

東京大学 公共政策大学院

ワーキング・ペーパーシリーズ

GraSPP Working Paper Series

The University of Tokyo

GraSPP-DP-J-08-003 and SEPP-DP-J-08-003

家庭用高効率給湯器の研究開発・導入普及過程
— 公共政策的観点からの事例分析 —

寿楽浩太 鈴木達治郎

2008年 12月

GraSPP
THE UNIVERSITY OF TOKYO

GraSPP Discussion Paper J-08-003

SEPP

SEPP Discussion Paper J-08-003

GRADUATE SCHOOL OF PUBLIC POLICY
THE UNIVERSITY OF TOKYO
HONGO, BUNKYO-KU, JAPAN

GraSPP
THE UNIVERSITY OF TOKYO

GraSPP-DP-J-08-003 and SEPP-DP-J-08-003

家庭用高効率給湯器の
研究開発・導入普及過程
－公共政策的観点からの事例分析－

寿楽 浩太¹⁾
鈴木 達治郎²⁾

2008年12月

- 1) 東京大学大学院工学系研究科 特任助教
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
juraku@n.t.u-tokyo.ac.jp
- 2) 東京大学公共政策大学院 客員教授
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
tatsu@pp.u-tokyo.ac.jp

注： 著者の所属、連絡先はいずれも執筆当時のものです。
本稿に関するお問い合わせは、東京大学公共政策大学院寄付講座「エネルギー・地球環境の持続性確保と公共政策」（略称 SEPP）（〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 03-5841-1324 sepp@pp.u-tokyo.ac.jp）までお願いします。

家庭用高効率給湯器の研究開発・導入普及過程 - 公共政策的観点からの事例分析 -

The Processes of Residential High Efficiency Water Heaters R&D and Diffusion
A Case Study in terms of Public Policy Studies

寿楽 浩太¹・鈴木 達治郎²

¹ 東京大学大学院工学系研究科（前 SEPP リサーチ・アシスタント）
(E-mail: juraku@n.t.u-tokyo.ac.jp)

² 東京大学公共政策大学院・電力中央研究所社会経済研究所 (E-mail: tatsu@pp.u-tokyo.ac.jp)

1. はじめに

日本における省エネ技術の研究開発や導入普及の促進は 1970 年代から取り組みがなされ、これまで一定の成果をあげてきた。しかし気候変動枠組み条約京都議定書の第 1 約束期間が到来した昨今においても、CO₂ 削減目標の達成は容易ではない状況であり、いっそうの省エネ努力が求められている。同時に、折からの原油価格の高騰はあらゆるコストの上昇を引き起こし、企業の生産活動のみならず一般の市民生活をも直撃しており、革新的な省エネ技術を生かした省エネ製品の開発・普及への期待が高まっている。

しかし、新エネ技術開発における太陽光発電技術に代表されるように、政府主導のプロジェクト研究（新エネ技術開発の「サンシャイン計画」、省エネ技術開発の「ムーンライト計画」等）を中心として国内で長年継続的な研究開発が行われ、導入補助金などの継続的な支援施策が講じられてきた技術であっても、特に家庭・一般消費者市場では、コストや使い勝手等の面で普及の速度を上げるのが困難なケースも少なくない¹。逆に、ハイブリッド自動車のように、大手メーカーが完全に民間の技術開発として省エネ製品を製品化し、後に公的な支援施策も得ながら市場に急速に浸透する事例も存在する。

こうした中、これまで省エネ製品の普及で先行していた一般家電分野や自動車に続いて、近年、住宅給湯分野において家庭用高効率給湯器（以下、「省エネ給湯器」と表記）が市場において急速な普及を遂げている。省エネ給湯器はユーザーである一般消費者には光熱費負担の大きな削減をもたらす点が評価されており、一方、日本全体の省エネ努力という観点からは、これまで省エネ化が積極的になされないままだった住宅給湯分野での貢献として期待が高まっている。特に、家庭用 CO₂ ヒートポンプ給湯器「エコキュート」は、政府の研究プロジェクトにその技術的ルーツを持ちながら、基礎的な研究開発、製品化の研究開発のいずれの局面も政府の直接的支援を受けずに進められ、市場投入後には再び政府による購入支援補助金等の公的な支援を得て普及が加速し、現在では政府による導入目標が設定されているという、特徴的な経緯を持つ。

そこで、本稿は、こうした省エネ給湯器事例から、省エネ技術の研究開発・導入普及のそれぞれの局面について、どのような要素が適切な促進要因となりうるのか、公共政策上の示唆を得ることを目的とする。

具体的には、まず、基礎的な研究開発段階において、ヒートポンプ給湯技術が継続的に研究開発・蓄積された理由を検討する。ここでは、他の新エネ・省エネ技術に比べて当時は主流と見なされていなかったヒートポンプ給湯技術が、なぜその研究開発を打ち切られることがなく技術シーズとして成長したかが重要なポイントとなり、技術的多様性と研究開発の継続性を確保し、失敗を許容しうる公共政策的支援の可能性を検討する。

次いで、製品開発とそれに続く市場への導入・普及の局面においては、技術シーズが新たな市場を「発見」し、具体的な製品開発に結実するプロセスと、一挙に市場全体における主要なプレイヤーの地位に躍り出るプロセスを、それぞれ、規制や政策によるアジェンダ設定の重要性や経済的支援のあり方などをめぐって検討する。

最後に、同様に省エネ給湯器として開発・商品化され、一定の成功を収めているものの、市場拡大に課題を抱えている家庭用ガスエンジンコージェネレーション給湯器「エコウィル」の事例を参照例として取り上げ、市場への導入・

¹ これに関連して、1994 年度から実施されてきた政府による太陽光発電設備への導入補助金制度（財団法人新エネルギー財団を經由）が 2005 年度に廃止された後、世論の批判や政府の環境政策の変化により 2009 年度から復活の動きが出ていることは今後検討に値すると思われる。

普及段階での公的支援の課題についていくつかの指摘を行う。

2. 分析の視点

日本では、1970年代以降、新エネルギー研究開発が「サンシャイン計画」(1974年～1992年)・「ニューサンシャイン計画」(1993年～2000年)で、省エネルギー研究開発が「ムーンライト計画」(1978年～1994年)で、それぞれ推進されてきた。いわゆる大型国家プロジェクト研究計画(国プロ)である。こうした国プロ研究開発のあり方については、特に近年、国内外で様々な観点からの評価が行われている^{i) ii) iii) iv) v)}。しかし、木村・小澤・杉山(2006)^{vi)}が指摘するように、個々の研究開発プロジェクトの結果の評価はなされているが、「国家プロジェクト研究」という公的研究プログラムのあり方、言い換えれば、研究開発における公共セクターの関与の方法や程度についての評価が十分になされておらず、今後の技術開発政策への示唆が乏しい点が依然課題となっている。また、本稿で取り上げる「エコキュート」事例のように、国プロが当初から開発目標として掲げた直接的な成果ではなくとも、波及効果として異なる形態、異なる市場で有用な新エネ・省エネ技術として結実している事例については、得られる示唆をまとめた事例研究が手薄なのが現状である。

そこで、本稿では、事例の経緯を確認した上で、まず、基礎的な研究開発の局面において、国プロ内部での研究のように、直接的かつ長期の政府支援が存在しない場合でも継続的な研究開発により技術的な蓄積が続けられた経緯に注目する。一般に、市場ニーズがないが技術シーズがはぐくまれていくこの基礎的な研究開発の時期にいかに関与が継続されるかは第一の重要な論点である。したがって、本事例において継続的な研究開発がいかになされたかは、政府主導とは異なるエネルギー技術開発のあり方を考える一助となると期待される。

次に、製品化技術開発の局面で、関係者がいかにして新たな市場ニーズを見だし、「家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器」というパッケージで製品化を行うに至ったのかを確認する。住宅給湯部門は、従来はガス給湯器の独壇場であり、既存の電気温水器は大きく後塵を拝していた。しかし、「エコキュート」事例では環境ニーズの高まりを背景に、こうした状況を一挙に逆転し、市場を席卷したというだけでなく、「エコキュート」の登場がそれまで省エネ化が進んでいなかった住宅給湯部門に省エネ競争をもたらしたという政策的効果も観察された。こうした展開はいわゆるMOT(Management of Technology)研究では、いわゆる「死の谷」(基礎開発から市場普及にいたる前段階で、リスクが大きい技術普及に失敗すること)の前段階の成功例として注目される²⁾。また市場開発戦略としても「ニッチ戦略」の成功として理解できるが³⁾、本稿ではそれに加えて、製品化開発に携わったアクターの特徴的な属性が、それまで蓄積されていたCO₂ヒートポンプ技術を、高い商品力を持つ製品として市場に登場させたことを、「relevant marginal actor(有意な境界的アクター)」の概念を用いて説明する⁴⁾。

最後に、市場での普及拡大の局面では、「エコキュート」は国プロの直接的成果物ではないにもかかわらず、政府が購入支援の補助金制度を設けて支援したこと、またその支援が電力市場のニーズや料金設定との組み合わせではじめて適切なものであったことを指摘し、「死の谷」の最終段階(市場へ出る段階)での最大の障害である初期コストの高さを軽減するものとしての公的な経済的支援と市場との調和の有効性を論じる。これは、国プロに代表されるトップダウン型の政府主導研究ではなくとも、有用なエネルギー技術の社会への導入・普及においては、なお公共政策の役割が大きいことを意味する。ただし、特に市場との調和の点については「エコウィル」事例との比較を通して、技術特性の違いとそれに起因する既存インフラとの整合性が、なお市場での普及の障害となりうる点に注目して、公的な支援は将来的なインフラ設計をふまえて行われるべきであることを論じる。なお、以下の事例については、文献調査に加え^{iv)}、実際に開発・普及に携わった方々への半構造化面接聞き取り調査(対象者は本稿末尾のリスト参照)に基づいている。

²⁾ 「死の谷」は米NIST(国立標準技術研究所)が提示した概念。基礎的研究と商業化の間に位置する技術開発の期間を指し、この局面では技術シーズがあっても研究開発を続行する資金や環境を得られない困難に直面するとされる。

³⁾ 技術開発における「ニッチ」戦略については、Hoogma et al. (2002)^{vii)}、上野・城山・白取(2007)^{viii)}など参照。

⁴⁾ 筆者らは原子力発電所立地に関する地域の社会的意思決定分析の事例研究論文Juraku et al. (2007)^{ix)}で同概念を提示している。

3. 「エコキュート」事例

3.1. 家庭用 CO₂ ヒートポンプ給湯器「エコキュート」の概要

2001年1月、東京電力株式会社は新型電気温水器として「エコキュート」(図1)の発売を発表し、同年5月から販売を開始した。「エコキュート」は当初の定価が70万円を越える高額な商品であったにもかかわらず、販売初年度に関係者の予想を大きく上回る6000台以上の出荷台数を記録した。その後政府が購入者への補助金制度を用意したこと、量産に伴って価格が低下したこともあり、一貫した拡販が続き、2007年10月には累計出荷台数100万台を達成している。



図1 代表的な「エコキュート」
(出所:東京電力ホームページ)

「エコキュート」は従来の電気温水器と異なり、電気ヒーターではなくCO₂を冷媒に用いたヒートポンプにより温水の加熱を行うものである(図2)。家庭用のCO₂ヒートポンプ給湯器は世界初の商品化であり、ヒートポンプ技術の特性から非常に高い効率を実現している。加熱の効率を表すCOP(coefficient of performance)は初期モデルで3.5を越えており、これは投入したエネルギー1に対して3.5倍以上のエネルギーに相当する温水加熱が可能であることを意味している。このCOP値は技術的な改良によりその後も上昇を続け、最新のモデルでは5前後にまで達している。

この高効率性が省エネによるCO₂排出削減と家庭のユーザーにとっての光熱費削減をもたらすのである。東京電力の試算では、「エコキュート」は通常型のガス給湯器に比べて約65%のCO₂排出削減をもたらし、一般的な4人家族の光熱費(給湯で消費する分)は約5000円程度から1000円以下へと劇的に低減されるとしている。

東京電力はこの「エコキュート」を株式会社デンソー、電力中央研究所(以下、電中研と表記)との3社共同開発で製品化し、商品としての製造・販売はコロナ株式会社等を通して行われた。東京電力は「エコキュート」の商標をCO₂ヒートポンプ給湯器共通のものとしたため、同社管内に続いて、他の電力各社管内でも販売が開始され、大手メーカーがこぞって「エコキュート」製造販売事業に参入した。現在、政府は「エコキュート」の導入目標を2010年までに520万台としており(2005年4月28日閣議決定「京都議定書達成計画」)、家庭部門での省エネ推進の大きな柱としての期待がうかがえる。

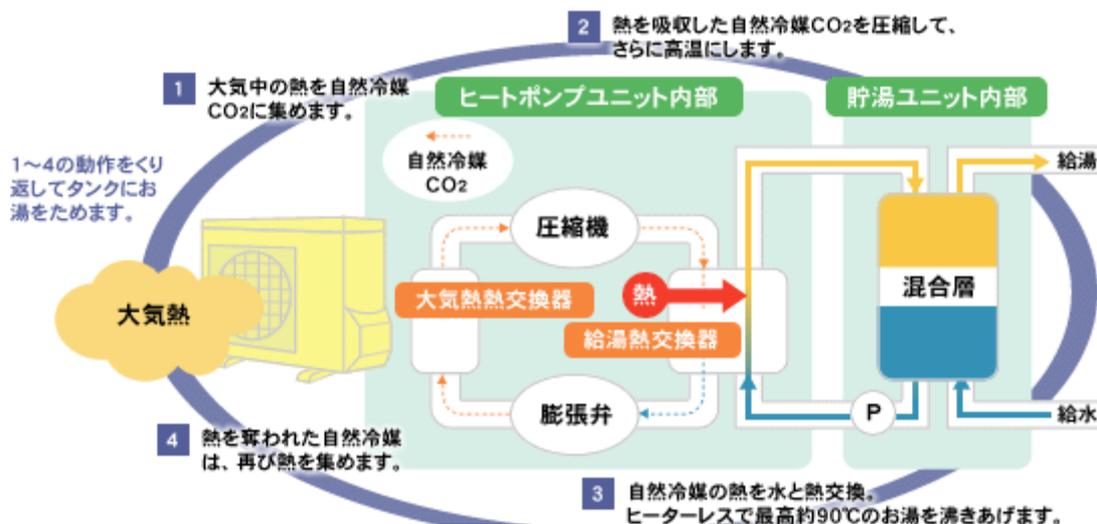


図2 「エコキュート」の仕組み(出所:電化住宅普及促進協議会ホームページ)

3.2. CO₂ヒートポンプ給湯技術の研究開発

エコキュートの研究開発は、1984年に開始されたいわゆる「国プロ」研究である「スーパーヒートポンプ開発」計画(政府(通商産業省(当時))所管の省エネ技術研究開発大型プロジェクトである「ムーンライト計画」の中に位置づけられた)に端緒を持つ。電力関連業界はこの研究を推進するために研究グループを組織し、電中研が研究への助言と技術評価を担当することとなった。これは1985年のことであった。この年に電中研はヒートポンプ技術の研究開発のために研究員を1名任用し、所内での研究開発をスタートさせた。このたった1名のヒートポンプ技術担当に抜

⁵ 本事例記述に当たっては筆者らによる関係者への聞き取り調査に加え、オーム社(2006)⁵⁾を参考とした。

擢されたのが岩坪哲四郎氏であった。岩坪氏は熱工学の専門家であったことから火力発電技術の研究開発部門から異動を命じられたのである。翌年、斎川路之氏が2人目の担当者として合流し、政府のプロジェクト研究に対する技術的助言・評価に加え、電中研独自のヒートポンプ技術研究が開始された⁶。当時すでにヒートポンプ技術は空調分野では一般化しており、メーカーでの研究開発が盛んに行われていたことから、両氏は研究機関として新規性のある分野を基礎研究から行うという所の方針に鑑みて、給湯用のヒートポンプ技術開発を行うこととした。当時は家庭の給湯分野はガス給湯器の独壇場であり、またそこでは目立った省エネ化の努力は行われていなかったことも、この決定の要因となった。

もちろん、この頃すでに電力会社は電熱ヒーターを用いた、従来型の電気温水器を販売していたが、これは負荷平準化という供給側のニーズを主な動機としたものであり、消費者に省エネ性と経済性の両立を訴えるという発想はまだ現れていない。また、ヒートポンプ技術の活用については、エアコンと給湯器の複合化によって家庭のセントラルヒーティング化をはかろうというコンセプトで、メーカーと機器を共同開発し、実際に家庭向けに販売したが、高価格と性能上の限界⁷から消費者の支持を得られなかった。

その後、電中研では二度にわたり開発したヒートポンプ給湯技術を用いた給湯器の製品化を試みたが、コストの問題に加え、いずれも冷媒としたフロンが規制の対象となり、断念された。

電中研のヒートポンプ部隊が開発したのは、従来のヒートポンプを越える加温性能を確保できる「二段圧縮ヒートポンプサイクル」技術であった。この新型ヒートポンプ技術を用いることで、上記の電力会社が開発・販売したセントラルヒーティング用複合型ヒートポンプ給湯器はCOP値が約3.8まで上昇すると見積もられ、次世代型としてふさわしいものと目された。1988年に試作機が完成し、1992年まで商品化を目指した開発が進められたが、結局開発中止に追い込まれた。やはり高機能・複合型ゆえに適用先が限られる上に高価格となるため、大きな市場が見込めないこと、そして冷媒として使用していたフロンについてオゾン層破壊問題から規制が導入されたことが大きな原因であった。この結果、当時の所内でのヒートポンプ研究についての評価は「完全な失敗だった」というものだったという。

この「失敗」を踏まえて、次の研究開発は業務用大型給湯器の開発へと転換された。単機能化することで汎用性を高める一方、市場を業務用に変更することで、初期導入コストが高いことを勘案しても、総合的な経済性で商品としての競争力が発揮されることが期待されたのである。この研究開発はゼネコンやメーカーなど数社との共同開発で1992年に開始され、1996年には商品化を前提とした製品が完成した。しかしまたもこの最終局面で計画は中止された。ここでも開発中止の判断に大きく影響したのはフロン規制であった。前回の研究開発でのフロン規制の経験を受け、このプロジェクトではいわゆる代替フロンを冷媒として採用していた。しかし、製品完成にこぎ着けた1996年時点になると、今度は地球温暖化問題対策としての温室効果ガス規制という観点から、代替フロン規制の議論が具体化していたのである。こうした環境問題に関する規制の急激な変化が、再び高効率ヒートポンプ給湯器開発の前に立ちばだかったのである。

しかし、電中研での高効率ヒートポンプ技術研究開発は、理事のひとりであった浜松照秀氏が強く支持していた。同氏は需要側のニーズから見たエネルギー技術として、ヒートポンプ技術高度化の重要性を訴え続けてきた人物である^{xii}。ヒートポンプ技術の研究開発が大きな成果を上げていない、研究の見通しが明るくないとして所内で低い評価を受けても、同氏はヒートポンプ技術の研究開発は継続させた。

また、同氏はフロンに代わる冷媒としていわゆる自然冷媒を用いたヒートポンプ技術の研究開発を始めるよう指示した。上記のオゾン層破壊問題でのフロン規制導入後、メーカーなど日本国内の関連業界は代替フロン採用を決め、その研究開発を進めていたが、ヨーロッパではフロンが温室効果ガスとして作用する点も重視し、自然冷媒への移行を目指した研究開発が始められていた。自然冷媒はフロンとの特性の差異が大きく、代替フロン採用に比べるとより野心的な研究開発テーマであったが、ここでも、メーカーなどが研究に踏み切りづらい、新規性のある分野に基礎研究から取り組むという電中研全体の方針から、1993年より基礎研究が開始された。基礎研究の成果を踏まえ、1995年にCO₂が給湯用ヒートポンプに最も適した冷媒であるとの判断がなされ、1996年には実験用のCO₂ヒートポンプループ装置が作られた(図3)。その結果、CO₂冷媒が給湯用ヒートポンプとして優れた特性を発揮することが実証さ

⁶ ヒートポンプ技術が電中研で扱われるようになったきっかけは国プロ研究だったものの、以後のヒートポンプ「給湯器」研究開発は、それとは独立した電中研の独自研究となった点が、その後の展開を経た現在から振り返ると重要なポイントであったといえる。国プロ研究の開発動向や目標に拘束されず、かつ、継続的な基礎研究開発が続けられたことが、後の経緯で決定的に重要となるためである。

⁷ 約60程度までしか温水を加熱できず、COP値も3以下にとどまっていたため、ユーザーにとっては使い勝手と光熱費削減の双方でメリットが小さかった。

れ、1997年には国内外の複数の関連学会で成果が発表されたのである。

3.3. 「エコキュート」としての製品化研究開発

その1997年、京都で開催された第3回気候変動枠組み条約締結国会議(COP3)で京都議定書が採択され、日本政府は2008年から2012年までの第1約束期間までに、1990年比6%減のCO₂排出削減を国際的に約束した。政府はこれを受けて矢継ぎ早にCO₂削減対策施策を打ち出したが、1970年代の石油危機以降省エネ努力が継続され一定の成果が上がっている産業部門に比べ、一貫して増加を続けている家庭部門のエネルギー消費・CO₂排出抑制施策は手薄な状況だった。家電製品分野でのいわゆるトップランナー制度の導入(1999年4月省エネ法改正で導入)はこうした状況に対する対応策として画期的なものであったが、家庭給湯部門は対象外のままであった⁸。



図3 CO₂ヒートポンプループ試験装置
(出所：電力中央研究所ホームページ)

こうした状況の下で「エコキュート」開発はスタートした⁹。きっかけは、1998年3月、東京電力の担当者数名が電中研を訪問したことだった。東京電力のねらいは上記の代替フロン規制を受け、エアコンへの自然冷媒の利用可能性を探るためだったが、電中研の斎川氏は、給湯用ならば有望である旨を説明した。斎川氏は1986年の合流から一貫して電中研でのヒートポンプ技術研究開発の中核を担い、当時CO₂冷媒ヒートポンプ技術開発を進めていた。来所した関係者の一人の小早川智明氏は給湯器分野への応用の可能性を直感し、電中研の技術を応用した家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器開発を社内で提案した。

電力会社による電気温水器販売はすでに1960年代から始められていたが、市場の支持を十分に集められず、その販売は低迷していた¹⁰。社内体制の面でも、小早川氏が家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器開発を提案した当時、東京電力本社の家庭電化部門は社員がわずか7名という状況であった¹¹。

小早川氏はCO₂ヒートポンプ給湯器の性能はこうした状況を打開するものと考えた。彼の上司に当たる片倉百樹氏はこの意図を理解し、開発開始を許可した。開発プロジェクトの立ち上げ直後、建築士資格を持ち住宅設備に明るい草刈和俊氏が参加した。

しかしわずか7名の部門に実際の研究開発や製品製造の能力はない。そこですでに実証モデルを完成させ、それまでの研究開発成果の蓄積がある電中研を協業の相手とすることとした。電中研は逆に、家庭用給湯器市場向けの製品を開発することはできず、この協力関係は相補的なものであった。しかし、実際に製品を開発するにはメーカーの存在が不可欠である。東京電力は複数の電機メーカーに共同開発を打診したが、どのメーカーもエアコンや冷蔵庫等の代替フロン規制対応の研究開発で余力に乏しいなどの理由で協業を辞退した¹²。

そこで小早川氏は斎川氏に協業先の紹介を依頼した。斎川氏自身にはメーカーへの具体的なつながりはなかったが、海外で開催された国際会議で株式会社デンソーがCO₂冷媒利用についての発表を行っていたことから、デンソーを候補として紹介した。トヨタ自動車系の大手自動車電装品メーカーであるデンソーは、欧州での1990年代前半からの自

⁸ この点については、関係者によれば、既存の一般家電は改良開発が中心となり、かつ性能指標も判然としやすいため、トップランナー方式による性能改善競争が適切であるものの、給湯分野については、当時は(「エコキュート」などの新型高効率給湯器の出現までは)性能を多く向上させる改良の方向性のめどがなかったため、同方式では改善が見込めないとされ、当初から同方式の対象とする検討はなされなかったとのことである。

⁹ 京都議定書には温室効果ガスの規制も盛り込まれ、代替フロンが規制対象となったことから、この時期以降、電機メーカーもエアコン、冷蔵庫等の冷媒を自然冷媒へ切り替えることを迫られることになった。

¹⁰ とりわけ、東京電力管内は寒冷地が少ない上に、都市ガスの普及率が高く、プロパンガス地域に比べると比較的气体料金が低いこともあって、東京電力は各電力会社中もっとも苦戦していた状況だった。

¹¹ 東京電力は全社で約38000人の従業員を擁する。

¹² メーカーが辞退した理由として、ほかに、前述の従来型電気温水器における東京電力の不振という経緯をあげる意見も聞き取り調査で出されている。

然冷媒志向を踏まえ、カーエアコン用としてCO₂冷媒の研究を行っていた。デンソーは年間700万台のカーエアコンを出荷する、カーエアコン市場でのトップメーカーであり、ヒートポンプ技術についても十分な経験を持っていた。

この紹介を受け、小早川氏は1998年7月にデンソーでCO₂ヒートポンプ技術開発を担当していた伊藤氏を訪問、家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器開発の協業を提案した。当初は異業種からの提案に当惑していたデンソー側だが、当時、自動車関連以外の新事業を開拓するという会社全体の方針を持っていた。この時点でデンソーはすでに8年間にわたってCO₂ヒートポンプ技術の研究開発を行っていたが、自動車用では製品化できていなかった。最終的に伊藤氏は協業への参加を決断し、取締役会の了承を得てデンソーの参加が正式に決まった。

こうして、3者の協業による家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器の開発体制が定まり、1999年2月に開発プロジェクトが正式に発足した。東京電力は製品の要求性能を定め、開発全体を統括した。デンソーは実際の要素技術開発と試作機の製作を担当した。電中研はその試作機の性能を評価し、他の2者に技術的な助言や提案を行った。3者いずれの組織においてもこの研究開発プロジェクトの参加者は少数であり、情報漏洩を避けるために秘密保持契約が結ばれ、プロジェクトの存在はそれぞれの組織内でも秘匿された。そして、3者の間では東京電力による要求性能の提示、デンソーによる製品開発、電中研による評価とフィードバックというサイクルが何度も繰り返されていった。

たとえば、東京電力の草刈氏は住宅設備の専門家として、機器の筐体の大きさを、都市部の手狭な住居でも設置可能なサイズにとどめるよう、提案を行った。これを受けてデンソーは必要な性能と必要なタンク容量の大きさのバランスを検討し、従来の電気温水器よりは大幅に小さな機器にすることに成功した。東京電力からはほかにも、かつての多機能型（セントラルヒーティング型）失敗の経験から、あくまで給湯単機能で機器操作が容易な製品に仕上げるよう、要求が提示された。これは多機能化を志向しがちなメーカーの技術者とは逆の発想で、実際にデンソー側からは多機能化の提案があったが、機能を絞ることは価格を下げることにもつながり、市場をよく知る草刈氏はこれが普及の鍵になると考えていた。

他にも、騒音の低減など住宅設備としての商品性を高める配慮が講じられ、肝心の給湯性能もフィールドテストを経て圧縮機や熱交換機などが幾度も改良され、最適化された。最終的に、2000年12月に最終試作機が完成、これは4.5kWの加熱性能とCOP値3.5を達成していた。この間に投じられた費用はわずかに数億円程度だといわれ、製品化開発に要した期間は約2年半弱であった¹³。

3.4. 「エコキュート」の市場への投入と普及拡大

2001年初頭、東京電力は社内公募でこのCO₂ヒートポンプ技術による新型電気温水器の愛称を「エコキュート」に決定、同1月31日に同年5月からの発売開始を発表した。約70万円という高額にもかかわらず、初年度2001年度には早くも6000台以上の出荷を達成し、これは関係者の予想を大きく上回る実績であった。この好成績を見て各メーカーもこぞってCO₂ヒートポンプ給湯器市場に参加し、他の電力会社エリアでも販売が開始された。「エコキュート」の名称を決めた際、東京電力は名称を広くCO₂ヒートポンプ給湯器に共通して使用する公開の愛称としたため、複数のメーカー参入後も各社がそろって「エコキュート」の愛称を使用し、認知度の向上や競争の加速にも貢献した。現在では11社もの企業がエコキュート製品を発売している。

また、東京電力はエコキュートの販売開始にあわせて新たな電気料金制度を導入した（「電化上手」）。従来から電気温水器を導入した世帯向けに、夜間の料金を割引、日中は若干割増とする2時間帯別料金制度を用意していたが、消費者の抵抗感を減らすために時間帯を3つにし、夜間は割引、朝夕は従来なみ、昼間のみ割増という区分に改めたのである。この「電化上手」は「エコキュート」の発売を見越して2000年7月から開始され、「エコキュート」発売後の普及に貢献した。

さらに、「エコキュート」発売翌年の2002年からは、政府による「高効率給湯器」導入支援の補助金制度が導入された。これは一般的なガス給湯器との差額の半額が補助されるというもので、「エコキュート」の販売はあっという間に加速することになった。東京電力の試算では「エコキュート」導入により一般的な4人家族では年間約5万円の光熱費削減が見込めるとされたが、この金制度の導入により一般的なガス給湯器との機器購入時の差額は15万円程度にまで縮まる。これは購入者が約3年程度で投資を回収できることを意味し、関係者によれば、この「初期投資回収3年」という期間は、一般に住宅設備業界で新たな製品の市場が広がるとされる条件と一致していたとのことである。

¹³ ちなみに、太陽光発電技術研究開発に政府が投じた研究開発費は、1974年から2002年までの28年間（サンシャイン計画・ニューサンシャイン計画によるもの）で計1826億円である（木村他(2006)による）。

(表1)「エコキュート」事例関連年表

1960年代～	電力会社 電気温水器販売開始（負荷平準化目的）
1985～	電中研が国プロ「スーパーヒートポンプ」開発に参加 並行して所内で独自のヒートポンプ研究開発開始
1980年代後半～	東京電力家庭電化部門で家庭用ヒートポンプ多機能給湯器開発・販売 高価格と不十分な性能で苦戦
1988	電中研、2段圧縮型ヒートポンプ多機能給湯器開発開始（多機能型：給湯＋冷暖房）
1990～	デンソーがCO ₂ 冷媒利用研究開発開始（欧州市場向けカーエアコン用を念頭）
1992	電中研の多機能型、高価格とフロン規制で商品化断念 続いて業務用2段圧縮式ヒートポンプ給湯器開発開始（代替フロン切替で規制対応）
1993	電中研、CO ₂ 含む自然冷媒利用の基礎研究開始
1995	電中研、給湯器用途にはCO ₂ 冷媒利用が最適と結論
1996	電中研、CO ₂ ヒートポンプルーブ実験装置設置
1997	京都会議（COP3）開催、京都議定書採択 代替フロン規制導入決定：電中研、業務用2段圧縮式ヒートポンプ給湯器製品化中止
1998	政府、京都議定書対応の諸施策導入開始（家電省エネトップランナー制度等） 家庭用給湯器分野には特に施策なし
1998.3	東京電力の担当者、電中研訪問 電中研からCO ₂ 冷媒ヒートポンプ給湯技術紹介
1998.4～	東京電力、家庭用CO ₂ ヒートポンプ給湯器開発開始を決定 電中研を介してデンソーが協業先として紹介、東京電力、電中研、デンソーによる協業開始
1999.2	共同開発体制正式発足
1999～	東京電力、「オール電化住宅」販促キャンペーン開始
2000.7	東京電力、「電化上手」料金制度導入
2000.8頃	経済産業省から東京電力に新型省エネ製品の照会 東京電力、開発中のCO ₂ ヒートポンプ給湯器を紹介 経済産業省、導入補助金の検討開始（東京電力からデータ等収集、財務省と交渉）
2000.12	CO ₂ ヒートポンプ給湯器の最終試作機完成
2001.1	東京電力、社内公募で家庭用CO ₂ ヒートポンプ給湯器の名称を「エコキュート」に決定 2001年5月の発売を報道発表
2001.5	「エコキュート」発売（デンソーと共同商品化したコロナ製）
2001.6	三菱電機、「エコキュート」参入 政府資料で「家庭用高効率給湯器」の語が初めて使用
2001.10	松下電器産業・松下電工、ダイキン工業、三洋電機の各社、「エコキュート」製造販売に参入
2001	「エコキュート」、「省エネ大賞」受賞
2002	「エコキュート」初年度出荷台数6000台超達成 政府による導入支援補助金制度開始
2002.10	長府製作所、「エコキュート」製造販売に参入
2004～	東京電力、Switch!キャンペーン展開
2004.10	日立ホーム&ライフソリューション、「エコキュート」製造販売に参入 （高出力化により半瞬間式とし、貯湯タンクを小型化した新型）
2005.10	サンデン、「エコキュート」製造販売に参入
2005.11	日立ハウステック、「エコキュート」製造販売に参入
2006	「エコキュート」累計出荷台数70万台達成
2007.10	「エコキュート」累計出荷台数100万台達成
2008.10	「エコキュート」累計出荷台数150万台達成

この補助金制度導入は、2000年に通商産業省資源エネルギー庁（当時）から東京電力に地球温暖化対策・省エネルギー促進に役立つ製品の照会があったことをきっかけとする¹⁴。東京電力は当時開発中であった「エコキュート」を紹介したが、高価格が普及の最大のネックとなることが予想されていた。資源エネルギー庁側もこうした認識を共有し、補助金制度の検討を開始した¹⁵。東京電力側からは様々なデータ・資料が提供され、調整を行った結果、上記のように「初期投資回収3年」を実現できる規模の補助を行うことになったとのことである¹⁶。

なお、東京電力は、1999年よりIH（電磁誘導加熱）調理器と従来型の電気温水器をパッケージとして「オール電化」住宅の販促キャンペーンを行っていたが、「エコキュート」投入後は商品力が強化され、好評を博した。2004年からは「Switch!」と銘打った大規模な販促キャンペーンを再び展開し、拡販に努めている。

加えて、2001年には経済産業省関連の省エネセンターが選定する「省エネ大賞」を受賞し、関係者によるとこうした公的な表彰も製品の有用性を消費者に訴求する上で有利に働いたとのことである。

こうした様々な支援施策も奏功した結果、「エコキュート」の販売は今日まで好調で、2007年10月には累積出荷台数100万台、2008年10月には同150万台を達成した。また、2002年からは業務用「エコキュート」も発売されている。以上の経緯をまとめると表1の通りとなる。

4. 分析

以下では基礎研究開発、商品化研究開発、市場への導入・普及の各局面について、展開の進展に寄与した要素を抽出し、そこでの公共政策上の示唆を検討していく。

4.1. 基礎技術研究開発局面での論点

(1) 研究の多様性と継続性の確保

冒頭にも述べたように、基礎的な技術研究開発は政府の研究開発プロジェクト（ムーンライト計画）における「スーパーヒートポンプ開発」をきっかけとして始められた。ただし、のちに「エコキュート」の製品化に結びつくこととなった電中研でのヒートポンプ「給湯」技術の研究開発は、この、「スーパーヒートポンプ開発」計画とはあくまで独立の研究開発であった点が重要だ。同計画への参加を契機に、電中研はヒートポンプ技術研究を開始したが、同計画で求められた役割はあくまでも研究開発上の助言や技術評価であり、それとは別の所独自の研究を立ち上げようという動機から、ヒートポンプ給湯技術の研究開発が開始された。確かに、この研究の規模は大きくなく、電中研の所内予算、しかも決して高額ではない予算のもと研究開発がつづけられた。しかし、ここで重要なのは、必ずしも本命視されておらず、むしろ組織内ではその成果に厳しい見方が支配的であった技術開発が、打ち切られることなく継続されたということである。電中研では浜松氏がヒートポンプ給湯技術開発に強いコミットメントを持ち、研究開発の継続の支えとなったが、政府プロジェクトによって、省エネ技術の主要課題のひとつとしてのヒートポンプ技術開発という方向性が設定されていたことが及ぼした影響は看過できない（木村他（2006））。

また、一口に省エネ技術といってもその要素技術の種類は非常に多様であり、中には規模の大きな研究開発、長期間の研究開発を実施しても十分な成果を上げられないものもある。特に政府が主導して公的資金を投入する場合には、このことを踏まえて適切な評価を随時実施し、研究開発のポートフォリオを最適化していくことは重要であろう。し

¹⁴ 資源エネルギー庁としては、ライフスタイル変革の呼びかけによる大幅な省エネは困難と考え、特に家庭部門での高効率機器への置き換えを推進するという政策的意図を持っており、様々な可能性を模索している中で東京電力にも問い合わせをしたとのことである。

¹⁵ 具体的には「通常型との差額の半額」を補助するというスキームで調整が行われた。このスキームはすでに高性能工業炉やハイブリッド自動車などで実績があり、財務省の理解を得られやすいという事情があったとのことである。このスキームが上記の「初期投資回収3年」の目安と金額的にほぼ一致したことが幸いしたといえる。また、当初から普及後に価格が下がることを前提に補助を時限付きとする「サンセット方式」が前提され、「エコキュート」をめぐる調整においては導入補助実施期間として5年間で想定されていたとのことである。

¹⁶ また、東京電力側からは、導入・普及の速度を速めるため、新築マンションへの一括導入のため、建主であるマンション会社が各戸の販売前に一括して補助金交付を申請する代理申請を可能にしてほしいとの要請があり（通常の補助制度では申請者は機器の購入・使用者となるため、マンション購入者が入居後に申請を行わねばならず、手続きが複雑となる懸念があったという）資源エネルギー庁が財務省と調整し、これを実現したとのことである。

かしすべての技術が短期的に大きな成果を上げ、社会的・経済的な便益をもたらすことを期待して、ある時点で目立った成果が出ていないことを理由に研究開発を打ち切っては、その後技術シーズが何らかの成果に結びつく可能性を減じることにつながりかねない。場合によっては少数の技術の大きな成果が、多数の技術開発に投じられた投資を大きく上回る便益をもたらす場合もある（NRC（2001）^{xii}、木村他（2006））。ただし、どの技術がそうした本命の技術となるのかは、事前や中途には判断できないのである。したがって、多様な技術開発が継続的に行われることは重要であり、今回の事例で電中研がヒートポンプ給湯技術開発、さらにはCO₂冷媒利用の技術開発を実施し、それが「エコキュート」開発の基礎となったこともその一例と捉えることができる。電中研が公益法人として、こうした研究開発の多様性・継続性確保と親和的な研究方針（とすれば民間アクターにはリスクが大きく参入しづらい、新規性のある技術開発を基礎研究から実施する）を持っていたことは、省エネ技術の研究開発における公的セクターの役割について、一定の示唆を持つと考えられる。

4.2. 製品化研究開発局面での論点

製品化研究開発の局面では、下記のような2つの論点があげられる。

(1) 公的規制・政策によるアジェンダ設定

「エコキュート」としての商品化研究開発の局面では、地球温暖化問題への対応としてのCO₂排出削減が、1990年代後半、特に1997年の京都議定書採択以降、政府の重要政策課題として浮上り、省エネ推進のための各種推進施策・各種規制が設けられたことが大きく影響している。代替フロン規制が行われることが明らかとなり、かつ、家電分野での省エネ規制が予想された中、東京電力の担当者がエアコン用の自然冷媒技術を求めて電中研を訪れたことが「エコキュート」開発のきっかけであった。また、デンソーが欧州でのフロン規制の動向から自然冷媒利用に関する研究開発を行っていたことも、国外事情とはいえ、公的セクターによる規制の存在が研究開発課題・戦略の決定に大きく影響した。

また、この京都会議の時期以降、地球環境問題は世論の一大テーマとなり、一般消費者向け市場でも「エコ」「環境」などの価値が商品の訴求ポイントとして注目されるようになった。このことも企業にとって商品開発の方向性に大きな影響を与えたと考えられる。「エコキュート」の事例でも東京電力にとって電気温水器はもはや「負荷平準化」のための商品というだけでなく、その名の通り「エコ」を前面に押し出して消費者に訴求する環境商品となったのである。

さらに、こうした転換が規制の主対象となっていた家電ではなく、規制対象外であった住宅給湯部門で起こった点が注目に値する。省エネ機器としては、市場規模としても小さく家電メーカーはほとんど注目していなかった。これはいわゆる「ニッチ」戦略とも言えるが、規制がないがゆえに競争者の出現が遅れていた家庭用給湯器に、「エコ」を武器に参入し、しかもそれを光熱費削減という実質的な負担減として消費者に提示できた点が重要だ。また、住宅に省エネ基準がはじめて導入されたことも、住宅用省エネ機器の普及に大きく貢献した。このニッチ戦略と市場条件の変化（アジェンダ設定）はそれまで省エネ努力が相対的になされていなかった住宅給湯部門に省エネ競争をもたらす一因になったという意味で、社会全体にとっても便益となりうるものである。

このように、商品化研究開発の局面では、国際的合意、国内規制、直接・間接両面での支援施策などの公的セクターによる政策的なアジェンダ設定が新たな商機を生み出すことで間接的なインセンティブとして作用したといえる。

(2) Relevant marginal actor の機能

さらに、ここで重要なのは、そうした新規性のある商品化に成功したアクターが、いずれもそれぞれの組織内で、あるいは業界内では非主流の位置に属していた点である。東京電力の家庭電化部門はそれまでの実績低迷から、非常に小規模の体制に縮小されていた。電力会社にとってはやはり供給事業が主流であり、需要側の事業である家庭電化は傍流という意識もあった¹⁷。しかし、草刈氏のように、住宅設備の専門家が電力会社の内部にあり、住宅設備市場のニーズに応えうる製品開発がなされたからこそ、「エコキュート」は市場に好意的に受け入れられたと言える。仮に、完全な部外者（outsider）一般的な言葉で言う完全な素人（lay people）であったなら、技術への十分な理解や詳細かつ的確な市場ニーズの把握などができず、結果、技術シーズを生かし、かつ市場に受け入れられる製品を生み出すこ

¹⁷ ただし、電力会社は本文中でふれた負荷平準化などを目的に、DSM（demand side management、需要側調整）事業をかねて展開してきてはいる。

とは困難であったであろう。このように、主流派ゆえの固定観念や利害関係にもとらわれづらく、かつ、完全な外部者とは異なり、必要な専門知を持ち得たという、優位な位置に属する境界的 (marginal) なアクターが大きな役割を果たしたことになる。電中研でも同様で、電中研は電力関係の総合研究所として主流の一角を占める研究機関であるが、その中での齋川氏らヒートポンプ技術開発部隊の位置は、主流の供給側技術ではなく完全な需要側技術であり、厳しい評価もあってまさに非主流であった。また、デンソーはヒートポンプ技術についてはカーエアコン大手という地位から主要な企業であり、CO₂冷媒利用の研究開発もいち早く開始していた、いわばヒートポンプの専門家の企業であったが、電力会社や家庭用機器市場、ましてや住宅設備市場とはいずれもそれまで関連がほとんどなく、その面では外部者の位置にあった。

筆者らは、原子力発電所立地地域の社会的意思決定プロセスにおいて、閉鎖的状況を打破した事例研究に基づき、関連する分野の事情 (例: 地域の政治状況) について熟知しており、その分野で活動している (例: 地域の古くからの住民) という意味では外部者ではなくむしろ内部者であるが、ある個別の事項 (例: 原子力発電所立地反対運動) についてはそれまで関わってこなかった、というアクターに注目した。このアクター群は、既存の意思決定プロセスにおいては主要なアクターではないが、全く無関係ではないと言えるだけの知識や情報を持っている。彼らは従来の経緯の延長上とは異なる成果を生み出しうる主体であり、これを relevant marginal actor として定義し、局面転換・打開におけるその機能の重要性を指摘した。本稿で取り上げている事例は技術開発であり、施設立地の意思決定とは問題が異なるが、しかし、上記のように関係者が商品化開発の中で果たした役割は、この relevant marginal actor として捉えうる性質を持つと考えられる。

このような関係者の特殊な性質が、新たな社会的アジェンダの出現を新技術の市場への導入の好機としての的確に捉えることや、それまで十分な経験がなかった市場 (住宅設備市場) で受け入れられる商品性を確保することに大きく貢献したと考えられる。これは Christensen (2001)^{xiii} が指摘する「破壊的イノベーション」説にも通ずる条件ともいえる¹⁸。技術開発や市場普及のブレークスルーの担い手として、こういった relevant marginal actor の役割を、どのように市場の中で見極め、活用していくかは、公共政策としても重要な課題と考えられる。

4.3. 市場投入・普及拡大局面での論点

製品化開発後、商品としての市場への投入、そして普及が拡大した局面では、市場メカニズムの理解と適切な経済的支援が重要な論点としてあげられる。

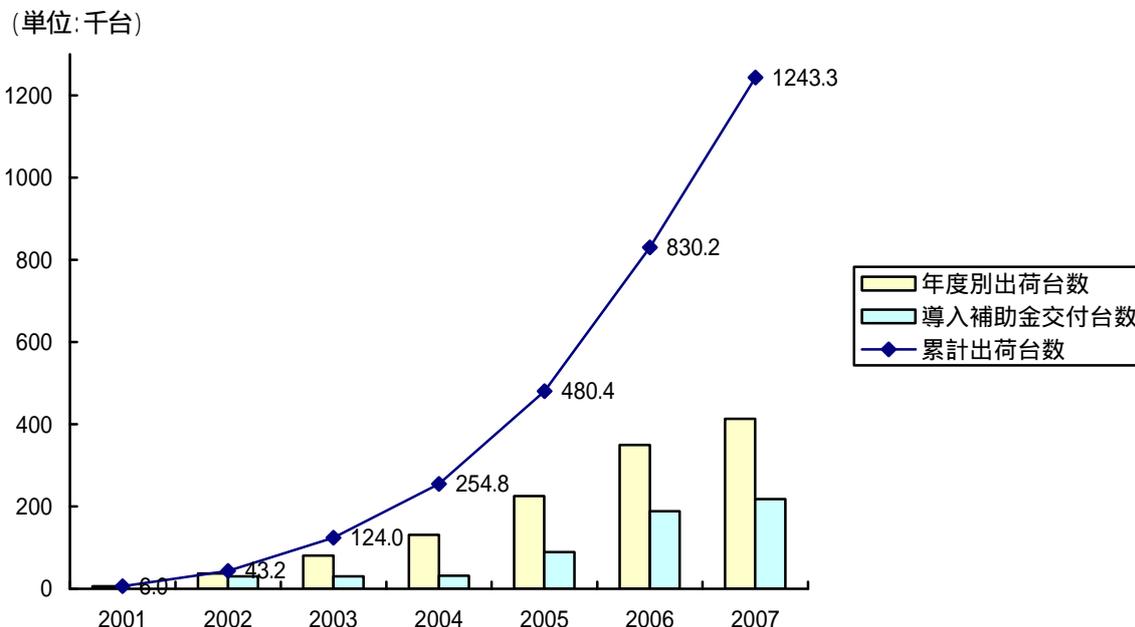
市場での急速な普及の背景には、市場投入当初の製品の高価格や認知不足という大きな障害が、市場のニーズを理解した民セクターと公的セクターの支援策による適切な連携によってかなり低減された点が注目される。

「エコキュート」の販売後、その販売拡大を後押ししたのは政府による購入支援の補助金施策と電力会社自身による新料金制度であった。新技術の市場投入当初は、初期コストの高さが普及の壁となることはつとに知られている。「エコキュート」の場合も、発売開始当初は機器価格が70万円を超え、一般的な瞬間式ガス給湯器の30万円台に比べ、非常に高価格であった。この点は、販売開始翌年の2002年に、政府により「高効率給湯器」として購入支援の補助金制度が用意され、「通常型との差額の半額」が補助されることとなったことで大きく状況が緩和された。この支援の規模が前述のように「投資回収期間3年」仮説と一致していたことは重要であった。その結果「エコキュート」の売れ行きは急伸し、その後は各社の参入があり、競争市場のもと、量産効果で価格が低下、すると補助金の額を減額しても拡販が継続、という好循環が生み出された。実際、「差額の半額」の補助は2004年度までであり、予算ベースで計算すると、一台あたりの平均補助額は2002年度と2003年度が約18万円、2004年度が約17.5万円、2005年度になると約79000円と減少しており、また、出荷台数に対する補助金交付台数の割合 (交付率) も低下している。これは普及が次第に自律的に進むようになったことを物語っている。そして、この2004年度までの時点で25万台程度の普及が達成された。その後2006年以降は定額補助に移行し、2006年度は新築住宅に設置の場合5万円、既築住宅に設置の場合8万円に、2007年度の補助は新築既築問わず一台あたり45000円、現在まさに実施中の2008年度の補助は同じく一台あたり42000円まで減額されている (この定額補助の局面では一台あたりの補助額が減少した代わりに

¹⁸ 「破壊的イノベーション」においては、従来の市場において決定的だった評価基準 (性能や価格など) で見れば必ずしも優位ではないかあるいは劣るものであっても、新たな評価基準を提示し、それが消費者の評価を得てしまうことによって、一挙に市場で主流の位置を占める現象が観察される。本事例では、「エコキュート」は貯湯式であるため潜在的には湯切れの心配がゼロではなく (つまり従来の瞬間式給湯器に比べて使い勝手で劣る面がある) 価格も高価であるが、「エコ」という価値や光熱費の大幅な節減という新たな訴求要因を強く示したため、一挙に市場で大きな存在感を示すこととなったと説明できる。

交付率は再び上昇している)しかし、2005年度以降に普及が鈍化してはならず、むしろ累積出荷台数の増加率は上がっており、順調な普及がなされている。このように、適切なスキームの導入補助金は、技術の市場への投入初期においては、その普及のテイクオフに奏功することが明らかになるとともに、逆にそれが奏功した後の普及拡大局面では、補助金制度のみならず、市場での競争メカニズムによる価格低下や性能・使い勝手の改善等の商品力の向上が重要であることがうかがえる。(図4、表2)

図4 エコキュート出荷台数・導入補助金交付台数の推移



(社団法人日本冷凍空調工業会資料、財団法人蓄熱・ヒートポンプセンター資料、財団法人エレクトロヒートセンター資料より筆者作成)

表2 エコキュート出荷台数に対する補助交付台数の比率と平均補助額

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
年度別出荷台数(千台)	6.0	37.2	80.8	130.8	225.6	349.8	413.1
補助金交付台数(千台)		30.0	30.0	31.5	89.0	188.0	218.0
交付率(%) (補助台数/出荷台数)		80.6	37.1	24.1	39.4	53.7	52.8
一台あたり平均補助額 /定額補助額(万円)		18.33	18.33	17.46	7.87	6.38	4.50

(台数データ出所については図4に同じ。平均補助額は財団法人蓄熱・ヒートポンプセンター資料、財団法人エレクトロヒートセンター資料により、予算ベースで計算、2007年度は制度上の定額補助額)

また、後述する家庭用ガスエンジンコージェネレーション給湯器「エコウィル」や潜熱回収型瞬間式ガス給湯器「エコジョーズ」もこの「高効率給湯器」支援施策で同時に支援を受けたため、高効率型の給湯器の採用が住宅設備市場でのひとつのトレンドとして認知され、性能競争も促進された。

また、電力会社は料金制度の利便性を改善するため、新たに3時間帯別料金制度を導入し、これが消費者にランニングコスト低減・投資回収を説明する好材料となった。

さらに、東京電力は「エコキュート」の名称使用とCO₂ヒートポンプ給湯器の製造販売を各メーカーに対してオープンにしたため、市場の認知を高めながら、性能や価格が市場での競争により改善されていくことになった。政府による「省エネ大賞」制度による公認効果、東京電力による「オール電化住宅」パッケージとしての強力な販売促進(新

築マンションへの一括導入も含む)も奏功した。

このように、政府や販売者自身でもある電力会社により、市場ニーズとマッチした経済的支援施策、競争促進施策がなされたことが、「エコキュート」の市場への導入初期からの加速度的な普及を促進したのである。

4.4. 小括：非トップダウン型の柔軟なプロセスによる研究開発・導入普及

このように、家庭用CO₂ヒートポンプ給湯器「エコキュート」の研究開発と市場への導入普及は、従来のいわゆる国家プロジェクト研究による新エネ・省エネ技術の場合の展開と大きく異なる。新技術の開発・普及で大きな問題となる「死の谷」を乗り越えるにあたって、本事例では下記のような要素が複合的に関係して、製品化の成功と急速な普及が実現した。

- ヒートポンプ技術研究開発の継続は公的セクターの直接的なコミットメント（例：多額の研究資金）によるものではなかったが、「意図せざる結果」として、間接的にプロジェクト研究による方向性提示を与えることになった。
- 温暖化問題に代表される地球環境問題が注目されたことそれ自体と、それに対応した規制や施策の導入による、家庭用省エネ機器ニーズの高まりというアジェンダ設定が、市場条件の変化とそれに伴う家庭用給湯器としての製品化という方向性を生む一因となった。
- こうした製品化を実現したのは、関連業界に属し、その事情に通じながらも、必ずしも主流ではない、relevant marginal actor の連携であった。
- 市場投入後は、補助金や料金制度など、普及を阻害する初期コストの高さを緩和する公的セクター・民間セクターの連携や、「エコキュート」商標のオープン化や「省エネ大賞」制度など、市場の認知、市場での競争を促進する工夫が普及の急拡大に貢献した。

ただし、これらの要素はいずれも、当初からの何らかの形で意図されて出現したものではない。COP3 が京都で開催され日本国内での環境や省エネへの関心が喚起されたことや、「エコキュート」が資源エネルギー庁の担当者に適切なタイミングで紹介され補助金制度が創設されたことなどは、事前に意図して設計された出来事ではなく、むしろ、結果的に、予期しない結果として発生した事柄が、その時点時点での的確かつ機動的な対応により、「死の谷」の克服に有効に作用したと言うべきであろう。

5. 考察：「エコウィル」事例との比較を交えて

最後に、以上の分析をふまえた上で、エコキュート同様に省エネ給湯器として登場した、家庭用ガスエンジンコージェネレーション給湯器「エコウィル」との比較を通して、いくつかの指摘を行いたい。「エコウィル」は「エコキュート」とほぼ重なる時期に開発・発売されたが、市場動向はやや異なる展開を見せている。特に市場への導入・普及段階での公共政策の関与のあり方について、両者の比較を通して考えたい。

5.1. 「エコウィル」の概要

「エコウィル」(図5)は1980年代から産業用の大型機器としては普及してきたガスコージェネレーション(熱電併給)システムを家庭用に小型化したものといえる。家庭用ガスコージェネレーションシステムの基礎的な実用化可能性研究や実地試験は1996年から始められ、1997年の京都議定書以降の環境ニーズの高まりを受け、1999年にガスエンジン方式の採用が決定、協業による製品化開発がスタートした。心臓部のガスエンジンは本田技研工業が1990年代初頭に政府の研究開発プロジェクトに参加してガスヒートポンプ(GHP)用に開発した小型ガスエンジンを改良して採用し(図6)、関西・中部の都市ガス会社(大阪ガス、東邦ガス、西部ガス)やノーリツ、長府製



図6 「エコウィル」用
小型ガスエンジンユニット
出所：本田技研工業

作所が共同開発に参加した¹⁹。「エコキュート」から遅れること約1年半の2002年12月に販売が開始され、ガス業界による主要な「エコキュート」対抗馬のひとつと目されている。価格も「エコキュート」とほぼ同等の約70万円だが、こちらにも政府の「高効率給湯器」導入支援の補助金が存在する。現在までの普及状況は累積出荷台数が2006年末時点実績で約4万台、業界では2007年度中には7万台を達成したいとしている。業界による普及目標は2010年までに累積出荷台数23万5000台となっている。

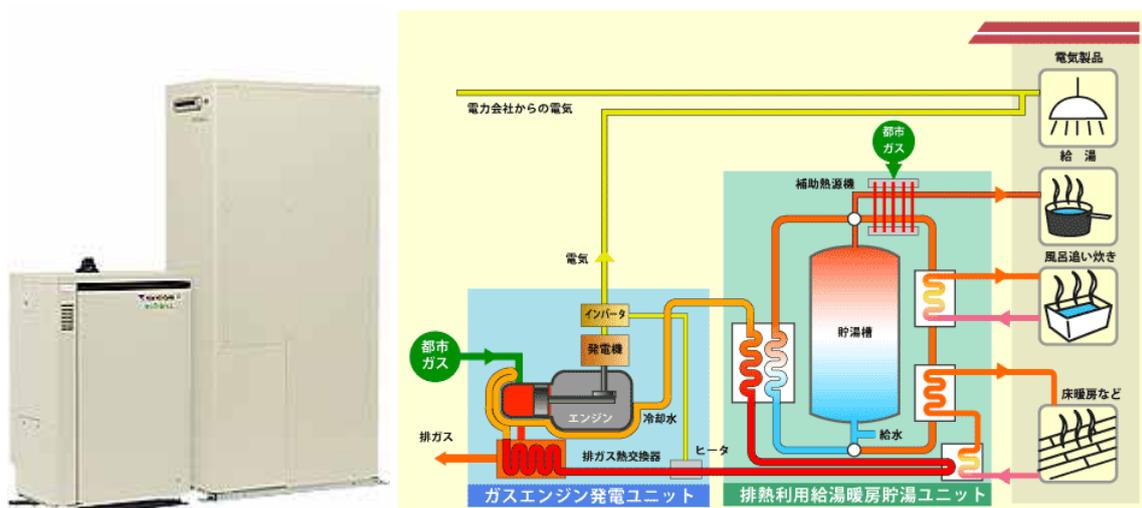


図5 代表的な「エコキュート」と「エコキュート」の仕組み
出所：東京ガスホームページ（左写真）日本ガス協会ホームページ（右図）

5.2. 事例の経緯の類似と相違

「エコキュート」事例は、中心的な要素技術に国プロでの研究開発をきっかけとするものが生かされている点、京都議定書以降の環境ニーズの高まりに呼応する形で製品化開発が進められ、市場に投入された点、ランニングコストでの負担軽減が商品としての訴求点である一方、機器の価格は高価な点、そして何より、「高効率」型、すなわち省エネ型給湯器という点など、共通する点が多い。また、「エコキュート」事例で紹介した通り、政府による「高効率給湯器」に対する購入補助金制度は「エコキュート」にも適用されている。

しかし、当然のことながら「エコキュート」は電気温水器であり電力インフラを利用した機器であるのに対して、「エコキュート」はガスインフラを前提とした機器である。それでいて、「エコキュート」はコージェネレーション（電熱併給）システムであるという技術的な性質上、電力インフラとの関係も重要で、現状ではこの点が両者の商品性に大きな差を生んでいるのである。

5.3. 商品性の格差とインフラシステム

コージェネレーションシステムは電気と熱を同時に発生することでエネルギーの無駄を減らし、効率を高めるシステムである。すでに1980年代から業務用の大型機器では成功を収めてきた。しかし電気と熱を同時に発生「できる」というのは、裏を返せば、両者をともに消費しなければ、効率は最大化できないことになる。たとえば商業施設やビル単位での導入ではこうした需給のバランスは比較的とりやすいが、一般家庭一戸単位でこのバランスを取るのには容易ではない。現在の「エコキュート」では、学習機能付きマイコン制御で加熱・貯湯タイミングを最適化することで、家庭内の電力需要が高まる時間帯とガスエンジンが運転する時間帯を極力重ね、効率を最大化するように設計されている。このような工夫が必要なのは発電した電力は各戸に接続されている電力系統に戻せず、宅内で消費しなければならないことが最大の理由である。仮に発電した分は系統に送電でき、その分は電力会社に対して売電したものと扱われるのなら、「エコキュート」の効率はより引き出され、導入した世帯にとっての経済的メリットも増すことが予

¹⁹ 都市ガス最大手の東京ガスは「エコキュート」開発への参加は見合わせた。この理由については燃料電池によるコージェネレーションシステムの開発を優先したものだとの指摘もあった（聞き取り調査での関係者の発言）。東京ガスもその後方針変更し、現在は「エコキュート」を販売に参入している。

想される。現状ではこうした部分が十分には生かし得ないため、「エコウィル」の経済性は「エコキュート」に比べると消費者にとって見えづらいものとなっているともいえよう。とすれば、現状が実際にそうであるように、同じ補助金制度の下で同水準の購入支援を行っても、市場においては「エコキュート」の方がより商品性を発揮しやすい可能性がある。単純な比較は本来適切ではなからうが、先に述べたように「エコウィル」の現在までの出荷台数は7万台、2010年時点での業界の普及目標は23万5000台であり、それぞれ「エコキュート」の約14分の1、22分の1である。

5.4. エネルギーインフラの今後と望ましい技術

このような発想のもと、仮に系統への接続を許し、適切な価格での売電を可能にして、コージェネレーションシステムの恩恵を最大化するという選択肢を選ぶとすれば、ひいてはエネルギーインフラ全体を分散型へと転換することにもつながる。逆に、「エコキュート」の導入を進めることは、集中型電源のメリットを生かし、また、電力インフラのエネルギーインフラの主軸としての地位を高めることにつながろう。したがって、一見すると「高効率給湯器」として同じ分野で一括される両技術・両製品であるが、それぞれは異なるエネルギーインフラの設計を志向しているともいえる。今回取り上げた事例は、国プロでの政府主導の研究開発という形態ではなく、民間で生み出された高性能な省エネ製品を、主に導入・普及の局面で政府が支援するという形態であり、柔軟かつ機動的対応として評価できるものである。しかし、言い換えればその技術の持つ特性、利点欠点を事前に公共セクターが検討し、研究開発を進めたわけではない。したがって、中長期的なエネルギーインフラのあり方についての見通しとの整合性も、あらためて検討されるべきであり、エネルギー需給システム全体の効率改善を目指した技術支援政策が導入されることが望まれる。「エコキュート」事例が、より広くエネルギー政策全体から見て「成功事例」であったのか、どの程度の「成功」であったのか、支援の費用対効果はどうか、海外の類似事例との比較はどうか、等々の、技術開発・導入・普及に関する公共政策としての評価は、こうした中長期的な視点と評価軸が定位しなければ、最終的な判断はなしえないのではなからうか。

6. まとめ

以上のように、家庭用高効率給湯器の研究開発・導入普及事例からは、以下のような示唆が得られる。

- 初期の基礎的な研究開発段階において国プロによる動機付けが行われ、また電中研という、企業が取り組みづらい新規性のある基礎的な研究開発を重視する研究機関で知見の蓄積が続行されたことで、後に応用されるヒートポンプ技術が技術選択肢として確保された。公共セクターによる技術開発政策においても、このような研究開発の継続性と多様性が重要であると思われる。
- 製品化研究開発の局面では、まず、国際的な環境問題の浮上とそれに対応した公的セクターの施策が大きな影響を与えた。フロン規制は電中研のヒートポンプ技術開発をCO₂冷媒使用に向かわせた。デンソーも同様の動機でCO₂冷媒使用の研究開発を開始した。次に地球温暖化問題が政策課題として浮上したことから、「エコ」や省エネが社会的なアジェンダとして設定されたことが、東京電力での家庭用新型給湯器開発計画につながり、他の2つのアクターが蓄積していたCO₂ヒートポンプ技術が「エコキュート」として製品化して結実した。
- これらの3つのアクターはいずれも各組織内・業界内では非主流であったが、それゆえに世論や市場ニーズの変化に即応できる立場でもあった。このrelevant marginal actorとしての属性が、従来にない、住宅給湯部門での省エネ、しかもCO₂ヒートポンプ技術を利用するという革新性につながった。
- 市場での普及の段階では、市場ニーズを理解していた電力会社自身の施策と政府による購入支援補助金制度の連携が、新技術にとって課題となる初期の高コストや消費者の認知不足といった普及の障害を緩和し、急速な普及に貢献した。また、他メーカーへの市場開放、「エコキュート」商標使用の自由化など、競争促進をはかったこともあり、性能や価格が改善する好循環が生まれたことも奏功した。
- ただし、同時期に登場した同じく「高効率給湯器」である、家庭用ガスエンジンコージェネレーション給湯器「エコウィル」は、同等の政府による経済的支援施策を受けながら、「エコキュート」ほどの勢いで普及は達成していない。この背後には、省エネ技術とエネルギーインフラの整合性の問題があり、今後の省エネルギー促進政策においては、より中長期的視点に立って、将来のエネルギーインフラのあり方をふまえて、それぞれの省エネ技術への支援を行う必要があると考えられる。

参考文献

- i. 経済産業省産業技術環境局技術評価調査課(2004)『平成16年版技術評価白書：経済産業省における技術評価の現状』、ぎょうせい。
- ii. Georghiou, L., Roessner, D. (2000) "Evaluating technology programs: tools and methods", *Research Policy* 29, 657-678.
- iii. Fahrenkrog, G., Polt, W., Rojo, J., Tübke, A., Zinöcker, K. (2002) "RTD Evaluation Toolbox: Assessing the Socio-Economic Impact of RTD-Policies," Joint Research Center, European Commission.
- iv. 財団法人政策科学研究所(2002)「研究開発プロジェクト等の評価手法に関する調査報告書」平成13年度経済産業省委託調査。
- v. 財団法人政策科学研究所(1999)「研究開発プロジェクトの評価手法に関する調査報告書」通商産業省工業技術院平成10年度技術評価調査。
- vi. 木村宰、小澤由行、杉山大志(2006)「政府エネルギー技術開発プロジェクトの分析 - サンシャイン・ムーンライト・ニューサンシャイン計画に対する費用効果分析と事例分析 - 」電力中央研究所調査報告 Y06019。
- vii. Hoogma, R., Kemp, R., Schot, J., and Truffer, B. (2002) *Experimenting for Sustainable Transport – The Approach of Strategic Niche Management*. New York: Spon Press.
- viii. 上野貴弘・城山英明・白取耕一郎(2007)「カーシェアリング導入における社会実験と学習効果」鈴木達治郎・城山英明・松本三和夫(編)『エネルギー技術の社会意思決定』(pp.93-119) 日本評論社。
- ix. Juraku, K., Suzuki, T. and Sakura, O. (2007) Social Decision-making Processes in Local Contexts: An STS Case Study on Nuclear Power Plant Siting in Japan, *East Asian Science, Technology and Society: an International Journal*, 1(1) (印刷中)
- x. オーム社(2006)「世界初！自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ給湯器『エコキュート』開発群像」技術総合誌『OHM』、2006年7月号、2-9。
- xi. 浜松照秀(2006)『誤解だらけのエネルギー問題』、日刊工業新聞社。
- xii. NRC (National Research Council) (2001). "Energy Research at DOE: Was it worth it? Energy Efficiency and Fossil Energy Research 1978 to 2000," National Academy Press.
- xiii. Christensen, C. (2001) 『イノベーションのジレンマ: 技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』(伊豆原弓訳) 翔泳社(原著2000年)。

謝辞

本稿は、社会技術研究会『社会技術論文集』第5巻に寿楽浩太・鈴木達治郎「家庭用省エネ技術の研究開発・導入普及と公共政策 家庭用高効率給湯器事例をめぐって」として収録されたものをもとに追加的な調査を踏まえて加筆・修正したものである。また、事例経緯の調査にあたり、聞き取り調査へのご協力を快諾いただいた関係各位に心から感謝申し上げます。

付録

聞き取り調査の実施リストを下記に記す。

東京電力株式会社 草刈和俊氏(2007年1月17日)
電力中央研究所 齋川路之氏(2007年1月25日)
株式会社デンソー 土屋静男氏(2007年1月30日)
大阪ガス株式会社 丹羽哲也氏(2007年1月29日)
株式会社長府製作所 高倉康二氏(2007年3月6日)
東京電力株式会社 竹内豊氏・草刈和俊氏(2007年5月24日)
独立行政法人経済産業研究所 佐藤樹一郎氏(元経済産業省)(2008年9月18日)
財団法人電気保安協会全国連絡会議 平野正樹氏(元経済産業省)(2008年9月25日)