



京都議定書に定められたCO₂削減目標達成のために、弊社では将来的に期待されている自然エネルギーを利用した風力発電や太陽光発電の開発、実用化に力を入れている。風力発電は発電コスト低減と信頼性の向上が図られており、既に300 kWと600 kWの誘導機及び同期機、1 000 kW誘導機を販売し、618 MW以上の実績を持つ。現在は低風速域用高性能新1 000 kWと経済性をより高める大形2 000 kW同期機を開発中である。太陽光発電は高速プラズマCVD技術をコア技術としたアモルファスシリコン太陽電池の生産技術開発を行い、住宅用や工場用などへの展開を行っている。

1. はじめに

京都議定書のCO₂削減目標達成に向けた我が国の新しい地球温暖化対策推進大綱が本年3月19日に政府から発表された。2010年に1990年比で6%のCO₂削減を達成するための方針を定めたもので、エネルギー起源、非エネルギー起源CO₂の削減、温暖化防止活動の推進、代替フロン等の使用及びCO₂吸収量の確保の点から具体的な対策、効果が明示されている。このうちエネルギー起源のCO₂排出量は全体の約9割を占めこの分野の削減効果に大きな期待がある。この分野の削減目標は2010年において1990年水準まで削減することとしているが、2000年には削減どころか約10%のCO₂排出量増加となっている。すなわちこの増加分を2010年までの数年間で削減する必要がある。とは言え世界的に見れば、我が国は国民各層の努力、エネルギー施策の下、省エネルギー、石油代替エネルギー使用の着実な推進により欧米諸国に比べGDP当たりのエネルギー消費量、CO₂排出量は概して低い水準にあり、既に世界でも有数の温暖化対策・省エネルギー先進国なのである。しかしながら前述のCO₂削減は我が国、ひいては弊社の使命であると考えている。

このような状況の下、弊社は我が国及び世界のエネルギー問題を総合的にとらえ、その中での個々の新技術・新製品の実用化に向け研究開発を進めている。エネルギー源の多様化、輸送、貯蔵、利用技術、省エネルギー推進等がそれである。

エネルギー起源のCO₂削減法すなわち省エネルギー、新エネルギー及び原子力・燃料転換のうち新エネルギーによる今後の削減効果の期待は大きい。現在の政策の枠組みを維持してCO₂削減を図っても1990年水準までにはいまだ及ばず追加対策処置の必要がある。表1はエネルギー起源のCO₂排出抑制対策のうち新エネルギーに関する追加対策についてまとめたもので、この分野に依存するところが大きい。

表2に示すとおり、自然エネルギーの早期実用化に向けて弊社では強力な取組みを展開している。新たな概念に基づき利用価値の高いエネルギーを創出するこれらのエネルギー技術は、環境保全性の高い技術としても今後の更なる利用が期待される。

これらのうち温暖化対策推進大綱でも今後のCO₂削減追加対策として期待度の高い風力発電、太陽光発電技術の開発・実用化状況について以下紹介する。

表1 エネルギー起源のCO₂排出抑制対策

項目	CO ₂ 削減量		追加対策の内容
	既存対策	追加対策	
新エネルギー対策	8.8百万kl 石油換算導入	10.3百万kl 石油換算導入 (約34) (百万t-CO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> 導入目標 太陽光発電482万kW, 風力発電300万kW, 廃棄物発電417万kW, バイオマス発電33万kW, 太陽熱利用439万kl, 未利用エネルギー58万kl, 廃棄物熱利用14万kl, バイオマス熱利用67万kl, 黒液廃材等499万kl 導入支援 バイオマス、雪氷への位置付け、太陽光、熱利用への補助推進、地方公共団体・事業者への導入補助推進、グリーン購入・調達推進 技術開発支援 燃料電池、太陽光発電、バイオマスエネルギー等地域特性を踏まえた推進 環境整備、普及啓発 電力系統連系対策、燃料電池ほか実用化に向けたソフトインフラ整備、普及啓発強化 電力分野の新市場拡大措置 電気事業者による新エネルギー利用特別措置法制定提案

(備考) CO₂排出量：1990年実績 1053百万t-CO₂
2010年見込み(既存対策のみ) 1126百万t-CO₂
2010年見込み(既存+追加対策) 1052百万t-CO₂

表2 弊社の新エネルギー、自然エネルギー技術

項目	現状
太陽電池	住宅用・産業用製品化
風力発電	300, 600, 1000 kW 販売, 新1000kW, 2000 kW 開発中, 累計販売量 618 MW
地熱発電	200 ~ 150 000 kW 販売, 累計約 2 350 MW
バイオマス	数 t / 日実証機製作, 運転研究開始し, 開発中
マイクロ水車	最小落差 2m, 最小出力 5 kW 開発済
OTEC*	1982年徳之島で 50 kW で運転実績あり

*OTEC : Ocean Thermal Energy Converter (海洋温度発電)

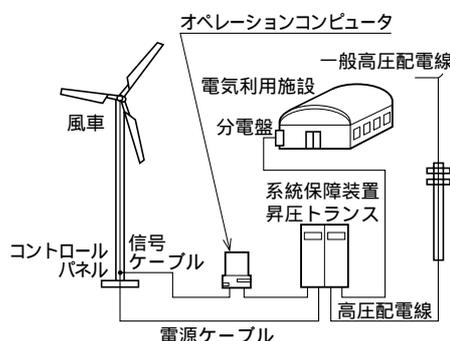


図1 風力発電システムの構成

表3 風力発電設備の要素技術
各方式の組合わせを考慮し最適な機器を供給している

翼制御方式	発電機形式	歯車	速度方式
ストール制御	誘導機では 巻線型 セルビウス式	有	一定速
ピッチ制御	同期機では 巻線式 永久磁石式	無	可変速

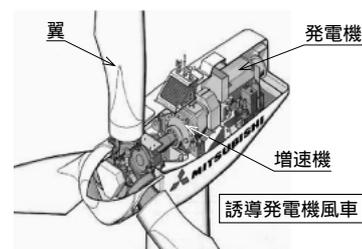


図2 誘導発電機風車構造

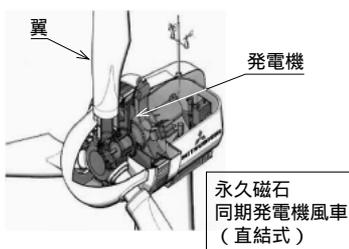


図3 同期発電機風車構造

表4 風力エネルギー・ペイバック・タイムの試算例

風車規模	製 造 エネルギー量	風力発電量		ペイバック タイム
		年平均 風速	風力発電量	
300 kW	296 MWh / 年	7 m / s	1049 MWh / 年	3.4 ヶ月
		5.5 m / s	710 MWh / 年	5.0 ヶ月
		4 m / s	411 MWh / 年	8.6 ヶ月
3000 kW	2817 MWh / 年	7 m / s	8989 MWh / 年	3.8 ヶ月
		5.5 m / s	6025 MWh / 年	5.6 ヶ月
		4 m / s	4027 MWh / 年	8.4 ヶ月

G.Hagedorn and F.Imdinger, German Ministry for Technology Development (BMFT), Munich, August 1991

2. 風 力 発 電

(1) 概要

風力発電は再生可能な風のエネルギーを利用したCO₂削減効果の高い発電システムとして、近年の地球環境保全意識の高揚にも後押しされ、世界各地で建設が進んでいる。我が国でも新エネルギー開発推進の中で風力発電は大いに期待されており、一次エネルギー自給率向上も踏まえて政府は2010年での風力発電導入目標を300万kWへ拡大したところである。

また、いくつかの自然エネルギーの中でも経済性が現実的なものであることから最近では設備導入が促進されており、2002年6月現在、世界で2600万kWの風力発電設備が建設されており、2005年には総計5800万kWの風力発電設備が設置されるとの予想もある。日本でも2002年3月末に30万kWの設備容量を超え、今後も飛躍的な建設増加が期待されている。

(2) 風力発電設備について

発電システムと構造、発電原理

典型的な風力発電システムの構成を図1に示す。

風車の形式を決める要素技術を表3に示す。この中で最も低コストで古典的な形式はストール制御定速誘導発電機風車であるが、最近では定格風速以上で出力を一定に制御するピッチ制御と風力エネルギーの活用度を高め、かつ出力制御等をより細かく行い電力系統への影響を軽減する可変速同期技術が広まってきている。

弊社の風車は出力制御を行いやすいピッチ制御をベースにしている。参考として、風車の代表的2機種となる誘導機と同期機の構造を図2、図3に示す。

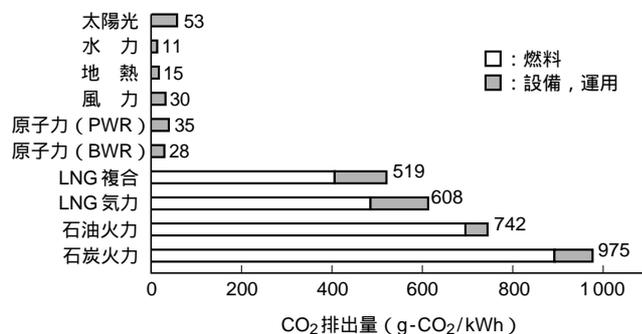


図4 発電システム別CO₂排出量

風力発電では風速度エネルギーを効果的に翼の回転力に変換したのち、発電機を回して発電する。このとき風力エネルギーは風速の3乗に比例するが、風車で利用するときは翼の抗力による損失等があるため、最終的に利用できる比率は現在の小形風車で約3割強、大形風車で約4割強である。

環境特性

風力発電設備は製造時に化石エネルギーを消費するが、一旦完成すると発電時の化石エネルギー消費はほとんど無いため、いわゆるエネルギー回収年数(エネルギー・ペイバック・タイム)は表4を参照して600kW級風車で約0.5年と化石燃料の軽減に非常に寄与する。

また、600kW機を1年間運転して得られる想定発電電力量は1560MWhでCO₂削減効果は図4から石油火力に置き換えられると考えると300ton-C/年と期待され、環境にやさしいことが分かる。

(3) 三菱風力発電設備

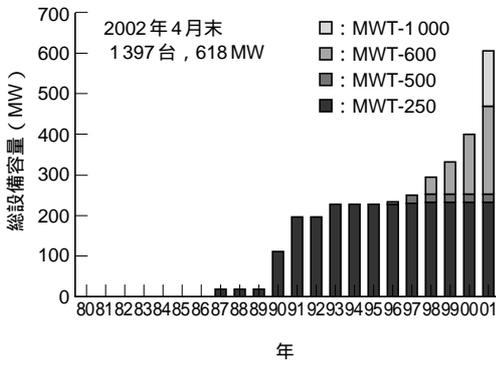


図5 受注納入実績

表5 三菱風車のラインナップ

発電機	誘導型		同期型
	定速(2速)		可变速
回転数	標準		標準
風速域	標準	低風速対応	標準
定格出力 kW	2000		MWT-2000S
	1000	MWT-1000	MWT-1000A
	600	MWT-600	MWT-600S
	300	MWT-300	MWT-300S

政府助成制度

製造時の環境負荷と廃棄の方法

ほかの環境関連設備との有効な組合せ

また、これからの風力発電は大出力化による経済性追求で次世代5MW級風車を指向するのみならず、風に由来する出力の変動をいかに軽減するかの技術開発も必要になる。

3. 太陽光発電

(1) 概要

無尽蔵な自然エネルギーである太陽光を利用した太陽光発電は、CO₂削減を目標とした新エネルギーの中でも特に注目されている。

太陽光発電は、政府の見通しによると2010年の累積導入量として482万kWという目標値が設定されている。2000年の累積導入量が31.8万kWであることを考慮すると、太陽光発電産業は今後更なる発展が必要である。このような背景の中で、弊社は自社技術として培ってきた高速プラズマCVD(化学的気相堆積)装置をコア技術としたアモルファスシリコン太陽電池(以下、アモルファス太陽電池と略す)生産技術開発を行ってきた。

(2) アモルファス太陽電池

構造と発電原理

図6にアモルファス太陽電池の構造を示す。太陽光はガラス基板、透明電極層を通過し発電層へ入射する。発電層は性質の異なる3種類の半導体(p型, i型, n型)で構成されており、真ん中のi層に光が当たると光エネルギーでプラスとマイナスの電気を持った粒子(正孔と電子)が発生する(光電効果)。正孔はp型半導体の方へ、電子はn型半導体の方へ集まる性質があるので、この2つの半導体を電線で繋ぐと電流を得ることができる。

製造方法

アモルファス型太陽電池は原料ガスをプラズマで分解し、ガラス等の基板上に堆積させるだけの簡単な製造工程を取るため、製造に要するエネルギーが小さく、生産性に優れている。

弊社製アモルファス太陽電池は、平成12, 13年度NEDO普及促進型事業により開発したプラズマCVD装置による製膜をキーテクノロジーとして生産される。この装置は、大面積基板(1.4m x 1.1m)に高速で均一な製膜を行うことができる。図7にプラズマCVD装

このような環境特性に優れた風力発電設備を弊社は1980年の40kW試験機開発から始めている。関係先との共同開発も含めて、1996年のNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)向け500kW機製作、600kW機では、MWT-600 Mk IIが昨年(2001年)国産で初めて型式認定機関であるGLWindより“クラスII A”の設計認証を取得した。

1999年に納入した1000kW機は現在GLWindより“クラスIA”を取得している。現在までの累積受注納入実績(図5)は世界8ヶ国、1397基618MWに上る。

弊社の風車開発方針は、最近の市場動向を踏まえて次の3点である。

電力系統にやさしい同期発電機風車

低風速域用高性能風車

洋上風力発電も見据えた大形風車

第1点について、弊社は2000年に300kWの永久磁石式可变速ギヤレス同期発電機風車を三菱電機(株)と共同開発し、2000年7月から東北電力(株)竜飛ウインドパークにて東北電力(株)と共同運転研究を実施している。また、2002年4月には600kW同期機の商用運転を兵庫県北淡町にて開始した。

第2点については、風力発電の開発が進んだことにより、設置サイトが低風速域へ広がっていることを考慮して低風速用高性能1000kW(1MW)風車を開発しており、今年秋には運転を開始する予定である。

第3点については、今後の風車大形化をにらんで単機出力2000kWの可变速同期発電機風車の開発を現在行っており、今年中には試運転を開始する予定である。

これら弊社風車のラインナップを表5に示す。

(4) 今後の風力発電について

国内では2002年5月に新エネ措置法が成立し、今年の暮れまでにはリニューアルポータルフォリオスタンダード(RPS制度)の形が見えてくる予定である。また、米国ではプロダクションタックスクレジット(PTC制度)の継続が決定して風力発電はますます導入に弾みがついている。

風力発電の開発には次の項目を同時に検討して、最適解を求めていく必要がある。

立地条件

発電単価の推移

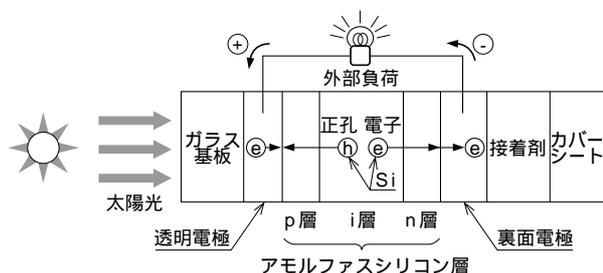


図6 アモルファス太陽電池の構造 アモルファス太陽電池の構造を示す。ガラス基板、透明電極、アモルファスシリコン層、裏面電極層、カバーシートから成る。



図7 アモルファス太陽電池モジュール（サイズ1.4m x 1.1m） 弊社のプラズマCVD技術で製膜した大面積アモルファス太陽電池モジュールを示す。



図8 住宅用太陽光発電システム（屋根一体型） 住宅用として開発された屋根一体型太陽光発電システムの設置例を示す。



図9 工場用太陽光発電システム 工場用太陽光発電システムの設置例を示す。



図10 離島用太陽光・風力発電システム設置イメージ ディーゼル発電の代替として離島に太陽光発電と風力発電を設置した場合のイメージ図を示す。

置によって製膜したアモルファス太陽電池モジュールを示す。

特徴

(a) 低コスト

結晶型に比べ光吸収係数が高いため薄膜化することができ、それに伴い原料使用量を低減することができる。また、上述のとおり製造エネルギーが小さいため、低コスト化を達成することができる。

(b) 発電電力量が多い

結晶型と比較し、温度が高くなる夏期の出力低下が少ないため年間をとおして約10%多い発電電力量を確保することができる。

(3) 住宅への適用

図8に住宅用屋根一体型の太陽光発電システムの設置例を示す。屋根瓦にアモルファス太陽電池モジュールを組み込んであるため、意匠性に優れたデザインとなっている。

住宅に3kWの太陽電池を設置すると、年間発電電力量3400kWh/年の場合、約630kg-C/年のCO₂を削減できる。

(4) 工場への適用

工場の屋根等、広い遊休空間に太陽光発電を設置することができる。工場用10kWシステムを図9に示す。年間発電電力量11300kW/年の場合、約2080kg-C/年のCO₂を削減できる。

(5) 離島への適用

送電系統から独立した離島では、現状はディーゼル発電にて電力供給が行われているところが多い。その代替として太陽光や風力を中心とした自然エネルギー発電の適用も考えられる。太陽光発電と風力発電を設置した場合のイメージを図10に示す。太陽光発電、風力発電は、天候により発電量が変動するが、蓄電池とのハイブリッド化により需要に合わせて安定に電力を供給することができ、エネル

ギー起源のCO₂発生のない発電システムを構築することが可能となる。

4.ま と め

地球環境問題の深刻化に歯止めをかけるべく再生可能エネルギーの導入が世界的に広まっている中で、風力発電、太陽光発電も増加の一途をたどっている。

弊社は発電機器メーカーとして、風力発電及び太陽光発電を地球環境保全に有効な発電技術ととらえており、世界的普及を促進させるために、今まで以上に積極的にシステムの改良改善に取り組む所存である。

参考文献

- (1) 高塚汎ほか、1 MW 風力発電装置の開発、三菱重工技報 Vol.37 No.1 (2000) p.22 ~ 25
- (2) 猪股登ほか、永久磁石式風力発電装置の実証運転、日本機械学会流体工学部門講演会論文集(2001) p.1312 ~ 1315
- (3) 長田勇ほか、ギヤレス可変速風力発電装置の開発、三菱重工技報 Vol.38 No.2 (2001-3) p.100 ~ 103
- (4) 藤川卓爾ほか、三菱高性能大形風力発電設備、三菱重工技報 Vol.39 No.3 (2002) p.140 ~ 143



一ノ瀬利光
技術本部
長崎研究所
火力プラント研究推進室長



岩崎信頭
原動機事業本部
タービン技術部
タービンサービス技術課主席



加幡達雄
原動機事業本部
エネルギーシステム
技術部
新技術開発課長