

Title	国家レベルの太陽電池技術革新を促進する学術研究構造の分析
Author(s)	友澤, 孝規; 元橋, 一之
Citation	年次学術大会講演要旨集, 24: 254-257
Issue Date	2009-10-24
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/8622
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

国家レベルの太陽電池技術革新を促進する学術研究構造の分析

○友澤孝規, 元橋一之 (東京大学)

1. 研究の背景及び目的

新エネルギー技術は、人類にとって最も重要なものの 1 つと考えられる。何故なら、現代文明の持続可能性を損ない、世界経済の持続可能な発展の障害となりうる気候変動問題とエネルギー問題を解決しうるからである。前者は気候の変動が異常気象や海面上昇等を引き起こす問題で、後者は現代文明を支えるエネルギー源である化石燃料が枯渇するといったエネルギーに関する問題である。

新エネルギーの中でも収集可能量が多く[1]、小規模でも効率低下が無く都市などでの利用が容易であるといった利点が多いことから、太陽光発電は特に重要視されている。そして太陽電池は太陽光発電の発電素子、つまり光エネルギーを電気エネルギーに変換する部分であり、特に重要な装置である。

このように重要な太陽電池であるが、近年、下の図 1 のように日米独を中心に市場は急拡大している。

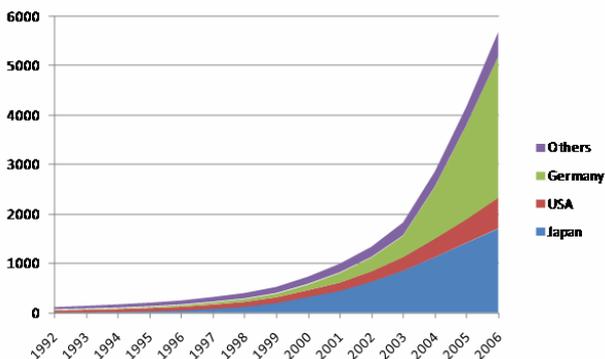


図 1. 太陽電池累積導入量(MW)

出典:IEA-PVPS Report[2]

世界全体で考えるとこれは気候変動問題と化石燃料枯渇問題を解決する上で望ましい流れである。しかし日本

視点で見た場合、近年、導入量でドイツに抜かれ、日本企業の生産量割合もドイツの Q セルズや中国のサンテック等の他国の新興企業の生産規模拡大により、次第に低下してきている。これは太陽電池産業を、日本経済を支える産業の 1 つとしていくことを考えれば、国家として国際競争力向上に向けた施策をより良いものにしていく必要がある。今後太陽電池市場は 2012 年まで年平均 27%の成長率で成長するという試算も成されており[3]、太陽光発電が世界のエネルギー構成に占める現状の割合は未だ 1%以下であることから、施策を改善していく影響は大きいと考えられる。

太陽電池が未だに十分に普及しない理由は、太陽光発電による単位当たりの電気価格が他の発電方式による単位当たり電気価格より高いためであり、具体的には 2008 年における太陽光発電による電気が 1kwh 当たり約 40~50 円に対して、火力発電や原子力発電などの既存の大規模発電では 1kwh 当たり約 6~10 円[4]である。よって太陽光発電のコストパフォーマンスの改善をいち早く実現すれば今後の普及を有利に進めていくことができると考えられる。

国家を挙げて低コスト化を図る技術開発戦略として NEDO が中心となり、2004 年に「太陽光発電ロードマップ」[5]を 2030 年までの長期的視点に立って策定している。ここで日本の産学官全体による太陽電池技術開発の大きな方向性の 1 つとして掲げたのは、技術の世代交代によるコストパフォーマンスの改善であり、そのために特に重要視しているのが新型太陽電池の光電変換効率値向上である。そして光電変換効率の向上は特に学術研究の場において成されていることが指摘され

ており、この技術革新を促進する学術研究構造を分析することは重要であると考えられる。

したがって本研究では、太陽電池に関する学術研究を俯瞰した後、最高光電変換効率値の向上という技術革新を促進させる学術研究構造を分析し、学術研究構造の改善に向けた示唆を得ることを目的とした。

2. 研究手法とデータ

まず、引用ネットワーク分析を利用して太陽電池学術研究の全体構造の俯瞰を行った。ここで用いた引用ネットワーク分析は、莫大な数の学術論文が出版されている分野の全体構造を分析する方法として、①関連学術論文を抽出、②引用関係で結ばれた最も大きな塊(最大連結成分)のみを抽出し引用関係を無方向化、③Newman[6]が提唱した以下の Q-value が極大化するまで分割、というアルゴリズムで以下の図2のように機械的にクラスタリングする方法である。

Q-Value:

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2) = \text{Tr}(e) - \|e\|^2$$

$$\Rightarrow \Delta Q = e_{ij} + e_{ji} - 2a_i a_j = 2(e_{ij} - a_i a_j)$$

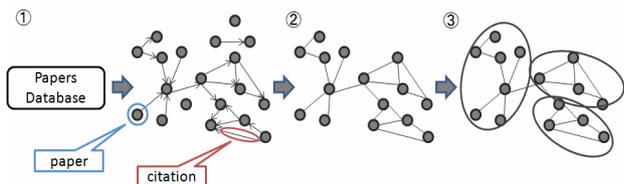


図2. 引用ネットワーク分析のプロセス

具体的なデータとしては、ISI Web of Science より”solar cell*”という言葉をもとに、そのタイトル、キーワード、アブストラクトという書誌事項に含む 2007 年までに出版された論文を用いる。そしてクラスタリング後、見いだされた主要分野に含まれる論文数の推移の時系列分析や各種の指標での国際比較分析を行い、現状を記述した。ここで国際比較した国々は、取得したデータにおいて論文数が多い上位 20 国である。

次に技術革新を創出する要因として、大きく「新知識

の創出量」と「新知識の質」に分け、「新知識の質」を左右する要因として「連携」と「集中」を考え、以下のフレームワークとモデルを想定し、1992 年から 2007 年の主要 20 カ国のパネルデータを用いて回帰分析を行った。分析においては各国固有の性質をコントロールするために固定効果モデルを採用し、技術革新が起こる可能性が極めて低いことからポアソン分布を採用した。また集中度は、人材・機関レベルそれぞれにおいて論文数のハーフィンダール指数(全体論文数に占める割合の二乗和)を用いた。

Academic Innovation Model: $Y_{it} = X_{1it} + X_{2it} + X_{3it} + X_{4it} + X_{5it}$
i: 20 country *t*: 1992-2007 ※ポアソン分布を仮定し、固定効果モデルを採用

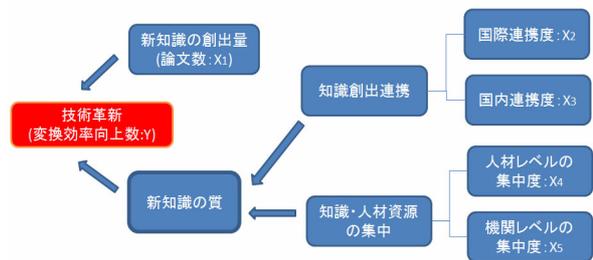


図3. 研究フレームワークとモデル

最高光電変換効率値やその記録保持機関は Solar Cell Efficiency Tables[7]から抽出した上で機関の国籍を特定した。光電変換効率最高値の推移の中に技術革新時の国と機関の名前をプロットしたものが下の図4である。

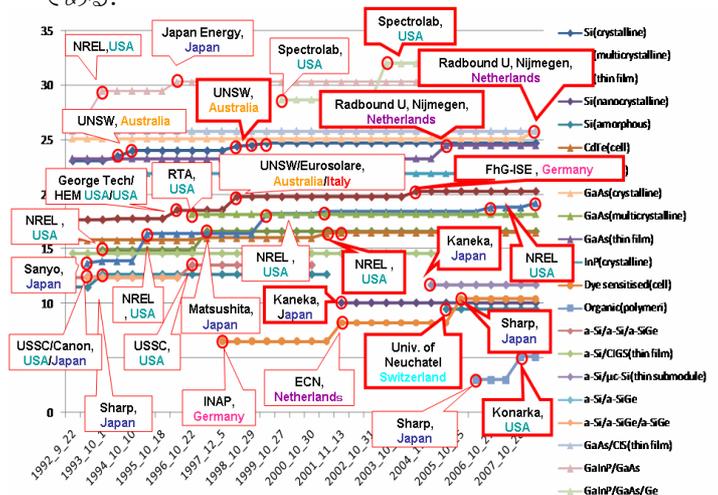


図4. 太陽電池セルの最大光電変換効率値の推移と革新を起こした機関と国

3.結果と考察

引用ネットワーク分析により見出された太陽電池の学術研究の構造を可視化した結果が以下の図4であり、4つの大きなクラスタを中心に構成されていることがわかった。そしてこれらの各クラスタに含まれる上位論文から判断して、学術研究における太陽電池の主要分野は発電部分の材料と構造別に、シリコン系・化合物系・有機系の有機薄膜型・無機/有機ハイブリッド系の色素増感型の4分野に分かれることがわかった。

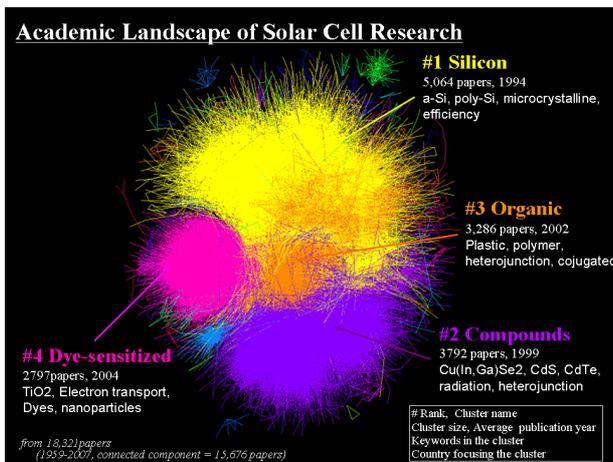


図4. 2007年時点の太陽電池学術研究の俯瞰図

そして各主要分野の論文数推移を分析したものが下の図5である。オイルショックや気候変動枠組み交渉の論文数増加への影響があることや、普及の進展に伴い有機系の有機薄膜型と色素増感型の学術研究が近年急激に盛んになっていることが示された。

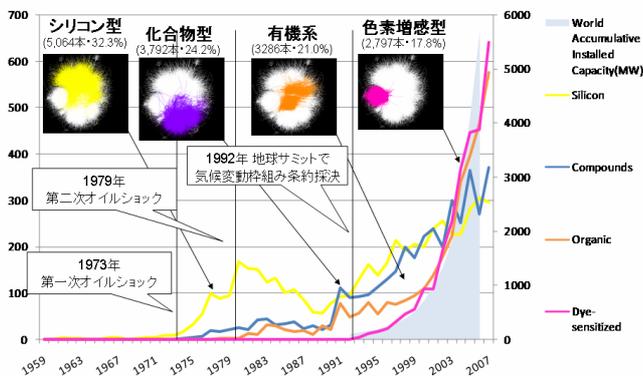


図5 太陽電池学術研究の各主要分野の推移

また更に、各主要分野の論文数の国際比較を行った

結果が下の図6である。ここから生産でリードしている日米独が学術研究においても世界をリードしていることや、シリコン系のオーストラリア・有機薄膜型のオーストリアとオランダ・色素増感型のスイスなど特定の分野で秀でている国の存在が示された。特定の分野に秀でた国が存在することは、オーストラリアは GREEN 博士・オーストリアは SARICIFTCI 博士・オランダは JANSSEN 博士・スイスは GRATZEL 博士などスター研究者がいることが要因と考えられる。この傾向は被引用数上位 10%の論文に絞ると、図7のようにさらに顕著になる。

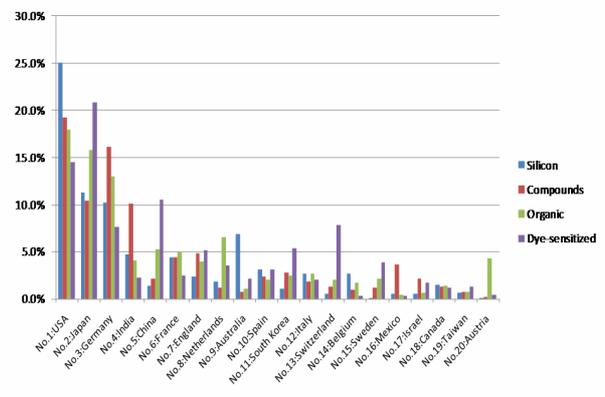


図6. 主要4分野の論文数の国際比較

※各主要分野全体に占める割合に正規化

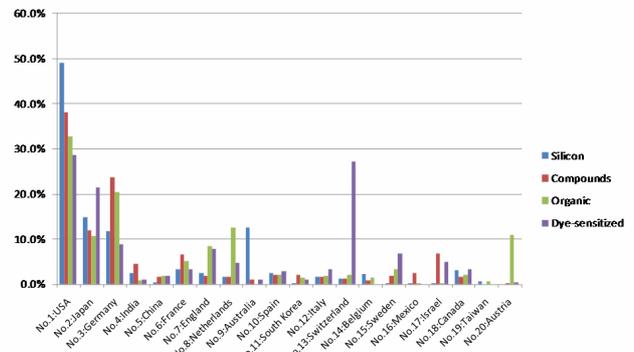


図7. 主要4分野の上位論文数の国際比較

※各主要分野全体に占める割合に正規化

これらの結果をふまえ、最高光電変換効率の向上数を図3のフレームワークを元に分析した結果は、表1のようになった。この結果から、予想通り全主要分野において新知識の創出量が技術革新に大きく影響していることが確認された。更に新知識の質を上げて学術研究による技術革新を促進するためには、シリコン型と化合

物型においては研究活動の機関レベルの集中が有効であり、有機薄膜型と色素増感型においては国内での共同研究が有効であることが示唆された。

表 1.技術革新回数の回帰結果

	Dependent Variable : Innovation count			
	Silicon	Compounds	Organic	Dye
log(paper)	1.603 (0.419)***	1.395 (0.382)***	0.0084 (0.0046)*	1.858 (0.842)**
international collaboration	-2.535 (1.74)	-1.938 (1.55)	-0.0218 (0.019)	0.4386 (2.76)
national collaboration	0.4565 (1.25)	1.360 (0.960)	0.0638 (0.022)***	4.863 (3.03) [△]
institutional concentration	2.523 (1.15)**	2.792 (1.62)*	-0.0023 (0.019)	-4.410 (5.83)
individual concentration	-9.992 (10.5)	-11.22 (8.25)	-0.0036 (0.046)	7.869 (21.8)
Number of observation	220	220	320	120
Number of groups	11	11	16	6

***:1%有意,**:5%有意,*:10%有意,[△]:12%有意(両側検定)

※計算が収束しなかったため、Organicのみ正規分布を仮定

このようにシリコン系・化合物系と有機薄膜型・色素増感型の結果に差があることは、論文が頻繁に投稿されているジャーナルやエキスパートの声から、技術開発フェーズの差に要因があることが推察される。具体的には、投稿されているジャーナルにおいては前者は応用物理系が多くに対し、後者は化学系が多い。これから前者は構造の改善により物性を変化させていくというアプローチの技術革新が多く、機関レベルで集中して多くの実験等を繰り返すことが効果的であるのに対し、後者はいまだに材料開発が重要であり、国内で連携して異質な多くのアイデアを取り込むことが重要であることが考察される。この考察はエキスパートによる、シリコン系などは新型ということでは”量子ドット構造を提案すれば有名になれるとも言える状況(昭和シェル技術者,2009)”という発言や、色素増感型などは、目標とする15%を達成するには800nm~900nmの光を有効に吸収する色素開発が必須(早瀬,電気学会誌,2008)”という記述とも整合性が取れている。

4.結論

以上から、学術研究において太陽電池の最高光電変換効率値を向上させていく技術革新の頻度を増すためには、シリコン系・化合物系など技術的に熟成度が高いと考えられる分野は学術研究構造を集中するCOEなどが有効であり、有機薄膜型・色素増感型など技術的に未成熟と考えられる分野は国内での連携に補助金を出すなどの施策が有効であることなどが示唆された。

参考文献

- [1] B.Sorensen, 1991, "Renewable energy : A technical overview", *Energy Policy*
- [2] IEA-PVPS Report
- [3] 富士経済, 2008, 『2008年版 太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望』, 株式会社富士経済
- [4] 電気事業連合会, 2004, 「モデル試算による各電源の発電コスト比較」
- [5] NEDO, 2004, 『太陽光発電ロードマップ (PV2030)』
- [6] Newman, M. E. J.2004, "Fast Algorithm for detecting community structure in networks." *Physical Review*, E.69:066133
- [7] Martin A. Green et al, 1992~2008, "Solar Cell Efficiency Tables Version1~32" PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS