

電力システムにおける省エネルギーの現状と展望

Status of Energy Conservation Technology in Electrical Power Supply System

松田 泰*

Yasushi Matsuda

電力システムという場合、発電から送・配電は当然対象に含まれるが、電力消費部門における様々な省エネの問題がどこ迄対象となるかは必ずしも明確でない。実は電力という枠を外して、エネルギー全体の節減の観点から見れば、需用部門の問題の方がウェイトが高いとも言える。しかしここでは、発送配電のいわゆる電力システムを対象とし、需用面の問題は、それがこの電力システムへの構成・運用等にはね返って問題を提起するものに限ると割り切って以下筆を進める。

1 発電における効率の現状

わが国の電気事業における発電設備の構成は表1のとおりであり、火力発電がその主体を占めている。これは年間の発電々力量の割合で見るとさらに明確である。現在のエネルギーの問題が石油依存からの脱却にあることからすれば、重油を燃料として用いる火力発電が最も問題である。表2は、最近における火力発電の熱効率の推移を示したものである。大きく見れば現在の温度、圧力条件下では効率はかなり上限に来ており、効率上昇のために現在も様々な努力が現場ではなされているが、基本的には技術的な飛躍が必要であると言えよう。実際、当面火力発電にとって重要な問題は石炭燃焼火力への転換である。1979年IEA閣僚理事会において、石油火力の新增設の禁止が決定され、石油専焼火力の比率が圧倒的に多かったわが国にとってかなり厳しい内容であったが、最近の電力設備計画によれば表3のとおり、石炭火力が増加することとなっている。石炭火力の場合は脱SO_x、NO_xの処理、灰

処理は勿論燃料取扱に関してどうしても必要な電力が増加するから効率面ではやゝ低下するが、脱石油の目的にとっては本命となるものであり、現実に石油と石炭価格に差があれば電気事業者にとっても経済的にも必要な転換となっている。

さて具体的に従来の火力発電熱効率の改善に貢献して来た技術は、主要なものを上げれば(1)蒸気条件の高

表1 昭和55年度未発電設備出力及び昭和55年度発電電力量

		発電設備出力 (10 ³ kW)	発電電力量 (10 ⁶ kWh)
電 気 事 業 者	水 力	28,667	85,146
	火 力	1,769 ¹⁾ 83,411	346,895
	石炭 ²⁾ 重油 ²⁾	5,261 78,150	
	原 子 力	15,511	82,009
	計	129,358	514,050
自 家 発 電	水 力	1,109	6,946
	火 力	1,708 ¹⁾ 11,345	55,943
	原 子 力	178	582
	計	14,340	63,471
合 計	水 力	29,776	92,092
	火 力	3,477 ¹⁾ 94,756	402,838
	原 子 力	15,689	82,591
	計	143,698	577,521

(注) 1. 火力欄の上段は内燃力及び地熱、ガスタービンを示し外数である。
2. 石炭火力欄は石炭専焼、石炭重油混焼火力を示し、重油火力欄は重油専焼、ガス重油混焼、原油重油火力を示す。

表2 九電力会社、火力発電所熱効率推移 (単位%)

年度	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
発電端	37.87	37.87	38.02	38.11	37.91	38.04	38.13	38.23	38.17	38.12	38.12
送電端	36.11	36.08	36.34	36.51	36.27	36.39	36.43	36.51	36.45	36.39	36.39

* 通産省工業技術院総括研究開発官ムーンライト計画推進室長
〒100 東京都千代田区霞が関1-3-1

表3 電気事業用発電設備開発見通し
(昭和57年4月現在)
(単位 万kW)

発電種別	55年度(実績)	65年度
原子力	1,551 (12.0)	4,600 (22.0)
LNG火力	1,971 (15.2)	4,300 (20.6)
LPG火力	60 (0.5)	330 (1.6)
石油火力	5,948 (46.0)	4,700 (22.5)
石炭火力	526 (4.1)	2,300 (11.0)
水力	2,867 (22.2)	4,400 (21.1)
(一般)	1,786 (13.8)	2,200 (10.5)
(揚水)	1,081 (8.4)	2,200 (10.5)
地熱	13.0 (0.1)	270 (1.3)
合計	12,936 (100)	20,900 (100)

高温高圧化とユニットサイズの拡大(2)再熱サイクルの採用、給水ポンプのタービン駆動方式による所内率の低減等があげられる。熱効率向上がほぼ頭打ちになった現在時点で行なわれている例をあげれば、タービン最終段翼長の増加、復水器連続洗條、排煙脱硫装置のアフターバーナー燃料節減等細部にわたって数多くの地道な努力が続けられている。節減される燃料や電力損失の物理的な量のパーセンテージは少くとも、燃料費の高い現在コストへの影響は大きなものになる。

しかし、この分野での本命は何といっても新材料の開発を主体とした新しい発電方式の導入と考えられる。

2 期待される高効率発電方式

2.1 ガスタービン複合サイクル

大容量の汽力発電の進歩に比して、ガスタービン発電の電気事業への導入はつい最近まで小規模のピーク負荷用のものしかなかったが、これは主として長時間運転に対する信頼性の乏しかったことによる。最近その信頼度の向上とともにガスタービンの排ガスでボイラーを熱し蒸気タービン駆動に利用する複合サイクルが電力各社で計画され既にメーカーで製作中である。ガスタービン入口温度1100℃程度で、複合サイクルの熱効率も42～43%と試算されており、やゝ現状の火力を上廻る程度である。しかしガスタービンの技術はまだ改善の余地を多く残しており今後の発展が期待される。通産省のムーンライト計画では、ジャンボジェット機に採用されているガスタービン技術等を参考にして入口温度1300℃再熱サイクルのガスタービンを製作中で、これによる複合サイクルの熱効率は約50%と考えられている。なお最終目標は熱効率55%を掲げており、このために必要と思われる入口温度1400℃以上に

耐える機器の材料、冷却方法等が研究中である。

なおこのガスタービンは天然ガスを燃料として設計されているが、既に述べたように長期的には石炭利用での高効率技術が確立されていなければならない。この場合石炭のガス化と結び付き得るが、ガス化に伴う損失を吸収するためには当然ムーンライト計画で考えているような高効率のものでなければならず、このためには石炭ガス燃焼に伴うダストの影響等から考えて、精緻な冷却孔を持ったタービン翼の開発もさることながら、セラミック材のような新しい耐熱材によるタービンの開発ないし水冷却の採用等の技術が必要のように思われる。

2.2 MHD発電

高温ガス流体を強磁界中を通過させて発電しようというMHD発電は、約20年前にはかなり各国で研究が行なわれていたが、現在はソ連・米国で大規模な研究が行なわれている他は、日本がムーンライト計画で取り上げている程度である。(最近中国でかなり熱心に研究されている様である)MHDは高温の燃焼を行うため(2700℃の燃焼ガス温度)、多様な品種の石炭燃料を利用し易いと考えられ、石炭利用設備として優れていると考えられる。この点が米国においても見直され、石油ショック後種々の実験設備が作られ目下その結果が発表されている段階である。ただしその予算は大部分エネルギー省のものであったが、レーガン政権の下で削減対象となっており、民間がこれを負担する動きは今のところあまりないので先行は不明である。石炭利用技術は何れも長い期間と巨大な投資を要するが、長期的に解決しなければならぬ問題であり、MHDについても正常な評価を与えておく必要がある。なお熱効率は、ガスタービンと同じように排熱を蒸気タービンに利用した複合サイクルで約50%と試算されている。

2.3 燃料電池

米国の宇宙開発の中で育って来たこの技術も、最近磷酸電解質を用いた電池の実用化の目途がつきはじめ、電源立地に悩む電気事業者の注目するところとなって、にわかに研究が盛になって来ている。その発電効率は約40～50%と考えられるが、需用地に建設可能であるため、排熱を何らかの形で利用できればその全体の効率をかなり上げることも可能である。燃料は天然ガスであるため場所によっては燃料供給をよく考慮する必要もあろう。長期的に石炭ガスを利用するためには熔融炭酸塩を電解質とする電池でなくてはならぬが、これはまだ基礎的研究段階にある。反応温度は7～800

℃と高いため、これもまた排熱を利用した複合サイクルが考えられる。燃料電池は単体の電圧が理論的に限られるため、多数の電池を集合する性格を持ち、いわゆるスケールメリットを持たない点に特徴がある。このような小規模分散形の発電設備の導入は、電力システムの構成、運用に新たな問題をも導入するものであるが、これについて後述する。

3 送変配電部門における電力損失

発電所から出た後需要家に到るまでのいわゆる電力流通部門における電力損失率は、表4に示すとおりである。このように損失率は次第に低下して来ているが、近年はほぼ6%の値が続いている。送配電の損失は、電圧の上昇、電線の太線化等送電容量の増加に必要な技術によって減少して来たが、一方に損失を増加させる要因として、電源の遠隔化に伴う送電距離の増加、市街地における地中線の増加に見合う補償リアクトルの増大、短絡容量抑制のための高インピーダンス化等がある、結局損失率が一定して来ている形となっている。

なお流通部門内における送電・変電・配電の損失率の割合は、電力システム構成によって異なるが、一般に配電に多く、次いで送電という順序になる。

配電設備における損失は高低圧電線の銅損及び変圧器の鉄損、銅損が主要なものであり、これの低減策として22kV配電の導入に見られる電圧の格上げ、鉄損の少ない最近の磁性材料による低損失型柱上変圧器の採用、無効電力検出制御型スイッチドキャパシタの開発等が進められている。

送電線の導電率の向上、太サイズ化、多導体化等は何れも大容量化の技術であると同時に損失軽減策でもある。元来流通システムの技術そのものが、損失軽減を目的とするものであるとも言えないこともない。しかし、これ等の対策もかなり、限界にきているように思われる。また都市部において地中線が増大すると考えられるが、地中線の場合は高電圧化が直接省エネルギーとはならず、誘電体損、シース損の軽減が必要であり、

表4 九電力会社、電力損失率推移 (単位%)

年度	36	40	45	48	49	50	51	52	53	54	55
送配電損失率	10.5	8.5	6.8	6.3	6.0	6.4	6.2	6.2	6.1	6.0	5.8
総損失率	13.4	11.9	10.1	9.5	9.2	9.6	9.6	9.8	9.6	9.5	9.3

絶縁体材料、シース材料の工夫が行なわれている。

変電機器のうち損失発生割合が高いのは変圧器、分路リアクトル、コンデンサー等であるが、元来何れも高効率の設備である。しかしそれぞれ最新の材料を用いたり、従来見落されていた低損失化を考慮した設計等の努力が払われている。

4 電力流通部門における今後の技術

4.1 UHV送電

電圧を上げることによる損失率の低下は非常に大きなものがある。現在の500kV系統の次期電圧として1,000kV級が考えられており、この場合の損失低下は例えば表5に示すようになる。勿論これは原子力発電等の大容量電源の遠隔化と関連して長距離大容量送電の必要から計画されているものである。ただし電源立地は必ずしも容易でなく、また狭い日本の地形には必ずしも十分な送電ルートがあるとは言えない。近時、電力需用の増大テンポもかなり低下して来っており、大きな先行投資となるUHV系統の建設は、その時期がや、将来に延びている状況にある。

表5 10GW、600km送電における送電損失比較

	500 kV	UHV, 1,100 kV
ルート数 cct	7	2
回線数/ルート	2	2
線路損失 MW	542	145
機器損失 MW	62	102
総合損失 MW	604	247

4.2 極低温・超伝導送電

液体窒素等により絶対温度で70~90°Kに冷却して、電気抵抗を減らす極低温ケーブル、さらに液体ヘリウムにより6~8°Kでいわゆる超伝導となる導電材を用いる超伝導ケーブル等の研究はかなり前から進められており、試算の一例を表6に示す。これらは何れも大容量地中ケーブルとして考えられるものであるが、送電容量が飛躍的に増加する一方、建設コストも大きくなり、ルート選定上も周辺に対しこれ迄と別の問題を生ずるかも知れない。或る距離にわたって効率良く冷却を維持することも簡単ではないと考えられ、むしろ機器の超伝導化—超伝導発電機、変圧器等の方が先に実用化するかも知れない。

5 分散形電源の開発と導入

表6 500 kV, 9,000 MVA/ルート送電における損失比較

	500 kV OF ケーブル	500 kV CR ケーブル (極低温)	500 kV SC ケーブル (超伝導)
布 設 条 件	3 cct/ルート	3 cct/ルート	2 cct/ルート
運 転 温 度	353 °K	70~90 °K	6~8 °K
導 体 損 傷	1,360	141	≈ 0
誘 電 体 損 傷	70	0.47	0.23
シース or パイプ損	150	165	— (≈ 0)
侵 入 熱 量	(-50.9) 洞道へ逃げる	4.8	0.2
排除すべき熱量	1,529.1	311.3	0.488
排熱に 要する電力	871.6	2,180	97.6
総 送 電 損 失	2,450	2,480	100

省エネルギーというよりは、正確には石油代替エネルギーを目的とするという意味になるが、最近太陽熱或いは太陽光、風力、地熱、海洋温度差等を利用した発電が注目されており、これらの自然力は再生可能である所から、究極的エネルギー源としての性格を持つものとして熱い関心を呼んでいる。勿論現実には石炭、原子力が石油に代る本命であり、再生可能エネルギー源はその補助的な役割をするという評価が一般的である。しかし一方電気事業者の方でも従来のような大規模な火力・原子力発電とそれに附随した大容量送電で電力系統を形成していくためには、とくに立地問題においてかなりの困難を解決していく必要がある。送電設備は一般に他の工場を立地する場合に比較して地元へのメリットが少ないし、極端に言えば廃棄物等による環境汚染を残すのみとも受取られる。さらに低成長経済にあっては電力需用の増加のテンポも落ち、大規模設備投資の経営上の負担がかなり大きくなることも懸念されはじめている。その意味でこのような小規模分散形の電源の価値が見直されており、とくに上述の再生可能エネルギー源よりは供給の安定性がある燃料電池が注目されている。さらに別の動向として、自治体における都市ゴミ焼却にともなう発電、或いは製鉄所、セメント工場等での生産プロセスの省エネ化に伴って、主として熱需用と電力需用のアンバランスから来る余剰電力利用の要望等、或る種の自家発電設置者側の売電要請がある。

このような電源をひっくるめて分散形電源と呼ぶことにするが、これ等の電源は省エネ、脱石油という時流に乗って、国・自治体による助成策もあり、今後増加

すると考えられる。しかしその一方において、その実用化は必ずしも容易でなく、種々の問題点も明らかになりつつある。

先ず再生可能自然力を利用する場合、何と云っても供給力が不安定で、設備の稼働率が極めて悪く、このためよほど低廉な設備でないとならぬ経済性がない。石油の価格も石油ショックの時に予想された様なスピードで上昇を続けるとは考えられず、しかも暫くは石油需給も緩和基調の続く見通しであるとすれば、とくに経済性が悪いものの普及は困難である。

設備の稼働率をあげるには、電力貯蔵が容易に行なえる技術が開発されれば、事情はかなり変わってくる。太陽熱発電、太陽電池と組合せる電池類の開発も研究されているが、本格的には揚水発電に対抗し得るような新型の電池(Zn-Br 電池, Zn-Cl 電池, Na-S 電池, レドックスフロー電池等)の開発がムーンライト計画に取り上げられて進められている。その他にも超伝導コイル、フライホイールを利用した方法等各所で研究されているが、特殊な目的以外まだ実用化の目途はたっていない。しかし分散型電源が電力系統に入るような時期には、何等かの電力貯蔵装置と組合わせて連系される可能性もあり、その相互の配置、規模の適正化等が系統計画のうえでの一つの問題となるものと予想される。

第2の問題は電気の利用が生活や業務のうえで必要不可欠の部分に浸透しているため、例えば停電時にエレベーターに閉じ込められたり、冷凍庫の食品が腐敗したり、コンピュータが停止して銀行業務が混乱したり等々の例で見られるように、一般配電系統へ連系される場合には、何よりも系統へ悪影響を与えないよう、これら電源の管理装置—適切な異常検出、自動遮断等の—が必要となる。企業や自治体が自家発電の余剰を電気事業者に売ろうとする場合、とくにこれら制御装置の負担、管理責任をめぐって話がまとまらないことがある。時には制御機器のために変電所との間に別の通信回線を設けたり、或いは専用の送電用配線を必要としたりするようになり、結局経済性が失われてくることになる。もし特定の負荷にのみ供給する電源として利用される場合、その負荷が必ずしも安定した継続的な電力を要しないもの例えば農業用の暖房利用のような場合にはこのような問題は起らない。開発途上国に見られるように小規模の独立した系統では、あまり大きな問題とはならないが、日本のように一般の大きな電力系統網が完成している場合は、どこで分

散電源を使用しようと、そこに既にある一般配電網との連系を考慮することが必要となり、この電力系統網の価値をよく認識することが重要である。設備の稼働率を上げるためには、発電設備に見合った負荷に供給する筈であり、そうすれば事故・補修等の停止時に一般配電系統よりの受電を考慮しておかねばならない。この事は電気事業者側から見て、それだけの供給が可能な配電系統を要求されるわけで、設備としては全く節減効果を持たない。電力系統のメリットは、多くの負荷を持つことで、全体として予備設備が節減されることにある。個々の小規模電源所有者にとって見れば、自分の負荷だけではこの辺のメリットはわからない。実際には、これは売電・受電の料金となって表われるから、この料金の決め方に集約される。現在電気事業者の料金は原価主義にもとづいて、国の認可を受けたものであるが、これは電気事業者から電気を買う場合で、一般の企業等が電気を売るケースについては、特別の場合以外は認められていない。今後脱石油、省エネルギーの観点から小規模電源が増えて来るとすれば、料金のあり方、法規制等も見直される必要があろう。

以上のような問題点を考えると、まだそう簡単に大中に小規模分散型電源が増加するとは思われないが、このような電力系統に関心をいだいている更に別のグループがある。それは最近急速に発達しつつあるマイクロプロセッサ等コンピューター技術を利用した制御システムの技術者である。彼等は小規模電源（と適当な分散型電力貯蔵装置）が多数存在する系統を充分運転管理するには、どうしても最新の情報伝送技術、制御技術を駆使することが不可決であり、それによって、中央の給電司令で統括制御される形から、多数の局地的に管理され、しかも全体としても相互に影響し合って制御が行なわれるような形を考えている。電気事業者と幾つかの発電余力を持つ自治体や企業間の電力の授受は、現在とは違った意味で頻繁に行なわれる。それぞれが自分の所で最も有効にかつ経済的になるように発電をコントロールし、その結果として売電、受電が自動的に行なわれる。つまり電気事業者の給電司令と、これら企業等の間には、自動的に受給条件、料金を計算しながら相互の設備の運転を決めていくような情報網と制御機構の存在が想像されているのである。

電力供給における電気事業者以外の者の従来より独立した役割を認めるこのようなシステムが、今後到来するか、またそれが望ましいか否かはまだ不明である

が、省エネルギー、石油代替エネルギーの導入努力が、各部所で長期にわたって行なわれ、それぞれが技術経済的に成功した場合の姿を前提とすれば、予想される一つのイメージである。

6 電力システムと省エネルギー——終りに——

以上あまりまとまった形ではないが、ざっと電力システムに関係して、最近の広い意味での省エネの観点から興味ある事項について触れて来た。既に述べたように、元来電力系統の発達には、一次エネルギーを加工して転換して得られた価値の高い電気を、いかに効率的に需用家に配布するかを追究して来たものであり、この意味からすれば、もともと省エネを動機として来たものであるから、今急に大きな変革要因が自らの中に発生するものではない。それがあるとすれば、むしろ電力系統の外部要因による影響である。

電気は依然としてどのエネルギーよりも便利で、クリーンな質の良い特性を失わず、電力源が石油から原子力、石炭等へ変れば、省エネのために電力需用が増加すると国際的に考えられている。

しかし、需用側における省エネルギーの意識は、エネルギーの価格が全体として高くなると共に強まり、エネルギー全体としての管理はますますセンシティブになると考えられる。そうすれば電力利用も、石油、天然ガス、石炭等と比較し、光、熱、動力等の需用と最適な組み合わせを追究するような動きが強まって来ることは間違いない。この様な努力は、一方における電力供給の公益性を持続しながら、他方にトータルエネルギーとしての合理性の追究を包含してゆくような、弾力的なシステムが求められることとなる。政治、文化における地方の時代——これも全国的情報化時代の現象である——とも共通するようにも思えるし、より有機体に近いシステムへの発展とも見られる。

