

住友重機械技報



Sumitomo Heavy Industries Technical Review

No.177 Dec. 2011

ISSN 0387-1304

省エネルギー・環境保全特集



省エネルギー・環境保全特集の発行に当たって

エネルギー・環境のためにも 「半分と倍のイノベーション」を



常務執行役員 牛山 仁 司

東日本大震災で大きな被害を受けられた方々に心よりお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興をお祈り申し上げます。

当社グループでも、震災直後からいち早く復旧・復興に向けて微力ながら取り組んできました。ただ、東日本大震災ではあまりにも広範で激甚な被害なので、復興の長期化が懸念されています。特に、社会インフラに対する被害はすさまじく、半年以上が経過した今でもなお一部を除き、住宅整備、道路や橋の復旧なども思うように進まず、果てしなく広がる瓦礫の山や、下水処理機能の復旧の遅れなどにより環境保全が著しく脅かされています。こういう状況下で、私たちに与えられた使命は、国や社会の要請に応え、できる限りの復興支援をさらに続けていくことだと考えています。

一方では、震災に伴う福島第1原子力発電所の深刻な事故をきっかけとして、エネルギー政策が「短期的には安定的供給で、中長期的には新たなエネルギー源の開発を進める」との方向で見直しが検討されています。省エネ商品・節電商品の技術開発、省エネを機とした社会システムの変革、再生可能エネルギーの導入なども含めて、震災後のエネルギーイノベーションのための重点課題が議論されています。

当社グループでは、「一流商品」と「一流サービス」を通して環境負荷を低減し、地球環境保全に取り組み、持続発展可能な社会の構築に貢献する企業を目指しています。中期計画では「半分と倍のイノベーション」のスローガンを掲げ、商品やサービスの「一流化」、グローバル展開を推進することにより、環境面でも環境負荷を半分、社会貢献を倍にすることも努力したいと考えています。

今回の特集では、当社グループ商品の中から顧客、生活する人の視点に立って開発した、環境保全・創エネルギー・省エネルギー・再資源化に貢献できる商品・技術を厳選しました。バイオマス資源を活用するバイオマス発電ボイラ、産業廃棄物などのロータリーキルン再資源化設備、下水処理場処理装置として大幅な「省エネルギー」を実現した超微細気泡散気装置や攪拌機、太陽電池分野で高発電効率と低コスト化を目指した成膜装置などを含む代表的な開発成果をご紹介します。

今回の震災で、社会インフラ整備の防災・減災の重要性を改めて認識するとともに、こうした事業を数多く手がける当社にとっても、被害の実態に寄り添いながら環境負荷が小さく災害にも強い商品・技術の開発を進め、エネルギー面・環境面でも震災後の社会システム変革に貢献していく所存です。

今後とも皆様のご指導、ご鞭撻を賜りますよう、よろしく御願い申し上げます。

住友重機械技報 No. 177 2011 省エネルギー・環境保全特集

巻頭言

エネルギー・環境のためにも「半分と倍のイノベーション」を

牛山仁司

省エネルギー・環境保全特集

論文・報告	小型CFBボイラ開発の完了	藤井大也, 渡邊建聖, 中谷好宏	1
	CFBボイラ燃焼技術開発	山下智生, 柴田竜徳	5
	CFB燃焼技術を用いた再生可能燃料の混焼・有効利用について	渡邊建聖, 伊藤一芳, 中谷好宏	9
	メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置	松崎祐子	13
	テーパーインペラ式攪拌機	鈴木 茂	17
	DMSO含有排水の膜分離活性汚泥処理	長 直樹, 山村健治, 島倉大輔, 須田祐一, 橋本庸平	23
	RPD法による薄膜系太陽電池向け透明導電膜成膜技術	牧野博之, 筑後了治	27
	荷電粒子線励起 X 線分析法(PIXE)による環境大気浮遊粒子状物質の分析サービス	鶴野浩行, 井上 剛	31
	射出成形システムの省エネルギー化技術	天野光昭, 阿部昌博, 羽野勝之	35
	住友重機械グループのCO ₂ 削減活動と環境配慮製品	本藤和臣, 越智敏朗, 近藤裕幸	39
技術解説	LTV運行管理システム	後藤 晃	45
	誘導電動機の高効率化の動向	水谷清信	47

"Innovations of Halving and Doubling" for Our Energy and Environment

Hitoshi USHIYAMA

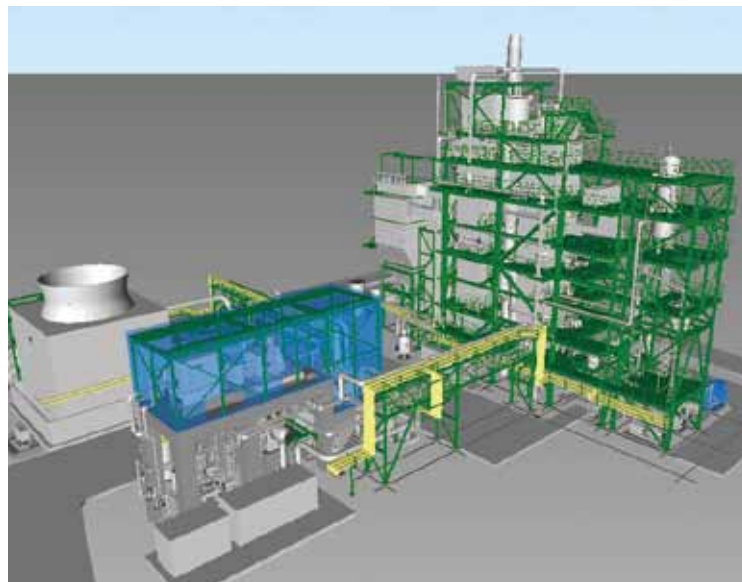
Special Section of Energy Saving and Environmental Protection

T/PAPER	Completion of Advanced Small Module CFB Boiler Development Hirotsada FUJII, Takemi WATANABE, Yoshihiro NAKATANI	1	
	Development of Combustion Technology in CFB Boilers Tomoo YAMASHITA, Tatsunori SHIBATA	5	
	Co-combustion and The Effective Utilization of Renewable Fuels Using CFB Combustion Technology Takemi WATANABE, Kazuyoshi ITO, Yoshihiro NAKATANI	9	
	Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System Yuko MATSUZAKI	13	
	Tapered-Impeller Type Mixer Shigeru SUZUKI	17	
	MBR Treatment for Waste Water Containing DMSO Naoki CHO, Kenji YAMAMURA, Daisuke SHIMAKURA, Yuichi SUDA, Youhei HASHIMOTO	23	
	Technology of Transparent Conductive Oxide Film Deposited by RPD Method for Thin Film Solar Cell Hiroyuki MAKINO, Ryoji CHIKUGO	27	
	Environmental Atmosphere Suspended Particulate Matter Analysis using PIXE Hiroyuki UNO, Takeshi INOUE	31	
	Energy Saving Injection Molding System Technology Mitsuaki AMANO, Masahiro ABE, Katsunobu HANO	35	
	CO ₂ reduction activity and the ecologically friendly product of Sumitomo Heavy Industries, Ltd. Group Kazuomi HONDO, Toshiro OCHI, Hiroyuki KONDO	39	
	T/INVITATION	Implementation of Energy Saving and Safety Driving by Utilizing LTV System Akira GOTO	45
		Trend of High Efficiency Regulation for Induction Motors Kiyonobu MIZUTANI	47

小型CFBボイラ開発の完了

Completion of Advanced Small Module CFB Boiler Development

● 藤井大也* 渡邊建聖* 中谷好宏*
Hirokata FUJII Takemi WATANABE Yoshihiro NAKATANI



小型CFBを適用した発電設備鳥瞰図
Overview of power plant with Small module CFB boiler

バイオマスや低品位燃料などのエネルギー有効利用は地球温暖化防止の観点から世界的な要求であるとともに、ユーザにとっても運転費用の削減などの利点がある。それらの燃料は工業地域では、CFB(Circulating Fluidized Bed)技術によって利用が促進され始めている。しかしながら、小規模分散型の燃料であり、インフラの整っていない地域などでは収集・輸送の困難さから利用が進んでいない。さらなる有効利用に向けては、地産地消が最も効果的であるが、収集量の制限や建設制限などの問題もあった。

当社は工業地域で建設実証したCFB混焼技術を活用し、地産地消利用向けに小型CFBボイラを開発した。小型CFBはモジュール構造化設計をしており、建設の容易さに加え短期納入が可能である。

The effective use of low grade fuels such as biomass and low-grade coal has advantages for the prevention of global warming in addition to saving running cost for customers. These fuels are collected and has been utilized in industrial area by CFB co-combustion technology. However, still in local area, there are problems by cost for collection and transportation. 'Use in local' is the most effective way to utilize those decentralized fuels, but collectable fuel amount and construction inconvenience are pointed out. To facilitate 'Use in local', SHI has developed Small module CFB boiler based on SHI co-combustion technology. Features of Small module CFB boiler are module design, short construction period and short delivery time with basic CFB function.

1 まえがき

近年、エネルギーの利用に伴う環境問題、とりわけ地球温暖化問題への対応が世界的に求められている。二酸化炭素排出削減が大きな課題であり、カーボンニュートラルの特性を有するバイオマス燃料の活用に注目が集まっている。しかしながら、バイオマス燃料は化石燃料と比較し小規模分散型のエネルギーであり、収集の困難性から未利用のまま存在しているバイオマス燃料種がある。日本では、間伐材に代表されるような林野系バイオマスが未利用バイオマスとしてあげられ、海外では林野系バイオマスに加えてトロピカルバイオマ

スや農産物由来バイオマスにも注目が集まっている。また、エネルギーの有効利用の観点から、バイオマスエネルギーと並行して未利用の低品位炭エネルギーを活用した小規模発電にも注目が集まっている。

CFB燃焼技術は、多種燃料の幅広い高効率利用が可能であることが特長であり、未利用のバイオマス燃料や低品位炭を有効に利用できる技術である。しかしながら、既存のCFBボイラサイズでは、収集の困難性や小規模のエネルギー需要に対して規模過大であるという課題があった。また、同時に解決すべき課題として、建設候補地が輸送や建設等の困難な内陸部に多く存在していることがあげられる。これらの解決を

表1 基本仕様とコンセプト
Base specifications of boiler

ボイラ基本仕様		
蒸発量	25	t/h
主蒸気圧力	5.4	MPaG
主蒸気温度	453	degC
ボイラ設計		
火炉	水冷壁+キックアウト構造	
サイクロン	水冷壁+耐火被覆構造	
火炉底	ステップグリッド, アローヘッド	
適用燃料	石炭~バイオマス	
排気ガス環境対策		
SOx	炉内脱硫, 湿式脱硫 など	
NOx	低温燃焼+2段燃焼, 無触媒脱硫 など	
煤塵	バグフィルタ など	



図1 小型CFBボイラ鳥瞰図
Overview of Small module CFB boiler

目指し小型CFBボイラの開発が進められてきた。

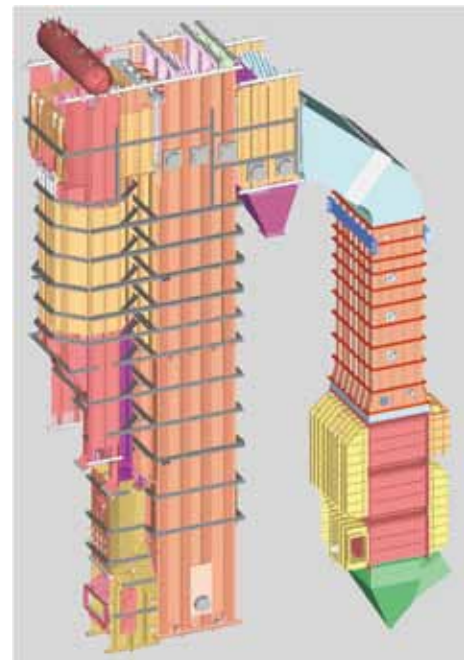
2 小型 CFB ボイラの開発

CFB燃焼技術の特長は、

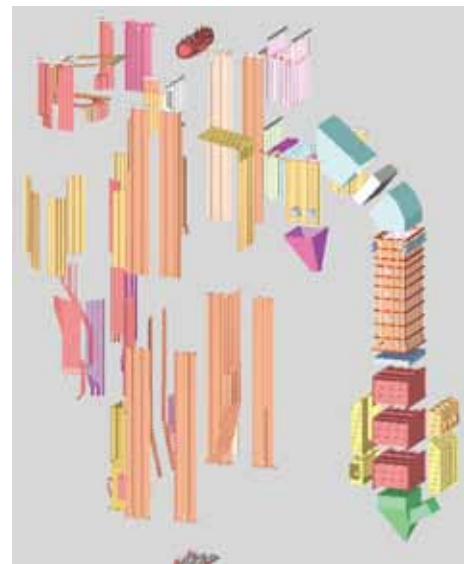
- ① 燃料灰や添加材(石灰石, 砂)などで形成される循環材と燃焼ガスの強い混合力によって、低品位炭やバイオマスを幅広く燃料として利用できる。
- ② 外部循環系による未燃分の回収および再燃焼により高い燃焼効率を得ることができる。
- ③ 低温燃焼および2段燃焼により窒素酸化物(NOx)発生量を抑制することができる。

などがあげられる。

未利用バイオマスや低品位炭のエネルギーの有効利用に向けて、既存の中型および大型CFBボイラの特長をもちつつ、



組立完了図



分割図

図2 従来の中型および大型CFBボイラの分割
Decomposition of industrial size CFB boiler

分散型小規模発電に適した小型CFBボイラを開発した。表1に小型CFBボイラの基本仕様とコンセプトを、図1に鳥瞰図を示す。

小型CFBボイラは、建設工程の削減を狙いとして、モジュール構造化した設計としている。輸送および建設工程の削減による短納期の実現だけではなく、現地建設コストの削減や製造品質の維持が容易となる。

3 小型 CFB が提供するイノベーション

3.1 短納期が実現可能

小型CFBボイラは、受注から納入までの期間を従来の18ヶ月から14ヶ月以下へ短縮することを目標としている。主要部分の詳細設計を完了させていることと、モジュール構造化して工場内での製作および建設現場での溶接作業を極力削減し

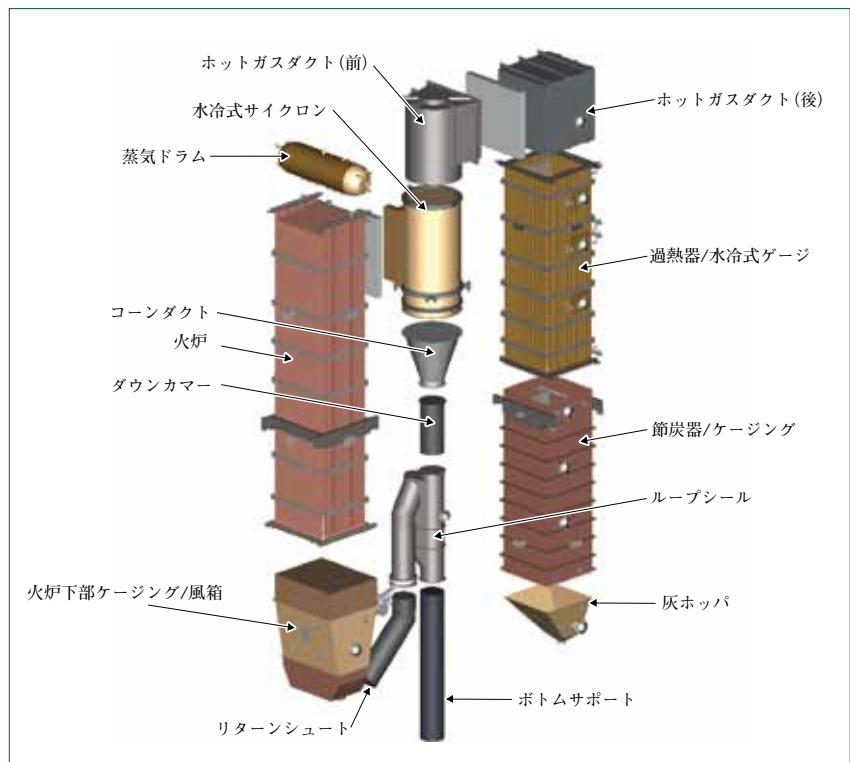


図3 小型CFBボイラの分割
Decomposition of Small module CFB boiler

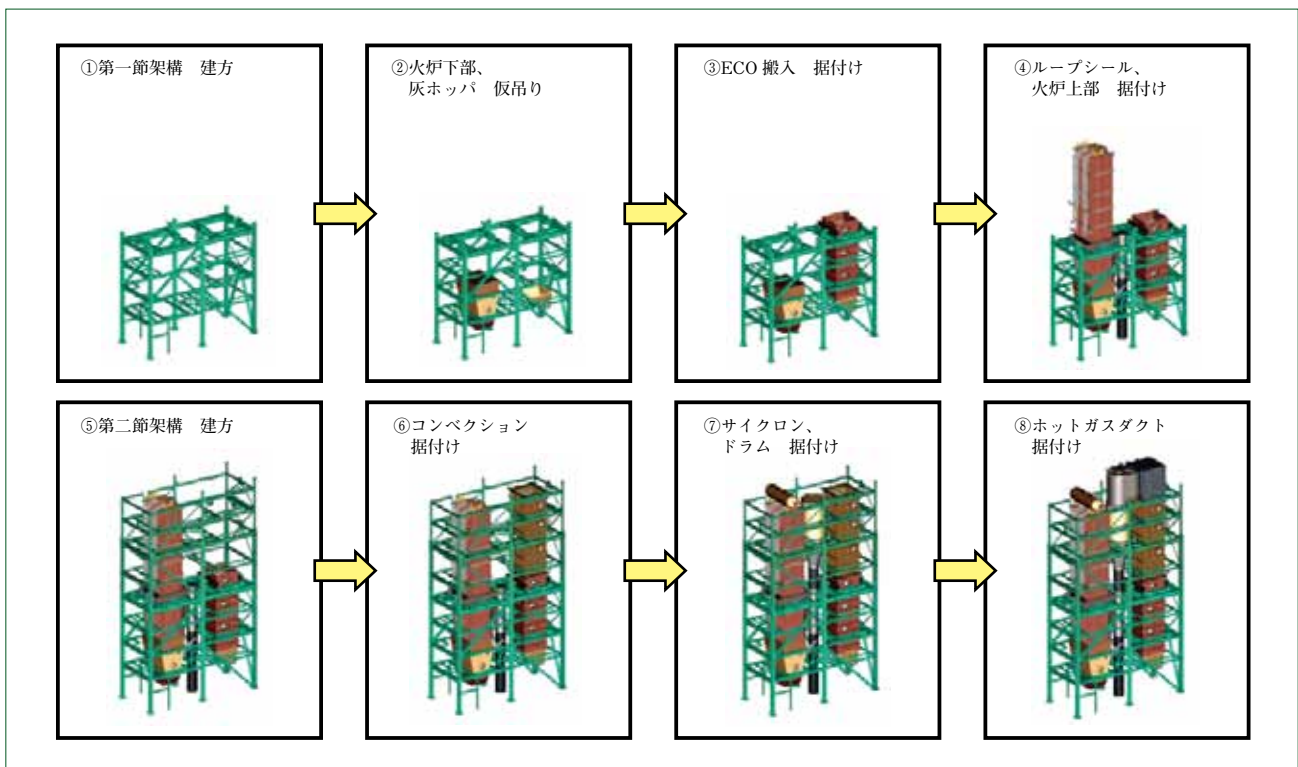


図4 小型CFBボイラの建設工法
Construction flow of Small module CFB boiler

た設計としていることにより短納期を可能としている。

短納期により、ユーザの早期事業実現および建設費の低減、建設中の環境負荷の低減など、さまざまなメリットをもたらすことができる。

3.2 モジュール構造化による輸送および建設の簡易化

小型CFBボイラのモジュール構造化は、「設計-製作-輸送-建設」過程中的前工程にあたる設計と製作に、後工程にあたる輸送と建設の最適化を考慮したものである。

従来の中型および大型CFBボイラは、輸送制限により各モジュールを各パネルに分割輸送し、建設場所にて溶接組立をしていた(図2)。これに対して小型CFBボイラは、各モジュールを分割することなく輸送ができ(図3)、溶接作業を大幅に削減することが可能である。

また、モジュール構造化は、管理が容易な工場製作を極大化することとなり、製造品質の確保が容易になる。

図4に、建設工法について示す。モジュールごとに組み立

表2 パイロット試験機サイズ
Size of pilot test facility

		小型CFB	試験機
熱出力	MWth	19	1
火炉高さ	m	18	20
火炉断面寸法	mm	2500×3000	φ600



図5 パイロット試験機
Over view of pilot test factory

ることができ、建設工程の簡易化を図ることが可能である。

4 小型 CFB ボイラの性能

小型CFBボイラが、既存の中型および大型CFBボイラと同等な性能を有していることを検証するべく、CFBの燃焼プロセスを再現したパイロット試験機による設計検証を実施した。

4.1 パイロット試験機による検証

愛媛製造所新居浜工場に設置されているパイロット試験機(図5)は、さまざまな燃料を利用するCFBボイラの性能を把握および検証するべく活用されており、表2に示すとおり、小型CFBボイラの設計検証にも最適な規模である。

パイロット試験機において、今後利用が見込まれるバイオマス、石炭などを燃焼し、燃料の燃焼効率、排出されるエミッション(硫黄酸化物 SO_x、窒素酸化物 NO_x)に対して試験および検証を実施した。

4.1.1 燃焼効率評価

比較的燃焼の容易なバイオマス、褐炭および一般的な石炭火力用燃料として利用されてきた瀝青炭については、小型CFBボイラにおいても既存の中型および大型CFBボイラと同等の燃焼効率が得られることが検証された。固定炭素分が多く、難燃性の無煙炭は、専用設計された既存のCFBボイラと比較して燃焼効率が若干低下すると予測される。しかし外部循環系を有するCFB燃焼の特長はそのままであり、他

型式のボイラ(ストーク式およびバブリング流動層式)と比較して高効率燃焼が可能である。

4.1.2 SO_x

小型CFBボイラは、従来のCFB燃焼の燃料灰や添加材(石灰石、砂)などで形成される循環材と燃焼ガスの強い混合力、低温燃焼および外部循環系などの特長はそのままに、石灰石などの脱硫剤を利用した炉内脱硫には適した環境である。炉内にそれらの脱硫剤を供給することによって、排出されるSO_xの低減も可能である。

4.1.3 NO_x

小型CFBボイラは、従来の低温燃焼および2段燃焼等の特長はそのままにNO_x発生量を抑制することができる。また、ガスの混合が激しく行われるサイクロン部に、尿素水やアンモニアなどの脱硝剤を噴霧することにより、無触媒脱硝が可能となり、さらに排出されるNO_xを低減することもできる。

5 今後の動向

5.1 日本国内の動向

未利用の林野系バイオマスは再生可能エネルギーの一つであり、有益なエネルギー源として注目が集まっている。

林野系バイオマスは一般的に収集の困難な分散エネルギー源であり、大規模な発電設備の導入は困難なケースが多いが、小型CFBボイラはその解決策を提供するものである。2012年には林野系バイオマスエネルギー源とした発電プラント設備の稼働を予定している。

5.2 アジア諸国の動向

日本と同様に、各国で未利用バイオマスを有効に利用する動きが進んできており、分散型エネルギーに対する小型CFBボイラの適用が期待される。

また、各地に分散している小規模なエネルギー需要に対応するべく、小規模石炭火力発電設備での需要がある。そこでは輸出される石炭と異なる低品位の石炭を有効利用することが要求されることから、小型CFBボイラの適用が期待される。

6 むすび

- (1) 小型CFBボイラは、分散していることが多い未利用バイオマスおよび低品位炭利用による分散型小規模発電設備への適用が可能である。
- (2) 小型CFBボイラは、既存の中型および大型CFBボイラの高効率、低公害という特長をそのままに小型化に成功したものである。未利用バイオマスや低品位炭の有効利用が可能である。

CFBボイラ燃焼技術開発

Development of Combustion Technology in CFB Boilers

●山下 智生* 柴田 竜徳*
Tomoo YAMASHITA Tatsunori SHIBATA



CFBパイロット試験機
CFB pilot test facility

現在CO₂削減、FIT (Feed-in Tariff 固定価格買取制度)の導入、さらなる発電コストの低減要求などにより、再生可能エネルギーを含む未利用燃料活用発電が注目されるなか、当社においても石炭燃料に限らず、再生プラスチック燃料(RPF Refuse Paper & Plastic Fuel)、廃タイヤ(TDF Tire Derived Fuel)、建築廃材、スラッジおよび各種バイオマス燃料など多種多様な燃料を循環流動層(CFB Circulating Fluidized Bed)ボイラに適用することを目指している。

しかし、燃料によっては含有している成分によって流動不良(アグロメレーション)や通風不良(過熱器灰付着)、過熱器腐食などさまざまな問題が危惧され、CFBボイラへの適用には解決すべき多くの課題がある。そこで当社では、想定される各種問題に対して新居浜研究所の3つの試験装置である、FF(Fluidized Furnace)試験装置、デポ(過熱器付着灰)試験装置およびCFBパイロット実証試験機を用いた検証評価にもとづいた実機設計を行っている。

Power generation utilizing potential fuels such as biomass including unused forest residues and waste fuels supported by FIT (feed-in tariff) scheme is recently focused on for the mitigation of global warming in public and for the demand for the power generation cost reduction by users etc.. For this requirement, the Energy & Environment Group in SHI develops CFB (Circulating Fluidized Bed boiler) technology for variety of fuels such as RPF (Refused Paper and Plastic Fuel), TDF (Tire Derived Fuel), various biomass fuels such as demolition wood, sludge, and so on. These fuels, however, contain many harmful materials caused fluidization problems by agglomeration in furnace, draft problems by deposit formation and serious corrosion problems in superheater section. To solve the problems, SHI evaluates these fuels by three original testing devices with real fuels, FF (Fluidized Furnace), Deposit testing system, and a large scale CFB pilot test facility installed in Niihama R&D center. All detailed evaluation is reflected to the boiler design to achieve a reliable performance of commercial boilers.

1 まえがき

近年、地球温暖化および省資源・省エネルギーに対する世界的な意識の高まりから、二酸化炭素(CO₂)排出量の削減が先進国を始めとした世界中のさまざまな産業において大きな課題となっている。また、FITの導入を実施あるいは検討している国も多く、CO₂排出量の少ない太陽光・太陽熱発電や

風力発電、カーボンニュートラルの特性を有するバイオマス発電など再生可能エネルギーの普及に向けた環境が整備されつつある。同時に発電コスト低減に向けた取組みも必要とされている。これらの経緯から、バイオマス燃料を中心とした再生可能エネルギーを含む、従来利用が困難であった燃料を利用した発電が今後大いに期待されている。

図1に、当社の主力製品のひとつであるCFBボイラを示す。

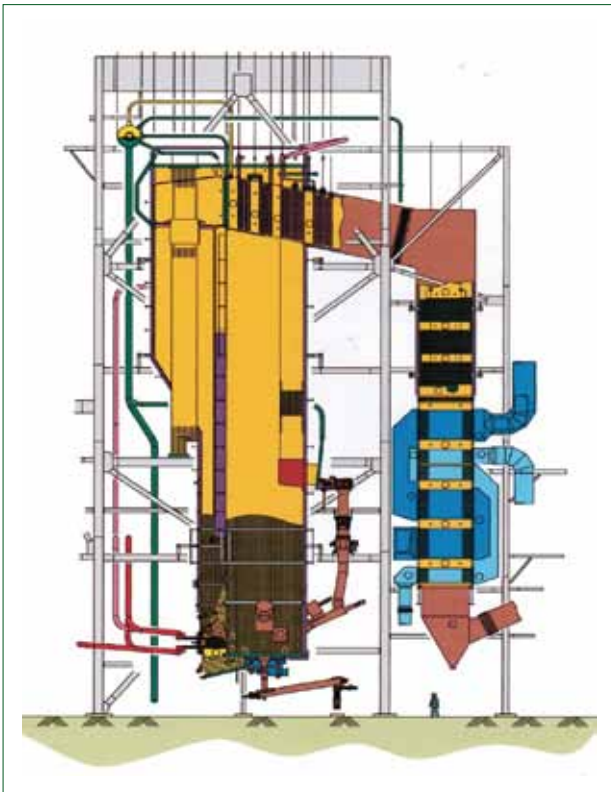


図1 CFBボイラ
CFB boiler

CFBボイラは、流動層燃焼ボイラの一つであり、火炉内のガス流速が固定床ボイラ(0.8~1.5m/s)よりも速く(4~8m/s)、サイクロンと呼ばれる固気分離装置により、火炉内に存在する粒子の多くが火炉内を循環する。つまり、CFBボイラでは、火炉内に多量に保有されている粒子(炉内循環材)の滞留時間が長くなる。火炉へ供給された燃料が燃焼する際に発生した熱を受けた炉内循環材は、火炉壁を構成する水管と効率よく熱交換を行うことが可能であると同時に、高い燃焼効率を得られるという特長を有している。

当社はこれまでに石炭のみならずRPFやTDFおよび建築廃材などを燃料とした数多くの実機納入実績があるが、幅広い種類の燃料が適用可能なCFBボイラの特性を活かし、従来は未利用の燃料を使用するCFBボイラへの適用に取り組んできた。

未利用燃料が広く活用されなかった理由の一つに、燃料中の成分が流動不良、通風不良および過熱器腐食などの問題を引き起こすことが懸念されていることがあげられる。そこで、当社を中心として、さまざまな未利用燃料を実機CFBボイラへ適用するべく、FF試験装置、デポ試験装置およびCFBパイロット実証試験機を用いることにより、流動不良、通風不良および過熱器腐食について評価試験を行うことが可能となる。本報では、ナトリウムやカリウムを多量に含むバイオマス燃料の利用拡大に向けた開発を例に、これら3つの試験装置の概要および試験・評価手法について紹介する。

2 FF 試験装置

CFBボイラでバイオマス燃料を燃焼させる際には、燃料中に含まれるカリウムおよびナトリウム化合物が炉内で結合剤となり、砂などの炉内循環材同士を凝集させる働きを有して

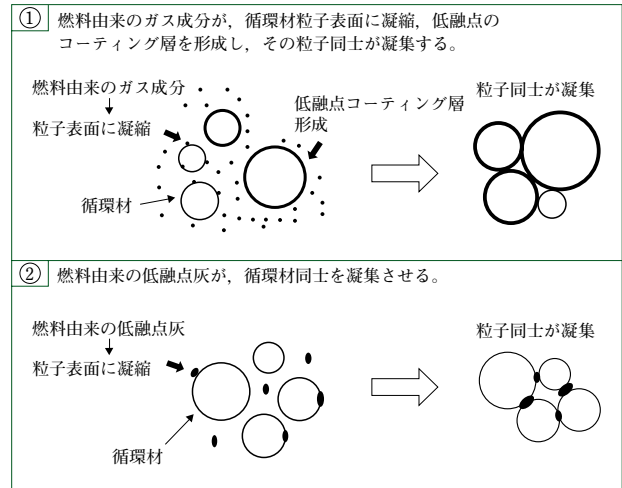


図2 アグロメレーション生成原理
Principle agglomeration generation



図3 FF試験装置
FF test equipment

いることが知られている。CFBボイラにおける炉内循環材による凝集塊(アグロメレーション)の生成は、流動不良現象を発生させる主要因であると考えられている。図2に、アグロメレーションの生成原理を示す⁽¹⁾。

CFBボイラにおいて、アグロメレーション生成を起こさずにバイオマス燃料を安定して燃焼させる重要なパラメータとして①燃焼温度 ②アグロメレーション抑制添加剤量 ③炉内循環材中アルカリ濃度があげられる。

効率的な熱交換を行うには、①燃焼温度はできるだけ高温である方がよい。しかし、温度が高くなるほどアグロメレーション生成のリスクは大きくなる。また、②アグロメレーション抑制添加剤は、添加量が多いほどアグロメレーション生成のリスクは低くなるが、ランニングコストは高くなる。③炉内循環材中アルカリ濃度は、低濃度であるほどアグロメレーション生成のリスクは低くなるが、濃度を調整するのに炉内への循環材補充が必要であり、ランニングコストは高くなる。したがって、アグロメレーション生成を抑制し、高効率

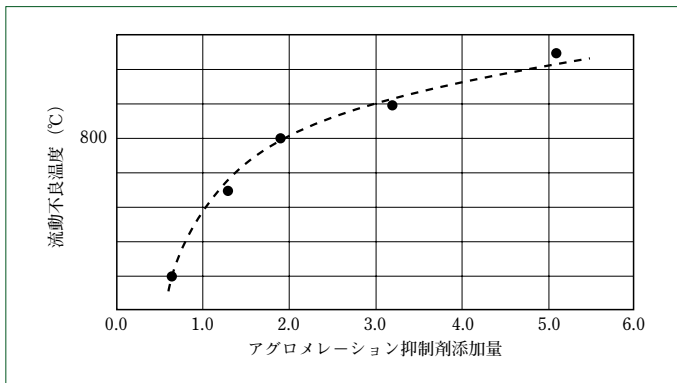


図4 FF試験結果(流動不良温度とアグロメレーション抑制剤添加量の関係)
FF test result (The relationship between de-fluidized temperature and Additive amount of agglomeration inhibitor)

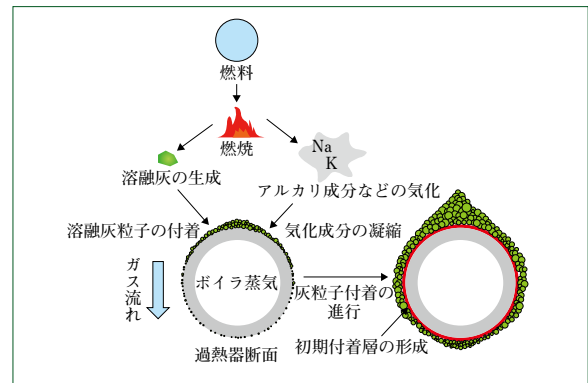


図5 灰付着原理
Ash deposition principle

なボイラを実現するには燃焼温度、アグロメレーション抑制剤添加量および循環材中アルカリ濃度の最適値を求めることが重要である。

そこで当社は、CFBボイラにおけるバイオマス燃料でのアグロメレーションによる流動不良発生リスクを評価するべく試験を行っている。図3に、FF試験装置を示す。

本試験装置は、内径50mm円筒容器と容器加熱用の電気ヒーターで構成されている。容器底部から流動気体を供給し、容器内に充填した供試流動材サンプルを流動させ、容器上部から容器内の流動状態を連続観察できる。また、容器内の圧力変化を連続的に監視することで、供試サンプルの流動不良発生を検知することが可能である。

この試験装置を用いて、各種条件での供試流動材サンプルの流動不良発生温度、アグロメレーション抑制剤添加量および流動材中アルカリ濃度の関係(流動不良抑制条件)を求めた。図4に、FF試験結果からの一例を示す。炉内温度が高いほど必要添加剤量も多くなっている。

3 デポ試験装置

CFBボイラにおいて、火炉燃焼ガスとともにサイクロンで未捕集の燃焼灰や微粒の循環材は、サイクロンからバックパスへと移動する。過熱器は、バックパス煙道内を横切るような形で設置され、燃焼ガスとの熱交換の効率を上げるように設計されている。

バイオマス燃料を燃焼させる際に発生するガス中には、気化したカリウム化合物およびナトリウム化合物が含まれている。長沼²⁾によれば、これらが燃焼ガスよりも低温である過熱器表面で急激に冷却-凝縮-液化し、バックパス内を通過する燃焼灰や循環材を付着し、捕捉することで、時間の経過とともに過熱器表面で灰付着成長が起こるとしている。図5に、灰付着原理を示す。この過熱器表面での灰付着が進行すると、過熱器の熱交換効率の低下やバックパス閉塞が起こり、通風不良などの問題が生じる。

バイオマス燃料は、同類燃料であっても産地によって大きく成分性状が異なり、過熱器に対する灰付着成長速度も異なるものと考えられる。このことから、過熱器灰付着に対するリスクを評価するには、灰付着成長速度を定量的に評価することが重要である。

そこで当社では、CFBボイラにおけるバイオマス燃料燃焼

による過熱器に対する灰付着成長速度を定量的に評価するべく、試験を行っている。図6に、デポ試験装置を示す。

本試験装置は、高さ4.3m、内径78.1mmの円筒縦型電気炉と、炉内ガス温度を調節する炉上部に設置されたLPGバーナおよび供試飛灰サンプル連続供給器から構成される。炉内には表面温度を制御した過熱器模擬の空冷式プローブを設置し、サイトグラスにてプローブへの灰付着状況を連続的に観察記録することで灰付着成長速度の測定が可能である。

この試験装置を用いて、プローブ設置箇所のガス温度を実機相当温度に調整し、装置上部から供試飛灰サンプルを炉内に供給しながら所定の時間でプローブを取り外し、プローブへの灰付着重量および付着高さの測定結果から灰付着成長速度を定量的に評価する。図7に、デポ試験結果からの灰付着成長指標の一例を示す。バイオマスA、BおよびCについて試験を行い、結果を指標化した。評価対象であるバイオマスAでの灰付着成長速度は、基準となる既設実機バイオマスB(灰付着成長速度大)とバイオマスC(灰付着成長速度小)の中間であり、バイオマスAは、過熱器灰付着に関して実機適用可能な燃料と判断される。

4 CFBパイロット試験機

既述のFF試験装置およびデポ試験装置を用いた流動不良と過熱器灰付着に関する評価のみでは、CFBボイラ実機でのすべての挙動を評価することは難しいことから、より実機に近い規模および条件での長時間の検証が必要である。

そこで当社では、CFBボイラの実機を模した試験機を用いて各種燃料での最終的な検証試験を行っている。図8に、CFBパイロット試験機を示す。

本試験装置は、高さ約20m、内径0.6mの炉に燃料供給ラインから形状(ペレット、フラフなど)や性状などが異なる多種多様な燃料を炉内へと供給可能である。隣接する中央操作室にて試験機の各種指示数値(温度、圧力および排ガス中成分濃度)の監視ができるだけでなく、運転状況に応じた燃料供給量、空気量および砂や添加剤などの供給量を適宜変更調整することが可能である。

また、過熱器灰付着性に関しては、実機と同材質の空冷式プローブをループシール部やバックパス部に設置し、設置箇所の温度およびプローブ材質表面温度を実機相当に調整した条件で暴露試験を実施することにより評価している。

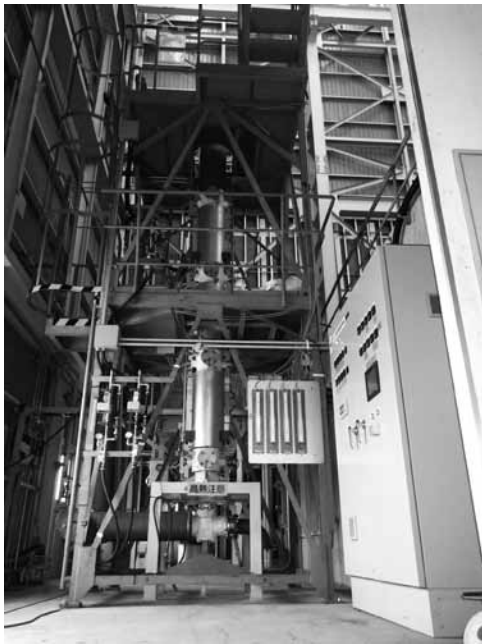


図6 デポ試験装置
Deposit test equipment



図8 CFBパイロット試験機
CFB pilot test facility

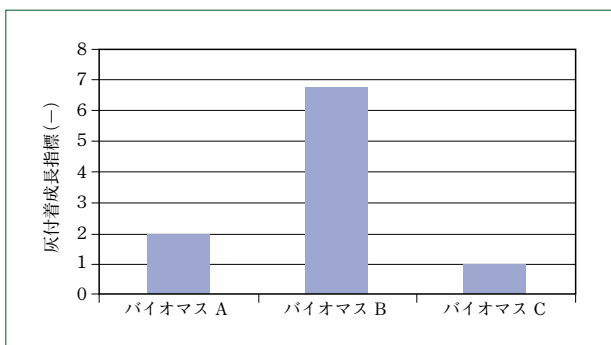


図7 デポ試験結果(灰付着成長指標)
Deposit test result (Ash deposition growing index)

本試験機を用いた検証試験では、①燃焼プロセス評価として試験運転中の温度・圧力トレンド解析、採取サンプルの分析および試験後の試験機各所点検 ②排ガス性状評価としてバグフィルタ出口や煙突入口に設置した排ガス分析計による窒素酸化物、硫黄酸化物および塩化水素などのガス中成分濃度トレンド解析 ③過熱器灰付着性として試験機に設置したプローブの試験後外観観察および各種測定・分析(肉厚寸法測定, SEM(走査型電子顕微鏡), EDX(エネルギー分散型X線分析), EPMA(電子線マイクロアナライザ))などを実施し、総合的な想定実機の評価を行っている。

5 むすび

- (1) 当社では、各種バイオマス燃料を燃焼させる際に発生が懸念される流動不良や過熱器灰付着といった問題に対して、FF試験装置、デポ試験装置およびCFBパイロット試験機を用いて総合的な評価を行い、実機計画に反映させている。
- (2) 流動不良に関しては、FF試験装置を用いたリスク評価および温度・添加剤・循環材中アルカリ濃度の関係性

の評価が可能である。

- (3) 過熱器灰付着に対しては、デポ試験装置を用いたリスク評価および灰付着成分の評価が可能である。
- (4) CFBパイロット試験機では、長時間燃焼試験を行うことにより燃焼プロセス、排ガス特性および過熱器灰付着性などの評価が可能である。
- (5) CFBパイロット試験機を用いて、各種燃料での運転にて生じる問題点を抽出し、FF試験およびデポ試験結果を踏まえた運転条件の見直し再検証を繰り返すことで、問題発生リスクを最小限に低減したCFBボイラ運転プロセスや設計を実機計画にフィードバックしている。

(参考文献)

- (1) H.J.M.Visser, The influence of fuel composition on agglomeration behavior in fluidized-bed combustion, ECN-C-04-054, 2004, 8, ECN.
- (2) 長沼宏, 固体燃焼ボイラにおける灰付着低減技術, 火力原子力発電, 60-633, 2009, p.24~30.

CFB燃焼技術を用いた再生可能燃料の混焼・有効利用について

Co-combustion and The Effective Utilization of Renewable Fuels Using CFB Combustion Technology

● 渡邊 建聖* 伊藤 一芳* 中谷 好宏*
Takemi WATANABE Kazuyoshi ITO Yoshihiro NAKATANI

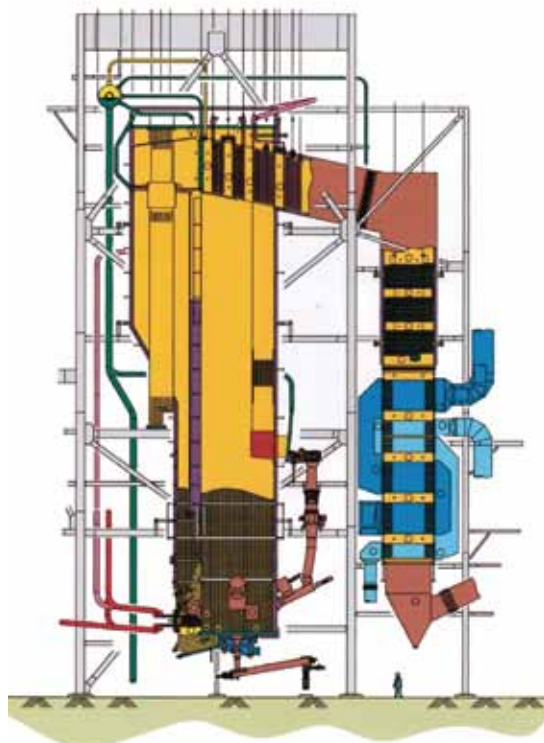


Figure 1

Typical biomass CFB boiler configuration

バイオマスなどの再生可能燃料の有効利用は、地球温暖化防止の観点から、電力・動力源の化石燃料の代替燃料として注目されている。一方で、再生可能燃料の利用促進にはいくつかの課題があることから、発電事業用あるいは大型動力用ボイラでは再生可能燃料の利用が進んでいない。これらの課題を解決するべく、当社は技術提携先のFoster Wheeler社が保有する循環流動層(CFB Circulating Fluidized Bed)ボイラ技術をもとにした混焼技術を開発させた。当社の混焼技術は、客先ごとに異なる燃料事情に最適な混焼条件を提供できるものである。

本報では、当社の混焼技術とCFBボイラ技術の環境負荷低減に対する貢献をいくつかの実例とともに示すものである。(なお、本論分は、Renewable Energy World Asia 2010での発表論文内容より再構成した)。

For the prevention of global warming, the effective utilization of renewable fuels such as biomass for power utility is focused for an alternative to fossil fuels. Conversely, utilizing those fuels for power utility is restricted by problems in both quantity and quality. Sumitomo Heavy Industries (SHI) has developed an advanced co-combustion technology for renewable fuel utilization, which is based on the circulating fluidized bed (CFB) boiler technology licensed by Foster Wheeler. The advanced technology is capable of utilizing renewable fuels with various customers requests. This paper describes SHI's advanced co-combustion technology and contribution to the prevention of global warming with our experiences. (This paper has been reconstructed based on the content of the paper presented at the Renewable Energy World Asia 2010 exhibition.)

1 BACK GROUND IN JAPAN

For the world wide request of mitigating global warming under Kyoto protocol, usage of renewable energy is promoted in Japan especially after the year of 2000.

Biomass and some of the other renewable fuels (the rest is omitted as "renewable fuels") are well known as

Eco-friendly fuel. In addition, since the fossil fuel prices are getting higher and higher in these recent years, cost competitive renewable fuels utilization in stead of the fossil fuels is in demand.

On the other hand, unique characteristics of those fuels and its collecting problem sometimes hang around about renewable fuels utilization for users especially power boiler

Table 1 SHI's CFB boiler delivery record

Startup year	Reference Project	Main steam condition			Fuel mixing ratio (% thermal basis)					
		Flow(t/h)	Temp.(deg C)	Press.(MPa)	Coal	Pet-Coke	Biomass	TDF	RPF,Plastic	Sludge
1988	OHM	35	485	6.1	100					
1988	CHF	54	500	10.8	100					
1989	NSH	250	571	12.5	100					
1989	NDH	150	541	12.3	100					
1990	KGW	225	543	10.3	100				(15)	
1995	SF4	120	540	12.1	100				(15)	
1996	NSK	96	541	10.3	100			(30)		
1999	SOK	230	541	12.8	100		(20)			
2001	IPS	475	569/541	17.0/3.6	100	(20)				
2003	VND	205×2	540	12.7	100					
2004	SMP	196	513	10.1	30		70			
2005	TPS	525	569/541	17.0/3.5	100					
2005	KPS	237	541	12.8	100					
2005	BCG	220×3	540	9.8	100					
2006	HKP	195	513	10.0	40		60			3
2006	ONC	130	541	11.5			17	80		3
2006	CPF	130	530	12.2	22		6	60	12	
2007	NPF	230	505	10.2	20		60		20	
2007	DOP	300	541	12.6	70			30		
2007	NPI	230	505	10.2	40			40	20	
2007	NDT	180	480	7.8	90		10			
2008	TPI	65	450	6.2			70	30		
2008	KMH	250×2	540	12.7	70			30		
2008	NPA	170	510	10.2	22		54	20	3	1
2008	NPS	280	536	12.7	85		9		5	1
2009	OPT	300	485	6.9	49		30		21	
2009	NDN	280	535	9.8	90		10			2
2010	TRE	156	541	10.3	80		20			
2010	JOP	200	541	12.9	94		3			3
2011	KBP	137	513	10.2			100			
2012	TBS	450	510	10.5	80		20			
2012	ABP	80	493	6.2	30		60		10	
2012	CPH	130	541	12.9	100			(16)	(1.5)	
2012	GKB	25	453	5.4	30		70			
2012	GHA	25	453	5.4			100			

on condition that high temperature and pressure steam condition.

Because, generally, renewable fuels have quite low heating value and contain much corrosive components and foreign materials, there are risk for stable combustion and plant operation. In addition, all these fuels are spreading over the geographically elongate shape island country and it makes difficult to collect single fuel for the plant.

Therefore, in order to utilize renewable fuels for power station, there are two major design requirements as follows;

- (1) Utilize renewable fuels for high temperature and pressure boiler with taking measures to deal with corrosion mitigation, contamination removal and so on.
- (2) Co-combustion technology such as utilizing variety of fuels and its flexible mixing ratio change is strongly required in case of large power generation in Japan.

For the purpose of solving these problems, SHI provides an

appropriate CFB boiler to meet each customer's situation. Concretely, renewable fuel co-combustion with coal or some of the other renewable fuels only becomes one of the solutions to this kind of problem.

2 EXPERIENCES

In order to satisfy the design requirements described in section 1, SHI developed co-combustion technology with CFB boiler (Foster Wheeler technology).

SHI has supplied 18 renewable fuel co-combustion CFB boilers up to mid of 2011. Currently, 3 boilers are construction stage and 2 boilers are design stage. 4 boilers are equipped with renewable fuel feed system after commercial operation.

SHI's CFB delivery records are shown in Table 1. And typical biomass CFB boiler configuration is illustrated in Figure 1. From the developing history aspect, Table 1 is rearranged in Figure 2.

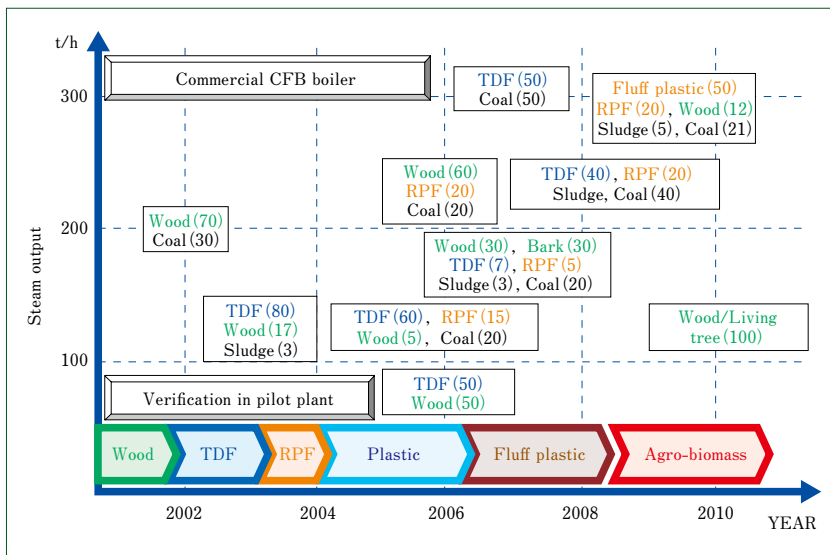


Figure 2 The development history of SHI's renewable fuels utilizing CFB boiler

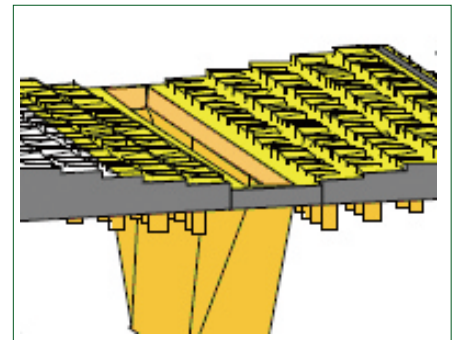


Figure 3 Step grid

2.1 Biomass co-combustion experiences

Renewable fuels contain foreign and/or corrosive components. For example, wood contains building materials, nail and hinge etc. In case of Tire Derived Fuel (TDF), bead and radial wires are included. In addition, those renewable fuels often contain some of corrosive components such as chlorine, sodium, potassium and the other hazardous components.

Those foreign materials become a trigger of poor bed fluidization and circulation, blockage of bottom ash discharge from furnace bottom area and damage of furnace water wall tubes. And severe corrosion on furnace and superheater heating surface may be caused by corrosive molten salt formation. As a result, those troubles prevent stable continuous boiler operation.

Therefore, contamination control and countermeasurements against corrosive materials become primary importance. For the above trouble potential, special attention and consideration is taken into the boiler design.

Regarding the contamination trouble, step grid nozzle is effective solution. Step grid is located at furnace bottom. Since step grid has stair-like configuration (See Figure 3), heavier foreign materials are roll down on the step grid surface and discharged from furnace bottom via large size opening of step grid.

In addition, Foster Wheeler's patent superheater called INTREX™ superheater (the rest is omitted as "INTREX") functioning against corrosion.

INTREX is installed in the refractory covered box which located in the lower part of boiler and the inside of the box is always filled with hot circulating materials. Since INTREX tubes are submerged under the hot circulating materials, those high temperature tubes are never exposed to corrosive flue gas phase and are protected from severe corrosion.

If a conventional type superheater is selected as a final

superheater, severe corrosion should be occurred due to its high metal temperature. Accordingly, INTREX is conducted to these renewable fuel boilers.

3 COMBUSTION TEST

SHI has own CFB pilot test facility in SHI's NIIHAMA works in Japan. Table 2 shows the main features of the facility.

SHI developed co-combustion technology based on coal combustion experiences with this pilot test facility and actual commercial plant. Starting from each fuels evaluation, co-combustion condition, burning characteristics, corrosion data, ash characteristics etc. are evaluated with this test facility.

Consequently, not only biomass but also the other up coming renewable fuels utilization has been achieved. The plant overview and schematic flow diagram of the test facilities are shown in Figure 4 and 5 respectively.

The pilot test facility has approx. 1 MW thermal input capacity. The unit has been designed and extensively used in developing support data for a design of commercial plant scale boiler by firing a variety of solid fuels such as any kind of coal, sludge, biomass, refused plastic fuels, tire and so on.

SHI has been developed not only coal combustion and also co-combustion with the other fuels such as demolition wood, bark, Palm Kernel Shell (PKS), sludge, TDF and Refuse Paper and Plastic Fuel (RPF). Actually, as a result of the combustion test, SHI has been developed TDF and biomass combustion technology and supplied those boilers without any difficulties in plant operation.

Since the test results have been utilized to SHI's CFB boiler design, those knowledge enable SHI not only to do sure boiler design but also extend CFB combustion technology.



Figure 4 Over view of CFB boiler pilot facility

Table 2 Main feature of the pilot test plant

Items	Unit	Notes
Furnace inner diameter	mm	600
Furnace height	m	20
Thermal input	MW	Approx. 1

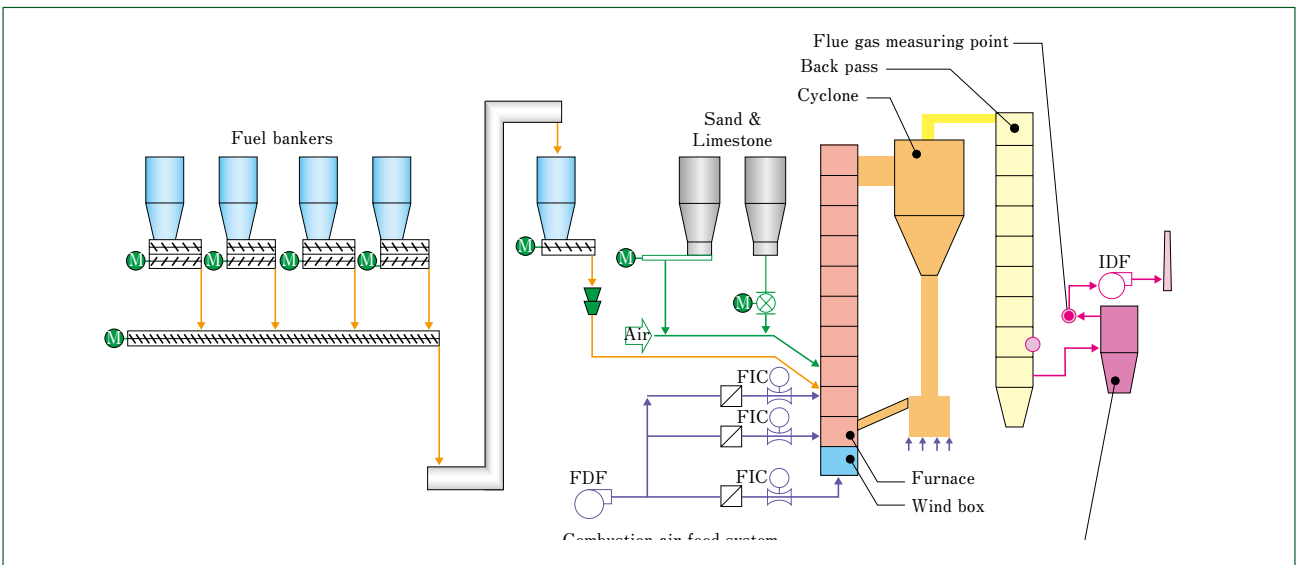


Figure 5 The flow diagram of CFB boiler pilot facility

These experienced data is fully reflected to the reliable CFB commercial plant design.

4 CONCLUSIONS

(1) It is considered that it takes long time to conduct the emission friendly technologies such as CO₂ Capture and Storage (CCS) to the industrial power plant.

On the other hand, there is no time to reduce CO₂ emission due to global warming. From the above point of view, since the renewable fuels are carbon neutral, the technology of renewable fuel utilization in indispensable technology.

(2) It has been proven that CFB technology has great potential to utilize not only low grade coal, but also a variety of renewable fuels. And eventually,

renewable fuel utilization in CFB boiler contributes to CO₂ emission reduction.

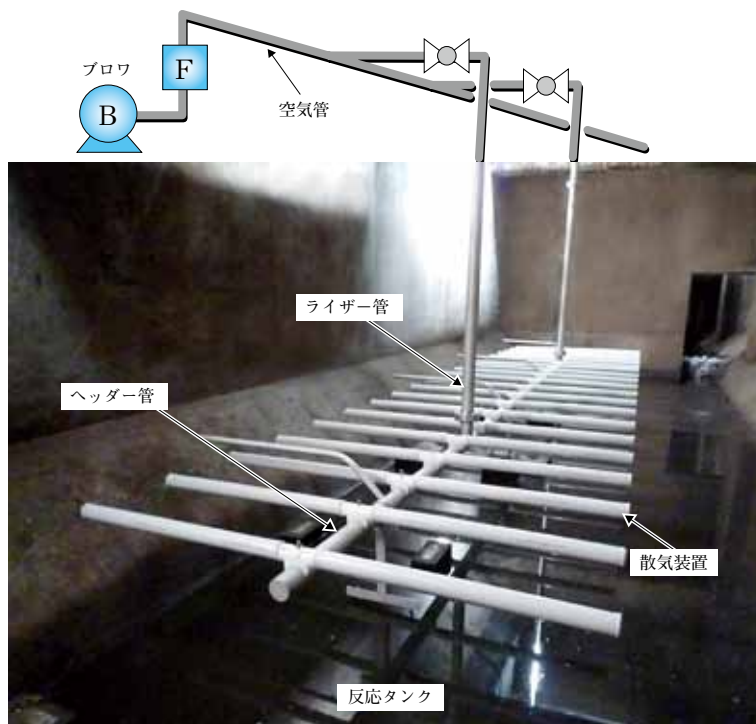
(3) In order to expand the source of available renewable fuels, well understanding of the characteristics of each fuel is required. SHI has been developed the CFB and renewable fuel utilization technologies in accordance with Foster Wheeler and CFB pilot combustion test results.

SHI will keep on supplying ECO-friendly biomass CFB boiler and added value solution to customer from now on.

メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置

Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System

●松崎 祐子*
Yuko MATSUZAKI



メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置 (D-2000)
Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System (D-2000)

下水処理プロセスでは、反応タンクに大量の空気を送る送風機設備で多くのエネルギーを消費する。その電力消費量削減に大きく寄与する技術の一つに、超微細気泡散気装置があげられる。超微細気泡散気装置とは、非常に微細な気泡を発生させることで酸素を効率的に水に溶解させ、必要空気量を大幅に削減するものである。メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置は、メンブレンに耐久性の高い特殊シリコンゴムを用いることで、電力消費量の削減に加えて装置の長寿命化を実現しており、採用が増加している。

本報では、メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置の深槽式反応タンクへの適用性を評価し、その電力削減効果と攪拌性能を確認したので報告する。

In the sewage treatment process, air blowers consume large amount of energy to send air to reaction tanks. One of the technologies that substantially contribute to reducing power consumption of the blowers is an ultra fine bubble diffuser system. The ultra fine bubble diffuser system drastically reduces the required amount of air by generating ultra fine bubbles and efficiently dissolving oxygen into water. The ultra fine bubble membrane tube diffuser achieves of a reduction power consumption and extends system life by using special silicone rubber membrane with high durability, and is adopted in an increasing number of applications. This paper reports the results of evaluation of the applicability of the ultra fine bubble membrane tube diffuser to deep reaction tanks, and validation of its power reduction effect and agitation performance.

1 まえがき

地球温暖化防止対策の一層の推進が求められるなか、下水処理事業においても、省エネ・新エネ対策の導入などによる温室効果ガス排出量の削減を進めていく必要がある。

下水処理プロセスでは、反応タンクに空気を吹き込み、生物処理に必要な酸素供給を行う送風機設備で多量のエネルギー

を消費する。その電力消費量削減に大きく寄与する技術の一つに、超微細気泡散気装置があげられる。非常に微細な気泡を発生させることで酸素を効率的に水に溶解させ、従来の散気装置に比べて送風量を大幅に削減することで、電力消費量、温室効果ガス排出量の削減に貢献できる。

超微細気泡散気装置の中で主流となっているのは、微細な孔を有するメンブレンから散気するものである⁽¹⁾⁽²⁾。メンブレ

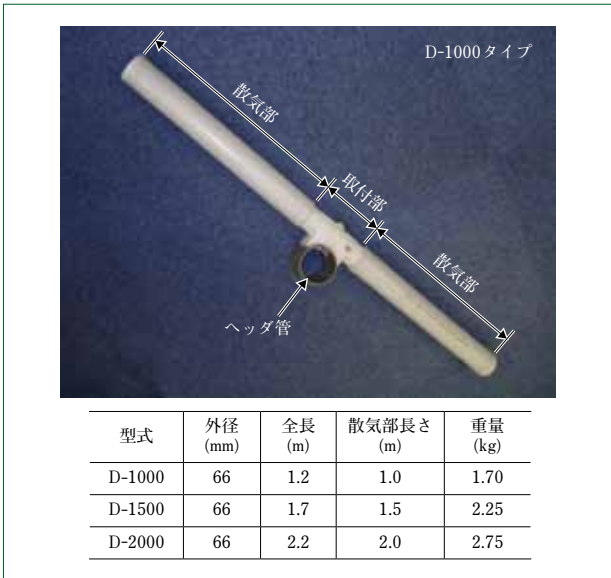


図1 主な仕様 Specifications of diffuser

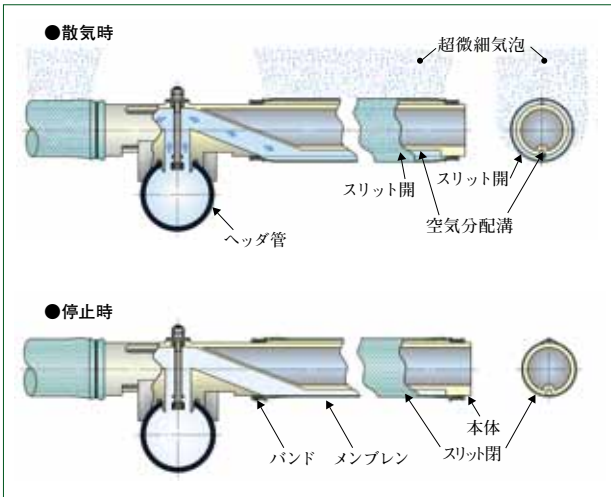


図3 散気原理 Principle of foaming

ンパイプ式超微細気泡散気装置は、メンブレンに耐久性の高い材質を採用することで、装置の長寿命化を実現している。

高効率、高耐久性の散気装置として主に標準式反応タンクで採用が増加しているが、今回、深槽式反応タンクへの適用性を評価し、その電力削減効果と攪拌性能を確認したので報告する。

2 技術の概要

2.1 適用範囲

下水処理設備における反応タンク散気装置として、新設、増設、改築および更新などに適用する。

2.2 装置の概要

(1) 全体構成

送風機により吸引され、フィルタを通った清浄な空気は、空気管を通して反応タンクに送られる。反応タンクでは、ライザ管にて池底部近くまで送られ、さらにヘッダ管にて分散される。その後、ヘッダ管に設置された散気装置から超微細気泡として散気される。気泡が水中に滞留することで酸素が供給されるとともに、気泡の上昇

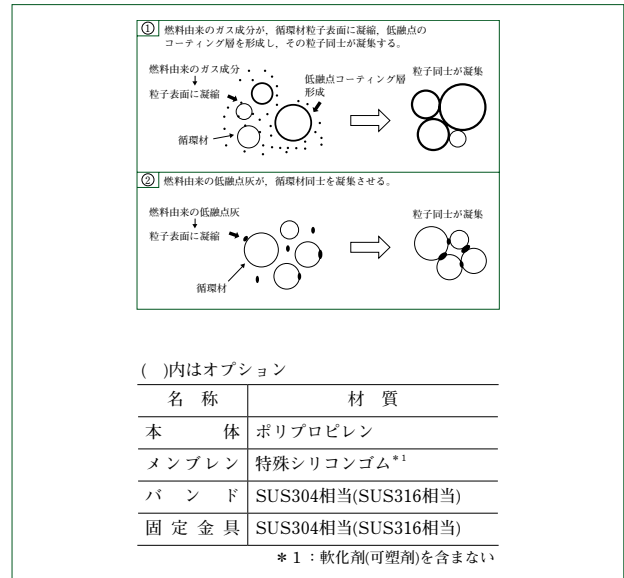


図2 構造と材質 Configuration and materials

によって水槽内の攪拌を行うことができる。

(2) メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置

図1に、メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置の主な仕様を、図2に、構造と材質を示す。

本散気装置は、ポリプロピレン製の円筒本体の両側に散気部を有している。散気部は、本体を特殊シリコンゴム製の円筒状メンブレンに差し込み、バンドでメンブレン両端を締めつけた構造である。メンブレンには超微細気泡を発生するスリットが多数設けられている。

散気装置中央の取り付け部をヘッダ管の取り付け用接続穴に差し込み、ヘッダ管に固定することにより、簡単に取り付けられ、継手や散気装置用架台などは不要である。

装置本体を円筒形状にすることで、散気時に生じる装置への浮力を最小にして浮力による振動などを防止するとともに、攪拌時の流れの抵抗を抑制する効果がある。また、本体には3種類のラインナップがあり、反応タンクの形状にあわせて効率的な配置設計ができる。

(3) 散気原理

図3に示すように、散気性能を左右するメンブレンは、空気が供給されていないときには、収縮により円筒状本体に密着する。それに伴いスリットが閉じることで、汚水がメンブレン内側に浸入しにくくなり、内側からの目詰まりリスクが低減する。

一方、空気が散気装置中央部のヘッダ管から散気装置に供給されると、装置に設けられた空気分配溝によって、メンブレン先端まで均一に分配される。本体とメンブレンの間の空気圧が高くなると、メンブレンが膨張してスリットが開き、そこから超微細気泡が発生する。スリットは、空気供給量が大きくなると、その開度が大きくなる構造になっている。

水中への酸素移動効率が高くなる理由として、気泡が超微細化することで大きな比表面積が確保でき、気泡の水中滞留時間が長くなることがあげられる。

2.3 運転方法

本散気装置は散気停止時の目詰まりが生じにくく、運転可

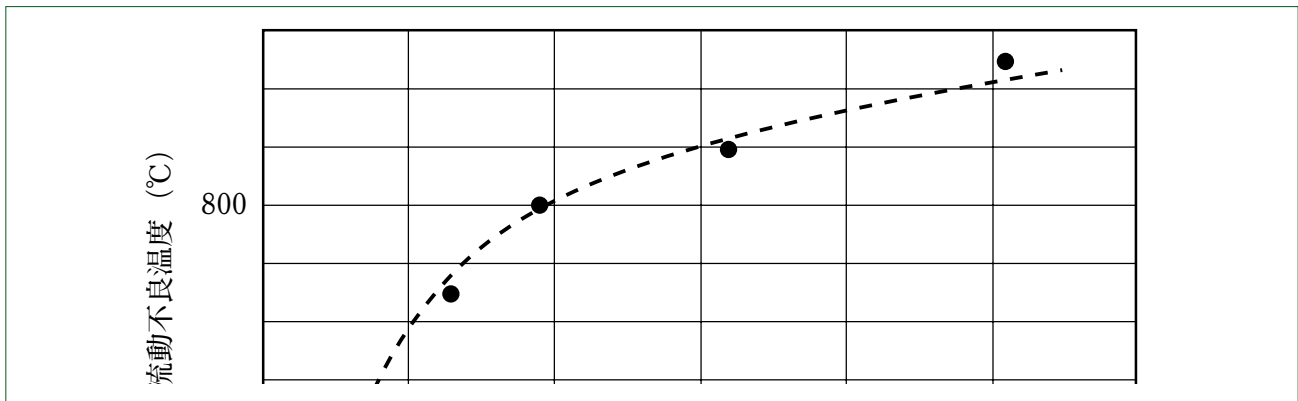


図4 酸素移動効率特性(清水, 散気水深5m)
Measurements of oxygen transfer efficiency in freshwater

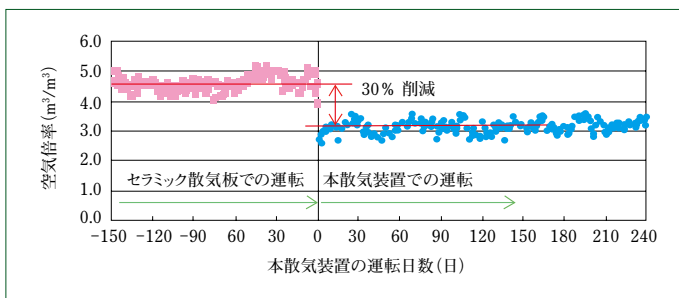


図5 空気量削減効果
Effect of reduction in air/wastewater ratio by installation of Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser

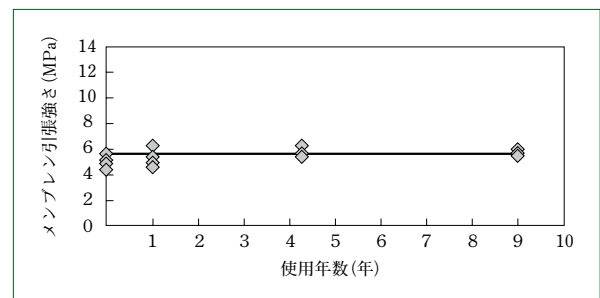


図6 メンブレンの物性評価結果
Tensile properties of membrane

能な通気量の範囲が広いので、間欠運転や硝化促進運転なども容易に行うことができる。

3 特長

3.1 高い酸素溶解性能

生物処理に必要な空気量を削減することで、ランニングコストの削減と地球温暖化防止に貢献できる。図4に、本散気装置の酸素移動効率特性を示す。散気水深5mにおける酸素移動効率は、全面エアレーション式で31~33%、旋回流式(標準式)で22~31%と、セラミック散気板(旋回流式で14~16%)⁽³⁾に比べて大幅に向上している。

セラミック散気板が稼動していた国内下水処理場の反応タンクに本散気装置を導入し、導入前後で空気量を調査した。図5に、結果を示す。

散気板での運転時には約4.6倍だった空気倍率が、本散気装置導入後には約3.2倍となり、同等の処理条件で空気量を30%削減できた。

3.2 長期の安定運転

高温空気や排水中の油分などによる材質劣化リスクを最小化した、高耐久性の特殊シリコンゴム製メンブレンを採用している。さらに、発泡部をスリット構造として微生物などによる目詰まり(圧損上昇)リスクを軽減している。

図6に、メンブレンの物性評価結果を示す。長期間使用したメンブレンでも劣化傾向はなく、十分な強度を有していた。

図7に、海外および国内の処理場における圧力損失の経年変化を示す。ここで示されている圧力損失には配管類の圧力損失も含まれ、処理場間で値に差があるが、長期にわたって急激な上昇はなく安定している。

これらを根拠として、10年以上の長期安定運転が期待できる。

3.3 槽内の確実な攪拌

散気装置には酸素を供給するほか、反応タンク内を混合攪拌する機能が求められる。本散気装置は、本体が円筒状で流れを阻害しないので、少ない風量でも槽内を効率的に攪拌できる。風量制御範囲が広く高風量での運転もできることから、処理方式にあわせた設計で効率的な散気・攪拌が可能である。

3.4 更新コストの大幅低減

散気装置の更新時には、本体をそのまま使用し、メンブレンのみを交換することができるので、低コストでの更新および長寿命化が可能である(図8)。

また、高い酸素移動効率により必要空気量が減少することで、送風機の更新時には、小型化や台数削減による大幅なコスト低減が望める。

4 深槽式反応タンクへの適用

本散気装置の深槽式反応タンクでの性能を評価するべく、試験水槽で性能試験を実施した。

4.1 試験設備

試験水槽に隔壁を設置し、本散気装置を水槽の片側に配置して深槽旋回流方式とした。表1に試験条件を、図9に設備の外観を示す。

4.2 試験内容

(1) 酸素移動効率

通気量範囲2.1~6.4 S_m³/(m³・h)で酸素移動効率の測定を行った。非常法によって基準条件(清水 20℃, 溶存酸素濃度 0 mg/L)における総括酸素移動容量係数を求め、

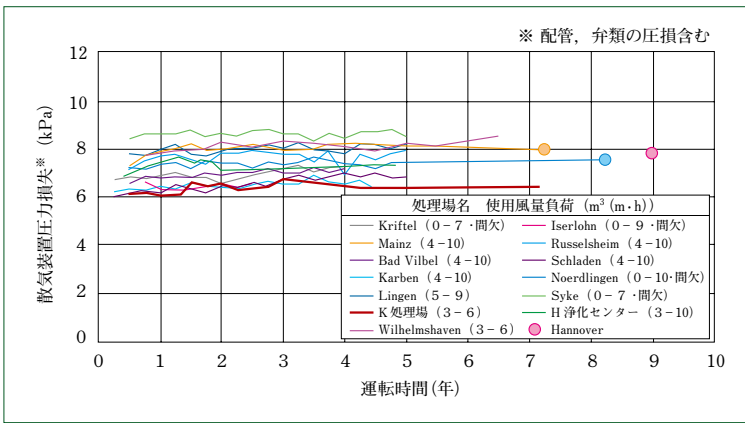


図7 圧力損失の経年変化
Temporal trend in pressure loss



図8 メンブレンの交換方法
Replacement of membranes

酸素移動効率を計算した。

(2) 攪拌能力

攪拌能力の評価指標として、槽底部(底面から10cm)の流速を測定した。三軸流速センサにより、流速の瞬時値を1分間×3回測定した。1分間の平均値として得られた幅方向、長さ方向および深さ方向の3成分の流速から合成流速を求めた。

4.3 試験結果

深槽式反応タンクにおける酸素移動効率は25~34%で、標準式反応タンクよりさらに高い性能を有し、空気量削減に有効であることが示された。底部流速は汚泥が堆積しない毎秒10cm以上を確保しており、槽内の攪拌能力も十分に有していた。

5 むすび

- (1) 酸素移動効率が全面エアレーション式において平均31~33%、旋回流式(標準式)において平均22~31%(散気水深5m, 清水)と高いことから、必要空気量の削減による電力削減効果が期待できる。実処理場で30%の必要空気量削減を達成した。
- (2) 流れを阻害しない本体形状であり、反応タンク内の活性汚泥混合液を効率的に攪拌できる。
- (3) メンブレンのみの交換が可能な構造で、低コストでの更新・長寿命化が可能である。

表1 深槽試験条件
Measurement conditions of oxygen transfer efficiency

エアレーション方式	深槽旋回流式(隔壁有)	
槽形状	幅3m×長10m×水深10m	
散気水深	5m	
散気装置仕様	寸法	φ0.066m×2m(D-2000)
	本数	20本
占有面積比	10%	
散気水深	5m	



図9 深槽試験設備
Test facility

(4) 深槽式反応タンクに対する適用性評価を行った結果、酸素移動効率は25~34%と高く、槽内も十分に攪拌できた。深槽式反応タンクにおいて、より高い省エネ効果を発揮できることを確認した。

本散気装置は高い省エネ効果と耐久性が評価され、近年採用が増加している。現在までに国内下水道処理場で38件(農集排含む)の実績がある。2010年3月には公的な技術評価として、財団法人下水道新技術推進機構の建設技術審査証明(下水道技術)を取得した⁽⁴⁾。

さらに、電力消費量削減効果をより向上させた高効率型メンブレン、初期の圧損を低下させた低圧損型メンブレンも新たに開発し、高密度配置や既設ヘッダ管を流用した長寿命化対策など、さまざまなニーズに対応可能となった。今後も本散気装置の拡販を推進し、地球温暖化防止対策に貢献していく所存である。

(参考文献)

- (1) 財団法人下水道新技術推進機構,メンブレンパネル式散気装置技術マニュアル,2004,p.4~30.
- (2) 財団法人下水道新技術推進機構,建設技術審査証明(下水道技術)報告書 超微細気泡メンブレンディフューザー,2007.
- (3) 日本下水道協会,下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2001年度版,2001,p.93~96.
- (4) 財団法人下水道新技術推進機構,建設技術審査証明(下水道技術)報告書 メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置,2010.

テーパーインペラ式攪拌機

Tapered-Impeller Type Mixer

●鈴木 茂*
Shigeru SUZUKI



テーパーインペラ式攪拌機(深槽用)
Tapered-impeller type Mixer
(For deep tank)

近年、栄養塩類(窒素・りん)が閉鎖性水域に多量に流れ込むことによって発生する富栄養化を原因とした赤潮や青潮が問題となっている。下水の高度処理では、反応タンクに従来の好気槽に嫌気・無酸素槽を組み合わせることで効率的に窒素やりんの除去を行っている。嫌気・無酸素槽での運転では、水中攪拌機による攪拌が主流であるが、その攪拌機は攪拌動力が大きく、水中部設置のため保守点検作業が多いなどの問題が指摘されている。本報では、これらの問題を解決するべく、省エネ、省メンテおよび省リプレイスを商品コンセプトとしたテーパーインペラ式攪拌機を商品化して、下水処理施設反応タンクでの適用性を検証した結果を報告する。

Recently, red tide or blue tide caused by eutrophication due to massive inflow of nutrient salts (nitrogen, phosphorus) into closed water areas has become an environmental problem. Advanced sewage treatment removes efficiently nitrogen and phosphorus from sewage by using a reaction tank consisting of a conventional, aerobic tank and an anaerobic/anoxic tank. The anaerobic/anoxic tank operation is generally performed through agitation by a submerged stirrer. However, the submerged stirrer has disadvantages such as the necessity of various maintenance and inspection work because it requires large agitation power and is installed underwater. This paper reports the results of commercialization of a tapered-impeller stirrer under the product concept of energy saving, maintenance saving and replacement saving in order to solve these problems, and verification of its applicability to a sewage treatment plant reaction tank.

1 まえがき

閉鎖性水域では、富栄養化を原因とする赤潮や青潮が発生しており、十分な水質改善が進んでいない。このことから、原因物質である窒素やりんの負荷軽減が求められている。下水処理プロセスの反応タンクでは、散気装置などで汚水中に酸素を溶解させている好気槽にて微生物(活性汚泥)により汚水中の有機物を処理するが、さらに富栄養化対策として汚水

中の窒素とりんの除去を目的に下水高度処理プロセスが導入されている。下水高度処理プロセスでは、従来の好気槽に嫌気・無酸素槽を組み合わせた反応タンクで効率的に窒素とりんを除去している。好気槽での運転は散気装置による酸素溶解、嫌気・無酸素槽での運転では水中攪拌機による攪拌が主流である。嫌気・無酸素槽の水中攪拌機は、槽内を良好に混合攪拌できるが、攪拌動力が大きく、駆動部を含めた攪拌機が水中に設置され、高速回転していることから、保守点検時

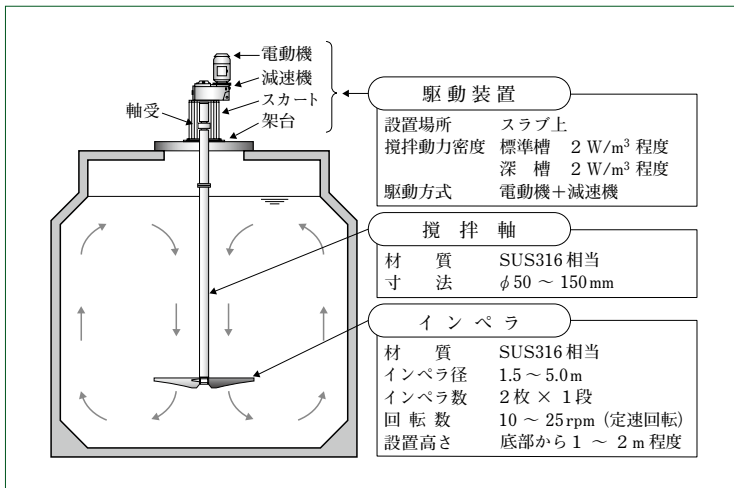


図1 攪拌システムの全体構成
Configuration of Mixer

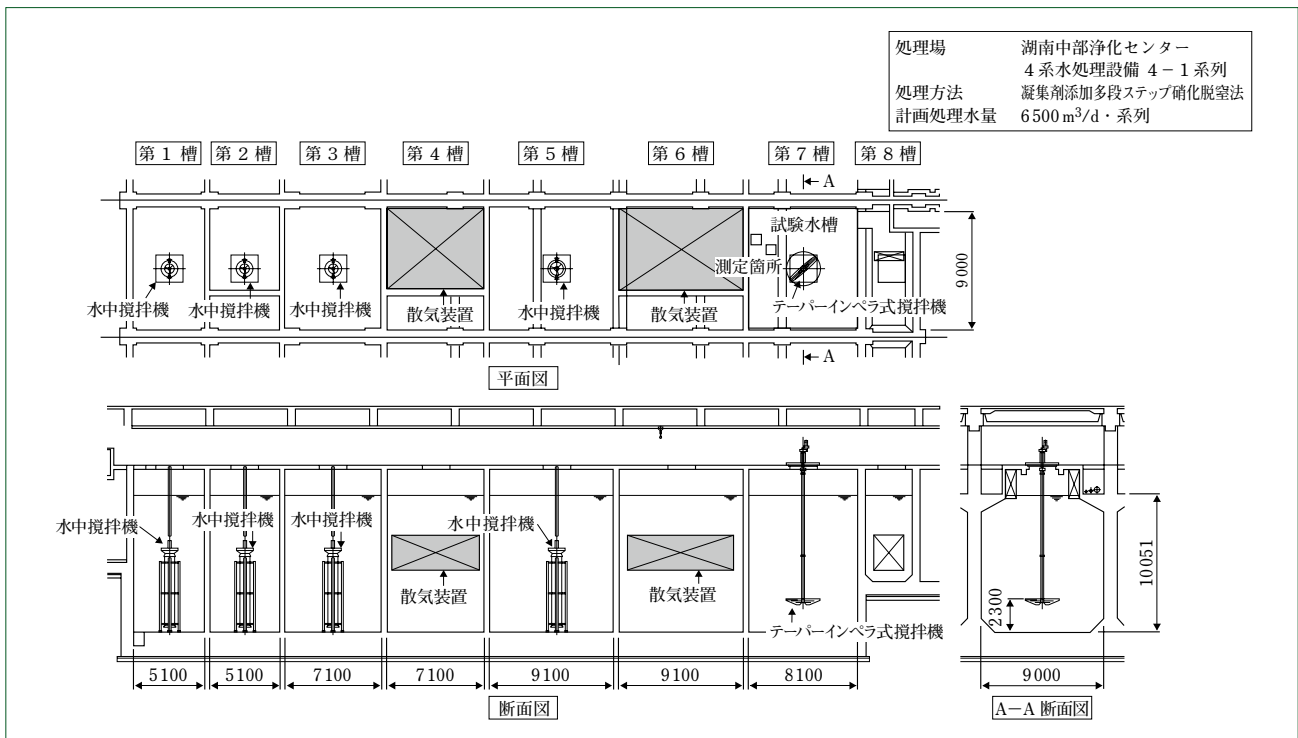


図2 試験場所攪拌機配置図
Agitator arrangement at test site

の吊上げ・吊下ろし作業の負担が大きく、交換部品や交換頻度が多いなどの問題が指摘されている。

そこで、これらの問題を解決するべく、汚泥消化槽の攪拌機として多くの実績を有するインペラ式攪拌機を反応タンク用に改良して、省エネ、省メンテおよび省リプレイスを商品コンセプトとしたテーパーインペラ式攪拌機を商品化した。効率のよいテーパー翼形状のインペラを低速回転させるテーパーインペラ式攪拌機の導入により、低動力化およびCO₂削減が図れる。また、駆動装置を槽上部に設置することで水中部メンテナンスフリーとし、保守点検作業の大幅低減が可能となる。さらに、低速回転により軸受などの交換部品・交換頻度が低減し、部品の長寿命化が図れる。

本報では、実下水処理施設深槽反応タンクでのテーパーインペラ式攪拌機の長期実証運転によって、実下水での攪拌性能特性および長期運転特性を調査し、省エネ性、長期安定性および維持管理性などについて、水中攪拌機と対比して評価を行ったので、その結果を報告する。さらに、補足的に流体

シミュレーションによる攪拌性能予測方法や、大地震時の影響についても評価する。

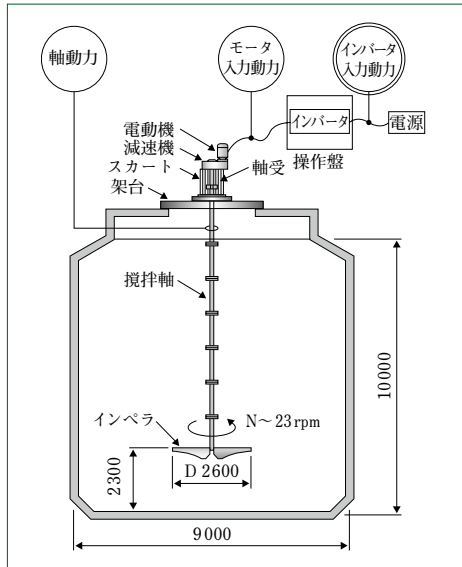
2 装置の概要

2.1 テーパーインペラ式攪拌機の概要

図1に、テーパーインペラ式攪拌機の概略仕様を示す。駆動装置、攪拌軸およびインペラからなるシンプルな構造を有しており、水中部に軸受や振れ止めなど支持構造やパッフル板などの整流機構が不要である。

槽内でのインペラによる攪拌は次のように行われる。インペラの回転により作り出される強力な下向流を底部に衝突させ、底部上を側壁に向けて広がる流れを形成することによって、汚泥の底部堆積を防止している。さらに、側壁近くでは上昇流、水面近くでは攪拌軸への集中流、攪拌軸近くでは下向流を作り出し、槽全体として図1のような強い循環流を作り出している。この循環流により、槽内の均一な攪拌混合、汚泥の底部堆積防止およびスカム成長を抑制する水面流の形

表1 試験装置の仕様
Specifications of testing mixer



項目	試験対象水槽	比較対象水槽		
系列	4-1 系列第7槽	4-2 系列第7槽		
流入水	流入水量6500m ³ /d	MLSS 2400~2600mg/L		
水槽	寸法	9.0m(W) × 8.1m(L) × 10.0m(H)		
	縦横比	1 : 1.1		
	容量	697m ³ (ハンチ含まず)		
機器	攪拌方法	テーパインペラ式攪拌機	水中攪拌機	
	駆動装置	電動機 2.2kW 回転数制御VVVF (試験用)	電動機 7.5kW	
	インペラ	型式	テーパインペラ	型式 駆動部一体型
		材質	SUS316相当	材質 FC, SUS304
		回転数	18rpm (5~23rpm)	回転数 200rpm
		インペラ数	2翼 × 1段	インペラ数 4翼 × 1段
	インペラ径	2600mm	インペラ径 約800mm	
	設置高さ	底部から2.3m	設置高さ 底部から5.5m	
	攪拌軸	材質 SUS316相当	—	
	ドラフトチューブ	—	材質 SUS304 寸法 φ860 × 5.2m × 1	
ガイドパイプ	—	材質 SUS304 寸法 125A × 12m × 1 100A × 12m × 1		
重量	900kg	1900kg		

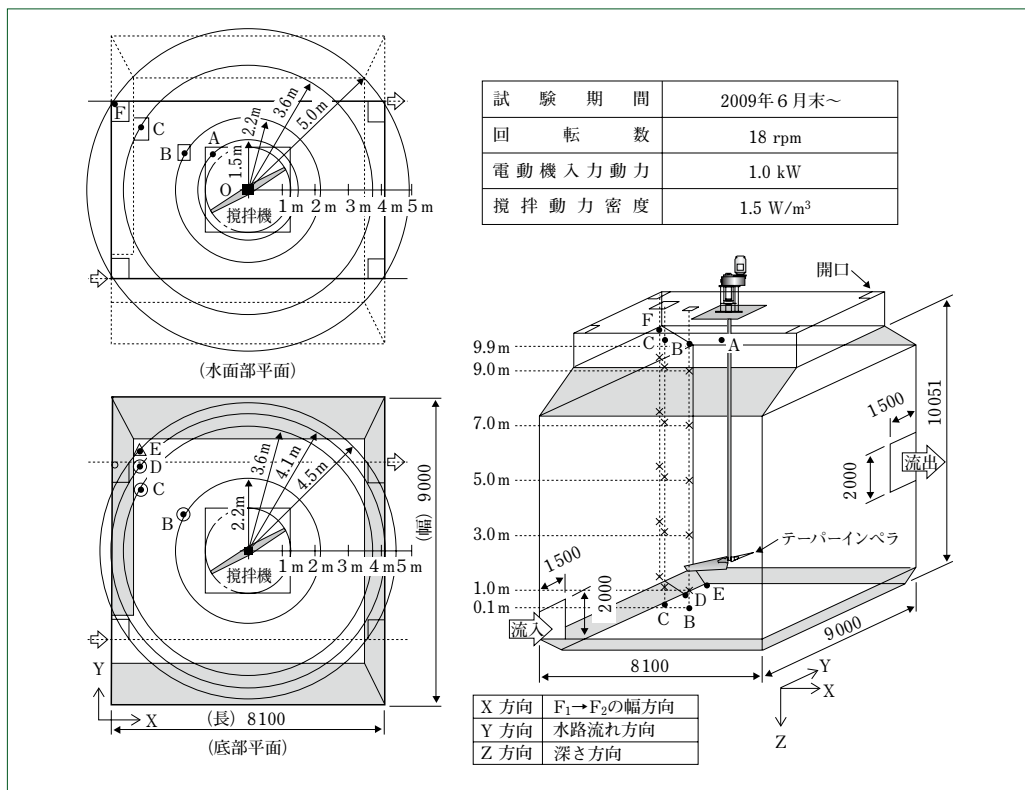


図3 試験条件と測定点
Testing condition and measurement point in the tank

成ができる攪拌システムとなっている。
構造的特徴・材質を次に示す。

- (1) 駆動装置
駆動装置は、電動機、減速機、スカート部および架台で構成され、反応タンクの上(槽上)に設置できる。
- (2) 攪拌軸
駆動装置で発生する回転力をインペラに伝達するものであり、耐食性に優れたSUS316相当の材質を標準としている。
- (3) インペラ
インペラは、2枚1段で、羽根の攪拌軸側から先端ま

で、均一な流れを効率よく発生させるべく、特長のある三次元的なテーパ翼形状としている。インペラの径・回転数・設置レベルは水槽の形状や水深により決定するが、インペラ径は1.5~5m程度、回転数は10~25r/m程度の低速回転で、設置レベルは底部上方1~2m程度が一般的な仕様である。

3 実施設での攪拌性検証

3.1 試験条件

3.1.1 試験実施場所

試験は、図2に示す凝集剤添加多段ステップ硝化脱窒法

表2 試験項目
Examinations items

試験項目	評価項目	目標	条件
省エネ性	攪拌動力密度	2 W/m ³ 以下	底部流速0.1m/s以上 (水面流速0.1m/s以上) (MLSS安定)
攪拌均一性	MLSS濃度	深さ方向分布の変動幅±10%以下	
長期安定性	動力 振動 底部流速	安定状態	回転数一定
維持管理性	保守点検項目 オイル交換時間	水中攪拌機と比べて省メンテ	オイル交換作業性を調査
水処理性	硝酸性窒素 全窒素	水中攪拌機系列と比べて同等	

表3 各測定点の測定項目
Measurement items at each measurement point

測定点		○	A	B	C	D	E	F	
中心からの距離 r(m)		0	1.5	2.2	3.6	4.1	4.5	5.0	
測定項目	動力	■	-	-	-	-	-	-	
	回転数	■	-	-	-	-	-	-	
	流速	水面 (水深 0.1m)	-	●	●	●	-	-	●
		高さ方面 (水深 1~9m)	-	-	●	●	-	-	-
		底部 (水深 9.9m)	-	-	×	×	×	×	-
	MLSS	水面 (水深 0.1m)	-	-	●	●	-	-	●
		高さ方面 (水深 1~9m)	-	-	×	×	-	-	×
		底部 (水深 9.9m)	-	-	○	○	○	-	-
	水中カメラ	底部 (水深 9.9m)	-	-	-	-	-	△	-

■ ● ● × ○ △ 図3測定点記号表参照

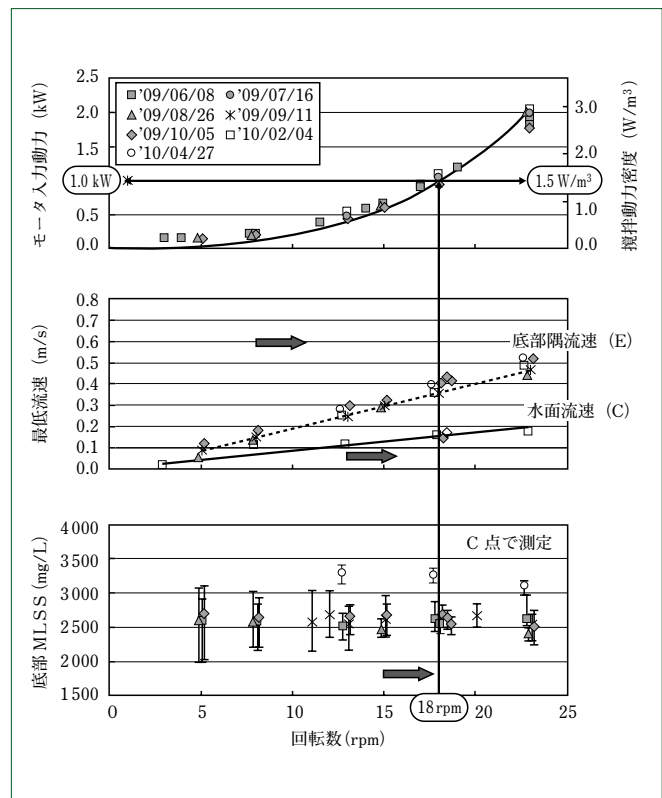


図4 省エネ性能の最適化
Optimization of energy saving performance

の高度処理で運転されている滋賀県湖南中部浄化センターの4系水処理設備4-1系列反応タンク第7槽(後脱窒槽)を試験対象水槽として、既設の水中攪拌機1台をテーパインペラ式攪拌機1台に置き換えて実施した。既設の水中攪拌機が設置された4-1系列の隣の4-2系列第7槽をその比較対象水槽とした。

3.1.2 試験設備の仕様

表1に、試験対象水槽のテーパインペラ式攪拌機と、比較対象水槽の水中攪拌機の仕様概要を示す。両水槽は同形状で、容量が697m³、縦横比が1:1.1、水深が10mの深槽式反応タンク水槽である。

テーパインペラ式攪拌機仕様は水中攪拌機と比べて以下の相違がある。

- ・駆動部が攪拌部(インペラ)と一体でなく、槽上に設置されているので、メンテナンスが容易。
- ・電動機出力が水中攪拌機電動機出力の1/10程度と省エネ化を実現。
- ・インペラ径が水中攪拌機の4倍程度と攪拌動力を小さくしやすい。
- ・インペラ設置位置が底部近くで、底部流速を確保しやすい。
- ・攪拌軸は必要だが、ドラフトチェーンやガイドパイプなどが不要となり、攪拌機全体質量は水中攪拌機の1/2程度と軽量。

3.1.3 試験条件

試験期間は2009年6月から2010年5月までとした。

表2に示すように、省エネ性、攪拌均一性、長期安定性、維持管理性および水処理性などの項目の観点から評価項目と

目標値を設定して試験結果を評価した。

図3に試験条件と測定点を、表3に測定項目を示す。

底部流速の測定では、攪拌機中心部からの距離に対する変化を測定するとともに、底部の隅を最低底部流速として測定した。MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids)濃度の測定は、攪拌機中心からの距離が異なるいくつかの点で高さ方向に対して実施した。ここでMLSSとは、反応タンクの浮遊物質を表す。

3.2 試験結果

3.2.1 省エネ性

図4に、インペラ回転数に対するモータ入力動力、底部MLSS濃度(C点)、底部流速(E点)および水面流速(C点)の特性を示す。

底部MLSS濃度では、濃度変動の影響が小さくなるインペラ回転数は15r/m以上である。底部流速はインペラ回転数に比例して増加傾向を示し、汚泥が堆積しない目安の流速とされる0.1m/s以上を確保できる回転数は、余裕を考慮して8 r/m以上と判断した。一方、水面流速に関しても、インペラ回転数に対して比例的に変化し、底部流速の40%程度の流速であった。底部流速と同様に0.1m/s以上を確保するのに必要な回転数は、余裕を考慮して13r/m以上と判断した。

以上の点を考慮し、MLSS濃度の変動や流入負荷が変動した場合でも安定した運転が行える最適な回転数は18r/mとした。この場合のモータ入力動力は1.0kW程度、モータ入力動力を槽容量で除した攪拌動力密度は、開発目標値2 W/m³より小さい1.5 W/m³とすることができる。水中攪拌機が6~10 W/m³であることを考慮すると、本攪拌機は水中攪拌機に比べて1/4~1/6に動力削減され、優れた省エネ性を有してい

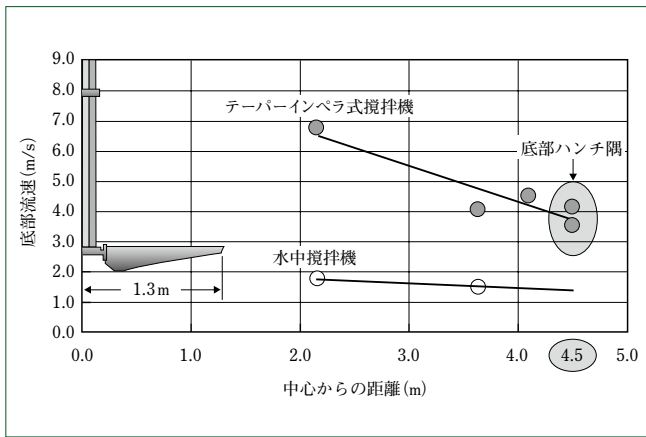


図5 底部流速特性
Profile of bottom velocity

ると言える。

図4で選定したインペラ回転数18r/mのときのテーパインペラ式攪拌機で作られる底部流速分布と、既設水中攪拌機で作られる底部流速分布を図5に比較した。図5から分かるように、攪拌機中心からの距離によって攪拌機で作られる底部流速は、ともに中心から減衰傾向を示し、底部のハンチ隅で最低になると考えられる。また、テーパインペラ式攪拌機の底部流速は、水中攪拌機に比べて、中心から2 m程度で3.5倍、ハンチ隅で約2.5倍大きいことが分かる。

このときの攪拌動力密度が、テーパインペラ式で1.5 W/m³、水中攪拌機で9.6 W/m³であることを考慮すれば、テーパインペラ式は水中攪拌機に比べて、約1/5の動力で2.5~3.5倍の底部流速を作り出しており、大幅な省エネ・低動力化を実現できている。

3.2.2 攪拌均一性

図6に、攪拌機中心からの距離(水平方向)の違いによる高さ方向のMLSS濃度分布特性を示す。高さ方向MLSS濃度分布は、テーパインペラ式、水中攪拌機とも平均して2500mg/L前後で10%以内の変動であり、攪拌機中心からの距離、高さ方向においても均一な攪拌を作り出していると判断できる。

3.2.3 長期安定運転性

図7に、テーパインペラ式攪拌機のモータ入力動力、駆動装置振動および水槽底部ハンチ隅流速の経時変化を試験開始から11ヶ月間測定した結果を示す。インペラ回転数18r/mでの連続試験を開始した2009年6月末以降、モータ入力動力はほぼ1.0kWの一定で、振動速度はISO規格値の良判定を大きく下回っており、攪拌機運転として安定した状態であった。底部ハンチ隅流速も泥堆積の目安となる0.1 m/s以上の0.4m/s程度で安定しており、底部流速全体および槽内攪拌状態も安定していると判断できる。

運転期間中の2009年11月末と2010年5月末に水中部インペラへの表面状況をダイバーにより確認したが、この期間でテーパインペラへのし渣絡みつきはまったくなく、水中部メンテナンスフリーで運転できた。

3.2.4 維持管理性

テーパインペラ式攪拌機は、駆動装置が槽上、攪拌部が水中部にあるが、保守点検作業時には、駆動装置・攪拌部一体構造の水中攪拌機では必要とされる攪拌機吊上げ・吊下ろ

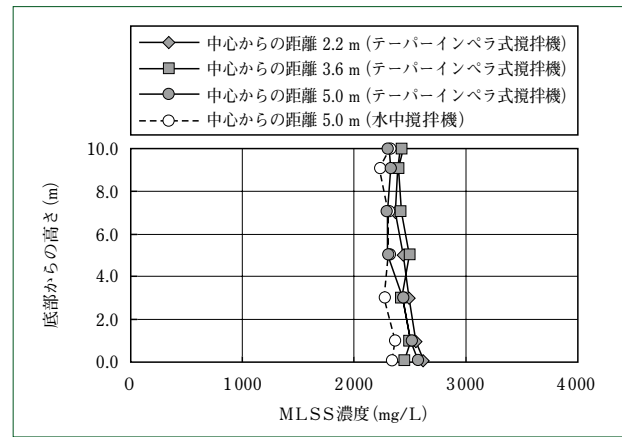


図6 MLSS濃度分布特性
Profile of bottom MLSS concentration

し作業が不要となり、保守点検箇所は槽上の駆動装置のみで、点検項目も少なくなる。インペラが低速回転であるので、シールや軸受の磨耗が軽減され点検・交換頻度も低くなり長寿命化できる。湖南中部浄化センターで実施したテーパインペラ式攪拌機のオイル交換作業は、1人作業で約25分/台の作業負荷であったのに対し、同浄化センターで確認した水中攪拌機では、2人作業で約95分/台の作業負荷となった。テーパインペラ式攪拌機でのオイル交換作業時間は水中攪拌機と比べて1/3程度、1人当たりで1/6程度となるので、大幅に保守点検作業時間の短縮につながると考えられる。

3.2.5 水処理性

水処理性については、テーパインペラ式攪拌機設置系列と水中攪拌機設置系列の無酸素環境下での窒素除去性能を比較したが、その結果、攪拌機の違いによる水処理性への影響はほとんどないと考えられる。

3.3 槽内流速予測

図8に、試験対象水槽にテーパインペラ式攪拌機を設置した状態での攪拌状態を流体シミュレーション解析にて予測した槽内流速分布結果を示す。2.1で示したような槽内の強い循環流のパターンを再現しており、流体シミュレーション手法は槽内攪拌状況の予測に有効なツールとなることを確認した。

3.4 耐震性

図9に、兵庫県南部地震(阪神淡路大震災, M7クラス)の地震波を駆動装置に与えた場合における攪拌軸の振れ状態をシミュレーションし、その最大振れ状態での攪拌軸の応力分布を示す。このとき、駆動装置近くの攪拌軸で最大応力が発生しており、その値は評価値である0.2%耐力の半分程度であるので、テーパインペラ式攪拌機の攪拌軸は阪神淡路大震災程度の揺れに対して十分な耐震性を有していると判断できる。なお、駆動装置直近で最大応力が発生していない理由として、駆動装置に直結した攪拌軸の仕様が他と異なることがあげられる。

4 むすび

以上の結果から、テーパインペラ式攪拌機は従来方式である水中攪拌機と比較して、

- (1) 攪拌動力密度では水中攪拌機の1/5程度になり、省エ

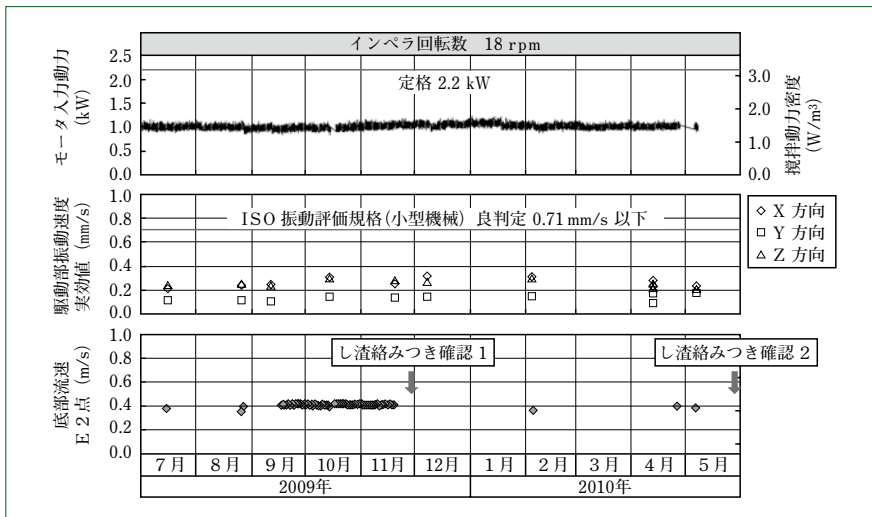


図7 長期運転特性
Long-term operation trend

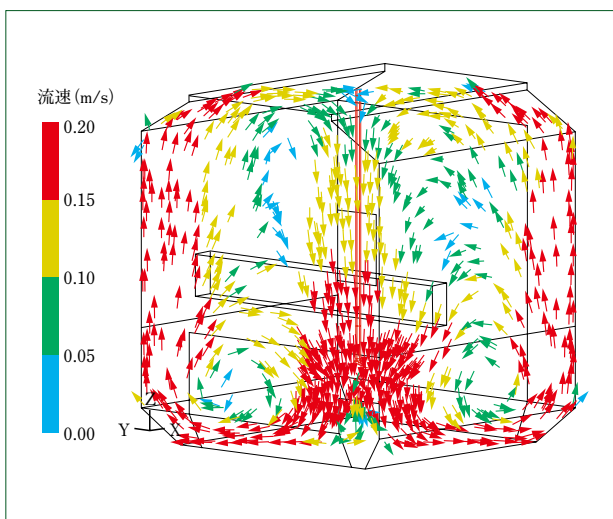


図8 流体シミュレーションによる槽内解析結果
Velocity vector profile in tank by CFD

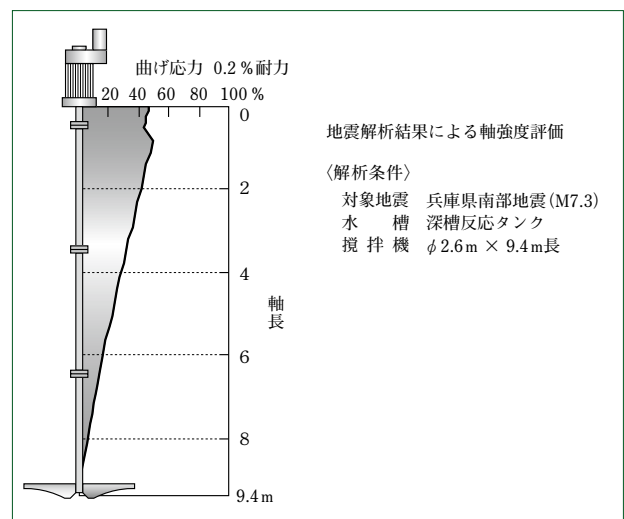


図9 攪拌軸の応力分布
Simulated stress profile of mixing shaft

ネ・低動力化が実現できる。

- (2) 保守点検作業の代表作業としてオイル交換の作業時間は、水中攪拌機と比べて、1人工あたり1/6に削減できる。

などの利点があり、水中攪拌機と同様に

- (3) MLSS濃度分布も高さ方向・水平方向とも、その変動は±10%以内であり、十分な攪拌状態である。
- (4) 1年近くの長期運転でも動力・駆動部振動などの運転条件が安定しており、性能としての底部流速も安定している。
- (5) 水処理性能は水中攪拌機と同程度である。

本攪拌機は、2010年3月には財団法人下水道新技術推進機構の厳しい技術審査をクリアし、建設技術審査証明(下水道技術)を取得し、公的にも技術評価された商品となっている²⁾。

また、2009年度から納入を開始し、省エネ、省メンテおよび省リプレイスを推進する自治体で順調に稼働しており、2013年度末までに40台以上の納入が見込まれている。今後は、本攪拌機を下水処理場水処理設備の地球温暖化防止対策や省エネ対策に貢献させるべく、拡販に注力していく所存である。

本報で示した試験結果は、滋賀県との共同研究成果をまと

めたものである。共同研究において、さまざまなアドバイスとご協力をいただいた、滋賀県琵琶湖環境部下水道課、滋賀県下水道公社、並びに日本メンテナンスエンジニアリング株式会社 琵琶湖事業所の皆様に心から感謝申し上げます。

(参考文献)

- (1) 社団法人日本下水道協会, 第47回下水道研究発表会講演集, 2011, p.471~473.
- (2) 財団法人下水道新技術推進機構, 建設技術審査証明(下水道技術)報告書, 槽上設置型テーパインペラ式低動力攪拌機, 2010.

DMSO含有排水の膜分離活性汚泥処理

MBR Treatment for Waste Water Containing DMSO

●長 直樹* Naoki CHO 山村 健治* Kenji YAMAMURA 島倉 大輔* Daisuke SHIMAKURA 須田 祐一* Yuichi SUDA 橋本 庸平** Youhei HASHIMOTO



膜分離活性汚泥実証試験装置
Field test apparatus of MBR
(membrane bioreactor)

DMSO(ジメチルスルホキシド)含有排水の処理を生物処理単独で行うことを目的として、膜分離活性汚泥処理試験を行った。ラボ試験の結果、DMSO濃度300~1800mg/Lの排水に対しDMSO/MLSS(活性汚泥濃度)負荷の限界は約0.2kgDMSO/(kgMLSS・d)であった。この時の処理水TOC(全有機炭素)濃度は5mg/L(DMSO 25mg/L)以下であり、良好な処理が可能であった。

LCD(液晶ディスプレイ)製造工場に試験装置を設置し、実排水を対象に実証試験を行った。DMSO/MLSS負荷をラボ試験で得られた限界負荷以下となるように運転管理を行うことで、ラボ試験と同等の処理性能が得られた。本試験ではDMSO中の硫黄は SO_4^{2-} (硫酸イオン)まで酸化され、臭気が問題となるDMS(硫化ジメチル)などの中間生成物の蓄積はなかった。また、馴養した活性汚泥の微生物群は*Hyphomicrobium*属の細菌が優占種と考えられた。

A demonstration test for examining MBR (Membrane BioReactor) treatment (activated sludge treatment combined with submerged membrane filtration process) was conducted with the aim of treating waste water containing DMSO (dimethylsulfoxide) with biological treatment alone. Laboratory scale tests revealed that the limit of DMSO/MLSS (activated sludge concentration) loading was approximately 0.2 kg DMSO/(kgMLSS・d) in the case of waste water with a DMSO concentration of 300 to 1800 mg/L. The TOC (total organic carbon) concentration of the treated water was 5 mg/L (DMSO 25mg/L) or less, which indicates that MBR is capable of providing high-performance treatment. A demonstration test was conducted, in which test equipment was installed at an LCD (liquid crystal display) production plant and an actual factory effluent was used. By controlling the operation so that the DMSO/MLSS loading did not exceed the limit load obtained in the laboratory scale tests, treatment performance equivalent to that of the laboratory scale tests was achieved. In this test, sulfur in DMSO was oxidized to SO_4^{2-} (sulfate ion), and no intermediate products such as DMS (dimethyl sulfide), which produces offensive odor, were accumulated. In the microbial community of the acclimated activated sludge, *Hyphomicrobium* sp. bacteria seemed to be the dominant species.

1 まえがき

半導体やLCD製造工場などからは、剥離剤や洗浄剤としてDMSOを含有する洗浄水が排出されている。DMSOには規制基準はないが、有毒なものとして工場外への排出を制限している工場が多い。その処理法として、物理化学処理や生物処

理あるいはそれら複数を組み合わせた方法が知られている⁽¹⁾が、物理化学処理は薬品費や副生する汚泥の処理などに費用がかさむことから実用化されていない。また、複数処理法の組合せでは工程や管理項目が増えるなどの問題がある。これらのことから一般的に処理費用が低廉で、かつ管理が容易な生物処理のみで行うことが望まれる。

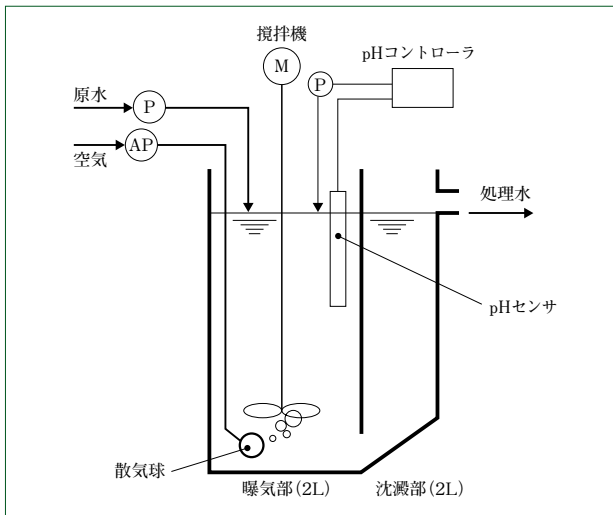


図1 活性汚泥処理ラボ試験装置
Test apparatus for activated sludge treatment

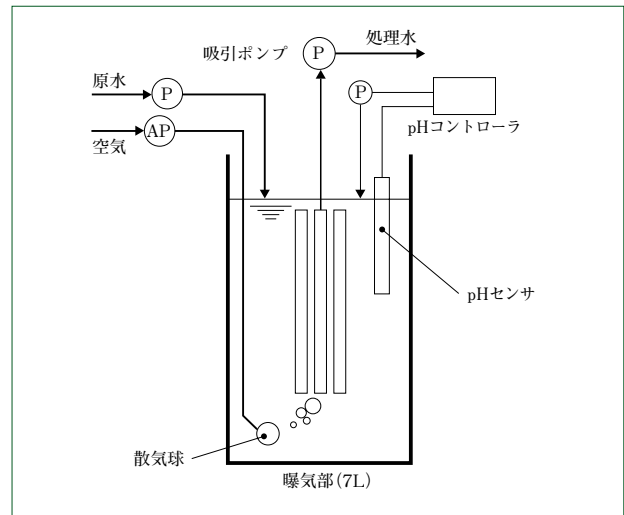


図2 膜分離活性汚泥処理ラボ試験装置
Test apparatus for MBR treatment

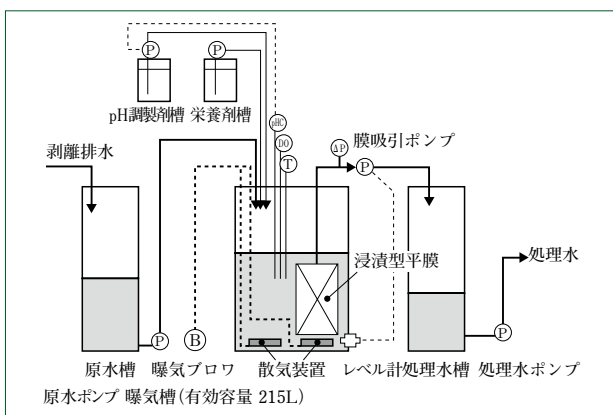


図3 膜分離活性汚泥処理実証試験装置
Flow of field test apparatus for MBR treatment

DMSO含有排水を生物処理する場合、溶存酸素が少ない嫌気的な状態になると、分解プロセスの中間物質と考えられるDMSなどが生成され、強い臭気を発するという問題が指摘されているが、一方では、活性汚泥単独処理によりDMSOを硫酸イオンまで酸化分解している例も報告されている⁽²⁾。

そこで、活性汚泥を高濃度に維持することで安定した運転が可能となる膜分離活性汚泥処理の適用性を検討した。本報では、模擬排水を用いたラボ試験およびLCD製造工場の実排水を用いた実証試験の結果について報告する。

2 試験方法

2.1 試験装置

活性汚泥処理ラボ試験①ではアクリル製の曝気槽と沈殿槽を一体とした処理装置(曝気部容量2L、沈殿部容量1L)を用いた。図1に、試験装置の概要を示す。曝気部は散気球により曝気するとともに、堆積防止には攪拌機を用いた。

また、固液分離に膜を使用した膜分離活性汚泥処理ラボ試験②では透明塩ビ製の角型曝気槽(曝気部容量7L)に、有効膜面積0.1m²の浸漬型平膜を取りつけた装置を用いた。図2に、試験装置の概要を示す。生物分解と膜面更新に必要な空気は膜の下部より供給し、膜透過液を吸引し処理水として取り出した。

図3に、工場排水を対象とした実証試験装置のフローを示

す。曝気槽(曝気槽容量215L)に浸漬型平膜(膜面積4.5m²)を取りつけて処理装置とした。空気供給は円筒型メンブレン式散気装置を用いて行った。

なお、上記の試験装置はいずれも曝気槽のpH値はpHコントローラにより制御可能とした。

2.2 供試排水

ラボ試験①②ではDMSO、MEA(モノエタノールアミン)および栄養塩類などが所定濃度となるように調製した模擬排水を用いた。LCD製造工場内における実証試験では工場の剥離排水を用いた。

2.3 水質分析

原水、処理水のpH値、DMSO濃度、TOC濃度、COD_{Cr}値(化学的酸素要求量)、SO₄²⁻濃度、MLSS濃度などを分析し処理性能の検討を行った。DMSOはガスクロマトグラフ法を用い、本分析条件ではDMSO濃度定量下限が25mg/Lであることから、処理性能は主としてTOC濃度で評価することとした。TOC濃度はTOC分析計による方法、COD_{Cr}値は吸光光度法、SO₄²⁻濃度はイオンクロマトグラフ法、MLSS濃度は重量法により分析した。

2.4 活性汚泥の馴養

DMSOを含むLCD製造工場の剥離排水を、曝気槽滞留時間が48時間となるように通水し処理することで活性汚泥の馴養を行った。種汚泥には浄化槽汚泥を用い、初発のMLSS濃度を20000mg/Lに調整した。処理温度は室温(20~25℃)とした。またラボ試験、実証試験も同様に曝気槽内のpH値は6.5に制御した。

2.5 活性汚泥処理条件の検討

模擬排水のDMSO濃度と流入量を変化させ、図1の試験装置を用いて活性汚泥処理を行い、DMSO負荷が処理に与える影響について調査した。当初、処理温度は室温(20~25℃)としたが、途中で処理温度を変化させ、処理への温度の影響について検討を行った。

2.6 実排水を対象とした実証試験

ラボ試験①②の結果を実排水で検証するべく、図3の試験装置をLCD製造工場内に設置して実証試験を行った。処理対象は生産工程から排出される剥離排水とした。MLSS濃度と、

表 1 模擬排水による活性汚泥ラボ試験結果
Test results of activated sludge treatment using sham water

処理条件	ラボ試験①		ラボ試験②	
	濃度負荷限界	水量負荷限界	膜分離活性汚泥処理	
滞留時間	h	24	4	6
DMSO容積負荷	kgDMSO/(m ³ ·d)	1.81	1.80	2.60
DMSO/MLSS負荷	kgDMSO/(kgMLSS·d)	0.18	0.22	0.17
温度	℃	20	20	25
pH		6.5	6.5	6.5
MLSS	mg/L	10300	8300	18500
原水性状				
DMSO	mg/L	1810	303	700
TOC	mg/L	—	117	296
COD _{cr}	mg/L	859	180	389
処理水質				
DMSO	mg/L	<25	<25	<25
TOC	mg/L	—	3.7	4.3
T-COD _{cr}	mg/L	62	54	—
S-COD _{cr}	mg/L	31	6	—

原水通水量を調整して所定負荷とし処理性能を調べた。また処理水中のSO₄²⁻濃度の変化を測定し、臭気源となる中間生成物の蓄積についても検討した。

2.7 微生物群集解析

試験で馴養した活性汚泥に対し、16SrDNA法により微生物種の検討を行った。サンプル汚泥は遠心濃縮、超音波処理および洗浄処理後に得られたペレットからDNAを抽出した。

次に、PCR反応により16SrRNA遺伝子領域を増幅した。プライマーセットは、真性細菌に汎用的な27f (AGAGT TTGATCMTGGCTCAG)⁽³⁾、および907r (CCGTC AATTC CTTTRAGTTT)⁽⁴⁾を使用した。増幅した16SrRNA断片は、精製しクローニングしたのち、37℃で一晩培養してコロニーを採取し、シーケンシングを行って塩基配列を決定した。

3 結果および考察

3.1 活性汚泥の馴養

浄化槽汚泥を種汚泥としてLCD製造工場の剥離排水処理を行うことにより活性汚泥の馴養を行った。原水のDMSO濃度は320mg/Lであった。

処理開始後、約7日間で処理水のDMSO濃度が25mg/L以下となり、短期間でDMSO分解能を有する活性汚泥を馴養することができた。

3.2 DMSO濃度および負荷条件の検討

表 1 に、模擬排水を用いた活性汚泥処理ラボ試験における処理状況を示す。

原水のDMSO濃度は約1800mg/L、原水の曝気槽滞留時間は24時間でDMSO容積負荷は1.8kgDMSO/(m³·d)、DMSO/MLSS負荷は0.18kgDMSO/(kgMLSS·d)であった。原水DMSO濃度を約300mg/Lとした場合に必要とする曝気槽滞留時間は4時間以上で、その負荷における容積負荷は約1.8kgDMSO/(m³·d)、DMSO/MLSS負荷は0.22kgDMSO/(kgMLSS·d)であった。処理水のTOC濃度は5mg/L(DMSO25mg/L)以下でTOC除去率は95%以上であった。なお、表 1 に示すように処理水のS-COD_{cr}値(処理水をろ紙No.5Cでろ過したろ液のCOD_{cr}値)とT-COD_{cr}値(ろ過せずそのまま分析したCOD_{cr}値)との値に差があり、活性汚泥の一部が流出したものと考えられる。

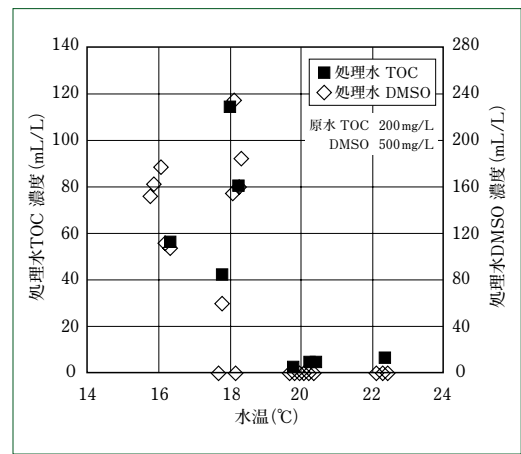


図 4 処理温度の影響
Effluent of treatment temperature

3.3 処理温度の影響

半導体製造工場の剥離排水を対象とした活性汚泥処理では、処理温度の影響を受けやすいという報告⁽⁵⁾があることから、本試験でも処理温度について検討した。温度を22℃、20℃、18℃および16℃と順次変化させ、DMSO濃度を500mg/Lに調整した模擬排水の処理に与える影響について検討した。

図 4 に、処理温度と処理水のDMSO、TOC濃度の関係を示す。20℃以上では処理水のDMSO濃度は25mg/L以下、TOC濃度は6mg/L以下で除去率はいずれも95%以上の良好な処理性能が得られた。しかし、18~20℃以下では処理水のDMSO、TOC濃度が上昇し処理性能の悪化が認められた。

DMSO、TOC除去率95%以上の処理性能を得るには、処理温度は20℃以上とする必要があると考えられる。

3.4 膜分離活性汚泥処理ラボ試験

活性汚泥処理ラボ試験①では処理水への活性汚泥流出が見られたことから、汚泥流出防止と装置のコンパクト化を目的として、図 2 の試験装置を用いて膜分離活性汚泥処理ラボ試験②を行った。

原水の曝気槽滞留時間を一定(6時間)とし、原水DMSO濃度を段階的に上げて処理を行った結果、限界容積負荷は3.0kgDMSO/(m³·d)、DMSO/MLSS負荷は0.2kgDMSO/(kgMLSS·d)であった。

DMSO/MLSS負荷の限界値は活性汚泥ラボ試験と同様であったことから、DMSO/MLSS負荷は処理における重要な管理指標と考えられる。表 1 に示すように、本試験では開始時のMLSS濃度は14000mg/Lであったが約3ヶ月後に18500mg/Lまで上昇した。限界負荷時の処理水のTOC濃度は4mg/L(DMSO濃度25mg/L以下)、除去率は98%であり処理は非常に良好であった。

3.5 実排水を用いた膜分離活性汚泥実証試験

3.5.1 膜分離活性汚泥法による実排水処理

ラボ試験②で馴養した活性汚泥を使用し、DMSO/MLSS負荷が約0.2kgDMSO/(kgMLSS·d)となるように、原水流量やMLSS濃度を調整しながら処理を開始した。図 5 に処理水質の経時変化を示す。運転開始後3日目には処理水のTOCは5mg/L(DMSO25mg/L)以下となり、処理装置は順調に立ち上がった。曝気槽温度は19~29℃、原水のDMSO

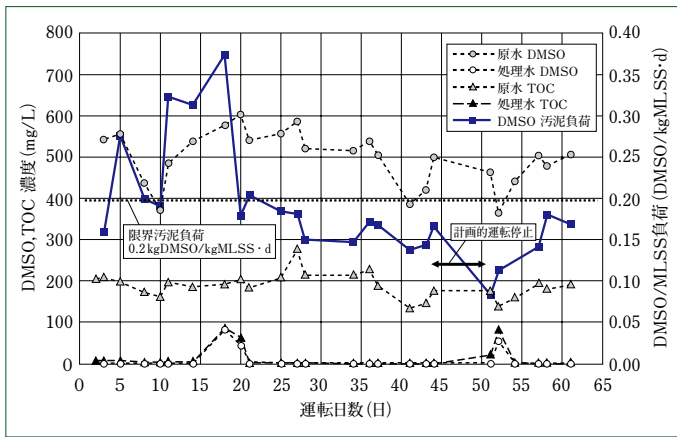


図5 DMSO含有排水の膜分離活性汚泥処理試験結果
MBR treatment of waste water containing DMSO

濃度は350~600 mg/L (TOCは130~280 mg/L) で変動した。運転日数10~18日の間はDMSO/MLSS負荷が大きく変動し、0.2kgDMSO/(kgMLSS·d)を超える状況が続いたことから、運転18~20日にかけて処理水のTOC濃度が上昇するなど処理の悪化が認められた。その後、DMSO/MLSS負荷を0.2kgDMSO/(kgMLSS·d)以下となるように負荷を調整することで、処理水TOCは5 mg/L (DMSO25 mg/L) 以下の良好な処理性能が得られた。これらのことから工場の実排水においても模擬排水を用いたラボ試験と同等の処理性能が確認された。

また、工場操業の一時停止を想定した計画的な運転停止の試験(運転44~51日)を行った。約1週間の停止期間後、処理復帰に支障はなく、1週間程度の工場の操業停止には十分対応できると考えられる。

3.5.2 DMSOの生物分解生成物

DMSOを生物的に酸化分解すると成分中の硫黄から SO_4^{2-} が生じる。処理水 SO_4^{2-} 濃度の解析から、本試験では処理が良好なときの処理水 SO_4^{2-} 濃度は理論生成量の75~95%であった。また、反応に伴い消費するアルカリ量も理論生成 SO_4^{2-} を中和するのに必要な消費量にほぼ一致していた。さらに、本試験期間中は臭気の発生は確認されなかったことから、臭気源とされるDMSなどの中間生成物の蓄積は起こらなかったものと推定される。

3.5.3 活性汚泥混合液の膜分離

ラボ試験②および実証試験において、活性汚泥混合液の固液分離は浸漬型平膜により行った。膜のFlux(透過流量)を $0.25 m^3/(m^2 \cdot d)$ 程度として運転することにより、膜の吸引差圧を11kPa程度(推奨される差圧は20kPa以内)に維持できた。また、本試験期間中は差圧の上昇は見られず膜分離に関する問題は生じなかった。試験終了後の膜面観察でも汚泥の付着などは見られず良好な膜分離が行えたと考えられる。

3.6 馴養汚泥の微生物群集解析結果

活性汚泥処理ラボ試験①で馴養した活性汚泥に対し16SrDNAクローン解析を行った。得られた96クローンのDNA配列をBLAST検索した結果、*Hyphomicrobium*属と97%以上の相同性で一致するクローンが40クローン存在した。

図6に、16SrDNA解析の結果を示す。

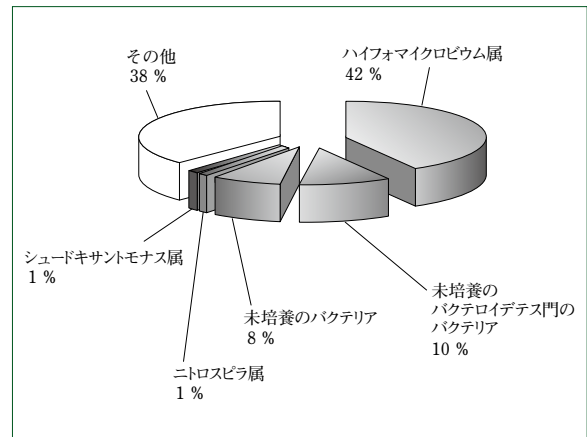


図6 活性汚泥の16SrDNA解析結果
16SrDNA analysis of activated sludge

このことから本活性汚泥では*Hyphomicrobium*属のバクテリアが優占種と考えられた。*Hyphomicrobium*属はDMSOの分解に関与する微生物として報告されており⁽⁶⁾、本試験でも*Hyphomicrobium*属のバクテリアがDMSOの分解に寄与していたものと考えられる。

4 むすび

- (1) 模擬排水を用いた活性汚泥ラボ試験①および膜分離活性汚泥ラボ試験②の結果、DMSO濃度300~1800 mg/Lでは限界DMSO/MLSS負荷は0.2kgDMSO/(kgMLSS·d)であった。このときの処理水TOC濃度は5 mg/L (DMSO 25 mg/L) 以下で良好な処理が可能であった。
- (2) LCD製造工場の剥離排水を用いた実証試験で、DMSO/MLSS負荷をラボ試験で得られた限界負荷以下となるように運転管理することで、ラボ試験と同等の処理性能が得られた。
- (3) 本試験ではDMSO中の硫黄は SO_4^{2-} まで酸化され、臭気が問題となるDMSなどの中間生成物の蓄積はなかった。
- (4) 馴養した活性汚泥の微生物群は*Hyphomicrobium*属の細菌が優占種と考えられた。

(参考文献)

- (1) 村上(仁田)貴子, 桐村光太郎, 木野邦器, 宇佐美昭次, ジメチルスルホキシド含有排水の処理技術, 水処理技術, vol.42, no.12, 2001, p.3~9
- (2) 村谷利明, 有機排水(DMSO含有排水)のバイオリサイクルシステム, シャープ技報, 第73号, 1999, p.20~24
- (3) Lane, D.J., 16S/23S rRNA sequencing, In E.Stackebrandt and M.Goodfellow(ed.), Nucleic acid techniques in bacteria systematics, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, United Kingdom., 1991, p.115-175.
- (4) Lane, D.J., B.Pace, G.J.Olsen, D.A.Stahl, M.L.Sogint, and N.R.Pace, Rapid determination of 16S ribosomal RNA sequences for phylogenetic analyses. Proc. Natl. Acad. Sci.USA 82:6955-6959, 1985.
- (5) 石垣秀高, 半導体工場における有機廃液の削減事例—バイオリサイクルシステムによる改善—, 沖テクニカルレビュー, vol.71, no.3, 2004, p.14~17
- (6) Kuniki Kino, Takako Murakami-Nitta, Masashi Oishi, Seiji Ishiguro, and Kohtarō Kirimura, Isolation of dimethyl sulfone-degrading microorganisms and application to odorless degradation of dimethyl sulfoxide, J of Bioscience and Bioengineering, vol.97, no.1, 2004 p.82-84.

RPD法による薄膜系太陽電池向け透明導電膜成膜技術

Technology of Transparent Conductive Oxide Film Deposited by RPD Method for Thin Film Solar Cell

●牧野博之* 筑後了治*
Hiroyuki MAKINO Ryoji CHIKUGO



RPD成膜装置
RPD deposition system

薄膜系太陽電池に適した透明導電膜について、当社独自のRPD(Reactive Plasma Deposition)法を適用した成膜技術について報告する。RPD法は、蒸発材料がプラズマを通過してイオン化することで反応性を高めた蒸着法であり、良好な性能を持つ透明導電膜が成膜可能である。薄膜Si太陽電池用途としては、GZO(Gaを添加した酸化亜鉛)を使用しており、ここでは導入酸素量とGa添加量の影響について検証した。また、エッチングにより表面にテクスチャー構造を作製することにより高いヘイズ率を実現し、変換効率の向上を可能とした。CIGS(Cu, In, Ga, Seの化合物)太陽電池用途としては、ITO(Snを添加した酸化インジウム)を使用し、成膜温度と成膜後のアニールの影響について検証するとともに、Sn添加量が及ぼす影響についても検証した。得られた結果からRPD法の特長である低い電気抵抗を活かして膜厚を薄くし、変換効率の向上を可能とした。最後に生産性向上に必要な、大面積への成膜を実証した。

This paper describes a film formation method that adopts SHI's original RPD (Reactive Plasma Deposition) method for a transparent conductive oxide (TCO) film suitable for thin film solar cells. RPD is a vapor deposition technique that achieves high reactivity by ionizing the evaporation material passing through plasma, and is capable of forming a transparent conductive film with excellent performance. GZO (Ga-doped zinc oxide) is used as an application of thin-film Si solar cells. The effects of the amount of the introduced oxygen and the amount of the doped Ga were verified in this paper. In addition, a high haze ratio was achieved by building a texture structure on the surface by etching to improve the conversion efficiency. ITO (Sn-doped indium oxide) is used as an application of CIGS solar cells. The effects of the deposition temperature and the anneal after film formation, as well as the effect of the amount of the doped Sn, were verified. The acquired findings indicate that the conversion ratio can be increased by reducing the film thickness while taking advantage of the low electric resistance, which is a feature of RPD. Finally, film formation on a large area, which is required to increase the productivity, was validated.

1 まえがき

エネルギー資源の枯渇、CO₂排出による地球温暖化などの諸問題から、再生可能エネルギーへの注目が高まっているのは周知のごとくである。FIT(Feed-in Tariff 固定価格買取制度)を始めとする国家レベルの後押しもあり、ここ数年で太陽電池は急速な増加を見せている。しかしながら太陽電池

コストはまだ高く、本格的な普及には低コスト化が欠かせない。

より安価な太陽電池として注目されている薄膜系太陽電池には、薄膜Si太陽電池とCIGSや、CdTe(Cd, Teの化合物)に代表される化合物太陽電池がある。これら薄膜系太陽電池の受光面側電極には透明導電膜が用いられ、その特性において高い光透過率と低い電気抵抗が求められる。この要求を実現すべく本報では、薄膜系太陽電池に適する透明導電膜の成膜

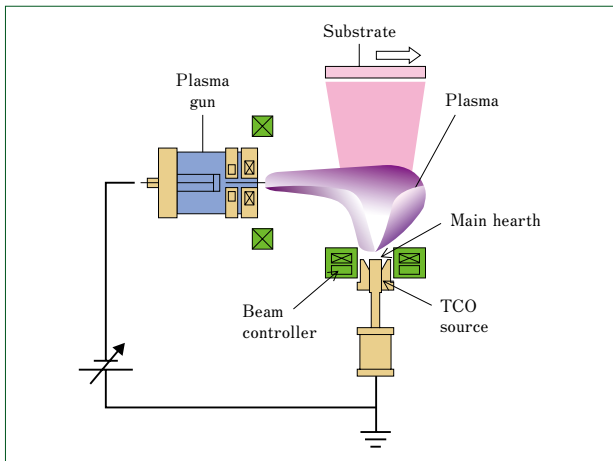


図1 RPDプロセス模式図
Schematic view of RPD process

を可能とする、当社独自のRPD法の成膜技術について報告する。

2 RPD 法の成膜プロセス

RPD法は蒸発源の直上に高密度プラズマを配置し、昇華させた材料蒸気を通過させることにより、蒸発材料をイオン化・活性化させて反応性を高める蒸着法である。図1に示すように、圧力勾配型プラズマガン⁽¹⁾、環状の磁石で構成されたプラズマビームコントローラ⁽²⁾、蒸発源および蒸発材料供給機構を組み合わせたシステムによりRPD法は実現される。

圧力勾配型プラズマガンは、Ta管とLaB₆(六ホウ化ランタン)円板の複合陰極と中間電極により構成される。成膜室との間に差圧を設けることで、外乱に対する影響を受けにくい構造としており、陽極となる蒸発源との間に長時間安定した直流アーク放電を維持させることができる。生成されたプラズマは、100V以下の低電圧と100~200A程度の大電流にて形成されており、電子温度は数eV、電子密度は10¹³個/cm³程度を有した高密度なプラズマである。

プラズマビームコントローラは、蒸発源を中心として環状に磁石とコイルを配置し、蒸発源の上方にカスプ磁場を形成することでビームをいったん発散、再集束させてから蒸発源の真上に高密度プラズマ空間を形成し、さらにビームを蒸発材料に直上より入射させるように制御する機構である。蒸発源にて加熱され昇華した材料は、高密度プラズマを通過することでイオン化・活性化される。

また、本方式はアーク放電を利用することにより低電圧での放電維持が可能である。ゆえに、基板に到達する粒子のエネルギーは10~30eVと低い。このエネルギー領域は成膜過程において表面のマイグレーションに有効であり、かつスパッタリングで用いられるような高電圧の印加⁽³⁾がないことから、100eVを超える高エネルギー粒子はプロセス中に存在せず、膜に与えるダメージを低くすることで低抵抗な膜を作製できる。

蒸発材料には、通常φ30mm×t40mmの円柱形状が用いられる。この材料を蒸発源に設置し、材料供給機構により蒸発する速度に合わせて一定速度で供給して、材料面を常に同じ高さに伴つことで長時間の安定した成膜を実現する。なお、材料の加熱には通電によるジュール加熱を利用することから、

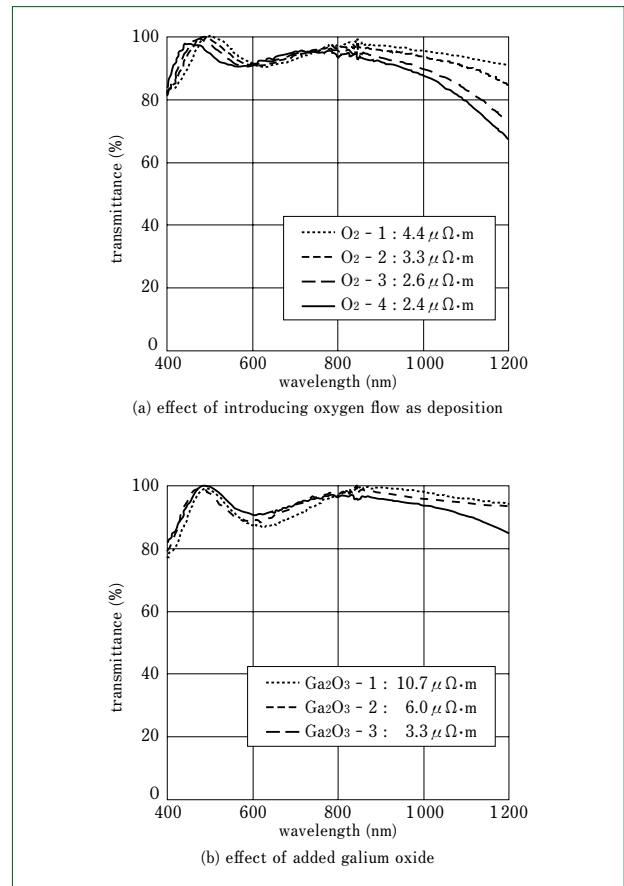


図2 GZO膜の抵抗と透過率に及ぼす導入酸素量およびGa添加量の影響
Effect of introducing O₂ flow and added Ga to the resistivity and transmittance of GZO film

蒸発材料は導電性であることが好ましく、また昇華性であることも重要である。このような条件から導電性酸化物はRPDに最適な材料である。また、円柱形状の材料は製造が容易なので、膜特性を変更する目的で、酸化物中の微量添加材料の量を調整するといった材料開発の実施も可能である。

3 薄膜 Si 太陽電池用透明導電膜への適用

薄膜Si太陽電池用として用いられる透明導電膜は、一般的に受光面側のガラス基板に成膜する。発電層にて光吸収を効果的に行うには、表面に細かい凹凸を配したテクスチャー構造を必要とし、低電気抵抗で高光透過率であることに加えて、光散乱の指標であるヘイズ率の高さが要求される。現在はCVD (Chemical Vapor Deposition) で成膜されるSnO₂(酸化スズ)膜が用いられることが多いが、SnO₂膜は電気抵抗率が高い(5×10⁻⁶ Ω·m程度)という欠点があり、ZnO(酸化亜鉛)系による代替が検討されている。ZnO系はInの資源的な問題からも関心の高い透明導電膜であり、エッチングプロセスによりテクスチャー構造を付与することが可能な材料である。

ZnOの微量添加材料としてAl, GaおよびBなどがあるが、RPD法では広い面積に均一にGZOを成膜することが可能である⁽⁴⁾。導電性酸化物の場合、膜質は成膜時の導入酸素量により大きく変化する。図2(a)に、導入酸素量を変えて成膜したGZO(3 wt%Ga₂O₃を添加)膜の電気抵抗率と各波長における光透過率曲線を示す。導入酸素量は1が最少で4まで順次増加させており、膜厚は約250nmである。

酸素量が少ないと膜質は酸素欠乏状態となって光透過率は

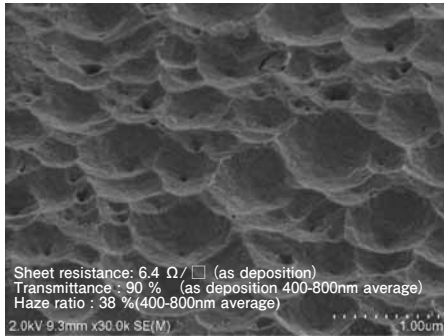


図3 テクスチャー構造作製後のGZO表面形状
GZO film surface after making texture

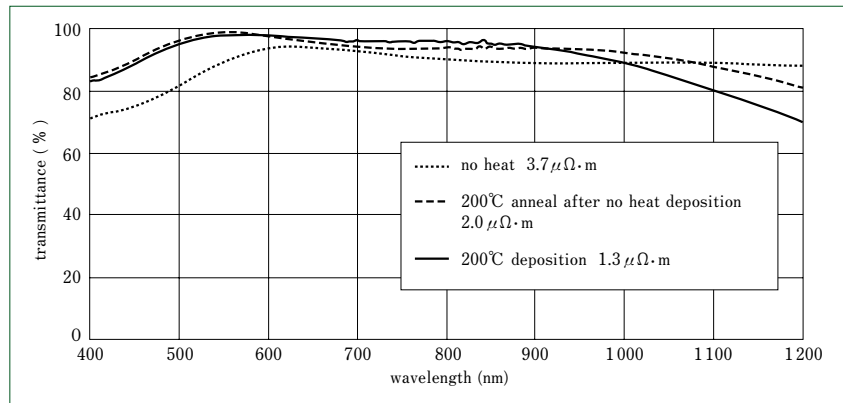


図4 ITO膜の抵抗と透過率に及ぼす温度の影響
Effect of temperature on the resistivity and transmittance of ITO film

低下し黒い膜となる。一方、酸素量が多いと酸素過剰状態となり、光透過率は特に長波長側で向上するが電気抵抗率も高くなる。したがって酸素量の適正化が必要である。また添加材料の割合も膜質に影響を与える。図2(b)に、Ga₂O₃の添加量を変えて成膜したGZOの電気抵抗率と各波長における光透過率曲線を示す。Ga₂O₃添加量は1が最少で3まで順次増加させた。Ga添加量が少ないと長波長側の光透過率は高いが、電気抵抗率も高くなる。

薄膜Si太陽電池における透明導電膜の要求仕様は、発電層がアモルファスSi単層の場合、光吸収領域が可視光領域であり、シート抵抗値10 Ω/\square 以下であり、光透過率90%以上、ヘイズ率10%以上(いずれも波長領域400~800nmの平均値)である。最近は変換効率向上を目的として、微結晶Siと組み合わせたタンデム型が主流となりつつあるが、こちらは光吸収領域が400~1200nmとなることから、長波長側における光透過率の向上と、さらに高いヘイズ率が必要となる。RPD法で成膜したGZO膜は、光透過率を維持しながら低い電気抵抗率 ($3 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ 程度)を実現できるので、SnO₂膜に比べて導電膜の薄膜化が可能である。

次に表面テクスチャー構造の作製は、酸によるエッチングにて可能である。実験では希塩酸を用いて濃度・温度・時間をパラメータとしたが、全体の傾向としてGa添加量が少ない方がヘイズ率は高くなることが分かった。この現象はGaがエッチングを阻害する起点となり、表面の凹凸の形成に影響を与えているものと思われる。

これらの特性を活かして、GZOを2層構造とすることが有効である。実験では、ガラス基板側から見て下側には導電性確保のためにGa添加量の多い低電気抵抗の膜とし、上側にはGa添加量の少ない高光透過率と高ヘイズ率を有した膜を作製した。図3に、その表面状態を電子顕微鏡にて観察した結果を示す。表面にクレーターのような凹凸ができていことが分かる。この時のヘイズ率は38%(波長領域400~800nmの平均値)の高い値を示した。また作製した透明電極膜を用いて、164×164mmのアモルファスSi単層による薄膜Si太陽電池を作製して変換効率を計測したところ、従来のSnO₂膜を有したものに比べて約9%向上した結果が得られている。今後はタンデム型でも評価を行い、GZO膜の展開につなげていく所存である。

4 CIGS 太陽電池用透明導電膜への適用

CIGS太陽電池用は、薄膜系太陽電池の中で高い変換効率が実現されており、ラボレベルでは最高20.3%、量産レベルでは12~13%程度と、多結晶Si太陽電池と同程度の性能を有する。ここで用いられる透明導電膜はスパッタリング法によるITO膜、AZO膜(Alを添加した酸化亜鉛)や、CVD法によるBZO膜(Bを添加した酸化亜鉛)など、複数が存在する。RPD法によるITO膜は、低い電気抵抗という特長を活かし、薄膜化できることから注目されている。

CIGS太陽電池の製造プロセスは、薄膜Si太陽電池とは反対に、受光面側に向かってCIGS光吸収層(発電層)、バッファ層および保護層を形成し、その上に透明導電膜を成膜することから、成膜温度やダメージの制約を受けることになる。

RPD法では加熱成膜と無加熱成膜(必要に応じてアニール処理を実施)により、2つのプロセスを選択することが可能である。

図4に、200°Cと室温にて成膜したITO(5 wt%SnO₂)膜、および室温成膜後にアニール処理(200°Cにて30分、大気雰囲気)を行ったときの電気抵抗率と各波長における光透過率曲線を示す。膜厚は約150nmである。200°C成膜では $1.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ の低電気抵抗が実現されている。一方、室温成膜ではITO膜が結晶化していないことから電気抵抗は高く光透過率も低い。アニール処理を行うことで結晶化が進み、電気抵抗率はある程度まで低くなる。光透過率は可視光領域で改善され、長波長側では若干低下するが200°C成膜よりも高い状態を維持できる。

図5(a)に加熱成膜温度、図5(b)に室温成膜後のアニール温度によるキャリア密度とホール移動度をそれぞれ示す。キャリア密度は、膜中の酸素空孔と添加材料のSnがInと置換したドナーの総和と考えられ、ホール移動度は、膜中の通り抜けやすさから結晶性を示すものと考えられる。両者ともに導電率(電気抵抗率の逆数)のパラメータであり、高いほど電気抵抗率は低くなる。成膜温度が高くなるほど移動度は高くなり、結晶化が進むものと考えられる。キャリア密度は150°Cで大きく向上している。

一方、室温成膜後のアニール処理でもキャリア密度と移動度は向上する。加熱成膜のときと比較すると、移動度は同等となるがキャリア密度は低い。これは膜中の結晶性は温度に

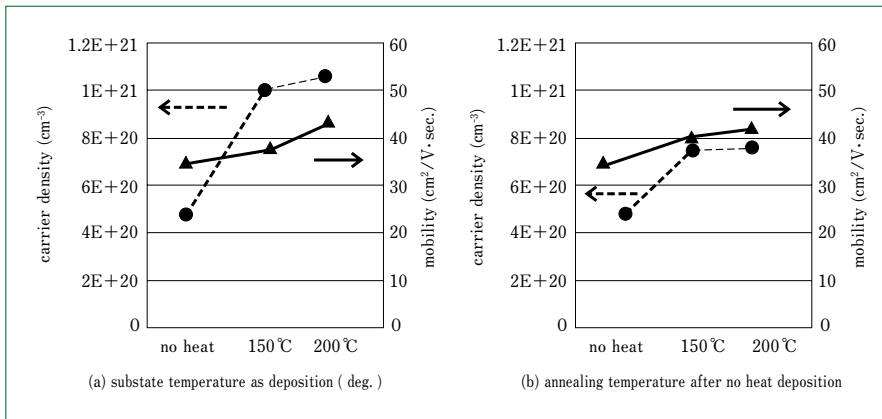


図5 ITO膜のキャリア密度と移動度に及ぼす温度の影響
Effect of temperature on the carrier density and mobility of ITO film

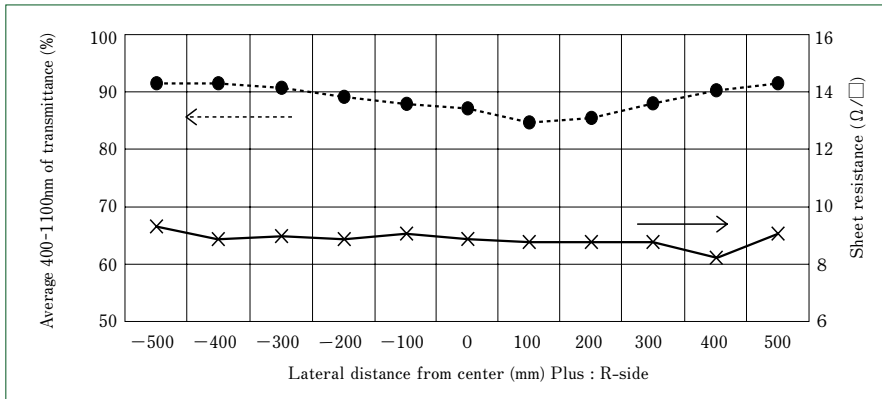


図6 幅方向のシート抵抗と透過率分布
Sheet resistance and transmittance in lateral distance deposited by RPD

よって向上するが、キャリアとなるべきSnのドナー形成には成膜時の温度影響が大きいと考えられる。キャリア密度が小さいことは、そこに存在する電子のプラズマ振動による光反射の影響が小さいということになるので、図4で示した高波長側の光透過率が高いことと一致する。

また、添加材料であるSnの量も膜質に影響を与える。その傾向は導電性酸化物で見られるように、Sn量が少なくなると電気抵抗率は高くなるが、光透過率は特に長波長側が高くなる。CIGS太陽電池用途でも400~800nmの可視光領域のみならず、赤外域の長波長領域の光も吸収することから400~1200nm付近まで高透過率であることが重要となる。

低電気抵抗の特性を活かして薄膜化したITO膜(膜厚200nm)を用いて、300×300mmのCIGS太陽電池を作製して変換効率を計測したところ、既存のAZO膜を有したものに比べて約9%向上した結果が出ている。また当社ではCIGS太陽電池製造プロセスにおいて、先に述べたバッファ層の上に保護層として使われるi(intrinsic)-ZnO膜の成膜も行っている。基板の違いにより要求仕様にあわせた成膜プロセスと材料の選択を行い、保護層と透明導電層の2層を成膜できることで展開を図っている。

5 大面積成膜

薄膜系太陽電池においても、さらなる低コスト化は重要な課題であり、生産性を高めるには大面積による成膜が不可欠となる。これに対応すべく、プラズマガンを3つ並べたRPD成膜装置を製作し基板幅1100mmのITO膜の大面積成膜を実証した。図6に、成膜温度150℃における膜厚約150nmのシート抵抗値および光透過率(波長域400~1200nm平均値)の幅方向における分布を示す。電気抵抗率は $1.5 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ 以下、

分布は±6%となり、均一性は良好で低電気抵抗のITO膜が得られており、光透過率も85%以上を維持している。RPD法による透明導電膜は生産性と膜質の両面で薄膜系太陽電池に適することから、広く貢献できることを期待している。

6 むすび

- (1) RPD法は薄膜系太陽電池用の透明導電膜として、低電気抵抗で高光透過率を実現できる高い性能を有していることを示した。
- (2) 薄膜Si太陽電池用途としてGZOを適用し、導入酸素量とGa添加量を検証した。また材料の特性を活かして表面のテクスチャー構造から高ヘイズ率を保有した透明導電膜を得た。
- (3) CIGS太陽電池用途としてITOを適用し、成膜時およびアニール処理時の温度の影響を検証した。基板の状況に合わせた成膜プロセスを構築するとともに、低い電気抵抗($1.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$)を活かした透明導電膜を示した。
- (4) 低コスト化の要望に対して、生産性向上に向けて大面積のRPD法を適用し均一な膜質を得た。

(参考文献)

- (1) 浦本上進, イオンプレーティングのための大電流, 長寿命陰極の研究, 真空, 25-10, 1982, p. 16.
- (2) 田中勝, 牧野博之, 筑後了治, 酒見俊之, 栗井清, 高安定性プラズマイオンプレーティング装置による各種成膜技術への応用, 真空, 44-4, 2001, p. 435.
- (3) 豊田浩孝, スパッタプラズマ中の高エネルギー粒子計測と制御, 真空, 51-4, 2008, p. 24.
- (4) 山本哲也, 酒見俊之, 栗井清, 白方祥, 反応性プラズマ蒸着法による酸化亜鉛透明導電膜, コンバーテック, 6, 2004, p. 68.

荷電粒子線励起X線分析法(PIXE)による環境大気浮遊粒子状物質の分析サービス

Environmental Atmosphere Suspended Particulate Matter Analysis using PIXE

● 鵜野 浩行* 井上 剛*
Hiroyuki UNO Takeshi INOUE



図1 分析装置全体図
General view of analysis device

大気環境の環境基準として浮遊粒子状物質 (SPM) があげられるが、近年ではSPMの中でも粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質 (PM_{2.5})濃度が重要視され、環境基準が定められている。住重試験検査株式会社では、バンデグラフ加速器を用いた荷電粒子線励起X線分析法 (PIXE)によってPM_{2.5}の成分分析を行っている。このPIXEによる分析システムは外部標準法により定量している。信頼度の確認方法として、標準物質SRM2783の認証値と住重試験検査株式会社の分析値の比較を行い、この分析システムを用いたPM_{2.5}の分析値の不確かさが10%以内であることを確認した。

One of the environmental indicators of the atmosphere environment is suspended particulate matter (SPM). Recently, the concentration of particulate matter under 2.5 micro-meters (PM_{2.5}) among SPM is regarded as important, and an environmental standard has been established for PM_{2.5} concentration. S.H.I. Examination & Inspection (SEI), Ltd. analyzes the components of PM_{2.5} by particle-induced X-ray emission (PIXE) using a Van de Graaff accelerator. SEI's PIXE analysis system quantifies the components by an external standard method. As a method for validating the reliability, the certified values of standard matter SRM2783 were compared with SEI's analysis values, and it was confirmed that the uncertainty of the analysis values of PM_{2.5} with this analysis system was within 10%.

1 まえがき

近年、自然環境への負荷に対する意識が社会的に高まり、環境汚染に対する研究、調査が活発に行われている。環境汚染の一つとして大気汚染が盛んに取り上げられ、その原因物質は浮遊粒子状物質 (SPM)、二酸化窒素、亜硫酸ガスや揮発性有機化合物と多岐にわたる⁽¹⁾。これらの物質は、健康に対する重要なリスクになると考えられている。

最近になり、原因物質の中でSPMが目され⁽²⁾、その対策が取り組まれている。環境基準においてSPMは粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子状物質と定義されているが、粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の微小粒子状物質 (PM_{2.5})は粒径が小さいことから、肺の奥深くま

で到達し、喘息や気管支炎を発症するリスクが高くなると報告されている⁽²⁾。欧米ではPM_{2.5}に対する環境目標値を設定する動きがあり、日本においても2009年に環境省がPM_{2.5}に係る環境基準⁽³⁾を告示し、重量濃度を規制している。PM_{2.5}を削減するに当たり、その発生源を調査することが非常に重要になる⁽⁴⁾。

PM_{2.5}の発生源は自然由来と人為由来に分類される。自然由来では海塩飛来、砂塵および噴火による煤塵があげられる⁽⁵⁾。

これに対し、人為由来としては、工場から排出される煤塵、粉塵および自動車の排気ガスがあげられる。また、PM_{2.5}には粒子として大気中に排出される一次粒子と、ガス状物質が光化学反応や中和反応により大気中で粒子化する二次粒子が

表1 分析方法の比較
Comparison of analysis methods

分析方法	定量下限	長 所	短 所
粒子線励起 X 線分析 (PIXE)	数 ppm	非破壊多元素分析 前処理の必要がない mg オーダーの試料で ppm オーダーの分析 測定時間が短い	高価な静电加速器が必要 定量下限が ICP-MS や NAA に比べて劣る
中性子放射化分析 (NAA)	数 ppb	非破壊多元素分析 マトリックスの影響が少ない	測定に時間がかかる 原子炉が必要
蛍光 X 線分析 (XRF)	数 10 ppm	非破壊多元素分析	定量下限が高め
誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS)	数 10 ppt	高感度での分析が可能	試料の前処理 (溶解) が必要

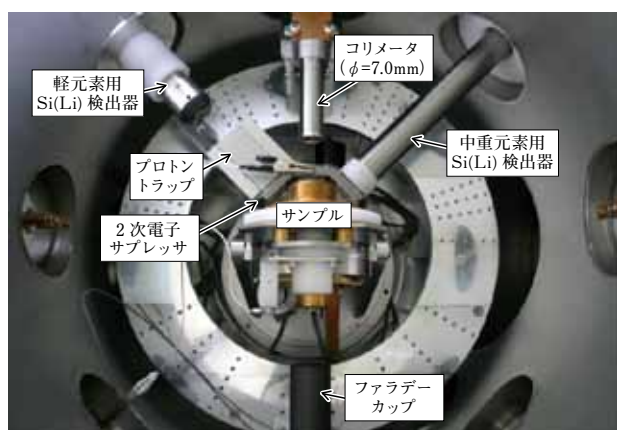


図2 分析チャンバ
Analysis chamber

ある。PM2.5はさまざまな発生源が複雑に入り組んでいることから、実態調査が急務である。発生源を調査するには規制値が策定されている重量濃度だけではなく、PM2.5の成分分析が非常に重要になる。

2 PM2.5 成分分析

PM2.5の分析対象成分として、イオン成分、炭素成分および金属成分に分類される。環境省が定めた大気中微小粒子状物質 (PM2.5) 成分測定暫定マニュアル⁵⁾には、イオン成分の分析はイオンクロマトグラフ法、通常の炭素成分 (EC) の分析はサーマルオプテカル・リフレクタンス法、炭素成分のなかで多環芳香族炭化水素 (OC) の分析についてはHPLCおよびGC-MS法が示されている。

これに対して金属成分の分析方法は、誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS)、蛍光X線分析法 (XRF)、中性子放射化分析法 (NAA) および荷電粒子線励起X線分析法 (PIXE) と多くの分析方法が示されている。表1に、各分析方法の比較を示す。PM2.5分析はサンプルが少量なので、ある程度感度が得られる分析方法が望まれる。加えて、サンプリング数が多くなることから、前処理が不要であるなどの簡便性も望まれる。

住重試験検査株式会社では、2008年からNAAによるPM2.5分析を行っている。しかし、NAAは他機関施設を利用することから、即時に分析をすることが困難という課題があった。

一方、PIXEは自社で装置を保有し、即時対応が可能であ

るので、PIXEによるPM2.5分析の受注を目指してきた。本報ではPIXEの技術について報告する。

3 PIXE による分析の概要

3.1 分析原理

加速器などで加速した粒子を試料に照射した場合、試料中の原子の電子軌道から軌道電子が弾き出される⁶⁾。軌道電子が弾き出された原子のエネルギー状態は不安定となり、より外側の軌道の電子が空きのある軌道へ遷移する。この際に、遷移する前後の軌道エネルギーの差分が特性X線として原子から放出される。特性X線のエネルギーは元素固有の値であることから、特性X線を検出することにより元素同定が可能になる。また、放出されるX線量は試料中元素の含有量に比例するので、元素定量も可能になる。

PIXE分析の特長として、①ppmオーダーの測定が可能である ②微量試料(mg試料)の分析が可能である ③元素の化学状態に左右されない ④多元素(Na~U)同時測定が可能であるという点があげられる。

3.2 分析装置

3.2.1 加速部

住重試験検査株式会社におけるPIXEによる分析では、最大加速電圧が2.5MVであるHVEC製バンデグラフ加速器を用いている。

PIXEによる分析では、主に水素イオンを2.0MeVに加速して分析している。加速された粒子は分析電磁石により15°方向に曲げられ、分析チャンバに導入される。図1は加速器および分析チャンバの全体写真である。

3.2.2 分析チャンバ

分析チャンバは真空排気部、ビーム導入部、サンプル駆動部、ビーム電流測定部およびX線検出器で構成される。図2に分析チャンバ内の写真を示す。

真空排気系は粗引きにはロータリーポンプを、本引きには磁気浮上型分子ターボポンプを使用し、約30分でチャンバ内の真空度が 10^{-3} Paに到達する。

ビーム導入部は上流側のスリットと下流側のコリメータを組み合わせて、ビーム径が直径7 mmになるように調整している。ビーム均一性は95%以上で保持している。

サンプル駆動部は5軸ゴニオメータを設置し、2軸並行移動と3軸回転移動が可能である。サンプルホルダには16サンプルがセットでき、真空を保持したまま遠隔操作が行える

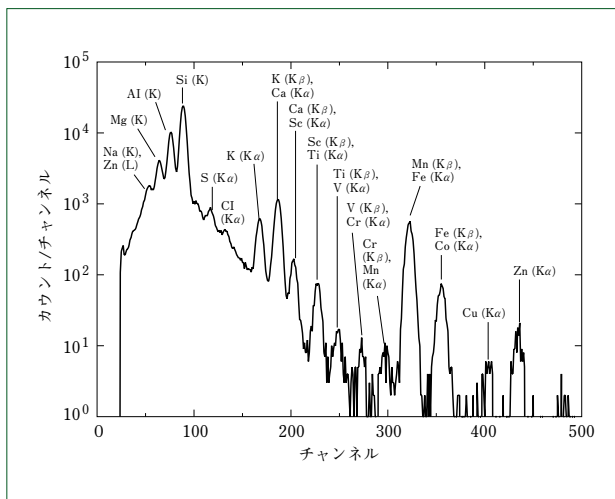


図3 PIXE測定スペクトル
A measured spectrum of PIXE

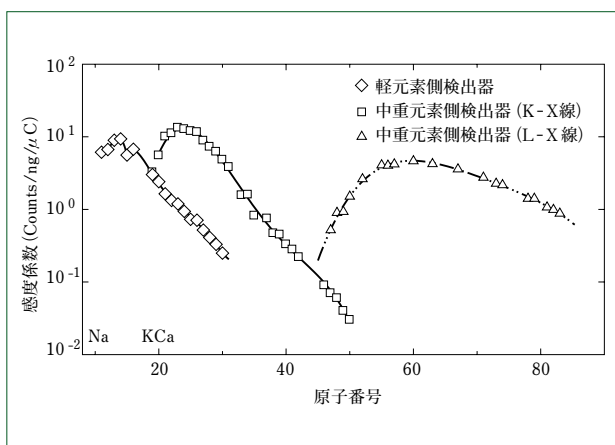


図4 検出器感度の原子番号依存
Atomic number dependence on sensitivity curve

ことから、サンプルごとに真空引きをする必要がなく、分析時間の短縮が可能である。

加速粒子はサンプル(フィルタ)を通過することから、サンプル後方にファラデーカップを設置して電流測定を行っている。照射時には、サンプル表面から2次電子が発生し、電流が本来の値よりも過剰に測定されることがあるので、サンプル前面に2次電子を除去する2次電子サプレッサを設置している。

X線検出器はSi(Li)検出器を用い、軽元素(Na~Ca)用検出器と中重元素(K~U)用検出器の2台が分析チャンバに設置されている。検出器を2台にすることにより、測定可能な全元素を一度に測定することができる。各検出器はビーム入射方向に対し135°方向にセットされている。軽元素用検出器は、軽元素から放出される低エネルギーX線の吸収を減らすように、検出器真空保持用Be窓を8 μmと薄いものを選択した。

また、Be窓が薄いことで後方散乱された粒子が検出器に入射する可能性が高くなるので、ネオジム磁石を軽元素側検出器の前方に設置して、後方散乱粒子の入射を防いでいる。

中重元素側検出器は検出部面積80mm²と大きなものを選択し、サンプルと検出器間の距離を可能な限り最短にして立体角を増大した。また、3 keV以上のX線を効率的に測定すべく、検出器前に250 μmマイラー膜を設置し、軽元素の特性

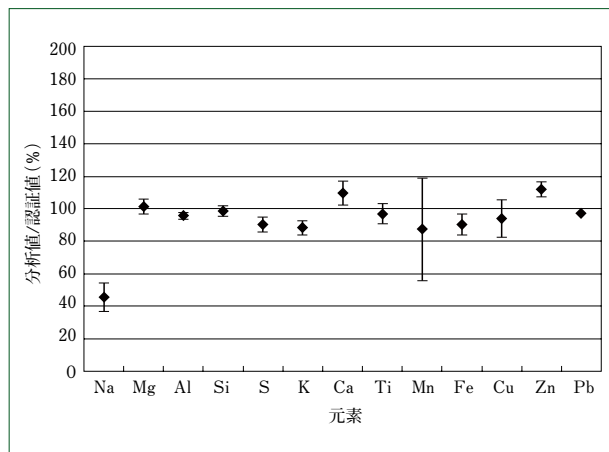


図5 分析値と認証値の比較
Comparison between analysis values and certified values

X線とバックグランドからの制動放射線等の3 keV未満のバックグラウンドを低減している。

3.3 分析

3.3.1 試料セット

大気浮遊粒子状物質を捕集したフィルタを2 cm角の大きさに切り、ホルダに貼りつける。ホルダを3.2で説明した分析チャンバ内にセットして、分析チャンバ内の真空引きを行う。

3.3.2 測定⁽⁷⁾

住重試験検査株式会社で行う通常のPIXEによる分析には、2.0MeVに加速した水素イオンを用いる⁽⁷⁾。計数率が1 kcps以上であると分析値の信頼性が損なわれることから、照射電流は計数率が1 kcps以下になるように設定している。図3に、実際に得られる測定スペクトル例を示す。横軸がX線エネルギー、縦軸が検出されたX線数である。各元素の特性X線が分離して測定されていることが分かる。

3.3.3 X線ピーク解析

得られた測定スペクトルのX線ピークから含有元素の同定を行うことができる。元素含有量の定量を行うにはX線ピークの計数を求める必要がある。原子番号の近接した元素ではX線ピークが近接するので、お互いの重なりを考慮してピーク計数を算出しなければならない。住重試験検査株式会社ではピーク解析ソフトGUPIXを用いて、X線ピークの分離とバックグラウンドの減算を行っている。これによって、X線のピーク計数の不確かさを20%以内としている。

3.3.4 定量方法

外部標準法を用いて定量を行っている⁽⁷⁾。外部標準法とは、標準試料により各元素の感度係数を求めて、対象試料との比較定量により分析値を解析する方法である。標準試料は、構成元素と含有濃度(1000ppm)が既知である市販の原子吸光分析用標準溶液を10倍に希釈したものを用いた。希釈した標準液10 μlを厚さ4 μmのポリプロピレンに滴下して乾燥したものを標準試料とした。ポリプロピレンのはっ水性により乾燥した標準液が剥離することがあるので、標準液滴下前に酢酸エマルジョン0.05%の水溶液10 μlを滴下して剥離を防止した。

感度係数はNaからBiまでの47元素について求めた。いくつかの元素については市販の標準液の入手ができず、感度係数を求めることができなかった。このような元素の感度係数

表2 分析値と認証値の比較
Comparison between analysis values and certified values

元素	感度曲線による定量			認証値または参照値 ±不確かさ /ng
	分析値±不確かさ*1 /ng	相対標準 偏差	分析値/認証値 ±不確かさ*2	
Na	839 ± 20	19 %	0.45 ± 0.09	1845 ± 100
Mg	8736 ± 74	5 %	1.01 ± 0.08	8620 ± 520
Al	22179 ± 124	2 %	0.96 ± 0.03	23180 ± 530
Si	89482 ± 2431	3 %	1.53 ± 0.08	58600 ± 1600
S	859 ± 22	5 %	0.90 ± 0.25	950 ± 260
K	4663 ± 114	5 %	0.88 ± 0.10	5280 ± 520
Ca	14460 ± 167	7 %	1.10 ± 0.16	13200 ± 1700
Ti	1445 ± 29	6 %	0.97 ± 0.17	1490 ± 240
Mn	279 ± 14	13 %	0.87 ± 0.13	320 ± 12
Fe	23920 ± 105	5 %	0.90 ± 0.07	26500 ± 1600
Cu	379 ± 13	8 %	0.94 ± 0.13	404 ± 42
Zn	2005 ± 31	3 %	1.15 ± 0.10	1740 ± 130
Pb	309 ± 58	37 %	0.98 ± 0.44	317 ± 54

*1 不確かさは試料の統計不確かさと感度曲線の不確かさから求めた。

*2 不確かさは定量結果の不確かさと認証値または参照値の不確かさから求めた。

を補完するべく、原子番号と感度係数について最小二乗法により感度曲線を作成することで、感度係数未測定元素(Ge, Ru, Rhなど)の感度係数を補間し定量することができる。

図4に、作成した軽元素側検出器と中重元素側検出器の感度曲線を示す。感度曲線を比較すると、NaからKまでの元素では軽元素側検出器の感度がよく、Ca以降の元素では中重元素側検出器の感度がよいことが分かる。

4 PIXE による分析の信頼性評価

4.1 大気粉塵標準物質(SRM2783)測定⁷⁾

アメリカ国立標準技術研究所(NIST)から配布されている大気粉塵標準物質SRM2783の認証値と分析値を比較することにより、PIXEによる分析システムの信頼性を評価した。

SRM2783には27元素について認証値あるいは参照値があり、そのうち、PIXEで分析された13元素について比較を行った。

表2は解析した元素の分析値と認証値を記したものである。この結果から、各元素の認証値に対する分析値のずれをプロットしたものが図5である。Naを除く12元素については、10%以内の誤差で一致している。Naは認証値に対して54%低い値を示した。これは、Naの特性X線(K-X線)エネルギーが1.04 keVであるのに対して、SRM2783に含まれるZnのX線(L-X線)エネルギーが1.01 keVと非常に近接していることで、Naのピーク解析時にZnのピーク分離が過剰に行われ、認証値より低い値をとったものと考えられる。X線のK-X線とL-X線の発生比率は理論値が高精度で決定されているので、ZnのK-X線のピーク計数からNaのX線のピーク計数を補正することは十分に可能である。

5 今後の展開

今後の展開として、大気環境モニタリングを行う分析会社に、PIXEによるPM2.5の金属成分の受託分析の提案を行っている。現在、数社から引き合いを頂いている。

また、バンデグラフ加速器ではPIXE以外の分析も可能である。多種の分析サービスを提供することにより、顧客満足を得られるように努めている。

6 むすび

住重試験検査株式会社では、バンデグラフ加速器を用いてPIXEによるPM2.5の金属成分の分析サービスを提供している。この分析は外部標準法により定量し、標準物質測定で10%以内の分析システムの不確かさを得ることができた。

(参考文献)

- (1) 環境庁 大気汚染に係る環境基準について、昭和48年5月環境庁告示25号,1973.
- (2) 新田裕史,SPM,PM2.5,PM10, …,さまざまな粒子状物質,国立環境研究所ニュース20巻5号,2001.
- (3) 環境省 微小粒子状物質による大気汚染に係る環境基準について、平成21年9月環境庁告示33号,2009.
- (4) 環境省 微小粒子状物質曝露影響調査報告書,2007.
- (5) 菊地良栄 他,大気粒子状物質(PM)の発生源について,NMCC共同利用研究成果報文集13,2005.
- (6) 合志陽一 他,イオン励起のスペクトロスコープとその応用,日本分光学会測定法シリーズ14,1987.
- (7) 井上剛 他,住重試験検査株式会社PIXEシステムによる標準物質SRM2783の測定,第27回PIXEシンポジウム,2010.

射出成形システムの省エネルギー化技術

Energy Saving Injection Molding System Technology

●天野 光 昭* 阿部 昌 博** 羽野 勝 之*

Mitsuaki AMANO

Masahiro ABE

Katsunobu HANO



射出成形機と成形品
Injection molding machine and products

射出成形加工プロセスの省エネルギー化は、1990年代後半からの射出成形機の駆動源の変更(油圧式から電動式への移行)により飛躍的に進んだ。しかし、現在の世界状況のなか、さらなる省エネルギー化の要望が高い。この要望に応えるべく、現状の射出成形加工プロセス(射出成形工場)におけるエネルギー消費量の測定、分析および解析を行い、生産体系や稼働環境・状況を今一度見直した。その結果、現在の電動射出成形機でも、さらなる省エネルギー化が実現できた。本報では、それらの省エネルギー化技術について報告する。特に、射出成形加工プロセスでは多くの熱を消費しており、稼働状況に則した加熱方法や放熱量の低減が重要となってくる。また、金型内への熔融樹脂充填プロセスにも注目することで現状プロセスの無駄も見えてくる。

Energy saving of the injection molding process has made dramatic progress thanks to the change of the drive source (transition from the hydraulic system to the electric one) of the injection molding machine starting in the late 1990s. However, in the current global situation, there is high demand for further energy saving. To meet this demand, we reviewed the production system and the operation environment and state again by measuring and analyzing the energy consumptions in the current injection molding processes (injection molding plant). As a result, further energy saving was achieved even in the current electric injection molding machine. This paper describes these energy-saving technologies. In particular, the injection molding process consumes much heat, and therefore, it is important to develop a heating method based on the operation status and reduce the heat discharge. In addition, focusing also on the process of filling molten resin into the mold would clarify the waste in the current process.

1 まえがき

資源エネルギー庁のまとめによると、2007年度の産業部門における最終エネルギー消費は、民生・運輸をあわせた全エネルギー消費の約45%を占めており、産業界における省エネルギー化推進活動の重要性が伺える。このような状況のなか、射出成形機も1990年代後半より油圧式から全電動式への移行が急激に進み、現在では日本で生産される成形機の約80%を全電動式が占めている。当社はプラスチック機械の草創期より積極的に電動式射出成形機の開発に取り組み、1998年には画期的なダイレクトドライブ(DD)機構を採用したSE-Sシリーズを発表し、全電動射出成形機においてリーディングカンパニーの地位を築いた。その後、2001年に第2世代ダイレクトドライブ機構を搭載したSE-Dシリーズを、2005年に新サーボ機

構を採用したSE-DUシリーズをそれぞれ市場投入してきた。

これら新シリーズの開発では、全電動射出成形機の性能をフルに引き出すべく、各種機構の見直しやアプリケーションの充実を図ってきた。また、消費電力削減に、モータの効率アップやヒータの放熱量低減に必要な技術開発もあわせて実施してきた。その結果、旧シリーズよりも消費電力を低減しつつ高速・高精度で動作する全電動射出成形機を市場投入することができた⁽¹⁾。

2 油圧から電動へ

前章でも述べたが、射出成形機は1990年代後半より油圧式から全電動式への移行が急激に進んだ。油圧式は、機械的エネルギーを油圧ポンプによって作動油のエネルギー(流体エネルギー)に変換し、この流体エネルギーを油圧制御弁によ

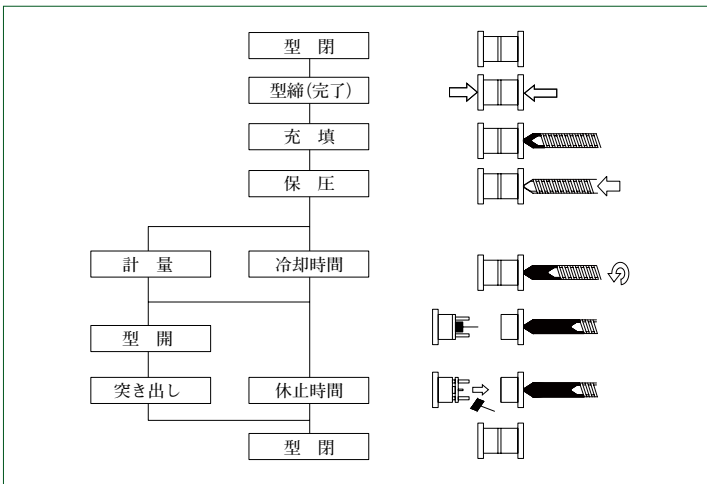


図1 射出成形の動作
Injection Molding Operation

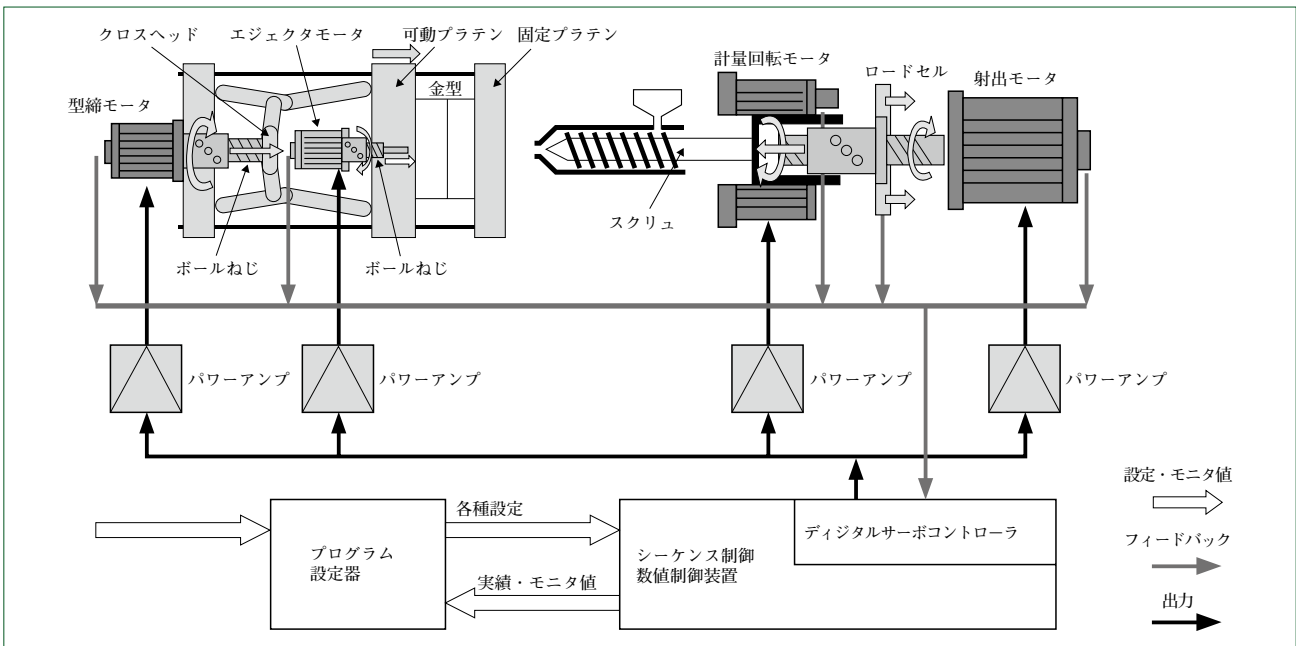


図2 射出装置、型締装置の駆動方法
Method of driving clamping unit / injection unit

って調整・制御し、油圧アクチュエータ(油圧シリンダなど)によって再び機械的エネルギーに変換して、このエネルギーを利用して仕事を行っている。高負荷成形には向いているが、作動油の温度上昇に伴う油の粘性変化などの影響により、電動式と比べて制御精度が悪い。また、機械動作中は油圧を一定に保つべく常に油圧ポンプ用の電動機を作動させておくのが普通であり、さらに油温上昇の防止に、普通はオイルクーラに冷却水を通してあるので、電気や水などのランニングコストが比較的高い⁽²⁾。

一方電動式は、成形機の駆動部ごとにサーボモータを使用しており、ベルト、歯車およびボールネジなどを介して機械エネルギーを伝達しているが、機械エネルギーの伝達が直接的なことから油圧式と比べエネルギー効率が高く、制御精度も高い。また、モータは各駆動部が動作しているときのみ回転することから、電力消費を押さえることができる。その他、一般的なモータはファンによる空冷方式が主流となっており、油圧式に比べ冷却水の使用量を大幅に削減できるといった特長も有する。

消費電力量は約70%削減され、電動射出成形機のエネルギ

ー効率の高さを証明している。また、冷却水消費量についても当社油圧機に対し、約95%削減されている⁽¹⁾。

3 射出成形機の1サイクルの動作

射出成形機とは、熱エネルギーなどによって溶融状態になった樹脂を金型の中に射出し樹脂製品を成形する機械である。射出成形機は、大きく分けて射出装置と型締装置で構成される。射出装置は、樹脂を溶融し射出する装置である。型締装置は、金型の開閉と閉じた金型を締め付ける装置である。

原材料である樹脂(ペレット)を射出装置で溶融し、型締装置で閉められた金型内の空間(キャビティ)に射出装置で充填して固化させた後、型締装置で金型を開き、製品を取り出すという一連の動作(1サイクル)を繰り返し行うことにより同一製品を短時間で大量に生産できる機械である。

図1に、射出成形の1サイクルの動作を示す。

型閉・型締……………充填される樹脂圧力で型が開かないよう型締を行う。

射出・充填……………金型内へ溶融樹脂を送り込む。

保圧……………キャビティ形状を転写する。

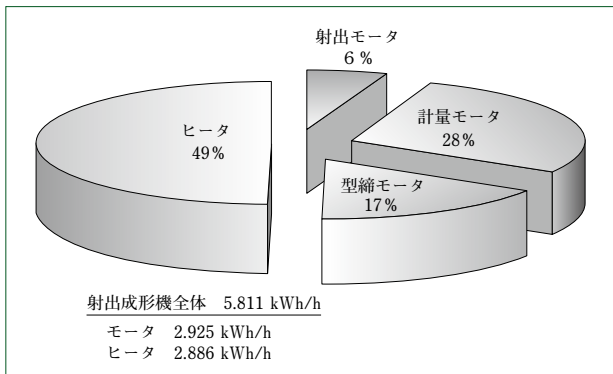


図3 生産中(連続成形中)の時間当たりの消費電力量分析
In production (in continuous molding) analysis of energy consumption

冷却・計量……キャピティ内の樹脂が固化するのを待つ。その間に次サイクルで充填する樹脂を熔融，計量を行う。
型開・突き出し・離型…成形品を取り出す。

次に、当社機のSE-DUZの射出装置、型縮装置の駆動方法について図2をもとに説明する。射出装置は、射出モータの回転によりボールねじが回転させられ、スクリュが前後移動し金型内に樹脂を充填する。ボールねじが前後移動するときの反力をロードセルにより検出し、保圧時にスクリュ保持圧力を制御する。計量回転モータの回転をスクリュにダイレクトに伝達しスクリュが回転される。型縮装置は、型縮モータの回転をボールねじのナットにダイレクトに伝達し、ねじがダブルトルグのクロスヘッドを前進・後退させることにより、可動プラテンを前後移動させ、型閉、型縮および型開を行う。エジェクタも同様に動作し、成形品を取り出す。

また、スクリュは加熱シリンダ内に設置されており、加熱シリンダは、ヒータにより加熱・温度制御されている。

4 生産中の消費電力量分析

生産中(連続成形中)の消費電力量は、成形機のサイズ、金型を締める力、樹脂を熔融するための温度、金型内に充填させるための圧力、1サイクルの時間などさまざまな使用条件によって大きく変わる。サイズ、型縮力および圧力は大きく、高いほど消費電力量が大きくなる。一方、サイクル時間は短いほど単位時間あたりの生産数が多くなるので(高スループット)、消費電力量は大きくなる。

図3は、薄肉製品をハイサイクル(サイクル時間が短い)で生産している状況での各要素の時間当たりの消費電力量を分析したグラフである。成形機のサイズは、500kNである。成形機全体では5.81 kWh/hである。そのうち、樹脂を熔融するための加熱シリンダ用ヒータの割合がもっとも多く49%であり、計量モータの28%、型縮モータの17%と続く。計量モータは加熱シリンダのヒータで熔融した樹脂を一定量計量するモータである。つまり、成形機全体のうち、樹脂を溶かす工程に77%のエネルギーを費やしていることになる。

5 稼働状況における消費電力分析

1年365日、24時間、生産している成形工場はまずない。生産計画にもとづき、必要なときに必要な数の製品を成形している。長期生産計画がないときには、成形機の電源、金型

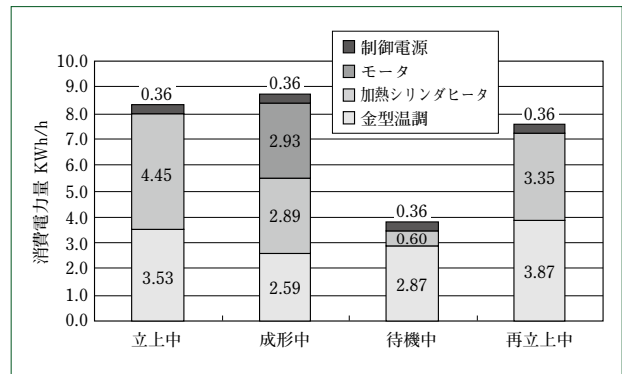


図4 稼働状況における時間当たりの消費電力量分析
Power analysis at various operational states

温調器の電源を停止させる。しかし、生産停止時間が比較的短時間のときは、次の生産開始時の段取り時間を短縮することを目的に、成形機の加熱シリンダを成形中の温度より低温にしておく(保温)ことが多い。また、金型は成形中ある一定の温度に調節されているが、待機中は成形機の加熱シリンダと同様に成形中の温度よりは低温にしておくことが多い。この状況を待機中という。

これら稼働状況と時間当たりの消費電力量をグラフにしたものが、図4である。成形中が最も多くの電力を必要とする。立ち上げ中という状況は、長期停止後、成形機のヒータと金型を常温の状態から昇温させる工程である。成形機の加熱シリンダや金型温調器のヒータ出力が最大となるためには成形中よりも多くの電力量が必要となる。また、再立ち上げは、待機中に成形機の加熱シリンダ、金型温調器のヒータを保温状態から昇温させる工程であるが、立ち上げ中と比較すると電力量は低くなっている。なお、立ち上げ中、待機中および再立ち上げ中では、成形機のモータは停止している。

6 成形システムの放熱量

放熱量を測定する方法は世の中に存在しない。そこで密閉・空調された空間で成形システムを起動し、空調機の電力量を測定し、検証した。

25℃で空調されているクリーンルームにて、成形機(サイズ500kN)、金型温調器、ドライヤ(樹脂乾燥機)、チラーと成形システムを持ち込んで、各機器の電力を測定した。

図5に、1日の各機器の測定された電力をグラフ化して示す。グラフ中のA点から成形段取りを開始し、B、Cの時点で連続成形を行っている。空調機の電力に着目すると成形段取り開始から各機器が起動し、それに伴い上昇している。Cの時点では、各機器の電力が最大となっているときに空調機の電力も最大となっている。このことより、成形システムの放熱量の代用特性となることを実証した。成形システムの放熱量を低減させることにより、空調の電力量の低減も可能になる。

7 省エネルギー化技術

現在生産している成形プロセスの省エネルギー化において、最初に考慮すべき点は、製品(成形品)の品質および生産効率の維持である。省エネルギー化により、不良率が高くなったり、稼働率が悪くなったのでは本末転倒である。次に省エネ

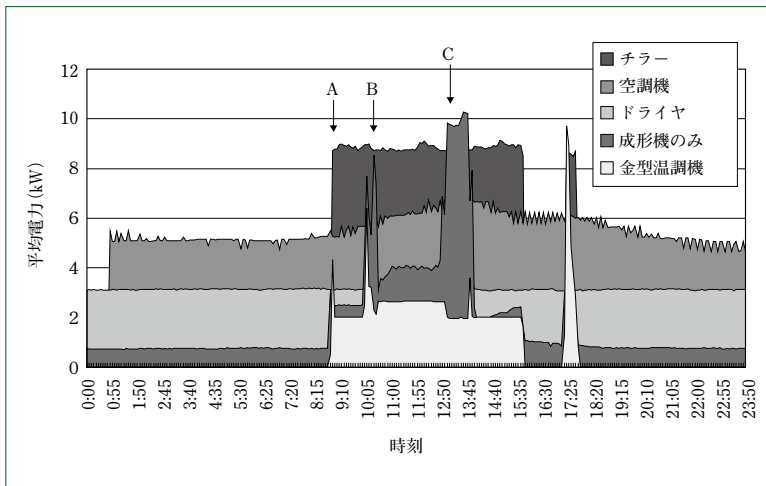


図5 クリーンルーム内での成形システム電力消費(1日)
Power consumption of injection molding system
in clean booth (per day)

ルギー化のアイテムを列記する。

7.1 成形条件

- ① 低型縮力成形
- ② 低温成形
- ③ 保圧条件

成形条件は、直接、製品の品質に影響を与える因子である。①低型縮力成形、②低温成形は、当社が2008年9月にリリースしたZero-moldingシステムで可能になっている。低型縮力成形は、バリ(過充填)の発生が心配である。本来型縮力は金型内で発生する型開力に対抗する力があればよい。型開力は金型内への樹脂充填中に発生する圧力(射出圧)と正の相関があるので、低い射出圧での充填が可能になればよい。Zero-moldingシステムのFFC(Flow Front Control)成形は、金型内への樹脂充填中に熔融樹脂に過大な圧力を付与せずに充填ができるので射出圧を低くすることができる。結果、型縮力を下げることができる⁽²⁾⁽³⁾。

射出圧を下げられることは、加熱シリンダの温度を下げることに応用でき、従来と同じ射出圧ならば、Zero-moldingシステムでは、加熱シリンダの温度が低くても充填可能になる。このことで成形中の消費電力量を20%低減させた事例もある。

③保圧条件は、保圧後半から時間経過とともに低下していく型内圧の挙動に合わせ、保圧圧力を徐々に低下させることで可能になる。これで消費電力量を10%低減させた事例もある。最新のZero-moldingシステムでは、自動的に保圧圧力設定を下げていく機能も搭載されている。

7.2 加熱シリンダカバー

大気中への放熱量を減らすには保温性を高める必要がある。しかし、単に保温性を高めるだけでは、樹脂計量中のスクリュ回転でのせん断力の発生により、熔融樹脂が発熱してしまい、加熱シリンダの温度制御不能になることがある。保温性と同時に温度制御性が必要となる。現在では加熱シリンダカバーを多層化することがその答えとなっている。多層化した加熱シリンダにより、保温中の温度設定160℃では6%、230℃では10%の消費電力量を低減させた事例もある。多層化加熱シリンダカバーは大気への放熱量を押さえることができることから、空調機の消費電力も低減させることができる。

7.3 稼働状況に合わせた制御

- ① 加熱シリンダ用ヒータの自動保温、自動停止および自動起動
- ② 周辺機器の自動停止、自動起動

前述のように成形工場では、立ち上げ中、待機中および再立ち上げ中といった状況がある。それらの状況に合わせ、加熱シリンダ用ヒータや周辺機器を制御することでも消費電力を低減させることが可能である。

当社射出成形機では生産終了後、待機中に自動的に加熱シリンダ温度や金型温度を下げて保温状態にしたり、さらに保温状態が長期継続したときに加熱シリンダ用ヒータ、金型温度調節を停止させる機能や、立ち上げ中および再立ち上げ中に、加熱シリンダ用ヒータ出力に制限を加える機能も装備可能である。

8 むすび

本報では、成形システムの省エネルギー化技術として、電動射出成形機を中心に説明してきた。省エネルギー化は次の3点で実現可能である。

- ① 成形条件の最適化
- ② 加熱シリンダカバーの多層化
- ③ 稼働状況に合わせた加熱シリンダ用ヒータ、周辺機器の制御

また、本報では説明していないが、射出成形機のサーボモータの効率化や駆動・機構部の低摩擦化なども省エネルギー化には重要なファクターであることは間違いなく、今後とも改良、改善および開発を行っていく所存である。

(参考文献)

- (1) 羽野勝之, 射出成形機の省エネルギーへの取り組み, 産業機械, 715号, 2010, p.12~17.
- (2) 徳能竜一, Zero-moldingを搭載した住友射出成形機の紹介, 産業機械, 702号, 2009, p.11~15.
- (3) 仲谷隆男, 低型縮力成形における型開力の解析技術, 住友重機械技報, 171号, 2009, p.5~8.

住友重機械グループのCO₂削減活動と環境配慮製品CO₂ reduction activity and the ecologically friendly product of Sumitomo Heavy Industries, Ltd. Group

●本 藤 和 臣* 越 智 敏 朗* 近 藤 裕 幸*
 Kazuomi HONDO Toshiro OCHI Hiroyuki KONDO

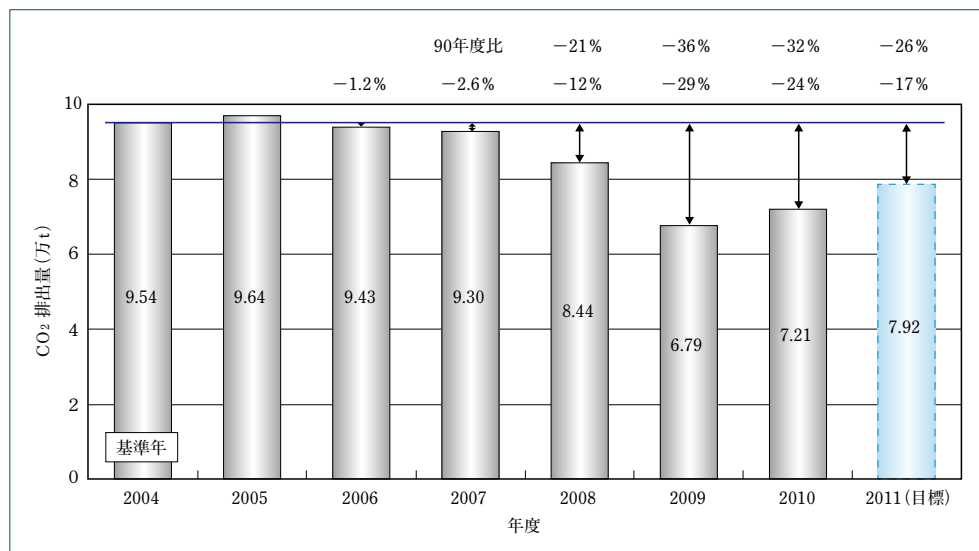


図1 当社グループのCO₂削減結果
 CO₂ reduction result of our group companies

当社グループは、住友の事業精神を堅持し、持続発展可能な社会の実現に貢献することを環境理念とし、環境経営を推進している。2005年度より地球温暖化防止活動を実施し、2010年度は2004年度比CO₂排出量24%削減を達成した。これは、1990年度比32%削減となり、政府の中長期目標である25%を上回る数値を前倒しで達成している。また、当社グループでは、製品を通して環境に貢献していくことを環境中期計画に掲げている。当社グループの製品は、環境に配慮されているかどうかを統一した方法で評価している。この方法は、省エネだけでなく、小型化や軽量化による省資源、資源循環、長寿命化および有害な化学物質の削減についての評価も実施している。2010年度の評価結果は、環境配慮製品として3件が該当した。今後は、製品のスコアを上げる開発、改良や売上高比率を上げる活動を推進していく必要がある。

SHI Group is pursuing environmental management under the environmental philosophy of contributing to the realization of a sustainable society while adhering to the "Sumitomo Business Spirit." The Group has conducted anti-global warming activities since fiscal 2005, and in fiscal 2010 achieved a CO₂ emission reduction of 24% as compared with fiscal 2004. The reduction was 32% as compared with fiscal 1990, and this indicates that the Group has achieved a figure exceeding 25%, which is the medium-to-long term target of the government, ahead of schedule. In addition, the Group indicates that it intends to contribute to environmental protection through its products in the environmental medium term plan. The Group's products are evaluated in terms of whether they are environmentally friendly using a unified evaluation system. This system is used to evaluate not only energy saving, but also resource saving through downsizing and weight reduction, resource recycling, service life extension, and harmful chemical reduction. The result of evaluation in fiscal 2010 indicates that three products were regarded as environmentally-friendly products. In the future, the Group must pursue development and improvement that will raise the product score, and activities that will increase the percentage of sales.

1 はじめに

当社グループの環境理念として次の2点をあげる。

- ・「住友の事業精神」を堅持し、持続発展可能な社会の実現に貢献する。
- ・住友重機械グループは、全社をあげて地球環境保全に取り組む。

この環境理念を念頭に、持続発展可能な社会を実現するには、地球環境問題に対応し、企業活動のあらゆる局面で環境への負荷を減らさなければならない。このことから、当社グループは自主的で積極的な環境保全の取組みを進めている。

当社グループは、1992年に環境委員会を設置し、地域への環境保全とコンプライアンスを推進してきた。1997年

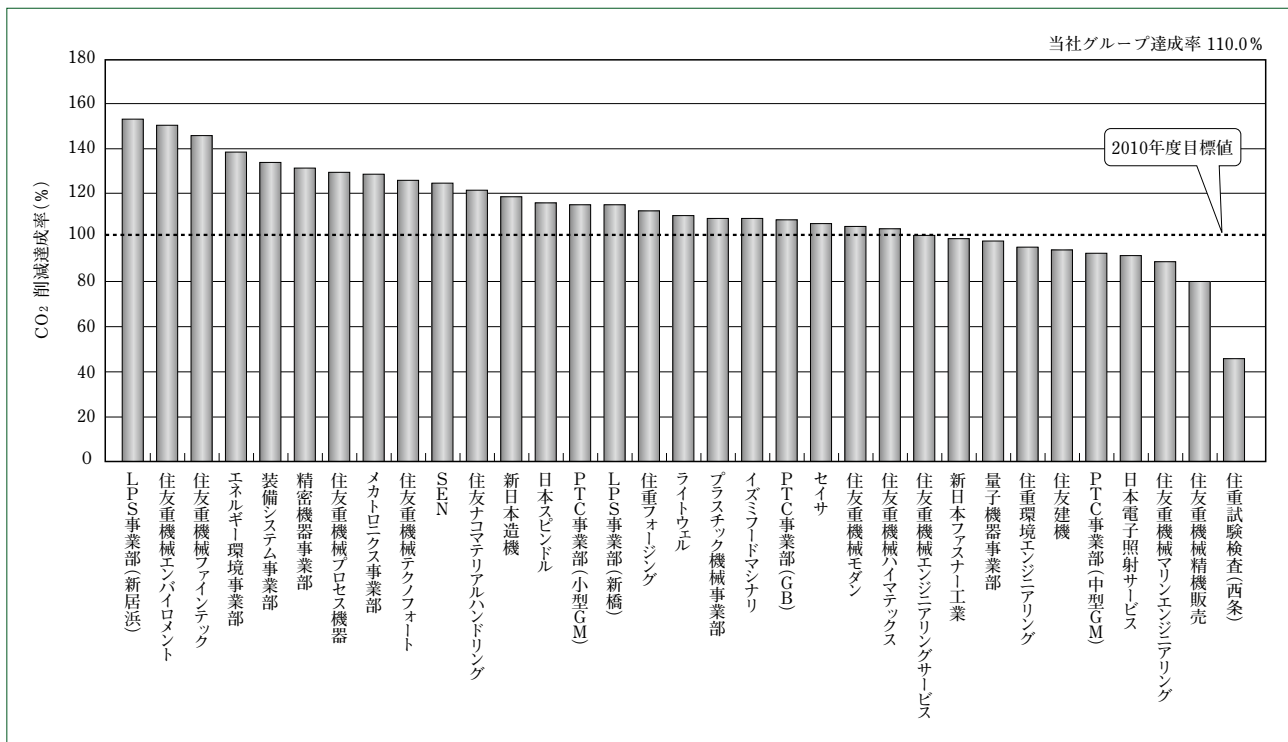


図2 2010年度BU別当社グループのCO₂削減結果
CO₂ reduction result of each BU in our group companies

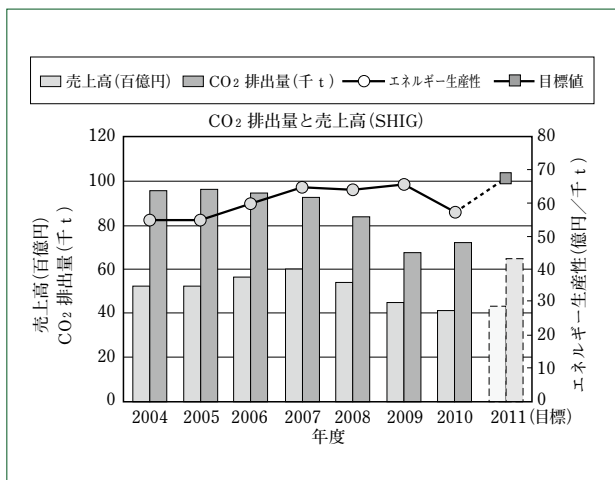


図3 当社グループのエネルギー生産性結果
Result of Eco-efficiency of our group companies

9月には環境マネジメントの徹底を目的とした住友重機械環境方針を制定した。

さらに、当社グループ全体の活動における基本方針を明確にするべく、1999年11月に住友重機械グループ環境方針を制定し、海外を含めたグループ全体で環境マネジメントを展開している。

2008年度から2010年度までの第2次環境中期計画では次の活動を推進してきた。

- ・CO₂排出量削減活動 2004年度比16%削減
- ・用紙使用量の削減活動 2005年度比40%削減
- ・グリーン物流(輸送に伴うCO₂排出量の削減) 2006年度比11%削減

これらの活動に当たり、当社グループでは全員参加による取組みと活動の見える化の仕組みを取り入れた。エネルギーの効率的使用を一層高めるべくさまざまなプロセスの改善を図っている。

2 環境経営の推進

当社グループでは、地球温暖化防止活動を環境経営の一環と位置づけており、社長が製造現場に赴いて行う社長診断においても議論される。そして各事業部内の結果は、環境管理部で管理し毎月フィードバックされ、四半期ごとの執行責任者会議でも報告している。

3 二酸化炭素(CO₂)排出量削減

当社グループは、2007年度にCO₂の排出量を2004年度比10%削減する第1次住友重機械グループ地球温暖化防止活動に2005年度から取り組んでいる。2008年度からは、さらに2010年度にCO₂の排出量を2004年度比16%削減することを目標として、第2次住友重機械グループ地球温暖化防止活動をスタートさせた。これは、京都議定書の基準年度である1990年度と比較すると、25%削減を達成することを目標としている。

図1に、当社グループの2010年度のCO₂削減結果を示す。2010年度は当社基準年度の2004年度から24%削減し、1990年度と比較すると32%削減となり、目標を大きく上回ってCO₂排出量を抑制することができた。図2に、2010年度におけるBU(ビジネスユニット)別のCO₂削減結果を示す。ほとんどのBUで目標を達成することができた。

また、2009年度より、環境先進企業をベンチマークし、当社グループの事業特性を考慮しながら、統一した方法である

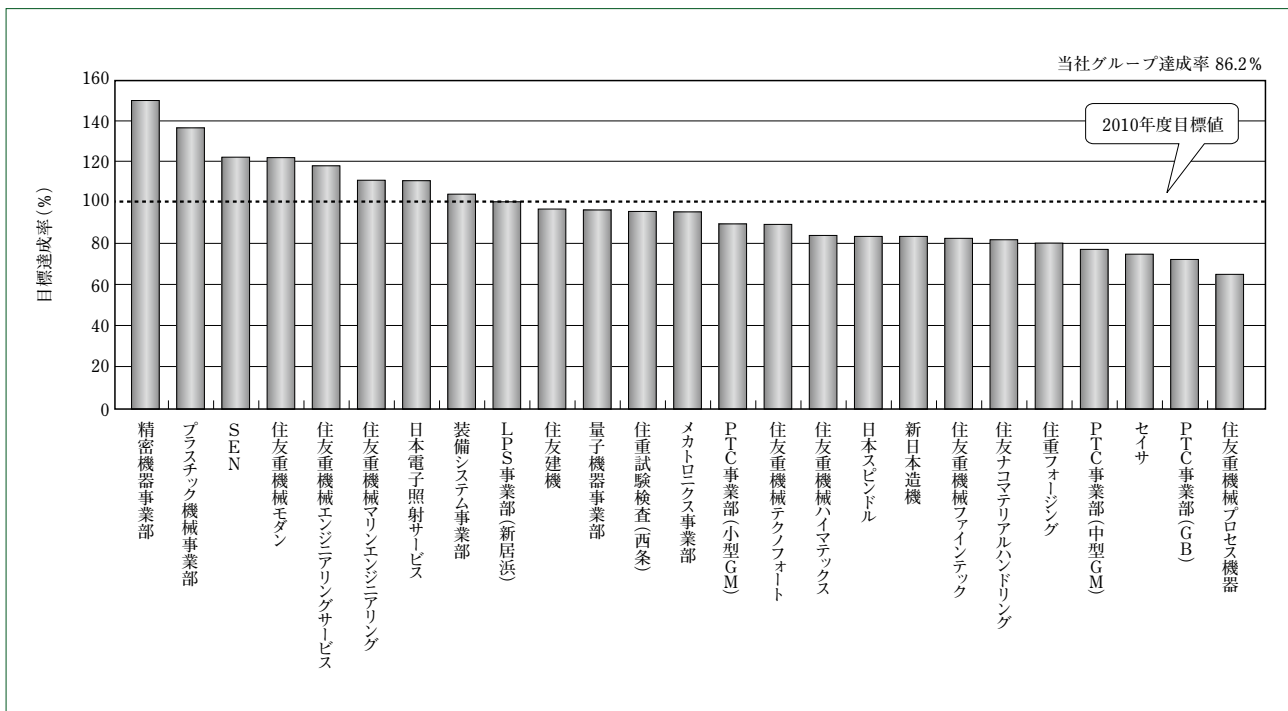


図4 BU別当社グループのエネルギー生産性結果
Result of Eco-efficiency of each BU in our group companies

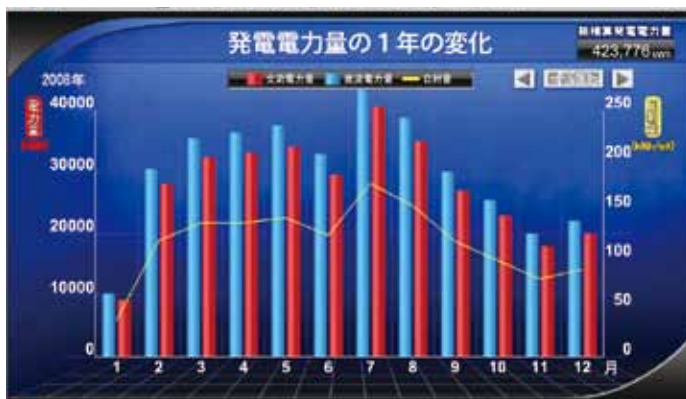


図5 年間太陽光発電状況
Situation of photovoltaic power generation during a year



図6 横須賀製造所精密機械棟 太陽光発電設置状況
Photovoltaic power generation at precision machinery building in Yokosuka factory

エネルギー生産性(売上高/CO₂排出量)の新指標を用いて、各BUの月次管理および運用を展開している。

エネルギー生産性の2010年度の目標値は、2008年度比毎年2%以上向上とし、他社比トップの数値目標とした。

図3に、当社グループのエネルギー生産性の推移を示す。2009年度は、目標2008年度基準2%向上に対して3%向上となり、目標を達成したが、2010年度は10%ダウンし未達成に終わった。図4に、2010年度のBU別のエネルギー生産性の結果を示す。BU別では目標達成部門が9部門と半分以上が未達成だったが、これは、2008年度の売上がここ数年で一番高く、それに対し、2010年度の売上がリーマンショックの影響で減少しているにもかかわらず、それに見合ったCO₂削減ができていない部門が多いということが理由としてあげられる。

CO₂削減活動では、新指標であるエネルギー生産性およ

びプロセススコア改善の評価基準が確立し、その活動の成果を社長診断や執行責任者会議等で報告し、PDCA(Plan Do Check Action)を回す仕組みが定着した。

また、2009年度からはプロセスを変革し、生産革新活動とも連動した活動に展開され、工場の競争優位、自立化に寄与している。

3.1 照明と空調の改善

3.1.1 照明の改善

- (1) 事務所照明(プルスイッチ化、間引き、スイッチの区分化、高効率蛍光灯およびLED化)。
 - (2) 工場照明(水銀灯のメタルハライド等の高効率化、蛍光灯化および天井の明り取り化による昼間の照明の消灯)。
- LED照明については、現在は街灯や非常灯を中心に進めており、試験的に事務所および工場の照明に導入を進めているが、今後は更新に合わせて採用していく。

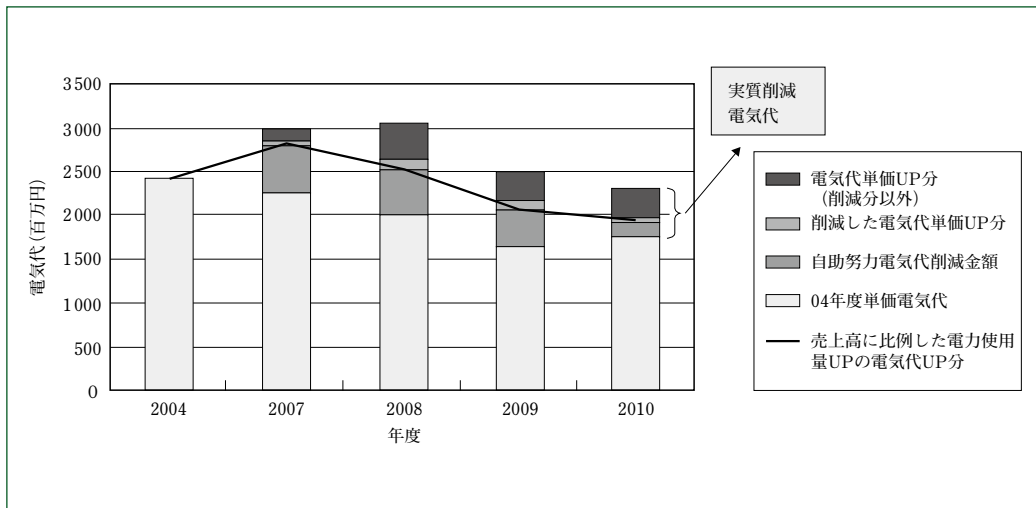


図7 当社グループの電気代削減効果
Effect of electricity cost reduction of our group companies

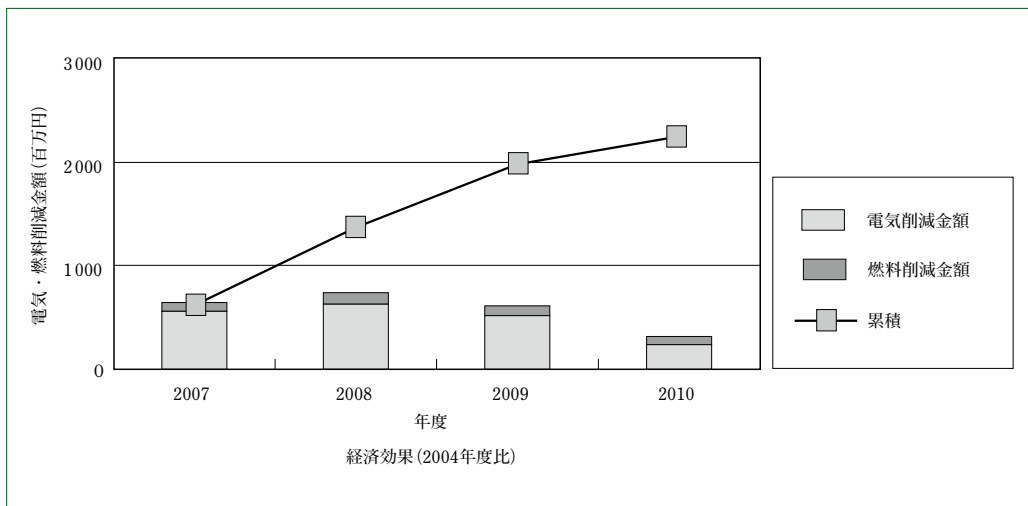


図8 当社グループのエネルギー削減効果の推移
Effect of energy cost reduction of our group companies

3.1.2 空調の改善

- (1) 空調適正温度管理の実施(夏 28℃, 冬 20℃)。
- (2) 空調区域の最小化としてビニールカーテンによる仕切りなど空調気積(空間)のミニマム化を図っている。
- (3) 当社グループ全体の工場空調について25項目のスコア調査を行い、当社版評価基準により評価し、運転改善を実施している。2009年度に調査を実施した当初は358箇所の中ので要改善箇所が197件あり、そのうち2010年度で129件の改善を行い、要改善は残り68件となった。工場空調では、更新時に随時効率の良いものを採用している。

3.2 省エネ機器の導入

3.2.1 コンプレッサ

- (1) インバータ化および台数制御による省エネ化を実施。
 - (2) 圧力設定を標準0.6MPa以下とし、高圧が必要な機器には昇圧機や別途小さいベピコンで対応することにより、全体の電気使用量を削減している。
- 現状では、コンプレッサは管理面から集中して配置されて

いるので、工場の端から端まで空気を送らなければならない、ロスが大きき方式が多い。今後は、決まった場所で必要な時に必要なだけ使用する分散型配置への転換が必要である。

3.3 太陽光発電の導入

2008年10月より横須賀製造所精密機械棟の屋根に1800枚の太陽電池パネルを設置し、発電を行なっている。太陽電池を自然エネルギー電力として活用することにより、温室効果ガスを排出することなく、27万kWh/年の発電を行なっている。

これは一般家庭が一年間に使用する電力量のおよそ500世帯分に相当する。横須賀製造所では、このシステムを有効活用して、電力削減運動を継続している。

本システムは、独立法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)と共同で行なう、「フィールドテスト事業^(注1)」の研究項目である。

図5に2008年の発電量の1年間の変化を、図6に太陽光パネルを示す。2008~2010年度の実質発電量は102万kWhで電気代は約940万円となる。しかし、横須賀製造所全体の電気

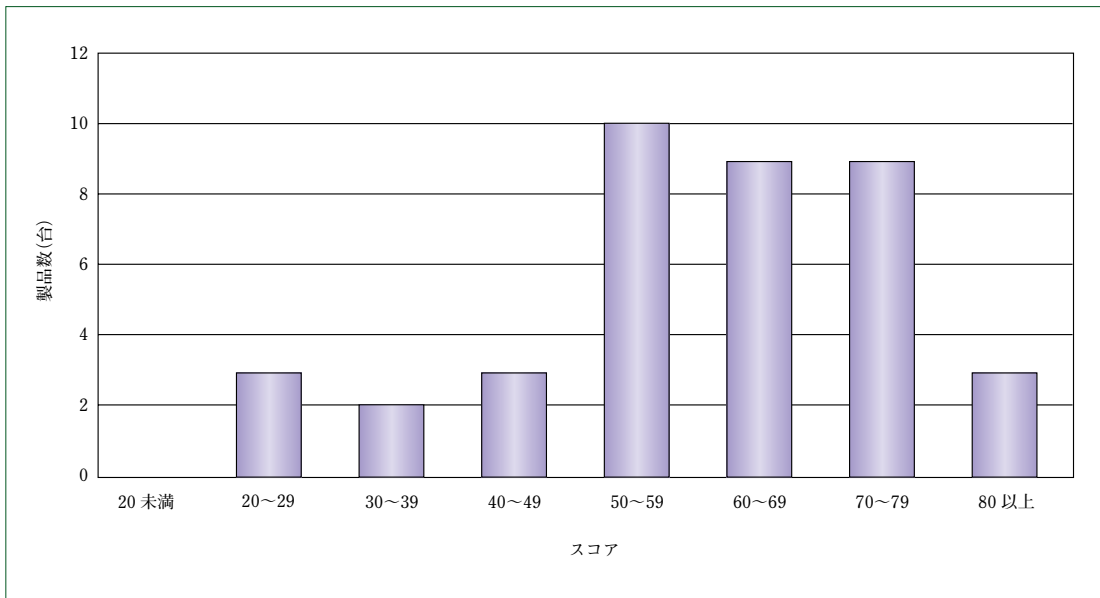


図9 環境配慮製品2010年度スコア評価
Score evaluation of FY2010 of eco-friendly products

使用量の1%に過ぎず、電気使用量の削減も継続して実施していく必要がある。

3.4 燃料系の省エネ

3.4.1 塗装乾燥炉の運用改善

燃焼条件として空気比、設定温度および稼働時間を見直し、25%のCO₂削減を実施している。

3.4.2 プッシャー炉の重油削減

圧力計を新たに設置し、圧力管理と燃料の見える化を行い燃料の10%削減を実施している。

3.5 経済効果

図7に、CO₂削減活動による電気代の推移を示す。また、図8に、電気代と燃料代の削減金額の推移を示す。本活動の経営に寄与した2010年度の金額は2.8億円であり、過去4年間では22.3億円となる。

4 環境配慮製品

当社グループでは、製品が環境に与える負荷を評価し、環境に配慮した製品を客先に提供することが重要と考え、LCA(ライフサイクルアセスメント)^(注2)による評価を技術本部にて実施した。

一方、環境に配慮した製品は、各事業部や関係会社ごとに品質機能展開図(QFD)や独自基準を作成し、商品開発を行っているのが実情で、当社グループとして統一した基準で環境を配慮した製品の評価を行っていなかった。環境規制を強化し、低炭素社会への対応を図り、商品の競争優位を維持するべく、環境配慮設計の基準を作成し、現行商品や開発商品について適用し始めている。

独自基準ではあるが、当社グループの環境配慮製品の拡大を図り、ISO14001の環境マネジメントプログラム(EMP)においても活動の評価を実施していく所存である。

4.1 評価方法

評価の項目としては次のとおり実施のうえ、スコア化し、評価している。

4.1.1 資源循環

(1) 省資源

- ・製品の減量化
- ・減容化再生材、再生資源および再生部品の使用

(2) 廃却時の再資源化の向上(分別処理の容易化)

- ・リサイクル率の向上
- ・解体容易性

(3) 長寿命化

- ・製品の耐久性向上
- ・消耗品の交換性向上
- ・保守・修理の可能性向上、容易性向上

(4) 梱包・包装

- ・包装材の減量化・減容化・簡素化

(5) 情報の提供

- ・リサイクル・廃棄物処理に係る情報

(6) 使用時における省資源対策

- ・製品使用時の原材料消費量、廃棄物の削減

4.1.2 地球温暖化対策

(1) 使用時における省エネ対策

- ・省エネ・省資源等の機能の導入
回生エネルギーの使用など
- ・使用段階における省エネ性
- ・待機時の消費電力削減

(2) 製品のライフサイクルにおける環境負荷低減

4.1.3 環境リスク低減

(1) 環境保全性

- ・環境負荷物質に対する法的制限の適合を保証
REACH規制への対応など
- ・使用時の騒音・振動の削減
- ・製品に含まれる環境負荷物質の削減および禁止

以上のように省エネだけでなく、省資源の他にREACH規制、RoHS指令などのEUの環境規制強化に対応した有害な化学物質を含まない製品の開発も必要となっている。



図10 環境配慮製品 バイオマスボイラ
Eco-friendly product : Biomass boiler



図11 環境配慮製品 油圧ショベル
Eco-friendly product : Hydraulic excavator

4.2 2010年度評価結果

当社では、独自の基準により製品に対して環境配慮に関する評価を実施している。当社グループの製品は、省エネや環境に配慮した製品がほとんどである。図9に2010年度スコア評価結果を示す。評価した39すべての製品でも、省エネや環境に貢献できる配慮がスコアとして現れている。50%以上のスコアの改善が見られたのは31製品と80%を占める。環境配慮製品の最終目標スコアである80点以上に達している製品は3機種である。

- ・当社エネルギー環境事業部 バイオマスボイラ(図10)
- ・住友建機株式会社 油圧ショベル(図11)
- ・日本スピンドル製造株式会社 バグフィルタ

今後は、製品のスコアを上げる開発や製品の評価のカバー率を上げる活動を継続していく。

5 むすび

- (1) 当社グループでは、2005年度よりCO₂排出量削減活動を実施し、2010年度は2004年度比24%削減を達成した。これは、1990年度比32%削減となり、政府の中長期目標(2020年度)である25%を上回る数値を前倒して達成しており、今後は上記数値を維持し、エコファクトリーを目指していく。本活動の経営に寄与した2010年度の金額は2.8億円(過去4年間で22.3億円)である。
- (2) 当社グループでは、製品を通して環境に貢献していくことを環境中期計画に掲げており、統一した評価方法で各製品を評価している。その結果、2010年度は3機種が環境配慮製品となり、今後はさらに機種が増えるように、開発および改良を進めていく。

また、当社グループには、環境に関する機種のほか、省エネ製品があるが、今後は再生エネルギー分野の製品化を期待している。

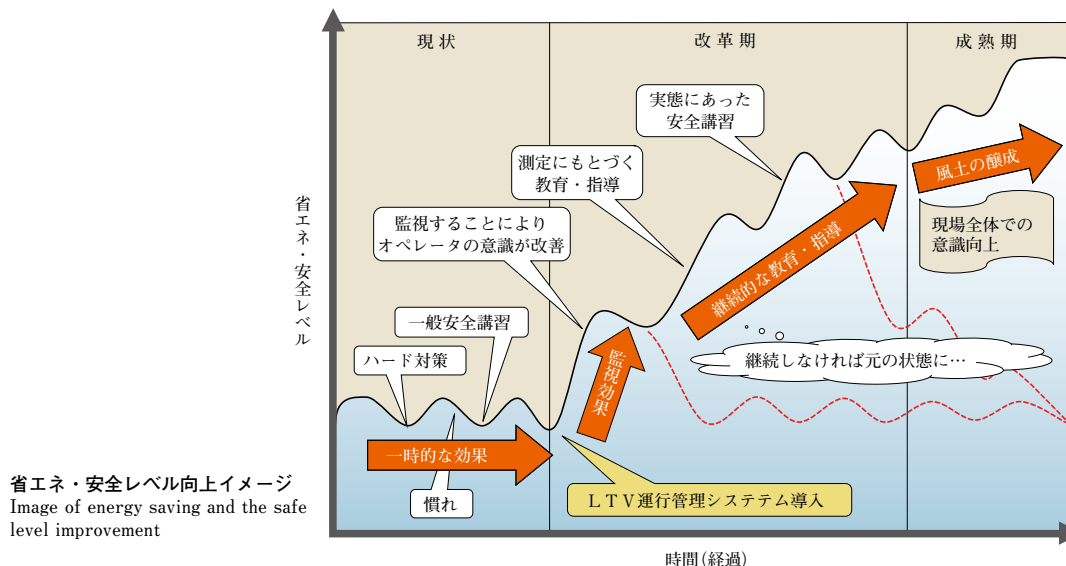
注1 実負荷のもとで運転するインバータ出力300kW新制御方式適用型太陽光発電システムを構築し、優れた発電効率を得る方策を共同研究する事業

注2 製品・サービスのライフサイクル(資源の採取から製造、使用、廃棄および輸送などすべての段階)を通して環境影響を定量的、客観的に評価する手法

LTV運行管理システム

Implementation of Energy Saving and Safety Driving by Utilizing LTV System

● 後藤 晃*
Akira GOTO



1 はじめに

近年、フォークリフトの主要顧客層である運輸・倉庫業では、荷主との取引の安定化と取引量の増加、新規顧客の発掘と獲得および競争力強化を目的とし、省エネによるさらなる物流コストの低減および安全運行による荷役作業品質の向上を重要な経営課題としている。また、環境負荷低減といった社会的な責任の観点からも省エネは重要な経営課題と言える。

こうした背景のもと、省エネと安全な運行の実現を目的とした取組みが行われてきたが、十分な効果を上げられていないのが実情である。そこで当社のLTV(Life Time Value)運行管理システムを使用し、省エネかつ安全な運行を実現する手段を提案する。

なお、当社では、LTVを、フォークリフトの顧客生涯価値の意味で使用している。

2 従来の取組み内容と問題点

従来の取組みは次のものが一般的であった。

(1) フォークリフトオペレータを対象に、一般的な内容での安全運行指導と安全教育を実施する。

(2) 車両に安全装置(速度オーバーアラームなど)を装備。

これらの取組みを繰り返し行ってきたが、実際には効果的に運行指導する手段もなく、客観的に運行指導の効果確認を行う手段もなかった。それゆえ指導の効果は一時的なものにとどまってしまう場合が多く、継続的に省エネおよび安全のレベルを向上し、根本的に職場環境を改善するのは非常に困難であった。

これまでの取組みの問題を次に示す。

(1) 一般的な内容での運行指導や安全教育ではオペレータが自分の何を改善すればよいのか実感が得られない。

(2) 警報タイプの安全装置の場合、警報が鳴っても慣れにより注意を怠ってしまうことが考えられる。

(3) また、最悪の場合、作業効率の悪さなどから安全装置を壊して運行してしまうこともある。

これらの問題点を解消するべく、運行状況を採点およびスコア化し、見える化できるLTV運行管理システムを開発。2011年より、一般発売した。

このLTV運行管理システムを活用することで、日々継続して、運行状況の問題点の明確化とオペレータの運転に対する問題点を数値で把握できる。また個々のオペレータの運行実態に即して、より具体的な内容での運行指導および教育を実施することを可能にし、職場の省エネと安全運行を実現する手段を紹介する。

3 システムの概要(図1)

3.1 システムの主な特長

3.1.1 データ収集の自動化、採点～スコア化

車両に搭載されたLTV測定器により、車両の運行状況を計測し、区間時間ごとの運行状況を集計する。集計された運行データはFOMA通信網を利用し、住友ナコサーバへ自動で送信される。次に住友ナコサーバで、あらかじめ設定された基準に従いデータを採点しスコア化を実施する。このスコアにより運転の良し悪しが把握できる。また、どの運転パターンに課題があるのかを明確に把握することが可能となる。

3.1.2 安全運行レポートの自動生成

本システムは、安全運行レポートの自動生成機能を備えており、顧客の管理者が個々のオペレータまたは、車両ごとに実際の運行状況に合わせた運行教育を行える。なお、安全運行レポートでは、管理項目として顧客ごとに選択された項目にあらかじめ目標値を設定しておくことにより、目標未達項

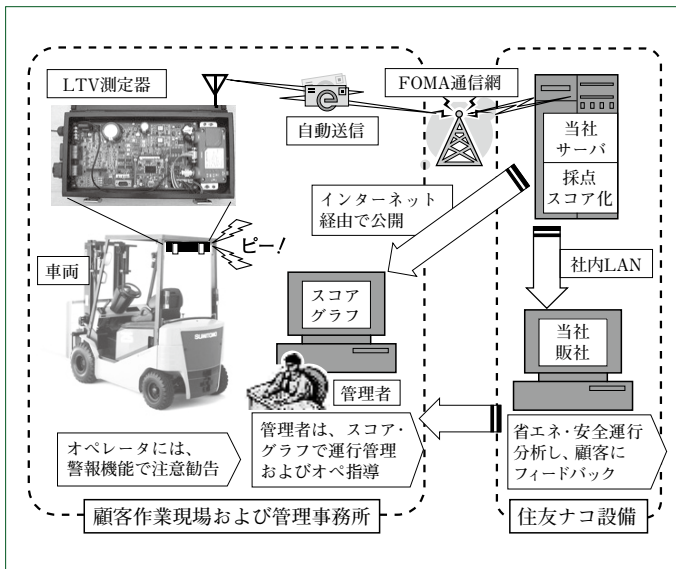


図1 システム概要
Outline of LTV System

目に対して問題点のコメントを自動的につける機能を有している。

3.1.3 データのダウンロード機能

運行スコアおよび稼働データはダウンロードすることができ、標準で用意された分析のみならず、管理者独自の視点での分析も可能である。

3.2 管理項目

本システムは、運行管理項目以外にも、稼働時間などのデータも計測しているが、ここでは運行管理項目について説明する。主な運行管理項目は、次の6項目である。

- ①構内制限速度違反 ②最大許容荷重オーバー ③急加速
- ④急減速 ⑤高速スイッチバック ⑥急旋回

これらの項目に対する日々の運行スコアを管理できるので、オペレータごとにデータを見せながら、「急な加速が多すぎる」「走行速度が速すぎる」など個別に的確な改善ポイントを指示することが可能となる。また、車両側の設定により違反操作時に警報を鳴らす機能を有することで、オペレータは低スコアとなる運転レベルを体感することが可能になり、効果的な運行指導および教育ができる。

4 省エネおよび安全運行への改善(導入事例)

4.1 省エネ(燃費改善)事例(図2)

A社(化学工業系の物流子会社)では、構内制限速度と急加速のスコア向上を目指し、安全運行レポートを使用し、オペレータごとに日々個別の運行指導および教育を実施した。その結果、燃料使用量で約17%、CO₂排出量で約7%もの改善効果を出すことに成功した。

A社では、導入効果を明確にするべく、全車両の半数にLTV運行管理システムを取りつけて指導を実施。残り半数はシステムを取りつけずに指導も実施しないという運用を行った。ここで、注目すべきは、導入時期には監視による効果でシステム装着車両、非装着車両とも燃料使用量が減少しているが、その後、システムを装着していない車両は燃料使用量が増加し、ほぼ元の状態に戻ってしまう。一方、システムを装着し適切に指導を継続した車両の燃料使用量は、さらに減

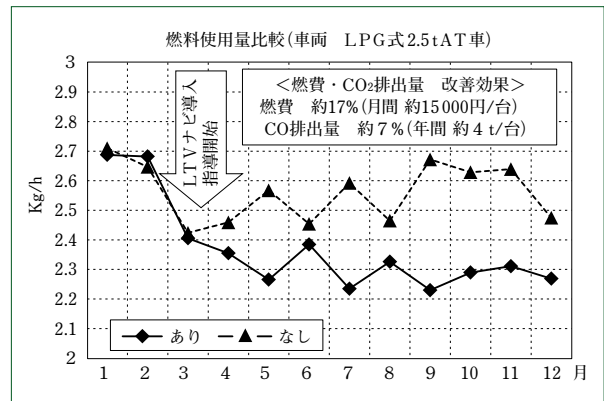


図2 省エネルギーの効果
Energy saving effect

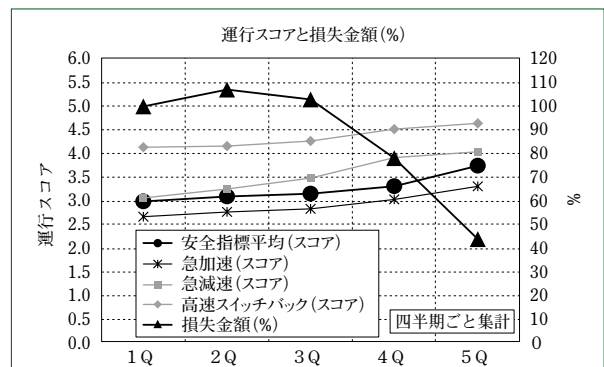


図3 安全レベル効果
Safe level effect

少している点である。

継続的に教育および指導を行わない場合、その効果は一時的なものになってしまうことが表れている事例と言える。

4.2 安全運行(荷役品質向上)事例(図3)

B社(乳製品製造業の物流請負会社)では、急加速、急減速、急旋回および運搬時後進のスコア向上に取り組んだ。安全運行レポートおよびダウンロードしたデータから作成したスコア推移表で日々の教育を実施した。その結果、大幅に商品事故を低減し、約56%もの商品事故による損失金額の削減効果を出すことに成功した。

これは、顧客(管理者)が一般的な内容の運行指導や安全教育だけではなく、スコア推移表によるオペレータ教育および運行指導が効果的だと考え、当社にて推移表作成の支援をした結果、適切かつ効率的な運行指導を実現できた事例である。

5 おわりに

- (1) これまでも、省エネおよび安全運行への要求は高かったが、効果的な教育方法がなく、一般的な教育での効果は一時的なものであった。
- (2) LTV運行管理システムにより運転状況を採点およびスコア化し、運転をどう改善すべきかを具体的なデータを見せながら運行教育および指導することを可能とした。
- (3) スコアを改善することで、結果的に省エネかつ安全な運行が実現可能となる。

今後、監視項目の拡充など、さらに、お客様の省エネかつ安全な運行の実現が支援できるよう、機能向上に取り組む所存である。

誘導電動機の高効率化の動向

Trend of High Efficiency Regulation for Induction Motors

●水谷 清信*
Kiyonobu MIZUTANI

1 はじめに

近年、地球温暖化問題などを背景として省エネを求める声が高まっている。このような情勢のなか、産業分野で用いられる電動機は、発電した電力の3割程度を消費していると考えられ、電動機の高効率化による省エネが重要な課題となっている。それゆえ、主たる電動機である誘導電動機(誘導機)の高効率化と規制が検討され、一部の国および地域では開始されている。本報では誘導機の高効率規制の動向について紹介する。

なお、規制動向は2011年7月時点で公になっている情報をもとにしているが、当社が独自に収集した部分もある。加えて規制や規格の動向は日々変化しているので注意されたい。

2 モータの効率値とその規格

誘導機の効率は、1990年代までは国および地域でばらばらであった。それゆえ、グローバルに高効率化を進めるうえで効率値を国際的に統一する必要性が生じ、2008年に国際電気標準会議(IEC International Electrotechnical Commission)によって新しい規格が制定された。新しい規格はIEC 6034-30と呼ばれ、効率測定法を規定したIEC 60034-2-1規格とあわせて運用されている。

IEC 60034-30では、新しくIE 1、IE 2、IE 3の3つの効率区分が規定され、50Hzと60Hzの両方の効率値が規定された。規定された効率値は主要国の意見が反映され、従来規格から大きな乖離が生じて混乱することがないように配慮されている。

またIEC 60034-31資料でIE 3を上回るIE 4(スーパープレミアム)も提案されている。IE 4は規格値ではなく技術向上の目標値の扱いであるが、IE 4のような超高効率の動向にも

注意が必要である。

表1に、IECで設定された新しい区分と従来値との比較を示す。また図1に、代表例として50Hz、4P機の効率値の比較グラフを示す。

なお、IEC規格と整合を取ったJIS規格も準備され、2011年1月20日にIEC 60034-30に対応する規格がJIS C 4034-30として制定された。日本の国内規格も国際規格に整合した内容で整備されている。

3 高効率規制の動向

3.1 海外の高効率規制の動向

まず、高効率規制の基本モデルになっているEUの規制を紹介する。規格や法令の整備が進んでいない国々では、EUの規制内容がそのまま流用される場合もあると思われ、重要な規制内容と考えている。

EUでは2009年7月に規制内容を発表し、2011年6月16日からIE 2クラスでの規制を開始した。また2015年より効率クラスをIE 3クラスに上げることが決まっている。規制が適用される誘導機の主要仕様を次に示す。

- ・周波数 50Hzおよび60Hz
- ・定格電圧 1000Vまで
- ・モータ出力 0.75kW~375kW
- ・極数 2、4および6極
- ・電源に直結した誘導機

ただし次に該当する誘導機は適用範囲から除かれる。

- ・IEC 60034-25に準拠するインバータ駆動用に設計された誘導機
- ・ポンプやファンなどに完全に組み込まれ、機械から分離できない誘導機
- ・ブレーキつきや爆発雰囲気用などの特殊な誘導機

表1 IEC規格による効率区分と従来規格との比較
Efficiency class by IEC standard and comparison with current standard

IEコード	効率区分	従来規格との対照		
		日本	アメリカ	欧州
IE 1	標準効率	JIS C 4210相当	NEMA 標準相当	EFF2とEFF3の間
IE 2	高効率	JIS C 4212相当	NEMA 高効率相当	EFF1とEFF2の間
IE 3	プレミアム効率	-	NEMA プレミアム相当	EFF1を上回る値
IE 4	スーパープレミアム効率	-	-	-

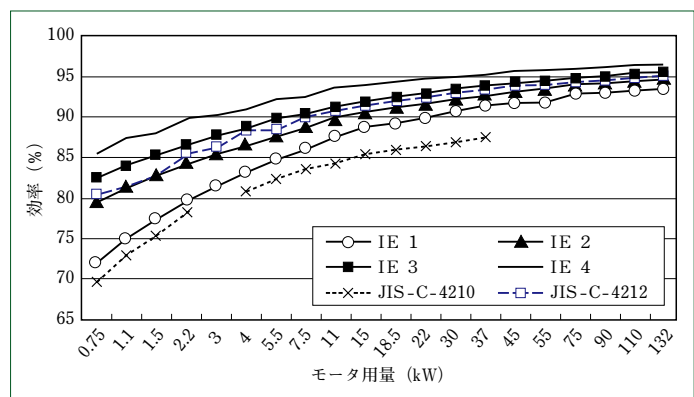


図1 IE 1~IE 4の効率値(50Hz、4P誘導機)
Efficiency value from IE 1 to IE 4 (50Hz, 4-pole motor)

表2 高効率規制のタイムテーブル
Timetable of high efficiency regulation for induction motor

地域・国	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EU			△2011/6/16 IE2(高効率)での規制開始				△2015/1/1 IE3(プレミアム)での規制開始	7.5kW以上	△2017/1/1 IE3規制0.75kW以上～
韓国		△2010/7 IE2(高効率)レベルでの規制開始							
ブラジル	△2009/12よりIE2(高効率)レベルでの規制開始(ただし実態は不明)						(未定であるが欧州に追従することが予想される。)		
豪州・NZ	△2006よりEFF1レベルでの規制開始								
中国			△2011/7IE2(高効率)レベルでの規制を開始				△2015 IE3レベルに引き上げる予定		
アメリカ	△1997 IE2相当の規制を実施		△2010/12/19よりIE3(プレミアム)での規制を開始。ただし汎用モータが対象。						
カナダ	△1995 IE2相当の規制を実施		△2011/1/1よりIE3(プレミアム)での規制を開始。現時点では汎用モータが対象。						
日本				△2012/4頃の発表で高効率規制の関心が高まると思われる。			△2015年頃よりIE3(プレミアム)での規制を検討中		

規制未実施 IE2(高効率)相当の規制実施 IE3(高効率)相当の規制実施

表3 各国の効率規格と認証要否および安全規格名
Standard of high efficiency regulation and its confirmation

地域	効率規格と認証		参考 代表的な誘導機の安全規格・ラベル名
	規格名	認証(第三者の確認)	
EU	IEC 60034-30	不要	CE
韓国	KS C 4202	必要	KS
豪州・NZ	AS/NZS 1359.5	必要	ANS(CEが流通)
中国	GB規格	必要	CCC
アメリカ	NEMA&EISA	必要	UL
カナダ	CSA&EEAct	必要	CSA
日本	JIS C 4034-30を用い、認証は不要の見通し		PSE, JIS

なお、定義が必ずしも明確になっていない部分があることから、規制内容は国および地域の条例や法令で定められることから、実施状況が国によって異なる可能性があり、注意が必要である。

アメリカは1990年代後半からNEMA(National Electrical Manufacturers Association)高効率クラス(=IE2相当)の規制を実施している。そしてアメリカは効率クラスを上げ、2010年12月19日よりNEMAプレミアムクラス(=IE3相当)の規制を実施した。またカナダも2011年1月1日より同様の規制を開始した。両国ともプレミアム規制の対象となるモータは、主としてNEMA規格で規定されている汎用誘導機であり、一体型ギアモータなどの特殊と見なされる誘導機は対象外になっている。

アジア地域では、韓国が他国に先駆けて2010年7月よりIE2クラスの高効率規制を開始した。韓国の規制は電源や容量範囲が若干異なるが、EUでの規制と類似している。また、中国も2011年7月より高効率規制を開始した。韓国と中国は公的な認証機関での試験と認証が必要で、認証ラベル制度を有している点に注意されたい。

3.2 日本の動向

日本は、オイルショックを契機として誘導機の高効率化とその普及に取り組んできた。しかし、モータの価格アップやインバータによる省エネや装置小型化の効果が高いといった理由から高効率誘導機は普及しなかった。

しかし地球温暖化対策などから日本でも誘導機の効率向上とその具体的な推進が喫緊の課題となっており、強制力を持った高効率規制の導入が計画されている。日本では煩雑なモデルチェンジを避け、かつ最高効率を有する誘導機を普及す

べく、IE3クラスの規制が計画されている。現時点では次の予定となっており、2015年ごろにIE3クラスでの規制を行うことが検討されている。

- ・2010年度 省エネ法での特定機器指定(誘導機を省エネ活動の対象にすることが決定)
- ・2011～2012年度 産業界および関係省庁での審議
- ・2012年度 省エネ法による判断基準告示(規制開始の告示)
- ・2015年度 省エネ法改正および施行(規制の実施)

なお、日本では汎用誘導機とギアモータなどの特殊用途向けの比率が1：9程度と推定されている。このことから汎用誘導機だけを対象にしたのでは省エネ効果が望めず、規制対象を明確にし、かつその範囲を広くしていく方策がとられると予想される。そのため告示の際には、その内容に十分に注意する必要がある。

3.3 予想されるタイムテーブルと第三者認証について

表2に、現時点での規制のタイムテーブルを示す。

また高効率規制では第三者の認証が必要な国がある。表3に、代表的な国および地域での認証要否の概略を示す。表3では、混同されがちな安全規格も併記するので参考にされたい(なお、効率規格、安全規格ともに詳細は容量や種類によって異なるので、あくまでも概要としての取扱いをお願いする)。

4 おわりに

- (1) 温暖化対策や省エネ要求から、誘導機に対する高効率化の要求がグローバルに高まっており、その規制動向について説明した。
- (2) 効率向上の要求や規制に高度なレベルで対応できる製品を提供することはメーカーの責務と考えており、当社でも技術開発を行い、社会に貢献できる製品を提供したい。

(参考文献)

- (1) 財団法人エネルギー総合工学研究所,平成21年度省エネルギー設備導入促進指導事業報告書,平成22年3月,p.9.
- (2) 社団法人日本電機工業会,電機,Oct.,2007,p.14～15.
- (3) EC,Commission Regulation (EC) no.640/2009 of 22 July 2009,2009,p.28.
- (4) 社団法人日本電機工業会発行,低圧三相インダクションモータの海外高効率化動向,2010.

住友重機械技報第177号発行に当たり

住友重機械技報第177号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導頂いている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力を頂くよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご批判賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては正確を期していますが、それらの変更がございましたら裏面の用紙にご記入の上、FAXでお知らせ頂きたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2011年12月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2355	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第177号の送付先の確認と読後感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ 必要部数 _____ 部
----------------------------------	--

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。 2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	---

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機, インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機, サイクロギヤモータアルタックス, 精密制御用サイクロ減速機, コンパワー遊星歯車減速機, [平行軸]パラマックス減速機, ヘリカルパディボックス, プレストギヤモータ, [直交軸]パラマックス減速機, ハイボニック減速機, アステロ直交ギヤヘッド, ベベルパディボックス, ライタックス減速機, HEDCON ウォーム減速機, 小形ウォーム減速機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機, バイエル・サイクロ可変減速機, [電気式変速機]インバータ, インバータ搭載ギヤモータ, サーボドライブ, DCドライブ
サイクロ, アルタックス, コンパワー, パラマックス, パディボックス, ハイボニック減速機, アステロ, ライタックス, HEDCON, バイエルおよびバイエル・サイクロは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機, 射出吹込成形機, ディスク成形機, セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機, フィルム製造装置, ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成形システム・金型：射出成形用金型, PET システム, インジェクションブロー成形システム, インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザと加工システム ●エキシマレーザと加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●放射光リング・AURORA, 放射光ビームライン ●成膜装置：(液晶フラットパネル用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ ●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マイクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●半導体封止装置 ●ウエハ研削装置
AURORA は, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ, ロータリーキルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集塵装置, 灰処理装置, 乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水処理施設, 下水処理施設, 浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器, 医療機器, 精密機器, 極低温機器, 超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン, ライナック, シンクロトロン ●電子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIS, 標識化合物合成装置, がん治療用陽子サイクロトロン, 治療照射装置 ●冷凍機：パルスチューブ冷凍機, 4KGM 冷凍機, スターリング冷凍機, クライオポンプ用冷凍機, MRI 用冷凍機 ●人工衛星搭載観測装置冷却システム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット
CYPRIS は, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA システム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォーシングプレス, 油圧プレス, フォーシングロール, 超高压発生装置 ●工作機械, クーラント処理装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ, 港湾荷役クレーン(コンテナクレーン, タイヤマウント式ジブクレーン, タイヤマウント式 LLC), トランスファクレーン, ジブクレーン, グライアスクレーン, 天井クレーン, 製鋼クレーン, 自動クレーン, ヤード機器 (スタッカ, リクレーマ, スタッカ/リクレーマ), シップローダ, ベルトコンベアおよびコンベアシステム, リフティングマグネット装置, コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船, 撒積運搬船, 鉾石運搬船, 鉾油兼用船, コンテナ船, 自動車運搬船, その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函, ケーソン

化学機械, プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置, 化学装置, 原子力装置 ●発電設備：循環流動層ボイラ ●圧力容器：リアクタ, 塔, 槽, 熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽, スーパーブレンド(同心2軸型攪拌槽), バイボラック (横型2軸反応装置)
マックスブレンドおよびバイボラックは, 住友重機械工業株式会社の登録商標です。

建設機械, フォークリフト

油圧式ショベル, 移動式環境保全およびリサイクル機械, 杭打機, 道路舗装機械, フォークリフト

タービン, ポンプ

蒸気タービン, プロセスポンプ

その他

航空用機器, 精密鋳造品, 防衛装備品(各種機関銃, 機関砲およびシステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は, 省略しております。

事業所

本社	〒141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005	大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中部支社	〒461-0005	名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)	(田 無)		
九州支社	〒810-0801	福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)			
田無製造所	〒188-8585	東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号			
千葉製造所	〒263-0001	千葉市稲毛区長沼原町731番地1			
横須賀製造所	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地			
名古屋製造所	〒474-8501	愛知県大府市朝日町6丁目1番地			
岡山製造所	〒713-8501	岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地			
愛媛製造所					
新居浜工場	〒792-8588	愛媛県新居浜市惣開町5番2号			
西条工場	〒799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

本号に関するお問い合わせは, 技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	下園一治	委員	小松幹生
	石田浩修		天野光昭
	平田徹之		岡林明伸
	大谷博司		須田祐憲
	西原秀正		柴田村悟
	青野正幸		西澤信也
	浅井一浩		石倉武久
	川井浩生		日南敦史
	諏訪義和		井手紀彦
	乃美和博		
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第177号 非売品

2011年12月10日印刷 12月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2326

発行人 谷口勝彦