

2H22

エネルギー技術開発プログラムに対する費用効果分析

○木村 宰（電中研）

1. はじめに

日本は京都議定書に基づき温室効果ガス排出量を 1990 年比で 6%削減する義務を負っているが、削減対策は十分に進んでおらず、90 年代以降の排出量は増加し続けている。そこで政府は温暖化対策強化のため関連予算を増加させており、特に省エネ・新エネの研究開発・実証・導入普及に用いられる予算は 90 年代における数 100 億円から 2,000 億円超へと大幅な増強が図られている。さらにより長期的な温暖化対策を鑑みると、革新的な温暖化対策技術の研究開発～導入普及に向けた公的投資の重要性は、今後ますます高まることが予想される。

では、このような温暖化対策への政府技術開発投資は果たして期待される成果を生み出しているのだろうか？ これは今後の温暖化防止政策ないし技術政策を考える上で極めて重要な問いであると考えられる。これまで、政府は石油危機以降の 30 年にわたってサンシャイン計画・ムーンライト計画といったプログラムを通じて石油代替・温暖化防止に向けたエネルギー技術開発を推進してきた。しかしながら、これまで個々のプロジェクト評価は実施されてきたものの、「これらの計画全体としてどのような成果が生まれたか」というプログラム評価は実施されてこなかった。そこで本研究では、これらのプログラムにおける費用対効果の定量的評価を行い、今後のエネルギー技術開発政策への示唆を検討する。

2. 先行研究：米国のエネルギー技術開発プログラム評価の例

技術開発の費用効果評価にはさまざまな手法が

あるが（Georghiou & Roessner, 2000; 渡辺, 2001; Fahrenkrog *et al.*, 2002）、本稿のような個別プログラムの評価には、当該プログラムから生み出された具体的な知見や技術の便益を積み上げていく事例分析法が適していると考えられる。この手法をエネルギー技術開発プログラムに適応した貴重な先行分析として、米国研究評議会（NRC）によるエネルギー省（DOE）技術開発プログラムの評価事例がある（NRC, 2001）。以下その概要を説明する。

2－1. 評価手法

NRC は、議会より「1978 年以降の DOE による省エネ技術・化石燃料技術 R&D プログラムから生み出された国家への便益を評価せよ」との要請を受け、約 20 名の専門家からなる委員会を組織し、約 1 年をかけて評価作業を行った。

NRC の評価枠組みは表 1 の便益マトリクスに表される。ここで「経済的便益」とは、R&D プロジェクトにより生み出された新技術がもたらす経済的便益であり、算定では次のような点が注意される：(1)比較するベースケースとして「新技術がなく次善の競合技術が採用されていた場合」を想定する、(2)DOE の関与がなかったとしても同等の技術が 5 年遅れで開発されていたと仮定する、(3)技術のライフサイクル全体を通した費用便益を算定す

表 1 NRC による便益評価枠組み

	既に実現した便益	オプション便益	知識基盤便益
経済的便益	...	...	...
環境的便益	...	...	...
安全保障便益	...	...	...

出典：NRC (2001)

表 2 米国における省エネ技術開発プログラムの費用便益評価 (1978～2000 年)

	研究開発 費(億\$)*1	経済便益 (億\$)*2	環境便益 (億\$)*3	安全保障便 益(億\$)*4
冷凍機用高効率圧縮機	～0.02	70	10 - 50	0.2 - 1
蛍光灯用変圧器	>0.06	150	10 - 100	0.5 - 3
省エネガラス	>0.04	80	5	1 - 7
消失模型鋳造法	0.08	1	0.2 - 1	
酸素燃焼式ガラス溶融炉	0.02	3	0.5 - 2	
高効率ガスタービン	～3.56	～0	0.5 - 2	
(合計)	～4	～300	30 - 200	2 - 10

*1) 政府予算と民間負担予算の合計

*2) 技術開発によるエネルギー消費削減便益等

*3) 環境汚染物質の削減量またはその回避費用

*4) 石油輸入量の削減量(増産量)またはその経済価値

	研究開発 費(億\$)*1	経済便益 (億\$)*5	環境便益 (万t)*3	安全保障便 益(億bb1)*4
採掘技術	1.1	10		
地質観測技術	2.1	6		3.6
石油増進回収等実証事業	8.5	29		14.57
西部ガスサンド	1.9	8		
東部ガスシェール	1.7	6		
コールベッドメタン	0.4	2		
排煙脱硫	5.3	10	200	
環境対策	1.3	30	2,600	
流動床式発電炉	13	8		
(合計)	35.3	109	2,800	19.84

*5) 技術開発による生産コスト削減便益等

(出典：NRC(2001)より筆者作成)

る、(4)新技術が生み出されたことに対する DOE プロジェクトの寄与割合は専門家の主観的判断を基に保守的な値を採用する。また「環境便益」「安全保障便益」については、新技術による環境汚染物質排出ないしエネルギー消費の削減量を同様の方法で算定した上で、既往の外部費用分析の文献から単位削減量当たりの環境価値ないし安全保障価値を引用しそれに乗じることで求める。また「費用」としては直接費用、すなわち政府と民間の研究開発投資額の対象期間における累計（物価上昇率のみ考慮）を指す。

なお NRC が定量評価を行ったのは「実現した便益」のみであり、他の便益（オプション便益、知識基盤便益）については定量化が困難であるとして定性的評価のみを加えている。

2-2. 評価結果と得られる示唆

表 2 に実現した便益についての評価結果を示す。これより (1)プログラム全体としては便益が投資を大きく上回っていること、(2)その分布は偏っており一部の成功プロジェクトが他の多くの失敗プロジェクトをカバーしていること、(3)多くのプロジェクトは必ずしも大きな便益を生まないため、適切なポートフォリオ管理が必要であること、などがわかる。なお、表 2 には定量評価が可能であったプロジェクトしか記載していないが、NRC は 39 のプロジェクトの事例分析に基づいて、定量化できないオプション便益・知識基盤便益の存在とその重要性について

も強調している。

3. 日本のエネルギー技術開発プログラムの費用効果分析

3-1. 対象と手法

本稿の分析対象は、サンシャイン計画・ムーンライト計画ならびに 1992 年以降統合されたニューサンシャイン計画であり、1974～2002 年までを対象期間とした。これは同時期のエネルギー関連技術開発のほぼ全てをカバーしている（原子力を除く）。

前節のような NRC(2001)と同様の枠組みを用いて、日本のエネルギー技術開発プログラムの費用効果分析を行いたい。ただし、本稿では一次分析として、以下のような簡便な分析に留めることにする。

- ・ 費用：民間企業の個別プロジェクトへの投資データの入手は困難であることから政府予算のみとする。また研究開発費だけでなく導入普及補助金も政府の費用として含める。
- ・ 効果：エネルギー消費削減量（石油換算）および CO2 削減量のみを推計する。NRC(2001)でなされているようにエネルギー価格を用いた経済価値への変換や、環境価値としての貨幣換算などは行わない。また生産費用削減や消費者余剰の検討は本稿では省略する。

このような効果の算定は、(1)まず当該プロジェクトによる直接の実用化技術の有無を調べ、(2)実用化があった場合にはその導入普及の状況を明らかに

表3 日本のエネルギー技術開発プログラムに対する費用対効果分析の暫定結果 (1974～2002 年)

	政府予算累計(億円) (2002年換算)	エネルギー削減 効果(万kL)*1	CO2削減効果 (万t-CO2)*2	政府プロジェクト の寄与率*3
太陽光発電	3,153	19	50	++
ソーラーシステム	339	1,884	4,505	++
太陽熱発電	222			
地熱エネルギー技術	2,220	435	1,152	++
石炭液化	2,689			
石炭ガス化	1,855	2.5	8.9	+
風力エネルギー技術	720	24	64	+
燃料電池発電技術	1,035	2.6	4.9	++
WE-NET(水素利用国際クリーンエネ ルギーシステム技術)	162			
高効率ガスタービン	312	4,498	8,329	++
セラミックガスタービン	109			
廃熱利用技術システム	42	1,037	1,983	++
スーパーヒートポンプ・ エネルギー集積システム	109	0.3	0.5	++
広域エネルギー利用ネットワークシステム (エコ・エネ都市)	91	0.5	1.0	++
超電導電力応用技術	288			
新型電池電力貯蔵システム(NAS電池)	181			
分散型電池電力貯蔵技術 (リチウム二次電池)	184			
電磁流体(MHD)発電	45			
汎用スターリングエンジン	80			
超低損失電力素子技術	61			
深層熱水供給システム	25			
水素製造技術	53			
高性能分離膜複合メタンガス製造	77			
(計)	14,051	7,903	16,100	

*1) 開発された技術の導入によるエネルギー消費削減量。新技術により既存技術を代替する効果として算定。

*2) エネルギー消費削減ないし新技術が既存技術に代替することによるCO2削減量。

*3) インタビュー調査・文献調査に基づく定性的評価。++は甚大な寄与があったこと、+は一定の寄与が認められることを示す。

し、(3)代替されたと考えられる適切な既存エネルギー技術を選び、(4)それによる代替効果(エネルギー消費削減量、CO2 排出削減量)を算定する、という手順で行う。想定した代替技術は多くの場合火力発電であり、NRC(2001)の場合と同様、当該新技術を除いた次善の既存技術として適切となるよう効率値等の前提を置く。

また得られた効果に対する政府関与の寄与率については、便益算定の段階にさまざまな推定を入れることは不透明と思われるため、ここでは別途枠を設けて、関係者へのインタビュー調査や文献調査から政府の寄与率を定性的に判断した。

3-2. 一次結果

以上の分析結果を暫定的にまとめたのが表3である。ここからまず、半数の対象プロジェクトでは何らかの実用化が存在しエネルギー消費削減や CO2

排出削減をもたらしているが、残りのプロジェクトは実用化まで到っていないことがわかる。

また、政府投資は太陽光発電、石炭液化、地熱、石炭ガス化の順に大きいが、エネルギー削減効果で見ると高効率ガスタービンが大きく、次いでソーラーシステム、廃熱利用技術システムとなっている。これらのプロジェクトは比較的小さい投資でありながら、削減効果の大半を生み出している。

高効率ガスタービンプロジェクトの削減効果が大きいのは、当該プロジェクト後に続々と導入されたコンバインドガスタービン発電の効率が低い(従来型の 42%に比べて 44～53%) からであるが、この全てが政府プロジェクトの寄与であったとは限らない。またソーラーシステムの削減効果の大きさも、石油危機直後の大量設置が作用しているが、ここには研究開発の成果は明らかに影響していない。

サンシャイン計画を通じた利子補給の寄与は大きいと思われるが、その程度は現段階では不明である。

4. 一次結果についての議論

4-1. 不確実性の大きさ

ここでの分析結果はあくまで暫定的な値である。特に、政府の寄与率に関する不確実性が大きい。明らかに政府の技術開発投資と無関係な効果は除くことができる（例えば 80 年代の地熱発電導入などは、サンシャイン計画以前の電源開発活動の結果であるためカウントしていない）が、何らかの政府関与の影響があるときにそれをどう定量化するかは大きな問題である。産官学のプロジェクトである場合には、基本的には各アクターの共同作業の場となるため各々の寄与度を測ることは本質的に困難である。また、実用化して大きな成果が出ている技術開発というのは、民間だけでも実用化し普及に成功していた可能性も高い。こういった場合には政府投資による追加性を検討する必要がある。このような政府関与の捉え方は今後の課題である。

一方、評価のタイミングも結果に大きな影響を与える。例えばエコ・エネ都市プロジェクトに小さいながらも削減効果が出たことになっているのは、参加企業がこの数年でようやく事業化に持ち込んだ蓄熱空調技術の効果が考慮されているからである。数年前に同じ評価をしていれば成果は出ていなかったであろうし、逆に後でするとエネルギー削減効果はより大きくなったであろう。

4-2. プログラム評価の有効性

既述の通り、不確実な部分や定量化における問題は多く残っているため、今後より精緻な分析を進める予定である。しかしながら、たとえ問題はあるにせよ、本稿で行ったようなプログラム評価からは多くの有益な示唆が得られると思われる。

まず、表 2 や表 3 に基づいて「技術開発投資に対して便益は上回っているか？」という問いを考えることができる。ここでは経済的便益の分析ができな

かったため、費用対便益比について明確な答えは出せないが、近い議論として例えば、政府投資累計 1 兆 4 千億円に対して 1 億 6,000 万トンの CO₂ 削減がなされた、という点が指摘できる。単純に除すると約 9,000 円/t・CO₂ となるが、これは現在の国際的な温室効果ガス排出権市場での取引価格である 10 米ドル/t・CO₂ を大きく上回る削減費用であり、これまで日本はそれだけ高い排出削減費用を投じてきたことになる。このような議論は、プログラム全体の成果を問う視点がなければできないものである。

また、このような分析によってプログラム編成のあり方を検討することができる。既に述べたように、多くの技術開発プロジェクトは実用化に到らないが、一部のプロジェクトは実用化して大きな成果を出す。このような知見を踏まえることで、失敗プロジェクトの失敗と認めることや、より適切なポートフォリオマネジメントへの議論が可能になると思われる。個別プロジェクトの評価だけではなく、プログラムレベルでの評価も今後推進していく必要があると思われる。

参考文献

- Fahrenkrog, G. *et al.*, 2002. "RTD Evaluation Toolbox: Assessing the Socio-Economic Impact of RTD-Policies." Joint Research Center, European Commission.
- Georgiou, L., Roessner, D., 2000. "Evaluating technology programs: tools and methods." *Research Policy* 29: 657-678.
- 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.
- 渡辺千仞(編), 2001. 『技術革新の計量分析：研究開発の生産性・収益性の分析と評価』 日科技連。