

3. 前工程（ウエハー加工工程）の外部化

1980年代後半以降、東アジアを中心とするアメリカ半導体産業のグローバルな事業展開は新たな局面を迎えた。後工程（組立工程）および検査工程の外部化に続いて、従来、アメリカ国内において一体化されていた設計と製造の前工程（ウエハー加工工程）とが地域のみならず、資本関係の面からも切り離され、前者は米国内に堅持される一方、後者は東アジアを中心とする独立の企業へ外部委託されるという新たな潮流が現われた。すでに一部の半導体企業は、先進国を中心に、前工程を子会社によって海外展開していたが、資本関係のない独立企業に委託するには技術や管理面で多くの問題があり、困難視されていた。ところが90年代に入ると、前工程の外部化が急速に広がったのである。

新たな動きをリードしたのは、80年代前後にシリコンバレーを中心に誕生した新興の半導体企業であった。彼らはまず、専用ICの開発を求めるシステムメーカーの需要に応え、通信やマルチメディア向けを中心とするカスタムおよびセミカスタム製品の開発に照準を合わせて事業を開始した。しかし、超LSI時代の到来とともに半導体の開発・生産コストは大幅に上昇していたから、資金と人材が十分ではない彼らは設計に集中し、製造を内外の独立企業に委託する新たな戦略を採用した。これにより工場を持たない、いわゆるファブレス Fabless 企業が生まれた。彼らは革新的な設計の多様な新製品を短期間で開発するのに成功、めざましい成長をとげ、シリコンバレー復活の一翼を担うと同時に、ロジック製品における米系企業の優位をいっそう高める役割を果たした。

他方、1980年代のほぼ同じ時期に、大手半導体外販企業はDRAMを中心とする汎用品市場での日本勢の攻勢の前に、深刻な経営難に陥っていた。このため大手企業の多くはこの市場から撤退し、規模は小さいが、競争上優位があり、高利益をのぞめるロジック素子、MPUなどへ製品をシフトさせ、開発力の強化をはかった。同時に、彼らの最大の弱点であったコストや品質など製造問題の解決のために、経営および生産組織のリストラを開始した。80年代後半には日本企業の成功を参考に、その開発、生産システムを導入、過度の分業関係を是正して開発と製造との連携強化をはじめ、製品開発方法の刷新や製造現場の改編に着手した。こうしたリストラを背景に、90年代には景気拡大やパソコン市場の成長、後にはインターネットや携帯電話など新たな市場の登場に速やかに対応し、MPUに注力したインテルを筆頭に、アメリカの大手半導体企業の業績は回復する。米半導体産業は汎用製品において後退する一方、ロジック素子、MPUとカスタム製品における優位を確立・強化することによって、80年代の苦境から立ち直ることに成功したのである。

大手企業の多くは、従前とおりに開発・設計と製造とを一体化した垂直統合路線を維持してい

た。しかし 90 年代が深まるにつれ、半導体の設計および設備への必要投資額が多く企業の能力を超える水準にまで上昇する一方、製造を専門に受託する会社、ファウンドリー Foundry が東アジアに誕生し、その実力を急速に高めていた。このため大手企業においても、ファブレス企業と同様、製造をこれら内外のファウンドリーへ委託し、自らは経営の重点を開発・設計へとシフトする傾向が生まれた。米国はもとより世界でも、インテルやサムスンが筆頭になお重要な例外が存在したが、21 世紀に入ると「垂直非統合」モデルはめざましく広がり、世界の半導体産業にとって新たなビジネス・モデルとなったかの観があった。⁶⁸

(1) ファブレスモデルの生成

i. ファブレス企業の誕生

アメリカの半導体産業において、前工程の外部化という新たな潮流の先駆となったのは 1980 年代前後にシリコンバレーを中心に生まれたファブレス企業であった。彼らの誕生に関わる典型的なストーリーは、設計自動化ソフトウェアの発展など設計技術の進歩により、革新的なチップが容易に設計できるようになった事情に助けられ、大手企業に籍を置いていた技術者たちが、汎用品に集中して新たな技術開発の意欲を失い、経営硬直化の度合いを強めた会社からスピニングアウトしたというものであった。これによってシリコンバレーには、かつてない半導体企業の設立ブームが生じた。⁶⁹

彼らが新参入の照準に定めたのは、新たに成長しつつあった通信機器やマルチメディア用のロジック半導体、なかでも ASIC (Application Specific Integrated Circuit) と略称される特定の顧客や特定の用途向けの半導体市場であった。当時、シリコンバレーに存在ないし新規設立された通信機器、ソフトウェア、ネットワーク関連企業をはじめコンピュータや家電、自動車会社などは、LSI や超 LSI の登場とともに自らの製品を差別化・高度化させる専用チップ

⁶⁸ 前工程の外部化に注目したすぐれた研究のひとつである Leachman and Leachman (2004) は垂直非統合の例外として、大手ではインテル、AMD、IBM マイクロエレクトロニクスと TI をあげていた。これは上の論文が書かれた頃の実態を反映していたのだが、しかし、その後 21 世紀に入ると、これらの企業のなかで少なくとも TI、AMD は前工程の外部化を進め、垂直統合から離れた。また、王叔珍 (2004) 184～185 頁は日米韓台の半導体企業を比較して、米台では垂直統合と非統合型が並存、日韓では垂直統合が支配的であったこと、また、製品別では汎用メモリーでは垂直統合型、非汎用型の ASSP、ASIC、MCU では、垂直非統合型がそれぞれ支配的であったとしている。

⁶⁹ この時期に新参入した半導体企業については、サクセニアン (1995)、204～212 頁の優れた分析を参照した。米ファブレス半導体工業会 (Global Semiconductor Alliance) の定義によると、ファブレス企業とはシリコンウエハー製造の 75%以上を外部委託(顧客に販売する 75%以上のチップを外部から購入する)企業であり、その対極には 75%以上を自製する垂直統合型デバイスメーカー (Integrated Device Manufacturer) がある。そして、両者の中間に IDM でありながら、75%以下を外注するファブライต์企業がある (http://gsaglobal.org/resources/industry_data/glossary.asp: 09.10.6 閲覧)。なお Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) p.7 では、ファブライต์企業と同様、生産の一部をアウトソーシングしている IDM をハイブリッドと呼んでいる。

の開発を望んだ。そこで、半導体企業はこれらの顧客と協力し、しばしば最終製品の開発と一体化しながら、多様な特定用途向け半導体、なかでは汎用性の高い ASSP (Application Specific Standard Product : 特定用途向け標準品)、さらにはその変種であるプログラム可能な論理素子 (PLD : Programmable Logic Device) やフィールド・プログラマブル・ゲートアレイ (FPGA : Field Programmable Gate Array) などのセミカスタム (半特注) 製品の開発に走った。いずれも、あらかじめメーカーが設計した基本的な回路の上にユーザーが要望する仕様を加味した IC を指すが、PLD は 83 年にファブレス企業のアルテラ社 Altera が、また FPGA は翌 84 年に同じくザイリンクス社 Xilinx が、それぞれはじめて製品化した。他方、大手半導体企業はこれら新市場の規模と将来性に確信が持てなかったうえ、新興企業が有力な特許を握ってしまったため進出を躊躇した。最近でも、これらの製品市場においては、新興企業の優位は揺らいでいない。⁷⁰

このようにファブレス企業は、優秀な開発要員と柔軟で簡素な経営システムを背景に、シリコンバレーに存在する多くの専門業者の力を借りて、セミカスタム市場で顧客のニーズを満たす革新的なデザインの新製品を速やかに開発することに成功した。シリコンバレーの企業がプロトタイプを開発するまでの時間は、米国の他の地域のメーカーより 60% も短かったという。⁷¹ この成功はまた、資金と人材に限りある新興企業の多くが設計および製造コストの急騰を前に、経営資源を前者へと重点的に投入した結果でもあった。まず、集積度の上昇などに伴って半導体の開発・設計コストは 90 年代以降急騰し、90 年から 2007 年までの間に、全産業の研究開発支出は年平均 12.7% と売上高の成長 (9.9%) を上回って増大した。⁷² しかしさらに重要だったのは、新鋭の製造設備コストがウエハーの大口径化や微細加工技術の発展により、参入禁止的な水準にまで上昇したことであった。

新鋭の半導体工場の建設コストについては多くの推定があり、しかもその間には一桁もの開きがあるので、金額を確定することは容易ではない。概略を示すと、まず第 1 段階として 70 年代から 80 年代にかけての超 LSI 時代の到来とともに設備コストの上昇が広く注目された。

⁷⁰ ASIC は、フルカスタム製品 (USIC) とセミカスタム製品 ASSP、FPGA/PLD の 3 つに分類される。90 年代には汎用性のやや大きな後 2 者が急成長した。FPGA/PLD は当初、携帯電話の基地局や医療機器など台数が少ない業務用機器が中心だったが、のちにノートパソコンや PDA などのモバイル情報機器、最近ではデジタルテレビなどデジタル家電向けに急成長している。通常の特定期間より開発期間と生産コストが低いのが特色である。日本政策投資銀行 (2006) 13-22 頁、『日本半導体年鑑 2001 年度版』134 頁、長谷川丈一 (2005) 152-157 頁。2004 年では世界の FPGA/PLD 市場のシェアでは、ザイリンクス社が 52% と首位の座にあり、ついで、アルテラ社が 32%、そして今ひとつのアメリカのファブレス企業であるラティス半導体 (Lattice Semiconductor) が 7% と、この 3 社で市場をほぼ支配した。日本政策投資銀行 (2006) 18 頁、なお 2008 年 4-6 月期でも、ザイリンクスの世界市場におけるシェアは FGPA で 54%、PLD で 50% であった (ザイリンクス社の資料による)。

⁷¹ サクセニアン (1995) 198 頁。

⁷² IC Insights, *Research Bulletin*, June 25, 2008.

国連の調査では「基礎的なウエハーハブ」の取得コストは 60 年代末の 200 万ドルから 5,000 万ドルへと急増したとある。また、Macher は 70 年代初頭（線幅 3 ミクロンのプロセス技術）から 80 年代初頭（同 1 ミクロン）の間に 2,000 万ドルから 1 億ドルへ、Dorfman はメモリーを対象に 70 年代後半には 5,000 万ドル、85 年（256KRAM）ではその 2 倍に上昇したと推定している。要約すれば 80 年代前半に設備コストは 1 億ドル程度に達したものと見なされる。その後第 2 段階として、80 年代には所要投資額（月産 25,000 枚の最先端デジタルプロセス技術を持つ工場の建設費用）がほぼ 3 倍、あるいはおよそ 4 年に 2 倍の割合で増加し、90 年代初頭には 3~4 億ドルまで上昇したことが複数の推計からうかがわれる。しかし、生産設備への投資額が高騰するのは微細加工とこれにともなうクリーンルームの厳格化が進む 90 年代半ば以降であり、2000 年頃には約 20 億ドルを上回った。2000 年前後で「必要投資額 20 億ドル」は他のいくつかの推計でも見られ、ほぼ常識化した数字となっているように思われる。⁷³

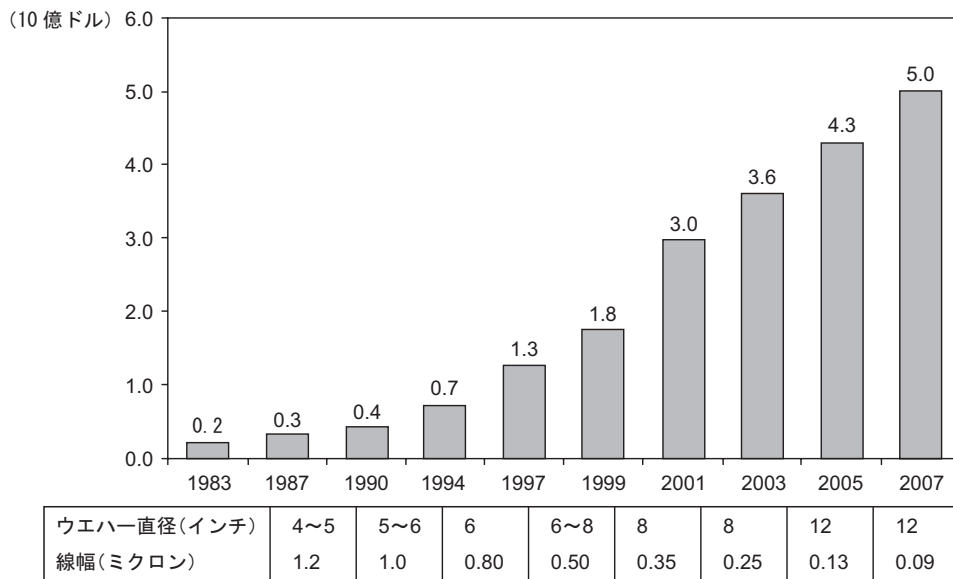
しかも、活発な新製品競争を反映して半導体の製品サイクルは短縮する傾向にあり、それに従って、設備の急速な更新がますます要求されるようになった。2000 年ごろ、ウエハー設備は 3~4 世代のプロセス技術に利用可能とされたが（もっとも、新しいチップの生産に移行する際には、機械設備の 25~30%が更新されねばならなかった）、かつて 2~3 年間はあった 1 世代のチップの平均製造販売期間は、2000 年代初頭になると 1.5~2 年へと短縮された。この時期、インテルは最新のウエハー工場の取得に最低でも 25 億ドル、2 年周期で新しいプロセス技術に対応するとすれば、最新の半導体プロセス技術に基づく製品を出荷するには毎年 12.5 億ドルの設備投資が必要と予測した。⁷⁴

後に詳述する世界第 2 のファウンドリー、台湾の UMC 社は 1983 年から 2007 年までの自社の設備コストの上昇を公表しているが（第 3-1 図）、これによると、80 年代初頭で直径 4~5 インチのウエハー、線幅 1.2 ミクロン程度のプロセス技術の最新鋭ウエハー加工工場は約 2 億ドル、同年代後半から 90 年代初頭の時点では 3~4 億ドル（直径 5~6 インチのウエハー、線幅 0.8~1 ミクロン程度）と先の推計にほぼ等しい。同様に、90 年代半ば以降のコスト上昇もめざましく、2001 年には 30 億ドル、07 年では直径 12 インチ（300 ミリ）ウエハー、線幅 0.09 ミクロン（90 ナノメートル：1000 分の 1 ミクロン、10 億分の 1 メートル。ナノと略す）の最新鋭設備では実に 50 億ドルにも達したと推定している。さらに、世界最大のファウンドリー

⁷³ UN (1986) p.298. Macher, Mowrey, Hodges (1997) pp.267-8, Dorfman (1987) pp.193-4,210. Macherらは 80 年代初頭で 1 億ドル、90 年代初頭で 3 億ドルという数字を示している。80 年代に建設費が 3 倍になったというのは Angel (1988) p.90.の指摘。Leachman and Leachman (2004) p.220. Dicken (2007) pp.323-4 も 2007 年で 20~30 億ドルと推定しているが、Dicken は新世代の IC になるたびに、工場の新設コストは 2 倍になるという。また、*Semiconductor International*, April 2003, p.76 でも、03 年で回路の線幅が 90nm の工場建設費は最低で 25 億ドル、平均では 35~42 億ドル（1 ライン、検査と組立を除く）に達したとされている。

⁷⁴ Leachman and Leachman (2004) pp.205-06

第 3-1 図



(資料) Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) p.21

である台湾の TSMC が 2007 年に発表したデータによれば、線幅 90 ナノの設備であれば 20 億ドル、65 ナノで 30 億ドル、そして 45 ナノでは 50 億ドルにそれぞれ達する。⁷⁵ 設備コストは、後にふれるように、その後も上昇の一途をたどった。このように新工場建設コストが激増したため、新興企業にはファブレス以外に選ぶ道がなくなったのである。

ii. 有力ファブレス企業の概要

ASIC を照準とする新興企業に率いられ、1980 年代以降、ファブレス企業は急成長した。94 年には関連する 40 社によってファブレス半導体工業会 (Fabless Semiconductor Association) が結成されたが、そのデータによると、業界全体 (株式公開会社) の売上高は 94 年の約 36 億ドルから 2006 年の約 500 億ドルへ年平均 26% の高成長を示した (第 3-1 表)。これに対し、半導体産業全体の売上高の成長率は 8%、垂直統合型デバイスメーカー (Integrated Device Manufacturer; IDM) は 6% にとどまった。同様に、ファブレス業界トップ 10 社の売上高成長率は 22% と IDM トップ 10 社の 5% を大きくしのいだ。半導体全売上高に占めるファブレス企業の割合も 94 年の 3.2% から 2000 年には 8.3%、最近では 20% 前後にも達した。⁷⁶

⁷⁵ UMC, TSMC の推定については Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) pp.21~22 を参照。

⁷⁶ http://fsa.org/resources/industry_data/facts.asp/ (07 年 11 月 11 日) なお 2007 年に FSA はファブレス企業の業界団体から広く半導体業界全体の利益を代表することを目指して、GSA (Global Semiconductor Association) への改組を発表した。また、調査会社 IC Insights もファブレス企業の売上高が 98 年の 73

第 3-1 表 世界の半導体売上高とファブレス企業の
売上高 (100 万ドル : %)

	世界の半導体 売上高	ファブレス企業 売上高	ファブレス企業の 占める割合 (%)
1993	--	2,400	--
1994	102,000	3,601	3.5
1995	141,794	5,393	3.8
1996	141,523	6,943	5.0
1997	146,383	8,804	6.0
1998	142,516	9,787	7.0
1999	173,403	12,832	7.0
2000	222,998	17,834	8.0
2001	153,452	18,900	12.3
2002	155,628	20,802	13.4
2003	177,512	26,000	14.7
2004	213,000	33,205	15.6
2005	227,500	40,042	17.6
2006	247,700	49,489	20.0
2007	275,500	51,500	18.7
2008	258,600	51,000	19.7

* 株式公開企業のみ

(資料) 1994~2006: http://fsa.org/resources/industry_data/facts.asp/
(07.11.11)

1993,2007-8: http://gsaglobal.org/resources/industry_data/facts.asp/
(09.10.6)

また、同工業会によれば、世界のファブレス企業数は 1999 年の 500 (うち 300 社は北米) から 2008 年には 1300 (半導体企業数は 1600) へめざましく増大した。地域分布をみると、北米 600 社に対しアジアが 500 と接近している。かつてファブレス企業は「北米的現象」とされ、確かに現在でも業界をリードするのはアメリカ企業だが、最近ではアジアとくに台湾が第 2 位を占めるなど、めざましい成長を示している。⁷⁷

個々のファブレス企業をみると、有力企業の成長はめざましく、売上高では IDM に匹敵するものも現れるようになった (第 3-2 表および第 3-3 表)。ファブレス企業最大のクアルコム社は全体の市場が縮小するなかで 08 年にも売上高を増加させ、同年の世界半導体企業売上高ランキング (IC Insights 調べ。第 3-3 表) では、順位を前年の 13 位から 8 位へと上昇させ、

億ドルから 2006 年には 423 億ドルへと IC 販売の増加をはるかに上回って成長し、後者に占める割合も 2011 年には 25% に達すると予測している。IC Insights, *Research Bulletin*, January 17, 2007.

⁷⁷ Macher, Mowrey, Hodges (1997) p.268. 企業数のなかには、ファブレス企業のほか、ファウンドリー、IDM をはじめ、製造装置、素材メーカー、ベンチャーキャピタル、投資銀行など関連する多くの業種の企業が含まれている。

第3-2表 ファブレス企業売上高ランキング上位10社

(100万ドル)

順位		会社名	売上高	
2006	2008		2006	2008
1	1	QUALCOMM(QCT Division)	4,331	6,477
2	2	Broadcom	3,668	4,658
3	10	SanDisk Corporation	3,258	1,030
4	3	NVIDIA Corporation	3,069	3,422
5	4	Marvell Technology Group Ltd	2,238	2,951
6	6	LSI Logic	1,982	2,677
7	7	Xilinx, Inc	1,872	1,906
8	5	MediaTek Incorporation	1,624	2,755
9	8	Avago Technologies	1,588	1,665
10	9	Altera	1,286	1,367
10	...	Conexant Systems	986	...

(資料) 2006年はHurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) pp.235-236

2008年はGSAの統計 http://gsaglobal.org/resources/industry_data/facts.asp/
(09.10.6)

第3-3表 世界半導体企業売上高ランキング上位20社ランキング
(IC Insightsによる)

(100万ドル)

順位			会社名	売上高		
2006	2007	2008		2006	2007	2008
1	1	1	インテル	32,268	35,021	34,490
2	2	2	サムスン	19,670	19,951	20,272
3	3	3	TI	13,200	13,309	11,966
5	4	4	東芝	9,782	11,850	11,059
6	5	5	TSMC	9,748	9,813	10,556
4	7	6	STマイクロエレクトロニクス	9,854	8,637	9,052
8	8	7	ルネサステクノロジー	7,900	8,001	7,017
17	13	8	クアルコム	4,422	5,619	6,477
11	9	9	ソニー	5,804	7,203	6,420
7	6	10	ハイニックス	8,009	9,201	6,182
16	12	11	インフィネオン	5,120	5,772	5,972
13	11	12	AMD	5,649	6,013	5,808
12	14	13	NEC	5,685	5,593	5,732
14	15	14	マイクロン	5,520	5,520	5,688
10	10	15	NPX(旧フィリップス)	5,875	6,026	5,318
9	16	16	フリースケール	6,049	5,447	4,898
22	23	17	ブロードコム	3,668	3,754	4,509
19	17	18	富士通	3,500	4,568	4,462
20	21	19	パナソニック	3,835	3,810	4,321
25	19	20	NVIDIA	2,980	3,979	3,660
			上位20社合計	169,538	179,087	173,859

(資料) IC Insights, *Research Bulletin*, Mar. 15, 2007, Mar. 9, 2009

2位のブロードコムも同様に23位から17位へ躍進した。現在では、有力ファブレス企業の多くは従業員4,000~5,000人と大企業の仲間入りを果たしつつあり、売上高でも10億ドルを超える企業が少なくとも10社に達する。

ファブレス企業は売上高の成長のみならず、業界のなかできわめて高い利益率を誇っている。2002年だけのデータだが、ロジックに特化したファブレス企業8社の平均営業利益率は約22%と他のグループの半導体企業を上回り、インテル(16.4%)すらしのいだほどだった。⁷⁸ この高利益率の原因は製造設備関連投資が不要であることに加え、彼らの主製品であるASICが汎用品に比べ高い価格をつけられ、利幅が低い汎用品市場での大手企業との価格競争を回避できたこと、そのうえ、大手メーカーのように大量生産を通じて価格を引き下げるのではなく、むしろ価格競争を回避するため他社と差別化されたユニークな多種類の製品を少量ずつ開発、生産し、そのたびに価格を引き上げて販売する方途を選んだことにある。事実、当時の代表的な新興企業であるサイプレス社は1989年に56種類の新しいチップやチップ・サブシステムを、また、マキシム社も83~89年には毎年67種類の新製品を開発した。⁷⁹

有力ファブレス企業の概要を俯瞰しておけば、まず、アメリカで最初に成功したのは1984年に設立されたシーラス・ロジック社 Cirrus Logic であった。⁸⁰ ミックスドシグナル・プロセッシングやアナログ回路で高い技術力を誇り、グラフィックス・コントローラ、ストレージ用ICなどのパソコンおよび周辺機器用ロジックLSIなどの優れた製品計画と攻撃的な買収戦略を通じて、1995年には設立後45四半期で業界最初の売上高10億ドルを超える企業へと成長した。一時は、合併で自社設備を持ったほどだったが、その後はグラフィックス素子の技術革新と競争激化に対応できず、業績悪化とともに資産も売却した。現在はこれらの分野から撤退して、主力をオーディオ用や産業用計測器・分析機用のアナログ、ミックスドシグナル、DSPチップなどの開発・販売へと転換しようとしているが、売上額はこの5年間にも30%ほど低下し、2006年には半導体企業の売上ランキング96位に低迷、昔日の面影はない。

続いて、2000年にブロードコム社 Broadcom が設立後36四半期で10億ドルを超え、翌年にはエヌビディア社 NVIDIA が設立後32四半期という最短記録でこれに続いた。前者は音声、ビデオ、データ伝送用の通信機器(有線・無線)に用いる各種半導体を開発販売し、90年代前半に売上高を実に150倍、2000~2006年にも3倍に、それぞれめざましく増加させた。また後者は、グラフィックス・プロセッサを開発(2000年にはこの分野で最大の売り上げを誇る)、

⁷⁸ 八井田収(2005)346~48頁

⁷⁹ サクセニアン(1995)207頁

⁸⁰ スハス・パティル氏が1981年にカリフォルニア州で設立したパティルシステムを84年に現社名へと変更した。89年にナスダックに株式を上場し、99年にはデラウェア法人へと改組している。同社については、HP(<http://www.cirrus.com>)およびSECに提出したForm 10-K, 2007報告を参照。

グラフ、ビデオ、ゲーム用のデジタルメディア処理技術に優れ、3D用グラフィックス革命をリードしたといわれた。コンピュータ、家電、携帯電話向けICを開発販売し、93年4月に設立後めざましい成長をとげ、1998年から2006年の間に売上高を実に20倍、純利益を100倍以上に増加させた。⁸¹

2008年現在、ファブレス企業で売上高第1位のクアルコム社Qualcom（1985年設立）は、携帯電話の世界的な通信規格であるCDMA技術を開発し、それに対応した半導体を開発販売すると同時に、これをベースにした携帯通信システム、携帯端末や位置情報システム（GPS）を次々と開発、この分野での最大企業となった。売上高は飛躍的に増大し、90年代の約10年間で40倍、2000年以降06年まで3倍近い伸びを見せた。また、第3位のサンディスク（1988年設立）はフラッシュメモリーの大手企業であり、とくに小型のメモリーカードで先行した。製造についてはわが国の東芝と2000年5月に合弁会社フラッシュ・ヴィジョンLtdを設立して以来、いくつかの合弁事業を展開している。最近では、フラッシュ・パートナーFlash Partners Ltd.、フラッシュアライアンスFlash Alliance Ltdを設立し、東芝の四日市工場に最新鋭のウエハー加工工場を建設している。

最後に、先にあげたPLD製品の大手2社についてふれると、まず、FPGAを主力にこの分野で最大のシェアを誇っているザイリンクスは、当初、携帯電話の基地局や医療機器など業務用市場を中心に成長をとげたが、90年代末から家電向けの低価格品を売り出し、現在では、機能の決定が柔軟であるという特性をも生かして、薄型テレビなどデジタル家電用に売上を急成長させている。かつては日本のセイコー・エプソンとファウンドリー契約を結んでいたが、現在は、東芝、台湾のUMCやIBMに生産を委託している。製品需要拡大のため、その利用を容易にするソフトウェア開発技術者やファブレス企業でありながらプロセス技術エンジニアを抱えている。今ひとつのアルテラ（1983年設立）はPLDの開発者として、高い技術力を誇っている。シャープ、TSMCとの合弁製造会社ウエハーテックを設立し、最先端のPLDシリーズはTSMCの協力のもとで開発され、同社に製造を委託している。⁸²

iii. ピュアプレイ・ファウンドリーの登場

ファブレス企業の成長を可能にした最大の物的基盤は、ウエハー加工を専門的に受託する製造会社、ピュアプレイ・ファウンドリーの誕生にあった。当初、ファブレス企業は過剰設備を抱

⁸¹ 企業ごとの情報は、各社のホームページならびにそこに収められた各社のForm 10-Kによった。

⁸² 『日本半導体年鑑 2001年度版』128頁。このほか、より小規模なシリコンバレーのチップ設計企業は、台湾のUMCと合弁事業を展開した。たとえばアライアンス・セミコンダクターとS3社は、設計と製造を対にしたユナイテッド・セミコンダクター・コンソーシアム（USC）を設立し、全体の57%を彼らが、残りをUMCが出資した。USCは提携する設計会社に安定的な製品供給を保証、また、シリコンバレーの8社を越える設計会社とUMCはユナイテッドサーキット社を設立した。

えるアメリカや日本の半導体企業に前工程を委託して事業を開始した。パイオニアとされるチップス・アンド・テクノロジーズ社 Chips & Technologies (98年にインテルに買収された)をはじめ、シーラス・ロジック、ザイリンクス、そしてアルテラの各社は、いずれも80年代前半に日本の半導体企業に製造を委託したのであった。⁸³

すでに70年代末に米国では、顧客が完全に設計した回路をシリコンチップ上に作り込む製造能力を提供する、多数のファウンドリーが登場していた。彼らは80年代初めの日本メーカーによるメモリー競争と景気後退により、稼働率の大幅な低下や収益の悪化に見舞われたため、ファウンドリー事業に注目したのである。なかでも積極的だったのはインテルであり、同社はこれを戦略的部門とみなし81年半ばに事業を開始すると決定、他の米国企業とは異なって、量産移行以後6ヶ月以内の最先端チップ製造技術を顧客に販売した。インテルはまた、ファウンドリー関連の売上高が1981年の5000万ドルから85年には5億ドルへと成長すると予測し、ウエハー製造能力の10%をこれに当てる計画を立てた。その背景には、同社が当時、深刻な経営難に悩まされていたことに加え、自動化された回路設計のための広範なデータベースを編集しており、この設計ツールを利用すれば顧客が自らの用途にあったカスタム回路を容易にデザインできるという強みを持っていたことがあげられた。82年はじめに、インテルは米コンピュータ・メーカー、パロウズのメインフレーム用に大量のMOSカスタムチップを供給する5年契約を結んだ。⁸⁴

しかしファブレス企業にとっては、半導体企業の過剰能力の利用は知的財産権が保護されず、生産能力確保の保証も得られないなどの難点があった。事実、技術漏洩の疑いに加え、好況期など需要が旺盛なときに統合企業はファブレス企業に生産能力を割かない、という苦情もしばしば聞かれた。このため彼らは請負会社に投資し生産能力を確保しようとしたが、十分な成果をあげられなかった。⁸⁵ ファブレス企業が本格的に成長するには、チップの受託生産に徹し、顧客の競争者とはならない、ピュアプレイ・ファウンドリーと呼ばれる専門の製造請負業者が不可欠だった。

それを用意したのは台湾の半導体産業であった。すでにふれたように、1960年代半ばに米国のゼネラル・インストルメンツ (General Instrument) が高雄電子子会社を設立し、トランジス

⁸³ ウエハーを100%外注している24のファブレス企業に対する調査(1990年)によると、彼らは金額ベースで80%を日韓など東アジアのファウンドリーに委託していた。Angel (1994) p.142.

⁸⁴ UN (1986) pp154-155, 188-189, 304-305.

⁸⁵ インテル並の高度なMPUを設計していたサイリックス社(Cyrix:1997年にナショナル・セミコンダクターに買収される)は、工程技術開発と製造設備の運営を1990年以来、フランス、ドイツの合弁チップメーカーSGS-Thomsonに委託していたが、94年にはIBMに対しても8800万ドルの設備投資を行い生産能力の確保をはかった。また、最近の一例としては、ザイリンクス社がセイコーエプソンと長期のファウンドリー契約を結び、台湾のUMCが建設したUnited Silicon (USC)に1億3600万ドルを支出し、生産能力の33%分を確保したことがあげられる。

ターの組立を開始したことがこの国における半導体産業発展の起源となった。70年代に入ると台湾政府はアメリカ在住の台湾人企業家や技術者と連携をとりながら、産業育成に本格的に着手し、73年には主務官庁となる工業技術研究院（ITRI：Industrial Technology Research Institute）を行政委員経済部（日本流には旧通産省）の外庁として設立した。翌74年に工業技術研究院はその一部門として電子工業研究発展センターを新設したが、これは79年に電子工業研究所（ERSO：Electronics Research and Service Organization）と改称され、台湾半導体産業の発展に大きな足跡を残した。ERSOは一方で、アメリカ企業から技術を導入し、研究者、技術者の育成に努める一方、企業家を養成し、起業を促進した。台湾では民間企業が資本集約的でリスクな半導体生産への参入に消極的であったため、政府が事業の立ち上げ段階を担い、徐々に、それを民営化するという方策が採られたのである。その典型的な事例がERSOからの技術者のスピノフに支えられ80年5月に設立された、台湾最初の民間半導体企業である聯華電子（UMC：United Microelectronics Corp.）であった。

このような発展の上に立って1980年代後半にファウンドリー事業が誕生する。その契機となったのは、台湾政府が工業技術研究院院長として、TIに長らく勤務し、社長兼COOをつとめ（83年に退職）、当時はゼネラル・インスツルメンツのCOOであった張忠謀氏をスカウトしたことにある。政府から新しいウエハー加工工場計画の立案を託された同氏は、ウエハー設備投資の負担にあえていた国内の中小設計会社・半導体メーカーの希望に応え、国際的な水準の大規模な製造設備を作り、その共同利用をはかる、純粹に受託加工生産のみを行なうファウンドリー事業を選択した。彼はファブレス企業とIDMとの間に生じた軋轢をみて、専門ファウンドリー事業の将来性を確信した。それはまた知的財産権を持たない台湾が半導体産業に参入する苦肉の策であったともいえる。⁸⁶ こうして、1987年2月に政府（行政院開発基金）が48.3%、フィリップスが27.5%（その後持ち株を売却、08年8月にはすべての株式を処分した）をそれぞれ出資して台湾積体電路製造（TSMC：Taiwan Semiconductor Manufacturing Corp.）が設立され（その他の民間投資者が24.2%）、張氏が会長に就任、ERSOから144名の経営幹部、技術者が移籍した。初期の同社の経営は、台湾国内のファブレス企業からの委託によってほぼ支えられ、後にはシリコンバレーの顧客を獲得した。⁸⁷

ファウンドリー事業はもともと日本企業が始めたものだったが、それは副業の域を出なかったため、製造プロセスを公開しない中途半端なものに終わったのに対し、台湾はこれを事業の柱と位置づけ、プロセスを公開、コストも明示して成功をおさめたという。⁸⁸ 同じくアメリカ

⁸⁶ 谷光太郎（2002）207頁に引用された白井一成富士通常務（当時）のコメント。

⁸⁷ 台湾の半導体産業をはじめハイテク産業の発展については多くの研究があるが、以下では、佐藤幸人（2007）とくに第5章、呉（2005）などを参照した。

⁸⁸ 谷光太郎（2002）208頁に引用された専門家の言による

の半導体企業の多くも、ファウンドリーを一時的な事業とみなし、過剰設備が解消されれば、直ちに撤退する考えであった。したがって、多くの企業は自社で開発し、量産に移してから5年以上経った成熟化したプロセス技術を提供したのに過ぎなかった。これらに対し、TSCMはまず、純粋なファウンドリーとしてコストの低下と歩留まりの上昇に全力をあげ、ASICの安定した製品化で高い評価を獲得した。その後、政府の税制優遇措置を背景に巨額の設備投資を敢行、最新技術を相次いで取り入れ、実力をめざましく高めた。2000年には台湾の2つの企業、Worldwide Semiconductor Mfg. Corp (WSMC) とエイサーグループとの合弁で経営していたウエハー加工設備の完全所有権を獲得し、またほぼ同じ頃(98年)にはアメリカでWefarTech社を共同経営、200ミリのファブを操業した(2000年に完全所有化)ほか、中国大陸にも合弁企業を通じてウエハー設備を獲得した。TSMCは飛躍的な生産能力の成長を実現、1995年の約66万枚(200ミリウエハー換算)から2000年には340万枚を超え、さらに直近の2008年には900万枚を越えた。第2位のUMCの2倍の規模を持ち、他に隔絶した能力を誇る(第3-4表)。同様に、売上高・純利益も急激に増加し、2002年には世界10大半導体メーカー(売上高)にランク入りした最初のファウンドリーとなったが、さらに08年には世界5位にランクアップされた。最近の世界的な不況期には純利益こそ減少したが売上高は増え、ファウンドリー業界のほぼ半分を占めるなど、一人勝ちの様相すら呈している(第3-5表)。⁸⁹

TCMSの成功に刺激を受けて、当初は消費者用IC、80年代末にはコンピュータ、通信・工業用ICの開発製造など、長らく統合メーカーとして苦闘を続けてきた聯華電子(UMC)も1995年に設計部門を切り離し、アメリカの大手ファブレス企業と提携して3つのファウンドリーを設立し、ファウンドリー事業へと転換した。その後、積極的な企業買収と先端技術の開発を通じて、これまためざましい成長をとげ、生産能力は95年の45万枚から2000年には240万枚、08年には450万枚まで増強された。しかし、21世紀に入ると成長率は鈍化し、TSMCに対し生産能力では約半分、売上高では約3分の1と両社の差は広がる一方である。

第3-4表 4大ファウンドリーの生産能力(200ミリウエハー換算)

(単位1,000枚)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
TSMC	4,014	4,787	5,954	7,062	8,289	9,377
UMC	2,646	3,158	3,855	4,017	4,308	4,507
チャータード半導体	1,250	1,289	1,501	1,784	1,960	2,443
SMIC	696	1,440	1,824	2,184	2,220	1,932

* SMICは月平均の数値を12倍した近似値。

(資料) 各社の資料(HP参照)

⁸⁹ 以下、ファウンドリー企業の事業内容については、各社のHPに収録されているForm 20-Fを参照した。

第3-5表 主要なファウンドリーの売上高とマーケットシェア

		タイプ	本社所在地	2000		2006		2008
				100万ドル	%	100万ドル	%	100万ドル
1	TSMC	ピュアプレイ	台湾	5,325	42.5	9,875	45.9	10,556
2	UMC	ピュアプレイ	台湾	3,183	25.3	3,168	14.7	3,400
3	SMIC	ピュアプレイ	中国	0	0.0	1,439	6.7	1,354
4	Charterd	ピュアプレイ	シンガポール	1,134	9.0	1,405	6.5	1,743
5	IBM	IDM	アメリカ	392	3.1	698	3.2	na
6	Samusung	IDM	韓国	26	0.2	526	2.4	na
7	Power Chip	IDM	台湾	108	0.9	478	2.2	na
8	DongbuAnam	ピュアプレイ	韓国	354	2.8	419	1.9	490
9	Vanguard	ピュアプレイ	台湾	584	4.6	398	1.8	511
10	MagnaChip	IDM	韓国	298	2.4	324	1.5	na
	小計			11,404	90.8	18,730	86.8	18,054
	総額			12,581	100.0	21,518	100.0	na

(資料) Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) p.26, IC Insights, *Research Bulletin*, May 5, 2008.

台湾勢とほぼ同じ 1987 年に、シンガポールにもチャータード半導体 (Chartered Semiconductor Manufacturing Ltd) が設立され、間もなくファウンドリー業界ビッグ3の一角へと成長した。02年11月にはIBMとCMOSの製造技術の共同開発と製造で提携、03~04年にはこの提携に韓国のサムスン電子、ドイツのインフィニオンを加え、製造技術を全面的に革新した。その成果を背景に、04年にはAMDとパソコンサーバー用MPUの製造契約を結び、ブロードコム、IBMからも製造契約を獲得、政府の支援策にも助けられ、業績の改善に成功した。それでも02年以降は大幅な赤字決算に陥り、不況とコスト競争力の低下に悩まされた。そこでチャータード社は09年9月にUAEアブダビの投資会社AITCの買収提案(39億ドルを投じて全株式を購入する)を受け入れた。一方、AITCはチャータードの競争力強化のため、先にAMDから買収したグローバルファウンドリーズGLOBALFOUNDRIES(後述)に同社を統合、経営規模の拡大をはかった。同時に、チャータードをグローバルファウンドリーズのアジアにおける製造拠点とする計画を発表した。チャータードの経営陣もこれによって資金を獲得し、ファウンドリー事業の継続に必要な設備投資が継続できることを歓迎している。⁹⁰

21世紀に入ってからは中国勢の台頭が著しい。中国市場の開放とともに、米企業が一部の作業を大陸へ移転させた結果、中国は米企業にとってウエハー加工の新しい拠点となりつつある。調査会社IC Insightsによると、世界のピュアプレイ・ファウンドリーの売上高に占める中国企業のシェアは2002年にはわずか2%に過ぎなかったが、2005年には12.4%にも上昇し、最大の中芯国際電路製造(SMIC: Semiconductor Manufacturing International Corp)はチャー

⁹⁰ 『日経産業新聞』07年8月8日、チャータード社のニュースリリース(09年9月6日)による。

タードと販売額で3位争いを演じるまでに成長した。SMICはアメリカで教育を受け、TIに勤務、台湾でファウンドリー事業を経験したRichard Chang氏が、国際的なベンチャーキャピタリストと中国政府などからの出資、多数の台湾のファウンドリー技術者を得て2000年に設立した企業であった。その後10年もたたないうちに売上高13億ドル余の大企業に成長、生産能力も200万枚を超える水準に達したが、最近では販売減と高投資による負担のため赤字決算が続いている。このほか中国の有力なファウンドリーとしては、Grace Semiconductor Manufacturing Corp、Hua Hong NECとHe Jianなどがあり、SMICとあわせ、「中国のビッグ4」と呼ばれている。なお現在、中国のこれらの企業間では、台湾企業を交え、買収合併の動きがあり、その推移如何によっては業界の構図が大きく変化することも予想されている。⁹¹

以上の4社（前掲、第3-4表）をIC Insightsは世界のファウンドリーの「ビッグ4」と名づけ、彼らが現在、世界のピュアプレイ・ファウンドリーの全生産能力の約4分の3、90ナノ以下の生産能力では99%を独占していると報じた。⁹² このほか、ピュアプレイ・ファウンドリーとしては韓国の東部亜南半導体（DngbuAnam Semiconductor）や台湾のヴァンガード（Vanguard）が名を連ね、合計でファウンドリーの売上高全体の85%を占める（第3-6表）。これに対して、アメリカのIBMや韓国のサムスン電子など自社ICの製造に加え、他社にファウンドリーサービスを提供する企業を「IDMファウンドリー」と呼び、その売上高は全体の15%程度を占めたが、2003～08年の伸び率はピュアプレイ・ファウンドリーを下回った。

しかし、なかでもIBMは数字以上の意味を半導体業界に持っていると評価されている。IBMは設計システムや製造技術では世界の最先端を走り、メーカーというよりプロセス技術を売る会社としてユニークな地位を占めた。2002～3年頃に、IBMは半導体事業の継続とプロセス技術開発のため、他社との共同研究開発体制の構築を目指し、AMD、ソニー、東芝、米フリース

第3-6表 ファウンドリー販売高

	(10億ドル)							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2013
ピュアプレイ	11.3	16.4	16.5	19.9	20.3	20.6	17.3	34.8
IDM	2.6	3	3	3.4	3.6	3.8	3.2	6
計	13.9	19.4	19.5	23.3	23.9	24.4	20.5	40.8

* 2009以降は予測

(資料) IC Insights, *Research Bulletin*, Oct. 12, 2009

⁹¹ 中国企業同士では、Hua Hong NECとGraceの統合、SMICによるCensionやWuhan Xinxの統合、さらには台湾のUMCによるHe Jianへの買収提案などがある。*Semiconductor International Japan Edition*, News Center (www.sijapan.com/content/1_news/2009/10/lo86kc00000kyoo.html) 2009.10.25 閲覧

⁹² IC Insights, *Research Bulletin*, August 6, 2007

ケールなど 9 社と提携、これらのパートナー企業から 10 億ドル以上の資金と 250 人以上の科学者・技術者の提供を受けた。IBM といえども自社の資源のみでは、最先端半導体の設計およびプロセス技術の開発、生産設備の準備は不可能だったのである。各社もまた、独力では新技術の開発・生産は不可能であったため、IBM の技術的リーダーシップのもとで同社に協力し、その成果に与った。2007 年 12 月および 08 年 9 月にはそれぞれ、東芝と NEC が IBM を中心とする開発チームに加わった。こうして、IBM は上の各社をはじめ、チャータード、サムスン電子、グローバルファウンドリーズ、さらにはドイツのインフィニオン・テクノロジーズ、仏伊合弁の ST マイクロ・エレクトロニクスなど世界の有力半導体企業からなる技術協力チームを形成し、TSMC に対抗する一方の旗頭となった。28 ナノのプロセス技術開発でも、東芝と NEC エレクトロニクスは IBM との共同開発に合意した。他方、TSMC は TI、ベルギーの研究機関 IMEC、日本の富士通さらにはインテルとも協力関係にあり、この 2 つのグループが次世代以降の最先端半導体開発でしのぎを削っている。⁹³ 今後は、売上高で優位に立つピュアプレイ・ファウンドリーの IDM に対する価格競争の激化が予想されている。

台湾を中心とするファウンドリー事業の急成長は、世界のウエハー製造能力における東アジアの地位をめざましく上昇させた。まず、ピュアプレイ・ファウンドリーの生産能力はアジア太平洋地域が 2001 年にほぼ 90% を占めるなど他に隔絶した地位を占めたが、国別の生産能力では、台湾がこの地域の 60%、ついで韓国、シンガポールの順であった。⁹⁴ この結果、世界のウエハー製造能力に占めるアジア太平洋地域の割合は 1980 年のわずか 4% から 2001 年には 38% へ、別の推計ではやや数値は低くなるが、2000 年から 07 年の間に 29% から 48% まで上昇した。とくに 21 世紀に入ってからは中国のウエイトが高まっているのが印象的である（第 3-7 ~3-10 表）。このように台湾を中心とするピュアプレイ・ファウンドリーの急成長の結果、世界の半導体産業に占める東アジアの地位は急激に上昇したのであった。⁹⁵

⁹³ *Business Week*, Online, Aug.30, 2007, 『日本経済新聞』07 年 8 月 8 日、『日本経済新聞』09 年 9 月 7 日、『東芝ニュースリリース』09 年 6 月 18 日。また、サムスンも 300 ミリウエハー以降の最新鋭設備の建設と運営のため今後はファウンドリー事業を重視すると声明、注目を集めている。

⁹⁴ Leachman and Leachman (2004) pp.208~213

⁹⁵ 1997 年に米のファウンドリー Amkor Technology は韓国に 3 つのウエハー加工工場の建設計画を発表した。台湾、シンガポールのファウンドリーとの競争するため、韓国の労働コストと環境規制のゆるさを狙ったものだった。Mazurek (1999) p.111

第3-7表 ピュアプレイ・ファウンドリーの生産能力の地域分布 (%)

	アジア太平洋	ヨーロッパ	日本	北米
1995	70	10	14	6
1998	76	8	6	9
2001	89	3	2	5

(資料) Leachman and Leachman (2004) p.212

第3-8表 アジア太平洋地域におけるウエハー製造能力の国別分布 (%)

	台湾	韓国	シンガポール	マレーシア	その他
1990	41	42	6	-	11
1995	38	51	9	0	2
1998	50	38	11	0	1
2001	61	25	10	3	2

(資料) *ibid.*, p.210

第3-9 世界のウエハー生産能力の地域的分布 (%)

	アジア太平洋	ヨーロッパ	日本	北米
1980	4	16	38	42
1990	12	13	45	30
1995	20	15	37	29
1998	31	14	27	29
2001	38	13	20	29

(資料) *ibid.*, p.210

第3-10表 世界のウエハー生産能力の地域分布 (%)

	日本	南・北 アメリカ	欧州・ 中東	(小計)	韓国	台湾	東南 アジア	中国	(東アジア計)
2000	34	22	15	71	11	13	3	2	29
2007	25	16	11	52	18	18	5	7	48

(資料) *Semiconductor International Japan Edition*, 2008年3月

iv. ファウンドリー事業の優位

このように TSMC を先頭とするピュアプレイ・ファウンドリーは、かつての米欧半導体メーカーの下請業者から最新鋭の生産技術を誇る ASIC やシステム LSI (SoC) の世界的な製造拠点へと成長した。⁹⁶ 最近では、生産能力が逼迫する好況末期を中心に、垂直統合型デバイスメー

⁹⁶ システム LSI とは、従来、ロジック IC やメモリー、周辺回路など複数のチップで構成されていたシステムを1枚のチップ上に実現したもので、システムオンチップ (SoC) とも呼ばれる。長谷川丈一 (2005) 158~9頁。

カー（IDM）からの受注も増えた。

ファウンドリーが成功をおさめた第1の原因は、巨額の投資を通じて最新鋭の大型設備をタイムリーに導入し、高品質の製品を低コストで速やかに出荷できる生産能力をファブレス企業に提供しえたことにある。2006～7年の半導体企業の設備投資ランキング（第3-11表）をみると、TSMCは世界の6位程度に位置し、UMCもまた15位以内にある。これを通じて1ファブあたり3～4万枚の生産能力を持つ巨大な工場が建設され、世界有数のウエハー生産能力が獲得された。06年末では、サムスン、TSMC、インテル、東芝、UMCの5社が生産能力から見た世界のトップ5を占め、別の資料によれば、TSMCの2006年の生産能力は世界第3位、UMCも第8位を占めたと推計された。⁹⁷

しかも設備の購入に当たって有力装置企業との間に協調関係を築き、彼らが開発したクラスターツールと呼ばれる大モジュール化した複合プロセス装置（製造工程のいくつかのステップをあたかもひとつの処理設備であるかのように連続的に処理する）を大量に購入したことも成功につながった。⁹⁸ この結果、ファウンドリーと巨大なIDMとの間に存在した先端プロセス

第3-11表 半導体企業の設備投資ランキング

順位	会社名	金額(100万ドル)	
		2006	2007
1	サムスン	6,845	6,740
2	インテル	5,766	5,500
3	ハイニックス	4,380	4,535
4	マイクロン	3,000	3,600
5	東芝	3,160	2,760
6	TSMC	2,419	2,700
7	Nanya	910	2,435
8	パワーチップ	2,610	2,200
9	AMD	1,856	2,000
10	インフィネオン	1,580	1,875
11	サンディスク	1,100	1,375
12	ProMOS	950	1,350
13	エルピーダ	1,245	1,210
14	ST	1,533	1,200
15	UMC	1,000	1,100

* 2007年は予算額

(資料) IC Insights, *Research Bulletin*, June 19, 2007

⁹⁷ IC Insights, *Research Bulletin*, June 27, 2007、湯之上隆（2009）84頁。

⁹⁸ TSMCの競争力構築メカニズムについては立本・藤本・富田（2009a）および（2009b）を参照。よく知られているように、装置メーカーが製造に関する研究開発を担い、製造上の技能や知識の多くを機械に組み込んだことは、ファウンドリー成功のすべてではないが、ひとつの原因であったことは疑いない。

技術の格差も急速に縮まった。90年代には微細加工技術において IDM とファウンドリーとの間には大きな差があり、後者はナノ時代の微細化競争には追従できないとすらみなされた時期もあった。事実、0.35 ミクロンのプロセス技術を導入した時点は、TSMC は業界平均より 1 年遅れの 95 年、UMC はさらに遅れて 96 年であった（それでも UMC は 90 年の 0.8 ミクロンの導入では業界の平均より 2 年遅れていたから、差は縮まったのであった）。しかし、90 年代末になると 0.25 ミクロン技術で両社は業界平均にほぼ追いつき、97 年末から 1998 年末にこれを採用した。そして次世代の 0.18 ミクロンの量産では 99 年 3 月と UMC が世界平均より 1 年先行し、TSMC も 2000 年初頭に実現、さらに次世代の 0.13 ミクロンでは TSMC、UMC とともに 2000 年と業界に先んじた。

ナノ時代にはいると、ファウンドリーは技術革新の最先端に躍り出た。この点では UMC が先行し、2003 年に 90 ナノ、05 年に 65 ナノの線幅の LSI をそれぞれファウンドリー業界で最初に生産開始した。TSMC もやや遅れたが、2003 年に 0.11 ミクロンのプロセスを実現、04 年には 90 ナノ、05 年末からは 65 ナノのプロセス技術を用いたウエハーの量産を始めた。その後、06 年には 45 ナノ、09 年半ばには 40 ナノをそれぞれ生産開始し、直近の 09 年半ばでは、TSMC の生産のうち最小線幅 45 ナノは 1%、65 ナノは 28%、90 ナノを適用したのは全生産の 23%にそれぞれ達した。⁹⁹ しかも TSMC は次世代の半導体開発においても最先端を走り、450 ミリウエハーへの移行を唱導する一方、線幅 32 ナノ開発の一翼を担い、さらにごく最近では、28 ナノを用いた半導体の量産を世界ではじめて 2010 年に開始すると発表して大きな衝撃を与えた。¹⁰⁰

しかも、ファウンドリーは多様な業種の企業と取引し、特定産業の影響を緩和することによって高い設備稼働率を安定的に維持、これを通じてコストの引き下げに成功した。TSMC は世界中に 300 を越える顧客を抱え、全部で 5,000 種以上の製品を生産しているが、これに対応できるよう自社内に多彩な技術と設備を備えた。また、IDM に比べ開発設計、流通販売コストが少くないことも低コストにつながった。¹⁰¹ こうして TSMC を筆頭とする台湾のファウンドリーは世界規模の量産効果を発揮し、ごく一部の巨大企業を除けば、業界の最低水準のウエハー製造コストを誇るに至ったのであった。

このようにファウンドリーの強みが製造装置というハード面にあったことは疑いないが、そ

⁹⁹ 以上の TSMC (http://www.tsmc.com/japanese/e_investor/e02_annual/e02_annual.htm 09 年 8 月閲覧) UMC の実態は両者の HP に掲載された資料による。TSMC : HP。なお、GAO (2006) でも、台湾、中国のファウンドリーとアメリカとの技術格差は 1 世代以下に縮まったとある。

¹⁰⁰ 『日経産業新聞』2008 年 10 月 6 日

¹⁰¹ ファウンドリーの研究開発費・同販売額に対する割合はきわめて低い。2007 年には、インテル 58 億ドル、販売比 13%、サムスン 43 億ドル、9%であったのに対し、TSMC は 5.46 億ドル、5.6%、UMC も 3 億ドル、9%に過ぎなかった。2008 年第 1 四半期では、IDM が 18%、ファブレス 25%に対し、ピュアブレイ・ファウンドリーは 7%であった (IC Insights、*Research Bulletin*、June 25, 2008)

れ以上に、これら結びつけ、半導体デバイスをシリコンウエハー上に形成するための工程フローを構築する技術（インテグレーション技術）の高さに求める見解がある。¹⁰² すなわち、ファウンドリーは生産工程を構成する最小単位の技術（要素技術）を装置メーカーに依存し、世界的に標準化された装置を導入して設備コストを節約する一方、この技術を組み合わせ、日本企業よりも短い工程フローと少ない加工回数（マスク枚数）を実現した。これによって、歩留まりの立ち上がりが早く、最終的な歩留まりも高いのに加え、装置の時間あたり処理枚数が高く、装置台数も少ないという「安く作るための生産技術」が可能となった。これが優良ファウンドリーの成果を支えたのである。

ファウンドリーが成功をおさめた第 2 の原因は、設計と製造との間の情報交換を緊密にし、両者が独立した企業間に分離しても、同一企業内部で統合されていたときと比べ、コストや品質、納期などで大きな不利をこうむらない体制を整えられたことにある。

やや具体的にみると、世界最大のファウンドリーである台湾の TSMC は 1997 年以来、“Virtual Fab”と呼ばれるコンセプトの下で、この情報共有システムを実現した。“eFoundry”というサービスが“TSMC-Online”と“TSMC-Direct”の 2 つのチャンネルを通じて提供されているが、これによってまず TSMC は、自らの製品設計技術者が使っている設計ツールや設計データ、モデルなど設計環境を顧客に提供し、その利用に供した。ファブレス企業の側は事前に提供された設計資産や工程技術の中から最適なものを選ぶことによって、TSMC のエンジニアに頼らなくとも、そのウエハー加工プロセスに合致した正常な歩留まりの製品を設計することができるようになった。¹⁰³

いまひとつ、TSMC は受託した製品の品質や製造の進捗状況など、多様な加工と移動の情報をチェックできる電子的なデータ交換ネットワークを顧客に提供した。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。UMC も同様なサービスを提供している。¹⁰⁴

最近、TSMC はさらに進んで設計活動を支援し、製造との円滑な連携を可能にするサービス

¹⁰² 湯之上隆（2009）25～28 頁。

¹⁰³ 三輪晴治（2001）では、台湾のファウンドリーが設計と製造との「仕事の切り分けを明確にし、その上で使用するライブラリーを自分の製造プロセスにフィットするように洗練した」ことによって、歩留まりを飛躍的に高め、製造コストを大手半導体メーカーより安くするのに成功したとしている。

¹⁰⁴ 呉（2005）63 頁。TSMC 資料（http://www.tsmc.com/japanese/c_services/c05_efoundry/c05_efoundry.htm）。09.10.8 閲覧

を強化している。TSMC の主要な業務であるシステム LSI (SoC) の場合、その設計には数多くの機能ブロック (設計資産 IP) を必要とするが、TSMC は標準化された知的資産を持つ専門の IP ベンダーや設計ツールメーカーと連携、自ら開発した IP を加えて、セルライブラリーを作り上げ、これをファブレス企業に提供した。後者はそのライブラリーのなかから自らの用途にあったセルを指定し、速やかに設計活動を進めることができるようになった。いわば TSMC は関連企業と共同で SoC プラットフォームを構築し、「SoC の設計を制した」のである。¹⁰⁵ こうして TSMC は設計関連企業のみならず、装置企業や材料メーカーまでと連携することによって、その競争力を高めるのに成功する一方、自らもメモリーや周辺回路など必要最低限の IP を開発する能力を獲得するに至っている。これによって、ファブレスとファウンドリーとの事業活動において重なり合う部分が増え、両者の関係も従来の「設計・製造分業モデル」から「設計・製造協業モデル」へと変化しつつあると指摘されているほどである。¹⁰⁶

(2) 垂直統合企業のファブレス化

小規模なファブレス企業で始まった設計と製造との分離は、次第に大手の垂直統合型デバイスメーカー (IDM) にも浸透していった。IDM が製造を外部委託するという現象は、小規模ながらすでに 1980 年代には始まっていた。90 年の Angel の調査によれば、ウエハー加工施設を持っている半導体企業 48 社は平均するとウエハー全体の約 12% (金額) を下請けから購入していた。¹⁰⁷ その主たる目的は、好況期の需要急増による生産能力の逼迫をカバーすることにあった。IDM のウエハー加工の外部化は 90 年代後半以降本格的に進み、委託先となったファウンドリー側の数字によれば、世界最大の TSMC のこの約 10 年間の売上高の 30~40% は、また同じく第 2 位の UMC でも 40% 近くは IDM 向けであった。UMC は 2007 年現在、IDM は全体として販売高の 20% を外注しているが、将来は 50% 以上に上昇するだろうと予測している。¹⁰⁸

このように IDM がファウンドリーに依存を深めつつある主たる原因は、ファブレス企業同様、次世代の最新鋭工場の建設費の高騰とファウンドリーの技術力の上昇にあった。そのうえ、企業経営における「アセットライト」(資産圧縮) 戦略の流行もこれを促進した。

よく知られているように、米国企業は伝統的に株価を経営目標として重視する傾向が強かつ

¹⁰⁵ 湯之上隆 (2009) 72 頁。

¹⁰⁶ 日本政策投資銀行 (2006) 41~44 頁。Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya (2007) p.20 服部毅「変化し続ける TSMC のビジネスモデル」Semiconductor International Japan (www.sijapan.com/issue/2007/06/u3eqp300001bltp.html) 2009.8.14 この指摘は TSMC のチャン氏による。

¹⁰⁷ このうちアメリカ企業から購入したのは約 3%、主として日韓からなる外国企業からは 9% であった。Angel (1994) p.142

¹⁰⁸ 数字は両社のホームページによる。

たが、これは 80 年代以降ますます高まった。すなわち企業経営者は、この時期に本格化した M&A ブームの中で機関投資家による株価引き上げ要求を受け、また、自らも買収の脅威から身を守るために、さらには経営者報酬に占めるストックオプションの普及にも促され、株価をいっそう重視するようになった。彼らは「株主価値の最大化」の実現のため、リストラをはじめあらゆる戦略を動員したが、その中で株価の指標としてアナリスト達に重視されていた総資産利益率あるいは自己資本利益率、経済的付加価値（EVA）などに注目、これを引き上げる有力な手段のひとつとして製造部門のアウトソーシングに着手した。ウォール街は「資産の重荷から解放され」、「最小の資産で最大の利益を上げる会社」を求め、これにこたえるべく経営者も、工場設備など固定資産はじめ在庫など流動資産の一部を売却する「アセットライト」戦略をとったのである。

また設備の処分は、製品サイクルが短くなり、新製品のあたりはずれが大きくなった電子製品の生産にともなう設備稼働率低下などのリスクをミニマム化し、利益の安定化に貢献した。さらに、製造部門の外部化によって将来の投資負担は軽減され、資金を研究開発へ集中的に配分できるようになったことも新製品の開発の促進と利益の向上に貢献した。かくて「アセットライト」戦略は半導体企業のみならず、パーソナル・コンピュータ会社など IT 企業において大規模に採用され、さらには、エンロンをはじめ 90 年代の成長業種の多くの企業でも広く採用された。垂直非統合という戦略は、たんに技術的な要請によって普及したわけではなかった。¹⁰⁹

具体的にファウンドリーへの依存を見ると、第 1 に、すでにふれたように IDM は従来から需要拡大期の能力不足をカバーするバッファの役割を彼らに求めてきた。TSMC の売上高に占める IDM の割合は 2000 年第 4 四半期には 40% のピークにまで上昇し、その後は景気後退とともに 02 年第 1 四半期の 21% まで低下した。第 2 に、とくに多種類の製品を作っている IDM は、自社の戦略的な製品の内製を維持する一方、それ以外の製品ないし技術については外部に依存する戦略をとった。言い換えれば、現在、社内にもたず、今後も自社開発する予定がない製造技術はファウンドリーに依存したのである。第 3 に、ファウンドリーへの外部委託を通じて得られる情報は、社内における同じ種類の事業のパフォーマンス、コストや生産性の状態を監視するベンチマーキングの役割をも果たした。¹¹⁰

しかし、ファブレス企業とは異なり、ウエハの生産を 100% ファウンドリーに依存する IDM

¹⁰⁹ ロジャー・ローウェンスタイン（2005）49 頁。なお、経済的付加価値（EVA）とは税引き後営業利益から資本コスト（負債のみならず株主資本のコストも含む）を差し引いたものを指すが、EVA がプラスであれば、株主を含む資金提供者が要求する資本使用の代価を上回る利益を上げ、企業は経済的な付加価値を生んだと評価される。資本コスト＝投下資本×加重平均コストであるから、極端に言えば、固定資本が小さくなれば資本コストは小さくなり、その分だけ EVA は大きくなる。以上、井出正介、高橋文郎（2000）388～411 頁、高山予志子（2001）157～160 頁。なお、「アセットライト」という言葉は使われていないが、稲垣公夫（2001）、第 1～2 章も参照。

¹¹⁰ Hurtarte, Wolsheimer and Tafoya（2007）p.9

は多くはなかった。自社の中心となる機能や設備は、長期的な開発力ならびに短期的な増産の可能性を維持するために、自社内に残すのが通例であった。¹¹¹ そればかりか、汎用メモリー（DRAM、SRAM）やMPUの開発・製造を中心とする巨大企業、代表的には米国のインテルや韓国のサムスン電子および日本の少なからぬ大企業は、外部委託を一部で採用しながら、基本的には、従来からの垂直統合と多国籍的な生産ネットワークを堅持したのであった。大手のIDM 3社に即して、ファブレス化の過程を検討しよう。

i. モトローラ (Motorola, Inc.)

米国の大手半導体企業のなかで、ファブレス化をもっともドラスチックに推進したのは業界最大手のひとつ、モトローラ社であった。同社は携帯電話機開発のパイオニアとして、通信機器および半導体を製造販売する大企業だが、後者の全売上高に占めるシェアは90年代末に約20%であった。ここでは、MPU、DSP、MCU、ASICなどロジック半導体を中心に、ネットワーク・無線通信、デジタル家電、自動車用のシステムLSIなど多様な製品が製造され、90年代には米国企業としてはインテルに次ぐ半導体売上高を誇った。ところが90年代後半に半導体不況に見舞われると収益は低迷し、98年には大幅な赤字に転落した。このためDRAM事業からの撤退が決定され、その設備をマイクロテクノロジーに売却すると同時に、ディスクリット部門も分離、さらに向こう5年以内（2005年まで）に必要とされるウエハー製造の50%以上をアウトソーシングする計画まで採用された。¹¹² 2000年に業績は回復したが、ごくわずかの黒字にとどまり、同年には、「アセットライト」戦略に基づくさらに大規模な事業再建計画が発表された。

当時、半導体部門の売上高はモトローラの最大部門である個人用通信（携帯端末）の60～70%であったのに対し、毎年の設備投資と減価償却支出はその4倍以上、資産もこれと同額か、かなり上回るという事態が続いていた。しかもその業績は芳しくなく、21世紀初頭にはかなり巨額の赤字に陥った。そこで、モトローラは収益改善のため、まず半導体部門の固定費削減に着手し、新規投資を大幅に切り詰めると同時に、既存設備の整理を始めた。社内の製造能力は最先端の特殊な工程技術を採用したものに限定する一方、標準化された技術を用いた汎用品はアウトソーシングするという方針が本格的に実行された（99年末で、アウトソーシング分は全半導体販売の25%を占めた）。生産拠点も整理され、2000年末に22（うちウエハーハブは16）

¹¹¹ スザンヌ・バーガー（2006）214頁。そこでは自前の設備を持つと稼ぎ時である新製品の投入時期にすばやく増産でき、ファウンドリーに後回しにされ、増産してもらえない危険もないという理由をあげている。

¹¹² Leachman and Leachman（2004）p.218. このほか、90年代末には、ヒューレット・パッカード社もコロラドに予定していたウエハー工場の建設を中止し、先端半導体の製造の多くを東アジアのファウンドリーや合併事業へ外部委託した。

あった製造施設は 02 年末には 12 (同じく 9) へ、さらに 03 年末には 10 (同じく 8) へと急激に削減された。同時に、ファウンドリーや他企業との戦略的な協力関係の強化がはかられ、02 年には TSMC と長期の製造契約が結ばれた。03 年にはウエハー製造の 15% (主として台湾企業) と組立・包装の 50% (主として台湾と韓国企業) をアウトソーシングするに至った。¹¹³ 半導体生産への固定投資の削減によって浮いた資金は、高付加価値の独自製品の開発・製造へと向けられる計画であった。

しかし半導体部門の再編はこれにとどまらなかった。2003 年 10 月にモトローラは半導体部門そのものを分離して、独立の上場会社に分社化することを発表、04 年 4 月にフリースケール半導体 Freescale Semiconductor を設立した (同 7 月にニューヨーク株式市場に上場、12 月に分離完了)。これによってモトローラは携帯電話端末とソフトウェア、通信機器とサービス、自動車用エレクトロニクス製品などへ事業を集中させると同時に、資産を圧縮し、2 万人あまりの雇用を削減した。半導体部門を切り離す以前、モトローラの資本支出は売上高の 2.4%、研究開発費は 13.9% に達していたが、スピンオフ後はそれぞれ 1.6、9.8% に低下した。赤字部門の分離など企業再編を原因の一端に、同社の株価 (月間) は 03 年 1 月を底に急騰し、04 年 4 月には 16.34 ドルまで上昇した。¹¹⁴ 少なくとも短期的には、モトローラにとって半導体部門の切り離しは成功したように思われた。

分離独立したフリースケール半導体は、モトローラの半導体資産を継承し、携帯電話やデジタルカメラ、自動車用の半導体の製造販売に当たったが、業績は芳しくなかった。そこで、IBM の半導体事業幹部であったミッシェル・メイヤー氏など新たな経営陣のもと、コストの大幅削減と生産拠点の海外移転、新製品の開発など大胆な再建策がとられた。¹¹⁵ アセットライト路線もさらに推進され、2004 年末には、自社のウエハーハブをアメリカ (アリゾナとテキサスの 4 箇所)、フランス、スコットランド、日本の計 7 箇所、組立・テスト施設をマレーシア、中国の計 2 つに集約した。同時に、シリコンゲルマニウム半導体など特殊な技術を用いる製品の大半は社内で製造するのに対し、標準的な CMOS プロセスを用いた量産品については、TSMC などファウンドリーを利用する方針がいつそう進められた。さらに研究開発でも、STMicroelectronics およびとフィリップスと合併で 300 ミリウエハー、線幅 32nm (ナノ) のプロセス技術開発が進められていたが、2007 年 1 月には、最先端の 32 ナノプロセス技術につ

¹¹³ Motorola, *Form10-K*, 2003, pp.6-7. 同社の半導体製品のアウトソーシングは 99 年末で販売の 25% を占めた。なお、『日本半導体年鑑 2004 年度版』p.173 によると、2001 年だけで 4 工場を閉鎖、前工程と後工程の計 18 工場を 14 工場に削減、さらに 2001 年末のリストラ策に従って 4 工場の閉鎖を決定、前工程 8 工場、後工程 2 工場の 10 工場体制となっていたとある。

¹¹⁴ Motorola, *Form10-K*, 2004, p.31 (2005) p.30. このほか、業績のデータは Freescale Semiconductor, *Form10-K*, 2005~9 を参照した。

¹¹⁵ *Business Week Online*, April 14, 2008.

いて、IBM とチャータードセミコンダクター、サムスン電子、インフィニオンの共同開発グループに加わることが発表された。¹¹⁶ 販売の増加にも助けられ、04 年にはわずかながら最終損益も黒字に転じ、06 年まで 3 年連続の黒字を達成、主力の車載用半導体や通信プロセッサで業界第 1 位、マイクロコントローラや DSP では第 2 位など有力な地位を占め、売上高でも世界 10 位以内を維持した。

リースケール半導体の業績の好転にひかれ、米ブラックストーン率いる投資ファンド 4 社連合は総額 176 億ドル（1 株 40 ドル）の買収を提案し、06 年 9 月、リースケールの経営陣はこれを受け入れた。投資ファンドによるハイテクセクターにおける買収としては、過去最大の規模であった。¹¹⁷ しかし買収以後、売上を大きく依存するモトローラからの発注の低下や世界的不況に伴って業績は悪化し、06 年以降 08 年まで一転して赤字を続けた。08 年春にモトローラが不振に悩む携帯電話部門の分離計画を発表したことは、リースケールへの不安をいっそう高めた。そこで同社もまた、08 年 10 月には事業再編計画を発表、自らが世界的な優位を持つ自動車およびネットワーク機器向け事業など自社の得意とする分野に集中し、反面、優位を獲得するには巨額の投資を要する携帯電話向けの半導体事業からの撤退を決定、その分離、売却や他社との合併について検討することを表明した。さらに 09 年 4 月には、コスト削減や損益分岐点の引き下げのため、150 ミリウエハーの旧式製造設備を利用しているわが国の仙台工場を含む 2 つの製造拠点の閉鎖を発表した。¹¹⁸ これによって、リースケールのウエハー工場はアメリカ国内の 3 箇所へと半減することになった。¹¹⁹ 同社は 2008 年の世界半導体売上高では 13 位（ファウンドリーを加えると 16 位）に低迷、業績悪化と改善の困難さから、この買収は「過去最悪」だったとの評価まで現れるに至っている。¹²⁰

ii. テキサス・インスツルメンツ (Texas Instruments, Inc. : TI)

2008 年に世界の半導体売上高で第 3 ないし 4 位（米メーカーとしてはインテルに次いで第 2 位）の座にあったテキサス・インスツルメンツ社 (TI) もまた、ファウンドリーへの依存を急速に高めつつある。モトローラ同様、TI も 98 年に半導体メモリー (DRAM) 事業から撤退し、一連の企業買収と売却を通じて防衛部門やパソコン事業などを整理、DSP（デジタル・シグナ

¹¹⁶ このほか、ドイツの Infineon Technologies との合併会社、ドレスデンの Semiconductor300 で 300 ミリウエハーラインを稼働させ、2000 年末を目途に東芝との合併会社東北セミコンダクターを完全子会社化する計画であった。『日本半導体年鑑 2001 年度版』127 頁

¹¹⁷ 全セクターで見ても 1988 年のタバコ食品大手 RJR ナビスコ（250 億ドル）、06 年夏の病院チェーン HCA（210 億ドル）に次いで 3 番目の規模であるという。『日経産業新聞』06 年 9 月 16 日、11 月 6 日

¹¹⁸ いまひとつのフランスのトゥールーズ工場では労働組合と閉鎖交渉が始まっているが、同じく 150 ミリ設備を使っているスコットランド工場は 09 年 9 月に閉鎖されることが決まっている。

¹¹⁹ Freescale Semiconductor, *News Release*, 2008.10.7, 2009.4.23. 『日経産業新聞』2008 年 10 月 16 日

¹²⁰ *Business Week*, Online, April 14, 2008.

ル・プロセッサ）と多種類のアナログ半導体（アナログ信号の処理用 IC）の開発・製造への特化に向かって経営の進路を大きく転換させた。DSP は TI が世界で最初に商業化に成功したため、その優位は大きく、現在でも世界市場の 40%以上を占めている。¹²¹ またアナログ製品は、この数年では TI の売上高の 40%以上、営業利益ではそれ以上を占める稼ぎ頭であり、世界のアナログ市場においても約 12%のシェアを獲得する最大のメーカーである。¹²²

TI はこの主力のアナログ製品については社内の開発・製造能力を堅持、強化する一方、DSP（携帯電話機用）をはじめ先進的なデジタル製品については、生産と開発を外部委託するという方針を明確に打ち出している。アナログ製品の開発・製造を社内に維持する理由は、第 1 に、同製品の市場は情報通信技術のデジタル化が進むにつれニッチ化したのが、今後ともそのような需要を見込め、かつ技術的に高い参入障壁があるため、新規参入が少なく、長期的に利益を期待できること、第 2 に、アナログ製品の開発および製造にはロジック素子とは異なって、その会社の持つ固有の技術ノウハウの働きが大きく、設計と製造との間にも長期にわたる緊密な連携の積み重ねが必要であること、そして第 3 に、製造プロセスのパフォーマンスは製造装置の工夫や改良の積み上げに支えられるところが大きく、DSP や携帯電話用半導体などデジタル製品ほど最先端ウエハー設備を必要とせず、相対的に旧式で安価な設備で足りる、加えて、技術進歩の速度が遅いため設備も先端製品より長期にわたって利用することができるため、相対的に少ない開発と設備費で済むことにある。¹²³

現在、TI は世界 15 箇所（アメリカ 4、日本 3、フィリピン 2、ドイツ、フランス、マレーシア、台湾、インド、メキシコに各 1）の開発・生産拠点を持ち、そのすべてがアナログ製品を扱っている。組立・検査工程では一部、下請け企業を利用しているが、コスト面では自社工場の方が優位にあると評価され、現在、フィリピンのクラーク経済特区に資源やエネルギーの利用効率の世界で最も高い組立・検査工場を建設中である。しかも、一般的にファブライツ路線が強化された 2007 年以降でも、ダラスの主力工場の拡張ならびに新工場建設の発表など、TI が業界のトップにあると自負しているアナログ製品の工程技術、生産設備および組立・検査工程の強化は TI の目標として維持する方針を明言している。¹²⁴

¹²¹ DSP (Digital Signal Processor) とはアナログ信号をデジタルに変換し、デジタル演算処理によって各種のデータ変換を行う IC を指す。DSP 市場は通信関連・民生関連分野でのデジタル機器の普及により急成長している。携帯電話、モデムなどの通信機器、HDD などのモーター制御、デジカメなどの音声・画像処理用に搭載されている。世界シェアの 48%を TI が握っている。ついで、ルーセント、モトローラの順である。『日本半導体年鑑 2001 年度版』127、135 頁、通産省機械情報産業局監修日本電子計算機株式会社編著『JECC コンピュータノート 1999 年版』219 頁。

¹²² TI、*Form10-K*, 2008 による。

¹²³ 以上は、八井田収 (2005) 355-356、TI、*Form10-K*, 2006, pp.5~6 および 2007, pp.2~7、TI White Paper、*Manufacturing and Technology Development at Texas Instruments*, March 2007 などによる。

¹²⁴ 2009 年 2 月には、アナログ製品を強化するため、高性能電源 IC の開発に特化したファブレス企業である CILON Semiconductor を買収している。TI, News/ Corporate Headline

その一方、先進ロジック素子のウエハー製造については、自社の製造能力を不況期にも完全に稼働させられる水準に抑制し、それを上回る需要については外部に委託するという方針がかなり早くからとられていた。このほか、少量生産のため、内部で生産しては高コストにつく製品についてもアウトソーシングが活用された。この結果、2006 年末の時点において、外部のファウンドリーは TI のウエハー需要の 25%を充たしていたが、先端デジタル製品の場合には、その割合は 50%にも上った（2008 年現在でも、これらの数字に大きな変化はない）。確かに 2008 年第 4 四半期のような厳しい需要の低迷期には、外注への依存度は大きく低下したが、長期的にはその割合は高まると予測されている。こうしてファウンドリーの利用によってデジタル製品の生産に要する先端的かつ高価な製造設備への投資の多くを節約し、固定費を軽減して利益率を高位に安定させることが IT の目的であった。実際、同社の設備投資ならびに減価償却費が収入に占める割合は 2001 年をピークに大幅に低下する一方、投下資本利益率は大幅に上昇したのであった。¹²⁵

このような製造の外部委託と並んで、2007 年 1 月にはデジタル製品の最先端製造技術の自社開発を中止し、ファウンドリーへ委託するという新たな経営策が発表された。これは業界に大きな衝撃を与え、その直後に発表されたソニーやオランダ NXP セミコンダクターの同種の転換策とともに、半導体業界が「雪崩を打って」ファウンドリーへの開発・生産委託へ向かう契機となったとまで評価された。¹²⁶ 同社は従来、製造技術を自社開発することによって微細加工にいち早く成功し、それをファウンドリーに供与して最先端の携帯電話用半導体を調達したり、自社内部で製造したりする方針を採ってきた。しかし、すでにふれたように、技術革新の進展により、製造技術の開発および製造コストはめざましく上昇し、次世代技術である線幅 32 ナノを用いた半導体の量産開始までの回路設計および製造技術の確立にはおよそ 15 億ドルの巨費を要するといわれている。しかも、ロジック半導体はメモリーに比べ少量多品種生産であり、自社製品の製造だけでは新設ラインをフル稼働できない。このため TI に限らず、世界の大手半導体メーカーも 32 ナノ以降のデジタル回路による CMOS に関しては、自社での製造技術の開発を中止し、共同開発に切り替えるのが通例となっている。TI はすでに線幅 45 ナノの工程技術を独自で完成させていたが、これをファウンドリーの技術と統合し、後者での量産を可能にする一方、次世代の 32 ナノ以降の製造技術については、台湾の TSMC および UMC との共同開発に踏み切り、自社開発を中止する方針を発表したのである。

こうして今後は、製造技術の開発を含め、デジタル製品についてはファウンドリーの能力を

¹²⁵ 減価償却費が売上高に占める割合は 2001 年の 21%をピークに 2006 年には 7%まで低下したが、税引き後の投下資本利益率はこの間にマイナス 3%からプラス 22%へと急激に上昇した。

¹²⁶ 服部毅「変化し続ける TSMC のビジネス・モデル」*Semiconductor International Japan*, 2007 年 6 月号 (<http://www.sijapan.com/>) 2009 年 8 月 17 日

利用し、これによって浮いた資金と人材をアナログ半導体の開発製造や高付加価値の携帯電話用半導体の回路設計、ソフトウェア開発に振り向ける戦略が選ばれた。¹²⁷ テンプルトン社長兼 CEO は 06 年 3 月末の記者会見において、同社が業界に広がりつつある製造技術の共同開発や共同生産という流れを拒否し、顧客のニーズに即応できるという理由から、単独で半導体を開発・生産するという戦略をとると明言していたのに比べ、この間の業界全体における転換スピードの大きさを痛感させられる。¹²⁸

iii. アドバンスド・マイクロ・デバイス (Advanced Micro Devices, Inc. : AMD)

2008 年の半導体売上高世界第 12～13 位 (米メーカーとしては TI に次いで第 3 位) である AMD も、本業の MPU の生産では自社工場を維持、強化しつつ、生産能力の柔軟な確保や次世代および MPU 以外の製品・製造技術の開発のためファウンドリーへの依存や他社との協力を推進してきた。¹²⁹ しかし最近では、インテルとの競争激化や半導体不況による業績悪化に促され、MPU の強化を目的としたリストラを敢行、製造部門を切り離すという大胆な方策をとった。しかも後者は、共同出資の別会社によって独立したファウンドリー事業として運営するというユニークな戦略だった。

AMD は、長らくインテル互換の MPU メーカーとして成長をとげたため、「万年 2 位」の地位に甘んじてきた。しかし、2003 年 4 月には省エネ製品の商品化でインテルに先行し、低消費電力ながら演算能力の高いサーバー用 MPU 「オプテロン」を発売、電力コスト増大に悩む企業に支持されシェアを急速に伸ばした。06 年にはプロセッサ出荷高は同社史上最高となり、攻勢を受けたインテルは販売の減少、収益悪化など経営不振に見舞われ、大幅な値下げや人員削減などリストラに追い込まれたほどだった。さらに 06 年 10 月には、カナダの画像処理チップ大手メーカー、ATI テクノロジー社を現金 (43 億ドル) と AMD の普通株 5800 万株の合計 54 億ドルで買収した。これによって AMD は MPU 単品の販売から脱出すると同時に、自社の MPU 技術と ATI のもつ画像処理、デジタル家電技術を統合した新製品を開発する戦略を整え、インテルと同じ土俵に立つ準備が出来上がったとまで評価された。¹³⁰

他方、AMD は自社生産能力を積極的に増強した。MPU の主要な生産拠点として、97 年からドイツ (ザクセン州ドレスデン) に工場建設を始め、2000 年にはその「Fab.30」が 200 ミリウエハーを用いて量産を開始した。さらに 03 年秋には 25 億ドルの巨費を投じて、ヨーロッ

¹²⁷ TI, *Form10-K*, 2007, TI White Paper, *Manufacturing and Technology Development at Texas Instruments*, March 2007, 『日経産業新聞』2007 年 2 月 19 日および 8 月 7 日

¹²⁸ 『日経産業新聞』2006 年 3 月 31 日

¹²⁹ 以下は、主として AMD, *Form10-K*, 2007 (http://www.amd.com/us-en/Corporate/InvestorRelations/0,,51_306_5147,00.html?redir=ar0009) 2008 年 7 月閲覧による。

¹³⁰ 『日経産業新聞』2006 年 7 月 26 日

パで最初の 300 ミリ線幅 65 ナノの MPU 用ウエハー工場（「Fab.36」）の建設も始まり、06 年 3 月には操業を開始した。さらに既存の Fab30 も、最新鋭工場への転換工事中である。以上の設備と生産技術の強化を通じて、AMD は 07 年内に 65 ナノプロセス技術への全面移行を果たし、08 年前半には同社としてははじめて 45 ナノ技術を用いた MPU の生産を開始、MPU 市場におけるシェアを現在の 20 から 2008 年に 30%へ引き上げる目標を立てた。¹³¹ 加えて、06 年 6 月には、ニューヨーク州サラトガ郡に 300 ミリウエハー加工工場の新設計画を発表、このほか、マレーシアとシンガポール、中国（蘇州）に組立、検査・パッケージング用の自社工場を有している。

しかしその一方で、AMD は「アセットライト」路線を標榜し、¹³² ファウンドリーの利用を拡大した。必要とされるすべての設備を自社で抱えず、他社の能力を柔軟に利用するとの方針のもと、04 年後半にシンガポールのチャータード社と契約を結び、AMD64 プロセッサの一部の製造を委託した（06 年 7 月から正式出荷）。また、高性能のグラフィックス、チップセット、消費者用プロセッサなどの製品については TSMC から供給を受けた。さらに、次世代以降の MPU の製造技術の開発では他社との協力を拡大し、02 年末に IBM と将来の高性能 MPU の製造技術の共同開発協定に調印し、数度にわたる更新のうえ、45 ナノ、32 ナノならびに 22 ナノ技術の共同開発を進めている。さらに、台湾 UMC とシンガポールで次世代製造技術を利用した工場を所有・操業する包括的提携を締結した。

他方、AMD は元来、フラッシュメモリー（電源を切っても記憶が維持される不揮発型メモリー）の製造販売で有力な地位を占めていたが、¹³³ 2003 年 7 月には、90 年代から提携していた富士通との事業を統合して合弁会社 FASL LLC をアメリカに設立した（AMD60%出資）。そして翌 04 年 9 月には社名を製品のブランド名であるスパンション Spansion に改称、携帯電話やデジタル家電の動作制御ソフトの格納などに用いられる NOR 型メモリーのトップメーカーとしてシェア約 40%を誇った。しかし、この市場では、より大容量の NAND 型メモリーが急速に普及したため、NOR 型に特化したスパンションの業績は芳しくなく、長期にわたる業績不振に見舞われた。そこで AMD は本体の財務改善を図り、経営資源を MPU に集中するため、05 年末には分社化してこれを切り離しナスダックに上場した。スパンションは主力の会津若松工場に 07 年 9 月に世界最初の 300nm ウエハー（65 ナノ）の NOR 型フラッシュメモリー製造施設を完成、微細化と大容量化、価格低下を図ったが、業績はその後も好転せず、世界的な半導体不況の到来ともあいまって、09 年 3 月にはついに連邦破産法 11 条の適用申請にまで追い

¹³¹ 『日経産業新聞』2005 年 10 月 18 日

¹³² 『AMD プレスリリース』、2007 年 7 月 26 日

¹³³ 2001 年の同社の販売額に占めるフラッシュメモリーの割合は 30%弱に低下、逆に、MPU は 60%強へと上昇していた（2002 年『半導体データブック』、353 頁）であった。

込まれた。

半導体不況に加え、最近では、インテルの反攻激化により、AMD の業績も悪化した（2006 年第 4 四半期から 09 年第 2 四半期まで 11 四半期連続赤字）。07 年に発表される予定だった、巻き返しの契機と期待された新型「オプテロン」の本格的出荷も「技術上の問題」から延期された。07 年 11 月半ばにはアラブ首長国連邦（UAE）アブダビ系の投資会社（ムバダラ・デベロップメント Mubadala Development Company）から 6 億 2200 万ドルの出資を受けることを発表した。経営の先行きに不透明感が高まり、株価は 06 年初めの 40 ドル超から 07 年 12 月中旬には 10 ドル以下へと暴落した。¹³⁴

MPU へ資源を集中させ、経営再建をはかる目的で、AMD はリストラを本格化させた。まず、08 年夏には家電メーカーに販売するデジタルテレビ用画像処理半導体事業を約 1 億 5000 万ドルでブロードコムに売却すると発表した（年末に完了）。¹³⁵ 続いて、同年 10 月には、生産部門を分離するという「歴史的な決定」（ダーク・マイヤーAMDCEO）が発表された。¹³⁶ AMD はドイツの工場を含む製造関連全資産と知的所有権を、UAE 政府が先端技術企業への長期的な投資を目的に設立したアドバンスド・テクノロジー・インベストメント社（ATIC:Advanced Technology Investment Company）と共同出資で設立した半導体受託生産会社に移転する”Asset Smart”戦略を実行した。これによって AMD は新会社（09 年 3 月設立のグローバルファウンドリーズ The GLOBALFAUNDRY）の株式（34.2%相当）を取得する一方、ATIC は新会社の株式購入に 14 億ドル（65.8%相当）、AMD に新会社の増資株の購入資金として 7 億ドルを支出するほか、今後 5 年間に独ドレスデン工場の拡張および、すでに承認済みのニューヨーク州サラトガ郡の新工場の建設のため、36～60 億ドルの追加的な資金拠出を約束した。さらに、ムバダラ社は AMD に追加出資するほか、新会社も AMD の 11 億ドルの債務を引き受けることに合意した。

生産設備の分離によって AMD はまず、キャッシュポジションを 8 億ドル余り改善し、11 億ドルもの長期債務を削減、財務基盤の強化に成功した。高コストにつく設備投資や維持管理費を節約しながら最先端の製造設備を利用しうることになった結果、資金と人材の余裕を革新的なチップ、とくに MPU と画像処理を統合した次世代半導体（「フュージョン・プロセッサ」）の設計開発に投じることが可能になった。これはノートパソコン用として 2010 年にも商品化される計画であり、現在、世界の MPU 市場におけるシェア 17～18%（日本では 12～13%）

¹³⁴ 『日本経済新聞』2007 年 12 月 15 日夕刊

¹³⁵ 『日本経済新聞』2008 年 8 月 27 日

¹³⁶ 以下については、AMD 社のホームページ（<http://web.amd.com/newglobalfoundry/>）2008 年 11 月 8 日閲覧をはじめ、『日経産業新聞』08 年 10 月 9 日、10 月 17 日などを参照。新会社の CEO には AMD の製造担当上級副社長であったダグラス・グロース氏が就任した。

を 30%に高めること、とくに、パソコンの画像処理用の日本でのシェアを 40%強から 50%へと引き上げるのが目標とされた。¹³⁷

その一方、AMD は切り離した製造部門を共同出資ではあれ運営し、独立した世界的ファウンドリーへと育成する方針である。TSMC など先行する有力ファウンドリーに伍した地位を確立するために、グローバルファウンドリーズは 45 ナノ以下の新鋭製造技術に特化し、しかも最先端技術を他社より速やかに取り入れる戦略を掲げている。計画では、2010 年に 32 ナノ、11 年には 28 ナノ製品の量産を開始する予定である。また、09 年 7 月には、ニューヨーク州政府からの 12 億ドルのインセンティブを得て、同州サラトガ郡に総投資 42 億ドルで世界最先端の生産技術（22 ナノの量産設備）をもった新工場（1400 人の雇用）の建設を開始した。将来は UAE にもウエハー設備を建設する計画が取りざたされている。当面、グローバルファウンドリーズは AMD の MPU、グラフィックスチップの製造にほぼ依存するが、将来はアメリカ、ドイツなどグローバルな供給体制を生かして新たな顧客を獲得、さらにチャータードの統合により IBM の技術アライアンスの中で最大のファウンドリーとなることから他社からの製造を受託し、将来は全売上高に占める AMD の比率を 50%にまで引き下げる目標である。不況のためウエハー設備の購入者が現れなかったことによる苦肉の策との評価もあるが、¹³⁸ ファウンドリー事業が先進国でも可能か否かなど、この新しいビジネス・モデルの今後はきわめて興味深い。

（3）垂直統合の堅持—インテル（Intel, Corp.）

このように 90 年代末以降、設計と製造との分離は米国の大手半導体企業の間急速に広がり、現在では支配的なビジネス・モデルとなったかの観すらある。しかし、世界最大の半導体企業であるインテル社は、一部の製品については製造の外部委託や合弁などを利用しながらも、主力製品では従来と同様、垂直統合と完全所有子会社からなるグローバルな生産ネットワークを堅持する方針をとってきた。¹³⁹

インテル社は、よく知られているように、1980 年代半ば以降、パソコン向け MPU 事業への

¹³⁷ 08 年 7～9 月期には画像処理チップの売り上げが 40%増え、MPU 需要も堅調であったなど、売上高の増加により純損失は縮小、最終損益は赤字だが、営業損益は黒字化したと報じられている。AMD のプレスリリースを参照。

¹³⁸ 『日経産業新聞』09 年 4 月 23 日

¹³⁹ インテルはチップセットやネットワーク、通信製品用のウエハーの製造にはファウンドリー、組立・検査工程についても下請企業を利用していることを明言している。さらに需要の拡大が著しいフラッシュ・メモリー（NAND 型）については、2006 年にマイクロン社と合弁企業、IMFT 社（インテルは 13 億ドルを投資し、49%の株式を所有）を設立し、製造にあたっているが、その組み立てと検査はマイクロンや他の下請け企業に委ねている。このほか、DSP の開発・生産についても、内外企業と資本および事業提携を行っている。なお、1980 年代末に発表された論文によると、当時インテルは販売高の 20～30%を下請けから購入したという。Mazurek (1999) p.103

集中をはかって再生を果たし、現在ではこの市場でほぼ 80%の世界シェアを誇っている（2009 年第 2 四半期）。研究開発および設備投資を強気で継続し、MPU の新製品を継続的に開発する一方、最新鋭のプロセス技術を備えた巨大工場を建設することはインテルの変わらぬ伝統であった。同社の設備投資はすでに 1990 年代後半には年平均 40 億ドルを越え、当時の世界のチップメーカーの平均投資額の 3 倍以上にも達していた。21 世紀に入っても高投資水準は維持され、この数年間は約 50 億ドルと世界最大の DRAM 垂直統合メーカーである韓国のサムスンには後れをとるものの、これに次ぐ世界 2 位（前掲、第 3-11 表）、研究開発費では同社を大きく上回る世界最高を誇った（2006～7 年）。しかも、この巨額な研究開発・設備投資の 75%は米国内に投下された。¹⁴⁰

まず、最近（2008 年末）の時点におけるインテルの世界的な工場配置を概観しよう。大枠では、開発設計やソフトウェア開発はシリコンバレー（サンタクララ）に、ウエハー製造は米国はじめ概して先進国、そして組立および検査工程は発展途上国に、という古典的な分業体制がとられている。工場立地は世界 30 カ国以上に及び、前工程は国内 5 箇所（アリゾナ、カリフォルニア、マサチューセッツ、ニューメキシコ、オレゴン）と海外 2 カ国（イスラエルとアイルランド）に立地している。イスラエルに前工程の工場が建設されたのは 1985 年と 99 年、アイルランドでは 1993 年と 98 年であった。08 年末には、全ウエハーの 70%が米国内で、30%がアイルランドとイスラエルで製造された。¹⁴¹

他方、組立・試験工程は東アジアの発展途上国を中心に、合計 6 箇所（中国 2、マレーシア 2、フィリピン、コスタリカ）に配置されている。前工程におけるウエハーの大口径化、微細加工化に伴って、後工程の設備も全面的に更新されると同時に、アジア地域において能力の拡大が続いた。1997 年と 2001、04 年には中国の上海と成都に新工場が建設され、07 年には 4 番目の工場が稼動予定なのに加え、06 年 2 月にはベトナム南部のホーチミン市にも工場新設が決定された（投資総額 3 億ドルの予定）。しかも、11 月にはさらに 7 億ドルの追加投資により、同工場の約 3 倍の増床が発表された。09 年の製造開始予定だが、インテルの後工程工場では最大級の床面積を持つ計画である。¹⁴²

前工程では、新たなプロセス技術の開発導入より、ウエハーの大口径化と線幅の縮小が他社

¹⁴⁰ バーゲルマン（2006）303～304、473～475 頁、IC Insights, *Research Bulletin*, June19, 2007, June25, 2008.

¹⁴¹ Intel, *Form10-K*, 2008. (<http://www.intc.com/financials.cfm>) 2009 年 7 月閲覧。Mazurek（1999）p.108 によると、シリコンバレーの工場は概して、最新鋭生産技術の実験工場としての性格を強めており、インテルのサンタクララ工場ならびにオレゴン工場も同様とされている。しかし全体としてみれば、アメリカ国内の製造施設は量産工場としてなお重要であり、同社の製造関連労働力の 3 分の 2 は米国に所在、東アジア合計では 20%に過ぎなかった。

¹⁴² 『インテル社プレスリリース』（<http://www.intel.co.jp/jp/intel/pr/press.htm>）2006 年 2 月 28 日および 11 月 8 日

に先駆けて急速に進んでいる。インテルは MPU の新たなアーキテクチャと次世代のプロセス技術を毎年交互に刷新する「チックタック戦略」を掲げ、¹⁴³ 実際にそれを実現してきた。最近の事象だけを追うと、2003 年末には線幅 65 ナノのプロセス技術が完成し、05 年 11 月にはアリゾナ州チャンドラー工場でこれを用いた Intel Pentium D プロセッサの量産が開始された。06 年末までには大半の MPU がこの技術を用いて製造されるに至った。さらに、次世代の線幅 45 ナノのプロセス技術を用いたプロセッサのデモンストレーションが 06 年 1 月に行われ、65 ナノの量産開始からちょうど 2 年後の 07 年 10 月に Intel Core 2 Quad プロセッサの量産がアリゾナ（ファブ 23）で始まり、イスラエル（Qiryat Gat のファブ 28）、ニューメキシコ（Rio Rancho のファブ 11X）へと順次広がった。このため、アリゾナ州の既存工場の敷地内に、30 億ドルの投資で世界初の線幅 45 ナノの新工場が建設されるなど、ファブの新設・改修が相次ぎ、オレゴンを除く上の 3 工場の投資総額は 80 億に達するとみなされた。¹⁴⁴ この結果 08 年末には、MPU 生産の大部分は 300 ミリ 45 ナノの製造技術を採用するに至った。

しかし休む間もなくインテルは、09 年中には次世代の 32 ナノ技術を用いた PC 向け MPU（開発コード名：Westmere）の量産を開始する予定と発表した。AMD に対する優位をさらに強固にするため新世代 MPU の量産を急ぎ、09 年 2 月中旬には、オレゴン、アリゾナ、ニューメキシコの各州にある既存 4 工場の設備の更新に、10 年までに総額 70 億ドルを投ずる計画を公表した。これまた新規製造プロセスへの投資額としてはインテル史上最大級のものであった。¹⁴⁵ このほか、07 年 3 月には、アジアではじめて中国大連に前工程工場（300 ミリウエハー対応のファブ 68）の建設が発表された。インテルが新たな地域にウエハーハブを建設するのは、92 年のアイルランド以来のことであった。

インテルが巨額の投資を通じて自社内部に製造施設を維持し、垂直統合と完全所有子会社からなるグローバルな生産体制を堅持した主たる原因は、MPU の製品設計とプロセス技術との間には密接な関連があり、高速かつ高集積度の最先端製品を設計するには、最先端のプロセス技術が必要だったことにある。¹⁴⁶ 事実、インテルはその設計に際して、標準的な部分には既製

¹⁴³ 『インテル社プレスリリース』2007 年 9 月 19 日。

¹⁴⁴ なお、このほか国内ではフラッシュメモリーの生産能力不足に対して、ロックウエルの 2 工場の買収やオレゴン州のロジック生産ラインの転用、アリゾナ州チャンドラー工場のライン増設などをはかった。また、DSP の強化のため DSP コミュニケーションズを買収したほか、イギリスのケンブリッジ・シリコン・ラジオ（CSR）にも資本参加、アナログデバイスと新アーキテクチャの共同開発で合意している。『日本経済新聞』2007 年 2 月 27 日、『日経産業新聞』2007 年 2 月 28 日

¹⁴⁵ 『インテル社プレスリリース』2009 年 2 月 10 日、『日経産業新聞』09 年 2 月 13 日

¹⁴⁶ その背後には MPU という製品のアーキテクチャ上の特質があった。すなわち MPU はプロセッサの中でも最も汎用性が高く、汎用的な演算をできるだけ高速で行うよう設計されているが、処理速度が速ければ速いほど最先端プロセスを利用した回路設計を行う必要があり、製品設計と工程設計が密接に連動することになる。この点は汎用メモリー（DRAM）ではさらに顕著であり、製品設計と工程設計の間には密接な相互調整が要され、従って IDM モデルが一般的となる。これに対して ASIC の設計に当たってはロジ

の市販されている設計ツールを利用したが、最も革新的で複雑な部分には、同社の最先端微細加工技術を前提とした自社開発のツールを使っていた。そこには微細加工のレベルが高ければ高いほど、集積度の高い製品設計が可能になるという関係があり、このためインテルは自社内に製造能力を堅持し、巨額の投資を通じてプロセス技術の開発に全力を投じたのである。そのうえ、完成した設計図が速やかに量産に移され、高い歩留まりを達成するために、新たに設計されたチップごとに製造工程を最適化し、特定の工程に特化した専用機械を採用したり、作業組織を再編成したりして生産のステップ数などを削減、生産効率を上昇させ、製造コストを引き下げようとした。同時に、プロセス技術を正確に他の工場にもコピーする（コピー・イグザクト）手続きを確立し、従来、他の工場へ製造技術を移転することに歩留まりが低下した問題を解決しようとした。¹⁴⁷ このようなことが可能であったのは、自社内部に製造能力を持っていたからに他ならない。こうしてインテルは、その営業報告書において、製造と組立・検査施設の自社ネットワークからなる垂直統合体制がプロセス、品質管理、コスト、生産量、生産のタイミングなどに対するより直接的なコントロールを可能にし、競争上の優位を与えること、そして、自らチップを作る能力を持った会社が最小のチップ上に最大の機能を搭載した設計のコンパクトで優れた設計のチップを提供でき、逆に、製造能力を持たない会社はより大きなチップを販売しているという認識を示していた。¹⁴⁸

最後にいまひとつ、投資に対する積極姿勢の原因としては、DRAMにおいて日本企業に敗退した一因が設備投資の遅れにあったと認識されたこと、また、その後は元会長のグローブ氏が述懐しているように、インテルがつねに最新鋭製品の生産能力の不足に悩まされてきたという歴史もあった。¹⁴⁹

こうしてインテルは最新鋭生産技術の開発に努めた結果、初期ほどファウンドリーに対して大きな生産技術上の優位を誇った。¹⁵⁰ ファウンドリーは多くの顧客の多様な需要にこたえる生産システムを敷いているため、その設備や製法はある特定のメモリーデバイスに最適化されるというよりは、ある程度の汎用性を持っていたためである。このような環境の中でインテルがウエハーを外注するとすれば、自社のもつ戦略的な製造技術も移転しなければならないであ

ックの機能を競う反面、最先端のプロセス技術の必要はなく、むしろ設計が製品の能力を決める程度がきわめて大きかったため、設計と製造との間の情報のフィードバックもDRAMほど必要とされなかった。ここでは設計と製造との分離が比較的容易だったのである。以上主として、立本・藤本・富田（2009a）および（2009b）による。またDRAMにおける設計と製造の密接な連携の実態については鈴木良始・湯之上隆（2009）を参照。

¹⁴⁷ 以上、パーゲルマン（2005）302-4, 473-5, 497-8頁。だが、実際には、同じ目的の装置でも各機械の個性の差のため、工場間での歩留まりは異なったといわれる。鈴木良始・湯之上隆（2009）99頁。

¹⁴⁸ Intel, *Form 10-K*, (2006), UNCTAD (2002) p.126

¹⁴⁹ *Harvard Business Review*, Sep-Oct. 1991, 140-161

¹⁵⁰ これは汎用メモリーでもほぼ同様であり、2001年頃のDRAMの平均価格は統合企業の方がファウンドリーを下回ったと推定されている。以下、Leachman and Leachman（2004）p.219による。

ろう。しかし、これには技術漏洩の危険が伴うことから、インテルが外注化には消極的だったという面もある。その後ファウンドリーは、すでに論じたように、急速にその技術力を向上させ、インテルとの関係も後にふれるような変化が生じた。

このように IDM 戦略がインテルにとって望ましいものであったとしても、それを維持するには巨額の費用を要した。これが可能であったのは、何よりもインテルの絶大な資金力に基づいた。すでにふれたように、半導体技術の高度化、ウェハーの大口径化と微細加工の進展により、最先端の製造技術の開発と最新鋭設備の建設には巨額の投資を要し、これをまかないうるのはごく少数の巨大企業のみであった。インテルは 300 ミリウェハーを使って MPU を作るには、年間 50~60 億ドルの売り上げがないと投資資金の回収が不可能だと判断していた。今後さらに大口径化が進み、直径 450 ミリの製造施設が一般化すると、世界で半導体工場（前工程）を持つことが可能な企業は、現在の数十から MPU のインテル、メモリーのサムスンそしてファウンドリーの TSMC など十未満に限られるとの推測も公にされている。インテルは MPU 市場における独占的な地位を通じて価格を支配し、巨額の販売ともあいまって巨大な利益を獲得、建設コストを回収したばかりか新投資資金を蓄積した。巨額の設備投資を続けたにもかかわらず、2004 年度で 80% と TSMC などと並ぶ業界最高水準の高い自己資本比率を維持し、大型投資を行いうる優れた財務状況を誇っているのである。¹⁵¹

しかし、そのインテルも、09 年 3 月には低価格のパソコンなどに使われる小型、省電力の MPU「アトム」の開発・生産で TSMC と提携するという重要な発表を行った。インテルが「アトム」のチップデザインを TSMC に供与し、TSMC はこれを組み込んだ独自のシステムチップ（SoC）を設計、携帯電話、インターネット接続機器や家電など広範囲の機器に搭載できる半導体に仕上げるというのである。インテルが生産委託に踏み切った背後には、パソコン向け MPU 需要の低迷から、携帯電話、家電向けなど新たな市場を開拓する必要に迫られたが、これらの市場ではシステムメーカーによって半導体の仕様が異なり、それぞれに対応しなければならないという事情があった。これらの分野でインテルは不慣れであり、むしろすでにクアルコムや TI 向けに SoC を製造した経験を持つ TSMC と提携した方が、投資リスクを回避しながら、新市場の獲得が容易になるほか、新たな需要の掘り起しにも有効、TSMC は稼働率の引き上げにつながる。果たしてこれが「アトム」にのみ限られるのか、それともインテル全体の垂直統合路線に影響を及ぼすのか、きわめて注目される。¹⁵²

¹⁵¹ 日本政策投資銀行（2006）54 頁

¹⁵² 『インテルプレスリリース』09 年 3 月 3 日、『日経産業新聞』09 年 3 月 3 日～4 日

むすびにかえて

このように、1980年代後半以降のアメリカ半導体産業においては、台湾を中心に急成長をとげたファウンドリーに製造を委託し、自らは設計へ集中する新たな潮流が生まれた。もっともその度合は製品の種類によって強弱の差があり、MPU や DRAM（韓国企業）では IDM モデルが堅持される一方、ASIC やプロセッサの一部では分離モデルが支配的になりつつある。しかもこの分離モデルを軸とした半導体産業のグローバル展開は、近年の深刻な不況に端を発する経営破綻や事業再編成のなかで、世界的にますます拡大している。¹⁵³ インテルは 09 年初頭の世界的な工場合理化計画の発表と同時に、¹⁵⁴ 「アトム」の TSMC への生産委託を発表した。また、AMD も製造部門を自立化させた。さらに、世界のなかで垂直統合の度合いの高いわが国半導体産業でも変化がみられた。売上高世界第 3 位の東芝は、2009 年 1 月に「半導体事業の構造改革」を発表し、製品種類の絞り込みと生産拠点の再編計画を発表、その一環として後工程の世界的展開の推進を発表した。また秋には、売上高の 40% を占める最先端のシステム LSI 生産を外部委託することを検討すると発表した。これを機に、東芝のファブレス化をめぐる動きが新聞紙上を賑わした。¹⁵⁵ また、エルピーダメモリは、自社が競争優位を持つプレミア DRAM については統合生産を維持する一方、汎用 DRAM は設計のみを行い、生産は台湾企業に委託するとの方針が伝えられている。

このような「垂直分裂」を中心とするグローバルな事業展開は、パソコンなど他の IT 製造業からコンピュータ・ソフトウェア、同サービスなど関連産業にも広がった。かくて IT 産業は国際分業を積極的に利用して製造を外部化し、製品開発と販売に集中して高成長と高利益を実現する、新しい産業発展と企業経営のモデルを確立した。とくに半導体企業は、これを通じ

¹⁵³ 価格低下のとりわけ著しかった DRAM 分野では、09 年 1 月に世界第 5 位の DRAM メーカー（2008 年のシェア 10%）、ドイツのキマンダ（インフィニオン・テクノロジーズの子会社）が破綻し、翌 2～3 月には、米 AMD とわが国の富士通の合弁企業である NOR 型フラッシュメモリー大手のスパンションが日本法人スパンション・ジャパンともども経営破綻した。また、わが国唯一のメモリー専門メーカーであり、DRAM 大手（2008 年世界 3 位、シェア 15%）のエルピーダも業績不振と事業再構築のため、経済産業省の認定を受け、主要取引銀行の協調融資などを獲得して、経営の再構築をはかるに至っている。

¹⁵⁴ オレゴンの老朽化した 200 ミリウエハー設備の廃棄に加え、カリフォルニア本社に構える工場でも半導体製造から撤退する。組立・検査では、フィリピン、マレーシアなどの 3 工場が閉鎖され、他拠点への人員の移転などを経て、最終的には 5000 人の労働者が削減されることになるという。また、2 月はじめには上海の半導体組立工場を閉鎖し、成都工場の稼働率引き上げのため、これに統合すると発表した。しかし、中国ビジネス全体に変化はないとして、インテル中国には 1.1 億ドルの追加出資を発表したほどだった。『インテル社プレスリリース』2009 年 1 月 22 日、3 月 3 日、『日経産業新聞』09 年 1 月 22 日～23 日、2 月 6 日

¹⁵⁵ 『日本経済新聞』09 年 9 月 7 日の記事では、東芝はシステム LSI の生産をチャータードないしグローバルファウンドリーに 2010 年から生産を委託する方針であり、自らは競争力を持つフラッシュメモリー分野に集中するとされていた。この報道に対し、東芝自身は「自社生産能力を超える分の外部生産委託について検討している」とのみ応じている。<http://www.toshiba.co.jp/about/ir/jp/news/20090907.htm>

て設備投資と資金調達のリスク、工場運営などの負担を回避し、自らの最大の弱点であったコストや品質などの問題を「解決」する一方、競争上の優位があり、高価格で高利潤をあげうる ASICS や MPU などの開発と設計に人材と資金を重点的に振り向けることが可能となった。これが 90 年代の景気拡大やパソコン・IT ブームとともに、米半導体産業の「復活」に貢献したことはほぼ疑いないであろう。¹⁵⁶

以上の「垂直分裂」の広がりとともに、かつて半導体開発のパイオニアとして生産と輸出で圧倒的な世界的シェアを誇ったアメリカは生産拠点として地位を大きく低下させた。とはいえ、アメリカが現在でもなお世界の 2 割の生産能力と工場数の 3 割(12 インチウエハー工場ではそれぞれ 32%、14%:2006 年 10 月現在)を誇る有数の半導体生産国であることも間違いない。¹⁵⁷ これは 2000 年代半ばの貿易統計からもうかがえる。

アメリカの半導体輸出は 90 年代にめざましく増加した後、2000 年以降も輸入を上回り、貿易黒字を計上したほどだった。輸出構成は 90 年代初頭と変わりなく、2005 年の時点でもその 70%は未完成の組立用のウエハーとチップ、製品別には MPU、DSP、アナログなど高価格の技術・デザイン集約的デバイスであった。一方、輸入の方はコンピュータ用メモリーを中心とする完成品が 80%以上を占めた。

貿易黒字化の主たる原因は、第 1 に、アメリカの輸出の中心を占める MPU や DSP、その他の特殊化されたロジック素子など高価格の技術・デザイン集約的デバイスの需要が相対的に安定し、価格も高水準に維持された反面、アメリカが日韓等から購入しているコンピュータ用メモリー (DRAM,SRAM) 価格は供給過剰により急落したため輸入金額が低下したこと、第 2 には、アメリカのエレクトロニクス、通信機器メーカーがアジアにおいて生産を増加させ、米国内にあった工場を中国などへ移転したため、アメリカの半導体輸入が減少したことがあげられた。前者は、インテルに代表される巨大な IDM や外販大手メーカーの一部、そこから分離した製造会社が高付加価値のウエハーを米国内で製造し、輸出している結果であった。また、外国企業を含め、多くの半導体企業にとって米国内の生産拠点は先端的な新製品と生産技術開発の不可欠なプラントとしても機能している。こうして米国は最先端製品の設計と低下しつつあるとは言え、先端ウエハーの製造拠点として地位をなお維持し、そこから大きな利益を上げているのである。¹⁵⁸

¹⁵⁶ Langlois and Steinmueller (1999) pp.50-51

¹⁵⁷ 湯之上隆 (2009) 81-84 頁。世界のウエハー生産能力に占めるアメリカの地位は 2007 年には日本はもとより、台湾、韓国を下回ったとの推計もある (前掲、第 3-10 表)。湯之上 (2009) 84 頁の世界の半導体企業の生産能力ランキング (2006 年 10 月現在) でも、10 位以内に入った米企業はインテルとメモリー専業のマイクロンの 2 社にとどまった。

¹⁵⁸ 以上の半導体貿易については、Canavan and Johnson (2002) pp.30~38 を参照。貿易黒字については品目別分類の問題とする見解もある。すなわち、米企業はアメリカから「半導体・関連部品」に含まれる

しかし、21世紀に入ると、設計サービスの一部がアジアへオフショアリングされたり、アメリカとカナダ、台湾などの国々の企業（自らの子会社を含む）との間で多国間設計チームが形成されたりするという新たな現象が生じた。これを指摘した米政府説明責任局（Government Accountability Office:GAO）の報告書によれば、半導体産業のグローバルな事業展開は、1960年代から80年代に第1段階の組立の海外シフト、1980年代～2000年代には第2段階のウエハー製造の海外シフトを経て、2000年代から2005年には設計の一部のアジアへのシフトという第3段階に入ったとされた。¹⁵⁹ これにともなう、設計はアメリカやカナダ、台湾で行われ、これをもとに台湾、中国でウエハーが製造され、完成されたウエハーが組立・検査のためさらに、フィリピン、中国、マレーシアへと送られるという複雑なグローバルな生産連鎖が形成されたというのである。

設計の一部がアジアへシフトした原因は、アジアの顧客それぞれの要請に応ずること、また、半導体の製造がより複雑になると、設計と製造との間でよりいっそう密接な関連を維持する必要が高まることに求められている。GAOはむしろ生産や雇用、輸出におけるアメリカ半導体産業の強さを重視し、大学や研究機関ならびに経験ある労働力のプール、競争的なビジネス環境から知的所有権の保護、巨大な国内市場など、これを支えるアメリカの経済社会の特質から、設計のオフショアリングが急速に進むことに否定的であるかのようにも思われる。このように、設計活動のオフショアリングが今後どこまで進むのかは明らかではないし、半導体産業にグローバル展開の第3段階が到来するののかも断言できない。

設計活動の外部化についてはあらためて論じるが、しかし、その一部のアジアへのオフショアリングや多国間開発チームの形成は半導体の製造のみならず開発コストが巨大化し、それに必要な投資額が多く企業の能力を超える水準にまで上昇した結果であることは疑いない。このため、世界の少なからぬ企業が設計や製造、次世代生産技術の開発で連携に走っているのあり、同様の関係は環境技術などをめぐる自動車産業でも生じている。半導体産業におけるグローバルな事業展開も、産業技術高度化の影響を受けて今後いっそう推進されるに違いない。

(2009.11.17)

(本稿は、平成20年度専修大学長期国内研究による成果の一部である)

半製品の「非装填チップ」や「ウエハー（前工程）」の輸出を増やす一方、これを組立済みのプリント基盤である「その他電子部品」（「半導体・関連部品」とは別項目）として輸入した。その結果、「半導体・関連部品」の輸出は大幅に増加し、その輸入の伸びが大幅に鈍化したため2000年にはこの項目の収支は大きく改善したが、その一方、「その他電子部品」では輸入の激増により、「半導体・関連部品」の改善分とほぼ同額の赤字が増加した。このため、「電子部品・付属品」全体としては、90年代後半にごくわずかな収支改善にとどまったという。米国商務省（2002）130～131頁

¹⁵⁹ GAO（2006）p.10.

【主要引用・参考文献】

- Angel,D.P. (1994) *Restructuring for Innovation, The Remaking of the U.S. Semiconductor Industry*, The Guilder Press., New York,London.
- Borrus, M., Millstein,J.E. and Zysman, J. (1983) “Trade and Development in the Semiconductor industry: Japanese Challenge and American Response”, in Zysman, J. and Tyson,L ed., *American industry in International Competition*, Cornell University Press, Ithaca and London.
- Canavan,T.H., Carr,R and Johonson, C. et.al. (2002) *Factors affecting U.S. Trade and Shipment of Information Technology Products: Computer Equipment, Telecommunications Equipment and Semiconductors*, U.S. International Trade Commission, Office of Industries Working Paper, February 2002, Washington, D.C.
- Dhayagude, Tushar, et.al (2001) “Is the IDM Model Doomed__, Emergence of the Fabless-Foundry Model in the Semiconductor Industry”, Kellogg Graduate School of Management, Northwesetrn University, Evanston, IL
- Dicken, P. (2007), *Global Shift, 5th. ed.*, The Guilford Press,New York.
- Dorfman,N. S. (1987), *Innovation and Market Structure*, Ballinger Publishing co., Cambridge, Massachusetts,
- Flamm,K. (1985) “Internationalization in the Semiconductor Industry”, in Grunwald, J. and Flamm, K. *The Global Factory :Foreign Assembly in International Trade*. The Brookings Institution, Washington, D.C.
- Finan,W.F., 1975, *International Transfer of Semiconductor Technology Thorough U.S.-Based Firms*, National Bureau of Economic Research, Working Paper No.118, New York.
- Henderson,J.(1989) *The globalisation of high technology production: society, space, and semiconductors in the restructuring of the modern world*, Routledge, London and New York
- Hurtarte,J.S. et,al. (2007), *Understanding Fabless IC Technology*, Elsevier Inc, Amsterdam, Boston.
- Leachman,R.C. and Leachman,C. H. (2004), “Globalization of Semiconductors: Do Real Men Have Fabs, or Virtual Fabs ? ” in Kenny,M with Florida,R. ed. *Locating Global Advantage: Industry Dynamics in the International Economy*, Stanford University Press.Stanford,California

- Langlois,R.N. and Steinmueller, W.E. (1999) “The Evolution of Competitive Advantage in the Worldwide Semiconductor Industry, 1947-1996”, in Mowery, D.C. and Nelson, Richard R., *Sources of Industrial Leadership*, Cambridge University Press.
- Mazurek,J. (1999) Making Microchips: policy,globalization, and economic restructuring in the semiconductor industry, The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England
- Macher,J.T, Mowrey, D.C. and Hodges,D.A. (1997), Mowrey, D.C., ed. US Industry 2000: Studies in Competitive Performance, National Academy Press, Washington,D.C.
- Scott.A.J. (1987) “The Semiconductor Industry in South-East Asia: Organization, Location and the International Division of Labor”, *Regional Studies*, Vol.21.2
- Scott,A.J. and Angel, D.P. (1987) “The U.S. semiconductor industry: a locational analysis” *Environment and Planning A*, vol.19, 1987
- Scott,A.J. and Angel,D.P. (1988) “The global assembly-operations of US semiconductor firms:a geographical analysis” *Environment and Planning A*, vol.20
- U.N. Centre on Transnational Corporations (1986) *Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry*, United Nations, New York.
- UNCTAD (2002), World Investment Report, United Nations, New York
- U.S. Department of Commerce, Industry and Trade Administration (1979), *A Report on the U.S. Semiconductor Industry*, U.S. GPO, Washington, D.C.
- U.S. International Trade Commission (2008) Harmonized Tsriff Schedule of the United States. Washington, D.C.
- U.S. Government Accountability Office (2006), Report to Congressional Committees, *Offshoring, U.S. Semiconductor and Software Industry Increasingly Produce in China and India.*, Washington, D.C.

新井光吉 (1996) 『日・米の電子産業』白桃書房

井出正介、高橋文郎 (2000) 『経営財務入門』日本経済新聞社

稲垣公夫 (2001) 『EMS 戦略』ダイヤモンド社

王叔珍 (2004) 「半導体企業における生産方式選択の決定要因—台湾における企業行動からの考察」、『国際ビジネス研究学会年報』

王叔珍 (2005) 「台湾半導体産業における企業間システム—取引関係を中心として—」、『国際ビジネス研究学会年報』

- オキモト、ダニエル・I., 菅野卓雄、ワインスタイン、F.B. 編著 (1985) 土屋政雄訳『日米半
 導体競争』中央公論社
- 唐津一 (1986) 『空洞化するアメリカ産業への直言』 PHP 研究所
- 呉團昆 (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』第 13 号
- サクセニアン、アナリー (1995) 大前研一訳『現代の二都物語』、講談社
- 佐藤幸人 (2007) 『台湾ハイテク産業の生成と発展』岩波書店
- ジャクソン、ティム (1997) 渡辺了介・弓削徹共訳『インサイドインテル』翔泳社、1997 年
- ジョーンズ、ジェフリー (2007) 安室憲一・梅野巨利訳『国際経営講義—多国籍企業とグロー
 バル資本主義』有斐閣
- 末永啓一郎 (2007) 「半導体産業における垂直非統合のプロセスと要因分析」、『城西大学経営
 紀要』第 3 号
- 鈴木直次 (2009) 「アメリカ IT 産業の成立と世界的展開」(馬場宏二・工藤章編『現代世界経
 済の構図』ミネルヴァ書房)
- 鈴木良始・湯之上隆 (2008) 「半導体製造プロセス開発と工程アーキテクチャ論—装置を購入
 すれば半導体は製造できるか—」、『同志社商学』第 60 巻 3・4 号
- セルージ、ポール・E (2008) 宇田理・高橋清美監訳『モダン・コンピューティングの歴史』
 未来社
- ソーベル、ロバート (1982) 青木栄一訳『IBM』ダイヤモンド社
- タイソン、ローラ・D. (1993) 竹中平蔵監訳・阿部司訳『誰が誰を叩いているのか』ダイヤモ
 ンド社
- 高山予志子 (2001) 『レーバー・デバイド』日本経済新聞社
- 立本博文・藤本隆宏・富田純一 (2009a) 『アーキテクチャのダイナミズムと国際競争力の構築
 —半導体産業のアーキテクチャ分析』 MMRC, Discussion Paper Series, No.250.
- 立本博文・藤本隆宏・富田純一 (2009b) 「プロセス産業としての半導体前工程—アーキテクチャ
 変動のダイナミクス」(藤本隆宏・桑島健一編『日本型プロセス産業』有斐閣)
- 谷光太郎 (2002) 『日米韓台半導体産業比較』白桃書房
- 玉置直司 (1995) 取材・構成『インテルとともに—ゴードン・ムーア私の半導体人生』日本経
 済新聞社
- 通産省機械情報産業局監修日本電子計算機株式会社編著『JECC コンピュータノート』各年度
 版
- 日本政策投資銀行 (2006) 「半導体産業の国際競争力回復に向けた方策」、『調査』90 号

- プレスジャーナル『日本半導体年鑑』各年度版
- 長谷川丈一（2005）『半導体』誠文堂新光社
- バーガー、スザンヌ（2006）楡井浩一訳『グローバル企業の成功戦略』草思社、2006年
- バーゲルマン、ロバート・A.（2006）石橋善一郎・宇田理監訳『インテルの戦略』ダイヤモンド社、2006年
- 法政大学比較経済研究所・佐々木隆雄・絵所秀紀編（1987）『日本電子産業の海外進出』法政大学出版局
- 米国商務省（2004）室田泰弘訳『デジタル・エコノミー2004』東洋経済新報社
- 米国商務省（2002）室田泰弘編訳『デジタル・エコノミー2002/3』東洋経済新報社
- 丸川知雄（2007）『現代中国の産業一勃興する中国企業の強さと脆さ』中公新書
- 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『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣）
- 八井田収（2005）「中規模半導体企業のグローバル競争戦略」『国際ビジネス学会研究年報』2005年
- 湯之上隆（2009）『日本「半導体」敗戦』光文社
- リード、T.R.（1986）鈴木主税・石川渉訳『チップに組み込め！』草思社
- ローウェンスタイン、ロジャー（2005）鬼澤忍訳『なぜ資本主義は暴走するのか』日本経済新聞社