

〈論 文〉

ロードレース的技術進化のプロセス

—日本のルームエアコン産業の事例研究—

中 原 久美子*

I 研究課題と先行研究の検討

本稿の目的は、日本の家庭用ルームエアコン（以下 RAC）¹⁾産業を事例として、ロードレースに似た企業間競争の存在とその具体的なプロセスを記述しながら、産業レベルの技術進化のファクターとしてはあまり注目されてこなかった企業間競争に焦点を当て、この技術進化のパターンが、産業レベルの技術進化の議論の中で、どのように位置づけられるのかについて検討することである。

まず議論のはじめに既存研究を整理する。産業レベルの技術進化のパターンについての議論では、明確な段階変化を経て技術が漸進的な進化へ移行することを前提とした議論が多い。良く知られているアバナシー・アターバックモデル（A-U モデル）では、商品ライフサイクルという概念の中で製品技術の革新と製造技術の革新の発現段階を区別し、経時的に製品技術の革新から製造技術の革新へと移行し技術が進化・成熟していくことを説明している [Abernathy and Utterback, 1978]。そして、そこでの技術的なパラダイム [Dosi, 1982] が一旦確立して以降の進化のパターンとしては、経路依存性 [David, 1985]、漸進的なイノベーションの累積効果 [新宅, 1994]、企業と顧客が互いに働きかけながら、階層的に問題解決を実現していく過程 [Clark, 1985] 等が検討されてきた。あるいは確立した技術パラダイムにおける技術進化のメカニズムとして、例えば Rosenberg [1976] では、技術の不均衡の解消という概念が提示されている。

この漸進的な技術進化の段階で、企業間競争がどのように作用しているのかについては、技術的な収斂化のメカニズムが強調されることが多い。沼上他 [1992] は、技術進化を各企業の戦略スキーマ（思考枠組み）による学習プロセスと捉えた。企業は互いに競争しながら独自の戦略スキーマを構築し、この戦略スキーマに基づいて行動する。そこでは単なる相手の模倣ではなく、相手の次の製品を予想しつつ自社製品に取り込む「先読み行動」を行う結果、製品は同質化していくが、競争によってそれぞれの技術が進化し、産業レベルでの技術進化に貢献していくことを説明している。

* 京都大学大学院経済学研究科ジュニアリサーチャー

1) 日本の RAC は基本的に一対の室内ユニットと室外ユニットで構成されるセパレートタイプである。室内ユニットは熱交換器、ファン、ファンモータを、室外ユニットは圧縮機（制御装置・モータ）、熱交換器、ファン、ファンモータを有し、その両ユニットを冷媒配管でつなぐ構成となっている。

また進化に関する仮説の一つである「赤の女王仮説」²⁾を思考の枠組みとして取り入れ、産業内での企業間競争について議論した Barnett らを端緒とする一連の研究では、他の企業と激しい競争にさらされることが、その企業の生存率や成長率を高めるが、競合企業が同様の行動をとることによるネガティブな影響を指摘している [Barnett and Hansen, 1996; Barnett and Sorenson, 2002]。企業は、産業内の企業間競争が激しい場合、環境変化に適合するために探索と学習を進め、環境への適応度を高めようとする。技術進化にこの議論を援用した研究では、他社の新製品を模倣することは業績にプラスの効果をもたらすものの、他社が同様に模倣することで業績は下がるという関係が指摘されている [Giachetti et al., 2017]。また激しい競争に対抗するための競争行動によって、さらに新しい競争行動が必要になったり [Derfus et al., 2008]、その結果、優位性は一時的なものとならざるを得なくなる [D'Aveni et al., 2010]。競争的な行動が周囲の企業との競合関係を強めることになり、周囲も同様の行動をとるため、結果的に相対的な差がつかなくなるのである。

これらの議論は、企業間の模倣と収斂のメカニズムおよび産業全体の進化との関係に焦点を当てている。だが、実際の企業間競争では絶えず差別化を志向しており、そのことが産業レベルで見た技術進化のエンジンとなっているという点が、これらの議論では過小評価されているように思われる。収斂化が進む中でも技術は漸進的に進化していくのであり、特定の技術に収斂しないで発展していくプロセスにもっと着目すべきではないだろうか。

そこで、本稿では、企業間競争としては差別化と収斂化を繰り返しながら産業全体としての技術進化が進むという枠組みを用いて事例を検討したい。具体的には、ロードレースに似た企業間競争の中で技術進化が進むというフレームワークを、「ロードレース的技術進化のプロセス」と呼び、日本の RAC 産業を事例にそのプロセスを記述する。

「ロードレース的技術進化のプロセス」を簡単に整理すると、以下のようになる。企業はイノベーションを狙って相互に行動を観察し合いながら市場で受け入れられる技術を探す。そして、一旦市場に技術が受け入れられ、ある企業が突出し、産業内で「機能的・技術的拠り所」(以下「拠り所」)が定まると、フォロワーによって「異なる技術による機能追隨行動」がとられる。そして、この追隨行動によって機能的に収斂することで、企業間競争が均衡状態に戻り、企業は次の新しい技術探索へ向かう。この際、先行者とフォロワーは常に同じではなく、プレイヤーが入れ替わりながら差別化と追隨が繰り返されて、産業レベルでの技術進化が実現していく。

このように、これまで議論されることの少なかった差別化を前提とした企業間競争がどのように産業レベルの技術進化につながっていくのか、という問題について、そのメカニズムを明らかにすることが本稿の目的の一つである。そこで、産業レベルの比較的長期間の技術進化に、企業がどのように関わってきたのかを記述する事例研究を分析方法として選択する。

2) 元々進化に関する仮説の一つであり、1973 年にアメリカの進化生物学者 Leigh M. Van Valen によって提唱された。彼は、生物の分類単位である科の生き残りの可能性は経過時間とは関係がないこと、また絶滅の可能性はランダムにおこることを発見し、改善や進化が種・個体・遺伝子の存続に有利となることを示唆している。またこの「赤の女王」も、もとは Lewis Carroll の小説『鏡の国のアリス (Through the Looking-Glass, and What Alice Found There)』に登場する「赤の女王 (Red Queen)」に由来し、作中で彼女が「その場にとどまるためには、全力で走り続けなければならない ("It takes all the running you can do, to keep in the same place.")」と発した台詞による。

Ⅱ 事例研究

本稿で日本の RAC 産業を対象とするのは、本稿の主張である「ロードレース的技術進化のプロセス」、つまり製品差別化を前提として競合他社の動向を踏まえて技術を模索し、そのプロセスを通じて産業全体としては技術進化が実現されていく、というパターンが散見されるからである。

事例の対象期間は、日本において本格的に RAC 産業が立ち上がってきたと認められる 1970 年 1 月から 1995 年 12 月までの 26 年間である。理由は比較的長期間の事例を検討することで、産業レベルの技術的進化の変遷を観察することが出来るからである。またこの期間を選択した理由は、1998 年 6 月の改正省エネ法施行によるトップランナー方式導入以前、つまり、企業間の技術競争が自然に展開されている産業に規制という外部圧力、しかも強めのものが加わる以前で、この規制による影響がほばないと考えられるためである。対象企業はこの間日本のエアコン産業において常に市場シェア上位企業であった松下電器産業(株) (現パナソニック(株))、(株)東芝 (現東芝ライフスタイル(株))、(株)日立製作所、三菱電機(株) (以下、松下、東芝、日立、三菱と略す) の 4 社とする³⁾。

焦点をあてるのは、RAC の基本性能向上と省エネ性能向上に貢献した要素技術のうち、特に重要な①インバーター制御の実用化、②圧縮機構造の高効率化であり、②ではとりわけスクロール圧縮機の実用化に焦点を当てる。

以下にこれらの事例について具体的に記述していくが、その前に本稿のキーワードであるロードレースと、ロードレース的技術進化を引き起こす条件として考えられる、RAC 産業の市場構造、産業特質と技術の傾向について、それぞれ簡単に説明しておく。

ロードレース

ロードレースとは長距離を自転車やバイク等を用いて、ゴールまでの到着順位を争う競技である。レースを自らの優位に進めるために、ライバルやチームメイトをペースメーカーや風よけとして利用する戦略が用いられる。このとき先頭に立って風よけやペースメーカーの役になると、背後を追走するよりも負担が大きい。

日本の RAC 産業における技術進化でも、ロードレースのように「先頭を走るのは大変だが追隨するのは比較的楽」という競争形態が展開される。風よけやペースメーカー役を担う先頭走者がたびたび入れ替わりながら、大きな実力差がない中で耐久レースが長期に展開される点が特徴である。

日本の RAC 産業

エアコンは、その技術的特徴から基本的に漸進的に技術が進化してきた製品である。通常、産業内において技術的フォロワーは、技術的先行企業の行動や市場反応から新技術が市場で受け入れら

3) 事例の記述に当たっては、1970 - 1995 年の各社技術ジャーナル、松下電器産業(株)『ナショナルテクニカルレポート』『松下テクニカルジャーナル』、(株)東芝『東芝レビュー』、(株)日立製作所『日立評論』、三菱電機(株)『三菱電機技報』、(財)省エネルギーセンター「省エネ性能カタログ」1997 年、2002 夏号、松下、東芝、日立、三菱各社エアコンパンフレット 2003 夏号、1977、1982、1987、1992、1997 年版矢野経済研究所『日本マーケットシェア事典』および各社への聞き取り調査資料および各社 HP を研究資料として使用したが、紙面の制約上、引用として示すと煩雑になるため詳細を割愛した。

れるか否かを判断し、日和見や技術温存行動をとりながら最も合理的な選択を行う。この際、開発される技術によって、技術的先行企業が入れ替わることも多いが、その挙動が必ずしも市場シェアに反映されるとは限らない。

RAC を構成する要素部品の中で、消費電力が最も高く技術的改善の余地が大きいのが圧縮機である。インバーター制御は圧縮機の回転数制御を行うことにより、一方、スクロール圧縮機は従来のロータリー圧縮機よりも高い圧縮効率を実現する機構によって、ともに省エネルギー性・静音・低振動化・快適性の向上等、日本の RAC 市場で求められる種々の基本性能の向上を実現した画期的な技術である。

この産業では、市場から支持を得られた技術が産業全体で採用されることで、「拠り所」が確立し、技術が更新されていくという一連のプロセスが繰り返され、産業全体としては技術が進化して行く。これは、前述のロードレースと同様、競合他社をペースメーカーや風よけにすることで、自らは良いポジションで技術レースを展開し、あわよくば市場での優位性の獲得を狙うとするものである。これを本稿では「ロードレース的技術進化のプロセス」と呼ぶ。この中でどの企業が技術的先行企業あるいはフォロワーだったのか、また彼らがどのような企業行動をとり、それが市場シェアにどう影響したのかを以下に確認する。

1 インバーター制御の実用化

日本ではエアコンの消費電力の高さが電気料金に反映されることに懸念を示す消費者が多く、そのため製品には高い省エネ性が求められた。日本の RAC 産業においてもその黎明期から、省エネ性能は将来的な製品の普及と市場規模拡大を左右する重要課題であった。こうした事情を背景に、エアコンの構成部品の中でも、最も消費電力の高い圧縮機の高効率化は、省エネ性能向上の基本条件であり、大幅に省エネ性能を改善できるインバーター（周波数変換装置）制御の実用化は日本のエアコン業界全体の悲願であった。

しかし、既存の産業用インバーターは高価で、コスト面や物理的な大きさからも RAC への応用は長らく不可能であった。ところが、1980 年代に入り、パワーエレクトロニクス⁴⁾の進化と半導体価格の低下、さらに部品製造技術の向上や大量生産技術の確立、材料技術の向上、研究支援のためのコンピュータ技術の利用等により、部品製造が廉価に行えるようになった。その結果、新たなインバーター方式である正弦波近似 PWM⁵⁾インバーターが開発され、1980 年 10 月に東芝から発売された世界初のインバーターエアコンに続き、家電製品への応用が試みられる中で、はじめて実用化されたのが RAC である⁶⁾。

4) パワーエレクトロニクス (Power Electronics) は、電力用半導体素子を用いた電力変換と制御に関する技術を扱う工学で、それらをメインにした応用システム全般の技術もさす。代表的な技術例として、交流から直流に変換する順変換器 (整流器)、直流を交流に変換する逆変換器 (インバーター) 等の半導体電力変換装置が挙げられる。またその利用例として、発電や送電等の電力分野、回転機・ファン・ポンプ・ブロー等を利用する産業分野、通信システムや工場等の電源装置、電車の駆動・変電等の電気鉄道分野、自動車、家庭用電化製品等非常に幅広く使用されている。

5) Pulse Width Modulation の略。パルス幅変調 (パルスはばへんちょう) とは変調方法の一つであり、パルス波のデューティ比を変化させて変調すること。機械工学等においては、スイッチ on/off の比率を変化させる手法。

インバーター制御が実用化される以前は、マイコン等でモータの電源を ON/OFF することで圧縮機容量/能力制御（圧縮機駆動モータを制御し、室内温度を調節する等の機能）を行っていた。しかし、この方式では冷媒循環量が 0 か 100 かのどちらかとなるために、室温が急上昇・急下降するたびに不快感をともない、さらに度々 ON/OFF 作業が繰り返されることで、消費電力が高くなり、ランニングコストがかさむという問題点があった。一方、新技術のインバーターは、モータの電源を常に ON にした状態で、モータの回転数を高速や低速に制御し、循環冷媒量を調節しながら室内温度を一定に保つため、不快感および消費電力を大幅に低減することが出来る。

日本の RAC 産業では、1982 年に東芝が世界で初めて AC 駆動モータ搭載インバーター RAC（「木かげ RAS-225PKHV」）を実用化したが、この RAC の実用化には、インバーターの開発の他に新冷凍サイクルの設計、新たな部品の開発、電子技術と機械技術の融合など圧縮機を一から作り直すほどの技術改善が必要だった。

ここで技術的先行企業の東芝の動きを確認しておく。ちなみに、当時の東芝の国内市場シェアは 2 位である。東芝従来製品比で 40% の消費電力削減を実現した、世界初のインバーターエアコン（業務用）の発売から 2 年後の 1982 年には家庭用⁷⁾にもインバーターエアコンが実用化されている。インバーター RAC の実用化に際して最も懸念されたのは、製品価格の上昇を伴うこの技術が、市場で受け入れられるか否かであったが、幸いにも東芝のインバーター RAC は市場から絶大な支持を得、これを見た競合他社もすかさずこれに追随することになる。

フォロワーの動きを確認すると、82 年の後半には日立が DC 駆動モータ搭載インバーター RAC を実用化し、東芝製品と同様、従来品比約 40% の省エネルギー効果向上を達成している。この製品の実現には、DC 駆動の圧縮機用電動機が用いられ、同時に回路の小形化と高信頼化が図られたが、こうした技術の実用化も世界初で東芝とは異なる技術が採用されている。続いて 84 年には松下がインバーター RAC を実用化し、85 年には三菱が AC 駆動正弦波 PWM インバーターに三菱独自の新技术「ミクロス回路」を付加することで効率向上⁸⁾を図った。この省エネ冷凍回路は、既に 1984 年にエアコン・冷凍庫等の冷凍・空調機器用に開発されていたものである。

インバーター RAC の製品化当時、東芝は技術普及を目的としてこの新製品についての技術および特許を公開しているが、フォロワー各社が追随した技術は、東芝の技術を回避したものであった。各社が実用化した技術は、東芝の技術を模倣するというよりも、技術的抵触を回避しながら目的機能を実現し、さらなる効率化を図っている点が特徴的であり、産業全体では、4 年程度でインバーター RAC が実用化されている。

フォロワーである日立の新技术のレベルの高さや三菱の新技术の出自等を考えると、技術的先行企業である東芝への対応というより、元々自社の他製品で実用化済み、または RAC への実用化段階にあった技術を応用したものと考えられる。技術の発表時期をみても、東芝が 1982 年に新技术

6) 1980 年 10 月に世界初の業務用インバーターエアコンを発売した東芝は、1980 年 12 月に RAC 用インバーターエアコンの開発に着手、部品の一部は半導体事業部と共同で開発し、技術的なめどが立ったのは 1981 年 8 月末で、インバーターのサイズは業務用の 1/3、価格は 2/5 に改善され、同年 12 月には報道発表された。

7) 当時の東芝のインバーターエアコンの代表機種である RAS-225PKHV の仕様は、冷房能力 2,240kcal/h、消費電力は 1,030W/h である。

8) 当時の三菱のインバーターエアコンの代表機種である MSHZ-2330R は、冷房能力 2,240kcal/h で、消費電力は 890W である。これは東芝の同型機種との比較で 140W の消費電力削減を実現している。

を実用化（発表は1981年12月）し、日立が1982年の後半に同様の技術を実用化したと考えると、日立はこの短期間で東芝の先行技術を回避した上で、同様の高度な技術を用いて同様の機能を実現したことになる。しかし、先行企業の東芝ですら業務用から家庭用への応用に2年を要しており、実用化は簡単ではない。ところが、日立の新技術投入のタイミングは東芝のそれと半年程度しか違わないことから、日立が技術的先行企業になっていた可能性も残る。つまり、日立以下のフォロワー企業は技術的先行企業である東芝の動きを日和見し、技術温存していた可能性を否定できない。

一方、技術的先行企業である東芝発行の自社製品および技術紹介雑誌『東芝レビュー』では、インバーター RAC を市場投入する1年前に限って、エアコンに関する記述や関連技術についての記述がほとんど見られない。このことから、競合他社には出来るだけ技術開発の進捗状況を伏せて市場投入の機会を窺い、機能面・技術的な差別化を図ることで、産業内での優位性獲得を目指していたと考えられる。他方、技術的先行企業が新技術搭載製品の価値を市場に問い、ある程度その答えが出るまで「日和見」行動をしてから追従行動をとっても、市場でのポジションを維持できるのは、競合他社にも高い技術力があるからである。

ここで、市場シェアの変化を確認しておきたい（図1）。東芝がインバーター RAC を投入する以前、当時業界1位の松下と2位の東芝には15%ほどの差があるが、5年ほどで東芝が松下のシェアを奪っていく形でほぼ解消されている。日立、三菱もインバーター RAC の市場投入後はシェアを微増させており、ともに市場におけるポジションを維持している。

この一連の流れは「リスク&リターンを観察」―「追従するか否かの判断」―「異なる技術による同機能追従」という形で確認できる。本稿ではこれを「ロードレース的技術進化のプロセス」とよぶ。このプロセスの中で「拠り所」が定まると、産業内での技術的な方向性が揃う上に、技術的課題も共有しているため、産業内ではインバーターに関する種々の技術課題をクリアするための対応がとられるが、現在に至る省エネ性能をはじめとするエアコンの基本性能の格段の向上はこうした企業行動の成果である。

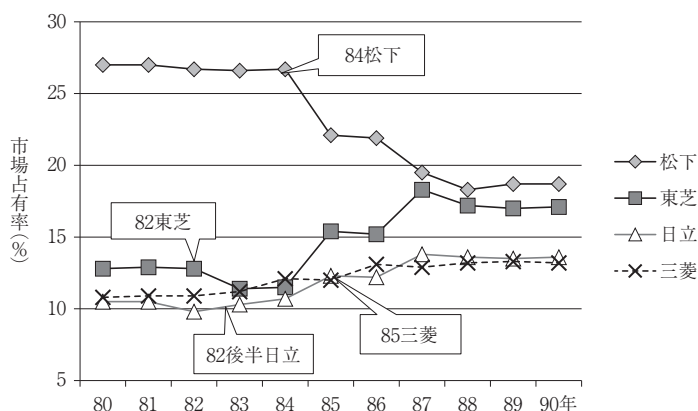


図1 インバーター RAC 投入時期と市場シェアの変化

出所：各社技術報および『日本マーケットシェア事典』より筆者作成

インバーター RAC 製品化の事例では、複数のフォロワーの存在、速い追従速度、技術の種類の豊富さ等が特徴的だが、フォロワーはいずれも総合家電メーカーで、新製品開発の際に他製品・他

分野で用いられる電子技術の応用で利があったことも指摘しておくべきだろう。

このようなロードレース的技術進化のプロセス、つまり、技術的先行企業の新技术に対して市場がどのような反応を示すかを観察した上で、フォロワーである競合他社が追随する行動は、技術的先行者にリスクを負担させる点で一見不公正にみえる。しかし、フォロワーがいなければ、「抛り所」は確立されず、インバーター技術をめぐる競争が発生することもなく、産業内における技術の洗練や高度化も難しかったと考えられる。つまりフォロワーは産業内で技術を進化、高度化させる主体として、重要な役割を果たしていると言える。しかし、周囲が同じ行動をとることで企業間の優劣の格差は広がらず「赤の女王」理論で言うところの「その場にとどまるためには、全力で走り続けなければならない」という皮肉な状況を生じさせる。

2 スクロール圧縮機⁹⁾

日本の重工業界では1960年頃に、エネルギー効率の向上等を目的として往復動（レシプロ）圧縮機から容積形圧縮機へ変更が進み、日本のRAC産業では、1973年の第一次石油ショックを契機として、業界全体でロータリー圧縮機への転換が進み、その後さらなる省エネ性向上のためにスクロール圧縮機が実用化された。

インバーターの導入で圧縮機的能力制御が見直されたのと同様に、技術的に伸び代があるのは圧縮機構造である。ここで事例として挙げるスクロール圧縮機には、低振動・低騒音、小形・軽量、高信頼性、高効率圧等の多くの利点があり、長年、実用化に向けて研究が続けられていた。一方で、スクロール技術の実用化には、大きく分けて、①高い加工・量産技術、②旋回スクロールのスクロール支持機構の構成、③冷媒漏れを防ぐためのシール技術、④摺動部分の摩耗を抑えるための耐磨耗材や潤滑剤の選定等の技術課題もあった。

そもそもスクロール圧縮機がRACに実用化された背景には、ロータリー圧縮機の圧縮原理に由来する騒音・振動問題と、圧縮機性能の高効率化の問題があった。インバーター制御技術の進化とともに、既存のロータリー圧縮機ではこれらの両立が難しくなっていたのに加え、1973年の石油ショックも相まって、圧縮機の高効率化で電力消費のさらなる低減を目指す必要に迫られたのである。

日本では1970年代半ばからスクロール圧縮機のRACへの実用化に向けた研究が始まり、1981年頃から実用化された。この実用化を可能にした要因として、1980年前後に数値制御工作機械が発達し、精密加工技術が著しく進歩したこと、種々のスクロール支持機構が開発されたこと、またコンピュータ技術の発達から解析手法が確立され、シミュレーションが容易となったこと等が挙げられる。その後スクロール圧縮機は広く普及し、1990年代半ばには日本のRAC業界で主流となった。

ここで従来のロータリー圧縮機とスクロール圧縮機の違いについて簡単に確認しておく（表1）。なお、その後ロータリー圧縮機は、シングルからツインロータリーとして進化し、短所の改善、機能向上がなされたことを付記しておく。

スクロール圧縮機搭載エアコン¹⁰⁾は1983年3月に日立が世界で初めてパッケージエアコン（業

9) スクロール圧縮機は1905年にフランス人Creuxによって発明され、米国で特許取得された、技術的には新しい技術である。

表 1 ローター式圧縮機とスクロール圧縮機の比較

	ロータリー	スクロール
メカニズム	ローラーの回転運動で、吸入→圧縮→吐出の工程を順次行う方式。	固定スクロールと旋回スクロールの 2 枚の渦巻き状の羽根が回転し、吸入→圧縮→吐出の工程を同時に行う方式。
長所	部品点数が少ないため、スクロール圧縮機と比較して小型軽量化が可能。	部品点数はロータリーより多いが、小型軽量化が可能。インバーターによる可変速に適し、省エネ性の向上が狙える。
短所	ローラーが低速回転時、回転ムラが起りやすくなるため、可変速に対する適性はスクロールほどない。	作動条件によっては逆止弁が破損しやすくなることがある。
効率 (省エネ性)	圧縮室の差圧が大きいため圧縮ガスが漏れやすく、効率面でロスが生じやすい。	構造上、圧縮ガスの漏れが少なく高効率。
製造コスト	構造が簡単なためスクロールよりもコストを抑えられる。	構造が複雑な上に素材にも工夫が必要でロータリーよりもコスト高になる。

出所：各社技術報より筆者作成

務用) に実用化し、同年 5 月に販売したのが最初である。この際「中間圧利用旋回スクロール支持機構」が用いられ、開発・実用化された技術特許¹¹⁾のいくつかが公開されている。

開発された当時の 2.2-3.75kW スクロール圧縮機は、従来品比で、容積で 40% の小形化、重量で 15% の軽量化のほか、約 5 dB の騒音低減を達成したが、この時点ですでに「空調機用圧縮機の適用容量の拡大と、小形汎用空気圧縮機への適用」が課題として挙げられ、RAC への応用が示唆されている。

スクロール圧縮機搭載エアコン実用化の際、日立ではそれまでユニット内でバラバラだった圧縮機のモータをスクロールに最適な直流 (DC) 駆動に一本化するという技術課題をクリアする必要があり、これにより機器の効率が一層向上することとなった。つまり、スクロール圧縮機の採用をきっかけに周辺技術が見直され、それが製品自体の高効率化に貢献したのである。

次にフォロワーの動きを見てみよう。1984 年には三菱が日立とは異なる新方式「偏心ブッシュを用いた可変半径クランク機構」と新たに開発したシール技術で、スクロール圧縮機搭載パッケージエアコン（業務用）を実用化し、併せて特許が公開されている。なお三菱はこの高精度の加工を実現する技術で、製品組み立て時の部品調整を不要にし、製作コストを引き下げること成功した。

この 2 社の関係性をみてみると、1981 年 5 月の時点で三菱がスクロール圧縮機開発の推進を明言している一方で、日立は三菱とは異なる技術で対応していることから、互いの不利益を避けるため技術面での重複が生じないよう配慮していた可能性が高い。また三菱は日立と同等の技術を持ちながらも、あえて日和見をしていた可能性も否定できない。というのも、三菱はこの業界の中でも

10) 日立がスクロール圧縮機に着目したのは 1975 年で、「この年渡米した機械研究所の A 部長が、おもしろい原理のものがある、省エネルギーに役立つのではないかと考えたのが最初」で、その後「スクロール圧縮機とインバータを組み合わせたプロトタイプを 1980 年の第 4 回日立技術展に出品し、さらに 1983 年 3 月に、世界で初めてスクロール圧縮機を搭載したパッケージエアコンを製品化」した。

11) 特公昭 57-23493 号「スクロール流体装置」、特開昭 55-148994 号「密閉型スクロール流体装置」他 2 件。

ロータリー圧縮機の技術に長けており、どの程度スクロール圧縮機の導入によるメリットを期待していたかについては疑問がある上に、その後の RAC 開発ではロータリー圧縮機の高性能化に技術シフトしているからである。

先行する 2 社（日立、三菱）がスクロール圧縮機を空調に実用化したのは、業務用エアコンに対してであり、肝心の RAC 業界で初めてスクロール圧縮機を実用化したのは松下で 1989 年のことだった。松下はこの時、既存技術のいずれとも異なる「スライドブッシュ機構」を開発し、さらに材料を工夫したスクロール圧縮機¹²⁾を開発している。この技術では、新たなスクロール支持機構の開発とともに、摺動部の磨耗の問題に対応した新材料を開発することで、先行する 2 社の技術とは差別化している。

松下には、日立や三菱のように事前にスクロール圧縮機に関する技術蓄積があったとは明確には認められないが、技術的には日立、三菱の特許を回避している。ただ松下の場合、他製品からの技術の応用という形をとった先行企業とは異なり、当初から RAC 用にスクロール圧縮機を開発している点が特徴的である。背景としては、技術的先行企業と比べて、業務用エアコンより RAC の生産がメインだった点や、インバーター制御 RAC にはスクロール圧縮機が適しているという技術面での事情が挙げられるだろう。

インバーターの事例と同様、スクロール圧縮機の実用化についても複数のフォロワーが存在し、ある程度の追随スピードで、各企業の技術に差別化がみられること、さらに RAC への応用以前に RAC に転用可能な技術シーズを持つ日立や三菱が、技術があるにもかかわらず松下に先を越されている（先を越させている）点は、いわゆる“日和見”行動と読み取れる。こうした点からスクロール圧縮機の実用化プロセスも「ロードレース的技術進化」と判断してよいだろう。

ただスクロール圧縮機の実用化は、インバーター実用化の場合の省エネ効率向上のインパクトと比較すると小さく、市場シェアの変動はさほどなかった。しかし、消費者からの省エネ性能向上に対する強い期待を背景として、そうした期待に応えることが市場シェアを競合他社に奪われないための防衛手段として機能したことは容易に推測できる。

スクロール圧縮機搭載 RAC の実用化の事例では、日立が先頭を切り、三菱、松下が追随したことで、日本の RAC 産業では、スクロール圧縮機が「拠り所」として確立された。このことで、産業界内の技術の方向性が揃うとともに、技術的課題の共有もプラスに働いて、技術的な将来性が開け、スクロール圧縮機自体はもちろん、周辺技術の開発も進んだ。その後、スクロール技術が高度化し、省エネ性能の向上とともに実現できた低振動・低騒音等の製品アピールも市場で受け入れられたことが、RAC の市場規模の拡大¹³⁾に貢献した一つの要因と考えられる。

以上のように、スクロール圧縮機の RAC への実用化は、市場シェア 1 位の松下ではなく、3 位の日立が製品技術および量産技術の確立と周辺技術の変更というリスクを引き受け、パッケージエアコン（業務用）での実用化を果たした。そして、日立のすぐ後に、三菱もパッケージエアコンについて追随したが、初めて RAC への実用化を果たしたのは、当時市場シェア 1 位だった松下だった。よってインバーターの事例とは少し異なり、スクロール圧縮機の実例では日立と松下の 2 段階

12) この圧縮機には、①騒音が低い、②振動振幅は約 1/5-1/10 と小さい、③運転周波数範囲が広い等の特徴がある。

13) 1991 年にはそれまでの記録を更新して産業全体で 1 兆 4000 億円の売上高となった。

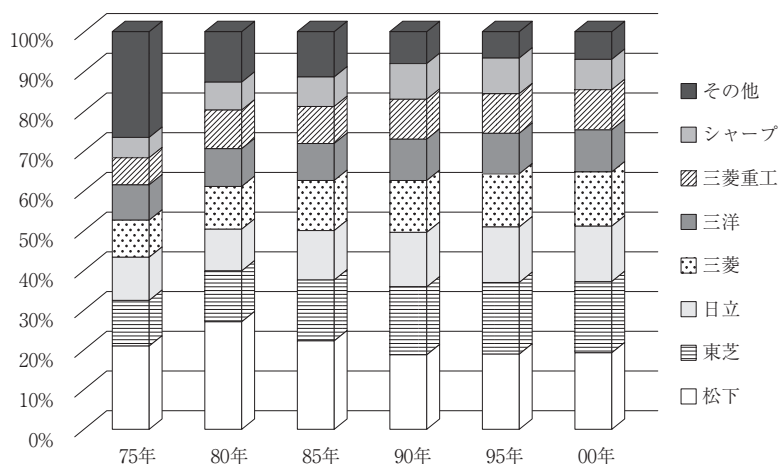


図2 RAC市場における企業別占有率の経年変化

出所：矢野経済研究所『日本マーケットシェア事典』より筆者作成

でリスクを分担したというイメージで捉えられる。

3 ロードレースの結果としての市場地位の変化

このようなロードレース的技術開発競争の結果、RACの基本性能や技術は各社で大差がつかない形で推移している。その背景として、各社とも①製品自体の改善の余地、②競合他社の特許、③市場ニーズ・社会情勢を把握していることが挙げられる。これらにより産業全体の技術の方向性が絞られるとともに、寡占市場における技術開発競争の長期化、激化により、結果的に技術力が均質化すると考えられる。さらに、総じて競合他社の技術追随能力が高いため、数年で技術的な差別化が無効になりやすく、決定的な先行者優位や後発者劣位につながりにくいのである。

図2は、日本のRAC産業における企業別市場シェアの経年推移である。この業界では1980年頃から1995年まで、松下、東芝、日立、三菱の上位4社の合計で市場シェアの60%を占める寡占市場で、上位4社に5位以下の三洋、三菱重工、シャープを加えると、上位7社を合計した市場シェアは90%に達する。この間、市場シェア上位企業で市場から退出した企業は1社もなく、順位もほぼ変わらない。つまり、各企業は熾烈な企業間競争の中で、新機能や新技術の市場投入を続けているものの、それがあまり大きな有意差にはつながらないということである。

この期間の日本のRAC市場では、機能や技術を契機とした市場の拡大はあっても個々の企業の市場シェアについては大逆転が難しい点が特徴である。それにもかかわらず、産業レベルで技術的に大きな進化が成し遂げられてきたのは、市場反応を見て企業が技術選択を繰り返し、地道なイノベーションを積み上げてきた成果といえる。

Ⅲ 考察とインプリケーション

1 考察

以上、インバーター技術とスクロール圧縮機の実用化の二つの事例を取り上げ、ロードレース的な技術進化のプロセスを記述した。

ここで観察されたロードレース的技術進化のプロセスを改めて簡単に説明する。企業はイノベーションを狙って競合企業の行動を相互に観察しながら市場受けする技術を探す。そして、先行する企業の提示した技術が一旦市場で受け入れられ、産業内で機能的・技術的「拠り所」が定まると、フォロワーによって「異なる技術による機能追従行動」がとられる。具体的には、単独の技術的先行者と複数のフォロワーの存在が認められ、追従に要するのはおおむね5年以内で、各社は市場受けする機能の充足を目指すため技術には差別化が見られ、産業レベルの技術は一つに収斂せず個々の企業の個性が残るかたちとなる。この際 RAC への応用以前に技術シーズを有している企業も多く、技術的先行者やフォロワーは入れ替わりながら、差別化と追従を繰り返す。

なお、このようなロードレース的なプロセスが観察されるためには、フォロワーによってすぐに追従されることが分かっているにもかかわらず、技術的先行企業が現れる理由が説明されている必要がある。本稿の事例では、①技術がどのくらいの期間で追従されるのかが不透明なため、先行者優位がある程度維持できるという期待がある、②他社に揺さぶりをかけ、他社の追従がもたつけば、しばらく自社がレースで先頭を走ることが出来る、という期待が市場シェア上位企業にあることがその理由として指摘できる。実際に、インバーターの事例では市場シェア1位の松下と2位の東芝とでは、技術的先行によって、一定程度、市場シェアの差が縮まったことが確認された。

本稿では、新機能・新技術に対してフォロワーが現れ、産業レベルの技術進化が観察される事例について説明したが、例外もある。例えば今日、日本市場での普及率が100%に達しているヒートポンプ RAC（冷暖兼用空調機）は、1960年代に市場に投入されたことがあるが、優れた機能にもかかわらず、顧客からの支持は低かった。その後、機能とランニングコストとのアンバランスが解消され、それまで主流だった冷房専用 RAC との比率が逆転したのは1983年のことである。この点については以下のような証言がある。

「技術的には各社では互角でも、製品化で追従するかどうかは（中略）消費者に受けるかどうかの評価・判断で分かれます」（A社・技術開発者への聞き取り調査より）

「ユーザに価値を認められなければ消えて行き、価値を認められた技術が淘汰されて残っていきます」（B社・技術開発者への聞き取り調査より）

このように市場が技術を選択する点、企業が市場反応に敏感に反応するのも日本の RAC 業界の特徴である。さらに、各社とも製品の改善の余地、競合他社の特許取得状況、市場ニーズおよび社会情勢を認識し、技術の方向性が揃って特定の技術に焦点が合わされる結果、技術力も総じて高くなり、産業全体で機能の収斂とともに技術が進化していくのである。

RAC は成熟製品であるが、日本の RAC 産業における技術進化の過程を観察すると、これまでにインバーターや DC モータの採用等、画期的な技術の導入が多く、それらは元々高価かつ物理的にも大きな工場設備やインフラ向けの大型機器の上位技術の転用であることが多い。それを可能にした要因には、部品の大量生産技術や精密工作技術の開発等の補完技術、周辺技術の向上と、市場からの省エネ性能向上への期待と圧力がある。

これまで見てきたように RAC 産業での技術進化は、市場シェア上位数社が担うことが多いが、また常に同じ企業がその役割を果たすとは限らず、開発される技術によって、その都度、技術先行

企業の入替えが起こる。しかし、それが市場シェアにはあまり反映されない。

日本のRAC産業では、市場シェア上位数社による寡占状態が、少なくとも25年以上継続しており、各企業の市場シェアにも大差はなく、この間にシェア上位企業で市場から退出した企業は一家もない。このことは、企業間技術開発競争が絶え間なく続いてきたのと同時に、産業内で技術力が均質化する一因ともなっている。

インバーター技術実用化前後の市場シェアを確認すると、1980年の市場シェアは、松下(27%)、東芝(12.8%)、三菱(10.8%)、日立(10.5%)の順、85年には松下(22.1%)、東芝(15.4%)、三菱(12.8%)、日立(12.3%)の順で松下のシェアを東芝が奪う形で東芝が市場シェアを上げているが、順位そのものは変わらない。そしてスクロール技術の実用化では1990年の時点で松下(18.7%)、東芝(17.1%)、日立(13.6%)、三菱(13.2%)の順、95年には松下(18.9%)、東芝(18.0%)、日立(13.9%)、三菱(13.5%)の順で、順位そのものが変わる程の影響を与えていない。

こうしたパターンになる原因として、エアコン自体が要素技術レベルで差別化しにくい製品であること、長年にわたる激しい企業間競争によって、競合企業間の技術レベルが均質化するとともに新技術への対応スピードが軒並み向上し、先行者優位や後発者劣位が働きにくくなることが挙げられる。また新技術普及の前提として、市場反応を確認する必要があることから、企業が採り得る最適かつ合理的な選択として“日和見”や“技術温存”行動が生じてしまう、つまり、企業間競争がロードレース的になってしまうものの、そうした経緯を含めた産業レベルの技術進化のプロセスを説明し、特定の技術に収斂しないかたちで産業内の技術を発展させ続けるというメカニズムを本稿では明らかにすることができたと考ええる。

2 結論とインプリケーション

技術的パラダイム確立後の技術進化のパターンとしては、経路依存性 [David, 1985]、漸進的なイノベーションの累積効果 [新宅, 1994]、企業と顧客が互いに働きかけながら階層的に問題解決を実現していく過程 [Clark, 1985] 等の考え方が検討されてきた。これまでの議論では、おおむね企業間の激しい競争によって模倣や先読みを通じて産業全体として収斂していくという関係に、暗黙のうちに焦点を当てていたように思われる [沼上他, 1992; Giachetti et al., 2017]。しかし、実際の企業間競争では絶えず差別化を志向しており、そのことが技術進化のエンジンとなっているという点が、これらの議論では過小評価されている点を問題として挙げた。

これに対し、本稿の事例では、企業間競争で各企業が絶えず差別化を志向しながら、新技術を模索・提案し、収斂化が進む中でも技術は各社の個性を残して進化していくこと、および特定の技術に収斂せずに発展していくプロセスがあることを示した。そしてそのプロセスは、製品技術と製造技術の革新の発現を明確な区分とともに認識してきた先行研究とは異なり、製品技術と製造技術の革新が小刻みに繰り返されるものであった。

本稿では沼上他 [1992] で示されたのと同様に、企業間競争によって競合他社に差をつけるというより、むしろ共に進化していくパターンが確認できた。新しい技術を提案する技術的先行者は固定化されておらず、一つの企業が飛び出しても、競合他社が同一の機能を異なる技術でクリアしながらすぐに追いつく、という行動を繰り返す点で、本稿の事例と沼上他 [1992] は共通している。だが本稿の事例では、相手の次の一手を先読みするのではなく、一つの新技术が市場に提案され、

それが市場受けするものであるとわかると、業界内で「拠り所」が定まり、技術の方向性が絞られる点に特徴がある。つまり「先読み行動」ではなく「異なる技術による機能追随行動」がとられ、その際、企業は競合企業と市場の両方から情報を収集し、技術温存や日和見の反応によって、技術的に追隨するか否かを決定するというメカニズムである。

企業が市場に新たな機能を提案するのは、本来は競合他社に対して相対的に優位なポジションを獲得するためである。しかし、Barnett and Hansen [1996] や Giachetti et al. [2017] の議論のように、競合も同じ行動をとることでお互いの業績に悪影響を及ぼすことが指摘されてきた。こうした一連の企業間競争の効果についての議論に対し、この研究では、差別化を志向し市場での相対優位獲得を目指す技術的先行企業に対し、それに追隨する行動が単なる模倣ではなく、互いに少し異なった追隨行動をとることによって産業レベルの技術進化に貢献することが確認できた。そして、技術的先行企業が示したものと同様の機能を実現するが、特定の技術に収斂しないかたちで技術を発展させ続けるというメカニズムを指摘したことが、本研究の貢献である。

本稿では、これまで議論されることの少なかった産業レベルでの企業間競争が、どのように技術進化につながっていくのか、という問題について、具体的な事例をもとに、そのメカニズムを明らかにすることができたと考える。またこれは、日本の製造業で歴史的に多く見られた“横並び”のメカニズムを深掘りしたものとして、理解することも出来る。

今後の課題として、今回説明したこの技術進化のパターンが、どの範囲まで一般的なものとして議論できるのかについて検討する必要がある。またこのような技術的進化のパターンの持つ副次的な効果についても、検討の余地がある。たとえば、今日、日本の RAC 産業は独自の技術路線を突き進みそれを極めていくが、同時に世界の標準的な技術とは乖離してしまうという結果を招いている。日本でしか通用しない多機能携帯が「ガラパゴス携帯」（通称「ガラケー」）と言われるように、日本の RAC にも「技術の弧島化」が生じている。製品にはユニバーサルデザインが求められる昨今、この問題をどう解決していくのか、RAC 産業にとっても大きな課題である。これらの点については今後の研究課題としたい。

参考文献

- Abernathy, W. J., *The Productivity Dilemma*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, M. D., 1978.
- Abernathy, W. J. and J. M. Utterback, "Patterns of Industrial Innovation," *Technology Review*, Vol. 80, No. 7, 1978, pp. 40-47.
- 浅羽茂『日本企業の競争原理：同質的行動の実証分析』東洋経済新報社，2002 年。
- Barnett W. P. and Hansen O., "The Red Queen in Organizational Evolution," *Strategic Management Journal*, Vol. 17, Issue S1, 1996, pp. 139-157.
- Barnett, W. P. and Sorenson, O., "The Red Queen in Organizational Creation and Development," *Industrial and Corporate Change*, Vol. 11, No. 2, 2002, pp. 289-325.
- Clark, K. B., "The Interaction of Design Hierarchies and Market Concepts in Technological Evolution," *Research Policy*, Vol. 14, No. 5, 1985, pp. 235-251.
- D'Aveni, R. A., Dagnino, G. B., and Smith, K. G., "The Age of Temporary Advantage," *Strategic Management Journal*, Vol. 31, Issue 13, 2010, pp. 1371-1385.
- David, P. A., "Clio and the Economics of QWERTY," *American Economic Review*, Vol. 75, No. 2, May, 1985, pp.

332-339.

Derfus, P. J., Maggitti, P. G., Grimm, C. M., and Smith, K. G., "The Red Queen Effect: Competitive Actions and Firm Performance," *Academy of Management Journal*, Vol. 51, No. 1, 2008, pp. 61-80.

Dosi, G., "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change," *Research Policy*, Vol. 11, Issue 3, 1982, pp. 147-162.

Giachetti, C., Lampel, J., and Pira, S. L., "Red Queen Competitive Imitation in the UK Mobile Phone Industry," *Academy of Management Journal*, Vol. 60, No. 5, 2017, pp. 1882-1914.

平田哲夫他『基礎からの冷凍空調：考え方と応用が身につく』森北出版，2007 年。

一橋大学イノベーション研究センター『マネジメント・テキスト イノベーションマネジメント入門』日本経済新聞社，2001 年。

井上市市『冷凍空調史』（社）日本冷凍空調設備工業連合会，1993 年。

Lieberman M. and D. Montgomery, "First-Mover Advantages," *Strategic Management Journal*, Vol. 9, Issue S1, Summer, 1988, pp. 41-58.

延岡健太郎「新製品開発のマネジメント」（『マネジメント・テキスト MOT [技術経営] 入門』日本経済新聞社，2006 年），151-187 ページ。

沼上幹・浅羽茂・新宅純二郎・網倉久永「対話としての競争—電卓産業における競争行動の再解釈」『組織科学』第 26 巻，第 2 号，1992 年，64-79 ページ。

オーム社（編著）『わかる小型エアコンの取り扱いと修理』オーム社，2001 年。

Rosenberg, N., *Perspectives on Technology*, New York: Cambridge University Press, 1976.

新宅純二郎『日本企業の競争戦略』有斐閣，1994 年。

唯野真人監修『機械のしくみ』ナツメ社，2004 年。

常広譲・松本圭二『インバータ：しくみと使い方のコツ』電気書院，2002 年。

Utterback, J., *Metering the Dynamics of Innovation*. Harvard Business School Press, Boston, MA, 1994（大津正和・小川進監訳『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，1998 年）。