

## 2 イノベーションの基礎力：人的資本、知識、技術力、研究開発の課題

ここでは、「イノベーションの基礎力」として、研究を担う人的資本、論文数や特許件数などで表される知識の創出、第4次産業革命の核となるIoT、AI、ロボットなどの技術、研究開発の効率性について国際比較を行う。

### ●日本は研究者の割合は多いが、国際的な流動性が低い

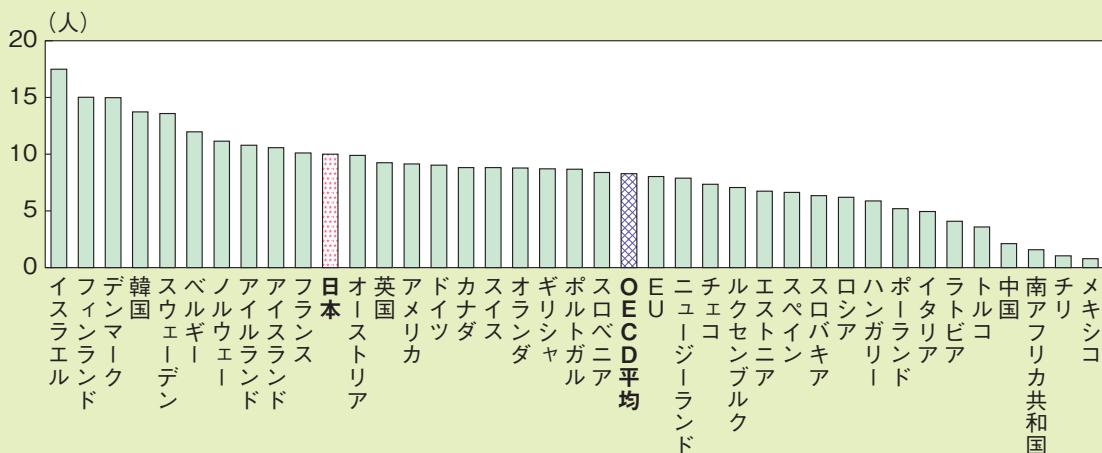
まず、技術的イノベーションの源泉となる基礎研究や応用研究、開発などに携わる研究者の数について確認する。雇用者千人あたりの研究者数をみると、我が国は2015年で10人となっており、OECD加盟国の平均である8人より多く、OECD諸国の中では11番目の高さとなっており、英国やアメリカ、ドイツといった国よりも多い（第3-2-2図（1））。また、研究者の活動の場について、企業もしくは政府・学術研究機関等に分けてみると、我が国の企業研究者の割合は73%となっており、イスラエル、韓国に次いで、世界第3位となっている（第3-2-2図（2））。

ただし、日本の研究者の大きな特徴として、国際間での流動性が極めて低いことが挙げられる。海外からの流入者が研究者全体に占める割合（2016年中）は、日本は1%であり、主要国の中では、英国の7%、ドイツの4%、アメリカの4%と比べて極端に低い。同様に、海外への流出者が研究者全体に占める割合についても、日本は3%となっており、英国の9%、ドイツの7%、アメリカの5%と比べて、やはり低くなっている（第3-2-2図（3））。

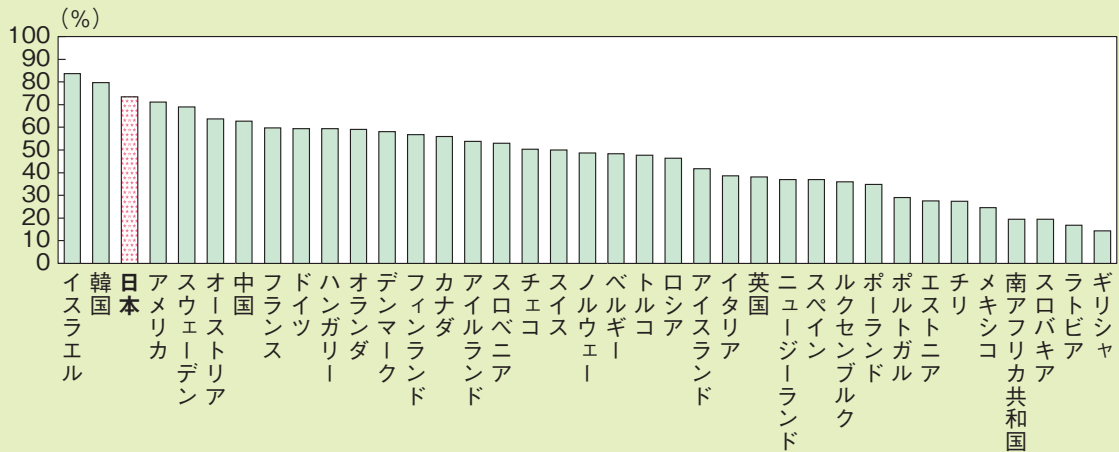
第3-2-2図 研究者の数と国際的な流動性

日本は研究者の割合は多いが、国際的な流動性が低い

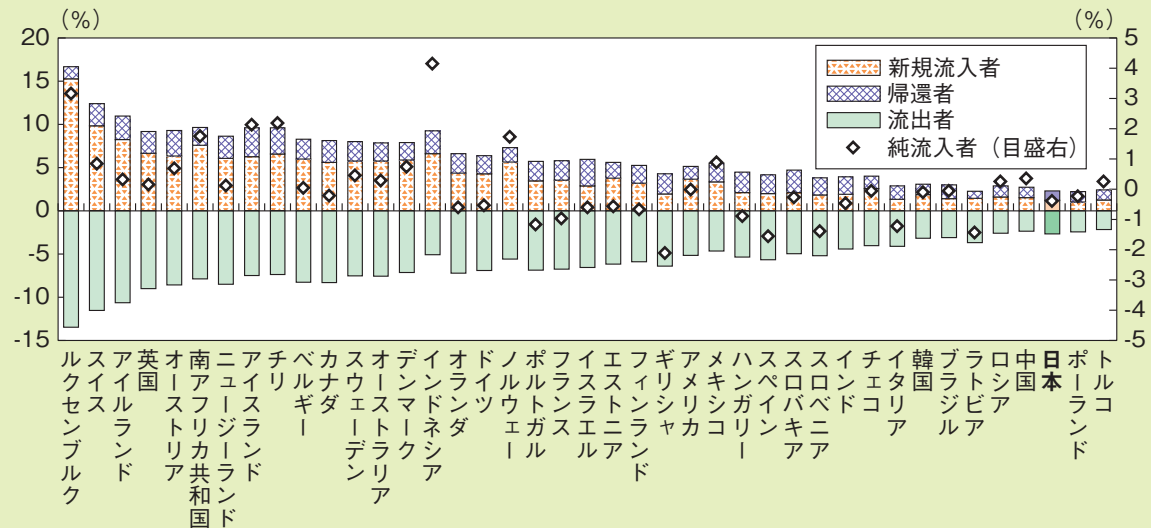
(1) 雇用者千人あたりの研究者数（2015年）



(2) 研究者のうち企業に勤務する人の割合 (2015年)



(3) 研究者の国際的な流出入の割合 (2016年)



(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. (1)、(2) について、イスラエルは2014年、カナダ、南アフリカ共和国、メキシコは2013年のデータ。

●日本は科学分野における論文被引用の割合が低い

次に、基礎研究や応用研究などの成果（技術的イノベーションのための中間アウトカム）である論文被引用数について、我が国の立ち位置を確認する。

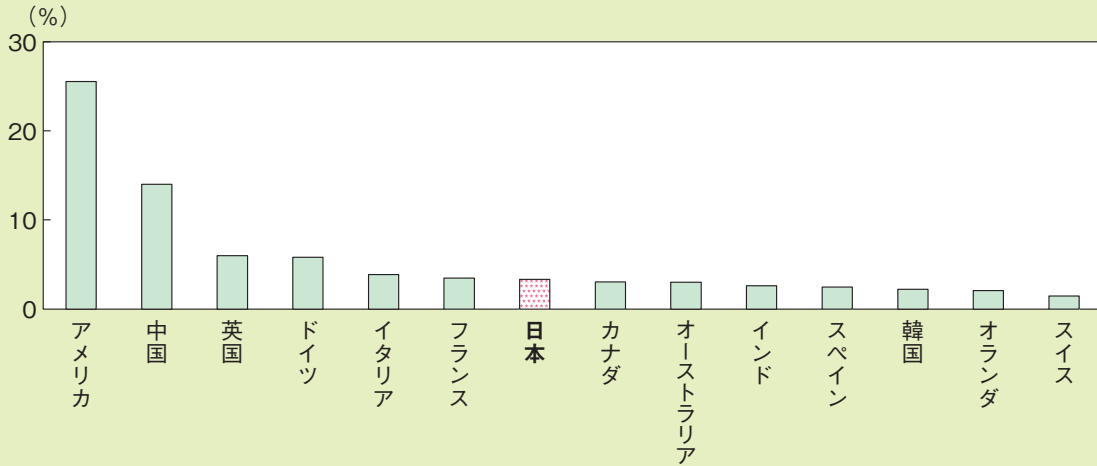
過去15年間に、科学分野全般において最も多く引用された論文（論文被引用数上位10%のもの）について、各国のシェアをみると、アメリカが25%、次いで中国が14%を占めている。この2か国に次いで欧州主要国の占める割合が高い一方、我が国は3%と低く全体では7位となっている（第3-2-3図（1））。

また、例えば、AIの技術として用いられる機械学習に関する論文についてみると、論文発表数ではアメリカがトップであるが、次いで、中国、インドが続いている（第3-2-3図（2））。なお、機械学習の分野において最も多く引用された論文（論文被引用数上位10%のもの）

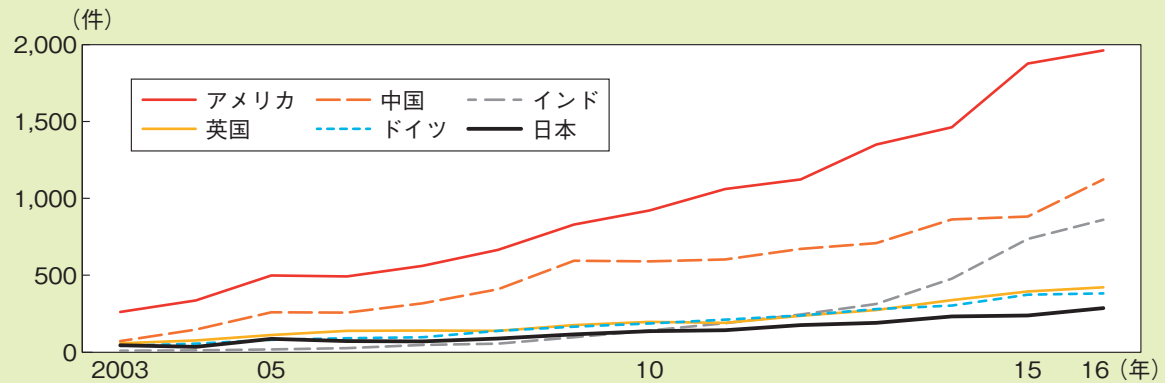
第3-2-3図 科学分野における論文被引用の状況

日本は科学分野における論文被引用の割合が低い

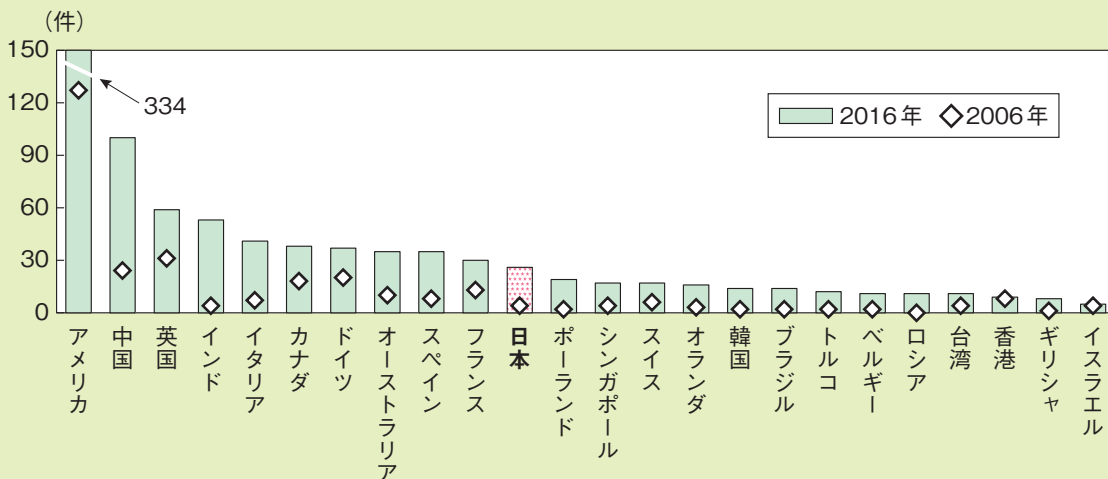
(1) 科学分野全般において最も多く引用された論文に占める各国のシェア (2016年)



(2) 機械学習に関する論文の発表数



(3) 機械学習の分野において最も多く引用された論文に占める各国・地域の論文数



(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. 最も多く引用された論文とは、(1)は科学分野全般において被引用数上位10%以内のもの、(3)は機械学習の分野において被引用数上位10%以内のものを表す。

の)に占める各国・地域の論文数をみると、アメリカ、中国、英国、インドの順となっている(第3-2-3図(3))。

このように、アメリカや欧州主要国のみならず、中国やインドなどの新興国も、影響力の強い科学分野での取組を積極化させている一方で、我が国は、欧米の主要国や中国などと比べて、相対的に低い立ち位置にとどまっている。

#### ●日本のICT関連の特許件数のシェアは高い

さらに、技術的イノベーションの中間アウトカム指標として、特許件数を比較する。ICT(情報通信技術)に関連するものとして、音響・映像技術、コンピュータテクノロジー、半導体、デジタル通信、近距離通信技術(無線LAN、Bluetooth等)、決済プロトコルについて、2012年~15年の間の特許件数のシェアをみると、中国、台湾、韓国、日本、アメリカの5つの国・地域で全体の7割以上を占めており、特に、日本と韓国は、ICTの様々な領域においてイノベーションを進めている状況がみられる(第3-2-4図(1))。

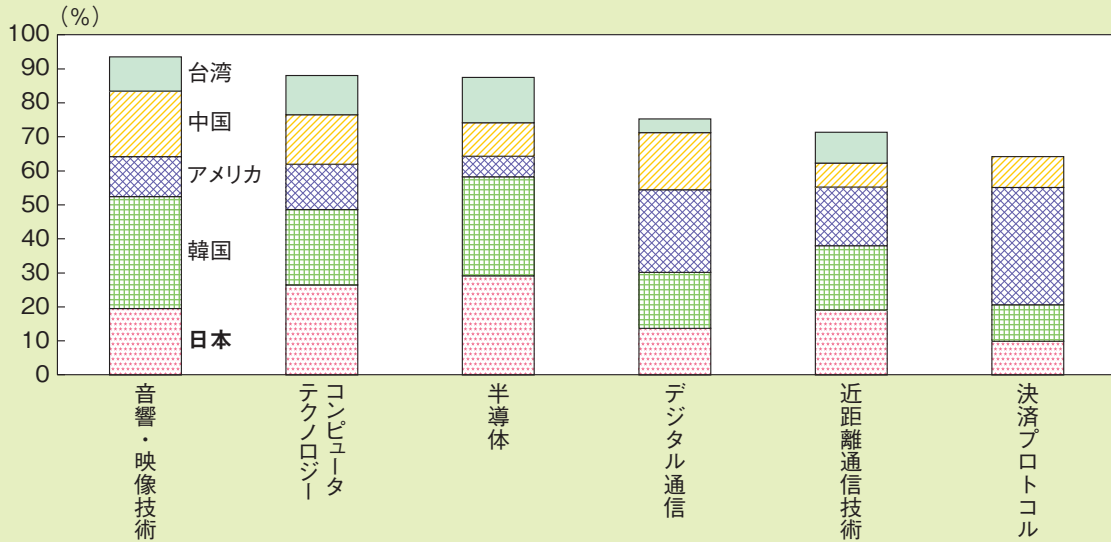
また、世界で上位5つの国・機関の特許庁(IP5)で特許認定された発明数をみると、AIに関する特許件数は、2010年~15年にかけて毎年平均6%程度増加しており、全特許の年間平均増加率の約2倍の増加率となっている。このAI関連の特許件数の国・地域別のシェアをみると、日本が33%とトップであり、次いで韓国が20%、アメリカが18%となっている(第3-2-4図(2))。

以上を踏まえると、企業で働く研究者の割合が高いこともあり、ICTやAIの特許シェアが国際的に高く、我が国の新技術の実用化の能力は高いと考えられる反面、国際的に引用される論文の少なさや国際的な研究者の交流の少なさについては、革新的なアイデアを創出する上で課題であると考えられる。

第3-2-4図 ICT関連の特許件数

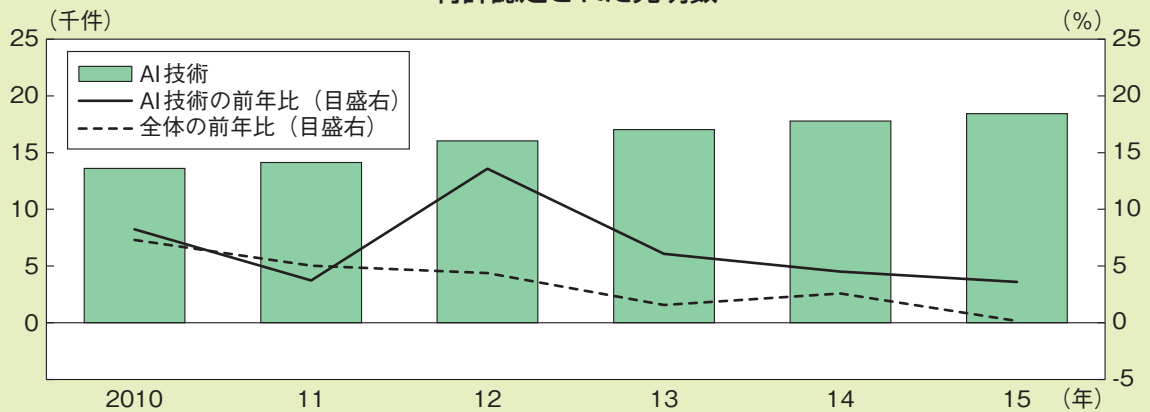
日本のICT関連の特許件数のシェアは高い

(1) ICT関連技術の特許件数シェア (2012年~15年)

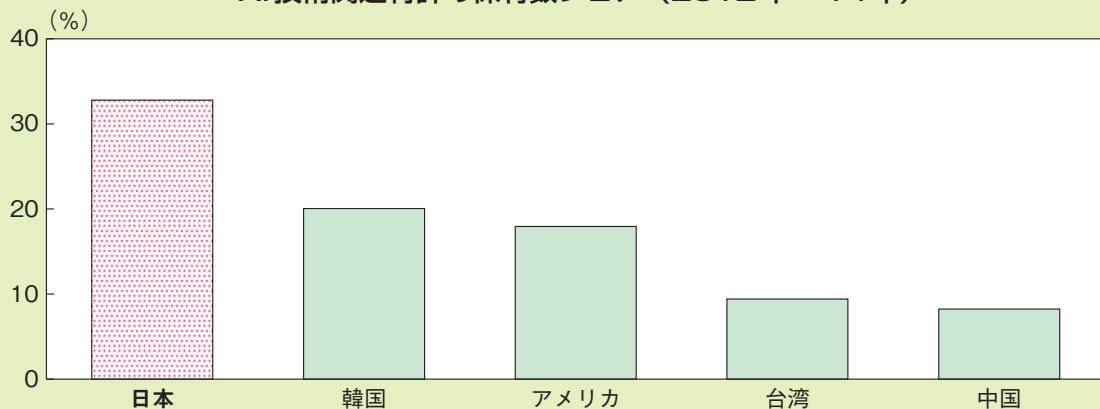


(2) AI技術に関する特許

特許認定された発明数



AI技術関連特許の保有数シェア (2012年~14年)



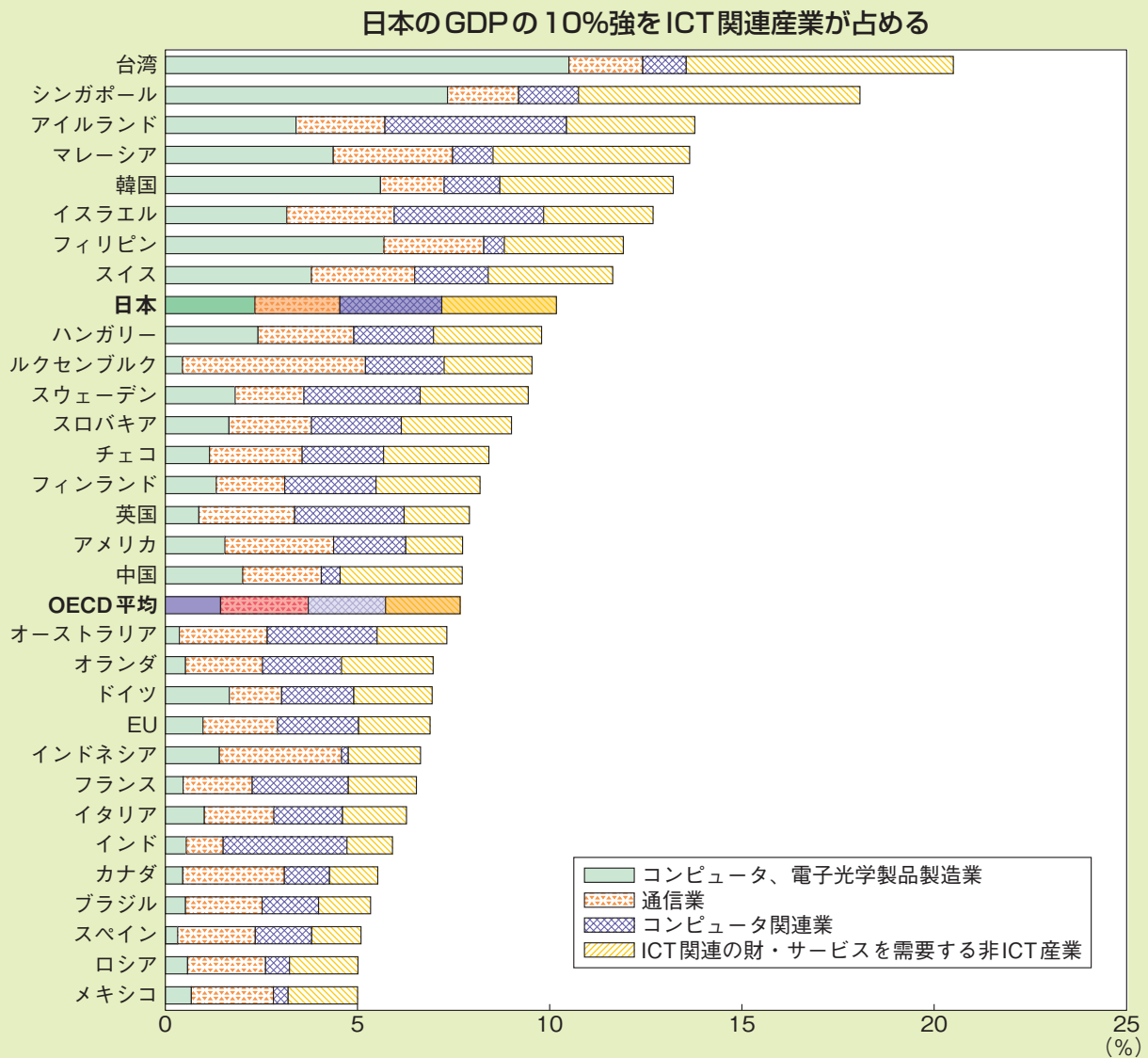
(備考) OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。

●日本のICT関連産業の割合やインターネット利用率は高い

ここでは、第4次産業革命を支えるインフラともいえるICT関連産業の付加価値やインターネットの利用率について確認する。

コンピュータや光学機器などのICT関連財は、情報通信業などをはじめとする様々な業種で活用されるため、ICT関連財を生産する業種とそれを活用する業種を合わせたベースで、付加価値がGDPに占める割合をみると、我が国は10%強となっており、アジアNIEs（台湾、シンガポール、韓国）や欧州の技術先進国（アイルランド、スイス）に次いで、高い割合となっている（第3-2-5図）。

第3-2-5図 ICT関連産業の付加価値がGDPに占める割合

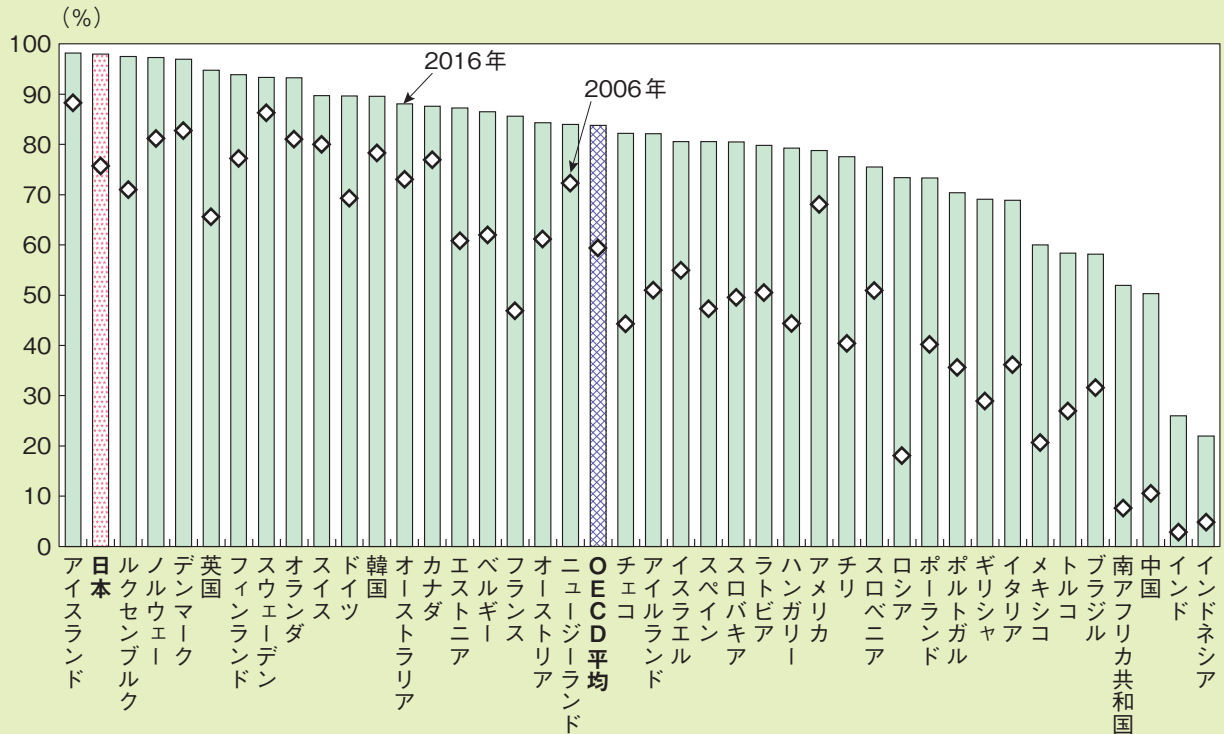


(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. コンピュータ、電子光学製品製造業はISIC（国際標準産業分類）の部門30、32及び33、通信業は部門64、コンピュータ関連業は部門72に対応している。

また、インターネットの利用者の割合をみると、日本は98%となっており、アイスランドに次いで世界第2位となっている（第3-2-6図）。このように、第4次産業革命のインフラとなるICT産業やインターネットへのアクセスについては、日本は国際的にも十分な基盤を持っていると考えられる。

第3-2-6図 インターネット利用率

日本のインターネット利用率は、世界第2位



(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. 2006年から2016年までの期間について、16歳から74歳の利用者の割合の変化を表している。ただし、以下の各国については、利用率の比較の期間、対象が異なる。  
 ブラジル：2008年～15年。カナダ：2007年～12年、2007年のデータは、16歳以上の個人が対象。  
 チリ：2009年～15年。中国、インドネシア、ロシア、南アフリカ共和国：2006年～15年。  
 アイスランド、スイス：2006年～14年。インドネシア：5歳以上の個人が対象。  
 イスラエル：2006年～15年、20歳以上の個人が対象。日本：2006年～15年、15～69歳の個人が対象。  
 韓国：2006年～15年。ニュージーランド：2006年～12年。トルコ：2007年～16年。アメリカ：2007年～15年。

●日本は製造業におけるロボット化が進んでおり、それを活用するスキルも高い

第4次産業革命の技術的イノベーションを進展させる技術として、ロボット化の度合いと、それを効果的に活用するための労働者のスキルを比較してみたい。

まず、製造業の付加価値額に対する産業用ロボット（ストック額）の比率をみると、我が国は、韓国に次いで世界第2位となっており、製造業におけるロボット化が進んでいることが分かる（第3-2-7図（1））。

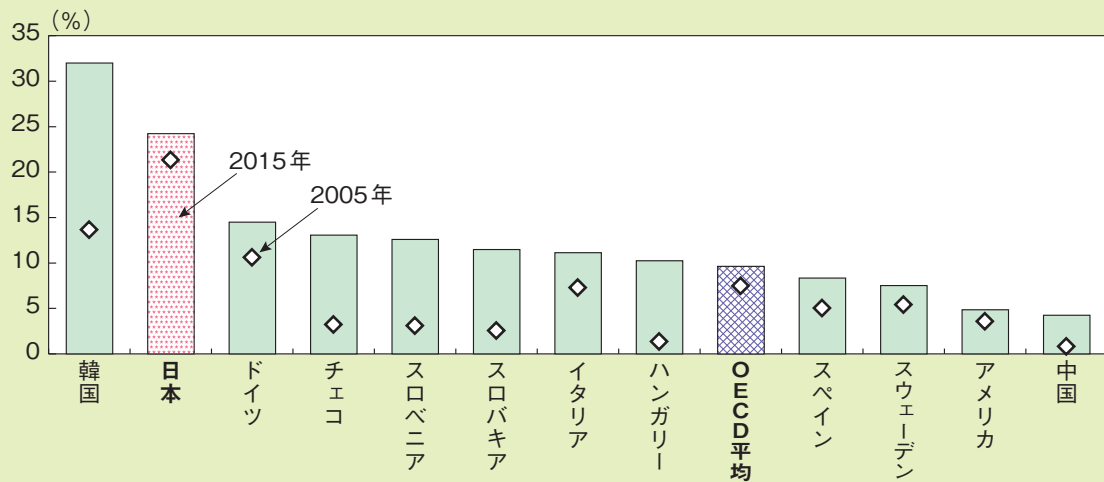
次に、労働者千人当たりのロボット数と、労働者のICT関連技術を有効活用するスキルを

示すICTタスク集積度<sup>21</sup>の相関関係について、国・地域ごとのプロットをみると、日本や韓国、ドイツ、アメリカなど製造業の活動が活発な国においては、双方の指標が高くなっており、ロボット化の進展とともに、それを有効活用するためのスキルも高くなっているという、補完性があることが分かる（第3-2-7図（2））。

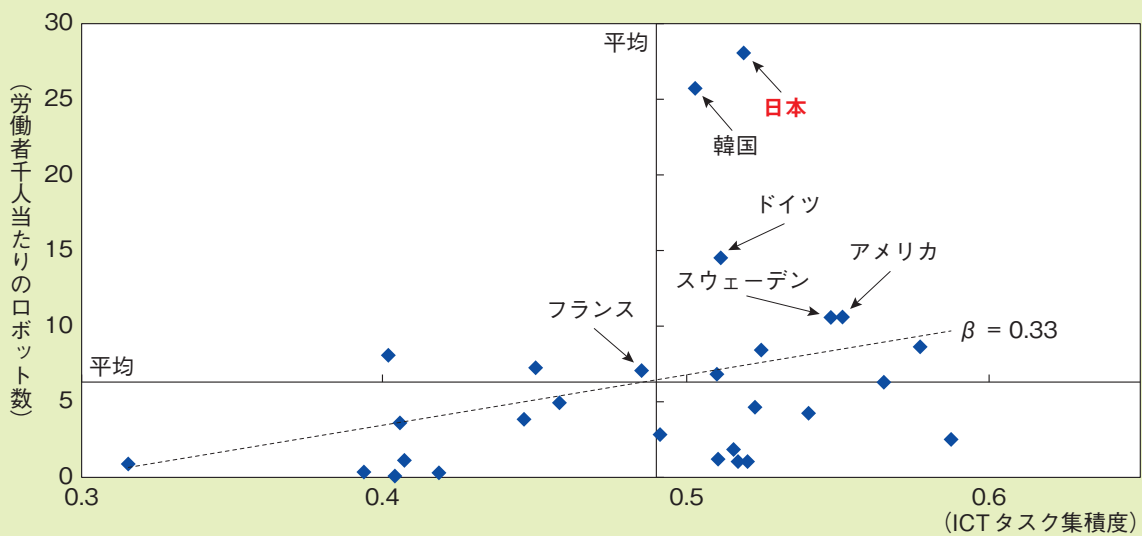
第3-2-7図 産業用ロボット集積度とICTタスク集積度

日本は製造業におけるロボット化が進んでおり、それを活用するスキルも高い

(1) 製造業の付加価値に対する産業用ロボット（ストック額）の比率



(2) 労働者千人当たりのロボット数とICTタスク集積度



- (備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. (1) のOECD平均はカナダ、イスラエル、ルクセンブルク、メキシコを除く。  
 3. (2) は製造業及びユーティリティ事業が対象。

注 (21) Grundke et al. (2017) が作成した指標であり、数値が高いほど、労働者のICT関連技術を有効活用するスキルが高いことを表す（当該指標は、OECDのSurvey of Adult Skills (PIAAC) において調査されている、インターネット利用、WordやExcel、プログラミング言語の使用などのスキル習熟度を用いて作成されている）。



### ●日本の研究開発支出は大企業を中心に多いが、自前主義の傾向

次に、イノベーション活動そのものともいえる研究開発費の動向を確認する。数多くの先行研究<sup>22</sup>が指摘するように、研究開発活動はマクロ経済でみた生産性や経済成長にも大きな影響を与えるものである。

国全体の研究開発支出の大部分を占める、企業の研究開発支出の対名目GDP比率をみると、日本は2016年で2.5%となっており、アメリカの2.0%、ドイツの2.0%といった他の主要先進国と比べて水準が高めとなっている<sup>23</sup>（第3-2-8図（1））。また、企業規模別にみると、各国とも大企業が中心となっているが、我が国の大企業が占める割合は約9割と、他国と比べても高いことが特徴である（第3-2-8図（2））。

一方、研究開発資金の調達元をみると、日本企業は他の先進国企業と異なり、海外や政府からほとんど調達していない（第3-2-8図（3）、（4））。これは、日本企業が自社内での技術開発を重視する「自前主義」の傾向が強い可能性を示唆している<sup>24</sup>。

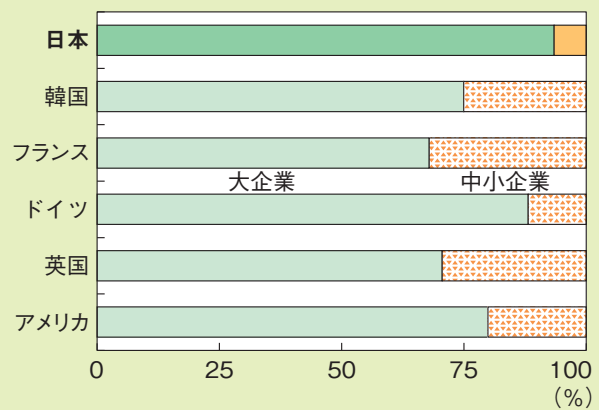
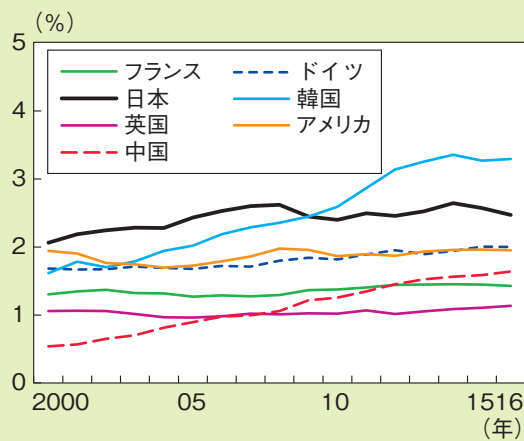
また、産業別にみると、各国で差があるものの、自動車やコンピュータ・電子製品等のICT関連分野、医薬品などの割合が大きい（第3-2-8図（5））。

#### 第3-2-8図 研究開発費の国際比較

日本の研究開発支出は大企業を中心に多いが、自前主義の傾向

(1) 企業の研究開発支出総額（対GDP比）

(2) 企業規模別の研究開発支出の割合



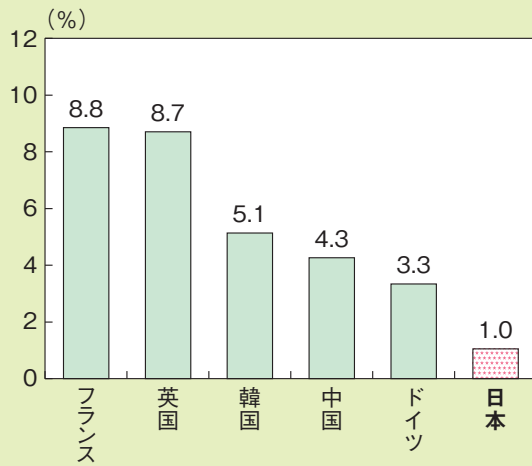
注

(22) 例えば、Romer (1990) や Barro and Sala-i-Martin (2004) などを参照。

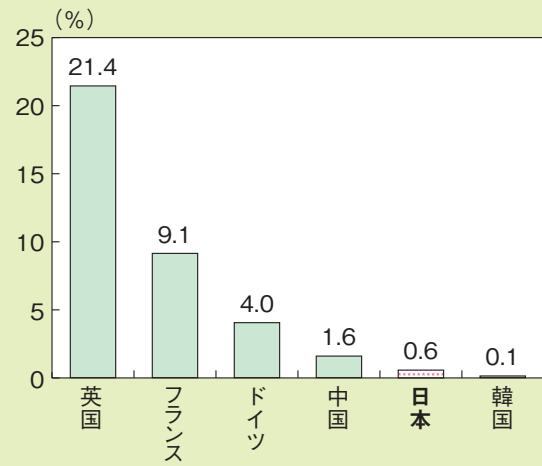
(23) なお、企業及び政府を合わせた国全体の研究開発支出（対名目GDP比率）でも、日本は2016年で3.1%と、アメリカの2.7%や、ドイツの2.9%を上回っている。

(24) 「日本再興戦略2016」では、「第4次産業革命を実現する鍵は、オープンイノベーションと人材である。技術の予見が難しい中、もはや『自前主義』に限界があることは明白である。」と指摘している。

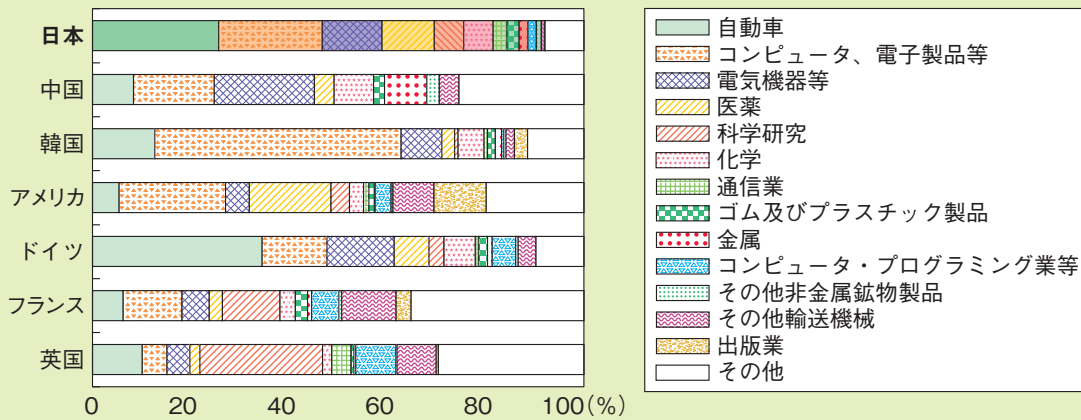
(3) 企業の研究開発に対する政府負担割合



(4) 企業の研究開発に対する外国資金割合



(5) 産業別の研究開発費

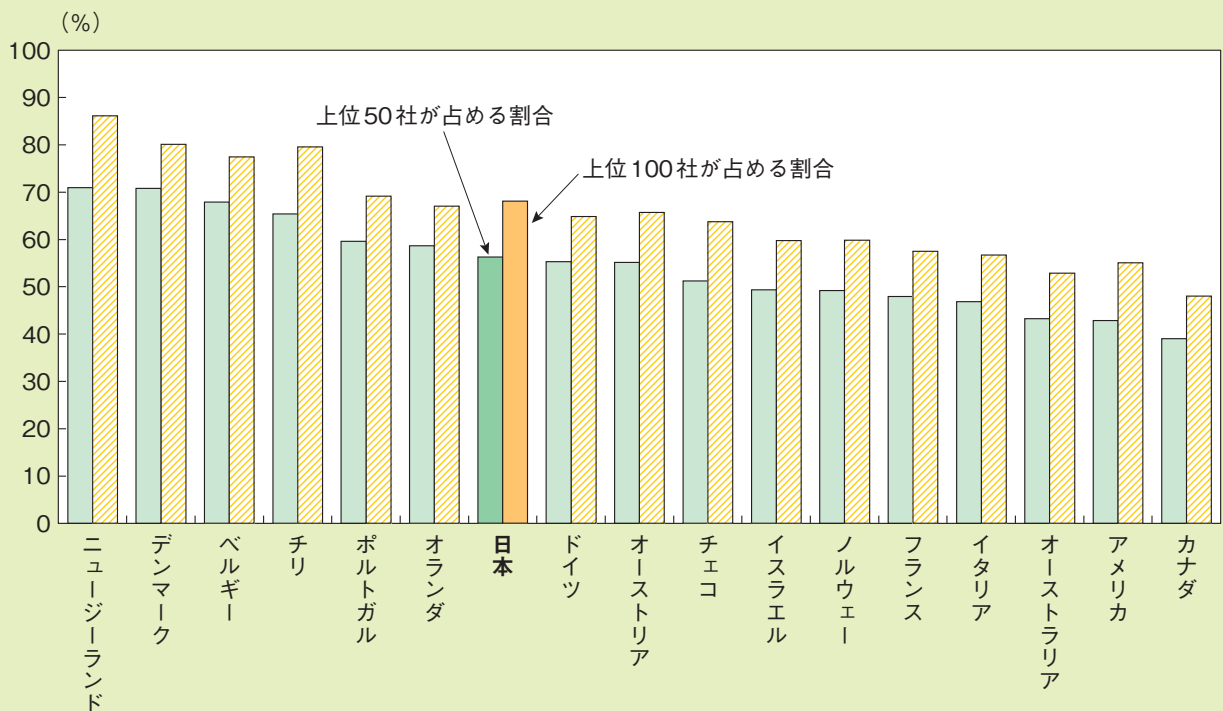


- (備考) 1. OECD「OECD Main Science and Technology Indicators」、 「OECD Science Technology and Innovation Outlook 2016」、 「Business enterprise R-D expenditure by industry and by source of funds (ISIC 4)」により作成。  
 2. (2) について、日本は2014年、他の国は2013年の値。  
 3. (3) は2015年、(4) は2011年の値。  
 4. (5) について、日本、中国、韓国は2015年、アメリカ、ドイツ、英国は2014年、フランスは2013年の値。電気機器等には、その他機械器具を含む。

研究開発支出の担い手をみると、各国とも、一部の企業が大部分を担っている。我が国は、研究開発費上位50社が全体の6割程度、上位100社が全体の7割程度を占めており、研究開発活動が一部の企業に集約されていることがうかがえる (第3-2-9図)。

## 第3-2-9図 企業の研究開発支出に占める上位企業の割合

各国とも、一部の企業が全体の研究開発の大部分を担っている



(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. ベルギー、ドイツ、オーストリア、フランス、イタリアについては、2013年のデータ。ポルトガルについては、2012年のデータ。

## ● 研究開発活動が企業内での漸進的なものとどまっている

我が国企業の研究開発活動の特徴をみると、企業内での研究開発が漸進的なものとどまり、革新的な製品開発に慎重な可能性がある。

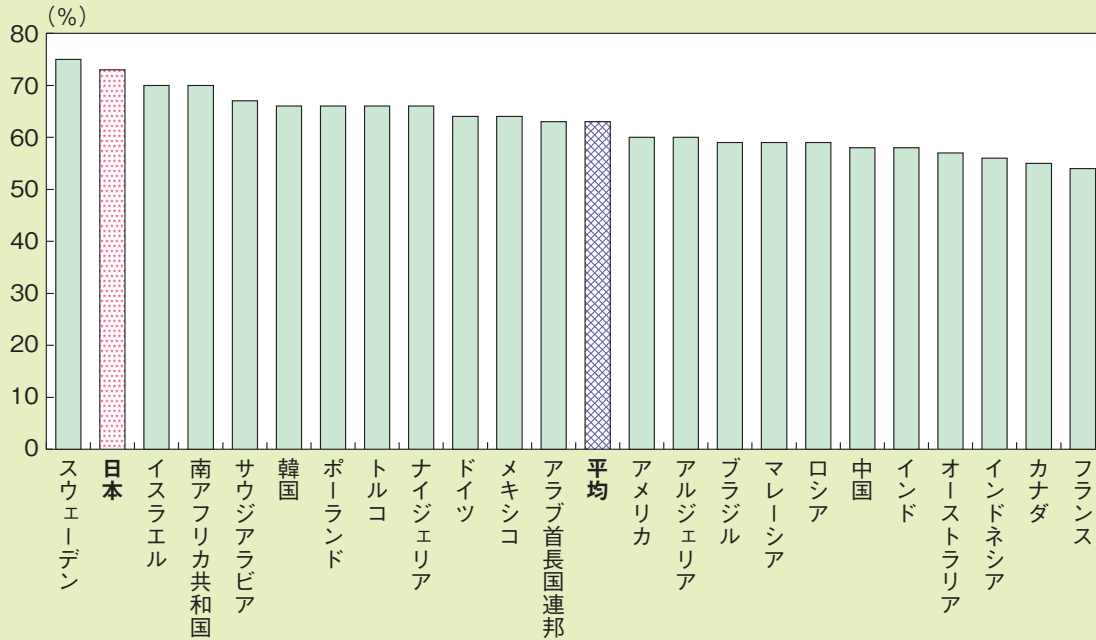
民間機関による企業アンケート調査によると、「既存の製品やソリューションを改良する漸進的イノベーション」と「新しく市場に対する破壊力を持った製品を投入する革新的イノベーション」のどちらのアプローチが当てはまるかを聴取したところ、漸進的なアプローチと回答した企業の割合は日本では7割超にのぼり、他の国と比べても相対的に高くなっている（第3-2-10図(1)）。また、研究開発の進め方に関して、他企業や大学との技術協力やオープンソース技術の利活用ではなく、自社内での技術開発を重視する企業が多い（第3-2-10図(2)）。さらに、自社内で事業化されなかった技術やアイデアについては、検討の継続や他の組織での活用が行われることなく、そのまま消滅してしまうことが多い（第3-2-10図(3)）。

これらの点を踏まえると、我が国の研究開発活動は、どちらかというとな漸進的なものとどまり、大きな変革を主導したり、外部からのアイデアを受け入れる力が弱い可能性が示唆される。

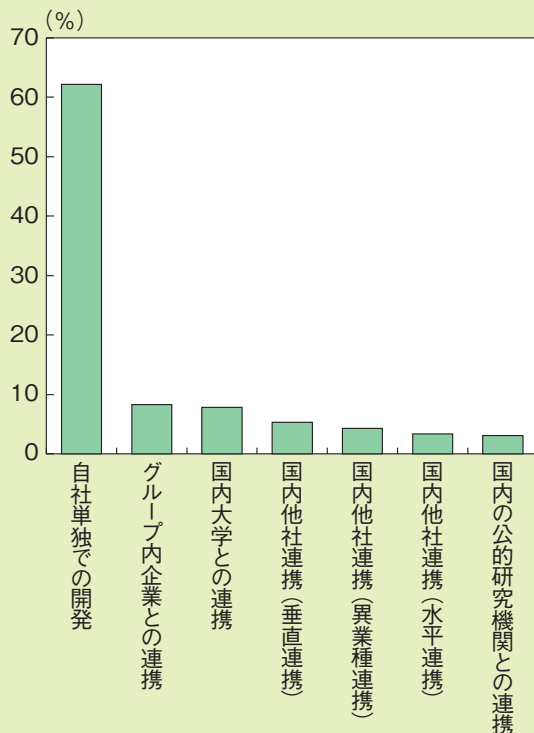
第3-2-10図 日本企業の研究開発の進め方

研究開発活動が企業内での漸進的なものにとどまっている

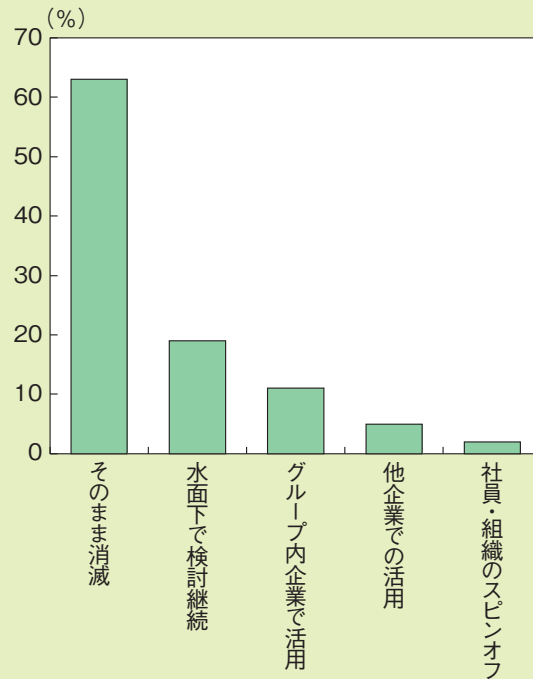
(1) 革新的イノベーションよりも漸進的イノベーションを志向する企業の割合



(2) 日本企業の研究開発の進め方



(3) 日本企業で事業化されない技術の顛末



(備考) 1. GE「2016 GE Global Innovation Barometer」、オープンイノベーション協議会「オープンイノベーション白書」により作成。  
 2. (1) は、各国の企業幹部に対するアンケート調査。  
 3. (2) 及び (3) は、日本国内の上場企業に対するアンケート調査。

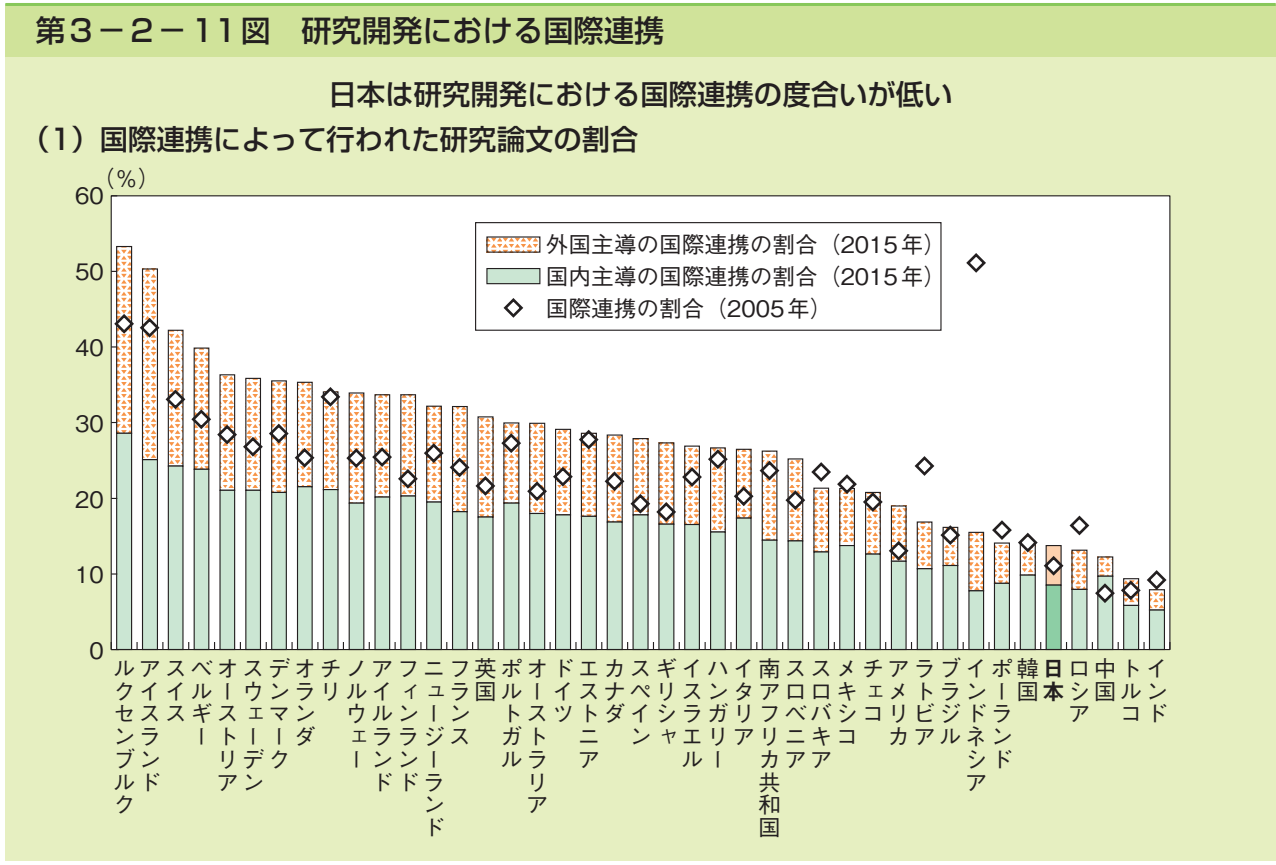
●日本は研究開発における国際連携の度合いが低い

画期的なイノベーションを生み出すためには、多様な視点から物事をみたり考えたりすることが重要となるが、そうした点では、研究開発の国際連携は重要性を持っていると考えられる。そこで、我が国の研究開発について、国際的な連携の動向を確認する。

既に前掲第3-2-2図(3)でみたように、我が国の研究者数に占める海外への流出者や海外からの流入者の割合は、どちらも国際的にみて極めて低い。こうしたことも背景にあり、全体の論文数に占める国際連携によって行われたものの割合<sup>25</sup>をみると、日本は約14%と、諸外国と比べて非常に低い水準となっている(第3-2-11図(1))。

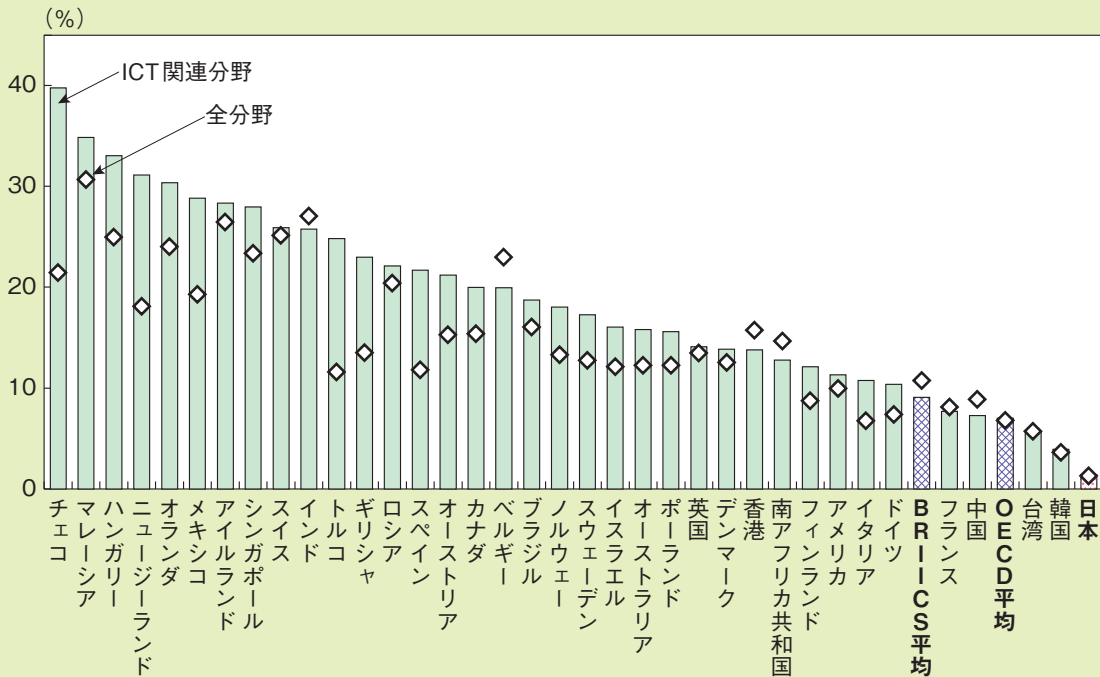
さらに、ICT関連分野の発明に関して、世界で上位5つの国・機関の特許庁(IP5)で特許認定された発明数に占める国際連携を伴うものの割合をみると、日本は最下位となっている(第3-2-11図(2))。

以上のことから、我が国の研究開発における国際連携は、非常に限定的なものにとどまっていることがうかがえる。



注 (25) 共著者の割合に応じて国に論文数を割り振る計算方法 (fractional count) による。

(2) 国際連携を伴う特許の割合



(備考) 1. OECD「OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017」により作成。  
 2. (2)は、2012年～15年のデータ。世界で上位5つの国・機関の特許庁(IP5)で特許認定された発明数に占める国際連携を伴う特許の割合。

**3** イノベーションへの適合力：組織、人材投資、起業、ルール・制度面の課題

前項でみたように、我が国におけるイノベーションの源泉となる「イノベーションの基礎力」は、諸外国と比較しても、相応に存在していると考えられる。こうした「イノベーションの基礎力」を有効に活用し、プロダクトイノベーションや生産性向上につなげていくためには、組織の見直しや教育訓練、起業家精神の発揮、イノベーションを促す制度的な枠組みなど、イノベーションに適合するための対応が必要となる。

そこで、以下では、我が国の「イノベーションへの適合力」をみるために、新技術導入に向けた組織の柔軟性や人材育成のあり方、ICT投資を含む無形固定資本への投資、新たな技術や商品を生み出す起業家精神やリスクマネーの供給、規制や電子政府の進展度など、第4次産業革命の進展を促す制度面に焦点を当てて、国際比較を通じて現状を概観する。

●日本のICT戦略や組織体制は、アメリカと比べると向上の余地

イノベーションを生産性向上につなげていくためには、企業組織の柔軟性も重要な要素となり得る。例えば、高度な技術を持つ企業でも、研究開発投資や組織変更などといった意思決定がある程度柔軟に行われなければ、先進的なビジネスモデルを創造することは難しくなるだろう。また、企業の研究開発の進め方や人的資本投資のスタンスによっては、新たな技術が生ま