キーワード

分散電源、燃料電池、太陽光発電、風力発電、ごみ発電

久保 猛 志

金沢工業大学

1. はじめに

いわゆる「問題群」としての地球環境問題として、オゾン層の破壊、地球温暖化、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化、開発途上国の公害問題、野生生物種の減少、海洋汚染、有害廃棄物の越境移動の九つの環境問題があげられている。

これらの問題は、世界の人口増加を背景として、資源・エネルギーの大量消費による地球環境の悪化と食糧危機を招いたものであり、相互に密接に関係している。また、経済発展、資源・エネルギーの確保、地球環境保全といった、人類の持続と未来のために克服すべき、21世紀におけるトリレンマを我々に突きつけているとも言える。

本稿の主題として編修委員会より与えられた「都市環境」の問題も、単に都市のみの問題としてではなく、こうした地球環境問題を意識した取り組みが求められていると言える。

都市環境の保全を考えた場合さまざまな取り組みが考えられるが、都市への過度の集中に伴う膨大なエネルギー消費の問題の解消が重要であることは周知の事実であろう。

このエネルギー問題への対応においても、発電機器などの高効率化・省エネルギーの促進・再生可能エネルギーの利用・未利用エネルギーの活用・新エネルギーシステムの開発などさまざまな検討が、学会をはじめ社会のあらゆる分野で行われているが、これらの対応策を有効に活用するための一つの方策として期待されているのが、本稿の主題である「分散エネルギーシステム」である。

しかしながら、分散エネルギーシステムそのものについても明確な統一された定義がなされているわけではなく、また、必ずしも十分に確立した技術であるとは言えず、学会においてもさまざまな角度から検討が行われているのが現状である。

そこで、本稿では、筆者が委員長を務めていた電気学会の「都市型分散電源システム調査専門委員会」での検討結果^①を中心に、都市における分散電源としての燃料電池・太陽光発電・風力発電・ごみ発電について述べる。なお、コージェネレーションについては、すでに一般的に周知の技術であると考えられるので、誌面の都合もあり割愛した。

2. 燃料電池

2.1 概要

燃料電池は電気化学的エネルギー変換装置であって、等温プロセスで燃料と酸化剤の化学エネルギーを連続して電気エネルギーに変換する装置であり、燃料としては水素、天然ガス、石油、アルコール類などが使用され、酸化剤としては主として空気が使用される。電極における燃料と酸化剤の電気化学的変換反応は等温反応であり、かつ燃料のもつ自由エネルギーを直接電気エネルギーに変換するため、カルノーサイクルに支配されることなく、高い発電効率が得られる。

燃料電池発電システムは、基本的には、燃料処理装置 (fuel processor)、燃料電池本体 (fuel cell)、直交変換装置 (power conditioner: inverter) の三つの部分から構成されており、燃料処理装置 (燃料改質装置) は、原燃料 (天然ガス、石炭ガスなど) を水素成分の多いガスに転換し、燃料電池本体は直流電力を発生し、直交変換装置は直流電力を交流電力に変換する。

2.2 燃料電池発電の特徴

(1) 対電力網 燃料電池は直流発電のため、システムの基本的な構成は従来の発電システムより簡単にできると考えられている。また回転子がなく、インバータの高速制御が可能であるので、電気的な負荷変動に速やかに追従でき、電力回路の安定性や信頼性の向上に有効である。

燃料電池素子の発電電力は通常 0.7~1.0 V のオーダーであるが、この素子を電氣的に直列接続することによって、任意の出力電圧を得ている。また、電流は電池の面積にほぼ比例するので大面積化が進められており、電圧階級の任意性とあいまって、小出力から大出力まで、さまざまなスケールの発電システムが可能である。

(2) 対環境性 燃料電池発電は、内燃・外燃機関発電のような機械的な回転部分がないので、騒音の発生は比較的少ない。本体には燃焼部分がなく、燃料改質装置での燃焼は炭化水素ガスを水素成分の多いガスに転換するためのものであり、本体部分での NO_x や CO の発生は少ない。また、未燃焼ガスは回収して再利用しているで、ほとんど問題とはならない。硫黄分については燃料ガスの段階で除去されるので、燃料電池からの排出は極めて少ない。また、発電効率が高いこと、および部分負荷特性が良いこ

Dispersion Type Electric Power and Energy Supply System for Environmental Prevention in Urban Area.

By Takeshi Kubo (Kanazawa Institute of Technology).

とから、同規模の内外燃機関発電に比較すると CO_2 の発生量も少ない。

(3) 効 率

蒸気発電あるいは内燃機関発電においては、システムの効率はその入口温度と出口温度によって定まるカルノー効率に支配されるが、燃料電池は、前述のように、等温での電気化学的変換反応による直流発電であることから、より高い効率を得ることができる。また、出力電流は燃焼反応速度に依存しており、負荷が小さいときには燃料の供給量を減らして運転することによって、部分負荷効率を定格運転時と同じように高く維持することができる。

2.3 燃料電池の種類とその特徴

(1) アルカリ型燃料電池(AFC: Alkaline Fuel Cell)

水酸化カリウムを電解質とするもので、動作温度は約 90°C である。主に宇宙船の電源用に開発されたものであり、水素を燃料とし排水として純水が得られること、適度な排水の温度であることから、宇宙におけるミニ・コージェネレーションシステムを形成するのに最適であると考えられているが、コストがかさむため、民生用としては極めて特殊な用途以外は使われていない。

(2) りん酸型燃料電池(PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell) 民生用燃料電池として開発が最も進んでおり、商用化の段階にある。りん酸水溶液を電解質とし、これをシリコンカーバイトで担持している。電解質のなかをプロトンイオンが移動するので、燃料としては天然ガス、あるいはアルコール類を燃料改質装置により水素成分の多いガスに転換して使用している。また、電極としては白金を担持したカーボン不織紙が使用されている。数十 kW から 10 数 MW 規模の大きさのものまで製作されており、需要地に設置するオンサイト用から分散配置用、更には火力代替用まで考慮されている。なお、オンサイト用では 50~200 kW 級の発電装置がすでに量産の域にあり、ホテルなどでは実用に供されている。本格的な実用化のためには、生産コストの低減、高効率の維持、長寿命化などが必要である。

(3) 熔融炭酸塩型燃料電池(MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell) Li_2CO_3 (62 mol%) と K_2CO_3 (38 mol%) の混合物を $650\sim 700^\circ\text{C}$ に加熱溶融した液体(熔融炭酸塩)が、炭酸イオン(CO_3^{2-})導電性を発現することを利用したものである。熔融炭酸塩は腐蝕性が強く、これを担持する材料の開発や界面を接する電極材の開発に研究の主眼が置かれている。電極材としては金属ニッケルが燃料電極に、酸化ニッケルが空気電極に使用されている。動作温度が比較的高く、触媒を必要とせず、燃料は天然ガスのほか石炭ガスなどの可能性が検討されている。高い排気温度の熱回収を行うことができるため、複合発電あるいはコージェネレーションシステムの構成に適していると考えられている。炭酸イオンが電荷担体のため、炭酸ガスのリサイクルシステムが必要である。

(4) 固体電解質型燃料電池(SOFC: Solid Oxide

Fuel Cell) イットリア安定化ジルコニアが $1,000^\circ\text{C}$ 以上の高温になると、酸化物イオン(O_2^-)導電性を顕著に表す特性を利用したものである。文字どおり電解質が固体なので、液体の電解質を用いる燃料電池とは異なり、形状に特に制限を加える必要がないため、平板型、円筒型、一体型、円盤型などの開発研究が進められている。動作温度は極めて高く、燃料は一般に制限がないと考えられている。

(5) 固体高分子電解質型燃料電池(SPE: Solid Polymer Electrolyte Fuel Cell) アメリカにおいて、宇宙船用電源として開発されたものであり、スルホン酸基をもつ陽イオン交換膜である固体高分子電解質を用いている。この陽イオン交換膜は水素イオン導電性の膜であり、現在では、デュポン社が開発したナフイオンを使用している。電気自動車、あるいは宇宙船において、太陽電池と組み合わせてコージェネレーションシステムとして利用する研究が進められている。

3. 太陽光発電

3.1 概 要

太陽光発電システムは、エネルギーの安定供給・地球環境保全・省エネルギーなどの特徴をもっており、導入支援・規制の合理化・技術開発・標準化などを盛り込んだ「新エネルギー大綱」が策定され、その導入の促進が国としても図られ、昨今脚光を浴びている新エネルギーシステムであって、分散電源として利用することにより、商用電力系統のピークカットにも貢献すると期待されている。

3.2 太陽光発電の特徴

(1) 長 所

- ・エネルギー源の太陽光は無尽蔵・非枯渇で無料である
- ・太陽光はクリーンな無公害のエネルギー源である
- ・太陽光は地球上のほとんどの場所で利用可能なエネルギー源である
- ・未利用エネルギーの有効利用である
- ・直達光だけでなく散乱光も活用できる
- ・排気・排熱などの心配がない無公害システムである
- ・回転機などの稼動部分がないので、騒音・振動・摩擦などの問題が発生しない
- ・運転・保守・点検が簡素なため、自動化・無人化が行いやすい
- ・発電効率が規模の大小にかかわらずほぼ一定である
- ・量産性に富んでいる
- ・燃料・潤滑油・冷却水などが不要である
- ・エネルギー回収時間が短い
- ・消費地で発電ができる
- ・発電システムの自由度が大きい
- ・発電容量(受光面積)の選択範囲が広い
- ・完全な静止機器のため信頼性が高く、非常時に確実に作動するので、他の発電システムのバックアップに有効である
- ・補助電源・燃料・冷却水などのユティリティを必要と

しないので災害時にも有効な電源となる

- ・離島・山岳地帯・砂漠・草原・未開発地など送電未整備地区の独立電源として有効である

(2) 問題点

- ・エネルギー密度が小さいため設置に要するスペースが大きくなる
- ・発電出力が気象条件（天候）に左右される
- ・夜間は発電ができない
- ・装置のコストが高い
- ・交流の電源を必要とする場合はインバータによる直流・交流変換が必要である
- ・悪天候および夜間など発電出力が低い場合でも安定した電源として用いるためには蓄電池が必要である
- ・蓄電池を設ける場合、その設定スペースの確保と保守・点検の実施が必要である

3.3 太陽光発電システムの構成

(1) 独立システム

商用電力系統とは独立に太陽光発電の電力だけで必要な消費電力をまかなうもので、次のような場合に利用される。

- (a) 電力系統が近くにない山間僻地などでの利用
- (b) 発展途上国などの電力系統が不備な地域での利用
- (c) 携帯用もしくは移動式の発電システムとしての利用
- (d) 灯台など太陽電池、蓄電池、負荷が一体化されたシステム

(2) 系統連系システム

太陽電池で発電した電力を優先的に利用し、不足する電力を商用電力系統から補うシステムであり、電力を蓄えるための蓄電池は不要である。このシステムには、①太陽光発電の出力が足りない場合のみ商用電力系統に接続する「逆潮流なしのシステム」と、②商用電力系統と常時接続し、太陽光発電の出力が消費電力を上回る場合には余剰電力を逆潮流させて売電する「逆潮流ありのシステム」がある。商用電力系統と接続する際の保護と安全確保のために連系保護装置を付加する必要がある。

4. 風力発電

4.1 概要

風力エネルギーの利用は、数千年の歴史をもつ古い技術であるが、空気力学の発展や軽量構造技術、制御技術などの発達によって著しい近代化がなされ、分散型電源としての可能性を持つにいたっている。太陽光と同様にクリーンで無尽蔵であることが最大の特徴であるが、太陽エネルギーが大気流の運動エネルギーに変換されたものであり、時間的、地域的に賦存量が大きく変化する。空気密度が低いために、出力容量に対するシステムの物量が大きく、都市型分散電源として用いる場合には、騒音、景観あるいは安全性といった面での課題が残されている。

4.2 風力発電システムの種類と特徴

風力発電システムは、駆動源となるロータの種類、負荷

となる発電システムの種類、あるいは電力の用途や設置型態によって分類される。

(1) ロータの種類による特徴 現在実用的に用いられている風力発電システムでは、小型発電機や電動機が発電機として用いられることが多いが、これらの回転速度はおおむね 900 rpm から 1,800 rpm 程度と比較的高いため、駆動軸側にも高回転が要求される。このため、ロータも運転風速域に対してより高回転が得られるタイプのものが一般的である。ロータのタイプとしては、小型の特殊なものを除けば、プロペラ型とグリウス型が用いられるが、現在ではプロペラ型が大勢を占めている。プロペラ型は、回転ごとのトルク変動が少なく、自己駆動力を有し、またピッチ制御を行うことによってある程度の回転数調整と出力調整が可能である。ピッチ制御によるフェザリングで、強風回避ができることも利点の一つである。タワーを必要とすることや方位制御が必要とされることなどの幾つかのデメリットはあるが、これらのメリットが実用化の観点から大きな意味をもつことから、多用されていると考えられる。タワーより風上側にロータがあるアップウィンド型と、タワーより風下側にロータがあるダウンウィンド型があり、プロペラの枚数としては 1 翼、2 翼、3 翼などがある。グリウス型は、発電機を地上に設置できることや、方位制御、タワーが不要であるなどの利点を有してはいるが、回転ごとのトルク変動やこれに起因する全系の振動の問題に難点があり、実用段階には至っていない。

(2) 発電システムによる特徴 発電システム側からの分類としては、同期機、誘導機、可変速システムの 3 種類がある。同期機を用いた直結システムは、1970 年代後半のアメリカやヨーロッパでの大型機開発の際に試みられたが、同期をとるための回転数調整が困難であり、また、結果として発生する出力変動が急峻なため実用機としてのメリットがなく、現在では実用化される可能性はほとんどない。誘導機直結システムの場合、急激なトルクの立上りが起こるため、風速変動による出力変動は避けられないが、全体的にはほぼ一定回転の安定した運転を続けることができる。このため、連系運転のための高度な制御が不要となり、コストも安く信頼性も高いシステムとして広範な普及が進んでいる。現在実用的に用いられている風力発電システムのほとんどがこの方式である。可変速運転システムでは風速に従ってロータの運転回転数を変化させ、ロータ変換効率を常に最適値に保つようになっている。このためには負荷側の要求周波数とは独立に発電機の運転周波数を規定する必要があるが、通常 DC リンク方式が用いられている。3~4 m/s の弱風域から 10 m/s を超える強風域まで良好な変換効率を保ちながら運転を続けることが可能であること、種々の要因によって起こるミクロな風況（風向、風速）の変動に対してもロータのフライホイール効果によって出力変動が大幅に緩和されるためにシステムとしての出力変動が緩やかになり弱小系統への連系やハイブリッドシステムなど独立システムへの適用の可能性が大きいこと、

DC リンク部分には蓄電池の適用が可能であり都市型分散電源システムとして重要な意味をもつ災害時の非常用システムとしての転用も可能であること、などから全体として複雑で高価なシステムになるにもかかわらず、近年この方式の開発と実用化が進められている。

5. ごみ発電

5.1 概要

近年設置される都市部の清掃工場では、ごみの資源化・再利用を積極的に推進するため、ごみ焼却排熱を最大限発電に利用し、発電出力を可能な限り大きくする傾向にある。これにより、清掃工場で消費する所内電力を上回る多量の余剰電力が発生することになるが、計画当初からごみ発電による余剰電力を逆流流によって電力会社へ売電することを前提として計画された施設が多くなってきている。

一般的な傾向として、人口が集中する都市部においては排出されるごみの量も多くなることから必然的に清掃工場の規模も大きくなり、発電容量も大きくすることが可能であると考えられるので、発電という面から清掃工場でのごみ発電をとらえると、都市型分散電源システムとして極めて有効システムの一つであると言える。

5.2 ごみ発電の課題と展望

我が国においては、清掃工場におけるごみ焼却発電は、焼却によるごみの減量が第一義の目的であり、発電は二義的ものと考えられてきた。今後は、ごみそのものを発電のための燃料としてとらえ、ごみ燃料発電を積極的に拡大していくことも必要であろう。燃焼ガスの組成、住民意識の問題からくる立地の制約、環境問題、法規制など技術面だけではなく行政面での課題も多く残されており、欧米に比してその進展は極めて厳しい環境下にあると言えるが、ごみの未利用エネルギーとしての価値を正しく評価するためにも、経済的、社会的、技術的にどうあるべきか総合的な検討と対処の実施が望まれるところである。

清掃工場そのものが、単なるごみ焼却施設から、ごみ発電による分散電源や、地域の冷暖房エネルギーセンターとしての多目的な活用を通して、いわゆる迷惑施設から歓迎される施設へと発展・向上していくことが期待される。

6. 開放型エネルギーネットワーク⁽²⁾

都市環境の保全を目指して分散電源を含めた分散エネルギーシステムを都市域に効果的に導入していくためには、個々のエネルギーシステムの技術的な確立が必須であることは言うまでもないが、既存の商用電力システムを中心とする大規模な電力やエネルギーのネットワークと、中小規模の分散電源などを協調させたエネルギー供給形態を整備していくことも必要不可欠である。

これを実現する一つの形態として、東北大学の豊田淳一教授が提案されているのが、図1に示した開放型エネルギーネットワークシステムの考え方である。詳細は文献を参照願いたい、ラベル付き電力エネルギーの貯蔵設備の導

図1 開放型エネルギーネットワークの構成⁽²⁾

入も考慮されており、分散エネルギーシステムの実現と効果的な運用の鍵となるものと考えられる。

7. おわりに

分散エネルギーシステムについての研究ならびにその具体的な実現についても、電気学会のみならず、社会のあらゆる分野でさまざまな検討が精力的に行われ、技術的な面でも常に発展しており、本特集号の論文においても、再生可能エネルギーや未利用エネルギー、新エネルギーを対象として、要素技術の問題からシステム構築の問題まで、さまざまな角度からの研究成果が報告されている。

電気学会の新エネルギー・環境技術委員会における調査専門委員会としても、1998年3月現在で、・太陽エネルギー技術実用化要件、・自然エネルギー利用技術統合化、・燃料電池発電分散配置技術、・都市型分散エネルギーシステム、・環境適合型高効率MHD発電システム、の五つの調査専門委員会が設けられており、新エネルギー・再生可能エネルギー・未利用エネルギー・エネルギーシステム・分散型エネルギーシステム等々、広範囲に及ぶ調査・研究が精力的に行われている。

この分野における研究・開発が今後とも一段と活発になり、新エネルギー・環境技術の発展ならびに環境問題の改善に寄与することを期待するものである。

(平成10年4月27日)

文 献

- (1) 都市型分散電源システム調査専門委員会編：「都市形分散電源システム」, 電気学会技報, No. 609 (平8)
- (2) 豊田淳一：「都市の電力供給システムと電力貯蔵設備」, エネルギー・資源, 14, No. 2, 59~63 (平5-3)

久保 猛 志 (正員) 1975年東京工業大学大学院理工学研究科修了。1979年金沢工業大学教授、現在に至る。専門分野は、都市環境工学、建築環境工学、環境管理。工学博士。