

# 技術革新プロセスの複雑性

The Complexity of Technological Developments and Innovations

## 執筆者プロフィール



佐野 正博  
Masahiro SANO

■1976年東京大学教養学部教養学科卒業, 1983年東京大学大学院理学系研究科科学史科学基礎論専攻博士課程単位取得満期退学, 1988年東京農工大学一般教育部専任講師, 1996年明治大学経営学部助教授を経て, 1997年より現職

■主として行っている業務・研究  
・イノベーションの歴史的展開プロセス

■所属学会および主な活動  
日本科学史学会, 日本経営学会

■勤務先  
明治大学教授 経営学部  
(〒101-8301 東京都千代田区神田駿河台 1-1  
/E-mail: sano@meiji.ac.jp)

## 1. はじめに

技術の歴史的発展および技術革新のプロセスは多様で複雑ではあるが, そこには一定の現象的構造がある<sup>(1)</sup>.

たとえば, 画期的な新技術に基づく製品の性能向上やコスト低減は, S字曲線的に進む。製品は, 開発初期には一般に低性能または高コストである。性能向上やコスト低減には, 研究開発に一定の時間や投資を必要とするし, 各技術的方式ごとに固有の限界がある。

学習量増大に伴う上達に関する学習曲線, 累積生産量増大に伴う製造単価低減に関する経験曲線と同じような関係が技術発展にも当てはまる。

技術革新プロセスの理解には, 技術発展のこうしたS字曲線特性という視点からの考察が必要不可欠である。

## 2. 既存技術と新規技術のS字曲線の関係

既存技術に基づく製品のS字曲線と新規技術に基づく製品のS字曲線は図1のような関係になる。

横軸上の $t_1$ 時点では, その時点までにすでに研究開発に多くの時間や投資が費やされた既存技術に基づく製品は, 高性能化・コスト低減がかなり進んだS字曲線の右側寄りの点 $P_1$ に位置する。

これに対して新技術に基づく開発初期の製品は, S字曲線の左端の点 $P_2$ に位置する。新技術に基づく初期製品は, 原子力発電, LED照明, 電気自動車, 燃料電池車などがそうであるように, 性能やコストに関して既存技術に基づく製品に対する競争力を持たないことが多い。

なお既存製品との技術的不連続性が高い画期的な新製品であればあるほど, 新製品が依拠する技術と既存製品が依拠する技術との間の異質性が高くなるため, 製品技術に関してより多くの新規研究開発が必要となる。

また, 既存製品との技術的不連続性が高ければ高いほど, 既存の生産設備をそのままでは利用できない度合いがより高くなり, 生産設備の新設・改修などに多くの時間とコストを必要とするだけでなく, 製品生産の効率化のために新たな学習やノウハウの蓄積を必要とする。

そのため画期的な新技術がS字曲線の発展の結果として広く社会的に普及するまでには一定の時間を必要とする。

歴史的には蒸気機関もそうであった。最初期の蒸気機関の熱効率は, 18世紀前半期のニューコメン型で0.5%と低かった。ワットは分離凝縮器技術でそれを改良したが, 1775年の単動式機関で2.7%, 1792年の複動式機関で4.5%と低かった。

そのため18世紀中の蒸気機関の製造総数は約2200台と社会的普及は限定的であった。しかもニューコメン型蒸気機関が多数を占め, ワット型は約

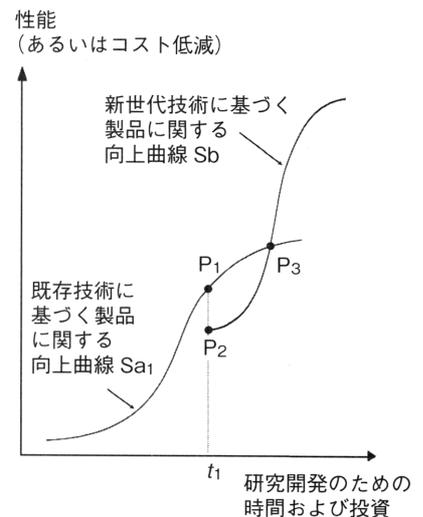


図1 既存技術と新規技術のS字曲線

480台と全体の約22%に過ぎなかった。蒸気機関の社会的普及が大きく進んだのは19世紀になってからである<sup>(2)</sup>。

## 3. 研究開発継続のための戦略的対応

技術革新の実現には, 新技術の技術的特性を生かせるなんらかの製品用途を見出し, 研究開発を持続させることが重要である。ある製品用途に関して新技術が図1のように $t_1$ 時点で既存技術よりも劣っていたとしても, 研究開発を持続できれば, やがて図1の点 $P_3$ の位置を超える進歩を実現できるからである。

そのための一つの対応策は, 研究開発の持続による技術発展に応じて製品用途を徐々に拡大していくことである。

液晶は, 初期には表示性能が低かったが低消費電力性という技術的特性が生かせる電卓や時計にまず採用され, 次に性能向上に伴って携帯電話やノートPCなど用途拡大を続け, 21世紀にはブラウン管テレビに取って代わった。

炭素繊維は, 初期には製造コストが高かったが軽くて強いという技術的特性を生かして釣り竿やゴルフシャフトなどにまず用いられ, 製造技術の進展

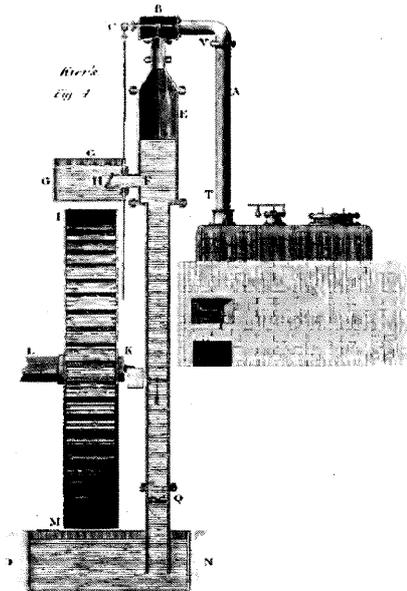


図2 蒸気機関と動力水車のハイブリッド型製品

出典：A. Rees (eds., 1820) *The cyclopaedia; or, Universal dictionary of arts, sciences, and literature*. Plates, Vol. IV, London: Longman, Hurst, Rees, Orme & Brown の中の Steam Engine の項目の Plate1

とともに最近では航空機や自動車などの産業用途にも利用されるようになった。

もう一つの対応策は、ハイブリッド自動車に見られるような製品のハイブリッド化である。既存技術と新技術を併用することで、既存技術のみに基づく製品の欠点を補うことができる。

初期の蒸気機関も、既存技術と併用したハイブリッド製品として利用された。18世紀前半の蒸気機関は熱効率がかなり低く出力もさほど大きくはなかったこともあり、揚水機としてはともかく、動力機として単独利用することはあまり現実的ではなかった。

ただし蒸気機関は、動力水車と比べ「季節的限定性や地理的限定性がより少ない」、「出力調節がより容易である」といった優れた技術的特性を持っている。

そうした技術的特性を活かして18世紀には、図2のように蒸気機関と動力水車を組み合わせたハイブリッド型製品システムが開発・利用された。

船における蒸気機関の初期の利用も、幕末期の1853年に日本に来航したペリー艦隊の黒船の中の蒸気外輪船(図3)のように、ハイブリッド型であった。

蒸気機関を利用したその当時の船の性能では蒸気機関のみで太平洋横断のような長期航海ができなかったため、風の力が利用できる場合には帆を利用して

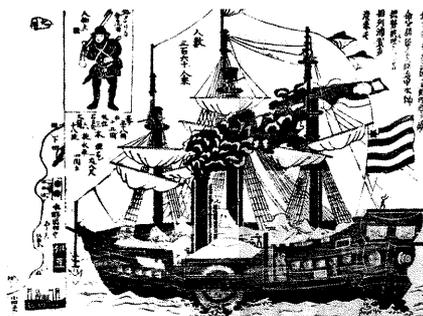


図3 蒸気外輪機構と帆のハイブリッド型製品としての黒船

出典：英語版 Wikipedia, Black Ships [http://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_Ships](http://en.wikipedia.org/wiki/Black_Ships) 所収の図の一部を切り抜き修正

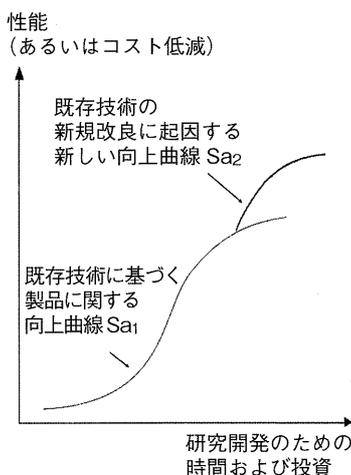


図4 既存技術の新たな技術革新による新しいS字曲線

#### 4. 既存技術に関する新たな技術革新

技術革新プロセスの複雑性を示す現象としては、新世代技術の登場期に、旧世代技術においても技術革新が進むということも興味深い<sup>(3)</sup>。

競合する新技術の登場に対抗して既存技術に関しても新たな技術革新が行われ、図4のS字曲線 Sa<sub>2</sub>のように、既存技術の性能限界が引き上げられることも歴史的にはよくある。

たとえば、19世紀における製鉄技術の発達には、新世代技術である蒸気動力機関の技術発展を促しただけでなく、旧世代技術である動力水車に関する新たな技術革新を可能とした<sup>(4)</sup>。

木製の縦型動力水車から図5のような鉄製の縦型動力水車への既存製品改良型イノベーション、および、鉄製のタービン型動力水車への抜本的イノベーションは、動力水車という既存技術に関する新たなS字曲線の発展を生み出した。

また、ブラウン管テレビに代わる新しい技術的方式である液晶テレビの実用化が次第に明確になった20世紀末

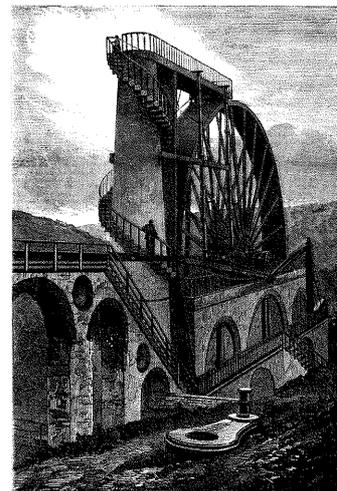


図5 鉄製の縦型動力水車

直径22 m, 幅1.8 m, 出力230馬力の鉄製動力水車 Lady Isabella (1854).  
出典：The Great Laxey Water Wheel, Scientific American, 28-2, January 11, 1873, p.23.

に、ソニーは液晶テレビに対抗しブラウン管の平面化という技術革新を実現した。

さまざまなエコカー技術開発が進む現在でも、ガソリンエンジンに関する技術革新が続けられ成果を挙げている。

#### 5. おわりに

技術革新プロセスの複雑性への適切な対応には、以上のような視点からの考察とともに、旧技術に代わる新技術は複数存在することが多いという点も考慮する必要がある。

白熱電球や蛍光灯に代わる次世代照明技術としては、LED技術だけでなく有機EL技術が存在する。環境に優しい自動車を実現する次世代技術としては、充電電池を利用する電気自動車だけでなく燃料電池を利用する燃料電池自動車が存在する。旧世代技術に代わる新技術は一つとは限らない。

それゆえ、新技術に基づく製品の社会的普及に関しては、旧技術に基づく製品との競合だけでなく、競合新技術に基づく製品との競合が問題となる。

#### 文献

- (1) 佐野正博, 技術の歴史的発達過程と法則性, 東京農工大学一般教育部紀要, 25 (1988), 61-73.
- (2) H.W. ディキンソン, 磯田 浩訳, 蒸気動力の歴史, (1994), 平凡社.
- (3) J.M. アッターバック, 大津正和・小川 進監訳, イノベーション・ダイナミクス, (1989), 有斐閣.
- (4) T.S. レイノルズ, 松尾至行・ほか訳, 水車の歴史, (1989), 平凡社.