

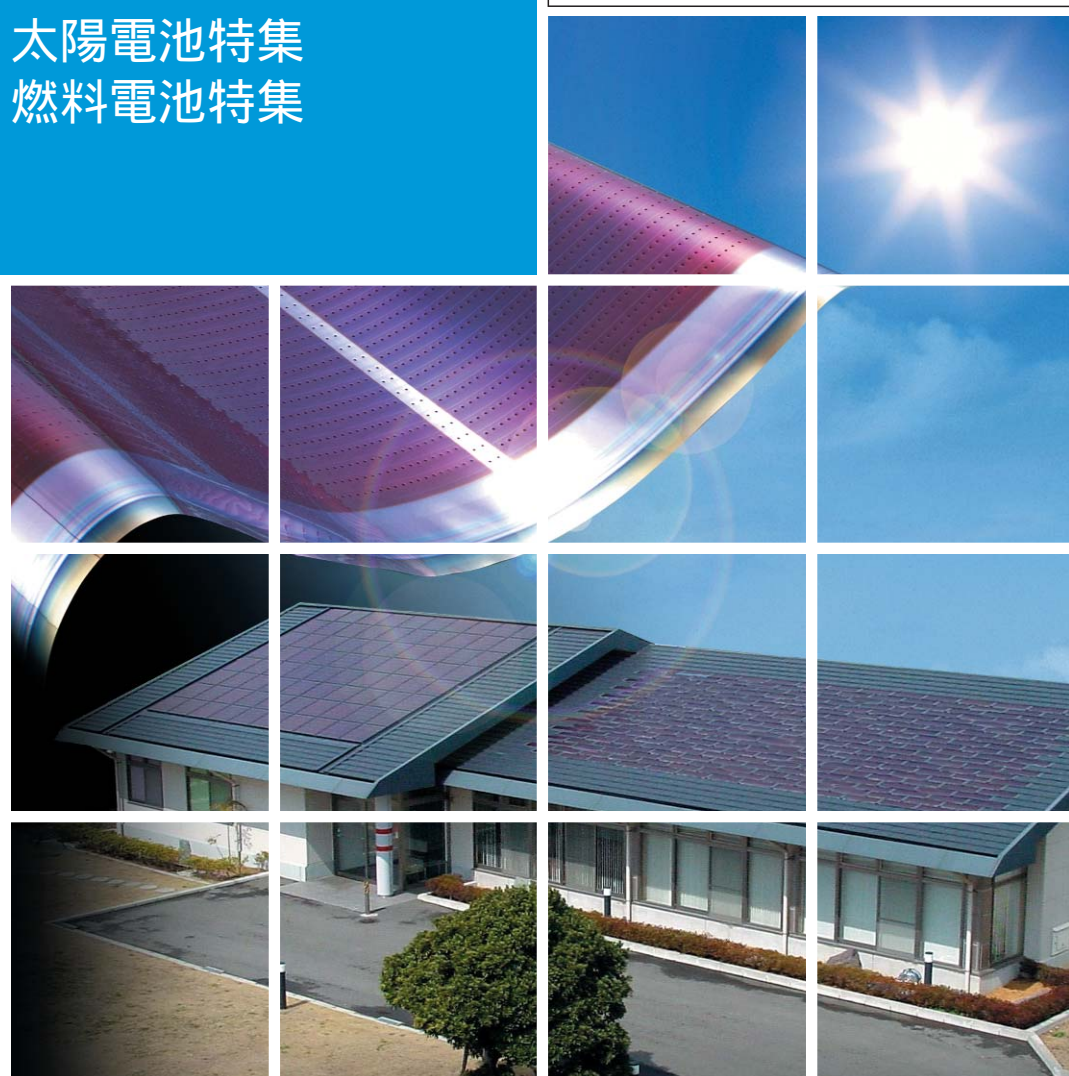
富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL



2002 VOL.75

太陽電池特集
燃料電池特集



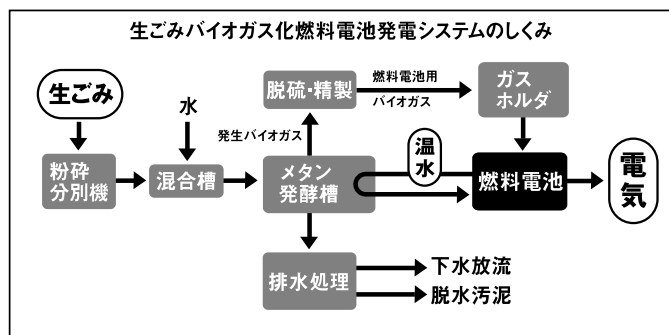
FUJI
ELECTRIC

聞こえてきますか、技術の鼓動。—— 富士電機



生ごみをエネルギーに変える
「バイオガス燃料電池発電」。
もう、始まっています。

生ごみなどの有機廃棄物をメタン発酵させ、そこから得られるメタンガスを燃料電池の燃料として利用するバイオガス発電システム。燃料電池は、メタンガスから取り出した水素と空気中の酸素を化学反応させ電気と熱エネルギーを生み出します。「CO₂の削減」と「資源の有効利用」に大きく期待されています。



バイオガス燃料電池発電システム

FUJI ELECTRIC 富士電機

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

5

2002 VOL.75

太陽電池特集 燃料電池特集

目 次

太陽電池・燃料電池特集に寄せて	262 (2)
伊藤 晴夫	

新エネルギーの現状と展望	263 (3)
蟹江 範雄 ・ 中島 憲之	

太陽電池特集論文

太陽電池開発の動向と展望	268 (8)
吉 田 隆 ・ 藤掛 伸二	

アモルファスシリコン太陽電池の屋外発電特性	272 (12)
井原 卓郎 ・ 西原 啓徳	

建材一体型太陽電池の鉄道施設への適用	277 (17)
仙 田 要 ・ 牧野 喜郎	

富士電機能力開発センターの新エネルギー発電システム	281 (21)
堀内 義実 ・ 西原 啓徳 ・ 氏 家 孝	

燃料電池特集論文

燃料電池開発の動向と展望	285 (25)
古 庄 昇 ・ 工藤飛良生 ・ 吉 岡 浩	

りん酸形燃料電池発電技術の開発と納入状況	288 (28)
長谷川雅一 ・ 氏 家 孝	

固体高分子形燃料電池の開発	291 (31)
瀬谷 彰利 ・ 大賀 俊輔	

バイオマスエネルギー利用の燃料電池の現状と展望	295 (35)
久保田康幹 ・ 黒田 健一 ・ 秋山 幸司	

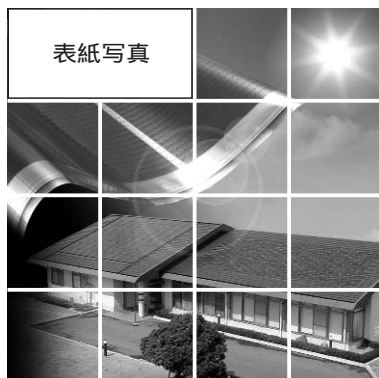
普通論文

小型パルスチューブ冷凍機	299 (39)
鴨下 友義 ・ 保川 幸雄 ・ 大嶋 恵司	

超音波複合分解装置	303 (43)
川上 幸次 ・ 田中 義郎 ・ 北出雄二郎	

建設エンジニアリング情報標準化とXML 応用	308 (48)
萩原 賢一 ・ 川上 一美 ・ 山本 隆彦	

表紙写真



世界における太陽電池の生産量は各国政府の後押しが追い風になり、毎年4割近く増え、太陽光発電に対する期待が大きく膨らんでいる。今後、さらに普及拡大を進めるには、大幅なコスト低減を実現できる技術の開発が必要である。

富士電機では、低コスト化の可能性が大きいプラスチックフィルムを基板とした軽量で量産性に優れたアモルファス太陽電池の開発に取り組んでいる。

表紙写真は、このフィルム基板アモルファス太陽電池を屋根上に設置し、実証テストを継続中の(株)富士電機総合研究所の健康増進センターである。屋根の左半分はガラス基板で封止した従来型、右半分は瓦張付け建材一体型の太陽電池である。太陽電池は建物のデザインとマッチし、落ち着いた雰囲気を醸し出している。

太陽電池・燃料電池特集に 寄せて

伊藤 晴夫（いとう はるお）

取締役 執行役員専務

電機システムカンパニー プレジデント



私達は、20 世紀において企業の経済活動により地球環境に少なからず悪影響を与えてきました。この地球環境への負の遺産を、21 世紀に解消することが、企業、個人の責任であり、今後人類が継続して栄えるための重要な役割であると考えています。

富士電機グループは、1992 年「環境保護基本方針」を制定し、「環境保護に役立つエコロジー製品・技術をお届けすること」そして「事業活動そのものが環境に配慮したものであること」を基本に、持続可能な社会を実現するために企業活動を通じて社会に貢献してまいりました。2000 年 6 月には中期経営ビジョン「S21 プラン」を策定、事業を環境事業、情報事業、サービス事業、コンポーネント事業の四つに集約し、事業コンセプトを世の中が抱える問題を解決するソリューションビジネスとし、経営資源を集中させることにしました。その中で、地球および社会全体の環境に貢献する「環境事業」を重要な柱ととらえ活動を行っていきます。

私達の環境事業の目的は、大気環境の保全、水環境の保全、土壌・地盤環境の保全や廃棄物の 3R（Reduce, Reuse, Recycle）、化学物質の環境リスク対策などがバランスよく機能した社会を目指すものです。

富士電機はさらに環境保全をエネルギー問題ととらえ、地球環境負荷を低減するためにさまざまなエネルギー課題を乗り越えることが重要であると考えます。例えば、省エネルギー・新エネルギーによる CO₂ 削減などがあります。富士電機は昔からエネルギー機器やシステムの開発に取り組んでおり、今回の特集で取り上げる太陽電池と燃料電池は、約 30 年にわたり独自の技術開発を行ってきました。私達は 20 世紀の負の遺産と同時に輝かしい技術遺産を受け継いだわけです。

りん酸形燃料電池は、1973 年から研究開発を開始し、国、電力会社、ガス会社との共同研究の過程を経て商用機を完成させました。燃料として、都市ガスやごみをはじめ各種廃棄物から発生するバイオガスなどを使用した無公害な発電システムを構築し、実用機として現在運転しています。富士電機はさらに次世代燃料電池として注目されている固体高分子形燃料電池（PEFC）の開発も行い、オンサイト電源として利用することを狙っています。

太陽電池においては、アモルファス太陽電池の開発を 1978 年にスタートさせ、電卓用を商品化（1980 年）、現在では電力用の大容量太陽電池および周辺装置を開発しています。まだ経済性や長期安定運転などの技術課題はありますが、将来は CO₂ 削減に貢献できるものと考えています。富士電機の太陽電池はプラスチックフィルム上にアモルファス太陽電池を成膜し、ふっ素系フィルムあるいはガラスで封止したものです。このタイプはフレキシブルなシートタイプの太陽電池であり、複雑な形状に細工できたり、軽量であるので水上や空中に容易に配置できるなど今までにない活用の道が開かれるものと期待しています。

環境、エネルギー問題を解決するには、個人レベルでの活動が求められる時代であり、小さな削減でも、数が集まれば大規模な削減となります。海外では、子供の時代からエネルギーに対する教育がなされていますが、日本ではまだ十分とはいえません。海外へのエネルギー依存率が高い私達は子供から大人まで、環境、エネルギーを身近に考え、行動する時代が来るものと思います。

エネルギーを個人単位で削減するには、自分で発電するのが一番と思います。よくいわれますが、太陽電池を設置した家庭では、特に快適さを犠牲にして節電しているという意識をしないでも、自然に使用電力量が少なくなるそうです。これはエネルギーの重要さを認識して不要な照明、空調をこまめに消す行動が習慣となり電力消費が減ることになるからです。目で見える発電、知覚でとらえられる発電である太陽光発電は最も身近な自分で運転できる発電所です。

燃料電池も家庭用が実用化され、生ごみをバイオガスに変えて自宅で燃料電池発電し、無公害でゼロエミッション家庭を実現することも夢ではありません。

このように企業活動や家庭で個人レベルでの環境とエネルギー問題への取組みを進めることが重要になっています。太陽電池や燃料電池は現在でも個人レベル、家庭レベルで利用可能なエネルギーシステムであり、環境問題と個人の快適な生活を解決する魔法の道具です。富士電機は 20 世紀から引き継いだ偉大な遺産の価値をさらに高める開発を進めて社会に貢献する所存であります。

新エネルギーの現状と展望

蟹江 範雄（かにえ のりお）

中島 憲之（なかじま のりゆき）

1 まえがき

エネルギー分野を取り巻く環境が大きく変わろうとしている。1997年に京都で開催された「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」（COP3）以降の地球環境保全への取り組み、電力市場の自由化のためである。

第一・二次石油危機以降、石油代替エネルギーの研究・利用が盛んになされた。例えば、石炭液化、太陽光発電、太陽熱利用、地熱発電などである。一般家庭でも、屋根に太陽熱温水器が設置され、風呂の給湯などに利用され、一時は、年間80万台が設置されるまでに至り、原油削減に大きく寄与した。しかし、原油が安定的に供給されるようになり、太陽熱温水器は、次第に世の注目を失ってしまった。

その後、地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊、熱帯林の減少などの地球環境の悪化が国際的にクローズアップされるようになった。硫黄酸化物（SOx）、窒素酸化物（NOx）の排出規則、フロンガスの製造中止の法的規制が行われた。

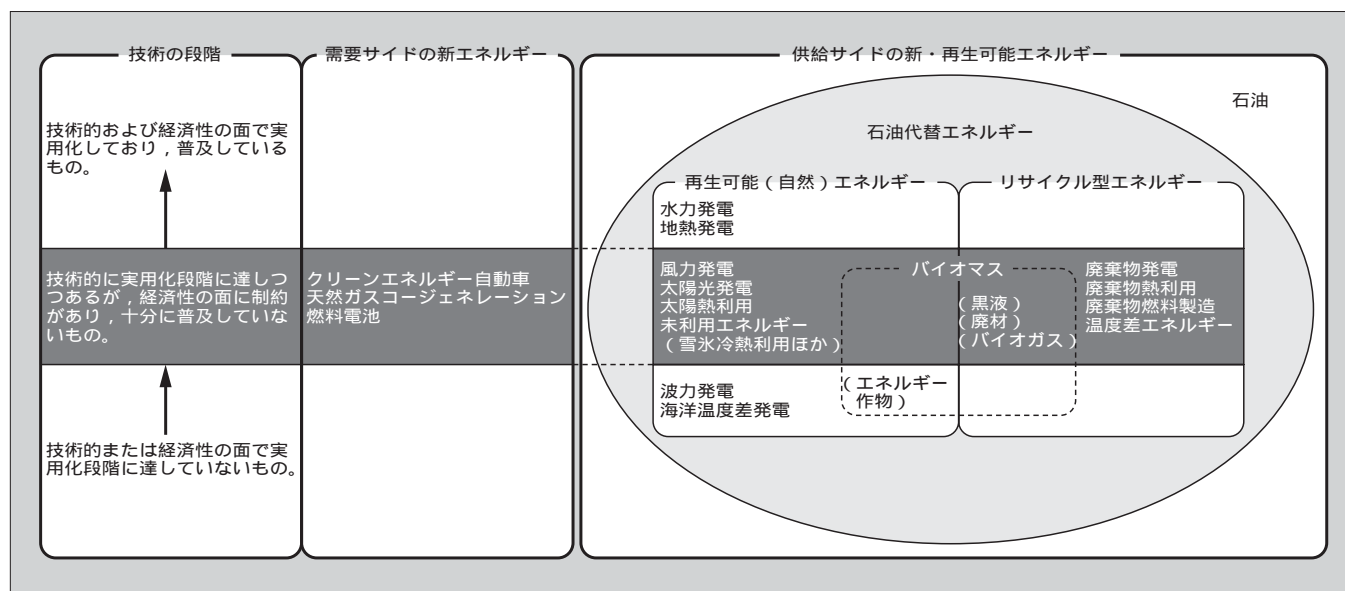
地球温暖化防止策としては、地球上の温暖化物質を削減することが必要である。温暖化物質のうち、二酸化炭素（CO₂）は主に化石燃料の燃焼により発生しており、化石燃料の使用を削減することが肝要である。石油代替エネルギーとしての新エネルギーの導入が、CO₂の削減となる。

2 新エネルギーの現状と課題

2.1 定義

新エネルギーは、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」（新エネ法）にて規定されており、「石油代替エネルギーを製造、発生、利用すること等のうち、経済性の面での制約から普及が進展しておらず、かつ、石油代替エネルギーの促進に特に寄与するもの」と述べられている。太陽光発電、風力発電、太陽熱利用、温度差エネルギー、廃棄物発電、廃棄物熱利用、廃棄物燃料製造、電気自動車（ハイブリッドを含む）、天然ガス自動車、メタノール自動車、天然ガスコージェネレーション、燃料電池を特定して

図1 新エネルギーの技術段階⁽¹⁾



蟹江 範雄

新エネルギー、省エネルギーのシステム設計・開発に従事。現在、電機システムカンパニーエネルギーソリューション室副室長。電気学会会員。



中島 憲之

新エネルギー、特に燃料電池のシステム設計に従事。現在、電機システムカンパニーエネルギーソリューション室担当課長。日本化学学会会員。

いる。これら新エネルギーの技術段階を図1に示す。

2.2 現 状

1999年12月、通商産業省（現経済産業省）の総合エネルギー調査会内に新エネルギー部会が設置され、「今後の新エネルギー対策のあり方について」検討が開始された。計18回の部会を経て2001年6月に報告書がまとまった。その内容は、現状の新エネルギーの導入量、2010年までの新エネルギーの導入見通し・目標を掲げている（表1）。1999年度の新エネルギー導入実績は、一次エネルギー総供給の1.2%（原油換算693万kL）を、2010年度には3%（原油換算1,910万kL）を目標とするものである。

新エネルギーの導入普及には、現状、経済性が最大のポイントである。種々の新エネルギーの発電単価の試算例を表2に示す。新エネルギー発電の設置される場所、容量、利用形態により、電力コストが異なるが、現状では、廃棄物発電が火力発電単価に比べ大規模設備で約1.2～1.5倍、中規模設備で約1.5倍である。次に続くのが風力発電の大規模設備で約1.4～2倍であり、近い将来経済的に自立し得るものと推測できる。太陽光発電（住宅用）は66円/kWhと廃棄物発電に比較して6倍の発電単価であるが、家庭に設置された太陽光発電は家庭用電気料金と比較されるものであり、この比較においては3倍程度の差までに圧縮される。燃料電池（りん酸形）は、22円/kWhと業務

表1 新エネルギーの実績と2010年度見通し・目標⁽²⁾

(a) 供給サイドの新エネルギー

		1999 年度実績		2010 年度見通し・目標				2010 年度/ 1999 年度
				現行対策維持ケース		目標ケース		
		原油換算 (万 kL)	設備容量 (万 kW)	原油換算 (万 kL)	設備容量 (万 kW)	原油換算 (万 kL)	設備容量 (万 kW)	
発電分野	太陽光発電	5.3	20.9	62	254	118	482	約 23 倍
	風力発電	3.5	8.3	32	78	134	300	約 38 倍
	廃棄物発電	115	90	208	175	552	417	約 5 倍
	バイオマス発電	5.4	8.0	13	16	34	33	約 6 倍
熱利用分野	太陽熱利用	98	-	72	-	439	-	約 4 倍
	未利用エネルギー (雪氷冷熱を含む)	4.1	-	9.3	-	58	-	約 14 倍
	廃棄物熱利用	4.4	-	4.4	-	14	-	約 3 倍
	バイオマス熱利用	-	-	-	-	67	-	-
	黒液・廃材など (* 1)	457	-	479	-	494	-	約 1.1 倍
新エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給 / 構成比)		693 (1.2 %)	-	878 (1.4 %)	-	1,910 (3 %程度)	-	約 3 倍
一次エネルギー総供給		約 5.9 億 kL		約 6.2 億 kL		約 6.0 億 kL 程度		

(*1)：バイオマスの一つとして整理されるものであり、発電として利用される分を一部含む。

(b) 再生可能エネルギー

(単位：原油換算(百万kL))

	1999 年度実績	2010 年度見通し・目標		2010 年度/ 1999 年度
		現行対策維持ケース	目標ケース	
新エネルギー供給計	7	9	19	約 2.7 倍
水 力 (一般水力)	21	20	20	約 1 倍
地 熱	1	1	1	約 1 倍
再生可能エネルギー供給計 (一次エネルギー総供給/構成比)	29 (4.9%)	30 (4.8%)	40 (7%)	約 1.4 倍
一次エネルギー総供給	593	622	602程度	

(c) 需要サイドの新エネルギー

	1999 年度実績	2010 年度見通し・目標		2010 年度/ 1999 年度
		現行対策維持ケース	目標ケース	
クリーンエネルギー自動車(*2)	6.5 万台	89 万台	348 万台	約 53.5 倍
天然ガスコージェネレーション(*3)	152 万 kW	344 万 kW	464 万 kW	約 3.1 倍
燃料電池	1.2 万 kW	4 万 kW	220 万 kW	約 183 倍

(*2)：需要サイドの新エネルギーである電気自動車、燃料電池自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車、さらにディーゼル代替LPガス自動車を含む。

(*3)：燃料電池によるものを含む。

表2 代表的な新エネルギーの経済性試算例(参考値)⁽²⁾

新エネルギーの種類		発電/熱利用コスト	新エネルギー/競合エネルギー	前提とした競合エネルギーコスト
太陽光発電	住宅用	平均値 : 66 円/kWh (トップ値 : 46 円/kWh)	約 3.0 倍 約 16.5 倍 約 2.0 倍 約 11.5 倍	家庭用電灯単価 : 23.3 円/kWh 燃料費相当 : 4.0 円/kWh(*2) 家庭用電灯単価 : 23.3 円/kWh 燃料費相当 : 4.0 円/kWh
	非住宅用	平均値 : 73 円/kWh	約 3.5 倍 約 18.3 倍	業務用電力単価 : 20.0 円/kWh 燃料費相当 : 4.0 円/kWh
風力発電		大規模 : 10~14 円/kWh 中小規模 : 18~24 円/kWh	約 1.4~2 倍 約 2.5~3.5 倍 約 2.5~3 倍 約 4.5~6 倍	火力発電単価 : 7.3 円/kWh 燃料費相当 : 4.0 円/kWh 火力発電単価 : 7.3 円/kWh 燃料費相当 : 4.0 円/kWh
廃棄物発電		大規模 : 9~11 円/kWh 中小規模 : 11~12 円/kWh	約 1.2~1.5 倍 約 1.5 倍	火力発電単価 : 7.3 円/kWh 火力発電単価 : 7.3 円/kWh
燃料電池(りん酸形)		22 円/kWh(*1)	約 1.1 倍	業務用電力単価 : 20.0 円/kWh
ソーラーシステム		28 円/Mcal	約 1~3 倍	9.0~27.3 円/Mcal(*3)
未利用エネルギー (温度差エネルギーおよび 廃棄物熱利用)		10 円/MJ	約 1.1 倍	熱供給コスト(ガスなどを使用した場合) : 9.0 円/MJ

(*1): 廃熱利用メリットを考慮したうえの数値。

(*2): 燃料費相当(4.0 円/kWh)は、気象条件などにより出力が不安定な太陽光発電、風力発電を導入する際の電力会社の回避可能原価として設定したもの。

(*3): ソーラーシステムの競合エネルギーコストは、灯油、都市ガス、LPG などの給湯効率を考慮した熱利用単価。それぞれ、灯油料金(9.0 円/Mcal)、都市ガス料金(18.5 円/Mcal)、LPG 料金(27.3 円/Mcal)。

注 本試算は、主に1999 年度に導入された事業における設備費の平均値などを用いて一定の前提をおいて試算したもの。

電力単価に比較して1割程度の差であるが、発電とともに同程度発生する熱(温水)を完全に利用した場合の試算である。

技術的に新エネルギーは実用化領域であるが、コストを下げる技術開発が鋭意行われている。また、2010年の目標値に向かって、種々の施策が検討されている。その施策の一つに電気事業者に一定量以上の新エネルギーの供給義務を課す法案が検討されている。

2.3 導入目標

表1に、新エネルギー部会で取りまとめられた2010年の導入目標値を示す。現状対策を継続した場合と、それ以上の施策を講じた目標ケースとがあるが、目標ケースに向けた導入を目指して施策が検討されている。新エネルギーは、供給サイドと需要サイドの二つに分類されている。供給サイドには、太陽光発電、風力発電、廃棄物発電などが含まれ、その目標値が原油換算1,910万kLである。需要サイドには、クリーンエネルギー自動車、天然ガスコージェネレーション、クリーンエネルギー自動車、天然ガスコージェネレーション、燃料電池などが含まれている。

新エネルギーのくくりでなく再生可能エネルギーとしてのくくりでは、新エネルギー、水力(一般水力)、地熱を含めて、2010年度見通し・目標値を表1bに示すように40百万kL、一次エネルギー総供給量の7%程度とおっている。この目標値は、現行対策維持ケース30百万kLより10百万kL増加しており、この増加分は、新エネルギーが担っている。

表1の目標値の基となる値は1998年の「エネルギー調査会需給部会」の中間報告であるが、それとの大きな相違(2010年目標ケース値)を以下に記す。

- (1) 風力発電が30万kW→300万kWと大幅にアップ
 - (2) 発電分野にバイオマス発電の追加
 - (3) 未利用エネルギーをくくりその中に雪氷冷熱の表記を追加
 - (4) コージェネレーションの目標容量が、1,002万kW→464万kWと半減
- 新エネルギー全体の導入目標値は、一次エネルギーの約3%と同一レベルである。太陽光発電、廃棄物発電、風力発電、太陽熱利用に施策の重点が置かれている。

2.4 課題

新エネルギーの導入に際しての課題として、経済性、出力安定性、設備利用率が挙げられる。これらの課題解決が、導入促進を加速させることとなる。

(1) 経済性

現在各新エネルギーに対し、種々の方法により、設備コストを下げるべく技術開発が盛んに行われている。例えば、風力発電は、大型化によるコスト低減を狙っており、単機容量2,500kWの風車も開発されている。太陽光発電システムは、6割程度が太陽電池モジュール価格である。太陽電池モジュールのコスト低減を狙って、モジュール効率の向上、モジュールの大面積化、大規模生産を行っている。しかし、現状でも家庭の電気代の3倍程度の発電コストである。

燃料電池は、廃熱利用を完全に行えば、発電コストが買電価格に近い新エネルギーであるが、電池本体(セル)寿命が5年程度(4万時間)であり、この交換費用の低減が課題となっている。このために、現在セル寿命を延ばす実証研究が進んでおり、6万時間程度が、近い将来達成できるものと考えられている。

(2) 出力安定性

風力発電、太陽光発電は、自然条件に左右され、発電電力が不安定である。北欧では、平均風速も大きく、方角の安定した風により、安定した電力が得られる。ところが日本では、安定した風を得られる所が少なく、得られても電力系統の弱い送電線の地域が多く、そのため接続すると電力品質が悪化、一般需要家に悪影響を及ぼしてしまう。弱い系統へ風力発電を接続するには、風力発電設備側で、発電変動量を補完できる装置（フライホイール方式、蓄電池方式など）を組み込むことで、電力品質を確保していく必要がある。

(3) 設備利用率

一般に設備利用率は、(実際の年間発電量) / (標準容量 × 8,760 h) で表される。発電装置として、定格（標準）容量で、年間どの程度発電したかを表す数字である。設置場所などによっても異なるが、平均的に廃棄物発電で 65 %，風力発電で 22 %，太陽光発電で 12 % 程度である。このように新エネルギー発電装置の設備利用率は、火力発電所の従来の発電設備に比較して極端に悪く、設備利用率が低いことが、新エネルギー発電コストを高める大きな要因となっている。特に太陽光発電は、12 % と低い値である。日当たりの良い晴天日数の多い場所に設置できれば当然設備利用率は上がるが、日本には、中東砂漠地域のように日射量が極端に良い場所はないので、この値を大きく向上させることはできない。また風力発電においては、風況の良い場所に設置することが設備利用率を向上させるうえで有効であるが、ヨーロッパの風況良好地域でも 35 % 程度である。

③ 富士電機の実績

富士電機は、各種新エネルギーを個別の発電ととらえるのではなく、ディーゼル、ガスエンジンなどの従来発電、省エネルギーをも含めた、エネルギーソリューションとしてとらえ、お客様に最適なエネルギー供給システムを提案している。トータル的なエネルギー提案を行えるように、エネルギーソリューション室を設置し、エネルギーソリューションビジネスの拡大を図っている。

省エネルギー分野では、早くから高効率な機器を開発するとともに、インバータ、節電装置などの省エネルギー機器、氷蓄熱、コージェネレーションなどの省エネルギーシステムを提供している。また、ESCO（Energy Service Company）事業にも参入、設備診断を行うとともに省エネルギー提案を行っている。省エネルギーの計画立案には、各設備で使用されている電力の詳細データが必要となる。追加計測が必要な場合、据付け配線工事が非常に簡便な無線式計測システム「ECOPASSION」「ECOARROW」などの特色あるツールを提供している。

新エネルギーに関しては、早くから太陽電池、燃料電池の技術開発に取り組むとともに、地熱、小水力、波力、風力発電といった幅広い再生可能エネルギーを活用したシス

テムの提供を行ってきた。以下に太陽光発電、燃料電池について詳細を述べる。

3.1 太陽光発電

太陽光発電システムとしては、富士電機のコアテクノロジーであるインバータ技術を生かし、パワーコンディショナ（太陽光発電用インバータ）を標準化し、システム販売を行っている。

現在世界で使用されている電力用太陽電池は、大部分が結晶系太陽電池である。富士電機が開発しているのは、アモルファス（非結晶系）太陽電池である。アモルファスは結晶系に比べると効率が劣るが、結晶シリコン材料の不足という不安がなく、大量生産が可能であり、コスト低減が期待できる。さらに富士電機が開発しているアモルファス太陽電池は、従来のガラス基板上に成膜するものとは異なり、プラスチックフィルム上に成膜し、さらに、ロールに巻かれたフィルムを太陽電池成膜後にロールに巻き取る方式（Roll to Roll）を採用しており、よりコスト低減が可能な方式と考えている。現在、信頼性確認、コスト低減に注力中である。富士電機のアモルファス太陽電池の特色を生かせる建材一体型として、事業化を目指して開発を推進している。

3.2 燃料電池

現在、種々タイプの燃料電池が開発されているが、富士電機では、1973年にりん酸形燃料電池の開発に着手、電力会社、ガス会社との共同研究、フィールドテストを行い信頼性、実績を確保し、1998年から商用機を出荷している。現在、りん酸形燃料電池の拡販に注力するとともに、固体高分子形燃料電池の開発も行っている。りん酸形燃料電池は、燃料に都市ガス（13A、天然ガス）を使用して発電、給湯予熱などを行うコージェネレーションとしての利用が主であったが、最近では、生ごみ、下水汚泥の消化によるバイオガス（主成分メタンガス）を燃料とした燃料電池により発電、発酵プロセスの加温を行う設備も納入した。今までは、焼却などで利用されていなかったエネルギーを発電などに利用し、環境保全に役立つシステムである。

④ 今後の展望

新エネルギーの導入拡大に関しては、新エネルギー部会での2010年導入目標量が指標となる。導入設備容量は、太陽光発電、廃棄物発電、風力発電の順であるが、原油換算にすると、廃棄物発電 552 万 kL，風力発電 134 万 kL，太陽光発電 118 万 kL と順位が逆転してしまう。これは先に述べたように設備利用率の違いによるものであり、廃棄物発電がより効率の良い、経済的な発電ということになる。発電コストを新エネルギー導入拡大の最大の要素と考えるのであれば、廃棄物発電の導入に注力すべきと考える。

北欧のように安定した風が吹く場所が少ない日本においては、風力発電は適さないという意見もあるが、比較的安

図2 都市空間における太陽光発電



定な風が得られる海上での発電，洋上風力発電が北欧でも始まっており，日本において導入目標をクリアするには，洋上風力の導入がキーになると考えられる。風力発電では，設備容量が2,000 kW未満の小規模発電とウインドファームのような数万 kW以上の大規模発電の導入が進むものと考えられる。

太陽光発電は，地球上にそそぐ太陽光のエネルギー密度が小さく，設備利用率が小さいのが最大の弱点である。しかし，太陽が当たる所であれば，設置可能なスペースに，規模の大小を問わず設置することができ，個人レベルでも，自分の資金力に合ったクリーン電力発電に寄与できる。これが，他の新エネルギーにない太陽光発電の特長である。図2に太陽光発電システムを設置できる都市空間を描いてみた。従来からの屋根設置，架台方式，建材一体型（屋根，壁面，窓）高速道路の防音壁への設置など，取付け場所は数限りなくある。2010年以前に，ほぼ確実に家庭用の電気代と同程度の価格になるという推測もある。環境問題が切迫する中，飛躍的な導入拡大がなされるものと思う。富士電機の開発しているアモルファス型は，結晶型に比較して，単位容量あたりの年間発電量が約1割程度高い。これは，夏季に太陽光発電モジュールも高温となるが，結晶系に比較してアモルファス太陽電池は，温度による効率低下が少なく，さらに効率も向上するためである。これらの特長を生かし，富士電機は，太陽光発電に大きく貢献していきたい。

燃料電池は，より低価格を目指すと，固体高分子形燃料電池が主体となり，用途として自動車用，家庭用定置型が中心となると考える。自動車への適用が可能になれば，量産化が必須となり，大幅なコスト低減が期待できる。普及

のためには燃料供給のインフラストラクチャー整備などと併せて整備することが必要である。一方，排熱利用を行うコージェネレーションには，運転温度の高いりん酸形が適しているが，将来的には固体高分子形とすみ分けがなされるものとする。

⑤ あとがき

経済産業省では，新エネルギー部会とは別に，省エネルギー部会を同時期に開催し，「今後の省エネルギー対策のあり方」について検討を行ってきた。その報告書によると，2010年の省エネルギー目標値は，原油換算5,700万kLとなっており，新エネルギーの約3倍の値である。この数字から見ても，CO₂を削減して地球環境を守るには，既存使用エネルギーの削減を省エネルギーとして行い，さらに新エネルギーをバランスよく組み入れることが重要と思う。

富士電機も，新エネルギー，省エネルギーを含めたエネルギーソリューションで，社会に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 新エネルギー財団．What's 新エネ？ <http://www.nef.or.jp/>．
- (2) 経済産業省総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会．新エネルギー部会報告書．2001-6．
- (3) 経済産業省総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会．省エネルギー部会報告書．2001-6．
- (4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構．PV 建築デザインガイド．2000-9．

太陽電池開発の動向と展望

吉田 隆(よしだ たかし)

藤掛 伸二(ふじかけ しんじ)

① まえがき

太陽電池開発の歴史は1954年、米国ベル研究所で、単結晶シリコンを用いた太陽電池が発明されたことに始まる。その後、研究が進み、1950年代後半から1960年代初頭にかけて、人工衛星搭載用電源などの高付加価値用途への適用が始まった。

わが国でも、1974年の石油危機を契機として、電力用途を目指した大規模研究〔通商産業省(現経済産業省)「サンシャイン計画」など〕がスタートした。

1980年代後半に入ると地球温暖化をはじめとする環境問題が注目され始めた。温室効果の約6割は二酸化炭素に起因し、うち8割は化石燃料の消費によるものと考えられている。太陽電池は、メンテナンスの必要がなく、二酸化炭素を発生しないため、新エネルギー源としての期待に加え、地球環境問題解決のための期待も集め始めることとなる。

1997年12月には京都で、「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」(COP3)が開かれ、地球温暖化防止に関する京都議定書が採択された。この議定書には、2010年前後の、先進国の温室効果ガス排出量削減について、各国ごとに拘束力のある数値目標を設定することが記載されている。その後、COP6において、京都議定書の2002年発効に対する基本的合意が得られたこともあり、今後、環境への負担が少ない新エネルギーの導入にますます拍車がかかるものと予測される。

現在使用されている太陽電池の大部分は結晶シリコン系太陽電池である。標準状態(室温近傍)での変換効率は14～16%と高いが、基板の板厚が数百 μm と厚いため原料となる高純度なシリコンの供給に課題があると考えられている。

富士電機が開発に取り組んでいるのは、プラスチックフィルム基板上に厚さ1 μm 以下の薄膜半導体を形成するアモルファスシリコン太陽電池である。使用材料が少ないため原料供給に課題が少ない、量産性が高く低コスト化が期待できるなどの利点があり、これからの大規模普及太陽

電池の主流になると考えられている。

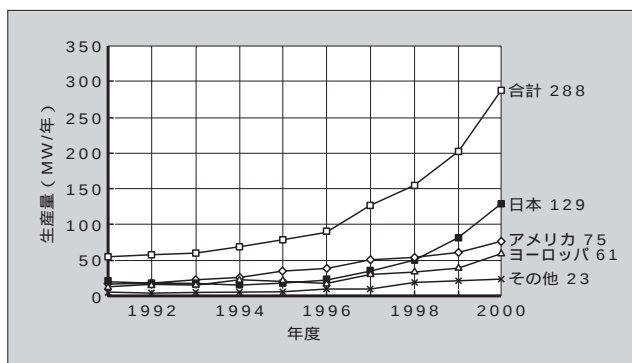
② 市場動向

2.1 生産量の推移

1997年以降、太陽電池産業の急拡大が続き2000年の太陽電池の生産量は約300MWとなった(図1参照)。一般への普及が始まり、生産量が100MWに達したのが1997年、この大台を超えるまでに20年の歳月を費やしたことを考えると、昨今の市場の立上りがいかに急速であるかが理解できる。日本の生産量は2000年で128MW、1999年に引き続き世界第一位である。この急拡大の背景には、製造技術の進歩によりコスト低減が進んだことに加えて、太陽電池普及のための施策を日米欧各国の政府が実施したことがある。日本における太陽電池普及策はこの中で先駆的な役割を果たし、これにアメリカの100万軒ソーラーフイニシアチブ(Million Solar Roofs Initiative: MSRI)、ドイツの住宅用太陽光発電システム10万軒導入計画、イタリアの建物用太陽光発電システム1万軒導入計画などが続いている。世界中で始動したこれらの動きをきっかけとして、2001年度には、太陽電池モジュールの需要が大きく伸び、世界の太陽電池メーカーが大規模な製造設備の増設を開始することとなった。

普及策による経済性の確保がインセンティブとなり、太

図1 世界における太陽電池生産量の推移(国別と合計)



吉田 隆

電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室長。電気学会会員、応用物理学会会員。



藤掛 伸二

電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室。応用物理学会会員。

表 1 日本における太陽電池普及拡大予算の推移

(単位: 億円)

年 度	1998	1999	2000	2001	2002
太陽電池導入促進のための事業など					
住宅用太陽光発電システム導入基盤整備事業	147.0	160.4	145.0	235.1	232.0
産業等用太陽光発電フィールドテスト事業	24.0	24.1	40.0	19.9	45.0
公共施設等用太陽光発電フィールドテスト事業	1.7	1.1	1.0	0.7	終了
太陽光発電システム国際共同実証開発	2.8	2.6	2.8	2.8	8.0
系統連系円滑化のための技術的検討強化	2.9	3.4	3.4	—	—
集中連系型太陽光発電システム実証研究	—	—	—	—	1.0
その他技術開発促進	82.4	93.6	96.1	63.6	73.0
合 計	260.8	285.2	288.4	322.1	359.0

陽電池が広く世界のユーザーに認知され始めたことは明らかである。

2.2 日本における導入促進策

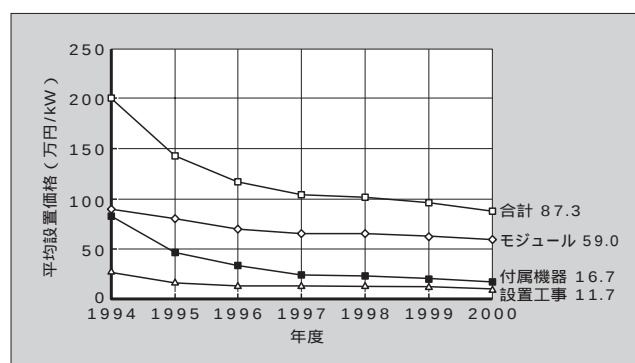
日本国内では、過去 5 年間の積極的な普及拡大策が効果を奏して、市場が拡大しつつある。ここ 5 年間の開発導入促進予算の推移を表 1 に示す。財政構造改革から全体が緊縮型予算となる中で 2002 年度の太陽光発電システムの開発導入促進予算は 359 億円と 10 % の伸びを示し、日本の積極的な取り組み姿勢が理解できる。予算の内訳を見ると個人住宅への普及を補助する住宅用太陽光発電システム導入基盤事業整備事業が 232 億円、企業などによる導入を助成する「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業」が 45 億円と、これらの普及促進予算が全体の 77 % を占めていることが分かる。一方、住宅用太陽光発電システム 1 件あたりの補助額は当初全システム価格の 1/2 であったが、1/3 の補助を経て、2001 年度には 1 kW システムあたり 12 万円へと減額され、より多くの希望者を募る形態へと変化した。2002 年からは、一地域への大規模導入を対象とした集中連系型太陽光発電システム実証研究が始まり新たな局面を迎えている。今後も、制度は変わるが、国、地方自治体を中心に積極的な普及拡大策が施行されていくものと考えられる。

2.3 技術動向

平均的な 3 kW 太陽電池システムにおける kW あたりの価格単価の推移を図 2 に示す。2000 年時点での平均的な設置価格は 87 万円/kW である。このうち、モジュール価格は 59 万円/kW で約 77 %、その他は、インバータなどの機器、設置工事などが 23 % を占める。補助金を差し引き、住宅用の電力料金が比較的高価であることを考慮しても、イニシャルコストの償却には 20 年以上を必要とするのである。太陽電池を大規模に普及させるための第一の必要条件は、まず、太陽電池システム価格を現状の 1/2 以下へ引き下げることである。

太陽電池が普及している分野を見ると、電力料金が比較的高い住宅用途が先行している。発電コストの低減が進むにつれて、大規模建築や遊休地利用へと用途が拡大していくと考えている。現在の日本市場についても、住宅用途が

図 2 太陽電池システムの kW あたりの設置価格の推移



大部分を占め、当面は、この傾向が継続するものと考えられる。

これらの住宅用太陽電池は、既存住宅屋根へ設置する既設型と屋根機能を兼ね備えた建材一体型太陽電池とに分類できる。新設物件や屋根ふき替え需要に関しては、設置コストが安く、建物との調和がとれた建材一体型太陽電池が徐々に増え、今後の普及の中心を占めるものと考えられる。

③ 富士電機が取り組むフィルム基板アモルファスシリコン太陽電池

3.1 開発の経緯

富士電機のアモルファスシリコン太陽電池への取り組みは 1978 年に始まる。これは、1976 年にアモルファスシリコンが p-n 制御可能であることが発見されてからわずか 2 年後のことである。1980 年には世界に先駆けて電卓用アモルファスシリコン太陽電池の開発に成功し、これを商品化した。同時に、「サンシャイン計画」へ参画し、これ以降、電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究開発を進めてきた。この間、ガラス基板を用いた二層タンデム構造太陽電池 (30 cm × 40 cm) を開発し、安定化効率が 8 % を超えることを示し、アモルファスシリコン太陽電池が電力用途として使用可能なことを世界に先駆けて実証した。この開発を通じて浮上した課題は、ガラスの熱容量が大きく加熱時間が長いことや、ガラス基板の搬送治具が大型で真空排気に必要な時間が長いことなどである。これらの課題解決なしに、数分間隔で大量の太陽電池を生産すること

は難しい。

これらの課題を解決するために、富士電機は1994年から、厚さ50 μm のプラスチックフィルムを基板としたアモルファスシリコン太陽電池（図3）の開発に着手した。

3.2 生産技術の進歩と発電性能

ガラス基板と異なり、フィルム基板の熱容量が小さいため加熱に要する時間は数秒単位、長さ1,000mのロールを一括して真空装置内へセットし、真空中でロールからロールへ自動的に搬送するロールツーロールシステムが構築可能である。また、生産能力を左右する最も重要な課題の一つであった、アモルファスシリコン膜の製膜速度も大幅に改善できることが分かってきた。ここ数年の製膜速度の進歩を図4に示すが、良好なデバイスを形成するためのアモルファスシリコン膜の製膜速度は現在20nm/minを超え、1997年の数nm/minに比べ、約10倍となった。これらの製膜技術の進歩に加えて、富士電機独自の直列接続構造SCAF（Series-Connection through Apertures formed on Film）の面積効率改善とパターン加工技術の高速化も進み、数分単位で各工程の処理が終了するタクト5分量産プロセスの構築にめどが立ちつつある。

これらの製造技術の改良に加え、デバイス構造の改善も進んだ。富士電機で開発したボトムセルにシリコンとゲル

図3 プラスチックフィルムアモルファスシリコン太陽電池

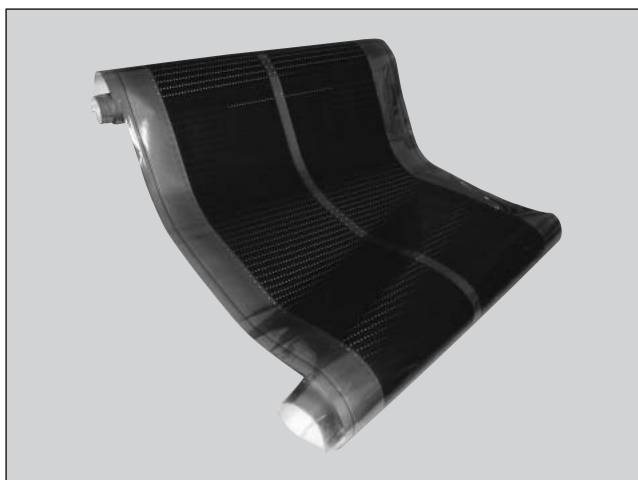
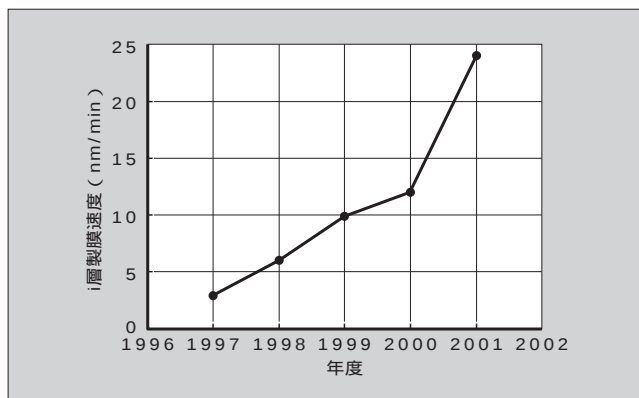


図4 アモルファスシリコン成膜速度の進歩



マニウムの合金を採用した二層タンデムセルのデバイス構造を図5に示す。シリコンゲルマニウムは、アモルファスシリコンと比べ、より長波長の光を利用することができるため、単位面積あたりの発電電流はアモルファスシリコン単独の場合と比べて約2割増え、発電効率もこれにほぼ比例して改善された。

太陽光スペクトラムと、これらの太陽電池が有効に利用できる光の波長を図6に示す。アモルファスシリコン太陽電池は、ほぼ可視域の光を利用し、結晶シリコン太陽電池は、より長波長の光を利用していることが分かる。これは、半導体のエネルギーギャップが異なるために利用する光の波長域が異なるためである。エネルギーギャップの小さい結晶シリコン太陽電池は性能の温度依存性が強く、モジュールが動作する50以上の高温で、室温に比べて発電特性が低下する欠点がある。フィールドテストの結果、室温で測定したモジュールの発電容量で規格化すると単位容量あたりの年間発電量はアモルファスシリコン太陽電池の方が結晶シリコン太陽電池より1割以上大きいことが分かってきた。

図5 二層タンデムセルのデバイス構造

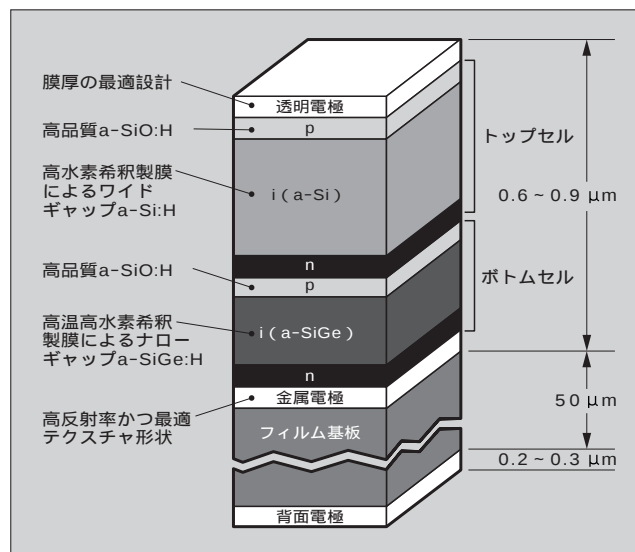
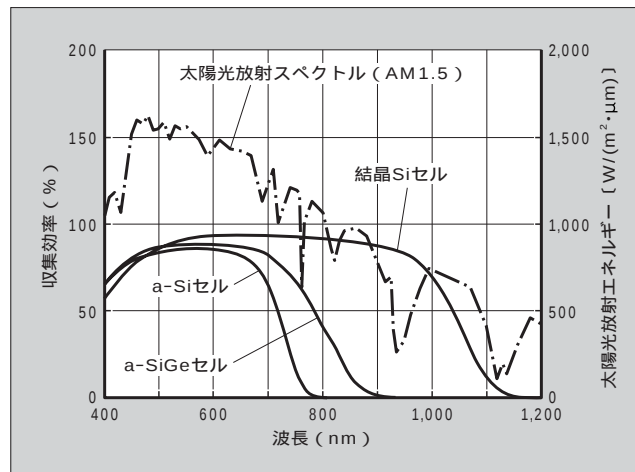


図6 太陽光スペクトラムと各種太陽電池の感度特性



3.3 屋外における信頼性の確認と応用

神奈川県横須賀市にある(株)富士電機総合研究所の健康増進センター屋根上に、建材メーカーと共同開発した瓦張り付け型の建材一体型太陽電池と、表面をガラスで覆った従来型太陽電池を各3kW設置して、屋外での発電特性を調べるフィールド実証を進めている。設置からすでに3年が経過したが、どちらの太陽電池も安定に発電を続け、モジュールの封止構造を変えても発電性能に差が見られないことが分かってきた。

これらのフィールドテスト結果に加えてさまざまな信頼性試験を実施し、変換効率8%以上の樹脂封止型太陽電池を屋外で使用するめどがついたと考えている。今後、独自のSCAF構造で高電圧が得られ配線が容易なこと、電池が軽量で屋根や壁などの建材に張り付けて簡単に建材一体型太陽電池が構成できることを生かして、各分野への適用を進めていく。

4 あとがき

幾つかの視点から、太陽電池開発の歴史をたどり、その

現状を総括してきたが、発電をその最終目的とする限り、最も重要な開発因子はコストである。富士電機の開発するフィルム基板太陽電池は、生産工程が自動化に適している。タイムリーな用途開発を進めることにより、従来の重厚なイメージを一新する新しい形態の太陽電池を世の中に送り出し、次世代を担う量産型太陽電池の旗手として、世界に貢献できると考えている。

太陽電池の実用化は、それ自体が地球環境への貢献を意味する。自然との調和を基本理念の一つに掲げる富士電機も、使命を感じ、この開発に取り組んでいる。

ここで紹介した成果の一部は、通商産業省工業技術院(現経済産業省)「ニューサンシャイン計画」のもと、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託研究により得られた成果を適用したものであり、関係各位に感謝する。

参考文献

- (1) 太陽光発電情報・資源情報システム・2001-12.
- (2) 12年度新エネルギー関連データ集作成調査・NEDO・2001, p.1-126.
- (3) 市川幸美, 原嶋孝一・アモルファスシリコン太陽電池の開発・富士時報・vol.73, no.4, 2000, p.249-252.

解説 バイオマスエネルギー

バイオマスとは、本来生態学の用語で生物の集合体を意味している。エネルギー資源の分野では、ある一定量集積した動植物に由来する有機性資源をバイオマスといい、バイオマスの燃焼、発酵などにより得られるエネルギーをバイオマスエネルギーという。

バイオマスのエネルギーへの変換技術としては、大別すると、燃焼、生物化学的変換、熱化学的変換の三つに分けられる。

生物化学的変換はエタノール発酵によるエタノールの生成や嫌気性発酵によるメタンの生成などがある。熱化学的変換としては、熱分解、直接または間接液化

によるガス化や液体燃料の生成がある。このうち、すでに実用化になっているのは、一般廃棄物や廃木材などの直接燃焼による発電や、さとうきび、とうもろこしなどからエタノールを回収するエタノール発酵、下水汚泥や家畜ふん尿の嫌気性発酵によるバイオガス(メタン)の発生、炭化などである。

現在はこれに加えて木質バイオマスのガス化や液化による発電、生ごみ(一般廃棄物)のメタン発酵によるバイオガス発電などの実用化を目指して開発を進めている。

(関連論文: 295 ~ 298 ページ)

アモルファスシリコン太陽電池の屋外発電特性

井原 卓郎 (いはら たくろう) 西原 啓徳 (にしはら ひろのり)

① まえがき

プラスチックフィルムを基板とする SCAF (Series-Con-
nection through Apertures formed on Film) セルには、
次のような特長がある。

- (1) 集積型直列接続構造であるため、システムに合わせた出力電圧の設計が可能であり、モジュール間の配線が簡単になる。
- (2) 柔軟性に富むプラスチックフィルムを基板として用いるため、軽曲面などへの適用も可能である。
- (3) 薄膜太陽電池であるため、モジュールの軽量化が可能である。

しかし実用化のためには、これらの特長を生かしたモジュールの信頼性を確保するとともに、屋外運転環境下における発電特性を把握することが重要である。そこで、モジュールの信頼性評価のための各種加速試験を実施するとともに、発電量に及ぼす設置方位や設置角度の影響、結晶系太陽電池との挙動比較、アモルファス太陽電池のデバイス構造比較などを評価するための屋外発電試験を実施している。さらに、実際にモジュールを屋根材に適用したフィールドテストも行い、信頼性の確認、発電特性の把握および課題の抽出を行っている。本稿では、(株)富士電機総合研究所構内で実施している屋外発電試験およびフィールドテストの状況について報告する。

② 各種太陽電池モジュールの屋外での発電特性比較

太陽電池の性能は、擬似太陽光源 (ソーラーシミュレータ) を利用して評価し、標準条件での特性として表すのが一般的である。標準条件は、日射強度: 1 kW/m²、モジュール温度: 25℃、太陽光スペクトル: エアマス (AM) 1.5 と規定されている。ところが、実際のフィールドではこのような標準条件下で太陽電池が動作することはほとんどなく、広範囲に変動する動作環境に応じて太陽電池特性も変動する。特にアモルファスシリコン (a-Si) 太陽電池

には初期劣化と呼ばれる光照射開始初期での光電変換効率 (以下、変換効率と記す) の低下と熱アニールによる変換効率の回復があり、その特性を反映して結晶シリコン (Si) 太陽電池とは異なる季節変動挙動を示す。また、実際に太陽電池を設置する場合、年間の発電量を最大にするためには方位角を 0° (南向き)、傾斜角は設置地点の緯度よりやや水平にするのが最適であるが、設置する構造体 (住宅屋根など) の制約により最適条件とは異なる設置条件とせざるを得ない場合も多い。そこで、横須賀市にある (株) 富士電機総合研究所構内に各種太陽電池モジュールを設置し、特に以下の観点から発電状態を連続的に計測した。

- (1) アモルファス太陽電池と結晶 Si 太陽電池の比較
- (2) アモルファス太陽電池のデバイス構造の違いによる発電特性比較
- (3) モジュールの設置条件 (方位、傾斜) の影響

以下に発電特性計測システムの概要とこれまでに得られた計測結果について報告する。

2.1 発電量計測システムの概要

計測システムの概要を表 1 にまとめ、以下にその内容を補足説明する。

表 1 発電量計測システムの概要

項 目	概 要
計 測 場 所	横須賀市 緯度: 北緯 35°13', 経度: 東経 139°37'
計 測 項 目	日射量, 発電電力量, 気温, モジュール温度, 風速
計測モジュール	4種類 (各2モジュール) a-Si/a-Si, a-Si/a-SiGe, 結晶 Si, a-Si シングル
設 置 方 位	東, 西, 南, 北
設 置 傾 斜 角	標準: 6/10 こう配 (31°), 一部: 垂直
発 電 量 計 測	P_{max} 制御回路で動作点を制御 電子負荷で発電電力を消費しながら動作電圧および動作電流を計測
計 測 時 間 間 隔	計測間隔10秒 → 1分間隔で平均値をとる。
デ ー タ 処 理	1回/1日データを計測用パソコンからオラクルデータベースへ自動転送 最小10分単位で積算値 (平均値) を求める。



井原 卓郎
電力用アモルファスシリコン太陽電池の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室主任研究員。電気学会会員。



西原 啓徳
りん酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室主任研究員。

2. 1. 1 モジュールの種類と配置

計測に用いたモジュールは、富士電機の開発品であるプラスチックフィルムを基板とする多接合型アモルファス太陽電池 2 種類 (a-Si/a-Si, a-Si/a-SiGe) および比較用として結晶 Si 太陽電池と単接合 a-Si 太陽電池 (a-Si シングル) の計 4 種類とした。この中で現在開発の中心としているのは、図 1 のような断面構造と分光感度特性を持つゲルマニウム (Ge) タンデム (a-Si/a-SiGe) 構造である。各モジュールの定格容量 (公称最大出力) の値を表 2 に示す。a-Si 系モジュールの定格容量は光照射に対する安定化のための前処理を行った後の値である。

発電特性の評価については、南面の標準こう配 (6/10 こう配, 31°) で各種モジュールの比較を行い、Ge タンデムモジュールを用いて設置条件の影響を評価している。設置場所は研究施設の屋上であり、架台の設置にあたっては周囲の建物や架台から生じる影を計算し、年間を通してモジュール上に影がでないように配慮している。

2. 1. 2 計測システム

通常の太陽光発電システムでは、インバータが太陽電池の直流発電電力を交流電力に変換するとともに、内蔵する最適動作点 (最大出力: P_{max}) 追尾機能により太陽電池の動作状態を制御している。モジュール単位で発電量計測を行ううえでは、絶えず変化する動作環境に応じて太陽電池を P_{max} 状態に保ちながら発電電力を連続的に消費することがポイントとなる。そこで、本発電特性試験では P_{max} トラッキング回路を通して動作点制御を行いながら電子負荷に発生電力を消費させ、動作電圧と動作電流をおのの計測する方式としている。測定値は直流値であるため単純

図 1 タンデム型フィルム基板太陽電池の構造と分光感度

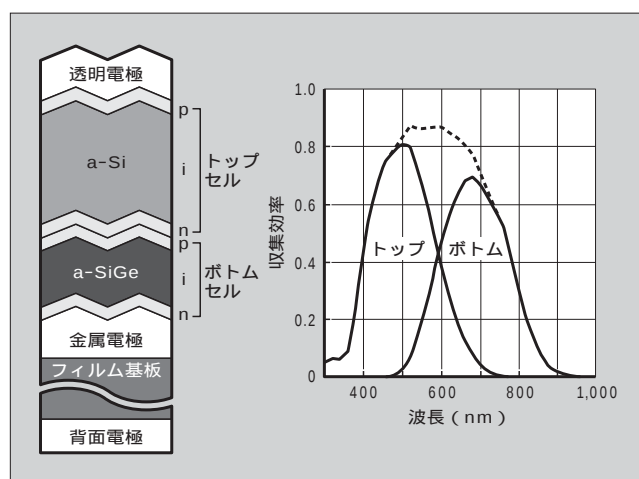


表 2 計測モジュールの定格容量 (標準条件での出力)

種類 (略称)	デバイス	定格容量 (W)
Ge タンデム	a-Si/a-SiGe	23
Si タンデム	a-Si/a-Si	20
結 晶 Si	結晶 Si	52
a-Si シングル	a-Si	28 (銘板値)

に両者の積から発電電力を算出する。計測間隔は 10 秒とし、計測データは 1 分間の平均値として計測用パソコンに一時保存した後、1 回/1 日 (午前 1 時) データベースに自動転送するシステムとしている。これまでに計測システムのトラブルによるデータ欠損は発生していない。

2. 2 各種太陽電池モジュールの発電量比較

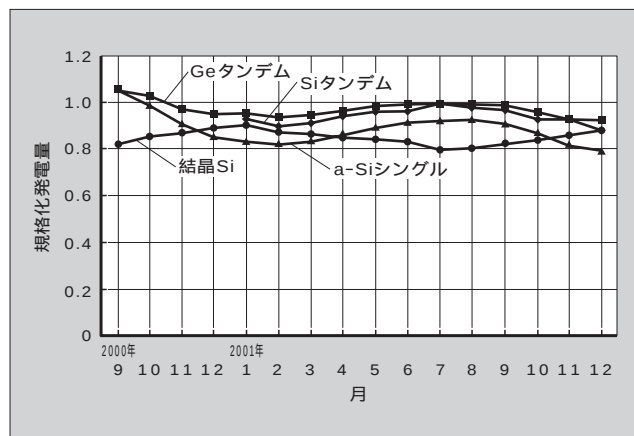
2000 年 9 月 14 日に Ge タンデム、結晶 Si、a-Si シングルの 3 種類について計測を開始し、Si タンデムを後に追加した (2000 年 12 月)。

図 2 に各種モジュールの規格化発電量の月変化の様子を示す。規格化発電量は、発電量 / (定格出力 × 日射強度 1 kW/m² に換算した日射時間) で求めた値であり、太陽電池が常に標準条件でのエネルギー変換効率で動作したと仮定した場合の発電量と実際の屋外環境での発電量の比率を表す。図から発電量の月変化の様子をみると、結晶 Si では冬に高く夏に向かって低下し、アモルファス系ではその逆の傾向を示している。この対照的な季節変動の傾向は一般的に認められている現象であり、次の二つの理由による。

- (1) 半導体を光電変換材料とする太陽電池は負の出力温度係数を持ち、アモルファス系でも同一の光照射条件下で短時間内に温度を変化させる場合には低温の方が変換効率は高い。しかし、アモルファス系の場合には、光照射によって生じた欠陥が熱アニールにより回復して半導体特性が改善されるため実際には結晶とは逆に夏季に変換効率が向上する。出力の負の温度係数の値もアモルファス系で -0.002 ~ -0.0025, 結晶 Si で -0.004 ~ -0.005 程度であり結晶の方が約 2 倍大きい。
- (2) 相対的に夏季の光には短波長光の割合が多く、冬季の光には長波長光の割合が多い。結晶に比べて光学ギャップが大きく短波長光に大きな感度を持つアモルファス系にとっては相対的に夏季に有利、冬季に不利となる。

図 3 には Ge タンデム、結晶 Si、a-Si シングルの 3 種類について定格容量 (W) あたりの発電量 (Wh) の変化の様子を示す。ユーザーが太陽光発電システムを導入する場合、通常、定格 (公称) 容量に基づいて導入することとなるが、定格容量は標準条件 (日射強度: 1 kW/m², モ

図 2 発電特性の月変化



ジュール温度：25℃，太陽光スペクトル：エアマス 1.5）での性能値であるため同一容量でも太陽電池の種類によって実際の発電量 Wh は大きく異なる。表 3 に 3 種類の太陽電池について 2001 年 1 月から 2001 年 12 月までの 1 年間の発電特性データを示す。これらの計測結果をまとめると以下ようになる。

2.2.1 結晶 Si とアモルファス（Ge タンデム）の比較

定格容量 1 W あたりの 2001 年の年間発電実績は、

Ge タンデム：1,540 Wh，結晶 Si：1,350 Wh

（数値は直流での実績値であり、交流として利用可能な発電量はインバータ効率 0.9 程度を掛けた値となる）であり、Ge タンデムは結晶 Si に比べて約 14 % 大きい。

これは、ユーザーにとって Ge タンデムを設置した方が結晶 Si に比べてその分利得が大きいことを意味する。図 3 から分かるように、特に夏季に両者の差が顕著となっている。図 2 の発電量の推移を比較すると、冬季には両者の規格化発電量が接近しているが、夏季には 20 % 程度まで拡大している。温度計測値によれば夏季のモジュール温度は基準条件の温度 25℃ を大きく超える約 60℃ に達しており、負の温度係数が大きい結晶 Si の発電効率が低下することが主な原因であると考えられる。

2.2.2 アモルファス系の中でのデバイス構造による違い

図 2 に示した発電特性の推移から分かるように、現在開発の中心としている Ge タンデムは a-Si シングルに比べて光照射初期での特性の低下が小さく、また、発電特性の季節変動幅も小さい。定格容量 1 W あたりの年間発電量（表 3）もおおの 1,540 Wh および 1,384 Wh であり Ge タンデムの方が 11 % 大きい結果となっている。図 1 のよう

図 3 定格容量 1 W あたりの発電量（Wh）の月変化

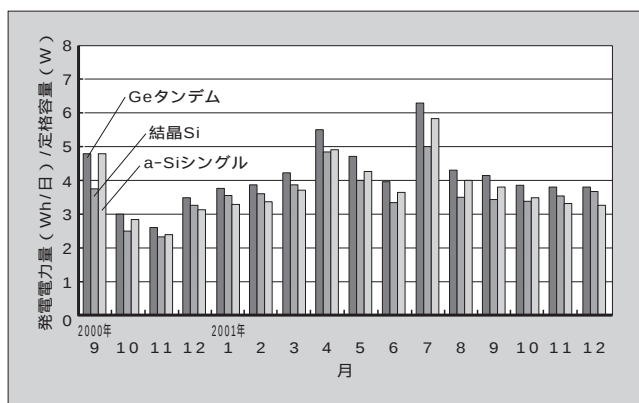


表 3 2001 年（1～12 月）の発電実績

種類（略称）	総発電量（Wh）	定格容量 1 W あたりの発電量（Wh/W）	定格容量 1 W あたりの交流発電量（Wh/W）*
Ge タンデム	35,582	1,540	1,386
Si タンデム	30,281	1,495	1,346
結 晶 Si	70,523	1,350	1,215
a-Si シングル	38,739	1,384	1,246

*：交流発電量は太陽電池の発電量実測値にインバータ効率 0.9 を掛けて求めた値

なタンデム型構造を採る目的は、シングル（単接合）構造に比べておのおのの光電変換層の厚さを薄くし、内部電界を強くすることにより光照射時の初期劣化を抑制しながら吸収光量を増やすことである。発電実績からタンデム型構造とした効果が現れていると考えられる。

一方、太陽光のスペクトル変動に対しては一般にタンデム型の方が不利となる。これは、入射光を各構成セル（トップセルとボトムセル）でほぼ均等に振り分けて吸収する必要があり、スペクトルの変動に伴ってそのバランスが崩れることによるものであるが、発電実績を見る限りその影響は小さい。

Si タンデムについては計測期間が短く、年間発電量の集計期間の中に初期劣化の期間も含まれるため定量的な比較は難しいが、発電量の月変化の様子（図 2）からは Ge タンデムに近い挙動を示していることが分かる。

2.3 設置条件の影響

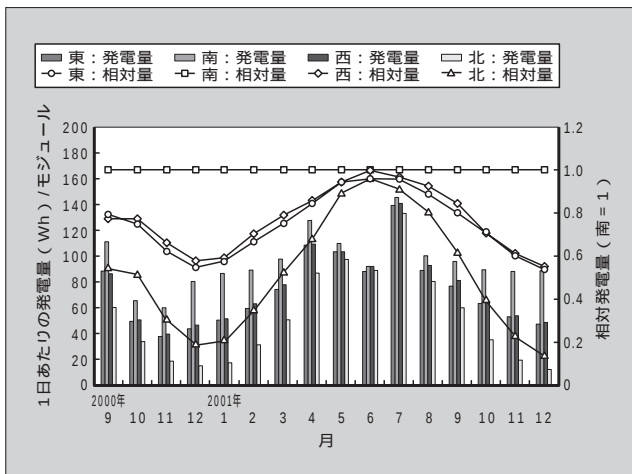
2.3.1 方位による発電量の違い

Ge タンデムモジュールを用い、傾斜角を 6/10 こう配（31°）にそろえて東西南北の各方位での発電量を計測している。図 4 に示すように、南面を 1 としたときの各面での発電量の月変化は、太陽軌道から予想されるように 12 月を極小、6 月を極大とする変化を示し、12 月には東西面でも南面の 0.54 ~ 0.58、北面では南面の 0.14 ~ 0.19 程度となった。相対値が極大となる 6 月では方位による発電量の差は小さい。2001 年の年間トータルでの発電量は、南面を 1 として、東面：0.79、西面：0.81、北面：0.59 という結果であった（表 4）。各方位でモジュールと同一傾斜面に設置した全天日射計の計測値も発電量とよく対応している。

2.3.2 垂直に設置したモジュールの発電量

壁への設置を想定して垂直面での発電量も計測し、標準設置傾斜角度（31°）での発電量と比較している。設置方位は南向きである。図 5 に示すように、設置傾斜角 31°での発電量を 1 としたときの垂直面での発電量は、太陽高度に対応して 12 月に極大値 0.96 ~ 0.99、7 月に極小値

図 4 発電量の方位依存性



0.29 となり、2001 年の年間トータルでの比率は 0.60 であった（表 5）。

2.4 まとめ

現在、富士電機で精力的に開発を進めているプラスチックフィルムを基板とする Ge タンデム構造の太陽電池は結晶 Si に比べて単位容量（W）あたりの年間発電量（Wh）が 1 割以上大きいという結果が得られた。これは、通常、定格容量（公称最大出力）に基づいて太陽光発電システムを導入するユーザーにとって、その分電気料金の節約額が増えることを意味し大きなメリットとなる。発電量に差が生じる主要因は、定格容量を規定する標準温度 25℃より実際の屋外での動作温度が高くなり、負の温度係数が大きい結晶 Si では特に夏季において光電変換効率が大きく低下するのに対して a-Si では熱アニールにより逆に夏季に効率が向上するためと考えられる。夏季にはアモルファス Ge タンデムの容量 1W あたりの発電量は結晶 Si より 20 % も大きくなっている。これは最も電力需要が高くなる夏季のピークカットに適していることを示している。

デバイス構造比較では、現在開発中の Ge タンデムが a-Si シングル構造に比べて年間を通して安定に高い性能で発電することを確認した。

表 4 年間発電量に及ぼす設置方位の影響（2001年1～12月）

設置方位	年間発電量（Wh）	相対値（南＝1）
東	27,922	0.785
南	35,582	1
西	28,634	0.805
北	20,830	0.585

図 5 傾斜角による発電量の違い

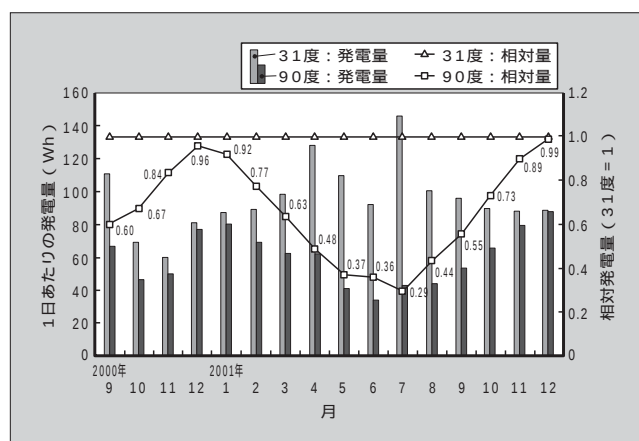


表 5 年間発電量に及ぼす設置傾斜角の影響（2001年1～12月）

設置傾斜角	年間発電量（Wh）	相対値（31°＝1）
31°（標準）	35,582	1
垂直	21,254	0.597

その他、年間発電量が北面では南面の 60 % 程度、南側垂直面でも傾斜面（31°）の 60 % 程度であるなど設置条件を変えた発電実績が得られた。

今後は温度やスペクトルの影響などをより詳細に解析するとともに、(株)富士電機能力開発センターの研修所などに導入された大型システムと対応を付けて検討していきたい。また、標準条件と屋外での発電環境が大きく異なり、定格容量（公称最大出力）は同じでも実際の発電量に大きな差が生ずることから、より実際の環境に近い条件で統一的に性能規定を行う必要があると考える。

③ 太陽光発電システムのフィールドテスト

開発を進めている SCAF セルを用いた太陽電池モジュールの屋外環境下における発電特性を把握することを目的として、(株)富士電機総合研究所構内にある健康増進センターの屋根にタイプの異なる 2 種類のモジュールを施工し、1999 年 1 月から連続発電試験を開始した。試験開始後約 3 年が経過したので、この間の発電実績について報告する。

3.1 発電システム

表 6 に健康増進センター設置太陽電池モジュール発電システムの概要を示す。本実験試験においては、a-Si タンデムセル（a-Si/a-Si）をデバイスとして用いた 2 種類のモジュールからの出力をそれぞれ個別のインバータに接続し交流電力に変換の後、計測制御用などの電源として消費している。

3.2 モジュールの仕様

本実験試験ではガラスでモジュール表面をカバーしたガラス一体型モジュールと、ガラスカバーを用いない瓦一体型ガラスレスモジュールのタイプの異なる 2 種類のモジュールの発電試験を行っている。

ガラス一体型モジュールの基本的な構造は、従来の結晶 Si 系太陽電池モジュールと同じであり、結晶 Si セルの代わりに柔軟性のあるプラスチックフィルムを基板とした SCAF セルを用いたものであるが、SCAF セルでは特別な配線作業を行うことなく一連のセル製造工程の中で自動的にユニットセルの直列接続ができるために、結晶系セルを用いる場合と比較して、モジュールの配線作業は格段に簡単になり量産時のコストダウンが可能である。

表 6 健康増進センター PV システムの概要

項目	瓦一体型ガラスレスモジュール	ガラス一体型モジュール
デバイス構造	Si タンデム	Si タンデム
設置面積（アパーチャ）	44.1 m ²	48.0 m ²
設置傾斜角	12.6°	19.3°
モジュール数	294 モジュール	80 モジュール
設置容量	3.0 kW	3.2 kW

図6 健康増進センターの外観



一方、瓦一体型ガラスレスモジュールは、屋根材への適用を目指して建材メーカーと共同開発中のものであり、富士電機で SCAF セルの製作および樹脂と保護フィルムによる封止を担当し、建材メーカーで瓦の製作および瓦への太陽電池モジュールの張り付けを担当した。従来のモジュールで採用されている受光面側のガラスカバーやフレームを削除したことで、大幅な軽量化を図っているのが特長である。

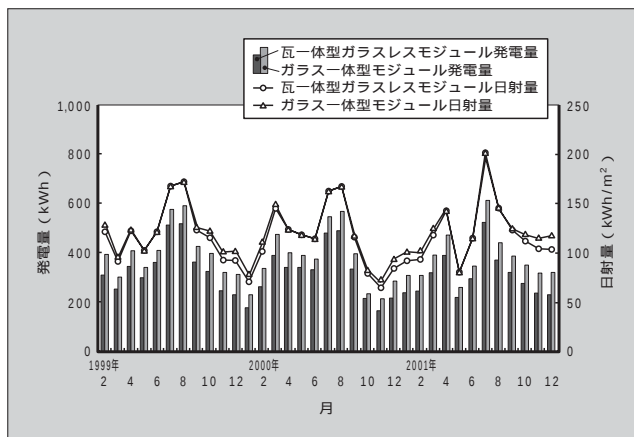
ガラスレスモジュールでは、配線が容易であるうえに柔軟性を生かした適用も可能になるという特長を有している。また、ガラスやフレームを用いないことで直接材料費のコストダウンや軽量化も実現でき、一般住宅市場をはじめ、より大規模な設備への適用など、将来的に大きな市場が形成できる可能性があると考えている。

3.3 発電特性

本実棟試験設備の写真を図6に示す。画面左側がガラス一体型モジュールで、右側が瓦一体型ガラスレスモジュールである。1999年1月半ばから発電試験を開始し、約3年が経過している。この間の月別発電特性推移を図7に示す。各月におけるモジュール間の発電量の差は主として発電面積と設置角度の違いに起因しているが、両モジュールともほぼ日射量に比例した発電量を記録し安定に推移している。3年間の設備としての容量 kW あたりの年間発電量は直流出力として約 1,360 kWh (交流出力として 1,209 kWh) を記録している。この値を2章で述べた試験サイトと同じ条件に換算すると直流出力として 1,535 kWh となり、試験サイトでの値 1,495 kWh とほぼ一致している。またこの値は、結晶系太陽電池の値 1,350 kWh と比較すると1割以上大きいことが確認できた。

以上のように3年間の発電試験により、従来タイプの表面をガラスで封止したモジュールはもとより、ガラスカバーを用いないフレキシブルなモジュールも十分に実用化が可能であると判断できるデータが蓄積されつつある。

図7 月別発電特性推移



今後この実棟試験については、さらに試験を継続しデータを蓄積、解析していく予定である。

4 あとがき

プラスチックフィルムを基板としたアモルファス太陽電池モジュールの屋外発電特性について紹介してきた。

富士電機で開発を進めている Si/Ge のタンデム構造のアモルファス太陽電池は、結晶 Si 太陽電池と比較して単位容量あたりの年間発電量が1割以上高いことが確認できた。これは、アモルファス太陽電池が結晶 Si 太陽電池と比較して高温での発電特性に優れているためであり、設置するユーザーにとってはメリットが大きいことが分かってきた。

また、モジュール表面にガラスカバーを用いないガラスレスモジュールにおいても従来タイプのガラスカバーを用いたモジュールと同等の信頼性が得られつつあり、今後その柔軟性や軽量性を生かした市場への導入も大いに進むものと期待している。

さらに、セル製膜速度の高速化やモジュール加工工数の低減などにもめどがついてきていることなどから、富士電機の特長を生かした太陽電池の事業化を進める所存である。

最後に、本稿で紹介した成果の一部は、通商産業省工業技術院(現経済産業省)「ニューサンシャイン計画」のもと、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託研究により得られた成果を適用したものであり、関係各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) Yoshida, T. et al. A New Structure A-Si Solar Cell with Plastic Film Substrate. 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, USA, p.441-444 (1994).
- (2) 酒井博. フレキシブル型アモルファス太陽光発電システム. OHM. vol.84, no.1, 1997, p.51-56.
- (3) 市川幸美ほか. アモルファスシリコン太陽電池の開発. 富士時報. vol.73, no.4, 2000, p.249-252.

建材一体型太陽電池の鉄道施設への適用

仙田 要（せんた かなめ）

牧野 喜郎（まきの よしろう）

1 まえがき

地球環境や地球温暖化に対する対策が叫ばれている昨今、電鉄会社もクリーンなエネルギーの活用に真剣に取り組んでいる。

鉄道駅舎の上屋（ホーム）屋根にはスレート材が多用されている。スレート屋根の耐久寿命は10～20年であるが、屋根更新を迎える駅舎において、単に新しい屋根材にふき替えるだけではなく、建材（屋根材）一体型太陽電池を使った発電システムの適用が始まっている。駅舎のかなりのスペースを占めるホーム屋根部を有効活用できるため、今後の普及が期待されている。

アモルファスシリコン太陽電池セルによる建材一体型太陽電池を適用した発電システムについて、京王電鉄（株）明大前駅と若葉台駅の導入実績を例として以下に紹介する。

図1に若葉台駅の太陽電池設置屋根の外観を示す。

2 建材一体型太陽電池の特長

現在電力用として多く適用されている太陽電池にはセル材料に結晶系シリコンを使用したものとアモルファスシリコンを使用したものに大別できる。

結晶系シリコン太陽電池は太陽電池セルの表面を強化ガラスで覆い、裏面を耐候性の良いテトラ樹脂フィルムなどで封止し屋根材となる耐火性板材で覆ったパネル構造のものが一般的である。

一方、アモルファスシリコン太陽電池は結晶系シリコンと同様の強化ガラス上に太陽電池を成膜し、裏面をテトラ樹脂フィルムなどで封止したパネル構造のもののほかに、ステンレス鋼はくなどにアモルファスシリコン太陽電池を成膜したセルを鋼板などの板材に貼付（ちょうふ）し耐久性のあるフィルム材で封止した構造のものがある。

明大前駅と若葉台駅で適用したものはアモルファスシリコン太陽電池セルを鋼板に貼付したタイプであり、以下の特長がある。

(1) 屋根材とした状態では強化ガラスタイプのパネル構造

図1 若葉台駅の太陽電池設置屋根の外観



太陽電池に比べて軽量であり、太陽電池と部材を加えた単位面積あたりの質量は7.2 kg/m²と強化ガラスタイプパネル構造の約1/2である。このため、既設屋根の支持構造を強化することなく屋根の更新が可能となる。

(2) 夏季晴天時には屋根の表面温度は60～80℃になる。一般的に結晶系シリコン太陽電池は温度が高くなると出力の低下が著しいのに対し、アモルファスシリコン太陽電池はその傾向が少なく、また温度が高いとアニール効果により逆に変換効率が向上する。したがって冬季より夏季の方が発電性能が向上する。

(3) 太陽電池の製造に必要とされるエネルギーが結晶系シリコン太陽電池に比べて少ない。真空中でシラン系の原料ガスを分解して基板上にアモルファスシリコン薄膜をたい積させる製法で製造過程での必要温度が低いため省資源・省エネルギーにて製作できる太陽電池であり、エネルギーペイバックタイム（EPT：太陽電池を作るための投入エネルギーを太陽電池が発電したエネルギーで除した値）が短く、創エネルギー効果に優れている。

以上が今回適用した鋼板貼付型アモルファスシリコン太陽電池の特長であるが、一方、結晶系シリコン太陽電池にはアモルファスシリコン太陽電池に比べ変換効率がよいという特長がある。現在製品化されているものでアモルファ



仙田 要

京王電鉄（株）車両電気部電力課課長補佐。



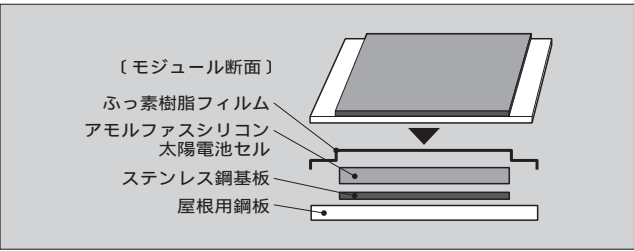
牧野 喜郎

電気鉄道用変電・制御システムの技術企画業務に従事。現在、電機システムカンパニー交通・特機事業部変電技術部担当部長。電気学会会員。

表 1 建材一体型太陽電池の仕様と特性

分 類		長尺モジュール太陽電池	短尺モジュール太陽電池
項 目	長 さ	5,440 mm	4,000 mm
	幅	525 mm	525 mm
質 量		23.3 kg	17.1 kg
公 称 最 大 出 力		153.0 W	109.0 W
公称最大出力動作電圧		31.5 V	22.5 V
公称最大出力動作電流		4.84 A	4.84 A
公 称 開 放 電 圧		42.8 V	30.6 V
公 称 短 絡 電 流		5.68 A	5.68 A
太 陽 電 池 セ ル 数		21 直列	15 直列

図 2 太陽電池モジュール構造イメージ



スシリコン太陽電池はモジュール変換効率が 8 ～ 10 % であるのに対して，結晶系シリコン太陽電池は 12 ～ 15 % である。

今回の適用例では更新屋根部分の面積が十分ある点と既設屋根支持材を補強せずに極力短期間で更新する方針のため，総合的判断により鋼板貼付型のアモルファスシリコン太陽電池を採用した。

③ 太陽電池の仕様・特性

この建材一体型太陽電池としては三晃金属工業(株)製のアモルファスシリコン太陽電池を使用している。既設ホーム屋根の形状に合わせて 2 タイプのモジュールを適用した。各太陽電池の仕様と特性を表 1 に示す。

④ 太陽電池の構造

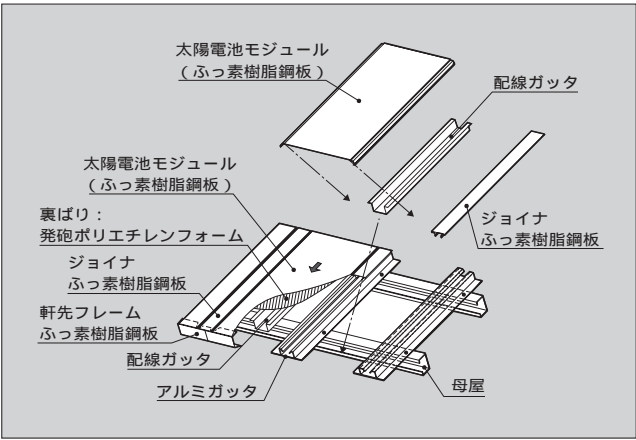
この太陽電池は図 2 のようにアモルファスシリコン太陽電池セルを成膜させたステンレス鋼基板を厚さ 0.8 mm の屋根用鋼板上に張り付け，さらにその上を保護用のふっ素系樹脂フィルムで封止した構造であり，形状は通常の屋根材鋼板と同一で太陽電池の存在を目立たせない外観である。図 3 に明大前駅の太陽電池の外観を示す。

図 4 の太陽電池設置屋根部分の構造に示すように，太陽電池部は母屋に固定されたガッタの間に挟み込まれ，さらにジョイナで固定される構造である。太陽電池モジュールからの出力配線は配線ガッタを通して必要な直列数だけ接続され，さらにその直列グループの P・N おのこのケーブルはケーブルダクトを通してホーム屋根下の接続箱まで

図 3 明大前駅の太陽電池の外観



図 4 太陽電池設置屋根部分の構造



布設される。

⑤ 明大前駅・若葉台駅の設置例

この太陽光発電システムは新エネルギー・産業技術総合開発機構の「産業等用太陽光発電フィールドテスト事業」により計画され設置された。

明大前駅のシステムの設備容量は 30 kW であり，前述の 153 W 太陽電池モジュール 10 直列 × 18 グループと 109 W 太陽電池モジュール 14 直列 × 2 グループで構成している。図 5 に明大前駅ホーム屋根の太陽電池配置状況を示す。10 kW ごとにホーム屋根下に接続箱を設置して太陽電池モジュールの直列グループを集約し，10 kW 単位ユニットインバータに対応して接続する形態を採っている。ケーブルの布設は極力既設のケーブルラックおよびトラフを活用し工事費用の低減に配慮している。

若葉台駅のシステムの設備容量は 60 kW であり，おおむね明大前駅のシステムを 2 セット設けた構成である。図 6 に若葉台駅の太陽光発電システムの構成を示す。

既設駅設備を運用しつつホーム屋根の撤去工事および太陽電池設置工事を行うためには，次のような制約条件が発生する。

図5 明大前駅ホーム屋根の太陽電池配置状況

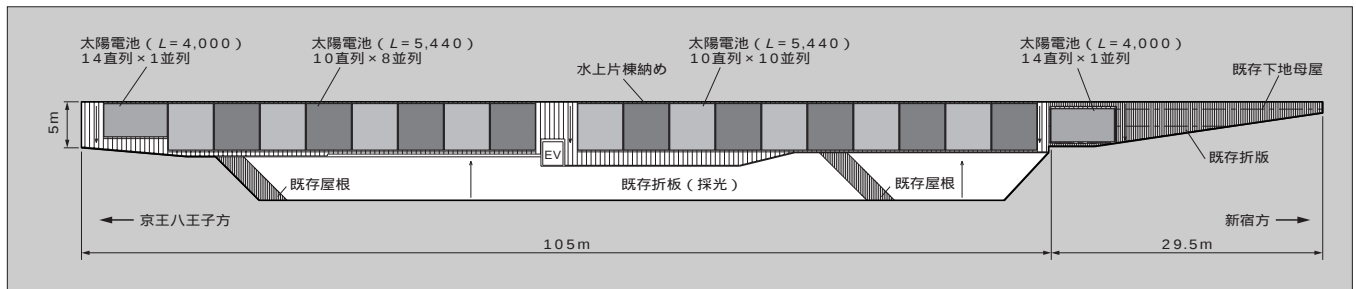
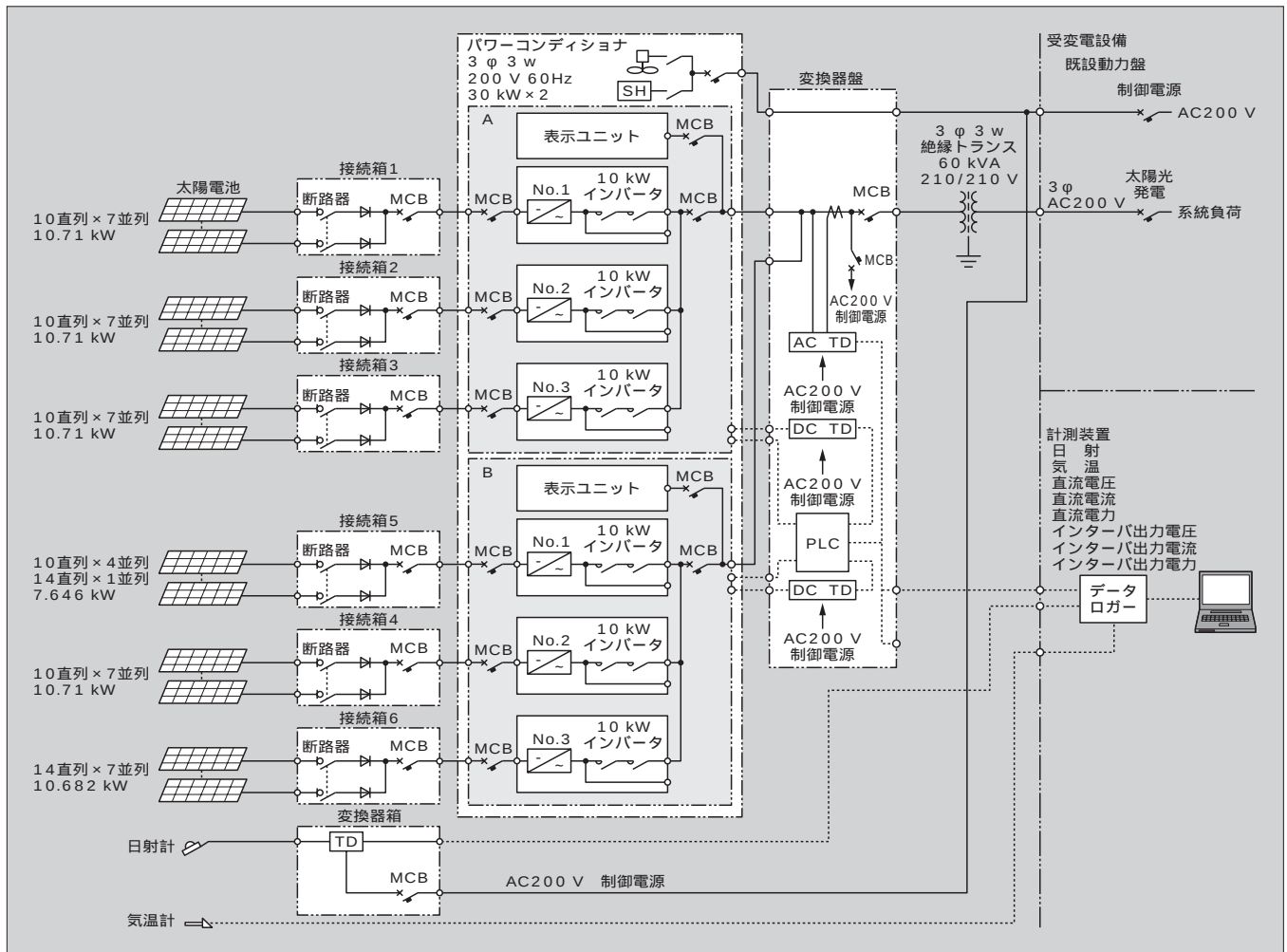


図6 若葉台駅の太陽光発電システムの構成



- (1) 乗降客が多く常に混雑する駅では営業運転中の屋根工事作業は不可能である。
- (2) 夜間作業では近隣住民に対する騒音の配慮が必要である。
- (3) ホーム屋根上部に電線や高圧配電線がある場合は、屋根工事作業時の停電処置や感電防護処置が必要である。
- (4) 作業中止時のホーム屋根雨仕舞が必要である。

このような諸条件に対応しつつ限られた工期内に完成させるために工事計画は慎重に検討する必要がある。

明大前駅は電気室がなく、若葉台駅は電気室の空きスペースが少ないため、両駅ともインバータは屋外仕様の盤に収納している。

⑥ 電車電磁波ノイズの太陽電池への影響調査

今回のホーム屋根への太陽電池適用に対し、直近を走行する電車やトロリ線からの電磁波ノイズが太陽電池に及ぼす影響の有無について事前に優等電車が加速状態で通過する若葉台駅にて調査を行った。

方法としては屋根材一体型太陽電池と電界センサ・磁界センサを取り付けた板をホーム屋根上に固定し、ホーム端部に測定機材を設置して営業運転中のデータ収集を行った。その結果、ホーム屋根上の電磁波レベルは電界が数 V/m、磁界が数 mA/m のレベルで人体への安全基準値より一

た以上低く、太陽電池のリード間ノイズ電圧は 200 mV 程度、ノイズ電流は測定限界の 2 mA 以下であり、太陽電池に対してまったく問題ない値であった。

⑦ フィールドデータ

2001 年 4 月から 2002 年 1 月までの明大前駅と若葉台駅における太陽光発電設備の月ごとのシステム利用率（システム出力電力量を太陽電池アレイの定格出力電力量と時間との積で除した値）の推移を図 7 のグラフに示す。

システム利用率は一般的に最適傾斜角度で太陽電池を設置した場合に年間平均で 12 % 程度であるが、明大前駅は 6.1 ~ 14.4 % であり、若葉台駅の場合は 8.4 ~ 17.4 % の結果を得た。

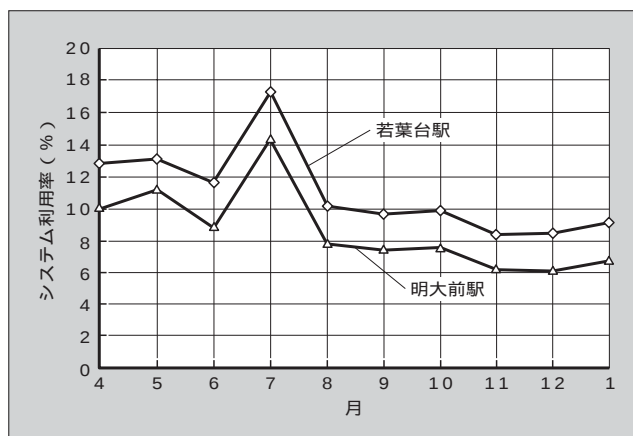
両駅は駅ホームの屋根を太陽電池としているために、明大前駅では 7 ~ 10 度、若葉台駅では 15 度の傾斜角度となっている。したがって年間最大日射量を受ける傾斜角度の最適条件である 30 度程度に比べ、システム利用率は低い傾向にならざるを得ない。7 月のシステム利用率が高いのは、この月の日射量が平年値の 1.5 倍程度あったためである。

明大前駅と若葉台駅のシステム利用率の差については下記の要因と考えている。

- (1) 明大前駅はホーム屋根の傾斜角度が若葉台駅に比べ浅く、また方位角が若葉台駅はほぼ真南であるのに対し明大前駅は南東方向に面している。
- (2) 明大前駅は商業地域に位置し、低層だが駅周辺に建物があり日射に影響を及ぼしている。一方、若葉台駅は都市計画地域内の駅であり、周辺は駅前広場などが配置され周囲に日射を遮るものがほとんどなく良好な条件にあるためにシステム利用率が高い傾向にある。

前者の影響による差異は計算上わずかであり、後者の影響が支配的と考える。

図 7 システム利用率の推移



フィールドテストデータからシステム利用率を見る限りでは、両駅の太陽光発電システムは順調に運転を継続している。今後、長期的なデータ蓄積による駅ホーム屋根上設置の太陽光発電システムの評価が期待される。

⑧ あとがき

鉄道において駅舎のホーム屋根スペースは活用されているケースが少なく、有効活用が期待される場所である。今後建材（屋根材）一体型太陽電池のさらなる低価格化が進んでいけば、ホーム屋根での太陽光発電システムは相当普及するものと考えられる。

将来の地球環境を考慮すると化石燃料による発電は極力抑える必要があり、太陽光発電以外のクリーンエネルギーの有効活用を含めトータルシステムとしての最適省エネルギー・新エネルギーシステムの構築を推進していきたい。

最後にこの太陽光発電フィールドテスト事業の実現に際し多大なご指導・ご協力を賜った新エネルギー・産業技術総合開発機構殿に深く感謝する次第である。

富士電機能力開発センターの新エネルギー発電システム

堀内 義実(ほりうち よしみ)

西原 啓徳(にしはら ひろのり)

氏家 孝(うじいえ たかし)

① まえがき

1997年12月に京都で開催された「気候変動枠組み条約第3回締約国会議」(COP3)以降、環境負荷低減への関心が高まっている。富士電機は、東京システム製作所内に新設された富士電機能力開発センターの研修所にアモルファス太陽光発電システム、りん酸形燃料電池発電システム、マイクロガスタービンなどの新エネルギー、コージェネレーション設備、さらにこれらを統括管理するエネルギー運用システムを導入した。本稿ではこの概要を紹介する。

② 概 要

研修所の概要を表1に示す。

研修所は研修施設と宿泊施設を併せ持ち、電力需要と熱需要を有している。本研修所にCO₂やNO_xなどの環境負荷の低減やエネルギー利用効率の向上を目的として、新エネルギー機器として急速に拡大している太陽光発電(10kW)、分散電源およびコージェネレーション設備として環境性に非常に優れた燃料電池(100kW)、コンパクトで小容量のコージェネレーション設備として注目されているマイクロガスタービン(26kW)を設置した。導入した全体システムの概要を図1に示す。エネルギー利用効率を向上させる目的で研修や宿泊の予約データから電力、熱需要を予測し、その電力需要に対しては発電効率が高い燃料電池を、熱需要に対しては排熱回収率が高いマイクロガスタービンの排熱を主に利用するエネルギー運用システムを構築した。

変電機器においては植物油入りの変圧器を採用した。この植物油(菜種エステル油)は生分解性が高いので環境に優しく、さらに絶縁性能に優れたものである。また、IT(Information Technology)として、富士電機の各種の情報機器から成る総合情報支援システムを導入した。本稿では、特に新エネルギー機器について説明する。

なお、太陽光発電、燃料電池などの新エネルギー発電設

表1 研修所の概要

大 研 修 室	1 室
中 研 修 室	3 室
小 研 修 室	12 室
オープン研修室	2 室
宿 泊 フ ロ ア	4～6 階(バス・トイレ付き)
延 べ 床 面 積	6 階建て 約 6,000 m ²

備の導入により以下の環境負荷低減効果が見込まれる。

- CO₂削減量：約28t-C/年(17%削減)
導入前169t-C/年に対し141t-C/年に削減
- NO_x削減量：約84kg/年(33%削減)
導入前253kg/年に対し169kg/年に削減

③ 発電システムの仕様

3.1 太陽光発電システム

本太陽光発電システムは、現在、事業化に向けて開発を進めているアモルファスシリコン太陽電池を使用したシステムである。このシステムはアモルファスシリコン太陽電池、10kW パワーコンディショナおよび計測装置(気象観測装置を含む)で構成、商用連系にて運転されている。太陽電池は、研修所屋上に30度の傾斜をつけた架台上に設置した。表2に太陽電池・パワーコンディショナの仕様を示す。

3.1.1 太陽電池モジュール

図2に設置したアモルファスシリコン太陽電池モジュールの外観を示す。基本的なモジュール構造は、一般に結晶系に多く使用されているガラスモジュール構造を採用した。図3に設置状況を示す。

3.1.2 パワーコンディショナ

今回設置したパワーコンディショナは10kW ユニットインバータで、10kW の単位で増設が可能なタイプである。インバータユニットのほか、制御機能を持つ表示ユニット、入出力ユニットから構成されており、ラックマウントタイプである。



堀内 義実

燃料電池発電プラントのエンジニアリング業務および新エネルギー発電の企画業務に従事。現在、電機システムカンパニーエネルギーソリューション室主任。



西原 啓徳

りん酸形燃料電池、熔融炭酸塩形燃料電池の開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所材料技術研究所太陽電池プロジェクト室主任研究員。



氏家 孝

燃料電池の設計、開発および燃料電池プラントエンジニアリング業務に従事。現在、事業開発室燃料電池部主務。日本機械学会会員。

図1 全体システムの概要

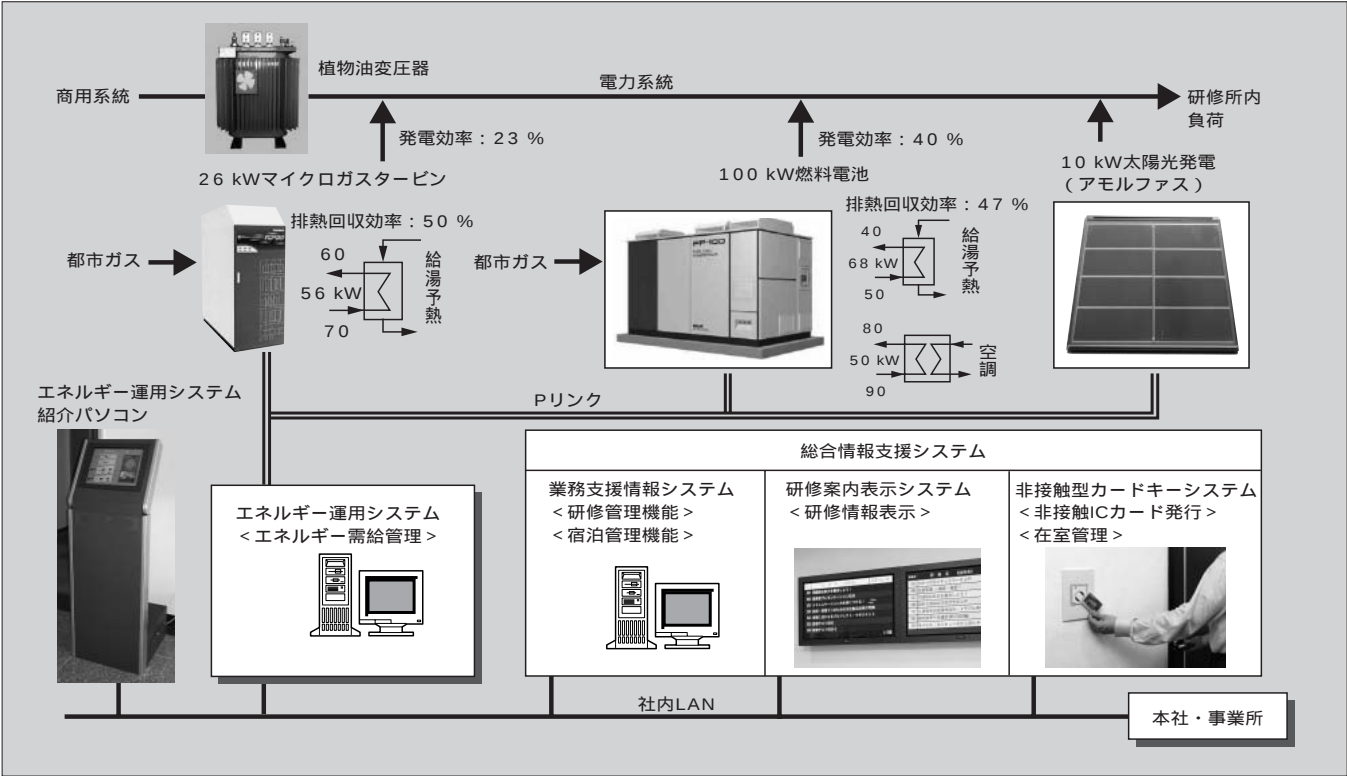


表2 太陽電池・パワーコンディショナの仕様

太陽電池	種 類	アモルファスシリコンガラス封止形
	モジュール最大出力	48 W
	モジュール枚数	210 枚 (3直列×70並列)
	総設置容量	10.08 kW
	設置角度	南面 30°
パワーコンディショナ	型 式	PVI plus10
	定格入力電圧	DC 300 V
	運転電圧範囲	DC 190～450 V
	系 統 条 件	三相3線 210 V 50 Hz
	交 流 出 力 電 力	10 kW
	実 効 効 率	94 % 以上
	出 力 力 率	95 %
	電 流 ひ ず み 率	総合 5 % 以下, 各次 3 % 以下

図2 太陽電池モジュールの外観



図3 太陽電池の設置状況



3.1.3 計測

本太陽光発電システムの設置目的の一つに研究開発中のアモルファスシリコン太陽電池の実証確認がある。したがって、発電出力、気象データのほかに、特に太陽電池を小単位（サブアレイ）に分け、アモルファスシリコン太陽電池の性能評価が行えるように計測点を決定した。計測項目を表3に示す。この計測データはイントラネットを經由して、計測できるシステムとしている。

3.2 りん酸形燃料電池発電システム

3.2.1 100 kW りん酸形燃料電池の仕様と特長

燃料電池は第二次商品機（100F）であり、その仕様を

表 3 計測項目

計測グループ	計測項目	信号種別	計測点数
太陽電池	日射量（水平，傾斜）	0～1 kW/m ²	2
	太陽電池温度	-20～+100	9
	太陽電池出力電流	0～3 A	24
	太陽電池出力電圧	0～400 V	2
インバータ	出力線間電圧（三相）	0～300 V	3
	出力線電流（三相）	0～50 A	3
	出力電力	0～15 kW	1
	出力電力量	0.1 kW/Puls	1
気象	外気温度	Pt100 Ω	1
	湿度	0～100 %RH	1
	雨量	0.5 mm/Puls	1
状況監視	インバータ故障	オン・オフ	1
	インバータ運転・停止	オン・オフ	1
	UPS 異常	オン・オフ	1

表 4 燃料電池の仕様

定格出力	100 kW（送電端）
系統条件	三相3線 210 V 50 Hz
発電効率	40 %（定格時，低位発熱量基準）
排熱回収効率	47 %（定格時，低位発熱量基準）
総合効率	87 %（定格時，低位発熱量基準）
排ガス性状	NOx：5 ppm 以下（O ₂ ＝7 %換算） SOx，ダスト濃度：検出下限以下
燃料消費量	22 Nm ³ /h（都市ガス13A）
運転方式	全自動運転・系統連系
代表寸法	2.2 m（W）×3.8 m（L）×2.5 m（H）
質量	10 t

表 4 に示す。発電効率は 40 % が得られ，出力が 100 kW 程度の他の発電装置と比較して高効率であり，排熱も利用すると総合効率は 87 % となる。電気出力と排熱出力の比は約 1：1 で，電気利用を主とするコージェネレーションに適している。排熱に関しては，発電負荷が定格時に最大となる。燃料電池の特長の一つとして，50 % 程度の部分負荷でも発電効率が低下しないという特性があるが，他のコージェネレーション機器が部分負荷で効率低下が著しいことに比べると大きな特長である。

3.2.2 燃料電池発電システム

本システムは燃料電池発電装置，排熱処理設備，水処理装置，窒素設備，温水だき吸収式冷温水機で構成されており，商用連系し，連続運転を行っている。設置写真を図 4 に示す。

熱利用に関しては，高温水（90 ）は温水だき吸収式冷温水機（10RT）の熱源として利用し，施設内の厨房（ちゅうぼう）などの冷房に利用している。低温水（50 ）は，熱交換器を介して給湯予熱に利用している。

図 4 燃料電池の設置状況



表 5 マイクロガスタービンの仕様

定格出力	26 kW（送電端）
系統条件	三相3線 210 V 50 Hz
発電効率	23 %（定格時，低位発熱量基準）
排熱回収効率	50 %（定格時，低位発熱量基準）
総合効率	73 %（定格時，低位発熱量基準）
排ガス性状	NOx：15 ppm 以下
燃料消費量	9.7 Nm ³ /h（都市ガス13A）
運転方式	全自動運転・系統連系
代表寸法	0.79 m（W）×1.9 m（L）×2.1 m（H）
質量	1.2 t

運転負荷は研修および宿泊の予約データに基づき，エネルギー運用システムにて運転パターンを選択し，それに従って制御される。

また，本システムでは，商用停電時に燃料電池で給電できるシステムを構築した。具体的には停電発生時に給電を行わない負荷フィードを切り離す。一方，燃料電池は停電検出にてインバータ出力を停止し，一定時間後に電圧を徐々に上げるソフトスタートを行うことで，ラッシュ電流を抑えた再起動を行い，自立運転時の負荷給電を行う。なお，燃料電池の自立運転時には急激な負荷上昇とならないように特定負荷の選定や負荷投入に配慮している。

3.3 マイクロガスタービン

今回導入したマイクロガスタービンの仕様を表 5 に示す。本装置は，Capstone 社製タービン本体に排熱回収装置を付加した 26 kW マイクロガスタービン，都市ガス昇圧ブロワ，放熱器などで構成されたコージェネレーションシステムで，商用連系し，排熱は給湯予熱に利用される。電気出力と排熱出力の比は約 1：2 で，熱利用を主とするコージェネレーションに適している。エネルギー運用システムにより，マイクロガスタービンは熱需要が大きくなる夕方の時間帯に運転している。

図5 消費電力と発電電力の例

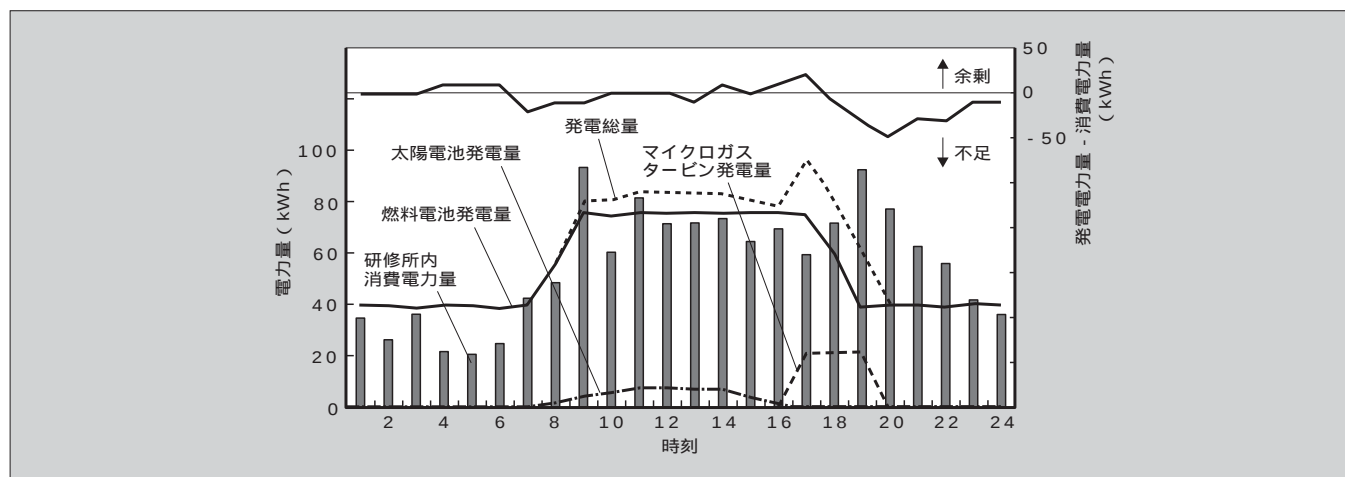
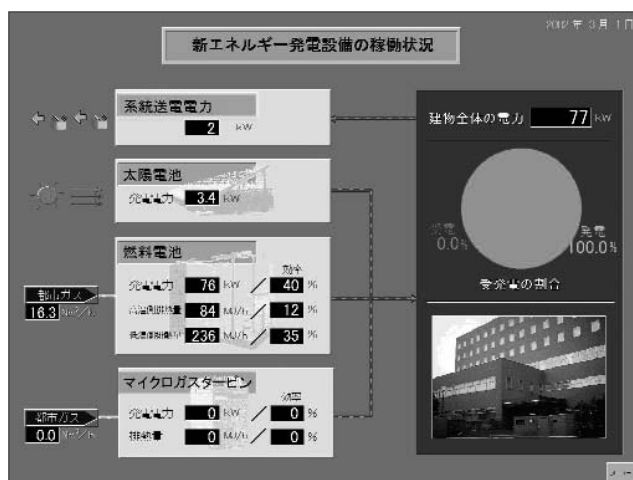


図6 新エネルギー発電設備の状態表示の例



電設備の状態表示の例を示す。

社内 LAN を経由して、(株)富士電機総合研究所にて太陽電池データの監視、本社事務所に発電システムのモニタおよび監視が可能なシステムとなっている。

⑤ あとがき

今後はエネルギー消費状況などのデータを蓄積するとともに、環境性に配慮し、エネルギー利用効率を向上できるような運転の実証を行う予定である。また、本システムの構築、運用で得られたノウハウを基に最適なエネルギーソリューションを提供できるよう、さらなる努力を続ける所存である。

なお、燃料電池の導入に関しては、新エネルギー導入施設として経済産業大臣の認定を受け、新エネルギー・産業技術総合開発機構の新エネルギー事業者支援事業の補助を受けている。

本システムの導入にあたり、関係各位のご協力に厚くお礼申し上げる次第である。

④ エネルギー運用システム

エネルギー運用システムとは、研修所において消費される電力や熱をエネルギー利用効率が最大となるように発電装置を運転制御するシステムであり、以下の三つの機能を備えている。

(1) 運転パターン選択機能

業務支援システムに登録された研修および宿泊の予約データを基にエネルギー使用量を演算（需要予測）し、燃料電池、マイクロガスタービンの最適な運転パターンを決定し、制御を行う。需要予測は、研修所の各種需要データの蓄積がないため、一般的な事務所ビル、ホテルのエネルギー使用量から予約された研修フロア、宿泊フロアに見合った使用量を演算している。電力需要に対しては、発電効率が高い燃料電池、熱需要（給湯）に対しては、排熱回収効率が高いマイクロガスタービンを運転することでエネルギー利用効率の向上を図っている。なお、燃料電池は連続運転が望ましいので電力需要が小さい夜間・休日は最低出力で運転する。現在は、昼間を 75 %、夜間を 40 % 出力とする運転パターンとしている。図 5 に消費電力と発電電力の例を示す。発電電力でほぼ消費電力を賄っていることが分かる。

今後は研修所のエネルギー使用量のデータを蓄積・分析し、需要予測を最適なものとし、本研修所の運営に合ったエネルギー利用となるように運転パターンの検証を行う。

(2) ロギング機能

燃料電池、太陽電池、マイクロガスタービンのエネルギー発生状況および建物側のエネルギー消費状況を記録し日報、月報、年報を作成する。

(3) モニタ表示

エネルギーの発生・消費状況を研修所ロビーでモニタする機能を有している。ロビーの意匠を考慮し、ステーションタイプで液晶モニタを採用した。図 6 に新エネルギー発

燃料電池開発の動向と展望

古庄 昇(ふるしょう のぼる)

工藤 飛良生(くどう ひらお)

吉岡 浩(よしおか ひろし)

1 まえがき

21世紀を迎え、エネルギー問題と環境問題は日本国内だけではなく、地球規模での対応を迫られている。21世紀の主要な課題が地球温暖化への対応であることから、エネルギー問題はそのまま環境問題となる。今後エネルギーを考える場合、短期的な経済性だけに目を奪われることなく、中長期の環境性にも目配りが必要となるであろう。

燃料電池は分散型発電装置として、また自動車用電源として現在活発な研究開発が行われており、その高効率性、高環境適合性により、新しいエネルギー利用形態として早期の実用化が期待されている。燃料電池は電解質により幾つかの種類がある。主な燃料電池の特徴を表1に示す。各種燃料電池の中で、オンサイト用りん酸形燃料電池のみが商用化段階にある。

富士電機では、1960年代からアルカリ形燃料電池の研究開発に着手し、りん酸形燃料電池は1973年から、固体高分子形燃料電池は1989年から開発を行ってきた。本稿

では、りん酸形燃料電池および固体高分子形燃料電池の開発の動向と展望について述べる。

2 りん酸形燃料電池の開発の動向と展望

2.1 開発の動向

りん酸形燃料電池は電解質にりん酸水溶液を使用した燃料電池であり、燃料電池の運転温度が約180℃と高く、コージェネレーションに適している。

りん酸形燃料電池は、宇宙船の電源として利用されていた純水素-純酸素燃料のアルカリ形燃料電池の代わりに炭化水素を燃料として、地上でも利用できるようにということで1960年代から米国で開発が始まり、1970年代に国内でも開発が開始された。開発の過程では火力発電代替ということで、5 MWや11 MWという規模のものも実証運転を行ったが、加圧運転によるセルの信頼性や経済性の観点から実用化には至っていない。一方、50 kW、100 kW、200 kW規模のオンサイト用は、小発電容量にもかかわらず発電効率が40%〔LHV (Low Heat Value) 基準〕と高く、当初の開発目標であったセル寿命4万時間(約5年間)を達成し、価格的にも装置単体でkWあたり45万円から60万円程度になっており、国の補助金を利用することで経済的にもメリットの出る段階に達している。

富士電機では2002年3月現在で発電装置として113台(そのうちオンサイト用が101台)、約14,000 kWの製作実績があり、特にオンサイト用の100 kW機については、2001年10月から従来機の2/3のコストを達成した第二次商品機(FP-100F)を販売開始した。第二次商品機の基本仕様を表2、外観を図1に示す。1998年から販売をしてきた第一次商品機(FP-100E)は高い信頼性と高稼働率で運転されており、第二次商品機はこの信頼性を保持したままコストダウンを達成したものである。今後はオーバーホール期間の延長やさらなるコストダウンを目指している。オーバーホール時のコストの大部分は燃料電池セルスタックであり、セルのりん酸保持時間の延長によりオーバーホール期間を延ばし、ライフサイクルでのコストダウンを図ろう

表1 燃料電池の種類と特徴

種類 項目	りん酸形 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体電解質形 (SOFC)	固体高分子形 (PEFC)
電 解 質	りん酸 (H_3PO_4)	炭酸塩 (Li_2CO_3 , K_2CO_3)	ジルコニア (ZrO_2)	イオン交換膜
イオン 伝導体	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}	H^+
燃 料 (反応ガス)	H_2	H_2 , CO	H_2 , CO	H_2
原 燃 料	天然ガス, LPG, メタノール, ナフサ, バイオガス	天然ガス, LPG, メタノール, ナフサ, 石炭ガス	天然ガス, LPG, メタノール, ナフサ, 石炭ガス	天然ガス, LPG, メタノール, 水素
運 転 温 度 (℃)	170~ 210	600~ 700	900~ 1,000	常温~ 100
発 電 効 率 (%)	40~45	45~60	50~60	35~60
開発の状況	商用化段階	実証プラント ~実用化開発	実証プラント	実証試験~ 実用化開発



古庄 昇

材料開発、評価、デバイス適用の研究に従事。現在、(株)富士電機総合研究所環境技術研究所長。日本化学会会員、高分子学会会員。



工藤 飛良生

火力、燃料電池、環境装置の設計開発に従事。現在、事業開発室燃料電池部長。化学工学会会員。



吉岡 浩

燃料電池用改質系機器の設計、開発を経て、燃料電池発電装置のシステム開発に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム本部事業企画室副室長。化学工学会会員。

としている。現在，セル部材の改良や冷却方法の改善などで，りん酸保持時間を 6 万時間にするための開発を続けており，2003 年度からの実機適用を目指している⁽¹⁾。

環境意識の高まりの中で，りん酸形燃料電池の燃料として下水消化ガス，生ごみや工場廃水をメタン発酵したバイオガスなどを利用する事例が出てきている。これらは都市ガスを燃料としたコージェネレーションの場合と異なり，燃料費がほとんどかからないという利点がある。燃料電池発電システムとしても，都市ガス燃料の場合と異なり，バイオガス中の不純物の処理やバイオガス発生量の変動に対する制御方法の改良など，技術的な対応を行っている。また燃料電池発電装置はインバータを内蔵していることから，商用系統の瞬断時に重要負荷へ電力を供給し続けるような対応も可能にするなど，電力利用の面からもさまざまな適用拡大が試みられている。

2.2 今後の展望

前述したように，各種燃料電池の中で技術的にも経済的にも商用化段階に達しているのは，オンサイト用のりん酸

表 2 りん酸形燃料電池 100 kW 機の基本仕様

項 目	仕様値
定 格 出 力（送電端）	100 kW
定 格 電 圧	200 V（210 V，220 V）
発電熱効率	40 %（定格時，送電端，LHV）
総合熱効率	87 %（定格時，送電端，LHV）
排ガス性状 NOx SOx，ダスト濃度	5 ppm 以下 検出限界以下
高 調 波	総合電流ひずみ率 5 %以下 各次電流ひずみ率 3 %以下
燃料使用量	22 Nm ³ /h（都市ガス13A）
熱 出 力	高温水 90 /85 （戻り）180 MJ/h 低温水 50 /40 （戻り）243 MJ/h
燃料の種類	都市ガス13A，低压
運 転 方 式	全自動運転・系統連系
代 表 寸 法	2.2 m（W）×3.8 m（L）×2.5 m（H）
質 量	10 t

図 1 りん酸形燃料電池 100 kW 機の外観



形燃料電池のみである。今後はさらなる技術開発によるコストダウンの推進と，バイオガスや下水消化ガスなどへの燃料利用の拡大，重要負荷への電力供給などの適用分野の拡大などにより，着実に市場導入を先導していくものと期待される。燃料電池発電システム導入に対する国の支援策として，「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」による補助金（補助率：地方公共団体 1/2，民間 1/3）や「エネルギー需給構造改革投資促進優遇税制」などがある。

活発に研究開発が行われている固体高分子形燃料電池は，りん酸形燃料電池よりも小さな発電容量に向いている点，排熱温度レベルが低い点などから，将来的にはりん酸形燃料電池とそれぞれの得意分野ですみ分けるものと考えている。

③ 固体高分子形燃料電池の開発の動向と展望

3.1 開発の動向

固体高分子であるイオン交換膜を電解質として用いる固体高分子形燃料電池は，ジェミニ宇宙船の電源であったが，その後性能面で優るアルカリ形燃料電池に宇宙船電源としての主役の座を譲っていた。1980 年代にイオン交換膜の性能向上と，自動車用電源として燃料電池発電システムの適用検討が行われ，1990 年代末から一躍燃料電池開発の中心として，活発な研究開発が行われてきている。

固体高分子形燃料電池は反応温度が常温から 80 程度と低く，安価な材料が使える可能性があり，自動車用電源として量産化されれば大幅な価格低減が期待されている。特に化石燃料の枯渇が予想される 2030 年以降は，地球温暖化問題の面からも水素を燃料とした燃料電池が自動車用電源として最も適していると考えられており，自動車メーカーは 2003 年からのカリフォルニア州での ZEV（Zero Emission Vehicle）規制をにらみながら開発を加速させている。

一方，上記の自動車用とは別に，可搬型および分散型電源として数百 W から数 kW 規模の発電装置も多数のメーカーで開発されており，家庭用コージェネレーション装置として 2005 年頃の商品機投入を目指している。

経済産業省では，燃料電池を次世代のエネルギー・環境分野における「キーテクノロジー」の一つとして位置づけ，特に固体高分子形燃料電池の実用化・普及に向けて，1999 年 12 月に資源エネルギー庁長官の私的研究会として「燃料電池実用化戦略研究会」を設置し，2001 年 1 月に報告を取りまとめ，同年 8 月に「固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略」を策定した。この中で実用化・普及に向けたシナリオとして， 基盤整備，技術実証段階（2000 ～ 2005 年頃）， 導入段階（2005 ～ 2010 年頃），

普及段階（2010 年頃以降）の三つの時期に分け，導入目標として 2010 年には燃料電池自動車 5 万台，定置用燃料電池約 210 万 kW，2020 年には燃料電池自動車約 500 万台，定置用燃料電池約 1,000 万 kW を掲げている⁽²⁾。

富士電機では固体高分子膜の性能向上が見えてきた

図2 1 kW 級固体高分子形燃料電池スタック

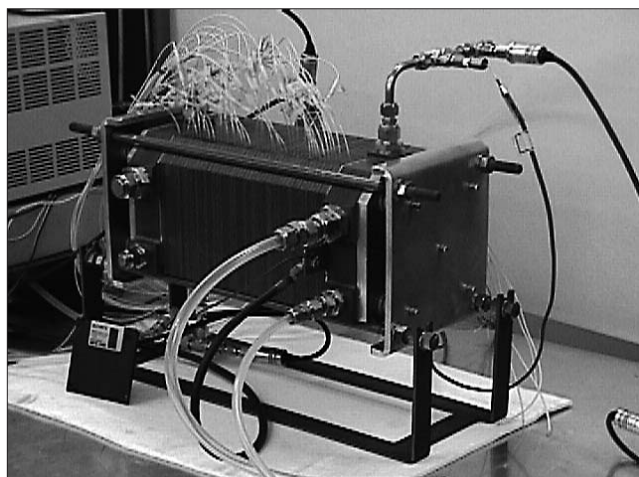


図3 1 kW 級固体高分子形燃料電池発電装置と貯湯槽



1989年から研究開発に着手し、水素燃料の高効率発電装置を目指して、数kW規模のスタックの開発を行ってきた。その後セルの信頼性の向上、セルスタックの小型化などを図り、水素燃料の1kW級スタック（図2）では15,000時間を超えて運転評価を行った。2000年から都市ガス燃料の1kW級発電装置の試作を行い、連続で約1,000時間の運転や起動・停止試験などを行って固体高分子形燃料電池発電システムとしての評価を行った。1kW級発電装置と貯湯槽の外観を図3に示す。改質系機器やインバータなどの発電システムはりん酸形燃料電池の開発で培ってきた技術を適用している。1kW級発電装置の試作、評価により、固体高分子形燃料電池発電システムとしての課題の抽出、コスト低減の見通し、適用用途の検討を行った。

3.2 今後の展望

固体高分子形燃料電池発電システムとして自動車用、家庭用という二つの分野で開発が加速されている。これらはその適用分野の違いにより、性能面、価格面で異なる仕様になるものと思われる。自動車用としては、燃料選択の問題もあり、当面は純水素燃料のものが主に使われるものと思われる。一方、家庭用など定置用の場合には都市ガスやLPG（Liquefied Petroleum Gas）など従来のコージェネレーション用の燃料が使われ、それに対応した改質系機器、改質ガス対応の燃料電池の開発が必要である。燃料電池本体のセパレータ材料などでは、自動車用と定置用とで同じ材料が使える可能性があるが、水素対応と改質ガス対応では電池本体（特に電極）の設計が異なり、発電システムとしても異なった開発が求められる。また定置用として家庭用以外の業務用など、固体高分子形燃料電池の特徴を生かした適用用途の検討も必要であろう。

現状では固体高分子形燃料電池のコストについて言及するレベルにはないが、2005年以降の実証機導入段階までには現状のりん酸形燃料電池発電装置のコストレベル以下までコスト低減を図っておく必要がある。

4 あとがき

21世紀のキーテクノロジーとして早期の実用化が期待されている燃料電池のうち、富士電機で開発を行っているりん酸形と固体高分子形について開発の動向と今後の展望について述べた。

今後も富士電機では、燃料電池をエネルギー、環境分野でのキーコンポーネントと位置づけ、りん酸形燃料電池の事業化と固体高分子形燃料電池の開発加速を強力に推進していく所存である。

これまでの長年の開発にあたり、ご指導・ご協力をいただいた国および関係機関、ならびに積極的に導入していただいたユーザー各位に深く感謝するとともに、今後とも導入支援や技術開発支援への一層のご理解とご支援をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 瀬谷彰利，原田孝．りん酸形燃料電池の開発．富士時報．vol.73，no.4，2000，p.215-218．
- (2) 秋山幸司．生ごみバイオガス化燃料電池発電施設，クリーンエネルギー．vol.11，no.2，2002，p.6-10．
- (3) 大東道郎．日本の燃料電池開発状況概観．日本における燃料電池の開発（FCDIC）．2001，p.4-7．

りん酸形燃料電池発電技術の開発と納入状況

長谷川 雅一（はせがわ まさかず）

氏家 孝（うじいえ たかし）

① まえがき

富士電機は、りん酸形燃料電池の開発を積極的に進めており、2002年3月現在でオンサイト用として総計101台の50kW、100kW、500kW機を製作、納入してきた。

累積運転時間の総計は180万時間を超え、商品化のための指標の一つとしている40,000時間を超えたサイトが6か所に達した。

これらからさまざまな技術的な知見、経験を蓄積し、それらを反映させ1998年から低コスト、高信頼性化を図った100kW第一次商品機を商品化し出荷している。これらは稼働率98%以上の高い値を示し、商品機レベルを達成したことが示された。そしてさらなる低コスト、高信頼性化を進めた100kW第二次商品機を開発し、製品としての1台目を(株)富士電機能力開発センター経営研修所へ納入し、2001年12月から運転を開始した。

また、原燃料をバイオガスや副生水素とする燃料電池発電装置の開発も進め、これまでに100kW機を副生水素用に1台、バイオガス用に3台の納入実績を上げている。

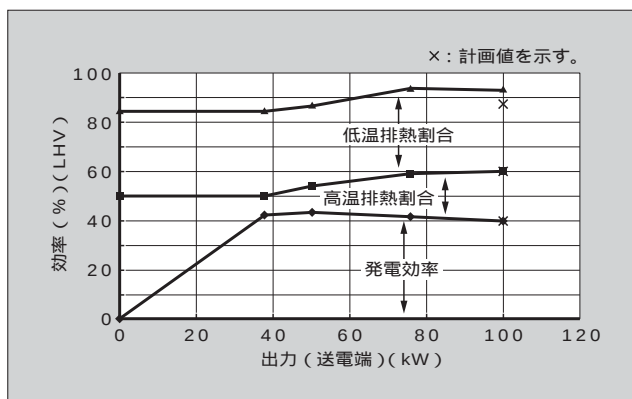
本稿では現在、富士電機が主力機種として開発、納入を進めている100kW機の開発状況と納入状況について報告する。

② 第二次商品機の開発状況

現在、富士電機は低コスト化、耐久性の向上、高機能化を達成した第二次商品機を出荷している。これは第一次商品機で達成できた高信頼性を向上させつつ、コストを第一次商品機の2/3にすることを狙って開発されたものである。

この1号機を1999年11月に富士電機・千葉工場内に設置し、2年以上にわたり各種評価試験を実運転にて高い信頼性を確認した。図1には各発電負荷の送電端効率、高温・低温熱出力効率の実績値を示す。このグラフから送電端効率は計画値どおりに100%発電負荷にて40%、熱出力を足した総合効率は90%以上となることが確認できる。

図1 発電効率・熱効率の実測値



③ 第二次商品機の特徴

発電装置の主要機器である電池本体、改質器、脱硫器・CO変成器の交換周期を40,000時間から60,000時間へ延長することを目指している。このことによりオーバーホール費用を大幅に削減することを狙っている。

また、装置には電話回線や携帯電話機を通してデータを伝送し、それを解析し故障予知を行うプラント監視システムを導入した。これにより予防保全を実施し信頼性の向上を図った。

オプションとして、運転を継続したまま燃料を切替できる燃料切替システムの開発を完了した。これは実機にて都市ガス・LPG (Liquefied Petroleum Gas) 間の燃料切替試験を実施し良好な結果が得られている。これは今後の都市ガス、LPG、バイオガスなどの燃料多様化への対応に有効な技術である。

④ 100kWりん酸形燃料電池の納入状況

1998年から出荷を開始した第一次商品機はこれまでに9台を出荷し、設置場所は病院、スーパーマーケット、ホテル、オフィスビルなど商用機ベースとして導入されてい



長谷川 雅一

火力発電プラントおよび熱交換器の設計を経て、燃料電池の設計開発に従事。現在、事業開発室燃料電池部主務。



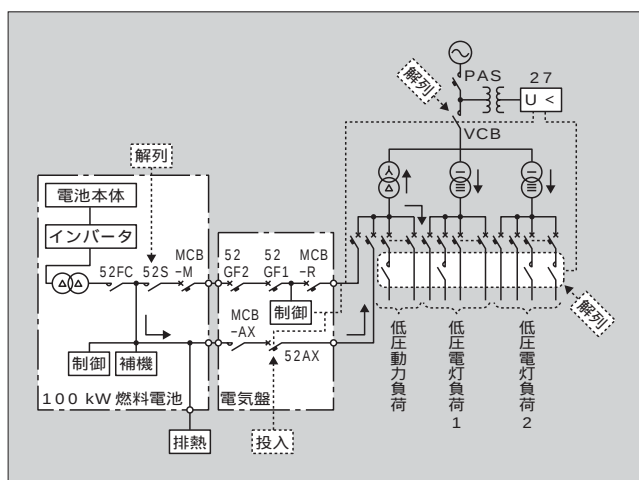
氏家 孝

燃料電池の設計、開発および燃料電池プラントエンジニアリング業務に従事。現在、事業開発室燃料電池部主務。日本機械学会会員。

図4 (株)富士電機能力開発センター経営研修所における設置
状態



図5 (株)富士電機能力開発センター経営研修所の単線結線図



れ、富士電機のエネルギーソリューションモデルとして位置づけられている。その設置状態を図4に示す。

燃料電池の運転は、所内のパソコンからその日の研修所の利用状況に応じた運転負荷を設定できるシステムを採用しており、その指令に基づいてパターン運転を実施している。また、本システムでは系統停電時に所内の特定負荷で

自立システムを形成し、燃料電池をバックアップ電源として活用できるシステムを構築した。すなわち、系統停電時における燃料電池インバータのソフトスタート期間の延長、ならびに施設側の特定負荷（85 kVA 以下、瞬時負荷投入 5 kW）と燃料電池の協調した切換機能により、無停電電源装置など特別な機器を追加することなく自立運転できるシステムを備えている。

図 5 に、自立運転状態の単線結線図を示す。

熱利用に関しては、高温水（90℃）は温水だき吸収式冷温水機（10RT）の熱源として利用し、施設内の空調に利用している。低温水（50℃）は、熱交換器を介して給湯予熱に利用されている。

5 あとがき

オンサイト用りん酸形燃料電池発電装置は、性能および信頼性の面では、商用化のレベルに達したと考えられる。しかしながら本格的な普及のためには、さらなる低コスト化が必要である。

一方、りん酸燃料電池は、工場からの副生水素、生ごみや下水汚泥からのバイオガスなどを活用することが可能であり、CO₂の削減や廃棄物の再資源化の手段となりうる。また、環境への関心が高まりつつある今日、燃料電池の利用促進の法律が施行され、燃料電池の導入意欲が高まりつつある。今後も富士電機は、燃料電池のさらなる信頼性向上とコスト低減、高機能化による適用用途の拡大を推進し、オンサイト用燃料電池発電装置市場の形成を図り事業化を進めていく所存である。

これまでの関係機関およびユーザー各位のご指導・ご協力に感謝するとともに、今後ともなお一層のご理解とご支援をお願いするものである。

参考文献

- (1) Hasegawa, M. et al. Development of on-site PAFC power plant at Fuji Electric. 2000 FUEL CELL SEMINAR Ab-stracts. 2000, p.236-239.

固体高分子形燃料電池の開発

瀬谷 彰利(せや あきとし)

大賀 俊輔（おおが しゅんすけ）

1 まえがき

固体高分子形燃料電池（PEFC）は、電解質にイオン交換膜を使用する燃料電池である。

富士電機では、1989 年から PEFC セル、電池スタックの研究開発に着手し、基礎的な研究を進め、信頼性の向上や電池スタックの開発に取り組み、良好な結果を得てきた⁽¹⁾。また、2000 年から 2001 年にかけて、PEFC 発電システムの実用化に向け、定置型のシステム実証と課題抽出、出力規模スケールアップ時の基礎データ蓄積のために、発電ユニット、貯湯ユニット、インバータユニットから成る 1 kW 級の PEFC 発電システムを試作して評価した⁽²⁾。

本稿では、試作したシステムの概要と評価結果、および改質ガス用電池スタックの開発状況について述べる。

2 1 kW 級 PEFC 発電システムの開発

2.1 システムの概要

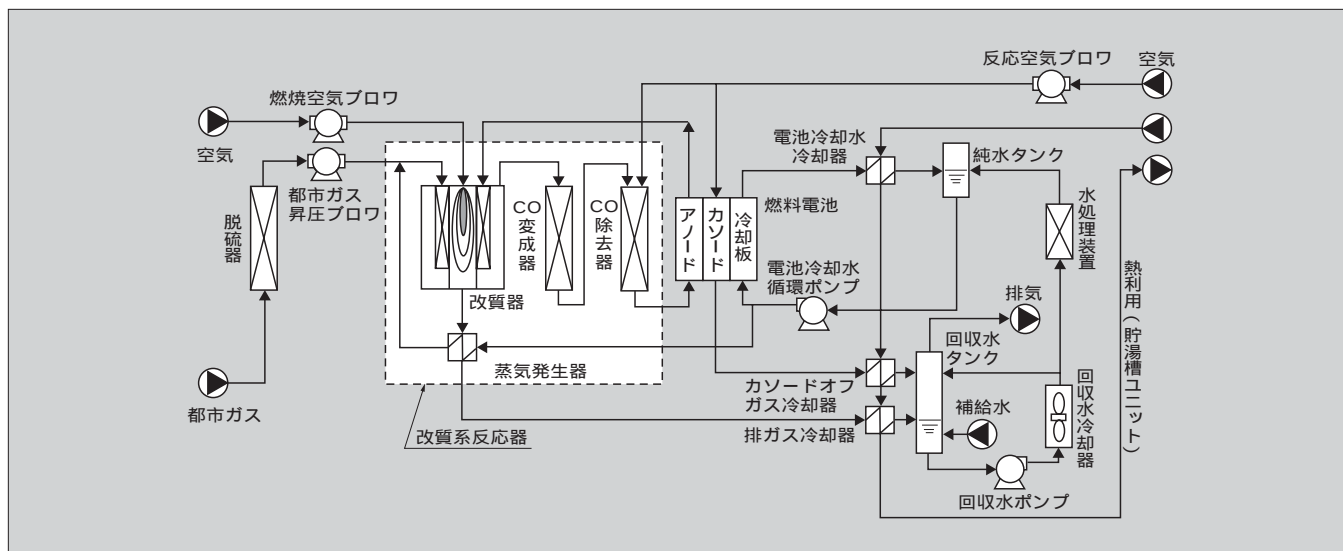
発電ユニットは改質系機器，電池スタック，熱交換器・

回転機などの補機類から成り、一つのパッケージに収納されている。図1にシステムフローを示す。(外観は本特集号の別稿「燃料電池開発の動向と展望」の図3を参照いただきたい。)

供給された都市ガスは、脱硫器、改質器、CO 変成器、CO 除去器で構成される改質系機器により、CO 濃度 10 ppm 未満の水素リッチガスに改質され電池スタックに導入される。電池スタックでは、発電に伴い改質ガス中の水素が 60 ～ 70 % 程度消費され、余剰の水素は、改質器のバーナで燃焼し改質器の熱源となり、熱バランスを保つ。電気出力は外部設置のインバータユニットにより、200 V の交流電力に変換され、電力系統と連系される。排熱回収は改質器の燃焼排ガスと、電池スタック冷却水ならびにカソードオフガスから熱交換器を介して回収し、60 ℃ の温水が貯湯ユニットに蓄熱される。表 1 にシステムの仕様を示す。

システムの運転は、スタートボタンを押すのみで発電可能状態まで移行する全自動方式である。また、電気出力はタッチパネルから 30 ~ 100 % の値を入力することで任意

図1 1 kW 級 PEFC のシステムフロー



瀬谷 彰利

りん酸形燃料電池，固体高分子形燃料電池のセル技術開発に従事。現在，技術企画室技術企画部副参与。化学工学会会員。



大賀 俊輔

燃料電池発電装置の開発に従事。
現在、事業開発室燃料電池部課長。

に変更可能である。

これらのシステムの制御は、りん酸形燃料電池発電システムの制御で培った技術と実績を十分に反映することで、安定した運転を実現することが可能となっている。

2.2 改質系機器

改質系の機器は、都市ガス中の硫黄分を取り除く脱硫器、水蒸気改質反応を行う改質器、改質ガス中のCO濃度を1%未満に低減させるCO変成器、さらにそのCO濃度を10ppm未満に低減させるCO除去器の四つの反応器から構成されている。改質系機器の仕様を表2に示す。

脱硫方式には、システムの簡素化を図るために常温脱硫方式を採用し、約1年間の定格運転が可能な量の脱硫剤をカートリッジに充てんした。

改質方式には、オンサイト用で実績のある水蒸気改質を採用し、改質器とCO変成器は一体化させて小型化し、水蒸気改質に必要な水蒸気はこれの中でスーパーヒートさせてから改質器へと供給している。改質器・CO変成器の外観を図2に示す。

表1 1kW級PEFC発電システムの基本仕様

電気出力	1.0 kW (AC送電端)
出力方式	200 V 単相 3 線式
排熱温度	65
燃 料	都市ガス (13A)
運転方式	全自動
主要寸法	1,100 (W) × 1,100 (H) × 400 (L) mm

表2 改質系機器の仕様

脱 硫 器	原 燃 料 ガ ス	都市ガス 13A
	触 媒	常温脱硫触媒
	運 転 温 度	常 温
	脱 硫 性 能	出口硫黄濃度 0.001 mg/m ³ (Normal) 以下
	交 換 周 期	8,000時間
改 質 器	原 燃 料 ガ ス	都市ガス 13A
	S/C	2.5 ~ 3.0
	触 媒	貴金属系触媒
	運 転 温 度	650 ~ 680 (触媒層出口)
CO 変成器	出口ガスメタン濃度	2.0 dry % 以下
	触 媒	銅-亜鉛系触媒
	運 転 温 度	320 / 180 (触媒層入口/出口)
	出口ガスCO濃度	1.0 dry % 以下
CO 除去器	処 理 ガ ス	改質ガス (CO濃度 1.0 dry %)
	O ₂ /CO 量 論 比 (モル比)	2.0 ~ 3.0 (1.0 ~ 1.5)
	触 媒	貴金属系触媒
	運 転 温 度	220 / 80 (触媒層ピーク/出口)
出口ガスCO濃度		10 ppm 以下

CO 除去方式には、改質ガス中のCO濃度に見合った空気を前段で混入させてCOを酸化させる選択酸化方式を採用し、従来2層であった反応層を1層としてコンパクト化を図っている。

また、PEFC 発電システムでは、電池スタックの運転温度が低いため、その発熱量を用いて水蒸気改質用の蒸気を作り出すことができないために、改質器の燃焼排ガスが持つ熱量を用いて蒸気を作り出す蒸気発生器も改質系機器の重要な要素となる。蒸気発生器によって、蒸気を脈動なく発生させるとともに、改質器の燃焼排ガスの温度を蒸気発生器出口で110℃まで下げて熱の有効利用を図った。

なお、脱硫器を除く改質系機器(図1の破線内)は一体化して、φ300×650(mm、保温材を含む)の寸法に収めた。

2.3 試験結果

2.3.1 起動停止、負荷変化、定格負荷性能試験

運転試験の結果、冷起動では約110分、暖起動では約60分で定格出力に達した。

図3に冷起動から定格出力到達および負荷変動時における改質系機器触媒層の温度変化を示す。なお、負荷は定格(100%)→30%出力→定格で変化させた。

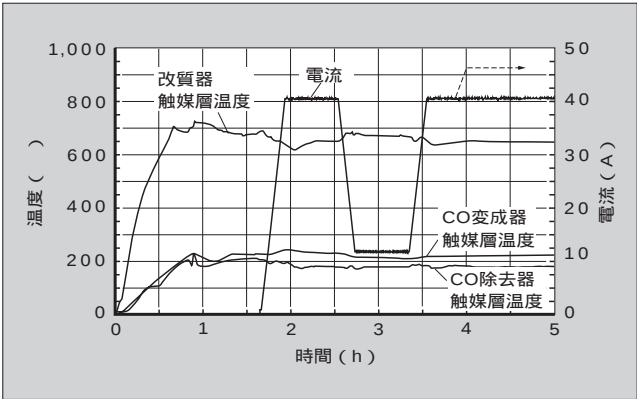
各温度は十分制御されており、安定した負荷変更が可能である。

なお、定格負荷においては直流発電端にて38%(LHV:

図2 改質器・CO変成器の外観



図3 起動、負荷変化試験結果



Lower Heating Value) の発電効率を得た。

2.3.2 連続運転試験

次に、長時間運転した場合の各部の温度、ガス組成、水質などを確認するために、2001 年の 6 月から 7 月にかけて、定格出力による連続運転試験を実施した。図 4 に連続運転時の改質系機器の温度変化、圧力などを示す。

各温度、圧力は十分に制御されており、安定した連続運転が可能であることを確認した。また、水回収部に直接接触式の小型熱交換器を採用したことにより、夏場は難しいとされる水自立運転（燃料電池の生成水や燃焼排ガスに含まれている水を回収して水蒸気改質用の水を賄い、外部から水を補給しない運転）を実現した。水自立運転は、補給水が入らない分、回収水の水質が向上することにより水処理装置の寿命が伸びて経済的である。

2.3.3 繰返し起動停止試験

起動停止を繰返しした場合の影響を確認するために、1 日 1、2 回の起動停止を 50 回実施して、燃料電池電圧、改質ガス組成に異常がないことを確認した。また、50 回起動停止後も燃料系の気密が確保されていること、および改質系機器の触媒層各部の温度分布が初期に対して変化がないことから、50 回程度の起動停止の繰返しによるヒートサイクルでは、改質系機器が損傷および変形しないことを確認した。

③ 改質ガス用電池スタックの開発

3.1 PEFC 電池スタック

PEFC 電池スタックは、発電単位であるセルを複数枚直列に接続し、締め付けた構造となっている。セルは主に燃料極、空気極の電極、電解質膜から構成されており、各極にはそれぞれ反応ガスが供給されている（312 ページの「解説」参照）。各極は触媒層とガス拡散層から構成されている。触媒層は白金を主成分とする触媒活性物質をカーボンプラックに担持した触媒とイオン交換膜を溶解した電解質溶液により構成される。セル内では、電解質膜であるイオン交換膜を湿潤状態に保ちつつ、生成した水が反応ガスの流通を阻害しないように水を管理する必要がある。

燃料に改質ガスを使用する場合、その中には微量の CO

が含まれており、CO により燃料極触媒が被毒される。その被毒は温度が高いと緩和され、また、触媒を合金化することでも緩和される。

富士電機では、水管理技術について詳細な検討を実施しており、無加湿運転という特徴ある技術を有しており、その技術を使用した 1 kW 級の純水素を燃料としたスタックは 1 万時間を超えて順調に運転中である⁽⁵⁾。これらの実績をもとに、改質ガス用電池スタックとして運転温度を見直し、それに伴い水管理条件を見直した。また、燃料極触媒の耐 CO 被毒性を評価し、最適な触媒を選定した。

3.2 改質ガス用単セル耐久性評価

以上の成果を織り込んだ単セルの耐久性評価を実施中である。定格運転条件（セル温度 80℃，電流密度 0.4 A/cm²）での電圧経時変化を図 5 に示す。

図 5 から、停止・起動によりセル電圧が上昇し、その後電圧が低下し、停止前の水準に戻る事が分かる。この現象は、停止・起動によりセル内の湿潤状態が変化するためであると推定される。また、ある程度連続運転した後の電圧に着目すると 5,000 時間を超えると電圧が非常に安定することが分かる。

現在、さらなる初期特性と耐久性向上を狙った電極の改良検討を実施中であり、その効果を評価中である。

3.3 改質ガス用 1 kW 級電池スタック

上記のように改質ガス用セルとして耐久性を確認したセル仕様で 1 kW 級発電装置用の電池スタックを製作した。表 3 に主要仕様をまとめ、図 6 に電池スタックの外観を示す。

図 5 単セル耐久性試験結果

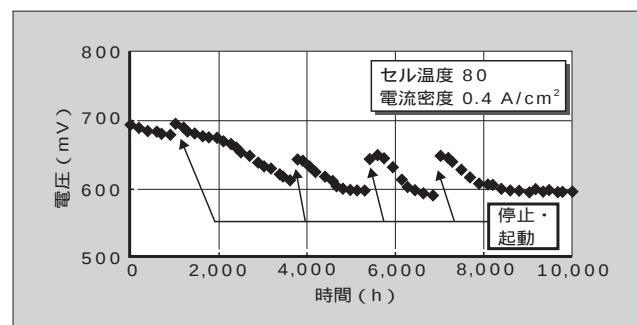


図 4 連続運転試験結果

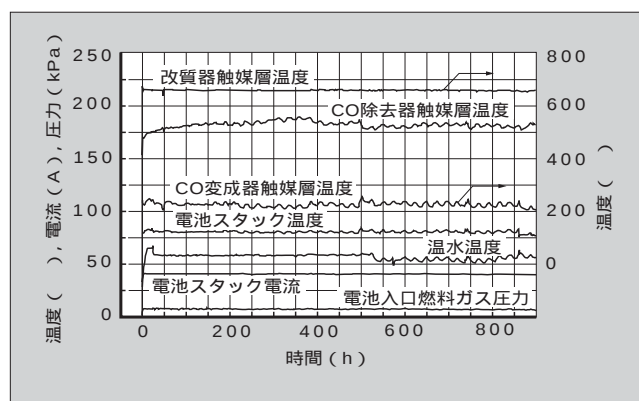


表 3 改質ガス用 1 kW 級電池スタックの主要仕様

燃料ガス	改質ガス
酸化剤ガス	空気
加湿方式	酸化剤ガス加湿部内蔵
運転温度	80
運転圧力	常圧
電極面積	100 cm ²
セル数	60
定格電流	40 A
定格出力	1.6 kW DC

図6 1 kW 級改質ガス用電池スタックの外観



す。反応空気の加湿は電池スタック内部で加湿する方式を採用しており、燃料ガスは改質ガスを加湿せずに供給する。本電池スタックは種々の試験や改良などを容易にするため、電池スタックとしてコンパクト性を追求した設計とはなっていない。

本電池スタックは単体での発電試験を実施後、発電装置へ組み込んだ。単体試験での電流・電圧特性および発電装置での定格特性を図7に示す。電流・電圧特性は良好であり、発電装置での定格点特性は設計仕様を満足した。

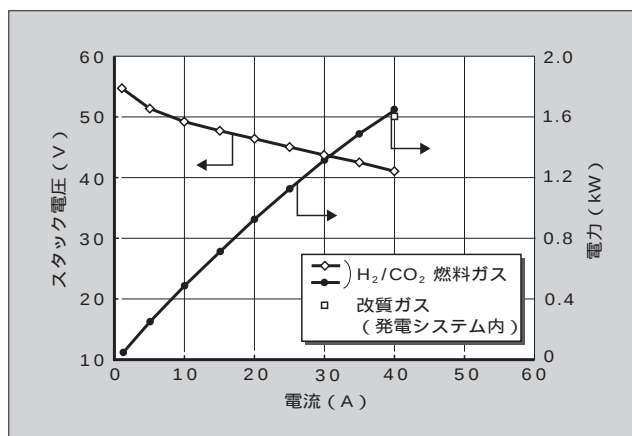
現在は、10 kW 級電池スタックの開発評価に向け、その数セル規模のショートスタックを設計、製作中であり、今後評価を開始する予定である。

4 あとがき

1 kW 級 PEFC 発電システムおよび改質ガス用電池スタックの評価を行って、比較的長期間の安定した運転が可能であることを確認した。

今後は、PEFC 発電装置の実用化に向けて以下の開発に注力していく。

図7 1 kW 級改質ガス用電池スタックの特性



- (1) 改質ガス用電池の長寿命化、コストダウン
- (2) システムの簡素化によるコストダウン
- (3) 補機動力・熱損失低減による効率向上
- (4) 発電容量の最適化および改質ガス用電池の大面積化

参考文献

- (1) 青木信，瀬谷彰利．固体高分子形燃料電池の開発．富士時報．vol.73，no.4，2000，p.231-233．
- (2) 千田仁人ほか．1 kW 級 PEFC コージェネレーションシステムの開発．第8回燃料電池シンポジウム講演予稿集．2001，p.88-91．
- (3) Takano, H. et al. The Relationship between the Humidity of Gasses and the Cell Performance of Polymer Electrolyte Fuel Cell, ECS Meeting Abstracts, vol.MA 99-2, 1999, p.418．
- (4) 榎並義晶．固体高分子形燃料電池のアノード・カソード間の水移動について．第42回電池討論会予稿集．2001，p.544-545．
- (5) Wada, T. et al. Development of PEFC Stacks in Fuji Electric. 7th Grove Fuel Cell Symposium Delegate Manual. 2001, p.2a.11．

バイオマスエネルギー利用の燃料電池の現状と展望

久保田 康幹（くぼた こうかん）

黒田 健一（くろだ けんいち）

秋山 幸司（あきやま こうじ）

1 まえがき

循環型社会の構築に向けた法整備や技術開発、ビジネスの動きがある中で、環境調和型の石油代替エネルギー資源として、自然エネルギーの中心となるのはバイオマスエネルギー（271 ページの「解説」参照）といわれている。バイオマスエネルギーは、世界レベルで大量に導入していくことが提唱されており、特に新エネルギーの導入が遅れている日本では、現在大量に廃棄されている廃木材、木くず、汚泥、生ごみ、廃棄食用油、畜産廃棄物などの「廃棄物バイオマス」の利用が地球温暖化防止をも含めた環境対策の面で期待されている。

富士電機では、1999 年から生ごみのメタン発酵ガスによるりん酸形燃料電池の適用開発に着手し、良好な運転結果を得てきた。また、2001 年から 2002 年にかけて、100 kW りん酸形燃料電池を生ごみバイオガスと下水消化ガスに適用したものを納入した。

本稿では、生ごみメタン発酵設備と下水処理場への導入事例について、そのシステムの概要について述べる。

2 都市ガスとバイオガスの相違点

一般的に有機性廃棄物を嫌気性発酵させて発生するガスはバイオガスと呼ばれているが、その成分はメタン約 60 %、二酸化炭素約 40 % である。そのほかに不純物とし、硫化水素、アンモニア、塩化水素などが含まれている（表 1 参照）。このガスの低位発熱量は約 23 MJ/m³ と都市ガスの約半分である。また、硫化水素などの不純物は、燃料電池発電装置で使用している触媒への触媒毒として作用するため、あらかじめ何らかの処理をして除去する必要がある。都市ガス中にも付臭剤として硫黄化合物が含まれるが、バイオガスの方が数百倍も多いため、通常は燃料電池発電装置の前にバイオガスの前処理装置を設置して対応する。脱硫方式は表 2 に示すように各種の方式があるが、バイオガスではハンドリングのしやすさと安価であることから通常乾式脱硫が採用される。また、硫化水素以外の不純物に

表 1 バイオガス（消化ガス）の一般的な性状

成 分	バイオガス（消化ガス）		都市ガス（13A）
	性 状（例）	燃料電池許容値（標準仕様）	
メ タ ン	60 % 程度	60 ± 2.5 %	88 %
エ タ ン	-	-	6 %
プロパン	-	-	4 %
ブ タ ン	-	-	2 %
二酸化炭素	40 % 程度	40 ± 2.5 %	-
窒 素	0.8 % 以下	0.1 % 以下	-
酸 素	0.2 % 以下	50 ppm 以下	-
硫化水素	500 ~ 1,000 ppm	2 ppm 以下	-
硫黄化合物（硫化水素以外）	500 ppb 以下	50 ppb 以下	6 ppm
アンモニア	1 ppm 以下	1 ppm 以下	-
発 熱 量（kJ/m ³ ） ^{*1}	21,500	21,500	41,600

*1：低位発熱量，0，1 気圧基準

ついては、その量にもよるが活性炭塔を設置して除去している。このようにして処理したバイオガスは、通常の都市ガスや LPG（Liquefied Petroleum Gas）を燃料とした燃料電池発電装置に若干の改造を施すことによって発電に利用できる。

3 生ごみメタン発酵設備と下水処理場への適用例

富士電機では、2001 年 7 月に生ごみメタン発酵設備とバイオガスを利用した燃料電池発電施設（環境省、神戸市ポートアイランド地区）を、また、2002 年 3 月には下水処理場の消化ガスを利用した燃料電池発電装置（山形市浄化センター）を納入した。

以下にこれらのシステムについて述べる。

3.1 生ごみバイオガス発電施設

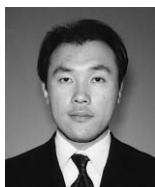
3.1.1 システムの概要

本システムは、図 1 に示すとおり、前処理設備、メタン



久保田 康幹

りん酸形燃料電池発電装置のシステム開発、水素製造装置の開発に従事。現在、事業開発室燃料電池部課長。化学工学会会員。



黒田 健一

オンサイト用りん酸形燃料電池のプラントエンジニアリングに従事。現在、事業開発室燃料電池部主務。



秋山 幸司

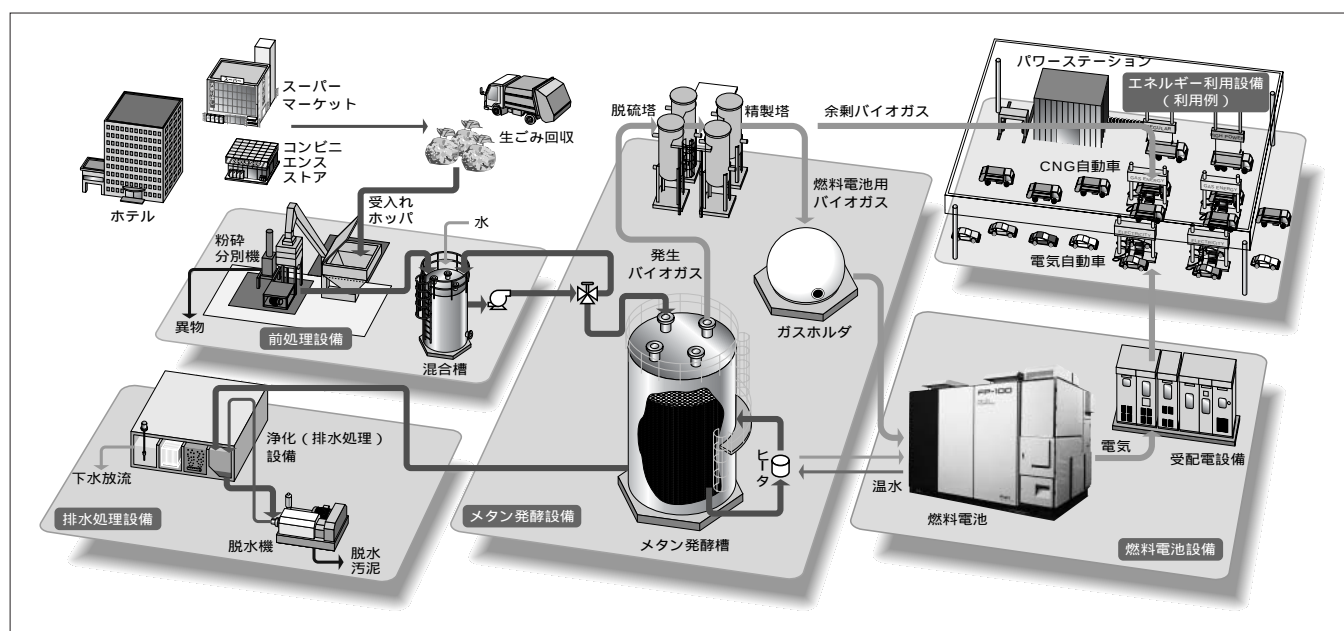
環境分野における廃棄物処理プラントのエンジニアリング業務に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム事業部環境プラント技術部主任。

表 2 脱硫方式の比較

脱硫方式 項 目	常温脱硫	水添脱硫	乾式脱硫	乾式脱硫
脱硫剤名称	ゼオライト系	Ni-Mo 系 + ZnO Co-Mo 系 + ZnO	酸化鉄系	鉄-亜鉛系酸化物系
硫黄種	TBM (ターシャリブチルメルカプタン) DMS (ジメチルサルファイド)		H ₂ S (硫化水素)	H ₂ S (硫化水素)
脱硫方式	物理吸着	化学吸着	化学吸着	化学吸着
主な反応	—	R-CH ₂ SH + H ₂ → R-CH ₃ + H ₂ S H ₂ S + ZnO → ZnS + H ₂ O	Fe ₂ O ₃ + 3H ₂ S → Fe ₂ S ₃ + 3H ₂ O	ZnFe ₂ O ₄ + 3H ₂ S + H ₂ → ZnS + 2FeS + 4H ₂ O
反応温度	常 温	250 ~ 300	常 温	440 ~ 450
用 途	都市ガス, LPG	都市ガス, LPG	消化ガス, バイオガス	石炭ガス化
適用燃料電池	固体高分子形燃料電池	りん酸形燃料電池	りん酸形燃料電池	熔融炭酸塩形燃料電池

TBM : CH₃CH₂CH₂CHSH, DMS : CH₃SCH₃ (硫化メチル)

図 1 生ごみバイオガス化燃料電池発電システムの概要



発酵設備、排水処理設備、燃料電池設備およびエネルギー利用設備（将来設置予定）により構成される。システムのうち、メタン発酵システムについては、鹿島建設（株）の「高温メタン発酵式有機性廃棄物処理システム」（商品名：メタクレス）を採用し、燃料電池システムは、富士電機が開発・製造・商品化している「100 kW りん酸形燃料電池発電装置」（商品名：FP-100）を採用している。両システムの組合せは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「平成 11 年度新規産業創造型提案公募事業⁽¹⁾」により、実験室レベルでの検証が完了しているが、実用機レベルでのシステム構築は今回が初めてである。

外観を図 2 に示す。

本システムの各設備の概要を以下に述べる。⁽³⁾

(1) 前処理設備

神戸市内のホテルから排出された生ごみ（6 t/日）は、収集車により施設に搬入され、受入れホッパに投入される。そして、破袋・破砕された後、油圧プレス式粉碎分別機により異物（ラップ、金属片、割りばしなど）を分別し、微

図 2 生ごみバイオガス化燃料電池発電システムの外観



生物分解に適した有機物のみをペースト化する。しかし、ペースト化された有機物は粘度が高く、また粒度も大きいいため、混合槽にて同量程度の希釈水を加えた後、粉碎ポンプ（カタポンプ）により微粉碎した生ごみスラリーとし

て、後段のメタン発酵槽に投入する。

なお、収集の際使用するビニル袋は、生分解性ビニル袋を環境省が準備し、ホテル（生ごみ排出者）に支給して、協力を要請している。生分解性ビニル袋は、粉碎分別機による異物除去ができなかった場合でも、後段の排水処理設備により微生物分解される。

(2) メタン発酵設備

メタン発酵槽本体は、内径 5,200 mm、高さ 8,500 mm のステンレス鋼製円筒形の固定床式リアクタである。内部には直径 100 mm、長さ 6,500 mm の円筒形炭素繊維微生物担体を充てんしている。微粉碎された生ごみスラリーは、メタン発酵槽上部から投入され、下向流しながら、メタン生成菌を主体とする高温嫌気性微生物により嫌気性発酵する。平均滞留時間は約 8 日である。また、リアクタ下部から引き抜かれた発酵液は、熱交換器を介し、55℃ に加温されリアクタ上部へ循環させる。この際の熱源には、燃料電池から排出される温水を利用する。

高温嫌気性発酵により発生するバイオガスは、メタンと二酸化炭素がその主成分であるが、硫化水素、アンモニアなどの不純ガス成分も含まれている。こうした不純ガス成分は、後段の燃料電池発電装置に悪影響を及ぼすため、脱硫塔（酸化鉄）、精製塔（活性炭）を通し、不純ガス成分を取り除いた後、燃料電池設備へ供給される。

また、脱硫・精製されたバイオガスは、二重バルーン構造のガスホルダ（30 m³）にも貯留され、バイオガス発生量の変動に対応している。

(3) 排水処理設備

メタン発酵槽のオーパフローにより排出される発酵廃液や、各プロセスから排出される污水は、施設内にある排水処理設備に集められる。嫌気・好気性処理を行った後、浸漬膜を通した処理水を下水道に放流する。また、排水処理により発生した汚泥は、脱水処理し、施設外に排出する。

(4) 燃料電池設備

りん酸形燃料電池は、バイオガス中のメタン（CH₄）を燃料電池パッケージ内の改質器で改質された水素（H₂）と、空気中の酸素（O₂）による電気化学反応により、電気（直流）を取り出すものであり、取り出された電気（直流）はインバータにより AC 200 V・60 Hz の交流に変換して施設内に電力を供給する。施設内の消費電力はすべて燃料電池で賄い、約 40 % の電力は余剰となり、有効活用が可能である。

(5) エネルギー利用設備（将来）

環境省による本事業では、地域における循環型事業を目指し、発生した電力・ガスのうち、余剰分について地域循環に適した利用を計画している。

現在、余剰ガス・電力を利用した「ガス自動車用ガススタンド」「電気自動車用電気スタンド」を施設わきに併設することを検討している。

3.1.2 バイオガス発電の導入効果

本システムを導入することにより以下の効果が期待される。

- (1) 生ごみを焼却することなく減容化することによる、化石燃料削減および CO₂ 発生抑制
- (2) 余剰電力の有効利用による化石燃料削減および CO₂ 発生抑制
- (3) 余剰ガスの有効利用による化石燃料削減および CO₂ 発生抑制
- (4) 生ごみを分別回収することによる廃棄物全体量の削減（リデュース）
- (5) 本事業をテーマにした環境実践教育による波及効果
なお、本事業における実施検証期間は 3 年間で予定している。

3.2 下水処理場への導入

現在、下水汚泥の嫌気性処理は、国内の下水処理場では約 300 施設が稼働している。これら施設の消化ガスの総発生量は約 2.6 億 m³/年であり、その利用は消化タンクの加温や消化ガス発電、汚泥燃焼の補助燃料などに利用されている。消化ガス発電には約 15 % が利用されているが、発電の形態はガスエンジンがほとんどである。最近、従来のガスエンジンによる発電に比較して発電効率や環境面に優れている燃料電池の導入が試みられている。富士電機においても、山形市浄化センターに 2002 年 3 月に燃料電池を納入した。山形市浄化センターは日平均流入量 40,000 m³/日の下水処理場である。また下水汚泥は、嫌気性発酵して約 4,200 m³/日の消化ガスが発生している。発生した消化ガスの一部は 178 kW のガスエンジンで発電し、有効利用しているが、消化ガス量の増大に対応するために 100 kW りん酸形燃料電池を 2 台導入して、電力を回収するとともに、同時に発生する熱は消化タンクの加温に利用するシステムとしている。システムの概要を図 3 に示す。また、燃料電池設備の仕様を表 3 に示す。

燃料電池を導入することによって、省エネルギー効果・環境効果は、

- (1) 原油換算省エネルギー効果：458 kL/年（燃料電池 2 台導入分）
- (2) CO₂ 削減効果：1,140 t/年（燃料電池 2 台導入分）
- (3) NO_x 削減効果：460 kg/年（燃料電池 2 台導入分）
- (4) SO_x 削減効果：412 kg/年（燃料電池 2 台導入分）が可能である。

4 今後の展開

燃料電池発電は、一般的なガス発電機関（ガスエンジン、ガスタービンなど）と違い、燃料ガスを燃焼させることなく発電できることから、排気がきわめてクリーン（NO_x：5 ppm 以下、SO_x：検出限界以下）であると同時に、回転エネルギーを介することなく発電できることから、高い発電効率を得られる。また、発電に要する電気化学反応の際発生する温水は、熱回収することにより利用が可能である。

「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律」（食品リサイクル法）の施行により、産業界では生ごみバイオ

図3 山形市浄化センター向け燃料電池発電設備の概略フロー図

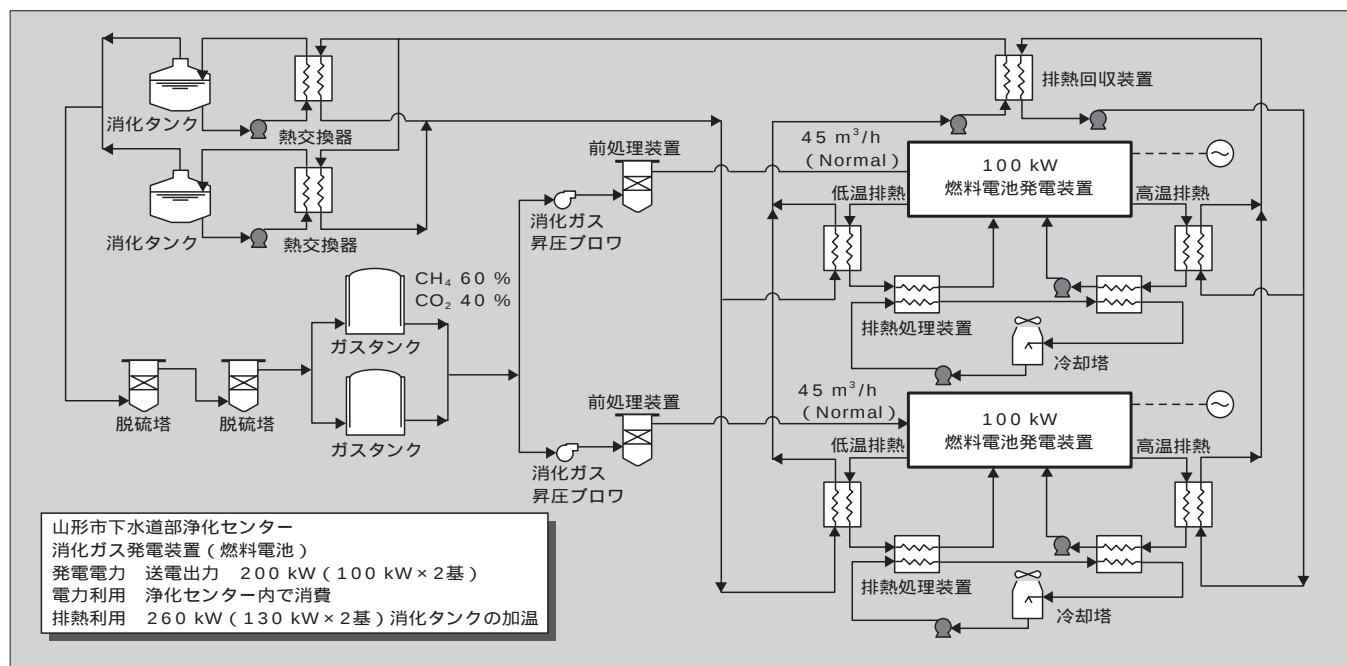


表3 山形市浄化センター向け燃料電池発電装置の仕様

項 目	仕 様
定 格 出 力	100 kW（送電端）
出力電圧・周波数	210 V，50 Hz
発 電 効 率	38 %（定格時，送電端，LHV）
総 合 効 率	87 %（定格時，送電端，LHV）
原 燃 料	消化ガス（メタン 60 %，二酸化炭素 40 %）
消 費 量	45 m³/h（Normal）
運 転 形 態	全自動運転・系統連系
熱 出 力	20 %（90 温水） 29 %（50 温水）
排 ガ ス	NOx：5 ppm 以下 SOx：検出限界以下
騒 音 特 性	65 dB（A）（機側 1 m 平均値）
代 表 寸 法	2.2 m（W）× 4.1 m（L）× 2.5 m（H）
質 量	12 t

ガス発電の実証試験の3年を待たずに，リサイクルの実践が加速されると考えている。この生ごみバイオガス発電システムは，こうした食品リサイクル法の実証例となる。

今後，実施検証により，上記効果が検証されることにより，食品リサイクルと地球温暖化防止の輪が広がりを見せることを期待したい。

また，下水の消化ガス施設で 100 kW 燃料電池を稼働させるのに必要な消化ガス発生量を有する施設は約 100 か所以上あり，現在はボイラ燃料など熱エネルギーとして利用されている。今後 CO₂ 排出削減のためには分散電源として消化ガスを利用する燃料電池が普及していくものと予想される。政府においても，資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会の報告書において 2010 年のバイオマス発電の導入目標を設備容量で 33 万 kW/年（1999 年に対し約 4 倍，原油換算で 34 万 kL/年）として

示している。⁽⁴⁾

今後は，バイオガスの燃料電池への適用例を増やしていくために以下の開発に注力していく考えである。

- (1) 50 %程度の低メタンガス濃度に対応した燃料電池の開発
- (2) バイオガス発生量の変動（0～100 %）に追従する燃料電池の開発
- (3) メタン発酵設備に適した排熱利用の開発

5 あとがき

生ごみのメタン発酵によるバイオガスや下水汚泥の消化による消化ガスを利用したりん酸形燃料電池の適用例について述べた。有機性廃棄物の減容化を推進するうえでメタン発酵技術はその省エネルギー性からいっても最適であると考えられ，発生するメタンガスの利用方法としては，燃料電池が適している。

さらに，バイオガスを利用した燃料電池発電が導入されるよう関係各方面のご指導・ご支援をお願いしたい。

参考文献

- (1) 東郷芳孝・新エネルギー・産業技術総合開発機構平成 11 年度新規産業創造型提案公募事業成果報告会予稿集，2000，p.822．
- (2) 黒田健一・燃料電池を用いた生ごみ処理システム．第 7 回燃料電池シンポジウム講演予稿集，2000，p.52．
- (3) 秋山幸司・生ごみバイオガス化燃料電池による発電施設．OHM．vol.88，no.9，2001，p.101．
- (4) 新エネルギー部会報告書（案）～今後の新エネルギー対策のあり方について～．総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会，2001-5．

小型パルスチューブ冷凍機

鴨下 友義 (かもした ともよし)

保川 幸雄 (やすかわ ゆきお)

大嶋 恵司 (おおしま けいし)

1 まえがき

パルスチューブ冷凍機は1960年代に発明された極低温冷凍機で、膨張部に可動機構であるピストンを有するスターリング冷凍機に対して、膨張部に可動部を持たないパイプで構成されているため次の特徴がある。

- 構造が単純
- 冷凍部の低振動化
- 長寿命、高信頼性で保守が容易

パルスチューブ冷凍機は、これらの特徴から長時間の無保守運転や低振動が要求される用途への利用が期待され、民生用としては通信分野などでの高温超伝導デバイスの冷却や医療用などに、宇宙用としては赤外線デバイスなどの冷却用への応用が有望である。

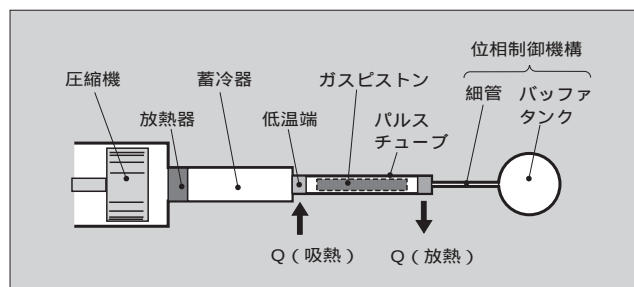
富士電機では、1978年に赤外線センサ用のスターリング冷凍機を開発して以来、これまで人工衛星搭載用として冷凍出力1.4W(70K時)のスターリング冷凍機を開発してきた。この冷凍機は長寿命化を狙い50,000時間の信頼性を確保している。近年はこの高信頼性技術をベースに小型・高効率のパルスチューブ冷凍機の開発に取り組み、冷凍出力2.5W、冷凍温度70Kの小型パルスチューブ冷凍機を開発した。

本稿では、新たに開発した小型パルスチューブ冷凍機について紹介する。

2 冷凍機の構成と原理

パルスチューブ冷凍機は図1に示す模式図のように、圧縮機、放熱器、蓄冷器、低温端、パルスチューブおよび位相制御機構から構成される。冷凍機の基本サイクルはスターリングサイクルに基づいている。スターリングサイクルとは、二つの等温変化と二つの等容変化から形成される冷凍サイクルである。パルスチューブ冷凍機とスターリング冷凍機の大きな相違点は、膨張機である。スターリング冷凍機の場合、膨張機はピストンとシリンダにより構成されるが、パルスチューブ冷凍機の膨張機には可動部がなく

図1 パルスチューブ冷凍機の模式図



パルスチューブ内のガス(これを「ガスピストン」と称する)がその役割を担っている。⁽²⁾

圧縮機はピストンの往復動によりガスの周期的な圧力振動を発生する。放熱器は圧縮仕事により発生した熱を系外へ捨てる。蓄冷器は放熱器と低温端の間にあり、低温端で発生した冷熱を蓄積する熱交換器としての役割を果たしている。ガスピストンがパルスチューブ内で動作し、膨張仕事をして冷凍を発生させるためには、圧力とガスピストン位置が最適な位相をとる必要がある。そのためにインダクタンス成分と抵抗成分に相当する細管とキャパシタンス成分に相当するバッファタンクから成る位相制御機構を用いている。

パルスチューブ冷凍機はその構成からインライン形とリターン形に分類される。インライン形とは図1の模式図に示すように蓄冷器、低温端、パルスチューブが直線状に並んだ構成であり、リターン形とは低温端を起点として蓄冷器とパルスチューブが折り返された構成である。インライン形はパルスチューブ低温端での整流が容易なため冷凍機としての効率は高い。一方、リターン形は被冷却体の取付け自由度が大きい。本開発では、高効率を目指すためインライン形を採用した。

3 パルスチューブ冷凍機

3.1 開発経緯

富士電機ではこれまで、赤外線センサの冷却を目的とし



鴨下 友義

工業用計測発信器の設計、燃料電池の開発、設計、クライオクーラの開発に従事。現在、東京システム製作所CCプロジェクトゼネラルマネージャー。



保川 幸雄

冷凍機および超電導応用機器の研究・開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所機器技術研究所メカトロニクスグループ主任研究員。低温工学協会会員。



大嶋 恵司

クライオクーラの研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所機器技術研究所メカトロニクスグループ(東京分室)主任研究員。

た特殊車両用や人工衛星搭載用のスターリング冷凍機を開発してきた。図2に富士電機におけるこれまでの開発経緯を示す。冷凍機の開発は、1978年の特殊車両用冷凍機が最初であり、この技術を生かして1984年から人工衛星搭載用冷凍機を開発した。1990年から開発をスタートした人工衛星搭載用の冷凍機は、冷凍出力1.4 W (70 K 時) であり、長寿命化を狙い50,000時間の信頼性を確保した。今回開発したパルスチューブ冷凍機の圧縮機も、この高信頼性技術をベースとして開発した。開発のコンセプトは高信頼性、低コスト、コンパクトかつ高効率である。開発したパルスチューブ冷凍機の仕様を表1に示す。また、外観を図3に示す。冷凍出力は2.5 W (低温端温度70 K) で、消費電力は120 W である。また、圧縮機寸法を外径92 mm × 長さ190 mm として小型化を図った⁽⁴⁾。

3.2 パルスチューブ冷凍機の性能

図4に冷凍機への供給電力を一定にしたときの低温端温度と冷凍出力の関係(冷却ロードライン)を示す。冷凍出力は低温端温度に対してリニアに増加している。消費電力を上げるとは、圧縮機のピストンストロークを増大させることを意味しており、消費電力が大きいほど、冷却ロードラインの傾きが大きくなることが分かる。

図5には、低温端温度と比出力の関係を示す。比出力とは消費電力を冷凍出力で除した値であり、単位冷凍出力を得るために必要な消費電力を意味している。この値が小さいほど冷凍機の効率がよい。図から設計温度70 K では消費電力が120 W のときの運転が最適であることが分かる。

図2 富士電機における冷凍機の開発経緯

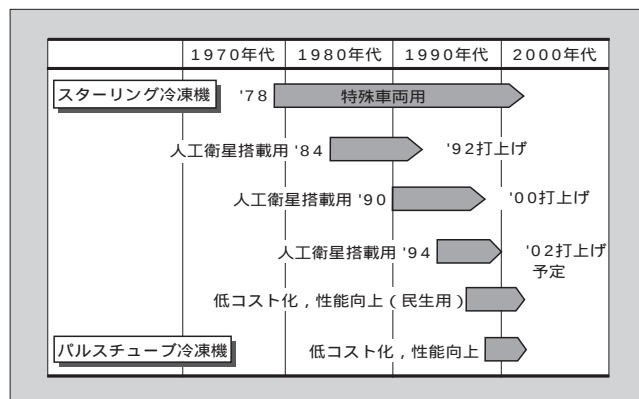


表1 パルスチューブ冷凍機の仕様

冷凍出力	2.5 W (70 K 時)
消費電力	120 W
比出力	48 W/W
運転周波数	50 Hz
封入圧力	3.1 MPa
寿命	50,000 h
圧縮機寸法	外径 92 mm × 長さ 190 mm
質量	8.5 kg

この点は設計点である 2.5 W (70 K 時) に一致し、比出力は 48 W/W であった。消費電力が 195 W のときは、3.8 W (70 K 時) の冷凍出力が得られる。しかし、比出力も大き

図3 パルスチューブ冷凍機の外観

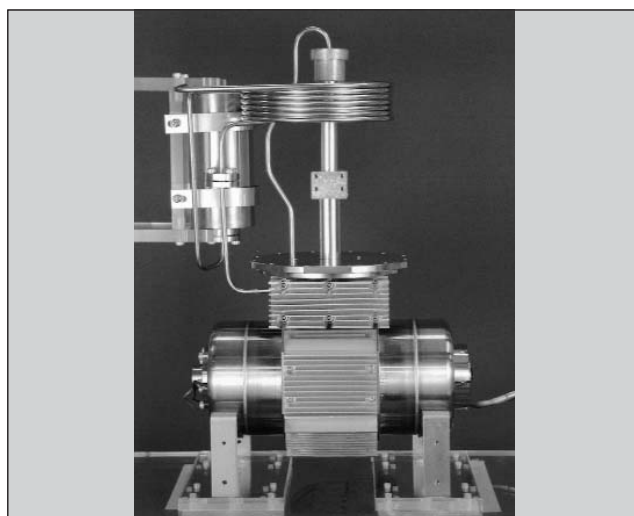


図4 低温端温度と冷凍出力の関係

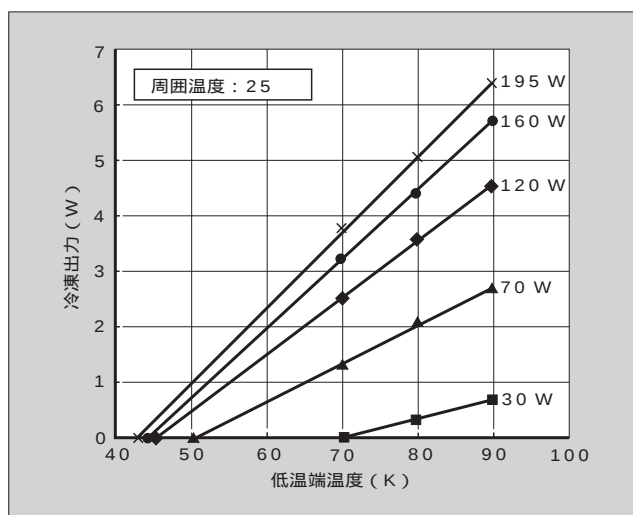
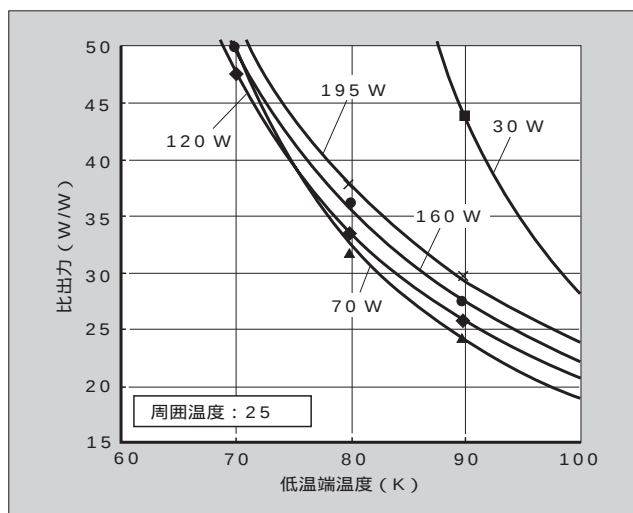


図5 低温端温度と比出力の関係



い。これは設計点を超えたところでの運転であるため、 I^2R ロス（銅損）が大きくなり、消費電力が増大しているものと考えられる。

3.3 基本構成と設計

パルスチューブ冷凍機の開発にあたっては、高効率化を目指した膨張機の構成パラメータの最適化、さらには膨張機と圧縮機との組合せの最適化を図った。また、長寿命・高信頼性のためには、ピストン支持にフレクシャベアリングを採用し、ピストンとシリンダがしゅう動しないクリアランスシール構成とするとともに、ガスを汚染する材料の使用を極力低減した。

3.3.1 膨張機

図6にパルスチューブ冷凍機の断面図を示す。膨張機は可動部を持たないシンプルな構造であるが、蓄冷器寸法やパルスチューブ寸法などの最適化設計を行うのは、計算と合いにくい場合が多い。

膨張機の高効率化を図るためには、圧縮機から与えられたPV仕事に対して、

- (1) 発生冷凍量すなわち図示冷凍出力を大きくする。
- (2) 低温端への熱侵入量を小さくする。

ことが肝要である。(1)を満足するためには、圧力振幅とガスピストン振幅を大きくし、その両者の位相差を90°に近づける。(2)を満足するためには、熱侵入量のうち半分以上を占める蓄冷器の非効率による熱の持込みを低減する必要がある。(1)はパルスチューブ寸法と位相制御機構の構成の最適化が必要であり、(2)は蓄冷器の構成である表面積と熱容量が大きくかつ圧力損失の小さい蓄冷材が必要となる。そこで、蓄冷器寸法、蓄冷器材料、パルスチューブ寸法をパラメータとして冷却性能試験により最適値を求めることとした。その結果、パルスチューブ容積と蓄冷器容積の比には最適値が存在することを見だし、蓄冷器およびパルスチューブの寸法を決定した。また、運転条件では

圧力を上げることで性能が向上するが、圧力容器設計も考慮し3.1 MPaとした。運転周波数は位相制御機構の最適化と圧縮機の適合性も考慮して50 Hzに決定した。

低温端は作動ガスとの熱交換およびパルスチューブ低温側の整流を行う重要な部分である。また、放熱器も同様に熱交換と整流が要求される要素である。そこで、伝熱性能の向上と整流を併せ持つ構成に工夫を施し、構造を決定した。

3.3.2 圧縮機

圧縮機は、高信頼性、低コスト、コンパクトが要求されている。この要求を達成するために、以下のような特徴を持たせている。各部の構成と名称は、図6のパルスチューブ冷凍機の断面図に示している。構造上の特徴は次のとおりである。

- (1) 一組のピストンを対向して配置することにより、それぞれの慣性力を相殺し発生振動を低減する。
- (2) ピストンを駆動するリニアモータ（VCM）の可動部は、二組のフレクシャベアリングで片側から支持しており、従来用いられていたリニアモータの可動部を両側から支持する方式と比較すると、軸方向寸法の大幅な短縮を可能にしている。
- (3) ピストンは数十 μm の微少すきま（クリアランス）を介してシリンダに挿入され、しゅう動のないクリアランスシールを構成している。
- (4) リニアモータの継鉄部と外部フレームを兼用させることにより、小型・軽量化を図っている。
- (5) 各構成部品は、プレス加工・射出成形など量産効果の高い方式を盛り込み、高精度な機械加工は最小限にして、低コスト化を図っている。

3.3.3 寿命・信頼性

冷凍機の構成の中で、寿命・信頼性に影響を及ぼす要因は圧縮機のピストン支持部およびリード線の疲労、作動ガスの汚染、などである。このため、クリティカル要素について個別に信頼性評価を実施している。

(1) フレクシャベアリング設計と信頼性

冷凍機の部品の中で疲労設計の必要なものは可動部材であるフレクシャベアリングとリード線である。これらについては、有限要素法による非線形構造解析および試作によるつぎ合わせ評価をすることにより設計手法を確立し、それぞれの部品について形状・寸法を最適化している。図7に有限要素法によるフレクシャベアリングの応力解析例、図8に変位—負荷特性の解析と実測の比較例を示す。フレクシャベアリングとリード線の材料は、疲労限度の高い銅合金を用いており、疲労限界値に対する安全率は寿命50,000時間の設計実績がある衛星搭載用冷凍機の基準に準拠している。リード線については、配置する空間に余裕があるためフレクシャベアリングより大きい安全率を採用し、信頼性を向上させている。

上述のフレクシャベアリングで可動部（モータコイル、ピストン、リード線）を支持した場合のピストン先端における直進度は、設計仕様値を満足しており、ピストンとシ

図6 パルスチューブ冷凍機の断面図

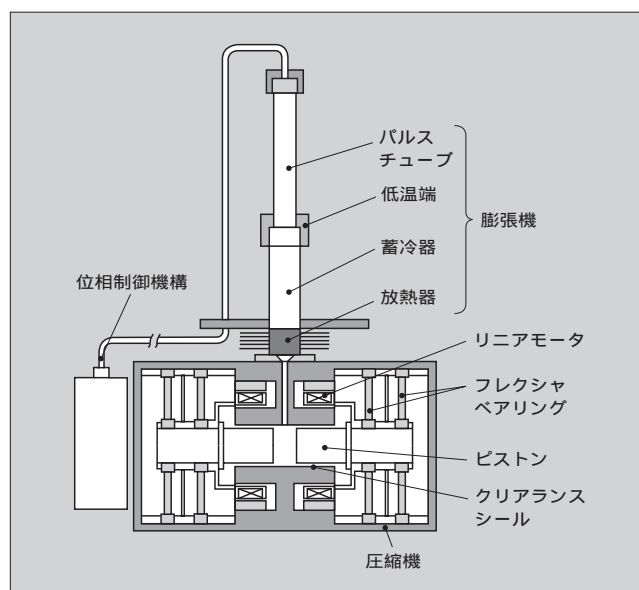


図7 有限要素法による解析例

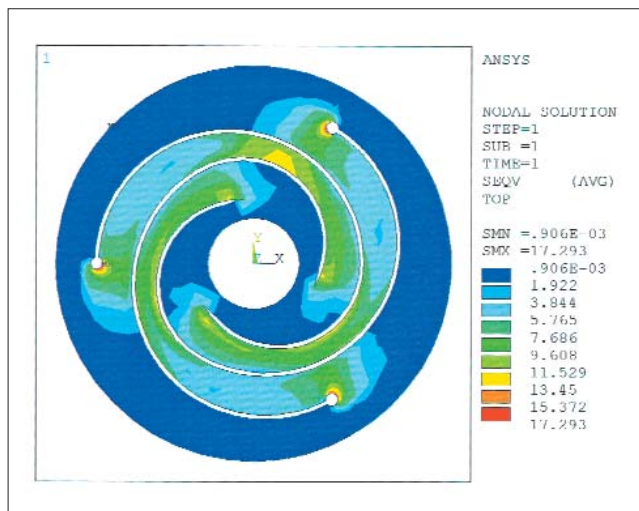
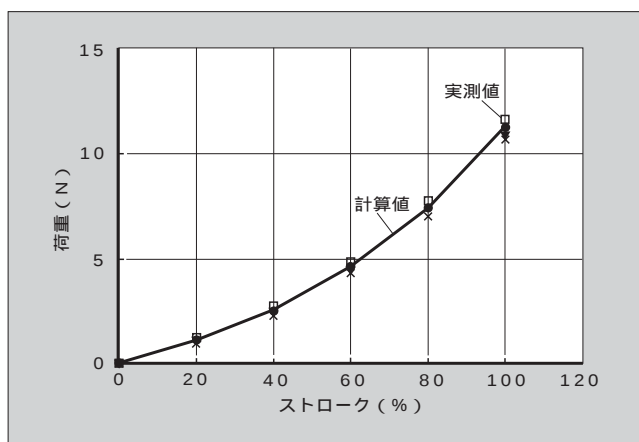


図8 フレクシャベアリングの変位-負荷特性



リング間を非接触でシールするクリアランスシールの構成を可能にしている。このピストン先端の直進度を評価した連続試験結果を図9に示す。直進度は、材料の疲労限度といわれる 10^8 回以上 (約 5,000 時間の運転) の繰返し動作の前後で変化がない。この試験は、現在も継続中である。

(2) 作動ガスの信頼性

冷凍機の実動ガスにはヘリウムを用いており、これが汚染されると冷却能力が低下する。そこで、冷凍機内部に使用する部品 12 品目について、実機を模擬した汚染ガス発生装置を製作している。汚染ガスの発生は、代替材料の組合せおよび洗浄・脱ガス条件 (2 条件) をパラメータにして、アレニウス則を適用した温度加速を行い、短期間で汚染ガスを発生させることにより環境温度と汚染ガス発生との関係を定量化できるようにした。

また、この汚染ガスを冷凍機に充て込んで冷却能力試験を行い、ガス汚染度と冷凍機の冷却能力の関係を定量化した。図10にガス汚染度と冷却能力の関係を示す。冷却能力は、作動ガスの汚染度が大きいほど低下する。本冷凍機の場合は、コストとのトレードオフにより初期状態からの冷却能力の低下が 10 % 以下になるように構成材料と脱ガス処理条件を決定している。

図9 フレクシャベアリングの直進性

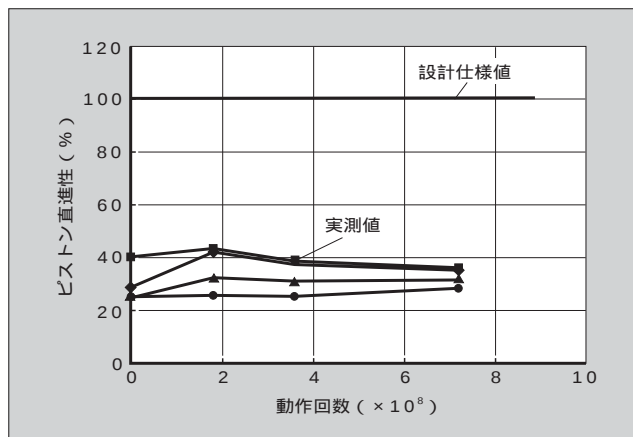
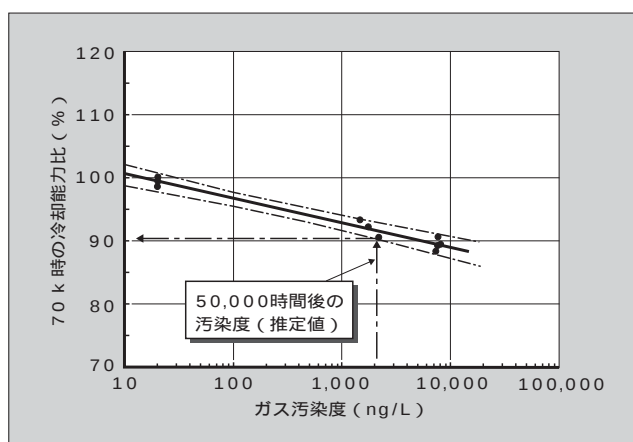


図10 ガス汚染度と冷却能力の関係



4 あとがき

パルスチューブ冷凍機開発の現状について述べた。

液体窒素温度領域まで冷却するパルスチューブ冷凍機は通信分野などでの高温超伝導デバイス冷却や精密磁気計測を用いた医療分野用などへの適用が期待されている。今後、民生用として普及するためには低コスト化が課題であり、これまでに培った技術をベースにコスト低減に注力していく所存である。

参考文献

- (1) 藤並太・超小型冷凍機の開発動向・低温工学・vol.30, no.2, 1995.
- (2) Matsubara, Y. et al. An Experimental and Analysis Investigation of 4K Pulse Tube Refrigerator. 7th International Cryocooler Conference Proceedings. Air Force Phillips Laboratory Report PL-CP-93-1001, 1993, p.166-186.
- (3) 藤並太ほか・衛星搭載センサ冷却用クライオクーラ・富士時報・vol.70, no.6, 1997, p.338-342.
- (4) 保川幸雄ほか・小型パルスチューブ冷凍機の開発・第 65 回低温工学・超電導学会講演概要集・2001, p.272.

超音波複合分解装置

川上 幸次 (かわかみ こうじ)

田中 義郎 (たなか よしお)

北出 雄二郎 (きたいで ゆうじろう)

① まえがき

近年、地下水汚染で有名となったトリクロロエチレン（トリクレン）やテトラクロロエチレン（パークレン）などの難分解性有機塩素化合物に代表される環境汚染が社会問題となっている。現在、これら環境汚染物質の使用後の廃液の回収、廃棄処理が実施されているが、処理コストなどの点で、ばっ気による大気放散処理、および活性炭吸着後、埋立てあるいは焼却処理されることが主流となっている。しかし、これらの方法は大気汚染および産廃量増加による埋立地不足、ダイオキシン生成、浸出水汚染などの問題が生じている。

一方、最近、これら難分解性の環境汚染物質を分解・無害化する方法として、光触媒酸化分解法、オゾンと他手段、例えば過酸化水素や紫外線などを組み合わせた促進酸化分解法（AOP：Advanced Oxidization Process）や超臨界水分分解法などが実用化されているが、物質により分解が困難である場合や、装置が大掛かりとなり高コスト処理となる場合があった。これにより需要が大きいと見込まれる小・中容量処理規模での適用が困難であった。

したがって、小型、低コスト、無試薬で、廃液中の環境汚染物質を排水基準の低濃度レベルまで分解処理可能なオンサイト設置型廃液処理装置の開発が望まれている。

富士電機は、近年研究が盛んな超音波照射による揮発性有機物質などの分解、および上記促進酸化分解法や殺菌などで実用化されている紫外線照射に着目し、この超音波と紫外線を同時照射することで効率的な分解（超音波複合分解）が可能であることを確認し、現在その一適用例としてドライクリーニング廃液処理装置の開発を行っている。

本稿では、まず水中への超音波照射による化学反応、すなわち超音波化学反応（ソノケミストリー）を用いた超音波分解について概説したうえで、超音波と紫外線の効果を組み合わせた超音波複合分解装置の概要およびクリーニング廃液処理装置への適用例について解説する。

② 超音波分解の概要と課題

水中への強力な超音波照射で生じる超音波化学反応により、有害物質を分解する方法がその簡便性ゆえ最近注目を浴びている⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾。図1に超音波分解装置の例と分解機構の概略を示す。反応容器の底には超音波振動子を取り付けられており、容器に試料溶液を満たし、振動子の共振周波数（通常 20 kHz ~ 1 MHz）に相当する高周波電圧を発振・増幅させて振動子に入力させると、試料溶液中に疎密波（縦波）としての超音波が μs オーダーのサイクルで照射される。この超音波化学反応の機構は図1に示すように現在までのところ、

キャビテーション気泡内部における高温・高圧分解
上記 から生成する OH ラジカルによる酸化分解
の2種類とする説が有力となっている。

ここでキャビテーションとは、微小気泡の急速膨張・圧壊の現象をいい、OH ラジカルは活性酸素の一種で高酸化性物質である。

この超音波分解の機構を以下に順を追って説明する。

- (1) 水中への超音波照射により、正の音圧を受けた水が圧縮、次いで負の音圧で減圧された際、部分的に水が引きちぎられ、真空の空洞（キャビティ）すなわちキャビテーション気泡（以下、気泡と略す）を多量に生じる。
- (2) 気泡形成時に、水中の揮発性物質、例えばパークレンおよび多量に存在する水分子は気泡内に気化・移行する。
- (3) 気泡は次にくる正の音圧で押しつぶされることにより圧壊し、瞬間的な断熱圧縮により、気泡内は数千度、数百気圧レベルの高温・高圧状態となる。この際、気泡内に進入した揮発性物質は熱分解し、無害な炭酸ガスやハロゲンイオンなどになる。このとき気泡周囲の液相（水溶液自身）は常温で、気泡界面は高温・高圧～常温・常圧のこう配条件となっている。
- (4) 気泡内に進入した水分子も同様に熱分解し、 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}\cdot + \cdot\text{OH}$ の反応により、H ラジカル（ $\text{H}\cdot$ ）と OH ラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）が生成する⁽⁷⁾。ここで、H ラジカルは水素ガスもしくは水素イオンとなり安定化するが、OH ラ



川上 幸次

水質計、水処理装置の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所機器技術研究所副主任研究員。日本化学会会員、日本分析化学会会員。



田中 義郎

上下水道、環境分野のプラント設計および電気・計測システム設計に従事。現在、電機システムカンパニー水処理システム事業部水環境技術部長。



北出 雄二郎

超音波応用機器、電磁気応用機器の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所取締役機器技術研究所長。日本機械学会会員。

ジカルは表 1 に示すようにオゾンより高い酸化力を有しており、気泡内の揮発性物質だけでなく、気泡界面や液相に存在する非揮発性物質も酸化分解し、無害な物質とする。

- (5) 上記気泡の形成・圧壊により引き起こされる高温・高圧分解、および OH ラジカルによる酸化分解が、個々の気泡において μs オーダー（周波数により異なる）という高速サイクルで繰り返され、分解が効率よく行われる。上記 1)~(5) から超音波分解は三つ（気泡内、気泡界面、液相）の反応領域を有すると考えられている。^{(4)~(6)}

したがって、疎水性物質は気泡内または気泡界面で、親水性物質は液相で分解しやすく、これまでに各種の有機塩素化合物、界面活性剤、環境ホルモンなどの分解が確認されている。

しかし、パークレンのような揮発性物質を超音波分解する際には、分解速度が低濃度域で低下し、排水基準までの分解が困難であった。この原因は図 2 に示した機構で説明ができる。

すなわち、パークレンの水中における濃度が中・高濃度域では気泡内への移行が十分に行われ、結果として気泡内

での熱分解および気泡界面での OH ラジカルによる分解が迅速に起こる。しかし低濃度域では、パークレン分子は液相中で水和し安定した状態で存在しているため、気泡内への移行はほとんど生じず、また気泡界面に生成した OH ラジカルも反応領域が異なる液相のパークレンを分解できない。次いで OH ラジカル同士が再結合し、 $HO \cdot + \cdot OH \rightarrow H_2O_2$ の反応式で過酸化水素が液相に生成する。この過酸化水素は表 1 から OH ラジカルより酸化力が低く、難分解性のパークレンの分解は困難となる。以上のことから、揮発性物質の超音波分解においては低濃度域における効率分解が課題となっていた。

③ 超音波複合分解装置の概要

富士電機は上記超音波分解の課題を解決するため、促進酸化分解法や殺菌などで使用されている紫外線照射に着目し、超音波と紫外線を同時照射することで中・高濃度域だけでなく低濃度域においても効率的な分解（超音波複合分解）を確認し、その技術を適用した装置の開発を行っている。

図 1 超音波分解装置と分解メカニズムの概略

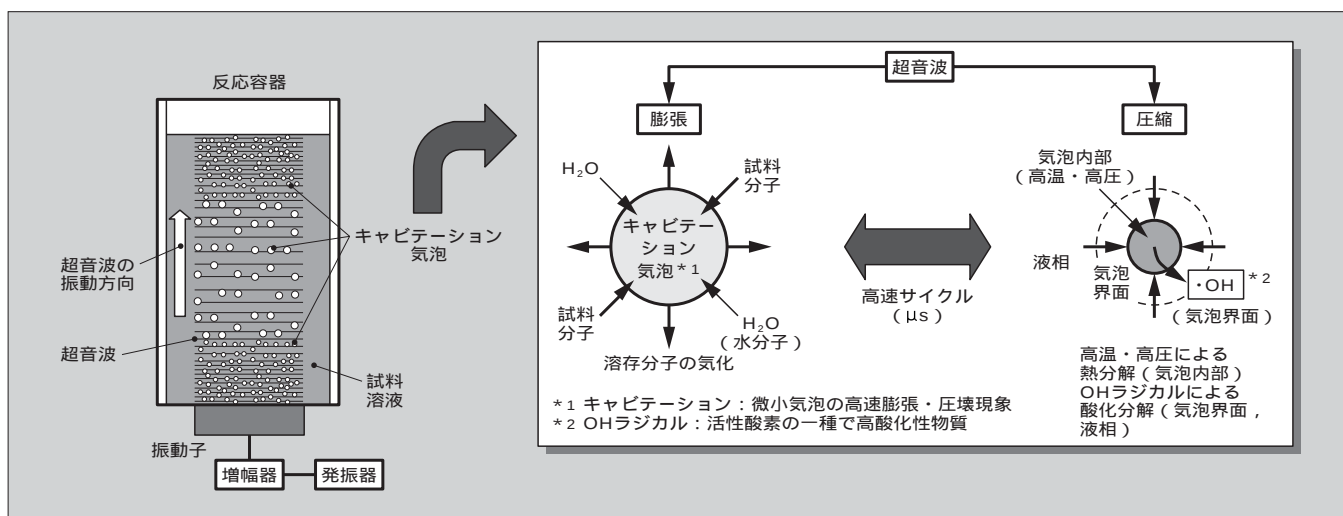
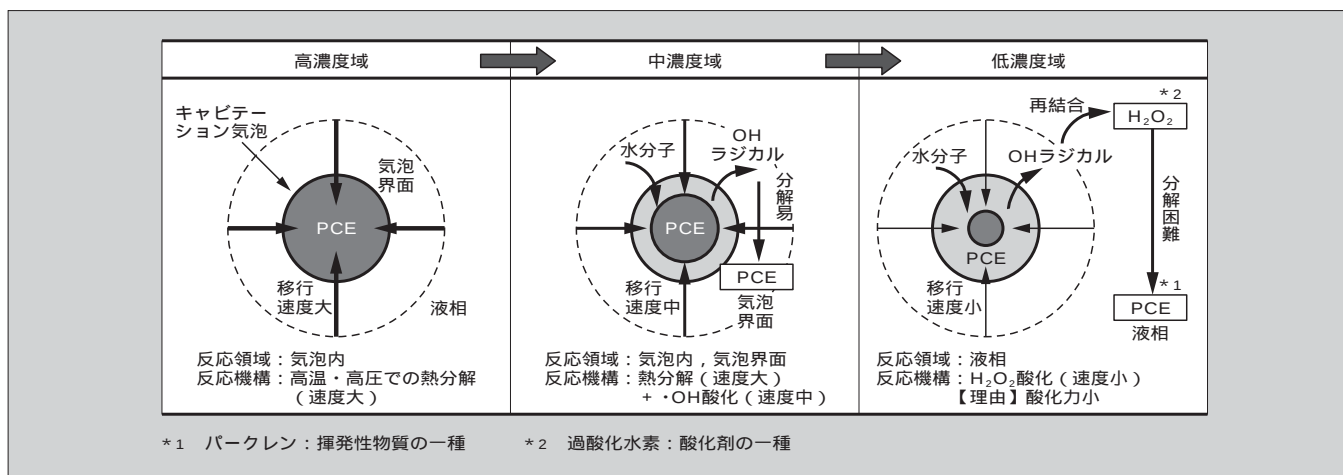


図 2 超音波分解における分解速度低下の解説



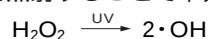
3.1 装置の構成および特徴

超音波複合分解装置の概略を図3に示す。

装置は反応容器、超音波振動子および紫外線ランプの三つの基本部品で構成されている。形状、配置上の特徴は、紫外線ランプを反応容器の上部中央、鉛直下向きに取り付け、かつリング状の超音波振動子を紫外線ランプが超音波の進行を妨げない位置となるよう容器底部に取り付けたことにある（特許出願中）。このような構成とすることで、紫外線ランプ自身による超音波の減衰を極力低減し、超音波および紫外線の効率照射を可能としている。また、図3のリング状振動子の内径を紫外線ランプの外径とほぼ同径とすることで、超音波がランプ表面近傍を常に揺動し汚れが付着しにくくなる効果が得られ、メンテナンス頻度の低減が期待できる。

3.2 超音波複合分解のメカニズム

上述した超音波分解において試料が揮発性物質の場合、低濃度域で液相に存在する試料分子の分解が困難となる課題に対し、液相に生成してくる過酸化水素に紫外線（UV）を照射することで下記反応式により、



OHラジカルが液相に再生成し、残存する低濃度の揮発性物質を効率分解できることが分かった。この超音波と紫外

線を組み合わせた超音波複合分解のメカニズムを図4に示す。

本メカニズムによれば低濃度揮発性物質のみならず、非揮発性の親水性物質の効率分解も期待できる。

以上のことから、超音波複合分解のメカニズムをまとめると、次の異なる二つの分解によるものといえる。

- (1) 超音波照射で生成する微小気泡（キャビテーション気泡）内の高温・高圧による熱分解
- (2) 超音波および紫外線照射で生成するOHラジカルによる高酸化分解

本分解方法は無試薬系での促進酸化分解法と考えられる。すなわち、超音波照射により過酸化水素の供給が可能で、しかも生成した過酸化水素は紫外線照射により直ちにOHラジカルとなるので残存過酸化水素の処理が不要のため、より効率的で環境に優しい分解方法といえる。

4 クリーニング廃液処理装置への適用例

富士電機は、超音波複合分解の一適用例として、揮発性有機塩素化合物の一種である、パークレンを含有するドライクリーニング廃液処理装置を開発している。

図5に装置の外観を示す。装置はステンレス鋼製の処理容器（構造は図3参照）および超音波と紫外線の照射などを制御する制御部で構成されている。

パークレンは現在日本では法律により、表2に示すよう

表1 主要な酸化剤の酸化力の比較

酸化剤	反 応	酸化電位 (V)
フッ素	$\text{F}_2 + 2\text{e} = 2\text{F}^-$	2.87
ヒドロキシルラジカル (OHラジカル)	$\cdot\text{OH} + \text{H}^+ + \text{e} = \text{H}_2\text{O}$	2.80
オゾン	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	2.07
過酸化水素	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.77
過マンガン酸	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.67
塩素	$\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Cl}^-$	1.36
酸素	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1.23

図3 超音波複合分解装置の概略

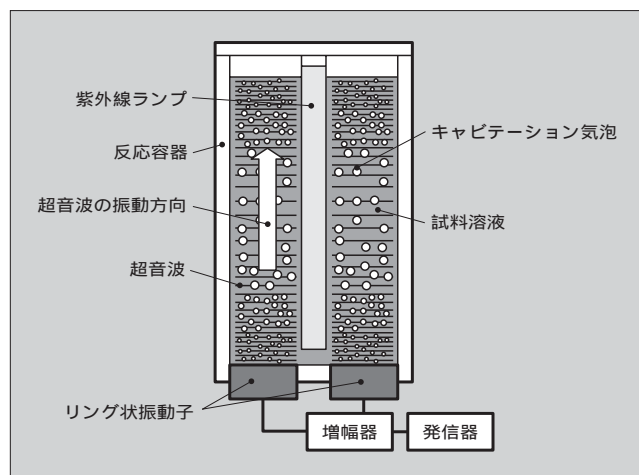


図4 液相試料分子の超音波複合分解のメカニズム

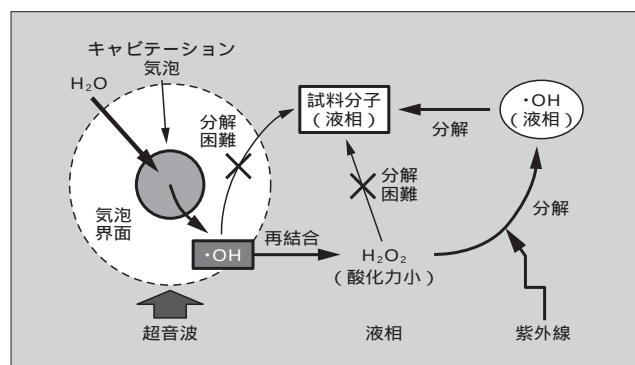


図5 クリーニング廃液処理装置の外観



な環境への排出基準が設けられている。

上記排出基準を遵守するため、現在、ばっ気法、蒸発法、活性炭吸着法が主流で廃液処理が実施されているが、表3に示すように環境への影響で課題があり、富士電機の超音波複合分解法が有利であることが分かる。

4.1 装置の目標仕様

表4にクリーニング廃液処理装置の目標仕様を示す。

4.2 装置の処理性能

図5の装置を用い下記条件にて、超音波のみ照射、紫外線のみ照射、超音波と紫外線を同時照射（超音波複合分解）の三つの異なる処理を行ったときの結果を図6に示す。

（試験条件）

- 試料水：約 100 mg/L パークレン水溶液，3 L
 - 超音波：400 kHz，100 W リング状振動子
 - 紫外線：13 W UV ランプ（波長 254 nm）
- 図6から、超音波照射と紫外線照射による分解ではともにパークレンの排出基準 0.1 mg/L までの分解ができず、

表2 パークレンの環境排出基準

排出形態	法 律	排出基準
大気放散	大気汚染防止法	既設：500 mg/m ³ 以下* 新設：300 mg/m ³ 以下*
下水放流	水質汚濁防止法など	0.1 mg/L 以下

* 洗濯能力 30 kg 以上/回のパークレン使用ドライクリーニング機の排気対象。条例により能力にかかわらず排気基準が設けられている地域あり。

表3 パークレン廃液処理方法の比較

処理方法	大気放出	下水排水	環境への影響など
超音波複合分解法	なし	あり	密閉容器で分解・無害化のため問題なし
ば っ 気 法	あり	あり	大気にはパークレン放出 排水基準達成困難時あり
蒸 発 法	あり	なし	大気にはパークレン放出 悪臭発生の恐れあり
活 性 炭 吸 着 法	なし	あり	産廃発生（焼却、埋立て） 活性炭寿命管理難

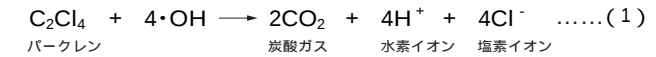
表4 クリーニング廃液処理装置の目標仕様

処 理 量	3 L/回*
処理廃液 パークレン濃度	150 mg/L 以下 (パークレン粒を含有しないこと)
処 理 時 間	3 時間以内/回
処 理 性 能	0.1 mg/L 以下 (下水排水基準)
容 器 寸 法	幅 300 × 奥行き 300 × 高さ 1,000 (mm) 以下
制 御 部 寸 法	幅 300 × 奥行き 500 × 高さ 300 (mm) 以下
本 体 質 量	10 kg 以下
消 費 電 力	AC 100 V，200 W 以下

* 30 kg 処理用ドライ機で 3 L 廃液が排出されると仮定

低濃度域で分解速度が低下する傾向が見られた。一方、超音波複合分解では約 120 分で排水基準以下の低濃度まで分解可能（99 % 以上）であることを確認した。

また次の反応式(1)から理論的には、1 分子のパークレンを超音波複合分解すると、生成する OH ラジカルにより、4 分子の塩素イオンが生成する。



上記試験結果において生成した塩素イオンは、理論値の 98 % であったことから、ほぼ完全にパークレンは無機化、無害化されたものと思われる。

このことから、超音波複合分解によりパークレンを効率分解できることを確認した。

4.3 装置の構成・運転例

図7にクリーニング廃液処理装置の構成・運転例を示す。廃液の注排水の方式により、手動方式と自動方式の2種類の装置構成が可能であり、おのおの表5のような構成、処理工程となる。

上記、手動方式は構成を簡易にできるので安価な装置となり、1 日の処理量が数 L 以下の小規模店舗用に適用できる。一方、自動方式は自動運転が可能となるので、1 日の処理量が 20 L 程度の中規模店舗用に適用が可能と思われる。

なお、1 日の処理量が 20 L 以上の大規模店舗用など、大容量処理用としては、

- 処理容器を並列に複数台連結し同時に処理を実施
 - 処理容器を直列に複数台連結し、連続通水処理を実施
- のいずれかの構成とすることで適用が可能となると思われ、今後、検討を予定している。

4.4 装置の運転コストの試算

装置の運転コストの大部分が超音波と紫外線などを駆動・制御するための電気代であるため、

1 kWh の電気代を 25 円、装置の消費電力を 200 W、廃液を 3 L 処理する所要時間を 2 時間、1 日の処理量を 12 L、1 か月に 20 日間運転するとし計算すると、

図6 超音波複合分解装置の処理性能データ

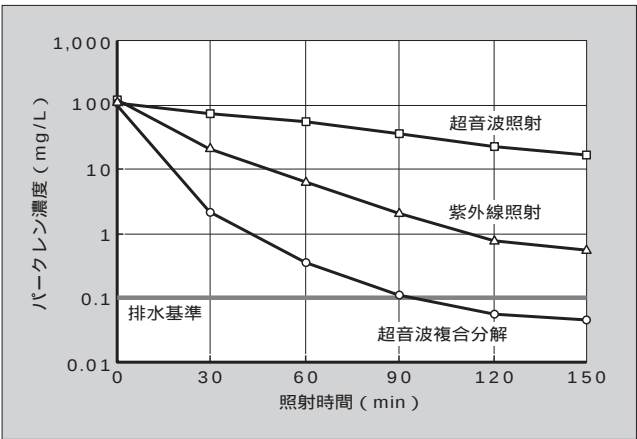


図 7 クリーニング廃液処理装置の構成・運転例

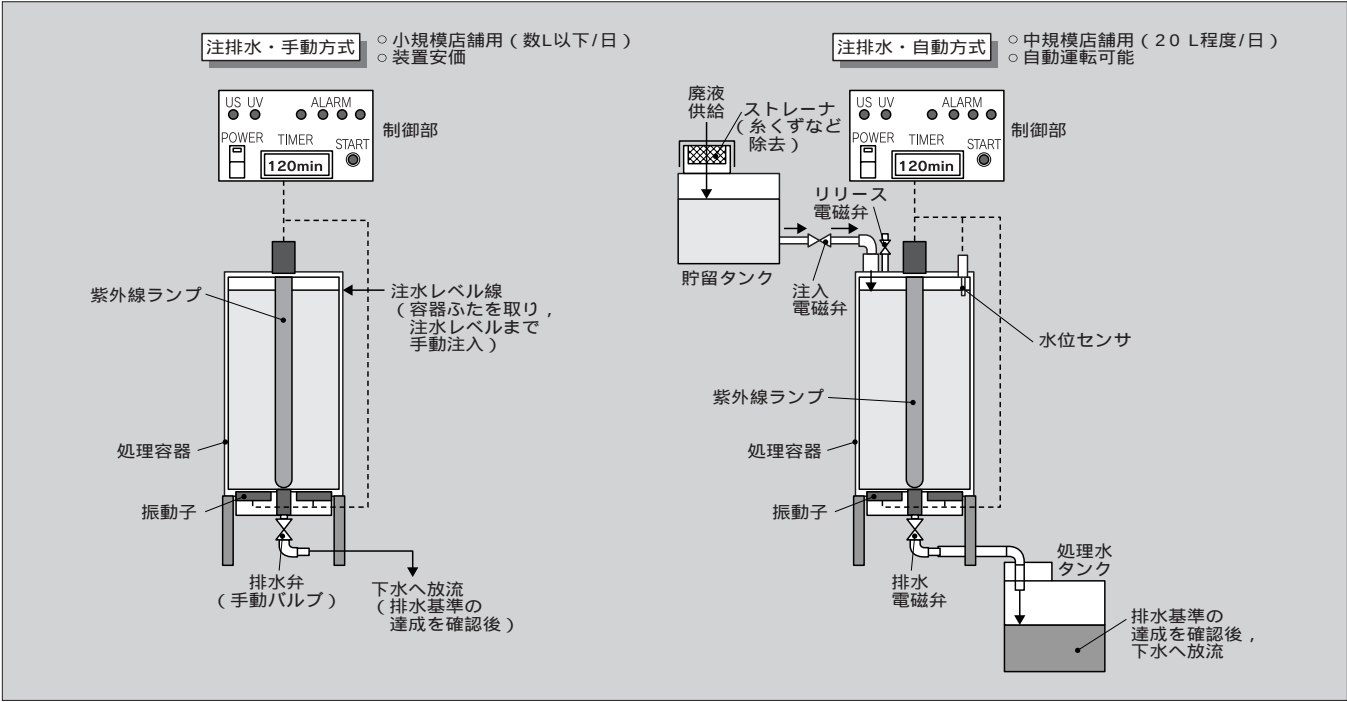


表 5 廃液処理装置の構成・処理工程の例

注排水方式	手動方式	自動方式
基本構成 (図7参照)	処理容器・制御部 (本体), 排水弁	本体, 電磁弁, 水位センサ, 貯留・処理水タンク
処理工程	注水工程 ↓ 分解工程 ↓ 確認工程*1 ↓ 排水・放流工程*2	注水工程 ↓ 分解工程 ↓ 排水工程 ↓ 確認工程*1 ↓ 下水放流工程*2
	(分解工程は自動)	(注水・排水工程は自動)

*1 パークレン排水基準達成の確認。未達時は再び分解工程を実施。
*2 必要に応じ放流前に処理水の中和処理を実施。

25 円 × (200 W / 1,000 W) × 2 時間 × (12 L / 3 L)
× 20 日間 = 800 円 / 月
から、1,000 円程度 / 月となり、本装置は従来法と同等もしくは、より低コストで運転が可能である。

5 他用途への適用例

超音波複合分解装置の他用途への適用例としては下記のような処理が考えられる。

- 病院などでのホルマリンなど含有廃液の処理
- 電子・精密機器工場などでの洗浄廃液の処理
- 有機塩素化合物などで汚染された地下水の処理

今後、上記適用の可能性について検討を行っていく予定である。

6 あとがき

超音波と紫外線の効果を組み合わせた超音波複合分解装置の分解メカニズム、装置の概要、およびクリーニング廃液処理装置への適用例について解説した。本装置は小型、低コスト、無試薬で廃液中の有害物質を効率分解でき、特に小・中容量処理施設でのオンサイト設置に適している。

今後は、超音波および紫外線の照射条件の最適化など、分解効率の向上を目指し製品化を進めるとともに、他用途への適用検討を進めていく所存である。

参考文献

(1) 安藤喬志．ソノケミストリー - 最近の展開と今後の動向 - ．化学工業．vol.8，1996，p.13-16．
(2) 野村浩康，香田忍．ソノケミストリーの物理化学．化学工業．vol.8，1996，p.17-21．
(3) 超音波便覧編集委員会．超音波便覧．丸善，1999，p.305-331 など．
(4) 前田泰昭ほか．環境汚染物質の超音波分解．化学工業．vol.8，1996，p.40-42．
(5) 前田泰昭ほか．超音波による有害化学物質の分解無害化．超音波 TECHNO．vol.5，2000，p.32-36．
(6) 中村勇児．環境汚染物質の超音波分解．超音波 TECHNO．vol.6，2000，p.48-53．
(7) 都田昌之．超音波照射超純水のラジカル活性．超音波 TECHNO．vol.8，2000，p.64-69．
(8) 加藤修久，川上幸次．超音波と紫外線によるテトラクロロエチレン含有水溶液の分解．第 10 回ソノケミストリー討論会講演論文集．2001，p.83-85．

建設エンジニアリング情報標準化とXML 応用

萩原 賢一（はぎわら けんいち）

川上 一美（かわかみ ひとみ）

山本 隆彦（やまもと たかひこ）

① まえがき

e-Japan 構想に基づいて国土交通省が推進している CALS/EC (Continuous Acquisition and Life-cycle Support/Electronic Commerce: 公共事業支援統合情報システム) は、公共事業の計画・設計・入札から工事・維持管理に至る全プロセスの情報を電子化・共有し、開発期間短縮、コスト削減、品質向上などを図るものである。2003 年度から国土交通省全直轄事業、2010 年度までに自治体を含むすべての公共事業への導入を目標とした地方展開アクションプログラム (図 1) が設定されている。

フェーズ 1 (1996 ~ 1998 年度) で電子データ標準化の研究や試行を行い、フェーズ 2 (1999 ~ 2001 年度) で電子入札や電子納品など標準電子データの運用を部分的に開始した。

システム構築の観点からは、CALS/EC は発注者 (G: Government) 側システムにとどまらず、受注者 (B: Business) 側システムを必要とする。すなわち、公共事業にかかわる国・自治体をはじめ、国内 60 万の建設関連企

業が参加して電子情報を交換共有する G to B to B システムである。地方展開アクションプログラムの設定に伴い、発注者側・受注者側ともに対応システムの整備に着手し始めた。

CALS/EC システムの機能として、一般に電子入札・電子納品の部分が注目されがちである。しかし、CALS/EC の目標を達成するためには、積算内訳書や図面の電子化だけでは不十分である。建設現場のさまざまなエンジニアリング情報の標準化を進めて、エンジニアリング業務の抜本的な構造改革につなげる活動が必要である。

本稿では、富士電機が電子自治体や道路事業関連の CALS/EC 対応システム開発、および自社の CALS/EC 対応体制整備を通じて得た知見に基づき、建設エンジニアリング業務構造改革の基礎となる情報の標準化、および XML (eXtensible Markup Language) Schema (XML スキーマ) を応用した実装について紹介する。

② 情報の標準化とXML

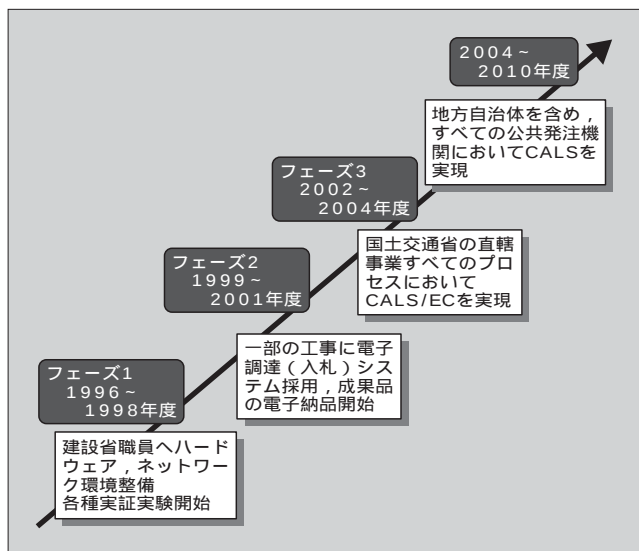
2.1 CALS/EC と情報標準化

業務構造改革に継続して取り組んでいくためには、業務プロセスの間で授受されるエンジニアリング情報をオープンな形で標準化することが重要である。

インターネット時代には、社内や特定の取引先との間だけで取引規約を策定することはふさわしくない。ISO (International Organization for Standardization) などの国際標準や業界標準などの公開された規約を取り入れたオープンな標準化とすべきである。オープンであることにより、関係者はパソコンなどの機器を自由に組み合わせて安価にシステムを構築・拡張することができる。

公共事業で開発される施設のライフサイクルは、一般に 20 年以上の長期にわたる。IT が進歩するスピードに比べれば、余りにも長期といえよう。これまで、アプリケーションプログラムが「バージョンアップ」され、それまで蓄積されたデータが使えなくなることがしばしばあった。その都度データを入力し直すこともあった。

図 1 CALS/EC 地方展開アクションプログラム



萩原 賢一

コンピュータ言語処理、知識情報処理、CALS/EC システム、XML/UML 応用などの研究開発に従事。現在、電機システムカンパニー社内 CALS プロジェクトゼネラルマネージャー。



川上 一美

水力発電設備の設計、道路関連設備の技術企画に従事。現在、電機システムカンパニー情報システム本部社会システム事業部担当部長。



山本 隆彦

XML を活用した建設 CALS/EC 向けソリューション開発に従事。現在、富士電機総設（株）西情報システム支社システム部課長。日本建築学会会員、情報知識学会会員。

「標準化」に基づいてIT投資を進めていくことで、長期にわたってエンジニアリング情報を使い続けることが可能となり、投資の無駄を防ぐことができる。これからは、エンジニアリング情報などのコンテンツが標準化され、多様なアプリケーションプログラムがその周辺に開発される時代になる。

すなわち、CALS/ECは、建設エンジニアリング情報に国家レベルで標準化の筋を通すことにより建設業務構造改革を促すものであるということが出来る。

2.2 XMLの概要

コンテンツの標準化を進めるうえで、重要な役割を演ずるのがXML(図2)である。

XML1.0の仕様は、1998年2月にW3C(World Wide Web Consortium:インターネット技術の標準化団体)の勧告として公開された。

XMLは、その親となるSGML(Standard Generalized Markup Language)と同様、文書の自動処理を容易にするために情報の構成や中身を説明するデータ記述言語の規格である。SGMLとの違いは、XMLは文書およびそのデータ記述情報をインターネットで容易に交換できるよう軽量化された点にある。XMLは、HTML(Hyper Text Markup Language)に代表されるインターネットでのデータ配信技術とSGMLの文書データ記述方式が融合したもので、電子データをインターネットで効率よく交換・共有するための規格である。

XMLは、次のような特徴を持っている。

- (1) 任意の電子データ(例えば、伝票、帳票、完成図書など)の構成を「タグ」と呼ばれるマークを使って表現できる。項目を二次元の表に限らず任意の階層構造にグループ化して記述できる。
- (2) 「タグ」はあらかじめ規定されているもののほかに、利用者が自由に設定することが可能であり、それぞれのタグに対して特定の意味づけができる。
- (3) タグに特定の意味づけができることにより、電子データの構成が明確になるとともに、コンピュータで電子データの作成・検索・抽出・改訂が容易に行える。
- (4) 電子データの構成はDTD(Document Type Definition)

tion)やXMLスキーマなどの言語を用いて記述し、標準化することができる。

これらの特徴を生かすことにより、エンジニアリング情報を「標準化」するための規約を文書として明示し共有することができる。さらにコンピュータを使って、個々のエンジニアリング情報が標準規約に基づいて作成されているか精査することができ、また多数の発注者や受注者の間でおのおのが使用するアプリケーションプログラムにかかわらずエンジニアリング情報を交換・共有することができるようになる。オープンな情報標準化を進めるうえで、XML技術は不可欠なものである。

2.3 XMLスキーマ

エンジニアリング情報の標準化規約は、業務構造改革の過程で重要な成果品の一つになる。情報の標準化規約を具体的に記述するには、上記のようにDTDやXMLスキーマを用いる。XMLスキーマは、W3Cによって2001年に策定された新しい言語である。

当初は、XMLのデータ構成定義のためにDTDが使用されていたが、主にマニュアルなどのドキュメントを対象としていた。エンジニアリング情報などのデータ構成を定義しようとするするとDTDの機能では不十分であるため、XMLスキーマが生まれた。

XMLスキーマの主な特徴を以下に記す。従来から使われてきたDTDに比べて数々の改善がなされている。

- (1) 数値、日付などさまざまなデータ型を持つ。このため、電子データが標準規約に合致しているかの検証をコンピュータに任せることができる。また、データの識別性が増すので、積算や受発注などのアプリケーションプログラムを効率よく開発することができる。
- (2) 「名前空間」をサポートする。異なるXMLスキーマで定義された複数のXML情報標準を取り込んで扱うことができるようになる。
- (3) XMLスキーマの表記方法がXML文書と同じである。このため習得しやすい。

③ 建設ITにおけるXMLの応用事例

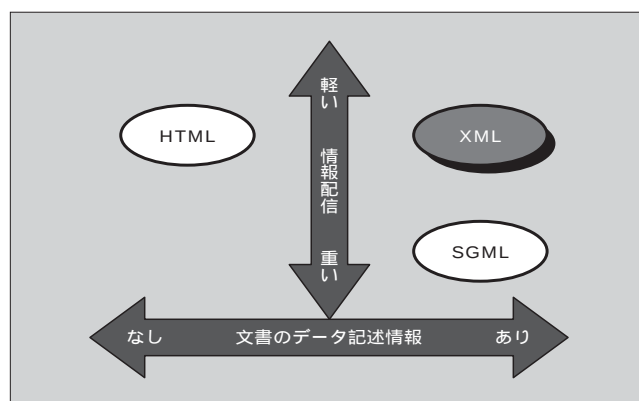
3.1 CALS/EC標準

国土交通省は、CALS/ECに関連して以下のようなエンジニアリング情報の標準化と運用を進めている。

- (1) 地質調査資料整理要領(案)
- (2) CAD(Computer Aided Design)製図基準(案)
- (3) 工事完成図書の電子納品要領(案)
- (4) デジタル写真管理情報基準(案)
- (5) 土木設計業務などの電子納品要領(案)
- (6) 電子納品運用ガイドライン(案)
- (7) 現場における電子納品に関する事前協議ガイドライン(案)

例えば、土木工事の工事写真を電子データで提出する際の基準として、デジタル写真管理情報基準(案)を制定

図2 XMLの位置づけ



し、1999 年 8 月から運用を開始した。電子媒体の種類、デジタル写真に対する要求品質、管理ファイルの仕様とファイル形式などが定められている。

標準化対象項目のうち XML がかわっているものを表 1 に示す。表の中で下線を付した部分が、XML 化されている。

公共事業の受注者側は、建設プロジェクトにおける電子成果品とその管理情報（インデックス）を一つの文書として電子化し納品する。発注者側は、この管理情報を調達物件（施工物件）の維持管理データベースシステムに入力して工事完成図書を活用する。XML 管理情報は、電子成果品の中身を分類するための荷札に相当し、異なるデータベースシステム間でのデータの移動（受注者から発注者への提出）に際して使用される（図 3）。

今後、XML 管理情報を付与した成果品の電子化は、写真（JPEG：Joint Photographic Experts Group）だけでなく、発注図（CAD）、工事打合せ簿（文書）、施工計画書（文書）、完成図（CAD）などへも順次適用されていく。電子成果品の管理情報の XML 化は、CALS/EC での XML 利用の第一歩である。

3.2 文書のインデックス

富士電機では、受注者側の業務プロセス分析を通して、XML 化できるエンジニアリング情報とその業務の抽出を行った。ここでは、文書のインデックスおよび変更履歴としての XML 応用について述べる。

受注者側では、案件にかかわるさまざまな情報が分散して保存されている。営業情報（発注者名、登録コード、契約情報など）、エンジニアリング情報（CAD データ、画像データ、アプリケーションデータなど）、ナレッジ（さまざまな当該業務にかかわる営業メモや業務遂行上のメモなど）が管理されている。

表 1 XML 化される CALS/EC 標準化対象項目

標準化の対象項目	内 容
入 札 契 約 情 報	電子調達システムの開発 ○ 契約および入札関連仕様の標準化 ○ 運用ルール策定 ○ 適合性試験の実施 ○ 電子認証システムとの調整
設 計 業 務 情 報	電子納品要領の策定 ○ 属性情報（管理項目） ○ フォルダ構成とファイル仕様 ○ 提出電子媒体 ボーリング柱状図作成要領の策定
設 計 業 務 情 報 施 工 業 務 情 報	デジタル写真管理基準の策定 ○ 属性情報（管理項目） ○ フォルダ構成とファイル仕様 ○ 提出電子媒体
施 工 業 務 情 報	電子納品要領の策定 ○ 属性情報（管理項目） ○ フォルダ構成とファイル仕様 ○ 提出電子媒体
CAD データ交換	ISO/STEP 準拠の二次元 CAD 形状 データ交換基準の開発 ○ 図形データフォーマット ○ ラスタデータ交換仕様

これらの情報に頻繁に登録・削除・復元したり、あるデータベースから情報を取り出して別のシステムで利用することもある。

生産性向上の視点から情報管理を考えると、以下のような要望があり、その解決策として、業務案件単位に、必要なエンジニアリング情報を一つの XML 文書の形でまとめる方法で対応した。

(1) 業務案件ごとに必要な情報を整理したい。

XML は任意の電子データの構成を「タグ」を使って表現し、それぞれのタグに対して特定の意味づけができるので、情報を管理するのに優れている。

(2) いつでも復元可能な形で情報を長期保存したい。

XML はテキスト形式で管理されるため復元が簡単であり、特定のアプリケーションソフトウェアに依存しないため長期間の保存にも有効である。

(3) 異なるシステム間で情報を交換したい。

XML は電子データの構成を DTD や XML スキーマで規定するため、異なるシステム間で情報の意味を正しく交換するのに有効である。

図 3 で説明した電子納品管理の考え方を分散したエンジニアリング情報管理に適用したものである。

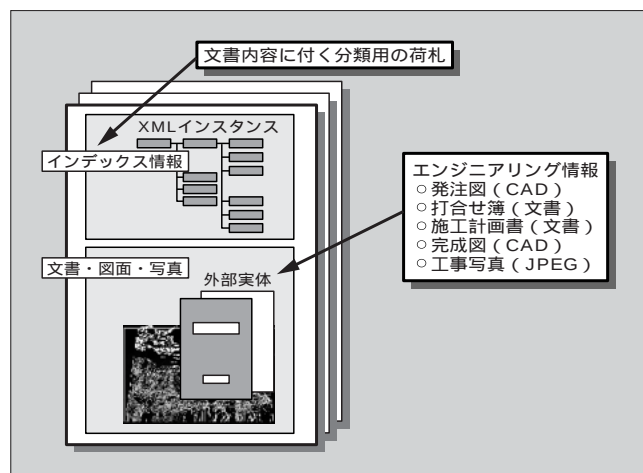
3.3 文書の変更履歴

建設現場でグループウェアなどのコミュニケーションシステムを使えば、工事途上の承認行為や関係者間のやりとりはすべて処理でき、紙は不要となる。ただし、工事が終われば、グループウェアの運用は停止される。システム上で行ってきた承認行為の記録の保存は従来問題となっていた。グループウェア独自のデータベース形式で長期間保存することはできない。

そこで、グループウェアに登録された履歴情報をグループウェアがなくても閲覧できるように XML 化しておけば、そこで生まれた知的資産を保存し活用することができる。XML を利用しないと、紙または PDF（Portable Document Format）などに改めて印刷する必要がある。

また、XML 化しておけば簡単なプログラムで必要な履

図 3 XML インデックス情報



歴情報を抽出して表示することも可能になる。

④ 道路事業でのXML 応用事例

道路事業における業務プロセスを整理しながらエンジニアリング情報の標準化を進めている事例を紹介する。現在、富士電機も参画して、道路エンジニアリング情報の標準規約を国内初の試みとしてXML スキーマを使って作成している。エンジニアリング文書やそのインデックスをXML 化することは、従来から行われている。今回の作業は、単なる文書から道路構造モデルに踏み込んでXML 化しているという点で画期的な試みである。標準モデルの周辺にさまざまなアプリケーションが開発され利用されることが期待されている。

本活動の目的は、以下に記すように道路事業の各段階における効率的なエンジニアリング情報の交換を実現することである。

- (1) 上流プロセスで発生し下流プロセスで必要となるすべてのデータ項目をXML で表記して保存し、情報を変換・連携・共有・再利用する。
- (2) CAD 化された形状の情報に加えて、設計値・数量などの図形以外の情報を含めた統合的なデータを作成し交換・蓄積する。
- (3) データ入力の効率化や入力データの欠落を防ぐ。
- (4) データ収集および作成において精度を向上させる。
- (5) 既存のCAD やGIS (Geographical Information System) に関する仕様やモデルと整合させる。
- (6) 道路事業の維持管理プロセスに必要なすべてのデータを保存する保全データベースや工事管理支援システムと連携させる。

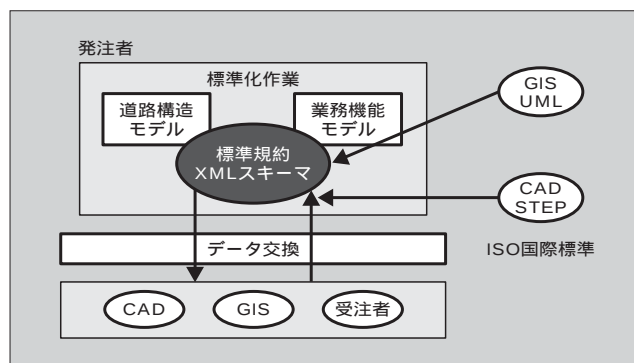
作業は、「業務機能モデル」の作成、「道路構造モデル」の作成、モデルに基づく「データ交換仕様」の策定という手順で進められている(図4)。

業務機能モデルは、道路事業の業務プロセスとそれらの間で流通する文書を明示したモデルである。

道路構造モデルは、道路事業に関するエンジニアリング情報のモデルである。上記の業務機能モデルと照らし合わせて、情報項目の過不足を確認しながら作成する。モデルを分かりやすく表現し、なおかつコンピュータで処理しやすくするためにUML (Unified Modeling Language) という手法を使って表記している。

データ交換の標準規約は、上記の道路構造モデルに基づ

図4 データ交換仕様標準化の狙い



きXML スキーマの形式で記述したものである。

オープンな標準策定という観点からは、維持管理や道路GIS へのデータ交換を考慮してISO に準拠することになっている。座標表現、位置参照、基本幾何形状要素などの表現は、ISO の空間スキーマを採用し、今回の作業では独自に定義していない。道路事業分野に特化した部分のみをXML スキーマを使って定義している。

今後は、設計や工事の業務分析を反映して道路構造モデルを精査・修正し、XML スキーマを改良するとともに、道路事業のサンプルデータを用いた実証実験によって実用の検証を行う予定である。

⑤ あとがき

CALS/EC の本格的な運用を目前にして、建設分野でもIT (Information Technology) 投資が進むであろう。その際、本稿で述べたエンジニアリング情報の標準化と業務構造改革をセットにして、ネットワークを活用した電子取引やナレッジマネジメントを導入すれば、事業のスピードアップと生産性向上の効果を最大限に引き出すことが可能となる。

参考文献

- (1) 国土交通省 CALS/EC ホームページ . <http://www.mlit.go.jp/tec/cals/> .
- (2) W3C (World Wide Web Consortium) ホームページ . <http://www.w3.org/> .
- (3) XML 情報 . <http://www.w3.org/XML/> .
- (4) XML Schema 情報 . [http://www.w3.org/XML/Sche](http://www.w3.org/XML/Schema) ma .

解説 燃料電池 (Fuel Cell)

1. リン酸形燃料電池 (PAFC)

電解質であるリン酸水溶液を含んだマトリックスの両側に燃料極（アノード）と空気極（カソード）を配置し、燃料である水素（通常は都市ガスなどの炭化水素を触媒の存在下で水蒸気と反応させた改質ガスを利用）と酸素（空気中の酸素）を供給する。改質ガス中の水素は白金触媒上で水素イオンとなり電子を放出する。水素イオンは電解質中を空気極まで拡散していき、白金触媒上で酸素と反応して水となる。両電極を導線でつなぐことで電子が流れ、外部に電力を取り出せる。

燃料電池は燃料（主に水素）の酸化反応をアノード反応とカソード反応の二つの電気化学反応に分けて行っている。このため、アノード、カソード両極は電子導電性が高く、電気抵抗が小さい、イオン導電性が高く、電子導電性が低い電解質と両極が接触し、電解質中を電荷がイオンによって輸送される、水素、酸素は両極に供給され、電極触媒（固体）、水素または酸素（気体）、電解質（液体）の三相が接触するいわゆる三相界面で反応が起こる、水素と酸素の直接接触が起こらないなどの条件が必要であり、これらを満足させる電極構造として開発されたのがガス拡散電極である。

単電池（セル）の出力電圧は無負荷状態で 1V 程度であり、電流密度を上げて通常 0.6 ~ 0.7 V/セルを定格点として設計される。無負荷電圧と実際の電圧との差は熱エネルギーとして放出され、定格点での熱電比は約 1 : 1 となり、電池本体の発電効率は 50 % となる。この電池本体の発電効率は、電池面積によらないので、燃料電池は本質的に小容量でも効率が高いことになる。実用出力を得るためには、単セルを数十枚から数百枚

2. 固体高分子形燃料電池 (PEFC)

燃料電池の発電部（セル）は、燃料から電子を奪い水素イオンを生成するアノード（燃料極）と水素イオンと酸素と電子で水を生成するカソード（空気極）、およびその間の電子絶縁性があり水素イオンを通過させる電解質層で構成されている。電解質層としてイオン交換膜を使用した燃料電池が固体高分子形燃料電池（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）である。

固体分子形燃料電池の特徴は次のとおりである。

- ① イオン交換膜使用→出力密度が高い
- ② 運転温度が低い→材料選定に有利
→室温から発電可能

燃料は用途によって、水素、都市ガスやメタノールから生成させた水素、およびメタノールである。上記の特徴から、固体高分子形燃料電池は自動車用、家庭

直列に積層して積層電池（スタック）として用いる。ちなみにリン酸形燃料電池（PAFC：Phosphoric Acid Fuel Cell）では単セルを積み重ねる構造、固体高分子形燃料電池では単セルを横にバインドする構造を採用している。

（関連論文：285 ~ 287 ページ）

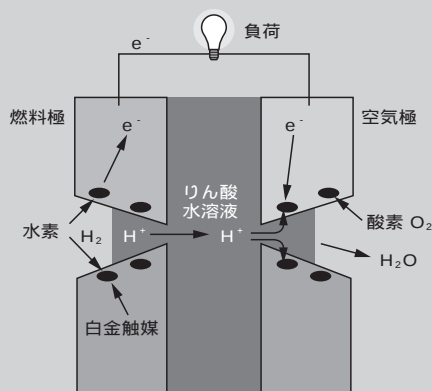


図1 リン酸形燃料電池の発電原理

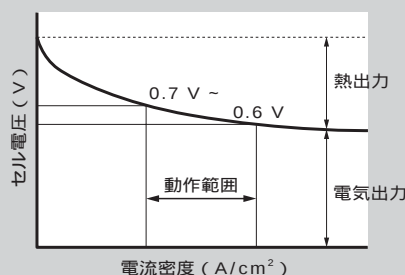


図2 燃料電池 I-V 特性の概念

や業務用コージェネレーション装置、二次電池代替の携帯機器用電源として開発が加速されている。

（関連論文：291 ~ 294 ページ）

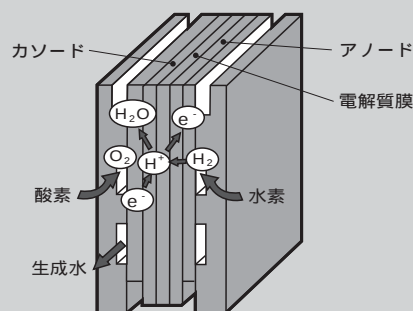


図3 固体高分子形燃料電池のセルの模式図

豊かな地球社会のために 富士電機は、今、—

電機システム カンパニー

主な営業品目

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム

機器・制御 カンパニー

主な営業品目

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，汎用モールド変圧器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ，UPS，ミニUPS

流通機器システム カンパニー

主な営業品目

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，ホテルペンダシステム，カードシステム

電子 カンパニー

主な営業品目

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシックIC，ハイブリッドIC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体およびその周辺装置

環境・情報・サービス・コンポーネントを
キーワードとして、
新しい技術の時代を
拓こうとしています。

カンパニー別営業品目

電機システムカンパニー

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム

機器・制御カンパニー

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，汎用モールド変圧器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ，UPS，ミニ UPS

電子カンパニー

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシック IC，ハイブリッド IC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体およびその周辺装置

流通機器システムカンパニー

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，ホテルペンダシステム，カードシステム

富 士 時 報	第 75 巻	第 5 号	平成 14 年 4 月 30 日 印刷 平成 14 年 5 月 10 日 発行 定価 525 円（本体 500 円・送料別）
編集兼発行人	高 井 明		
発 行 所	富 士 電 機 株 式 会 社 技 術 企 画 室	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 （ゲートシティ大崎イーストタワー）	
編 集 室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報」編集室	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電 話（03）5388 - 7826 FAX（03）5388 - 7369	
印 刷 所	富士電機情報サービス株式会社	〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電 話（03）5388 - 8241	
発 売 元	株 式 会 社 オ ー ム 社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電 話（03）3233 - 0641 振替口座 東京 6 - 20018	

新エネルギーの現状と展望

蟹江 範雄 中島 憲之
富士時報 Vol.75 No.5 p.263-267 (2002)

地球環境問題がクローズアップされる中、新エネルギー導入による温暖化ガス（特に二酸化炭素）の削減に期待が集まっている。本稿では新エネルギーの日本における現状と導入目標について紹介する。さらに、富士電機の太陽電池開発、燃料電池への取組みについて、現状の課題と展望を含め紹介する。

太陽電池開発の動向と展望

吉田 隆 藤掛 伸二
富士時報 Vol.75 No.5 p.268-271 (2002)

太陽電池開発の歴史、最近の市場動向を紹介する。1997年に世界の生産量は 100 MW/年へ、2000 年には 300 MW/年へと急速に拡大している。これは、世界各国が導入促進のためのインセンティブを提供し始めたことが最も大きい。本格的な普及にはコストを現状の 1/2 とすることが必要と考えている。このため、富士電機は、量産性に優れたフィルム基板太陽電池の開発に取り組んでいる。ここ 5 年間で製膜速度は 10 倍に進歩、屋外発電期間が 3 年を超え、加速試験結果と合わせて屋外の耐久性にめどがついた。

アモルファスシリコン太陽電池の屋外発電特性

井原 卓郎 西原 啓徳
富士時報 Vol.75 No.5 p.272-276 (2002)

プラスチックフィルムを基板とした SCAF 構造のアモルファスシリコン太陽電池と結晶シリコン太陽電池との発電特性比較を行い、アモルファスシリコン太陽電池は結晶シリコン太陽電池と比較して、容量あたりの年間発電量が 1 割以上高いことを確認した。また、発電量に及ぼす設置方位や設置角度の影響も評価した。さらに、表面をガラスで覆った従来型モジュールと表面のガラスを削除した瓦一体型モジュールのフィールドテストを実施し、モジュール封止構造を変えても発電性能に差が見られないことを確認した。

建材一体型太陽電池の鉄道施設への適用

仙田 要 牧野 喜郎
富士時報 Vol.75 No.5 p.277-280 (2002)

鉄道において駅舎のホーム屋根スペースの有効活用は大きなメリットとなる。屋根材の更新に際し建材一体型太陽電池を適用した京王電鉄(株)明大前駅と若葉台駅の実績をもとに特長を紹介する。太陽電池はアモルファスシリコンのセルを鋼板に張り付けた構造で比較的軽量であり、屋根の既設支持構造材の強化が不要である。電車の電磁波ノイズの測定を行い太陽電池に影響がないことを確認した。発電電力量データから算出したシステム利用率の値から順調な運転状態と判断できる。

富士電機能力開発センターの新エネルギー発電システム

堀内 義実 西原 啓徳 氏家 孝
富士時報 Vol.75 No.5 p.281-284 (2002)

富士電機は、富士電機能力開発センターの研修所にアモルファス太陽光発電システム、りん酸形燃料電池発電システム、マイクロガスタービンなどの新エネルギー、コージェネレーション設備、さらにこれらを統括管理するエネルギー運用システムを導入した。本システムは環境負荷の低減、エネルギー利用効率の向上を目指して運転される。今後は各種データを蓄積し、エネルギー利用効率が向上するような運転実証を行う予定である。

燃料電池開発の動向と展望

古庄 昇 工藤 飛良生 吉岡 浩
富士時報 Vol.75 No.5 p.285-287 (2002)

富士電機が開発を行っているりん酸形燃料電池（PAFC）、固体高分子形燃料電池（PEFC）の開発動向と今後の展望について述べる。PAFC は1998年から納入をしてきた 100 kW 第一次商品機（FP100E）が高い信頼性と高稼働率で運転されており、2001年からは第二次商品機（FP-100F）の販売を開始した。PEFC は、スタック単体では 10,000 時間を超える運転評価を行い、発電装置としては都市ガス燃料の 1 kW 級システムを試作・評価して連続で約 1,000 時間の運転を行うなど、実用化開発を加速している。

りん酸形燃料電池発電技術の開発と納入状況

長谷川 雅一 氏家 孝
富士時報 Vol.75 No.5 p.288-290 (2002)

富士電機は現在、低コスト化、耐久性の向上、高機能化を図った第二次商品機の販売と開発を進めている。その 1 台目を富士電機能力開発センターへ出荷した。その適用例を示す。1998 年から出荷を開始した第一次商品機はこれまでに 9 台を出荷し、稼働率は 98 % 以上を示し順調に運転を継続中である。その設置例としてオフィスビルへの適用例を示す。

固体高分子形燃料電池の開発

瀬谷 彰利 大賀 俊輔
富士時報 Vol.75 No.5 p.291-294 (2002)

固体高分子形燃料電池（PEFC）発電システムの実用化に向け、定置型燃料電池システムの実証と課題抽出のために、都市ガスを原料燃料とする 1 kW 級の PEFC システムを試作して評価した。このシステムおよび適用した改質ガス用電池スタックの構成について説明する。また、システムの性能評価、連続運転試験結果および改質ガス用電池スタックの単セル耐久性評価、本システム用 1 kW 級電池スタックの性能についても概説する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Trends and Prospects of Solar Cell Development

Takashi Yoshida Shinji Fujikake
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.268-271 (2002)

This paper describes the history and recent market trends of solar cell development. The output in the world increased to 100 MW/y in 1997 and rapidly to 300 MW/y in 2000. This was mostly due to the fact that more countries in the world have started providing incentives to accelerate introduction. To diffuse solar cells on a full scale, we consider the cost has to be reduced to a half of the present. Fuji Electric, therefore, has tackled the development of film substrate solar cells superior in mass productivity. The deposition rate has increased to ten times these five years. The outdoor generation test period exceeding three years together with the result of acceleration tests has proved the outdoor durability of film substrate solar cells.

Present Status and Prospects for New Energy

Norio Kanie Noriyuki Nakajima
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.263-267 (2002)

As the problem of the global environment comes in the spotlight, the introduction of new energy is much expected to reduce the warming gas, especially carbon dioxide. This paper describes the present status and introduction target of new energy, and also refers to the present problems and prospects for Fuji Electric's development of new energy, including solar cells and fuel cells.

Application of Solar Cells Combined with Roof Material to Railway Stations

Kaname Senda Yoshirou Makino
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.277-280 (2002)

The effective use of the roof surface of platforms is very advantageous to railways. This paper describes the features of the solar cells combined with roof material, which were applied to Meidaimae and Wakabadai Stations, Keio Electric Railway, in replacing the roof material. The solar cells, amorphous silicon cells stuck on steel plates, are comparatively light in weight and do not require reinforcing the existing roof-supporting structures. The measurement of train electromagnetic noise proved no influence on the solar cells. Their operation can be judged to be satisfactory from the capacity factor calculated using output energy data.

Outdoor Performance Studies of Amorphous-Silicon Solar Cells

Takuro Ihara Hironori Nishihara
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.272-276 (2002)

The generation characteristics of an amorphous-silicon solar cell of SCAF (series-connection through apertures formed on film) construction on a plastic film substrate and a crystal-silicon solar cell were compared. The comparison proved that the output energy per capacity a year of the former is higher than that of the latter by more than 10%. Also, the effects of the azimuth angle and the tilt angle on output energy were evaluated. Further, field tests were applied to a conventional-type module having the surface covered with glass and a module integrated with the tile by omitting the surface glass. They proved that change in the sealing construction of modules made no difference in output efficiency.

Trends and Prospects of Fuel Cell Development

Noboru Furushou Hirao Kudo Hiroshi Yoshioka
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.285-287 (2002)

This paper describes the development trends and future prospects of the phosphoric acid fuel cell (PAFC) and the polymer electrolyte fuel cell (PEFC) that Fuji Electric has been developing. Regarding the PAFC, the first commercial type of 100 kW (FP-100E) supplied from 1998 has been in operation with high reliability and the high rate of operation, and the marketing of the second commercial type (FP-100F) was started in 2001. The PEFC is under accelerated development for putting to practical use; for example, a single stack underwent operational evaluation exceeding 10,000 hours, and a power unit of the 1-kW class using city gas for fuel was made on an experimental basis and continuously operated about 1,000 hours.

New-Energy Generation System for Fuji Electric Human Resources Development Center

Yoshimi Horiuchi Hironori Nishihara Takashi Ujiie
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.281-284 (2002)

Fuji Electric has introduced new-energy cogeneration equipment, including an amorphous solar system, a phosphoric acid fuel-cell power system, and a micro gas turbine, and in addition, an energy managing system for integrated management of these systems. These systems are operated aiming at reduction in environmental load and improvement in energy utilization efficiency. From now on, demonstrative operation will be carried out to accumulate various data and improve energy utilization efficiency.

Development of Polymer Electrolyte Fuel Cells

Akitoshi Seya Shunsuke Ohga
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.291-294 (2002)

Aiming at demonstrating a stationary fuel-cell system and posing problems thereof toward the practical use of polymer electrolyte fuel cell (PEFC) power systems, Fuji Electric made a PEFC system of the 1-kW class using town gas as raw fuel on an experimental basis and evaluated it. This paper describes this system and the reformed gas type cell stack configuration. The evaluation of the system performance, the evaluation of the continuous operation test result and the single-cell durability of the cell stack for reformed gas, and the performance of the cell stack of the 1-kW class for this system are also outlined.

Development and Installation Achievements of Phosphoric Acid Fuel Cells

Masakazu Hasegawa Takashi Ujiie
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.288-290 (2002)

Fuji Electric is now promoting marketing and development for the second commercial type of phosphoric acid fuel cells which aims at lower cost, higher durability, and advanced functions. The first unit was delivered to Fuji Electric Human Resources Development Center. The specifications applied are described in the paper. With regard to the first commercial type supplied from 1998, nine units have so far been shipped. They show the working ratio exceeding 98% and continue satisfactory operation. The paper describes the case of application to an office building as an installation example.

バイオマスエネルギー利用の燃料電池の現状と展望 久保田 康幹 黒田 健一 秋山 幸司 富士時報 Vol.75 No.5 p.295-298 (2002) 循環型社会の構築に向けた法整備や技術開発，ビジネスの動きがある中で，環境調和型の石油代替エネルギー資源として，自然エネルギーの中心となるのはバイオマスエネルギーといわれている。富士電機では，1999 年から生ごみのメタン発酵ガスによるりん酸形燃料電池の適用開発に着手し，2001 年から 2002 年にかけて，100 kW りん酸形燃料電池を生ごみバイオガスと下水消化ガスに適用したものを納入した。本稿では，生ごみメタン発酵設備と下水処理場への導入事例について，そのシステムの概要について述べる。	小型バルスチューブ冷凍機 鴨下 友義 保川 幸雄 大嶋 恵司 富士時報 Vol.75 No.5 p.299-302 (2002) バルスチューブ冷凍機は，膨張機に可動部を持たず，構成がスターリング冷凍機と比較してシンプルなため，低振動で長寿命という特徴を有している。このため，民生用，宇宙用として幅広い用途が期待されている。今回，人工衛星搭載用などで培った技術をベースに支持機構にフレクシャベアリングを採用した対向ピストン型の圧縮機とインライン型膨張機で構成される冷凍出力 2.5 W(70 K 時) の冷凍機を開発した。本稿では，構造上の特徴および代表的な性能を紹介する。
超音波複合分解装置 川上 幸次 田中 義郎 北出 雄二郎 富士時報 Vol.75 No.5 p.303-307 (2002) 近年，有機塩素化合物などの有害物質による環境汚染が問題となっている。富士電機は超音波と紫外線の効果を組み合わせ，水中の有害物質を低濃度レベルまで効率的に分解・無害化する超音波複合分解装置を開発した。本稿では装置の構成・特長，分解のメカニズム，およびクリーニング廃液処理装置への適用例について解説する。本装置は小型，低コスト，無試薬で廃液中の有害物質を効率分解でき，特に小・中容量処理施設でのオンサイト設置に適している。	建設エンジニアリング情報標準化と XML 応用 萩原 賢一 川上 一美 山本 隆彦 富士時報 Vol.75 No.5 p.308-311 (2002) 国土交通省が推進している CALS/EC は，地方展開アクションプログラムが設定された。それに伴い，発注者側・受注者側ともに対応システムの整備に着手し始めた。CALS/EC の目標を達成するためには，エンジニアリング情報の標準化に基づく業務の構造改革が必要である。本稿では，富士電機が電子自治体や道路事業関連の CALS/EC 対応システム開発，および自社の CALS/EC 対応体制整備を通じて得た知見に基づき，建設エンジニアリング情報の標準化，および XML Schema を応用した実装について紹介する。

Miniature Pulse Tube Cryocooler

Tomoyoshi Kamoshita Yukio Yasukawa Keishi Ohshima
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.299-302 (2002)

A pulse tube cryocooler of simple structure without moving part in the expander has the advantage over a stirling cryocooler of low vibration and long life. So its wide uses for space crafts and high-temperature superconductor devices are expected. Recently Fuji Electric has developed a pulse tube cryocooler with cooling capacity of 2.5 W at 70 K, based on the technology of the stirling cryocooler for the space craft. The cryocooler consists of a compressor with two opposite pistons supported by flexure bearings and an in-line type pulse tube expander. This paper describes the structural features and typical performances of the new cryocooler.

Present Status and Trends of Fuel Cell Power Units Using Biogas

Kokan Kubota Kenichi Kuroda Koji Akiyama
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.295-298 (2002)

In the movements of legislation, technical development, and business toward a recycling society, it is said biomass energy will be main natural energy among environment-friendly energy resources replacing petroleum. Fuji Electric started developing the application of a phosphoric acid fuel cell to biogas from anaerobic digestion of garbage in 1999 and supplied 100-kW phosphoric acid fuel cells applied to garbage biogas and sludge digestion gas in 2001 and 2002. This paper outlines the systems of power units introduced into the garbage anaerobic digestion facility and the sludge treatment center.

Standardization of Engineering Information on Construction and Implementation with XML Schema

Kenichi Hagiwara Hitomi Kawakami Takahiko Yamamoto
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.308-311 (2002)

The local promotion action program for CALS/EC (commerce at light speed/electronic commerce) which the Ministry of Land, Infrastructure and Transport is promoting has been established. Following that, orderers and acceptors have started preparing systems to meet the program. CALS/EC requires the standardization of engineering information and a drastic structural reform. Fuji Electric has acquired considerable knowledge through the system development to meet the CALS/EC of electronic municipalities and road construction works and the system preparation to meet the company’s own CALS/EC. In this paper, the standardization of engineering information on construction and implementation with XML (extensible markup language) schema are examined on the basis of the knowledge.

Water Pollutant Decomposition Apparatus Using Ultrasonic and Ultraviolet Irradiation

Kouji Kawakami Yoshio Tanaka Yujiro Kitaide
Fuji Electric Journal Vol.75 No.5 p.303-307 (2002)

Recently, environmental pollution caused by harmful substances, such as chlorinated organic compounds, has become a problem. Fuji Electric has developed an apparatus to effectively decompose pollutant in water to a low-concentration, non-toxic level using the interactive effect of ultrasonic and ultraviolet irradiation. This paper describes the components and merits of the apparatus, the mechanism of decomposition, and an application to wastewater treatment equipment for dry cleaning. This apparatus is small in size, and can effectively decompose pollutant in wastewater at low cost and with no reagent. It is suitable for on-site equipment in a small- or medium-scale treatment facility.

富士電機株式会社

本社事務所	☎03)5435-7111	〒141-0032	東京都品川区大崎一丁目11番2号（ゲートシティ大崎イーストタワー）
北海道支社	☎011)261-7231	〒060-0042	札幌市中央区大通西四丁目1番地（道銀ビル）
東北支社	☎022)225-5351	〒980-0811	仙台市青葉区一番町一丁目2番25号（仙台NSビル）
北陸支社	☎076)441-1231	〒930-0004	富山市桜橋通り3番1号（富山電気ビル）
中部支社	☎052)204-0290	〒460-0003	名古屋市中区錦一丁目19番24号（名古屋第一ビル）
関西支社	☎06)6455-3800	〒553-0002	大阪市福島区鷺洲一丁目11番19号（富士電機大阪ビル）
中国支社	☎082)247-4231	〒730-0022	広島市中区銀山町14番18号
四国支社	☎087)851-9101	〒760-0017	高松市番町一丁目6番8号（高松興銀ビル）
九州支社	☎092)731-7111	〒810-0001	福岡市中央区天神二丁目12番1号（天神ビル）
北関東支店	☎048)526-2200	〒360-0037	熊谷市筑波一丁目195番地（能見ビル）
首都圏北部支店	☎048)657-1231	〒330-0802	さいたま市宮町一丁目38番1号（野村不動産大宮共同ビル）
首都圏東部支店	☎043)223-0702	〒260-0015	千葉市中央区富士見二丁目15番11号（日本生命千葉富士見ビル）
神奈川支店	☎045)325-5611	〒220-0004	横浜市西区北幸二丁目8番4号（横浜西口KNビル）
新潟支店	☎025)284-5314	〒950-0965	新潟市新光町16番地4（荏原新潟ビル）
長野システム支店	☎026)228-6731	〒380-0836	長野市南県町1002番地（陽光エースビル）
長野支店	☎0263)36-6740	〒390-0811	松本市中央四丁目5番35号（長野県铸物会館）
東愛知支店	☎0566)24-4031	〒448-0857	刈谷市大手町二丁目15番地（センタービルOTE21）
兵庫支店	☎078)325-8185	〒650-0033	神戸市中央区江戸町95番地（井門神戸ビル）
岡山支店	☎086)227-7500	〒700-0826	岡山市磨屋町3番10号（住友生命・岡山ニューシティビル）
山口支店	☎0836)21-3177	〒755-8577	宇部市相生町8番1号（宇部興産ビル）
松山支店	☎089)933-9100	〒790-0878	松山市勝山町一丁目19番地3（青木第一ビル）
沖縄支店	☎098)862-8625	〒900-0004	那覇市銘苅二丁目4番51号（ジェイ・ツービル）
北海道営業所	☎0166)68-2166	〒078-8801	旭川市緑が丘東一条四丁目1番19号（旭川リサーチパーク内）
北見営業所	☎0157)22-5225	〒090-0831	北見市西富町163番地30
釧路営業所	☎0154)22-4295	〒085-0032	釧路市新栄町8番13号
道東営業所	☎0155)24-2416	〒080-0803	帯広市東三条南十丁目15番地
道南営業所	☎0138)26-2366	〒040-0061	函館市海岸町5番18号
青森営業所	☎017)777-7802	〒030-0861	青森市長島二丁目25番3号（ニッセイ青森センタービル）
盛岡営業所	☎019)654-1741	〒020-0034	盛岡市盛岡駅前通16番21号（住友生命盛岡駅前ビル）
秋田営業所	☎018)824-3401	〒010-0962	秋田市八橋大畑一丁目5番16号
山形営業所	☎023)641-2371	〒990-0057	山形市宮町一丁目10番12号
新庄営業所	☎0233)23-1710	〒996-0001	新庄市五日町1324番地の6
福島営業所	☎024)932-0879	〒963-8033	郡山市亀田一丁目2番5号
いわき営業所	☎0246)27-9595	〒973-8402	いわき市内郷御厩町二丁目29番地
水戸営業所	☎029)231-3571	〒310-0805	水戸市中央二丁目8番8号（櫻井第2ビル）
茨城営業所	☎029)266-2945	〒311-1307	茨城県東茨城郡大洗町桜道304番地（茨交大洗駅前ビル）
栃木営業所	☎028)639-1151	〒321-0953	宇都宮市東宿郷三丁目1番9号（USK東宿郷ビル）
金沢営業所	☎076)221-9228	〒920-0031	金沢市広岡一丁目1番18号（伊藤忠金沢ビル）
福井営業所	☎0776)21-0605	〒910-0005	福井市大手二丁目7番15号（安田生命福井ビル）
山梨営業所	☎055)222-4421	〒400-0858	甲府市相生一丁目1番21号（清田ビル）
松本営業所	☎0263)33-9141	〒390-0811	松本市中央四丁目5番35号（長野県铸物会館）
岐阜営業所	☎058)251-7110	〒500-8868	岐阜市光明町三丁目1番地（太陽ビル）
静岡営業所	☎054)251-9532	〒420-0053	静岡市弥勒二丁目5番28号（静岡荏原ビル）
浜松営業所	☎053)458-0380	〒430-0945	浜松市池町116番地13（山崎電機ビル）
歌山営業所	☎073)432-5433	〒640-8052	和歌山市鷺ノ森堂前丁17番地
鳥取営業所	☎0857)23-4219	〒680-0862	鳥取市雲山153番地36〔鳥電商事（株）内〕
倉吉営業所	☎0858)23-5300	〒682-0802	倉吉市東巖城町181番地（平成ビル）
山陰営業所	☎0852)21-9666	〒690-0007	松江市御手船場町549番地1号（安田火災松江ビル）
徳島営業所	☎088)655-3533	〒770-0832	徳島市寺島本町東二丁目5番地1（元木ビル）
高知営業所	☎088)824-8122	〒780-0870	高知市本町四丁目1番16号（高知電気ビル別館）
小倉営業所	☎093)521-8084	〒802-0014	北九州市小倉北区砂津二丁目1番40号（富士電機小倉ビル）
長崎営業所	☎095)827-4657	〒850-0037	長崎市金屋町7番12号
熊本営業所	☎096)387-7351	〒862-0950	熊本市水前寺六丁目27番20号（神水恵比須ビル）
大分営業所	☎097)537-3434	〒870-0036	大分市寿町5番20号
宮崎営業所	☎0985)20-8178	〒880-0805	宮崎市橘通東三丁目1番47号（宮崎プレジデントビル）
南九州営業所	☎099)224-8522	〒892-0846	鹿児島市加治屋町12番7号（日本生命鹿児島加治屋町ビル）
エネルギー製作所	☎044)333-7111	〒210-9530	川崎市川崎区田辺新田1番1号
変電システム製作所	☎0436)42-8111	〒290-8511	市原市八幡海岸通7番地
千葉製作所	☎0436)42-8111	〒290-8511	市原市八幡海岸通7番地
東京システム製作所	☎042)583-6111	〒191-8502	日野市富士町1番地
神戸工場	☎078)991-2111	〒651-2271	神戸市西区高塚台四丁目1番地の1
鈴鹿工場	☎0593)83-8100	〒513-8633	鈴鹿市南玉垣町5520番地
松本工場	☎0263)25-7111	〒390-0821	松本市筑摩四丁目18番1号
山梨工場	☎055)285-6111	〒400-0222	山梨県中巨摩郡白根町飯野221番地の1
吹上工場	☎048)548-1111	〒369-0192	埼玉県北足立郡吹上町南一丁目5番45号
大田原工場	☎0287)22-7111	〒324-8510	大田原市中田原1043番地
三重工場	☎0593)30-1511	〒510-8631	四日市市富士町1番27号
(株)富士電機総合研究所	☎0468)56-1191	〒240-0194	横須賀市長坂二丁目2番1号
(株)F F C	☎03)5351-0200	〒151-0053	東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）

