

プロセス産業における技術進歩と脱成熟

ーフロート法の事例ー

名古屋市立大学大学院経済学研究科 大神正道

要 旨

本研究の目的は、プロセス産業における技術進歩のS曲線の形成過程とその脱成熟の要因を探ることである。具体的には、板ガラスの成形技術、とりわけ現在においても支配的な技術であるフロート法を対象とし、特許出願動向のデータを収集・検討した。フロート法のS曲線は、建築・自動車用ガラス市場で形成されたように見えるが、液晶ディスプレイ用ガラス市場の誕生によって、さらに伸展する様子が明らかになった。この技術の脱成熟と言える現象は、既存市場に留まった欧米企業ではなく、新市場に進出した日本企業が牽引していた。本稿は、プロセス産業における新たな顧客の出現が、技術の脱成熟に影響を与えている可能性を示唆した。

1. はじめに

技術進歩のS曲線は、性能向上のために投じた努力量と、その成果の関係を表す関数である(Foster, 1986)。Foster(1986)によれば、技術が誕生した当初は、開発を前進させる鍵となる情報が集まらず、その成果はなかなかあがらない。そのうち、必要な情報が集まると、あらゆる制約が一挙に取り払われ、技術の急速な進歩が見られることになる。しかし、性能向上のために資金を注ぎ込むにつれ、最終的には、技術の進歩が実現するのがますます困難になり、しかも高くつくようになる。つまり、技術の進歩はS字型を描くことになる。

ただし、このS字型の技術進歩は単なる各自の企業の努力のみならず、企業間の関係性によっても影響される。Ogami(2015)は、ライセンス契約の存在が、技術のS曲線そのものを形作っている可能性を示唆している。同種の技術を使用する企業が複数ある場合、合理的な企業行動としては、各社は特許使用料の増加を回避し、新たな特許料を得ようとするので、開発競争が始めるだろう。たとえば、ある技術を開発した企業が、多くの競合他社にライセンス供与をした場合には、形成されたライセンシング・コミュニティ内の競合他社間で開発競争が始まることになる。つまり、技術の性能向上が加速するのである。

さらに、ライセンス契約のグラントバック条項というものが、一見すると技術的限界（あるいは技術進歩の成熟）に見える現象を引き起こす可能性がある(Ogami, 2015)。グラントバックとは、契約期間中に

ライセンシーが取得した特許の実施権、改良やノウハウの実施許諾をライセンサーに無償で与えることである(和久本・中野, 2005)。一方で、その他のライセンシーに対しては有償で実施許諾を与えることになる。このようなグラントバック条項のあるライセンス契約で形成されたライセンシング・コミュニティでは、ライセンス初期の企業行動は前述したような特許使用料の増加回避と新たな特許料の獲得に焦点が当たったものになると考えられる。しかし、特許の期限切れを意識するようになるライセンス末期では、特許権消滅後の自由な技術開発競争が始まることを見越して、他社を出し抜く(開発結果を独占する)ために有望な技術シーズの研究開発を抑制する、もしくは技術開発の結果を公表・共有しないという意思決定が行われてもおかしくはない。このような結果として、技術進歩のS曲線が完成あるいは技術が成熟したように見えるのである。

しかしながら、技術進歩に関わる企業間の関係性は競合他社だけではない。すなわち、顧客企業との関係性もS曲線の形成に影響を与えるだろう。本稿では、プロセス技術のS曲線について、現在においても支配的な板ガラス成形技術であるフロート法の事例を取り上げ、顧客企業との関係性が技術進歩に与える影響についての考察を試みる。具体的には、特許出願動向からフロート法の技術進歩や、技術開発における日本企業と欧米企業の差を確認し、その差が生じた要因に関して顧客企業との関係性という観点からの解釈を行う。

2. フロート法の技術進歩の事例¹

本研究では、フロート法で成形可能な厚みに関する技術の進歩について、二次資料を基にした歴史的記述を行った後で、日本企業と欧州企業の特許出願動向について比較する。成形可能な厚みに焦点を当てたのは、その広がり既存技術を代替する主な理由となったと考えられるからである。

Pilkinton社は、1962年までは単独である程度開発を進め、1962年からは、世界各社にライセンスを開始し、ライセンシング・コミュニティが形成され、コミュニティ内で開発競争が起きて、成形可能な厚みが広がっていくことになる。しかし、欧米企業において成形可能な厚みが生じてきた後にも日本企業では再び成形可能な厚みが広がり始め、1980年代前半には支配的な技術となったと考えられる。

2. 1. フロート法とは

フロート法とは、1959年にイギリスのPilkinton・ブラザーズ社が工業化した板ガラス成形技術で、溶かしたガラスの原料を、ガラスより重くガラスに濡れない(混ざらない)溶融金属である溶融錫の上に流し込むことで、火造り面で上下面が完全に平衡で平滑な板ガラスを成形する方法である(山根 他, 1999)。開発者のアラスデア・Pilkinton (Sir Alastair Pilkington)によれば、当初の目的は、自動車用ガラスを製造するための、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つた(Pilkington, 1969, 1970)。

¹歴史や技術に関する記述は、旭硝子株式会社臨時社史編纂室(1967)や旭硝子株式会社臨時社史編纂室(2007)、日本板硝子株式会社五十年史(1968)、成瀬(1958)、森谷 他(1963)、作花 他(1975)、尾島(1991)、山根(1999)、Utterback(1994)、森(2007)を参照し、再構成したものである。

フロート法で成形されるガラスの幅と厚みは、主に溶融バスへの流入量と徐冷炉の搬送ロールによるリボン牽引速度で決まるが、開発成功時に自然に成形された厚みは6.8ミリであった。そして、少し牽引速度を上げることで6ミリという厚みを成形することができた。この6-7ミリの厚みを「平衡厚み」という。 Pilkintonは、既存技術であるロールアウト成形法が支配していた市場の50%が6ミリという厚さだったことは幸運だったと述懐している(Pilkington, 1969)。

平衡厚みよりも薄いガラスの製造方法について、6ミリ未満の板ガラスは、リボン牽引速度を上げるだけでは難しくなる。いたずらにガラスリボンの引っ張り速度を上げると、その板幅が狭くなってしまう。このような薄板の生産には、補助ロールとよばれる斜めに設置された溝付き回転ロール (top roll) と呼ばれるものが用いられる。溶融錫上で平衡厚みになったガラスリボンの両端を補助ロールにより上から押さえてガラスリボン幅の縮小を防ぐのである。また、平衡厚みより厚いガラスの製造方法は、薄いガラスをつくるプロセスよりやや単純である。フロート法における厚板ガラスは、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が溶融錫で満たされたフロートバスの端部にセットされ、ガラスの横方向への拡がりや抑えられることで製造される。その結果、ガラスリボンの厚みは溶融ガラスの流量とスピードに規定される。カーボンフェンダーはガラスが自重で拡がらない温度に下がるところまで十分に長いものが取り付けられている(山根 他, 1999)。

フロート法は、成形可能な厚みが広がることで既存技術であるロールアウト成形法や、フルロール式引上法などの自動平板引上法を駆逐・代替することになる(森, 2007)。

2. 2. フロート法のライセンス・コミュニティの形成

Pilkinton社は1962年までに単独で3-6ミリの厚みを成形することを可能にした。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1962年よりPilkinton社は世界の板ガラスメーカーにライセンスをはじめることになるのである。

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Pilkinton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Pilkinton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。特許技術に関してはPilkinton社と開発したライセンシーのみで共有された。しかし、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ることになったのである (Wierzynski, 1968)。

2. 3. フロート法における成形可能な厚みの進歩とロールアウト成形法

Pilkinton社とライセンシー各社によって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っていくことになる。3ミリよりも薄い板ガラスについては、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)。

8 ミリよりも厚い板ガラスについては、ビルの高層化を背景に、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を行うことで1966年には15ミリまで、そして70年代はじめまでに19ミリまでのフロートガラスを製造できるようになった。10ミリ超の板ガラスは既存の方法で製造できなかったものである。これら15ミリ・19ミリのいずれの厚みについても、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ている(日本板硝子株式会社五十年史, 1968)。

このことをロールアウト成形法で成形可能な厚みと対比させながら整理すると次のようになる。1960年代、1970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。対する誕生当初の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年代後半には上限15ミリ、70年代には下限2ミリの製品を成形できるようになった。2ミリの製品は主に自動車用として用いられた。1981年までに、フロート法で成形可能な板ガラスの厚みの上限は19ミリを越え、その製品は超高層ビル用として用いられた。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より厚いものと、下限より薄いものをフロート法で成形することができるようになったのである。その結果、ロールアウト成形法は、特殊ガラスである網入り板ガラス等を作る存在になり、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。

2. 4. フロート法による既存成形法の代替と棲み分け

開発当初はフロート法で成形可能な厚みは限られた範囲だったが、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り、最終的には、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。そして、自動平板引上法で製造されていた普通板ガラスも、一部を除きフロートガラスが代替することになる。

Perry (1984) によれば、アメリカにフロート法が導入された1963年当時のアメリカ国内生産能力の約51%が普通板ガラス向け(自動平板引上法)で、残りの約49%が磨き板ガラス向け(ロールアウト成形法)であった。フロート法導入から10年後の1973年には、アメリカ国内生産能力の約59%がフロート法になり、普通板ガラス向け(自動平板引上法)は32%、残りの約9%が磨き板ガラス向け(ロールアウト成形法)になっている。このことから、フロート法は、ロールアウト成形法だけでなく、自動平板引上法までも駆逐していったのである。

ただし、自動平板引上法を完全に駆逐するには至らなかった(森, 2007)。自動平板引上法の改良が日本企業を中心に活発に行われ、それなりに対フロート法の競争力があつたからである。たとえば、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が誕生したが、そのアサヒ式は1980年代はじめまで技術輸出されるほど競争力があつた。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、販売しはじめたのである。

その結果、フロート法では製造できない厚みである2ミリ未満の市場のガラスは自動平板引上法によって引き続き生産されることとなった。2ミリ未満の製品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た。また、網入板ガラスや線入板ガラスのような特殊なガラスは、フロート法では製造できないので、それらは引き続きロールアウト成形法で生産されることになったのである。

2. 5. フロート法による成形可能な厚みに関する一時的停滞とさらなる進展

このように1960年代と70年代におけるフロート法は、少なくとも厚さ2ミリ未満のガラス市場では、自動平板引上法を完全に駆逐できなかった。その原因は、自動平板引上法における活発な技術革新とは対照的に、フロート法の技術革新が次第に鈍化していったせいであった。

フロート法の技術革新のスピードの変化は、特許出願件数にも現れていた。大関(1981)によれば、ピルキントン社がライセンス供与を開始した翌年1963年に、ピルキントン社とライセンシー各社が出願した特許件数は約20件で、1968年には50件に迫ったが、1973年には約15件に、そしてライセンス期間も終わりに近づいた1978年には10件未満になっている。まさにS曲線を描き、ちょうどライセンス期間が終わりに近づく頃には、開発が一段落したようにみえるのである。

ところが、1980年に入ると、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。1982年からはフロート法での超薄板ガラスの量産がはじまり、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。また、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。その後、自動平板引上法はほとんど姿を消すことになった(森, 2007)。

上述した通り、フロート法開発の当初の目的は磨き板ガラス製造におけるロールアウト成形法の代替であった。フロート法の技術開発が進み、製造可能な厚みが広がるにつれ、フロートガラスは磨き板ガラスを代替し、磨き板ガラス製造におけるロールアウト成形法はその役割を終えることになった。そして、フロートガラスの品質と生産コストは普通板ガラスの一部までも代替、駆逐することになったのである。

3. 特許出願動向に見るフロート法の進歩

本節では、第2節で記述したフロート法の進歩の歴史(上述したフロート法誕生から競合技術の代替までとその後)について、特許出願動向という観点から技術開発の程度を量的に確認する。

3. 1. 特許出願動向に関するデータ

フロート法に関する技術開発動向を検証するために、特許情報プラットフォーム(Japan Platform for Patent Information: J-PlatPat)²を用いた。J-PlatPatでは、FI(国際特許分類を細分化した日本特許庁による分類)のメイングループが「C03B18/00」(液体の表面に接するガラスの成形)に分類されるデータを集めた。また、フロート法の技術進歩の程度を理解するために、2015年までの50年間以上を対象とした。検索結果から得られた「公開特許公報」(特許を出願して1年6ヶ月後に発行される公報)、「公表

² 特許情報プラットフォームとは、特許庁が2015年3月23日から提供を始めた特許情報提供サービスである。

特許公報」(外国語で出願された特許協力条約に基づく国際出願が日本国内に移行された際に発行される公報)、「再公表特許」(日本語でされた国際出願が日本を指定している場合に情報提供が行われる。ただし「再公表特許」は、先行技術調査のための情報提供を目的とする行政サービスであり、法律上の公報ではないため「再公表特許公報」ではない)、「特許公報」(特許権が認められたものが掲載されている公報)について、「出願年」、「特許権者」、(特許権者の住所を基に分類した)「特許権者の居住国」の情報をを用いた。

3. 2. 日本におけるフロート法に関する特許出願動向

日本におけるフロート法に関する特許出願動向について、縦軸に累積の特許出願件数と各年の出願件数をとって、時系列で整理すると、図1のようになる。1954年から2015年までに合計で748件の特許出願がある。

フロート法を開発したピルキントン社は、他社へのライセンスを1962年に開始することになる(森, 2007)が、それまでの累積特許出願件数(1954年から1961年)は8件で、1962年から急激に件数が増える。1962年は単年で7件の出願があり、1963年には26件、それから10年以上にわたって二桁の出願が行われることになる。つまり、ライセンシーの増加とともに、出願件数が増加していることは明らかである。しかし、ライセンス契約の期間は16年とされており(Wierzynski, 1968)、最初のライセンシーとの関係が切れた直後の1978年から、出願件数は一桁になる。その後も特許出願は減少し、一度はS曲線を描くことになる。ところが、その後、再び急激な伸びをみせ、2000年代に入ると、2000年、2001年、2004年、2015年を除いて2桁の出願がある。

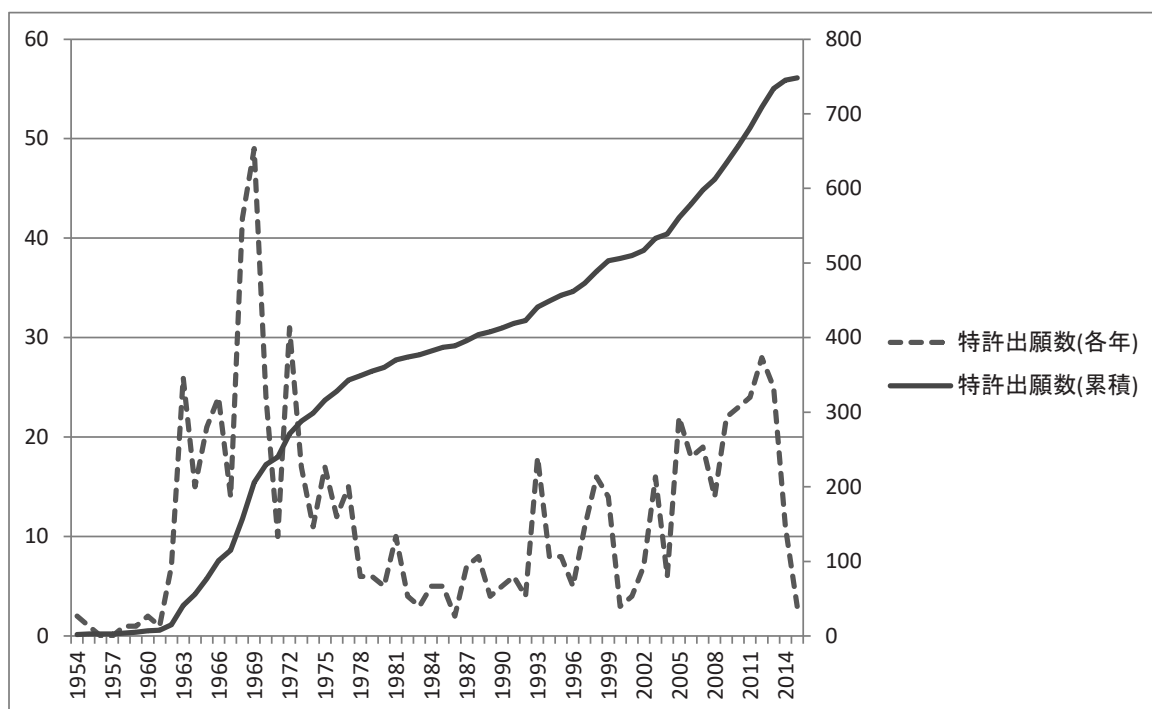


図1. フロート法に関する特許出願動向

3. 2. 日本におけるフロート法に関する特許出願動向

日本企業と、(ピルキントン社を中心とする) 欧州企業、米国企業の出願動向を確認する。図 2 に示されるように、欧州企業と米国企業の特許出願は、ライセンスが切れたと考えられる時期の後からほぼ横ばいで、S 曲線を描いている。しかし、日本企業においては明らかに異なる動向を見て取ることができる。日本企業の特許出願数は 1992 年にヨーロッパ企業にほぼ追いつき(日本企業 161 件、ヨーロッパ企業 162 件)、1993 年には追い越し、2015 年までに 2 桁の出願をする年は 11 年ほどある。

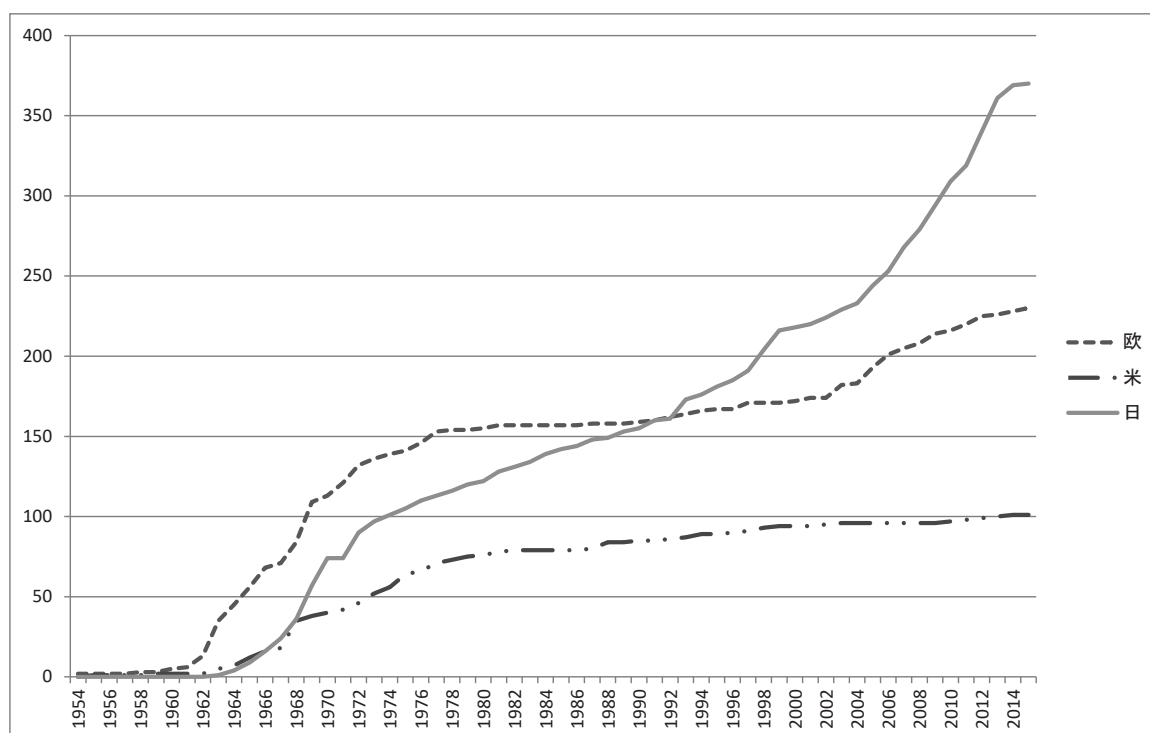


図 2. 日米欧企業の出願動向

フロート法はもともと自動車用ガラス製造法を代替するために開発されたものである(Pilkington, 1969, 1970)。自動車用ガラス市場を相手としたフロート法は、1954 年から 1980 年代前半までの特許出願動向は S 曲線を描いているといえる。しかしやがて、建築用、とりわけ高層ビル向けの板ガラスを製造するものとしてフロート法が用いられるようになり(森, 2007)、1980 年代頃には、建築用ガラス市場と自動車用ガラス市場の 2 つの市場からの要求を満たす必要に迫られた。さらに、1990 年代後半からは、液晶ディスプレイ用基板ガラスの需要が本格的に高まる(新宅・天野, 2009)。こうした新しい市場の要請に積極的

に応え、新しい需要を取り込んでいこうとした日本企業の手によって、S 曲線は再び伸展を始めるのである。

実際、フロート法を開発したピルキントン社と日本の主要ガラスメーカー2 社の日本における特許出願動向は図 3 のようになる。ピルキントン社は 1969 年まで累積で 70 件と活発に特許出願を行うが、1970 年以降についてはほとんど行わなくなる。1970 年から 2015 年まででも 31 件のみである。それに対して、日本企業 2 社は継続的に特許出願を行うことになる。特に旭硝子の伸びは顕著であることがわかる。

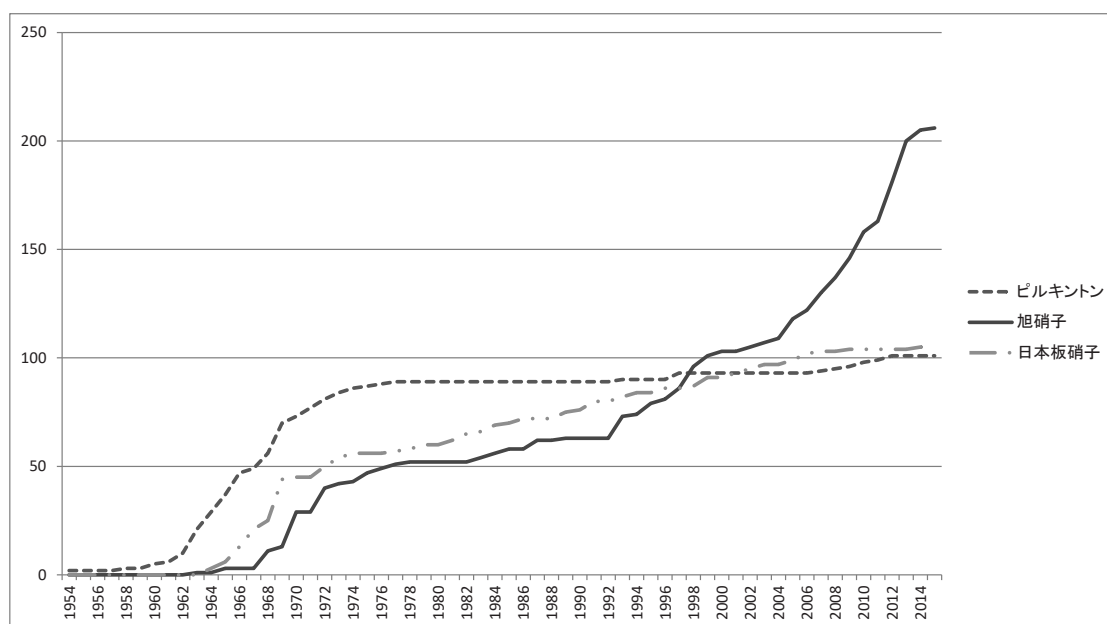


図 3. ピルキントン社と日本企業二社の比較

4. おわりに：事例の解釈

本稿では、フロート法の成形可能な厚みの進歩に関する歴史を記述し、1954 年から 2015 年までのフロート法に関する特許の出願動向についての考察を行った。その結果、横軸を時間にした場合、欧米企業では完結した形の S 曲線が出現するが、日本企業においては一時停滞した技術進歩が再度伸展する状況が生じた。その理由について、Ogami(2015)では、主としてライセンス契約のグラントバック条項の影響について指摘している。つまり、グラントバック条項のある技術ライセンス契約を結んだ場合、ライセンス初期から中期においては特許出願が増加するが、契約終了が意識されるような時期になると、有望な技術シーズの研究開発の公表が抑制されるという考え方である。本稿では、顧客企業からの要請という解釈により重きを置いて解釈している。フロート法の技術的な進歩は、自動車メーカーからの要求を満たすことで、

また、建設産業からの要求を満たすことで、S 曲線が成立した。しかし、その後、S 曲線が完結したように見える欧米企業と、脱成熟して再成長をはじめたかのように見える日本企業との間で違いが見られた。日本企業においては、自動車メーカー、建設産業に続く、新たな顧客として、液晶テレビメーカーが登場したのである。このように新たな顧客からの要求に伴って、新しい技術開発が始まり、その進歩の在り方に影響を与えたと考えられる。

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.
- 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.
- 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.
- 『日本板硝子株式會社五十年史』(1968) 日本板硝子.
- Ogami, M. (2015). The false S-curve shaped by licensing agreements. *Annals of Business Administrative Science*, 14(6), 351-364.
- 尾島正男 (1991) 「自動車用ガラスの歴史」『自動車技術関東支部報 高翔』16, 11-16.
- 大関晃司 (1981) 『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.
- 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.
- 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.
- 中野剛治, 和久本芳彦 (2005) 『経営戦略としてのライセンス』『赤門マネジメント・レビュー』4(1), 1-44.
- 新宅純二郎, 天野倫文 編著 (2009) 『ものづくりの国際経営戦略—アジアの産業地理学』有斐閣.
- 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 編集 (1999) 『ガラス工学ハンドブック』朝倉書店.