

新規技術の脅威に対する在来技術への固執の合理性

——東京エレクトロンを事例として——

藤 山 圭

I. はじめに

本稿の目的は、1990年代から2000年代にかけての半導体熱処理装置における2つの技術の競争過程の考察を通じて、在来技術を保有する企業が新規技術による代替の危機に晒されたときに、どのような戦略を採りうるのかを検討することである。

在来技術が新規技術による代替の危機に晒されたとき、既存研究で前提とされてきたのは「如何に新規技術に移行すべきか」という観点であった。このような観点から議論が進められていた理由は、新規技術は潜在的に優れたものであるため在来技術を早晚駆逐する、という素朴な前提があったためであろう。また、代替的な新技術が既存の技術を駆逐し、既存の大企業が破れる様があるにも印象的であるということも考えられよう。

しかし、このような研究がかなりの数存在する一方で、在来技術の延命ないし在来技術と新規技術の共存という現象を扱う研究も少数ではあるが散見される。例えば、新規技術の潜在性が示唆されながらも在来技術が延命しつづけるという現象を扱った研究(Henderson, 1995)や、新規技術が在来技術を完全には代替せず、少なくとも一時的には共存する(Nair and Ahlstrom, 2003; 山口, 2007; 大沼, 2009)といった研究である。これらの研究では、在来技術と代替関係にある新規技術が出現しても、すぐに代替が生じるわけではないという観点が共有されている。この新規技術の出現から代替までのタイムラグは、言い換えれば新旧技術の共存期間である。この期間に既存企業や新規参入企業には様々な戦略を採る猶予が存在する。

この共存期間において、企業はどのような手を取りうるのか。上記のように、既存研究では「如何に新規技術への参入を行うか」という視点が支配的であっ

たが、その困難さも示されてきた。それに対して少数の研究で採られてきた新旧技術の共存という視点を本稿は採用し、「如何に既存技術で生き延びるか」を本稿では論じたい。

II. 既存研究の検討

1. 技術の代替関係と企業の競争力

新規技術が登場することによって、在来技術が駆逐されるという現象は、これまで多くの研究で議論されてきた (Cooper and Schendel, 1979; Abernathy and Clark, 1985; Tushman and Anderson, 1986; Foster, 1986; Cooper and Smith, 1992; Christensen, 1997)。これらの研究では多くの場合、在来技術で支配的な地位にあった企業が、様々な要因から新規技術に進出することができず、その結果として既存企業の競争地位が低下することが指摘されてきた (Conner, 1988; Foster, 1986; Henderson and Clark, 1990; Leonard-Barton, 1992; Christensen, 1997; Hill and Rothaermel, 2003)。こうした研究とは逆の観点として、トリプサス(1997)は、長期にわたる植字機産業の歴史を分析し、既存企業が新規技術に移行することに成功するのがどのような場合であるのかを示した。彼女の研究では、新規技術が出現した際に、既存企業の持つフォントの技術というきわめて特殊的な補完的資産が、既存企業による新規技術へ移行の成功に影響していることが示された。新規技術の登場による既存企業の失敗を扱う研究であれ成功を扱う研究であれ、これらの研究では、「新規技術に如何に移行するか」という問題意識から分析が行われてきた。

こうした問題意識の背後には、新規技術は多くの場合優れたものであるという前提がある(例えば Foster, 1986; Tushman and Anderson, 1996 等に顕著に見られる)。そのために、新規技術への移行を阻む要因が検討され、それを避けるための方策が企業への処方箋として提供されてきた。

しかし、新規技術への進出がいついかなる時でも合理的かつ正しい戦略であるとは限らない。その理由は、新規技術が登場してから在来技術を代替するまでに長い時間がかかったり (Nair and Ahlstrom, 2003; 山口, 2007)、在来技術が当初の予想を越えて延命したりする (Henderson, 1995) ためである。新規技術が在来技術を代替するまでは、この両技術は共存することになるのであ

る。このようなタイムラグが生じる理由の一つは、例えば新規技術の価格性能比が、当初は在来技術に劣っていることがあるためである (Cooper and Schendel, 1979)。これらの研究から示唆されることは、事後的に見れば新規技術が在来技術よりも優れていることは多いけれども、一時的には在来技術の方が優れている場合がある、ということである。クリステンセン(1997)の研究は、明示的にこのことを示している。このような状況では、新規技術による在来技術の代替は、少なくとも新規技術が在来技術の性能を実際に越えるまでは生じない。

新旧技術の代替に時間がかかる場合、企業にとっては新技術への移行を行うことが破滅的な結果をもたらすこともありえる。山口(2007)は、二次電池産業の事例分析を通じて、迅速に新規技術に移行することが企業にとって問題をもたらす場合があることを示した。具体的には次のように例示される。Li-ion 電池と Ni-MH 電池の関係性についての予想は、直接的な代替関係にあるというものと、少なくとも一時的には異なる市場セグメントに棲み分けるというものの二つが存在した。前者の予想に基づき、Li-ion 電池を全ての市場セグメントに対して迅速に展開したのが東芝であり、後者の予想に基づき Ni-MH 電池と Li-ion 電池をそれぞれパソコン向けと携帯電話向けに展開したのが三洋電機であった。このとき、Ni-MH 電池が当初の予想を越えた性能向上を果たしたため、集中的に設備投資を行っていた東芝のパソコン向け Li-ion 電池事業は、Ni-MH 電池との価格競争に巻き込まれ、収益性を悪化させた。このような展開の中で Ni-MH 電池の市場規模は、東芝の当初の予想以上に伸び続けた。結果的には、限定的なセグメントから展開をはじめ、メインセグメントであるパソコン向けには後発で参入した三洋電機が最終的に主導権を握ったのである。

新規技術は、確かに潜在的な優位性を持っている可能性が高い。しかし、潜在的に優位な新規技術が出現したとしても、「新規技術へ移行すべきである」という素朴な仮定は、少なくともいかなるときにでも成立する普遍性をもつとはいえないことがこれらの研究から示唆される。

2. 技術の関係性の認識と実際とのギャップ

多くの場合、企業は技術の関係性に関する認識を持っており、少なくとも部分的にはその認識に基づいた戦略を採る。例えば、新旧技術が代替関係にあると認識するならば、企業は新規技術に進出することを志向するだろうし、代替

関係にはないと認識するならば、差し当たり新規技術に急いで進出する必要はないと考えるかもしれない。上記の山口(2007)の研究でも、東芝と三洋電機の戦略が異なっていた理由はこの認識の相違に求められる。このとき、東芝にみられるように、技術の関係性の認識が実際の関係性ないし事後的に成立した関係性と合致しているとは限らない。もし認識と実際の間にギャップがあるならば、企業の戦略は市場や業界の実情にフィットしない戦略である可能性が高い。東芝は新旧技術の関係性が「代替関係」であると認識したため新規技術に急ぎ参入を果たしたけれども、実際には「共存関係」が長く続いた結果、迅速に参入を果たしたことが裏目に出てしまったのである。あるいは、クリステンセン(1997)は、既存の主要マーケットには適さないけれども小規模で周辺的なマーケットには採用されるような劣った技術が出現し、その新規技術の性能が向上していくことで在来技術を代替していくことを述べた。この事例は、既存企業ははじめ「共存関係」ないし「直接的な代替関係は存在しない」と認識していた新旧技術の関係性が、事後的に「代替関係」に変化していったと解釈できる。企業の認識と実際の関係性に事後的にギャップが生じ、その結果として企業は失敗に陥ったのである。

もちろん、失敗の要因を単に認識と実際とのギャップという要因だけで片付けるつもりはない。しかしながら、失敗をもたらした一要因として、新旧技術の関係性に関する認識と実際のギャップが存在したであろうと考えることはできるだろう。このようなギャップが生じる要因の一つは、新旧技術の関係性が当初想定された通りには変化しないことがあるからである。当初想定していた技術の関係性に基づく戦略は、時間とともにその関係性が変化することで、実際の関係性とは不適合になる可能性があるのである。

3. 在来技術への固執という戦略

以上の議論に従うならば、新規技術が出現したときに企業はジレンマに直面することになる。すなわち、新規技術が出現した際、新規技術へ進出することで関連技術の蓄積や学習を進めることを志向する一方で、他方では当初想定された関係性が変化することで、事前に最善と認識されていた戦略が事後的には失敗へと変化する不確実性が存在するということである。

それでは、代替的な技術が出現したとき、企業はどのように技術に係っている

くべきなのだろうか。この問いに対して、例えば根来他(2005)は、代替関係を4つに分類して、それぞれの代替関係に対して既存企業が採るべき戦略を整理した。しかし、根来らの議論は、意図しているかはともかくとして、代替関係は先験的に規定されるという暗黙の仮定を置いており、関係性が変化する場合や現実の関係性と企業の認識する関係性にギャップが存在する場合については言及されていない。上述のように、技術の関係性が変化する場合に企業にとっての陥穽が存在する可能性がある以上、関係性を先験的なものとして扱うことには問題がある。技術変化への適応という問題を考える場合、企業の採るべき対応策は、技術変化のプロセスに応じて異なるのであり、先験的に決定されているわけではない。このことをさらに裏付ける論点を、Das and Van de Ven (2000)は提供してくれる。彼らは、自社の想定する望ましい技術間の関係を創り出すために、マーケットに働きかけていく戦略を論じている。つまり、代替的と思われる技術が出現した後に、新旧技術の関係性が変化していくのに応じて企業はそこに適応してだけでなく、自らその関係性を創り出していくことができるということが示唆されるのである。

こうした議論に基づけば、新規技術の出現に直面した企業が採りうる戦略は、必ずしも「新規技術への移行」だけではない。山口(2007)の分析した事例における三洋電機は、意図していたか否かは分からないけれども、在来技術に部分的に留まり、新規技術との関係性を自社にとって望ましいものへと変化させていったのである。この事例では三洋電機は新旧両技術を保持していたけれども、在来技術だけを保持していても同様の戦略を採ることは可能である。ヘンダーソン(1995)が論じたように、在来技術が予想された物理限界を越え、新規技術に代替されることなく延命し続けることがありえるからである。このように、代替可能性のある技術の出現に際して、「新規技術への移行」を行わずとも、「在来技術への固執」を行う戦略が有効である可能性がある。そこでは、ただ単に在来技術に拘るのではなく、在来技術と新規技術の優劣を冷静に観察し、その両技術の共存関係を創り上げていくことで、事後的に合理性を実現するのである。

Ⅲ. 事例研究⁽¹⁾

ここでは、1990年代から2000年代にかけての半導体熱処理装置における技

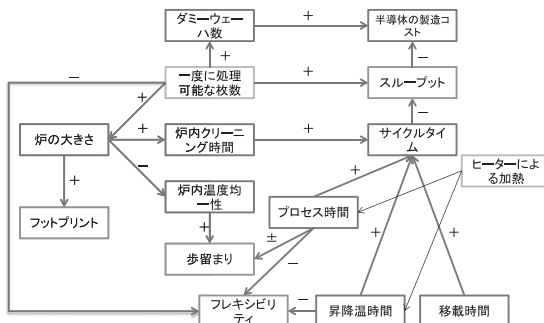
術革新の事例を考察する。特に拡散炉と RTP(Rapid Thermal Processor)という二つの設計思想に基づく装置方式の間で生じていた競争を分析する。この事例の中心的な論点は、在来技術である拡散炉は新規技術である RTP による代替の脅威にさらされたけれども、拡散炉の主要な性能評価軸の変更によって新旧技術の共存関係が事後的に作り出されたという点である。特に、拡散炉のリーダー企業であった東京エレクトロンは、新規技術の登場に対して当初から在来技術による対応を意図していた。同社は、新規技術による在来技術の代替のタイムラグが生じている間に、在来技術を延命させるための技術開発を行った。そこでは、従来最も重視されていた性能次元を取って低下させることで、トレードオフ関係にある性能を高めるための技術開発が行われた。新規技術は在来技術を全面的に代替する可能性を秘めていたにもかかわらず、結果的には共存関係に落ち着くことになったのである。

1. 半導体熱処理装置の概要

半導体熱処理装置は、半導体の製造工程においてシリコンウェーハを熱して表面に酸化膜を形成したり、不純物原子を熱的に拡散したりするための装置である。ウェーハを処理炉に搬送し、処理炉内でヒーターやランプ等を用いて加熱する。その後処理されたウェーハを取り出し、炉内を洗浄するところまでが熱処理システムである。熱処理装置は、半導体製造工程の中でも熱酸化や熱拡散、CVD(Chemical Vapor Deposition：化学蒸着)、アニールといった複数のプロセスに用いられるきわめて重要な装置の一つである。

熱処理装置には、拡散炉と RTP という2つの方式が存在する。その相違点は、基本的な設計思想の違いにさかのぼる。拡散炉は一度に大量のウェーハを処理するバッチ処理の設計思想に基づく装置である。それに対して、RTP は一度に一枚ないし二枚のウェーハを処理する枚葉処理の設計思想に基づく。こうした設計思想の違いは、単に処理枚数の違いだけに留まらず、技術的な差異をももたらす。多くの場合、拡散炉ではヒーターで反応炉ごと加熱する方法が採用されており、RTP ではランプや赤外線による直接加熱が採用されている。この加熱方法の違いも併せて、バッチ方式と枚葉方式では実現される性能が大きく異なる。例えば、拡散炉は複数枚のウェーハを一度に処理する方式であるから、スループットが高く、大型の炉で長時間かけて処理するためにウェーハ

に生成される膜の安定性が高いといった優位性がある。また、炉内に熱の履歴が残しやすいことから、処理の再現性が高い点も優位である。しかしながら、大バッチでの管理を行う関係上、フレキシビリティが低いという点や、長時間加熱による金属の酸化が生じるためにプロセスによっては歩留りが低くなるといったマイナス面も拡散炉には存在する。それに対して、RTP ではウェーハを一枚ずつ管理・処理できることから、工程のフレキシビリティを高めることが可能であり、処理精度の点でも優位である。しかし、RTP には、スループットの低さや短時間加熱ゆえの膜の安定性の低さといったデメリットも存在する。ここで、熱処理装置というシステムには、性能軸間のトレードオフが存在することを指摘しなければならない。例えば、拡散炉では、一度に処理できるウェーハの枚数が多ければ多いほどスループットが向上する。しかし、処理可能なウェーハ枚数を増やすために炉の大きさを大きくするほど、炉内の温度を一定に保つのが困難になり、歩留りが低下する場合がある。すなわち、スループットと歩留りの間にはトレードオフが生じる場合があるのである。また、処理枚数の増加によってスループットを高められる一方で、需要の増減に合わせて生産数量をフレキシブルに変化させるには、ダミーウェーハを用いた生産を行わなければならない。ダミーウェーハの枚数が増えれば増えるほど製造コストは増加する。したがって、ここにもスループットと製造コストの間にトレードオフが生じる場合があるのである⁽²⁾。以上の熱処理装置に存在するトレードオフ関係をまとめたものが下図である。この図は基本的に拡散炉を想定しているけれども、処理可能なウェーハ枚数を1枚と考えてこの図を眺めれば、RTP との対比も比較的鮮明になるであろう。



2. 新旧技術の競争過程

拡散炉と RTP はそれぞれに優位な面と劣位な面を持つ技術である。それゆえ、単純な代替関係は想定されにくい。なぜなら、熱処理装置のユーザーである半導体メーカーは、高度に分化したマーケットであるためである。例えば、DRAM メーカーはスループットを重要視する傾向があるけれども、システム LSI や ASIC メーカーはフレキシビリティを重要視する傾向が強いといった大まかな違いが、ユーザー間に存在するのである。

このようなマーケットごとの選好の差異が明確に存在するにもかかわらず、RTP は出現当初から拡散炉を完全に置き換えるポテンシャルを持つ技術であると見なされていた⁽³⁾。例えば、確かに拡散炉はスループットに優れる。しかし、処理枚数を多くするだけでなく、サイクルタイムを改善することでもスループットを高めることが可能なのである。元来サイクルタイムに関しては RTP が優れていたことから、スループットに関しても RTP は拡散炉を逆転する可能性を秘めていた⁽⁴⁾。

また、RTP の優位はこのような技術的なポテンシャルだけにあるのではない。半導体製造装置業界の直面する「ウェーハの巨大化」という課題に対して、RTP は拡散炉よりも優れた解決策を提示できると考えられていた⁽⁵⁾。以下では、ウェーハの巨大化という事業環境の急変について簡単に述べた後に、90 年代と 00 年代に分けて技術の関係性がどのように変化し、東京エレクトロンや国際電気はどのような戦略を採用したのかを記述する。

(1) 環境の急変とその予想

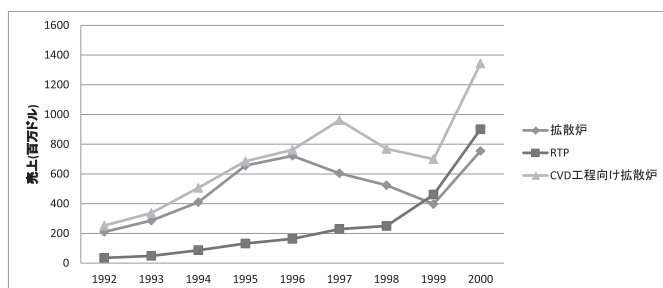
半導体の材料ウェーハは、数年毎に巨大化していく傾向にある。例えば 1980 年代は、ウェーハの直径が 150mm 程度であったけれども、1992 年頃から 200mm に巨大化していった。その後、2000 年前後には直径 300mm のウェーハが用いられ始めるという予想が半導体産業では共有されるようになっていた⁽⁶⁾。ウェーハの直径が大きくなれば、一枚あたりのウェーハから製造できるチップの枚数が増加するため、半導体メーカーはコストを低減できる。それゆえ、半導体メーカーは積極的に巨大ウェーハの採用を進める傾向にある。しかし、ウェーハの巨大化は、特に拡散炉にとってはきわめて大きな負の影響を与える。なぜなら、この変化に伴い、拡散炉メーカーは炉を巨大化させなければ

ならないからである。炉が巨大化すると、サイクルタイムの上昇と均一性の低下というきわめて重大な問題が生じる。この点で、RTP は拡散炉と較べて有利であると言われていた。

(2)90 年代の競争：RTP の成長と企業の認識

90 年代当初、熱処理装置産業では拡散炉が支配的な地位を占めていた。RTP という技術方式自体は 80 年代半ばには出現していたが、ほとんど普及していなかった⁷⁾。当時、半導体の主流はメモリーであり、低スループットの RTP ではメモリーメーカーに採用されにくかったのだろう。しかし、1990 年代半ばになり、下図 1 に示すように RTP の市場は急拡大しはじめた。特に米国において、MPU(Micro Processing Unit)をはじめとするロジック半導体の生産量が急増したことや、ウェーハの大口径化が進んだこと、RTP 自体の技術開発が進んだことがその理由である。CVD 工程を除く工程市場では、1997 年までは拡散炉と RTP はともに市場規模を拡大させていたけれども、97 年から 99 年にかけて RTP は拡散炉のシェアを奪った。特に、99 年には CVD 工程を除くと RTP が拡散炉を逆転するまでになったのである。

図 1 90 年代の熱処理装置産業における競争



出所：『半導体製造装置データブック』1994年，pp108-111；1997年，pp136-139；2000年，pp142-145；2002年，pp.138-141を基に作成。

このような RTP の急成長にもかかわらず、拡散炉と RTP の関係性に関する東京エレクトロンと国際電気の認識は、比較的楽観的であった。特に国際電気の認識は、当初から一貫して「大バッチの拡散炉が主流であり続ける⁸⁾」というものであった。それに対して、東京エレクトロンは 95 年から「小バッチの

拡散炉でならば、RTP に完全には代替されることはない⁹⁾」と認識していた。つまり、国際電気が在来技術をそのまま適用し続けることで勝ち続けられると認識しているのに対し、東京エレクトロンは在来技術を小バッチ化するという条件付きでなら負けはしないと認識していたのである。このような認識の違いは、両社の技術開発にも反映された。

東京エレクトロンは 1993 年及び 1997 年に高速昇降温を特徴とする FTSP (Fast Thermal Processing System) に基づく拡散炉を導入した¹⁰⁾。東京エレクトロンの戦略の特徴は下表に示す出願特許数の推移からも示される¹¹⁾。それに対して国際電気が同時期に導入した製品は、移載時間の短縮とパーティクルの低減¹²⁾等、既存の拡散炉の性能を高めるための技術開発が行われていた。

表 1 2000 年までの東京エレクトロンの出願特許数(熱処理及び高速熱処理関連)

		～1992	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
熱処理関係		47	49	99	49	39	36	42	95	86	170
高速処理	昇温速度	0	0	2	3	2	1	1	2	3	5
	降温速度	0	1	3	0	0	0	2	2	1	6
	移載時間	0	0	0	0	1	0	1	3	2	0
	処理時間	7	3	7	1	2	1	1	1	4	4
	合計	7	4	12	4	5	2	5	8	10	14

表に記されているのは、東京エレクトロンの熱処理装置関係特許のごく一部に過ぎないけれども、高速処理関係の特許は熱処理装置特許全体の 10%前後を占める重要なものである。この表から読み取れることは、92 年頃を境に「処理時間」短縮だけでなく「昇温時間・降温時間」の短縮を志向した技術開発も東京エレクトロンが行うようになったということである。上述の通り、東京エレクトロンが 90 年代に FTSP という昇降温時間短縮を志向した製品開発を行っていることも合致する。

以上のように、東京エレクトロンと国際電気は、拡散炉と RTP の関係性について異なる認識を持っていたがゆえに、異なる製品戦略を展開してきた。このような両社の認識の違いが生じた理由の一つは、東京エレクトロンが 80 年代に既に RTP を一度事業化し、その後撤退していたためであろう。一度事業化していた技術であるがゆえに、その有利な点と不利な点がある程度正確に把握できていたのだと考えられる。

しかし、市場の推移を見る限りでは両社の認識と戦略が成果をあげていたとは言い難い。CVD を除く熱処理装置市場における売上高においては、99 年に

RTP が拡散炉を逆転した。2000 年前後に 300mm ウェーハが普及しはじめるという予想とも併せ、業界としての拡散炉と RTP の関係性に関する予想は、「RTP による完全代替」へと変化していった¹³⁾。

(3)2000 年代の競争：代替関係から共存関係へ

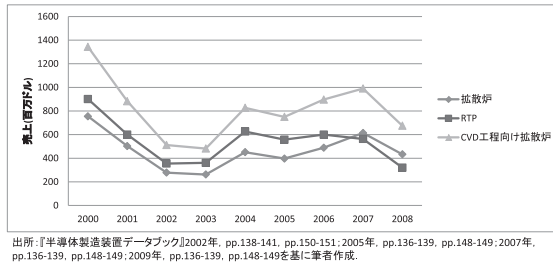
業界としての予想が、「RTP による完全代替」に収斂していったことは、東京エレクトロンと国際電気の戦略にも影響を与えた。この年代には、両社ともに RTP と小バッチの拡散路に参入している。ただし、両社の戦略は明確に異なるものであった¹⁴⁾。東京エレクトロンは、国際電気 に 比 べ RTP へ は そ こ ま で 強く注力していたわけではないのである。

拡散炉については、東京エレクトロンは小バッチ方式の拡散炉を導入した。従来の拡散炉との違いは処理枚数である。小バッチ方式の設計思想は一度に 1 枚から 25 枚を処理するというものである。これに対して、国際電気は東京エレクトロンの小バッチ方式導入を確認してから 50 枚のウェーハを一度に処理する小バッチ方式を導入した。しかし、拡散炉におけるシェアの推移は、両社の小バッチ方式の成否を暗示している。2003 年から 2004 年にかけて、東京エレクトロンはシェアを 40%から 48%近くまで高めたのに対し、国際電気は 22%から 21%へとシェアを低下させたのである。

このように、「小バッチ方式でなら代替されることはない」と認識していた東京エレクトロンは、当初の意図通り小バッチ方式を事業化した。小バッチ方式の 6 割以上は、従来のバッチ方式と同じく DRAM やフラッシュメモリ等のスループットを最も重視する半導体メーカーに採用された一方で、残りの 4 割はそれ以外の半導体メーカーに採用された¹⁵⁾。このことから、特に DRAM やフラッシュメモリを除く半導体メーカー向けにおいては、小バッチ方式は RTP と共存するようになったといえる。その中でも特に、工程ごとに使い分けられるような共存関係が実現したのである¹⁶⁾。

実際、下図に示す通り、2000 年以降 RTP による代替はほとんど確認できない。それどころか、2007 年には拡散炉の売上高が RTP のそれを逆転しているのである。このことから、「RTP による完全代替」という予想は、ここまでの結果を見る限りでは誤りであったということになる。

図2 2000年代の熱処理装置産業における競争



3. 主要な性能次元の変化

しかし、本稿が焦点を当てるのは、産業全体として誤った予想が形成されたということではない。むしろ、RTP に完全に代替されるといわれていた拡散炉がなぜ生き延び、共存するようになったのか、という点を論じなければならない。

結論を先取りするならば、拡散炉が RTP と共存するようになった理由は、従来の拡散炉の主要な性能次元を取って低下させ、さらに RTP に比べ劣位にあった性能次元を向上させるような技術開発により、性能間のトレードオフを発展的に解消することができたことに求められる。各装置の性能を単純化して示したものが次表である。

表2 熱処理装置の主要な性能次元

	RTP	拡散炉(大バッチ)	300mm下での大バッチ	拡散炉(小バッチ)
歩留まり	◎	△	×	○
再現性	△	○	○	◎
スループット	△	◎	◎	○
フレキシビリティ	◎	×	×	○

注:正確な数字が公表されていないため、単純ではあるけれども記号で性能を示している。
[性能が高い] ◎>○>△>× [性能が低い]

出所:和田木(2008), p.111;前田(2011), p.116に基づき筆者作成

小バッチという設計思想自体は、決して目新しいものではない。それにもかかわらず 2000 年代に入るまでに小バッチの設計思想に基づく製品が導入されてこなかったのは、スループットとフレキシビリティ、歩留り等性能間のトレードオフが解消されなかったからである。2000 年以降東京エレクトロンが RTP に比肩しうる性能を実現した小バッチ方式を導入できた理由は次の 2 つの技術

開発に求められる。第1に、90年代を通じたサイクルタイムの向上に資する技術の蓄積である。小バッチ方式では一度に処理できるウェーハ枚数が減少するため、スループットの低下を補完するためのサイクルタイムを向上しなければならなかった。また、サイクルタイムを改善するために昇降温速度を短縮したことで、フレキシビリティも改善した。

第2に、炉内温度とウェーハ表面上温度を一定に保つためのソフトウェアの開発である。小バッチ方式を導入したとしても、ウェーハの直径は大きくなっていく傾向にあるため、炉の底面積は増加してしまう。したがって、特にウェーハ表面上の温度均一性を保つには、小バッチ化するだけでは不十分である。炉内・ウェーハ表面上の温度を管理し、最適化していくアルゴリズムを開発することが拡散炉メーカーには必須であった。東京エレクトロンは、98年からARTコントロールというソフトウェアを開発しはじめ、これを導入することで歩留り向上を実現した。この2つの技術が揃ってはじめて東京エレクトロンの小バッチ方式は製品化されえたのである。

IV. 議論

以上の事例分析を踏まえると、次の2つの条件が満たされるときに在来技術に居座り続けることが可能になると考えられる。第1に、新規技術が全ての側面で在来技術を上回る性能を実現しているわけではない場合である。スミス(1992)は、新規技術が全ての性能次元で上回っている場合と、一部の性能だけが限定的に優れている場合とを区別した。そこでは、ある製品の性能次元が多元的になることが明示的に仮定されている。性能次元が多元的であるならば、ある次元で新規技術が勝っていたとしても、在来技術は別の次元の性能を選好するマーケットセグメントを攻めることが可能となる。この競争プロセスでは、既述のように完全な代替が進むまでに時間がかかるため、既存企業は自社にとって望ましい新旧技術の関係を導くような戦略を採る猶予を得ることができるのである。

しかし、時間的猶予が与えられる可能性だけでは、十分とはいえない。この時間的猶予は、新規技術の性能次元が在来技術の性能次元を完全に上回ってしまうための時間として機能する可能性もあるためである。もちろん、長期的に

は新規技術への参入を意図しつつ、短期的に在来技術の延命を図るという、Li-ion 電池の事例における三洋電機のような手もありえるけれども、このような手がとれるのは新規技術ないしそのマーケットへの参入が容易なときだけである。しかし、従来、既存企業にとっては新規技術への移行が困難であることが問題視されてきたにもかかわらず、新規技術への参入が容易であるという仮定を置くのは適切ではないだろう。したがって、時間的猶予の中で在来技術に対して既存企業が働きかけることのできる条件を探ることが重要となるはずである。この第2の条件として、本稿では性能次元間にトレードオフが存在する技術であることを挙げる。

例えば性能次元 A と B にトレードオフ関係がある場合、企業は2つの方向性の技術開発を行うことができる。すなわち、A を高めるために B を下げるか、B を高めるために A を下げるか、である。実際にはここまで単純な関係は存在しないし、補完的な技術を搭載することで A を下げずに B を高めるといったことも可能かもしれない。しかしながら、新規技術の脅威に直面しているとき、どちらの性能次元も両取りを狙うことは困難である。どちらかの性能次元を捨て、一方の性能次元で強力な製品を創り上げることの可能性を本稿は示唆している。その効果としては次の2つが挙げられよう。第1に、時間的猶予が延長される可能性である。第2に、技術不均衡が顕在化することで、技術開発の方向性が明確化する可能性である(Rosenberg, 1976)。本稿の事例では、スループットを敢えて低下させることで、トレードオフ関係にあった歩留りとフレキシビリティを高めることが意図された。このときに、スループットの低下という技術不均衡が顕在化したことで、サイクルタイム改善に対する開発努力が集中されたのである。以上2つの条件があるときに、在来技術への固執が有効に機能する可能性がある。

課題

本稿の議論には、次のような課題が残されている。第1に、本稿では新規技術と在来技術が共存していく事例に注目する一方で、なぜそのような共存関係が生じたのかをサプライヤー側からしか分析していない。これによって、事例記述部分での結果変数(新旧技術の共存)が曖昧になっていることも残された課

題である。例えば大沼(2009)はユーザーを丁寧に分析していたことを考えると、サプライヤー側だけでなくユーザー側からも複眼的に分析することで、より唆に富む分析を行うことができるかもしれない。

第2に、サプライヤー間の競争的な相互作用を十分に扱いきれなかった点である。特に、新技術の保有企業であるアプライドマテリアルズ社の戦略や意図、認識を論じられなかった。東京エレクトロンの在来技術への固執を、アプライドマテリアルズ社がどのように認識し、そこからどのような意図を以て戦略を展開させたか、という点まで分析することで、本稿の主張はより明快になったものと思われる。

第3に、代替的な仮説を十分に検討することができなかった点である。本稿では、できるだけ詳細に事例を記し、考えられる反論をできるだけ抑えようと努力はしているけれども、例えば「長期的には代替されるプロセスの一時点にすぎないのではないか」とか「本当に意図してこのような戦略を採ったのか」といった反論には十分に応えることができない。これらの課題について、今後は考察する必要があるように思われる。

参考文献

- Abernathy, W. J. and K. B. Clark (1985). "Innovation: Mapping the winds of creative destruction," *Research Policy*, 14(1), pp.3-32.
- Abernathy, W. J. and J. M. Utterback (1978). "Patterns of Industrial Innovation," *Technology Review*, 80(7), pp.40-47.
- Barney, J. B. (1999). "How a firm's capabilities affect boundary decisions," *Sloan Management Review*, 40(3), pp.137-145.
- Barney, J. B. (2002). *Gaining and sustaining competitive advantage*. 2nd edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (岡田正大訳(2003)『企業戦略論』ダイヤモンド社).
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma*, Boston, MA: Harvard Business School Press (伊豆原弓訳(2000)『イノベーションのジレンマ』翔泳社).
- Conner, K. R. (1988). "Strategies for product cannibalism," *Strategic Management Journal*, Summer Special Issue 9, pp. 9-26.
- Cooper, A. C. and D. Schendel (1976). "Strategic responses to technological threat

- ts,” *Business Horizons*, 19(1), pp.61-69.
- Cooper, A. C. and C. G. Smith (1992). “How established firms respond to threatening technologies,” *Academy of Management Executive*, 6(2), pp.55-70.
- Das, S. S. and A. H. Van de Ven (2000). “Competing with New Product Technologies: A Process Model of Strategy,” *Management Science*, 46(10), pp.1300-1316.
- Foster, R. N. (1986). *Innovation: The attacker's advantage*, New York; Summit Books (大前研一訳 (1987) 『イノベーション—限界突破の経営戦略』TBSブリタニカ).
- Henderson, R. M. and K. B. Clark (1990). “Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms,” *Administrative Science Quarterly*, 35(1), pp.9-30.
- Henderson, R. M. (1995). “Of life cycles real and imaginary: The unexpectedly long old age of optical lithography,” *Research Policy*, 24(4), pp.631-643.
- Hill, C. W. and F. T. Rothaermel (2003). “The performance of incumbent firms in the face of radical technological innovation,” *Academy of Management Review*, 28(2), pp.257-274.
- Leonard-Barton, D. (1992). “Core capabilities and core rigidities: A paradox in managing new product development,” *Strategic Management Journal*, 13(1), pp.111-125.
- 前田孝浩(1998)「高スループットと微細化を両立 300mm以降の炉形態もバッチ式」『Semiconductor World』1998年5月号, pp.97-99.
- Nair, A. and D. Ahlstrom (2003). “Delayed creative destruction and the coexistence of technologies,” *Journal of Engineering and Technology Management*, 20(4), pp.345-365.
- 根来龍之・後藤克彦(2005)「代替品をめぐる戦略：新技術による攻撃とそれに対する防衛」『組織科学』第39巻第2号, pp.40-51.
- 大沼雅也(2009)「技術の関係性の変化メカニズム：X線CTとMRIの普及過程を事例として」『組織科学』第43巻第1号, pp.53-66.
- Porter, M.E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. New York: Free Press (土岐坤他訳(1985)『競争優位の戦略』ダイヤモンド)

ド社).

Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on technology*, Cambridge University Press.

佐藤武敏(1995)「装置技術の対応国際電気の技術」『Semiconductor World』1995年7月号, pp.98-99.

Smith, C. G. (1992). “Understanding technological substitution: Generic types, substitution dynamics, and influence strategies,” *Journal of Engineering and Technology Management*, 9(3-4), pp.279-302.

『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』「微細化に挑む新アニール技術」1983年10月号, pp.3-4.

『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』「8インチ縦型炉プロセスデータ」1993年1月号, pp.28-39.

『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』「高速昇降温縦型炉(FTPS)による極薄酸化膜形成」1998年5月号, pp.7-8.

Tripsas, M. (1997). “Surviving Radical Technological Change through Dynamic Capability: Evidence from the Typesetter Industry,” *Strategic Management Journal*, 18(summer special issue), pp.119-142.

Tushman, M. L. and P. Anderson (1986). “Technological Discontinuities and Organizational Environments,” *Administrative Science Quarterly*, 31(3), pp.439-465.

牛川治憲(1995)「12インチウェーハの時代のバッチ式熱処理装置」『Semiconductor World』1995年7月号, pp.108-111.

山口裕之(2007)「技術転換期における『迅速な技術移行の罫』」『組織科学』第40巻第4号, pp.76-86.

(1) 本稿の事例分析は、全て二次資料に基づき行われている。特に、業界のアナリストの記した文献と業界誌、東京エレクトロニクスの社報等二次資料を中心に参照している。

(2) 例えば、通常時に150枚を1バッチとして製造するとき、需要が急減して1バッチあたり50枚が最適の生産水準になるとする。この場合、ダミーウェーハを100枚用いなければならなくなるため、通常よりも製造コストが増加してしまうのである。

(3) 例えば『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』(1983年10月, pp.3-4)では「現在のLSI製造のための熱プロセスすべてに置き換えられる可能性を持って」と述べている。

(4) 両技術のサイクルタイムのうちで最も顕著な差があるのは昇降温時間である。1990年代初頭においては、拡散炉の昇降温時間はそれぞれ10℃/分・3℃/分程度であったのに対し、RTPは200℃/秒・60℃/秒であった。

- (5) 『月刊 Semiconductor FPD World』(2001年11月, pp90-116)
- (6) 例えば『月刊 Semiconductor World』(1998年1月 pp.132-137)では, 早くとも99年後半から300mmウェーハの導入が始まると予測されている。
- (8) 『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』(1983年10月, pp.3-4)。
- (8) 佐藤(1995); 前田(1998)を参照。
- (9) 牛川(1995)を参照。
- (10) FTFS以前の拡散炉では, 昇降温時間がそれぞれ10°C/分, 3°C/分であった。FTFS導入後は, それぞれ100°C/分, 60°C/分となったとされる。『東京エレクトロニクス(半導体製造装置編)』(1993年1月, pp.28-39; 1998年5月, pp.7-8)より。
- (11) 東京エレクトロンの特許データしか示さないのは, 同期間における国際電気の特許が11件と比べて少なく, 意味のある比較ができないからである。
- (12) パーティクルとは塵や埃のことである。パーティクルを低減できれば歩留りの改善が見込める。しかし, この問題は全ての装置が共通して抱える問題であることから, 全ての半導体製造装置メーカーが取り組んでいる問題である。そのためどちらかといえば, ラディカルに問題を解消してしまう類の技術開発ではなく, 既存の製品の改善に近い技術開発である。
- (13) 『日経マイクロデバイス』(2000年9月)や和田木(2008), 前田(2011)より。業界誌とアナリスト2人という3つの情報源が存在することを考えれば, ある程度は信頼をおいても差し支えない予想であると考えられる。
- (14) RTPについては, 両社ともに2001年に参入した。国際電気は2000年にマイクロ・シー・テクノロジーズ社を買収し, 2001年に事業化したのに対して東京エレクトロニクスは, ウェーハマスターズ社との提携によってRTPを事業化した。東京エレクトロニクスは必ずしも主体的にRTPに参入したわけではなく, ウェーハマスターズ社からの提案によって受身的に参入を果たした。この参入方法の違いは, 東京エレクトロニクスは国際電気よりもRTPに比較的弱くしかコミットしていない代わりに, 柔軟性を確保しようとしていることを示している。通常, このような選択は不確実性が高い状況下で実行される(Barney, 1999; 2002)。つまり, 東京エレクトロニクスは, 業界としての「RTPによる完全代替」という予想には, 必ずしも同意してはいなかったということを示しているといえるだろう。
- (15) 『日経マイクロデバイス』(2006年12月, pp178-179)。
- (16) 2011年時点では半導体の製造工程というシステムで見た場合, 拡散炉とRTPは部分的には補完的な関係になっている。