

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発
——300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化——

北澤謙
井上匡史
青島矢一

2005 年 10 月

CASE#05-13

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

COE 大河内賞ケースプロジェクト

トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発
——300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化——

2005 年 10 月

一橋大学大学院商学研究科
北澤謙
井上匡史
一橋大学イノベーション研究センター
青島矢一

本ケースは、一橋大学21世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」からの経費の支給を受けて進められる「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果の1つである。

本ケース作成にあたっては以下の方々に大変お世話になった。ここに感謝の意を表したい。

株式会社ルネサステクノロジ 技師長

システムソリューション統括本部 SOC設計統括部 デバイス設計部 主管技師

生産本部N3-1F建設プロジェクト 計画部 計画グループ グループマネージャ

生産本部那珂第二工場 生産技術部 企画グループ グループマネージャ

小池淳義氏

内野敏幸氏

若林隆之氏

木口保雄氏

なお、本稿の記述は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供するために作成されたものである。

はじめに

1980年代、日本の半導体メーカーはDRAMを中心に世界市場を席卷し、50%を超える出荷シェアを誇っていた(図表1参照)。しかしその競争力は256Kから1MDRAMをピークに低下の一途をたどることとなった。サムスン電子を中心とする新興DRAMメーカー、特定デバイスを占有するインテルやTI、製造に特化した台湾のファウンドリーなどの企業が急速に台頭する一方、日本の半導体メーカーは、市場での明確な存在意義を徐々に失っていった。

トレセンティテクノロジーズ(以下、トレセンティ)は、このような状況の中で、2000年3月、日立製作所(以下、日立)と台湾ユナイテッドマイクロエレクトロニクス(以下、UMC)との合弁会社として設立された。

半導体製造に特化したファウンドリーとして設立されたトレセンティは、半導体生産システムにおいて世界初となる2つの試みを実現した。1つは、大口径「300mm ウェハ」¹の工場を立ち上げ、2001年4月、世界で始めて量産に成功したことである。もう1つは、全工程でウェハを1枚流しにする「完全枚葉式」という生産方式を実現したことである。

本ケースでは、これらの新しい生産システムが必要とされた経緯と、それを実現するための様々な活動の詳細、さらに新システムの導入によってもたらされた経済効果を記述する。

図表1: 国別半導体メーカーの出荷シェア

—図表1 挿入—

1. 半導体生産システムの進展

トレセンティを特徴付ける「大口径 300mm ウェハ」と「完全枚葉式」は、コストと多様性の両立を求める市場ニーズに対応するための手段であった。

1.1 微細化の進展と大口径化

半導体製造プロセスの進歩は、微細加工技術の進展とウェハの大口径化とともにある。微細加工技術の進展は、トランジスタの高集積化を可能にして、半導体の性能向上、高機能化、低消費電力化に貢献してきた。一方で、収率を向上させて低コストを実現することを目的としてウェハの大口径化が進められてきた。

微細加工という点では、線幅を規定する設計ルールが1970年には $5.0\mu\text{m}$ であったものが、現在では $0.09\mu\text{m}$ (90nm)にまで縮小されている。その間、ウェハのサイズは、直径50mmから300mmへと大口径化された。図表2に示されるように、200mmウェハによる生産期間が相対的に長

¹ 300mmとはウェハの直径を指す。以下で単に、300mmもしくは300mmウェハということがあるが、それらも直径300mmを示している。

引く一方で、微細加工技術は絶え間なく進歩していた。1990年代後半に入ると、コスト効率を向上させるために、300mm ウェハへの転換が世界的に強く求められるようになっていた。

図表2: 微細加工技術の進展とウェハの大口径化

—図表2挿入—

大口径化によって、1枚のウェハからより多くのチップがとることができるようになり、コスト低減だけでなく、生産スピードの上昇にも効果をもたらす。図表3に示されるように、10000個のチップを生産するために、200mm ウェハは16枚必要になるが、300mm ウェハであれば7枚ですむ。それゆえ、1枚のウェハの加工時間が同じであれば、生産リードタイムの大幅短縮が可能となる。

図表3: 200mm ウェハと 300mm ウェハで生産されるチップ数

—図表3挿入—

1.2 バッチ生産の限界と枚葉式への需要

半導体デバイスに対するニーズは近年ますます多様化している。DRAM などのメモリに代表される汎用品に対する需要は依然として根強いものの、相対的には、ロジック IC や ASIC のように、個々の顧客の要求に合わせてカスタマイズされる多品種・少量品の需要が高まる傾向にある。

一方、近年、最終製品に占める半導体搭載率はますます増加している。例えば、ブラウン管テレビでは20%であった半導体搭載比率は、パソコンでは60%、携帯電話に至っては70%となっている²。特に、携帯電話に見られるように、半導体が搭載される製品のライフサイクルは近年急速に短縮されてきた。半導体搭載比率の上昇と製品ライフサイクルの短期化によって、開発から量産にいたるリードタイム短縮化に対する市場の圧力は強まりつつある。

こうした市場ニーズの変化とリードタイム短期化の圧力に対して、従来のバッチ処理生産では十分に市場に対応することができなくなっていた。半導体の製造装置には、4ロット程度のウェハを一括処理するバッチ処理設備と、ウェハ1枚単位で処理する枚葉処理設備がある。バッチ処理は多量のウェハを一括処理するため生産性に優れている。しかし、同一処理条件のロットが集まるまで、着工待ち時間が発生する。これが工程における製品の流れを乱すことになり、システム LSI のような多品種・少量生産の場合には、スループットの低下が深刻な問題となる。

一方、枚葉処理設備の場合には1枚単位での着工となるため、工程間の待ち時間を短縮することができる。結果として高いスループットを実現できる。需要が高まりつつある多品種少量製品の

²小池・木口(2003)

開発・生産リードタイムを短縮化するには、枚葉処理生産への移行が必須であると考えられた。

2. トレセンティの設立にいたる経緯

トレセンティが、世界で始めて大口径 300mm ウェハ対応の完全枚葉式工場を実現するに至るまでの過程には、2つの取り組みが存在していた。1つは、半導体業界全体での 300mm 生産システム標準化への取り組みである。もう1つは、日立製作所時代の 1980 年代から継続して行われていた枚葉式への取り組みである。

2.1 業界全体での 300mm 標準化活動

半導体業界全体での標準化活動を抜きにして 300mm への流れを語ることはできない。日立はこの標準化活動を主導する役割を果たしてきた。

300mm への移行に際しての標準化が世界規模で推進されたのには理由がある。150mm から 200mm への移行に際しては、半導体メーカーの足並みがそろわなかった。装置・材料メーカーも、異なる規格にそれぞれ追従したため、業界全体として多大な移行コストを負うことになった。こうした苦い経験から 300mm への移行では、利害対立の小さい時期に共通化や標準化を進めようとする動きに各社が賛同することになった。

次世代大口径ウェハの標準化に関する国際会議である第1回シリコンウェハサミットは1994年7月に開かれ、日米欧の半導体・半導体製造装置メーカーに加えてSEMATECHが参加した。この会議を受けて、日本では日本電子機械工業会(EIAJ)が中心となって「大口径シリコンウェハ5団体連絡会」が結成された³(小宮、2003)。この5団体連絡会は1996年6月に「300mm 半導体技術連絡会(Japan 300mm Semiconductor Technology Conference、以下 J300)」と改称された。一方米国では、1995年12月、SEMATECHの子会社として、米国、韓国、欧州のデバイスメーカーによるInternational 300mm Initiative(以下、I300I)が発足し、300mm ラインの標準化に向けた活動を開始した。これを受けて、1997年4月には、J300、SEMI、I300Iの3者間で300mm標準の形成が進められることになった(小宮、2003)。

日立の技術者は、この標準化のプロセスにおいて中心的な役割を果たしてきた。例えば、J300の発足から1997年6月までの間にJ300の委員長を務めたのは日立の野原嘉雄であった。野原はトレセンティの初代社長を務めた人物である。さらに1997年7月から1999年3月の間、野原を引き継いだのも、同じく日立の増原利明であった。

標準化が一段落した1999年4月にJ300は解散し、あらたにEIAJの半導体生産技術委員会の小委員会としてJ300Eが発足した。J300Eの役割は、J300での標準化を引き継ぎ、製造上の具体的な仕様を検討することであり、その活動は2000年3月まで続いた。J300Eは、CIM、後工程カセット、レチクルマネジメントの3つのワーキンググループから構成され、全体の委員長を務めたのが、

³ 5団体とは、(社)日本電子機械工業会(EIAJ)、(社)日本電子工業振興会(JEIDA)、(社)新金属協会、日本半導体製造装置協会(SEAJ)、半導体産業研究所(SIRIJ)である。

当時日立に所属し、トレセンティの2代目社長となる小池淳義であった。小池は、日立内部において枚葉化に向けた取り組みを先導していた人物であり、その後も小池を中心に、300mm 化と枚葉化が合流することになる。このように、2000年3月にトレセンティが設立されるまでの間、日立は、300mm 標準化を進める業界組織において先導的な役割を果たしていた。

図表 4:J300 の組織

—図表4挿入—

2.2 枚葉方式への取り組み

日立における枚葉式への取り組みは1980年代にまでさかのぼる。トレセンティの立ち上げはそうした努力の集大成と呼ぶことができる。以下で述べるように、トレセンティ立ち上げにおいて特に重要となったのが、洗浄工程と熱処理工程の枚葉化であった。

2.2.1 従来の生産工程

半導体ウェハを製造するいわゆる前工程は、露光、洗浄、薄膜形成、熱処理、配線など様々な処理工程からなりたっている。1枚のウェハを製造するためには、これらの処理を繰り返し行い、500から600におよぶ工程を経ることになる。

前工程におけるウェハ加工の仕方には、バッチ (Batch) 処理と呼ばれる一括処理方式と、枚葉 (Single) 処理と呼ばれる方式の2通りが存在する。処理の性質上、枚葉処理しか行えない工程もあるが、それ以外の工程に関しては、できる限りバッチ処理を採用することが効率的であると考えられてきた。こうした考えのもと、熱処理、低圧 CVD、洗浄の3つの工程ではバッチ設備が用いられてきた。特に、熱処理や洗浄はバッチ処理が絶対的に優位とされていた。200mm 口径の工程においては、バッチ処理が40%、枚葉処理が60%の割合となっていた(小池、2001)。

枚葉処理とバッチ処理が混在する場合には、枚葉処理工程からバッチ処理工程へと進む段階で、バッチ処理に必要なロットサイズに達するまでの待ち時間が生じる。仕掛在庫の保有が必須となり、工程における製品の流れによどみが生じてしまう。これを避けるために、ロットサイズを小さくすればこうした問題は軽減されるが、他方でバッチ処理工程の効率が低下してしまう。このようなトレードオフを根本から解決するには、工程全体を枚葉処理に転換しなければならない。

2.2.2 洗浄工程の枚葉化

日立における枚葉式処理の研究は、1980年代に始められた。当初対象となったのはエッチング工程であり、1984年にはドライエッチング工程の全てが枚葉化された。続いて取り組まれたのが、洗浄工程の枚葉化であった。トレセンティによる300mm ラインの枚葉化においては、この洗浄工程の枚葉化が一つの鍵となっていた。

(洗浄液の開発)

洗浄工程における枚葉処理設備の開発がはじまったのは 1985 年頃のことである。まず、5 年ほどかけて硫酸を使わない洗浄技術の開発に取り組んだ。しかし洗浄工程の変更が他の工程へ悪影響をあたえる危険性もあり、製造ラインへの適用の許可をとるのさえ一苦勞であった(小池、2002)。

本格的な洗浄技術の開発は 1990 年に始まった。洗浄液の開発は、RCA 洗浄液という最も一般的な薬液をベースに行われた。装置の開発は装置メーカーとの協力のもとで進められたが、薬液の開発は自社独自で行った。開発された洗浄設備を試験的に運用することを通じて、枚葉処理が製造現場において少しずつ市民権を得るようになっていった(小池、2002)。

従来の RCA 洗浄では、70 分ほどかけて 100 枚程度の洗浄を一括で行っていた。フッ酸処理と水洗いに 15 分を要し、異物除去のための RCA 洗浄液 SC-1 を用いた洗浄と水洗いに 20 分、金属汚染除去のための RCA 洗浄液 SC-2 による洗浄と水洗いに 20 分、乾燥に 15 分の合計約 70 分が所要時間であった。しかも、70℃から 80℃という高温の条件下で洗浄する必要があった。

こうした工程を枚葉化してバッチ処理と同等もしくはそれ以上の効率性を確保するためには、1 枚 1 枚のウェハの処理時間を大幅に短縮化する必要があった。そのためには、薬液の反応を高めて活性度を極端に変えなければならなかった。また短時間で洗浄するためにウェハを回転させる工夫も取り入れた。

洗浄工程の枚葉化の技術的なポイントは、室温(23℃)での洗浄を可能にする新しい薬液の開発と、水滴が蒸発した後の痕跡であるウォーターマークが残らないようにするための乾燥技術の開発にあった。開発を進めていくうちに、薬液として、ある無機薬液が適していることが判明した。この薬液は特別な液ではなかったため、調達コストの面でも問題もクリアすることができた。

バッチ式洗浄方式では大量の薬液を投入していたが、枚葉処理では 1 枚ずつウェハを回転させて、そのウェハ面上に少量の薬液を供給し続けながら洗浄を行う。常に新しい薬液がウェハ上に供給され、しかも使用した薬液は直ちに除去されることから、効率の高い洗浄が実現できた。処理室が極端に小さくてすむことによる省スペース化の効果もあった。また、洗浄液や水洗いのための水の使用量も大幅に減らすことができたため、環境への影響という観点からも優れていることがわかった⁴。

2.3 熱処理工程の枚葉化と効果

一方、熱処理工程の枚葉化への取り組みも 1985 年頃にはじまった。バッチ式の熱処理工程で 100 枚のウェハを一括処理するのに必要な時間は 5 時間程度である。バッチ式の熱処理では、ヒーターで約 400℃に暖めた炉の中に 50 枚から 100 枚のウェハを一度に投入し、その後、1000℃程度まで炉の温度を徐々に上げていく。熱処理後は、逆に 1-2 時間ほどかけて炉を冷却する。

このようなバッチ式の熱処理工程を 300mm ラインに適用するには技術的な課題があることが認識されていた。1つには、ウェハの重さが増すことによっておこる、高温処理工程での熱転移の間

⁴ トレセンティホームページより。2005 年 3 月閉鎖。

題であった。また、ウェハを炉体に挿入したときに炉体温度が低下して意図した温度処理ができなくなるという問題もあった(小池, 1997)。バッチ処理を続ける限り、これらの問題に対する根本的な解決に至らないと判断された。そこで枚葉化に踏み切ることとなった。

枚葉化を進めるにあたって、トレセンティのラインではウェハ 1 枚を約 2 分で処理できるようにした。熱源として約 400 個のハロゲンランプを用いることによって、毎秒 100°C ずつ 1000°C まで温度を上げていくことが可能となった。また、冷却には窒素を使うことによって、急冷却が可能となり⁵、冷却時間を含む熱処理工程のリードタイムは 1 枚約 2 分に短縮された。

3. 世界初の 300 mm 工場の実現へ

3.1 社内プロジェクトの開始

日立では、1997 年 8 月、次世代高効率半導体工場構築のための社内プロジェクトがスタートした。プロジェクトメンバーは約 30 名、中央研究所のメンバーも参加していた。このなかで中心となったのが、当時第一生産技術部長の小池であった。幹部を含めた会議は 2 ヶ月に 1 度程度の頻度で行われ、担当者レベルでの会議は毎週のように開かれた。また、社内プロジェクトが本格的に動き始めた 1998 年には、多数のメンバーが日立那珂工場へと移動した。このころ日立では武蔵工場を移転して那珂工場へ生産を集約することを進めていた。これは、飽くまでも工場集約に伴う移動であり、移動した人々に新しくファウンドリーを立ち上げるという意識は全くなかった。具体的に UMC との合弁で新たにファウンドリーを設立するという話が従業員に伝わったのは 1999 年 12 月、トレセンティ設立のわずか 3 ヶ月前であった。

社内プロジェクトでは、当初から「スピードを重視した工場」というコンセプトを掲げていた。トレセンティの立ち上げは、生産スピードを上げる生産技術への取り組みであったともいえる。当時、工場を立ち上げる際に考慮される指標としては、コスト低減や歩留まり向上が重視されることが多かった。それに対してトレセンティはスピードを最も強調した。300mm ラインにすることと、完全枚葉式を実現することが、このスピードを実現する方法であると考えられた。同時に、需給の変動に強く、投資リスクの低い工場とするために、「スケーラブルファブ」というコンセプトが採用された。スケーラブルファブとは、生産しながら需要に応じてラインの拡張が可能となるような工場を指している。

300mm 化と枚葉化を推進していた小池は、当初、日立単独の工場を立ち上げる構想をもっていた。しかし、当時の日立の経営状況では、1000 億円を超える投資は認められなかった。そこで、1999 年夏ごろ、他社との合弁形態を模索し始めた。日立から UMC にアプローチしたのは 1999 年 10 月のことである。日立の申し出に対して UMC は即決し、年内には合弁契約が結ばれた。UMC が日立の技術を評価しており、また 300mm 化に対して積極的な姿勢を見せていたことが、合弁相手として選択した理由であった。

⁵ 筆者による内野敏幸氏へのインタビューより。2005 年 4 月 21 日。ルネサス那珂第二工場にて。

3.2. 完全枚葉式ラインにおけるTAT⁶の短縮化

完全枚葉式ラインによってTATを短縮するためには、個々の装置を枚葉式に変更するだけでなく、ライン全体の流れを適正化することが必要となる。1997年のプロジェクト発足とともにメンバーは、装置の連携という観点からラインの適正化のためのシミュレーションに着手した。

まず静的シミュレーションによって、生産に必要な設備の台数の試算を行った。続いて、工場内の製品の流れを考慮した動的シミュレーションを実施した。動的シミュレーションでは、設備の故障やメンテナンスによる影響、搬送システムの能力も考慮にいれて、工場能力とリードタイムの検証を行った。その上で、リードタイムを最短にするための、設備配置や搬送システムによる物流の制御方式、着工順序ルートなどを決定していった(トレンディテクノロジーズ・日立製作所、2003)。

動的シミュレーションにおいて最も重要な検討課題の1つは、搬送系の最適化であった。生産プロセスを全工程枚葉化することにより、装置間のウェハ搬送の頻度が格段に増加した。また、300mm化によって1枚あたりのウェハ重量は大幅に増大し、FOUP⁷に格納された1ロットあたりのウェハの重さは約8kgにもものぼった。人の手による搬送が困難となり、搬送の自動化が必要となった。

搬送の自動化をすすめるにあたっては、リードタイムの短縮化という観点から搬送スピードを上げることが目標とされた。搬送自動化の方針検討を行った結果、従来のAGV⁸よりもRGV⁹システムの方がスピードと信頼性の面で優れていると判断された。AGVは床に貼られたガイドテープなどを追従して移動する(小宮、2003)ため、作業者と搬送機がフロア内で共存するという意味では好都合である。だが、高速搬送という点ではRGVの方が優れている。RGVによる搬送機は、毎秒2.5メートル以上という早さで移動し、5秒以内で装置の中にウェハを投入することができる¹⁰。ラインを流れるウェハの処理順位を瞬時に切り替えることによって「追い越し」も可能にした¹¹。また、高速走行を完全に生かすために作業者が立ち入らないように搬送経路は完全にパーテーションで区切られた。

自動化の結果、搬送時間は従来の5分の1になり、TATの短縮に寄与した。搬送の自動化が可能となったのは、ウェハを固定して格納する、FOUPと呼ばれる密閉カセットの採用によるところが大きい。FOUPに格納されたウェハは、急加速、急停止する搬送機からの影響を受けることがない。それゆえ高速搬送が可能となった。FOUPはJ300、SEMI I300Iによって”世界”規格統一されたものである。

搬送の自動化によって現場作業者の職務内容にも変化が生じた。従来ウェハの搬送を手で行っていた作業者は、ラインの不具合調整など、より高度な作業にあてられた¹²。

⁶ Turn Around Time の略。受注から納品が完了するまでの時間。

⁷ Front Opening Unified Pod の略。ウェハを搬送するための標準化されたロットケース。

⁸ Automated Guided Vehicle の略。部材や製品を運ぶ無人搬送台車。

⁹ Rail Guided Vehicle の略。軌道レールでガイドされ自走する無人搬送台車。レール上を走るため高速走行が可能。

¹⁰ 『日本経済新聞』、2001年6月1日、朝刊、7面

¹¹ 『日本経済新聞』、2004年6月18日、朝刊、11面

¹² 『日経産業新聞』 2003年3月28日、1面

搬送系におけるトラブル対策も重要な課題である。完全枚葉式ラインにおいて搬送システムが停止することは致命的である。あらゆる装置がストップしてしまうからである。このような不確実性への対処として、トレセンティでは、カメラやモニターによるリアルタイムの監視を行うようにした。監視データは映像としてDVDに保存されて、トラブルはデータベース化されている。過去のトラブルとその復旧方法を蓄積し、万が一システムが停止してしまった場合に、迅速に対応できるようにしている。

3.3. スケーラブルファブ

300mm ウェハラインを立ち上げるためには、設備の大型化にともなう多大な投資が必要となる。図表4には、工場建設に必要とされる投資額と投資効率(単位投資あたりのウェハ生産量)との関係が示されている。従来の200mm ウェハラインでは投資効率が一定となる最小最適規模に必要とされる投資額が1500億円程度であるが、300mmラインでは2000億円を超える投資が必要となる。これは、300mmラインで効率的な生産を行うには、従来以上の大量生産が必要となることを意味する。しかし当時の半導体市場でそれだけの需要を確保できるかは不確実であり、2000億円を超える投資はトレセンティにとっては極めてリスクの大きなものであった。こうしたリスクを軽減するには、小規模生産でも200mmラインに匹敵する投資効率を実現できる生産技術の確立が必要となる。

図表5:工場規模と投資効率

—図表5挿入—

特に半導体業界は大きな需要変動が伴う産業である。おおむね4年に1度のペースで不況が訪れ、それはシリコン・サイクルと呼ばれる。大規模な先行投資が戦略上必要になることもあるが、不況期にはそれが大きな重荷となる。そうしたリスクを軽減するには、はじめからフル稼働を目指すのではなく、市場の動向に応じて段階的にラインを拡張することが望ましい。こうした要求に対応するための工場をトレセンティはスケーラブルファブというコンセプトのもとで実現していった。

スケーラブルファブでは、小規模生産時の投資効率を改善して、月産7000枚を生産能力の最小単位とした。それによって、投資リスクが軽減され、需要変動に対応できる能力を得ることができた。

スケーラブルファブのコンセプトに沿ってトレセンティは、第1段階として、工場建屋の4分の1のフロアだけにクリーンルームを設置して、月産7000枚のラインを立ち上げた。その後、2004年には、最初のラインをコピーすることによって生産能力を倍増した。建屋全体では、月産20000～30000枚に対応できるようになっている。さらに工場にはまだ拡張スペースがあり、市場動向に合わせて段階的にラインを増設できるようになっている¹³。

¹³ 『日経マイクロデバイス』、2000年9月号、128頁

トレセンティの工場では、小規模生産時の投資効率を高めるために、設備コストを抑える様々な工夫が見られる。例えば、従来の複数のチャンバ¹⁴を持つ従来のクラスタ方式を排除し、一つのチャンバを持つ簡素な装置を複数台並べる方式に変えた。従来の半導体工場では単位投資あたりのスループットと機能を高めるために、大規模なマルチチャンバ化が進められてきた(トレセンティテクノロジーズ・日立製作所、2003)。こうした設備は大量生産時には効率性を発揮するが、逆に小規模生産時には余剰能力を抱えることになり、効率性が著しく低下する。そこでトレセンティでは、余分な機能を省いて設備を単純化・シングルチャンバ化して、装置価格を下げると同時に、装置が停止した際の生産能力の減少も最小限に抑えることが可能となった¹⁵。また、製造装置を横型から縦型にすることで省スペース化を図り、クリーンルームの面積を小さくするなど地道なコストダウンも行われた¹⁶。

(局所クリーン化)

段階的に柔軟に工場を拡張できる背後には、「ミニエンバイロメント」というコンセプトがある。これは、ウェハが直接的に接する部分だけクリーン化するという考え方である。かつての半導体工場では、ウェハ処理工程の全域に渡って「クラス1」レベルのクリーンルームが設定されていた。クラス1とは1ft³の空間に0.1 μ (ミクロン)の塵や埃が一つあることが許される程度の清浄度である¹⁷。

それに対して今回の300mm生産ラインでは、クラス1の範囲とクラス1000の範囲を区別した。FOUPと呼ばれる密閉されたウェハキャリア容器内と設備とFOUP間のウェハ搬送を行うロードポートだけにクラス1レベルの清浄度を適用し、それ以外のクリーンルーム内はクラス1000とした。この局所クリーン化によって、クリーンルームへの投資を大幅に削減したと同時に、生産ラインを止めることなく、設備の搬入やメンテナンスや修理、工場内の工事なども行えるようになった。また、クラス1の範囲を限定したことにより、工場運営のための光熱費も節約できるという効果も現われた。

局所クリーン化によって、既存ラインを止めずにメンテナンスや設備拡張が行うことができるようになったことに対応して、工場のレイアウトも工夫された。例えば、作業員が通る通路を中心に設計し、装置の裏側に面する通路の幅を数メートルと広くとり、作業をしやすくした¹⁸。また、製造装置は不必要な外装を外したむき出しの状態を設置され、トラブルが起きた際でもいち早くメンテナンスできるようにした¹⁹。

3.4. 外部企業との協業

半導体製造は、装置メーカーの協力なしでは成り立たない。しかし、個別に製造装置を買って

¹⁴ 半導体装置に関しては、プロセスを行う反応室の総称。

¹⁵ 同上

¹⁶ 『日経産業新聞』2000年12月5日、9面

¹⁷ ちなみに通常のオフィスの「クラス3000万」である。1ft³の空間に0.1 μ の塵埃が3000万个浮遊しているということである。クラス1とは、例えて言えば、東京23区内に10円玉サイズのゴミが一つ落ちていることも許されない程度の清浄度である(小池、2005)。ここで用いた清浄度クラスは、米国連邦規格「FED-STD-209D」に準ずる。

¹⁸ 『日本経済新聞』、2003年7月16日 地方経済面(茨城)

¹⁹ 『日経産業新聞』、2001年6月1日、7面

きて組み合わせればラインができるというわけではない。製造するデバイスの特徴に合わせて、低コストで速く製造を行うためには、装置間の相互関係のシミュレーションをもとにして、最適な装置の配置と調整を探っていくことが重要である。

トレセンティは、リードタイムとスループットの適正化を行うために、装置のスループットに関するデータを公開するように装置メーカーに求めた。各装置内部の情報を得ることによって、ライン全体の最適化を、より厳密に行なうことができるからである。

トレセンティの立ち上げにおいて小池には、日本半導体の復活という大きな目標があった。1990年代以降、米国、韓国、台湾の半導体企業に主導権を握られた日本の半導体産業全の将来に対する危機感を抱いていた小池は、300mmラインへの転換が、日本半導体産業の復活の契機となりえると考えていた。「自分たちのためだと思って全力を尽くしてほしい」と工場に集まった半導体製造装置メーカーのエンジニアに小池が呼びかけたのにはこうした思いがあった²⁰。

多くの装置メーカーがこうした呼びかけに応えてくれた。装置メーカーの立場からすると、既に枚葉化されている装置を300mm対応に転換する場合には、他社の工場が今後300mm化することがわかっているため、将来の外販を期待して投資するインセンティブがある。一方、従来のバッチ処理工程を枚葉化する装置開発の場合には、装置メーカーの協力を取り付けるのは難しい。しかし、トレセンティが世界で最初の工場であったため、装置メーカーが新たなチャレンジとして枚葉化装置の開発に積極的な取り組む姿勢を見せてくれた。また日本の装置メーカーとの間では「日本半導体産業の復活」という雰囲気が醸成されていた。

具体的な装置開発では、トレセンティがスペックを出して、それに合わせて装置メーカーが装置を開発する。そして実際に装置を動かしてデータをとり、データのフィードバックを何度も繰り返しながら装置の最適化を図っていく。トレセンティの立ち上げでは、世界初の工場ということで、こうしたフィードバックループが極めてうまく働いたという²¹。

このように300mmラインの実現においては製造装置メーカーの協力が不可欠であったが、その一方でトレセンティはプロセス上の重要なノウハウを自社に残す努力も行ってきた。

1990年代以降、微細化の進行とともに半導体製造装置が複雑になるにつれて、半導体製造に関するノウハウの多くが装置に体现されるようになった。それに伴って、デバイスメーカーに蓄積されていたプロセスに関するノウハウが、装置メーカーを通じて他社に流出するという現象がおきた。半導体生産では、材料の選択や組み合わせ、加工用の薬品の成分など、いわゆる「レシピ」に関するノウハウが重要である。装置メーカーは、1990年代、このレシピを付けて装置販売を行った。台湾勢、韓国勢が大躍進を遂げたのも、装置メーカーから、レシピ付で装置を購入できたからだといわれる²²。

トレセンティが世界に先駆けて300mmラインを立ち上げたとしても、ノウハウがすぐに他社に流出してしまっているのは、その優位性を維持することはできない。それゆえ、トレセンティでは、装置メ

²⁰ 『日経産業新聞』、2000年12月5日、9面

²¹ 小池氏に対する筆者によるインタビュー、2005年10月17日、電話にて。

²² 『週刊東洋経済』、2004年6月5日、48頁

一カーの協力を得ると同時に、自社内にも装置に関するノウハウを維持しようと試みてきた。小池は以下のように述べている。

製造装置のメンテナンスや修繕については、自前でやるように心掛けている。こうしたカルチャーを確立しなければ、半導体製造のコアな部分が装置メーカーに移行してしまい、半導体メーカーが主導権を取ることはできない²³。

3.5. コンソーシアムの意義

既述したように 200mm ウェハラインでは、標準化が遅れたために、デバイスメーカー各社がそれぞれの仕様で製造装置を調達していた。300mm では装置の大型化に伴うコスト増もある。標準化が進まない状態で 300mm ウェハ工場を建設すると、莫大な投資が必要となると予想された。製造装置の購入が工場投資額の 8 割前後を占める半導体工場では、装置コストの低減が急務となっていた²⁴。

投資負担の増大に直面する半導体メーカーは、チップそのものの開発に資金を重点配分し、製造装置など他社と共有できる部分はなるべく共有して負担を軽くしたいと考えていた。一方、装置メーカーにとっても、開発費の削減や期間短縮を可能にするという意味で、共通化や標準化を歓迎する動きがあった²⁵。

こうした中で、300mm ウェハ用装置開発の効率化で重要な役割を担ったのが Selete(半導体先端テクノロジーズ)であった。Selete は、NEC、東芝、日立、富士通、三菱電機、松下電器産業、沖電気工業、三洋電機、シャープ、ソニーの 10 社が 5 億円ずつ出資して 1996 年 2 月に設立された合弁会社である。日立の生産技術研究所(横浜市)内に 2200 平方メートルのクリーンルームを建設して、製造装置メーカーや材料メーカーが持ち込む 300mm ウェハ対応の試作品の評価活動を、同年 11 月から開始した²⁶。また、Selete では、設計技術を大幅に見直して、設計から製造までの開発期間を従来比で 40 分の 1 に短縮することに取り組んだ²⁷。さらに、自動搬送系の評価を推進する役割も担った。搬送装置の仕様がバラバラになること防ぐことがその狙いであった。自走式搬送装置、天井搬送装置、ストッカーなどを評価対象とし、搬送能力、搬送精度、パーティクルの影響などを評価項目として 1999 年 1 月から実機による評価を始めた²⁸。

Selete のこうした装置評価能力はトレセンティが新工場を立ち上げるにあたって重要な役割を果たした。300mm の枚葉工場で使われる装置は、トレセンティの技術者にとって未知の装置であったため、装置を選定する適切な基準を持っていなかった。こうした中、既に様々な装置の評価を行っていた Selete が、トレセンティの装置を評価して選択するプロセスに大きく関与した。

²³ 同上

²⁴ 『日本経済新聞』、1996 年 4 月 28 日朝刊、1 面、『日本経済新聞』、1995 年 12 月 29 日朝刊、1 面

²⁵ 『日経産業新聞』、1996 年 4 月 11 日、11 面

²⁶ 同上

²⁷ 『日経マイクロデバイス』、2001 年 10 月 1 日、146 ページ

²⁸ 『日経マイクロデバイス』、1999 年 1 月 1 日、158 ページ

4. 新工場の成果:リードタイムの短縮と生産効率の向上

トレセンティにおける新しい生産システムには様々な効果をもたらした。第1に、200mm から300mm に口径を拡大することによって、10000個のチップを生産するために必要なウェハの枚数が、16枚から7枚に減少した。このためにチップ1枚当たりのコストを2~3割削減することが可能となった。装置台数の減少と償却費の削減も費用低減に貢献している。

第2に、枚葉化と自動搬送化によってリードタイムが60%短縮された。従来60日であった通常の注文製品の納期は30日となり、特急注文品に関して言えば、30日の納期が7日にまで短縮された。これは枚葉化による、工程間の待ち時間の短縮による影響が大きい。図表5にみられるように、バッチ/枚葉混在のラインから全工程枚葉化することによってリードタイムは約3分の1となり、25枚から13枚へとロットサイズを減らすことによって更に30%短縮することができた。ちなみに、バッチ/枚葉処理混在の工程では、ロットサイズを小さくしてもリードタイムは短縮化されない。工程間待ち時間はバッチ処理の処理枚数に依存するからである。

図表6:枚葉化によるリードタイムへの効果

—図表6挿入—

リードタイムが激減することによって新生産システムは需要と供給の不整合を緩和できる。需給の不整合をもたらす最大の原因は生産調整に時間がかかることにある。トレセンティの新生産システムは、処理時間を大幅に短縮することによって、需要の変化に対応することが可能となっている²⁹。

図表6は、新生産システムの効果を、コスト、品質、スピードという項目に関して図示したものである。この図表からわかるように、300mm化と完全枚葉化によって、コストは30%低下し、歩留の早期向上に伴って品質は7%上昇し、スピードは従来 of 倍になると試算されている。

図表7:Productivity Index

—図表7挿入—

5. トレセンティの設立とその後の組織的変遷

以下では、トレセンティがどのように設立され現在に至っているかを、時系列的に追っていくこととする。半導体業界の不況や親会社の資本の論理に翻弄されながら、トレセンティ自体の組織的

²⁹ 『日経マイクロデバイス』,2000年9月1日、48ページ

位置づけは大きく変化をしてきた。

5.1 ユナイテッドマイクロエレクトロニクス(UMC)との合弁会社設立

2000年3月にトレセンティは、世界第2位の規模を誇る台湾のファウンドリー会社であるUMCと日立との合弁会社として設立された。日立が設備投資を躊躇したことが、この合弁に至った1つの理由である。日立には、伝統的に、事業部から幹部へと提案が上がるボトムアップの仕組みが根付いている。社内プロジェクトにて提案された300mmの最先端工場への投資案件も、半導体事業部の提案として本社の決済を仰ぎに行くことになる。しかし、折しも90年代後半の不況の時代、新半導体工場を自前で建設するための大規模投資の決断は日立にとって難しい状況にあった³⁰。

そうした状況下のもと、UMCとの合弁会社としてトレセンティがスタートすることになった。ちなみに、トレセンティというのはラテン語で“300”の意味である。世界に先駆けての300mmウェハによる半導体前工程の設立だったので、次世代ウェハサイズである300を強調した社名にしたかったと、社名のアイデア創出者である小池は語っている³¹。

スタート時の資本金は300億円。日立が60%の出資、UMCが40%の出資である。総投資額は700億円(設備投資のみ)で、業務内容は前述のとおり日立およびUMCからの製造委託による半導体前工程品の製造である。生産能力については、日立とUMCがそれぞれ半分ずつ利用することになった。場所については、元々DRAM生産用に日立が建設していたN3棟を使用し、そこにクリーンルームの施工を開始した。建屋面積は熱源棟、用役棟、事務棟を含み東西約132m、南北約178mの広さであり、クリーンルームは2階部分(6階建ての上3フロア)に1万2000㎡の面積を有して造られた。当初はこの内の6000㎡を使用して量産が行われた。処理能力は300mm換算で7000枚/月である。従業員は日立出身者270名、UMC出身者70名で構成。ファウンドリーサービスに関しては、引き合いの段階から仕様打ち合わせ、生産途上、出荷、アフターセールスサービス各面にわたり、UMCが長年掛けて培ってきたノウハウを採用した。なお、新材料や次世代技術ノードの開発とそのブラッシュアップ、立ち上げに関しては、日立およびUMCからも技術が導入されることになり、トレセンティでのそれら実用化技術も同様に、両社にフィードバックされることになった³²。

ただ、この当時日立側の社員のほとんどは、UMCという会社についても、またファウンドリー会社という形態についても詳しくは知らなかった。日立側にとってみれば、トレセンティはあくまでも日立の最先端半導体工場という位置づけであったともいえる。しかし、ファウンドリー会社としての独立心の高まりと、ファウンドリー会社のロールモデルであるUMCとの関わり合いを通じて、日立側の社員も徐々に独立ファウンドリー会社としての意識が向上してきたという³³。

³⁰筆者による内野敏幸氏、木口保雄氏、若林隆之氏へのインタビューより。2005年4月21日。ルネサス那珂第二工場にて。

³¹小池淳義氏の講演資料より。COE大河内賞ケースプロジェクト講演会、2004年12月17日、一橋大学大学院国際企業戦略研究科にて。

³²「トレセンティ開所式 ニュース記事」『Semiconductor Japan Net』2001年4月20日
http://www.semiconductorjapan.net/newsflash/past/semicon_010423.html

³³筆者による内野敏幸氏、木口保雄氏、若林隆之氏へのインタビューより。2005年4月21日。ルネサス那珂第二

5.2 量産開始

トレセンティの立ち上げから量産に至るまでにかかった時間はわずか 1 年足らずであり、世界に類を見ないスピードでの生産体制の立ち上げであった。まず、2000 年 8 月 31 日にクリーンルームの施工が完了した。そして、その翌日の 9 月 1 日からは早くも 10 台以上/日のペースで装置搬入に着手している。10 月 13 日には試作準備を終え、11 月初旬にはパイロットラン(試作インプット)を開始した。12 月 1 日には良品チップの取得に成功しており、同月下旬には顧客向けの出荷開始に持ち込んだ。01 年を迎えてからは量産を睨んだ自動化ラインのブラッシュアップを図り、3 月には自動化の適用を開始しすでに量産を開始している。4 月 20 日にオフィシャル宣言で正式に本格量産の開始を発表した。

このようにトレセンティは、異例の速さで量産にこぎつけることができた。しかし 2001 年は、折しも IT バブルが崩壊して、半導体業界全体が大不況に陥った時期である。どのメーカーも過剰在庫を抱えている状態で、量産を開始したとはいえ、トレセンティの生産数量も予想外に伸び悩んだ。ただし、生産数量の遅い立ち上がりは、一方で、世界初の試みである完全枚葉式生産工場のオペレーションが、初期段階において大きなトラブルを起こさなかった要因の一つでもあった。通常、新しい生産方式と設備を導入する場合、初期段階ではある程度の不具合が出ることが予想される。しかし皮肉にも、トレセンティでは、生産能力的にも人間的にも余裕のある状態が続いたため、大きな不具合トラブルが起きなかったのである³⁴。

また、独立会社としてファウンドリー専門会社を立ち上げ、量産化にたどり着く過程において、従業員の間には自分たちが日本発ファウンドリー会社を成功させるという意識が芽生えてきたという。トレセンティの立ち上げの中心となった人々は当時の様子を次のように語っている。

その時(2002 年ごろ)にはもうかなり機運が盛り上がっていたと思いますね。独立するんだと。出向してきていた人間が、転属する、しない、ということを真剣に考えていた時期でもありました。・・・こうしたビジネスが成功する確率はかなりあるんじゃないかと思ってました。

独立運営をしたいという気持ちはあった。特に、会社の設立当初から中心になって立上げをやってきた課長クラスレベル以上の者は、独立したいという気持ちはもっていたと思いますよ。・・・我々がものを作るという力で主役になれる。そういったモチベーションが一番大きかった気はしますね。

世界初の 300mm ウェハ工場、前例のない完全枚葉式、そして日本発の前工程専門ファウンドリー会社。新たな挑戦に取り組む社員の間には、一種の高揚感が存在したことは想定できる。短期間での最先端工場の立ち上げが可能であったのは、前段階でのシミュレーションなどの予測作業もさ

工場にて。

³⁴ 同上。

ることながら、各従業員の間にも、こうしたモチベーションが働いていたからだとも考えられる。

5.3 日立製作所の 100%子会社へ

2000 年後半からの未曾有の半導体不況の影響によりトレセンティは非常に厳しい状況に置かれていた。その影響もあって、2002 年春に UMC がトレセンティからの撤退を表明している。その結果、トレセンティは UMC との合弁会社から日立の 100%子会社へと変わった。ファウンドリー会社としての独立性を保つ意味では、UMC の撤退はトレセンティに負の影響を与えている。トレセンティは日立の 100%子会社になり、なおかつ工場は日立那珂工場の敷地内にある。

こうした状況のなか、2002 年 6 月 24 日付けでトレセンティの取締役社長に小池淳義が就任した。小池は同社の設立以降、取締役生産技術本部長として世界初の 300mm 対応量産ライン立ち上げと量産に取り組んできたトレセンティ設立の先導役として活躍してきた人物である。なお、前社長の野原壽雄は日立 半導体業務本部の本部長に就任している。

5.4 2003 年 4 月 ルネサステクノロジーの 100%子会社へ

日本半導体業界の再編が活発であったこの時期、日立は DRAM 部門を切り離して NEC との共同出資によりエルピーダメモリを設立した。その動きに続き、2003 年 4 月には、SOC およびフラッシュメモリーの生産統合を目的として、三菱電機との共同出資による、ルネサステクノロジーを設立した。この動きに伴い、トレセンティの株式はルネサステクノロジーに 100%移管されることになった。ただ、この当時のルネサステクノロジーはトレセンティの自社における位置づけについてはまだ決めかねている様子で、5 社から 10 社による共同出資会社にする案も持っていたという。しかし、ルネサステクノロジーの考えるトレセンティの役割は、「自社の最先端工場」というものに徐々に移り変わり、2004 年 6 月には、トレセンティを自社工場として活用する方針を明確に表明している³⁵。生産能力の強化も行い、2004 年 5 月に 10000 枚/月を達成している。

5.5 2005 年 3 月 ルネサス那珂第二工場へ

2005 年 3 月、トレセンティはルネサステクノロジーに吸収合併され、ルネサス内の最先端工場という位置づけになり、ファウンドリー会社としての独立性を失うことになった。ルネサス那珂第二工場になったことにより、独立ファウンドリー会社という構想は事実上潰えたということになる。現在の生産品目を見てみると、フラッシュや SRAM などのメモリーが3分の1強を占め、モバイル用 DVD、デジカメなどの機器用の SOC が 6 割近くを占めている³⁶。SOC に強みを見出す生産システムを有しているとはいえ、ルネサスの最先端工場として最新メモリーの生産もかなりの程度行っていることになる。現在の生産能力は 15000 枚/月であるが、今後も随時拡張を行う予定である。

³⁵ 『日本経済新聞』、2004 年 6 月 23 日朝刊、13 面

³⁶ 筆者による内野敏幸氏、木口保雄氏、若林隆之氏へのインタビューより。2005 年 4 月 21 日。ルネサス那珂第二工場にて。

おわりに

トレセンティは、世界で初めて、300mmウェハの量産工場を立ち上げ、完全枚葉化を実現することに成功した。その背後には、一企業の利潤動機を越える大きな志があった。そのことは、以下に示す小池の言葉にあらわれている。

半導体業界のカルチャーを変えてやろうと思っている³⁷

日本の半導体産業で『黒船』のような存在になりたい³⁸

顧客のために早く安く製品を提供する。こんな当たり前のことが日本の半導体メーカーにはできなくなっていたのではないか³⁹

日本は半導体のモノづくりにチャレンジしてきたのか。原点に戻って、生産革命をやり遂げたかった⁴⁰

80年代に隆盛を極めた日本の半導体産業は、90年代以降、凋落の一途をたどってきた。この時期、DRAMでは韓国の三星電子や米国のマイクロンが日本企業を凌駕し、ロジックIC製造では台湾のファブリーが大きく台頭してきた。装置産業である半導体産業における日本企業の競争力の低下は、安い人件費からくるアジア諸国の優位性に帰することはできない。問題なのは、日本企業の製造技術力の低下であり、技術進歩に適合しない分業モデルへの固持である。こうした認識が、トレセンティ設立の背後にあった。それゆえ、最先端の製造技術の確立に、業界を先導する形で取り組むと同時に、垂直統合型モデルから決別して製造に特化するファブリーというビジネスモデルを選択した。

このようなトレセンティの挑戦は技術的な面では成功したといえるであろう。しかし、ビジネスモデルとしては、独立ファブリーではなく、ルネサステクノロジの最先端工場としての道を歩むことになった。同時にトレセンティの社名も消えることとなった。

(本文敬称略)

³⁷ 『日経産業新聞』、2000年12月5日、9面

³⁸ 『日刊工業新聞』、2001年3月13日、13面

³⁹ 『日本経済新聞』、2000年12月5日、9面

⁴⁰ 『日刊工業新聞』、2001年3月13日、13面

参考文献

- 内野敏幸(1999)「高生産効率 Fab」『SEMI テクノロジーシンポジウム講演予稿集, 1999』、How to Optimize the Factory (新しい地球環境と豊かなネットワーク社会を生み出す半導体技術) (Session 2: Productivity & 300mm Fab—The Production Line Based on Business Strategy)
- 大西勝明(1994)『日本半導体産業論 : 日米再逆転の構図』森山書店
- 香山晋(2004)「半導体産業にみる技術革新と技術経営」『一橋ビジネスレビュー』2004年 SPR.
- 小池淳義(1994)「生産現場から見た表面制御技術の重要性」『表面技術』45(1)、1994年1月(LSI製造における表面制御技術<特集>)
- 小池淳義(1997)「現代産業のこめ,半導体産業を支える生産技術」『日本機械学会誌』、100(941)、1997年4月、(特集 創立100周年記念 これからのつくる技術)(いま,つくる技術)
- 小池淳義(2000)「世界最新半導体工場——小投資規模・低投資リスクおよびサイクルタイム短縮を目指して」『日立評論』82(10)(通号 945)、2000年10月、(特集 最新の半導体技術とその応用——(システムLSI技術)
- 小池淳義(2001)「特別招待論文 300mm時代の新しい生産技術コンセプト」『電子情報通信学会技術研究報告』、101(350)、2001年10月16日(特集 半導体加工技術とプロセスクリーン化)
- 小池淳義(2002)「常温清浄技術に挑戦し 300mm 全工程枚葉ラインを実現」、小川洋輝、堀池靖浩『はじめての半導体洗浄技術』工業調査会
- 小池淳義(2005)「LSI 製造設備にかかわるメンテナンス技術の伝承」『技術と経済』、(通号 455)、2005年1月、(特集 メンテナンス技術における暗黙知(匠の技)の伝承)
- 小池淳義、木口保雄(2003)「300mm 全工程枚葉ライン」『電子材料』、42号、別冊、2003年12月、(超LSI製造・試験装置ガイドブック 2004年版)(プロセス技術編)
- 小宮啓義・監修(2003)『グローバルスタンダードへの挑戦——300mm半導体工場へ向けた標準化の歴史——』SEMI ジャパン
- 坂本雄三郎(1990)『日立にみる半導体工場の現場経営』日刊工業新聞社
- 坂詰秀昭(2000)『日立の半導体』日経BP出版センター
- 佐久間昭光(1998)『イノベーションと市場構造』有斐閣
- 谷光太郎(2002)『日米韓台半導体産業比較』白桃書房
- トレセンティテクノロジーズ・日立製作所(2003)「φ300mm ウエハ対応半導体生産システムの開発と実用化」『大河内賞受賞業績報告書』財団法人大河内記念会
- 藤村修三(2000)『半導体立国ふたたび』日韓工業新聞社 B&T ブックス
- 前田和夫(1999)『はじめての半導体製造装置』工業調査会
- 林武彦(2004)「次世代 300 ミリ Fab 枚葉搬送システム」、『2005 半導体工場・装置・設備』電子ジャーナル
- 苑志佳(2001)「第二章 半導体産業の日本工場」『中国に生きる日米生産システム』東京大学出版会

『日本半導体年鑑』2003年版・2004年版、プレスジャーナル

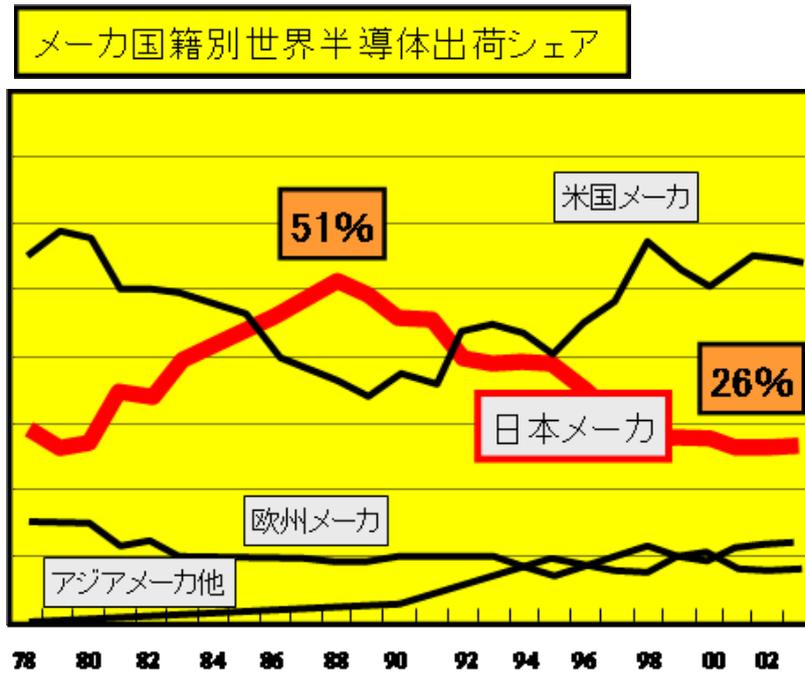
『半導体プロセスハンドブック』 プレスジャーナル 平成8年10月15日発行

『2005 半導体工場・装置・設備』 電子ジャーナル 2004年10月5日発行

『'05 最新半導体プロセス技術』プレスジャーナル 2004年7月1日発行

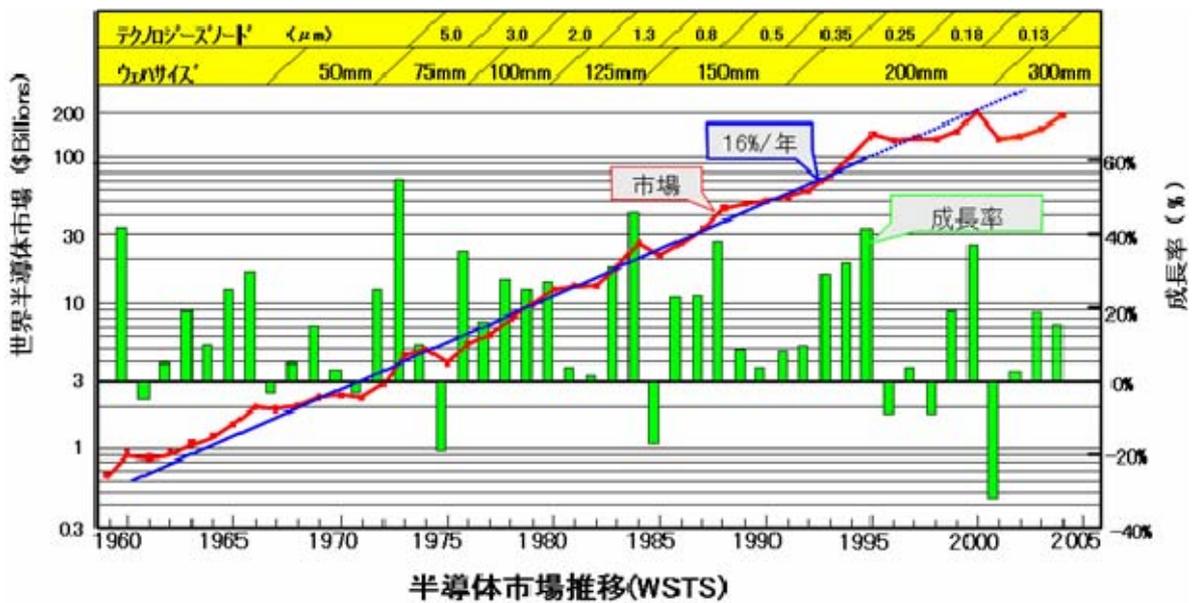
『日立製作所史』2、3、4

図表1: 国別半導体メーカーの出荷シェア



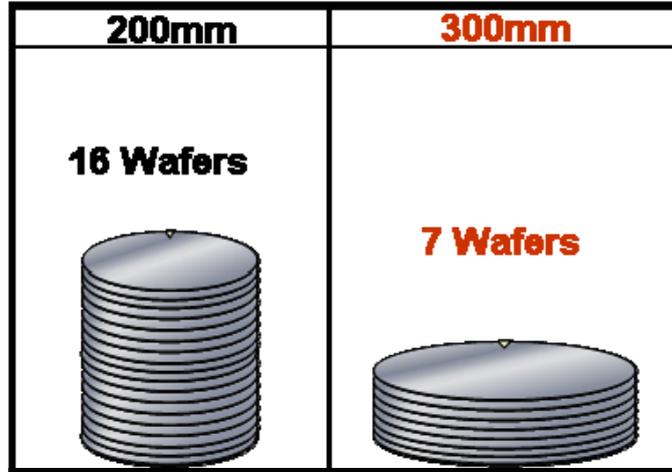
(出所;小池淳義氏の講演資料より。COE大河内賞ケースプロジェクト講演会、2004年12月17日、一橋大学大学院国際企業戦略研究科)

図表2: 微細加工技術の進展とウェハの大口径化



(出所;小池淳義氏の講演資料より。COE大河内賞ケースプロジェクト講演会、2004年12月17日、一橋大学大学院国際企業戦略研究科)

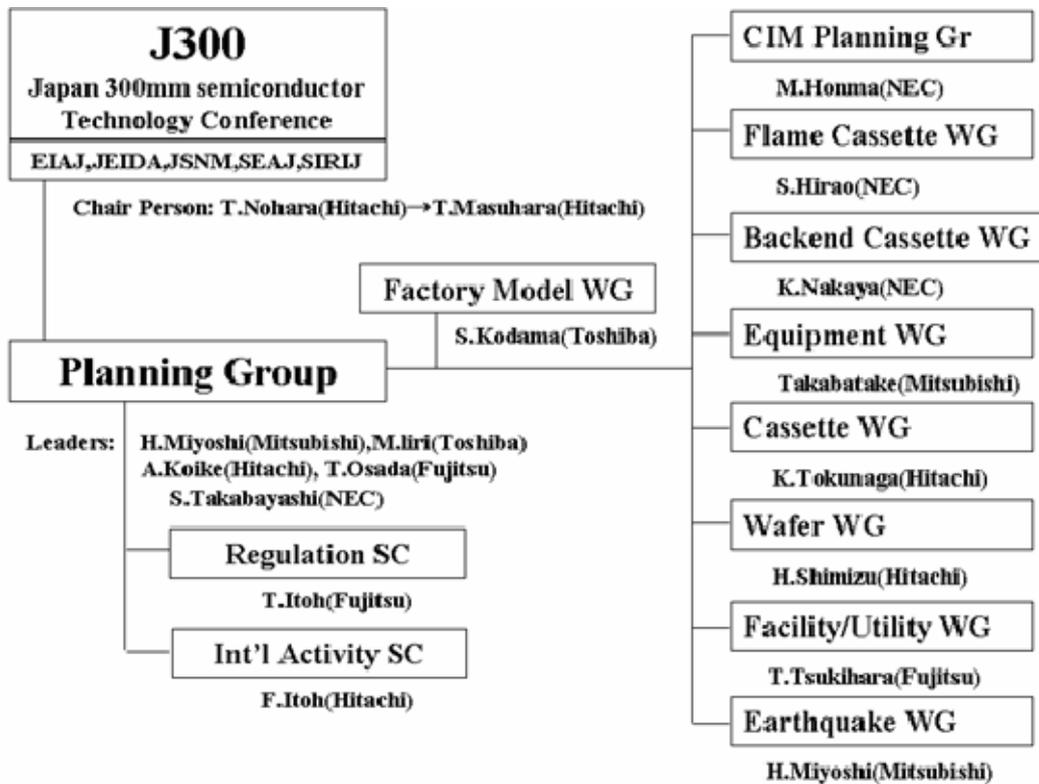
図表3: 200mmウェハと 300mmウェハで生産されるチップ数



10,000チップの製造に必要なウェハ一枚数

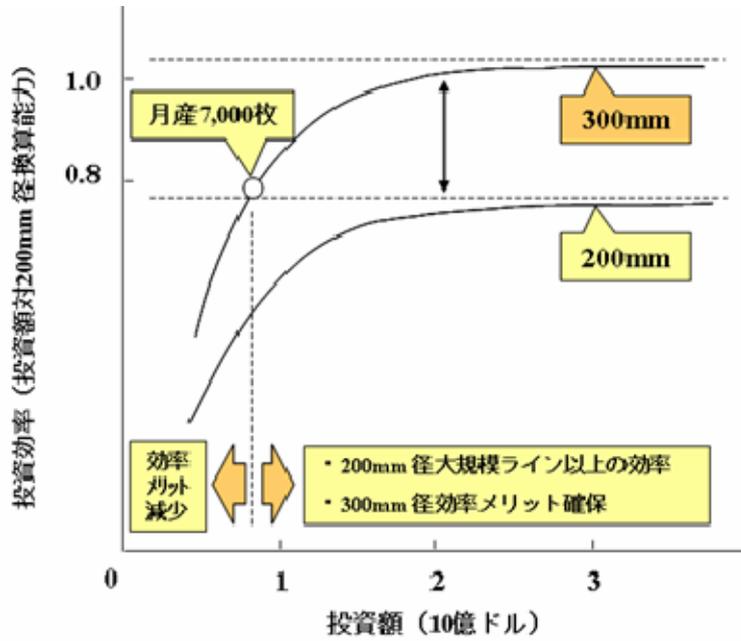
(出所;小池淳義氏の講演資料より。COE大河内賞ケースプロジェクト講演会、2004年12月17日、一橋大学大学院国際企業戦略研究科)

図表4: J300 の組織



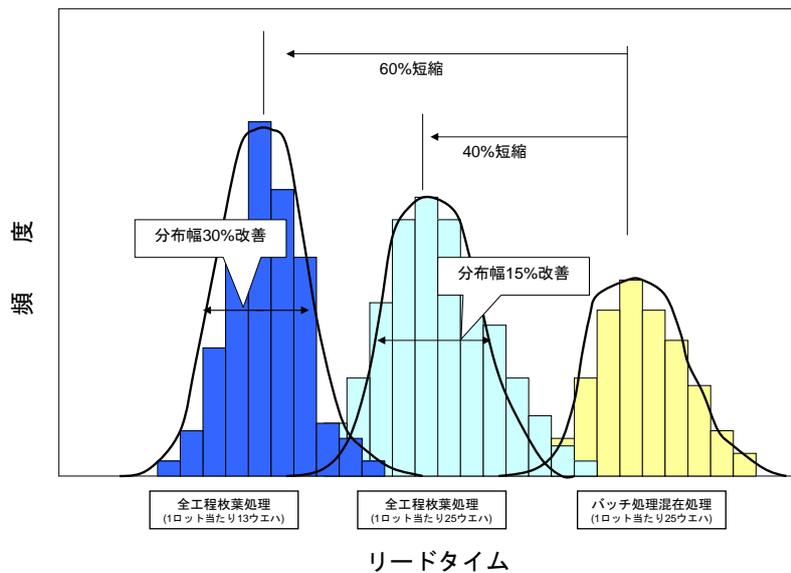
(出所;小宮啓義・監修(2003)『グローバルスタンダードへの挑戦——300mm半導体工場へ向けた標準化の歴史——』SEMI ジャパン)

図表5:工場規模と投資効率



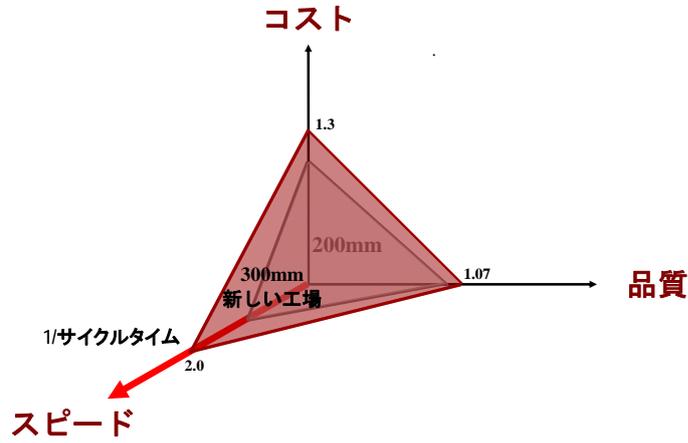
(出所;小池淳義(2000)「世界最新半導体工場——小投資規模・低投資リスクおよびサイクルタイム短縮を目指して」『日立評論』82(10)(通号 945)、2000年10月、(特集 最新の半導体技術とその応用) — システム LSI 技術)

図表6:枚葉化によるリードタイムへの効果



(出所;大河内賞報告書より(一部修正)。)

図表7:Productivity Index



(出所;小池淳義氏の講演資料より(一部修正)。COE大河内賞ケースプロジェクト講演会、2004年12月17日、一橋大学大学院国際企業戦略研究科)

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------