

# 平成 1 7 年度 特許出願技術動向調査報告書

## 色素増感型太陽電池 (要約版)

### < 目次 >

第 1 章 色素増感型太陽電池の概要 .....	1
第 2 章 色素増感型太陽電池の特許動向分析 .....	7
第 3 章 色素増感型太陽電池の政策動向分析 .....	20
第 4 章 色素増感型太陽電池の市場環境分析 .....	27
第 5 章 色素増感型太陽電池の研究開発動向 .....	30
第 6 章 色素増感型太陽電池の 注目研究開発テーマ別詳細分析 .....	34
第 7 章 色素増感型太陽電池の総合分析 .....	40

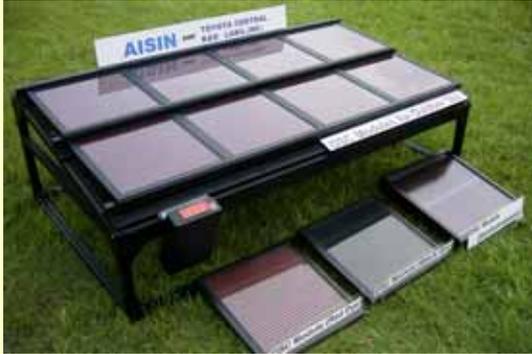
平成 1 8 年 4 月

特 許 庁

問い合わせ先  
特許庁総務部技術調査課 技術動向班  
電話：03 - 3581 - 1101 (内線2155)

# 色素増感型太陽電池

## アイシン精機の大面積モジュールと「トヨタ夢の住宅 PAPI」



24cm × 24cm モジュール 8 枚で構成されるモジュールユニット



1 面がモジュール 12 個で構成される壁パネルを 4 面配置

## フジクラの大面積モジュール



410mm × 140mm の単セルを 16 枚組み合わせた 1,190mm × 840mm の大型パネルモジュール

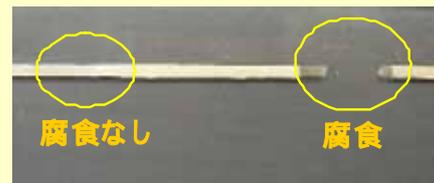
## 第一工業製薬の非ヨウ素電解質

新規レドックス

ヨウ素レドックス

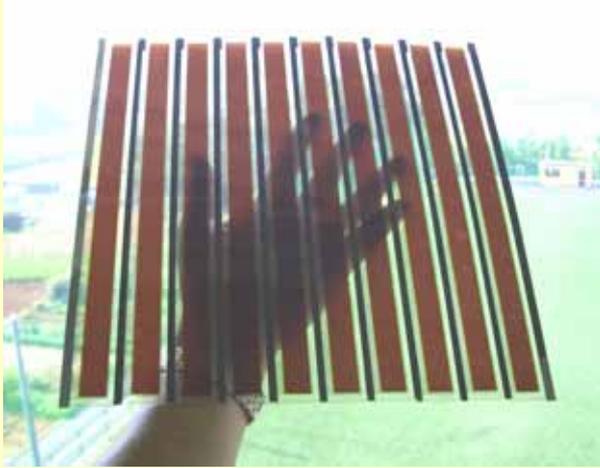


4h後



新しい非ヨウ素有機レドックスとヨウ素レドックス電解質の透明性と銀線に対する腐食性の比較

ペクセルの  
プラスチックモジュール



300mm × 17mm の単セルから構成される  
30cm 角のプラスチック基板太陽電池



愛知万博に展示したフィルム太陽電池  
モジュールとモリゾー・キッコロの  
LED 電飾パネル



ウェアラブルソーラーセル

岐阜大学の  
カラフル太陽電池



フィルム型カラフル太陽電池

# 第1章 色素増感型太陽電池の概要

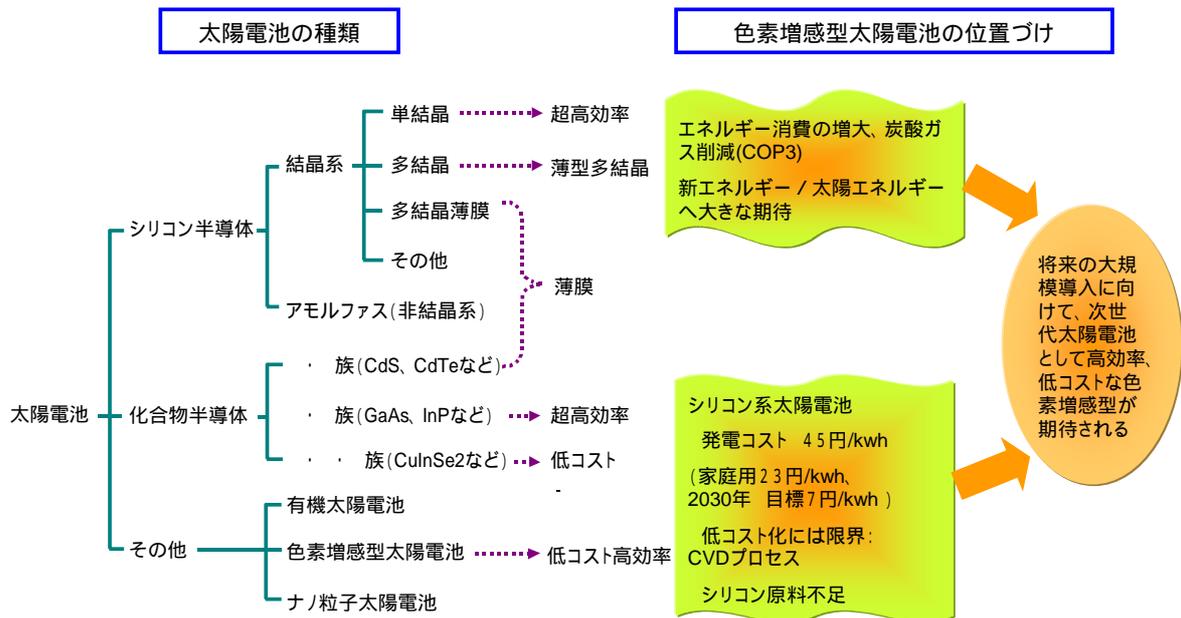
## 第1節 太陽電池と色素増感型太陽電池

地球温暖化ガスの排出量削減に向け、従来の化石燃料によるエネルギー利用から環境にやさしい自然エネルギーの利用が近年進められており、その中でも太陽エネルギーを利用するものとして、太陽電池が世界各国において広く利用されている。また、今後も増大するエネルギー消費に対してエネルギーを確保する観点でも、無尽蔵、無公害かつ地球のエネルギーバランスを崩さない究極のエネルギー源である太陽光の利用が不可欠であるとされている。

このような環境のもと、日本の太陽エネルギー利用技術の開発は1974年に開始された「サンシャイン計画」に始まり、1993年からは「ニューサンシャイン計画」として進められてきた。この一連の技術開発により太陽電池の商業生産が始まり、政府の太陽光導入支援政策もあって、太陽電池の生産は急激な伸びを示した。2004年の太陽電池生産量は世界全体で1,194MWに達し、日本の生産量は618MWと世界の50%を越え出荷額として2,700億円を越えるまでに発展している。

第1-1図に太陽電池の種類と、今回本稿で取り上げる次世代電池として期待される色素増感型太陽電池の位置づけを示す。

第1-1図 太陽電池の種類と次世代電池として期待される色素増感型太陽電池の位置づけ



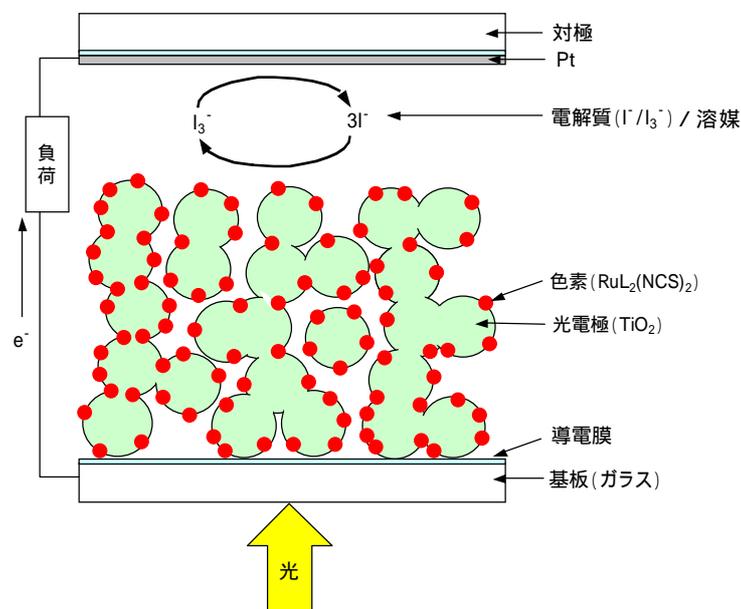
「色素増感型太陽電池」は、新型太陽電池の一つであり、1991年にスイス・ローザンヌ工科大学(EPFL)のGraetzelらによって、ナノポーラスなチタニア( $TiO_2$ )半導体電極とルテニウム(Ru)金属錯体および電解質からなる新規な湿式太陽電池としてNature誌に発表された。この電池は約8%という高い変換効率を得られたにもかかわらず、その素子構造の簡単さと大型の製造設備がなくても製造出来る可能性があることから世界中の研究者の注目を集めた。1997年には、Graetzelのグループが改良されたRu色素を使用して変換効率10%を報告した。この値は米国のNREL(National Renewable Energy Laboratory)によっても確認された。最近

では 11% を越える値が報告されている。10% を越える変換効率は、アモルファスシリコン太陽電池の例からも、既に実用的な効率レベルにあるといえるため、その後多くの研究者が「色素増感型太陽電池」の研究開発に力を注いできた。

「色素増感型太陽電池」は電解質を利用できること、原料および製造コストが安価であること、色素利用のため装飾性を有することなどの特徴があり、近年わが国においても活発に研究がなされており、いくつかのベンチャー企業の出現も見られる状況にある。また、特許出願件数も増加している。安価でクリーンなエネルギーの開発は 21 世紀の日本が抱えるエネルギー問題の要であり、その切り札となりうる色素増感型太陽電池による太陽光発電システムが日本発の実用化技術として発信されることが期待されている。

色素増感型太陽電池は、第 1-2 図に示すように、基板、導電膜、半導体膜(光電極)、色素、電荷輸送材(電解質、溶媒)、対極などから構成されている。

第 1-2 図 色素増感型太陽電池の概念図



光電極としては、導電膜を付けた基板にナノサイズのチタニア粒子をペースト状にして塗布し、これを 450 程度で焼結したものをを用いる。チタニアの厚みは 10 μm 程度で、多数のナノサイズの空孔を有するため、実効表面積は見かけの基板面積の 1,000 倍以上に達する。この空孔の内面にカルボキシル基を有する Ru ビピリジル錯体色素を担持すると、カルボキシル基により色素はチタニア表面に化学的に結合する。対極には透明導電膜に白金を蒸着したものが用いられる。両極間には、溶媒に電解質としてヨウ素とヨウ素イオンのレドックス系を溶解した電解液が充填される。

色素増感型太陽電池では、可視光を効率良く吸収する Ru 錯体色素などを用いて光を吸収させ、励起状態に上がった色素分子からチタニアの伝導帯に電子注入を行わせる。Ru 錯体とチタニアの間の電子移動は逆反応に比べ極めて速いため有効に電荷分離が行われる。チタニアに注入された電子は、アノードおよび外部回路を通じてカソードに達する。一方、チタニアに電子を供与して酸化状態にある色素は、電解液中のレドックス系の I<sup>-</sup> から電子を受け取

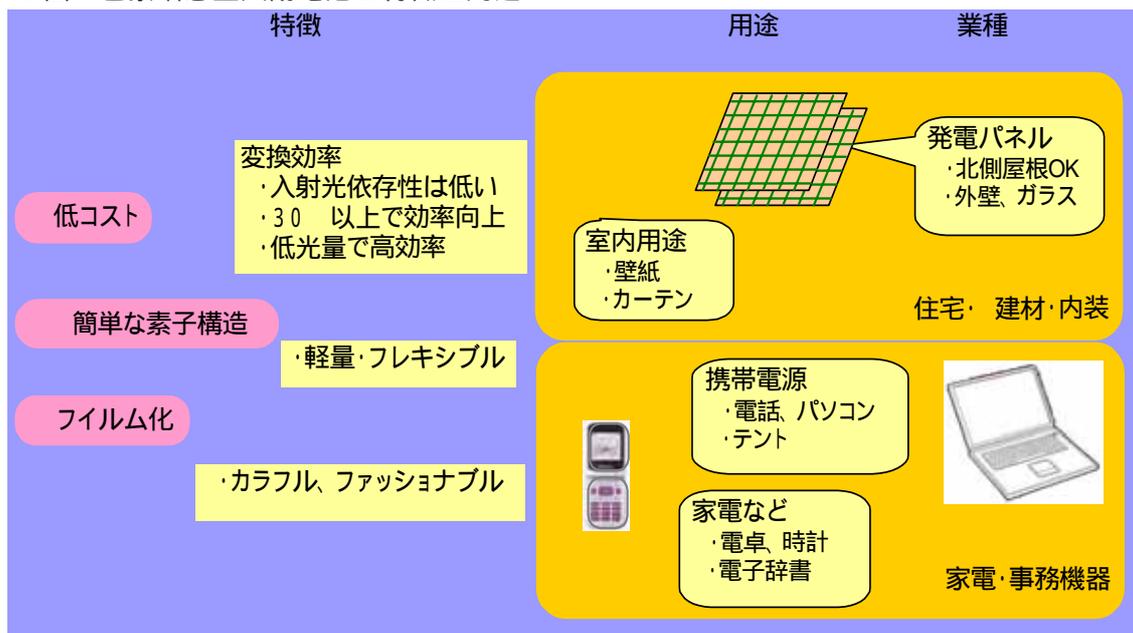
り中性分子に戻る。I<sup>-</sup>は電子を失って I<sub>3</sub><sup>-</sup>となるが、対極から回路を流れてきた電子を受けとり I<sup>-</sup>に戻る。色素増感型太陽電池の内部では以上の様なサイクルの繰り返しにより光が電流に変換される。

## 第2節 色素増感型太陽電池の特徴

近年、色素増感型太陽電池が注目されるようになってきたのは、シリコン系太陽電池とは異なり、真空装置を必要としない簡易な方法により安価に製造出来る可能性があり、また変換効率の向上が期待されるためである。最近の電解液の固体化技術の進歩により、色素増感型太陽電池の安全性や耐久性の改善に目処が立ってきたことも背景にある。さらに、シリコン太陽電池と比較して、広い入射光角度の範囲で高い変換効率を得られる、30°以上の高い温度条件での使用でむしろ変換効率が向上する、低光量でも高効率な光電変換が期待できるなどの特徴がある。

一方で、フィルム化による量産プロセスを確立することで、低出力であっても、軽量性、フレキシブル性、携帯性、カラフル性などの特性を生かした用途も期待されている。

第 1-3 図 色素増感型太陽電池の特徴と用途

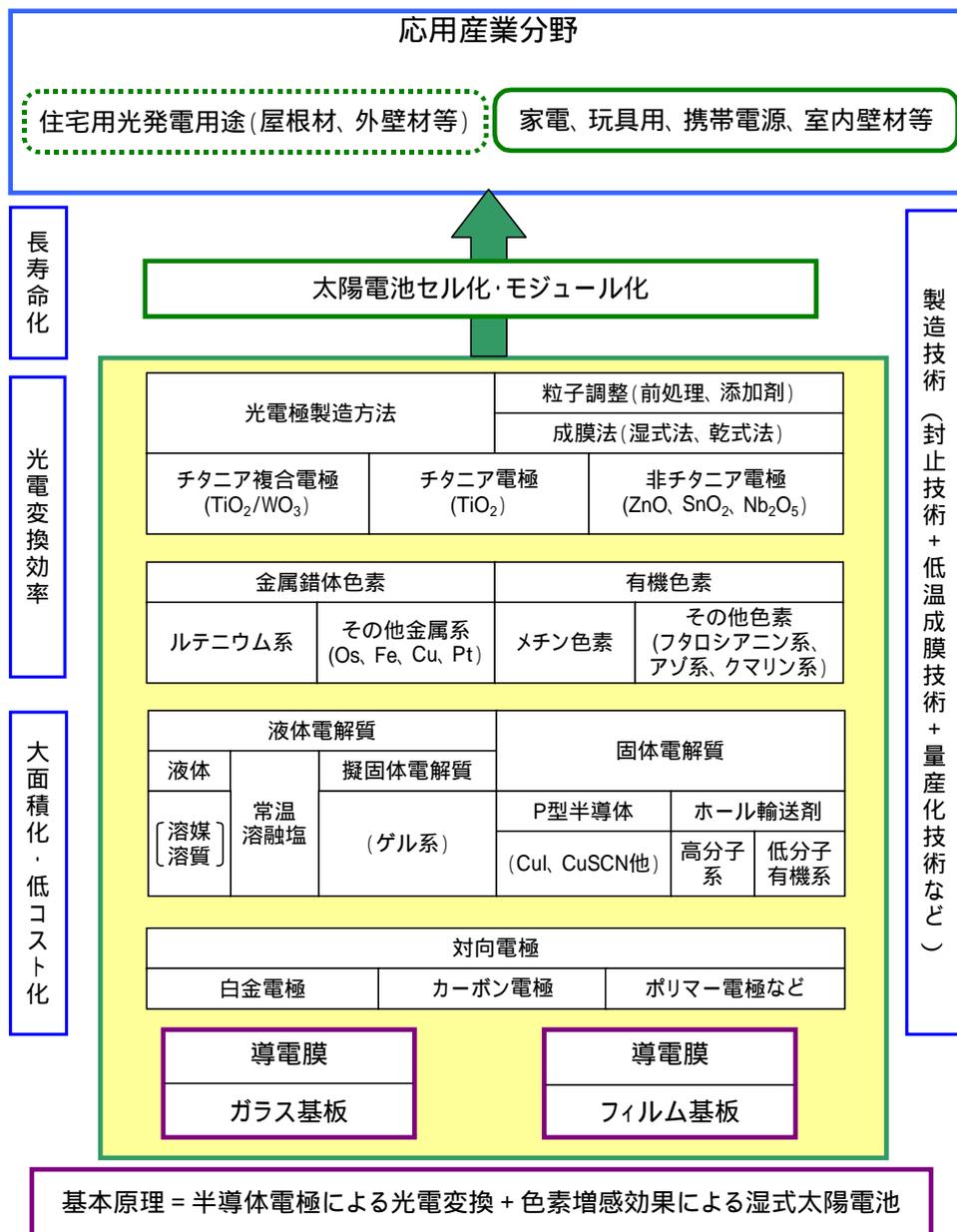


## 第3節 色素増感型太陽電池の技術俯瞰図と技術分類表

第 1-4 図に、色素増感型太陽電池の電池構成 / 技術要素と関連技術および応用産業分野の全体像を展望する技術俯瞰図を示す。

色相増感型太陽電池は、基板、導電膜、半導体膜（光電極）、色素、電荷輸送材（電解質、溶媒）、対極などから構成されている。各構成要素の改良により、また、封止技術、低温成膜技術、量産化技術などに代表される製造技術を改良することにより、長寿命化、光電変換効率の改善、大面積化、低コスト化などが図られている。また、モジュール化することにより、住宅設置の発電用、家電用、携帯電源用の用途などへの展開が期待されている。

第 1-4 図 色素増感型太陽電池の技術俯瞰図



色素増感型太陽電池の技術分類表を第 1-5 表に示す。大分類 01 から 09 までは、色素増感型太陽電池の構成要素（大分類 01 から 07）、製造技術（大分類 08）およびその他（大分類 09）により分類した。

大分類 10 は、色素増感型太陽電池の課題を示すもので、12 項目に分類した。大分類 11 は用途に関するもので 9 項目に分類した。各々の大分類には必要に応じ、中分類および小分類までの詳細な分類を行った。

分類に際しては、特許あるいは文献の主要な課題に関連する項目を主分類として（複数付与有り）構成要素として含まれる具体的な項目を副分類として付与した。データ解析は、基本的には主分類をベースに行った。

第 1-5 表 技術分類表

大分類	中分類	小分類
01. 基板	A. 材料	1. ガラス基板、2. セラミックス基板、3. 樹脂基板、4. 金属基板、5. その他
	B. 機能	1. 集電、2. 集光・散乱、3. 波長変換、4. その他
	C. その他	
02. 導電膜	A. 導電膜材料	1. SnO <sub>2</sub> (FTO を含む)、2. ITO、3. ZnO(IZO を含む)、4. カーボン系、5. その他
	B. 成膜方法	1. 蒸着法、2. スパッタ法、3. スプレーパイロリシス法、4. その他
	C. 導電膜構造	1. 集電/金属配線層、2. 中間膜、3. 多層膜、4. 集光、5. その他
	D. その他	
03. 半導体膜	A. チタニア電極	1. チタニアナノ粒子、2. チタニアナノチューブ、ナノチューブ、ナノロッド、3. チタニアドーピング、4. 電極への添加剤、5. 電極処理、6. その他
	B. チタニア複合電極	1. TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> 電極、2. その他
	C. 非チタニア電極	1. ZnO 電極、2. SnO <sub>2</sub> 電極、3. ZnO/SnO <sub>2</sub> 電極、4. Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 電極、5. その他
	D. p 型半導体電極	
	E. タンデム型電極	
	F. 成膜技術	1. 湿式法、2. 乾式法、3. 低温成膜法、4. その他
	G. 光電極の構造	1. 光散乱層および反射層、2. その他
	H. その他	
04. 色素	A. 金属錯体系	1. Ru 錯体色素、2. その他金属錯体
	B. 有機色素系	1. メチン色素、2. キサンテン色素、3. ポルフィリン色素、4. フタロシアンニン色素、5. アゾ系色素、6. クマリン系色素、7. その他の有機色素
	C. 被覆	1. 吸着、2. 積層、3. 複数色素の利用、4. その他
	D. その他	
05. 電荷輸送材	A. 液体電解質	1. 液体電解質、2. イオン性液体、3. 非ヨウ素系電解質、4. その他
	B. 擬固体電解質	1. ゲル化、2. その他
	C. 固体電荷輸送材	1. p 型半導体、2. ホール輸送層
	D. その他	
06. 対極	A. 対極の材料	1. 白金(貴金属)、2. カーボン、3. 導電性ポリマー、4. 複合材料、5. その他
	B. 成膜方法/電極形成法	1. スパッタ法、2. その他
	C. 対極の構造	1. 集電、2. 集光、光の反射、3. 透明電極、4. その他
07. 封止技術	A. 封止材料	1. ポリマー系接着剤、2. セラミックス系接着剤
	B. 封止方法	
	C. その他	
08. 電池製造技術	A. 単セル	1. 電池全体構成、2. 部分構造、3. その他
	B. モジュール	1. 単モジュール内の複数セルの接続、2. 複数モジュール間の接続、3. その他
	C. 製造技術	1. 製造プロセス、2. 製造装置、3. その他
	D. フレキシブルセル	1. フィルム化、2. 高速量産化、3. その他
	E. 大面積化	
	F. その他	
09. その他	A. 評価技術	1. 測定方法、2. 標準化、3. LCA
	B. その他	1. 充電機能、2. その他

大分類	中分類	小分類
10. 課題	A. 光電変換効率(出力)の向上	1. 光マネジメントに関するもの、2. 光吸収に関するもの、3. 集電に関するもの、4. 漏れ電流、暗電流に関するもの、5. 光電極に関するもの、6. 色素に関するもの、7. 電解質、添加剤に関するもの、8. 対極に関するもの、9. 電氣的接続部に関するもの、10. その他
	B. 耐久性(信頼性)向上	1. 封止に関するもの、2. 光電極に関するもの、3. 色素に関するもの、4. 電解液、電解質に関するもの、5. 対極に関するもの、6. その他の材料・部材に関するもの、7. 電池全体の耐久性を向上させる保護手段、8. その他
	C. 量産性(量産技術)の向上	1. 設計に関するもの、2. 製造設備に関するもの、3. 製造工程・工程間に関するもの、4. その他
	D. 軽量化、可撻性向上	1. 設計・構造に関するもの、2. 使用材料・部材に関するもの、3. 製造工程に関するもの、4. 電氣的接続部に関するもの、5. その他
	E. 機械特性の向上	1. 設計・構造に関するもの、2. 使用材料・部材に関するもの、3. その他
	F. 安全性の向上	1. 不燃、難燃化に関するもの、2. 漏液の際の安全に関するもの、3. 設置、取り付けに関するもの、4. その他
	G. 低コスト化	1. 材料代替・置換による低コスト化に関するもの、2. 構造変更による低コスト化に関するもの、3. その他
	H. 意匠性向上	1. 色に関するもの、2. 形状に関するもの、3. 性状(見せ方)に関するもの、4. その他
	I. 環境負荷物質使用量の削減	1. 電池材料に関するもの(電極材料・電解質・添加剤・保護材) 2. 電氣的接続部に関するもの、3. その他
	J. リサイクル性向上/廃棄方法	1. 設計・構造に関するもの、2. 使用材料・部材に関するもの、3. 分解・廃棄方法に関するもの、4. その他
	K. 評価技術の確立	1. 評価機器に関するもの、2. 評価方法・条件に関するもの、3. その他
	L. その他	
	11. 用途	A. 集積発電専用設備(発電所等)
B. 住宅・ビル・工場等		1. 屋根、2. 壁、3. 窓、4. その他
C. 街路設置物		1. 標識・ガードレール、2. モニュメント、3. その他
D. 輸送機器(自動車・鉄道・船舶・航空)		1. ボディ、2. 窓、3. その他
E. 電子機器・時計		1. ボディ、2. 表示部、3. その他
F. 充電器		1. 二次電池、キャパシター充電
G. 布製品		1. 服、2. カーテン、3. 帽子、4. テント、5. 傘、6. その他
H. 玩具		
I. その他		1. 農業、園芸、2. その他

## 第2章 特許動向分析

### 第1節 全体動向分析

本調査では、調査対象となる特許公報として日本、米国、欧州<sup>1)</sup>、韓国、中国を選定し、特許出願動向調査を行った。また、これらの対象となる特許公報全体を「全世界」と定義した。

日本特許検索には PATOLIS を、海外特許には WPINDEX をデータベースとして採用した（第2-1表）。日本特許及び海外特許の検索を2005年7月26日と8月8日に行い、検索された全件数に対し明細書を確認してノイズ落としと技術分類を行った。その結果、色素増感型太陽電池に関係する特許出願として抽出された日本特許1,034件、外国特許338件を特許解析用のデータベースとして構築した（第2-2表）。

第2-1表 使用データベースおよび特許検索の範囲

内容	データベース	期間
1. 日本特許の動向分析	PATOLIS 注1	1980～
2. 米国特許の動向分析 3. 欧州特許の動向分析 4. 韓国特許の動向分析 5. 中国特許の動向分析	WPINDEX(STN)注2	1980～2003/優先権主張年

注1) PATOLIS : 日本特許庁より公開された特許出願と付与特許を収録したデータベース

注2) WPINDEX : Thomson Scientific 社が提供する世界主要41カ国+2特許機関が発行する特許を収録したデータベース

第2-2表 特許検索結果

	検索日	検索件数*	データベース採用件数**
日本特許	2005.07.26	2,879	1,034
海外特許	2005.08.08	1,769	338
海外特許内訳	US	963	149
	EP	630	148
	CN	172	30
	KR	44	11

\* 公開 / 登録の重複有り \*\* 公開 / 登録の重複なし

調査対象出願人国籍として、日本、米国、欧州<sup>2)</sup>、韓国、中国、その他に分けて解析を行った。本報告書では、オーストラリアは欧州に、台湾は中国に含めている。

図表等は、基準日（基準年）に従って取り纏めを行った。基準日（基準年）は、特許出願の出願日あるいは優先権主張日の中で最も時期の早いもので示される。

特許出願件数の合計は、特に断らない限り、パテントファミリーの重複排除をせず、単純合計により算出している。

1) 欧州特許庁が発行した公報を対象とした

2) オーストリア、ベルギー、ブルガリア、スイス、キプロス、チェコ、ドイツ、デンマーク、エストニア、スペイン、フィンランド、フランス、イギリス、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、アイスランド、イタリア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルグ、モナコ、オランダ、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、スウェーデン、スロベニア、スロバキア、アルバニア、ボスニア・ヘルツェゴビナ、クロアチア、ラトビア、マケドニア、セルビア・モンテネグロ、オーストラリア

特許出願が公開されるまでの1年半の期間あるいは検索に使用したデータベースへの入力のタイムラグ等を考慮すると、基準年2004年の特許出願では検索時点で公開されていないものが多数ある。また基準年2003年の特許出願の場合でも必ずしも特許出願の全件数が検索結果に反映されているとは限らない。このため、特許出願の年次推移を解析するに際しては十分な注意が必要である。

図表の作成に当たっては、特に明記しない限り特許解析用データベースの全データを対象とした。なお、今回の調査では1987年以前の色素増感型太陽電池に該当する特許出願はなかった。

米国では1999年法改正により、2000年11月29日以降にされた米国出願は、最先の優先日から18ヵ月経過後に公開されることになった。このため、2000年11月29日以前の出願に対する「出願数」が「登録された特許出願数」を示すのに対し、2000年11月29日以降の出願に対しては「出願件数自体」を示すものであり、出願件数の推移を見ていく上で注意することが必要である。

外国出願の特許番号については、原則的には公開公報の番号を記載する。(WPIの文献カテゴリ“A”のものを表記する)

### 1. 出願・登録件数の推移と構成比率

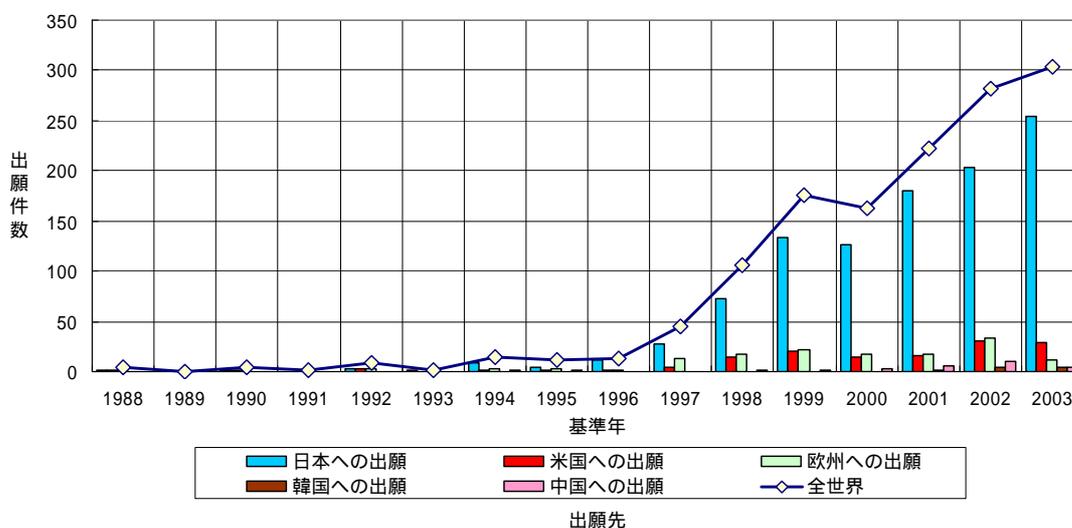
各出願先国への出願件数の推移と構成比率(全世界)を第2-3図に示す。

1988年にGraetzelが色素増感型太陽電池の基本となる特許を出願して以来、本調査での特許検索実施時点までに全世界で1,372件の特許出願が行われた。その75%が日本への出願であり、欧米をあわせた出願が出願件数の97%と大多数を占めている。

出願件数の推移をみると、1997年頃から出願が増え始め、2003年においても増加傾向が継続している。色素増感型太陽電池の安価で高効率な次世代太陽電池としての可能性が1991年にNatureに発表されたGraetzelらの論文で示されたあと、世界各地で行われた研究開発の結果が1997年頃から特許出願の形で現れてきたものと思われる。

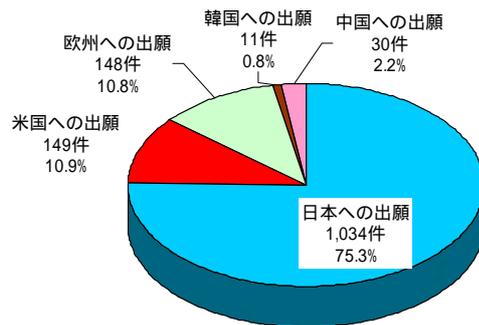
第2-3図 各出願先国への出願件数の推移と構成比率(全世界)

#### a) 出願件数推移



b) 出願件数構成比率

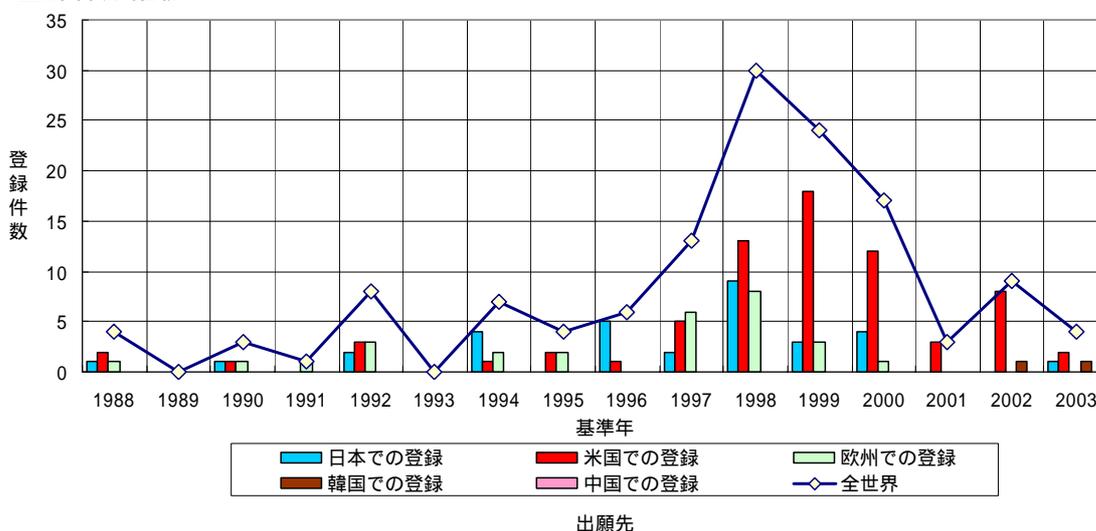
出願件数 1,372 件



一方、調査時点での登録件数は、全世界で 134 件であった（第 2-4 図）。その内訳は、米国が 72 件と半数以上を占め、日本では 32 件が登録されている。審査請求猶予期間等を考慮すると、今後の審査の進捗に伴って、登録数も増加するものと思われる。

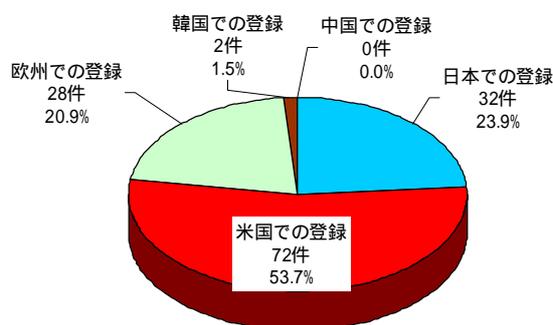
第 2-4 図 各出願先国への登録件数の推移と構成比率（全世界）

a) 登録件数推移



b) 登録件数構成比率

登録件数 134 件

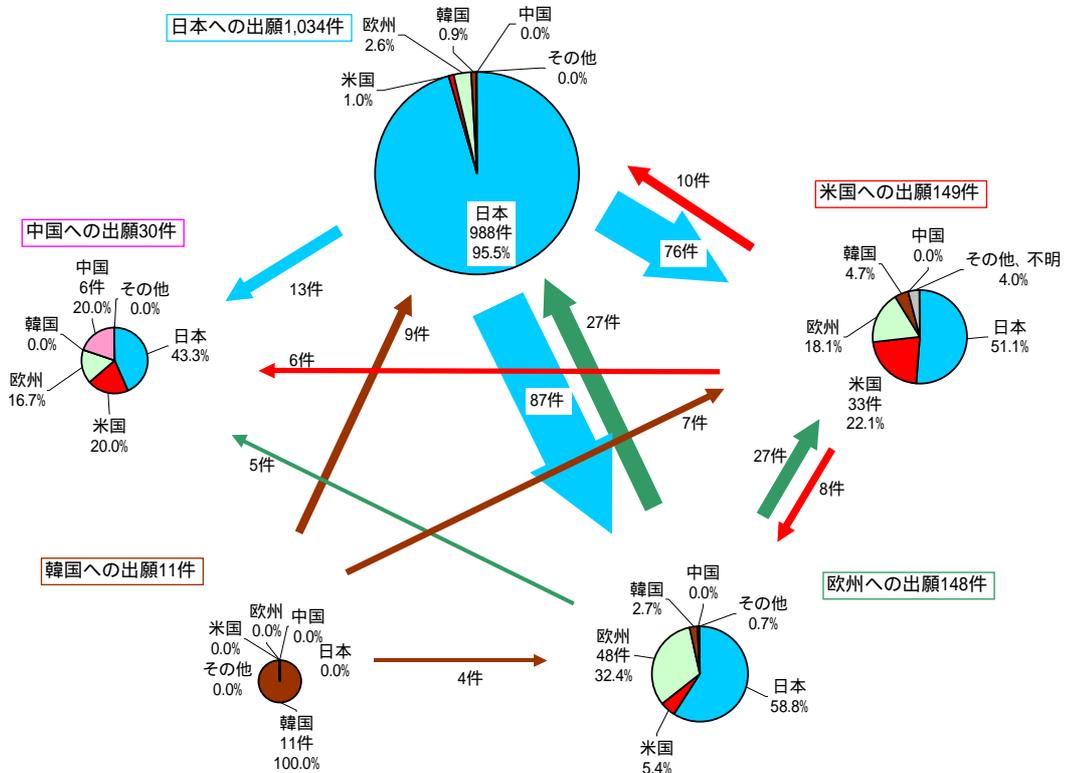


2. 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支：地域間の出願・登録関係

日米欧、中国および韓国へ出願された特許における出願人国籍別の出願件数収支を第 2-5 図に示す。全体的に、日本国籍の出願人の日本への出願が圧倒的に多い。日本国籍の出願人の欧州や米国への出願も多く見られるが、その数は国内出願件数の 10% 弱であり、中国への出願はさらに少ない。欧州国籍の出願人は欧州域内のみならず、出願の約半数を日本や米国

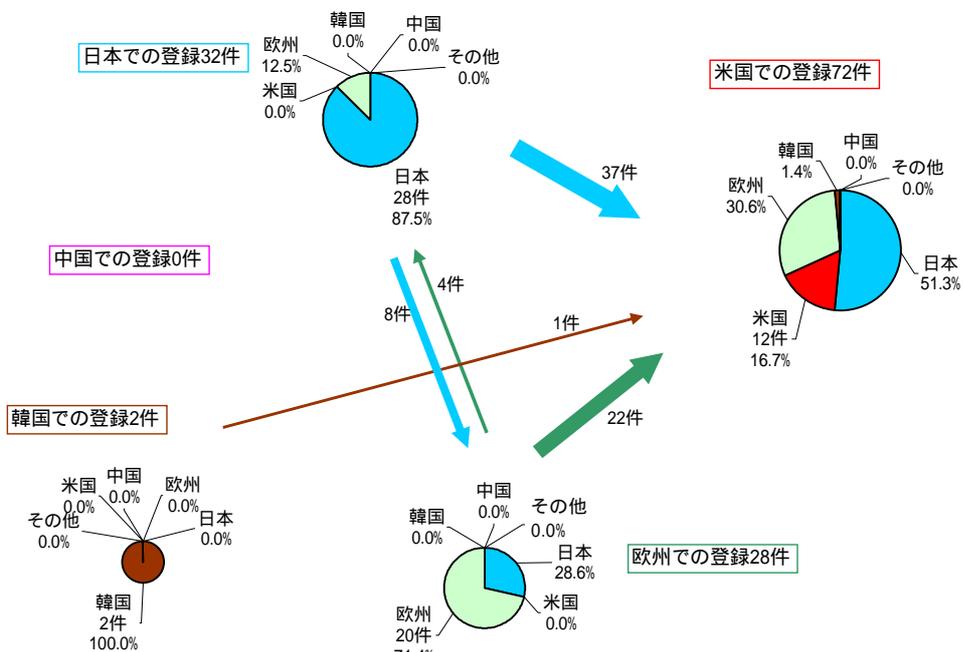
にも出願している。米国国籍の出願人もその 30% 前後を日本や欧州に出願している。数は少ないが、中国へは日米欧からの出願が見られるが、中国から中国以外の国への出願は確認されなかった。他方、韓国国籍の出願人は、日米欧三極に出願している。

第 2-5 図 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支（全世界）



第 2-6 図に同様の関係を登録件数でまとめた。登録件数では、米国での登録件数が多く、米国国籍だけではなく、日本あるいは欧州国籍の特許出願も登録されている。一方、日本では、日本国籍の登録が圧倒的に多いが、米国国籍は無く、欧州国籍の登録は 4 件のみである。欧州では、欧州国籍の登録が中心で日本国籍の登録も見られる。

第 2-6 図 出願先国別 - 出願人国籍別登録件数収支（全世界）



## 第 2 節 技術分野別動向分析

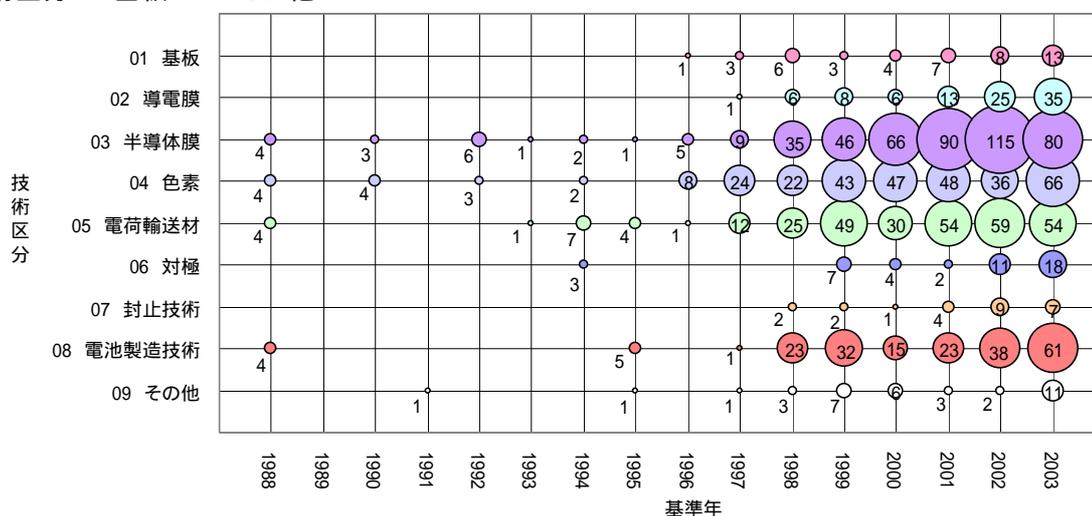
検索された特許出願および登録特許を、技術分類表に従って分類し、技術区分別の動向を分析した。分類の付与では、1 件の特許に複数の技術分類が付与される場合があるが、その場合は、各々の技術分類で 1 件とカウントしている。

第 2-7 図に技術区分別の出願件数の推移を示した。半導体膜、色素および電荷輸送材という 3 要素に関する特許出願が中心で、特に 1997 年以降この 3 要素の出願が急激に増加し 2003 年もこの傾向が続いている。一方、工業化を目指した電池製造技術も 1998 年以降出願件数を毎年伸ばしており、2003 年には 61 件と急増している。

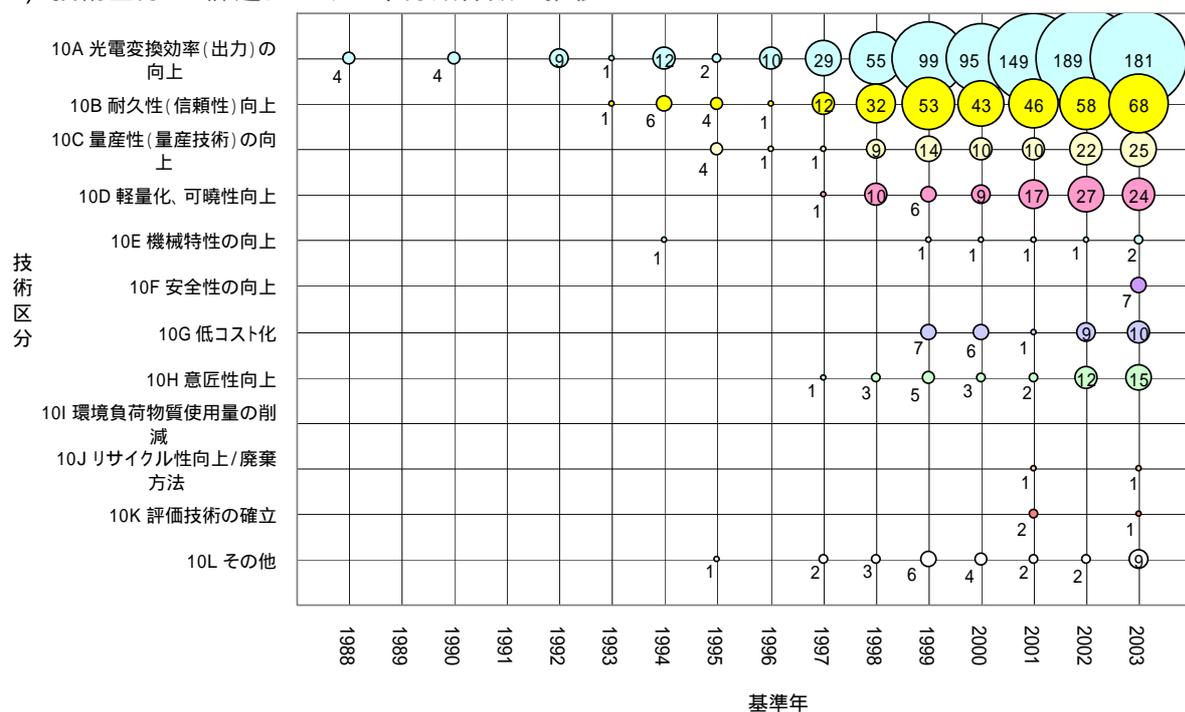
大分類 10 の課題に関しては、光電変換効率の向上に関するものが圧倒的に多く、次に製品としての信頼性に着目したものが続く。量産技術やプラスチック化を含めた軽量化、可視化、意匠性向上などを課題とした出願もあるが、まだまだ少ない。

第 2-7 図 技術区分別出願件数推移（全世界）

a) 技術区分 01 基板～09 その他



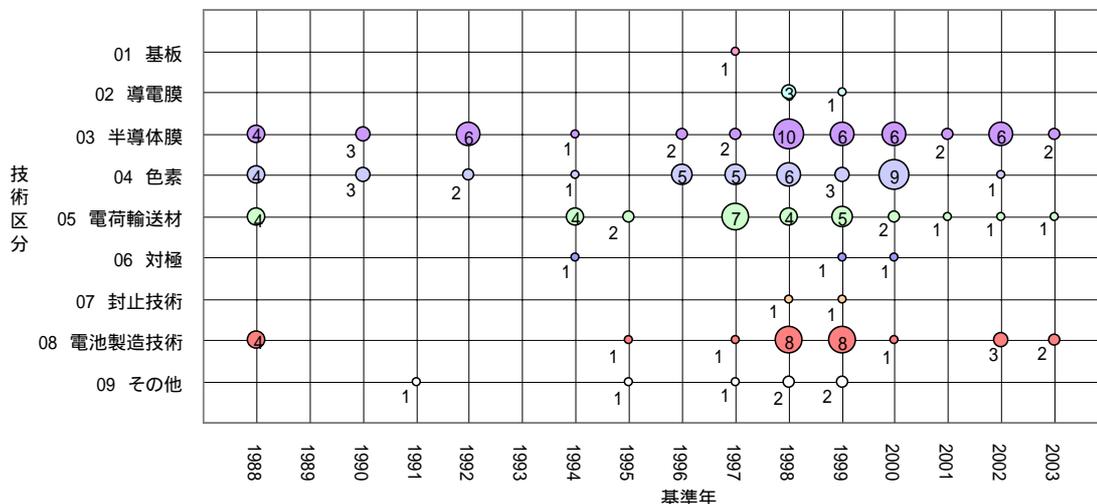
b) 技術区分 10 課題における中分類件数の推移



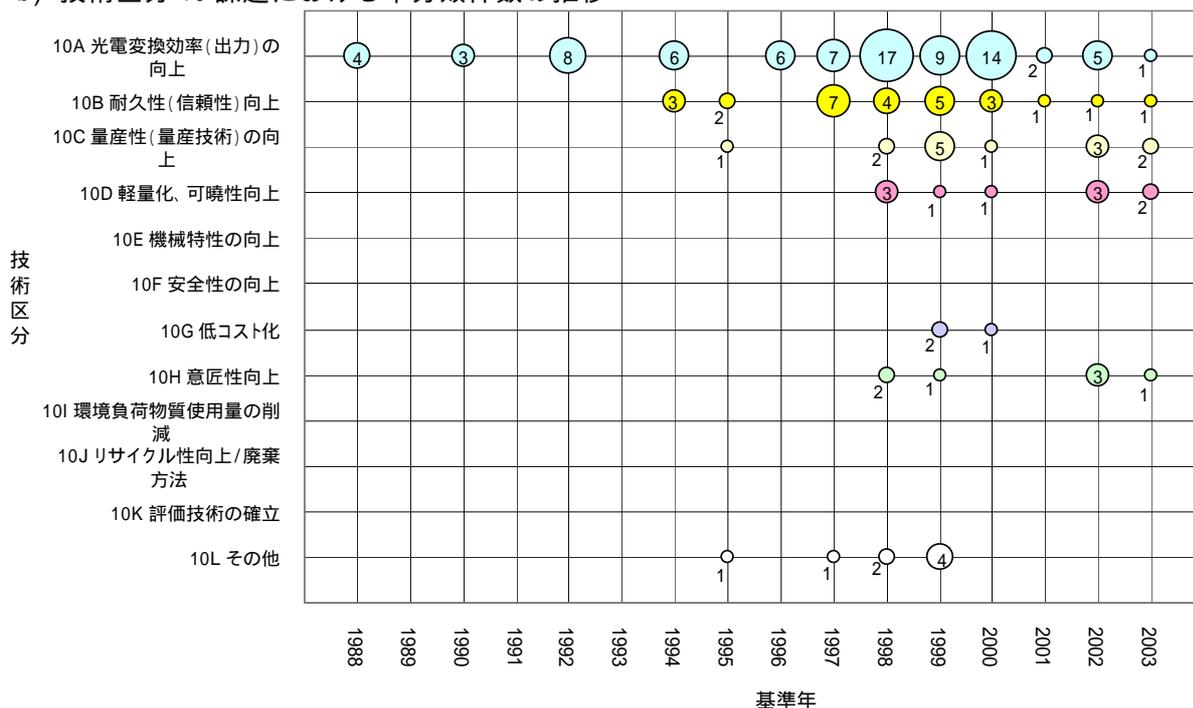
第 2-8 図に示すように、登録された特許の技術区分別傾向は、特許出願での傾向とほぼ同様であるが、まだ登録件数自体が少ないので特徴は明確になっていない。

第 2-8 図 技術区分別登録件数推移（全世界）

a) 技術区分 01 基板～09 その他



b) 技術区分 10 課題における中分類件数の推移



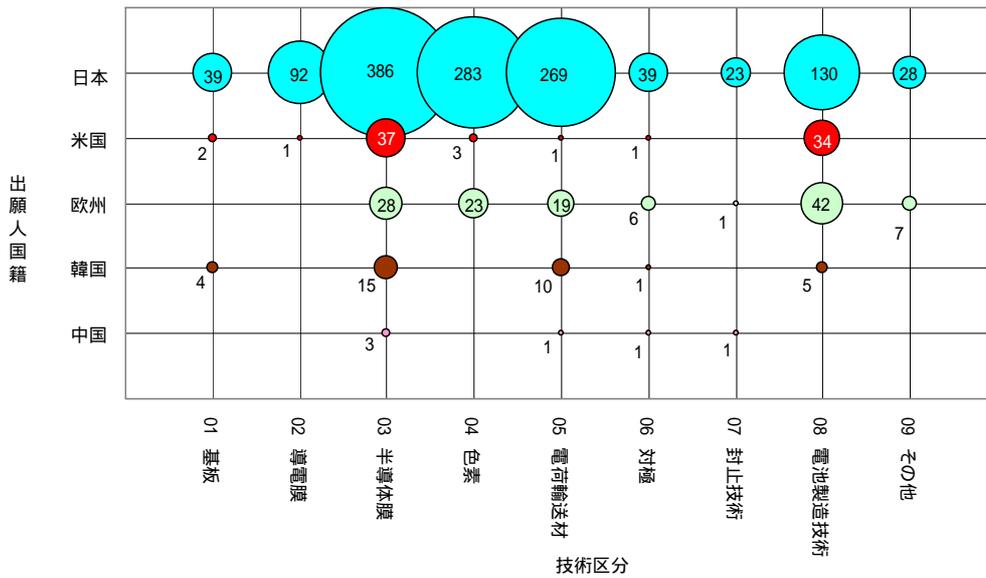
出願人国籍別の技術区分別特許出願・登録件数を第 2-9 図に示す。

すべての出願人国籍において、半導体膜に関して特許出願が多い。日本では、半導体膜に次いで色素と電荷輸送材が多く出願されている。米国では半導体膜に次いで電池製造技術が 2 番目に多い。一方欧州では、電池製造技術に関する出願が最も多いことが特徴的で、次いで半導体膜、色素、電荷輸送材に関する出願が多い。

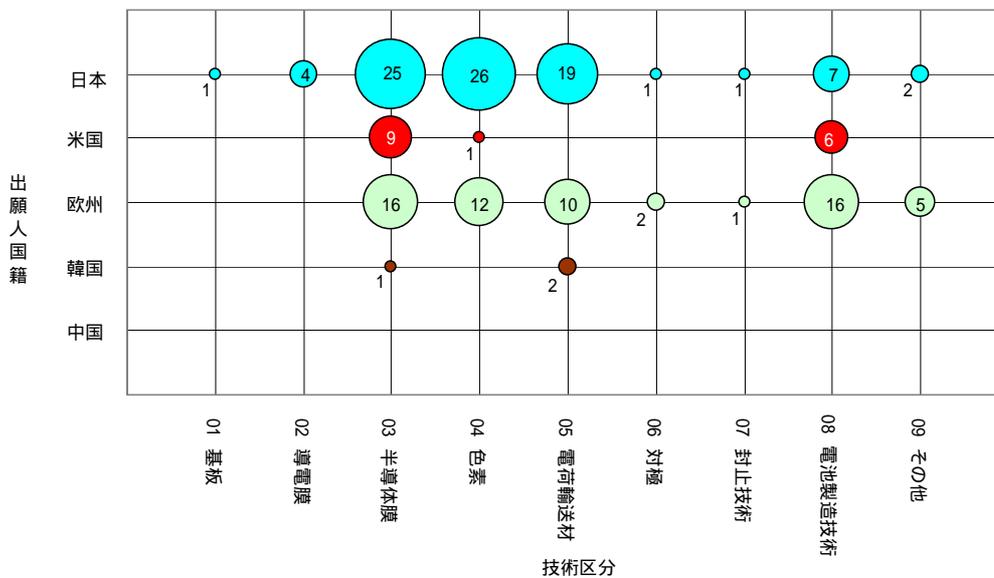
登録件数においても基本的には出願件数と同様の傾向がある。

第 2-9 図 出願人国籍別の技術区別特許出願・登録件数（全世界）

a) 出願件数



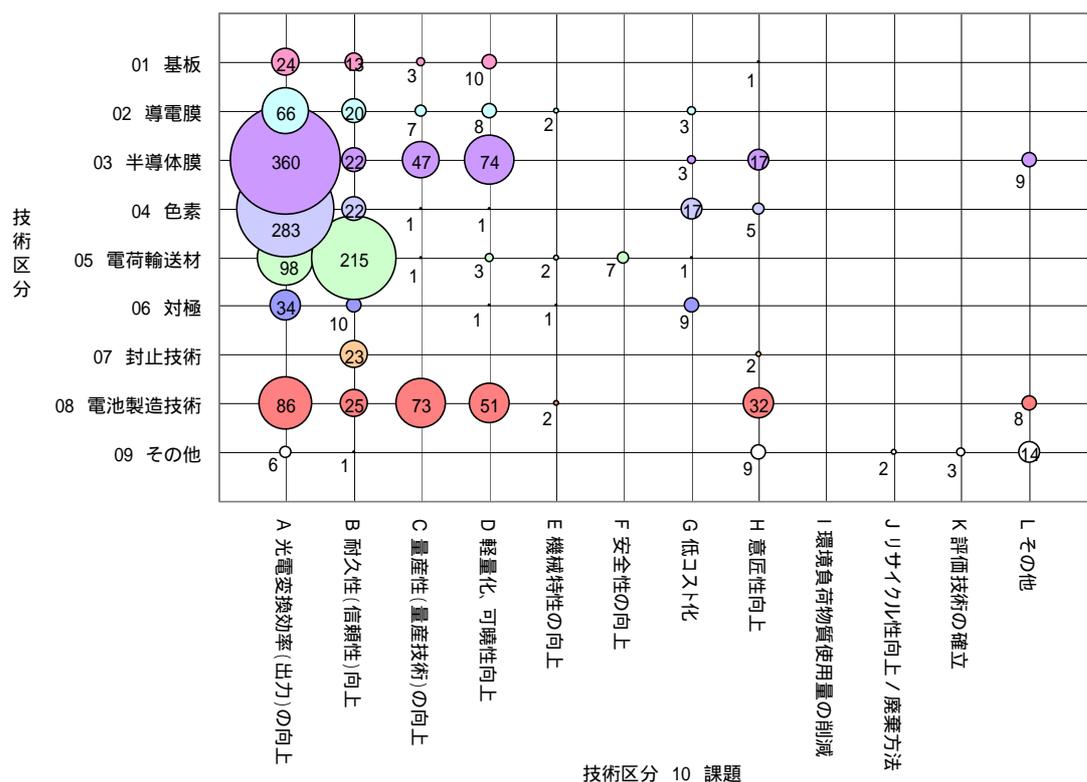
b) 登録件数



大分類 01～09 と大分類 10 課題の相関関係を第 2-10 図に示す。

ほとんどの技術区分において、光電変換効率の向上が重要な課題として取り上げられている。ただ、電荷輸送材と封止技術においては、耐久性向上が主たる課題として取り上げられている。また、半導体膜と電池製造技術では、光電変換効率の向上のほかに、量産性の向上と軽量化、可視性向上および意匠性向上も課題として取り上げられていることがわかる。

第 2-10 図 大分類 01～09 と大分類 10 課題の相関関係（全世界）



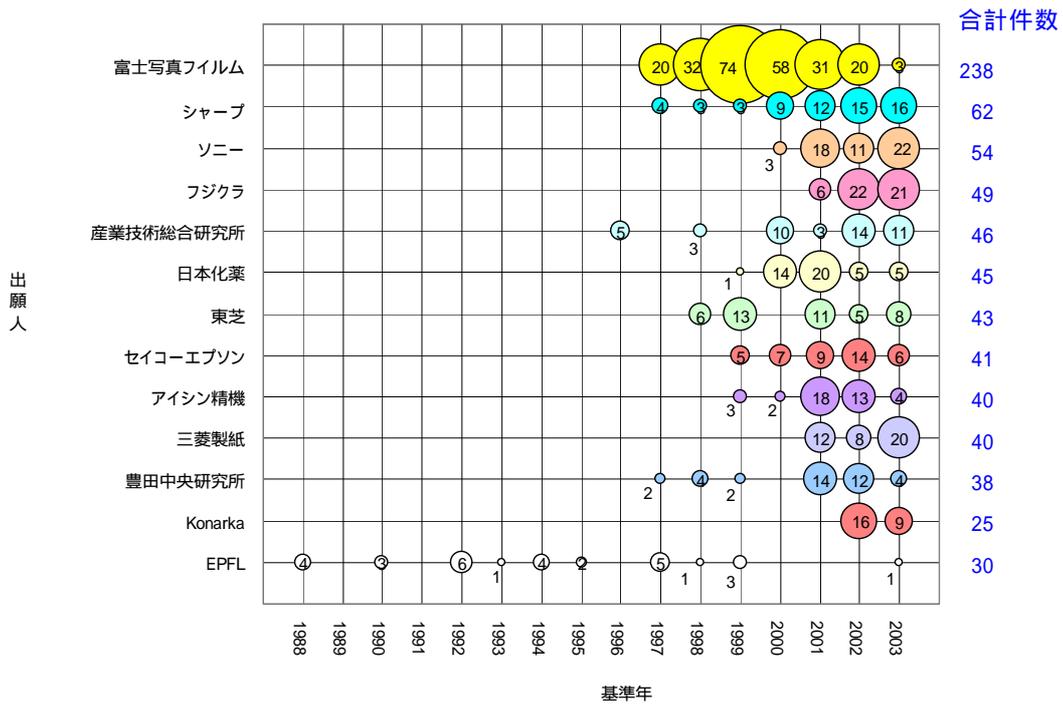
### 第 3 節 出願人（発明者）別動向

第 2-11 図に示すように、特許出願件数では富士写真フィルムが 238 件と圧倒的に多い。その後、シャープやソニーなどの家電メーカー、半導体メーカー、色素関連メーカーなどの日本企業がが続いている。海外の出願人としては、14 位に米国の Konarka、15 位に基本特許を持つ EPFL が続いている。

富士写真フィルムは 1997 年に出願を始めたが 1999 年をピークに減少しはじめ、2003 年には 3 件となり、特許出願活動が収束しているように思われる。一方、シャープ、ソニー、フジクラ、三菱製紙は、2001 年以降出願が増加傾向にある。産業技術総合研究所は、1996 年から 2003 年に至るまで比較的定常的に出願が行われ、日本での先駆者的な役割をしている。その他、日本化薬、東芝、セイコーエプソン、アイシン精機、豊田中央研究所なども多数の特許出願を行っている。

海外の出願人としては、EPFL が 1988 年の基本特許出願に始まり、その後も継続して特許出願を行っている。また、米国のベンチャー企業である Konarka は 2002 年から特許出願を行っていることが分かる

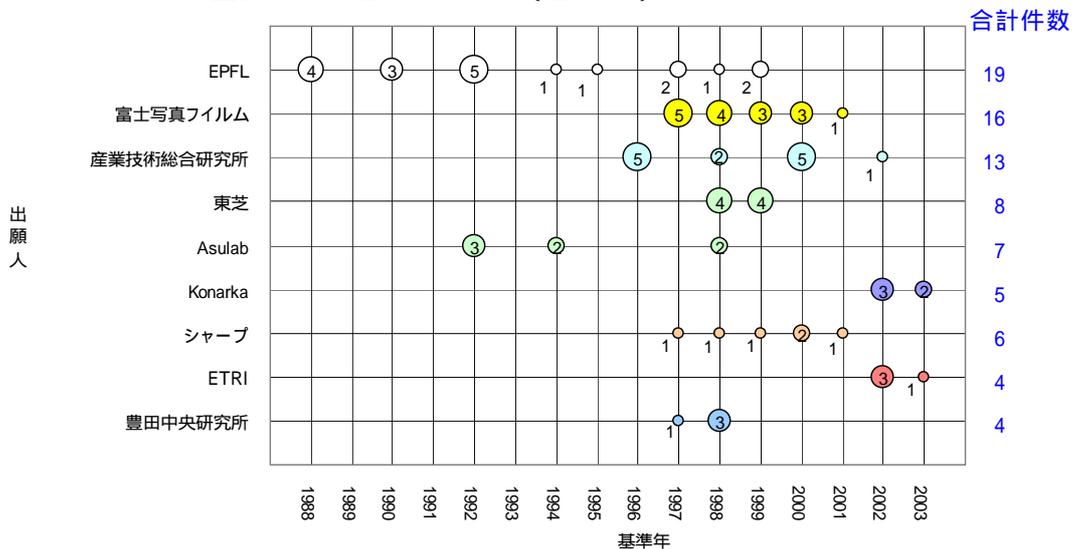
第 2-11 図 出願人別出願件数上位ランキング (全世界)



注) 合計件数は基準年 1988 年 ~ 2003 年の合計

一方、登録件数では、EPFL が 19 件とトップで、富士写真フイルム 16 件、産業総合研究所 13 件と続いている (第 2-12 図)。

第 2-12 図 出願人別登録件数上位ランキング (全世界)



注) 合計件数は基準年 1988 年 ~ 2003 年の合計

第 2-13 表に出願先国別の出願人ランキングを示す。

日本への出願では、富士写真フィルムの 190 件が 1 位で、シャープ、フジクラ、産業技術総合研究所と続いている。米国への出願では、Konarka が第 1 位で、富士写真フィルム、シャープ、ソニー、EPFL と続いている。欧州への出願では、富士写真フィルムが第 1 位で、EPFL が第 2 位、ソニー、ECN、Asulab が続いている。韓国へは ETRI が、中国へは日本化薬、Konarka、Plasma Physics Chinese が 1 位である。日本企業では、富士写真フィルム、シャープ、ソニー、日本化薬の海外への出願件数が多いことが分かる。

登録件数においては、日本では、産業技術総合研究所が 1 位で東芝が 2 位、豊田中研、石原産業、EPFL が続いている。米国では、富士写真フィルムと EPFL が 1 位で、シャープと Konarka が続き、欧州では、富士写真フィルムと EPFL が 1 位で、Asulab と ECN が続いている。

第 2-13 表 出願先別出願・登録件数上位ランキング

a) 出願件数ランキング

出願先	順位	出願人	出願人属性	出願件数
日本	1	富士写真フィルム	企業	190
	2	シャープ	企業	49
	3	フジクラ	企業	42
	4	産業技術総合研究所	研究機関	40
	5	三菱製紙	企業	38
	5	アイシン精機	企業	38
	7	東芝	企業	36
	8	ソニー	企業	35
	8	豊田中央研究所	企業	35
	10	セイコーエプソン	企業	34
	10	コニカミノルタホールディングス	企業	34
	12	富士ゼロックス	企業	32
	12	日本化薬	企業	32
	14	日立マクセル	企業	27
	15	ブリヂストン	企業	20
	16	キヤノン	企業	17
	16	TDK	企業	17
	18	東洋インキ製造	企業	16
	19	大日本印刷	企業	15
	20	触媒化成工業	企業	14
米国	1	Konarka	ベンチャー	20
	2	富士写真フィルム	企業	10
	2	シャープ	企業	10
	4	ソニー	企業	9
	5	EPFL	大学	8
	6	東芝	企業	6
	6	Nanosolar	企業	6
	8	日本化薬	企業	5
	8	キヤノン	企業	5
	10	触媒化成工業	企業	4
欧州	1	富士写真フィルム	企業	38
	2	EPFL	大学	10
	3	ソニー	企業	9
	4	ECN	研究機関	6
	5	Asulab	企業	5
	6	STI	ベンチャー	4
	6	日本化薬	企業	4
	6	Konarka	ベンチャー	4
	6	フジクラ	企業	4
	韓国	1	ETRI	研究機関
2		三星 SDI	企業	3
3		LG Electronics	企業	2
中国	1	日本化薬	企業	4
	1	Konarka	ベンチャー	4
	1	Plasma Physics Chinese	研究機関	4
	4	ソニー	企業	2
	4	セイコーエプソン	企業	2
4	シャープ	企業	2	

b) 登録件数ランキング

出願先	順位	出願人	出願人属性	登録件数
日本	1	産業技術総合研究所	研究機関	10
	2	東芝	企業	6
	3	豊田中央研究所	企業	3
	3	石原産業	企業	3
	3	EPFL	大学	3
米国	1	富士写真フイルム	企業	8
	1	EPFL	大学	8
	3	シャープ	企業	6
	3	Konarka	ベンチャー	6
	5	キヤノン	企業	3
	5	セイコーエプソン	企業	3
	5	産業技術総合研究所	研究機関	3
	5	Asulab	企業	3
	5	E. I. Du Pont	企業	3
	5	STI	ベンチャー	3

出願先	順位	出願人	出願人属性	登録件数
欧州	1	富士写真フイルム	企業	8
	1	EPFL	大学	8
	3	Asulab	企業	3
	4	ECN	研究機関	2
韓国	1	ETRI	研究機関	3

第 2-14 表に発明者別ランキングを示した。発明者としては、シャープの韓をトップに、富士写真フイルムの塚原、渡辺、日本化薬の池田などが続く。企業以外では、産業技術総合研究所の荒川、佐山が 11 位、17 位、EPFL の Graetzel が 13 位に位置している。

第 2-14 表 発明者別出願件数上位ランキング (全世界)

順位	発明者	所属	出願件数
1	韓 礼元	シャープ	57
2	塚原 次郎	富士写真フイルム	51
3	渡辺 哲也	富士写真フイルム	47
4	池田 征明	日本化薬	44
5	田辺 信夫	フジクラ	43
5	山中 良亮	シャープ	43
5	紫垣 晃一郎	日本化薬	43
5	井上 照久	日本化薬	43
9	藤森 裕司	セイコーエプソン	41
10	滝沢 裕雄	富士写真フイルム	40
11	割石 幸司	富士写真フイルム	39
11	荒川 裕則	産業技術総合研究所	39
13	堀内 保	三菱製紙	37
13	Graetzel, Michael	EPFL	37
15	松井 浩志	フジクラ	35
16	岡田 顕一	フジクラ	32
17	佐山 和弘	産業技術総合研究所	31
18	角野 裕康	東芝	30
19	宮本 勉	セイコーエプソン	28
20	豊田 竜生	アイシン精機	27

第 2-15 表に、大学・研究機関・ベンチャー企業の出願件数を示した。全体で 203 件の特許出願があり、企業以外の出願も比較的活発であるといえる。

研究機関の出願件数としては、産業技術総合研究所が 46 件と第 1 位で、ETRI 15 件、ECN が 7 件と続く。ベンチャー企業としては、Konarka の 32 件が第 1 位で、2 位に STI が続く。大学では、EPFL が 30 件と圧倒的に多く、桐蔭横浜大学、Univ. Uppsala が続く。また、大学教員としては、大阪大学の柳田、岐阜大学の箕浦、吉田などの出願がある。

第 2-16 表に示すように、登録件数としては EPFL の 19 件が一番多く、産業技術総合研究所 13 件、Konarka 6 件と続いている。

第 2-15 表 大学・研究機関、ベンチャー企業の出願件数（全世界）

出願人の属性	出願人国籍	出願人	出願件数	出願人の属性	出願人国籍	出願人	出願件数
ベンチャー	米国	Konarka	32	大学	欧州	EPFL	30
ベンチャー	欧州	STI	9	大学	日本	桐蔭横浜大学	5
研究機関	日本	産業技術総合研究所	46	大学	欧州	Univ. Uppsala	4
研究機関	韓国	ETRI	15	大学	欧州	Univ. Queensland	3
研究機関	欧州	ECN	7	大学	米国	Univ. California	3
研究機関	韓国	KIST	6	大学	米国	Univ. Massachusetts	2
研究機関	欧州	Fraunhofer-Gesellschaft	4	大学教員	日本	柳田 祥三	5
研究機関	中国	Plasma Physics Chinese	4	大学教員	日本	吉田 司	2
研究機関	欧州	Institute fur Angewante Photovoltaik	3	大学教員	日本	箕浦 秀樹	2
研究機関	日本	産業創造研究所	2				
研究機関	日本	名古屋産業科学研究所	2				

第 2-16 表 大学・研究機関、ベンチャー企業の登録件数（全世界）

出願人の属性	出願人国籍	出願人	出願件数
ベンチャー	米国	Konarka	6
ベンチャー	欧州	STI	3
研究機関	日本	産業技術総合研究所	13
研究機関	韓国	ETRI	4
研究機関	欧州	Fraunhofer-Gesellschaft	2
研究機関	欧州	ECN	2
大学	欧州	EPFL	19

#### 第 4 節 EPFL / Graetzel の特許出願

第 2-17 表に、色素増感型太陽電池の基本特許を出願している EPFL の Graetzel らの特許出願をまとめた。Graetzel らにより欧州に出願された特許出願の多くは、米国、日本およびオーストラリアにも出願されている。また、中国にも 1 件出願されている。

第 2-17 表 EPFL から各国への特許出願状況

基準年	出願先					発明等の名称
	日本	米国	欧州	オーストラリア	中国	
1988	特許 2664194	US4927721 US5084365	EP0333641			光電気化学電池・その製法および使用法
1990	特許 2101079	US5350644	EP0525070	AU650878		光電池
1992	特許 3681748	US5525440	EP0584307	AU675779		光電気化学セルの製造方法および得られた光電気化学セル
1992	特表平 07-500630 特許 3731752	US5463057	EP0613466	AU683222		有機化合物（N3 色素など）
1993	特表平 09-507334	US5728487	EP737358	AU687485		光電気化学電池およびこの電池用の電解液
1994	特表平 10-505192		EP0796498		CN1157052	電気化学式太陽電池セル
1994	特表平 10-504521	US5789592	EP758337	AU697111		ホスホン酸化ポリピリジル化合物およびその錯体
1995	特表平 11-514787	US6069313	EP0858669	AU728725		光起電力セル電池およびその製造方法
1997	特表 2001-510199		EP0998481	AU734412		光増感剤（ジョンソンマッセイと共願）
1997	特表 2002-512729	US6245988	EP983282	AU743120		金属複合体光増感剤および光起電力セル色素（N749 色素など）
1998			EP1086506			Primary And Secondary Electrochemical Generator
1999	特表 2003-504799	US6936143	EP1198621	AU775773		可視光による水開裂用のタンデム電池
2003			EP1473745			Dye Sensitized Solor Cell

1988 年に出願された基本特許（特許 2664194）の明細書中には、金属酸化物半導体の種類と性状、表面粗さ係数、ゾルゲル法による酸化物半導体の製造法、発色団層の Ru 系色素の種

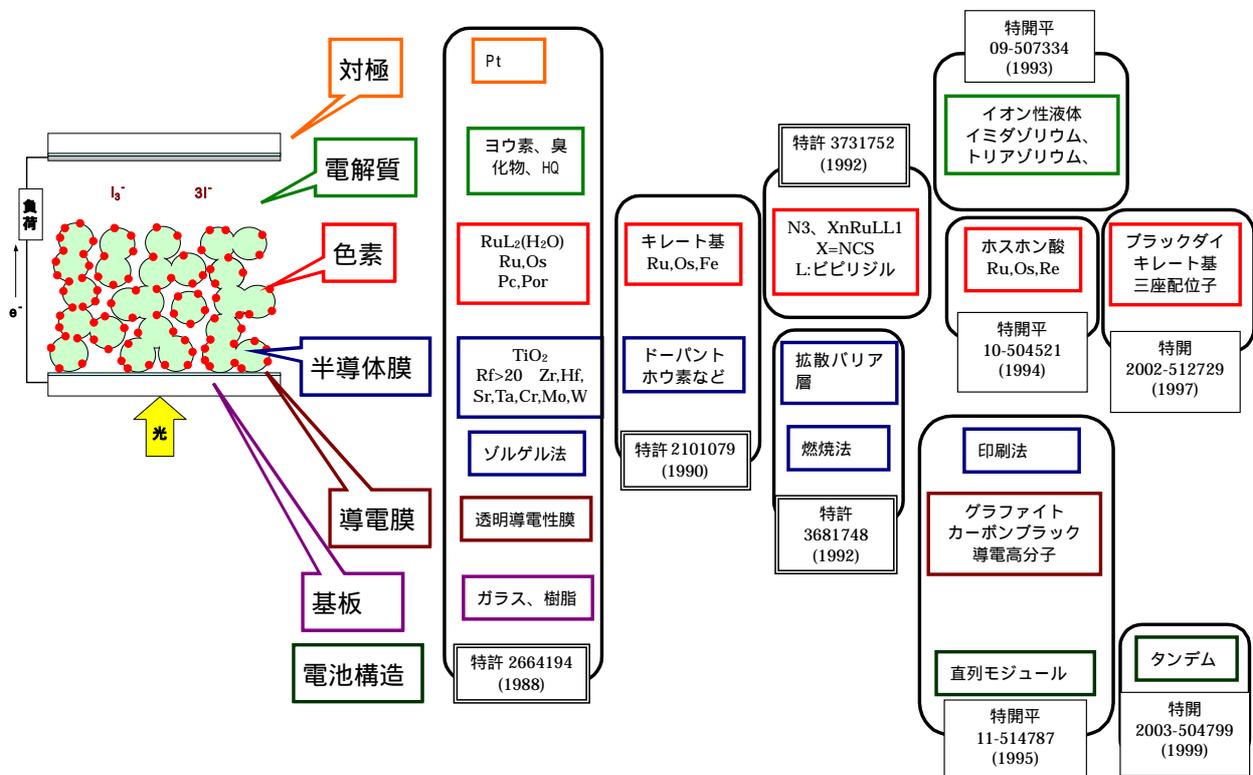
類の他、基板、導電膜、対極などについても記載され、Graetzel 型太陽電池の半導体膜、色素、電解質、電池製造技術などについて基本的な構成・技術が開示されている。

特許 2101079 には、二酸化チタン層が二価または三価金属から選択された金属イオンでドーピングされている導電層（半導体層）および伝導性を有するキレート基を有する光増感剤を含む光電池が開示されている。また、可視光透過率が 60% 以上の電極を用いることが記載されている。特許 3681748 には、透明な導電性層（半導体層）と電極（導電膜）の間に拡散バリアを配置する半導体膜の改良に関する発明および、燃焼法で調製したチタニア粒子などに関する発明が開示されている。

なお、N3 色素に関する特表平 07-500630 は、本調査での特許検索を実施した後に登録され特許 3731752 となった。

上記の特許を含む EPFL の主な特許出願のカバー範囲を第 2-18 図に示す。

第 2-18 図 EPFL から出願されている特許のカバー範囲



### 第3章 政策動向分析

#### 第1節 太陽光発電を取り巻く環境

地球環境の保全にかかわる重大課題として地球温暖化問題がある。1997年に採択された京都議定書(COP3)では、日本の2008～2012年の間にCO<sub>2</sub>排出量を1990年の94%以下にすることが目標とされている。長期的なエネルギー供給の観点からは、2020年頃から再生可能エネルギーを中心とするエネルギー構造への移行が始まり、2050年には世界のエネルギーのおよそ半分が再生可能エネルギーとなり、その後のエネルギー増加分は主に太陽光発電により賄われると予想されている。

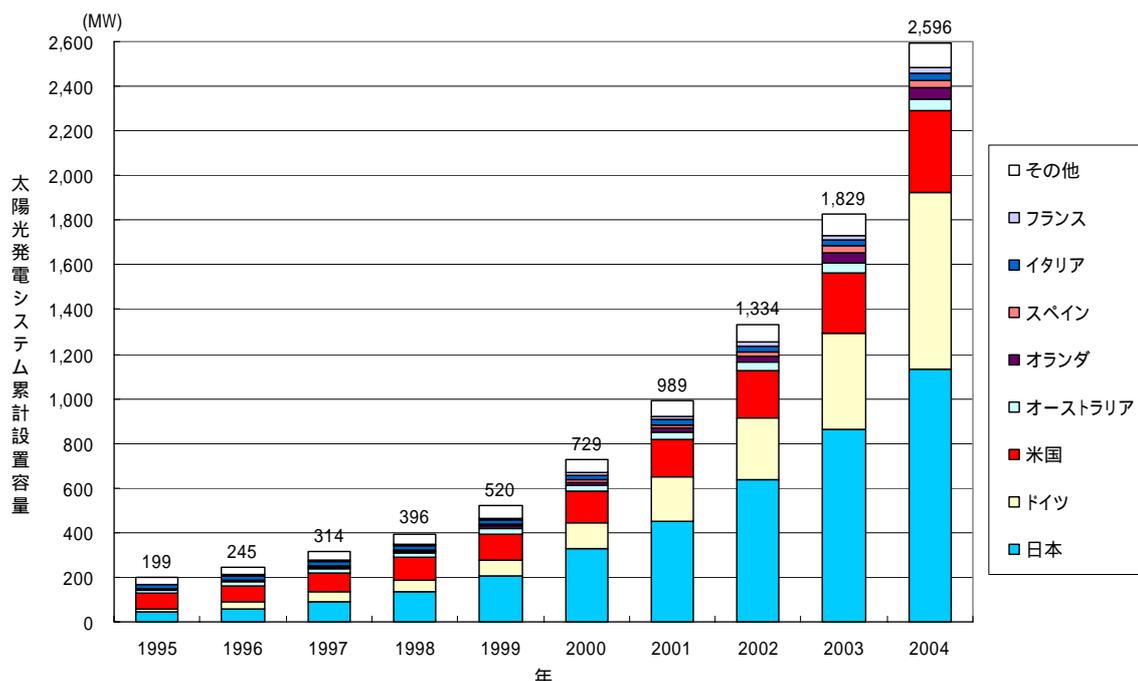
太陽エネルギーは、無尽蔵、無公害な究極のエネルギー源で、世界の原油消費量とCO<sub>2</sub>発生量を削減できることから、他の新エネルギーとともに、特に太陽エネルギーに対する期待は大きい。

##### 1. 太陽光発電システムの導入量

国際エネルギー機関(IEA)の纏めによると、IEA加盟国20カ国による太陽光発電システム累積導入量は2004年において2,596MWまで増加した(第3-1図)。

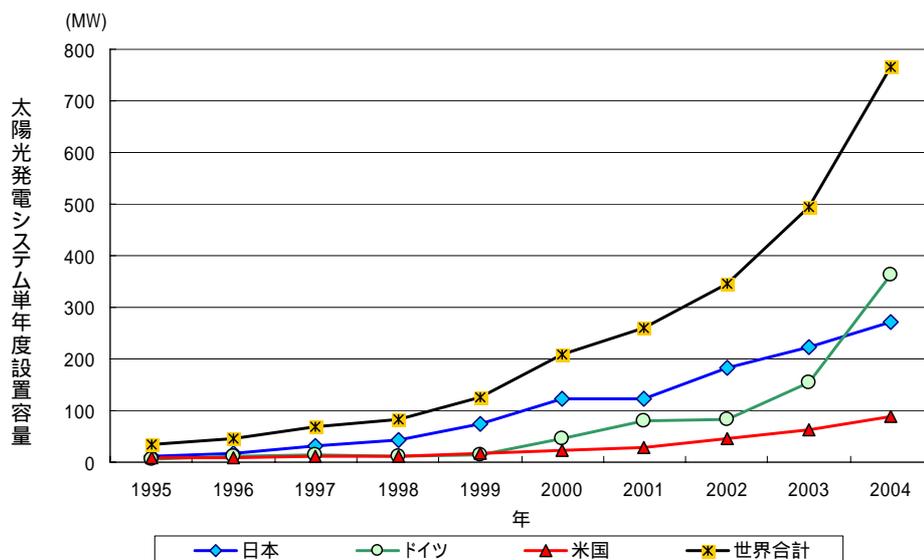
2004年の1年間の導入量は、太陽光発電システムの普及拡大を目指した各国政府による導入補助金の継続、フィードイン・タリフ(太陽光発電システムからの電力に対する最低保証買取り価格の設定)の採用等により、対前年比55%増の767MWを記録し、世界的な普及促進に拍車がかかっている。特にドイツでは対前年比237%増の363MWと、単年度導入量では世界一となった(第3-2図)。累積導入量は、日本(1,132MW)、ドイツ(794MW)、アメリカ(365MW)の3カ国で全体の88%(2,291MW)となり、世界の導入拡大を牽引している。

第3-1図 各国の太陽光発電の累積導入量



出典: Trends in Photovoltaic Applications (Report IEA-PVPS TI-13:2005)

第 3-2 図 太陽光発電システムの単年度導入量の推移



出典： Trends in Photovoltaic Applications (Report IEA-PVPS TI-13:2005)

## 2. 太陽光発電システムの導入支援策

欧米の主要国は、補助金、金融、税制、電力会社による普及支援等の各種の普及インセンティブを設けて、太陽光発電システムの導入への取り組みを強化している。各国の普及インセンティブは国勢に応じて規模、予算、仕組みは異なるものの、太陽光発電産業界と連携した普及支援体制が着実に広がっている。第 3-3 表に、各国の太陽光発電の導入支援策の概要を纏める。

第 3-3 表 各国での太陽光発電の導入支援策の概要

国	導入支援策の概要
オーストラリア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ PV リポートプログラム(2000～)：建物一体型 PV の開発・利用促進</li> <li>・ 再生可能エネルギー商業化プログラム(1999～)、行動プログラム(2001)：25%成長の支援目標設定義務(2001～)、多くの州が補助金を支給</li> <li>・ 住宅補助(1999～)：システム価格の 20～40%補助</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 100 万件ソーラー・ルーフ・イニシアチブ(1997～2010)</li> <li>・ 各省庁による導入支援、各州による各種優遇税制</li> <li>・ 電力会社による支援：Solar Pioneer II、グリーン・プライス等</li> </ul>
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 10 万ルーフ・プログラム(1999～2003)</li> <li>・ 再生可能エネルギー法(2000.2～)：固定料金買上、2004.1 より買取価格を値上</li> </ul>
スイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ SwissEnergy プログラム(2001～2010)：市場指向の再生エネルギー利用</li> <li>・ パイロットおよび実証プログラム：建物一体型 PV システム他</li> <li>・ 電力会社からの PV 電力イニシアチブ</li> </ul>

出典：NEDO2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)より抜粋

## 3. 太陽光発電システムの導入拡大ビジョン

各国の太陽光発電産業界は、将来の太陽光発電システムの本格普及に向けて、太陽光発電システムの導入拡大ビジョンを策定している。第 3-4 表に各国の太陽光発電のシステム導入目標量を纏めた。

第 3-4 表 各国の太陽光発電システム導入目標量

国	導入目標量	出典
日本	<u>太陽光発電産業ビジョン</u> 2010年 4,820 MW 2020年 28,700 MW 2030年 82,800 MW	太陽光発電協会 (2002年6月)
米国	<u>太陽光発電産業ロードマップ</u> 2030年 200,000 MW	太陽エネルギー工業界 (SEIA)
ドイツ	特になし (再生可能エネルギー法 (EEG))	連邦環境・自然保護・原子力安全省 (BMU)
イタリア	<u>ルーフトップ・プログラム</u> 31 MW (国家: 4.8 MW、地方: 17 MW、他)	環境・国土保全省 (MATT)
オランダ	<u>再生可能エネルギー・プログラム (DEN 2001)</u> 2020年 1,500 MW	エネルギー・環境庁 (NOVEM)
スペイン	<u>再生可能エネルギー推進計画</u> 2010年 143.7 MW	経済・エネルギー・中小企業庁
スイス	<u>国家目標</u> 2010年 31 MW	「投資家のためのヨーロッパ太陽光発電市場分析」、ドイツ・エネルギー庁 (DENA) (2004年6月)
EU (欧州連合)	<u>太陽光発電産業ロードマップ</u> 2010年 3,000 MW 以上 2020年 41,000 MW 以上	欧州太陽光発電工業会 (EPIA) (2004年6月)
中国	<u>太陽光発電開発計画 (2004~2020年)</u> 2020年 1,555 MW	中国科学院
韓国	<u>国家太陽光発電プログラム (Solarland 2010)</u> 2010年 1,300 MW (住宅 10万戸、建物 7万棟)	産業資源省 (MOCIE)

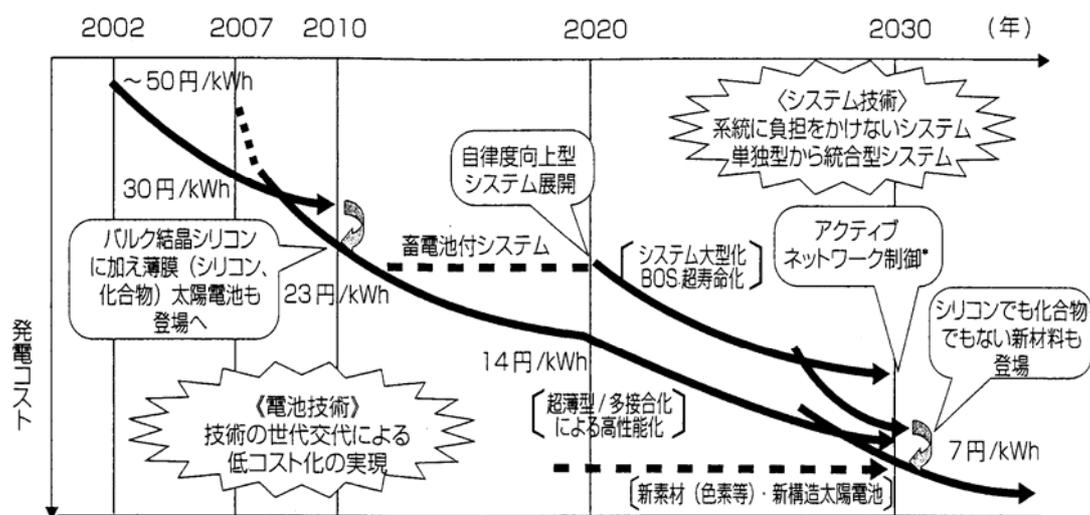
出典：(株)資源総合システム・太陽光発電システムに関する事業戦略資料

日本の太陽光発電協会(JPEA)は、2002年に太陽光発電産業ビジョンを発表し、その中で2010年に4,820MW、2020年に28,700MW、2030年に82,800MWの導入目標量を掲げ、市場規模として、2010年に4,730億円、2020年に1兆2,500億円、2030年に2兆2,500億円を予想している。

2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)では、これまでの技術開発で当初の目標であった初期マーケットが形成されたことから、これまでの“シーズ先行型技術開発”から2030年までの本格的な市場形成期に向けて“市場対応型技術開発”に転換し、エネルギー供給技術としての利用拡大に向けた太陽光発電の目指す姿を示している。第3-5図に示すシナリオに従って、2030年までに累積導入量として100GWを目標として、家庭用電力の1/2程度(全電力の10%程度)を太陽光発電で賄うことを想定している。経済性からすると、現在約45円/kWhである発電コストを、2010年頃までに家庭用電力並の23円/kWh、2020年頃までに工業用電力並の14円/kWh、2030年頃までには汎用電力並の7円/kWhを達成し、他エネルギーとの競争を可能とする。そのために、コストおよびシリコン原料の供給の面で限界が明らかな結晶型シリコン型太陽電池に代わるものとして、薄膜シリコン、化合物半導体更には色素増感型太陽電池の開発が求められている。

ヨーロッパでは、欧州太陽光発電協会(EPIA)は2010年までに系統連系型太陽光発電システムの導入量を3,000MWとし、目標達成の手段として全欧州でフィードイン・タリフが採用されるように運動している。その背景には、ドイツでのフィードイン・タリフ制度が、太陽光発電システムの初期投資額を20年で回収できるように電力会社が販売している電力価格より高い価格で買取価格を設定したことで、太陽光発電システムの導入拡大に成功を収めていることに基づいている。この動きは現在フランス、スペイン、ポルトガルに広がり、さらにイタリアにも波及しようとしている。

第 3-5 図 NEDO ロードマップ：太陽光発電の経済性改善シナリオ



出典：NEDO 2030 年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030)

米国では、太陽エネルギー工業会 (SEIA) が 2050 年までの太陽光発電システム普及拡大の産業ロードマップ「Our Solar Power Future - The U.S. Photovoltaics Industry Roadmap Through 2030 and Beyond」を発表し、2050 年までの太陽光発電システム価格、太陽光発電システムからの電力価格、累積導入量、出荷量の目標・計画を示している。2030 年までの太陽光発電システムの累積導入量の目標は 200GW となっている。

中国での 2004 年の太陽電池導入量は 100MW に満たないが、中国科学院の太陽光発電開発計画によると 2020 年に 1,555MW を導入することを目標にしている。

韓国では、国として太陽光発電ロードマップを作成し、2012 年までに 1.3GW の太陽光発電システムの設置を目標としている。

また、タイでは 30 万件の住宅に 100W の太陽光システムを導入する計画が行われるなど、太陽光発電に対する関心が急速に高まっている。

## 第 2 節 色素増感型太陽電池の開発

### 1. 日本での開発動向

日本での色素増感型太陽電池の政策的な開発は NEDO プロジェクトとして推進され、サンシャイン計画およびニューサンシャイン計画における太陽光発電システム実用化技術開発の中の調査テーマとして 1994 年にスタートしている。その概要を第 3-6 表に纏めた。

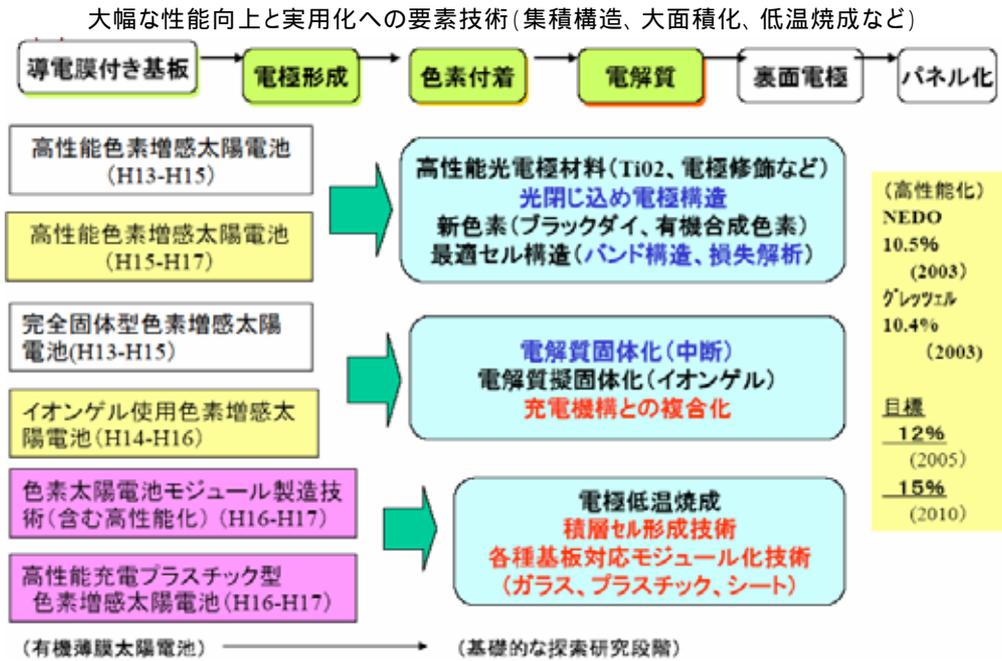
第 3-6 表 NEDO での色素増感型太陽電池の研究開発

実施年度	タイトル
1994	太陽光発電システム実用化技術開発：超高効率太陽電池の技術開発：新光電変換材料の技術開発：湿式太陽電池の将来的可能性の調査
1995	(ニューサンシャイン計画) 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム実用化技術開発 超高効率太陽電池の技術開発 新光電変換材料の技術開発 (湿式太陽電池の将来的可能性の調査)
1998	超高効率結晶化合物太陽電池の製造技術開発 周辺要素技術に関する調査研究 湿式太陽電池実用化可能性調査
1999	ニューサンシャイン計画 太陽光発電システム実用化技術開発 超高効率結晶化合物太陽電池の製造技術開発 周辺要素技術に関する調査研究「湿式太陽電池実用化可能性調査」
2001-2005	革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発・完全固体型色素増感型太陽電池の開発・低コストで高性能な色素増感太陽電池の研究開発
2005	「太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発色素増感太陽電池の新技术先導調査研究」平成 18 年 3 月までの約半年間
2006-	太陽光発電システム未来技術研究開発 H18 20 億円、4 年 100 億円(予定) 2020 年、2030 年目標達成のために・大面積・高性能 DSC の開発 変換効率 6%以上、低コスト・長寿命・大面積モジュール

2001 年から始まった革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発(2001-2005)では、「従来の概念にとらわれない、新しい材料・構造・製造方法等により大幅な低コスト化が実現可能と考えられる新しい発想の太陽光発電システムに関する実用化研究、要素研究、シーズ研究」と位置付けられた“革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発”において、1)完全固体型色素増感型太陽電池の開発(東大大学院、(財)地球環境産業技術研究機構) 2)低コストで高性能な色素増感型太陽電池の研究開発(産総研、住友大阪セメント、古河機械金属、林原生物化学研究所、シャープ)のテーマが行われた。その概要を第 3-7 図に示す。

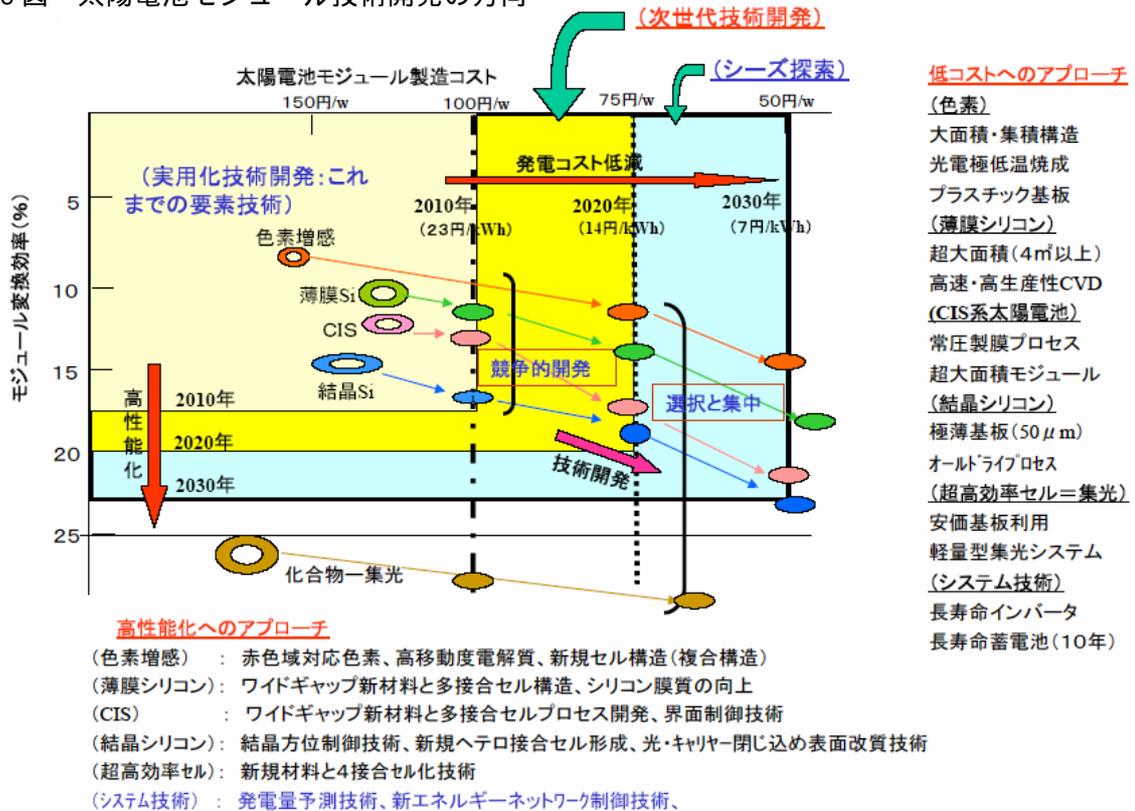
2005 年には、「太陽光発電技術研究開発 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発色素増感型太陽電池の新技术先導調査研究」が約半年間行われた。2006 年からは、4 年間で 100 億円を投入して「太陽光発電システム未来技術研究開発」が始まる。そこでは、RV2030 ロードマップの 2020 年および 2030 年目標の達成のための次世代技術開発およびシーズ探索が行われる。太陽電池モジュール技術開発の方向を第 3-8 図に示す。色素増感型太陽電池では、低コスト化へのアプローチとして、1)大面積・集積構造、2)光電極低温焼成、3)プラスチック基板が取り上げられ、高性能化へのアプローチでは、1)赤色域対応色素、2)高移動度電解質、3)新規セル構造(複合構造)が取り上げられている。

第 3-7 図 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発での色素増感型太陽電池の開発概要



出典：社団法人日本エネルギー学会新エネルギー部会セミナー「太陽光発電技術開発の現状」予稿集 page26

第 3-8 図 太陽電池モジュール技術開発の方向



出典：平成 16 年度「太陽光発電に関する技術開発およびフィールドテスト事業」についての成果報告会。予稿集 page7

## 2. 海外での開発動向

海外では第3-9表に示す4カ国で、色素増感型太陽電池が太陽電池開発プログラムに含まれている。EPFLのあるスイスでは、2000年からのRTD4ヵ年計画に色素増感型材料を用いた太陽電池研究が位置づけられている。STIのあるオーストラリアでは、特定のプロジェクトではないが、再生可能エネルギー産業プログラム等により支援が行われている。ECN等により開発が進められてきたオランダでは、2001年に見直しを行った再生可能エネルギー・プログラムの中に多結晶シリコン太陽電池などと共に色素増感型太陽電池が挙げられている。

日本の色素増感型太陽電池の開発は、NEDOプロジェクトのなかで継続的に進められてきた。色素増感型太陽電池の研究支援体制としては日本が先行しているようである。

第3-9表 海外での色素増感型太陽電池の研究支援プログラム

	プログラム	分野および目標
米国	DOE 太陽光発電新5ヵ年プログラム(2003~2007)	基礎研究 2007年 ・ 固体電解質を含む色素増感型太陽電池セルの検討
オランダ	再生可能エネルギー・プログラム(DEN 2001)(2001年~)	2001年に新たに着手。多結晶シリコン、アモルファス・シリコン、有機太陽電池、CIS太陽電池、大面積色素増感型太陽電池、シリコン・ウエハー新製造プロセスなどの研究開発を実施
オーストラリア	REIP(再生可能エネルギー産業プログラム)、RECP、SEDAなどによる支援	結晶Si、薄膜Si、新型薄膜太陽電池(CSG、Epiliftプロセスなど)、色素増感型太陽電池、集光装置、BIPV、BOS、バッテリーなど
スイス	RTD4ヵ年計画(2000~03年)	太陽電池研究(アモルファス・シリコン/微結晶シリコン、SiGe、色素増感型材料)、建物一体型PVシステム、システム技術開発、品質保証など

出典：NEDO 海外における主な太陽光発電関連政策一覧より抜粋

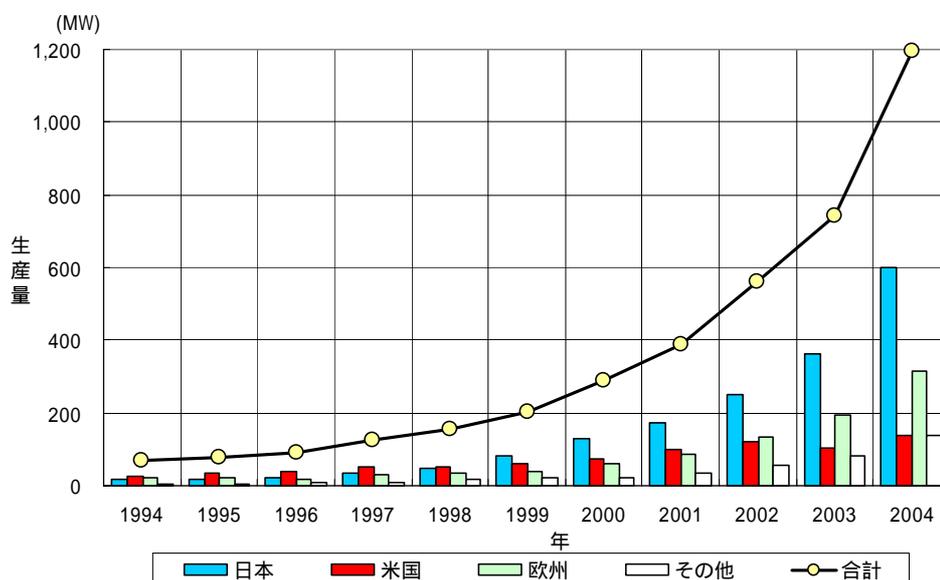
## 第4章 市場環境分析

### 第1節 太陽電池の市場動向

2004年における世界の太陽光発電システムの累積導入量は約2,600MWに達し、単年度導入量としては前年に比較して55%の大幅な増加となっている。

世界の太陽電池生産量も順調に増加し、第4-1図に示すように2004年の世界の太陽電池生産量は、前年比60%増の1,195MWに大幅に増加した。地域別に見ると日欧その他の地域で60%以上の生産増となっている。日本は1999年に生産量世界一になって以来、その後も生産能力を毎年強化し、2004年には世界生産額の約半分の602MWを生産し、出荷額は2,700億円を超えるまでに発展した。

第4-1図 世界における地域別太陽電池生産量



出典：PV Energy Systems. “PV News” 2-4月号

### 第2節 色素増感型太陽電池の市場動向

#### 1. 海外の動向

色素増感型太陽電池の商品化は、EPFLから特許ライセンスを受けたSolaronixとSTIにより始められている。Solaronixは、主に色素、チタニア塗布液等の部材を各国の企業および研究機関へ販売する事業を中心としており、10cm×10cmのデモパネルの販売も行っている。

STIは、1995年にライセンスを受けた後、1999年のパネル開発を経て2001年に商業生産規模の発電モジュール製造設備を完成した。2002年にはCSIROおよびメルボルン大学に大面積色素増感型太陽電池を納入したことが同社のホームページで紹介されている。同社は、2003年にスイスのGreatcellと提携し、さらに最近ではDyesolと実質的に一体的に運営されている(Dyesol-STI)。Dyesol-STIは、2005年12月にギリシャの企業と色素増感型太陽電池製造設備を建設する契約を結ぶなど、商業生産に向けての動きを活発化させているように思われる。

モジュール化では、Solaronixと共同研究を行っていたオランダのECNが、ユニットセル

の 12,000 時間におよぶ安定性の確認を行い、第 3 回太陽光世界発電会議では 30cm 角の試作品を発表するなど先行していたが、その後更なる報告はなされていない。又、ドイツの INAP も同様に、1999 年段階で 112cm<sup>2</sup> のセルで高い変換効率を報告していたが、その後更なる報告はなされていない。

米国では、軍などからの支援を受けた Konarka がプラスチックフィルム型および繊維型の色素増感型太陽電池の開発を進めている事が、同社のホームページで紹介されている。

一方、中国、台湾、韓国では、大学や公的な研究機関において基礎研究と共に実用化に向けての、プラスチックフィルム化、モジュール化の検討が並行して進められている。大型パネル（中国）或いはプラスチック基板型（韓国）の色素増感型太陽電池が試作され、早期の実用化が期待されている。

海外でのモジュールの開発動向を第 4-2 表に纏める。

第 4-2 表 海外でのモジュールの開発動向

メーカー名	モジュール概要	開発段階	現状
STI / Dyesol (オーストラリア)	2000 年 17cm × 10cm × 24 個の集積パネル 87cm × 57cm 発売 納入実績 2002.10 Csiro Energy Centre に 200m <sup>2</sup> の Solar Wall System。他にメルボルン大学。現在、タイル型とパネル型、12V と 24V タイプ販売。他に、デモパネルも販売。	市販品	営業
Solaronix (スイス)	デモパネル 10cm × 10cm ( $\eta$ = 4% ), 一つのユニットにセルが 1 個と 3 個のタイプ。	デモパネル販売	営業
ECN (オランダ)	10cm × 10cm (有効面積 68cm <sup>2</sup> ) で $\eta$ = 4.5%。ユニットセルは 12000 時間の長期安定性を確認。第 3 回太陽光発電世界会議では、30cm 角の電池を展示。	試作品	開発
SCHOT Solar (ドイツ)	Graetzel 講演会 (2004.11.16) で紹介	試作品	
INAP (ドイツ)	112cm <sup>2</sup> セルで $\eta$ = 7% レベル (1999 )。	試作品	
Konarka (米国)	Role to Role 法フィルム型。詳細不明。	試作品	
ITRI (台湾)	10cm × 10cm セルで $\eta$ = 5%	試作品	開発
ETRI (韓国)	5cm × 6cm (推定) セルで $\eta$ = 4.8%	試作品	開発
プラズマ物理 研究所 (中国)	15cm × 20cm モジュールで $\eta$ = 6%	試作品	開発

注) 表中の “ ” は、2006 年 3 月時点での状況が不明確であることを示す

## 2 . 日本の動向

特許出願数および論文発表数の何れの面から見ても、色素増感型太陽電池の研究・開発活動は世界の中で日本が一番活発である。しかし商品化の面から見ると、透明導電膜、チタニアペースト、封止剤などの部材が少量販売されている程度で、他には色素、電解液でサンプル配布が始まった状態である。

ガラス基板でのモジュール化では、アイシン精機、フジクラなどが大面積化、および耐久性の検討を進め、実用化に進んでいる。プラスチック基板でのモジュールでは、ペクセル社が 30cm 角の大型パネルを万博会場 (2005 年) で耐久試験を行うなど、実用化技術を開発しつつある。

日本のモジュールの開発状況を第 4-3 表に纏める。

第 4-3 表 日本国内でのモジュールの開発動向

メーカー名	モジュール概要	開発段階	現状
アイシン精機	10cm×10cm×64 枚 直列接続 結晶シリコン型太陽電池よりも 10～20% 発電量多い (2003.9) 24cm×24cm×8 枚 屋外 200V、屋内 135V PAPI 壁パネル 設置後約 1.5 年の間、安定した出力を維持。	試作品	開発
フジクラ	大型モジュール 45cm×30cm (14cm×14cm×6 枚)、119cm×84cm (41cm×14cm×16 枚) 低抵抗導電性ガラス、集電グリッド、導電性インク、イオン液体、擬固体化光電変換効率 4.0% (14cm×14cm、イオン液体)、6.3% (14cm×14cm、揮発性電解質)	試作品	開発
日立マクセル	Role to Role 法でのフィルム型、加圧プレス法 / カレンダー方式。	試作品	
日立製作所 / 京大	144cm <sup>2</sup> (12cm × 12cm) × 4 枚 実験室テスト =9.3% (0.25cm <sup>2</sup> ) チタニア結晶粒径 10nm TNT	試作品	
第 1 工業製薬 / エレクセル	非ヨウ素系電解質 (ポリアルキレンオキド系ゲルポリマー) + 導電性高分子電極 (PEDOT+PAni) =8.0-8.2% (0.5cm <sup>2</sup> ) SUS 基板の使用可能。CEATEC で展示	試作品	2006 年の部材事業化計画
ベクセル	30cm×12cm Voc 5.3V(2004.9.15)・大型パネル 30cm×30cm 万博会場で耐久試験 2005.9.5 =2.4-3.0%	試作品	2006 年にフィルム型サンプル出荷開始を計画
関西ペイント / 東北大	大面積モジュール B4 サイズのフィルム型 =3% バインダーフリー / スプレー塗装 / マイクロ波焼結	試作品	
新日本石油	10cm 角、PVDF-HFP イオン導電性ポリマー =5.5% 耐久性試験継続中	試作品	開発

注) 表中の “ ” は、2006 年 3 月時点での状況が不明確であることを示す

一方、色素増感型太陽電池の要素技術の開発が日本企業により精力的に行われている。

透明導電性膜では、基板上に ITO/FTO を積層することにより、抵抗値が低くチタニア膜の焼成温度でも問題がない程度の高い耐熱性を有する透明導電性膜をフジクラが開発した。また、基板での集電技術も大幅に改善され、高効率な大面積化モジュールの可能性が広がっている。

半導体膜では、チタニア粒子の粒径を制御して多くの色素を吸着させると共に、光散乱機能を持たせることにより光利用効率を改善している。又、導電膜或いは半導体膜表面を修飾することにより逆電流を防止する技術も大きく発展してきている。

色素では、新規の Ru 系色素が発表されると共に、金属成分を含まない有機色素が、産業技術総合研究所や三菱製紙などで開発されている。特に独自に開発した有機色素は EPFL の特許の制約の面で有利であることとともに、Ru のような資源的な制約がなく、またリサイクルが容易であるなどの環境上の観点からも重要である。

電解液では、実用化に向けての一つのキーファクターである固体化において、イオン性液体の使用、ゲル化技術の改良等により、実用化レベルに近づいている。又、第一工業製薬はカナダのケベック大学との共同研究で、腐食性がなく無色の酸化還元対を開発したと発表しており、実用化に向けての大きな弾みとなることが期待される。

対極では、限りある資源である Pt を使うことなく、導電性樹脂或いは炭素を材料として使用する、Pt 電極と同様の性能を示す対極が開発されている。

以上のように、高効率で安定性・安全性の高い電池を製造するための基幹的な要素技術が国内各社で構築されつつある。

## 第5章 研究開発動向

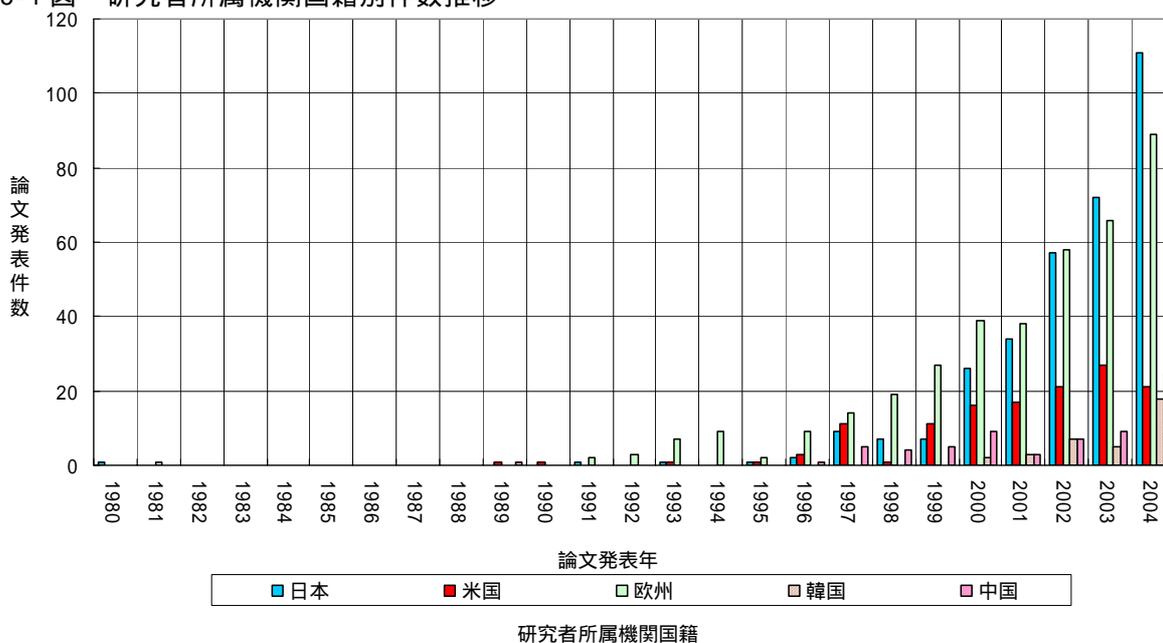
### 第1節 全体動向

データベースとして Chemical Abstracts (HCAPlus(STN)) を選択し、日本語および英語の論文を対象に1980年～2005年(発行年)の範囲で、検索を行った(検索日:2005年8月12日)。検索された2,415件に対し、抄録ベースでの粗ノイズ落としを行った後、残った1,323件の論文に対し原著論文によりノイズ落とし及び分類の付与を行い、全件1,222件のデータベースを構築した。

研究者所属機関国籍別の論文件数の推移を第5-1図に示す。

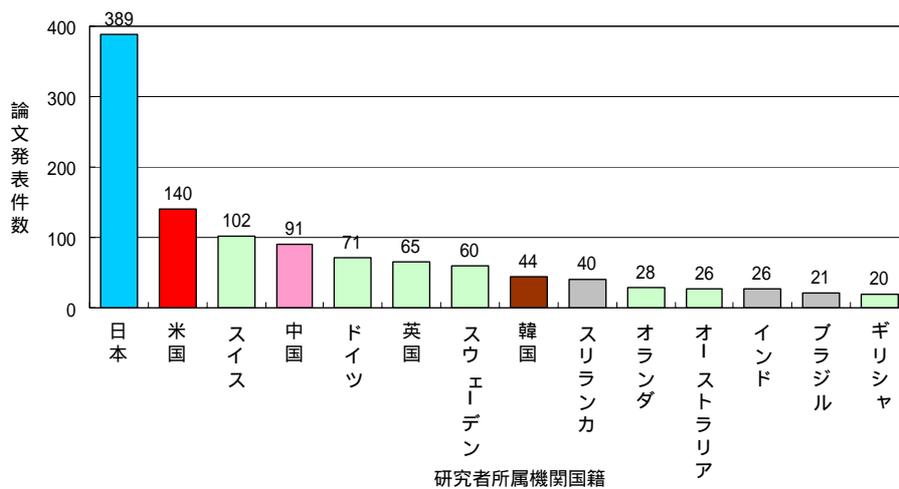
論文数は1996年から年々増加傾向にあり、現在もその傾向が継続している。2001年頃までは欧州からの報告数が一番多かったが、2002年を境に日本からの論文数が最も多くなった。次いで米国からの報告が多いが、最近では中国とともに韓国からの論文数の増加が顕著である。

第5-1図 研究者所属機関国籍別件数推移



第5-2図に、国別の論文件数を示す。日本が389件と圧倒的に多く、米国が140件で2位、3位にスイスがランクされ、最近報告数が増えている中国が4位に続く。韓国も44件と、ドイツ、英国、スウェーデンに続いて8位にランクされている。その他、スリランカ、インド、ブラジルおよびギリシャなどからの論文数が多いことが注目される。

第 5-2 図 色素増感型太陽電池関連論文の国別の発表件数

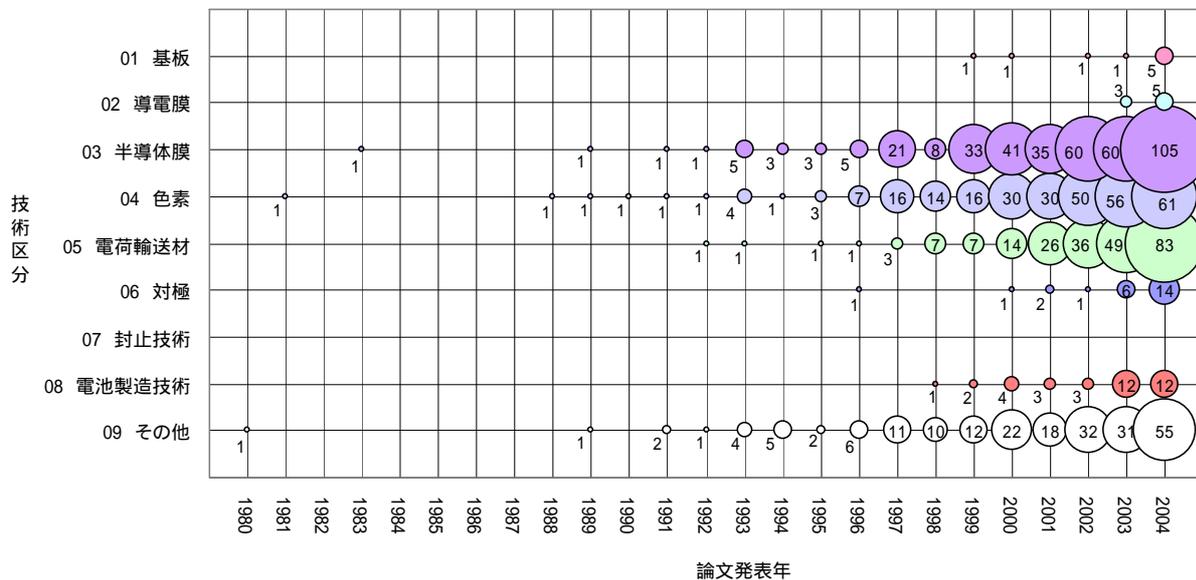


第 2 節 技術区分別動向

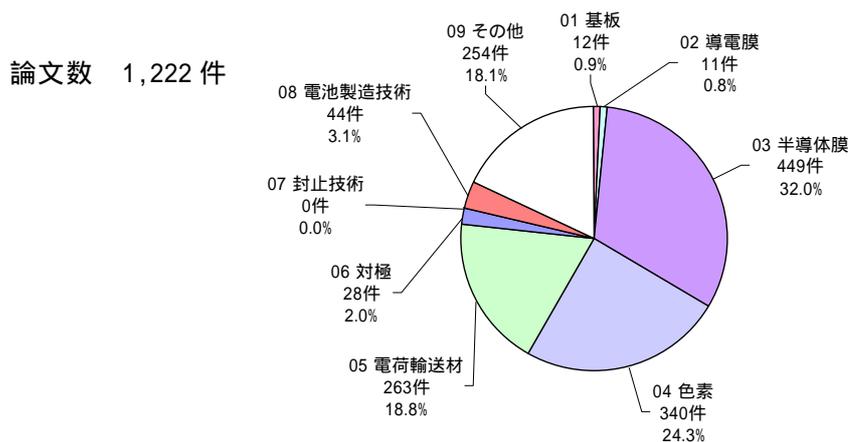
論文についても特許出願の解析と同様に技術分類を行い、論文の技術区分別の動向を解析した。第 5-3 図に示すように、特許の場合と同様に、半導体膜、色素、電解質に検討が集中していることがわかる。一方、電池製造技術に関する論文は、特許の場合と比較して少ない傾向がある。

第 5-3 図 技術区分別の論文件数推移と構成比率

a) 論文件数推移



b) 技術区分構成比率



注) 論文には複数の技術分類が付与されることがある。

第3節 研究者・所属機関別動向

1. 所属機関別ランキング

研究者の所属機関別の発表件数を企業、大学および研究機関に分けて第5-4表に示した。企業からの発表件数は少ないが、林原生物化学研究所が色素の研究を中心に16件と1位で、シャープ、フジクラと日本企業が続いている。

大学では、EPFLが107件と最も発表件数が多く、大阪大学の69件、スウェーデンのUniv. Uppsala、英国のImperial Collegeが続いている。日本では、岐阜大学が5位で、静岡大学、京都大学、桐蔭横浜大学と続いている。

第5-4表 属性別上位発表機関ランキング

a) 企業

順位	企業名	国籍	論文件数
1	林原生物化学研究所	日本	16
2	シャープ	日本	9
3	フジクラ	日本	8
3	電力中央研究所	日本	8
5	東芝	日本	6

c) 大学

順位	大学名	国籍	論文件数
1	EPFL	欧州	107
2	大阪大学	日本	69
3	Univ. Uppsala	欧州	56
4	Imperial College UK	欧州	32
5	岐阜大学	日本	21
6	Univ. Peking	中国	20
6	Univ. Bath	欧州	20
6	静岡大学	日本	20
9	京都大学	日本	19
10	桐蔭横浜大学	日本	15
10	Univ. Bar-Ilan	その他	15
12	九州工業大学	日本	14
13	Univ. Jaume I	欧州	13
14	Univ. Massachusetts	米国	12
14	Univ. Johns Hopkins	米国	12
14	東北大学	日本	12
17	Univ. Sao Paulo	その他	11
17	Univ. Bayreuth	欧州	11
17	Univ. Korea	韓国	11
17	Univ. Monash	欧州	11
21	大分大学	日本	10
21	Univ. California	米国	10

b) 研究機関

順位	研究機関	国籍	論文件数
1	産業技術総合研究所筑波	日本	77
2	NREL	米国	46
3	Inst Fundamental Studies Sri Lanka	その他	33
4	Institute of Chemistry Chin Acad Sci	中国	16
5	ECN Neth	欧州	15
6	Institute of Physical Chemistry NCSR "Demokritos" Greece	欧州	13
6	Hahn Meitner Institut Germany	欧州	13
6	ETRI	韓国	13

研究機関では、産業技術総合研究所が77件とトップで、米国のNRELが46件と2位であり、スリランカのInst Fundamental Studiesが33件の報告をしている。また、中国のInstitute of Chemistry Chin Acad Sciが16件、韓国のETRIが13件報告している。

## 2. 研究者別ランキング

研究者別の論文発表件数を第5-5表に纏めた。EPFLのGraetzelが断然多く、次いで産業総合研究所（現在は東京理科大学）の荒川、大阪大学の柳田が続くが、Univ.UppsalaのHagfeldt、スリランカのTennakone、Imperial CollegeのDurrant、EPFLのZakeeruddin、Nazeeruddin、NRELのGregg等の海外研究者も多く名を連ねている。

第5-5表 研究者別発表件数ランキング

順位	研究者	所属国	論文件数
1	Graetzel, Michael	欧州	111
2	荒川裕則	日本	74
3	柳田祥三	日本	62
4	Hagfeldt, Anders	欧州	49
5	北村隆之	日本	46
6	和田雄二	日本	44
7	原浩二郎	日本	39
8	Tennakone, Kirthi	スリランカ	38
9	Durrant, James R.	欧州	37
10	Zakeeruddin, Shaik M.	欧州	34
11	Nazeeruddin, Md. K.	欧州	29
12	Zaban, Arie	米国、欧州、イスラエル	27
12	杉原秀樹	日本	27
14	佐山和弘	日本	26
15	Gregg, Brian A.	米国	25
16	Frank, Arthur J.	米国	24
17	Peter, Laurence M.	欧州	23
17	Kumara, G. R. Asoka	日本、スリランカ	23
17	加藤隆二	日本	23
20	Haque, Saif A.	欧州	22
21	Park, Nam-Gyu	韓国	20
21	箕浦秀樹	日本	20

## 第6章 注目研究開発テーマ別詳細分析

### 第1節 特許動向

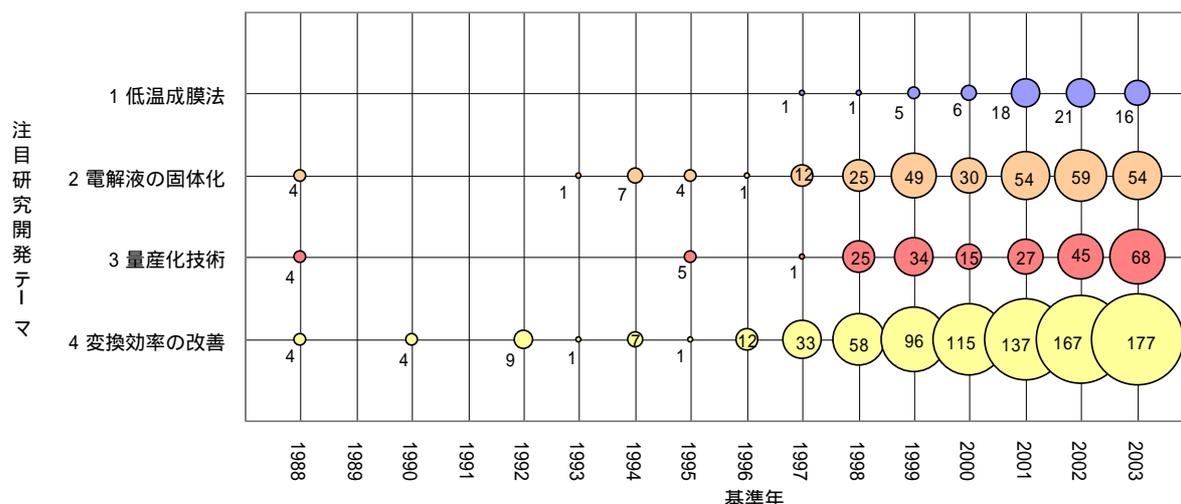
色素増感型太陽電池は、アモルファスシリコン太陽電池並みの光電変換効率を持ち、製造コストもシリコン系太陽電池の数分の1といわれている。しかし、次世代の太陽光発電の本命となるには、更なる光電変換効率の向上が必要である。この変換効率向上にかかわるテーマとしては、色素および半導体膜をはじめとして、基板、導電膜、対極などの改善が挙げられる。また、屋外の発電用として用いられるために、過酷な条件での長期の耐久性が要求される。そのためには、電荷輸送材の固体化等の技術が不可欠である。色素増感型太陽電池は、シリコン系太陽電池とは異なり、製造工程に真空装置が不要なことから、簡便に低コストで製造できるといわれている。更なる低コスト化のためにはコストの多くの部分を占める導電ガラスをプラスチック化する必要がある、そのための低温成膜法も重要なテーマとなっている。商品化するためには、低コストで量産化する技術が必要となる。そのとき、単セルだけではなく、モジュール化した時の光電変換効率を高く維持する量産技術が重要となる。

これらの、Greatzel 電池に残された必須改善事項、1)低温成膜法、2)電解液の固体化、3)量産化技術、4)変換効率の改善、を注目開発テーマとして取り上げ、それぞれについてその出願動向を調べた。

注目研究開発テーマの出願動向を第6-1図に示す。

変換効率の改善に関しては1996年から出願が増加し、2003年段階で最も出願件数が多く、増加傾向が続いている。電荷輸送材の固体化も1997年とほぼ同時期から出願が始まり、ここ数年は50件から60件で推移している。量産化技術の検討は1998年から、低温成膜法は1999年から出願の増加が見られる。低温成膜法で少し頭打ちの傾向も見られるが、一方量産化技術の出願は、2003年度においても増加傾向が続いている。

第6-1図 注目研究開発テーマの出願動向（全世界）



色素増感型太陽電池の基本的な概念は EPFL の出願によりカバーされているが、実用化或いは変換効率の改善を目指し、特に日本の企業から多くの特許が出願されている。

ここでは、注目研究開発テーマに掲げられた、1)低温成膜法、2)電解液の固体化、3)量産化技術、4)変換効率の改善の項目毎に、重要と思われる特許を抽出し時系列的に示した。4)変換効率の改善については(1)色素と(2)光電極の2つの項目に分けて纏めた。

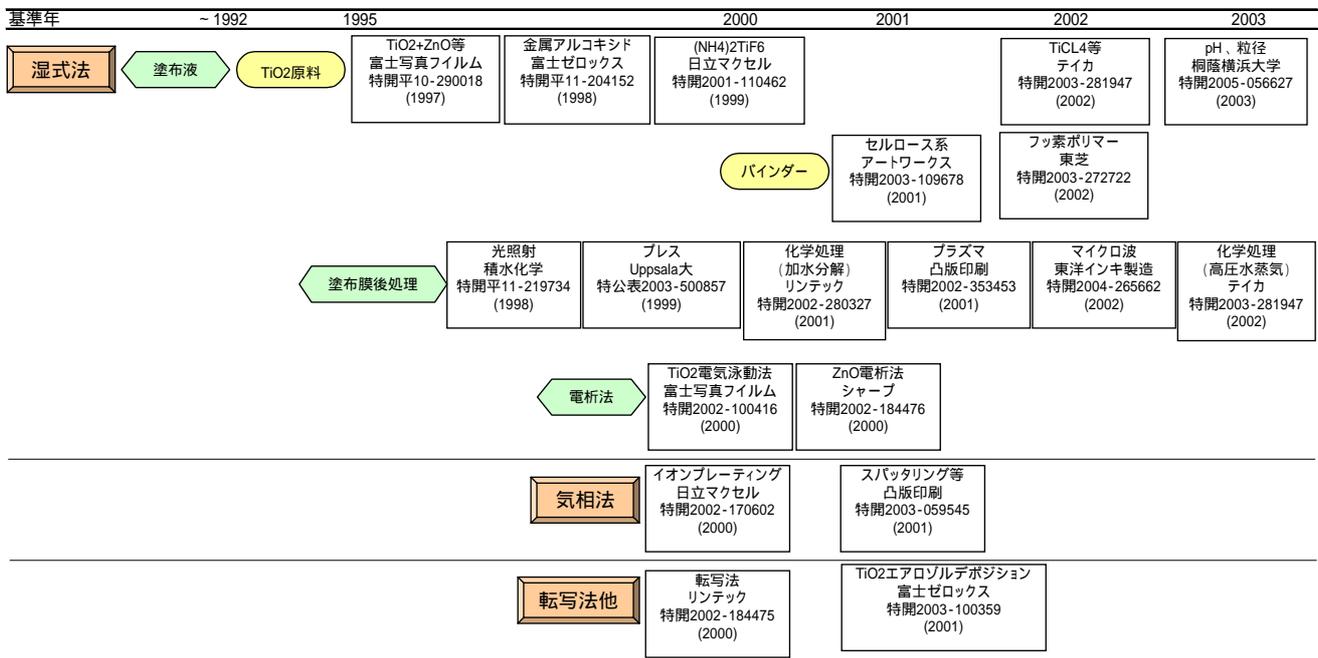
重要特許の抽出に当たっては、登録特許、同じ技術に属する特許出願の中では出願の時期の早い特許出願、現在、研究開発、商品化開発を活発に行っている企業、研究機関の特許出願、学会等で注目を集めている技術に関する特許出願、に着目し抽出を行った。更に、委員会での議論を集約して重要特許の流れとして纏めた。

なお、以下の文章中および図括弧内に示された年は、基準年である。

### 1. 低温成膜法

低温成膜関連技術としては、湿式法では、材料面ではチタニア源に関する技術開発が先行し、その後、膜の接着強度などの改善を目的としたバインダーに関する技術開発が行われている。さらに、塗布により形成された膜を後処理で活性化する特許出願が1998年頃から継続的になされている。また、湿式ではあるが全く異なった膜形成法として電析法についての出願が2000年になされた。一方、物理的方法による気相成膜法については、2000年から多くの特許出願が見られる。また、転写法に関する特許出願も同様に2000年から見られる。

第6-2図 低温成膜法

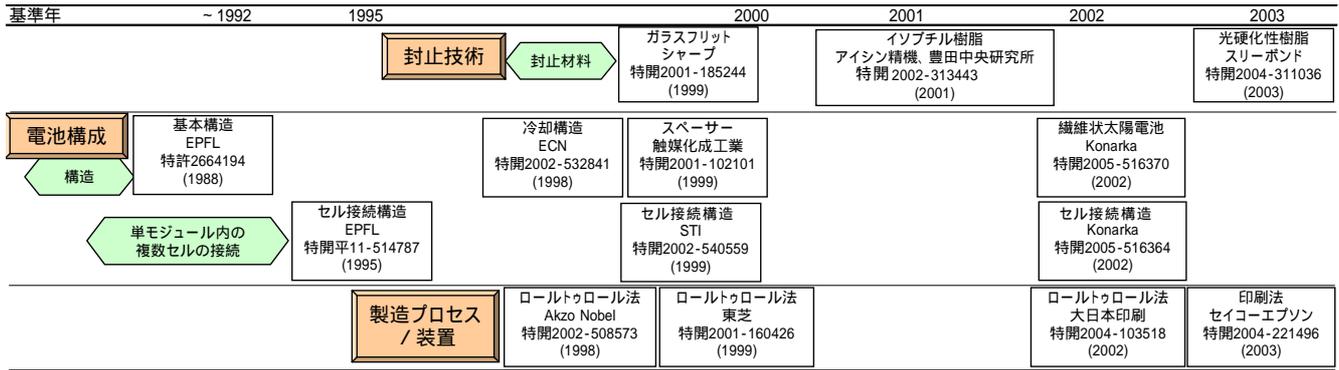


### 2. 電解液の固体化

電解液基本成分の一つとして有望なイオン性液体に関して、イミダゾリウム系では、EPFLの特許出願(1993)がある。一方、非イミダゾリウム系については、1998年以降、主に富士写真フイルムから各種のものが提案されてきている。



第 6-4 図 量産化技術



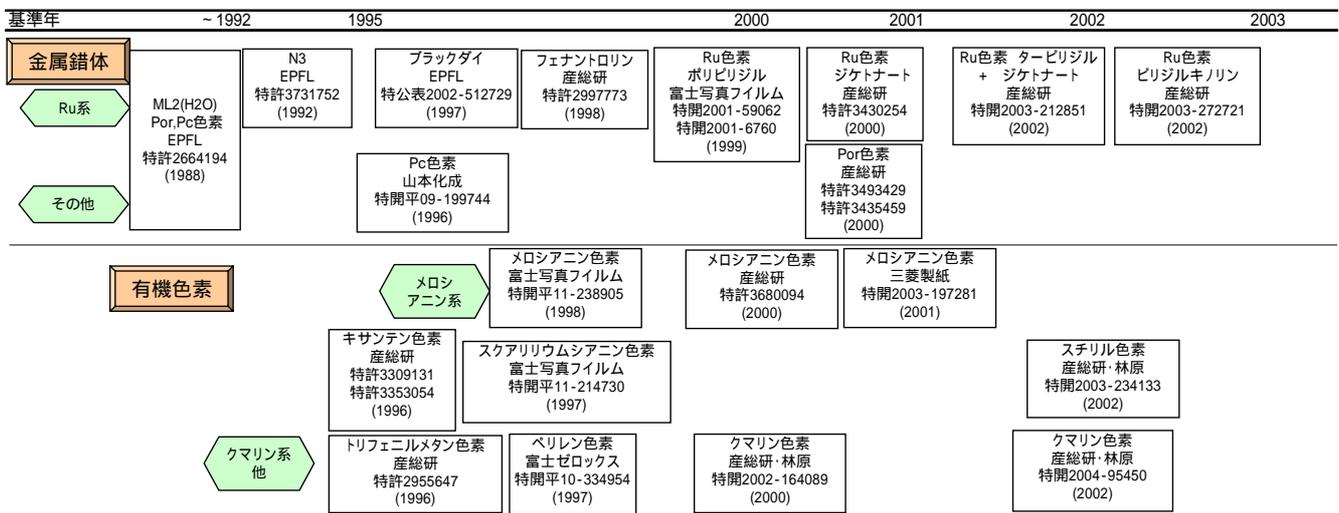
4. 変換効率の改善

(1) 色素

1988年のEPFLの特許出願を起点として、EPFLからN3(1992年)、ブラックダイ(1997年)と現在も基本となっているRu系色素が提案された。その後は、産業技術総合研究所を筆頭として国内数社からRuに配位するリガンドを種々変更した新色素が継続的に提案されてきている。Ru錯体以外の金属錯体としてフタロシアニン系(1996年)、テトラフェニルポルフィリン系(2000年)などがある。

一方、1996年のキサントゲン色素、トリフェニルメタン色素以来、いずれも産業技術総合研究所あるいは日本の企業から多種類の新規有機色素系が継続して提案されてきている。現在、有機色素の系では最高の7.5%の変換効率を示すとされているクマリン色素については、2000年に特許出願が行われた。

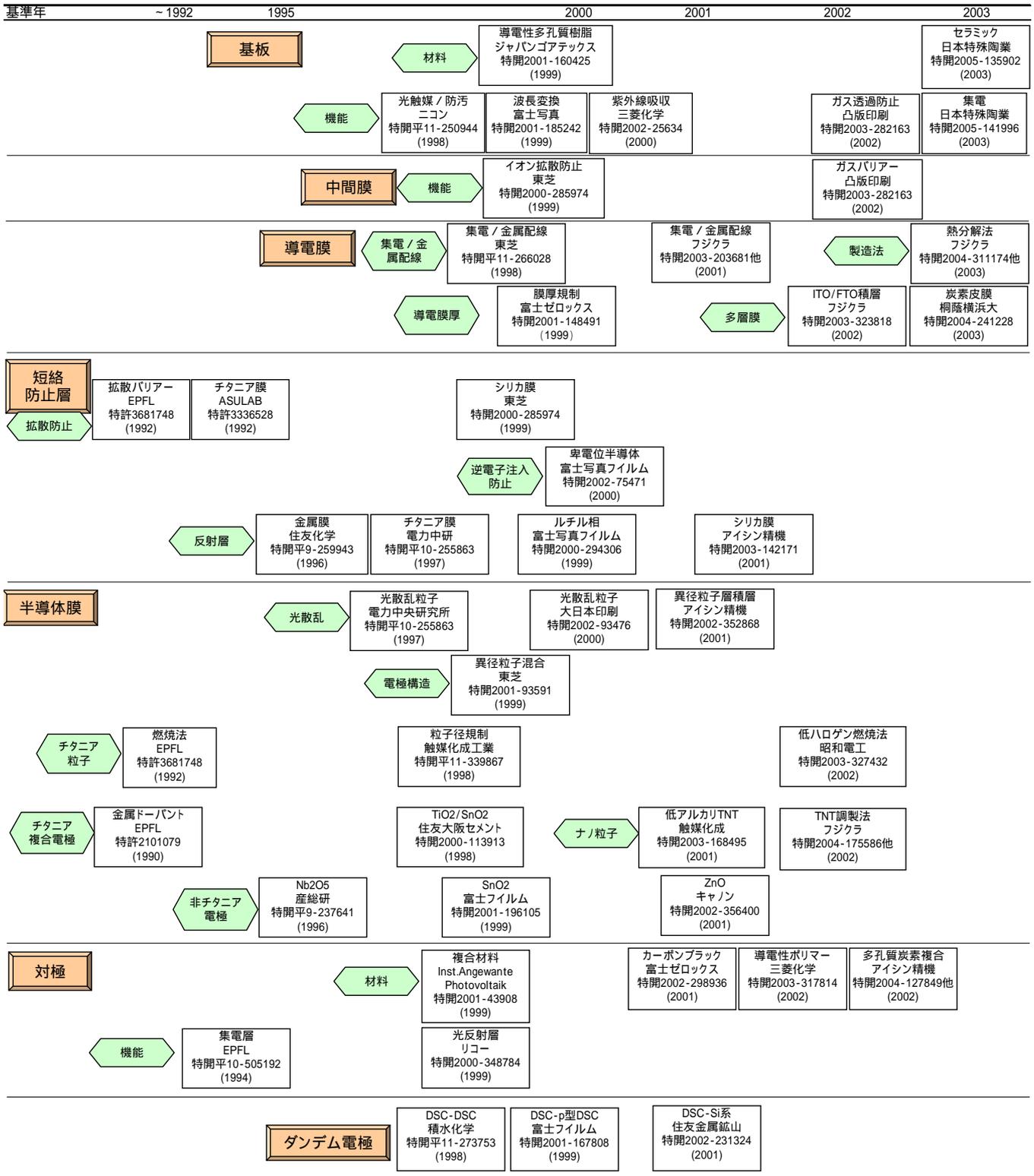
第 6-5 図 変換効率の改善 (色素)



(2) 光電極

電極基板に防汚、波長変換、紫外線吸収などの特殊な機能を付与する特許出願が1999年を中心に行われ、最近もガス透過防止に関する技術が提案されている。また、集電技術に関しては基板あるいは導電膜との関連で継続して特許出願が見られる。

第 6-6 図 変換効率の改善（光電極）



変換効率向上のための大きな要素である短絡防止等の技術に関しては、1992年のEPFL、Asulabから特許出願で開示された。その後、短絡防止層として、金属膜、チタニアより電位の低い半導体膜、シリカ膜等の挿入が日本企業から提案された。

また、変換効率向上を目的とした半導体電極層の光マネジメント技術に関するものとして、異径粒子混合を特徴とする特許出願が2000年～2001年にかけて行われている。

半導体電極材料であるチタニア粒子の製造法としてかなり特徴的と思われるのは、1992年のEPFLの出願によるTiCl<sub>4</sub>の燃焼法、2002年の低ハロゲン燃焼法などである。その他、2001年からチタニアナノチューブについて製造法等が提案されてきた。

また、半導体電極層の構成については、1990年のEPFLに引き続き、1998年のTiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>のような2成分系、酸化ニオブ(1996年)、酸化スズ(1999年)、酸化亜鉛(2001年)などの非チタニア系についての特許出願が注目される。

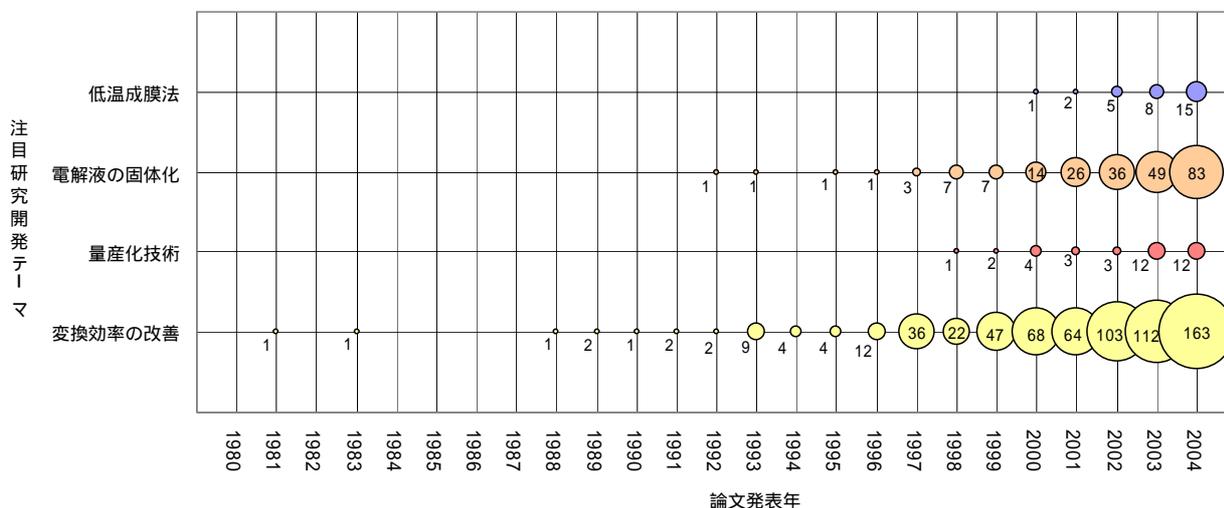
対極に関する技術としては、Ptに代わるものとして導電性重合体を含む複合材料(1999年)、カーボンブラック(2001年)、導電性ポリマー(2002年)などの新素材が提案され始めた。対極での集電機能の改良に関しては、1994年にEPFLが基本的な考えを提案している。また、光利用効率向上を図るため対極に光反射層を設ける提案が1999年にされた。

その他、電池の効率を上げるために、タンデム型構造電池が考えられ、DSC - DSC(1998年)、DSC - p型DSC(1999年)、DSC - シリコン太陽電池(2001年)などの特徴的な組み合わせが提案されている。(DSC = 色素増感型太陽電池)

## 第2節 研究論文動向

第6-7図に示したように、論文のテーマとしては、変換効率の改善が圧倒的で、2004年においても増加傾向にある。実用化に向けて、更なる変換効率の向上が求められているといえる。一方、電解液の漏洩による長期安定性の問題もテーマとして重要であり、2004年においても増加傾向にある。一方、工業化に向けての低温成膜法や量産化技術の改善は、件数としてはまだまだ少ないが、着実に増加している。

第6-7図 注目研究開発テーマ別の件数推移



## 第7章 総合分析

### 第1節 色素増感型太陽電池の現状と将来展望

#### 1. 知財環境

色素増感型太陽電池の基本構成は、1976年に大阪大学の坪村によって明らかにされているが、その変換効率は、Graetzel (EPFL) らの画期的な技術により飛躍的に高められた。1988年にEPFLから出願された特許2664194には、半導体膜、Ru錯体色素、電解質、電池製造技術などの電池の基本的な構成・技術が記載され、色素増感型太陽電池の基本特許と考えられる。引き続きGraetzelを発明者としてEPFLから出願された特許3101079、特許2101079、特許3681748、特許3731752、Asulabから出願された特許3336528を核とする一連の特許出願が重要特許群を構成し、色素増感型太陽電池の電極構造、色素、電解液等を広くカバーしている。最近登録された代表的な色素N3に関する特許3731752は1992年の出願であり、2012年まで権利が存続する。

本調査実施時点までの調査対象国における色素増感型太陽電池の特許出願件数は1368件である。全特許出願の85% (1,164件) が日本からの出願であり、また、全世界での全登録特許件数134件の55% (73件) が日本からの出願である。日本からの特許出願は海外においても多数登録となっている。日本の出願に関してみると、半導体膜、色素、電荷輸送材などの光エネルギー変換効率に大きく影響する主要3要素はもとより、実用化に際して重要な要素技術である基板、導電膜および電池製造技術にいたるまで、出願されている案件の技術分野は広範囲におよんでいる。日本の特許出願件数は全ての技術分野において、欧米を含め海外に対して大きくリードしており、実用化に向けての取り組みが着実に進捗していることを示している。また、日本の特許出願人は、企業では、写真、電池、家電、電子、化学をはじめとしてその他多くの業種を含んでおり、研究機関では、産業技術総合研究所のような公的なものの他、多数の大学をも含んでいる。これらのことから、日本における色素増感型太陽電池開発のすそ野の広さが認められる。

現在色素増感型太陽電池で生産あるいは部材販売を行っているDyesol-STI、Solaronixが、EPFLからライセンスを受けている。このほか、Konarkaを始めとする色素増感型太陽電池の開発を行っている数社が、EPFLからライセンスを得ているといわれている。現在までのところ特許権侵害訴訟等は明らかになっていない。

色素増感型太陽電池は、発電パネルとしては小型のものがDyesol-STIから販売されている程度で、基本的には開発段階にあり、本格的なビジネスにはなっていない。このため、現在までのところ色素増感型太陽電池に関する標準化は、測定法の標準化を含めて国内的にも、国際的にも行われていない。今後、色素増感型太陽電池ビジネスが本格化する時点で、評価技術を含めた標準化の動きがでるものと思われる。

#### 2. 研究開発動向と日本の技術競争力

##### (1) 海外での研究開発動向

色素増感型太陽電池の変換効率を著しく向上させることに成功したEPFLのGraetzelらのグループにより基礎から応用に関する一連の研究が行われ、その成果が特許出願及び学術論文として発表されている。色素増感型太陽電池研究の取り組むべき技術要素の多くがその中

に取り込まれている。Graetzelらは、多くの大学、公的研究機関、企業等と連携して基礎研究および実用化研究を進め、色素増感型太陽電池の研究開発分野で指導的な立場にある。

欧米では、多くの大学や公的機関が色素増感型電池の研究を行っている。EPFLでは変換効率向上のための新型色素の研究や長期安定性の向上などの研究が行われ、ECNやいくつかの研究機関ではモジュール化など実用化に向けての研究も行われているが、多くの研究者の興味は主に電極での電子移動メカニズム等の基礎研究に向けられているようである。

欧米、豪州では、ベンチャー企業によって実用化を目指した研究開発が実施されている。豪州のDyesol-STIでのモジュール構造、製造技術等の実用化検討、米国のKonarkaでのプラスチックタイプの色素増感型太陽電池の実用化検討が行われているが、特許出願及び論文の件数は日本の企業、研究機関、大学に比較して、明らかに少ない。これらのベンチャー企業では、あくまでも生産を前提とした技術開発に集中しているようであり、材料開発から手がける日本企業の開発研究とは明らかに異なった取り組みを行っているようである。

欧米での論文の発表件数が継続して増加していることからすると、色素増感型太陽電池の研究自体は最近でも拡がりを見せていると考えられる。特許出願件数としては、論文ほどの伸びは見られない。

一方、中国や韓国からの論文発表および特許出願件数は明らかに増加する傾向にある。基礎研究と共に実用化研究も並行して進められているようであり、今後の動きが注目される。

## (2) 日本の技術開発力

日本では、大学、公的機関で基礎研究と共に、実用化に向けての開発研究も精力的に行われており、論文発表件数および特許出願件数も多い。大学、公的機関の代表的研究者としては、産業技術総合研究所の荒川(現東京理科大)、大阪大学の柳田、桐蔭横浜大学の宮坂、岐阜大学の箕浦、東北大学の内田などがあげられる。

色素増感型太陽電池の特許出願を行っている日本の企業、大学、研究機関の数は130を越え、その中には多くの民間企業が含まれている。それらの民間企業の業種は、写真、電池、家電、電気、化学、電子、製紙、自動車、印刷、無機材料と多岐に渡っており、各々が得意とする技術で色素増感型太陽電池の研究開発に係わっている。特許出願件数の多い企業として、富士写真フイルム、キヤノン、シャープ、三菱製紙、アイシン精機、豊田中央研究所、フジクラ、東芝、リコー、日本化薬などがあり、いずれも特徴的な素材・原料や加工技術を有している。これらの企業は、資本力や技術基盤の乏しい欧米型のベンチャー企業に比較して、これらの基盤技術を活用して色素増感型太陽電池の高性能化・実用化を目指す開発を行うことが出来る点で有利な立場にある。日本では、変換効率の向上、耐久性の改善、コストの低減、フレキシブルフィルム化などの課題に対し、基板、導電膜、光電極、色素、電解質、対極などの素材・原料・加工技術などについて幅広く取り組みが行われ、各々の分野において高いレベルの実用化技術が構築されつつある。基本技術はEPFLにより開発されたが、実用化技術においては明らかに日本の技術が世界をリードしていると思われる。

## 3. 市場環境

### (1) 海外の市場環境

現在、色素増感型太陽電池モジュールを製造・販売しているのは世界でSTIの1社で、他の企業は開発段階あるいはデモパネル販売の段階である。

STI は、2001 年に製造能力 50,000m<sup>2</sup>/年の設備を完成させ、2002 年にオーストラリアの CSIRO 等へ納入した。同社は、基板、色素等の部材の販売も行っている。最近同社は、実質的に Dyesol に移行し (Dyesol-STI)、2005 年 9 月にはオーストラリアの証券市場に上場した。2005 年 12 月にはギリシャの Solar Technologies AE への DSC 製造設備、技術および原材料供給の契約の締結を発表した。

色素増感型太陽電池の部材においては、Solaronix が主な供給メーカーで、他に Dyesol-STI と日本のペクセルがある。

以上のように、最近の Dyesol-STI の動きが実用化の観点から注目されるが、現在確実にビジネスとして成り立っているのは、部材販売に限られているようである。

モジュール化で先行した欧州の企業と研究機関 (INAP、ECN) の研究開発には、最近新たな動きは見られない。米国の Konarka は、Roll to Roll 法によるフィルム型色素増感型太陽電池の製造技術を確立し早期に実用化するとしているが、これまでのところ商品化されていないようである。

## (2) 日本企業の動向

日本においては、ガラス基板大型パネルを開発したアイシン精機と豊田中央研究所、およびフィルム型の工業生産技術を開発している日立マクセルが実用化開発で先行している。

アイシン精機と豊田中央研究所は、10 cm 角のセルを 64 個直列接続したモジュールで約 180 日の屋外実証試験を行い、同じ発電出力で規格化された単結晶シリコン系太陽電池よりも総発電量が 10~20% 優れていること、北向きの屋根では約 40% 多いことを報告し、実用化の面で注目を浴びた。同時に 24cm 角のガラス基板に約 30 個の単セルを直列接続した集積化モジュールも公開した。2004 年 7 月には愛知万博に合わせて 1 面がモジュール 12 個で構成される壁パネルを、4 パネル分 20m<sup>2</sup> を作成し「トヨタ夢の住宅 PAPI」にサンプル出荷した。このパネルは、約 1.5 年経過時点でも安定した出力を維持している。

フジクラは、自社開発した透明導電性電極 / 集電機能、電解液の凝固体化等の技術をベースに、2006 年 1 月には、410mm × 140mm の単セルを 14 枚組み合わせた 1190mm × 840mm の大型パネルモジュールを発表した。同社は、各電極要素の形成にはスクリーン印刷を用い、より実用に近い製造方法を確立し、今後屋外暴露試験などの実用特性の検証を行っていくとしている。

一方、桐蔭横浜大学の宮坂らが設立したベンチャー企業「ペクセル」は、30cm 角のプラスチック基板太陽電池の製造を行い、耐久性試験に入るなど、プラスチック型太陽電池の開発を加速し、同時に部材販売ビジネスも展開している。

三井物産との合弁であるベンチャー企業「エレクセル」を立ち上げた第一工業製薬は、独自の非ヨウ素系電解液と対極の要素技術をもとに早期の実用化を目指すとしている。

一方、産業総合技術研究所 / 林原生物化学研究所はクマリン系色素で 7.45% の変換効率を達成し、三菱製紙 / 東北大はメロシアン系で高変換効率 (6.1%) で熱安定性が高く、耐光性、安全性に優れた色素を開発していることから、色素に関しては EPFL のライセンスを受けずにビジネスを進める道が開けてきた。

岐阜大では、岐阜県の全面的なバックアップのもと、地元企業をはじめ、電池の部材関連からモジュール製造関連、電源関連、商社、アパレル産業までを含めた多方面の企業が参加する、産官学一体となつてのカラフル太陽電池の実用化に向けた新しい動きが加速しつつあ

る。

ガラスおよびフィルム基板、酸化チタン粒子、Ru 色素、電解質、封止材などの電池部材は、その分野のメーカーが主に試験用に供給しているが、市場としてはまだ本格的には立ち上がっていない。

### (3) 日本の産業競争力

EPFL のライセンスを受けて、Ru 錯体色素をベースとする現状の要素技術をベースとする色素増感型太陽電池のモジュール化を行っている Dyesol-STI および Konarka は、特許的には有利な立場を有するものと考えられる。

しかし、モジュール性能の面からすると、実用的な技術で試作を行っている、プラスチック基板でのペクセル、ガラス基板でのフジクラおよびアイシン精機などのモジュールは、先行する 2 社と遜色のないレベルにあると思われる。

一方日本では、Ru 金属を含まない変換効率の高い新規色素、特徴的な光電極用ナノ酸化物粒子、種々の低温成膜法、効率的かつ高性能な透明導電性基板の製造法、擬固体化など各々の要素技術においては、特徴的で高い競争力をもつ技術が開発されている。実用化に向けた各々の要素技術では、むしろ積極的に技術開発を行った日本企業が優位性を持っているように思われる。

今後、日本で開発された応用技術が種々の商品開発に展開され、色素増感型太陽電池の市場が拡大していくことが期待される。

ただし、将来大きな市場の形成が期待される発電用太陽電池を考えると、現在販売されているガラス基板型あるいは開発されているフィルム基板型の色素増感型太陽電池の変換効率では、現状のシリコン型太陽電池モジュールに取って代わることは難しい。今後いかに実用レベルの変換効率 (>15%) をモジュールとして達成できるかが、技術競争およびビジネスの決め手になると考えられる。

## 4. 将来展望 (実用化へのシナリオ)

色素増感型太陽電池の最終的な目標は、21 世紀のエネルギー問題の解決策を提供する住宅用発電システムとしての太陽電池を提供することであり、2020 年以降に実用化が本格化するものと期待されている。そのためには、今後変換効率アップに加えて耐久性向上と大面積化の研究開発が重要である。

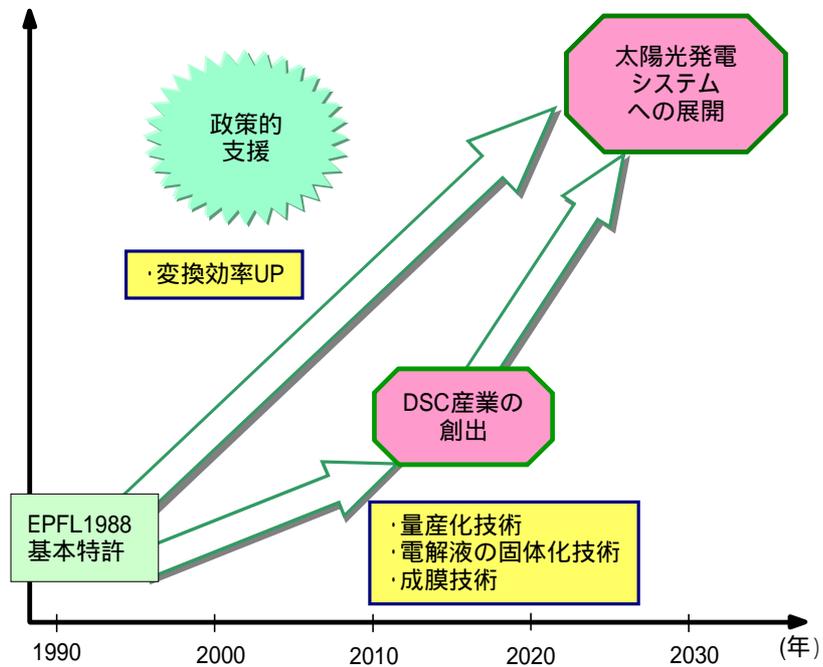
色素増感型太陽電池の当面の用途としてはカラフル太陽電池、透明太陽電池、フレキシブル太陽電池などの比較的消費電力の小さい小型民生機器の電源および屋内用途が対象と考えられる。

特にフィルム化が達成されれば、早い時期からの実用化が促進される。はじめは、電卓、玩具、文具、ファッションなどの電力消費量の小さい機器で、そのカラフル性、フレキシブルな形状の自由度を生かし、従来の固く黒色のシリコン太陽電池よりも、デザイン性、ファッション性に勝る商品群で採用されていくと考えられる。次いで、携帯電話、パソコン用の携帯電源あるいは室内での壁、インテリア等に広がっていくと期待される。また、用途を広げるためには、蓄電機能を持たせるなどの色素増感型太陽電池の高機能化も求められる。

この過程で養われる電解質の固体化技術、光電極の成膜技術などが、新色素の開発等による変換効率の改善および大面積化技術あるいは建材との一体化等の技術と結びつくことによ

り、ガラス、外壁用発電パネルなどの発電用途に拡がりをみせていくものと期待される。  
色素増感型太陽電池の技術開発の方向性を第 6-8 図にモデル的に示す。

第 6-8 図 色素増感型太陽電池の技術開発の方向性



## 第2節 提言（日本の競争優位性拡大のために）

色素増感型太陽電池の最終的な目標は、21世紀のエネルギー問題の解決策を提供する住宅用発電システムとしての太陽電池を提供することにある。これに対し、今回の特許出願技術動向調査の結果を見ると、耐久性および安全性も大幅に改善され携帯電源、屋内用電源などの分野では実用可能なレベルに近づきつつあるが、未だ住宅用発電システムとしての実用化レベルには達していないといえる。

今後、長期的には、最終目標に対して技術開発を継続・積極的に展開する必要があることはいうまでもない。一方、当面の課題としては、色素増感型太陽電池のカラフル性、軽量性、フレキシブルな形状の自由度等の特性を生かした分野での新しい市場を開拓・形成し、色素増感型太陽電池産業を創出・育成していくことが必要であり、このことは、長期的に技術開発を続ける上で、大きな支えになると思われる。

ここでは、近い将来の色素増感型太陽電池産業の創出と、将来の太陽光発電への展開に向けて、以下の提案を行う。

### 提言1 色素増感型太陽電池産業の創出

今後、以下の課題を克服していく中で、色素増感型太陽電池の商品化および市場の形成を進め、色素増感型太陽電池産業を早期に創出することが期待される。

- 1) 色素増感型太陽電池の技術（モジュール光電変換効率 5%程度）をベースに、日本が優位性を持つ要素技術を組み合わせることにより、商品としての耐久性と安全性を有する色素増感型太陽電池を開発し、さらに工業的に安価に製造出来るプロセスを構築する。
- 2) 色素増感型太陽電池の特性を生かして、具体的な用途・商品を数多く提案する。すなわち、これまで培われた日本の商品開発力を生かし、技術開発とともに具体的な商品化を進めていくことが重要であり、そのためには、色素増感型太陽電池への機能付与による高機能化もポイントである。
- 3) 色素増感型太陽電池では、基本的なセル構造および高性能な色素に関する特許出願があり、一部は権利化されている。今後の商品化に際しては、これらの特許の権利範囲および特許出願内容に十分留意した上で取り進めることが必要である。一方、日本は、色素増感型太陽電池の商品化に欠かせない固体化・擬固体化技術、低温成膜技術あるいは低抵抗導電性基板などの要素技術に強みを持っている。それらの権利化を進め、知財基盤を強化することが新産業を創出する必須条件である。その場合、日本、米国、欧州に限定することなく今後大きな市場となる可能性が大きい中国、インド、韓国をはじめとするアジア地域における権利化が重要なものとなってくる。
- 4) 色素増感型太陽電池は、まだ理論的に十分解析された技術とは言えず、まだまだ基礎的な研究の支えが必要であり、産官学の協調が重要であることはいうまでも無い。また、色素増感型太陽電池は、色素や電解質を含む多様な材料から構成されていることから、国際的な競争に備えるためにも広範囲な材料メーカーの協力関係が不可欠である。

### 提言2 太陽光発電システムへの展開

太陽光発電ロードマップ(PV2030)では、2030年までに家庭用電力の1/2程度(全電力の10%

程度、現状の太陽光発電導入量の50倍規模)を太陽光発電で賄うことを想定し、住宅用等への安価な太陽光発電システムの普及拡大を目指している。現在主流となっている結晶型シリコン太陽電池単独では、コストおよびシリコン原料の供給の面で増大する需要に対応することは困難であると思われる。このため、アモルファスシリコン太陽電池、化合物半導体太陽電池更には色素増感型太陽電池などの新たな太陽電池の開発が求められ、その中で色素増感型太陽電池は有望な選択肢として期待されている。

しかし、色素増感型太陽電池の現状の技術からは、その達成可能性はまだ見えてこない。目標達成のためには、光電変換効率、耐久性の大幅な改善が必要であり、今後、積極的なブレークスルー技術への挑戦が求められる。また、技術開発においては、重金属を使用しない、リサイクル性を考慮するなど、環境に配慮することが必要である。

色素増感型太陽電池の開発にあたっては、色素、封止材など、新規な材料開発の側面が大きく、有機、無機、高分子、素子設計、組立、評価等様々な技術分野の融合が不可欠であり、住宅用太陽電池パネル用途レベルとするためには、中長期的な研究体制を組む必要がある。

本調査でも明らかになったように、色素増感型太陽電池の実用化に向けての技術開発は、日本が先行しているといえる状況にある。そして、より安価な太陽光利用発電デバイスが求められる今、色素増感型太陽電池の性能レベルを早期に引き上げ、また、日本が本技術で主導権を握るためには、企業、大学等での研究のみならず、個々の垣根を越えた産官学アライアンスを形成し、国家的プロジェクトとして集中的に研究・実用化を進めていくことが望まれる。今後、強固で柔軟性のある連携体制が構築され、実用化技術が世界に向けて日本から発信されていくことを期待したい。

一方、海外に目を向けると、太陽電池は欧米等先進諸国における需要のみならず、インフラ整備が進んでいない地域におけるオンサイト型電力源として重要な位置づけとなる。この場合、要求されるコスト水準(経済性)は、他のオンサイト型電力源、インフラ整備コストとの比較となるものと考えられる。故に、色素増感型太陽電池の開発・実用化にあたっては、PV2030の目標だけでなく、様々な地域・用途を勘案しつつ検討を進めていく必要があるとともに、重要な技術に関しては、日米欧のみならず、中国・インドをはじめとし今後開発が見込まれる地域においても、権利化を進めていくことが必要であると考えられる。

### **提言3 測定評価技術の標準化**

まだ実用化段階に達していないことが主な原因であるが、色素増感型太陽電池の測定評価に関しては、国内的にも、国際的にも何ら取り決めがない状態にある。今後の研究を進めていく上での判断材料として、あるいは実用化に向けての技術開発においても、相互に技術レベルを比較するためには測定評価技術が標準化していることが最低限の条件である。産業技術総合研究所などでの測定法に関する検討結果等をたたき台に、国際的な広がりの中で、早急に標準化を進めていく必要がある。