへ 3 年前に移設された。CIE では、構造・持続性・マテリアルの 3 つを研究テーマの中心とし、12 名の教育・研究スタッフ、3 名のテクニカルスタッフ、4 名のポスドクと 16 名の博士課程学生が所属している。

現在、13 の ARC ディスカバリー・リンケージプロジェクトを実施しており、各研究者が積極的に外部資金を獲得している。一方、国からのブロックファンドは約 10 年前から減少傾向にあり、日本と同様の状況下にある。そのため、競争的資金の積極的な確保と共に、国内外企業との連携を強化しており、現在、国内外 10 企業と共同研究を実施している。国内企業との共同研究のみならず、海外企業の豪州サテライトとの連携を強化し、将来的には海外企業との直接的な連携を目指し、グローバルな視点でのマーケット獲得を目指している。なお、WSU はリサーチサ

<sup>127</sup> <https://www.iru.edu.au/>(2020 年 2 月アクセス)

<sup>128</sup> <https://www.atn.edu.au/>(2020 年 2 月アクセス)

ービスプロバイダーとして登録されており、特に中小企業が WSU と共同研究開発する際に R&D 税額控除を受けることができる。

人材に関して、教育・研究スタッフの給与は大学から 50%、プロジェクトから 50%が支出され、PI を含め人件費をプロジェクトから支出できることが研究費獲得のインセンティブになっていることは日本と大きく異なる点である。人材育成に関しては、豪州が英語圏であることを強みとして、海外からの留学生（アジア圏が主で中国、インドが占める割合が大きい）の受入を強化している。修士課程は研究主体ではなく教育主体であり、奨学金制度に関してはそれほど充実していないが、博士課程の学生に対しては奨学金が充実しており、博士課程での留学生が占める割合が高い一因となっている。

### ③ ATN のひとつであるシドニー工科大学（UTS: University of Technology Sydney）

UTS は工学単科大学であり、Australian Technology Network の一大学である。“グローバルなインパクトを認められたテクノロジーリーディング大学（a leading public university of technology recognised for our global impact）”と称し、政府や産業と協力して実践的かつ専門的なコースを提供する大学として位置付けられている。

UTS Tech Lab は、9,000m<sup>2</sup>の敷地面積を持つ大型エンジニアリングインフラと研究環境が整備された郊外の研究キャンパスである。大学と産業を繋げイノベーションへと導くことを目的とし、ARC、CRC、CRC-P の研究費や州からの研究費（Innovation Connections, Tech Voucher）による共同研究プロジェクトの実施の他、R&D サービスの提供により運営がなされている。UTS Tech Lab は、大学の予算で最近整備が行われたもので、未完成の部分もあり、本格稼働まではもう少し時間がかかる。しかしながら、UTS Tech Lab にはコンピューターサイエンスに特化した研究施設と大規模なエンジニアリングインフラストラクチャが共存する豪州唯一の施設であり、本格稼働に至った際は、産業界のパートナーが 1 つの施設内でデジタルトランスフォーメーションを駆使しながら本格的な試験を実施することが可能となる。

UTS のメインキャンパスには、今回ヒアリングした Dr. Nong Zhang 氏の指導の下に博士課程の学生がいる。多くは中国からの留学生で、中国政府が生活費を負担し、授業料の本人負担は無い（UTS の授業料免除もしくは Dr. Nong Zhang 氏の研究費からの支援）。UTS の博士課程に進学した動機は、英語での教育が受けられることと、オーストラリアへの移民の資格を取りやすいこと、中国に帰国した場合でも教職ポストにつける可能性が高いことである。なお、中国では一流大学のアカデミックポストに就くことは難しいが、地方の大学では可能とのことであった。

また、日本では、専門に関係する学術論文を一定数以上執筆していないと、その専門に関する講義を担当することが許されない（学位授与機構の規定）が、中国ではこのような厳格な決まりはないため、優秀な学生であれば、分野違いの講義や、自分の研究内容をもとにした講義を行うことが許されているという。Dr. Nong Zhang 氏の研究テーマは自動車関係なので、指導する学生の中には、博士号取得後は日本でのポスドク経験を希望する学生もいた。

## 4. 人材

### (1) 工学カリキュラム認証制度とエンジニア登録制度

豪州で最大のエンジニアリング協会である Engineering Australia (EA) では、工学カリキュラム認定制度とエンジニア登録制度を実施し、工学教育の質保証と技術者の能力向上を連携的に

実施している。

工学カリキュラム認定制度は、大学学部だけでなく、単科大学や TAFE (Technical and Further Education College; 職業訓練学校) の工学系も対象としていることが特徴である。豪州の教育は技術教育から始まったとされ、教育制度の中でも TAFE が担う役割は大きく、本認証制度はこのことを裏付けている。単科大学や TAFE を含めて、ある一定水準での工学教育の質が担保されている。

エンジニア登録制度では、4 年生大学卒業程度の Graduate Engineer、5~7 年の実務経験を積んだ Chartered Engineer 等、生涯を通じたエンジニア制度が設定され、各種セミナーやトレーニングが提供されている。

## (2) Industry Ph.D.の育成

前述した ITRP センター型と CRC の中で Industry Ph.D.を育成する仕組みがあり、産学が連携し、必要な人材育成に取り組んでいる。ITRP センター型では、年間最大 100 万豪ドルのプロジェクト資金が ARC から配付される。Ph.D.学生への奨学金やポストクのみならず、トレーニングセンターマネージャー、研究員、技術員等の雇用が可能となる。CRC では、企業が給与相当の額を大学に拠出し、大学が Ph.D.学生に給与として支払うことが可能で、Ph.D.学生は大学に所属しながら、企業での研究も実施できる。また、Ph.D.学生やポストクに対して中小企業から給与を支払うと税額控除があり、中小企業とも一体化した人材育成が可能となっている。

## (3) 留学生受け入れと高スキル人材の育成・確保

オーストラリアでは英語圏であることと、比較的安定した環境と、質の高い教育の提供という強みを生かし、留学生受け入れを積極的に行っており、第 3 位の産業と位置付けられるまでに成長した。留学生の学費が大学の大きな収入源の一つであるとともに、留学生は研究人材のリソースの一つとしても捉えられている。留学生を含めた博士課程卒業後の進路としては約 7 割がアカデミア、約 3 割が産業側であり、教育された人材を産業側でどう雇用するか、またそれを増やしていくかは大きな問題である。解決策の一つとして、グローバルタレント独立プログラムを 2019 年 11 月に立ち上げた。アグリテック、先進製造、エネルギーと鉄鋼、量子情報など重要 7 分野での高スキル人材を世界中から呼び寄せ、永住権を与える政策である。人材育成・人材確保が移民政策と一体的に取り組まれている。

## 5. 機器・施設

### (1) 研究インフラロードマップ

機器・施設整備の施策として、DOE における研究インフラロードマップ (2016 Roadmap<sup>129</sup>) がある。DOE では研究インフラに対して 15 年以上のサポートを行っている。2001 年から 2005 年にかけて競争的資金 (150 百万豪ドル) にて研究インフラが整備されたが、サステナビリティの観点からは成功したとは言えなかった。その後、2005 年から 2016 年にかけて National Collaborative Research Infrastructure Strategy (NCRIS) の下で研究インフラのネットワーク化が戦略的に図られた。なお、初期フェーズでは研究インフラの導入費と運営費の双方の支出が可能であったが、2013 年以降は運営費のみの支出となっている。そして 2015 年、国家イノベー

<sup>129</sup> <https://www.education.gov.au/2016-national-research-infrastructure-roadmap> (2020 年 2 月アクセス)

ション・科学アジェンダ (National Innovation and Science Agenda) の一環として、4 層 (institutional / national / landmark / global) で 9 つの優先分野に対応できる研究インフラロードマップの開発および研究インフラの整備計画が発表された。これに関わる資金は分類で言うと 'Targeted' として配分されている。一方、'Formula' として配分されている研究インフラブロックファンドは 2017 年に終了している。すなわち、大学側は研究インフラを整備する際、交付金ではなく、後述する ARC による Linkage Infrastructure, Equipment and Facilities 等の競争的資金として獲得する必要がある。

## (2) ARC による Linkage Infrastructure, Equipment and Facilities (LIEF)

2015 年から開始された研究設備機器を導入するためのスキームであり、毎年 1 回公募される。本スキームで対象となるのは、国内外の研究機関・産業界との共同研究を推進するための研究設備機器であり、申請時点での複数の研究機関との共同申請が推奨されている。直接経費は最大 75% が申請可能であるが、直接経費の 25% 以上は主たる機関および共同機関からの支出が求められている。また、審査項目として運営費計画を含んだフィージビリティが設けられており、申請時点で設備機器をプロジェクト後も含めてどのように運営していくかが計画されていなければならない。毎年、40 件前後に総額 3 千万豪ドルが配付されており、採択プロジェクトは LIEF Register に登録され、LIEF スキームでの導入される設備機器が重複ないように考慮されている。なお、メンテナンス費や人件費といった運営費は支援されないため、大学で別途予算を確保しなければならない。大学では、保有する大型設備を中小企業等に有償で貸出、コンサルティングサービスの提供を通じて収益を得て、これらの費用に充てている。例えば、WSU の CIE では、Bridge Engineering and Asset Management (BEAM) という橋脚構造と Structural Assessment and Health Monitoring (SAHM) という構造物評価とヘルスマonitoring という 2 種類の特殊なコンサルティングサービスを提供し、ポスドクがそのコンサル窓口を担当している。

## 6. データ基盤・標準化

DIIS 管轄の National Measurement Institute (NMI) と National Association of Testing Authorities, Australia (NATA) が国としての方針を定めている。その下で、オーストラリア規格協会 (Standards Australia) が管理している AS 規格 (Australian Standards) の他、AS/NZS 規格や Joint Accreditation System of Australia and New Zealand (JAS-ANZ) などがある。今回の訪問の中で、Black Square Engineering という組織のディレクターに面会したが、認証化支援もサービスの一環として実施しているとのことであった。

## 7. イノベーションエコシステムにおける工学基盤動向

豪州は、鉄鉱石・石炭といった天然資源や農業の他、それほど大きな産業がない国であるが、工学基盤分野には継続的に投資がなされ、ARC リンケージプログラム等で工学的基盤が作られている。資源・エネルギー・農業といった自国の強い産業分野では研究分野でも世界をリード、イノベーションを牽引しており、グローバル市場獲得までが一体化されている。研究開発をイノベーションにおける最初の重要なステップと捉え、特に中小企業での研究開発を支援、政府研究開発費の約 2 割を占める R&D 税額控除制度等により経済的にも後押ししている。

また、第三の柱となる教育産業は、資源産業からサービス産業への移行に向けた重要な産業と

位置付けられている。教育を起点としたグローバルな循環を起こし、リソース（資金・人材）の獲得、研究力の向上、そしてイノベーションへと繋がっている。

## A 2. 7 中国

### 1. 工学基盤としての標準化活動を重視する中国

中国では、日本と比較して相当に大きな科学技術予算が充当されている。その一つの背景には、科学技術予算が、国家事業と連動していることが挙げられる。例えば、有名な「一帯一路」の政策の中で、工学基盤としての標準化が重要な位置づけを形成し、2017年6月4日には、中国での標準を担うCSTM（中国材料与試験団体標準）委員会の発会式が行われている。このCSTMは米国の材料標準のASTM（米国材料試験協会）のような活動を目指したもので、発会式には欧米の標準関係の機関 [ISO（国際標準化機構）、ASTM、ASME（米国機械学会）、EN（欧州統一規格）など] から関係者が招待されたとのことである。このような活動から推測すると、中国独自の国際標準を確立することを意図しているように見える。「一帯一路」などの政策では、多くの国の参加を募っているが、このことと標準化とは密接な関係があるものと考えられる。つまり、特定の国が中国の標準を採用すれば、その国の産業は中国の標準に大きな影響を受けることとなるため、「一帯一路」への取り込みも容易になることが想像される。このように、標準は国家戦略そのものであり、このような方針は、ISO や ASME などでも同様の考え方があり、規格戦争などと表現する場合もある。このような背景もあり、中国ではこの分野へは惜しみなく予算が充当されるものと考えられる。一方、我が国では国際標準化を指向してはいるものの、規格戦争といえるまでのものとは言えず、中国の背景とは同等とは言えないものと考えられる。

### 2. 製造 2025

工学基盤と関連する国家事業として上記以外に挙げられるのが「製造 2025」である。製造 2025 は中国の習近平指導部が掲げる産業政策で、2015 年 5 月に発表され、次世代情報技術や新エネルギー車などの 10 の重点分野と 232 品目が設定されており、製造業の高度化を目指すとしている。日本が 2016 年度から 5 年間の科学技術政策の基本指針を示した「第 5 期科学技術基本計画」の中で日本が唱える「Society 5.0」が意識されているとみられる。中国も 2016 年に発表した「国家イノベーション駆動発展戦略要綱」や 2016 年を初年度とする「第十三次五か年計画」で、日本と同様の重点政策を進めようとしていることが、万鋼科学技術部長により紹介されている。分野としては人工知能（AI）、情報、先進的製造技術、クリーンエネルギー、水素利用自動車、環境、海洋、宇宙などが挙げられている。

### 3. 耐熱鋼開発に見る日中の技術比較

耐熱鋼開発は、火力発電プラントの高性能化に欠かすことのできない技術で、幅広い工学基盤が必要となる。何故なら、火力発電プラントの高性能化には、蒸気タービンへの入口蒸気の高温度化が必須であり、その実現のためには、盤石な工学基盤からの耐熱鋼開発が不可欠だからである。また、環境に対してもよい効果を与える結果となる。このような認識は世界的にも共有され、次世代火力発電プラントの開発が一つの課題であった。その代表的なものが先進超々臨界圧発電（通称、A-USC: Advanced-Ultra Super Critical）である。A-USC の技術開発を巡る、日中の経緯を見ると、技術開発上の課題が見えてくる。

まず、A-USC の前身である超々臨界圧発電（USC: Ultra Super Critical）の経過から振り返る。USC 実現のためのキーとなる技術が、9Cr 鋼などの高 Cr 鋼耐熱合金の開発である。その当時は、明らかに日本の技術が世界をリードしており、代表的なものとして P91 鋼が挙げられる。

この材料の耐熱性を向上させることが、火力発電プラントの高性能化に結び付けられることから、当時の東京大学藤田教授のグループの研究が進められ、新日鉄の協力のもと NF616 鋼が開発された。この材料が、USC プラントに適用されていれば、高性能化に結び付いたものと思われるが、我が国では今日に至るまで、実現されていない。日本での USC 発電プラントの 1 号機は 1993 年に運転を開始し、その後、25 機が運転されている。しかし、我が国の USC に適用されている耐熱鋼は 91 鋼止まりである。一方、中国での USC の 1 号機は、日本よりはるかに遅い 2006 年に 1 号機が運転開始している。その後、台数は年々増加し、2018 年で約 100 機が運転しており、約 50 機が建設中で、世界の中で USC プラントの約 80% を中国が占めるまでになっている。中国では、このため P91 鋼より耐熱性の優れた P92 鋼が開発された。P92 鋼のものは藤田先生が開発された NF616 で、その後欧州で採用され、その技術が中国に入ったものとのことである。つまり、もともとは我が国で開発された耐熱鋼技術が、我が国ではその後の新規の耐熱鋼の開発研究が行われない中で、中国において P92 鋼として花開いたことを意味する。中国の専門家の意見として、中国では USC プラントに使用されている耐熱鋼の弱点および破損について日本および欧州から多く学んできており、また P92 の許容応力は初期の提案から約 20% 低いので問題はないと考えているとの見解を得ているとのことである。

次に、次世代火力発電プラントの悲願である A-USC について動向を見てみる。まず、我が国では、耐熱鋼開発技術の有意性から、世界的に見ても早い段階で A-USC に取り組み始めたが、現時点で実現の見通しがあるようには見えない。この背景には、我が国の電源構成が長い間原子力に依存してきたことも挙げられるが、新規の耐熱鋼の開発研究が十分に行われなかったことも影響しているものと思われる。この結果、我が国では石炭火力プラントの建設が中止され、従来プラントの高温化・高効率化の改良すら行われず、耐熱鋼開発の研究が先細っているというのが現状である。福島原子力発電事故の後には、まさに必要とされる状況が生まれているにもかかわらず、対応できない事態となっているものと思われる。一方、中国の高温材料強度分野では、従来型のプラントを全面否定することなく、高温で使える材料の開発に取り組み、安全評価研究を行って、少しでも効率のアップになるような研究が地道に行われてきた。中国では、研究機関 (SPERI: Sheffield Political Economy Research Institute、TPRI: Transport Planning and Research Institute、CISRI: China Iron & Steel Research Institute、IMR: Institute of Metal Research, Chinese Academy of Science) や企業が参加し、プロジェクトは進んでいて、A-USC の実機プラントの建設は中国で最初に行われるのではないかとの見通しである。

#### 4. 中国の研究者環境

中国では、国家レベルで定めた目標に沿って潤沢な科学技術予算が投入され、しかも厳しい規制もないことから、研究者は失敗を恐れることなく様々な試行錯誤を繰り返すことができる環境に恵まれている。その結果、新たに開発された耐熱鋼などの技術が、規格・標準化に結びつけられ、工業界の発展に寄与している。その結果、我が国では実現の見通しのない A-USC プラントも、中国のほうが先に実現しそうな見込みである。中国の現状は、我が国ではかつての高度成長期のころの状況に似ているのかもしれない。

**【コラム 6】 中国の力学基盤研究の状況****【国家重点実験室】**

中国は、世界トップレベルの科学技術力を持つイノベーション型国家とすることを目標に、研究基盤の整備や「千人計画」などの人材政策を国家的に進めている。研究基盤の整備事業としては、有力大学の研究グループを国家重点実験室（日本語では国家重点研究室とした方が意味としては合っていそうであるが）として認定して、年間1億円を超える安定的な支援を行なっている。2019年5月に訪問した西安交通大学には様々な分野の国家重点実験室が置かれているが、その中で、「機械構造強度と振動の国家重点実験室」では、(1) 固体の強度と破壊、(2) 軽量で多機能な構造物の設計理論、(3) 複雑環境下での機器や構造の振動と騒音、(4) 機械・電気構造システムダイナミクスと振動制御をテーマとして、60名規模の常勤研究者が所属して活動をしている。実験室の面積は14,000平方メートル以上で、材料の機械的特性実験、大規模な構造振動試験と解析、数値計算とシミュレーションのためのシステムを含む設備の規模は18億円以上であると公表している<sup>130</sup>。実際に、例えば材料試験機や非破壊評価装置については、入手可能な全ての種類の装置が整備されていると言える状況で、このように充実した装置を有する固体力学関係の研究室は我が国の大学には存在しない。また、国際交流、人材育成も積極的に行われている。2015年度は251名の修士課程学生、172名の博士課程学生、22名のポスドクが所属している。西安交通大学では新キャンパス構想が進んでおり、本実験室は2倍を越える規模になる予定とのことである。なお、国際交流に関しては、西安交通大学では国際応用力学センターを設置して、応用力学全般の国際交流活動を展開している。

**【中国力学学会】**

中国における力学分野の学術活動としては、1957年創立の中国力学学会が中心的な役割を担っている。中国力学学会は世界理論応用力学連合(IUTAM: International Union of Theoretical and Applied Mechanics)のメンバーとなっている。40余りの団体会員と2万人の個人会員が所属している。流体力学委員会、固体力学委員会をはじめとした23の学術委員会と学術普及委員会や教育委員会など7つの委員会などで構成されており、理論応用分野を広くカバーしている。我が国のように様々な学会に分かれているのとは異なり、理論応用力学分野として1つの基幹的な学会があるのは組織力として非常に強いと感じる。18種類の学術誌（その内の5は英文誌）を刊行している。定例の学術講演会としては、2年毎に中国力学大会を開催している。直近では、2019年8月25日から28日にかけて杭州で開催された。大会の参加者は4,800人を超え、2,000を超える講演発表と1,000近いポスター発表があった。参加人数は2011年の大会は2,400人、2013年は2,900人、2015年は3,400人、2017年は3,000人とのことであるので、学会活動が非常に活発になっていることが伺える。この会議に参加する機会を得たが、図C6.1に示すように、同じ年に日本で開催された理論応用力学講演会と比較すると圧倒的に差があることが分かる。また、図C6.2に示したように優れた研究者などへの表彰を充実させている。参加した大会での開会式で多くの表彰が行われていた。とくに、若手研究者を対象とした表彰や、優れた博士研究論文に対する表彰が充実しており、次世代の人材の育成を強く意識していることが伺えた。また、アジア太平洋を対象とした表彰も準備中のようなのである。

以上のことから伺えるように中国の力学基盤分野の学術研究活動は、組織としても堅牢であり、政府からの資金援助や人材育成の面も極めて充実している。今後もさらに発展を続けていくもの

<sup>130</sup> 機械構造強度と振動の国家重点実験室 web サイト, <http://mssv.xjtu.edu.cn/index.html> (2020年2月20日アクセス)

と予想される。翻って我が国の状況を考えると、彼我の差は非常に大きく、単一の機関や個人の努力でこの差が縮められるようなものではない。このままの状態では、益々その差は広がっていくであろう。我が国の取り組みについて抜本的な見直しが求められる。

日本と中国  
の研究者層  
の比較



図 C6.1 日本の理論応用力学講演会と中国力学大会の比較<sup>131</sup>

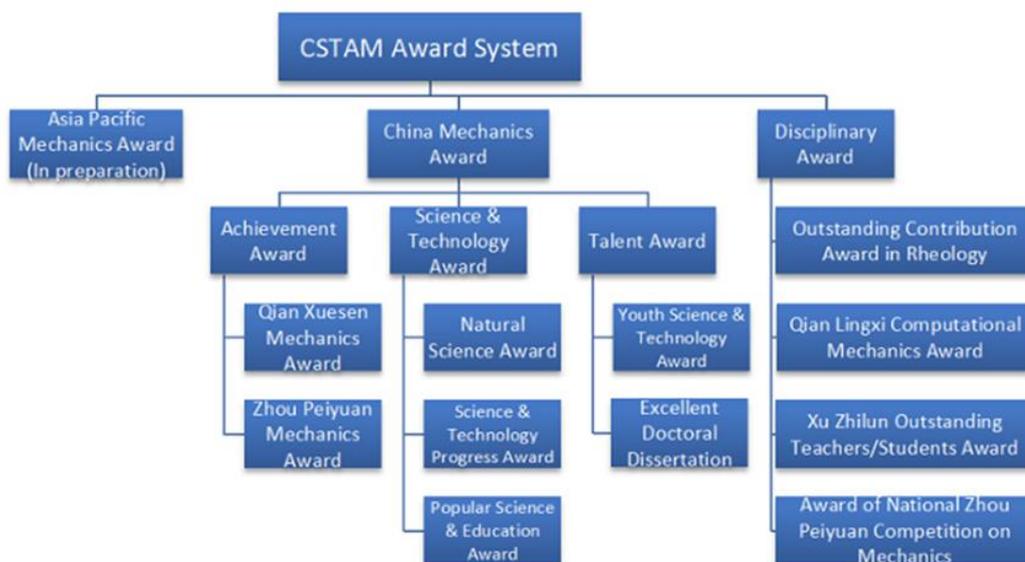


図 C6.2 中国力学学会における表彰制度<sup>132</sup>

<sup>131</sup> 提供：東京工業大学岸本喜久雄名誉教授

<sup>132</sup> 中国力学学会 web サイト, <https://en.cstam.org.cn/awards> (2020年2月20日アクセス)

## A 2. 8 ロシア

### 1. ロシアの科学技術および工学技術

ロシアの科学技術および工学技術に関する情報は、その姿が正しく世界に伝えられているとは言いがたい状況である。かつてのソ連の歴史をみても先端研究の成果が民生技術には反映されずにきた国家であり、燃焼工学に近い分野としては航空宇宙（特に軍事分野、ロケット工学すなわちミサイル）、プラズマ科学等の水準が高いものの、ソ連産の自動車の品質が劣悪なものであったことは良く知られている。ロシアの科学技術および工学技術については全体像をとりまとめた書籍<sup>133</sup>、その後 2016 年までの状況は JST-CRDS の報告書<sup>134</sup>に詳しい。

ソ連崩壊後、多くの科学技術情報が無秩序に国外に流出した。しかし、現在、国際宇宙ステーションへの宇宙飛行士の往来に唯一使われているのは冷戦時代にソ連が確立した、枯れた技術の印象もあるケロシン燃料のロケット技術である。教育水準は今でも非常に高く、初等から高等教育、工学・理学に関わらず、数学、物理教育に特筆すべきものがある。したがって現在でもロシアの科学技術および工学技術には学ぶべきことが多くあると考える。

### 2. メガグラント・プロジェクト

ここでは、メガグラント・プロジェクト（以降メガグラント）<sup>135</sup>の概要と、その成果をロシアの優秀な若手研究者（学生～大学院生～ポスドクまで）に還元、情報共有するために実施された、**Science of Future** と称するロシア国内の国際会議（特に第 3 回の 2019 年 5 月）の様子について紹介し、ロシア動向についての一情報とする。

メガグラントは、ロシア外から研究者をリーダーとして招へいし、ロシア国内に研究拠点を構築するためのロシア初の大規模公募型、国際的研究支援制度であり、ロシア教育科学省が取りまとめを行っている。招へいする研究者は元々ロシア人の場合も、非ロシア人の場合もある。

2010 年から開始されており、2010 年～2012 年は、連邦予算から総計 120 億ルーブル（当時約 360 億円）を投入し、1 拠点あたり最大 1.5 億ルーブル（約 4.5 億円）の助成金が提供された。2013 年～2016 年の期間は、総計約 110 億ルーブル（開始当初約 330 億円）、1 件あたり 9,000 万ルーブル（同約 2 億 7,000 万円）の助成金が提供された。その後、ロシアのクリミア侵攻を経てルーブルの価値が暴落（半減に近い）している。

このプロジェクトは、単発の重要研究支援ではなく、参加した各研究者が国際的な研究誌に論文を发表或し、特許権を取得したり、競争的資金を獲得したり、企業からの発注を受けたりするようなイノベーション・サイクルを作り出すことを目標としている。招へいされる研究者は年間 4 カ月以上、原則として 3～5 年にわたりロシアの研究機関に在籍し、自らが研究室を組織、地元の研究者、大学院生、大学生を巻き込んだ研究チームを指導する。研究者の国籍や居住地には制限が設けられていない。

2010 年の第一次公募では 39 名の研究者が選定され、22 名がロシア国籍（ロシア永住者は 5 名）、ドイツ国籍 7 名、米国籍 4 名であった（他省略）。その後も同様の傾向が続き、2011 年の第二次公募ではノーベル化学賞受賞の下村脩博士を含む 38 名の研究者が選定された。2012 年の第三次公募で 42 名、2013 年 12 月の第四次公募では 42 名が選定された。現在までの日本人の総計

<sup>133</sup> 林・神谷・津田，ロシア科学技術情勢—模索続くソ連からの脱皮，丸善プラネット，2014.3月。

<sup>134</sup> 津田，ロシアの科学技術情勢，JST-CRDS 報告書，<https://www.jst.go.jp/crds/report/report10/RU20161130.html>

<sup>135</sup> 東北大学流体科学研究所丸田薫教授が、2014 年から 6 年間、ロシア政府による科学分野の再興を期して実施したメガグラント・プロジェクトに関わる機会を得ている。

は、下村博士に加え電気通信大学1名、最新の2019年に選出された1名を含む東北大学4名の6名である。

### 3. Science of Future と称する会議

メガグラントの定期的なとりまとめとして、同リーダーらを集めて Science of Future と称する会議がこれまで3回にわたり開催されてきた。メガグラントリーダー全員を同国に招聘し分野を横断してロシアの科学技術および工学技術の研究・開発状況を俯瞰、一層の全体進捗を図るためのロシア政府主導の国際会議である。第1回は2014年にサンクトペテルブルグ、第2回は2016年カザンにて開催された。会議のスタイルはロシア特有と言うべきか、あるいは Science of Future 特有のスタイルであり、我々研究者にとってなじみ深い専門分野の研究者が集まるものとは異なり、異分野の研究者が一同に会し、ある程度専門性は残しつつも異分野間の融合・衝突による、発想の大きな転換を意識したものである。第1回は、第4次のメガグラントリーダーの選出直後であったため、150名を超えるリーダーが一堂に会し、リーダー相互の協力や全体の俯瞰を目指した、中堅以上の研究者を対象とした異分野の大規模国際会議という印象であった。通常セッションの他、ロシア大統領顧問やロシア教育科学省大臣を始めとするロシア政府の要人ら、メガグラントリーダーとの円卓会議が繰り返され、ロシア科学研究を再興するための方策が議論された。

第3回は、2019年5月ロシア・ソチ、オリンピックパーク内の「Sirius 研究教育センター」にて開催された。会場は、巨大な展示場と先進的な研究教育用ラボを兼ねた施設である。3回目の Science of Future は、Science of the Youth という副題が初めて付けられ、メガグラントリーダーを中心に、ロシア国内で再興してきた科学研究を材料として、次世代の若い研究者の育成・刺激に主眼が置かれた会議であった。参加者はおおよそ600~700名程度とされていたが、おそらく500名程度は学生・若手研究者であり、数名に確認したところ、いずれも数度にわたる選考を経て参加決定したロシア全土から集まった学生達であった。学年はまちまちで、学部一年生から大学院生、ポスドクに至るまで、またその専門分野も大変広いものであった。第3回も、ロシア大統領顧問 Andrey Fursenko 氏と、現職のロシア教育科学省大臣が4日間の会期を通じて多くのセッションに参加し、活躍する科学者の事例が紹介され、学生や若手研究者に、科学の素晴らしさと夢を提供することに主眼が置かれた。

開催セッションをランダムに拾うと、Mega-Science、Genomics、Digital technology、Ecology and Energy、Medicine and Pharmacy、Agriculture and Food production、Security、Transportation systems、Human activities and humanities などである。いずれも各分野の最先端の研究成果・情報を、分かりやすい言葉で異分野の研究者や学生と共有する形をとっていた。

興味深かったセッションの一つは、オープニング・プレナリーである。フィールズ賞を受賞したロシアの数学者と、生物の発生や発展を研究しているスイスの研究者との共同研究に関する研究成果紹介であり、Nature 誌に掲載された成果であった。ある種の「は虫類」や魚類の体表面の様式の変化が、拡散反応系 (D-R: Diffusive-Reactive system) の数理モデルで記述できることはよく知られているが、この極限的な例として、数学 (CA: Cellular Automaton) と、ある種のは虫類の体表面との analogy に関するもので、CA と D-R との融合、一般化の成功例として紹介された。「A Living Cellular Automaton: when Charles Darwin meets John von Neumann & Alan Turing」という副題付きのタイトルであり、研究ストーリーの組み立て方、見せ方の巧み

さが際だった内容であった。会議ではこの他、「Nature 誌に論文執筆するためには？」というセッションも設けられ、学生から中堅研究者までが集まり、経験豊かな発表者の示唆の多い発表に耳を傾け、また熱気にあふれる会場での議論が進められた。

#### 4. 次世代イノベーション醸成の一つの方法論

国外から VIP が招かれるセッションもいくつか開催された。中でも、仏露デーと、独露デーは規模、招待者共に特別であった。前者においては、CNRS の総裁と Director of research、後者においては、ヘルムホルツ財団の理事長をはじめとする、両国の科学研究を代表する組織の執行部が招かれており、科学的な一般性のある非常に興味深い各種発表と共に、フランスとロシア、またドイツとロシアとの今後の科学協力についての覚書などが交わされていた。特にフランス CNRS の Director of research と Université Bordeaux 教授を兼任する Francesco d' Errico 博士による、「Can we trigger serendipity?」と題した発表は、科学の多くの分野で成し遂げられてきた革新的研究のきっかけが serendipity によるものであったことに基づき、どうすれば人為的に serendipity を誘発できるかという、一般性のある serendipity に関する議論であり、大変興味深い。非連続的なイノベーション醸成のための科学的仕組みを創出することを意識しており、我々にとっても大いに参考になると考えられる。

会議を通じ、異分野融合の具体成功例を示すことに主眼がおかれ、各分野における研究が成熟、細分化され、飛躍的な発展が難しい現代における、次世代イノベーション創成の一つの方法論を見せられた。ロシア科学アカデミーの改革、アカデミー総裁へのロシア政府官僚の就任等を経て、凋落の著しかったロシアの科学研究が息を吹き返しつつある。

## Appendix 3 調査参加有識者

日本機械学会からの推薦に基づく調査参加有識者

全体総括	明治大学	菱田 公一 特任教授
オブザーバー	東京工業大学	岸本 喜久雄 名誉教授
材料力学分野	横浜国立大学リスク共生社会創造センター	酒井 信介 客員教授
	東京大学大学院工学系研究科	川畑 友弥 准教授
	埼玉大学大学院理工学研究科	荒木 稚子 准教授
	慶應義塾大学理工学部	大宮 正毅 教授
熱流体分野	東北大学流体科学研究所	丸田 薫 教授
	静岡大学工学部	真田 俊之 准教授
	東京大学大学院工学系研究科	塩見 淳一郎 教授
機械力学分野	早稲田大学理工学術院国際理工学センター	金子 成彦 教授
	東京工業大学工学院	大熊 政明 教授
	九州大学大学院工学研究院	石川 諭 准教授
	慶應義塾大学理工学部	高橋 正樹 教授

## Appendix 4 国内・海外調査訪問先

## 【国内訪問先】

訪問先分類	訪問先所属	面談者	訪問日	訪問者(敬称略)
政府機関	経済産業省 産業技術環境局 基準認証政策課	宮崎貴哉 課長他	2019/12/9	酒井、川畑、 真田、CRDS
大学	岩手大学 理工学部	船崎健一 理工学部長	2020/1/9	CRDS
	山形大学 工学部	飯塚博 工学部長他	2020/1/10	CRDS
	日本大学 理工学部 理工学研究所 大型構造物試験センター	北嶋圭二 教授他	2020/1/30	石川、CRDS
	東北大学 流体科学研究所	大林茂 所長他	2020/1/31	菱田、石川、CRDS
企業	A 社		2020/2/12	石川、CRDS
	B 社		2020/2/13	菱田、CRDS

## 【海外訪問先】

訪問国	訪問先分類	訪問先	面談者	訪問日	訪問者(敬称略)
イギリス	ファンディング機関	EPSRC (工学・物理科学研究会議)	Senior Physical Sciences Manager, Dr. Simon Crook 他	2019/11/5	菱田、川畑、 荒木、CRDS
	大学	ケンブリッジ大学 工学部製造研究所、 ダイソンセンター	Director of Strategy and Operations, Phillip Guildford 教 授他	2019/11/4	
		インペリアル・カレッジ・ ロンドン 機械工学科	Ricardo Mar- tinez-Botas 学科長 他	2019/11/6	
		サウサンプトン大学 機械工学科	Bashir M Al-Hashimi 学科長他	2019/11/5	
	保証有限責任会社	The Welding Institute (TWI)	Director of Inno- vation and Skills, Tat-Hean Gan 教授他	2019/11/4	
	学協会	英国機械学会	Dr. Matt Rooney 他	2019/11/6	
フランス	大学	グランゼコールポリテクニーク	Patrick Le Tallec 教 授他	2019/11/7	菱田、川畑、 荒木、CRDS
		パリ・サクレー大学	Franck Richecoeur 教	2019/11/7	

			授他		
		グランゼコールマイنز パリテック	Jacques BESSON 教授他	2019/11/7	川畑
	国立研究所	国立科学センター (CNRS) [CRDS にて打ち合わせ]	エンジニアリング・シ ステムサイエンス研 究部門 Jean-Yves Marzin ディレクター 他	2019/10/9	菱田、川畑、 荒木、CRDS
	独立行政法 人	日本貿易振興機構 (ジェトロ) パリ事務所	山崎あき シニア エ コノミスト	2019/11/8	
ドイツ	大学	ブレーメン大学	Bernd Scholz-Reiter 教授他	2020/2/10	CRDS
		ブレーメン大学 応用宇宙技 術・微小重力センター	Marc Avila 教授他	2020/2/9	
		ブレーメン大学 IWT(金属加工研究所)	Habil. Lutz Mädler 所長他	2020/2/11	
		ブレーメン専門大学	Sören Peik 教授他	2020/2/10	
		アーヘン工科大学 機械工学 部 (IGMR)	h. c. Burkhard Corves 教授他	2020/2/13	
		アーヘン工科大学 生産加工 研究室 (WZL)	Tomas Bergs 教授他	2020/2/14	
	応用研究 機関	Fraunhofer IFAM	ベルント・マイヤー研 究所長他	2020/2/11	
		フラウンホーファー生産技術 研究所	Tim Grunwald 氏	2020/2/14	
	企業	OHB System AG(航空機関連)	Dr. Ingo Engeln 他	2020/2/10	
		AirBUS	Matthias Schröder 氏 他	2020/2/11	
政府機関	DLR (ドイツ航空宇宙センタ ー) 施設	Dr. Gerd Dibowski Team Leader 他	2020/2/12		
豪州	政府機関	産業イノベーション科学省 (DIIS)	General Manager, Dr. Gino Grassia 他	2019/11/19	石川、CRDS
		豪州研究会議 (ARC)	Director, Policy and Integrity, Mr. Justin Withers	2019/11/18	
		在オーストラリア日本国大使 館	高橋一郎 参事官	2019/11/19	

	政府研究機関	オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)	Executive Manager, Dr. Anne-Maree Dowd 他	2019/11/20	金子、高橋、石川、CRDS
	大学	ウェスタンシドニー大学 (UWS) Centre for Infrastructure Engineering	Centre Director, Bijan Samali 教授	2019/11/21	
		UTS Tech Lab/Central Campus (UTS), School of Mechanical and Mechatronic Engineering	Nong Zhang 教授	2019/11/21	
		The University of Sydney (USyd), School of Civil Engineering	Archie Johnston 教授	2019/11/22	
		University of New South Wales (UNWS)	Associate Dean International UNSW, Xiao Lin Zhao 教授	2019/11/22	
	学協会	オーストラリア工学アカデミー (ATSE)	Executive Director, Policy, Dr. Matt Wenham	2019/11/19	石川、CRDS
Engineers Australia (EA)		National Manager, Ms. Sheryl Harrington	2019/11/19		
米国	大学	Princeton 大学 MECHANICAL & AEROSPACE ENGINEERING	Yiguang Ju 教授	2020/1/10	丸田
		スタンフォード大学 Mechanical Engineering	Hai Wang 教授他	2020/1/14	
		Georgia Tech [オーランドで開催のアメリカ航空宇宙工学研究所国際会議 Scitech にて面談]	Tim Lieuwen 教授	2020/1/8	
	国立研究所	サンディア国立研究所 Combustion Research Facility	Dr. Nils Hansen 他	2020/1/15	
		アルゴンヌ国立研究所、 Chemistry	Dr. Stephen Klippenstein 他	2020/1/13	

## ■調査報告書 編纂メンバー■

佐藤 順一	上席フェロー	(環境・エネルギーユニット)
大平 竜也	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (～2020年3月)
長谷川 景子	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (2019年5月～)
徳永 友花	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (2019年11月～)
前川 智美	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (2019年7月～)
竹内 良昭	フェロー	(環境・エネルギーユニット) (2020年4月～)
中村 亮二	フェロー／ユニットリーダー	(環境・エネルギーユニット)

※お問い合わせ等は下記までお願いいたします。

CRDS-FY2020-RR-02

### 調査報告書

# 環境・エネルギー分野における非連続的な イノベーションを支える工学研究基盤強化

令和2年7月 July 2020

ISBN 978-4-88890-681-4

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター  
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

---

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's 五番町  
電話 03-5214-7481 (代表)  
E-mail crds@jst.go.jp  
<https://www.jst.go.jp/crds/>  
©2020 JST/CRDS

許可無く複写／複製をすることを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。  
No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.  
Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

---

