Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-29

米国半導体産業における技術開発様式の階層性とその進化 : 技術特化型技術開発と多技術型技術開発

徳丸, 宜穂

(Citation)
国民経済雑誌,187(2):1-16

(Issue Date)
2003-02

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/00055831

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/00055831

米国半導体産業における
技術開発様式の階層性とその進化：
技術特化型技術開発と多技術型技術開発

徳　丸　宜　穂

レフェリー付き論文
初稿受付日　2001年12月11日　　採択決定日　2002年５月22日

本稿は，現代先端産業における技術開発体制の展開について論じる。これまでに，最近の技術開発過程の「分業化」を示唆する具体例や，それへの理論的説明が多く提起されてきたが，体系的な実証分析がなされていないという問題がある。本稿では，米国特許庁（USPTO）の特許データを利用し，半導体産業を事例として実証分析を行った。その結果，開発を行う要素技術の種類を限定する技術特化方向への変化は生じていないということ，および，「技術特化型」「多技術型」と呼びうる２つの異質な技術開発様式の階層が存在し，技術開発における後者の比率が増大しているということが明らかになった。このことは，通説的理解とは反対に，財生産におけるような特化・分業が，技術的知識の生産においては一般的になってきてはいないということを示している。

キーワード　技術革新，技術開発様式，特許，半導体産業

1　は じ め に

本稿は，現代先端産業における技術開発体制の展開について論じる。1980年代までの経験を基礎にした一連の比較制度論的研究は，技術開発体制における国毎の相違に着目してきた。企業部門だけに絞ると，日米両国のイノベーションシステムの特徴は次のように把握されてきた。日本の場合，技術者の流動性は低く，新技術の開発・導入は大企業によって主に行われる。研究開発と製造過程との相互作用が密接であり，積み上げ的な技術革新に適しているとされてきた（e. g., Freeman, 1987; Odagiri and Goto, 1993)。これに対して米国の場合，技術者の流動性は高く，新技術の開発・導入において，中小規模のスタートアップ企業の役割が大きい。技術者による新企業の設立が盛んで，画期的新技術の開発・導入に適している

と論じられてきた (e.g., Mowery and Rosenberg, 1989; Florida and Kenney, 1990)。すなわち,「技術者の流動性が低く，技術開発活動の大企業への集中度が大きい日本型システム」「技術者の流動性が高く，技術開発活動が中小規模企業へと分散している米国型システム」という対比がなされてきたのである。

しかし，1990年代の諸変化がシステム再編圧力をもたらしていることも事実である。特に,技術革新がますます，企業外部に分散して存在する技術ソースとの相互作用に依存するようになってきている。言い換えれば「技術開発の分業化」は，この10年間における「定型化された事実」として理解されてきており，理論的説明も提示されてきた (cf. Arora and Gambardella, 1994; Gibbons *et al.* eds., 1994)。本稿では便宜上これを「分業化仮説」と呼ぶ。この仮説が妥当であるならば，上述のように理解されてきた両国のイノベーションシステムに変容が見られるはずであるから，この仮説に関する実証研究は重要である。

本稿が問題とするのは，分業化仮説とその理論的説明が妥当なのかどうかということである。なぜなら，これまでにこの仮説に該当する具体例は提示されてきているものの，体系的な実証分析がなされていないという点にこの仮説の限界があると考えるからである。この限界を超えるために，本稿では，米国特許庁 (USPTO) の特許データを利用し，半導体産業を事例として実証分析を行う。まず第2節で，技術開発の組織化に関する既存の議論から分業化仮説を検討し，それの検証に必要な概念枠組を提示する。第3節で半導体産業に関する概観を行った後に，第4節で米国特許庁データベースを利用することによって，米国半導体企業における技術開発分野構成とその変化を分析する。第5節では，分析結果に関する検討を行う。

2　技術開発の分業化仮説

従来の歴史的研究では，技術開発が大企業内部に整備された研究開発体制の中で自己完結的に行われるシステムが構築されてきたという歴史が強調されてきたが (廣重，1973; Mowery and Rosenberg, 1989)，1980年代末期以降の現状分析的研究では，コンソーシアから研究委託までを含む企業間連携，大学など研究機関との連携といった，企業外部を含んだ有機的な技術開発体制の構築という側面が強調されるようになってきている (Nelson ed., 1993; Gibbons *et al.* eds., 1994)。現実に，(1)開発費の持続的上昇，(2)必要な要素技術の複数化，(3)技術進歩スピードの上昇，(4)技術間補完関係の複雑化，(5)科学的基礎知識への依存度の上昇など，技術開発組織の分業化を促すような諸要因が現れてきている (Mowery and Rosenberg, 1989；科学技術庁『科学技術白書』各年度版)。確かにこれらの要因は，企業外部の技術ソースへの依存度を上昇させるように作用することは容易に見て取れる。

契約理論的な枠組みでこの現象を分析する Arora and Gambardella (1994) によれば，こ

のような技術開発の分業化は，技術開発過程で生産・利用される知識の性質の変化によって究極的には説明されるという。技術開発によって生み出される知識に関しては，事前に契約によって明示化することが困難であり，またその知識が文脈依存的であるがゆえに資産特殊性を持つことから，取引費用が高くなる。製造過程との知識のやり取りも同一企業内に内部化されていた方が容易である。したがって研究開発は内部化されると，従来説明されてきた（Mowery, 1983)。しかし近年，科学の進歩とコンピュータ能力の上昇により，試行錯誤や経験の蓄積にもとづく新技術の開発から，モノや構造を支配する原理を見いだし，それを高度な機器を用いてテストしたり，コンピュータの上でシミュレーションを行うという方向へと技術開発の方向が変化している。このようになると，技術・知識がより一般的なコードで表現できるようになり，「暗黙知」に頼る部分が減少するし，技術を組織間で取り引きするコストも小さくなる。それに応じて，技術開発の外部化＝「イノベーション分業」(division of innovative labor）がなされるようになる（Arora and Gambardella, 1994; 後藤, 1999)。この変化が究極まで進んだ場合，技術的知識そのものを取引する「技術市場」が形成されるに至る（Arora, Fosfuri and Gambardella, 2001; Guilhon ed., 2001)。

ここで概念を整理する。彼らが述べている「分業」には，各企業が技術開発を行う技術分野を絞り込んで専門特化しているという側面と，少数の企業に集中していた技術開発が多数の企業へと分散化しているという側面の，2つの別個の意味が含まれている。以後本稿では，前者を「技術特化」ないし単に「特化」と呼び（対概念は「多技術化」)，後者を「分散化」（対概念は「集中化」）として区別することにする。[1]

しかし，これらの議論の問題は，個々の事例の提示を超えて，体系的な実証分析によって検証されていないということである。技術革新は不確実性が大きい分野なので，技術開発範囲に関する意思決定には，当該企業が形成する期待・ビジョンと，それに根ざした戦略的な要因が重要な位置を占める。したがって，上述のような同一の環境が各企業に与えられたとしても，技術開発に関する意思決定は企業間で多様なものとなる可能性がある。それゆえ，技術開発の分業化という「定型化された事実」をもって，ある産業全体の技術開発体制を特徴付けることができるのかどうかについて，体系化された実証分析が必要であると筆者は考える。言い換えれば，「定型化された事実」自体の妥当性の検証がまず必要である。

ここで，「分業化仮説」を検証可能な形態に整備する。単一ないし少数の要素技術の開発のみに従事する技術開発様式を「特化型」，多数の要素技術の開発に従事する技術開発様式を「多技術型」と定義する。したがって，検証すべき「分業化仮説」は次のように分節化される。すなわち，上述のような，技術開発組織の再編を促すような圧力に呼応して，(1)各要素技術において技術開発の分散化が見られ，(2)特化型の方向への変化が進展した，というのがそれである。

以下本稿では，米国半導体産業について実証分析を行う。

3　半導体産業における技術革新

本稿は，1990年代半導体産業における技術開発活動の再編を事例とする。1980年代の半導体産業は，第１節で挙げた「日本型システム」「米国型システム」の把握に大きく寄与した。したがって，1990年代における両システムの変容を理解する上で，この産業を事例とすることは，バイオテクノロジーなど他のハイテク産業を事例とするよりも好都合であると考えられる。ここでは，必要な限りにおいて半導体産業について概観する[2]。

半導体の分類上，本稿で対象とするデバイスは，集積回路のうち中心を占めるMOS型のメモリ，ロジック集積回路である。半導体の製造工程には，半導体企業のみならず，ウエハーやパッケージ封止材料を生産する半導体材料産業，製造装置を生産する半導体製造装置産業，回路設計や設計用CADツールの開発を行う半導体設計産業が関わっている。通常，半導体企業は，設計と製造の両方を行うが，設計のみに特化した「ファブレス企業」，また他社製品の製造請負のみに特化した「ファウンドリー企業」も存在する。

製品・製造技術の展開方向として，次の３点を指摘することが可能である。なお，最初の２点は，Arora and Gamberdella (1994) や後藤 (1999) が挙げた傾向と符合している。

第１に，デバイスの高速化，高集積化に伴い，微細加工と高密度な配線が必要となる。このことは次第に，科学的知識に基づく問題解明を要求するようになる。例えば露光装置の場合，より波長の短い光線を利用したレーザーが必須となる。次第に工業的に利用されたことのない光源を用いることになると，光学的性質の基礎的解明が必要になる。また，高密度配線の結果，配線間の電気的相互干渉の問題が深刻になる。次第に素材面での革新が必要になるだろうと考えられており，新素材に関する基礎的データが必要になる。

第２に，回路設計，デバイス設計への情報技術，とりわけCADツールの大幅な導入である。設計の自動化など設計過程そのものでの利用の他に，デバイスの性能を事前に確認するために，シミュレーションが多用されている。デバイスの高速化，高集積化に加え，短期間での設計がますます要求されるようになってきており，それに対応するためには試行錯誤的方法では非効率である。基本原理に遡って構築されたモデルに基づき，生産工程までの全プロセスを包含したシミュレーションが，設計段階で行われるようになってきている。

第３に，製品であるデバイスの進化が，デバイスを利用するシステム（例えばPC，情報家電）とますます密接な関係を持つようになってきているということである。マイクロプロセッサ（MPU）とオペレーションシステム（OS）の関係は，「ネットワーク外部性」としてよく知られている。しかし，デバイスとシステムとの関係の密接化というこの傾向をより明確に表現しているのはシステムLSIである。システムLSIとは，アプリケーション毎の機能ブ

ロック（IP）[3]を，最新のASICプロセス[4]を用いて高集積化し，マイクロ・ロジック・メモリを一つのチップ上に集積したICのことである。従来からのDRAMのような汎用デバイスと比べ，システムLSIでは，たとえばデジタルTV向け，DVD向け，携帯電話向けなど，システムの機能がデバイスにより強く反映されている。

この時期の産業組織上のもっとも重要な変化は，特定の工程に特化した企業群が増大し，重要な位置を占めるようになったことである。確かに，半導体製造装置や材料のように，もっぱらそれらに特化した企業に依拠する工程は従来から存在した。また，設計用のCADツールでは，それを開発・販売する特化型企業への依存度は高まっていると言われている。しかし，この時期について最も特筆すべき変化は，前述の「ファブレス企業」の増加である（Langlois and Steinmueller, 1998; Macher, Mowery and Hodges, 1999）[5]。同時に，これに対応して，製造に特化した「ファウンドリ企業」の台頭が生じている。

このような製品構成の変化，および産業組織上の変化を考慮するならば，技術開発の分業化という事実認識は自然かつ正当なように思われる。次節ではこの点を検証する。

4　1990年代における技術開発分業の展開

第2節で述べたような先端技術開発に共通する傾向的変化，および第3節で述べたような半導体産業固有の技術変化に対して，半導体産業は技術開発体制をどのように再編してきたのであろうか。また，それは第2節で述べたような「分業化仮説」に沿った変化であると言えるだろうか。本節では，米国特許庁の特許データベース（USPTO Web Patent Databases; http://www.uspto.gov/patft/index.html）を用い，そこから得られる情報を分析することによって明らかにする。ある企業がある時期に取得した特許が，その時期における企業の技術開発活動を反映していると考えれば，特許数や特許構成の変化は，それぞれ，技術開発の水準や構成の変化を反映していると考えることが出来る[6]。

本節では，要素技術を，製造技術，検証技術，設計技術，メモリ，プロセッサーの5つに分類する（詳細は末尾の付録を参照）。半導体関連企業のうち，『半導体産業計画総覧2000年度版』（産業タイムズ社），『2000半導体データブック』（電子ジャーナル社）に掲載された米国企業62社が調査の対象である[7]。ここに該当する企業で，技術的にアクティブな企業を網羅することが可能である。これら企業について，1986-90年，1991-95年，1996-2001年（～2月）の3期間に分けて調査を行う。

現実には，この5つの要素技術分野で万遍なく技術開発を行っている企業のケースと，1つの技術分野でのみ技術開発を行っている企業のケースとを両極として，ヴァリエーションがありうる。第2節での議論を踏まえて，両極のうち前者のような企業を「多技術企業」と呼び，後者を「技術特化企業」と呼ぶ。また，現実の企業はこの両極を結ぶ線分中に位置づ

けられるわけだが，そこから各極の方向へ向かう変化を，それぞれ単に「多技術化」「特化」と呼ぶことにする。

第１節で述べたように，従来の研究は，技術開発活動が上位企業に集中しているか，それともより下位の企業に分散しているかという，「技術開発の分業構造」に着目することが，日本型・米国型の各システムを特徴付ける上で重要だと理解してきた。本稿でも，1990年代におけるこの分業構造の変容を分析する。具体的には，次の２つの側面から捉えることによって，この分業構造は適切に把握できる。第１に，各要素技術または全ての要素技術において，技術開発が上位企業へどの程度集中しているのかという側面である。第２には，個々の企業が各要素技術の開発にどの程度携わっているか，言い換えればどの程度多技術化しているかという側面である。したがって，もし第２節で述べたような「イノベーション分業」が進展しているとすれば，このいずれかの指標の変化に現れるはずである。以下では，これら２つの側面の指標化と実証分析を行う。

4.1　上位企業への技術開発集中度

技術開発の分散化は，上位企業への技術開発集中度の低下として観察されるであろう。そこで第１に，各要素技術における，特許取得の上位10社への集中度を計測し検討する。10社占有率[8]を計算したものが表１である。

表１：10社占有率（%）（要素技術）

	日本			米国		
	1986-1990	1991-1995	1996-2001	1986-1990	1991-1995	1996-2001
プロセス	68.0	71.7	68.6	37.7	51.6	68.7
検　証	45.2	52.0	47.0	8.8	13.8	20.5
設　計	82.6	98.4	97.5	37.0	59.7	65.4
メモリ	93.0	83.9	91.3	47.7	51.9	60.0
プロセサ	96.2	94.8	91.1	48.9	60.5	66.9
全要素技術計	72.8	74.3	74.8	27.2	38.8	55.5

表１で注目すべきことは，全要素技術の合計で見た場合に，日本の場合３期間にわたり10社占有率はほぼ一定しているが，米国ではそれが27.2%から55.5%へと一貫して上昇してきているということである。つまり，米国での，上位企業への技術開発の集中度は２倍強まで上昇してきたことになる。このことは，取得特許数という指標で見る限り，技術開発における上位企業の役割が相対的に増大してきたことを意味する。[9]

さらに注目すべき事実は，技術開発企業数は増加しているにもかかわらず，集中度は上昇

しているということである。前述のようなファブレス企業の増加は，回路技術（プロセサ・メモリ）の特許取得企業数に影響を与えるはずである。事実，プロセサ技術特許を取得した米国企業数は，79社（1986-90），107社（1991-95），182社（1996-2000）のように推移しており，明らかな企業数の増加を見て取れる。この証拠だけを見れば，技術開発の分散化が進行しているように見える。しかし，同時に技術開発集中度が上昇していることを考慮するならば，技術開発企業数の増加から直ちに，技術開発の分散化という結論を出すことは出来ないのである。

4.2　企業技術構成の多技術度

第2に，各企業がどの程度多技術化しているか，その多技術度を計測する。各企業が5つの要素技術分野でどの程度技術開発を行っているかは，その企業の特許構成から知ることができる。ある企業が5つの要素技術分野に対して同等の技術開発努力を払っている場合を，多技術度が最大であるとし，逆にただ1つの技術分野の特許しか保有していない場合を，多技術度が最小（したがって特化度が最大）であると考える。

最初に多技術度の指標を定義する。特許構成のハーフインダール指数（HI）を計算すると，各要素技術で均等に特許を取得した場合$HI=0.2$，単一の技術のみで特許を取得した場合$HI=1$となる。したがって，多技術度の指標として（$1-HI$）を用いれば，多技術度最大の時0.8，最小の時0の範囲内の数値で表されることとなる。これを多技術度の指標として用いることは確かに妥当なように見える。しかし，この指標には一つの欠点が存在する。すなわち，各要素技術の特許総数が異なっている以上，異なる要素技術の特許数を同じウェイトで数えることは適当ではない。例えば，総数が100個しかない要素技術特許における特許1個の重要性は，総数が1000個ある要素技術特許における特許1個の重要性と異なるであろう。この点を考慮した指標が必要である。

ここでPatel and Pavitt (1995) にならって「顕示的技術優位性」(Revealed Technological Advantage: RTA) という指標を導入する。この指標は，世界の半導体産業全体をベースに見た場合の，ある企業の各要素技術開発量の相対的な大きさを表すものである。企業iがj技術で取得した特許数をP_{ij}，企業iの取得特許合計をP_i，世界全体でのj技術の特許数をP_j，世界全体での5つの要素技術の特許数合計をPとすると，i企業のj技術におけるRTAは，

$$RTA_{ij}=\frac{P_{ij}}{P_j}\div\frac{P_i}{P} \quad (1)$$

と定義される。したがって，この値が1より大きい要素技術は，当該企業が相対的に盛んに開発を行っている要素技術であるということになる。

RTA を利用すると，より適切な多技術度の指標を定義できる。ある企業における各要素技術の RTA 値は，当該企業の，各要素技術への特化度を表していると理解できる。したがって，ある企業における５つの要素技術の RTA 値の標準偏差は，当該企業が技術特化しているほど大きくなり，多技術的であるほど小さくなる。そこで本稿では，この RTA 値の標準偏差を各企業の「特化度」の指標とし，その値によって多技術度を評価することにする。

ここで，調査対象企業を２つのグループに分割する。まず，５つの要素技術それぞれにおいて特許数上位10社に登場したすべての企業のうち，３期間連続で少なくともいずれか１つの要素技術に登場している企業だけを抽出する[10]。これらを第１グループ[11]とし，残りの企業群を第２グループとする。つまり，第１グループは３期を通じて技術開発を最も盛んに行っている企業群ということになる。両グループの全企業の平均技術特化度を示したのが表２である。表２によれば，両グループ間には技術特化度に格差があり，最も活発に技術開発を行っている第１グループの企業群の方が明らかに技術特化度が低く，換言すれば多技術度が高い。しかしこれと並んで注目すべきことに，いずれのグループでも多技術度は上昇している。つまり，両グループ間には多技術度に明確な格差が存続しているものの，技術特化の方向は示されていないのである。

表２：米国企業両グループの平均技術特化度（括弧内は標準偏差）

	1986-1990	1991-1995	1996-2001
第１グループ	1.55(2.26)	1.03(0.83)	0.79(0.56)
第２グループ	2.54(4.38)	1.82(2.43)	1.28(1.43)

また，各グループ内企業間における技術特化度のばらつきを表したのが，表２の標準偏差である。これによれば，標準偏差は両グループで低下しており，したがって，各グループ内企業間での技術特化度のばらつきは減少していることが分かる。すなわち，各グループ内部で，企業の技術開発様式の同質化が進展していると言うことができる。以上の検討から，２つのグループ間で技術開発様式が異なっているという状況がますます明確になってきていることが判明する。

4.3　特許数と技術アウトプットの関係

多技術度の高い上位企業への，特許の集中化というのが，ここまでで捉えられた米国での変化であった。また，企業を多技術度が異なる２つのグループに分けることができ，両グループにおいて技術的特化は進行していないと言うことも明らかになった。しかし，上位企業における特許増加率の上昇を，実質的な技術アウトプットの増大を正当に反映したものと見なせるかどうかは検討の余地がある。それは，次のような可能性が考えられるからである。

(1)特許数の増加は，企業の特許戦略変更の結果，従来ならば特許として権利化しなかったような発明が盛んに特許化された結果かもしれない。(2)上位企業への特許集中度の増加は，上位企業の技術アウトプットの相対的な質的低下を伴っているのかもしれない。これらが該当する場合，特許数は技術アウトプットを正当に表現しないであろう。だから，ここでの特許数の増加が，技術アウトプットの上昇に裏付けられているのかどうかを検証する必要があろう。以下ではこれらの問題について，順に検証することにする。

第1に，特許数の増加が発明の増大を反映しているのかどうかを検証する。仮に，従来なら特許として出願されていなかったような発明まで特許として権利化されているとするならば，技術者一人あたりの特許数は増加しているはずである。反対に，特許数の増加が技術者の増加によって裏付けられているならば，それは特許の増加が発明の増加を反映していると考えてよいだろう。

プロセス技術は多くの上位企業でコア技術であり続けている。この技術で平均的な推移を示しているのはインテル社である。したがって，インテル社のプロセス技術を検証の事例とするのが適切である。表3は，インテル社におけるプロセス技術特許数，および，発明者として特許に記載された，発明に関わった技術者の数を示したものである。これによると，1991-1995年，1996-2001年のいずれにおいても，特許数の増加は技術者数の増加に裏付けられていることが分かる。確かに，1996-2001年では，技術者一人あたり特許数は上昇しているが，特許数増加に対する寄与では，技術者数増加による寄与の方が上回っている。このことはすなわち，特許数の増加が発明の増加を反映していない，という理解が妥当でないということを示している。

表3：インテル社プロセス技術特許数と技術者数

	1986-1990	1991-1995	1996-2001
特　許　数	33	66	176
技　術　者　数	47	109	210
前期からの一人あたり特許数増加率(%)	—	−13.8	38.4
技術者数増加率(%)	—	131.9	92.7
特許数増加率(%)	—	100.0	166.7

第2に，上位企業への特許集中化が，技術アウトプットの相対的質的低下を伴っているのかどうかを検証する。先行研究は，ある特許が他の特許から受ける引用数（被引用数）が，当該特許の技術的・経済的重要性の指標として有用であることを示している（Jaffe *et al.*, 2000)。この指標を利用して考えると，上位企業の特許の重要性がそれ以外の企業の特許に比べて低かったのかどうかは，両企業群の一特許あたり平均被引用数の比率から知ることがで

きるはずである。

プロセッサ技術および設計技術もまた，標準的な集中度の推移を経験した技術分野である。これら要素技術の特許について，両企業群の一特許あたり平均被引用数の推移を示したのが表４である。この表から，およそ全ての期間において，両グループ特許１個当たり被引用数の差は有意ではないことがわかる。したがって，上位企業の特許の重要性が相対的に低かったとは言えないことは明らかである。また，特許の被引用数のばらつきの大きさを示したのが，表４の変動係数である。取得された特許の重要度のばらつきが大きく，「玉石混淆」の状態であればあるほど，変動係数は大きくなる。しかし，いずれの期においても，両グループの変動係数に顕著な差は認められない。以上の検討から，上位企業の特許の相対的質的低下が見られるという証拠はここでは見いだせない。

したがって，以上２点の検討から，上位企業への特許の集中化は，確かに両企業群の技術アウトプットを反映したものであると言うことができる。

表４：米国企業両グループの特許１件あたり平均被引用数（括弧内は変動係数）

		1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000
プロセサ	第１グループ	20.7(0.83)	23.0(0.89)	20.6(1.10)	3.99(1.46)
	第２グループ	45.7(0.93)	25.5(1.23)	18.9(1.53)	3.87(1.86)
	t 値	0.51	−0.84	0.78	0.53
設　計	第１グループ	45.7(0.41)	35.1(0.98)	21.0(1.14)	8.72(1.55)
	第２グループ	23.3(0.78)	37.2(0.91)	21.7(0.90)	6.18(1.16)
	t 値	3.69**	−0.26	−0.19	−0.68

**：１％水準で有意

5　集中化・多技術性と技術のシステム的性格

これまで示してきたように，上位企業への技術開発の集中度は，日本では一貫して高く，それが低かった米国でも顕著な上昇が見られている。また，第１グループ，すなわち最も技術開発が盛んな上位企業の多技術性は維持，ないしやや強化されてきている。しかしなお，これらの傾向が持続的なものなのか否か，言い換えれば，十分な根拠がある傾向なのかどうかという問題は残る。如何なる要因によって以上の傾向を説明できるのかという問題については別途実証研究を要するが，本節では，このような傾向をもたらすと考えられる２つの要因を仮説的に提示することにする。

第１に，最先端の半導体デバイスを開発する上で，多数の技術を同時にコントロールする必要が高まっているということである。例えば最新のデバイスである，第３節で触れたシス

テム LSI での成功は，搭載するロジックやメモリの開発力を含めたシステム設計力だけではなく，システム設計技術とプロセス技術の連携にも依存している。システム設計はプロセス技術の制約条件を踏まえている必要があるし，プロセス技術開発においてはシステム設計からの多くの厳しい要求に応えていなくてはならない。つまり，先端デバイスの場合，開発において従来以上に各要素技術をコントロールする必要が出てきていると考えられる。

第 2 に，半導体を構成している技術，特にプロセス技術をすべて一企業内部でまかなうことは不可能であり，クロスライセンスが常態である。最近のサーベイ調査（カーネギー・メロン・サーベイ）に基づく研究は，自社の特許は，他企業が保有しているが利用したい技術を入手するための交換手段という意味を持ち，それが特許取得の重要な動機であることを明らかにしている (Cohen, Nelson and Walsh, 2000)。この時，相手企業が欲するような特許を自社が有していなければ，通常極めて高いライセンス料を支払って利用することになる。この事情が，半導体産業において技術開発・特許取得を加速化しているという指摘がなされている (Hall and Ham, 1999)。しかも，異なる要素技術の特許どうしがクロスライセンスされることもあるので，多数の技術で常に開発を進行させる誘因が働いているといえる[12]。ただし，他社のプロセス技術を必要とするのは，主に自社工場を持つ企業であるから，クロスライセンスが技術開発の加速化および多技術化の誘因を与える度合は，事実上，主に大企業に対しての方が大きいということになる。

これら 2 つの要因は，半導体を構成する個々の技術間の相互依存性が強いことに起因している。この性質を，「技術のシステム的性格」と呼ぶことにする。第 1 の要因の背後には，要素技術間に強い相互依存性があることは明白である。この相互依存性をコントロールすることがデバイスの開発力に，したがって企業の競争力に直結するため，企業は多技術性を維持していると考えられるわけである。第 2 の要因の場合，技術革新が，従来開発された技術や現在同時に開発されている技術に大きく依存しており，それらがしばしば他社によって所有されているということが，クロスライセンスが盛んであることの背景にある。このように，技術のシステム的性格は，これらの経路を通じて上位企業の多技術度を維持ないし上昇させると同時に，上位企業の技術開発を加速化させ集中度を上昇させるものと考えられる。

第 2 節で見たように，Arora and Gambardella (1994) や後藤 (1999) は，技術開発分業を制約するのは技術的知識の「暗黙知」的性質であって，情報技術の導入や科学的解明の進展によって知識のコード化が進行し，この性質が解消されるならば，イノベーション分業が行われるようになると考えた。しかし，本節の議論に即して言うならば，技術のシステム的性格という要因もまた，技術開発体制の分業構造を規定していると考えられる。また半導体技術の展開から明らかなように，知識のコード化の進展は，技術のシステム化と必ずしも背反することではない。この事実は，知識のコード化の進展によって，技術開発・製造間の補完

性および要素技術間の補完性が削減され，したがって技術のシステム的性格が削減されると考える「分業化仮説」における想定が誤りである可能性を示唆している。知識のコード化の進展および技術のシステム化という2つの傾向が，技術開発過程に対してどのような影響をもたらしているのかという問題を，今後分析する必要がある。

6 結 論

実は米国半導体産業全体における特許総数の推移については，従来から注目され分析されてきた（e. g., Hall and Ham, 1999）。しかしそれらの研究では，特許分野の構成および取得者の構成には注目されていないという点で，第2節の問題意識に応じたものではなかった。本稿では，特許の内的構成を分析することによって，技術開発体制の推移を明らかにした。その結果，1990年代の米国半導体産業では，技術開発が盛んな企業に技術開発活動が集中化してきていること，およびこれら企業での多技術度は高水準に維持されてきたのみならず，さらに上昇してきていることを示した。

したがって，本稿の分析から判断する限り，米国半導体産業の技術開発体制を，特化型企業の重要性が高い「分散型システム」として特徴付けるのは自明ではないと言える。各要素技術の開発で上位の企業が多技術度の高い企業であること，および，そのような企業への技術開発の集中化傾向があるということは，「分散型システム」とする理解に反すると考えられるからである。

なお，付言すれば，本稿の分析結果は注意深く解釈する必要がある。Florida and Kenney (1990) は，製造と設計の切り離し，および設計への資源集中という特徴を持った米国の半導体産業構造を「細分化された構造」(fragmented structure) と呼び，これが1980年代における競争力低下の原因であると捉えた。また前述のように，Langlois and Steinmueller (1998) や Macher, Mowery and Hodges (1999) は，まさに同じ産業構造こそが1990年代米国半導体産業の活況を説明する重要な一要因であるとしている。評価こそ違うものの，両者とも米国半導体産業を「細分化された構造」として特徴づけている点では一致している。一見すると，この通念的理解と本稿の分析とは背反するように見える。しかし，本稿の結論が従来の理解を否定するものであるのかどうかを判断するには，次のような検討が必要であると考えられる。

第1に，特化型企業の役割をどのように評価したらいいのかという問題がある。本稿では，特許数の見かけの通り，特化型企業の相対的役割が低下していると想定して論じてきた。しかし，このような企業は，特許数の相対比から判断される以上の役割を，多技術型企業との連携関係において担っているのかも知れない。特許取得の意味も多技術型企業とは異なっている可能性がある。総じて，製品や技術段階などにおいて多技術型企業とは棲み分けを行っ

ているのかも知れず，その結果，技術開発領域において両者は異なっているのかもしれない。両者に質的相違があるとすれば，それが特許数の伸び率の違いに反映していることも推測できる。つまり，同一平面上で，両者の役割の相対的な比率を論じることには無理がある可能性がある。したがって，両者の関係を具体的に明らかにする必要があるだろう。これは，技術開発企業数の増加と上位企業への集中化という，本稿で示された一見相反する二つの現象をどのように整合的に理解するかという問題にも関連していることは言うまでもない。

第２に，多技術的な上位企業が構築する技術的提携関係をどのように理解するかという問題がある。ある企業が多技術的であることは，技術的に自足的であることを意味しないし，企業外部との連関の必要性が減るとも言えない。むしろ，多技術的で技術蓄積が大きいことが，他企業との技術提携関係に入るための条件であると言えるのかもしれない。したがって，多技術度・技術開発の集中度と，現実の技術開発分業との関係は，提携の内実に踏み込んで具体的に明らかにする必要があろう。

付　　録

アメリカ特許庁のデータベースについて

同データベースでは，企業名，米国特許分類番号（USPC），企業の国籍，発明者名，発明者国籍，出願時期，登録時期などの検索条件によって，特許の要約および全文を検索することが可能である。本稿のデータは，このデータベースを検索することによって収集された。この際，本稿が挙げた５つの要素技術が，米国の技術分類番号の何番に対応しているかを確認することが最も重要になる。

本稿では，次のような USPC 番号で検索を行った。

プロセス：No. 438 (SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING: PROCESS)
検証技術：No. 324 (ELECTRICITY: MEASURING AND TESTING)
設計技術：No. 716 (DATA PROCESSING: DESIGN AND ANALYSIS OF CIRCUIT OR SEMICONDUCTOR MASK)
メモリ：No. 365 (STATIC INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL)
プロセッサ：No. 712 (ELECTRICAL COMPUTERS AND DIGITAL DATA PROCESSING SYSTEMS : PROCESSING ARCHITECTURES AND INSTRUCTION PROCESSING)

各要素技術と分類番号の対応関係については，次に負っている。

「特許から見たシステム LIS の展望」（特許庁総務課企画調査室　平成11年12月）

謝　　辞

本稿の元となった進化経済学会福岡大会（2001年３月）における研究報告に対し有益なコメントをいただいた。また２名の匿名レフェリーからも有益なコメントをいただいた。御礼申し上げたい。むろん，ありうべき誤りは全て筆者のものである。また，本稿は，日本学術振興会科学研究費補助金の援助を受けた。

注

1 Arora and Gambardella (1994) では，次のような２種類の企業間分業が特に区別されずに「イノベーション分業」として扱われている。すなわち第１に，技術開発と製造の補完性の削減によって可能になる「技術開発と製造の分業」であり，第２に，要素技術間の補完性の削減によって可能になる「技術特化」である。もちろん両者はかなり重複するのであるが，厳密には本稿では後者について扱い，前者については明示的には扱わない。

2 以下は，『半導体産業計画総覧』(産業タイムズ社) 各年度版，肥塚 (1996)，菊地 (1998)，麻生 (2000) に基づく。

3 IP は，Intellectual Property の略で，知的資産ないし設計資産と呼ばれる。集積回路の設計データを意味する。システム LSI の設計は非常に複雑なので，機能毎にブロック化することによって設計を効率化しようとしてきた。この個々のブロックが IP である。メモリ，CPU (中央演算処理装置)，DSP (デジタル信号プロセッサ) などが代表的な IP。必要な IP を半導体企業が全て自社開発することは困難になってきており，動作検証済み IP を他の半導体企業から調達したり，IP プロバイダーから調達することになる。ここに IP の流通市場が出来ることとなる。極端なモデルとしては，IP を IP プロバイダーから購入し，設計は設計委託会社へ，製造はファウンドリー企業へ委託，というような，細分化された分業モデルが提唱されている。このモデルでは，半導体企業はファブレスということになる。

4 ASIC は Application Specific IC の略。特定顧客向けのカスタム IC を意味する。

5 これは，設計のモジュール化を基礎とした，いわゆる「シリコンバレーモデル」の一例だということが出来る (青木，2001)。しかし，半導体産業におけるこのモデルの成功を認める論者でも，Hobday (1994) や Macher, Mowery and Hodges (1999) のように，このモデルが依然として製造過程との分離，したがってプロセス・イノベーションとの分離に基づいていることに注目し，その持続性に疑問を呈する見解も提起されている。だが本稿ではこの問題は扱わず，新たな技術革新モデルとして認知するにとどめる。なお，これが今後，技術的能力を含め必要な資源を企業内に包摂する垂直統合型企業モデルにかわって，半導体産業における産業組織の主流的なモデルになるだろうと考える論者は多い (西村，1995；青山，1999)。

6 もちろん，特許が技術開発活動の指標として完全に適切とは言えない。たとえば，開発された技術が秘匿される場合も多くある。Patel and Pavitt (1995) が述べるように，国によって特許の重要性が異なっているという事情もある。したがって，特許データの利用は次善の手段であることが強調されねばならない。

7 調査対象とした企業は次の通りである。Actel, Altera, Amkor/Anam Group, American Microsystems, Anadigics, Analog Devices, Atmel, Bull HN Information Systems Inc., Burr-Brown, Cadence, Catalyst Semiconductor, C-Cube Microsystems, ChipPac, Cirrus Logic, Conexant Systems, Cypress Semiconductor, Dallas Semiconductor, ESS Technology, Exar, Fairchild Semiconductor, Harris Semiconductor, Integrated Device Technology, International Rectifier, Intersil, Lattice Semiconductor, Linear Technology, Lucent, Maxim Integrated Products, Micrel, Microchip Technology, Mitel Semiconductor, ON Semiconductor, Oak Technology, PMC-Sierra, S3, Silicon Storage Technology, Standard Microsystems, Synopsys,, Thinking Machines, Trident Microsystems, TriQuint Semiconductor, Sun

Microsystems, Unisys Corp., Vishay Intertechnology, Vitesse Semiconductor, VTC, Xicor, Xilinx, Zilog, IBM, VLSI Technology, Digital Equipment Corp., Texas Instruments (TI), LSI Logic, Hewlett Packard (HP), Motorola, Advanced Micro Devices (AMD), Intel, Micron, National Semiconductor, Hughes Aircraft Company。

8　占有率の分母は，全企業の取得特許数であるが，ここでの全企業とは，それぞれ，すべての日本企業，すべての米国企業という意味であり，調査対象企業以外のすべての企業を含んでいる。

9　ここでは，日米両国の集中度の相違については論じない。なぜなら，このデータで両者の集中度の値を比較することには問題があるためである。国内市場を主要な販売先とする小規模な企業ほど，外国への特許出願を行わないと考えられる。したがって，米国特許庁のデータでは，日本の集中度は過大評価されているはずである。もし両国の集中度を比較するとすれば，第3国の特許データ，たとえば欧州特許庁（EPO）のデータなどを利用して計算，比較を行わなくてはならない。

10　これは，同一の要素技術に3期間連続で登場する企業のみを抽出することを意味しない。すなわち，第1期はメモリ，第2期はプロセッサ，第3期はプロセス技術のみに登場しているといった企業も，ここに抽出されることになる。

11　このグループに該当する企業を列挙すれば次の通り。IBM, VLSI Technology, Digital Equipment Corp., Texas Instruments (TI), LSI Logic, Hewlett Packard (HP), Motorola, Advanced Micro Devices (AMD), Intel, Micron, National Semiconductor, Hughes Aircraft Company。

12　これを Hall and Ham (1999) は ‘patent portfolio race’ と呼んでいる。

参考文献

青木昌彦（2001）『比較制度分析に向けて』（瀧澤弘和・谷口和弘訳），NTT 出版

青山修二（1999）『ハイテク・ネットワーク分業』，白桃書房

麻生明（2000）『システム LSI のすべて』，工業調査会

菊地正典（1998）『半導体のすべて』，日本実業出版社

肥塚浩（1996）『現代の半導体産業』，ミネルヴァ書房

後藤晃（1999）「日本のイノベーション・システムとその改革」，『経済研究』Vol. 50，No. 3

西村吉雄（1995）『半導体産業のゆくえ』，丸善

廣重徹（1973）『科学の社会史　近代日本の科学体制』，中央公論社

Arora, A. and A. Gambardella (1994), The changing technology of technological change: general and abstract knowledge and the division of innovative labour, *Research Policy* 23, 523-532.

Arora, A., Fosfuri, A. and A. Gambardella (2001), *Markets for Technology.* MIT Press.

Cohen, W. M., Nelson, R. R. and J. P. Walsh (2000), Protecting their intellectual assets: appropriability conditions and why U. S. manufacturing firms patent (or not), *NBER Working Paper Series* 7552, National Bureau of Economic Research.

Florida, R. and M. Kenney (1990), *The Breakthrough Illusion.* Basic Books.

Freeman, C. (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan.* Pinter Publishers.（大野喜久之輔監訳，新田光重訳『技術政策と経済パフォーマンス』晃洋書房，1989

年)

Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., and M. Trow (1994), *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies.* Sage Publications. (小林信一監訳『現代社会と知の創造　モード論とは何か』丸善，1997年)

Guilhon, B. ed. (2001), *Technology and Markets for Knowledge.* Kluwer Academic Publishers.

Hall, B. H. and R. M. Ham (1999), The patent paradox revisited: Determinants of patenting in the US semiconductor industry, *NBER Working Paper Series* 7062, National Bureau of Economic Research.

Hobday, M. (1994), Innovation in semiconductor technology: the limits of the Silicon Valley network model, In Dodgson, M. and R. Rothwell eds., *The Handbook of Industrial Innovation.* Edward Elgar.

Jaffe, A. B., Trajtenberg,M. and M. S. Fogarty (2000), The meaning of patent citations: report on the NBER/Case-Western reserve servey of patentees, *NBER Working Paper Series* 7631, National Bureau of Economic Research.

Langlois, R. N. and W. E. Steinmueller (1998), The evolution of competitive advantage in the worldwide semiconductor industry, 1947-1996, In Mowery, D. and R. Nelson eds., *The Sources of Industrial Leadership.* Cambridge University Press.

Macher, J. T., Mowery, D. C. and D. A. Hodges (1999), Semiconductors, In Mowery ed. *U. S. Industry in 2000: studies in competitive performance.* National Academy Press.

Mowery, D. C. (1983), The relationship between intrafirm and contractual forms of industrial research in American manufacturing, 1900-1940, *Explorations in Economic History* 20, 351-374.

Mowery, D. C. and N. Rosenberg (1989), *Technology and the Pursuit of Economic Growth.* Cambridge University Press.

Nelson, R. R. ed. (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis.* Oxford University Press.

Odagiri, H. and A. Goto (1993), The Japanese system of innovation: past, present and future, In Nelson, R. R. ed., (1993).

Patel, P. and K. Pavitt (1995), Patterns of technological activity: their measurement and interpretation, In Stoneman, P. ed., *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change.* Blackwell.