

Advanced Technology Initiative

Manufacturing & Innovation



目次

まえがき | 2

セクション1：先端産業の重要性と米国の競争力の評価 | 7

セクション2：イノベーションエコシステムによるアプローチ | 19

セクション3：最も有望な先端製造技術—詳細な検討 | 37

セクション4：米国企業が直面する機会と課題 | 53

要約と結論 | 67

文末脚注 | 71

執筆者 | 81

まえがき

背景

世界中の国々は長い間、自国の経済を成長させるべく次なるテクノロジーのフロンティアを見つけ出すことに奮闘してきた。経済や技術的優位性が激しく移り変わる近年では、経済的競争力を高め国家をさらに繁栄させる上で先端技術の重要性が大きく増している。その結果、米国を含め多くの国々がイノベーションエコシステムの確立に大きな投資を行ってきた。イノベーションエコシステムは、人、資源、政策、組織を結び付け、一体となって新しいアイデアを先端技術によって商業的な製品やサービスへと結実させるものである。

新しく生まれたグローバルな競争環境では、米国のテクノロジーとイノベーションリーダーとしての地位は新たな課題に直面している。そのため、グローバルなイノベーション環境における米国の相対的地位と、その競争力を脅かす無数の課題を特定し分析することが欠かせない。

研究内容

この研究は、デロイトトウシュートマツ リミテッド(以下「デロイト」と米国競争力協議会(以下「協議会」)の複数年に及ぶ製造業競争力構想の主要な構成要素であり、米国と世界の科学的な研究開発(R&D)が現在と将来にどのような傾向を示すかを見極めるための1年間の取り組みに端を発している。デロイトと協議会はこの研究のために、40人近い製造業の最高技術責任者(CTO)、最高研究責任者(CRO)、最高経営責任者(CEO)、会社社長のほか、10人近い米国の国立研究所と研究施設の所長にインタビューを行った。この取り組みは、米国の製造業と国立研究所が直面する課題を特定し検討することに加え、米国内で開発中の最も有望な先端技術を見極めることにも役立つような内容になっている。インタビューしたエグゼクティブと研究所長には、自社の競争力にとって最も重要と思われる技術について尋ねたほか、経営者の視点から米国の産業基盤を再活性化するための提言をしていただいた。研究内容は米国が中心だが、ドイツ、中国、日本、韓国、インドにおけるイノベーションや研究開発の状況についても言及している。

アクションを起こす

米国は依然としてテクノロジーのグローバルリーダーだが、イノベーションのリーダーとしての地位を維持することが最大かつ長期的な課題となっている。米国は研究開発費の絶対額の合計では依然として第1位だが、研究開発集約度(国内総生産(GDP)に占める研究開発費の割合)はかなり停滞しており、このカテゴリーでは韓国など経済規模のより小さい国が米国を追い抜いている*。さらに、連邦政府が支出する研究開発費は米国のGDP成長率に追いついていない**。

このように政府の研究開発費が相対的に少ないことは、基礎・応用研究の足かせとなる可能性があり、これが米国の長期的な経済的繁栄を脅かす恐れがある。そのため、米国には長期的戦略が必要である。この長期的戦略が短期的な優先事項と整合すれば、イノベーションエコシステムを育てることができ、必要な投資の流れ、イノベーション能力の向上、優秀な科学者の育成、高価値の雇用創出を後押しできるだろう。

* 詳しくはセクション1を参照。

** 詳しくはセクション2を参照。

先端技術構想：レポートと次のステップ

先端技術構想(Advanced Technology Initiative)は米国と世界のイノベーションのトレンドについて重要な洞察をもたらす、各企業が技術競争力を維持したり改善したりする際に直面する課題に光を当てる。さらにデロイトと協議会は、インタビュー対象者の考え方や物の見方をまとめ上げ、米国の競争力維持に極めて重要な短期的・長期的なイノベーションエコシステム改善のための提言を作成した。この研究の目的は、米国の科学技術体制の現状について注意と議論を促し、その活力を高める上で足りない点を指摘することである。また付随的な目的として、先端技術、産業、重点的な研究対象について、細分化された視点ではなく体系的な視点から、ステークホルダーの間で行われている対話をさらに促進することを目指す。

このレポートは、イノベーションだけでなく米国と世界の研究開発のトレンドについて、政府と産業界の双方のリーダーからの声と意見をまとめている。さらにこの研究は、さまざまな新技術の市場規模や潜在的成長力からその全体的なインパクトまでを含めた先端製造業の概要のほか、イノベーションエコシステムを支える重要な成功要因、発展している科学技術体制をさらに成長させるための企業と政府の双方が担う重要な役割を提示する。今回インタビューし

たエグゼクティブの意見は、生産性の向上、従業員の賃金の上昇、ハイテク輸出の増加によって経済的繁栄を促進する上で、先端技術を推進力とする先端産業が中心的な役割を果たす、ということでおおむね一致している。エグゼクティブは、こうした先端産業が、大学、研究機関、付随する業界、政府を構成要素とするイノベーションエコシステムと強く結び付いていると指摘している。また、イノベーションエコシステムでは研究開発業務の主要スポンサーの過半数を企業が占めていると指摘する一方、政府が支援政策の策定、税優遇策の提供、基礎・応用研究への出資を行うことでイノベーションにおいて同様に重要な役割を担っていると強調する。大多数のエグゼクティブは、一国の研究開発競争力はそのイノベーションエコシステムが円滑に機能するかどうかにかかっており、さらにそれは企業と政府の両方がさまざまな取り組みや要因を促進できるかどうか依存する、と述べている。

このレポートはまた、中国など競争力を高めつつある国がいかにか研究開発費を劇的に増加させ、米国など先進国の投資額に肉薄しているかにも焦点を当てている。エグゼクティブは、米国と一部の新興国とのイノベーション能力の差が急速に縮んでおり、米国は科学技術体制の多くの点を改

良する必要があるという意見で一致している。米国の企業と国立研究所の双方が直面する最も顕著な課題のうち、最も注目を集めているのは技能のギャップ、つまり人材不足で、中国など競争力のある国からの競争上の脅威がそれに続く。

最後にこのレポートでは、エグゼクティブが米国の繁栄と経済力向上に必要な産業基盤を維持・再活性化するための短期・長期の対策と、主な推進要因についてまとめている。民間セクターと公共セクターが互いに協力し、研究開発と先端製造業を促すような環境作りについて、率直で生産的な対話を継続できるかどうかにかかっていると、エグゼクティブは一貫して指摘する。とりわけ、国立研究所で行われる研究開発活動をさらに活用し、国立研究機関との提携の仕組みを改善することが必要だと述べている。

デロイトと協議会はこのレポートを、産業界、政府、労働者、学界、国立研究所など主要ステークホルダーと対話を続けるための基礎と見なしている。研究機関と産業界が相互の利益と社会の改善のために協力する場所であるエコシステムが、本書に記載する洞察と提言によってさらに醸成され実現されるはずである。

先端技術構想のハイライト

国家の繁栄と先端技術、製造業、イノベーション エコシステムとのつながり

- 米国経済の大きな部分を占める製造業は先端技術に後押しされ、他の産業よりも高い水準の生産性、生産高、高価値の輸出、高賃金の雇用によって経済的繁栄を推進する。
- 21世紀の製造業競争力はデジタル世界とフィジカル世界とを完全に集束させている。そこでは、先端的なソフトウェア、センサー、ビッグデータ、分析手法と先端的なハードウェアとを組み合わせることで、製品とプロセスがよりスマートになり、顧客とサプライヤーと製造業者がより密接につながる。
- 多くのインタビューとアンケートの回答の中で、シニアエグゼクティブは、先端的センサーの利用、「モノのインターネット」、「予測解析」といったデジタル技術が将来の競争力強化において重要だということを、最優先事項として常に強調している。さらに、「先端材料科学」も重要な優先事項の1つであった。
- 米国を含む多くの国々が国レベルのイノベーションエコシステムの確立に大きな投資を行ってきた。イノベーションエコシステムは、人、資源、政策、組織を結び付け、一体となって新しいアイデアを商業的な製品やサービスへと結実させる。
- 米国は研究、テクノロジー、イノベーションでリーダーの地位を維持しており、創造的思考を育む教育制度、優れた人材、世界をリードする大学、素晴らしい研究インフラ、ベンチャーキャピタルの確固たる存在感、シリコンバレーなどの地域イノベーションクラスターへの強力な支

援など、過去1世紀で力強い基礎を作り上げてきたとエグゼクティブは指摘する。

世界の研究開発のトレンドと米国の相対的地位

- 米国は現在リーダーの地位にあるが、中国などの国がSTEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) の人材の勧誘や育成、国内の研究開発能力の構築、外国企業への魅力的な研究開発インセンティブの提供などを積極的に行っており、研究開発の競争力の差は急速に縮まっている。さらに、2019年までに中国の研究開発費が米国を上回ると予測する専門家もいる。
- 研究の戦略とアプローチは国ごとに異なる。米国も中国も、コンピューターおよびエレクトロニクス、製薬、産業機械など、さまざまな産業に研究開発費を分散させている。しかし、他の国はより集中的なアプローチをとっており、例えば日本とドイツはいずれも自動車セクターとコンピューターおよびエレクトロニクスセクターに研究開発の取り組みを集中させ、韓国の製造業ではコンピューターおよびエレクトロニクスだけで研究開発費の半分以上が使われている。
- どの主要国でも企業の研究開発費の割合が高くなる傾向が加速している。さらに、米国企業の研究開発費は世界でも突出しており、研究開発費で見た世界のトップ100社のうち41社を占める。
- 米国政府が支出する研究開発費は過去10年間で実質的に増加しているが、連邦予算総額に占める割合で見ると減少しており、基礎・応用研究開発における国立研究機関のリーダーとしての地位がリスクに晒されている。

米国産業界にとっての機会

- 今後起こりそうな世界の長期的トレンドの多くが、米国企業に成長とイノベーションを促進する機会をもたらす一因となる。例えば、アジア全域の中間層の拡大と急速な都市化、民間航空機の世界的な需要増、自動運転など自動車産業における技術の急速な進歩、天然ガスの低コスト化による化学セクターの生産高増、産業機械の需要増による経済状況の改善などである。

米国産業界にとっての課題

- 米国企業が直面する課題としては、深刻な人材不足と技能のギャップの拡大、海外市場とビジネス環境への適応、世界の不十分な知的所有権 (IP) 制度への対処、米国の不透明な規制環境におけるコンプライアンスのコストと複雑性の高さなどがある。

産業界のイノベーション・プレイブック

- 競争の激しい世界のイノベーション環境で企業が成長し成功するために、事業戦略の指針とすべき重要な洞察が複数存在する。例えば、ベンチャーキャピタリストのように思考してリスクに寛容なポートフォリオの手法を採用すること、過去からの枠に囚われずイノベーションエコシステム全体に存在する協働の機会を活かすこと、相乗的な解決策と根気によって成功への道が開かれる状況では単一の解決策など存在しないということを理解すること、などである。

インタビューさせていただいたエグゼクティブのリスト

- **Le Tang, Ph.D.**—Vice President & Head of US Corporate Research Center, ABB
- **Darlene Solomon, Ph.D.**—Senior Vice President & Chief Technology Officer, Agilent Technologies
- **Christine Tovee**—Chief Technology Officer, Airbus North America
- **Peter B. Littlewood, Ph.D.**—Laboratory Director, Argonne National Lab
- **Barbara Burger, Ph.D.**—President, Chevron Technology Ventures
- **Carmelo Lo Faro, Ph.D.**—Vice President & Chief Technology Officer, Cytex Industries
- **Klaus G. Hoehn, Ph.D.**—Vice President, Advanced Technology & Engineering, Deere & Company
- **Dean Bartles, Ph.D.**—Executive Director, Digital Manufacturing and Design Innovation Institute
- **A.N. Sreeram, Ph.D.**—Corporate Vice President & Chief Technology Officer, The Dow Chemical Company
- **Stephen G. Crawford**—Senior Vice President & Chief Technology Officer, Eastman Chemical Company
- **Ram Ramakrishnan**—Executive Vice President & Chief Technology Officer, Eaton Corporation
- **Ken Washington, Ph.D.**—Vice President, Research & Advanced Engineering, Ford Motor Company
- **Mark M. Little, Ph.D.**—Former Senior Vice President, Director of Global Research & Chief Technology Officer, General Electric Company
- **Gregory Powers, Ph.D.**—Vice President of Technology, Halliburton Company
- **I.P. Park, Ph.D.**—Executive Vice President & Chief Technology Officer, Harman International
- **Alex Dickinson, Ph.D.**—Senior Vice President, Strategic Initiatives, Illumina, Inc.
- **Tilak Agerwala, Ph.D.**—Research Emeritus & Former Vice President, Data Centric Systems, International Business Machines Corporation (IBM)
- **Jan Ziskasen**—Chief Technology Officer, Kraft Foods Group, Inc.
- **Paul J. de Lia**—Corporate Vice President of Science and Technology & Chief Technology Officer, L-3 Communications Corporation
- **Horst Simon, Ph.D.**—Deputy Laboratory Director, Lawrence Berkeley National Lab (LBNL—‘Berkeley Lab’)
- **Bill Goldstein, Ph.D.**—Laboratory Director, Lawrence Livermore National Lab (LLNL)
- **John B. Rogers, Jr.**—CEO and Co-Founder, Local Motors
- **Ray O. Johnson, Ph.D.**—Former Senior Vice President & Chief Technology Officer, Lockheed Martin Corporation
- **Ajay P. Malshe, Ph.D.**—Founder, Executive Vice President and Chief Technology Officer, NanoMech, Inc.
- **Dan Arvizu, Ph.D.**—Former Laboratory Director & Chief Executive, National Renewable Energy Lab (NREL)
- **Thomas E. Mason, Ph.D.**—Laboratory Director, Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
- **Steven Ashby, Ph.D.**—Laboratory Director, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)
- **Mehmood Khan, Ph.D.**—Vice Chairman & Chief Scientific Officer, Global Research & Development, PepsiCo, Inc.
- **Diego Olego, Ph.D.**—Senior Vice President & Chief Strategy and Innovation Officer, Philips Healthcare
- **Kurt G. Olson, Ph.D.**—R&D Fellow, PPG Industries
- **Paul Hommert, Ph.D.**—Former Laboratory Director, Sandia National Laboratories
- **Cyril Perducat**—Executive Vice President, Digital Services and IoT, Schneider Electric S.E.
- **Patrick J. Byrne**—President, Tektronix, Inc.
- **Douglas H. Smith**—Product Line Vice President, Tapered Roller Bearings, The Timken Company
- **David L. Britten**—Senior Vice President & Chief Technology Officer, United States Steel Corporation
- **J. Michael McQuade, Ph.D.**—Senior Vice President, Science and Technology, United Technologies Corporation
- **Martin Thall**—Executive Vice President & President, Electronics, Visteon Corporation
- **Timothy D. Leuliette**—Former President & CEO, Visteon Corporation

アプローチと方法論

産業界の声

2014年7月から2015年3月にかけて、複数のデロイト幹部が協議会に代わり、世界最大手の製造業企業や技術革新を担う小規模スタートアップのシニアエグゼクティブ30数名と無償で協議を行った。これらの企業は公開企業も非公開企業もあり、製造業の雇用のかかなりの部分を占め、多角的製造、プロセスおよび工業製品、消費者製品、自動車、航空宇宙・防衛、テクノロジー、ライフサイエンスなどが含まれる。参加企業には、ABB、Kraft、Deere & Company、Dow Chemical Company、PepsiCo、Ford Motor Company、General Electric、IBM、Lockheed Martin Corporationなどがある。インタビューはエグゼクティブのオフィスで主に1対1の対面式で行ったが、電話で議論を行った場合もある。

こうした議論の中で、プロジェクトチームは以下について各エグゼクティブの見解を尋ねた。

- 既存技術、人材や労働力の問題、新旧ビジネスモデル、テクノロジーリーダーシップを巡る企業レベルと国レベルの競争、それに関連する弱点や懸念材料を含む、技術革新のための米国と世界のビジネス環境。
- 米国内で先端技術の開発とイノベーションを推進するために連邦政府と各州の政策決定者が何をすべきかに関する短期的・長期的提言。
- 今後5年間に個別企業がグローバル市場で競争力を高めるために取り組むべき重要分野。

幅広い文脈で有益な洞察を引き出し、提言を行うために、プロジェクトチームは一次調査と二次調査を組み合わせた手法を使用した。前述の一次調査に加えて、経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development、OECD) やブルッキングス研究所などのシンクタンク、さらに主要な学術論文や業界の文献など、信頼できる情報源から得た数量データのマイニングと分析を行う二次調査によって、インタビューから得た洞察を補足した。

国立研究所の声

また、この取り組みの一環として、デロイトは協議会に代わり、米国エネルギー省の8つの国立研究所の所長と技術移転局のその他の職員、さらに新設の全米製造イノベーション ネットワーク (National Network of Manufacturing Innovation、NNMI) の各センター代表に対して、詳細なインタビューと議論を行った。これらの国立研究所は米国内で応用研究だけでなく相当数の基礎研究を行っており、再生可能エネルギーなど具体的な重点分野を持つ研究所もある。これらのインタビューは研究所で、または電話で、個人ごとに以下の点について質問した。

- 国内と世界のイノベーション環境における米国の技術革新の見通し。
- 米国のテクノロジーリーダーシップの短期的・長期的な見通しに関する最大の懸念材料。
- 最も有望かつ魅力的であり、影響力のあるテクノロジーと、そのテクノロジーの開発に伴う課題。
- 業界との提携のレベルと、協力関係の改善のための提言。
- 長期的に技術競争力を維持するために米国が取り組まなければならない重要分野。

セクション1

先端産業の重要性と 米国の競争力の評価

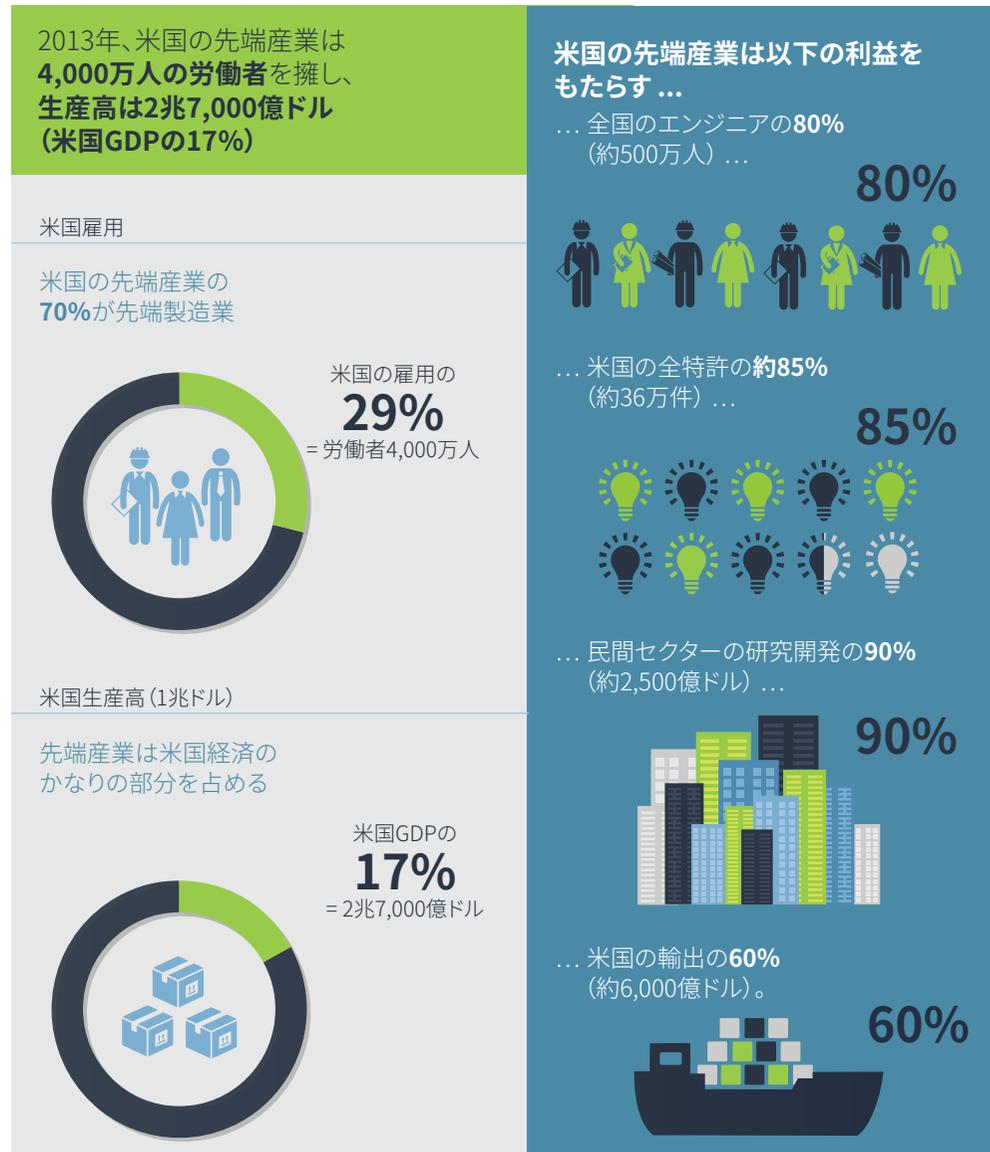
先端産業*が国家の繁栄を推進する

インタビューしたエグゼクティブの見解...

イノベーションと先端技術は企業レベルの競争力にとって極めて重要である：
 これらは企業の差別化要因となり、利益率の高い製品やプロセスやサービスを生み出すことで、グローバルな競争の中で成長する手助けとなる。テクノロジーやイノベーションによる差別化が無ければ、企業はコスト主導のコモディティー企業になる可能性が高くなり、長期的な成功が難しくなる。多くの企業にとって先端技術とそれが実現する製品・サービスの将来の潜在的成長力は、将来の全体的な成長戦略の中核的構成要素である。

先端製造業は経済を強化し高収入の雇用を創出する：技術的に高度な製造業はより技能の高い労働者を雇用し、労働者は従来型産業で雇用される労働者より高い賃金を得る。こうした産業が創出する雇用はバリューチェーン全体の中で大きな割合を占め、これが国全体の生活水準の向上につながる。

イノベーションと経済成長は複合的で相互依存的な効果をもたらす：革新的でテクノロジーに強い製造基盤は長期的な経済的繁栄と成長につながる。この産業基盤は、その国に統合的な支援構造（イノベーションと教育への投資のほか、経済、貿易、金融、インフラ、政策、エネルギー、天然資源の予測可能性と持続可能性など）があれば発展する。強力な支援構造があれば進出する企業が増え、高賃金労働者への需要が増し、一流の人材がさらに引き寄せられる。こうした基礎的要素は相互に依存しており、イノベーションエコシステムが成長するにつれて徐々に価値が増していく。この現象は産業界と政府の双方にとってWin-Winの状況を作り出し、両者は協力して力強く活気ある全国的なイノベーションエコシステムを築く意欲を増すはずである。



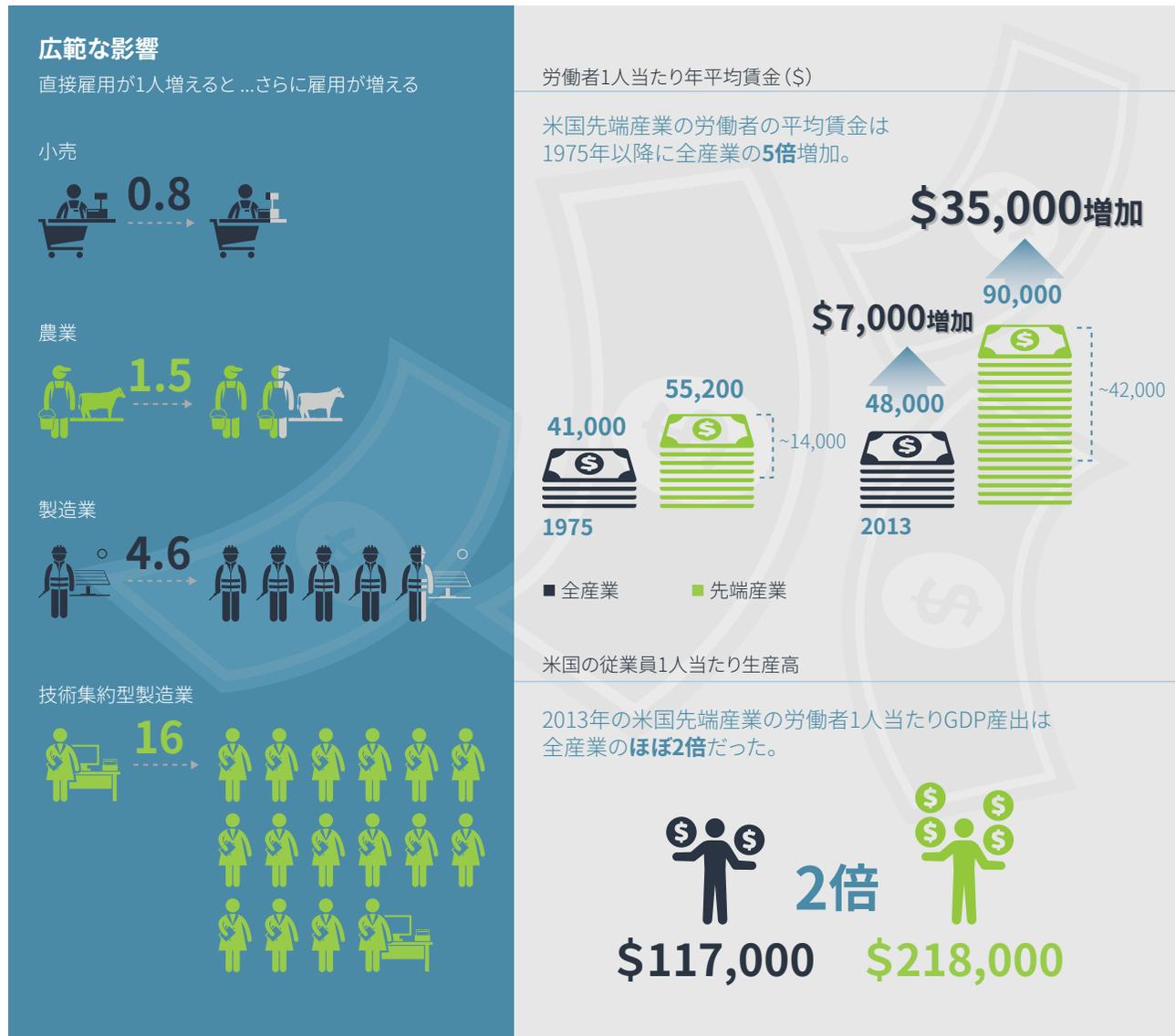
出所：ブルッキングス研究所、世界銀行、労働統計局^①

*ブルッキングス研究所による先端産業の定義は、労働者1人当たり研究開発費と、高度なSTEM知識を要する職業に従事する労働者の割合という2つの基準に基づいている。先端産業と呼ばれるには、その産業の労働者1人当たり研究開発費が産業全体の80パーセンタイル以上で、高度なSTEM知識を要する職業に従事する労働者が全労働者の21%を超えていなければならない^{1a}。

先端産業は より多くの雇用、生産高、 労働賃金を生み出す

「次世代テクノロジーが
先端産業に与える影響は
かなり大きい。
高価値の雇用の創出から
労働者の生活と生産性の
向上に至るまで、
その産業のあり方を
変えるだろう」

ー インタビューしたエグゼクティブ



出所: 米国経済分析局、ブルームバーグ⁽¹⁾
注: 雇用乗数についての詳しい説明は文末脚注1bを参照。

出所: ブルッキングス研究所、世界銀行、労働統計局⁽²⁾

先端技術を活用して複雑な製品を作れば 輸出競争力が向上し、 さらなる経済的繁栄につながる

経済複雑性がさらなる繁栄につながる：ハーバード大学教授のRicardo HausmannとMIT教授のCésar Hidalgoの研究により、より高度な製造工程を開発・導入し、輸出できる可能性の高いより複雑な製品を生産すれば、その国とその市民のさらなる経済的繁栄につながる事が実証された^{1c}。

HausmannとHidalgoの経済複雑性指標は、128カ国の1人当たり所得（経済的繁栄の計測単位の1つ）の偏差の73%を説明できる。これは他の主要なグローバル指標よりはるかに正確である^{1c}。

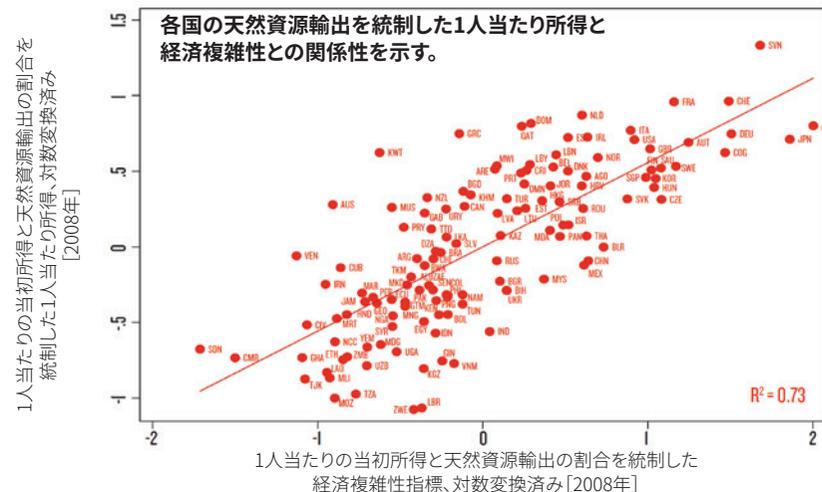
・ 国は何をすべきか¹

— **独自の知識と能力を構築すれば繁栄への道は楽になる**：経済複雑性は、製造業の能力の獲得・開発と直接関連している。生産工程にまつわる知識を蓄積し、他国が持たない製造能力を開発した国が、より洗練された独自製品を生産することが可能となり、輸出を押し上げ、より繁栄する。

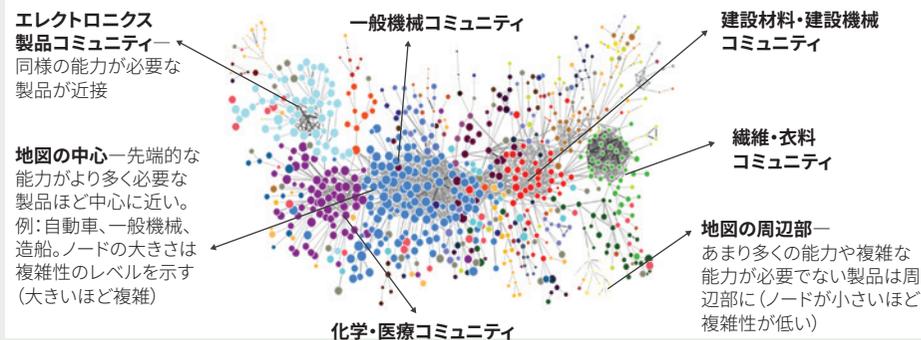
・ どのようにすればよいのか¹

— **国は強力な製造業のノウハウを開発するために研究開発(R&D)に投資し続ける必要がある**：一方で先端製造業の能力を構築するには、最先端の研究開発活動に国が投資する必要がある。こうした経済的繁栄と研究開発投資との間接的ながら強力なつながりを理解し、研究開発と研究の人材育成に大きな投資を行ってきた米国、日本、ドイツ、韓国、シンガポールなどの先進経済国は、ハイテク輸出の増加と生産性の向上による恩恵を受けている。

1人当たりGDPと経済複雑性指標の関係



製品空間ネットワーク図解



製品空間ネットワークはその国の経済複雑性のスナップショットである。経済複雑性アトラスによると、その国が複雑性の高い製品を輸出するほど、その国の1人当たり所得が高くなる。

製造業の複雑性を高める道は 緩やかで段階的かつ 「隣接可能性」に依存¹

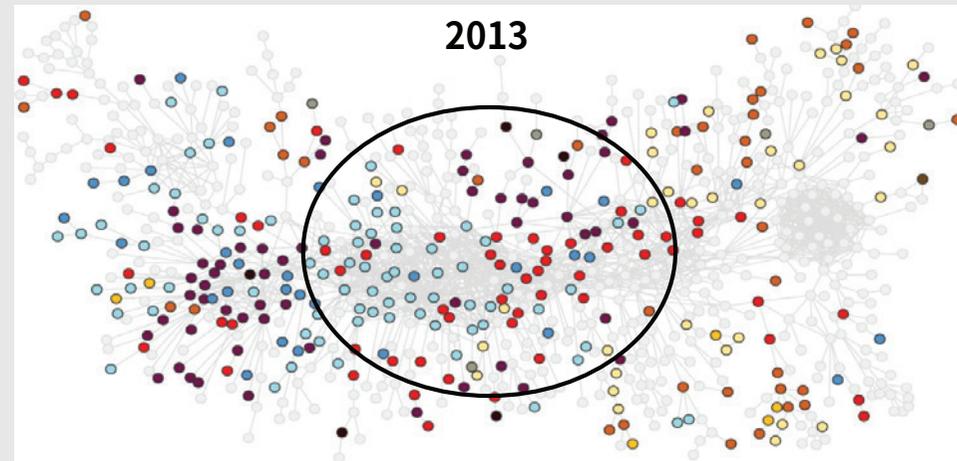
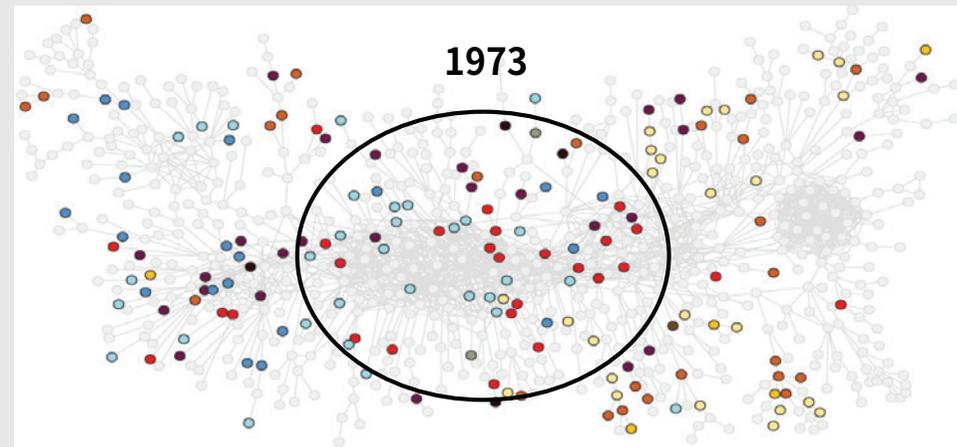
- ・ **経済複雑性は製品の複雑性に起因**：製品が複雑で多様なほど、製造業の能力と経済複雑性が高い。例えば、自動車、エレクトロニクス、航空機部品など輸出向けハイテク製品の製造に力を入れることで、米国とドイツの経済は次第に複雑性が高まっている。
- ・ **作ったことのある製品に似た新製品の方が作りやすい**：例えば、玩具を作るのが得意な国がテレビを作り始める方が、繊維の製造から航空宇宙製品の製造に飛躍するよりも簡単である。この飛躍の実現可能性を「隣接可能性」と定義する。
- ・ **鍵は適切な「飛躍」にある**：適切な飛躍をすることで、その国は製造業の知識と能力を前進させ、数少ない国しか作れないであろう先端的な製品とテクノロジーを生産できる。

過去40年間（1973～2013年）に「中心」の製品の集中度が増した。これは、米国が複雑な一般機械や輸送機械など先端的能力が必要な製品の輸出をその期間中に増加させたことを示す。

「普通なら製造業者は複雑性を避けようとするものだが、製造業の知識、能力、一連の製品からなる洗練されたネットワークを基礎とした複雑な経済は良いことである」

— デロイト・世界経済フォーラム『製造業の将来 (The Future of Manufacturing)』¹

製品空間ネットワーク—米国*



- | | | |
|------------|-----------------|--------------|
| ● 食品・食用家畜 | ● 飲料・タバコ | ● 燃料など非食用原材料 |
| ● 鉱物燃料・潤滑油 | ● 動物性・植物性油、脂肪、蠟 | ● 化学および関連製品 |
| ● 製造品 | ● 一般機械・輸送機械 | ● その他製造品 |

*中心のドットの集中度が増していることは、洗練された製品ネットワークを持つ複雑な経済に徐々に移行していることを示す。

出所：経済複雑性アトラス^(iv)

先端技術は新たな機会をもたらす…

21世紀の先端製造業はデジタル世界とフィジカル世界を完全に集束させており、そこでは先端的なソフトウェア、センサー、大量のデータ、分析手法と先端的なハードウェアとを組み合わせることで、製品とプロセスがよりスマートになり、顧客とサプライヤーと製造業者がより密接につながる。

「予測分析」「IoT」「先端材料」が米国では最も有望視

米国

多くのインタビューとアンケートへの回答の中で²、米国のエグゼクティブは一貫して、「予測分析」の利用を含むデジタル技術の重要性を最優先事項として強調している。また、革新的でスマートなコネクテッドプロダクトに大きな重点を置くことを望んでいる。インタビュー対象者は、どの技術が最も魅力的か、あるいは有望かという質問について精力的に議論し、「予測計算・分析モデル」「ネットワーク化技術・センサー（いわゆる「IoT」）」などの先端製造技術や、「先端セラミックおよび複合材料」などの「先端材料」に注目し関心を持つという一般的な傾向が見られた。全体的に見て、これらの先端技術の多くは、特に相乗効果が得られるように組み合わせれば、自社の将来にとって非常に有望かつ重要になると述べている。

中国は米国との差を縮めるために「予測分析」を優先し、「ハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC)」で競争優位を生み出す²

中国

中国では、先端製造技術に関する最上位の将来戦略は「予測分析」が中心で、米国の最優先事項と一致する。また中国の各企業は、米国を含むグローバルリーダーとの差を縮めるために、「スマートファクトリー (IoT)」の開発に重点を置いた製造業コンピテンシーの拡大も目指している。しかし、米国とヨーロッパで追求されている戦略とは対照的に、中国は今後に向けてHPCにも優先的に注力しており、グローバルな舞台での競争力を維持しようとする米国企業とヨーロッパ企業の「盲点」を突こうとしている。

ヨーロッパの優先事項は「インダストリー4.0」²

ヨーロッパ

ヨーロッパ市場では、先端技術を持つ製造業者が最も戦略的に重視するのは統合的でネットワーク化されたクローズドループの設計・構築プロセスの開発にまつわるものであり、最も重視するのは「スマートファクトリー (IoT)」である。ヨーロッパ企業が2番目に優先するのは主に「スマート製品」の開発で、それに続くのが「デジタル設計・シミュレーション技術」への取り組みの強化である。これらの上位3つの優先事項をまとめて見ると、将来の先端技術に対して非常に統合的で戦略的なアプローチで臨んでいることがわかる。

グローバルな製造業の競争戦略を支える先端製造技術

エグゼクティブによる先端製造技術の将来の重要性の順位

先端製造技術	米国	中国	ヨーロッパ
予測分析	1	1	4
スマートコネクテッド・プロダクト (IoT)	2	7	2
先端材料	3	4	5
スマートファクトリー (IoT)	4	2	1
デジタルデザイン、シミュレーション、インテグレーション	5	5	3
ハイパフォーマンス・コンピューティング	6	3	7
先端ロボティクス	7	8	6
付加製造 (3Dプリント)	8	11	9
オープンソース設計 / 直接的な顧客の意見	9	10	10
拡張現実 (品質、研修、専門知識の改善)	10	6	8
拡張現実 (顧客サービスおよび顧客経験の向上)	11	9	11

注：デロイトと競争力協議会による2016年世界製造業競争力指数 (GMCI) が、先端製造技術を含む製造業競争力の主な推進要因に関する世界のエグゼクティブ500人以上の見解を分析したものである。

出所：デロイト・競争力協議会、2016年世界製造業競争力指数²

米国がグローバルリーダー

エグゼクティブへのインタビューによると、米国は研究、テクノロジー、イノベーションのグローバルリーダーである。そのため米国は、先端技術の大きな将来性を実現し先端産業をさらに強化する好位置に付けている。特に米国は以下を持つ。

- ・ **第一級の研究者と研究インフラ**：米国には必要な人材を供給する一流大学がある一方、専門の研究機関と研究所は質の高い研究者と科学者を世界中から引き寄せている。
- ・ **一流のテクノロジー企業**：優良銘柄から順調なスタートアップまで、米国は羨ましいほど多くの技術的に進んだ革新的な企業を抱えている。
- ・ **強力で専門的な産業クラスター**：米国の産業クラスターは強固にネットワーク化された研究開発センターであり、同時に産業界、研究機関、起業家、学界の綿密な協力を特徴とする製造業ハブでもある。例えば、サンフランシスコのITクラスター（シリコンバレー）、ボストンのバイオテクノロジークラスター、デトロイトの自動車クラスターなど。

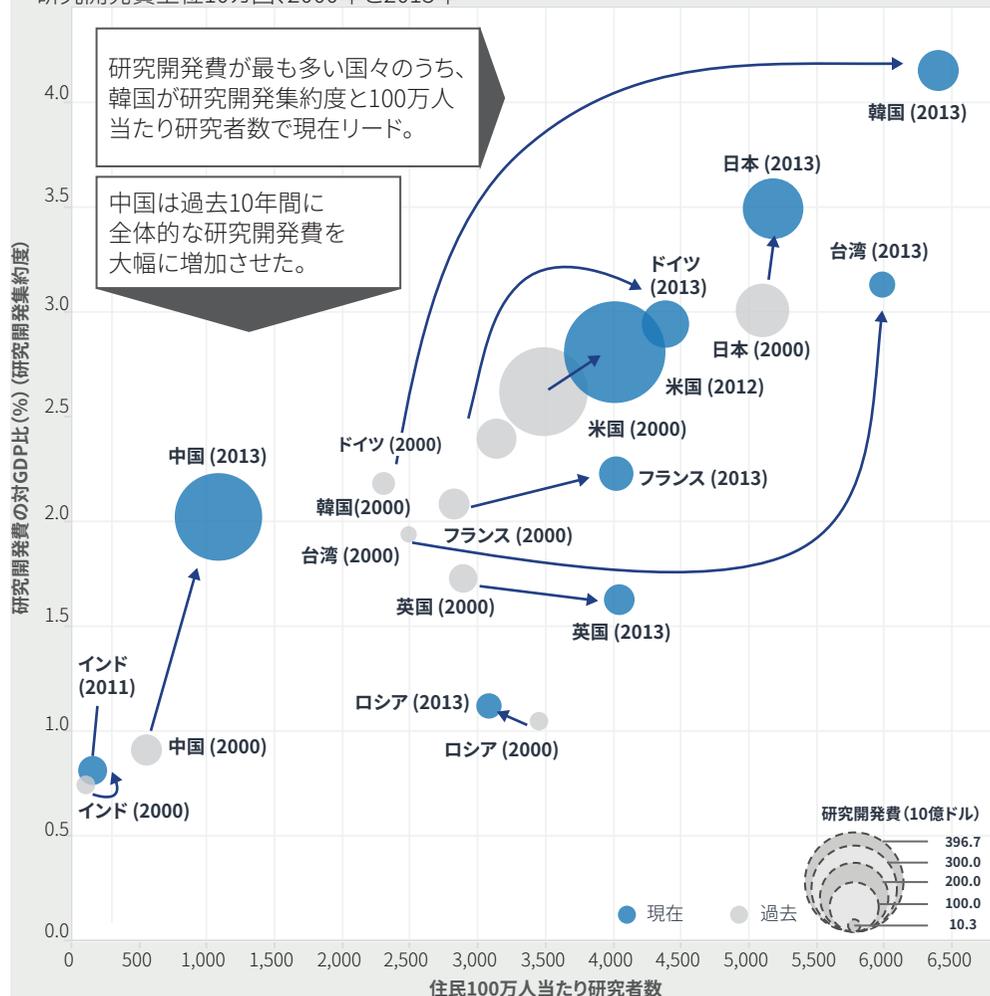
「米国の研究開発のリーダーとしての地位は、その教育研究機関の磐石さ、国民の創造性、起業家としての能力によるものだ」

ー インタビューしたエグゼクティブ



変化する世界の研究開発状況

研究開発費の対GDP比と100万人当たり研究者数、研究開発費上位10カ国、2000年と2013年



研究開発費が最も多い国々のうち、韓国が研究開発集約度と100万人当たり研究者数で現在リード。

中国は過去10年間に全体的な研究開発費を大幅に増加させた。

注1: 丸の大きさは2005年基準ドル換算の10億ドル単位で見た研究開発費の絶対額を示す。
 注2: 米国の研究開発費とその対GDP比は2012年が入手可能な最新データ。インドは3指標すべてで2011年のみ入手可能。
 出所: OECDとUNESCO統計研究所のデータに基づくデロイトの分析⁽⁴⁾

中国などの差は縮まっている

インタビューしたエグゼクティブによると、米国と他国との研究開発競争力の差は急速に縮んでいる。多くの人々が、この現象は主に新興諸国の競争力の向上によるものだとしている。これらの国々は、STEMの人材の誘致と育成、国内の研究開発能力の構築、外国企業への魅力的な研究開発インセンティブの提供に積極的である。その一方、特に先進国で経済成長が鈍化しているため研究開発予算が縮小しており、これも差が縮まる大きな要因となっている。

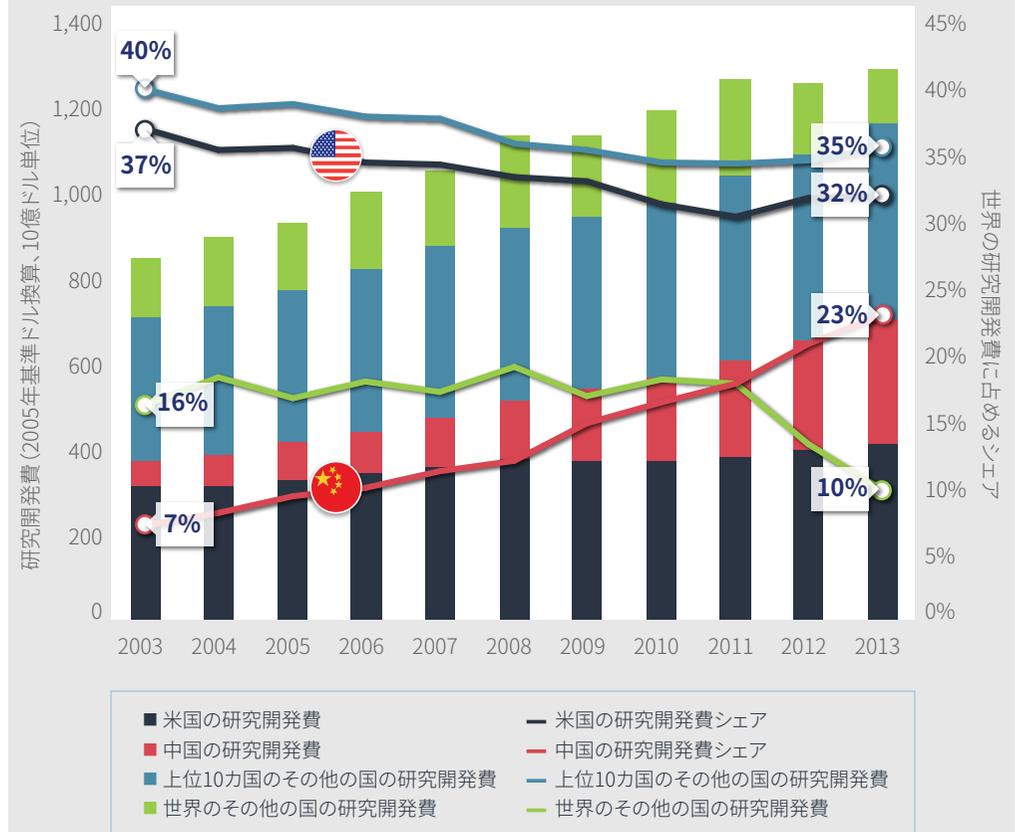
インタビューしたエグゼクティブと国立研究所長の圧倒的多数が、米国が依然として世界の技術革新をリードしているが、差は縮まっていると述べている。

「特に中国は1990年代以降に研究開発能力を大きく改善しており、2019年までに米国を抜いて研究開発費が最も多い国になると予想される」

— 経済協力開発機構 (OECD)³

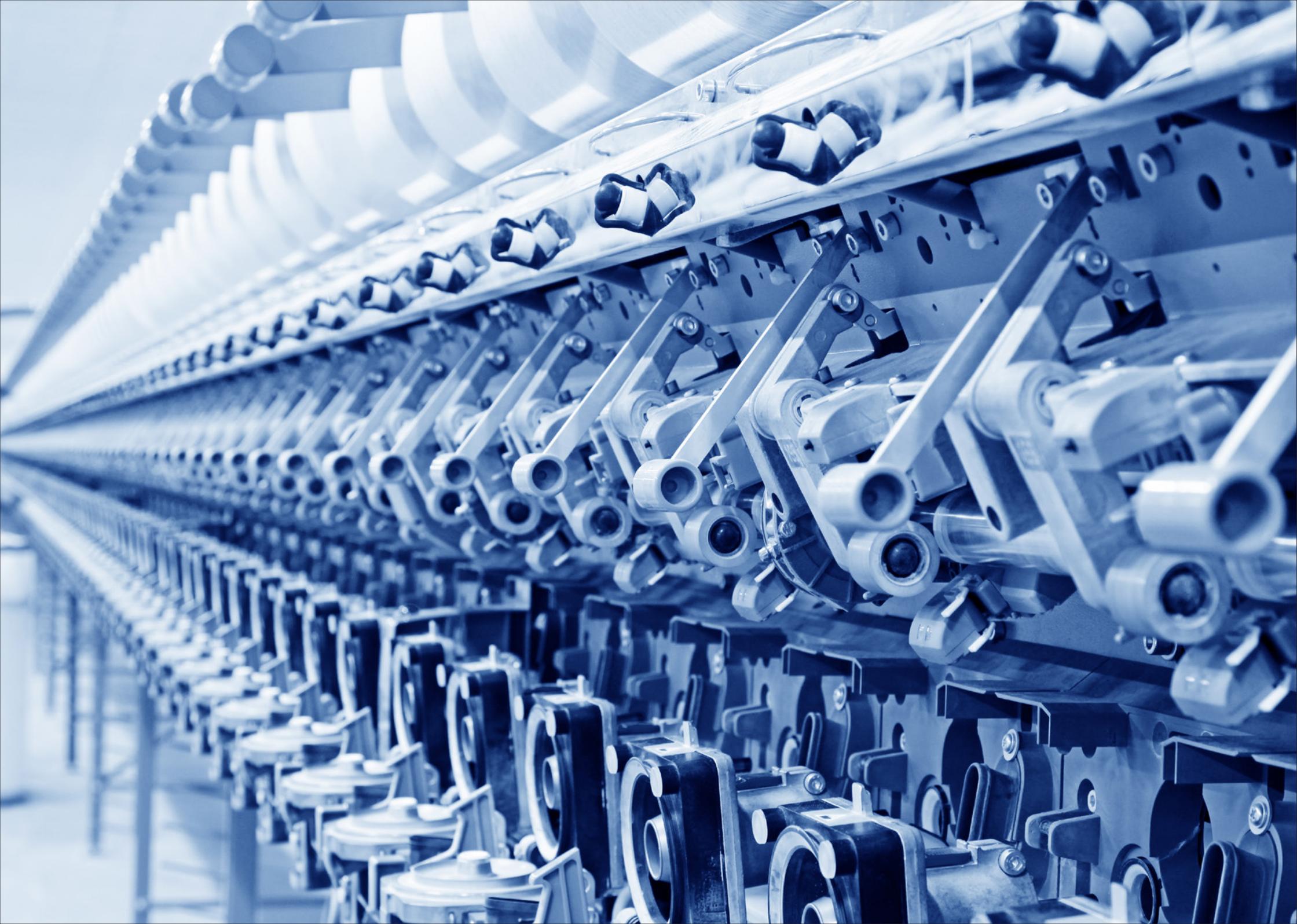
世界の研究開発状況における中国の台頭

2003～2013年の研究開発費と世界の研究開発費に占めるシェア



注: 上位10カ国のその他の国とは、日本、ドイツ、韓国、フランス、英国、インド、台湾、ロシア。

出所: OECD、ユーロスタット、UNESCO統計研究所のデータに基づくデロイトの分析⁽⁶⁾



米国は現在多くの先端産業のリーダー

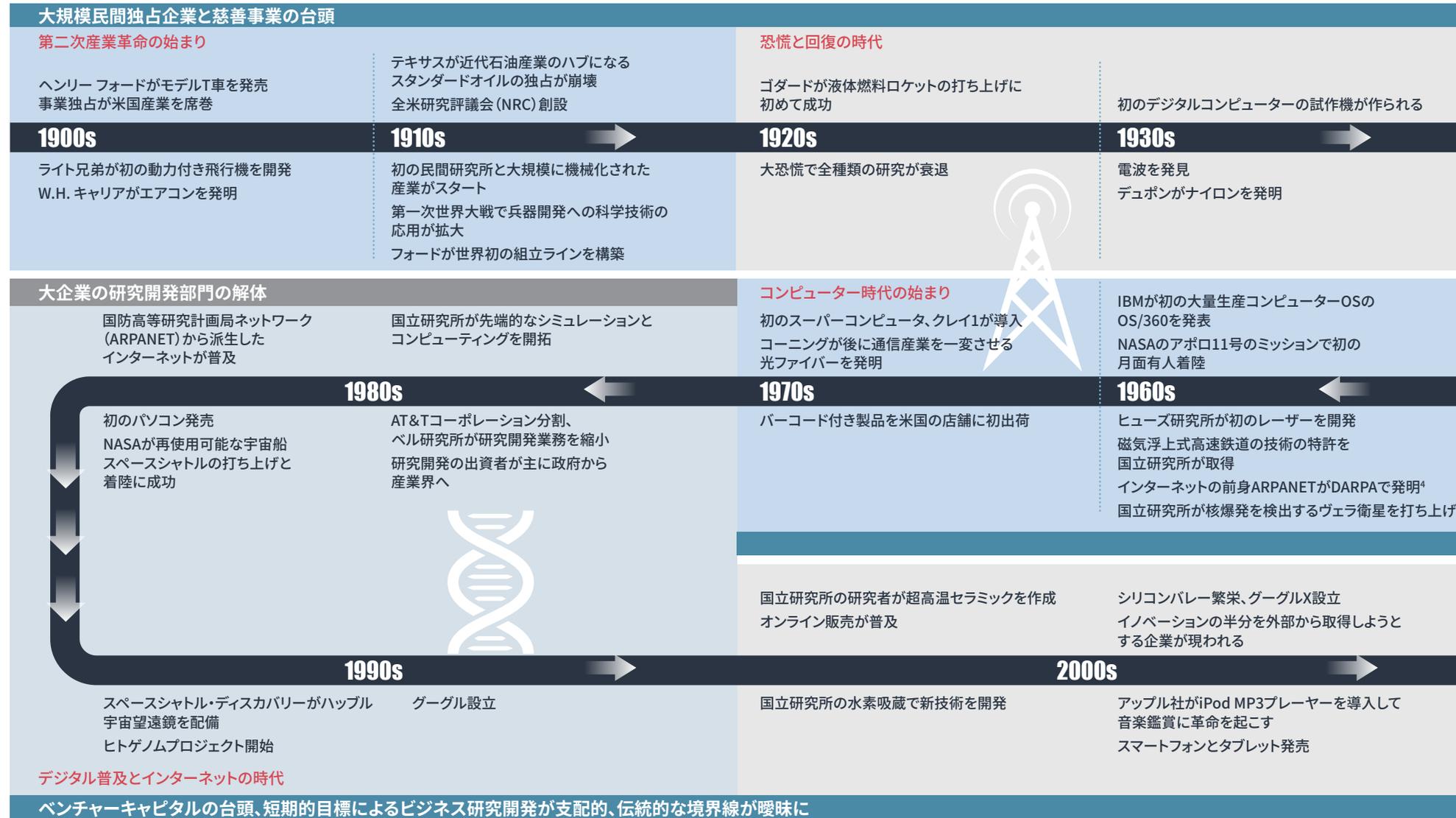


出所：BattelleとR&D Magazineによる研究者の意識調査^(iv)

セクション2

イノベーションエコシステム によるアプローチ

過去1世紀、米国はイノベーションの原動力として強力な基礎を作り上げた。しかし、プレイヤーとその役割、関係性、技術的重点は年々変わっている。



...フィジカル技術とデジタル技術が融合し、歴史的に細分化されていた手法が手を結び始める

政府と大企業の研究開発部門の積極的役割

核競争と宇宙探査の始まり

個別の慈善事業家ではなく連邦政府が研究開発のメインスポンサーに

ルーズベルトが科学研究開発局を設立

1940s

国立研究所のマンハッタン計画が初の原子爆弾投下につながる

ショックレー他がトランジスタを発明
ジェットエンジン開発



国立研究所の研究により世界初の水素爆弾爆発

米国がエクスプローラー1号を軌道に投入
初の民生用コンピューターUNIVAC 1が米国統計局に販売

1950s

集積回路「チップ」開発
初の原子力潜水艦ノーチラスが海戦に革命を起こす

IBMとGMが初のコンピューター支援設計 (CAD) システムを開発、IBMがFORTRANを開発
国立科学財団が設立

政府と大規模民間研究開発センターの台頭

人々が構築・革新できるオープンプラットフォームの普及

サムスンウォッチやグーグルグラスなどのウェアラブル機器がデビュー

2010s

自動運転車とスマート工場がデビュー
3Dプリントなどの新しい製造技術が主流に

アイデアのクラウドソーシングが新しいイノベーションの方法になる

モノのインターネットの始まり

出所：詳しくは文末脚注6を参照

米国のイノベーションエコシステムは過去1世紀に大きく進化し、前世紀始めの事業独占による研究開発の支配、前世紀半ばの政府による一方的な出資から、グローバルにネットワーク化された世界の中に存在する現在の環境へと変容してきた。現在では、大小の企業が大学、ベンチャーキャピタル (VC)、研究機関と協力してイノベーションエコシステムを推進している。一方、**研究開発の技術的重点も同様の経過をたどっており、フィジカル製品からデジタル製品の開発へ、より最近ではフィジカル製品のデジタル化へとシフトしている。**

- **1800年代末から第二次大戦前：大規模な民間独占企業が台頭。**大規模独占企業が消費者の利益を脅かし競争を妨害したため、米国政府は独占企業の力を徐々に削ぐ1890年シャーマン法を可決させた。この法律にもかかわらず、国内の独占企業はそれから半世紀がたっても完全には消えず、法律の施行は常に成功したわけではなかった。その結果、大規模民間研究所の研究開発費はほとんどが独占企業と大企業から提供された^{6a}。
- **第二次大戦と戦後：政府と大規模民間研究所 (AT&T、ベル研究所、ヒューズ研究所) が基礎研究のメインスポンサーとなった。**国防総省 (DoD) とエネルギー省 (DOE) の傘下にある基礎・応用研究の部局が基礎科学的な研究開発業務の大部分の資金調達と実施を担い、これがブレイクスルーイノベーションへとつながった⁵。
- **21世紀：**資本、知的財産 (IP)、人材が大きな制限なく国境を超えて流れる中、米国は将来のイノベーションエコシステムにとって非常に重要な根本的問題に直面している。すなわち、競争力を強化するための先端技術の潜在力をどうすれば最も良く高められるか。他国の研究費と人材から考えて、米国はリーダーであり続けられるか。基礎研究と応用研究、応用研究と商用化の間にある死の谷を渡る道を常に見つけられるか。

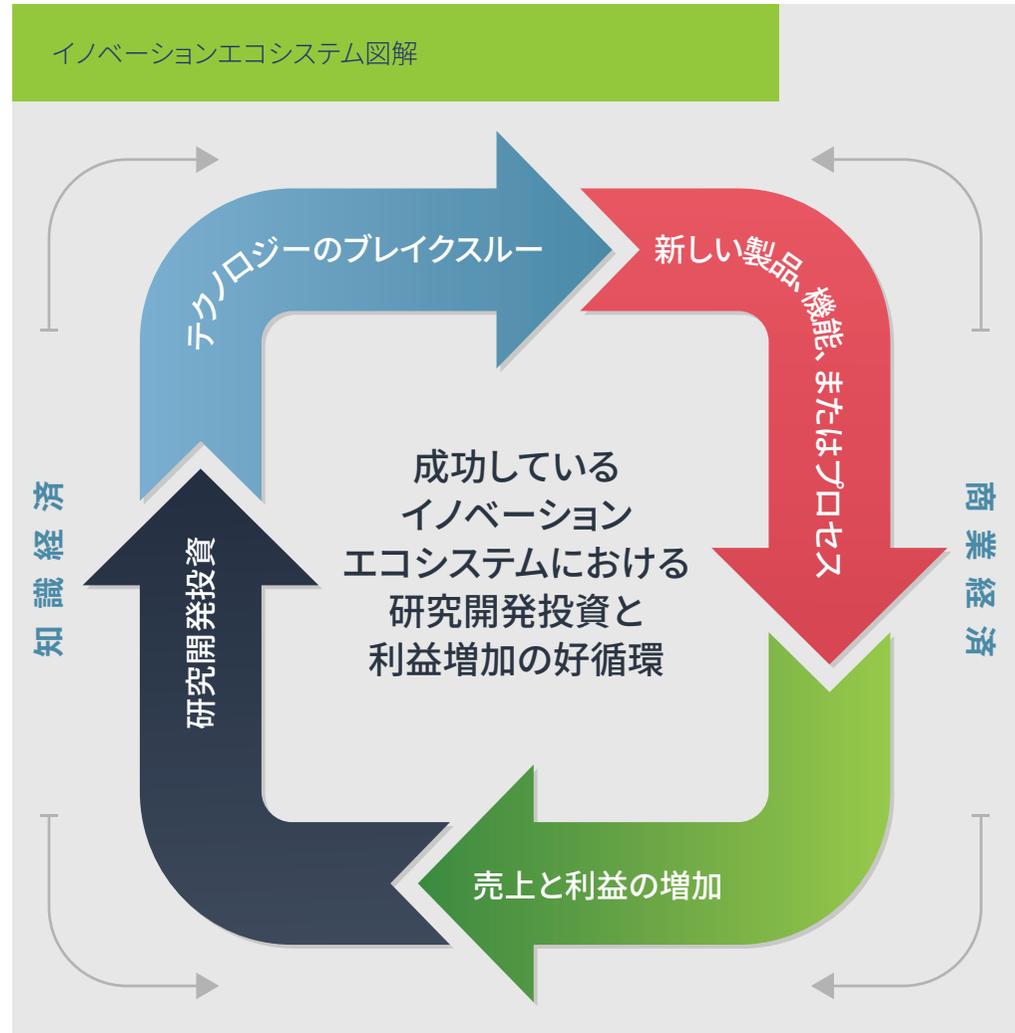
国のグローバル競争力を維持するには イノベーションエコシステムが重要

インタビューしたエグゼクティブによると、**国の競争力は究極的にその国のイノベーションエコシステムの成否にかかっている**。イノベーションエコシステムは、新しいアイデアを有形の製品、技術、サービスへと次々に具現化する人、資源、政策、機関から構成される。そのため、成功しているイノベーションエコシステムは、知識経済への資源の投資を、新しい製品やプロセスやサービスの開発による利益の増加へと効果的につなげることができる。

これらのエグゼクティブは同時に、**米国が最新鋭の科学、技術、イノベーションの先頭に立つことができているのは、現在の米国のイノベーションシステムが持つ重要な特徴のためだ**と言う。その特徴とは、創造的思考を育む教育制度、優れた人材、世界をリードする大学、素晴らしい研究インフラ、ベンチャーキャピタリストの確固たる存在感、地域イノベーションクラスターへの強力な支援である。これらすべてが、最新鋭の科学、技術、イノベーションの先頭に米国が立ち続けることに貢献している。

「米国は、素晴らしい研究インフラ、技能の高い人材、イノベーションの低いハードルをいつでも活かせるお陰で、『ブレイクスルーイノベーション』の震源地であり続けている。これらはすべて、スムーズに機能するイノベーションエコシステムの一部だ」

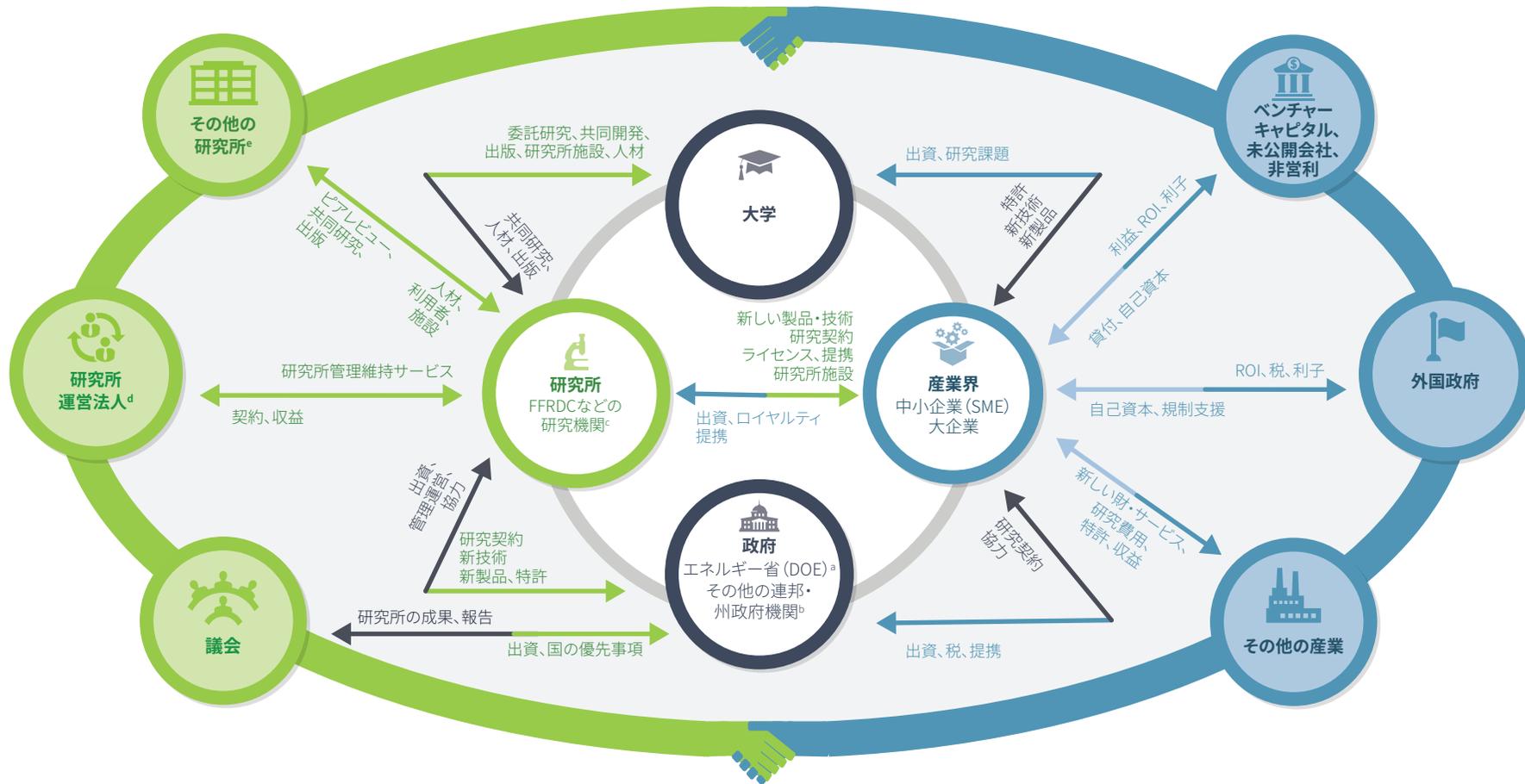
ー インタビューしたエグゼクティブ



出所: 国立科学財団^(vii)

現在の米国のイノベーションエコシステムの図解

歴史的レガシーと新しい市場動態の副産物



a. DOEには、科学部、エネルギー効率・再生可能エネルギー部 (EERE)、化石エネルギー部、原子力エネルギー部、国家核安全保障局 (NNSA)、環境管理部が含まれる。

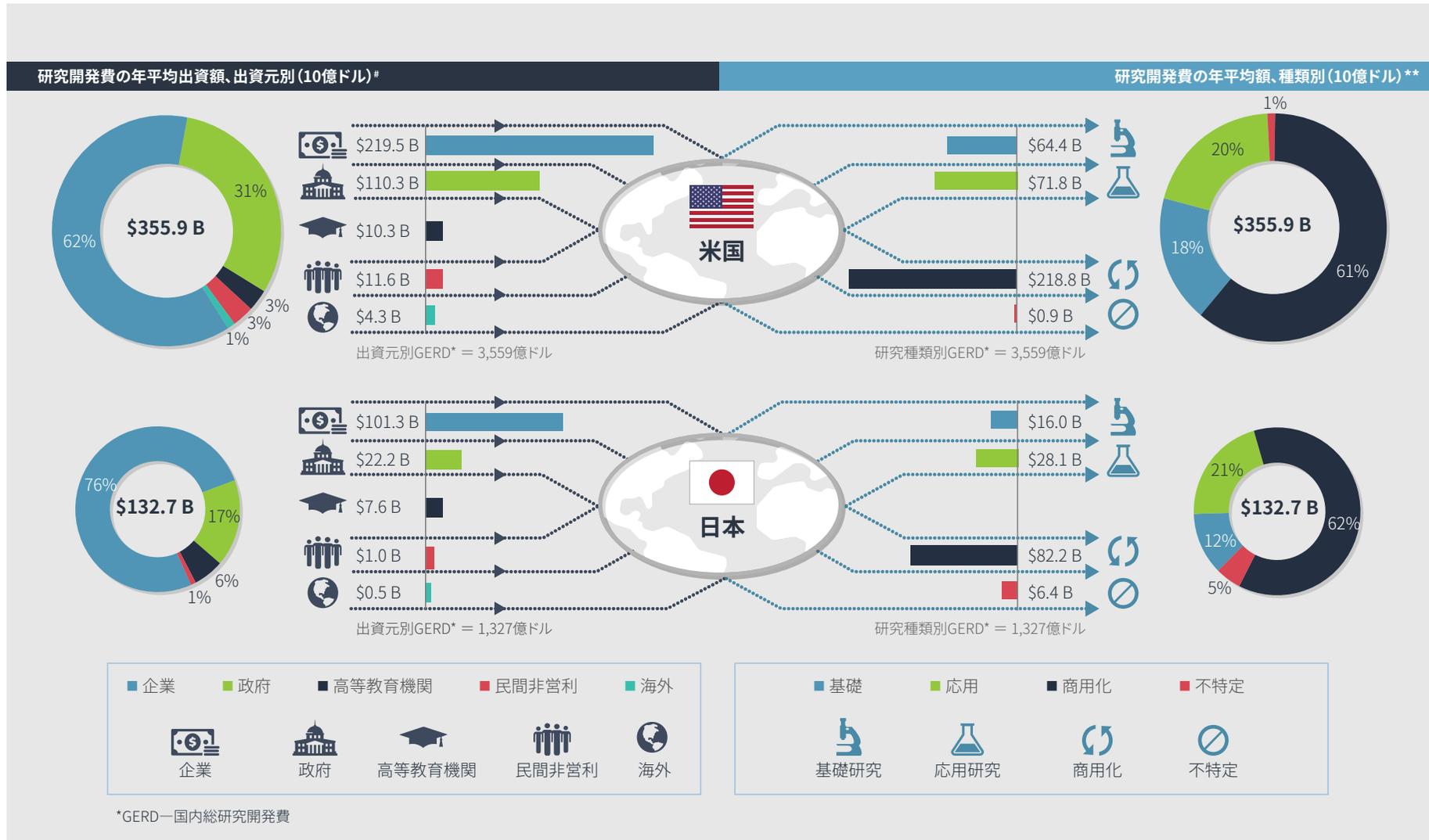
b. その他の主な連邦政府機関と州政府機関には、国立衛生研究所 (NIH)、米国農務省 (USDA)、国防総省 (DoD)、国土安全保障省 (DHS)、米国航空宇宙局 (NASA)、国立科学財団 (NSF)、科学技術政策局、各州政府が含まれる。

c. 国立研究所には、DOE傘下の17の連邦政府出資研究開発センター (FFRDC)のほか、その他のさまざまな連邦政府出資の研究施設が含まれる。

d. 研究所を運営する法人には、Battelle Memorial Institute、MRIGlobal、University of Chicago、Bechtel National, Inc.、University of California、The Babcock & Wilcox Company、URS Corporation、University of Tennessee、University of California、Lockheed Martin Corporationなどがある。

e. NNMI、DoDの各研究所、MITリンカーン研究所、その他の研究所。

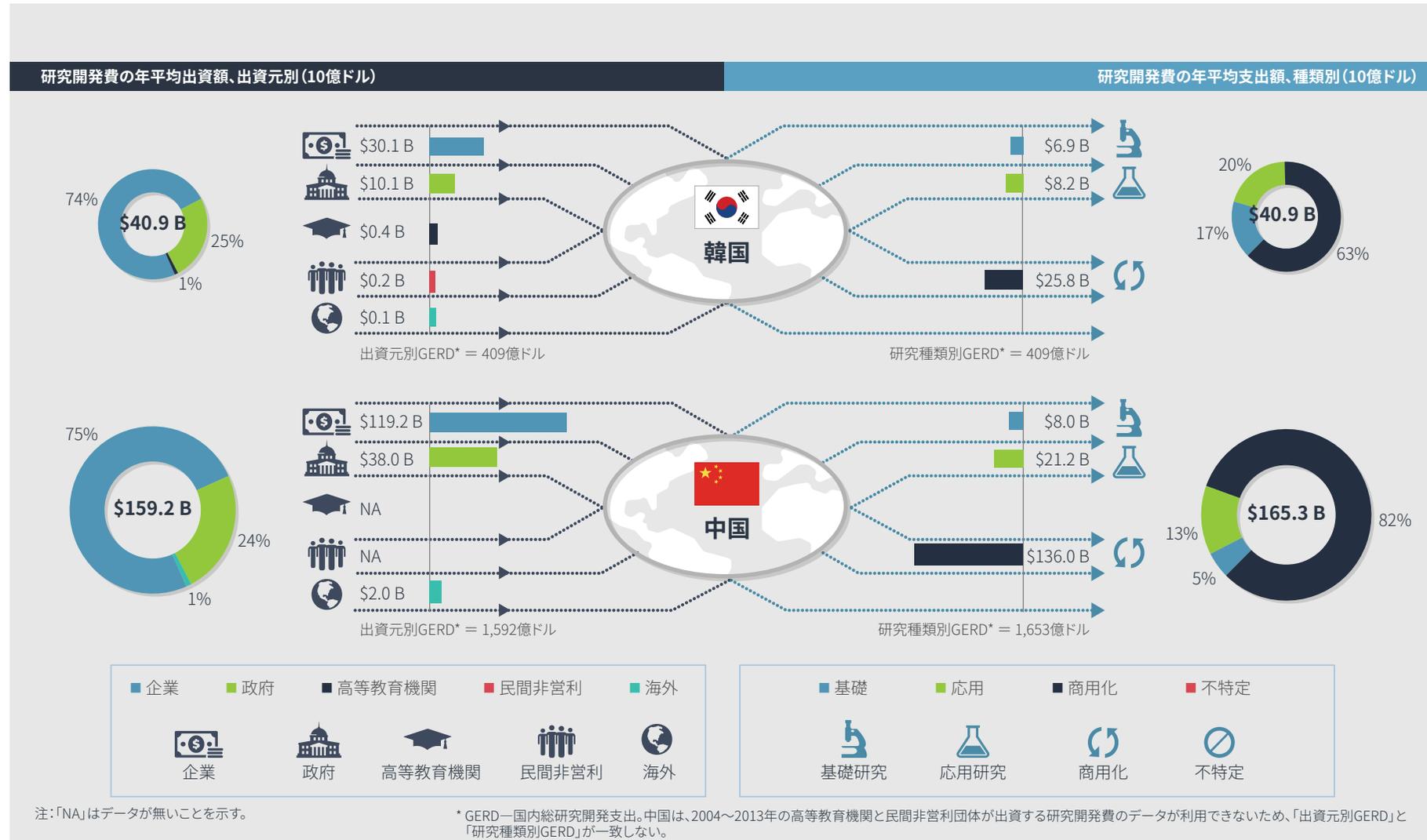
米国は特に基礎・応用研究などの基礎分野で現在も研究費が最大



出所: UNESCO統計研究所のデータに基づくデロイトの分析⁽⁶⁾
 注: データは2004~2013年の10年間の平均 (PPPによる2005年基準ドル換算)。
 米国は2003~2012年の平均値。

企業、政府、高等教育機関、民間非営利、海外といった研究開発費の出資者については文末脚注7で説明している。
 ** 基礎研究、応用研究、商用化 (試験的開発) といった研究の種類は文末脚注8で定義している。

...一方で中国の研究開発費はテクノロジーの商用化により多く使われている



出所: UNESCO統計研究所のデータに基づくデロイトの分析^(iv)
 注: データは2004~2013年の10年間の平均 (PPPによる2005年基準ドル換算)。米国は2003~2012年の平均値。

米国は、基礎・応用研究における先進的な立ち位置と、研究と産業の地理的近接性という強みをさらに活かせる可能性

・ **米国は基礎・応用研究のパイオニアであり、政府の役割はこの立場の維持に貢献すること：**基礎研究の最も顕著な特性の一つ、革新的ブレイクスルーにつながる知見がいつ、どこで、どのようにして応用できるかが正確に分からず、そのため短期的に特定分野に特化した企業では基礎研究を適切に展開していけないということである。米国の基礎研究費は依然としてどの国よりも多いが、**基礎・応用研究への出資比率は過去10年間で低下、もしくは変化がない。**インタビューしたエグゼクティブによると、米国のイノベーションエコシステムがある程度成功したのは、部分的には、政府が基盤としての基礎・応用研究に辛抱強く出資し続け、研究開発に取り組む企業をさまざまなインセンティブで支援したからである。しかし、政府の研究開発費は過去10年間に実質ベースで増加したものの、連邦予算総額に占める割合は下がっており、そのため政府が出資する研究機関で行われる研究が占める基礎・応用研究開発のリーダーとしての地位が危うくなっている、ともエグゼクティブは指摘している。

「**基礎・応用研究は有形の製品や技術という形の結果をもたらすには時間がかかり、企業はほとんどの場合、短期で結果を得たいと思っているため、基礎・応用研究を行う責任は政府にある**」

— インタビューしたエグゼクティブ



- ・ **米国のエコシステムは国内の研究資産との地理的近接性を活かすべき：**米国の産業は、米国内でかなりの基礎・応用研究が行われているという点で他国に対して競争優位を持つ。米国企業は、こうした国内の研究成果を競合他社に先駆けて優れた製品やサービスに転換するための仕組みを強化することによって、この優位性の維持に貢献し、競争で先手を打つことができる。そのためには、産業界、研究所、エコシステム内のその他のプレーヤーの間での効率的かつ効果的な協力体制が必要となる。
- ・ **中国は現在、基礎・応用研究よりも商用化に注力している：**米国とは対照的に、中国の研究開発予算は商用化に大きく偏っており、基礎・応用研究への割当額はわずかしかない。このファストフォロワー的手法は今のところ基盤的イノベーションにとって大きな脅威ではないかもしれないが、中国が考え方を変えて基盤的な基礎・応用研究への投資を強化すれば、長い目で見れば米国のリーダー地位にとって競争上の脅威となるかもしれない。

「**応用研究への政府の支援は、基礎研究の支援とまったく同じくらい米国産業の競争力にとって重要だった。過去30年間に大きな成果を上げた政府出資の取り組みをいくつか挙げると、DARPAのVLSIチップ開発計画、DOEの先端コンピューティングイニシアチブ、DoDとNASAの複合材料開発支援、NSFのスーパーコンピュータとNSFNET（インターネットに大きく貢献）への出資、DoDの全地球測位システム支援などがある**」

— 「競争力の処方箋」『ハーバードビジネスレビュー』⁹

米国連邦政府の研究開発費はどの国よりも多いが、基礎・応用研究費は過去10年間に変化なし、または減少している

政府出資の研究開発 (10億ドル)、
上位5カ国、2013年

米国政府はすべての国の中で研究開発への出資額が最も多い。

米国政府は研究開発予算を公的研究機関 (PRI)、大学、国立研究所に割り当てることでこの高額な研究開発費を達成している。

10億ドル (PPP)による2005年基準ドル換算

\$17B



ロシア

\$24B



日本

\$25B



ドイツ

\$62B



中国

\$122B

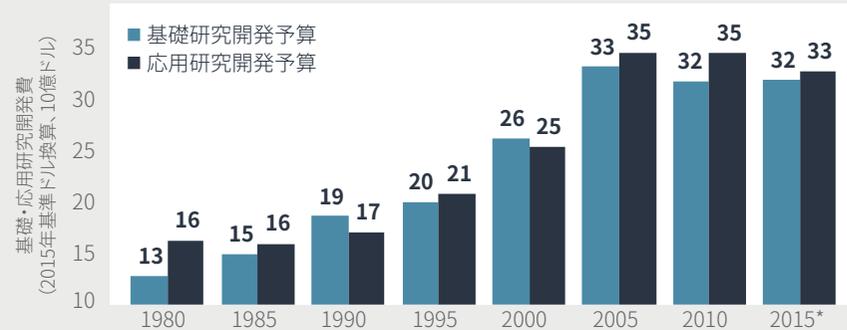


米国

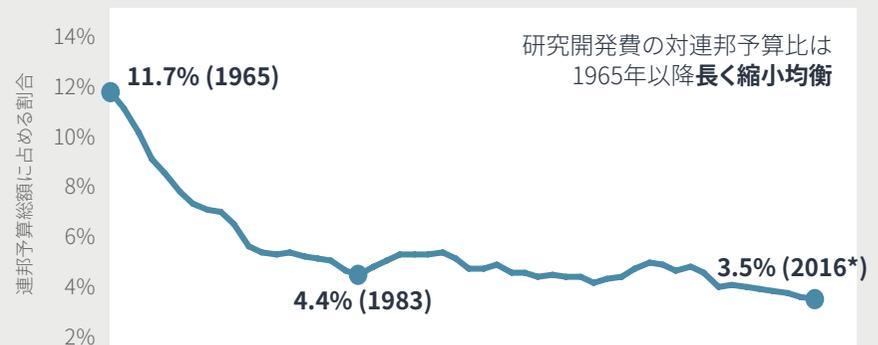
インタビューしたエグゼクティブによると、経済的繁栄と国家安全保障を確保するには基礎・応用研究が重要であるにもかかわらず、DoDとDOE傘下の主な基礎研究機関への予算割当額は数年間にわたり比較的变化がないか、むしろ減少している。

出所: UNESCO統計研究所のデータに基づくデロイトの分析⁽⁶⁾

米国政府出資の基礎・応用研究 (10億ドル)、
1980~2015年



研究開発予算の対連邦予算総額比、米国、
1965~2016年

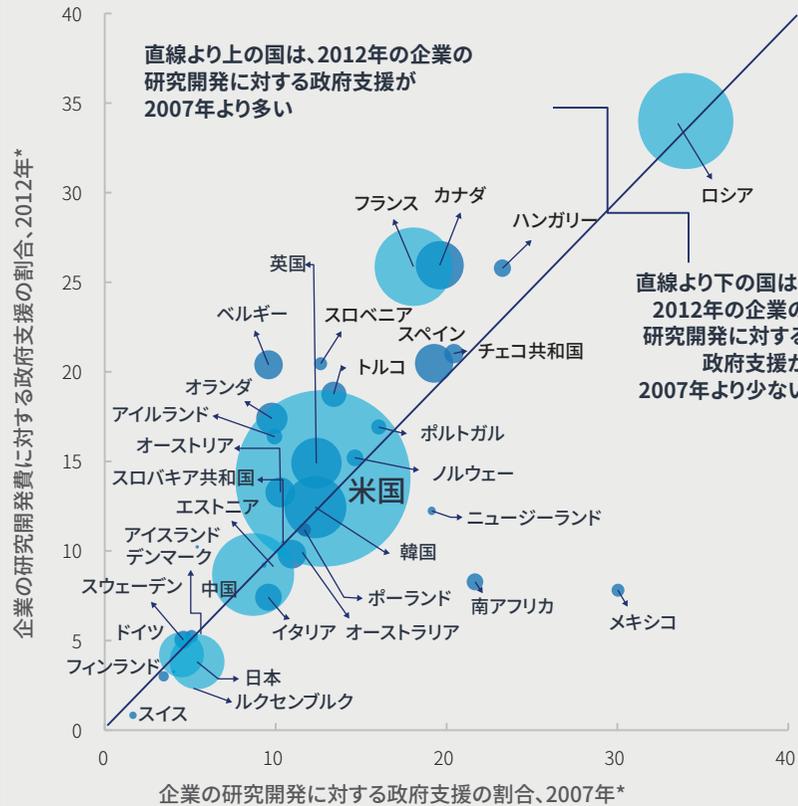


*最新の試算

出所: 米国科学振興協会 (AAAS) のデータに基づくデロイトの分析⁽⁶⁾

世界中の多くの国が企業の研究開発への政府支援を増やしている

企業の研究開発費総額に対する政府資金援助の割合**、2007年と2012年の比較



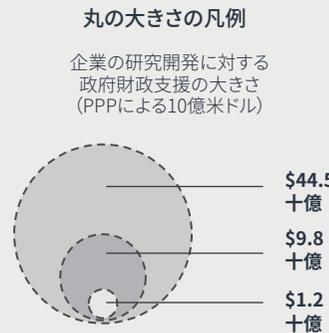
* またはデータが入手可能な直近年
 ** 企業に対する政府援助総額は、直接支出（企業への資金提供）と税優遇策などの間接的支出の両方を含む。

出所: OECD 科学・技術・産業アウトルック 2014^(vi)

政府の研究開発費総額のうち企業に割り当てられる割合、2003~2013年



出所: 国立科学財団 (NSF) のデータに基づくデロイトの分析^(vii)



世界の多くの国が、
**資金を直接提供するだけでなく、
 研究費の税優遇策を
 提供するなどして、
 研究開発を行うよう
 企業に促している**

調査によると、企業が行う研究開発はGDP成長率に直接プラスの影響を与え、公的資金による研究開発より高い商業的利益を生む

OECD*の研究結果...

企業が行う研究開発はその国の生産高の成長率にプラスの影響を与える。

- 企業が行う研究開発は：
 - その国の**GDP成長率にプラスの影響**を与える。
 - 生産性の向上につながるような生産の**イノベーションと新プロセス実装を目指す傾向が強い**。
- 連邦政府、国立研究所、公的資金源による研究開発は：
 - **商業的影響が非常に限定的**。
 - **技術水準を大きく引き上げず**、短期的には生産性の改善につながらないが、「**技術スピルオーバー**」によって**基礎知識が生まれる可能性がある**。

* OECD (2003年)、Wall Street Journal (2015年)。情報源の詳細は文末脚注10aに記載。

BLS**の研究結果...

政府の研究開発投資からの商業的利益は企業の研究開発より低い。

- 大学と政府が行う研究の過半数は：
 - **直接的な商業的利益ではなく科学の理解**を目的とする。
 - **商業的価値がほとんど無いか、生み出す商業的利益がゼロに近い**。
 - 消費者、他の研究機関、他国への「**知識スピルオーバー**」により**生産高の成長に間接的な影響を与える**多くの進歩につながる。
- 平均すると、**民間資金による研究**は商業的利益の25%、社会的利益の65%に貢献している。
- 公的企業と民間企業で起こるイノベーションからのスピルオーバーは、**研究開発の商業的利益よりも社会的利益をはるかに多く**生み出すことに貢献する。

** 米国労働統計局 (2007年)、Wall Street Journal (2015年)。情報源の詳細は文末脚注10bを参照。

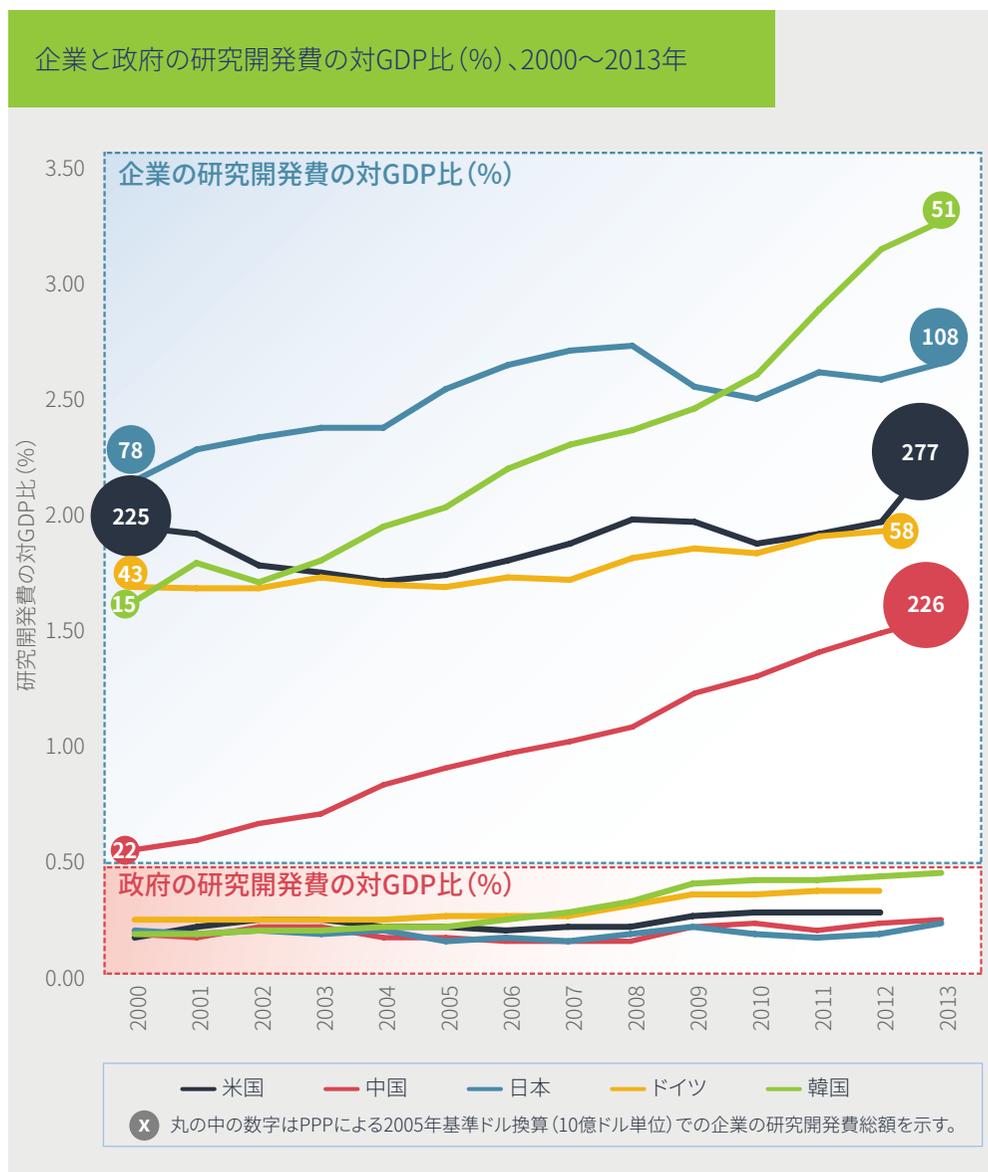
OECDとBLSの研究結果...

官民が協力的な環境は知識のスピルオーバーと生産性の向上につながり、研究の成果が改善され、GDP成長率が上昇する。これは、研究開発の税控除の拡大など、インセンティブによる**民間企業への間接的支援を増やせば**さらに達成できるだろう。

研究開発費競争：企業が研究開発費の圧倒的シェアを占め、この傾向は主要国全体で加速

インタビューしたエグゼクティブの見解...

- ・ 企業は研究開発活動の過半数に出資しているだけでなく、商用化のほとんどを行っている。とはいえ、政府はその国の長期的な研究開発能力を支援し改善する上で重要な役割を果たす。
- ・ 米国企業は、グローバルレベルで競争優位を得るために、研究開発活動にかなりの投資を行ってきた。
- ・ 新興国、特に中国の企業は、先端的な研究開発活動を積極的に追求してきており、企業の研究開発費においては先進経済国との差が縮まりつつある。



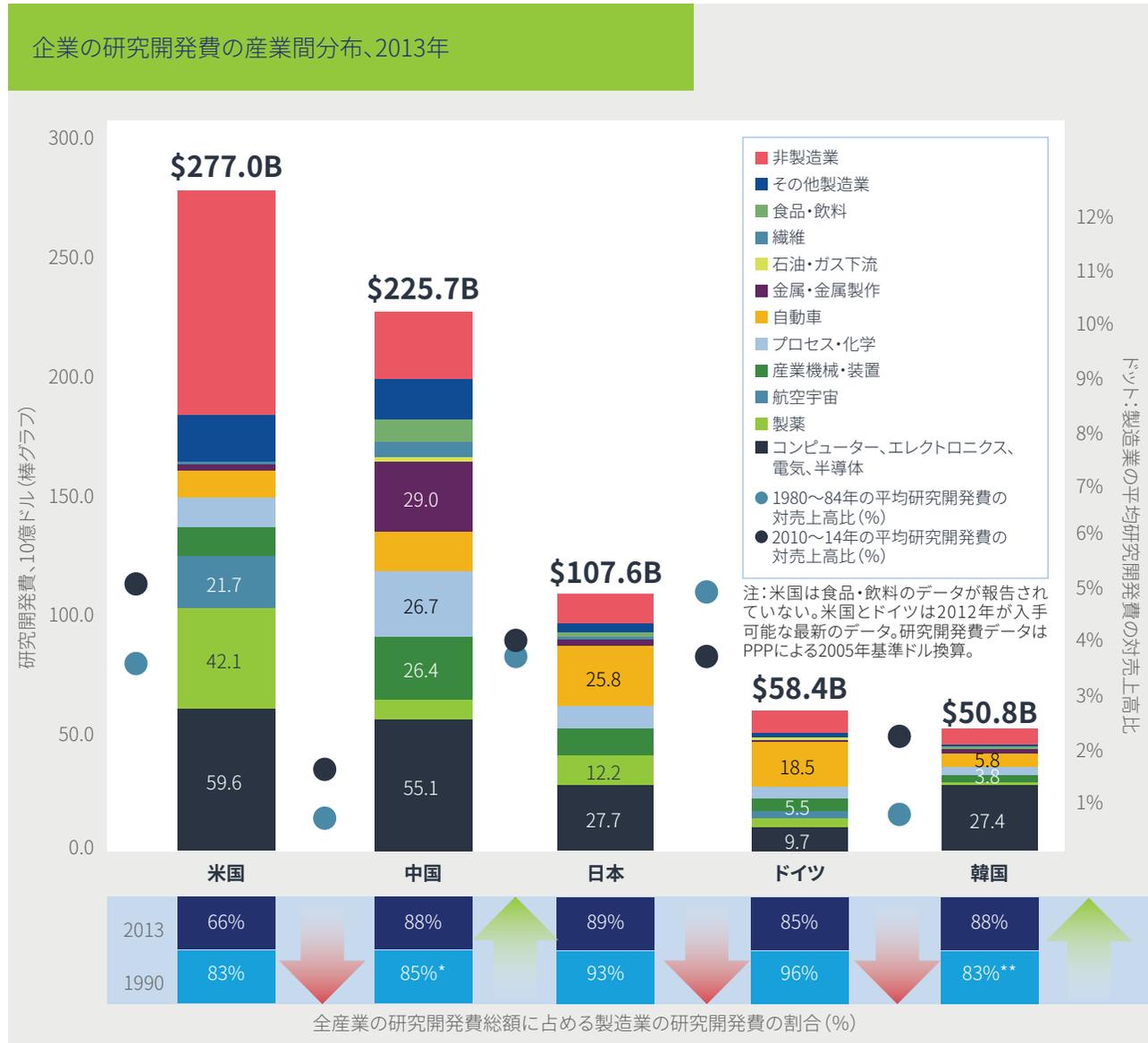
出所: OECDのデータに基づくデロイトの分析^(注)

注: 米国とドイツは2012年が入手可能な最新データ。

国によって研究のアプローチは異なる：米国と中国が幅広く多角的に取り組むのに対し、日本とドイツと韓国はより集中的なアプローチをとっている

インタビューしたエグゼクティブによると、グローバルなテクノロジーの状況を一変させると期待される新しい先端技術は、製造業部門にも大きな影響を与え変化させる。ただし、これらの先端技術がどの製造業部門に影響を与えるかは、これらの技術を開発する際にその国がどのようなアプローチをとるかによって異なり、その程度もさまざまである。

- 多角的アプローチ：**米国と中国はいずれも研究開発費を多くの産業に分散させている。
 - 米国企業は製造業に潤沢な研究開発費を投入しているが、中でもコンピューターおよびエレクトロニクス、製薬、航空宇宙といったセクターが突出している。
 - 中国企業は、コンピューターおよびエレクトロニクスからプロセスケミカル、産業機械・装置まで、さまざまなセクターで研究開発を行っている。
- 集中的アプローチ：**日本とドイツが自動車とコンピューターおよびエレクトロニクスの各セクターで集中的に研究開発に取り組んでいるのに対し、韓国では製造業関係の研究開発費の半分以上がコンピューターおよびエレクトロニクスセクターである。



出所：OECDと国立科学財団のデータに基づくデロイトの分析^(iv)

*2000年以降のデータ。**1995年以降のデータ。

注：各産業の詳細な説明は文末脚注10を参照。

製造業の研究開発費の対売上高比はほとんどの国で増加、ただしその恩恵を受けたのは数カ国のみ

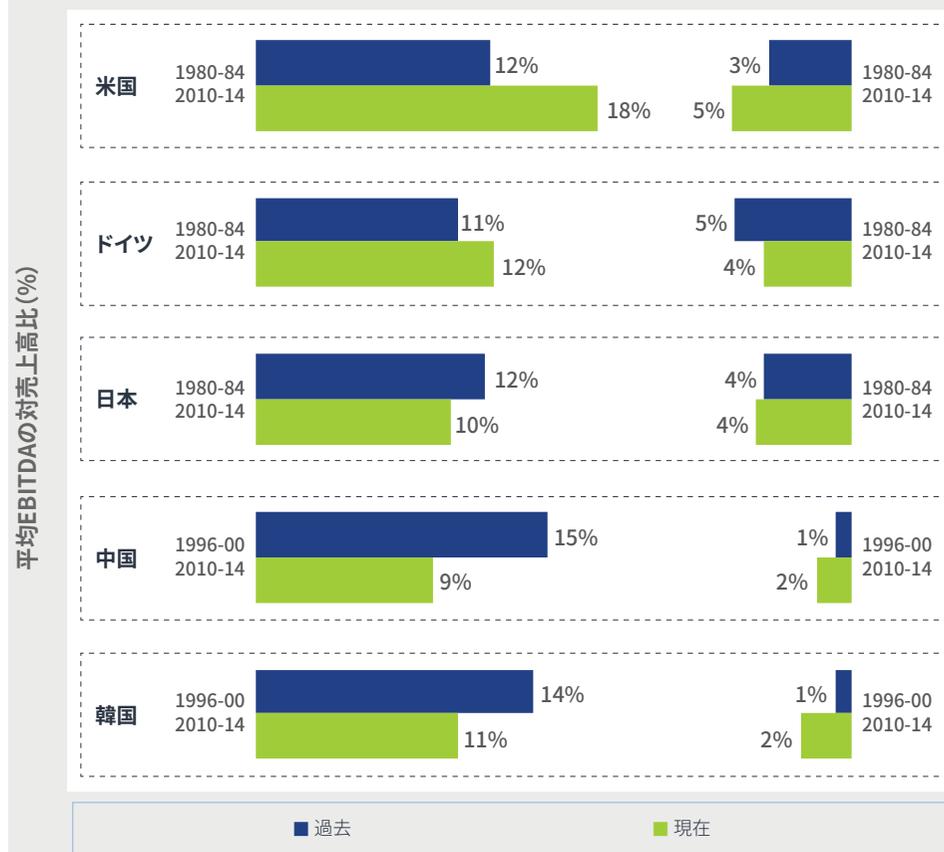
- ・ **米国で研究開発集約度が上昇**：米国製造業は研究開発集約度と収益性が共に過去30年間で上昇。
- ・ **ドイツは効率性が向上**：研究開発費の対売上高比は低いものの、ドイツの製造業企業は過去30年間に収益性を向上させている。
- ・ **日本の研究開発集約度は変わらず**：日本の製造業は研究開発集約度と収益性が過去30年間ほとんど変わっていない。
- ・ **中国と韓国は評価が定まらない**：中国と韓国の製造業企業は研究開発集約度を上昇させたが、過去20年間に収益性は下がった。

中国の企業は研究開発能力を徐々に開発しているが、現在では比較的技術の低い製品に取り組んでいる。また、中国はコスト高になりつつある。かつては米国の人件費の25%だったが、現在では40%に上がっている

ー インタビューしたエグゼクティブ



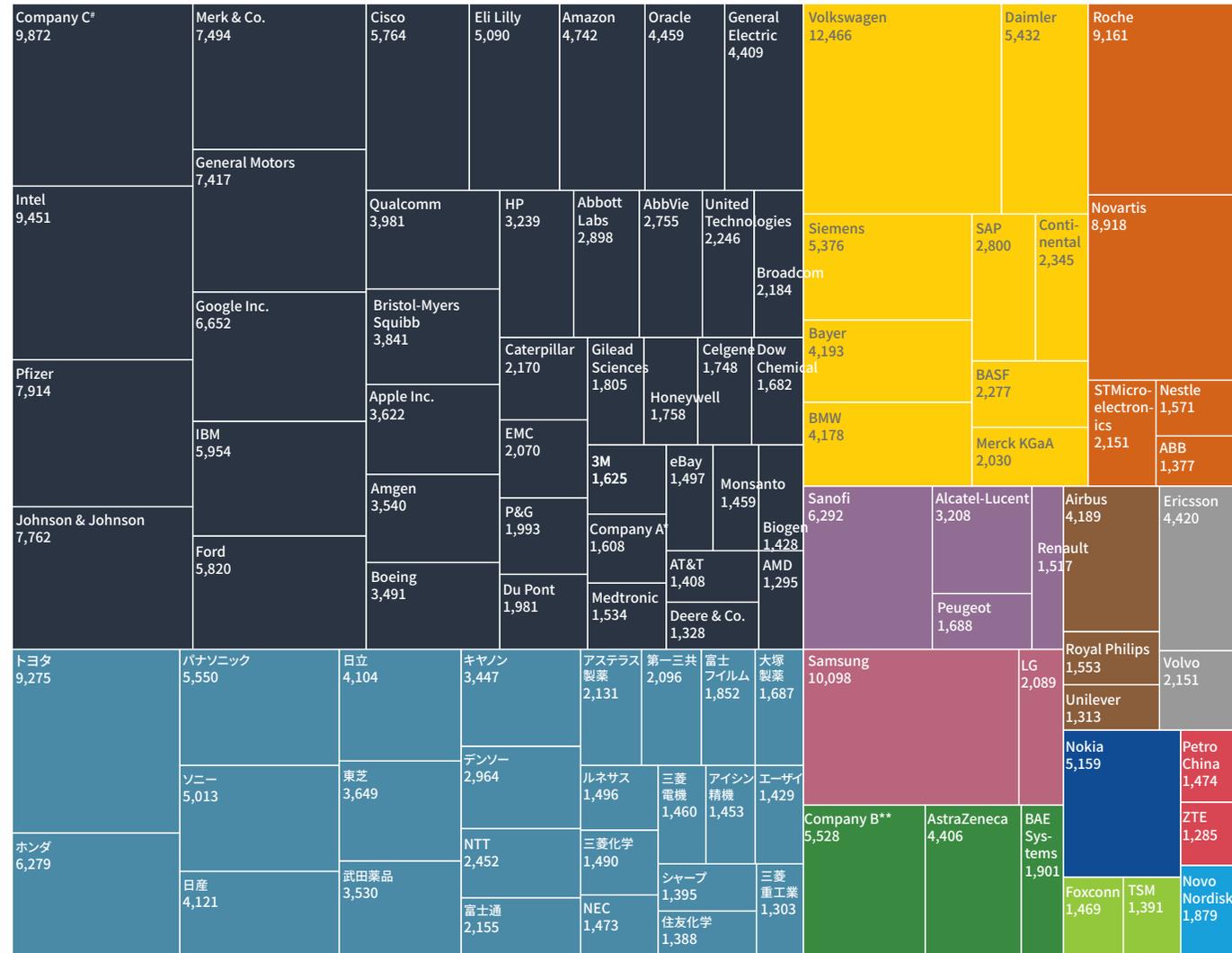
製造業企業の利益率と研究開発集約度、1980～84年と2010～14年



注：中国と韓国は、過去のデータは1980～1984年ではなく1996～2000年のもの。
出所：ファクトセットのデータに基づくデロイトの分析^(xvii)

米国企業が世界の研究開発費をリード

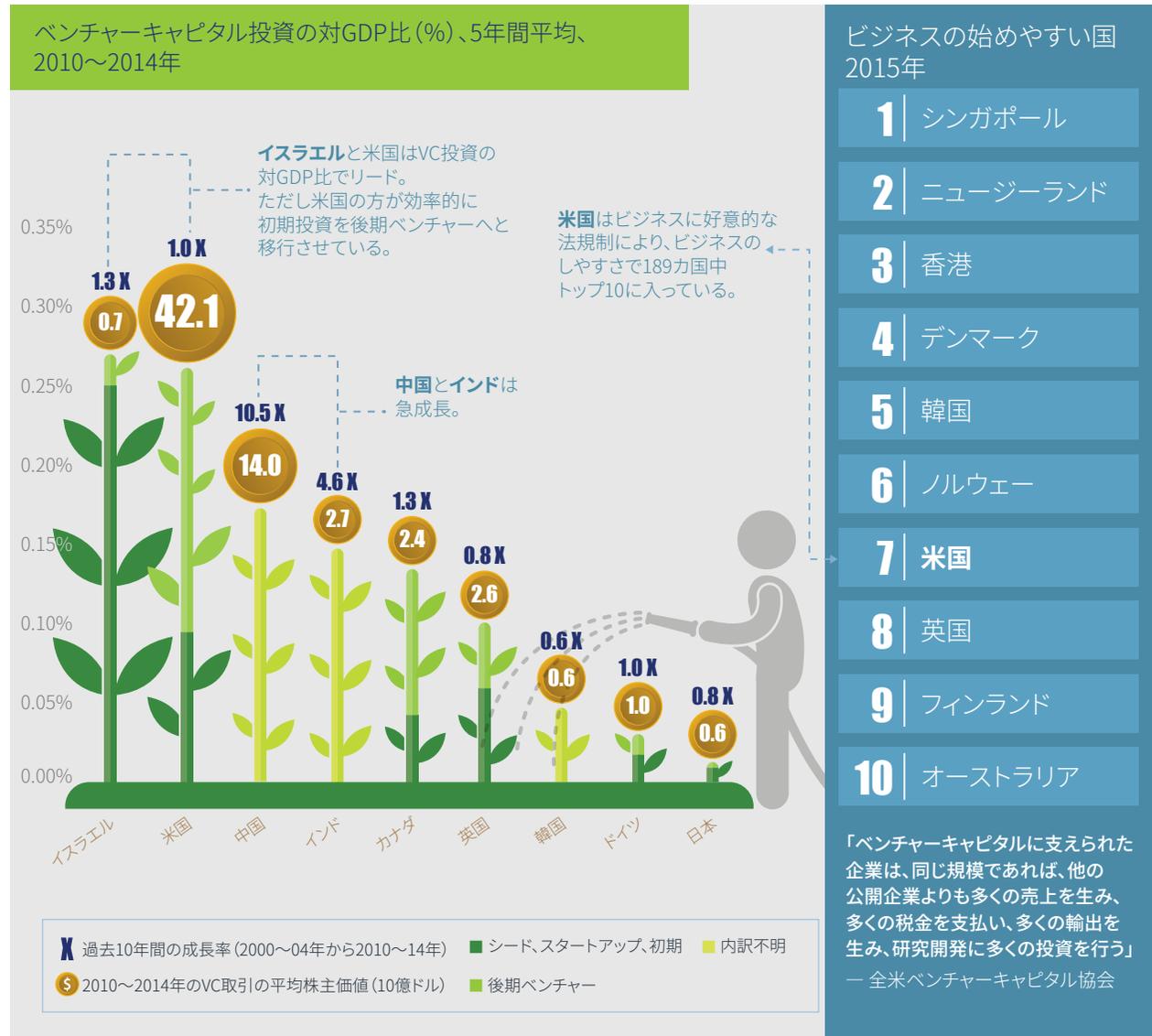
世界の研究開発費トップ100社(5年間のデータに基づく)、国別、2010~2014年



ベンチャーキャピタル(VC)の 旺盛な投資がその国の イノベーションパイプラインの 原動力

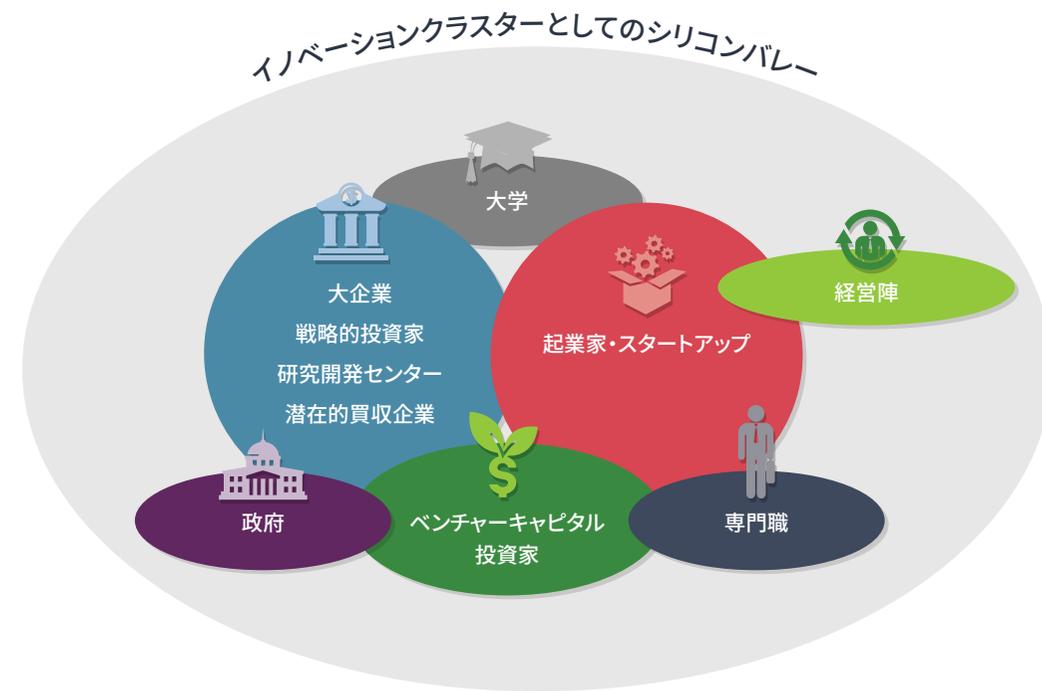
インタビューしたエグゼクティブの 見解...

- ・ 米国の**起業家精神とベンチャーキャピタル企業からの大きな出資**は巨大な競争優位であり、米国の主要な差別化要因。
- ・ 米国は、その研究インフラと、起業家やスタートアップに対する障壁の低さにより、依然として「**破壊的イノベーション**」の中心地。
- ・ 米国内の破壊的イノベーションは以下のさまざまな仕組みを通じた活発な投資によって推進されている：
 - 従来型のVC企業とエンジェル投資家、および大小VCによる共同出資。
 - 製造業企業が従来の社内の研究開発能力を補うために**ベンチャー資金部門を別に作る**傾向が強まっている。
 - 従来よりも安いコストで革新的な解決策を見つけるための**クラウドソーシングとオープンプラットフォームの共有**。
 - **クラウドファンディングを通じて新しいアイデア**を実現し、資本を蓄積する。



シリコンバレーの イノベーションエコシステムは、 産業界、スタートアップ、VC、 研究所、大学に近いことが いかにその産業セクターの競争力を 高めるかの好例

- ・ 地域イノベーションクラスターはトップクラスの学生、研究者、科学者、VCファンドを引き寄せる要因となるだけでなく、教育研究機関と企業との実りある提携を可能にし、主な注力分野で革新的な研究成果につながる、とインタビューしたエグゼクティブは述べている。その好例が**シリコンバレー**で、**技術開発と商用化の推進力**となっているイノベーションクラスターを真似したい国の手本となっている。
- ・ 最も重要なのは、**米国のイノベーションエコシステムが革新的な起業家精神を後押しする環境でもあるということ**。これにより、スタートアップだけでなく中小企業 (SME) も米国でビジネスしやすくなっている。
- ・ 一般に、イノベーションエコシステムが発達した国は、一流大学への公的資金、企業の研究開発費、ベンチャーキャピタル投資、情報通信技術 (ICT) 投資、第3期大学教育費が高水準という特徴がある。
- ・ これらすべての要因と変数は、政府および企業がとる行動と相関関係にある。そのため、イノベーションエコシステムを大きく発達させる責任は企業と政府の双方にあるはずである。



出所:カリフォルニア マネジメント レビュー (xix)

- ・ その他の地域イノベーションクラスターの例としては、ボストンのバイオテクノロジー、ニュージャージーの製薬、南北カロライナのエネルギー、デトロイトの自動車、ヒューストンの石油・ガスなどがある。

米国は全体的な競争力を高めるために、イノベーションエコシステム・クラスターの継続的な拡大と育成に必要な要素を維持できるだろうか。

セクション3

最も有望な先端製造技術： 詳細分析

全世界の製造業を変革する有望な先端技術トップ10の概略

21世紀の先端製造業の競争は、高度なハードウェアとソフトウェア、センサー、大量のデータと分析が組み合わせられることで、よりスマートな製品やプロセスを生み出し、顧客とサプライヤーと製造業者がより緊密に結び付いている、デジタルとフィジカルが融合する世界へと全面的に集束している。

ここでは最も有望な技術をいくつか掘り下げて説明する。

ランク* 製造技術	内容
1 予測分析	予測分析は、統計や分析のさまざまな手法を駆使して数学的モデルを構築し、過去のデータに基づいて将来の事象や行動を予測する ¹² 。
2 スマートコネクテッド・プロダクト (IoT)	IoT (Internet-of-Things:モノのインターネット)は、高度なソフトウェア、低コストのセンサー、ネットワーク接続を融合して、モノと機械のデジタルインタラクションを実現する ¹⁸ 。
3 先端材料	先端材料は新たに発見・開発した材料を指し、例えば、軽量高強度金属 (LHM) と高性能合金 (HPA) ²² 、アドバンスセラミクスと複合材料 ²⁷ 、重要物質 ³² 、バイオベースポリマー ³⁶ などがある。
4 スマートファクトリー (IoT)	デジタル設計、シミュレーション、インテグレーションは、フィジカル製品やプロセスのコンピューターシミュレーションによって、製造プロセス及びプロトタイプをデジタル上で構築し、コンセプトを作り上げることである ⁴³ 。
5 デジタル設計、シミュレーション、インテグレーション	ハイパフォーマンス コンピューティングは、科学や工学、ビジネスの非常に複雑で大きな問題を解決するため、極めて高いパフォーマンスが発揮できるように演算能力を結集すること、一般には毎秒1テラフロップ (10 ¹²) 回超の浮動小数点演算を実行するシステムである ⁴⁸ 。
6 ハイパフォーマンス コンピューティング	先端口ボティクスは、高レベルのミッション型指令 (例えば作業場への移動) を受け入れ、人間の介入が最小限の、ほとんどシステム化されていない自然に近い環境で、人工知能や機械学習によって複雑な作業を行うことができるマシンやシステムである ^{52,58} 。
7 先端口ボティクス	3Dプリントは、機械加工のような従来型製造法とは反対に、3Dモデルデータからレイヤーを重ねてモノを作る加法的プロセスである。3Dスキャンは、モノのフィジカルな測定値をコンピューターにデジタルファイルとして整理して転送し、いわゆる3Dスキャンデータを生成する高速かつ正確な手法である ^{63,64} 。
8 付加製造 (3Dプリントと3Dスキャン)	オープンソース設計やオープンイノベーションは、事業者の内外から製品やサービスに関するアイデアや意見を募って問題を解決し、幅広い参加者によってイノベーションの進展を促す ⁶⁹ 。
9 オープンソース設計/直接的な顧客の意見	拡張現実 (AR) 技術 (例: コンピュータービジョンや物体認識) は、ユーザーを取り巻く情報をインタラクティブで操作可能なものにする。関連するデジタルコンテンツや情報のオーバーレイを追加することにより、ARはユーザーの周辺環境を拡張する ⁷³ 。
10 拡張現実	

*「2016年の世界製造業競争力指数」の米国ランキング

予測分析

世界市場の規模、成長¹¹、概要¹²

予測分析は、統計や分析のさまざまな手法を駆使して数学的モデルを構築し、過去のデータに基づいて将来の事象や行動を予測する。これらの予測モデルの複雑さは、予測する行動や事象によって異なる。

予測分析は、多数のツールや手法（データマイニング、機械学習、人工知能など）を使用する。構造化データと非構造化データの両方を分析し、隠されたパターンや関係、重大な洞察を明らかにすることで、組織の先を見越した事前対応を支援する。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
24億ドル	17.8% (2.7倍)	65億ドル

現在の用途：¹³

-  品質および生産の問題につながる要因を特定し、サービスデリバリー、サプライチェーン、流通を最適化する。
-  新しい処置、医学的検査、投薬の有効性を高め、安全で効果的な患者ケアを提供してサービスや結果を改善する。
-  消費者行動と販売促進キャンペーンの効果を評価する。
-  製造業者が課題を予測して事前の対応ができるように、サプライチェーンのリスクと市場活動に対する明確な見通しを示し、効率と収益性を向上させる。



主な国立研究所の関与¹⁵

- アルゴンヌ国立研究所
 - ローレンスバークレー国立研究所
 - ローレンスリバモア国立研究所
 - オークリッジ国立研究所
 - パシフィックノースウエスト国立研究所
 - サンディア国立研究所
- 

将来有望な応用例¹⁴

-  交通ナビゲーションや衝突防止システム（完全自律走行車、全自動運転車や半自律走行車、半自動運転車を含む）に予測モデルを使用する。
-  ネットワークに接続された製品から得られたデータや洞察を設計・開発プロセスに関連付けることで、将来の消費者行動を予測し、製品ポートフォリオを最適化する。
-  予測分析によってビジネスインテリジェンス、予測、計画立案が可能になれば、バリューチェーン全体に幅広く応用する。

豆知識 

将来、予測分析で健康状態をリアルタイムに分析することにより、多くの人命が救われる¹⁶。

IoT (Internet-of-Things：モノのインターネット)

世界市場の規模、成長¹⁷、概要¹⁸

IoT (Internet-of-Things：モノのインターネット) は、先端ソフトウェア、低コストのセンサー、ネットワーク接続を融合して、モノのデジタル インタラクションを実現する。

IoTのコンセプトには、機械、施設、輸送機材、ネットワーク、人をセンサーと制御装置に接続すること、センサー データを高度分析アプリケーションと予測アルゴリズムに送信すること、機械とシステム全体の保守および運用を自動化し改善すること、人の健康を増進することが含まれる。

注：IoTはあらゆる産業に応用できる数多くの新技術をもたらすため、その市場規模は非常に大きい。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
1兆9,280億ドル	19.6% (2.9倍)	5兆6,490億ドル

現在の用途：¹⁹

-  車両と乗客の安全に関するサービス、ナビゲーション、位置情報サービス、エンターテインメント。
-  小売業者の在庫要件をリアルタイムに予測するRFID技術 (IoTによって実現可能)。
-  病気の発生を予測できる行動モデルの開発。
-  スマートシティ・インフラストラクチャー、スマートマニュファクチャリング、ビルオートメーションとホームオートメーション、スマートファーミング (作物生産性の向上、土壌管理の改善、灌漑管理の改善、リアルタイムの気象観測) の実現。



主な国立研究所の関与²⁰

アルゴンヌ国立研究所

オークリッジ国立研究所

パシフィックノースウエスト国立研究所

サンディア国立研究所



将来有望な応用例¹⁹

-  リモート車両監視、制御、診断。ヒューマン・マシン・インタラクションの機能拡張。安全システムの強化と自動化。スマートパーキングと交通管理。車両対車両 (V2V)、車両対デバイス (V2D)、車両対インフラストラクチャー (V2I) の各通信。自動運転車。
-  精密製造。ロジスティクスや供給管理の改善。
-  リモートマシンおよびマシン対マシン (M2M) 通信により、あらゆる産業やバリューチェーンで新しいレベルのスマートマニュファクチャリング・オートメーションが可能になる。

豆知識 

2015年は (IoTによって) 49億台のコネクテッドデバイスが使用され、それが2025年には250億台に増加すると予想される²¹。

軽量高強度金属と高性能合金

世界市場の規模、成長、概要²²

軽量高強度金属 (LHM) は密度が低く、軽量部品として有用である。高性能合金 (HPA) は、腐食媒体、高圧、放射線の中で優れた特性を示す。エンジン部品に使用されるニッケル・チタン合金がその代表例である。

これらの先端材料や合金は、複合材やセラミクスよりも歩留まりが高く、コストが低いことを特色とする。先端高強度鋼 (AHSS) とアルミ合金は、鋼鉄と同様、品質等級が標準化されているために、試作コストが抑えられ、OEMにとって選択しやすい。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
1,128億ドル	3.4% (1.2倍)	1,382億ドル

現在の用途：²³

LHMは主に、構造的完全性と安全性を損なわずに航空機部品や自動車部品の軽量化を図るために使用される。

HPA (非鉄合金、白金族金属合金、耐火金属合金、超合金) は主に、エンジンと産業用ガスタービンに使用される。



主な国立研究所の関与²⁴

- エイムズ研究所
- アルゴンヌ国立研究所
- ローレンスバークレー国立研究所
- オークリッジ国立研究所
- パシフィックノースウエスト国立研究所
- サンディア国立研究所



将来有望な応用例²⁴

- 将来の航空機体や車体はアルミ合金と複合材で製造され、HPAは航空エンジンや発電用ガスタービンに深く浸透すると予想される。
- 手術用具や医療機器への採用が増える。

豆知識



サンディア国立研究所の科学者は、飛行機旅行や医療処置の方法を変える可能性のある変形性合金の新技术を開発した。また、パシフィックノースウエスト国立研究所が開発した摩擦攪拌スクライプ技術は、別の方法では溶接不可能と考えられていたさまざまな金属の溶接を可能にする²⁵。

アドバンスセラミクスと複合材料

世界市場の規模、成長²⁶、概要²⁷

アドバンスセラミクスは、熱、磁気、光、電気の各特性に優れた強化セラミック化合物である。先端複合材料は多重配向の繊維がさまざまな比率で埋め込まれ、優れた剛性と強度特性を示すポリマーマトリクスである。

アドバンスセラミクスは、軽量に加えて、強化用繊維の方向に沿った高い剛性と強度、寸法安定性、耐熱性、耐薬品性、柔軟性、比較的容易な加工性など、望ましい物理特性と化学特性を示す。

2013年の市場規模

260億ドル

年平均成長率 (2013~2019年)

13.7% (2.2倍)

2019年の市場規模

561億ドル

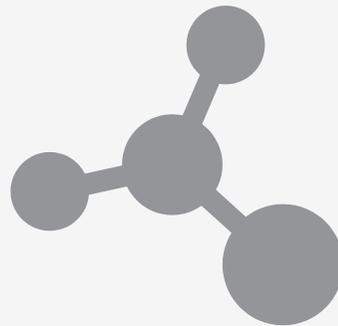
主な国立研究所の関与²⁹

アルゴンヌ国立研究所

国立再生可能エネルギー研究所

オークリッジ国立研究所

サンディア国立研究所



豆知識



米国政府は最近、国内生産能力の向上、製造業の成長、国内の複合材料業界全体の雇用創出を促す官民パートナーシップとして、製造イノベーション・ナショナルネットワーク (NNMI: National Network of Manufacturing Innovation) の5番目の機関、先端複合材料製造イノベーション研究所 (IACMI: Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation) を発足した³⁰。

現在の用途：²⁸



先端複合材料は主に航空機の機体構造部品に使用される。



アドバンスセラミクスは電気制御用センサーに使用される。セラミクスと金属の複合材料は、軽金属構造体や、自動車の熱機関のような高温・高強度用途にも使用される。先端複合材料は、車両の重量と大きさを低減するため、車両フレームの設計や構造に使用される。



アドバンスセラミクスは、尻、膝、肩のインプラントや関節置換術に使用される。



先端複合材料は、ゴルフクラブのシャフトや自転車のロッドなど、スポーツ用品の製造にも使用される。



航空宇宙



自動車



医療



消費財

将来有望な応用例²⁸



高性能用途でのプラスチックや金属の代替



整形外科から心臓血管手術まで、各分野での移植用人工臓器の製造

重要物質

世界市場の規模、成長³¹、概要

多くのクリーンエネルギー技術（風力タービン、省エネ照明、電気自動車、薄膜太陽電池など）は、磁気、触媒、構造、発光の各特性を備えた物質を使用する。これらの物質（エネルギー省が区分する「重要物質」）は、需要が多く代替物質が限られているため、クリーンエネルギー経済にとって非常に重要であり、供給停止のリスクがある³²。

主な重要物質には、ネオジム、イットリウム、ランタンなどレアアース（希土類）の元素や金属のほか、アンチモン、インジウム、リチウム、コバルト、プラチナ（白金）、ガリウムなどがある。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
69億ドル	6.5% (1.5倍)	101億ドル

現在の用途：³²

-  電気自動車 (EV) 用モーターの永久磁石。有害汚染物質をろ過する自動車触媒コンバーター。
-  一定の発光特性をもつ個体照明用の発光ダイオード (LED)。
-  風力発電機の永久磁石、石油ガス産業の流動接触分解（石油精製の重要部分）、太陽電池の薄膜、パワーエレクトロニクス用の半導体、高強度鋼の合金元素。

 自動車  消費財  エネルギー  その他の産業

主な国立研究所の関与³³

エイムズ研究所
 アイダホ国立研究所
 ローレンスバークレー国立研究所
 ローレンスリバモア国立研究所
 オークリッジ国立研究所
 パシフィックノースウエスト国立研究所



将来有望な応用例³²

-  バナジウムレドックス電池のような将来のグリッドストレージ技術。定置型分散電源用燃料電池システムの電解質。
-  大気中の温室効果ガス削減や可燃性ガスの安全貯蔵などを用途とする金属有機構造体。

豆知識

現在、レアアース元素（重要物質の主な下位区分）の95%以上は中国で生産されている³⁴。

バイオベースポリマー

世界市場の規模、成長³⁵、概要

バイオベースポリマーは、再生可能バイオマス源に由来する植物性の持続可能なプラスチックである。例えば、PLA (Poly-Lactic Acid：ポリ乳酸)、PHA (Poly-Hydroxy Alkanoate：ポリヒドロキシ アルカノエート)、バイオベースPET (Poly-Ethylene Terephthalate：ポリエチレン テレフタラート)、バイオベースPE (Poly-Ethylene：ポリエチレン)がある³⁶。

バイオベース ポリマーは、複合材料、被膜、工業部品、包装材などの用途で石油系プラスチックに代わる可能性をもつ。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013～2019年)	2019年の市場規模
12億ドル	17.8% (2.7倍)	33億ドル

主な国立研究所の関与⁴⁰

国立再生可能エネルギー研究所
 オークリッジ国立研究所
 パシフィックノースウエスト国立研究所



現在の用途：³⁸

-  自動車のフロアマットとスペアパーツ。
-  薬物担体や薬物放出。骨を固定する器具、プレート、ピン、ネジ、ワイヤーなど、整形外科用品。
-  食品包装、電気器具、携帯電話カバー、フロアマット、コモディティー用途、シャンプーや化粧品のビン、農業用マルチフィルム (作物の生育を制御し、湿度を上げる)。

 自動車  医療  消費財

将来有望な応用例³⁹

-  生体吸収性複合材料 (罹患動脈を治療する場合の足場に使用可能)。
-  電子機器や他のエンジニアリング用途。複合材用途のバイオベース炭素繊維前駆体材料。

豆知識



バイオベース ポリマーの生産能力は2011年が350万トン、2020年には3倍の1,200万トン近くに増加すると予定される⁴¹。

デジタル設計、シミュレーション、インテグレーション

世界市場の規模、成長⁴²、概要⁴³

デジタル設計、シミュレーション、インテグレーション (DDSI) は、フィジカル製品やプロセスのコンピューターシミュレーションによって製造プロセス及びプロトタイプをデジタル上で構築し、コンセプトを作り上げることである。エンティティー間の論理・記号関係によってシミュレーションモデルを開発し、経時的に変化するシステムの挙動を研究する。

DDSIは開発サイクルのあらゆる局面で、コンピューター援用設計、コンピューター自動設計、コンピューター援用エンジニアリングなどのソフトウェアやツールを使用し、製品やプロセスの設計、反復、最適化、検証、視覚化をデジタル形式で行う。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
218億ドル	7.0% (1.5倍)	327億ドル

主な国立研究所の関与⁴⁵

- アルゴンヌ国立研究所
- ロスアラモス国立研究所
- オークリッジ国立研究所
- パシフィックノースウエスト国立研究所
- サンディア国立研究所
- サバンナリバー国立研究所



現在の用途：⁴⁴

-  航空機部品の設計と最適化、工具や鋳型の設計、工場やセルの設計とシミュレーション。車体やサブアセンブリーのモデリング、車両部品の設計と試作、製品製造を検証・改善してフィジカルプロトタイプの数量を最小限に抑える仮想生産システムの開発。
-  歩行支援装置の計画と制作を目的とする人体解剖の生体力学モデルの作成。
-  モバイル機器や電子デバイスの設計と試作、製造コストを低減するチップの設計と選択。

-  航空宇宙
-  自動車
-  医療
-  消費財
-  その他の産業

将来有望な応用例⁴⁴

-  ハイブリッドモデルやハードウェア援用シミュレーションモデルを使用して、プロトタイプ精度向上とシミュレーション高速化の需要に対応する。これらのハイブリッドソリューションは、仮想プラットフォーム、ハードウェアコンポーネント、ハードウェアエミュレーション・ツールを組み合わせたものである。
-  バリューチェーン全体でDDSIを見込みのある幅広い用途に関連付ければ、緊密に連携したクローズドループ仮想設計プロセスの中で、高速化、低価格化、複雑化したシステムの開発が可能になる。

豆知識

新しいデジタル設計ツールやシミュレーションツールは、強力な視覚化技術と複雑な統計アルゴリズムを統合しつつある⁴⁶。

ハイパフォーマンス・コンピューティング

世界市場の規模、成長⁴⁷、概要⁴⁸

ハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC)は、科学や工学、ビジネスの非常に複雑で大きな問題を解決するため、極めて高いパフォーマンスが発揮できるように演算能力を結集すること、一般には毎秒1テラフロップ(10¹²)回超の浮動小数点演算を実行するシステムである。

HPCによって、企業はコンポーネントを簡単にモデリングし、フィジカルプロトタイプを制作せずにアセンブルシステムをテストできるようになるため、製造業は一変する。優れたシミュレーション能力は、さまざまな製造産業において発見するまでの時間を短縮し、製品開発プロセスを加速する。

2013年の市場規模	年平均成長率(2013~2019年)	2019年の市場規模
304億ドル	4.6% (1.3倍)	399億ドル

現在の用途：⁴⁹

-  航空機の複雑な部品やシステム(エンジンなど)の設計、航空機の燃費向上。
-  安全な車両の設計、航空力学の応用による燃費向上。
-  ゲノム研究、創薬、計算生物学の影響分析。
-  エンジニアリング設計の改善、燃焼効率化、プラント最適化によるグリーンエネルギー・ソリューション。



主な国立研究所の関与⁵⁰

- アルゴンヌ国立研究所
- ローレンスリバモア国立研究所
- ロスアラモス国立研究所
- オークリッジ国立研究所
- パシフィックノースウエスト国立研究所
- サンディア国立研究所



将来有望な応用例⁴⁹

-  過酷な気象条件下で乗客の負担を軽減し、航空機の可用性を拡大する、機体全体のリアルタイムフライトシミュレーション。
-  燃料エンジンに代わる新たな電池とモーターの開発。
-  消費者個人の要件に応じた医薬品のカスタマイズ。

豆知識



HPCは、宇宙船の大気圏再突入やロケットモーターのガスフローなどの大規模シミュレーション、ならびに観測衛星から受信した大規模データストリームの処理に、必要な演算能力を提供する⁴⁹。

先端ロボティクス

世界市場の規模、成長⁵¹、概要

先端ロボティクスは、高レベルのミッション指向指令（例えば作業場への移動）を受け入れ、人間の介入が最小限のほとんどシステム化されていない自然に近い環境で複雑な作業を行うことができるマシンやシステムである⁵²。

先端ロボティクスに使用するセンサーは、ロボットの動作だけでなく、安全監視、加工部品検査の品質管理、ロボット作業セルにおけるワークのデータ収集の面でも重要な役割を果たす⁵³。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
281億ドル	5.2% (1.4倍)	381億ドル

現在の用途：⁵⁴

-  アーク溶接、スポット溶接、完全自動ロボット溶接システム。ワークの移動、保管、回収。マテリアルハンドリング、塗装、車体、組立ライン作業。
-  低侵襲ロボット手術、ロボット義手、外骨格。
-  生産ラインの機械化による効率化。

-  自動車
-  医療
-  消費財
-  その他の産業

主な国立研究所の関与⁵⁶

- アルゴンヌ国立研究所
 - アイダホ国立研究所
 - オークリッジ国立研究所
 - サンディア国立研究所
- 

将来有望な応用例⁵⁵

-  ロボティクスの次の大きなトレンドはヒューマン・マシン・インタラクションである。将来、人間の感覚をエミュレートするロボットには、視覚認識、音声、動きを検出するほか、触覚や抵抗力まで感知するセンサーアレイが装備される。

豆知識 

センサー、人工知能、機械学習の最近の開発により、船の下で泳ぐ魚のようなボットから丘を駆け上がる犬のような機械まで、多種多様な形態のロボット制作が可能になった⁵⁷。

人工知能と機械学習

世界市場の規模、成長、概要⁵⁸

人工知能や機械学習は、アダプティブコンピューティング技術によって大規模かつ複雑なデータセットの分析を自動化することにより、複数のプロセスをリアルタイムに最適化(制御)し、製造時の的確な意思決定を支援する。

大量のデータをすばやく取り込む手法の改良、演算能力と強力なコンピューター技術の可用性の著しい向上、それに伴うスマートアルゴリズムの開発により、人工知能と機械学習の領域は急成長が見込まれる。

注：「人工知能と機械学習」の市場規模の使用可能なデータは2013年(9億ドル)と2015年(360億ドル)のみ。短期間で500%を超える成長率を示している。

2013年の市場規模	2015年の市場規模
9億ドル	360億ドル

主な国立研究所の関与⁶⁰

- ローレンス バークレー国立研究所
- ローレンス リバモア国立研究所
- オークリッジ国立研究所
- パシフィック ノースウエスト国立研究所
- サンディア国立研究所



現在の用途：⁵⁹

 無人機、コンピューターによる視覚・音声認識機能を備えた自動車、製品の先行試作と負荷テスト、製品の実際の運用条件のシミュレーション、リアルタイムの状況監視、システムの状態表示、大気状況の監視。

 工場で人間と協働する「Cobot」、複雑な最適化の問題を解決して製造プロセスにリソースを正しく配分すること。音声認識、顔認識、データマイニング、バイオインフォマティクス、文字認識、マシンビジョン、工作機械の生産、コンピューターチップの生産。

-  航空宇宙
-  自動車
-  医療
-  その他の産業

将来有望な応用例⁵⁹

 医療分野で患者ケアとリソース(財源や社会的資源など)の配分を改善する先端エキスパートシステム・アプリケーション。

 カスタマイズされた生産を強化する先端音声認識プラットフォーム。ユーザーのニーズを学習・予測し、人の気持ちの認知機能を再現する機械や製品。

豆知識



ベンチャー企業は現在、カップルの妊娠計画支援から音声による家電製品の制御まで、認知技術(多様な作業の機械学習を含む)を利用した製品を売り出している⁶¹。

3Dプリントと3Dスキャン

世界市場の規模、成長⁶²、概要

3Dプリントは、機械加工のような従来型製造法とは反対に、3Dモデルデータからレイヤーを重ねてオブジェクトを制作する付加プロセスである。3Dスキャンは、オブジェクトのフィジカルな測定値をコンピューターにデジタルファイルとして整理して転送し、いわゆる3Dスキャンデータを生成する高速かつ正確な手法である⁶³。

3Dプリントは、従来の方法では難しい複雑なデザインの作成に役立ち、製品の設計・開発段階の大幅な時間短縮とゴミの削減をもたらす⁶⁴。

2013年の市場規模	年平均成長率 (2013~2019年)	2019年の市場規模
51億ドル	25.9% (4.0倍)	204億ドル

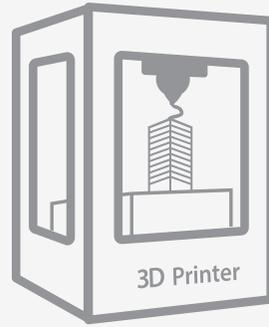
現在の用途：⁶⁵

-  コンセプトモデルとコンセプトプロトタイプ制作、構造的および非構造的な生産部品のプリント、少量交換部品のプリント。
-  義肢やインプラント、医療機器やモデル、補聴器や人工歯根のプリント。3Dスキャン画像を使用して有機物からぴったりフィットした義肢を再現する。
-  プロトタイプの迅速な制作、設計反復の作成とテスト、カスタマイズした宝飾品や腕時計のプリント。



主な国立研究所の関与⁶⁶

- エイムズ研究所
- ローレンスリバモア国立研究所
- ロスアラモス国立研究所
- オークリッジ国立研究所
- パシフィックノースウエスト国立研究所



将来有望な応用例⁶⁵

-  現在のように電子機器や電気部品を後で取り付けるのではなく、3Dプリントで電子機器を航空機部品に直接組み込む。
-  高性能の自動車部品や、より軽く安全で不純物のない製品を、短いリードタイムと低コストでプリントする。
-  移植用臓器のバイオプリントと再生療法用の人体組織の開発。
-  顧客との共同設計と共同制作、居住空間のカスタマイズ。

豆知識

新しい3Dプリント技術は、自然には存在しない密度、強度、熱膨張特性を兼ね備えた材料を作り出す⁶⁷。

オープンソース設計／オープンイノベーション

世界市場の規模、成長⁶⁸、概要⁶⁹

オープンソース設計やオープンイノベーションは、事業者の内外から製品やサービスに関するアイデアや意見を募って問題を解決し、幅広い参加者によって見込みのあるイノベーションの進展を促す。

企業は必要に応じて、クラウドソーシング、リードユーザー法、ネットノグラフィー、アイデアコンテスト、技術探索、広域探索の専門知識を持っているオープンソース設計またはオープンイノベーションの仲介者やサービスプロバイダーを利用することができる。

2013年の市場規模	年平均成長率(2013~2015年)	2015年の市場規模
37億ドル	28.4%(1.6倍)	61億ドル

現在の用途：⁷⁰

-  航空機や自動車の新しい部品の設計・製造の問題を共同で解決する。
-  現地市場に適応した最新コンテンツを提供し、臨床試験を支援する。
-  市場調査、ソーシャルメディア・コミュニケーションの改善、コンテンツの制作と検証。
-  ユーザーが作成したコンテンツの翻訳、メタデータの制作、ビジュアルレビューの作成（主にサービス部門）

-  航空宇宙
-  自動車
-  医療
-  消費財
-  その他の産業

主な国立研究所の関与⁷¹

ローレンスリバモア国立研究所

国立再生可能エネルギー研究所

オークリッジ国立研究所

パシフィックノースウエスト国立研究所



将来有望な応用例⁷⁰

-  顧客から直接情報を得て製品やソリューションを高度にカスタマイズする。
-  アイデアとイノベーションによって個人と組織の境界が曖昧になるため、それに応じてあらゆる産業で研究開発が分散化される。
-  組織間の連携を拡大して、革新性の高い製品や技術を開発し、開発コストを削減するだけでなく高い価値を生み出す。

豆知識 

3Dプリントのベンチャー企業は、クラウドファンディングとクラウドソーシングで調達した材料を組み合わせ、3Dプリントで自動車を開発した⁶⁸。

拡張現実

世界市場の規模、成長⁷²、概要⁷³

拡張現実 (AR) 技術 (例：コンピュータービジョンや物体認識) は、情報をインタラクティブでユーザーが操作できるものにする。関連するデジタルコンテンツや情報のオーバーレイを追加することにより、AR はユーザーの周辺環境を拡張する。

ARは、携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル、ヘッドマウントディスプレイ (HMD)、ビデオ空間ディスプレイのようなデバイスを利用して、ユーザーの現実世界の経験を拡張する。

2013年の市場規模	2019年の市場規模
3億~5億ドル	12億~36億ドル

主な国立研究所の関与⁷⁵

- アルゴンヌ国立研究所
- ロスアラモス国立研究所
- ローレンスリバモア国立研究所
- パシフィックノースウエスト国立研究所
- サンディア国立研究所



現在の用途：⁷⁴

-  製品製造を検証・改善する仮想生産システム。トレーニング用のシミュレーション。ユーザーの移動を簡易にするGPSシステムの拡張。
-  制御された環境での医学生の手術練習。
-  製造手順の教育と実施。データをインタラクティブな統計に変える視覚化。複雑な手順の修復についての学習と技術者のトレーニング。



将来有望な応用例⁷⁴

-  小売分野でインタラクティブな消費者経験を充実させる。
-  教育とトレーニングを促進する。
-  マシンや製造プロセスの複雑さを学習するARアプリやツール (例：3Dビジュアルツアー) の普及促進。製造作業に関するリアルタイム情報をスマートフォンで利用可能にする。

豆知識

ARスマートグラスの全世界出荷数は2015年が年間11万4,000個、2020年には540万個近くに増えると予想される⁷⁶。

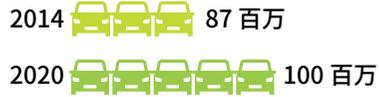
セクション4

米国企業が直面する機会と 課題

グローバルレベルで企業の成長を加速させる機会はある

先端製造産業の成長

世界的な小型乗用車の販売増



民間航空機の納入増



世界の化学製品生産高の増加

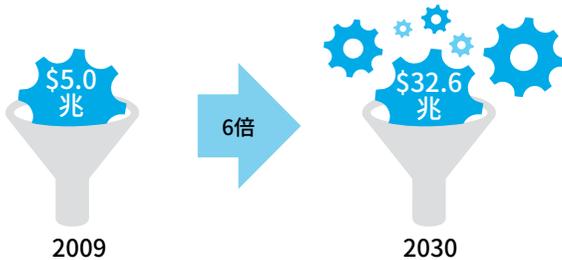


産業機械セクターの
明るい見通し



中間層の消費拡大

アジア太平洋の中間層の消費は6倍に



先端技術の適用拡大

3Dプリンティング・スキャニング
のプラス成長見通し



5X

接続端末の急増



アドバンスセラミックス、先端複合材料の需要増大

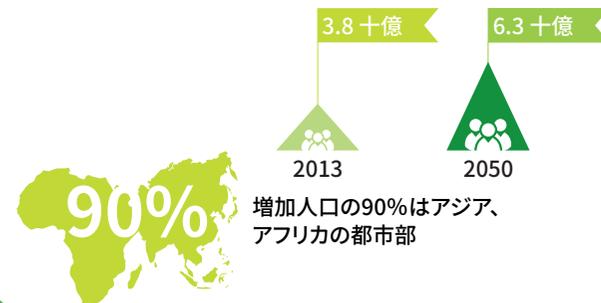
\$26.0 十億
(2013)

2.2 倍

\$56.1 十億
(2019)

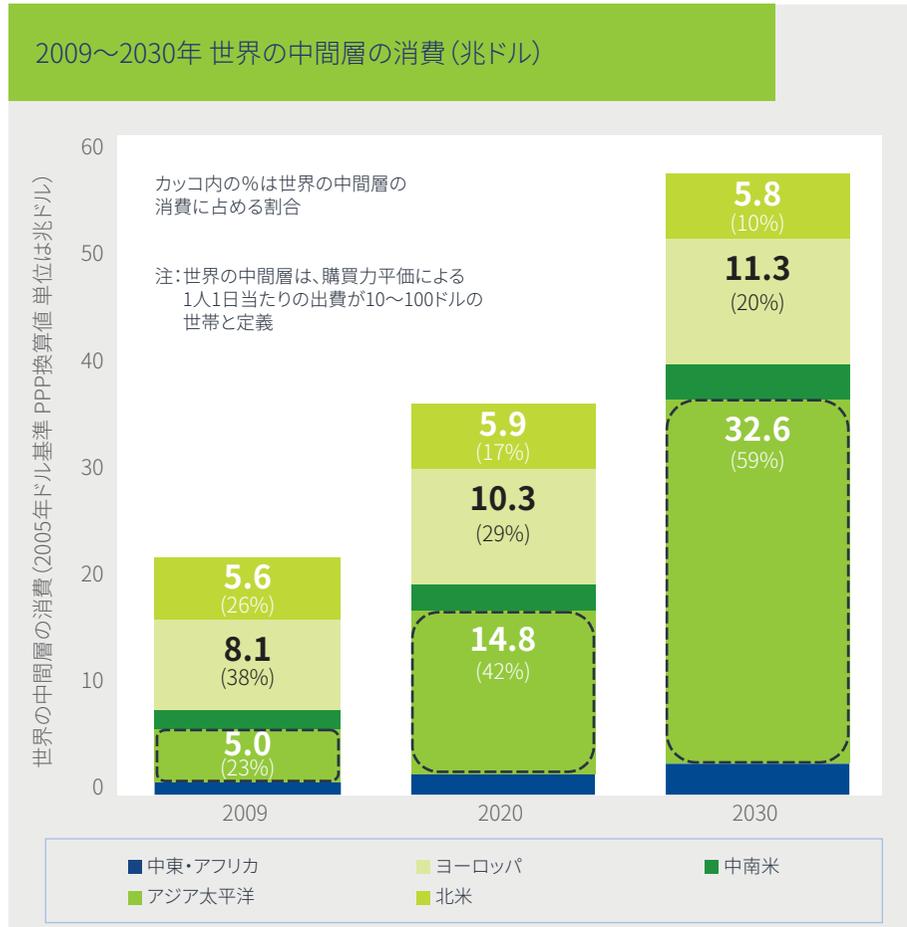
急速な都市化

世界の都市人口は2050年までに大幅に増加



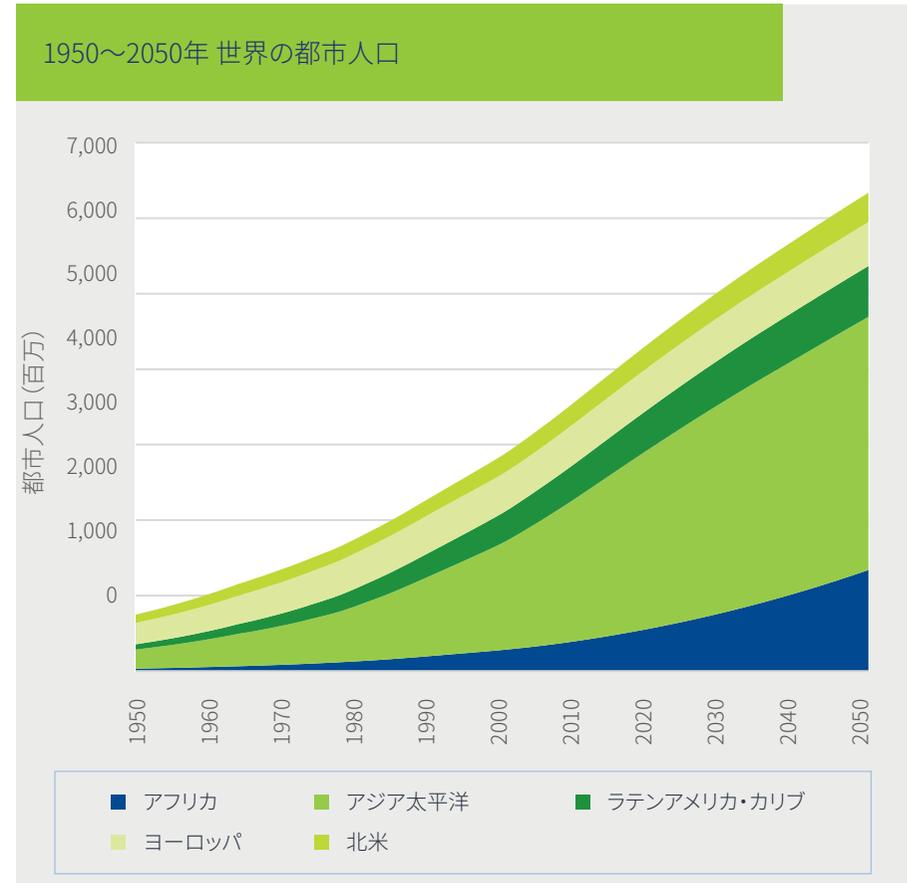
注：詳細は以後の頁参照。

アジアを中心に拡大する中間層と急速な都市化は米多国籍企業にとって大きな機会に



出所: OECD のデータに基づくデロイトの分析^(xx)

- アジア太平洋における世界の中間層の消費に占める割合の増加は、**米国企業に対する市場の潜在能力**を示唆している。
- 米国企業は、新興国において台頭する中間層の多様なニーズに合わせてビジネスモデルを調整する必要がある。**



出所: UNPD (国連人口部) のデータに基づくデロイトの分析^(xx)

- 世界の都市人口は**2050年までに3分の2以上**増加すると予測されており、そのうちの**90%近くをアジア、アフリカが占める。**
- アジアとアフリカの新興経済国を中心とした都市人口の規模と成長の急増は、米多国籍企業にとって、こうした市場への参入から、台頭する都市部中間層の期待とニーズに対応した新しい製品・技術の開発・投入を実現する、大きな機会を意味する。

民間航空宇宙・自動車セクター向け 多国籍企業は成長の見込み

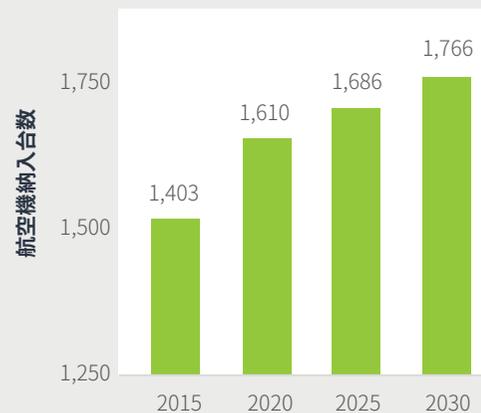
民間航空機の需要が航空宇宙・防衛全体の成長をけん引⁷⁷

- 今後15年間、中東やアジア太平洋地域を中心とした航空旅客ニーズの高まりや、低燃費航空機の需要の増加に因應するため、民間航空機の年間生産レベル(または航空機年間納入機数)の増加率は25%を超える可能性がある。
- アジア太平洋および中東・アフリカなどの地域では防衛支出が増大し、一方、ヨーロッパと北米の成長は比較的横ばい。

小型乗用車販売の伸びは継続⁷⁸

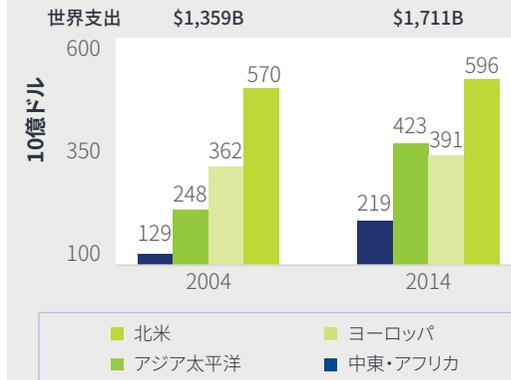
- IHSオートモーティブは、世界自動車販売台数は、中国および米国を中心に伸長し、2014年の8,700万台から2020年には1億台に達すると予測している。
- 経済成長の鈍化に関わらず、中国の小型乗用車販売は、自動車ローンの増加や販売店の急拡大のほか、大気環境改善のため古くなった車両の廃棄を推奨する政府の政策が奏功し、2015年には7%増の2,500万台に達する見込み。
- 米国での自動車販売は、経済状態の改善が追い風となり、2015年に1,700万台に達すると予想される。石油価格の下落により消費者需要が増加したことが、米自動車セクターにとってプラスとなる一方、世界最大の自動車市場である中国の経済成長の減速は今後も懸念される。
- 乗用車の所有から共有に向かう消費者意識の変化、また「自律」走行車または「自動運転」自動車の登場に伴い、自動車のOEMは、急速な技術的進歩に伴う自動車業界の重大な変化と新製品を踏まえ、「価値創出」のみならず、「価値獲得」を再考する必要がある。

2015~2030年 世界の航空機納入台数予測



出所:2015年 世界の航空宇宙・防衛産業の見通し、デロイト^(xxii)

2004~2014年世界防衛支出 (2011年ドル基準 価格換算値 単位は10億ドル)



注:中南米の防衛支出は規模が小さいため本グラフには表示されていない。

出所:ストックホルム国際平和研究所のデータに基づくデロイトの分析^(xxiii)

2014~2020年 世界小型自動車販売



f: 予測

出所:IHSオートモーティブのデータに基づくデロイトの分析^(xxiv)

米化学企業は主要化学製品生産国の 同業者より有利な位置づけ、 米産業機械会社の見通しは依然として明るい

化学製品生産高の伸びは主要国間で二分される予想⁷⁹

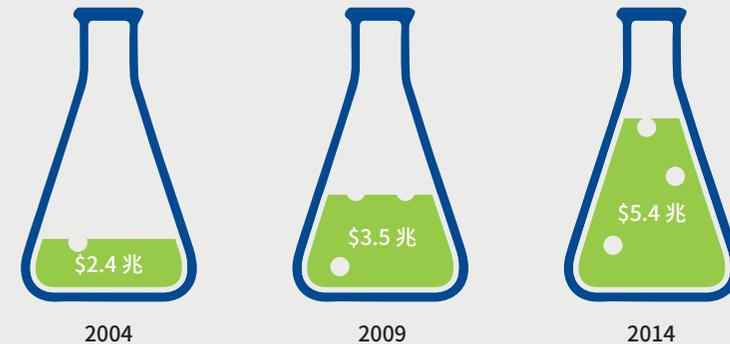
- 化学製品出荷の上位3カ国は中国(1兆8,310億ドル*)、米国(8,010億ドル*)、日本(2,910億ドル*)。同3国合計で2014年世界出荷の半分以上を上回る。
- 中国の化学産業は、過剰生産能力と石油価格の下落により、2015年は苦境におかれる可能性がある。
- 他方、米国化学製品生産高は、低コストの天然ガスが寄与し、4%増となる見込み。実際、新規化学製品生産プロジェクトは200件を超え(総額1,350億ドル相当)、今後数年のうちにシェール革命がけん引する安価なガスを利用し、米国で操業を開始する見通し。
- 日本の化学産業の短期見通しは、エレクトロニクス産業の材料製造に用いる化学製品のプラス需要と、経済成長の低迷による基礎化学製品の需要減少に二分される。
- 化学製品出荷第4位(2,450億ドル*)のドイツでは、2015年の化学製品生産の成長率はわずか1.5%にとどまる見通し。

産業機械セクターの成長は減速するが見通しは明るい⁸⁰

- 経済状態の改善により、産業機械の世界市場は、農業、梱包、材料処理、機械ツールなどのセクター需要にけん引されながら、さらなる成長が期待できる。
- 業界予測によると、産業機械市場は2015年の1.6兆ドルから2018年までに2.0兆ドルへと伸長、年間平均成長率は6%。
- 産業機械セクターの成長は、大幅に減速するものの、アジア太平洋が最大で、次いで米州。一方、ヨーロッパのセクターでは広範な経済回復は進まず、先行きは暗い。

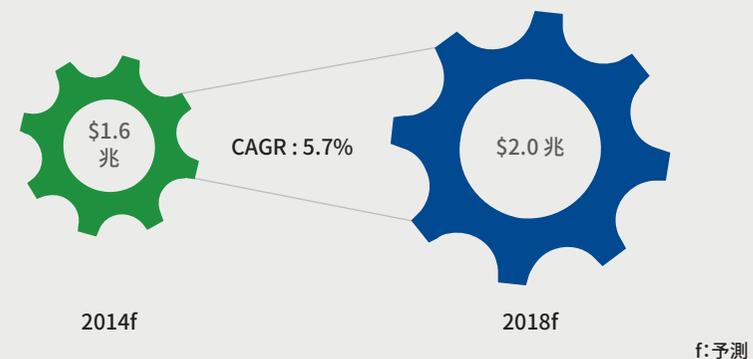
*かっこ内の数値は該当国の化学製品輸出合計額

2004～2014年世界化学製品出荷(兆ドル)



出所: 米国化学工業協会のデータに基づくデロイトの分析

2014～2018年世界産業機械市場(兆ドル)



出所: IHSのデータに基づくデロイトの分析

米国企業は国内・海外の最前線で 多様な課題に取り組んでいる

新興市場に期待される市場可能性にかかわらず、調査に参加したエグゼクティブは共通して、米国企業が外国市場の事業環境に適応する上で、以下の点が必要であると回答した

- ・ **競争に負けない高スキル人材の確保**：新興市場では、トップクラスの人材を集めることに積極的な現地企業（特に高成長企業）との競争が避けられないため、米国企業は、スキルの高い社員の採用活動において大きな困難に直面する。
- ・ **脆弱な知的財産制度への対処**：中国のような新興市場は、知的財産関連法規制の施行が緩い（偽造や海賊品の原因となる）だけでなく、知的財産の窃盗に関連する問題と著しく関係している。
- ・ **現地特有の要件への対応**：現地政府機関と協会・団体との間の提携により策定される各国固有の設計基準に順守することが、市場参入の決め手となる。
- ・ **文化的側面、現地のニーズ・嗜好への対応**：新興市場の消費者へ販売する製品は、現地の特有かつ文化的なニーズに合わせて変える必要がある。

知的財産権を脅かす攻撃的な国が心配だ。

CTO達は皆、ごく一部の国を除き、知的財産を盗まれる脅威にさらされているため、皆、ナーバスになっている。そのため、このような国に製品を持ち込む際には、簡単にリバースエンジニアリングや複製ができないよう基幹構造を隠すといったような対策を行うようになった

ー インタビューしたエグゼクティブ



苦しい戦い：米国企業は、長期的に業績に影響を与えそうな著しい国内の課題に直面している。



アジアからのより高い競争力により、米国トップ企業は研究開発費予算のほとんどを、新規事業ではなく、中核事業の維持に費やしている

ー インタビューしたエグゼクティブ



人材不足は米国企業の持続可能性と成長にとって重大な障害

米国の技能格差の拡大

米製造業雇用数(約350万人)の今後10年間の予測:



重大な兆候

製造業で雇用が1人増えると、経済全体において新たに4.6人の雇用が創出される。

製造業への投資1ドルに対し、他のセクターで1.37ドルの付加価値が創出される。

270万人

ベビーブーマーの定年退職

経済拡大による製造業の雇用創出効果は70万人

140万人のみ雇用を確保できる見通し

340万人

今後10年間で340万人の雇用が必要となる見込み

技能格差により製造業で推定**200万人**の労働力が不足



2025年までに技能格差は**200万人**にまで拡大する見込み。
2011年は技能格差から**60万人**の労働力が不足した。

出所:2014年技能格差調査、デロイトおよび製造業協会^(xxvii)

技能格差に関する調査結果^(xxvii)...

84% エグゼクティブの84%が米国製造業に人材不足があると回答。

10件のうち6件

熟練労働者向け求人
10件のうち6件は人材不足が理由で充足されていない。



ベビーブーマーの定年退職、経済の拡大、製造業の魅力が、人材不足に影響を与える主要な3要因としてランクされる。

80% 製造会社の80%が、人材危機の影響を最も被っている現場で、現行の相場よりも高い賃金を払うつもりである。



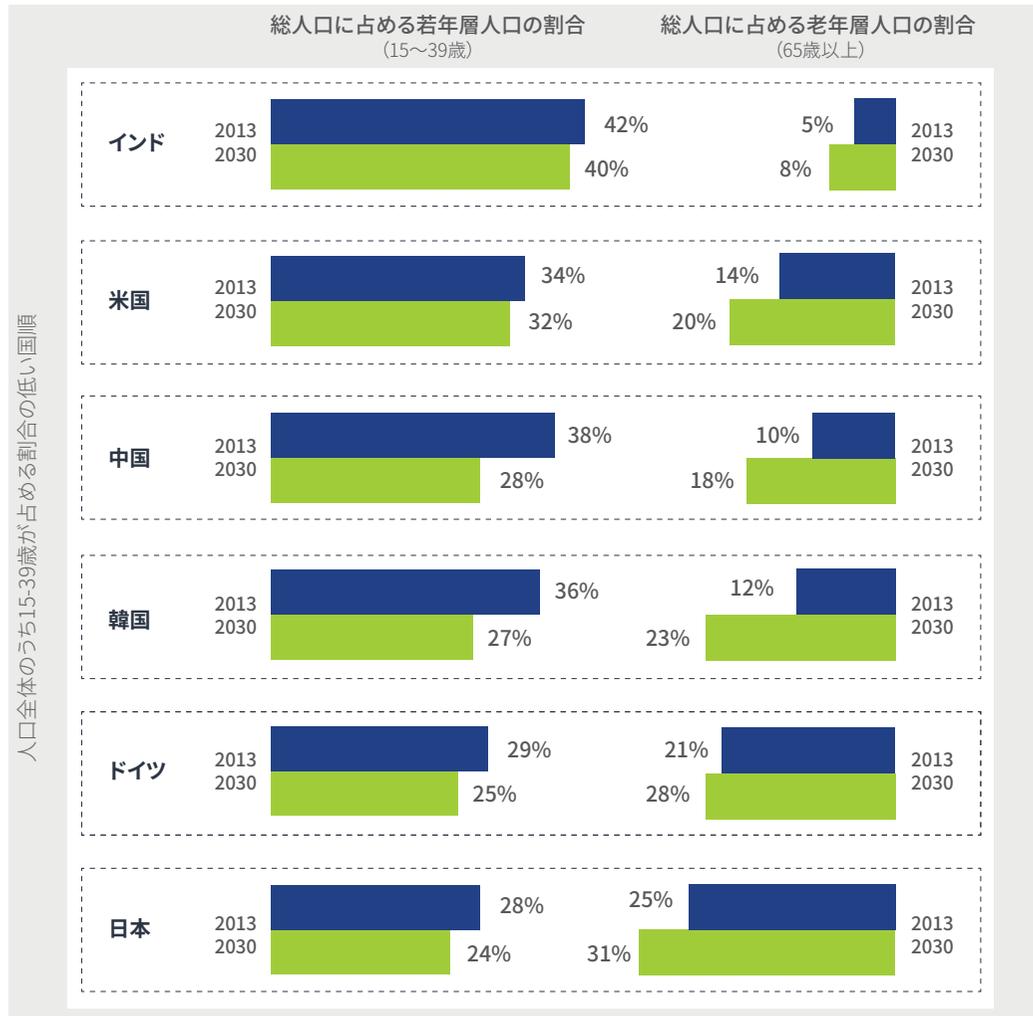
さらなる情報源での調査結果...

60% 先端産業の全求人数の60%はSTEM労働者向け。先端産業以外では34%⁸¹。

39% 米国雇用の39%は、適格な人材を見つけることは困難であり⁸²、高度なSTEM技能を要件とする重要ポジションのための人材確保には、さらに時間がかかると報告している。

86% 企業のエグゼクティブの86%は、指導力が最も重要な課題の一つとしている⁸³。

日本、ドイツ、韓国などの先進国は米国よりもはるかに厳しい人口統計学上の課題に直面する



出所: EIUのデータに基づくデロイトの分析 (xxviii)

インドと米国は若年層区分を活用する態勢が十分に整っている

- 主要国全体で、人口全体のうち若年層 (15~39歳) が占める割合は縮小傾向にある。有効若年労働力の低下は多くの先進国で長期にわたる重大な経済的影響を及ぼす可能性がある。
- しかし、2030年までに、インドと米国は、他の新興国、先進国よりも、それぞれの総人口のうち、若年層の占める割合が高いため、有利であると予想される。
- 2030年までに、日本、ドイツ、韓国などの国は、高齢層 (65歳以上) 人口の占める割合が米国よりも高くなる。しかし、米国は積極的に若年層を訓練し、ベビーブーム世代の定年退職に備え、経済活力の維持する必要がある。

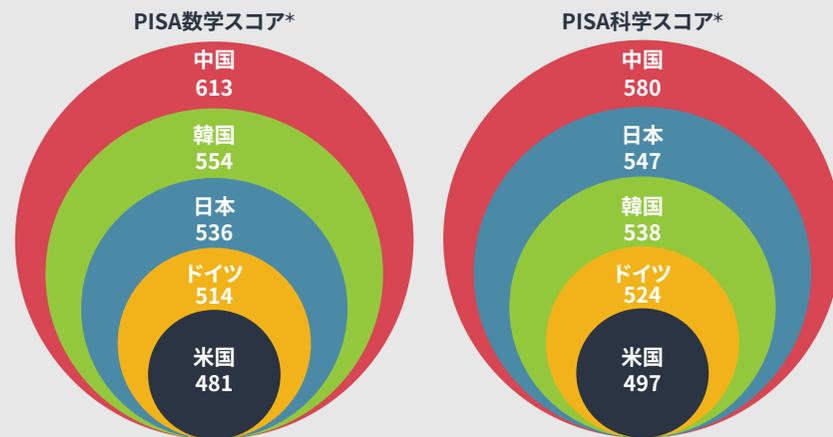
「米国のみならず、他の先進国や中国のような発展途上国でも、十分な知識転移のない、エンジニアリングおよび製造部門の労働人口の高齢化が、技能不足を悪化させている」

— インタビューしたエグゼクティブ



国際評価ではアジアの学生は米国の学生よりも成績が良く、 中国とインドはSTEM学卒者数でリード

最新PISA# (OECD生徒の学習到達度調査)
国別数学・科学スコア (2012年)

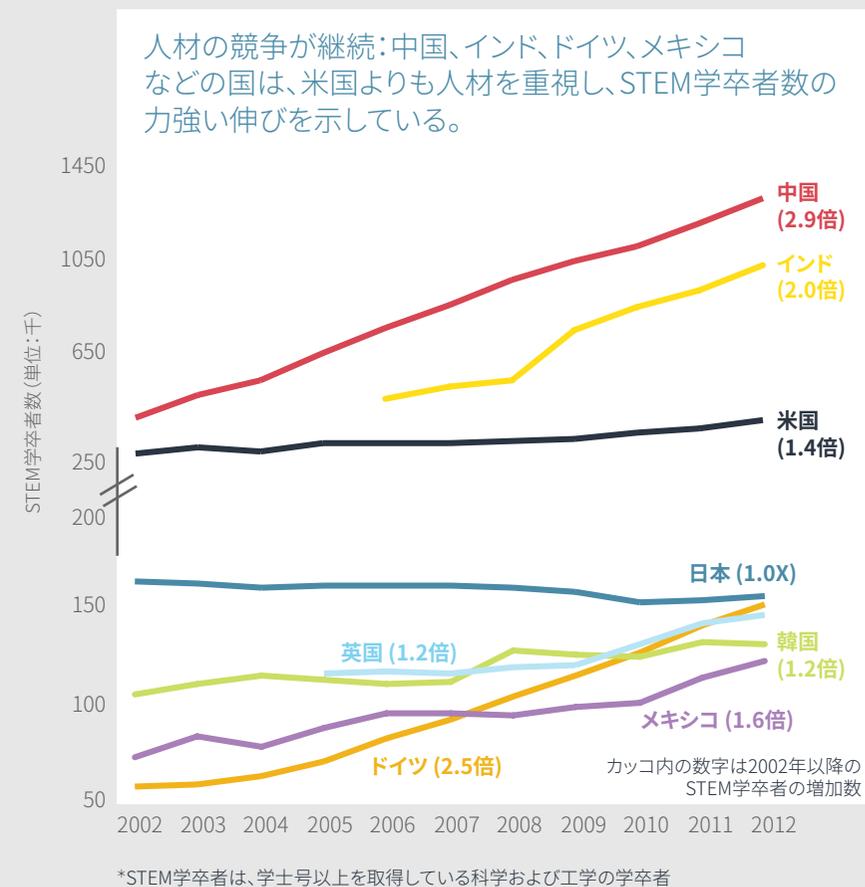


#OECD生徒の学習到達度調査
* 1,000点満点

出所: 国立教育統計センター (xxx)

エグゼクティブへの調査によると、米国におけるSTEM分野への関心が薄れつつあるため、徐々に人材を確保する能力が失われている。政府はSTEM教育を後押しする取り組みを確立してきたが、学生への関心を高め、若年層にSTEM教育の利点を示すためには、さらなる後押しが必要となる。

2002～2012年STEM学卒者数 (単位:千)



出所: OECD、中国国家统计局、インド大学認定委員会のデータに基づくデロイトの分析 (xxx)

先端製造業の熟練労働者に対する高い需要、見習い制度の衰退が、米国の技能格差を悪化させている

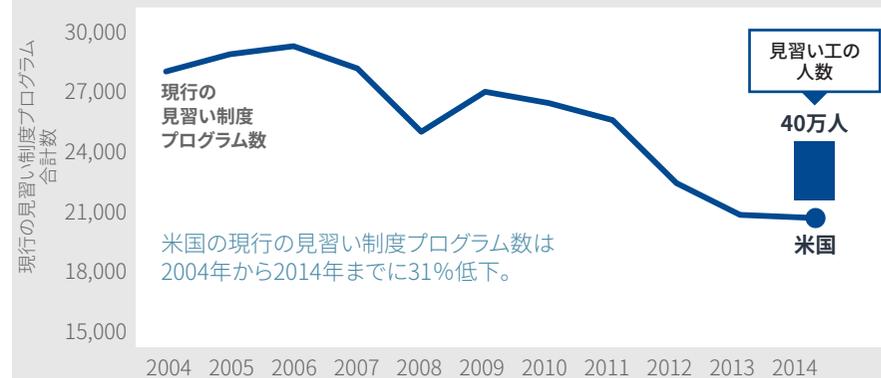
- ・ **高い技能を持った労働者に対する喫緊の需要へ焦点が移行**：高等教育または高度な技能を有する労働者に対する需要は、今後5年間、先端技術設備での就労に十分な能力を持つ人材を求める業界で増加するとみられる。**現在、雇用数の22%で学士号以上が必要要件だが、2020年までに35%に増加する見込み⁸⁴。**
- ・ **技能中心の研修プログラムがほとんどないことが懸念材料**：エグゼクティブ調査回答者によると、メンター制度とクラス形式の研修に、OJT研修を組み合わせた組織的なプログラムは、米国では著しく減少している。これに対しドイツなどの国では、若い学生を製造部門の労働力とするための見習い制度を増加、策定している。

「ドイツなどの国は、優れた研究所(フラウンホーファー等)を設立し、製造と研究開発の人材が仕事を開始できるよう見習い制度を確立し、それらを大学と産業から構成される国全体におよぶネットワークと連携させ、それにより全国的なイノベーションエコシステムを確立している」

ー インタビューしたエグゼクティブ



2004～2014年 米国における現行の見習い制度およびドイツにおける二元学習プログラム



注：縦軸は2014年の見習い工の合計数



出所：米国労働省、ドイツ職業訓練研究所、ドイツ連邦統計局^(xxx)

厳しい移民政策が米国の頭脳流出を生んでいる

調査に参加したエグゼクティブらは、現在の移民政策により、世界でも最も優秀な人材の採用、維持が困難になっているとした。多数の回答者が、以下をはじめ、数は少ないものの取り組むべき重要な課題に注目している。

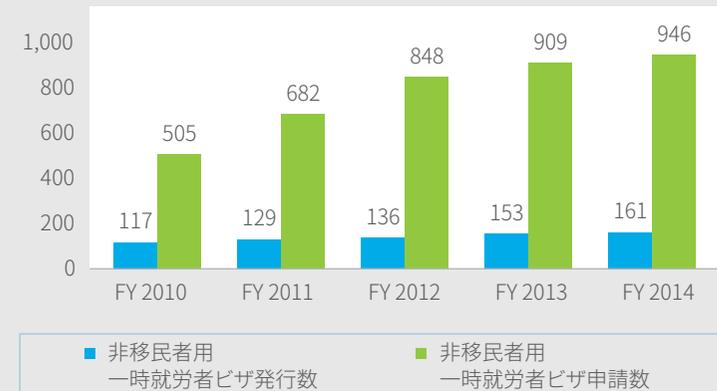
- 一時就労者ビザに対する膨大な累積需要**：2010～2014年の非移民者の一時就労者ビザの需要はおよそ100万と、ほぼ倍増したが、ビザ申請件数の6分の1しか承認されなかった。このビザの需要は高く、2011年度は年間の上限である65,000件に達するまで300日かかったが、2015年度はわずか7日間で上限に達した⁸⁵。
- 異常なほど長いグリーンカードの待ち時間**：移民政策研究所の調査では、現在のグリーンカード家族申請未処理分をすべて解消するまでに19年かかるとしている。極端な遅れにより、外国籍の熟練労働者が米国に留まる努力を断念し、帰国してしまう恐れがある⁸⁶。
- 留学生の就労ビザ取得難から頭脳流出へ**：ハーバード大学や他の大学の調査によると、インド人および中国人留学生の85%が就労ビザの取得について懸念、不安を抱いている⁸⁷。そのような不確実性から留学生は帰国を余儀なくされ、米国で取得した技能と知識を生かして自国で起業、就職することになり、米国経済からの頭脳流出につながる。

「米国は、優秀な移民が直面している就労ビザ取得に関する多数の問題や、新興国との激しい競争のため、人材を確保、維持する能力を次第に失いつつある。外国籍の学生・学卒者は必要とされる許可や就労ビザが取得できない」

ー インタビューしたエグゼクティブ



非移民者用一時就労者ビザ (H1-B) の発行数と申請数 (単位:千) 2010～2014年



出所: 米国労働省および米国国務省のデータをもとにデロイトが分析

H1-Bビザ申請件数が米年間上限65,000件数に達した日数



出所: ウォール・ストリート・ジャーナル、米国国土安全保障省^(xxxiii)

米国企業は規制遵守に伴う高コストと複雑性を懸念...

・ **規制遵守関連費用は米国の投資を抑制する**：インタビューを受けた製造業のエグゼクティブの多くは、規制遵守関連費用が削減できれば、削減分の3分の2以上を、製造能力の構築や拡大、研究開発などへの投資に充当すると回答。また、過剰な規制は、中小企業に過度な負担を強いる結果となり、研究開発への投資能力を阻害し、利益性を損なうほか、海外に営業拠点を移転する動きが生じると回答した。

— **規制のコスト・複雑さは依然として増加傾向**：アスペン研究所の調査によると、1981年以降に制定された製造業関連規制は2,000件を超えており、年間70件のペースで追加されている。さらに同研究所によると、規制数が大幅に増加したことから、規制遵守関連費用は、インフレ調整後GDPや製造業生産高の成長率を上回る割合で上昇している⁸⁸。世界経済フォーラムの調査は、米国は144カ国中、82番目に規制の負担が重いとしている。

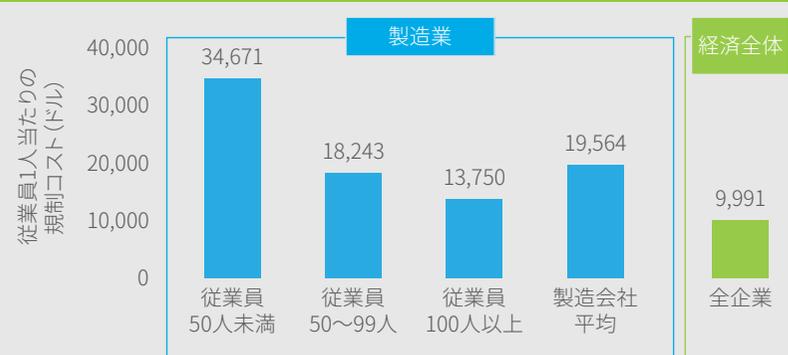
— **製造業を圧迫する連邦規制の負担**：全米製造者協会の調査では、2012年に米国経済の連邦規制関連費用は、従業員1人当たり1万ドル、合計で2兆ドル超(2014年ドル基準)であったと推定している。製造会社に対する費用は従業員1人当たり2万ドル(合計2,150億ドル)、経済全体の2倍以上としている⁸⁹。

現在の規制環境は企業に過度な負担を課しており、政府の規制制度は現状と見合っていない。
例えば、化学業界には製薬業界と同等の規制が課せられているため、革新的な化学製品の市場投入が難しくなるだけでなく、関連費用をも上昇させている

— インタビューしたエグゼクティブ

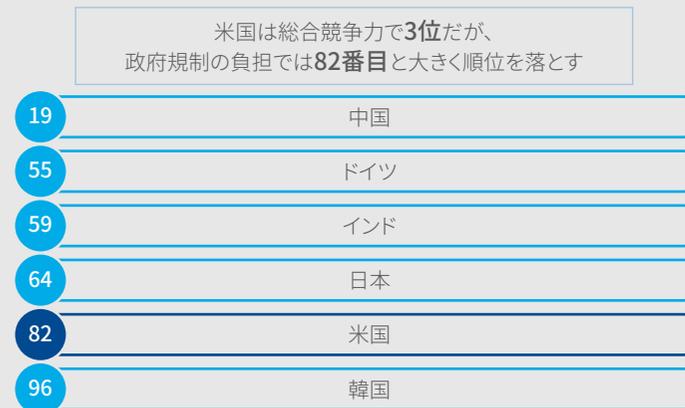


従業員1人当たりの規制コスト 米国の製造業と経済全体の比較 企業規模別(ドル) 2012年



出所:全米製造者協会^(xxxiv)

「政府規制の負担」ランキング 2014~2015年 (144カ国中、規制負担が最も高い国が144番目となる)



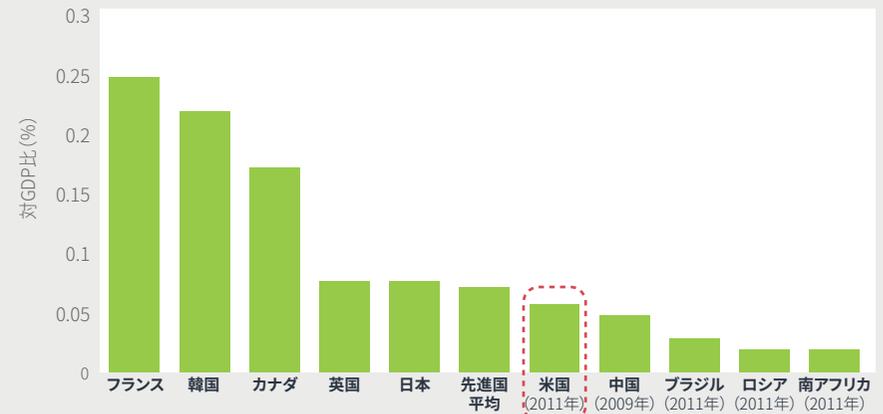
出所:世界経済フォーラム^(xxxv)

…現在の規制環境における不透明感

調査に参加したエグゼクティブは、以下の提言をしている

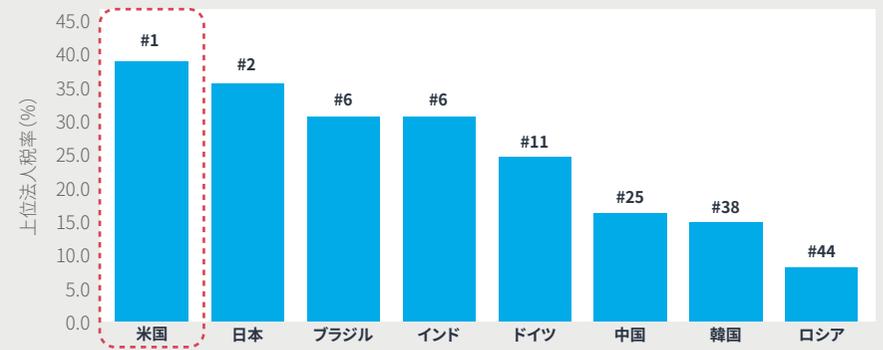
- 規制および税額控除の不透明感を削減**：調査に参加したエグゼクティブによると、米国規制環境はもっと予測しやすくする必要があります。例えば、連邦研究開発費の税額控除は他の優遇税制延長と共に2015年に期限を迎える。研究開発費の税額控除を正式に導入すれば、現在企業が研究開発に対して大型投資を控える要因となっている不透明感の解消につながり、全国的なイノベーションエコシステムに活発に参加できる。
- 研究開発費の税額控除率を引き上げ、複雑な請求手続きを減らす**：米国の研究開発費の平均税額控除率は、他の先進国よりも低い。税額控除の証明・請求手続きに多大な労力や費用を要すると、企業と国税庁との間に紛争が起こり、米国企業に研究活動と投資を海外へ移す動きが見られるかもしれない。
- 法人税率に競争力を持たせる**：米国法人税率は先進国の中で最も高く、多国籍企業と海外の資源からの投資をさらに遠ざけてしまっている。ミルケン研究所の調査によると、現在の米国法人税率を22%に低下させた場合、GDPは3,750億ドル増加する。一方、研究開発費の税額控除を25%増加させると、米国経済は2,060億ドル増となり、新規に30万の職が製造業で創出される⁹⁰。
- 規制メカニズムは、最新の状態にする必要がある**：さらに、調査に回答したエグゼクティブによると、米国の規制環境が過剰な負担になっており、現行の規制メカニズムは、動的な市場の実情を踏まえて定期的に改正されるべきであるという考えが示されている。

2012年 優遇税制による政府の企業向け
間接的研究開発資金提供 対GDP比



出所: OECDデータに基づくデロイトの分析 (xxxv)

上位法人税率 (%) 2013年



注: # は2013年上位法人税率に関する60カ国のランキング。

出所: EIUデータに基づくデロイトの分析 (xxxvii)

要約と結論



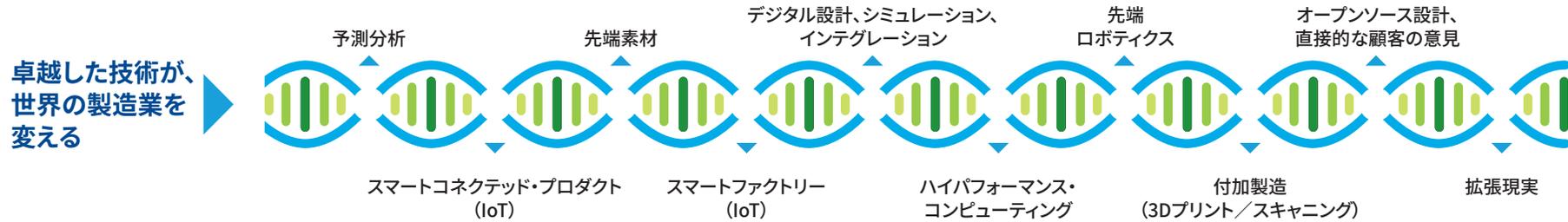
先端産業は国家の繁栄に欠かせない

先端産業は、より高い労働者収入、高価値の輸出、雇用機会の拡大、より高い生産性を生み出すことで国家のGDP貢献に極めて重要な役割を果たす。

先端製造業機能への投資は、国家の競争力を高め、経済的繁栄をもたらす

研究開発への投資は先端製造業機能の向上につながる。つまり、より複雑で、独占的な製品を輸出向けにすることができる。このようなハイテクの、付加価値の高い輸出を行うことで、国家の競争力が高まる。





米国は世界の研究開発のリーダー

優秀な研究者とインフラ



一流のハイテク企業



専門化した産業クラスター



強力なVC投資



米国の研究開発費は世界全体の32%#
— 世界で最高

特に先進国における経済成長の減速や目先の利益優先が、研究開発予算を押し下げる

中国の研究開発費は世界全体の23%#で、2019年までには米国を追い越すと予想される

特に中国などの国との差は縮まりつつある

全体的な研究開発費の高い伸び



STEM教育の底堅い成長と卒業生の数



技術の商業化を重視



VC投資の高成長



#2013年

米国のイノベーションエコシステムは、イノベーションパワーハウスとしての米国の成功を今後も決定づける

政府 

政府は、最重要、長期、基礎および応用の研究開発活動における2番目に大きなスポンサー

国立研究所 

国立研究所は、米国における基礎および応用の研究開発を行う

大学 

私立および公立大学は共に、政府または企業から資金提供を受け、基礎および応用研究を行う

企業 

企業は、研究開発活動の大部分に資金提供を行うだけでなく、商業化の大部分を実行する

ベンチャーキャピタル 

VCおよびPEファンドは、ハイテク新興企業に投資する

新興企業 

多くはVCの資金提供を受け、新しい技術の市場進出に参与する

様々な実体間の有機的な連携が、米国のイノベーションの原動力になる



注：上記チャートの内訳は、2012年米国における研究開発資金全体のスポンサー別内訳を表す。

出所：「先端技術イニシアチブ：製造業とイノベーション」デロイトおよび競争力協議会 (2015)

研究開発機能の向上で米国企業が直面する可能性と課題



出所：「先端技術イニシアチブ：製造業とイノベーション」デロイトおよび競争力協議会（2015）

先端技術の活用ー産業イノベーション戦略

明らかに、イノベーションの重視は、個々の企業だけでなく米国経済全体の健全性にとって欠かせない。先端製造業が、競争の激しいグローバル市場で成長し、成功するためには、強固な事業戦略開発を導き、将来の「イノベーション戦略」に取り入れる重要なインサイトがいくつかある

ベンチャー精神

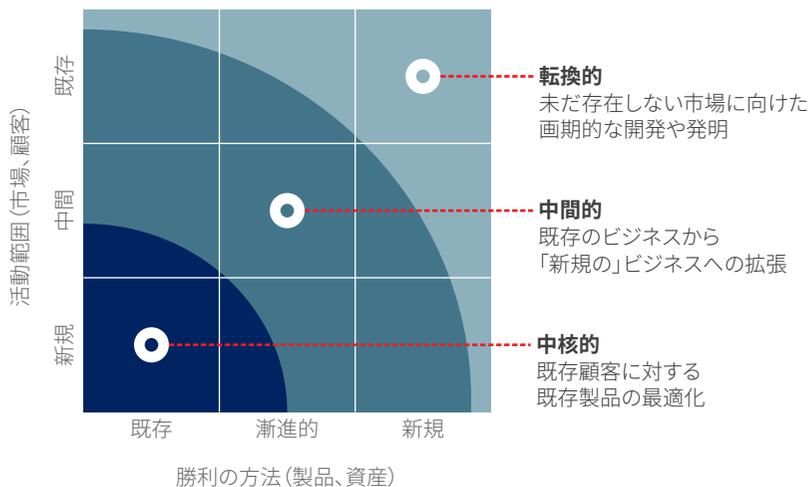
今日のような非常にダイナミックで相互接続化の進んだ世界では、革新的な企業ほど計算されたリスクテイク戦略を採用し、より機動的な新興企業のベストプラクティスを活用している。

ポートフォリオ方式の採用

企業は、既存の製品を利用し目先の利益を追求した短期的なイノベーションに投資するだけでなく、転換利益につながる長期的なR&D投資にも重点を置く必要がある。

伝統的な壁を越えた経営

革新的な企業は、それぞれの壁を越えた、より幅広いイノベーションエコシステムに基づく様々な協調のメカニズムを探っている (VC部門、異業種企業／組織とのジョイントベンチャー、大学／国立研究所とのイノベーション提携、クラウドファンディングなど)。



出所：デロイト モニター イノベーションマトリクス^(xxxviii)

ソリューションはひとつではない

多くの先端技術は前途有望だが、重要な転換は複数の技術が複合し、相乗的に革新的ソリューションを達成したときに発生する。成功への道が相乗的ソリューションと忍耐によって創り出される世界では、ソリューションは一つではない。

戦略的重点

成功する企業は、様々なイノベーション達成レベルで活動と資源を明確に調整し、そのためのアプローチ、組織構成、コンピテンシーやインセンティブが常に戦略的目標を強化するようにしている。

リスクテイクを恐れない経営

基礎研究における飛躍的進歩など、真に転換的なイノベーションは失敗のリスクも高い⁹¹。しかし、成功すれば、転換的イノベーションは新たなビジネスチャンスを生み出し、大幅な市場シェアの拡大や利益をもたらす。

忍耐は報われる

失敗を恐れ、失敗したときの打撃を恐れる企業は、リスク選好度が高く、一貫して革新的であり、失敗の経験から学んだ革新的企業に対しいつまでも後発企業にとどまる。

イノベーション目標を明確にする

その目標に従って計画、実行する。

製品イノベーションの先を見据える

それにより、事業体系の他の要素も変えることができる。

自社の性能を診断する

そして、自社のイノベーション管理システムを、エコシステムパートナーシップとともに強化する。

出所：「先端技術イニシアチブ：製造業とイノベーション」デロイトおよび競争力協議会 (2015)

文末脚注

文末脚注(本文部分)

- 1a. Muro et. al., “America’s advanced industries”, Brookings Institution, http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2015/02/03-advanced-industries/final/AdvancedIndustry_FinalFeb2lores.pdf?la=en, Page 2, February 2015.
- 1b. “Multipliers have three components, commonly called direct, indirect and induced effects. The direct effect of the manufacturing employment multiplier is one additional job in manufacturing in a region. The indirect effect measures how many more jobs will be created in the companies in the same region that supply the goods and services that that manufacturing worker’s employer needs to produce the additional annual output of that worker. The induced effect represents the way that worker spends his or her wages within the region, creating jobs in local-serving industries.” Definition taken from - “Elizabeth Scott and Howard Wial, “Multiplying jobs: How manufacturing contributes to employment growth in Chicago and the nation”, Center for Urban Economic Development (CUED), http://www.uic.edu/cuppa/cued/CUED_Manufacturing_Jobs_May2013.pdf, Page 1, May 2013.
- 1c. Hausmann and Hidalgo et. al., “The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity”, Harvard University, Harvard Kennedy School and MIT Media Lab, http://atlas.cid.harvard.edu/media/atlas/pdf/HarvardMIT_AtlasOfEconomicComplexity_Part_1.pdf, 2011.
1. “The future of manufacturing: Opportunities to drive economic growth”, World Economic Forum and Deloitte, http://www3.weforum.org/docs/WEF_MOB_FutureManufacturing_Report_2012.pdf, Pages 10 and 11, April 2012.
2. 2016 Global Manufacturing Competitiveness Index, Deloitte and the Council of Competitiveness.
3. “China headed to overtake EU, US in science & technology spending, OECD says”, OECD, <http://www.oecd.org/newsroom/china-headed-to-overtake-eu-us-in-science-technology-spending.htm>, November 2014.
4. DARPA = Defense Advanced Research Projects Agency.
5. “Historical trends in federal R&D”, American Association for the Advancement of Science (AAAS), <http://www.aaas.org/page/historical-trends-federal-rd>, 2015.
- 6a. “The Sherman Antitrust Act”, The Linux Information Project, <http://www.linfo.org/sherman.html>, June 2004.
6. Technology timeline has been constructed from various sources as follows:
 - a. “Technology Timeline: 1752 – 1990”, PBS, http://www.pbs.org/wgbh/amex/telephone/timeline/timeline_text.html.
 - b. “Science and technology historical timeline”, Bridge, http://www.bridge-online.cz/aitom/upload/maturita/temata/38_science_and_technology.pdf, 2006.
 - c. “ARPANET - The First Internet”, http://www.livinginternet.com/i/ii_arpanet.htm.
 - d. Jena McGregor, “A history of big ideas”, http://www.bloomberg.com/ss/09/03/0312_game_changing_timeline/index.htm, September 2012.
 - e. Richard C. Atkinson and William A. Blanpied, “Research universities: Core of the US science and technology system”, Technology in Society, http://rca.ucsd.edu/speeches/TIS_ResearchUniversitiesCoreoftheUSscienceandtechnologysystem1.pdf, Pages 34-41, 2008.
7. Sources of R&D funds are explained as follows:
 - a. Business or Business Enterprises - covers R&D expenses funded by private and public enterprises and institutes serving such enterprises.
 - b. Government - covers R&D expenses funded by federal or central government only.
 - c. Higher education – covers R&D expenses funded by institutes of higher education like universities.
 - d. Private non-profit - covers R&D expenses funded by non-profit organizations like research institutes, professional associations, hospitals, schools that receive donations from private entities.
 - e. Foreign – covers R&D expenses funded by foreign affiliates of multinational companies mainly.
8. Types of research are explained as follows:
 - a. Basic research - Experimental or theoretical work undertaken primarily to acquire new knowledge of the underlying foundation of phenomena and observable facts, without any particular application or use in view.
 - b. Applied research - Original investigation undertaken in order to acquire new knowledge. It is, however, directed primarily towards a specific practical aim or objective.
 - c. Commercialization (Experimental Development) - Systematic work, drawing on existing knowledge gained from research and/or practical experience, which is directed to producing new materials, products or devices; installing new processes, systems and services, or to improving substantially those already produced or installed. R&D covers both formal R&D in R&D units and informal or occasional R&D in other units.
9. Gary P. Pisano and Wily C. Shih, “Restoring American competitiveness”, Harvard Business Review, <https://hbr.org/2009/07/restoring-american-competitiveness/ar/1>, Page 15, July 2009.

- 10a. “The sources of economic growth in OECD countries”, OECD, <https://www.bancaditalia.it/dotAsset/964d01a6-93b5-44d1-b387-923f87fc9671.pdf>, Pages 84-86, 2003; Matt Ridley, “The myth of basic science”, Wall Street Journal, <http://www.wsj.com/articles/the-myth-of-basic-science-1445613954>, October 2015.
- 10b. Leo Sveikauskas, “R&D and productivity growth: A review of the literature”, US Bureau of Labor Statistics, <http://www.bls.gov/ore/pdf/ec070070.pdf>, September 2007; Matt Ridley, “The myth of basic science”, Wall Street Journal, <http://www.wsj.com/articles/the-myth-of-basic-science-1445613954>, October 2015.
10. The following is the description of each industry:
- a. Other Manufacturing includes: Building of ships and boats, manufacture of railway locomotives and rolling stock, military fighting vehicles, transport equipment, furniture, medical and dental instruments and supplies.
 - b. Food & beverages includes: Manufacture of food products, beverages and tobacco products
 - c. Textiles includes: Manufacture of textiles, wearing apparel, leather and related products.
 - d. Oil & gas downstream includes: Manufacture of coke and refined petroleum products.
 - e. Metals & metal fabrication includes: Manufacture of basic metals, fabricated metal products, except machinery and equipment and weapons and ammunition.
 - f. Automotive includes: Manufacture of motor vehicles and parts.
 - g. Process & chemicals includes: Manufacture of chemicals and chemical products, rubber and plastic products, wood, paper, printing and reproduction.
 - h. Industrial machinery & equipment includes: Manufacture of general-purpose machinery and special-purpose machinery.
 - i. Aerospace includes: Manufacture of air and spacecraft and related machinery.
 - j. Pharmaceuticals includes: Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations.
 - k. Computer, Electronic, Electrical and Optical includes: Manufacture of electronic components and boards, computers and peripheral equipment, communication equipment, consumer electronics, instruments and appliances for measuring, testing and navigation; watches and clocks, irradiation, electromedical and electrotherapeutic equipment, optical instruments and photographic equipment, magnetic and optical media, and electrical equipment like motors, generators, transformers, batteries, domestic appliances, electric lighting etc.
11. Includes software solutions going into customer intelligence, decision support systems, data mining and management, performance management, fraud and security intelligence, risk management, financial intelligence, operations and campaign management. “Predictive analytics market to reach USD 6,546.4 million by 2019”, Transparency Market Research, <http://www.prnewswire.com/news-releases/predictive-analytics-market-to-reach-usd-65464-million-by-2019-globally-transparency-market-research-233725001.html>, November 2013.
12. “What is predictive analytics?”, Predictive Analytics Today, <http://www.predictiveanalyticstoday.com/what-is-predictive-analytics/>, last accessed on June 2015.
13. “Predictive Analytics: What it is and Why it matters?”, SAS, http://www.sas.com/en_us/insights/analytics/predictive-analytics.html.
14. Eric Siegel, “The future of prediction: Predictive Analytics in 2020”, Big Think, <http://bigthink.com/experts-corner/the-future-of-prediction-predictive-analytics-in-2020>, October 2013.
15. “Prediction Methods for Communication Analysis on HPC Networks”, Argonne National Lab (ANL), <http://www.anl.gov/events/prediction-methods-communication-analysis-hpc-networks>, November 2015; Scientific data management group, Lawrence Berkeley National Lab (LBNL), <http://crd.lbl.gov/departments/data-science-and-technology/sdm/>; “About BAASiC”, Lawrence Livermore National Lab (LLNL), <https://baasic.llnl.gov/>; Ted Slater, “Unlocking the full potential of health data”, Cray Inc., <http://www.cray.com/blog/unlocking-the-full-potential-of-health-data/>, October 2014; “Pacific Northwest National Laboratory Acquires Cray XMT Supercomputer”, Pacific Northwest National Lab (PNNL), <http://www.pnnl.gov/news/release.aspx?id=271>, September 2007; Predictive Analytics, Sandia National Labs (SNL), http://www.sandia.gov/casosengineering/predictive_analytics.html.
16. Oliver Guy, “Why predictive analytics will shape the future of every sector”, IT pro portal, <http://www.itproportal.com/2015/08/01/predictive-analytics-will-shape-future-every-sector/#ixzz3rkBijwSM>, August 2015.
17. Includes IT applications, analytical tools, platforms, connected and intelligent systems and devices, IoT infographic, “IDC market in a minute: Internet of Things”, IDC, http://www.idc.com/downloads/idc_market_in_a_minute_iiot_infographic.pdf.
18. Vikram Mahidhar and David Schatsky, “The Internet of Things”, Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/the-internet-of-things/?icid=interactive:not:aug15>, September 2013.
19. “Application areas for the Internet-of-Things”, Texas Instruments, http://www.ti.com/ww/en/internet_of_things/iiot-applications.html; “50 sensor applications for a smarter world – Smart agriculture”, Libelium, http://www.libelium.com/top_50_iiot_sensor_applications_ranking/.
20. “Internet of Things”, Argonne National Lab (ANL), <http://www.anl.gov/egs/group/internet-things>; “An ORNL initiative: Internet-of-Things science collaboration laboratory”, Future of instrumentation & internet workshop, Oak Ridge National Lab (ORNL), http://futureinstruments.ornl.gov/pdfs/T1_B%201330IoT%20at%20ORNL%202015-05.pdf, May 2015; Kit Conklin, “The Internet of Things”, Pacific Northwest National Lab

- (PNNL), http://csis.org/images/stories/poni/140325_The_Internet_of_Things_Conklin.pdf, April 2014; “DOE lab asks industry: How can we secure the Internet of Things?”, Nextgov, <http://www.nextgov.com/emerging-tech/2015/07/doe-lab-asks-industry-how-can-we-secureinternet-things/117157/>, July 2015.
21. “Gartner Says 4.9 Billion Connected Things Will Be in Use in 2015”, Gartner, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>, November 2014.
 22. Includes aluminum, titanium, high strength steel & magnesium, nonferrous alloys, refractory alloys, platinum group metal alloys & superalloys, “Global lightweight materials market to surpass \$186 billion by 2020”, Transparency Market Research, <http://www.asminternational.org/documents/10192/22857245/amp17211p04.pdf/584ad146-1961-4183-8512-23cd020029be>, December 2014; “High performance alloys market rising at 4.2% CAGR due to their ability to perform under high pressure conditions”, Transparency Market Research, <http://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/high-performance-alloys-market.htm>, August 2015.
 23. Mahmoud Y. Demeri, “Preface - Advanced high-strength steels: Science, technology, and applications”, ASM International, http://www.asminternational.org/documents/10192/3479138/05370G_TOC.pdf/257077c6-8b31-46a2-8a95-75bc88adcee4, 2013; “EAA Aluminium penetration in cars: Final Report”, Ducker Worldwide, http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/04/EAA-Aluminium-Penetration-in-cars_Final-Report-Public-version.pdf, March 2012; “Lightweight, heavy impact”, McKinsey & Company, http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/Automotive%20and%20Assembly/PDFs/Lightweight_heavy_impact.ashx, February 2012.
 24. “Aluminum-Alkaline Metal-Metal Composite Conductor – Ames Lab”, Energy innovation portal, <http://techportal.eere.energy.gov/technology.do/techID=803>, October 2014; “Lightweight Materials for Improving Fuel Economy”, Transportation technology R&D center, Argonne National Lab, http://www.transportation.anl.gov/materials/materials_assess_lightweight.html; “A Metallic Alloy That is Tough and Ductile at Cryogenic Temperatures”, Berkeley Lab, <http://newscenter.lbl.gov/2014/09/04/a-metallic-alloy-that-is-tough-and-ductile-at-cryogenic-temperatures/>, September 2014; “Innovations in transportation”, Oak Ridge National Lab, <http://web.ornl.gov/sci/transportation/docs/factsheets/Lightweight-Materials-Factsheet.pdf>, 2012; “Short-term lightweight materials research”, Vehicles Technologies Office, DOE, <http://energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office-short-term-lightweight-materials-research-advancedhigh>; “Materials research and development”, Sandia National Labs, http://www.sandia.gov/media/old_factsheets/facts5.htm.
 25. Mike Springer, “Sandia Labs develop shape-shifting alloy”, KOAT, <http://www.koat.com/news/sandia-labs-develop-shapeshifting-alloy/21766632>, September 2013; “Friction Stir Scribe Technology Enables Dissimilar Material Joining”, Pacific Northwest National Lab, <http://availabletechnologies.pnnl.gov/technology.asp?id=372>, September 2014.
 26. Includes polymer-matrix & carbon-fiber composites and monolithic ceramics, ceramic-matrix composites, ceramic coating etc. “Global demand for composites forecast to double by 2015”, Ricardo, http://www.ricardo.com/Documents/PRs%20pdf/PRs%202013/composites_report.pdf, Page 2, Spring 2013; “Advanced ceramics market worth \$8.5 billion by 2019”, MarketsandMarkets, <http://www.prnewswire.com/news-releases/advanced-ceramics-market-worth-85-billion-by-2019-295635051.html>, March 2015.
 27. “Chapter 7 - Advanced Composite Materials”, Federal Aviation Administration (FAA), https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_Ch07.pdf.
 28. Duane Dickson, Tom Aldred and Jeff Carbeck, “Reigniting growth: Advanced materials systems”, Deloitte University Press, http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx_mfg_ReignitingGrowth_AMS_120312.pdf, November 2012; “Technology and market perspective for future value added materials”, Final Report from Oxford Research AS, European Commission, http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/technology-market-perspective_en.pdf, 2012; “New and advanced materials, Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 10”, Foresight, Government Office for Science (UK), https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/283886/ep10-new-and-advanced-materials.pdf, October 2013.
 29. Scientist profile, Argonne National Lab, <http://www.anl.gov/contributors/dileep-singh>; “Institute for advanced composites manufacturing innovation”, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <http://energy.gov/eere/amo/institute-advanced-composites-manufacturing-innovation>; “Materials science”, Sandia National Labs, http://www.sandia.gov/careers/career_possibilities/materials_science.html.
 30. “Experts launch advanced composites institute announced by Obama led by UT”, Oak Ridge Today, <http://oakridgetoday.com/2015/06/18/experts-launch-advanced-composites-institute-announced-by-obama-led-by-ut/>, June 2015.
 31. Includes critical materials like antimony, barium, gallium, indium, rare earths etc. used in nanotechnology applications, “BCC Research publishes a new report on critical materials in global nanotechnology market”, BCC Research, [http://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-market-critical-materials-used-nanotechnology-market-grow-nearly-\\$9.4-billion-2018](http://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-market-critical-materials-used-nanotechnology-market-grow-nearly-$9.4-billion-2018), December 30, 2014.
 32. “Critical materials strategy”, US Department of Energy, <https://www.hsd.l.gov/?view&did=695942>, December 2011; “Power Electronics with Wide Bandgap Materials”, <http://www.ece.ucdavis.edu/events/power-electronics-withwide-bandgap-materials/>, September 2015; Dimitri Coutouradis and L. Habraken, “Metallurgical applications of Cobalt: A critical overview”, The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF03338183>, December 2013; “Efficient thermal cooling and heating”, Fraunhofer Institutes, <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2014/june/efficient-thermal-cooling-and-heating.html>, June 2014.
 33. “The Critical Materials Institute”, Ames Lab, <https://cmi.ameslab.gov/about/>; “Critical Materials Hub”, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <http://energy.gov/eere/amo/critical-materials-hub>; Julie Chao, “Berkeley Lab seeks to help US assert scientific leadership in Critical Materials”, Lawrence Berkeley National Lab, <http://newscenter.lbl.gov/2012/01/11/critical-materials/>, January 2012; Frances White, “Relieving electric vehicle range anxiety with improved batteries”, Pacific Northwest National Lab, <http://www.pnnl.gov/news/release.aspx?id=1048>, April 2014.
 34. “Critical Materials Strategy”, US Department of Energy, <https://www.hsd.l.gov/?view&did=695942>, December 2011.
 35. Includes all bioplastics. “Global bioplastics market to hit new heights by 2018”, Ceresena Research, <http://www.canplastics.com/sustainability/global-bioplastics-market-to-hit-new-heights-by-2018-report/1000822314/>, January 2012.

36. Shanaza Khazir, Sneha Shetty, “Bio-based polymers in the world”, International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research, <http://www.ijlbr.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=123&id=295>, April 2014.
37. “Bio-based materials can replace petroleum in over \$100 billion worth of polymers”, Lux Research, <http://www2.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/136.html>, November 2012.
38. Babu et. al., “Current progress on bio-based polymers and their future trends”, Progress in Biomaterials, <http://www.progressbiomaterials.com/content/pdf/2194-0517-2-8.pdf>, 2013.
39. Duane Dickson, Tom Aldred and Jeff Carbeck, “Reigniting growth: Advanced materials systems”, Deloitte University Press, http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx_mfg_ReignitingGrowth_AMS_120312.pdf, November 2012; “Renewable, low - cost carbon fiber for lightweight vehicles: Summary report”, US Department of Energy, http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/carbon_fiber_summary_report.pdf, October 2013.
40. Stephen C. Myers, “Renewable polymers and advanced materials”, Ohio Bioproducts Innovation Center, http://nabc.cals.cornell.edu/Publications/Reports/nabc_20/20_3_1_Myers.pdf.
41. “Bio-based polymers - Production capacity will triple from 3.5 million tonnes in 2011 to nearly 12 million tonnes in 2020”, Nova-Institute GmbH, http://www.bio-based.eu/market_study/media/13-03-06PRMSBiopolymerslongnova.pdf, March 2013.
42. Includes CAD/CAM, visualization / simulation, digital video, imaging, modeling / animation, “Computer graphics market by software, service and end-user - worldwide forecasts & analysis (2014-2019)”, MarketsandMarkets, <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/computer-graphics-market-76573621.html>, June 2014.
43. Banks, Carson, Nelson & Nicol, “Chapter 1: Introduction to Simulation”, http://mmumullana.org/downloads/mca%20content/BCA_503%20System%20Simulation.pdf.
44. Peter Mcleod, “Availability and capabilities of ‘low-end’ virtual prototyping products to enable designers and engineers to prove concept early in the design cycle”, PRIME Faraday Technology Watch, http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/virtual-prototyping-early-in-the-design-cycle.pdf, November 2001.
45. Tom Peterka, “Virtual environments for visualization”, Argonne National Lab (ANL): <http://www.mcs.anl.gov/~tpeterka/talks/peterka-doecgf09-talk.pdf>, April 2009; Julie Charland, “3D meets safety at Los Alamos National Laboratory”, Occupational Health and Safety magazine, February 2013; <https://ohsonline.com/Articles/2013/02/01/3D-Meets-Safety-at-Los-Alamos-National-Laboratory.aspx>; Flanery et. al., “Visualization and virtual environments research”, Oak Ridge National Lab (ORNL), <http://web.ornl.gov/info/ornlreview/v30n3-4/visual.htm>; “Research highlights from Pacific Northwest National Laboratory”, EurekAlert, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2001-08/pnnl-rh081301.php, August 2001; “Best practice: Model based design and virtual prototyping”, Best Manufacturing Practices- Center of Excellence, http://www.bmpcoe.org/bestpractices/internal/sandi/sandi_3.html, January 2007; “3-D model for deactivation & decommissioning”, Savannah River National Lab, <http://energy.gov/sites/prod/files/3-DModelingforDDTF%20-Final-JD.pdf>, August 2010.
46. Greg Satell, “Why the future of innovation is simulation”, Forbes, <http://www.forbes.com/sites/gregsatell/2013/07/15/why-the-future-of-innovation-is-simulation/>, July 2013.
47. Includes servers, storage, software, services and networks for both High Performance Technical Computing (HPTC) and High Performance Business Computing (HPBC). “Global HPC market to reach 38.1 billion by 2018”, Intersect360 Research, <http://insidehpc.com/2014/06/worldwide-hpc-market-predicted-reach-38-1-billion-2018/>, June 2014.
48. “What is high performance computing?”, Inside HPC, <http://insidehpc.com/hpc-basic-training/what-is-hpc/>; Carlos P. Sosa, “Introduction to High-Performance Computing”, University of Minnesota Rochester, http://www.msi.umn.edu/~cpsosa/BICB8510_Spring2012_HPCIntro.pdf, Spring 2012.
49. “Illinois’ High-Performance Computing Advantage”, Illinois Science and Technology Coalition, http://istcoalition.org/blog/wp-content/uploads/2012/10/ISTC_HPCComputingFactSheet_Final.pdf, October 2012; “A Strategy for Research and Innovation through High Performance Computing”, University of Edinburgh, <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/computing/documents/planethpc-strategy.pdf>, 2011.
50. James Collins, “High-performance computing enables huge leap forward in engine development”, Argonne National Lab (ANL), <https://www.alcf.anl.gov/articles/high-performance-computing-enables-huge-leap-forward-enginedevelopment>; “High performance computing”, Lawrence Livermore National Lab (LLNL), <https://computing.llnl.gov/>; “High performance computing at LANL”, Los Alamos National Lab (LANL), <http://hpc.lanl.gov/>; “High performance computing”, Oak Ridge National Lab (ORNL), https://web.ornl.gov/ornlhome/high_performance_computing.shtml; “High performance computing”, Pacific Northwest National Lab (PNNL), <http://hpc.pnl.gov/>; “Sandia National Labs High-Performance Computing Support”, Sandia National Labs (SNL), <http://hpc.sandia.gov/process.html>.
51. Includes industrial robots used across industries. “Industrial robotics market worth \$40.08 Billion by 2020”, MarketsandMarkets, <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/industrial-robotics.asp>, September 2014.
52. Gray, J.O., “Recent developments in advanced robotics and intelligent systems”, Computing and control engineering journal, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?reload=true&tp=&number=556826&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel1%2F2218%2F12147%2F00556826.pdf%3Farnumber%3D556826>, August 2002.
53. “Uses of sensors in Robotics”, Robotics Bible, <http://www.roboticsbible.com/uses-of-sensors-in-robotics.html>, December 2011.
54. Vern Mangold, “The 2013 AWS world robotic arc welding competition”, American Welding Society, http://www.awssection.org/uploads/nmichigan/files/2013_CRAW_FABTECH_Article.pdf, November 2013; Bob Clark, “Industrial robotics move from safety emphasis to advanced tasks”, Industry Market Trends, ThomasNet, <http://news.thomasnet.com/IMT/2014/04/22/industrial-robotics-move-from-safety-emphasis-to-advanced-tasks/>, April 2014; Robert Young, “Advances in robotic surgery”, Los Angeles Times, <http://www.latimes.com/brandpublishing/healthplus/la-ss-advances-in-robotic-surgery-dat-story.html>, June 2014; David Salisbury, “Robotic advances promise artificial legs that emulate healthy limbs”, Vanderbilt University, <http://news.vanderbilt.edu/2013/11/robotic-legs-healthy-limbs/>, November 2013.

55. Steve Banker, "The next generation of robots: Working with and for people", Forbes, <http://www.forbes.com/sites/stevebanker/2014/05/29/the-next-generation-of-robots-working-with-and-for-people/>, May 2014.
56. "Robotics program", Argonne National Lab, http://www.ne.anl.gov/About/open_house/2012/Robotics.pdf; "Instrumentation, Control and Intelligent Systems", Idaho National Lab - <https://www.inl.gov/icsinl/>; "Robotics", Oak Ridge National Lab, <http://web.ornl.gov/info/ornlreview/rev30-12/text/robotic.htm>; "High consequence, automation and robotics", Sandia National Labs, <http://www.sandia.gov/research/robotics/>.
57. Elizabeth Palermo, "Robots on the Run! 5 Bots That Can Really Move", Livescience, <http://www.livescience.com/52034-coolest-most-capable-robots.html>, August 2015.
58. Includes computer softwares which use algorithms and statistical tools to solve complex problems across industries. "Big data - artificial intelligence, case study 9", European Commission, http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/business-innovation-observatory/files/case-studies/09-bid-artificial-intelligence_en.pdf, Page 4, September 2013.
59. David Schatsky, Craig Muraskin and Ragu Gurumurthy, "Demystifying artificial intelligence", Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/what-is-cognitive-technology/>, November 2014; David Schatsky, Craig Muraskin and Ragu Gurumurthy, "Cognitive technologies: The real opportunities for business", Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/cognitive-technologies-business-applications/>, January 2015; Marx et. al., "An application of Artificial Intelligence for Computer-Aided Design and manufacturing", <https://smartechnology.gatech.edu/bitstream/handle/1853/6415/ICES-95-B6-3.pdf>, August 1995; G.G. Keswani, "Artificial Intelligence- Is our future bright or bleak", International Journal of Engineering and Advanced Technology, <http://www.ijeat.org/attachments/File/v2i4/D1443042413.pdf>, April 2013.
60. "Data science and technology", Lawrence Berkeley National Lab, <https://dst.lbl.gov/>, July 2015; "Technical focus areas: Machine learning and pattern analysis", Lawrence Livermore National Lab, https://casis.llnl.gov/technical_focus_area/machine_learning; "Computational data analytics research", Oak Ridge National Lab, <http://cda.ornl.gov/>; "MaTEx: Machine Learning Toolkit for Extreme Scale", Pacific Northwest National Lab, <http://hpc.pnl.gov/matex/>; "Scalable analysis and visualization", Sandia National Labs, http://www.cs.sandia.gov/analysis_visualization/#.
61. Tom Simonite, "2014 in computing: Breakthroughs in Artificial Intelligence", MIT Technology Review, <http://www.technologyreview.com/news/533686/2014-in-computing-breakthroughs-in-artificial-intelligence/>, December 2014.
62. Includes printers and services for 3D printing; tripod mounted, automated & CMM based, handheld and desktop, and stationary 3D scanners for 3D scanning, "3D printing and additive manufacturing industry expected to quadruple in size in four years", Wohler's associates, <http://wohlersassociates.com/press65.html>, August 2014; "3D scanner market worth \$3,705.9 Million by 2020", MarketsandMarkets, <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3dscanning.asp>, July 2015.
63. "Standard terminology for additive manufacturing technologies", ASTM International, http://www.astm.org/FULL_TEXT/F2792/HTML/F2792.htm, 2012; "3D scanning technical information", 3D Scanco, <http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/index.cfm>, 2015.
64. Cotteleer et. al., "The 3D opportunity primer", Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/the-3d-opportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing/?coll=8717>, March 2014.
65. Ibid.
66. "Ames Laboratory 3D printing technology research taking shape", Ames lab, <https://www.ameslab.gov/news/news-releases/ames-laboratory-3d-printing-technology-research-taking-shape>, September 2014 ; "An explosion of 3D printing technology", Los Alamos National Lab, <http://www.lanl.gov/newsroom/picture-of-the-week/pic-week-11.php>, May 2015; "Posts tagged with 3D Printing", Lawrence Livermore National Lab, <https://www.llnl.gov/tags/3d-printing>, October 2015; "AMIE demonstration project", Oak Ridge National Lab, <http://web.ornl.gov/sci/eere/amie/>, August 2014; "Want to print your own cell phone microscope for pennies? Here's how", Pacific Northwest National Lab, <http://www.pnl.gov/news/release.aspx?id=1071>, September 2014.
67. Chris Spadaccini, "Engineering properties only previously theorized", Lawrence Livermore National Lab, <https://manufacturing.llnl.gov/additive-manufacturing/designer-engineered-materials>.
68. Kathleen Diener and Frank T. Piller, "The market for open innovation", 2013 RWTH Open Innovation Accelerator Survey, http://tim.rwth-aachen.de/download/OIA-Survey-2013_preview.pdf, April 2013; Sam Becker, "Local Motors and the Future of Vehicle Manufacturing", The Cheat Sheet, <http://www.cheatsheet.com/business/how-local-motors-is-pushing-the-evolution-of-manufacturing.html?a=viewall>, October 2014.
69. Jose Briones, "The market for open innovation platforms: Deciding if and where to invest", 4th Annual Open Innovation Summit, <http://www.slideshare.net/Brioneja/the-market-for-open-innovation-platforms-deciding-if-and-where-to-invest-jose-briones>, September 2012.
70. "The crowd in the cloud: Exploring the future of outsourcing", White paper by Massolution, http://www.lionbridge.com/files/2012/11/Lionbridge-White-Paper_The-Crowd-in-the-Cloud-final.pdf, January 2013; Jose Briones, "The market for open innovation platforms: Deciding if and where to invest", 4th Annual Open Innovation Summit, <http://www.slideshare.net/Brioneja/the-market-for-open-innovation-platforms-deciding-if-and-where-to-invest-jose-briones>, September 2012.; Gassmann et. al., "The future of open innovation", R&D Management, <http://www.futurerailway.org/innovation/Documents/in9a-TheFutureofOpenInnovation.pdf>, 2010.
71. "Department of Energy National Laboratories and Plants", US Department of Energy, <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/60062.pdf>; "ORNL crowdsourcing site advances building technologies ideas to the market", DOE Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <http://energy.gov/eere/buildings/articles/ornl-crowdsourcing-site-advances-building-technologies-ideas-market>, September 2015.
72. Includes mobile device based, wearable type, and video spatial displays for Augmented Reality; "Augmented Reality and Virtual Reality market worth \$1.06 billion by 2018", MarketsandMarkets, <http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/augmented-reality-virtual-reality.asp>, March 2014; "Augmented and Virtual Reality devices to become a \$4 billion-plus business in three years", CCS Insight, <http://www.ccsinsight.com/press/company-news/2251-augmented-and-virtual-reality-devices-to-become-a-4-billion-plus-business-in-three-years>, 2015.
73. Theresa Bohme, "Augmented Reality and Wearables: What the experts say", SAP, <http://news.sap.com/augmented-reality-wearables-thats-experts-say/>, January 2015.

74. Tim Purdue, “Applications of Augmented Reality”, About Tech, <http://newtech.about.com/od/softwaredevelopment/a/Applications-Of-Augmented-Reality.htm>; “Top 10 Augmented Reality use cases”, Total Immersion, <http://www.t-immersion.com/augmented-reality/use-cases>, 2015; Susana Acosta, An Introduction to Augmented Reality in Manufacturing, Business Development Media, <http://advancedmanufacturinginsight.com/archived-articles/item/augmented-reality-manufacturing>.
75. “About Electronic Visualization Laboratory (EVL)”, Argonne National Lab, <https://www.evl.uic.edu/menuPage.php?id=5>; “Updates on the Manhattan Project National Historical Park”, The Bradbury, Los Alamos National Lab, http://www.lanl.gov/museum/news/_docs/JuneNews2015.pdf, June 2015; Kuester et al., “The designers work bench: Towards real-time immersive modeling”, Lawrence Livermore National Lab, https://computing.llnl.gov/vis/images/pdf/kuester_ei00.pdf; “Research highlights from Pacific Northwest National Laboratory”, EurekAlert, http://www.eurekalert.org/pub_releases/2001-08/pnnl-rh081301.php, August 2001; “Applications”, Sandia National Labs, <http://umbra.sandia.gov/applications.html#augmented>.
76. Smart Augmented Reality Glasses Shipments to Surpass 12 Million Units between 2015 and 2020, Tractica Research, <https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/smart-augmented-reality-glasses-shipments-to-surpass-12-million-units-between-2015-and-2020/>.
77. “2015 Global aerospace and defense sector financial performance study”, Deloitte, <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx-mnfg-a-and-d-financial-perf-study-2015.pdf>, June 2015.
78. “Slower, not lower: IHS Automotive forecasting 88.6 million unit global light vehicle market in 2015”, IHS Automotive, <http://press.ihs.com/press-release/automotive/slower-not-lower-ihs-automotive-forecasting-886-million-unit-globallight-v>, February 2015; “Global Light Vehicle Sales Summary”, IHS Automotive, https://www.ihs.com/pdf/IHS-Automotive-LV-Sales-sample-July-2015_144792110913052132.pdf, July 2015; Corwin et. al., “The future of mobility”, Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/future-of-mobility-transportation-technology/>; September 2015.
79. “Global business of chemistry”, Chemical and Engineering News, American Chemistry Council, <http://www.americanchemistry.com/Jobs/EconomicStatistics/Industry-Profile/Global-Business-of-Chemistry>, 2015; “Year-end 2014 chemical industry situation and outlook”, American Chemistry Council, <http://files.clickdimensions.com/americanchemistrycom-avo5d/files/year-end2014situationandoutlookf6c2.pdf>, December 2014.
80. “Rise of the machines: Industrial machinery market growth to double in 2014”, IHS, <http://press.ihs.com/press-release/design-supply-chain/rise-machines-industrial-machinery-market-growth-double-2014>, April 2014.
81. Muro et. al., “America’s advanced industries”, Brookings Institution, http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2015/02/03-advanced-industries/final/AdvancedIndustry_FinalFeb2lores.pdf?la=en, February 2015.
82. “2013 Talent shortage survey-Research results”, Manpower Group, http://www.manpowergroup.com/wps/wcm/connect/587d2b45-c47a-4647-a7c1-e7a74f68fb85/2013_Talent_Shortage_Survey_Results_US_high+res.pdf?MOD=AJPERES, Page 5, 2013.
83. “Leadership: Why a perennial issue”, Deloitte University Press, <http://dupress.com/articles/developing-leaders-perennial-issue-human-capital-trends-2015/>, February 2015.
84. Anthony Carnevale, Nicole Smith and Jeff Strohl, “Too many college grads? Or too few”, PBS, <http://www.pbs.org/newshour/making-sense/many-college-grads>, February 2014.
85. Miriam Jordan, “Demand for skilled-worker visas exceeds annual supply”, Wall Street Journal, <http://www.wsj.com/articles/u-s-demand-for-skilled-worker-visas-exceeds-annual-supply-1428431798>, April 2015.
86. Claire Bergeron, “Going to the back of the line: A primer on lines, visa categories, and wait times”, Policy briefs, Migration Policy Institute, <http://www.migrationpolicy.org/research/going-back-line-primer-lines-visa-categories-and-waittimes>, March 2013.
87. Wadhwa et. al., “Losing the world’s best and brightest: America’s new immigrant entrepreneurs”, Harvard Law School, Duke University’s School of Engineering, U.C. Berkeley’s School of Information, and Kaufmann Foundation, http://www.law.harvard.edu/programs/lwp/people/staffPapers/vivek/Vivek_Losing_the_best_and_brightest.pdf, March 2009.
88. Thomas J. Duesterberg and Donald A. Norman, “Why is capital investment consistently weak in the 21st century U.S. economy”, ASPEN Institute and MAPI Foundation, http://www.aspeninstitute.org/sites/default/files/content/upload/Capital_Investment_0.pdf, April 2015.
89. W. Mark Crain and Nicole V. Crain, “The cost of federal regulation to the U.S. economy, manufacturing, and small business”, National Association of Manufacturers, <http://www.nam.org/Data-and-Reports/Cost-of-Federal-Regulations/Federal-Regulation-Full-Study.pdf>, March 2014.
90. Ross DeVol and Perry Wong et.al., “Jobs for America: Investments and policies for economic growth and competitiveness”, Milken Institute, <http://www.milkeninstitute.org/publications/view/419>, January 2010.
91. Craig Lambert, “Disruptive Genius”, Harvard Magazine, <http://harvardmagazine.com/2014/07/disruptive-genius>, July 2014.

文末脚注(図表部分)

- (i) Muro et. al., “America’s advanced industries”, Brookings Institution, http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2015/02/03-advanced-industries/final/AdvancedIndustry_FinalFeb2lores.pdf?la=en, February 2015; Databases, tables and calculators by subject, US Bureau of Labor Statistics, <http://www.bls.gov/data/>, last accessed on March 2015; Economy and growth indicators, World Bank, <http://data.worldbank.org/indicator/all>, last accessed on March 2015.
- (ii) Employment multipliers, Content First and US Bureau of Economic Analysis, <http://www.contentfirst.com/multiplier.shtml>, last accessed on March 2015; “Ask Bill Clinton: How important is manufacturing to U.S. job growth?”, Bloomberg, <http://www.bloomberg.com/bw/articles/2013-06-13/bill-clinton-on-manufacturings-importance-to-u-dot-s-dot-job-growth>, June 2013.
- (iii) Hausmann and Hidalgo et. al., “The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity”, Harvard University, Harvard Kennedy School and MIT Media Lab, http://atlas.cid.harvard.edu/media/atlas/pdf/HarvardMIT_AtlasOfEconomicComplexity_Part_I.pdf, Pages 28 and 46, 2011.
- (iv) “The Atlas of Economic Complexity”, Harvard University, Harvard Kennedy School and MIT Media Lab, http://atlas.cid.harvard.edu/explore/product_space/export/usa/all/show/2013/, last accessed on August 2015.
- (v) “GERD as a percentage of GDP” and “Researchers per million inhabitants (FTE)”, Main science and technology indicators database, OECD, http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB, last accessed on January 2015; “GERD as a percentage of GDP” and “Researchers per million inhabitants (FTE)”, Science, technology and innovation database, UNESCO Institute for Statistics, <http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?queryid=115>, last accessed on January 2015.
- (vi) “China headed to overtake EU, US in science & technology spending, OECD says”, OECD, <http://www.oecd.org/newsroom/china-headed-to-overtake-eu-us-in-science-technology-spending.htm>, November 2014.
- (vii) “2014 global R&D funding forecast – Researcher perspectives”, Battelle and R&D Magazine, https://www.battelle.org/docs/tpp/2014_global_rd_funding_forecast.pdf, Page 34, December 2013.
- (viii) Deborah J. Jackson, “What is an innovation ecosystem?”, National Science Foundation, http://erc-assoc.org/sites/default/files/topics/policy_studies/DJackson_Innovation%20Ecosystem_03-15-11.pdf, Page 4, March 2011.
- (ix) “GERD by source of funds” and “GERD by type of R&D activity”, Science, technology and innovation database, UNESCO Institute for Statistics, <http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?queryid=115>, last accessed on January 2015.
- (x) “GERD - financed by government”, Science, technology and innovation database, UNESCO Institute for Statistics, <http://data.uis.unesco.org/Index.aspx?queryid=115>, last accessed on January 2015.
- (xi) “Basic Research by Agency, 1976-2016”, “Applied Research by Agency, 1976-2016” and “R&D as a Percent of the Total Federal Budget, 1962-2016”, American Association for the Advancement of Science (AAAS), <http://www.aaas.org/page/historical-trends-federal-rd>, last accessed on July 2015.
- (xii) “Total public support for business R&D has increased markedly since 2006”, OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014, <http://dx.doi.org/10.1787/888933151560>, last accessed on May 2015.
- (xiii) “Federal Funds for R&D”, National Science Foundation, <http://www.nsf.gov/statistics/fedfunds/>, last accessed on September 2015.
- (xiv) “BERD as a percentage of GDP” and “GOVERD as a percentage of GDP”, Main science and technology indicators database, OECD, http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB, last accessed on January 2015.
- (xv) Business enterprise R&D expenditure by industry (ISIC 4), Research and development statistics, OECD, http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB, last accessed on March 2015; R&D performance, by industrial sector and source of funding, National Science Foundation, <http://www.nsf.gov/statistics/2015/nsf15303/>, last accessed on March 2015.
- (xvi) Sales, EBITDA and R&D expenditure data extracted and analyzed for all manufacturing companies in five focus countries namely: United States, Germany, Japan, South Korea, China, FactSet database, http://www.factset.com/data/company_data, last accessed on June 2015.
- (xvii) R&D expenditure data extracted and analyzed for all listed companies in all countries, FactSet database, http://www.factset.com/data/company_data, last accessed on June 2015.
- (xviii) Investment search on venture capital deals, Thomson Reuters, <http://thomsonreuters.com/en/products-services/financial/venture-capital-and-private-equity.html>, last accessed on May 2015; “Entrepreneurship at a Glance 2013”, OECD, <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/3013011e.pdf?expires=1446983756&id=id&accname=guest&checksum=291348A88654F7FA639FD50EE19CB657>, Page 89, last accessed on May 2015; “Doing Business 2015”, World Bank, <http://www.doingbusiness.org/~media/GIAWB/Doing%20Business/Documents/Annual-Reports/English/DB15-Full-Report.pdf>, Page 4, 2014.
- (xix) Jerome S. Engel, “Global clusters of innovation: Lessons from Silicon Valley”, California Management Review, <http://cmr.berkeley.edu/search/articleDetail.aspx?article=5781>, Page 38, 2015.
- (xx) Homi Kharas, “The emerging middle class in developing countries”, OECD and Brookings Institution, <http://www.oecd.org/development/pgd/44798225.pdf>, Page 7, March 2010.
- (xxi) “World urbanization prospects”, United Nations Population Division, <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>, 2014
- (xxii) “2015 Global aerospace and defense industry outlook”, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Manufacturing/gx-mnfg-2015-global-a-and-d-outlook.pdf>, Page 6, 2015.
- (xxiii) SIPRI Military Expenditure Database, Stockholm International Peace Research Institute, http://www.sipri.org/research/armaments/milex/research/armaments/milex/research/armaments/milex/milex_database, last accessed on August 2015.

- (xxiv) “Slower, not lower: IHS Automotive forecasting 88.6 million unit global light vehicle market in 2015”, IHS Automotive, <http://press.ihs.com/press-release/automotive/slower-not-lower-ihs-automotive-forecasting-886-million-unit-globallight-v>, February 2015; “Global Light Vehicle Sales Summary”, IHS Automotive, https://www.ihs.com/pdf/IHS-Automotive-LV-Sales-sample-July-2015_144792110913052132.pdf, July 2015.
- (xxv) “Global business of chemistry”, Chemical and Engineering News, American Chemistry Council, <http://www.americanchemistry.com/Jobs/EconomicStatistics/Industry-Profile/Global-Business-of-Chemistry>, 2015; “Year-end 2014 chemical industry situation and outlook”, American Chemistry Council, <http://files.clickdimensions.com/americanchemistrycom-avo5d/files/year-end2014situationandoutlookf6c2.pdf>, December 2014.
- (xxvi) “Rise of the machines: Industrial machinery market growth to double in 2014”, IHS, <http://press.ihs.com/press-release/design-supply-chain/rise-machines-industrial-machinery-market-growth-double-2014>, April 2014.
- (xxvii) 2014 skills gap in US manufacturing infographic, Deloitte, <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-industrial-products-09302014.pdf>, 2014.
- (xxviii) Age demographics data, Economist Intelligence Unit (EIU), <http://www.eiu.com/home.aspx>, last accessed on August 2015.
- (xxix) PISA 2012 scores, National Center for Education Statistics, http://nces.ed.gov/pubs2014/2014024_tables.pdf, last accessed on July 2015.
- (xxx) “Graduates by field of education”, OECD, https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB, last accessed on March 2015; “Number of graduates in regular institutions of higher education”, National Bureau of Statistics of China, <http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01>, last accessed on March 2015; “Education Statistics at a glance”, University Grants Commission, Ministry of Human Resource Development, <http://mhrd.gov.in/statist>, last accessed on March 2015.
- (xxxi) “Registered apprenticeship national results – Data and statistics”, US Department of Labor, http://doleta.gov/oa/data_statistics.cfm, last accessed on April 2015; “Vocational training”, Federal Statistics Office, Germany, <https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/SocietyState/EducationResearchCulture/VocationalTraining/Tables/TimeSeries.html>, last accessed on April 2015; “Dual studies in figures, 2014”, Federal Institute for Vocational Training, Germany, http://www.ausbildungplus.de/files/Duales-Studium_in_Zahlen_2014.pdf, last accessed on April 2015.
- (xxxii) “Office of Foreign Labor Certification – Annual Report and Statistics”, US Department of Labor, http://www.foreignlaborcert.doleta.gov/pdf/OFLC-2013_Annual_Report.pdf, http://www.foreignlaborcert.doleta.gov/pdf/Statistics_FY%202013_YTD_Q4_final.pdf, http://www.foreignlaborcert.doleta.gov/pdf/H-1B_Selected_Statistics_FY2014_Q4.pdf, last accessed on May 2015; “Worldwide H1B, H2A, and H2B Visa Issuances Fiscal Years 2009-2014”, US Department of State, <http://travel.state.gov/content/dam/visas/Statistics/Graphs/H%20VisasWorldwide.pdf>, last accessed on April 2015.
- (xxxiii) Miriam Jordan, “Demand for Skilled-Worker Visas Exceeds Annual Supply”, Wall Street Journal and US Department of Homeland Security, <http://www.wsj.com/articles/u-s-demand-for-skilled-worker-visas-exceeds-annualsupply-1428431798>, April 2015.
- (xxxiv) W. Mark Crain and Nicole V. Crain, “The cost of federal regulation to the U.S. economy, manufacturing, and small business”, National Association of Manufacturers, <http://www.nam.org/Data-and-Reports/Cost-of-Federal-Regulations/Federal-Regulation-Full-Study.pdf>, Page 3, March 2014.
- (xxxv) “Burden of government regulation - Global Competitiveness Index dataset”, World Economic Forum, http://www3.weforum.org/docs/GCR2014-15/GCI_Dataset_2006-07-2014-15.xlsx, last accessed May 2015.
- (xxxvi) “Direct government funding of business R&D and tax incentives for R&D”, OECD R&D Tax Incentive Indicators, www.oecd.org/sti/rd-tax-stats.htm, December 2014.
- (xxxvii) Top corporate tax rate data, Economist Intelligence Unit (EIU), <http://www.eiu.com/home.aspx>, last accessed on July 2015.
- (xxxviii) Bansi Nagji and Geoff Tuff, “Managing your innovation portfolio”, Harvard Business Review, <https://hbr.org/2012/05/managing-your-innovation-portfolio>, May 2012.

執筆者

Craig A. Giffi

Craig A. Giffi is Vice Chairman and US Manufacturing Industry Leader at Deloitte US (Deloitte LLP).

Michelle Drew Rodriguez

Michelle Drew Rodriguez is the Center for Manufacturing Insights Leader and serves as the Operations Leader for the overall Consumer & Industrial Products (C&IP) Center in Deloitte US (Deloitte Services LP).

Bharath Gangula, Ph.D.

Bharath Gangula is Subject Matter Specialist and Research Lead in Automotive and Manufacturing sectors within the Center for Manufacturing Insights in Deloitte US (Deloitte Services LP).

Deborah L. Wince-Smith

Deborah L. Wince-Smith is President and CEO of the **Council on Competitiveness**. She and the Council on Competitiveness team provided significant guidance in shaping the overall initiative.

協力者

Sandeepan Mondal

Senior Analyst, C&IP Center, Deloitte US (Deloitte Support Services India Pvt. Ltd.)

Srinivasa Tummalapalli

Assistant Manager, C&IP Center, Deloitte US (Deloitte Support Services India Pvt. Ltd.)

Joann Michalik

Joann Michalik is Director with Deloitte US (Deloitte Consulting LLP) with focus on supply chain and manufacturing.

Tomas Diaz de la Rubia, Ph.D.

Tomas Diaz de la Rubia was Former Director in Deloitte US (Deloitte Consulting LLP) and is currently Chief Scientist and Executive Director at Discovery Park in Purdue University in the United States.

Jeffrey Carbeck, Ph.D.

Jeffrey Carbeck is Specialist Leader in Advanced Materials and Manufacturing at Deloitte US (Deloitte Consulting LLP).

Mark J. Cotteleer, Ph.D.

Mark J. Cotteleer is Research Director with the Center of Integrated Research at Deloitte US (Deloitte Services LP).

諮問委員会

Darlene Solomon, Ph.D.

Senior Vice President and Chief Technology Officer, Agilent Technologies

J. Michael McQuade, Ph.D.

Senior Vice President of Science and Technology, United Technologies Corporation

Thomas E. Mason, Ph.D.

Laboratory Director, Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

Gregory Powers, Ph.D.

Vice President of Technology, Halliburton Company

Rod Ma

Senior Vice President of Corporate Engineering, Technology and Operations, Lockheed Martin

Steven Ashby, Ph.D.

Laboratory Director, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)

謝辞

執筆者より、以下の皆様のご助言と変わらぬご支援に感謝いたします。

Dan Haynes (US Manufacturing Leader, Deloitte Consulting LLP), Timothy Hanley (Deloitte Global Industry Leader, Consumer and Industrial Products, DTTL), Duane Dickson (Deloitte Global Sector Leader, Chemicals and Specialty Materials, DTTL), Douglas Gish (Principal, Manufacturing, Deloitte Consulting LLP), Trina Huelsman (Vice Chairman and US Process & Industrial Products Leader, Deloitte & Touche LLP), Tom Captain (Deloitte Global Sector Leader, Aerospace & Defense, DTTL), John Coykendall (US Aerospace & Defense Leader, Deloitte Consulting LLP), Gina Pingitore (Director, C&IP Center, Deloitte Services LP), Rene Stranghoner (Sector Marketing Leader, Industrial Products, Deloitte Services LP), Robert Libbey (Manager, Deloitte Services LP), Joanie Pearson (Manager, Graphic Design, Deloitte University Press), Surendra Dakoju (Senior Graphic Designer, National Creative Services, Deloitte Services LP) and Ashwin Ganapathi Balaji (Graphic Designer, National Creative Services, Deloitte Services LP).

執筆者は、以下の皆様にも貴重なご意見に感謝いたします。

Jud Virden (Associate Director, Energy and Environment Directorate, Pacific Northwest National Laboratory), Michael Rinker (Manager, Energy Efficiency and Renewable Energy market sector, Pacific Northwest National Laboratory)

発行人

三輪 耕司

執行役員

デロイトトーマツ コンサルティング合同会社

kmiwa@tohatsu.co.jp

橋本 善永

執行役員

デロイトトーマツ コンサルティング合同会社

yoshashimoto@tohatsu.co.jp

矢ヶ崎 紘二郎

スタッフ

デロイトトーマツ合同会社

kojiro.yagasaki@tohatsu.co.jp

鈴木 淳

執行役員

デロイトトーマツ コンサルティング合同会社

atsussuzuki@tohatsu.co.jp

祝出 洋輔

シニアアソシエイト

デロイトトーマツ コンサルティング合同会社

yiwaide@tohatsu.co.jp

Deloitte.

デロイト トーマツ

デロイト インダストリー インサイト センター

米国のデロイト インダストリー インサイトセンターは、製造エコシステム全体の利害関係者に対して、最新動向、課題、機会を含めたビジネスの緊急課題について情報提供を行うデロイトの広範な業界調査をリードしています。一次調査と厳密な分析により、センターは独自の観点を提供し、関連性のあるタイムリーで確かな洞察の信頼できるソースとなるべく努力しています。詳細については、www.deloitte.com/us/manufacturingをご覧ください。

米国競争力協議会について

1986年に設立された米国競争力協議会は、企業のCEO、大学総長、労働組合指導者、および国立研究所長から成る超党派のリーダー組織で、世界経済での米国の競争力を高め、全米国人の生活水準を引き上げることを使命としています。協議会は、米国の繁栄を築くために、米国の競争力を評価し、経済を変える新興勢力を特定し、変化を推進する思想的指導者を鼓舞し、利害関係者の行動喚起を行うための行動指針を策定することによって、米国の将来を形成する上で強力な役割を果たしています。

デロイト トーマツ グループは日本におけるデロイト トウシュ トーマツ リミテッド(英国の法令に基づく保証有限責任会社)のメンバーファームおよびそのグループ法人(有限責任監査法人 トーマツ、デロイト トーマツ コンサルティング合同会社、デロイト トーマツ ファイナンシャルアドバイザー合同会社、デロイト トーマツ 税理士法人およびDT弁護士法人を含む)の総称です。デロイト トーマツ グループは日本で最大級のビジネスプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査、税務、法務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー等を提供しています。また、国内約40都市に約8,700名の専門家(公認会計士、税理士、弁護士、コンサルタントなど)を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト トーマツ グループ Webサイト(www.deloitte.com/jp)をご覧ください。

Deloitte(デロイト)は、監査、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザーサービス、リスクマネジメント、税務およびこれらに関連するサービスを、さまざまな業種にわたる上場・非上場のクライアントに提供しています。全世界150を超える国・地域のメンバーファームのネットワークを通じ、デロイトは、高度に複合化されたビジネスに取り組むクライアントに向けて、深い洞察に基づき、世界最高水準の陣容をもって高品質なサービスをFortune Global 500® の8割の企業に提供しています。"Making an impact that matters"を自らの使命とするデロイトの約225,000名の専門家については、Facebook、LinkedIn、Twitterもご覧ください。

Deloitte(デロイト)とは、英国の法令に基づく保証有限責任会社であるデロイト トウシュ トーマツ リミテッド("DTTL")ならびにそのネットワーク組織を構成するメンバーファームおよびその関係会社のひとつまたは複数指します。DTTLおよび各メンバーファームはそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。DTTL(または"Deloitte Global")はクライアントへのサービス提供を行いません。DTTLおよびそのメンバーファームについての詳細は www.deloitte.com/jp/about をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、その性質上、特定の個人や事業体に具体的に適用される個別の事情に対応するものではありません。また、本資料の作成または発行後に、関連する制度その他の適用の前提となる状況について、変動を生じる可能性もあります。個別の事案に適用するためには、当該時点で有効とされる内容により結論等を異にする可能性があることをご留意いただき、本資料の記載のみに依拠して意思決定・行動をされることなく、適用に関する具体的事案をもとに適切な専門家にご相談ください。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2016. For information, contact Deloitte Tohmatsu LLC.