

調査報告書

我が国の産業競争力強化に資する
工学基盤研究の今後の在り方

～日本とドイツとの比較から～

エグゼクティブサマリー

本調査は、産業競争力強化に資する我が国の工学基盤研究の今後の在り方を検討することを目的としている。「工学基盤研究 (Engineering Science)」という用語は本調査で設けた用語である。基礎から応用、開発までの領域にある工学の学術を指すものとして用いている。工学の一部だが数学や物理学などの科学と開発・設計・製造・実装の間に位置し、応用科学と一部重なる。機械工学、土木工学、化学工学、電気工学などの分野が該当する。工学基盤研究を通じて得られる各種知見は、産業機械や輸送機械、エネルギー機器、生産設備・土木建築など様々な機器、設備の性能向上、効率化、評価に資するものとなる。

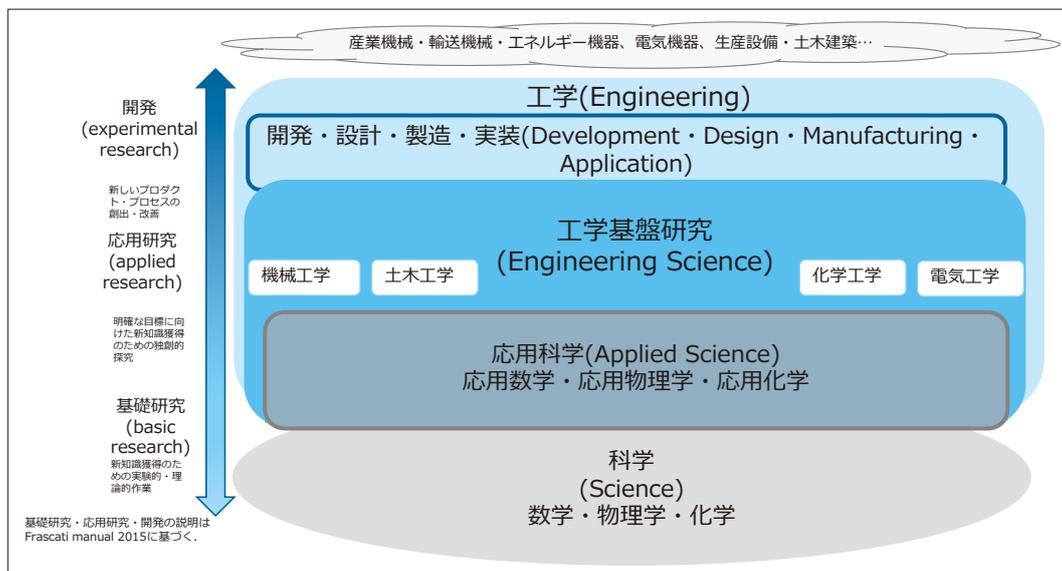


図1 工学基盤研究の定義

出典：CRDS作成

本調査では、国の経済成長、特に日本の産業の屋台骨である製造業の高度化、競争力維持・向上のためには工学基盤研究の強化が牽引力の1つになりうるという観点の下、日本の状況ならびに日本と産業構造が類似するドイツの状況について比較検討を行い、我が国の工学基盤研究の在り方について検討した。なお、本調査では工学基盤研究の中でも機械工学分野に注目した。これは、自動車・輸送用機器やエネルギー関連機器は我が国の製造業の中でも特に強みがあると考えられ、それらを支えてきた中心的分野の1つが機械工学分野であるとの認識に基づいている。

調査は2021年4月～2022年2月まで実施した。日本及びドイツの工学基盤研究の実態について有識者へのインタビュー及び文献調査を行った。更にワークショップを開催し、我が国の工学基盤研究の今後について議論を行った。

有識者へのインタビューから見てきたこととして、日本では戦後の高度成長期と1990年代以降の成熟期とで工学基盤研究に対する認識やそれらを取り巻く環境は大きく変化してきている。高度成長期には、企業、大学、国立研究機関は欧米諸国から技術を輸入し、工学の基礎的な知識を学びながら欧米にキャッチアップしようと研究開発を進め、その成果が次々と社会実装されていった。この頃は国にも工学基盤研究の強化が国力増強につながるという考えがあり、それに基づき研究開発プログラムによる支援体制が敷かれていたという。

1990年以降の大学の設置基準の大綱化や大学院重点化といった環境変化により工学基盤研究を取り巻く状況は徐々に変化した。2000年以降の大学の法人化や省庁再編の時期には、大学の工学部予算が減少し、工学基盤研究への資源配分が産官学いずれにおいても減少した。以降、工学基盤研究は低迷を続け現在に至っている。1990年代はバブル経済が崩壊した時期に当たり、企業でも研究所の再編成により基礎研究の比重が小さくなっている。また工学基盤研究が縮小する中、2000年代半ばまで工学系の学会を中心に産学が協力して行っていた流体や熱、構造・強度など各現象に関する基礎的なデータ集及びシミュレーション手法の整備もその後中断している。現在は新たなデータの蓄積と整備が国内で行われていないため、企業の多くは欧米で作られるデータ集とそれに基づく各種のシミュレーションコードを用いて開発と設計を行っている。しかしそれらは仮定や実験条件などが必ずしも明示的ではないため、それらを用いて国内で取得したデータを使ってシミュレーションを行おうとしても細かな試行錯誤ができない。データ基盤の海外依存が続く限り、競合国の想定を大きく超えるような性能を持つ製品の開発ひいては世界をリードする新たなイノベーションの創出は難しくなる。

ドイツの工学基盤研究を支える仕組みとして、本調査では、ドイツ研究振興協会（DFG）が運営する共同研究センター事業に注目した。この事業では、ドイツの複数の大学や国立研究機関が参画することを通じて、大学間及び大学と研究機関との間の工学系ネットワークの形成やドイツの工学基盤研究の強化が促進されている。その結果、同事業を通して学問としての工学基盤研究の維持発展が支えられている。

また、ドイツの工学は、専門大学を含む高等教育制度を基盤とした豊富な技術系人材（研究者と技術職員）に支えられている。マックス・プランク協会など国立研究機関では教授職を支える研究アシスタントが研究者として約6,000人存在する。研究の中で技術面を遂行できる常勤職員である技術職員も約3,000人存在し、人材の層が厚い。

これに対して日本は研究者、技術職員の確保・育成が喫緊の課題になっている。工学系の大学院生は2005年以降減少傾向にある。法人化以降、研究の中で実験など技術面を遂行できる常勤職員である技術職員も減少している。また工学基盤研究の重要性を理解し、教えることのできる研究者が大学でも企業でも定年を迎え、その知識や経験を継承することが難しくなりつつある。

工学基盤研究を産業競争力強化に繋げるには大学と産業界の連携が重要になる。本調査の一環で実施したワークショップでは、ドイツなど欧米の大学研究者は企業が抱える課題を投げかけた時の回答がよりの確であるとの声が産業界からあった。このような状況になるためには大学と企業との連携の実践を拡大し、双方のコミュニケーションを深め連携関係を徐々に強化していくことが重要と考えられる。

本調査では、主として数名の有識者へのインタビューに基づいて、日本の工学基盤研究を取り巻く環境変化を振り返った。またドイツとの比較により現在の状況についてもまとめた。これらは工学基盤研究の現在の立ち位置を理解するための一つの視点として有益である。これらを踏まえ、今後は、工学基盤研究がこれからの社会においても我が国の産業競争力強化を支える重要な要素となり得るか、またそのための具体方策とは何かについて等の検討を深める必要がある。それを通じ、産学官が相互に正の影響を及ぼし合うような国内研究開発体制、いわばイノベーションエコシステムを構築するための具体的方策を見出していく必要がある。以上よりJST-CRDSでは今後も引き続きこの問題について検討を行い、あるべき方策等の検討に向けた調査分析を行っていく方針である。

目次

1	背景と目的	1
2	工学基盤研究の定義と歴史	2
	2.1 工学基盤研究の定義.....	2
	2.2 工学基盤研究の歴史.....	3
3	調査方法	6
4	日本の製造業	7
5	日本の工学基盤研究の現状と課題	9
	5.1 工学基盤研究を取り巻く環境の変化.....	9
	5.2 大学、国立研究機関および企業の工学基盤研究に対する 取り組みの変遷.....	10
	5.3 日本の工学基盤研究の現状と課題.....	14
6	ドイツの製造業	16
7	ドイツにおける工学基盤研究に係る取組	18
	7.1 工学基盤研究に係る研究機関.....	18
	7.2 大学、国立研究機関向けの研究機関助成.....	19
8	日本とドイツの比較	22
	8.1 研究開発に対する公的資金の拠出状況.....	22
	8.2 研究開発を支える国内体制.....	24
	8.3 大学と産業界との人事交流、双方向の人材流動化.....	24
9	我が国における工学基盤研究の在り方	25
	9.1 調査を踏まえた考察.....	25
	9.2 調査に関する今後の課題.....	26

10 資料編	27
10.1 インタビュー記録.....	27
10.2 ワークショップ「我が国の工学基盤研究の今後の在り方」...	40

1 | 背景と目的

今日、産業競争力強化のための潮流として、カーボンニュートラル、Society 5.0、第4次産業革命等の政策の下、カーボン・クレジットなど新しい環境価値の導入やビッグデータ、IoT、AIなどの技術を用いた産業の変革が社会から要請されている。産業変革につながる革新的先端的な科学（サイエンス）及び技術（テクノロジー）の研究開発が求められているが、その研究開発を社会に実装するためには、工学基盤研究が必須である。なぜなら工学基盤研究は、社会インフラやあらゆる製品の性能や効率化、評価に資する基盤的な知識の集積であり、その維持発展が新しい技術開発においても重要であるからである。

こうした認識の下、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（JST-CRDS）では、これまで複数回にわたり工学基盤研究、あるいは工学基盤研究を取り巻く研究環境に関する調査分析や戦略提案活動を行ってきた。2017年には俯瞰ワークショップ報告書「エネルギー基盤技術（工学）」において、基盤技術における世界的な研究開発の流れを俯瞰した。その後、産学が連携して取り組むべき具体研究課題として、「革新的デジタルツイン～ものづくりの未来を担う複合現象モデリングとその先進設計・製造基盤技術確立～（2018年度）」及び「複雑な流れ現象の解明と統合的制御～数学的・物理学的検討と豊富なデータを組み合わせた構成則の構築～（2021年度）」などの戦略提案を行った。更に、2020年には調査報告書「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（2020年度）」において、工学基盤研究を取り巻く研究環境の日本ならびに海外の状況について現地調査に基づく報告を行った。

2021年度の本調査では、国の経済成長、特に日本の産業の屋台骨である製造業の動向に工学基盤研究の研究力が一定程度影響しているという観点のもと、日本の状況ならびに日本と産業構造が類似するドイツの状況について比較検討を行った。ドイツは、日本に比べて、好調な経済成長を遂げ、第四次産業への変革も遂げつつある^{1, 2}。そのため本調査では、日本の工学基盤研究の現状と好調なドイツ経済を支える工学基盤研究の実態を比較することで、我が国における今後の工学基盤研究の在り方への示唆を得ることを目的とした。なお本調査では工学の中でも主として機械工学分野に注目した。これは、自動車・輸送用機器やエネルギー関連機器などは我が国の製造業の中でも特に強みがあると考えられ、それを支えてきたのが機械工学を中心とした工学分野であるとの認識に基づいている。

1 持丸正明、戸田圭子「ドイツにおける製造業のサービス化動向～Industrie 4.0～」2015年2巻3号 p. 14-17
DOI https://doi.org/10.24464/serviceology.2.3_14

2 ドイツと日本の産業競争力の差には、ソフトウェアや標準化といった無形資産への日本の対応の遅れが原因であるという説もある。

2 | 工学基盤研究の定義と歴史

2.1 工学基盤研究の定義

本調査で用いる「工学基盤研究」の定義を記す。これまでのJST-CRDSの調査・検討では、「工学基礎基盤」、「基盤技術」など多様な用語を使用してきたが、本調査では、「工学基盤研究」を用語として使用する。

図2-1で示すように、本調査では工学基盤研究とは、基礎から応用、開発までの領域にある工学の学術と定義する。工学の一部だが、数学や物理学などの科学と開発・設計・製造・実装の間に位置し、応用科学と一部重なりあう。具体的な学問分野としては機械工学、土木工学、化学工学、電気工学などが該当する。なお本調査では工学の中でも機械工学分野に注目した。これは、自動車・輸送用機器やエネルギー関連機器は我が国の製造業の中でも特に強みがあると考えられ、それを支えてきた中心分野の1つが機械工学分野であるとの認識に基づいている。

工学基盤研究を通じて得られる各種知識は、産業機械や輸送機械、エネルギー機器、生産設備・土木建築など様々な機器、設備の性能向上、効率化、評価に資するものとなる。

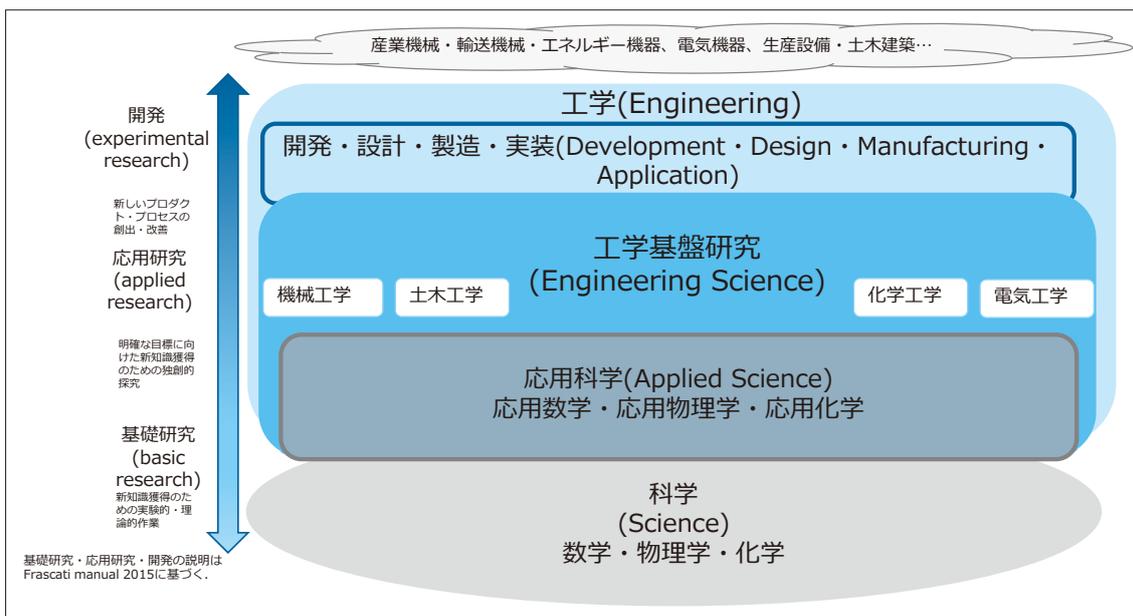


図2-1 工学基盤研究の定義

出典：CRDS作成

2.2. 工学基盤研究の歴史

機械工学分野を中心とした工学基盤研究の世界的な萌芽と隆盛、発展、その経緯の中での日本の位置づけについて述べる。

表2-1は、機械工学便覧合本α版基礎編（2007）「1.2 機械工学史通論」に記載された機械工学の発展に貢献した学理の発見や技術開発などの出来事を抽出、整理した年表である。図2-2はイタリアルネサンス以降の、時代ごと、国別の機械工学の発展の経緯を可視化した図である。

機械工学の基礎学問となる力学、特に動力学の誕生と発展は17世紀から18世紀の西ヨーロッパにおける各国の軍備強化の産物であった。ガリレイからニュートンに至る学者によって、イタリアで興ったルネサンス期の軍事技術¹、土木技術、鉱山技術を基に自然法則が発見された。しかし、この当時の技術と学理（自然法則）には乖離があった。

18世紀中頃には、フランスで軍備強化を目的とした街作りが推進され、それに伴いポンプや動力水車などの水力機械が発達し、水力学といった機械学が創成された。また、1747年にヨーロッパ初の近代的技術学校である土木学校（École des ponts et chaussées）が開校され、学問を修めた設計と応用に長じた技術者が国家の手で育てられた。技術が教育に組み込まれることで、技術と学理が結びつくようになった。更に1794年には、物理学や化学など理学の基礎のうえに技術の学問を教えるエコール・ポリテクニクが創設され、更に技術者育成が強化された。

一方、イギリスは17世紀に海洋王国として海軍の増強と海外貿易の振興を図り、製鉄と造船が隆盛を極め、その強力な動力源として蒸気機関が登場した。更に産業革命において技術者は経験や実験によって独創的な機械の開発を行った。しかし、このイギリスの技術開発は学理の基礎のうえに行われたものではなかった。19世紀には産業革命が成熟期を迎え、機械が複雑で巨大になり、技術は経験だけに頼ることはできなくなり学問の助けが不可欠となった。イギリスにおいても科学に基礎をもつ機械工学、即ち工学基盤研究がこの流れの中で急速に形づくられていった。19世紀には、フランスにならない欧州諸国ならびにアメリカ、日本においても高級技術学校（工部大学校）が設立された。

殊に鉄道は機械が独立した技術領域となるきっかけとなった。1847年、イギリスでは鉄道技術者が中心となって機械技術者協会（IMechE: Institution of Mechanical Engineers, 機械学会とも訳される）が結成された。同様な団体がドイツ（VDI: Verein Deutscher Ingenieure）、日本（日本工学会）、アメリカ（ASME: The American Society of Mechanical Engineers）で結成された。

日本では、江戸時代末期に西洋軍事技術の研究と導入が本格的に始められ、明治時代には欧米の機械工学が輸入された。そしてそれを日本語の教科書で全てが学べるまで普及させ、製品の国産化に成功した。日本はもともと江戸時代に和時計、からくり、機織り機などの独創性と工芸的な技術レベルが高かったこともあり、西洋技術の国産化を早期に実現できた。

紡績が主流であった日本の工業は次第に比重が重工業に移る中、日本人による工学研究もまた新しい時代を迎え、材料力学、流体工学、伝熱工学、鉄道工学などは世界的なレベルまで押し上げられた。

第二次世界対戦後は、戦時中の精密計測・制御機器、航空機、電子機器の発達、及び戦争末期のロケット、レーダー、コンピュータの出現から計測・制御工学が学問として体系化された。1960年代の日本は経済優先、高度成長の時代を迎え、機械工学も発展を遂げた。

1 ルネサンス期における新しく強力な軍事技術の希求は切実なものがあり、有能な技術者は王侯や新興の都市貴族に雇われて要塞の建設や新奇な戦争機械の開発に当たった。軍事を中心に開発された新技術はインゲニウム（ingenium）といわれ、この技術を開発する人々はインゲニアートル（ingeniator）といわれた。これが現代のエンジニアの語源である。レオナルド・ダ・ビンチは当時最大のインゲニアートルの一人であった。（出典：機械工学便覧合本α版基礎編（2007））

現代の機械工学の最先端は時代の様相を強く反映し、第一はコンピュータ応用、第二は資源・エネルギー、第三は機械・医療・福祉分野への展開となっている。殊にコンピュータ利用は、様々な現象、特に非線形現象の数値解析とシミュレーションによる模擬実験を可能としたほか、膨大なデータを扱う実験技術にも革新的な変化をもたらし、今日、デジタルツインに発展している。

このように、技術と機械工学の誕生と発展を見ていくと、どの時代においても技術を推進する駆動源があり、技術を推進するには学問としての機械工学、即ち工学基盤研究が不可欠となっていたことが理解できる。

表 2-1 工学基盤研究の発展に貢献した主な出来事（機械工学分野を中心に）

出典：機械工学便覧合本α版 基礎編（2007）に基づきCRDS作成

年	国	機械工学の発展に貢献した出来事
1630	イタリア	カステッリ「流れの連続の式」
1638	イタリア	ガリレイ『新科学対話』
1640	イタリア	トリチェリ「噴流法則」
1673	オランダ	ホイヘンス『振子時計』
1687	イギリス	ニュートン『自然哲学の数学的原理（プリンキピア）』
1704	フランス	パラン「水車の最大動力発生条件」
1716	フランス	工兵士官部隊（土木技師団）の編成
1729	フランス	ペリドール『技術者の科学』世界初の工学ハンドブック
1736	スイス	オイラー『力学；解析による運動の科学』
1738	スイス	ベルヌーイ『流体力学』
1743	スイス	ダランベール『動力学概論』
1747	フランス	土木学校（École des ponts et chaussées）の開校
1781	イギリス	ワット（複動回転式蒸気機関）
1782	フランス	ベルトロ『技術に応用された機械学』
1786	フランス	ラザール・カルノー、サディ・カルノー『機械一般に関する試論』
1788	スイス	ラグランジュ『解析力学』
1794	フランス	エコル・ポリテクニクの創設
1795	フランス	モンジュ『画法幾何学』
1811	フランス	アシェット『機械基礎論』
1822	フランス	フーリエ『熱の解析理論に関する論考』
1824	フランス	カルノー『火の動力についての考察』
1826	フランス	ポンスレ『機械応用力学』
1829	フランス	ポンスレ『工業力学入門』
1843	イギリス	ブルネル「スクリュウ駆動の巨大鉄船グレイト・ブリテン号建造」
1845	フランス	ナビエナ「ビエ・ストークスの方程式（実在流体の基礎方程式）」
1847	イギリス	鉄道技術者が中心となり機械技術者協会（Institute of Mechanical Engineers）が結成された
1849	日本	箕作阮甫『水蒸船説略』
1855	日本	長崎に海軍伝習所開設。数学・造船学・操船術の教習が始まる。
1856	ドイツ	VDI（Verein Deutscher Ingenieure）創立
1856	日本	幕府は江戸に蕃書調所を作り、数学、物理学、化学をはじめ機械学や図学を含む西洋理工学の本格的な研究と教育を開始。
1859	イギリス	ランキン『蒸気機関ならびに他の原動機』
1859	イギリス	ランキン『応用力学必携』
1869	イギリス	ランキン『機械便覧』
1873	日本	イギリス人教師を招き工部省工学寮開設
1875	ドイツ	ルーロー『理論運動学』機構学（機械運動学）
1879	日本	日本工学会の設立
1886	イギリス	レイノルズ「滑り軸受けの潤滑理論」
1886	日本	工学寮と蕃書調所の後進である文部省の東京大学が合併し、東京大学工学部に至る

1889	アメリカ	ASME (The American Society of Mechanical Engineers) 創立
1895	イギリス	ポアンカレ『位相幾何学』
1897	イギリス	パーソンズ「蒸気タービンの発明」
1903	イギリス	ライト兄弟「飛行機の発明」
1907	日本	鉄道技術研究所設立
1909	イギリス	レイリー「レイリー・リッツの方法 (振動の解析)」
1911	アメリカ	カルマン「カルマン渦 (流体が関係する振動)」
1921	日本	航空研究所設立
1922	日本	海軍技術研究所設立
1929	アメリカ	プラントル (ティーチェンス)『航空流体力学』
1930	アメリカ	ティモシenko『材料力学』
1930	ドイツ	ヌセルト「熱伝達と質量伝達の相違性を明示」
1930	日本	国鉄の島次郎が推進した制式蒸気機関車の設計と製造が日本工業規格の制定につながる
1933	オーストリア	ゼンガー『ロケット航空工学』
1952	アメリカ	MIT、数値制御(NC)工作機械
1962	アメリカ	産業用ロボット、ユニメート発売
1964	日本	東海道新幹線開業、名神高速道路開通
1969	アメリカ	アポロ11号、月面着陸
1970	アメリカ	ジャンボジェット機B747就航
1998	日本	福祉工学の研究開発が盛ん、ペットロボット発売
1998	アメリカ	福祉工学の研究開発が盛ん、ペットロボット発売

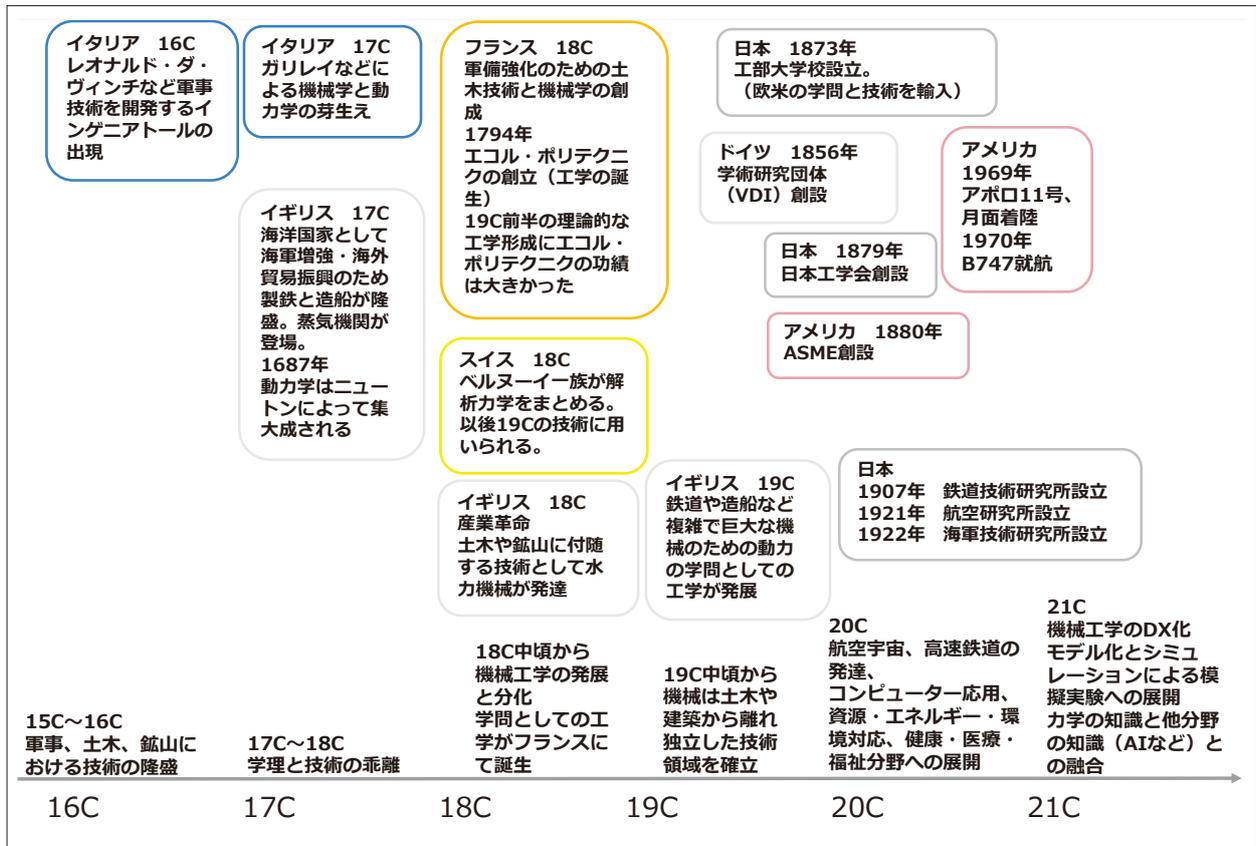


図2-2 工学基盤研究の歴史 (機械工学分野)

出典：機械工学便覧合本α版 基礎編 (2007) に基づきCRDS作成

3 | 調査方法

本調査は、以下の方法をもとに進めた。

- (1) 日本の工学基盤研究、特に機械工学分野に関連する経済・社会的な状況変化や大学・国立研究機関を取り巻く環境変化について、インタビュー及び文献調査をもとに調査を行い、整理する。
- (2) ドイツの工学基盤研究に関連する研究開発支援体制について、インタビュー及び文献調査をもとに調査整理を行う。
- (3) 日本とドイツの比較を行い、日本の工学基盤研究の課題、今後の強化・改善に向けた論点の抽出・整理を行う。
- (4) ワークショップを開催し、日本の工学基盤研究の今後の在り方を検討する。

インタビューにご協力いただいた方ならびにワークショップ招聘者を表3-1、表3-2に示す。

表3-1 インタビュー対象者（敬称略）

氏名	所属・役職	主な内容
岸本喜久雄	東京工業大学 名誉教授(元工学部長)	大学における工学基盤研究について
北村隆行	京都大学 理事・副学長(元工学部長)	大学を中心とした産官学の工学基盤研究について
船崎健一	岩手大学理工学部 教授(元工学部長)	大学と産業界との工学基盤研究について
矢部 彰	産業技術総合研究所 特別顧問・名誉リサーチャー NEDO TSC フェロー	国立研究機関からの工学基盤研究について
永野 博	政策研究大学院大学 客員研究員	ドイツの工学分野に対するSTI政策
鈴木真也	武蔵大学経済学部 教授	企業と海外大学共同研究の実態

表3-2 ワークショップ招聘者（敬称略）

氏名	所属・役職	主な内容
佐田 豊	日本機械学会会長、株式会社東芝研究開発センター 所長	産業界からの工学基盤研究について
藤森俊郎	日本燃焼学会会長、株式会社IHI技術開発本部 技 監	産業界からの工学基盤研究について
岩附信行	東京工業大学 副学長・工学院 教授(元工学部長)	大学における工学基盤研究について
岸本喜久雄	日本工学会会長、東京工業大学 名誉教授(元工 学部長)	大学における工学基盤研究について
北村隆行	京都大学 理事・副学長(元工学部長)	大学における工学基盤研究について
船崎健一	岩手大学 理工学部 システム創成工学科 機械科 学コース 教授(元工学部長)	大学における工学基盤研究について
永野 博	政策研究大学院大学 客員研究員	ドイツの産業を支える研究及び人材育成について

4 | 日本の製造業

日本の産業構造は、図4-1が示す通り、製造業が約2割を占め、我が国の産業の屋台骨になっている。10年間の期間でその推移をみても大きな変動はない。

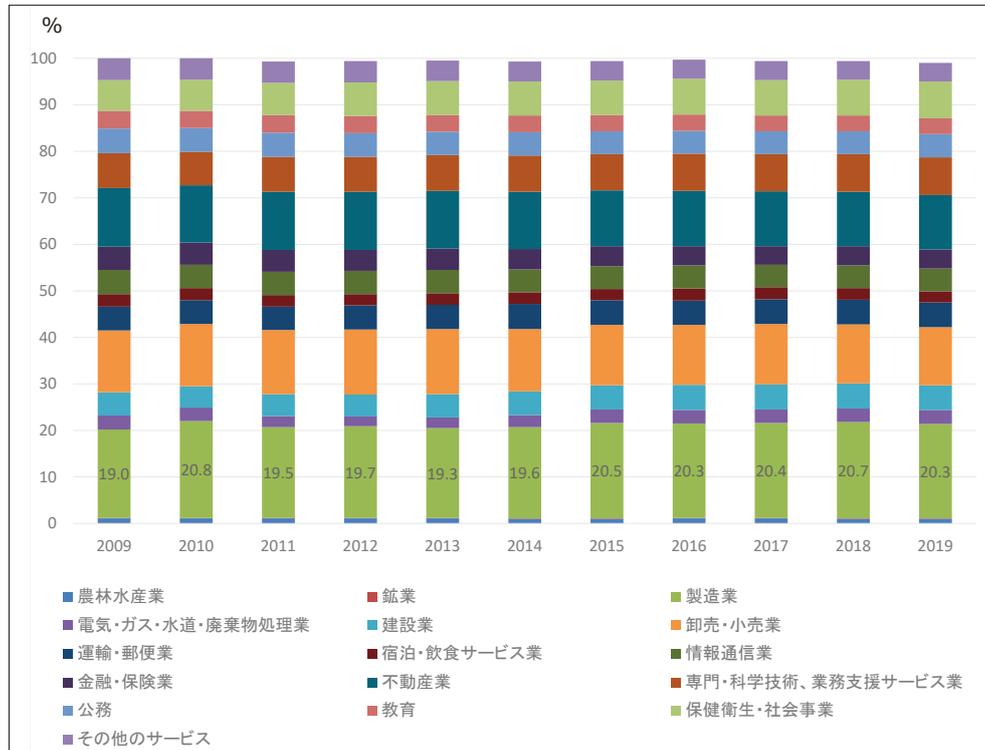


図4-1 実質GDPに対する経済活動別割合の推移

出典：内閣府「2019年度国民経済計算」よりCRDS作成

この製造業の戦後からの成長について、経済産業省公表の鉱工業接続指数（原指数）（暦年）（2015年=100）をもとにみると、図4-2が示す通り、戦後から1980年代までの高度成長期は増加傾向にあるが1990年以降停滞している。

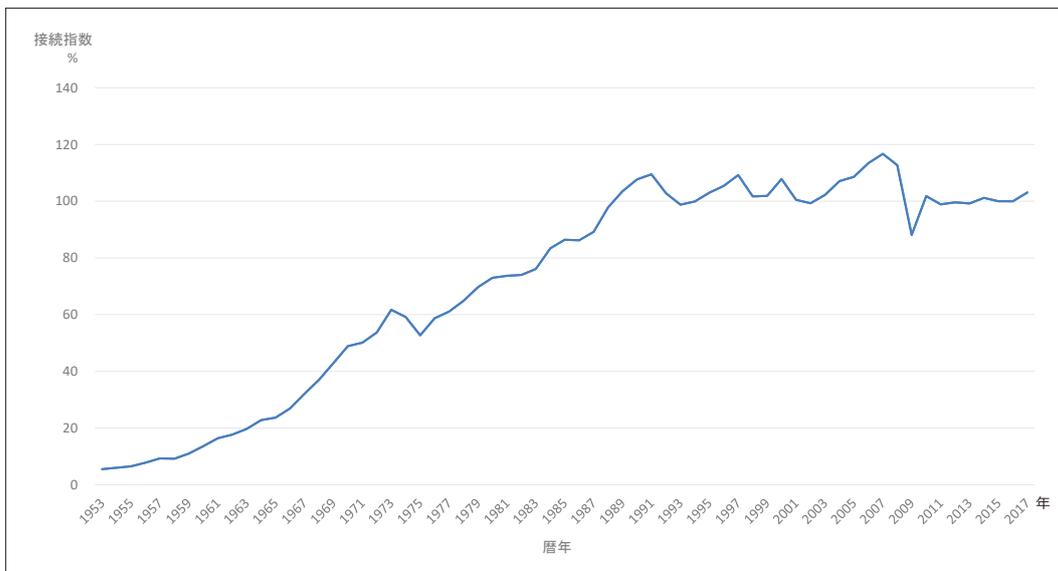


図4-2 日本の製造の発展の推移 (2015年=100)
 (鉱工業指数：鉱業・製造工業の生産、出荷、在庫動向や生産能力・稼働率を表す指標)
 出典：経済産業省鉱工業指数データよりCRDS作成

図4-3は、図4-2に日本経済の景気動向や製造業の成長過程の象徴的事項を記載した図である。1950年代後半から1960年代には、企業は欧米に追い付こうと中央研究所を設立し、研究開発、技術開発を進め発展を遂げた。1980年には日本の自動車生産台数が世界1位となるなど、日本経済は大きく成長した。その後1990年以降は欧米諸国からの警戒が強まり、基礎研究ただ乗り論が出てくる。そして、輸出額の伸びが鈍化するようになる。更に企業の中央研究所の廃止、研究員の他部門への配置換えなどがあった。このような動向は、鉱工業接続指数の水準が1990年以降停滞する時期と概ね重なっている。

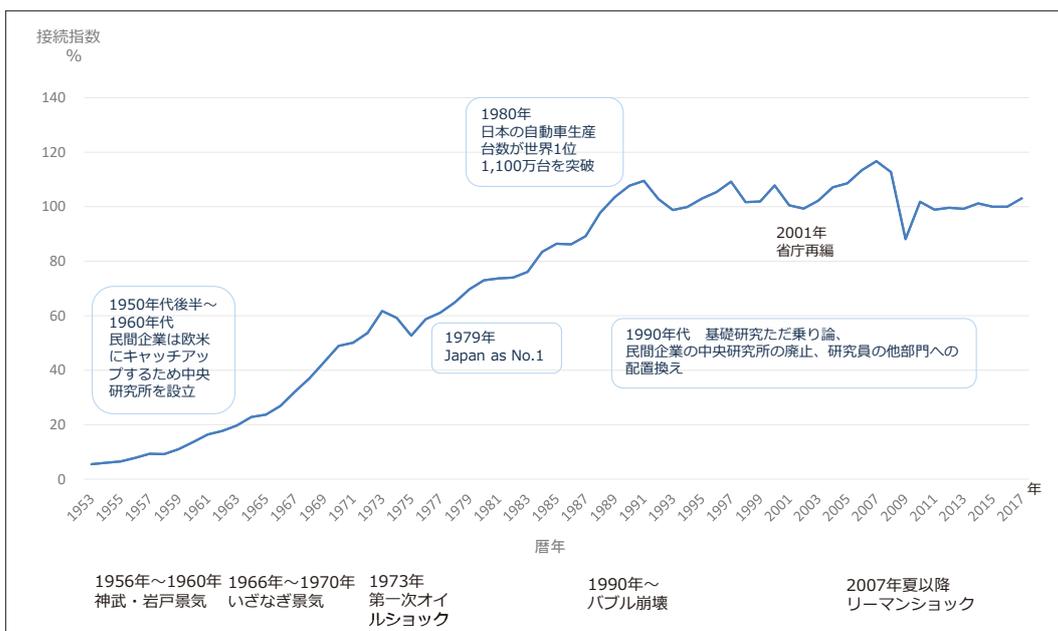


図4-3 日本の製造業の推移
 出典：経済産業省鉱工業指数データよりCRDS作成

5 | 日本の工学基盤研究の現状と課題

5.1 工学基盤研究を取り巻く環境の変化

機械工学を中心とする工学基盤研究を取り巻く環境変化について概観した。図5-1は、図4-3に工学基盤研究に関連する出来事を重ねている。省庁や国のプロジェクトおよび社会的な事柄に関連した出来事を青字で、大学に関連した出来事については赤字で表記している。

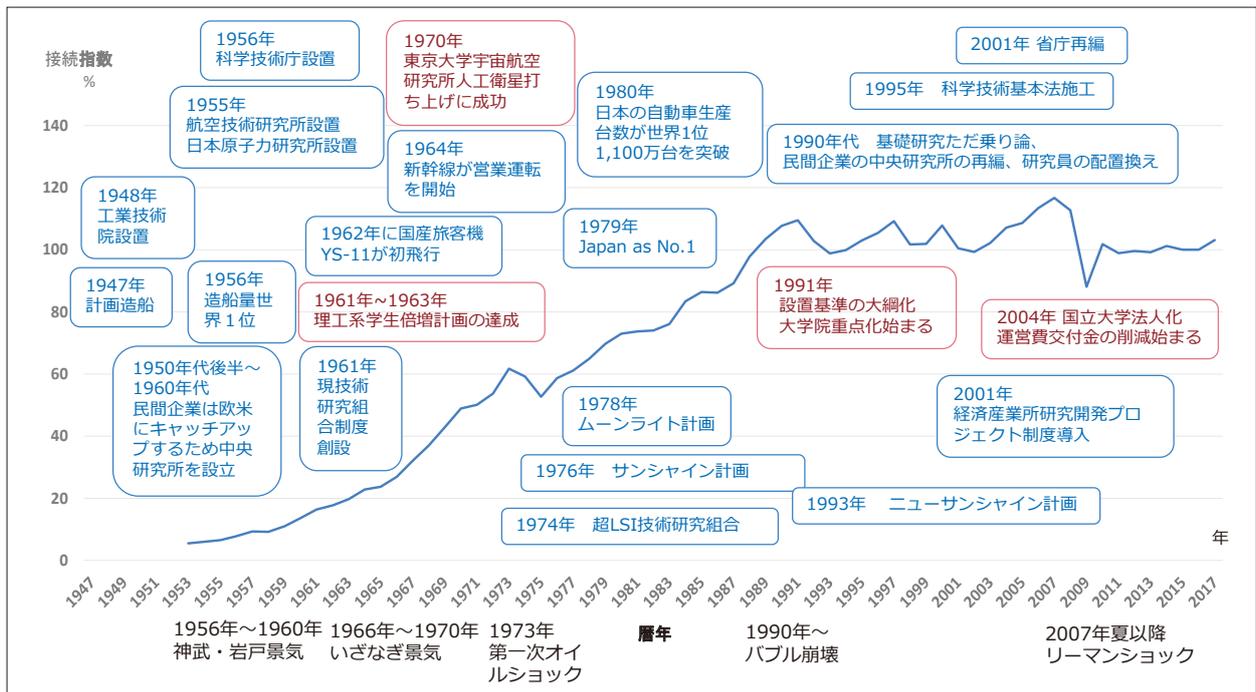


図5-1 日本の製造業の発展の推移と工学基盤研究に関する出来事
(省庁や国のプロジェクトに関連した出来事を青字で、大学に関連した出来事については赤字で表記。)

出典：CRDS作成

日本は第二次大戦後、急速な経済発展を遂げたが、その原動力は企業における海外の先進的な技術の導入と、大学における、技術の源である工学基盤研究に関する海外の最新研究に触発された研究の推進であり、さらにそれらを基にした産学の協力による技術革新であった。国を挙げての工学の強化とそれによる技術革新が高度成長期を牽引した。国の政策としては、1947年に開始された計画造船で、造船業の技術革新と産業としての強化がはかられ、それが1956年の造船量の世界一位に結びつき、その後29年間一位の座を保った。1956年には、科学技術庁が設置され、それと前後して航空技術研究所および日本原子力研究所が開所された。また1960年代には工学部の新設が相次いだ。それらの施策により、1962年に国産旅客機YS-11が初飛行を行い、1964年の東京オリンピックの年には世界初の高速鉄道である新幹線が営業運転を開始した。これらの技術開発を支えるべく、大学における工学基盤研究は充実し、大学・産業・政策の連携が、工学系学協会

4番目の人工衛星打ち上げ国となった。さらに、1980年には、日本の自動車生産台数が世界一位となった。

大学工学部の充実と国の技術開発政策の協奏で日本の産業は大きな発展を遂げ、それを支える工学基盤研究も大いに進展した。また、それらに付随し、開発や設計に必用な工学基盤データの取得と整備も産学の協力で進展した。しかし、当時の日本の工学基盤研究の多くは、海外の優れた研究を基にした研究と、海外から導入した技術の改良・発展のための研究が主なものであった。そのため、工学基盤技術の本質的な理解並びに研究ノウハウが必用となるエンジン技術に関する研究などにおいては、世界をリードする研究および技術開発はあまり見られなかった。それを克服するため、1970年頃から航空機エンジンプロジェクト¹やムーンライト計画によるガスタービンの開発²が国の施策として進められた。これらの研究開発により、日本の工学基盤研究、例えば材料、構造、振動、流体、熱、燃焼などは世界と肩を並べられるようになり、その工学基盤研究を土台とするエネルギー機器や輸送機械などの製造業は1990年頃まで成長していった。しかし、日本が保持している工学基盤研究データの規模は大きくなく、欧米と比較して見劣りするものであった。そのため、1990年代には、欧米から日本の基礎研究ただ乗り論が指摘されるようになった。

一方、1990年以降は、大学においては様々な研究環境の変化が生じた。1991年から大学設置基準の大綱化や大学院の重点化が始まり、国立大学においては工学部が文部省（当時）から予算を獲得するために学科再編を行うようになった。1995年に科学技術基本法が施行され、世界のフロントランナーとしての科学技術振興が国として図られるようになった。2001年には、省庁が再編され、文部省と科学技術庁が合体し文部科学省となり、通商産業省は経済産業省に名称変更され、工業技術院は独立法人化された。また、運輸省、建設省、国土庁、北海道開発局が合体し国土交通省となった。2004年には、国立大学が法人化され、その運営費交付金はその後、年々削減されるようになった。

5.2 大学、国立研究機関および企業の工学基盤研究に対する取り組みの変遷

1970年以降の大学や企業の取り組み方の変遷が、工学基盤研究にどのような変化をもたらしたのかを、インタビュー調査³をもとに概観した。インタビューした大学関係者は、1970年代に博士課程を修了し、1980年代に准教授、1990年代に教授、その後2010年代に工学部長および副学長等を務めている。

第二次世界大戦後の大学工学部の拡充と国の技術開発政策の協奏で日本の工学基盤研究が大いに進展し、その成果を利用する製造業は大きな発展を遂げた。1990年代まで、大学は運営費交付金および科学研究費助成事業（以下、「科研費」という）で研究を進め、学会活動を通して企業や国立研究機関とその知識を共有し、同時に企業が直面する技術課題を把握し、その技術課題を産学の共通問題として解決すべく研究を行った。工学基盤研究に関しては、主として運営費交付金及び科研費で行われた。企業においても技術研究所が整備され、企業が必用とする工学基盤研究が行われた。工学系学協会の会員数は増加し、学会の中に重要

- 1 民間航空機FRJエンジン研究開発は、通産省工業技術院に創設された大型工業技術研究開発制度（大型プロジェクト制度）を利用して、科学技術庁の航空宇宙技術研究所が工学基盤研究を遂行し、同研究所の指導のもと、IHIが約70%、川崎重工業が約15%、三菱重工業が約15%の割合で設計・試作を担当した。その後今日まで、世界3大メーカー、米国GE（General Electric Company）、P&W（Pratt & Whitney）、英国RR（Rolls-Royce plc）の部品パートナーから結合部品パートナー、モジュール・パートナーへと段階的に日本企業が成長し、担当する部位を中心に共同で設計・開発するデザイン・インができるまでに至った。
- 2 ガスタービン研究開発については、1978年度～1987年度に、「高効率ガスタービンプロジェクト（270億円）」事業がムーンライト計画の一環で行われた。その後、1990年に1350°C級ガスタービンが実用化、1997年に1500°C級ガスタービンが実用化した。更に2000年以降、NEDO事業での高効率ガスタービン開発に発展している。
- 3 10.1 資料編 インタビュー記録参照。

な工学基盤研究に関する各種の委員会が設置された。これらを通じ、日本の工学基盤研究、例えば材料、構造、振動、流体、熱、燃焼分野などは世界と肩を並べられるようになり、その工学基盤研究を土台とする製造業は、図5-1に示すように、1990年頃まで成長していった。しかし、日本の工学基盤研究は、「2.2 工学基盤研究の歴史」から見て取れるように、ヨーロッパと比較して歴史が浅く、工学基盤データの蓄積と整備や基礎理論の構築⁴については遅れていた。そのため、日本の製造業は日本の工学基盤研究データだけでなく、ヨーロッパの基礎理論と整備された基礎データを用いて開発や設計を行っていた。1990年代に入ると、欧米からは日本の製造業の躍進に対して、基礎研究ただ乗り論を展開されるようになった。これらを背景として、1995年に科学技術基本法が施行された。

1990年以降においては、大学において様々な環境の変化が生じた。1991年に設置基準の大綱化、大学院重点化が始まり、工学部は予算確保のために、伝統的な工学基盤研究分野ではなく、ナノテクノロジーやバイオテクノロジーとの融合研究など、新興分野の研究を増やしていった。それに伴い、伝統的な工学基盤研究分野は手薄となっていった。企業においては、バブル経済が崩壊した時期に当たり、研究所の再編により基礎研究の比重が小さくなっていった。

2000年以降は、2004年の国立大学法人化により運営費交付金が年々削減される中、各学部の予算配分は学内の予算編成で決定されることになった。従来あった学部間の予算の境界がなくなり、工学部に充てられる予算は減少することとなった。その結果、設備の更新が滞り老朽化が進んだ。大学と企業の間関係も、大学の工学基盤研究が手薄になっていったことから希薄化するようになった。それに伴い、工学基盤研究に関連する学協会の会員数も減少していった。

工学基盤研究の実施にあたっては高度な技能やノウハウを持つ技術職員による教育及び研究面での支援が不可欠になる。なぜなら工学基盤研究は伝統的な学問分野で研究の蓄積も膨大であるため、若い研究者が関連の知識や技術を深く理解し身につけるにはかなりの時間を要するからである。しかし、設置基準の大綱化に連動する形で、大学の講座が小講座制から大講座制に移行し、従来小講座で2名配置された技術職員は大講座制移行に伴い減少した。更に技術職員の大学内の組織化により、従来工学部専属であった技術職員が工学部以外の業務も行うようになった。その結果、工学部における技術職員の教育及び研究面での支援の役割が減少した。また、2001年の総定員法改正⁵以降、技術職員数は減少した⁶。

更に、若い研究者の多くがプロジェクト雇用の身分になり、比較的早期に業績を出せる研究テーマを選ぶようになった。結果、歴史的に優れた研究成果が多く存在する工学基盤研究分野を専攻する若手研究者も減少傾向になった。

他方、企業における工学基盤研究については、経済産業省で2001年から研究開発プロジェクト制度が導入され、企業を対象とした国のプロジェクトは短期的な開発・社会実装成果を求める傾向が強まった。その結果、プロジェクトの中で目標達成に必用であるが直接的に繋がらない工学基盤研究を企業と大学が国のプロジェクトの一環として実施することが難しい状況になっていった。また、企業の技術研究所が縮小され基礎研究の比重が低下した結果、企業は工学基盤研究を全方位的に自力で高度化することが難しくなっていった。このため企業は工学基盤研究に関する高度な知識や情報を大学に求めることが増えていった。しかし、この時点では、日本の大学の工学基盤研究の研究力が低下してきたため、企業は工学基盤研究に関する知識・情報を研究実績の多い欧米諸国の大学や研究機関に求めるようになっていった。

図5-2は、文部科学省科学技術・学術政策研究所が2015年に実施した「日本企業による国際産学共同

4 工学基盤研究、例えば材料、構造、振動、流体、熱、燃焼分野などのデータ蓄積や基礎理論を指す。

5 行政機関の職員の定員に関する法律の通称。1969年に制定された。国家公務員の定員の最高限度を定めた法律。省庁再編に合わせて2001年に改正された。

6 資料編 10.1.3 インタビュー記録参照。

研究の現状に関するアンケート調査」のうち、日本企業と主に欧米の大学や研究機関との共同研究の分野内訳である⁷。分野別では、工学分野（工学、材料工学、化学工学）が合計で43%と最も高い割合を示している。図5-3は、工学分野（工学、材料工学、化学工学）において、日本企業が海外大学と共同研究を行う理由を示している。「日本の大学でも同様の研究は行われていたが、海外の大学の方が研究水準が高かった」に31%、「日本の大学では同様の研究が行われていなかった」に28%の解答がある。日本企業が日本の大学ではなく海外の大学と共同研究を行う傾向が顕著になると、日本企業が有するビジネス情報や技術情報が海外の大学・研究機関との共同研究を通じて海外に流出することも危惧される。特に日本の安全保障に関する技術においては極めて重要な問題である。

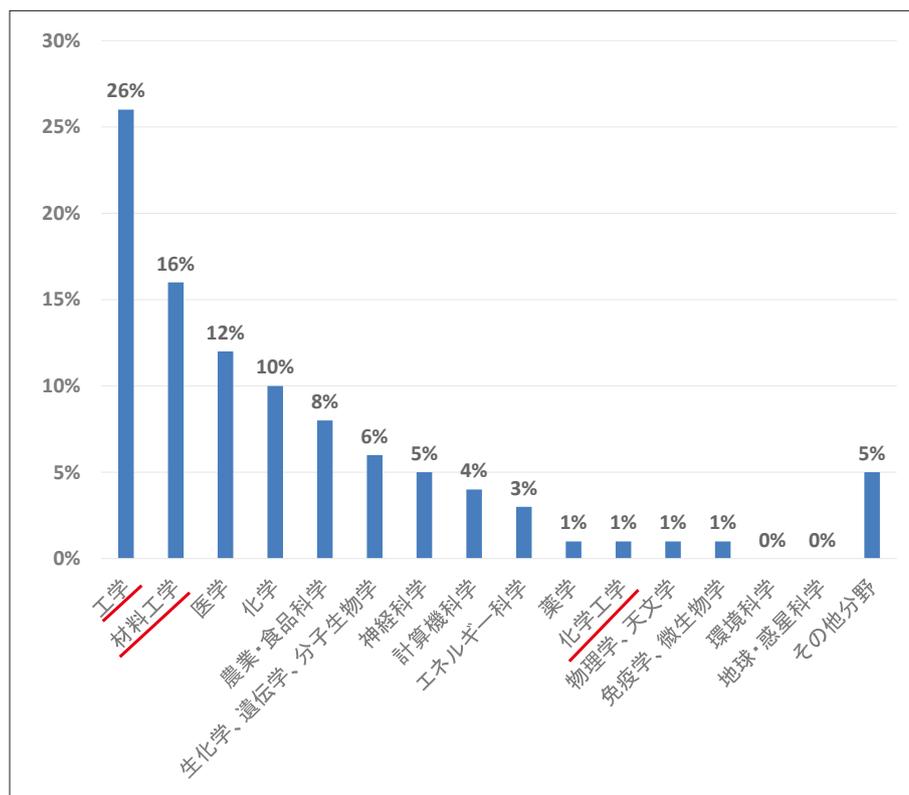


図5-2 国際産学共同研究の研究分野（先進国と共同研究実施企業 N=77）

出典：鈴木真也、永田晃也（2015年）「アンケート調査から見た日本企業による国際産学共同研究の現状」

NISTEP DISCUSSION PAPER, No.125, 文部科学省科学技術・学術政策研究所.

URL: <https://www.nistep.go.jp/archives/32309>（2023年2月28日時点）

7 回答企業のうち、国際産学共同研究を実施した経験を持つ企業のみを見てみると、「1000人以上」が67%と最も高い割合を占め、大企業がほとんどである。



図5-3 共同研究パートナーとして海外大学を選んだ理由
(先進国と共同研究実施企業 N=32、複数回答有)

出典：鈴木真也、永田晃也（2015年）「アンケート調査から見た日本企業による国際産学共同研究の現状」
NISTEP DISCUSSION PAPER, No.125, 文部科学省科学技術・学術政策研究所。
URL: <https://www.nistep.go.jp/archives/32309>（2023年2月28日時点）

以上の工学基盤を取り巻く環境変化に伴い、2000年以降、日本では大学を中心とした工学基盤研究の高度化、発展、基盤データの精緻化が困難になってきている。こうした状況は、当該分野における研究活動の成果である論文数に現れている。図5-4は、機械工学、化学工学、電気工学と関連が深い11分野における論文数の国際比較結果を表している。各分野で国際的に主要学術誌と見なされているものを1～6誌ずつ選択し、それらに掲載された原著論文の著作者所属機関国を集計した。論文数が多いほど順位が高い。この結果を見ると、日本は2000年と比べて2020年には、ほとんどの分野で順位を下げていることがわかる。

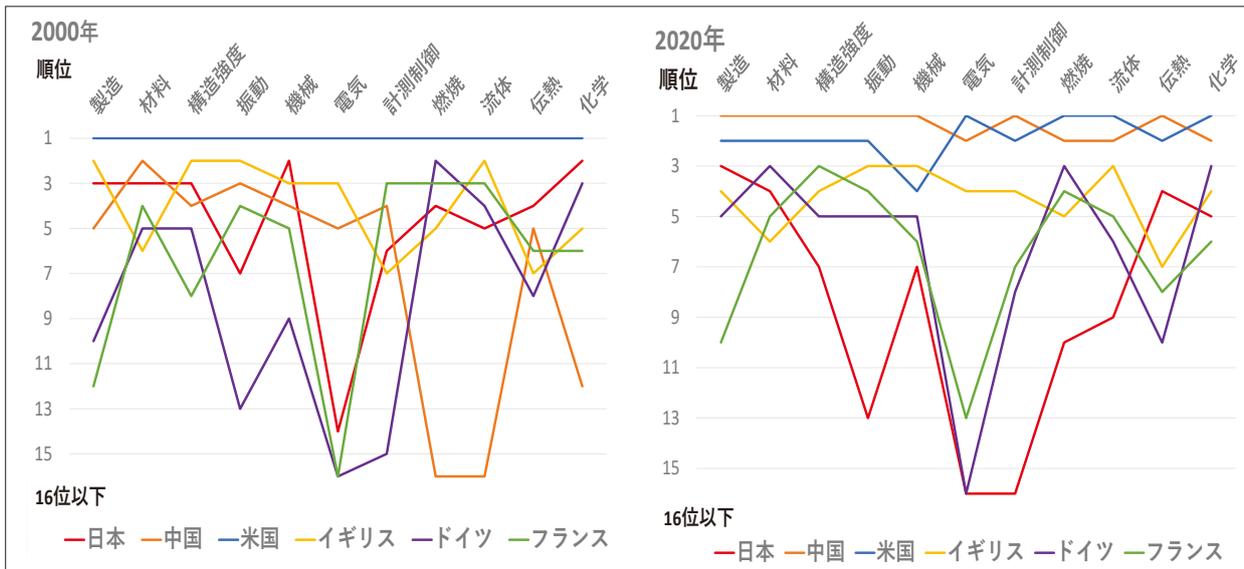


図5-4 工学分野の論文発表数の国際比較⁸
 (15位を下回る部分は16位以下であったことを意味する。)

出典：各分野の代表的な論文誌データをもとにCRDS作成

5.3 日本の工学基盤研究の現状と課題

「2.2 工学基盤研究の歴史」に述べた通り、機械工学分野における昨今の潮流はDX化、コンピュータ利用による様々な現象の数値解析とシミュレーションによる模擬実験への展開、すなわちデジタルツイン化である。計算機性能の飛躍的向上によりデジタルツインが新たな手段となりつつある。しかしこうした潮流に対応するためには、個々の物理・化学的現象の基礎的な理解、各現象に関する確かなデータの収集・蓄積、各現象のシミュレーション手法の整備、データ集を用いた設計ツールの整備が必用である。日本は、2000年頃まで、大学を中心として、工学基盤研究を発展させ、多くのデータやノウハウを蓄積してきた。それらをまとめたものの一つは、日本機械学会が発行している機械工学便覧⁹であり、1934年からの歴史を持っている。機械工学便覧は産学の協力で2000年代までに7回の改訂を行ってきただが、その後新たな改訂が行われていない。このことに代表されるように、現在、新たな工学基盤データの蓄積と整備は日本で行われていない。そのため、企業は、欧米の工学基盤データ集とそれに基づく各種のシミュレーションコードを用いて開発と設計を行う機会が増加している。こうした状況の大きな問題点は、日本で作成されたデータ集でないため、データを取得した際の仮定や各種条件の詳細が入手できず、不明な点である。また、欧米のデータ集とシミュレーションコードを用いた開発の場合、新たに開発された製品は欧米の想定内の性能にとどまることが多く、独自性の高い新たなイノベーションの創出が難しい点も問題である。

これまで述べてきた工学基盤研究に関する大学、国立研究機関、企業の取り組みの変遷と産業との関係から、工学基盤研究の戦後の発展と1990年以降の停滞、弱体化の変遷は、図4-3や図5-1で示した製造業の発展の推移の中に見られる成長期と成熟期と重なり合うものがある。製造業の今日の低迷は、工学基盤研究

8 16位以下について、2000年ドイツの電気25位、フランスの電気18位、中国の燃焼21位、中国の流体18位。2020年日本の電気31位、ドイツの電気18位、日本の計測制御16位。

9 https://www.jsme.or.jp/publish/books/books_contents/newbinran.html (2022年8月現在)

の停滞が一つの要因になっているとも推測できる。現在のDX化、デジタルツイン化の流れから取り残されず、我が国の産業競争力強化を図るためにも、工学基盤研究の在り方の再検討が必要な時期にきている。

6 | ドイツの製造業

ドイツの産業構造は、図6-1が示す通り、日本同様、製造業が約2割を占め、自動車の輸出入金額の割合が日本と近く産業構造が類似している¹。しかし、製造業の輸出額推移及び生産の推移は、図6-2が示す通り、2000年まではほぼ同じ水準であったが、2000年以降はドイツは緩やかに増加傾向にあり、日本よりも製造業が活発で好調であることが示唆される。

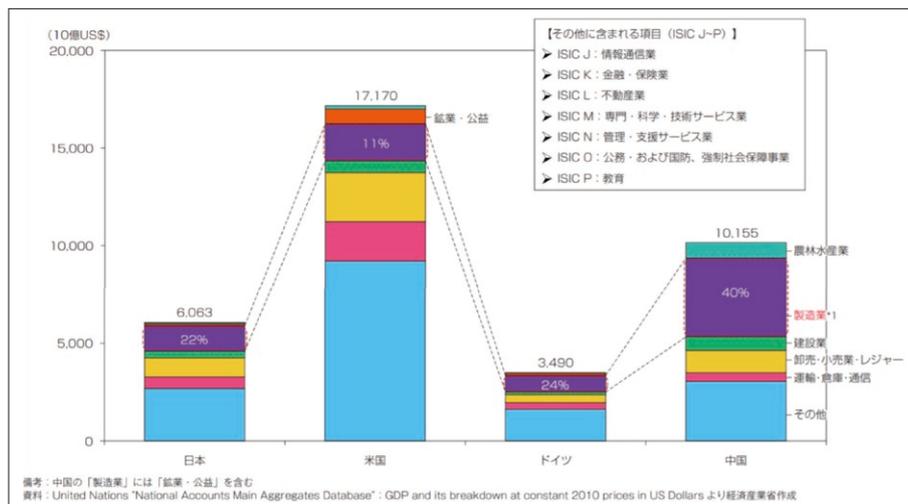


図6-1 実質 GDP のうち日本、米国、ドイツ、中国の製造業が占める割合 (2017年)
出典：通商白書 2019年

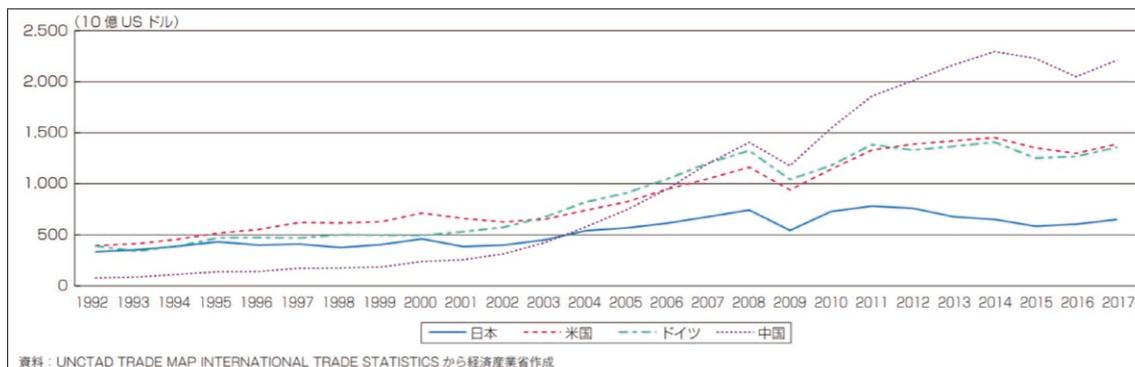


図6-2 日本、米国、ドイツ、中国の製造業の輸出額の推移
出典：通商白書 2019年

1 2020年の日本の輸送用機械の全輸出額の割合は21.1% (経済産業省 <https://www.meti.go.jp/report/tshaku2021/pdf/01-02-04.pdf>, p.1、2022年3月現在)、ドイツは15.5%である (日本貿易振興機構 (ジェトロ) <https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2021/bc223fc9aa5c37e3.html>、2022年3月現在)。

次に、ドイツの鉱工業接続指数の推移をみると、図6-3が示す通り、1960年より今日まで概ね上昇傾向にあり、製造業は好調である。1990年の東西ドイツ再統一で一度落ち込んだものの、その後のシュレーダー政権の2003年経済構造改革「アジェンダ2010」の政策により経済が復活し、続くメルケル政権の2006年「ハイテク戦略2020」、2011年「インダストリー4.0」でリーマンショックを挟んで順調に伸びている。ドイツ及びEUの動向や政策を青字で、大学に関連した事項については赤字で表記している。2020年以降が減少傾向にあるのはCOVID-19の影響を受けた結果とされており、ドイツに限らない世界的な傾向である。

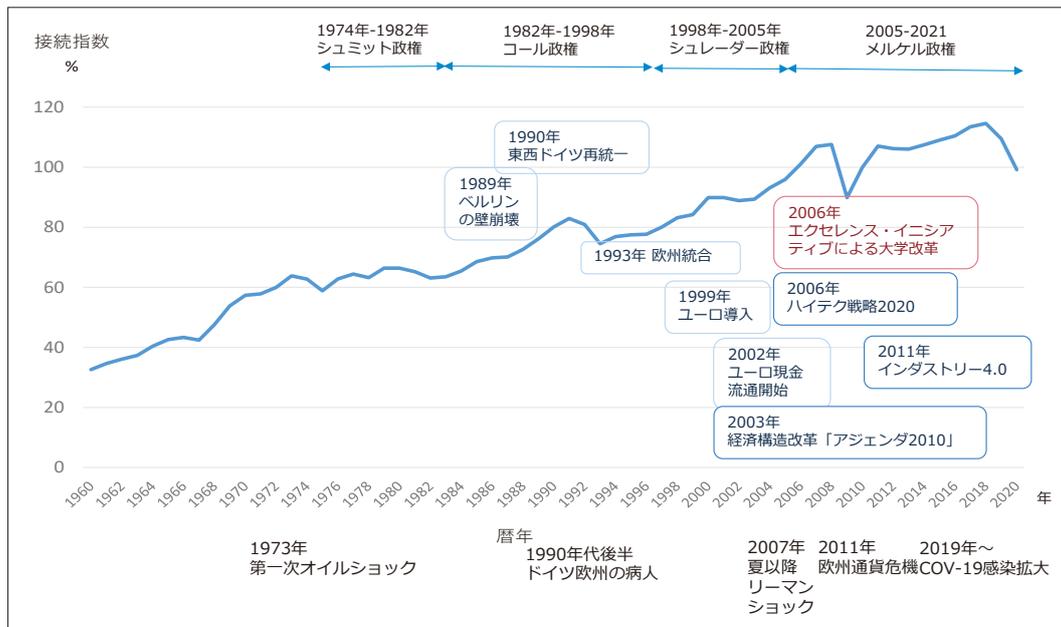


図6-3 ドイツの製造業の発展の推移 (2010年=100)
 (ドイツ及びEUの動向や政策を青字で、大学に関連した事項については赤字で表記。)
 出典：IMFデータ²よりCRDS作成

2 鉱工業生産指数 (IMF, Economic Activity, Industrial Production, Index (暦年)) (2010年=100) を使用。

7 | ドイツにおける工学基盤研究に係る取組

7.1 工学基盤研究に係る研究機関

ドイツには、大学以外に、表7-1が示すように、マックス・プランク協会、ヘルムホルツ協会、ライプニッツ連合、フラウンホーファー研究機構といった国立研究機関がある。基礎的な研究は、マックスプランク協会とヘルムホルツ協会が担い、ライプニッツ連合は基礎から応用にかけて、フラウンホーファー研究機構は応用開発を主として大学や国立研究機関と連携し、その成果を企業へ繋ぐ橋渡しの機能を担っている。

本調査では工学基盤研究を基礎から応用に至る広範囲な工学の学術と定義しており、基礎研究を担うマックス・プランク協会、ヘルムホルツ協会、更にライプニッツ連合で実施される研究、及び大学で進められる研究が関連する。この三つの国立研究機関の予算構成に着目すると、マックス・プランク協会は政府からの拠出の割合が予算総額約18億ユーロの85%を占め、ヘルムホルツ協会は予算総額約45億ユーロの7割、ライプニッツ連合は予算総額約20億ユーロの63%を占める。いずれも予算額に占める公的資金の割合が高い(表7-1)。

表7-1 ドイツの国立研究機関

出典：各種資料をもとにCRDS作成

	マックス・プランク協会 (MPG)	ヘルムホルツ協会(HGF)	ライプニッツ連合(WGL)	フラウンホーファー研究機構(FhG)
役割	基礎科学研究	大型研究施設を使用した研究	社会・人文科学を含む広範な分野をカバー	応用研究
研究分野	自然科学 生命科学 人文科学 社会科学	エネルギー、地球環境、健康、キーテクノロジー、材料構造、運輸・宇宙開発	人文科学、社会科学、経済学、空間科学、生命科学、数学、自然科学、工学、環境学など	健康、安全、コミュニケーション、運輸交通、エネルギー及び環境
研究所数	86カ所	18カ所	96カ所	75カ所
予算総額	約18億ユーロ	約45億ユーロ	約20億ユーロ	約28億ユーロ
予算構成	連邦政府42.5%、州政府42.5%、その他15%	70%は公的資金(連邦:州=9:1)残りを官民のスポンサーから	63%が連邦及び州政府(連邦:州=1:1)から、37%がその他	外部資金約85%(企業から約4割、公的プロジェクト)、残り15%は連邦及び州政府(比率7:3)、EUなどからの基盤助成
職員総数 (FTE)	16,242人	34,682人	13,117人	19,928人
研究者数 (FTE)	研究者 9,580人 内訳 W3研究者 297人 W2研究者 399人 研究アシスタント 6,216人 ポストドク 2,450人	研究者 17,831人	研究者 6,800人	研究者 10,133人
技術職員数 (FTE)	3,161人	8,885人	3,472人	2,752人
事務職員数 (FTE)	3,501人	7,966人	2,845人	7,044人

7 ドイツにおける工学基盤研究に係る取組

職員総数に着目すると、ドイツの国立研究機関はいずれも数万規模で、日本の産業技術総合研究所では、スタッフ数は2,945人で、そのうち研究者は2,258人である。この他に、ポスドク171人。大学や企業からの外来研究者が279人、テクニカルスタッフが1,472人存在し、総勢で約5000人規模になる。ドイツのいずれの国立研究機関の5分の1程度或いは以下の規模である。

詳細な内訳数を公開しているマックス・プランク協会では、研究者に関して、教授職W3、W2を頂点として、研究アシスタント、ポスドクが数千人と多数存在している。

技術面で高度な技能やノウハウを持つ技術職員については、マックス・プランク協会、ライプニッツ連合では約3,000人、ヘルムホルツ協会では約9,000人弱存在する。これらの人材による技術的な側面からの支援・参加が研究開発プロジェクトの効果的な運営に重要な役割を果たしていると考えられている。

一方、大学に関しては、ドイツでは総合大学の中にTU9と呼ばれる工科大学連合がある。この工科大学連合は、アーヘン工科大学、ベルリン工科大学、ブラウンシュヴァイク工科大学、ダルムシュタット工科大学、ドレスデン工科大学、ハノーファー大学、カールスルーエ工科大学、ミュンヘン工科大学、シュトゥットガルト大学の9つの大学で構成されている。

これら工科大学連合を含む総合大学は、国立研究機関と連携して工学系の研究に取り組んでいる。具体的な取組については次節で述べる。

7.2 大学、国立研究機関向けの研究機関助成

ドイツの基礎研究の研究助成研究機関としてドイツ研究振興協会（DFG）がある。DFGの2020年度の総予算は連邦政府から22.5億ユーロ、州政府から9.6億ユーロが拠出されている。研究助成には、研究者個人対象（Individual）、大学機関を対象（Institutions）、アワード（Prizes）の3種類がある。そのうち大学機関向けのプログラムには大学機関対象の拠点型プロジェクトを対象とした共同研究センター事業（Collaborative Research Centres（23.3%））がある。共同研究センター事業では、各プロジェクトにおいて、大学と国立研究機関が連携し、産業への技術移転を目的とした工学基盤研究も含まれ実施されている。この事業の特徴として、ステージゲート評価を通過すれば最長12年間の研究が可能である点があげられる。工学基盤研究を長期に亘って実施できる点は本調査の視点からは魅力的な特徴であると言える。

共同研究センター事業で実施された工学基盤研究の事例として、アーヘン工科大学、マックス・プランク鉄研究所によるプロジェクト「量子力学に基づく新しい鉄ベースの材料（設計材料開発とモデリング）（2007年7月～2019年6月）¹」があげられる。このプロジェクトは、主に金属材料を対象とした脆性破壊のマルチスケール解析に関する研究で、冶金学や材料科学、加工工学の各分野における物理学や化学など様々な分野の研究者が参画し、マテリアルデザインの飛躍的進歩を目指したものであった。

このプロジェクトには「トランスファー（産業界との共同研究）」が設定されており、産業に資することが目標とされている。産業界から博士課程学生として大学に在籍し、このプロジェクトの中で博士の学位を取得する企業人材の育成も兼ねている。このように、DFGの共同研究センターの工学系プログラムは、工学基盤研究の維持発展と大学及び産業界における人材育成に貢献するプログラムになっている。

更に、ドイツではDFGにおいて共同研究センターという大学と国立研究機関を中心とする拠点事業が推進されている。図7-1からは、大学が拠点となって複数の大学や国立研究機関が連携し工学系の研究を実施していることが伺える。図7-1内で見られる円は個々の大学や研究機関を表している。円の大きさはDFGの工

1 ドイツ研究振興協会（DFG）<https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/29898171?language=en>、2023年2月現在

学系プロジェクトへの参画数（2件以上のみ）を表す。青線は大学や研究機関による同一プロジェクトに連携参画した大学や研究機関の繋がりを表す。線の太さは連携数（2件以上のみ）を表す。円が大きいほどその研究機関におけるDFGプロジェクトの数が多く、連携参画の線が太いほどその研究機関間の関係が深いことを意味している。

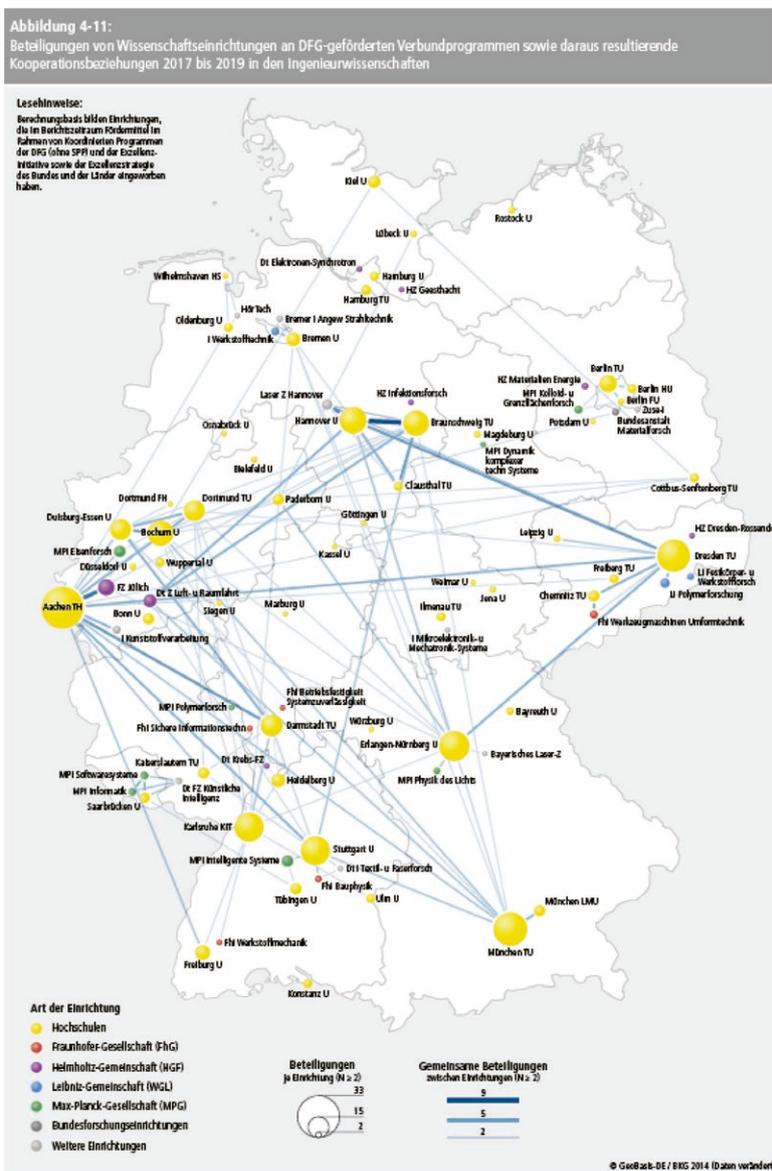


図7-1 DFGにおける共同プログラムへの参画および研究機関間の協力関係（工学系）

出典：DFG Funding Atlas 2021

https://www.dfg.de/sites/foerderatlas2021/download/dfg_foerderatlas_2021.pdf (2022年4月現在)

更にドイツには、地域工学系産官学拠点が複数存在し、その中心に大学が据えられており、大学や国立研究機関の工学系ネットワークとも間接的に接続している。例えば、アーヘンやドルトムントといった都市に工学系の拠点が形成されている。

アーヘンはかつて「繊維、石炭」産業により一世を風靡したが、現在は「IT、自動車、ライフサイエンス、マイクロストラクチャー」を新たなアンカーインダストリーとして位置付け産業都市を再生した。その中心に

アーヘン工科大学があり、大学と産業界とが連携して都市再生を図っている。

ドルトムントもまた「製鉄、石炭、ビール」といった産業によって発展してきたが、産業競争力の低下により、官民が一体となって策定した長期プラン「Dortmund-Project（2000年～2010年）」において「IT、マイクロストラクチャー、ロジスティクス」をアンカーインダストリーとして位置付け都市再生を行った。その中心にドルトムント大学があり、アーヘン同様に産学の連携が図られている。

8 | 日本とドイツの比較

8.1 研究開発に対する公的資金の拠出状況

図8-1、図8-2は、日本とドイツの研究開発費の流れが示されている。日本の研究開発費総額は18兆円（2019年）、ドイツの研究開発費総額は13.8兆円（2018年）である。

図8-1にある「政府」には、国と地方公共団体、国営・公営及び特殊法人・独立行政法人の研究機関、国立及び公立大学が含まれる。負担部門の「大学」は私立大学を指す。国立及び公立大学、私立大学の負担分は授業料や寄付が相当する。使用部門にある「公的機関」とは、国営・公営及び特殊法人、独立行政法人の研究機関である。使用部門の「大学」には、国立、公立、私立の大学の学部（大学院研究科、大学病院等を含む）、短期大学・高等専門学校、大学附置研究所、大学共同利用機関等が含まれる。

図8-2のドイツの負担部門にある「政府」には連邦政府、州政府、地方公共団体が含まれる。日本と異なりドイツの大学の学費は基本的に無料であるため、大学は負担部門に含まれていない。使用部門の「公的機関・非営利団体」には、連邦政府・地方（連邦州）及び地方自治体の研究機関や非営利団体、法的に独立した大学の附属の研究所が含まれる。¹

日本もドイツも「企業」から「企業」へと流れる研究開発費の割合が最も多いが、ここでは「政府」から「大学」や「公的機関」に流れる研究開発費に注目する。まず日本の「政府」負担は研究開発費総額18兆円のうちの16.8%で約3兆円である²。これに対しドイツの「政府」負担は研究開発費総額13.8兆円³のうちの27.8%で約3.8兆円である。「政府」から「大学」への拠出額は、日本では「政府」負担額の52.5%で約1.6兆円である。これに私立大学による負担分（研究開発費総額の9.4%で0.3兆円）を合わせると約1.9兆円になる。他方ドイツの「政府」から「大学」への拠出額は「政府」負担額の52%で約2兆円である。

「政府」から「公的機関」への拠出額は、日本では「政府」負担分の41.3%にあたる約1.2兆円が拠出され、ドイツでは40.3%にあたる約1.5兆円が拠出されている。

また国立研究機関への公的資金の拠出について、前述の表7-1のドイツの予算構成を参照し日本とドイツを比較すると、日本は、例えば理化学研究所の場合、運営費交付金は2022年度予算の54.6%で⁴、物質・材料研究機構の場合、運営費交付金は2020年度の収入の51%⁵、産業技術総合研究所の場合、運営費交付

- 1 出典：科学技術指標2021、報告書全文、科学技術・学術政策研究所。
https://nistep.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=6760&item_no=1&page_id=13&block_id=21、p.17、18参照。（2022年3月現在）
- 2 日本及びドイツの研究開発費総額は科学技術指標2021、統計集を参照した。
- 3 ドイツの研究開発費総額のユーロ円換算には2018年平均為替平均の値を用いた。換算、三菱UFJリサーチ&コンサルティング murc-kawasesouba.jp/fx/yearend/index.php?id=2018（2022年6月現在）
- 4 理化学研究所の2022年度収入予算から、収入992億3,800万円、運営費交付金は541億6,400万円、特定先端大型研究施設関連補助金275億1,400万円、次世代人工知能技術等研究開発拠点形成事業費補助金32億4,900万円、受託事業収入131億1,500万円などである。
<https://www.riken.jp/about/data/>（2022年6月現在）
- 5 物質・材料機構2020年度決算から、収入274億円、運営費交付金141億円、施設整備費33億円、受託事業収入69億円。
<https://www.nims.go.jp/nims/disclosure/finance.html>（2022年6月現在）

金は2020年度収入の56%⁶である一方、ドイツは、マックス・プランク協会では約8割、ヘルムホルツ協会では約7割、ライプニッツ連合では約6割の予算が政府（連邦政府及び州政府）から拠出されている。ドイツの国立研究機関への公的資金からの配分が日本よりも高く、特に基礎研究を主とするマックス・プランク協会、ヘルムホルツ協会の配分が高い。

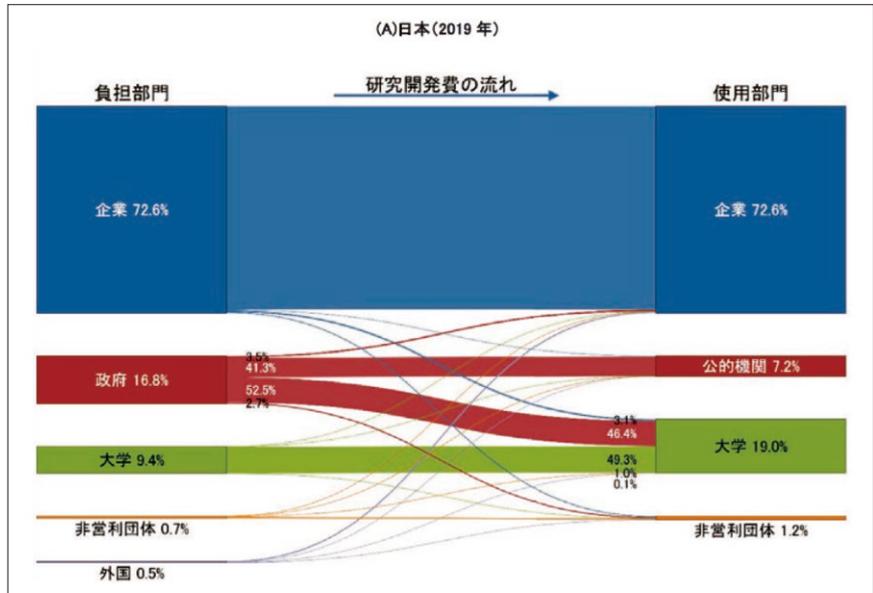


図8-1 日本における政府の研究開発費の負担部門から使用部門への流れ

出典：科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2021」

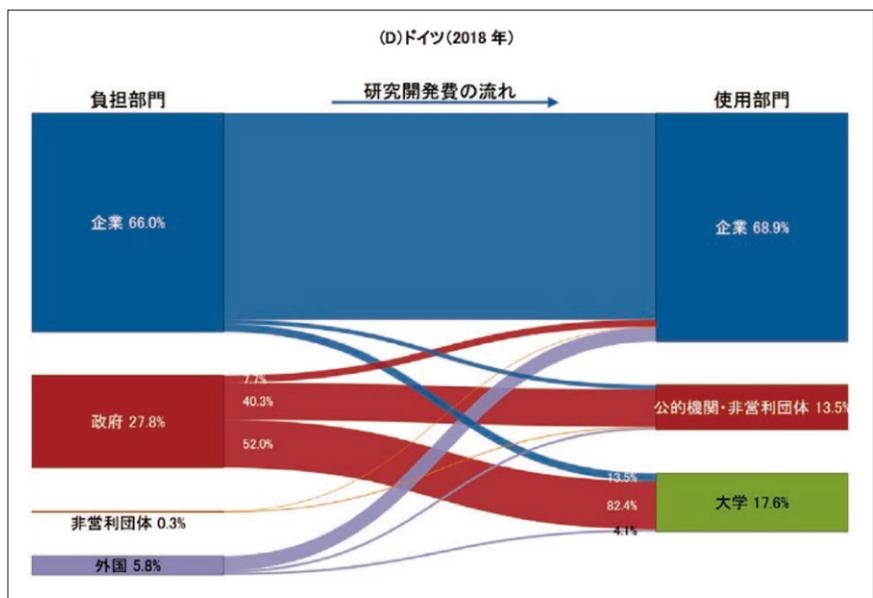


図8-2 ドイツにおける政府の研究開発費の負担部門から使用部門への流れ

出典：科学技術・学術政策研究所「科学技術指標2021」

6 産業技術総合研究所2020年度決算額から、収入111,383百万円、運営費交付金62,387百万円、施設整備費補助金13,275百万円。
https://www.aist.go.jp/aist_j/information/affairs/index.html (2022年3月現在)

8.2 研究開発を支える国内体制

国立研究機関の職員数については、ドイツの国立研究機関のほうが日本よりも格段に多い。例えば、日本では、産業技術総合研究所の職員数は2,945人（うち約2,258人が研究者、事務職員が687人（2021年））で、その他ポスドクが171人、招聘研究員が279人、テクニカルスタッフが1,472人である⁷⁸。日本の理化学研究所（3,451人（うち、2,938人が研究者））、物質・材料研究機構（1,582人（うち、568人が研究者））も、産業技術総合研究所同様に数千人規模である。

これに対してドイツのいずれの国立研究機関も職員数は数万人規模（表7-1の職員総数参照）である。また数万人規模の職員数の中で、研究者は数千人から1万数千人おり、研究の中で技術面を遂行する常勤の技術職員も数千人と多く存在する点が特徴的である。総人口では日本よりも少ないドイツの方が日本よりも研究開発人材の組織基盤が充実していると考えられる。日本では技術職員の減少など人材不足が深刻化しておりドイツとの差は今後さらに広がることも懸念される。

工学系の大学の研究については、ドイツでは、DFGを介した公的資金により共同研究センター事業が運営されており、同センター事業内の各プロジェクトにおいて、大学の工学基盤研究の強化ならびに大学の講座の維持発展、及び産業界の人材育成のための取組みが行われている。同センター事業により、大学間及び大学と国立研究機関間の工学系研究が促進され、ドイツ大学工学部全体の研究力強化が図られている。更にドイツ国内には工学系産官学地域拠点が存在し、その中心に工学系大学が位置付けられており、産官学地域拠点と大学工学系研究ネットワークとが接続するクラスターが形成されている。

これに対し、日本では、工学基盤研究については、設備の老朽化や技術系人材の減少などから研究及び教育面の強化が困難になっているという。大学における工学基盤研究の発展・強化を伴う研究開発体制が求められていると考えられる。

8.3 大学と産業界との人事交流、双方向の人材流動化

本調査の一環として実施したワークショップ⁹では、欧米では大学教授に企業経験が豊富な人が多く、企業の中にも大学での教員経験が豊富な人が多いとの話があった。こうした状況のため企業人材が大学教授と特定製品の科学（学理）及び技術について深いレベルで議論できるという。

一方、日本では、そのような大学と企業の間での人材流動は少ないと言われる。工学基盤研究の発展のためには、工学基盤研究の知識と産業界の技術情報の双方が交差する必要がある、大学と企業との間の双方向の人材の交流や流動化が可能な仕組みが必要となる。

7 産業技術総合研究所 https://www.aist.go.jp/aist_j/information/affairs/index.html、2022年4月現在

8 テクニカルスタッフとは、研究機器等の操作等を必要とする研究補助業務、研究データ分析等の技術補助的業務に従事する方と定義される。
産業技術総合研究所 https://www.aist.go.jp/aist_j/humanres/04keiyaku/index.html、2022年4月現在

9 資料編 10.2 参照。

9 | 我が国における工学基盤研究の在り方

これまでの日本とドイツとの工学基盤研究支援体制の比較結果やワークショップの議論（資料編 10.2 参照）を基にして、我が国の工学基盤研究の今後の在り方を検討する。

9.1 調査を踏まえた考察

我が国の工学基盤研究の変遷を振り返ると、戦後の高度成長期と1990年代以降の成熟期とで工学基盤研究に対する認識やそれらを取り巻く状況は大きく変化してきている。高度成長期には、企業、大学、国立研究機関は欧米諸国から技術を輸入¹し、工学の基礎的な知識を学びながら欧米にキャッチアップしようと研究開発を進め、その成果が次々と社会実装されていった。インタビューによれば、この頃は国に工学基盤研究の強化が国力強化につながるとの考えがあり、それに基づき研究開発プログラムによる支援体制が敷かれていたという²。

1990年代以降の大学の設置基準の大綱化や大学院重点化といった環境変化により工学基盤研究を取り巻く状況は徐々に変化した。2000年代以降の大学の法人化や省庁再編の時期には、大学の工学部予算が減少し、企業の基礎研究の比重も低下するなど、工学基盤研究への資源配分が産官学いずれにおいても減少した。以降、工学基盤研究は支える対策もないまま低迷を続け、現在に至っている。

1990年代以降の成熟期に続く今日における工学基盤研究の在り方の検討のために、本調査はドイツの工学基盤研究とその支援体制を参照し日本と比較した。ドイツにおけるDFGの共同研究センター事業は、工学基盤研究の学問としての維持発展を支える役割を担っている。複数の大学や国立研究機関が参画し実施されることから、大学間及び大学・研究機関間のネットワークが形成され、ドイツの工学基盤研究の強化を促進している。このようなドイツの取組みは日本の工学基盤研究の今後の在り方を検討するうえで参考になる。

また、本調査の一環で実施したワークショップにおいて、ドイツの工学は、高等教育制度を基盤とした技術系人材（研究者と技術職員）に支えられていることが指摘された³。マックス・プランク協会など国立研究機関では、研究者に加えてテクニカルスタッフ数が多いことにもその人材の層の厚さがうかがえる。これに対して日本では、2000年代以降技術職員が減少している^{4,5}。また、工学系の大学院生もまた2005年代以降減少傾向にあり、工学系人材の育成が大きな課題となっている。殊に工学基盤研究の重要性を理解する研究者が、大⁶学、企業とも今日定年を迎え、継承が難しくなりつつある⁷。

1 機械工学便覧合本α版 基礎編「1.3.2 日本の機械工学の歴史と創造活動の進展」p.α 1-19～20

2 資料編 10.1.1 インタビュー記録 北村隆行氏（京都大学 理事・副学長）北村隆行氏（京都大学 理事・副学長）参照。

3 資料編 話題提供1「ドイツの産業を支える研究・人材政策」参照。ドイツの技術者育成ルートについては、高等教育として、総合大学（理工学系総合大学を含む）と専門大学（応用科学大学）、職業教育として、二重教育（学校+職場）、さらにどちらも履修する二重大学教育がある。

4 日本学術会議学術体制常置委員会「大学等の研究環境の改善について -研究支援スタッフの活性化と研究施設整備の改善を中心として-」2005年6月23日、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1030-11.pdf>

5 資料編 10.1.3 インタビュー記録参照。

6 資料編 図10-13 工学部大学院（修士・博士）、専攻別の学生数経年変化参照。

7 資料編 10.1.1 インタビュー記録参照。

日本の大学の工学基盤研究が低迷し、企業が工学基盤研究の知識を海外の大学や研究機関に求めるようになってきた今日において、工学基盤研究を産業競争力強化に繋げるには、大学と産業界の連携が重要になる。そのためには、大学の工学基盤研究に従事する研究者、広義には工学系研究者の知識を産業活性化に役立てるといった意識を大学側と企業側で共有することが必要である。ワークショップにおいて、産業界の招聘者から、ドイツなど欧米の大学研究者は企業が抱える課題を投げかけた時の回答がよりの確であるという指摘もあった⁸。産業活性化への貢献の意識が深まり、その実践が拡大していくことで連携関係は徐々に強化されていくものと考えられる。

また、「5.3 日本の工学基盤研究の現状と課題」で述べた通り、産業界が工学基盤研究の成果を広く利用して行くためには、個々の物理・化学的現象の基礎的な理解、各現象に関する確かなデータ集、各現象のシミュレーション手法の整備、データ集を用いた設計ツールの整備が必用である。日本は、2000年頃まで、大学を中心として、工学基盤研究を発展させ、多くのデータやノウハウを蓄積してきた。それらをまとめたものの一つは、日本機械学会が発行している機械工学便覧である。産学の協力で1934年より2000年代までに7回の改訂を行ってきたが、その後新たな改訂が行われていない。

欧米は、近代工学を築いた経験から、工学基盤研究から得られるデータ集やノウハウが産業や新たなイノベーションにとって重要であることに気づいており、現在でもその整備を進めている。それらには、日本の研究者が2000年以降も細々と取得してきた多くの工学基盤研究から得られた成果も組み込まれている。言い換えると、近年は、日本が蓄積してきた工学基盤研究の成果が散逸し、それらが欧米のデータ集に組み込まれる形になっている。日本のオリジナリティーを発揮する工業製品を、日本のオリジナルなデータ集を用いたDXやデジタルツインで実現することが難しくなっていることは、科学技術イノベーション立国を目指す上で問題であると考えられる。

9.2 調査に関する今後の課題

本調査は、工学基盤研究のうち主に機械工学分野に焦点をあて検討した。全般的な状況を理解するためには電気工学、化学工学、土木工学など工学基盤研究に属する他の分野についても把握する必要がある。

限られた数の有識者へのインタビュー結果を中心に本論を構成しているため、視点に偏りがある可能性もある。立場や年齢など、様々な観点からの意見を踏まえ、その裏付けとなる情報収集と合わせ、より多角的・客観的に捉える必要がある。

日本の製造業及び工学基盤研究の変遷について、今回は主として過去から現在までの変化を調査した。日本の産業の屋台骨である製造業が今後どう変化していくかといった将来見通しについては十分に検討できておらず今後の課題である。産学官が相互に正の影響を及ぼし合うような国内研究開発体制、いわばイノベーションエコシステムを構築するための具体方策を見出していく必要がある。

今回、ドイツの取組を参照し比較検討した。しかし、ドイツにおける工学基盤研究に限定した具体的な公的資金拠出額や、割合、方法、及び、産学官の研究開発の役割、近年の潮流であるDX化における工学基盤研究の位置づけなどについては、十分に把握できていない。近代工学を築いてきたフランス、イギリス、更にアメリカなど工学基盤研究を重視する国の現状は調査に含まれていない。これらの国も含めた海外の工学基盤研究の取組についても調査を実施する必要がある。

8 資料編 ワークショップ 10.2.2 議論参照。

10 | 資料編

10.1 インタビュー記録

■目的

大学工学部における工学基盤研究の現状とその背景を把握するために、大学の工学基盤研究を熟知する有識者にインタビューを行った。

10.1.1 北村 隆行氏（京都大学 理事・副学長）

日時：2021年7月14日（水）

1. 工学基盤研究とは

- 「工学基盤研究」という言葉がくせもので、それ自体が何を言っているのか分かりにくいと思う。工学のみならずいろいろな分野の人が集まる審査会などに出ていて、基礎が重要だというと、どちらかというと理学的な数学や物理といったイメージを持たれる方が多い。逆に応用分野だというと、今はイノベーションやアントレプレナーといった言葉があがってくる。後者は技術を今にも適応しようとする分野で、それによってどれだけ開発効率上がるかといったことである。この議論は、基礎か応用かで両極端に走っている。実はその途中の分野が大切であるということがなかなか分かってもらえない。例えば、オリンピックの100m走やマラソンはその内容や意義を説明しやすいが、近代五種というと総合的なものなのでそれらを簡便・単純に説明することが難しい。
- 工学は技術によって人間に資することが役割である学術であるが、そこにおける基盤というのはいったい何なのか。社会というのはどんどん変わり、社会からの工学への要求も変わっていく。10年前を振り返るとよくわかると思うが、2011年に大きな津波があった。その時は、津波対策に役に立つこととして、防御すること、災害に強靱に対処することなどが求められた。現在は、パンデミックやカーボンニュートラルへの対処が求められる。10年経過すると工学への要求は大きく変わるものである。10年前に環境への危機感が現在と同レベルであってその時から風力発電に注力してくれば、風力発電は現時点において日本で十分な国産技術にできたかもしれない。でもその時は津波に対する対処が求められた。今は風力発電に資することが求められている。今から10年後は全く違うことへの対処が求められるかもしれない。このような未知のことに応える力（潜在力）をもつことが工学の学術、工学基盤研究であると考える。
- どのような脅威が人類にこよとも、技術をもって立ち向かえるようにするために、技術者は基盤の知識を得て備えなければならない。
- 風力発電や太陽光発電、水素燃焼タービンなどの多様な機械をつくるために、機械工学のどのような知識が必要かを認識することがまず重要で、工学基盤は学術全体の基礎分野とも違い、イノベーション、アントレプレナー、今すぐに起業する、社会を変革するというような分野でもない。一番理解していただきにくい分野なのだが、それがきちんと維持向上されてないと国力としての技術全体の力が落ちてしまう。
- 維持向上とは、先人の研究の蓄積の上に新規性のある研究を生み出していくことで、実力をあげていくことにつながる。工学基盤研究は古い学問であるが維持だけでなく向上させていかなければならない。そういう意味では、教養研究、教養教育に似ている部分がある。

2. 工学基盤研究の歴史的变化

(大学、企業の1940年代～1980年代)

- 大学や企業において、第二次世界大戦後の40年代、50年代、60年代、日本は技術的に非常に遅れていて、原子力発電にしても、アメリカから技術導入が主だった。技術導入する際、設計やものの作り方を理解するために、その当時の物理に近いところから勉強しなければならなかった。当時は、大学の工学部も企業も、基礎と応用を一緒に勉強した。その当時の最先端の技術を輸入しながら、ここでいう工学基盤研究を勉強して、その重要性を認識できた。企業としても、基盤研究分野の重要性は認識していた。
- 大学の役割として、この基盤研究に立脚して、企業に説明する立場にあった。大学にとっても基盤研究を勉強することは、最先端を勉強することにもつながった。それによって世界の学術の第一線に貢献できる道と信じていることができた。
- 国のファンドも、基盤研究の強化が国を強くするという認識で一致していた。アプリケーションと基盤研究とを一緒に進めないとアプリケーションは強くないとわかっていて。そのような状況にあったのが、70年代80年代であった。
- サンシャインプロジェクトやムーンライトプロジェクトなどの貢献も大きかった。このようなプロジェクトがあって企業や国研は助かったと思う。しかし、大学はその頃は国の大きなプロジェクトに関わってはいけなとか、企業からお金をもらってはいけなといわれていて、有識者として参加することはあったが、大きな研究費を得ることはなかった。大学が国の大きなファンディングを得るようになるのはもっと後のことである。
- 大学の中の基盤研究は科研費で十分賄われていた。基盤研究といわなくても、工学に対する科研費の割合は大きかった。学会においても、企業と国研をつなぐなど大学の役割は大きかった。お金で結びついているというよりも、学術の情報交換でつながっていた。
- 当時は学生運動が盛んで、大学が企業からお金をもらうことに批判があり、企業から研究費を得ることはほとんどなかった。大学にも企業にも工学基盤研究の研究者がたぐささんいた。
- 東京大学や東京工業大学、京都大学など、工学的に規模が大きかったところは、科研費の貢献が大きかったが、地方の研究者は運営費交付金によるところが大きかった。
- このような状況は80年代までであった。

(大学、企業の1990年代～)

- 雰囲気が変わったのは1990年代で、バブル崩壊後、企業は経済的にシビアになり慎重になった。機械学会や材料学会において、その年代からぱたっと企業の方々が学会に参加されなくなった。機械学会や材料学会では、そこで企業所属の学会員の数に年代の団塊ができていて(大学の会員数の変化は比較的小さい)。
- 企業の研究者は、同業者が集まられている協会や技術組合で技術を磨かれるようになった。そこで大学と企業とが少し切れだした。
- 1990年代、2000年代になると、大学は自分たちでお金を稼がなければならなくなった。いろいろな意味でお金が外から必要になった。あるいは、周りからのプレッシャーで研究に対して社会的に何の役に立っているのかという即効的、直接的な要求のプレッシャーが強くなった。
- 87年から88年にNASAに行った。NASAはお金をかけるわりには、その技術が社会に生かされていないのではないかといわれて、スピニアウトが強く言われた。NASAの技術をスピニアウトしろと言われても、そのためには、5年から10年くらいの長期の年月がかかる。その流れが日本にも遅れてやってきた。社会にもっと役に立つことが工学の役目でしょというプレッシャーがものすごく強くなった。ただし、短期間の成果が重視された。他方、科研費などでも、かなり特化した先鋭的な内容にお金が投下されるようになった。法人化以降か、2000年以降かもしれないが、先鋭的プロジェクトとしての国のお金も大学にかなり入りはじめていたと思う。

- 1990年代がこの流れの移行期だったと思っている。

(大学、企業の2000年～)

- 90年代あたりに企業の研究所も再編成がかなり行われた。原子力の技術者が電子デバイスを担当するような配置換えが頻繁になる。しかし、基盤研究という学術については、企業のそのレベルは落ちていなかった。なぜなら、80年代までに基盤的な知識や経験を獲得した優れた方々がいて、場所を移られても企業の中にいて十分活躍されていた年代であったからである。しかし、2000年になると、その方々が企業の第一線から抜けていかれた、アドバイザーとして残られていて、急に抜けられたわけではないだろうが、90年代は現役で十分おられたのだが、少しずつ現役からひかれて、本当に抜けられていったのが2000年代である。
- 大学も同様で、70年代、80年代まで第一線でバリバリ工学基盤研究の研究をやられていた教授が世相の変わり方によって、非常に特化された方向に向かわれた。例えば、世の中がファインセラミックスに注目すると、研究者もファインセラミックスに向いていった。そのような特化が押し進められたのが90年代初めだった。この頃は大学の中でも基盤研究を知っている人が特殊なところに基盤研究を適用しようとして、十分ポテンシャルをもって適応していた。
- 大学において、基盤研究を60年代から90年代へと支えてこられた方が退職されるのが2000年前後であった。そこで世代交代が起こった。私が40歳代の頃で大学の世代の中心になった。
- この世代は1980年代までにドクターをとっているのだから、所謂基盤研究を、教養を高めるのと同様に研究を通じて詳細まで経験している。しかし、1990年代は、お金をとるためにも、将来研究のためにも、専門性を特化して押し進めた。その特化がどこへ向いていったのかというと、一つは微小化、マイクロ、ナノ、原子という方向。原子のオーダーで考えると、全体では相当な数であるが、実はその原子の数の中間のところで起こる現象が多い。原子1個、10個、100個、1000個で、集団で起こる現象が変わってくる。もう一つの特化はバイオ。生物を工学としてみようという方向であった。科研費もプロジェクトも特化の方向で提案しないとお金がとれない時代であった。今でもその傾向にあり、プロジェクトの中で基盤研究に近いものをみていくと、ナノ、バイオに収斂していく。それは工学の基盤研究のひとつの部分である。基盤研究とは広いもので、未知のことに対応できるもの。ある部分的なところだけをやっても未知のことは対応できない。選択と集中が強くなったのが2000年代であった。現在のナノテクノロジーやバイオテクノロジーに対する研究投資の集中化はこの流れに即する。
- 例えば、破壊力学は、今日にも残っている基盤研究で、その中にナノの破壊力学（破壊ナノ力学）がある。破壊力学にはナノに限らず更に大きな基盤もある。また、材料の強さの観点からは、それよりも広い領域の知識が大切である。それが、図10-1の初級、中級である。

上級基盤	破壊力学、損傷力学 モデルの科学(FEM, BEM, PF, DDD, MD, DFTなど)	先進複雑材料学(複合、生体、ナノ など)
中級基盤	弾性力学(基礎偏微分方程式) 塑性力学(非線形構成式) モデルの科学(FEM)	材料基礎学(変形・破壊の現象論)
初級基盤	材料力学(応力・ひずみの概念)	材料基礎学(物質の基本特性)
基礎 教養	数学(微分積分、線形代数) 化学	物理(力学) 物理(電磁気学、量子力学) 生物学

図10-1 材料強度に関する力学

出典：https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2017/WR/CRDS-FY2017-WR-09.pdf (2022年3月現在)

- 2000年の世代交代の後に、次の世代交代 が2020年前後くらいで起きている。私も現在退職し、大学の中では次の世代に中心が移っている。次の世代は博士論文も特化された分野の中で研究をやっている。破壊力学を専門にしているのではなく、特化された一部の破壊力学（例えば、ナノの破壊力学）を博士課程学生の時代から専門にしている。もちろん、教科書的な破壊力学の基盤研究は理解しているが、基盤研究は維持だけでなく発展しなければ特化部分も深化させられない。現状維持だけでは発展につながらない。言い換えると、山は裾野が発展しないと高くないように、基盤研究は全体が発展しないと特化した部分も発展しない。基盤研究を裾野から高くすると特化の部分も高くなるという相関関係は考えられていない。企業の中も同様、私と一緒に育った人は2020年頃までに引退され、次に第一線の研究者は特化された中で育った人である。
- 工学基盤研究に衰退が起きているのなら、教科書的な基盤研究はそのまま残っているが、「発展させる」、「前進する」ことが抜けていることになる。また、今の教科書的なものは1980年代までの「常識」を纏めたものが主であり、その当時の最先端研究知識は教科書として整理されていない部分も多い。2010年くらいに、バランスを崩し問題が顕在化してきた。

3. 海外との差異

- ヨーロッパは伝統があって、先進的なところにお金を投下するし若い人もそこに集まる傾向はあるが、基盤研究の部分を高くしないとある部分を高くできないと理解している。特にドイツは知っているように思う。基盤研究をやっていく風土、土壌がもともとある。
- 技術開発には、ヨーロッパ型とアメリカ型があると思う。ヨーロッパ型は成熟した先進技術国の在り方を示しているように思える。先進技術国なので、先進技術に投資しなければならないことは当然で、それについては日本も頑張るべきだが、バランスがあって、今は先進技術対基盤研究技術が100対ゼロになってしまっているのではないかと。基礎というと、基礎物理、宇宙の話であったり、純粋数学の話であったりする。これは教養を高めて人間としてのレベルを上げることとして重要だが、技術についての基盤研究というのは、これから未知の技術が要求されるときに、それぞれの場面で広い基盤の中から知識を拾い上げて、役に立っていきけるような技術として形をつくるために必須のものである。これは、ある割合で投資しないと山は高くない。基盤研究をあげながら、特化のところにも資本投下する。これがないと、国としての高さで比べると負けてしまう。
- アメリカは人の入れ替わりが激しい国なので非常に柔軟で、基盤研究をもっている力のある人がくることで、研究が進んでいるように見える。技術的な覇権国として世界中の能力の高い研究者が集まることを前提に、

アメリカの中では特化していることに注力している気がする。

- 中国は、学術的なところには急速に力をもってきており、日本の50年代から70年代の勃興期のような、応用と基盤研究の研究がいつぱんにきているような、さらにそれが迅速かつ拡大して周っている様相である。技術を輸入する中で基盤研究が重要であることを理解し、それも含めて発展させているようだ。工学基盤研究の人材も育成されつつある。

4. 現状の問題点

- 基盤研究を前進させてきた世代は、2000年には引退している。その次の世代は博士論文の時には身につけているが、自分でお金をとって前進させてきていない。基盤研究は知っているがある特化した専門分野を前進させてきた世代も引退してきている。今は、基盤研究は教科書では習っているが特化から入った人で、そのような人がトップリーダーになっている。ある特化した分野ではものすごくわかっているが、基盤分野の研究を行ってはいない。自分の経験上、微妙な差異まではやっていないと思う。それが一番大きな問題点で、基盤を、身を持って体験してきている人がいなくなっている。

5. 今後の方向性

- 今は、特化：基盤は99.9：0.1。これを99：1に、90：10にしていきたい。基盤研究への投下が少ないことが現在の風力発電機器開発等のような国産技術の遅れの問題にも出てきているのではないか。この基盤として貢献できるのが、トライボロジー、破壊力学、流体力学であるかもしれない。風力発電機器は機械なので、機械工学で基盤研究になるようなものという、流体力学、材料の破壊や強度の力学、熱の力学、振動の力学がある。これは昔から機械をつくるために必要な力学であったのだが、基盤研究であって、水素燃焼タービンであろうが、風力発電であろうが同じである。基盤分野はこのように機器等を越えて一緒に学術である。機械工学では、ほとんど四つの力学から出てくる。
- 今、何をすべきかという、技術という側面からの基礎の学術に資本投下、お金だけでなく、人を育てることも含めて、大学の拠点化からネットワーク、お金の出し方も短期集中型ではなく、長期持続型。そうするとマネジメントが全く異なる。いかにして研究課題を選ぶか、いかにしてその人が出した研究成果を評価するか。毎年評価しなければならない。今やっているのは短期集中型かつ先端特化課題型のプロジェクトで行っている評価なのだが、そういうプロジェクトの取組み方は合わない分野である。
- 京都大学の近くに、日文センターというのがある。これも長期のプロジェクトのものである。評価や人選などどのようにしているのか興味がある。長期的な考え方を変えたようなプロジェクトがあってもよいのではないか、それによって、0.1を1にして、効果を上げることができる。
- 今後、海外とのネットワーク、シニアとどのあたりでつなぐの、人材の育成には工学基盤研究の研究を知ったチューターがどうしても必要になる。
- 特化した専門分野を突き進んできた先生方は、基盤研究の部分が問題であることについては、今の社会から先鋭的ですぐに役に立つことを求められているため、それを重視していない。先鋭的な部分の必要割合を9割、基盤研究を1割などと認識するかどうかは、その人による。
- 今、さきがけのプログラムに関わっているなかで、若い人たちは、更に特化型になっている。私はプログラムとして、トランススケール、全体の題目に結び付けようとしている。若い人に広い目で見てもらえるようにしたいと意識している。広い目をもとうという人は少しずつ出てくると思っている。例えば、材料の強度については、力学はセラミックでも金属でも高分子でも、材料は問わず一緒である。そういう見方ができるか、特化した中では当然できない。少し引いて分野の全体像をみると、その共通性を見出すことはできる。

以上

10.1.2 岸本 喜久雄氏（日本工学会会長、東京工業大学名誉教授）

日時：2021年6月23日（水）

1. 大学における工学基盤研究の歴史的变化

- 東京工業大学130年史（以下、東工大130年史）をもとに工学基盤の変遷について話を進める。
- 工学基盤研究が変容してきたのは、平成時代からの社会的変化が、大学の在り方や研究に影響してきたことにある。

（創立1881年から1981年）

- 創立から1981年までは、大学で描いた将来計画などの方針の基に大学を発展させてきたという歴史になる。創設時の単科系大学から、戦後になって理工系の総合大学を目指して、その象徴として大学院だけをもつ研究科を長津田キャンパスに新しく発足させるまでの歴史である。
- 総合理工学研究科は、大学院だけをもつ研究科で、従来の工学部や理学部といった各産業分野別にあった基礎学問に根付く編成から、課題が複合的になっていたことを背景に横断的な学問分野をつくる目的で発足した。日本の産業界も発展していた時期で、そのニーズに合わせていくという意味もあった。時代の流れに合わせてながら大学が発展していくストーリーになっている。

（1982年以降の30年）

- 生命理工学部がバイオテクノロジーの重要性から創設された。生命理工学部は学部であるため大岡山に設置しようとしていたが、当時の東京都内への一極集中を避ける政府方針の影響を受けて叶えられず、ずずかけ台に設置することになった。その影響で学部教育を大岡山で行うという構想が崩されてしまい、2つのキャンパスのデザインが狂ってしまった。
- 自分たちが一生懸命に計画して進めてきたことが外的要因で変容させられるようなことが起こってきた。

（1991年（平成3年）から：平成時代）

- 1991年から政府主導の大学改革が始まる。設置基準の大綱化ということで、大学の教育を、一般教養という形ではなく自由な形で行うことになり、カリキュラムの編成が行われた。従来の学科に根を置くカリキュラムから新しい教育を行うカリキュラムの再編成があった。言い換えれば、従来の科目を削りながら新しい科目を入れていく動きである。
- 大綱化前後で学生が習う科目が変わってきた。
- 学生が授業科目を自由に選択し学べるようにもなった。授業を必須にしなくなると、所謂基礎的な科目は勉強するのに時間がかかるので、学生は卒業しやすい科目を選択するようになった。
- 1993年くらいから、大学間同士の競争をとり入れていくことになった。研究に重点を置く大学については、大学院に軸足を移すことになる。この頃から研究室に割り当てられる公費が少しずつ削られ苦しくなっていた。大学院を重点化すると予算が増額されるという期待もあって、大学院の重点化が図られた。東工大の場合は、1994年から2000年にかけて順次研究科に学科を移すことで重点化を行った。従来の学部の中の基盤的な学科だけでは予算獲得につながらないので、新しい学問や発展する分野であること（斬新な部分）を強調し、大学院を拡充するやり方で重点化を図った。
- それが一段落したのが東工大の場合2000年くらいである。
- 省庁の再編は2001年で、平成時代の日本は産業界なども揺れ動いていた。大学もこのように苦闘していて、省庁再編成を迎えた。省庁再編成は象徴的な出来事であった。

2. 工学基盤研究が失われてきた背景

- 時代を戻すと、1982年から平成時代へと、工学部は社会の動きを敏感にとらえて学科編成を変えていった。
- 一つの学科の学生や教員の定員を増やすことは認められ難く、新しい分野であることを主張して学科を新設しなければならなかった。
- そのため、機械工学、電気工学という伝統的な科名ではなく、いろいろなカタカナがついた学科や新しい学問分野をつくっていくのがこの時の動きであった。
- 他方、新しい動きに対応することで、基盤分野が徐々に薄くなっていった。

(1982年～)

- 下記図10-2の1982年時の学科編成を見ると、金属工学科、有機材料工学科、無機材料工学科、化学工学科、高分子工学科と分野別になっている。
- 一方、機械系の学科には、伝統的な学科である機械工学科があるが、機械工学科の定員を増やす場合、新しい内容を盛り込んで学科をつくることをしながら定員を増やしていった。したがって、機械工学分野でありながら、違う名称の学科を順次つくっていった。例えば、生産技術に対応するというで生産機械工学科がつけられた。さらに物理など科学に重点を置いた機械工学をやるべきだということから、機械物理工学科がつけられた。その後、制御が入ってきたので、制御工学科が誕生した。このように学科を増やしながらい定員を増やし成長してきたというのが、一つの流れであった。
- 1983年には、高分子学科から、バイオの学科をつくるため、バイオ関連の教員を集めて生体分子工学科がつけられた。このように教員を異動させながら定員を増やし、新しい学部をつくっていた。足元を充実させるよりは発展することに重きを置いていた。

(1993年～(大綱化の後、大学院の重点化のすぐ前))

- 1993年には、機械工学分野について、学科を再編成するため、学科名を機械科学科、機械知能システム学科、機械宇宙学科など“ファンシー”な名前に変更することになった。背景には、東工大の中で、学科同士で、進学する学生のとりあいといった競争があった。学生や産業界に対して、学科の魅力をアピールしようとした。
- この頃、他の大学においても同様に様々な学科名称に変わっていった。他方、この動きの中で基礎の部分がおろそかになっていったかも知れない。1993年から平成時代でどのような状況であったかを考えてみると、その時代の雰囲気にも大学も影響されたのではないかと思う。
- 1995年に開発システム工学科がつけられたのは、留学生を増やすことと、日本が海外に展開するという目的からで、各学科から先生方を出してつくった。そうするとこの学科と他の学科との間で垣根ができた。といった学科の再編成を繰り返して2011年まできている。

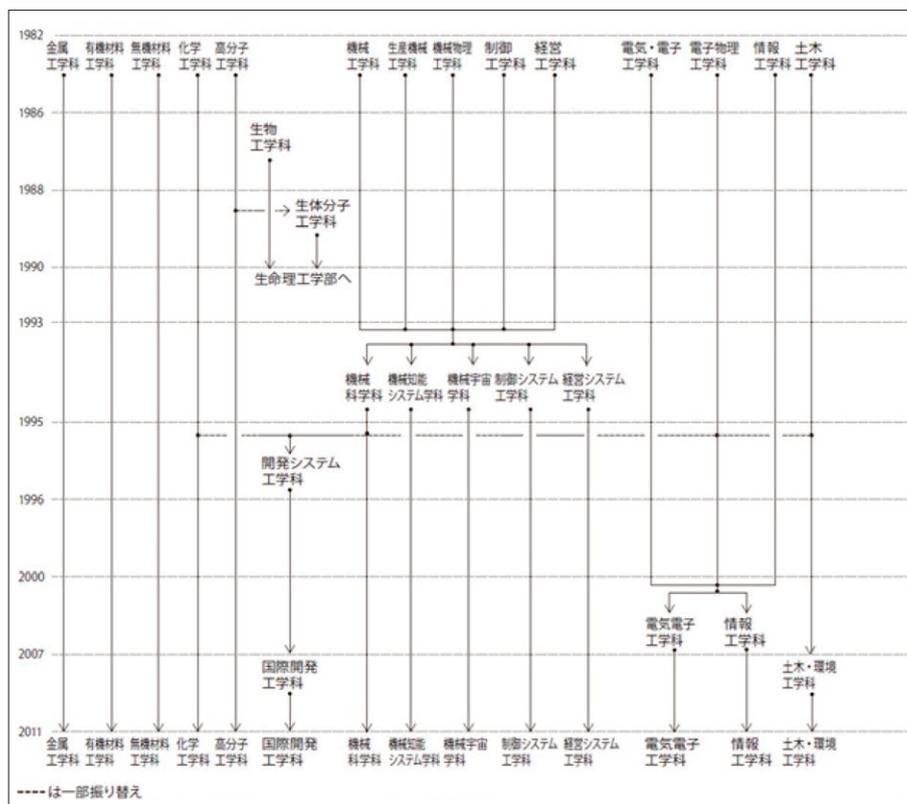


図10-2 1982年以降の東京工業大学工学部の変遷
 出典：「東京工業大学130年史」2011年

3. 工学基盤研究に充てていた研究費：工学基盤研究費が削減される背景

- 従前は、学科創設のために資金が手当され、新たに設備などを揃えることができた。しかし、1993年くらいから十分な予算がなくなり、看板は掛け替えたけれど、施設整備などは満足にできなくなった。
- 大学にくるお金を増やそうとして、大学院の重点化を目指したが、重点化が終わったところで、実際には交付金はほとんど増えずに、そのあとにすぐに2004年の大学の法人化に入った。

(2004年大学の法人化～)

- 2004年の法人化以降は、法人として独立して大学運営をやりなさいということになり、この頃からが予算的に相当厳しくなった。従前の予算の積み上げ方式ではなく、交付金を一纏まりとして大学に渡すので、内部での配分については大学で考えよ、ということになった。人件費についても同様になった。ただし、これが決まった後に、1%ずつ減額する効率化係数によって交付金は毎年減額されることになった（現在、ようやく効率化係数をとめる話がでてきている。）。
- 大学としては、法人化に伴って必要な経費が増えたが、反対に法人化後は交付金を削減され続けられた。
- 減額されたお金については、競争的資金で補うとされた。競争的資金は、研究費だけでなく、大学改革や教育改革の名目にしたものもあった。すなわち、経常的に使えるお金を減らしつつ、競争的資金でその穴埋めをするようになった。
- 競争的資金獲得のために大学に宿題が出されるようになった。例えば、国際化に遅れているなど、大学に改革を要請するようなレポートが多く出され、そのための競争的予算がついていた。
- 人件費は交付金に含まれているが、文科省からくるお金が増えない中で、給料は年々上がっていく。法人化で大学が行わなければならないことが増えてくると、管理のための人件費も派生してくる。すると、教員を採用するお金がなくなってくる。若い人たちのポストもなくなってくる。このため若い人たちの給料はプロ

ジェクトから捻出するようになる。プロジェクトで雇用される人達は、基礎的なことをやっているが業績につながらないため、基本的にプロジェクトの仕事しながら新しいことに取り組み、時間がかかる基礎的なことをやらなくなる。こうして、工学基盤研究が薄くなっていったと思われる。

- 平成時代は失われた30年とも言われ、日本中が悪戦苦闘していて、大学も同様であったように思える。
- 基盤研究が変わってきたのは、このような平成時代の状況と、そこからなんとか抜け出したいと頑張ったことの帰結なのだと思う。果たしてその方向性が正しかったのかということだと思う。
- 新しいことをやらなければならないと格闘する中で、大学として失ってはならないことを失っていったのかも知れない。
- なお、東京工業大学は、2016年4月に学部と大学院を統一した学院制に移行した。学科も材料系や機械系のように大括りとなり、6学院17系に再編成された。研究組織も再編成が行われた。今後、教育、研究の両面で成果がでてくることを期待したい。

4. 工学基盤研究の学術的位置づけ

- 新しいことをやるためには、基礎となる学術的なところしっかりおさえておくことが必要で、そこに、工学基盤研究の必要性がある。
- 工学基盤は単に知識としてではなく、自分でも手を動かしてみないと本当のところは身につかない。基盤がしっかりしていないと、新しいことに取り組んだときに、どこに課題があって、どうすれば解決するのかの道筋を明確にすることができず、場当たりのようになってしまう。
- 個々の論文は断片的な知識で、それらが積み重なって、ある分野に対する考え方が固まってくる。その内容を、後世の人が関連する論文をすべて読むのではなく、体系的に理解できるようになるために専門書や教科書がある。それらを執筆できる研究者がいて、知識を体系化することが重要である。
- 今までのものに新しいものも加えて体系化して、より俯瞰的に理解できるようにするというのが、基盤の形成である。それによって、次の時代の人には新しいものに挑んでいくことができる。
- 日本では専門書が激減している。専門書を執筆できる人も忙しくて本を出さなくなっている。そうすると体系的に理解しようとする人が頼りにする本がなくなってしまう。
- このようなことも、基盤が弱体化していることの一面ではないかと思う。

5. 産業界との関わりの変化

- 産業界の人達も大学に来て、体系的な観点から学術的な話を聞こうとする人が少なくなってしまったように思う。大学の教員側も対応できる人が少なくなってきているのかも知れない。
- 以前は、研究室に卒業生などが出入りして、共同研究のテーマは決めるものの、実際には半分雑談をするといった交流があった。今はこのような成果を説明できないような共同研究では、企業が認めなくなっているのではないか。
- 論文博士の制度は、企業の研究者が長年に亘って取り組んできた研究成果を体系化でき、大学は企業から新しい知見を得る機会となるので、企業と大学とのつながりとしてはとてもよかった。しかし、このような関係がもてたのは、産学連携の契約を厳しく扱っていっていなかった時の話である。博士課程の定員充足率を上げることを狙って、論文博士は縮小されてしまった。大学も、お金が入らない共同研究は敬遠する傾向にある。
- 大学と企業との組織的連携による大型の共同研究では、ややもすれば、企業の上層部の人たちが出てきて、見え易い短期的な成果を求めるようになりがちである。そうでない共同研究もあるが、企業側の研究者にとっても組織的連携プロジェクトでセレモニーが多くなると負担が増すといった弊害がある。
- 一方、企業が海外に出したプロジェクトでは、期待される成果があがっているというが、海外の大学との繋がりを重視する担当者が成果を持ち帰るので、評価は高めになる傾向があるように思える。資金も国内に

比較して圧倒的に大きい。

- 海外の大学と長期間に亘って共同研究をしていくうちに成果が出たという例もあり、企業は海外の大学に対してはおおらかである印象だった。現在は変わっているかも知れない。
- 産学連携で基盤を強化するという点では、長期的な視点で共同研究を組織的に行う枠組みをつくっていくことがよいのではないかと。共同研究寄付講座の設置など、人材育成も含めた長期的な共創の場をうまく作り込めるとよいと思う。異分野の人たちが集まる機会をつくることも良いであろう。直接的な成果に拘らない研究マネジメントが求められているように思う。

6. 工学基盤の大学の拠点事業について

- 力学基盤ということでは、日本学術会議の力学基盤工学分科会で大型研究計画「未来社会のための理論応用力学研究拠点ネットワークの形成」を纏めた。（<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t286-3-2-126.pdf>（2022年3月現在））
そこでは、拠点大学のネットワーク化を目的とした「基盤構築」について提言したが、それを提案として成立させるのが難しかった。基礎で新たにどのようなことに取り組むのかをうまく説明しないと必要性が理解されにくい。どの分野でも基礎が必要ではないと言われると、この分野で進める必要があると主張するには工夫が必要である。
- 日本の場合、応用力学の研究者は、例えば、機械、土木、建築などの分野に分かれて存在している。現在、学科の改組があると、応用力学は成長するというよりは縮小傾向にある。力学全体を対象に将来に向かって取り組むことができていることが海外と比べても弱い。
- 現在、日本工学会に理論応用力学コンソーシアムをつくり、力学関係の研究者がいる学協会が集まり、力学分野の再編成の取り組みを行っているところである。
- 様々なテーマで力学関係の研究に取り組んでいる人たちが日本の中にいることをお互い知ることによって分野の厚みを増すことが、ネットワーク形成の目的でもある。
- 国の支援も期待したいが、自分たちでもできることをやっていかなければならないと思う。
- 流れを変えるために、工学基盤が大切だというメッセージを発信することも重要だろう。

7. 今後の方向性

- 世界の力学研究者の組織体である国際理論応用力学連合 International Union of Theoretical and Applied Mechanics（略して IUTAM）のビューロメンバーに2020年11月に任命された。この連合において、研究者の多様性が課題になっている。世界中の研究者が力学の問題にどう取り組んでいくか、若い人たちをどうエンカレッジするのかといった課題がある。
- 国際プロジェクトの中で日本の工学基盤形成のネットワークを強化するという点も重要であろう。
- 科学技術を国際的に展開していくことの重要性が増すなかで、国際交流の目的とは何か、最大の効果を発揮するためには、どうしたら良いのかなど、国際交流・協力のための取り組みの方向性について検討がなされている。ファンディングの工夫もあると思う。
- 日本のファンディングの多くは、国内プロジェクトと国際プロジェクトを分けているが、世界的なネットワークの強化との観点からは、このような区分をなくすことも一案であろう。例えば、「さきがけ」のようなプロジェクトの中に戦略的に海外の若手研究者も含めて研究者チームを構成していくことで、研究分野の厚みを増やしていけるのではないだろうか。
- 経済安全保障の配慮も必要であろう。力学基盤に関する研究は日本が世界を必ずしもリードしている状況にはないので、日本の中だけに留まっていたら、取り残されてしまう。基盤的な共通テーマを設定して、国際展開をする工夫が求められる。
- 最後に、工学基盤分野を強化するためには、若い人たちにとって魅力的で、やりがいのある研究テーマに

溢れた分野であることが必要である。そのためには、関係者の努力が求められよう。

以上

10.1.3 船崎 健一氏 (岩手大学 理工学部 システム創成工学科 機械科学コース 教授)

日時：2021年7月14日（水）

1. 大学における工学基礎基盤研究の歴史的変化

(1991年大綱化、2004年大学法人化以前、以後の変化)

- 1990年以降の変革期にIHIから大学に移った。大学院の重点化の頃までが大学のピークであった。
- 2004年の法人化以降の変革が大学にとっては極めて大きなターニングポイントになっていた。それは1991年の大綱化も関係していたかもしれないが、例えば大綱化や独法化前であると、実験系、非実験系、文系、理系の予算のメリハリが明確であった。理系、実験系に非常に厚い予算があった。それが平準化としては悪いことではなかったのかもしれないが、理系に予算を厚くすることがなくなり、工学部の予算が大幅に減った。
- 理系のほうが文系よりも設備の導入、維持にお金がかかる。長期的な予算が把握できないと投資計画がたてられない。このような状況が理系、工学基盤系にとって、大きなターニングポイントであった。
- 更に独法化以後の運営費交付金の削減があり、理系にとってやりにくい状況になった。
- そして、国が予算を配分するという提案型に変わっていった。経常費のようなものでなく、事業費のような申請ベースで予算をとっていくという状況は基盤系にとって厳しい状況であった。
- この傾向は、理学系（例えば天文系）の先生方にとっても、工学系に先んじて感じられたのだと思われる。すぐにお金にはならないが、長期に取り組まなければならない研究が影響を受けてきた。
- 提案型の研究となると、いろいろな分野の研究が競争させられることになるので、他分野に勝る魅力をどのように工学基盤系が示せるかということが重要になる。基盤系が重要でないという人はいないのだが、工学基盤系は成熟し、投資効果が明確でなく、100億円投資して、工学系で得られるものと、他分野で得られるものとの、どちらが投資効果が大きいかというと、工学系のほうが裾野が広がってきた分、すぐに儲かる、大きな発見につながるということにはならないため、予算がとりにくい。その状況が10年、20年も続いて現在に至っている。
- 大学の予算が減少すると、物品のみならず人件費を削ることになる。どのような分野の人件費を削るかという点、工学基盤系はインパクトファクターの出る新しい分野と比べられ、人件費削減の対象になりがちである。また、若手や女性研究者の採用比率を高めるよう文科省から各大学ともいわれているが、若手や女性は工学基盤系とは別の魅力を感じる分野を専攻する傾向がある。ますます研究者確保という点でも非常に厳しい状況にある。
- 以前の大学には、お金的にもマンパワー的にも余裕があった。実験系ということで、1講座数百万円くらいあった。それが現在、研究室では10分の1くらいになっている。
- 当時の講座費は150万円くらいだった。当時の物価から考えると、現在の500万円、600万円、かなり豊かであった。
- 当時技官という人もいて技術の継承もできていた。工学基盤は時間をかけて若手に継承していかなければならない。この伝承を技官が担っていた。当時は助手も各講座に1、2名はいたので、新しいところに助手がチャレンジして、基盤的なところは技官が行っていた。基盤をやりながら新しいものにチャレンジするという好循環があった。
- それが、総定員法によって教授、助教授の定員は維持するが、技官や助手の定員を減らしていくという、

基盤を維持し伝承する人件費が削減された。伝承も難しくなり、ものづくりの現場が弱くなっているのではないと言われるが、そこに繋がっている。基盤系の技術は一朝一夕に覚えられるものではない。学生時代の経験が乏しいまま、社会に出てしまうことが課題となっている。

(今日的な課題)

- 高校生に目を向けてみると、東北地方の進学校といっても、人口減で理系クラスの削減も進んでいる。一方、進学校で女子学生の数が増えてきているが、なかなか理系（医療・介護・薬学などを除く）に進学しない傾向がある。

2. 大学と企業との関係

- 大学が貧しくなってくる中で、企業との共同研究に活路を見出していった。企業との研究というと、学術的な研究に投資してくれる企業もあるが、多くはすぐに役に立つような研究に投資される。企業はグローバル化の中で高い技術をどこに求めるかという海外に求めるようになり、企業と海外の大学との連携が活発になっていった。
- 企業は海外の大学に投資し、ドクターコースの学生に研究をしてもらうようになった。企業にとって日本の大学との付き合いも重要なので、多額ではないが資金提供があり、付き合い方が変わっていった。
- 海外大学は設備投資をしている。基盤系は最新の設備投資がされているほうが強い。企業は、優秀な人材が集まり、最新の設備のある海外大学への投資を必然的に強める。日本の大学は、国にある程度支援してもらわないと、海外の大学には勝てない状況にある。
- 大学と企業の研究の違いは、大学は長期にじっくり取り組む研究で、企業は5年くらいの研究が行われるといった点である。中央研究所が企業にあった時代には、優秀な研究者が企業にたくさんいて、高いレベルの研究が長期にわたって行われていた。現在は開発系の内容が多く、研究を行うというよりも、研究のコーディネートが変わってきている。

3. 旧工業技術院の役割

- ガスタービンの分野では、サンシャイン計画において工業技術院主導でガスタービン開発が行われた。それが今の三菱重工のような売れるガスタービンをつくる企業を育てていた。このような流れの中で大学関係者も育てられたというような部分があった。基盤系への投資という意味では、工業技術院の存在は大きかった。
- セラミックガスタービンも結果としては、成功したといいにくい部分もあったかと思うが、素材開発の技術レベルがあがったという点では、長期の技術を醸成する環境をつくり出し、工業技術院が果たされた役目は大きかった。また、経験知を得られたこと、人材育成、教育面でも大きなプラスになった。
- 今、NEDOでの研究開発では社会実装が評価の対象になっているところがあるため、工学基盤研究の対象になりにくい傾向がある。各大学で築いてきた研究成果を生かせるチャレンジングな場が少ないことが課題である。

4. 事例としての風車発電

- 風力発電でいえば、機構学、トライボロジー、熱、材料の問題などしっかりと知識をもって、自分でいろいろなモデルをつくらなければならない。
- 風車ターボ機械の分野では長い歴史をもち技術も成熟してきている。そこに劇的な革新は生まれにくいと思われていて、日本では、「まだ風車やっているのですか。」という感覚でとらえられる。そこに大量の風車を導入して、デジタル化や情報化、AIを入れていくと新しい産業になると気づく前に、枯れた技術、終わった技術という感覚で、国内では投資の対象にならなかった。

5. 海外との違い

- アジアの大学はランキングを気にする。欧米はランキングに関しては気にしない。研究の中身や研究者の力量を評価する。研究者の目利きの力が日本ではどれだけ養われているのか、その点遅れているように感じられる。
- 研究を担う人材が、欧米ではドクターの大学院生で、日本では修士の院生であることの違いがある。ドクターの大学院生であれば、時間的な余裕もあり新しいチャレンジも可能である。修士レベルでは新しい課題にチャレンジするのは厳しい。欧州では、ドクターをとって就職する人も多く、産業界でも力をもって活躍できる。その差が工業の強さに表れている。
- 機械と電気、材料系の学科でドクターと修士の学生の推移をみると、工学基盤系科目の日本のドクターと修士の割合の傾向がわかるのではないかと。

6. 今後の方策

- 工学系基盤は、数理科学的な要素をしっかりといて、基盤を強固なものにしていく作業が必要である。そのための学問を大学教育の中でしっかり教えるような教育プログラムを提言していく。
- 日本の大学と海外の大学の違いは、諸外国では最初から研究者を色に染めないが、日本の場合には、早くからあなたは電気屋、機械屋と色に染めたがる傾向が昔からある。電気自動車の時代になると、機械屋の立ち位置は難しくなってくる。モーター化されていく動力源をシステムとして更に組み立てていくような能力が求められる。電気、機械の垣根を低くしてじっくりまんべんなく勉強できるようにするべき。そこに数学をプラスして強化していく。
- 今の大学生は数学が弱く、論理的に考えられなくなっているところがあるが、ものづくりが弱くなってきている原因なのではないか。
- 基盤系の論文は、じっくり取り組み厳しい評価をうけた研究が評価される。他方、新しいファンシーな分野ではジャーナルもたくさんありインパクトファクターも高い。科研費などの競争的資金では基盤系の研究は新しいファンシーな分野に負けてしまう。ファンシーなところを追い求めていくと、大事なところが抜け落ちてしまう。
- 基盤を維持していくために全てを維持していくのではなく、ある特定の部分を対象とすることに対しては、総論は賛成であるが、ある程度基盤系の予算をしっかりと確保することが重要。その中で多少の優先順位をつけ、メリハリをつけていきながら、予算計画がたてられるファンドが必要である。現在は資金が得られるかどうか、0か1か、0が圧倒的に多く、基盤系の長期的な計画が立てられない。
- このような基盤系を支援する調査があることは心強い。これからも基盤系の魅力をどんどん発信していきたい。
- 工学基盤系の重要性については、研究者は常に発信し訴えてきたと思う。その訴えが政治家に十分届いていないという問題はあある。

以上

10.2 ワークショップ「我が国の工学基盤研究の今後の在り方」

10.2.1 ワークショップ開催概要

■目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向けた研究開発は活発化しており、自国のエネルギー安全保障のみならず、産業的観点からも国間の競争は熾烈になりつつある。産業構造を大きく転換する必要に迫られている国も少なくない。そのような中、我が国の産業が引き続き競争力を維持・向上していくためには、新たなシーズを生み出す最先端研究のみならず、研究開発を効率的に進め実際のモノづくりを自ら実施できる科学技術力を保持し高めておくことが肝要になる。それを支えるのが工学基盤研究（機械工学、土木工学、化学工学、電気工学等の基盤的な分野における研究）であると考えられる。

こうした認識から、我が国の産業競争力強化を支える工学基盤研究の在り方について検討を行っている。これまでに工学基盤研究を取り巻く研究環境の現状や産学が連携して取り組むべき具体研究課題などの調査・検討を進めてきた。今年度は、国の工学基盤研究と産業構造の関係に着目し、日本ならびに日本と産業構造が類似しているドイツの状況について比較検討を行い、両国の実態や産業の今後の方向性などについて、有識者の方々との議論を通じてさらに考察を深めていくために本ワークショップを開催した。

殊に、本ワークショップでは次の点を中心に議論を行った。

- ① ドイツの産業構造とそれを支える工学基盤研究の実態と日本との比較
- ② 今後予想される日本の産業の変化に対応した工学基盤研究の在り方

■開催日時

日時：2021年11月2日（火）13:00-18:00

場所：オンライン

主催：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（CRDS）

■プログラム

13:00-13:15 開会挨拶・趣旨説明・事務連絡（15分）

13:15-14:30 産業界における工学基盤研究の現状と今後の産業変化を見通しての課題（75分）

- 話題提供：

佐田 豊	（日本機械学会会長、株式会社東芝 研究開発センター 所長）	（10分）
藤森 俊郎	（日本燃焼学会会長、株式会社 IHI 技術開発本部 技監）	（10分）
- 議論 （45分）

14:30-14:40 休憩（5分）

14:40-14:55 ドイツの産業を支える研究・人材政策（15分）

- 話題提供：

永野 博	（政策研究大学院大学 客員研究員）	（10分）
------	-------------------	-------

14:55-16:55 大学と産業界工学基盤研究の関わりや連携の在り方（2時間）

- 話題提供：

岩附 信行	（東京工業大学 副学長・工学院 教授）	（10分）
-------	---------------------	-------

- | | |
|--|-------|
| 北村 隆行 (京都大学 理事・副学長) | (10分) |
| 岸本 喜久雄 (日本工学会会長、東京工業大学名誉教授) | (10分) |
| 船崎 健一 (岩手大学 理工学部 システム創成工学科 機械科学コース 教授) | (10分) |
| • 議論 | (1時間) |

16:55-17:00 閉会挨拶

10.2.2 ワークショップ詳細

■開会挨拶

佐藤 順一 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター (CRDS) 上席フェロー)

環境・エネルギー関係、特にエネルギー関係の諸問題を解決していくためには、工学が非常に重要になる。しかし、最近、日本ではその工学の重要性への認識が薄れている。工学をハイテクではないという言い方をする方が、特に霞が関では非常に多くなっているように思われる。

工学は、エンジニアサイエンス、サイエンスに基づいているので、サイエンスとして未解明の部分がまだまだたくさんある。それを解決すること、それがどういうことに支配されているか分かることが、次のイノベーションにつながる。イノベーションにつながるということは、次の産業の高度化につながっていく。

我が国では、その点があまり考えられていないが、例えばアメリカ、それから欧州、ドイツ、フランス、イギリスではよく考えられていて、それらがイノベーションにつながる、工業製品につながっていくという考えの下に地道に工学の研究開発が行われている。その工学のサイエンスとしての追求が、いろいろな製品へ転換されている。我が国でも、諸外国同様に工学の研究開発をきちんと行っていかなければならない。

今回、この日本の工学をどのように考えていくか、工学研究の在り方ということで、これは産業にとっても非常に重要で、日本の各大学、研究機関においても今後どのように進めていくかということが非常に重要であるので、是非そのような議論をしていただきたいと思っている。

本日の議論は、単に工学は必要だ、頑張ろうというだけではなく、実際にこの議論から国としてどのような体制で推進していくべきかを念頭に置いて議論できればと思っている。

本日はよろしく願いいたします。

■趣旨説明

上野 伸子 (科学技術振興機構 研究開発戦略センター (CRDS) フェロー)

今日、カーボンニュートラルやSociety5.0、第4次産業革命といった政策の下に、新しい環境価値の導入やビッグデータ、IoT、AIなどの技術を用いた産業変革が社会から要請されている。我が国の産業構造はというと、実質GDP比で約2割製造業が占めており、1990年代から一定である。

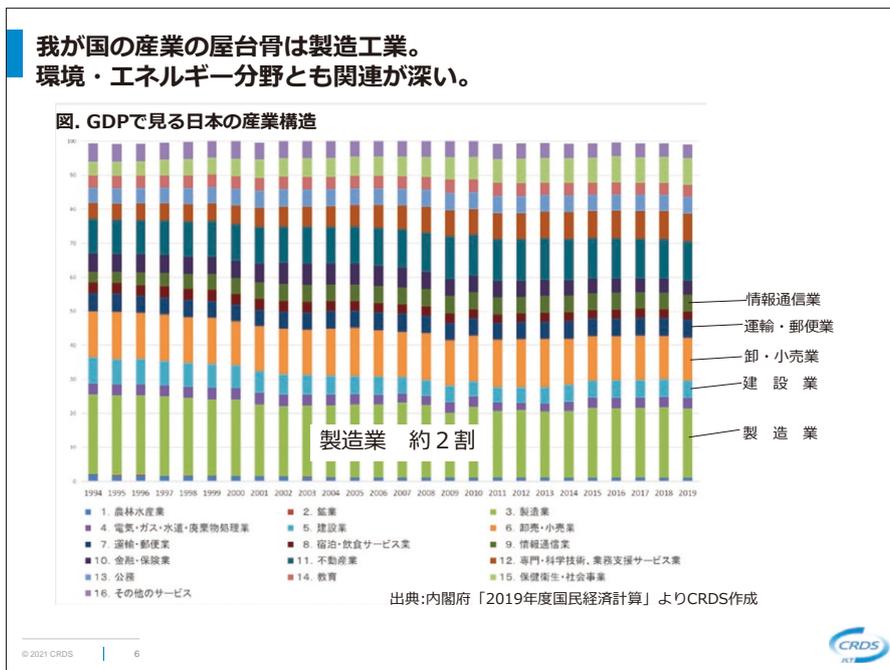


図 10-3 セクター別実質 GDP 比

出典：内閣府「2019年国民経済計算」よりCRDS作成

経済産業省が発表している鉱工業接続指数（生産、出荷、在庫動向や生産能力・稼働率を表す指標）を見てみると、日本の製造工業は1956年からぐんぐん伸びていて、1980年には日本の自動車生産台数は世界第1位になり、その後欧米諸国からの警戒もあって、基礎研究ただ乗り論や企業の中央研究所の廃止、リストラなどがあり、だんだんその伸びが鈍化停滞してきている。

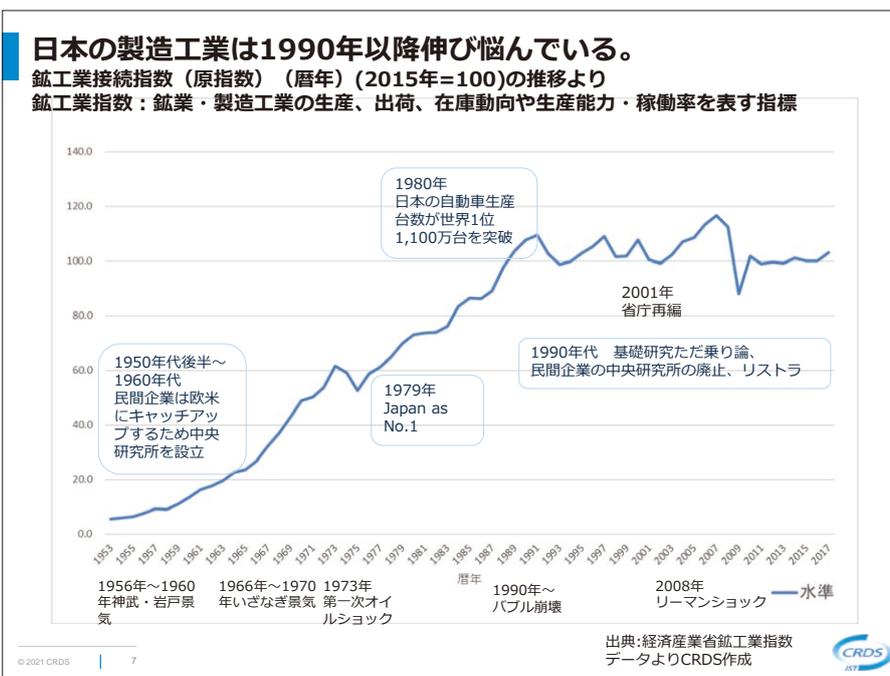


図 10-4 セクター別実質 GDP 比

出典：経済産業省鉱工業指数データよりCRDS作成

この製造工業を支える工学分野の研究活動について、機械工学、化学工学、電気工学の論文数の国際比較が図10-5である。左が2000年、右が2020年で、外側ほど順位が高い。日本が赤い折れ線になり、2000年から2020年には縮小しており、低迷している状況にあることが分かる。

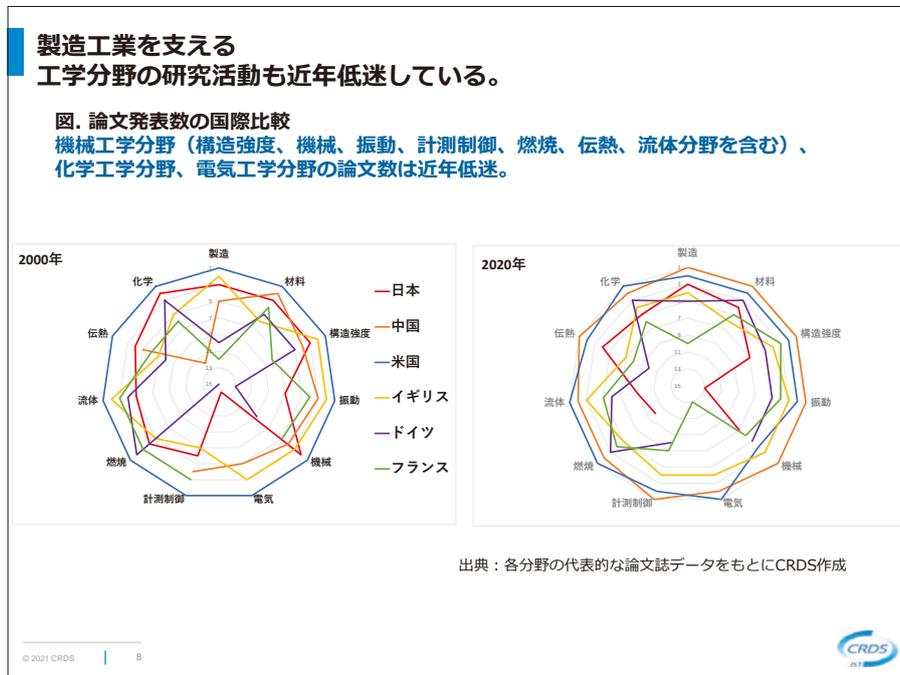


図10-5 工学分野の論文発表数の国際比較

出典：各分野の代表的な論文誌データをもとにCRDS作成

図10-6は産業構造の国際比較になる。図10-6の中の図1において、日本と類似しているのはドイツで、紫色の部分で製造業で両国とも約2割である。図10-6の中の図3、輸出額の推移では、ドイツのほうが好調な業績を上げていることが分かる。

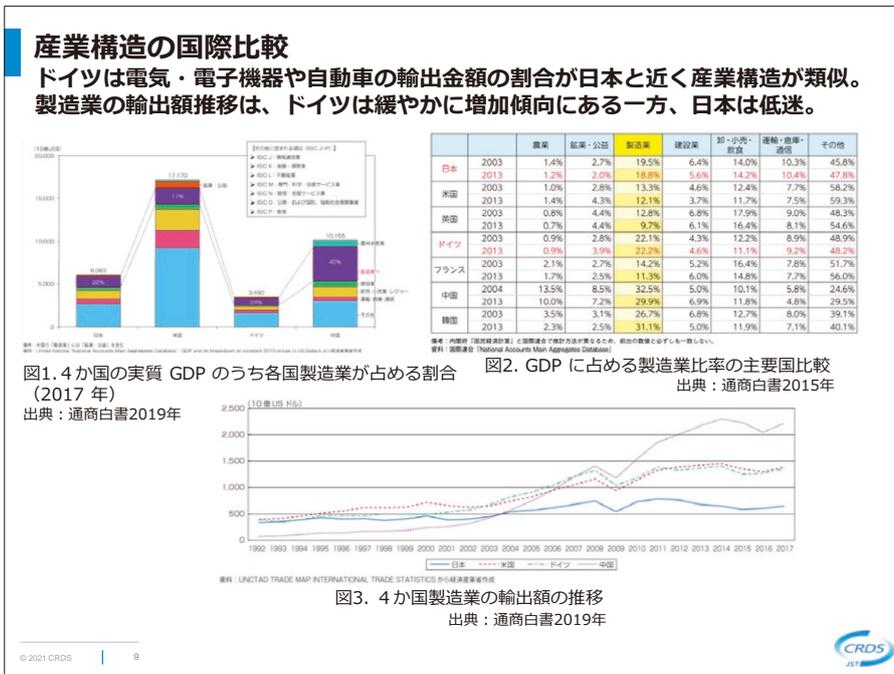


図10-6 産業構造の国際比較

出典：図1通商白書2019年、図2通商白書2015年、図3通商白書2019年

このドイツの製造工業の成長の推移を、鉱工業接続指数で見ると、1960年からぐんぐん伸びており、1990年に東西ドイツの再統一があった時には一時落ち込んだ。しかしその後、ユーロ導入やシュレーダー政権の経済構造改革「アジェンダ2010」、メルケル政権の「ハイテク戦略2020」、「インダストリー4.0」といった政策が功を奏してぐんぐん伸びているという状況にある。

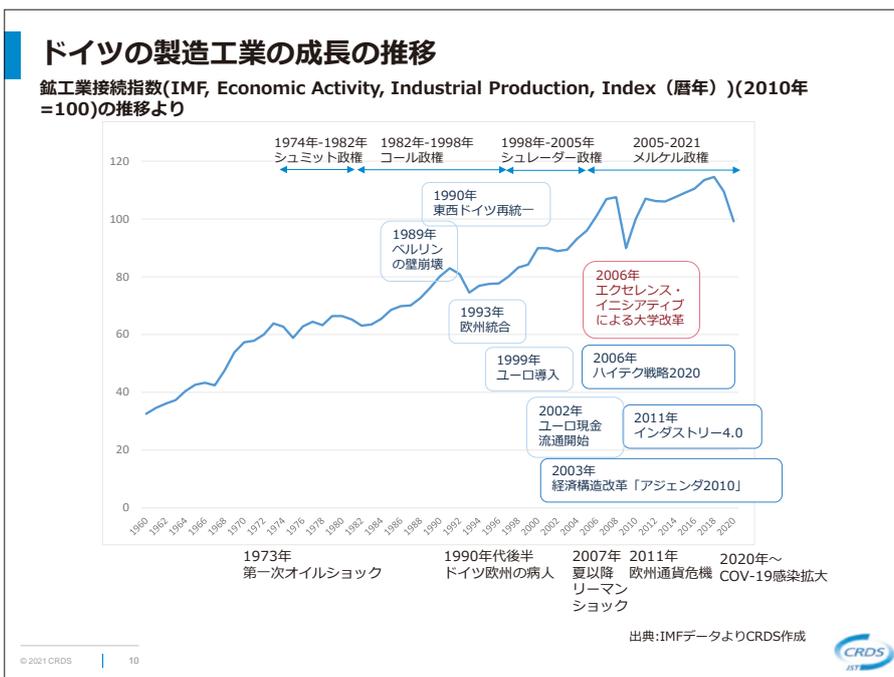


図10-7 ドイツの鉱工業接続指数の推移

出典：IMFデータよりCRDS作成

図10-8はドイツと日本の製造工業のGDP比の推移を示している。1990年から比べてみると、大体同じような傾向を示している。しかし、2010年以降を比べてみると、2016年からドイツは製造業のGDP比を下げ、生産高は上げているにもかかわらずGDP比を下げている。Industry4.0の政策により産業構造の転換がサービスや情報系に転換している可能性がある。

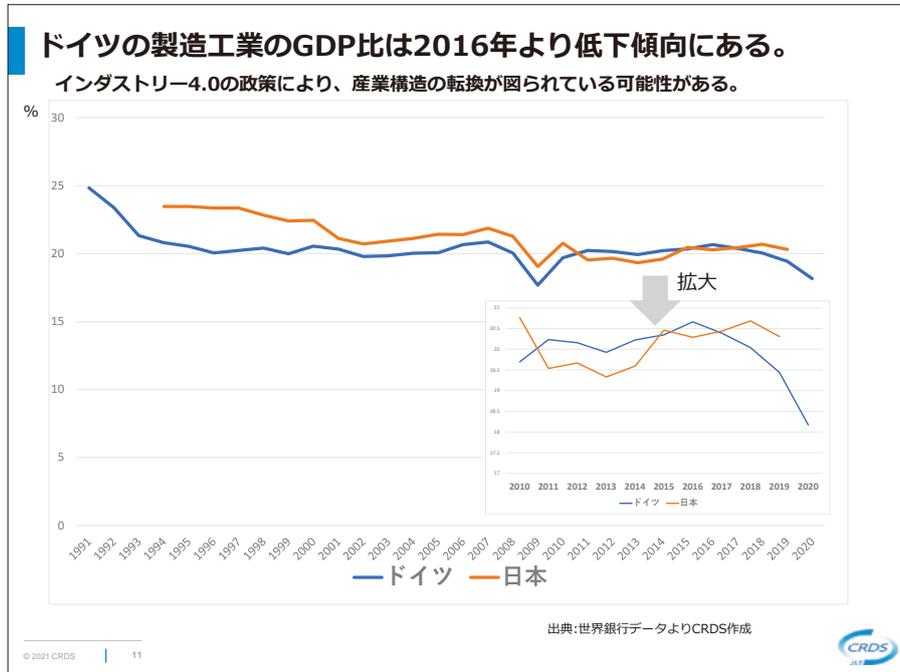


図10-8 日本とドイツの製造工業の実質GDP比の推移
 出典：世界銀行データよりCRDS作成

そんなドイツに対して海外の企業も注目していて、アーヘン工科大学、フラウンホーファー研究機構の生産工学拠点のビジネスパートナーに海外企業が顧客としてたくさん入っている。その中に日本の企業も含まれている。

図10-9はNISTEPが2015年に行った日本企業が海外の大学と共同研究をした実態調査に関するアンケート結果である。相手国はドイツに限らず、先進諸国である。工学分野が最も割合が高い。その理由は、工学分野に限ってみると、「日本の大学でも同様の研究は行われていたが、海外の大学のほうが研究水準が高かった」という回答が最も多い結果になっている。こういった傾向が強まると、日本の企業のビジネス構想やテクノロジーの次なる手の海外流出が危惧される。

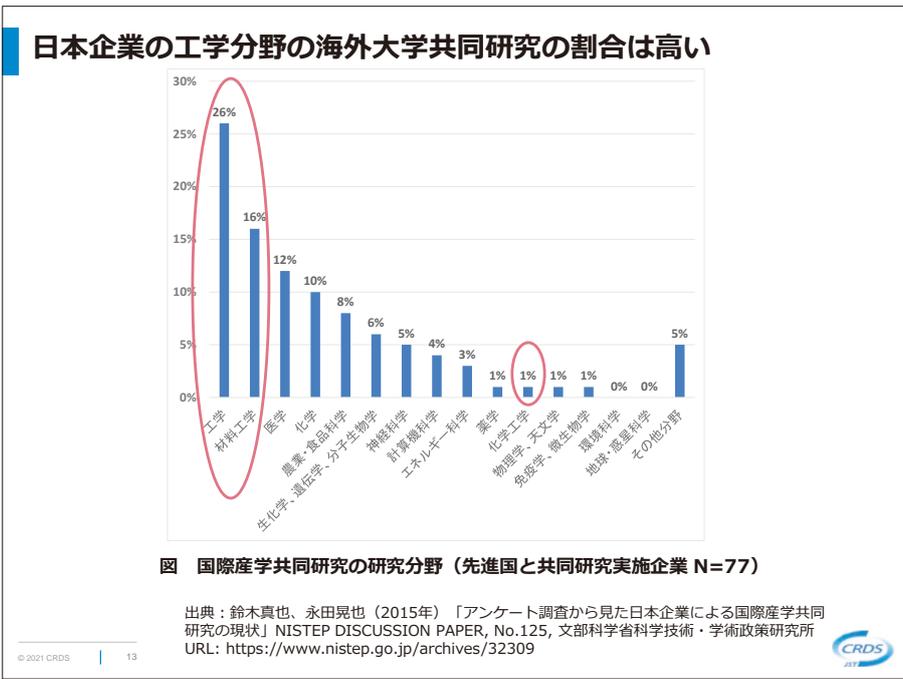


図 10-9 国際産学共同研究の研究分野

出典：鈴木真也、永田晃也 (2015年)「アンケート調査から見た日本企業による国際産学共同研究の現状」NISTEP DISCUSSION PAPER, No.125, 文部科学省科学技術・学術政策研究所 URL: <https://www.nistep.go.jp/archives/32309> (2023年2月現在)

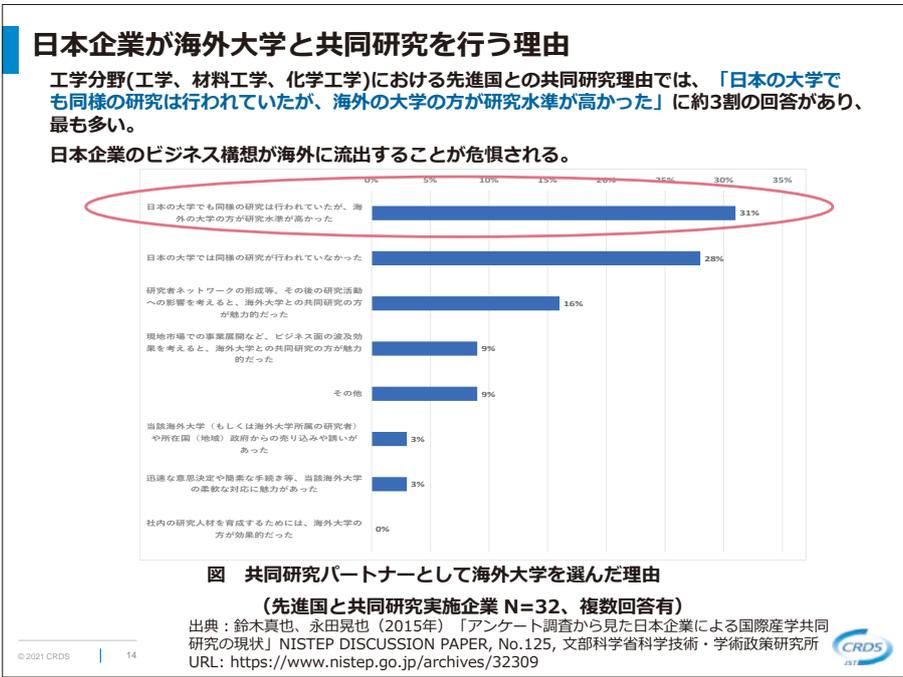


図 10-10 共同研究パートナーとして海外大学を選んだ理由

出典：鈴木真也、永田晃也 (2015年)「アンケート調査から見た日本企業による国際産学共同研究の現状」NISTEP DISCUSSION PAPER, No.125, 文部科学省科学技術・学術政策研究所 URL: <https://www.nistep.go.jp/archives/32309> (2023年2月現在)

私ども今回の調査を踏まえ、工学基盤研究を改めて定義した(図10-11)。左の軸に基礎研究、応用、開発とある中で、工学基盤研究は水色の濃い部分になる。工学基盤研究は、数学、物理、化学といったサイエンスと応用科学とオーバーラップしながら、その上の開発・設計・製造・実装にまでオーバーラップする基礎研究から応用にわたる工学の学術である。それらの知識が産業機械、輸送機械、エネルギー機器、電気機器、生産設備、土木建築などの性能アップや効率化、評価に資するものになる。学問分野でいうと、機械工学、土木工学、化学工学、電気工学といった伝統ある古い学術の分野である。

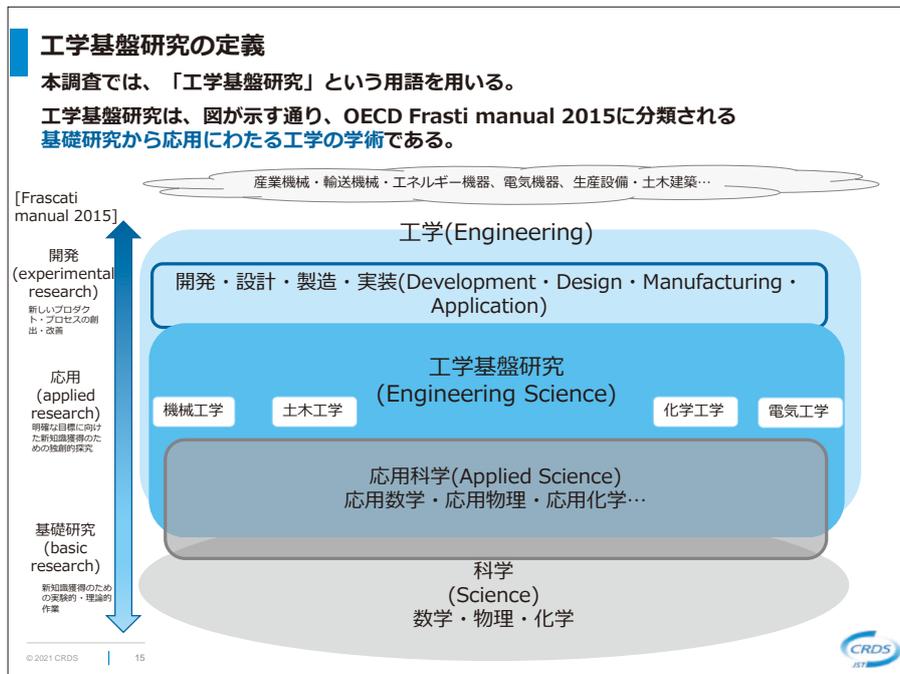


図10-11 工学基盤研究の定義

出典：CRDS作成

工学基盤研究が戦後どういった発展を遂げたかという点、図10-12は、鉱工業接続指数の推移のグラフに工学基盤研究に関連するイベントを重ねている。高度成長の時代には、サンシャイン計画、ムーンライト計画などで工業技術院がリードし、大学は主に運営費交付金で運営されていた。大学と企業の中央研究所などがタイアップして工学基盤研究をどんどん発展させていった。

その成果の事例として、ガスタービン研究開発や民間航空機FRJエンジン研究開発などがあげられる。ただ1990年代に大学において設置基準の大綱化や大学院重点化といった改革が始まると、どんどん新しい学科をつくって大学運営を進める方向になり、古い学問分野が少し弱くなっていった。更に2004年には国立大学法人化、運営費交付金の削減が始まり、更にこれらの学問分野が弱まっていったと大学関係者インタビューから伺っている。

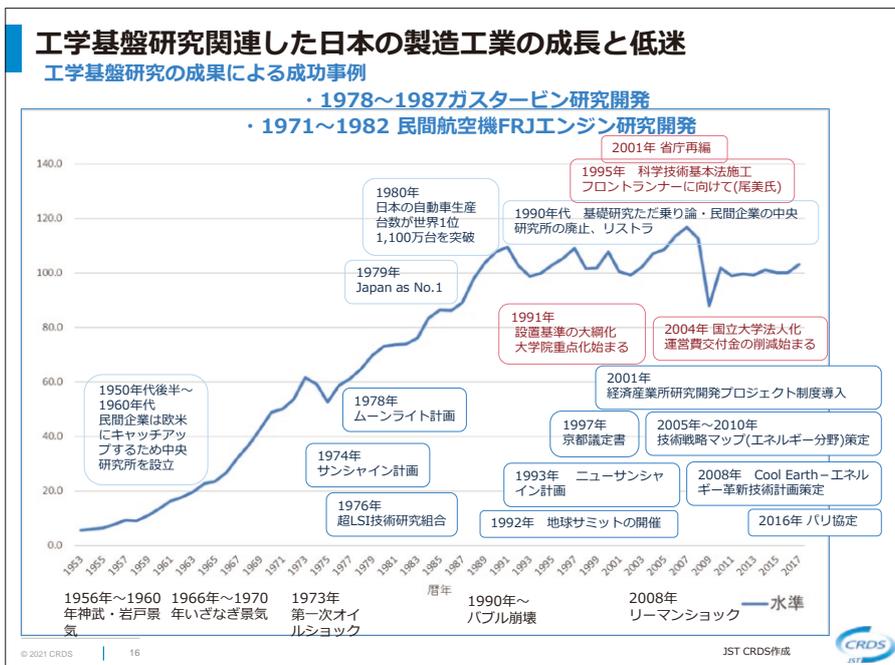


図10-12 工学基盤研究に関連した日本の製造工業の成長と低迷

出典：CRDS作成

この傾向は工学部の大学院の学生数にも表れている。図10-13で一番下のオレンジ色が機械工学、その上が電気通信工学、土木建築工学、応用化学の順で並んでいる。一番上の灰色の部分には1990年以降どんどん新しく設立された学科になるが、古い伝統ある学科で、2000年以降学生数が減っている傾向が読み取れる。

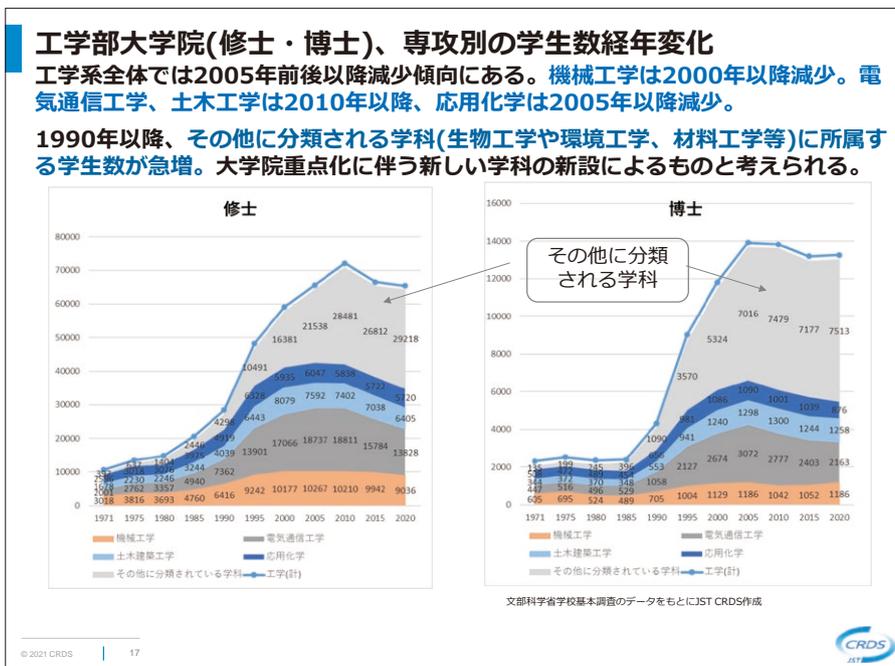


図10-13 工学部大学院(修士・博士)、専攻別の学生数経年変化

出典：文部科学省学校基本調査のデータもとにCRDS作成

工学基盤研究が1991年、2001年、2004年とだんだん弱体化し、企業が欧米の大学や研究機関と提携する傾向になり、日本企業の技術情報が海外に流出するような状況になってしまっている。

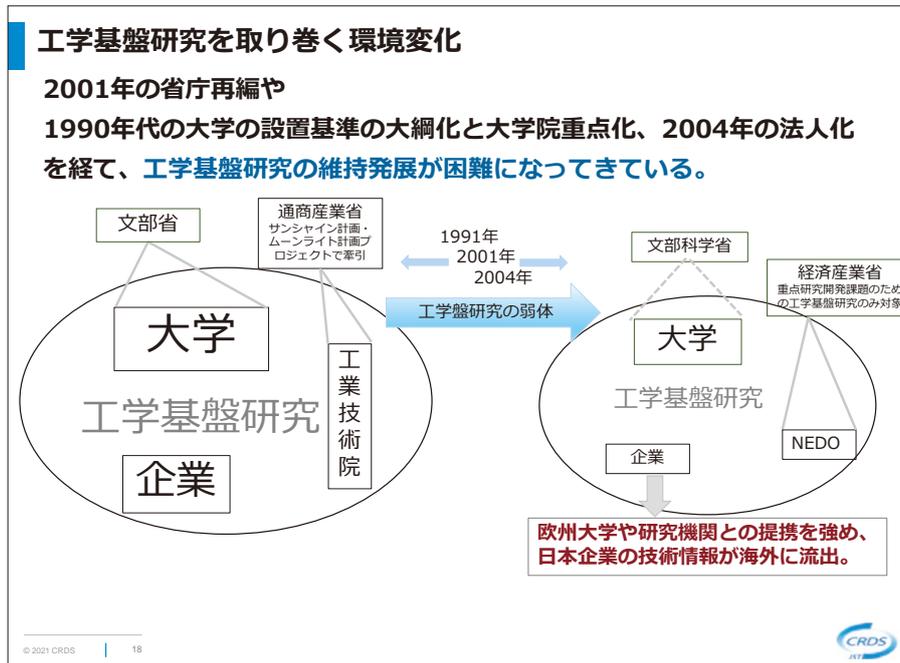


図10-14 工学基盤研究を取り巻く環境変化

出典：CRDS作成

一方、ドイツは、次の図はドイツの国立研究所のリストであるが、左のマックス・プランク協会、ヘルムホルツ協会、ライプニッツ連合は、どちらかという基礎研究寄りの研究機関で、こちらには連邦政府、州政府から潤沢な公的資金が拠出されている。今、日本では産学の橋渡しとしてフラウンホーファー研究機構が非常に注目されているが、基礎研究が重視されている背景があって初めて働く機能であると考えている。

ドイツにおける国立研究機関 基礎研究重視。基礎研究に対する公的資金の割合は高い。

	マックスプランク協会 (MPG)	ヘルムホルツ協会 (HGF)	ライプニッツ連合 (WGL)	フラウンホーファー協会 (FhG)
役割	基礎科学研究	大型研究施設を使用した研究	社会・人文科学を含む広範な分野をカバー	応用研究
研究分野	自然科学 生命科学 人文科学 社会科学	エネルギー、地球環境、健康、キーテクノロジー、材料構造、運輸・宇宙開発	人文科学、社会科学、経済学、空間科学、生命科学、数学、自然科学、工学、環境学など	健康、安全、コミュニケーション、運輸交通、エネルギー及び環境
研究所数	86カ所	18カ所	96カ所	75カ所
スタッフ数	21,187人 (うち、6,912人が研究員)	約39,000人 (うち、約15,000人が科学者)	約20,000人 (うち、11,724人が研究者)	約28,000人 (うち約9,000人が研究者)
予算総額	約18億ユーロ	約45億ユーロ	約20億ユーロ	約28億ユーロ
予算構成	連邦政府42.5%、州政府42.5%、その他15%	70%は公的資金(連邦:州=9:1)残りを官民のスポンサーから	63%が連邦及び州政府(連邦:州=1:1)から、37%がその他	外部資金約85%(企業から約4割、公的プロジェクト)、残り15%は連邦及び州政府(比率7:3)、EUなどからの基盤助成

各種資料をもとにCRDS作成

図 10-15 ドイツの国立研究機関

出典：各種資料をもとにCRDS作成

大学に対しては、連邦政府及び州政府からファンディング機関であるDFGを通して拠出される。科研費に相当する個人向けのものと同組織向けのファンドがある。その組織向けのほうに Collaborative Research Centers (コラボラティブリサーチセンター) という大学拠点型のファンドがある。大学と国立研究所が連携して産業への技術移転を目的とした工学基盤研究も含まれている。

ドイツの大学を対象としたファンディング：DFG 研究者個人対象(Individual)/大学機関を対象(Institutions) /アワード(Prizes)の3種類

- 大学機関対象の拠点型プロジェクト (Collaborative Research Centres(23.3%))に、
大学と国立研究所が連携し、産業への技術移転を
目的とした工学基盤研究が含まれる。

Applicant	Individuals				Institutions			Prizes
Funding Focus	Investigators	Themes	Forum	Infrastructure	Themes	Forum	Infrastructure	Individuals
Funding Instruments	Walter Benjamin Programme Research Fellowships Emmy Noether Programme Heisenberg Programme	Individual Research Grants Research Knowledge Projects Package Proposals Research Units Clinical Research Units Clinical Trials Projects in Priority Programmes	Centres for Advanced Studies in Humanities and Social Sciences Scientific Networks Workshops for Early Career Investigators Project Academies International Scientific Events	New Instrumentation for Research in Social Sciences Specialised Information Services Infrastructure for Electronic Publications and Digital Scholarly Communication Information Infrastructures for Research Data Research Technologies Licences for Digital Content	Collaborative Research Centres/Training Groups International Research Training Groups DFG Research Centres	Major Research Instrumentation Major Instrumentation in Research Buildings Major Instrumentation Initiatives Core Facilities Open Access Publishing Open Access Publishing	Gerhard Wilhelm Leibniz Prize Heinz Maier Leibniz Prize Communicator Award Copernicus Award Eugen and Rose Sembohn Prize in Gerontology Albert Einstein Prize in Gerontology Bernard Bend Sin Prize in Gerontology Ulrich M. Haebel Award State Major Instrumentation	Collaborative Research Centres(23.3%) 優先分野の開発と学際的な協力体制の構築。初期のキャリア研究者の支援と研究における女性と男性の機会均等。(最長12年間)
								Research Training Groups(6.5%) 初期のキャリア研究者促進のため学際的なアプローチによる大学における研究プログラムと研究者育成プログラムの構築。(最大9年間)
								Priority Programmes 振興分野における独創的で質の高いプロジェクトへ支援。異なる分野との連携による付加価値の創造(学際性)、ネットワーキング、プロジェクトに関与する初期のキャリア研究者の支援。

各種資料をもとにCRDS作成

図 10-16 ドイツの大学を対象としたDFGのファンディング

出典：DFG資料をもとにCRDS作成

図10-17はそのプロジェクト事例を紹介している。このプロジェクトでは、最先端のテーマを掲げつつ、特筆すべきは最長12年間という期間の設定で、じっくりと工学基盤研究が培われるような立てつけになっている。更にトランスファーといった産業界との共同研究も加えられている。

DFG大学機関対象の拠点型プロジェクト (Collaborative Research Centres)研究事例1

量子力学に基づく新しい鉄ベースの材料 (設計材料開発とモデリング)

DFG Collaborative Research Centres SFB761
Steel - Ab Initio. Quantum Mechanics Guided Design of New Fe-based Materials
(独/RWTHアーヘン工科大学、マックスプランク鉄研究所)

- ドイツ研究振興協会の助成による、大学を拠点とする長期的 (最長12年間) で学際的な研究プログラム。主に金属材料を対象とした脆性破壊等に関するマルチスケール解析に関するプロジェクト。冶金学、材料科学、成形技術の各分野において、理論化学者、物理学者、固体化学者の研究者が参画し、マテリアルデザインの飛躍的進歩を目指す。 <http://www.stahl-abinitio.de/>
- 助成期間: 2007年7月~2019年6月 (第1~3期)、予算: 〇〇万ユーロ



冶金学の基礎理論
A1 abinitio量子化学
A2 abinitio熱力学
A3熱力学
A5メカニクスカード
A7微細構造力学
A9 abinitio水素脆化

プロセス開発
B1凝固
B2金属形成
B4熱処理
B6ショートプロセスチェーン

評価
C1微細構造分析
C2変形メカニズム
C3局所的な機械的特性
C4テクスチャと異方性
C6損傷と故障
C8原子プロトモグラフィ
C10多相鋼の変形メカニズム

トランスファー (産業界との共同研究)
T1 Fe-Cr-Mn-N-(C) マテリアルデザイン (2011-2014)
T3 高強度コボンネント
T4 炭化水素-相互作用
T5 Fe-Cr-Mn-N-Cuシステムにおける低炭素鋼の開発 (2018-2020)
※T1はステンレスメーカー、T4は鉄鋼メーカー、T3・T5は自動車産業

クラウド (ワーキンググループ)
クラウドI ひずみ硬化工学
クラウドII インターフェースエンジニアリング
クラウドIII 水素管理

スポークスマン: Dr. Wolfgang Bleck
副スポークスマン: Dr. Dierk Raabe

出典: DFGホームページ
<https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/29898171?language=en>
https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaeftsstelle/publikationen/dfg_jb2019.pdf

© 2021 CRDS | 21



図10-17 DFG大学機関対象の拠点型プロジェクト

出典: DFG資料をもとにCRDS作成

こういった産官学の研究ネットワークがアーヘン、ベルリン、ミュンヘン地域に形成されており、このようなドイツの工学基盤研究の取組から得られる示唆が今後の我が国の工学基盤研究の在り方にも通じるものがあるのではないかと考えている。

前半の討議ではこの産業界から見た日本の工学基盤研究の現状と課題について、後半の討議ではドイツの産業発展とそれを支える工学基盤研究の実態からの我が国への示唆、そして、今後予想される世界の産業の変化に対応した日本の工学基盤研究の在り方について、その方向性を示していきたいと考えている。

■産業界における工学基盤研究の現状と今後の産業変化を見通しての課題

話題提供1「日本の工学基盤研究のあり方 - 産業界の視点から -」

佐田 豊 (日本機械学会会長、株式会社東芝 研究開発センター 所長)

本日は、(1) 日本の産業競争力衰退の原因考察、(2) これからの製造業、(3) 日本の工学基盤研究の在り方といった項目でお話する。

(1) 日本の産業競争力衰退の原因考察

私は1988年に学部を卒業した時に、大橋秀雄先生が卒業式のスピーチで、「これから社会に出る君たちの仕事は日本の産業の凋落をいかにくい止めるか」と言われたことを、このお題をいただいた時に思いだした。

産業界に身を置きながら残念ながら力及ばずなのだが、衰退の原因は次の4点にあると思っている。

[日本の産業競争力衰退の原因考察]

- 産と学の連携が弱い
- 研究力の低下
- 課題解決型人材、博士人材が育成・活用できていない
- イノベーションマネジメントの遅れ

1 番目「産と学の連携が弱い」と3 番目「課題解決型人材、博士人材が育成・活用できていない」については、基礎研究力の低下につながり大きな問題だと意識している。イノベーションマネジメントについても、日本では私のように長い間存続している大企業の人間がこういう議論に参加しているが、必ずしも海外ではそうではないということが一つの課題だと認識している。

世界の企業時価総額のランキングの推移は、図10-18のように変わってきて、日本企業が落ちてきたという単純な問題ではなく、新たに登場している右側の企業は、1988年代にはほとんどトップファイブハンドレッドには入っていなかったことと、日本で左側に並んでいるような企業は全てとは言わないが、ほかの企業は今でも日本の中では優良企業というところが、イノベーションマネジメント上の一つの課題であると理解している。

また、産業界の業態も変わってきている。技術開発の重心が、日本はなかなか動きづらい、海外は素早く新しい領域に人なりお金が流れていることも読み取れる。



図10-18 世界企業時価総額ランキングの推移

日本は産学連携が弱いと常々思っていたが、改めて考えてみると、長い歴史の中では日本の産学連携は強かった時代もあったと思う。もともと世界で工学部を最初につくったのは東大だと言われているが、その前身の工部大学校は殖産興業を發展させた非常に重要な技術機関であったと思う。いろいろな産学連携の研究論文を読むと、1960年代以降にこういう連携が少しずつ弱くなり、日本企業は自身の研究開発活動を強化し、大学側はより基礎的な研究を強化して、距離感が表れてきたのだらうと思える。

図10-19の中の左の図をみると、日本の大学は企業からの研究導入費が国際的に見ても非常に低い水準にあることがわかる。右の図は、日本機械学会の会員数の推移で、赤い線が機械学会における企業に所属している会員数、青い線が大学に所属している会員数である。もうしばらくすると機械学会の会員数は大学と企業1対1になってしまうと思っている。このような状況を何とか回避していくことが必要だと思っている。

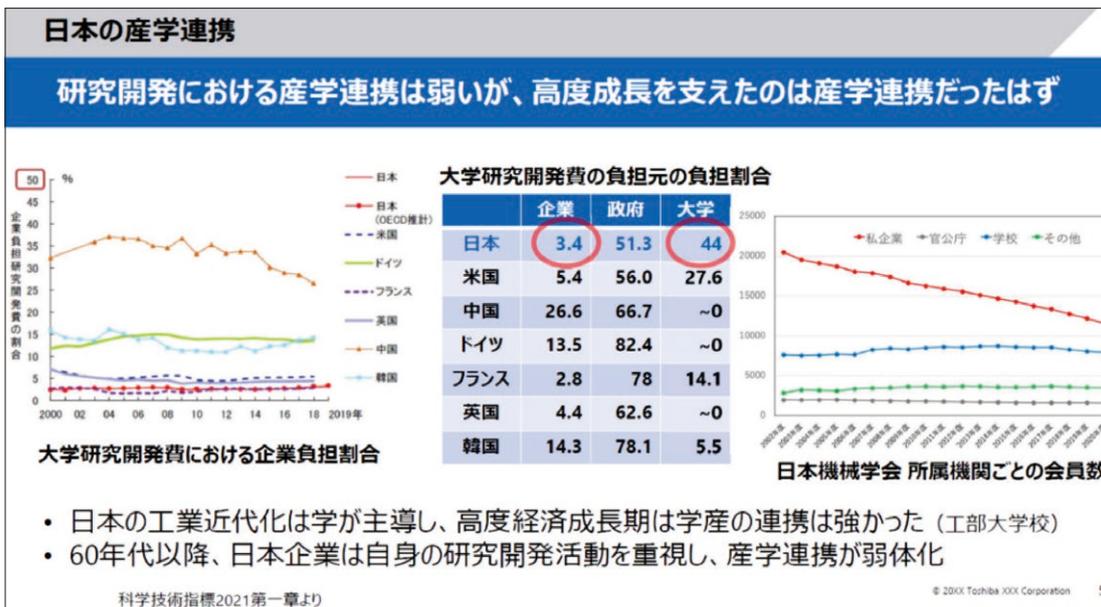


図10-19 日本の産学連携の実態

それから企業研究者における博士号保持者の割合が、日本は諸外国に比べて低いことも大きな問題だと思っている。これは企業側にも責任があると思っているが、一つ気がついたことは、図10-20の右側の図は経団連のアンケート結果で、企業が学生に求める資質である。長い間、企業側は、課題設定・解決能力に優れた人が欲しいと言い続けているが、なぜか博士課程卒業生はこういうタイプの人材と認められていないことが大きな問題である。私も大学で博士を取ったが、ややもすると研究のための研究をやって博士を取ってしまっていることが、日本の博士課程の一つの課題なのかと、企業に来て思っている。

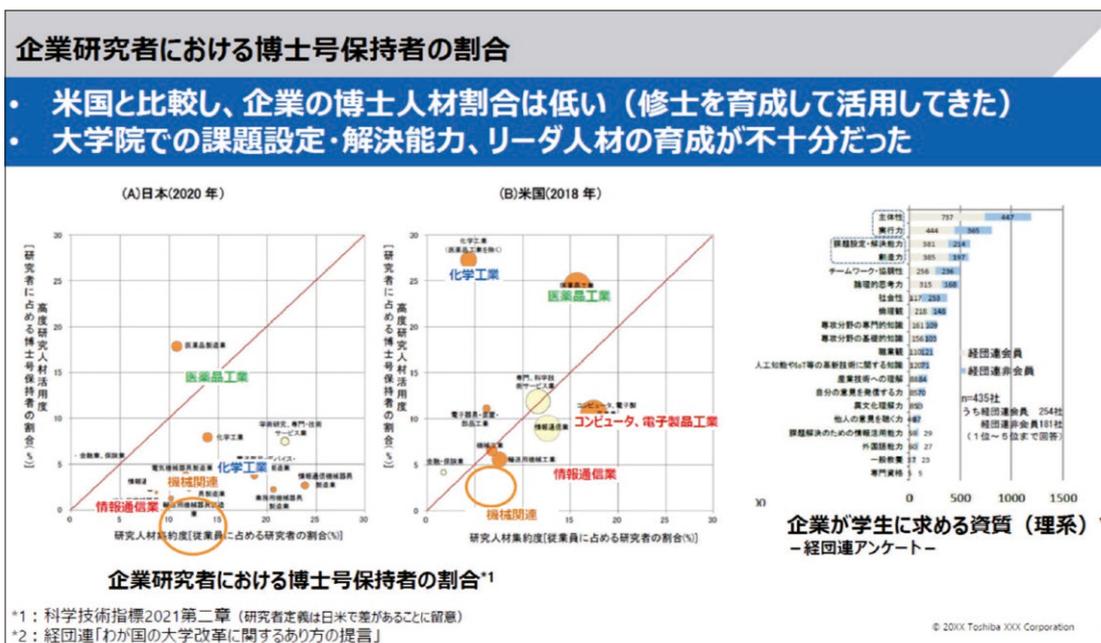


図10-20 企業研究者における博士号保持者の割合

次に、これからの製造業がどのようになっていくのか弊社の事例も含めて御紹介する。東芝は社会課題を基軸にして、自分たちの経営戦略を考えているということで、公開している内容である。



図10-21 注目する社会課題・マクロトレンド

次の図10-22は東芝の技術戦略である。メーカーなので、下側に書いてあるようなハードウェアコンポーネントが変わらずあるが、今はそれをICTと組み合わせ、CPSという形でサービスで勝負するというように企業の重心は変わってきている。

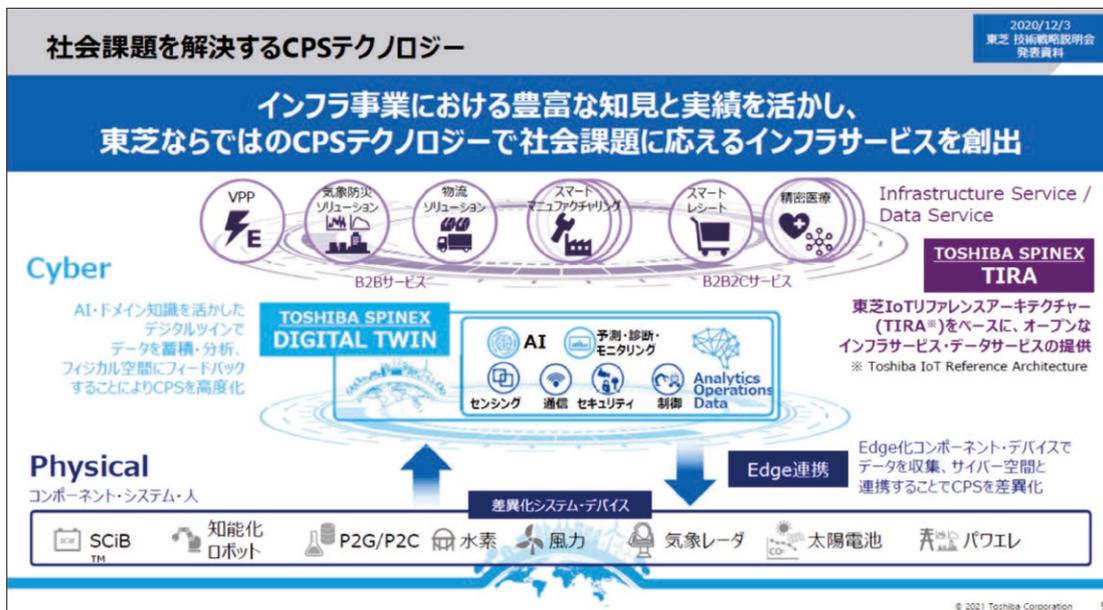


図10-22 東芝の技術戦略：社会課題を解決するCPSテクノロジー

図10-23は、我々の研究所の中で取り組んでいる最近の技術成果である。赤字で記載している技術について、研究所の中で様々な研究室の人たちが共同で仕事をしながら生み出してくれている。

図10-23 社会課題を解決する先端技術

図10-23の右下にある量子インスパイアード計算機は、量子コンピュータという物理的な研究をしている人と、コンピュータサイエンティストたちが一緒に考えて作り上げた新しいタイプの計算機で、このようなイノベーションがこれからの産業を支えていくと認識している。

1960年代、1970年代は、企業でも作るべきものは分かっていた。しかし、今はそうではない。VUCAの時代にイノベーション力を高めるために、東芝の研究所で取っているプロセスが、オープン・リサーチ&イノベーションである。研究の構想段階から、研究段階はもちろんのこと、それを事業につなげるまで、社会やお客様のパートナーとの対話を研究部門も入れ込んできてイノベーションを起こそうとしている。

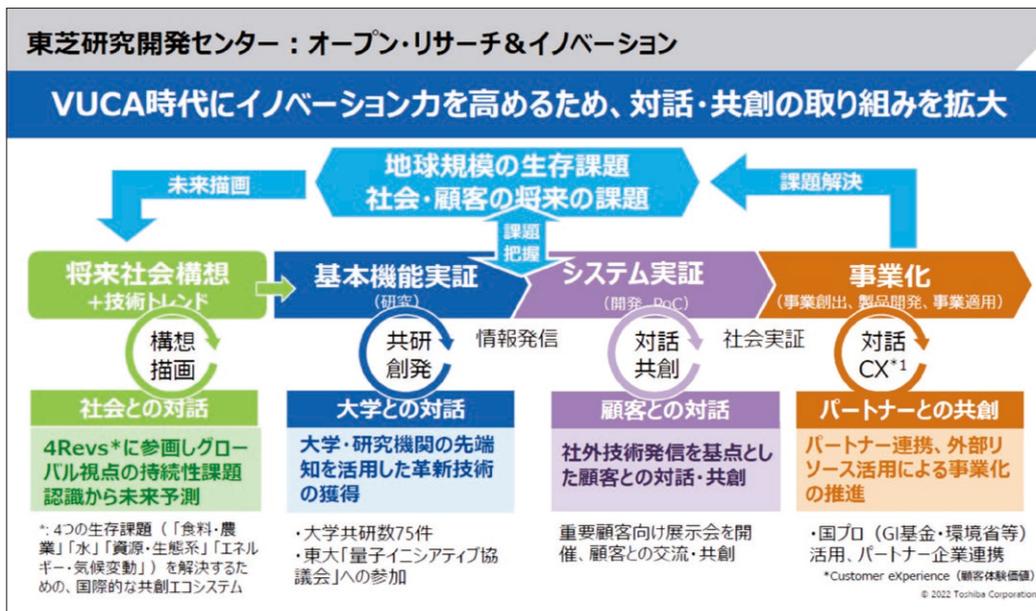


図10-24 東芝研究開発センター：オープン・リサーチ&イノベーション

これからの製造業が直面する課題は3つあるとされていて、図10-25にこの課題を3軸で示した。図中のCPS・技術コンバージェンスは、ICTなど技術の革新のスピードの速いものがほかの技術と融合しながら新しいイノベーションを起こす最近のトレンドである。そのベースにあるのは、ICTが研究の基盤に使われるようになってきたからと認識している。こういったことにどのように取り組むのかが課題である。

右奥の革新技術・製品の軸は、カーボンニュートラルなど、今までの製品の連続的な成長では解決できないような社会課題に答えを出すような新しい製品や新しい技術が必要とされているという軸になる。一方、今までのドメインの中で好成績を上げる企業もこれからもあり続ける。工学基盤研究は、この全方位に対してどのように貢献をするのかをしっかりと考えていただければと思う。

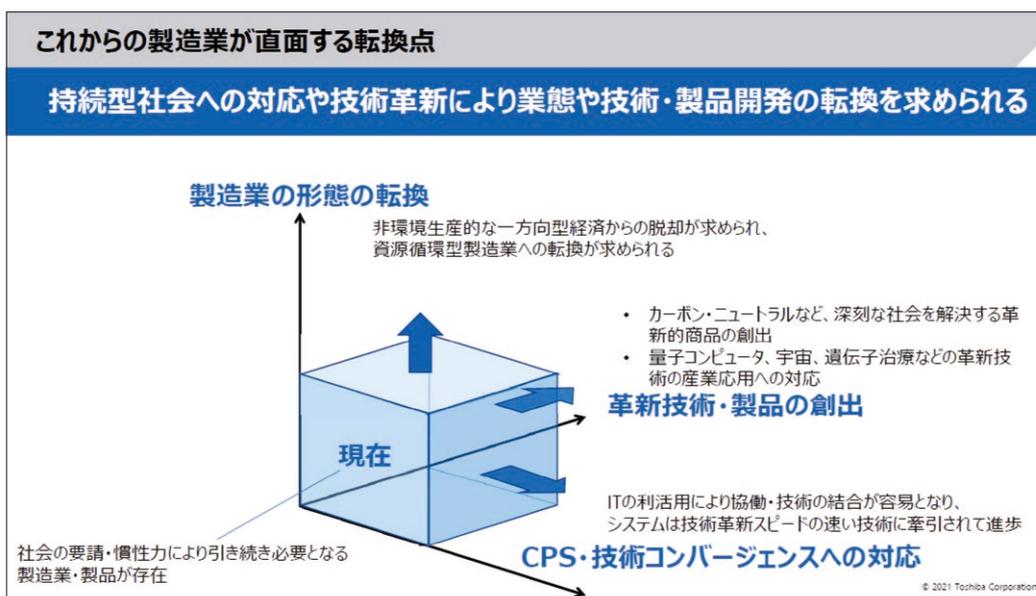


図10-25 これからの製造業が直面する転換点

製造業の形態の転換について図10-26で説明する。右の図は、いわゆる循環型経済モデルである。ナチュラルリソースを使って何か物を生み出すという製造業はもう認められなくなってきている。再生利用材料を使う、或いは自分たちの製品をリサイクルする、できるだけ長寿命に使っていく、使い終わったものをまたさらに再生産するといったような新しい循環型の製造業モデルが必要になってきていることを示している。

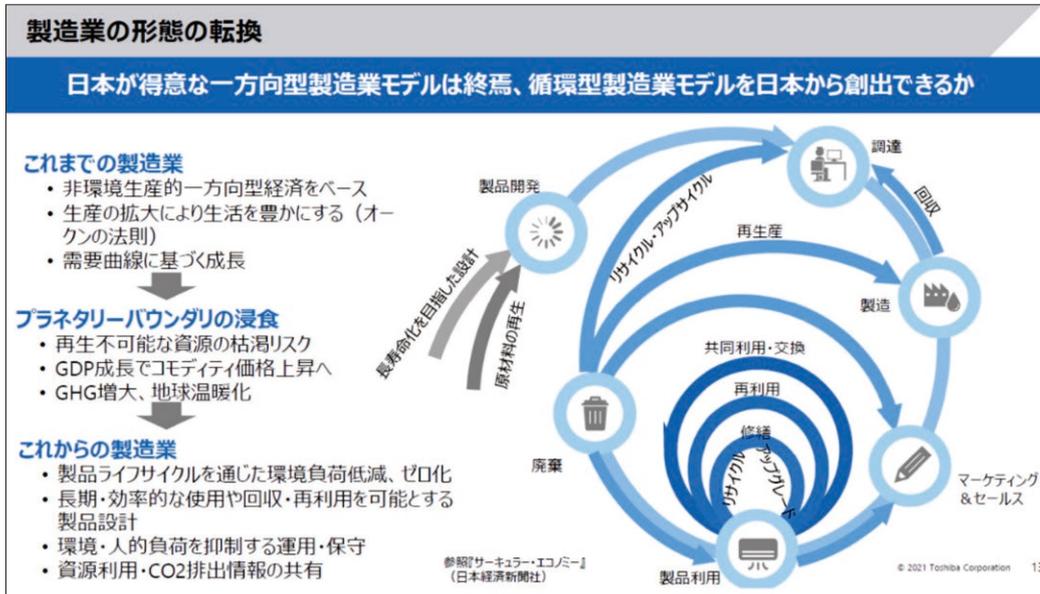


図10-26 製造業の形態の転換

特に最近僕らも製品を作れば作るほど価格は上昇するという材料枯渇の問題に直面するような事業が幾つもあり、こういったことがのっぴきならない状態になってきていると認識している。

図10-27のテクノロジーコンバージェンスについて、Uberの例を左側に記載した。Uberは2023年には、ダラスとロサンゼルス間で空のライドシェアを事業化すると宣言している。1マイルの走行コストを44セントまで下げるといった大きなビジョンを立てている。これを実現できるのは、図中の複数の技術のコンバージェンスで可能となる。機械工学では、シンセシスとアナリシス、特にシンセシスといった概念が、これからのイノベーションに大事になってくる。

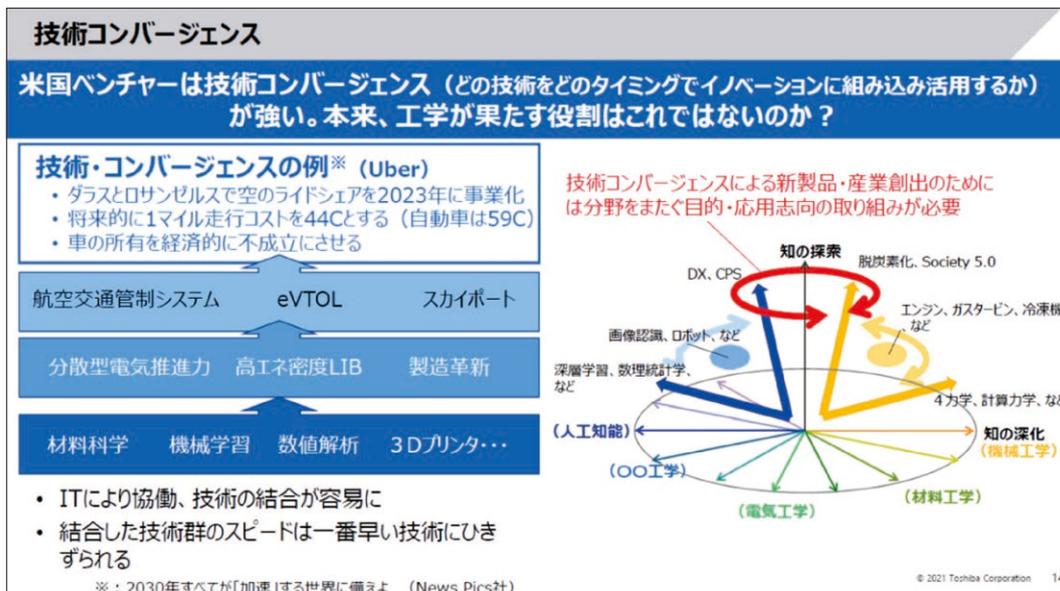


図10-27 技術コンバージェンス

図10-28でまとめを示す。図の下側にあるように、工学基盤研究の重要性は重々に認識しているつもりだが、それでもなお研究の目的には、しっかり社会課題解決を志向するという概念を入れていただきたいと思っている。製造業が日本の高度成長を支えたことは間違いないが、一方通行型の製造業が破綻する中で、新しい循環型製造業モデルをつくれるかに、日本の勝負のポイントが来るのではないかと考えている。

更に、イノベーションと事業、産業と研究をつなぐためには、大学も大学発ベンチャーなどに起業を意識するような人材を育てていただくことが大事であると思っている。このようなことを通じて課題解決型の技術人材の育成をしていただければと思う。

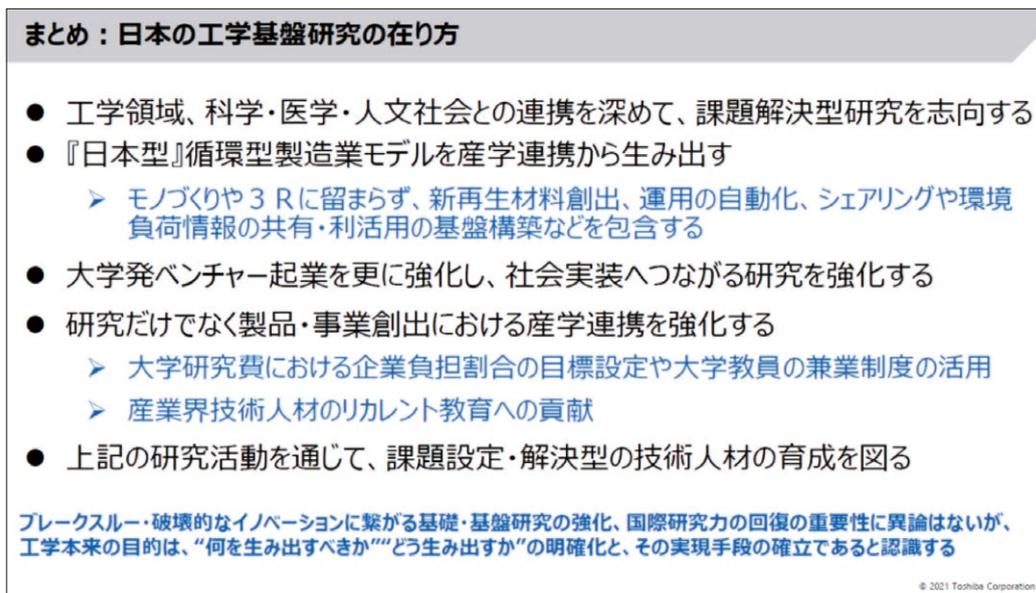


図10-28 日本の工学基盤研究の在り方

話題提供2「産業界における工学基盤研究の現状と今後の産業変化を見通しての課題」

藤森 俊郎（日本燃焼学会会長、株式会社IHI技術開発本部 技監）

私はもともとガスタービンや石炭火力の燃焼技術者で、ここ10年くらいは海外も含め新事業のマネジメントを手掛けてきた。そのような経験に基づいて、私なりに考えたことをお話しする。

第1に現状認識に関して技術開発の現状及び人材の状況について、第2に私の専門である燃焼分野における成功事例の教訓からの産学連携について、第3に次の時代の工学基盤構想に関し、私の考えについてお話しする。

図10-29は、従来の工学基盤の例として流体工学をあげている。流体は伝統的な分野で、IHIの場合、航空エンジンなど様々な製品の競争優位性を持つための共通基盤重要技術と位置付けられ、本社の研究所の他に各事業部門に専門技術者が多数いる。

現状、扱う技術領域は拡大しており、企業内で工学基盤研究を全て担うことは難しい状況にあり、多くの大学研究機関とも共同研究を行っている。したがって、工学基盤研究の持続的な成長には、産業界とアカデミアと合わせた戦略が重要であることは論をまたない。



図10-29 流体工学基盤の現状

現状、SDGs、少子高齢化、その他多くの経営課題がある中で、技術戦略の重要性は益々高まっている。従来の技術だけでは解決ができないということで、新たな技術やそれらと従来技術の組み合わせが求められている。難しい点は、ニーズの変化や技術進展が非常に速く、3年経つと全く違うニーズが現れる。従来の技術開発のスピードではとてもこの変化についていけず、さらに必要となる工学基盤技術要素を企業内に全て用意することは全く不可能である。

人材育成についても、以前はOJTで対応できたが、特に先端技術分野の人材の奪い合いが激しく、企業内でも十分育てることもできない状況にある。

更に、企業間での競争ではなく、業界間、国家間、製品ではなくバリューチェーンの競争となり、競争環境は変わってきている。

そして、大学の工学基盤研究への期待は、従来は現象解明と知識の体系化であったが、今後期待されるも

のは、技術イノベーションに資することである。また、人材の供給源として、先端分野の工学基盤のベースを持った人材が、継続的に供給されることが産業の維持・発展に重要である。

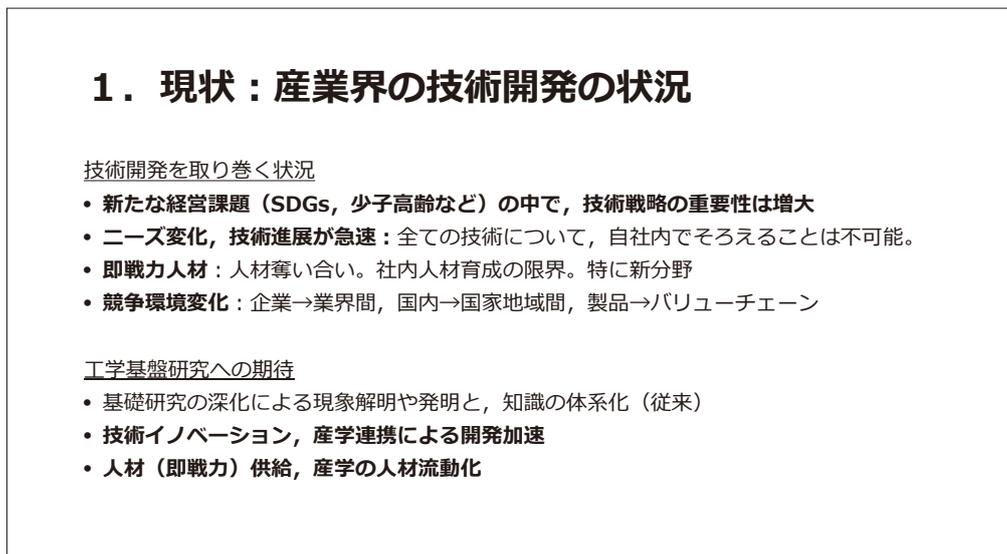


図10-30 流体工学基盤の現状

図10-31は、海外との共同研究や、新事業の立ち上げなどに関わった経験から、海外の研究者やエンジニアについての印象である。研究開発の担当者が、ポスドクや博士コースの学生となっている。したがって、基本的に研究は、将来の自身のキャリアを左右するもので、日本で修士の学生が対応しているものとは違うレベルのアウトプットを期限通りに出してくる。日本において、この違いをどう克服するかが大きな課題である。

また、ベンチャー企業や新事業のリーダーは全体の構想についてデザイン力と説明力がある。このような人材は大手企業での事業経験もある場合が多く、工学基盤人材とは異なるが、どのように人材を育てるかも日本の課題になる。

米国での新事業の立ち上げでは、専門性の高いエンジニアを、お金はかかるが、集めるのが容易である。大企業の在籍経験があり、管理職も務めた専門性をもつ人材も採用できる。このため、新事業を3年ぐらいで一気に立ち上げ拡大できる。更に、個別のエンジニアが複数分野の専門性を持っている場合がある。

1. 人材について（海外の開発人材）

海外との共同研究開発，新事業立ち上げの経験からみた海外の開発人材

研究機関

- 主体は、**ポスドクと博士コース**。研究能力が高い。
- 情報は世界に瞬時に流れる時代で、差別化は**開発スピード**。

新事業、ベンチャー企業

- **リーダー：構想デザイン力、説明力（事業経験、若手とメンターのタッグ）**
- **専門人材の高い流動性**。ハイスキル人材は成長性で選択。（AIは？）
- **複数技術分野の専門性**（例：電気と機械、原子力と情報）
- 本業に集中：知財、法務、財務専門家活用普通。技術開発と顧客開拓に専念

図10-31 人材について（海外の開発人材）

次に、産学連携プロジェクトの事例として、私も参加したSIPでの研究開発からの教訓を紹介する。一つのエネルギーキャリアプロジェクトでは、短期間に実用レベルのアンモニア燃焼技術開発に成功し国策に反映され、もう一つの革新燃焼技術プロジェクトでは、効率50%を超える超高効率エンジン技術開発を達成し、高い評価を得ている。

この成功要因を考えると、まず課題、目的主導でプロジェクトを立ち上げている点である。このため、エネルギーキャリアプロジェクトは、燃焼以外に、アンモニア燃料製造、燃料電池や材料も含めたかなり広範なメンバーで構成された。そして、それぞれの分野は分厚い工学基盤がある点である。進捗に応じてプロジェクトダイレクターの裁量で、課題解決に成果の出ている分野に予算を傾斜配分できたことが成功要因としてあげられる。バリューチェーン全体に関わる企業が参加し、実際の製品や事業で必要とされる情報や課題を、大学側の研究者に明示して共有できたことが、成果に繋がったものと考えられる。

2. 産学連携の成功例からの教訓

産学連携の成功事例

- SIP:エネルギーキャリア(アンモニア)： 実用発電技術開発に成功し、国策に反映
- SIP:革新燃焼技術： 基盤研究成果の活用で、効率50%超のエンジン技術開発
- 産の技術（点）と学の知見（面）の相乗効果による課題解決で、開発加速

成功要因

- **分厚い工学基盤領域**
- **課題、目的主導**による研究開発（腹落ちする課題設定。シーズ先行ではない）
- **複数の工学領域で構成**（熱流体、材料構造、電気化学、一部は企業担当）
- **バリューチェーン全般に関わる産業**が参加
- **PJマネジメント**（人材、体制、権限と責任）

図10-32 産学連携の成功例からの教訓

次に、課題を受け止められる分厚い工学基盤を今後どのように構築していけばよいのか、課題として3つ挙げる。

2. 工学基盤構築の課題

分厚い工学基盤

- 産学双方向研究者のボリューム
- 課題に対する独自視点での研究能力, ソリューション提案力 (産)
- 産官学の人のつながり (表と裏)

構築に向けた課題

- **新分野, 複合学術領域の工学基盤脆弱**
- **既存領域の先細り, 硬直化 (村化, 既得権益化)**
- **ポスドクや博士コース学生数が少ない**

図10-33 工学基盤構築の課題

新技術分野や複合学術領域への取り組みである。新技術分野は、基盤が脆弱であったり、そもそもない状況であったりする中で工学基盤をどのように構築していくのか。既存領域からのシフトという課題もある。また、研究開発の主体となるポスドク・博士コースの学生が少ない状況をどうしていけばよいのか。

御提案したい1つは、シーズ主導ではなく、課題主導で工学基盤領域の再定義を行うことである。いろいろな構想、ビジョンがあるが、その中で課題を定義して、それに向けた開発をすべきである。

燃焼や材料など1つの技術ではなく、広く分野横断的に人材を集めて工学基盤を構築してはどうかと考えている。例えば、半導体の開発においても、熱流体の物質輸送などいろいろな知識が必要であり、従来の技術分野の知見を、先端分野と融合することで、一気に解決することもあり、そのような複合的な技術領域を作ることが必要になる。

リーダーの育成については、プロジェクトリーダーは今日の国のプロジェクトではベテランが多いが、若手を登用していくことが必要である。若手研究者がプロジェクトリーダーを通して事業化を見据えた経験を積むことが必要ではないか。

AIのプログラミングなどはなるべく若いほうがよいので、高専の人材も含めて、どのようにしていくかも重要である。

工学基盤の再構築には産業界も参加する形で、長期的な目標と同時に、そこに至る短期的目標達成の積み重ねが重要であり、課題解決型プロジェクトは、同じテーマを、バージョン2、3という形で発展させていくことが必要である。

3. 工学基盤の再定義, 再構築

- 課題主導による工学基盤領域の再定義**
 ビジョン：Society5.0, SGDs, CN, 防災安全, フロンティア, 少子高齢, 食料など
- 複数工学部門による工学基盤領域の**
 新たな技術分野と従来の技術分野を融合した工学基盤設定：
 半導体, ナノ, 量子, AI, 新材料, ものづくり革新, バイオ+機械, 電気, 化学, 土木など
- 新たに必要となる人材の育成, 受け皿**
 複数専門領域の専門家, 新分野への技術シフト
 専任プロジェクトリーダーに若手の登用, 開発後に事業化も
 高専や県工試の位置づけ。プログラミングなどのスキルは若い方が身に付く。
- 実証, 事業化を担う産業界の参画**
 課題の共有, 各研究テーマの評価が実用を前提に評価。研究発ベンチャー
- 短期（3～5年）の目標設置で進める**
 ニーズ, 技術の変化速度についていく。デジタルの活用が全ての面で鍵

図10-34 工学基盤の再定義、再構築

図10-35は、分野横断的な工学基盤に関する私のイメージである。領域横断型で、ビジョンから始まって課題をつくり右側に実装するところも含めるイメージを考えている。

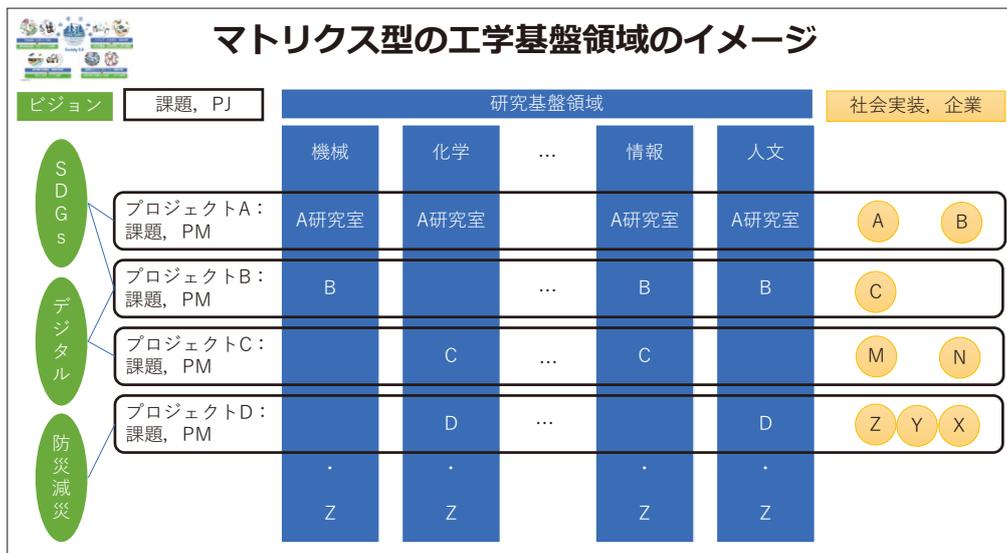


図10-35 マトリクス型の工学基盤領域のイメージ

議論

【質疑応答・コメント】

Q：ビッグプロジェクトであったり、大きな装置開発であったりするほど、リーダーはもちろん大切だが、その多くの有能な各専門家を使いこなすのがリーダーの役目、足腰という意味では、各分野の専門家がいかにも有能な者がいるかが大きな課題と思う。工学基盤も該当すると認識している。シンセシスとアナリシスもそうだ。シンセシスは各個があってこそ初めてのシンセシスで、今、企業や、あるいは全体のプロジェクトを見ると、確かにリーダーであるとか、シンセシスという言葉を使っている

- るが、その前の少しの部分が抜けている。今回のこの議論の中で大切なことと思うのだが、いかがか。
- A : おっしゃるとおりだ。私は技術の深化というのか、アナリシスをやることは物すごく大事だと思っている。そういうところから、次のブレイクスルーが生まれることには全く異論はない。ただ、そのせっきく深めていった技術をシンセシスに転換できるのもやっぱり深く技術を理解された研究者で、そういった研究者が統合する何かのシステム開発に参画する経験なくして研究をされていくと、なかなかアナリシスとシンセシスが結合していかないのかなと思って今日のようなお話をさせていただいた。
- A : 私も基本的にはそのように思っている。従来型でしっかりやれば、基盤技術をもつ人材を育成できるが、残念ながら現状の進め方では、技術革新のスピードがはやく複数学問領域が求められるニーズに対応できないのではないかと。社会の様々な課題に対して、貢献できる機会をなるべく多くつくり、その中で基盤技術ベースをもつ人材をつくっていく発想に立たないと難しいのではないかと感じている。
- C : プロジェクト全体としては分かるのだが、今、非常に大学の疲弊や確固たる個々の部分がどうも弱くなっている。プロのスポーツチームをつくるときに、各個を強くするのか、それを統合するような戦略を強くするのか、これは両方大事でどちらだけでよいとは言えない。今はちょっと戦略のほうに重心が行き過ぎたのかなと感じる。戦略もとても大切だというふうには思っているが。
- Q : 日本の企業で高専の人はどのくらい受け入れられているのか、安い労働力として使われているという説もある。高専の人はよくできるという話もある。企業の中でさらにそういう人の能力をよりいいものにするように、何か努力もされているのか伺いたい。
- A : 研究所の中だと高専出身の人が多いわけではないが、何人かはいて、能力は非常に高いと思っている。むしろ東芝というグループ全体を見ると、事業部や工場など事業に近いところでは高専の採用を積極的にやっている部門もたくさんあり、高専の実務のスキルと知識が高い方々が産業界の中で活躍しているというのは間違いのないと思っている。
- A : 弊社では、福島県の相馬にジェットエンジンの工場があるが、生産技術などで活躍されている社員で、高専出身の方が多くいる。地元でも人気があり、優秀な学生が来るという印象を受けている。また、例えばロボコンを見ても、若いうちにスキルを身につけた方がよいと思う。深く原理を理解するというよりも、ある程度理解したら、あとは現場で使うことについて、若いうちから訓練を積むのは重要なことである。
- Q : 今日の話の工学基盤研究について、それぞれの企業の中でもこの工学基盤に関しての厚みを増していく、或いはそれをさらに進めていくことが企業活動に非常に大切だろうと思う。企業の中でこういったものを伸ばしていく、厚みを増していくことについて、現在はスムーズなのか、課題があるのか、教えていただければと思うが、いかがか。
- A : 東芝の研究所の中で基礎的な技術力を含めて厚みを増そうと思っている領域は、例えば人工知能、それからマテリアルインフォマティクス、量子など新しい領域になる。私も機械工学の出身だが、機械工学で企業の中で技術の進化をやろうとは、今、議論されていない。むしろ成熟技術として大学との連携の中から新しい知識を体得したいと思っている。
- A : 弊社においても基本的に同じ状態で、例えば金属材料などでどうやって工学基盤研究を維持していくかということ、国内の主要な大学、研究室にフォーカスをして、そこに継続的に委託なりお願いしていくことになる。人材供給も含めてお願いしていく。そうしないと、技術維持ができなくなる。企業は新技術に人を投入しなければならず、技術シフトとも最近言われているが、素養のありそうな人間をどうシフトさせるかも課題になっている。
- Q : そういう意味で言うと、やはり社内で全部抱え込んで基盤を維持するよりは、必要なところは大学との連携をきちんと持ちつつやっていく。そのところをしっかりとやっていくことが、企業としても大切であると理解した。
- A : 人を育てるとするのは大学のことをおっしゃっていただける感じがするが、大学にいられるのはせいぜい

24歳とか27歳だ。生涯のキャリアパスを考えると、24歳、或いはドクターを取った27歳以降のほう
がはるかに30年、40年と長い。そのキャリアパスはどう考えるか。

もちろん専門家になる、リーダーになる、あるいは今非常に大きな問題になっているAIにまで、機械
工学をベースに進出していくのは、その完成形を27歳で求められるのは、これは幾ら博士でも無理だ
と思う。それは30年、40年かけて育っていくものだと思う。その27歳で出てきた、それぐらいの知識
しか持っていない人たちを、どういうキャリアパスをつくられるおつもりなのかご見解をお聞かせいただ
きたい。

- A：確かに難しい問題になっていると思う。私自身は博士課程を卒業して会社に来てから先輩方と基礎研
究についても会社の中でやりながら、少しずつ知識を高めていった。機械工学の中で基礎的な研究も
やっているが、グループでやることがほとんどなくなっている。しかし、何か我々のアプリケーションに
とって大事な基礎技術があれば、大学の先生方と組みながら、そこに若手を入れて一緒に技術力を上
げていくことをやるし、そのような基礎研究成果を持った若手を、次には今度は事業の現場に送り出し
て、実際にその技術を使いこなす方向に入れながら、プロジェクト管理やスケジュールをしっかりと守っ
て物を作り上げる経験をさせて、また研究所へ戻していくことはやるようにしている。
- A：27歳に対して、リーダーは期待していないが、一番期待したいのは原理や力学を理解している人材だ。
例えば量子力学は、会社に入ってやれというのはなかなか難しいので、大学では力学なり原理を理解
している人材育成をお願いしたい。複雑なものを複合的に考えるというのは、比較的会社の中でい
ろんな経験を重ねる中で身につくものと思う。特に連続体から量子力学などの飛躍は、後からでは難しく、
力学、原理を身につけた人材の育成は大学なり研究機関に期待したい。
- C：お二人のお話で、27歳あるいは24歳までの育成で、大学がなすべきことと、それからその後、企業
に入ってから育成されるのと、それと企業と大学がいかに産学連携を通して人を育てていけるのかとい
う示唆があり、非常に納得した。
- Q：企業にとって一番欲しいのは、物理だとか数学だとか化学の原理原則を真に理解する人間であると思っ
ている。それは機械工学の中で流体をやっている、構造をやっている、燃焼をやっている、何を
やっても何でもできることになる。そういう人間がAIを使ったり、いろんな半導体の製造工程をやった
り、いろんなものに自由に物理的に考えてやっていける。何もAIだからAIのプログラムを書かなけれ
ばならないと、そんな仕事を求めている企業ではない。結局、ソリューションを求めている。それがで
きるリーダーは原理原則を真に理解している人間だと思う。
- 工学基盤の教育で一番重要なのは、その点ではないかと思っている。それが非常に小粒になっている
んじゃないかという気がする。企業にとって一番欲しいのは、それらを分かっているか、体験的に学ん
できた人ではないかと思うが、いかがか。
- A：新しい製品技術をつくらうというプロジェクトの中で議論をしていた時に、問題の本質に立ち戻って考
えるべきだと言うのは、非常にシニアな研究者で、若手の発言は表層的になっていると感じている。そ
れは一度研究として原理の探求の重要性を学んできている人たちが言えること、思考であって、なか
なかそこまで深いところまで研究をやれてこなかった人たちにとっては難しい思考なのかと思っていた
ので、もし今大学でそのような人材育成が難しい環境にあるのであれば、まさにそうなんだろうと思っ
ている。
- A：難しい課題に直面した時に、そもそもの原理に立ち返って考えられる人材は、弊社の中でも非常に限
られている。原理に立ち戻った議論には、残念ながら若い人たちが耐えるような人材が少なくなってい
る。
- 考える課題、機会を多くつくり、複合、複雑な課題においても、サイエンスまで踏み込んで考える機
会を多く持つことが重要じゃないかと。AIなどのツールを使いこなす人たちも参加し、自分のアイデアを
どうやって早く形にできるかを知ること今後には必要がある。

Q：プロジェクトを動かす、起業するアントレプレナーなどのような能力を持っている人は企業側も嬉しいと思うのだが、教育をやる時間は有限で、実際今もそれをやらざるを得ない状況になっている。そうすると必然的に時間が足りなくなる。今の修士の学生のポテンシャルとドイツあたりのドクター、ポストクのポテンシャルはもちろん違うが、その責任感、時間管理、締切りなど、日本の修士もそんなにだらだらしているわけではなくて一生懸命やっちはいる。その上で、例えばアントレプレナーシップの教育などをするとどんどん時間が足りなくなっていく。それで窮屈な時間の中でやると、ますますドクターに行く気を失ってくるような感じを私は見ている。

本当に企業はなにもかも能力を持った人のほうが広く見ていて有利だと思われているのか。ある程度専門的なところをしっかりとやった上で、入社後にプロジェクトマネジメントであるとか、そういうことをやるほうが良いというような実感はないか。

A：私は会社の中では研究部門にしか行ったことがないので、事業サイドがどのように考えているかは分からないのだが、研究所では総合的なシステムのような研究をしてきた学生はあまり採らない。むしろ何か一つの問題を深く掘り下げて答えを見つけたという経験を持っている人たちのほうが、会社に来てから活躍すると思っている。

ドイツやイギリスの先生方と議論をすると、こちらが課題をお話すると、必ずしも自分の研究領域ではない先生を紹介して、こういう答えがあると言ってくれることがある。あるいは1週間ぐらい答えが返ってこないのだけど、突然新しいアイデアがあるから話を聞きに来ないかと言ってくれることがある。これが、産業界と結びついて研究されているドイツの先生方の強みだと思っている。

翻って日本で採用活動をしているときに聞くと困るだろうと思うことがある。ある論文の話をしてくださるときに、目的としては一応社会課題を言うのだが、でも、その解決手段が、本当にその研究のテーマと合っているのかと質問をしたくなるような学生がいる。ですから深めるだけではなくて、それが目的と合致しているのかぐらいはちゃんと検証する能力を持っていただきたいと思っている。

A：企業で活躍できるタイプに2つある。1つは、非常にコミュニケーション能力に長けて取りまとめる能力に優れている。もう一つは、原理や力学に立ち戻り考え、課題の本質を突ける、そういう人材かなと思っている。

前者の素養は、大学というよりも、むしろ企業で養われていくべきで、大学やアカデミアに期待したいところは、やはり後者の人材だろうと思っている。

産学連携のプロジェクトでは企業の中堅クラスを大学に送り込んでみるなどといったやり方もあるのではないか。

A：よく分かった。正直、アントレプレナーの教育をしなさいと言われても、なかなか大学の教員ではできないので、外部の企業の方をお呼びしてお話ししてもらってお茶を濁しているのが現状でなかなか悩ましい。とにかく全員がその能力を持てるわけではないと思うが、ただ全く何もしないわけにもいかない。もちろん修士論文研究でも何でも目的とその背景が乖離していることを理解できないまま卒業するのはもちろんいけないのだが、うまい落としどころがあればと思っている。

Q：一方で原理原則まで戻ってしっかり考えられる学生、他方では研究だけしてきた人では役に立たないという、二つの言われ方がある。今の話だと2種類あり、違うタイプの人が必要なのだと思うが、原理原則まで考えられる人は当然研究してきた人で、その辺をうまく説明できないと、大学でせつかく博士課程まで進んだ人が企業に就職できないので、大学と産業界の間で真剣に議論してもらわないとまずいのではないかと思ったが、いかがか。

A：すごく難しい問題だ。産業界とコミュニケーションを取られて、産業貢献にあるウエートを置かれている大学の先生方は何人もいらっしゃる。それでもなお、自分の研究室では基礎研究をしっかりとやる研究構想力のある先生方はいらっしゃる。本当はそのように大学が動いてくださるのがとてもよいと思っている。

ただ、自分も会社において、そういうことは自分の先生もやれていたと思っているのだが、いざ自分でやるとなると難しいと理解しているので、難しいことを申し上げた。

A : 先ほど例を挙げたSIPのプロジェクトでは、企業が、例えばエンジンやガスタービンなどの実機での課題を明確にしないと、大学側の検討の方向がずれて、成果が出にくい。一方、課題を明示すると、基礎的現象の原理を理解されている先生のほうが貢献をされる場合がある。エンジンシステムよりも、乱流混合気の着火に関する研究をされて、乱流と着火の原理をよく理解されている方のほうが、本質をついた解決策を示し、貢献度が大きい。アカデミアの工学基盤への期待は、そのような人材の育成ではないか。プロジェクトの取りまとめやアントレプレナーは、別の視点で考えられたほうがよいのではと思う。

Q : 原理原則を理解すると、それが非常にいろんな今後のフレキシビリティや、開発にとって大切であるのご指摘いただいた。それはこの工学基盤研究に関するニーズのところに書いたほうがよいのではないか。アントレプレナーじゃないなど。原理原則をきちっと理解して対応すると。そうすればITでも何でも全部できるわけですから。専門家以外の方が工学基盤というと、何かもっと即物的なことを考える。即物的ではなくて原理原則なんだというふうに、これを捉えたらいかがか。

A : 工学もベースはサイエンスであると思う。現象、物理的なのか、情報論的なことかは分からないが、そういう現象を正しく理解をした上でアプリケーションにつなげていくという原理原則の能力が非常に大事だとは思う。

A : 即戦力人材については、機械なり装置を知ってる人間ではなく、原理原則を理解している人材のほうが即戦力になる。装置や複雑なものは後で幾らでも理解できる。

C : 原理原則という言葉で誤解を生んではいけないと思うのだが、決して純粋物理、純粋数学というわけではない。いわゆるサイエンスという言葉の中にもいろんなカテゴリーがあり、エンジニアリングサイエンスというのをもう少し明確にしておかないと、工学基盤の重要性が分からなくなるのではないか。原理原則が大切だというのは、それは熱の力学であったり、流体の力学であったり、材料の力学であったり、それもちろん数学を言葉として使うが、数学理論そのものではない。その辺の言葉が乱れてしまうと、誤解を生みかねないというような気がするので付け加えた。

C : 数学や物理学の既知の原理を用いただけでは、必ずしも、その全てを理解できないような複雑な現象について、できるだけ汎用的に説明するための知識体系をつくっているのが工学基盤の一つの在り方なので、そういったことを理解できていることが重要であると思う。もう一つは、複合的な課題があった時に、一つの原理を当てはめても解けないので、いかにその現象を分解して解ける部分と解けない部分に分けて、解けない部分についてはしっかり研究するといった、課題の切り分けが必要になると思う。そういうところをしっかりと考えられるかどうかでも大事に思う。

企業の方が、課題について漠然とした形で相談されるのを、話を伺いながら、どこが本当の課題なのかということを切り分けていく、そういう作業が結構大事なのではないか。そういう意味で、工学基盤研究は、全部が知識体系として固まっているわけではない、ということも理解しておいたほうがいい。

C : 東大の笠木先生の研究室を卒業したのだが、大学では乱流の構造というエンジニアリングサイエンスの研究をしていたが、会社に入ってからはずっとアプリケーションに寄ってしまうので、そういうことをやる機会はなかった。でも何か問題にぶち当たったときに、そういうエンジニアリングからサイエンスまで掘り下げていくと、答えが見つかることがあることを学んでいることが自分の強みだと思っている。何かの問題を与えられたときに、この問題を解くためには、こういう現象論、こういうサイエンスに行かなければ問題が解けないと思える能力が、機械工学基盤として非常に養っていただきたいところと思った。

C : 第一原理計算を用いて新材料開発で成果を上げる研究員がいて、なぜ彼はさほど大きな計算をするわけでもないのに、成果を出せるのかと彼と議論したことがある。その時わかったことは、全て自由度を

持たすのではなくて、材料の知見からあるところを拘束して自由度を減らすことで計算時間を短くできるとのことだった。これは、物質材料の原理、原則から、あるべき姿を計算の前にもつことで、それを考えられる力が、工学基盤の一つではないかと思っている。

流体では、例えば無次元数はたくさんあるが、その裏側にある物理を理解していることが工学基盤をもつ人材であると思っている。

Q：次の論点に移らせていただいて、産業界の側から海外の工学基盤研究と比較して何か感じると思われることは何かあるか。

A：研究の主体となるポスドクや博士コースの学生は、基本的には研究をなりわいしようと考えているわけで、自分たちの将来がかかっている。共同研究の費用から給料をもらっているので、研究を学問の興味だけでなく、ビジネスでもあるところが大きな違いである。

A：どこが違うのかははっきりと理解できていないのだが、非常に強く思うのは、海外の大学の先生は企業と話をするのが非常に上手い。自分たちが持ち込んだ課題を先生の持たれている技術から見ると何であるのかをひもといて説明してくださり、どこに解決の方向があるのかを、場合によってはそれは自分の技術ではないと言われる方も多いが、答えを導いていくロジックがすごくしっかりされている。

それに比べて日本の先生方とお会いすると、特有な例だが、こういうことをやりたいとお願いをしても、自分の研究の内容を淡々と話される方もいらっしゃる。産からお金を取るということにエネルギーをかけているか、かけていないのかの違いなのかとは思う。研究レベルにそんなに大きな違いはないと理解している。

Q：では、大学側の先生側の御意見はいかがか。

A：プレゼンの中で藤森さんが、チームを組む時に人材は要るぞと。ただし、すごく費用はかかるけどとおっしゃっていたと思う。日本の大学とこういう研究をやろうとした時に、やはり企業が大学との共同研究に使うお金が、海外大学と比べて、1桁、2桁違う。それは大学側の問題もあるかもしれないが、そういった状況をつくってこなかったというのもある。海外でやるのに対して日本でやるのか、それだけのお金でこれからやっていくのがいいかどうかということについても関係してくる。要するに先生方も、そういう形で企業の方と共同研究をしてこなかったこともある。どちらが先か分からないが、そういう場面の設定もしていけば、また変わってくるんじゃないかなと思う。

A：米国では、新事業を短期間で成長させることが可能である理由に、専門性の高い人材を集めることが容易で、人材流動性が高いということがあげられる。

その中で、印象的だったのが、原子力工学と情報サイエンスの2つの学位を持っている技術者が新事業に参加して、ソフト開発で大きな貢献をしたことがあり、高い能力の人材も新事業分野に入ってくる。彼は、もともと原子力工学だったが、情報関係のプロジェクト参加に手を挙げて、情報工学系の研究室に入り学位を取得したとのこと。複数分野の人材を集めるプロジェクトへの参加の機会を多くつくることは大切であると思う。

Q：欧米、特にヨーロッパの大学では教授の先生がかなり企業経験豊富な方が研究室を構えるというか、研究所のトップになる方が少なくない。研究の原動力に企業経験がある。多くの企業もしくは欧州全体でのいろいろなプロジェクトの経験を持って大学の教員をしているという人たちが少なくない。大学の教員、教授の懐の深さみたいなものの違いが相当あると感じている。

A：御質問頂いた点についてはそのように思う。例えば私の燃焼分野では、脱炭素化の流れで、非常に逆風が吹いていることもあって、大手機械企業で開発をやっていた人材が大学に出ている。アカデミアでも実際の製品や産業の相当なところまで理解した議論ができ、人材の流動性は、産学の一方向だけではなくて、双方向が今後必要だと思う。

A：何か日本は一つの方向にみんなが向きやすい国民性があるのだろうか。空手道とか柔道とかも道になって機械工学道になっているのではないかという感じがある。先ほどのドクターのことも、この教授

のこともひっくり返して、「日本の教員は」というのはちょっと乱暴なところがある。本来はこれだけたくさんさんの工学の大学があって、機械工学があるので、おっしゃるような応用研究に非常に理解のある先生もいらっしゃる、非常に基礎に注力される先生がおられるというのが本当だ。何か日本の中は何か道と突き詰めるといふ方向に行くと、どうしてもその純粋な研究に向かう人たちが少なくなっているのかな、国民性なのかと思って考えてしまう。

ドクターに対する非常に厳しい指摘も何となく似たようなところがあって、彼らが何を思ってドクターに来るのかと考えたときに、何か道で純粋にという、どうしても基礎だけしかやりたくないとか、やらないとかいう子が出てきているので、これは両方とも同じところに根があって何としたいのかというのは難しいと思って聞いていた。

A : 一括りに日本のとまとめて話してしまい申し訳ありません。もちろん日本の大学も先生によっても様々な方がいらっしゃることはよく認識している。それでもなお私が先ほど申し上げたことは、平均的にはドイツと日本の大学を表現しているような気がする。

A : いろんな視点、考え方をもつ先生方がいらっしゃるからこそ大学だと思う。先ほど紹介した産学連携の国プロでは、課題に対して、ちゃんとした反応がある先生は原理を深く理解されている。産業界からそのような先生の元に人材が移動して研究を行うことで、産業が必要とする工学基盤が維持され、大学内でもある程度産業の出口についても議論できるようになり、産学の人材の流動性は、工学分野では重要である。

C : 日本の先生のほうが説明力がなくて、企業との共同研究に関心がないのが大多数ではないかという判断は合っていると思う。多分歴史的経緯があって、そもそも数十年前は、国立大学の先生は企業と共同研究するのはもってのほかみたいなイメージ、風土がずっとあった。共同研究をしなくても、十分な講座費を持っていて、科学研究費や国プロを申請して取ってきて、多分自分の好きな研究に集中していたと思う。

それに比較して、ドイツもそうかもしれないが、例えばアメリカだと自分で共同研究等でお金を稼いでこない修士の学生が養えず、それがPh.D.の学生につながっていかないので、もう死活問題になっている。そのように追い込まれたら、そうやらざるを得ない。アメリカで共同研究が多いのも、日本の会社は中央研究所が全部自分の中で押さえてしまうが、アメリカだと割とオープンソースというか、どんどん大学に委託する風土もある。アメリカの大学もある時期から委託を受けるとシフトしてきたと思う。そういう状況が今も続いているのではないかなと思う。

今、一斉に国も金を出さなくなったので、大学の教員がどんどん共同研究で企業と産学連携するのはよいのではないか。それは当然なのだけど、例えば、共同研究の実際の金額等を見たときに、チームをつくってそれに対応できるような体制までは、普通の先生はそう簡単に踏み込めないのではないか。私もMITの先生あたりと相談したことがあるが、向こうは共同研究をしてみると企業を持ちかけたら、ちょっと最初に会合して1週間後ぐらいには物すごい分厚い研究計画書ができています。それを1人の先生じゃなくて、チームでつくって、山ほどいるポスドクと作って出してくる。その代わり法外な研究経費を吹っかけてきて、それを日本の企業も出してしまふ。

それは同じように、我々も同じようなスタンスになれば一番いいと思うのだが、なかなかそこに行かない状態で悩んでいるのではないかという現状があると思っている。

A : 確かに日本は中央研究所の中で企業が技術力を高めていった時代はある。それは1990年代の後半から崩壊し始めてきていて、企業の中から新しいイノベーションを起こすというような、非常に深みのある技術を企業の中で持つことはもう難しくなっている。だから企業側ももう一度産学連携を考え直さなければいけなくなっている。

海外の例で申し上げたように、伸びる会社は必ずしも大企業で研究所を持っているところではない。そういうところは最初から大学の技術を頼みにして成長してくる。どちらの視点を見ても、日本のこれが

らの工学基盤は産と学の連携の先にどのように研究としての技術の深みをつくっていくのかという大学の本来の役割と、それをアプリケーションにどのようにつなげるのかという産業界側の役割の両輪が、きちんと軸でつながることが非常に大事であると思っている。

■ドイツの産業を支える研究・人材政策

話題提供1「ドイツの産業を支える研究・人材政策」

永野 博（政策研究大学院大学 客員研究員）

ドイツの産業を支える研究・人材政策ということでお話しする。今日の話の流れは、1.私の経歴、2.総合大学における博士養成、3.専門大学におけるエンジニア養成、4.職業教育における技能者養成、5.すべてのネットワーク化、6.まとめである。

私は高校の頃からドイツに縁があり、本日の話に至っている。CRDSの海外動向ユニットの立ち上げにも関わっている。

私のドイツとの接点

高校時代

- ・外国への関心 - ドイツオペラ
- ・高校3年 ドイツ語

大学時代（機械工学科、政治学科）

- ・休学、ヒッチハイク、ユーレイルパス
- ・アーヘン工科大学 聴講生(1968年冬学期)

科学技術庁

- ・ミュンヘン大学留学(政治学科)(1976~1978)
- ・在独大使館科学技術担当(原子力など)(1983~1986)

JST CRDS

- ・海外動向ユニットの立ち上げ(2005~)

図10-36 ドイツとの接点

ドイツの技術者育成ルートについては、高等教育として、総合大学（理工学系総合大学を含む）と専門大学（応用科学大学）、職業教育として、二重教育（学校+職場）、さらにどちらも履修する二重大学教育がある。

ドイツの技術者育成ルート

1. **高等教育1.** 総合大学、理工学系総合大学
2. **高等教育2.** 専門大学(応用科学大学)
3. **職業教育** 二重教育(学校+職場)
4. **二重大学教育** 3+2 or 3+1

図10-37 ドイツの技術者育成ルート

図10-38は文部科学省が公表しているドイツの学校系統図で、左側の縦の列が学年で、左側から2番目の列が年齢になる。3歳の幼稚園から始まって24歳ぐらいまでである。右のほうの縦の列は初等教育、中等教育、高等教育とあるが、赤でくくってあるのが総合大学、工学研究科などに行くルート、オレンジが大学で、専門的な技能を有する大学になる。左側が、日本では職業教育、ドイツでは二重教育というが、この3つのルートがある。ドイツでは中学校ぐらいからこのルートの選択によって進む学校が違って来る。

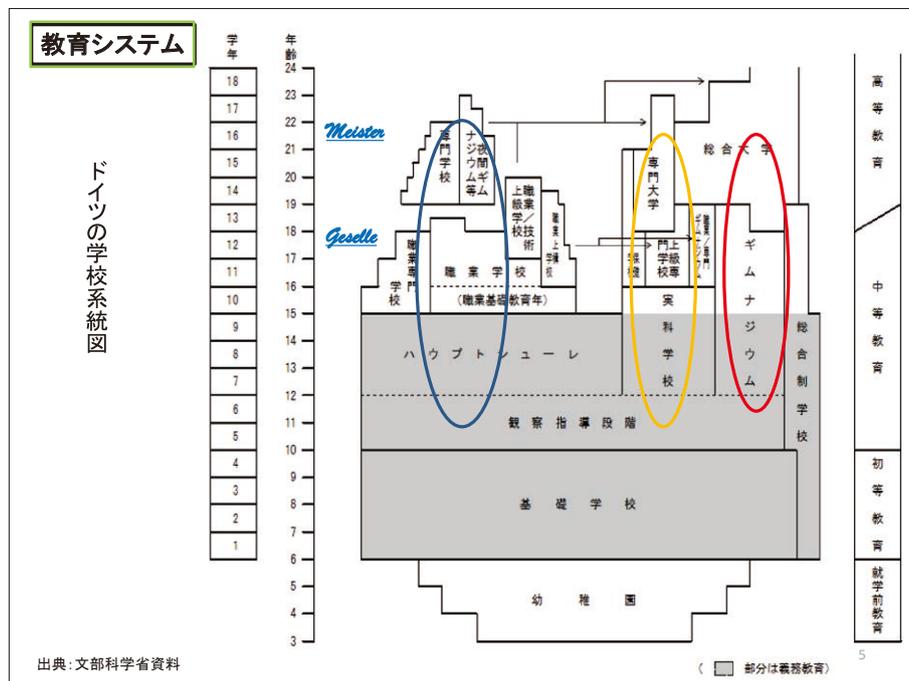


図10-38 ドイツの教育システム

まず高等教育については、ドイツでは博士課程人材は学生ではなく社会人として扱われている。したがって授業料はなく、教授の了解を得て大学と雇用契約を結んで博士課程に在籍する形態がとられている。例外はあるが、日本で言うような大学院はないことになる。

博士課程の俸給については、基本的にドイツの博士課程在籍者はポスドク（毎月4,000ユーロから6,000ユーロ弱の給与）の半分の給料をもらうことになっているが、これは若干フレキシブルで、特に工学では民間企業の引きも多いので、ポスドクと同額ぐらいもらっているところが多い。手取りの金額は税金や保険を差し引いて半分ぐらいになるのではないと思われる。したがって、親からのお金をもらっている人はいない。ドイツでは博士人材は大量に出しているが、民間企業からの需要が多く、不足気味と言われている。

ドイツにおける博士課程人材

- ・学生ではなく**社会人**
- ・教授の了解のもと、大学と**雇用契約**
- ・**俸給**はポスドク(€4,074～5,872 / 月)の50%(基本)～100%、工学では100%か。
- ・親からの資金で生計: 2%未満
- ・博士人材は不足気味(理工系需要大)

図10-39 ドイツにおける博士課程人材

図10-40は、日本とドイツの大学システムにおける研究活動の質的規模の分布を表している。青の棒グラフの多くの大学が引用数の高い論文を出している。日本は図のピンクの棒グラフが該当するが、1、2位の東大、京大の後は急激に下がっていく。

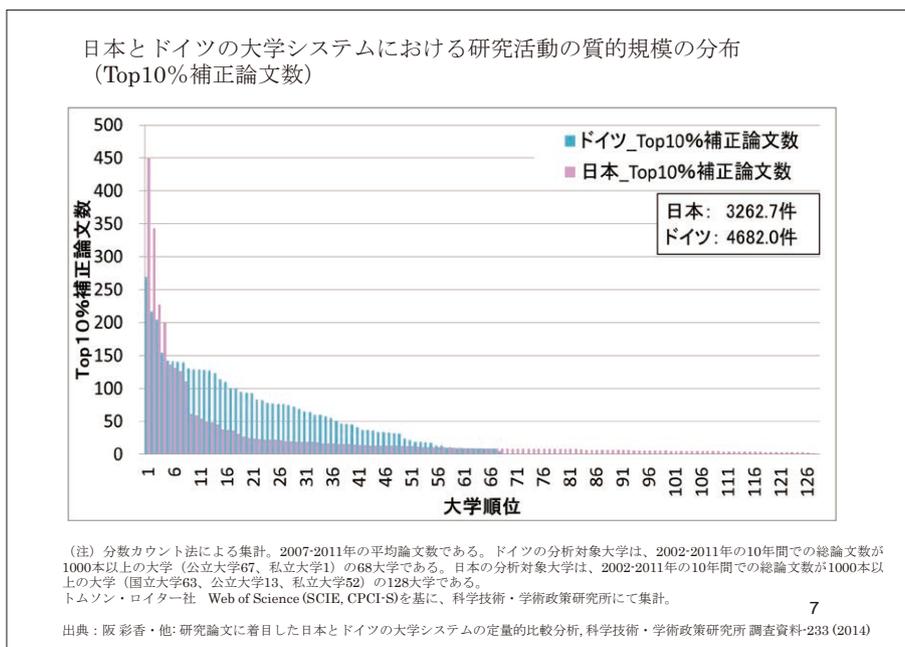


図10-40 日本とドイツの大学システムにおける研究活動の質的規模の分布

図10-41は研究費についてで、日本は東大を1とすると10番目ぐらいの大学は10分の1ぐらいになる。ドイツの場合は徐々に下がっていくが、それなりの資金を獲得している。

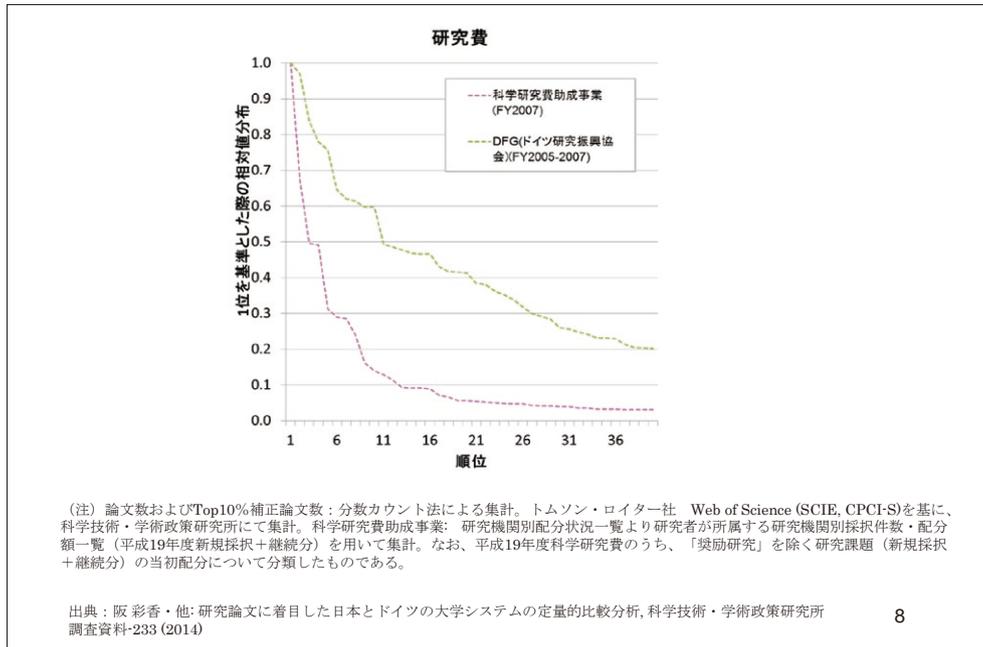


図10-41 日本とドイツの大学システムにおける研究費の分布

図10-42は、論文数による大学の順位を表しており、左側がドイツ、右側が日本になる。日本では引用数の多い論文を出している10の大学が化学、工学のような個別の専門分野でもほぼ10番目までを占めている。ドイツの場合、上位の大学でも、全ての分野で良いわけではなく、下位であっても専門分野で10番目に入る大学が多々あるといったぐあいに、いろいろな大学にレベルの高い分野が散らばっている特徴がある。

全分野および8分野における日独上位大学の顔ぶれの比較

■ 日本は、全体および各分野とも1-10位に入っているところは大学がほぼ固定されているが、ドイツは分野によって上位にくる大学が異なる。

ドイツ										日本															
大学名	化学	材料	物理	計・数	工学	環境・地球	経済	国際	生命科学	全分野合計	規模分布(論文数)	大学名	化学	材料	物理	計・数	工学	環境・地球	経済	国際	生命科学	全分野合計	規模分布(論文数)		
UNIV MUNICH	2	15	3	8	23					1.0	1.0	東京大学	4	3	1	1	2	3	2	3	2	1	1.0	1.0	
UNIV HEIDELBERG	14	36	7	22	18	18	1	2	2	0.9	0.9	京都大学	4	4	3	2	3	2	3	2	3	2	0.7	0.7	
TECH UNIV MUNICH					15	15	8	7	3	0.8	0.8	東北大学	5	1	2	4	2	1	2	3	5	6	3	0.6	0.6
UNIV WÜRZBURG	59	56	59	63	61	60	6	4	4	0.6	0.6	筑波大学	3	4	3	3	13	2	3	4	3	4	3	0.6	0.6
UNIV BONN	21	53	5	14	22	8	10	3	5	0.5	0.5	九州大学	6	6	8	8	6	6	4	5	4	5	6	0.4	0.4
UNIV ERLANGEN NUREMBERG					74	74	7	16	6	0.5	0.5	慶応義塾大学	7	7	8	10	3	2	1	4	4	6	7	0.4	0.4
UNIV TUBINGEN	29	49	23	20	23	12	1	6	7	0.5	0.5	名古屋大学	6	4	6	9	7	1	4	7	4	7	6	0.4	0.4
UNIV GOTTINGEN	31	25	19	19	33	7	21	3	8	0.5	0.5	東京工業大学	4	5	5	5	4	8	4	8	4	25	6	0.3	0.3
UNIV FRANKFURT	24	22	21	13	19	25	6	10	10	0.5	0.5	岡山大学	12	10	12	12	10	14	10	10	10	10	10	0.2	0.2
UNIV WÜRZBURG	4	17	15	16	3	20	20	30	10	0.5	0.5	信州大学	11	12	10	12	12	10	14	10	10	10	10	0.2	0.2
UNIV MAINZ	3	17	25	25	39	16	11	11	11	0.5	0.5	慶応義塾大学	18	22	18	10	10	11	7	13	11	11	11	0.2	0.2
UNIV KOBLENZ	15	52	13	35	31	14	15	16	12	0.5	0.5	岡山大学	14	27	17	10	17	11	16	12	12	12	12	0.2	0.2
UNIV KARLSRUHE	36	20	49	34	10	17	20	19	19	0.5	0.5	神戸大学	19	35	19	20	19	13	13	12	13	13	13	0.2	0.2
KARLSRUHE INST TECHNOLOG	17	7	1	11	2	46	46	14	14	0.5	0.5	神戸大学	17	30	15	14	13	17	15	11	14	14	14	0.2	0.2
UNIV WÜRZBURG	33	23	31	32	28	45	19	23	15	0.5	0.5	名古屋大学	27	31	27	31	44	22	12	17	15	15	15	0.1	0.1
TECH UNIV DRESDEN	18	2	4	10	11	28	23	24	16	0.5	0.5	中部大学	48	14	11	11	28	80	48	16	16	16	16	0.1	0.1
UNIV COLOGNE	31	45	12	23	35	17	11	17	17	0.5	0.5	日本大学	24	42	28	28	31	40	19	14	17	17	17	0.1	0.1
UNIV MÜNSTER	26	35	20	27	35	18	13	18	18	0.5	0.5	東京理科大学	77	37	34	33	33	34	34	19	18	18	18	0.1	0.1
UNIV ZÜRICH	13	15	24	20	22	26	18	19	19	0.4	0.4	南京医科大学	3	15	12	13	14	43	81	50	19	19	19	0.1	0.1
UNIV LIPZIG	22	27	25	14	42	34	13	14	20	0.4	0.4	早稲田大学	23	19	55	29	35	20	24	20	20	20	20	0.1	0.1
UNIV DUISBURG ESSEN	35	15	42	13	22	42	32	21	0.4	0.4	早稲田大学	52	32	31	27	26	28	28	21	21	21	21	0.1	0.1	
UNIV STUTTGART HOHENHEIM	31	18	17	7	13	47	21	22	0.4	0.4	大阪市立大学	25	45	16	18	70	35	27	34	22	22	22	0.1	0.1	
UNIV DUISBURG ESSEN	35	55	45	45	57	52	14	23	23	0.4	0.4	長崎大学	45	83	65	76	80	34	16	18	23	23	23	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	33	23	31	32	28	45	19	23	15	0.4	0.4	法政大学	18	16	25	40	30	37	36	24	24	24	24	0.1	0.1
HANNOVER MED SCH	61	58	63	64	64	53	8	22	25	0.4	0.4	徳島大学	30	33	62	49	51	27	45	16	25	25	25	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	20	46	24	39	55	45	10	27	26	0.4	0.4	法政大学	20	44	31	37	34	34	36	24	26	26	26	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	36	43	27	39	38	49	13	17	17	0.4	0.4	東京理科大学	77	37	34	33	33	34	34	19	18	18	18	0.1	0.1
UNIV HAMBURG	34	34	7	31	23	7	39	33	28	0.3	0.3	信州大学	34	35	38	34	41	38	34	23	28	28	28	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	32	39	34	34	40	37	19	20	20	0.3	0.3	徳島大学	48	39	35	47	38	35	37	29	29	29	29	0.1	0.1
HUMBOLDT UNIV	27	41	11	18	24	21	37	28	30	0.3	0.3	岡山大学	22	28	50	43	47	32	58	28	30	30	30	0.1	0.1
UNIV BIELEFELD	49	50	29	47	49	30	28	16	31	0.3	0.3	大阪府立大学	18	11	23	25	15	38	85	40	31	31	31	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	38	44	40	36	51	37	28	28	32	0.3	0.3	徳島大学	38	47	37	51	34	51	26	32	32	32	32	0.1	0.1
TECH UNIV DRESDEN	12	16	15	7	15	31	55	52	33	0.3	0.3	慶応義塾大学	85	35	58	50	82	28	39	21	23	23	23	0.1	0.1
TECH UNIV BERLIN	18	16	19	14	19	27	51	44	34	0.3	0.3	鹿児島大学	59	24	43	17	32	26	38	38	34	34	34	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	30	24	42	44	49	35	30	28	35	0.3	0.3	信州大学	31	29	38	27	16	18	33	59	35	35	35	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	37	18	48	28	27	55	27	34	36	0.3	0.3	岐阜大学	48	108	80	86	57	50	30	10	36	36	36	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	38	37	31	42	32	33	35	37	37	0.2	0.2	信州大学	107	98	85	104	111	85	11	31	37	37	37	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	39	38	28	13	21	44	47	38	42	0.2	0.2	岡山大学	47	58	58	39	39	42	48	38	38	38	38	0.1	0.1
UNIV WÜRZBURG	44	30	53	18	18	61	34	39	39	0.2	0.2	徳島大学	61	80	77	82	84	75	21	35	39	39	39	0.1	0.1
UNIV BREMEN	42	33	45	38	15	41	48	40	40	0.2	0.2	山梨大学	26	34	32	26	40	48	75	80	40	40	40	0.1	0.1

注： 分数カウント法による集計。2007-2011年の平均論文数である。日本、ドイツともに、論文数及びTop10%補正論文数を降順に並べている。ここでは、2002-2011年の10年間に1000件以上の論文を産出した日本の128大学、ドイツの68大学を対象としている。
 出典： 科学技術・学術政策研究所、研究論文に着目した日本とドイツの大学システムの定量的比較分析-組織レベルおよび研究者レベルからのアプローチ、調査資料-233 (2014)、http://hdl.handle.net/11035/2995

図10-42 全分野および8分野における日独上位大学の顔ぶれの比較

これまでの説明は総合大学についてであるが、ドイツの場合、その倍ぐらいの数の専門大学が230ある。このうちの半分ぐらいが技術関係になる。学生数を見ると、総合大学のほうが多いので、専門大学は小規模であちこちにあるイメージである。専門大学は、総合大学と同じ資格の学士、修士を授与できる。ドイツのエンジニアの70%以上はここから輩出されている。最近、博士も出せるようにもなりつつある。

総合大学と専門大学の違いだが、特に専門大学の教授は5年以上の産業界の経験が求められる。専門大学では1学期間は企業に行くことと、論文も企業で書くこともできる。

ドイツには中小企業、中堅企業がたくさんあり、伝統的に専門大学と良好な関係を有している。専門大学の場合、地域ニーズにも合わせていると思われるが、Industrie 4.0が出てきたような場合、中小・中堅企業からニーズが伝えられるため、専門大学はカリキュラムを需要に合うような形に変えているところがある。

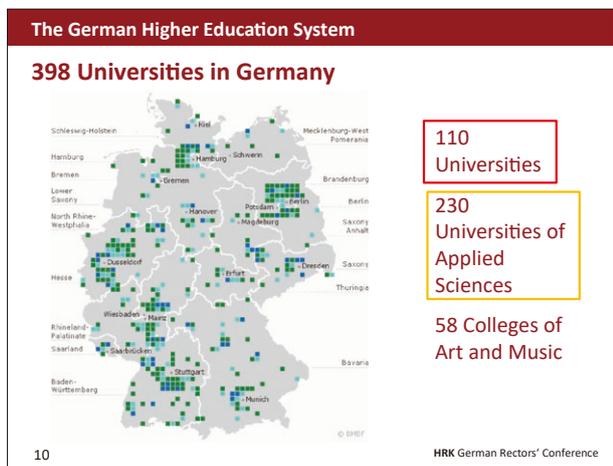


図10-43 ドイツの高等教育システム

専門大学(応用科学大学)

1. イメージとしては、修士までさせる高専
2. 以前の技術者学校などが、60年代のスポーツニクショックの後、専門大学となった。
3. ドイツのエンジニアの70%以上を輩出
4. 工学系が多いが、経営、社会学、健康医学・介護関係など
5. 授与できる資格が、以前は総合大学より劣っているとされていたが、ポローニャ改革以降、同じ資格の学士、修士を授与することが可能になった。
6. 総合大学出身でない親にとって、進学を勧めやすくなった。
7. 博士号を出すためには総合大学との協力が不可欠
8. 英語では、University of Applied Scienceを使用
9. 再教育への需要

図10-44 ドイツの専門大学(応用科学大学)の概要

総合大学と専門大学の特徴比較

	総合大学 (Universität)	専門大学 (Hochschule)
教授資格	PhD + 大博士号	PhD + 5年間の産業界経験
教科の特徴	理論重視。研究と教育の一体化	応用重視。課題解決のための応用研究
PhD授与権限	あり	なし
設置学科	全科目	エンジニアリング(ドイツの75%のエンジニアの出身母体)、経営、社会・健康科学
インターン論文	12週	1学期間。企業での論文作成

図10-45 ドイツの総合大学と専門大学の特徴の比較

Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences

The Situation in Germany

《 Industrie4.0は関心をよんでいるテーマ

《 大企業は

- ・ 既にさまざまなイノベティブな技術を導入している。
- ・ 研究大学や研究機関とコンタクトを確立している。
- ・ 中小企業に対してIndustrie4.0への適合性を要求し始めた。

《 中小企業(被雇用者の60%以上)は:

- ・ 状況変化に不安感
- ・ Industrie4.0のテーマの実現には支援が必要
- ・ Industrie4.0の知識を有する若手の優れた頭脳が必要
- ・ 伝統的に専門大学と良好な関係を有している。

bw-i Japan/Korea ©2016 Hochschule Esslingen August 26, 2016 14

図10-46 ドイツにおける企業のIndustrie4.0への対応

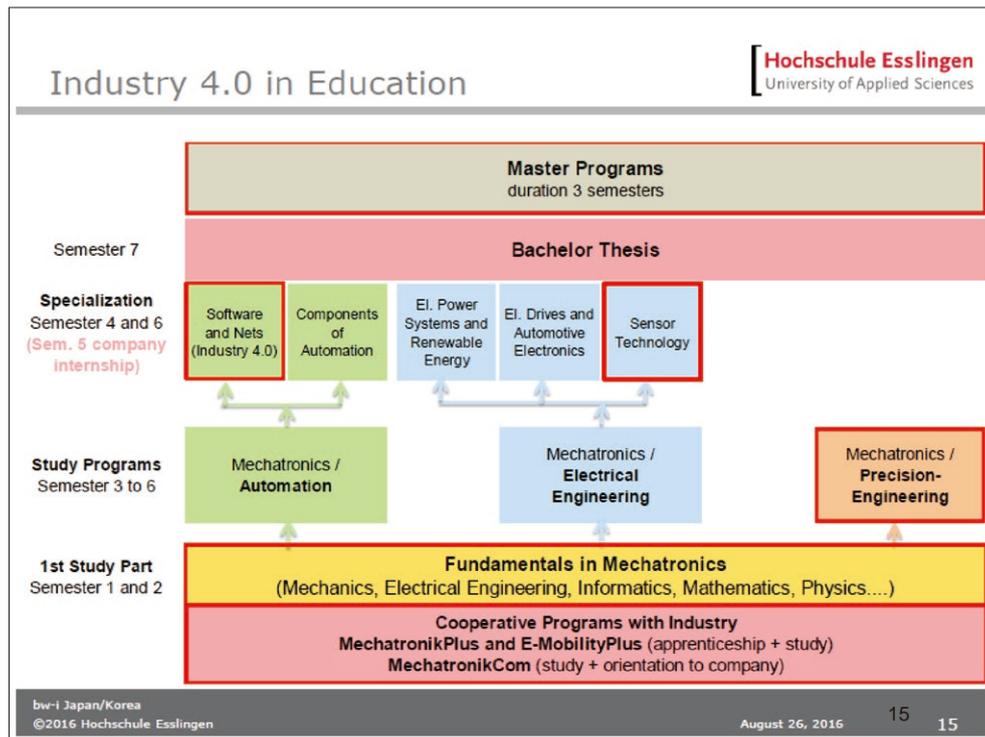


図10-47 専門大学のカリキュラムにおけるIndustrie 4.0への対応の事例

若干古いですが、図10-48は2014年までであるが、高等教育（総合大学と専門大学）と二重教育（職業教育）に入る毎年の入学者数になる。グリーンが高等教育で、ブルーが職業教育になる。2014年時点は大体同じぐらいのようで、大体50万人ずつとなっている。

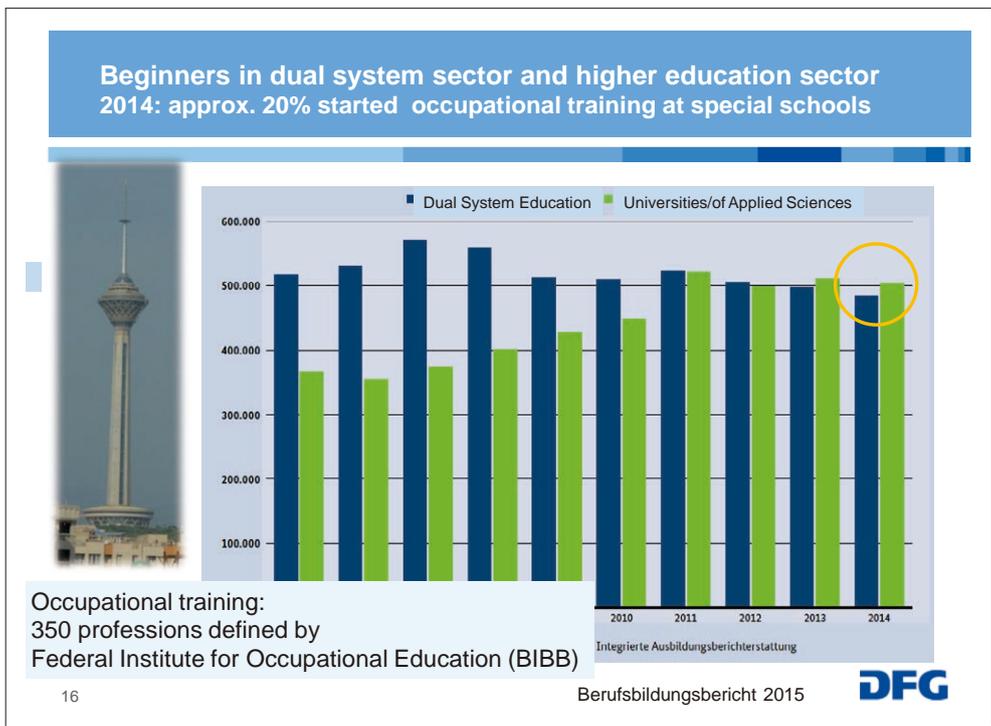


図10-48 高等教育と二重教育への入学者数の推移

職業教育における資格の一つにマイスターがあるが、ビールの商品名やオペラのマイスタージンガーなどで日本でも知られた言葉である。職業教育はドイツでは二重教育と言われている。何で二重かというと、3分の1の時間は学校での理論を学び、3分の2は企業で実務を行うので、そう呼ばれている。企業は仕事を全然できない子が入ってきても給料を払う仕組みになっている。3年たつうちには元が取れるようである。職業学校の修了を自治体が認定した後、最終的には民間の商工会議所や手工業会議所が実務試験を行って教育の修了を認定し、職業資格を与えられる。経験を積み、学習も行えばマイスターなどになる。マイスターは、学士号と同等の教育水準とみなされ、大学に転換することも可能である。逆に高等教育に進む高校を出て、職業教育に行く子もいる。

◎ **二重教育(職業教育)システム**を簡単に紹介すると・・・。
(Duale Ausbildung, Berufliche Ausbildung)

- ・高等教育を目指さない生徒(主に基幹学校修了生)は職業教育に進む。(約52万人/年)
- ・生徒の年齢は10歳代後半
- ・教育は三分の一が職業学校での理論、三分の二が企業等での実務
- ・理論(座学)は1.5時間/週、あるいはまとめて行う形式も存在。
- ・企業は給与を支払う。(€600/月程度)
- ・職業の種類は326
- ・各職業の実務にもカリキュラムが存在。カリキュラムを統一するため、会議所の全国組織が存在。
- ・企業ではできない特定の作業を学習するための施設を会議所が設置。
- ・職業教育の責任機関は会議所(商工会議所、手工業会議所)
- ・修了するには、先ず職業学校を修了し、その後、実務試験に合格すること。
- ・修了は会議所が認定。
- ・修了者はGeselleなどの称号を獲得し、国内どこでも就職可能となる。
- ・さらに経験を積めば、Meister試験などに挑戦する。
- ・独立事業所開設にはMeister資格が必要。
- ・**Geselle、Meisterなどは教育の一定水準と認定され、専門大学、総合大学への転換も可能。**
- ・**普通高校で大学入学資格を得た生徒が職業教育に入る事例も相当数存在。**
- ・**高等教育中に職業教育を同時並行して受けることも人気**

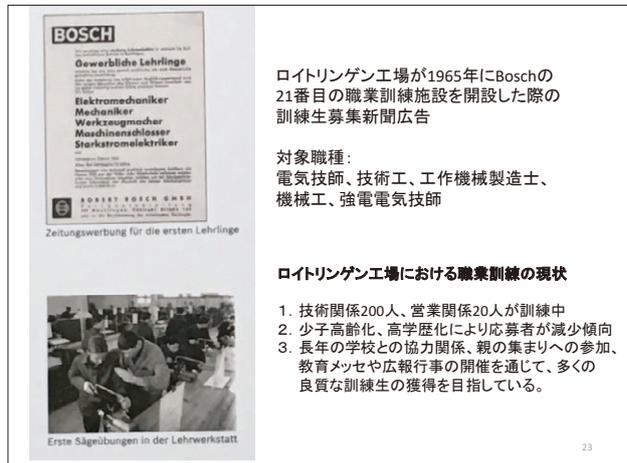
18

図10-49 ドイツの二重教育(職業教育)システム

企業等における実習教育では、現場で習うわけだが、どの会社にもいろいろな設備があるわけではないので、商工会議所や手工業会議所、あるいは複数の企業が共同で写真のような施設をつくって、そこに一定の期間、特別な機械に習熟したりIT教育などを受けることができる。Boschなど大企業も職業訓練設備を設け同様の取組を行っている。



図10-50 企業共同の職業訓練施設



ロイトリンゲン工場が1965年にBoschの21番目の職業訓練施設を開設した際の訓練生募集新聞広告

対象職種:
電気技師、技術工、工作機械製造士、
機械工、強電電気技師

ロイトリンゲン工場における職業訓練の現状

1. 技術関係200人、営業関係20人が訓練中
2. 少子高齢化、高学歴化により応募者が減少傾向
3. 長年の学校との協力関係、親の集まりへの参加、教育メッセや広報行事の開催を通じて、多くの良質な訓練生の獲得を目指している。

図10-51 Boschの職業訓練施設

もう一つ、二重大学教育というのがある。先ほどの二重教育と表現が似ているが、これは大学に入りながら職業資格を取るというもので最近、履修者数が増えている。

仕組みとしては以下の通りである。

1. 大学入学資格を有する者が、学部終了時に学士と職業資格の両方をとる仕組み。
2. 学生は有能、忙しい。夏冬の休み中は企業で働く。

3. 雇用契約を締結し、給与をもらう。
4. 最近、このシステムの履修者が増加傾向。

興味深いのは、ドイツの職業等級で、図10-52の通り1から8までであるが、最上級はドクターで、その下がマスター、その下がバチェラーになる。バチェラーのところにもマイスターというのがあり、マイスターは学士と同等とされているので、さらに教育を受けたい場合はそれなりの準備をする必要はあるが、修士に入る資格がある。

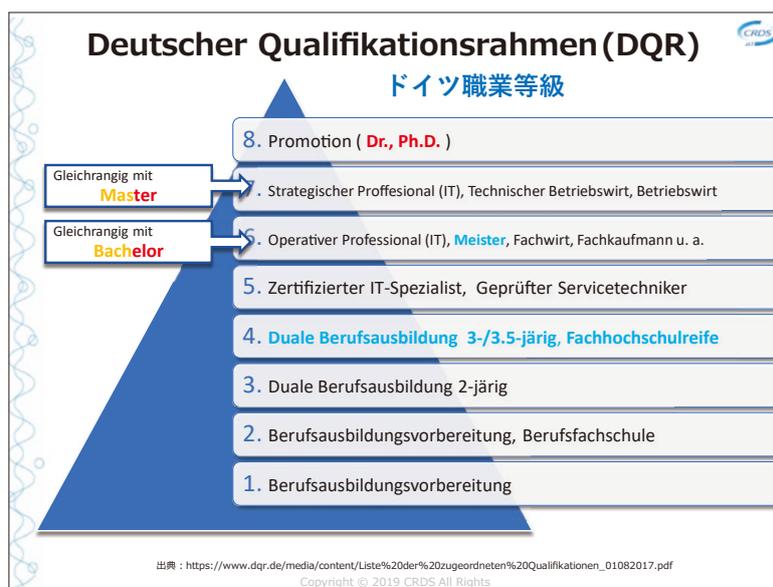


図10-52 ドイツの職業等級

まとめであるが、ドイツの場合、社会は組織ではなく人から成り立つ。したがって、人の能力、専門性が重視されていて、それに応じて自分のキャリアをつくっていく。そういうキャリアをサポートする支援もある。

手工業所の話があったが、ドイツでは次世代の人材を育てることは政府というよりも社会の役目だという認識がある。工学の基盤という観点で見ると、高等教育から実際の現場に至るまでのいろいろなフェーズで豊富な人材が養成されていて、このような人々がネットワークをつくっていて、資格で保証された専門性に基づき比較的簡単に移動することが強みになっている。

■大学と産業界工学基盤研究の関わりや連携の在り方

話題提供1「大学と産業界の工学基盤研究の関わりや連携のありかた～東京工業大学工学院における取組のご紹介」

岩附 信行（東京工業大学 副学長・工学院）

自己紹介すると、私は東工大にずっといる。博士論文研究は歩行機械の機構総合で、機械要素・機構学という基盤的な研究室であった。それを修了して就職した先が学内の研究所の歯車工学部門という、本日の話題になるような基盤的な部署であった。その当時、34年前であったが、この歯車工学部門に入る時に、近くの先生から、今から歯車やって何するのと言われたことが鮮烈に記憶に残っている。

2016年東工大が改革するという事で組織の改編があり、私は工学院院长に選ばれ、そこから苦悩と葛藤が

始まり、本日の話につながる。工学院は工学部と大学院工学研究科が一緒になったような組織である。

その改革とは、まず組織を再編しようということで、これまでの3学部23学科45専攻が、6学院19系に改編された。系が学科、学院が学部にあたる。

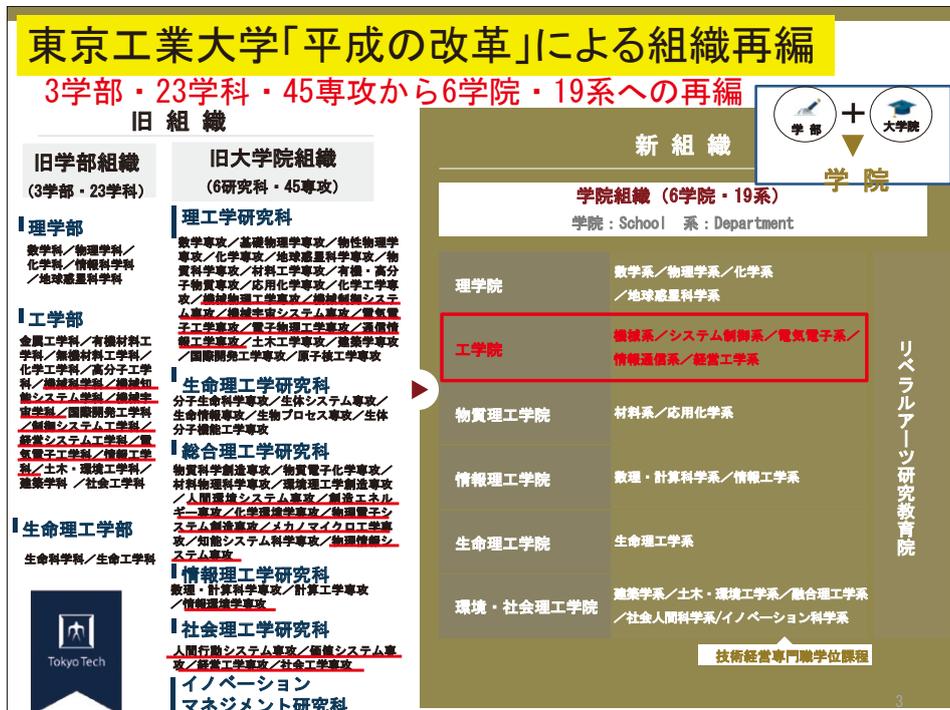


図 10-53 東京工業大学「平成の改革」による組織再編

この工学院、機械系、システム制御系、電気電子系、情報通信系、経営工学系と、これを束ねる学院になって、いろんなところが融合集散して構成したことになる。ここで、すぐ感じていただけたらと思うが、機械や電気電子といった辺が基盤的な分野になる。

その初代の院長としてどのようにやっていくかということで、伝統や実績のある工学研究を継続・発展させる。そのうえで、持続社会のためにグローバルな研究課題に取り組める体制にしようということで取組み、組織を改革しようと考えた。

まず従来の大学の講座・研究組織を大きくくりで再編する。そうしないと基盤分野が生き残れないと思った。それから、これまでの学科、そしてデシプリン、それを超えて融合的な研究ができる組織をつくらうとした。ということで系横断研究グループを作った。できれば新たな大規模産学連携研究を推進していく。これからは産学連携して稼いでいかなければならないということであった。

図 10-54 が系横断グループの例になる。統合 IoT 技術グループとって、例えば機械系の、制御系の、電気電子系の、情報通信系とそれぞれから出てくるものを学科横断、系横断で研究を実施する体制を作った。



図 10-54 東工大の系横断研究の事例

それを中核にして、卓越大学院に申請・採択された。テーマは、量子力学の基礎を理解してサイバー／フィジカル空間の工学分野に対応できるスーパードクターをつくらうということで、図10-55のような人材育成構想を描いた。これを申請するに当たってはいわゆる産学連携が必須なので、そのために超スマート社会推進コンソーシアムという、メンバー企業から会費を取って、研究や人材育成に投資していく組織を作った。

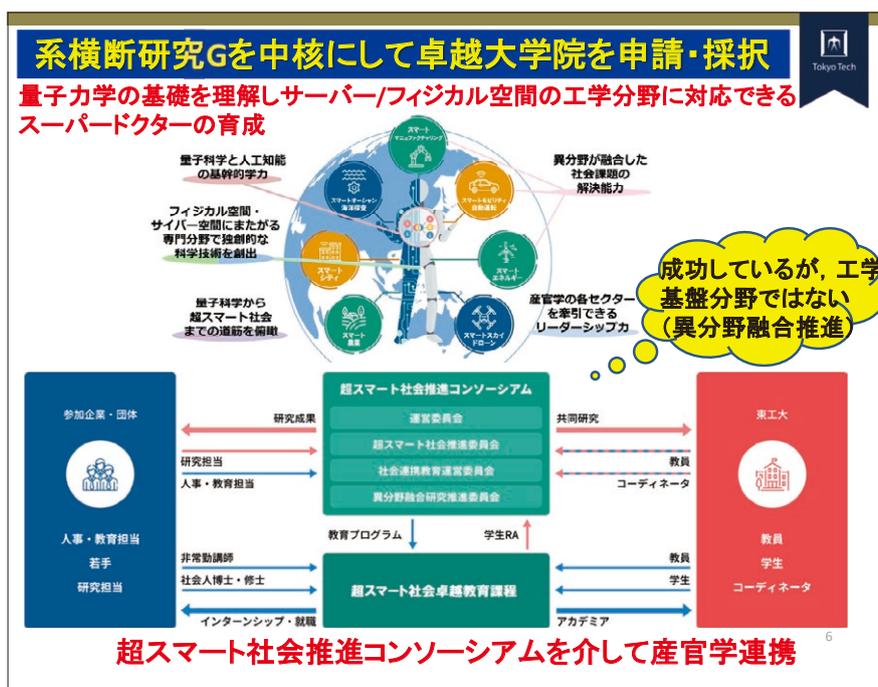


図 10-55 東工大の卓越大学院

産学連携がうまくいっていると考えていたが、これは異分野融合研究が推進されるものであって、決して基盤分野ではない。基盤分野のほうは研究・教育の人材をどう確保するのかというと、そもそも大学の人件費が不足している。大学の国際競争力のために論文発表実績の要求が多くなる。そして若手の研究者は任期付になって競争をあおられている。そして科学研究費や国家プロジェクト、そういった新規分野に偏重されていく状況があり、結果的に新規・先端分野のみ注目されて、基盤分野の昇進の人事はほとんど厳しくなっているという現状がある。若手研究者は短期間に成果を上げる必要があるため、競争資金が得やすいもの、大きな実験装置を使うのは避けている。そもそも研究者向けのポストが少なくなっており、特に基盤分野にはポストが配分されなくなっている。そのような先々昇進できそうにないポストは敬遠される。それ以前に、大学教員のポストに魅力があるかという問題もある。

工学院として人事戦略として、もちろん全体の将来構想を優先して、系のエゴを超えて将来構想を熱心に討議した。その結果、基盤分野が傍流に行きがちで、特に機械、電子・電気は学長サイドからも古いねと言っ て目の敵にされるような状況である。

そういうわけで、基盤分野は適宜融合して新たな分野をつくらうということと、ここが重要なのだが、細々と再編をしながらやっていこうということ、昔からの基盤分野をそのままの形で守ることはできないという考 えに至った。

図10-56は工学院の将来構想に関する学内の人事コンペ資料の例である。東工大では全ての教員人事が 学長の管轄下に置かれて、学長の前でコンペをしてポストを勝ち取ることになっている。

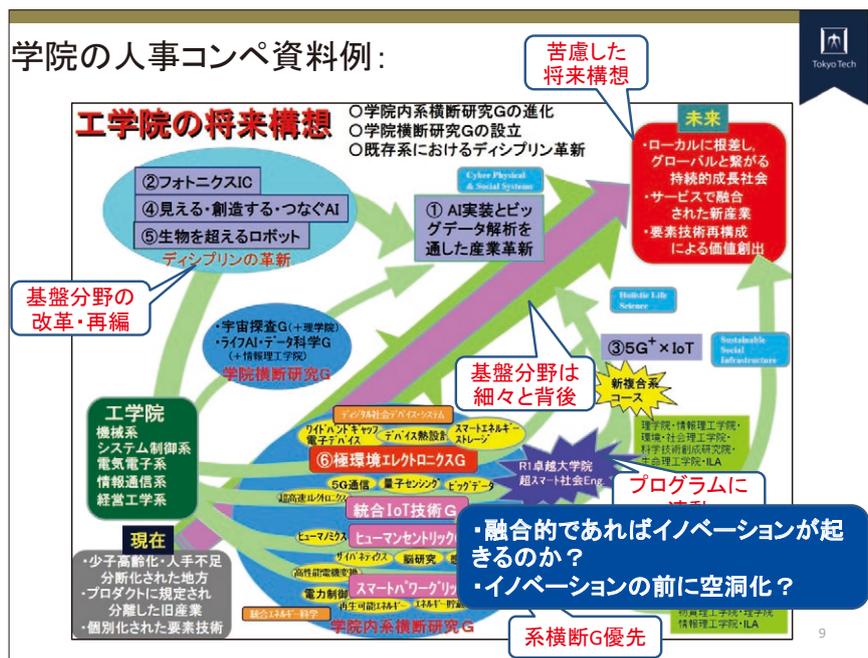


図10-56 工学院将来構想における基盤分野の位置づけの提案

先ほどの系横断グループをつくっていく、それから卓越大学院のプログラムを連動するなど素晴らしいことをやっていると言う。そして基盤分野を改革・再編していくとアピールする。それでもなおかつ昔からある工学基盤をきちんとピンク色の方向で示す矢印の背後に緑色で太く書くという苦労した絵を描いている。このような構想を提案して、何とか人事ポストを勝ち取るということをやっている。

ただ、こんなふうに融合すればイノベーションが起きるのかというと、決してそうではない。これは人事だけに限定されず、イノベーションの前に基盤的分野が空洞化したらどうにもならないのではないかと考えている。

基盤分野の財源がどうなっているのかというと、特に基盤分野の中で特に研究資金も人材も確保が難しい分野がある。機械工学の例では、機械要素研究、歯車、軸受などは、科研費に採択されにくく、大学からは予算をどんどん縮小されている。そして若手人材を雇用できない。ポストが獲得しにくい。そもそも入ってこないということで、国内でこれらの研究分野が衰退しているように思う。

30年ぐらい前、歯車の国内の有力大学というのは、東北大、東工大、京都大、九州大の4大学だった。転がり機械要素、軸受などは東京大、明治大の2大学が非常に有名であった。今でも続けていらっしゃる方がいるかとは思いますが、後継者が不足してこのポストがどこかに転換されたりして、研究室がどんどん消滅しつつあるのではと想像している。こういった研究分野が絶滅するという危機感を持っている。

このことは教育にも支障があり、こういった機械要素のことを専門家でない教員が機械設計という大まかな教育の一部で簡単に講義するだけで終わってしまう。学生もあまり学ばずに過ごす。その一方、機械学会をはじめとする学会で歯車講習会を開くと満員の盛況になる。つまり基盤分野の需要は極めて高い。他方、中国やインドといった新興国では、この歯車研究が進展していて、日本が取り残されてしまう焦燥感もある。これは、単に国内の歯車工学研究が消滅するというだけではなくて、イノベーションから大量製造に至る前に必要な技術が消滅してしまうのではないかと感じている。

そこでドイツの事例に学んでみた。これはいろいろ大学間国際連携をしている中で、同じような機械要素の研究をしているグループの教授と会った時に、大規模にやっているということで、詳しい情報を聞いた経緯がある。

大ざっぱに言いうと、ランキングにとらわれ過ぎずにやっているということだ。それと何より産業界と密接に連携している。例に取り上げるのはアーヘン工科大学の工作機械研究所である。1906年（116年の歴史）に設立され、工作機械、生産・製造技術、測定と品質管理が対象とされ、動力伝達（歯車工学）の4部門がある。4人の教授が率いる世界最高峰の一大拠点である。多くの職員、ポスドク、博士学生が所属している。

図10-57の通り、歯車に関して設計、性能評価、その作り方、アプリケーションとして振動なども全部一括してやっている。国際ワークショップを毎年開催し、いろんな世界の会社が参加している。

The image shows a program for the 60th International Conference on Gear and Transmission Research (GTR) held in Aachen, Germany. At the top, there is a photograph of the conference venue with people networking. The program is organized by day and time slots, listing various technical sessions and speakers. The central theme is '60th Arbeitstagung Zahnrad- und Getriebeuntersuchungen' (60th Conference on Gear and Transmission Research). The program includes sessions on dynamic gear behavior, tribology, and gear design. The event is co-organized by RWTH Aachen University and WZL (Workshop Technology Laboratory).

図10-57 国際ワークショップ

図10-58がこの研究所を支えている企業であるが、このように世界中から有力企業が参加している。特に歯車関連は、世界の自動車会社、日本で見たことのある会社も入っていて、こちらには投資するが、なかなか日本の大学とは産学連携してくれない。

活動を支える企業の研究サークル

Member Companies

世界の自動車会社・歯車工作機械会社が参画

図10-58 アーヘン工科大学工作機械研究所の活動を支える企業の研究サークル

特に動力伝達(歯車工学)の活動

伝達性能
Getriebeuntersuchung

Analyse und Optimierung des Einsatzverhaltens

Analyse und Optimierung der fertigungsbedingten Bauteilabweichungen

振動・騒音

設計
Berechnung & Simulation

Auslegung und Fertigungssimulation

加工
WZL HPより

Technologie der Zahnradfertigung

図10-59 動力伝達(歯車工学)の活動

同様な研究開発組織を我が国につくりたいと思って、勝手に名前をつけたのだが、絶滅危惧機械要素研究センターというコンソーシアムをオールジャパンで、国家予算に頼らず産業界の資金で、つまり科研費がなく

でもできるようにしたいと考えている。そして研究成果はコンソーシアムメンバーで共有する。特に大型や長期の実験も含めた息の長い研究を可能にする。これこそが工学基盤だと思っている。そして、この研究所の中でコンソーシアムメンバーの企業人のリカレント教育も含められればと考えた。

まず手始めに、東工大内にある共同研究講座、建機で有名な会社、工作機械や伝達機構で有名な会社、それぞれが共同研究講座を持っているので、コンソーシアムをつくりませんかと働きかけた。そうすると基本的にはいい発想ですねと言ってくれるのだが、実は乗り越えるべき多くの課題が出てくる。知財の合意はどうするんだ、同業他社が入ってきたら困るとか、基本的に総論賛成だが各論反対でうまくいかないということになる。そもそも担当する人材がいるのかという問題もある。ただ、日本のためにと、数年後に設立できればと細々と努力しているところだ。

以上が、工学基盤に関する東工大工学院の取組になる。

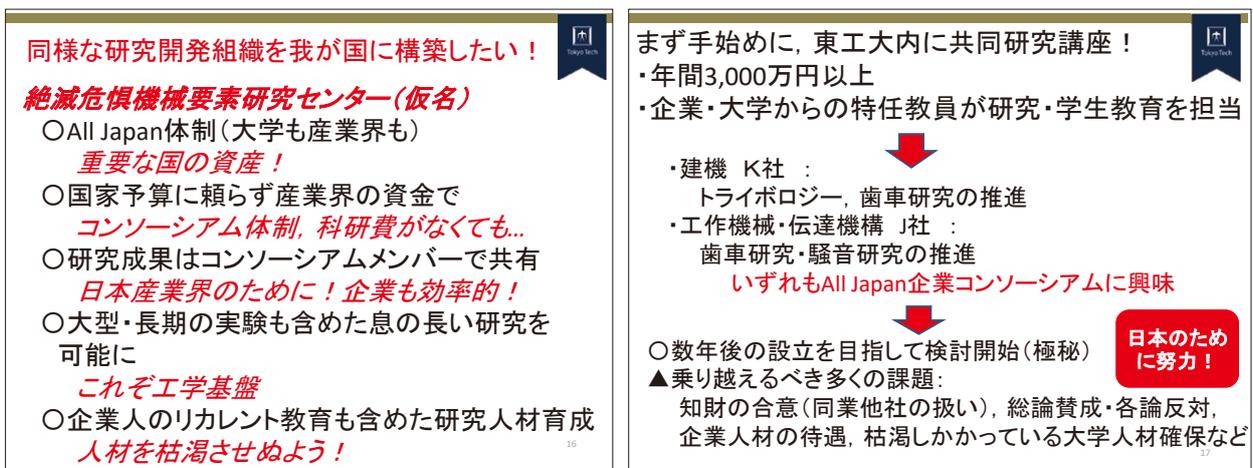


図 10-6 東工大の工学基盤構築の取組

話題提供2「工学基盤研究の発展に向けて」

北村 隆行 (京都大学 理事・副学長)

私は、修士を出てから電力中央研究所に入り、火力・原子力部に配属され、クリープや熱疲労など材料の高温強度の研究を行っていた。5年で退所し、京都大学に帰って助手として採用され、ドクター取得後にアメリカ航空宇宙局 (NASA) ルイス研究所に行った。今はグレン研究所と改称したが、推進をテーマとする研究所で、ロケットエンジン材料が研究対象であった。ただし、エンジニアリング・ノータッチと言われ、いわゆるエンジニアリングサイエンスである基礎基盤研究を行った。

だんだんと材料強度研究の中でも小さい傷や小さい材料に興味を持ち始めた。日本の技術分野の成長に従って、1980年代から1990年代で工業的研究対象にもいろいろな転換が起こっていた。発電機器やエネルギー機器という大型機器から、電子デバイスのような小さいものにシフトしていった。1990年前後の電子デバイス全盛の頃、強度をやろうと考えて、微小な材料の破壊を研究対象とした。1990年頃に分子動力学を習い、「原子の視点からも材料強度を見なければならない」、「材料力学も分子や原子から見る時代」と思いながら本格的な研究を始めた。

2000年代頃になると、機械の研究対象、あるいは化学の対象も電子デバイスだけではなく、センサー類やMEMS/NEMS等が入るようになった。これらのナノ材料の破壊の研究、特に強度実験法がこれまでなかったため、強度実験法開発を含めて研究をしていた。

これを進める中で、将来に向けて分子動力学だけではなくて、量子力学も機械工学の範疇の一つとして入ってくることに気づいて、第一原理解析を2000年ぐらいからやり始めている。

2010年代に入ると、ナノの材料の疲労のように非常に複雑な破壊も研究している。これには2通りあって、ナノの小さな材料の破壊・疲労と、もう1つは大きな材料で、ある局所部分から破壊が始まるので、その破壊を見ようとする研究である。量子力学的には破壊現象も電子の挙動から来ているので、強度とそのほかの物性、例えば、電磁気的な物性などを合わせて、力学だけではなく、ほかの関連したマルチフィジックス特性も含むところにシフトしてきた。

以上が私の略歴で、今日の主要な課題の工学基盤分野の研究を行ってきた。ここで、工学基盤分野について考える上で大切なベースラインがある。すなわち、次の3つの特徴を頭に置きながら今後のことを考えていかなければならないと思い、まとめてみた。

1つは、応用範囲（産業）が極めて広い分野で、私の材料強度研究遍歴を見ていただくと分かるように、エネルギー機器の構造物から移動体、デバイスなど基盤になっている産業のどれにも使うことができる。これが、いわゆるエンジニアリングサイエンスだ。言い方を変えれば、将来の新しい機器、設備のどの開発にも必ず役立ってくる必須なものである。企業の中で原子力をやっている方が火力をやっても構わないし、火力をやっている方がデバイスをやってもよくて、ある基盤分野を習得すると企業の中でも外へでも動くことができる。ただし、それは研究者・高度専門家として動けるというわけで、専門性が大切で、その専門性をまとめるのがプロジェクトリーダーになる。リーダーばかりをつくるのが工学の役目ではないと思っている。

工学基盤分野の特徴

- (1) 応用範囲(産業)がきわめて広い分野
例: 材料強度 構造物、移動体、デバイス、……
意味するもの: 将来の新たな機器・設備開発等に役立つ(必須の)学術
- (2) ある程度の知的集積が存在する分野
従来機器の設計・運用に関するバックグラウンドがある
意味するもの: 考え方の基礎は提示されている
- (3) 障壁を越えることによって発展できる分野
適切に研究する方法がなかったので未解明となっている障壁
今までにない対象(例: 新材料や新環境)による障壁
意味するもの: 適切な方法があれば、根本的な進展が見込める

図10-61 工学基盤分野の特徴

2つ目が、工学基盤は長い歴史を持っており、知的集積がある。考え方の基礎は提示されており、研究進展の取っかかりはある。別の言い方をすると、分からないところがどこかが分かっている。あるいは分からないことを越えられたらどんなふうなことができるかというのも、ある程度想像ができています。

3番目につながるが、障壁を越えることによって、大きな発展が期待できる分野である。ただし、2つの大きな障壁があるために、今、チャレンジをやめてしまっている。障壁の1つ目はその障壁にアプローチする技術がなかった、それを知りようがなかった。そこに難しいところがあるのだが、停止を乗り越える方策が見えなかったというような障壁になる。もう1つの障壁は、どんどん新しい材料が出てくる、新しい環境で使われるようなものが出てくる、というような新条件への対応というタイプの障壁になる。このことは逆に、適切な方法さえあれば、すなわち科学の発展や技術の発展があれば、根本的なところを突破できると考えられるとい

うことになる。

このベースラインを頭に置き、この研究の発展の鍵を見てみると2つあると思っている。

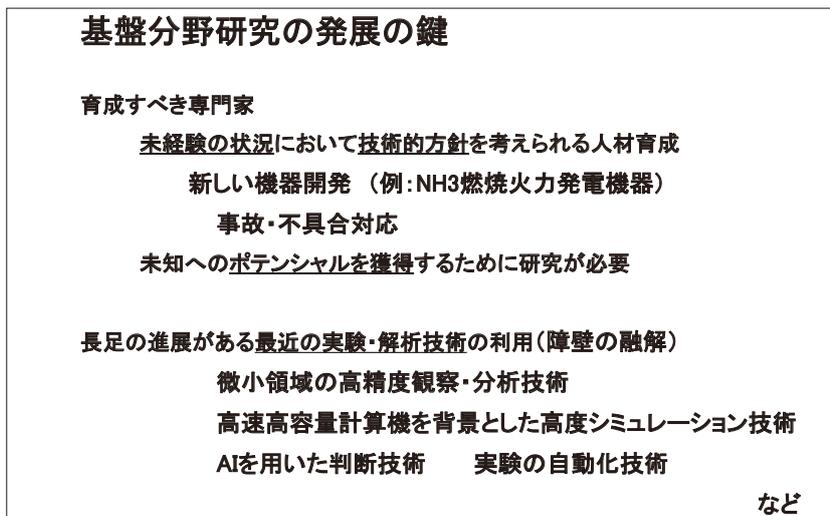


図 10-62 基盤分野研究の発展の鍵

1つは育成すべき専門家についてである。これは未経験の状況において技術的方針を考えられる人材だ。企業の新しい技術開発にとって何が必要かと考えると、何か不測の事態（例えば、事故・不具合）が起こった時に、こういうふうにすればいいのではないかとサジェスションできる人、すなわち未経験の状況でサジェスションできるような人のことを指している。それから、新しい機器開発をする時に、その分野だったら未経験の条件のことも任せとくれという人である。例えば材料の分野、熱の分野、流体の分野で、そういう人が集まり1チーム構成できれば、リーダーはとてもうまく機能を発揮できるだろう。

そのためには何が必要かという、未知への対応のために、ポテンシャルを獲得することが必要である。高いポテンシャルが必要だが、その形成のためには研究が必要であると思っている。研究のための研究ではなくて、人を育成する研究が、この基盤分野研究の一つのキープポイントだ。特に企業と一緒に研究を行う時に重要である。

それから、現在は新しい実験技術、解析技術が出ている。先ほど分子動力学や第一原理解析と申したが、解析もかなりの対象まで実施可能となっている。シミュレーションはもちろんだが、AIもこの中に入るだろう。

実験技術の進展や実験の自動化だけではなくて、高精度な観察・分析技術は、私が見ているだけでも驚くほどの発展がある。これは今まで設定していた障壁がもう既に融解している場合も多く、それに気がついていない人がたくさんいる。こういう基盤分野の研究が細っていて、基盤分野をやっている人が少ない。企業における研究者も少なくなっている、大学としてもその層が薄くなっている。

研究プログラムの在り方について図 10-63 で提案する。2つのフェーズに分かれており、1つは基盤を再構築とわざわざ書いている。プロジェクトチームの強化方法は、個々を強くすると、それを統括するシステムや人を強くすると2つあるのだが、システム側強化に寄り過ぎている感がある。基盤分野がかなり疲弊しており、個々の要素としての専門家・研究者を強くするプログラムを再構築する時期に来ている。

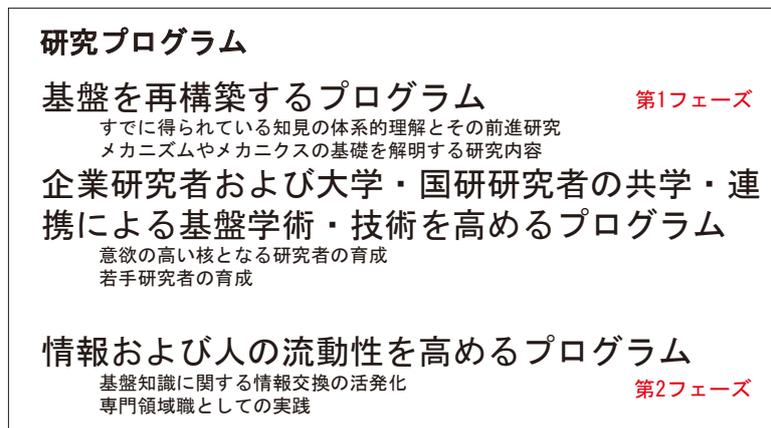


図10-63 基盤分野研究の研究プログラム

そのために何が大切かと考えると、得られている知見や体系的理解が既にあるのだが、それを忘れてしまっている。障壁のありどころを忘れてしまっている。良い突破技術が出てきてその障壁が解けてるのに気がつかないので、ほかの国にやられてしまっているというのもたくさんある。

2つ目は、企業と大学と手をつなぐ協力はいろいろ言われているのだが、どうもうまくいっていない気がする。両方の若手研究者を一堂の下で一緒に育てるのがよい。私はこういう基盤分野では、大学の若手研究者、企業の若手研究者、専門技術者はかなり似た課題に意識はあるのではないかと思っているの、一緒にするようなプログラムが望ましいと思っている。

第2フェーズは、このような再構築を続けるために、情報や人の流動性を高め継続するプログラムが必要と思う。大体の研究プログラムは3年或いは5年でプロジェクトが終わると、その後は消えてしまう。5年は研究者・高度専門家をつくるプログラムでもよいのだが、その次の5年は、それを助けるようなプログラムが必要なのではないかと思っている。

第1フェーズが集積知識の理解と深化である。これは勉強する、体系化することなのだが、分野の全貌を把握するとともに、進展部分の理解が必要になる。こうした素養は基盤分野の人みなが必要で、企業の人も必要になる。

障壁を知った上で、新技術の基盤への応用を考える研究会として、私も今リーダーをやらせていただいているが、JSTに「さきがけ」というプログラムがある。個人研究をやりながら、バーチャル研究所でネットワークをつくる。これは産業分野を越えた研究が可能な分野であるため、分野設定の考え方などは異なるが運営方式としては、このようなバーチャル研究所の方法がかなり役に立つと思っている。

そのうえで、第2フェーズのコミュニティをつくるのが非常に大切で、そのためには大学と企業の両方にインタープリターとしての活動が要るし、第2フェーズはそれをいかにして支援していくかが大切になる。以上である。

企業の理解と協力が不可欠

第1フェーズ 産業分野を越えた研究が可能

集積知識の理解の深化（勉強会）
蓄積されている知識は重層化しているため全貌把握が必要
障壁の内容および突破による進展度合いの理解が必要
新技術の基盤研究への応用（最新研究実施と研究会）

特定の**先進学術分野**の**若手研究者**を育成する「さきがけ」（**個人研究**、**バーチャル研究所**）プログラムの枠組みが参考になる。（「さきがけ」は、実質的に企業研究者の参加は難しい）

第2フェーズ 大学と企業の学術技術interpreterの活動支援

大学の新知識の早期実践化
情報交換チャンネルの確保と拡大が必要
基盤学術についてのコミュニティ（センター）機能
丁寧なアドバイスを行う外部人材が必要

図10-64 研究プログラムの次期フェーズへの提案

話題提供3 「大学と産業界工学基盤研究の関わりや連携の在り方～我が国における工学の発展の歴史的視点から～」

岸本 喜久雄（日本工学会会長、東京工業大学名誉教授）

工学基盤研究の問題の原点に戻り、日本の工学の発展がどうなってきたか考えながら、もう一度考察し、お話しさせていただく。

私はずっと東工大にいて、2018年に退官した後、台湾、インドネシアに行き、向こうの大学の先生方と一緒に授業や研究を行った。2020年からはNEDOの技術戦略研究センターのセンター長をしている。

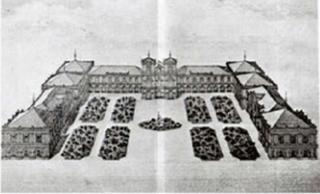
学協会活動では、日本工学会の会長や、昨年からは国際理論応用力学連合という国際的な組織のビューローメンバーという理事のような活動をしている。専門は、材料力学や破壊力学、計算力学である。

本題に入ると、日本の工学の教育は、工部大学校で始まったということになっている。山尾庸三が伊藤博文、その当時総理大臣ではなかったのだが、とともに、イギリスから若い、その当時24歳だったHenry Dyerを招聘して新しい教育を始めた。Henry Dyerはグラスゴー大学で土木工学や造船学を学ぶとともに、ウィリアム・ランキン教授の下で工学教育について学んだ。ランキン教授より声がかかって、日本に来て工学教育を始めることになった。

その当時、工学部は世の中になくて、日本に来て初めてそういった教育をすることになり、日本に来る船の中でカリキュラムを考え、6年間の教育プログラムを日本で実践した。

我が国の工学の始まり

- 明治政府は1871年に工部省に工学寮を設置。1873年、Henry Dyerを初代都検(教頭、実質の校長、1873年-1882年)として開校。1877年に工部大学校に改称。東京大学工学部の前身。
- Dyerは、初代工部卿伊藤博文がグラスゴー大学のRankineの推薦を得て選任。山尾庸三が学んだアンダーソンズ・カレッジでの同窓生。来日当時、24才。Dyerは来日の船中でカリキュラムを模索し、**教養教育、専門学理の教育、実践教育を組み合わせた、当時世界に類のない独自の技術者教育を実施**。多くの授業は英語で行われた。
- Dyerの指導による技術者教育は、近代日本における工学の地位を高めるとともに、独立国家として発展する原動力となった。
- 1879年の第1回卒業生は23名。11名が英国留学。1879年に**工学会を設立(現在は日本工学会)**。



工部大学校 (Imperial College of Engineering)



Henry Dyer (1848-1918)



工学会誌(1881年創刊)

図10-65 我が国の工学の始まり

この教育が非常に成功を収めて、近代日本における工学の地位を高めるとともに、日本が独立国家として発展する原動力になったと言われている。

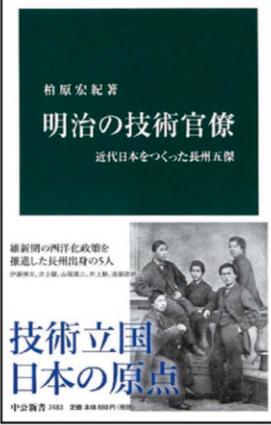
第1回の卒業生は23名で、彼らが卒業と同時に工学会を立ち上げて、それが日本工学会の前身になっている。卒業と同時に、こういう学会を立ち上げたとともに、学会誌を創刊して工学の普及を進めた。

日本の近代化の基盤を築いた人々に長州藩の5人、長州ファイブと言われている人たちがいる。彼らは、幕末期にイギリスに密航してイギリスの大学で学んだ。伊藤博文と井上馨は早く帰ってきたが、残りの山尾庸三ら3人はさらに科学技術の勉強をして帰国した。伊藤と井上の2人は政治家になり、残りの3人は技術官僚になり、彼らの強い絆の中でいろいろな仕事ができる。すなわち政治家と行政官と、それと実際の教育が一体的に進められた時代であった。

日本の近代化の基盤を築いた人々

幕末期の1863年、長州藩の5人(長州5傑)の若者がイギリスに密航し、ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン(UCL)で勉学に励んだ。帰国後、政治家あるいは技術官僚として、日本の近代化への基盤を築いた。

伊藤博文(当時22歳) 初代内閣総理大臣
井上馨(当時28歳) 初代外務大臣
井上勝(当時20歳) **鉄道の父**
 イギリスで鉄道や鉱山学を学び、帰国後鉄道頭に従事、日本人だけの力による鉄道建設を実現。
山尾庸三(当時26歳) **工学の父**
 見習工として働きながら科学を学び造船技術を習得。帰国後、国力強化を目指す人材育成の必要性を主張し、**世界初の工学部の前身となった工部大学校設立**。
遠藤謹助(当時27歳) **造幣の父**
 大蔵省に入った後、大阪貨幣局長となり、造幣技術者の養成を通じ日本人技師の力による造幣を確立。



柏原宏紀著
明治の技術官僚
 近代日本をつくった長州五傑

維新期の西洋を政策を推進した長州出身の5人
 伊藤博文、井上馨、山尾庸三、井上勝、遠藤謹助

**技術立国
 日本の原点**

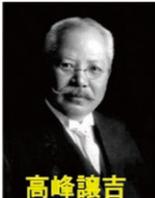
中央書局 2013 定価 本紙 3000円(税別)

遠藤謹助(上段左)、野村弥吉(井上勝)(上段中央)、伊藤俊輔(博文)(上段右)、井上閑多(勝)(下段左)、山尾庸三(下段右)

図10-66 日本の近代化の基盤を築いた長州ファイブ

初代の卒業生の一人は高峰譲吉で、彼が初代の工学会の会長だが、理化学研究所の創設者の一人でもある。辰野金吾は建築家で最初の西洋建築の礎を築いた。井口在屋は、東大の教授になり、機械学会を設立した。その後、ポンプの研究を活かして起業し、それが現在の荏原製作所になっており、実際に産業を興すに至っている。

工部大学校の卒業生(7年間で211名)



高峰譲吉
(1854.12.22-1922.7.22)

第1期生。応用化学科を首席で卒業。グラスゴー大学留学。工学博士・薬学博士。実業家。タカジアスターゼ。アドレナリンを発明。理化学研究所の設立者の一人





辰野金吾
(1854.10.13-1919.3.25)

第1期生。造船から造家へ転科し首席で卒業。英国留学帰国後、工部大学校教授、帝国大学工科大学長、建築学会会長





井口在屋
(1856-1923)

機械科第4期を首席で卒業。1897年に眞野文二らと機械学会を設立。1912年に井口在屋を主幹、畠山一清を所長としてみのくち式機械事務所として創業



図 10-67 工部大学校の卒業生の一例 (1)

渡邊嘉一は、グラスゴー大学に留学し土木工学を専攻し、土木技術者になる。フォース・ブリッジの建設に携わり、その力学的な原理をイギリスの学会で実演で示した。その時の写真、現在スコットランドの20ポンド紙幣に描かれており、日本の技術者の成果が切手の中に残されている。

工部大学校の卒業生



渡邊嘉一 (1858.3.22-1932.12.4)

第5期生。土木科を首席で卒業。土木技術者、実業家。旧姓、宇治橋。グラスゴー大学に留学し土木工学を学び、BScの学位を得る。フォース鉄道橋建設工事監督係。帰国後、鉄道建設に関与。東京石川島造船所(現・IHI)社長などを歴任。工学博士

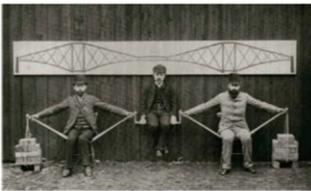


UNIVERSITY OF GLASGOW
DIPLOMA
Awarded to
Kōichi Watanabe, M. Sc.
City of Glasgow Professor
Forth Bridge, Chief Engineer-General Manager
Supervising Engineer
1898-1902



Forth Bridge
£20
Twenty Pounds

スコットランド銀行の20ポンド札



フォース鉄道橋の構造を説明するための人間模型。中央が渡邊嘉一

図 10-68 工部大学校の卒業生の一例 (2)

彼は日本に戻ってきた後にいろいろな会社の経営に参加し、東京石川島造船所（現IHI）の社長も務めた。こういった教育を受けた人たちが実際に工学を発展させ、さらに起業した。教育としては物すごく優れていると言えるのではないかと。

少し話はそれるが、現在、OECDの中で2030年の教育プロジェクトを進めている。これからはVUCAの時代になるといわれる。今までの教育をそのままやっても2030年には、そういった教育を受けた人たちがきちんと働ける、あるいは社会で活躍できるようになるだろうかということで、教育についても考えなければならぬというプロジェクトである。このプロジェクトは初等・中等教育を対象としているが、我々も参考にすべきところがあると思っている。

図10-69の右にある図「技術と教育の発展の競争」は、技術の発展と教育の発展のざくっと見た競争の歴史だ。産業革命が起きた時は、要するに大学や学校で学ぶことを技術が追い抜いてしまい、実際には産業革命の時代には社会的ないろいろな問題が起きてきたというような時代がある。そういった中で教育が進み、知識が体系化されることによって、また、教育によって人々が育っていくというような状況が生まれた。

現在はどのような状況かという、教育、基礎的な知識など学ぶものに比べて、社会の進歩が非常に早くなっている、ギャップができてしまっている。このまま教育のほうで停滞してしまうと、どんどん技術の進歩と人間の進歩との間に乖離ができてしまうので、ソーシャルペインが起きる。したがって、人材育成としては、技術をきちんと担っていけるような、あるいはそういった状況をわきまえながら生きていくような人たちを育てていかなければならないのではないかと。そのための教育はどうあるべきかというような議論がなされている。

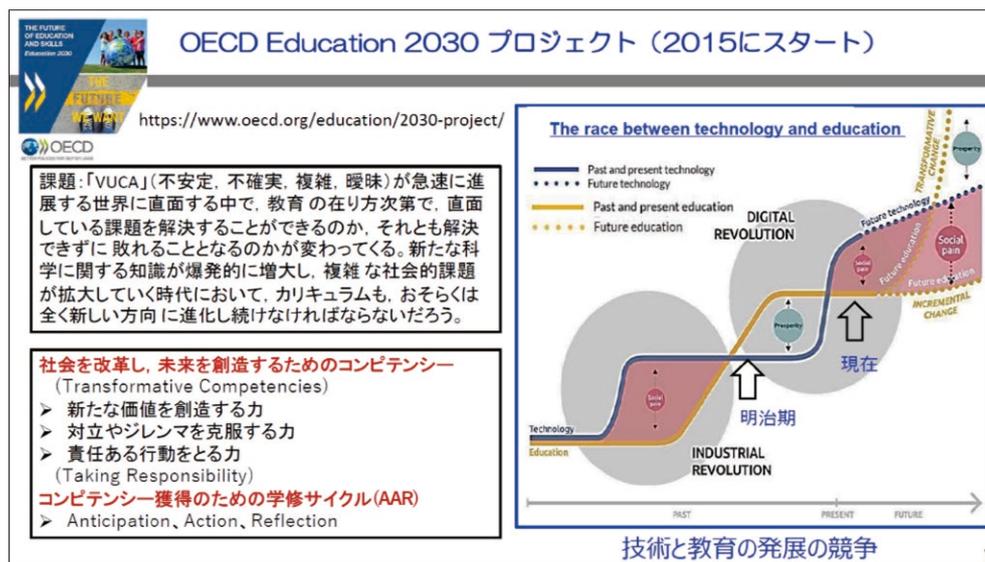


図10-69 VUCAを見据えたOECD Education 2030プロジェクト

そういったことを基盤的な知識の体系化として見ると、まさに今、工学基盤や他のいろんな基盤的なものが実際の社会の動きについていけない状況があるのではないかと考えている。では、どのようにそのギャップを埋めていったらよいのだろうか。

明治期は、教育が、あるいは工学の知識の体系化がある程度進んでいて、それを学ぶことがそのまま社会に役立つ時代であった。日本が明治期に急速に発展できたことは、教育の体系ができていの中で、日本が開国したことが大きな要素になる。そういった意味で教育あるいは知識の基盤が実際の社会を抜いていくように考えていくことが課題である。

つぎに、産学連携について、1951年の「ハイゼンレポート」に触れたい。その頃まだ進駐軍が関係してい

ただ、日本の大学教育の改善を目的として、アメリカから大学教員チームが来日し、日本の大学教育について、産業界との関係なども含めてつぶさに調べて作られたレポートである。

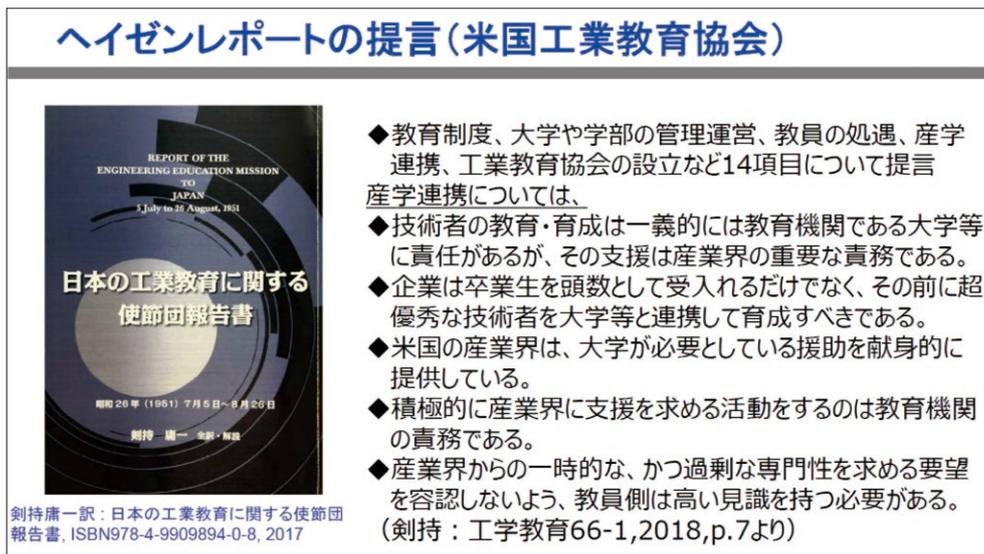


図10-70 ヘイゼンレポートの提言

その中で、産学連携における技術者の教育・育成は一義的には教育機関である大学等に責任があるが、その支援は産業界の重要な責務であるとか、米国の産業界は大学が必要とする援助を献身的に提供していると書かれている。日本の大学に対して産業界がもっと応援しなければならないし、大学は産業界と一緒に活動していかなければならないという提言を残している。それが今の状況までなかなかきちんとしてこなかったのが大きな課題で、課題はこの頃からきちんと指摘されていた。

中国の発展ぶりがよく言われるのだが、例えば、理論応用力学分野では、図10-71の写真は、中国の国内の学会の様子になる。私も参画してみたが、4,000人の人たちが力学関係だけで集まって国内大会をやっている。一方の日本の場合は少ない人数の大会になる。これだけ研究者の層に大きな差が出てきている。



図10-71 理論応用力学分野の日本と中国の研究者層の比較

そうすると、日本で個人の人たちが個々に研究活動をしていたのでは量も質も圧倒的に差ができてしまう。この差を埋めるためには、日本の大学が連携してコンソーシアムを組んできちんと体制を整えた上で研究を進めていかなければならない。学会横断的な理論応用力学コンソーシアムを構想した。コンソーシアムをつくるにあたり、ややもすると抽象的な提案に留まってしまうため、なかなか国の支援も得にくく、また産業界からの支援が得られ難い状況にある。いかにこのような基盤を作っていくのかが大きな課題となる。

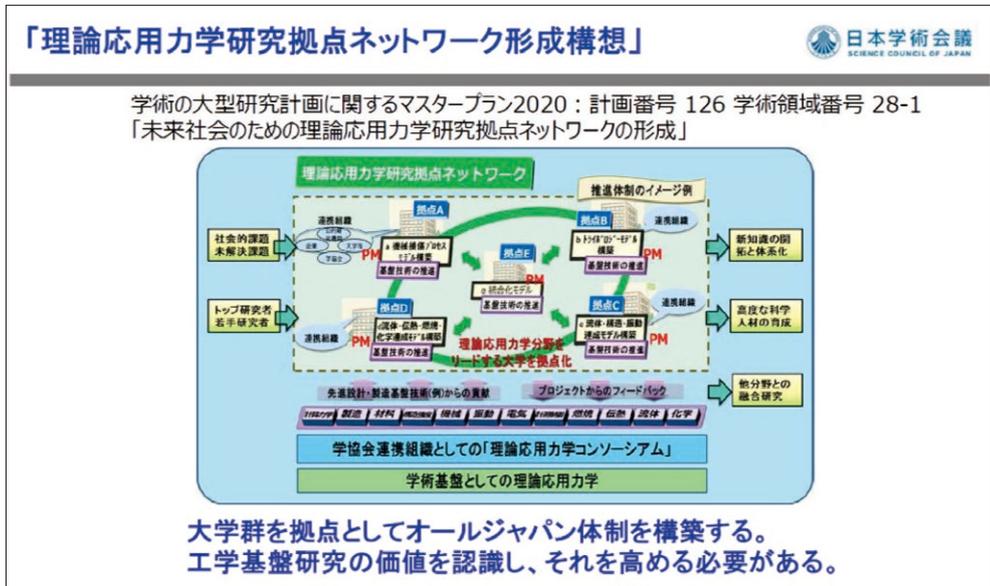


図10-72 理論応用力学研究拠点ネットワーク形成構想

京都大学の広井先生の「人工減少社会のデザイン」によると、今、人口減少社会が課題としてある。それ

まとめ

- 我が国は、明治期に急速に近代化を進めたが、それを支えたのは、優れた工学系人材の育成があった。当時の工学教育の方法論(工学知識の体系化)が時代を先取りしていたといった僥倖にも恵まれた。
- 教育(知識の体系化)が、技術の進歩の後塵を拝している現在においては、教育の(工学においては工学基盤の)再構成が求められる。
- 我が国が将来に亘って持続的に発展し、世界の発展にも貢献をしていくためには、知の源泉である大学と知の活用場である産業界の連携を、より長期的な視点を持って進めていく必要がある。
- 理論応用力学を例にとると、大学群を拠点とした産学連携のプラットフォームを形成し、オールジャパン体制の下に関係者が協働して、我が国における基盤研究の価値を高める活動を展開することを期待する。
- 国には、このような取り組みをサポートすることが望まれる。

図10-74 まとめ

話題提供4「大学と産業界工学基盤研究の関わりや連携の在り方（地方国立大学の教員としての視点から）」

船崎 健一（岩手大学 理工学部 システム創成工学科 機械科学コース 教授）

私は、岩手という地方にある国立大学の立場からお話をさせていただきます。

本日の話の概要ですが、自己紹介とともに個人的な体験からの教訓のお話をさせていただきます。そして、歴史的な認識と現状認識を踏まえて、現在の我々が抱えている課題を振り返り、日本における工学基盤研究、特に私は熱流体を中心として研究を行っているので、その分野についての概要をお話をしたい。

私の経歴で、私がもともと専門としていなかった分野の仕事で、2000年に国立天文台と一緒に月面探査機の開発に携わったことが、私自身のエンジニアとしての刮目の一つのきっかけになっている。

2016年にロケットの開発、これは熱流体と関係するが、空気のないところを飛ぶ乗り物の開発をJAXA等と一緒に仕事をしてきた。これが次に行ったロケット開発であった。

幾つか機械学会の賞であったり、ガスタービン学会の賞をいただいているが、実は2021年1月にJAXAの宇宙科学研究所から研究所賞をいただいた。これは岩手大学とJAXA宇宙研とのものづくりに関する協定を結んだということへの功労賞のようなものであるが、岩手大学ではその工学基盤、特に機械系の基盤である試作加工センターを、ほかの国立大学と比べてもいいものをつくったと自負している。教職員、特に技術職員の意識が非常に高く、それがJAXAの高度な加工に対応できていることに対して、お褒めいただいたと思っている。

航空宇宙、特に宇宙の体験が私自身のエンジニアとしての経験を広めてくれた。その理由としては、例えば国立天文台、もしくはJAXAのプロジェクトに入っていくと、流体力学を知っているというだけでは相手にしてもらえない。機械工学もしくはサイエンスミッションを成功させるための工学者というスタンスで臨まざるを得ない。向こう側は物理屋さんが多く、天文物理等を担当されている先生であるため、総合力が必要になり、改めてエンジニアは総合力であると感じた次第であった。

このようなプロジェクトベースラーニングを自分自身が教員として経験をしたことが、その後の研究活動に若干影響している。

個人的な体験からの教訓

- 国立天文台の月探査計画 (Selene) の工学面支援に従事
 - 機械や流体といった狭い専門性ではなく、サイエンスミッションを成功させるための工学者というスタンスでの対処が求められた。
 - 改めて、基礎的な力の重要性とともに、それらを総合する力の重要性を感じた
 - 数学、物理
 - 機械設計力
 - プログラミング能力
 - 構想力、コミュニケーション力
 - 工学者としての経験
 - プロジェクトベースラーニング (PBL) をどのように教育に反映出来るか？
 - とりあえずやりました、程度では不十分？
 - どこまで手間をかけられるか？

図10-75 国立天文台の月探査計画 (Selene) の工学面支援からの教訓

図10-76は岩手大学で、月面で天体観測を行うために作ったBBMと呼ばれるデモ機だ。こういうものを天文物理学者の人たちと一緒に開発した経験を踏まえて工学研究の歴史的及び現状認識のお話をしたい。

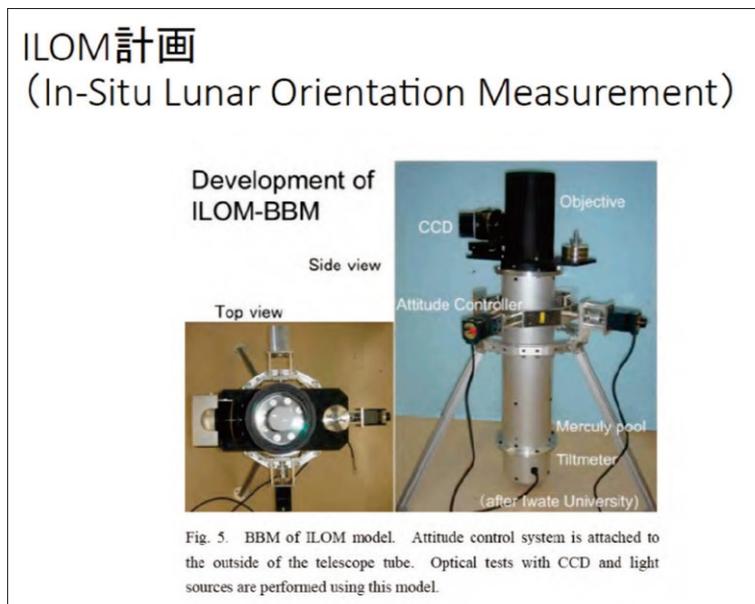


図10-76 国立天文台の月探査計画 (Selene) において開発したILOM-BBM

私にとって工学とは、新しい価値の創造と社会実装のための学問と定義している。ものに価値があって、その所有が富の象徴であった20世紀はまさに工学の時代であった。車で言えばビッグ3、IBMやGEがいわゆるエクセレントカンパニーと呼ばれていた時代があった。そのような時代までは工学部に入ってくる学生は非常に多くいた。それもピークアウトして、2000年前にはこのように、全体としては大学への入学者は増えてい

る中で、工学が減ってきている。

どの分野が増えているかというと、やはり保健分野、医療、看護、介護などの分野が堅調に増えている。工学分野への学生の数の減少が出てきている。それはドクターコース進学にも大きく影響してしまっている。

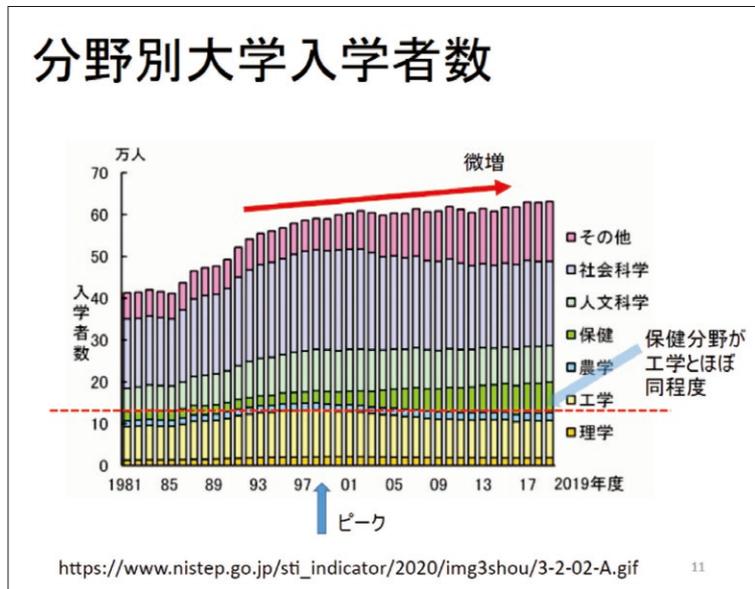


図10-77 分野別大学入学者数

20世紀まで華やかな工学だったわけであるが、ゆとり教育が始まって非常に大きな変化が生まれてきた。理数の教育が非常にゆがめられて、それは2010年まで続いていた。いわゆるプラザ合意で円高、バブル経済が生まれて、日本に工場がどんどんなくなってきた中で、バブルが崩壊したことは記憶に新しい。

21世紀に入って、遠山プランが出て、総定員法で、岩手大学では助手や技術職員の数が思い切り減ってしまった。これが現在の若手研究者が少なくなったことにつながっている。

その後、大学の独法化があって、運営費交付金が削減され、競争的資金への転用という形になっている。人口が2008年にピークになって、その後、東日本大震災、福島原発事故等があり、今、新型コロナウイルスのパンデミックが起きた。経済的なダメージも大きいですが、少子化が加速して、ゼロ歳児が90万人を切った。私が介護を受ける時代には、この90万人に介護をお願いしなければいけない時代になってくる。

21世紀初頭日本に何があったのか？

- ・ 遠山プラン（2001？） → 国立大学の構造改革の発端
- ・ 総定員法（2001） → 助手、技術職員の削減（若手研究者の枠減少）
- ・ 国立大学独法化（国立大学法人の誕生）（2004） → 運営費交付金制度の導入、競争的研究資金化へ
- ・ The World is Flat, Thomas Friedman（2005） → グローバル化
- ・ 日本の総人口のピーク（2008）
- ・ リーマンショック（2008） → 円高と景気的大幅後退、設備投資の大幅減少
- ・ 東日本大震災津波・福島原発事故（2011） → 東北地方の衰退、原子力産業への大打撃、再生可能エネルギーの拡大
- ・ 新型コロナウイルス感染拡大、パンデミック（2020） → 社会構造変革の始まり、少子化の加速（90万人台を切る。今年は122万人程度）
- ・ 脱炭素化（2020） → EV化、産業構造の大規模な変革へ

図10-78 21世紀の初頭の出来事

日本のものづくりに目を転じてみると、半導体、家電、再エネ関係、風車は日本ではもう作れない状況だ。EV、造船、製鉄も非常に苦しい状況にある。それから、日本の品質の揺らぎがある。日本は品質が高いのが売りだったが、何が原因か品質が非常に落ちてきているという指摘がある。

更に、価値観の変化ということで、若者の物離れ、車離れ、テレビ離れがある。私の息子や学生たちは、もうユーチューブでしかテレビは見ない。

それからハードからソフト、所有からシェアということで、いわゆるものをつくるのが工学であったとすると、工学にとっては逆風のような状態となっている。

地方大学を取り囲む現状としては、高校までいろいろな教育改革がどんどん進んできて、その影響が大学にも出てきている。特に、課題探求ということでPBL（課題解決型学習）というものが行われたり、主体性、協働性が取り沙汰されている。

そういう学生たちは、いわゆるジェネレーションZと言われる世代で、生まれた頃からいろいろなツールがあり、SNSやユーチューブなどが日常にある。現状、教育現場では、今までと違う人間たちに工学に対して魅力をアピールしていかなければならない。

大学ではどうかということだが、なかなか高校までの教育改革がうまく反映できていない。少子化ということで、エリート大学では別だが、中堅どころの大学では非常にこの荒波の中にいる。我々の大学は中堅の技術者を育てているが、非常に弱くなっている。やはりトップだけがものをつくれるわけではなく、中堅が弱くなっていることが日本の根幹に関わってくると思っている。

理工系の大学の特色としては、やはり研究室での学びが強調されているかと思うが、これもやはり弊害がある。先生にもばらつきがあり、その先生ごとの力量の違いが大きく影響している。それから研究室横断の研究が少ない。学生が経験できる範囲が限定的である。

女子学生の割合が高校の進学校で非常に高くなってきている。理系クラスでは女子のほうが多いという場合があるけれど、残念ながら理工系、工学部系に女子学生が来る割合はぐっと少ない。そうすると、いわゆる成績上位の学生の比率が工学では低くなっていく。ここはボディブローのように効いてくる。

私の分野は航空宇宙で、特にジェットエンジン等で、これはインフラがないとまったく研究ができない。基盤的設備、経常的経費が不足していること、それから薄い研究者層で流動性が少ない、若手研究者が少ない、他流試合が少ない、博士中心の欧米と比べて修士中心の日本と土俵が違うことなどがある。

それでも共同研究は非常に重要で、私もいろいろとサポートいただいて、何とか世界の潮流に食らいついて

いるつもりではある。しかし、やはり企業からの支援がないと、とても立ち行かない。

産学共同研究は学生にとっても非常に大きな経験を提供してくれるし、大学にとっては長期の投資が見込める。それに対して長期的な視野に立って研究を進めるので、やはり企業等との共同研究は非常に重要である。

企業との共同研究の重要性

- ・ 産業界が何を求めているのかを知るとともに、課題解決に直接的・間接的に貢献できる
- ・ ハイテクだけでなく、基盤的技術、競争力のある分野の研究活動の持続可能性向上
- ・ 運営費では不足する研究費（と大学の活動経費）を（ある程度）確保することが可能になる
- ・ 長期的投資の方向性が見えると、長期的課題に取り組むことが（ある程度）可能になる
- ・ 共研先の若手、中堅社員が学生に取り身近なロールモデルになる

図10-79 大学工学部における企業との共同研究の重要性

海外と日本の大学の設備や機械を比較すると、ドイツを中心として大型の機械がたくさんあるところが特色になっているが、日本では、岩手大の私のところにしかなく、それも小ぶりの機械だというぐらい非常に貧弱な状況になっている。

私の工学基盤研究の在り方の提案だが、今の工学部の学びは大きな大学ではほとんど修士まで進学することになるが、6年間一貫の取組は提案されており、動きも出ている。やはり中高一貫というところで成果を上げているのと同様に、工学部、理工学部系では、6年一貫、薬学部のような形でいろんな経験を学校時代に積ませる。一つの分野だけではなく、副専攻で、専門の教科と横断的なプログラムでいろいろな幅広の学びを、とにかくがっちり行わせることで、もちろん研究ベースのものは後半にしっかり行ってもらうが、飽きさせないためにもプロジェクトベース、もしくは研究などを行いながらしっかりとした学びを行う。物理、数学、それをしっかり学ばせることが、本当の力をつくり出すのではないかと思っている。

加えて、大きな大学の予算の話があるが、中堅技術者の育成という観点から、基盤を担っているのは地方大学も間違いない。この点への目配せもぜひお願いしたい。

ファンドがあっても、その中の配分のバランスが偏ってしまったりは元も子もないので、配分のバランスと、それから長期的な支援に立っての配分をぜひお願いしたい。

それから、企業に対しては、共同研究をすることによって税制的な優遇が受けられるような、さらに共同研究を進めやすく、外国並みに資金投入をしていただきたい。

優れた研究者の採用というところも非常に重要となっていて、採用時には1年ぐらいの時間をかけるということ、それから入った教員には自由な環境を与える。

以上、私の話はこれで終わりたい。

<p style="text-align: center;">提案1 (大学・大学院教育の充実)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工学部、理工学部等の6年一貫制の徹底 <ul style="list-style-type: none"> - 主専攻、副専攻で専門性の強化と横断的プログラム遂行能力を育成 - 基礎力の徹底した教育 - プロジェクトベースプログラムの充実(研究機関、企業、地域との共同開発など、社会、産業界との交流強化) - 社会体験、海外経験の強化 - 就職後の処遇の改善 2. 地方国立大学強化のための財政的措置 <ul style="list-style-type: none"> - 工学基盤的な教育研究と地域創生の重要な担い手としての国立地方大学の重要性の再認識 	<p style="text-align: center;">提案2 (研究面強化)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工学基盤研究への継続的財政支援 <ul style="list-style-type: none"> - 大学ファンド(バランスと長期的重要性の観点からの配分) - 企業との共同研究推進(税制的優遇) 2. 優れた研究者の採用と育成 <ul style="list-style-type: none"> - 採用時の見極め - 自由な環境 - アカデミックポートフォリオの充実(「二刀流」「異分野交流」) - 権限、責任の付与、プロジェクト遂行力強化 - 他大学、海外との交流による研究力強化
---	---

図 10-80 工学基盤研究強化のための提案

議論

【ドイツに関する話題提供についての質疑】

Q：日本の専門技術者の問題点は、非正規雇用の技術者がどんどん増えているところにあると思うが、ドイツはいかがか。

A：ドイツは個人の専門性で人生を過ごしていく。基本的に会社を変わったり、そもそも場所を変わったりしやすい。非正規雇用の話は詳しくないのだが、ドイツにもあることはある。どういう意味であるかというと、ドイツが調子が悪かった2000年の初めにシュレーダー政権の時に従業員を解雇しやすい社会システムに変えたため、非正規についての問題が取り沙汰されている。実際にはあると思うが、エンジニアのレベルではあまり聞かない。基本的にコンサルみたいに個人で仕事をしている人がとても多い。何かプロジェクトがあると、そこである一定の期間採用される。年金は、日本のように会社を変わると損するというもおそらくない。逆に当然そういう専門性を持っていろいろなところを渡り歩くことが前提の社会だと思う。

Q：経験からは、新事業や新しいことをやると、なかなか正規の人材だけで足りないのが、当然、非正規雇用のエンジニアを沢山集めなければならない。電気回路やソフトウェア技術者は東南アジアやインドに大量にいるが、先進国では少ないと思われるのでお聞きした。

A：ドイツには何でフ라운ホーファー研究機構のような研究機関が存在するのかということも関係する。ドイツにはグローバルな競争の中で活動する中堅企業、小企業が数多くあり、それらの会社には当然、エンジニアがいるが、個々人の専門性がはっきりしていて、逆に自らの会社ではできないことははっきりしているのが、外の人と協力する形がとられている。

Q：会社に帰属して何か技術職を高めていくよりは、ランクに応じて自分の地位を高めていろんなところで働けるような仕組みにドイツはなっているという理解でよろしいか。

それぞれのグループに応じたコミュニティで資格をきちんと付与するといった仕組みも整っているのではないと思う。その技術者の人たちは大学を卒業した後の、例えば優良エンジニアになるとか、そういう仕組みは、ドイツの中はどうなっているのか。そういった仕組みが技術力を上げるインセンティブになっているのかと思うのだが、いかがか。

A：特に、職業教育関係では、いろいろな資格があって、努力により上がっていくようになっている。それで給料も上がっていく仕組みになっている。大学では、博士を取って独立して研究を進められるようになるが、大学教授になるにはさらに大学教員資格(大博士ともいわれる)を取ることが前提となる。教授の中で、また2つの階層にわかれているが、学内で実績を積み上の層の教授に昇格することはなく、

国際的な公募の中で新たに上のポストを獲得しなければならないので、そこまでいくのは大変だといわれている。

Q：そのグレードは、大学ごとに別々の条件で設定されているのか。ある程度大学共通のものなのか。

A：実際には若い人の階層があるので三つだが、大きく二つに分かれている点は各州で共通している。ドイツは教育の権限は連邦になく、州が大学を管轄しているので、州によって違いもいろいろある。教授の階層については共通のものがある。

Q：制度は、その国の文化や歴史をしょっているもので、ある部分だけを日本に持ってきて真似しても、なかなか難しいかと感じて伺っていた。職業系或いは専門大学と総合大学からなる制度や方法論についても日本で同様にというのは難しいかもしれない。

私の質問は、日本は多分ドイツでいうと総合大学系がほとんどという気がするのだが、例えばフラウンホーファー研究機構みたいなものがある、それが企業と総合大学のブリッジになっているというか接点になっていると思う。このドイツのことを頭に置いておいて日本にそれを当てはめようとした時、日本の歴史や文化の流れはどのようにするのがいいと思われるか。

A：日本とドイツではあまりにも違うので難しいという感じがするが、日本でも流動性は必要だと思う。そういう意味で言うと、大学が変われ、産業界が変われというよりも、年金自体が全部どこに行っても通算されることを徹底するといった社会全体のシステム設計でやれることが本当はいろいろある。日本の中の一部、大学の一部を変えたところでそんなに変わらない。社会の基盤となる構造の設計で変えられるところを変えていかなければならない。

例えば、日本人の若い人は外国に行かないと言われているが、1年くらい外国に行かなければ大きな科研費は取れないとなれば、みんな自然に海外に行くようになるでしょう。これは一例かもしれませんが、いろいろ変えられることがあるはずなのに変えてないのではないか。

Q：人を行き来させたり情報を行き来させたりするコネクションになるところとしてコンソーシアムを作り、何らかの国のサポートがあると、かなり人の流通が可能になり大学も企業も現在の根幹を変えることなく、効果が上がると思う。そこに注力するシステムをつくるのが大切と思っているが、いかがか。

A：賛成だ。ドイツはネットワークがうまくいっていて、例えば専門大学であると産業界にいた人しか先生になれないので、自分の友達は産業界にいたので産学連携なんていう言葉は別に使わなくても自然に産学連携になるという状況がある。ドイツの連邦政府が支援する場合、そういうネットワークをつくる人材に対する資金を出している。例えばドイツもクラスターをやっているが、そのクラスターを運営する人たちにはかなりお金を出しており、長い期間実施するので地域における活動が根づいていく例をみている。

日本は逆に、研究開発のお金は出すけれども、そういうネットワークづくりの人材に対するお金のようなソフトな活動、人の考える活動に予算をつけないので、そういう人も育たない。

Q：日本とドイツの統計を比べると、ドイツのほうが人口当たりの大学や国立研究機関にいる人数がかなり多いのではないか。日本の場合には、大学の研究者と産総研等国立研究所の人数は非常に少ないのではないか。

アーヘンの工作機械研究所には一昨年行ったが、1,200人が1,300人ぐらいいる。それぐらいの人数を抱えている研究所や国の研究機関がたくさんあるのではないかと。そうすると、日本では大学、修士を出た人がほとんどであるが、そのほとんどが民間企業に行き、大学及び国立研究機関に行く人がほとんどいない。要するにドイツ等から比べて、そういう現象になっているのではないかと思う。そういう意味で、そこをどういうふうに関として考えていくか。

これは統計的な数字の話であるが、日本のある意味での不幸は、日本は学問は学問でイギリスのDyerさんが来て輸入し、産業界の技術は技術で、技術導入で入ってきた。したがって基礎的な研究、基礎的な基盤が技術をつくり出すこと、イノベーションをつくり出すことについてあまり意識がないのではな

いか。特に企業の人間にもないように思うのだが、ドイツの場合にはそれがかなり社会としてあって、だからさっき言ったような構成になっているのではないかと思う。

- A : まず、前者の統計の話であるが、実はこれは難しいことで、12月に別の雑誌にも書いたのだが、大学における学生と教授の比率について、ドイツは教授の比率は非常に少ない。日本の方が多。しかし、研究者という意味で言うとドイツは非常に多い。これは政策研のレポートでも何年か前に調査して発表している。ドイツでは、博士課程の学生は雇用契約をして給料をもらっている。したがって、彼らは全部大学における研究雇用者として統計上入っている。この数は非常に大きい。ポスドクの人でも当然のことながら雇用されている正規の研究者である。OECDの定義に基づく統計では彼らがかんりの数の研究者として入ってくるので、日本と比べると研究者が多いことになる。

次のご質問に対しては、私も同意せざるを得ない気がする。アーヘン工科大学は、歴史的に見るとフランスのポリテクニクより後にできている。フランスとアーヘンはそんなに遠くないので、ポリテクニクができた影響もありアーヘンができたのかと聞いたところ、どうもそういう関係にはない。どちらかという地元から自然にできてきたということだ。ドイツは工芸、技能を今でも大事にしている。工芸や技能と大学の前進的組織が一体としてできてきたのではないかというのは正しいと思う。南のほうでは、例えばシュトゥットガルト周辺にはBoschやダイムラーなどいろいろな会社を囲むように大学や研究機関が林立しているが、あの辺はドイツでも貧しい地域であったので、昔の領主が手工業を振興したことが現在の産業、研究、教育の集積につながったと言われている。

- C : ドイツ研究振興協会（DFG）の運営をみると、政府はお金を出しているだけで、全部学者がやっている。例えば理事長を選ぶシステムに対して政府は何の権限もない。だから、現場が必要だと思われるものは、基本的に対応するのがベースになっている。日本は全く違う。役所が新しいプログラムをつくっていく。そこが違うから現場対応の仕方は全然違う。

ドイツでも技能と大学の工学が多分離れてきていると思うが、マイスターが教育レベルでいうと6番目のパッチェラー相当の資格であると明確にしたのはそれほど昔でもない。マイスターから大学院に移る人の数もまだ少ないので、今、それも増やすべく一生懸命やっている状況にある。

- C : ドイツ研究振興協会、DFGは、12年間の長きにわたってファンディングをするというコレクティブリサーチプログラムが、長く実施されている。このプログラムの目的が学科や領域を構築するためのファンディングプログラムとなっている。一つのある学問分野、その領域をつくるのにもそれぐらいの時間がかかるでしょうということで支援されている。それぐらい研究コミュニティが特定分野あるいは領域を、みんなの力でつくっていくという意識が非常に強い。

ただし、DFGの研究者支援、特に博士課程の研究者の支援では、基本的にDFGのファンディングは3年間になっている。一方で、ドイツの博士課程、博士号を取るまでに平均で5.7年かかると言われており、つまり残る2.7年分は、DFGだと補填されない。その2.7年分どうするかというと、その研究者の教授や或いは学科長、学部長、大学がみなで必死になっているいろいろなプロジェクトファンディングや産業界とのパイプを使ってお金をかき集めて研究者を育成していくのを、ある意味コミュニティ全体でやっている。ただ単に今注目されているフラウンホーファー研究機構が産業界と大学をつないでいるだけではなくて、もう博士人材の育成のところから産業界と非常に近い形で対話のチャンネルをもっているところにドイツの特徴がある。

- C : 工部大学校であるが、明治政府が省庁として工部省をつくり、その中で工学系の教育機関をつくって教育を始めたが、しばらくたってから文科省系の大学に統合するというので、この工部大学校は東京帝国大学に移っていった。そこから、授業内容や学術の進め方が産業界から離れていったのではない。日本の大学がそこから発展していったので、日本は基礎的な研究、基礎的な基盤が技術をつくり出すことやイノベーションをつくり出すことについてあまり意識が及ばなかったというのはその通りであると思う。そこで技術と教育が分かれ道になっているのではないかと。それが現在まで繋がっていると

いう気がしている。

- C : 国が国としてどうすべきか、それをきちっと議論しないと、次の日本のイノベーションを生む力が出ないと私は思っている。
- C : 1951年にアメリカの調査団が日本の工業教育を改善すると提言した時も、大学と産業界がきちんと連携して技術者を養成しないといけないことを指摘している。工学部がやらなければならないことを非常に丁寧に示しているのだが、それを実践していれば、また日本の大学も変わっていったかもしれないが、いろいろな状況があって、そうはならなかったのが現状であると思う。
- C : ドイツはDFGからの大学へのファンドの20%、30%はきちっと大学の、例えば構造の問題、破壊力学の問題に対して、またそういう研究所を維持するために10年間という長期間のファンドをきちっと出している。非常に厚く基盤研究を支えるスタイルが取られている。
- アメリカも同様である。ERCがNSFの中で公的資金としてきちっとその部分を支えるのが国の役目であると認識している。その代わりに、ある意味のんびりだりではなくて、システム化をしているんなことをきちっとやっている。それができているからこそ、いろいろな企業がファンドを出したり、いろいろな共同研究ができる。そのための基礎は国がつくるべきだという考え方が背景にあると思う。
- 一度フランス政府と話したときも、フランス政府の官僚がはっきりそう言っていた。それをやるのは我々の役目で、あとは彼らがファンドを取ってくればいいのだと。でも、取るための基礎は国がつくるとははっきり言っていた。
- C : 設備についても、日本の場合だと科学研究費で購入することになるが、かなりファンシーなテーマを立てないと採択されず、設備の購入もできない。海外は基盤設備に対して国がファンディングしていくことが進んでいて、さらに、それらの機器をどうマネジメントしていくかが検討されている。そういう意味でも海外のほうが基盤をしっかりとつきた上でイノベーションをやっているという動きに見える。
- 日本は基盤にもっと力を入れていかないと、本当に成果が出てこないのではないかと危惧している。

【今後の我が国の工学基盤研究の今後の在り方について】

- C : 今日日本の大学は大学同士が競争するといった環境に置かれていて、人事も含めて、かなり内向きな観点からそれぞれの大学で議論されている状況にあるように思える。そうすると、基盤研究のような地味であるが、しっかりやらなければいけない内容が、どんどん削り落とされていってしまうのではないかと。それが日本の工学の基盤をどんどん弱めていくことに繋がるのだとすると、一大学ではこの問題は解決が難しく、基盤分野の関係者が大学を超えて企業関係者と日本全体でどうするか考えていかなければならない。
- それを産業界や大学が、学会でもそうかもしれないが、自主的にやってくださいと言っても、なかなかやれないのではないかと考える。国に頼るのはどうかと言われるかもしれないが、国が基盤研究を支援するファンディングを用意していくのが必要ではないか。ただ基盤研究にお金を出すだけでは、ばらばらになってしまうので、そういう活動を促すファンディングをつくったらどうかと思っている。
- 今、JSTでは共創の場形成支援プログラムを進めているが、ターゲットはSDGsや社会問題解決という形で、大学を活性化する、産学連携を活性化することを促すいいプログラムだと思う。この例のように、どのような産学連携のオールジャパン体制をつくるのか、各分野ごとにどうしたいか提案させ、それに対してファンディングが用意できると、今回の議論も活発化されていくのではないかと思う。
- その時に、大学の先生と企業人だけでは駄目で、産学連携をコーディネートする人をどうするかが課題で、その人材育成からも考えていかなければならない。このような観点で皆さんでディスカッションしていけるとありがたい。
- Q : コーディネーターの素養は、どういうものが求められるか。どういう人か。大学人をお考えか。
- A : 大学人や国のいろんなプロジェクトを担ってきた方などである。いろいろな経験をした人たちが一緒に

なってやっていくことであろう。アカデミアと産業界の人が一緒になってコーディネートするのがよいと思う。シニアの人たちがそういうところで汗をかく必要があると思う。

- C : 人材育成や教育という言葉はかなり曖昧な内容であり、各個人が違うイメージを持ちながら発言しているような気がする。同じ技術者あるいは研究者であっても、かなりのマスをつくる育成方法や教育のことを言っているのか、あるいは高度なポテンシャルを持つコア人材をつくるような育成のことを言っているのか、あるいは先ほど申したが、ドクター（27歳）までで完成するような教育や人材育成のことを言っているのか、そうではなくて生涯にわたっての研究者の人材育成を言っているのか、それを整理しないと中身が何を言っているのか分からなくなってしまう。

日本の将来のために最も大切なのは、少子化もあり、基盤分野にそれだけの人材を配置しておけないのが現在の企業というお話もあった。そのことも考えると、専門的な高度技術者や専門的な研究者についてはかなり人数を絞ったコア人材育成が求められている。そのコアは、高いポテンシャルを持っている人たちがいる程度大きな企業には1人ずつはいるという感じであり、このコア人材がとても大切な育成対象ではないかと私は個人的に思っている。

少数精鋭を育てるにあたり、企業の中の少数と大学の中の少数の研究者がどのようなインターアクションをしていくのか、また、それをどのように育てていくのかが、一番大切だと考えている。

見方によってマスのほうが大切だということもあろうかと思う。また、教育はドクターまでである程度完結してその後はいろいろな分野を知るべきであるという考え方もあろうかと思う。その辺のところは議論の前提として大切なところであると思う。ファンディングの時にどうプログラムを立てるかについても、その性格による。私が「さきがけ」がいいと思うのは、少数精鋭、ある分野の30人とか50人ぐらいで1つのグループになって若手研究者の人材育成に取り組むところである。それをここで検討する基盤分野の運営として考えると、企業も大学もそのコアという人たちが育つようなグループの人数は、ある程度顔も見えるような実際的な情報流通ができるくらいの大きさが適当ではないか。その人材育成のイメージによってかなりファンディングや政策が明確になってくると思っている。

- Q : 日本でコンソーシアムは今までもいろいろと取り上げられてきていて、実際にコンソーシアムが動いていた例もあるのではないかな。

例えば半導体はすごくいい例であると思う。大学、産業界、企業コンソーシアムだったかで、コンソーシアムの限界というか、我々大学がアライアンスを組もうと思っても大学単位で動いてしまい、うまくつながっていない。教員の流動性として、東工大、京大、東大、人事交流をばんばんやっているということであれば、まだ話は分かりやすいが、それぞれのフォームがあって、コンソーシアムがあるという形になっている中で、本当に成果を上げられるのか、またそのコンソーシアムそのもののミッションが何であるのかがあまり議論されていない。人材を残すためのコンソーシアムをつくるとなると、なかなかそれだけで予算を取れないのではないかな。

やはり10年単位、12年単位だと、多分ここまでの技術レベルを目指すんだというミッションになると思うが、いかがかな。

- A : イメージが固まっているわけではないが、研究を進めるには研究設備がインフラとして必要であると思う。今、大学では、技術職員の確保も含めて大型設備を維持することがなかなか難しい状況にある。工学研究をするのに必要な基盤設備といっても、全ての大学に置くのは難しい状況にある。幾つかの拠点大学が共同研究利用設備を持ち、研究者が集まって研究できる体制を整えたらどうか。集まってくる研究者が個別に産学連携をすることもよいが、産学で共同でやれるプロジェクトをつくって、例えば10年なら10年の間で目指すターゲットを決めてやるのが良いであろう。そのようなプロジェクトについては、きちんと計画を立てれば予算がついてくるし、産業界もお金を出す仕組みを考え出せるのではないかな。そうなれば、どこの大学の若い先生方も、そういった国のプロジェクトに参加できるようになるのではないかな。

今、実験装置もリモート使用できる環境が整いつつあり、オンラインで会議ができるということになって、一箇所にみんなが集まって議論しなくてもよい環境が整ってきている。日本のどこの大学にいても同じレベルの研究が、個人のポテンシャルがあれば行える状況をつくったらどうかというのがラフなアイデアである。

Q：それぞれの特色ある研究で実績や強みがあるところに拠点化していくことで、今後必要な技術を開発させる一つの起爆剤になるのではないかと思っていたので、是非そのような方向で行くといいなと思う。ガスタービン分野でも、そういうものが絶対必要だということで、欧米を見てもどんどん設備の集約が進んでいて、非常に大きな規模で実験ができて、学生がたくさん集まっていろんな学びができる。ああいうものを経験した学生が、今度産業界に行けば非常に強みになる。是非そういう拠点化が工学基盤研究のいろいろな分野で進むといいと思っていた。

C：ヨーロッパでは、「さきがけ」のようなプログラムで、毎年合宿をして研究の話をする以外に、プレスとメディアとどのように付き合うか、国際化、南北関係、人権はどうか、経営はどうかなどという課題に取り組み、全員で一緒に外国に行くといったプログラムもある。日本は研究のお金は出すが、そういうところにはあまりお金は出さない。これは多分リーダー教育になると思うのだが、その辺が欠けてると思っている。

「さきがけ」も、2000年までの「さきがけ」と2000年以降の「さきがけ」は結構違っている。それまでは、例えば「機能と物性」といったタイトルだった。集まる人が物理、生物、化学、情報、いろいろな人がいて、集まってみたらみんな知らない人ばかりだったが、3年間たつうちに相互の言葉を理解できるようになる。彼らはその後いろいろなところで、生涯にわたってネットワークを維持しながら活躍されている。

今の「さきがけ」はどちらかというと、戦略目標、研究目標があるので、採択する領域が狭くなっていて、比較的同じ分野の人が集まっている。しかし、研究総括になる先生が意外と昔の「さきがけ」をやっている人がなっている場合もあり、はめられた枠の中でも一生懸命幅を広げようと努力されている。そのあたり、いい前例もあるので、JSTが最近スタートした素晴らしい創発的研究支援事業も若干研究実績がないと入れないが、昔は、審査員の誰かが自分が責任持つよと言えば変わった人を採用したこともあったので、そういうところがあるといい。

Q：コンソーシアムの話の中で、今日の前半のお話と後半のお話をつないでいくようなイメージを持ちたいと思っている。産業界から1つ、今後の方向性の御提案として、課題ベースでこのコンソーシアムを組むようなイメージをいただいた。一方で、昨今、経済・安全保障という観点でいくと、国として重要な技術、基盤技術はある程度持っておかなければならないという問題意識も割とされている。

そういう観点で、課題主導のプロジェクトを考えると、いろいろな分野にまたがって重要になってくるキーとなる基盤技術を幾つかハイライトさせ、特定していくことが可能かどうかをお伺いしたい。

A：課題別のプログラムを立てた時に、現状のままのやり方だと基盤強化まで手が回らないかもしれない。基盤分野が弱体化していく中で、課題別だけをやってしまうのは懸念がある。課題別から取り組むとすると、その課題を解決するのに必要な基盤分野についても充実させられるよううまいファンディングのやり方を考える必要がある。例えば、装置や設備を共用化することを予め想定したプログラム設計をすとかすれば、課題別から入れると思う。したがって、基盤分野に目配りして課題別のファンディングを設計するやり方がある。

A：紹介したマトリクス型の工学基盤領域のイメージ（図2-2-7参照）は、課題ベースで、縦の技術分野が共通基盤となり、それぞれの課題に対して重要度が非常に高い基盤技術があれば、そこは別途考えていく。縦軸の研究基盤領域は、学科単位ではなくて、新たな新分野と従来を融合した学際的な研究基盤領域が必要と考える。

Q：トップリーダーを養成するのに、「さきがけ」は研究者の力量を高めるのに非常にいい仕組みだと思う。

さらに改善したらもっとよくなることはあるか。私はもっといろいろ変えられるのではないかと考えているが、いかがか。

A : 私も枠組みを基盤分野に適合するように手を加えるのは賛成で、今は先端分野の大学の教員のためのものである。一応、会社の研究者のためにも応募は開かれているが、事実上応募できないような仕組みになっている。それはやはり企業の中の事情も考慮して、どういう方だったら3年間その研究に従事させてもいいとか、その人の研究費よりも人件費のほうが問題だとか、いろいろ細かいところまで考える必要がある。「さきがけ」は大枠としてはよいが、企業が参加できる「企業さきがけ」或いは企業と大学の研究者が共同する「さきがけ」があるとよいと思う。

Q : 日本の場合、修士を出て企業の中で研究活動している人たちがかなり多い。その人たちの実力を、博士レベル、更にその上に高めていかないと、産学連携も大学のほうだけ博士人材がいても、多分かみ合わないと思う。そういう意味では企業も、一緒になって人材を養成するような、それもある程度クロズドで進められる、そういった産学連携の「さきがけ」ができるとうい。

A : 企業の方で専門的能力を向上させる基礎は、35歳ぐらいまでかと思う。私は、装置にというのは後のフェーズで、第1フェーズは企業のある年齢の方が大学へ来て一緒にできるようにする。企業の若手が大学、あるいは国研に行かれて、大学の若手研究者も企業の若手研究者も育っていくようにするのが大切と思う。その時には「さきがけ」のような枠組み、彼ら彼女らを包含するバーチャル研究所としての「企業・大学さきがけ」みたいなのが、非常に役立つと思っている。

そういう人材がある程度の企業にコアとして残るようになった時に、理想的に言えば、先生がおっしゃるようなコンソーシアムや、研究の場とか、もう少し上を目指す場があったらいいという、それは第2フェーズになるだろう。「さきがけ」は3年半のプロジェクトなので、そういう意味では5年くらいの感じのプロジェクトをフェーズ1として、フェーズ2でコンソーシアムをつくっていくのが、根本的にこの基礎分野を鍛えていく意味で大切であると思っている。

C : ドイツのファンディング中で、破壊力学の話を御紹介いただいたが、その博士は、産業界の人が来て博士を取るイメージになっていて、産学連携をやりながら博士を出していく。そこにコンソーシアムができていくということなので、そういったものを日本にもつくることなのかと思う。

3年間大学に来て、学位を取れるというのも大きいことではないかと思う。また、1つの大学ではなくて、連携大学プログラムみたいになっていけば、その分野の博士の層が太くなっていく。そういったところができたら、いいと感じている。

C : もう1つ、コア人材は、状況が変わると方針を打ち出せるというように、やはり非常に高いポテンシャルを必要とする。今、産業界の流れが物すごく速いので、その時の研究、その時やっている課題自体がすぐに役に立つかという視点ではなくて、「さきがけ」でもそうだが、研究者を育てることはポテンシャルを上げることである。ポテンシャルが上がると、その次の未知の領域に入った時に対応能力ができる。コア人材というのは、基盤分野のコア知識を知悉して駆使できる専門の人材で、その育成が大切であると思う。その意味でも第1フェーズと第2フェーズは分けたほうが良いと考えている。

Q : そのように考えると、今、日本の文科省のファンドは期間が短い。3年半、一部の長いものでも5年、7年である。一体何年ぐらいのものをきちっとつくっていかなければならないか。制度設計する時には、非常に重要だ。この分野でコンソーシアムをつくるために競争的資金をきちっとつけるといった場合、何年ぐらいのプロジェクトにすればよいか。

A : JSTの共創の場のプロジェクトは10年。

Q : その前のCOIが9年。

A : 9年程度あれば何か形が見えてくるだろう。最初の何年かはどうしても手探りで始めて、成果が出てきて、それを定着させるとなると10年程度は見ておいたほうが良いと思う。

Q : COI的な9年のものがつくれば良いと思う。

- C : 年数については、私も賛成である。大体私のイメージしていたのが、フェーズ1が5年くらいで、フェーズ2が5年くらいというイメージである。
- Q : 次に難しいのは評価だ。有名な研究所長やトップと話をする時に、例えば、自由に研究させている組織があるわけで、例えば、日立の中研の初代所長にどうやって評価するのかをお聞きしたら、顔を見て評価するという。その人物と能力を見極める、これがトップの仕事だとすぽっと言われた。それをどのようにされますか。
- A : 第1フェーズのコアの人材をつくる時は、プロジェクトとして先端分野の多い現状だとすぐにインパクトファクターといった話になる。その逆に、かなり実用に近い分野のプロジェクトになると、すぐ特許が何件出たとか実用例が出たという話になる。両方ともコアの人を育てるという意味では極端過ぎる。一方、日本の中の基盤分野を担う学会の論文の在り方が、最近弱くなり過ぎている。わざわざ海外の論文を出す必要もないし、インパクトファクターを出す必要もないし、日本語でよいのもっと基盤分野として発表すべきである。昔から機械学会ではかなり技術的な論文も大切にしてきた。研究はやはり外の専門家の評価を受けないと評価にならない。それはインパクトファクターではないが、論文として評価を受けて形に残るものを書かないと、本人も獲得知識を整理できないし、未知へのポテンシャルとなる考え方もできない。かつて幾つかの日本の学会が結構いいものを持っていたが、今消えようとしているような気がして仕方がない。そのインフラを使わない手はなくて、それが評価の基準になるのではないか。特にこういう技術サイドと研究サイドのちょうど接点になる、しかもコアを育てようという時には、学会を使うのが一番いいと思う。
- A : 評価について触れると、プロジェクトで目指している本質的なことがあまり共有されずに、評価者の個人的な見解で評価がなされてしまう場合も多いように思える。今議論しているようなコンソーシアムについては、数名の他分野の人も含めたチームで、メンバーはシニアがいいかも知れないが、コンソーシアムに伴走して、状況を見ながら研究が活性化するように適宜フィードバックをするような評価の仕方になるとよい。要するに、評価のエキスパート人材が必要だと思う。今はどうしても成果を数値で見ることが多いが、エキスパートジャッジメントをきちんと評価の中に位置付けることが必要である。コンソーシアムだと、むしろそういうことができるのではないかとと思う。
- 10年プロジェクトだったら10年間に亘ってプロジェクトに伴走する人が評価をやっていくのがよいと思う。評価のやり方も変えていくことも含めてプロジェクトを考えるのもよいと思う。
- Q : システムをつくる、提案する時には、そこまで全部考えておく必要がある。理想論だけで進まない。どういう成果が上がりますかといったら、その成果をきちっと示さなければならない。総論は賛成であるが、個別議論になると、いろいろな「ノー」が入ってくる。
- A : プロジェクトの方向性が示されれば、何人かを集めてプロジェクト構想を議論するとよいと思う。今日は漠然とした議論に留まっているが、そのプロジェクトはこういうふうにつくろう、中身はどうしようかということをもっと具体的に議論できるのではないか。
- Q : コアをつくる時に、そこは基本的には日本人ドクターというイメージなのか、それとも、今後工学のドクターコースの進学が少ないと、中国は別にして、外国からの学生を入れて厚くし、その中のアジアの学生に広げていった場合、日本はその中心であり続けるという努力は必要だと思うが、そのコアの人間を日本人だけにしようとするのか。
- 資料の中で長州ファイブのお話があった。日本は技術で後れている部分がある、改めて明治維新のような感じで外国に学ばなければならないと、思い切ってどんどん学生を海外に出して人脈をつくらせることもファンドの中で必要であると思うが、いかがか。
- A : 海外については、国籍を日本に限ってはいないが、大切なことは、国のファンドを入れて将来的に基盤分野を強くしようという意味では、日本で活躍していただける方と思っている。昔、工学で調べたことがあったと思うのだが、カナダの事例だったと思うが、留学生のドクターのうちの3分の1ぐらいし

か国に残らないそうで、しかし逆に言うと3分の1は残られるわけで、その国で活躍される。その分野を支えていただけるのであれば、それはどこの国の方でもいいと思う。支えていくのが長期のもので我が国の産業分野をまたがっているという基盤分野を考えると、日本で活躍していただけるのが、私はいいと思っている。

C：私はファンディングは全部企業からという特殊なコンソーシアムを考えてやり始めたのだが、なかなかうまくいかない状況で、人件費の話が出ただけで大変になる。企業は研究費にかかる、もうほとんど1対1ぐらいの人件費がかかるということ言うだけで、敬遠されるようなこともある。そのファンディングのシステムを考えていくのはすごく重要だと思われる。

それから、人材をどこまで養うかは、コンソーシアムに参加している企業からたくさんの特任教授を連れてきて、大学からも、全国から選りすぐって集めて教授陣を揃え、企業から若手の研究者を連れてきて、普通の学生を養っていくのと同時に修業してもらおう。ゆくゆくは、そこで学位を取ってもらおうシステムづくりがよい。

ただ、それでもそこのハードルを越えるのに、得られた成果はどう分配するんだ、知財はどうするんだという話で、すぐ止まってしまうのが現実だ。「さきがけ」というお話だが、そういうところをどういうふうな仕組みで乗り越えるのか、アイデアがあればよいと思っている。

以上で閉会。

■まとめ

本ワークショップの論点や得られた示唆などを表10-1にまとめた。

表10-1 ワークショップの論点に対する現状の課題や今後の方策、海外の取組からの示唆

論点	現状の課題や今後の方策、海外の取組からの示唆
①産業界からみた日本の工学基盤研究の現状と課題	<ul style="list-style-type: none"> ・工学基盤研究の技術面における持続的な成長というのは企業だけではなく、産業を支えるために必須。しかし、企業の中で工学基盤研究を全て担い進化させるのは難しくなっている。大学との連携の中から工学基盤研究の新しい知識を体得、進化させる。 ・工学基盤研究は、従来は、現象解明や知識の体系化であったが、今後期待されるのは、技術イノベーション開発の加速につながる研究である。 ・大学のドクター時代に、工学基盤研究の原理原則を理解(実験を通して体得して心から理解すること)して欲しい。
日本と海外の工学基盤研究を比較して日本に欠けているところは何か	<ul style="list-style-type: none"> ・海外の大学の教授の方が平均して、企業が抱える問題に対するソリューションとしての説明能力が高い。 ・一方、日本の大学側の意見として、企業の問いは曖昧で、何が重要なかをコミュニケーションを通して切り分けていく必要があり、そのような分解作業が重要であると指摘。 ・欧米の大学の教授が企業への説明能力が高いのは産学的人事的な流動性があり、企業経験のある人が多いためである。したがって、日本も産学の人事交流の促進が必要。 ・大学のドクターの意識についても、研究のための研究ではなく、ビジネスとして研究を行う意識が高い。 ・歯車の研究は産業ニーズは高いが、大学の研究室は消滅しつつある。一方、中国での学会大会では研究者が多数参集し盛況となっている。
②ドイツの産業発展とそれを支える工学基盤研究の実態からの我が国への示唆	<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツDFGの拠点プロジェクト(Collaborative Research Centres)は学科や領域を構築するためのファンディングプログラムで、最長12年間にわたる。大学の工学基盤研究強化に有効である。 ・産学間の人的流動性がドイツは活発。年金など社会基盤で支える仕組みが充実。 ・日本は学問も産業界の技術も海外から輸入してきた歴史的経緯から、基礎的な研究や基盤技術をつくり出す意識は高くないが、ドイツの場合にはそれが社会に根付いている。 ・ドイツと日本の大学の研究生産性を比較すると、ドイツは平均的に研究レベルが高い大学が多いが、日本は東大、京大の後は極端に生産性が落ちる傾向にある。
人材政策の観点	<ul style="list-style-type: none"> ・ドイツはクラスターを運営する人、クラスター人材に手厚く、公的資金も拠出されている。
③今後予想される世界の産業の変化に対応した日本の工学基盤研究の在り方	<ul style="list-style-type: none"> ・ビジョンや社会課題主導で工学基盤領域の再定義を行う必要がある。 ・課題解決に向けて複数技術の工学基盤研究を担う人材を集めて技術横断的なプロジェクトを行う。しかし、工学基盤研究に落とすのが課題。 ・弱体化している工学基盤研究を強化するために、さきがけなどのプログラムでそれぞれの技術分野を強化する。その場合、企業人も参画できる産学連携型のさきがけがあるとよい。 ・拠点型の事業で、技術的に強みのある複数の大学を拠点とし、設備と技術職員を共有、全国の大学の人材をネットワーク化し研究を強化する。 ・海外は工学基盤研究に公的資金を拠出しており、日本も公的資金で支えていくべきである。 ・評価体制をつくる。人物評価、論文(学会リソースの活用)など。エキスパートジャッジメント体制の構築。
産学連携を推進する方策	<ul style="list-style-type: none"> ・ヘイゼン・レポート(1951)で指摘された産学連携に取り組んでこなかった代償が課題となっており、今後産学連携を充実させる必要がある。
人材育成政策	<ul style="list-style-type: none"> ・人を育てるための研究プログラムが必要。 ・ドクター以降の育成をどうすべきか。27歳ドクターに期待するのではなく、その後の企業人材も含めた30年、40年の育成が重要。 ・プログラムリーダーの育成。専門性をまとめあげられる産学それぞれからの人材が必要。

付録 参加者リスト

<招聘有識者> (敬称略、五十音順)

岩附 信行	東京工業大学 副学長・工学院 教授
岸本 喜久雄	日本工学会会長、東京工業大学名誉教授
北村 隆行	京都大学 理事・副学長
佐田 豊	日本機械学会会長、株式会社東芝 研究開発センター 所長
永野 博	政策研究大学院大学 客員研究員
藤森 俊郎	日本燃焼学会会長、株式会社 IHI 技術開発本部 技監
船崎 健一	岩手大学 理工学部 システム創成工学科 機械科学コース 教授

<JST CRDS 環境・エネルギーユニット 本調査メンバー>

佐藤 順一	環境・エネルギーユニット 上席フェロー ※チーム総括責任者
上野 伸子	連携担当、環境・エネルギーユニット兼務 フェロー
長谷川 景子	環境・エネルギーユニット フェロー
中村 亮二	環境・エネルギーユニット フェロー ※チームリーダー

<JST CRDS 環境・エネルギーユニット参加メンバー>

竹内 良昭	CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
徳永 友花	CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
前川 智美	CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー
松村 郷史	CRDS 環境・エネルギーユニット フェロー

<傍聴登録> ※2022年1月28日時点 (敬称略、順不同)

(JST)

澤田 朋子	CRDS 海外動向ユニット ユニットリーダー ※チームリーダー
魚住 まどか	CRDS 企画運営室横断融合担当 フェロー
沼澤 修平	CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
的場 正憲	CRDS システム・情報科学技術ユニット フェロー
福井 弘行	CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット フェロー
宮菌 侑也	CRDS ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー
田子 智久	CRDS 企画運営室 フェロー
花田 文子	CRDS 企画運営室 フェロー
日江井 純一郎	CRDS 科学技術イノベーション政策ユニット フェロー
丸山 隆一	CRDS 企画運営室横断融合担当 フェロー
山本 里枝子	CRDS 企画運営室 フェロー
佐藤 むつみ	CRDS 企画運営室連携担当 フェロー
大出 千恵	戦略研究推進部 ICTグループ 主査
小泉 聡志	CRDS ライフサイエンス・臨床医学ユニット フェロー
林部 尚	CRDS 企画運営室連携担当 調査役
片山 朗	CRDS 科学技術イノベーション政策ユニット 上席フェロー
内田 遼	CRDS 海外動向ユニット フェロー
高島 洋典	CRDS システム・情報科学技術ユニット フェロー

福井 章人 CRDS システム・情報科学技術ユニット フェロー

(関連府省庁)

田端 千夏 文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発戦略課 戦略研究推進室

粟辻 康博 文部科学省 国際情報分析官

川口 砂由紀 文部科学省 科学技術・学術政策局 研究開発戦略課

進藤 光明 文部科学省・産業連携・地域振興課

作成メンバー

総括責任者	佐藤 順一	上席フェロー	環境・エネルギーユニット
リーダー	上野 伸子	フェロー	連携担当兼環境・エネルギーユニット
メンバー	中村 亮二	ユニットリーダー・フェロー	環境・エネルギーユニット
	長谷川 景子	フェロー	環境・エネルギーユニット

調査報告書

CRDS-FY2022-RR-02

我が国の産業競争力強化に資する 工学基盤研究の今後の在り方

～日本とドイツとの比較から～

令和 5 年 2 月 February 2023

ISBN 978-4-88890-823-8

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

E-mail crds@jst.go.jp

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

本書は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。

著作権法で認められた場合を除き、本書の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

This publication is protected by copyright law and international treaties.

No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law.

Any quotations must be appropriately acknowledged.

If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact crds@jst.go.jp.

FOR THE FUTURE OF
SCIENCE AND
SOCIETY



CRDS

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

