

山口大学大学院東アジア研究科
博士論文

システム LSI 事業における日系半導体メーカーの混迷要因の一考察
—システム連携の側面から革新的な TSMC との比較を通じて—

平成 29 年 3 月

外 山 明

目 次

序章 問題提起と論文構成.....	1
1 問題意識	1
1.1 研究の目的と意義	1
1.2 先行研究の概要.....	5
1.2.1 TSMC のオンラインシステムに関して	5
1.2.2 日系半導体メーカーの生産情報システム上の問題点	11
1.2.3 先行研究に欠けている視点.....	16
2 研究の方法と論文の構成	18
2.1 研究の方法	18
2.2 論文の構成	20
第1章 半導体産業における分業化の進展とシステム LSI の伸長	22
1 半導体産業における分業化の進展状況	22
1.1 売上高ランキングに見る分業化の進展.....	22
1.2 海外 2 大 IDM と日系メーカーの動向.....	23
1.3 分業化の進展状況の分析.....	24
1.3.1 世界半導体市場統計の再分類	24
1.3.2 分業化の進展と卓越した TSMC の伸張.....	25
2 システム LSI の伸長とその製品特性	27
2.1 ロジック IC (システム LSI) の伸長状況.....	27
2.2 システム LSI の製品特性	31
2.2.1 ロジック IC の伸長とシステム LSI (SoC) との関係.....	31
2.2.2 システム LSI (SoC) と ASSP.....	32
2.2.3 システム LSI (SoC) と ASCP.....	33

第2章 日系 IDM のシステム LSI 事業への傾注と分業化の進展	36
1 日系 IDM のシステム LSI 事業への傾注	36
1.1 1990 年代中盤の PC 需要拡大による好調期	36
1.2 DRAM 需要の急減に伴う日系大手 IDM の衰退	37
1.3 日系大手 IDM のシステム LSI への事業転換	37
1.3.1 デジタル化の進展	38
1.3.2 DRAM からシステム LSI への事業転換	38
2 システム LSI における分業化の進展	40
2.1 システム LSI の事業特性	40
2.2 ファブレス・ファウンドリーの台頭	41
2.3 システム LSI (SoC) の設計手法とファウンドリーの優位性	42
2.4 ファブレスとファウンドリーの結合と規模の経済の追求	45
第3章 TSMC のオンラインシステムの先行性	48
1 新型標準生産システムの誕生とその導入	48
1.1 半導体工場専用 MES の誕生	48
1.2 半導体工場専用 MES 開発の背景	49
1.3 TSMC 創業初期の生産管理システム	50
1.4 TSMC における新標準 MES の積極的導入	50
2 システム連携を極めたオンラインサービス	51
2.1 MES とオンラインシステムの関係	51
2.2 オンラインシステムの構築状況	53
(1) 開発・試行期 (1996 年-1999 年)	53
(2) 改善期 (1999 年-2001 年)	53

第4章 日系半導体メーカーのシステム連携の遅れ	55
1 生産システムの時期別状況.....	55
1.1 先行期（～1990年代前半）.....	55
1.2 後退期（1990年代後半）.....	56
1.3 遅延期（2000年代）.....	57
2 システム連携遅延の個別問題.....	60
2.1 品名統合の問題.....	60
2.2 IDMとしての広範囲で厳格なシステム連携.....	61
第5章 半導体工場のシステム連携について（聞き取り調査より）	63
第6章 考察	79
1 日系半導体メーカー最盛期以降の状況と凋落要因の不透明性.....	79
2 半導体生産システムに着目した背景.....	80
3 本稿において注意すべき前提条件.....	82
4 結果の考察.....	84
終章 むすび	89
1 まとめ.....	89
2 結語と今後の課題.....	93
謝辞	96
参考文献	97
資料・ホームページ等	101
インタビューリスト	102
インタビュー番号（連番）及びページ対応表	103

凡例

1. 本文中の半導体製品名の略語一覧

- ASCP [Application Specific Custom Products] 特定用途向けカスタム製品
ASIC [Application Specific Integrated Circuits] 特定用途向け集積回路
ASSP [Application Specific Standard Products] 特定用途向け標準製品
CPU [Central Processing Unit] 中央処理装置
DRAM [Dynamic Random Access Memory] 記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリ
DSP [Digital Signal Processor] デジタルシグナルプロセッサ
FPGA [Field Programmable Gate Array] ユーザー側でプログラムすることのできる論理 LSI
IC [Integrated Circuit] 集積回路
LSI [Large Scale Integrated Circuit] 大規模集積回路
MCU [Micro Controller Unit] マイクロコントローラー
MOS [Metal-Oxide Semiconductor] 金属酸化膜半導体
MPU [Micro Processor Unit] マイクロプロセッサ
SiP [System in Package] 複数の半導体チップを一つのパッケージの中に搭載して作ったシステム
SoC [System on Chip] 複数種の半導体を高密度に集積し、あるシステムの機能を一つのチップにまとめた LSI

2. インタビュー及び参考文献等は巻末のリストを参照

序章 問題提起と論文構成

1 問題意識

1.1 研究の目的と意義

1980年代にDRAM¹事業において全盛を極めた日系半導体メーカーは、1990年代に韓国メーカーに追い上げられ、その多くは2000年代に入った頃に主力とする製品をDRAMからシステムLSIに移した。

有望視されたこの分野においては分業化が進み、前工程²の製造に特化したファウンドリー³事業を営む台湾のTSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd. : 台湾積体電路製造股份有限公司) が今日まで急速に業績を伸ばしている。

同社が提供してきた様々なサービスの一つである、インターネットを利用したオンラインサービスの秀逸さについては、これまで詳細に研究されてきた⁴。その中で、注文した商品の状況をインターネットで確認できるサービスは今日では日常的なものに思われ、ICT (Information and Communication Technology) によって容易に実現できるように思える。しかし、伊藤([2004], pp.21-23)が述べたように、国際宅配便業者による顧客の荷物の状況を確認できるサービスと似ているようで、半導体製造の場合、これとは状況が異なっていた。

詳細は後述するが、1996年に創業者の張忠謀 (モリス・チャン) が提唱し、

¹ 本文中で用いた半導体製品名の略語についてはiv頁にて正式名等を記載。

² 前工程とはウェハーと呼ばれるシリコン基板の上に数多くの集積回路を作りこむ工程である (ウェハー処理工程とも呼ばれる)。そして、出来上がった集積回路の一つ一つをチップと呼ぶ。TSMCはこの前工程を中心に事業を営んでいる。一方、後工程では前工程で作られたチップをウェハーから切断・分離して、各種パッケージに封入し、入念な検査を経て製品として出荷する。

³ 半導体産業の分業体制において、自社で生産設備を持たずに半導体の回路設計を行って製品を販売する企業をファブレスと呼ぶ。その場合、生産は外注されるが、前工程を受託生産する企業をファウンドリーとよぶ。また、後工程を受託生産する企業をサブコン (サブコントラクター) 等と呼ぶ。なお、このサブコンはOSAT (Outsource of Semiconductor Assembly and Test) と呼ばれることもある。

⁴ 例えば、伊藤[2004]、呉[2005]、徐[2009]、莊[2004, 2010]、Hsieh et al.[2002]、Chen et al.[2006]など。

早期に実現されたこの TSMC のサービスは、別の視点でみるとその内実は、高度で革新的なシステム連携にあり、そのシステム構築の過程は Hsieh et al.[2002] や Chen et al.[2006]などの研究が明らかにしている。特殊で複雑な半導体工場のシステムが連携しあうことは、当時は容易なことではなかったと考えられる⁵。

一方、同社と同じシステム LSI 事業を営む日系半導体メーカーは垂直統合型デバイスメーカー (Integrated Device Manufacturer, 以下 IDM) として設計、製造、販売等の業務を一貫して行っており、TSMC をはじめとする分業形態のファウンドリーとはビジネスモデルが異なり、顧客に企業内の生産情報をオープンにするようなサービスは必要ないかもしれない。

しかし、筆者がヒアリングを重ねる中、TSMC が先行して優れたシステム連携を実現した頃に、これとは対照的に日系半導体メーカー内では ICT 上の問題を有しており、社内のシステム連携に支障が生じていたようである。これにより各工場の生産情報の一元管理と見える化ができない状態が続き、かつての汎用 DRAM 時代のビジネスとは違い、製品仕様が顧客毎に異なるカスタム品特有の、きめ細やかな対応を要するシステム LSI の事業を推進する上で混迷した時期があったことがわかってきた。

中馬[2006, 2007, 2010]が提起した半導体生産情報システムの議論では半導体工場専用の標準 MES (Manufacturing Execution System : 製造実行システム) が重要であったとされる。この MES については後述するが、それが新規に開発され海外に広まった一方、日系大手半導体メーカーでは対応が遅れた点を指摘している。しかし、そこでは DRAM 事業を中心とした半導体工場の生産性への影響が主となっており、カスタム品に重点を置き、顧客数、品種数が桁違いに増加して、扱う情報量がより膨大となったシステム LSI 事業において影響があった点については詳細には言及されていない。

⁵ 当時とは異なり、今日では統合データベース構築・BI(Business Intelligence)ツール等が発達し、システム連携は比較的容易になってきていると言われ (インタビュー②-6)、現在の ICT の水準で捉えてはいけない点は注意すべきである。なお、インタビューに関しては、巻末のインタビューリストと各頁との対応表を参照。

また、TSMC のオンラインシステムに関する先行研究においては、同社がシステムを構築するにあたり、1990 年代後半より最新の標準 MES を積極的に導入したことで比較的困難を伴わずに実現できるようになった点まで踏み込んで議論されてこなかった。

よって、本稿の研究目的は、システム LSI 事業を営むにあたり、TSMC が秀逸なオンラインサービスを実現した同じ時期に、NEC 等の日系メーカーでは生産情報システム上の問題で混迷しており、そのどちらもが MES などを中心としたシステム連携が鍵になっていた点、及び彼我のシステム連携の内容とその差が生じた原因を明らかにすることである。

ところで、中馬([2014], p.2)⁶は日系半導体メーカー凋落の背後要因に関して、これまで重ねられてきた数多くの議論の中で、代表的な仮説として以下のようなものを挙げている⁷。

- [1] 設備投資・研究開発 (R&D) 投資の不足やタイミングの遅れ
- [2] ファブレス・ファウンダリモデル (水平統合型モデル) 出現への対応の遅れ
- [3] Intel 流オープン・プラットフォーム戦略による DRAM 汎用品 (コモディティ) 化への認知遅れ
- [4] 日米半導体協定 (1986-1995) に象徴される米国のなりふり構わない強攻策の後遺症
- [5] PC の時代に不相応な品質への過剰なこだわり
- [6] 80 年代後半から急速に進んだ円高基調, ものづくり (製造) 重視・価値づくり (設計) 軽視の経営スタイル等々

⁶ もしくは中馬([2015], pp.174-175) 参照。

⁷ [1]~[6]のそれぞれの内容に関する先行研究については、主だったところでは以下のものが該当すると考えられる。[1]については田中[1995], 藤原[1995], 立本([2008a], pp.266-268), 富田・立本([2008], pp.14-21)ほか。また、税制等が影響した点について立本[2008b, 2009]。[2]は三輪[2001], 清水[2006], 立本・藤本・富田[2009], 中屋[2012], 湯之上[2014]ほか。[3]は小川([2007], pp.38-43), 小川[2008], 吉岡[2010], 立本・小川・新宅[2010]ほか。[4]は河野[1987], 大矢根[2002]ほか。[5]は吉岡[2004], 湯之上[2004, 2005]ほか。[6]は坂本[2013], 西村[2014]ほか。

しかし、一方で中馬(同, p.2)は以下のようにも述べている

「実際、それらの仮説が真であるとしても、そもそも、次々に湧き上がってくる『なぜ投資不足、ファブレス・ファウンダリモデルへの対応や DRAM コモディティ化への認知の遅れ、長期にわたる過剰品質へのこだわり、製造重視・設計軽視の経営スタイル、等々が発生したのだろうか・・・』といった素朴な疑問への一般則的な返答はなかなか得られない。」(引用以上).

本稿では上記の中馬が挙げた中でも、「ファブレス・ファウンダリ⁸モデル(水平統合型モデル)出現への対応の遅れ」に着目し、さらにその原因として、半導体工場の生産システムにおける TSMC の優位性と日系半導体メーカーに内在していた問題点に焦点を当てて、それぞれをシステム連携の視点から比較をしながら検討してみたい。

具体的に言えば、TSMC のシステム連携の秀逸さを端的に示し、その象徴となるものがオンラインシステムである。それを武器に同社はシステム LSI を中心に事業を展開したが、こうしたオンラインシステムの状況をシステム連携の視点で明らかにする。

一方、それと比較する形で 2000 年前後に、かつて得意とした DRAM 事業から TSMC と同じフィールドであるシステム LSI 事業に主軸を移した日系半導体メーカー⁹のシステム連携上の問題点を浮き彫りにする。

これまでの先行研究とは違った角度から議論をすることで、それが「素朴な疑問への一般則的な返答」となる研究に少しでも近づければと考えている。

⁸ 本稿ではファウンドリーに呼称を統一しようとしているが、この例に限らず、引用部の内容を受けて使用する用語は、できる限り元の表現に合わせて記述する。

⁹ 本稿で対象とする日系半導体メーカーは、台湾の TSMC とシステム連携の視点から比較する上で、数多くの製造拠点を有し、2000 年前後に DRAM から、同社と同じ土俵のシステム LSI へ事業の軸を移した NEC、日立、三菱系列等の大手企業を対象とする。よって、DRAM が主力だったエルピーダメモリ(当時)、フラッシュメモリを主力にした東芝等は除く。

1.2 先行研究の概要

本稿では TSMC のオンラインシステムを、半導体工場のシステム連携の視点から、その秀逸性を明らかにする。さらに、それに対して、TSMC と同じ事業領域となるシステム LSI に方向転換をした日系半導体メーカーがシステム連携において混迷していた状況を比較検討する。

以下では、まず本稿が対象とする TSMC のオンラインシステムについて記述している先行研究を、半導体生産情報システムのシステム連携の視点で取り上げる。その後、同じ視点から日系半導体メーカー側の問題について触れた先行研究を検討したい。

1.2.1 TSMC のオンラインシステムに関して

台湾の半導体産業に関する先行研究は多数存在するが、上記の視点から捉えようとしたものは筆者の知る限り非常に限られている。また、TSMC のオンラインシステムに関する記述はそのサービスの内容に関するものがほとんどで、システム構成やその連携状況に関しては主たる議論の対象とはなっていないため、必要最低限の内容が断片的にしか記述されていないことが多い。さらに半導体工場における生産は非常に複雑な形態をとるため表現することが難しく、漠然とした内容が記述されていることも多々見受けられ、その奥に潜む生産システム連携上の問題点まで深掘りができていないと思われる。

よって、本稿では先行研究を記述するにあたって、やや冗長となるが、できる限り原文を記載する。そうして限られた先行研究の微妙な言い回しをはっきりと明示した上で、そこに書かれている TSMC のオンラインシステムとそのシステム連携に関する内容を詳細に確認して、不足した部分を浮き彫りにする作業を行いたい。

青山([1999], pp.69-70)は 1990 年代に台湾の半導体産業がネットワーク型分業で急成長している点を明らかにした。そして TSMC のオンラインシステムにつ

いては、同社の創立者、張忠謀の提唱する「バーチャル・ファブ (Virtual Fab)」のコンセプトに基づくものとして、以下のように述べている。

「一般に顧客はファクトリーにいったん発注したならば、前工程から後工程 (IC 設計¹⁰から組立, 試験, 出荷) までの全てをあたかも同じ一つの工場が責任をもって引き受け, 問い合わせに対しては製品の仕掛り状況が即座に判るようなシステムを要求している. 分業システムで半導体の生産を行っている台湾企業がこの要求を実施する方策が『バーチャル・ファブ』である」(引用以上)

これは、日本で比較的早い時期に TSMC のオンラインシステムについて触れた先行研究である. この記述から、「前工程から後工程 (IC 設計から組立, 試験, 出荷) まで」分業形態により遠方に存在する複数の生産拠点の情報を、(あたかも一つの工場のように) 一元管理しており、「問い合わせに対しては製品の仕掛り状況が即座に判る」ことから、各生産拠点のシステムはリアルタイム、かつシームレスに連携¹¹できていることが判断できる. なお、この先行研究は 1999 年のものであるので、1990 年代のうちにこうしたシステム連携を TSMC が実現していたことがわかる.

また、佐藤([2007], p.157)もオンラインサービスについてバーチャルファクトリーという表現を用いながら以下のように述べている.

「単に量的に拡大しただけではなく、TSMC の経営は質的な進化も遂げてきた. (中略) 顧客がまるで自社工場のように、自社の製品が TSMC の工場のどの工程にあるのかが常時わかるようなバーチャルファクトリーというサービスを行っている。」(引用以上)

¹⁰ IC 設計に関しては後工程に含めずに、独立した区分にすることが多い.

¹¹ 生産情報を即座 (リアルタイム) に情報を入手するには、工場のシステム連携が重要となる点に関しては外山[2014]に詳しく記述している. なお、シームレスは「(システム間で) 途切れのない」という意味として本稿では使用する.

また、朝元・小野瀬([2014], p.2)も TSMC のオンラインサービスについて、「バーチャル・ウェハー工場」という言葉を用いながら以下のように述べている。

「張忠謀会長は『バーチャル・ウェハー工場』という新しい概念をいち早く提出した。つまり、ファウンドリー企業は顧客にフルセットのサービスを提供し、TSMC の工場はまるで顧客（ファブレス企業および一部の IDM 企業）の自分の工場のように、製品の製造過程の進み具合を顧客にチェックできる体制を構築したことである。TSMC は戦略同盟の締結や投資協力の方式を通じて、全方位のバーチャル工場概念を造り、同時に顧客からの受注リスクの分散を図ることである。バーチャル工場のモデルによって、顧客は TSMC のホームページで検索すると、製造委託の製品の作業の進み具合を確認することができる。顧客にとってバーチャル工場はまるで自分の工場のようにあり、顧客にとっては大変有難い存在である。」(引用以上)

以上の青山、佐藤、朝元・小野瀬の先行研究を踏まえると、TSMC では創業者、張忠謀が提唱した Virtual Fab（ファブ≡ファクトリー≡ウェハー工場）という概念をもとに、同社の顧客にとって、前工程から後工程までの分業化された工程（工場）があたかも一つの自社工場のようになり、製造委託した製品の進み具合（仕掛品の進捗状況）を即座に確認することができるシステムを構築したことがわかる。

しかも、朝元・小野瀬によれば、「顧客にとっては大変有難い存在」としており、これは、インターネットの時代にあっても、こうした単純に見えることが、どこにでも存在する訳ではなく、簡単に実現できるものではなかったことを示唆している。

この点に関し、伊藤([2004], pp.21-23)は TSMC のオンラインサービスに関する記述のなかで、それが国際宅配便業者による顧客の荷物の状況を確認できるサ

ービスと似て非なる点を指摘し、半導体産業の情報システムは、通常我々が想像する物流システムのような単純なシステムではなく、革新的なものであることを以下のように記述している。

「TSMC 社は、半導体製造プロセスの進捗状況をモニタリングできるサービスを行っている。これは、国際宅配便業者による、顧客の荷物の状況を確認できるサービスと似ているが、半導体製造の場合、状況が異なる。半導体製造では、その半導体のプロセスが決まると、リソグラフィ（回路の微細加工）、エッチング、CDV^(ママ)（科学^(ママ)処理による金属薄膜の付与）、酸化、導体加工、クリーニングという工程を何層にも繰り返すため、それぞれの工程での不良率が問題になる。一般的に、半導体産業は、製造業のなかでも不良率の高い産業である。そのために、不良率の改善は、企業の収益、計画生産のために、最も重要なテーマとなっている。このような、半導体製造工程のモニタリングを行うということは、すなわち、市場投入のタイミング、数量確保のために非常に重要なサービスとなるのである。TSMC 社は、半導体業界では初めて、このようなサービスを導入している。（中略）TSMC 社独自で行う工程は、実際の半導体プロセスの『ウエハー製造』のみであり、他のサービス、たとえば、ウエハーの試験、組み立て・検査などの工程は、アライアンス企業の業務である。このように、TSMC 社のロジステックサービスは、顧客の要望により、フレキシブルな対応が取れ、複雑な半導体製造の工程が、あたかも TSMC 社一社の中で、全てが解決されるようなサービスを受けられるのである。また、前述のように、このような工程は、全て、インターネット上でモニタリングできるようになっている。」（引用以上）

ここでも、TSMC がウエハー製造のみの分業形態をとる中で、ウエハーの試験、組み立て・検査工程などの提携企業の業務も含めて、「あたかも TSMC 社一社の中で、全てが解決されるようなサービスを受けられ」また「このような工程

は、全て、インターネット上でモニタリングできるようになっている」という表現により、TSMC のシステムは提携企業（他工程，他工場）とのシステム連携もできていると解釈することができる。

なお、前半の「国際宅配便業者による、顧客の荷物の状況を確認できるサービスと似ているが、半導体製造の場合、状況が異なる」としている点が重要であると思われるが、その後の半導体製造に関する記述も含め若干複雑でわかりにくいかもしれない。本稿のシステム連携の趣旨に則して考えると、その後に書かれてある「不良率の改善」、「製造工程のモニタリング」、「市場投入のタイミング」、「数量確保」に関しては生産管理の問題に通じることから、「国際宅配業者による物流システムを通じた顧客の荷物の状況を確認できるサービスと似ているが、半導体製造の場合、工場の生産情報システムや生産管理の問題に通じるため状況が異なる」と解釈することができよう。

この半導体工場の生産情報システムは独特かつ複雑で、非常に重要な役割を担う情報システムであるが、実際に調査をしていくと、これらの製造拠点間のシステム連携は簡単にはできるものではなかったことがわかってくる。TSMC がオンラインシステムを構築したのと同じ頃、日系半導体メーカーにおいては、社内の生産情報システムのシステム連携に問題があり、顧客へのオンラインシステム構築以前の問題として、社内に複数ある工場の生産情報の一元管理ができない状態であった。この点については後述したい。

次に鈴木([2009], p20)はオンラインサービスの内容を以下のように記述している。

「ウエハー加工工程においては、つねに歩留まりとサイクルタイムが変化する可能性があるため、作業の流れを緊密にチェックし、速やかに対策を立てることが必要であった。“TSMC-Online” と呼ばれるサービスを通じて、顧客はウェブベースの製造追跡システムにアクセスし、リアルタイムで作業の進捗状況

をチェックし、設計と製造との不一致を管理できるようになった。これによってファブレス側は自社工場におけるのと同様に『製造』を処理することができた。」(引用以上)

ここでも顧客は TSMC のオンラインシステム（ウェブベースの製造追跡システム）により、「リアルタイムで作業の進捗状況をチェック」することが可能である点が明記されている。リアルタイムにオンラインシステムで進捗状況を確認できるということは、製造設備側のシステムと顧客側の PC 等の端末がシームレスにつながっていることを意味する。

なお、「設計と製造との不一致を管理できる」以下の記述は、オンラインシステムが設計業務に関係している点を示唆しているが、その実態はこの表現ではわかりにくいかもしれない。これは本稿の趣旨に即して考えるならば次のように解釈できよう。すなわち、設計企業（ファブレス）側はたとえ自社工場を持たなくても実際に TSMC で製造してみて、オンラインシステムを通じてリアルタイムに不具合を発見し、修正作業をすることができるようになった。こうして工場を持たない弱点を克服し、設計業務を主体とした事業に特化できるようになったと考えられる。

ちなみに、陳([2000], p.663)は、オンラインサービスと設計業務との関係について以下のように述べている。

「台湾半導体産業は国内のみならず、世界的にも大きな影響を与え、例えば、TSMC の海外取引先は、70%を超え、半導体先進国の大手メーカーのほか、シリコンバレーに小さな一室しか構えられない無名なデザイナーにも、頭脳で一攫千金の機会を与えたのである。現在、台湾やシリコンバレーの半導体メーカーは、プロセス・設計（IP¹²、システム特許）など、半導体産業の情報をインタ

¹² Intellectual Property の略

ーネット上などで公開しており、IP の供給を専門に行うメーカーも現れはじめて
いる。そのため、インターネットさえあれば、世界中どこでも、この公開さ
れた IP を活用することにより、最先端の設計・開発ができるようになっている。」
(引用以上)

こうした記述より、インターネットを利用したオンラインサービスは設計業
務とも関係があると考えられる。また伊藤([2004], pp.20-21)によれば、TSMC は
“CyberShuttle” という、設計した半導体の試作サービスを提供しており、その
試作ロットの品質や進捗情報などを入手するにあたって、オンラインサービス
によるモニタリングが可能である。よって、こうした点からもオンラインサー
ビスは設計業務に関係があると考えられる¹³。

以上で取り上げた日本の先行研究は、もともとオンラインシステムに関する
ことを中心に記述しようとしたものではないため、システム連携の状況を細部
まで把握するには、いずれも断片的な表現が多く、不十分である。

一方、台湾側の視点から TSMC のオンラインシステムについて述べたものは
比較的詳細な先行研究が存在する。例えば Hsieh et al.[2002]¹⁴や Chen et al.[2006]
は、より具体的に TSMC のオンラインシステムの状況やその構築過程を記述し
ている。これら TSMC の情報システムの状況を詳細に記述した文献は非常に参
考になるため、あらためて第 3 章で取り上げたい。

1.2.2 日系半導体メーカーの生産情報システム上の問題点

筆者が日系半導体メーカーの状況についてヒアリングをしていくと、1990 年
代後半頃より工場間の生産情報システムの連携で大きなハンディキャップを負

¹³ そうした点を踏まえながらも、本稿では、オンラインシステムを半導体生産情報シ
ステムのシステム連携の視点から議論をしようとしているため、設計や試作サービス
についての詳細は割愛する。

¹⁴ 莊[2004, 2010]、呉[2005]、徐[2009] においても同様に TSMC のオンラインシス
テムの内容を記載しているが、これらは情報源として Hsieh et al.[2002]を参考文献と
しており、こちらのオリジナルの文献を主に参考にした。

っている時期があったことがわかってきた。そこで、日系半導体メーカーの生産情報システムの問題に関する内容を記述した先行研究を次に述べたい。

中馬[2006, 2007, 2010]は半導体産業に関する先行研究の中で生産システムの問題にふれている。1980年代に半導体の分野で一旦日本との競争に敗れた米国では、Texas Instruments (TI) が中心となって産官協力し合う形で1980年代後半頃より、標準化された半導体工場専用の生産システム¹⁵が開発されていた。それはオープン・オブジェクト指向¹⁶型MES¹⁷と呼ばれ、ダウンサイジングやオープン化、オブジェクト指向プログラミング等の新しい情報技術が普及する時代にあわせ設計されたシステムである。この点に関して中馬([2010], p.189)は以下のように記述している。

「TI流MES ("Control Works"と呼ばれた)は、93年に表舞台に登場し、セマテック経由で標準化されるや、瞬く間に数々の米国有力半導体メーカーに普及していった。米国のみならず、韓国のサムスンに代表されるDRAMメーカーや、台湾のTSMCに代表されるSi¹⁸ファブリーにもただちに普及していった。」

(引用以上)。

¹⁵ 中馬([2007], p.43)によれば、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) や米空軍の財政支援を得た Texas Instruments が中心となり、SEMATECH (米国半導体 R&D コンソーシアム) との綿密な連繋を取りながら1988~1993年に実施された米国政府肝いりのMMST (Microelectronics Manufacturing Science & Technology) プロジェクトにおいて開発されたシステムである。

¹⁶ オブジェクト指向とはコンピュータのプログラミング用語であり、近年ではデータやその集合体が現実世界のモノ (オブジェクト) になぞられて、プログラミングがなされるようになったことから用いられる言葉である。例えば、オブジェクトと呼ばれる一つのまとまったプログラムを作成し、その利用に際しては、その内部構造や動作原理の詳細を知る必要はなく、その組み合わせによってソフトウェアを構築してコンピュータを動作させることができるようになり、特に大規模なソフトウェア開発において有効なプログラミングの方法となっている。

¹⁷ MES は、企業の本社や工場などにおける基幹 (計画) 系のERP (Enterprise Resource Planning) システムと、現場の装置系システムの間をつなぐ、情報伝達や管理機能を持つ、生産管理の中核システムである。

¹⁸ 前工程で使われるSi (シリコン) ウェハを指す。

こうした標準化された MES の出現によって、たとえ新興の企業であったとしても、複雑な半導体工場の生産システムを自社で一から開発しなくとも、市販のパッケージ製品を用いれば、リアルタイムに生産現場の状況を監視し、情報を収集することができるようになる。それにより短いサイクルタイム（リードタイム）や、より少ない仕掛在庫(中馬[2010], p.188), そして納期遵守率などの向上(同, p194)が可能となった¹⁹。かつては参入障壁となり得た生産情報システムの構築力が、半導体メーカーの競争力に及ぼす影響が少なくなったと言える。さらに中馬([2006], p.9)は以下のように述べている。

「新しい半導体生産システムが米欧韓台の半導体メーカーに急速に普及して行くにつれ、これらメーカーの生産システムの効率性は着実に高まっていった。他方、多くの有力日本メーカーは、Object-Oriented MES（特にそこに含まれるオブジェクト指向や CORBA²⁰等の斬新なアイデア）には注目しつつも、少なくとも 90 年代末までは依然として自社製のクローズドな MES と従来型のプッシュ型生産方式に固執し続けた。」(引用以上)

このように中馬は、海外に比べて日系半導体メーカーにおいては自社製のクローズドな MES に固執し続けた点を指摘している。そして、この影響に関しては海外メーカーの生産性向上に着目して、日系半導体メーカーが劣勢になった点を明らかにしている。しかし、筆者が示そうとしている半導体生産情報システムのシステム連携の視点では捉えられておらず、また、そうした視点から TSMC のオンラインシステムの秀逸さや、日系半導体メーカー内で起きていた問題まで結びつけて深く議論されていない。

¹⁹ 設備の設定条件の自動改善など、生産管理業務を補助する APC (Advanced Process Control) のようなしくみが組み込まれると影響が大きいとの指摘があった (インタビュー⑦-2)。

²⁰ CORBA (コルバ) とは、中馬([2010], p.188)によれば「分散システムのもとで複数の装置同士がデータをやりとりする通信の基盤技術で、異なるプログラミング言語を共通言語化し、さまざまな装置からの要求を自動的に交通整理するプログラム・アーキテクチャ」である。

一方、岸本[2015]は、TSMC の柔軟・高効率な生産システム構築に関して議論をする中で、中馬の先行研究をベースにして、聞き取り調査等を行うことで、半導体生産情報システム上の TSMC の秀逸性と日系半導体メーカーの工場の問題点を引き出している。それは以下の通りである。

「一般的には、ひとつの生産ラインでの多品種少量生産は複雑性が高く困難であり、TSMC がこれを効率よく実施できるのは、長年に亘るノウハウの蓄積と ICT (Information and Communication Technology) 技術による最適化・自動化に加え、常に市場ニーズへの適応を心がけている結果であろう。」(岸本[2015], pp.539-540)

「日本メーカーにおいてもこうした完全自動システムの導入は実施されたが、台湾ファウンドリのような後発メーカーの方が、新たな技術潮流に乗じてより積極的に生産システムの高度化と急速な技術進歩を実現していったとみられる。」(同, p543)

「台湾ファウンドリの生産システム優位性の多くは、ICT 管理システムの活用と各工場の経験・ノウハウの全社的な共有、その前提としての装置やツール、レシピ等の社内標準化の推進に帰するとみられる。他方、筆者が国内の半導体業界関係者と面談した中では、日本がこの面で不徹底であることを示す事例を聞かされた。例えば、国内大手半導体メーカー S 社では、生産ラインの自動化・無人化と ICT 管理システムの導入は相当程度進んでいる。ただし、それは従来のシステムを効率化しただけで、工場毎に『結構バラバラ』に行っているという。」(同, pp.544-545)

「すなわち、同じ社内でも工場間でエンジニアリング・インストラクション（生産技術指示書・プロセスパラメーターやデザインルール等に関する決まり）やパーツナンバーが異なり、装置のデータも標準化されておらず、工程フローやレシピも異なる。台湾ファウンドリのようにプロセスや管理方式を全社的に統一する努力が徹底されていない。」(同, p545)

「こうなってしまったのは、各工場のエンジニアが自分のやり方へのこだわりが強く（良く言えば「匠の世界」だが）、様々な仕組みをボトムアップで積み上げてきた結果であるという。」(同, p545)

「S 社の他、エルピーダやルネサスのような企業は、複数企業の半導体事業部の統合によって設立されたという生い立ちのため、全社的な標準化と経験・ノウハウの共有が台湾ファウンドリに比べ不十分であった可能性が高い。」(同, p545)

(引用以上)

上記の岸本の先行研究では、半導体生産情報システムのシステム連携に関して工場の状況がかなり明らかにされてきた。ただし、内容はやや断片的であり、具体的にいつの時点でどのような差が TSMC と日系半導体メーカーの間に生じており、どのような点で問題であるのかがまだ漠然としている。これに関することで岸本は以下のように述べている。

「個別企業（例えば、TSMC）に関して複数の指標に沿った信頼のおけるデータを包括的に収集するのは簡単なことではなく、ましてや複数企業について同様のことを行い厳密かつ体系的な比較分析をするのは（例えば、TSMC と日本の代表的半導体メーカーの間の比較）かなりの困難が予想される」(同, p533)

「優位性を示す指標や正確な数値は必ずしも体系的に提示することはできず、代わりに、業界で認定されているような常識、断片的なデータ、具体的な事象に関わる日本企業との対比などを、筆者自身の訪問調査や既存文献・資料から引用することでサポートする。」(同, p534)

(引用以上)

このように、企業の内部情報に関する研究においては、その情報収集にかなり制約を伴うことが考えられる。

1.2.3 先行研究に欠けている視点

ここで、先行研究において不十分なところをまとめておこう。TSMC のオンラインシステムに関して、「顧客が注文した製品の仕掛け状況がわかるサービス」の存在について言及している先行研究は、前述した青山[1999]、佐藤[2007]、朝元・小野瀬[2014]、伊藤[2004]、鈴木[2009]などが存在する。これらによりオンラインシステムの状況がある程度把握できるが、記述された内容は、もともと各先行研究のテーマの中心となることではないため、断片的にしか表現されておらず、詳細な状況がわかりにくい。

一方、海外に目を向けると、Hsieh et al.[2002]や Chen et al.[2006]等はオンラインシステムの概要からシステム連携やシステム構築の状況まで記述しており非常に参考になる。しかし、これまでの台湾側のファウンドリーに関する先行研究においては、1990年代頃からの新たなオープン化やダウンサイジングなどの情報技術は、あって当たり前のもので取り扱っている傾向がある。よって、TSMC のオンラインシステムの詳細な記述においても、日系半導体メーカーと比較して恵まれた情報システム環境が、システム連携において有利に働いていたことが、あまりにも当然のこととして見過ごされているように思われる。

この件に関して、前述の岸本は「台湾ファウンドリーのような後発メーカーの方が、新たな技術潮流に乗じてより積極的に生産システムの高度化と急速な技術進歩を実現していったとみられる」と述べているが、TSMC がその飛躍的發展を遂げたのは1990年代後半以降であり、オープン化やダウンサイジング、オブジェクト指向プログラミング等の情報技術が普及した時期と重なる。

標準化され、インターフェースが比較的整った市販MESを導入できるようになった時期に、タイミングよくファウンドリー事業を拡張したTSMCは、こうした最新のシステムを導入することで「バーチャル・ファクトリー」の実現性が大幅に向上したはずである。更にこの新たな情報潮流に乗じてできたオンラインシステムによって、TSMC は設計、試作サービスもよりよいものにして、分業化を促進していくことができた可能性が高いと考えられる。

しかし、筆者が台湾企業に聞き取り調査をした際、「PC、サーバーの存在は昔から当たり前」（インタビュー⑨-1）といったような言葉が異口同音に返ってくることに気がついた。台湾の半導体メーカーは 1990 年代後半から急速に発展しており、レガシーシステムの影響をあまり受けなかったと思われるが、調査を進める中で、現地ではその優位性が自覚されていないことがわかってきた²¹。

よって、台湾側の視点から書かれた先行研究においては、TSMC が優れたオンラインシステムを構築した状況を詳細に記述するものはあっても、情報システム環境面での台湾側の優位性と日系半導体メーカー側の問題点に気づき、両者を比較しながら議論したものを見つけ出すことは難しいと考えられる。

その一方で、半導体の生産システムに関する日本の先行研究においては、日系企業と海外企業の比較研究を行った論文がいくつか存在する。しかし、その数は非常に限られており、筆者の知る限りでは、恐らく中馬と岸本の二人以外では主だったものは存在しないと思われる。

中馬[2006, 2007, 2010]は半導体生産システムについて工場の生産性の問題を中心に議論して、海外メーカーの秀逸さと日系メーカーの遅れを指摘した。さらに、岸本[2015]は台湾のファウンドリーに焦点をあて、TSMC の生産システムの先進性について技術能力の視点で比較を行い、日系半導体メーカーの問題点を指摘した。そうした研究は「先駆としての意義」（岸本[2015], p 534）がある。ただし、両者とも TSMC と日系半導体メーカーの生産システムの違いについて、システム連携の問題まで踏み込んで深く議論されていない。

以上のように、台湾の TSMC のオンラインシステムの先進性と、同じシステム LSI 事業で競合することになった日系半導体メーカーの生産情報システムの

²¹ 筆者が、台湾で聞き取り調査をした際、日系大手半導体メーカーにおいては 2000 年代に入っても長らく、古くからのメインフレームを中心としたレガシーシステムを残していた工場が数多く存在した事を、台湾の大手半導体メーカーの役員に伝えると、「信じられない」と絶句された（インタビュー⑨-2）。中馬が指摘した日系半導体メーカーのレガシーシステム等の問題は、新興の台湾企業側ではそうした経験が少なく、実感することが難しい内容である可能性が高い。そうしたことから、台湾側から日系半導体メーカーの生産システムの問題点を指摘する先行研究が出てくることも難しいと考えられる。

問題は個別に議論されており、それぞれをシステム連携の視点で詳細に比較、分析をすることは行われてこなかった。この理由としては、企業の情報システムに関する内容は機密扱いとなり表面化しにくいことなども考えられる。

しかし、本稿では断片的な情報の収集ではなく、ある程度まとまった形でエビデンスの収集を試み、システム連携という新たな共通の視点で、TSMC の先進性と日系半導体メーカーの有していた問題点を対比して、可能な限り具体的にそれらの状況を浮き彫りにしてみたいと考えている。

2 研究の方法と論文の構成

2.1 研究の方法

本稿の議論を進めるにあたり、まず以下の点を確認しておきたい。

- ・日系半導体メーカーの多くが、1980年代に隆盛を誇った DRAM 事業において、1990年代に入り韓国のサムソン（三星）電子を中心とした海外勢に追い上げられて撤退した（日本ではエルピーダメモリ 1社に DRAM 事業は集約されたが、同社は2012年に米国マイクロン・テクノロジーに買収された）。
- ・2000年代に入り日系大手半導体メーカーの内、東芝はフラッシュメモリを、またエルピーダメモリは DRAM を主力として世界で戦ってきた。しかし、NEC、日立、三菱など残りの大手メーカーは同じ2000年頃を境に DRAM 事業から撤退した後にシステム LSI 事業に主軸を移すと、その後、なだれ落ちるように一斉に世界ランキングにおいて順位が低下し、業績は低迷し続けた。

日系半導体メーカーの凋落について議論するには、DRAM ビジネスの時代と、そこから事業の主軸を移した後のシステム LSI ビジネスの時代とを区別する必要がある。そして本稿の議論は主に後者にあたる。日系大手半導体メーカーの多くは2000年代に入り、あたかも流行を追うように事業の主軸を DRAM からシス

テム LSI に移したが、本稿の対象はこのような行動をとった NEC、日立、三菱（これらは現在ルネサスエレクトロニクス）といった大手 IDM が中心となる。

そして、同じ日系半導体メーカーの中でも、これらとは異なる路線を進んだ、フラッシュメモリを中心とする東芝、DRAM のエルピーダメモリ等の企業に関しては、本稿で述べることは異なった議論が必要になると思われる。

次に、前述の岸本が述べたように、個別企業に関して信頼のおけるデータを収集するのは簡単なことではなく、ましてや複数企業について厳密かつ体系的な比較分析（例えば、TSMC と日本の代表的半導体メーカーの間の比較）をするのはかなりの困難が予想される。このように、企業内の情報システムに関する情報収集には制約があるが、それを少しでも克服できるように以下のような形で研究を進める。

まず、TSMC のオンラインシステムに関する先行研究に関しては、前述した通り日本においては断片的に記述したものが多く、またシステムが完成した後の状況を取り扱ったものがほとんどで、本稿で取り上げる 1990 年代後半の構築段階の状況について詳しく触れられたものはなかなか見つけられない。

そうした中、台湾側では前述の Hsieh et al.[2002]、Chen et al.[2006]等、システム構築過程を比較的詳細に記述されたものが存在するので、それらをもとに検討したいと考えている。さらに、こうした先行研究を踏まえインタビュー²²を重ねて確認作業を行い補完する。

一方、日系半導体メーカーについては、2000 年頃を境に最盛期の DRAM から、TSMC と同じ土俵となるシステム LSI へと主軸となる事業を移した日系大手半導体メーカーの中で、NEC 半導体グループ（以下 NEC）²³をサンプリングすることとした。

この NEC の半導体事業部門においては、2000 年代に入り、GBT (Global Business

²² インタビューに関しては、巻末のインタビューリストと各頁との対応表を参照。

²³ NEC グループの半導体事業は DRAM 事業を切り離し、後に NEC エレクトロニクスとしてシステム LSI を中心とした事業に注力することになるが、本稿ではそれまでの期間を対象として NEC と称する。その後ルネサステクノロジと合併してできたルネサスエレクトロニクスは対象としない。

Transformation) というシステムリニューアルのためのプロジェクトが行われている。このプロジェクトには本稿で取り扱う日系半導体メーカーのシステム連携の典型的な問題点が集約されていると考えられる。本件はいくつかの公開資料が存在するため、それらを利用しながら関係者へインタビューを重ねて検討した。さらに、これをもとに NEC 以外の日系半導体メーカーについても調査した。

このように TSMC と NEC をサンプリングして、生産情報システムのシステム連携の視点で比較する。そして NEC 以外の状況も検討して、それらを順序立てて述べることにより、TSMC の優位性と日系半導体メーカーの問題点を浮き彫りにすることを目指したい。

ファウンドリーと IDM とは事業領域が異なるが、本稿ではシステム連携という問題に焦点をあてることで比較可能となり、新たな知見を得ることができよう。TSMC は前工程（ウェハー処理工程）の企業だが、後工程（アセンブリ・パッケージング・テスト工程）等の提携企業も巻き込み、最新の ICT を駆使して柔軟で優れたシステム連携を実現している。よって、それとは全く対照的に、同時期に IDM として前工程、後工程の工場を含めたシステム連携で混迷していた NEC の状況と比較するという構図は、システム LSI 事業を主軸として TSMC と同じ土俵で戦うことになった日系大手半導体メーカーのシステム連携の問題を議論する上では、その違いが明確にあらわれる好例であると思われ、このような研究方法をとることとした。

2.2 論文の構成

これまで述べてきた研究課題について吟味していくために、本稿では以下のように章立てして述べていきたい。

まず次の第 1 章で世界の半導体市場で分業化が進み、台湾を中心としたファウンドリー、その中でも TSMC が大きく伸張した一方で、日系半導体メーカーが低迷した状況について概観する。また TSMC はシステム LSI 分野で強みを発揮しているが、近年、半導体産業はこの分野が伸張してきた点を確認する。さらに本稿の議論を進めていくにあたり、このシステム LSI の製品特性について整理し

ておく。

第2章では、日系半導体メーカーが1980年代から1990年代初頭頃までの最盛期に強みを発揮したDRAMから、1990年代末頃よりシステムLSIに事業の軸を移そうとした状況を概観する。一方、分業形態のファブレス・ファウンドリーがこの分野で力を発揮できる理由をシステムLSIの設計のしくみから確認し、日系半導体メーカーが凋落する中でTSMCが伸張していった状況について検討する。

以上を踏まえ、後半に入って具体的に企業比較を行う。まず第3章では、ファウンドリーのリーダー的存在となったTSMCを例に、最新の生産システムを導入して、オンラインシステムを構築する中で、緻密なシステム連携を実現していたことを述べる。

次の第4章において日系半導体メーカーを代表してNECの事例をもとに、同社がシステム連携に問題を有し、それを克服するために長年プロジェクトを組んで対応してきた状況を明らかにする。

そして、第5章では、本稿が先行研究を踏まえ、聞き取り調査によって得た事柄を客観的にまとめたものであることを示し、記録するために、その調査の内容を系統的に配置して記述する。

第6章においては、改めて日系半導体メーカー最盛期以降の半導体産業の概要を述べて、システム連携の問題に着目した経緯や前提条件等を確認する。その上で、TSMCとNECを比較することで、システム連携の問題が、2000年頃よりDRAMからシステムLSI分野に事業の比重を移した日系半導体メーカーの事業推進上の制約として悪影響を及ぼしていた点について考察したい。

最後の終章では、本書の研究結果を取りまとめるとともに、今後の課題について述べて締めくくりにしたい。

第1章 半導体産業における分業化の進展とシステム LSI の伸長

本章では世界の半導体市場で分業化が進み、台湾を中心としたファウンドリー、その中でも TSMC が大きく伸張した一方で、日系半導体メーカーが低迷した状況について概観する。また TSMC はシステム LSI 分野で強みを発揮しているが、近年、この分野が伸張してきた状況を確認する。さらに本稿の議論を進めていくにあたり、システム LSI とはどのようなものかについて、その製品特性を整理しておく。

1 半導体産業における分業化の進展状況²⁴

1.1 売上高ランキングに見る分業化の進展

表 1 は世界半導体売上高ランキングの推移を示す。1989 年には NEC が世界 No.1 に位置し、以下東芝、日立製作所、富士通、三菱電機、松下電子工業とトップ 10 のうち日本企業が 6 社占めていた。しかし、その後、徐々に日本の半導体メーカーの存在感は薄くなっていく。2013 年を見るとクアルコムやブロードコムといったファブレスが新たにランキング上位に入るようになり、今日では分業型の企業が大きな勢力になっている²⁵。

²⁴ 第1章・1 は、拙稿(2017)をベースに加筆・修正を行ったものである。

²⁵ ファブレスは工場を持たず、設計、販売に特化した企業であり、生産を主にファウンドリーやサブコンに委託している。よって、このファブレスの売上高の中にはこれらファウンドリー等の売上にあたる金額も含まれている。そのため、重複を避ける等の理由で、世界売上高ランキングでは今回取り上げる TSMC のようなファウンドリーなどは除外されることが多く、表 1 でも除外されている。

表 1 半導体売上高ランキング推移

ランク	1989年	1995年	2001年	2007年	2013年
1	NEC	インテル	インテル	インテル	インテル
2	東芝	NEC	東芝	サムスン電子	サムスン電子
3	日立製作所	東芝	STマイクロ エレクトロニクス	テキサス・ インスツルメンツ	クアルコム
4	テキサス・ インスツルメンツ	日立製作所	サムスン電子	東芝	ハイニクス
5	モトローラ	モトローラ	テキサス・ インスツルメンツ	STマイクロ エレクトロニクス	マイクロン
6	富士通	サムスン電子	NEC	ハイニクス	東芝
7	インテル	テキサス・ インスツルメンツ	モトローラ	ルネサス テクノロジー	テキサス・ インスツルメンツ
8	三菱電機	富士通	日立製作所	ソニー	STマイクロ エレクトロニクス
9	松下電子 工業	三菱電機	インフィニオン	インフィニオン	ブロードコム
10	フィリップス	フィリップス	フィリップス	AMD	ルネサス エレクトロニクス

出所：『半導体産業計画総覧』（各年度版）をもとに作成

1.2 海外2大IDMと日系メーカーの動向

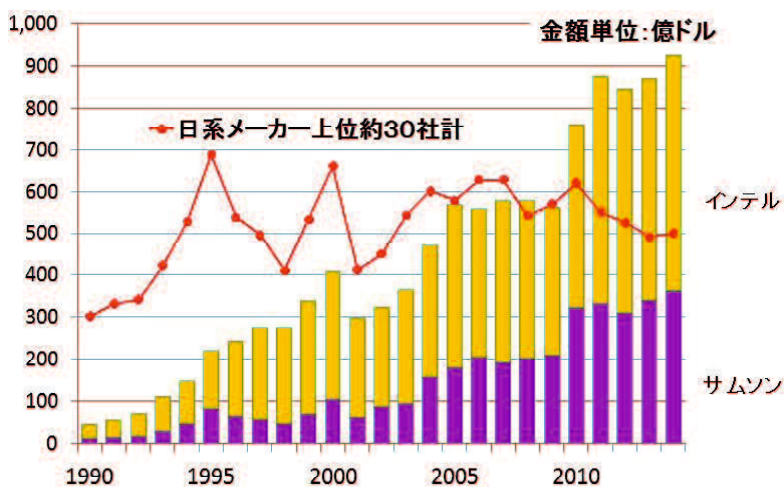
表1の世界ランキングでは海外のインテル、サムソン電子（以下サムソン）が1位、2位を独占して久しい。インテルはパソコン、サーバー等に搭載されるMPU、サムソンはDRAMで圧倒的なシェアを握ってきた。

このインテル、サムソンの売上高の推移をグラフで表すと図1のようになる。大きな伸長を示すこれら海外の2社は、設計・開発～生産を一貫して行う海外のIDMの代表的存在であり、ここでは海外2大IDMと称することとする。

なお、図1の中に日系半導体メーカー上位約30社の合計の値²⁶を折れ線グラフで示した。これまでの日系半導体メーカーのほとんどはIDMであり、1980年代にDRAMを中心に隆盛を極めた時期もあったが、同じIDMであるインテルとサムソンとは対照的にその後の伸長は芳しくなく、今日では日系半導体メーカーが東になっても、インテル、サムソンの2社の合計値より低い状況になっている。

²⁶ 『半導体産業計画総覧』（各年度版）にある国内上位約30社の生産額（≒出荷高）の表を利用。なお、円建て表記のものを三菱UFJリサーチ&コンサルティングのホームページのTTM年間平均レートを使用し、米国ドルに換算した。

図1 海外2大IDMと日系メーカーの売上高推移



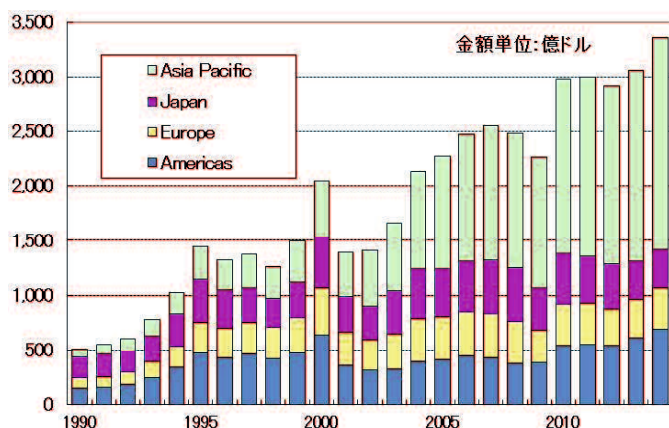
出所：『半導体産業計画総覧』（各年度版）をもとに作成

1.3 分業化の進展状況の分析

1.3.1 世界半導体市場統計の再分類

図2は1990年からのWSTS(World Semiconductor Trade Statistics)による世界半導体市場統計をグラフ化したものである。幾度か停滞期があるものの、長期的には半導体市場は拡大し続けており、アジアパシフィック地域の伸張が著しい。

図2 世界半導体市場動向 (1)

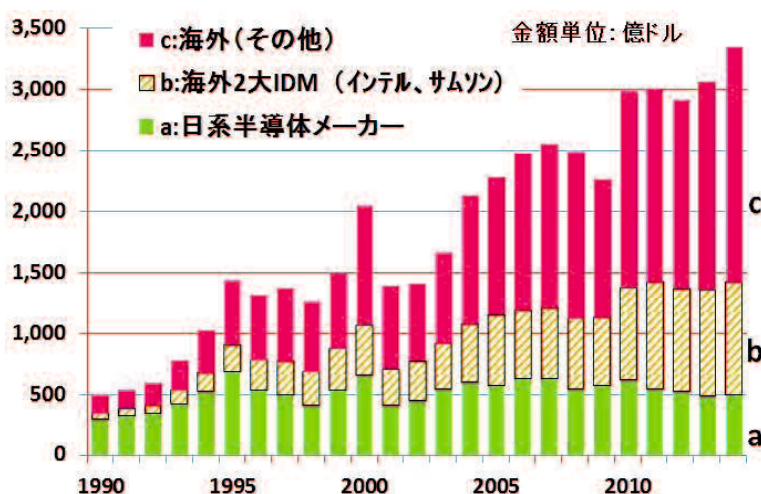


出所) WSTS

ところで、このグラフ（統計）の分類は半導体が販売された地域別となっており、メーカーの国籍等とは直接関係はない。よって、この図2の内訳を、先の図1で使った数値を利用して以下のように区分し直す。そして、これを図3において示す。

- a：日系半導体メーカー（上位約30社計）
- b：海外2大IDM（インテル、サムソン）
- c：差引：海外（その他）

図3 世界半導体市場動向（2）



出所：図1と図2の各データをもとに作成

世界市場全体が伸長する中で、aの日系半導体メーカーが低迷している一方、bとcの海外勢が主に伸張しており、とりわけcの伸張が著しいことがわかる。

1.3.2 分業化の進展と卓越したTSMCの伸張

さらに、このcの海外（その他）の内訳を大別すると以下のようなになる²⁷。

²⁷ 『半導体産業計画総覧』（各年度版）ではIDM、ファブレスのほか、ファウンドリー、サブコンといった受託製造企業の値も載せた海外企業の売上高ランキング（約100社）が2005年度より集計されており、それを利用した。

d : 海外 IDM (インテル, サムソン除く)

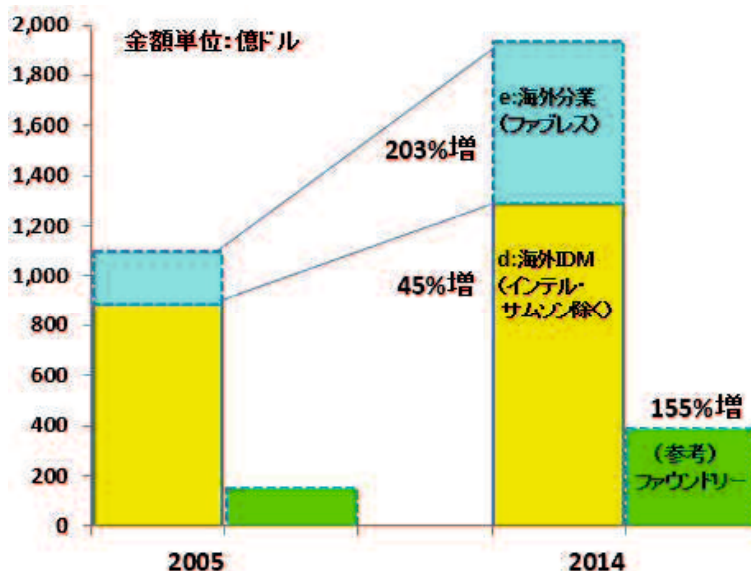
e : 海外分業 (ファブレス)

(c ≒ d+e)

これを図4で示す。2005年から2014年にかけてdの海外IDM(インテル, サムソン除く)の伸張は45%増である。一方, eの海外分業(ファブレス)の伸張は203%増(3.03倍)と驚異的な伸びを示している。よって, 図3のcが大きく伸張しているのは, 主に図4のeの示す海外における分業化の拡大の影響が大きいと考えられる。

ところでeの海外分業(ファブレス)企業は主にファウンドリーやサブコンに製造を委託している。よって, このeの売上高の中にはファウンドリーやサブコン側の売上高に相当する金額がかなり含まれていると考えられる。参考までにファウンドリーの売上高を図4の中(dとeのグラフの右側)に示してみたが, こちらも155%増(2.55倍)と著しく伸長していることがわかる。

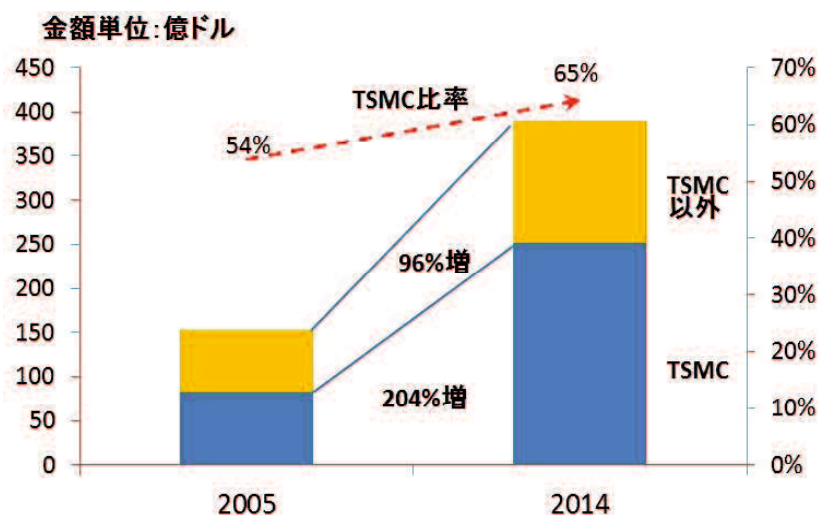
図4 海外(その他)の売上高内訳の変化



出所: 『半導体産業計画総覧』(各年度版)をもとに作成

次にこのファウンドリーの内訳を図5で示す。これを見ると TSMC の伸長率は 204%増 (3.04 倍)、そして占有率は 54% (2005 年) から 65% (2014 年) に増加しており、同分野のリーダー的存在としてますます存在感を増している。

図5 海外ファウンドリーの売上高の変化



出所: 『半導体産業計画総覧』(各年度版) をもとに作成

以上より、半導体産業においては、従来、インテル、サムソンを代表とする IDM が中心となって伸長してきたが、今日では新たにクアルコム、ブロードコムといったファブレスと呼ばれる分業形態の企業が大きく伸張している。そしてそのファブレスの背後には製造を請け負う TSMC 等のファウンドリーが存在感を強めている。

2 システム LSI の伸長とその製品特性

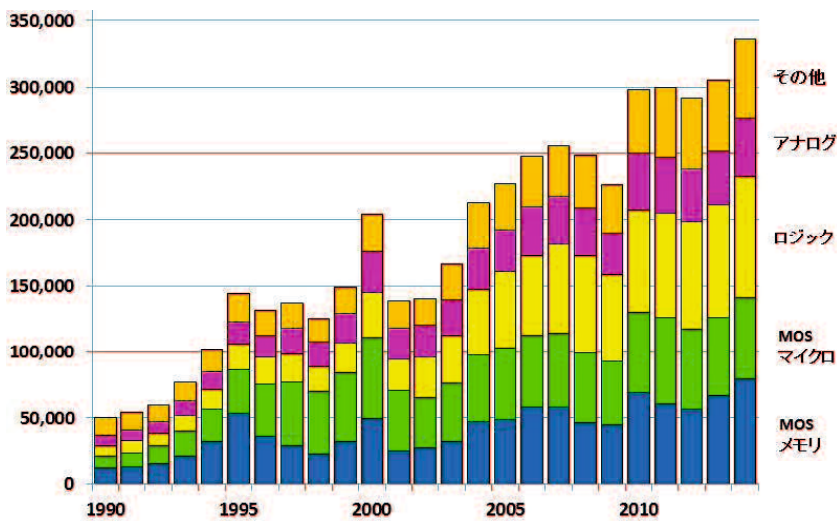
以上において、今日までの分業化の進展と TSMC の躍進状況を確認したが、次に製品別の動向を確認したい。

2.1 ロジック IC (システム LSI) の伸長状況

図6 は世界の半導体市場を製品カテゴリー別に分類しグラフ化したものであ

る。これを見ると 2000 年代に入りロジック IC の伸長が著しいことがわかる。さらに、このグラフの元になった表 2 を見ると、ロジック IC は 1988 年から 2014 年にかけて 14.7 倍²⁸（1988 年 6,228 百万ドル→2014 年 91,633 百万ドル）と大きく伸長し、今日ではロジック IC が 1 番大きな値となっている²⁹。

図 6 世界の半導体市場規模（製品別）（金額単位：100 万ドル）



出所：表 2 より作成

次に、半導体製品の分類について詳細を表 3 で示す。本稿で中心となるシステム LSI はここではロジック IC の中に含まれる。しかし、これら表 2 や表 3 においてシステム LSI という言葉は出てこない。この点に関して、次にシステム LSI の製品特性を示し、ロジック IC との伸張関係を明らかにしたい。

²⁸ 同期間において MOS メモリ IC は 7.3 倍、MOS マイクロ IC は 9.2 倍、アナログ IC は 6.1 倍、その他 IC は 4.2 倍。

²⁹ 1990 年代中頃までは MOS メモリ、その後 2000 年代中頃までは MOS マイクロ、その後今日まで MOS ロジックが一番比率の高い製品となっている。

表2 世界の半導体市場規模（製品別）（金額単位：100万ドル）

	モノリシックIC(集積回路)				その他	合計
	MOSマイロ	MOSマイロ	ロジック	アナログ		
1988	10,914	6,771	6,228	7,228	13,863	45,004
1989	14,277	7,246	7,343	6,989	12,958	48,763
1990	11,779	9,159	8,265	7,801	13,515	50,519
1991	12,233	11,389	9,260	8,386	13,390	54,608
1992	14,835	13,911	9,332	8,729	13,058	59,865
1993	21,267	19,072	11,858	10,673	14,441	77,311
1994	32,450	23,820	15,529	13,585	16,494	101,878
1995	53,458	33,396	19,781	16,646	21,123	144,404
1996	36,018	39,828	20,126	17,044	18,952	131,968
1997	29,335	47,767	21,048	19,789	19,265	137,204
1998	22,993	47,341	18,564	19,073	17,641	125,612
1999	32,286	51,701	23,158	22,082	20,151	149,378
2000	49,227	61,546	34,587	30,516	28,517	204,393
2001	24,875	45,696	24,301	23,180	20,910	138,962
2002	27,041	38,067	31,276	23,913	20,416	140,713
2003	32,506	43,526	36,922	26,794	26,678	166,426
2004	47,136	50,734	49,303	31,367	34,487	213,027
2005	48,519	54,687	57,670	31,922	34,686	227,484
2006	58,473	53,939	60,158	36,940	38,206	247,716
2007	57,854	56,211	67,292	36,453	37,835	255,645
2008	46,348	53,140	73,531	35,637	39,947	248,608
2009	44,797	48,330	65,215	32,001	35,971	226,314
2010	69,614	60,633	77,377	42,285	48,406	298,315
2011	60,749	65,204	78,782	42,338	52,449	299,522
2012	56,995	60,238	81,703	39,303	53,323	291,562
2013	67,043	58,688	85,928	40,117	53,808	305,584
2014	79,232	62,072	91,633	44,365	58,541	335,843

出所：『ICガイドブック2012年版（半導体産業データ）』p.23 及び WSTS

表3 半導体製品の分類

集積回路(モノリシックIC)	個別半導体素子(ディスクリート)
MOSマイクロ	ダイオード
MOS MPU	小信号ダイオード
MOS MCU	ツェナーダイオード
汎用MCU	過電流保護デバイス
スマートカード向けMCU	RF&マイクロ派ダイオード
DSP(Digital Signal Processor)	小信号トランジスタ
ロジック	バイポーラ小信号トランジスタ
MOS汎用ロジック	電解効果トランジスタ(FET)
MOSゲートアレイ	RF&マイクロ派小信号トランジスタ
MOSスタンダードセル&FPLD (Field Programmable Logic Device)	パワートランジスタ
MOSディスプレイドライバー	RF&マイクロ波パワートランジスタ
大型LCD用ドライバー	RF&マイクロ波パワートランジスタモジュール
携帯電話機用ドライバー	汎用バイポーラパワートランジスタ
その他の表示用ドライバー	汎用バイポーラパワートランジスタモジュール
MOS特定用途向けロジック	汎用電界効果トランジスタ(FET)
民生機器向け	汎用電界効果トランジスタ(FET)モジュール
コンピュータ, 周辺機器向け	IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)
通信用機器向け	IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュール
自動車向け	整流素子(レクチファイア)
多目的, その他向け	サイリスタ
デジタルバイポーラ	その他個別半導体素子(ディスクリート)
MOSメモリ	オプトエレクトロニクス
MOS DRAM	ディスプレイ
MOS SRAM	ランプ
MOS マスクPROM&EPROM	カプラ/アイソレータ, スイッチ
FLASHメモリ	イメージセンサー
NOR FLASHメモリ	赤外素子
NAND FLASHメモリ	レーザー素子(ピックアップ用)
その他メモリ	レーザー素子(通信用)
アナログ	その他オプトエレクトロニクス
汎用アナログ	センサー, アクチュエータ
アンプ/コンバータ	温度, その他センサー
インタフェース	圧力センサー
パワーマネージメント	加速度, ヨーレートセンサー
信号変換	磁界センサー
専用アナログ	アクチュエータ
民生機器向け	
コンピュータ機器向け	
通信用機器向け	
自動車向け	
産業, その他向け	

出所：『IC ガイドブック 2012 年版 (半導体産業データ)』 p.27 を加筆修正

2.2 システム LSI の製品特性

2.2.1 ロジック IC の伸長とシステム LSI (SoC) との関係

表 3 にある MOS メモリは、日本が DRAM を中心に 1980 年代頃に強みとしていた領域で、今日ではサムソン (韓国) などがシェアを拡大している。また MOS マイクロは、例えばインテル (米国) の MPU などが代表的なものである。一方、ロジックにおいてはクアルコム (米国) や TSMC (台湾) などのファブレス・ファウンドリー連合が勢力を伸ばしており、システム LSI はこの中に含まれる³⁰。そして、図 6 や表 2 を見るとこのロジックが 1 番伸長している。

このシステム LSI を説明するのに様々な表現が存在するが、例えば、複数の半導体が搭載されたプリント基板を一つの LSI に集約したもの(藤村[2000], p.197) という表現が比較的わかりやすいと思われる。これまで複数の LSI が必要であった回路を一つの半導体製品に盛り込んで、より小さいスペースで高機能を実現したものをシステム LSI と呼ぶ。微細化技術の進展に伴って登場した製品であるが、製造コスト削減が図れ、消費電力の大幅な低減、メモリとロジック間に転送効率の向上など多くのメリットを有している。

こうした半導体製品への機能の集約方法は大きく分けて二つある。一つはシリコンウェハー上に作られた一つのチップに複数の半導体の機能を織り込む方法、もう一つの方法は複数のチップを一つの半導体製品としてパッケージングする方法である。どちらにも製品名が定義されていて、前者を SoC (System on Chip)、後者を SiP (System in Package) と呼ぶ。そして前者の SoC が一般的にはシステム LSI と呼ばれている³¹。よってシステム LSI と SoC は同義のものとして話を進めていきたい。

³⁰ 吉森 中屋[2013, p.70]によれば、HIS-iSupply 社などの半導体製品の統計においては一般的に、システム LSI (SoC) は論理 (ロジック) 製品の一分野として含包されている。

³¹ 『IC ガイドブック 2009 年版』(p.304)では、システム LSI は「これまで複数の IC を組み合わせて構成していた機能を 1 チップに集約したもの」と定義されており、SoC とは同義となっている。

2.2.2 システム LSI (SoC) と ASSP

システム LSI は 1980 年代半ばに登場した初期の ASIC (Application Specific Integrated Circuits : 特定用途向け IC) の後継となる製品とも言われている。この ASIC とは「新しい電子機器に合わせて、その機器向けにカスタマイズされた半導体を指す」(大山[2014], p.171)。従って、基本的にはその製品の販売は特定ユーザーが中心になる。

この ASIC は、その後、微細加工技術の発展により一つのチップに集積できるロジックの規模(論理ゲート数)が急速に増えていったことにより、それまでは別々のチップに分かれていた CPU やメモリ、マイコン、アナログといった回路も、SoC として一つのチップにまとめて集積できるようになっていく。それをシステム LSI と呼ぶようになったが、初期の ASIC がもともとカスタム IC を意味していたのに対し、SoC の時代になるとこれらに加え、標準 IC が普及することとなる。この標準 IC は ASSP (Application Specific Standard Products : 特定用途向け標準製品) と呼ばれる。この ASSP はあらかじめ仕様が決まっており、特定ユーザーのみを対象とせず、特定用途向けに標準化して複数のユーザーに向けて販売する IC である。つまり、ASSP とは半導体メーカーが多くの顧客のニーズを聞きながら、自ら製品仕様を決め、それに最適なシステム設計を行い、カタログ製品として多くの顧客に販売することをできるようにしたシステム LSI である。

システム LSI が登場した頃の ASIC はカスタム IC がまだ主流だったが、現在ではシステム LSI のほとんどはこの標準 IC、すなわち ASSP が主流になっており、今日、最も急速な拡大傾向を示しているのはこのタイプである(吉森・中屋[2013], p.74)。

大山([2014], p.171)によれば、この ASSP は汎用 IC の特性を有するが、例えば、デジタルカメラやスマートフォンなどのシステムを設計する際に、こうした汎用化された IC を作るには特定分野のシステム知識が多く要求される。携帯向けの ASSP が得意なのはクアルコムであるが、同社は半導体の設計企業でありながら

携帯端末メーカーより携帯のシステムについて詳しく、主要な特許を押さえながら ASSP を設計・拡販する。そして、こうしたクアルコムなどの半導体設計企業から製造を受託する TSMC などのファウンドリーが台頭してきた。

ここで注意しなくてはいけない点として、2000 年代に入り、従来のグラフィックス IC やプロセッサ等の個々の IC がプリント基板に載っていたものが、SoC として集約される動きが出てくる。そうすると表 3 にある、単体の MPU や MCU 等の MOS マイクロやアナログ、ディスクリート等はシステム LSI (SoC) として集約され³²、ロジックの範疇に置き換わる現象が生じる³³。このようにしてシステム LSI (SoC) 市場が成長するとともにロジック分野が 2000 年代に大きく伸長してきたことが考えられる。

2.2.3 システム LSI (SoC) と ASCP

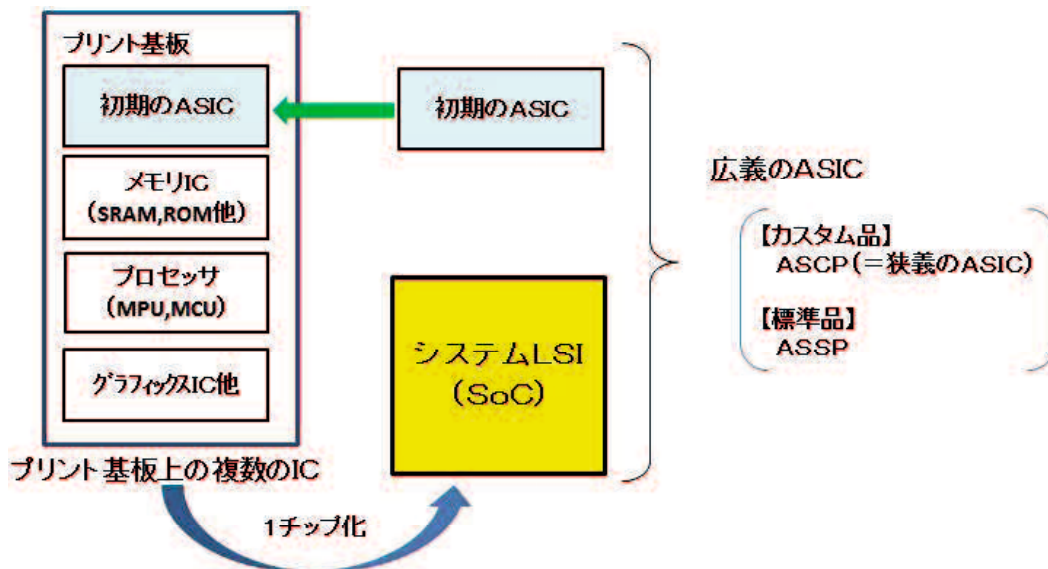
ところで、この標準 IC である ASSP に対して、カスタム IC の ASIC については ASCP (Application Specific Custom Products : 特定用途向けカスタム製品) と呼ばれるようになった。また、この ASCP を狭義の ASIC と呼び、ASSP と ASCP を合わせたものを広義の ASIC と呼ぶこともある³⁴。以上で述べてきたことをまとめると、以下の図 7 のようになる。

³² 中屋([2012], p.52)によれば、半導体ユーザーはある必要機能を決めると、システム製品(セット)として、できるだけ低価格で、低消費電力の製品を開発しようとする。そのためには部品点数は少ないほど要求に合致しやすくなる。従って、半導体製品の平均成長率に比べシステム LSI (SoC) の成長率は高く、集積化される MPU, MCU, アナログ, ディスクリートなどの製品群の成長率は低くなる。

³³ ロジック IC の種類が多くなった理由として、アナログや CPU コア、メモリなどを組み込んだシステム LSI が登場したことが挙げられる。(『IC ガイドブック 2012 年度版 よくわかる半導体』, p.44)

³⁴ これまで述べてきた ASIC (初期, 広義, 狭義), ASSP, ASCP の定義が複雑であることが、一般の者にとってシステム LSI (SoC) に関する議論を難しくしている要因の一つになっていると考えられる。

図7：微細化技術の進展によるシステム LSI 化³⁵



出所：EDN Japan ホームページ³⁶及び立本・藤本・富田([2009], p.223)等を
参考で作成

大山([2014], p.171)によれば、日系 IDM の特徴は、ASCP³⁷分野は得意だが ASSP は苦手といわれる³⁸。特に AV 機器向けの ASCP の需要は全体的に縮小傾向にあり、日系 IDM は不利な状況に置かれてきた。なぜならば、最終製品の値段は下がっていくので、特定の顧客に向けて製造するためにボリュームが少なく値段が高くなる傾向のある ASCP を電子機器メーカーが好まないためである。この現象はスマートフォンでもみられ、標準化されて比較的値段の安くなった ASSP の拡大は見込める一方、ASCP の需要は減少すると考えられている。

システム LSI に事業の主軸を移した日系半導体メーカーは、TSMC と同じフィールドで勝負をしなくてはいけなくなったが、クアルコムや TSMC 等の海外勢

³⁵ 本稿に記述した内容を概略的に表した。

³⁶ デジタル IC 基礎の基礎：第7回 SoC とシステム LSI

<<http://ednjapan.com/edn/articles/1204/25/news001.html>> (2016/10/01 閲覧)。

³⁷ 大山の記述では ASIC となっているが、本稿では説明上、狭義の ASIC である ASCP のことを指すものとして、以下 ASCP と置き換えて記述した。

³⁸ 同様の内容は吉森・中屋([2013], p74)ほか、多々指摘されている。

が ASSP を強みとしているのに対し、日系半導体メーカーは同じシステム LSI の中でも市場が縮小傾向にあり、価格競争で厳しい ASCP の製品群に力を入れているのである³⁹。

次の章では日系大手半導体メーカーの多くが 1990 年代末頃に DRAM 事業から撤退してシステム LSI 事業に傾注しようとした背景、及び同じシステム LSI 分野では TSMC などの海外の分業形態の企業が飛躍していった状況について整理したい。

³⁹ 中屋([2012], pp.36-39)によれば、日系半導体メーカーは DRAM ビジネスの延長線上で SoC ビジネスに移行したため、SoC の競争力の源泉で、価値を生み出すために重要な機能仕様、アプリケーション設計、システム設計等を自ら行わず、それでもビジネスができる ASCP に注力していたという。また、各企業が製造中心主義で製造ラインの稼働率を取り急ぎ上げることを重要視し、(ASSP のように、多くの顧客のニーズを摺り合わせた上で、自ら製品仕様を決めて設計を行うといった) 手間暇をかけずにラインを埋められる ASCP タイプの SoC に力を入れてしまった点も指摘されている。ここでは「顧客の言うことは何でも聞こう」という日本の商習慣も災いしていたようである。

第2章 日系 IDM のシステム LSI 事業への傾注と分業化の進展

日系半導体メーカーの多くは、1980年代から1990年代初頭頃までの最盛期に強みを発揮した DRAM 事業から、紆余曲折を経て1990年代末頃よりシステム LSI 事業に主軸を移そうとしたが、そうした動きの背景を概観する。さらに、分業形態のファブレス・ファウンドリーがこの分野で力を発揮できた理由をシステム LSI の設計のしくみから確認し、日系半導体メーカーが凋落する中で TSMC が伸張していった状況を検討する。

1 日系 IDM のシステム LSI 事業への傾注⁴⁰

1.1 1990年代中盤の PC 需要拡大による好調期

日系大手半導体メーカーが、DRAM からシステム LSI に事業の軸を移そうとしたのは1990年代末頃である。その状況を把握する上で、全盛期を過ぎて陰りの出始めた1990年代半ば頃からの動きを追ってみたい。

1994年頃より PC の出荷台数が伸びはじめ、1995年になるとマイクロソフトの OS (オペレーティングシステム) である Windows95 の人気により需要が押し上げられて半導体の出荷金額が世界的に伸長していく。パソコンの心臓部である MPU、マイコン周辺のオーディオや画像処理用 IC、またパソコン用チップセット等が大きく伸びてきて、これらと同時に DRAM 市場もかつてないほどの活況を見せた。

一方、当時の日系大手 IDM は、ワンストップショッピングと称し、DRAM 等のメモリを主軸にしながらも、ロジック、さらにはディスクリート、バイポーラ、リニアまであたかも百貨店のように品揃えをして開発、生産、販売をするフルライン製品戦略をとる傾向があった⁴¹。1990年代初頭にサムソンに DRAM 市場において世界一の座を奪われるなど陰りを見せはじめてはいたものの、1990年代

⁴⁰ 主に産業タイムズ社半導体産業新聞編『米日本半導体50年史：時代を創った537人の証言』（工業調査会）を参考に記述した。

⁴¹ この件に関して、ポーター・竹内([2000], pp.126-131)は、日本企業が同じようなビジネスモデルを採用し、独自の戦略を持たない傾向にあった点を指摘している。

半ば頃までは日系大手 IDM にまだ勢いがあり、半導体全体の生産額では世界でトップのインテルの後を、NEC、東芝、日立の日本勢ビッグ3が追いかけるという状況であった。

1.2 DRAM 需要の急減に伴う日系大手 IDM の衰退

ところが、この1995年の半導体市場の好調期の後にきた約3年半に及ぶ半導体市場の低迷は、世界における半導体産業の構図を大きく変えることになった。

それまで半導体需要を牽引したパソコン及びその周辺産業は勢いを失い、とりわけ好調であった DRAM 市場は前例のないほどの価格暴落に苦しみ市場全体が低迷した。そして、米国のマイクロン・テクノロジー（以下マイクロン）、韓国のサムソンに加え、LG セミコン、現代電子が勢力を形成し、かつて DRAM 市場で全盛を誇った日本勢は徐々にこの4社に対して遅れを見せ始めた。

1990年代も終盤になると、採算の悪化した日系大手 IDM のうち富士通、三菱電機、松下電子工業などが DRAM からの撤退を明確に打ち出した。さらに、NEC と日立製作所は1999年6月に DRAM 事業に関して広範な提携関係を構築することで合意。同年11月に生産、販売、開発すべてに渡って両社の DRAM 事業統合が正式発表される。その後2001年4月には新会社 NEC 日立メモリ（後のエルピーダメモリ）が設立され、両社の DRAM 事業は完全に統合された。

なお、この頃、韓国においても現代電子と LG セミコンが合併し、欧米においては、米国マイクロンがテキサス・インスツルメンツの DRAM 事業を買収した。またモトローラは、汎用 IC、トランジスターなどの半導体事業を切り離すなど、様々な合従連衡が1990年代の末頃に加速した。事業シェアの低い分野は生き残れなくなり、急速に「選択と集中」を進める中で、苦手で収益の低い部分を切り離し、得意な分野に事業を絞り込む路線を各社取り始めた。

1.3 日系大手 IDM のシステム LSI への事業転換

1990年代末頃からのこうした構造変化により、かつて数十社に及んだ汎用

DRAM メーカーは、マイクロン、サムソン、エルピーダメモリなどの数社を残しことごとく撤退した。一方で日系半導体メーカーは情報家電の進展をにらみ、システム LSI 事業への移行を加速した。これは情報家電の進展はシステム LSI の需要を大きく後押しするとの判断によるものであった。その当時の状況を以下整理したい。

1.3.1 デジタル化の進展

1990 年代末頃になるとパソコンにとどまらず、家電業界、放送業界においてもアナログからデジタル化への流れが押し寄せてきていた。例えばビデオカメラ、ビデオディスク、複写機、カメラ、携帯オーディオなどの家電製品や、また、長くアナログ時代が続いていた放送機器市場においてもデジタル化が急ピッチで進んでいた。こうした現象は当時デジタル革命と呼ばれた。

そうした流れの中で、半導体市場の牽引役であったパソコンがかつての勢いを失う。そして、それに代わりデジタル情報家電市場が急拡大していった。例えば代表的な当時の新製品としては携帯電話、携帯情報端末、カーナビ、デジカメ、デジタルビデオ、デジタルテレビ、さらにはゲーム機器分野などが急成長していた。

このデジタル革命が生み出す新たな半導体需要により、さまざまな種類の LSI が大量に消費されるようになった。各半導体メーカーはそうしたデジタル化に対応した半導体製品の開発にヒト、モノ、カネを集中する戦略を立て始めていた。このように新たなデジタル情報家電の時代が到来した背景には、半導体の微細加工技術の高度化により、システム LSI の技術が進歩し普及していった点が挙げられる。そして、そのニーズが高まるにつれ日本の半導体業界は徐々にシステム LSI に比重を移していく傾向が生じていた。

1.3.2 DRAM からシステム LSI への事業転換

このような中で、それまで強みとしていた DRAM 市場において韓国のサムソ

ン、米国のマイクロンなどの台頭により、苦境に追いやられた日系大手半導体メーカーは新たな戦略転換を迫られる。そして、当時のデジタル革命に乗じて、その活路を新たにシステム LSI に見出そうと考え始めた。

前述した通り SoC は DRAM などの MOS メモリやコアとなるプロセッサや DSP などのロジック、さらには各種通信用の LSI などを同一チップ上に混載したものである。よって、百貨店のような半導体製品の品揃えをしてきた日系半導体メーカー⁴²にとって、当時はまさにうってつけの新分野商品と考えられた。

次世代情報家電の進展に必要な条件は、より小さく、薄く、電力を食わず、持ち運びができるという点であった。これにあわせてより小型になることを求められた。ここで個々の半導体もシステム LSI 化する必要が生じ、その手段として SoC 関連技術が進んでいった。

基本的にシステム LSI を立ち上げる条件は、デジタル情報家電のシステム設計に密着した技術力が必要とされ、家電王国と言われた当時の日本企業にとってはビッグチャンスと認識された。よって DRAM 事業が崩壊しようとしていた日本の半導体業界では、システム LSI 以外に戦略はないと考えはじめ、起死回生を図ってその開発・量産に傾注しようと模索していた。

そして、情報家電とネットワーク関連の情報機器がパソコンに変わってインターネット時代の主役に押し上がってくる中で、ここに使用されるシステム LSI の開発及び量産が半導体の主戦場になると各社判断するや、日系大手半導体メーカーは、雪崩を打ってこのシステム LSI に移行したのである。

ところが、その一方で海外の半導体メーカーは自ら強みとする製品分野を慎重に選択、集中⁴³し、各社各様の戦略をとった。それと比較すると、日系半導体メーカーは結局のところ、皆が漫然と同じシステム LSI 分野を指向するという横並

⁴² 例えば NEC の場合、顧客の必要とするものをつくり、顧客が必要とする時・所で供給するという顧客志向のもと、メモリ、マイコン、ASIC、アナログ IC、個別半導体のすべてをバランスよく揃え、顧客の望むトータルソリューションを提供するようにはしていた(NEC 編 [1996], p.33)。

⁴³ インテルの MPU が代表的であるが、当時のテキサス・インスツルメンツのアナログデバイス、モトローラの DSP 等、海外では各社で強みを持つ分野に特化しようとした。

び的な体質が露呈したように見受けられた⁴⁴。そして、このシステム LSI における事業内にも様々な領域が存在するのであるが、百貨店型経営を引きずるように製品分野を絞りこまず、ビジネスモデルや事業戦略等の策定も従来の DRAM 時代の延長線上で行った。

以上、1990 年代後半に日系半導体メーカーの多くが DRAM 事業で行き詰った後に、従前の形態を維持したままシステム LSI 事業に傾注していった当時の状況を整理した。ところがこのシステム LSI 分野では海外企業を中心に新たに分業化が進んでいく。その動向について次に検討したい。

2 システム LSI における分業化の進展

これまで述べたように、日系 IDM の多くはシステム LSI 事業に傾注していったが、この分野では TSMC を中心とした分業形態のファブレスとファウンドリーが躍進し、日系半導体メーカーの競合相手となった。以下、このファブレス・ファウンドリーによる分業化が進んだ理由を整理し、さらに TSMC がシステム LSI 事業を推進する上でオンラインシステムを構築しようとした背景を検討したい。

2.1 システム LSI の事業特性

前述した通り、システム LSI には MPU、ロジックなどが混載され、さらにメモリ等も載せて 1 個の半導体製品として付加価値を付けていく。システム LSI は従来の LSI に比べて開発設計期間も長くなり、それに要する開発設計費も高くなるため、最終的にはシステム LSI を利用する企業は、パートナーとなる半導体メーカーを選んで競争していくことになる。その際、開発する製品が市場で勝ち馬になれないと半導体メーカーも膨大な投資を回収できなくなる。よってシステム LSI を利用する側とサプライヤーである半導体メーカー側が相互に協力し合

⁴⁴ 大山([2014], p.178)によれば、昨今においても日本の半導体産業は各社一斉に「車載・自動車産業向け重視」に走っており、各社のコメント、方向性があまりにも類似している点を指摘している。

い相乗効果を発揮する関係になっていく必要が生じる。この際、IP などの設計資産がどれだけ揃っているかが重要で、これらが十分に揃っていないと設計作業は非効率なものとなり、SoC ビジネスでは勝てない。

またシステム LSI は、複数の LSI を組み合わせるように設計して製造するにあたり、近年は先端プロセスの工場を利用することも多く、製品コストが高額化する傾向が生じて収益性も厳しい。さらに、これらが使われる情報家電のライフサイクルが短くなる中で、システム LSI 化をするための設計開発から量産までの期間に時間をかけることは許されず、競争に打ち勝つためにはスピードが要請される。またカスタム品の傾向が強いため、汎用 DRAM とは異なり多品種少量生産⁴⁵への対応を必要とする。そうした中であっても基本的に半導体工場側は規模の経済を追わないと投資は回収できないため、いかに生産ボリュームを常時確保できるかが問題となる。

このようなシステム LSI 特有の事業特性がある中で、多くの日系半導体メーカーが漫然と DRAM からシステム LSI 事業に舵を切ったのに対し、同じシステム LSI 事業において TSMC を中心としたファウンドリー企業は、汎用品の性格を持つ ASSP に重点を置く形で数多くのファブレス企業と手を組み、分業化を推進する上で設計・生産サービスを進化させて規模の経済性を追求した。

2.2 ファブレス・ファウンドリーの台頭

「ファブレス」とは自社に製造ラインをもたずに、他社に生産を委託し、製品の設計・開発やマーケティング及び販売などに特化した企業である。1990 年代以降、欧米地域では生産設備をもたないファブレスが次々と登場し、半導体産業で存在感を増していった。ファブレスは巨額な半導体の設備に投資をせずに、製造を外部に委託する。そして、マーケティングや開発などに経営資源(リソース)を集中することで、顧客ニーズの変化に適応した半導体製品をすばやく市場に投入することができる。そこでは、ターゲットとする市場を絞り込み経営資源を集

⁴⁵ 各製品のニーズが季節等により大きく変動することから多品種変量生産と言われることもある。

中することで、その分野のニーズをきめ細かく把握し、効率的な開発を行う。

例えば、米国のクアルコム社は携帯電話機用の IC の開発に集中することで優位性を確立してきた。同社がターゲットとしている携帯電話機分野は、モデルチェンジのサイクルが短く、次々と新製品が発売される。この短いモデルチェンジのサイクルに合わせて、新しい半導体製品を市場に投入することで、市場での優位性を確保する。経営資源をマーケティングと設計・開発に集中することができるファブレスだからこそ、短期間にこの分野で市場シェアを獲得できた。そうして、年々巨額化する設備投資を負担せず、得意分野にリソースを特化し、変化の早いエレクトロニクス産業の中で存在感を強くしていった⁴⁶。

ファブレスが次々と誕生する中で、その製品の製造を請け負うファウンドリーが 1990 年以降に急成長してきた。その代表が台湾の TSMC である。前述の陳 [2000] にもあったように、半導体先進国の大手メーカーのほか、シリコンバレーに小さな一室しか構えられないような無名なデザイナーとの結び付きも強く、世界中の多くのファブレスと連携して SoC ビジネスを始め、軌道にのせてきた。

こうして TSMC は世界中に顧客に持ち急躍進する。そして、TSMC の創業の地である台湾の新竹サイエンスパークには米国から U ターンした半導体関係のエリート達が続々と集結し、世界における新たな半導体勢力として飛躍した。

2.3 システム LSI (SoC) の設計手法とファウンドリーの優位性

ここでファブレス・ファウンドリー連合が、システム LSI 分野において強みを発揮した状況について設計手法の視点から検討したい。なお、ここでの記述は主に藤村 ([2000], pp.207-210)⁴⁷より引用 (一部加筆修正) する。

⁴⁶ 以上の記述は『IC ガイドブック 2009 年度版』(p265)を参考にした。

⁴⁷ ファブレス・ファウンドリーにとってシステム LSI (SoC) 事業は相性がよい点について言及した先行研究の中でも、藤村 [2000] が比較的わかりやすく説明しているため参考にした。2000 年頃の記述であり若干古い内容が含まれているが、基本的な点がおさえられていると思われる。なお、同先行研究の中で、IDM 側のシステム LSI 事業のビジネスモデルとして記述されている IBM については半導体製造事業を 2014 年に GLOBALFOUNDRIES に売却しており、本稿では IDM と置き直すなどして加筆修正している。

前章で SoC の定義について検討したが、一般的にはメモリと論理処理を行う部分を持ち、一チップでシステム機能の基本を実現する LSI で、イメージ的にはプリント基板をひとつのチップにしたものと考えられる。従って、SoC は DRAM のように固定された機能を持つものではない。多くの種類の電子機器・家電製品それぞれに固有のプリント基板が入っているのだから、SoC も多品種になる。問題はそのような膨大な種類の多さにどう対応するかということである。

カスタム LSI といって、顧客の要望に合わせて特別に作るオートクチュールのようなオーダーメイドの LSI があるが、莫大な開発コストがかかるので、相当の数の製造が見込めない限り、カスタム LSI を発注する顧客はいない。しかし期待されている SoC 市場の大半は少量品である。少量多品種で採算のとれるビジネスモデルが必要となる。

大まかにいって SoC ビジネスの形態は二つある。ひとつは TSMC などの台湾ファウンドリーが行っているやり方で、もう一つは IDM が行っているやりかたである。この二つのビジネスモデルの違いは IP (Intellectual Property) の取り扱いの違いに依存するものだと考えることもできる。

SoC がプリント基板をひとつのチップにしたものであるならば、そのチップ上にはこれまでプリント基板上に装着されていた独立した LSI ひとつひとつの機能に対応する部分があることになる。この独立した機能に相当する部分を IP と呼ぶ。独立した IP をいくつか用意しておき、それらを組み合わせて一つのデバイスとして実現できれば多様な用途に対応することが可能となる。従って IP の組み合わせによりいろいろな機能を実現するデバイスが SoC であると考えられることもできる。

当然のことながら、IP の種類を多く持てば、それだけ多様なシステムを実現できることになる。しかし、SoC はひとつのシリコン基板上に数多くの機能を詰め込むため、単純に IP を別々に作って後からひとつのチップの上で組み立てるというわけにはいかない。あくまで一刀彫りの彫刻のように全ての部分を一気に作り上げなくてはコンパクトにはまとまらない。しかし、カスタム LSI のように

一からトータル・プロセスの構築をすればは多大な時間と労力がかかってしまう。よって、もし全ての IP の構造も作り方もオープンにされており、さらに IP 単位で設計とプロセスの摺り合わせが終わってれば、トータル・プロセスの構築は IP 間でプロセスを調整するだけでよいことになり、時間と労力が大部分節約できることになる。つまり、IP には、それを SoC としてチップ上に作るプロセスが確立していることや他の IP と調整が可能であるといった利用しやすさも重要となる。

このようにプロセスとの摺り合わせがすでに終わっていて、作り方もわかっている IP はハードウェア化されているという意味でハード IP と呼ばれる。実際の SoC を作る時はハード IP を集めて作ることになる。もちろん、ハード IP といっても、全てが同じ厚さのシリコン酸化膜や同じ不純物濃度のシリコン基板といった、全く同じ製造条件を想定して作られているわけではないから、ひとつのチップに盛り込む際にはそれなりの調整は必要になる。しかし、すべてを一から調整することを思えば相当のコスト・ダウンが可能になる。従って、多様な要求に応えるためにはハード IP を数多く揃える必要がある。これに対し、素子の論理回路が完成しただけで、製造現場で実体化するプロセスができていないものは、ソフト・ウェアの状態の IP という意味でソフト IP と呼ばれる。

ところで、ハード IP を揃える最も簡単な方法は、過去に開発したカスタム LSI などのノウハウを元に、設計とプロセスの摺り合わせの終わった自前のハード IP を蓄積することである。そうして IDM の多くはハード IP を客に選んで組み合わせてもらおう方法をとることで SoC ビジネスを行っている。これなら自社の工場で確実に動作するシステム LSI すなわち SoC を作ることができる。

これに対し、台湾の TSMC 等は、ファブレスの設計会社 (IP ベンダー⁴⁸という) の開発した IP を利用することでビジネスを行っている⁴⁹。

⁴⁸ IP プロバイダーと呼ばれることもある。IP の設計だけを専門に行い、これを IC メーカーなどへ供給する業態の企業。

⁴⁹ 多くの製品に共通して搭載されるような IP をファウンドリーがライブラリー化して提供し、ファブレスはコアデザインに集中することにより、全体として設計の効率化を図る取り組みが進められている (清水[2006], p42)。

ここで問題は、ファブレスは文字通り生産拠点を持っていないので、ソフト IP を作ることはできてもそれをハード IP 化することが困難な点である。台湾の TSMC 等はこのハード IP 化の課題に対して、IP の動作を確認するためのテスト・デバイスを提供している。これは IP ベンダーにとっては大きな魅力であり、当然台湾のファウンドリーの周りには多くの IP ベンダーが集まることになる。こうして台湾のファウンドリーは、多様なシステム LSI を製作するための技術・環境面においてかなりのレベルに達した。

単純に考えると、カスタム LSI などの論理 LSI を作っている IDM は、過去の論理 LSI 用に開発した設計とプロセスをそのままハード IP に利用できるのも、ハード IP の取り揃えに関してはファウンドリーよりも有利な立場にあるように思える。しかし、ここで重要な点は、IDM は設計部門を持っているのでファブレス設計会社から見れば競合相手である。従って、ファブレス、特にソフト IP の開発を生業としている数多くのファブレス・ベンチャーにとっては安心してつきあえる相手ではない。その点、ファウンドリーであれば、自分たちの設計のアイデアや設計自体をとられたりする心配が少ないので気楽につき合うことができる。それがシステム LSI (SoC) 事業における IDM の不利な点となり⁵⁰、結果としてファブレスはファウンドリーと結びつく傾向が強まることになる。

(以上、藤村([2000], pp.207-210)より引用し、一部加筆修正した。)

2.4 ファブレスとファウンドリーの結合と規模の経済の追求

ほとんどの日系大手半導体メーカーは、ほぼ全製品にわたって研究・開発から生産、販売まで手がける、いわゆる垂直航合型の IDM であった。特に総合電機メーカーの一部門として、社内製品用に半導体を供給する役割があったため、そうした傾向が強かったと言える。

また、日系大手半導体メーカーの多くは 2000 年頃に DRAM 事業からシステム

⁵⁰ この点は、専業ファウンドリーに比べ IDM が不利である点を考える際に非常に重要な問題であると思われ、藤村([2000], p.210)のほか、清水([2006], p.34)、佐藤・川上([2008], p.79)、鈴木([2009], p.11)、田村([2013], p.63.)等の多くの先行研究において指摘されている。

LSI 事業に傾注したが、情報家電を始めとして、ネットワーク情報端末が個人の日常生活に入る時代が来ていたことから、その身近な IT 機能を実現する SoC は巨大なマーケットを持つデバイスになると予想されていた。そして、家電や携帯電話、ゲーム機など、生活に密着した電子機器分野で日本のメーカーが強いことから、SoC 化するシステムのノウハウは日本にあり、それ故、システム LSI のビジネスでは日本のメーカーは有利な展開ができると期待する声があった(藤村[2000], pp.197-198)。しかし、実際そう単純に思惑通りには行かなかった。

顧客の注文によって作る特定用途向けのシステム LSI は ASCP と呼ばれることは前述したが、この比重の高い日系大手 IDM はほとんど利益を出すことに成功していないといわれている。つまり、汎用のものを大量に作る DRAM とはまったく異なった事業展開が必要とされるシステム LSI (SoC) において、それを推進するためのビジネスモデルが確立されていなかった(藤村[2000], p.198)。

海外に目を向けると、1990 年代に入って韓国メーカーがメモリ (DRAM) を中心に発展し、日本企業に追いつき追い越したが、さらに欧米メーカーが MPU (Micro Processor Unit) や DSP (Digital Signal Processor), FPGA (Field Programmable Gate Array), ASSP (Application Specific Standard Product) などに代表されるロジック系製品に特化し、その中でもさらに自社が強みを持つ製品へと対象分野を絞り込む戦略をとる傾向が顕著になってきた⁵¹。さらに、そうした中で特に欧米メーカーではファブライト (あるいはアセットライト)⁵² といった、設備投資の負担を軽くして経営の自由度を向上させる形態をとることも多くなった。

一方、TSMC は専業ファウンドリーのため、かつて大手家電メーカー内にあった日系 IDM が行ったような、大量生産した半導体の多くをグループ企業内で消費するような仕組みを持っていない。よって、同社が台湾にしながら生産ボリュームを確保するためには、ファブレスや後にファブライト化する IDM など、海

⁵¹ 『IC ガイドブック 2009 年版』(p.245)より。

⁵² 受注した製品を生産するのに必要な製造設備を全て自社で保有せずに、多くの部分をファウンドリーなどに製造委託する形態。

外の企業から大量に受注するしくみが必要であった。そうした背景から TSMC のビジネスモデルにおいては、顧客の便宜を考え、国境を越えた取引を容易にするためにインターネットを利用した仕組みづくりが重要性を持つことになる。そのため TSMC は前述したように、1990 年代の半ばから「バーチャル・ファブ (Virtual Fab)」と称したオンラインシステムの構築とそれを利用したサービス提供の実現に向けて強力に施策を推進してきた。

このようにシステム LSI での成功を目指すならば、強みを持った分野に特化する欧米企業や、ファブレス・ファウンドリー勢に対抗するビジネスモデルの構築とそれに合わせた組織や体制作りが必要であったはずである。しかし、日系 IDM はシステム LSI 分野に身を置きながら、こうした海外の戦略に対抗する策を長年とれなかった。さらに、その理由を深く考え始めると、本稿冒頭の中馬([2014], p.2)が述べたような「素朴な疑問への一般則的な返答はなかなか得られない」といった状態に陥ってしまう。

そこで、本稿では序章で述べた通り、これまでとは少し違った角度から、工場・企業間のシステム連携の問題に着目する。次章より、システム LSI の製造においてリーダー的存在である台湾の TSMC と、日系半導体メーカーでは、かつて DRAM 事業を中心に世界をリードし、その後システム LSI 事業に方向転換して低迷した NEC をサンプリングする。そして、本稿のテーマであるシステム連携の視点で比較、分析をして、システム LSI 事業に主軸を移した日系半導体メーカーが混迷していた要因として検討してみたい。

第3章 TSMC のオンラインシステムの先行性⁵³

ファウンドリーのリーダー的存在となった TSMC が発展した理由の一つに、半導体産業において分業化が進展する中で、先進的なサービスを提供するオンラインシステムを構築した点が考えられる⁵⁴。本章ではこの革新性について、半導体工場のシステム連携の視点から検討したい⁵⁵。

1 新型標準生産システムの誕生とその導入

1.1 半導体工場専用 MES の誕生

まだ半導体工場内のコンピュータは古くからのメインフレームなどを用い、各社で生産システムを構築していた時代に、米国では標準化された最新鋭の半導体生産システムの開発が進められようとしていた。

中馬([2010], pp.187-189)によれば、米国では日系半導体メーカーの後塵を拝していた 1980 年代より、半導体産業の再生プロジェクトが国を挙げて進められていた。その中の一つとして生産システムの標準化があった。官民共同による半導体共同研究組合である SEMATECH が関与したこのプロジェクトの成果をもとに、1990 年代後半には、後述する半導体工場専用の標準 MES が海外の有力半導

⁵³ 第3章の主な内容は、拙稿(2017)をベースに加筆・修正を行ったものである。

⁵⁴ 同社のアニュアルレポートでは、Virtual Fab 構想について、1996 年版において最初に打ち出してから 2001 年版まで毎年続けて言及している。1998 年版までは構想としていたが、1999 年版ではほぼ完成したこと、2000 年度版では更に機能を強化したことが伺える。また、2001 年度版では Virtually Integrated Value Chain と称して、顧客、設備関連企業、設計企業、そしてパッケージ、テスト企業との連携システムの構築を唱えている。TSMC が Virtual Fab 構想を打ち出した 1996 年当時の売上高に占める輸出比率は約 73% である。このように海外取引の比率が高い中で、顧客の便宜を考えてこうした構想を実現しようとしていたことが同レポートの中で述べられている。

⁵⁵ TSMC は生産情報のほか、設計・技術情報においてもオンラインシステムを利用したファブレス等へのサービスを強化しており、これらはどれも重要であるが、本稿ではインターネットで情報を入手できるということだけでなく、その内実として、秀逸な工場・企業間のシステム連携ができていることが重要であると考えた。よって、システム連携の問題点をより明確に浮き彫りにすることができる生産情報を中心に扱うこととする。

体メーカーに市販され、米国のみならず韓国の Samsung に代表される DRAM メーカーや、台湾の TSMC などのファウンドリーに直ちに普及していった。

1.2 半導体工場専用 MES 開発の背景

ここで MES について詳述する。MES とは AMR リサーチ社（調査会社）の Bruce Richardson が 1990 年に提唱した概念と言われる（中村・正田[2000], p.24）。MES は工場の装置制御系システム層と ERP（Enterprise Resource Planning）等の計画系（基幹業務）システム層の間にあり、実行系のシステムと呼ばれ（同, p.26）、製造現場全体にコンピュータ化を推し進め、工場内に高度な情報システム網を構築するものである。一般的にこの一つのシステムの中で、POP(Point of Production: 生産時点情報管理)とあわせて、工程管理、現物管理、仕様管理、生産管理(小日程計画など現場レベル)、品質管理、生産機器の制御、変更管理、保守管理、工場内物流管理などの機能が提供される(中村[1999], p.71)。

特に何百という長い工程数と、大量の品種数、仕掛数を持ち、循環型の複雑な工程フローをコントロールしなければならない半導体工場では、膨大な量の生産・技術データを管理できる特殊な技能を必要とした⁵⁶。そして、半導体工場の巨大化、加工技術の微細化、そして品種の多様化が進む度に、年々高度な管理能力が求められるようになり、それが生産性に影響するようになった。その結果、MES が必要となり、それがいない場合はコストが大幅に悪化するようになった(図 8 参照)⁵⁷。

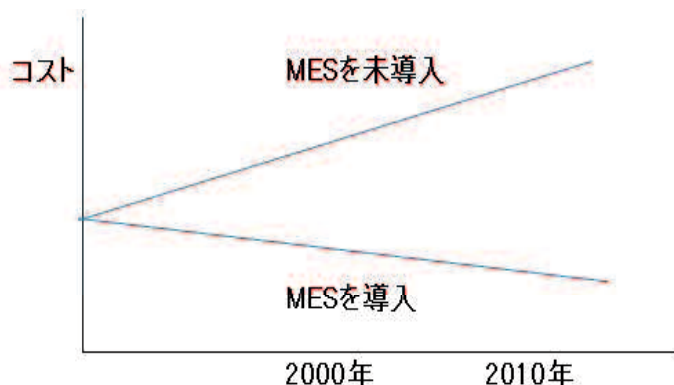
よって、米国では国を挙げて当時最先端の ICT⁵⁸を駆使し、世界に先駆け、また他の産業よりも早期に半導体工場専用の標準 MES を開発しようとする動きがあったと考えられる。

⁵⁶ こうした半導体工場の複雑性、特殊性については外山[2015]に詳しく記述している。

⁵⁷ 元 TSMC の情報システム技術者への聞き取り調査に基づく（インタビュー②-1）。

⁵⁸ オブジェクト指向プログラミング、データフォーマットやネットワーク・プロトコルの標準化等といったモジュラー化やオープン化の技術が挙げられる。この一連の内容については、青島・武石([2001], p.38, p.49)に詳しい。

図8 MES導入と生産コストとの関係



出所：元 TSMC の情報システム技術者より（インタビュー②-1）

1.3 TSMC 創業初期の生産管理システム

TSMC は、創業初期にあたる 1989 年に台湾の新竹に建設した Fab2⁵⁹では既にコンピュータ制御の CIM（Computer Integrated Manufacturing）システム⁶⁰により受注から生産をシームレスにつなぐコンカレントエンジニアリングを導入するなど、生産システム構築によるコスト競争力確保に多大な努力を払っていた（青山[1999], p.130）。

この Fab2 は 150mm ウェハ（6 インチ）対応の工場で、当時の生産管理システムは PROMIS 社の市販システムを使っていた。この頃はまだ新たな MES が誕生する以前のものであったが、TSMC では創業した頃より生産管理システムは自社開発を行わず、市販のシステムを使っていた（インタビュー②-3）。

1.4 TSMC における新標準 MES の積極的導入

その後、前述の米国のプロジェクトで開発された技術をもとに、1990 年代後半頃より市販されるようになった MES のソフトウェアを TSMC では積極的に導

⁵⁹ 第 2 工場のこと。TSMC はそれぞれの Fab（工場）にこのように番号を付けて管理している。なお、創業当初にあった Fab1 は現存しない。

⁶⁰ CIM（Computer Integrated Manufacturing: コンピュータ統合生産）は 1980 年代後半頃から導入されたもので、生産プロセスの自動化のみではなく、製品開発、技術開発、生産情報などすべてを統合した統合的生産管理情報システムである（泉[2015], p.206）。

入するようになる。

次に操業した Fab3 は同社最初の 200mm (8 インチ) ウェハー対応の工場であるが、1996 年に PROMIS 社の新 PROMIS と呼ばれる MES の市販ソフトウェアが導入された(中馬[2007], p.45)。一方、IBM 社は当初 Super Poseidon、そして 300mm ウェハー対応の半導体工場の時代になると SiView と呼ばれる MES のソフトウェアを販売し普及させていく。そして、TSMC は工場を数多く新設していく中で、これら最新鋭の市販の MES を積極的に導入した。

TSMC では半導体工場の生産情報網の核として、市販の MES のソフトウェアを利用することで工場内に高度な連携システムを構築する。海外では、自社での開発を経ずして迅速に生産ラインを立ち上げて急伸した台湾の企業の動きを受けて、市販 MES の注目度は高まった(中村・正田[2000], p.203)と言われる。

2 システム連携を極めたオンラインサービス

TSMC は専業ファウンドリーとして事業を営む中で、ファブレス企業などから製造委託先の工場の生産情報を求められるようになった⁶¹。こうした理由からオンラインシステムの構築が促進されたが、そのためには工場内部のシステムだけでなく、工場及び提携企業間の生産システムの連携度を高める必要があった。以下、システム連携の視点で TSMC の先行性について検討したい。

2.1 MES とオンラインシステムの関係

たとえ工場が最新の生産システムで制御されているとしても、半導体メーカーが社内に複数の工場を持つ場合、それぞれの工場の生産情報を一元管理するためには、各工場の生産システムを連携させることが必要となる。

もし工場毎に独立し閉塞したシステムであれば、顧客が必要な生産情報を引き

⁶¹ TSMC では半導体工場の複雑で困難な工程管理に窮し、酷い納期遅延を多発させていた時代があった。そのために顧客からの強い要望もあり、工場の仕掛状況をインターネットオープンにして、海外も含めて顧客が自ら進捗をチェックして、遅延した時にアラームをあげてもらったようにしたことがオンラインサービスのはじまりである(インタビュー⑦-5)。

出すためには、各工場のシステムに個別に問い合わせる作業をしなくてはならない。特に TSMC のように数多くの工場を持つ状況下では、注文した品物がどこの工場で作られているかを事前に踏まえ、工場毎に異なる生産システムに接続して問い合わせ作業を行うことはあまりにも煩雑で現実的ではない。また、どの製品やロットをどこの工場で作るかは、その時々が生産状況等によって（顧客との契約等があれば、可能な範囲で）変更されることもありうる。

そうしたことから、遠方からインターネットを通じて一元化された TSMC のウェブにアクセスすれば、どこの工場であろうが、手を煩わせずに仕掛品の状況を把握できるようなシステムを作り上げることが必要となるが、そのためには、各工場の MES の情報をシステム連携させる体制を整えなくてはならなかった。

ここで前述した SEMATECH の開発した CIMFramework と呼ばれるシステム設計に準拠した標準 MES を使えば、インターフェースも比較的整った工場間のシステム連携はしやすくなる。TSMC は各工場に市販の標準 MES を導入するのと同時に、これを核として工場間のシステムをリアルタイムかつシームレスに連携させ⁶²、各工場の生産情報を早期に社内で一元管理できるようにした⁶³。さらに、それを社外の企業からアクセスできるように拡張して、インターネットを通じて詳細な生産情報を遠方の顧客に提供することを可能にしている⁶⁴。

なお、日系半導体メーカーの多くは、こうした戦略的なオンラインシステムを構築する以前に、社内の工場間のシステム連携自体に問題を抱えていた。この点については次の第 4 章で述べる。

⁶² TSMC では PROCIM とよばれるインターナルサーバーでつなげる仕組みをつくり、各工場の MES を連携させた（インビュ⑳-4）。

⁶³ リアルタイムに生産情報を一元管理する上で、工場間のシームレスなシステム連携が重要な点については外山[2014]に詳しく記述している。

⁶⁴ TSMC は 1996 年のアニュアルレポートで Virtual Fab 構想に言及しているが、ここでは「顧客が自分達のコンピュータから TSMC の情報システムに直接問い合わせ、注文履歴や仕掛品等のデータを瞬時にとり寄せることができる」とあり、「ここで重要な点は TSMC と組むことで、顧客が自分達の工場を持っていなくとも不利益を被ることが無くなることである」と記載されている。

2.2 オンラインシステムの構築状況⁶⁵

TSMC がオンラインシステムの開発を始めた時期について述べると、市販MESを導入し始めたのと同じ1996年頃である。この後の立ち上げ期間は大別して1996年から1999年までの開発・試行期と、1999年から2001年頃までの改善期の二つの期間に分けることができる。

(1) 開発・試行期（1996年-1999年）

TSMCのオンラインシステムの開発・試行期は1996年から1999年までと考えられる。この時期にはTCS（Total Customer Service System）と呼ばれるシステムを開発して、それを通してサービスを提供していたが、画面のデザインが貧弱で、また技術部門や生産計画部門等の別々の関係部署が個別にウェブサイトを立て上げるなどして情報の窓口が一元化されておらず、ユーザーは必要な情報や資料を見つけ出すのに画面をいくつもあたり、探し回らなくてはならなかった。

また、データの抽出、利用にあたってはサービスエンジニアのような専門家の力を借りなければならず、当時はとても複雑で使い物とならないと言われる状態であった。

(2) 改善期（1999年-2001年）

1999年7月になると、このTCSを新しくTSMC-Onlineに置き換え、提供するサービスによってウェブ画面の入り口がバラバラに分かれていたものを統合して、一つの顧客向けポータルサイトとしてリニューアルした。それにあわせて情報伝達における全ての様式や手順を自動化し、出荷、仕掛、技術に関するレポートを顧客側で常時インターネットを通じて容易に入手できるように改善した。

さらに、Extricity software社のソフトウェアを翻訳機のように働かせ、MESやERPなどの業務用ソフトウェアからの基本情報を受け取り、それを顧客の情報システムに合うように変換するTSMC-Directという仕組みをつくり、工場・企

⁶⁵ 主にHsieh et al.[2002]、Chen et al.[2006]をもとに、元TSMCの情報システム技術者への聞き取り調査（インタビュー⑳-1～⑳-5等）において内容を確認して記述した。

業間のシステム連携を強化していった。

TSMC-Online は 1999 年に導入以降、改良を重ね、2002 年頃には顧客はウェブ画面で委託生産の注文をし、さらに市況の変動や生産進捗状況に合わせて計画を柔軟に変更できるまでになった。こうして遠方にながらインターネットを利用できる PC やワークステーション等があれば、あたかも自社の工場のように生産管理ができるレベルまで実用性を高めた⁶⁶。

ファウンドリーと顧客との間で日常やりとりすべき項目はインターネットでの手続きで済むようになり、工場を持たないファブレス等の顧客にとっては、社外（とりわけ海外）の企業に生産委託をする際の様々な障害がとりはられるようになる。

工場を持たなくとも自社の工場のように管理できるしくみをバーチャル・ファクトリー（仮想工場）と呼ぶことがあるが、TSMC の創業者の張忠謀会長が顧客の利便性⁶⁷を常に考えて 1990 年代という比較的早期に TSMC-Online を立ち上げてこの構想を実現し、その後さらにシステムの完成度を高めていく⁶⁸。そして分業形態のビジネスモデルを高水準なものにし、ファウンドリーにおける地位を確固たるものにしたと考えられる。

一般的には TSMC のオンラインによる優れたサービスに目が行きがちである。しかし、その内実は、他社が容易に真似をできないレベルまで水準を高めた革新的なシステム連携⁶⁹である

⁶⁶ 最初に出てきた納期回答では間に合わないときは TSMC 側と交渉することが必要になる。そのため海外から TSMC などに製造委託した企業が、オンラインで生産情報を入手できることは、そうした交渉を進めていく上で重要となるという意見が台湾のファブレスへの聞き取り調査の中で出てきた（インタビュー⑪-1）。

⁶⁷ TSMC は今日、TSMC-Supply Online を構築し、サプライヤーに対しても社内の在庫情報等を提供している。（インタビュー⑬-1）。

⁶⁸ 現在 TSMC は TSMC-Online と TSMC-Direct を合わせ eFoundry という名称でオンラインサービスを提供している。これらと初期の TCS に着目したが、秀逸なシステム連携が TSMC において早期に実現された事実を把握する上では、初めてサービスが実用レベルに達した時に中心的存在であった TSMC-Online を本稿では重視している。

⁶⁹ 元 TSMC の情報システム技術者へのインタビューでは、半導体工場のシステム連携は、300mm ウェハ対応の工場の時代（2000 年代初頭）には今日で言うインダストリー 4.0 のレベルには既に達していたという旨の意見があった（インタビュー⑳-1）。

第4章 日系半導体メーカーのシステム連携の遅れ⁷⁰

本章においては、これまで述べてきた TSMC の状況と比較する形で、日系半導体メーカーの中で NEC の事例をもとに、同社がシステム連携に問題を有し、それを克服するために、長年プロジェクトを組んで対応してきた状況を明らかにする。

1 生産システムの時期別状況

1.1 先行期（～1990年代前半）

坂本([1990], pp.84-90)によれば、日系半導体メーカー最盛期にあたる 1980 年代の生産管理システムは各社各様のものが存在していた。例えば日立ではシグナル・システム、東芝では電子管理板方式、NEC は TOPPS(Total Production Planning Control System)と呼ばれるものなどアプローチの方法、コンセプトなど異なった生産管理システムが存在していた。そして、当時はまだ旧式のシステムが使われていた。

NEC を例にとれば古くからのメインフレームをベースに社内に CIM システムを構築していたが、当時はオープン化やダウンサイジングなどの ICT の普及が本格化する以前で、帳票類の多くはまだ電子化されておらず、大量にデータを EDP (Electronic Data Processing) 用紙等にプリントアウトして生産状況を把握することで工程管理をしていた。このようにレガシーシステムを残した形であったが、複雑な半導体工場の生産管理に対応すべく、積極的に生産システムへの投資を行っていた (外山[2015])。

例えば、NEC では PLAN-STAGE と称するシミュレーターを開発し、1990 年代前半に国内工場に展開していった(本間ほか[1995], pp.266-267)。これは当時と

⁷⁰ 第4章の主な内容は、拙稿(2017)をベースに加筆・修正を行ったものである。

しては先進的なもので、ハードウェアも UNIX のワークステーション (EWS4800) を使用してダウンサイジング化されていた。しかし、その一方で、軸となる生産情報は古くから存在するメインフレームからのデータを利用するなど、新旧のシステムが混在している状態だった(同[1995], p.265-266)。

1.2 後退期 (1990 年代後半)

泉([2015], pp.205-206)によれば、1990 年代後半以降の工場管理システムには CIM をベースにした IMS (Integrated Manufacturing System:統合生産システム) が導入されるようになった。IMS とはインターネットなどを活用した生産管理のグローバル化に対応する自立分散型 CIM といわれている。

それまでの CIM の多くはメインフレーム等を利用した旧式のシステムであったが、IMS の時代になるとサーバーや PC を利用した分散型のシステムとなる。前述した MES もこうした流れのもと発展してきたものと考えられ、TSMC は 1990 年代後半から工場を数多く増設するようになる中で、積極的に最新の情報システム技術を導入していった。

ところが、日系半導体メーカーはこの時期になると新たなシステム対応への動きは急激に弱まる。その理由として中馬([2010], pp.195-199)は、技術的問題や、業績悪化に伴い資金面で窮していたこと、また、日米貿易摩擦の煽りで旧世代のプロセスを中心とした海外工場への直接投資に比重を置いたため、最先端工場への投資余力が無くなり、それに付随する生産システムへの投資にも悪影響を及ぼしていた点を挙げている。一方、既存のシステムを新たなものにリプレースする場合にも大きな負担が生じるため、その点で躊躇していたことなども考えられる。

日系半導体メーカーは MES 導入において、市販のソフトウェアを使わずに自社開発した企業が少なくない(中村・正田[2000], p.203)。1990 年代後半に標準化された市販の MES が海外で普及した後も、自社開発する傾向が有力日系メーカーにあった(中馬[2010], p.188)。その理由としては、当時、自社内に高い情報システムの構築能力を備えた大手総合電機メーカーが半導体事業を行っており、

MES を自製することができた (中村・正田[2000], p.203)ほか, 社内の情報システム人員を有効活用することを優先したことなども考えられる⁷¹.

この頃, NEC も部分的に MES を自製したが, 多くはレガシーシステムを温存するなど, 生産システム面での出遅れが目立つようになった.

1.3 遅延期 (2000 年代)⁷²

2000 年代に入っても, NEC は多くの半導体工場でレガシーシステムを使用し続けた. しかしメインフレームの保守期限切れの時期を迎えるようになり, ようやく新システムへのリニューアルに向けて, 全社的に GBT (Global Business Transformation) と呼ばれるプロジェクトを立ち上げた.

以下, GBT プロジェクトの概要を説明しよう⁷³. NEC⁷⁴は本社に加え, サプライチェーンを構成する国内外の生産拠点と販売拠点を対象とした業務プロセスの標準化と情報基盤の統合・整備を必要としていた.

そうした中で同社が特に目指したのは, 国内外に存在する各拠点における業務オペレーションのスピードと正確性の向上であった. 背景には, 例えば拠点によって業務のやり方が違う, 同じ製品であっても本社と各工場で品名コードや勘定

⁷¹ これらの点に関し, MES のパッケージソフトの有効性の認知に遅れた(中馬 [2007], p.44)という指摘が存在するほか, 技術能力及び摺り合わせ能力等が日系企業にあったからだという認識を持たれることも多い. しかし, それらもさることながら, 日系大手メーカーのグループ内ではシステム開発要員を大量に抱えており, 外部より高額な MES のパッケージソフトを買うのではなく, こうした固定費化した (埋没原価となる) 社内のシステム開発要員を有効に利用する方が, キャッシュフローを悪化させないという判断が当時下されたことも大きな理由であったという (インタビュー②①-1).

⁷² NEC の状況は各種公開資料をもとに, 関係者への聞き取り調査時 (インタビュー⑬-1, ⑯-1, ⑰-1~⑰-5, ⑳-1~㉑-6 等) において内容を確認して記述した.

⁷³ SAP ジャパン社資料及び i2 Planet 2007 Japan (セミナー資料) 等を参考にしながら記述した. なお, 巻末の参考文献の中の SAP ジャパン社の資料の題名にルネサスエレクトロニクスとあるのは, GBT プロジェクトが終了した翌年の 2010 年に, NEC エレクトロニクスはルネサステクノロジと合併してルネサスエレクトロニクスとなり, その年に発行されたためである.

⁷⁴ ここでは 2002 年に NEC の半導体事業部門を分社化して設立した NEC エレクトロニクスを指す.

科目コードが異なるといった業務プロセス上の課題があった。また、拠点毎に独自に構築されてきたシステムではお互いのシステム連携が不十分で、社内で正確な情報をタイムリーに共有できない問題も発生していた。そして、個別に情報システムを運用すればメンテナンスの作業もそれぞれ必要となる。競争力の強化という観点からは、グローバルな規模での IT コスト削減も大きな課題であった。

この GBT プロジェクトでは、国内外の生産・販売拠点をカバーする、需給一元管理システムと経営管理システムを中心とした基本構想⁷⁵を策定した。そして、これらの中には、メインフレームの保守期限切れによるサーバーへの移行に合わせ、それまで遅れていた生産拠点のシステムのダウンサイジング化と全社的な標準化、また活動基準原価計算システム⁷⁶の導入、さらにそれらに必要となる品名統合作業なども含まれていた。

プロジェクトでまず大きな比重を占めたのが、国内外にある拠点のシステム標準化を図るための業務プロセスの設計であった。そこでは、現業部門のキーマンで構成されたプロジェクトのメンバーによって、最初に「Guiding Principle」と呼ばれる基本方針が打ち出された。これはシステムを簡素化するだけでなく、最適なシステム連携を確実に実現することを目指したものであった。

この方針に基づき、個々の業務プロセスを「グローバル」（グループ共通）、「スタンダード」（販売拠点共通、生産拠点共通）、「ローカル」（拠点別ローカル対応；非共通）という 3 モデルに区分して、サプライチェーンの形態に応じて分類した基本パターン⁷⁷を定義した上で、さらに特殊な取引形態もパターン化するなど、グローバルレベルで統一化された業務プロセスの設計を推進した。ここで設計された業務プロセス数は全体で 500 以上に及んだという。

図 9 はこのプロジェクトの進捗概況であるが、2002 年頃から開始し、2004 年

⁷⁵ 参考資料や聞き取り調査等の情報を整理すると、需給一元管理システムは i2 社の SCM (Supply Chain Management) のソフトウェアを導入。また経営管理システムは SAP 社の ERP (Enterprise Resource Planning) のソフトウェアを導入したようである。

⁷⁶ NEC では新標準原価計算システムと呼んだ (インタビュー⑩-3)。

⁷⁷ SAP ジャパン社資料によれば、BTO (Build to Order) や BTF (Build to Forecast) と呼ばれるサプライチェーンの形態に応じた業務プロセスの基本パターンが存在した。

に製品コード（品名コード）や業務ルールの標準化が進められた。さらに同年には計画（系）システムの構築がなされている。そして、2005年には実行系システムの整備⁷⁸が完了した。こうした段階を踏んで、同年には実行系のMESと計画系の需給一元管理システムを連携させて運用を開始している。

さらに、2006年から本社での経営管理システムの稼働を開始した。この本社システムは、前述した「グローバル」モデルの要件を基本にして、顧客別・製品別収益管理や監査対応の強化を実現したものである。その後、各拠点の担当者を対象とするワークショップを継続的に開催して、この「グローバル」モデルをベースとして、前述の「スタンダード」や「ローカル」の要件を定義していった。このように本社システムから段階的に作業を進め、国内外の生産拠点や販売拠点へと展開をしていった。こうしてGBTプロジェクトは、一連のシステム連携を実現するのに2007年頃までかかっている。

図9 NECのGBTプロジェクトの進捗概況

グローバル化					海外販社
					工場
改善活動				KPI	
				プロセス変更	
構築			実行系システム		
		計画システム			
標準化		業務ルール			
		製品コード			
		工場パラメータ			
		サプライ情報			
設計	組織				
	SCM憲章				
	ビジネスプロセス				
	2002 - 2003	2004	2005	2006	2007

出所：i2 Planet 2007 Japan（セミナー資料）

⁷⁸ この実行系システムは自社開発されたMES（製造実行システム）を指す。MESは過去に工場毎につくり込んだものも含め、仕様を共通化させたものと考えられる。

しかし、聞き取り調査をしていくと、この図9は前工程の工場を中心としており、プロジェクトは難航して、後工程の工場や原価計算システムとの連携も含めると、実際の完了時期は2009年になった（インタビュー⑤-3）⁷⁹。結果として社内の工場間のシステム連携を行って、生産情報の一元管理、見える化を実現するだけでTSMCと比較して10年近くの遅れが生じていたことになる。

2000年代に入り、主軸となる事業をDRAMからシステムLSIに方向転換した後、NECではこのように社内の工場間のシステム連携のためのプロジェクトに長らく翻弄されていた。

2 システム連携遅延の個別問題

2.1 品名統合の問題

NECでは、古くから生産管理システムを社内で作りこんできた中で、各工場の都合を優先して、業務フローやルール、品名及びコード体系などが工場毎に異なっていた⁸⁰。また、工場を統括する事業部、さらには販売部門（販売会社）においても品名・コード体系が各々のルールで定められており、販売から生産までの情報が各所で分断されて一元管理できず⁸¹、製造コストと売価（製品別及び顧客別）とを結び付けて把握できないなどの支障もあった。よって、GBTプロジェクトでは社内全体で統合化された新たな品名・コード体系⁸²をつくるのが最初の関門⁸³となった（インタビュー⑤-2、⑩-1、⑩-2、⑫-4）。

⁷⁹ SAP ジャパン社資料にも、「2009年度までに、国内生産拠点およびすべての海外販売拠点への展開を完了」とあり、インタビューと時期は一致している。

⁸⁰ SAP ジャパン社資料では、実働の（実際の生産に使われている）品種は約4万品種以上（2009年時点）存在するとある。

⁸¹ こうしたシステム連携が不十分であることの弊害については、半導体メーカーに限らず多くの日系メーカーが陥りやすい点として、外山[2014]に詳細に記述している。

⁸² i2 Planet 2007 Japan（セミナー資料,pp.20-21）によれば、統合品名体系はKeyA（もしくはkeyA・S）と呼ばれた。

⁸³ 製造業においては製造指図書と呼ばれるものが存在し、品名毎に詳細な材料、工程、品質情報等が記載（システムに登録）されており、それらは生産、経理、品質、技術等の各関係（サブ）システムへとつながっていく。複数の工場において品名体系を新

なお、TSMC では品名体系等を整備するために、CIM - TB (Computer Integrated Manufacturing-Technical Board) と呼ばれる専門組織が置かれ、こうした問題を早期に解決して管理をしていた(インビュー⑳-2)。

2.2 IDM としての広範囲で厳格なシステム連携

NEC は IDM として、数多くの前工程と後工程の工場を、広範囲にかつ厳格にシステム連携しようとしたことなども本プロジェクトが長期化した大きな原因であったと思われる。

こうした厳格さが必要となった理由の一つとして、1990年代後半頃から国内の会計制度に国際基準を取り入れる動きがあり、当時の会計監査法人による監査において、従来に比べ細やかな会計処理を求められる傾向が生じた点などが考えられる。

例えば、財務会計上、かつては半導体事業を一つのセグメントとして扱ってきたが、さらに詳細なセグメント別に分けるべく、厳格な製品別原価計算と情報の提示を求められた(インビュー⑰-5)⁸⁴。しかし、前述した通り、当時は品名・コード体系が整備されていない状態で、製品毎の売価と原価もシステム連携できないという問題があった。また、設備の減価償却費や人件費などの原価配分においても、極めて簡素な配賦基準で割り振っていた⁸⁵が、GBT プロジェクトではこうし

たに変更する際に、各工場のサブシステム毎に別途コード体系が存在する場合、これらを整合させてシステム連携ができるようにしなくてはならない。よって、特に膨大なデータ量及び複雑な品名・コード体系を有する半導体工場において同体系を全面的に変更する場合、他産業では想像できないほど困難な作業を必要とする。

⁸⁴ 半導体以外にも様々な事業を有する NEC から、半導体事業を分社化して上場した NEC エレクトロニクスになってからの動きである。その一方で、同社がルネサステクノロジと合併してルネサスエレクトロニクスになって開示された 2010 年度 3 月期以降の決算短信では、「当社グループは、システム LSI を主力とした半導体単一事業であるため、事業の種類別セグメント情報の記載を省略しております」としており、(製品群別の)セグメント情報は出さない意向を示すようになった。こうした方針変更を見ると、財務会計においてここまで厳格なセグメント別の原価計算に向けたシステム対応が、当時本当に必要であったかどうかは議論の余地がある。

⁸⁵ 例えば高額な最先端の設備であれ、安価で償却も終わろうとしている古い世代の設備であれ、減価償却費は同じコストセンターに集計して配賦率を一律にし、単純な作業件数等で各製品に配賦していた(インビュー⑰-3)。

たどんぶり勘定を改め、MES からの詳細な生産情報を利用した活動基準に基づくきめ細やかな原価計算を、社内で統一化した業務フローで行うことが必要となった（インビュー⑰-3）。

そうして、MES と原価計算そして販売等のシステムを、広範囲にかつ厳格にシステム連携させようとしたこともプロジェクトの負担を大きくし、一連の作業が長引いた要因となったと考えられる。

第5章 半導体工場のシステム連携について（聞き取り調査より）

これまで述べてきたことは、先行研究や公開資料等を踏まえ、国内外の半導体メーカーの役員や管理職、実務担当者、半導体 MES の専門家、情報システム技術者などに聞き取り調査をすることで得た様々な情報を集約して、客観的にまとめたものである。本章ではこうした聞き取り調査の内容と、それらを検討した過程を系統的に配置して記述することで、記録として残すことにしたい。

まず、本研究に着手した頃の聞き取り調査においては、日系大手メーカー系列の情報システム会社（システムベンダー）の関係者を中心に、MES に関して基本的なことからインタビュー⁸⁶を重ねていった。ここでは、製造業の情報システムに関する一般論として⁸⁷、以下のような共通した意見を確認できた。

（以下、インタビュー①-1, ②-1, ③-1, ④-1, ⑤-1, ⑥-1 の共通意見として集約）

- ・ 1990 年代半ば頃まで、大規模な工場の生産管理システムはメインフレームをベースとした CIM の中の一部として扱われることが多かった。1990 年代後半からのオープン化、ダウンサイジングといった ICT の進展により基幹システムが発達して、それが ERP と呼ばれて普及するようになったのに合わせ、生産システム自体も独立して MES と呼ばれるものが普及した。ただし、ERP は導入しても MES は導入せず、旧来からの生産管理システムを残して利用する企業も多かった。

- ・ MES がパッケージソフトであれば、新興国の企業にとっては、比較的楽に

⁸⁶ インタビューに関しては、巻末のインタビューリストと各頁との対応表を参照。

⁸⁷ 半導体メーカーをグループ企業に持つ大手電機メーカーのシステムベンダーへのヒアリングが多かったが、どのベンダーも共通の意見として、半導体工場の情報システムは特殊なため、別組織として専門化されており、同じシステムベンダー内であっても専任の担当でなければ詳しくはわからないといった言葉が返ってきた。ここでは半導体工場を経験したことがない担当者（マネージャークラスを含む）が多かったため、一般論として聞き取りを調査した。

生産システムを導入できるようになるだろう。何よりも複雑な生産システムを自分達で一から構築する必要が無くなる。昨今は新興企業にとって生産システム導入における参入障壁は昔よりは低くなったと考えられる。

- ・パッケージ製品を導入すると、これまで自分達で積み上げてきた業務ノウハウを捨てて、パッケージソフトの仕様に業務フローを合わせていかななくてはならない。これには多くの関係部署からクレームが入り、特に日本企業は必ずと言ってよいほど大幅にカスタマイズ化してしまう。たとえMESのパッケージソフトを導入しても、過度にカスタマイズ化させると結局自社開発と変わらない、もしくはそれ以上の手間とコストがかかってしまう。

以上が、複数のシステムベンダーに聞き取り調査をした際に出たMESの共通点である。これらは製造業における一般的な考え方として捉えてよいと思われる。

次に、半導体工場のMESに関して聞き取り調査を進めた。中馬が指摘したように、日系半導体メーカーにはMESの自社開発の傾向があること、そして海外ではパッケージMESが普及していることを確認する上で、TSMCのMES導入に携わったことのある半導体製造装置メーカーの情報システム技術者に聞き取り調査をして、以下のような回答を得た。

「TSMCが業績を拡大し、工場を増設、拡張しはじめたのは、MESのパッケージソフトが市販されるようになったのと同じ1990年代後半からです。TSMCはもともと生産システムについては自社開発を行わず、PROMIS(社)のパッケージソフトを導入していました。1990年代後半から新規に工場を数多く建設した際、MESのパッケージソフトが市販されるようになって、それを積極的に導入しています。日本の半導体メーカーの多くはMESを自社開発したのですが、海外の半導体メーカーのMESはパッケージを利用

するところが多く、特に台湾などでは（当時は）大幅なカスタマイズを避け
て使いこなしていました。」（インタビュー⑦-1）

以上において、中馬が述べていた通り、MES について日系メーカーは自製、
海外ではパッケージソフトを導入する傾向があることをまずは確認した⁸⁸。

ところで、中馬が指摘したように日系半導体メーカーが MES を自社で開発す
る傾向があった⁸⁹中で、それで海外に遅れをとったかという議論になると、全面
的に同意されることは少なかった。例えば、以下のようなものである。

「旧世代のメインフレームによる自社開発の半導体生産管理システムは機
能も古くて劣っていた。でも、MES の時代になってそれが自社開発がよい
かパッケージがよいかは比較が難しい。例えば（米国の大手半導体メーカ
ーである）I 社は非常に優れた MES を自社開発している。また、注意しなく
てはいけないのは、メインフレーム自体も昔と比べると今はかなり性能が上
がってきている。」（インタビュー⑩-1）

パッケージ MES が海外で普及した 1990 年代後半頃に、日系半導体メーカ
ーの多くは自社開発の MES を導入した傾向があったというのが中馬の指摘である
が、いずれにせよ今日では、半導体産業において MES の存在は当たり前よう

⁸⁸ ここで気をつけなくてはならない点として、別途、台湾の半導体メーカーの情報シ
ステム技術者へ聞き取り調査をした際、「後工程は、前工程よりも比較的工程フローが
シンプルなので、MES は必ずしもパッケージ（ソフト）を使わずに自社開発するこ
とも多い」（インタビュー⑭-1）との指摘を受けた。よって、前述した SEMATECH の規格
（CIM Framework）に準拠したパッケージ MES は前工程の MES を中心に述べられ
ていると考える必要があると思われる。

⁸⁹ 中馬（[2010], p.217, 注 20）は特に NEC ではその傾向が強かったと指摘している。
同社以外にも、例えば日立・三菱系のルネサステクノロジ（後に NEC と合併してル
ネサスエレクトロニクスとなる）の工場においても、「H（日立系）、M（三菱系）と
もローカルシステムから標準 MES への切り替えは'07～'08 年あたり」（インタビュー⑳-1）
というように、NEC 以外でも自社開発の傾向が長く続いたことを確認している。

になっている。そして、自社開発の MES がパッケージソフトの MES よりも劣っていたかどうかという点になると、数値を用いて議論しにくいいため、なかなかヒアリングをしても明確な答えを出すことは難しいようであった。このように、MES を自社開発するか、もしくはパッケージソフトを導入するかといった違いで生産性に影響したかどうかは、一概には言えない⁹⁰という意見が多かった中で、あえてメリットを挙げるとすると以下のような回答があった。

「MES のパッケージソフトに優れた点があるとすれば、半導体産業では APC (Advanced Process Control) のようなもの⁹¹が発達していて、何百工程、何万品種とある複雑な半導体工場の生産管理業務を、かなりの程度まで自動化できるようになってきました。それを自社開発で手を煩わすのではなく、パッケージの中に織り込まれたものを導入できるなら、MES のパッケージソフトの方が優れていると言えるかもしれないですね。」(インタビュー⑦-2)

さらに、日系半導体メーカーが MES のパッケージソフトを積極的に導入しなかった時代があったことに関しては、以下のような意見があった。

「システムリニューアルを検討する際に、パッケージ MES の値段を見ると億単位の目の飛び出るような金額だった。グループ（企業）には多くのシステム人員がいて、MES を自製する力もあるので、業績が苦しい中で、それを有効活用しないで、パッケージ（ソフト）を買ってキャッシュを（社）外に出すという判断はされなかった。」(インタビュー⑩-1)

⁹⁰ 比較検討するにあたって定量的なデータをもとに判断することが難しいほか、今日の ICT の状況だけで判断するのではなく、MES のパッケージソフトが普及しはじめた 1990 年代後半頃からの状況も含めて考えなくてはならないとすると、一言では言えないようである。

⁹¹ APC とは設備の作業条件等を、実績データ等をふまえて、最適なものに自動で改善するためのシステム。またこれに関連して装置の稼働や仕掛品の進捗状況などを考慮して、各装置で最適な処理ロットを自動で選択する、ディスパッチャーと呼ばれる機能等についても説明があった。

ところで、古いメインフレーム時代の生産システムが劣っており、最新の ICT を駆使した MES を導入すると生産性が向上するというのは TSMC では実証されているとして、元 TSMC の情報システム関係の技術者からは以下のような説明があった。

「半導体工場では MES が重要な役割を担うようになっていて、それを入れないとコストが上昇して、入れると相対的にコストが下がるというのは TSMC 内では数値を持って実証されている⁹²。もともと昔から半導体工場は今で言うビッグデータを扱っていたと考えてもいいのではないかと。一品種数百という工程数、常時何万という品種数、(数ヶ月という)長い工期に伴う大量の仕掛ロット、さらに、大、中、小、数え切れないくらいの台数の設備が存在して、そうした中で生産管理情報、技術情報など膨大なデータ量を MES が中心となって処理をしている。TSMC が 200mm から 300mm ウェハ対応の工場に移行した頃⁹³には生産システムなどの業界標準化が進んだ⁹⁴。最近では(ドイツの) Industry4.0 が世界で話題になっている。これは、どちらかと言えば中小企業や半導体以外の産業のシステム連携の問題と考えるべきであって、実は最先端の半導体産業では、すでにその時代にそうした内容を実現していたと考えることができる。」(インタビュー②0-1)

さらに、MES のパッケージソフトのシステム連携に関して、以下のような意見があった。

「半導体専用の標準 MES のパッケージを使えば、インターフェースが比較的整備されていて、プラグ&プレイの感覚とまでは行かなくても⁹⁵、昔に比べると、それに近い形でシステム間をつなぐことができるようになってきま

⁹² 本稿の第 3 章にある図 8 を描きながら説明があった。

⁹³ 2000 年代初期頃に相当する

⁹⁴ 小宮[2003]ではこの過程が詳細に記されている。

⁹⁵ 同じ標準 MES でも、開発ベンダーにより仕様が異なる部分もあるようである。

した。台湾では日本のように古いメインフレームをあまり使ってなくて、レガシーシステムの影響がほとんど無く、最新の ICT を利用したシステムを導入したのです。TSMC はその点で有利だったと思います。」(インタビュー⑦-3)

この回答は、市販の標準 MES のパッケージソフトは、生産性向上もさることながら、システム連携に影響を与えたことを示唆していた点で重要であった。

一方、インタビューを重ねる中で、日系半導体メーカーの多くに共通する問題点として、レガシーシステムを温存する傾向があったことと、品名・コード体系が工場毎にばらばらでシステム連携が難しかったことを指摘する声が出てきた。以下、そうした問題点を指摘している聞き取り調査内容を記す。

「1990 年代後半の DRAM 不況時に資金が不足していたため、ちょうど同じ頃、情報システムの世界でオープン化やダウンサイジングが進んでいた時期に、新規のシステム開発を大胆に進めることができなかった。もちろん PC やサーバーなどを導入するレベルのことはやっていた。問題は、システム開発にまとまった資金を投入できなかったために、予算を小出しにとって、部分的にメインフレームからサーバーに切り替え、工場毎にばらばらにダウンサイジング化を進めてしまった。典型的な例は、(その中央に位置する) 大型コンピュータ (古い機能のメインフレーム) を 2000 年代の後半頃まで残した工場が社内にいっぱいあった⁹⁶。さらに、ダウンサイジングを進める時には、工場毎にばらばらだった大昔からのマスターやコード類、そして生産システム自体も、そのままの形を受け継ぐような付け焼刃的な対応をとってしまった。そうなるとう工場間のシステム連携は難しく、2000 年代に入ってもその対策に時間と工数を費やした。」(インタビュー⑨-2)

⁹⁶ 日系半導体メーカーは IDM であったため、多数存在する前工程と後工程の工場を合わせて数えたようである。

「多くの製造拠点を持つ日系半導体メーカーの生産システムの問題は、工場毎に仕様が異なること（である）。DRAMのような汎用品を大量につくりだめをする時代には問題がなかったかもしれないけど、システムLSIのように多品種の生産をする製品がメインとなると、多くの工数を割いて顧客別に管理しなくてはならなくなる。もしそれを人間の手を煩わさずにシステムで一元管理しようとするれば、工場間でシステムをつながなくてはならない。でも、マスターやコード体系がばらばらで整合がとれない状態で、さらに、各システムのインターフェースが工場毎に異なると、そのシステム連携作業は相当困難なものになった。」（インタビュー⑳-3）

「古くから生産管理システムを社内で作りこんできた中で、各工場の都合を優先して、業務フローやルール、品名コードなどが工場毎に異なっていた。また、（工場を統括する）事業部や販売（部門・会社）でも品名コードが各々のルールで決められていて、販売から生産までの情報が各所で分断されて一気通貫（でつなぐことが）できなかった。」（インタビュー㉑-4）

「コード体系がばらばらなので、製造コストと売価とを結び付けて把握できないなどの支障もあった。」（インタビュー㉒-1）

「(NECの)GBTプロジェクトでは社内で統一された新たな品名・コード体系をつくるのが最初の関門となった。」（インタビュー㉓-2）

「日系半導体メーカーはIDMなので、顧客に工場の生産情報をオープンにするようなオンラインサービスは必要ないという考えもあるかもしれない。」（インタビュー㉔-4）、その一方で、「オンラインサービス（を顧客に提供する）以前に工場毎にシステムがばらばらで、社内においてすらオンラインシステムができてなくて、複数ある工場の生産の見える化や集中管理ができな

い状態だった。社内においてそんな状態だったから、社外に向けてオンラインシステムを仮に作ろうなんて物理的に不可能だったろう。」(インタビュー⑩-1)

また、比較的中堅規模の日系半導体メーカーにおいて、本社・複数工場間のシステム連携を手がけたシステムベンダーからは以下のような意見があった。

「15年前(1990年代末)頃は、スクラッチ⁹⁷でシステム開発をして、(本社と複数工場間の)データ連携をしようとする時間とコストがかかりすぎ、(一方)ツール⁹⁸で代替しようとしたら、金額がかなり高かった。(よって)その頃は半導体工場のシステム連携は簡単ではなかった⁹⁹。」(インタビュー⑩-1)

システム連携に関してインタビューをしていくと、こうした日系半導体メーカー側の問題が浮かんでくる。最盛期の頃の日系半導体メーカーは、汎用 DRAM をどんぶり勘定に近い形で押し込み(プッシュ型)生産をしていた¹⁰⁰ので、当時作ったシステムには緻密な工場間のシステム連携は必要なかったかもしれない。しかし、カスタム品であるシステム LSI に傾注すると、きめ細やかな顧客別管理を求められ、そのために情報の一元管理が必要となった。そして、ちょうどその

⁹⁷ システム開発に関する用語で、既存のパッケージ製品や雛形等を利用するのではなく、すべての要素、機能を個別に最初から開発すること。

⁹⁸ この聞き取り調査先において販売しているような、本社と複数工場間のシステム連携を行うためのソフトウェアを指す。

⁹⁹ 某中堅規模の半導体メーカーがシステム連携の問題を抱え、紆余曲折の末、このインタビュー先のソフトウェアを導入して解決したのは2000年代後半であった。この事例をもとに述べられた言葉であり、工場の数や規模等により程度の差はあれ、こうした事象が当時の国内の半導体メーカーの多くにおいて生じていたと考えられる。

¹⁰⁰ 当期の出荷量以上に大量に生産して在庫を積み増すことで、会計上、(全部原価計算において固定費が一部次期に繰り越され)、一時的な損益改善が期待できる。この点に関して河田[2004, p14]は「全部原価計算は、製造間接費の期間配分計算を行うことから、在庫づくりや先行生産を許容し、正当化する結果となった」と述べている。こうした内容を踏まえ中馬([2010], pp.200-201)は、日系半導体メーカーは1999年度にキャッシュフロー計算書の作成が義務付けられるまでは在庫残高の増加(=キャッシュフローの悪化)を無視し、また詳細なコスト戦略を抜きにして、単純な生産拡大策による短期的な利益確保を最優先にして事業を営んでいたことを指摘した。そして、このことを“どんぶり勘定”にもとづく“プッシュ型生産”と表現している。

頃にダウンサイジング化やオープン化が進みサーバーやPCが普及して、通信機能が発達した時代となって、工場間のシステム連携を行おうとしたら、今度は工場毎のシステムがサイロ化¹⁰¹しておりシステム連携に不具合があったようである。よって、まずは古いマスター・コード体系を正すことからはじめなくてはならなくなった。インタビューを進める中で、以下のように具体的な弊害が見えてくる。

「2000年代後半に入っても販売部門や事業部側は各工場で製造している製品の所在がどのようになっているか、一元化された形でリアルタイムに情報を入手することは難しかった¹⁰²。他の古い産業ならまだいいかも知れないけど、最先端のシステムLSIを取り扱い、TSMCと競争しようとしている（半導体メーカーの）中でそのような状態が長く続いた。さらにSCMのシステムでは先々の製品別の需要を踏まえ、工場毎に生産能力を計算して、出荷予測する作業が必要だったけど、ここでも工場間のシステム連携が課題となった。」（インタビュー②1-5）

「製品コストも工場毎に算出されていて、（企業）グループ内にあるすべての工場のコストを統合して、結局それぞれの製品が（会社として）いくらのコストになるかわからない時代が長かった。これは工場毎に原価計算のしくみがバラバラだったことと、品名・コード体系は工場だけじゃなく、それらを統括する事業部とか販売部門でも異なった体系を持っていたために、（製造コストと販売価格のデータがきれいに結び付かないなど）、一本にまとめて（一元化して）集計ができなかった。」（インタビュー①7-2）

¹⁰¹ サイロとは、穀物・まぐさなどを貯蔵するための塔状建築物や地下室、または地下ミサイル格納庫などが元来の意味であるが、さらに情報システム分野においては、システム連携ができず孤立した状態、すなわちネットワーク化されていない状態を指す。

¹⁰² 前述した通りTSMCはオンラインシステムを構築する過程において1990年代のうちに、こうした対応を可能にしている。

「GBT プロジェクトでは、新標準原価システム¹⁰³と呼ぶ新たなしくみを作
って、こうした問題を解決しようとしていた。設備の減価償却費や人件費な
どの（原価の）配分も、それまでは、極めて簡単な（配賦）基準で割り振っ
ていた。（例えば）高額な最先端の設備でも、安価で償却も終わろうとして
いる古い世代の設備でも、減価償却費とかは同じコストセンターにプール
（合算）して、（配賦率を）一律に、単純な作業件数とかで（各製品に）ば
らまいていた。GBT プロジェクトではこうしたどんぶり勘定じゃなくて、
MES からの細かい生産情報を利用して、膨大な数の設備一つ一つで作業数
をカウントして配分する（＝膨大な数の設備の減価償却費等を、設備毎に
MES から詳細な作業数を把握した上で製品別に配分計算をする）などして、
きめ細やかな原価計算¹⁰⁴を、社内で統一化した業務フローで行おうとした。」
（インタビュー⑰-3）

「2000 年代に入って、こうした点を解決しようとしたシステム改定の作業
は、古くから各工場で別々に作ったマスター・コード類とか、業務や原価計
算のフローを統一化することを、全ての工場で行ったため負担が重くて、長
年業務の妨げになった。業務の中でこういうことがしたい、ああいうことを
できるようにしたいと意見を出しても、『この（システム改定の）プロジェ
クトが終わるまでは何もできない（他に身動きがする余裕がない）』が全社
の合言葉のようになっていた。これじゃ戦えなかった。」（インタビュー⑰-4）

¹⁰³ もともと NEC では標準原価計算は導入されており、この話の内容から新たに活動
基準原価計算を組み入れようとしていたことがわかる。

¹⁰⁴ 原価計算を行う側からは、「そうは言っても、しょせんは間接費の振り分けの問題
（に過ぎない）。（原価計算の）やり方はいろいろとある中であんまり細かくやって見
える化しても、（例えば）古い（世代の）製品を新しい設備で流す（作る）と減価償却
費の負担が重くなって、（高効率であるはずの）新設の工場や設備をみんな（本社側の
販売・生産事業部等）が避けて、（全体の受注が少ない時などは）そこの稼働率が極端
に悪くなるなんてことも起きてしまう。（その正否はともかく）何をもって正しい原価
計算とするかはけっこう難しい問題がある。なんだかんだ言っても会計士（監査法人）
がどんぶり勘定を許さなかったのが大きくて、原価差額調整までも含めて製品群別に
詳細に計算して提示するように求められた」という意見もあった（インタビュー⑰-5）。

「GBT (プロジェクト) が終わるのは、後工程やら (GBT-) F¹⁰⁵を含めると、結局、(日立・三菱系のルネサステクノロジと) 合併直前の 2009 年頃までずれ込んだ。」(インタビュー⑤-3)

日系半導体メーカーのレガシーシステムからの脱却、及び新システムへの移行については、上記のようなマイナス面の話が多々出てくる一方で、システム構築に関して TSMC 側の秀逸な面を述べる意見が多数出てきた。

「今は半導体工場間の MES をつなぐには、統合データベース構築 (のための) ツールや BI ツール¹⁰⁶といったソフトウェアが発達して、また MES の上位層で比較的連携させやすくなっていて、昔ほど苦労しないのであまり問題視されなくなってきた。 (しかし) TSMC がオンラインシステムを構築した 1990 年代後半頃は技術的に非常に難しかったはずで、これをその時代に先行して成し遂げるには高度なシステム開発力があつたと考えられる。 (また) いろんな利害関係のある各部門の力を結集して、他社よりも数段優れたオンラインシステムを構築するには強力なリーダーシップが必要だったはず。」(インタビュー②①-6)

(日系半導体メーカーが工場毎にばらばらとなったマスター・コード類の整合で苦しんでいたという話に対し)

「TSMC はこれらを社内で体系的に整合するための CIM - TB (Computer Integrated Manufacturing-Technical Board) と呼ばれるテクニカルボードを早期に置いて上手く対応してきた。」(インタビュー②①-2)

¹⁰⁵ GBT プロジェクトは、その内容により E や F などの記号をつけて管理しており、GBT-F は前述の新標準原価計算 (活動基準原価計算) システムの構築にあたる。

¹⁰⁶ BI (Business Intelligence) ツールとは、膨大なデータの中から必要なデータを検索したり、特定の形式でレポートにまとめたり、多次元分析を行なうことにより、資料を作成したり、事業の進捗を把握するのを支援するソフトウェアを意味する。

「Fab2(150mm ウェハー対応の工場)の,当時の生産管理システムはPROMIS(社の市販システム)を使っていた.この頃はまだ新たなMESが誕生する以前だった.TSMCは創業した頃より生産管理システムは自社開発を行わず,市販のシステムを使っていた.」(インタビュー⑳-3)

「TSMCの200mmウェハー対応の工場で使われた初期のMESは,PROMIS(社)のパッケージソフトだった.TSMCではPROCIMと呼ばれるサーバー(internal CELL server)を使ったシステム層をつくり,それを拡張しながらシステム連携させていった.そうしてMESを連携させた.300mmウェハー対応の工場の時代になると(IBMの)SiViewというMESが普及し始め,それ以前と比べると比較的シンプルにシステム連携ができるようになっていった.」(インタビュー⑳-4)

「電機電子業界で最初にSCM改革に着手したのは半導体メーカーです.製造工程の長さ,前工程と後工程の工場のグローバルな分散による輸送リードタイムや配分の問題,そして顧客やEMS(Electronics Manufacturing Service)からの厳しい要請(即時納期回答等)があり,比較的早い時代に対応しようとしていました.1998年前後に当時最新鋭のSCM武装を実現したのは実は日本のT社¹⁰⁷でした.また生産工場の最適化操業を完成したのは米国のT社でした(1997年頃).TSMCは(オンラインシステムの構築が一段落した後の)2001年に,更なる業務改善を目指してSCMシステム¹⁰⁸の開発に着手して3年程の開発期間を経て完成しました.これは非常に優れたシステムとして2004年に表彰¹⁰⁹されています.」(インタビュー⑮-1)

¹⁰⁷ 優れたSCMシステムを日本で早期に導入したとされる同社は2000年代に入りDRAM事業から撤退してから,事業の軸をシステムLSIにしなかった.よって,本稿の議論の対象としない.

¹⁰⁸ ESCM(Enterprise Supply Chain Management)と呼ばれる,全社的な需給一元管理システムのこと.工場のプランニング機能を全社で一元化しようとした.

¹⁰⁹ Ken Sharma Awards for Excellence Application という賞を受賞している.

1990年代後半頃から飛躍的に成長した TSMC においてはレガシーシステムの影響は少なかったことが考えられる、しかし、TSMC はマスター・コード類の整合への対応には相当配慮しており、前述した日系半導体メーカーのような問題が起らないようにテクニカルボードと呼ばれる社内組織を整えて対応している。また工場間のシステム連携に関しては、今日では昔ほど問題は無くなっているとのことであるが、TSMC がオンラインシステムを構築した 1990 年代後半において、同社はかなり先進的なシステム連携を実現したと思われる。

ところで、TSMC のオンラインサービスの発祥に関しては以下のようなエピソードがあった。

「TSMC が顧客に自社内の工場の仕掛品の情報をオープンにしたのは、初期の頃、あまりにも納期遅延が酷くて信用を失っていたことが発端です。一つの製品を数ヶ月もかけ、数百もある工程を経て製造する半導体工場の生産管理では、今のように自動化が進む以前は納期遅延が当たり前のように起きていて、声大きい（発言力のある）顧客の作業が優先されることもあって、TSMC の工場内にはりついて（進捗の遅れをチェックして）、その場で煽るとやっと進捗するという噂が世界中に広まったのです。そんな中で仕掛品の進捗状況について毎日（電話等で）大量の問い合わせが来て、聞き伝いでやりとりするものだから、お互い（情報を入手する側も、また提供する側も）限界にきて、情報をオープンにするように（顧客から）強く要求されたのです。そのため工場の仕掛状況をインターネットでオープンにして、海外も含めて（顧客が自ら進捗をチェックして、遅延した時にアラームをあげてもらおうようにしたのがオンラインサービスのはじまりです。」（インタビュー⑦-5）

今日の TSMC のオンラインサービスは、初期の段階では納期遅延対応のニーズに応えるために必要とされたようであるが、これをきっかけに TSMC はさら

なる顧客のニーズ¹¹⁰に応えるため、オンラインシステムを高度化させた¹¹¹と思われる。ただし、全てがシステムチックに行われるのではなく、以下のような対応も未だ行われているようである。

「最初に出てきた納期回答では間に合わないときは TSMC 側と交渉することが必要です。海外から TSMC などに製造委託した企業が、オンラインで生産情報を入手できることは、そうした交渉を進めていく上では重要でしょう。」(インタビュー⑪-1)

また、日本と台湾の違いに関しては、以下のような言葉もあった。

「TSMC は生産システムの情報をオープン化した。日本の半導体メーカーはオープンにしなかったため IDM しかできなかった。また日本は工場側を中心に生産革新、投資のところでプロセスイノベーションを一生懸命にやるけど、市場開発にむけたプロダクトイノベーションが遅れている。台湾では設計もパッケージ化されていて、設計されたパーツを部分部分で購入して、組み合わせて IC を設計できるようになっている。この点でもオープン。こうした方法で顧客をとりこんでいくことに日本企業は中途半端で、遅れていて、この方面のイノベーションが遅れているために顧客を失ってきた¹¹²。」(インタビュー⑬-1)

¹¹⁰ TSMC は今日、TSMC-Supply Online を構築し、顧客だけでなくサプライヤーに対しても社内の生産情報（在庫情報等）を提供している。この点は台湾において実際に企業（TSMC へのサプライヤー）内で使われている PC 画面を見せてもらい確認した。（インタビュー⑬-1）

¹¹¹ 前述した TSMC において 2000 代に入って構築された ESCM は、こうした顧客のニーズに応えるための努力を継続してシステムを高度化させて、オンラインによる即時納期回答を実現させたものである。

¹¹² 似たような意見として、「日系メーカーはテクノロジーに注力しましたが、TSMC はカスタマーリレーションシップに力を入れました。そうすることでカスタマーは TSMC を信頼 (trust) して、TSMC は販売促進(promote)をしました。こうしたしくみづくりは Yahoo や Google, アリババ等がやってきたことと同じです」という指摘があった。（インタビュー⑫-1）

また、日系 IDM と海外のファブレスとの違いについては、事業モデルの違いもあるが、それでもスピードが違いすぎるという指摘が、台湾企業への聞き取り調査において多かった。例えば以下のようなものである。

「日系 IDM は会社の中にいろいろなしきたり（仕事の分担、部門間のしがらみ等）があつて動きが遅い。一方、ファブレスは何をつくるのか意思決定が早い。コミュニケーション能力があり、得意なところに素早くフォーカスしていく。」（インタビュー⑪-2）

最後に、聞き取り調査の中で興味深かった内容を以下に記しておきたい。

「半導体の生産管理システムや MES に関する論文は台湾では数多く存在する。大学にその専門家が大量いて、この分野に関して TSMC 等で起きている事を技術系のみならず、社会科学のフィールドでも頻繁に議論している。日本の社会科学の世界ではそうしたケースは極めて少ないし、理解している人も少ない。」（インタビュー⑱-2）。

一方、台湾側では本稿が取り上げたような日本の生産システムの問題はあまり議論されない。その状態を表す言葉として、以下のようなものがあつた。

「PC、サーバー（の存在）は昔から当たり前。」（インタビュー⑨-1）

「（日本の大手半導体メーカーの中に 2000 年代に入っても長らく、古くからのメインフレームを残していた企業があつたという話に対して）そんな結構遅れてるの（そんなに遅れてるの）？¹¹³（絶句）・・・信じられない。」（インタビュー⑨-2）

¹¹³ 中国（台湾）語を母国語とする人へのインタビューであつたが、同氏は日本への留学経験があり、日本語で応対していただいた。

この聞き取り調査は台湾において最初の頃に行ったものであったが、この後、さらに様々な台湾の半導体関連企業の関係者にインタビューを繰り返す中で、台湾企業の多くが急激な成長を遂げたのが 1990 年代後半からで、新たな ICT が発達したのと同じ時期か、もしくはその後の段階だったので、日本のレガシーシステムのような問題はあまり経験をしていないことがわかってきた。

参考までに、日系大手半導体メーカーにおける MES 導入に直接携わった人（当時の工場の部門長クラス）へのインタビューでは以下のような回答もあった。

「MES にパッケージソフトが存在したの？本当？知らなかった。（自社開発をせずに）それを使えばもっと楽に生産システムの開発ができたかもしれないのに。」（インタビュー⑧-1）

つまり、「日本では同じ会社に長く勤める傾向があったため、他社の動向等がわからない」（インタビュー⑭-2）¹¹⁴状態にあると考えられる。

以上、これまで聞き取り調査してきた内容を整理して解説した。本章の冒頭で述べたように、こうして入手した情報を、検討した過程を示し、記録するために、できる限り系統的に配置して記述した。

¹¹⁴ これは台湾の半導体メーカーの情報システム関係者に聞き取り調査をしている中で、上記のエピソードを伝えて指摘された点である。インタビューの回答者は台湾内の様々な半導体メーカーへの転職経験を持ち、各社の情報システムの状況に精通していた。ほかにも、「こうした数多くの転職経験を持つことは、台湾では珍しいことではない。これにより、各企業のシステムの良いところが横展開されて、パッケージ製品にもその情報が織込まれていく傾向がある」（インタビュー⑭-3）との意見があった。

第6章 考察

本章においては、改めて日系半導体メーカー最盛期からの半導体産業の概要を述べて、システム連携の問題に着目した経緯及び前提条件等を確認する。その上でこれまで述べてきた TSMC と NEC の状況を比較して考察することで結論へと結び付けていきたい。

1 日系半導体メーカー最盛期以降の状況と凋落要因の不透明性

日本企業は 1980 年代に米国企業をシェア面でキャッチアップして追い越し、DRAM 事業を中心に隆盛を誇った時期もあったが、1990 年代に入ると米国企業が再び復活して日本を逆転していく。そして、日本企業がシェアを落とし続ける中で、韓国そして台湾といったアジア系の企業が伸張し、キャッチアップして追い越した。今日ではこうしたアジア系企業が存在感を高めているが、その中心になっているのが韓国のサムソン、そして台湾の TSMC であり、圧倒的な生産能力とシェアを持っている。

両者とも後発メーカーとして半導体産業に参入して、短い期間に急成長を遂げたという共通点がある。しかし、それぞれ成長過程に特徴があり、DRAM 事業を中心に典型的なキャッチアップ戦略をとったのがサムソンであるのに対して、TSMC は半導体の中でもシステム LSI 事業を中心とし、今までの半導体メーカーとは異なるファウンドリーというニッチな戦略をとることで、新しいビジネスモデルを確立して急成長してきた。

半導体産業はハイテク産業に属し、技術的な参入障壁が非常に高い分野であるが、この 2 社とも当初参入してから 90 年代半ば頃までは、先進国で開発済みの旧世代の技術を利用して、それを学習する形で成長を遂げてきた。これに関して、これらの企業は、デジタル化が進んで技術情報が織り込まれるようになった設備を大量に導入して生産を行い、キャッチアップしたという類の議論もかつては数多くなされた。しかし、両社とも 2000 年代に入った頃には、最新の加工技術を

用いて生産活動を行うようになり、今日では最先端の半導体製品を製造している。そうした面からも両者とも技術能力がかなり高まっていると考えられ、ポストキヤッチアップの議論が昨今行われるようになってきている。

一方、何故日本企業が今日のように凋落してしまったのかという点については、これまでに様々な議論がなされてきたはずであるが、序章に記載した中馬 ([2014], p.2)の言葉にあるように「素朴な疑問への一般則的な返答はなかなか得られない」といった類の意見を聞く機会も多かった。ただし、これまでの個々の先行研究ではかなり詳細な議論が論理的に展開されてきていると思われ、さらに深く議論をするのはなかなか容易ではない。

2 半導体生産システムに着目した背景

そうした中で、本稿では半導体工場のシステム連携の問題に着目した。半導体産業に限らず日系メーカーは情報システムにおいて海外とは異なる傾向があり、それが弱点になっている可能性があるのではないかという懸念を筆者は抱いていた¹¹⁵。

かつて韓国や台湾等の半導体メーカーによる巨額の投資活動に関する議論においては、長らくその対象は生産設備などのハード面に向きがちであった。しかし、生産情報システムというソフト面に目を向け、日本と海外の半導体メーカーの違いを初めて詳細に指摘したのが中馬であった。

LSI 工場専用に標準化された MES と呼ばれる生産管理の標準ソフトウェアが米国のプロジェクトを経て開発され、米国のみならず韓国、台湾等の半導体メーカーにも導入される。ところが日本の半導体メーカーはキャッシュフローが不足しており、また生産情報システムの構築能力があったこと、さらにこうした標準

¹¹⁵ 例えば、日本企業は海外企業に比べカスタムソフトウェアを採用する傾向がある（田中[2003], pp.267-276）こと。また今日製造業においては独 SAP 社の製品のようにシステム間連携の優れたパッケージソフトウェアも存在するが、仮にこうした製品化された ERP 等を導入したとしても、そこにある標準機能を自分達の業務に合わせるようにカスタマイズ化してしまう傾向が日本企業に強くある(木村[2013], p.19)ことが、何らかの悪影響を及ぼしているのではないかという懸念を以前より抱いていた。

MES の有効性の認識が遅れたために、その導入が遅れたという指摘が中馬によりなされた。そこでは、生産性において日系半導体メーカーが出遅れ、それが競争力に影響を与えた点を示そうとした。また、岸本[2015]はそれを受け、TSMC などの台湾企業は標準 MES の導入後に生産効率改善に向けて努力し、技術能力を向上させてきた点について言及した。このように、これまでの半導体生産システムについての議論は生産性（生産効率）等に関することが中心となっている。

しかし、筆者が半導体 MES の関係者にヒアリングを重ねてきたところ、第 5 章の聞き取り調査結果にあるように、MES の導入は標準パッケージソフトによらずに自社開発しても大勢に影響はないのではないかという指摘も少なくなかった。確かに日系半導体メーカーは MES を自社開発してきたところが多く、標準 MES の導入も、海外と比較して遅れがちであった状況は聞き取り調査において確認できた。しかし、例えば、半導体 MES の幅広い見識を持つ専門業者の意見では、米国の大手半導体メーカーである I 社は非常に優れた MES を自社開発しているという（インタビュー⑩-1）。具体的な数値を用いて定量的に示すことが難しい中で、議論は平行線のまま終わることも多かった。こうして試行錯誤しながらヒアリングを重ねるうちに、以下のように考えるようになった。

生産システムの問題点に関して言えば、日系半導体メーカーが 1980 年代の最盛期の頃に使用していた古いメインフレーム等を基盤としたシステムは、その後 ICT が進化して 1990 年代も半ばを過ぎるとレガシーシステムとなる。ちょうどこの頃に、新たに米国で開発された CIM Framework をもとにつくられた MES のパッケージソフトが海外で普及するが、この時期に日系半導体メーカーはキャッシュフローに苦しんだこともあり、設備などのハード面のみならず、新しい生産システムへの投資に出遅れた。

ここでシステム環境面においてレガシーシステムを温存した弊害が現れる。その弊害とは生産性の問題もさることながら、旧来のしくみを維持してシステム連携が十分にできない状態を指す。つまり、ようやく ICT が進歩して生産の見える化や工場間の情報の一元管理ができる時代になってきたのに、それらの点が阻

害されてマンパワーに依存する部分が残る。そして、汎用 DRAM からカスタム品であるシステム LSI を事業の主軸にして管理業務がますます煩雑となる中、事務や技術の業務効率等において海外と比べて大幅に出遅れるという問題である。

TSMC のオンラインサービスに関する先行研究にあるようにリアルタイムに生産情報を得るためには、システム間はシームレスにつながっていないとてはならない。しかし、日系半導体メーカーは TSMC のようなオンラインシステムを構築する以前の問題として、システム連携のための情報システム環境自体が整っていないという問題が、聞き取り調査を繰り返す中で表に出る。社内ですらリアルタイムかつシームレスに生産情報を入手できないというのである。

ここで注意しなくてはならない点は、レガシーシステムの時代から一つの工場内では問題なかったが、歴史ある複数の工場（拠点）間でシステムがつながらなかったという問題である。そのための典型的な対応例が第 4 章にある NEC（エレクトロニクス）の GBT プロジェクトである。このプロジェクトの表向きの目的は SCM システムや活動基準原価計算システム等の導入にあったが、それもさることながら、その本質はレガシーマイグレーション（レガシーシステム脱却のための対応）と複数の工場間のシステム連携による情報の一元化、見える化への対応である。こうした対応を 2000 年代の後半までひきずっていた。

しかし、半導体生産システムの問題を取り扱ったこれまでの中馬、岸本の先行研究はともに製品のアウトプットに関する生産性等への影響が論点となっており、両者ともそれをシステム連携の問題による業務効率、ひいては事業推進上の阻害要因としては十分に捉えられていない。このような問題意識を、本稿を記述する上で持つようになった。

3 本稿において注意すべき前提条件

こうして半導体産業の生産情報システムを、システム連携の視点から検討を重ねていくことになったが、前提条件として注意すべき点はいくつかあった。まず本稿において対象とすべき日系半導体メーカーは、かつて全盛を誇った DRAM

からシステム LSI へと事業の主軸を移した企業群である。具体的には 2000 年頃より、多くの日系大手半導体メーカーはあたかも流行を追うように事業の主軸を DRAM からシステム LSI 事業に移した点は第 2 章で述べたが、本稿の対象はこのような行動をとった NEC、日立、三菱（これらは現在ルネサスエレクトロニクス）といった日系大手 IDM が中心となる。これらの競合相手である TSMC もシステム LSI を事業の主軸としている。一方、上記とは異なった路線を進んだ、フラッシュメモリを中心とする東芝、DRAM のエルピーダメモリ（当時）等については含まない。この点をまずは明確にするべきであると考えた。

もう一つの注意点は、本稿が対象としている時期である。今日では最新の ICT を用いると、工場間のシステム連携は昔ほど問題ないという意見が聞き取り調査において出てきた、よって、今の感覚で判断しようとする、当時の問題点が理解できずに焦点がぼやけてしまう可能性がある。

第 3 章で述べたように TSMC は 1990 年代の後半にオンラインシステムを構築している。それはオープン化やダウンサイジングなどの新たな ICT が普及した頃であり、この時期に日系半導体メーカーがシステム面に出遅れた。そしてそれを克服するのに長引いた典型的な出来事を示すのが第 4 章で取り上げた NEC の事例であり、前述した通り、それは 2000 年代の後半まで尾を引いている。

よって、本稿ではシステム LSI 事業において、TSMC が戦略的にオンラインシステムを構築した頃から日系半導体メーカーがシステム面で後退した期間、すなわち 1990 年代後半から 2000 年代後半までの間を研究対象期間として議論している。また、今日では事業再編成や外資との提携などにより、形態や名称が当時のものから変わってしまっている企業が多い点にも注意を要する。

ところで、研究方法に関して、半導体メーカーはハイテク技術を扱っているもので、なかなか現場を開示してもらえず、非常に調査が難しい分野であると言われており、企業内の情報システムの状況を把握することは非常に困難であると思われた。そうした中、台湾においては TSMC のオンラインシステムや MES に関する議論は学会等をはじめ様々な場面で行われているようである（インタビュー⑱-2）。

それに対して日本側から行われた TSMC に関する先行研究には、伊藤[2004]のようにオンラインサービスの内容について比較的詳しく記述されたものも存在するが、その奥にある情報システムのシステム連携の状況まで言及したものは少ない。よって、TSMC については海外の文献から情報収集することを試みた。

こうして TSMC については台湾や米国等の海外文献を数多くあたり、その中で適切と思われるものを選んだのが Hsieh et al.[2002]や Chen et al.[2006]である。なお、Hsieh et al.[2002]は、国内（日本）の論文において参考文献とされていることが多いが、システム連携という視点からは十分に捉えられていない。よって、改めて原文を踏まえ内容を詳細に検討していくことにした。

こうして、これらの文献を合わせると 1990 年代後半からの TSMC の優れたオンラインシステムの構築過程とそのシステム連携の状況が明らかになってきた。その上で、台湾の半導体業界の人々に直接確認作業を行い、実際のシステム連携の状況を把握していった。また、その際、台湾ではレガシーシステムの影響はあまり受けていない状況であったことを、繰り返しインタビュー先で質問して確認をしている。

一方、日系半導体メーカー側の特徴については、その多くがレガシーシステムを長らく温存し、MES は自社開発の傾向があり、さらにそれが工場毎に閉塞した（クローズドな）ものであった点を中馬が詳細に記述している。

聞き取り調査をしていく中で、前述の NEC（エレクトロニクス）において 2000 年代に入って行われた GBT プロジェクトが、それらを解決するための対応であると認識したが、このプロジェクトにはセミナー等で公開された資料等がいくつか存在する。よって、これらをもとに様々な関係者に聞き取り調査を重ねて詳細な状況を把握していく方法をとっている。

4 結果の考察

これまでの内容を踏まえて導き出される点について考察したい。工場間のシステム連携が実現した時期について言えば、TSMC が 1990 年代後半になって早々

に実現していたのに対して、NECは2000年代後半もかなり後になってようやく実現した。結果として社内の各工場の生産情報を一元化して管理できるようになるまでにNECはTSMCと比較して10年近くの遅れが生じていたことになる。

かつてのDRAMのような汎用品とは異なり、システムLSIのようなカスタム品が大きな比重を占めるようになると、顧客数や品種数が桁違いに増えるなど情報量はさらに膨大なものとなる。そして工場毎にバラバラのシステムでは、きめ細やかな顧客対応ができないため、生産情報を一元化して管理できるようにしなくてはならない。もし、この一元化のためのシステム連携が遅れると人間の作業を介在させる度合いが高まるが、そうした対応にも限界があるため様々な支障が生じるようになる¹¹⁶。よって、オンライン化に象徴されるシステム連携が重要となる。

もともと半導体工場の生産システムは膨大な量のデータ（ビッグデータ）を扱っており、比較的早期にレガシーシステムでは非効率となっていた。中馬([2010], p.187)が指摘した標準MESの開発については、米国が国を挙げて半導体工場内のシステム連携の問題を解決しようとしたと捉えることもできる。そして、TSMCは1990年代後半より事業の拡大に伴い数々の工場を新設するにあたり、最新鋭の標準MESの市販ソフトウェアを導入した。それを軸に、古いシステムのしがらみがない中で、工場の仕様やコード体系を共通化させながら、工場・企業間の連携システムの構築を推し進めていったと考えられる。

こうしてできたTSMCのオンラインシステムは、これまではそのサービスの充実ぶりに目を向けられがちであったが、その内実は1990年代当時としては、非常に高度で緻密な工場・企業間のシステム連携にある。ICTが発達して今日では当たり前のように思われることも、1990年代においては革新的であり、だからこそ、多くの先行研究がこうしたシステムから提供されるサービスを特別なものとして取り上げてきたと考えられる。

一方、NECでは、DRAM時代からの自社開発のレガシーシステムを温存し、

¹¹⁶ こうしたシステム連携が不十分であることの弊害については、半導体メーカーに限らず多くの日系メーカーが陥りやすい点として、外山[2014]に詳細に記述している。

ダウンサイジングやMESの導入においても、当初、工場毎にシステムを閉塞させたまま部分的に対応するなど、長らく工場間のシステム連携に支障が生じていた。よって、システムLSI事業を主力にして膨大となった生産情報を、社内においてすら一元管理できなかった。

そこで、工場毎に閉塞したシステムを連携させようとする、過去からの異なった品名・コード体系や業務フローを統合する作業から必要となった。さらに、工場のスクラップ&ビルドではなく、稼働中の工場のシステムリプレースが多かったため作業負担も重く、内向きのシステム連携対応に翻弄される傾向があった。そうした混迷状況を示す事例が前述したNECのGBTプロジェクトにあたる。

結果として、NECはシステム連携の遅延克服に時間がかかり、このプロジェクトを2002年頃に開始して、6~7年もの長期間にわたり多くの経営資源（ヒト・モノ・カネ）を投入し続けることになる。そして、プロジェクトを最優先とすることで、技術的な対応も含め、様々な諸施策を後回しにせざるを得なくなってしまう。こうして戦略的な取り組みができるような余地が長年無くなっていた点で事業推進上の制約が存在していた。それほどシステム連携の問題は、日本（NEC）と台湾（TSMC）の企業の落差に関して大きく影響したと考えられる。

なお、本稿では日系大手半導体メーカーのシステム連携の問題としてNECを中心に上げてきたが、この問題はNECに限らない。生産システムに関し、多くの有力日系メーカーでは、中馬[2007, p.45]は少なくとも90年代末までは依然として自社製のクローズドなMESに固執し続けた点を指摘している。また、岸本([2015], p.545)によれば、生産ラインの自動化・無人化とICT管理システムの導入は、工場毎に結構バラバラに行っているところがあり、台湾ファウンドリーのようにプロセスや管理方式を全社的に統一する努力が徹底されていない点を明らかにしている。

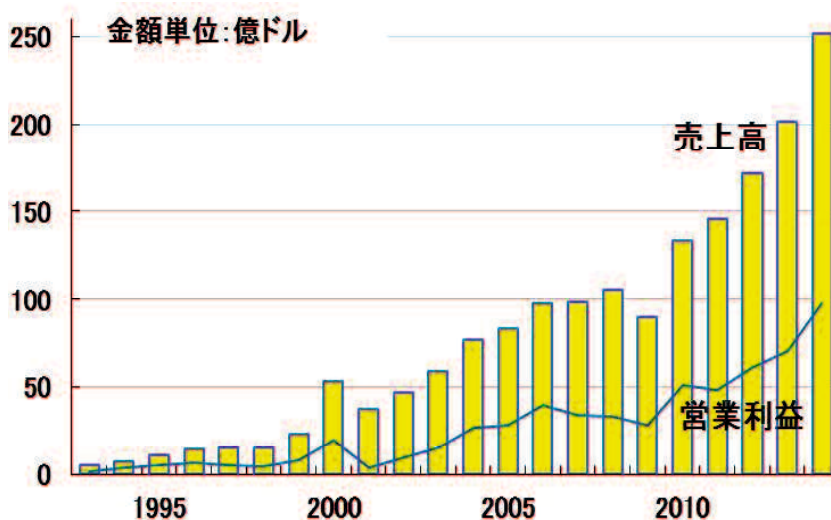
さらに玉置[2005]は、日立、三菱の半導体事業部門が合併したルネサステクノロジ（後にNECと合併してルネサスエレクトロニクスとなる）においては、少なくとも2006年頃まで各工場のシステム統合で問題があった状況を明らかにし

ている¹¹⁷。これら以外にもヒアリングを重ねる中で、全社統合的なシステム構築がうまくいかなかった事例を確認している¹¹⁸。

以上を踏まえ、数多くの製造拠点を持つ日系大手半導体メーカーにおいては、2000年頃にシステム LSI を事業の軸にして、工場間のシステム連携に問題があったと考えられ、その典型的な事例として NEC が挙げられるのである。

図 10 は TSMC の売上高・営業利益の推移グラフであるが、特に 2000 年代以降に飛躍的に発展する状況を見て取れる。これは様々な要因が考えられるが、革新的なシステム連携を実現して、オンラインサービスにより利便性が向上した時期と重なっている。

図 10 TSMC の売上高、営業利益推移



出所：TSMC の事業報告書をもとに作成¹¹⁹

¹¹⁷ さらに、日本経済新聞（2006年2月9日朝刊）では、同社が2年間に100億円をかけてメインフレームから脱却をする計画が発表されており、また筆者のヒアリングでは2007年～2008年頃に既存のローカル（拠点毎の）システムから標準MESへの切り替えに向け対応したようである（インタビュー②-1）。同社もNEC同様、レガシーシステムからの脱却やシステム統合及び連携がTSMCと比較して相当遅れていた。

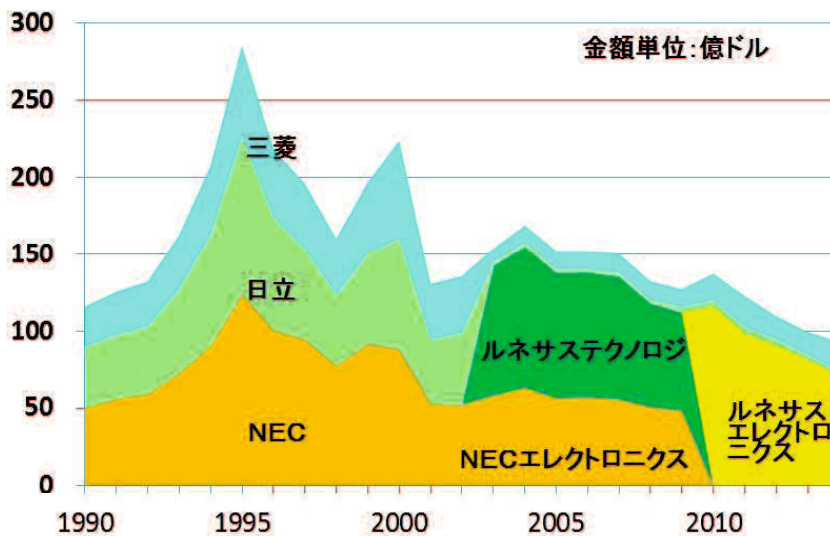
¹¹⁸ 例えば、大手のほか、比較的中堅規模の半導体メーカーにおいても、複数の工場のシステム連携を、TSMCが行ったように1990年代に成し遂げるのは難しかった点を、それに関与したシステムベンダーに確認した（インタビュー⑩-1）。

¹¹⁹ 図10にあるTSMCの売上高、営業利益は同社のAnnual Report（台湾ドル表記）をもとに、毎年の平均為替レート（TTM）にて米国ドルに換算した。

図 11 は日系大手半導体メーカーの中で NEC、日立製作所、三菱電機、及びその系列の半導体事業における売上高の推移をグラフ化したものである。各社はシステム LSI 等を中心とする半導体事業を併合して、現在はルネサスエレクトロニクスとして事業を営んでいる¹²⁰が、DRAM を切り離し、システム LSI に事業の主軸を移し始めた 2000 年頃より、(その初頭の IT バブル崩壊の時期を経て) 長期間にわたり低迷、衰退する傾向にある。

IDM である日系メーカーとファウンドリー専業の TSMC の売上高を単純比較はできない。しかし、前工程と後工程及び設計部門等を持つルネサスエレクトロニクスに比べ、前工程しかもたない TSMC の方が、今日でははるかに大きな売上高となっており、両者の違いを認識することができる。

図 11 NEC・日立・三菱系列半導体売上推移



出所：『半導体産業計画総覧』（各年度版）をもとに作成¹²¹

¹²⁰ 各社の DRAM 事業を分離、統合したエルピーダメモリは 2012 年 2 月に会社更生法の適用を申請し、その後、米国のマイクロンに買収された。なお、図 11 では 2000 年以降（三菱電機は 2003 年より）分離した DRAM 事業を除いている。また、三菱電機等はパワーデバイスほかの半導体事業を一部残しており、現在も金額が存在する。

¹²¹ 『半導体産業計画総覧』（各年度版）にある国内上位約 30 社の生産額（≒出荷高）の表を利用。なお、円建て表記のものを三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングのホームページの TTM 年間平均レートを使用し、米国ドルに換算した。

終章 むすび

1 まとめ

繰り返し述べてきたように、1980年代にDRAM事業において全盛を極めた日系半導体メーカーは、1990年代に韓国メーカー等に追い上げられ、その多くは2000年代に入った頃に主力とする製品をDRAMからシステムLSIに移した。日本の半導体産業について述べるには、DRAM事業を主に営んでいた1990年代までと、その後、多くの企業がシステムLSI事業を主軸にした2000年代以降を区別しなくてはならない。

先行研究では、それぞれにおいて様々な議論がなされてきたが、本稿ではさらに視点を变えて、これら両期間にまたがる半導体生産システムのシステム連携の問題に着目した。

このような半導体産業の生産情報システムの問題に関して、日本と海外の状況を比較した先行研究は非常に限られており、筆者の知る限り中馬と岸本が主だったものと考えられるが、生産性（生産効率）等の問題を主に取り扱っており、システム連携の問題までは具体的に言及されていない。一方、TSMCのオンラインシステムについては、ビジネスモデル等を分析する中で、それによって提供されるサービスの内容を述べた先行研究は日本に数多く存在している。しかし、その秀逸さについてシステム連携の視点では捉えられていない。また台湾にはシステムの状況まで言及したものも存在するが、日本の半導体生産システムの問題点を踏まえ、両者の違いをシステム連携の視点で検討することはされていない。

よって本稿では、これまで相互につながりが無かったこれらの先行研究を、システム連携という共通の視点により捉え直して、問題点を浮き彫りにすることを試みた。研究のアプローチ方法としては、関係する先行研究や各種公開資料等を詳細にサーベイした上で、国内外の半導体MESの第一人者、半導体メーカーの関係者や各種システムベンダーの技術者等、できるだけ幅広い範囲の関係者にアプローチして、基本的なことから聞き取り調査を積み重ね、比較検討していく方

法をとった。

本稿の第 1 章にあるように、日系半導体メーカーは、1980 年代の全盛期には世界の半導体売上高ランキング上位 10 社の内 6 社が占めていたが、その後、徐々に順位を落として存在感が低下していく。そうした中で米国のインテル、韓国のサムソンのような IDM のほか、分業化が進んでファブレスが台頭し、さらに、その生産を請け負うファウンドリー、その中でも台湾の TSMC が大きく伸張した状況を確認した。同社はシステム LSI 分野で強みを発揮しているが、この製品は従来単体であったメモリ、ロジック、アナログ等の製品が混載された大規模な集積回路である。そしてこのシステム LSI はカスタム品である ASCP と標準品である ASSP に分けられ、日系半導体メーカーは一件あたりの受注量が比較的小規模な ASCP に傾注する傾向がある一方で、TSMC は大量受注が見込まれる ASSP に強みを持つ点を確認した。

第 2 章では、日系半導体メーカーが最盛期に強みを発揮したのは DRAM であるが、多くの企業が紆余曲折を経て 1990 年代末頃よりシステム LSI に事業の軸を移そうとした状況を確認した。DRAM を主軸にした時代においては、ほかにマイコン、ASIC、アナログ IC、個別半導体等の数多くの種類の半導体をバランスよく揃え、ワンストップショッピングが可能となるように百貨店型の経営を指向していた。しかし、主力としていた DRAM 事業において海外メーカーに追い上げられ、苦境に立たされると、微細加工技術が進んでこれらが混載されるようになったシステム LSI こそが自社の強みとなると信じ、多くの日系半導体メーカーは雪崩を打ってシステム LSI 事業に移行した。ところが DRAM とシステム LSI ではビジネス形態が異なっていた。特に汎用品であった DRAM とは違い、システム LSI はカスタム品の傾向が強く、設計手法も異なり、きめ細やかな顧客別の対応が必要となる。よって、例えば、いかに数多くの IP を取り揃えるかといった、顧客を引き付けることができるような便宜を図ることが重要となる。そうした中で、TSMC は標準品である ASSP に強みを発揮し、ファウンドリーとして海外から多くの顧客を取り込む上で、インターネットを利用した「バーチ

ャル・ファブ (Virtual Fab)」構想を打ち出した。

第3章では、この TSMC のインターネットを利用したオンラインシステムを、システム連携の秀逸さという視点から検討した。同社がオンラインシステムを構築した過程は、初期にあたる 1996 年頃からの開発・試行的な段階と、1999 年頃からの実用化され、さらに改善を重ねた段階とに分かれていた。当初は TCS (Total Customer Service System) を構築して運用をしていたが、この仕組みを洗練して実用レベルまで高めて 1999 年 7 月に TSMC-Online にリニューアルする。そして、その後も様々な改良を重ねていき、顧客が遠方にながらもインターネットを利用できる PC やワークステーション等があれば、あたかも自社の工場のように生産管理ができるレベルまで利便性を高めた。こうしてファウンダリーと顧客との間で日常やりとりすべき項目はインターネットでの手続きで済むようになり、工場を持たないファブレス等の顧客にとっては、社外（とりわけ海外）の企業に生産委託をする際の様々な障害がとりはらわれるようになった。一般的には TSMC のオンラインによる優れたサービスに目が行きがちである。しかし、この内実は他社が容易に真似をできないレベルまで水準を高めた革新的なシステム連携にある。TSMC-Online は 1990 年代後半頃からのオープン化やダウンサイジングなどの新たな ICT の潮流に乗って作り上げられてきたものであるが、その中枢となる、米国で新規に開発された標準 MES のパッケージソフトの普及した時期が、ちょうど TSMC が事業の拡大に伴い工場を増やしていく時期と重なる。そして、同社がこの最新の標準化された生産システムを積極的に導入し、それを軸にして工場・企業間のシステム連携を実現してきた状況を明らかにした。

第4章では、前章の TSMC が 1990 年代後半よりオンラインシステムに象徴される秀逸なシステム連携を実現していた状況と対比して、日系半導体メーカーにおいては、本社及び複数の工場間のシステム連携の問題を有して混迷していた状況を明らかにした。これまでの中馬、岸本を中心とする日本の半導体生産システムの問題に関する先行研究では、新型 MES への対応の遅れによる生産性への

影響などが明らかにされた。しかし、こうしたシステム連携の問題まで詳細には触れられていない。1980年代の最盛期の頃に保有していたシステムはレガシーシステムとなり、1990年代後半以降に普及した新たなICTを備えたシステムにリニューアルをしようとしても、バブル経済以降の国内の景気停滞に伴い、日系IDMの経営母体である総合電機メーカーの資金的な足かせ等が存在した。また、古くから社内の各工場の都合を優先して、業務フローやルール、品名及びコード体系などが工場毎に異なっており、さらに、工場を統括する事業部、販売部門（販売会社）においても品名・コード体系が各々のルールで定められているなどの問題も存在した。これらにより、販売から生産までの情報が各所で分断されて一元管理できず、製造コストと売価（製品別及び顧客別）とを結び付けて把握できないなどの支障もあった。NECの事例では2000年代になって、このような状況を打破すべくプロジェクトを組んで対応しようとしたが、こうしたシステム連携のための作業に2009年頃まで時間がかかっていた。こうした状況を、半導体生産システムにおけるシステム連携の問題として今回明らかにした。

第5章では、国内外の半導体メーカーの役員や管理職、実務担当者、半導体MESの専門家、情報システム技術者などから、聞き取り調査によって入手した様々な情報を集約した。ここでは聞き取った内容を、検討した過程を示しながら記述して、記録として残すこととした。先行研究等を踏まえ、4年以上にわたり一つ一つ基本的な事柄から確認をしながら調査を重ね、知見を広めていったが、現地・現場に行くことで文献ではわからない情報も数多く入手した。例えば、数多くの台湾企業の人々から聞き取り調査をする中で気づいたことだが、1990年代後半からのICTの普及によって、彼らにとってはサーバーやPCによりシステムが連携することは「当たり前」のことで、日系メーカーのようにレガシーシステムの弊害に苦しむ状況が実感できない人がほとんどであったことは意外であった。つまり、日系大手半導体メーカーが古くからのメインフレームを中心としたレガシーシステムを残していた事実を彼らは知らないのである。ある台湾の大手半導体メーカーの役員に2000年代に入っても長らく日本ではそのような状

態にあったことを告げると、ひどく驚かれたことが印象的であった。彼らが大きな成長を遂げたのは1990年代後半からであり、ちょうど工場を拡張する時期と、新たなICTが普及する時期が重なっていた。よって、TSMCのオンラインシステムについて台湾側で記述された文献では、最新のICTを利用することが前提となっており、レガシーシステムは存在しないことが「当たり前」となる。そして、それらの文献に日本側のシステム連携の問題点を指摘したものがほとんど見当たらないのはそうした理由からではないかと考えた。このようなことは文献だけでは得られない情報の一例であり、聞き取り調査におけるこうした細かな点も含め、散漫な形にならないように可能な限り系統的に記録しておいた。

以上を踏まえ、第6章において、改めて日系半導体メーカー最盛期からの半導体産業の概要を述べ、システム連携の問題に着目した経緯や前提条件等を確認した上でTSMCとNECを比較した。その結果として、システム連携の状況に関しては、社内の各工場の生産情報を一元化して管理できるようになるまでにNECはTSMCと比較して10年近くの遅れが生じており、混迷していたことがわかる。また、本稿では日系大手半導体メーカーのシステム連携の問題としてNECを中心に上げてきたが、この問題はNECに限らない。さらに調査を重ねる中で、NEC以外の日系半導体メーカーにおいても、このような全社統合的なシステム構築がうまくいかなかった状況を、先行研究及び聞き取り調査等から確認することができた。以上により、かつてのDRAMのような汎用品とは異なり、顧客別に情報量が膨大となり、きめ細やかな管理を必要とするシステムLSI分野に日系半導体メーカーの多くは事業の比重を移したが、システム連携が不十分であることにより、それが事業推進上の制約となって悪影響を及ぼしていた点を明らかにした。

2 結語と今後の課題

本稿では、システムLSI事業においてファウンドリーのリーダー的存在である台湾のTSMCと、日系半導体メーカーの代表的事例としてNECを選んで、両者

をシステム連携の視点から比較した。その結果は以下のようにまとめることができる。

今日前者が突出して成功している理由の一つに、システム LSI というきめ細やかな顧客対応を要する製品分野において、顧客の便宜を考えてオンラインシステムを立ち上げ、高レベルのサービスを提供していることが挙げられる。そして、その内実は最新の ICT を有利に利用した秀逸なシステム連携であり、TSMC は 1990 年代後半より標準化された最先端の市販 MES を導入し、他社にとって模倣困難なほど高度で革新的な工場・企業間のシステム連携を早期に成し遂げたと考えられる。

一方、後者はレガシーシステムからの脱却に苦しみ、前工程と後工程の数多くの工場、及び制度会計への対応等、広範囲かつ厳格なシステム連携の作業の負担が重く、社内リソースの多くを投入する中で長らく身動きがとれず、それが事業推進上の制約となっていた時期があった。

こうして TSMC が、オンラインサービスに象徴される秀逸なシステム連携を実現してビジネスを拡大していたのと同じ時期に、それとは全く対照的に、NEC が社内のシステム連携の問題で混迷し、それが長年にわたり事業推進上の制約となって悪影響を及ぼしていた状況を、日系半導体メーカーの典型的な事例として具体的に示すことで、システム LSI 事業におけるシステム連携の問題の重要性を明らかにした。

以上の研究成果をあげることができたが、本研究の限界も存在する。例えば、「生産情報等のオンライン化が、システム LSI を事業の主軸にした半導体メーカーの死命を決するほど重要というのであれば、いかに経営判断の遅い日本の経営者といえども、あるいは経営環境的に悪い時期であったとしても、レガシーシステムから脱却するための投資を早急に行ったはずではないか」といった問に対する、日系メーカー側の経営の土壌に関わる根本問題についての議論は本稿ではできなかった。こうした情報システムの問題に対する日系企業内でのリーダーシップの欠如や、対応力の弱さに関しては、巷でよく耳にする話ではあるが、明確な

答えは出ていない。

これについて筆者は以下のように考えている。オンライン化に関しては、オンラインサービスに注目が集まるが、その内実であるシステム連携が重要である。現場サイドはこの重要性に気づいている者も多かったが、トップの経営者層が気づいていたかどうかは疑問が残る。

情報システムの問題に関しては、その関係の部門の出身者の少ない経営層はあまり詳しくないことが多いと言われる。また当時の大手電機メーカーの中に半導体事業部門があった状況においては、必ずしも多くの経営層が半導体工場（その中でも特に生産システム）の複雑性や特殊性を理解できる環境ではなかったと考えられる。

NEC がレガシーシステムの脱却と社内でのシステム連携の問題に対処するために GBT プロジェクトを開始したのが 2002 年頃、その後 6～7 年もの長期間にわたる対応となった。一方、TSMC の創業者である張忠謀会長が「バーチャル・ファブ構想」を打ち立てたのが 1996 年、その後間もなく広範囲で緻密なシステム連携を実現した。

同氏の先見性と強力なリーダーシップが窺えるとともに、日系半導体メーカーにおいては、まだ通常の使用はできるレガシーシステムを新しく高額なシステムへ早期に更新する重要性について、意思決定に慎重と言われた日本の経営層に理解を求め、同意を得ることは難しかったと思われる。

以上本稿で取り上げることができなかった内容とその考えを述べてみたが、これらはさらなるエビデンスと議論が必要と思われ、今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、山口大学大学院東アジア研究科博士後期課程在学中の5年間に、社会人学生として長期履修制度を利用して行ったものである。

指導教官の濱島清史教授には、休日、平日を問わず、毎回深夜まで貴重な時間を割いてご指導いただいた。そこでは長時間にわたり議論を重ねて、常に前に進めるようにしてくださったことで、おかげさまで5年間研究を継続して成果をあげることができた。副指導教官の植村高久教授、塚田広人教授には基盤・プロジェクト演習をはじめ様々な機会に、客観的な視点で有益なご指導を多々賜った。また成富 敬教授には情報学の特別講義において、通常の授業に加え、研究する上で必要な考え方などを毎回夜遅くまで指導していただいた。そして、大学時代の恩師である米谷雅之名誉教授と藤原貞雄名誉教授には貴重なアドバイスを多々賜った。ここに心より感謝申し上げたい。

海外に研究の幅を広げる上では、横田伸子教授と陳 禮俊教授が非常に得難い機会を与えてくださった。また、アジア経済研究所の佐藤幸人先生（新領域研究センター長）と川上桃子先生（地域研究センター次長）には台湾の数多くの半導体関連企業や工業技術研究院等へ案内していただき、そして通訳や解説をしてくださったことで貴重な情報を入手することができた。謹んでお礼を申し上げたい。

インタビュー先では Infineon Technologies 社の Dr. Jonathan Chang に筆者の研究を長年見守っていただき、MES やシステム連携に関する知見を得る機会を与えていただいた。この他にも企業を中心に数多くの方々に協力していただいたが、匿名のご希望等も有り、個別にお名前を出すことは差し控える。貴重な時間を割いて誠意をもって応対してくださったことに、厚くお礼を申し上げる。

さらに、社会人学生のため、平日の日中に立ち寄ることが難しい中で、大学院係（東アジア研究科・経済学部）の皆様にはきめ細やかなフォローを、また図書館（総合・工学部）や放送大学（大学会館内）の方々には、必要な資料の入手に数えきれないくらいの配慮をしていただいたことに感謝の意を表したい。

こうして思い起こしていくと、日常の研究活動においてはデメリットの多い社会人学生でありながら、様々な方々にお世話になって成果をあげることができたと思われる。ここに全てのお名前を書くことができないことをお詫びするとともに、数多くの機会を与えていただいたことに感謝し、支えてくださった皆様に心よりお礼を申し上げたい。

2017年3月

外山 明

《参考文献》

- 青島矢一・武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 (編著) 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, pp.27-70.
- 青山修二 (1999) 『ハイテク・ネットワーク分業: 台湾半導体産業はなぜ強いのか』 白桃書房.
- 朝元照雄・小野瀬拓 (2014) 「台湾積体電路製造(TSMC)の企業戦略と創業者・張忠謀」 『産業経営研究所報』 九州産業大学 (46), pp.1-43.
- 泉英明 (2015) 『わかりやすい生産管理:基礎が身に付く 15 講義』 日刊工業新聞社.
- 伊藤宗彦 (2004) 「水平分業化とアライアンス戦略の分析ーファウンドリービジネスにおける製造価値創造ー」 神戸大学経済経営研究所ディスカッションペーパー J59.
- 呉團焜 (2005) 「半導体ファウンドリー・メーカーの競争優位 : 台湾における TSMC と UMC の事例から」 『日本経営学会誌』 (13), pp.60-73.
- NEC 編 (1996) 『NEC の TPM 半導体事業のマネジメント戦略』 日本プラントメンテナンス協会.
- 大矢根聡 (2002) 『日米韓半導体摩擦 : 通商交渉の政治経済学』 有信堂高文社.
- 大山聡 (2014) 「日本半導体産業に必要な水平分業」 『赤門マネジメント・レビュー』 13(4), pp.167-178.
- 小川紘一 (2007) 「製品アーキテクチャのダイナミズムを前提にした日本型イノベーション・システムの再構築新・日本型経営としてのビジネス・モデル・イノベーション (その2)」 東京大学ものづくり経営研究センター・ディスカッション・ペーパー, MMRC-184.
- 小川紘一 (2008) 「我が国エレクトロニクス産業にみるプラットフォームの形成メカニズム」 『赤門マネジメント・レビュー』 7(6), pp.339-408.
- 河田信 (2004) 『トヨタシステムと管理会計 : 全体最適経営システムの再構築をめざして』 中央経済社.
- 河野眞治 (1987) 「半導体をめぐる経済摩擦」 佐藤定幸編 『日米経済摩擦の構図』 有斐閣, pp.170-194.
- 岸本千佳司 (2015) 「台湾半導体ファウンドリの技術能力ー生産システム構築とプロセス技術開発について」 『赤門マネジメント・レビュー』 14(10), pp.527-600.
- 木村岳史 (2013) 「ERP レガシーの悲惨」 『日経コンピュータ』 no.849, p.91.

- 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.
- 坂本幸雄 (2013)『不本意な敗戦：エルピーダの戦い』日本経済新聞出版社.
- 佐藤幸人 (2007)『台湾ハイテク産業の生成と発展』岩波書店.
- 佐藤幸人・川上桃子 (2008)「グローバルな分業ネットワークと台湾企業—PC 産業
と IC 産業」高原明生・田村慶子・佐藤幸人編『越境』慶應義塾大学出版会，
pp.69-93.
- 産業タイムズ社半導体産業新聞編 (2000)『日本半導体 50 年史：時代を創った 537
人の証言』工業調査会.
- 清水誠 (2006)「半導体産業の国際競争力回復に向けた方策」『調査』日本政策投
資銀行，90，pp.1-69.
- 徐雅萍 (2009)『台湾半導体産業の実態：「バーチャル」企業組織間ネットワー
ク革新の独創性』三恵社，pp.129-131.
- 莊苑仙 (2004)「半導体産業におけるビジネスモデル研究—台湾ファウンドリー専
業企業を中心に—」，博士論文(大阪市立大学大学院)，pp.62-63.
- 莊苑仙 (2010)「ファウンドリー生産におけるビジネスモデルの解明」『東アジア研究』
大阪経済法科大学アジア研究所，第 54 号，pp.1-17.
- 鈴木直次 (2009)「アメリカ IT 産業のグローバル展開(2)東アジアを中心とする半導
体産業の海外事業」『専修大学社会科学研究所月報』557，pp.1-42.
- 立本博文 (2008a)「半導体産業における共同研究開発の歴史」『赤門マネジメント・
レビュー』7(5)，pp.263-274.
- 立本博文 (2008b)「制度による技術伝播の促進—1990年代の半導体産業の事例
—」東京大学ものづくり経営研究センター MMRC discussion paper series
No.235.
- 立本博文 (2009)「国家特殊的優位が国際競争力に与える影響：半導体産業におけ
る投資優遇税制の事例」『国際ビジネス研究』国際ビジネス研究会，1(2)，
pp.59-73.
- 立本博文・小川絃一・新宅純二郎 (2010)「オープン・イノベーションとプラット
フォーム・ビジネス」『研究技術計画』研究・イノベーション学会，25(1)，
pp.78-91.
- 立本博文・藤本隆宏・富田純一 (2009)「プロセス産業としての半導体前工程」藤
本隆宏・桑嶋健一編『日本型プロセス産業—ものづくり経営学による競争
力分析』有斐閣，pp.206-251.

- 田中一弘 (1995) 「日本市場とメモリの罫：90年代の日本の足踏み」伊丹敬之・伊丹研究室 『なぜ「三つの逆転」は起こったか：日本の半導体産業』 NTT出版, pp.215-253.
- 田中辰雄 (2003) 「ソフトウェア産業」後藤晃・小田切宏之編『日本の産業システム3 サイエンス型産業』NTT出版, pp.253-278.
- 玉置亮太 (2005) 「ルネサステクノロジ マスター統合に手間取り生産管理システムの統合が難航」日経コンピュータ, No.642, pp.112-114.
- 中馬宏之 (2006) 「半導体生産システムの競争力弱化要因を探る：メタ摺り合わせ力の視点から」RIETI Discussion Paper Series 06-J-043, 経済産業研究所.
- 中馬宏之 (2007) 「日本の半導体生産システムの競争力弱化要因を探る：Papert's Principle の視点から」『認知科学』, Vol.14, No.1, pp.39-59.
- 中馬宏之 (2010) 「増大する複雑性と苦闘するサイエンス産業：半導体産業」青島矢一・武石彰・マイケル.A.クスマノ編『メイド・イン・ジャパンは終わるのか』東洋経済新報社, pp.176-227.
- 中馬宏之 (2014) 「半導体産業における日本勢の盛衰要因を探る：システム・アーキテクチャの視点から」IIR Working Paper ; No.14-10.
- 中馬宏之 (2015) 「半導体産業における日本勢の盛衰要因を探る—システムアーキテクチャの視点から」山口栄一編『イノベーション政策の科学：SBIR の評価と未来産業の創造』東京大学出版会, pp.173-209.
- 陳禮俊 (2000) 「台湾における半導体産業の一考察：ファウンドリーと汎用メモリビジネスの形成」『山口経済学雑誌』山口大学, 48(3), pp.629-665.
- 富田純一・立本博文 (2008) 「半導体における国際標準化戦略」東京大学ものづくり経営研究センター・ディスカッション・ペーパー, MMRC-222.
- 外山明 (2014) 「製造業における究極のシステム連携の探究—富士通フロンテック(株)のグローバル SCM システムを例に—」『生産管理』日本生産管理学会, Vol.21, No.1, pp.29-34.
- 外山明 (2015) 「半導体工場（前工程）における工程管理の特殊性に関する一考察—日系大手半導体メーカー最盛期の工程管理の困難性について—」『生産管理』日本生産管理学会, Vol.21, No.2, pp.95-100.
- 外山明 (2017) 「システム LSI 事業における日系半導体メーカーの混迷要因の一考察—システム連携の側面から革新的な TSMC との比較を通じて—」『生産管理』日本生産管理学会, Vol.24, No.1, pp.7-20.
- 中村実 (1999) 「MES(Manufacturing Execution System)の事例と今後の研究」『生産管理』日本生産管理学会, 第6巻, 第2号, pp.71-74.

- 中村実・正田耕一(2000)『MES 入門』工業調査会.
- 中屋雅夫 (2012)「日本半導体産業の課題：2000 年代における日本半導体産業の不振の原因」IIR(一橋大学イノベーション研究センター) Working Paper, WP#-12-10.
- 西村吉雄 (2014)『電子立国は、なぜ凋落したか』日経 BP 社.
- 藤村修三 (2000)『半導体立国ふたたび』日刊工業新聞社.
- 藤原奏輔 (1995)「隠れた勝者：『韓国』逆転のメカニズム」伊丹敬之・伊丹研究室『なぜ「三つの逆転」は起こったか：日本の半導体産業』NTT出版, pp.255-288.
- 本間三智夫ほか (1995)「ULSI 拡散工程向け生産計画支援ツール PLAN-STAGE の開発」『NEC 技報』第 48 巻, 第 3 号, pp.264-269.
- マイケル・E.ポーター・竹内弘高 (2000)『日本の競争戦略』ダイヤモンド社.
- 三輪晴治 (2001)「半導体産業におけるアーキテクチャの革新」藤本隆宏・武石 彰・青島矢一 (編著)『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣, pp.73-100.
- 湯之上隆 (2004)「技術力から見た日本半導体産業の国際競争力」同志社大学 ITEC, ITEC Research Paper Series #04-07.
- 湯之上隆 (2005)「半導体業界の定説を検証『日本は技術の的を外している』『日経マイクロデバイス』10月号, pp.49-59.
- 湯之上隆 (2014)「分業を嫌ったから日本は衰退した?ファブレス/ファンドリーで成功するには」『Electronic Journal』9月号, pp.32-35.
- 吉岡英美 (2004)「DRAM 市場における三星電子のキャッチアップに関する一考察—DRAM 需要特性の変化の視点から—」『韓国経済研究』Vol.4, pp.21-44.
- 吉岡英美 (2010)『韓国の工業化と半導体産業』有斐閣.
- 吉森崇・中屋雅夫 (2013)「国内論理系半導体産業の分析と将来戦略」『電子情報通信学会誌』96(2), pp.70-75.
- Chen, C., Wu, C., and Wu, R. C. (2006). “e-service enhancement priority matrix: The case of an IC foundry company”, *Information & Management*, 43(5), pp.572–586.
- Hsieh, Y., Lin, N., and Chiu, H. (2002). “Virtual factory and relationship marketing — a case study of a Taiwan semiconductor manufacturing company”, *International Journal of Information Management*, 22(2), pp.109-126.

《資料・ホームページ等》

〈年鑑・新聞等〉

『IC ガイドブック 2009 年版』電子情報技術産業協会.

『IC ガイドブック 2012 年版 (半導体産業データ)』電子情報技術産業協会.

『IC ガイドブック 2012 年版 (よくわかる半導体)』電子情報技術産業協会.

『日本経済新聞』(2006 年 2 月 9 日朝刊, 「情報システム 汎用機を全廃へ 三菱電・ルネサス 技術者不足をにらむ」).

『半導体産業計画総覧』(1990 年～2014 年, 各年度版) 産業タイムズ社.

〈事業報告書〉

NEC エレクトロニクス(株) (各年度事業報告書・決算短信).

TSMC Annual Report (各年度事業報告書).

ルネサスエレクトロニクス(株) (各年度事業報告書・決算短信).

〈公開資料〉

i2 Planet 2007 Japan (セミナー資料) 「NEC エレクトロニクスにおける SCM 改革ー GBT (Global Business Transformation)」 (2007/10/03).

SAP ジャパン社資料 「ルネサスエレクトロニクス株式会社: グローバル SCM の標準化・統合化を SAP ERP の 1 インスタンス環境で実現」 SAP Business Transformation Study (2010).

〈ホームページ〉

EDN Japan ホームページ: 「デジタル IC 基礎の基礎: 第 7 回 SoC とシステム LSI」
<<http://ednjapan.com/edn/articles/1204/25/news001.html>> (2016/10/01 閲覧).

三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社ホームページ: 「1990 年以降の為替相場」 <http://www.murc-kawasesouba.jp/fx/past_3month.php> (2015/12/18 閲覧).

《インタビューリスト》

- ① 日系大手システムベンダーH社 情報システム技術者：2013年2月15日
- ② 日系大手システムベンダーO社 情報技術関係取締役：2013年3月29日
- ③ 日系大手システムベンダーU社 情報システム技術者：2013年5月30日
- ④ 日系大手システムベンダーM社 情報システム技術者：2013年7月25日
- ⑤ 日系大手システムベンダーN社 情報システム技術者（半導体工場担当者含む）：2013年8月27日
- ⑥ 日系大手コンピュータメーカーF社 情報システム技術者：2013年10月21日
- ⑦ 半導体設備メーカーA社 情報システム技術者（TSMCのMES導入を担当）：2013年10月21日
- ⑧ 元NEC工場関係者：2013年11月30日
- ⑨ 台湾後工程半導体メーカーP社 Vice President：2013年12月31日
- ⑩ I社（工場間システム連携ツールのベンダー）実務担当者：2014年2月7日
- ⑪ 台湾ファブレスW社（TSMCへ生産委託）Chairman及び実務担当者：2014年9月22日
- ⑫ 台湾工業技術研究院（ITRI）関係者：2014年9月22日
- ⑬ 台湾半導体材料メーカーC社（TSMCへのサプライヤー）CEO及び実務担当者：2014年9月23日
- ⑭ 台湾メモリモジュール製造メーカーK社 Director（半導体メーカーの情報システム構築経験有）：2014年9月23日
- ⑮ J社（TSMCやNECのSCMシステムを手がけたベンダー）関係者：2014年10月27日
- ⑯ 元NEC製造部門関係者：2015年2月19日
- ⑰ 元NEC経理関係者：2015年3月28日
- ⑱ 台湾機械メーカー 総経理（台湾より日本の大学院に留学して半導体産業関係の論文で博士号取得）：2015年5月30日
- ⑲ 大手コンピュータメーカーB社 情報システム技術者：2015年8月4日
- ⑳ 元TSMC情報システム技術者（博士）：2015年9月20日
- ㉑ 元NEC情報システム関係者：2016年5月8日
- ㉒ ルネサスエレクトロニクス関係者：2016年8月15日

《インタビュー番号（連番）及びページ対応表》

インタビュー番号		第5章 ページ	引用・参考 ページ	その他
対象者番号	連番			
①	①-1	pp.63-64		※
②	②-1	pp.63-64		※
③	③-1	pp.63-64		※
④	④-1	pp.63-64		※
⑤	⑤-1	pp.63-64		※
	⑤-2	p.69	p.60	
	⑤-3	p.73	p.60	
⑥	⑥-1	pp.63-64		※
⑦	⑦-1	p.65		
	⑦-2	p.66	p.13	
	⑦-3	p.68		
	⑦-4	p.69		
	⑦-5	p.75	p.51	
⑧	⑧-1	p.78		
⑨	⑨-1	p.77	p.17	
	⑨-2	p.77	p.17	
⑩	⑩-1	p.70	p.87	
⑪	⑪-1	p.76	p.54	
	⑪-2	p.77		
⑫	⑫-1	p.76		
⑬	⑬-1	p.76	p.54	
⑭	⑭-1	p.65		
	⑭-2	p.78		
	⑭-3	p.78		
⑮	⑮-1	p.74		
⑯	⑯-1	p.70		
⑰	⑰-1	p.69	p.60	
	⑰-2	p.71	p.60	
	⑰-3	p.72	p.58, p.61, p.62	
	⑰-4	p.72		
	⑰-5	p.72	p.61	
⑱	⑱-1	p.76		
	⑱-2	p.77	p.83	
⑲	⑲-1	p.65	p.81	
⑳	㉑-1	p.67	p.49, p.50, p.54	
	㉑-2	p.73	p.61	
	㉑-3	p.74	p.50	
	㉑-4	p.74	p.52	
㉑	㉑-1	p.66	p.57	
	㉑-2	p.68		
	㉑-3	p.69		
	㉑-4	p.69	p.60	
	㉑-5	p.71		
	㉑-6	p.73	p.2	
㉒	㉒-1	p.65	p.87	

《備考》

インタビュー番号(対象者番号):
別紙インタビューリスト参照

第5章 ページ:
インタビューを集約した第5章内
のページ

引用・参考ページ:
第5章の内容を引用もしくは
参考にしたページ

※は共通意見を集約した形で記載