

論文・特許情報を用いた固体高分子形燃料電池における 萌芽・有望領域の抽出

Extraction of Potential Research Area in Polymer Electrolyte Fuel Cell Technology Using Literature Information

小川 敬也、梶川 裕矢

Takaya Ogawa, Yuya Kajikawa

東京工業大学イノベーションマネジメント研究科

Graduate School of Innovation Management, Tokyo Institute of Technology

Abstract: The potential research area in fuel cell technology was extracted by analyzing article and patent information. The references in articles and patents were utilized to generate the cluster which includes the research in the same subject. The average publication year and the number of articles in each cluster provides useful information to comprehend emerging research fields. In this paper, we focused on two research areas; one is research field focused in Japan, and the other is one in other countries. And also, the keyword similarity of scientific article cluster with patent was calculated to extract potential and non-commercialized research area.

Key Words: Data analysis, Forecast method, Clustering

1. 緒言

近年、高効率エネルギーデバイスとして車載用などに期待される固体高分子形燃料電池（PEFC）に注目が集まっており、多くの研究がされている。しかし現在のように日々膨大な量の論文や特許が出版される中で、これらを一つ一つ把握することは非常に難しい。自由な発想に基づく研究が重要である一方、世界の研究開発動向を見落とすことはプロジェクト実施上のリスクにもなり得る。近年、技術経営の分野では、大量の論文・特許情報を情報技術によって分析することで、萌芽領域の特定¹⁾や、産業上重要な研究領域を抽出²⁾する方法が開発され、エネルギー技術の研究開発動向の把握に応用されている^{1)~3)}。

本論文では、燃料電池におけるそれぞれ約 40,000 件の論文情報および特許情報を用いて、書誌情報中の出現語ならびに引用文献を解析することで、現在急速に発展している萌芽・有望領域を抽出した。中でも日本で盛んに研究されている領域、日本で注目されていないが海外で盛んに研究されている領域を特定する。また、論文と特許の相関性を調べ、今後の事業展開が期待できる領域を推定した。

2. 文献の解析方法

論文データの収集には Web of science、特許データの収集には Thomson Innovation を利用し、“Fuel Cell” のキーワードで検索される文献のテキスト情報と引用情報を基に解析を行った。用いた論文数は 44,225 件、特許数（公開件数）は 38,675 件である。

分析では萌芽研究領域を特定するために、学術論文の引用ネットワークを Newman-Girvan 法⁴⁾により、燃料電池の研究領域を関連分野ごとのクラスタに分割した。引用ネットワークの作成には、萌芽領域の特定に優れる直接引用で構成されるネットワークを用いた⁵⁾。まず一回のクラスタリングで得られたベースクラスタの中で、PEFC 関連領域を抽出する。続いて、ベースクラスタに再帰的にクラスタリングを繰り返すことでサブクラスタを得た。学術論文の引用ネットワークをクラスタリングする際には、クラスタ内の文献数が数百程度で研究領域がまとまったクラスタを抽出できることが分かっている⁶⁾。

次に各サブクラスタ内の論文が出版された平均年（平均出版年）を算出した。これにより各論文クラスタの萌芽性を判断した。また著者の所属機関情報に基づき国別論文数（国籍）を算出した。特許に関しても同様に、引用ネットワークを Newman-Girvan 法により分割することで特許クラス

タを得た。

次に、学術論文の分析により抽出された各論文クラスタがどれだけ産業化されているか推定するために、論文クラスタと特許クラスタの距離を測定した。距離の測定には、各クラスタに特徴的に出現する語を抽出し、それらの語群を用いて、論文クラスタと特許クラスタのテキスト類似度を計算する手法⁷⁾を用いた。本論文では、任意の論文クラスタに対し、各特許クラスタとのテキスト類似度を計算し、それらの和をとることで特許相関性とした。特許相関性が高いほど、同様の語を用いた特許が多く、産業化に近いと判断した。

3. 論文・特許の全体像の解析

PEFC のクラスタは表1に示すように、触媒と電解質の分野の2つのベースクラスタに主に分けられた。これらのベースクラスタの文献数と平均出版年、平均特許相関性を表1に示す。ここで、平均特許相関性とは、触媒系のクラスタ、電解質系のクラスタそれぞれのサブクラスタの特許相関性の平均値である。

これらのベースクラスタに対し、さらにクラスタリングを繰り返してサブクラスタに分割した。こうして分けられた論文の各サブクラスタ内の文献数、平均出版年、著者の国籍、特許相関性を計算した。例として、触媒をサブクラスタに分けた領域「二元系 DMFC 触媒 Pt + (Sn, WO₃, Ru)」における結果を表2に示す。なお、国籍は、そのクラスタでの論文数上位5カ国に対し、その文献数を示している。

この領域は表1に示す PEFC 触媒の平均出版年に比べて平均出版年が古いことが分かる。また特許相関性が平均値よりやや低いことから、産業化があまり進まなかった

表1 論文のベースクラスタ (PEFC)
Table 1 Base clusters (PEFC)

	総文献数	平均出版年	平均特許相関性
触媒	14,446	2007.3	1.7963
電解質	10,778	2007.7	1.3731

表2 論文クラスタ (一部抜粋) (PEFC触媒)
Table 2 A typical cluster (PEFC Catalyst)

研究領域		件数	平均出版年	特許相関性
二元系DMFC触媒 Pt + (Sn, WO ₃ , Ru)		451	2003.2	1.5379
国籍	米国 中国	日本	ブラジル	ドイツ
論文数	146 93	80	40	39

領域であることが分かる。国籍の分布からは、米国で最も研究がなされ、次いで中国、日本となっており、比較的日本で研究が多くなされていたことが分かる。

以上に例示した方法を用いて、国籍の情報から日本・海外で研究が盛んな研究領域を抽出した。とりわけ平均出版年が若く、かつ特許相関性が低い領域に注目した。これは近年研究が盛んであるが、特許化があまりなされていないことを示しており、まだ企業の参入の余地があることと同義であると考えられるからである。これらの仮定を基に、PEFC における萌芽・有望領域の抽出を試みた。

4. 萌芽・有望領域

以下ではクラスタ内トップの論文数を誇る国に対して、日本の論文数とその半分以上の割合となった領域を「A. 日本が得意な領域」、国別論文数で日本が5位以内に入らず、かつ平均年がベースクラスタの平均出版年以降の領域を「B. 日本で注目されていないが最近発展している領域」と定義する。領域 A は、日本では情報源が多いため共同研究などで他国の企業に対して優位に立ちやすい。一方、領域 B は日本で見過ごされがちであり、検討が必要な領域であると考えられる。PEFC 触媒、PEFC 電解質における上記2つの領域を表3～6に記述する。

表3からは、触媒分野の領域 A は DMFC の触媒であることがわかる。しかし、表1の平均値を鑑みた場合、どれも平均出版年は古く、現在隆盛している分野であるとはいえない。唯一平均出版年が若くかつ特許相関性が低い領域が「白金触媒溶解抑制」の分野で、溶解の過程の分析や合金にして耐久性向上を試みる研究が多くなされている。

表4より、電解質分野の領域 A は多岐に渡っており、新たな電解質膜単体の研究、有機無機複合膜、水管理などのシステム全体の研究が多くなされていることが分かる。これらは触媒に比べて、特許相関性が平均値よりも低いものが多い。中でも注目すべきはマルチブロック系電解質膜で、出版平均年が若くかつ特許相関性も低い。これは萌芽的研究領域であるものの特許化がまだ十分にされていないことを意味する。従って、他国の企業に対して優位に立つにはこの研究を行うことは価値があると考えられる。固体酸電解質も同様に特許相関性が低い、平均出版年がそれほど若くないことから、研究がなされたものの、うまく実用化へ繋がらなかった分野であると考えられる。

表5から、触媒分野の領域 B は、エタノール直接型燃料電池触媒、AuPt 合金触媒と、ギ酸直接型燃料電池触媒であると考えられる。どれも平均年が若く、AuPt 合金触媒を除いて特許相関性が低い。このグループ内で比較する

表3 日本が得意な領域A (触媒)

Table 3 Research area A: Focused area in Japan

研究領域	文献数	平均出版年	特許相関性
二元系DMFC触媒 Pt + (Sn, WO ₃ , Ru)	451	2003.2	1.5379
DMFC触媒 CO耐性	427	2005.3	2.6512
DMFC触媒 水素雰囲気下でのCO酸化	322	2006.8	1.7465
DMFC触媒 硫黄被毒	71	2007.1	1.2199
DMFC触媒 金触媒	54	2006.3	2.0805
二元系DMFC触媒 Pt + (Cu, Mo)	125	2006.5	2.0854
二元系DMFC触媒 触媒金属のスクリーニング	100	2007.4	1.2571
Ni系DMFC触媒 (非白金)	99	2007.5	2.1133
二・三元系DMFC触媒 Pt + (Ni, Ru, CeO ₂)	85	2007.7	1.4904
アルコール系直接型燃料電池触媒	68	2007.3	1.3313
白金触媒溶解抑制	197	2008.3	0.981

表4 日本が得意な領域A (電解質)

Table 4 Research area A: Focused area in Japan (Electrolyte)

研究領域	文献数	平均出版年	特許相関性
有機無機複合膜 (イミダゾール) 無加湿	247	2005.6	1.1751
固体酸電解質 (中温形燃料電池)	194	2007.9	0.5568
ヘテロポリ酸電解質	162	2007.1	1.0939
有機無機複合膜 (ゼオライト) 高温PEFC用	44	2007.3	1.0425
イオン液体電解質 Brønsted acid-base ionic	146	2008.5	1.0029
マルチブロック系電解質膜	195	2009.6	0.7666
Sulfonated poly (ether ether ketone) 系電解質膜	143	2008.3	0.9199
Polyimides系電解質膜	308	2007.8	0.9901
Poly (vinyl alcohol) 系電解質膜	90	2007.7	1.0461
細孔フィリング膜DMFC用 (SiO ₂ 基材)	55	2008.8	0.9825
Nafionのための湿度管理システム	107	2007.5	1.6262
中性子を利用したガス流動の可視化	341	2008.8	1.558
Vinylbenzyl電解質膜	81	2008.2	0.9435
H ₂ O ₂ による劣化耐性	157	2008.4	1.2754

表5 日本で注目されていないが海外で発展している領域B (触媒)

Table 5 Research area B: Emerging area overseas (Catalyst)

研究領域	文献数	平均出版年	特許相関性
エタノール直接型燃料電池用触媒 白金合金	352	2008.6	1.2738
エタノール直接型燃料電池用触媒 パラジウム合金	343	2009.4	1.4613
PEFC触媒 AuPt合金	100	2009.3	2.4360
ギ酸直接型燃料電池触媒 パラジウム合金触媒	144	2009.7	0.9175
ギ酸直接型燃料電池触媒 スタック・実地試験	101	2009.2	0.9424
ギ酸直接型燃料電池触媒 Pt + (Pd,Bi)	93	2008.4	0.9679

と、エタノール直接型燃料電池はすでに特許出願され始めて来ているが、ギ酸直接型燃料電池についてはやや特許相関性が低いことが分かる。エタノール直接型燃料電池は、特許相関性が平均値より低いことを考慮すると、比較的参入余地はあると考えられる。一方、ギ酸燃料電池は安全性などに問題があるので商業化(特許化)があまり視野に入っていないとも考えられるものの、参入可能性は高いといえる。

表6の電解質の領域Bは、領域A同様、多岐に渡っており、有機無機複合膜の様々な組み合わせや、モデル計算、共同稼働といったシステム全体の研究などが挙げられる。この中で、特に特許相関性が低い領域は、Disulfonated poly (arylene ether sulfone) 電解質膜、有機複合電解質膜 (SPEEK)、PEFC 運転における作動モデル計算 (電圧計算)、PEFC 自動車利用のための燃料貯蓄方法である。

表6 日本で注目されていないが海外で発展している領域B (電解質)
Table 6 Research area B: Emerging area overseas (Electrolyte)

研究領域	文献数	平均出版年	特許相関性
有機無機複合膜 (Nafion+SiO ₂) 高温PEFC	155	2009.1	1.2193
Benzimidazole複合膜 低加湿	146	2009.0	1.0125
Sulfonated polybenzimidazoles複合膜	101	2008.2	1.4832
Disulfonated poly (arylene ether sulfone) 電解質膜	122	2008.7	0.9650
Sulfonated poly (arylene thioether phosphine oxide)s 電解質膜	82	2009.0	1.0344
有機無機複合膜 (モンモリロン石)	73	2008.5	1.0486
有機無機複合膜 (キトサン)	81	2008.0	1.1673
有機 (酸系) + 有機 (アルカリ系) ポリマー複合膜	65	2008.5	1.2562
Poly (vinylidene fluoride)、Polystyrene sulfone電解質膜	58	2008.0	1.4133
有機複合電解質膜 (SPEEK)	154	2008.0	0.9199
セル内水移動シミュレーション	125	2008.2	1.7238
電解質膜耐久性	153	2008.8	1.8994
界面抵抗の低減 (触媒層)	133	2008.8	1.1881
PEFC運転における作動モデル計算 (電圧計算)	114	2008.6	0.8979
PEFC自動車利用のための燃料貯蓄方法	123	2009.2	0.7891
PEFCとウルトラキャパシタ共同稼働	100	2008.6	1.8686
PEFCとウルトラキャパシタ共同稼働 (自動車利用)	78	2008.4	1.4303
PEFC自動車のライフサイクル	163	2007.9	2.1207
Sulfonated poly (ether ether ketone)s 電解質膜	125	2007.8	0.8982
コージェネレーションシステムのデモンストレーション	132	2007.8	2.7032
DC-DCコンバーター	251	2008.9	1.9492

5. 結論

本論文では論文及び特許情報を用い、引用ネットワーク分析により萌芽的な研究領域を抽出した。また、論文と特許の距離を測定することで、各研究領域の産業応用上の重要性を議論した。

今回の分析では、定量的な解析手法により測定した数値データに基づいて議論を行っている。結果は数値データの解釈に強く依存するため、今回抽出された研究領域全てが有望・萌芽領域であるとは限らず、注意が必要である。しかし今回の結果を専門家の知識や判断と合わせ用いて検討することで、今後の我が国や企業での研究開発の方向性を検討する余地はあると考えられる。今後も解析手法を研鑽し、より正確な情報を報告していく。

参考文献

- 1) Y. Kajikawa, J. Yoshikawa, Y. Takeda, K. Matsushima: Tracking emerging technologies in energy research: toward a roadmap for sustainable energy, Technol. Forecast. Soc. Change 75, 771-782 (2008).
- 2) N. Shibata, Y. Kajikawa I. Sakata: Extracting the commercialization gap between science and technology - Case study of a solar cell -, Technol. Forecast. Soc. Change, 77, 1147-1155 (2010).
- 3) R.N. Kostoff, R. Tshiteya, K.M. Pfeil, J.A. Humenik, G. Karypis: Power source roadmaps using bibliometrics and database tomography, Energy, 30, 709-730 (2005).
- 4) M.E.J. Newman, M. Girvan: Finding and evaluating community structure in networks, Phys. Rev. E, 026113 (2004).
- 5) N. Shibata, Y. Kajikawa, Y. Takeda, K. Matsushima: Comparative study on methods of detecting research fronts using different types of citation, J. Am. Soc. Info. Sci. technol., 60, 571-580 (2009).
- 6) Y. Takeda, Y. Kajikawa: Tracking modularity in citation networks, Scientometrics, 83, 783-792 (2010).
- 7) N. Shibata, Y. Kajikawa, I. Sakata: Detecting potential technological fronts by comparing scientific papers and patents, Foresight, 13, 51-60 (2011).