

台湾半導体産業におけるファウンドリ・ビジネスの発展
－発展経緯，成功要因，TSMC と UMC の比較－

公益財団法人アジア成長研究所

岸本 千佳司

Working Paper Series Vol. 2015-08

2015 年 3 月

この Working Paper の内容は著者によるものであり、必ずしも当センターの見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で引用、再録されてはならない。

公益財団法人アジア成長研究所

台湾半導体産業におけるファウンドリ・ビジネスの発展 ー発展経緯, 成功要因, TSMC と UMC の比較ー

岸本 千佳司 (KISHIMOTO Chikashi)

公益財団法人アジア成長研究所

E-mail: kishimoto@agi.or.jp

要 旨

本研究の目的は、台湾半導体産業における垂直分業体制、とりわけファウンドリ・ビジネス（ウェハプロセスの受託製造業）の発展について、その歴史的経緯、成功要因を業界トップ企業の TSMC の事例を念頭に置き分析することである。その結果、ファウンドリの台頭は決して簡単に実現されたわけではなく、その時々指摘された「限界」や「困難」をビジネスモデル上のイノベーションによって乗り越えてきたことが示される。ファウンドリ・ビジネスの発展史は少なくとも3段階に分けられる。①「ファウンドリ・ビジネスの初期モデル（1987年～1990年代半ば）」ー専業ファウンドリの基本的な利点を活かした比較的単純なサービスの提供が特徴。当初、既存大手メーカーからのおこぼれの仕事が主で、誕生間もないファブレス業の成長を刺激した。②「ファウンドリ・ビジネスの成長：技術・生産能力の発展（1990年代後半頃から）」ー顧客ファブレスの成長（その背景にある PC・周辺機器等の応用製品市場の成長）と連動。また、プロセス技術を体化した新式製造装置の導入で技術的キャッチアップが容易となった。工場拡充による規模の経済実現も進められた。③「ファウンドリ・ビジネスの成熟：ソリューション・ビジネスへ（2000年代以降）」ーファウンドリ・ビジネスは、専業の基本的利点、先端プロセス開発推進、大規模生産能力構築に加え、顧客への設計支援サービスを核とするソリューション提供に着手した。その内容は年々豊富になり、半導体バリューチェーン上の他の専門企業および主要顧客とのパートナーシップの構築・深化が進んだ。現在までに、専業の利点を徹底的に追求し、同時に顧客ファブレスやアライアンス・パートナーを含む他の専門企業の成長を促し、相互に支えあい、各分野でのイノベーションを刺激し、全体として半導体設計・製造のエコシステムを繁栄させる上で、ファウンドリは、IDM 中心の産業システムよりも有効であったことが認められる。

加えて、近年ファウンドリ業界でも企業間の格差が目立ってきている。本研究では、それをファウンドリ・ビジネスにおける成長の「正の循環」が形成された結果として捉え、この具体的状況を TSMC と台湾ファウンドリ 2 番手 UMC との業績比較を通して検討する。2000 年代初頭まで概ね互角と看做されていた両社は、その後、収益性で差が開いていった。設備投資額や研究開発支出でも差が出ており、これが先端プロセス開発と量産立ち上げの遅速に影響を与えている。生産能力拡充と設備稼働率でも TSMC が UMC を上回っている。これがまた収益性の違いに繋がり、次第に格差が拡大していったのである。

キーワード：台湾半導体産業、垂直分業、ファウンドリ、TSMC、UMC

目 次

1. はじめに：課題と分析視角	1
2. 台湾ファウンドリの発展概況	4
3. TSMC のビジネスモデルの展開：パートナーシップを通じたサービスの拡充	7
3.1 ファウンドリ・ビジネスの初期状況	7
3.2 ソリューション・ビジネス	8
3.3 パートナーシップの拡大・深化	11
4. ファウンドリ・ビジネスの成功要因	15
5. ファウンドリ間の格差拡大：TSMC と UMC の比較分析	20
5.1 収益性	21
5.2 設備投資額と研究開発支出	23
5.3 プロセス世代の進化	25
5.4 生産能力と稼働率	27
5.5 UMC の巻き返しに向けた戦略	29
6. まとめ	31
参考文献	33

台湾半導体産業におけるファウンドリ・ビジネスの発展 — 発展経緯, 成功要因, TSMC と UMC の比較 —

岸本 千佳司

1. はじめに：課題と分析視角

近年、半導体産業における分業化・専門化およびオープン化・標準化へというビジネストレンドの中で、日本企業が凋落し、かわって台湾や韓国の企業が台頭してきている。本研究は、台湾に焦点を当てる。台湾は、こうしたビジネストレンドの変化を踏まえファブレスとファウンドリの分業を核とする垂直分業体制を構築し、主にロジック IC やシステム LSI の分野で市場シェアを伸ばしていった。本研究の目的は、台湾半導体産業におけるファウンドリ・ビジネス（ウェハプロセスの受託製造業）の発展について、その発展の歴史的経緯、ビジネスモデルが成功した要因を業界トップの TSMC（Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, 台湾積體電路製造）の事例を主に念頭に置き分析することである。加えて、同じファウンドリ・メーカーでも、TSMC とそれ以下のメーカーの間で近年業績格差が目立ってきており、この原因を台湾ファウンドリ・メーカー2 番手である UMC (United Microelectronics Corporation, 聯華電子) との比較を通して分析する。

本研究の対象となる産業は半導体産業であるが、半導体にも色々種類があり、ここでは、集積回路（IC：integrated circuit）、なかでもロジック IC を主に念頭に置く。LSI（large scale integration）は IC の集積度が大きなものである。システム LSI とは、ある装置・システムの動作に必要な機能のすべて（あるいは大部分）を、1つの半導体チップに実装する方式である（ほぼ同義の用語として、SoC [System-on-a-Chip] がある）。¹ IC の生産工程は大別して5段階に分かれる。即ち、設計、フォトマスク製造、ウェハプロセス（「前工程」ともいう）、パッケージ、テスト（パッケージとテストを合わせて「後工程」ともいう）である。「ファブレス（fabless）」とは、自社の製造ラインを持たず IC の設計開発に特化した企業であり、「ファウンドリ（foundry）」とは、最も資本・技術集約的なウェハプロセスを受託する業態（およびそのメーカー）を指す。1980年代半ば以降、とりわけ1990年代後半以降に、半導体産業（上述のように、本研究では主にロジック IC、システム LSI 分野を念頭に置く。メ

¹ 従来はプラスチック基板上に複数のチップを乗せて配線接続する形をとっていたが、SoCではそれを統合し1チップとして提供する。これは半導体製造技術の進歩により、集積度が極度に向上したため可能となった。ロジック IC を核に、マイクロプロセッサ、各種のコントローラ回路やメモリなどを統合したチップが多く、携帯電話やデジタル TV など特定の用途向けである。システム LSI とほぼ同義だが、厳密には、システム LSI には、SiP (System-in-a-Package) も含まれる。SiP は SoC のように複数の機能をはじめから1枚のチップに作り込むのではなく、別々に作られた複数のチップを配線で繋いで一まとめにパッケージし、見かけ上1つのチップのようにしたものである。

モリやプロセッサ、アナログ IC など他の分野では状況が異なる) において設計と製造の分業トレンドが強くなり、これまでの「垂直統合型デバイスメーカー (IDM : integrated device manufacturer)」(生産工程 5 段階全てを自社内に有する形態) 主体の産業構造からファブレスとファウンドリの分業を核とする垂直分業体制優位へと転換していった。台湾企業はこの転換を担った勢力の重要な部分をなしており、IDM 中心の日本半導体メーカーの凋落は、一部はこのトレンドの変化に順応し損ねたことが原因である(半導体産業での台湾の台頭と日本の凋落の現状分析については、岸本, 2014 を参照せよ)。

とりわけ、1987 年創立の台湾の TSMC は、ファウンドリを専業で行うビジネスモデルを世界で初めて打ち出した企業である (IDM が生産ラインの余剰を埋めるために副業でファウンドリを行うことは以前からあった)。同社は、その後一貫してファウンドリ業界のリーディング企業の地位を保っており、また近年では Intel, Samsung と並んで世界の最大手半導体企業の一角をなしている。上述のように、本研究では TSMC の事例を念頭にファウンドリ・ビジネスモデルを分析する。

さて、ここで台湾半導体産業に関する既存研究をサーベイしよう。先ず、青木 (1999) は、筆者の知る限り、まとまった日本語文献としては最も早い時期に発表されたもので、1990 年代当時の台湾半導体産業の垂直分業と企業間ネットワークの状況、および半導体産業の立ち上げにおける政府の産業政策の影響と政府系研究機関・工業技術研究院 (ITRI : Industrial Technology Research Institute) による技術・人材面での貢献について包括的な分析がなされている。王 (2006) においても、政府の役割および生産システム・企業間分業関係に関する分析が主題で、前者に関しては、半導体産業黎明期の技術形成における政府と ITRI による研究プロジェクトの貢献やそこからの技術・人材のスピンオフによる半導体企業の設立の経緯が示されている。後者に関しては、半導体生産の 5 工程に沿った垂直分業体制 (王は「垂直非統合」という用語を使用している) が台湾で形成された過程と分業企業間の取引関係の経済学的考察がなされている。

このように台湾半導体産業は 1970 年代より政府主導で立ち上げが行われ、政府系研究機関の ITRI を核とした先進国からの技術導入、パイロットプロジェクトの実施、その成果のスピンオフによる半導体メーカーの設立、さらなる技術開発プロジェクトの実施とその成果の企業化というプロセスが 1990 年代まで続いた。やがて民間企業の成長により国家と ITRI の先導的役割は低下し、産業の担い手は民間にシフトしていった。この間の経緯を描いたものとして、佐藤 (2007) と朝元 (2011, 第 3 章) がある。とりわけ佐藤は、こうしたプロジェクトや企業化に関わった具体的な政府人員や技術者の視点にまで下りていき、その経緯と政治的・経済的背景を詳細に描き出している。

台湾で出版されている中国語文献では、筆者の知る限り、ITRI の産業経済與趨勢研究中心 (IEK : Industrial Economics & Knowledge Center) が毎年作成している『半導体 (工業) 年鑑』(ITRI-IEK, 各年版) が基礎資料として重要である。台湾半導体産業に関する全般的解説として、張・潘文淵文教基金會 (2006)、張・游 (2001)、財訊出版社 (2007)、財信出版社 (2010)

などがあり、個別企業のケーススタディとして、TSMCに関するもの（伍,2006）、MediaTekに関するもの（蔡,2007）、Phison（台湾ファブレス上位企業）に関するもの（藩,2011）がある。また陳（2008）では、社会学的観点から半導体産業の分業・ネットワークの構造と権力関係が分析されている。また、英語文献では、台湾半導体産業を支える主要企業や研究機関、科学工業園区の各々について解説した Tai & Cheng（2006）や、TSMC と UMC の経営スタイルの違いについて分析した Liu, Chu, Hung & Wu（2005）がある。

さて本研究は TSMC の事例を主に念頭に置いたファウンドリ・ビジネスの分析を課題とするが、TSMC に関する研究も幾つか先行業績がある。例えば、朝元（2014, 第 1 章）は、TSMC の誕生の歴史的経緯、TSMC の技術力（技術開発の具体的成果）、企業理念と競争力の源泉および企業戦略（SWOT 分析等）について言及し、同社の企業戦略について包括的な分析を試みている。呉（2005）は、TSMC と UMC の事例から、生産プロセスとナレッジ・マネジメントに踏み込みその競争優位の背景を分析している。立本・藤本・富田（2009）は、アーキテクチャ論を踏まえ、半導体設計プロセスの噛み砕いた解説を行い、また微細化が進行する中でのファウンドリ（TSMC）の競争力構築メカニズムについて分析している。とりわけ、プロセス製造装置産業での装置への技術の体化、大モジュール化（複数の装置の統合・調整）、装置間インターフェイスの標準化・オープン化と装置の高価格化が進む中、資金力と素早い投資回収を武器としたファウンドリが先端装置を積極的に導入し、技術的優位を獲得していった事情を解説している。田村（2013）は、ファウンドリによる次世代技術開発と新たなネットワーク構築が企業間関係の変化を促すことを指摘し、近年の TSMC と顧客である有力 IDM（Intel, ルネサス）との間のアライアンスの事例研究を通して、双方にとっての戦略的効果を分析した。ただし、以上の論文は、ファウンドリ・ビジネスモデルの内容自体への言及はあまり多くない。

これに対して、ファウンドリ・ビジネスモデルを中心に扱った業績もある。先ず、伊藤（2004）は、TSMC の歴史や業績推移に加え、同社の競争優位として、技術ポートフォリオ優位（様々なプロセスのニーズに応える幅広い技術力）、顧客への素早いサポート、他の専門企業とのアライアンスによる半導体製造全体をカバーするサービスの提供に言及している。またファウンドリ・ビジネスが合理性を持つ土台として、フレキシブルな専門企業間アライアンスの強み、自社の知的所有権公開（設計ライブラリ、製造プロセスの公開）と設計支援企業（IP や設計ライブラリのプロバイダー）とのアライアンスを通じたファブレスによるイノベーションの促進、顧客の増殖による不確実性の低下といった点について分析している。次に、荘（2010）は、TSMC のファウンドリ・ビジネスモデルについて焦点を当て、その特徴として、設計と製造のインターフェイス管理（設計サービス）、情報技術によるシステムの整合、アライアンスによるサービスの補完の 3 点を指摘する。また、ファウンドリ・ビジネスモデルの価値創造の原理として、顧客ニーズへの一致、製造段階の共有による「規模の経済」の発揮、IP の重複利用とライブラリによる「範囲の経済」の達成、共通の設計ツールと試作サービスによる「速度の経済」の提供、およびバーチャル組織による「集中

化と外部化の経済」の享受の5つをあげている。

これらの研究は何れも示唆に富んでおり、十分参考にすべきである。本研究では、既存研究であり触れられていない側面、即ち、**専門ファウンドリ・ビジネスモデル**が如何に誕生し、近年に至るまで、そのサービス内容、およびそれを支える**半導体バリューチェーン**上の**関連企業とのパートナーシップ**が如何に**拡大・深化**してきたかの**発展経緯**に主に焦点を当てる。また、**専門ファウンドリ・ビジネスモデル**が、その**発展過程**で何度か「**限界**」や「**困難**」を指摘されながらも、それを乗り越え成功と評されるに至った過程を分析し、そこから、現在までに**ファウンドリ・ビジネス**における成長の「**正の循環**」が形成されていることを見出す。さらに、近年、同じ**ファウンドリ・メーカー**でも業界トップの**TSMC**とそれ以下の**メーカー**の間で**業績格差**が目立ってきているが、この「**正の循環**」を念頭に置きつつ、**TSMC**と**台湾ファウンドリ・メーカー2番手のUMC**との比較を通してこうした格差が生じた**具体的状況**を明らかにする。

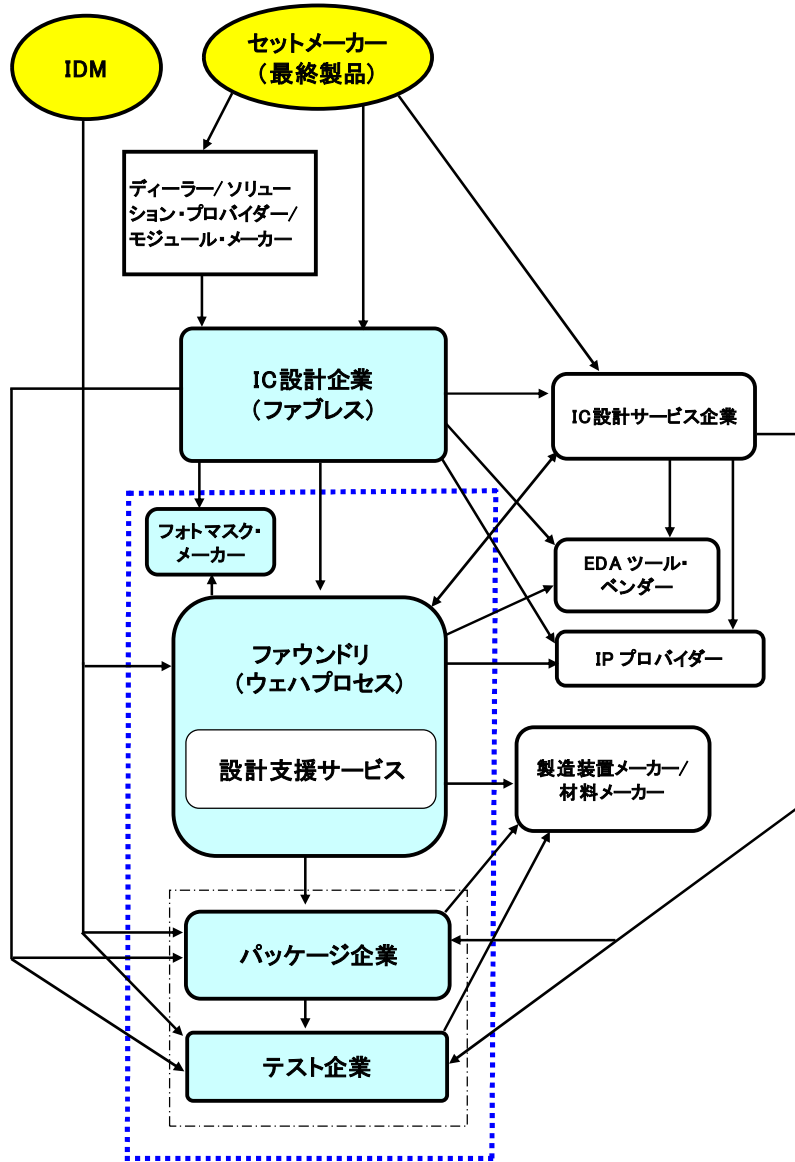
以下、第2節で、台湾における**ファウンドリ**の**発展概況**について解説し、第3節では、**TSMC**の**ビジネスモデル**の内容とその**発展経緯**を詳しく検討する。第4節では、**ファウンドリ・ビジネス**が、これまで何度か「**限界**」「**困難**」を乗り越え成長してきた理由を分析し、それを踏まえ、第5節では、**ファウンドリ・メーカー**間での**業績格差**の実態と背景を**TSMC**と**UMC**の比較分析を通して明らかにしていく。第6節は、まとめである。

2. 台湾ファウンドリの発展概況

台湾 IC 産業の最大の特徴は、設計、フォトマスク、ウェハプロセス、パッケージ、テストの5つの工程が各々専門特化した企業によって担われる**垂直分業体制**をとり（図1）、しかもそれら各工程で大きな世界シェアを占めていることであろう（表1）。IC 製造業における**ファウンドリ**とは、既に述べたように、**ウェハプロセス**（前工程）の**受託製造業**のことである。台湾は**TSMC**や**UMC**のような**専門ファウンドリ**を持ち（製品分野では、**ロジックIC**や**システムLSI**が中心）、**自社ブランドIC**の**製造・販売**をしないことで、顧客と競合することなく**サービス**を提供していることが大きな特徴である。ただし台湾 IC 製造業には、**IDM**で**自社製品**を製造している**メーカー**も含まれ（**メモリ・メーカー**）、またこうした企業の中に**兼業**で**ファウンドリ・ビジネス**を行っているものもある。なお、**IC 設計業**は**ファブレス**を指し、台湾企業は、**ファブレス**だけの**売上高世界企業ランキング**上位にも多数エンターリーしている。²

² 例えば、2013年のデータで、**ファブレス売上高世界ランキング Top 25**に、台湾からは**MediaTek**（4位）、**Novatek**（11位）、**MStar**（13位）、**Realtek**（16位）、**Himax**（19位）の5社が入っている。なお国・地域別では、**米国**が14社、**欧州**2社、**中国**2社、**シンガポール**1社、**日本**1社である（http://www.electronics-eetimes.com/en/fabless-chip-companies-ranked-by-2013-sales.html?cmp_id=7&news_id=222921061 より）。元ソースは**IC Insights**。

図1 台湾 IC 産業における垂直分業体制



注) 矢印は取引（発注→受注）の流れを示す。破線の枠は、ファウンドリ+バックエンド・サービス（前工程と後工程を一括で請負うサービス）の範囲を示す。
出所) 筆者作成。

TSMC は、1987 年に新竹科学工業園区内に設立され、当初から専業ファウンドリのビジネスモデルを堅持している。現在、ファウンドリ業界では世界最大手であり、IDM を含む半導体業界全体でもトップクラスの業績である。例えば、2013 年における TSMC の売上高は 198 億米ドルで、Intel (483 億米ドル)、Samsung (336 億米ドル) に次いで世界第 3 位である。ファウンドリ市場に限定すると、2013 年の世界市場でのシェアは 46.3% で、圧倒的な強さを誇る。また台湾ファウンドリ 2 番手の UMC は 1980 年に台湾初の本格的 IDM とし

2015 年 3 月 5 日閲覧)。

て設立されたが、1995年より専業ファウンドリへ転換した。それ以降、ファウンドリ世界市場シェアでもTSMCに次ぐ第2位の地位にあったが、2012年に米GLOBALFOUNDRIESとSamsungに抜かれ第4位となり、2013年はTSMC、GLOBALFOUNDRIESに次いで第3位となっている（図2参照）。2013年では、この台湾2社だけの合計で市場シェアの55.5%を占め、さらにPowerchip、Vanguard、Winbond等も含めた台湾企業全体の合計でファウンドリ世界市場シェアの70.3%を占める。このように台湾企業はファウンドリ分野で圧倒的な優位を持ち、またファブレス業でも米国に次ぐ世界第2位にあり（IC設計業世界市場シェア20.7%）、ここから台湾がファブレスーファウンドリ垂直分業モデルの牽引役を果たしていることが窺われる。

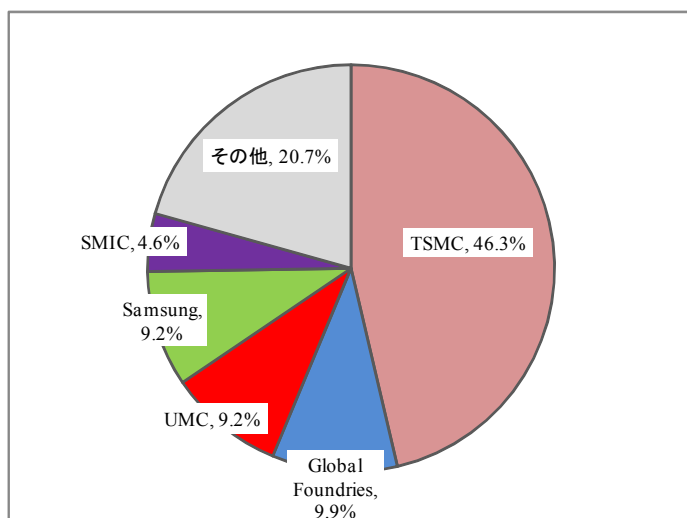
表1 台湾IC産業の生産額推移（単位：億元，%）

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2013世界シェア(%)	備考
IC産業生産総額	5,269	6,529	8,188	10,990	11,179	13,933	14,667	13,473	12,497	17,693	15,627	16,342	18,886	—	
IC設計業	1,220	1,478	1,902	2,608	2,850	3,234	3,997	3,749	3,859	4,548	3,856	4,115	4,811	20.7	世界2位
IC製造業	3,025	3,785	4,701	6,239	5,874	7,667	7,367	6,542	5,766	8,997	7,867	8,292	9,965	—	
ファウンドリ	2,048	2,467	3,089	3,985	3,735	4,378	4,518	4,469	4,082	5,830	5,729	6,483	7,592	70.3	世界1位
メモリ	977	1,318	1,612	2,254	2,139	3,289	2,849	2,073	1,684	3,167	2,138	1,809	2,373	—	
ICパッケージ業	771	948	1,176	1,566	1,780	2,108	2,280	2,217	1,996	2,870	2,696	2,720	2,844	—	
ICテスト業	253	318	409	577	675	924	1,023	965	876	1,278	1,208	1,215	1,266	55.2	世界1位
自社製品生産額	—	2,796	3,514	4,862	4,989	6,523	6,846	5,822	5,543	7,715	5,994	5,924	7,184	—	
国内販売率(%)	—	48.4	47.8	44.5	43.2	39.1	37.8	36.9	37.9	39.6	—	—	—	—	

注) この数値は海外生産を含む(ちなみに、やや古いが2007年における海外生産比率は、設計業で10.0%、ファウンドリで2.2%、パッケージ業で6.7%、テスト業で6.9%である)。自社製品生産額とは、IC設計業と製造業自社ブランド製品(メモリ)の売上高の合計である。

出所) ITRI-IEK (各年版) に基づき作成。

図2 2013年のファウンドリ世界市場における主要企業のシェア



出所) IC Insights の HP より作成 (2015年3月5日検索 <http://www.icinsights.com/news/bulletins/Top-13-Foundries-Account-For-91-Of-Total-Foundry-Sales-In-2013/>)。

3. TSMC のビジネスモデルの展開：パートナーシップを通じたサービスの拡充

本節では、TSMC の事例を主に念頭に置き、ファウンドリ・ビジネスモデルのこれまでの発展経緯を検討する。同社が、自社内の努力に加え、半導体バリューチェーン上の他の専門企業とのパートナーシップを強化することによって、半導体設計・製造の「エコシステム」を構築し、ファウンドリ・ビジネスモデルを強固なものにしていった過程を明らかにする。

3.1 ファウンドリ・ビジネスの初期状況

台湾半導体産業はロジック IC を中心としているが、これは産業立ち上げ当初、多額の投資を必要とする量産型のメモリやマイクロプロセッサよりも、多品種少量生産型のロジック IC が台湾国内産業の中小企業的性格に適合していると判断され、そうした技術の導入を選好したためである。実際、国内外のデジタル時計や電卓、電子雑貨、後には PC・周辺機器といった産業が台湾製 IC に市場を与えることとなる。TSMC は 1987 年に世界初の専門ファウンドリとして創業し、当初は見よう見まねで DRAM (メモリ) 製造に手を出したこともあるが、基本的には、こうした多品種少量型、中小設計メーカーによるロジック IC を念頭にファウンドリ・ビジネスを立ち上げた。ただし、当時、TSMC の生産能力を十分に稼働させるには国内顧客からの受注量は不足しており、米国シリコンバレーのファブレスから多くのオーダーを受け入れた (青木, 1999, 第 4 章)。1980 年代半ば当時は、米国には半導体設計専門会社、所謂ファブレスが 10~20 社ほど存在し、自社製品と競合しないで製造請負を専門にする半導体メーカーを必要としていたのである。専門ファウンドリの TSMC が設立されたことは、米国や台湾におけるファブレスの発展を促進することとなった。ただし、設立当初はファブレス業界自体が十分立ち上がっていなかったため、既存の大手半導体メーカーからのおこぼれの仕事 (自社生産能力不足時の一時的な外注) が仕事の大半だった。やがてその実績が認められ、またファブレス企業数も次第に増加してきたこともあり、1991 年頃から事業が好転していった。これ以降、TSMC の成長はファブレス業界の発展と二人三脚で進んでいったのである (チャン, 2000)。同社は、当初、先進国半導体メーカーと比べ技術力でも生産能力でも特別の優位性はなかったものの、1990 年代半ばまでは、専門ファウンドリの草分けとして低コストと専門の利点を活かし、競合もなく成長軌道に乗った。

ところが、1980 年に台湾初の本格的 IDM として設立された UMC が、1995 年には専門ファウンドリへと転換したため、専門 2 社間での競争が始まり、生産能力拡充と積極的受注への動きが刺激された。ここから規模の経済に基づくコスト優位性を競う時代となった。この中で、TSMC は、1999 年 12 月に 12 インチ (300mm) ウェハ対応工場「Fab 12」の建設を開始し、また 2000 年 6 月に半導体メーカー 2 社 (徳碁 [TSMC], 世大 [WSMC]) を吸収合併し、生産能力の拡大に務めた (伍, 2006, pp.126-127)。

ウェハプロセスの技術開発の面では、当初、台湾ファウンドリは世界の先進企業より 1 世代遅れで安く作るという戦略であった。その後、技術導入依存から自力開発重視への転換に

より急速にキャッチアップし、1999年以降（0.18 μm ）は微細化のペースで日米の先進企業にほぼ並んだ。このころから、単にコスト優位性のみで頼るのではなく、積極的に先端プロセス技術を開発し、その技術を量産ラインに導入する戦略へと移行したのである。また、ロジック IC に加え、システム LSI を製造する上で必要なミックスド・シグナル、DRAM、SRAM、フラッシュ・メモリ、高周波等の各種プロセス技術の開発にも取り組み、顧客の様々なニーズに対応できる幅広い技術基盤の構築を進めていった。³ 2000年代の初め頃には、かつて技術力で先行していた日本メーカーでも、特に CMOS ロジック・プロセスについては TSMC や UMC に追い抜かれたとの見方も出され、ファウンドリへの製造委託を増加し始めた（大石, 2001）。例えば、NEC は、2001年7月に主要なトランジスタ（ICの構成要素）の仕様を TSMC と共通化し、標準的製品の製造は同社に任せ、自らは高付加価値品へ集中するとの戦略を公表した（河合, 2001）。

3.2 ソリューション・ビジネス

ところで、2000年前後からプロセス微細化がこれ以上進むと、デザインルールを明確に定義することが困難になる可能性が指摘されていた。⁴ IC の高集積化の更なる進展により設計と製造の分離が困難となり、擦り合せ型アーキテクチャと相性の良い IDM に再び有利に働くようになるという予想がなされたのである。これに対して、TSMC は 1997年頃から顧客サービスを充実させ、これまでの単純な製造請負から顧客への包括的なソリューション提供のための準備を開始していた。同社は、ICT 技術を積極的に活用し、1998年に「バーチャル・ファブ」（コンピュータ上で技術開発から量産工場までをすべてシミュレートできる技術）を構築した（伍, 2006, pp.156-162）。さらに IP（Intellectual Property. 「設計資産」）を利用したシステム LSI に関して、⁵ 設計支援から製造までを総合的に請け負うビジネスモ

³ TSMC の研究開発は、全てが先端の CMOS ロジック技術の開発に向けられているわけではなく、先端ロジック以外の製造技術へも相応の注意が向けられ、それは現在まで続いている。後年の資料によれば、先端ロジック以外の分野は「Mr. ABCD」と呼ばれる。「M」が MEMS やマイコン、「r」が RF、「A」がアナログや車載用（Automotive）、「B」が BCD（bipolar, CMOS, DMOS）パワーデバイス、「C」が CMOS イメージセンサー、「D」がディスプレイを表している（Sun, 2009）。

⁴ 微細化とはシリコンウェハ上に細かな回路パターンを作り込む技術で、従来、技術進歩により IC の 1 チップに載る素子数は 18 ヶ月ごとに 2 倍になるといわれていた（「ムーアの法則」と呼ばれる）。微細化の程度は、IC を構成するトランジスタのゲート配線の幅または間隔で図られ、数年ごとに 5 μm →0.65 μm →0.18 μm →0.13 μm →90nm→65nm→45nm→32nm とプロセスの世代が進んできている。微細化の進展によって IC の集積度と動作速度は向上し消費電力は減少し、要するに IC の高性能化（同一性能なら低コスト化と小型化）に繋がる。

⁵ 通常、IC チップ面をいくつもの機能モジュールに分割し、其々独立に設計する。また一度作った機能モジュールはライブラリに登録し何度でも使い回すことで、設計生産性を向上させることができる。IP はこの機能モジュールのことで「セル」とも呼ばれる。IP 活用により、システム LSI（SoC）のような大規模で複雑な IC の設計・開発も効率的に実施できることとなる。IP の開発・販売を専門とする業者もあり、IP プロバイダーと呼ばれる。

デルを 2001 年より本格化させ、年々拡充していった。その主な内容は、第 1 に、システム LSI の設計ライブラリ（設計に必要な具体的な回路のデータ等が収容されている）の品質向上や拡充に向けた取り組みである。即ち、設計ライブラリ評価プログラム「Library-9000」の構築であり、これによりサードパーティによるライブラリの品質向上とチップ設計者による最適なライブラリの選択が可能となる。第 2 に、顧客の IC 設計を支援するための IP の整備に着手した。また自社製造プロセス対応の IP 開発元（IP プロバイダー）の組織化にも乗り出し、品質を顧客に保証する仕組みを整備した。これには、IP 検証を効率化する「CyberShuttle」（比較的 low コスト・短期間で出来るテストウェア試作サービス）と「IP Alliance」（世界中の多数の IP プロバイダーとのパートナーシップ）の結成が含まれる。第 3 に、TSMC のプロセスに対応した EDA（Electronic Design Automation）ツールの拡充とデザインルールの標準化である。このため Synopsys, Cadence, Mentor Graphics 等の大手 EDA ツールベンダーとパートナーシップを構築した。なお、EDA ツールとは、集積回路や電子機器など電気系の設計作業の自動化を支援するためのソフトウェアであり、IC 設計作業は各種の EDA を活用して行われる。また、TSMC は、EDA ツールに組み込む回路情報を記述するときを守るべきデザインルールの標準化のために、各配線層やデバイス構造の標準仕様を準備し公開している。これにより設計効率が向上させられ、また設計したチップが狙い通りの性能を発揮することが保証されやすくなる。第 4 に、インターネット活用の共同設計作業ツールの実用化である。これにより LSI 設計者と製造技術者の間で回路やレイアウトの問題点をリアルタイムで議論し、打ち合わせの時間を大幅に短縮できる。第 5 に、別会社が請け負う後工程（パッケージ、テスト）までインターネットで管理できるサービスを導入した。以前は、顧客は TSMC に前工程（ウェハプロセス）を発注するとともに、後工程専門企業へも発注し、自らスケジュール管理をする必要があった。このサービスにより、TSMC が顧客と後工程専門企業を仲介し、顧客は TSMC のサーバーを通して各種サービスを一括して受けられるようになった（長広, 2001; Wolf, 2001; Kazemkhani, 2001; Chang, 2001）。

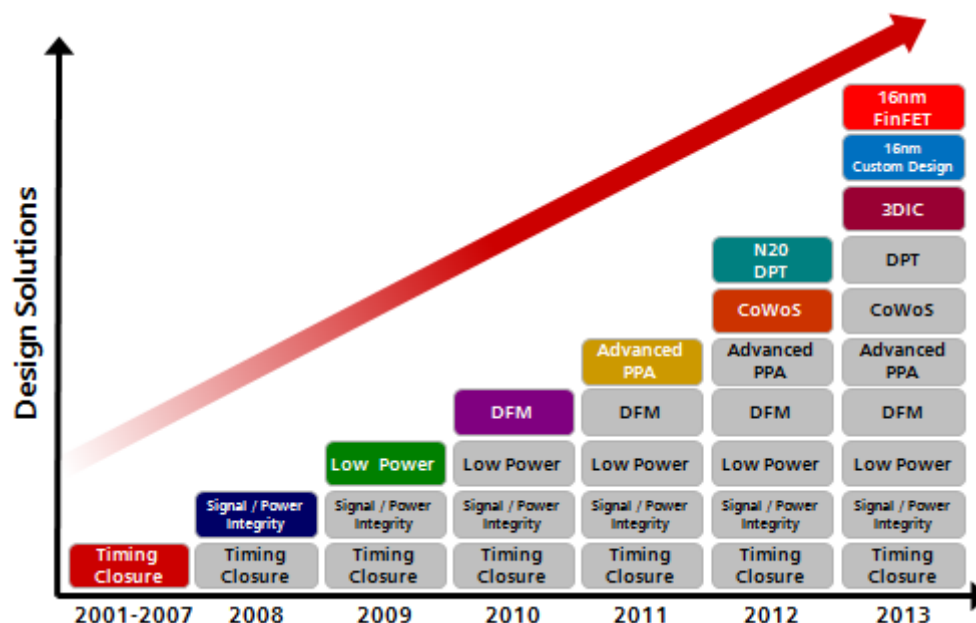
実は、ファウンドリ・ビジネスは、高価だが設計・製造サービスが手厚い「ターンキー（丸投げ）」と、サポートはシンプルだが安価な COT（customer-owned tooling）とに二極化しており、前者は IBM のような IDM が、後者は TSMC のような専門ファウンドリが提供していた。ターンキー・サービスは、先進的 IDM ならではの広範な技術力（プロセス技術だけでなく、製品のアーキテクチャ開発から回路レイアウトまでの設計開発力、ソフトウェア技術など）と前工程・後工程をカバーするサポート力により、顧客が目標とする製品性能とコストをスケジュール通りに達成できるよう支援する（木村, 2003b）。TSMC 等によるファウンドリ・ビジネスの成長を見て、2000 年代に入ると IBM や富士通、東芝、Samsung などの大手 IDM の一部がファウンドリ市場に注目し始めたのである。加えて、0.13 μm プロセス以降の世代になると、「動くチップができない」「歩留まりが上がらない」といった問題が頻発し、同じファウンドリ・ビジネスでも COT よりターンキーの方が有利になるのではないかとの見方もあった。例えば、2003 年に低消費電力のプロセッサを手がける米 Transmeta Corp.

が 90nm の製造パートナーに TSMC ではなく富士通を選んだのも、その前世代の 0.13 μ m 製品で TSMC に製造委託したものの歩留まりが上がりず製品の出荷が大幅に遅れたという苦い経験があったためである（木村, 2003a）。これに対して、TSMC は、上述のようなバリューチェーン上の他の専門企業との連携強化、および自社の設計エンジニアを使った質の高い設計支援の拡充で対応する構えをとった。加えて、IC 設計サービス提供を専門とする Global Unichip Corp. (GUC, 創意電子) の子会社化（2003 年）、および国内外の同様の設計サービス企業とのパートナーシップを通して「Design Center Alliance (DCA)」を構築した。これらの企業は、顧客に IC 設計請負や IP 開発等のサービスを提供する他、TSMC との取引の窓口ともなる。以上を要約すると、他の専門企業との連携強化を通じてターンキーへ近づく戦略といえよう。

TSMC は設計支援の一環として、「リファレンスフロー (Reference Flow)」を提供している。これは IC チップの設計手順や各種 EDA ツールの適用方法を具体的に示した資料であり、これに従えば設計作業が大過なく進むとされる。カスタム/セミカスタム IC 製造の事業を手がける半導体メーカーは顧客へこうした参考資料を示しているところが多いのだが、TSMC は 2001 年に初めてリファレンスフローを発表して以来、年々その拡充に努めてきた（図 3）。製造プロセス微細化に伴い生じてくる様々な課題、例えば、信号波形・電源系の安定性、低消費電力、DFM (design for manufacturability, 製造性考慮設計)⁶ 等々への対策も盛り込み、SoC 設計手法として業界標準化する趨勢である。リファレンスフローではチップ設計の各段階で使える市販の EDA ツールの一覧が示されており、そこに載ればツールの売上げが約束されるため、EDA ベンダーは TSMC のフローに合わせてツールを整備する。この背景には、TSMC の市場シェアが増加するにつれ、その製造プロセスが次第に業界標準化していき、同社互換のプロセスを持つ IDM も少なくないことがある。近年では、EDA ツールのデータ形式を TSMC が規定し、それを EDA ベンダーに採用するように呼び掛けている。また EDA ツールの本体ともいえる処理エンジンも TSMC 製に置き換えようとする動きもある。この他、リファレンスフローで使う回路ライブラリについても、従来はサードパーティ製品が基本で TSMC 独自開発のものは社内向けであったが、最近は独自開発のライブラリの整備が優先される傾向にある。これは設計精度の確保やツールのサポートコスト低減のためにとされるが、設計基盤の整備でも TSMC の影響力が非常に高まっていることが窺われる（小島, 2004; 筆者不明, 2010a）。

⁶ DFM は設計部門と製造部門の両方を持つ IDM でないと効果が出にくいと言われてきたが、TSMC は、EDA ベンダーや IP プロバイダーと協力により垂直分業でも DFM が出来る仕組みを構築した。即ち、異なる EDA ベンダー間で共通のプロセス情報を読み込めるようデータ変換の仕組みを確立し、また DFM に対応した EDA ツールや IP を TSMC が認定する仕組みを盛り込んだ。これにより TSMC が提供したプロセス情報を同社の認定を受けた EDA ツールに読み込ませ、設計した回路がきちんと形成されるかを高い精度でシミュレーションすることが可能となった（木村, 2006）。

図3 TSMCのリファレンスフローの拡充



出所) TSMC の HP より引用 (<http://www.tsmc.com/> 2015年3月16日検索)。

3.3 パートナーシップの拡大・深化

TSMC は、このように設計支援サービスの提供に伴い IP プロバイダー、EDA ツールベンダー等とのパートナーシップを強化してきたが、製造の後工程（パッケージ、テスト）分野へもサービスを拡大している。上述のように、TSMC は顧客と後工程専門企業を仲介するサービスも開始したが、これは包括的なバックエンド・サービスへと発展していった。即ち、前工程（ウェハプロセス）に加え、バンピング、ウェハソート、パッケージ、テスト、そして完成した IC の配送までを一括して請け負うものである。このため後工程専門企業との連携を強めている。例えば、台湾の後工程専門受託企業である ASE（日月光半導体）は、当該分野で世界最大手であり TSMC と密接に連携している。同社は、TSMC が先端プロセス技術の量産体制を整えた段階で、対応する後工程の準備を終えていなければならない。そこで同社は TSMC 内に後工程の製造装置を設置するとともに、数十名の技術者を派遣し共同で対応している（筆者不明, 2010b）。さらに、近年では、TSMC は基本的に前工程専門だが、自前のパッケージ工場をも擁し、Wafer Bumping⁷ や Chip-on-Wafer-on-Substrate (CoWoS)⁸、Wafer Level Chip Scale Package (WLCSP)⁹ のような前工程と密接に関係するパッケージ（ウ

⁷ Wafer Bumping は、チップと実装基板の接続に使用する半田や銅等のバンプをウェハの電極パッド上に形成する方法。

⁸ CoWoS は、インターポザー用のシリコンウェハに配線を作り込んだ後、ダイシング（切断）して個片化する前の段階で、ウェハ上の各インターポザーの領域に複数のベアチップをボンディング（接合）し、その後でダイシングするという手法。

⁹ WLCSP とは、ボンディング・ワイヤーによる内部配線を行わず、半導体の一部が露出したままの、ほぼ最小サイズとなる半導体パッケージ。外部端子や封止樹脂といった通常

ェハからチップを切り出す前の段階での)を扱う。そのため、後工程専門企業と業務が競合する部分が出てきたが、基本的には、TSMCのパッケージは前工程と関係の深いもので技術的にハイレベルなものに限られ、ASEはこうした領域には深入りせず従来型の技術も含めより広範なサービスを提供する。テストもTSMCはウェハレベルのみであるのに対して、ASEはウェハレベルとファイナルテストの両方を扱う。

次に、顧客獲得のためには、積極的な設備投資と製造装置メーカーとの密接な協力も必要である。これには幾つかの側面がある。まず、TSMCの生産ライン構築の基本的ポリシーは最先端プロセスを実現する最新装置を大量に揃えることである。これが半導体技術の潮流の変化とマッチし、後発企業であった同社の競争力の向上に寄与した。即ち、かつては半導体製造技術が主に半導体メーカー側で開発され、装置メーカーが半導体メーカーの指揮下にあるという形態だったが、その後製造装置メーカーが独立し、製造技術が体化された装置一式を購入すればそこそこの半導体製造ラインが出来るという状況になった。さらに1990年代初頭から、米国の「セマテック (SEMATECH)」(1987年設立)¹⁰によって各工程を担う装置間のインターフェイスが標準化されオープン化された。その結果、工程のモジュール化(複数の工程の統合)が進み、(かつては半導体メーカーが担っていた)調整ノウハウが装置に組み込まれ市場取引されやすくなったのである(西村,1998;立本・藤本・富田,2009)。

装置メーカーにとっても、ファウンドリが販売先として比重を増したことに加え、技術開発面でもファウンドリとの協力が不可欠となった事情がある。即ち、オープン化のためには、複数の装置メーカーが、同じ半導体生産ラインを使い、装置相互の擦り合わせや試運転をする必要があるが、この役割を担うものとしてファウンドリの生産ラインが重きをなすことになる。専業ファウンドリは自社ブランド製品がないため、半導体メーカーはライバルではなく、自社ラインから得られた情報を装置メーカーが公表することを厭わないためである。これにより装置メーカーの技術開発パートナーの役割においても、IDMからファウンドリに比重が移っていく(西村,2014)。TSMCのような大手ファウンドリは、その稼働率の高さと減価償却の速さを武器にこうした生産性と信頼性に勝る新式製造装置を高価格を厭わず積極的に導入した。また先端プロセスのためのレシピ開発に高価な先端装置をタイムリーに購入出来ることで高い工程開発力を発揮することに繋がったのである。

さらに、先端技術の開発では装置メーカーとの協力が必須である。例えば、2000年代以降普及した局所クリーン化技術¹¹の採用ではTSMCは先駆的メーカーの1つで、導入の前

はベアチップへ行なう加工処理をウェハからチップを切り出す前のウェハ段階で済ませる。

¹⁰ SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology) は、米国半導体工業会や民間半導体メーカー、国防総省などの協力による半導体製造技術の研究開発のためのコンソーシアムである(1987年設立)。その目的は1980年代に凋落しかかった米国半導体産業の競争力回復である。

¹¹ 局所クリーン化技術とは、密閉型カセット(ウェハを密閉した箱に入れ内部で清浄な環境を確保する)とミニエンバイロメント(ウェハ処理をする装置の前面に移載室を設け

例がなかったため装置メーカーとの密接な協力が行われた。少し昔の例だと、業界で広く普及している「液浸露光技術 (immersion lithography)」¹² は、TSMC の林本堅 (Burn Lin) 副総経理の研究によるところが多く、TSMC が露光装置メーカーの開発を助けたという。最近の例では、ASML (エーエスエムエル。オランダに本部を置く半導体製造用露光装置のリーディング・カンパニー) との協力による「極端紫外線リソグラフィ (EUV : extreme ultraviolet lithography)」露光技術の開発がある (TSMC 以外に、Intel, Samsung もパートナーシップに参加している)。

最後に、TSMC を始めとするファウンドリは、技術開発において装置メーカーだけでなく国内外の顧客 (ファブレス, IDM) との協力もある。特にテクノロジー・ドライバーとなる先進的な顧客との協力は重要で、アプリケーションごとに 2~3 社のパートナーを選定し、共同で技術開発を進めていく。パートナーの何社かはファウンドリ内にオフィスを置き、密接なコミュニケーションを保持している¹³。とりわけ Xilinx や Altera のような最先端技術を逸早く導入する顧客と協業することは大きな意味を持つ。技術開発と量産立ち上げを早期に始められるためである。元々、TSMC は、顧客との関係は 1 回きりのビジネスではなく、長期的なパートナーシップを志向している。同社は、顧客との「共同成長モデル」により、ATI, NVIDIA, Marvell, Broadcom, Silicon Labs などのファブレスを支援し後に大企業に成長する上で貢献した。同時に、自らもこれら顧客との連携で、オーダーを確保し研究開発能力を強化してきたのである (朝元, 2014, pp.31-32; 伍, 2006, pp.184-188)。¹⁴ とりわけ近年、微細化が進むにつれ、先端プロセスの研究開発と設備投資には膨大な費用が必要となり、同時に、それを使いこなせる顧客や応用製品が限られてくる傾向がある。そのため、大手の先進的顧客を引き付け事前にビジネス・コミットメントを得ておくことが不可欠となっている。逆にファブレス側から見ても、最先端の生産ラインは市況によってはライバルと奪い合う状況となることが考えられ、TSMC のような主要ファウンドリとのパートナーシップは死活的に重要である。

また、近年、IDM が製造の一部もしくは大部分をアウトソーシングする戦略に転じたため (これを「ファブライト」と呼ぶ)、TSMC の売上高の一定比率を占めるに至っている (例えば、2010 年第 4 四半期で IDM は 22%。2013 年 12 月 6 日付の TSMC 会社紹介資料より)。

極度にクリーン化する) および搬送ロボットなどが一体化されたシステムで、クリーンルーム全体を清浄化する従来の方式に比べ低コスト・省エネ化を実現できる。

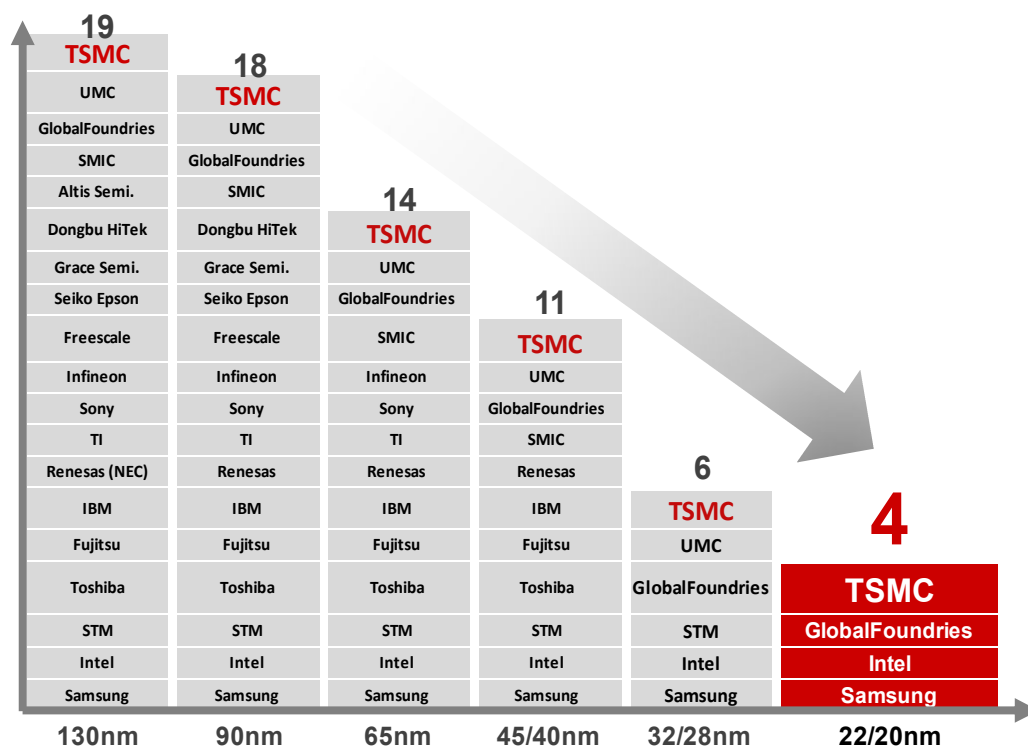
¹² 露光装置の投影レンズとシリコンウェハの間に液体 (通常は純水) を挟み込むことによって解像度を高める技術。これにより既存装置に小さな改良を加えることで次世代製品に対応できるようになった。

¹³ UMC での聞き取りによる (2007 年 7 月 25 日実施)。TSMC でも顧客の技術者が同社に駐在したり、TSMC 側が技術者チームを派遣したり、といったことが行われている (TSMC での面談より。2015 年 1 月 22 日)。

¹⁴ 加えて、TSMC は、自社の影響下にあるベンチャーキャピタル (Emerging Alliance Fund, Venture Tech Alliance Fund 等) を通して、ファブレスや後工程企業に投資し、オーダー確保やアライアンス強化を図っている (伍, 2006, pp.129-130)。

TSMC のプレゼンスの増大を背景に、Intel やルネサスのような大手 IDM との技術的アライアンスの事例も出てきている。即ち、Intel は 2009 年にモバイル機器用の小型・省電力 CPU 「ATOM」の製造に関する TSMC とのアライアンスを発表した。これにより TSMC は Intel から製造技術をライセンス供与され、他方 Intel は PC 以外の分野での市場開拓を進めることが出来る。また、ルネサスは 2012 年に高性能マイコンを TSMC と共同開発し同社に一部生産委託することを明らかにした。これにより TSMC は 40nm 世代のフラッシュ混載マイコン向け製造技術を獲得できる。他方ルネサスは、経営再建中で資金力が乏しい中で最新鋭設備への投資コストを抑制でき、同時に同社のフラッシュ混載技術が TSMC の顧客によって広く利用されればライセンス収入獲得が期待できる（田村, 2013; 木村, 2012）。このように TSMC が巨大化し、先端プロセスを使った半導体製造で寡占的な地位を占めるようになる中で（図 4）、顧客の側も虎の子の技術をあえてファウンドリに供与し連携を強化するような大胆な戦略が要求されてくる。

図 4 プロセス各世代のプレイヤー



出所) TSMC 会社説明資料より (2013 年 12 月 6 日付) (元データは IHS, iSuppli より)。

TSMC は、パートナーの EDA ベンダーや IP プロバイダー、設計サービス企業を束ねるものとして 2008 年より「Open Innovation Platform (OIP)」を創設していたが、その後、その進化版として「Grand Alliance」を打ち出した。これは、OIP のパートナーに加え、製造装置メーカー、材料メーカー、さらに主要顧客までを含めたアライアンスであり、いわば先端プロ

セスのチップ開発向けの運命共同体的なものである。TSMC の影響力がこれまで以上に大きくなった証であり、また先端プロセス開発のための技術的・資金的ハードルがかつてないほどに高まったことを反映している。ちなみに、2012 年、このアライアンスを通じた TSMC と主要顧客の研究開発費の合計は 135 億 6,400 万米ドルに上り、Intel の 101 億 4,800 万米ドル、Samsung の 102 億 3,800 万米ドルを凌駕した（TSMC の HP および、2013 年 12 月 6 日付の同社紹介資料より）。アライアンスによって、単独企業で負担できる限界を超える戦略である。

4. ファウンドリ・ビジネスの成功要因

前節では、主に TSMC の事例を念頭に置いてファウンドリ・ビジネスの発展経緯を見てきたが、本節では、専業ファウンドリ・ビジネスモデルが、その発展過程で何度か「限界」や「困難」を指摘されながらも、それを乗り越え成長してきた過程をやや一般的な観点から分析し、そこから、現在までにファウンドリ・ビジネスにおける成長の「正の循環」が形成されていることを指摘する。

まず、専業ファウンドリというビジネスモデルが必要とされた理由を確認したい。即ち、顧客（主にファブレス）からみると IDM による副業的ファウンドリには以下のような問題点があり、これを裏返したものが専業ファウンドリの存在意義である。

- ・ 自社製品を持つ IDM による副業ファウンドリの場合、ファブレスとは製品市場で競合することもあり設計・アイデアが盗まれるリスクがある。
- ・ 同様に、IDM は、繁忙期には外部からのオーダーを後回しにする傾向がある。
- ・ また IDM は、最先端技術の使用を社内向けに優先し、社外顧客へのサービスは中途半端になる傾向がある。
- ・ IDM は、IP や EDA 環境等の整備においてサードパーティとの関係が相対的に弱い。

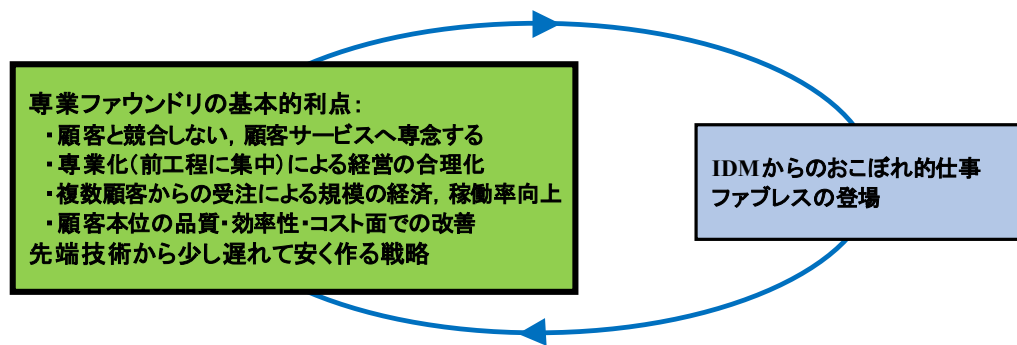
次に、専業ファウンドリ（以下、単に「ファウンドリ」と記す）が IDM よりも経営上有利となり得るのは以下のような理由からである。

- ・ 元々、設計と製造ではコスト構造も仕事の内容も異質であり、其々に適した人材も違ってくるため、技術的に可能なら分業・別会社化の方が経営合理化ができる。
- ・ 多数顧客からの受注で生産規模が拡大し、規模の経済効果によりチップ単価が下がる。
- ・ 多数顧客からの多様な製品の受注により好不況の波の平坦化を実現できる。これにより生産ラインの稼働率を上げ、設備投資の減価償却を促進できる。
- ・ 自社製品を持たず顧客と製品市場で競合しないので、プロセス公開やコスト明示を行える。また、コスト削減や歩留まり向上のような生産技術面の改善に専念して安定したサービスの提供が可能となる。

1980 年代後半から 1990 年代半ば頃までのファウンドリ・ビジネスの初期には、こうした基本的な利点を活かした比較的単純なサービスの提供で成長できたとみられる。TSMC の

事例で見たように、当初は顧客ファブレスからの受注が少なく、IDM からおこぼれの仕事で凌いだ、やがてファウンドリとファブレスが二人三脚で発展していった（図5）。

図5 ファウンドリ・ビジネスの初期モデル（1987年～1990年代半ば）



出所) 筆者作成

ファウンドリは、初期には、既存 IDM と比べて技術力でも生産能力でも特別の優位性はなく、低コストと専門の利点を活かして成長していった。この頃、台湾ファウンドリは製造技術的には先進国 IDM に比べ一段低く見られていた。これは日米欧の先進的 IDM が開発した製造技術が製造装置に体化され、ファウンドリは自前の研究開発をあまりせず、一定のタイムラグの後その装置を購入し最先端より少し遅れたデバイスを安価に製造する戦略をとっていたためである。実際、1990年代末時点の資料で、専門ファウンドリが技術力で IDM を追い越すことが出来ない理由として以下のようなことが指摘されている（以下、西村、1998に依拠する）。

- ・ 製造技術はプロセス・ドライバとなる製品（従来は DRAM）を自社開発し自社生産することで進歩する。ファウンドリは装置メーカーが提供する技術レベル以上のことは出来ず、最先端技術を要する製品は作れない。
- ・ ファウンドリは原理的にコスト競争ビジネスで、研究開発に投資し難い。従って、次世代、次々世代に事業を継承し発展させていくことが出来難い。
- ・ 顧客ファブレスはファウンドリの製造技術で作れる製品しか提供できず、それは一般的にあまり付加価値の高くない製品である。最先端の製造技術で作る製品を逸早く出荷して先行者利益を確保することこそが半導体ビジネスの核心である。

ところが実際は、1990年代末から2000年代初頭頃にはファウンドリがプロセス技術でも世界の先進グループにほぼ伍するようになる。その背景として、以下のような環境の変化があった。

- ・ プロセス技術が製造装置に組み込まれる動きが顕著になり、最先端の製造装置を買い揃えれば、最先端の微細加工技術を入手できるようになった。
- ・ プロセス技術を組み込んだ装置の価格は一般に高くなる。ところが多数顧客から受注し

装置稼働率を上げ、設備投資を極力速やかに回収するのがファウンドリ・ビジネスモデルの基本的な要素である。そのため装置価格が高騰すればするほど、投資回収速度に差が付き、ファウンドリの方が次世代の装置に積極的に投資でき、IDM より製造技術面で優位になる可能性が出てきた。

- ・ 今や、プロセス・ドライバは DRAM だけではなく、マイクロプロセッサ、DSP、FPGA といった非メモリ製品が積極的に最先端製造技術を使うようになった。むしろ (TSMC や UMC が主戦場とする) システム LSI こそ、最先端の微細加工技術を採用して集積度を高めるニーズがあるとも言える。このころシステム LSI の応用製品として、PC・周辺機器産業が成長し、さらにそれに続いて、デジタル家電や携帯・モバイル機器の市場が立ち上がってきた。

無論こうした追い風を実際の優位性に転化するには、顧客を開拓し稼働率を上げるための努力 (そして、そのためのサービス向上努力)、高騰する製造装置を買い続けるための資金力、装置を使いこなすための自前の研究開発が必要なものであり、¹⁵ 後発メーカーの中でも、この条件を備えたもののみが成長していくことになる。ファウンドリの成長に伴い、これまで大手 IDM を研究開発の主なパートナーとしていた装置・材料メーカーも、やがてファウンドリとの連携を強化するようになっていく。

なお、台湾を含めたアジア諸国は、投資優遇政策 (法人税率、減価償却制度、設備投資に係る税額控除) によりトータル・ビジネスコストを下げる制度設計を実施している。これが最先端の技術・設備導入へのインセンティブとなり、後発の台湾メーカーが巨額の設備投資を敢行できた理由の 1 つであるとの指摘もある。¹⁶ こうした巨額の設備投資の実施は、生産能力拡充による顧客への安定的生産サービスの提供と市場シェア獲得のためにも不可欠で、2000 年代に入ると 12 インチウェハ対応の大規模量産工場の建設が進められた (図 6)。

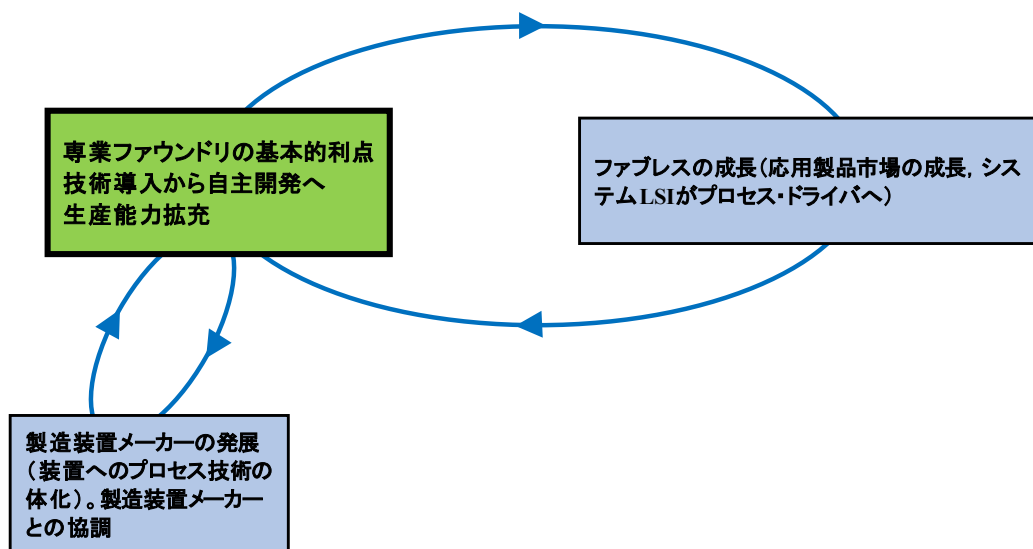
さらに、2000 年前後からプロセス微細化がこれ以上進むと、デザインルールを明確に定義することが困難になる可能性が指摘された。IC の高集積化の更なる進展により設計と製造の分離が困難となり、ファウンドリ・ビジネスの限界が囁かれるようになったのである。これに対して、TSMC は、上述のように設計支援サービス拡充 (ソリューション提供) により対応した。複雑化する設計環境の中でも顧客が容易に作業を進められるようにし、また顧

¹⁵ 1990 年代以降になると装置メーカーが基本プロセス (レシピ。各工程の製造仕様書の内容、例えば、使用する薬液類、処理方法や温度・圧力などのパラメータを指定するデータ) の提供も行うようになり、しばしば装置を購入しさえすれば半導体製造が容易に出来ると言われていたが、実際は、基本プロセスをそのまま使用してまともに動作するデバイスを作ることは出来ないという。各メーカーのインテグレーション技術者が、自社の要素技術者および装置メーカーや材料メーカー等と密接に協力し調整しながら、自社の最適プロセスを開発する努力が不可欠である (鈴木・湯之上, 2008)。

¹⁶ 例えば、立本の試算によると、税制の違いによるキャッシュフロー差 (サムスン電子、TSMC) の平均は (2002~06 年)、韓国と日本で 2,668 億円/年、台湾と日本とでは 1,327 億円/年であった (立本, 2014, p.210)。ちなみに 12 インチ (300mm) ウェハ対応工場の建設に必要な資金は 30 億米ドル程度とされる。

客の Time-to-Market を短縮し、結果として TSMC への発注を増やし顧客を繋ぎとめるような仕組みを構築していったのである。このようなサービスの充実は、ある面では、顧客に先端プロセスの採用を促し、高利潤を獲得すると同時に、高額の設備投資の回収を加速するための方策でもあった。類似の取り組みは、その後ファウンドリ業界全般に普及することとなるが、TSMC はこれを先導しかつ最も包括的に実施することで自社の優位性を堅固なものとしていったのである。

図 6 ファウンドリ・ビジネスの発展：技術・生産能力の発展（1990 年代後半頃から）



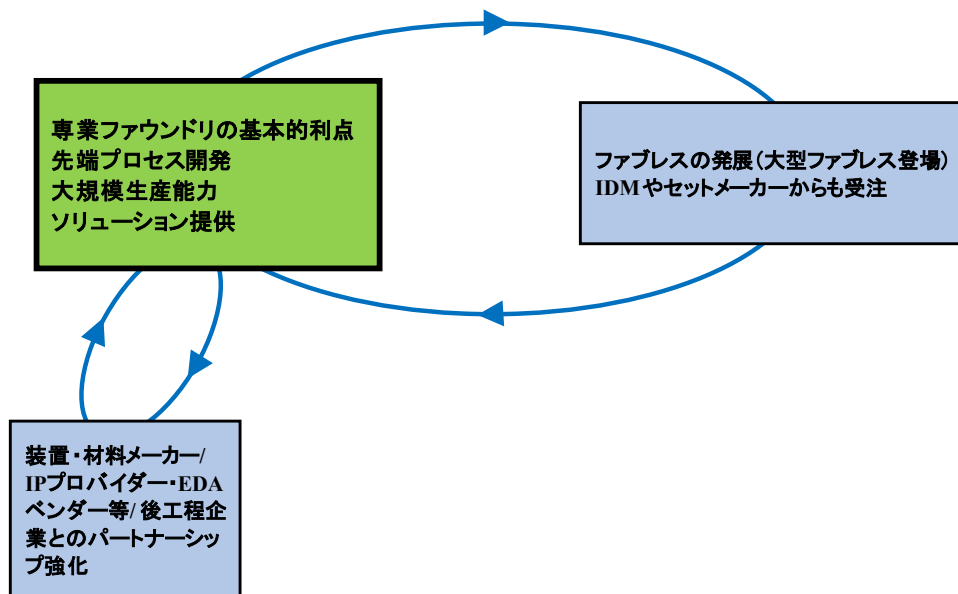
出所) 筆者作成

これに対して、従来ファウンドリが高利益率を維持できたのは製造に特化していたためであり、自社で設計支援などを強化すれば高利益率の維持は困難になるという指摘もなされたが（木村, 2003a）、TSMC については 2000 年代以降も概ね 30% 台の高い純利益率を保っている（後に詳述）。また、その後も時折、微細化の進展に伴いファウンドリの「限界」といったことが囁かれたが、設計・製造の各工程間の擦り合わせニーズに関しては、最近に至るまで基本的にこうしたソリューションの拡充で対処出来てきたといえる。この中で、TSMC は IP プロバイダー、EDA ツールベンダー、回路ライブラリ・ベンダー、設計サービス企業、さらには後工程専門企業との連携を強化し、製造のみならず設計基盤の構築においても影響力を増大していったのは上述の通りである。

さらに、顧客の内容も変化していった。即ち、ファウンドリはこれまでファブレスと二人三脚で発展してきたのだが、ファブレスの中には Qualcomm や Broadcom, NVIDIA, MediaTek のように売上高において大手 IDM と肩を並べるところまで成長したものも登場している。加えて、ファウンドリの技術力・生産能力の増強の結果、IDM やセットメーカーからの受注も売上の一定割合を占めるようになってきている。この結果、近年の半導体業界では、フ

ファブレスとファウンドリの存在感がかつてなく大きくなっている（図7）。¹⁷

図7 ファウンドリ・ビジネスの成熟：ソリューション・ビジネスへ（2000年代以降）



出所) 筆者作成

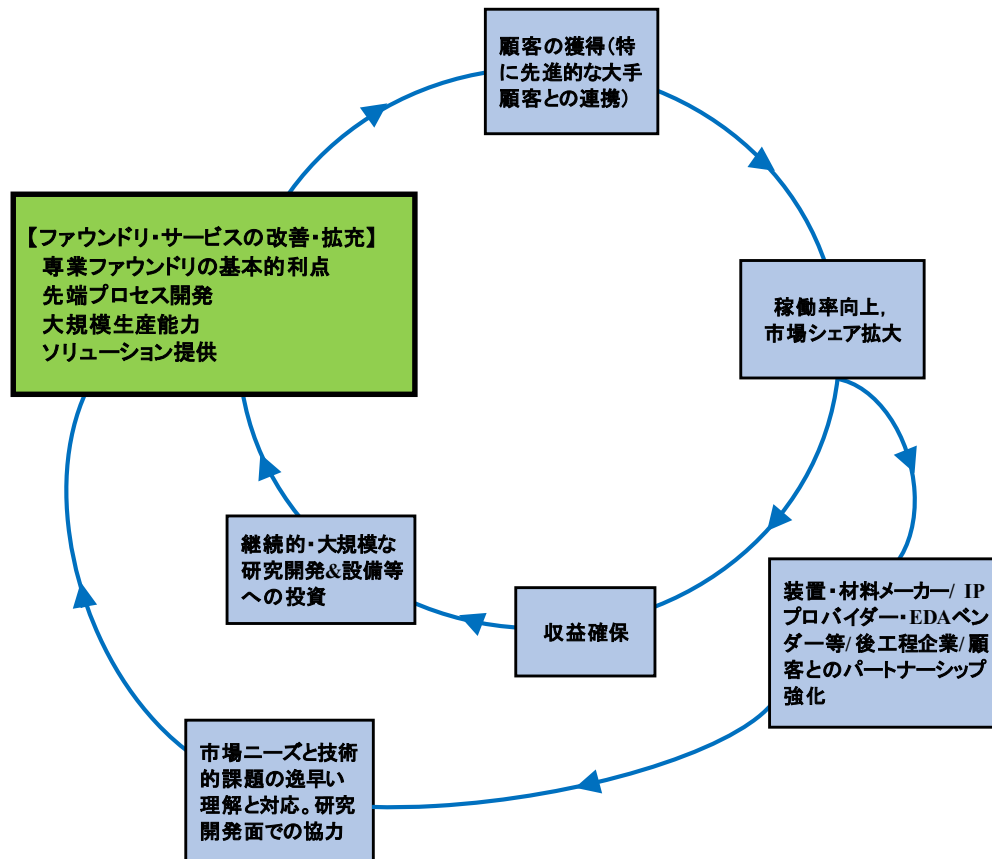
以上を踏まえ、TSMC が先導して作り上げたファウンドリ・ビジネスにおける成長の「正の循環」を簡略に図式化したものが図8である。最初からこのような形であったわけではなく、ファウンドリ・ビジネスの「限界」を乗り越える取り組みを重ねてきた結果、今のところこのような形になったということは既に説明した通りである。現状では、この「正の循環」を逸早く途切れることなく回転させることが成長を保証するのであるが、この「正の循環」は全てのプレイヤーに平等に働くわけではない。特に2000年代後半以降では、先端プロセス開発と最新鋭工場建設に伴う技術的・資金的ハードルが極端に高くなっていること、こうした最先端技術と量産を必要とする顧客や応用製品が次第に限られてきていること、およびTSMCのような市場シェアの大きい主要ファウンドリのプロセスや設計関連サービスが業界標準化し益々多くのパートナーを引き付け規模の経済とネットワーク経済性が働くことで、このビジネスで成功できる企業の数絞られてきているのである。

また半導体業界全般でも、一握りの最大手企業が先端プロセス開発と大規模設備投資において寡占的地位を固めつつある。即ち、近年では、世界の半導体設備投資総額のうち上位3社（Intel, Samsung, TSMC）の合計が占める比率が半分以上となっており、EUV露

¹⁷ 例えば、2013年の半導体売上高では、TSMCはIntelとSamsungに次いで第3位に入っている。第4位にはファブレスのQualcommが入り、ファウンドリとファブレスが、それぞれ3位と4位を占めるに至っている（IC Insights レポートより。2015年3月15日検索。<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/615.pdf>）。

光の実用化や 450mm のウェハ大口径化が実現すれば、この傾向をさらに後押しすると予想される（大下・木村, 2012, pp.63-64）。

図 8 ファウンドリ・ビジネスにおける成長の「正の循環」



出所) 筆者作成

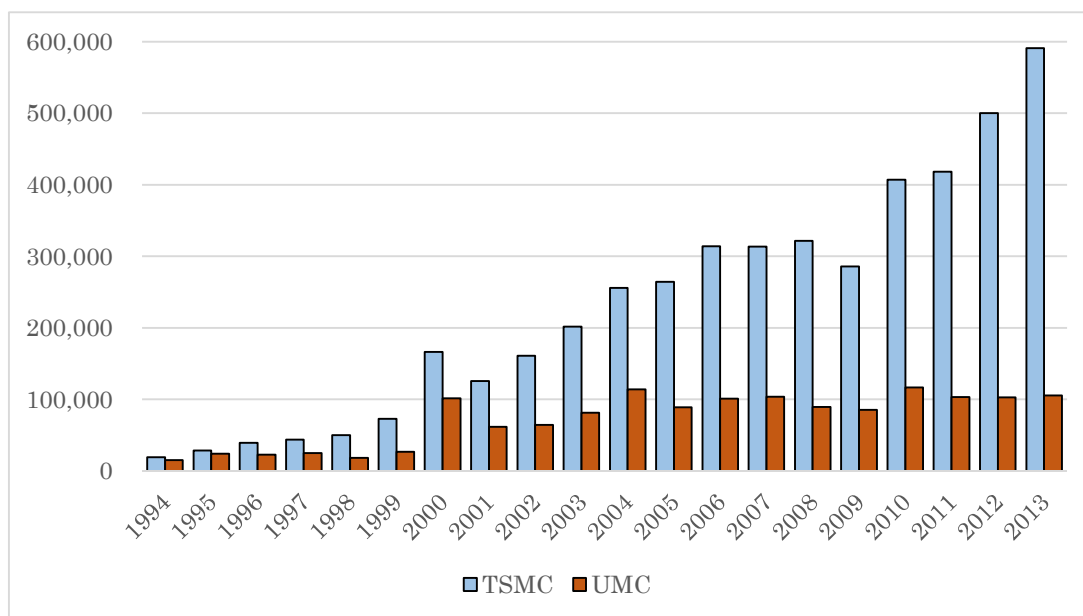
5. ファウンドリ間の格差拡大：TSMC と UMC の比較分析

前節までの説明により、ファウンドリの台頭は決して簡単に実現されたわけではなく、その時々指摘された「限界」や「困難」をビジネスモデル上のイノベーションによって乗り越えてきた結果であることが示された。加えて、近年、ファウンドリの間でも業績格差が広がり、ファウンドリ・ビジネスモデル一般を論じるだけでは不十分になっている。そこで、本節では、台湾ファウンドリ業界トップの TSMC と 2 番手の UMC の比較分析を行う。両社は 2000 年代初頭まではほぼ互角のライバルと看做されており、基本的なビジネスモデルは類似している。設計支援サービスとソリューションにおいても UMC も類似のものを提供している（温, 2006）。にもかかわらず、近年、両社の業績に大きな格差が表れており、上述の「正の循環」が如何に働いたかを見るうえで有益な事例と思われる。

5.1 収益性

図9と図10は各々、両社の純売上高と純利益を比較したものである。UMCがIDMから専業ファウンドリへ転換したのは1995年以降であるが1994年の数値も参考までに示している。1990年代末まではどちらもそれほど大きな開きはない。両社とも2000年に数値が跳ね上がっているのは、吸収合併を通じた企業規模拡大の影響である（後述）。2001年に業績が落ち込んでいるのはITバブル崩壊の影響であろう。その後、純売上高では、TSMCが基本的に増加傾向を維持しているのに対して、UMCはほぼ横ばいである。純利益を見ると、TSMCは純売上高の増加傾向に概ね準じているのに対して、UMCは年々の増減が大きく、赤字もしくはどうにか黒字を保持しているような年も少なくない。

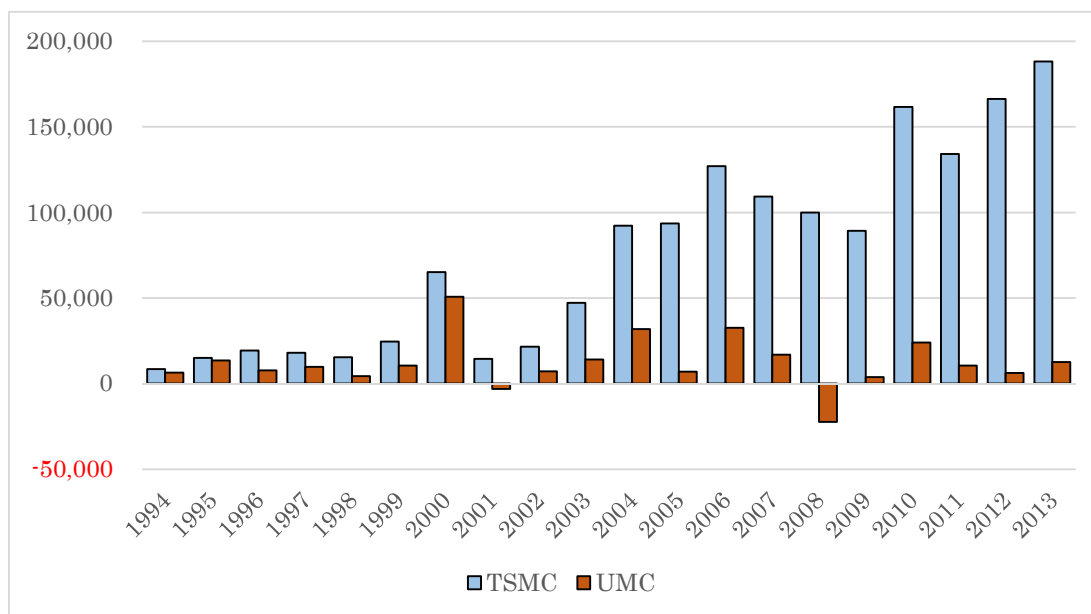
図9 TSMCとUMCの純売上高の比較（単位：百万円）



注) 各企業の個別財務諸表を使用（以下の図は同様）。

出所) TSMC（各年版）と UMC（各年版），および TSMC の HP 「投資人関係>財務資訊>歴年財務資訊」
http://www.tsmc.com/chinese/investorRelations/historical_information.htm 2015年3月12日検索）より筆者作成。

図 10 TSMC と UMC の純利益の比較（単位：百万元）

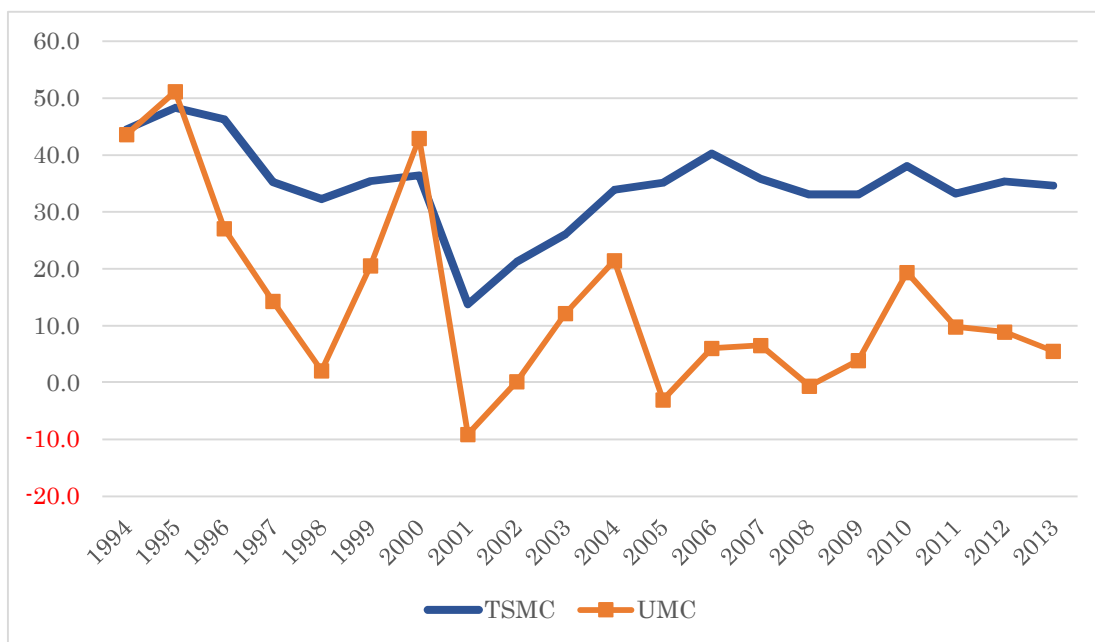


出所) 図 9 と同じ。

図 11 と図 12 は各々、両社の営業利益率と純利益率を比較したものである。ここから分かることは次のようである。第 1 に、TSMC は、1990 年代半ばの 40~50% 台の高利益率からはやや落ちたものの、2000 年代以降もどちらの数値でも概ね 30% 台を維持し安定している。他方、UMC は、2000 年代以降は全ての年でどちらの数値でも TSMC を下回っており、しかも年々の変動が大きく安定性を欠いている。第 2 に、TSMC は 2 つの利益率が数値的にほぼ重なるのに対して、UMC ではかなり食い違っている。これは、TSMC がファウンドリ・ビジネスに専心しているのに対して、UMC では本業以外の活動（営業外収入／費用。ファブレスへの投資等）が少なくないことを示唆している。

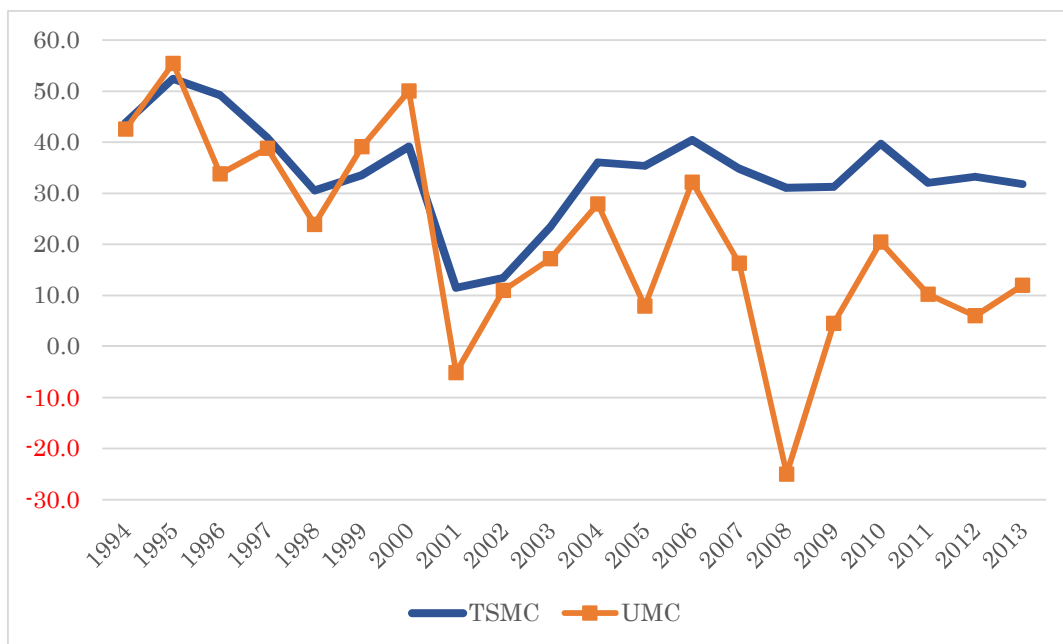
以上、収益性に関する数値を幾つか見たが、両社は 1990 年代末まではそれほど大きな差はなくほぼ互角のライバルであったといえる。しかし 2000 年代に進むにつれて収益性の高さ、安定性ともに TSMC がより良い業績をあげ続け、2013 年には、純売上高で TSMC は UMC の約 6 倍、純利益では約 15 倍と大差がついている。また営業利益率と純利益率では、各々、約 6 倍と約 3 倍の差である。そして、少なくとも純売上高の大小は市場シェアの大小とも連動しており、当然、これが大きいほど、顧客やアライアンス・パートナーとの交渉・連携推進において有利になり、これがファウンドリ・サービスの更なる改善・拡充に繋がることは言うまでもない。

図 11 TSMC と UMC の営業利益率の比較 (単位 : %)



出所) 図 9 と同じ。

図 12 TSMC と UMC の純利益率の比較 (単位 : %)



出所) 図 9 と同じ。

5.2 設備投資額と研究開発支出

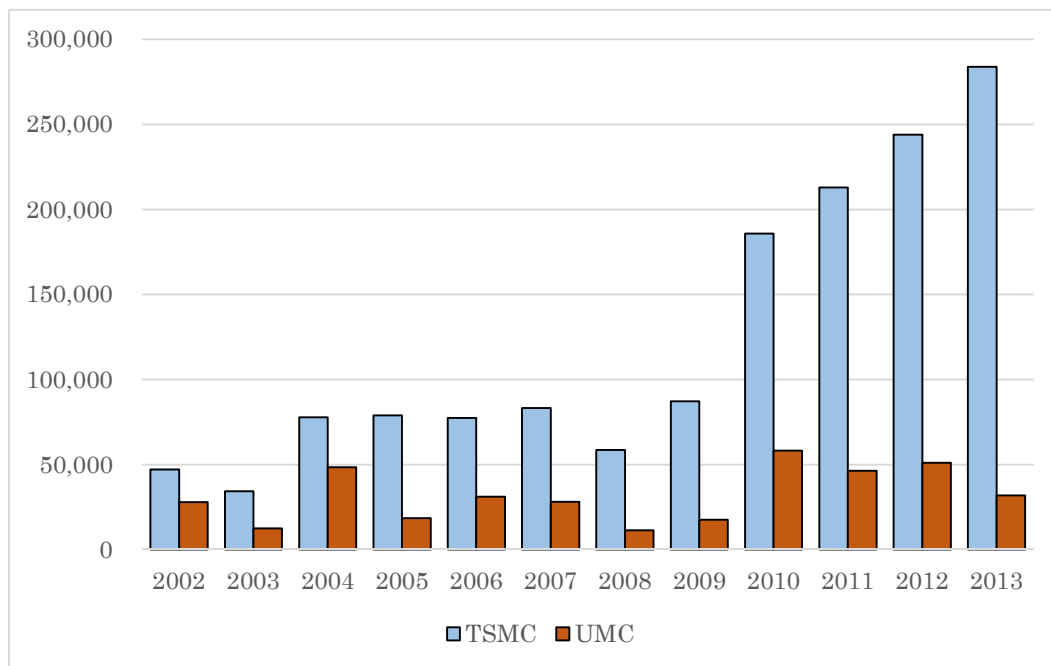
さて前出図 8 の「正の循環」では、こうした収益性の違いは、設備投資や研究開発に向ける資金力の差に大きく影響する。無論、投資の資金源としては自己資金だけでなく銀行借入や社債、増資もあるが、中長期的には自身の収益性に左右される。図 13 は両社の設備投資

額（生産設備および研究開発設備への資本支出額の合計）の推移を示したものである。データが揃う 2002 年以降の数値のみだが、2000 年代初頭までは金額的に大差はないものの、その後差が開き、特に 2010 年以降大差がついていることが見て取れる。2013 年には TSMC の設備投資額は UMC のそれの約 9 倍となっている。上述のように、近年、微細化が物理的限界に近づき、量産規模拡大によるコストダウンへの要求がかつてないほどに高まるのと同時に、最新鋭工場建設の技術的・資金的な難易度が急上昇し、次第にごく一握りのメーカーしかフォローできなくなって来ているが、両社の格差はこの点を反映している。

同様のことは図 14 から読み取れる。これは、両社の研究開発支出額の推移を示したもののだが、2000 年代に入って徐々に差がつき始め、2010 年以降は格差が広がっている。ただ設備投資額に比べると差は小さく、2013 年時点で TSMC の研究開発費は UMC のそれの約 4 倍である。

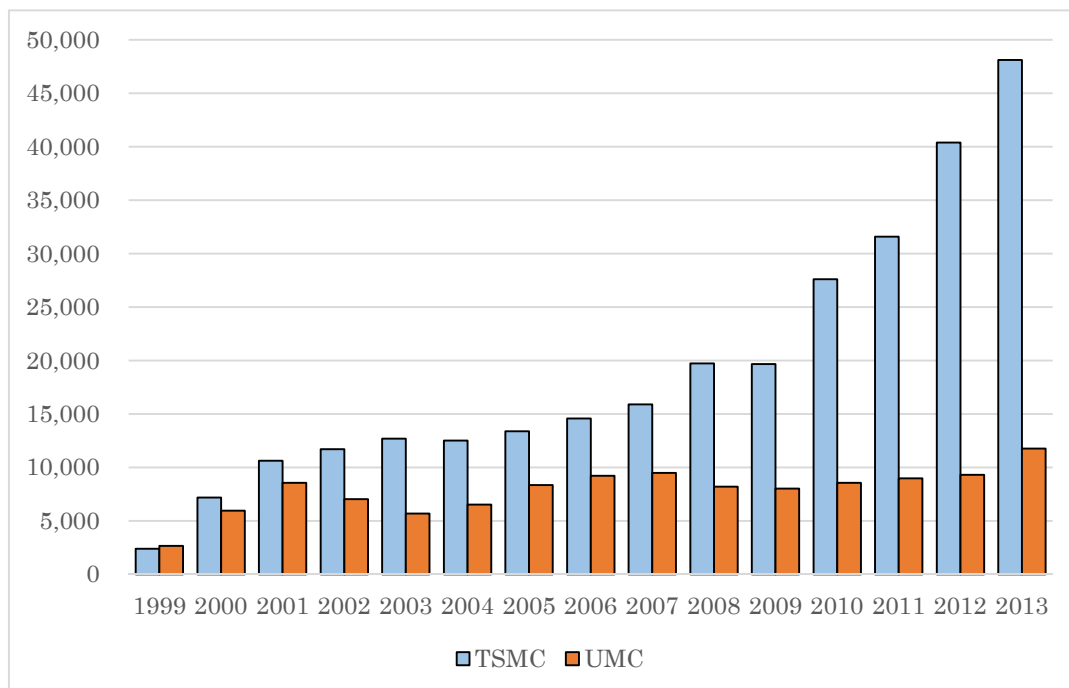
実は、研究開発支出と設備投資額が純売上高に占める比率で言えば、UMC は TSMC と遜色ないのだが（年々の変動があり、前者では数%から 10%程度、後者では十数%から 50%程度）、純売上高の金額で上述のような大差がついた結果、UMC の負担感が遥かに大きいだろう。なお、設備投資額と研究開発支出の両方について、TSMC は好不況の波にそれほど影響されずほぼ横ばいか増加基調であるのに対して、UMC は年ごとの増減が比較的多いことも看取できる。半導体産業では、「不況期にこそ研究開発や設備に投資し、次の好況期にライバルを引き離す」といった戦法がよく言われていることを裏付けるものと思われる。

図 13 TSMC と UMC の設備投資額の比較（単位：百万元）



注) 設備投資額は、生産設備と研究開発設備への資本支出額の合計。
出所) TSMC (各年版) と UMC (各年版) より筆者作成。

図 14 TSMC と UMC の研究開発支出の比較 (単位：百万元)



出所) TSMC (各年版) と UMC (各年版) より筆者作成。

5.3 プロセス世代の進化

研究開発関連支出の大小は当然、先端プロセス開発の成果も左右する。表 2 は TSMC と UMC のプロセス世代進化の歴史 (各世代の量産開始年) を示したものである。先進企業の代表として Intel のデータも参考までに掲載している。プロセス世代を進化させることは、先進的顧客のニーズを満たしオーダーを確保するためだけでなく、ウェハ当たりの収益を向上させるためにも不可欠である。¹⁸ 同表を見ると、時々の先端プロセス開発において、TSMC は 1987 年の創業後数年間、Intel と比べ、1.5 μm から 1.0 μm までの世代では 2~3 年の遅れがあったものの、1990 年代以降の 0.8 μm 世代からはほぼ同時かせいぜい 1 年遅れで追走してきたことが分かる。UMC は 1980 年に IDM として出発したが 1995 年に専業ファウンドリに転換した。それ以降、0.35 μm 世代 (1996 年量産開始) から 0.18 μm 世代 (1999 年量産開始) までは TSMC とほぼ同時期である。

UMC にとって最初の躓きは 0.13 μm 世代であり、TSMC におよそ 1 年遅れることとなった。このときプロセス技術開発において、TSMC は基本的に自社開発の道を選んだのに対して、UMC は IBM と独インフィニオンとの共同開発計画「WorldLogic」に参加する道を採用した。UMC としては、これにより開発の加速と費用・リスクの分散、および IBM とインフィニオンからのオーダー獲得に繋がることを期待していたのであった。ところが、技術的な

¹⁸ 例えば、1 枚のウェハの加工代金で、0.13 μm プロセスは 0.18 μm プロセスの約 2 倍の価格であるという (伍, 2006, p.231)。

ボトルネックに会い十分な成果が上がらず、オーダーも期待通り獲得できず、また共同開発に関連する調整のため研究開発人員を疲弊させただけで、TSMC に後れをとる結果となった。他方、TSMC は自社開発に成功し、開発時期で先んじただけでなく、自前の技術開発能力の蓄積にも繋がり、その後、優位を固める土台となったという（伍, 2006, pp.237-244）。

表 2 Intel, TSMC および UMC のプロセス世代進化の歴史（各世代の量産開始年）

	1.5μm	1.2μm	1.0μm	0.8μm	0.6μm	0.5μm	0.35μm	0.25μm	0.22μm	0.18μm
Intel	1985	—	1989	1991	1993	—	1995	1997	1998	1999
TSMC	1988	1989	1991	1992	1993	1994	1996	—	—	1999
UMC	—	—	—	—	—	—	1996	1997	—	1999
	0.13μm	90nm	65nm	45nm	40nm	32nm	28nm	22nm	20nm	14nm
Intel	2001	2003	2005	2007	—	2009	—	2012	—	2014
TSMC	2001	2004	2006	2007	2008	—	2011	—	2014	
UMC	2002	2004	2006	2009 (45/40nm)		—	2014			

注) 「—」は情報不足で確認できなかったことを意味し、「\」は原稿執筆時点（2015年3月）でまだ量産開始されていないことを意味する。

出所) TSMC（各年版）、UMC（各年版）、「ASCII.jp: 半導体プロセスまるわかり インテルから学ぶプロセスの歴史」（<http://ascii.jp/elem/000/000/857/857329/> 2015年3月13日検索）等に基づき筆者作成。

表 2 を見る限りでは、その後、90nm と 65nm 世代では、UMC は TSMC とほぼ並んだようであるが、45/40nm 世代で再び遅れが生じた。TSMC は其々2007年と2008年に量産化に入ったのに対して、UMC は2009年に2つの世代を同時に量産化させている。実は、40nm 世代では新しい露光技術が必要となり、TSMC を含むファウンドリは量産での歩留まり向上に苦勞した。¹⁹ TSMC は2009年後半にこの問題に目途をつけ、2009年末までに同世代12インチ（300mm）ウェハを累計で10万枚出荷することに成功し、その時点までの40nm 世代のファウンドリ市場で世界シェア80%を獲得したという（木村, 2010a, 2010b）。

さらに決定的な差は28nm 世代でついた。同世代の量産立ち上げ時期でTSMCは2011年、UMC は2014年と差がつき、米GLOBALFOUNDRIESのような他の大手ファウンドリも開発に手間取ったため、この間に28nm 市場でTSMC がほぼ独占状態となった。Qualcomm や Apple などの顧客にスマートフォンやタブレット端末などの通信機器向けに28nm チップを提供していたのはTSMC だけであった（Patterson, 2014）。同社がその後のプロセス世代の開発を順調に進められているのは28nm 世代で獲得した莫大な収益のお蔭である。他方、UMC はこの世代で躓き、量産立ち上げの後も先発メーカーのセカンドソース的立場に甘んじることとなったという。²⁰ このようにファウンドリ業界で成功するには、ライバルに先駆けて次世代プロセスの量産立ち上げ（および歩留まり改善）を行い、先進的顧客からの支

¹⁹ TSMC は40nm 世代で初めて液浸 ArF 露光技術と呼ばれる技術を導入した。ところが、液浸水に含まれる微小な気泡などの影響によって当初歩留まりが思うように向上せず、このため、ある顧客（グラフィックス LSI メーカー）は製品の出荷が遅れたと報じられる（木村, 2010b）。

²⁰ 以上、ITRI-IEK での面談（2014年8月28日実施）からの情報による。

持を得ることが不可欠である。同時に、これに伴い装置・材料メーカーやソリューション・ビジネスのアライアンス・パートナーとの連携も強化され、研究開発やサービス改善面での協力も推進できる。

5.4 生産能力と稼働率

受注拡大のためには、先端プロセスの開発に加え、生産能力拡充による安定的な供給の保証と規模の経済に基づくコスト優位性実現が重要である。TSMC と UMC のこの分野での競争は、1990 年代末頃から本格化したとみられる。即ち、TSMC は、1999 年 12 月に 12 インチ (300mm) ウェハ対応工場「Fab 12」の建設を開始し (2002 年に操業開始)、また 2000 年 6 月に半導体メーカー 2 社 (德基 [TASMC], 世大 [WSMC]) を吸収合併し、生産能力の拡大に務めた。他方、UMC は、2000 年 1 月に自社に加え同社グループ企業 4 社 (聯誠 [USC], 聯瑞 [UICC], 聯嘉 [USIC], 合泰 [UTEK]) の統合 (「五合一」と呼ばれる) を敢行し営業収益が一挙に 3 倍以上となった。²¹ また最初の 12 インチ対応工場も 2001 年に操業開始している。言うまでもなく、ウェハの大口径化 (直径拡大) は、生産性向上、低コスト化への有力な手段である。²² 最初の 12 インチウェハ工場の立ち上げ時期は UMC の方が少し早いのだが (TSMC は 2002 年、UMC は 2001 年)、その後、TSMC は 2004 年と 2012 年にそれぞれ台南と台中の科学工業園区内に 12 インチウェハ工場を立ち上げ、UMC は 2003 年にシンガポールに 12 インチ工場を追加した (2000 年に UMC と独インフィニオン、シンガポール経済開発庁の共同で設立されたが、2003~2004 年に UMC がパートナーの株式を買い上げ完全子会社化した)。

²¹ 聯誠、聯瑞、聯嘉の 3 社は、1995 年、UMC が顧客でもある米国・カナダのファブレス 11 社と合併で新竹科学園区内に設立していたものである。顧客と合併で 3 社を設立したのは、工場建設のための膨大な資金的負担を軽減すると同時に、これらパートナーからのオーダーを長期的に確保するためである。また合泰半導体のウェハプロセス工場は UMC が 1998 年に買収していた。「五合一」により UMC は、資本金 883 億元で、当時国内の民間上場企業で最大となった。

²² ウェハの面積が拡大すれば、1 枚のウェハからとれるチップ数も増加し、チップコストは数十%低減すると期待される。半導体業界はこれまで、ほぼ 10 年ごとにウェハを拡大してきた。200mm (8 インチ) ウェハの使用がはじまったのが 1991 年で、その後 300mm (12 インチ) ウェハへと移行したのが 2001 年である。300mm ウェハは 200mm ウェハと比べ面積比 2.25 倍で、この移行により、単純計算で同じサイズのチップが 2.25 倍取れることとなる。無論、200mm から 300mm にするには製造装置の入れ替えが必要で、そのために、Intel の例では、クリーンルームから製造装置 (露光装置やエッチング装置など) などに関して 5,000 億円のコストがかかる。ただし、300mm ウェハと 0.13 μ m プロセスの採用により、30%の低コスト化が可能であるとみられ、装置入れ替えのコストを差し引いても引き合うとみられる。現在は、450mm ウェハへの移行が視野に入れられているが、450mm ウェハ対応の製造装置に必要となる技術は、現状の 300mm 装置のサイズを単純に拡大することとは全く次元が違うとも言われる。装置メーカー等も含めた半導体産業全体のエコシステムにとってハイリスク・ローリターン投資であるとする意見が強く、当初の予想 (2012 年) より移行が遅れている (http://www.semi.org/jp/News/MailMaga/ctr_041704 等を参考にした。2015 年 3 月 20 日検索)。

表3 TSMC と UMC の各工場の基礎データ (2014 年時点)

TSMC						UMC					
	場所	操業開始年	最大生産能力 (万枚/月)	ウェハ口径 (インチ)	プロセス (μm)		場所	操業開始年	最大生産能力 (万枚/月)	ウェハ口径 (インチ)	プロセス (μm)
Fab 2	新竹	1990	9.4	6	0.50	Fab 6A	新竹	1988	5.0	6	0.50
Fab 3	新竹	1995	10.0	8	0.18	Fab 8A	新竹	1995	7.0	8	0.25
Fab 5	新竹	1997	5.0	8	0.18	Fab 8C	新竹	1998	3.0	8	0.13
Fab 6	台南	1999	14.3	8	0.13	Fab 8D	新竹	2000	3.2	8	0.09
Fab 8	新竹	1998	9.2	8	0.13	Fab 8E	新竹	1998	3.8	8	0.18
Fab 10	中国上海	2004	11.0	8	0.18	Fab 8F	新竹	2000	3.2	8	0.13
Fab 11	米国 (WaferTech)	1998	3.8	8	0.18	Fab 8S	新竹	2000	3.0	8	0.15
Fab 12	新竹	2002	13.0	12	0.028	Fab 8N	中国蘇州	2003	5.0	8	0.11
Fab 14	台南	2004	20.0	12	0.028	Fab 12A	台南	2001	5.5	12	0.028
Fab 15	台中	2012	10.0	12	0.020	Fab 12i	シンガポール	2003	4.5	12	0.040

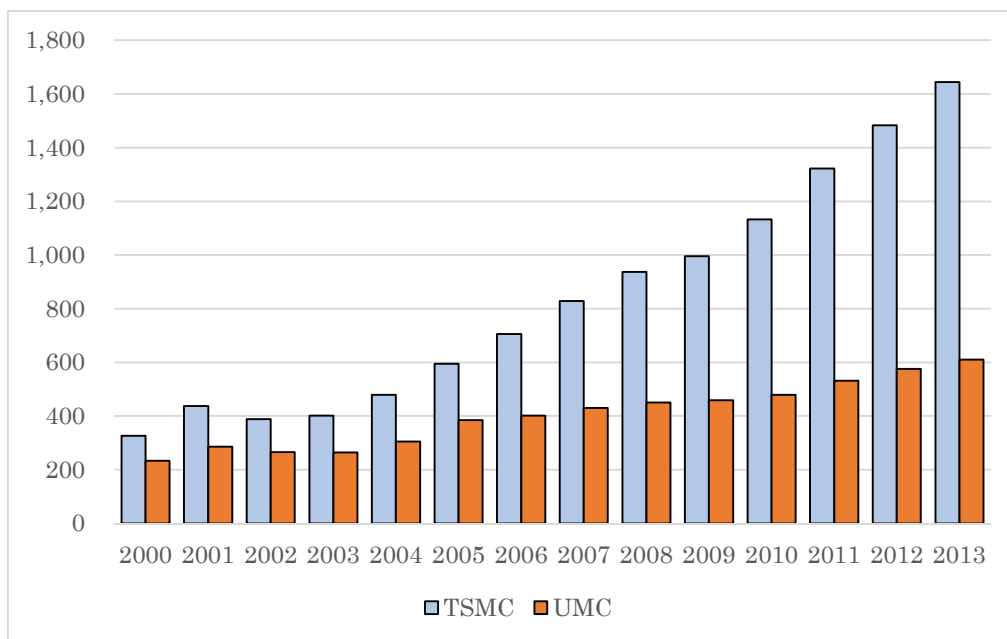
出所) ITRI-IEK (各年版) の 2014 年版 p.2-12 より。

なお表 3 は両社の各工場の基礎データを提示している。TSMC の工場は UMC の工場と比べ、相対的に生産能力が大きい傾向があり、特に 12 インチウェハ工場ではそうである。ただし、注意を要するのは、12 インチ工場は一挙に建設されるのではなく、幾つかの段階 (フェーズ) に分けて徐々に生産ラインを増設していく方式をとっていることである。従って、対応するプロセスも幾つかの世代にまたがっているのである (表 3 は、2014 年時点の最大生産能力、対応できる最先端のプロセス世代を示している)。

そこで、両社の生産能力とその推移を分かりやすく示したものとして図 15 (1 年間で処理できるウェハの枚数を 8 インチウェハに換算したデータ) がある。これによるとデータの入手できた 2000 年以降では、専業ファウンドリとして先発組である TSMC が終始リードしている。2000 年代前半まではそれほど極端な差はなかったものの、次第に差が広がり、2013 年には TSMC は UMC の 3 倍近い生産能力を有するに至っている。

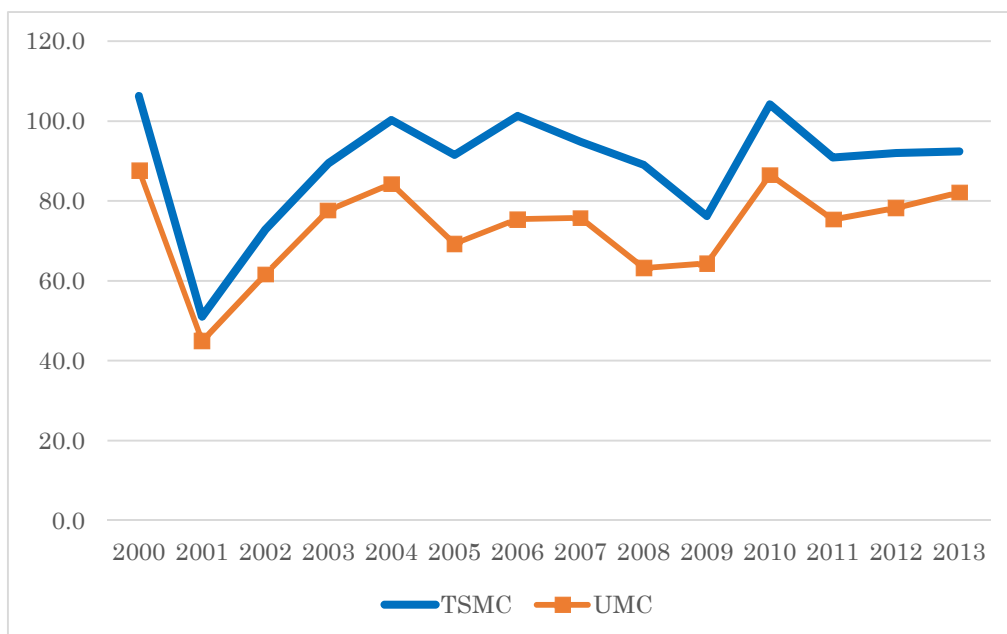
加えて、生産能力が実際にどれだけ稼働したか、即ち生産能力利用率 (設備稼働率) をみる必要がある。図 16 によれば、IT バブル崩壊の煽りを受けた 2000 年代初頭はどちらも落ち込みをみせたが、2003 年以降、TSMC は生産能力利用率が 90% 前後かそれ以上 (2009 年を除いて) であるのに対して、UMC はほぼ 70~80% 台 (ただし、2005、2008、2009 年は 60% 台) であり、10~20 数%ポイントの開きがある。このことは、実際の生産量の差がさらに大きいことを示すだけではない。実は生産能力利用率を高めることはコストダウン (そして収益増加) に繋がるものとして重視されており、両社の収益性の違いにも少なからぬ影響を与えているとみられる。

図 15 TSMC と UMC の年間生産能力（単位：万枚，8 インチウェハ換算）



出所) TSMC (各年版) と UMC (各年版) より筆者作成。

図 16 TSMC と UMC の生産能力利用率（単位：％）



注) 生産能力利用率＝生産量／生産能力×100 (年間数量。8 インチウェハ換算)。なお、TSMC の数値が 100% を超える年があるが、これは、当該年の途中で設備を拡充して需要増加に対応したためである。

出所) TSMC (各年版) と UMC (各年版) より筆者作成。

5.5 UMC の巻き返しに向けた戦略

以上のように、TSMC と UMC は、2000 年代初頭まではほぼ互角のライバルと看做されていたが、その後次第に差がつき、2000 年代の後半になると格差が歴然とするようになって

た。こうした差が付きはじめた起点と根本原因、そして UMC がその後巻き返しに成功していない理由について単純明快な説明は筆者には今のところ出来ない。伍 (2006, pp.241-244) のように、0.13 μ m 世代のプロセス開発での躓きを起点のように言うものもある。また両社の経営スタイル、特に 2000 年代初め時点で経営トップであった張忠謀氏 (TSMC。現在も同社会長) と曹興誠氏 (UMC) の性格の違いを遠因とすると解釈できるものもある (Liu and Chu, 2005)。しかし、何か単一の分かりやすい原因・分岐点を見出すのは難しいように思う。おそらく、TSMC がファウンドリ専門の徹底ぶりで大規模かつ慎重な設備投資、コスト管理、自社の研究開発能力の育成、主要顧客との長期的パートナーシップを踏まえた未来需要予測の精確さといった点でやや勝っており、その後大きく躓くことなく、上述の「正の循環」を回転させるうちに徐々に競合との差が開いていったということであろう。特に近年、ファウンドリ・ビジネス (および半導体産業全体) の成熟化に伴うウィナーテイクオール的環境下で格差が決定的となったと思われる。

こうした状況にもかかわらず、現在、UMC は巻き返しに向けた戦略を練っている。即ち、筆者自身の UMC での面談によれば、²³ 同社は未来の趨勢として IoT (Internet of Things, モノのインターネット) 市場が非常に重要となるという予測を踏まえ、これに向けたソリューション提供を唱えている。IoT は、スマートフォンのような単一製品市場ではなく実は雑多な製品市場の寄せ集めであり、其々に最適化が必要である。Qualcomm 等の大手企業といえども、単一企業が多様なアプリケーション向けに最適化するのは容易でない。そのため、IoT の未来生産趨勢は、小企業に有利とみている。UMC と TSMC はビジネスモデルの類似性が高いが、相対的に言えば、生産ラインや業務プロセスの柔軟性において UMC は TSMC より優位である。即ち、UMC はカスタマイゼーションをより積極的に受け入れる傾向があり、相対的に大手顧客よりも中小顧客へのサービスに慣れている。この背景には、両社の顧客層の違いの他に、知識管理や工場運営方法の相違がある。TSMC では、ノウハウや知識をコード化しデータベースに保存し十分な活用を図る。例えば、新工場建設に際して、成功経験を徹底的にマニュアル化しコピーする。管理方式や技術員の作業についても同様である。これに対して、UMC はあらゆるものをコード化はせず、従業員同士の対話・ローテーションを通して経験・ノウハウの普及を図っている。工場の運営を担う生産企画部も、TSMC は本社の視点から全社的に集中管理するのに対して、UMC では各工場レベルでの裁量が多い。²⁴

²³ 以下の記述は、特に断りの無い限り、筆者自身の UMC での面談 (2015 年 1 月 23 日実施) からの情報に基づく。

²⁴ 以上、両社の知識管理や工場運営方法の相違については、呉 (2005) を参考にした。なお筆者自身による TSMC と UMC での面談によれば (各々、2015 年 1 月 22 日、および 2015 年 1 月 23 日に実施)、TSMC は工場の生産ラインについては、同じプロセス世代なら同社傘下の工場間で極力同じように構築するのに対して (これを「copy exactly」という。製造装置の仕様、工程レシピ、品質管理法等を全て完全に同じにすること)、UMC はそれを目指しながらも TSMC ほど徹底できていないという。この背景には、専業ファウンドリとして創業した TSMC は、当初から工場間の違いが出来るだけ少なくなるよう設計しているのに対して、UMC は IDM からファウンドリへ転業し「五合一」(2000 年の UMC 自身を含むグルー

要するに、TSMC は標準化の文化がより徹底されており、その分やや融通が利かないところがあるのに対して、UMC はより柔軟であり雑多な市場と小規模企業で構成されるであろう IoT の時代にはより適合的だということである。

また、IoT の時代では先端プロセスの導入で多少後れを取っていることは必ずしも致命的とはならないという。つまり、多くの顧客は 28nm 世代のプロセス技術は使いこなすところまで来るだろうが、それ以降の世代はごく少数の顧客のみが活用できる。IoT は必ずしも最先端プロセスを必要とするとは限らず、むしろ成熟したプロセスで異なる応用分野に最適化することが要求され、顧客との間の一層密接なフィードバックと価値の共同創造がカギとなるのである。

ただし、多様なニーズに最適化するカスタマイゼーションは標準化と量産化が追及できない分コストと効率が犠牲にされ、管理も複雑になる。また小規模顧客が相手の場合、カスタマイゼーションに見合う十分な収益が得られない恐れもある。さらに、TSMC も生産ラインの柔軟性は相当に高く、提供できるサービスやプロセスの種類(先端 CMOS 以外も含む)も幅広く、²⁵ 強力なライバルであることに変わりはない。UMC の IoT 時代に向けた巻き返しの戦略が成功するかどうかは、こうした点を踏まえ今後を見守る必要がある。

6. まとめ

本研究の目的は、冒頭で述べたように、台湾半導体産業におけるファウンドリ・ビジネスの発展について、その発展の歴史的経緯、ビジネスモデルが成功した要因を TSMC の事例を主に念頭に置き分析することであった。加えて、同じファウンドリ・メーカーでも、業界トップの TSMC とそれ以下のメーカーの間で近年業績格差が目立ってきており、この原因を台湾ファウンドリ・メーカー2 番手である UMC との比較を通して分析してきた。

その結果、ファウンドリの台頭は決して簡単に実現されたわけではなく、その時々指摘された「限界」や「困難」をビジネスモデル上のイノベーションによって乗り越えてきた結果であることが示された。ファウンドリ・ビジネスの発展の歴史は少なくとも 3 段階に分けられる。即ち、第 1 段階は「ファウンドリ・ビジネスの初期モデル (1987 年～1990 年代半ば)」で、この時期の特徴は、専業ファウンドリの持つ基本的な利点を活かした比較的単純なサービスの提供であり、当初、IDM からおこぼれの仕事で凌いだが、誕生間もないファブレス業の成長を刺激し二人三脚で発展していくことに繋がっていく。TSMC 会長の張忠謀 (モリス・チャン) 氏が言うように、ファウンドリとファブレスという「2 つの新産業を創った」のである (チャン, 2002)。

プ企業 5 社の統合) 等により工場を拡充してきたという両社の歴史的経緯の違いがある。
²⁵ 例えば、TSMC は、2012 年のデータで、179 種の技術を組み合わせ、453 の顧客に対して、8,312 種類の製品を供給した実績があるという (2013 年 12 月 6 日付の TSMC 会社説明資料)。

第2段階は「ファウンドリ・ビジネスの成長：技術・生産能力の発展（1990年代後半頃から）」で、顧客ファブレスの成長とその背景にあるPC・周辺機器等の応用製品市場の成長、そしてそこに搭載されるシステムLSIがプロセス・ドライバとなっていったことと連動している。また、製造装置メーカーが成長し、プロセス技術を体化した製造装置の開発・販売を始めたことで、技術的に後発であったファウンドリもこうした新式の装置を導入することで技術的にもキャッチアップが容易となった。加えて、規模の経済実現と顧客への安定的生産能力提供のため工場の拡充も進められた。

第3段階は、「ファウンドリ・ビジネスの成熟：ソリューション・ビジネスへ（2000年代以降）」で、ファウンドリ・ビジネスは、専門の基本的利点、先端プロセス開発推進、大規模生産能力構築（12インチウェハ対応の大規模量産工場建設）に加え、顧客への設計支援サービスを核とするソリューション提供という新たな要素を取り込んでいった。ソリューションの内容は年々豊富になり、このために、半導体バリューチェーン上の他の専門企業（装置・材料メーカー、IPプロバイダー、EDAベンダー、後工程専門企業等）および主要顧客とのパートナーシップ構築とその深化が進んだ。こうして、TSMCのような大手ファウンドリを中心に、近年、技術的・資金的に益々難易度を増す先端的チップの開発・製造に向けたエコシステムが充実していったのである。ファウンドリ業界のトップ企業であるTSMCは、創業当初は低コストが武器の下請けビジネスと軽く見られていたが、今や世界の最大手半導体メーカーの一角を占めている。

後知恵的に言えば、ファウンドリは、専門の利点を徹底的に追求し、同時に顧客ファブレスやアライアンス・パートナーを含む他の専門企業の成長を促し、相互に支えあい、各分野でのイノベーションを刺激し、全体として半導体設計・製造のエコシステムを繁栄させる上で、IDM中心の産業システムよりも有効であったのである。2000年代に進んでからも、微細化の進展に伴い設計・製造の各工程間の調整・擦り合せの必要性が増加し、やがてファウンドリ・ビジネスの「限界」が来ると度々指摘されたが、今までのところは、「限界」よりも専門化・協業の利点の方が勝っているようである。

ただし、TSMCやUMCのような大手ファウンドリのビジネスモデルは、単純な請負製造専門から、その専門を堅守しつつ、むしろそのためにこそ（自社製品の開発・マーケティング以外の）半導体のバリューチェーンのほとんどあらゆるステージに直接・間接に関与する「バーチャルなIDM」へと進化していったのであり、単純に分業・専門化の勝利とは言えないかもしれない。

このようにファウンドリ・ビジネスモデルの有効性は、少なくともロジックICやシステムLSIの分野では広く認められるに至った。他方、ファウンドリ業界でも寡占化、とりわけTSMCの圧倒的優位が表面化する中で、基本的に類似のビジネスモデルを有するにも関わらず、ファウンドリ企業間の格差を生み出し加速するメカニズムがあることが窺われるのである。本研究では、それをファウンドリ・ビジネスにおける成長の「正の循環」として捉え、これが具体的に如何に働いたかをTSMCとUMCの業績比較を通して検討した。両社

は、2000 年代初頭までは、概ね互角のライバルと認識されていたが、その後、収益性で差が開いていった。その結果、設備投資額や研究開発支出でも差が出ており、これが先端プロセス開発と量産立ち上げの遅速に影響を与えていることも明らかとなった。生産能力拡充と設備稼働率でも TSMC が UMC を上回っている。これがまた収益性の違いに繋がり、次第に格差が拡大していったのである。こうした差が付きはじめた起点と根本原因、そして UMC がその後（今のところ）巻き返しに成功していない理由について、何か単純明快な説明をすることは筆者には現段階では出来ない。おそらく、TSMC がファウンドリ専門の利点を活かし追求する上での徹底さとそのための大小のイノベーションの積み重ねでやや勝っており、その後大きく躓くことなく上述の「正の循環」を回転させるうちに徐々に競合との差が開いていったということであろう。

最後に、今後の課題を言うなら、①こうした違いを生み出した TSMC と UMC 両社の経営スタイルの相違は如何なるものか、②昨今微細化の物理的限界に近づきつつあるといわれる中で、今後もこうした「正の循環」が機能し続ける見込みはどうか、さらに③最近 Intel や Samsung のような大手 IDM がファウンドリ・ビジネスへの参入を本格化する動きがあるが、それが成功する見込みはどの程度か（「正の循環」を念頭に置けば、成功の可能性はそれほど高くないように思われる）、といった関心を踏まえ、半導体産業の将来の発展方向とビジネスモデルの進化について探究することである。

参考文献

<日本語>

- 青木修二（1999）『ハイテク・ネットワークー台湾半導体産業はなぜ強いのかー』白桃書房。
- 朝元照雄（2011）『台湾の経済発展ーキャッチアップ型ハイテク産業の形成過程ー』勁草書房。
- 朝元照雄（2014）『台湾の企業戦略ー経済発展の担い手と多国籍企業化への道ー』勁草書房。
- 石原宏（2005）「TSMC テクノロジー・プラットフォームについて」『赤門マネジメント・レビュー』4 巻 1 号（2005 年 1 月），pp.45-50.
- 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ワーキングペーパー。
- Wolf, Kurt（2001）「TSMC のシステム LSI 戦略（1） LSI 設計基盤の整備に向けライブラリの品質を向上」『日経マイクロデバイス』（2001 年 10 月号），pp.162-165.
- 王淑珍（2006）「台湾半導体産業の発展における政府の役割および生産システムと企業間の取引関係」東京大学大学院経済学研究科博士号学位論文。
- 大石基之（2001）「国内半導体メーカーが見守る SiS 対 UMC 紛争の行方ーファウンダリと顧客間のノウハウが争点ー」『日経エレクトロニクス』（2001 年 3 月 26 日号），pp.45-46.
- 大下淳一，木村雅秀（2012）「半導体のコストダウンは止まるのか？ー動き出す 450mm ウエ

- ハーと瀬戸際の EUV 露光」『日経エレクトロニクス』(2012年11月26日号), pp.59-73.
- 温清章 (2006)「UMC のシステム LSI 戦略」『赤門マネジメント・レビュー』5巻2号 (2006年2月), pp.67-76.
- Kazemkhani, Payman (2001)「TSMC のシステム LSI 戦略 (2) IP 利用の促進目指し検証効率化と品質向上に取り組む」『日経マイクロデバイス』(2001年11月号), pp.168-170.
- 河合基伸 (2001)「標準品は TSMC に任せる 腹をくくった NEC トランジスタ特性を共通化へ」『日経エレクトロニクス』(2001年7月30日号), p.31.
- 岸本千佳司 (2014)「台湾半導体産業における垂直分業体制と競争戦略の研究ー日本企業凋落との対比よりー」ICSEAD Working Paper Vol.2014-05.
- 木村雅秀 (2003a)「米 Transmeta 向け 90nm LSI 製造で富士通が TSMC に勝てた理由」『日経マイクロデバイス』(2003年12月号), pp.131-135.
- 木村雅秀 (2003b)「技術ノウハウ生かす IBM TSMC は企業連合で挑むーターンキーと COT の中間へー」『日経マイクロデバイス』(2003年2月号), pp.46-55.
- 木村雅秀 (2006)「水平分業でも DFM はできる TSMC が EDA 関連企業と連携ー65nm 以降での歩留まり改善狙うー」『日経マイクロデバイス』(2006年6月号), p.86.
- 木村雅秀 (2010a)「攻めに攻める TSMC 大規模投資と先端開発で他社を圧倒ー20nm 世代の量産計画も披露ー」『日経エレクトロニクス』(2010年3月8日号), pp.8-9.
- 木村雅秀 (2010b)「TSMC の技術フォーラムで思ったこと」『日経テクノロジーonline』(2010年3月1日), <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/TOPCOL/20100301/180680/?rt=ocnt> 2015年3月20日検索.
- 木村雅秀 (2012)「ルネサスと TSMC が提携 マイコンの生産委託が加速へー40nm 世代のフラッシュ混載技術を共同開発ー」『日経エレクトロニクス』(2012年6月11日号), pp.10-11.
- 呉團焜 (2005)「半導体ファウンドリー・メーカーの競争優位ー台湾における TSMC と UMC の事例からー」『日本経営学会誌』第13号, pp.60-73.
- 小島郁太郎 (2004)「TSMC のレファレンス設計フロー 最新版で SoC 設計の業界標準となるかーパッケージ封止時の解析, 電源解析を強化ー」『日経マイクロデバイス』(2004年10月号), pp.92-94.
- 佐藤幸人 (2007)『台湾ハイテク産業の生成と発展』岩波書店.
- 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ー装置を購入すれば半導体は製造できるかー」『同志社商学』第60巻第3・4号, pp.54-154.
- Sun, Jack (2009)「不況時こそ研究開発に投資 好況期にライバルを引き離す」『日経エレクトロニクス』(2009年8月24日号), pp.115-117.
- 荘苑仙 (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.
- 立本博文 (2014)「半導体産業における投資優遇税制」長内厚・神吉直人編著『台湾エレクトロニクス』(2014年11月号), pp.10-17.

- トロニクス産業のものづくり』白桃書房 (pp.195-213) .
- 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—アーキテクチャ変動のダイナミクス—」藤本隆宏編『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—』(pp.206-251) 有斐閣.
- 田村博和 (2013) 「半導体産業の構造変化と企業間関係の考察—TSMC の事例研究を中心に—」 *Journal of the Graduate School of Asia-Pacific Studies*, No.25 (2013.3), pp.49-71.
- Chang, Andley (2001) 「TSMC のシステム LSI 戦略 (3) 共同設計作業ツールを実用化 インターネット利用で設計時間を短縮」『日経マイクロデバイス』(2001年12月号), pp.231-234.
- チャン, モリス (TSMC 会長) (2000) 「半導体分野で新ビジネスモデル創る 受託生産に特化し利益率3割超達成」『日経ビジネス』(2000年12月4日号), pp.62-65.
- チャン, モリス (TSMC 会長) (2002) 「2つの新産業を創った」『日経ビジネス』(2002年12月16日号), pp.96-99.
- 長広恭明 (2001) 「システム LSI で覇権狙う TSMC 国内大手とは逆の総合志向と自前主義へ」『日経マイクロデバイス』(2001年7月号), pp.131-138.
- 西村吉雄 (1998) 「産業構造の水平化が製造装置の低コスト化を加速—Si ファウンドリの競争力が向上—」『日経マイクロデバイス』(1998年12月号), pp.90-99.
- 西村吉雄 (2014) 『電子情報通信と産業』コロナ社.
- Patterson, Alan (2014) 「28nm プロセス市場, TSMC がほぼ独占も UMC がシェアをわずかに拡大」『EE Times Japan』(2014年11月4日), <http://eetimes.jp/ee/articles/1411/04/news060.html> 2015年3月20日検索.
- 筆者不明 (2010a) 「TSMC, 設計基盤でも覇権を握る」『日経エレクトロニクス』(2010年6月14日号), pp.44-45.
- 筆者不明 (2010b) 「パッケージ組み立て 顧客の多様化で技術重視へ モジュール技術も手の中に」『日経エレクトロニクス』(2010年6月14日号), pp.52-57.

<英語>

- Liu, T.-H., Y.-Y. Chu, S.-C. Hung and S.-Y. Wu (2005) “Technology entrepreneurial styles: a comparison of UMC and TSMC,” *International Journal of Technology Management*, Vol.29, Nos. 1/2, pp.92-115.
- Tsai, T. and B.-S. Cheng (2006) *The Silicon Dragon: High-Tech Industry in Taiwan*, Cheltenham, UK/ Northampton, MA, USA.

<中国語>

- 蔡明介 (2007) 『競争力の探究—IC 設計, 高科技産業実践策略與觀察— (増訂版)』台北: 財信出版.
- 財信出版社 (2010) 『半導体産業投資攻略』台北: 財信出版社.

- 財訊出版社 (2007) 『IC 設計產業版圖』台北：財訊出版社.
- 陳東升 (2008) 『積體網路－臺灣高科技產業的社會學分析－ (增訂版)』台北：群學出版.
- 潘健成 (2011) 『為自己爭氣－群聯電子十年 318 億元的創業故事－』台北：天下雜誌.
- ITRI-IEK (各年版) 『半導體 (工業) 年鑑』新竹：工業技術研究院・產業經濟與趨勢研究中心 (2013 年版的タイトルは『半導體產業與應用年鑑』) .
- TSMC (各年版) 『公司年報』 http://www.tsmc.com/chinese/investorRelations/annual_reports.htm
2014 年 12 月 10 日檢索.
- UMC (各年版) 『公司年報』 http://www.umc.com/chinese/investors/Reports/2010-present_report.asp
2014 年 12 月 10 日檢索.
- 伍忠賢 (2006) 『透視台積電』台北：五南圖書出版.
- 張如心, 潘文淵文教基金會 (2006) 『石夕說台灣－台灣半導體產業傳傳奇－』台北：天下遠見出版.
- 張俊彥, 游伯龍 (2001) 『活力－台灣如何創造半導體與個人電腦產業奇蹟－』台北：時報文化.