

大阪市大『創造都市研究』第5巻第1号（通巻6号） 2009年6月

■ 査読論文 ■

39頁～56頁

高度部材産業における製品開発プロセスの実証的研究 —樹脂封止材を事例にして—

浅野昌也（大阪市立大学大学院・創造都市研究科・博士（後期）課程）

An Empirical Study on the Product Development Process in the Highly Functional Electronic Materials Industries: A Case of Plastic Encapsulating Materials

Masaya ASANO (Doctoral Course for Creative Cities, Graduate School for Creative Cities, Osaka City University)

【和文要約】

半導体デバイスや液晶パネルの世界市場において、既に日本はトップシェアではない。しかし、部材や材料で見れば日系企業は70%の高いシェアを確保し、収益をあげている。今や、半導体デバイスや液晶パネル製造において、世界の工場となった東アジア製造業は、日本の高度な研究開発の成果に裏付けられた部材・材料産業を核に集積を形成していると言える。

半導体用樹脂封止材は、日系化学企業の世界市場シェアが大きい電子材料の一つである。1960年代初めに、樹脂封止がセラミックや金属による気密封止に代わる安価な封止方法として出現した。1970年代に米国モートン社がトラスファー成型に適したエポキシ樹脂を開発し、封止材料の改良や素子表面のパッシベーション技術、製造方法の改良などの要因により、樹脂封止した半導体デバイスの信頼性が大きく向上した。樹脂封止材として、多くの国内外の化学企業によって、半導体メーカーに供給されてきたが、結果的には、日系化学企業が世界市場の90%を超えるシェアを占めるようになった。

本論文では、樹脂封止材を事例にして、日系化学企業の競争優位の要因を、次の三つの視点から明らかにした。

1. 本事業に参入した日系化学企業に競争上強みとなる技術や材料があった。
2. これらの日系化学企業は半導体メーカーと緊密な連携関係を持ち、半導体メーカーの製造プロセスに適合しかつ製造プロセス上の問題を解決するように材料開発を行ってきた。
3. 市場規模の割には、多くの化学企業が事業参入し、競争市場を形成し切磋琢磨した。

【和文キーワード】

高度部材産業、半導体、樹脂封止材、競争市場

【Abstract】

Although the world market shares of Japanese firms are not already at the top of the world in the semiconductor devices such as DRAM and liquid crystal displays, they have a 70% market share concerning electronic components and their materials. Nowadays east Asian firms can produce the semiconductor devices and liquid crystal displays as factories of the world by using Japanese electronic components and materials.

Plastic encapsulant used in the semiconductor devices is one of the electronic materials of which Japanese chemical companies have a high market share in the world market. By the early 1960s, plastic encapsulation emerged as an inexpensive alternative to ceramics and metal encasing, and during the 1970s, Morton developed new epoxy resins which suited for transfer molding as an economical method. The reliability of plastic-encapsulated semiconductor devices has increased tremendously since the 1970s, due mainly to improved encapsulating materials. Many foreign and Japanese companies have provided various encapsulating materials to the semiconductor manufactures. Nowadays Japanese chemical companies have become to have a 90% market share.

In this paper, the reasons why Japanese chemical companies have become to have such a high market share are discussed as a case of plastic encapsulating materials from the following three points.

- 1) These Japanese chemical companies had their competitive advantage based on materials or own technologies.
- 2) They had a close relationship with semiconductor device manufactures and developed plastic encapsulating materials in order to be suitable for the requirement of the semiconductor manufactures and solve the problems in their process.
- 3) Even though the market scale was not so large, many chemical companies entered in this market and the market was very competitive.

[Keywords]

Highly Functional Electronic Materials Industries, Semiconductor, Plastic Encapsulating Materials, Competitive Market

I. 背景

伊丹 [1991] は、「日本の化学産業：なぜ世界に立ち遅れたか」において、1990年ごろまでの日本の化学産業の特徴について、「国際貿易額」、「技術貿易額」や「企業規模」などの分析から、日本の自動車産業や電機産業と比較して国際競争力に乏しい姿を浮き彫りにした。

しかし、1994年に三菱化成と三菱油化の合併により三菱化学が誕生し、1997年には三井石油化学と三井東圧化学の合併により三井化学が誕生するなど企業規模の拡大が進んだ。2000年に入り、日本の製造業における化学工業（プラスチック・ゴム製造含む）の出荷額は、2001年までは輸送用機械（自動車）、電気機械に次ぐ3位の規模であったが、2002年から2位に浮上し、2006年は約40兆円であり、輸送用機械の約60兆円に次ぐ規模となった。さらに、付加価値額でみると、2006年の化学工業の付加価値額は約16兆円であり、輸送用機械の約17兆円に次いで2位である。化学工業の全製造業に占める割合でみると、出荷額では13.1%であるのに対し、付加価値額では15.9%であり高付加価値型産業であることを示している¹⁾。

貿易額については、1988年時点で輸入超過であった化学工業は1990年代に入って輸出超過になり、2006年の輸出超過額は約1兆4000億円で輸出超過比率は38.2%である。貿易全体の輸出超過額は約7兆9000億円で輸出超過比率は11.7%であり、日本の化学工業は国内産業の中でも相対的に国際競争力の強い産業であると言える。さらに技術貿易収支については、日本の化学工業は、1994年から輸出額が輸入額を上回り、2006年は661億円の黒字である¹⁾。

なかでも、経済産業省機能性化学品室の推計によれば、半導体製造用材料の世界市場規模と日系企業のシェアは2002年において約2兆3000億円で70.5%であり、2005年には2兆8029億円で73.1%の高シェアを有している。また、液晶用素材の2002年の世界市場規模と日系企業のシェアは2002年において約8920億円で70.3%であり、2005年には3兆2119億円で65.2%の高シェアを占めている²⁾。半導体デバイスや液晶パネル自体は既

に日本はトップシェアではないが、化学工業を基盤としている部材や材料でみれば日系企業は高いシェアを確保し、収益を上げていることが分かる。

今や、半導体デバイスや液晶パネル製造において、世界の工場となった東アジア製造業は、日本の高度な研究開発活動成果に裏付けられた部材・材料産業を核に集積を形成していると言える。このような日系部材・材料企業の成功がどのような要因によってなされたものかを解析することによって、日本の製造業の空洞化を克服する有効な処方箋が得られ、ひいては東アジア経済圏での日本企業の役割を明確にすることになるのではないかと考える。

このような部材・材料産業は「機能性化学品」という製品分野であり、藤本・桑嶋 [2002] は、「機能性化学品」を「化学技術を基盤においた物質・材料技術の強みを発揮することにより、ユーザー産業にソリューションを提案する製品」と定義している。さらに、製品アーキテクチャー論から、汎用的な石油化学製品の場合が、大型装置を寄せ集めてつないで運転する「モジュラー型製品」である傾向があるのに比べ、「機能性化学品」はそうした設備の寄せ集めだけでは済まない、工程間の設計パラメータを微妙に最適設計しないとねらった組成の化成品はできないという意味で「擦り合わせ型製品」と結論している。そして、「擦り合わせ型」の「機能性化学品」は、戦後日本の企業が構築してきた統合型の組織能力との相性がよく、その結果、比較的強い国際競争力を持ち得たのだと推測している。このような製品アーキテクチャー論によって、「機能性化学品」を分析するという新たな試みは注目される。

これらの先行研究に対して、本研究は半導体デバイスや液晶パネル製造業に部材・材料を提供している日系化学企業の製品開発プロセスのダイナミックな展開を明らかにするため、素材ごとに3C分析³⁾により成功要因をさぐる方法を取った。ここでいう3C分析とは、「自社 (Company)」「顧客 (Customer)」「競合 (Competitor)」の頭文字をとったものであり、これらの3つの視点から市場を分析することをいう。既発表論文⁴⁾では、半導体の前工程で使用されるフォトレジスト材料を事例にして、高度部材産業における日系化学企業の製品開発プロセスについて競争優位の要因を見てきた。

その結果、下記に述べる3つの視点の有効性を確認することができた。本論文では、半導体の後工程で使用される樹脂封止材についても類似の視点から、製品開発プロセスを検証する。

II. 実証分析の方法

樹脂封止材は1972年に米国モートン社からトランスファー成形用エポキシ樹脂が発売され、金属やセラミックによる気密封止に比べて低価格であり、樹脂封止した半導体の信頼性についても金属やセラミックによる気密封止と遜色がないことが明らかになり、樹脂封止材が急速に広まり、1970年代の半導体樹脂封止材の世界市場を独占した⁵⁾。しかし、2002年の経済産業省の調査では、世界の半導体の後工程で使われている樹脂封止材は、日系化学企業が世界市場の91%のシェアを持っている²⁾。そこで、樹脂封止材の製品開発プロセスにおいて、何故日系化学企業が大きなシェアをしめるようになったかを3C分析に基づき実証的に検討する。

3C分析に基づく第1の分析課題は、companyの分析である。自社本事業に参入した日系化学企業の間持っている競争上の強みとなる材料もしくは技術の視点から分析する。すなわち、外国で発明された樹脂封止材を事業化するにあたって、本事業に参入した日系化学企業のもっている材料もしくは技術との関連性を明確にする。

3C分析に基づく第2の分析課題は、customerの分析である。本事業に参入した日系化学企業は、顧客である半導体メーカーはもとより、原材料メーカー、装置メーカーなどとの関係において、どのように事業を創造していったかを明確にする。

すなわち、1980年代半ば、日本の半導体産業、特に日本製DRAMが米国を抜いて世界1のシェアを占めるようになり、生産額で見れば世界の半導体の約半分が日本製であった。さらには、世界の半導体メーカー売

上高トップ10に日本の半導体メーカー6社(日本電気、東芝、日立、富士通、松下電子、三菱電機)が名前を連ねた。これらの成果については、政府の支援のもと、日本の半導体メーカーの果たした役割は大きい。半導体産業に関連した日本企業の総力を結集した結果と推測される。また、逆の見方をすれば、部材や材料メーカーにとっては、日本の半導体メーカーに採用してもらうことが世界市場へ進出することにつながったと言える。本論では、業種を越えた日本企業間の連携とイノベーションの創出プロセスを具体的に検証する。

3C分析に基づく第3の分析課題、competitorの分析であり、本事業に参入した競合企業の視点から論じる。国内外の多くの化学企業が参入し、競争市場を形成したが、どのようにして日系化学企業が競争優位性を獲得したかを明確にする。

2001年4月4日付『半導体産業新聞』によれば、2000年の半導体樹脂封止材の世界需要は年間約12万トンと推定され、金額で1,100億円から1,200億円と見られる。1970年代は、米国モートン社の樹脂封止材が世界市場を席巻していたが、2000年に入り世界シェアは、トップが住友ベークライトで台湾に委託している分も含め40%、続いて日東電工25%、信越化学13%、日立化成12%、東芝ケミカル9%、このほかに松下電工や東レなどの名前が挙がっており、激しい競争市場となっている。

本研究では、樹脂封止材メーカーとして、住友ベークライト(以下住ベと記載)と日東電工に焦点をあてて、関連する文献、新聞報道、公開特許などを用いて上記3つの視点から成功要因を検証していく。

Ⅲ. 実証分析の結果と解釈

1. 樹脂封止材について

半導体素子を外部環境から遮断し、発生する熱を外部に放散させ、またアセンブリング工程におけるデバイスのハンドリングによる破損を防止するために半導体素子を封止することが行われた。当初は、金属やセラミックによる気密封止が用いられた。1960年代前半に、民生用として、エポキシ樹脂やシリコン樹脂による安価な樹脂封止が用いられるようになった。樹脂の成型法も液状の樹脂を使用する注型法や浸漬法から、固形の樹脂をタブレットにして溶融させて、半導体素子を固定した金型内に注入成型するトランスファー成型による方法が、大量生産しやすいこと、品質が安定しているなどの理由で採用されるようになった。素子表面のパッシベーション技術の進歩と封止樹脂の改善と相俟って、産業用の分野にも、樹脂封止が気密封止に代わって使われるようになってきた⁵⁾。

特に、1972年に上市された米国モートン社のトランスファー成型用のフェノール硬化型エポキシ樹脂ポリセット410Bは、半導体素子の長期信頼性を保証することができるようになり、樹脂封止材の世界市場を独占した。1978年には、半導体の80%が樹脂封止されるようになり、1990年代に入り、90~95%が樹脂化した⁵⁾。

樹脂封止材に要求される特性としては、デバイスの信頼性と成型性に関する特性に分けることができる。信頼性に関する特性として、電気絶縁性・耐熱性・機械的強度に優れ、吸水率が小さいことが求められ、さらに高純度の材料を選択する必要がある。成型性については、金型への充填性がよい、成型時間が短い、バリの発生がない、金型からの離型性がよいなどの特性が要求される。また、1990年代に入り環境問題の高まりとともに、非ハロゲン難燃剤の使用等環境対応型封止材の重要性が増している。いずれも高度にバランスのとれた材料設計が必要である部材と言える⁵⁾。

樹脂封止材の典型的な原材料構成と比率を表1に示す⁶⁾。表1から、エポキシ樹脂を主剤とし、硬化剤にフェノール樹脂を、充填材にシリカを使用するが、充填材であるシリカの含有量が圧倒的に多いことが分かる。その他の成分として、樹脂とシリカ、半導体素子との密着性を高めるシランカップリング剤、難燃剤や着色剤などが添加されている。製造法は、組成比率に合わせて各資材の計量を行った後、ミキサーにより混合し、さらに混合したものを加熱しながら混練りし、材料を均一に混ぜる。混練りが終わり、シート状にした材料を冷却・粉碎し、タブレットサイズに打錠した後、冷蔵あるいは冷凍保管され、半導体メーカーに輸

表1 封止材の原材料構成比率

分類	組成	配合比率(%)
主剤	エポキシ樹脂	4～20
硬化剤／硬化促進剤	フェノール樹脂／リン系、アミン系触媒	4～20
充填剤	溶融シリカ、結晶シリカ	70～90
カップリング剤	シランカップリング剤	1未満
その他	難燃剤、離型剤、着色剤	10未満

出典：本田ほか [2001] 『日本化学会誌』 9号p.524を参考にして作成

送される。半導体メーカーでは、先述したようにトランスファー成型によって半導体素子を樹脂封止する⁷⁾。

以下に日系化学企業が参入後の半導体デバイスと実装方式の動向、およびそれらに関連した樹脂封止材開発の課題について述べる。このような課題に対して、日系封止材メーカーは半導体メーカーや原材料メーカーの協力のもと、次々に課題を解決していき、その結果、世界市場で90%以上のシェアを獲得することができたと考えられる。

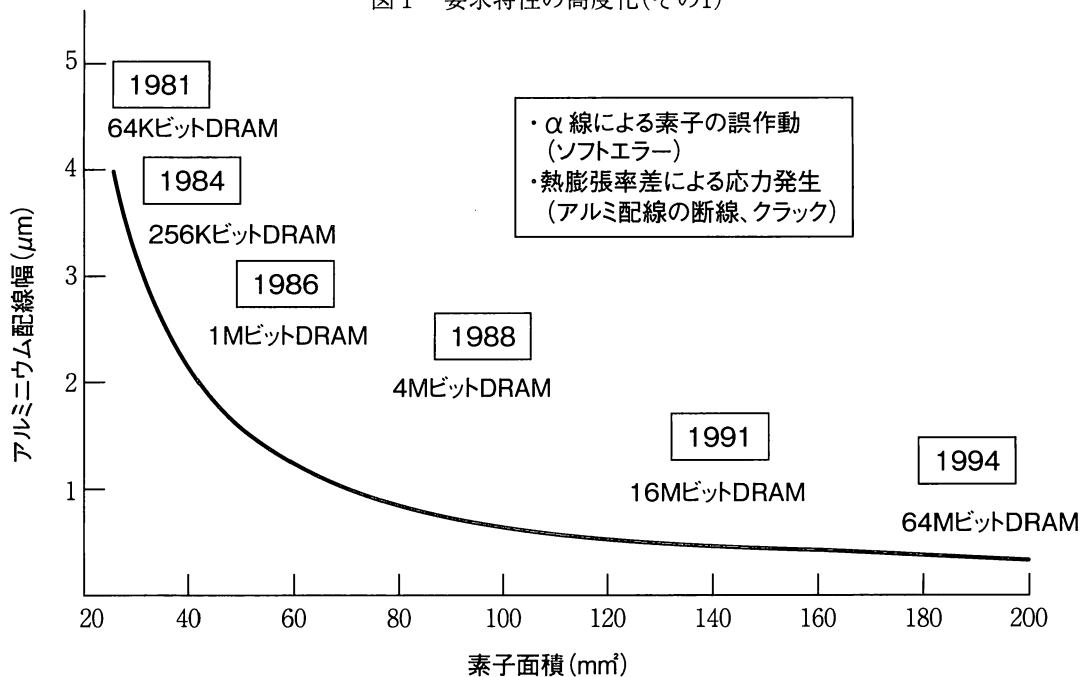
(1) 要求特性の高度化（その1）ーデバイスの高集積化と素子の大型化

メモリデバイスをはじめとして半導体デバイスの高集積化により、図1に示すようにアルミニウム配線幅は微細化し、半導体素子が年々大型化してきた。そのために1980年代初め、素子が α 線照射によって誤動作する「ソフトエラー」と呼ばれる問題と半導体デバイス構成材料間の熱膨張率差に起因する封止樹脂のクラック発生やアルミニウム配線の変形など信頼性低下の問題が発生した。

「ソフトエラー」の問題は、樹脂封止材に配合する溶融シリカと難燃剤（三酸化アンチモン）から発生（発生源は不純物として含まれる微量のUおよびTh）していることが明らかになり、2. (1)1)に述べるように、日系封止材メーカーは放射性不純物含有量が少ない「ソフトエラー」対応樹脂封止材を世界に先駆け上市した。また、素子表面に α 線遮蔽膜をコートするなどのデバイス側の改良と併せて、最先端の高集積度デバイスにおいても「ソフトエラー」は実用上問題がなくなった⁷⁾。

デバイスの信頼性低下の問題は、素子と封止材との熱膨張率差による応力の発生が主因である。この問題に対しても、日系封止材メーカーは、異なる粒径のシリカの組み合わせ、球状化をはじめとする形状の制御、さらにはシリカの大量配合が可能な低粘度エポキシ材料の採用などの処方によって、樹脂封止材の成型性を維持し熱膨張率を素子に近づけて低応力化を図る技術を確立し信頼性の確保に成功した⁷⁾⁸⁾。

図1 要求特性の高度化(その1)



DRAMにみる高集積化の推移

出典: 沢井・善積[1993]『東芝レビュー』48(5)p.389をもとに筆者作成

(2) 要求特性の高度化(その2) -実装の高密度化



1980年代の中頃から、デバイスの回路基板への実装方式がピン挿入型から表面実装型へと高密度化が模索されるようになり、より高度の信頼性の確保が樹脂封止材に求められるようになった。

表面実装型では、表2に示すようにリフロー方式によるはんだ付けが行われ、実装時デバイス全体が高温に曝される。特に、無鉛はんだは従来はんだに比べると融点が約20℃高いため、リフローはより高温で行われる。その際、樹脂封止材のパッケージが吸湿していると、吸湿水分の急激な気化膨張によって封止材と素子やリードフレーム界面に剥離が起こったり、封止樹脂にクラックが発生する。そのため、表面実装方式における耐はんだリフロー性の向上が最重要課題となった⁷⁾。

これらの課題に対して、2.(2)3)で述べるように、日系封止材メーカーはエポキシ樹脂メーカーの協力のもと、低吸湿・高密着性のエポキシ樹脂の開発とシリカの高充填処方の開発を進めた。その結果、汎用のビスフェノールA型エポキシ樹脂から耐湿性・耐熱性に優れた高純度オルソクレゾールノボラック型エポキシ樹脂、より低粘度でシリカの高充填ができるビフェニル型エポキシ樹脂やジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂が採用されるようになった⁶⁾⁷⁾。

表2 要求特性の高度化(その2)

(1) ピン挿入型/表面実装型封止材の実装方法

実装法	加熱方法	デバイスの温度	課題
ピン挿入型	 <p>溶融はんだ浴</p>	150℃以下	
表面実装型	 <p>遠赤外線ランプまたは温熱ヒーター</p>	215 - 260℃	水分の爆発によるクラックの発生

出典：尾形 [2006]『電子ジャーナル』第590号p.33

(2) 高密度化 (ピン挿入型→表面実装型へ) の変遷

	1985年	1990年	1995年	2000年
ピン挿入型 (%)	87	57	9	1
表面実装型 (%)	12	36	82	83
その他 (%)	1	7	9	16

出典：本田ほか [2001]『日本化学会誌』9号p.523

2. 3 Cの視点からの実証的分析

(1) Companyの分析

先に述べたように、1970年代初め米国モートン社のトランスファー成型用エポキシ樹脂が半導体樹脂封止材の世界市場を独占した。ほぼ同時期に日本国内では、電気絶縁材料メーカーの日東電工と住ベがトランスファー成型用エポキシ樹脂を開発し、樹脂封止材の分野に事業参入した。両社は最初の世代から参入し、順次各世代の樹脂封止材のコア技術を形成していった。また、両社は半導体後工程工場の移動にともない九州そして東南アジアで工場を稼働させた。

1) 日東電工の設立と樹脂封止材事業への参入

日東電工は、電気絶縁用ワニス、クロス、後にテープを製造する企業として1918年に創業した。1935年、今まで日東電工の顧客であった日立が絶縁材料の外販を開始したため売り上げが半減してしまい、1937年から約11年間日立と、資本と技術の提携を結んだ。1950年日東電工は乾電池部門に進出し、“マクセル”のブランドで積層乾電池の生産に着手した。しかし、1961年乾電池・録音機・録音テープを主体とするマクセル部門を分離し、姉妹会社マクセル電気工業株式会社を創立し、本体は化学工業材料専門メーカーとして歩むことになった⁹⁾。1964年マクセル電気工業は日立の子会社となった。

貿易の自由化に対処して、日東電工は海外企業との技術提携にも目を向け、1965年1月米国General Electric社と電線被覆材料に関する特許ライセンス契約を結んだ。次いで、3月には米国Epoxy Products社(後Allied Products社に合併)から電子部品用粉末成型材料に関する技術を導入し、日東電工が電子工業材料へ進出する第一歩となった。1965年9月に吹田工場に粉末成型材料工場を新設し、1966年から生産を開始した⁹⁾。

1969年に本格工場である亀山工場を操業し、次いで1982年に九州日東電工の操業を開始した。1984年3月末の日東電工の電子材料部門の売上高は265億円で、このうち半導体用樹脂封止材は150億円を占めた。後述するように、1984年には国内市場1位(2位は住ベ)、世界市場は米国モートン社に次いで2位の位置にあり、該社の輸出ウェイトは20%程度であった。1989年にマレーシアに工場を設立し、1990年から生産を開始し、

3拠点体制を確立した¹⁰⁾。1989年6月にCCD用封止材の透明樹脂封止材を日本テキサス・インスルメントと共同開発し、量産化によるコスト低減のため透明樹脂封止材を日本テキサス・インスルメント以外の半導体メーカーにも広げた。半導体メーカーは透明樹脂封止材の使用により、CCDの製造工程が容易になり、大量生産によるコスト低減が可能になった¹¹⁾。

2) 住友ベークライトの設立と樹脂封止材事業への参入

1955年3月日本ベークライトと住友化工材が合併して住友ベークライトが誕生した。フェノール樹脂、塩化ビニル樹脂、ユリア樹脂関係の成型材料、積層板、接着剤、塗料などが主な製品であった。1960年2月に社長交代にともないエレクトロニクス部門への進出を図り、交換機や電話機等の電気通信機器用部品やその材料は住友の主力製品であったが、一層の強化を図り、フェノール樹脂銅張積層板の改良を行い、1971年には米国UL規格(材料、製品、機器の安全規格。世界で最も古く権威のある安全試験機関Underwriters Laboratories Inc.が認定)に合格する高レベルのものを開発した。さらには、フェノール樹脂銅張積層板の性能を超えたエポキシ樹脂銅張積層版の開発にも成功した。

一方、中央研究所では、1955年頃から気密封止法に代わるトランスファー成型による成型法とそのための材料開発を行っていた。1968年10月に熔融シリカを使用したエポキシ樹脂トランスファー成型材料を上市した。封止される材料としては、ダイオードやトランジスターがあり、向島工場で10トン/月の設備を稼働させ、月産7トン程度のきわめて少ない数量で生産を開始し、1976年まで生産量に急激な拡大はみられなかった¹²⁾。

1973年、大手通信機メーカーから、半導体封止用樹脂の共同開発の依頼があり、専任研究者4名の開発チームを結成した。当時、ほとんどの国内半導体メーカーの封止材には米国モートン社のポリセット410Bが使用されており、海外半導体メーカーとの競争には、品質、価格で優れた国産品の封止材に対する要望が大きかった¹³⁾。1975年10月に新製品を完成させ、その後も数々の改良が加えられ数量も急増していった。月産生産量は、1976年45トン、1977年80トン、1978年120トンと急速に伸び、1979年に向島工場に大型の増産設備を設置して月産能力を200トンまで引き上げた¹²⁾。

日本の半導体企業がこぞって進出した九州は、シリコンアイランドと呼ばれるほどの集積回路の一大生産拠点であった。1981年3月に九州ベークライト工業に月産250トンの能力をもつ生産設備を竣工した。さらに、1983年10月に増産設備を完成させ月産600トンの能力をもつようになった。1984年11月に月産500トンの宇都宮工場を竣工した¹²⁾。さらに、1989年にシンガポール工場、1997年に年蘇州工場、1998年に台湾工場を稼働させた。

この間、インテル製の64KDRAMに「ソフトエラー」が起り、「ソフトエラー」の原因である α 線の発生源が封止材からのUであることをインテルは指摘した。本件に関して開発チームを結成し、Uの分析等はNTT(当時通研)と接触し技術導入した。その結果、 α 線の発生源が封止材に使用している天然シリカと難燃剤(三酸化アンチモン)であることが分かり、原料メーカーの協力を得てシリカおよび難燃剤はUを含まない合成タイプへ切り替えた。住友は、「ソフトエラー」対応封止材をいち早く上市し、メモリ用封止材のトップシェアを確保した¹³⁾。

以上のことから、両社とも電気絶縁材料のメーカーとしてスタートし、1970年代初めに世界市場を独占した米国モートン社とほぼ同時期に樹脂封止材の分野に進出した。住友は大手通信メーカーからの開発要求に応え米国モートン社対抗品を完成させ、売り上げを伸ばしていった。また、詳細は(2)1)で述べるが日東電工も半導体メーカーと緊密な関係を構築して、技術を完成させていった。両社は半導体後工程工場の移動にともない九州そして東南アジアで工場を稼働させた。

(2) Customerの分析

顧客については、以下に具体的に分析するように、半導体メーカーと封止材メーカー間には極めて緊密な

関係が構築された。また、封止材メーカーと原料メーカーにおいても積極的な提携、共同開発の事実が認められた。特に、封止材メーカーは、半導体メーカーが使用しているのと同じ形式の装置で樹脂封止材の特性を評価し、半導体メーカーのプロセスに適合させ、半導体メーカーのプロセス上の問題を解決するように材料開発を行ってきたことが分かった。また、日立などが中心となって、部材・材料や装置メーカーを巻き込み新規半導体パッケージの課題を解決し、パッケージの規格化を推進する等パッケージに関する専門家集団を形成した。そして、プロセスと部材・材料や装置に関して半導体パッケージの国内標準化を達成し、さらには国際標準化を進めた。このようなパッケージの標準化が部材・材料や装置のデファクト化を進めたと推定される。

1) 半導体メーカーとの連携

トランジスターの発明は、1947年に米国でなされ、1970年代は米国半導体産業が世界的に優位であったが、1980年代に入り、状況が変わってきた。1986年に、半導体生産高は日米が逆転し、日本の半導体が世界市場の約半分を占めるようになった。1986年、MIT産業生産性調査委員会が設置され、2年間にわたって米日欧産業比較を行った。半導体・コンピューター・複写機産業を扱った調査報告書¹⁴⁾の中で、日本の半導体産業の隆盛の要因として、超LSI技術研究組合に見られる、政府と産業界の相互支援体制を挙げるとともに、半導体メーカーにおける顧客や供給業者との密接な連携関係を挙げている。このような連携関係の創出が、コスト削減、物流のスピードアップ、製品欠陥の減少につながったと解析している。

このような日本の半導体メーカーと顧客や供給業者との密接な連携関係について、1966年から三洋電機でハイブリッドICの開発を経験した風見 [2002] は、著書『日本の技術レベルは何故高いのか』¹⁵⁾の中で次のように証言している。すなわち「日本の半導体メーカーは当初アメリカ製の封止材を使用していた。日東電工は、アメリカから技術導入し国産化を図ったが、国産品はアメリカ製に比べると数段と品質が劣るものであった。そんな状況の中、封止材メーカーと半導体メーカーの、取引をしている者同士で、個別の技術委員会なるものが生まれた。封止材のエンジニアは封止材の性質が半導体にどのように影響するのか分からないし、半導体のエンジニアは封止材を具体的にどのように改善したらよいか分からない。相手の技術を理解することが先決となったわけである。両メーカーのエンジニアは、それぞれの製品の基本原理や製造ノウハウを教え合った。このような技術委員会を通した長年にわたる技術交流により、半導体の信頼性は向上し続け、そして半導体も封止材もアメリカ製に追いつき、ついには追い越すようになった。これができた根底に企業間のパートナーシップがあった。」と記載している。

一方、封止材メーカーからの証言として、住べで封止材の研究者であった箕 [2006] は、1973年に封止材の共同開発をすることになった大手通信機メーカーから信頼性評価技術の指導を受けたことを記載している。住べの開発スピードとレベルアップのため、組立装置（マウンター、ボンダー）とアルミ配線付きテストICを大手通信機メーカーの協力で導入することによって、高温高湿処理後のリーク電流や耐湿性の評価が可能となり、住べの封止材の品質向上に大いに寄与したと述べている¹³⁾。

さらに、住べの水野 [2006] は、半導体メーカーが実際に使用するプロセス装置と同じ形式の装置を用いて、加工組立性やプロセス適合性を評価し、この成果を半導体デバイスのパッケージに関するトータルソリューションとして、半導体メーカーに提供し、半導体メーカーは材料ごとに別々のサプライヤーから材料を取り寄せて評価する必要がなくなり開発時間が短縮できると述べている¹⁶⁾。材料開発を通じて、ソリューションビジネスを提供することの重要性を明確に述べている。

2) 材料開発によるソリューションの提供

特許分類検索（検索式：H01L23/30*C08G59/00）によって調べた、1975年～1984年に日本で公開されたエポキシ樹脂封止材に関する特許件数を表3に示す。表3から、1980年からの5年間の公開特許件数は、1979年までの5年間に比べ、14倍に増えていることが分かる。また、共願も含めて封止材メーカーからの件

数が72件であるのに対して、国内外半導体メーカーから102件の封止材に関連する特許が公開されており、半導体メーカーの中にユーザーイノベーションの担い手になった封止材料を担当する研究者が従事していたことを示している。

表3 エポキシ樹脂封止材日本公開特許(特許分類検索)

		1970～1974年公開	1975～1979年公開	1980～1984年公開	総計
化学	日東電工	0	0	23	23
	日立化成	0	2(2)	11(2)	13(4)
	信越化学	0	1	7	8
	松下電工	0	0	6(1)	6(1)
	住友ベークライト	1	0	4	5
	東芝ケミカル	0	0	4	4
	その他	0	0	12	13
	小計	1	1	67	72
電機	東芝	0	2	62	64
	日立	3	2	14	19
	三菱電機	0	1	4	5
	松下電器・電子	0	0	6	6
	日本電気	0	0	2	2
	その他	0	0	2	2
	外国企業	0	2	2	4
	小計	3	7	92	102
総計	4	11	159	174	

※()内共願特許数(内数):日立化成は日立との共願、松下電工は松下電器との共願。

出典:筆者作成

表4に、日東電工と住べの公開特許を比較して示す。公開特許件数は、日東電工から23件、住べから5件であり、これらの発明を担った研究者数も日東電工が22名に対し、住べは10名であり、日東電工の研究開発が活発であることが分かる。公開特許の内容をみると、1.(1)や(2)で述べた封止材に依存する半導体デバイスの信頼性に関する事項や、成型性など半導体メーカーのプロセス適性改善に関する課題解決を優先して実施したことが分かる。また、実施例には、半導体メーカーで実施している方法、即ち、テストICを封止材でトランスファー成型してデバイス化して信頼性を評価した結果が記載されている。

先述したように、樹脂封止材は、「機能性化学品」という製品分野に入り、「化学技術を基盤においた物質・材料技術の強みを発揮することにより、ユーザー産業にソリューションを提供する製品」ということになり、藤本・桑嶋[2002]によれば、こうした機能性化学品のものづくりのポイントは、製品開発と擦り合わせ型の工程アーキテクチャーにあるという。つまり、いかに生産性を高めるかといった生産活動よりも、自社技術を駆使してユーザーに機能提案するといった製品開発活動のほうがより重要な課題である。藤本・桑嶋[2002]のいう擦り合わせの具体的内容が、封止材メーカーと半導体メーカー間において、封止材メーカーの材料開発を通じて、半導体メーカーのプロセスに適合させ、半導体メーカーが抱えている問題にソリューションを提供する対応ということになる。

表4 日東電工と住友ベークライト特許比較 (1975年から1984年公開広報)

		日東電工	住友ベークライト
公開特許件数 (件)		23	5
内 容	高温、高湿下の信頼性 半田耐熱性	7	1
	低応力化	5	1
	成型性	4	1
	難燃化	1	0
	ポットライフ	2	1
	光半導体関係	4	1
発明者数 (人)		22	10

出典:筆者作成

3) 原料メーカーとの連携

半導体封止用エポキシ樹脂のメーカーとして、オルソクレゾールノボラック型エポキシ樹脂では、住友化学、日本化薬、大日本インキ、東都化成、油化シェルエポキシ（三菱油化と英国シェルの合弁会社：現ジャパンエポキシ）などが代表的で、このうち1990年代には住友化学が50～60%のシェアを占めるようになった¹⁷⁾。このため、1993年の住友化学愛媛工場のエポキシ樹脂を生産するプラントの爆発によりエポキシ樹脂の供給が途絶え、世界中の半導体メーカーを不安に陥れたが、日本化薬や大日本インキの増産や台湾の長春人造樹脂廠股への委託生産で必要量を確保することができた^{18) 19)}。このことは、日本の材料が世界中の半導体に広く使われていることを示している。また、1.(2)で述べた、ビフェニル型エポキシ樹脂は油化シェルエポキシ、ジシクロペンタジエン型エポキシ樹脂は大日本インキ、日本化薬、ダウケミカルが供給している¹⁷⁾。大日本インキは、封止材メーカーの海外展開に対応して、1999年からマレーシアで工場を稼働させた²⁰⁾。

半導体封止用シリカを製造しているメーカーとしては、天然珪石を原料とするシリカメーカーとして、電気化学工業、マイクロン（新日本製鉄とハリマセラミックとの合弁）、東海ミネラルがあり、合成原料系のシリカメーカーとして、三菱マテリアル、日本化学工業、徳山曹達、アドマテックス（トヨタ自動車と信越化学の合弁）、チッソなどがある。半導体封止用シリカの需要は、1988年には年間1,500トンであったが、1994年には年間10,000トンを超える量となっている。製品の中心は、1.(1)で述べたようにエポキシ樹脂の使用量が少なくすむ球状シリカであり、天然品は微粉碎化したあと、火炎中で個々の粒子を溶融・液状化させ、表面張力で球状化させているが、合成品に比べて低価格である。一方、合成品はUなどの放射性元素の含有量が0.1ppbと安定して低いため、「ソフトエラー」を嫌うDRAM用のシリカとして販売されている²¹⁾。また、1991年には電気化学工業がシンガポールで、1997年にはマイクロンがタイで生産を開始している²²⁾。特に、電気化学工業のシンガポール工場は、住友ベークライトがシンガポールに封止材工場を建設して2年後に稼働したことになる。

封止材の難燃剤として、ハロゲン系や三酸化アンチモン系の難燃剤が使用されていたが、安全性や環境問題からこれらの難燃剤を使わない検討がなされていた。タテホ工業は、不純物を大幅に低減した水酸化マグネシウムの新製品を開発し、日東電工にサンプル出荷を行い日東電工が市場調査を進めた。その結果、半導体封止材用の難燃剤として高性能を発揮することが実証され、タテホ工業は難燃剤を事業化した²³⁾。

以上述べたように、封止材メーカーは、封止材の性能と成型性について、エポキシ樹脂メーカーやシリカメーカーなど封止材を構成する原料メーカーと緊密な関係を持って開発を推進したものと推定される。封止材の高度化にも、日本の化学工業における専門メーカーが大きく貢献していることが分かった。

4) 半導体パッケージ技術専門集団の形成

半導体メーカーは自社に封止材や回路基板などのパッケージ材料を含む半導体パッケージ技術の専門家を抱え²⁴⁾、先に述べたように樹脂封止材料についても活発に特許出願を行っている。また、電通研は半導体デバイスのコスト引き下げのため、1968年から樹脂封止した半導体デバイスの信頼性評価や解析にも着手した²⁵⁾。

Hippel [1988] は、ユーザーイノベーションの事例の一つとして、半導体装置メーカーとユーザーである半導体メーカーとの間において、製造装置のイノベーションの60%以上がユーザーによって開発されていると述べている。また、ユーザーが開発した製造装置のイノベーションが、装置メーカーに移転されるプロセスにおいて、ユーザー企業とメーカーとの間でスタッフの頻繁なやりとりがあったことを指摘している。先述したように、1980年代後半において、世界の半導体メーカー売上高トップ10に日本の半導体メーカー6社(日本電気、東芝、日立、富士通、松下電子、三菱電機)が名前を連ねたことから、当時の日本の半導体メーカーはリード・ユーザーと言えるであろう。例えば、日本電気は住ベの協力によってハロゲン系やリン系の難燃剤を含まない樹脂封止材を開発した。封止材は住ベが生産し、日本電気以外にも外販するという²⁶⁾。また、富士通は、ウェハ工程で樹脂封止し、樹脂封止後にウェハから切り出す新規な半導体パッケージであるchip size packageを考案した²⁷⁾。このような例は、典型的なリード・ユーザーイノベーションと言える。これ以外にも、半導体メーカーにあって半導体パッケージと封止材料の専門家が従事し、ユーザーイノベーションを推進したと考えられる。

半導体パッケージは、半導体素子を外部環境から保護し、電子デバイスの性能を決定づけるなど、重要な機能を担っている。加えて、半導体パッケージの外形形状は、国内外半導体関連各社の間でも互換性を保つ必要があり、標準化が求められた。1980年代にピン挿入型から表面実装型QFP(Quad Flat Package)を開発するにあたり、形状が1/4程度に薄くなることや、1.(2)で述べたように実装技術の変更によりはんだ付け時にかかる熱が高くなるため、リードフレーム、金線、封止樹脂、組立装置、プリント基板、はんだ付け材料や装置などの開発が必要であった。そこで、日立が中心となって、武蔵工場(現ルネサステクノロジー小平事業所)内に開発プロジェクトを設立し、関係会社を組織化し、開発を行った²⁸⁾。参加した企業としては、封止材メーカーとして、日東電工、日立化成、リードフレームメーカーとして、大日本印刷、凸版印刷、新光電気、三井ハイテック、金線メーカーとして、貴金属等の材料メーカー、およびプリント基板上へのはんだ付け実装メーカーやパッケージ組立装置メーカーが参加した。このプロジェクトの推進によって、QFP開発時の問題が解決され、さらに国内規格案が作成された。

日本で開発されたパッケージの外形標準化活動は、電子工業会EIAJ(現、JEITA:電子情報技術産業協会)の半導体パッケージ標準委員会(EE-13)で審議され、規格化された。この委員会のメンバーに日立、日本電気、東芝、三菱電機、富士通、TI、三洋電機など各社の半導体パッケージ技術の専門家が参加した²⁹⁾。1985年から1990年にかけて、米国のJEDEC(Joint Electron Device Engineering Council:半導体部材などの標準化を進める機関)に統一を呼びかけ、日米間で半導体パッケージ問題を討議する場として、日米パッケージ合同委員会(JWG-2)が創設された。1988年3月に第1回がハワイ島で開催され、JEDECでもQFP規格が採用された。さらに、1992年の世界標準化会議(IEC TC47)でQFP規格が採用された²⁹⁾。

日立を中心としてスタートしたパッケージの標準化活動が、半導体メーカー間はもちろんのこと、半導体メーカーと部材メーカーや装置メーカーとの関係を強化し、部材メーカーと装置メーカーの関係構築にも貢献したと推定される。そのような活動によって、日本発の規格が標準化され装置や部材・材料についてもデファクト化されていったものと考えられる。

(3) Competitorの分析

先述したように、2000年度の樹脂封止材の世界市場は、1100億円~1200億円程度である。樹脂封止材市場の特徴は、半導体パッケージ技術の変遷とともに、性能と加工性の優れた樹脂封止材が求められ、半導体

メーカーは次世代デバイスにより良い材料を組み込もうとしたことである。従って、それぞれの段階で後発の部材・化学メーカーにも参入の機会があった。半導体メーカーと結びつきの深い部材・化学メーカー（日本電気と住友、日立と日立化成、東芝と東芝ケミカル、松下電器と松下電工など）も含め少なくとも国内化学企業8社が参入してきたが、部材メーカーにとっては結びつきの深い半導体メーカー以外にも販路を伸ばして事業拡大を図ってきた。強力なライバル企業の中で切磋琢磨し、半導体メーカーに信頼される封止材プロセス技術と評価技術を身につけながら生き残っていく戦略を持っていることが高度部材産業に携わる企業の特徴の一つと思われる。

1) 1980年代の競争市場

表5に1979年～1981年の国内樹脂封止材のメーカー別生産実績を示す²⁹⁾。1979年は、日東電工と住友はこの分野に参入してから、それぞれ13年および11年経過したが、日本市場において生産量で42%と22%を占めるに至り、さらに大きく需要を伸ばしている。国産品の進出で、輸入販売企業である内外機材は、1979年540トン、1980年360トン、1981年300トンと減少傾向であり、米国デクスター社の輸入品販売会社のハイソール・ジャパンは堅実なフォローにより需要を維持するものの伸び悩んでいる。新しく、信越化学、日立化成、東芝ケミカルが参入してきた。

表5 樹脂封止材の生産実績（1979～1981年）

	1979年		1980年		1981年	
	トン/年	%	トン/年	%	トン/年	%
日東電工	2,730	42	3,780	43	4,300	42
住友ベークライト	1,450	22	2,050	23	2,460	24
ハイソールジャパン	1,300	20	1,550	17	1,800	17
三菱瓦斯化学	480	7	700	8	850	8
信越化学	20	0.3	70	1	100	1
日立化成	10	0.1	230	3	270	3
東芝ケミカル	-	-	96	1	75	1
その他*	540	8	412	5	470	5
合計	6,530		8,888		10,325	

*内外機材（輸入販売企業）、四国化成、利昌工業。

出典：矢野経済研究所 [1982]『エレクトロニクス材料の市場実態と展望』p.33

1980年代半ば、日本における半導体の最先端であるメモリIC分野を例にとれば、16KDRAMではほぼ100%が樹脂封止され、64KDRAMの分野でも90%が樹脂封止に代わっている。当時の最先端の256KDRAMについても樹脂封止の目処はついているという状況であった¹⁰⁾。

表6に1983年と1984年の国内樹脂封止材の売上高ベースの市場動向とメーカー別シェアを示す。表6から、日東電工が40%を占めてトップ、住友がこれを追って25%のシェアを占めていることが分かる。また、表7に主な国内半導体メーカーと樹脂封止材供給メーカーの関係を示す¹⁰⁾。表7から、日東電工品はほとんどの国内半導体メーカーに使用されていることや、住友はグループ内の日本電気以外にもシェアを伸ばしており、日立化成も日立向けのグループ内の供給で実績を高め、日立以外でもシェアを伸ばしていることが分かる。松下電工は1981年に参入し、松下グループ内への販売が中心である。また、東芝ケミカルも東芝グループ内への販売がほとんどである。米国モートン社は、1981年に東洋インキと合併会社東洋モートン社内に樹脂封止材の工場を設立し、生産を開始した³⁰⁾が、日本でのシェアを奪回できなかった。そして、1990年代後半に、モートン社はローン&ハース社に買収され撤退した³¹⁾。また、米国デクスター社と東レは東レハイソール社

を設立し、デクスター社がハイソール・ジャパンを通じて行っていた事業を引き継ぎ、名古屋に新工場を建設し1986年から国産化を始めた³⁹⁾が、シェアを伸ばすことはできなかった。

表6 1983年から1984年の樹脂封止材市場

	1983年		1984年		
	億円	%	億円	%	
日東電工	105	42	150	41	世界市場でも米モートン社について2番手(1500トン/月、1984年)
住友ベークライト	55	22	90	24	NEC(住友株1.65%保有)への材料供給拡大(750トン/月、1984年)
ハイソールジャパン	23	9	35	9	注型のLED用ではトップ
日立化成	22	9	35	9	日立向けの販売から外販に向かう
信越化学	13	5	17	5	シリコン系やPPSの開発力優れる
三菱瓦斯化学	10	4	13	4	トランスファーのみ
東芝ケミカル	5	2	7	2	トランスファーのみ、グループ外への販売強化
その他	17	7	23	6	四国化成、東洋モートン、松下電工、利昌工業
合計	250		370		

出典：矢野経済研究所[1985]『エレクトロニクス材料の市場実態』p.40

表7 主な半導体メーカーと樹脂封止材供給メーカーの関係

半導体メーカー	工場	封止材メーカー	半導体メーカー	工場	封止材メーカー
沖電気	八王子	日東電工	日本 TI	鳩ヶ谷	米国モートン
	秩父	ハイソールジャパン	日立	武蔵 甲府	日東電工、日立化成、ハイソールジャパン、住友ベークライト、信越化学、東洋モートン
	宮崎	日立化成、東洋モートン		高崎他	
シャープ	天理	日東電工	富士通	川崎	日東電工
ソニー	厚木	日東電工		会津	日本ベルノックス
	鹿児島	ハイソールジャパン		岩手	サンユレジン
三洋電機	群馬	日東電工、住友ベークライト		鹿児島	東洋モートン
東芝	多摩川	日東電工	松下電子	長岡	日東電工
	大分	日本ベルノックス		大阪	松下電工
	姫路	東芝ケミカル		鹿児島	日東電工、ハイソールジャパン
	杵築	ハイソールジャパン		三重	松下電工
日本電気	川崎	日東電工	三菱電機	北伊丹	日東電工
	山形	住友ベークライト		熊本	三菱瓦斯化学
	熊本	信越化学、東洋モートン		福岡	ハイソールジャパン
	大津	住友ベークライト		西条	住友ベークライト
ローム	京都	日東電工			

出典：矢野経済研究所[1985]『エレクトロニクス材料の市場実態』p.44～48を参考に筆者作成

1987年から樹脂封止材国内各社は稼働率100%を超えるフル生産となった。1988年の日東電工の生産能力は月2,600トン、次いで住友が1,500トン、日立化成が1,200トンとなり、この3社で樹脂封止材の8割を占めていた。このほか東芝ケミカル、信越化学、松下電工、三菱瓦斯化学など国内樹脂封止材メーカーも高い稼働率を示していた。新たに、新日鉄化学が月400トンで量産を開始した¹¹⁾。

2) 封止材工場の海外展開

半導体製造工程において、前工程と比較すると、パッケージングとテスト工程を主体とする後工程は、労働集約的である。それゆえ、1980年初頭から、後工程は人件費の安いアジアへ移されてきた。特に、1985年のプラザ合意に基づく急激な円高に伴って、日系半導体メーカーもコスト競争力を維持すべく、後工程工場のアジア、特に東南アジア展開を加速させた。インテルがマレーシア、フィリピン、中国、AMDがマレーシア、タイ、シンガポール、日本電気がマレーシア、シンガポール、東芝がマレーシア、タイ、富士通がマレーシア、シンガポール、日立がマレーシア、タイ（一貫工場）、松下電器はシンガポールに主として後工程の工場を稼働させた³³⁾³⁴⁾。それに応えるべく、封止材メーカーの海外生産化が進んだ。

1996年の樹脂封止材の世界需要は月7,500～8,000トン（年90,000～96,000トン）と推定され、そのうち国内需要は月3,000トンで横ばいであったが、半導体封止材の1996年以降の成長は、東南アジアに依存することになり、表8に示すように有力封止材メーカー各社はこぞって東南アジアでの生産を強化した³⁵⁾。特に、住友ベークライトのシンガポール工場は1996年の増設によって、単独の封止材工場では世界最大規模の工場となり、日本国内で生産する輸出分（国内生産分の約半分）を全量海外生産に切り替えた。シンガポール工場生産分は、約15%をシンガポール国内向けに販売、約85%をマレーシア、タイ、インドネシア、香港などへの輸出である。その結果、樹脂封止材は、住友の1997年度の年間売上高1,540億円のうち封止材約300億円（24%）を占める主力製品となり、世界の封止材市場の35%のシェアを握り、住友と日東電工と合わせて世界市場の60%以上のシェアを占めるようになった。

表8 主な樹脂封止材メーカーの設備能力(1997年3月時点)

	設備能力（トン/月）			備 考
	国内	海外	合計	
住友ベークライト	1,800	2,100 (シンガポール)	3,900	1996年夏にシンガポール700トン/月増設完工 1997年10月に中国(江蘇省)200トン/月新設予定
日東電工	2,800	800 (マレーシア)	3,600	1998年に中国(上海)80トン/月新設予定
日立化成	1,500	400 (マレーシア)	1,900	1996年9月に国内300トン/月、マレーシア100トン/月、それぞれ増設完工
信越化学	1,000	300 (マレーシア)	1,300	1996年9月にマレーシア300トン/月新設完工
東芝ケミカル	700	300 (シンガポール)	1,000	1997年3月にシンガポール300トン/月完工、サンプル開始
松下電工	650	600 (タイ)	1,250	1996年6月にタイ300トン/月増設完工 1996年夏に国内100トン/月増設完工
東レ	160	-	160	1996年末に60トン/月増設完工(200トン/月まで増産可能)。ビフェニル型エポキシ樹脂に特化
総計	8,610	4,500	13,110	

出典：英一太[1998]『エレクトロニクスパッケージ技術』p.96に追記して筆者作成

IV. まとめ

日本の高度部材産業の隆盛の要因について、3C分析の視点から、樹脂封止材を事例にして検証した。樹脂封止材では、1970年代初め米国モートン社のトランスファー成型用エポキシ樹脂が世界市場を独占した。ほぼ同時期に日本国内では、日東電工と住友がトランスファー成型用エポキシ樹脂を開発し、樹脂封止材の分野に参入した。両社は、半導体メーカーと緊密な関係を構築し日本国内でシェアを拡大し、1990年代後半から世界市場でそれぞれ2位、1位を占めるようになった。日系化学企業の隆盛の要因について、日東電工と

住ベを事例にして下記のごとく考察した。

1) 本事業に参入した日系化学企業の中に競争上の強みとなる材料もしくは技術が存在していた。

日東電工、住ベとも電気絶縁材料メーカーとしてスタートした。両社は、既にフェノールやエポキシ樹脂のような熱硬化性樹脂のメーカーであったが、日東電工は外国からの技術導入により、住ベは国内半導体メーカーの要請により電子部品用粉末成型材料へ参入した。両社とも、国内半導体メーカーと緊密な関係を構築し、外国製品を凌駕していった。さらに、両社は半導体メーカーの後工程工場の移動に伴い、九州そして東南アジアで工場を稼働させ、さらに世界市場への展開を加速させた。

2) 部材メーカーと原材料メーカー、装置メーカーおよびそれを納入する内外の半導体メーカーと共同で製品設計、研究開発を行うことによる漸進的改良型イノベーションの創出があった。

半導体メーカーと樹脂封止材メーカー間、封止材メーカーと原料メーカー(特に、エポキシ樹脂メーカーやシリカメーカー)との積極的な提携、共同開発の事実が認められた。両社とも、封止材の成型方法や評価方法などのプロセスについて、国内半導体メーカーから指導を受け、半導体メーカーが実際に使用する製造装置や評価装置をそろえ、プロセス適性や信頼性を評価した。すなわち、半導体メーカーのプロセスに適合させ、半導体メーカーが抱えている問題を解決するように材料開発を行ってきた。材料開発を通じて、半導体メーカーの抱えている問題にソリューションを提供したと言える。このような封止材メーカーの製品開発プロセスは、藤本・桑嶋[2002]のいう「擦り合わせ型製品」の具体的な開発プロセスということになる。

また、日立が中心となってスタートした表面実装型パッケージの標準化活動が、半導体メーカー間はもちろんのこと、半導体メーカーと部材メーカーや装置メーカーとの関係を強化した。さらに、部材メーカーと装置メーカーの関係が深まったと考えられる。このような活動が、プロセス、材料と装置などを含む実装とパッケージ技術の専門家集団を形成し、情報共有の場として機能した。

このように半導体メーカーは自社に半導体パッケージの専門家をかかえ、Hippel[1988]の指摘する「リード・ユーザー」に該当し、「リード・ユーザーイノベーション」の担い手になった。

3) 本事業に国内外の多くの化学企業が参入し、競争市場を形成した結果、日系企業の競争力が向上した。

半導体は絶えず集積度の向上がはかられ、チップ面積は大きくなったが、パッケージはできるだけ小さく薄くという要請や、高密度実装を達成するための実装法の変更のため、樹脂封止材に高度な信頼性と成型性が求められてきた。その都度、後発の化学企業、特に、各半導体メーカーと結びつきの深い化学企業(例えば、日立と日立化成、東芝と東芝ケミカル、松下電器と松下電工)が参入し競争市場を形成した。結果的には、2000年の市場規模1100億円から1200億円の割には、多くの国内化学企業(8社以上)が参入し、切磋琢磨してきたと言える。

以上述べた要因により、2000年以降日系化学企業は、世界市場で90%を超えるシェアを持ち、海外化学企業の追従を許さなかったものと言える。

本研究および既発表論文⁴⁾は、半導体デバイス製造に用いられる個別の部材・材料の製品開発プロセスに焦点をあて、3C分析の視点から日系化学企業の成功要因を分析する立場をとった。しかし、分析を進めていく過程で、藤本・桑嶋[2002]の「アーキテクチャー論」やHippel[1988]の「リード・ユーザーイノベーション」が広く適用できる事例を見出すことができた。

本研究および既発表論文⁴⁾では、半導体デバイス製造に用いられる部材・材料の製品開発プロセスを分析の対象にしたが、今後は関係する企業も異なってくる液晶パネル製造に用いられる部材・材料の製品開発プロセスについても実証的に検証することが必要である。そうすることによって、驚異的な躍進を遂げた、高度部材産業における日系化学企業の競争優位の源泉が見えてくるものと思われる。

【注】

- 1) 出荷額および付加価値額については経済産業省「工業統計表」、貿易額および技術貿易収支については経済産業省「貿易動向データベース」を参照した。
- 2) 2002年のデータは、渡邊宏 [2004]「高度部材産業の現状と今後の課題」『化学経済』2004年11月号、pp.2-9を参照した。2005年のデータは、経済産業省 [2008]『図解ニッポンのものづくり』日刊工業新聞社、p.39を参照した。
- 3) 3C分析についてより詳しくは、例えば、経営戦略研究会 [2008]『経営戦略の基本』日本実業出版社、pp.50-54を参照されたい。
- 4) 浅野昌也 [2009]「高度部材産業における製品開発プロセスの実証的研究 フォトレジスト材料を事例にして」『産業学会研究年報』第24号、pp.67-80を参照。
- 5) 例えば、神谷政昭 [1992]「第7章第2節封止樹脂材料」、津屋英樹監修『ULSIプロセス材料実務便覧』(株サイエンスフォーラム、英一太 [2003]「半導体封止技術」『エレクトロニクスパッケージ技術』(株シーエムシー出版、Michael G. Pecht, M..G. and Nguyen, L.T [1997] 'Plastic Packaging',in Rao R Tummala et al(ed.), "Microelectronics Packaging Handbook", International Thomson Publishing、などを参照されたい。
- 6) 本田史郎ほか [2001]「表面実装対応ビフェニルエポキシ封止材の研究開発」『日本化学会誌』2001年9号、pp.523-531を参照。
- 7) 封止樹脂技術委員会 [2003]「半導体封止樹脂の紹介」『電材ジャーナル』第575号、pp.2-9、尾形正次 [2006]「エポキシ樹脂封止材の高性能化技術」『電材ジャーナル』第590号、pp.31-35を参照。
- 8) 沢井和弘・善積章 [1993]「超LSI用半導体封止材料」『東芝レビュー』第48巻5号、pp.388-391を参照。
- 9) 50年史編集委員会編 [1968]『日東電工50年の歩み』日東電気工業、日東電工HP(<http://www.nitto.co.jp/company/history>)を参照。
- 10) 矢野経済研究所編 [1985]『半導体・IC製造材料の市場実態』、pp.37-55を参照。
- 11) 『エレクトロニクス材料年鑑'90』 [1990] (株シーエムシー出版、pp.174-181を参照。
- 12) 住友ベークライト株式会社編纂 [1986]『住友ベークライト社史』住友ベークライト株式会社を参照。
- 13) 寛允男 [2006]「開発秘話：半導体封止材」『SEMI News』22巻3号、pp.18-19を参照。
- 14) Clausing, D. P(Chair) [1986] 'The US Semiconductor, Computer, and Copier Industries',in Dertouzos, M. L et al,(ed.), "Made in America", Cambridge, Mass., MIT Press, (依田直也 [1990] 訳『アメリカ再生のための米日欧産業比較』草思社、pp.341-358)を参照。
- 15) 風見明 [2002]『日本の技術はなぜ高いのか』PHP文庫、pp.158-160を参照。
- 16) 水野増雄 [2006]「住友ベークライト：単体材料技術からトータルソリューションへ」『化学経済』2006年1月号pp.62-65を参照。
- 17) 「合成樹脂半導体封止材料」『機能材料』1998年11月号、pp.59-63を参照。
- 18) 「エポキシ樹脂、各社増産で過剰の恐れ」『日経ビジネス』1993年9月13日、p.31を参照。
- 19) 村田和幸 [2007]「2006年日本プラスチック産業の展望」『プラスチックス』57巻1号、pp.115-118によれば、住友化学は、2004年10月に半導体封止用オルソクレゾールノボラック型エポキシ樹脂事業（生産能力7500トン/年）を台湾の長春人造樹脂廠股へ譲渡した。
- 20) 『日経産業新聞』1997年11月14日を参照。
- 21) 高橋和男 [1994]「球状シリカファイラー」『工業材料』42巻15号、pp.112-116を参照。
- 22) 『日経産業新聞』1989年10月20日、1996年8月27日を参照。
- 23) 『化学工業日報』1999年3月23日、『日経産業新聞』1999年11月1日を参照。
- 24) 金容度 [2006]『日本IC産業の発展史』東京大学出版会、p.211を参照。
- 25) 同上p.60を参照。
- 26) 「技術速報」『日経エレクトロニクス』1999年1月4日、p.19を参照。
- 27) 「CSP表面実装携帯機器」『日経マイクロデバイス』1998年3月号、p.120、「チップ・サイズ実装がLSI製造を変える」『日経マイクロデバイス』1998年8月号、pp.44-51を参照。
- 28) 村上元 [2007] 監修半導体新技術研究会編「半導体パッケージ標準化活動」『図解最先端半導体パッケージ技術のすべて』(株工業調査会、pp.25-29を参照。

- 29) 矢野経済研究所編 [1982] 『エレクトロニクス材料の市場実態と展望』、pp.26-36を参照。
- 30) 『日経産業新聞』1981年3月11日を参照。
- 31) 藤本雄一 [2001] 「化学系企業の電子材料企業の展望」『化学経済』2001年9月号、pp.44-55を参照。
- 32) 『日本経済新聞』1985年2月2日を参照。
- 33) 日本貿易振興(ジェトロ)機構 [2005] 編著「第2章半導体」『米国・アジア新国際分業:先駆する米国企業に何を学ぶか』、pp.30-54を参照。
- 34) 山崎朗・友影隆 [2001] 「第2章シリコンアイランドの源流と展開」『半導体クラスターへのシナリオ:シリコンアイランド九州の過去と未来』西日本新聞社、pp.44-56を参照。
- 35) 英一太 [1998] 「第3章半導体封止技術」『エレクトロニクスパッケージ技術』シーエムシー出版、pp.95-97を参照。
- 36) 『日本経済新聞』1997年12月9日を参照。

【参考文献】

- 伊丹敬之 [1991] 『日本の化学産業 なぜ世界に立ち遅れたのか』NTT出版。
- 藤本隆宏・桑嶋健一 [2002] 「機能性化学と21世紀の我が国製造業」機能性化学産業研究会編『機能性化学』化学工業日報社。
- Eric. A. von Hippel [1988] , “*The Sources of Innovation*”, Oxford University Press、(榊原清則 [1991] 訳『イノベーションの源泉』ダイヤモンド社)。