

# 省エネルギー技術開発の現状と将来

Present Status and Prospect of R&D on Energy Conservation Technologies

仲井 真 弘 多\*

Hirokazu Nakaima

## 1. はじめに

国際的な石油需給は、現在緩和基調で推移しているものの、今後の世界景気の回復に伴い、発展途上国を中心に石油需要も増大する一方、OPECを中心とする供給余力は限られていることから、1990年代には再び国際的な石油需給がタイト化し、また、石油価格も1980年代後半以降、特に1990年代に上昇する可能性が高いとの見方が一般的である。

もとより、国際石油情勢は流動的であり、今後の需給・価格動向を正確に見通すことは困難であるが、中東情勢の不安定性を勘案すれば、なお不安定な要素が大きいと考えられるため、今後ともエネルギー需給安定のための施策を充実させていく必要がある。中でも省エネルギー政策は、国際情勢等の外部要因に左右されずに、我が国独自の努力で相当の成果が期待される分野の一つであり、エネルギー資源の乏しい我が国にとっては最も重点を置くべき課題の一つであると言える。

省エネルギー推進のための施策としては、エネルギー使用の合理化を促すような法的措置や省エネルギーに関する普及啓蒙活動の展開と並んで、エネルギーの変換・輸送・貯蔵・消費の各分野における効率向上をめざした省エネルギー技術開発の果たすべき役割は非常に大きなものがある。

このような観点にたつて、省エネルギー技術開発を推進する「ムーンライト計画」は、昭和53年度に発足して以来、国の試験研究所、産業界、大学などの力を結集しつつ総合的・計画的に推進している。

前述の、太陽、石炭液化といった新しいエネルギーを求めて強力に技術開発を進めることを目的とした「サンシャイン計画」に対し、省エネルギー技術の研究開

発は、たとえわずかな光でも有効に使うという気持ちのもとに進めるという意味をこめて「ムーンライト」と名づけることにしたものである。

現在ムーンライト計画では、

- ① 大型省エネルギー技術
- ② 先導的基礎的省エネルギー技術
- ③ 国際研究協力事業
- ④ 省エネルギー技術の調査研究
- ⑤ 民間の省エネルギー技術開発の助成
- ⑥ 標準化による省エネルギーの推進

の6つの柱をもとに省エネルギー技術開発を推進している。

## 2. ムーンライト計画の概要

### 2.1 大型省エネルギー技術研究開発

研究開発に多額の資金と長期間を要するなど、民間企業では行い得ない大規模な省エネルギー技術研究テーマについて、国家的プロジェクトとして国立試験研究所、産業界、大学等各分野の力を結集して研究開発を行うものである。現在、高効率ガスタービン、新型電池電力貯蔵システム、燃料電池発電技術、汎用スターリングエンジン及びスーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムの5プロジェクトについて研究開発を推進している。

ムーンライト計画もすでに7年目で、省エネルギー技術の一番手とも言える廃熱利用（工場で捨てられる熱の回収・有効利用）プロジェクトが既に完了し、吸収式ヒートポンプやヒートパイプ等で実用化もかなりのペースで進んでいる。世界最大級の吸収式ヒートポンプがムーンライト計画の成果として今年オランダの地域冷暖房用に輸出が決まったのは、その好例である。

また、MHD発電（強い磁場中を高温ガス体を通し、直接電磁流体で発電する）プロジェクトは、長寿命チャネルの開発を目的とした第Ⅱ期計画も完了し、現在石炭燃焼MHDの先導的基盤的研究が進められている。

\* 通産省工技院ムーンライト計画推進室長（総括研究開発官（省エネルギー技術担当））

〒100 東京都千代田区霞が関1-3-1

## 2.2 先導的基盤的省エネルギー技術研究開発

将来の大型省エネルギー技術の芽となる技術の発掘に努めるとともに、産業界の基盤技術となるべき省エネルギー技術の開発を国立試験研究所で行うものである。現在11のテーマについて研究を進めており、近い将来これらの中から太い幹が育って欲しいものである。

## 2.3 国際研究協力事業

IEAにおける省エネルギー関係のプロジェクトや共通の問題を携えている先進国との協力により、省エネルギーの推進に貢献するものである。現在IEAの改良型ヒートポンプ実施協定 Annex IV(ヒートポンプセンター)に参加し、IEAにおける国際協力事業を進めるとともに、日仏等2国間の協力を推進している。

## 2.4 省エネルギー技術調査

省エネルギー技術開発課題の発掘、研究開発の最適手法確立のための「省エネルギー技術の総合的効果把握手法の確立調査」を行っている他、来年度からは特定課題のフィジビリティ調査を行う計画である。特定課題としては、超電導発電関連機器・材料技術のF.Sで、超電導化による省エネルギー効果、発電システムとしての電力系統の安定度向上効果等技術的・経済的効果を把握し、今後のあり方を決定したい。

## 2.5 民間の省エネルギー技術開発の助成

民間企業が行う省エネルギー技術の研究開発のうち、特に重要なものに対し、研究開発にインセンティブを与え、円滑な実用化を図るため、国がその経費の一部を補助するもので、重要技術研究開発費補助金制度及び石油代替エネルギー関係技術実用化開発費補助金制度による助成を行っている。成果は全て民間側に帰属し、民間活力の活性化に一役買っているものである。

## 2.6 標準化による省エネルギーの推進

省エネルギー推進の観点から、新たに必要とされるJISの制定及び現行JIS規格の見直しを行うとともに、エネルギー消費機器のエネルギー効率等の省エネルギー化に役立つ情報をJISマーク表示制度の活用により消費者に提供するもので、このために必要な調査を行っている。

以上を予算面からも総括的にまとめると表1のとおりである。

## 3. 大型省エネルギー技術の現状と今後の見直し

### 3.1 高効率ガスタービン

現在の火力発電の主力をなしている汽力発電では、最新鋭のものでも熱効率が約40%で、ほぼこれが技術

的限界と言われている。この壁を打ち破るものとして期待されているのが、ガスタービンと、その排気からの熱回収により作動するスチームタービンとを組み合わせた複合発電である。わが国においてもシンプルサイクルのガスタービンによる複合発電が東京電力富津、東北電力東新潟の両発電所に導入され始めている。この場合の効率は約43%と予想されているが、ムーンライト計画で推進している本プロジェクトでは、複合発電に適したレヒートサイクルガスタービンを開発することによって効率55%(LHV基準)の達成を目指している。

このプロジェクトの中間目標として効率50%(LHV基準)のパイロットプラントの設計製作が53年度からスタートした。このガスタービンの高圧タービン入口温度は1,300°C、圧力は55気圧そして中間で再燃焼(レヒート)を行う世界でも例のない先端技術の採用で高効率化と比出力の増大が図られている。パイロットプラントは、高効率ガスタービン技術研究組合が開発を分担し、58年に工場試運転を行ったうえ、現地試運転及び実証運転のため東京電力袖ヶ浦発電所で59年3月から試運転研究に入っている。現地試運転では、同期投入試験から全負荷運転までを行い、負荷時の安全性、信頼性を確認するための各種試験、性能試験及び研究開発機として必要な確認試験を行う計画である。現在までに総運転時間約109時間、最大出力6.6割、ガスタービン入口温度も1,260°Cとこのクラスで世界最高を実現している。来年度には実証運転を継続した後開放点検によりその健全性を確認する計画である。

パイロットプラントの開発と並行して超高温耐熱部材やガスタービン要素技術の研究開発を進めており、これらの成果を最大限取り入れ、熱効率55%以上を目標とするプロトタイププラントの概念設計が着々と進められている。このプラントでは、高圧タービン入口温度として1,400°C(部材耐熱温度としては1,500°C)が計画されており、本プロジェクトで生まれた開発合金による一方向凝固翼、水噴霧冷却タービン翼、セラミックコーティング翼、積層冷却構造燃焼器など、高温部へ革新技術を適用する予定である。

需要地近旁への導入も、高い効率を得られ、クリーン燃料(天然ガス)であること等から十分期待されており、火力新技術として比較的至近年度での実用化をめざすべきであると考えている。

### 3.2 新型電池電力貯蔵システム

電気エネルギーは貯蔵が困難であり、そのため需要

表1 昭和60年度ムーンライト計画実施案概要集

(単位：百万円)

事 項			59年度予算額	60年度予算要求案	60年度事業計画案の概要
大型省エネルギー技術	開発期間	開発費総額	8,809 830 〔7,979〕	10,784 842 〔9,943〕	
	高効率ガスタービン	53～62年度 約260億円	2,572 219 〔2,353〕	1,230 120 〔1,110〕	パイロットプラント実証運転及び開放点検を行うとともに、プロトタイププラントの詳細設計及び要素機器の試作研究等を行う。
	新型電池電力貯蔵システム	55～65年度 約170億円	1,290 119 〔1,171〕	2,325 155 〔2,170〕	10kW級電池の試作、試験を行うとともに、1,000kW級システム試験のための施設、装置等の建設、製作を行う。
	燃料電池発電技術	56～61年度 約110億円	3,669 249 〔3,420〕	4,882 238 〔4,643〕	リン酸型燃料電池について、高温高圧型及び低温低圧型の各1,000kW級プラントの建設を行うとともに、熔融炭酸塩型燃料電池等について開発を行う。
	汎用スターリングエンジン	57～62年度 約100億円	1,248 214 1,035	1,718 198 〔1,519〕	エンジンの要素技術についての試作評価研究を行うとともに、各種実用型エンジンの試作運転研究を行う。また利用システムの試作運転研究及び燃料多様化の研究を行う。
	スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム	59～66年度 約100億円	30 30 〔0〕	630 130 〔500〕	超高性能圧縮式ヒートポンプを構成する圧縮器、熱交換器等の部分試作、作動媒体の研究及びケミカル蓄熱技術のうち反応系の研究、材料の耐食性の研究を行うとともにトータルシステムの最適化研究等を実施する。
先導的基盤的省エネルギー技術			233	232	アルミニウム新製錬、MHD石炭燃焼等の継続テーマに加え、60年度は新たに高融点無機物の研究開発に着手する。
国際研究協力事業			22	20	IEA改良型ヒートポンプ実施協定Annex IV及びIX（新規）に参加する。また、日仏等二国間の協力を推進する。
省エネルギー技術の確立調査			10 10 〔0〕	89 9 〔80〕	省エネルギー技術開発課題の発掘、研究開発の最適化手法の確立のための調査を行うとともに、超電導発電関連機器・材料技術についてのフィジリティ調査を行う。
民間の省エネルギー技術開発の助成			367	140	民間企業が行う省エネルギー技術の研究開発に対する助成を行う。
省エネルギー標準化			39	32	建材、工業窯炉及び民生用機器の省エネルギー標準化調査研究を実施する。
その他			78 75 〔3〕	140 137 〔3〕	研究開発に必要な事務経費等。
小計			9,558 1,577 〔7,981〕	11,437 1,411 〔10,026〕	
民生用機器の開発助成			71 0 〔71〕	60 0 〔60〕	民生用機器（ヒートポンプ冷暖房給湯機）の開発を行う。（石油代替エネルギー関係技術実用化開発費補助金制度）
合計			9,629 1,577 〔8,052〕	11,497 1,411 〔10,086〕	〔 〕 上段：一般会計、下段：特別会計、区別のないものは一般会計のみ

に応じて発電量を調節する必要がある。電力の需要は一日のうちでも大きく変動し、午後1～3時のピークを100とすると、深夜(午前3～5時)には30～40にまで減少する。一方、大型の発電所は一定の負荷を保って発電してこそ高い効率が得られる。また、需要が最大になる夏期昼間に合わせた発電設備を確保しておくことは、発電設備の面からも無駄が多く、供給コスト増大の原因ともなる。従って夜間に余剰電力を貯蔵し、昼間ピーク時にこれを放出して負荷の変動に対応すれば、設備の効率的利用ができる(ロードレベリング)。また、電力負荷率が向上することにより、ベース電源としての原子力、石炭火力等の代替エネルギー利用の電源の設置促進効果が生まれる。電力貯蔵の手段としては、現在揚水発電が実用化されているが、遠隔地立地の傾向にあるため、送電設備や送電ロス等の無駄が多く、また自然環境保護など立地環境上の制約が今後ますます大きくなるものと予想される。このため、電力需給のアンバランスの是正と我が国のエネルギー需給構造の速やかな脱石油化を考えるならば、揚水発電に代わる効率のよい電力貯蔵システムの開発は急務である。このためムーンライト計画において、大容量かつ高効率の新型電池システムにより、オフピーク時に電力を電気化学反応により貯蔵(充電)し、ピーク時に放出(放電)する所謂ロードレベリング機能をもつ新型電池電力貯蔵システムの開発を55年度から開始した。

新型電池としては、それぞれ特色を有する①ナトリウム-硫黄電池 ②亜鉛-塩素電池 ③亜鉛-臭素電池 ④レドックスフロー電池の4タイプについて開発を行っている。55～56年度で要素技術の研究、57～58年度で1kW級を製作し、中間評価を行い59～61年度で10kW級モジュール電池を製作する計画である。62年度以降、電力貯蔵システムに最も適すとみられる新型電池を使用し、1,000kW級の実証試験を行うこととなる。

新型電池の開発と併せて、交直変換装置を含む交流側電力系統への接続、制御・保護に関する最適システムを目指すシステム技術の研究開発、また電力負荷形態とシステムの所要性能、最適容量、最適配置、環境・安全問題、経済性等の総合的なトータルシステムの研究を行っている。58年末の第一次中間評価では、エネルギー効率が80%を超えるものも開発され、心強い思いをしている状況である。今後は10kWへスケールアップし、さらに揚水発電代替を中心に実用化に向けて開発を進める予定である。

### 3.3 燃料電池発電システム

我が国のエネルギー需要のうち約36%は電力の形で利用され、しかもこの割合は着実に上昇していることから考えて、発電システムの省エネルギー化とエネルギー供給源の多様化を図ることの重要性は論を待たない。燃料電池発電方式は天然ガスや石炭ガスを利用して発電効率40～60%を達成しうる極めて高効率の発電方式で、実用化されれば電力システムの省エネルギー化及び石油代替に大きな貢献をすることが確実である。また、部分負荷時も効率があまり低下しないために、中間負荷やピーク負荷用として適しているほか、排ガスが少なくクリーンで、騒音や振動の心配もなく、中小規模の設備でも効率が高いので、大都市に近接して、或いは都市内に分散して配置するのに極めて適している。これによって全電気エネルギーの6%を占める送配電ロスを減らすことができるほか、廃熱を冷暖房や給湯に利用する事によって総合熱効率を80%にも上げることができ、一層の省エネルギー化が可能である。

ところで燃料電池という名がついているが、蓄電池のように内部にエネルギー源を蓄えている訳ではなく、電池の陰極に天然ガスや石炭ガスから作った水素を、陽極に酸素(空気)を供給すると、ちょうど水の電気分解の逆の反応で電気が発生するもので、両極の間でイオンを運ぶ役目をする電解質によって、いろいろなタイプの燃料電池がある。56年度からムーンライト計画で開発しているのは、次の4種類のものである。

まず計画の中心をなすのは、これらの中で最も実用化が近いと考えられ、第一世代の燃料電池と言われるリン酸型である。これは天然ガスを使うことを想定して、立地条件やエネルギー供給役割などの差異のある2方式をNEDOを主体として開発している。

その1つは都市内への分散配置用で、実用プラント規模は1～数万kW、電池は190℃、4気圧程度で動作する低温低圧型で、40%以上の発電効率を目標としている。他の1つは火力発電代替用とも言うべき集中配置型で、ユニット容量10万kW以上、205℃、最大8気圧程度の高温高圧型で、目標発電効率は42%以上である。これまでは電池本体や天然ガスを水素に変える改質装置などの要素技術の開発を推進し、59年度からは1,000kW級発電プラントの設計製作に着手している。60年度には両方式一基ずつ1,000kW級発電プラントを建設し、61年度には運転研究を行い、リン酸型燃料電池発電システムの実用性と将来性を実証することがで

きるものと考えている。

第二世代の燃料電池と言われる熔融炭酸塩型は発電効率が45%以上、排熱でスチームタービンを回せば50%以上と高い効率が得られ、また石炭ガスが使えるなど魅力的な方式であるが、約650℃と高温で腐食性の強い熔融炭酸塩にさらされるなど条件が厳しく、61年度までに10kW級のベンチプラントを製作・運転する事を目標に開発している段階である。

その他、安定化ジルコニアを電解質とする第三世代の固体電解質型や、水酸化カリウムを電解質とするアルカリ型も開発を進め、将来の実用化を目指している。

### 3.4 汎用スターリングエンジン

18世紀以降の産業の発達と社会の変貌の要因が科学技術の進歩にあり、特に熱エネルギーを機械的あるいは電氣的エネルギーに変換する、所謂エネルギー変換技術に負うところが大きい。蒸気機関に始まり、ディーゼルエンジン、オートエンジン、ガスタービン、原子力機関など広大で高度な技術が現在の経済社会を支えている。この様な状況から見れば、もはや他の原理の熱機関が市場に入り込む余地は無いのではないかとさえ思えるが、約50年前オランダのフィリップ社により開始されたスターリングエンジンの研究開発は、年を追って各国に波及し、現在では米国、英国、スウェーデン、西ドイツ、フランスそして我が国など多くの国で積極的な研究開発が行われている。

我が国では、比較的遅れている民生部門（特に冷暖房及び給湯）等の省エネルギー化、石油代替化に寄与することを目的に、57年度からムーンライト計画における汎用スターリングエンジンの研究開発をスタートした。1816年英国人の牧師ロバート・スターリングにより発明されたものの、内燃機関の急激な発達により駆逐されていたものが、最近の材料技術、シール技術等の急速な発達に伴い、スターリングエンジンの持つ高効率性、燃料の多様化性、低公害性が見直され、表舞台に急浮上してきたものである。

スターリングエンジンの作動原理は相当難解だが、従来の内燃機関と大きく異なる点は次の様になる。

- ① スターリングエンジンは所謂外燃機関であり、燃料はシリンダー外部の燃焼室で燃焼され、発生した熱エネルギーは熱交換器を介してエンジン内部に密封されている作動流体（ヘリウム、水素など）に与えられる。
- ② サイクルは理論的には等温変化と等容積変化によって形成され、その熱効率はカルノー効率（理想的

サイクルの効率）に極めて近くなる。

これらの結果、このエンジンは高効率、低騒音及び低排気エミッション、燃料多様性などの優れた機能を発揮する。このため、従来盲点とされていたエンジンの使用可能領域の一般住宅までの拡大が可能となる。

勿論内燃機関でもこのことはある程度可能であるが、低公害性と燃料の多様性を持つスターリングエンジンのポテンシャルは極めて注目される所である。このような使用領域の拡大は、従来の一次エネルギー→電力→機械エネルギーというエネルギー利用形態を一次エネルギー→機械エネルギー（排熱も利用可）の形に変えることになり、エネルギーの利用効率を著しく高めることができる。更に、木質燃料など従来エンジン用としては用い得なかったローカルエネルギーも利用可能になるなど、従来のエネルギー問題に対して有効な技術手段となり得るだろう。

### 3.5 スーパーヒートポンプ・エネルギー集積システム

このプロジェクトはムーンライト計画のニューフェイスで、59年度から開始している。このプロジェクトの目的は、夜間余剰電力を用い、大気中や廃熱の熱エネルギーを高効率・高密度に増倍貯蔵して、昼間のエネルギー必要時に温熱又は冷熱として取り出すことにより、大型ビル空調、大規模地域冷暖房・各種産業プロセス加熱等の大規模熱源として利用し、電力の負荷平準化に資するスーパーヒートポンプ・エネルギー集積システムを開発することであり、このため、超高性能圧縮式ヒートポンプ及びケミカル蓄熱の各要素技術の研究開発を行い、これらの成果を統合した最適なトータルシステムの開発及び運転研究を行うこととしている。目標とする実プラントの規模は、出力熱量3万kW級であり、一基で5,000戸規模の住宅団地の冷暖房給湯を行うことができる大容量のものであるが、これは概念設計まで行うこととしており、実際に研究開発を行うプラントは1,000kW級までである。これでも、8～10階建のビルの空調能力に相当し、この規模での実用化も十分考えられる。

要素技術のうち、超高性能圧縮式ヒートポンプについては、COP(成績係数：出力エネルギーの駆動エネルギーに対する比率)を現状の2倍に飛躍させる高効率型とCOP値を現状の最高値より下げることなく、150℃又は300℃程度の出力を得ることのできる2タイプのヒートポンプを開発することとしている。COPを現状の2倍にするという高効率化のためには、作動媒体及び熱交換器の高性能化が開発のポイントになり、非共

沸混合体や、小温度差向流多段熱交換器、EHD 効果（電界をかけると熱交換効率が向上する）を利用した新型熱交換器の開発、その他圧縮機、膨張器、システム等の効率改善等を行う予定である。また、在来のヒートポンプでは、媒体が110℃位で分解し使用できないが、フッ化アルコール系等の新規媒体の採用、同軸多段圧縮機等新圧縮方式の開発その他により、300℃までの高温出力を達成する計画である。

化学反応を利用した蓄熱技術については、スウェーデンのTEPIDUS計画（硫化ナトリウム-水系）やアメリカのロケット研究所に於ける硫酸の水希釈熱を利用したシステム等の研究例がある。まだ世界で実用化された経験はないが、従来の顕熱又は潜熱蓄熱と異なり、化学反応熱を出力として取り出すもので、従来の方式に比べて蓄熱密度が5～10倍高く大きなスペースを必要としないため、ビル等への適用性が格段に広がり、将来の最も有望な蓄熱方式と考えることができる。もちろんケミカル蓄熱には、高温蓄熱の他に化学物質を冷熱として貯える冷熱蓄熱とがあり、本プロジェクトではこの両方式の研究開発を並行して進める予定である。高温蓄熱には臭化カルシウムの水和反応等、冷熱蓄熱にはフロン等の液化ガスの水和反応等が考えられている。

前述の新型電池電力貯蔵システムが、供給サイドからの負荷平準化技術であれば、本プロジェクトは、需要サイドからの負荷平準化効果をもたらす技術として高い期待が持たれている。

60年度には、超高性能圧縮式ヒートポンプ及びケミ

カル蓄熱技術に関する媒体、材料、圧縮機等構成機器といった要素技術研究開発を本格化させ、実効性のあるプロジェクトに仕上げたいと考えている。

#### 4. おわりに

第一次石油危機以降高騰を続けた石油価格が近年の石油需給の緩和を背景に58年3月値下がりし、つい最近も「驚破、2度目の値下げか？」と騒がれたばかりで、ともするとエネルギー関係の技術開発について冷ややかな視線を送る向きも少くない。しかしながら、石油やLNGが資源として有限なことは言を待たず、やや長期的に見れば、それが枯渇することは明らかである。勿論限られた予算を効果的に使うために、各プロジェクトについて十分な評価を行い、その方向づけと選択を厳格に行っていくことは必要であるが、技術開発は非常に長期間の不断の努力を必要とするもので、目先のエネルギー需給の緩和などに惑わされ、手綱をゆるめることがあってはならない。むしろ、エネルギー事情が一時的にせよ落ち着きを見せている現在こそ、国の経済を支える根幹となるエネルギー分野で、実効のある技術を生み出し育てておく好機と見ることができよう。

また、優れた新エネルギー、省エネルギー技術を供給することは我が国が世界に貢献できる数少ない分野の1つでもある。

この点識者各位の深い理解と応援を是非いただきたいと考えている。

