

Title	半導体製造装置サブシステムにおける技術伝播：ターボ分子ポンプのケース
Author(s)	四十宮，隆俊；藤村，修三
Citation	年次学術大会講演要旨集，25：100-103
Issue Date	2010-10-09
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9253
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

半導体製造装置サブシステムにおける技術伝播 — ターボ分子ポンプのケース —

○ 四十宮 隆俊, 藤村修三 (東京工業大学大学院 イノベーションマネジメント研究科)

1. はじめに

半導体産業において、80年代においては、日本は世界の半導体の主要生産国であった。例えば、DRAMにおいて80年代後半の世界シェアは70%を超えていた。ところが、90年代に入り、1993年には我が国の半導体出荷額世界シェアは50%を割り込み、その後急速に低下し、2000年以降では20%台以下に下落したことが知られている。

一方、その半導体を作る製造装置においては、2000年以降でも、日本のメーカーの中には、前工程、後工程でそれぞれシェアの高いメーカーが存在している。日本の半導体製造装置メーカーは力を温存し、2006年度の実績で見ると、製造前工程では、例えば、電子ビーム描画装置が48%、コート&デベロッパが81%、酸化膜用エッチングで63%、後工程では、例えば、ダイサが66%、メモリテストが62%の高いシェアを持つ企業があり、日本は半導体製造装置の主要生産国であるといえる¹⁾。

これは、日本の半導体産業により発展した機械装置技術が競争力を持っていることを示す一例である。

本研究では、日本の半導体産業における見えざる波及効果を技術伝播の視点で考察することを目的とする。研究対象を、半導体製造装置メーカーを支える半導体製造装置サブシステムの中の真空ポンプメーカーに着目し、その主力製品であるターボ分子ポンプとした。本発表ではその事例分析を報告する。

半導体製造装置には、それを構成する主要部材がある。この半導体製造装置の主要構成部材を半導体製造サブシステムという。半導体サブシステムとは、例えばガス分析機器、チラー、マスフロー、真空ポンプ、ウェハ搬送機器等の機種のことである。

2. 技術の伝播に関する先行研究

技術の伝播に関する研究には下記のものが知られている。大半は、技術の環境分析や戦略分析の視点で論じられたものであり、ナチュラル・トラジェク

トリーの議論²⁾、技術パラダイムと技術トラジェクトリー³⁾、製品トラジェクトリーの連続性⁴⁾ 他がある。また、製品の「用途の伝播」にあたる研究は種々ある⁵⁾。しかしこれらはいずれも上市された製品の性質や製造工程の類似性を述べたものであって、技術がどのような知識の伝播によって生まれるのかについては議論されていない。

技術が産業間をまたいで伝播する際の知識伝播過程を明らかにしたものとしては、半導体材料における液晶業界への技術伝播について述べた研究⁶⁾がある。この研究では、技術が新たな環境下で成功を収めるためには「調達能力」(input)「製造能力」(process)「評価能力」(output)の三つの能力を獲得する必要がある、としている。

本研究では、経済規模的には小さな企業であっても、外部を活用してこの三つの能力（すなわち三つの技術）を獲得することにより、市場競争力のある製品を生み出すことが可能であることを示す。

3. 本研究の背景

1992年～2007年の半導体製造装置の販売額と、真空機器の売上高を比較すると、日本の真空機器販売は世界の半導体製造装置に依存しているといえる。

(図1、2参照。)

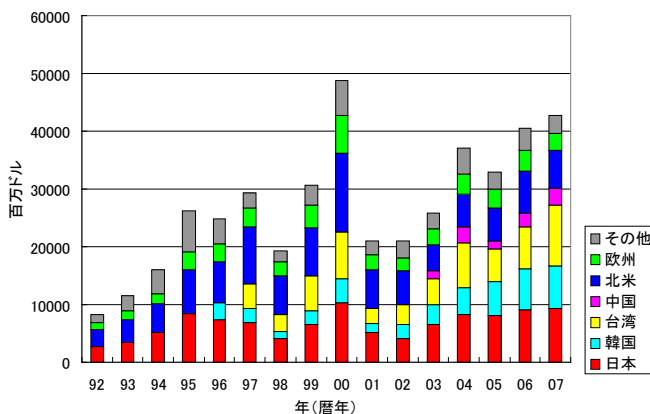


図1 半導体製造装置の販売額推移⁷⁾

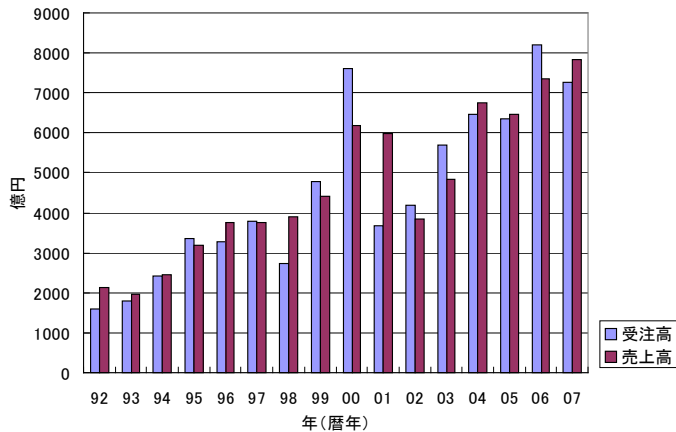


図2 真空機器の受注高と売上高推移⁸⁾

次に、図3により、真空機器の産業別売上高構成を見ると、2008年度では、半導体用途が全体約42%を占める。これは、FPD用途と合わせると約65.5%となる。半導体用途が真空機器産業を牽引していることがわかる。

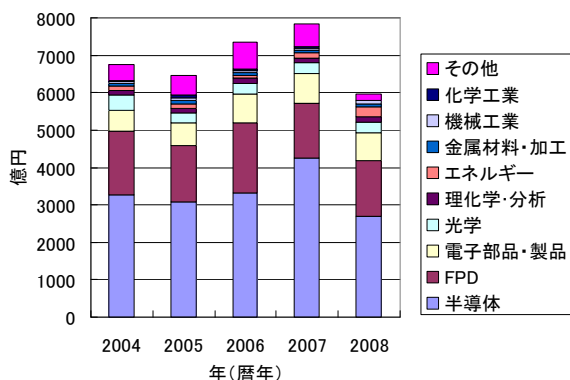


図3 真空機器の産業別売上高構成⁸⁾

次に、図4より、真空機器の中で、1997年以降の日本の真空ポンプの売上高で見ると、日本の半導体製造装置の販売額と相関がある。(図1参照。)このことにより、日本の真空ポンプ産業は日本の半導体製造装置産業に依存していることがわかる。

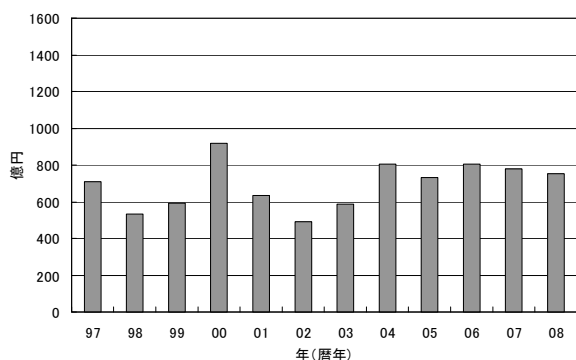


図4 真空ポンプの売上高推移⁹⁾

4. 調査対象について

本研究では、ターボ分子ポンプに着目した。ターボ分子ポンプは半導体産業でのエッチングやCVD装置に使用されている。

ターボ分子ポンプを生産している国内メーカーを見ると、そのシェア順に、島津製作所、大阪真空機器製作所、荏原製作所となる。

本研究では、調査対象として大阪真空機器製作所のターボ分子ポンプ事業に着目し調査対象とした。

島津製作所は、分析・計測機器のメーカーで、資本金266億4,800万円、年間売上高 2,382億円(2010年3月期)である。荏原製作所は、ポンプ総合メーカーで資本金612億8,400万円、年間売上高 4,858億円(2010年3月期)である。いずれも2社とも東証一部上場の大企業である。

一方、大阪真空機器は、資本金 3億4,806万円、2009年度までの5年間の年間売上高は、36~81億円で増減して推移している真空ポンプの専門メーカーであり、規模的には中小企業の範疇に入る。ターボ分子ポンプで国内シェア15%で国内3位につけている。大阪真空機器は、外資系でなく、企業合併も経ていない国産メーカーである。売上高の48.3%(2005年度実績)をターボ分子ポンプで占める。

ここで、大阪真空機器の社史「50年史」⁹⁾や製品カタログや特許文献から大阪真空の発展には三回の契機があったことが読み取れる。

初期ターボ分子ポンプ開発が始まった1960年代後半から販売開始した1971年、大阪真空機器が独自技術による複合分子ポンプを開発し上市・販売した1982~1983年、反応生成物対応磁気軸受形複合分子ポンプを発表した2001年である。

5. 調査方法

(1)大阪真空機器のターボ分子ポンプ関連の特許調査、文献・資料調査

国内特許のターボ分子ポンプ特許調査を行ない、先の主力3製品に対応する特許を調べ、他の研究機関や企業との共願があるかどうか調べた。

使用データベースは、「Panapatlics」と野村総合研究所「NRIサイバーパテントデスク」を使用した。ターボ分子ポンプ特許出願件数の推移について、大阪真空機器では当初「分子ポンプ」の名称であったため、検索キーワードに全文検索で「分子」を掛け合わせ絞り、ターボ分子ポンプに係する107件全件他社との共願の有無と、全案文の内容確認によ

る半導体製造に関わる実施例から他の情報の有無を調査した。その107件より、発明者を集計し、19名の重要発明者をピックアップした。(図5参照。)

大阪真空機器では、井口昌司氏の出願件数が70件と突出していた。

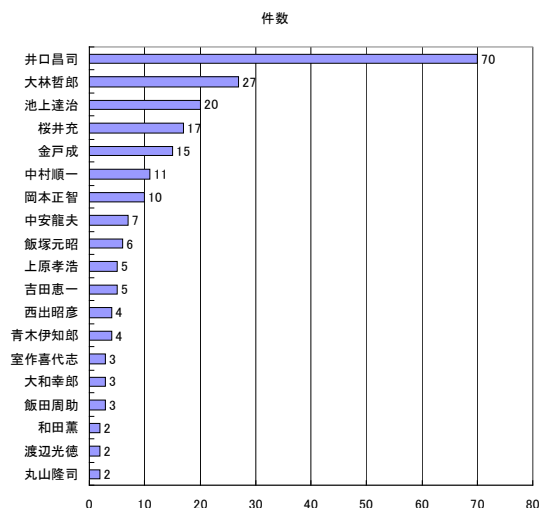


図5 大阪真空機器ターボ分子ポンプ発明者出願件数

(2)キーマンへのインタビュー調査

上記の特許調査により、真空ポンプ発明者19名を発明者登録数より抽出し発明者のNII論文情報ナビゲータ「CiNii」による文献検索を実施し、開発キーマンの特定を行なった。その結果、学会発表も含み合計30件が抽出された。そのうち、9件が 澤田雅氏(元理化学研究所研究者、元 秋田大学工学部資源学部教授、現名誉教授)との共同研究であった。

この特許・文献調査により、澤田雅氏と、大阪真空機器の井口昌司氏(技術担当取締役:2010年9月現在)をターボ分子ポンプの開発キーマンと特定した。それぞれ、両者にインタビューを実施した。

(澤田氏は、2009年8月19日、井口氏は、2009年12月2日に実施した。)

6. 技術獲得の契機

(1)初期ターボ分子ポンプ

①開発経緯

<理化学研究所での理論解析>

大阪真空機器は理化学研究所の指導により「ターボ分子ポンプ」の開発を始めた。

1969年に「日本機械学会で初めての学会発表をしました。その発表が、大阪真空機器の当時の技術のトップである池上常務の目に留ま」った。

(澤田氏インタビューより)

これにより、理研は大阪真空機器から依頼を受けた。この開発テーマは、もともと当時の振動の専門家である理化学研究所主任研究員 谷口修氏のバランシングマシンの研究から澤田氏が谷口氏と発展させたものであった。

<海外品の構造解析>

大阪真空機器は、先行した海外品の構造解析をしていた。「(羽の溶接技術は)横型のファイファー社(独)と縦型のスネクマ社(仏)のものをマネて作りました。大阪真空は、スネクマのものも購入していました。当時は現在の一体型ではなく溶接加工して使用していた。板一枚一枚をつなげて上下でボルト締めしていました。」(澤田氏インタビューより)

②用途・上市について

アプリケーションも澤田氏の紹介によるものであった。用途として、核物理学、核融合実験の表面化学等の研究用途で使用された。(当時、半導体産業はまだ立ち上がっておらずその用途ではなかった。)

「(評価自体は)最初のターボ分子ポンプは、民間企業でなくて、大学の研究室の方に無料で使って頂いていろんなデータをもらったり、問題があったときに対応しました。発売まではしばらくそういう形で進めました。」(澤田氏インタビューより)

そして、大阪真空機器は、1971年 日本製初の「ターボ分子ポンプ」を上市、販売開始した。大阪真空機器は、理研の分子ポンプ特許の使用権を保有し製造販売した。

③まとめ

この製品では、(要素)調達技術・製造技術は「人(理研)」、「モノ(海外製ターボ分子ポンプ)」から獲得した。アプリケーションの評価技術は、「人(大学の研究室)」から獲得した。大阪真空機器は製品開発に必要な技術のほとんどを外部から調達した。

(2)複合分子ポンプ

①開発経緯

当時の磁気軸受けターボ分子ポンプの課題において、「1981年から半導体分野において、エッチング装置やプラズマ装置CVD装置にプロセスガスを導入して、1~102Paで安定した排気機能を持ちなおかつ高真空に到達出来る真空ポンプの需要」(「50年史」¹⁰⁾)があった。これを、1983年にターボ分子ポンプの高圧側にねじ溝式ポンプを配置し解決した。この技術は、先の澤田氏の理化学研究所時代に出願した基本特許¹¹⁾を使用し改良したもので、

理研との技術指導契約を結び対応した。

②用途・上市について

「1982年になり、日電アネルバ（現・キャノンアネルバ）から当社に対し、従来のターボ分子ポンプの性能を持ちながら、低真空で大流量の排気能力のあるターボ分子ポンプができないかとの問い合わせが舞い込んだ。」（「50年史」¹⁰⁾）

「装置メーカーの当時の用途は半導体のエッチャー用途だった。堆積物が実際問題になり、工夫して共願の実案を出願した。」

（井口取締役インタビューより）

このターボ分子ポンプでは、プロセスガスの流量制御により、集積回路製造プロセスのコントロールが可能となった。従来の油拡散ポンプの油逆拡散の汚染もなくなりメンテナンスが簡単となり、集積回路製造の生産性と品質と信頼性を向上させることを実現した。複合分子ポンプの普及は1980年からの国内の半導体産業の立ち上がりに対応したものであった。大阪真空機器は、1983年に上市・販売開始した。

③まとめ

この製品では、調達技術・製造技術は「人（澤田氏）」から獲得し、澤田氏の複合ポンプに関する基本特許を採用した。半導体用途のアプリケーションとしての評価技術は、得意先である半導体製造機メーカー「会社（日電アネルバ）」から獲得した。大阪真空機器は、調達技術・製造技術は初期ターボ分子ポンプと同様に「人」から得ているが、製品評価技術は自社のネットワークにより自力で獲得した。

（3）反応生成物対応磁気軸受形複合分子ポンプ

①開発経緯

半導体、LCD、MEMS製造などのエッチング装置用、反応生成物が発生しやすいプロセス装置用として開発された。独自開発の断熱構造、自己昇温機構を採用し開発に成功した。「ポンプ中に断熱材を入れると反応生成物対策に良いことが分かったのが開発スタートだった。……複合分子ポンプでのクレーム（解析）が開発に大きく貢献したと思う。数年に渡ってユーザーからのいろんな情報が蓄積されていた。」（井口取締役インタビューより）

②用途・上市について

アプリケーション情報は、「＜当初の装置メーカーがメインの得意先だが、数社に売れた。＞当時の半導体メーカー、液晶製造メーカー並びに他の半導体・液晶装置メーカー＜にも売った。＞」から得た。

（井口取締役インタビューより）

この製品は、2001年に販売開始し、エッチャー、CVD用として販売実績を得た。

③まとめ

この製品において、大阪真空機器は、先の澤田氏からではなく、調達技術・製造技術・製品評価技術の全てを自前で用意出来るまで製品開発能力を身につけた。製品評価技術は複数の企業（半導体・半導体製造装置メーカー）から得られるようになった。

7. 結論

この主力三製品の事例分析により、中小企業である大阪真空機器が、ターボ分子ポンプ事業において時間をかけて基礎技術を修得し、国内の半導体産業の進展に対応して技術進化させ、最終的にアプリケーションを自ら導けるまでなり、大企業と対抗できるようになったことがわかった。

本研究では、大企業のように中央研究所や分野研究所のような系統だった研究開発体制を持ちえない小規模な中小企業でも、新製品開発に必要な調達技術、製造技術、製品評価技術の三技術の全て、あるいはその一部を事業の発展段階、自前の技術開発力に応じて外部から適切に調達することで十分な企業競争力を持ちうることを示唆している。

また、このターボ分子ポンプの開発事例は、中小企業が、いわゆる産学連携を利用して科学・技術に基づいた製品開発を、実践した好例であるといえる。

参考文献

- 1) 2007 半導体製造装置データブック（電子ジャーナル）
- 2) R. Nelson and S. Winter, In Search of a Useful Theory of Innovation, Research Polycy, 6(1977)P.56-60
- 3) G. Dosi, Technological paradigms and technological trajectories, Research Polycy, 11(1982)P.147-162
- 4) 楠木建, 製品トラジェクトリーの連続性, ビジネスレビュー Vol.39 No.2 (1992) P.63-81
- 5) 沼上幹「液晶ディスプレイの技術革新史」(1999) P.52
- 6) 児玉洋一「半導体産業・液晶産業間における技術伝播に関する一考察」(2009年度 組織学会研究発表大会)
- 7) 電波新聞 2008年12月3日17面(出所:SEAJ, SEMI)
- 8) 日本真空工業会公表データ
<http://www.jvia.gr.jp/vsj/industrial/statistic/index.html>
- 9) 日本真空工業会プレス発表データ（一部筆者編集）
- 10) 大阪真空機器 50年史（2003年9発行）
- 11) 日本国特許番号 681723 号