

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 新技術の事業化へ向けた適用経路設定の有効性検討   |
| Author(s)    | 加藤, 謙介; 宮崎, 久美子   |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集, 28: 48-53  |
| Issue Date   | 2013-11-02  |
| Type         | Conference Paper  |
| Text version | publisher   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/11664">http://hdl.handle.net/10119/11664</a>   |
| 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  |

## 新技術の事業化へ向けた適用経路設定の有効性検討

○加藤謙介（東京工業大学大学院／エフェクテック戦略研究所），宮崎久美子（東京工業大学大学院）

新技術をもとに、新たな市場を切り拓く事業開発は、補完技術や社会環境など複合的な事業化課題が存在する。多くの場合は市場情報の不確実性を軽減するためにユーザーと連携し、要求を顕在化させることにより、開発目標や適用対象の絞り込みを行う。しかしながら、なお解決が困難な課題も存在するため、これを回避・克服するための「技術の適用経路の設定」を事例分析からモデル化した。このモデルについて、「適用対象の選定、および経路設定に際しての判断と考え方」を提示し、太陽電池を対象とした追加事例分析からこれらの有効性を検討した。

**Keywords:** 事業開発、適用経路設定、事例分析、太陽電池、事業化課題、阻害要因

### 1. はじめに

過去 10 年ほどの間に爆発的な勢いをもって各国で普及した再生可能エネルギーとして太陽電池があげられる。歴史のある当技術の事業化に関して、その適用対象はいかにして変遷してきたか。当初目標とされていた適用対象にはどのような課題があり、どのように実現されてきたか。

筆者らはこれまでに、特定の技術をもとに事業開発を進める際は、複数の適用対象候補の探索と課題の分析から「適用経路を設定すること」が望ましいと論じている[加藤、宮崎(2008)]、[Kato, Miyazaki (2009)]。本稿では、これまでに提示した「技術の適用経路設定」の有効性を検討することを目的とする。ただし、最近の事業化事例とは異なり、歴史的事実としてその実用化、事業化の変遷が検証できる事例として、光起電力効果の発見から 160 年ほど経過した後、近年急速に普及が始まった太陽電池を扱う。基本原理からの技術発展の経緯を含めて 1800 年代後半や 1900 年代前半の米国特許に記載された「電動モーター駆動」などの実用化目標は、当時は必ずしも達成できていないが、他の適用対象を経由して事業化された例をもとに、その経路を分析する。

### 2. 技術の事業化へのこれまでの取り組み

「テクノロジープッシュ」によるイノベーションプロジェクトは、一般に既存の市場を離れ、新しい市場を作り出すことを目指す性質があり、これは、市場での高い不確実性を抱えることになる。従って、市場・顧客要求の顕在化を図るために、リードユーザーを含めたマーケットプルとの併用が有効となる[von Hippel (1988)]、[Day (2000)]。これにより、ニーズ情報の製品開発への反映がなされ、「技術目標、適用製品、対象市場を絞り込むマネジメント」が有効に作用する[Herstatt, and Lettl, (2004)]。

また、市場へ向けた研究開発のプロジェクトを進める過程では、幅広くプロジェクトに着手し、その

後、絞り込んでいくことが必要とされている[榊原(2005)]。Teece は、企業家や経営者は事業の不確実性を認識した上で、将来の経路を推測しなければならず、その経路が明確になれば素早い行動が必要と述べている。[Teece, 2007] すなわち、新技術（または新製品）の適用市場は、単に直近の用途を特定し、そこに一気に呵成に責め立て、適用し、完了するのではなく、将来にわたる経路の推測も重要となる。

「技術の実用化と事業化」を図るためには、これらの基礎理論から、技術の適用対象の広い検討と分析が重要であるとし、事例分析から得られた事業化課題の回避施策である「適用経路の設定」のモデル化を検討している[Kato, Miyazaki (2009)]。

図 1 は、技術の適用経路設定のモデルを示す。事業開発の当初からユーザーが設定され、連携がなされている場合は、技術の開発方向の適性を逐次確認することができる（リードユーザーとの連携）。一方、見込み顧客の開拓から着手する場合、図 1 で示すようにショットガンの幅広い探索が多様な適用可能性の発掘に有効な施策となる。この場合は、それぞれの期待市場ごとに、要求される性能や信頼性などの仕様が見込み顧客によって設定されることになる。

### 3. 太陽光発電技術の歴史

#### (1) 光起電力効果の発見と初期の適用候補

当技術の起源は古く、1839 年、フランスの物理学者 Alexandre Edmond Becquerel による液中での二枚の黄銅板による電流発生、現在での酸化第一銅薄膜での光起電力効果（Photovoltaic effect、または Becquerel effect）の発見に遡る。1877 年には W. G. Adams と R. E. Day は、固体セレンウムによる光起電力効果を確認している。この結果を受けて、1883 年には Charles Fritts が Amorous selenium と金の薄膜の被覆により、変換効率はわずか 1 % 程度であるが最初の太陽電池を開発した。その実用例としては後にも述べるフォトカメラの露出計などで

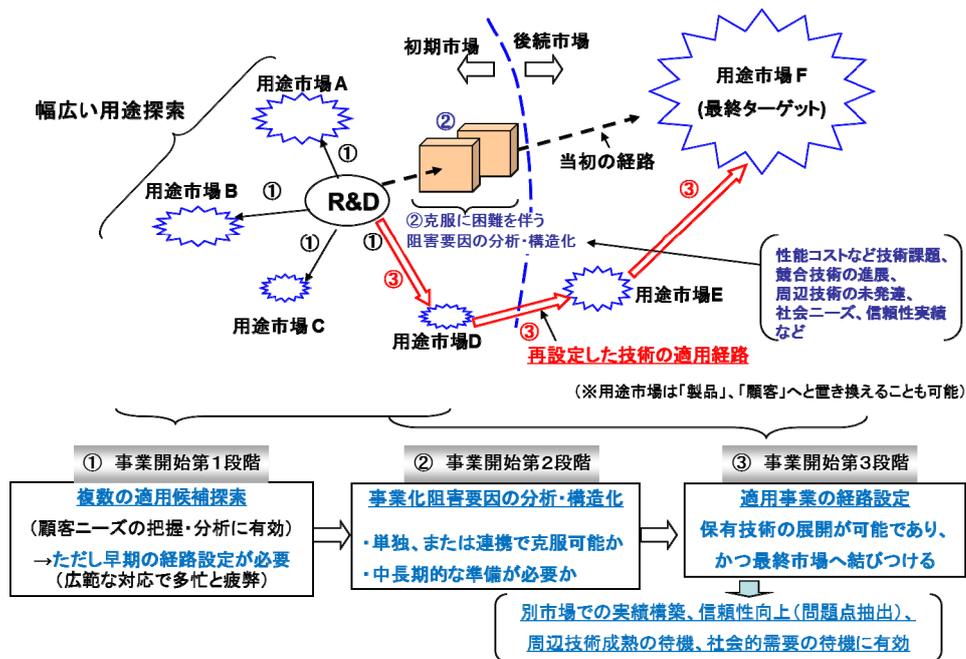


図1 技術の適用経路設定のモデル

あり 1960 年代まで使用された。このセレンを用いた太陽電池は、今日では CIGS 系 (Copper/Indium/Gallium/Selenide) とし、Si を用いないために安定した材料供給が可能な化合物半導体太陽電池として開発と実用化が進められている。特に、これら光起電力の現象把握に努めていた黎明期は、エネルギーの変換効率が悪く、かつ電力としての活用が見込めない技術で、どのような適用・応用事例が考えられていたのであろうか。当時米国で出願された特許にいくつかの候補が記載されていた。表 1 は、現在、USPTO で検索が可能な 1800 年代終盤から半導体の発明までの期間において、米国特許から抽出した太陽電池の初期の適用候補例を示す。

化学者であり電気技術者の Edward Weston は”Apparatus for utilizing solar radiant energy” (US389124)、および”Art of utilizing solar radiant energy” (US389125) と題した特許を 1888 年に取得しており、太陽光エネルギーによる起電力で電気モーターを駆動することをその応用例として挙げている。ただし、当特許では光起電力ではなく熱電対による熱起電力を想定しており、現在でもモーター駆動は実用化がなされていない。一方、この時点から太陽光を機器の電力源とするアイデアが生じると認識できる。さらに当特許では微弱で不安定な起電力を二次電池に蓄えて実用に供するアイデアも記載されており、これは現在の太陽電池の活用にも応用されている。

1920 年代になり、米国特許に光起電力の応用が記載されるようになる。1925 年には、R. Hart が、セ

レンによる Photo-cell をセンサとして用いて、映画用の音声再生の手段を記載し特許化している。1928 年には、GE の C.J. Young が Light sensitive cell による露出計 Photometer の特許を取得している。さらに、1932 年には、S. Wein が Becquerel effect による Photovoltaic cell の構造を特許化しており、この応用例として写真やファクシミリ等の伝送を記載している。1935 年には A.H. Lamb らが取得した光電デバイスの特許において、エレベータの扉開閉検知のセンサが記載されている。

このような初期の時代では、光起電力で得られる電力はわずかであり、光の強度を測定するセンサとしての応用例が主体となっている。

## (2) シリコン太陽電池の発明

一方、1940 年代までに量子論の進展が図られ、単結晶半導体での pn 接合の挙動が明らかになるとともに、1946 年にはベル研の R. S. Ohl が感光性デバイス (Light-Sensitive Electric Device) と題した特許を取得している (US2402662)。ここでは、シリコンの純度を 99.85%程度まで高め、光起電力を改善した太陽電池 Photo-E.M.F cell を発明した。その適用例、実用化例として、光照射と起電力による映画の音声再生が挙げられている。特徴として「ノイズが無いこと (Remarkably free from noise)」が記載されている。また、バッテリーを備えることで、夜間にランプを点灯させ、航空機向けの標識灯や灯台への応用も示されている。

表 1 米国特許から抽出した太陽電池の初期の適用候補例（1800 年代終盤から半導体の発明までの期間）

| 出願   | 発明者                                 | 特許タイトル／特許番号   | 特許概要   | 技術の適用候補   |
|------|-------------------------------------|---|--|---|
| 1888 | Edward Weston                       | 太陽放射光活用装置<br>Apparatus for utilizing solar radiant energy (US389124)                          | 熱電対列の起電力による太陽エネルギーの電力変換                      | 電動モーター  |
| 1888 | Edward Weston                       | 太陽放射光活用技術<br>Art of utilizing solar radiant energy (US389125)                                 | 太陽光の光電変換とその蓄電により二次電池、または蓄電池による電気エネルギーの活用     | 電動モーター  |
| 1925 | Russell Hart                        | 音声再生用の光電変換手段<br>Photo-electric means for reproducing sound from graphical records (US1552926) | プラチナ格子とセレンウムを含むフォトフィルムによる音声再生                | 音声再生装置  |
| 1928 | Charles J. Young (General Electric) | 光電フォトメーター<br>Photo-electric photometer (US1672671)  | 1%以内の精度で照度を測定するフォトメータシステム                    | 光検知セルによる光電フォトメーター   |
| 1932 | Samuel Wein (Radiovision Corp.)     | 光起電力セル<br>Photovoltaic cell (US1887531)   | セレンウムによる光起電力効果を利用した商用構造の太陽電池                 | (1)写真、ファクシミリ向け光電変換用光検知セル<br>(2)写真記録と音声再生                  |
| 1935 | Anthony H. Lamb Elizabeth, N. J.    | 光電デバイス<br>Photoelectric device (US2000642)  | 酸化銅、セレンウム、テルリウム、セレンアイド、テルライドなどの光起電力材料を含む光電セル | エレベータードア開閉の光信号、あるいはドア開閉センサ                                |
| 1946 | Russell S. Ohl (Bell Lab.)          | 光検知電子デバイス<br>Light-Sensitive Electric Device (US2402662)                                      | 純度99%以上のシリコンを含む光起電力セル                        | (1)赤外光露出計<br>(2)光学的サウンドトラックによる動画音声記録<br>(3)航空標識灯<br>(4)灯台 |

また、変換効率や感度を上げるためにレンズやリフレクターを用いることも記載されており、これらと組み合わせて赤外線領域を含む照度計、露出計などの用途も示されている。その後、同じくベル研の Chapin らが 1954 年までに効率 6% の太陽電池を開発し、続く 2~3 年で 15% までの効率向上が図られた。

この時代からの「飛躍的な変換効率の向上」がこれまでの「阻害要因を乗り越える契機」となり、1950 年代後半からの太陽電池の実用化を加速することになる。

### (3) 実用化への初期の適用事例

実用化初期の太陽光発電の適用先は、商用電源の調達が困難な遠隔地での独立型電源であった。まず、1958 年の米国の通信衛星 Bangard 1 で通信電源として搭載された。それまで衛星でのバッテリー寿命は 1 ヶ月間程度であったが、太陽電池の採用により 6 年間働き続け大幅に運用可能な期間が延長した。日本では 1958 年に福島市信夫山で放送中継局の出力 70W の電源として、また 1959 年には山口県沖合に航路用の灯標の電源として、太陽光発電システムが設置されている。

1950 年代後半からの実用化初期では、対象となる市場は「遠隔地での自立電源」、「太陽電池でなければならない」適用先として明確であった。Si 太陽電池の発明と効率向上にあわせて、その「量産化技術」とメンテナンスを省力化できる「信頼性の向上」が当時の市場要求課題であり、技術開発の主たる目標であった。

(4) エレクトロニクス製品による適用対象の拡大  
一方、トランジスタの発明により、1950 年代後半からラジオをはじめとした電卓や時計など、IC、LSI が搭載されたエレクトロニクス製品が開発される。太陽電池技術にとって、IC、LSI は製品の「低消費電力化」を実現する重要な周辺技術であり、ここに着目することにより、太陽電池の適用市場はさらに広がることになる。

例えば、シャープは 1959 年に太陽電池の開発に着手して以降、1970 年代までは灯台や人工衛星など、遠隔地の独立電源を主たる適用分野としており、1966 年には当時世界最大 225W のシステムを長崎県の灯台に納入した。また、1974 年には電離層観測衛星「うめ」向けに PV セルを納入している。その一方で、エレクトロニクス製品にもその適用可能性を見出し、1963 年の太陽電池量産化の前に、1962 年には太陽電池付きトランジスタラジオの試作を行っている。その後、1976 年には単結晶シリコン太陽電池付きの電卓を発売した。液晶表示は電力消費が小さい上、明るい場所でしか使用されない製品であり、太陽電池を単独電源とすることにも適している。

### (5) オイルショックと政府によるクリーンエネルギー開発

適用市場の探索と実現に関して、次の変遷・転機は 1973 年のオイルショックが契機となる。これまでは、「遠隔地向け独立電源」、「エレクトロニクス製品」向けであった太陽電池システムは、「化石燃料を用いないエネルギー源」として、既存の商用電源を

補完する機能を求められるようになる。各国で新エネルギー開発の国家プロジェクトが開始され、日本でも 2000 年までに自然エネルギーを実用化させるためのサンシャイン計画が 1974 年にスタートした。太陽光発電は既存の電力源との競争にさらされることになり、大規模な発電能力を確保するためには、効率向上に加えて、新製造方法、新素材の開発により、従来の発電コストの 1/100 以下が目標として設定された。

この結果、従来からの単結晶シリコン太陽電池に加えて、多結晶シリコンやアモルファスシリコン太陽電池などの実用化が進み、さらに CIGS などの化合物太陽電池や色素増感型、有機薄膜型などの有機系太陽電池の開発が進展した。

さらに、NEDO との共同研究・実証実験の位置づけで、灌漑用揚水ポンプの駆動源として、また、工場などへの照明や動力源としての太陽光発電の設置がなされた。

1980 年から 1985 年にかけては、既存商用電力源との系統連係により、1MW の太陽光発電システムが愛媛県に設置されている。

こうしたサンシャイン計画をはじめとした政府の開発予算の支援により、「効率向上」と「発電コストの低下」、さらには実証試験による実用化の確認がなされて「商用電源の補完」が進展し、1990 年代以降に「分散型電源としての太陽光発電」の普及が加速された。

#### (6) フィードインタリフとメガソーラープラント

1980 年代後半から、地球温暖化に関する議論が活発になり、1988 年には「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の設立や 1997 年の京都議定書などのフレームワークが提示され、環境に対する社会的な意識が高揚した。

省エネルギー化と温室効果ガス削減への取り組みが各国政府の重点政策として取り上げられる状況の中、ドイツは 2004 年に再生可能エネルギーの固定電力買い取り制度フィードインタリフ (FIT) を本格化し、これに続き、スペイン、イタリアなど欧州各国を中心に FIT 制度の導入が急増した。

導入当初は通常の電力価格の 2~3 倍程度の高価格で買い取ることを 10 年程度の長期間に渡って保証し、その費用は国民全体で負担する仕組みとした。このため、「自然エネルギーを導入しなければ損をする」との考え方が生じ、多くの投資資金が投入され、数多くの大規模な太陽光発電所が誕生した。2008 年末までに、世界で設置された出力 0.2MW 以上の

太陽光発電所は 1900 箇所以上、合計出力は 3600MW を越える。このうち、2008 年だけでも 1000 箇所以上に設置されている。

ただし、フィードインタリフ (FIT) 制度については、ドイツ、スペインでは、再生可能エネルギーを系統電力へ接続するための費用は需要家が負担する方式であり、想定以上に太陽光発電の導入が進み、その負担額が増加したこと、および、太陽光発電のコストダウンへのインセンティブが充分働かないことなどを理由として、2009 年以降は買い取り制度の縮小を図っている。

一方、中国では、国内の再生可能エネルギーの普及政策として、その比率を 2020 年までに 12.5%までに引き上げるとして、およそ 4 兆 500 億元 (約 60 兆円) の投資が計画されている。また、2009 年、中国財務省、国家エネルギー局、及び科学技術部が共同で実施する「金太陽光プロジェクト」では、シリコン生産から系統連係までを含めた太陽光発電のプロジェクトに対して、投資額の 50%の補助金が、過疎地域での太陽光発電プロジェクトでは投資額の 70%の補助金が支給されると発表されている。

#### 4. 事業化推進への課題と条件

図 2 は、太陽電池の適用対象と実用化・事業化課題の歴史的推移を示す。光起電力効果が発見されて以降、最大の技術課題は変換効率と発電コストにあった。現在においても太陽光発電の開発テーマは「変換効率」、「資源の有限性」、「価格低下の可能性」、「応用範囲の多様性」の 4 項目が重要な視点となる。現在の技術開発ロードマップにおいても Grid parity (既存の商用電源コストと同価となる発電コスト) の達成が R&D の基本的な目標とされている。しかしながら、その目標が未達一方で、適用可能な市場に対して太陽電池の実用化、事業化は進展している。すなわち、「最大の技術課題が解決できないこと」が事業化への阻害要因として立ちはだかるわけではない。

図 3 は、太陽電池の適用経路を示す。この図に示すように、光起電力効果の原理開発の後、Si 太陽電池の開発による効率向上や、IC、LSI などの周辺技術の発展、さらに低消費電力の市場要求、クリーンエネルギーの社会的需要を観察、分析し、適切なアプリケーションを探索し、設定することにより、事業化が可能となる。さらに、これらの技術、市場、社会的需要を継続して探索し、アプリケーションの適用経路を設定することにより、事業としての持続性が可能となる。

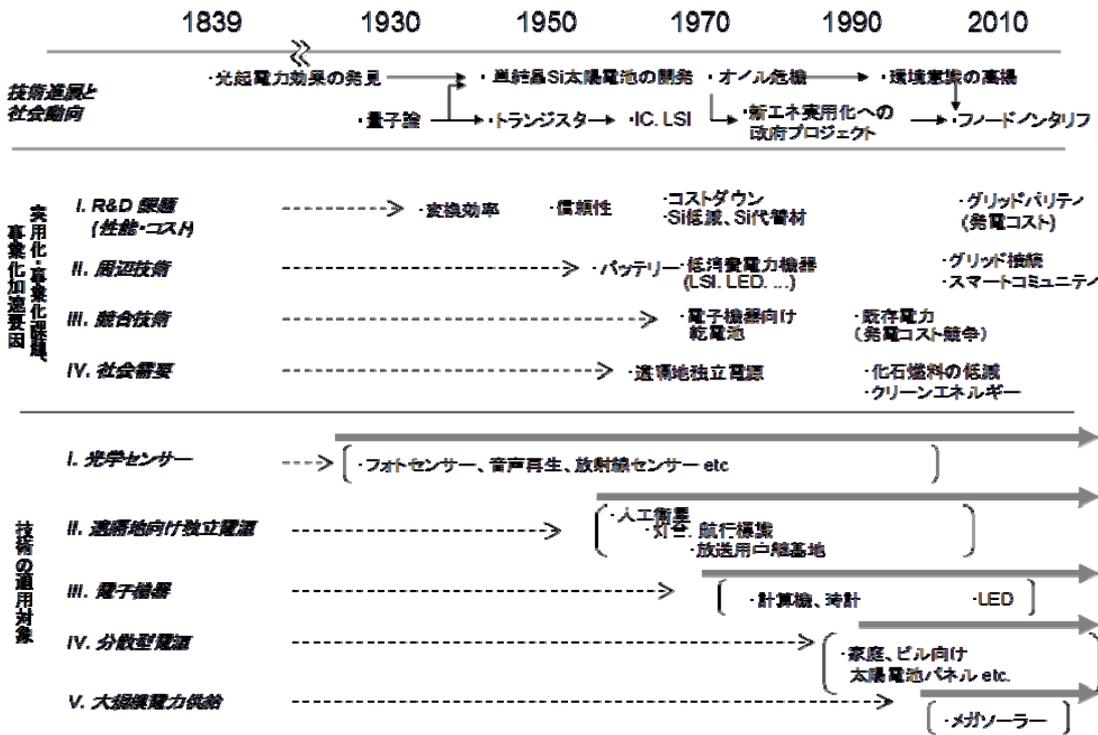


図2 太陽電池の適用対象と実用化・事業化課題の歴史的推移

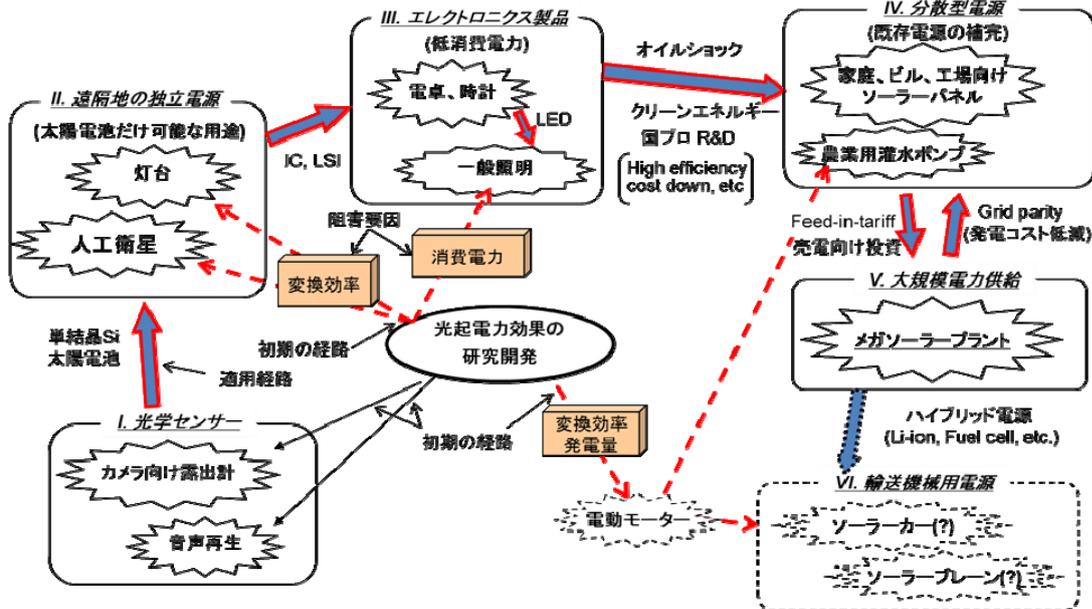


図3 太陽電池の適用経路

## 5. まとめ

新しい産業分野に対して、新興技術をもとにした事業開発を進めるプロセスにおいては、「特定の市場」、「特定の機能」、「特定の製品」に開発目標が設定され、焦点が絞り込まれて開発が進められる [Phaal, et al. (2012)]。事業での最終目標に対するアプローチは、「一度設定されると多くの場合はその実現に向けて集中して取り組むことになり、その変更は容易ではない。すでに事業が成り立った場合は、

企業組織として代替的なビジネスモデルに気付かないこともある」 [Chesbrough and Rosenbloom, 2002]。すなわち、ひとたび目標が設定されると、特に技術者の場合は現在の技術的課題に対応する傾向があり、かつ、何らかの事業対象を獲得すると、この顧客の要求事項の解決に専念する傾向もある。Teecce もまた、ひとたび、企業家や経営者が将来の経路を推測し、設定されると素早い行動が必要になると述べている。しかしながら、先進技術をもとし

た新しい事業を開発する場合については、少人数のチームで開始するケースが多く、かつ、当初に設定した適用用途は必ずしも順調に市場が立ち上がるとは限らない。

こうした状況では、Hippel の論ずるリードユーザーとの連携によって、要求事項の抽出がなされれば、事業化実現の確度は向上する。しかし、有力なユーザーを共同開発パートナーとして確保しても、社会的な需要の遅延や競合技術の進展などにより、必ずしも事業化が成功するとは限らない。このような場合、Nelson and Winter は、企業が新しい方向を探索する際、「目的としていた利潤が得られないときに限り探索し、特定の方向性はない。ただし、結果的に手持ち技術の周辺に発見される可能性が高い」と述べている[Nelson and Winter (1982)]。結果論であるが、短期的には事業として利潤が得られれば事業として許容されるであろう。

しかし、事業開発をリードするマネジャーは、結果として手持ち技術周辺に発見されることを期待して待つのではなく、自らが魅力的な市場への創出と参入に対して積極的に活動する必要もある。このため、先にも述べたとおり、当初目標とした事業化が困難に直面した際は、阻害要因と課題の体系化による分析が重要となる。さらには、事業化初期の段階で、複数の適用候補に対して、その事業化実現へ向けての可能性を評価・検討することに加えて、それぞれの課題を抽出、分析した後、最終ターゲットとなる市場へ向けて、事業化目標である技術の適用対象の変更や適用順位の設定が、それらの課題の回避策となり得る。すなわち、複数のユーザーや適用対象の候補に対する「幅広い機会探索活動」が必要であり、この後、それぞれの課題の分析や事業開始時期、事業規模、学習と経験への効果などの適用対象の選定基準から「適用対象の絞り込み」だけでなく、「技術の適用経路を設定」することが望まれる。

DMFC に関する適用経路設定の事例研究においても、他用途での事業化を実現することは、性能向上や品質安定性、小型化など「継続的な技術開発による改善事項」への取り組みが、技術・ノウハウの蓄積と競争優位性の獲得に作用し、事業化進展に有効となる可能性を示している [Kato, Miyazaki (2009)]。すなわち、榊原の主張である「幅広いプロジェクトの着手とその後の適用対象の絞り込み」だけでなく、対象市場の立ち上がりの遅延を想定すると、複数の適用候補に対する「適用経路の設定」が必要であることを提示した。この際は、保有技術の展開が可能であり、かつ最終的な市場まで結びつけることができる経路を設定する必要がある。

事業進展の阻害要因としては、当該技術の性能改善要求、コスト対応だけではなく、既存競合技術の

さらなる進展、必要周辺技術の未発達に加えて、当該技術に対するそもそもの必要性、市場の需要、さらには、文化的、慣習的な課題まで挙げることができる [加藤、宮崎 (2009)]。

従って技術を事業化させる際に克服困難な課題が顕在化した場合、これを回避するためには図 1 にも示したように目標となる適用先の設定が有効であり、次のステップを踏むことが事業化の実現に貢献する。  
(1) 複数の適用候補に対して探索と市場・顧客要求の構造化と分析など事業化実現へ向けての可能性評価  
(2) 事業化阻害要因の抽出、分析と構造化  
(3) 最終用途市場を目指した適用事業の経路設定

また、技術や経験、競争力の構築へ向けて、次に示す観点からもこのアプローチは有効となる。

- ・他の市場や製品での技術適用の実績構築
- ・実使用状態での課題の抽出と信頼性の向上
- ・必要となる補完技術のレベル向上までの待機
- ・社会的な需要増加までの待機

太陽電池の事例は、技術の適用対象が広範囲及んでおり、その事業化を実現させるためにはいくつもの阻害要因を調査、分析し、克服しなければならない。従って、技術の事業化において最終市場を創出するための経路を構想し、到達させるためには、直近の適用対象の事業化だけでなく、その先の適用へ向けた知識の蓄積、技術優位性の構築、さらには信頼性の向上を伴って社会的需要の増加に先駆けて待ち受けることが有効な施策であると考えられる。

#### [参考文献]

1. Chesbrough H, Rosenbloom RS. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology. *Industrial and Corporate Change* Vol.11(3): 529-555
2. Day,G. (2000), Assessing future markets for new technologies, *Wharton on managing emerging technologies*
3. Hippel,E.(1988), *The source of innovation*, Oxford Univ. Press
4. Kato, K. Miyazaki, K. (2010)"Overcoming Deadlocks for Technology Commercialization by Finding Appropriate Applications", *Proceedings of PICMET '10*, P588-595
5. Kato, K. Miyazaki, K. (2009)"Setting application paths for emerging technologies on new business development", *Proceedings of TJASSST '10*, P362-365,
6. Phaal, R., Routley, M., Athanassopoulou, N., Probert, D., (2012). Charting Exploitation Strategies for Emerging Technology, *Research-Technology Management*, March-April, 34-42
7. Teece, D. (2007). Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance. *Strategic Management Journal*, vol.28: 1319-1350
8. 加藤謙介,宮崎久美子(2008),事業開発における技術の適用経路の設定,研究技術計画学会,第23回年次大会 p322-325,
9. 加藤謙介,宮崎久美子(2009)「新規事業開発プロジェクトの阻害要因の体系化と推進へ向けたコンピタンス形成に関する考察」,研究・技術計画学会第24回年次学術大会, p607-610,
10. 榊原清則(2005). イノベーションの収益化: 技術経営の課題と分析、有斐閣