

—新しいものづくりの競争力構造—

三輪 晴治

The new competitive structure of the product development

Seiji MIWA

ABSTRACT

It had been a big topic that now we need to do the effort “What to make”, not “How to make” for Japanese industries. It is true but still how to make is very important for Japanese industries in the global market place. Because the soft or IP without hardware could not reach to consumer’s hand or mouth. And China and other country have been challenging the Japanese core competency: the manufacturing capability and performance.

Another important point is that without the right design or the blue print we can not successfully manufacture the product including software and hardware. In other words, how to make or the manufacturing means how to make the right design of the product. In this area Japan should improve and innovate further to overcome the threat by China and Asian countries.

From the Business Architecture Concept point of view, there are Modular system and Integral system / Open system and Closed system. However for further innovation of manufacturing system we have to overcome the simple trade off view of such business architecture concept, particularly in the concept of “the modular system vs the integral system”.

I call it Virtual Vertical Integration, as a solution.

KEYWORDS: Design, Architecture, Modular, Integration, Visibility, Global optimization, Virtual vertical integration,

はじめに

かつて1980年代は、日本の経済力、産業力が世界のトップとして自他共に認められていた。その日本産業の強みは「ものづくり」としての「製造力」であった。しかしこの1990年以降は「失われた20年」として、日本経済力、産業力の地盤沈下が著しく、日本産業の悲観論が横行した。日本経済のバブル化と、そのバブル崩壊の後処理の失敗により「不良債権」というウイルスに侵され、日本産業は資本力、人的資源という要素で、企業力を落としていった。

同時に、中国を初めとするアジアの発展国が力を

つけ、そのアジアが巨大な消費市場として浮かび上がってきたことにより、日本の製造業のアジア・シフト、国内の空洞化が起き始め、日本産業の強みと考えられていた「製造力」「ものづくり力」が相対的に衰退したとの議論が深刻になってきた。

この議論のなかで、だが「日本の製造力」は依然として健全だ。あるいは、「ビジネス・アーキテクチュア」の視点から、日本は他国と比べて「すり合わせ」による製造力に長けているので、国際競争力の点では安泰であるという議論が出ている。こうした議論が現場では少し混乱をもたらし、日

受理日：平成16年 9月16日

受理者：安藤三郎

本産業力、経済力のこらからの改革の道で、誤った方向に導く可能性をはらんでいるという心配がある。

2004年に入り、世界の景気は少し活気を取り戻し、日本はデジタル家電の市場の回復、拡大で、「再び日本産業が世界を制覇する」という議論も出て、混乱をきたしている。しかし日本産業の基本的な競争力の問題は依然として残っているといわざるを得ない。少し景気が良くなると、すぐ基本的な経営改革の手を休め、慢心してしまうのがこれまでの日本企業の悪弊である。これから脱却し、常に競争力強化の動きを続けなければならない。

そこでものづくりの本質をもう一度再認識し、「設計」という視角から、日本産業のこれからの「新しいものづくり」の方向を探ることを、本稿は試みるものである。

第一章 視角の整理

この試みを進める上で、幾つかの視角としての要素を整理しておくことにする。

1) 第一に、先ず、ここでの「ものづくり」の本質は、一般的に理解されている「製造の現場での肉体作業」という狭いものではないということをはっきりさせたい。むしろその核心は「構想」を含めた「設計 (Design for Manufacturing を含めた)」にあるとするものである。最適な「設計」のないままでの「ものづくり」は、競争力あるものではないという考え方であり、競争力のない商品は設計が適切でないとするものである。

日本ではこれまでは「設計」と「製造」は別のものであるという風土があった。しかも「いろいろ思い煩うことをせず、先ず目で見えるものを作ってみよ」というのが、器用さを誇る日本のこれまでの「ものづくり」の文化であった。

カール・マルクスは、その『資本論』の「絶対的剰余価値の生産」のところで、こう言っている。「最悪の建築師といえどももとより最良の蜜蜂にまさるとなすものは、建築師が蜜房を蠟で築く前に、すでに頭の中にそれを築いているということである。労働過程の終わりには、その初めにすでに労働者の表象としてあり、したがって、すでに観念的には存在していた結果が、出てくるのである」(『資本論』 岩波文庫 第二分冊 P.66) 彼はここで、唯物論者とは思えないような「先ず観念ありき」ということを明確に述べている。ここに「ものづくりの本質」があることを認識しなければならない。これがまた「情報化社会」の動きの基本でもある。

つまり、本稿での「ものづくり」の概念は、ソフトおよびハードを含めたすべての「ものづくり」を対象にし、その本質は「構想」を含めた「設計」を意味する。マニファクチュアビリティを含めた適切な「設計：デザイン」がきちんできれば、その実施という「インプリメンテーション」は、マルクスの言うように、労働過程、生産過程で、おのずとその狙う製品が実現するものである。本来の「ものづくり」とは、こうした本質をもつものであった。しかしこれまでの現実には、かならずしもこのような形で、完全な設計にもとづいて、ものづくりが進んではいなかった。つまり、完全な設計が事前に来ていなくても、「物理限界」、「装置限界」、「操作限界」、「組織限界」という意味で、それぞれかなり「マージンのあった領域」でものづくりがされていた間は、現場での現物合わせ的なアジャストにより、ものがなんとかできていた。日本の強みはこれだとされた。特に動きのあるエレクトロ・メカニカルな部品、製品は日本でなければ出来ないという過剰な自信があった。これが「現場の力」として過大認識されていた。そして、これが「すり合わせ力」と誤解されるところがある。

しかしグローバル・コンペティションの圧力の度

が高まってくると、その「限界」のそれぞれのマージンが少なくなり、その結果、工程干渉、部品干渉が起こり、生産工程の手戻り、イタレーションが発生し、ものづくりに大きな問題が出てきた。つまりものづくりの現場において如何に勤勉な作業でも、アドホックにアジャストしたのでは、「ものづくり」が旨くゆくはずがなく、これからのグローバル市場での競争力に勝ち抜けない。そうした「手戻り」が起こらない、しかも魅力ある商品にする「設計」をどのようにつくるかが課題となっている。

これが今日の問題点で、それに旨く対処している企業が高利益をあげて成功し、それを正しく認識していない企業が苦戦をしているのである。

2) 第二としての視角は、「ものづくりの仕組み」の基本とは何であるかである。それは「設計：デザイン」のやり方であるという考えに立つ。昔から「分割して、統治せよ」という言葉があるように、大きな、複雑なものを作るときには、「それを幾つかの独立した要素に分割して考えよ」という原則があった。アダム・スミスの分業の理論にはじまり、フレデリック・テーラーが「ワーク・ファクター」による「互換性、分業とインセンティブ」をもとに、「科学的管理法」を打ちたて、肉体労働の生産性を飛躍的にあげたのは、この流れである。

「ある複雑なシステムは、より小さな部分に分割し、それぞれを別々に見ることで管理できる。ある要素の複雑さが一定の限界を超えるときには、単純なインターフェースをもつ個別の抽出を定義することで、その複雑性を隔離できる。抽出によって、その要素の複雑性が隠される。すなわち、インターフェースは、より大きなシステムにおいて要素がどのように作用するかを示す」(『デザイン・ルール』カーリス・Y・ポールウィン、キム・B・クラーク 東洋経済新報社 P.76)

つまり一体彫りのような製品は別として、複雑なシステムを幾つかの「完結するモジュール」に分

割して、最適化するという考え方である。これが今日の「ものづくり」の基本になっていることを先ず認識することである。それにはいろいろのドメインでの「デザイン・ルール」を確立し、その「設計手法」を準備することが「ものづくり」の基本となる。

しかしその「モジュール方式」も、「モジュールのムダ」、「モジュールのセクショナリズム」と言う問題が付きまとい、それをどう解決するか、「モジュール方式」を超えた更なる合理化をどう進めるべきかが課題として浮上してきている。

3) 第三の視角は、上記のモジュールという概念を踏まえた「アーキテクチャ論」である。近年グローバル「競争力」をどう構築するかの議論で、「アーキテクチャ論」という視角で分析し、その効果を挙げている。

その議論のなかで、「より小さな部分」に分けるという「モジュラー方式」と「インテグラル方式」あるいは「すり合わせ方式」という見方がある。特にこれに「オープン」と「クローズ」という概念を組み合わせると、ビジネスのアーキテクチャが旨く整理でき、競争のポジショニングが良く理解できる。

しかし実際のものづくりの現場をこの見方で単純に判断しようとする誤解を生む恐れがある。つまり「すり合わせ」ということが、「モジュール化」とは対立するもとして理解され、ましてや現場での現物合わせ的なアドホック的なアジャストを含んでしまうと、そこには競争力という視点からは問題が起こり、「ものづくり」の上で混乱をまねく可能性がある。同時にその平面的な図式からだけでは、その次のイノベーションの方向を編み出すことが困難だからである。

言い換えれば「モジュラー方式」と「インテグラル方式」が二者択一として認識されている場合が問題で、「更なるものづくりの発展」という意味

では、この「二者択一」を超えて、それを「アウフヘーベンする」必要がある。

ところで、東洋人は森を見、西洋人は木を見るといわれている。東洋の思想では、個体は全体の仕組みのなかの一要素として、全体の動き、働きのなかでどう関わるか、全体がどうバランスをとって成り立っているかを究明する。

西洋の思想は、デカルトの「われ思う、ゆえにわれあり」の考えにより、個体をその外の世界から切り離し、個体自身の世界を極める方向に進んでいる。しかしこれで西洋はサイエンスの世界を開き、近代科学を打ち立てた。東洋は、歴史的には西洋よりもはるか昔に、自然、天文、人体というものの動き、真理を究めてきたが、サイエンスを確立することにはならなかった。

西洋の思想は個体を重視する「モジュール」の考えであり、東洋のそれは、全体、総体としての「インテグレーション」である。しかし両者は二者択一ではなく、統合されるべきものである。

この方向が、筆者が言う「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」「グローバル・オプティマイゼーション」に繋がるものである。本稿では、これをものづくりの前提になる「設計開発」というところで、具体的な形で検討するものである。つまり発展の一つの方向は、『すり合わせ（分割しないで）のモデル』から精度と互換性の原理をもとにして『モジュール方式（外はオープン）』に進み、それから更に『モジュール間のすり合わせ統合のモデル』へと進展するもので、これが『バーチャル・バーチャル・インテグレーション』であるという見方である。

結論的に言えば、「モジュール化」を基本にし、「システムのトップレベル」でのコンストレーン（制約）を作成、調整し、全体のアーキテクチャを最適に「インテグレート」することがこれからのものづくり力の基本となる。これを継続的に行い、継続的に改良し、イノベーションを行うものであ

る。同時にモジュールの分割（パティション）とインターフェースを常に戦略的に変えながら、全体のインテグレーションを行う。

4) 第四に、イノベーションへの切り口として、「土台と上部構造」の概念である。技術的、経済的「土台」に対応した制度、仕組み、手法という「上部構造」が存在する。土台の進化、変化によりそれまでの上部構造が対応できなくなり、乖離する。そこに混乱が起こり、そこにイノベーションの起こるチャンスが出るという見方である。この考えにもとづき常に異質のモジュールをとり込み、入れ換えることにより、イノベーションを起すのである。

それは別の見方によると、「物理限界」「装置限界」「操作限界」「組織限界」という概念で、それが壁におち当たったときに、次のイノベーションが起こるものであるという認識である。この整合性、乖離を注意深く見てゆくと次のイノベーションの到来が見通せる。

こうした視角から、最近の半導体の設計開発、自動車の設計開発の動きをもとに、本稿の検討を進めることにする。

第二章 問題とチャレンジ

1) 最近の日本の「ものづくり力」の低下
近年いろいろの方面から日本のものづくり力の低下が叫ばれている。

ある家電製品の事故原因の調査の結果が発表された。(製品評価技術基盤機構 2002年度の「事故情報収集制度報告書」)

「製品事故の情報を収集し、学識経験者らから成る専門委員会が原因を分析、経済産業省に報告する製品評価技術基盤機構。2004年3月にまとめた2002年度の調査報告書によると、家電製品の事故原因は設計ミスを含む『製品自体に問題』が59.9%。1999年の22.4%から3年間で急増した。このデータからも、メーカーの設計力が危うくなっている

状況がうかがえる。設計不良が増える最大の理由が製品のデジタル化だ。携帯機器に内蔵するソフトウェアはかつての大型コンピュータ並みに複雑になっている。しかも新機種の開発競争がし烈なため、高性能のソフトを次から次ぎへと量産する必要がある。その中でソフトの不具合が急増している。次の理由は外部委託が製造から設計にまで広がったことだ。委託先が質の良い仕事をしているかチェックが不十分。」(『日本経済新聞』2004年6月7日)

自動車に関しても運輸省の調査では、1993年度から1997年度までの5年間の総リコール件数に占める「設計ミス」の比率は11.1%だったものが、1998年度は16.3%、1999年度は35.0%に跳ね上がっている。(『日本経済新聞』2000年9月24日)

スイスの国際経済開発研究所(IMD)は毎年、世界競争力ランキングを発表している。321項目にわたって競争力を指数化して評価している。1991年ころは日本は1位であったが、バブル崩壊後一気に順位を落とし、1998年は18位に転落した。2000年は17位。2003年のランキングでは11位となったが、それでも日本は主要先進国中、イタリアを除いて11位という最下位となっている。企業化精神の欠如、大学教育、文化の開放性などでは日本は最下位に甘んじている。

しかし良く考えてみると、グローバル市場において日本が競争優位にたっていた産業の数は、その経済規模に比べ、驚くほど少なかったと言わねばならない。自動車、一部電子製品、機械製品がダントツで外貨を稼いでいたのであり、その産業も利益率という点では国際水準に比して慢性的に低かった。これでは、ますます開発投資を要求するこれからの新しい産業活動で、グローバル競争の波のなかでは生き抜けないということである。設計力を含めたものづくりのより強い競争力を構築し、広くいろいろの産業に展開しなければならないという理由がここにある。

2) 「現場、現物、物理」からの遊離

半導体産業においても、最近の設計担当者は、論理設計かあるいは配置・配線という物理設計を「専門職」として仕事をしており、「論理設計者」は、実際にトランジスタがどう並び、どう配線されるかには関心がなく、またそれが実際にシリコンにどのようなようになったかを見たこともない人が多く出ている。ましてや自分の論理設計したものが実際にどのシステム商品としてどう動作したのかを知る由もない。

デジタル技術により、管理者が管理できなくなってきたという問題もある。設計規模が膨大になり、やむなく複数の設計者でブロックごとに分業で行うために、管理者には全体の問題点や進捗状況が見えなくなってきた。とくに設計工程は、設計者の頭脳労働のために、設計ミスの部分が外部から見えないということで、管理が困難になってきている。かつての古き良き時代は、手で書いた設計図の鉛筆の薄いところには問題があり、自信がないことが現れていて、管理者はそこに欠陥があることを指摘できたというエピソードもある。自動製図ではそれができない。

特に設計開発が下流の現場、物理から遊離してきているという問題である。これでは良いものづくりはできない。ここに改良、革新の場所がある。つまり論理設計者にもそれに必要な物理の情報を与え、物理設計者にも論理、制約の情報を与えるデータ・ベースでのコミュニケーションの仕組みが必要だと言うことである。

ただ「現地、現物」が強調されているが、これは事実に基づかない、間違いの情報でことを判断しては駄目だということである。しかし現地で、現物だけをただいじっておればよいということでは決してない。ここで強調したいのは「構想、設計」という視点を離れての「現地、現物、物理」ではイノベーションは起こらないということである。

3) セクショナリズムで責任の擦り合い。

一方では、日本は、「ものづくり力」、「技術競争

力」はあるのだが、企業としての利益、ROIが低く、次の投資力が弱いという議論が現場ででている。歩留まりは他国と比しても高いし、競争企業よりうまく商品開発を行っているのに企業としての最終利益がかんばしくないとの不満である。つまり「現場のものづくりは旨くやっているが、経営者、本社の戦略が間違っていて、肝心のROIが低く、企業として競争力がない」という議論がある。これは一体どうしたことだろうか。

「ものづくりは良くやっている。問題の責任は経営者、本社の戦略にある」という認識では、ものづくりの現場では、われわれはこれ以上の改良は必要ないという風潮であることが最も憂慮することである。またものづくりは企業の戦略のなかで進むべきもので、経営戦略とは関係ないものづくりが問題なのである。

日本企業の置かれている状態は、「更なる利益の拡大能力」の構築が必須であるにもかかわらず、現場は「すり合わせ力」が強いと自画自賛して、大改革に乗り出さない。つまり「合成の誤謬」がいたるところで起こっている。利益を上げ、賃金をあげる方向でなければ大衆消費社会は成り立たないし、企業の次の発展はない。いまや「全体最適」で企業競争力を高めなければ、日本の年金制度もなりたたないし、経済も発展しない。そのためには利益が十分出るような売れる商品作りが必要だということで、これは本社、経営者が悪いということだけでは解決しない問題である。

4) 日本産業のチャレンジとしては「間接金融から直接金融への変換」を如何に成し遂げるかであるが、日本の「国のかたち」もこれに対応して変革しなければならぬが、これは個別企業がこの意味のイノベーションを含めた「ものづくりの」革新をすることによってなしうるものである。特にプロセス・イノベーションだけではなく、プロダクト・イノベーションを続けてゆく国全体としての仕組みと動きが必要であるということである。

つまりイノベーションを続けて行く企業の競争力の構築ということになる。

これから、企業が生き抜くには、「3%の合理化ではなく、30%の合理化」をする必要がある。着眼点の水準をぐっと上げる。「レイズ・ザ・バー」である。これでイノベーションが巻き起こる。そうして意味では、「達成できそうもない目標」を設定するトップマネジメントの力と役割を認識することである。同時に、単に安くて、品質の良いものをつくるのではなく、売れる商品としての「魅力ある商品」をどう開発するかがこれからの「ものづくり」の使命である。

この「プロダクト・イノベーション」も本稿で検討する「モジュール化」の展開のなかで実現できるところがある。

第三章 「ものづくり」の基本

1) 「ものづくりの本質」は設計

冒頭で、「ものづくり」の本質は、構想力、設計力であると述べた。しかしこれまでの「ものづくり」の概念は、製造と設計は別のものであるということであった。特に日本の製造部門は、半導体産業でも自動車産業でも、当初は設計部門を必要悪としての扶養家族、付属部門という位置づけで扱ってきた。

これまでの現場の一般的な意識は、何かを作ることになったとき、あまり頭で考えすぎてことが先に進まないことを恐れ、とにかく「物理的なものを作って形にして」そこから工夫を凝らし、目的のものを現物あわせで作り上げるという文化が長い間続いていた。どちらかと言えば「考えないで走るという文化」であった。これは戦後の日本産業がアメリカの進んだ産業を模倣するという形で進んだためでもある。

しかし、カール・マルクスの言葉にあるように、ここではむしろ「ものづくり」の本質は設計が主であるという立場である。

筆者が1960年代に実際に経験した自動車部品生産では、多くのところで現物あわせがあり、「ヤスリ」と「サンダー」により、組み立ての接合、かみ合い部分の「すり合わせ」があり、動きのある機械部品の組み立てに「勘合のための加工」があった。組織としても「仕上げ部」というのがあった。これは勘と熟練を必要とする仕事であった。

半導体の設計のなかでも、これに似たような文化が根付いていた。ある半導体チップのプロジェクトがあると、設計者はすぐトランジスタをどう並べ、どう繋ぐかをやり始める。これが現場での「すり合わせ力」だと勘違いしているものがある。しかしアメリカなどの進んだ企業は、いきなりトランジスタを並べるのではなく、まずそのシステム、論理をどのように分割し、システムの望ましいアーキテクチャを熟考し、そしてそれをシリコンにどう作りこむかの構想という「アーキテクチャ」の検討に十分時間をかけて検討し、最も性能の高い、コストの安い構想を練り上げる。つまり物理的なトランジスタを並べる前に「構想としての設計」を重視するのである。建築でも、詳細の図面なしで、建築作業をするものはいない。勿論トヨタのように「先ずやってみなさい」という文化もあるが、これは新しい構想が進まないときに、まず何かを作ってみなさいということである。しかしおうおうにしてあるものを作ってしまうと普通の人はそれに縛られて、そこから抜け出せず、画期的な商品にできないことになることを肝に銘じなければならない。

ものを作り上げるには3つの要素がある。1)「アイデア」、2)「アーキテクチャ」、3)「インプリメンテーション」である。この1)と2)が本稿でいう「設計」である。何を作りたいというアイデアがあり、それをどのようにして実現するかの構想、設計があり、それをもとに作るという実施がある。日本はしばしば2)「アーキテクチャ」を抜かして、3)に走る癖がある。

これを「すり合わせ力」と理解するととんでもな

いことになる。

しかしこうした日本の文化や、「設計」を重視しない手法は、旨くゆかないことが分かってき、近代の「ものづくり」はこうした古い文化から如何に脱却するかを努力してきた歴史でもある。つまり現場での現物合わせ的な「すり合わせ」を排除することであった。同時にそれは「モジュラー化」のコンセプトで、複雑なシステムをどう分割するか、違うモジュールに代えると性能はどうなるかというような手法での「設計」を効果的に行うことであった。

設計が適切なものであれば、実際のインプリメンテーションとしての製造はスムーズに行き、狙いの製品ができるものである。

「現場、現物という思想」はそれ自体は大変重要なことであるが、「構想力」「設計力」と言うことを軽視してはならなし、これからの複雑な、ソフトと関連する製品の「ものづくり」には、構想力、設計力が極めて重要であることを強調したい。

日本の「零戦」とアメリカの「B29」の違いが良い例として挙げられている。

日本の真珠湾攻撃の直後のことで、アメリカは航空母艦用の戦闘機を戦略手に作ろうとした。その当時は航空母艦用に適する戦闘機は試験的に小さな会社で作られていて、せいぜい年間で12機ぐらいしか生産できなかった。この仕事が大企業に引き継がれた。このプロジェクトに優秀な技術者と熟練者が配置された。戦闘機の構成部品はどこまでも細分・分解され、その部品をつくるための機械の設計、その部品の完成体への組み立てに関する数百トンに達する青写真がつくられた。その作業が開始して殆ど1年たっても1台の飛行機もできなかった。だがその青写真ができて5週間後には、年産6,000台の割合で戦闘機がつぎつぎと生産され、飛び立っていった。

一方、日本の「零戦」の機能の狙いはよかったが、

大量生産としての設計がなされておらなかった。所謂現物あわせの手法での生産しかできず、生産が間に合わず、しかも品質が悪く、故障を頻繁に起こしたと言われている。こうしてアメリカの「B29」にやられてしまったことは言うまでもない。

つまり設計段階での性能、マニファクチュアリティの検討が如何に重要かということである。

2) モジュラー化のコンセプト

このように「ものづくり」は1世紀以上にもわたって複雑な製品をつくる場合に、複雑なプロセスを単純化するために「モジュール化」(Modularity)のコンセプトを使い、精度と互換性の原理でできるだけ現場での「現物あわせ」をなくすることに努力してきた。

それではどんな思想で設計するかということであるが、冒頭に「複雑なシステム」を作るには、それを「独立した小さなモジュール」に分解して、その独立したモジュールの最適化をはかり、全体として優れた製品をつくる方法である。

「分割して、統治せよ」というイギリスの植民地政策に似ている。

この「モジュール化」の原理は、18世紀のエリー・ホイットニー、20世紀初めのヘンリー・レーランドの「互換性の原理」がある。

これは同時に、18世紀の経済学者のアダム・スミスが明確化した「分業の原理」に遡り、「ピンの製造」における作業の分解による分業がこの流れの源流である。

今日の資本主義経済社会は、このモジュールの概念で分業、互換性の原理に基づき「もの」をつくり、それを市場で交換し、組み合わせて社会の必要とする商品を生産、消費する社会的仕組みである。

モジュールの例としての時計職人の寓話がある。

(前掲『デザイン・ルール』P.77)

2人の時計職人がいて、T職人の時計は、1つの時計あたり約1,000個の部品ででき、その部品を

順次組み立ててゆくとき、その間何かの用事で、組み立てを中断して、手を離すと、たちまち部品はバラバラになる。また一からくみだてを開始しなければならない。

もう一人のH職人は、だいたい10個の要素ごとに安定した半組立品を準備して置けるように設計した。これだと生産の中断はあまり大きな障害にはならない。

T職人とH職人との生産時間は4,000倍の差が出ている。ここにモジュールの特長がでている。

モジュール化の特長は次のようなものがある。

1) 相互依存性のないモジュールにするとそのモジュールの詳細設計に専念することができる。事後調整コストを削減できる。2) いくつものモジュールの詳細設計を同時並行的に進めることによりTAT (Turn around time) を短縮できる。3) ある機能の変更があっても、該当モジュールの変更で、他には影響ない。4) モジュールは切り離された標準部品になると大量生産でき、コストの大幅な削減が図れる。また設計として再利用ができる。

ホイットニー、レーランドの互換性は、同一部品の互換性で、ここで言う互換性は同じインターフェースをもった別の部品を入れ替える互換性である。

3) 「モジュラー化の力」の基本

複雑なシステムを独立した相互依存でないブロックに分割してモジュールとし、それぞれのモジュールのなかの最適化が容易になる。それぞれのモジュール間の「インターフェース」を明確にして、すべてのモジュールを組み立て、全体のシステムにする。「モジュール」部品は共通部品、標準部品として大量生産のメリットを生かすことがあるが、「モジュール」は製品を品質良く、効率的に設計開発する目的を持つことでもあることを理解する必要がある。

モジュラー化の概念と理論を整理すると以下のよ

うになる。

3-1) モジュラーの概念

モジュラーには次のものがある。

1. 製品機能の「論理のモジュラー」、
2. 製品の物理的な形での「物理のモジュラー」
3. 製品の生産における「工程のモジュラー」
4. 設計、生産活動の人の組織の「組織のモジュラー」
5. 製品の使用における「使用のモジュラー」
6. 製品の廃棄における「リサイクルのモジュラー」がある。

特に本稿では、4までのものを検討の対象にする。

3-2) モジュラー設計の6つの論理

モジュール設計には次の6つの論理がある。

1. ある設計モジュールを分離、パーティションする。
2. ある設計モジュールを他の設計モジュールと入れ替えてみる。
3. ある新しい設計モジュールをあるシステムに追加する。
4. ある設計モジュールをシステムから除外してみる。
5. 新たなデザインルールを創造するために「抽出」(Abstraction)する。情報を隠す (Information Hiding)。
6. あるモジュールを他のシステムに適用してみる。

これにより、変更モジュールの箇所だけを再設計するという意味で、設計変更、デリバティブ製品の設計、モジュールの再使用が飛躍的に進むことになる。また問題の所在するモジュールにたいして、外の世界を考慮することなく、問題解決、合理化が迅速に行える。また同時に、これにより新しい商品のイノベーションが進む。

4) 「戦略的モジュラー化」の道と IBM 「システム/360」

しかしこの「モジュラー化」の動きは、20世紀の半ばまでは、「自然のパーティション (分割)」を基にしたものであった。戦略的な、あるいは「イノベーションを創発」する「モジュール化」ではなかった。

上記のモジュールの論理のなかにイノベーションを創発する「戦略的モジュラー」の論理があることは容易に分かる。つまり「モジュールのオプション」のスペンが拡大し、これがシステムの最適化と同時に、「Mix & Match」を通じてシステム商品のイノベティブな進化をもたらすものである。

「戦略的モジュラー化」とは、与えられた製品スペックをもとに何とか正しく作動するものを作り上げるということではなく、その製品のより魅力的なものを創り上げ、それを通じてイノベーションを起こすことである。それには、企業戦略と連動させて、それまでのモジュールとは違う技術、コンセプトのものに入れ替えることによりイノベーションが起こる。特に他の異質企業とのコラボレーションがこれを促進するケースが多い。

「相互依存型からモジュール型への転換は、設計オプションの数、価値および位置を変えるので、システム全体の変化速度を劇的に加速する力を持つ。仮に、設計プロセスの結果に不確実性があるならば、モジュール化は設計オプションの市場価値をかなり大きく引き上げる」(前掲『デザイン・ルール』 P.277)

戦略的に、「イノベーションの創発」するモジュラーの概念を作り上げ、これが1980年代に「シリコンバレー現象」として「産業のクラスター化」に発展させたのは、1964年に発表された IBM の「システム/360」の設計コンセプトである。それまでの IBM のコンピュータは全体のシステムの基本的タスク構造は相互関連型で、どの装置の部品設計も殆ど標準化されておらず、まさに「すり合わせ」で設計していた。

IBM はそこでコンピュータの構造を次のような

モジュールに分割し、インターフェースを明確にして、新しい製品の設計構造を作り上げた。「システムソフトウェア」、「通信」、「入力・出力」、「ストレージ」、「ALU」、「制御」、「メモリー」、「コンポーネント」である。

これにより IBM は事業の大飛躍をとげ、同社の市場資産価値を業界のなかで抜き出したものにした。

これがまた、この業界のビジネス・モデルも大きく変え、産業全体を発展させていった。つまり、インターフェースの明確になったモジュールに専念してそこに新しい技術と新しいビジネス・モデルでベンチャーが出現し、新しい「産業クラスター」の展開をもたらしたのである。図らずも IBM のシステム/360が、今日のパーソナル・コンピュータ (PC) とネットワークの新しい IT 社会を築く原動力になったことはいうまでも無い。

しかしこの仕組みにより1980年代に PC とネットワークが生まれ、「シリコンバレー現象」が巻き起こるが、IBM 自身はそれの対処に後手を踏んで、多くの新しい企業の創出、活躍をもたらすことになった。これがまた1970年代から始まった「没落するアメリカ」を、20世紀の最後に見事に「ナンバー・ワン」に蘇らせる結果となった。

日本産業は、この「戦略的モジュラー化」のダイナミックな力の理解が十分でなく、戦略的に欧米企業に劣っていると言われている。

つまり企業戦略に基づく、モジュラーへの分割を如何に旨くやるかと同時に、すべてのモジュールの関係のインターフェース、コンストレインを正しく設定し、それを継続的に最適なものに調整し、チューンアップしてゆく能力である。同時にモジュールのパーティション、インターフェースを戦略的に常に変更し、全体としてインテグレーションしながら、商品の進化をはかる。これを「事後モジュラー調整力」と呼んでおこう。そして異質のモジュールに入れ替えて新しい魅了ある商品にして、市場を創造するのである。これが「バーチャ

ル・バーチャル・インテグレーション」を進める上で重要な能力である。これを自家菜籠中のものにすることが、日本がこれからの中国、その他の競争相手を振り切る基本的な力となるものである。

5)「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」への道

これを更に推し進めると、筆者の主張する「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」へと発展することになる。

半導体も「システム・オン・チップ」の時代になり、500万ゲート、1,000万ゲート、あるいは今や2,000万ゲートを超えるものも出てきた。65ナノのプロセスになればもっと集積度は上がる。こうなるとこれまでの設計手法では適切なチップをタイムリーで開発できなくなる。より適切な「モジュール化」の技術が必要になる。しかし規模が大きくなるので分割するというのでは、決して旨くゆかない。分割するということは同時にシステム全体の適切な制約条件を確立する必要がある。つまり設計の最初の段階で、適切な「モジュール」に分割し、適切な「制約」を設定できる設計者と設計メソッドロジーが必要になってきた。

通常は「モジュール」に切り分けられると、各モジュール担当者は、もはや外の制約、条件とは関係なく、最初に与えられたインターフェース、制約の中でそのモジュールの詳細設計に専念する。ところが後で、最初に与えられた制約、パーティションが適切でないことが判明することがある。逆に言えば設計に最初の段階で全体の正しい制約条件を確立することは殆ど不可能になってきたということである。

これまでの手法では、与えられたパーティション、制約が不適と分かっても、それをどう取り入れるかの手法がなく、悪い制約のまま遣り通すとい大変おかしな文化ができています。当然そうなること、不必要なバッファを使うことになり、タイミング性能的に問題のあるネットを見逃す恐れがあり、

したがって結果的にその製品設計の性能は悪くなり、競争力がなくなり、利益が出ない。こうしたことが現実には起きているのである。

これには不適切な制約、インターフェースを設計の早い段階でどうデバッグし、それをどのように設計のなかに取り入れるかの手法を開発しなければならない。それには設計の早期の段階で、迅速にシステム製品のトップ・レベルの制約を正しく作り上げ、それぞれのモジュールの制約を正し、全体としてのより良いアーキテクチャにし、それを迅速に取り入れる手法である。

この過程で「モジュールのオプション」の力による製品のイノベーションの道を重視しなければならない。「すり合わせ」での「生産のジレンマ」により、あるいはオリジナルなモジュールに固執することにより、競争力を落とした商品が現実によくでてくる。これを克服するものとして「モジュール化」を基に、あるモジュールで、別の異質分野の専門家、あるいは専門企業とのタイアップによる新しい別の技術を導入し、モジュールを入れ替えることにより、イノベティブな競争力ある商品の開発に繋がる道があるということである。

同時に「見える化」により、総てのモジュールがどういう状態にあるかが見渡せるメソドロジーを確立することである。これが「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」(VVI)である。

6) 日本の「モジュラー化」「すり合わせ化」文化の悪弊

相互依存型の「すり合わせ」が合理的に進むと、「生産性のジレンマ」が起こる。「すり合わせ」では本来の「自然的なモジュール」においても技術の内容がドキュメント化されにくいために、いろいろのモジュールを跨いでの合理化ができにくい。つまり「すり合わせ型」においては、しばしば「凍結状態」に陥り、イノベーションが進まな

い異にはまることがある。

これがある商品が誕生して成功を取めたが、程なくして市場より退場するというものが多い理由である。つまりこの「罨」に陥っていることで、新しいアーキテクチャでの挑戦ができにくい。

また「モジュラー方式」と「すり合わせ方式」とが二律背反、二者択一と理解されることがある。現実はこの二つの組み合わせであり、「トレードオフ」、「二律背反」ではないのである。

したがってまた、日本は「すり合わせ方式」で行き、アメリカは「モジュラー方式」という単純な図式はもはや成り立たない。

更に日本の「ものづくり」において、この「すり合わせ」、「モジュール」は大企業と下請けあるいは子会社と言う「上下関係」により歪められている点を見逃すことができない。しばしば日本のモジュール化はあるブロックを下請けに出すということの意味することが多い。モジュール相互の調整において大企業の担当するモジュールに変更をすることが明確になっても、下請けのモジュールの担当からそれを提案することは極めて難しいという文化があることを認識する必要がある。日本の現実のものづくりの世界では、これが意外に深刻な問題であることが理解されていない。とくに経営のトップはこの事実を理解してないところに問題がある。これを十分理解している企業とそうでない企業との企業格差が出ているといえる。つまり、日本では、「モジュール化」の力を水平的な、対等なものとして取り扱い、そうすることによる産業クラスターを促進する必要がある。日本ではベンチャーが発生しにくいし、育ちにくいといわれるのはここに原因があることを正しく認識することが急務である。

先述の説明で分かるとおり、従って「モジュラー方式」万能では当然ない。「モジュラー方式」一辺倒ではまた大きな弊害がある。

日本は、いろいろの産業分野、特に半導体、自動

車においてレート・カマーであったため、短期間に効率よく人材を育成する意味で「工程のモジュール」「組織のモジュール」により細分割して、専門職を作り、育てた。日本は、同一民族という背景で、以心伝心というコミュニケーション力を生かして、生産の効率化に邁進した。しかし、それが先ほどの「生産性のジレンマ」に陥るケースがあることである。

モジュラー方式は競争相手が模倣するのを防ぐ「ブラックボックス化」になり、競争力をつけることにもなるが、それに終始するとまた「イノベーションのジレンマ」に陥り、現実的にはモジュールの「オープン化」,「ブラックボックス化」がシーソーゲームのように展開することになる。

こうした欠点に加えて、「モジュール方式」はそれ自体「相互依存性のないモジュール」はもっとも厳しい外の制約条件を満足させるために、過剰設計、過剰品質になることは回避できない。その「インターフェース」もいわば余分のものである。これは「すり合わせ」では不要のものである。だが、20世紀末からのグローバル・コンペティションの圧力で、こうした過剰設計、過剰品質は許されなくなってきた。

同時に「工程のモジュール」「組織のモジュール」は当然セクショナリズムを起し、競争力を阻害している面があることである。これを克服するのが「モジュール方式とすり合わせ方式のアウトヘーベン」である。

つまり、全プロセスを「見える化」による「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」することがそのソリューションである。

第四章 問題の所在と変革のキー・コンセプト

以上モジュールの基本とその特長、問題点を説明したが、こうしたものづくりとしての設計において、現実には今どんなことが問題として起こっているのかを半導体、自動車の例で見えてゆき、

その変革のいとぐちをさぐる。

1) 工程干渉、部品干渉の不具合発生とその克服
これまでの「工程モジュール」分担の仕組みが、土台の技術の進展で、乖離し破綻をきたしている。つまりこれまでの工程モジュールをシリーズで進めても、後続の工程で前の工程での仕事が破壊されることが起こりだす。あるいはそれまでの設計手法で設計した部品が互いに物理的、ソフト的に干渉するという不具合が起こっている。

自動車もはやくから「自然的モジュール」として、トランスミッション、エンジン、グローボックス、ブレーキアセンブリー、フロントクォーターパネル、ラゲージコンパートメント、フロアパネル、トランクリッド、リアクォーターパネルとモジュールとして分割されていたが、アメリカにおいては石油危機を契機に起ったダウンサイジングのときにエンジン、トランスミッション、フロアパネル、などのモジュールの間で、制約条件の変化を読み取れず、部品干渉、共振問題、MTBFの問題が起こった。これがアメリカ自動車産業の1980年代の後退の原因の一つとされている。こうした問題は、自動車の直接的な品質の問題、生産工程の混乱として出たものである。

初期の半導体の設計では、トランジスターの集積度が小規模（50万ゲート、0.25um ぐらいまで）の段階はフラット設計（ぐじゃぐじゃのすり合わせ）であった。その時点（スタンダードセルの確立期）は、設計工程はスムーズに流れていた。しかしそれを越えた集積度の規模、微細加工の段階に入ると、フラット設計手法が不可能になった。つまり論理設計しても次で配置配線をするとならぬという問題が出てきた。そこで回路をいろいろのブロックに分割して設計をすすめて、最後にチップ・アセンブリーをする設計ツールと手法（モジュラー方式）が編み出されることになった。しかしこのブロック・デザイン方式（モジュラー方式）も本当のソリューションではなかった。つ

まりあるモジュールのブロックが過剰設計に陥り、他のモジュールに制約のしわ寄せがきて、余分なバッファを入れるなどして切り抜けなければならず、手戻りの連続で、ダイサイズ、パワーが過剰になり、マーケットウインドウを逸することがあるという混乱に陥っている。微細加工がさらに0.18um, 0.13umとなるにつれ、ますます問題は深刻化した。

2) ムリ, ムダの排除

直接的な製品の不具合と言う意味での問題ではないが、ムリ, ムダを排除すると言う限りなくカイゼン, イノベーションを続ける運命にある企業では、これを如何に進めるかが生き残りの条件となる。

「モジュール方式」の場合は、外の制約条件がどんなに変化してもモジュールとして作動するには、現実には一番過酷な条件を満たすものにするので、過剰なものをもつことになる。つまりモジュール部品の性能は、投入範囲、適用範囲で要求される最も高い要求水準を常に満たすことが必要なため、過剰品質になりやすい。インターフェースもいわば余計なものである。

ムリ, ムダを排除しようとして「すり合わせ設計」によると、この相互依存型の設計では、先述のとおり「イノベーションのジレンマ」に陥ることになる。

それには、モジュールを見渡した全体としての「グローバル・オプティマイゼーション」：「全体最適」を追求する必要がある。「モジュール対すり合わせ」という二律背反の世界から脱却し、「統合的モジュール設計と手法」というアウフヘーベンである。

つまりモジュール・コンセプトの導入とチップ全体を見渡す設計ツールとメソドロジーが要求されているのである。残念ながら日本産業は工程、作業の分業を徹底したため、複雑なチップ全体、工程全体を見る人の養成が十分ではなかった。

自動車産業のトヨタは金が無かったために汎用機で多能工を養成せざるをえなかったといわれた。それが結果的に、全体が見渡せる「多能工」「主査制度」,「重量級マネージャー」を養成しやすかった。それを十分に活用したことがトヨタの成功の一つの重要な要素であるといえよう。

これは別の表現をすれば、「組織モジュール」,「工程モジュール」,「部品モジュール」を超えた、「情報データの交流」（データ・ベースによるグローバル・コミュニケーション）による全体の統合による解決である。誰が何を知らねばならないか、これを極めることである。それには「見える化」がベースになる。これが「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」の方向である。

3) 魅力的価値をつける全体最適のためのモジュール化

モジュール設計による、部品干渉、工程干渉という不具合の克服、さらにモジュールによるムダ、重複を無くすということから、更に大きく歩を進めて、「モジュール・オプション」の拡大による「イノベーションの創発」により、より魅力的な商品の開発を促すものである。これは「モジュール化のパワー」によるものであり、「戦略的モジュール化」と呼ぶことにする。

つまり単純な「すり合わせ」に固執しているとそれ以上のイノベーションが起こらず、ビジネスが衰退するケースがあり、「モジュール化」「モジュール・オプション」による「異質のモジュール」を導入し、イノベーションを図ることが重要となっている。

どんな商品も、ビジネスもそのまま勝ち続けることが現実的にも不可能に近い。市場、競争の状況を見て適切に対応してゆくことが経営である。つまり適切な「戦略転換」である。これを適切に行うには「モジュール方式」が適していることはこれまでの説明で分かる。単純な「すり合わせ方

式」ではその対応が「モジュール方式」より困難であるということができる。

「モジュール化は設計オプションを創造し、ある与えられた設計の集合の市場価値を劇的に変化させることができる」（前掲『デザイン・ルール』 P.274-275）

「相互関連型設計プロセスは、1個のオプション、つまり、そのプロセスの結果を取るか捨てるかになる。対照的に、モジュール型設計プロセスは、多数のオプションを創造する。モジュール型設計では、all-or-nothing（取るか捨てるか）という対応は不要である。そのシステムの全体的なデザイン・ルールに合致するかがり、モジュールを組み合わせ（Mix & Match）られる。」（同 P.276）

「相互依存型からモジュール型への転換は、設計オプションの数、価値および一々を変えるので、システム全体の変化速度を劇的に加速する力を持つ。・・・仮に、設計プロセスの結果に不確実性があるならば、モジュール化は設計オプションの市場価値をかなり大きく引き上げる。・・・多数の個人と企業が、新たなモジュール設計を提供しようとする強い経済的インセンティブを持つだろう。そして、このように多数の新たなモジュール設計が出現することで、そのシステム自体も新しい方法で変化しはじめるだろう」（同 P.277, P.278）

自動車産業でも、半導体産業でも「モジュール化」のコンセプトでビジネスのハンドオフ、パーティションを作っているが、多くの場合、モジュールとして切り出したスペックをもとに、競争入札で外部から調達するという域を出ていないところがある。サプライヤーに出したモジュールの向こう側は「見えない」ブラックボックスになってしまう。

またモジュールの分割が正しくなければ、トータルとしての合理的な商品にはならない。モジュール・アーキテクチャ力が重要である所以である。

当初の分割、パーティションは適切でも、土台の技術、競争環境が変化するとそれまでの分割は適切でなくなる。こうしたダイナミックな変化に対応して、モジュールのアーキテクチャを継続的にチューニングすることである。これにフレキシブルに対応することが今日の商品に要求され始めている。

土台と上部構造の変化、乖離により、それまでのモジュールの分割パーティションが無効になる。そのときにはそれに対応する適切なモジュールの再分割が必要である。土台と上部構造の変化、乖離の状況を注視すると、次のイノベーション、戦略転換のチャンスが見えてくるものである。

マネージャーの役割は、その変更をリードし、マネージすることであるが、製品が複雑になると、管理者が全体を見ることができなければ、そのリード、管理が出来ない。半導体産業は今そのことが起こっている。設計者自身、あるいはマネージャーがそれぞれ自分のイノベーションを推進する仕事ができるような設計手法を確立する必要がある。

第五章 半導体産業のケース 4つの改革

それではこうした視角で、半導体産業におけるものづくりの新しい方向を検討しよう。

半導体設計開発の工程をモジュールとしてみると、次のような工程モジュールがある。

「システム設計」—「論理設計」—「物理設計」—「ベリフィケーション」—「テスト」—「ダイアグノース」—「プロトタイピング」—「プロダクション」

こうしたモジュールは、土台としての半導体の微細加工技術の変化が進むと設計開発の工程モジュール：手法という上部構造も変化することになる。

これまでは、この設計工程のモジュールが上流から順次進んで、次の工程に手渡しし、シリーズの

流れで設計開発が完了していた。

しかし微細加工という土台の技術が進化すると、一つのチップのトランジスタの集積規模も大きくなってきて、この設計工程の順番でシリーズには流れなくなり、工程干渉が起こり、そのために手戻り（イタレーション）が起こり、設計品質、設計時間、設計コストに大きな影響がでてくる。つまり論理設計は何とかできたが、トランジスタを配置・配線できないということが起こり、設計工程が混乱し、生産性が急速に落ちてきた。とくにプロセスの微細加工が $0.15\mu\text{m}$ を超えると、こうした問題がでてきて、今日半導体設計開発が問題になってきている。

また設計手法の関係で、大規模の集積チップでは、設計データを分割しなければ取り扱えなくなり、「消極的なモジュラー化」が進んだ。これがいろいろの弊害をもたらしている。またこれまでの工程モジュールが組織のモジュールをつくり、この組織間の壁が大きな障害になっている。

更に、モジュラー化を「積極的に進めよう」としたのは、設計が大規模になり、すべてを一から論理設計、物理設計をされていてのでは、設計コストと時間が膨大になりマーケットウインドウを逸してしまうという理由であった。つまり、ある設計ブロック、モジュールを再利用したいということになった。しかし、後で述べるところであるが、これはあまり成功しなかった。

こうした半導体設計開発の現状を克服する4つの改革の道を、「モジュール」と言う視点と「パーティクル・パーティカル・インテグレーション」の視点から、検討する。

1) 論理設計と物理設計のインテグレーション
2000年ころまでの古き良き時代の半導体設計は、論理設計者が論理設計をやり、そのデータ（ネットリスト：Netlist）を物理設計者にハンドオフして、配置・配線をするとう電子回路が完成していた。こうしたスタンダード・セルをベースに

したネットリストをベースにハンドオフするASIC（Application Specific IC）設計が主流になり、正しく作動する半導体シリコンがどんどん開発、生産されることになった。

これには、1990年頃から進歩してきた自動設計ツール（EDA ツール）は正しいネットリスト（論理回路の接続関係を表す設計データ）と正しいタイミング・コンストレイン（タイミング・ディレイレーション）があれば、論理設計者によるネットリストをもらって物理設計者が配置・配線という物理設計を行うのはかなり自動的に進むようになり、こうしたASIC ビジネス・モデルは急速に成長した。

しかし集積度としてのゲート数が50万を超えると、そして製造技術としての線幅が $0.25\mu\text{m}$ を下回るようになると、設計の初期の段階でネットリストやコンストレインを、正しいものとして用意することが困難になってきた。それは配線の遅延が、素子の遅延より大きくなると、それまでの設計ルール、手法が通用しなくなるからである。つまり設計の工程干渉、手戻りが起こり、コンストレインの修正、ネットリストの修正が必要となる。これまでの手法では、詳細配置配線までやらなければコンストレインの問題点が分からない。これに輪をかけているのが、論理設計者から物理設計者にコンストレイン情報が十分伝わらない仕組みで、しかもその論理設計者も設計の早い段階では完全なコンストレインを確立するのが、極めて困難で、「ダーティ・コンストレイン」のまま物理設計者に手渡すことになる。

つまりフォールス・パス（実際の作動時には活性化されない回路のこと）、マルチ・サイクル・パス（レジスタ間の論理は、通常1クロックで処理されるが、複数のサイクルで処理するものがあり、これを特定しなければ設計ができない）、あるいはテスト回路などの情報が、これまでの設計ツール、手法だと、最初から正しいものを設定することが困難で、詳細配置、配線をしながら手探

りで、正しいものにしなければならなくなってきた、設計生産性を著しく阻害し、ビジネスの獲得にも支障をきたしている状況である。

設計のなかで5-8回の手戻りが起こり、他の原因もあるが、シリコンになっても正しく作動しないことが起こり、2度、あるいは3度と高価な(1億円、90ナノでは2億円以上といわれている)マスクを作り直さなければならなくなり、ROIを悪化させている。

この問題解決の鍵の第一は、論理設計者と物理設計者とがデータ・ベースをもとにコミュニケーションをとれる仕組みを設計ツールと設計手法で作りあげることである。(日本では、物理設計者は多くの場合別会社になり、論理設計者の企業組織の下請けという形が多く、自由にコミュニケーションできない文化がある。これはシステム設計者と論理設計者との関係でも同じ性質の問題として存在する)

その第二は、物理設計の条件を論理設計の段階で考慮しておくことである。つまり物理設計が旨くゆくようなパラメーターを論理設計の段階で考慮できる設計技術である。これがバーチャル・バーチャル・インテグレーションである。

第三は設計の初期段階で、このネットリストとコンストレンで、チップとしての性能、タイミング、ダイサイズ、パワーを見極める、プロトタイプングの機能をもつことである。これには、設計データの複雑度を縮小して、チップ全体のタイミング・バジェットを概観することにより、正しいコンストレンを確立する方法である。

第四は、こうした技術が開発されても、論理設計者と物理設計者がコミュニケーションすることはますます重要になってくる。データ・ベースでのコミュニケーションおよび実際の両者のコミュニケーションが必要で、そこに組織、設計文化の改革も必要になってくる。

このような解決の道で、論理設計と物理設計のインテグレーションをする設計技術がアメリカの企

業により開発され、提供され始めている。

AmmoCore Technology Inc., Magma Design Automation Inc.などの技術である。

前者は、タイミング・モデルにより500から2000セル(ゲート4個程度からなる)を1つのブロック(SBlockと呼ぶ)にして分割(モジュール)にする(98%のセルをこれに入れる)。このブロックのなかは集積度が小さいためにワイヤー・ロード・モデル(配線のディレーの見積もりルール)が正確に働くので、物理設計が正しく行われることになるので、詳細の配置、配線をする前にタイミングを見極めることができる。すなわちSBlockのなかのタイミング性能は保証される。

つまりスタンダード・セル(4ゲート程度で、1つの機能をまとめたもの)は、ゲートを単位に設計していたものを4分の1に複雑度を縮小したが、SBlockはゲートを基準にすると設計の複雑度を8000分の1に縮小したことになる。セルに対しては複雑度を2000分の1に削減することになり、設計は大幅に簡略化され、設計工程の工程干渉をなくし、ダイサイズ、パワーの削減にもなるという画期的な設計技術である。

このツールの一部RapidPlannerにより数時間でネットリスト、制約データを処理すると、その制約、論理の問題点を提起するレポートが生成され、そのレポートを論理設計者と物理設計者がシェアし、直ちにデバッグができる。これで途絶えていた論理設計者と物理設計者とのコミュニケーションが確立する。

こうした方向は、実は設計開発の工程が全体を通してインテグレートされ、コミュニケーションされているということで、バーチャル・バーチャル・インテグレーションであるということが出来る。

2) 設計モジュールと製造モジュールのインテグレーション

シリコン・デバッグ シリコン・ダイアグノー

ティス、あるいはDFM (Design for Manufacturing) と呼ばれているものである。

正しい設計作業により、最終設計結果のGDSII (レイアウト・フォーマット) を完了して、マスクを作成してシリコン(ES: Engineering Sample) が完成するが、それをテストすると、多くの場合不具合が検出されるものである。しかしその不具合の原因が何であり、どこを修正すべきかを突き止めることが容易でない。これをシリコン・デバッグ、シリコン・ダイアグノースと呼んでいる。これが0.18um あたらから大変深刻な問題になってきた。

半導体技術の0.25um の段階までは、「設計モジュール」と「製造モジュール」は独立しており、設計とシリコンとの関係で不具合を問題にすることはあまりなかった。

台湾のTSMCがファンドリー・ビジネスとして新しいモデルを確立したのは、設計モジュールと製造モジュールとが切り分けでき、製造モジュールに専念してビジネスができるとしたことである。勿論それにはデザインルールを明確にし、ライブラリーを整備、公開したことがこのビジネスの成功の要因であった。

つまり「設計の問題」は顧客の責任で、「製造の問題」はファンドリー企業の責任という区分けを明確したことである。

しかし半導体技術が0.18um を下回り始めると、設計モジュールと製造モジュールとの境界線が不明確になり、不具合の責任の所在が問題になってきた。ただ責任問題だけならよいが、どうしても不具合の原因の箇所が特定できず、迷宮入りで、出荷できないという事態もおき始めている。

これまでのシリコン・デバッグは、基本的にはテスト・エンジニアが行ってきた。

その方法は、探索的な診断と呼ばれ、過去の経験で蓄積した「欠陥モデル」を辞書的な形で用意し、検査で不具合がでたところに探索的に、その原

因に該当しそうな「欠陥モデル」を自分の判断で取り出す。その欠陥モデルを含めた形で、シミュレーションして、一致しているかを確認する。不良が再現すればそれが原因であるとする。再現しない場合は、別の欠陥モデルを取り出し、まさに探索的に繰り返すという、原始的なことが行われている。場合によればこの作業は4-6ヶ月かかることがある。一致しないと、延々とそれを繰り返す、迷宮入りになることがある。半導体開発設計でこの作業は時間と労力、コスト、品質の点で大変な問題である。

更に最近のシステム・オン・チップのような複雑なものでは、なかなか不具合の原因の特定が一段と困難なものになっている。つまり不具合の原因が1つではなく複数の原因からなり、あるいは間歇的故障が増えており、問題はますます複雑に、困難になっている。また技術プロセスが0.10um, 0.090umに入ると、SI (Signal Integrity) やOPC (optical proximity Correction) の問題がでてきていることが、問題をますます困難にしている。

こうした状態がこれまでのファンドリー・ビジネス・モデルの破綻につながるという声が出てきている原因である。

最近、シリコン・ダイアグノースの効率化を図る技術がアメリカで開発されつつある。その方向は設計技術者とテスト技術者を組織的に連携させ、設計データとテスト・データを統合して不具合の原因の究明を効率的に行うものである。

一つは米LogicVision,Inc. である。同社は、欠陥の影響や可能性を統計的アルゴリズムにより「メトリック」として算出する手法を提供している。ゲート・レベルの三つのメトリックである「Match Ratio」「Mismatch Ratio」「Excitation Ratio」を求め、これをもとに原因を絞りこむ。

もう1社は米Silicon Diagnosis,Inc である。同社

の手法は、設計データ（Verilog-HDL のネットリストや GDSII のマスク・レイアウト）と LSI テストの結果とを同社の「診断エンジン」で分析し、原因を 2 段階で絞込み、最終的な原因を特定する。「Error Source Logic Analyzer」「Electrical Failure Analyzer」「High Level Sensitization Analyzer」という三つの分析手法を持つ。複合的の不良、間歇的の不良をも解析できる。

このアプローチも設計モジュールと製造モジュールのインテグレーションによっているといえる。

3) 設計とテストのインテグレーション：BIST (Built in Self Test)

半導体のテストは半導体技術の進行で、問題をもたらしているものの一つである。第一は、半導体の集積度が高まってくることにより、テストのコストが高騰し、場合によっては製品コストよりもテストコストのほうが大きくなるという事態が起こっている。同時にその原因としてテストが極めて複雑になり、困難になり、完全にカバーできなくなりつつあるという問題である。

これまでは設計が終わり、シリコン ES ができると、テスト・エンジニアが外部テスト機で、外部入出力端子によりテストベクターを入れてテストし、良品、不良品を判別していた。前述の探索的に欠陥モデル辞書から引き出し、それに適合するかどうかをトライアル・アンド・エラーで原因を探していた。しかしそれは端子の限界とテストベクターの複雑化で壁にぶち当たりつつあり、そのために ATPG (Automatic Test Pattern Generator) をつかい、テスト・パターンを自動生成し、レジスタを間接的にアクセスするスキャン手法が開発された。

しかしこれもチップが大規模になりクロックが複雑になると、テスト・パターン、テストに時間がかかり、大きな問題になりつつある。同時に複雑なクロックでは、その性能を確認するために、アット・スピード (実動作のスピード) でのテストも

要求されてきている。

この解決策として、最近注目されているのがチップ内にテスター相当の回路を内蔵する BIST (Built-in-self-test) である。このテスト回路がチップの全体の 5% 以上を占めるので 0.3um ぐらいまでは、敬遠されたが、0.18um ぐらいからはチップサイズという意味では問題がなくなり、検討され始めている。しかしこの普及にはいろいろの壁があり、なかなか進まなかった。それは回路設計工程とテスト設計工程の工程干渉と、どこにテスト回路を入れるべきかの問題が出てきた。どんなテスト回路をどこに設置するかにより、チップ性能、ダイサイズ、パワーの大きな影響を与えるからである。

テスト工程がこれまで設計工程、製造工程と分離されていた文化が BIST の効率的な実施を阻んできたことが明らかになった。

この BIST のソフトは米 LogicVision Inc. その他で提供しているが、これを効率よく実施するには、設計部門、テスト部門、製造部門のコミュニケーションを図り、組織、設計ツール、BIST ツールのインテグレーションを進めることである。これもいわばバーチャル・インテグレーションである。

4) 設計プロジェクト・マネジメント

SOC の時代になり、設計プロジェクトの遅れ、狙いの開発コストが大幅に狂い、ROI に大きな支障をきたしてきている。Dram に代わり、システム LSI をビジネスの中心に据えると日本の半導体産業のトップは言うが、実際はまだシステム LSI で利益を上げる仕組みになっていないというのが現状である。

半導体設計開発のプロジェクトの 85% が計画の日程より遅れをきたしており、しかもその遅れの日数もプロジェクトによって大きくばらついている。

自動車の製造のようなハードなものの肉体労働による生産工程では、その進行状況、問題がどこにあるかは比較的明確に分かり、管理もしやすい。

しかし半導体設計作業は、良く考えてみると、人間の頭脳のなかの作業である。なかなかその作業工程は外からは見えにくい。集積度が小さい時代は、前述のように、システム設計工程、論理設計工程、物理設計工程、検証工程、製造工程とそれぞれ分割された工程を順々に進めてゆくと、求めるシリコンのチップになり、計画した期間とリソースで設計開発ができ、管理はそう困難ではなかった。しかしシステム LSI の時代はそれが困難になり、管理者が管理できないと悲鳴が上がっているほどである。

90ナノメータ (0.09nm) 時代となれば数千万ゲートが1 cm 角のチップに集積されることになるが、これはロケット、プラント、都市などの開発に匹敵するほどの複雑度である。しかしそれらは目に見える「タンジヤブル」なものの管理であった。半導体設計開発は「インタンジヤブル」な頭脳作業であり、ここに困難さがある。だがこの管理手法が確立されなければ、事業として成り立たないことになる。

日本のお家芸の TQM もハードのものはうまくいっているが、ソフトの TQM は未だに苦戦している。

その問題は2つある。

一つは管理するにはその作業工程の生産性を測定する手立てがなければならぬのであるが、半導体設計の生産性を測定する手立てがなかった。生産性が測定できるすべがなければ合理化を進めることもできない。

ハードなものの生産の管理には、フレデリック・テラーが打ち立てた、科学的管理法としての、「タイム・アンド・モーション分析」による要素的な作業に分割し、それをもとにある製品の製造に必要な標準労働時間、標準機械加工時間を設定し、それに対して実際の労働時間、機械時間により生産性を測定できる。

しかし半導体設計には現在のところそうした標準時間が完全に設定できていない。したがってどの

くらいのリソースを投入すると、どのくらいの日程で設計開発できるかという計画が立てられない。現在はゲートの数と勘と経験で管理者が日程をたてるのだが、実質的にはお客の要求する日程にたいして、困難だとか、何とかやりましょうという程度の管理になっている。

つまり半導体の設計開発としてのチップの複雑度のある数値に換算する必要がある。これを「ノーマライゼーション」と呼ぶ。この数値をもとに実際のリソースの投入で生産性を測定できる。

もう一つはそのノーマライゼーションをしたデータ・ベースをもとに、モデリングの技術をもとに、設計の工程計画をつくるためのリソースのシュミレーションをすることである。これにより日程計画の管理、ポートフォリオ管理、トラッキング管理ができる。

さらに大切なことは、配置・配線というバックエンドの仕事が協力会社でやられているケースが多いが、この仕事のコスト見積もりが、現在はゲートの大きさを中心になされ、正しい仕事の内容でビジネスがなされていないという状態である。

更に、企業の事業戦略や経営戦略に基づいて、リソース配分、プロジェクトを目標の日程で完了することを確実にするための IP の再利用、設計手法、EDA ツールの選定その他の戦略を、このシステムにより具体的に展開できるようになる。つまりリスク・マネジメントを含めた、グローバルな管理ができるようになる。

こうした考えで米国の Numetrics Management Systems Inc. が DPMS (Design Productivity Management System) 開発し、半導体の設計生産性を測定することを可能にしている。世界ですでに1000以上の設計例をデータにしており、そのメンバーになると、自社が設計生産性において、世界のなかでどの位置にいるかが分かる。

さらに同社の LCMS (Life Cycle Management

System) により設計開発プロジェクトをシュミレーションし、どのようなリソースをどのくらい投入すべきかのプロファイルを算出する。いろいろの制約のトレードオフ分析で、戦略にあった最適解を求める。

これでシステム LSI 設計開発が全体として科学的管理されることになる。

以上半導体の設計開発の分野での新しいものづくり、すなわち、多くの工程をインテグレートし、工程全体を見渡して、全体を最適にするようなバーチャル・バーチカル・インテグレーションの方向で、改革が進んでいる。これがこれからの半導体の設計開発の改革となる。

第六章 自動車産業のケース

6-1) 自動車のものづくり

半導体と比較して、自動車は目で見えるハードが中心で、比較的のものづくりの管理はやり易かった。しかし近年車種がどんどん増えてゆき、電子部品の数も増加し、自動車の複雑度は急速に増してきた。同時にこれからソフトを含めたエレクトロニクスの比率が高まり、頭脳労働の要素も入り、ものづくりの更なる進化が迫られてきている。

ここでは最近の自動車産業のものづくりの方向を「モジュール」と「インテグラル」そして「バーチャル・バーチカル・インテグレーション」の視角から、検討することにする。

前述の通り、複雑なもののものづくりの基本は、全体のものを、それ自身で完結する幾つかの「部分」に分割し、それぞれの部分を最適にして、すべての部分を統合、すなわちインテグレーションすることにより全体製品を完成するものである。この部分を「モジュール」と呼ぶ。

その「モジュール」に二つの意味するものがあることに注意する必要がある。「モジュール」は複

雑な製品を分割して部分というモジュールを最適にするという本来の意味における場合と、協力部品企業に部品の加工を委託する場合、その部品の周りのものをもまとめて一緒に依頼、発注する場合を「モジュール」「モジュール化」と呼ぶことがある。

「モジュール・システム」は更に、乗用車のようなモノコックのものを「すり合わせ」というのにたいして、RV (Recreational Vehicle), SUV (Sport Utility Vehicle) やピックアップトラックのように「シャーシー」と「キャビン」や「ボディ」のように比較的に独立した「モジュール」を組み合わせて完成品をつくるというものを指すことがある。

したがって、モノコックの乗用車の製造を「すり合わせ方式」と呼び、これが日本は強い。他方、RV, SUV, ピックアップトラックを「モジュラー方式」と呼び、アメリカがこの分野に強いというような見方がある。

しかしここでは複雑な製品の設計開発の基本である「モジュール」とそれを統合する「インテグラル」という概念で、検討を進めることにする。つまり「モジュール方式」か、さもなければ「インテグラル方式」：「すり合わせ方式」かという二者択一ではないということである。同時に協力部品企業が関連する部品を纏めて受注をするという意味での「モジュール」でもない。

6-2) 自動車の生産技術の変遷

こうした理解のもとに、自動車のものづくりの変遷を見てみよう。

アメリカでの1907年以前は、自動車生産は、鍛冶屋的に何から何まで一人の人が一品料理的に、そして「現物合わせ的」に、「すり合わせ」で自動車を作っていた時代であった。

そして近代の生産技術の進歩の歴史は、この「現物合わせ、すり合わせ」を排除して、「精度と互換性」を追及するものであった。

「一車種大量生産」

ところが1907年から、ヘンリー・フォードによる「一車種大量生産」として、「モデルT車」の開発し、ムービング・アセンブリー方式で大量生産を開始し、自動車産業を確立し、経済の発展を促した。これは精度と部品の互換性をもとにした大量生産であった。

フォード「モデルT車」の生産方式は、言うまでのなく、アダム・スミスの「分業の原理」を下に、フレデリック・テーラーの科学的管理法で、作業を限りなく細く「分割」して、ムービング・アセンブリー・ラインに世大量生産方式である。つまりこれは「製品のモジュール」、「工程のモジュール」を進めたものである。これにより品質、コストをドラマティックに改良する「フォード革命」を成し遂げ、高度大衆消費社会を確立することになった。

この「モデルT車」は唯一つのモデルとして、1927年の生産中止まで20年間生産され続けたが、その間各部品は何度も設計変更されて、改良された。これは何を意味するかというと、いろいろ部品に分割されたものが、独立して改良できるように、自然的「モジュール」として分割されていたということである。全体がモジュール分割のないという意味での「インテグラル」、「すり合わせ」であれば、大量生産が進行中なので、部品の設計変更は大変困難であったからである。（インクリメンタルな部品の設計変更は、もしその製品のモジュール分割がなされていない場合は、少しの設計変更も全体の設計データを再設計し、再シミュレーションする必要があり、膨大なコストがかかる。半導体の設計でもそれがかつて問題になったことがある）

「多車種大量生産」

黒一色の「会心の作」である「モデルT車」が破竹の勢いで市場にでていったが、ある程度普及すると、急速に売れ行きが下がり、遂に1927年に生産中止に追い込まれた。それから1929年の大恐慌になり、膨大な公共投資をするも本格的な経済

回復ができず、戦争に入った。軍事経済でジェネラル・モーターズ（GM）が事業を伸ばしたが、新社長のアルフレッド・スローンが新しい自動車のコンセプトを打ちたて、イノベーションにより自動車産業を再度拡大させた。

その生産技術の基本はフォードの大量生産であったが、自動車に「スタイリング」という概念を持ち込み、目的や予算にあわせいろいろの層にミートする「フルライン・ポリシー」を打ち立て、割賦販売の助けをかりて、自動車の普及を一段と高めることに成功した。

つまり基幹部品としての「モジュール」はいろいろの車種に共通にして使い、大量生産でコストを下げ、「アウト・スキン」としてのボディにいろいろのスタイリングを施し、外観的には多品種の自動車を提供した。「多車種大量生産」ということができる。

「多車種少量生産」

しかしやがてこの方式に限界が来た。1970年代、石油危機によるエコノミー・カー、本物の「多車種」を市場が求めだしたことである。アメリカ自動車企業は、基本部品の共通化、大量生産に基づき、部品自動アセンブリー専用機、ロボットつまり、「デイトロイト・オートメーション」を進めてきたが、それは結局フレキシビリティがなく、市場の要求に対応できなくなってきた。

しかもアメリカ自動車産業はエコノミー・カーのための「ダウンサイジング」を「モジュール」と「インテグラル」の基本を無視してイージーに取り組んだことが致命傷になった。

この市場の要求を、無意識的に、追求したのが日本の自動車産業である。日本はもともと国内市場が小さく、最初から海外の市場、アメリカ、ヨーロッパ市場に頼るしかなく、したがっていろいろの多くの車種に対応しなければならなかった。しかも資金が貧弱であったためにデトロイト・オートメーションのような高価な専用機には投資できず、汎用機を駆使するしか方法がなかったことが

幸いした。つまり多能工を養成するしかなく、これが日本を「フレキシブル・マニュファクチャリング」に駆り立てた。

しかも「コンティニュアス・インプルーブメント」を日本の自動車はモットーにし、同じ型式年式でも、改良すべきことはどんどん改良した。この改良は、「モジュール化」を基本にしなければ進まないことは先にも述べた。つまり「インクリメンタル・エンジニアリング・チェンジ」はモジュールが基本になっている。すなわちこうした意味での「すり合わせ」はモジュールを基本としているのである。

グローバルマーケットで市場の要求がどんどん変化するこれに対応するには、商品をどんどん迅速に変えていかなければならない。これにまともに取り組んだ結果が、日本自動車産業が進めた「フレキシブル・マニュファクチャリング」である。つまり多品種少量生産としての日本のジャスト・イン・タイム、かんばん方式の原理はモジュラーの原理に基づき、製品と生産工程の「モジュラー」と「インテグラル」の両面から合理化を進めてくことを基本にしている。

6-3) ものづくりの進化

「モジュール化・すり合わせ化」の進展

特に近年「モジュール化」が重要とされ、それが進んでいる理由は以下のものがある。

第一は、近年ますます車種の数が増え、しかも部品点数が増え、同じアセンブリーラインでいろいろの種類の車を流す上で、部品のパーティションについてある統一を図る必要がでてきた。

第二に、戦略的にどの部分をカーメーカー自社でやり、どの部分を協力部品企業にやらせるかで、部品（モジュール）のパーティションを再検討することである。

第三として、こうした動きに加えて、世界市場での競争が一段と厳しくなり、さらに一段のコストダウンをやるために部品のパーティションを全体的に再度やり直すという動きがでてきている。トヨタ自

動車などは、基幹部品を更に30%以上のコストダウンをやるというトップの命令は、これまでの合理化のレベルでは到底なしえないもので、コストの70%を占める調達部品を含めて、グローバル・オプティマイゼーションという観点からモジュールのパーティションを再度検討し始めたことである。これが筆者のいうバーチャル・バーチャル・インテグレーションである。

ヨーロッパ車においてもモジュラー化が進んでいる。

「90年代のドイツ自動車産業では、製品市場が多様化・成熟化していくなかで、フルライン化・多仕様化・多様化を推し進めざるをえなかった。ただし、生産システムの複雑性がますます高まるのにもなって、そうして複雑性のコストを削減することが課題となった。こうした問題を解決する手段として、モジュラー化やプラットフォーム共通化という動きがでてきたのである。・・・モジュラー化が進めば進むほど機能統合が図られる傾向が見られる。製品を単に空間的・物理的に大きな単位で切り分けていくだけでなく、機能統合を実現するような形でのモジュラー化が急速に進んでいる。これが、いわゆる『統合型モジュール』と言われるものである」「モジュラー化をしていく場合に、どうしても過剰設計になる傾向があることも大きな問題である。モジュール部品の性能は、投入範囲内で要求されるもっとも高い要求水準を満たさなければならないから、部品のアップグレード化が起き、しばしば追加コストが発生するからである。またモジュールを標準化する一方で、製品レベルの差異化をどう保つかも非常に大きな問題である」（『マネジメント・トレンド』Vol.7 No.3「ドイツの車づくりと生産システム—ドイツ・ビッグスリーの生産システム高度化—」風間 信隆 P.26, 27, 28)

「フロント・ロード・プロブレム・ソルビング」冒頭で、「ものづくり」は、それに基づいて忠実に造れば売れる商品になるという「設計」である

とした。つまり問題は製造にあるのではない。設計開発段階で製造の問題をすべて解決することがキーとなる。

これまでは、プロトタイプという試作車をつくり、それを走行テストして、部品干渉、不具合、生産の隘路を見つけて、設計の修正をする。量産に入りしばらくはイールド、歩留まりを上げる工程が長く続いていた。言うまでのなく、その分はまるまる損失になっていた。

最近では、3次元CADを駆使して、試作車を作る以前に、工程干渉、部品干渉、共振、強度、劣化など問題点を設計の早期段階で解決することができるようになった。すなわち、3次元CADは、コンピュータ上に製品形状のみならず製品機能を再現することにより、現物の試作・実験なしで製品の性能・機能の評価を行う、シミュレーションをするものである。

設計の早い段階でこうした設計に不具合、製造上の問題点を解決し、量産に入ると直ちに高い歩留まりで生産ができるようになることである。これにより競争力源泉の一つである新車開発の期間の短縮になり、コストも大幅に下げることになる。これを「フロント・ローディング・プロブレム・ソルビング」と呼ぶ。つまり製造の問題も設計で事前に解決するもつである。これが真の意味の「すり合わせ」ということである。

しかしこれができるのもきちんとした「モジュール」への分割、最適化という設計開発のプロセスを進めることが前提となることは言うまでもない。

「より重要なのは車に発生する問題の多くが、設計に関連しているということ。つまり工場における組み立てに誤りがあるわけではないのです。実際のところ、トヨタがいちばん神経を使っているテーマは、設計、そしてエンジニアリング技術の向上なのです」（『週刊東洋経済』2003・11・1 P.46 DJパワー プライアン・ウォルターズ）

「見える化」

ネットワーク時代では、かつての巨大企業体制の

垂直統合型とは違って、オープン、水平的な企業の連携が進み、外からの部品、製品の調達が増加している。しかし自動車は部品点数が多く、車種の種類も多いということからカーメーカーは当初から全体の70%程度のコストのものを外部より調達していた。調達の力つまり如何に安い値段で調達することが企業の力とされたが、これまで自動車産業の調達はいろいろの問題があった。部品企業は利益を隠すために、その技術をブラックボックス化しようとした。カーメーカーは調達したい部品のスペックを部品企業に出すだけで、その中身がなかなか分からない。不況になると調達先を変え、競争させて価格を下げるか、調達先の数を絞り、取引コストを下げるかで、ここにカーメーカーと部品企業の攻防が続いてきた。しかしそれが今や限界に達したということである。

二つの理由から、これに変化が起こり始めた。一つは、協力部品企業のコスト構造を知らなければ、自動車全体のコスト構造を変革することができなくなったほど、自動車産業のグローバル・コンペティションが進んだことである。第二に、自動車の機能、性能を更に改良するにはカーメーカー、部品企業がそれぞれ分担している部品の範囲で合理化、最適化したのでは限界がある。全体の最適化をどうするかを迫られてきている。それには、あたかも一社での垂直統合で開発製造するように、全部品、全工程が把握管理できるような状態が必要になる。それが「見える化」であり、「バーチャル・バーチャル・インテグレーション」である。

自動車のものづくりの強化はそのアウトカムとして、コストを下げ、品質を上げ、「売れる魅力ある商品」にすることである。先述した通り、「モジュール化」か、さもなければ「すり合わせ」か、そして日本の強みの「すり合わせ」であるから安泰だという議論ではないということである。つまり、「すり合わせ」とう「良い戦略ポジション」だから安泰という「ポーター流の考え」だとそれ以上の進展がなくなる。

6-4) トヨタのものづくりの本質

自動車産業のものづくりの方向をトヨタのやり方を見ながら、更に検討してみよう。トヨタ自動車の利益率の源泉には幾つかの要素がある。

6-4-1) 情報の共有化 オープン化

ビジネス活動、合理化はすべて情報に基づいておこなわれるもので、社内、協力部品企業、販売ネットワークのなかでの情報のオープン化、共有化が基本であるとしている。社外を含めてすべての関係部署に必要な情報をオープンにしなければ、あらゆるところでの合理化の活動が起らない。特にこれからの合理化はコストの70%以上を占めている協力部品企業の動きを白日の下に晒すことであるとしている。協力部品企業も、トヨタ自身が情報をオープンにしなければ、自分もオープンにしないのは当然であるということから、トヨタ自身がそれに動き出している。

その極みが自社の原価を社内に公表したことである。

「社内で原価をガラス張りにすること」が重要であると認識し、これまで企業としての機密事項であった原価を知ってもらわなければ、本当の合理化は進まないという考えに至った。原価を知った現場担当者は、こうすれば、原価がカイゼンできると自主提案するようになり、本当に原価が低減できたかどうかを経理部まで確認にくるようになった。

これまで「原価」は企業として最も機密事項として重要なもので、経理部門の門外不出であった。

「私も、初めは原価が社外に漏れてしまうのではないかと、心配した。しかし、いつまでも原価は秘密だけどとにかく下げろでは、通用しなくなった。」「情報を共有化することが、トヨタの社員がつねに危機感をもってカイゼンに取り組む上で重要な役割を果たしていると思う。経理の一番大事な仕事は『見える化』を進めることだ、と私は思う」「見える化は問題点を顕現化させることを意味する」(荒木副社長 『週刊東洋経済』 2003年2月22日号 P.30)

6-4-2) 「見える化」

先の情報のオープン化、共有をもとに、「見える化」がトヨタのキーワードになっている。

自動車産業はその部品点数、総合アセンブリー産業といわれているように、日米ともに、ほぼ70%のコストのものを外部から調達している。カーメーカーとして自分で詳細までコストを管理するところは限られていた。外部調達部品は購買力ということで如何に競争をさせて安く、品質のよいものを調達できるかがポイントであった。しかしもはやそのような仕組みではこれ以上の競争力のある商品はできなくなってきた。

つまり外部調達品も自社でコスト、品質を管理するのと同レベルのものが要求されるようになった。それには協力部品企業の作業の中身を見通すことが必要と同時に、彼らもカーメーカー自身と同程度にイノベーションを推進する動機をつくることであった。

社内はもとより、サプライヤーの原価構成、カイゼンの進み具合、利益の構造を透明にし、すべてを見透かすことができる力がトヨタの利益の源泉である。

「サプライチェーンの見える化」とも言っている。しかしこれも協力部品企業にその手の内を見せろといっても絶対に見せてくれない。先ずカーメーカー自身が情報を開示することであった。もちろんすべてを見せる必要はない。協力部品企業がイノベーションをするために必要な情報を開示することである。自動車の合理化はサプライヤーに如何にイノベーションを進めさせるかがもっとも重要なことである。それには、それまでの部品のパティションを変えるチャンスを与えるとか、複数の企業のコラボレーションを促すという施策も必要になってきた。

トヨタは失敗に合理化の種があるとする。失敗を報告させオープンにする。「あんどん」の本質もここにある。とくに設計というものは失敗を設計者が隠しやすい。これを白日のもとに晒すことで

ある。

半導体のインテルはこの点を十分心得ており、自社のMPUと繋がる関連チップのイノベーションを他の企業にしてもらうために、それとのインターフェースの情報を開示しており、しかもそのイノベーションを迫るようないろいろの刺激を与えている。つまり、MPUの周辺のチップ、ソフトの開発を外部にやらせるべく、インターフェース情報を開示し、また自分も開発する可能性を示し、競争をあおりながら外部の力を利用している。必要な情報を協力企業に開示する。

6-4-3) 「見える化」の技術的手段

トヨタは次のようなシステムをもって協力部品企業と設計を共同で進め、見える化を実現している。車体などの設計で協力部品企業と関連する部品を同時にその関連性を見ながら設計をすることが、この見える化を進めるなかでの重要な部分で、3次元CADをもとに外部の協力部品企業とコンピュータ上でつながりながら、お互いに相手の作業を見ながら設計するシステムでトヨタの開発したV-Comm (Visual & Virtual Communication) がある。

更にCASE (Computer Aided Simultaneous Engineering 部品, ユニットを対象), DSR (Digital Styling Review) あるいはWARP (Worldwide Automotive Real-time Purchasing Systems) というシステムを使い、設計工程の全体に見通せるものになっている。

「トヨタでは開発プロセスのリーン化のために採用され、実際bB車両の開発のときに試作レスを実現したV-Commと呼ばれるデジタル開発手法が、部品メーカーに拡大・展開しつつある。」(『組織科学』Vol.37, No.1「自動車部品産業における3次元CAD技術の導入とその影響」具 承桓 P.79)

「トヨタの部品サプライヤーには、継続的なコスト低減への強いインセンティブが存在する。彼らのトヨタとの契約書には固定した価格の規定はない。むしろ、トヨタは1年に2回価格の低減目標を発表し、各部品メーカーと価格の交渉を行う。品質を下げずに新価格を下げるコスト低減に成功したサプライヤーは、その差額は次の価格交渉まで自分に取り込むことができる」(『成功企業のIT戦略』ウイリアム・ラップルート 日経BP社 P.194)

「造り勝手のよい設計を初めから行うことである。特定の目標の設定あるいはコスト削減のために、既知の設計の再編成または修正を行う分析的設計手法を使う。CADシステムがこのような多様性を促進し、プロセスには不可欠になっている」(同 P.196)

「正規構成部品の関しトヨタとサプライヤーの間で行うエンジニアリングおよびそのほかの情報交換をITが大幅にスピード化し促進する。同時に3D表示により豊田の技術者は、車全体の関連のなかで関係部品の迅速な評価をすることができる」(同 P.196)

「情報の共有化は会社の成功にとって極めて重要であるので、会社はこれに代わる方法はないという」(同 P.200)

「トヨタは作りやすさを重視した設計を進めているが、2千点に及ぶ構成部品を対象にして、部品設計時に、生産工場や系列メーカーの担当者から意見を聞くことを設計者に義務付け、作りやすい設計を促すことで生産工程でのトラブルを未然に防ぎつつ、開発時間の短縮も狙う。これを昨年発売した中級セダン『アベンシス』などで部分的に導入した」(『日本経済新聞』2004年6月30日)

勿論単に情報技術のみではできない。ヒューマンタッチの重要性を十分理解し、トヨタのトップとトヨタグループのトップが「朝の会」ということで毎月1回集まり、トヨタの経営方針、戦略を説明し、確認している。これはすでに20年間も

続けている。

さらに協力部品メーカーには、毎週トヨタの係長課長レベルのものが訪問して工程手順、設備、原価低減、品質改善について打ち合わせる。これは極めて重要なことである。

6-4-4) トヨタの自社の定義

トヨタは自分の企業を「系列を超えた Virtual Enterprise」と定義している。別の言葉で「コラボレーション環境によるバーチャル・エンタープライズ」であるとしている。この理念をもとに従来のメーカーとサプライヤーの関係を超越、すべての工程、部品をあたかも自分で設計、管理して、どこにもブラックボックスのない仕組みにして、協力部品企業を巻き込んで、あらゆるところでイノベーションを起こすことを考えている。まさに「バーチャル・バーチカル・インテグレーション」である。

これをグローバルにこれからどう展開するかがトヨタのこれからの課題となる。

6-4-5) トヨタの利益の源泉

以上でトヨタのものづくりの強みを検討してきたが、その利益の源泉は、常に全体に危機感をもたせ、普通では達成できそうもない目標を掲げる「レーズ・ザ・バー」を進めていることである。張富士夫社長の合理化指令で、2000年の夏以来進めた基幹部品原価の低減活動である「CCC21運動」がある。総部品原価の30%、つまり173品目の基幹部品のコストを30%の削減をする指令をだした。

5%、10%ではなく、30%という常識では考えられない合理化目標は、これまでの合理化の目線では到底達成は不可能である。全く違ったレベルと視野で考える必要がでてきた。もはやこれまでの部品モジュールにおける最適化ではそのような大幅な合理化は生まれない。作りやすい、利益の出やすい設計はこれまでのパティション、モジュールを超え、調達部品も対象にした検討を通じてでしか生まれない。こうした活動は、達成できそう

もない目標が出されたことにより起こるものである。「見える化」により協力部品企業をも巻き込んでのバーチャル・バーチカル・インテグレーションによるイノベーションである。

6-5) 自動車部品工業のケース

一般に社外でのビジネス活動つまり協力部品企業からの調達が最大のリスクであるといわれているが、そのリスクをリスク管理として考えるのではなく、協力部品企業が積極的にイノベーションを進め自動車の全体の価値を高める動きをどのように促進するかである。こうした動きのなかで「情報の共有化」「下からも上からも見える化」が進み、複数の部品企業を超えたイノベーションが進んできているのである。

モジュールの限界を超えて複数の部品会社を共同して新しい設計が生まれた。

2003年にプリジストン、曙ブレーキ工業、カヤバ工業が手を結び、それぞれの主力製品であるタイヤ、ブレーキ、ショックアブソーバーが一体となったモジュールを完成車メーカーに売り込んだ。

タイヤ、ブレーキ、ショックアブソーバーはそれぞれモジュールとして独立しており、ブラックボックスであった。「足回り」サプライヤー同士のこの3社の取り組みは単純なコスト削減とは一線を画している。組み付ける個所が隣り合い、機能的にも深く関連するタイヤ、ブレーキ、ショックアブソーバーを同時に開発することにより、その性能を高めると同時に設計の段階から自動車メーカーに入り込み、発言力を増すことが狙い。実際にタイヤやサスペンションという個々の部品の性能向上に成果が出ている。例えば、これまで個別部品では解決できなかった制動時の異音をサスペンションを工夫することで大幅に低減した。このモジュール化で個々の部品を最適化することにより、あるサスペンション部品を重量で35%、コストで25%削減することができた。

このためにタイヤ、ブレーキとショックアブソーバーを含むサスペンションを組み合わせた状態で

乗り心地や静粛性などの実験ができる「タワーモジュール評価装置も開発した。(『日経ビジネス』2003年9月1日号 P.11)

こうしたことは完成車メーカーにとっては車の根幹の技術を部品メーカーに握られてしまう恐れがあるが、それを恐れているのはこれ以上の進歩は望めない。むしろオープンにして技術やコストの面でブラックボックスになって見えなかった足回りの技術をオープンにし把握するのが完成車メーカーの狙いでもある。

部品企業では、ある部品の周辺の関連部品を組み合わせモジュール（複合部品）設計することで、効率化をはかる動きがでている。

「三愛工業ではフェューエルポンプしか扱っていなかったが、燃料タンクから汲み上げた燃料をエンジンに運ぶブラケット等の周辺部群を一体化してフェューエルポンプ・モジュラーとして開発したところ、各社が別々に設計販売していた製品と比較して、大幅な軽量化・小型化に成功。原価は30%の低減が出来た。秘密は従来製品では必要だったリターン配管が、モジュール化により不要になったことにある」(『週刊東洋経済』2003年2月22日号 P.35)

協力部品企業の間から見ると、どのカーメーカーが一番全体をバーチャル・バーチカル・インテグレーション的に見通しているかはわかる。ここに企業差が出ているのである。つまりこれまでの部品モジュールのパーティション、インターフェースを変えながら全体をインテグレートして、新しい価値を付値し、コストを削減する動きがでているのである。

第七章 その他の産業の動き

7-1) デル・コンピュータのケース
情報が不完全のために在庫をつくることになる。こうした考えのもとにデルは毎週サプライヤーに

デル自身の販売予測情報を教える。この情報が競争相手に流れることを前提としている。

「ほとんどの契約は、サプライヤー側のコスト削減と連動した条件になっている。コストが下がれば、サプライヤー側ではマージンを保ったまま、デルは部品価格の低下というメリットが得られる」(『何故企業はシェアで失敗するのか!』リチャード・ミニター 日本経済新聞社 P.155)

「デルはすべての主要サプライヤーと『仮想合併』しているのだ。サプライヤーとデルの組み立て工場のあいだでは、情報が迅速に、しかも双方向で共有されている。まるで、サプライヤーが社内と同じフロアのオフィスを構えていて、問題が生じると、それに対処するためにすかさず連絡してくるといったイメージだ。」(P.156)

「われわれの目標は、在庫を情報で置き換えることだ。」(P.156)

「デルはサプライヤーとの間で、一種の「オープンブック経営」を実践している。デルは販売予測や1時間ごとの生産量について詳細をサプライヤーに公開し、サプライヤー側も、コストと利益マージン、納期を明らかにする。これなら、サプライ・チェーンの両端で、在庫をかなり大きく減らすことが出来る。リスクの一部をプロセスから排除することにより、デルとサプライヤーはコスト低減というメリットを享受している。(P.159)
デルのバーチャル・エンタープライズの構造が分かる。これが彼らの利益の源泉と成長の秘訣である。

7-2) ゼネラル・エレクトリック (GE) のケース

「シックスシグマの手法によって、サプライヤーを脅しつけて納品を促す必要がなくなったという。そのお目付け役は、サプライヤーがタービン部品を生産するのに使う工作機械まで詳細にわたって調べ上げる。それは孫下請けの生産能力、出荷・配送システム、品質管理の徹底の度合いまで及ぶ。人員増強の必要に迫られる可能性があるため、サプライヤーが十分な数の入社希望者の履歴書をか

くほしているかどうかもチェックする。」「よその会社にずかずか入って行って欠陥を探し、しかもそれを修正させる企業はGEくらいだ。GEはシックスシグマの概念をサプライチェーン全体に徹底させた」

（『日経ビジネス』 2000年7月10日号 P.164）

7-3) ボーイング777の設計開発

「極めて複雑な製品である航空機の設計に3次元CADを導入することによって、多くの部品干渉問題をコンピュータの画面上で見極めることが容易になる。その結果、早期かつ低コストで部品干渉のチェックや機能テストが可能になり、飛躍的な開発パフォーマンスの向上をもたらしたのである」 「詳細な製品情報がデジタル・データに変換されるため、設計の途中段階でも画面上でデジタル仮想組み立てをおこなうことができる。そうしたシミュレーション機能を十分活用することによって、問題解決の前倒しが従来よりも容易になり、設計品質の向上に直接的な効果がえられるとともに、試作回数の削減を通じて、開発リードタイムやコストの削減につながったのである」（『組織科学』 Vol.37 No.1, P.69「自動車部品産業における3次元技術の導入とその影響」 具 承） 現在ではサプライヤーとの3次元CADでのコミュニケーションは両者の質問が増えて、効果が上がっていないという声もあるが、これは両者のコミュニケーションの方法を確立するプロセスである。企業によりターミノロジーが違う。工場間でも違うこれがナレッジマネジメントの課題でもある。

7-4) 流通業界のケース

流通業界のキーワードは、サプライチェーン全体を「見える化」することだとして、ここでも情報のオープン化、情報の共有化を進めている。しかも顧客まで繋げることである。

「米ウォールマート・ストアーズと仏カルフール世界の大小売業が日本進出に当たって注目した雑貨卸がある。・・・取引先に最適な商品配置

や価格政策を提案させる司令塔『カテゴリーキャプテン』を導入する見通しで、その候補として卸業界での名前が挙がっている。カルフールが中央物産を取引先を選んだ要因は請け負う作業に応じたコストを徹底的に開示したこと。契約先と選んだ取引店舗までの配送、倉庫内の仕分けにかかる時間をストップウォッチ片手に計測し、作業ごとに経費を算出。中央物産はどんぶり勘定が通用した昔の商慣習から脱し、卸機能を『進化』させた点で、外資には透明性の高いパートナーと映った」（『日本経済新聞』2003年11月29日）

「食品や日用品などの消費財メーカーと流通企業が業種の壁を超えた連携に踏み出した。メーカーは売れる売り場の演出の労力を割き、小売は商品開発の協力的なパートナーに姿を変えた。情報を持ち寄り、あるいは取り合いながら、見えざる消費者の喚起を狙う。モノが売れない時代を生き抜く企業の『協業（コラボレーション）』が問われている」

「メーカー自らが売り場の質を高めていく一方、メーカー顔負けの商品開発チームがコンビニエンスストアに育っている。キリンとの「まるやか酵母」や朝日飲料との「凍頂烏龍茶」など、大手製造業との共同開発でヒットを連発するセブン・イレブン・ジャパンだ」 「モノを売るヒントは、立場や角度を変えれば見えてくる。製販にとってお互いの領域への介入が、その小さな一歩となる」（同（『日本経済新聞』2003年11月27日）

「インフォメディアリー」とは「メーカーと顧客の間、またはサプライヤーと工場間などの情報の流れと情報そのものを管理・運営し、それで利益をうる企業」

「特徴的なのは同じ商品カテゴリーに属する商品を供給するウォールマートにとっての取引先同士が同時に共同販促計画の立案を行っている点である。このことによってPOSデータを分析することによって得られた顧客商品ごとの関連性を基に販促計画を立て、ウォールマートに仕掛けてい

る点である」(『四国大学経営情報研究年報』平成15年「中小企業におけるSCMの実態」金子豪 P.41, 39)

イオンは国内スーパーで初めて、消費財メーカーとの共同需要予測システムを導入。「導入するのはCPFR(需要予測と在庫補充のための共同作業)とよぶシステム。ウォールマートのシステムを手がける米マニュジスティック社が、イオン向けに専用システムをつくる。イオンはメーカーに対し、その企業での販売や在庫状況をインターネットを通じリアルタイムで知らせるほか、特売など3ヶ月先までの販売計画も開示する。メーカーは情報の基づいて原料の調達や生産計画を立て、必要量をイオンの物流センターに直接納入する。(『日本経済新聞』2004年5月16日)

山梨県スーパーのオギノ(甲府市)。顧客ポイントカードによりメーカーと情報を共有して、顧客の情報を顧客の行動分析をして販促する。顧客の行動タイプを把握し、ピンポイントでダイレクトメールする。(『日本経済新聞』2003年11月28日)

これを見ると、流通業界は、サプライヤー、顧客を巻き込み、競争相手にたいしては機密の情報を含めた、情報のオープン化を進め、売れる商品の開発、売れ残り在庫を最小にし、販売を促進している。

まとめ

以上、「ものづくり」の基本は、設計開発にありということ半導体産業、自動車産業、その他の産業のケースで見えてきた。つまり製造工程も含めてこれをこの通りにやれば売れる商品ができるという「構想、設計」を確立することである。それには、複雑なシステムをつくるには、それを自己完結的なモジュールに分割し、それぞれの「モジュール」の最適な設計をして、それをシステム

のトップ・レベルでのモジュール間の制約を正しく作り上げることにより、全体を「インテグレート」するものである。つまり「インテグラル化(すり合わせ)」か、さもなければ「モジュール化」ということではなく、この両者のアウフヘーベンであることが分かる。

それには、全体最適に必要な情報をオープンし、共有化することである。つまり自分独りではなく、他人にも合理化、イノベーションさせるために必要な情報を与えることである。その必要な情報、知識が繋がり、組み合わせられることによりイノベーションが進むのである。これがIT技術で本格的に展開し始めた。

F.A. ハイエクは資本主義の経済活動の基盤は「情報の分業」であり、ある商品、あるビジネスが最適な形で進むための必要な情報を如何に迅速に結びつけるかであるとした。これを「カタラクシー」(交換する、仲間に入れる、敵から味方へ変わる、という意味)と呼んだ。これまではゆがめられた独占、あるいは未発達の情報のネットワークで適切な情報の連結ができなかった範囲での産業活動であったが、これからこれまでにない情報のオープン化によるより高度の情報の結びつきが生まれるカタラクシーの時代になる。これがバーチャル・バーチャル・インテグレーションである。

これまでの産業活動は、自分のところの手の内を見せないで、協力部品企業を競争させて、価格引下げを強要していた。しかしそれでは合理化、イノベーションのチャンスを抹殺することになる。「知らしむべからず、寄らしむべし」という管理から「知らしむべし、寄らしむべからず」で、積極的にベンダーを全体最適を目指しイノベーションをさせることである。もちろん何でもディスクローズして情報をオープンにするのではなく、イノベーションを進めるためののみ必要な情報を戦略的に開示することである。

しかしそのイノベーションを本当に促進するのは、

「到達できそうもないような目標」を設定することである。高い目標が革新的なソリューションを探索させることになる。

バーチャル・バーチカル・インテグレーションのもとに情報のオープン化、見える化が進むと、協力部品メーカーとの、パートナーとの「新しい利益配分哲学」が必要になってくる。これがこれからの課題である。