

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 266

支配的技術の変遷におけるコミュニティの影響
—板ガラス成形技術の事例研究—

東京大学大学院経済学研究科
大神正道

2009年6月



東京大学ものづくり経営研究センター

Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

Exploring the Community-Driven Dominant technology:
The case of dominant glass forming technology

Masamichi OGAMI

Abstract

This paper examines that the model of co-evolution of community and technology presented by M. L. Tushman and L. Rosenkopf (1992). They insist that the greater the number of interface and interdependence demands, the greater the number of dimensions of merit that must be adjudicated. On the other hand social logic is least important for non-assembled product which has no separable components. In this paper we focus on sheet glass which is non-assembled product. Sheet glass has improved by development of production process, particularly glass forming technology. This paper explores the community-driven technological selection and presents some non-technological explanations in technological substitution process.

Keywords

community, dominant technology, glass forming technology, substitution process

支配的技術の変遷におけるコミュニティの影響 —板ガラス成形技術の事例研究—

大神正道

東京大学大学院経済学研究科

E-mail: ogamix9@ybb.ne.jp

要約：本稿は、M. L. Tushman and L. Rosenkopf (1992) が提示したコミュニティと技術進化に関するモデルを板ガラス成形技術を題材に検討する。板ガラスは製品の複雑性が低く、その製造工程である成形技術の発展によって進化してきた。支配的な板ガラス成形技術の変遷を検討することでコミュニティによる社会政治的ダイナミクスの中身を明らかにし、いくつかの非技術的な説明論理を提示する。

キーワード：支配的技術、技術代替、板ガラス成形技術

1. はじめに

技術進化はどのようにして生じるのであろうか。技術の論理、顧客の論理あるいは顧客との相互作用、社会認知の力 (socio-cognitive forces)、そして、アクター間の社会政治的ダイナミクスなどが影響を及ぼすとこれまで指摘されてきた (Rosenberg, 1969; Sahal, 1981; Foster, 1987; Garud and Rappa, 1994; Tushman and Rosenkopf, 1992; Rosenkopf and Tushman, 1994; Tripsas, 2008)。このうち Tushman と Rosenkopf は、特に製品の複雑性が高いときには、技術発展の利害関係者の集団である「コミュニティ」の社会政治的ダイナミクスによって技術進化が生じると主張し、技術とコミュニティの関係に関するモデルを提示した (Tushman and Rosenkopf, 1992)。さらに、最も複雑な製品の一つである無線技術に焦点を当て、20 世紀はじめにおける組織の社会政治的ダイナミクスの影響を研究した (Rosenkopf and Tushman, 1994)。

Tushman と Rosenkopf の主な主張は、製品の複雑性が高いときには、コミュニティによる社会政治的ダイナミクスの影響が大きくなるというものである。つまり、製品の複雑性が低いときには、コミュニティによる社会政治的ダイナミクスの影響は小さくなる、ということであるが、Lynn (1982) の研究を思い起こすだけでも、製品の複雑性が低い場合、本当に、コミュニティによる社会政治的ダイナミクスの影響が小さいだろうか、という疑問が生じる。そこで本稿では、あえて対極の最も複雑性の低い製品、つまりコミュニティの社会政治的ダイナミクスの影響が最も小さい例のひとつとして Tushman と Rosenkopf も取り上げた板ガラスを再度検討する。

そもそも Tushman と Rosenkopf が描いた支配的な板ガラス成形技術の進化は十分ではない。彼らは支配的な板ガラス成形技術の変遷をラバース式機械吹円筒法からフロート法という経路をたどったと見なしているが、実は、その間に自動平板引上法とロールアウト成形法という支配的な技術が存在していたのである。そこで、支配的な板ガラス成形技術の変遷を Tushman と Rosenkopf が見落としていた自動平板引上法とロールアウト成形法を含めて検討すると、技術の変遷を説明するためには、技術的側面だけでなく、技術と顧客との相互作用、ライセンス・コミュニティのあり方、技術開発陣の板ガラス成形技術に対する認識あるいは期待といった側面からの説明が必要になることが明らかになる。

以下では、技術進化に関する既存研究と問題意識を提示した後、支配的な板ガラス成形技術の変遷を記述する。現在の支配的な板ガラス成形技術はフロート法であるが、そのフロート法の台頭以前にはどのような変遷があったか、記述する。具体的には、ラバース式機械吹円筒法を駆逐した自動平板引上法、ロールアウト成形法である。その後、フロート法が台頭、進化することで既存技術とどのように競合するかに関して記述する。最後に、支配的な板ガラス成形技術の変遷をどこまで技術的側面で説明でき、その他の説明論理としてどのようなものが提示できるか、ディスカッションを行う。

2. 既存研究と問題意識

技術進化はどのようにして生じるのであろうか。既存研究は、技術のもっている内的な論理 (Rosenberg, 1969) や物理法則 (Sahal, 1981; Foster, 1987)、顧客の論理あるいは顧客との相互作用 (Clark, 1985; von Hippel, 1988; Tripsas, 2008)、社会認知の力 (socio-cognitive forces) (Garud and Rappa, 1994)、そして、アクター間の社会政治的

ダイナミクスなどが影響を及ぼすと指摘している。このうちアクター間の社会政治的ダイナミクスに着目する Tushman と Rosenkopf は、特に技術の複雑性が高いときには、技術発展の利害関係者の集団である「コミュニティ」によって技術的進化が生じると主張し、技術とコミュニティの関係に関するモデルを提示した (Tushman and Rosenkopf, 1992)。さらに、最も複雑な製品のひとつである 20 世紀はじめにおける無線技術の進化に焦点を当て、コミュニティによる社会政治的なダイナミクスがドミナント・デザインの誕生に影響することを明らかにし、ドミナント・デザインが決定される以前のコミュニティは無秩序状態で、以後はコミュニティが規則的になるということ論じている (Rosenkopf and Tushman, 1994)。

なぜ、技術進化はコミュニティの社会政治的プロセスの影響を受けるのか。Tushman と Rosenkopf は、その理由を技術の本質に求める。つまり、技術とは、特定の文脈における問題を解決するために開発されるもので、特定のアクターの要求に大きな影響を受ける。さらに、技術の評価軸は多岐にわたり、どれを最も優先すべきか、技術の内的な論理だけで解決できない場合が多い。そのような本質をもつ技術進化には、技術発展の利害関係者である製造企業そしてサプライヤー、顧客、政府、標準化団体、専門家集団によって構成される「コミュニティ」におけるコミュニティの社会政治的なダイナミクスが必要となる (Tushman and Rosenkopf, 1992; Rosenkopf and Tushman, 1994)。

また、Tushman and Rosenkopf (1992) は Anderson and Tushman (1990) の技術サイクルの概念を用いることで、どのようなときにコミュニティの社会政治的ダイナミクスが機能するか論じている。まず、技術サイクルとは、技術が「技術的不連続性 (technological discontinuity) →不安定期 (era of ferment) →ドミナント・デザイン (dominant design) →安定期 (era of incremental change) →技術的不連続性→不安定期…」のサイクルを巡るといって技術変化に関するモデルである。このモデルは、技術変化が技術の不連続性という変異、ドミナント・デザインという淘汰、そして安定期という保持の社会文化的プロセスという性質を持っていることを示している。Tushman と Rosenkopf は、この技術サイクルの中で、ドミナント・デザインが決定されるまでの不安定期において、コミュニティの社会政治的ダイナミクスの影響が大きいと主張する。不安定期は何が評価されるかという評価軸 (dimensions of merit) が不透明で、取り組むべき問題が設定されていない時期なので、製品バリエーションが多く、不確実性が高い。そのような時期こそコミュニティ内での駆け引きが評価軸や取り組むべき課題を設定する。逆に、ドミナント・デザイン決定後の安定期には、何が問題なの

か、自明なのでコミュニティ内での駆け引きはほとんど必要なくなる。つまり、コミュニティの社会政治的ダイナミクスの影響は小さくなる。

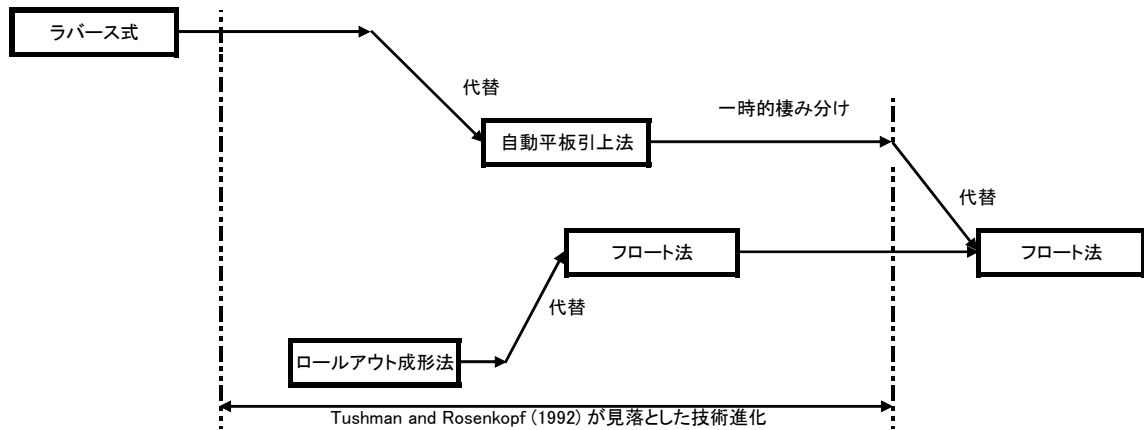
さらに、Tushman and Rosenkopf (1992) は、製品の複雑性とコミュニティにおける社会政治的ダイナミクスの関係を検討している。製品の複雑性は①コンポーネントに分解不可能な非組立製品、②サブシステムからなる単純組立製品、③相互作用を持つサブシステムからなるクロードシステム、④インターフェイス技術を通じてまとまるサブシステムや単純組立製品から構成されるオープンシステムの4つに分けられ、①から④の順で複雑性が高くなると捉えられた。そして、製品の複雑性が高ければ高いほど、コミュニティにおける社会政治的ダイナミクスが技術的進歩に影響すると主張する。非組立製品と単純組立製品は、コストパフォーマンスのように評価軸が単純で測定しやすいので、コミュニティ内で社会政治的な駆け引きを行う隙間は小さく、クロードシステムやオープンシステムのように相互作用を伴うサブシステムによって構成される製品は、利害関係者も評価軸も多様であるため、社会政治的な駆け引きの重要性が大きくなる。また、技術サイクルのモデルに当てはめてみても、安定期、不安定期ともに複雑性の高い製品の方が、社会政治的ダイナミクスの影響が大きくなるのである。

果たして Tushman and Rosenkopf (1992) が主張するように、製品の複雑性が低いと、コミュニティにおける社会政治的ダイナミクスの影響は小さくなるのであろうか。製品の複雑性が低い製品のひとつとして鉄鋼を挙げていたが、Lynn (1982) の BOF (純酸素上吹き転炉) 法の導入プロセスの事例に関する研究を思い起こすだけでも、コミュニティの社会政治的ダイナミクスが小さいとは言えないかもしれない。BOF 法は鉄鋼メーカー、設備供給者、商社、政府、業界団体と刊行物、労働組合の相互作用によって支配的技術となった。

そこで本稿は、Tushman and Rosenkopf (1992) が製品の複雑性が最も低い、鉄鋼以外の例として挙げている板ガラスに対する社会政治的ダイナミクスの大きさを検討する。板ガラスはその製造工程である板ガラス成形技術の発展によって進化してきたが、彼らが見ていた板ガラス成形技術の進化はラバース式からフロート法へというものであった。しかし、実際には、ラバース式は自動平板引上法に駆逐され、フロート法はロールアウト成形法だけでなく、自動平板引上法も駆逐した。つまり、支配的な板ガラス成形技術の変遷は「ラバース式→ロールアウト成形法・自動平板引上法→フロート法」という経路を辿ったのである。本稿は、図 1 に示すように、Tushman and Rosenkopf が見落としていた板ガラス成形技術の変遷を検討することで、コミュニテ

イによる社会政治的ダイナミクスがどのようなものであったか検討する。

図1 本稿が検討する板ガラス成形技術



3. 支配的な板ガラス成形技術の変遷¹

本節は、板ガラスの大量生産方式が誕生した1900年初頭から1980年代はじめまでに登場した板ガラス成形技術の変遷に関して記述する。板ガラスの製品といってもさまざまなあるので、本稿はどの板ガラス製品の成形技術に焦点を当てるか明示し、いくつかの板ガラス成形技術を概説する。本稿で紹介する板ガラス成形技術は、円筒法、自動平板引上法、ロールアウト成形法、フロート法の大きく4つに分けられる。現在においても支配的技術であるフロート法が台頭するまでを、フロート法台頭以前とフロート法台頭以後に分けて描く。

3.1. 板ガラスとは何か

板ガラス製品は、ガラス製品のなかでは最も一般的なものであるが、その加工品まで含めるとさまざまな種類がある（作花，境野，高橋，1975）。板ガラス製品は原料調合→溶解→清澄→成形→徐冷→研削・研磨→製品という製造プロセス²を経て作られる一次製品とその一次製品を強化あるいは表面処理、組立などの加工処理を施すこと

¹ 各種資料、檜山健二郎氏（元・旭硝子取締役。鹿島工場長、取締役硝子・建材事業本部長硝子事業部長を歴任）への2004年12月17日インタビューや山口和男氏（元・株式会社旭硝子総研社長附）とのメールでのやりとりをベースにしている。

² 普通板ガラス、フロート法は研削・研磨を必要としない。

によって作られる二次製品に大別される。本研究は、一次製品で板ガラス生産高の大半を占める一般板ガラスとその成形技術に焦点を当てる。その一般板ガラスには普通板ガラス、型板ガラス、磨き板ガラス、フロートガラスの四つがある³。

3.2. 板ガラス大量生産方式の誕生：ラバース式機械吹円筒法

板ガラスの大量生産方式は、1900年代初頭にアメリカ人のラバースとアメリカン・ウィンドウ・グラス（American Window Glass Co.）が完成させたラバース式機械吹円筒法（以下、ラバース式）の誕生にはじまったとされる（森, 2007）。

この方式は、図2に示すように、まず原料調合を行い、溶解・清澄⁴した後、機械で圧搾空気を吹き込みながら引き上げることで円筒状のガラスを作る。その円筒状のガラスの長手方向と短手方向の両端を切断し、縦に割り、再加熱することで板状のガラスが作られる。

ラバース式は人が吹くことで円筒状のガラスを作っていた手吹円筒法⁵よりも作業員の負担を減らし、より大きな円筒を作ることができた。ラバース式は大量生産に寄与したが、一度円筒状を作る必要があるため能率が悪く品質も良くなかった。したがって、後述する円筒状のガラスを作る工程を必要としない自動平板引上法の誕生と普及によって駆逐されることになる。たとえば、日本では旭硝子株式会社（以下、旭硝子）が1914年に牧山工場（現・北九州工場）にこの方式を導入し創成期の基盤を作ることになったが、自動平板引上法の導入によって1933年に生産が終了している。

ラバース式の特許権所有者はエンパイア・マシン社（Empire Machine Co.）である。ラバース式は、アメリカ、フランス、ドイツ、イタリア、ロシアなどにライセンス供与された（図3）。

³ 現在、普通板ガラスと磨き板ガラスはフロートガラスによって駆逐されてしまったため、一部の発展途上国を除いて存在しない。本研究は普通板ガラス、磨き板ガラスが駆逐される以前の1900年代初頭から1981年までを対象期間としているので、本文のような板ガラスの製品分類を用いる。

⁴ 原料を溶解する際に気泡が発生する。気泡は製品品質に影響するので、気泡を取り除く必要がある。高温状態を維持することで原料を溶かす際に生じる気泡を放出し、さらに温度を下げることで溶けたガラスに吸収させることを清澄という。

⁵ 手吹円筒法とは、直径3センチ、長さ1.5メートルの鉄管の吹棹に、ガラス素地を巻きつけ、空中で左右に振りながら、長さ1.5メートル、直径30センチの円筒を吹成するものである。その重量は吹棹と合わせて15キロにも達した。しかも高熱の窯のそばで、息の続く限り吹き込むので相当な重労働であった。旭硝子は屈強な作業員を選び、厳密な交代制度を実施することで手吹円筒法による板ガラス製造を実現している。

図2 製造工程の進化

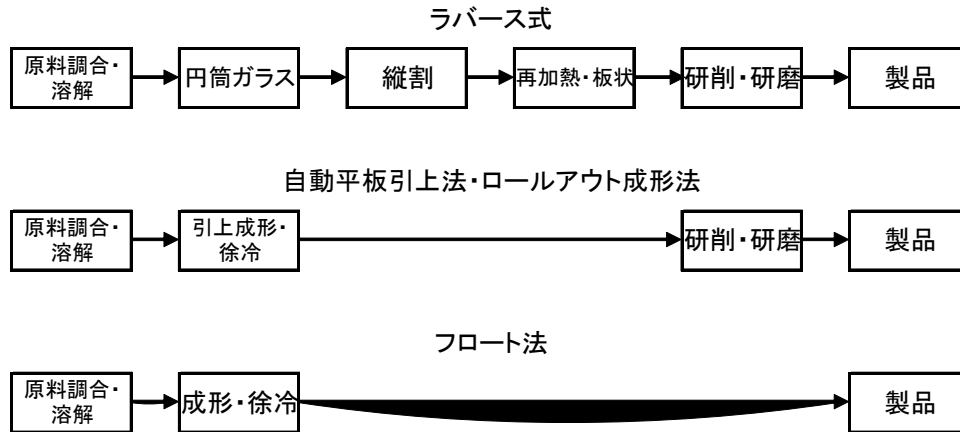
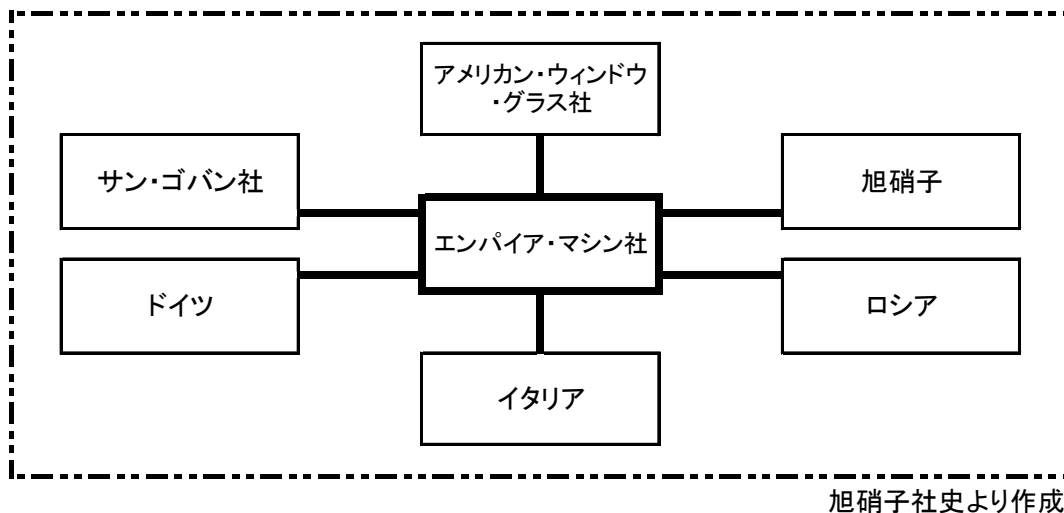


図3 ラバーズ式のライセンスング・コミュニティ



旭硝子社史より作成

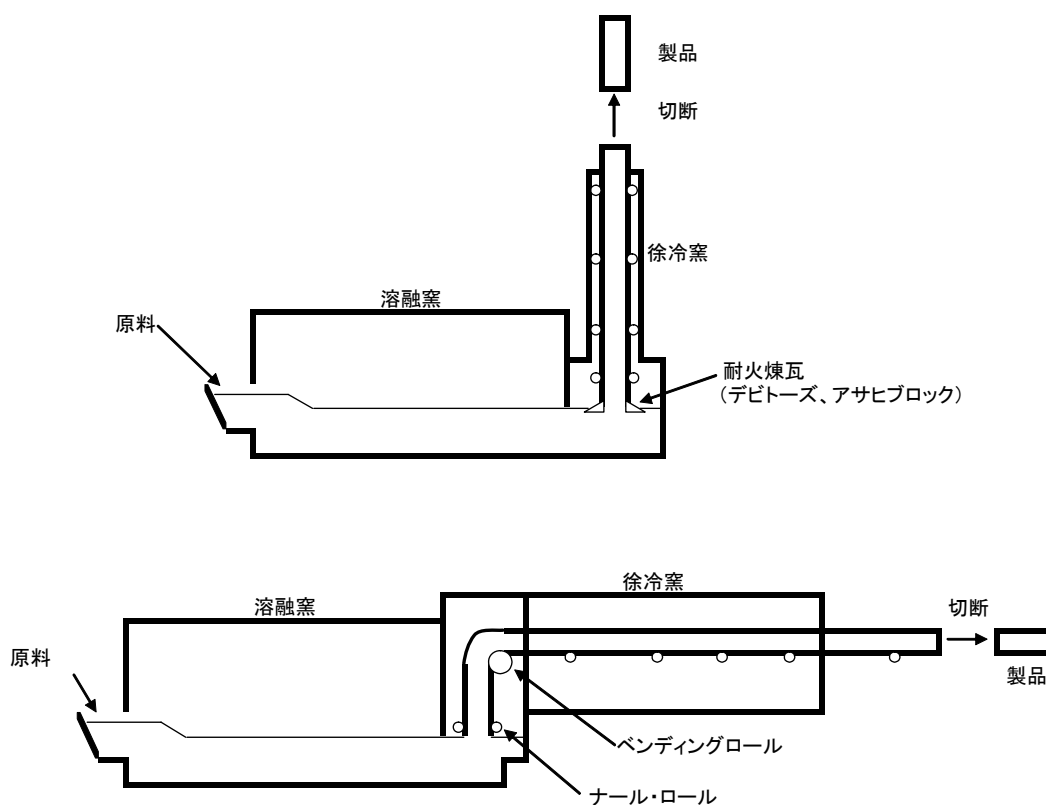
3.3. 自動平板引上法

自動平板引上法とは、溶融窯からガラスを直接引き上げることで連続的に板ガラスを成形する方法である。図2に示すように、原料を調合し、溶解・清澄した後、溶融窯からガラスを直接、連続的に引き上げながら板状のガラスを成形・徐冷する。最後に切断され製品となる。ラバーズ式では一旦円筒状のガラスを作る必要があったが、自動平板引上法にはそれが不要な。つまり、職人の数を半減でき、燃料も節約できる。自動平板引上法の誕生当初は、溶融窯から品質のよい板ガラスを引き上げること

ができなかったが、試行錯誤の結果、製法が確立されるとラバース式を駆逐することになった。

自動平板引上法はさまざまなアプローチで開発された。大別すると、溶融窯から鉛直に引き上げる「垂直式」と、はじめは鉛直に引き上げるが途中で水平方向に曲げて徐冷する「水平式」の二つになる（図4）。さらに、垂直式は1971年までに3つの方法が生まれた。以下では、それぞれの技術が①いつ開発され、②具体的にはどのような成形技術で、③1981年までにどれだけの厚みと板幅を成形できるようになったか、④どの程度ライセンス供与が行われたか、について概説する。

図3 垂直式（上図）と水平式（下図）の自動平板引上法



3.3.1. フルコール式平板引上法

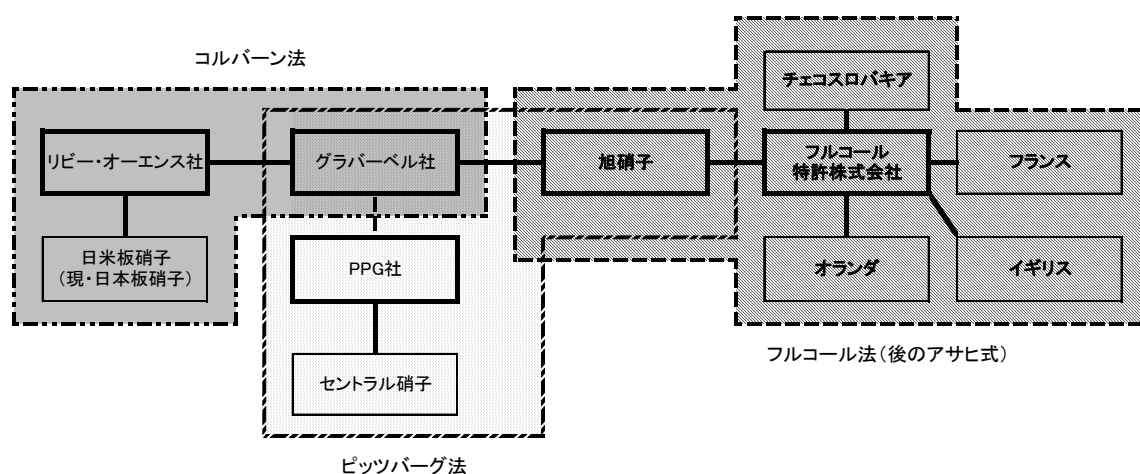
最初に確立された自動平板引上法は垂直式のフルコール式平板引上法（以下、フルコール法）である。この成形法は、1901年にベルギー人のフルコールによって発明され、1910年代に確立された。

フルコール法は、溶融窯の中にデビトーズ（debiteuse）とよばれる耐火物を沈め、その耐火物の切り込みから盛り上がってくるガラスを垂直に引き上げることで板ガラスを成形する。ガラスリボンとよばれる成形過程のガラスはローラーで引き上げられながら、両面から水冷器で冷却され、引き上げ塔を上がり、切断され、製品になる。

フルコール法で成形できる厚みは 1-8 ミリ、幅 1.5-2.5 メートル程度である。ローラーの引き上げ速度の増減で厚みの変更が行われる。耐火物であるデビトーズの切り込みから引き上げることで均一な厚み分布を持つ板ガラスを成形でき、2 ミリ以下の板ガラス生産に適していた。また、ひとつの溶融窯に 3-11 機という多数の引き上げ機が設置でき、需要に応じた厚みや面積の製品を同時に生産できる特徴がある。フルコール法の引上機 1 台あたりの生産性は約 30 トン／日で、一窯あたり生産性は最大約 330 トン／日である。

フルコール法の特許権はフルコール特許株式会社が管理し、イギリス、フランス、オランダ、チェコスロバキア、ギリシャ、日本など、世界各国の企業と実施許諾契約が結ばれた。日本企業では旭硝子が 1920 年 8 月に特許実施権の契約に調印し、1928 年にフルコール法の工場を建設、稼働させている⁶。1924 年までに全世界のフルコール法は 15 社 18 槽窯 140 機に達し、自動平板引上法の中では最も普及した方式となった（図 5）。

図 5 自動平板引上法のライセンシング・コミュニティ



⁶ 1931 年には製造原価をラバース式よりも 2 割以上低減させることに成功している。

3.3.2 コルバーン式引上法

水平式の自動平板引上法であるコルバーン式平板法（以下、コルバーン法）はアメリカ人のコルバーンによって発明され、1916年にリビーオーエンス社（Libbey Owens Sheet Glass Co.）で完成した。

コルバーン法では、熔融窯の自由表面から一対の水冷ロールで熔融ガラスを引き上げる。ガラス面から垂直に数十センチ引き上げられたところで、ガスバーナーで加熱され、水平方向に曲げられる。その後、ロールで徐冷窯に送られ製品になる。

コルバーン法で成形可能な板ガラスの厚みは1-8ミリ、幅2.5-4メートルである。また、ひとつの窯に引上機を1-3機設置することが可能である。コルバーン法の引上機1台あたりの生産性は約100トン/日で、一窯あたり生産性は最大約300トン/日である。

フルコール法ほどではないが、複数の会社がライセンス供与を受けている（図5）。日本では日米板硝子（現・日本板硝子：以下、日本板硝子）が1918年にコルバーン法を導入し、1920年から生産を開始した。旭硝子がフルコール法で生産開始したのは1928年であるので、日本板硝子が日本で最初に自動平板引上法を用いて板ガラスを製造した会社となる。

3.3.3. ピッツバーグ法

1925年にアメリカのピッツバーグ・プレート・グラス社（以下、PPG社）が垂直式自動平板引上法であるピッツバーグ式平板引上法（以下、ピッツバーグ法）を開発した。

フルコール法と同様の垂直式ではあるが、熔融窯の中にデビトーズではなく、ドローバー（draw bar）とよばれる耐火物を沈める。つまり、耐火物の切り込みから引き上げるのではなく、耐火物の直上の自由表面からガラスを引き上げる成形法である。

ピッツバーグ法で成形可能な板ガラスの厚みは3-8ミリ、幅2-3.2メートルである。フルコール法とは対照的に3ミリ以上の中厚板の生産に適している。また、ひとつの窯に設置可能な引上機の数に2-9機程度である。ピッツバーグ法の引上機1台あたりの生産性は約40トン/日で、一窯あたりの生産性は最大約360トン/日である。

ピッツバーグ法は、PPG社による発明以来、導入企業各社によって独自の発展を遂げた（図4）。日本企業では旭硝子とセントラル硝子が導入している。旭硝子は1930

年にPPG社から特許実施権を取得しているが、日中戦争の影響で生産制限を受け1938年に火止めとなった。その後1966年に再びピッツバーグ法を導入したが、そのときはベルギーのグラバーベル社からである。セントラル硝子はPPG社より導入し、1966年に生産を開始している⁷。

3.3.4 アサヒ式

1971年に旭硝子がフルコール法よりも品質と生産性を上昇させたアサヒ式平板引上法（以下、アサヒ式）を開発した。

フルコール法の問題は耐火物の切り込みからガラスを引き上げることに由来するものであったが、旭硝子が「アサヒブロック (Asahi Block)」とよばれる回転体の耐火物を開発することで問題を根本から解決し、生産性を大幅に向上させた。

アサヒ式で成形可能な板ガラスの厚みは0.55–8ミリ、幅1.5–2.5メートルである。また、ひとつの窯に設置可能な引上機数はフルコール法と同数である。

開発当初、世界の板ガラスメーカーはフロート法を徐々に採用する方向にあったが、フルコール法を採用しているメーカーにとって安価な設備投資で品質および生産性を格段に向上させるメリットは大きかった⁸。結果、世界の17カ国に技術輸出された。

3.3.5. 自動平板引上法における技術間競争⁹

自動平板引上法は既存技術であるラバース式を駆逐した。しかし、上述したそれぞれの自動平板引上法（フルコール法、コルバーン法、ピッツバーグ法、アサヒ式）には大差がなく、特定の技術が支配的なるということとはなかった。

垂直式自動平板引上法であるフルコール法とピッツバーグ法を比べるとそれぞれ一長一短があった。まず成形可能な厚さでみると、フルコール法は薄板である2ミリ以下を、ピッツバーグ法は厚板である3ミリ以上を得意としていた。

次に、品質の面でみると、フルコール法には耐火物の切り込みから引き上げるこ

⁷ 1960年代、ビルの高層化などを背景に3ミリ以上の厚板需要が高まった。旭硝子とセントラル硝子はそのような需要に対応するために厚板生産に適したピッツバーグ法を導入したと推測される。

⁸ フルコール法の生産を続けながら引上機を1機ずつ短時間で転換することができた（一之瀬・安芸, 1981）。

⁹ アサヒ式に関する記述は主に一之瀬・安芸（1981）、大関（1981）、森（2007）を参照している。

に由来する問題を抱えていた。具体的には熔融ガラスと耐火物が接する縁の部分に「失透」とよばれる結晶化したガラスが発生し、それが成長すると製品品質を劣化させていたのである。対するピッツバーグ法は耐火物を沈めた直上の自由表面から引き上げるのでフルコール法のような問題は生じなかった。しかし、耐火物の切り込みから引き上げないので、板ガラス厚みに不均一が生じやすいという問題があった。

最後に、生産性の面からみてもみる。フルコール法では失透が成長すると、一旦引き上げを中止し、再加熱によって取り除く作業が必要だった。引き上げから中止までの正味作業時間を「マシンライフ」とよぶが、それが1-2週間だった¹⁰。一方、耐火物の切り込みから引き上げないピッツバーグ法には失透が発生しない。故に、ピッツバーグ法はマシンライフがフルコール法の数倍で、生産性も高かった。ただし、耐火物の切り込みから引き上げるフルコール法の方が安定した生産が可能であった。

上述のとおりフルコール法の最大の問題はマシンライフの短さ、つまり生産性の低さにあったが、それを解決するために開発された技術がアサヒ式である¹¹。1967年、ピッツバーグ法などの導入により触発された旭硝子のフルコール法担当の管理者や技術者によって開発がはじまり、1971年に完成した¹²。具体的には、失透が成長する前に円筒状の耐火物であるアサヒブロックを少しだけ回転させ、失透のできる箇所を移動させることで問題を解決した。その結果、マシンライフは2-4ヵ月に延び、ピッツバーグ法よりも長いものとなった¹³。アサヒ式は生産性・品質面で最高級の普通板ガラスを生産できる技術になった(表1)。

¹⁰ たとえば、1966-1967年頃の旭硝子におけるマシンライフの実績は200-300時間であった(一之瀬・安芸, 1981)。

¹¹ アサヒ式の開発前にもさまざまな改善の試みが行われているが、卓効はなかった(一之瀬・安芸, 1981)。

¹² 開発の目標はマシンライフをピッツバーグ法と同等の時間1500時間に延長するというものであった。製造部門、施設部門、研究部門が一体となって研究開発活動が行われた。開発の出発点は、失透が生成する箇所がどこで、どのように生成するか、ということを確認することで、1969年末にその課題はクリアされた。その後、耐火物を円筒状にし、回転させるというアイデアが生まれ、アサヒブロックの開発に結実した。耐火物を円筒状にし、回転させるという発想は従来の耐火物であるデビトーズの概念からはまったく離れたものであった。アサヒブロックを用いた試験が小型テストプラントで行われ、1970年2月にアサヒ式の第1機目が誕生した。それから周辺技術(引き上げ中に気流でできるゆがみを除去する装置)が開発され、引き上げ作業方法が確立されることで、1971年8月に完成の域に達した。以後、さらなる改善が加えられながら、社内のフルコール設備を逐次アサヒ式に転換していくと同時に、対外発表が行われた。フルコール設備のアサヒ式への転換は1975年に完了している(一之瀬・安芸, 1981)。

¹³ 生産性はフルコール式の時代とくらべ約20%向上した(一之瀬・安芸, 1981)。

水平式自動平板引上法であるコルバーン法には、もともと「ひとつの窯に引上機 2 台」という常識があった。つまり、一日の引き上げ量が窯あたり 200 トンで、一日の引き上げ量が窯あたり 300 トン以上のフルコール法やピッツバーグ法と窯あたり生産性に差があった。しかし、1967 年に日本板硝子が常識を破って「ひとつの窯に 3 台」の引上機を設置することに成功した。その結果、生産能力が窯あたり 100 トン、つまり 5 割上昇し、生産性の差を大幅に改善した。日本板硝子によるこの開発がなければコルバーン法は生産性の面から大きな遅れをとることになったと推測できる。

以上をまとめると、ラバース式が自動平板引上法を駆逐すると、複数の「亜種」ともよべる技術が並存し、競合している。表 1 に見るように、特定の自動平板引上法が突出して優れているということはなく、それ故に支配的な板ガラス成形技術は誕生しなかった。また、図 5 に見るように、一社が複数技術のライセンス供与を受けることもあった。この事実は何の自動平板引上法も支配的になりえなかったことを支持するものだと捉えることができる。

表 1 自動平板引上法の特徴

	成形可能な板幅 (メートル)	成形可能な厚み (ミリ)	設置可能な 引上機の数(台)	引上機1台あたりの 引上量/日	マシンライフ (時間)	特徴
フルコール法	1.5-2.5	1-8	3-11	30	200-300	失透が成長し、 製品品質を劣化させる
コルバーン法	2.5-4	1-8	1-3	100	—	—
ピッツバーグ法	2-3.2	3-8	2-9	40	1500	板ガラス厚みに 不均質が生じやすい フルコール法の問題を 根本的に解決
アサヒ式	1.5-2.5	0.55-8	3-11	30	3000	

3.4. ロールアウト成形法¹⁴

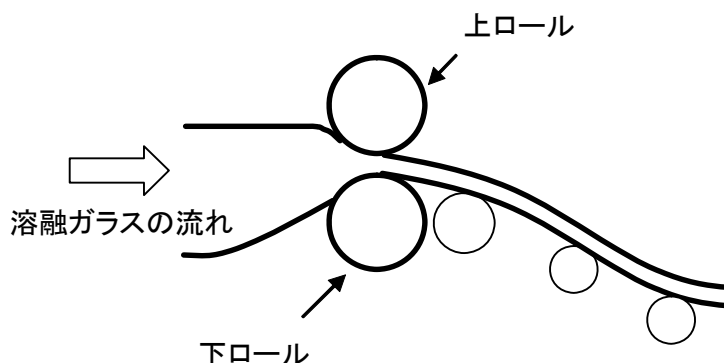
ロールアウト成形法は磨き板ガラスと型板ガラスを製造する方法である。図 2 に示すように、原料を調合し、溶解・清澄した後、熔融窯から熔融ガラスを連続的に供給し、熔融ガラスが冷えないうちに上下一対の水冷ロールの間に通して成形する（図 6）。この時点では磨き板ガラスの素板ガラス（以下、磨き素板ガラス）とよばれ、研削・研磨工程¹⁵を経ることで磨き板ガラスあるいは型板ガラス¹⁶になる¹⁷。ガラスの

¹⁴ ロールアウト成形法に関するライセンスの状況に関して、各主要板ガラスメーカーは導入していたようではあるが、資料に限界があり不明な点も多々あるのでここでは記述しない。日本の旭硝子、日本板硝子、セントラル硝子の 3 社はロールアウト成形法を導入している。

¹⁵ 研削・研磨の方法は、大別すると片面磨きの不連続法と連続両面磨き法の二つがある。不連続法はロールアウト成形された磨き素板ガラスを所定の寸法に切断後、鉄製の台の上に石膏などで張りつけ、珪砂あるいは紅柄やセリア等の研磨剤で研削し、

厚みはロール間のギャップで決まり、ガラスの引き出し量はロールの回転速度で決まる。研削・研磨工程を必要としない製品の場合に成形可能な厚みは、2-10 ミリ、幅 1.5-2.5 メートル程度である。研削・研磨工程が必要な磨き素板ガラスを成形する場合は最終的な厚みよりも 1-4 ミリ程度厚くする必要があった。研削・研磨工程では多量の熱が発生し、大きな摩擦力が働くので、割れないように薄く作るのは難しかった。したがって、自動車用として用いられる磨き板ガラスは 3 ミリまでであった。

図 6 ロールアウト成形法



現在のロールアウト成形法は、アメリカの自動車会社であるフォード社が 1922 年にピルキントン社の協力を得て開発した水平連続圧延法が基本となっている。この成形法はフォード法ともよばれ、自動車用ガラスを製造することを目的に開発された。磨き板ガラスが加工されることで自動車用ガラスになる¹⁸。研削・研磨工程前の磨き

仕上げはハブで研磨する方法である（反対側も同様に仕上げる）。連続両面磨き法はデュプレックス法（duplex process）とよばれ、ロールアウト成形されたガラスを切断せず、連続的に研削・研磨するものである。片面磨きの不連続法に比べ装置は複雑であるが、効率的である。

¹⁶ 型板ガラスを成形する場合には、型模様が刻まれているロールを下ロールとして用いる。下ロールに刻まれた型模様が転写されることで型板ガラスが成形される。

¹⁷ ロールアウト成形法は特殊ガラスである網入板ガラスや線入板ガラスも成形することができるが、本稿は一般板ガラスの成形技術に対象を限定するので具体的な方法は記述しない。

¹⁸ 自動車用ガラスには合わせガラスと強化ガラスの二つがある。合わせガラスは 2 枚またはそれ以上のガラスが合成樹脂フィルムで接着され、破損した場合、破片が飛散しないようにつくられている。この合わせガラスはフロントガラスとして用いられる。強化ガラスとは通常のガラスの数倍の強度を持つガラスである。一般には、素板ガラスを強化炉とよばれる装置に入れ、ガラスの軟化温度付近である 650-700°C まで加熱した後、両面に空気を一様に吹き付けて急冷することで作られる。強化ガラスはフロントガラス以外に用いられる。また、合わせガラスの素材としても用いられることがある。

素板ガラス、あるいは自動平板引上法で作られる普通板ガラスは、移動しながら、たとえば移動中の車内からものを見る場合には物体がゆがんで見える、物体を明確に把握できないという問題があった。研削・研磨工程を経た磨き板ガラスは表面が平滑で、ゆがみがないため移動中でも物体が把握できないという問題はない。したがって、主に自動車用として用いられた¹⁹。

ロールアウト成形法は主に磨き素板ガラスを成形する方法として、自動平板引上法は普通板ガラスを成形する方法として使い分けられた。通常、先述のように、磨き素板ガラスは研削・研磨される分の1-4ミリ厚く成形される。そのような厚いものを成形する方法としては自動平板引上法よりもロールアウト成形法が適していたのである。自動平板引上法で成形された普通ガラスも磨き素板ガラスとして用いられることはあったが、それはロールアウト成形法の生産能力が乏しい場合に限られ、普通板ガラスは静止した状態でガラス越しに物体を見ることの多い一般建築用として用いられた。つまり、ロールアウト成形法と自動平板引上法は、それぞれが用途の異なる一般板ガラスを製造することで棲み分けることになった（表2）。

表2 自動平板引上法とロールアウト成形法の棲み分け

成形法	成形可能な厚み (ミリ)	主な用途	
		自動車用 高級建築用	一般建築用
ロールアウト成形法	2-10	○	
自動平板引上法	1-8		○

4. フロート法の台頭と進化、競争

本節は、ガラス業界における20世紀最大の発明と言われるフロート法を概説し、既存技術との競争を概観する。フロート法はイギリスのピルキントン社のアラスデア・ピルキントンが1952年に発明し、1959年に工業化され、現在においても支配的な板ガラス成形技術である。

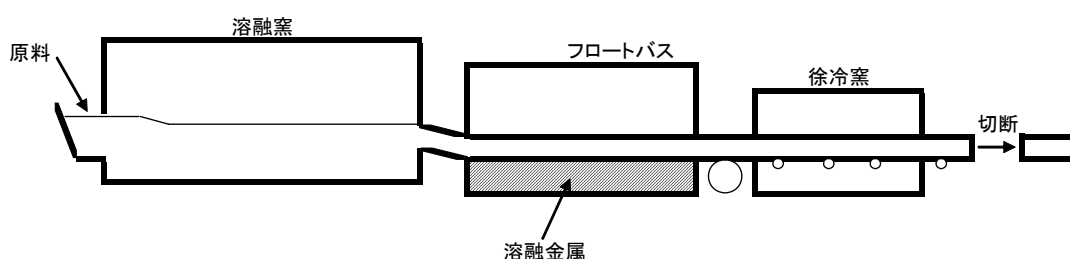
4.1. フロート法とは

フロート法は既存の溶融窯と徐冷炉との間にフロートバスとよばれる溶融錫で満た

¹⁹ 高級建築用としても用いられた。

された成形装置を組み込むことで成り立っている（図 7）。図 2 に示すように原料を調合し、溶解・清澄した後、ガラスより重くガラスに濡れない（混ざらない）熔融金属である熔融錫の上に熔融ガラスを流し込むことによって火づくり面で上下面が完全に平行で平滑な板ガラスを成形する。成形後、搬送ロールで徐冷炉に運ばれ²⁰、切断され、製品となる。このようなフロート法で成形される製品は、研削・研磨工程がなくても磨き板ガラスと同等以上の品質を持ち、フロートガラスとよばれる。さらに、研削・研磨工程が必要ない分だけ生産性が高く、ひとつの窯あたりの生産量は 500 トン以上/日である。

図 7 フロート法



1981 年までにフロート法で成形可能な板ガラスの厚みは 2-19 ミリ²¹で、板幅は約 2.5-4 メートルである。薄板ガラス²²は、搬送ロールのスピードを上げ、トップロールとよばれる溝付き回転ロールで幅方向に引き伸ばしながら作られる²³。また、厚板ガラスは、カーボンフェンダーとよばれるガラスに濡れないガイドをフロートバス内

²⁰ ガラスは搬送ロールで運ばれても傷がつかない程度の硬さまでフロートバス内で冷却調整される。冷却調整のためのクーラーがフロートバスの出口付近に設置してある。

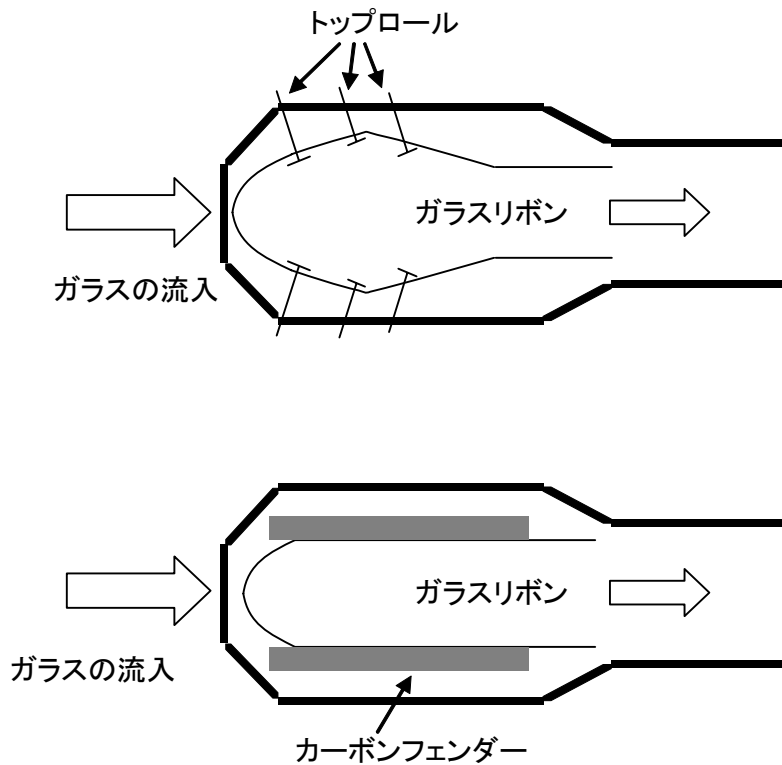
²¹ フロート法では 25 ミリまで成形可能であるが、25 ミリの製品はリブガラスであるため、板ガラスとして用いられる 19 ミリまでを本研究の対象としている。

²² 薄板ガラスとは「平衡厚み(equilibrium thickness)」とよばれる 6.8 ミリより薄いものを意味する。反対に、平衡厚みより厚いものを厚板ガラスとよぶ。平衡厚みは、フロートバスに流し込まれた熔融ガラスのひろがり停止するときの厚みである。ガラス、熔融金属の熔融錫、雰囲気（特定の気体で空間が満たされているという意味）の間の界面張力と重力が平衡に達したときに熔融ガラスのひろがりは停止する。自動平板引上法の「薄板」あるいは「厚板」とフロート法のそれとでは意味する厚みが異なることに注意されたい。

²³ 5 ミリの薄板ガラスは搬送ロールのスピードを上げるだけで成形される。しかし、5 ミリ未満の薄板ガラスの成形時はより速いスピードで引っ張られるので、板幅方向の広がりを維持できなくなる。そのためにトップロールが必要となる。

に設置し、成形過程にある溶融ガラスの広がりを防ぐことで厚く成形する（図 8）。

図 8 薄板（上図）と厚板（下図）成形の方法



フロート法は 1962 年からライセンスが開始され、世界の板ガラスメーカーは次々と導入した（図 9）。PPG 社（アメリカ）が 1962 年 7 月に世界で初めてフロート法の導入したことを皮切りに、ブッソワ社（フランス）、サンゴバン社（フランス）、サンロッシュ社（ベルギー）、リビー社（アメリカ）が続いた。上記 5 社に続いて日本板硝子と旭硝子が導入した。1965 年に日本板硝子、1966 年に旭硝子がフロートラインをスタートさせている。

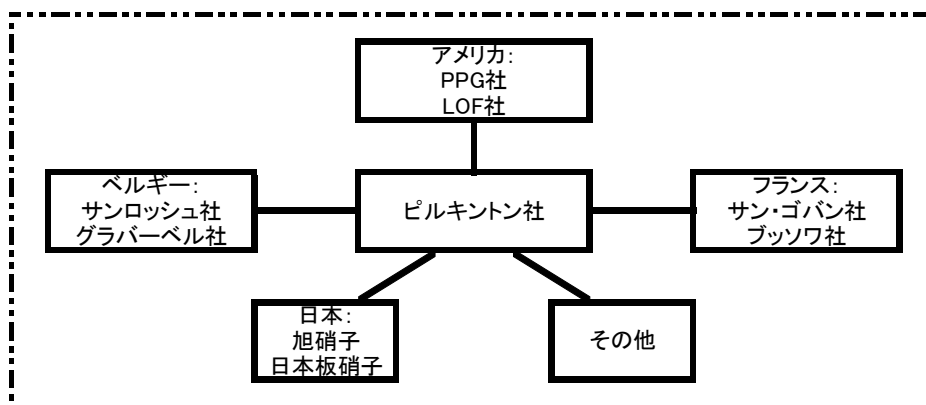
4.2. フロート法の進化と台頭

フロート法開発の目的は研削・研磨工程を要するロールアウト成形法を代替することにあった (Pilkington, 1969, 1970)。開発当初、成形可能な厚みの幅は狭かったが、ピルキントン社自身による開発と、開発競争を触発するようなライセンスを行うことで成形可能な厚みが広がった。結果、ロールアウト成形法で成形可能なすべての

厚みをカバーし、磨き板ガラスを成形する方法として代替することになった。以下、フロート法で成形可能な厚みの進化を中心に記述する。

1959年に工業化されたフロート法は1962年までにピルキントン社内で3-6ミリの厚みを成形することが可能だった。3ミリという厚みは当時の自動車メーカーが用いていたガラスの厚みであった。その3ミリが成形可能になった同年よりピルキントン社は世界の板ガラスメーカーにライセンスをはじめた。Wierzynski (1968)によれば、ライセンスの期間は16年で、ライセンス期間中はピルキントン社のフロート法に関する技術成果すべてがライセンシーに公開され、ライセンシーもフロート法に関する技術成果すべてをピルキントン社に公開しなければならなかった。これは所謂、グラント・バック条項である。ライセンシーの技術成果の取り扱いに関して、特許にならない成果はすべてのライセンシーに公開された。しかし、特許技術に関してはピルキントン社と開発したライセンシーのみで共有された。ただし、それはライセンシー間での特許技術の売買を禁止するものではなかった。このようなライセンス契約はフロート法導入各社の技術開発競争に拍車をかけた (Wierzynski, 1968)。結果、基本プロセスや周辺技術のさまざまな技術開発が行われ、成形可能な厚みも広がることになる。

図9 フロート法のライセンスング・コミュニティ



もともと日本の建築物の大部分は木造で需要の中心は2ミリの普通板ガラス、型板ガラスであったが、鉄筋・鉄骨造りのいわゆる耐火構造建築が増加したことで需要の中心は3ミリの普通板ガラスや4ミリの型板ガラスになった。1963年には建築基準法改正により高さ制限が撤廃²⁴されたため、ビルの高層化が進み²⁵、より大きなガラス

²⁴ 建物の高さが100尺(31メートル)を超えてはならないというものである。規制

が求められるようになった。大きなガラスは薄いままだとたわんでしまうので、従来よりも厚いものが要求された。大きくなると、従来は問題にならなかった普通板ガラスの表面のわずかなゆがみなどの欠点が目立つようになった。その結果、普通板ガラスに代わって品質の優れている磨き板ガラスの使用が増加した。

フロート法で成形できる板幅は、開発当初からロールアウト成形法よりも広く、品質も優れていたが、成形可能な厚みの上限は6ミリで、磨き板ガラスよりも薄かった。フロート法で成形可能な厚みは、ライセンスを契機に、1966年までに15ミリまで、1970年代はじめまでに19ミリまでに進展した。いずれの厚みも日本板硝子が独自の製法開発に成功し、世界ではじめて製品を発売した。つまり、フロート法はもともとロールアウト成形法よりも板幅の広い製品を作ることができたが、ロールアウト成形法で製造できる上限以上の厚さを作ることができるようになった。結果、フロートガラスは高層建築物で用いられる磨き板ガラスを代替することになった。

1970年代はモータリゼーションの進展で自動車用ガラスの需要が増大していた。それとともに、オイルショックの影響で、自動車の省エネルギーあるいは軽量化が求められ、ガラスをより薄く成形する必要に迫られた。その結果、それまで用いられていた自動車用ガラスは3ミリだったが、1970年頃に2.5ミリ、1973年頃には2.3ミリ、1978年頃までに2ミリの製品が安全を確認された後に、採用された（森, 2007）。

ロールアウト成形法で成形され、研削・研磨が必要な磨き板ガラスの製品は3ミリまでしかなかったが、フロート法ではライセンス当初より3ミリという厚みが成形可能であった。フロート法は、省エネルギーまたは軽量化の背景にした自動車業界の要望に応え2ミリまでを成形することができるようになった。その結果、自動車用ガラスとしてもフロートガラスが磨き板ガラスを代替することになった。

フロート法で成形可能な厚みの進展とロールアウト成形法で成形可能な範囲の関係をまとめると、1960年代、70年代におけるロールアウト成形法で成形可能な厚みの上限は10ミリで、製品レベルでの下限は3ミリだった。対するフロート法で成形可能な厚みは上限が6ミリ、下限が3ミリであったが、1960年代後半には15ミリ、70年代には2ミリの製品を成形できるようになった。つまりロールアウト成形法で作ることのできる磨き板ガラスの上限以上のものと下限未満のものを成形することができ

緩和によって日本最初の超高層ビルといわれる霞ヶ関ビルディングが誕生した。この霞ヶ関ビルディングに用いられたのは旭硝子のフロートガラスである（ダイヤモンド社, 1978）。

²⁵ ビルの高層化は壁が建築物の荷重を支えないカーテンウォール方式の普及にもつながった。

るようになった。その結果、ロールアウト成形法は磨き素板ガラスを成形するための方法としての役目を終えることになった²⁶。

一方、自動平板引上法は、フロート法が誕生し、ライセンスが開始された後でも1980年代はじめまで改善され、一時的ではあるが、フロート法とは棲み分けたようである。たとえば、Perry (1984)によれば、アメリカでは国内生産能力に占めるフロート法の割合が導入から10年で59%になった。その間、ロールアウト成形法の生産能力は導入前の49%から9%まで減った。しかし、普通板ガラス向けの生産能力は導入前の51%から32%までしか低下していない。さらに、大関(1981)が提示したフロート法に関する日本特許出願年次変化²⁷をみると、1963年ピルキントン社とライセンシー各社による出願件数は約20件で、1968年には50件に迫ったが、1973年には約15件に、1978年には10件未満になることで開発が一段落したようにみえる。対する自動平板引上法は進展していた。たとえば、先述のように、1967年に日本板硝子はひとつの窯に3台の引上機を設置することに成功した。また、同年の1967年には旭硝子内でアサヒ式の開発がはじまり、1971年にフルコール法の問題を根本的に解決したアサヒ式を誕生した。そのアサヒ式は1980年代はじめまで技術輸出されることになった。さらに、1978年には日本板硝子が黎明期の液晶ディスプレイ業界に対応するためにコルバーン法で低コスト超薄板ガラスを生産、販売しはじめた。このように少なくとも1960年代と70年代において、自動平板引上法とフロート法は直接競争するわけではなく、一時的に棲み分けていたと考えられる。

その後1981年に旭硝子がフロート法で2ミリ未満の超薄板ガラスを成形することに成功することになる。1982年からは量産がはじまり、旭硝子での自動平板引上法はその役割を終えることになる。1981年は、ちょうど旭硝子とピルキントン社のライセンス関係が切れる年であった。1989年に日本板硝子は超薄板ガラス製造の方法をコルバーン法からフロート法に切り替える²⁸。その後、自動平板引上法はほとんど

²⁶ ただし、ロールアウト成形法はフロート法では物理的に製造できない型板ガラスや特殊ガラスである網入り板ガラスを製造するための技術として現在でも残っている。そのため、磨き素板ガラスを成形するための技術としての役割を、いつ終えたかに関して定量的にみることは難しい。

²⁷ 年次でどの程度の特許出願があったか、ピルキントン社とライセンシー別にまとめられているが、大まかな目盛りがあるだけで、具体的な数字は明記されていない。

²⁸ 日本板硝子の製造方法の切り替えが旭硝子よりも5年以上遅れた理由に関して、フロート法で超薄板ガラスを量産することが技術的に難しかったのか、技術的問題というよりも日本板硝子の意思決定あるいは組織的なものであったか、あるいはその両方であるかに関しては判断できない。

姿を消すことになる²⁹。

5. ディスカッション：事例の解釈

Tushman and Rosenkopf (1992) は、コミュニティの社会政治的ダイナミクスと技術サイクル、製品の複雑性の関係をモデル化した。Tushman と Rosenkopf は、非組立製品における技術進化の場合、社会政治的ダイナミクスの影響は小さいので、技術的な観点からの説明が重要になると主張し、非組立製品のひとつとして板ガラスを取り上げた。その中で、板ガラス成形技術の進化は「ラバーズ式→フロート法」という経路で捉えられていた。しかし、本稿で詳述したように、板ガラス成形技術の変遷は複雑で、ラバーズ式から自動平板引上法・ロールアウト成形法へ、そしてフロート法へと変遷する。ラバーズ式とフロート法の間自動平板引上法とロールアウト成形法を考慮した板ガラス成形技術の変遷を検討すると、Tushman と Rosenkopf の主張とはやや異なる技術進化プロセスが浮かび上がってくる。

以下では、本稿で詳述した板ガラス成形技術の変遷を題材に、まず、技術サイクルモデルの構成概念である「安定期」と「不安定期」という概念の曖昧さを指摘する。次に、非組立製品の技術進化の場合、技術的側面からの説明だけで十分なのか検討する。さらに、技術的側面だけでなく、市場の論理あるいは技術と市場の相互作用という観点からどの程度説明可能か試みる。最後に、技術や市場といった要因では説明できないことについて、ライセンスング・コミュニティの観点から検討する。

5.1. 技術進化における「安定期」と「不安定期」の曖昧さ

Tushman and Rosenkopf (1992) によれば、非組立製品の場合、技術的に優れているかどうかという評価基準は相対的に単純だとされる。それ故、支配的な技術は、社会政治的プロセスなしで、生産性あるいは品質が高いかどうか、という技術の論理で決まると主張する。

Tushman と Rosenkopf は、上述のような主張をするにあたり、支配的な板ガラス成形技術の進化経路を「ラバーズ式→フロート法」として捉え、三つの工程（円筒状のガラスを作る工程、円筒状のガラスをカットする工程、板状のガラスを研削・研磨す

²⁹ 現在では、資本が不足し市場が限られている発展途上国の一部で見られるに過ぎない。

る工程)が省かれたと記述している。しかし、本研究で示したように、実際にはラバース式からフロート法へと支配的な技術が代わるのではなく、その間に自動平板引上法とロールアウト成形法が支配的になった時期がある。つまり、ラバース式からフロート法へと進化することで三つの工程が省かれるのではなく、自動平板引上法がラバース式を代替したときに、円筒状のガラスを作るという工程と、それをカットする工程の二つが省かれ、フロート法がロールアウト成形法を代替することで研削・研磨工程が省かれたのである。

Tushman と Rosenkopf が考慮しなかった自動平板引上法の存在は「安定期」「不安定期」の概念を曖昧にする。自動平板引上法はラバース式を駆逐したことで、確かに支配的な技術になった。したがって「安定期」になったと捉えることができる。しかし、自動平板引上法には複数の競合する「亜種」が存在していたという事実もある。その意味では、支配的な自動平板引上法が存在していない。したがって「不安定期」として捉えることも可能である。フルコール法、ピッツバーグ法、コルバーン法、アサヒ式といった各成形法をひとつの技術として捉えるか、溶融窯から直接、連続的に板状のガラスを引き上げるという自動平板引上法の全体をひとつの技術として捉えるか、つまり、分析レベルをどこに設定するかによって安定期と不安定期が異なると考えられる。

5.2. 非組立製品における技術進化の説明論理①：技術的要因

非組立製品である板ガラスの技術進化の場合、Tushman and Rosenkopf (1992)が主張するように、技術的側面からの説明だけで十分なのか検討する。

自動平板引上法によるラバース式の駆逐は技術的側面から説明可能である。ラバース式の最大の問題は、一度円筒状のガラスを作らなければならないという効率の低さにあった。対する自動平板引上法は、溶融窯から直接、板状のガラスを連続して引き上げることで円筒状のガラスを一度作るという工程とそれをカットするという工程を省き、生産性を大幅に向上させ、支配的な技術になったのである。

また、フロート法によるロールアウト成形法の代替に関しても、技術的側面から説明可能である。ロールアウト成形法で磨き板ガラスを作るためには研削・研磨工程が必要であった。一方、フロート法では研削・研磨工程なしで磨き板ガラスと同等以上の品質をもつ製品を成形することができた。つまり、フロート法は研削・研磨工程が必要ない分だけ生産性を向上させ、品質の面でも十分だったので支配的な技術になっ

た。

以上、ラバー式から自動平板引上法、あるいはロールアウト成形法のフロート法による駆逐は技術的側面で説明が可能である。とりわけ、フロート法によるロールアウト成形法の代替は Utterback (1994) による説明と合致する。しかし、フロート法で成形可能な厚みが工業化された 1959 年から 7 年後に追い越されたロールアウト成形法に比べ、自動平板引上法とフロート法にはそれから 15 年間の一時的な棲み分けが生じた。このことは単にフロート法は薄く成形する方法として不向きだったという技術的な説明が可能かもしれないが、果たしてそれで十分だろうか。以下では、技術的要因以外の説明論理を探る。

5.3. 非組立製品における技術進化の説明論理②：技術と顧客の相互作用

上述のとおり、フロート法で成形可能な厚みの進化は技術的な側面からも説明できるが、顧客企業あるいは業界との相互作用という側面からの説明論理も成立する。

1960 年代は建築基準法改正によるビルの高層化を背景に建築市場が拡大していた時期である。これに合わせてように、フロート法で成形可能な厚みは 19 ミリまでになった。この厚みは、既存のロールアウト成形法の上限を超えるものである。1970 年代は省エネルギーあるいは軽量化を背景とした自動車業界の要望に応える形で、2 ミリの製品が上市された。これはロールアウト成形法を用いて製造される磨き板ガラスの下限の厚みよりも薄い。以上のようなフロート法で成形可能な厚みの進化は顧客企業との相互作用という観点から説明できる。

ただ、顧客あるいは顧客との相互作用の観点からのみで説明できるとは限らない。1981 年にフロート法で 2 ミリ未満の超薄板ガラスを成形できるようになったことも、1980 年代はじめに液晶ディスプレイという新たな市場の立ち上がりに合わせてものであるというストーリーが成立するかのように見える。しかし、液晶ディスプレイ市場の立ち上がりで説明できるわけではない。具体的な 2 ミリ未満のガラス市場を把握することは難しいが、仮に液晶ディスプレイを中心とした 2 ミリ未満の市場が立ち上がっていなかったとしても、設備稼働率の面からフロート法で成形するインセンティブはあったと推測される。当時、2 ミリ未満の製品は自動平板引上法で成形していたが、市場が立ち上がっていないのでそれだけでは稼働率は低いと考えられる。故に 2 ミリ未満のガラスのためだけに自動平板引上法の設備を残すよりもフロート法ですべての厚みをカバーするというインセンティブが大きくなる。また、仮に液晶ディスプ

レイ市場が立ち上がっていたとしたら、自動平板引上法の稼働率が上がり、できるかどうか分からないフロート法で成形するというリスクをとるよりも、自動平板引上法で成形の方が合理的である。以上のようなストーリーだと、液晶ディスプレイ市場が立ち上がったかどうかはフロート法で成形可能な厚みの伸展に関係ない。つまり、市場の論理以外の説明論理が考えられる。

5.4. 非組立製品における技術進化の説明論理③：

ライセンスング・コミュニティにおける相互作用

なぜ 1981 年にフロート法で 2 ミリ未満のガラスを成形できるようになったか、という問いに対して「ライセンスング・コミュニティのあり方」をひとつの説明論理として提示する。

フロート法のライセンス期間は一律 16 年だった。このライセンス契約は、先述したように、期間中はあらゆる開発に関してピルキントン社に報告する義務がある。ただし、開発した技術が特許を得られる (patentable) のであれば、他のライセンシーとの売買が自由だった。つまり、ライセンス供与が開始された当初は、世界の主な板ガラスメーカーがライセンシーとなった技術市場が存在したと推測できる。そうであれば、市場よりも、他のライセンシーに売ることのできる技術を開発するというインセンティブが高まったと捉えることができる。フロート法の技術開発競争が一段落し、あとはライセンスが切れるだけとなると、先に契約した競合他社が抜けることで技術市場は小さくなる。そのような場合、後は競合他社をどう「出し抜く」か、ということが最大の関心事になるはずである。したがって、ライセンス期間が終わった 1981 年に 2 ミリ未満のガラス製品を発表したということは、競合企業の顔見て、ある種の「出し抜き」が行われたという推測が成り立つ。

八田 (2009) の提唱する「オーディエンス」という概念で上述の現象を解釈することができる。オーディエンスとは、時と場合によって「開発者」と「ユーザー」のどちらかの顔を使い分ける存在である (八田, 2009)。ライセンシーもオーディエンスのようにライセンス技術の「開発者」という顔とライセンス技術の「ユーザー」という顔も持ち合わせていると捉えることができる。ライセンス開始当初は、技術市場があるので「開発者」としての一面が出てくるが、ライセンスが失効する間際になると、「ユーザー」としての一面が強くなっていく。そしてライセンスが失効することで「開

発者」としての一面が再び表出する。

ただし、ライセンス初期の技術市場でいくら収益をあげられるか、というときの「開発者」の顔と、ライセンスの失効間近あるいは失効後は競合他社をいかに出し抜くか、というときの「開発者」の顔が意味するところは異なるだろう。つまり、ライセンス企業を「お客様」として捉えていた「開発者」の顔から、ライセンス企業を「競合他社」として捉えるようになったと解釈できる。もちろん、このような状況が成立するためには、ピルキントン社が設定したグラント・バック条項やある程度の契約期間、主要な競合他社がほとんどすべてライセンス企業になって技術市場を形成する、などの前提条件が必要になると考えられる。

5.5. 非組立製品における技術進化の説明論理④：技術の天井心理

最後に、なぜ 1980 年代はじめまで、フロート法と自動平板引上法が棲み分けたのか、という問いに対して特定技術に対する認識あるいは期待が「技術進化における天井心理」を生み出したからではないかという説明論理を提示する。

フロート法がロールアウト成形法を駆逐する以前も以後においても、ラバース式を駆逐した自動平板引上法の各亜種は支配的技術になろうと切磋琢磨していたと捉えることができる。フロート法は 1959 年に工業化されたが、たとえば、ピッツバーグ法にくらべフルコール法のマシンライフが短いという問題は、アサヒブロックとよばれる円筒状の耐火物の開発によって 1971 年に解決した。また、垂直式にくらべコルバーン法のひと窯あたり生産性が低いという問題は、ひと窯に引上機 3 台を設置するという開発によって 1967 年に解決している。フロート法に対抗するためにこれらの技術開発が行われたというよりも、直接競合している、という認識がある自動平板引上法の亜種技術に対抗するために行われたように見える。とりわけ、一之瀬・安芸 (1981) によれば、アサヒ式の開発はフロート法というよりもピッツバーグ法の存在を強く意識して行われたようである。

フロート法は、そもそもロールアウト成形法を代替するために開発された。少なくとも自動平板引上法を直接駆逐するかどうかは重要でなかったように見える。先述したように、研削・研磨工程がなくなることに最も影響を受けるのはロールアウト成形法であった。つまり、フロート法には自動平板引上法を駆逐する技術であるという認識は希薄だったと推測される。

ロールアウト成形法を代替するという目標が達成されることで、技術の伸展がある

程度鈍化し、フロート法と自動平板引上法の一時的な棲み分けを生み出すことになったのではないだろうか。このように認識の違いが技術の棲み分けを生じさせるという現象は学習曲線研究における「天井心理 (ceiling psychology)」 (Hirschmann, 1964) の概念を援用することで説明できるかもしれない。天井心理とは、マネジメント側は自らが要求あるいは期待する生産性を達成するとそれに満足してしまっ、本来、学習曲線に沿って上昇したであろう生産性が実現されないという現象である。フロート法の場合も、もともとの目標であるロールアウト成形法で成形可能な厚みを超えてしまうことで天井心理が生じ、本来、達成できたであろう厚みまで技術が伸展せずに、一時的に技術の伸びが鈍化したと捉えることができる。このような意味で「技術進化における天井心理」が本来生じるはずのない一時的な技術の棲み分けを生み出すというストーリーが提示されるのである。

6. おわりに

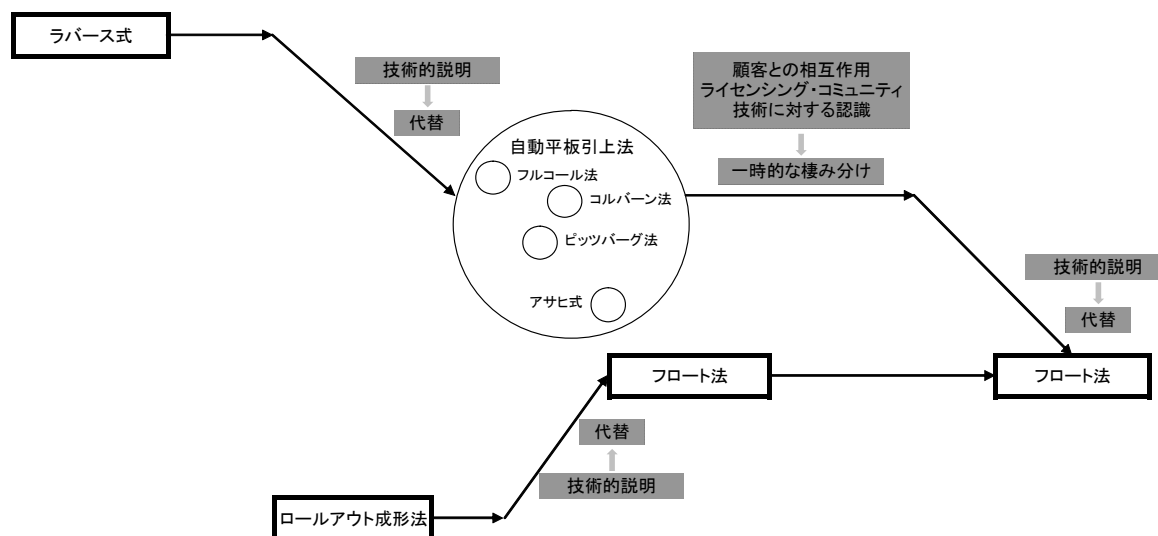
本稿は、Tushman and Rosenkopf (1992) が記述しなかった自動平板引上法とロールアウト成形法を含めた板ガラス成形技術の変遷を記述することで、具体的なコミュニティによる技術進化への影響を明らかにした。

まず、Tushman and Rosenkopf (1992)や Utterback (1994)が見落としていた支配的な板ガラス成形技術の変遷を検討することで、技術進化を捉えるための「安定期」と「不安定期」という概念の曖昧さを指摘した。自動平板引上法の存在に関して、分析レベルの設定次第で「安定期」にも、「不安定期」としても捉えることができる。次に、非組立製品である板ガラスの技術進化の理解には、技術的側面からの説明だけで十分なのか検討した。その結果、板ガラス成形技術の変遷は Tushman と Rosenkopf や Utterback が捉えた技術進化に関しては技術的側面から説明可能であるが、フロート法と自動平板引上法の一時的な棲み分けに関しては異なる説明論理の提示が可能ということが明らかになった。フロート法の進化は自動車業界や建築業界といった顧客との相互作用によってもたらされるという説明論理を提示した。さらに、一時的な棲み分けの発生と崩壊の説明をフロート法のライセンス契約の開始と失効に求めた。最後に、技術開発陣の技術に対する認識あるいは期待の差が心理的な棲み分けを生む可能性について言及した。

以上のように、Tushman と Rosenkopf が検討しなかった自動平板引上法とロールアウト成形法を含めて板ガラス成形技術の変遷を包括的に理解するためには、たとえ板

ガラスのような複雑性の低い製品であってもその進化を包括的に理解するためには技術的側面以外の説明論理が必要になる。本稿は、とりわけライセンスング・コミュニティの存在や技術そのものに対する認識が技術進化に影響を与える可能性を見いだしたと言える。

図 10 板ガラス成形技術の変遷を説明する論理



参考文献

- 旭硝子株式会社臨時社史編纂室編 (1967) 『社史』 旭硝子。
 旭硝子株式会社臨時社史編纂室編 (2007) 『旭硝子 100年の歩み』 旭硝子。
 Clark, K. B. (1985). The interaction of design hierarchies and market concept in technological evolution. *Research Policy*, 14(5), 235–251.
 ダイヤモンド社 (1978) 『現代のプロメテウス「旭硝子物語」』 ダイヤモンド社。
 Foster, R. N. (1986). *Innovation: The attacker's advantage*. London: Macmillan. 邦訳, リチャード・フォスター (1987) 『イノベーション 限界突破の経営戦略』 大前研一訳. TBS ブリタニカ。
 Garud, R., & Rappa, M. A. (1994). A socio-cognitive model of technology evolution: The case of cochlear implants. *Organization Science*, 5(3), 344-362.
 Hirschmann, W. B. (1964). Profit from the learning curve. *Harvard Business Review*, Jan.-Feb, 125-139.
 八田真行 (2009) 「製品開発における二つのモード—ヘッド指向とリリース指向」 『2009 年度 組織学会研究発表大会報告要旨集』 (pp.127-130) 2009 年 6 月 6 日 (土)・7 日 (日) 東北大学。
 Lynn, L. H. (1982). How Japan innovates: A comparison with the U.S. in the case of oxygen steelmaking. Westview Press. 邦訳, レオナード・H・リン (1986) 『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』 遠田雄志訳. 東洋経済新報社。
 森谷太郎, 成瀬省, 功刀雅長, 田代仁編著 (1963) 『ガラス工学ハンドブック』 朝倉書店。
 森哲 (2007) 「板ガラス製造技術の系統化調査」 『国立科学博物館 技術の系統化調査報告』 9, 121–164。
 成瀬省 (1958) 『ガラス工学』 共立出版株式会社。

- 『日本板硝子株式会社五十年史』(1968) 日本板硝子。
- 尾島正男 (1991) 「自動車用ガラスの歴史」『自動車技術会関東支部報 高翔』16, 11-16.
- 大神正道 (2009) 「板ガラス成形技術の変遷—フロート法の台頭と棲み分け」『赤門マネジメント・レビュー』8(4), 141-168. 2009年4月25日, <http://www.gbrc.jp>
- 大関晃司 (1981) 「板ガラスの成形法—フロート法とアサヒ式引き上げ法」『セラミックス』16(2), 118-121.
- 大谷晃 (1990) 『ガラス』日本経済新聞社。
- Pilkington, A. (1969). The float glass process. *Proceedings of Royal Society of London Series A*, 314, 1-25.
- Pilkington, A. (1970). The float process. *Journal of the Institute of Fuel*, 43(354), 252-254.
- Perry, R. C. (1984). The float glass process: A new method or an extension of previous ones? *Glass Industry*, 31, 17-19.
- Rosenberg, N. (1969). The direction of technological change: Inducement mechanisms and focusing devices. *Economic Development and Cultural Change*, 18(1), 1-24.
- Rosenkopf, L. and Tushman, M. L. (1994). The coevolution of technology and organization. In J. A. C. Baum & J. V. Singh (Eds.), *Evolutionary dynamics of organization*(pp.403-425). New York: Oxford University Press.
- Sahal, D. (1985). Technological guideposts and innovation avenues. *Research Policy*, 14, 61-82.
- 作花濟夫, 境野照雄, 高橋克明編著 (1975) 『ガラスハンドブック』朝倉書店。
- Tushman, M. L. & Rosenkopf, L. (1992). Organizational determinants of technological change: Toward a sociology of technological evolution. In B. M. Staw & L. L. Cummings (Eds.), *Research in Organizational Behavior*(Vol.14, pp.311-347). Greenwich, CT: JAI Press.
- Utterback, J. (1994). *Mastering the dynamics of innovation*. Boston: Harvard Business School Press. 邦訳, J. M. アッターバック (1998) 『イノベーション・ダイナミクス: 事例から学ぶ技術戦略』大津正和, 小川進監訳. 有斐閣.
- Von Hippel, E. (1986). Lead users: A source of novel product concepts. *Management Science*, 32(7), 791-805.
- Wierzynski, G. H. (1968). The eccentric lords of float glass. *Fortune*, (1968, July), 90-92, 121-124.
- 山根正之, 安井至, 和田正道, 国分可紀, 寺井良平, 近藤敬, 小川晋永編著 (1999) 『ガラス工学ハンドブック』朝倉書店。