

Title	太陽電池産業のアーキテクチャ-と競争力：半導体、液晶との比較研究
Author(s)	中田, 行彦
Citation	年次学術大会講演要旨集, 25: 694-697
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9390
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

2 E 1 8

太陽電池産業のアーキテクチャと競争力：半導体、液晶との比較研究

○中田行彦（立命館アジア太平洋大学）

1. はじめに

環境を維持するには、温室効果ガスの削減が必要である。この1つの方法が太陽電池である。このため、太陽電池産業は世界の生産量を急激に増加させ、近年競争パラダイムは替わった。しかし、この近年の太陽電池産業の分析は、殆ど行われていない。

近年、ビジネス・アーキテクチャという概念を産業分析に取り込むことにより、新しい視点が提供されている（藤本・武石・矢島 2001）。

このため、太陽電池産業のビジネス・アーキテクチャは何かという問題意識を持った。アーキテクチャを明確にすることは、実践的に産業分析を行って競争戦略等を提案するために重要である。

著者は、このビジネス・アーキテクチャの概念を用い、半導体産業、液晶産業を分析してきた（中田 2008a,c,2009）。また、シャープ（株）で太陽電池の研究開発をした経験を基に、日本の太陽電池産業のグローバル競争戦略（2007）、太陽電池の産業集積（2008）、太陽電池産業のターン・キー・システム（2010）を分析してきた。また、2009年10月から2010年3月までスタンフォード大学において、米国太陽電池産業を調査した。

本研究では、これらの研究・調査を踏まえ、太陽電池産業のビジネス・アーキテクチャは何かを、半導体産業、液晶産業と比較して分析した。特に、ガラス投入から太陽電池モジュールの出力まで垂直統合生産システムである「ターン・キー・システム（TKS）」に着目して分析した。また、この分析結果を踏まえ、日本の競争力を強化する方向を考察する。

2. 先行研究

（1）アーキテクチャに関する先行研究

Ulrich（1995）は、製品アーキテクチャを機能と構成の対応を基に、モジュラー型とインテグラル型に分類した。

Baldwin と Clark（2000）は、「モジュール化」の重要性を強調した。彼らは、「モジュールとは、その内部では構造的要素が強く結びつき、他のユニットの要素と比較的弱く結びついている、ひとつの単位である。その結びつきには明らかに程度の差があり、したがって、モジュール化には濃淡がある。言い換えれば、モジュールとは、構造的に互いに独立しているが、一緒になって働く大きなシステム中の単位である。」と定義している。

藤本・武石・青島（2001）等は、ビジネスにも適用範囲を広げ、ビジネス・アーキテクチャという定義を用いた。青木・安藤（2002）は、各産業の事例からモジュール化の実際と重要性を示した。

そして藤本（2004）は、「擦り合せ型（＝インテグラル型）」の概念を用いて、日本に適するアーキテクチャとして、サブシステム中の調整を必要とする「擦り合せ型（＝インテグラル型）」を指摘した。そして、日本の製造業の長所は、「クローズド擦り合せ型」にあると述べている。また、妹尾（2009）は、日本は「内インテグラ、外モジュラー」のモデルで競争していると述べている。

3. 太陽電池、液晶、半導体の特性比較

太陽電池の特性を、液晶、半導体と比較し表1に示す（中田 2007）。太陽電池について、結晶型の代表として多結晶 Si 太陽電池、薄膜型の代表としてアモルファス太陽電池を取り上げた。

現在市場で主流である多結晶 Si 太陽電池は、多結晶 Si 材料を鋳造して多結晶 Si インゴットとし、これをワイヤー・ソーにより多結晶 Si ウェハに薄く切り出す。このため、太陽電池用多結晶 Si ウェハは角型である。このウェハに p/n 接合を形成し、電極印刷と反射防止膜を形成するだけで太陽電池セルが出来上がる。これを直列接続しパッケージすれば太陽電池モジュールが出来る。つまり、ダイオードを形成するだけであり、その構造は非常に単純であり、技術移転・習得もし易い。

またアモルファス太陽電池は、ガラス基板上にアモルファス Si の pin の 3 層を積層し、これをレーザーでセルに分離し各セルをガラス基板上で直列接続し集積する方法で生産される。

4. 複雑性の代理指標：プロセス日数

モジュール化の目的は、複雑なシステムをモジュールに分割して単純化し、複雑性を管理可能にすることにある。この複雑性の代理指標として、部品点数が論じられている。しかし精密加工製品の場合は、部品点数では論じられず、プロセス日数を複雑性の代理指標と捉えられる。このため、半導体、液晶、太陽電池のプロセス日数と単位面積価値の関係を、表 1 を基に図 1 に示す。プロセス日数は、半導体が 1～2 ヶ月と非常に長い、液晶が 4～5 日と長いのに対し、多結晶 Si 太陽電池およびアモルファス Si 太陽電池も 1 日以下と非常に短い。First Solar 社は CdTe 太陽電池をガラス投入からモジュールまで 2.5 時間以下で生産できると報告している (First Solar HP)。そして 2009 年にワット \$ 1 以下を達成し、2009 年の生産量 1 位となった (First Solar 2009)。

このため単位面積価値は、半導体の 1400 円/cm²、液晶の 27 円/cm² に対し、多結晶 Si 太陽電池で 6 円/cm²、アモルファス太陽電池で 5 円/cm² である。ただし、アモルファス太陽電池の現市販品の変換効率は、多結晶 Si 太陽電池の約半分である。また、First Solar 社の CdTe 太陽電池は、モジュール変換効率 11.2% で 1 円/cm² 以下である (First Solar HP)。

なお半導体は、「微細化」を用い、多数のトランジスタと多層配線で接続し、セルプロセスで高付加価値を生み出している。

表 1 太陽電池等の特性比較 (中田 2007)

	太陽電池		液晶	半導体
	多結晶	アモルファス		
基板材料面積	Siウエハ 約140mm角 190cm ²	ガラス 1400X80 11200cm ² (集積型)	ガラス 2160x2460 53136cm ² (第8世代)	Siウエハ 300mmΦ 706cm ²
素子応用製品寸法面積	セル 約140mm角 190cm ²	集積型セル 1400X80 11200cm ²	液晶テレビ 45インチ 5472cm ²	DRAM 5mmx5mm 0.25cm ²
モジュール面積最大出力モジュール変換効率	11000cm ² 130～150W 13.5%	11200cm ² 85W 7.5%		
素子構造	ダイオード	PIN構造	薄膜トランジスタ & 単層配線	多数トランジスタ & 積層配線
プロセス長	非常に短い	短い	長い	非常に長い
単位面積価値 (円/cm ²)	6 (モジュール)	5 (モジュール)	27 (17インチ)	1400 (PC用DRAM)
単位面積価格	1	0.8	4.5	233

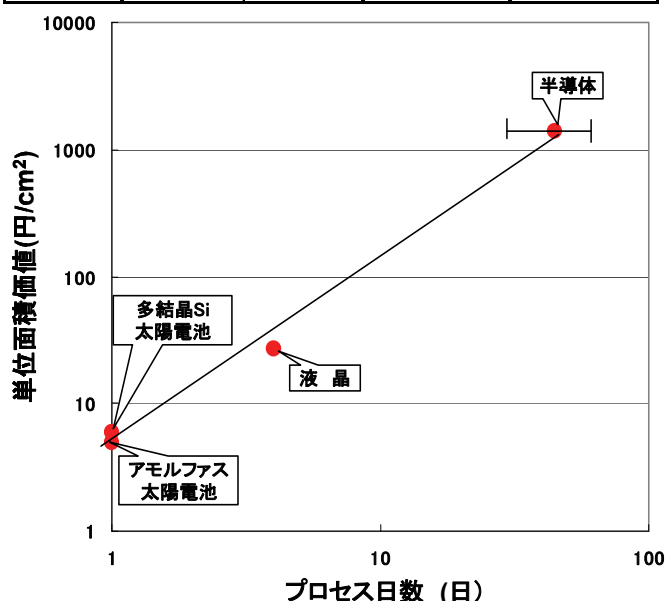


図 1 プロセス日数の比較 (中田 2008c)

5. ターン・キー・システム (TKS)

太陽電池のプロセス日数が短く単純であることから、ガラス投入から太陽電池モジュールの出力までの垂直統合生産システムである TKS がある (中田 2010)。太陽電池産業のビジネス・アーキテクチャは何かを分析するため、太陽電池に特有な TKS に着目して分析した。

1) TKS の供給者

TKS の供給者として、表 2 にまとめる様に、米国のアプライド・マテリアルズ、スイスのエリコン・ソーラーおよび日本のアルバックがある (中田 2010)。

a) アプライド・マテリアル：「サンファブ」と呼ぶ単層および積層型 a-Si 太陽電池用の TKS を供給する。特長は、液晶装置の技術を水平展開しガラス基板が 5.7m² と他社の約 4 倍あることである。これは、AKT 社の 9m² の液晶用第 10 世代成膜装置の技術を水平展開したためである。しかし、2010 年 7 月に市場供給を停止すると発表した。すでに供給した TKS はフォローするとしている。

表 2 TKS の供給者とユーザー (中田 2010)

企業	アプライド・マテリアル		エリコン・ソーラー		アルバック	
本 社	米国		スイス		日本	
ガラス・サイズ	8.5 世代		5 世代		5 世代	
	2.2 m x 2.6 m		1.1 m x 1.3 m		1.1 m x 1.4 m	
	5.7 m ²		1.4 m ²		1.5 m ²	
ユーザー	BestSolar	China	Auria	Taiwan	Chi Mei Energy	Taiwan
	ENN Solar	China	Astronergy	China	China Solar Power	China
	Green Energy Tech	Taiwan	CSG Solar	Germany	NexPower	Taiwan
	Malibu GmbH & Co.	Germany	Boading Tianwei	China	Sunner Solar	Taiwan
	Masdar	UAE	Bosch-Solar Energy	Erfurt	Others	
	Moncada Energy G	Italy	Gadir Solar	Spain		
	Moser Baer Photov	India	HelioSphera	Greece		
	Signet Solar, Inc	USA, Germany	Inventux Tech.	Germany		
	Sunfilm AG	Germany	Pramac	Switzerland		
	T-Solar	Spain	SCHOTT Solar	Germany		
	Others		Sun Well Solar	Taiwan		
			Others			

- b) **エリコン・ソーラー**：スイスに本社を持ち、2007、2008 年に TKS の販売ランク 1 位となった。透明電極の成膜装置を含んでいるのが特長である。
- c) **アルバック**：日本に本社があり、結晶、薄膜、CIS/CIGS 等広範囲な太陽電池装置をカバーしている。TKS は単層および積層型 a-Si 太陽電池の生産装置を供給している。

2) TKS はトータル・サービス

TKS は、装置供給者のトータル・サービスである。ガラス投入から太陽電池モジュールの出力までの垂直統合生産システムというハードウェアだけでは無い。顧客ニーズに合わせた工場設計、装置設置、生産立上げ、性能保証、および生産管理や品質管理のノウハウ等のソフトウェアのサービスをも含んでいる。知識と経験を持たない新規参入者でも、容易に太陽電池産業に参入できる方法である。

6. 太陽電池の産業アーキテクチャ

太陽電池の産業アーキテクチャを、液晶、半導体と比較して分析し図 2 に示す。

1) 半導体の産業アーキテクチャ

半導体は、機能が価値を持つため「微細化」で競争し、標準 Si ウェハサイズと標準装置を受け入れる。この標準サイズの Si ウェハを用いた標準装置を用いることにより、半導体の長い工程を、設計、プロセス、検査等のモジュールに分割し、分業することができるようになる。このように半導体は、標準 Si ウェハサイズをデザイン・ルールとして各工程をモジュール化でき、「モジュール型」工程を持つ（中田 2009）。

2) 液晶の産業アーキテクチャ

液晶は、他社より大きな液晶パネルを生産しようと他社より大きなガラス基板を用いるため、標準ガラス基板や標準装置を受け入れず、「カスタマイズ装置」を用いて競争する。標準化装置が無いため、各工程を分業出来ず、またプロセス日数が 4～5 日と短く分業しなくても生産可能であるため、インテグラル型となる（中田 2009）。

3) 太陽電池の産業アーキテクチャ：

「単モジュール型産業」

太陽電池の場合は、ダイオードを形成するプロセスだけの短い工程であり、半導体のように分業や、液晶のようにプロセスをクローズする必要が無いし、またできない。また工程が短いため技術移転が容易である。

この太陽電池の産業アーキテクチャは、複雑性の代理指標であるプロセス日数が 1 日以下という非常に短く単純な場合であり、「単モジュール型産業」と新しい概念で定義できる。

4) TKS は「単モジュール化」

Baldwin と Clark (2000) が、「モジュールは、その内部では構造的要素が強く結びつき、他のユニットの要素と比較的弱く結びついている、ひとつの単位である。」と定義している。

太陽電池産業に特有な TKS は、既に述べたように、ガラス投入から太陽電池モジュールの出力までの垂直統合生産システムというハードウェアと、顧客ニーズに合わせた工場設計、装置設置、生産立上げ、性能保証、および生産管理や品質管理のノウハウ等のソフトウェアのサービスをも含んだ、装置供給者のトータル・サービスである。つまり、TKS の内部では、薄膜成膜装置やレーザーパターンニング、太陽電池モジュール装置、検査装置等が強い相互依存関係にあるが、TKS 供給者は、この内部の相互依存関係をシステム化すると共に、外部との相互依存関係を無くしている。TSK のユーザーは、モジュール内部を知る必要が無く、新規参入が容易である。つまり、「内インテグラ、外モジュラー」と言え、この TKS の開発の方向は、「単モジュール化」と言える。

7. 太陽電池産業のアーキテクチャと競争戦略

太陽電池産業を、「単モジュール型産業」と新しい概念で定義した。藤本(2004)が指摘するように、日本は「擦り合せ型（＝インテグラル型）」アーキテクチャが適すると考えると、この「単モジュール型産業」において、日本の競争力を高めるには、どのような競争戦略を取ればいいのか。

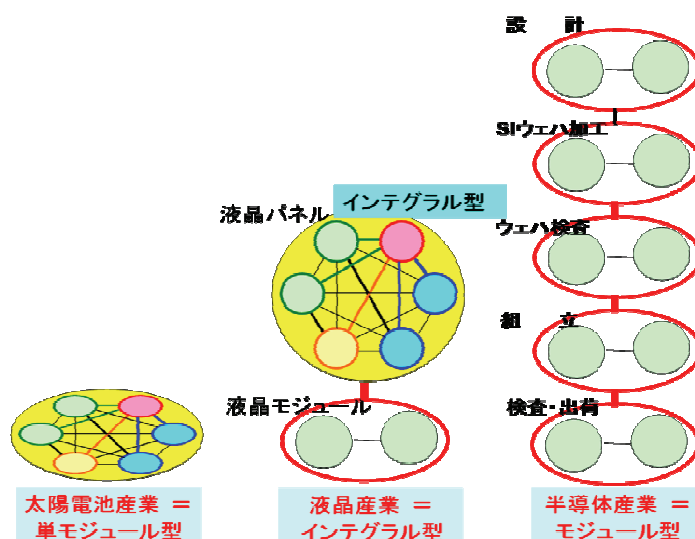


図2 太陽電池、液晶、半導体のアーキテクチャ（著者作成）

競争戦略のひとつの方向として TKS がある。この TKS の開発の方向は、「内インテグラ、外モジュール」であり、「単モジュール化」と言える。TKS 供給者は、内部の相互依存関係をシステム化する「内インテグラル化」が必要であり、アルバックのように種々の装置をインテグラル化できる能力を持つ日本の装置メーカーには適している。しかし、知識と経験を持たないが積極投資により TKS を導入してモジュール化で新規参入する方向は、日本には適していない。

「単モジュール型産業」の中でも、相互依存を強めるインテグラル化の方向が日本に適している。この一つの方向は、長年太陽電池を研究開発してきた技術を基にインテグラル化するもので、シャープ等の日本企業の方向があげられる。他の方向は、新しく研究開発している独自技術を基にインテグラル化するもので、「ソーラー・アイランド九州」の薄膜太陽電池 4 社等の方向がある。

どちらの方向においても、長年研究開発してきた技術、新しく研究開発している独自技術をもちい、「単モジュール型産業」において「内外インテグラル化」の競争戦略を取るのが良いと考えられる。

8. ま と め

太陽電池産業は世界の生産量を急激に増加させ、近年競争パラダイムは替わった。この太陽電池産業のビジネス・アーキテクチャは何かという問題意識を持った。

太陽電池の産業アーキテクチャは、複雑性の代理指標であるプロセス日数が 1 日以下という非常に短く単純な場合であり、「単モジュール型産業」と新しい概念で定義できる。

TKS の内部では装置等が強い相互依存関係にあるが、TKS 供給者は、この内部の相互依存関係をシステム化すると共に、外部との相互依存関係を無くしている。言い換えると、「内インテグラ、外モジュール」であり「単モジュール化」と言える。

この「単モジュール型産業」の中でも、相互依存を強めるインテグラル化の方向が日本に適している。

この一つの方向は、長年太陽電池を研究開発してきた技術を基にインテグラル化するもので、シャープ等の日本企業の方向があげられる。他の方向は、新しく研究開発している独自技術を基にインテグラル化するもので、「ソーラー・アイランド九州」の薄膜太陽電池 4 社等の方向がある。

どちらの方向においても、長年研究開発してきた技術、新しく研究開発している独自技術をもちい、「単モジュール型産業」において「内外インテグラル化」の競争戦略を取るのが良いと考えられる。

参考文献

- 青木昌彦・安藤晴彦 (2002) 『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』東洋経済社 (第 5 章 柳川範之、第 7 章 大久保宣夫)。
- Baldwin Carliss Y., and Kim B. Clark (2000). *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MIT Press. (安藤 晴彦訳『デザイン・ルール ― モジュール化パワー』東洋経済新報社、2004 年。)
- First Solar Home Page: Module, Technology, <http://www.firstsolar.com/en/technology.php>
- First Solar News Release (2009 年 2 月 24 日) : http://investor.firstsolar.com/phoenix.zhtml?c=201491&p=irol-newsArticle_print&ID=1259614&highlight=
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣
- 藤本隆宏 (2004) 『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社。
- 中田行彦 (2007) 「太陽電池産業におけるグローバル戦略」、経営情報学会、2007 年度秋季全国研究発表大会、静岡大学、2007 年 11 月 17-18 日、p266-269
- 中田行彦 (2008a) 「日本はなぜ液晶ディスプレイで韓国、台湾に追い抜かれたのか?」、イノベーション・マネジメント No. 5、法政大学イノベーション・マネジメント研究センター、2008 年 3 月、p141-157
- 中田行彦 (2008b) 「産業集積「九州ソーラーセル・アイランド」の形成」、経営情報学会 春季研究発表大会、関東学院、2008 年 6 月 7 日、8 日
- 中田行彦 (2008c) 「アーキテクチャからみた産業クラスターへの地場企業の参入とその要件」、経営情報学会 秋季研究発表大会、東北大学、2008 年 11 月 8 日、9 日、p 25 - 28.
- 中田行彦 (2009) 「なにがビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのか」 マネージメント・ジャーナル、創刊号、神奈川大学国際経営研究所、2009 年 3 月 31 日、p5-18.
- 中田行彦 (2010) 「技術発散とターンキー・システム：太陽電池産業への参入戦略」経営情報学会 2010 年春季全国研究発表大会、東京工業大学 2010 年 6 月 5 日～6 日
- 妹尾賢一郎 (2009) 『技術で勝る日本が、なぜ事業で負けるの』ダイヤモンド社。
- Ulrich, Karl (1995). "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, 24, pp.419-440.