

燃料電池

—平成 23 年度 特許出願技術動向調査—

特許審査第三部 化学応用 藤代 亮

1. はじめに

燃料電池は水素と空気中の酸素を電気化学的に反応させることにより、化学エネルギーを電気エネルギーへ直接的に変換する発電装置です。火力発電装置に比べ発電効率が高く、発電過程でNO_xやSO_xを排出しないクリーンなエネルギー源として期待されています。

今回のテクノトレンドでは、平成23年度特許出願技術動向調査「燃料電池」の調査結果から、燃料電池における技術開発、研究開発状況についてご紹介します。

特許出願技術動向調査とは、特許情報から技術全体を俯瞰し、研究開発動向・市場動向等を踏まえた技術開発の進展状況・方向性を分析するものです。特許情報は、企業、大学等における研究開発の成果に係る技術情報や権利情報です。これを多面的に分析することにより、今後の技術開発、研究開発状況を明らかにするものです。

今回は、平成23年度に調査を行った「燃料電池」について、特許動向、研究開発動向、市場動向の調査結果を示し、最後に、今後わが国が目指すべき技術開発、研究開発の方向性について示します。

2. 燃料電池とは

燃料電池とは、上述のとおり、水素と空気中の酸素を電気化学的に反応させることにより、化学エネルギーを電気エネルギーへ直接的に変換する発電装置のことです。おお

抄録

燃料電池は、クリーンエネルギー源として、自動車、家庭用電源等への利用が今後益々期待されています。しかしながら、10年以上の開発努力にもかかわらず、燃料電池の技術は完全な商業化には到達しておらず、市場も本格的には立ち上がっておりません。このような背景のもと、「燃料電池」を調査テーマとして平成23年度特許出願技術動向調査を実施しました。本稿では、この調査結果から、「燃料電池」における技術開発、研究開発状況についてご紹介します。

まかには、燃料極(アノード)、電解質、空気極(カソード)から構成されています。

図1-1に燃料電池の主たる技術変遷を示します。

燃料電池の原理発見は1801年にデービー卿(英国)によるといわれています。その後、1839年にグローブ卿(英国)が白金電極を用い、水素と酸素を供給して発電が出来ることを証明しました。現在の燃料電池の原型を発明したといえるでしょう。

燃料電池の特許として、1952年ベーコン(英国)がアルカリ形燃料電池(AFC: Alkaline Fuel Cell)の原型となる特許を取得しています。米国UTC社がこのベーコン特許を買い上げて宇宙用に改良したPC3Aはアポロ計画に採用され、1969年アポロ11号に搭載されました。一方、アポロ計画に先立ったジェミニ計画では1965年ジェミニ5号にゼネラル・エレクトリック(GE)社製固体高分子形燃料電池(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)が搭載されました。

米国では、軍事技術の民間転用により米経済を活性化させる目的で、1967~1976年でターゲット計画が開始され、液体含浸形のりん酸形燃料電池(PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell)が開発の主体になりました。

日本国内では、1991年4月「りん酸型燃料電池(PAFC)発電技術研究組合」が設立され、資源エネルギー庁の資金援助で加圧型5,000kW、常圧型1,000kWの実証試験が1995~1996年に行われました。その後、熔融炭酸塩形燃料電池(MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell)の開発も、日米政府の強力な支援を受けて実施されましたが、コスト、信頼性・耐久性の問題からメーカーが撤退しています。

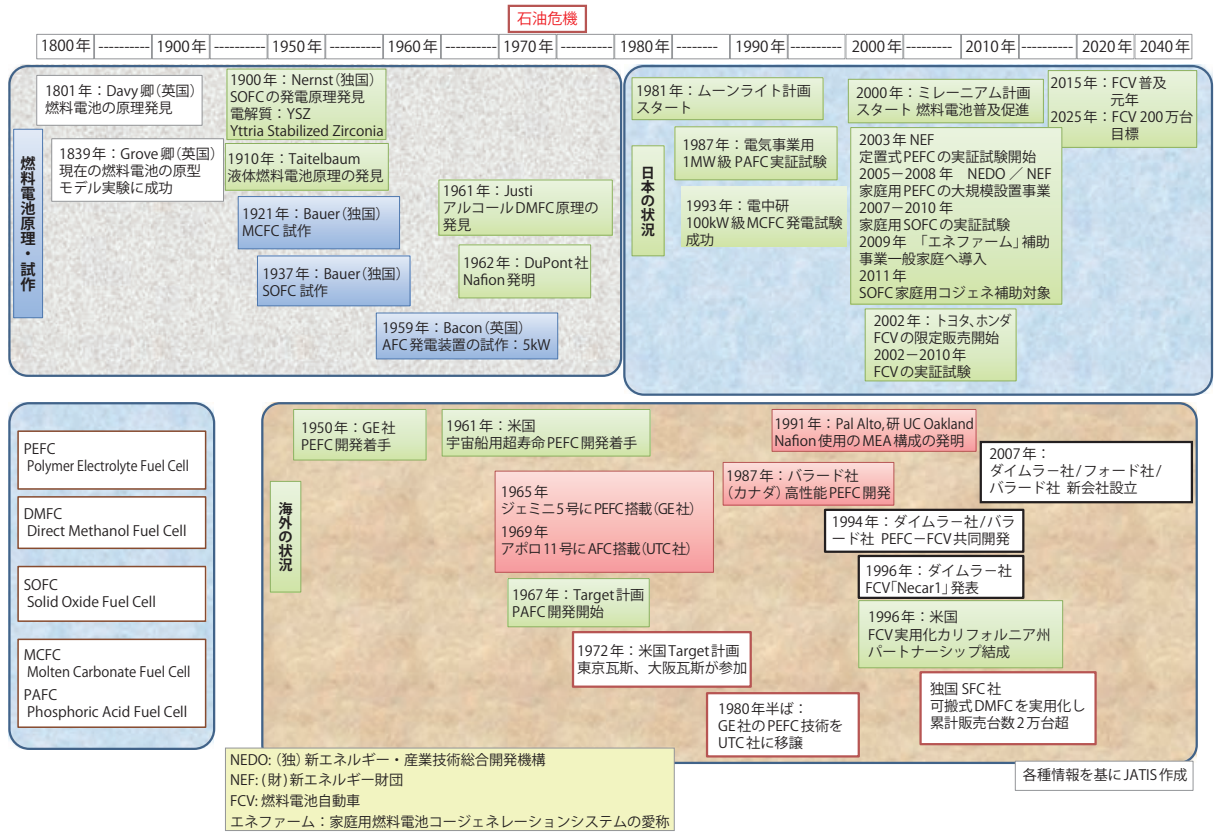


図1-1 燃料電池の主たる技術変遷

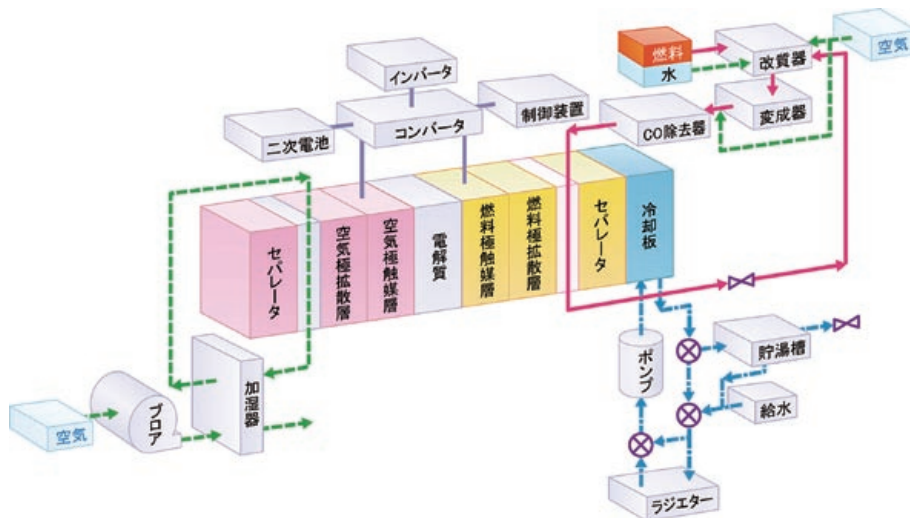


図1-2 家庭用PEFCコージェネシステム

その後、上述の液体電解質の問題を回避するため、固体電解質を用いた固体酸化物燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)、固体高分子形燃料電池(PEFC)及び直接メタノール形燃料電池(DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)の開発が積極的に行われるようになりました。たとえば、現在注目されている固体電解質はPEFC・DMFC用としてデュポン社が発明したフッ素系のパーフルオロアルキルスルホン酸系ポリマー(Nafion: デュポン社の登録商標)、炭化水素系、フッ素・炭化水素系、無機系等が使用されており、SOFC用電解質には安定化ジルコニア系、セリア系、ランタンガレート系等が使用されてい

ます。2005～2008年NEDO/NEFの「家庭用PEFCの大規模設置事業」、2007～2010年の「家庭用SOFCの実証試験」を経て、2009年「エネファーム」補助事業が開始され、一般家庭用PEFCの販売が開始されました。また、2011年からは家庭用SOFCの販売も開始されています。一方、燃料電池自動車は2002～2010年まで実証試験と水素インフラ整備が行われ、2015年が燃料電池自動車普及元年と位置づけられています。

図1-2に具体的なシステムとして一般家庭用に販売が開始されている家庭用PEFCコージェネシステムを示します。

セル構成部材は、電解質の両側の燃料極・空気極触媒層、

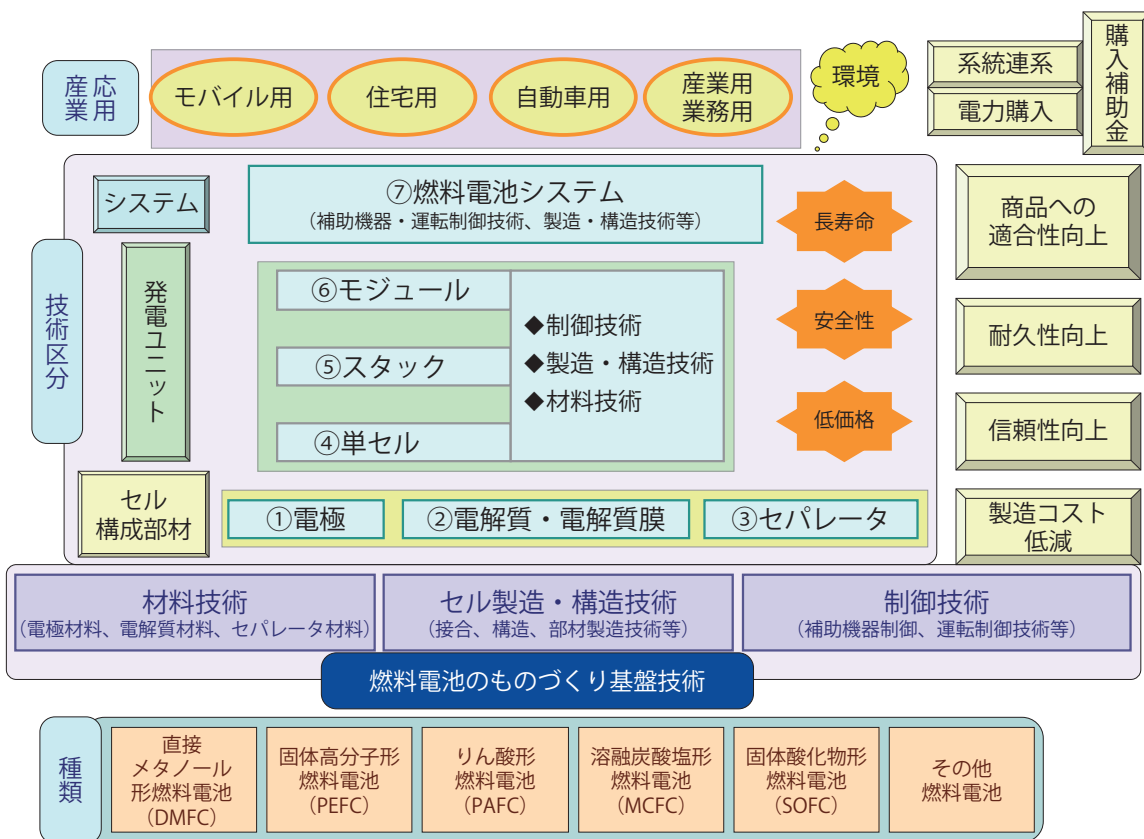


図1-3 燃料電池の技術俯瞰図

更にその外側に設置されている燃料極・空気極拡散層、更に外側に設置されているセパレータ、冷却板で構成されています。スタックは複数のセル構成部材で構成され、更に、モジュールは複数のスタックで構成されています。システムは改質器・変成器・CO除去器等の燃料系、ブロー・加湿器で構成される空気処理系、冷却系、給湯系及び発電した直流を交流に変換するインバータ等の電力変換装置等で構成されています。

上記のような燃料電池の構成、種類、課題及び実用化のための技術を踏まえて作成した燃料電池の技術俯瞰図を図1-3に示します。

今回ご紹介する平成23年度特許出願技術動向調査「燃料電池」では、図1-3の技術俯瞰図を基に調査対象を設定しました。

3. 特許動向

特許動向では、対象となる特許文献として、出願日（優先権主張日）を基準として2005年～2009年の特許出願を対象としています。また、出願先としては、日本、米国、欧州、中国、韓国への出願を対象としています。なお、出願件数推移のデータを見る際には、特許文献のデータベースへの収録までの時間差やPCT出願が各国の国内段階へ

と移行するまでの時間差のために、2008年以降の件数は全データを反映してない可能性がある点に注意が必要です。

(1) 全体動向

(a) 出願人国籍別の出願動向

燃料電池に関する特許出願の出願人国籍別の出願動向を分析しました。図2-1に、日米欧中韓への出願における出願人国籍別の出願件数推移及び出願件数比率を示します。図2-1から、出願件数比率では、日本国籍が58.2%と最多で、次いで韓国籍、米国籍、欧州国籍がそれぞれ12.1%、11.7%、11.6%と拮抗し、中国籍は3.6%と低率であることがわかります。個別の出願人国籍別推移を見ると、中国籍がほぼ横ばいであるのを除いて、日米欧韓は概ね全体と同じ減少傾向にあります。

(b) 日米欧中韓における出願収支

図2-2に出願先国別一出願人国籍別出願件数収支（日米欧中韓への出願）を示します。図2-2において、円グラフの大きさは各国への出願件数に、また各国間に引かれた矢印の太さは、各国籍出願人が他の国へ出願した件数に比例しています。

日本国籍の出願人は、日本への出願を多く行っているだけでなく、米国・欧州・中国・韓国への出願も多いことが

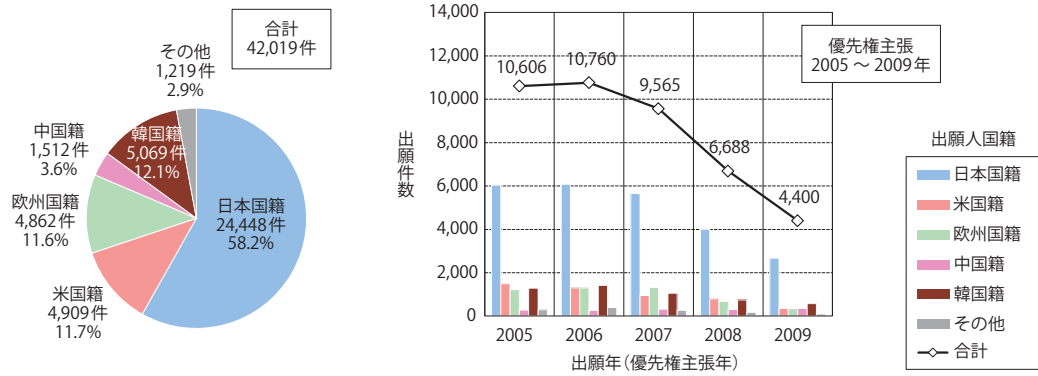


図2-1 出願人国籍別出願件数推移と出願件数比率

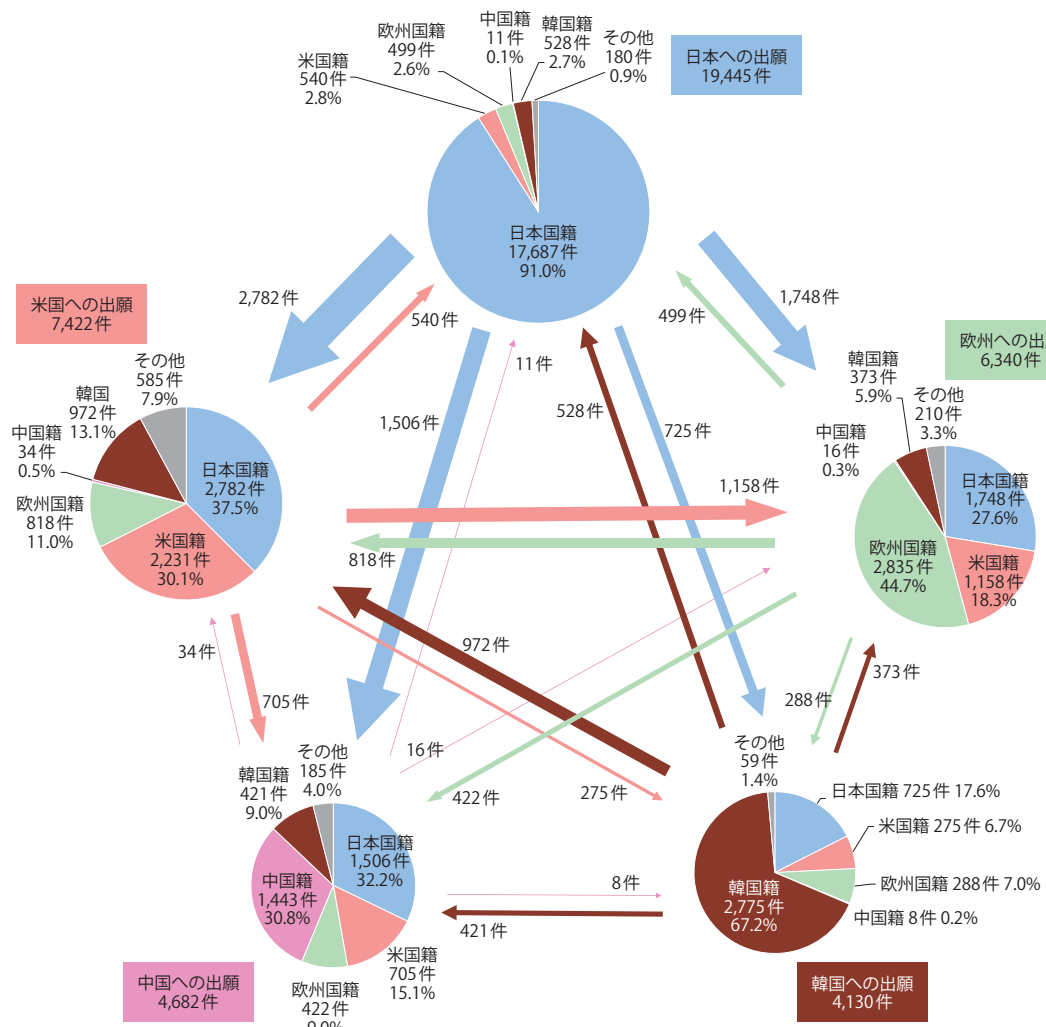


図2-2 日米欧中韓における出願収支

わかります。対照的に、中国籍の出願人は中国国内への出願は多いですが、他国・地域への出願数は少ないことがわかります。韓国籍の出願人からの米国、欧州、中国への出願は比較的多く、特に米国を重視していることが推測されます。また、米国、欧州の出願人は、お互いの国・地域への出願が多いものの、日本への出願は少ないことがわかります。

(2) 技術区分動向

燃料電池に関する特許出願について、技術区分ごとに申請動向を分析しました。技術区分ごとの分析を行うための解析軸は、図1-3に示す燃料電池の俯瞰図を基に設定しました。

解析軸の項目としては、燃料電池の種類に関して「種類

軸」を設け、技術に関連して、「電極触媒軸、電解質軸、発電構成エレメント軸、周辺機器軸」等を設定しました。さらに、燃料電池を用いる用途として「応用産業軸」を、技術が解決すべき課題として「課題軸」を設けています。

ここでは、燃料電池の種類に関する技術区分動向を示します。

図2-3に燃料電池種類別における出願件数比率と推移(日米欧中韓への出願)を示します。固体高分子形燃料電池(PEFC) 53.2%、固体酸化物形燃料電池(SOFC) 12.3%、直接メタノール形燃料電池(DMFC) 11.4%と、この3タイプで全体の78%の出願比率を示すことがわかります。

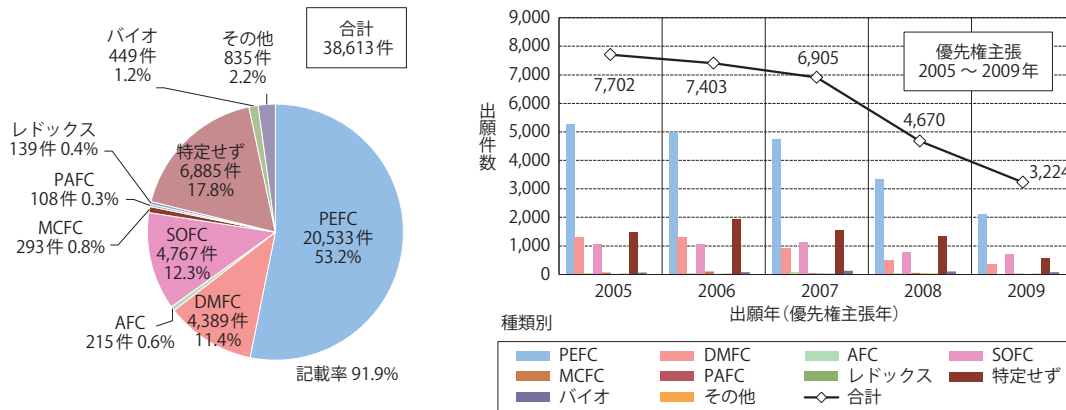


図2-3 燃料電池種類別の出願件数比率及び推移

次に、燃料電池種類別出願件数の多い、PEFC、DMFC、SOFCの出願人国籍別出願件数比率および推移を図2-4、図2-5、図2-6にそれぞれ示します。いずれのタ

イプでも全体の出願件数は減少傾向にあるものの、日本国籍出願人からの出願が半数を超えることがわかります。

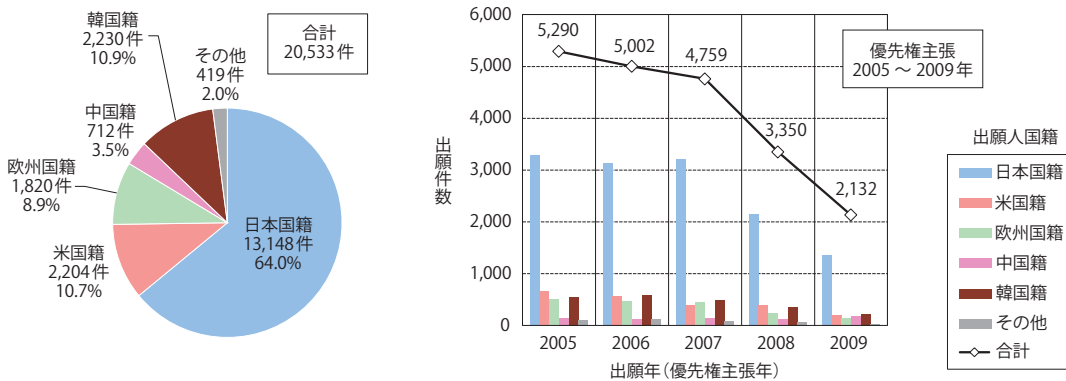


図2-4 固体高分子形燃料電池 (PEFC) の出願人国籍別出願件数比率及び推移

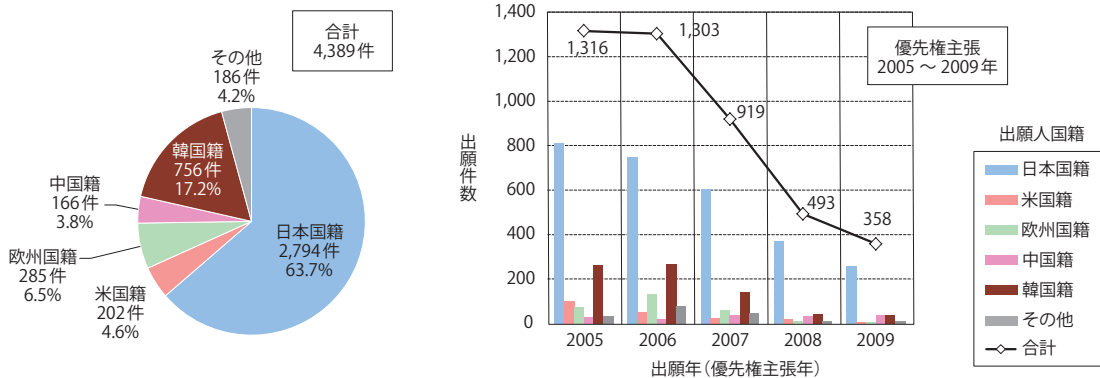


図2-5 直接メタノール形燃料電池 (DMFC) の出願人国籍別出願件数比率及び推移

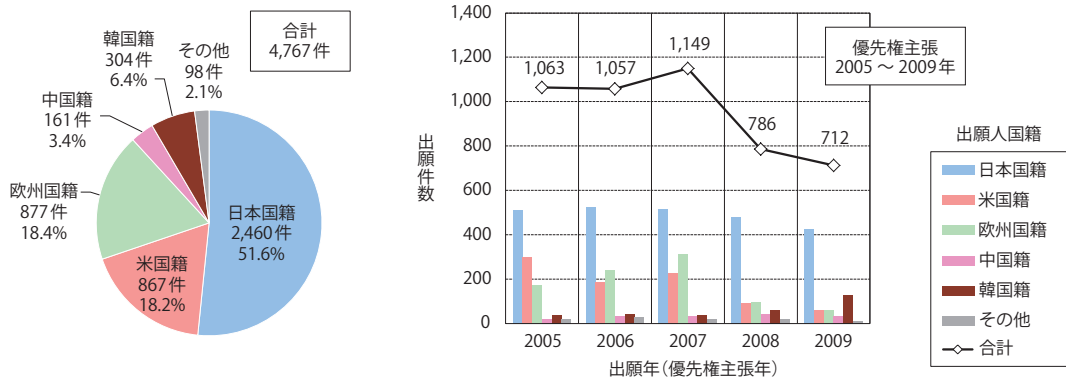


図2-6 固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の出願人国籍別出願件数比率及び推移

以上の全体動向及び技術動向分析より、特許出願件数からは日本の技術的なポテンシャルの高さがうかがえます。

(3) 出願人別動向

燃料電池に関する特許出願について出願人毎の出願件数をカウントして、出願人の動向を分析しました。表1に出願人別出願件数上位ランキングを示します。

表1 出願人別出願件数上位ランキング

順位	出願人名称	出願件数	順位	出願人名称	出願件数
1	トヨタ自動車	5,871	16	住友化学	332
2	サムスンSDI(韓国)	1,971	17	大日本印刷	326
3	本田技研工業	1,931	18	新日本石油	295
4	日産自動車	1,576	19	LG化学(韓国)	274
5	ゼネラルモーターズ(米国)	1,401	20	ソニー	267
6	東芝	1,357	21	エクオス・リサーチ	256
7	パナソニック	1,235	22	TOTO	252
8	現代自動車(韓国)	699	23	三洋電機	250
9	アイシン精機	454	24	サムスン電機(韓国)	231
10	カシオ計算機	427	25	富士電機	215
11	ダイムラー(ドイツ)	411	26	サムスン電子(韓国)	202
12	京セラ	389	27	豊田中央研究所	198
13	日立製作所	371	28	凸版印刷	183
14	キヤノン	351	29	関西電力	182
15	フランス原子力庁(フランス)	341	30	ゼネラル・エレクトリック(米国)	172

出願人の国籍を見ると、上位30位中、日本国籍が21社(者)と7割を占めています。他は韓国籍が5社、米国籍と欧州国籍が2社、中国籍はゼロ社です。業種を見ると、上位5位のうち自動車会社が4社を占めているのが目立ちます。首位であるトヨタ自動車の出願件数5,871件は、2位サムスンSDIの約3倍、全体に占める割合で14.0%と突出した数値となっています。

次に、自動車メーカ、機械・重工メーカを中心に出願件数ランキングの上位から選定した主要出願人9社の出願先国別出願件数推移及び比率を図2-7～図2-15に示します。

自国への出願比率に注目すると、日本国籍の3社は、トヨタ自動車68.0%、本田技研工業72.3%、日産自動車86.2%、欧州国籍も、ダイムラー75.9%と、いずれも60%以上を占めていることがわかります。対して韓国籍2社は、サムスンSDI43.7%、現代自動車55.8%、米国籍2社はゼネラルモーターズ35.8%、ゼネラル・エレクトリック41.3%と、いずれも自国への出願は60%未満となっており、各国企業間における出願戦略の違いがみられます。

出願件数の推移を見ると、全体的に減少傾向にある中で、現代自動車が2008年まで増加し、本田技研工業とゼネラルモーターズの2社がほぼ横ばいとなっています。他にはサムスンSDIが2006年にほぼ横ばいの後、2007年に前年比約3分の1に激減しているのが目立ちます。本格的な市場の立ち上がり時期が見えない中で、各社の出願戦略も変化してきているのかもしれませんが。

4. 研究開発動向

本調査では、特許動向だけでなく、燃料電池に関する研究開発動向についても分析を行いました。研究開発動向の指標として燃料電池に関する発表論文を採用し、研究者所属機関国籍別の論文件数の推移と件数比率を調査しまし

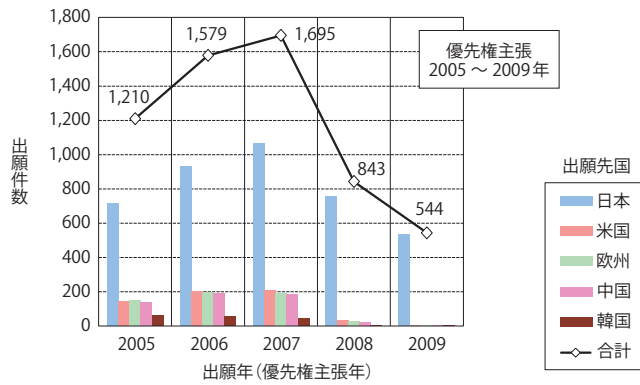
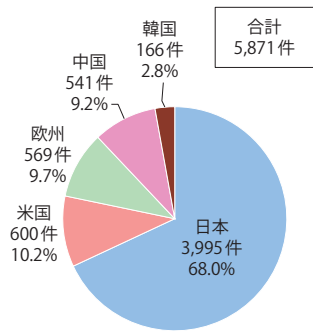


図2-7 出願先国別出願件数推移及び比率 (トヨタ自動車)

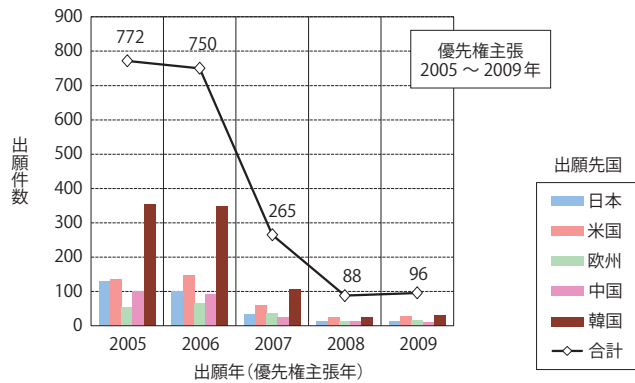
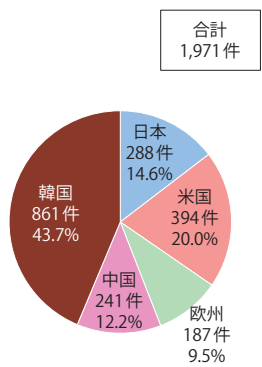


図2-8 出願先国別出願件数推移及び比率 (サムスンSDI)

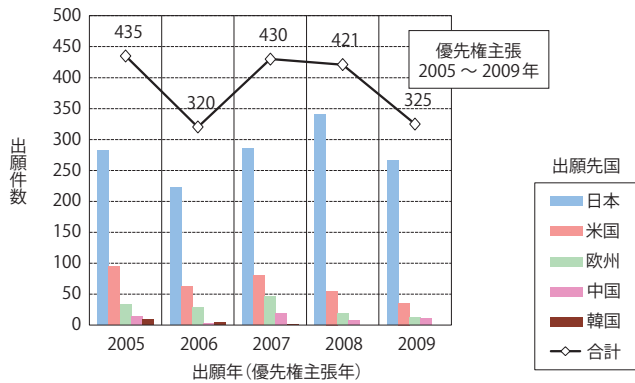
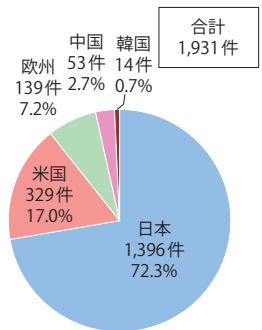


図2-9 出願先国別出願件数推移及び比率 (本田技研工業)

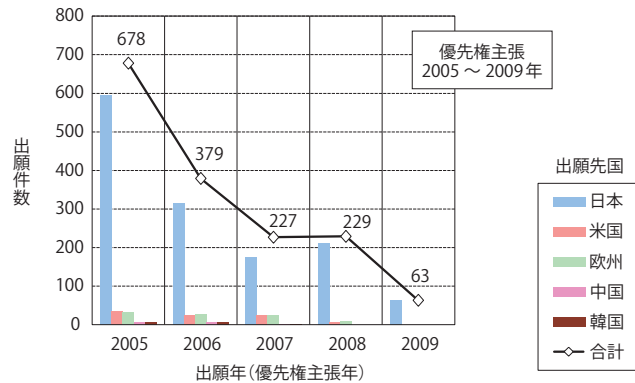
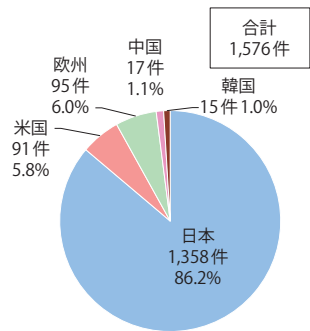


図2-10 出願先国別出願件数推移及び比率 (日産自動車)

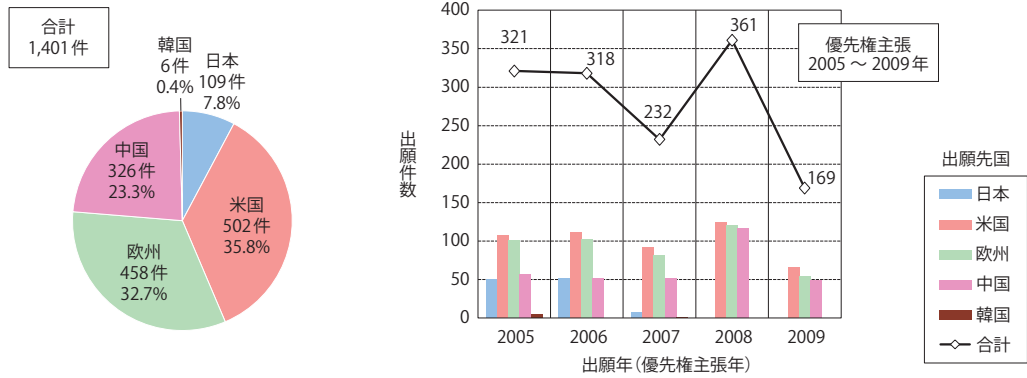


図2-11 出願先国別出願件数推移及び比率 (ゼネラルモーターズ)

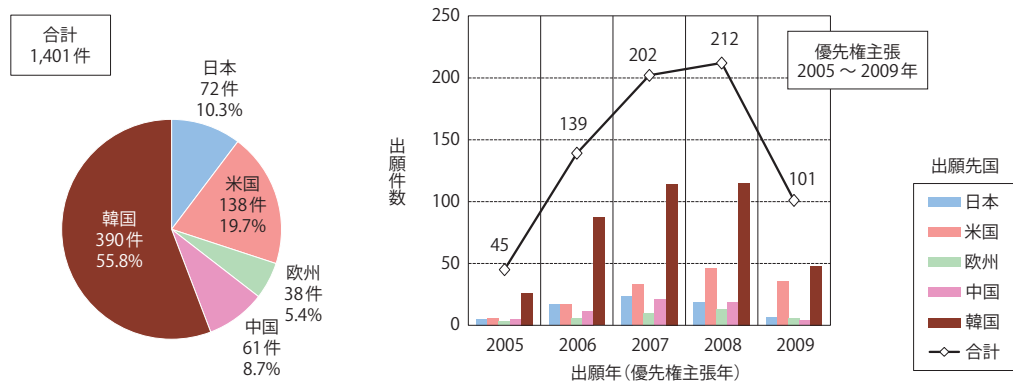


図2-12 出願先国別出願件数推移及び比率 (現代自動車)

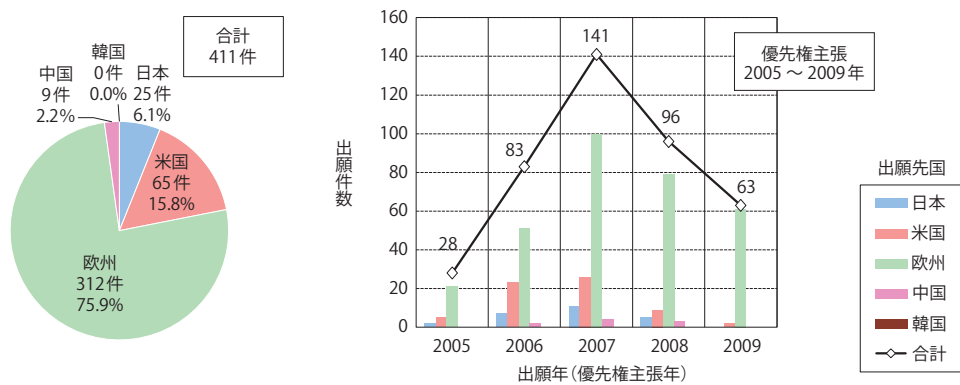


図2-13 出願先国別出願件数推移及び比率 (ダイムラー)

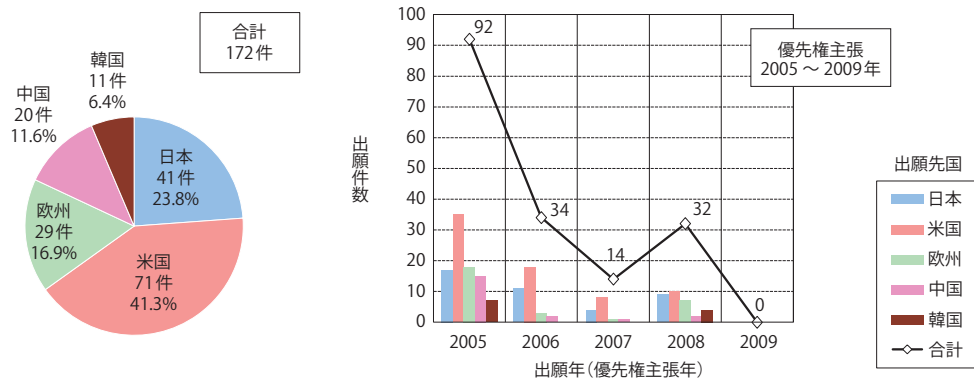


図2-14 出願先国別出願件数推移及び比率 (ゼネラル・エレクトリック)

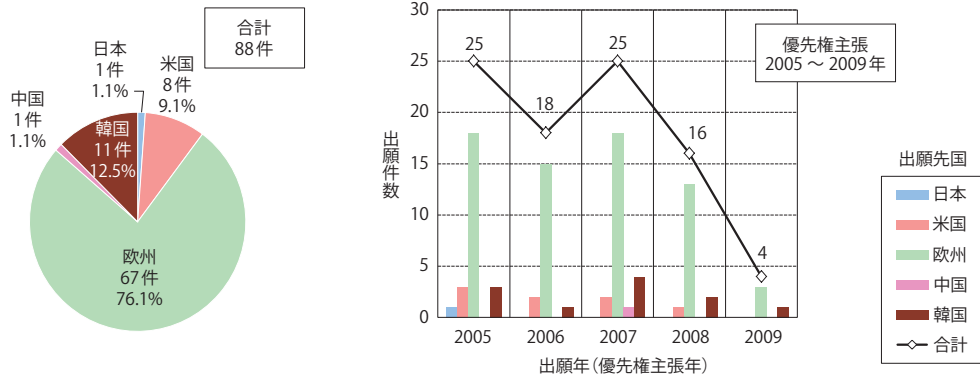


図2-15 出願先国別出願件数推移及び比率 (シーメンス)

た。特許動向との時期的な整合性を考慮して、2005年～2010年発表の論文を対象としています。

(1) 全体動向

図3に研究者所属機関国籍別論文件数推移と件数比率を示します。まず、件数比率をみると、米国の研究機関からの発表が1711件(25%)と最も多く、次いで欧州が1603件(23%)、さらに中国1038件(15%)、日本587件(8%)、韓国516件(7%)と続いています。

図2-1で示す特許出願の出願件数推移と出願件数比率の結果と比較すると、日本の割合がかなり少なくなっており、米国、欧州、中国の割合が増えていることがわかります。

さらに、研究者所属機関国籍別論文件数推移では、全体的に2006年～2009年あたりまで横ばいでしたが、2010年には再び増加しています。特許とは異なり、全期間を通して米・欧州国籍の研究機関からの発表件数より日本国籍の研究機関からの発表件数が下回っています。近年では中国からの論文件数の増加が見られ、米国、欧州に追いつく勢いです。

(2) 研究者所属機関別動向

表2に研究者所属機関別発表件数ランキング(上位40位)

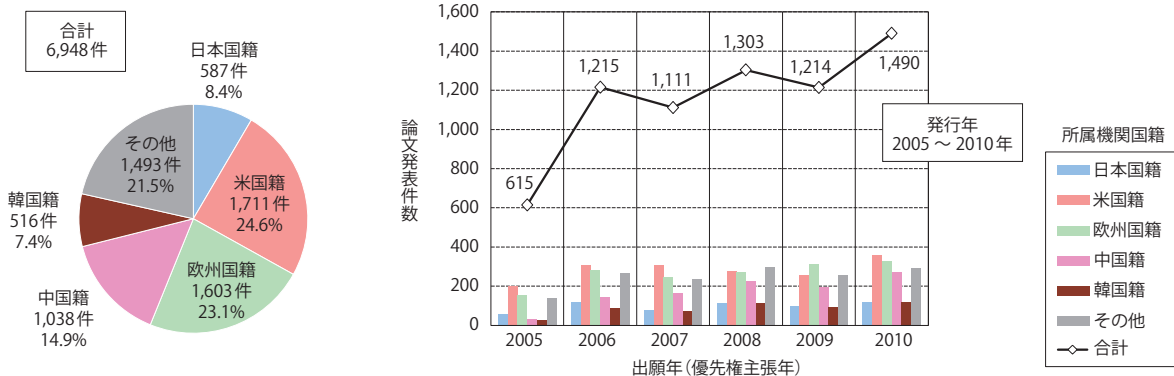


図3 研究者所属機関国籍別論文件数推移と件数比率

を示します。表の機関名欄には、機関名と国籍を記載しています。中国科学院 (Chinese Academy of Sciences) からの発表件数が群を抜いていることがわかります。

また、表3に研究者別発表件数ランキングを示します。調査対象とした研究者数は延べ29,279人です。中国籍以外の研究機関においても中国系の名前が多くみられることから、中国は国内の研究機関だけではなく世界的に著名な大学・研究機関に研究者を送りこんでいることがわかります。今後、燃料電池分野の基礎技術を中国が開発する可能性も否めません。

5. 市場動向

燃料電池市場は、まだ本格的には立ち上がっていない状態です。燃料電池技術は完全な商業化には到達していませんが、燃料電池業界が目標にしているのは、少量生産での初期市場への参入です。市場全体では、最も柔軟性のある燃料電池技術のひとつであるPEFC(固体高分子形燃料電池)が主流となっています。より大きな定置式発電用途としては、熔融炭酸塩形燃料電池(Molten Carbonate Fuel Cells: MCFC)が現在でも主流ですが、りん酸形燃料電池(PAFC)製品もすでに商品化されており、また、固体酸化物形燃料電池(SOFC)も家庭用として販売が開始さ

表2 所属機関別発表件数ランキング

	所属機関	国籍	論文数
1	中国科学院	中国	493
2	CNRS (フランス国立科学研究センター)	フランス	219
3	ペンシルベニア州立大学	米国	135
4	カナダ国立研究機構	カナダ	134
5	カリフォルニア大学	米国	128
6	産業技術総合研究所	日本	125
7	ハルビン工業大学	中国	118
8	南洋 (ナンヤン) 理工学大学	シンガポール	110
8	コネチカット大学	米国	110
10	清華大学	中国	105
11	韓国科学技術院 (KIST)	韓国	102
11	中国科学技術大学	中国	102
13	ロンドン大学	イギリス	96
14	吉林大学	中国	95
15	CSIC (教育科学省の公的研究機関)	スペイン	92
16	ソウル大学校	韓国	90
17	九州大学	日本	85
18	パシフィック・ノースウェスト国立研究所	米国	82
19	ジョージア工科大学	米国	80
20	サウスカロライナ大学	米国	76
21	イタリア学術会議 (CNR)	イタリア	74
22	イリノイ大学	米国	73
22	スタンフォード大学	米国	73
22	元智大学	台湾	73
25	国立台湾大学	台湾	72
26	ゼネラルモーターズ	米国	69
26	韓国科学技術院 (KAIST)	韓国	69
28	ユーリッヒ研究所	ドイツ	65
28	上海交通大学	中国	65
28	スウェーデン王立工科大学 (KTH)	スウェーデン	65
31	マックス-プランク研究所	ドイツ	64
31	ブリティッシュコロンビア大学	カナダ	64
33	香港科技大学	香港	63
34	ワータールー大学	カナダ	62
34	テキサス大学	米国	62
36	ポール-シェラー研究所	スイス	61
37	延世大学校	韓国	57
37	武漢理工学大学	中国	57
37	高麗大学校	韓国	57
37	インド工科大学	インド	57

表3 研究者別発表件数ランキング

	研究者氏名	所属機関	国籍	件数
1	Wang, C.-Y.	ペンシルバニア州立大学	米国	61
2	Jiang, S.P.	南洋 (ナンヤン) 理工学大学	シンガポール	57
3	Zhang, H.	中国科学院 (大連)	中国	45
4	Liu, X.	中国科学技術大学	中国	39
5	Lim, T.-H.	韓国科学技術院 (KIST)	韓国	38
6	Zhang, J.	カナダ国立研究機構	カナダ	36
7	Huang, X.	ハルビン工業大学	中国	31
8	Li, X.	ワータールー大学	カナダ	30
8	Wang, H.	カナダ国立研究機構	カナダ	30
10	Chan, S.H.	南洋 (ナンヤン) 理工学大学	シンガポール	25
11	Kulikovskiy, A.A.	モスクワ大学	ロシア	22
12	Kim, H.-J.	韓国科学技術院 (KIST)	韓国	21
13	Liu, H.	マイアミ大学	米国	20
14	Chen, R.	香港科技大学	香港	19
15	Wang, S.	中国科学院 (大連)	中国	18
15	Chen, F.	国立台湾大学	台湾	18
15	Chen, K.	ハルビン工業大学	中国	18
18	Zhang, Y.	ハルビン工業大学	中国	16
19	Zhang, Y. (No.18と同名)	中国科学院 (大連)	中国	15
19	Kim, H.	延世大学校	韓国	15
21	Wang, S. (No.15と同名)	中国科学院 (上海)	中国	13
21	Obara, S.	苫小牧工業高等専門学校	日本	13
23	Zhang, L.	南洋 (ナンヤン) 理工学大学	シンガポール	11
24	Liu, Z.	材料研究・工学研究所 (IMRE)	シンガポール	10
24	Liu, M.	ハルビン工業大学	中国	10

- 日本国籍
- 米国籍
- 欧州国籍
- 中国国籍
- 韓国国籍
- その他

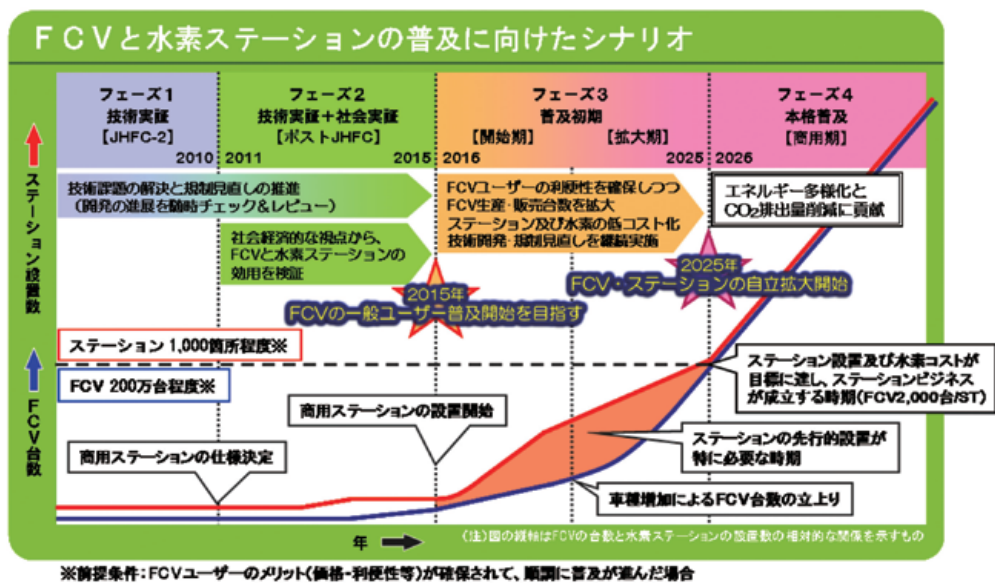


図4 自動車用燃料電池普及に向けたシナリオ

れました。

自動車用燃料電池の普及に関しては、インフラの整備が課題とされており、2010年3月に、日本の主要な自動車メーカー、エネルギー関連企業等が参加する燃料電池推進協議会(FCCJ)によって「2015年に商用の水素ステーションの設置を開始し、燃料電池自動車の一般ユーザへの普及開始を目指す」という普及シナリオが発表されています。図4に自動車用燃料電池普及に向けたシナリオを示します。2025年時点での普及目標は、燃料電池自動車が200万台程度、水素ステーションを1,000カ所程度となっています。

6. まとめ

これまで示してきた特許動向の結果から、燃料電池に関わる技術開発において、わが国は海外を上回る特許出願件数を有していますが、研究開発の場では、米国、欧州及び中国にリードされている状況にあることがわかりました。また、中国系と思われる研究者による活発な研究活動が目立ち、今後本格的な燃料電池自動車普及に向け、我が国は予断を許さない状況にあるといえるでしょう。

今後より一層国際競争力を高めるため、わが国が取り組むべき課題、目指すべき研究開発、技術開発の方向性として、以下の3つの提言にまとめました。

【提言1】燃料電池事業の拡大に向けたコスト低減と信頼性・耐久性を両立させるブレークスルー技術開発の促進

【提言2】機会拡大に向けた市場育成のため補助金制度から自立する定置型燃料電池の技術開発の促進

【提言3】機会拡大に向けた市場の早期育成のため、産業界の持つ技術の共有化による燃料電池自動車向け燃料電池開発の促進

10年以上の開発努力にもかかわらず市場が中々拡大しないのが実情ですが、この理由は、「市場で要求される、低価格で機能・性能を充たす材料が未だに見出されていない」こと、及び、「発電効率が高く耐久性に優れた製品の信頼性確立まで技術が追い付いていない」ことにあると考えられます。今後は燃料電池事業の早期拡大に向け、コスト低減と信頼性・耐久性技術を両立させるブレークスルー技術開発を促進すべきと考えられます。

また、我が国では、燃料電池導入補助金制度により、世界に先駆けて定置型燃料電池の一般販売がスタートしています。市場でこの定置型燃料電池の販売実績を積み、定置型燃料電池のシステム・運転ノウハウ、アセンブリ部品、

部品単品の品質・信頼性・寿命に関するデータやノウハウを蓄積し、日本市場のみならず、海外市場での競争優位性を確保できる技術を確立すべきだと考えられます。

一方、燃料電池自動車については、安全性・信頼性・耐久性、コスト低減などの共通基盤技術の開発を学界・産業界の持つ技術情報を持ち寄り、課題、解決指針、および技術検証方法の共有化を行い、かつ知的財産権の取得を目指したプロジェクト研究の推進が望まれます。

profile

藤代 亮 (ふじしろ りょう)

2006年4月 特許庁入庁(特許審査第三部有機化学)
2010年4月 審査官昇任
2011年10月 総務部企画調査課技術動向係長(併任)
2012年10月より現職