

経済成長要因としての産業技術

藤原浩一

1992年 2月

通商産業研究所 Discussion Paper Series は、通商産業研究所における研究成果等を取りまとめ、所内での討議に用いるとともに、関係の方々から御意見を頂くために作成するものである。この Discussion Paper の内容は、研究上の試論であって、最終的な研究成果ではないので、著者の許可なく、引用または複写することは差し控えたい。また、ここに記された意見は、著者個人のものであって通商産業省または著者が所属する組織の見解ではない。

要旨

第2次世界大戦終了時までに欧米の諸産業は革新的技術を生みだし、日本との比較において圧倒的な供給能力格差を実現した。終戦以後日本の産業は徹底した技術導入を実行、欧米との生産能力格差を埋める努力を行った。その一方で技術の高度化および深化をはかり産業の生産基盤の中核を形成、続く高度経済成長実現の基礎を築いた。このような事例から明かな通り技術を生み出す主体は産業自身であり、産業は一定の技術を前提に供給能力を確保し成長を実現するものと考えられる。しかし、伝統的に技術は経済学において外生変数としてみなされ、技術が基本的な成長要因とは考えられていない。本論文の目的は、従来与件として扱われてきた技術が生産活動の内生要因であり、かつ経済成長の最も基本的な要因であることを明らかにすることである。議論は一国の基本産業構造を明示して進められる。産業技術が製品技術、生産技術、量産技術の3つの範疇に分類され、製品技術が潜在需要を創出、生産技術が潜在需要を有効需要に転化させる役割を果たすことを示す。続いて3つの技術範疇を前提に鉄鋼業、自動車産業、造船業、電気・電子産業、化学産業において成長要因となった技術を分析、各産業における基本成長要因および日本の産業の特性が次の通りであることを示す。

- 鉄鋼業などの基礎素材系産業では粗鋼等の量産技術が基本成長要因となる。
- 自動車産業および造船業などの高度な加工・組立を必要とする機械系産業ではフォード式の流れ作業、部品の規格化、機械生産技術の3要素が大量生産を可能し、成長要因となる。
- 電子産業では不純物拡散法およびプレーナ技術等を基本に集積回路の量産が可能になったが、集積回路の出現は電気産業における回路の量産技術としての役割を果たし、生産性上昇を通じて成長要因となる。
- 化学系産業の最も基本的な成長要因はまったく新しい物質の開発にある。製品の量産は安価かつ反応効率の高い触媒の発見に依存する。以上を前提にプラント設計・開発技術により大量生産が実現される。
- 日本の産業は基本となる製品、生産および量産技術を独創的に生み出してきた実績はほとんどない。しかし、3技術の導入から始め、生産技術の深化による供給能力の高度化、製品の高付加価値化による製品競争力の増大により成長を実現させる能力を有する。

以上の分析を前提に、経済成長の段階と上述3技術の間に以下のような関係があることを示す。

1. 産業が成長を始めるためには量産技術の革新が必要である。量産技術の革新が産業の存立基盤を与える。
2. 成長初期から中期にかけて量産技術を前提に設備投資による規模の拡大および生産技術の革新による生産能力の向上がなされる。その結果、量的拡大を中心とした高度成長が生じ、同時に進行的に製品技術の革新が生じる。
3. 量的拡大により市場が飽和すると産業は製品技術の革新により財の高付加価値化を通じて新たな需要を創出し、成長は質的成長（安定的成長）へと転化する。

結論として、産業は製品技術により需要を創出し、生産技術により物理的な供給能力を実現することにより成長を達成しようとする能動的な経済主体であり、産業技術が経済成長の手段であることを導く。

経済成長要因としての産業技術

未定稿

藤原浩一

慶應義塾大学大学院商学研究科博士課程

1992年2月

目 次

1 イントロダクション	1
2 産業技術と経済成長	2
2.1 基本産業構造表	2
2.2 経済成長の要因：有効需要と供給能力	4
2.3 製品技術・生産技術・量産技術	5
2.3.1 製品技術と生産技術の役割	5
2.3.2 量産技術と製造コスト下落効果	6
2.4 産業技術と経済成長の関係	6
3 機械系基礎素材産業：鉄鋼業 (F41)	8
3.1 鉄鋼業の基本工程	8
3.2 鋼の量産技術確立の歴史的過程	8
3.3 鉄鋼業の成長要因	9
3.4 日本への技術導入過程	10
3.5 基礎素材産業の成長パターン	11
4 機械系中間財・最終財産業 (F42,F43)	12
4.1 加工・組立産業の量産技術	12
4.1.1 量産技術としてのフォード式流れ作業方式	12
4.1.2 生産要素代替の非可逆性	13
4.1.3 日本における加工・組立産業の量産体制確立の過程	13
4.2 自動車産業 (F43)	14
4.2.1 基本8生産技術	14
4.2.2 生産性上昇要因としての機械生産技術：日本の事例	15
4.3 造船業 (F43)	18
4.3.1 基本2生産技術	18
4.3.2 日本への技術導入過程	19
4.4 電気 (F42)・電子部品 (F43) 産業	20

4.4.1	量産技術としての集積回路	21
4.4.2	電子産業の成長要因	21
4.4.3	日本の電気および電子部品産業	22
5	化学系産業(F51～3)	24
5.1	基本生産技術	24
5.2	触媒技術	24
5.3	成長要因としての製品開発技術と基本成長パターン	25
5.4	日本の化学産業の成長パターン	26
6	その他の産業技術：公害防止技術・省エネルギー技術	28
7	経済成長の発展段階と産業技術の関係	29
8	結語	31

1 イントロダクション

伝統的に経済学において技術は理論の与件であり生産活動に対して本質的な役割を果たすものとは考えられていない。特に新古典派流の生産理論では一定の技術水準を前提として最適生産量決定の問題を扱うため、技術はあくまで市場外で外生的に生じる与件としてみなされる。これはそもそも新古典派経済理論の目的とするところが完全競争を前提とした場合の最適資源配分達成命題の証明にあることに起因する。議論の本質的性格は静学的分配論であり技術と生産活動の関係を動学的に解明することを目的とはしていない。

マクロ経済学的な観点では Solow[5] が 1909 年から 1949 年の間に生じたアメリカの産業における労働生産性と技術進歩の関係を成長会計的手法により分析した。彼は投入生産要素の上昇率で説明される労働生産性上昇率はおよそ 13 % であり、残り 87 % について説明できない残差項が存在することを示し、これを技術進歩によるものであるとした。しかし、このような解釈では理論上説明不可能な要因を技術と命名しているにすぎず、経済成長の要因として技術をとらえ分析するものではない。¹しかし、一方では Romer[4] に見られるように技術を内生化する試みがなされている。彼は産業を実物財生産部門と技術生産部門に分割、後者のアウトプットとしての技術を前者が投入要素として用いると仮定し実物財部門の成長率が技術生産部門のアウトプットの水準に依存すると帰結する。彼の分析において技術は「経済成長の核心に位置する²」と位置づけられている点は評価されるべきであるが、実物財部門内外で技術が生じるとする伝統的的前提は変わっていない。

以上の通り経済学において技術は新古典派経済学では完全な外生変数、成長会計理論では残差と解釈される。しかし、技術革新は「生産活動の当事者」によって能動的に遂行され、産業は生み出された革新的技術を前提に財の質と量の両面における供給能力の拡充を試み、需要を喚起し成長を遂げようとするのではないだろうか。仮に革新に遅れをとった供給主体が経済に存在すれば、技術導入を通じて技術の内部化を試み、供給能力を上昇させようとする。このように考えれば技術水準が産業の競争力に影響し、個々の産業が有する技術力により一国の長期的な経済成長が左右されることは否定できない。つまり、技術は産業外において生じる外生変数ではなく完全に産業の内部において生じる性格を持ち、長期的な産業の成長に対して決定的な影響を持っていると考えられる。

このような技術と成長の関係は第 2 次世界大戦までの欧米の技術革新と戦後の日本の技術導入行動、その後の高度経済成長に顕著に現れている。欧米の機械産業は航空機、自動車等、高度な加工・組立を必要とする機械製品の大量生産技術を確立、石油化学産業は航空機燃料用の高オクタン価ガソリンを流動接触分解法 (FCC) により大量生産に成功していた。しかし、日本の場合、機械産業は大量生産技術の欠如により戦闘機の量産が実現できず、FCC は幻の技術として研究段階で終わっている。³他の産業も同様に技術革新の格差は著しく、第 2 次世界大戦中において生じた日米の生産能力格差は第 1-1 表の通りであった。日本の産業はこのような技術革新による生産性格差を埋めるために、昭和 25 年 5 月に制定された「外資に関する法律(外資法)」および「外国為替および外国貿易管理法(外為法)」の成立と同時に上述の財の生産技術をほぼすべて導入した。日本は技術導入を通じ技術を内生化することで産業の供給能力基盤を形成し、続く高度経済成長の基礎を築いたのである。⁴

¹ また成長会計を前提に Griliches[2][3] は R&D 投資を投入要素としてとらえ Cob-Douglas 型生産関数を前提に生産性成長率に対する R&D ストックの寄与度を計測した。彼の分析手法では技術知識のストックである R&D 資本ストックを民間の実質 R&D 投資額から推計する必要がある。しかし、R&D 資本ストックの推計はデータの性質上困難であるばかりかそもそも R&D 投資額はあくまで投資支出総額にすぎず技術の内容や効果を反映するものではない。産業に生産性上昇あるいは成長をもたらす決定的要因は R&D 投資の額ではなく開発に成功した技術の内容であると考えられ、Griliches 流のアプローチでは形式的推計に陥る可能性がある。以上、成長会計モデルの概要については中島[38] を参照せよ。

² Romer[4] p.72

³ 日本機械工業連合編 [41]

⁴ 例えば、自動車産業はノックダウン方式によりエンジンの生産技術から工場のレイアウトの仕方までを欧米から学び、T 今日の基幹産業に成長した。石油化学産業は FCC からナイロンの製法特許、中・低圧ポリエチレンのチーグラー法等の主要な製品の製造方法を技術導入に頼り、新製品の開発よりも導入製品の規模の拡大を通して成長した。鉄鋼業は革命的な製鋼法である純酸素転炉法や連続鋳造法等を導入、3 度にわたる設備投資を行い今日の年産 1 億 5 千万トン体制を築いた。建設業は戦時中まで土木作業をモッ

第1-1表：終戦時の日米生産能力比較

産業名	比較項目	日本	アメリカ
鉄鋼業	粗鋼生産量(1945年)	1196万t	7230万t
	ホットストリップミル	1基	23基
造船業	船舶建造量(戦時中)	990隻(328万総t)	3665隻(3377万総t)
	溶接技術(終戦時)	リベット(30年の遅れ)	自動溶接
建築業	基地建設日数(戦時中)	3ヶ月	1週間
自動車産業	生産能力	乗用車量産不可能	8倍の生産性
石油精製業	流動接触分解装置	存在せず	-
化学産業	高分子化学産業	産業自体存在せず	ポリエチレン等生産

以上の事例から明らかな通り、技術革新は欧米の産業自身が生みだしたのであって外生的に生じたものではない。産業が技術革新を実現する理由は財の生産が一定の技術を前提にして初めて可能になることによる。産業は可能な限り効率が高くかつ質の向上を実現する技術を模索・開発し、設備投資によって技術を物理的な供給能力として具体化する行動をとる。その結果、産業の量的、質的競争力増大が生じ需要が存在すれば成長が実現されよう。戦後の日本のように技術に遅れをとれば導入を通じ技術の内生化を実行せざるを得ない。このように考えれば技術は完全な内生要因であり技術が経済成長の最も基本的な要因として位置づけることが出来るのではないだろうか。

本論文は以上の視点に立ち、産業技術が経済成長の要因であることを明らかにしようとするものである。議論は成長要因となる産業技術として「製品技術」「生産技術」および「量産技術」の3つの範疇に分類し、3つの範疇を軸に個別の産業において成長要因となった技術要素を分析、産業技術と経済成長の関係を示す形で進められる。

以下の構成は次の通りである。第2節において一国の産業構造を整理し基本産業構造表の形にまとめ、上述の産業技術の3範疇を示し、各技術の役割を分析する。第3、4節において産業構造表中、鉄鋼業、自動車産業、造船業、電気・電子産業を、第5節では化学産業を考察し、それぞれの産業において成長要因となった技術要因を明らかにする。第6節において省エネルギー技術と公害防止技術について検討する。第7節において経済成長の発展段階と対応する産業技術の関係を示す。第8節において全体を総括し結論および今後の展望を与える。

2 産業技術と経済成長

2.1 基本産業構造表

最終消費財または資本財(他産業が需要する機械装置等)は中間部品を組み立てることで生産され、中間部品は基礎素材を加工することで生産される。よって一定した財のフローが素材産業から最終財産業へ下図の関係で生じる。(貨幣のフローは矢印とは逆へ流れる。)

基礎素材産業 → 中間部品産業 → 最終財産業(最終消費財産業+資本財産業)

このフローを産業における「基本単位系」と呼ぶことにする。次に最終財産業が生産する財の性質または機能に着目して大まかに分類すれば基本単位系は食品系、繊維系、出版系、機械系、化学系、サービス系の

コトツルはして行っていたが、佐久間ダムの建設を契機にアメリカから大型建設機械を導入し一気に機械化をはかった。この間、昭和20年から42年度までの技術導入の累計は甲種4773件、対価4772億円、乙種5083件、対価497億円、計9856件、5269億円となっている。(重化学工業通信社編[25]) 但し、本論文はこのような日本の産業の欧米技術に対する態度について否定的な立場を取るものではない。技術移転は対価を伴う正当な経済行為である。日本の産業が有する最も優れた技術能力の一つが技術を移転し生産過程に転化し高付加価値製品を生み出すことであり、このような能力については適切に評価されるべきである。

6つになろう。この分類に従い整理すれば一国の基本産業構造を次のように表現できる。⁵第2-1図において個別の産業を F_{ij} で表記し、 i は最終財の機能による分類番号を、 j は基本単位系中の生産段階を示している。また、各 F_{ij} に含まれる産業をより細かく整理したものが第2-1表である。

第2-1図：基本産業構造

	食品	繊維	出版	機械	化学
素材産業群	F11	F21	F31	F41	F51
中間産業群	F12	F22	F32	F42	F52
最終財産業群	F13	F23	F33	F43	F53

さて経済成長とは産業 F_{ij} の出現および供給規模の拡大、売上高増大、国民所得増大をたどる一連の過程であると解釈できる。例えば産業構造基本表中では産業革命以前に経済は F11 から F23 の食品と繊維産業を中心に構成されていた。機械系に属する産業グループは産業革命以降に、現在化学系の中核をなす高分子化学産業は第2次大戦前後に出現、成長した産業である。つまり、ある産業が一国の経済において出現、成長し産業構造を形成して行く過程が経済成長の一側面であろう。それではなぜ産業が出現し一国の経済を成長させるのか、その要因について次項以下で考察していく。⁶

第2-1表：基本産業構造を前提とした産業分類

基礎産業系	食品系	繊維系	出版系
素材	(F11) 農・水産業	(F21) 紡績	(F31) 林業、紙・パルプ
中間財	(F12) 食品加工業	(F22) 紡織	(F32) 印刷
最終財	(F13) 外食産業	(F23) 衣料	(F33) 出版
機械系			
素材 (F41)	鉱山業(金属精錬)、鉄鋼、非鉄金属(アルミ、銅、レアメタル等) 非金属(ガラス、セメント、皮革等)		
中間財 (F42)	機械部品、伸銅製品、舶用器機、自動車部品、電子部品(集積回路等) 一般機械(工作機械、印刷機械、繊維機械、農業機械、化学機械装置等)		
最終財 (F43)	輸送機械(自動車、造船、航空機、鉄道等) 精密機械(光学機器、計測機器、医療機器等) 電気機械(家庭電気、重電気、通信機器、コンピュータ等)		
化学系			
素材 (F51)	石油精製(ガソリン、重油、揮発油、潤滑油、ナフサ等)		
中間財 (F52)	有機化学(エチレン、ポリプロピレン、ポリエチレン、塩化ビニル等) 無機化学(硫酸、アンモニア、硝酸、硫酸等)		
最終財 (F53)	高分子化学(合成樹脂、合成繊維、合成ゴム、塗料、接着剤、医薬品等)		
サービス系 (F64)	流通・運輸・通信・電力・医療等		

⁵ただし、産業連関表に分析される通り厳密にはすべての産業は他産業と相互依存関係にあり、財のフローが完全に縦系列のみに流れることを主張するものではない。単に産業間どうしの需給関係上の結びつきが相対的に強いものを一つの生産体系の基本単位とみなして整理したにすぎない。

⁶本論文では産業の成長の総和が一国の経済成長である事から、産業成長と経済成長をほぼ同義に用いる。

2.2 経済成長の要因：有効需要と供給能力

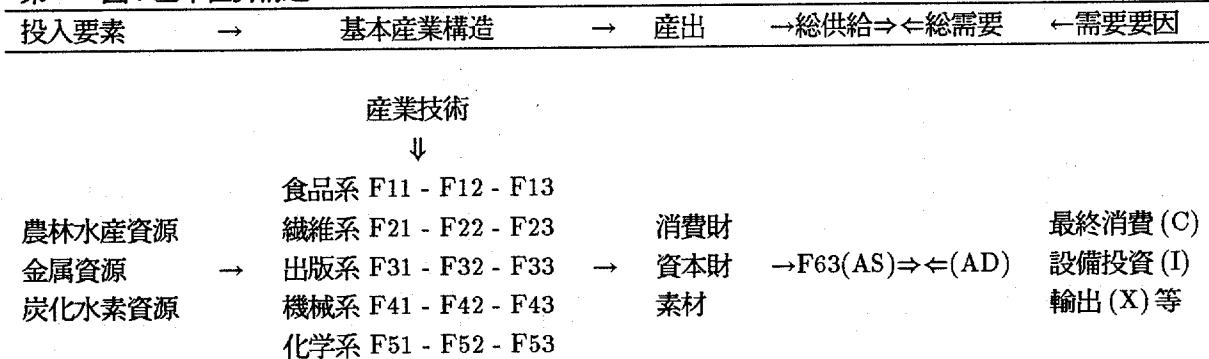
経済成長が生じるための必要条件は需要主体の需要能力と供給主体(産業)の供給(生産)能力の存在である。貨幣を財との交換手段として用いる経済では、所得または金融市場から資金調達によって得た保有貨幣量の大きさが需要主体にとって将来購入可能な財の数量を決める。よって貨幣保有量の大きさがその需要主体の財に対する需要能力(購買力)となろう。しかし、需要主体に需要能力があつても、産業に財の生産能力が無ければ財を市場に供給することは出来ない。したがつて、経済成長が生じるためにには需要能力と供給能力の両者が存在しなくてはならない。

しかし、需要主体が貨幣を保有していることと、財を購入することは異なる。需要主体は貨幣保有をし、かつ望む財が価格および質の点で自分の考える条件に合致して市場に供給された場合に初めて購入の意思決定をなすであろう。このように需要者側に財購入の動機が経済に生じている状態を「潜在需要が存在する状態」と呼ぶことにする。(潜在需要はさらに「能動的潜在需要」と「受動的潜在需要」の2通りに分類できよう。能動的潜在需要は生活必需品等のように自発的意思にしたがつて需要主体自ら潜在需要を創出させている状態であり、受動的潜在需要は広告やデモンストレーション効果等によって需要主体以外の主体が潜在需要を創出させている場合である。)⁷需要者が財の購入の意思決定をし市場において貨幣と財を交換することによって、潜在需要は有効需要へと転化する。このとき産業あるいは供給主体は製造コスト<価格であれば収益を享受し、さらに需要が持続的に増大すれば成長を遂げることができる。

以上のことを見れば成長を実現するために「需要主体が望むまたは望むであろうと思われる財を、要求される質と製品価格(>製造コスト)で生産する能力」を持たねばならないことを意味している。言い替えると市場が要求する財を生産するとは産業にとっては「何を生産するのか」という問題であり、需要に見合った数量を一定の質と価格で生産するとは「どのようなやり方で生産するのか」という2つの問題を産業が解決しなくてはならないということである。この2つの問題を供給主体ないし産業は「技術」用いて解決する。後述するように前者の問題を解決する技術が「製品(開発)技術」であり、後者を解決する技術が「生産(製造)技術」である。産業は製品技術により需要主体が望む財を計画し、生産技術を基本に設備投資を実行する。その結果、産業の供給能力が実現される。したがつて、供給能力を決定する最も基本的な要因は「技術」にあると考えられよう。本論文では産業の供給能力を決定する技術要素を総括的に「産業技術」と呼ぶことにする。以上の議論は、次のような関係にまとめられる。

$$\text{経済(産業)成長} \leftarrow \text{有効需要(需要能力+購買の意思決定)} \\ \text{供給能力(産業技術=製品技術+生産技術)}$$

第2-2図：基本経済構造フロー



⁷潜在需要が有効需要に転化した場合は能動的需要と受動的需要となる。その性質は前者が価格下落による需要の価格弾力性が高く、所得弾力性は低い性質を持つのに対して後者は一般的に逆であろう。ただし、後者の場合、広告の効果および主体のデモンストレーションを欲する度合いにより価格弾性値は大きく変化するものと考えられる。

第2-2図は基本産業構造表と産業技術および経済全体の関係を要約したものである。産業技術が産業の供給能力をもたらし、有効需要が対応したときに経済成長は生じるものと言える。⁸次に製品技術が潜在需要を創出し、生産技術が供給能力を決定する基本要因であることをより詳しく見る。

2.3 製品技術・生産技術・量産技術

2.3.1 製品技術と生産技術の役割

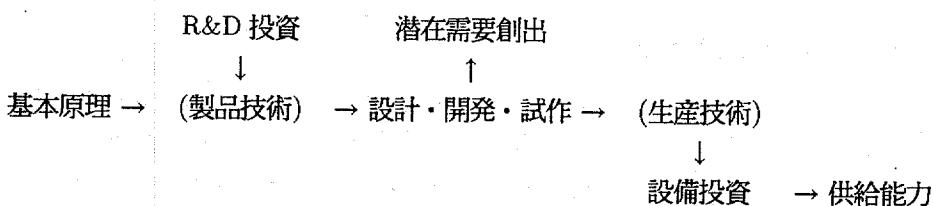
製品技術は研究機関等が見い出した一定原理を経済的価値を有する財へと転化させることを通じて需要主体が望む財または望むであろう財を生み出す技術である。⁹産業が製品技術を行使する最も重要な理由は、財の付加価値向上やまったく新しい財の開発が潜在需要を創出させ、将来の収益をもたらす可能性を産業に与えるからである。(上述の通りさらに潜在需要を有効需要に結び付けることが出来れば産業は成長を実現出来よう。)つまり、製品技術の革新が自ら需要を創造すると言う意味において最も基本的な成長要因としての役割を果たすものと言える。

しかし、製品技術は潜在需要を創出させる効果を持つが、潜在需要を有効需要に結び付けることは出来ない。製品技術とはより厳密に言えば一定の知識を有する個人の新しい財を生み出す創造力、製品開発能力のことである。¹⁰新しい製品の着想が個人に帰属しているうちは研究室、設計室段階における無形のアイデアや図面に留まっている。技術者はアイデアに基づいて財を試作する。試作した財またはアイデアそのものが潜在需要を持っていると産業(正確には企業経営者または意思決定担当者)が判断すれば、市場が要求する質と価格で生産する能力を持った生産ラインまたは工場を建設する作業、すなわち、設備投資による供給能力の実現を実行しなくてはならない。

この段階で解決しなくてはならない問題が、どのように作るのか、であり必要となる技術が生産技術である。要求される精度や規格を満たしつつ効率性を追求し、生産性上昇による製造コスト下落、質的向上をもたらすような生産ラインの建設を生産技術の革新によって実現しようとし、開発された生産技術を前提に設備投資を行い供給能力を実現、潜在需要を有効需要に結び付ける努力を行う。¹¹つまり、生産技術は製品技術により与えられた財を市場が要求する条件を満たす水準で物理的に生産可能ならしめる技術であると言え、産業は設備投資を通じて生産技術を工場の生産ラインとして具体化する。産業全体の生産ラインの総計が産業の供給能力に他ならない。

以上の議論から製品、生産技術を中心とした一定原理から供給能力実現に到るまでの過程を次のように描けよう。

第2-3図：製品、生産技術による供給能力決定経路



⁸ 第2-2図において金融市場および貨幣フローは省略してあるが、需要が実現し基本産業構造内で所得分配がなされ需要主体の有効需要および金融市場を形成し、体系は貨幣フローの次元で閉じたものとなる。

⁹ 具体的な例は第5章、電気・電子産業を参照せよ。電気産業では電磁誘導を基本原理に様々な電気製品を開発してきた。

¹⁰ そのような知識または能力を有する個人を技術者と呼ぶ。

¹¹ 設備投資が一定の生産技術を前提にして可能になる点は注意すべきである。設備投資とは生産技術を生産過程上で物理的供給能力として実現するためになされ、その本質は技術を前提にした投資活動である。したがって、本論文における設備投資は生産技術の生産工程上への体化投資の意味に用いる。産業は当初想定した以上の潜在需要が存在したときに初めて規模拡大のための設備投資を行う。

産業全体が最終的に有する供給能力は機械を操作する労働の質、工程管理やラインの制御技術、工場管理者の資質等様々な要因が総合的に影響する。しかし、産業の総合的な供給能力および成長の可能性を決定づける基本要因は製品、生産両技術の到達水準および両技術に対する投資の大きさにあると言つて良い。したがつて、この両技術を産業技術の基本的な柱とみなすことが出来よう。¹²ここまで議論をまとめれば次のようになる。

- ・ 製品技術の革新は潜在需要を創出し産業の基本成長要因となる。
- ・ 生産技術の革新は設備投資を通じ産業の供給能力を実現し、潜在需要を有効需要に結び付ける。

2.3.2 量産技術と製造コスト下落効果

製品価格は製造コストに一定額を上乗せした値である。製品価格の水準を決定するのは産業自身であり、製造コストは産業の有する供給能力によって決まる。¹³しかし、製造コスト水準が高いために製品価格も高い水準に決定せざるを得ない状況において潜在需要が有効需要に転化することはできない。そこで産業は潜在需要が大幅に有効需要に転化する臨界的な価格水準—この価格水準を「有効需要転換価格」と呼ぶ—以下に製造コストを下落させねばならない。製造コストと有効需要転換価格の間で製品価格をつけることができれば潜在需要が有効需要に転化し産業は利潤を獲得できる。つまり、産業が成長を実現するためには次の関係を成立させねばならない。

$$\text{製造コスト} < \text{製品価格} \leq \text{有効需要転換価格}$$

しかし、生産技術の性質上の制約から既存の生産技術の改善だけで上述の関係を成立させることが不可能な場合がある。¹⁴このような状態では潜在需要が膨大であっても有効需要になりえず産業は成長が出来ない。産業は現在の生産技術よりもよりはるかに生産性の高い技術、つまり、「設備や労働者数の規模を変化させずして純粋に生産数量だけを飛躍的に上昇させる生産技術の革新」を遂行することによって大量生産を実現し製造コストを下落させようとするであろう。そのような投入要素規模を変化させずに純粋に量的拡大効果をもたらす生産技術を「量産技術」と定義する。¹⁵

量産技術の革新効果として最も重要なものは産業の存立基盤を与える効果である。以上述べたとおり、量産技術は劇的な量の拡大による製造コストの大幅な下落をもたらし製品価格を有効需要転換価格以下に一挙に引き下げることを可能にする。その結果、潜在需要が有効需要にダイレクトに変化し産業の急激な成長をもたらすであろう。量産技術の革新が産業発展の初期の段階であれば産業に生産と成長の基盤を与える役割を果たすことになる。

2.4 産業技術と経済成長の関係

以上、産業技術が製品、生産、量産技術の3つの範疇を持ち、それぞれの技術が生産活動において果たす役割を分析してきた。第2-2表は3技術の定義および効果をまとめたものである。

¹² 製品、生産両技術の関係を超伝導物質を例にとって説明すると次のようになる。大学等研究室レベルの超伝導物質の発見とそれに続く常温下における超伝導物質の発見競争はリニアモーターカーや超伝導船等の製品技術の進展を促しすでに潜在需要を創出している。しかし、仮に常温下で超伝導現象を生じる物質の発見がなされても素材が高価であったり、超伝導物質を用いた製品の製造コストを下落させる生産技術が確立しなければ超伝導産業は大幅な成長を遂げることはできない。

¹³ ここで製品価格と市場価格により定まる市場価格と区別していることに注意せよ。

¹⁴ このような顕著な事例として第3節の鉄鋼業におけるパドル法と転炉法の生産性を比較、参照せよ。

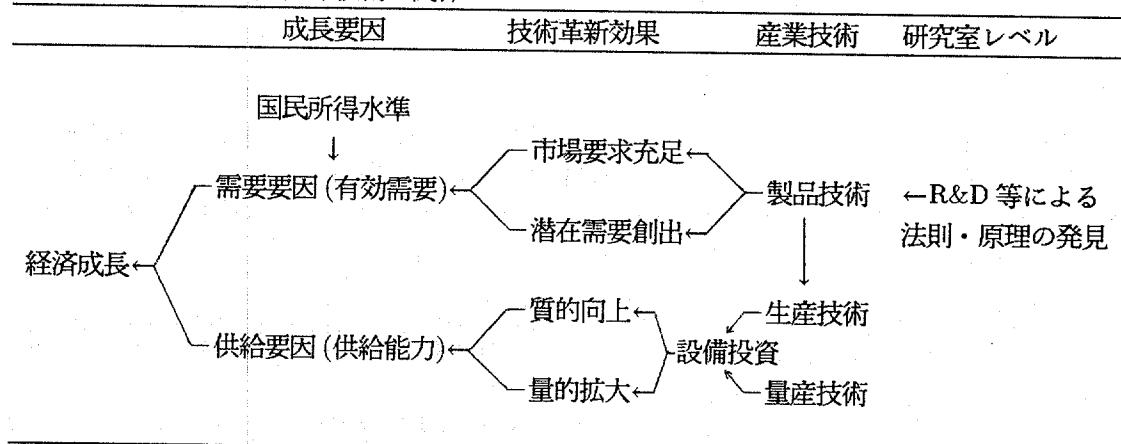
¹⁵ 通常量産技術は大量生産技術の略語として用いられ、規模の拡大によるコスト低減効果をもたらす技術と通常解釈されるが、本稿では一定の投入要素規模を前提に生産量が飛躍的に増大する技術革新の意味に用いる。製造コストの下落が目的ならば生産効率のきわめて高い技術、すなわち、量産技術を前提に規模の拡大を行うことが重要であり、生産効率の劣る技術を前提に規模の拡大をしても上述の関係式を達成できるほどの製造コスト下落効果は期待することは出来ない。

第2-2表：産業技術の分類、定義とその効果

産業技術分類	技術開発目的	定義	革新効果
製品技術	新製品開発	自然法則に則った一定原理を経済的	潜在需要創出効果
	付加価値向上	価値を有する財へ応用転化する技術 (→何を作るかを解決)	
生産技術	生産性上昇	製品技術を前提に需要側の要求する	労働節約による生産性
	製品精度向上	質と一定の経済条件(製造コスト等)を満たす財を物理的に生産可能ならしめる技術 (→どのように作るかを解決)	上昇、製造コスト下落効果、需要増大効果(潜在需要を有効需要に転化させる)
量産技術	飛躍的生産量増大	一定投入要素を前提に既存の生産技術よりも劇的な量的拡大を可能ならしめる技術	劇的生産性上昇による製造原価の大幅な下落効果(産業の存立基盤を与える)

ここで議論を再度、要約すれば次のようになる。産業が成長するためには有効需要の存在と需要水準に見合った生産主体の供給能力の双方が必要である。供給能力は生産技術と製品技術の両者によって決定づけられる。製品技術は財の開発を通じて潜在需要を喚起する効果を持ち、生産技術により市場が要求する価格および質を実現する財の生産方法を与える。量産技術は既存の生産技術による投入要素の限界生産性が極端に低く設備投資による大規模な規模拡大は不可能な場合に生じ、劇的な量的拡大による製造コスト下落効果を通じて産業の存立基盤を与える役目を果たす。生産技術と量産技術を前提に設備投資がなされることで産業の供給能力が実現され、潜在需要を有効需要に転化させる。その結果、産業は成長を達成する。つまり、産業は3技術を生産活動上駆使させながら経済成長を実現させて行くものと考えられる。¹⁶以上の議論を前提に産業技術が経済成長を実現させて行く経路を整理したものが第2-4図である。次節以降、以上3つの技術範疇を前提に個別に産業を検討し各産業において成長要因となった産業技術を分析、併せて日本への技術導入過程を検討していく。

第2-4図：経済成長と産業技術の関係



¹⁶3技術のうち量産技術の重要性は特に強調するに値する。後述するとおり鉄鋼業の歴史は粗鋼量産の歴史であり、自動車産業のような加工組立主体の産業ではフォード式流れ作業および部品の規格化が製品の量産をもたらし、集積回路はブレーナ技術の出現により量産への道が開けた。長船は半導体の量産について[17]において「研究室ではグロウン型もアロイ型もできるんですが、量産となると手も足も出ない。同じ規格のものを大量に低いコストで生産するにはどうしたらいいのかわからないんですね。」と述べ、ノウハウ契約に到る経緯が述べられている。一定の量産技術の確立無くしては量的拡大にははっきりとした限界があり、産業の成長の阻害要因となろう。

3 機械系基礎素材産業：鉄鋼業（F41）

基礎素材産業が生産を目的としている財は銅やアルミニウムなどの金属元素もしくは鋼（はがね）などの合金であり¹⁷、産業の生産性は原鉱石の精錬技術の水準により決まってくる。しかし、原鉱石の精錬は簡単に解決できる問題ではなく、¹⁸生産技術、特に素材の量産技術の革新によって可能となったものである。以下では最も代表的な素材産業である鉄鋼業に焦点を当て、鉄鋼業の成長要因となった粗鋼の量産技術を中心に考察し、基礎素材産業に共通した成長パターンを導く。

3.1 鉄鋼業の基本工程

鉄鋼業（一貫製鉄所）は次の3工程を基本とする。

製銑工程 → 製鋼工程 → 圧延工程

始めの2つの工程において粗鋼を生産し、粗鋼から圧延工程を経て線財や鋼板、钢管を生産する。このうち鉄鋼業の成長要因の鍵を握っていたのは製鋼工程における粗鋼の量産技術の確立にあるが、鋼は19世紀までまったく量産不可能な財であった。

鋼の量産が不可能であった理由はその融点の高さにある。工程から分かる通り初めに高炉で酸化鉄である鉄鉱石を還元し炭素分の多い銑鉄を生産する。銑鉄は硬くて脆い性質を有しておりその用途が制限されるため、次に炭素分を減少させて粘りのありかつ強度の高い鋼にする必要がある。ところが炭素の含有量と鉄の融点は反比例の関係にあり銑鉄の融点に比較して鋼は高く、19世紀までの技術では鋼を完全な溶融状態にすることができないため量産が出来ず、当時の鉄鋼業の主要生産品目は銑鉄にとどまっていたのである。高炉は銑鉄生産の量産技術であったが、銑鉄から鋼を量産することは後述するように平炉および転炉の出現によって可能になったものである。粗鋼の量産が「高炉+転炉（平炉）」の組み合わせにより実現されることで圧延工程の技術革新を促し鋼板の量産がストリップミルによりもたらされた。

以上の通り鉄鋼業の最も基本的な成長要因は鋼の量産技術の確立にあったが、鋼の量産技術の革新は当然、鉄鋼業自身が実現したものであり、外生的に生じたものではない。次節において鋼の量産がどのようになされたのか、歴史的事実を論証しておく。

3.2 鋼の量産技術確立の歴史的過程

上述の通り鋼は融点が高いため量産の鍵は「熱源の確保」にあった。¹⁹人類史上初めて鋼を得た方法は1735年の「坩堝製鋼法」である。しかしこの方法はコークスを熱源とし小さな坩堝を回りから熱する方法であり鋼の量産は不可能な技術であった。続いて1783年に開発された「パドル法」は工程中に攪拌作業を要し人手に頼るため、やはり鋼の大量生産には結びつかない技術であった。²⁰

¹⁷ 鋼は炭素と純鉄の合金である。純鉄に炭素分が0.035%以上1.7%以下である合金を「鋼」と呼ぶ。

¹⁸ 通常金属元素は酸素または硫黄と結合した酸化物や硫化物などの状態で他元素とともに鉱石の形で産出される（採鉱）。よって、鉱石から必要な酸化物硫化物等の形の金属元素を取り出し（選鉱）、さらに酸素や硫黄などの元素を分離し純粋金属を得る（精錬）必要がある。

¹⁹ この項は中沢a [36]、アグネ [9]、日本鉄鋼連盟 [45]、大和田 [16] を参考した。

²⁰ パドル法は、溶解した銑鉄を攪拌しながら炭素などの不純物を酸化除去してゆく生産方法である。中沢b [37]によれば「炭素を失って融点の上がった鉄は、もはやパドル炉で得られる程度の温度では溶融状態を持続できず、半溶融状（粘り状）となり、なおも攪拌を続けて酸化を進行させる。同時に鉄粒同士をくっつけスラグを分離させ、こうしていくつかのボール状の鉄塊（ルッペ）をハンマーにかけてスラグを振り出し、またいくつもの鉄片を束ねて加熱炉で白熱に加熱してスラグを汗のように発汗させ、さらに圧延機にかけてスラグを振り出し、圧着し、」鋼が生産されたため当時の鉄道建設などによる膨大な需要に対応できなかった。パドル法により生産を実際に行った例として1840年当時のウェールズ地方最大のダウレイス製鉄所における高炉18基に対してパドル炉100基という記録がある。（中沢a [36]）

鋼の量産は 1856 年、Bessemer の転炉法により革命的な方法で実現への第一歩を踏み出した。彼のアイデアは空気を銑鉄に直接吹き込み、その反応熱を利用して脱炭するというものである。この方法によればパドル法で数日要した鋼の生産が 10 分に短縮されるため、パドル法と転炉法では 100 倍の生産性の差がある。しかも反応熱を利用するため溶融するための熱源を必要とせず、原理が単純なため設備も単純になり労働者数も転炉を操作する人員で済む。つまり鋼一単位を生産するのに必要なエネルギーコストは他の技術に比較して最小、設備投資も労働投入も極端に増大させることなく時間当たりの生産量のみを飛躍的に増大させることができ、その結果として粗鋼の製造コストの大幅な下落を可能にする技術であった。

ところが彼の転炉法には重大な欠点があった。転炉で得られる反応熱の高さが今度は燐や硫黄などの不純物と鉄の結合を促進し鋼を劣化させるため、銑鉄に含まれる不純物を除去する必要がある。²¹ 不純物は石灰を投入することで除去できるが当時、転炉の内張りに用いられている耐火煉瓦は酸性であり石灰と反応するため、Bessemer 転炉では脱燐がまったく出来ない。Bessemer 転炉の脱燐問題は Thomas が塩基性耐火物を発明することにより一応の解決をみたが、Thomas 転炉では空気に含まれる窒素が鋼に取り込まれるため、結局次に述べる平炉に勝る鋼を生産することが不可能であった。転炉法は量的次元の問題は解決したが質的次元の問題を解決出来なかったのである。

一方、F.Siemens は Bessemer とは異なり蓄熱室を炉に設けることで鋼を溶融することに成功し、脱炭を屑鉄により塩基性耐火物により脱燐も可能とする「平炉法」を発明した。しかし、この方法では 100 トンを生産するために 6 から 8 時間程度要し、量産性からみればはるかに転炉法に劣るのであるが、原料となる銑鉄にどのような元素が含まれていようと一定の高品質の鋼を生産できたため、19 世紀から 20 世紀初頭の量産技術としての地位を獲得した。特にアメリカは平炉法をいち早く取り入れ鋼の量産体制を築く。

しかし、1895 年の Linde による空気液化装置の発明により酸素の生産が可能となり 1920 年頃より量産された。これを受け転炉に空気ではなく酸素を直接吹き込む技術がオーストリアで生まれ、平炉法と同品質の鋼を生産する技術が確立された。この転炉法が純酸素上吹き転炉、すなわち、LD 転炉である。この転炉は坩堝法から平炉法までの製鋼技術が解決し得なかった熱源、脱燐、生産速度の問題をすべて解決し、さらに設備投資も平炉の 6 割から 8 割ですむため、鋼塊原価にして 5 分から 1 割の下落をもたらした。²² その結果、LD 転炉は製鋼の量産技術として平炉の代替技術となり、現在の鉄鋼業の基本的な鋼の量産方法である（高炉+転炉）の組み合わせが出来上がったのである。

3.3 鉄鋼業の成長要因

粗鋼の量産は以上のような過程を経て実現された。粗鋼の基礎素材としての性質から需要は大規模であり現在世界の年間粗鋼生産量は 7 億 2 千万トンに達している。²³ このような需要量に見合った鉄鋼業の供給能力は粗鋼の量産技術の確立によって可能になったものである。鉄鋼業は粗鋼の量産技術を前提に川下工程である鋼管、鋼板、線材等の量産化および継ぎ目無し鋼管や高張力鋼板等の製品技術を進展させ成長を実現してきた。

第 3-1 表は以上の製銑と製鋼に関する量産技術の発展過程と鋳造、圧延工程において現在基本となっている量産技術および量産効果、日本への導入年等をまとめたものである。²⁴ 各工程の生産技術の革新の結果、現在世界の鉄鋼業（一貫メーカー）は例外なく次の工程を基本にしている。

鉄鉱石 → (コークス高炉) → 銑鉄 → (LD 転炉) → 粗鋼 → (ストリップミル等) → 鋼板・鋼管等

²¹ 燐と硫黄は鉄の性質を劣化する働きをする有害元素である。燐の含有量が多いと低温時に鉄を脆くさせる性質、冷間脆性が現れる。硫黄は高温時（赤熱時）に鉄を脆くさせる熱間脆性があり、両元素とも 0.03 % 以下に抑えられねばならない。

²² 日本金属学会 [42]

²³ 飯田・後藤 [10]

²⁴ 連続鋳造および鋼管の製造等、鉄鋼業全体の技術の変遷（特に日本）については下川 [24]、継目無鋼管の量産技術の進展については三谷 [48] を参照せよ。

第3-1表：鉄鋼業における生産・量産技術の変遷

工程	生産技術	開発者・国籍	開発・導入	技術内容・効果
製銑	木炭高炉法	- (G)	1450	1857 14世紀半ばドイツに起る
	コークス高炉法*	T.Dabey (E)	1709	1894 鋼鉄量産技術、現在も変わらず
	熱風送風技術	J.Nielson (E)	1828	- 高炉の生産性大幅上昇
製鋼	坩堝法	B.Hanzman (E)	1734	1882 溶鋼を史上初めて実現
	パドル法	H.Court (E)	1783	- 量産不可、人手による攪拌作業有り
	平炉法	F.Siemens (G)	1864	1890 鉄屑脱炭、生産性パドル法の5倍
	ベッセマー転炉	H.Bessemer (E)	1856	1901 脱磷不可、生産性パドル法の100倍
	トーマス転炉	H.Thomas (E)	1878	1938 脱磷可、酸素・窒素過多
	純酸素吹上転炉*	Vöest社, Alpine社 (Au)	1946	1954 脱磷可、生産性平炉の21倍
鋳造	連続鋳造法*	H.Bessemer (E)	1857	1954 ブルーム等の生産性従来の2倍
圧延	ストリップミル*	Armco社 (A)	1920	1940 工程連続化による薄板量産技術
	連続焼鈍設備*	新日本製鉄	1972	- 冷延鋼板の生産性従来の1440倍
钢管	傾斜ロール製管法*	Mannesmann兄弟 (G)	1885	1912 縦目無钢管基本量産技術
	Fretz-Moon法*	- (-)	1923	1954 鍛溶接钢管基本量産技術
全工程	溶融還元法	-	21世紀	- 現在の全工程48日が5日へ

資料出所:飯田・後藤[10], 中沢a.[36], 鉄鋼俱楽部[30], 日本金属学会[42], 下川[24]から作成。*=基本量産技術, Au=Austria, A=America, E=England, G=Germany

坩堝製鋼法の開始から粗鋼量産技術である平炉の開発までに130年、LD転炉までに220年を要している。改めて強調するまでもなくこれらの技術革新は鉄鋼業に携わる当事者によってなされてきたものであり、外的に生じたものではない。鉄鋼業の成長は粗鋼の量産技術の確立を前提に、製品技術の革新を経て実現されたものである。²⁵

3.4 日本への技術導入過程

日本の鉄鋼業は上述の基本量産技術のうち当時最も遅れていたストリップミルおよび当時出現したLD転炉を中心昭和26年以後漸次技術導入し、昭和26年から30年、31年から35年、35年から45年のそれぞれ3度の大がかりな設備合理化投資を通じて高炉、転炉、ストリップミルの設備規模の拡大を実行した。特に圧延工程の遅れは著しく特にホットストリップミルは終戦当時アメリカでは23基稼働していたが日本では1基という状態であったため、第1次合理化投資総額1282億円中の49%（高炉は14%、転炉は10%）が、第2次合理化投資においても6555億円中の49%（高炉は18%、転炉は11%）がストリップミル技術の導入、規模の拡大に向けられている。²⁶

設備投資による供給能力拡大の推移が第3-2表にまとめてある。高炉および転炉の規模拡大は昭和24年度と45年度の比較で高炉一基当たり、6倍、転炉12倍、ホットストリップミル7倍、コールドストリップミル3.5倍の生産規模拡大である。特に製鋼工程におけるLD転炉は平炉の技術代替投資でもあった。現在、日本におけるLD転炉による粗鋼生産率は100%を実現している。²⁷

以上の量産技術の導入および規模拡大投資により一貫製鉄所の年間粗鋼生産能力は1950年代の100から200万トンから、70年代には1000万から1200万トンの生産規模を実現、²⁸現在は年間1億5千万トンの供給能力を達成している。

²⁵ 鉄鋼業における製品技術の一覧は第7-1表を参照せよ。

²⁶ 市川[12]

²⁷ LD転炉が日本に導入された過程については[6]を参照せよ。LD転炉導入の経緯が製鉄会社の意志決定レベルで詳細に考察されている。

²⁸ 粗鋼1000万トンは自動車700万台分、10万tタンカー200隻分にあたる。(鉄鋼俱楽部[30])

第3-2表：規模拡大設備投資による量産設備の生産能力推移

製鉄・製鋼工程	期間(昭和)	高炉				転炉			
		N	Q	Q/N	ID	N	Q	Q/N	ID
復興期	21-25	36	5450	151	1	6	459	77	1
第一次	26-30	33	6056	184	1.2	7	486	69	0.9
第2次	31-35	34	11630	342	2.3	16	4843	303	4.0
第3次(前)	35-40	49	25810	527	3.5	45	24745	550	7.2
第3次(後)	41-45	56	44080	787	5.2	59	53443	906	11.8
圧延工程		ホットストリップミル				コールドストリップミル			
復興期	21-25	1	270	270	1	2	139	70	1
第一次	26-30	3	1476	492	1.8	7	1218	174	2.5
第2次	31-35	7	7698	1100	4.1	28	4123	147	2.1
第3次(前)	35-40	16	22380	1399	5.2	48	9481	198	2.8
第3次(後)	41-45	15	26910	1794	6.6	54	12793	237	3.4

資料出所：市川[12]より作成。N=基數,Q=生産能力(千t),ID=昭和25年度を1とした
模拡大指數、数値は各期の最終年度12月時点の数字。

3.5 基礎素材産業の成長パターン

以上、鉄鋼業の粗鋼生産の技術変遷を追って行くことで生産性が生産技術、特に量産技術によって大きく左右され、量産技術が鉄鋼業の成長の基本となっていることを見えてきた。鉄鋼業に限らず金属系素材産業は目的元素ないしは合金の量産のために生産技術の改良、革新を行い、一定の量産技術を基本に需要水準に対応しつつ安価に生産できる生産体制を築いてきている。つまり基礎素材産業では最も効率的に精錬を可能ならしめる量産技術の開発を実行し、一定の量産技術を基盤に規模拡大投資を実行することが必要なのである。第3-3表は各財を生産する上で現在最も基本となっている生産技術の一覧表である。

第3-3表：基礎素材産業の量産技術

産業名	素財	量産技術	開発年	導入年
鉄鋼	銑鉄	高炉法	14世紀	1856
	鋼	純酸素転炉法		1949
非鉄金属	アルミニウム	ホール・エルー法	1886	1934
	金	青化法		1893
チタン	チタン	クロール法	1935	1950
	銅	オートクンプ自溶炉法	1949	1954
	銅	連続製銅法(J)	1974	-

資料出所：飯田・後藤[10],J=日本

各産業は表中の量産技術を生み出すことにより市場の需要規格に対応した供給能力の確保が可能になった。本節の議論を総括すれば基礎素材産業の基本成長パターンが次のように導かれよう。

1. 基本となる素材の量産の実現(量産技術の革新)
2. 量産設備の大型化(設備投資による規模の拡大)
3. 製品の高付加価値化(製品技術の革新)

結論として基礎素材産業では生産能力を確保するための量産技術の革新が必要であり、量産技術の出現がその産業の存立基盤を与え、成長を可能にしたと言える。

4 機械系中間財・最終財産業 (F42.F43)

機械系最終財産業は産業革命以降生じた産業であり、鉄道、自動車、航空機など輸送機械産業、その他あらゆる産業の資本財である印刷機械、織維機械、工作機械等の生産機械、エネルギー基盤をなす重電気、最終消費財である民生用電子機器産業など現代産業の根幹をなす産業群を包含している。これらの産業群に共通した特徴は多数の部品を組み立てる基本とする加工・組立型産業という点である。本項では加工・組立型産業における量産技術および生産技術を考察を中心以下、自動車産業、造船業、電気・電子産業の成長要因となった技術要素を分析する。まず加工・組立型産業に共通する量産技術としてフォード式流れ作業方式について考察した後、個別の産業の分析に移る。

4.1 加工・組立産業の量産技術

4.1.1 量産技術としてのフォード式流れ作業方式

加工・組立型産業の大量生産の実現は多数の部品をいかに効率よく組み立てるかに依存しているが、これは次の3つの条件が揃って初めて可能になる。

1. フォード式流れ作業方式
2. 部品規格の統一
3. 機械生産技術

フォード式流れ作業方式²⁹は、「部品を労働者が取りに行くのではなく時間表に従って部品が労働者へ運ばれてくる」という H.Ford のアイデアが基本になっている。³⁰フォード式以前は一人の労働者が多数の工程を受け持ち必要な部品自分で取りに行き生産を行っていたが、流れ作業方式により労働者一人当たり 1 ~ 2 工程に限定し作業を特化することで大幅な生産性上昇が達成され、多数の部品の加工組立を必要とする財の大量生産を可能にしたのである。³¹

次に第2の条件である部品の規格化であるが、流れ作業を実現するためにはコンベアが運ぶどの部品を用いても部品として組立可能でなければならない。よって、必然的に部品の規格化が流れ作業にとって必要不可欠な前提条件となる。

以上の規格部品を前提に流れ作業を採用し、労働力を生産ラインに投入すれば一応の大量生産体制は整う。しかし、量産が実現しても機械技術を投入しなければ生産ラインは労働主体とならざるをえず加工・組立産業は必然的に労働集約的な産業としての性格を有することになる。このような労働集約的な形態がとられる限り生産性は工程を担当する労働者の生産能力に依存して決まることになる。例えば規格の厳密な部品生産する技能を要する工程では熟練工が必要となる。しかし、どのように優れた熟練工でも生産性を大幅に上昇させることには限界があり、また厳しい工作精度を満たしながら大量生産するためにはそのような技能を持つ熟練工を多数生産工程に投入する必要がある。したがって、労働要素の生産能力が生産性の上限に制約を加えていると言える。

このような労働要素の能力の限界により生じる生産性制約を打破する手段が第3の機械生産技術である。この場合の技術の基本目標は手作業ないしは工具、単純な機械で行っている工程上の仕事をいかに生産

²⁹ 流れ作業方式はいわゆる技術と言うよりもノウハウの問題であるが本論文ではノウハウも技術要因として捉える。

³⁰ 近年、フォード式大量生産の否定形として多品種小量生産方式が位置づけられることがあるが、H.Ford の最も卓越したアイデアは「部品が労働者へ運ばれてくる」点にあり、多品種小量生産がフォード式流れ作業を前提に成立することは注意すべきである。多品種小量生産は流れ作業を前提に、部品管理、工程管理の問題をいわゆるかんばん方式およびコンピュータ等によって高度に管理、制御することが可能になった結果実現されたものである。

³¹ Ford による流れ作業方式の導入は劇的な効果があった。T型フォード車の場合、1908年から30年間で1500万台の生産を可能にし、価格は850ドルから360ドルにまで下がることが出来たにもかかわらず、当時の自動車産業の平均日給2ドル50セントに対しフォードでは5ドル支払い、さらに労働時間を10時間から8時間に減少させることが出来たという。(Singer[7])

性の高い機械に置き換えて行くかにあり、産業としてはでき得る限り（熟練工も含めて）生産性の低い労働要素を生産工程上から減少させる努力を行う。その結果として飛躍的に生産性を上昇させる機械の開発、すなわち、生産技術の技術革新がなされることになる。一度代替に成功すれば産業は開発された生産技術を基本に工程の連続化、自動化を進め、さらにコンピュータを用いた自動制御技術によって全工程の連続化、自動化を試みることが可能になり、現在の加工・組立産業に観察される大量生産体制が実現されることになる。

以上の議論をまとめれば、機械系加工・組立産業における量産技術は、

- 規格化された部品をフォード式流れ作業により機械によって加工・組立する技術

であると結論できよう。³²機械産業に限らず食品加工産業、紡績・紡織産業等、加工や組立を基本とする産業はフォード式の流れ作業方式を基本にして大量生産が可能になったものである。産業は労働を機械に代替する生産技術の革新を実行し、工程全体を連続化、自動化することにより生産性を上昇させてきた。

4.1.2 生産要素代替の非可逆性

以上の議論を踏まえ、要素代替に関するインプリケーションをここで言及しておきたい。上述の通り労働要素の生産能力により生じる生産性制約を打破する手段が機械による生産方式の採用であった。したがって、資本を機械設備と解釈すれば賃金価格の上昇は労働から機械（資本）への要素代替を生じさせるが、機械設備の生産性の問題から考えて一般にその逆は生じないものと考えられる。さらに、労働要素に対する賃金支払は恒常的な支出であり、完全な固定費用であるが、資本への要素代替をひとたび行えば設備投資に必要な費用を収益から回収しそれぞれにした上にさらに収益を生み出す必要がある。産業は将来収益から設備投資額および資本コストを回収できる見込みがあることを前提に労働をはるかに生産性の高い機械設備に要素代替するのであるから、労働要素の相対価格が下落しても固定費用である設備投資費用を回収せずにさらに設備の高生産性を放棄して要素代替する経済的理由は存在しない。したがって、次のように言える。

- 資本から労働への代替は一般に生じない

産業革命以後の生産技術の進展は、いかに労働による生産を機械による生産へ代替していくかの過程であり、加工・組立を主体とする産業はフォード式流れ作業を前提とした高度な機械生産技術を駆使する生産方式を採用することにより大量生産を実現してきたのである。現代の産業における本質はまさに機械による生産にある。したがって、労働要素から資本への代替は非可逆的な性質を持っており、単純に要素価格変動による資本と労働の無差別な代替を仮定することはこの本質を無視することになろう。

4.1.3 日本における加工・組立産業の量産体制確立の過程

アメリカではフォードが自動車の量産に成功し第2次世界大戦までに機械産業全般において量産体制を整えることに成功していたが、日本では第2次世界大戦以前に自動車など高度な加工・組立を必要とする産業で量産は実現されていない。特に日本が初めて機械製品の大量生産に取り組んだのは第2次大戦中の戦闘機の生産においてであったが、上述3要素を欠いていたため量産は達成できなかった。³³第2、第3の要素が進展しなかったのは日本の戦前までの機械産業の生産目標が軍需品や船舶等の特定の受注生産

³² この結論を Ford[1] は完全に認識していた。彼は流れ作業方式を実施するに当たり「部品の互換性は経済的生産を行う上で絶対必要(Ibid.p.100)」であり、「人は安価だから動力を使う必要はない」という考え方を捨て(Ibid.p.84)、「全作業を機械によって行い、人間は機械の単なる付添人にする(Ibid.p.88)」と考え、実際に実行した。

³³ 戦前の機械産業の現状および戦時中の飛行機生産の実状は内田[15] を参照。機械産業の後進性は明治政府が船舶、鉄道、武器などの直接戦略上要となるいわば最終製品の製造産業のみを保護し工作機械産業や部品産業を鉄道その他の完成品産業の下請け産業的にしか扱わなかつたことによる。その結果、戦後も長い間、加工・組立産業の基礎となる工作機械部門や鋳錠機械の製造技術、さらに個々の部品、例えば歯車、ネジ、バネ等の部品製造技術、鋳造、鍛造による部品の成形技術等の遅れを招いた。(日本機械工業連合会編[41])

目に向けられており量産体制確立へのインセンティブが少なくまた加工、組立をほとんど安価な人的労働に頼っていたのが現状であったためである。

日本経済が上述の3条件を前提に機械製品を量産できるようになったのは戦後の高度成長時代を通じてである。戦後、日本の機械産業はアメリカにおいて発達した一連の量産技術を一気に導入することで戦時中の遅れを取り戻し量産体制を整えて行く。流れ作業は戦前の自動車産業の技術導入とともに導入されていったが戦後まず第2の要素である部品の規格化がなされた。これは日本工業規格(JIS)として結実する。

日本の機械産業のうち一番始めに量産が実現した産業はミシンである。昭和24年時点においてミシン部品の統一規格と標準図面が作成され、これらを基本に部品メーカーが特定部品の量産に専門化すると同時に互換性を上げ、製造原価を引き下げることに成功した。その結果、ミシンは戦後初めての機械産業における量産機械として輸出されるに到った。続いて昭和20年代後半には電気産業の量産化が成功し電気冷蔵庫、電気掃除機、電気洗濯機が一般家庭に普及した。この当時の量産技術を前提に様々な電気部品の技術革新、特に真空管からトランジスター、LSI等を前提に製品技術の革新が生じ多種多様な電気製品が量産され、産業全般の基幹産業に成長した。さらに自動車産業がノックダウン方式による生産方式を通じて上述の自動車生産技術全般にわたり吸収し、昭和30年代には量産体制を整え、昭和40年代を通じて日本の基幹産業に成長した。次に第3の要素である機械生産技術を中心に自動車、造船の2産業について、電気・電子産業については集積回路の技術的意味を中心に考察する。

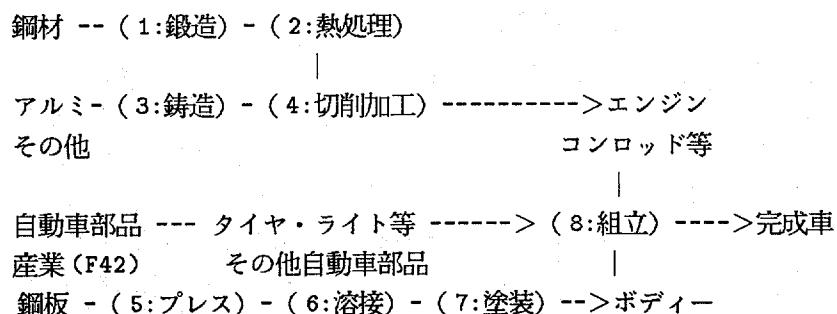
4.2 自動車産業(F43)

前節において加工・組立産業ではフォード式流れ作業、部品の規格化、機械生産技術の3要素を前提に大量生産が可能になることを示し、特に機械生産技術の進展が労働による生産性制約を打破する手段として重要であることを議論した。本項では自動車産業における基本生産技術を整理した上で生産性上昇要因となった機械生産技術を示す。

4.2.1 基本8生産技術

自動車産業の基本工程は第4-1-1図の通りである。自動車産業が直接製造を手がける主要部品はエンジン、ボディー、足回りの3点であり、その他の部品は自動車部品産業から調達する。工程表から明らかなるおり、エンジンやコンロッド、シリンダーヘッド等は鋳造工程および鍛造工程を経て生産され、ボディーはプレス工程により生産される。エンジンやボディー、その他タイヤ等の部品が8の組立工程において組み立てられ完成車に仕上げられる。

第4-1-1図：自動車産業の基本工程



第4-1-1 図中の各工程に沿って基本生産技術をまとめた表が第4-1-1表である。ここで重要なポイントは鋳造、鍛造、プレス等の工程上の個々の技術革新が直接的に自動車産業の生産性上昇要因となる点である。1から8番の生産技術の進展や場合に応じて量産技術の革新によって生産性上昇が実現されることにより工場全体の生産性上昇をもたらし、最終的に自動車の大量生産を可能にするわけである。したがって、自動車産業における生産性上昇要因を見いだすにはこれらの生産技術の革新効果が明らかになれば良い。次項において具体的な技術名を明らかにしその効果について日本における事例を中心に考察する。³⁴

第4-1-1表：自動車産業の基本生産技術

エンジン、ミッション生産技術	ボディー生産技術
1：鍛造技術	5：プレス技術
2：鋳造技術	6：溶接技術
3：熱処理技術	7：塗装技術
4：切削加工技術	8：組立技術

4.2.2 生産性上昇要因としての機械生産技術：日本の事例

戦前の日本の自動車産業は軍用自動車補助法等により保護育成された完全な軍需産業であり、トラックの生産が主体であった。終戦直後の生産技術水準は欧米よりも10年から15年遅れて出発し、乗用車の生産技術はもとより前述の3要素を前提とする大量生産技術そのものは当然確立されていない。戦後、自動車産業は技術導入をノックダウン方式を通じ、燃料噴射装置やシートスプリングなどの自動車部品の図面から始まり工作機械、エンジン部品の加工方法、工場のレイアウトに到るまで欧米諸国における乗用車製造技術をそっくり学ぶことから出発した。³⁵これらの導入技術により技術導入以前の乗用車をトラックのシャシーに板金により作ったボディーを乗せて生産するという労働集約型のきわめて非効率な生産方式から抜け出すことができ、昭和30年代前半に入りようやく量産が実現される。量産化の過程において上述の8生産技術について革新があったわけである。以下で各技術について革新効果を見て行くことにする。

1の鍛造技術³⁶はトランスマッision、クランクシャフト、コンロッド等の自動車部品の中でも特に強度を要する部品を生産するために用いられる。鍛造するためには前工程で加熱を必要とするが「高周波加熱装置」により従来の6倍の生産性を上げた。鍛造は従来（日本では終戦直後まで）ハンマーでなされていたが、ハンマーによる鍛造は機械工の経験と熟練に頼り部品の量産には限界があるため「プレス機械」の導入により著しく生産性を上昇させ、熟練機械工依存の生産ラインを機械加工中心に改めた。鍛造の後工程では2の熱処理、すなわち、部品の機械的強度を増すために浸炭を必要とする。この工程では「連続ガス浸炭炉」の導入により浸炭から焼き戻しまでの工程が一つになり、従来のオールケース炉の10倍の生産性をもたらした。

エンジンのシリングーブロックおよびヘッドカバー、ブレーキドラム、ミッションケース等の部品は3の鋳造技術により生産される。³⁷これは鋳造によりシリングーブロックのような複雑な形状のものを量産することが出来、切削などの鋳造以外の金属加工方法ではコスト的に生産不可能であることによる。³⁸鋳造工程における生産性上昇は、「自動連続モールディング・マシン」、「ショットブラスト」、「型乾燥炉」、「連

³⁴ 自動車産業の上述8技術の革新のもたらした生産性および価格に対する経済的効果についてははっきりとした数値例を明示している文献は少ない。以下の技術名および数値例はトヨタ自動車工業株式会社編[32]に依拠している。

³⁵ 工場レイアウトは大量生産を実現するために工作機械や必要な機械装置を合理的にレイアウトして連続化し工程全体の生産設備を効率的に運転管理するノウハウであり、生産技術の範疇に含まれると解釈できる。

³⁶ 素材を熱した後、圧力をかけて成形し、所定の形状をつくる方法。

³⁷ 鋳造とは金属に熱を加えて溶融し、鋳型に流し込み凝固させて所定の形状のものを一気に作る方法である。

³⁸ 鋳造は自動車産業に限らず金属素材を用いて部品を製造する全産業に共通した基本技術である。鋳造による金属加工品の全生産額のほぼ60%余りを占め、鋳造技術を失えば航空機、船舶、鉄道車両、農耕機械、織機からガス・電気・水道機器の生産が不可能になる。鋳造による生産方法を用いれば「数グラムの小さい指輪から、数百トンの大きなロールスタンダードといった大物までつくれ、また数万個の大量生産でも一個の注文にも対応できる技術で…精密なものまでつくれる」のである。鋳造技術は部品生産の量産技術的性格を有している。（アグネ[9]）

「続式中子」等により実現された。また軸受けメタルの製造方式として遠心铸造法から連続帶状铸造方式の開発がなされ次表のような効果があったとされる。³⁹表中番号の1から3の効果は生産性向上効果をもたらし、4は労働要素の削減効果を持つ。その結果として軸受けメタルの製造コストは5割減少した。

第4-1-2表：連続帶状铸造方式の効果

生産性上昇効果	
1 鋳造能率	7倍
2 機械加工能率	3倍
3 歩留まり率	2割向上
4 設備所用人員	5割減
5 製造コスト	5割減

資料出所:トヨタ自動車工業株式会社編 b[33]

铸造により生産された部品は4の切削加工工程において旋盤などいわゆる工作機械により切削、研磨し所定の精度で仕上げられる。この工程の生産性上昇は「トランスマシン」、「NC工作機械」の開発によりもたらされカムシャフト等の機械工作の自動化、連続化を実現した。また、金属切削加工に代わる量産向けの加工方法であるプレス、ダイカスト等の導入により工数の低減、工程の短縮化がはかられた。特にプレス加工は鉄鋼業における高張力鋼板の生産技術の確立により技術進歩が促進され、型の精密化、自動化等の大幅な進歩がみられた。また軽合金ダイカスト技術の導入により自動化が進展し、工作時間の短縮、工作精度の向上を実現し、自動車エンジンの性能の向上、製品の軽量化も実現した。

第4-1-3表は以上述べた主要生産技術の革新効果である。また第4-1-4表は日本の自動車産業における機械生産技術の進歩をまとめたものである。機械生産技術が自動車生産において持った経済効果についてはっきりとした数値は得られていないものの铸造、鍛造技術の他、8種の機械生産技術の革新が自動車産業の生産性を上昇させた要因であることは明かである。

以上、日本の自動車産業は乗用車生産に関する基本技術をノックダウン方式を通じて欧米から学び、上で検討した铸造や鍛造技術などの工程上の基本生産技術8項目に関して技術導入を基本に生産性を上げる努力をなした。その結果、昭和32年頃の一車種の量産規模が月産1000台程度であったものが、昭和30年代後半には工場計画段階から月産10000台程度が可能となり現在の量および質的に極めて水準の高い供給能力を確保、モデルチェンジに見られる製品技術の進展により成長を実現してきたと言える。

第4-1-3表：自動車産業の主要生産技術と効果

工程番号	工程	代表的生産技術	生産性	備考
1	鍛造	950t 冷間ビレットシャー	10倍	加熱工程の省略
		鍛造焼き入れ法	人員 1/3	月産 1000 t の生産能力実現
		鍛造プレス	—	ハンマー鍛造の代替技術
		コールドフォーマー	4倍	
2	熱処理	連続ガス浸炭炉	10倍	
		高周波連続加熱装置	6倍	鍛造の前工程である加熱
3	铸造	シェル・モールド法	—	铸造の生産性上昇技術
		自動連続モールディングマシン	—	連続化技術
4	切削加工	トランスマシン	—	工程の連続化・自動化
		NC工作機械	—	
5	プレス	2000t プレス	人員 1/2	
		プレス型の段取り替え	160倍	従来 8 時間が 3 分へ
6	溶接	マルチスポット溶接	—	
		ロボット	—	

資料出所:トヨタ自動車工業株式会社編 a[32], トヨタ自動車工業株式会社編 b[33], 日本機械連合会編 [41] より作成。

³⁹ トヨタ自動車工業株式会社編 b[33]

第4-1-4表：日本の自動車産業における生産技術の進展

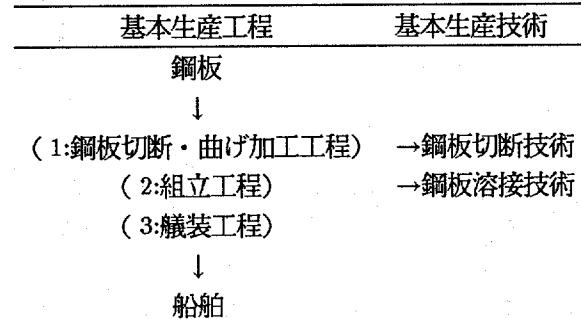
4.3 造船業 (F43)

造船業は第2次大戦前まで受注生産を前提とする労働集約的産業であった。しかし、1862年、鉄鋼業におけるSiemensの平炉法による粗鋼量産の成功は造船業の製品技術と生産技術の革新を促した。安価な粗鋼は鋼船を出現させ、⁴⁰鋼板切断、接合技術としての溶接技術と組立技術としてブロック建造法が第2次大戦終了時点までに欧米において確立された。この2技術を基礎に船舶の量産とタンカーに代表される巨大船の生産が可能になり、産業の成長要因となってきた。以下、これらの技術の革新効果を見て行く。

4.3.1 基本2生産技術

造船業の基本工程は第4-3-1図の通り、鋼板切断・曲げ加工、組立、偽装の3段階である。しかし、ブロック建造法および溶接技術導入の前後では工程上の作業内容はまったく異なる。

第4-3-1図：造船業の基本工程と基本生産技術



溶接技術が導入される前の組立工程は船台上での手作業による鉛打ち（リベット）が主体の工法であり完全に労働集約的であった。第2次世界大戦中に溶接を自動化した「ユニオン・メルト自動溶接法」がアメリカにおいて開発され、従来の鉛打ち工法に比較して必要工程数の大幅な減少とそれとともに省力化を実現し大幅な生産性上昇を達成した。また溶接作業が下向きでなされる必要があることから、船体をブロック化し溶接箇所を上面に向け作業を行い、完成したブロックを船台上で組み立てるブロック建造法が加工・組立工程に取り入れられた。ブロック建造法はフォード式の流れ作業方式を造船に取り入れたもので、船体をいくつかの大きなブロックに分けて設計、組立した後、全体の船体を組み上げて行く建造法である。ブロック建造法により造船業における流れ作業方式が実現され船舶の量産化が可能になったと言える。

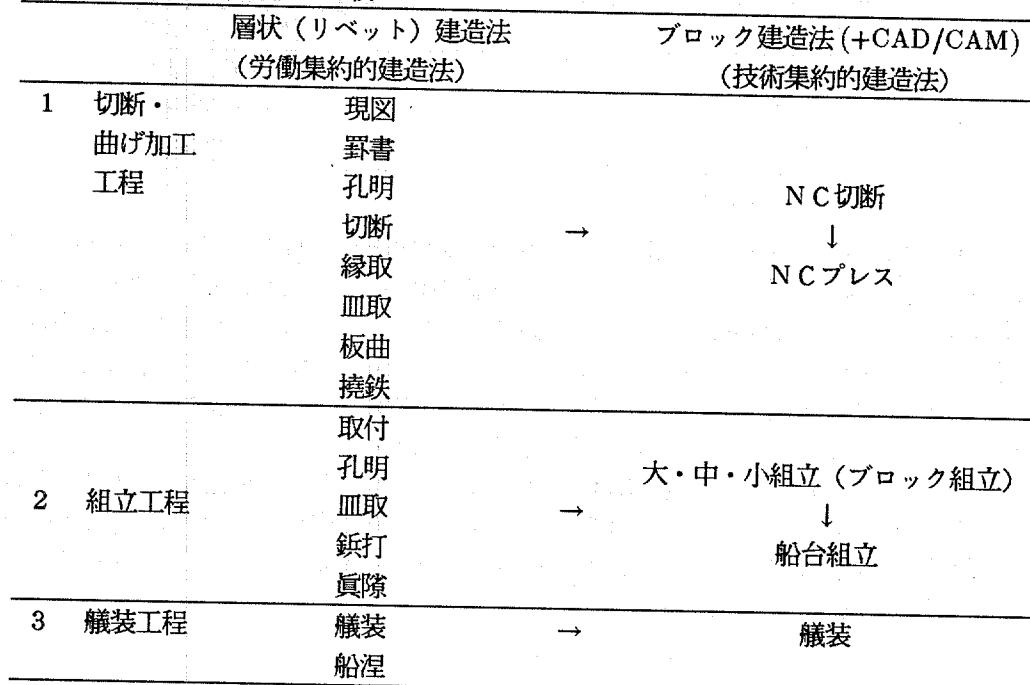
ブロック建造法が取り入れられることでさらに生産技術の進展が促される。ブロックをあらかじめ制作し船体を構成するためには鋼板切断工程において鋼材を高精度で切断する技術が必要となるが、溶接技術を基本に自動ガス切断機によって解決された。また切断工程の前工程である現図、野書工程では従来、現場で原寸大の木型を制作していたが、フォトマーキング（写真ケガキ法）法により作業時間の短縮化がはかられ、両者の技術を基本に現図から切断までの連続化がモノポール機の導入により実現された。第4-3-2図は層状建造法時代（1950年以前）と最近年（1984年以降）のブロック建造法の工程を比較し、以上の生産技術の進歩を前提にした工程の合理化効果を示すものである。

製品技術としての鋼船、生産技術としての溶接技術、量産技術としてのブロック建造法が現代における造船業の基本3技術としてリバティー号に代表される船舶の量産を実現してきた。特にアメリカでは1934年に全溶接構造のタンカーを完成させ、1937年には量産の前提となる標準船の開発に着手、1940年以降リ

⁴⁰鋼船は1877年前後に出現し、1880年に89.4%を占めていた鉄船が1890年には4.7%、鋼船が94.4%を占めるに至る。（上野[14]）

バティ一型、ピクトリー型等の標準船を進水、以後7年間で計3665隻生産した。⁴¹さらに、タンカー等の生産を実現することで造船業は成長を享受してきた。

第4-3-2図：建造方法の比較



4.3.2 日本への技術導入過程

日本の造船業では溶接技術に関してやはり終戦直後から導入が始まる。欧米の溶接技術の革新は1940年（昭和15年）から1945年の間に集中して生じたが、この間、日本の造船業界は信頼性の問題から船体の主要構造に溶接の使用を禁じられていたため技術進歩は中断し、終戦当時の技術格差は欧米と30年ほど差があったと言われる。⁴² 溶接技術は造船業のみならず自動車産業等の加工組立産業の基本技術であるが第4-3-1表の通り、日本において生じた技術はなくすべて外国技術にその基本を依存している。

第4-3-1表：溶接技術の開発年度と導入年度

溶接技�名	開発年	導入年	ラグ	溶接技�名	開発年	導入年	ラグ
1 炭素アーク溶接法	1885	1907	22	11 冷間圧接法	1948	1950	2
2 電気抵抗溶接法	1886	1909	23	12 高周波抵抗溶接法	1951	1954	3
3 金属アーク溶接法	1892	1914	22	13 エレクトロスラグ法	1953	1959	6
4 テルミット溶接法	1895	1901	6	14 炭酸ガスアーク法	1953	1955	2
5 酸素アセチレン溶接	1901	1908	7	15 超音波溶接法	1956	1965	9
6 金属溶射法	1909	1921	12	16 電子ビーム溶接法	1956	1965	9
7 原子水素法	1927	1930	3	17 摩擦圧接溶接法	1957	1963	6
8 高周波誘導加熱法	1928	1960	32	18 プラズマ溶接法	1957	1960	3
9 不活性ガスアーク法	1930	1951	21	19 爆発圧接法	1963	1964	1
10 ユニオンメルト法	1935	1942	7	20 レーザー溶接法	1965	1969	4

資料出所：手塚[31]より引用。

ブロック建造法についても同様、昭和26年吳海軍工廠において生産を始めたアメリカのNational Bulk Carriers社によって初めてなされた。⁴³昭和25年から33年の8年間における設備投資総額中、約35%はブロック建造法のための投資であった。その結果、1万トン級の貨物船の船殻重量当工数は次表のように減

⁴¹ この間の日本の標準船の建造数は990隻。（吉田[50]）

⁴² 手塚[31]

⁴³ 堀川・謝敷[47]

少した。溶接技術とブロック建造法の導入によって昭和25年から10年にはほぼ3倍以上の生産性上昇を達成させたと見て良い。

第4-3-2表：1万トン級の貨物船の船殻重量当作業時間数の推移

年度	生産性上昇効果
昭和25年	150時間以上
昭和30年	70時間程度
昭和35年頃	50時間以下

資料出所：佐久間・小野 [23]

製品技術の面ではタンカーの建造に代表される。戦後、炭化水素源を石油に求めるエネルギー革命が引き起こした膨大な石油の輸送手段としての大型タンカーの需要が生じ、両技術を基本にディーゼル機関、ターピン出力等部品の製品技術の進展を基礎に日本の造船業は大型タンカーの建造を実現する。昭和33年に10万トン重量のタンカーを皮切りに20から30万トンのタンカーが建造され、昭和36年には当時世界最大の「日章丸」が建造される。昭和50年には48万トンタンカー「日精丸」が進水している。また船舶航行の自動化技術によって、昭和37年には世界初の自動化船「佐渡丸」が進水した。

以上の生産、製品技術によって造船業は昭和30年から31年の第一次輸出船ブームで世界首位に、昭和38年の第2次ブームにおいて世界の造船能力の5割を占めるまで成長を実現する。労働集約型受注産業と言われた造船業は鋼船および溶接技術、ブロック建造法の導入を基本に製品、生産、両技術の革新を遂げることにより成長を達成してきたと言えよう。

4.4 電気(F42)・電子部品(F43)産業

電気産業は電磁気に関する現象ないし原理を製品へ結び付けることにより成長を実現してきた産業である。最も重要な原理は1831年にM.Faradayが発見した電磁誘導であるが、製品への応用は多岐に渡る。W.Siemensがこの原理を応用し実用的発電機を生み出し電力産業を生じさせる要因を作り、⁴⁴電力産業の出現は電気産業を生じさせた。電気産業においても電磁誘導は原理としてモーター、電話機、コンデンサー、電熱器、リニアモーター等に応用され需要を創出している。電気および電子産業では原理と製品の間に距離が存在しており、一定原理を経済財にいかに応用するか、つまり製品技術の成功が産業成長の最も基本的な要因であると言える。

一方、生産技術の観点からはトランジスタ等、電子部品を用いた電気回路の組立が電気産業における工程上の基本作業内容であり、生産性上昇要因は自動車産業と同様フォード式の流れ作業を前提としたライン上の組立技術の革新にある。しかし、中間部品産業である電子産業において「集積回路」が出現し、電気回路の量産技術として最終財産業である電気産業の生産性に決定的な影響をもたらして来た。電気産業と電子産業は産業構造表の分類では機械系最終財産業と中間財産業に位置づけられ次のようになる。両者の関係は中間財産業の製品技術の革新が最終財産業の生産技術に革新効果を与えた顕著な例である。

中間財(F42) 電子部品(集積回路、変圧器、抵抗、コンデンサー等)

最終財(F43) 電気機械(家庭電気産業、重電気産業、通信器機産業等)

以下、電気産業の製品技術の特徴である電気回路の開発の必要性を述べ、電子産業における集積回路が電気産業において電気回路の量産技術の役割を果たしていることを明らかにする。

⁴⁴ 1832年にN.H.M.Pixxiが発電機を、励磁電流による磁励発電機を1866年にW.Siemensが発明、1882年にT.A.Edisonがエジソンダイナモと並列配電方式を開発、現在の電力産業(エジソン電気照明会社)の基礎を生みだした。

4.4.1 量産技術としての集積回路

電気製品を構成する主要部品は電気回路と電子管である。電気回路はコンデンサー、抵抗等の能動素子、トランジスター、ダイオードなどの受動素子の組み合わせで構成されており、製品技術として電気産業では目的に応じかつ効率的な回路を開発することが要求される。例えば第4-4-1表はテレビ受像機に必要な基本回路の一覧である。テレビ放送は映像や音声を電気信号に変換し電波として送信することで遠隔地に音声および画像信号を送るものであるが、受信側が映像・音声の電波を電気信号へ変換しさらに映像と音声を得るためにには以上のような回路を必要とする。

第4-4-1表：カラーテレビ受像機の基本回路

映像系統回路	音声系統回路	電子管系統
映像検波回路	音声中間周波増幅回路	ブラウン管
映像増幅回路	F M検波回路	電子銃
色信号回路	低周波増幅回路	
色同期回路		
偏向回路		
高電圧回路		

T V の生産に際し問題になる点はこれらの回路に必要なトランジスター等の部品を基盤上に配置し配線する必要があり、そのための工程を電気産業は必要とすることである。ところが集積回路の出現はテレビ受像機回路に必要なトランジスターやコンデンサーを集積することを可能にし、それまで必要とした配線工程が省略されることにより生産性は大幅に上昇したものと推定される。つまり電子産業で集積度が 100 万素子の集積回路の開発に成功することは、電気産業において 100 万個の素子間の配線工程が 1 個の集積回路を基盤にとりつけることと同値になるわけであるから、集積回路の出現および集積度の向上は電気産業の生産性上昇に劇的な効果があったわけである。⁴⁵

4.4.2 電子産業の成長要因

以上のように電気産業において集積回路は電気製品の生産性上昇を通じて大幅な製造コスト下落効果を持つが、集積回路自体は中間財産業である電子産業の製品技術と生産技術の革新の結果である。

第4-4-2表は集積回路の生産を可能にし、現在の集積回路の製造工程において基本となっている基礎生産技術 10 種である。製品としての集積回路のアイデアは 1959 年、Texas Instruments 社の J.S.Kilby によって与えられたものである。しかし、集積回路を原理的に可能にした最も基本的なアイデアは 1949 年、W.B.Shockley の PN 接合型のトランジスタである。PN 接合の最大の利点は電子の制御を物質中で行うことができ、さらに P 形と N 形の半導体物質の組み合わせ方如何でダイオード、コンデンサー、トランジスタ、抵抗を構成できる点にある。つまり、PN 接合の出現は固体により電気回路を構成でき、真空中で電子を制御していた真空管よりも小型で動作特性が安定かつ半永久的寿命を持った電子デバイスが製作可能であることを示唆していたのである。Shockley 自身は PN 接合型のトランジスタの理論のみを提出し、どのように制作するか、すなわち、生産技術について何も示唆しなかった。この PN 接合を具体的なデバイスとして実現する過程において第4-4-2表の革新的 10 技術が産業によって生み出されたのである。その時々に現れた生産技術を用いてアロイ型、グロウン型、メサ型、プレーナ型トランジスタの製品技術の革新が生じた。このうち不純物拡散法による PN 構造の完全な制御技術の確立と、シリコン基盤上の酸化珪素の保

⁴⁵ 例え日本では、昭和 39 年当時のトランジスタ電卓の部品点数 4000 点であったものが 1964 年の IC を用いた電卓で部品点数 350 点、粗立工数は 7 分の 1 になり、その結果電卓の価格は 535000 円から 379000 円に下落した。さらに集積度の向上に伴い昭和 46 年の IC 電卓は部品点数 LSI 2 個、価格は 39000 円に下落、昭和 51 年には 7500 円にまで下落した。(中小企業研究所編 [27]) このような価格下落効果は、電子産業における集積回路の出現が電気産業の電気回路の量産技術としての役割を果たし、生産性上昇による製造コスト下落効果をもたらした結果生じたものである。

護膜を利用して PN 構造を作る Fair Child 社のプレーナ技術が決定的となり PN 型固体トランジスタの量産が可能となる。そしてほぼ同時期に Kilby のアイデアが提出され集積回路が実現する。⁴⁶

以上、電子産業では PN 接合によるトランジスタ生産の可能性の追求が生産技術の革新を生じさせ、新しい生産技術が新しい製品技術を生み出すパターンを取ってきた。電子産業の成長は生産技術の革新とそれに伴う電子デバイスの革新によって生じたと言える。

第 4-4-2 表：集積回路の基本生産技術の進展

製品・生産技術	(年・開発者)	電子デバイス
1 PN 接合	1949(Be)W.B.Shockley	
2 単結晶製造技術	1951(Be)G.K.Teal	→ 成長型トランジスタ (WE)
3 ゾーン精製法	1953(Be)W.G.Pfan	合金型トランジスタ (RCA)
↓		
4 不純物拡散法	1952(Be)K.Fuller	
5 酸化膜保護法	1954(Be)K.J.Frosch	→ メサ型トランジスタ (WE)
6 フォトエッチング	1956(Be)J.Andrews	
↓		
7 プレーナ技術*	1959(FC)J.A.Hoerni	→ プレーナ型トランジスタ (FC)
↓		
8 金属蒸着配線技術	1959(FC)R.W.Noyce	
9 キルビー特許	1959(TI)J.S.Kilby	→ 集積回路 (TI)→LSI(TI)
10 エピタキシャル技術	1960(WE)-	

資料出所:相田[8], 城坂[26]より作成。*=トランジスタ量産技術, FC=Fair Child, TI=Texas Instruments, WE=Western Electric, RCA=Radio Corporation of America

4.4.3 日本の電気および電子部品産業

第2次大戦直後における電気および電子部品産業ともに技術レベルは欧米に比較して遅れており、当時、電気通信機械の主要特許の9割は国外特許であった。第4-4-3表はテレビおよびラジオの基本回路の特許の一覧表である。同表から明らかになるとおり現在のカラーテレビジョン受像機の基本回路のほとんどがアメリカ、RCA社の手により開発されている。したがって、電気製品のいわば心臓部にあたる回路技術は完全に導入技術せざるを得ない状況であった。RCA社は国内35社、EMI特許は日本電気、神戸工業の2社、Phillips社とは18社がそれぞれ特許実施契約を結んでいる。⁴⁷さらにフォード式の加工・組立型産業の量産技術を取り入れることで生産体制を整えて行った。⁴⁸日本の電気産業は基本製品技術を導入し、特に家庭電気産業は量産体制をほぼ昭和32年頃までに整えた。昭和30年当時の電気機械生産額1500億円であったが昭和39年には1兆7000億円に達し、9年間でほぼ10倍強の成長を遂げる。⁴⁹

一方、電子産業では昭和25年頃からトランジスタの試作が始まっているが、「試作トランジスタを作ることはできても、生産に移行することは不可能⁵⁰」な状態から出発したため、昭和30年、シリコンの単結晶生産技術から各種製造設備、測定機から技術導入を始め、前述の集積回路生産に必要な基本生産技術10種類を後追いの形で導入して行った。初期には「膨大な技術を入手⁵¹」し、研究室レベルで合金型、成長型トランジスタの試作に成功するが、「量産となると手も足も⁵²」出ないことからGEとノウハウ契約を結び技術導入、昭和35年にはICの試作に成功する。さらに昭和38年にプレーナ技術の特許実施権獲得、昭和43年にキルビー特許の使用権を獲得することでLSIの量産を実現した。また生産技術では例えばワイヤボンディングの自動化技術の革新により昭和49年当時のIC生産量、一人当たり月産1万個から昭和53年

⁴⁶ 以上の技術が生み出された背景は相田[8]を参照。

⁴⁷ 日本機械工業連合会編[41]

⁴⁸ 日本において流れ作業方式が工程に本格的に取り入れられたのは戦後である。例えば電話機の生産ラインに初めてベルトコンベア方式が導入されたのは昭和26年、日本電気である。(日本機械工業連合会編[41])

⁴⁹ この間の製品価格、例えばテレビ受像機の場合当時の標準タイプである14型で昭和30年に12万4000円から昭和33年に7万6000円に下落させることに成功している。(日本経済新聞社編[43])

⁵⁰ 長船[17]p.46より引用。日本の半導体産業の戦後の実状および発展過程については長船[17]、中川[34]を参照せよ。

⁵¹ Ibid.p.54

⁵² 相田[8]p.259より引用。

には13万個となり、およそ13倍の生産性上昇を達成している。⁵³昭和48年に日本電気において4KビットN型DRAMの開発を皮切りに以降DRAM市場は日本の独占体制に入った。第4-4-4表は生産技術と製品技術の日米比較を示したものである。基本生産技術はアメリカにおいて開発され、アンダーライン以下IC、LSIの時代において日本が導入生産技術を基本に製品技術の開発に成功していることがわかる。

以上、日本の電気および電子産業の成長要因を見てきた。両産業とも導入技術を基本とし、その後の製品技術の革新による高付加価値化および生産技術の成熟を通じ高付加価値な製品の生産に成功、高度成長を実現した産業であると言える。

第4-4-3表：ラジオおよびテレビ受像機の基本製品（回路）技術および日本における特許取得年度

年度	開発企業	ラジオ受信機基本回路技術	年度	開発企業	T V受信機基本回路技術
25	RCA	インダクタンス線輪用芯装置	15	EMI	直流分再導入回路
26	RCA	発振器	26	RCA	周波または位相変調波検波器
	RCA	周波または位相変調波検波器		RCA	角変調波の検波器
28	RCA	広帯域増幅回路		RCA	陰極線偏向装置
	RCA	高インダクタンスの小型アンテナ		RCA	水平同期回路
29	RCA	周波数変換器	27	RCA	陰極線管のビーム偏向機
	RCA	印刷回路用取付受口	28	RCA	色像電現装置
30	RCA	半導体装置を有する信号増幅回路		RCA	広帯域増幅回路
	RCA	半導体装置による信号増幅回路		Phl	インターキャリア回路
	RCA	半導体装置による信号中継装置	29	RCA	電子ビーム制御装置
	RCA	導体装置の錫付方法		RCA	色彩テレビジョン受像装置
	RCA	トランシーバ装置	30	RCA	色彩テレビジョン受像機
31	RCA	半導体増幅回路		EMI	テレビジョン用熱電子管回路の改良
32	RCA	半導体回路	31	RCA	色彩テレビジョン装置
36	RCA	静電遮蔽ループアンテナ		RCA	色彩テレビジョン同期装置
	RCA	プッシュブル增幅回路	32	EMI	自動利得制御装置を有する増幅回路
				RCA	色彩テレビジョン偏向回路装置
			33	RCA	色彩テレビジョン信号及び再生装置
			34	RCA	色彩テレビジョン受像機
			35	RCA	周波数変調波の復調回路

資料出所：技術導入調査委員会編 [21]、日本機械工業連より作成。年度は日本における特許取得年度。Phl=Phillips

第4-4-4表：集積回路の生産技術と製品技術

生産品目	国・年	生産技術（開発主体）	国・年	製品技術（開発主体）
TR	J 1950	イオン打ち込み法（西沢潤一）	A 1948	点接触型トランジスタ（Be）
	A 1951	ゾーン精製法（Be）	A 1951	PN接合型トランジスタ（Be）
	A 1952	不純物拡散法（Be）		
	A 1954	FZ精製法（Be）	A 1956	メサ型トランジスタ（Be）
	A 1956	フォトエッチング法（Be）		
	A 1956	酸化膜保護法（Be）		
	A 1959	プレーナ技術（FC）		
	A 1959	キルビー特許（TI）	A 1961	プレーナ型トランジスタ（FC）
	A 1959	金属蒸着配線法（FC）	A 1964	MOSIC(TI)
	A 1960	エピタキシャル技術（WE）	A 1968	MOSLSI(TI)
IC	A 1966	トランスマウルド技術	A 1970	1KbitPMOSRAM(Intel)
	1968	リードフレーム組立技術		
	1972	ボンディング自動化技術	A 1971	4bitCPU(Intel)
			J 1973	4kbitNDRAM(NEC)
			A 1974	8bitCPU(Intel)
LSI	1975	製造ラインの自動化技術	J 1976	64KbitNMOSRAM(Fujitsu)(15万素子)
	1978	超LSI用電子描画装置	J 1980	256KbitDRAM(60万素子)
	1979	0.5ミクロン巾電子描画装置	A 1981	32bitCPU(Intel)
			J 1984	1MbitDRAM(240万素子)
			J 1986	4MbitDRAM(NTT)(900万素子)
			J 1987	16MbitDRAM(NTT)(3600万素子)

資料出所：相田 [8]、長船 [17]、中小企業研究所編 [27] より作成。Be=ベル電話研究所、A=America、J=Japan

⁵³日本機械連合会編 [41]

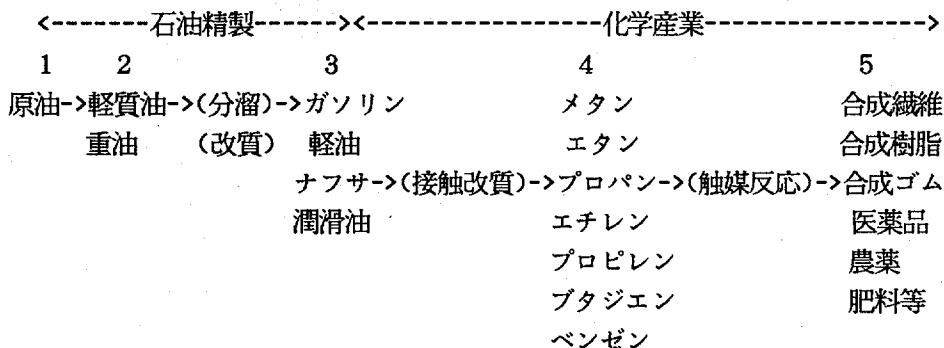
5 化学系産業 (F51 ~ 3)

石油化学産業は他の産業とは技術的観点からみて非常に異なった性格を持つ。特に(高分子)化学産業ではまったく新しい製品の開発すなわち、製品技術の革新が産業の成長を左右することを示す。

5.1 基本生産技術

はじめに石油化学産業の分類について簡単にまとめておくことにする。石油化学産業は大きく分けて原油を精製、蒸留、改質により分解し、ガソリン、ナフサ等を生産する石油精製業とナフサ、LNG(液化天然ガス)等を原料にエチレン、プロピレン等の中間製品を経て合成樹脂、合成繊維等を生産する化学産業に分けられる。このプロセスに従えば石油化学産業の全体の基本工程は第5-1図の通りである。⁵⁴

第5-1図：化学系産業の基礎工程



表中の第1から第3段階までが石油精製、第3段階中のナフサから第5段階に到る合成樹脂等の最終製品までが化学産業である。生産方法は第2段階から第3段階へのプロセス中の「分溜(蒸留)⁵⁵」と、第3段から第4、第5段階にかけての接触改質、触媒反応による方法が基本になっている。⁵⁶したがって、石油化学産業の工程上の基本生産技術は、

1 : 分溜(蒸留)技術

2 : 触媒(接触)技術

の2つにまとめることができる。

さて、化学産業内においてはナフサからきわめて多岐に渡る製品群が生産されており、ナイロンやプラスチックなど基本的な生活に影響を深く及ぼした製品も多種類存在する。冒頭で言及したようにこれら製品の開発力が化学産業では重要な技術であり成長の源泉となる。次の2項で生産技術のうち触媒技術と製品開発技術について議論し、これら両技術と成長の関係を分析する。

5.2 触媒技術

化学産業は分子と分子を反応させ既存に存在しなかった新しい物質を生産する産業であり、その工程は次のような化学反応式に従って物理的に決定される。

⁵⁴ 本節の石油精製と化学産業の分類はあくまで工程上の分類であり、企業を中心とした分類ではない。

⁵⁵ 分溜とは物質の沸点の差を利用して精製する技術である。

⁵⁶ 接触改質も触媒を使って反応を促進させる工程である。

物質 A + 物質 B → 物質 C

この化学反応を実際に促進させる上で重要な役割を果たしているのが「触媒」である。単位時間当たりの生産量を増大させるためには反応速度を上昇させるか設備の規模を拡大すれば良い。一般に化学反応の速度は温度を 10 度上昇させれば速度が 2 倍になる。よって、高温高圧の大規模な設備を建設すれば生産量は増大するが製造コストも大幅に上昇する。つまり反応が生じる最低温度が高ければ量産が不可能になる可能性がでてくる。ところが触媒の種類によっては反応速度、温度、圧力の反応条件を変化させる役割を果たすのである。したがって、化学産業における量産化の鍵は次の条件を満たす触媒の発見に依存していると言えよう。

- 1 : 出来る限り常温・常圧で反応を促進させる。
- 2 : 触媒の値段が安い。

この 2 つ条件をみたす触媒の発見が製品の大量生産を実現し、「新しい触媒の発見が化学工業を生む」⁵⁷とも言われる。第 5-1 表が代表的な製品とその触媒である。

第 5-1 表：触媒

製品名	触媒名
アンモニア	鉄系触媒 (Fe ₃ O ₄ .Al ₂ O ₃ .K ₂ O 触媒)
中圧ポリエチレン	チタン系触媒 (Al(C ₂ H ₅) ₃ .TiCl ₃ 触媒)
ポリスチレン	チタン系触媒 (Al(C ₂ H ₅) ₃ .TiCl ₄ 触媒)

資料出所: 大西 [20]

例えばポリエチレンの場合、1933 年に当初 ICI において発明されたものであったが、反応条件として 1000 から 2000 気圧、200 から 300 度の高温下で高圧重合により生産されていた。しかし、1949 年の Ziegler が偶然発見した四塩化チタンを用いた触媒で常温常圧でポリエチレンが生成されることがわかり、中・低圧ポリエチレンを生み出し大量生産への道を開いた。

ここで重要な事実はこのような触媒の発見は徹底した基礎研究に依存している点である。例えばアンモニア合成に使用される鉄系触媒の発見には 1912 年から 1 年半の間にドイツの BASF の A.Mittasch が実際に 6500 回のテストで 2500 種類の触媒について実験し、さらに 1919 年までに 1 万回の実験と 4000 種類以上の触媒のテストの結果、発見したものである。さらに Mittasch の発見以降、今日まで約 10 万種類の触媒についてテストされたが Mittasch の発見した触媒にまさるものは見いだされていない。⁵⁸ 以上の例からも明らかな通り、化学産業では生産技術もまた研究室レベルの基礎研究に依存しているのである。

5.3 成長要因としての製品開発技術と基本成長パターン

石油精製産業では 1 および 2 の技術を用いるが生産される製品はガソリン、ナフサ等の決まった製品である。しかし化学産業ではナフサから多種多様な製品を生産され、第 5-2 表の通りイギリスの ICI、アメリカのデュポンなど一大コンツェルンを形成している企業すら存在する。一方、日本の化学産業は日本で最大規模の三菱化成をデュポンの売上高で規模を比較した場合 4 分の 1 にすぎない。このような差はどうして生じるのか？ 答は製品技術、すなわち、新製品の開発力の差にある。化学産業では一つの製品の発見が企業に膨大な利益をもたらす可能性があるが、後発企業が大きく成長できる可能性は当然低いのである。

化学産業でなされる新製品の開発は一人の研究者の偶然の発見やアイデアや地道な基礎研究によって生まれることが多い。化学産業におけるこのような発見は突き詰めて言えば「新しい化学式の発見」で

⁵⁷ 大西 [20]

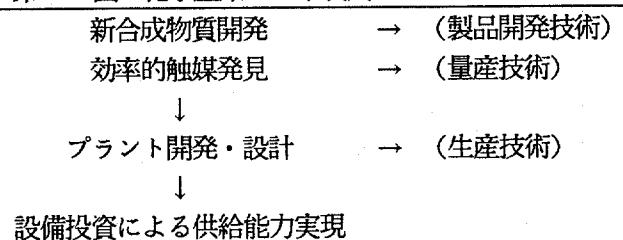
⁵⁸ Mittasch 以前にアンモニア合成の発明者である Habor らは 2 万種の触媒をテストし、オスミニウム (Os) が非常に優れた触媒効果を持つことがわかっていたが Os は希元素であるため Os 触媒でアンモニアの大量生産は不可能であった。(以上、大西 [20])

ある。このような研究を通じた発見は新しい物質の生成を意味しているから開発の成功はすぐさま製品に結びつく性格を有している。例えばペニシリンやナイロンのように人間生活の根本に直接影響するような製品の開発に成功すれば世界全体が市場となり、特許およびノウハウの技術輸出により膨大な利益を企業は享受することができる。したがって、化学産業で最も重要な成長要因は「新物質」を実際に作り出す製品技術であると言える。⁵⁹さて前節と本節の議論から化学産業の成長要因となりうる技術要因をまとめれば次の2つになろう。

- 製品開発技術としてR&Dによる新しい化学反応式、合成物質の発見。
- 量産技術として反応を劇的な速度で促進しつつ安価な触媒の発見。

化学産業はこの2つの技術を基本にプラント設計、開発を行い、設備投資を行うことで需要に応じた供給能力を確保するわけである。⁶⁰したがって、化学産業における基本成長パターンは次のようになる。

第5-2図：化学産業の基本成長パターン



5.4 日本の化学産業の成長パターン

第2次大戦終了時の日本の化学産業において硫酸や硫安等の肥料を生産する無機化学産業は存在していたが、石油を中心とする石油精製および高分子化学産業は産業としては存在していない。他の産業と同様に基本技術はすべて導入から始まり製品技術、触媒技術とともに技術導入に頼っている。戦後の日本の化学産業は製品開発よりも、諸外国で開発された新技術を輸入して新製品を生産し短期に利益を上げ、再び他企業に先んじて新技術を導入し生産するという経営パターンを基本としてきた。つまり製品、量産、生産技術は導入技術を基本に設備投資から始めるわけである。

第5-3表は製品の開発時期と日本の導入時期とのラグがどの程度存在していたのか表した表である。第2次対戦を挟んだ1940年から1950年にかけて一件も技術輸入されておらず、外資・外為法制定の昭和26年以降一度に輸入された様子がはっきり見てとれよう。諸外国ではほぼ一定割合で新製品の開発が行われているのに対して日本の場合、主要な製品は生み出していない。

このような経営方針において最も重要なことは国内の他企業よりも一日でも早く新規技術導入して生産体制を築き上げて先行利益を得ることであり、新製品を開発して成長を実現することではない。そのため、おのずと市場は国内に限定され輸入品を国産品に代替することが基本的な成長パターンになるため需要面で制約が生じてくるであろう。さらに化学製品には同一製品の差別化は基本的にならないため、市場における競争は質ではなく量的拡大による価格競争とならざるを得ない。したがって、企業行動は設備投資による規模の拡大によって製造コストの下落をさせることができることが課題になるわけであるが、需要制約が大きいため過当競争が供給過剰、価格下落、収益悪化を招くことになり成長の阻害要因になろう。

⁵⁹ 例えばW.H.Carothersによるナイロンの発見に到る現実の製品開発プロセスは井本[13]を参照せよ。

⁶⁰ 化学産業における製品開発の成功は工業化の成功を意味するものではない。例えばデュポン社の基礎研究部門の開発研究費は1927年から毎年20万ドルずつであったが、1930年のCarothersによるナイロンの開発成功以後、工業化までに8年間、総額2700万ドルを要している。この間、実験室スケールでのモノマー、ポリマー、紡糸法の開発研究、次いでパイロット・プラントの設計に移り、触媒技術によるモノマー合成技術、重合、紡糸、冷延糸、撚糸技術の確立を経て1938年、工業化に成功する。(小澤[19])

第5-2表中には主要化学企業12社の海外売上比率が示されている。日本の場合、輸出分はほぼ1割であるのに対して外国企業はヨーロッパ系の企業で7割以上の比率を持っており、上述の日本の化学産業がほぼ国内市場規模になっていることがわかる。

技術導入と規模の拡大による成長が日本の化学産業の典型的なパターンであったことは周知の通りであろう。技術導入による成長は化学産業に限って観察されるものではなく、電気産業や自動車産業などおよそすべての産業において同様になされてきたことである。しかしこれらの産業と化学産業とではその性質が著しく異なる。他の産業では決定的となる原理の発見、開発が独自になされなくとも原理を導入し製品への転化技術が勝っていれば成長の余地が充分存在しているのであるが、化学産業の場合、成長の基本的源泉はまったく新しい製品の開発技術にあるため、日本の化学産業は欧米の化学産業、デュポンやICI、BASFと同一規模にまでは成長できなかったと思われる。目の前にある財や技術を一定以上の水準にまで持って行くことは非常に優れているが、何もない状態から出発してまったく新しいものを生み出す能力には欠けているという日本の産業特性が化学産業の成長度に現れているとも解釈できる。

第5-2表：主要化学企業売上高および海外売上高比率

ランク	企業名	売上高	海外比	ランク	企業名	売上高	海外比
1	デュポン	4577	38	14	三菱化成	1124	12
2	BASF	3291	64	15	住友化学	902	11
3	ヘキスト	3172	75	16	積水化学	654	—
4	バイエル	2993	78	21	三井東圧	487	—
5	ICI	2846	75	25	積水化学	654	—
6	ダウ・ケミカル	2305	56	30	昭和電工	542	10
7	チバガイギー	1638	95	34	三井東圧	487	—

資料出所:伊丹[11]より作成。売上高は1989年度、単位は10億円、海外比率1987年度。

第5-3表：日本の化学産業の技術導入年表

番号	製品名	開発年	導入年	ラグ	番号	製品名	開発年	導入年	ラグ
1	ガソリン	1880	1915	35	28	不飽和ポリエスチル	1942	1953	11
2	カルシウムカーバイト	1892	1908	16	29	エチレン	1942	1958	16
3	石灰窒素	1898	1928	30	30	ブタジエン	1942	1959	17
4	フェノール樹脂	1907	1914	7	31	ABS樹脂	1942	1962	20
5	アンモニア	1908	1930	22	32	シリコン樹脂	1943	1956	13
6	アルキッド樹脂	1911	1934	23	33	ジアリルフタレート	1946	1961	15
7	硫酸	1914	1933	19	34	アルキルベンゼン	1946	1962	16
8	アセトアルデヒド(1)	1916	1928	12	35	エポキシ樹脂	1947	1961	14
9	尿素樹脂	1920	1929	9	36	ABS樹脂	1947	1963	16
10	アセトン	1920	1957	37	37	PET	1949	1957	8
11	酢酸ビニル	1924	1936	12	38	フェノール	1953	1958	5
12	塩化ビニル	1929	1939	10	39	ポリカーボネイド	1956	1958	2
13	ポリスチレン	1930	1957	27	40	中低圧ポリエチレン	1956	1958	2
14	スチレンモノマー	1930	1959	29	41	ポリエチレン	1956	1959	3
15	塩化ビニリデン	1932	1954	22	42	ポリアセタール	1956	1968	12
16	メタクリル樹脂	1933	1938	5	43	ポリプロピレン	1957	1962	5
17	高圧ポリエチレン	1933	1958	25	44	テレフタル酸	1958	1958	0
18	MIBK	1933	1963	30	45	アセトアルデヒド(2)	1959	1962	3
19	フッ素樹脂	1934	1954	20	46	アクリロニトリル	1960	1962	2
20	ナイロン	1935	1951	16	47	ポリブタジエン	1960	1964	4
21	アルコール	1936	1960	24	48	塩ビモノマー	1961	1965	4
22	エチレンオキサイド	1937	1958	21	49	EVA	1963	1967	4
23	NBR	1937	1959	22	50	EPDM	1963	1968	5
24	SBR	1937	1960	23	51	酢酸ビニル	1965	1968	3
25	ポリアミド	1938	1950	12	52	ポリフェニレンオキサイド	1965	1970	5
26	メラミン樹脂	1938	1951	13	53	ポリスルフォン	1965	1971	6
27	ポリウレタン樹脂	1940	1954	14	54	PBT	1970	1974	4

資料出所:日本化学工業協会編[39]より作成。10番以降からが戦後の導入技術。

6 その他の産業技術：公害防止技術・省エネルギー技術

本節では第2節で明示しなかった生産技術の一つである省エネルギー技術、開発の内生的インセンティブが存在しない公害防止技術について検討する。まず第6-1表は戦後、工業技術院が着手した公害防止技術の研究項目および主要な法規制、助成処置等をまとめたものである。

第6-1表:工業技術院による公害防止技術研究開始年度と個別産業における公害防止技術の自主開発

年度	排煙処理技術	関連産業	排水処理技術	関連産業
29			メタン発酵排水処理技術 (工場排水規制法)	
33			亜硫酸パルプ廃液処理技術 (水俣病発生)	パルプ
34			染料工業排水処理技術	繊維
35	(四日市ぜんそく発生) (開銀公害防止融資制度設立)		皮革工業排水処理技術	皮革
36	排煙防止技術		微生物による産業排水処理技術	全産業
37	OG法(粉塵除去技術) (排煙規制関係の法律成立)	鉄鋼*		
39			(新潟水俣病発生)	
40	工場排煙処理技術 自動車排ガス処理技術	自動車	(公害防止事業団設立) (イタイイタイ病多発)	
41			水質汚濁防止技術	全産業
42	触媒による重油直接脱硫技術 (特別償却制度: 脱硫装置関係)	化学		
43	(大気汚染防止法)		逆浸透法メッキ排水処理技術	金属
45	(マスキーフ法:米国) (開銀融資: 排煙脱硫)		(水質汚染防止法その他 14 法成立)	全産業
46	自動車排ガス防止技術 NOx排出防止技術		活性汚泥処理法 重金属含有排水処理技術	化学
47	(開銀融資: ガソリン無鉛化等) 触媒による NOx 排煙防止技術 乾式法・湿式法脱硫装置 (自動車排ガス 48 年度規制)	化学 電力*	染色排水汚濁防止技術	繊維
48	低 NOx パーナー	電力*		
49	(大防法改正: 総量規制導入) ユニット集塵機の開発 触媒蒸発炭化水素除去技術 ガラス溶融炉の NOx 防止技術	鉄鋼 化学 ガラス	パルプ排水処理技術 電解法産業排水処理技術 流出油処理技術	パルプ 全産業
50	排煙脱硝技術 石炭ボイラの NOx 防止技術	電力*		
51	(開銀融資: 排煙脱硝等) 重質油中重金属除去技術 自動車排出 NOx 対策技術	自動車*	散水炉床高濃度排水直接処理技術 高分子化合物生物処理技術	化学
52	触媒 SOx、NOx 同時除去技術 乾式法無公害燃焼システム	自動車	有機化学工場排水高度処理技術 工業団地排水高度処理技術	化学
53	(特別償却: NOx 抑制設備関連) 三元触媒、希薄燃焼技術 乾式アンモニア接触還元法	自動車*		
54	高温反応炉からの NOx 防止技	鉄鋼*		
57	ビッチの無公害燃焼技術	鉄鋼	鉱山排水の高度処理技術 微生物によるリン処理技術	鉱山
58	大型ディーゼル排ガス浄化技術	自動車		
59	スパイクタイヤ低公害化技術	自動車		
60			無電解メッキ老化廃液処理技術 機械金属工場乳化油排水処理技術	金属 機械
63	開銀融資 (フロン放出抑制)			

資料出所: 通商産業省工業技術院編 [29] から作成。*は工業技術院ではなく産業自身が開発・実用化した技術。

() 内は主要公害事件、法的規制処置、補助制度。

昭和30年代に排水処理技術の研究がスタートしているが、公害防止技術が本格的に取り組まれたのは大気汚染防止法等の立法規制が確立してからである。これは公害防止技術が産業の生産性および将来収益には何等貢献せず完全な固定費用投資であるため、産業が自主的に開発する内生的インセンティブが存在しないことに起因する。特に日本の場合、生産主体および社会の環境問題に対する認識の甘さ、産業の環境に対する責任の所在の不明確さにより、公害が社会問題になるまではほとんど革新の生じなかった技術である。公害防止技術は他の産業技術と異なり技術革新のインセンティブとして法規制と助成処置、特別償却制度の3つの手段が必要な技術である。

省エネルギー技術はエネルギー消費原単位の下落を通じ製造コスト下落効果を持つため生産技術の一つとして産業が前向きに取り組む技術である。したがって、財の量および質に関する上昇効果はないが、コスト下落効果の存在により産業は革新のインセンティブを持ち、生産技術の範疇に含まれられる。

第6-2表は公害防止、省エネルギー技術の革新効果を鉄鋼業を例に示したものである。

第6-2表：鉄鋼業における公害防止・省エネルギー技術の効果

公害防止技術	1970年	1973年	1975年	1979年	1985年	減少率
1 媒塵 (kg/h)	630		93			85 %
2 硫黄酸化物 (Nm^3/h)	1736		509			71 %
3 窒素酸化物 (Nm^3/h)	852		509			40 %
省エネルギー技術						
4 エネルギー消費原		100		80		20 %
5 電力原単位 (kWh/t)				490	415	9 %

資料出所：飯田・後藤[10]より作成。4は粗鋼t当たり、5は銑鉄t当たりに必要な原単位。

助成処置等が公害防止技術に必要であるとはいえる公害防止技術の効果は顕著であり、特に媒塵は昭和45年から5年間で85%の下落を達成している。また硫黄酸化物は71%の下落を実現している。これは開発インセンティブが存在し無くとも世論および法規制その他の行政処置により技術革新を遂行する能力が産業に存在することを意味する。産業は昭和47年の第一次石油ショック時の原油の大幅な相対価格変動に対して省エネルギー技術やその他の生産技術により対応し、また公害等の問題解決も技術によって解決してきた。つまり直接将来収益に関わる問題について技術で解決するのと同様に、世論を含めた外生的な条件の変動が生じた場合においても産業は問題解決の手段として技術を駆使するのである。

7 経済成長の発展段階と産業技術の関係

以上第3節から第6節を通じ、個別の産業において成長要因となる産業技術を明らかにしてきた。本節では成長の発展段階と行使される産業技術の間に一定の関係があることを示す。

産業は新しい財の出現によって生じるが、経済成長の初期の段階において生産技術の水準が低く潜在需要を有効需要に転化させる条件を満たして生産活動が出来ない場合に量産技術の革新が必要になる。量産を実現することにより時間当たりの生産性を飛躍的に上昇させ製造コストを臨界市場価格以下に引き下げる必要がある。この時期に産業は供給能力の拡充を実現することが目標であり、付加価値が低く基本的な性質や機能を備えた財が供給されることになる。⁶¹さらに需要規模に応じて量産技術を前提に能力増強のための設備投資がなされ工場規模あるいは設備の規模を拡大することでスケールメリットが享受できることになる。この段階が産業の成長期に相当し、製品技術の精力的な開発が同時にされて行く。

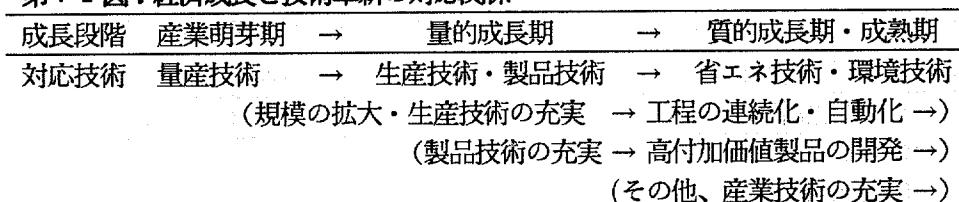
産業に対する総需要を満たす供給能力を実現する前後に成長が減速するため、産業は製品の付加価値を上昇させることにより需要を喚起する必要が出てくる。素材産業では用途に見合った新しい素材の開発、

⁶¹ この段階を成長へのテイクオフとみなすことができよう。

加工組立産業では新しい製品の開発が目標になり、製品技術の革新により財の質的な次元の向上、すなわち、高付加価値化がはかられる。この段階ではそれまでに確立された量産体制を前提に製品の付加価値を高め市場規模の拡大または一企業の市場シェアの拡大をねらって行くことになる。市場が成熟した段階においては企業が自発的あるいは世論、法規制等によって工程上の環境対策問題を解決する方向に技術開発のポイントが移って行くわけである。以上の関係を図示すれば第7-1図のようになろう。

具体的な例として日本の鉄鋼業における産業技術全体の進展と成長の関係をまとめたものが第7-1表である。表から復興期にほぼ鉄鋼業の基本量産技術であるストリップミルやLD転炉の導入を終える一方で、市場の潜在需要に答えながら製品技術により単純な鋼板から高度な付加価値製品へと進展させてきている。また公害防止技術は外生的な規制が要求された調整期以降に集中していることがわかる。

第7-1図：経済成長と技術革新の対応関係



第7-1表：日本の鉄鋼業における産業技術の進展と成長の段階

	昭和 粗鋼生産	製品技術	生産技術	公害防止・省エネ技術
復興期	21 648			
	26 6782	熱延珪素鋼板	ストリップミル導入*(A)	
	28 8033	ゼンジミア亜鉛メッキ技術(A)		
	29 7875	フェロスタン電気ブリキ(A)	LD転炉導入*(E)	
高度成長期	30 9791	ホットコイル冷間成形加工品		
	31 11678	パンザーマスト鋼板(E)	連続鋳造機導入*(E)	
	32 12309	ポンデ鋼板(A)	(高炉の規模大型化)	
		軽量形鋼		
	33 12773	方向性電磁鋼板(A)		DH脱ガス技術導入(E)
	34 18247	H形鋼 コルテン鋼(A) 60kg級高張力鋼	ゼンジミアミル導入(A)	
	35 23161	ステンレス技術導入(A)		
	36 29399		(工程のオートメ化)	RH脱ガス技術導入(E)
	27250		高炉重油吹き込み技術(E)	
	37 34080	深絞用鋼板 ユニバーサルミルH形鋼	高炉高圧操業技術(A) 制御圧延技術	O G法(媒塵余熱回収技術)(J)
	38 41296	Hフレーム		
	39 63777	耐海水性鋼(A)	高压高炉導入(S)	
	43 68987	亜鉛メッキ白鍍防止技術(J)	ユニバーサル圧延導入(E)	
	46 88441	ハイビー(J) リバンド鋼(A)	(連鋳機の規模大型化) (転炉の規模大型化)	
調整期 (以下 60年代)	47 102972	スタンパッケージ59 フェライト系ステンレス(A)	(全連続鋳造工場の実現) 冷延用連続焼純設備*(J)	高炉・転炉ガス回収技術(発電)
	48 120017		直接圧延法(J)	CDQ コークス乾式消火技術(S)
	54 113010	軽量ラミネート鋼板 (鋼板の高付加価値化) プレコート鋼板 複合鋼板 耐蝕性表面処理鋼板	高炉等AI技術利用	高炉炉超圧タービン技術(発電) 焼結炉排煙脱硫装置(SOx除去) 大型ユニット集塵装置(粉塵回収) 高温反応炉からのNOx防止技術 乾式アンモニア接触還元法

資料出所：飯田・後藤[10]から作成、年度は技術導入年度または開発年度を表す。粗鋼生産量の単位=1000t。*=量産技術、

A=America, E=Europa, S=Soviet, J=Japan

鉄鋼業の事例は上述の経済成長の段階と産業技術の関係を示すものである。産業は経済成長を始めるために産業は量産技術を必要とし、一定の量産技術を基礎に規模の拡大を通じて供給能力を増大させつつ製品技術の開発を実行、市場が飽和状態になればさらに製品技術の革新を進め成長を実現して行こうとする。このように成長の段階と技術に観察される関係は、その時々に産業が直面する課題を技術によって解決することの現れであり、その対応の過程において目的に応じた技術革新が生まれるものと考えられる。

8 結語

以上、産業技術が製品技術、生産技術、量産技術の3範疇に分類できることを前提に基本産業構造表中、機械系産業及び化学系産業を中心に考察し、産業技術と経済成長の関係を考察してきた。

第2節において製品、生産、量産技術が生産活動において果たす役割を分析した。製品技術が潜在需要を創出するという意味において経済成長の最も基本的な源泉である。製品技術による無形のアイデアまたは試作段階の財が潜在需要を持っていれば、産業は生産技術を前提に設備投資を実行、物理的供給能力を実現する。生産された財が需要主体の要求する条件を満足すれば潜在需要は有効需要に転化し成長が可能になる。また、既存の生産技術による投入要素の限界生産性が極端に低い場合、量産技術によって数量面の制約を打破し、製造コスト下落効果を通じて産業の存立基盤を与える役目を果たす。産業は量産技術を前提に規模拡大投資が可能となり、数量的拡大による成長が可能になる。

第3節から第5節において上述3技術の範疇を前提に鉄鋼業、自動車産業、造船業、電気・電子産業、化学産業を考察し、各産業において成長要因として最も基本的な役割を果たしてきた技術を分析した。各産業が基本とする産業技術は第8-1表のように整理されよう。

第8-1表：基本産業技術一覧

産業分類	産業名	製品技術	生産技術	量産技術
F31	鉄鋼業	圧延製品高付加価値技術	製鋼・製錬・圧延技術	高炉・LD転炉
F33	自動車産業	車体・部品開発設計技術	鋳造・鍛造等機械加工技術	フォード式流れ作業
F33	造船業	船体・舶用部品設計技術	鋼板切断・溶接技術	ブロック建造法
F32	電子産業	集積回路設計開発技術	フォトエッチング等	プレーナ技術
F33	電気産業	原理応用・回路開発技術	フォード式流れ作業	集積回路
F51-53	化学産業	新合成物質開発技術	プラント設計開発技術	触媒技術

表に従い、個々の産業における基本成長要因および日本の成長パターンを簡潔にまとめれば次のようになる。

- ・鉄鋼業などの基礎素材系産業では粗鋼等の量産技術が基本成長要因となる。
- ・自動車および造船業などの高度な加工組立を必要とする機械系産業ではフォード式の流れ作業、部品の規格化、機械生産技術の3要素が大量生産を可能にする。
- ・自動車産業では鋳造、鍛造、溶接、プレス、切削加工、塗装、熱処理、組立の基本8生産技術の革新が生産性上昇要因となり、製品技術の進展と併せて成長要因となる。
- ・造船業の量産技術はブロック建造法と溶接技術であるが、両技術はタンカー等の製品技術の革新を促し、成長要因となった。
- ・電子産業では不純物拡散法およびプレーナ技術等を基本に集積回路の量産が可能になったが、集積回路の出現は電気産業における回路の量産技術としての役割を果たし、生産性上昇を通じて成長要因となる。

- ・化学系産業の最も基本的な成長要因はまったく新しい物質の開発にある。製品の量産は安価かつ反応効率の高い触媒の発見に依存する。以上を前提にプラント設計・開発技術により大量生産が実現される。
- ・日本の産業は最も基本となる製品、生産および量産技術を独創的に生み出してきた実績はほとんどない。しかし、3技術の導入から始め、生産技術の進化による供給能力の高度化、製品の高付加価値化による製品競争力の増大により成長を実現させる能力を有する。

第6節では省エネルギー技術はもちろんのこと、公害防止技術のように内生的な開発インセンティブが存在せず法的規制処置、助成金等の政策手段や国立の研究機関のバックアップが必要な技術も最終的には産業自身が確立することを見た。産業は成長の直接要因となる製品、生産技術はもとより要素価格の相対変動等の外生的環境変化に対しても技術によって対応する。

第7節では産業技術と経済成長の関係について考察した。成長の段階と3技術の関係は以下のようにまとめられる。

1. 産業が成長を始めるためには量産技術の革新が必要である。量産技術の革新が産業の存立基盤を与える。
2. 成長初期から中期にかけて量産技術を前提に設備投資による規模の拡大および生産技術による生産能力の向上がなされる。その結果、量的拡大を中心とした高度成長が生じ、同時進行的に製品技術の革新が生じる。
3. 量的拡大により市場が飽和すると産業は製品技術の革新により財の高付加価値化を通じて新たな需要を創出し、成長は質的成長（安定成長）へと転化する。技術の枯渇により新たな需要創出が出来ない、或いは需要構造の変化、先行きの期待の変化等による需要のシフト、衰退が生じれば産業の成長は現状維持または衰退の局面に入る。

経済成長との関係で産業技術を見た場合、量産 → 生産 → 製品技術の順番で技術開発の重点が移って行くことが分かるであろう。産業技術と経済成長の間にこのような対応関係が生じる理由は、産業が成長の各段階において直面する問題を技術によって解決することに他ならない。

第7節までの分析を通じ、産業技術が産業にとって成長を達成するための手段であり、それゆえに産業は内生的かつ積極的に技術革新を実行することが明らかになったと思われる。産業は価格機構の中で価格を所与として生産水準を決定する受動的な性質を持っていない。製品技術により潜在需要を創出することで需要主体に積極的に働きかけて行く一方、生産技術により物理的な供給能力を実現することを通じ成長を実現させようとする。一国の経済体系内部において発明や発見がなされればその結果を基礎に産業技術を確立するか、あるいは（日本において顕著に観察されるとおり）技術導入を通じて内生化し生産過程に転化することを通じて需要を喚起し、生産水準を上昇させ成長を達成しようとする。産業は技術が成長の源泉であることを熟知しているからこそ内生的に技術革新を遂行するのである。結論として産業は産業技術を駆使することにより成長を自ら達成させるきわめて能動的な経済主体であり、産業技術が成長の最も基本的な要因となっていると言える。⁶²

以上、本論文でなされたことは現実の産業において生じた技術革新を收拾し、産業技術の3つの範疇として製品、生産、量産技術をあげ経済成長との関係を論じたにとどまる。したがって、本来ならば本文中で言及した技術の性質および技術の経済効果に関する洞察を押し進め、一定の経済理論の形式まで純化させる作業が必要であろう。そのような過程を経た上でその他のマクロおよびミクロの諸変数との関係を分析して行くことが今後望まれる。

⁶² 産業技術は成長を実現するための必要ではあるが十分条件ではない。技術の他に資金および産業の問題解決に対する取り組みの姿勢、つまり「やる気」といったメンタルな要素が不可欠であろう。したがって、技術、資本、産業のメンタルな要素の3つを経済成長のための3要素として位置づけることが出来るかもしれない。

参考文献

- [1] Ford,H.(1926), *Today and Tomorrow*, Dell publishing Group. 竹村健一訳「ヘンリー・フォード自伝：夢のハンドル」祥伝社、平成 3 年
- [2] Griliches,Zvi.(1979), "Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth," *Bell Journal of Economics.*, vol.10.
- [3] Griliches,Zvi.(1980), "R&D and Productivity Slowdown," *American Economic Review.*, vol.70.
- [4] Romer,P.M.(1990), "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy.*, vol.98.
- [5] Solow,R.M.(1957), "Technological Change and the aggregate Production", *Review of Economics and Statistics.*, vol.39.
- [6] Lynn,L.H.(1982), *How Japan Innovates:A Comparison with the U.S. in the Case of Oxygen Steelmaking*, Westview Press. 遠田雄志訳「イノベーションの本質：鉄鋼技術導入プロセスの日米比較」東洋経済新報社、昭和 61 年
- [7] Williams,T.I.(1978), *A History of Technology*, Oxford University Press. 坂本賢三訳「技術の歴史 第 13 卷：20 世紀 その 3」筑摩書房、昭和 60 年
- [8] 相田洋「電子立国 日本の自叙伝(上)(中)」日本放送出版協会、平成 3 年
- [9] アグネ編「金属を知る辞典」アグネ社、平成元年
- [10] 飯田賢一・後藤左吉編「日本の技術 100 年：製鉄・金属(第 2 卷)」筑摩書房(全 7 卷)、昭和 62 年
- [11] 伊丹敬之・伊丹研究室編「日本の化学産業－なぜ世界に立ち遅れたのか」NTT 出版、平成 3 年
- [12] 市川弘勝「日本鉄鋼業の再編成」新評論社、昭和 49 年
- [13] 井本稔「ナイロンの発見」東京化学同人、昭和 46 年
- [14] 上野喜一郎「基本造船学」成山堂書店、昭和 58 年
- [15] 内田星美編「技術の社会史 5：工業社会への変貌と技術」有斐閣、平成 2 年
- [16] 大和田久重雄「鋼のお話」日本規格協会、平成 2 年
- [17] 長船廣衛「半導体の歩み」日本電気文化センター、昭和 62 年
- [18] 尾崎翠「触媒機能」共立出版、平成 2 年
- [19] 小澤勝之「デュポン経営史」日本評論社、昭和 61 年
- [20] 大西孝治「触媒－その秘密を探る」大日本図書、昭和 62 年
- [21] 技術導入調査委員会編「技術導入の現状と今後の問題」産業科学会、昭和 38 年
- [22] 小林功・滝本浩「電子工業」有斐閣、昭和 34 年
- [23] 佐久間武・小野純朗「日本の技術 100 年：造船・鉄道(第 3 卷)」筑摩書房(全 7 卷)、昭和 62 年
- [24] 下川義男「日本鉄鋼技術史」アグネ技術センター、平成元年
- [25] 重化学工業通信社編「外国技術導入要覧」重化学工業通信社、昭和 44 年
- [26] 城坂俊吉「エレクトロニクスを中心とした科学技術史」日刊工業新聞社、平成 2 年
- [27] 中小企業事業団・中小企業大学校編「技術動向分析－電子機械分野－」中小企業研究所、昭和 63 年
- [28] 通産資料調査会編「新世代の鉄鋼業に向けて」通産資料調査会、昭和 62 年
- [29] 通商産業省工業技術院編「産業公害防止技術(昭和 60 年度版)」日本産業技術振興会、昭和 62 年
- [30] 鉄鋼俱乐部編「鉄鋼の実際知識(第 5 版)」東洋経済新報社、昭和 61 年
- [31] 手塚敬三「溶接のお話」日本規格協会、平成元年
- [32] トヨタ自動車工業株式会社編 a 「トヨタ自動車 30 年史」トヨタ自動車工業株式会社、昭和 42 年
- [33] トヨタ自動車工業株式会社編 b 「創造限りなく：トヨタ自動車 50 年史(資料編)」トヨタ自動車工業株式会社、昭和 62 年
- [34] 中川靖造「日本の半導体開発」ダイヤモンド社、昭和 56 年
- [35] 中口博・井口雅一編「日本の技術 100 年：機械・エレクトロニクス(第 7 卷)」筑摩書房(全 7 卷)、昭和 62 年
- [36] 中沢護人 a 「鋼の時代」岩波新書、昭和 63 年
- [37] 中沢護人 b 「ヨーロッパ鋼の世纪－近代溶鋼技術の誕生と発展」東洋経済新報社、昭和 62 年

- [38] 中島隆信「生産性上昇要因の分析—最近の研究のサーベイー」通商産業省通商産業研究所、*Discussion Paper Series #90-DOJ-19*、平成 2 年
- [39] 日本化学工業協会編「日本の化学工業戦後 30 年の歩み」日本化学工業協会、昭和 54 年
- [40] 日本科学史学会編「日本科学技術史大系（第 18 卷）」第一法規出版、昭和 41 年
- [41] 日本機械工業連合会編「戦後機械工業発達史」日本機械工業連合会、昭和 57 年
- [42] 日本金属学会編「講座・現代の金属学（精錬編 1）－鉄鋼精錬」日本金属学会、昭和 60 年
- [43] 日本経済新聞社編「昭和の歩み 2・日本の産業」日本経済新聞社、昭和 63 年
- [44] 日本自動車工業会編「日本自動車産業史」日本自動車工業会、昭和 63 年
- [45] 日本鉄鋼連盟編「鉄ができるまで」日本鉄鋼連盟、昭和 59 年
- [46] 平田寛一編「歴史を動かした発明」岩波書店、昭和 58 年
- [47] 堀川運平・謝敷宗登「造船」有斐閣、昭和 35 年
- [48] 三谷一雄「鉄鋼界：ザ・マンネスマンーその苦闘の軌跡（上）（下）」日本鉄鋼連盟、昭和 60 年、1、2 月号
- [49] 山崎俊雄編「技術の社会史 6：技術革新と現代社会」有斐閣、平成 2 年
- [50] 吉田文二「船の一生」講談社、平成 3 年
- [51] 若山芳三郎・鈴木清「電気と電子の理論」啓学出版、昭和 60 年

ABSTRACT

U.S. and European industries created new innovative technology until the end of the World War II. These technology created a vast difference in ability to supply compared with Japan. Japanese industry tried to cover the gap by introducing new technology intensively from abroad in the post-war period. This formed the basis for a productive system which led to Japan's very high economic growth. These examples show that industry itself develops technology, new technology increases productive power, and ultimately promotes economic growth. Technology, however, has been treated as an external variable in economics. The purpose of this paper is to analyze the relationship between technology and economic growth. We classify industrial technology into three categories; process, productive and mass productive technology. Process innovation creates potential demand, and productive innovation transforms this into effective demand. Then we analyze the steel, automobile, shipbuilding, electronics and semiconductor and chemical industry according to these three categories. We show that the most important element for growth in each industry is as follows.

- In steel industry, the growth element is mass productive innovation of steel.
- In assembly industries, automobile, shipbuilding and electronics industry, machinery manufacture innovation causes to increase productivity.
- Semiconductors are mass productive technology in electronics industry, while semiconductors can be mass produced by plena technique.
- The growth of chemical industry depends on the development of the new material through R&D. Discovering cheap and efficient catalyst is important as process innovation.
- Industries of Japan have contributed to find new technology very little, however they have ability to develop introduced technology to realize economic growth.

we find the following relationship between the level of economic growth and industrial technology.

1. For taking off, industry musts create mass productive innovation in order to found ability to supply.
2. In the middle stage, investing to introduce new mass productive innovation into facilities and lead to economic growth by quantitative expansion.
3. As the market matures, productive innovation creates more high qualitative goods and gives birth to new markets or new demand.

Finally, we conclude that product innovation creates demand and process innovation increases ability to supply; industrial technology is the substantial element of economic growth.