

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 247

技術とコミュニティの共進化
— 板ガラス成形技術とそのコミュニティ —

東京大学大学院経済学研究科 博士課程
大神正道

2009年1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・複製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>

The coevolution of technology and community:
The glass forming technologies and communities

Masamichi OGAMI

Abstract:

This paper explores coevolution of technology and community that determines the path of technology development of nonassemble product. Specifically, communities which have the amount of sociopolitical dynamics influence the technological evolution. This paper focuses on the evolution of glass forming technologies between early 1900s and 1981. In nonassemble products, the amount of sociopolitical dynamics is minimal in shaping technological progress. This paper explores that the technological progress is underdetermined by factors internal to the technology. It is rather determined by the interaction of technical options with organization and interorganization dynamics, which shapes psychological technological limits which are not natural.

Keywords:

technology evolution, community, coevolution, glass forming technology

技術とコミュニティの共進化

— 板ガラス成形技術とそのコミュニティ —

大神正道

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

E-mail: ogamix9@ybb.ne.jp

要約：

本研究は、技術の複雑性にかかわらず、技術とコミュニティの共進化が、技術進化を説明する際に重要な要因であるということを明らかにする。本稿では、あえて最も複雑性の低い製品、つまりコミュニティの論理の影響が最も小さい例として挙げられる板ガラスを取り上げ、コミュニティの論理による説明力がどの程度のものかについての検討を行う。そして、コミュニティの論理が心理的な技術的限界を生み出す可能性に関して議論する。

キーワード：技術進化、コミュニティ、共進化、コミュニティの論理、板ガラス

I. 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？技術のもっている内的な論理、市場との相互作用、社会認知の力 (socio-cognitive forces)、そして、コミュニティの論理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)。このうちコミュニティの論理に着目する 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の論理によって技術的進化が生じると主張し (Tushman and Rosenkopf, 1992)、さらに、最も複雑な製品のひとつであるラジオの 20 世紀はじめの技術的進化に焦点を当てて、コミュニティの論理が技術進化に与える影響を研究した (Rosenkopf and Tushman, 1994)。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論理の影響が最も小さい例として

Tushman と Rosenkopf も挙げている板ガラスを取り上げ、コミュニティの論理による説明力がどの程度のものかについての検討を行う。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、結論を先取りして言えば、実は、この複雑性の低い板ガラス成形技術についてですら、コミュニティの論理あるいは技術とコミュニティの相互作用によって技術的進化を説明できるのである。

板ガラスの大量生産は 1900 年初頭のラバー式機械円筒法（以下、ラバー式）の誕生にはじまる。1910 年代半ば以降に自動平板引上法によるラバー式の駆逐・代替が生じ、そして 1960 年代以降のフロート法の誕生とその台頭により、Tushman and Rosenkopf (1992) も指摘していたように、それまで多くのコストを発生させていた三つの工程が不要となった。しかもフロート法が支配的になって進化する過程では、「成形可能な厚み」が評価軸として定着する。これらは、あたかも技術のもっている内的な論理によって技術的進化が生じたかのような様相を見せる。

ところが、ライセンスの観点からコミュニティについて整理してみると、そこには別の姿が浮かび上がってくる。ラバー式の時代はひとつだったライセンス・コミュニティが、自動平板引上法の時代には複数の亜種が存立するため群雄割拠の状態となり、さらにフロート法ではライセンス・コミュニティがふたたび一つに収束する。この一つに収束したフロート法のライセンス・コミュニティに対して、建築業界、自動車業界といったユーザーが次々とプレゼンスを発揮することによって、フロート法で成形可能な厚みの進化に決定的な影響を与えたのである。また、2 ミリというフロート法による成形可能な厚みの限界も、フロート法によって片隅に追いやられて生き残っていた自動平板引上法のコミュニティとの棲み分けというコミュニティの論理によって生じたと考えられている。こうしたことを示すことで、技術の複雑性にかかわらず、技術とコミュニティの共進化が、技術的進化を説明する際に、重要な要因であることを明らかにする。

II. 既存研究と問題意識

技術的進歩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; Sahal, 1981; Foster, 1987)、技術と市場の相互作用 (Clark, 1985; von Hippel, 1988)、社会認知の力 (socio-cognitive forces) (Garud and Rappa, 1994)、そして、コミュニティの論理などが影響を及ぼすと指摘している。このうちコミュニティの論理に着目する 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の論理によって技術的進化が生じると主張し (Tushman and Rosenkopf, 1992)、さらに、最も複雑な製品のひとつであるラジオの 20 世紀はじめの技術的進化に焦点を当てて、コミュニティの論理が技術進化に与える影響を研究した (Rosenkopf and Tushman, 1994)。

なぜ、技術的進歩がコミュニティの論理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、技術は普遍的な理解を目指す科学と異なり、特定のアクター、たとえば政府や軍の要求に影響を受ける。さらに、技術の評価軸は科学よりも多岐にわたり、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。そのような本質を持つ技術の進歩には、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（とその関連団体）、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政治的なダイナミクス、つまりコミュニティの論理が必要となる（Tushman and Rosenkopf, 1992; Rosenkopf and Tushman, 1994）。

また、彼らは 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論理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→不安定期→ドミナント・デザイン→安定期→技術的不連続性→不安定期…のサイクルを経るという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、コミュニティの論理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における政治的なダイナミクスが評価軸や取り組むべき課題を設定するのである。逆に、ドミナント・デザイン決定後の安定期におけるコミュニティの論理の影響は小さいものとなる。

さらに、Rosenkopf and Tushman (1992) は、製品の複雑性が高ければ高いほど、コミュニティの論理が技術的進歩に影響すると主張する。彼らは、製品をコンポーネントに分解不可能な非組立製品、サブシステムからなる単純組立製品、相互作用を持つサブシステムからなるクローズドシステム、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 つに分けてコミュニティの論理の影響を検討している。非組立製品が最も単純で、オープンシステムが最も複雑なものである。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、コミュニティの論理の影響は小さく、クローズドシステムやオープンシステム¹⁾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、コミュニティの影響は大きくなる。そして、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、コミュニティの論理の影響が大きくなるのである（Rosenkopf and Tushman, 1992）。

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論理の影響が最も小さい例として Tushman と Rosenkopf も挙げている板ガラスを取り上げ、コミュニティの論理による説明力がどの程度のものかについての検討を行う。

Ⅲ. 非組立製品の技術進化におけるコミュニティの論理

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。ここで本節では、板ガラスメーカーの社史や技術に関するハンドブック、業界誌、森（2007）、大神（2008）に基づき、1900年代初頭から1981年における板ガラス成形技術の変遷を概説し、その製造工程の進化について述べる。そして、ライセンスの観点から板ガラス成形技術に関するコミュニティの進化について記述し、最後に、コミュニティの論理が技術進化にどのような影響を与えたか論じる。

1. 板ガラス成形技術の変遷

1900年代初頭から1981年までに、いくつかの根本的に異なる板ガラス成形技術が登場した（大神, 2008）。1900年初頭に台頭した板ガラス成形技術は、一度円筒状のガラスを作って板ガラスを作るラバーズ式と呼ばれる技術である。板ガラスの大量生産はこのラバーズ式の誕生によってはじまったと言われている（森, 2007）。このラバーズ式を駆逐・代替した成形技術が、熔融窯から直接板状のガラスを引き上げる自動平板引上法と呼ばれるものである。1920年代以降、この系統に属する板ガラス成形技術が台頭することになるが、複数の亜種が存在したため、それぞれが競合することになった²⁾。その後、1950年代に世紀の発明と言われるフロート法が発明、工業化される。現在においても支配的なこの成形法は、上下面が完全に平行で平坦な板ガラスを製造する技術である。そして1950年代後半以降、フロート法が進化、とりわけ成形可能な厚みが広がるにつれて、自動平板引上法を隅に追いやり、その結果、1981年までに自動平板引上法と成形可能な厚みによって棲み分けることになる。

2. 板ガラス製造工程の進化

板ガラス成形技術が変遷するにつれて、その製造工程はどのように進化したか、それぞれの技術を概説し、検討する。

1900年初頭に板ガラスの大量生産方式であるラバーズ式が誕生した。ラバーズ式は、アメリカ人のラバーズとアメリカン・ウィンドウ・グラス社（American Window Glass Co.）が完成させた技術である（作花ほか, 1975）。ラバーズ式で板ガラスを製造するためには、まず、ガラス素地をガラスタンク窯から大型るつぼに移す。次に、この大型るつぼの中に吹口金具を押し込み、圧搾空気を吹き込みながら吹口を機械的に徐々に引き上げることで円筒状のガラスを作る。そして、円筒状のガラスの長手方向と短手方向の両端を切断し、円筒にする。それから、その円筒を縦に割り、再加熱しながら延手と呼ばれる棒を使って板状にする。最後に、在庫寸法の窓ガラスに切断され、完成となる。

このラバーズ式を駆逐・代替した技術が自動平板引上法と呼ばれるもので、溶解窯から直接、しかも連続的に板状のガラスを引き上げる方法である。この方法だと、ラバーズ式のように一度円筒状のガラスを作って、板状にするという工程がなくなる。つまり、自動平板引上法はラバーズ式より省略された工程分だけ生産性が高くなる。ただし、この成形法には複数の亜種が存在した。亜種を大別すると、垂直式と水平式の 2 つがある。垂直式とは、溶解窯から鉛直に引き上げる方法で、水平式とは、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方法である。さらに、垂直式にはフルコール平板引上法（以下、フルコール法）やピッツバーグ式平板引上法（以下、ピッツバーグ法）、フルコール法の短所を改良したアサヒ式平板引上法（以下、アサヒ式）があり、水平式にはコルバーン式平板法（以下、コルバーン法）がある。

フルコール法とは、ベルギー人のエミール・フルコールが発明し、1910 年代に開発が進められた垂直式の自動引上平板法である。コルバーン法とは、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 Co.**）で完成した水平式の自動平板引上法である。ピッツバーグ法とは 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）が開発した垂直式の自動平板引上法である。ピッツバーグ法はフルコール法と同様に鉛直引き上げ法であるが、フルコール法と違い厚いガラスを成形することに強みがある。逆に、フルコール法は薄いものを成形することに強みがある。アサヒ式は 1971 年に日本の旭硝子株式会社（以下、旭硝子）がフルコール法の問題点を改善し、開発した成形技術である³⁾。これら自動平板引上法はラバーズ式を駆逐した後、亜種間で競合することになったが、それぞれ一長一短あり、一つの支配的な技術が誕生することはなかった。これら自動平板引上法は、フロート法が台頭、進化することで、その役目を縮小させることになる。

フロート法は、1952 年にイギリスのピルキントン社（**Pilkington Brothers Ltd.**）のアラステア・ピルキントンが発明し、工業化した。このプロセスによって製造されたガラスは優れた平行、平滑面と火造りの光沢を持つ。品質はもちろんのこと生産性もこれまでの自動平板引上法よりも格段に優れていた。自動平板引上法で製造した板ガラスを磨き板ガラスにするためには研削・研磨工程が必要であるが、フロート法ではそれがなくなった。フロート法で製造可能な厚みが広がるにしたがって、自動平板引上法を代替することになる。

フロート法の誕生とその台頭により、**Tushman and Rosenkopf (1992)**も指摘したように、それまで多くのコストを発生させていた三つの工程が不用となった。これまで見てきた板ガラス成形技術の変遷を基に、工程の進化を表現すると図 1 のようになる。

図 1 板ガラス製造工程の進化

板ガラス成形技術の変遷を振り返ると、新しく台頭する成形技術の方が既存の方法よりも生産性や品質の面で明らかに優れている。つまり、Tushman and Rosenkopf (1992)が主張するように、板ガラス成形技術の進化はあたかも技術のもっている内的な論理によって生じているようである。

また、ラバース式そして自動平板引上法、フロート法は、それぞれ不連続な生産性の進歩を遂げた工程イノベーションなので、「イネーブリング技術」(Utterback, 1994)だと考えることができる。このようなイネーブリング技術は、突如として現れ、その後の何年、何十年にわたって漸進的に改良されるという特徴があるが、上述の板ガラス成形技術も誕生してから十年単位での漸進的な改良が続けられている。

3. ライセンシング・コミュニティの進化

板ガラス成形技術の変遷とともに、コミュニティはどのように進化したのか、ライセンスの観点から整理する。すると、そこには別の姿が浮かび上がってくる。ラバース式にはひとつだったライセンス・コミュニティが自動平板引上法の時代には群雄割拠の状態になり、フロート法の時代にはふたたび一つに収束する。この一つに収束したフロート法のライセンス・コミュニティに対して、建築業界、自動車業界といったユーザーがプレゼンスを発揮することによってフロート法で成形可能な厚みの進化に決定的な影響を与えることになる。また、2ミリというフロート法による成形可能な厚さの限界も、自動平板引上法との棲み分けというコミュニティの論理によって生じたと考えられる。つまり、コミュニティの進化を見ることで、板ガラス成形技術の技術的進歩が技術の内的な論理によってのみ生じるわけではないことを明らかになる。

以下では、ラバース式そして自動平板引上法、フロート法のライセンス・コミュニティに関して、日本の板ガラスメーカーの動向を中心に記述する。

(1) ラバース式のライセンス・コミュニティ

はじめての板ガラス大量生産技術であ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 (アメリカン・ウィンドウ・グラス社)、フランス (サン・ゴバン社)、ドイツ、イタリア、ロシア、日本などで採用された。ラバース式は機械で圧搾空気を送りこむことで円筒ガラスを作るので、既存の人が空気を送りこむことで円筒ガラスを作る手吹円筒法よりも遙かに生産性が高かった。そのため世界各国の企業は積極的に採用した。日本では旭硝子が 1914 年に導入した。ラバース式のライセンス・コミュニティは図 2 のようになる。そして、この技術は、上述したとおり、自動平板引上法の台頭によって駆逐されることになる。

図2 ラバース式のライセンシング・コミュニティ

(2) 自動平板引上法のライセンシング・コミュニティ

1920年代以降、ラバース式は自動平板引上法の台頭によって駆逐される。自動平板引上法には複数の亜種が存在したので、群雄割拠の時代になった。亜種の中で最も普及した技術がフルコール法である。フルコール法は、ラバースが1902年に機械式円筒法の特許を得る前年の1901年にエミール・フルコールが考案し、特許を取得しているが、しばらくは企業化されなかった。1906年に企業化できるまで進歩を遂げ、1913年に工場が建設されている。その後、将来性が認められ、フルコール特許株式会社を中心にコミュニティが形成されることになった。日本では旭硝子が1920年6月に特許権について交渉を開始し、同年8月11日、日本および満州における特許実施権を得ている。フルコール法の特許権は、イギリス、フランス、オランダ、チェコスロバキア、ギリシャおよび日本などの世界各国の企業と実施許諾契約が結ばれ、改良が続けられることになる⁴⁾。

フルコール法の後に誕生した自動平板引上法の亜種がコルバーン法である。1916年に生まれたこの技術を、日本では杉田与三郎が特許権を買い入れ、住友家を説いて、1918年に日米板硝子社を設立し、導入している⁵⁾。コルバーン法はフルコール法と同様にラバース式を駆逐する成形技術として台頭し、他の亜種と競合することになった。

さらに、フルコール法と同じ垂直式の自動平板引上法であるピッツバーグ法が1926年に生まれ、台頭した。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PPG社より1930年7月に特許実施権を取得し、1931年4月15日から操業を開始しているが、日中戦争による生産制限のためピッツバーグ法による生産を中止し、1943年の企業整備令を受け、ピッツバーグ法の設備を廃棄している。そして、1960年代に厚板ガラスの需要の高まりがみられたとき、それに対応するために1966年に再びピッツバーグ法を導入している。そのときの技術導入先企業はPPG社ではなく、ベルギーのグラバーベル社である。実は、PPG社の発明以来、導入企業各社によってピッツバーグ法は独自の発展を遂げていたのである。対するセントラル硝子はPPG社より技術導入し、1964年より生産を開始している。

そして、1971年に旭硝子がフルコール法を改良したアサヒ式を開発する。アサヒ式はピッツバーグ法の再導入とフロート法の台頭に脅威を感じた旭硝子のフルコール法製造担当者たちが開発した。この技術はフルコール法からの転換が安価で、品質および生産性を格段に向上させるので、アジア、ヨーロッパ、米国、中南米の世界各国のメーカーが採用することになる。結果的に旭硝子は世界15カ国以上に技術輸出している（森, 2007）。

以上より、自動平板引上法が支配的である時期のライセンス・コミュニティは図 3 のようになる。各自動平板引上法には一長一短があり、どれか一つの成形技術が支配的になるということにはなかった。たとえば、フルコール法は操業の安定性に優れ薄板の成形には適しているが、生産性、品質の面ではピッツバーグ法に劣っていた（大関, 1981）。したがって、亜種の数だけ自動平板引上法のコミュニティが存在した。旭硝子のように複数の技術コミュニティに属す企業もあれば⁶⁾、日本板硝子のように一つの技術にこだわった企業もある。

図 3 自動平板引上法のライセンス・コミュニティ

(3) フロート法のコミュニティ

フロート法は上下面が完全に平衡で平滑なガラスを製造する方法であり、品質、生産性の面において自動平板引上法よりも圧倒的に優れていた。しかし、工業化当初の 1959 年に成形できるガラスの厚みは「平衡厚み」と呼ばれる 6.8 ミリだった（Pilkington, 1969; Pilkington, 1970）。この平衡厚みよりも厚いガラスは「厚板ガラス」、薄いガラスは「薄板ガラス」と称される。ピルキントン社は、当時急成長していた製品である自動車用ガラスをフロート法で製造するための開発を行った。当時の自動車用ガラスは 3 ミリであったので、薄板を製造するための開発が行われたことになる。3 ミリのガラスが成形できるようになった後、1962 年より他社へのライセンスが開始された。

ピルキントン社はライセンスするにあたってライセンシー各社がフロート法に関する技術開発のインセンティブを持つような仕組みを以下のように整えている（Wierzynski, 1968）。ライセンス期間中、フロート法の改良に関してピルキントン社が行った研究開発の成果すべてをライセンシーに教える。その代わりに、ライセンシーも自らが考案した改良をすべてピルキントン社に報告する義務を負わされる。また、ライセンシーが開発した技術に関しては、特許を受けられるものとそうではないものの 2 つに分ける。後者の特許に値しない考案はすべてのライセンシーに公開するが、前者の特許を受けられる技術はそれを考案したライセンシーとピルキントン社だけが共有するものとした。ただし、その技術をライセンシー同士が売買することができないというわけではなかった。このように特許を受けられる改良技術をライセンシー同士で売買できるということが技術改良のインセンティブとなった。そしてピルキントン社だけがすべての技術改良を利用できるので、ライセンス契約が終了した後でも少なくとも同社は技術的に遅れをとることがないということの意味した。ライセンスを開始して間もなく、あらゆる板ガラスメーカーがフロート法を導入したので図 4 のようにピルキントン社を中心とする大きなコミュニティを形成するに

たった。フロート法のライセンシング・コミュニティの場合、自動平板引上法のライセンシング・コミュニティのように亜種コミュニティはできなかった。

図4 フロート法のライセンシング・コミュニティ

4. フロート法の進化

フロート法の台頭によって、単一のライセンシング・コミュニティに収束することになった。ここまでの板ガラス成形技術の変遷を振り返ると、確かに技術の内的な論理にしたがっているようである。しかし、フロート法の技術進化を検討すると、コミュニティの論理が影響を与えることが明らかになる。

上述したとおり、フロート法開発後、ピルキントン社は平衡厚みである 6.8 ミリから 3 ミリの製品が製造可能になった後の 1962 年からライセンスを開始した。既存の自動平板引上法で製造可能な厚みは 2 ミリ未満の製品から 10 ミリまでのものであった（作花ほか, 1975; 大神, 2008）。

3 ミリよりも薄いガラスに関して、主要顧客である自動車業界による省エネルギーあるいは軽量化に対する量産化の取り組みを背景⁷⁾に、自動車前面ガラスとして、当初の 3 ミリから 1970 年頃には 2.5 ミリ、1973 年頃には 2.3 ミリ、そして 1978 年頃までに 2 ミリの厚みの製品が採用されることになった（森, 2007）。

厚板ガラスに関して、主要顧客である建築業界での高層ビルの建築ラッシュを背景に、ピルキントン社を中心にライセンシー各社が競って開発がはじまった（森, 2007）。そして 1966 年には 15 ミリまで、そして 70 年代はじめまでに 19 ミリまでの板ガラスを製造できるようになった⁸⁾。つまり、既存の自動平板引上法では製造できなかった 10 ミリ超の一般板ガラスが製造可能となった。

フロート法ライセンシー各社が生産設備を拡大、拡張し、フロート法で成形可能な厚みが広がるにつれて、自動平板引上法で製造されていたガラスの一部が代替、駆逐されるようになる。とりわけ厚板はすべてフロート法によって製造されるようになり、薄板の一部のみ、具体的には 2 ミリ未満の製品を自動平板引上法で成形することになった。図 5 はフロート法が開発・工業化されてから成形可能な厚みが時間とともに広がり、他の成形法で成形可能な厚みの領域を浸食する様を示している。

図5 フロート法で成形可能な厚みの進歩(1959～1981年)

これまではライセンスの観点からコミュニティを捉えていたが、ユーザーというプレイヤーをこのコミュニティに取り入れることによって、コミュニティの論理が技術進歩の方向性に大きな影響を与えることが明らかになる。フロート法での成形可能な厚みの進歩を見ると、平衡厚みよりも薄い厚みに関する進歩には、自動車産業、とりわけ省エネ・軽量化の要求が影響を与えている。また、平衡厚みよりも厚いガラスに関しては、建築産業、とりわけビルの高層化という影響が見られる。このように、コミュニティの論理が、フロート法の成形可能な厚みの進歩の方向性に影響を与え、フロート法では 2 ミリ以上の板ガラスを製造し、自動平板引上法が 2 ミリ未満を製造するという「成形可能な厚み」による棲み分けをもたらしたのである (図 6)。

図 6 ユーザーを含めたコミュニティ

IV. おわりに

本研究は、技術の複雑性にかかわらず、技術とコミュニティの共進化が、技術的進化を説明する際に重要な要因であるということを示した。具体的に本稿では、最も複雑性の低い製品、つまりコミュニティの論理の影響が最も小さい例として **Tushman** と **Rosenkopf** も挙げていた板ガラスを取り上げ、コミュニティの論理による説明力がどの程度のものかについての検討を行った。そして、この複雑性の低い板ガラス成形技術についてですら、コミュニティの論理あるいは技術とコミュニティの相互作用によって技術的進化を説明できるということを示したのである。

以下では、板ガラス成形技術の変遷とそのコミュニティの進化に関して **Tushman** と **Rosenkopf** の主張と合致する点、合致しない点に関して検討する。さらに、フロート法の進化を吟味することでコミュニティの論理が技術的限界に与える影響に関するディスカッションを行う。そして最後に今後の研究課題を述べる。

まず、彼らの主張と合致する点は、板ガラス成形技術の変遷が技術の内的な論理によって生じたということである。**Tushman and Rosenkopf (1992)** は、複雑性の低い非組立製品の場合、技術進化は技術の内的な論理によって生じると論じている。板ガラス成形技術の発展を見てみると、自動平板引上法がラバー式を、フロート法が自動平板引上法を代替するときは、彼らの主張通り、品質と生産性のみの評価軸に基づいて優れている方が支配的になるという技術進化が生じている。

次に、フロート法で成形可能な厚みに関する技術進化に関して検討することで、彼らの主張と合致しない点を明らかにする。**Tushman and Rosenkopf (1992)** は、技術の不安定期にコミュニティの影響が大きく、技術が安定期に入ると支配的な評価軸が確立されて

それに基づいた技術開発が行われると考えていた。これはおそらく、クーンのパラダイム論 (Kuhn, 1962) からの類推なのであろう。しかし、実際の板ガラス成形技術の進化過程を観察すると、フロート法が支配的になって安定期に入り、「成形可能な厚み」が評価軸として確立した以降になって、コミュニティの参加者のプレゼンスの発揮によって「成形可能な厚み」に関する技術開発が進行していた。より具体的には、平衡厚みよりも薄いガラスに関しては自動車産業が、平衡厚みよりも厚いガラスに関しては建築産業がその技術進歩の方向性を決定づけた。このような事実から、パラダイム論の安易な適用に対する疑問を生じさせる。

さらに、コミュニティの論理が心理的な技術的限界に関する合意を生むかもしれない。実は、1981年以降のフロート法で成形可能な厚みは2ミリ未満まで進歩し、自動平板引上法を駆逐することになるが、それまでの板ガラスメーカー各社はフロート法で2ミリ未満のガラスを製造しようと試みなかった (大神, 2005)。その代わりに、2ミリ未満のガラスを製造する技術としての自動平板引上法の改善に取り組んでいる。たとえば、旭硝子はフルコール法を改良したアサヒ式を開発した。そして、日本板硝子はコルバーン法による技術開発に注力し、2ミリ未満の超薄板ガラスの安定生産に成功している。このように各社がフロート法で成形することを試みずに、自動平板引上法の技術開発に注力した背景には、フロート法で2ミリ未満のものを成形できないという心理的な技術的限界に関する暗黙の合意があったと強く推測される。そもそもフロート法で製造する製品は、自動車用あるいは建築用であり、それ以外、つまりフロート法のコミュニティに属していない製品を作るものではないという常識があり、そのような常識が、いつしかフロート法では2ミリ未満の薄さを製造できないという技術的限界に関する各社の合意を生んだと考えることができるのである⁹⁾。このように、コミュニティの論理が技術進歩の方向性を規定するだけでなく、心理的な技術的限界を決めるかもしれない。そして、安定期の技術進化は技術の内的な論理によって生じるというTushman and Rosenkopf (1992)の議論と異なり、安定期にこそコミュニティの論理によって技術進化が生じると言えるのではないだろうか。

最後に今後の研究課題を述べる。技術進化や心理的な技術的限界に関する議論は技術の社会的構成主義の観点 (Pinch and Bijker, 1987; 朱ほか, 2007) からも検討することが可能である。また、フロート法で成形可能な厚みに関する心理的な技術的限界がどのように打破され、結果的に物理的限界ではないことがわかったのかに関する記述も必要である。しかし、本研究は、非組立製品の技術進化をコミュニティの論理によって説明するということに焦点を当てたので、これらについては、今後の課題としたい。

参考文献

- Anderson, P. and Tushman, M. L. (1990) "Technological discontinuities and dominant designs: A cyclical model of technological change," *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, pp. 604-633.
- 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 concepts in technological evolution," *Research Policy*, Vol.14, pp.235-251.
- Foster, R. N. (1986) *Innovation: The attacker's advantage*, London: Macmillan (大前研一訳 (1987) 『イノベーション: 限界突破の経営戦略』 TBSブリタニカ).
- Garud, R. and Rappa, M. A. (1994) "A socio-cognitive model of technology evolution: The case of cochlear implants," *Organization Science*, Vol.5, No.3, pp. 344-362.
- Kuhn, T. S. (1962). *The structure of scientific revolutions*, Chicago: University of Chicago Press (中山茂訳 (1971) 『科学革命の構造』 みすず書房).
- 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.
- 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』 Vol.9, pp. 121-164.
- 大神正道 (2005) 「共同幻想としての S 曲線 —ガラス成形技術の発展過程の事例—」 東京大学大学院経済学研究科修士学位論文.
- 大神正道 (2008) 「板ガラス成形技術の変遷 —フロート法の台頭と技術の棲み分け—」 (赤門マネジメントレビュー投稿中).
- 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』 Vol.16, No.2, pp. 118-121.
- 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』 Vol.16, pp. 11-16.
- Pilkington, A. (1969) "The float glass process," *Proceedings of Royal Society of London Series A*, Vol.314, pp. 1-25.
- Pilkington, A. (1970) "The float process," *Journal of The Institute of Fuel*, Vol.43, No.354, pp. 252-254.
- Pinch, T. J. and W. E. Bijker (1987) "The social construction of facts and artifacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other," in W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. J. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, MA: MIT Press, pp. 17-50.

- Rosenberg, N. (1969). "The direction of technological change: Inducement mechanisms and focusing devices," *Economic Development and Cultural Change*, Vol.18, No.1, pp. 1-24.
- Rosenkopf, L. and Tushman, M. L. (1994). "The coevolution of technology and organization," in J. A. C. Baum and J. V. Singh (Eds.), *Evolutionary dynamics of organization*, New York: Oxford University Press, pp. 403-425.
- Sahal, D. (1985) "Technological guideposts and innovation avenues," *Research Policy*, Vol.14, pp. 61-82.
- 作花済夫・境野照雄・高橋克明 編著 (1975) 『ガラスハンドブック』 朝倉書店.
- 朱 穎・武石彰・米倉誠一郎 (2007) 「技術革新のタイミング：1970年代における自動車排気浄化技術の事例」 『組織科学』 Vol.40, No.3, pp. 78-92.
- Tushman, M. L. and Rosenkopf, L. (1992). "Organizational determinants of technological change: Toward a sociology of technological evolution," in B. M. Staw and L. L. Cummings (eds.), *Research in Organizational Behavior*, Vol.14, Greenwich, CT: JAI Press, pp.311-347.
- Utterback, J. (1994) *Mastering the dynamics of innovation*, Boston: Harvard Business School Press. (大津正和, 小川進 監訳 (1998) 『イノベーション・ダイナミクス：事例から学ぶ技術戦略』 有斐閣) .
- Wierzynski, G. H. (1968) "The eccentric lords of float glass," *Fortune*, 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.

図表一覧

図1 板ガラス製造工程の進化

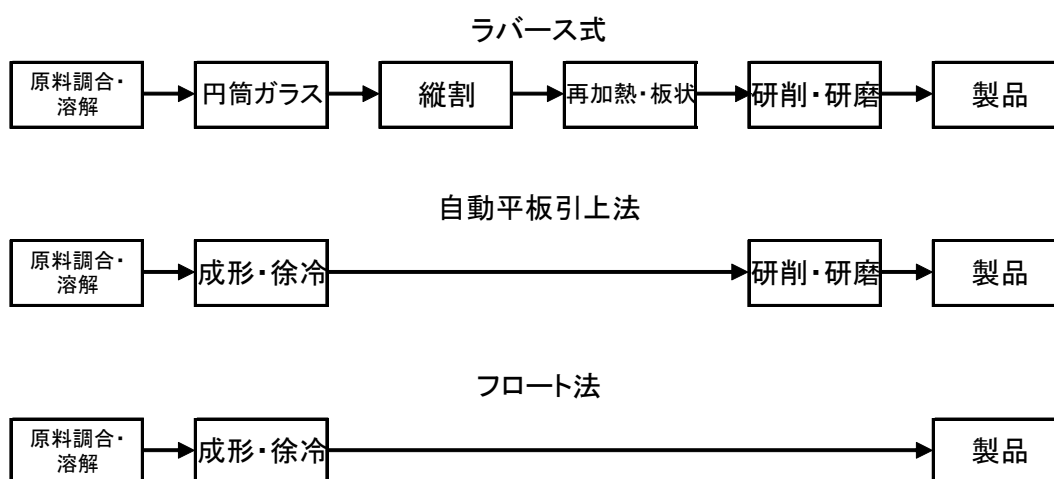


図2 ラバース式のライセンス・コミュニティ

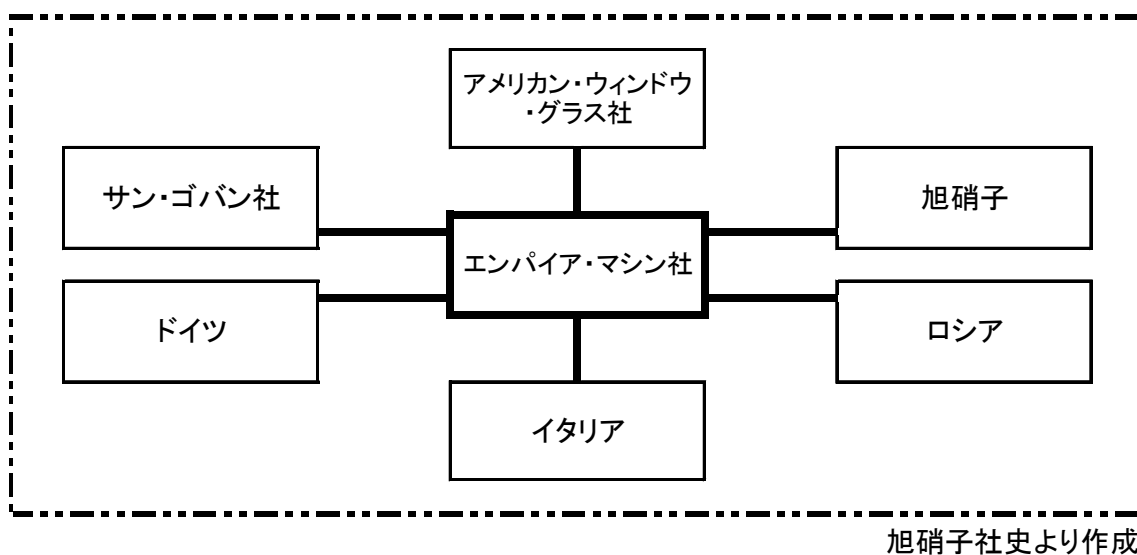
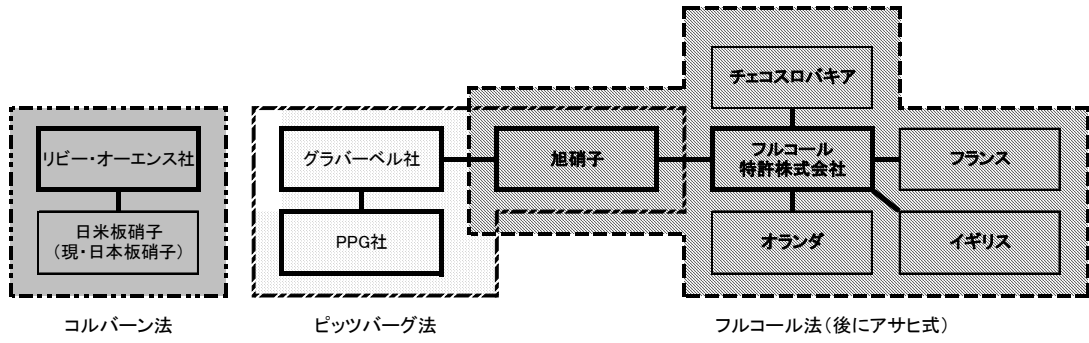
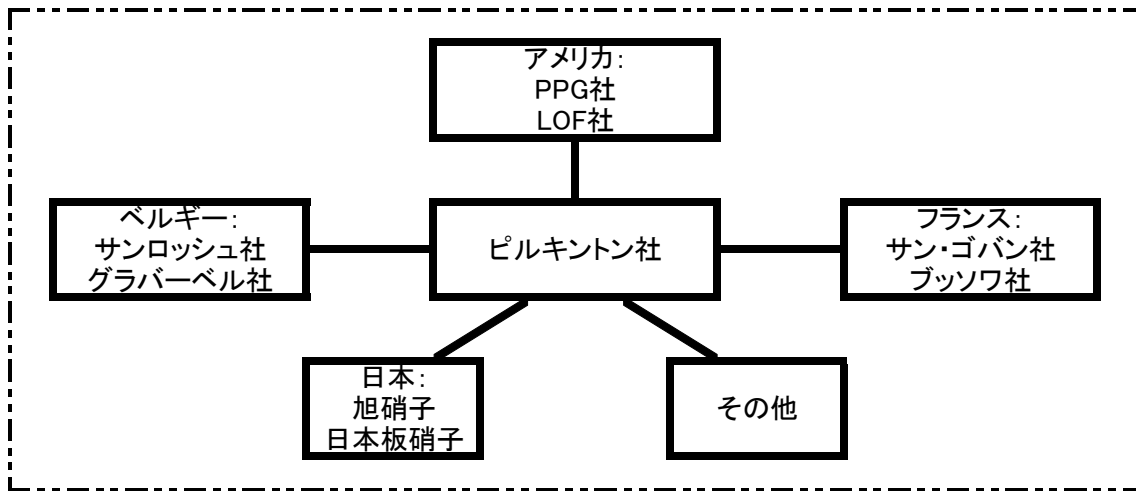


図3 自動平板引上法のライセンス・コミュニティ



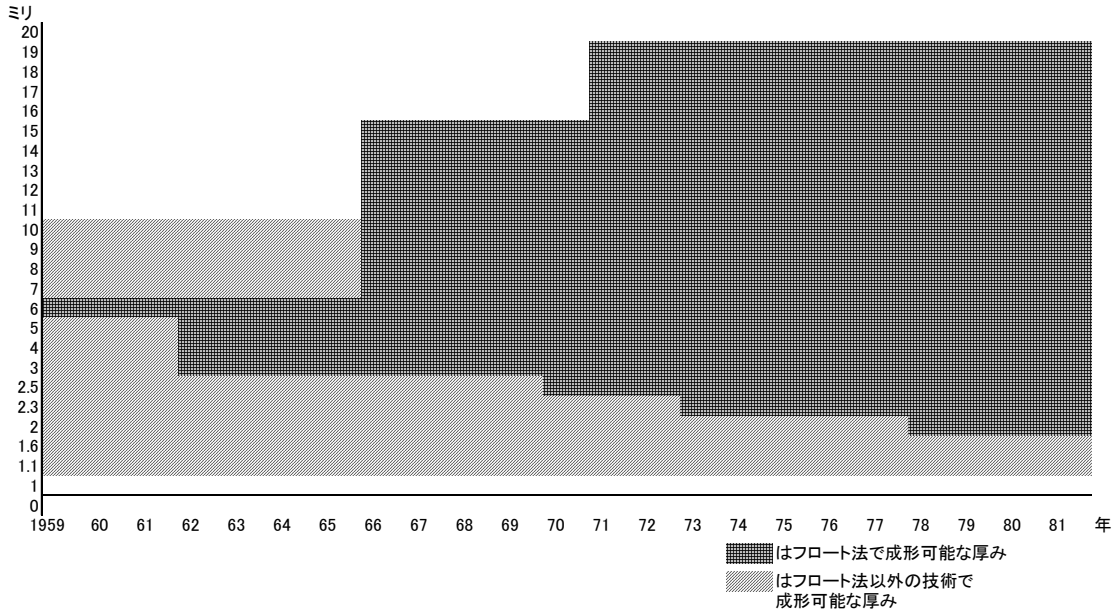
各種資料より作成

図4 フロート法のライセンス・コミュニティ



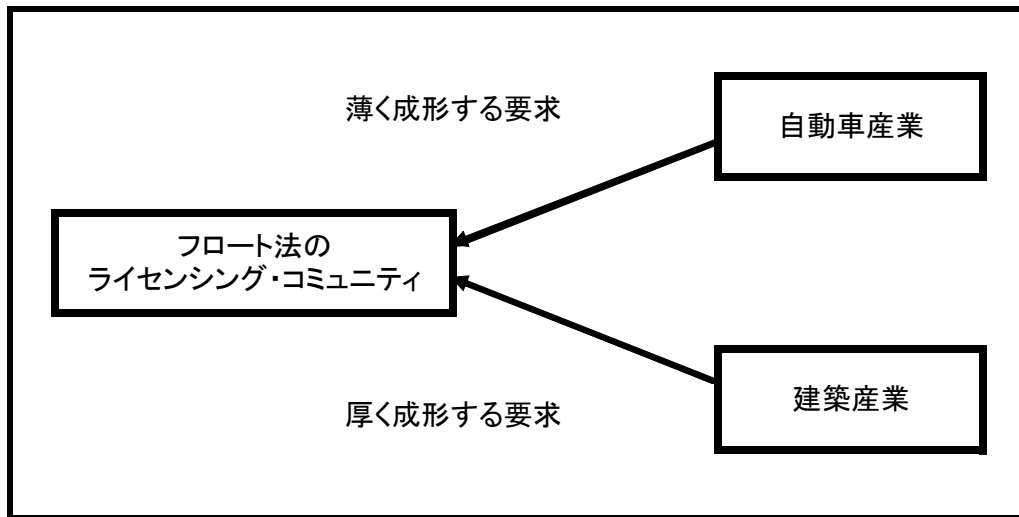
各種資料より作成

図5 フロート法で成形可能な厚みの進歩 (1959~1981年)



出所：大神 (2008)

図6 ユーザーも含めたコミュニティ



ユーザーも含めたコミュニティ

筆者作成

-
- 1) Tushman and Rosenkopf (1992)はクローズドシステムとオープンシステムの違いを製品の境界の有無と生産組織の数に求めている。つまり、クローズドシステムは時計や自動車のように製品に境界があり、単一組織によって生産されるが、オープンシステムは鉄道システムや電力システムのように製品の境界がなく、複数組織によって生産されるものとして捉えている。
 - 2) 自動平板引上法とほとんど同時期に、ロールアウト成形法と呼ばれる成形技術も登場した。この成形法は、板ガラスだけでなく、網入板ガラスや線入板ガラスといった特殊ガラスを製造する技術であるが、本研究は議論の単純化のために主な透明な板ガラスの成形技術に焦点を当てるので、対象としない。
 - 3) フルコール法には熔融ガラスとデビトーズが接する縁の部分にガラスが結晶化した失透とよばれるものが発生してしまうという問題があった。この失透が成長すると引き上げられるガラスリボンに細い筋を刻印し、ガラスの品質劣化が生じるので、これが目立ってくると引き上げが一度中止された。そして、再加熱により失透を溶かし、デビトーズの表面を清掃した後、再び引き上げが開始された。このように引き上げ開始から中止までの期間をマシンライフと呼ぶが、それが1~2週間程度しかもたないということがフルコール法の生産性の低さにつながっていた。対するアサヒ式は、失透が成長する前にアサヒブロック (Asahi Block) とよばれる円筒状の耐火物を少しだけ回転させ、失透のできる箇所を移動させて刷毛筋の発生を防止しながらガラスを引き上げる方法である。このアサヒ式のマシンライフは2~4ヵ月で、フルコール法の問題点が根本的に解決されたものであった。また自由表面から板ガラスを引き上げるピッツバーグ法に比べて、板ガラスの幅方向の厚みの不均一を少なくできるという長所もあった。その結果、アサヒ式は、生産性、品質面で優れた普通板ガラスを生産できる方法になった。
 - 4) 1924年までに全世界のフルコール法は15社18槽窯140機に達している。
 - 5) 日米板硝子の設立にあたってはリビー・オーエンス社が資本金の3分の1の20000株、住友家および旭硝子がそれぞれ9000株、日本硝子工業株式会社が5000株を引き受けている。旭硝子からは山田三次郎が取締役に、田村八二が監査役に就任している。また、旭硝子の岩崎俊弥社長の指示で、技師長格として山田直一、青木佐吉、柴田次郎の3名が派遣されている。旭硝子は築窯その他いっさいの施設をはじめ、主原料である珪砂の供給から、作業開始後における現場の指導監督にいたるまで、できるかぎりの便宜を与えている。なお、1931年に日米板硝子から日本板硝子へと社名を変更している。
 - 6) 旭硝子はフルコール法で薄いガラスを製造し、ピッツバーグ法で厚いガラスを生産するという、それぞれの技術特性を活かした生産活動を行っている。
 - 7) 自動車用ガラスの歴史に関しては尾島 (1991)を参照されたい。
 - 8) 現在、最大25ミリの厚さの製品がある (山根ほか, 1999)。19ミリを超える厚みのガラスは、大型のガラスの開口部を補強するリブガラスとして使われる。本研究は、板ガラスに焦点を当てるので、19ミリまでの成形可能な厚みに関する技術進歩を対象とした。
 - 9) 自動平板引上法によって製造される2ミリ未満のガラスは時計用あるいは電卓用、タッチパネル、顕微鏡用カバーガラス、薄膜太陽電池用の基板として用いられていた。