産業におけるエネルギー有効利用

I. 効率的なエネルギーの発生技術

正員 石川 忠夫 [(財)電力中央研究所]

特解

1. はじめに

エネルギーの利用形態としては動力、熱、照明など様々なものがある。これに対しエネルギーの供給形態から見ると、ガス、石油などの一次エネルギー源を直接利用して動力や熱を得る場合と、これらを加工して得られる二次エネルギー源としての電力を利用する場合とがある。特に電力は、水力・原子力などの利用も可能であり、様々な利用形態への変換が効率的にかつ高品質で行え、環境面でも有利であるため、年々全体のエネルギー消費に対する比率が増加してきている。

電力の発生に関しては、地球環境の問題もあり、特に大容量の火力発電での効率の向上が必要とされており、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル発電では43%を越える効率を得られている。また、石炭ガス化複合発電などの研究開発も行われている。一方、産業・民生分野では、自家発電設備の導入に際して、電力と熱を同時に発生してエネルギー効率の向上を図るいわゆるコージェネレーションの採用が推進されている。

我が国のようなエネルギー資源を持たない国にとって、このような効率的なエネルギーの発生を行うこと、また、自然エネルギーや未利用エネルギーの活用が重要である。ここでは、産業・民生分野での効率的エネルギー発生技術としてのコージェネレーション、燃料電池発電、自然エネルギー利用としての太陽光発電、未利用エネルギーからの熱の活用などについて概説する。

(a) ディーゼルエンジン・ガスエンジンの場合

(b) ガスタービンの場合

図1 コージェネレーションシステムの基本構成

2. コージェネレーションシステム

ここでいうコージェネレーションシステム（以下CGSという）は、内燃機関により電力と熱を同時に発生し、燃料のもっているエネルギーを高効率で利用するシステムである。CGSに使用される内燃機関としては、ディーゼルエンジン、ガスエンジン、ガスタービンなどがある。CGSの基本構成を図1に示す。

発電に使用されたあとの排熱は、比較的低温の温水や高温の蒸気の形で回収され暖房や給湯用として、吸収式冷凍機を通して冷房用として、あるいはプロセス蒸気として利用される。ディーゼルエンジンやガスエンジンではどちらかという温水としての排熱回収に適しており、民生用に多く用いられている。ガスタービンの場合には蒸気としての利用に適していて、産業用として多く用いられている。

CGSで発生された電力は、電力系統からの供給電力とは独立に負荷に供給される場合も考えられるが、

An Elective Usage in Industrial Application.

I. Technologies for Effective Energy Generation.

By Tadao Ishikawa, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry)

キーワード：コージェネレーション、燃料電池発電、太陽光発電、未利用エネルギー

商用電力との分担による稼働率の向上、信頼度、電力品質の向上などの要請から電力系統と連系して運転される場合が一般的である。コージェネレーションの系統連系については昭和61年8月にガイドラインが制定され、逆潮流（コージェネレーション側から電力系統方向へ電力が送られること）がない場合については、既存電力系統の信頼度・電力品質に影響を与えないこと、公衆および作業者の安全確保と他の電力設備の保全を行うこと、という条件が満たされていれば可能となった。このガイドラインは、その後、平成2年6月に燃料電池発電や太陽光発電などの直流電源の系統連系への対応、平成3年3月に連系点について高圧配電線のほかに低圧配電線への連系についての対応が行われている⁽¹⁾。また、逆潮流が許される場合のガイドラインについては、平成2年6月に特別高圧線および高圧専用線への連系について対応が行われており、現在、一般配電線への連系ガイドラインについて検討が行われている。

CGSの採用により総合エネルギー効率を改善するためには、電力需要と熱需要がバランスしていることが必要である。しかし、これらの需要パターンは時刻・季節により変動するためどうしても過不足が生じる。電力の不足分については電力系統からの買電によりカバーし、熱の不足分については追い焚き装置などの使用が必要となる。電力が過剰になった場合には、現状では逆潮流しないように出力を制限する必要がある。このように、導入にあたっては、年間の需要パターン、CGSの導入容量、運転方法などについて事前の検討が重要である。CGSの運用が適正であれば、燃料のもつ一次エネルギーの70～80%以上を利用できる。

CGSの導入件数は平成2年9月末で、産業用約400件、民生用約520件で総発電容量は156万kWを

越えており⁽²⁾、今後も増加していくと考えられる。コージェネレーションの実施例については様々な文献に詳細に記されているので参照願いたい^{(3)～(7)}。

3. 燃料電池発電

燃料電池は、燃料のもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する電池であり、通常の火力発電のような熱エネルギーへの変換過程が不要なため高い発電効率が期待される。また、部分負荷に対しても発電効率の低下が小さく、負荷変動への対応も可能である。更に、排熱を利用して温水・蒸気の回収を行い、広い意味でのコージェネレーションを行って高い総合エネルギー効率を得ることができる。この場合、通常の回転機を使用したコージェネレーションと比較して大気汚染物質の発生がほとんどなく、騒音・振動も少ないなど環境面で有利である。また、使用できる燃料が多彩であるという特徴もある。燃料電池発電システムの基本構成を図2に示す。燃料は脱硫後改質器に送られ、そこで水素リッチなガスに改質され、電池本体内部で空気中の酸素と反応して直流電力と熱を発生する。直流電力は直交変換装置により交流電力に変換され、電力系統と連系される。

燃料電池としては、表1に示すような種類のものがあるが、現在はリン酸型燃料電池（PAFC）が最も実

図2 燃料電池発電システムの基本構成

表1 燃料電池の種類

世代	第一世代		第二世代	第三世代
形	りん酸形 (PAFC)	アルカリ形	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体電解質形 (SOFC)
電解質材料	りん酸水溶液	水酸化カルウム水溶液	溶融状態のアルカリ炭酸塩	ジルコニア、セリアなど
作動温度	190～220℃	常温～100℃	650～750℃	800～1,000℃
燃料 (反応物質)	水素 (炭酸ガス含有可)	純水素	水素、一酸化炭素	水素、一酸化炭素
燃料の原料	天然ガス、軽質油(ナフサ)、メタノール	電解副生水素、水の分解(熱化学法、電解)	石油、天然ガス、石炭、メタノール	
技術成熟度	MW級～10 MW級 (実用化検討段階)	kW級 (特殊用途)	100 kW級 (開発段階)	kW級 (基礎～開発段階)
(プラント) 発電効率	40%程度	60%程度	45～55%	50～60%

用化に近く、様々なパイロットプラントの運転試験が行われている。最近の例としては、東京電力五井火力発電所構内で行われている 11 MW システム（平成 3 年から運転開始、送電端効率 41%、総合効率 73%）⁽⁸⁾⁽⁹⁾、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、関西電力、大阪ガス、三菱電機が大阪のホテルプラザで行った 200 kW の業務用オンサイト型システム（平成元年 8 月～平成 3 年 10 月までの累積運転時間 13,000 時間、送電端効率 36%、総合効率 80.2%）^{(8)～(11)}、NEDO、沖縄電力、富士電機が沖縄の渡嘉敷発電所で行った 200 kW の離島用システム（平成元年 11 月～平成 3 年 6 月まで累積運転時間 8,850 時間、送電端効率 39.7%）^{(8)～(10)(12)} などがある。また現在、NEDO・関西電力・電力中央研究所が関西電力六甲新エネルギー実験センターに太陽光発電システム、風力発電システムとともに燃料電池発電システム（平成 3 年度末で 50 kW 14 台、200 kW 1 台の合計 900 kW）を設置中であり⁽⁹⁾⁽¹²⁾、分散型新発電システムの系統連系に関する諸現象、諸影響を実証研究を通して解明することとしている。このほか、現在計画中のプロジェクトとして、「都市エネルギーセンター等燃料電池システム技術開発」のなかでリン酸型燃料電池の本格的実用化を目指して技術研究組合が設立され、5 MW の電力事業用システムと 1 MW のオンサイトシステムの開発が予定されている⁽⁶⁾。このように、リン酸型燃料電池は実用化が間近であり、信頼性の向上、コンパクト化、低コスト化をめざした開発が行われている。

溶融炭酸塩型燃料電池（MCFC）は、それ自身が高い発電効率が望めるとともに、動作温度も 650°C と高いため、排熱を利用してガスタービンや蒸気タービンを回すボトムリングサイクルを組み合わせることにより更に発電効率の上昇が可能である。また、PAFC と比較して、燃料として石炭ガス化ガスも使用可能であるという特徴もある。NEDO を中心に溶融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合で MW 級システム技術開発が行われており、現在 100 kW 級燃料電池の開発が行われている。平成 9 年までには MW 級パイロットプラントの製作と運転研究が行われる予定である。MCFC の場合は主に将来の大規模火力発電の代替としての利用で発電効率 50% を越えるプラントの実現が考えられているが、オンサイト型としての利用も可能である^{(8)～(11)}。

固体電解質型燃料電池（SOFC）については、単体での発電効率が高く、1,000°C と MCFC よりも更に高温で動作するため、排熱を利用したボトムリングサイ

クルを組み合わせれば 60% の発電効率が可能である。また、燃料改質が電池内部で行えるため改質器が不要となり、システム構成が簡単でコンパクトにできるという特徴がある。そのほか電池構成要素がセラミックスなどの固体であるため耐久性に優れ、また MCFC と同様にあらゆる燃料の使用が可能である。NEDO プロジェクトの中で、要素技術の開発と発電システムの研究が行われているほか、民間企業での開発が行われている^{(9)～(11)}。

4. 太陽光発電

自然エネルギーの有効利用ということでは、太陽光発電、太陽熱の利用、風力発電、波力・潮力発電、地熱発電など様々なものが考えられる⁽⁹⁾⁽¹³⁾。このうち、太陽エネルギーを直接電力に変換できる太陽光発電はもっとも注目されている技術であり、太陽電池の開発、系統連系問題を含めたシステム技術の開発の両面から研究開発が行われている。太陽光発電は、電力需要地で発電する、いわゆるオンサイト形の発電装置であり、電力系統と連系するだけでなく遠隔地や離島などでの独立電源としての利用にも適している。

太陽電池の種類としては、最も広く採用されているのがシリコン太陽電池であり、結晶系として単結晶シリコン、多結晶シリコンが、また、アモルファスシリコン太陽電池として非晶質の薄膜太陽電池がある。このほか、ガリウムヒ素（GaAs）などの化合物半導体を用いた太陽電池の開発、薄膜太陽電池の積層化による高効率化などの研究が行われている。代表的な太陽電池の研究レベルでの最大変換効率を表 2 に示す。太陽電池の開発・効率向上の研究はこれからも重要な課題である。

太陽光発電はクリーンで無尽蔵なエネルギー源として期待されているが、出力が日射量、温度などの自然条件に左右されること、エネルギー密度が低いこと（太陽光エネルギー密度は地表面で約 1 kW/m²）などの問題がある。そこで、システムの構成として図 3 のように蓄電設備による出力の安定化を行う必要がある。また、システムとしての効率を向上させるため常に太陽電池からの発電電力が最大になるような制御

表 2 代表的太陽電池と最大変換効率

種 類			変換効率(%)
シリコン太陽電池	結晶系	単結晶	23～24
		多結晶	18
	アモルファス系		12～13
化合物半導体太陽電池			25～30

図3 太陽光発電システムの基本構成

(最大電力追尾制御)が検討されている。これまでに、主に NEDO を中心にして様々なシステムの研究開発・運転試験が行われてきており^{(9)~(14)}、太陽電池のコストも低下してきているが、まだ現行の電力コストとの差が大きく、本格的な普及のためには製造コストの大幅低減が必要とされている。

5. 未利用エネルギーの活用

未利用エネルギーとは、広い意味ではごみ焼却発電など廃棄物からの電力の生成⁽⁹⁾なども考えられるが、一般的には、従来は捨てられていた発電所・ごみ焼却場の排熱エネルギーや下水処理水・ビル排熱などの都市排熱、河川水・地中熱など環境温度に比べて夏冷たく冬暖かい自然熱源による温度差エネルギーなど低レベルの熱エネルギーのことであり、これらを用いて冷暖房や給湯などの民生用熱需要に対応するものである。

このうち、ごみ焼却場の排熱などは 100°C 程度の高温熱源であり、熱交換器や吸収式冷凍器の使用で比較的容易に利用が可能である。一方、都市排熱や自然熱源の場合にはせいぜい 35°C 程度の低温熱源であり、ヒートポンプを用いて熱を汲み上げ高温の熱を得ることではじめて利用可能となる。効率的な未利用エネルギー活用システムの実現のためには高性能ヒートポンプ、熱交換器の開発や効果的な蓄熱技術の適用が必要であり、工業技術院ムーンライト計画のなかで研究開発が行われてきている。また、資源エネルギー庁では様々な補助金制度を設けて普及促進を行っている⁽¹⁵⁾。

これまでに、地域冷房施設などに未利用エネルギーを適用した例がいくつかある^{(15)~(18)}。未利用エネルギーを利用して省エネルギー効果を得るためには、熱源と熱需要とのエネルギー的、時間的バランスおよび距離が重要なファクタであり、システムの成立性に大きく影響する。そのため、採用にあたっては熱源および熱需要の賦存状況の綿密な調査を行い、それらに応じたプラントの設計、運転を行うとともに、システムの経済性について十分検討する必要がある。未利用エネルギーの活用は環境面でも有効であり、今後の技術開

発の進展と適用方法の検討により効果的な活用が行われることが期待される。

6. おわりに

効率的エネルギー発生技術として、燃料のもつ一次エネルギーを有効に活用するためのコージェネレーションシステム、化学エネルギーを用いた新しい発電技術である燃料電池発電システム、自然エネルギーの活用を行う太陽光発電システムそして都市排熱など従来捨てられていた未利用エネルギーの活用システムについて概略を述べてきた。ここでは述べられなかった各システムの詳細については、最近の参考文献をあげておいたので参照されたい。今後これらのシステムの活用によりエネルギー問題に対する一つの解決法が得られれば幸いである。(平成4年1月29日受付)

文 献

- (1) 通産省資源エネルギー庁公益事業部技術課監修「コージェネレーションの系統連系技術要件ガイドライン解説書」(平3)日本コージェネレーション研究会
- (2) 「コージェネレーション」日本コージェネレーション研究会, 5, 2, (平2)
- (3) 「コージェネレーション小特集号」三菱重工技法, 26, 4 (平1-7)
- (4) 「コージェネレーションのシステムと技術」電気学会技術報告(II部)第357号(平2-12)
- (5) 「コージェネレーション特集論文」富士時報, 63, 5(平2)
- (6) 河崎:「コージェネレーションの現状と技術開発」エネルギー・資源, 11, 6(平2)
- (7) 「コージェネレーション技術の動向と実施事例」省エネルギー, 43, 4, (平3-3)
- (8) 「特集:実用化近い燃料電池発電」同上43, 7, (平3-6)
- (9) 「特集号・新エネルギー・新発電」火力原子力発電, 42, 421 (平3-10)
- (10) 「燃料電池の開発」NEDO news, 11, 118 (平3-6)
- (11) 「特集:燃料電池発電システム」オーム, 78, 11(平3-11)
- (12) 「リン酸型燃料電池特集」富士時報, 63, 11, (平2-11)
- (13) 「特集:自然エネルギーの現状を探る」エネルギー・資源, 11, 1(平2-1)
- (14) 「特集:踊り出た太陽エネルギー」同上, 24, 5 (平3-5)
- (15) 辻:「未利用エネルギー活用システムの推進」電学誌, 111, 747(平3-9)
- (16) 「特集:未利用エネルギーのポテンシャル」省エネルギー, 42, 9 (平2-8)
- (17) 「特集:未利用エネルギーを活用する」同上, 43, 8 (平3-7)
- (18) 「未利用エネルギー(廃熱・排熱)システム」電熱, No. 59 (平3-9)

石川 忠 夫 (正員)

昭和26年12月11日生。50年3月東京工業大学工学部電子工学科卒業, 52年3月同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年4月(財)電力中央研究所入所, 現在に至る。主として電池や超電導を用いた電力貯蔵装置および分散型電源の系統連系に関する研究に従事。IEEE 会員。