JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	日本のガスタービン開発における政府の役割 : 政府技術開発プロジェクトの効果に関する事例分析(科学技術政策と政策論(2),一般講演,第22回年次学術大会)
Author(s)	木村, 宰; 加治木, 紳哉
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 122-125
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7224
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

１Ｄ０８

日本のガスタービン開発における政府の役割
～政府技術開発プロジェクトの効果に関する事例分析

○　木村宰，加治木紳哉　（電力中央研究所）

１．はじめに

省エネルギー技術開発の促進は、地球温暖化対策の推進等の観点から重要な政策課題であり、効果的な政策を検討する必要がある。本稿では、省エネルギー技術開発の支援政策のあり方を考察するため、日本の発電用ガスタービン技術開発の事例分析を行う。

ガスタービン発電は、1970 年代までは緊急用電源として一部で導入されていたに過ぎなかったが、1980 年代以降コンバインドサイクル発電方式（以下、ガスタービン複合発電）[1]として熱効率と信頼性を大きく向上させ、高効率なベースロード用電源として急速に普及した。最新のガスタービン複合発電の熱効率は約 55%に達し、最も高効率な発電技術の一つとなっている。

また、このようなガスタービン技術開発において日本の重電メーカーは重要な位置を占めるようになっている。国内メーカーは、1970 年代までは米 General Electric 社（GE）や Westinghouse 社といった海外メーカーのライセンス下での製造を主としていたが、1978 年からは自主技術による高効率ガスタービンの開発を目指した国家プロジェクト「高効率ガスタービンプロジェクト」（ムーンライト計画）が開始され、これが終了する頃から、参加メーカーは着実に自主技術を確立させてきた。例えば三菱重工業は、現在の大容量ガスタービン市場において GE、独 Siemens 社に次ぐシェアを持ち、日立製作所や川崎重工業も中小規模ガスタービンの国内市場では大きなシェアを持つとともに輸出を拡大させている。

このようなガスタービン発電技術の開発普及を推し進めた要因は何か？　国内メーカーはいかに自主技術を確立してきたのか？　その中で、政府が果たしてきた役割、とりわけ政府主導の技術開発プロジェクトの効果はどのようなものだったのか？　これらの問いに答えるとともに、省エネルギー技術開発を促進するための政策施策のあり方を検討することが本稿の目的である。

日本のガスタービン開発については、山元ら[1]が技術史的視点から分析しているが、政府関与についてはほとんど言及がなく、またユーザーなど市場側の要因についても分析されていない。

一方、国家プロジェクト「高効率ガスタービンプロジェクト」の効果については、政府による技術評価がなされている。中でも追跡評価[2]では、プロジェクト終了 10 年後における技術波及効果や研究開発力向上効果、経済効果などが分析されている。しかし、政府の技術評価はあくまでプロジェクトに視点を絞った評価となっているため、プロジェクト開始以前より進められてきた一連の技術開発プロセスの中にプロジェクトを相対化し、位置づけることができていない。

本稿では、技術開発プロセスの分析を通じて、技術開発の鍵となったドライバーを整理し、そこでの政府技術開発プロジェクトの役割を再評価するアプローチを取る[2]。以下の第 2 節では、まず発電用ガスタービンの開発史を概観し、次にムーンライト計画・高効率ガスタービンプロジェクトの概要を述べ、さらに国内の主なガスタービンメーカー3 社の開発過程を分析する。以上に基づき、第 3 節では政府の役割について考察する。

なお以下の分析は、筆者らが 2006 年以降実施した、プロジェクト関与者に対するインタビュー調査、ならびに各社の技術報告・年史や雑誌記事等の文献調査に基づいている。

２．発電用ガスタービンの技術開発プロセス

２－１．技術開発史　概観

ガスタービンの発明は 19 世紀末にさかのぼるが、産業用（発電用を含む）ガスタービンが初めて実用化されたのは 1939 年である。その後産業用ガスタービンは、航空用（特に軍事用ジェット

[1] ガスタービン発電と蒸気タービン発電を組み合わせた発電方式。高温部にガスタービンを適用し、その排熱を蒸気系で回収することにより、ガスタービンまたは蒸気タービンによるシングルサイクル発電より高い熱効率を達成する。

[2] これは、技術開発が多様なアクター、組織、ネットワークや経済的・政治的要因との関係性の中で起こるとするイノベーション・システム論（[3]）に基づくアプローチである。このアプローチから政府の役割を評価した研究は多数存在し（[4],[5]など）、欧米でのガスタービン開発の事例分析もなされている（[6],[8],[8]）。

エンジン）から多大な技術波及を受けるとともに、1950 年代には中東や南米等におけるパイプライン駆動用として、また 1960 年代以降は北米および英国で頻発した停電対策の緊急用電源として、次第に市場を拡大させながら、技術改良を重ねてきた[8]。

日本では、戦中からジェットエンジン開発がなされてはいたが、本格的な開発は戦後、海外メーカーからの技術導入を始めてからである。当初ガスタービンは、熱効率が低いなどの理由から電気事業用にはほとんど利用されていなかった。しかし 1960 年代後半以降、大幅な電力需要の伸びと需要ピークの尖鋭化への対応策として、建設期間や起動が短いなどの理由からガスタービン発電の普及が進んだ。ただしこれらはピークロード用であり、実際の稼動は限られていた。また、1974 年に消防法改正により大型店舗等に非常用電源の設置が義務付けられたことから、自家用電源としての小型ガスタービンの普及が進んだ。

大規模な常用電源としてガスタービン複合発電が用いられるようになるのは、1970 年代半ば以降である。これは、建設が容易で短期間、大量の冷却水が不要といった利点から、中近東等でガスタービン複合発電が普及し、技術改善が進展したこと、また航空用ガスタービンにおいて開発された耐熱超合金や高温部材の冷却技術が産業用にも転用されたことから、熱効率と信頼性が向上してきたためである。

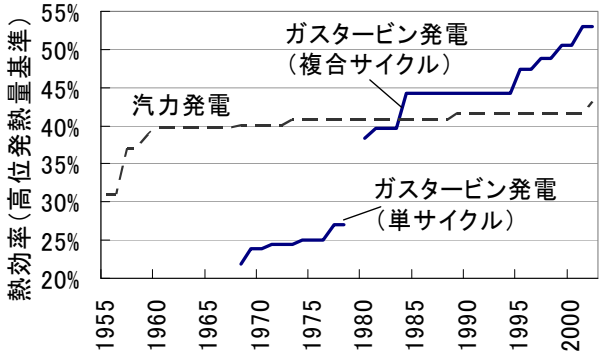

図 1　汽力発電とガスタービン発電の発電効率推移
（出典：平山(1983)，三巻(2001)等より作成）

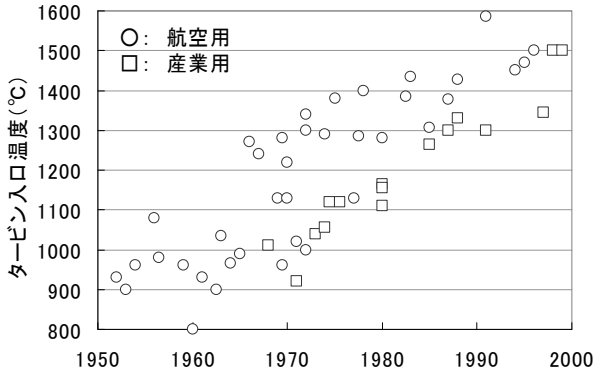

図 2　ガスタービン入口温度の変遷
（出典：『日本ガスタービン学会 25 年史』等より作成）

1980 年代以降、世界的にガスタービン複合発電の普及が拡大し、高効率化と大容量化が進展した。日本でも 1970 年代後半以降は、大容量発電設備としてのガスタービン複合発電を導入する機運が高まった。この背景には、上述のような技術進歩の他に、2 度の石油危機の経験からエネルギー源の多様化が求められ天然ガスの利用拡大が推進されたこと、また汽力発電の高効率化は 40%程度で頭打ちであり（図 1)、更なる効率向上のためには複合発電が求められたことがある。

ガスタービンの性能向上の中心は、燃焼ガスの高温化である。発電用ガスタービンのタービン入口温度は、航空用の後を追う形で向上し（図 2)、それに伴い熱効率を向上させてきた。高温化を支えるのは、耐熱材料の開発と冷却技術の向上である。また高温燃焼では排出ガス中の NOx が増加するため、公害防止のための低 NOx 燃焼器の開発も重要になる。これらガスタービン高温化に必要となる要素技術の開発経緯を図 3 にまとめる。

２－２．ムーンライト計画「高効率ガスタービンプロジェクト」（1978～1987 年）[2]

政府は、1978 年に発足させた省エネルギー技術開発制度（通称ムーンライト計画）において「高効率ガスタービンプロジェクト」を設立し、1978～87 年の 10 年間に 260 億円を投じた。開発目標は、タービン入口温度 1,500℃、総合効率 55%以上（低位発熱量基準)、出力 10 万 kW の大容量ガスタービン複合発電システムを開発する、という非常に野心的なものであった。本プロジェクトは産官学の総力を結集して進めることとされ、重電メーカーはじめ 14 社による技術研究組合と国立研究機関等が参加した。

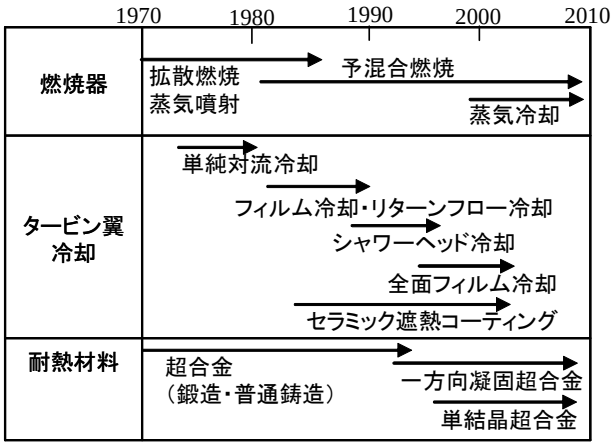

図 3　ガスタービンの主な要素技術開発の経緯
（出典：『日本ガスタービン学会 25 年史』等より作成）

開発項目は、超高温耐熱部材（耐熱合金部品・セラミック部品）・ガスタービン要素技術（圧縮機、燃焼器、タービン、制御技術）の研究開発、そして高効率ガスタービンシステムの試作運転研究であった。システム試作においては、55%という野心的な発電効率目標を達成するため、ガスタービン複合サイクルの諸方式の中でも実用例の少ないレヒート方式が採用された。パイロットプラントは東京電力袖ヶ浦火力発電所にて試運転され、総合効率 51.7%、出力 93MW、タービン入口温度 1,300℃を達成した。

２－３．各社におけるガスタービン開発

ここでは、国内メーカー主要 3 社におけるガスタービン開発過程を分析する。

（１）三菱重工業

三菱重工は 1961 年に Westinghouse と技術提携し、そのライセンス下でガスタービン生産を開始したが、1970 年頃からは自主開発要素を盛り込んだ機種の開発を始めた。転機となったのは、1970 年代後半の 1,150℃級ガスタービンの開発である。これは米国向けの 60Hz 機を 50Hz 地域向けに再設計して開発したものであり、Westinghouse のライセンス下にはあるが、実質的には三菱重工が開発を主導した。特に、低 NOx 化のための予混合燃焼器を世界に先駆けて実用化した。これは東北電力東新潟発電所に 109 万 kW という当時最大規模の複合発電プラントとして納入され、従来型火力発電の最高効率 41%を大きく上回る 44%の効率を達成した。

1986 年には、1,250℃級の中型ガスタービン（MF-111）を自主開発し、この技術を大型機に添加して 1,350℃級大型ガスタービン（F 型と呼ばれる）を開発した。MF-111 は、当時産業用として世界最高温度であり、初めてリターンフロー冷却技術を適用した。同社のムーンライト計画への参画は、この MF-111 の開発に先行しており、リターンフロー冷却や精密鋳造技術などの開発に対して、ムーンライト計画が事前検討と製作経験の場として重要な役割を果たしたという[9]。

同社はその後も自主開発路線を強化し、1990 年代半ばには 1,500℃級ガスタービン（G 型）を開発、東北電力東新潟発電所に納入し、50.6%（高位発熱量基準）という世界最高水準の効率を達成した。その後開発している 1,500℃級ガスタービン（H 型）では、タービン翼にも蒸気冷却を用いるなどによって一層の高効率化を見込んでいる。

なお、同社は Westinghouse と 1986 年に契約改訂してイコール・パートナーとなり、1996 年には技術提携を解消した。Westinghouse は 1980 年代から不振が続いており、1998 年には遂に電力設備部門を Siemens に売却するに到った。三菱重工がガスタービンで高度な自主技術を蓄積できたのは、このようなライセンサーの凋落があったからこそではないかとの指摘もある。

また、三菱重工が開発した 1,150℃級ガスタービンをいち早く導入したのは東北電力であり、まだ当該分野で実績がほとんどない同社に大規模プラントを発注したのは、国産技術の育成という狙いもあった。東北電力はその後も三菱重工と 1,500℃級 G 型ガスタービンに向けた共同研究に投資し、他社に先駆けて導入した。

（２）日立製作所

日立は 1964 年に GE と技術提携し、1980 年代半ばまでに 300 台以上の GE ガスタービンをライセンス生産してきた。

一方で、その製造経験を基に、1984 年からは 2 万 5 千 kW クラスの GE ガスタービン（MS5001 と呼ばれる）のリプレース需要を狙ったガスタービン開発を開始した。これが日立の自主技術による「H25」と呼ばれる中型ガスタービンであり、1988 年に 1 号機を石油プラントに納入、運開した。また H25 をスケールダウンした小型ガスタービン（H15）も自主開発した。GE の MS5001 が 1,000℃級、効率 26%程度であったのに対し、H25/H15 は 1,260 度、効率 30%以上と大幅な高性能化を達成した[10]。

H25 の開発は、ムーンライト計画・高効率ガスタービンプロジェクトの途中から開始している。当時のガスタービン事業は決して大きくはなく、技術者も限られていたことから、ムーンライト計画の従事者と H25 開発者は重なっていた。そのため、どのような開発項目についても、どちらの開発で得られた知見も双方で活用されていたというのが実態である。

なお、H25/H15 はこれまでに 100 台以上を受注しており輸出も拡大しているが、電気事業用の大型ガスタービンについては、日立は GE の下でのライセンス生産という方針を変えていない。

（３）川崎重工業

川崎重工は、1952 年頃より開始していた航空用ガスタービンのライセンス生産の経験を基に、1972 年頃から自主技術による産業用ガスタービン開発を開始した。非常用電源の市場を主ターゲットと定め、1985 年頃までに完全な独自技術によって 20kW～1,000kW 級にいたる小型ガスタービンシリーズを揃えた。このクラスでの「カワサキガスタービン」の国内シェアは 60%を超える。

1980 年代後半からは、新たにコジェネレーシ

ョン市場を狙って 1,500kW 機を開発、さらにそれを大型化して 1993 年には 6,000kW 機（M7A と呼ばれる）を開発した。M7A では、同社がそれまで用いていた遠心圧縮機ではなく軸流圧縮機を用いるなど、高効率化とさらなる大型化に適した要素技術を取り込んだ。2001 年には、2 万 kW 級の中型ガスタービン（L20A と呼ばれる）を開発、同クラスのガスタービンとしては世界最高水準の 35%効率を達成した[11]。

ムーンライト計画への参画は、これら M7A・L20A の開発に先立っており、M7A、L20A の開発で必要となった軸流圧縮機やマルチキャン燃焼器の要素開発をムーンライト計画で経験し、技術ベースをつくっておいたことは、開発成功の重要な一因となった。

３．考察

以上の技術開発過程の分析から、次の 3 点が指摘できる。第 1 は、発電用ガスタービン技術の開発普及および国内メーカーの成長に対して、ムーンライト計画が果たした役割は非常に限定的ということである。国内メーカーの技術向上にまず大きな役割を果たしたのは、GE や Westinghouse といった海外メーカーからの技術導入であり、さらにこれらのメーカーにおける発電用ガスタービン技術の基となったのは航空用ガスタービンからの技術波及であった。またムーンライト計画に参加したメーカーは、政府からの委託費を大きく上回る開発費を投じており、特にプロジェクト後にその成果を生かすための自主開発と事業展開がより重要な役割を果たしている。

第 2 は、限定的ではあるものの、やはりムーンライト計画は重要であったということである。ムーンライト計画の成果活用の様子は各社さまざまであるが、1980 年代から 1990 年代初頭にかけて各社が高温化・高効率化への製品開発を進める際に、タービン翼冷却などの鍵となる要素技術の開発に貢献し、それが各社の自主技術確立へとつながった。インタビュー調査ではどの関係者も、ムーンライト計画がなくてもいずれは同様の開発が実施できたであろうと認めているが、同時に、ムーンライト計画によって自社開発を推進できる人材が育ち、開発が加速されたことは事実である[3]と指摘している。また委託費以上に自社投資をしているとしても、ガスタービン事業が成熟していない段階での政府補助金は貴重であった。このような貢献は、上述の通り限定的ではあるが、ある方向の技術開発を促進するという観点からは非常に重要であると言える。

第 3 は、ムーンライト計画の成果とその後の技術進歩の関係が必ずしも明確にならないという点である。ムーンライト計画はタービン翼冷却やセラミックコーティング開発などの基礎技術をつくったとは言うものの、政府委託下での開発と各社内での開発の方向性が重なる状況では、その成果を政府プロジェクトと自社プロジェクトに切り分けることは不可能と言える。ムーンライト計画において開発されたレヒート方式のガスタービン複合発電が、その後国内で実用化されていないことから、本プロジェクトは失敗だったとする見方があるが、そのような直接的な実用化のみを評価する視点は不適切であり、プロジェクトが参加主体の技術開発に与えた複雑な影響を評価する視点が必要であろう。

[3] より具体的に、「3 年程度加速された」との指摘があったが、これは他事例において観測されている研究開発加速効果（Das et al., 2001 など）と同程度である。

引用文献

[1] 山元ほか (2002) 三菱重工業におけるタービン製造技術の形成過程，中岡(編著)『戦後日本の技術形成：模倣か創造か』日本経済評論社: 163-191.

[2] 産業技術審議会評価部会 (2000) 大型省エネルギー技術開発制度「高効率ガスタービン」（1978～1987 年）追跡評価報告書．平成 12 年 12 月.

[3] Lundvall (1992) National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. Pinter Publishers.

[4] Astrand & Neij (2006) An assessment of governmental wind power programmes in Sweden: using a systems approach. Energy Policy 34: 277-296.

[5] Jacobsson & Lauber (2006) The politics and policy of energy system transformation: explaining the German diffusion of renewable energy technology. Energy Policy 34: 256-276.

[6] Unger & Herzog (1998) Comparative Study on Energy R&D Peformance: Gas Turbine Case Study. MIT Energy Laboratory.

[7] Curtis (2003) The Innovation of Energy Technologies and the U.S. National Innovation System: The Case of the Advanced Gas Turbine System. U.S. Department of Energy.

[8] Watson (2004) Selection environments, flexibility and the success of gas turbine, Research Policy 33: 1065-1080.

[9] 武石 (2006) 日本ガスタービン学会誌 34: 1-2; 秋田 (2001) 日本機械学会講演論文集 No.014-1.

[10] 寺西・漆谷 (1989) 日本ガスタービン学会誌 16: 105-107; 瀧花ほか (1990) 日立評論 72: 527-534.

[11] 星野 (1996) 川崎重工技報 131: 26-28; 笠ら (2001) 川崎重工技報 148: 6-11.

[12] Das et al. (2001) Evaluation of the benefits attributable to automotive lightweight materials program R&D projects, U.S. Department of Energy.