

目 次

はじめに	1
第 1 章 水素とはなにか	3
1-1 水素とは	3
1-2 水素エネルギーを導入する意義	6
第 2 章 水素エネルギーに関連する日本の政策と取り組み	11
2-1 水素エネルギーに関する日本の政策	11
2-2 我が国の水素エネルギーに関する取り組み	17
第 3 章 水素エネルギーに関連する各国の取り組み	55
3-1 主要国の取り組み	55
3-2 国際協調の取り組み	66
3-3 水素エネルギーに係る国際会議	71
第 4 章 水素エネルギーの市場の現状と展望	75
4-1 水素市場の展望	75
4-2 定置用燃料電池	76
4-3 燃料電池自動車	81
4-4 水素供給インフラ	83
4-5 水素ステーション	87
第 5 章 水素エネルギーの社会受容性	89
5-1 水素の性質	89
5-2 水素の安全利用のための規制	90
5-3 水素に関する安全対策の現状	93
5-4 水素の社会受容性	97

第6章 水素エネルギー技術	101
6-1 水素エネルギー技術の全体像	101
6-2 水素製造技術	102
6-3 水素輸送・貯蔵技術	118
6-4 水素供給技術	138
6-5 水素利用技術	142
第7章 水素社会実現を目指して	171
7-1 水素社会実現に向けた課題	171
7-2 課題克服に向けた取り組み	174
7-3 まとめ	178
用語集	181
参考資料	191

■本書に記載されている会社名、ブランド名、製品名等は、各社の商標あるいは登録商標です。なお、®、©、TM は割愛しています。

■本書の情報の使用から生じたいかなる損害についても、小社および本書の編者は責任を負わないものとしします。

はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」）では、1980年の創立以来、燃料電池技術や水素利用技術の開発に取り組んできました。固体高分子形燃料電池システムについては、産業界とともに技術開発を含む様々な取り組みを行った結果、2009年に家庭用のコージェネレーションシステム（エネファーム）として、世界に先駆けて市場導入を実現しました。また、燃料電池自動車につきましても、2014年12月に世界初となる一般販売が開始され、これに併せて水素ステーションの整備も進んでいます。NEDOは、燃料電池自動車や水素ステーションの分野でもその実用化に向けて産業界とともに取り組んできたところです。

2011年3月11日に発生した東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を機に、我が国のエネルギー事情は大きく変化しました。この変化を踏まえ、2014年4月、新たなエネルギー政策の方向性を示すものとして、「エネルギー基本計画（第四次）」が閣議決定されました。本基本計画には、水素は多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造でき、気体、液体、固体というあらゆる形態で貯蔵・輸送が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、低い環境負荷、非常時対応などの効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待されるとされており、この水素を本格的に利活用する「水素社会」の実現に向けた取り組みを加速すると謳っています。

また、経済産業省では、2014年6月、水素社会の実現に向けた取り組みの加速に向けた「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を策定し、今後の取り組みの道筋を示しました。この戦略ロードマップにおいて、水素社会の実現に向けて、これまで取り組んできた家庭用燃料電池（エネファーム）の普及の拡大、燃料電池自動車市場の整備に加え、水素発電の本格導入といった水素需要の拡大や、その需要に対応するための水素サプライチェーンの構築の必要性が示されています。そして、6月に改訂された「日本再興戦略2014」において、ロードマップに基づき必要な措置を着実に進めることとされています。

このように、我が国の政府は、水素社会の実現に向けて取り組んでいくことを明確に示すなか、水素に対する国民の関心も高まっているところです。このような水素を巡る環境の変化を踏まえ、NEDOが取り組んできた技術開発から得た知

見を社会に還元すべく、水素エネルギーを巡る国内外の状況や水素の製造、貯蔵・輸送、利用に関連する技術の状況などを一冊にまとめ、「NEDO 水素エネルギー白書」として公表することにしました。このような水素エネルギーに関する網羅的かつ体系的な書は世界初のものであると考えています。

水素ビジネスに携わる方も一般の方々も、本書を座右の書として水素エネルギーへの理解をさらに深めていただくとともに、水素社会の実現に向けた議論の基礎や、技術開発の指針として活用していただくことを願っております。

最後になりましたが、本書の作成にあたり、経済産業省、NEDO 事業に参加いただいている企業や研究機関など、多くの機関の方々のご協力を賜りました。この場をお借りして、厚くお礼を申し上げます。

2015年2月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

理事長 古川 一夫

水素とはなにか

水素への注目が高まっている。現在、水素は主に工業原料として用いられているが、一般的には必ずしも馴染みが深いものではない。本章では、水素への基本的な理解を得るため、水素の特徴、現在の用途、製造方法、エネルギーとして利用する意義について述べる。

1-1 水素とは

1-1-1 水素の特徴

水素とは、原子番号1の元素で元素記号はHであり、通常、原子が2つ結びついた水素分子 (H_2) の形をとる。無色、無臭で、地球上最も軽い気体であり、水素分子の状態として存在することはほとんどないが、水などのように他の元素との化合物として地球上に大量に存在する。

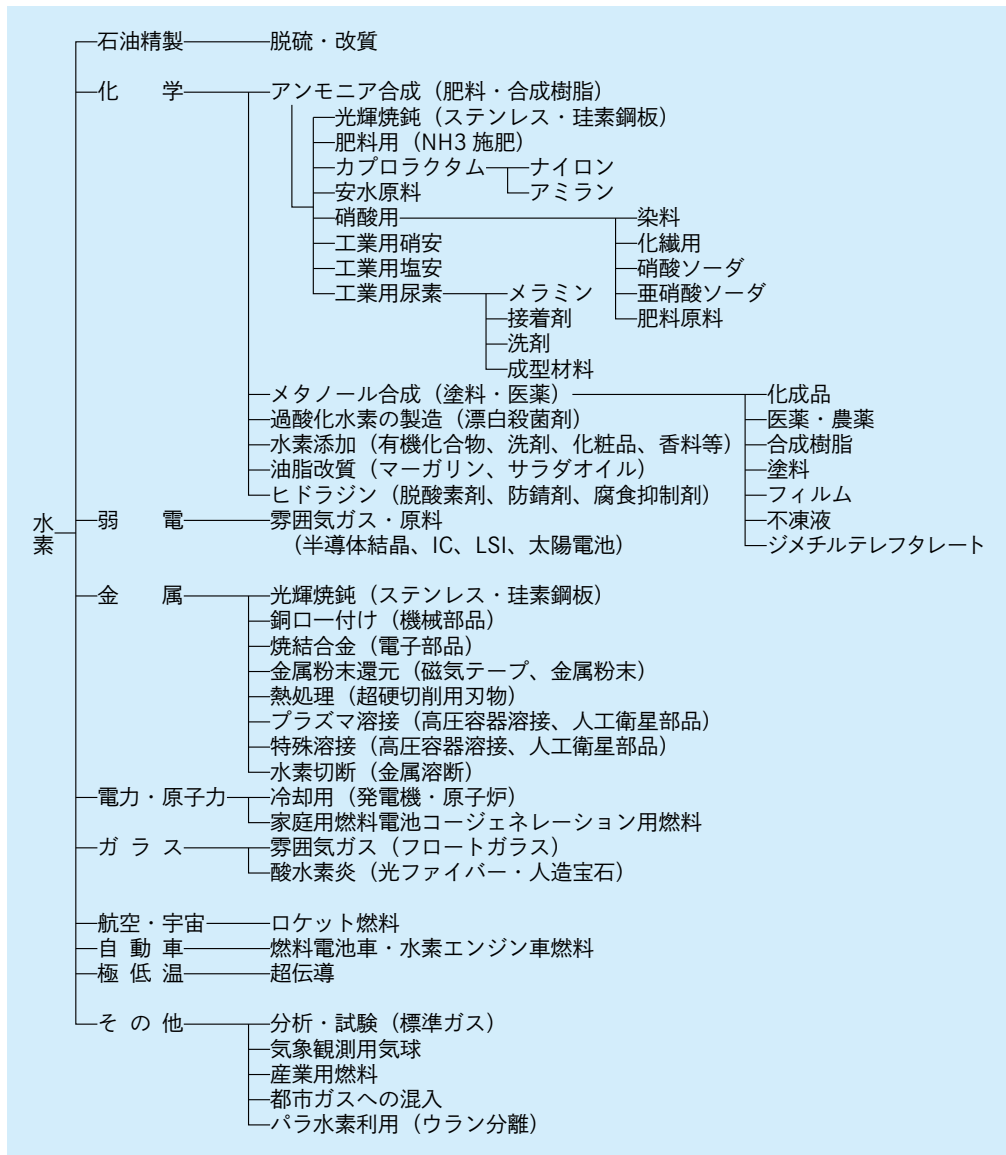
水素の特徴を以下に示す。

- 宇宙で最も豊富にある元素。質量では宇宙全体の約70%を占める（太陽はじめ、宇宙の星々のほとんどが水素の核融合反応によって光っている）。
- 水素単体では自然界にほとんど存在せず、地球上では化合物として存在する（水、化石燃料、有機化合物など）。
- 無色、無味、無臭の気体。
- 最も軽い気体（空気に対する比重0.0695）で、拡散速度が速い。
- 燃えても火炎がみえにくい。
- 燃焼すると酸素と反応して水になる。
- $-252.6^{\circ}C$ で液化する。

1-1-2 水素の用途

工業原料としての水素の用途は多岐にわたっている。例えば、石油の精製における原油に含まれる硫黄分の除去、半導体プロセスにおける雰囲気ガス、ステンレス鋼の光輝焼鈍、金属冶金や樹脂生成プロセスにおける還元剤、アンモニア合成用原料、光ファイバーの素材となる石英硝子の製造プロセス、ファイバー加工時の熱源などが主な用途である。

表 1-1 水素の主な用途



出典：岩谷産業ホームページ【参考資料 [21]】より NEDO 作成

また、身近な製品として、マーガリンやサラダオイルなどの油脂硬化剤、化粧品、洗剤、香料、ビタミン剤などの原料の一部としても使用されている。

この他、エネルギー用途としては、ロケットの燃料として液化水素が活用されているほか、水素イオンを利用したニッケル水素電池がある。

水素の主な用途について表 1-1 に示す。

1-1-3 水素の製造

水素は図 1-1 に示すとおり、様々な原料を出発点として製造することができる。

天然ガス、LPG、ナフサ、石油残渣といった炭化水素から水素を製造する方法としては、水蒸気改質法、部分酸化法などのプロセスが実用化されている。これは化石燃料から水素と一酸化炭素を発生させ、さらにシフト反応により一酸化炭素と水蒸気から水素を発生させる二段階のプロセスとなっており、製造された粗水素は、圧力スイング吸着（PSA：Pressure Swing Adsorption）、膜分離などといったプロセスで精製される。

工業プロセスからは、製油所における石油精製プロセス、コークス炉などの製鉄プロセス、エチレン製造など石油化学プロセス、ソーダ工場における食塩水の電解プロセスなどから副次的に水素が発生しており、この水素は主として工場内の他のプロセスの原料や、エネルギー源として利用されている。

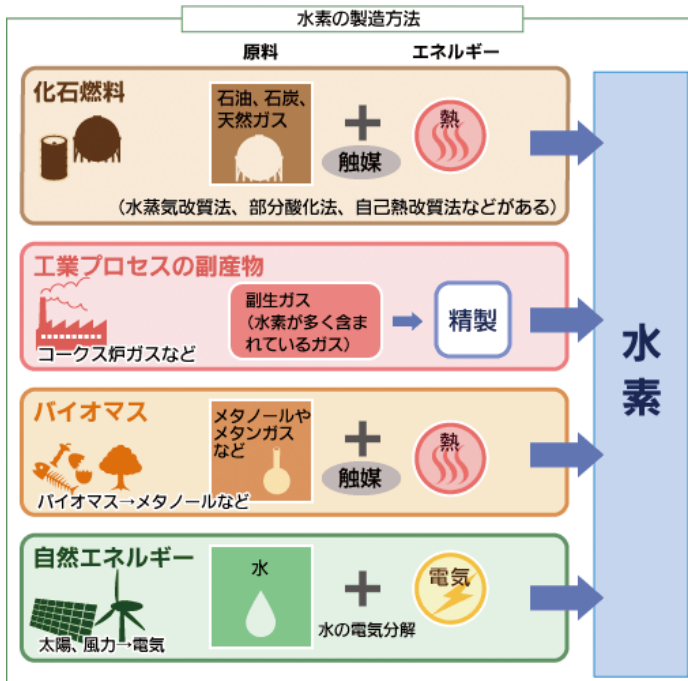


図 1-1 水素の製造方法

水電解による水素製造は、アルカリ水電解法と固体高分子膜を利用した固体高分子膜水電解法があり、小規模な工業用として一定程度行われている。風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギーを利用する場合は、天候の変化などに伴い発電量が変動することから、出力変動に対応することが必要となる。

バイオマスからの水素製造は、出発原料に応じて、メタン発酵、水蒸気ガス化などのプロセスが用いられる。

この他、将来の技術として、光触媒による水素製造技術、高温ガス炉などの熱を活用しヨウ素 (I) と硫黄 (S) を循環して水素を製造するプロセス (IS プロセス) による水素製造技術などの研究が進められている。

1-2 水素エネルギーを導入する意義

1-2-1 エネルギー・セキュリティの向上

水素エネルギーの導入推進は、2014年4月に策定されたエネルギー基本計画で定められた方向性である3E+S（エネルギーの安定供給、経済効率性の向上、環境への適合、安全性）と、国際化推進・国際市場開拓と経済成長への貢献するものである。

特に我が国の輸送部門は、日本のエネルギー使用量の約2割を占め（図1-2）、そのほぼ全てを原油・石油製品に依存しており、地政学的リスクが懸念されている。2014年12月から市販開始された燃料電池自動車（FCV：Fuel Cell Vehicle）が燃料に利用する水素は、将来的には海外の褐炭や原油随伴ガスなどの未利用エネルギーや、国内外の再生可能エネルギーを用いて製造できる可能性があり、一次エネルギー源を地政学的リスクの低い地域などから安価に調達することも検討されている。

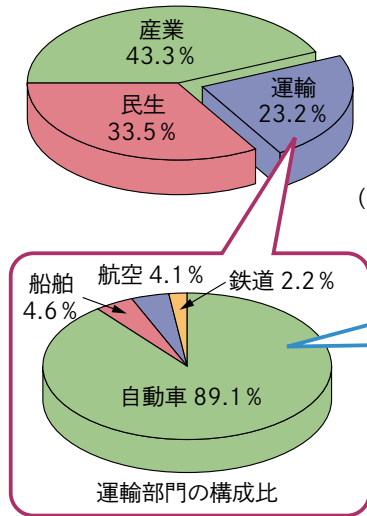
水素エネルギーの利活用技術の適用可能性は幅広く、燃料電池自動車や既に実用化段階にある家庭用燃料電池システムだけでなく、船舶や鉄道などを含む他の輸送分野、水素発電など、我が国のエネルギー消費分野の多くに対応し得る潜在的なポテンシャルがある。

こうした多岐にわたる分野において水素の利活用を抜本的に拡大することで、大幅な省エネルギーや環境負荷低減、エネルギー・セキュリティの向上に大きく貢献するとともに、新たな市場を開拓できる可能性がある（図1-3）。

1-2-2 省エネルギー、環境負荷低減

燃料電池は燃料である水素と、空気中の酸素との電気化学反応から電気エネルギーを直接取り出すため発電効率が高い。また、電気と熱の両方を有効利用することで、さらに総合エネルギー効率を高めることが可能である（図1-4）。

最終エネルギー消費の部門別内訳
(2012年度)



我が国の原油・石油製品供給に対する
自動車部門の消費割合 (2012年度)

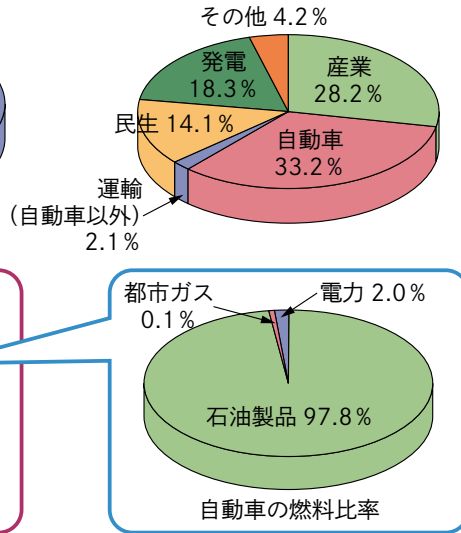


図 1-2 輸送部門のエネルギー消費

出典：資源エネルギー庁 燃料電池推進室「燃料電池自動車について」
第3回水素・燃料電池戦略協議会 (2014年3月4日)【参考資料 [3]】より
NEDO 作成



図 1-3 水素活用技術の適用可能性

出典：資源エネルギー庁 燃料電池推進室「水素・燃料電池について」
第1回水素・燃料電池戦略協議会 (2013年12月19日)【参考資料 [3]】より NEDO 作成

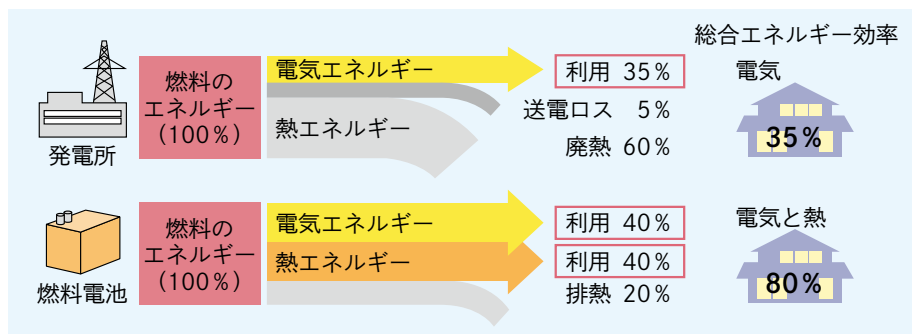


図 1-4 燃料電池のエネルギー効率

このため、燃料電池の活用を広げることで、大幅な省エネルギーにつながり得ると考えられる。

燃料電池自動車の CO₂ 排出量は、水素製造源によって様々ではあるが、従来のガソリン車と比べると、高いエネルギー効率を有する燃料電池技術により、電気自動車と同様にエネルギー消費量や環境負荷の低減に大きく貢献することが期待できる（図 1-5）。さらに、水素の製造時に二酸化炭素回収・貯留技術（CCS：Carbon dioxide Capture and Storage）を組み合わせる、又は再生可能エネルギーから水素を製造するといった水素の製造方法次第では、CO₂ 排出量を大幅に削減でき、さらには CO₂ フリーのエネルギー源として水素を活用し得ると考えられる。

■ 1-2-3 産業振興

水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも 2030 年に 1 兆円程度、2050 年に 8 兆円程度に拡大すると試算されており（図 1-6）、今後 10～35 年間で大きく成長する分野と期待されている。

一方、日本の燃料電池分野の特許出願件数は世界 1 位で、2 位以下の欧米をはじめとする各国と比べて 5 倍以上と諸外国を大きく引き離している。また、家庭用燃料電池システムを世界に先駆けて商品化するなど、水素エネルギー利活用分野における現時点での日本の競争力は高いといえる（図 1-7）。

特に日本の自動車産業に関しては、我が国の国内雇用者数の約 1 割、輸出額の 2 割を占める基幹産業である一方、国際的な競争が激化している中で、燃料電池自動車という新しい領域で世界をリードしていくことは、産業競争力確保の観点から重要である。

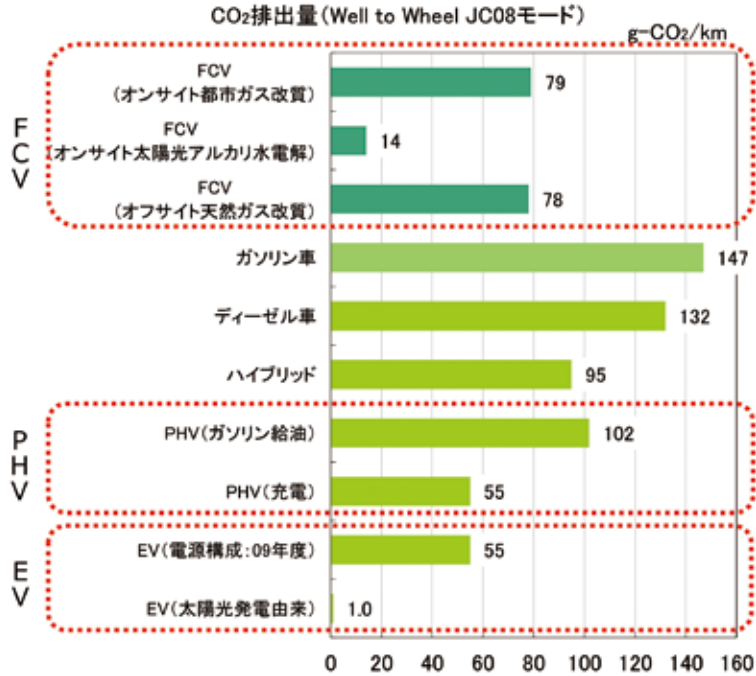


図 1-5 二酸化炭素排出量 (Well to Wheel) の比較

出典：財団法人日本自動車研究所「総合効率と GHG 排出の分析報告書」
 (資源エネルギー庁 燃料電池推進室「燃料電池自動車について」
 第 3 回水素・燃料電池戦略協議会 (2014 年 3 月 4 日))【参考資料 [3]】

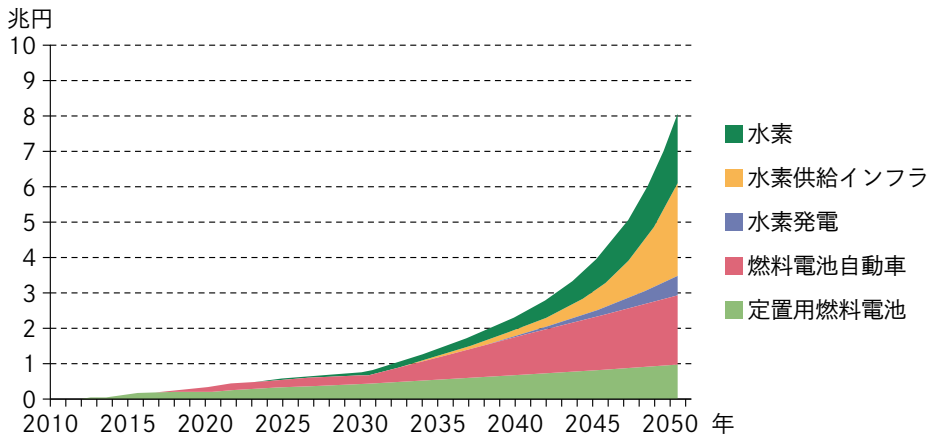


図 1-6 我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測

出典：経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(2014 年 6 月)
 【参考資料 [3]】より NEDO 作成

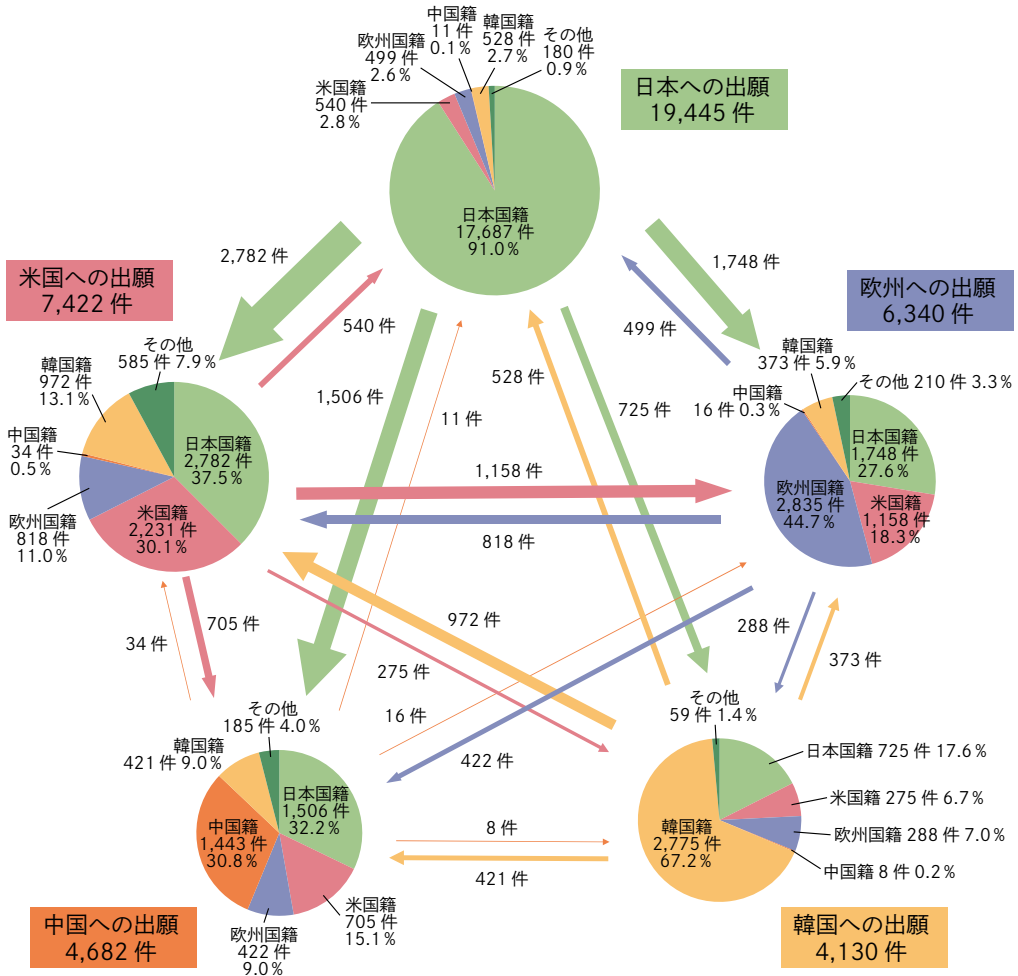


図 1-7 日米欧中韓における出願収支

出典：特許庁「平成 23 年度 特許出願技術動向調査報告書（概要）燃料電池」（2012 年 4 月）より NEDO 作成