

第2章

IT 産業と技術選択

吉野久生

要約

情報技術(IT)産業はその成長率が大きばかりではなく、生産、需要の規模においても、巨大な産業となっている。1980年代に隆盛を極めた日本のIT産業は、その後の韓国企業の規模の経済を牽引力とする集中豪雨的な投資、米国企業の特にCPUにおける技術進歩の一方で、急速に世界市場でのシェアを縮小することとなった。しかしながら、IT技術の急速な進歩は、製品の性能に関してさらに飛躍的に高度な機能を要請するようになり、このことによって、システムLSIへの需要が高まるようになった。システムLSIの生産については、規模の経済性が存在せず、労働に体化するような性質の技術が必要となり、これを生産しているのは、日米欧の企業である。売買可能な技術を中心とする発展径路をとるか、労働に体化するような性質の技術を中心とする発展径路をとるかは、歴史的背景によって決定されているものと考えられる。世界の半導体売上高を見ると、1970年から2000年迄の平均成長率は14%と著しい伸びであった。しかし、2000年から2010年迄の平均成長率を見ると、大幅な低下を見せて4%となっている。LSIの集積度は三年で四倍となる、というムーアの法則にいよいよ限界が見えてきた感がある。技術進歩の停滞によって市場の拡大にブレーキがかかれば、この法則に依拠して中央演算処理装置の性能を伸ばし、これを牽引力としてきた成長モデルにとってはマイナス要因となろう。また、組み立て加工工業を牽引力としている場合には成長は停滞することとなる。それでは、日本や欧州のように技術が労働に体化するような場合にはどうであろうか。米国のテキサス・インスツルメント社は既に1995年頃、アナログ半導体に焦点を絞った経営方針を策定している。その後携帯電話のDSPの販売好調があったため、これは目立つことはなかったが、日本のルネサンス社のマイコンの伸びがあつて、現在では、アナログ半導体の開発とその微細化に尽力している。今後見込まれる、ロボット、医療介護、エネルギー市場の急激な拡大にとって、このアナログ半導体関連分野は不可欠であり、また大きな成長の可能性を持つ分野であるものと考えられる。

キーワード

技術選択、IT産業、システムLSI、アナログ技術

はじめに

情報技術(Information Technology; IT)産業はその成長率が大きいばかりではなく、生産、需要の規模においても、巨大な産業となっている。1980年代に隆盛を極めた日本のIT産業は、その後の韓国企業の規模の経済を牽引力とする集中豪雨的な投資、米国企業の特にCPUにおける技術進歩の一方で、急速に世界市場でのシェアを縮小することとなった。しかしながら、IT技術の急速な進歩は、製品の性能に関してさらに飛躍的に高度な機能を要請するようになり、このことによって、システムLSIへの需要が著しく高まるようになった。システムLSIの生産は注文に応じて行われるため、近年従来のIC循環ははっきりしなくなったと言われている。日本企業はデジタル家電向けを中心とするシステムLSIの生産によって、2003年から急速にその業績を回復するようになった。システムLSIの生産については、規模の経済性が存在せず、労働に体化するような性質の技術が必要となり、これを生産しているのは、日米欧の企業である。概ね2008年迄システムLSIの生産は順調に増加していったが、2008年頃から再び市場に変化が見られるようになった。津田〔2010〕によれば、線幅の微細化により、DSP等の性能が向上して、例えば以前には複数にまたがっていた機能を一つのチップにまとめる事が可能となった事等の事情により、システムLSIの生産は低下傾向を見せるようになった。これ迄はLSIの集積度が三年間で四倍になるというムーアの法則の存在によって、LSIの性能は順調に伸びてきたが、2013年にも予想される法則の終焉によって大きな影響が出そうである。それでは、現在進行中の技術革新の方向とはどのようなものであろうか。また、今後の技術はどこに向かっていくのであろうか。津田〔2010〕によれば、1995年頃の時点で既に、IC一個当たりの価格は低下し始めていた。これは、ハード面についてはコストを気にせずふんだんにICを使用でき、むしろソフト面とアナログがシステムの制約となってくるという状況を示唆するものである。いくつかの企業は既にこの時点でアナログに焦点を当てて長期の経営計画を策定するに到っていた。95年から現在迄のムーアの法則の持続によるDSPの生産増加等の要因により、この傾向が目立つ事はなかったが、システムLSI需要の低落傾向とムーアの法則の終焉が予想されるという情勢を受けて、注目を浴びるようになってきた。

今後最もIT部門への需要の伸びが期待されている自動車、産業用ロボット、医療機械の分野では、格段の安全性についての責任が問われ、また設計と製造間の密接な情報交換が必要となるので、各製造企業での技術・ノウハウの蓄積は益々促進され、汎用のチップ導入という方向へは進みにくい。製造現場の労働に体化した技術とIT技術の協調が求められ、これらの部門に対応するIT技術はより労働中心的となるものと考えられる。泉谷〔2011〕によれば、現在世界的に、環境に配慮した太陽光発電、風力発電の推進が行われている。また、高速鉄道建設、モーター駆動制御を用い省エネ化を目指す産業機械等の導入が活発である。これらの分野ではパワー半導体(IGBT¹)が多量に使用

されている。この半導体は単一の方法によって画一的に生産されるような DRAM 等とは生産様式を異にするものであって、労働力に蓄積された技術が重要となり、参入障壁も高い。この技術はアナログ技術の一つであって、この方面の技術が急速に伸び始めている。そして、資本集約的な半導体については、市場構造の転換が進行中である。スマート・フォンとタブレット PC の出荷台数が激増し、パソコンの出荷台数を上回る迄になっている。この動きに対応して、モバイル DRAM とフラッシュメモリの出荷量が急増しているが、製造企業には生産設備の転換が求められており、この転換に対する適応の迅速さが企業存続の鍵となる事が予想される。

以上、ムーアの法則終焉の予想に伴い、資本集約的な半導体部門の成長はこれ迄と比べて停滞傾向を見せるようになる事が予測されるが、その一方で自動車、産業用ロボット、医療機械の分野、パワー半導体の分野等アナログ技術即ち、労働集約的な技術の台頭があるものと思われ、IT 部門全体の技術選択はより労働中心となる事が予想される。

1 半導体技術と経済

貿易論においては、1980 年代に到るまでヘクシャー・オリン・バネックモデルが広く用いられていた。それは概ね次のような考え方に基づくものである。

生産要素については、資本と労働の二種類が存在するものとし、二つの国において、生産要素の賦存比率が異なるものとする。同時に生産要素賦存量は固定される。生産される財は農産品と工業製品など二種類と仮定される。財の生産は、完全競争の下で行われ、規模について収穫一定の生産関数の下で行われるものとする。また二種類の財について二つの国は全く同じ技術を用いて生産を行っているものとされている。なおここでは、生産要素の価格比が変化しても、一方の財と比べて労働集約的であった財が資本集約的財となることはないという前提が置かれている。相対価格が決まると所得水準と無関係に消費支出の割合が決定されるというホモセティックな共通の社会厚生関数が二つの国において想定されており、二つの財の所得弾力性は 1 である。生産要素は国内においては移動が自由で費用もかからないものの、国境を越えることはできない。二つの財は自由貿易の下で費用なしで取り引きされ、貿易収支は均衡、国際間の貸借もないものとされる。このような構造を持つモデルが、1990 年代以降の IT 産業の急成長に伴う貿易構造の変化をどの程度説明しうるかと考えた場合、その説明力の不足を感じざるをえない。

Harrison and Rodriguez[2009]では、最近の不均衡を前提とした発展途上国の産業政策に関する論文のサーベイが行われている。これらのモデルでは、地域に限定された産業レベルでの知識波及、輸送費用と一体化した産業連関構造などのマーシャルの外部経済を始めとする外部性やレントの存在などの要因を産業政策の理論的根拠としており、生産要素を労働だけとするリカード・モデルが一般的に用いられている。

2 システム LSI とアナログ技術

2-1 システム LSI の登場

1989 年当時、日本の半導体生産は世界の 53%を占め、その頂点に達していた。その後、バブル景気の崩壊とともにシェアは急速な低下を示しはじめ、この傾向は十年以上も持続した。米国のインテル、AMD²などの企業が MPU（中央演算処理装置）の生産をほぼ独占し、半導体生産の大きな部分を握るようになった。また、米国の企業では、発明発見や製品の設計に企業の持つ資源を集中し、設備投資に伴うリスクを回避する姿勢が顕著となってきた。製品の生産過程を、発明発見や製品の設計に関わる、いわゆるファブレスという部分と、実際の製造に関わるファウンダリーという部分に分け、後者についてはこれを外国企業に委託するという傾向が定着してきた。台湾では、TSMC³や UMC⁴など半導体生産に関わる企業が登場したが、その背景には政府の半導体産業についての政策の影響を見出すことができる。政府系企業が半導体製造についての研究、開発を担い、民間の半導体企業は経営資源のほとんどを製造部門に集中することができた。台湾の半導体企業は日米からの技術導入と政府の支援により躍進を遂げることができたと考えられる。また、台湾の半導体企業は、米国企業からの委託生産、つまりファウンダリーに特化するようになり、米国のビジネス・モデルに組み込まれる形で成長を遂げることとなった。一方、DRAM では、日本企業のシェアは 80 年後半には世界の 90%を占め首位の座にあった。しかし、サムスンをはじめとする韓国企業が集中豪雨的投資を繰り返してそのシェアを伸ばし、2004 年には、日本企業のシェアは 10%弱と大幅な低下を示した。このため、日本企業はデジタル家電向けのシステム LSI に活路を見出している。韓国企業の特徴は、DRAM や液晶ディスプレイなど規模の経済を活用できる部門において大規模な投資を繰り返す点にある。このことによって韓国企業は、短期間のうちに DRAM 市場を席卷することができたが、技術力については台湾と比べても大きな格差が存在する⁵。

池田〔2005〕によれば、一般に、技術が成熟して設計、製造における情報のフィード・バックの必要性が小さくなった場合には水平分業が有利となり、部品の外注も可能となるが、設計と製造の情報が活発な成長期の技術においては、水平分業の優位性は観察されないという。かつて、日本の半導体企業の強みは企業内の知識、情報の共有にあると言われた。設計段階と製造過程の間の密接な情報交換によって製造過程における問題が迅速に設計段階に報告され、製品の高品質化につながった。このような技術の構造は、自動車など部品数の多い複雑な製造工程を持つ産業に見られるものである。しかし、1990 年代以降、半導体技術においては設計をモジュール化された言語を用いて行い、ファブレスとファウンダリーの役割分担が可能となってきた。製造段階の問題が設計段階で制御可能となって、製造期間の短縮化と費用の削減が現実化している。三次元 CAD などの部門においてもこのような現象が観察されている。

1990年代、IT部門において一貫してシェアを下げ続けた日本企業も2003年には急激な回復を見せ始めた。2004年の段階で、米国の半導体生産シェア40%に次いで28%を占め、第二位の位置にある。たとえば、かつて携帯電話には通話機能しかなかったが、今やその他にテレビ放送の受信、写真撮影、テレビ電話など多くの機能を持つようになった。また、デジタル・カメラ、DVDレコーダーなどのデジタル家電の生産が急激に増加している。このような機能向上の要請について上記のモジュール生産では対応することができなかった。このような製品を生産するためには、個別の製品毎にLSIを設計して組み合わせるというシステムLSIの技術が必要である。システムLSIの生産については、設計と製造過程の間の密接な情報の交換と相互の調整が不可欠であり、労働に体化するような性質の技術が観察される。日本の松下電器、日立、仏・伊のSTマイクロエレクトロニクス、米国のテキサス・インスツルメンツなど、日、欧、米の企業が生産を行っている。それまでは、半導体の需要を見込んで大規模な投資を行った上で生産するというやり方であったため、需要と供給が一致しづらく、半導体の生産には概ね4年の周期が存在した。しかし、システムLSIの生産は注文生産であるため、周期ははっきりしなくなってきたと言われている。しかしその後システムLSIつまり、ASIC⁶やASSP⁷の生産は停滞傾向を示すようになっており、LSI線幅の微細化、DSP⁸、FPGA⁹の性能向上によって、とって代わられる傾向にある。最近では、むしろ半導体市場の伸び悩みがサイクル幅の縮小を促しているという傾向も窺える。

2-2 システムLSIとアナログ技術

世界半導体販売額の推移¹⁰を見ると、1976年から1994年迄の年平均成長率は21%と驚異的な大きさであったが、1994年から2008年迄では6.6%、1994年から2011年迄では、5.9%と、低落傾向にある事を観察することができる。1994年頃迄は、LSIの集積度は3年毎に四倍になるというムーアの法則ほぼそのままに、半導体シリコンチップ上のトランジスタ数は増加していた。ムーアの法則とは、ムーア博士によって提唱された、「半導体の集積度は三年で四倍になる」という法則である。ムーア博士は、2013年でこの法則は終わるだろうと述べている。

1995年以降、IC一個当たりの価格は急速に低下するようになった¹¹。このことは、1チップにできる限り多数のトランジスタを搭載するということの価値が次第に小さくなっていることを示すものである。逆から言うと、1995年を境に、トランジスタが性能の制約になりハード・ウェアで製品全体の価値が決定されていたという段階から、むしろアナログ技術やソフト・ウェアで製品の価値が決定されるという段階へと状況が変化したということを示している。トランジスタはコストを気にせずふんだんに使えるようになったものの、もし現在をはるかに上回る集積度の向上があったとしたらどうだろうか。現在よりもアナログ技術やソフト・ウェアの果たす役割の重要性は低下し、ト

ランジスタの集積度で製品の価値が決定されてしまうという事態となろう。

2002 頃迄は、半導体の使用はパソコンや通話だけを目的とした携帯電話等に限られ、今ほど応用範囲は広くなかった。それが携帯電話では、カメラ機能を持たせるとか、メールの送受信もできるようにする、国際電話もできるようにする、等々、デジタル・カメラでは、画素数の急増、小型化、立体撮影、等々の機能向上があった。当時の LSI の集積度ではこのような性能を確保する事には相当の無理があり、そのような事情を背景に、受注に応じて生産が行われるシステム LSI の生産に占める割合が急増するようになった。システム LSI、特に ASIC では、特定の限られた用途の為に技術者が配線を行うというようなやり方である。これは顧客毎にカスタマイズされている。ASSP では、もう少し用途が汎用性を持っており、特定の応用分野毎のデファクト標準となるものである。

財団法人機械振興協会経済研究所[2009]によれば、以前、米国のテキサス・インスツルメント社は、フィンランドの携帯電話製造会社であるノキア社にシステム LSI を大量供給して巨大な利益を確保していた。この事は、米国の製造会社がシステム LSI の中でも ASSP に主力を置き、日本の製造会社の方は ASIC に注力しているという事を意味しない。分野毎のデファクト標準となるような巨額の需要を一挙に獲得するような営業力が不足していたものと考えられる。ASSP と ASIC とを比べた場合、これ迄売れる量が圧倒的に違った。世界のデファクト標準となるような大量受注を獲得する事は大変難しく、その一方で設備と技術者は常に稼働していなければならないので、たとえ小さい注文であっても、数多くの種類の受注を行う必要があった。結果として、小さな顧客毎に数多くの種類のシステム LSI (ASIC) を供給するということになったのである。日本のシステム LSI 製造企業は自動車製造会社への供給が増加しており、また取引先の日本の自動車企業は世界的にも巨大企業であるので、このような場合には種類が少なくかつ巨額の受注が実現している。このような事例では、ASIC と ASSP の区別は殆ど意味をなさず、技術的には有意な差はないものと考えられる。分野としては、携帯電話、PC、ルータ等の接続機器において日本企業は弱く、AV 機器、ゲーム機、自動車等において日本企業は強い競争力を持つ。

津田[2010]によれば、システム LSI 或いは組み込みシステム¹²とは、コンピュータではないのにコンピュータと似た仕組みを持つ装置を意味する。コンピュータには、CPU と言われる中央演算処理装置があり、基本命令を保持する ROM 装置、計算に伴って刻々と変化するデータを処理する RAM 装置、他の装置との連絡を受け持つインターフェース、メーカーの技術の独自性が体化された周辺回路等の装置がある。コンピュータではないものの、このような仕組みを持つ装置がシステム LSI 或いは組み込みシステムと呼ばれるものである。ROM に機能を制御するプログラムやこの装置全体を制御するプログラムを焼き付け、この装置に特有の機能を付与するハード・ウェアである周辺回路を加える

図 1、世界半導体販売額（データの出所、参考文献津田[2010]）

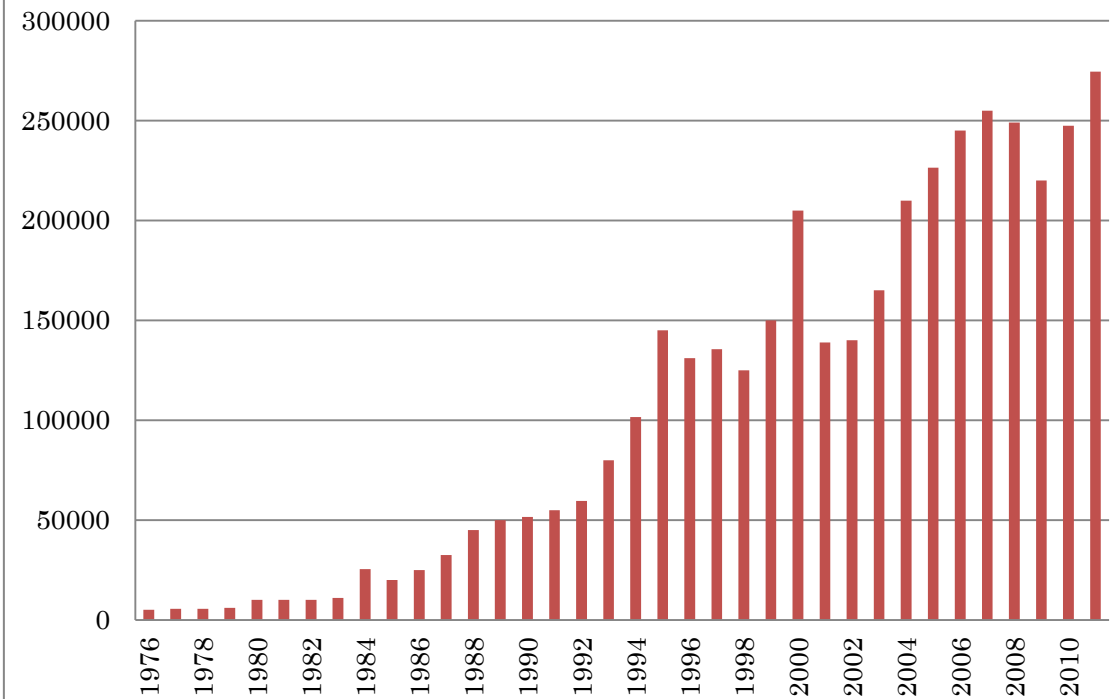
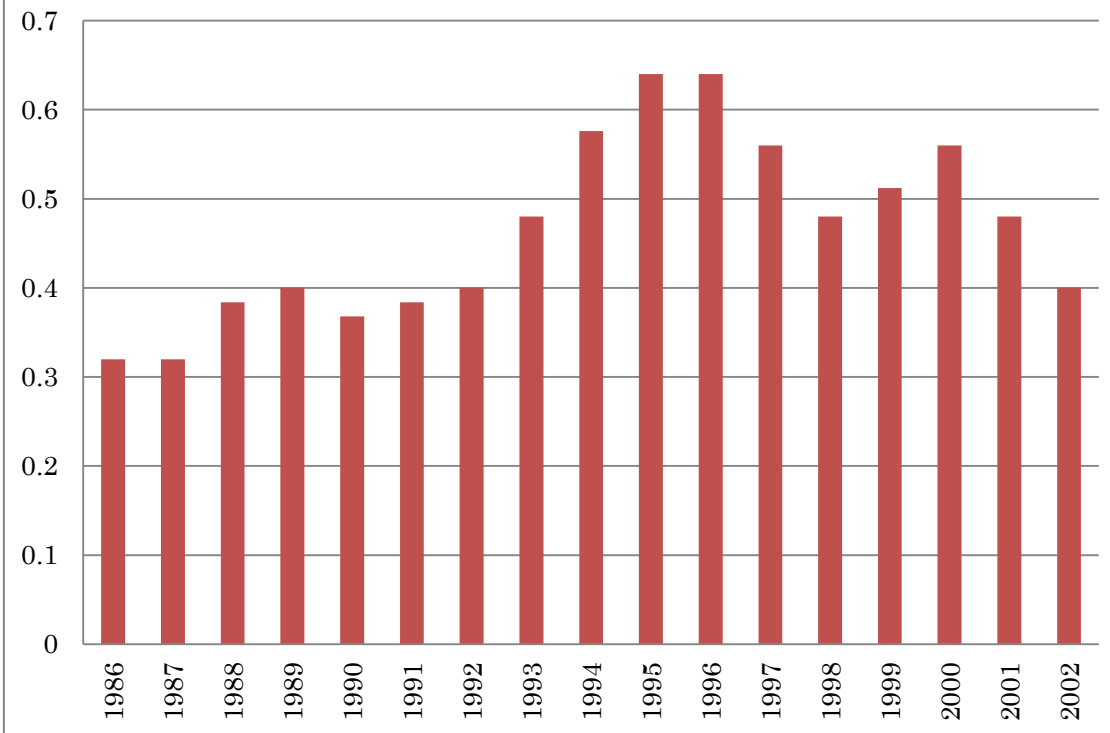


図 2、世界IC単価の推移(単位米ドル、データの出所、参考文献津田[2010])

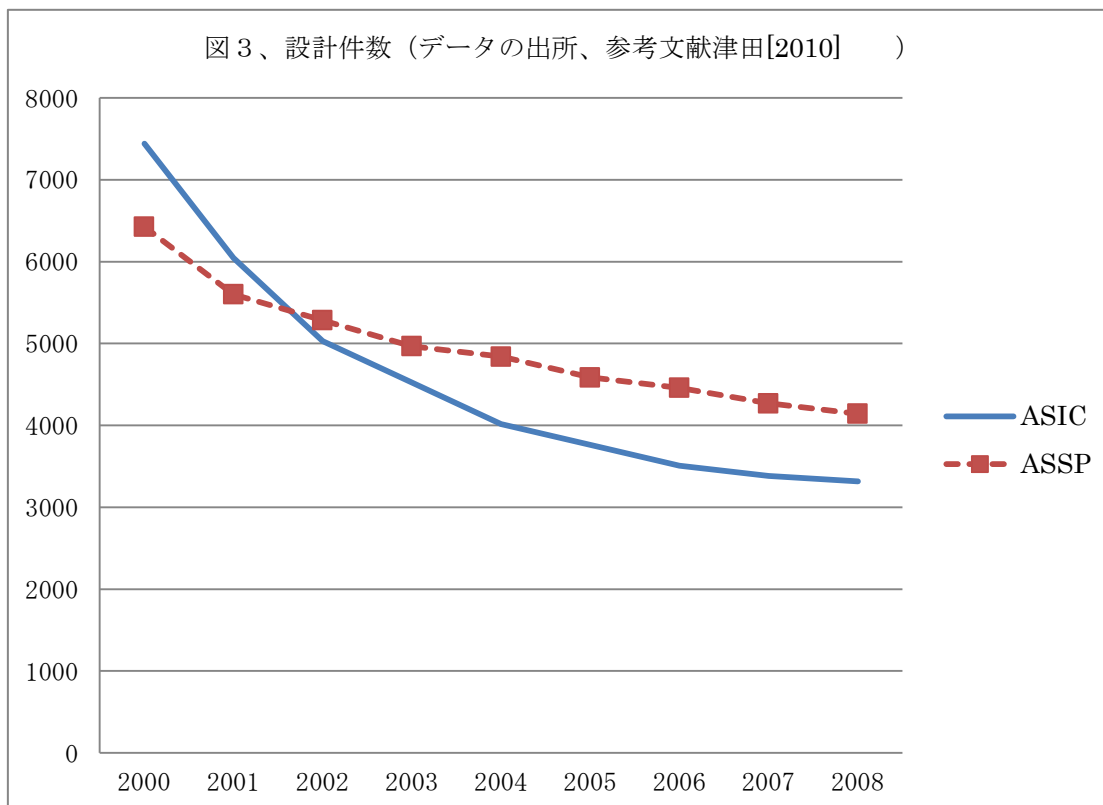


と、チップの出来上がりである。このチップは携帯電話、デジタルカメラ等々の用途に

用いられる事となる。ソフト・ウェアと周辺回路さえ変更すれば、様々な機器へと利用範囲を拡大することが可能である。現在の携帯電話では、写真を撮影して保存しそれを送信したり、またアドレス帳の管理ができた等々と実に様々な機能が実現しているが、これらの機能の背景にはソフト・ウェアそのものを書き換えながら演算が実行されているという構造がある。これらの機能を全てハードウェアだけで構成した場合には、特定の用途だけに特化したシステムとなってしまう、現在のような様々な機能を実現する事は不可能である。そして、新しい機能を持った携帯電話の製造が計画された場合には、ROM のプログラムを少し変更し、周辺回路を手直しして、新しいチップが製造される事となる。新しいハードウェアを一から設計し直すとすると時間的にも大変な負担がかかってしまう。このように、集積度を上げなくてもソフトウェアの書き換えだけで新製品が生まれる事となるが、この事を持ってムーアの法則終焉の影響から逃れたと言う事ができるであろうか。2003 年頃、デジタル家電にシステム LSI が搭載される事によって様々な新機能が実現可能となった時点では、ASIC のシェアが大変大きかった。その後 LSI の線幅の微細化と同時に、これによる CPU ないし DSP の性能向上があつて、システム LSI におけるハードウェア (ASIC) の地位の低下があつたのではないだろうか。今後、極めて多数の加速度センサーを搭載したロボット技術、雑音の中から音声だけを拾い上げる技術等アナログと密接した分野において技術進歩が期待される。このような現状を上回る極めて複雑な情報処理を行う際には現在の線幅、ないし CPU、DSP の性能では限界があり、その意味ではムーアの法則終焉の影響は大きいと言えよう。その際には、アナログ関連の技術ないし、用途を限った LSI の技術が脚光を浴びるものと予想される。

図 3 は、ASIC と呼ばれる特定顧客向けに設計されたシステム LSI の設計件数と、特定応用用途向けに設計されたシステム LSI の設計件数の推移である。津田 [2010]によれば、ハードウェアだけで構成された ASIC の設計件数が特に減少している。この背景には、LSI の線幅の微細化により、DSP 等の性能が向上して、例えば以前には複数にまたがっていた機能を一つのチップにまとめる事が可能となった事、またハードウェアだけでシステムを構成すると用途が限定されて変更が効かない事、そしてその場合設計に多大の時間がかかってしまう事等の事情がある。確かにこのような事情によって設計件数は減少して来ているが、2003 年から約五年間については、別の情勢も観察されていた。2002 年以前の段階では携帯電話の機能は概ね通話機能だけで、デジタル家電の本格的登場も未だ認められないという状態であつた。それが 2003 年頃から急速に多機能携帯電話やデジタル家電が普及するようになり、当時の限られた DSP 等の技術でその機能を達成する事には相当の無理があつた。そこで汎用性を犠牲にしてハードウェアだけでシステムを構成するシステム LSI の技術が採用されたのであつた。実際 2008 年頃迄は ASIC や ASSP 等のシステム LSI の生産額は増加しているものと考えられる。上記の事情により設計件数は確実に減少しているが、今後要求される電子機器の驚異的機能向上に対して、2013 年と予想されているムーアの法則の終焉は如何なる意味を持つであろう

うか。DSP 等の性能の停滞に応じて、周辺回路、ハードウェア、アナログ関連等の技術がより大きな意味を持つようになるものと考えられる。



2-3 回路の仕組みとアナログ技術

津田[2010]によれば、入出力部（アナログ回路）、そして電源回路がデジタル回路以外にシステム LSI にとって重要な要素として加わってくる。携帯電話をかける場合には、まずテンキーボタンを押し最後に発信ボタンを押すが、この動作をセンサーが感じ取り、ディスプレイに数字を表示すると同時に電波を飛ばす事になる。このときの入力から出力迄の動作を一つのシステム LSI が担当している。また通話する時の音声はセンサーであるマイクを通じて、システム LSI によって処理される事になっている。センサーから出力されるアナログ信号は微弱なものであるため、十分に増幅してからデジタル化される仕組みである。デジタル化された後は、システム LSI によって演算処理されてインターフェースから出力される。音声はパワーアンプ等の高周波回路によって電波に変換されてから発信される。デジタルのシステム LSI 以外は全てアナログ混在回路である。パワーアンプは微弱なアナログ信号を増幅するための装置であり、アクチュエーターは電気信号を機械的な動作に変換するための装置である。ロボットの動作や電気信号に従って音を出すスピーカー等は、アクチュエーターによってその機能が成立してい

る。アクチュエーターを動作させるためには、大きな電力が必要で、制御の為にパワー・トランジスタが用いられる。システム LSI から送られてきたデジタル信号をアナログ信号に変換して、アンプによって増幅し、これでパワー・トランジスタを動かす仕組みとなっている。これらの装置を動作させるためには、実に様々な水準の電圧が必要となり、それを統括するのがパワー・マネジメント IC である。このように、一つの電子機器を機能させるためには、数多くのアナログ混在回路が必要である。

他社に対して製品の差別化を行うべき所は何処であろうか。システム LSI では、プログラムを保持する ROM であり、周辺回路である。またシステム LSI を含むシステム全体では、センサー、パワーアンプ、アクチュエーター、パワー・トランジスタ、パワー・マネジメント IC 等、全てのアナログ混在回路となる。アナログ回路は、センサー部分と直結しているので、ここにユーザー側の需要が取り込まれる事になる。例えば、介護ロボットによって歩行訓練を行う場合について考えると、多数のセンサーによって人それぞれに異なる人体の形状、重量等を把握し、人が意図する動作を感知して、動作後の人体の形状、重量の配置等を予測しながら、人体の動きを支持する必要がある。2003 年頃に登場した携帯電話を始めとするデジタル家電においても、当時の IT 技術の水準を上回る程の飛躍的な機能の向上が要求されて、その結果 ASIC や ASSP というシステム LSI が製造されるようになったのであった。現在ではデジタル家電と比べても更に格段の技術進歩が要求される事態となりつつある。しかし、ムーアの法則の終焉により、線幅の微細化が限界を迎えつつある中で、今までのような、CPU や DSP の性能向上は望めない情勢である。センサーと直結したアナログ混在回路やプログラムに製造企業の職人芸的な技術、労働に体化した技術が込められるものと考えられる。このような性質の IT 技術は現在の時点では、特に自動車産業において見られる事が多い。自動車の安全性確保は、企業にとって最優先の課題であり、その為に膨大な費用が投じられている。安全性に関連した IT 技術は各企業に蓄積されて発展しており、標準化される事のない企業固有の技術である。また、自動車産業は規模の経済の存在するような産業と異なり、緊密な生産と設計の擦り合わせが必要で、この点からも技術は企業内に蓄積されやすい。したがって、システム LSI 製造企業と自動車製造企業の関係は密接なものとなり、ファブレスとファウンダリーに分割されたビジネス・モデルには見られない性質のビジネス・モデルが成立しているのである。日本の IT 企業は自動車産業向けシステム LSI や DSP においてその生産を順調に伸ばしてきており、今後もこの趨勢は不変と言える。2010 年時点での世界自動車産業の半導体消費は約 2 兆円であり、2020 年時点での半導体消費は約 4 兆円と予測されている¹³。この他にも、高い安全性の要求される医療機器の世界半導体消費は、2010 年時点で約 6700 億円、2020 年時点では約 1 兆円¹⁴と予測されている。現在日本の IT 産業はこの分野での生産が極めて少ない状態であるが、自動車産業と産業のあり方が類似している事から、今後の急速な成長が見込まれる。また、泉谷 [2011]によれば、省エネのためのスマートグリッド計画において、2010 年の半導体消

費は約 83 億円であるが、2020 年には約 1 兆 2500 億円に迄成長するものと予測される。この分野では、プロセッサー、MPU 等の他高耐压のパワー半導体である IGBT 等アナログ半導体の活躍が必要となる為、日本企業の成長が期待される。

3 各国の情勢

泉谷[2011]によれば、2010年における世界の半導体市場規模は約25兆円であるが、その内約40%をロジック関係が占めており、この分野では欧米諸国の企業が牽引役となっている。特に米英の企業については経営方針の柔軟性が指摘できる。世界で初めてDRAMを製品化した米国のインテルは、膨大な利益が期待できるにもかかわらず、この事業を停止してCPUの生産に特化するようになり、CPUにおいて圧倒的なシェアを有する至っている。一方インテルのライバル企業である米国のAMDは、2008年に営業費用のかさむ製造部門を切り離し、純粋なファブレス企業として存続する事となった。これによって、膨大な投資費用を回避することができ、経営資源を演算とグラフィックス処理の融合等新しい分野に振り向ける事が可能となるという事である。本来米国のモトローラの半導体製造部門であった、フリースケール社は2004年に分社化され、現在自動車向けのプロセッサーやロジック関連製品の生産を行っている。また、米国のテキサス・インスツルメント社の場合には、前述のように、1995年頃を境にしてIC一個当たりの価格が急速に低下し始めたという情勢を的確に把握して、既に当時、アナログ半導体を経営の主力とするという方針を策定していた。その後携帯電話や自動車向けDSPの売り上げ好調が続いたため、この方針が目立つ事はなかった。しかし、日本のルネサス社が自動車部門においてマイコンのシェアを急激に伸ばしたという事情があり、テキサス・インスツルメント社はアナログ半導体の生産を急速に増加させるようになった。泉谷[2011]によれば、2003年頃から2008年頃にかけて、ASICやASSPを中心とするシステムLSIの生産が盛んであった頃、DRAM等の生産を行わず、システムLSIに焦点を絞って経営を行っていたSTマイクロ・エレクトロニクス¹⁵の経営手法が注目を集めていたが、テキサス・インスツルメント社の場合には既に1995頃の段階でアナログ半導体を牽引力とする方向に経営方針の策定を行っていたのである。テキサス・インスツルメント社以外では、STマイクロ・エレクトロニクス、ドイツのインフィニオン、オランダのNXPセミコンダクター等もアナログ半導体に力を注いでいる。日本の三菱電機のIGBT等を始めとするアナログ半導体も著名であるが、日本については後述する。

米英系を中心とするロジック関連製造企業は、高付加価値部分の生産に集中して、それ以外の部分はファウンダリーに製造委託を行うというファブライト化の傾向を強めている。

1990 年頃から携帯電話等製品サイクルの短い製品が市場に出回るようになった。短期間の内に、新しい設計が行われ、半導体企業はそれに対応して新しい製品を開発、設計し、投資を行っていく必要が生じた。しかしながら、例えば露光装置一つをとっても、

現在では一台数百億円もの金額を投ずる必要がある事等から、この分野での投資は極めて巨額なものとなる事がわかる。このような事態を改善する為、米国の半導体企業では、製品の開発と設計に特化し製造部門を切り離すという傾向が定着するようになった。米国企業はファブレスとなり、製造部門であるファウンダリーは主に台湾企業が担当した。ファウンダリー最大手である TSMC の 2009 年の売り上げは約 100 億ドルという巨額に上り、世界の半導体企業の第五位に位置している。台湾で二位のファウンダリー UMC の 2009 年の売り上げは約 30 億ドルである。最近では、例外的に垂直統合的経営を続けてきた最大手のインテルも一部製造委託するようになってきた。日本のルネサス、富士通も線幅 32nm¹⁶以下の製造過程については投資を行わず、外部委託化の方針を定めている。半導体企業がファブライタ化の度合いを強める程、ファウンダリーは売り上げを伸ばし、技術蓄積も活発となる。

韓国では世界売り上げ第二位のサムスン、第六位のハイニックスが主として、DRAM の生産を行っている。2009 年の DRAM の世界シェアを見ると、サムスンが 35%、ハイニックスが 22%であり、合計で過半数のシェアを占めるに到っている。かつて 80 年代半ばには、日本企業の世界シェアが過半数を超え技術的にも指導的立場にあった。それが、日本市場における外国製品のシェアの目標を 20%以上とする、日米半導体協定の締結等の措置があり、また集中豪雨的な投資を行った韓国企業の追い上げにより、現在では DRAM の生産を行っているのは、エルピーダ 1 社となった。

韓国企業の経営手法は規模の経済の獲得にある。製品の部品、素材、製造装置の殆どを日本等の先進諸国に頼り、基幹技術を持たない韓国企業にとって圧倒的シェアを確保して規模の経済の獲得を図る所に生命線が存在する。経営の形態は、現在主流となっている水平分業の形をとらず、純然たる垂直統合型である。1990 年頃迄は韓国経済の発展形態は、韓国経済が比較優位を持つ軽工業の輸出を伸ばす一方で、先進諸国から鉄鋼、石油化学等規模の経済を獲得できる重工業の設備、技術を導入して、高成長を維持するという複線型成長であった。1990 年代以降は IT 産業に焦点を絞って集中豪雨的な投資を行い、IT 製品の輸出を牽引力として成長を維持するというやり方に変わっている。しかしながら、技術を始め、製品の部品、素材、製造装置の殆どを輸入に頼らざるを得ないという体質は、生産単位当たりの利幅が極めて薄いという結果に繋がっている。この為、一旦世界不況が発生した場合、需要が減少して規模の経済の獲得に失敗する事となる。1997 年のアジア通貨危機の際の経済危機以来、2008 年のリーマン・ショックの際の金融危機¹⁷、2011 年の金融危機¹⁸等、ほぼ 5 年おきに危機が発生している。ウォン相場の急激な下落に対して、それぞれ、IMF からの支援、日、米、中からの支援、日、中による支援があつて、乗り切ることができた。しかしこのような不安定な経済のあり方の結果として、サムソンや LG を始めとする大企業の外資比率が過半数を超えるという事態に到っている。

日本の IT 企業が全盛であった 1980 年代には、世界の半導体売り上げ高上位 10 社の内、6 社を日本企業が占めていた。それが現在では、東芝、ルネサス、エルピーダの 3 社に迄減少した。しかしながら、2003 年頃から、システム LSI、フラッシュ・メモリー、自動車向けマイコン、等の伸張により再びその存在を明確に示すようになっている。

半導体市場の内、メモリーは約 20%を占めるが、主にパソコンに用いられる DRAM と携帯端末やタブレット型 PC に用いられる NAND 型フラッシュ・メモリーの二種類が市場の大部分を占める。NAND 型フラッシュ・メモリーは、1987 年、東芝に在籍していた舩岡富士雄氏によって発明されたもので、電源を切ってもデータが消えない不揮発性の半導体メモリである。2010 年には、NAND 型フラッシュ・メモリーの売り上げ高は、前年比 40%の伸びを見せ約 200 億ドル¹⁹に達した。これは、スマートフォンやタブレット型 PC 向けの出荷が急増した為であり、2011 年にも 30%の伸びが期待されている。DRAM の場合と異なり、市場は厳しい競争状態にはないと言う事ができる。東芝・サンディスク連合、サムスン電子、インテル・マイクロン連合、ハイニックス半導体等の企業が生産を行っており、サムスン電子が長期間に亘って首位の座を堅持していたが、ついに東芝・サンディスク連合が首位を確保した模様である²⁰。

自動車産業における半導体消費率は現在 7%程度で金額にして約 140 億ドルであるが、今後この消費率は急速に上昇していくものと考えられる。その中でも、自動車向けマイコンの消費は大変大きく、ルネサスはこのマイコンの世界シェアにおいて首位の座を占めている。ルネサス社は、NEC、三菱電機、日立の連合体と言える企業であり、エルピーダ同様、業績不振に悩んだ日本企業が業務の選択と集中を行った結果できた事業体と言える。また、DRAM 専業企業であるエルピーダは、2009 年第 4 四半期現在世界シェア 19.4%を占め、韓国ハイニックスの 21.6%に次ぎ世界三位である。台湾の力晶社をグループに加える等積極的な経営姿勢を見せている。エルピーダの場合は携帯端末用メモリーに強い為、スマートフォンやタブレット型 PC の伸びが追い風になっている。この他にも、三菱電機のパワー半導体である IGBT を始めとして、アナログ半導体の分野に日本企業の強い競争力が存在する。

4 今後の市場

これ迄は、DRAM や CPU における技術革新は、回路線幅の微細化とシリコン・ウェハの大口径化によって牽引されてきた。2010 年時点では、最先端の線幅は 20nm 前後であるが、これを 10nm 強に迄微細化できれば 50%以上の集積度向上となる。線幅微細化は今迄は順調に進行してきたものの、大きな壁に直面している。特に大きなネックとなるのが露光装置で、現在使用されている縮小投影露光法では不可能であり、次は電子直接描画法(EUV)を用いるか、印刷法による配線手法を用いるかの手段が考えられている。しかしながら、未だ具体的な技術進歩が見られていない。ウェハの大口径化について

は、現行の 300mm から 450mm への拡大計画が一部で言及されているものの、一つの工場を建設するだけでも約 5000 億円もの膨大な費用がかかる。一体そのような巨額の投資に見合うだけの需要が存在するのか、疑問視されているようである。このような情勢を考え併せると、LSI の性能が向上してコストも急激に低下していく、というムーアの法則は終焉を迎えつつあるという見方が定着しつつあるものと言える。

微細化の停滞に伴い、2010 年現在約 25 兆円あると言われる半導体の需要はこれ迄のような大きな成長率を見せる事は無いものと予想される。同時に、半導体の市場つまり、DRAM や CPU の市場構造についても構造変化が進行しつつある事が指摘されている。スマート・フォンの世界出荷台数は 2010 年に前年比 16%増の約 3 億台、11 年には 63%増の 4 億 8000 万台となり、パソコンの出荷台数を上回るものとの予測がある²¹。タブレット PC の出荷台数は 2010 年に約 2000 万台、12 年以降には 1 億台を超えるものと予測されている²²。スマート・フォンとタブレット PC の出荷台数の急増を受け、モバイル DRAM の出荷量が急増しているが、エルピーダでは既にかんりの生産設備がモバイル DRAM 用向けとなっており、かつ技術的にも先行している。また、スマート・フォンとタブレット PC では、フラッシュメモリの積載率はモバイル DRAM を遙かに上回る。特にタブレット PC 需要の伸びの趨勢が、今後も維持されるとすれば、DRAM への需要は、モバイル DRAM とフラッシュメモリへと移行し、半導体市場構造の大転換が持続する事となる。エルピーダと東芝はこのような事態にうまく適応しつつある。

泉谷[2011]によれば、現在、世界的に、環境に配慮した太陽光発電、風力発電の推進が行われている。また、ガソリン消費量削減を意図したハイブリッド車、電気自動車の開発も積極的に行われ、この他にも高速鉄道建設、モーター駆動制御を用い省エネ化を目指す産業機械等の導入が活発である。これらの分野ではパワー半導体(IGBT)が多量に使用されている。パワー半導体の特徴は、大電流、電圧に耐えると言う点にあり、近年需要の伸びが著しい。鉄道においては、4500-6500 ボルト、ハイブリッド車等では 600-1200 ボルトに耐えうる IGBT が要求され、エネルギー変換時の無駄を省いて効率よく発電エネルギーを活用するかが鍵となる。パワー半導体は普通モジュールとして供給され、その製造過程や材料は企業によって各社各様である。つまり、単一の方法によって画一的に生産されるような DRAM 等とは生産様式を異にするものであって、このような場合には労働力に蓄積された技術が重要となり、参入障壁も高い。この技術はアナログ技術の一つであって、長年にわたって技術を蓄積してきた日本企業にとって有利な分野である。世界市場の規模は現在、約 25 億ドルとなっている。三菱電機、インフィニオン、富士電機等が高いシェアを占めるが、日本企業全体では、世界の約 60%のシェアを占めている。

2010 年時点での世界自動車産業の半導体消費は約 2 兆円であり、2020 年時点での半導体消費は約 4 兆円と予測されている。

財団法人機械振興協会経済研究所[2009]によれば、日本の自動車産業は、電子機器について、殆ど自国企業からの供給で賄いながらしかも世界でもトップクラスの競争力を有している。今後は、安全性、快適性、環境保全等において更なる改善を図る事は勿論、電気自動車等の開発等エネルギー面での技術進歩も求められている。核心的競争力である足回り、加速性、快適性、安全性等については、各企業の機密事項であり、自動車用 OS やミドルウェアの共通化も進んできてはいるが、アプリケーション・ソフトウェアの共通化には程遠い状態であると言える。ソフトウェアのチップ化ができれば大変な労力と費用の削減効果が期待できるものの、自動車産業、ロボット産業の分野においては現実的ではない。特に日本の自動車産業の場合、欧州企業の戦略と異なり、電子化の方向は高付加価値化にある。欧州企業には見られないような機能性、安全性等の向上があり、米国的高级車市場を席卷するようになった。一方、欧州車の場合には、核心的競争力を残しながら電子装置の共通化を図って費用削減を行おうという方向にある。今後の趨勢としては、新興諸国でも生産が行えるような大衆車の場合には、費用削減の方向、高級車の場合には高付加価値化の方向と流れを分類する事ができると思われる。米国の自動車産業の場合には技術進歩の方向は、フォード生産様式にも見られるように一般的に資本中心であると考えられ、日欧の場合には労働中心であると考えられる。しかし、同じ労働中心である日欧の自動車産業において、日本はシステム LSI を中心としてより熟練労働力を投入し、欧州は電子装置の共通化を行って費用の削減を図ろうという方向にあるものと思われる。言わば技術選択において日本の方がより労働中心であり、この点は興味深いと言える。

高い安全性の要求される医療機器の世界半導体消費は、2010 年時点で約 6700 億円、2020 年時点では約 1 兆円²³と予測されている。現在日本の IT 産業はこの分野での生産が極めて少ない状態であるが、自動車産業と産業のあり方が類似しており、今後の急速な成長が見込まれる。MRI 等各種計測機器への利用の他、介護ロボット等、作業支援ロボット等の産業用ロボット或いは自動車技術との融合が考えられる。例えば、人のミスによってある危険な局面に到った場合、情報の蓄積からそのパターンを判断し、最小の被害に抑えるというような判断が求められ、同じ立場にある他の機械にも同様の判断が求められる。また、介護ロボットで最初歩行の補助をしていた役割が、次に腕の補助を求められるというような場合、現在よりも遙かに効率的な計算機の運用が求められる。ソフト面から言うと、動的仮想計算機という考え方も話題になっている。一つの動作をしている時、いくつかの仮想 CPU に、各種センサーの動きに対応したいくつかのプログラムが対応して動作しているが、他の動作に移行した場合、その移行に伴って、仮想 CPU が姿を変えて、別のセンサーの動きに対応した別のプログラムに対応して動き始めるというような事である。この場合、半導体製造者は、モジュール部分の製造を担当す

る事になり、自動車やロボット製造企業は、システム全体を統括する CPU 部分の製造を担当する事となる。いずれにしても、センサーとソフトの連動に、労働に体化した技術の投入が求められる。自動車やロボットにおいては、前述のように格段の安全性についての責任が問われ、また設計と製造間の密接な情報交換が必要となるので、労働中心の技術選択が行われる事になろう²⁴。

おわりに

日本の IT 企業は、2003 年頃からシステム LSI の生産によって生産を回復するようになった。システム LSI の生産については、規模の経済性が存在せず、労働に体化するような性質の技術が必要となり、これを生産しているのは、日米欧の企業である。しかしその後、LSI の線幅の微細化により、DSP 等の性能が向上して、例えば以前には複数にまたがっていた機能を一つのチップにまとめる事が可能となった事、等の事情により、システム LSI の生産は停滞傾向を見せるようになった。これ迄は LSI の集積度が三年間で四倍になるというムーアの法則の存在によって、LSI の性能は順調に伸びてきたが、2013 年にも予想される法則の終焉によって大きな影響が出そうである。1995 年頃の時点で既に、IC 一個当たりの価格は低下し始めていた。これは、ハード面についてはコストを気にせずふんだんに IC を使用でき、むしろソフト面とアナログがシステムの制約となってくるという状況を示唆するものである。今後最も IT 部門への需要の伸びが期待されている自動車、産業用ロボット、医療機械の分野では、格段の安全性についての責任が問われ、また設計と製造間の密接な情報交換が必要となるので、各製造企業での技術・ノウハウの蓄積は益々促進され、汎用のチップ導入という方向へは進みにくい。製造現場の労働に体化した技術と IT 技術の協調が求められ、これらの部門に対応する IT 技術はよりアナログ的かつ労働中心的となるものと考えられる。現在、世界的に、環境に配慮した太陽光発電、風力発電の推進が行われている。また、高速鉄道建設、モーター駆動制御を用い省エネ化を目指す産業機械等の導入が活発である。これらの分野ではパワー半導体(IGBT)が多量に使用されている。この半導体は単一の方法によって画一的に生産されるような DRAM 等とは生産様式を異にするものであって、労働力に蓄積された技術が重要となり、参入障壁も高い。この技術はアナログ技術の一つであって、この方面の技術も急速に伸び始めている。このように、資本集約的な半導体部門の成長はこれ迄と比べて停滞傾向を見せるようになる事が予測されるが、その一方でアナログ技術即ち、労働集約的な技術の台頭があるものと思われ、IT 部門全体の技術選択はより労働中心となる事が予想される。

【参考文献】

- Armington, Paul S. "A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production." International Monetary Fund Staff Papers, march 1969, 16(I), pp. 159-78.
- Bowen, Harry P.; Leamer, Edward E. and Sveikaukas, Leo. "Multicountry, Multifactor Tests of the Factor Abundance Theory." American Economic Review, December 1987, 77(5), pp.791-809.
- Brecher, Richard A. and Choudri, Ehsan U. "The factor Content of Consumption in Canada and the United States: A Two Country Test of the Heckscher-Ohlin-vanek Model," in Robert C. Feenstra, ed., Empirical Methods for international trade. Cambridge, MA: MIT Press, 1988, pp.5-17.
- Harrison, Ann and Rodríguez-Clare, Andrés. "Trade, Foreign Investment, and Industrial Policy for Developing Countries." Working Paper15261, Cambridge, MA 02138, August 2009, <http://www.nber.org/papers/w15261>.
- Heckscher, Eli F. "The Effect of Foreign Trade on the Distribution of Income" [in Swedish]. Ekonomisk Tidskrift, 1919, 21(2), pp. 1-32; reprinted in Readings in the theory of international trade. Homewood, IL: Irwin, 1950, pp. 272-300.
- Leamer, Edward E. "The Leontief Paradox, Reconsidered." Journal of Political Economy, June 1980, 88(3), pp.495-503.
- Leamer, Edward E. Cross Section Estimation of the Effects Trade Barriers," in Robert C. Feenstra, ed., Empirical methods for international trade. Cambridge, MA: MIT Press, 1988, pp. 51-82.
- Leontief, Wassily W. "Domestic Production and Foreign Trade: The American Capital Position Re-Examined." Proceedings of the American Philosophical Society, September 1953, 97(4), pp. 332-49.
- Maskus, Keith E. "A Test of the Heckscher-Ohlin-vanek Theorem: The Leontief Commonplace." Journal of International Economics, November 1985, 19(3/4), pp.201-12.
- Ohlin, Bertil G, Interregional and international trade. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1933.
- Stern, Robert M. and Maskus, Keith E. "Determinants of the Structure of U.S. Foreign Trade, 1958-76," Journal of International Economics, May 1981, II(2), pp. 207-24.
- Straiger, Robert W. "A Specification test of the Heckscher-Ohlin Theory." Journal of International Economics, August 1988, 25(1/2), pp. 129-41.
- Thoma, Mark 2007 On the Other HandRodrik versus Mankiw (Others Also Weigh In) Posted on April 28, 2007.
<http://economistsview.typepad.com/economistsview/2007/04index.html>
- Trefler, Daniel. "International Factor Price Differences: Leontief was Right!" Journal of Political Economy, December 1993, 101(6), pp.961-87.
- Trefler, Daniel. "The Case of the Missing trade and Other Mysteries" American Economic Review. December 1995, pp. 1029-1046.
- Vanek, Jaroslav. "The Factor Proportions Theory: The N-Factor Case." Kyklos, October 1968,

21(4), pp. 749-56.

Yeats, Alexander J. 1985. "On the appropriate interpretation of the revealed comparative advantage index: Implications of a methodology based on industrial analysis." *Weltwirtschaftliches Archiv* 121(1): 61-75.

明 豊著、(2005)、『よくわかる半導体業界』 日本実業出版社

朝元照雄(2004) 『開発経済学と台湾の経験』 勁草書房

池田信夫(2005)、『情報技術と組織のアーキテクチャー』 NTT 出版

泉谷渉、半導体産業新聞編集部著、(2005)、 『最新、これが半導体の全貌だ』 かんき出版

泉谷渉、半導体産業新聞編集部著、(2005)、 『これがディスプレイの全貌だ』 かんき出版

泉谷渉、半導体産業新聞編集長著、(2007)、 『日の丸半導体は死なず』 光文社

泉谷渉著、(2011)、『1秒でわかる! 半導体業界ハンドブック』 東洋経済新報社

今岡日出紀・大野幸一・横山久編、(1985)『中進国の工業発展-複線型成の論理と実証-』 アジア経済研究所.

大野幸一編著、(2002)、『新たな開発戦略を求めて』 アジア経済研究所研究双書 アジア経済研究所.

久保雄志(1987)、「制限的労働供給と複線型工業発展」『アジア経済』第28巻第10号、アジア経済研究所.

熊倉正修 (2009) 「顕示比較優位指数と比較優位の逆転」(『経済学雑誌』 110 (2) 大阪市立大学 pp.1-38)

財団法人 機械振興協会経済研究所(2009年3月)、『日本発のLSIが日本と世界にもたらす価値に関する調査研究』 財団法人 機械振興協会経済研究所

ジェトロ・ブダペスト事務所(2002年3月)、『ハンガリーのR&Dの動向』

莊 幸美(2004)、『台湾IT産業の経営戦略』 創成社

塩沢由典(2007)、<http://www.gsm.kyoto-u.ac.jp/kubc/papers/07.pdf>

塩沢由典(2007)、「リカード貿易理論の新構成/国際価値論によせて II」『経済学雑誌』(大阪市立大学)85(6) 44-61.

津田健二著、(2010)、『半導体、この成長産業を手放すな』 B&T ブックス、日本経済新聞社

永野周志(2002) 『台湾における技術革新の構造』 九州大学出版会

三橋貴明著、(2009)、 『崩壊する世界繁栄する日本』 扶桑社

宮崎正弘著、(2007)、 『世界新資源戦争』 阪急コミュニケーションズ

横山久・大野幸一・糸賀滋・今岡日出紀(1987)、「東・東南アジア諸国の要素賦存の計測-レオンチェフ、リーマー指標を用いて-」『アジア経済』第27巻第10号、アジア経済研究所.

リチャード E.エイブズ・ジェフリー A. フランケル・ロナルド W.ジョーンズ著、伊藤隆敏・田中勇人訳(2003)、『国際経済学入門(1)』 日本経済新聞社

Krugman, Paul R. 1994. Rethinking International Trade. Cambridge : MIT Press. [高中公男訳]

『国際貿易の理論』文真堂, 2001 年]

Asian International Input-Output Table 1995(I.D.E. Statistical Data Series No.82, Institute of Developing Economies, 2001

吉野久生 「東アジアおよび東欧諸国の貿易構造の変化」野田容助・黒子正人編(2006)

『長期時系列における貿易データと貿易指数の作成と応用』第8章、調査研究報告書, 開発研究センター2005-II-04, アジア経済研究所

吉野久生 「技術選択、貿易構造の変化とハンガリーの事例」, 野田容助・黒子正人編(2007), 『貿易関連指数と貿易構造』第9章、アジア経済研究所統計資料シリーズ第91集、アジア経済研究所

渡部哲也著、三橋貴明監修、(2009), 『本当にやばい、欧州経済』彩図社

¹ Insulated Gate Bipolar Transistor、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ、通常のトランジスタの発熱性を抑制する為バイポーラトランジスタを入れて回路を構成したもの。

² Advanced Micro Devices

³ Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited

⁴ United Microelectronics Corporation

⁵ 韓国の IT 企業は、台湾と比べて素材関連の供給国産化についてはある程度進んでいるものの、台湾企業は米国企業の生産委託を受けるような先端部門において先行している。

⁶ Application Specific Integrated Circuit

⁷ Application Specific Standard Products

⁸ Digital Signal Processor

⁹ Field Programmable Gate Array

¹⁰ 図 1 参照

¹¹ 図 2 参照

¹² ASIC や ASSP から発展してより汎用性を持つようになったシステム LSI である。

¹³ 泉谷[2011]より

¹⁴ 泉谷[2011]より

¹⁵ STMicroelectronics: 1987 年、イタリアの SGS Microelettronica とフランスのトムソンの合併で設立、98 年にトムソンは撤退。

¹⁶ ナノメートル。1 ナノメートルは 1 億分の 1 メートル。

¹⁷ 1 米ドル当たり 1 5 0 0 ウォンを超える迄下落。

¹⁸ 再び 1 米ドル当たり 1 5 0 0 ウォンを超える迄下落。

¹⁹ 泉谷[2011]より。

²⁰ 泉谷[2011]より。

²¹ 泉谷[2011]p.63 より。

²² 泉谷[2011]p.64 より。

²³ 泉谷[2011]より

²⁴ FPGA の導入は、一部の機能について、製造側がシステム LSI にプログラムを書き込む事に特化するという事を可能としたが、FPGA がザイリンクス等少数の米国企業の独占状態にある事、ムーアの法則終焉によって FPGA の進歩が未知数である事、また今後の需要側から要請される機能が余りにも高い事等の事情により、この方向での技術進歩は不確実と言える。