

GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION

KOBE UNIVERSITY

ROKKO KOBE JAPAN

Current Management Issues

ワーキングペーパー

太陽電池事業におけるイノベーションの進展

—SA 社を事例として—

2006年9月30日

神戸大学大学院経営学研究科

所属研究室 國部克彦研究室

現代経営学専攻

学籍番号 058B217B

氏名 岡島英樹

目次

序章.....	1
第1章 流動期における技術転換プロセス.....	3
1.1 産業の成熟課程と流動期の技術選択の重要性.....	3
1.2 S 曲線による技術転換の必要性認識とその可能性.....	4
1.3 流動期の技術転換プロセスに関する仮説.....	6
1.4 研究対象の選択.....	7
第2章 太陽電池業界の発展.....	8
2.1 太陽電池とは.....	8
2.1.1 結晶系シリコン太陽電池.....	8
2.1.2 アモルファスシリコン太陽電池.....	8
2.1.3 その他の太陽電池.....	9
2.2 太陽電池業界の現状.....	11
2.3 太陽電池の流動期とドミナント・デザイン.....	12
第3章 SA 社太陽電池事業のケーススタディ.....	15
3.1 太陽電池事業への参入ーアモルファスシリコン太陽電池.....	15
3.2 太陽電池の技術転換 - 結晶系シリコン太陽電池.....	16
3.3 高光電変換効率技術と太陽電池事業の拡大 - HIT 構造太陽電池.....	17
第4章 SA 社における流動期の技術転換プロセスの検証.....	22
4.1 市場の不確実性低下の認識 - 不確実性の原因である要因の除去.....	22
4.2 技術転換の必要性の認識 - 選択技術における限界性能の理解.....	23
4.3 性能重視の技術転換の選択 - 規模の経済による低コスト化.....	26
4.4 各ステップを進めるための重要な要因.....	28
終章.....	30
<参考文献>.....	32
<参考資料>.....	34

序章

地球温暖化やオゾン層の破壊などの地球環境問題、近年の石油価格の高騰などにより、新エネルギービジネスが注目されている。約30年以上前に起こったオイルショックでエネルギーセキュリティの重要性が再認識され、1974年には化石燃料の代替エネルギーの開発を目的とした「サンシャイン計画」がスタートした。その後、1978年に始まった省エネルギー指向の「ムーンライトプロジェクト」と統合したかたちで、1993年から国家プロジェクトとして持続可能な成長と環境エネルギー問題解決の両立を目指した「ニューサンシャイン計画」が発足した。ニューサンシャイン計画では、新エネルギーとして、太陽光発電や風力発電、燃料電池、バイオマス発電等、が定義され、新エネルギーの基礎技術の確立や、新エネルギー市場を活性化させ、その実用化が推進されてきた。それに伴い、さまざまな技術が研究されてきたが、サンシャイン計画がスタートしてから30年以上経過した現時点でも、将来有望なビジネスと言われながらも、新エネルギービジネスとして大きな市場を獲得した例は少ない。

技術の観点から見た場合でも、燃料電池やバイオマス発電など、環境にやさしく有望なエネルギーともてはやされてはいるが、それぞれの新エネルギー事業においてさまざまな技術形態があり、ドミナント・デザインが登場したとはいえない状態である。企業は、さまざまな技術の中から将来有望と考える技術や自社の強みを生かせる技術を選択し、投資して事業参入するのであるが、企業を存続させ、将来的にさらに発展させるために貢献することができる技術を選択する、ということは実際のところ簡単なことではない。

新エネルギーにおいて注目されている技術の一つである燃料電池では、英国のベーコン卿が1952年に5kWの実証試験に成功して特許を取得しており、また、その後も、固体高分子型燃料電池、リン酸型燃料電池、固体電解質型燃料電池、熔融炭酸塩型燃料電池、アルカリ型燃料電池など多くの製品イノベーションが見られる。しかし、ベーコン卿の特許取得から50年以上経過した現在でも、普及に向けた努力が各企業において続けられており、長い流動期から抜け出ることができていない状況と言えるだろう。家庭コージェネレーション・システム用や自動車用燃料電池の本命として考えられている固体高分子型燃料電池においても、燃料電池の最初の市場になると思われるコージェネレーション・システム市場においては、異なる技術である固体電解質型燃料電池が固体高分子型燃料電池の地位に迫ろうとしている。本命視されていた技術が、普及を前にして他の技術に取って代わられる可能性があるのである。

そのような中、近年、年30%以上の成長を継続し、2005年度には対前年の伸び率が44.6%¹という、急成長を遂げている事業分野が新エネルギー技術に現れてきた。太陽電池事業である。2005年度の世界の太陽電池生産量は1,727MWにのぼり、そのうちの48%にあたる833MWが日本の太陽電池メーカーによって生産されている。世界シェアの上位5社のうち4社が日本メーカーであり、日本の太陽電池生産量の95%以上をその4社で生産している。太陽電池には結晶系シリコン太陽電池、アモルファス(非結晶)シリコン太陽電池、化合物半導体太陽電池、色素増感太陽電池など、さまざまな技術形態の太陽電池が研究されているのであるが、その4社の主力製品は全て結晶系シリコン太陽電池である。

この4社のうち3社は、太陽電池の事業化当初から結晶系シリコン太陽電池を主力技術に選択して事業化を行っており、その後に大きな技術転換は行っていない。4社のうちの残りの1社であるSA社は、事業参入時に、結晶系とは技術が異なるアモルファスシリコン太陽電池を主力技術と

¹ 一木(2006b)より

して選択し、事業参入を行った企業である。SA 社は、アモルファスシリコン太陽電池で1993年には国内における太陽電池の約37%²を生産し、国内 No.1 の生産量を誇っていた。しかし、1990年代中頃から始まった他社による結晶系シリコン太陽電池の増産により SA 社のシェアは徐々に低下していった。また、アモルファスシリコン太陽電池全体で見ても、近年では太陽電池総生産量に占める割合が数%にまで低下してしまった³。

結果論ではあるが、SA 社は、太陽電池事業参入における技術選択を誤ったように見える。流動期における技術選択は非常に難しいため、仕方のないことかも知れない。しかし、SA 社はアモルファスシリコン太陽電池から結晶系シリコン太陽電池へ技術転換をはかり、その転換を成功させた。また、ただ単に技術転換を成功させただけでなく、その技術転換をベースにして、量産レベルで世界最高のセル変換効率⁴を有する太陽電池を市場に送り出しているのである。

流動期での技術選択が、将来のドミナント・デザインとして市場に適合するかを左右するため、産業の成熟課程において、流動期の技術選択は非常に重要な局面なのである。しかし、流動期における技術選択の困難さのために市場に適合しない技術を選択した場合は、技術転換が必要となるであろう。

本論文は、イノベーションの進展について、技術転換の視点から分析を行ったものである。特に、流動期における技術転換に着目し、流動期の技術転換に成功する企業が通るであろうプロセスを仮説として導出した上で、仮説プロセスが SA 社の太陽電池事業に適合するかどうかを検証することを目的とすると共に、その検証を行うことにより、仮説プロセスを進めるために重要な要因を抽出することを目的とするものである。

研究目的を果たすためには、技術選択やそれにいたるプロセス、背景などを掘り下げて調査する必要があるため、文献調査および SA 社の太陽電池関係者を筆頭としたインタビュー調査を中心に研究を進める。

本論文では、第1章で流動期における技術転換プロセスについての仮説の導出を行い、第2章では、研究対象とした太陽電池業界の現状について述べる。第3章では SA 社が太陽電池事業へ参入し、どのように事業展開をしてきたかの事実整理を既存文献調査やインタビュー調査から行っている。第4章では、第1章で導出された仮説の検証を進め、市場の不確実性低下の認識や技術転換の必要性の認識、性能重視の技術転換の選択をうまく進めるための要因の抽出を行う。

² 「日本における会社別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 平成14年度版 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月17日時点)より

³ 「日本における種類別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 平成14年度版 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月17日時点)によれば、日本における太陽電池総生産量に占めるアモルファスシリコン太陽電池の生産量が、1993年は半数以上の53.3%であったのに対し、2003年度には2.5%まで低下している。

⁴ 設置面積あたりの発電量が世界No.1、世界最高のセル変換効率19.7%により実現(2006年4月現在、量産レベルにおいて、SA社調べ)。SA社 HP より(2006年6月25日現在)

第1章 流動期における技術転換プロセス

1.1 産業の成熟課程と流動期の技術選択の重要性

産業の発展、特に工業製品の産業は、企業による技術革新を中心としたイノベーションにより発展を継続してきたと言えるだろう。Utterback(1994)は、産業のライフサイクルについて、イノベーションの発展過程が「流動期」、「移行期」および「固定期」の3段階を経過して変化し、その産業が成熟していく過程を明らかにした。

「流動期」における製品の技術や市場は、不確実性が高く、製品の重要な機能が何であるか、将来拡大する市場がどのようなもので、その市場に適合した製品のコンセプトはどのようなものなのかがはっきりしていない。そのため、その産業に参加する企業の試行錯誤により多くの製品イノベーションが発現し、また市場の探求が行われる。自動車産業の初期には、電気自動車や蒸気機関、内燃機関など、様々な製品イノベーションが登場している。

製品と市場が発展するにつれ、技術的可能性と市場の選択の相互作用によって、大多数のユーザーの要求を具現化したドミナント・デザイン(Utterback, 1994)が現れる。ドミナント・デザインは、市場における広範囲な支持を得た標準となるデザインのことである。

ドミナント・デザインの出現により、成熟過程は「移行期」に入る。市場に適合した標準的な製品の登場により、それから大きく逸脱する製品イノベーションの発生率は低下し、ドミナント・デザインの機能向上に力点が置かれた開発が進められる。市場において、自動車が内燃機関で駆動するものだという考えが浸透すると、内燃機関を前提とした製品開発が行われ、自動車用としての蒸気機関に関する製品イノベーションは競争上の価値をほとんど持たなくなるのである。また、生産すべき製品の基本デザインが確定するため、工程イノベーションの発生率が高くなる段階に入る。製品の需要が増加するため、需要に応じた供給能力の向上や生産効率の追求が行われ、製品に特化された高価な専用設備の導入が進められる。自動車産業のフォードにおける T 型モデルがその例としてあげられる。

製品専用設備の導入が進んでいくと、製品と工程の変更が難しくなる「固定期」に入る。固定期では、製品が高度に定型化されるため、工程イノベーションの発生率も低下してくる。産業の発展があまり進まない成熟した段階となり、産業内の製品差別化が難しく、製品間での相違が少ないため、品質とコストが競争の基盤となるのである。

Utterback(1994)が明らかにした産業や製品の成熟過程において、ドミナント・デザインの出現は、その製品の基本的技術が産業全体において選択されたことを意味する重要な現象である。市場と製品の機能および特徴に関するコンセンサスを醸成させ、製品がより具現化するのである。市場においてドミナント・デザインは標準的な製品として、その後の市場のシェアを長い期間にわたって支配できる。そのため、ドミナント・デザインが出現するまでの流動期において、企業が、将来ドミナント・デザインにつながる技術を選択していたかどうかは、企業がその市場におけるシェアを獲得できるかどうか、という結果に大きく影響することになるであろう。そのため、流動期での技術選択は、製品の成熟課程において、最初に直面する非常に重要な局面なのである。

しかし、流動期においては、市場が明確ではなく、また、市場が満足する製品はどのようなものであるのかが見えていないため、企業はどの技術が市場に適合するか見極めることが非常に難しい。Utterback(1994)は「流動期における製品イノベーションは、目的と技術的な不確実性の両方に直面しながら進んでいく。目的の不確実性は、ほとんどの初期のイノベーションが、定着市場に適合していない事実を示している。技術的な不確実性は、流動期における研究開発の拡散した

焦点に起因するものである。技術が流動的な状態であるときは、企業はどこに研究開発費を投じるべきか明確な考えを持っていない。事実、他の技術を支持した市場から、最終的には無視されてしまう製品技術に多くの企業は集中している。」(p. 93)と述べている。

流動期において、製品イノベーションの発現が多く、ドミナント・デザインにつながる技術を事前に予測して適切に技術選択することが難しいのであれば、産業に参入する企業の多くが、最終的に市場に適合しない技術を選択する可能性が大きいと考えられる。将来的に市場に適合しない技術を選択してしまった企業は、ドミナント・デザインの発現とともに市場からはじき出されてしまうのを待つしかないであろうか。

流動期においてドミナント・デザインに適合しない技術を選択した企業が、その市場で生き残るためには、技術転換を図り、技術転換を成功させる必要がある。「もし、重要市場を支配することを望むなら、ドミナント・デザインに従わなければならない」(Utterback, 1994, p. 24)のである。

技術の転換は、転換前の蓄積した技術に関する知識や資源などを廃棄しなければならない可能性が高いため、技術転換の意思決定は困難な問題をとまなうであろう。しかし、技術の動向を見極めようとして転換に遅れた企業は、急速に競争力を失っていくことになる(新宅, 1994, 221 頁参照)。そのため、出来るだけ早く技術転換を行わなければならない。ドミナント・デザインがはっきり市場で認識されるころには、その技術を選択していた企業が生産体制の拡充を開始し、市場のシェアがドミナント・デザインに支配された後であろう。そうってから技術転換を始めたのでは、そこからドミナント・デザインに関する技術の検討を開始し、生産体制を確立できる技術を蓄積するまでには時間がかかるため、先行企業に追いつくことが非常に難しくなるであろう。この状態を避けるためには、ドミナント・デザインが発現する前の流動期において、企業が選択していた旧技術でのインクリメンタル・イノベーション⁵による性能向上だけでは市場に適合しないことに気付くことが重要である。その気付きにより、技術転換の必要性を認識することになるのである。

1.2 S 曲線による技術転換の必要性認識とその可能性

流動期において、技術転換の必要性を認識するためには、選択している技術が市場の求めている特性に適合しないことに気付くことが、どうしても必要となる。

Foster(1986)は、S 曲線の概念を用いて技術転換がどのように起こるかを示しており、また、技術転換が起こるかどうかを予測するためのツールとして S 曲線が使用できる可能性を指摘している。S 曲線は主に製品の成熟課程と、製品が成熟したころに発現するラディカル・イノベーション⁶によって旧技術から新技術へ技術転換することを説明するものであるが、流動期における技術転換に対しても適用できるのではないだろうか。

S 曲線とは、「製品もしくは工程を改良するために投じられた努力とその投資からの成果との関係を示すグラフ」(Foster, 1986, p. 31)とし、そのグラフは通常 S 字型の曲線を描く。新製品や新製法の開発に資金を投入したとき、開始当初は技術の成果が容易に得られない。その後、開発に必要な情報が収集でき、相対的に少ない投資で急速に高い成果を得られる。しかし、投資を継続

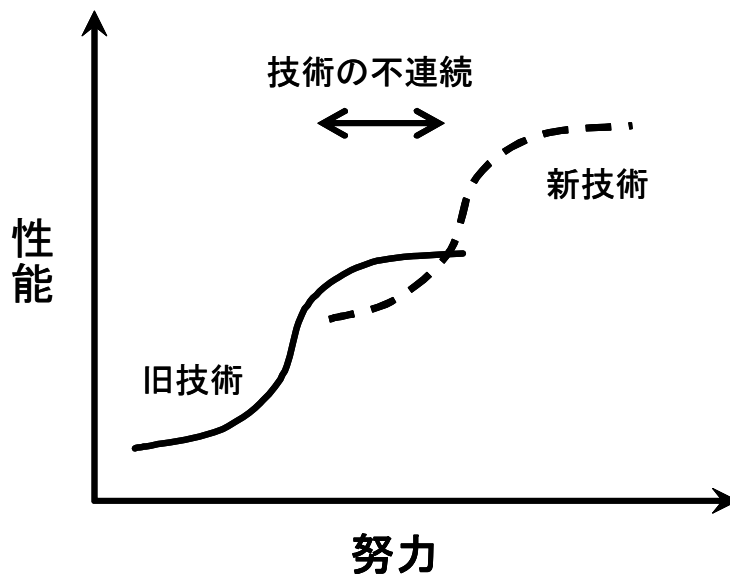
⁵ Abernathy et al. (1983)、Utterback(1994)、新宅(1994)などでこの用語が使用されている。本論文では、インクリメンタル・イノベーションを「既存のデザイン・コンセプトや生産システムを拡張や改善し、その拡張や改善が段階的に進行するイノベーション」という意味で使用している。

⁶ Abernathy et al. (1983)、Utterback(1994)、新宅(1994)などでこの用語が使用されている。本論文では、ラディカル・イノベーションを「既存のデザイン・コンセプトや生産システムの価値を低下させたり、陳腐化させたりするもので、既存技術の限界を打破するようなイノベーション」という意味で使用している。

的に行っていくにつれ、投資額を増やしても技術的な成果が得られなくなってくる。これは、S 曲線の上端に限界があるからであり、この限界こそが技術の成熟を意味し、どういう技術や製法が時代遅れになりつつあるかを決定づけるものであり、技術の転換が始まることを予見させる状態である。ある製品や製法が成熟し、技術の限界にさしかかり、その一方でもっと限界の高い代替技術を求めている状況において、Foster(1986)は、「ある製品もしくは工程から別のグループへ転換する期間を技術の不連続期と呼んでいる。2つのS 曲線の間には断絶があり、新しいS 曲線が現れ始める。新しいS 曲線は、古いS 曲線を支えた同じ知識からではなく、全く新しく異なった知識に基づいて現れる」(pp. 35-36)ということを示している。

S 曲線の理論は、製品の技術的な特性に注目しているものであり、市場の成熟度に関するパラメータがあまり関係していないと思われる。そのため、S 曲線の理論を用いれば、市場が成熟していない流動期においても、技術という観点からその製品特性の限界を予測することが出来る可能性が高いと考えられる。このことは、流動期における、技術転換の必要性を認識するために、選択している技術が、市場が要求する特性に適合するかどうか、を検討するためのツールとして使用できることを示唆しているものと言えるであろう。

図表1-1 2つのS 曲線と技術の不連続



出典:Foster(1986), p. 102, Exhibit 12. から筆者が作成

1.3 流動期の技術転換プロセスに関する仮説

流動期において、技術転換の必要性を認識した後は、どの方向に技術転換を行うかを決定する必要がある。競争戦略について、基本的には競争優位のタイプは低コストと差別化の二つに絞ることが出来る(Porter, 1985, p. 11)。差別化とは、市場が重要だと認める特性を一つまたはそれ以上選び出して、そのニーズを高める戦略である。

Abernathy(1983)や Utterback(1994)は、流動期における、市場の特性や、製品の競走基盤について、次のように述べている。「具体化していない嗜好に対して最も適合した技術的アプローチが何なのか分からないために、市場はまず、機能と性能に関連した製品特性に関心を向ける」(Abernathy et al., 1983, p. 25)。「機能的な製品性能が競争の基盤となる」(Utterback, 1994, p. 94)。

流動期における技術転換の方向性については、コスト重視の方向ではなく、製品に対して市場が求める特性や機能を重視した技術への転換が必要であろう。

流動期における技術選択は、企業にとって非常に重要な局面であるが、技術的な不確実性と市場の目的の不確実性により、発現するであろうドミナント・デザインと異なる技術を企業が選択してしまう可能性がある。産業の黎明期から流動期において、事業参入する際にドミナント・デザインと異なる技術を選択していた場合、企業がその市場で生き抜くためには、早い段階での技術転換が必要となる。流動期における技術転換を成功させるプロセスとして上述の論点をまとめると、そのプロセスとして以下の仮説を導き出すことが出来るであろう。

- ステップ1) 市場の不確実性低下の認識： 製品に対して市場が求める特性がはっきりしてくる。
- ステップ2) 技術転換の必要性の認識： 市場が求める特性に対して現在の技術が適合するかを検討し、将来の市場に現在の技術が適合しないことに気が付く。
- ステップ3) 性能重視の技術転換の選択： 市場で重視される製品の技術的性能や機能が、高い技術へ技術転換を実行する。

上述の仮説プロセスは複雑ではなく、流動期の技術転換に成功した企業が踏んでいるであろうステップであるが、流動期に技術転換が必要な企業の全てが、容易に踏めるかどうかは定かではない。

本論文では、産業の流動期における技術転換に注目し、流動期における技術転換を成功させた企業が、上述の技術転換の仮説プロセスを経ているかを検証することを目的とすると共に、その検証を行うことにより、それぞれのステップを踏むための重要な要因を抽出することを目的としている。

1. 4 研究対象の選択

新エネルギービジネスは、将来性において有望視されている分野ではあるが、製品が市場に普及したと言える技術は少ない。その中で、太陽電池事業の市場は大幅な拡大が始まり、それが継続している段階であり、流動期を終えて次の段階へと進んでいるといえるだろう。太陽電池事業は、長い流動期を経験し、その間、多くの製品イノベーションが現れており、企業が参入時に選択した技術が、将来の市場拡大に適合しなかった事例が少なくないと思われる。

SA社は、太陽電池事業において、事業参入時に選択した技術と異なる技術で、現在の太陽電池市場の拡大に対応している企業である。すなわち、SA社は事業参入時に選択した技術から技術転換を成功させた企業であり、さらに技術転換後に量産レベルの太陽電池で世界トップの製品を市場に送り出すことに成功している。本論文では、SA社の太陽電池事業の事例を選択し、上述したステップを検証すると共にステップをうまく進めるための重要な要因の抽出を試みる。

過去には、イノベーションを視点に多くの産業と事業分野の事例研究がなされており、また、太陽電池に関しては、太陽電池業界の動向に関する文献が見られる。しかし、太陽電池事業において、流動期の技術転換に注目してSA社を中心に事例研究を行った文献は見当たらなかった。流動期が長かった太陽電池業界と、その業界で流動期に技術転換を成功させたSA社の事例は、本論文で注目している流動期における技術転換の研究に適していると考えられる。

第2章 太陽電池業界の発展

2.1 太陽電池とは

太陽エネルギーは無限なエネルギーとみなすことができ、太陽電池はその太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変換することができる。また、発電時に二酸化炭素や有害物質を排出しない無公害でクリーンなエネルギーといわれている。

太陽電池は半導体の一種であり、ある半導体は光を吸収すると電子と正孔を発生し、電流が流れやすくなる特徴を持っており、これを光起電力効果という。

現在量産化されている太陽電池の主流は結晶系シリコン太陽電池であり、その他にはアモルファスシリコン太陽電池、化合物半導体太陽電池などがある。

2.1.1 結晶系シリコン太陽電池

結晶系シリコン太陽電池には、単結晶シリコン太陽電池と多結晶シリコン太陽電池がある。単結晶シリコン太陽電池は、特性が安定しており、変換効率が比較的高いが、製造に要する温度が約1400℃と高く、また単結晶インゴットの結晶成長に時間がかかるため、価格が高いといわれている。シリコンのインゴットをスライスして得られるシリコンウエハの厚みは約300 μm であり、使用する基板が硝子であるために硬く曲げることが出来ない。

結晶系シリコン太陽電池の原料であるシリコン(Si)は、地球上で酸素の次に多い元素であるが、太陽電池用のシリコン製造プロセスが現在あまり開発されておらず、半導体用シリコン原料の規格外品や余剰品が主原料となっている。そのため、この規格外品の供給量により原材料価格が左右され、価格の上昇が懸念されている。シリコンウエハの厚みが厚いことも、単結晶シリコン太陽電池の価格がシリコン原料の価格に大きく影響を受ける原因である。

高価な単結晶シリコンウエハの代わりに、単結晶より安価な多結晶シリコンウエハを使用した太陽電池が多結晶シリコン太陽電池である。しかし、多結晶シリコン太陽電池の変換効率は単結晶シリコン太陽電池に劣る。

2.1.2 アモルファスシリコン太陽電池

アモルファスシリコン太陽電池は、結晶系シリコン太陽電池と同じくシリコンが原料であるが、シリコン膜厚が1 μm 以下であるため、シリコン原材料の価格変動の影響を受けにくい太陽電池である。シリコンの成膜方法は結晶系のインゴットをスライスする方法とは全く異なり⁷、また、製造に要する温度は約200℃と低く、さらに製造工程数が結晶系シリコン太陽電池よりも少ないことなどにより、低価格な太陽電池を供給できる可能性が大きいといわれている。しかし、結晶系シリコン太陽電池よりも変換効率が低く、また初期に光照射によるわずかな劣化があるため、変換効率の低下が見られる。

アモルファスシリコン太陽電池は加工が容易であることから、アモルファス部と金属電極部の一部を除去して光が通る穴を形成することでシースルータイプの太陽電池を製作することができる。また製造温度が低いことから耐熱性のプラスチックフィルム基板が使用できるため、軽量で曲げることが出来るフレキシブルタイプの太陽電池として製造が可能である。

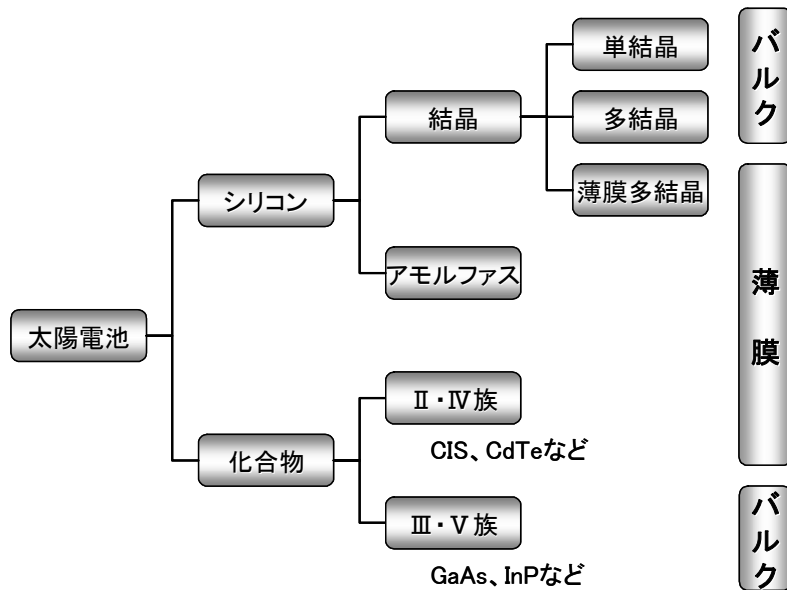
⁷ アモルファスシリコン太陽電池は一般的にプラズマ CVD 法によって作製されている。プラズマ CVD 法によるアモルファスシリコンの成膜は、真空製膜室内に導入した原料ガス(SiH₄)に電界を印加しプラズマを発生させて基板表面に成膜させる方法を取る。谷(2004)に詳しい。

近年では、アモルファスシリコン太陽電池技術の延長として、微結晶シリコン太陽電池の開発が行われており、日本メーカーによる事業化が進められているが、結晶系シリコン太陽電池より変換効率が低く、太陽電池総生産量の数%を占めるに過ぎない。

2. 1. 3 その他の太陽電池

シリコン以外の材料を用いた太陽電池として、化合物半導体太陽電池、有機材料系太陽電池、色素増感型太陽電池などがある。化合物半導体太陽電池では、ガリウム－砒素 (GaAs)、カドミウム－テルル (CdTe)、銅－インジウム－セレン (CuInSe₂: 以下 CIS と記述) などの材料が使用され、有害物質や希少材料が使用されているものが多い。近年 CIS 太陽電池で事業参入の試みが見られる。有機材料系太陽電池や色素増感型太陽電池は原材料が安価のため低価格太陽電池として期待されているが、変換効率が低く実用化までには至っていない。

図表2-1 主な太陽電池の分類



出典：谷(2004), 51 頁, 図 3-1 から筆者が作成

図表2-2 主な太陽電池の特性

太陽電池	単結晶	多結晶	アモルファス
変換効率	15~17%	12~14%	6~10%
特性	安定、高効率	安定、高効率	初期劣化あり
厚さ	約300 μm	約300 μm	1 μm 以下
曲げ	硬く、曲げられない	硬く、曲げられない	曲げられる
製造温度	約1400℃	約 800~1000 °C	約 200 °C
色	黒	青	ワインレッド

出典：谷(2004), 54 頁, 表 3-1 から筆者が作成

2.2 太陽電池業界の現状

太陽電池の歴史は古く、200年以上もの昔、1800年にベルキュールによって、ある種の半導体材料の結晶に光を当てると、その結晶の電流・電圧特性が変化することが発見された。その後、1876年にセレン光起電力効果が発見されたことにより太陽電池の原形が生まれた。現在普及している結晶系シリコン太陽電池については、1954年にベル電話研究所で発明された。アモルファスシリコン太陽電池に関しては、1976年にアメリカの RCA Corporation のカールソンらによって発表された。

日本では、1973年の第一次オイルショック⁸で化石燃料の代替エネルギーのひとつとして太陽電池が注目され始め、技術開発が加速された。現在太陽電池最大手のシャープは、1959年から太陽電池の開発に着手、4年後の1963年には量産を開始しており、灯台用や宇宙用として単結晶シリコン太陽電池の開発を中心に進めてきた。京セラは、1975年に他社と合併会社を設立し太陽電池の研究・開発をスタートさせ、1982年には多結晶シリコン太陽電池の量産を開始した。三洋電機は、1975年頃からアモルファスシリコン太陽電池の実用化に向けた開発を始め、1980年にアモルファスシリコン太陽電池の量産化をスタートさせている。アモルファスシリコン太陽電池事業については、1984年から鐘淵化学工業(現カネカ)や1996年からキヤノンなど、三洋電機以外の企業からの参入も見られた。

太陽電池の用途は、アメリカのベル研究所で単結晶シリコン太陽電池が誕生してから主に光センサーとして開発され、その後、1960年代頃から宇宙用電源として使用されるようになった。1973年の第一次オイルショックから地上用発電装置として注目されるようになり、日米欧の各国で国家プロジェクトとして取り上げられ、地上用太陽電池の技術開発が開始された。日本では1974年から化石燃料の代替エネルギー開発を目的としてサンシャイン計画がスタートし、太陽電池の高効率化、低コスト化を目指して、材料の研究やセル構造、システムの要素技術の技術革新が進められた。

その後、1978年にはイラン革命による第二次オイルショックが起こり、通産省は石油代替エネルギー対策の確立を目指すことになり、石油代替エネルギーの総合開発を主業務とする実施機関として、1980年10月、新エネルギー総合開発機構(現、新エネルギー・産業技術総合開発機構)、略称 NEDO を発足させ、その後は NEDO を中心に太陽電池技術や市場拡大のための技術的支援を行っている。

1990年、地球環境の保全と経済成長の共存の確保を目的に、地球環境対策事業が追加され、1993年には、地球環境技術と新エネルギー開発を推進するサンシャイン計画、省エネルギーを推進するムーンライト計画を一本化したニューサンシャイン計画が発足し、エネルギー・環境技術の開発が加速されることとなった。

地球温暖化対策に関しては、1995年3月にベルリンで気候変動枠組条約の第1回締約国会議(COP1、COP: Conference of the Parties)で同条約の具体化のための検討が開始され、それから2年9ヵ月後の1997年12月、京都で COP3 が開催されて、二酸化炭素など、地球温暖化の原因となる温暖化ガスの排出量削減幅を数値化した議定書が採択された。いわゆる、京都議定書の採択である。京都議定書の採択により、発電時に二酸化炭素を出さないクリーンな太陽電

⁸ 1973年10月、アラブ諸国とイスラエル間で第四次中東戦争が勃発し、アラブ石油輸出国機構(OAPEC)は、原油減産を決定し、石油価格の大幅引き上げを行った。また、アラブ諸国はイスラエルを支持する国に対して石油の供給を停止することを宣言した。これにより、3ヵ月後の1974年1月には、石油原価が約4倍に急騰した。1970年には一次エネルギーに占める石油の割合が70.8%まで伸びていた日本に大きなショックを与えた。

池の普及に対する期待がますます高まることになった。

化石燃料の代替エネルギーとして期待されてきた太陽電池であったが、1990年代中頃までは法制度⁹や逆潮流の制度¹⁰などの環境が整っていなかったこともあり、電力用としての市場はあまり大きくなかった。それまでは、太陽電池の用途は電卓や時計用など、民生用の市場と二分していた。1990年代に入ると、法制度の改正や売電制度の確立、さらには補助金¹¹の助けもあり、1990年代中頃からは住宅での電力用としての市場が大きく伸長することとなった。近年は、フィードイン・タリフ¹²をきっかけにドイツを中心としたヨーロッパ市場の拡大も著しく、1995年から2004年にかけて、世界市場が年平均30%以上成長している。

2005年度には世界の太陽電池生産量は1,727MW までに大きくなり、対前年比の伸び率が44.6%と市場と生産量の成長がまだまだ継続している。日本企業における生産量は833MW になり、全世界の生産量の約48%を占めている。世界シェアの上位5社のうち4社が日本メーカーであり、シャープ、京セラ、三洋電機、三菱電機の4社である。日本の太陽電池生産量の95%以上がその上位4社で生産されているが、そのほとんどが結晶系シリコン太陽電池である。日本メーカーは世界の太陽電池業界を牽引する立場にあるのである。

2.3 太陽電池の流動期とドミナント・デザイン

太陽電池産業の黎明期から流動期にかけての市場は、宇宙用や電力用、民生用などがあげられ、太陽電池の主要な市場がどれになるのかわからなかった。太陽電池の技術も、アモルファスシリコン太陽電池や結晶系シリコン太陽電池、化合物系太陽電池である CdTe など、様々な技術が企業により選択されており、どの技術がドミナント・デザインにつながる技術であるのかがはっきりしていなかった。

しかし、1990年前半頃に電力用市場を形成するための環境が整い、1990年中頃から後半にかけて電力用市場が急激に成長し始めた。そのタイミングにあわせ、結晶系シリコン太陽電池の生産量が急増するのである。すなわち、結晶系シリコン太陽電池技術が、太陽電池産業のドミナント・デザインとなったのである。

図表2-3および図表2-4に日本における種類別太陽電池生産量の推移を示した。また、図表2-5には日本における用途別太陽電池生産量の推移を示した。これらのデータから、太陽電

⁹ 当時は、個人住宅に太陽電池を設置する場合でも、それを発電所とみなし、電力会社が運営する大規模な発電所に準ずる規制が適応されていた。そのため、複雑な監督官庁への手続きが必要で、さらに電気主任技術者という国家免許を持つ人の選任が必要であった。1992年ごろまでには法制度の整備が行われ、家庭用などの小規模太陽光発電システムに関しては、電力会社などが持つ大規模発電システムと区別して、複雑な手続き無しで設置が可能となった。

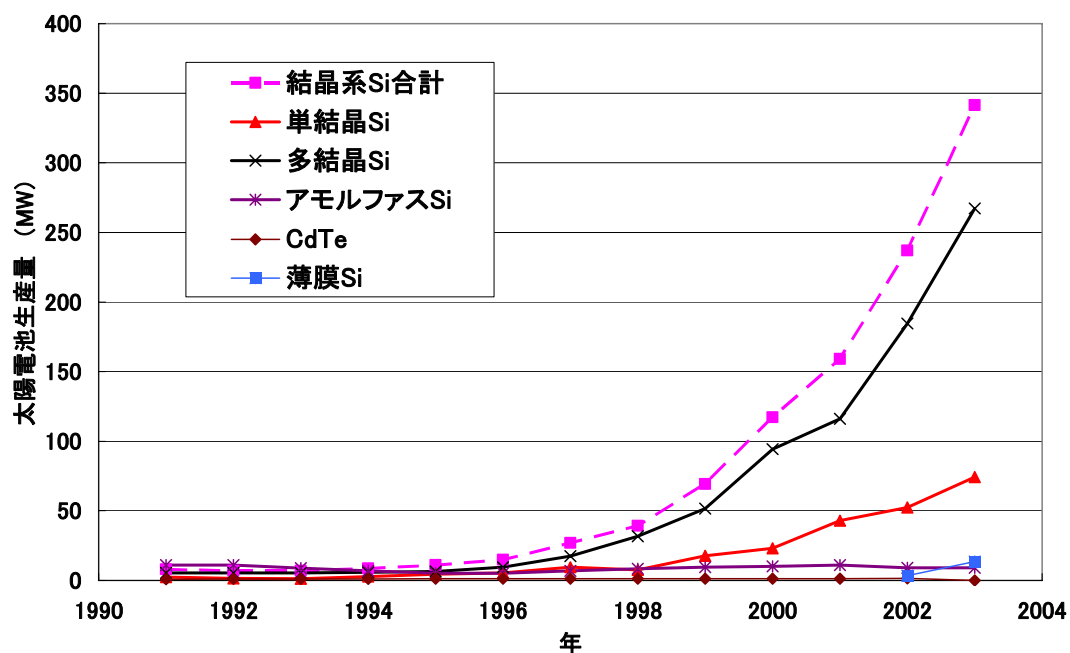
¹⁰ 当時は、自宅に太陽光発電システムを設置しても、太陽電池で発電した電力を電力会社の配電線と接続することが出来なかった。1992年から、電力会社の英断によって、個人住宅用の小規模太陽光発電システムが電力会社の配電線と接続を可能とし、太陽光発電システムで発電した電力が余れば、電力会社の配電網に逆潮流し、電力を売電できる制度が確立した。

¹¹ 1994年から「住宅用太陽光発電システムモニター(PVモニター)事業」がスタートした。これは、住宅用太陽光発電システムを設置する場合、価格の半額程度を国(新エネルギー財団:NEF)が個人に補助する制度である。1994年時点で3kW システムが約600万円と非常に高価であり、その補助金の額も大きかった。その後は、1件当たりの補助金額は低くなったものの、2005年まで継続された。

¹² 割増発電電力買取制度のことで、太陽光発電システムの初期投資額を回収できるように、太陽電池で発電した電力の最低保障買取価格を、電力会社が販売している電力価格より高い価格に設定している。ドイツでは2000年から採用され、太陽光発電システムの普及が進んでいる。また、欧州では、フィードイン・タリフを採用する国が増加してきている。

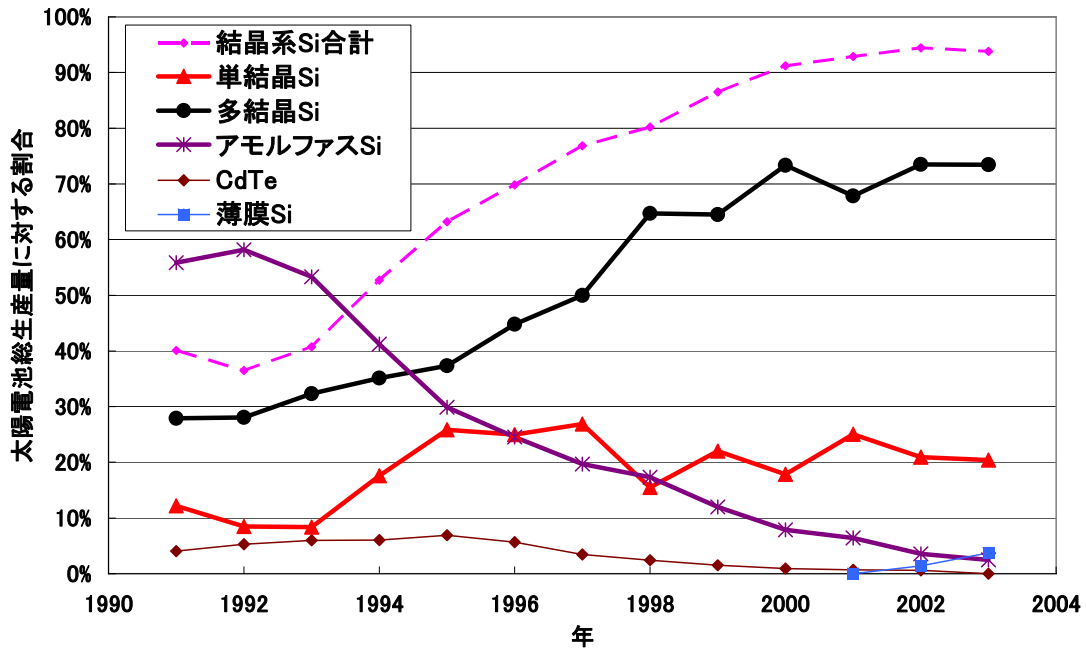
池産業の主要市場が電力用となり、結晶系シリコン太陽電池がドミナント・デザインとして生産量が拡大していく様子が確認できる。

図表2-3 日本における種類別太陽電池生産量(MW)の推移



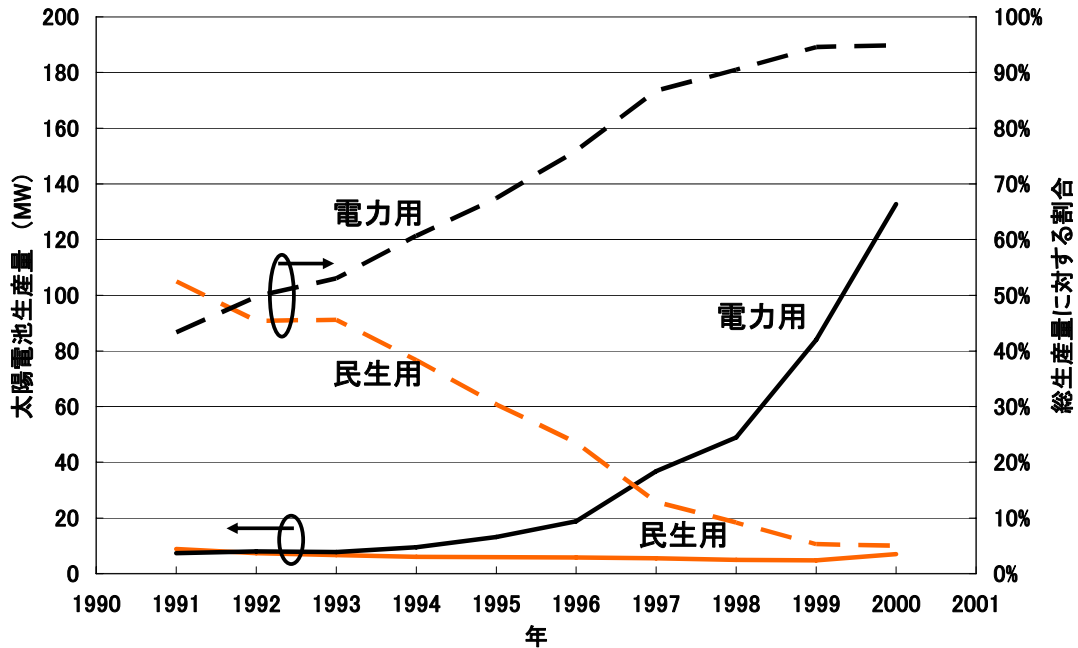
出典:「日本における種類別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 14年度版および16年度版
 NEDO HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月17日時点)より筆者が作成
 結晶系Si合計は、単結晶Siと多結晶Siの合計である。HIT構造太陽電池は単結晶Siに含まれる。

図表2-4 日本における種類別太陽電池生産量(割合)の推移



出典:「日本における種類別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 14年度版および16年度版
 NEDO HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月17日時点)より筆者が作成
 結晶系Si合計は、単結晶Siと多結晶Siの合計である。HIT構造太陽電池は単結晶Siに含まれる。

図表2-5 日本における用途別太陽電池生産量の推移



出典:「日本における用途別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 14年度版
 NEDO HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月26日時点)より筆者が作成

第3章 SA 社太陽電池事業のケーススタディ

SA 社はアモルファスシリコン太陽電池技術を選択して太陽電池事業に参入し、民生用途の市場を開拓してきた。採算が取れない時代が長く続いたが、電力用途市場が形成されるころには、SA 社のアモルファスシリコン太陽電池のシェアは激減することになる。SA 社は、電力用として結晶系シリコン太陽電池事業に改めて参入し、技術転換を図った。そして、転換後の技術と旧技術を融合させた新しい技術により、量産レベルで世界最高のセル変換効率である HIT 構造太陽電池を市場に投入し、近年急激に生産量を増加させている。

この章では、SA 社の太陽電池事業を事例として、アモルファスシリコン太陽電池での太陽電池事業参入、結晶系シリコン太陽電池への技術転換、HIT 構造太陽電池による事業拡大について、既存資料の調査とインタビュー調査¹³をもとに、事実整理を行った。

3.1 太陽電池事業への参入－アモルファスシリコン太陽電池

1973年10月に起こった第一次オイルショック以降、太陽光を電気エネルギーに直接変換する太陽電池が注目され始めた。サンシャイン計画が始まった1974年では、結晶系シリコン太陽電池が主流であったが、原料である高純度シリコンが太陽電池のコストを引き上げており、コスト低減が大きなテーマの一つであった。しかし、1975年に結晶系とは異なるアモルファスシリコンによって太陽電池ができる可能性がイギリスの Dundee 大学により指摘された。アモルファスシリコン太陽電池は、基板上に薄い膜を成膜させることで製造でき、また低温で作ることができるため、シリコン原料の使用量削減や製造エネルギーの低減により、コストを抑えられる可能性があった。

SA 社は、低コスト化にはアモルファスが最も有利で、薄膜化や大面積化が可能であると判断し、太陽電池事業参入においてアモルファスシリコン太陽電池を選択し、1975年から中央研究所で K 室長(当時)を中心とするチームにより実用化に向けた取り組みを開始した。1979年には、薄膜シリコン太陽電池の重要な技術の一つである集積型の太陽電池¹⁴を開発し、世界で初めてアモルファスシリコン太陽電池の大型モジュール化に成功した。SA 社は、1980年5月から中央研究所淀川分室でアモルファスシリコン太陽電池の量産試作を開始し、世界初のアモルファスシリコン太陽電池内蔵の電卓を発売、1981年にはアモルファスシリコン太陽電池内蔵の腕時計や充電器を発売した。100億円を投じてアモルファスシリコン太陽電池の新工場を洲本市に立ち上

¹³ インタビュー調査については、

- 1) SA 社太陽電池事業の経営幹部で工学博士の A 氏 (2006 年 6 月 9 日: 約 2 時間のインタビュー)
- 2) SA 社太陽電池事業の企画部課長である B 氏 (2006 年 6 月 9 日: 約 2 時間のインタビュー)
- 3) NEDO プログラムマネージャー兼新エネルギー技術開発部太陽電池グループの主任研究員で工学博士の C 氏 (2006 年 6 月 29 日: 約 1.75 時間のインタビュー)

の方々にご協力頂き、本論文でインタビュー結果を引用させて頂いている。あわせて、資料のご紹介やご提供も頂いた。

また、

- 4) NEDO エネルギー・環境技術本部調整統括室兼エネルギー対策推進部の主査である D 氏 (2006 年 6 月 29 日: 約 1 時間のインタビュー)
- 5) 太陽光発電協会 (JPEA) の事務局長である E 氏 (2006 年 6 月 2 日: 約 45 分間のインタビュー)

の方々にもインタビューにご協力頂き、あわせて資料のご紹介やご提供頂いた。インタビュー調査は計5名の方にご協力頂いた。

¹⁴ 太和田(2001)は、薄膜シリコン太陽電池分野の特に重要な5つのキーテクノロジーの1つとして、SA 社 K 室長(当時)のチームが開発した集積型アモルファスシリコン太陽電池をあげている。アモルファスシリコンを形成しながら直接直列接続する技術で、1枚の基板上に多数の太陽電池セルを形成して高電圧を得る集積型アモルファスシリコン太陽電池である。

げ、本格的な事業化を進めたのが1982年のことである。

アモルファスシリコン太陽電池の事業化に関しては、Y取締役(当時)やK室長ら経営側の思い入れが大きかった。当時は電力用としての市場はまだほとんどなく、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率も低かったが、1981年にSA社社長は、自宅に世界初となるアモルファスシリコン太陽光発電システムを設置している。このことから経営側の太陽電池に対する思い入れが大きかったことがうかがえる。

SA社は太陽電池の普及を目指し、用途開発や売込みにも力を入れていた。「(Y取締役やK室長らの)執念で、アモルファスは太陽電池に使えると、それを何かに使えないかと必至で売り込みをされたようです。」と、SA社A氏は語っている。

SA社は1983年に屋根瓦と太陽電池を一体化した商品を開発している。1987年には、アモルファスシリコン太陽電池をさらに発展させたシースルー型の太陽電池の開発を行った。自然な入射光が得られる独特の構造であり、自動車のサンルーフや建築物の窓などに採用された。1990年には、プラスチック上にアモルファスシリコン層を形成することにより、軽量、薄い、曲げられるという特徴を持つフィルム状アモルファスシリコン太陽電池を開発している。

SA社のアモルファスシリコン太陽電池は、一時は太陽電池市場の50%以上を占有していた。また、開発当初の光変換効率は2%であったが、1993年には単層セルで世界最高の変換効率12%を達成している。

3.2 太陽電池の技術転換 - 結晶系シリコン太陽電池

1990年代に入ると、家庭での電力用太陽電池設置を後押しする法整備や、電力会社の余剰電力買取制度、財団法人新エネルギー財団NEFによる住宅用太陽光発電システムモニター事業など、家庭電力用太陽電池の普及に向けた環境が整ってきた。これは、SA社K研究開発本部長(当時)らによる、個人住宅での太陽光発電の普及を目指した関係官庁や電力会社への働きかけが実った結果であった。SA社B氏は、「Kさんが東京へ行って、自分で働きかけて、SA社の人間が(太陽電池普及に必要な環境整備の道を)開いていっとるわけですね。」「勝手に補助金がついて、そこに乗っかって行ったというのではなくて、日本の国内と言うのは、少なくともSA社が、他社と一緒に(太陽電池普及の)風を吹かせたんです。」と語っている。

民生用途を中心に開発を続けてきたアモルファスシリコン太陽電池を主力製品に持つSA社であったが、いざ電力用市場が開ける環境が整い、電力用市場が拡大する可能性が出てきた段階で、電力用としてのアモルファスシリコン太陽電池にはいくつかの問題があった。当時一般家庭の電力を賄うために必要とされていた3kWシステムは、日本の一般的な家の屋根に、結晶系シリコン太陽電池では設置可能であったが、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率では不十分であり、アモルファスシリコン太陽電池システムでは「多くの日本の屋根に3kWシステムが乗らなかった」(SA社A氏)のである。また、コストが安いといわれているアモルファスシリコン太陽電池であるが、当時の変換効率は結晶系シリコン太陽電池の約半分程度であり、同程度の出力システムを設置する場合は設置面積が約2倍必要であった。それに伴って架台などの部材費や設置工事費が多く必要になり、トータルで考えると、「アモルファスシリコン太陽電池システムが安くなるかはよくわからなかった」とSA社A氏は語っている。

SA社は、長年培ってきたアモルファスシリコン太陽電池技術では一般家庭の電力用途には不十分であると判断し、結晶系シリコン太陽電池へ転換を図ることになる。単結晶を選択するか、多結晶を選択するかを悩んだ結果、「単結晶はまともなもの高い」、「多結晶のほうがウエハを作

りやすかった」、「今からだ多結晶の方が追いつくのが早い」という当時の認識(SA社A氏)から、1991年ごろに多結晶の開発をスタートさせ、当時の機能材料研究所に多結晶シリコン太陽電池の試作ラインを設けた。

しかし、市場が伸びようという中で多結晶シリコン太陽電池の開発が間に合わなかったため、1994年には、米国第3位の単結晶シリコン太陽電池メーカーであったS社を買収して、単結晶シリコン太陽電池の製造を開始した。これにより、多結晶シリコン太陽電池は研究所の段階で少量を作っただけで撤退することとなった。

SA社のB氏は、アモルファスシリコン太陽電池から結晶系シリコン太陽電池へ技術転換が必要であり、SA社にとって非常に重要であったことについて、以下の様にのべている。「94年からちょうど国の住宅向けの補助金が始まって、その前の92年に大型のシステムの補助金が始まって、その量は確かに小さかったですが、94年からの住宅用の補助金は非常に飛躍的に伸びてきましたからね、そこはやっぱりビジネスの大きな決断の転機になるわけで、それに間にあわさないと、特に京セラは元々発展途上国向けに、独立電源用の太陽電池を多結晶で作っていて、シャープは宇宙用の電池を単結晶で作っていて、我々は民生用でアモルファスをやっていた。結晶系では遅れていたわけですね。そういうことで大きな決断をしなければならなかった。」

3.3 高光電変換効率技術と太陽電池事業の拡大 - HIT 構造太陽電池

SA社は単結晶シリコン太陽電池の販売で、社長の引責辞任に発展する不祥事を引き起こしている。1996年から1998年にかけて販売していた太陽電池システムに、出力不足の単結晶シリコン太陽電池モジュールを混入させ、不当表示を行っていたことが2000年に内部告発により発覚したのである。

不祥事を引き起こした背景には、太陽電池の重要な特性である光電変換効率へのこだわりがあったことがあげられる。SA社が電力用市場に対する太陽電池の重要な性能が光変換効率であると認識していたのである。この認識が、高い光変換効率をもつ太陽電池、HIT 構造太陽電池¹⁵の製品化につながっていった。

SA社A氏は、HIT 構造太陽電池製品化の背景の一つとして、上述の不祥事と光変換効率へのこだわりについて以下のように述べている。「やはり日本人は、最初から変換効率を求めて、新しい技術をどんどん導入して、性能が高かったのですが、アメリカでは物がつくれば、量が作ればと言う考え方だったようで、当時S社を買収して、当時S社はアメリカでNo.3、と言っても大した生産量は無かったのですが、そこで作ったものを日本で売っていました。しかし、単結晶の割には変換効率あまり高くない、京セラの多結晶と同じくらいというレベルしかありませんでした。いい加減な作り方をすると、やはり出力は落ちるから、そういったところが先程の出力不足問題に影響していたのかなという、これはもう、反省なのですが。そういうのがあって、うちも日本の企業、シャープや京セラに何故(変換効率)負けるのだろうかというのがあった中で、1990年頃からでしょうか、HITというアモルファスも使うけど単結晶との組み合わせというものを研究所で細々とやってい

¹⁵ HIT は Heterojunction with Intrinsic Thin-layer の略。

単結晶シリコン基板の上にアモルファスシリコンの薄膜を形成した異種材接合構造は開発されていたが、半導体接合の境界領域で、異なる2種類の不純物が相互に拡散してしまい、良好な界面形成が困難であるという問題があり同構造では単結晶シリコン太陽電池を凌ぐ性能を得るには至らず、ブレイクスルーが必要であった。これに対し、SA社はアモルファスシリコン太陽電池で培った薄膜形成技術を活かして、不純物を含まないアモルファスシリコンの薄膜層を200℃以下の低温で形成し、単結晶シリコンとアモルファスシリコンの間に挿入するという画期的なHIT構造太陽電池を開発した。(SA社環境・社会報告書2005参照)

ました。やはり太陽電池というのは変換効率が勝負で、それはもう間違いなくて、そういうことがあって、1997年に HIT へ移りました。」

SA 社の2005年度の太陽電池生産量は125MW¹⁶にのぼり、日本の太陽電池メーカーでは生産量第3位、世界でも生産量第4位の地位にいる。図表3-1に日本における会社別太陽電池生産量の推移を示す。シャープを筆頭にして、京セラ、三菱電機および SA 社の太陽電池生産量は1990年中頃から後半にかけて増加が始まり、近年の伸びはさらに著しい。この4社の主力太陽電池は結晶系シリコン太陽電池であり、結晶系シリコン太陽電池に参入していないカネカの太陽電池生産量(2005年度で日本第5位、世界第17位)の伸びは小さい。同じく結晶系シリコン太陽電池技術を選択しなかったキヤノンに関しては、2000年ごろまでに生産量がほぼゼロとなっている。

2005年度における SA 社の主力の太陽電池は、HIT 構造太陽電池と呼ばれているアモルファスシリコンと単結晶シリコンをハイブリッド形成した新しいタイプの結晶系太陽電池であり、設置面積当たりの発電量が世界 No.1¹⁷の性能を誇っている。HIT 太陽電池は、変換効率が従来の単結晶シリコン太陽電池よりも高いたけだけではなく、従来の単結晶シリコンウエハ厚みが約300 μ mであるのに対し HIT 構造では150~200 μ m と薄型化が可能、実使用の夏場の高温時に変換効率の低下が従来の単結晶シリコン太陽電池よりも小さい、両面発電が可能など¹⁸、省資源化と高性能化の両立に対応できる太陽電池であるといえる。

HIT 構造太陽電池の開発は、1989年から1992年にかけて行われた NEDO からの委託研究「高品質製造技術」の中で行われた。「高品質製造技術」では主にアモルファスや微結晶の研究が行われたが、その延長線上に結晶シリコンにアモルファスを薄くつけると結晶シリコンの効率や太陽電池の性能が上がることをやっていたようで、SA 社が自主的に開発した成果が、NEDO に提出された報告書に書かれているとのことである(NEDO、C 氏より)。その後も SA 社による NEDO の委託研究は行われていたが、委託研究内容はアモルファスや微結晶に戻り、HIT 構造に関しては委託研究ではなく SA 社独自で技術開発を継続していく戦略をとった。

1994年には、1cm 角の HIT 構造単結晶シリコン太陽電池で変換効率20.0%のものを開発し、その後、1997年には買収した米単結晶メーカーでウエハ化した単結晶シリコンを全て HIT 太陽電池用にまわし、洲本工場で量産を開始した。量産化後も変換効率を着実に向上させ、2000年には、世界に先駆けて両面発電型 HIT 構造太陽電池の量産も開始している。

SA 社における電力用途用の太陽電池は、HIT 構造単結晶シリコン太陽電池にシフトし、アモルファスシリコン太陽電池は、一部デザイン性を求められるものにシースルータイプが使用されているが、実質上、電力用途としての実力はなく、電卓、時計などの民生用や光センサー用など、小型部品用途に特化するようになっている。電力用途の販路は建材に近く、また小型部品用途の販路と大きく異なるため、2003年ごろにアモルファスシリコン太陽電池事業は、電力用途を中心とした HIT 構造太陽電池事業から分離され、半導体事業を行っている部門に移っている。

参入から長い期間不採算事業であった SA 社の太陽電池事業は、HIT 太陽電池の生産規模拡大に伴い、年間生産量が100MWを越えたころから黒字化に転換するようになった(SA 社、A 氏より)。今後も2007年度に約100億円の投資を行ってセル生産能力を100MW 増強し、2010年

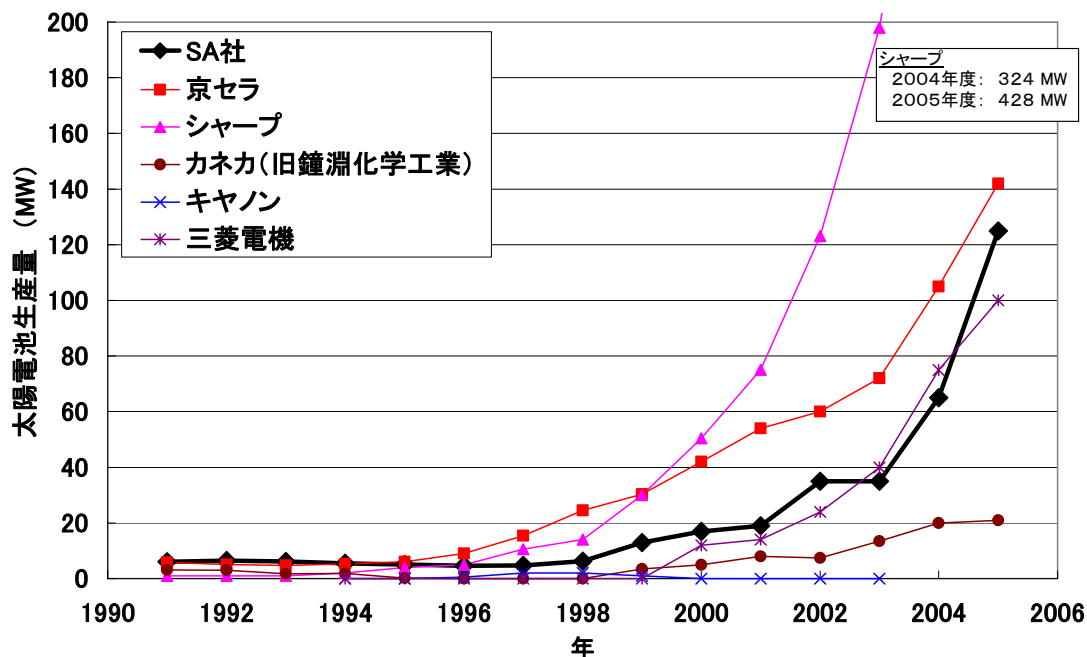
¹⁶ 一木(2006b)より

¹⁷ 世界最高のセル変換効率19.7%により実現(2006年4月現在、量産レベルにおいて、SA 社調べ)。SA 社 HP より(2006年6月25日現在)

¹⁸ HIT 構造太陽電池の技術的な内容については、木山(2001)に詳しい。

までに400億円の投資を行い生産能力の更なる拡大を行って、事業規模を2005年度の3倍以上にあたる1,800億円事業へ拡大する計画を発表している¹⁹。

図表3-1 日本における会社別太陽電池生産量の推移



出典：「日本における会社別太陽電池生産量」新エネルギー関連データ 14年度版および16年度版
NEDO HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006年5月17日時点)および一木(2005, 2006a)より筆者が作成

図表3-2 SA社のNEDO委託研究開発テーマ

期間	研究開発テーマ
1980～1982年	集積型アモルファス太陽電池の研究開発
1983～1985年	高能率製造技術の実用化研究(高効率製造技術)
1986～1988年	高能率製造技術の実用化研究(高効率製造技術)
1989～1992年	高品質製造技術(高集積化技術)
1993～1996年	アモルファス太陽電池モジュール製造の技術開発 薄膜多結晶シリコン系太陽電池製造技術の開発
1997～2000年	新型アモルファス太陽電池モジュールの製造技術開発

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構(2006)より筆者が作成

¹⁹ SA社ニュースリリース(2006年6月21日)より

図表3-3 SA 社太陽電池事業の動向

年	SA 社太陽電池事業の動向	太陽電池業界の動向
1954		●単結晶シリコン太陽電池の発明
1958		●太陽電池搭載衛星の打ち上げ(米国)
1973		●第一次オイルショック
1974		●サンシャイン計画スタート
1975	●中央研究所でアモルファスシリコン太陽電池の開発を開始	●アモルファスシリコン太陽電池の可能性を発表
1976		●アモルファスシリコン太陽電池発表
1978		●ムーンライト計画
1979	●集積型アモルファス太陽電池を開発	●第二次オイルショック
1980	●中央研究所淀川分室でアモルファスシリコン太陽電池の量産試作を開始 ●世界初、アモルファスシリコン太陽電池内蔵電卓 CX-1 型 発売	●NEDO 発足
1981	●アモルファスシリコン太陽電池内蔵腕時計や充電器を発売 ●社長自宅に世界初のアモルファスシリコン太陽光発電システムを設置	
1982	●アモルファスシリコン太陽電池工場(洲本)が操業開始	
1983	●屋根瓦と太陽電池を一体化した商品を開発	
1986		●四国電力西条太陽光発電所 1MW システム完成 (NEDO) ●六甲アイランド 200kW 系連系システム完成 (NEDO)
1987	●シースルー型アモルファスシリコン太陽電池を開発、自動車のサンルーフや窓に採用	
1990	●超軽量フレキシブルアモルファスシリコン太陽電池を開発。 ●太陽電池で得る電力と通常の家計用電力を併用する家庭用ソーラーエアコンシステムを開発 ●同フィルムを翼に貼ったソーラープレーン、史上初の北米大陸横断に成功	●電気事業法の一部改正
1991	●世界初、HIT 構造太陽電池を開発 ●多結晶シリコン太陽電池の開発開始	
1992	●日本初、「逆潮流」太陽光発電システムを個人住宅に設置	●電力会社の余剰電力買取制度 ●公共施設太陽光発電フィールド事業
1993	●アホウドリ保護へ、太陽電池を用いた鳥声拡声装置を伊豆諸島の鳥島に設置	●ニューサンシャイン計画スタート

1994	<ul style="list-style-type: none"> ●HIT 構造太陽電池が世界最高の交換効率 20.0%を達成 ●アメリカの単結晶メーカーを買収、単結晶シリコン太陽電池の生産開始 	<ul style="list-style-type: none"> ●住宅用太陽光発電システムモニター事業 ●「新エネルギー導入大綱」決定
1995		<ul style="list-style-type: none"> ●電気事業法大改正
1997	<ul style="list-style-type: none"> ●HIT 太陽電池の量産開始 	<ul style="list-style-type: none"> ●新エネ法制定 ●モニター事業が導入基盤整備事業に移行 ●京都議定書(COP3)採択
1998	<ul style="list-style-type: none"> ●世界初両面発電可能な太陽電池 HIT ダブルを開発 	
1999		<ul style="list-style-type: none"> ●電気事業法改正(電力の部分自由化等)
2000	<ul style="list-style-type: none"> ●太陽電池モジュールの出力不足問題発覚 	<ul style="list-style-type: none"> ●ドイツでフィードイン・タリフがスタート
2002	<ul style="list-style-type: none"> ●海外(北米、欧州)へ HIT モジュール販売開始 	
2003	<ul style="list-style-type: none"> ●HIT200W モジュールを販売(セル変換効率 19.5%) ●メキシコのモンテレーで北米市場向け HIT 太陽電池モジュールの生産開始 ●アモルファスシリコン太陽電池事業を分離 	
2005	<ul style="list-style-type: none"> ●HIT 太陽電池セル 160MW 生産体制確立 ●ハンガリーのドログで欧州市場向け HIT 太陽電池モジュールの生産開始 	
2006	<ul style="list-style-type: none"> ●多結晶 HIT 太陽電池の市場投入を発表 	

出典: 参考文献および参考資料より筆者が作成

第4章 SA 社における流動期の技術転換プロセスの検証

本章では、SA 社の技術転換について、第3章で整理した SA 社のケーススタディと既存資料調査、およびインタビュー調査をもとに、第1章で述べた流動期における技術転換プロセスの検証を行い、そのステップを踏むための重要な要因を明らかにする。

ここで改めて第1章で論じた仮説である、流動期における技術転換プロセスの3ステップを以下に示す。

- ステップ1) 市場の不確実性低下の認識
- ステップ2) 技術転換の必要性の認識
- ステップ3) 性能重視の技術転換の選択

4.1 市場の不確実性低下の認識 — 不確実性の原因である要因の除去

太陽電池産業の黎明期から流動期にかけては、将来拡大するであろう市場がどのような市場であるかがはっきりしていなかった。太陽電池は、化石燃料の代替エネルギーとして、また地球温暖化の解決策の一つとして注目されてきた歴史を持ち、そのため電力用市場が太陽電池の主たる市場となることは想像できたであろうが、1990年代に入るまでは、法制度や既存電力網との連結、さらにはコストの問題等が壁となって、市場の形成やその拡大が期待できる状態ではなかった。特に、一般住宅の電力用市場は皆無であった。

また、宇宙用市場、電卓や時計などの民生用市場なども見られたが、SA 社を含む太陽電池業界は、太陽電池事業単独で利益を上げることが出来ない状態が長期間続いていたようである。当時の新聞²⁰で SA 社研究所所長は、「いま太陽電池を販売している民間企業は、事業部の収入で開発費はとてども賄えない」と述べており、また、NEDO の C 氏も「当時太陽電池に従事されて、非常に良い仕事をされたけども、ビジネスに結びつかないからやめろとか、国プロがたまたま途絶えたからもうやめろとかチーム解散とか、皆さんがばらばらになる悲哀を味わったような方々がたくさんいるんですよ。」と語っている。市場の不確実性が高いだけでなく、採算が取れる市場がどの市場なのかさえ明確でなく、産業として成立するかどうかわからない商業的な不確実性も高い状態であったのである。

しかし、電力用市場拡大に対する障壁に関して、1992年ごろまでには法制度や既存電力網との連結の問題が解決され、1994年からはモニター制度による補助金によって、消費者の費用負担が大幅に軽減されることとなり、太陽電池の電力用としての市場が拡大する環境が整うことになる。実際、環境が整った後の1990年代中頃から後半にかけて、各企業は太陽電池生産量の増加をスタートさせ、電力用市場の急激な拡大に対応する結果となっている。太陽電池の電力用市場が拡大するための問題が解決されたことにより、電力用という市場がはっきり見えるようになったことで、市場の不確実性が低下したのである。

仮説では、市場の不確実性の低下を認識することを第1のステップとしてあげた。では、SA 社は市場の不確実性の低下、すなわち電力用市場が拡大するための環境が整うことをひたすら待ち続け、環境がきちり整備された後に、初めてそれを認識したのであろうか。もしそうであれば、遅すぎはしないであろうか。仮に、選択していた技術がその市場に適合しない場合、それを認識してから新たな技術を選定し、研究開発し、量産にこぎつころには、もともと市場に適合する技術を選択していた別の企業は、量産体制を拡充し、大きなシェアを取ってしまっているであろう。

²⁰ 『日本経済新聞』1991年2月10日、28頁より、SA 社研究所所長の談話

SA社は太陽電池を普及させるために必要な環境がいつ整うかわからない状態でそれをただ待っていたのではなかった。市場の環境が整う前から、その環境を整えるために積極的に関係官庁や電力会社へ働きかけを行っていた。すなわち、家庭用電力用途の市場拡大の条件となる環境整備を行う最新の情報を得ることができる位置に自らを置いていたのである。これにより、SA社は家庭用電力用途市場が拡大する条件が整ってきたことをすばやく察知でき、早い段階からそれに対応するための準備をスタートできたことが容易に想像できる。

SA社A氏は、「91年頃からでしたか、淀川地区で多結晶をすこし始めました。補助金の話がちょうどそのころに出てきて、屋根に載せるのに、アモルファスでは3kWが載るような家が少ないということで、このままではちょっと、と考えました」と語っている。太陽電池市場拡大のトリガーとなったモニター制度が1994年であることから、SA社は技術転換の準備をそれよりも3年以上早くスタートできたのである。

SA社は、電力用市場の不確実性が低下したことを認識していた。しかも、早い段階でそれを認識していた。市場の不確実性の認識は、ただ認識すれば良いということではなく、太陽電池の供給側である企業が、市場の不確実性を低下させるために、その不確実性の原因となっている要因を取り除くよう積極的に努力し、また、不確実性の原因となっている要因の動向に関する情報を素早く入手できるようにしておくことが重要なのである。

4.2 技術転換の必要性の認識 — 選択技術における限界性能の理解

SA社は、現在主流となっている結晶系シリコン太陽電池技術に参入する前には、その技術と異なるアモルファスシリコン太陽電池技術に多くの時間と費用を費やしてきた。SA社が太陽電池事業に参入したころは、電力用市場が形成されておらず、また結晶系シリコン太陽電池は宇宙用や離島の特別な電源用としての市場しかなく、価格が非常に高かったため、一般家庭の電力用や民生用として普及できるレベルにコスト削減が可能であるかがわからない状態であった。アモルファスシリコン太陽電池は、発明されてから間もない時期であったものの、結晶系シリコン太陽電池よりも低コストで製造できる可能性を秘めていた。変換効率は低かったが、太陽電池が搭載される小型機器が駆動できる電源を供給できれば良い民生用に対して、顧客を満足させることができる性能は備えていた。また、アモルファスシリコン太陽電池の光変換効率は理論上約25%²¹といわれており、変換効率の実質的な限界がまだ見えていなかった時期では、電力用市場への適用も期待されていた。さらには、シースルータイプやフレキシブルタイプのアモルファスシリコン太陽電池が開発され、幅広い用途への応用に期待が持てたのである。

SA社が太陽電池事業に参入した時代は、技術面でも、また市場においても、さらには商業的にも不確実性が高く、どの市場が拡大する市場で、どの太陽電池技術がドミナント・デザインとなるかを予想することは困難な状況であった。そのため、電力用市場に対して、Utterback(1994)の言う「最終的には市場から無視されてしまうような製品技術」(p. 93)となったアモルファスシリコン太陽電池を、事業参入時にSA社が選択することを避けることは難しかったであろう。

しかし、1990年代に入ってから、太陽電池の市場として家庭用電力用途が拡大する可能性が見えてきた。その際にSA社はアモルファスシリコン太陽電池では家庭用電力用途の市場に適合しないと判断している。

²¹ 赤池(2005)によると、変換効率の理論限界値は、単結晶シリコン太陽電池で約30~35%、アモルファスシリコン太陽電池で約25%である。

SA 社がアモルファスシリコン太陽電池の限界を認識することは、太陽電池の新たな市場が家庭用電力用途であることが明確になったことで、容易になった。その市場で要求される条件が明確になり、その条件とは、標準的な日本の屋根に一般家庭の電力を賄うために必要とされていた3kW システムが設置できることであった。この条件に適合するかどうかということは Yes か No かの質問であり、判断が単純で容易に行える質問になったのである。回答は、アモルファスシリコン太陽電池システムでは変換効率が低いため、「多くの日本の屋根に 3kW システムが乗らなかった」(SA 社 A 氏)、すなわち No であったのである。これにより、SA 社は技術転換の必要性を認識することができた。

ある一定面積に、3kW システムが物理的に設置できるかどうかを左右する太陽電池の特性は変換効率であることから、変換効率は、電力用市場において、太陽電池に要求される重要な特性であると言える。変換効率が高ければ太陽電池システムをコンパクト化することが可能となり、一定面積への設置では、大きなシステムが搭載できるようになる。さらに、変換効率が高ければ、太陽電池を設置する際に必要となる架台などの付帯設備の使用量も減ることとなり、トータルシステムのコスト削減につながるのである。

技術転換の必要性を認識する上で、ある時点だけの技術的特性が市場の要求に適合するかどうかを検討して判断することは正しいのであろうか。一般的に、製品の技術的特性は、企業の努力によるインクリメンタル・イノベーションによって、特性の向上が図られるものである。技術転換によって新たな技術で製品化を達成するために費やす時間や費用が高く、技術転換を行わずにインクリメンタル・イノベーションによって短時間で安くアモルファスシリコン太陽電池の変換効率が市場の要求に適合するようになるのであれば、SA 社にとって技術転換を行わないほうが適切な判断であると言えるであろう。

Foster(1986)は、ある製品もしくは製法を改良するために投じた努力を X 軸、その投資がもたらす性能の成果を Y 軸とし、その関係を示すグラフを S 曲線と呼んだ。S 曲線の上端には限界があり、この限界こそがどういう技術や製法が時代遅れになりつつあるかを決定づけ、技術の転換が始まることを予見させる状態なのである。

図表4-1に、Y 軸に太陽電池の代表的な性能であるセル変換効率を、X 軸には年代をとって、SA 社におけるアモルファスシリコン太陽電池と HIT 構造太陽電池の S 曲線を描いた。通常、X 軸には努力を入れるが、図表4-1では年代を使用した。²²

図表4-1の SA 社におけるアモルファスシリコン太陽電池の S 曲線より、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率が限界に近づいていたことがわかる。さらに、図表4-1に示したアモルファスシリコン太陽電池の変換効率は初期値であるが、アモルファスシリコン太陽電池には光照射により初期劣化(安定化)が起こることが知られており、実使用の場合はさらに変換効率が数%低くなるのである。1995年ごろのアモルファスシリコン太陽電池(小面積)の安定化後変換効率は、8.9%であった。また、太陽電池の面積が大きくなるほど効率が低くなることから、10x10cm のアモルファスシリコン太陽電池の変換効率が、小面積のものより高くなることは無い。

当時のアモルファスシリコン太陽電池の変換効率では、一般家庭の屋根に3kW システムが乗らなかったため、アモルファスシリコン太陽電池の開発をさらに進めていけば変換効率が向上す

²² Foster(1986, p. 102, Exhibit 12)では X 軸が努力量になっているが、新宅(1994, 16 頁, 図 1-5)は X 軸に時間をとった S 曲線を示している。努力は開発要員×時間で表すことができるが、SA 社の太陽電池事業は近年まで採算の取れない事業であったため、開発要員の増加減があまりなかった、とのインタビュー結果(SA 社 A 氏)もあり、図表4-1では X 軸に年代を使用した。

るのか、それとも限界に近づいているために大きな変換効率の向上が望めないのかは、アモルファスシリコン太陽電池を家庭電力用途として開発を進めるかどうかの判断結果に重要な影響をあたえる情報であったであろう。

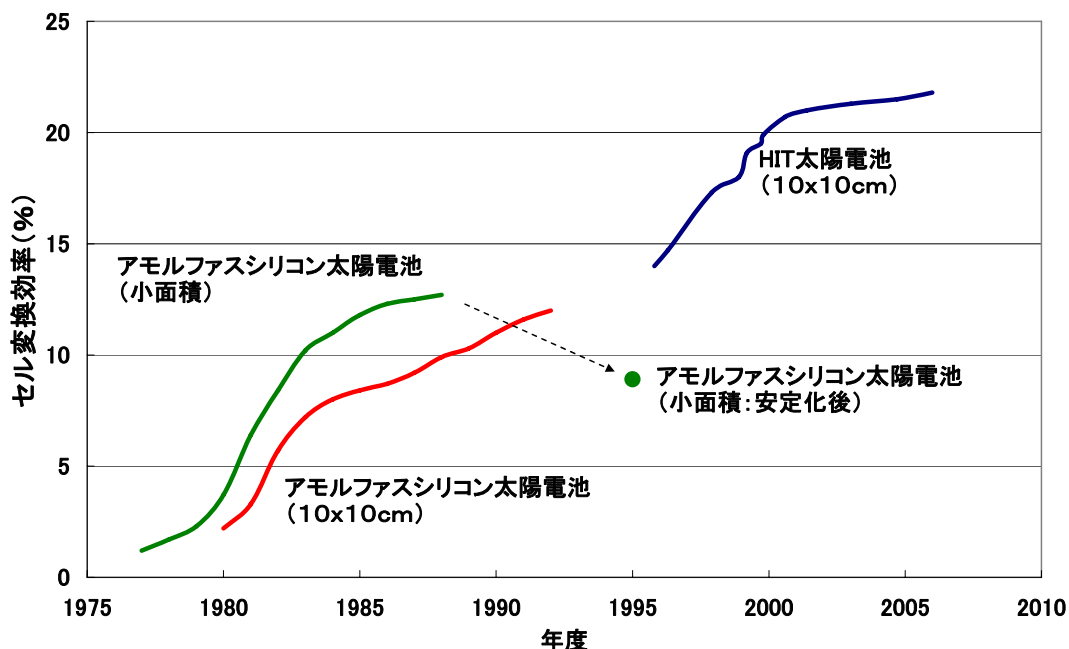
図表4-1を作成する上で使用したデータの出典元の著者である木山氏はSA社研究所の部長であり、SA社がアモルファスシリコン太陽電池の変換効率推移をモニターしていたことがわかる。SA社はこのS曲線からアモルファスシリコン太陽電池の変換効率が、限界に近づいているという情報を認識していたであろう。

NEDOのC氏も、「アモルファスのセルは(変換効率が)12%ぐらいまでで、モジュールは10%を越したぐらいからあまりあがらなくなりました。これには2つの理由があって、一つは劣化があるから皆さん、研究開発の投資をあまりしなくなったということ、もう一つは、非常に良い太陽電池とは思いますが、変換効率が普通に実現できるリアスティックなリミットに近づいた」と述べており、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率の限界を企業が認識していたことを指摘している。

太陽電池事業参入に対し、アモルファスシリコン太陽電池技術を選択したSA社であったが、家庭用発電用途としてはアモルファスシリコン太陽電池技術がFoster(1986)の言う「時代遅れな(もしくは、陳腐化した)」(p. 32)技術となり、技術の転換が始まるタイミングが到来していたのである。

技術転換の可能性を常に考えて、市場が重要視する製品の特性がその市場に適合するかを見ることが、技術転換の必要性を認識するためには非常に重要であり、S曲線は流動期における技術の限界の情報を得るために有効であると言える。

図表4-1 SA社における太陽電池のS曲線



出典:アモルファスシリコン太陽電池の変換効率推移は木山(2001, 65頁, 図10)から、HIT太陽電池の変換効率推移は内橋(2005, 38頁, 図1)から、筆者が作成

4.3 性能重視の技術転換の選択 — 規模の経済による低コスト化

SA社は、電力用市場の不確実性低下を認識し、アモルファスシリコン太陽電池が電力用市場の求める特性に適合しないことを理解し、技術転換の必要性を認識した。また、電力用市場が太陽電池に求めたことは、3kWシステムが一般家庭の屋根に設置できることであり、変換効率が電力用市場に対して重要な特性であることを認識していた。

SA社が選択した技術転換のための技術は、アモルファスシリコン太陽電池よりも変換効率が高い結晶系シリコン太陽電池であった。この技術転換後の技術をベースに転換前の旧技術を融合させて、量産ベースで世界最高の変換効率を持つHIT構造太陽電池が誕生するのである。結晶系シリコン太陽電池は、ドミナント・デザインへと進展し、2005年度で太陽電池総生産量の約95%を占めるようになった。

ここで、流動期において、コスト重視の技術転換よりも性能重視の技術転換を選択する方が有効である、ということのカネカの事例と比較することで確認しておく。

カネカはSA社同様、太陽電池事業参入時にアモルファスシリコン太陽電池技術を選択していた。現在においてもカネカは結晶系シリコン太陽電池には参入していないが、アモルファスシリコン太陽電池と同じ技術で製造可能な薄膜微結晶シリコン太陽電池へと発展させて、薄膜微結晶シリコンとアモルファスシリコンのハイブリッド太陽電池の生産を開始している。しかし、量産化は2001年と遅く、カネカの太陽電池の市場占有率は低い。また、変換効率も2001年時点では約10%と低い。

SA社もカネカも、技術蓄積の多いアモルファスシリコン技術と他の太陽電池技術を組み合わせる技術を選択している。しかし、変換効率や市場のシェアには大きな差が生まれている。この差はどこから来たのであろうか。

カネカが選択した技術は、アモルファスシリコン太陽電池技術の延長上にある薄膜多結晶シリコンとアモルファスシリコンのハイブリッドである。太和田(2001)は「将来技術としてアモルファスと同じ方法で薄膜多結晶シリコンを作っていけば技術に一貫性ができます」²³と記述している。すなわち、新技術のコンセプトもアモルファスシリコン太陽電池のケースと同様、変換効率は低いが低コストであるコスト重視の技術選択を行った。これは旧技術であるアモルファスシリコン太陽電池技術に対するインクリメンタル・イノベーションと言える。

SA社が選択した技術は、単結晶シリコンとアモルファスシリコンを組み合わせたHIT構造太陽電池である。SA社のA氏は「やはり太陽電池というのは変換効率が勝負」と語っている。すなわち、コストは高いものの、変換効率が高い性能重視の技術選択を行ったのである。これは、SA社にとって新技術である結晶系シリコン太陽電池技術に対するインクリメンタル・イノベーションと言える。

NEDOのC氏は、「(アモルファスと)微結晶シリコンを組み合わせるのは一つの手ですが、当時1990年代初めの微結晶シリコンと言うと、まだ改善の余地が多くあった」と語っており、カネカが選択した薄膜微結晶シリコンはそれ自体が未成熟な技術であり、技術的な不確実性が高かったのである。そのため、薄膜微結晶シリコン技術自体の性能向上と、アモルファスシリコンとの結合技術の向上にリソースが分散され、量産化のタイミングが遅くなったことが想像できる。

NEDOのC氏は、また、「結晶シリコンと言うしっかりしたものがある上に、SA社の一番得意なアモルファスを組み合わせることで、見る見るすごい性能が出た」と語っており、SA社が選択した単

²³ 太和田氏は、カネカ理事・PV研究開発本部長である。

結晶シリコン技術は、それ自体が成熟した技術であり、技術の不確実性が低かった。このことは、「1980年代に、かなりの(太陽電池に関する)イノベーションが出ていて、1985年ぐらいまでに基本的なアイデアはほとんど出ているんですよ」(NEDO, C氏)との発言からも裏付けられる。SA社にとって結晶系シリコンの技術蓄積は少なかったのであるが、太陽電池市場拡大の機会の窓を活かすために、単結晶シリコンメーカーを買収して技術転換のタイミングを重視したのである。

また、コスト重視の技術選択であるが、規模の経済の影響が大きく、生産規模が小さければアモルファスシリコン太陽電池や薄膜多結晶シリコン太陽電池のコストメリットは発揮されない。量産ラインを増設するにしても「薄膜シリコンの製造装置には超高性能真空装置が絶対に必要になり、その初期投資と言うのは相当かかる」(NEDO, C氏)ため、一気に生産規模の拡大を図るためには大きな決断が必要となり、また生産設備の立ち上げにも時間が必要である。今決断したとしても、コストメリットを十分活かした事業にするためには数年先になるのである。NEDOのC氏が以下のように語っている。「カネカさんは、20とか40MWのラインを今おつくりになっています。来年の半ばぐらいに立ち上がりだから、再来年ぐらいに年間20MWとか40MWになると思いますが、その技術は年間100MWやれば製造原価100円/Wになると言って、NEDOですずっとやっておられたんですね。本当の正確な価格は分かりませんが、それぐらいのつもりでやってらっしゃると思います。まあ、もう少し高いと思いますが、100MWやれば100円/Wと言うのは良い筋で、100MWまでの規模であれば、結晶シリコンとほとんど変わらなくて、100MW以上になれば、そろそろ値段だけで言えば、シリコンの値段が上がっていることもあって、結晶シリコンよりは下になったな、と思われるかもしれないですね。」

また、2005年度住宅用太陽光発電導入促進事業において、2005年6月1日から2005年8月31日の間に受け付けられた補助金交付申請書から算出されたデータでは、太陽光発電システムの平均設置価格は、単結晶シリコン太陽電池システム(件数:2,731件)が82.9万円/kW、多結晶シリコン太陽電池システム(件数:8,860件)が64.4万円/kW、アモルファスシリコン太陽電池システム(件数:37件)が64.3万円/kWであった²⁴。コスト的に有利といわれていたアモルファスシリコン太陽電池のシステムコストが2005年時点で多結晶シリコン太陽電池システムコストとほとんど差が無いのである。

さらに、「能力をぐっと上げて、しっかりしたもので、そしてマスプロダクションで値段を下げる、という低コスト化のアプローチは正しいと思います」(NEDO, C氏)とのコメントからも明らかのように、SA社の選択した性能重視の技術転換、および開いた機会の窓を活用できるタイミングでの技術転換が、カネカの結果と大きな差を生み出したのである。

流動期に技術転換を行う場合は、コスト重視よりも市場が求める特性を重視して技術転換を選択することが重要である。また、選択した技術はできるだけ技術の不確実性が低いほうが良い。そして、市場形成の早い段階で受け容れてもらい、市場拡大に伴って生産能力をあげ、規模の経済や経験効果によるコスト低下を目指す戦略が有効である。

²⁴ 「太陽光発電システム kW 単価の動向」 17年度事業, 新エネルギー財団(NEF) HP
(<http://www.solar.nef.or.jp>, 2006年7月18日時点)より

4. 4 各ステップを進めるための重要な要因

第1章で導出された流動期における技術転換プロセスの3つのステップについて、SA 社太陽電池事業の事例を用いて検証を行い、SA 社がその3つのステップを踏んで、流動期における技術転換をうまく行ったことが示された。また、上述したとおり、各ステップを踏むための重要な要因が導出された。この節では、その重要な要因について改めてまとめておく。

ステップ1) 市場の不確実性低下の認識、をうまく進めるための要因として、市場の不確実性を低下させるために、その不確実性の原因となっている要因を取り除くよう積極的に努力し、また、不確実性の原因となっている要因の動向に関する情報を早く入手できるようにしておくことが重要であることが示された。

SA社は、太陽電池の電力用市場拡大の障壁であった法制度や既存電力網との連結、およびコストの問題などの解決のために、国や電力会社に対して積極的に働きかけを行った。それにより障壁が解消されていくこととなり、太陽電池の電力用市場拡大が見えるようになってきた。すなわち、市場の不確実性が低下したのである。また、市場拡大の障壁を崩すための積極的な働きかけは、それらの障壁の動向を素早く察知できることにもなるのである。市場の不確実性が低下することを、ただ待っているだけであれば、素早い情報の入手が難しく、その後のアクションに遅れが出てくるであろう。

ただし、太陽電池事業の場合は、国のエネルギー政策や環境対応の影響が大きく、国策により市場の動向が左右される可能性が大きいと考えられるため、市場拡大の障壁が何であるか、またその障壁を取り除くための働きかけをどこに向ければよいのかが容易に特定できたであろう。SA社の事例分析からは明確な知見が得られたと言えるが、上述の要因を一般化するためには、働きかけの矛先を明確に特定することが難しい事業などのケースも考慮しながら、他の事例分析の蓄積が必要であろう。

ステップ2) 技術転換の必要性の認識、をうまく進めるための要因として、流動期における技術転換の可能性を常に考えて、市場が求める特性が何であり、現在の技術がその特性に適合するかどうかを、特性の限界を考慮しながら判断できることが重要であり、特性の限界を見るためにS曲線は有効なツールの一つである、ことが示された。

SA社は、不確実性が低下した電力用市場に対して、SA社が従来から持っていた技術であるアモルファスシリコン太陽電池では、変換効率が低いために、一般家庭の屋根に要求された大きさのシステムが物理的に設置できない、すなわち適合しないことを理解し、技術転換の必要性を認識していた。また、市場が求める電力用太陽電池の特性として変換効率が重要であり、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率が、実質的な限界に近づいていることを認識していたのである。もし、アモルファスシリコン太陽電池の変換効率がまだまだ向上する余地があったのであれば、技術転換を行うよりも、アモルファスシリコン太陽電池のインクリメンタル・イノベーションによる特性向上を目指したほうが有利である可能性もあり、市場が要求する特性において、保有している技術の成熟度がどのあたりにあるのか、確認するツールとしてS曲線は有効であろう。

ステップ3) 性能重視の技術転換の選択、をうまく進めるための要因として、コスト重視よりも市場が要求する特性を重視した技術転換を選択することが重要で、その選択した技術は、技術的不確実性が低いことが望ましく、コストについては規模の経済や経験効果で解決を目指すことが出来ること、が示された。

SA社は、技術転換を行う上で、電力用市場で重要な変換効率が高い結晶系シリコン太陽電池技術を選択した。結晶系シリコン太陽電池は、太陽電池の主たる市場である電力用市場で、ドミ

ナント・デザインとなり、太陽電池総生産量のほとんどを占めるようになった。結晶系シリコン太陽電池は、SA 社が参入する前から技術的にはある程度成熟しており、技術的不確実性は低いものであった。SA 社は、その結晶系シリコン太陽電池をベースに、旧来から蓄積されたアモルファスシリコン太陽電池技術を融合させることで、世界最高の変換効率を持つ HIT 構造太陽電池を市場に投入することが出来たのである。また、コスト的に有利といわれているアモルファスシリコン太陽電池であるが、2005年度で太陽光発電システムとしての価格は、結晶系シリコン太陽電池システムとほとんど変わらない。これは、結晶系シリコン太陽電池がドミナント・デザインとなったことにより、規模の経済効果や経験効果が有効に働いた結果であろう。

終章

流動期における技術選択は、その技術が将来のドミナント・デザインにつながる技術であるかどうかにより、ドミナント・デザイン発現後のシェアを獲得できるかが決まるため、企業にとって非常に重要な局面であった。しかし、流動期では、市場と技術の不確実性が高く、どのような市場が製品のどの機能や特性を重視するのかが見えていないため、技術選択を誤る可能性がある。流動期において、ドミナント・デザインへと進展しない技術を選択した企業がその市場で生き残るためには、技術転換の成否が非常に重要になってくるであろう。

本論文では、イノベーションの進展について、流動期における技術転換に注目し、流動期における技術転換を成功させるステップについて仮説をあげ、SA社の太陽電池事業における技術転換を事例として検証を行った。

ステップ1) 市場の不確実性低下の認識: 太陽電池産業の大きな市場として、電力用途が期待されていたが、当初は普及する環境が整っておらず、市場が形成されるかは不確実であった。しかし、環境が整備され電力用途市場が形成される可能性が高まったことで、SA社は市場の不確実性低下を認識した。

ステップ2) 技術転換の必要性の認識: 電力用というターゲットとなる市場が見えてきたため、その市場が求める製品の特性、すなわち太陽電池の変換効率が重要であることがわかった。SA社が選択していたアモルファス太陽電池の変換効率では電力用途として適合が難しく、変換効率の高い太陽電池へ技術転換する必要性をSA社は認識した。

ステップ3) 性能重視の技術転換の選択: SA社は変換効率の高い結晶系シリコン太陽電池を選択し、技術転換を行い、旧技術であるアモルファスシリコン太陽電池技術との融合により、さらに変換効率の高い太陽電池技術を開発した。

SA社の太陽電池事業は、流動期における技術転換プロセスの仮説に適合しており、その仮説が、流動期における技術転換のプロセスの一つであることが確認された。

また、そのステップは、流動期の技術転換を行う全ての企業が踏めるものではないと思われ、このステップにそって技術転換をうまく進めるためには、以下の点が重要であることが示された。

- 1) 市場の不確実性を低下させるために、その不確実性の原因となっている要因を取り除くよう積極的に努力し、また、不確実性の原因となっている要因の動向に関する情報を素早く入手できるようにしておくこと。
- 2) 技術転換の必要性を認識するために、流動期における技術転換の可能性を常に考えて、市場が求める特性が何であり、現在の技術がその特性に適合するかどうかを、特性の限界を考慮しながら判断できること。流動期における特性の限界を見るツールとしてS曲線は有効である。
- 3) 技術転換を行う場合は、コスト重視よりも市場が要求する特性を重視した技術転換を選択すること。選択する技術は、技術の不確実性が低いことが望ましく、コストの改善は規模の経済で解決を目指すこと。

本論文で取りあげた SA 社の太陽電池事業の事例は、流動期の技術転換プロセスにそってうまく技術転換を行えた事例であった。また、SA 社の事例から、それぞれのステップをうまく踏むための重要な要因の導出を行うことができ、本研究の当初の目的は達成できたといえる。

しかし、他の事業領域も含めた更なる成功事例の蓄積や、技術転換に失敗した事例と比較することで、流動期における技術転換を成功させるための要因がより明確に抽出でき、理論をより一般化することが出来るであろう。

<参考文献>

- Abernathy, W. J., K. B. Clark, and A. M. Kantrow (1983) *Industrial Renaissance*, Basic Books. (望月嘉幸監訳『インダストリアルルネサンス』TSブリタニカ, 1984年。)
- Foster, R. N. (1986) *Innovation: The Attacker's Advantage*, Summit Books. (大前研一訳『イノベーション』TBSブリタニカ, 1987年。)
- Porter, M. E. (1985) *Competitive Advantage*, Free Press. (土岐坤・中辻萬治・小野寺武夫訳『競争優位の戦略』ダイヤモンド社, 1985年。)
- Utterback, J. M. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business Press. (大津正和・小川進監訳『イノベーション・ダイナミクス』有斐閣, 1998年。)
- C. M. クリステンセン (2001) 『イノベーションのジレンマ』玉田俊平太監修・伊豆原弓訳, 翔泳社。
- C. M. クリステンセン (2003) 『イノベーションへの解』玉田俊平太監修・櫻井裕子訳, 翔泳社。
- E. M. ロジャーズ (1990) 『イノベーション普及学』青池慎一・宇野善康監訳, 産能大学出版部。
- J. A. シュムペーター (1977) 『経済発展の理論』塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳, 岩波書店。
- Z. ブロック・I. C. マクミラン (1994) 『コーポレートベンチャリング』松田修一監, ダイヤモンド社。
- 赤池学 (2005) 『ニッポンテクノロジー』丸善。
- 秋山健太郎 (2005) 「規制緩和下における電力会社の戦略」『日本経営学会誌』第14号, 55-66頁。
- 井熊均 (2001) 『エネルギーベンチャー』日刊工業新聞社。
- 井熊均 (2006) 『京都議定書で加速されるエネルギービジネス』日刊工業新聞社。
- 一木修 (2005) 「記念すべき2004年太陽電池世界生産量(PV News 2005年3月号より)と日本の太陽光発電産業の発展」『光発電』No.28, 102-105頁。
- 一木修 (2006a) 「2005年の世界の太陽電池生産量」『光発電』No.29, 84-87頁。
- 内橋健二 (2005) 「三洋電機における太陽光発電の技術開発」『光発電』No.28, 38-39頁。
- 大江建 (1998) 『なぜ新規事業は成功しないのか』日本経済新聞社。
- 太和田善久 (2001) 「次世代型高効率薄膜シリコン太陽電池の開発とその事業展開」(NTS編『太陽光発電システムの最新技術開発動向』NTS。)
- 鴨志田晃 (2001) 『規制緩和とITで加速するエネルギービジネス革命』日刊工業新聞社。
- 桑野幸徳 (1992) 『太陽電池を使いこなす』講談社。
- 桑野幸徳 (1999) 『新・太陽電池を使いこなす』講談社。
- 榊原清則・沼上幹・大滝 精一著 (1989) 『事業創造のダイナミクス』白桃書房。
- 木山精一 (2001) 「HIT構造の太陽電池の開発」(NTS編『太陽光発電システムの最新技術開発動向』NTS。)
- 坂本雅明 (2005a) 「次世代技術の選択と競争戦略(1):二次電池業界における新規企業が参入に成功するための要因の分析」IIR Working Paper, WP#05-16。

- 坂本雅明（2005b）「次世代技術の選択と競争戦略(2):二次電池業界における既存企業が負う英に成功するための要因の分析」 IIR Working Paper, WP#05-24。
- 佐久間照光（1998）『イノベーションと市場構造』 有斐閣。
- 三洋電機株式会社コーポレートコミュニケーション部編（2001）『三洋電機五十年史』 三洋電機。
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2006）『太陽光発電における技術開発とその成果に関する調査報告書』 新エネルギー・産業技術総合開発機構。
- 新宅純二郎（1994）『日本企業の競争戦略』 有斐閣。
- 谷辰夫編（2004）『太陽電池』 オーム社。
- 濱川圭弘（2001）「21世紀文明と新エネルギー:太陽光発電の最近の進歩とその将来展望」 (NTS 編 『太陽光発電システムの最新技術開発動向』 NTS。)
- 一橋大学イノベーション研究センター編（2001）『イノベーション・マネジメント入門』 日本経済新聞社。
- 藤末健三（2004）『技術経営入門改訂版』 日経 BP 社。
- 本多潤一（2001）「多結晶シリコン太陽電池の技術開発」 (NTS 編 『太陽光発電システムの最新技術開発動向』 NTS。)
- 丸山雅祥（2005）『経営の経済学』 有斐閣。
- 三橋規宏（1998）『環境経済入門』 日本経済新聞社。
- 渡辺千仞・宮崎久美子・勝本雅和（1998）『技術経済論』 日科技連出版社。

<参考資料>

SA 社 (2005) 『環境・社会報告書2005』 SA 社

『日経ものづくり』 2006 年 7 月, 50-68 頁, 「燃料電池:本命 PEFC 危うし」

『日本経済新聞』 1991 年 2 月 10 日, 28 頁

一木修 (2006b) 「太陽光発電産業について」 総合資源エネルギー調査会 第15回新エネルギー部会(2006 年 3 月 24 日)用資料, 経済産業省 HP (<http://www.meti.go.jp>, 2006 年 6 月 25 日時点)

「太陽光発電システム kW 単価の動向」 17 年度事業, 新エネルギー財団(NEF) HP (<http://www.solar.nef.or.jp>, 2006 年 7 月 18 日時点)

「太陽電池事業 3 倍以上の拡大へ向け「HIT 太陽電池 次世代プログラム」スタート」 SA 社ニュースリリース, 2006 年 6 月 21 日

「日本における会社別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 14 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 17 日時点)

「日本における会社別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 16 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 17 日時点)

「日本における種類別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 14 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 17 日時点)

「日本における種類別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 16 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 17 日時点)

「日本における用途別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 14 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 26 日時点)

「日本における用途別太陽電池生産量」 新エネルギー関連データ 平成 16 年度版, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) HP (<http://www.nedo.go.jp>, 2006 年 5 月 26 日時点)

ワーキングペーパー出版目録

番号	著者	論文名	出版年
2005・1	赤阪 朋彦 大橋 忠司 北林 明憲 中島 良樹 古谷 賢一 山本 守道	官僚制組織における個人の自立性支援 ー大手企業 4 社のアンケート調査からー	4/2005
2005・2	手島 英行 柳父 孝則 山本 哲也 和多田 理恵	人材ポートフォリオにおける人材タイプ別人的資源管理施策の 考察ー職務満足要因の探求と職務満足次元との関係ー	4/2005
2005・3	芦谷 武彦 栗岡 住子 佐藤 和香 村上 秀樹	企業組織における正社員とパートタイマーの価値観、準拠集団、 成果に関する考察ー物品販売会社 A 社のアンケート調査からー	4/2005
2005・4	裊 薫	会社分割を利用した事業再生手続モデル	9/2005
2005・5	和多田 理恵	ベンチャー系プロフェッショナル組織におけるコア人材のコミ ットメントに関する研究ー伝統的日本企業との比較分析ー	10/2005
2005・6	本郷 晴	特殊鋼の製品開発マネジメント	11/2005
2005・7	高田 壮豊	Comparative Analysis of Organizational Commitment in Medical Professionals	11/2005
2005・8	松永 好弘	技術のモジュール化と転用の理論	11/2005
2005・9	加藤 正明	地域とモノの間におけるブランド拡張の研究～適合基盤として のライフスタイルについて～	11/2005
2005・10	桑本 誠	民生用 AV 機器におけるモジュラー型製品の製品開発マネジメ ント	11/2005
2005・11	五味 嗣夫	中国で生きる日本型経営システムー蘇州進出日本企業の事例か らー	11/2005
2005・12	栗岡 住子	職務満足を高めストレスをコーピングする働き方の分析	12/2005
2005・13	北林 明憲	企業における経営理念の浸透策と浸透度についての研究 ーエレクトロニクスメーカーのドメインカンパニーの比較調査よりー	3/2006
2005・14	古谷 賢一	事業創成期における組織マネジメントの研究	3/2006

番号	著者	論文名	出版年
2006・1	岡田 齋 檜山 洋子 藤近 雅彦 柳田 浩孝	中小企業によるCSR推進の現状と課題 ～さまざまな障害を超えて～	6/2006
2006・2	陰山 孔貴	創造的な新製品開発のための組織能力ーシャープの事例研究ー	9/2006
2006・3	土橋 慶章	大学におけるバランスト・スコアカードの活用に関する研究	9/2006
2006・4	岡田 齋	企業の倫理的不祥事と再生マネジメント -雪印乳業と日本ハムを事例として-	9/2006
2006・5	檜山 洋子	中小企業におけるコンプライアンス体制とその浸透策	9/2006
2006・6	山下 敦史	医療機関における IT 活用能力向上に関する研究	9/2006
2006・7	岡島 英樹	太陽電池事業におけるイノベーションの進展 ーSA 社を事例としてー	9/2006