

エネルギー・環境特集

論文・報告	新エネルギー燃料焚き循環流動層ボイラの運転事例	伊藤一芳, 中谷好宏, 矢野和明	1
	ロータリーキルンを用いた金属回収	鉄山一州, 河上 勇	5
	高速凝集沈殿装置 スミシクナー [®]	安部俊彦, 中野 淳	9
	UASB系排水処理システム	知久治之	13
	高負荷対応のメタン発酵システムの検討	三井昌文, 島本敦史	17
	メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置	松崎祐子, 真鍋教市, 鈴木 茂, 富田 欣	21
	噴射式揚砂機 スミジェッターの最適化	柄澤俊康	25
	下水汚泥脱水機用スクリーブレスの開発	柄澤俊康	29
会社紹介	住友重機械エンパイロメント株式会社		33
論文・報告	水素高排気速度タイプクライオポンプの開発	及川 健	35
技術解説	油圧ショベルの省エネ油圧制御	塚本浩之	39
	クーラント浄化装置(FSU)の開発	宮川和彦	41
新製品紹介	太陽電池用成膜装置		43
	油圧ショベル SH120-5		44
	油圧ショベル SH75 125 135 225-3B		45
	油圧ショベル SH330-5 SH350HD-5		46
	フォークリフト用低排出ガスのガソリン・LPGエンジンシステム		47

On Publishing Special Section of Energy & Environment

Noboru MIMOTO

Special Section of Energy & Environment

T/PAPER	Operational Example of Renewable Fuel Boilers Kazuyoshi ITO, Yoshihiro NAKATANI, Kazuaki YANO	1
	Metal Recovery Using Rotary Kiln Isshu TETSUYAMA, Isamu KAWAKAMI	5
	High Capacity Clarifier Sumi-Thickener Toshihiko ABE, Atsushi NAKANO	9
	UASB Processing Wastewater Treatment Systems Haruyuki CHIKU	13
	Examination of High-Load Methane Fermentation Systems Masafumi MITSUI, Atsushi SHIMAMOTO	17
	Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser Yuko MATSUZAKI, Kyoichi MANABE, Shigeru SUZUKI, Yasushi TOMIDA	21
	Optimization of Jet Pump Sumi Jetter Toshiyasu KARASAWA	25
	Development of Screw Press for Sewage Sludge Dehydrator Toshiyasu KARASAWA	29
	C/PROFILE	Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd.
T/PAPER	Development of High Hydrogen Pumping Speed Type Cryopump Ken OIKAWA	35
T/INVITATION	Hydraulic Control for Saving Energy in Hydraulic Excavator Hiroyuki TSUKAMOTO	39
	Development of FSU Type Coolant Separator Kazuhiko MIYAGAWA	41
NEW PRODUCT	Thin Film Coating System for Photovoltaic Cell	43
	Hydraulic Excavator SH120-5	44
	Hydraulic Excavator SH75 125 135 225-3B	45
	Hydraulic Excavator SH330-5 SH350HD-5	46
	Low Exhaust Emission - Gasoline•LPG Engine System for Forklift Truck	47

エネルギー・環境特集号の発行に当たって

第三世代のエネルギー・環境技術のあるべき姿を目指して



常務執行役員 三 本 昇

さきの洞爺湖サミットの最大テーマ「地球温暖化対策」については、曲がりなりにも半減と言う長期目標に一步踏み込んだ宣言が出されました。そのようなときに本特集号が発行されるのは誠に時宜を得ており、改めて我々の果たすべき役割を原点に戻って考えてみたいと思います。

当社のエネルギー・環境技術も、時代の要請に応じて変遷してまいりました。スタートは高度経済成長に伴う大気汚染や水質汚濁の防止技術であり、集塵および下水排水処理などで現在も進化しつつ継続中ですが、いわば第一世代の技術と言うこととなります。

第1次石油危機を契機として省エネルギーのニーズが高まり、省エネルギー技術開発に基づく機器および設備を提供してまいりました。本特集にも幾つかが紹介されていますが、第二世代の技術と言えるものです。

現在地球規模では温暖化だけでなく、原燃料の枯渇リスクを背景とする価格の暴騰および燃料問題とリンクした食料問題など、難問が山積しています。時代の要請は狭義のエネルギー・環境技術ではなく、広くこの難問に対応できる技術だと言えます。例えば、化石燃料代替技術、自然エネルギー、廃棄物や廃液からの燃料や希金属回収技術および高効率食料生産技術など、いわば創エネルギー、創資源型で、これを大胆に第三世代の技術と言いましょ。本特集には、この範疇の技術も多数紹介されています。

当社は上記の製品を国内のお客様を中心に提供してまいりましたが、世界的にも優位性のある商品が多数あります。今後は、世界の市場に広く提供し、環境保護および資源エネルギーの保全に貢献していきたいと思っています。これは、当社の中期計画「グローバル21」の趣旨そのものであります。

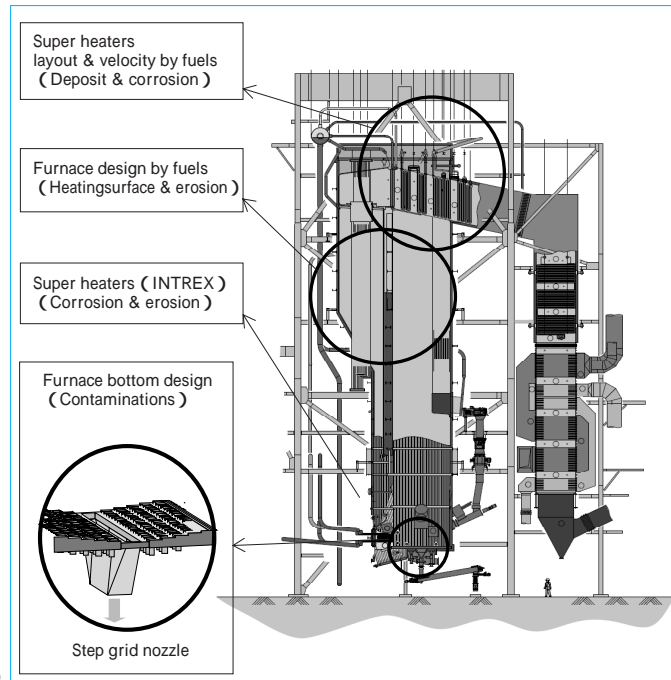
さらに、我々が重視したいのはカスタマーサービス(CS)です。我々が納入させて戴く機器や設備は、永いものでは30年強もお使い戴きます。この間適切なメンテナンスにより事故を未然に防止して上手にお使い戴くべく、診断技術を始めサービス技術の向上に努めてまいります。

地球と人類の未来に向け、地球環境と顧客価値への貢献を基本理念として今後とも努力してまいり所存でございますので、引き続き当社製品のご愛顧とご指導をよろしくお願い申し上げます。

新エネルギー燃料焚き循環流動層ボイラの運転事例

Operational Example of Renewable Fuel Boilers

伊藤 一芳* 中谷 好宏* 矢野 和明*
Kazuyoshi ITO Yoshihiro NAKATANI Kazuaki YANO



循環流動層ボイラ(CFB)
Circulating fluidized bed boiler(CFB)

地球温暖化防止を目的としたCO₂排出量低減に向け、当社はバイオマス燃料およびリサイクル燃料を活用する循環流動層ボイラを納入している。設計面では、過熱器管の腐食対策として最終過熱器を外部循環材中に設置し腐食性ガスとの接触を避ける方式（INTREX型過熱器）の採用および廃棄物由来の燃料の特性から、炉内異物混入対策としてステップグリッドと呼ばれる階段状の炉底構造の採用などの考慮をしている。

本技術を備えた実績例として、日本初の電力小売事業用大型バイオマス発電所が既に3年間の安定操業を実現している。さらに、新エネルギー燃料（TDF、建設系廃材、パークおよびペーパースラッジ）焚きの工場熱電併給用ボイラにおける運転開始後1年間の稼働実績により、多種の燃料に対する本技術の有効性が確認できた。本報では、これらの運転事例について述べる。

We supply circulating fluidized bed (CFB) boilers, which can utilize biomass fuels and recycled fuels in order to comply with the world-wide requirement of CO₂ reduction. Major features of the CFB consist of INTREX for mitigating heater tube corrosion and Step-grid nozzles for preventing an accumulation of contaminations which is brought in with recycled fuels in the furnace. INTREX super heaters are installed on the bed of recirculation materials to isolate tube surface from corrosive gas. Step-grid is installed like stairs on the furnace bottom. As an example of a facility equipped with these technologies, the first large scale biomass boiler for the power generation and supply has been in stable operation for these three years. Other examples comprise the boiler for supplying both heat and electricity generated by new energy fuels (TDF, construction waste wood, bark, paper sludge). This report describes the features of our newly developed boilers and their associated operational examples.

キーワード：バイオマス燃料，CO₂削減，運転実績

1 まえがき

1990年代から地球温暖化防止を目的に温室効果ガスの削減が注目され始め、日本においても経済産業省の新エネルギー利用促進政策を背景に循環流動層（Circulating Fluidized Bed CFB）ボイラを使用したバイオマス燃料を主とする発電設備の導入が開始された。2007年度末時点での当社納入のボイラでの総バイオマス使用量は、年に20万～25万トンにも達し、CO₂の削減量は年に約50万トンに達するものと推定

される。また、バイオマス燃料に加え、化石燃料の削減を目的として廃タイヤを燃料化したTDF（Tire Derived Fuel）や、廃プラスチック系の燃料であるRPF（Refused Paper & Plastic Fuel）などのいわゆる新エネルギー燃料を使用したボイラも2006年より稼働し始め、2006年より稼働している当社納入の2缶の実績では、総TDF使用量は年に10万～15万トンに及んでいる。

本報では、新エネルギーボイラの特長を紹介するとともに、次の二つのボイラを実証事例として紹介する。

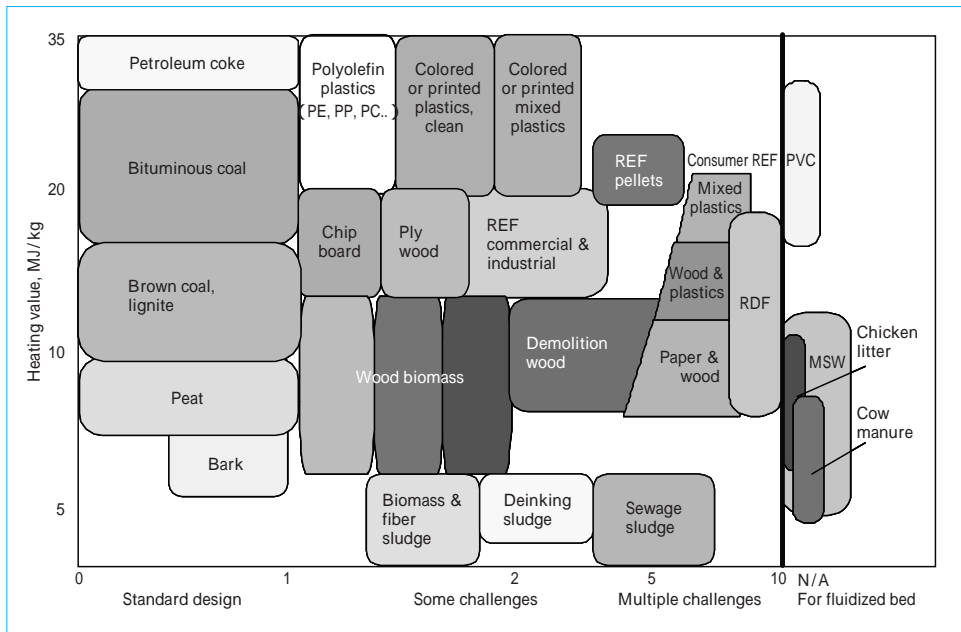


図1 循環流動層ボイラの適用可能燃料
Applicable fuels for SHI FW CFB

表1 納入実績表およびCO₂削減量
Project list and CO₂ reduction

Service starting day	Customer	Location	Steam output			Fuels					CO ₂ reduction *	
			Capacity t/h	Temp. °C	Press. kg/cm ² G	Coal	Wood	TDF	RPF	Sludge	Biomass t-CO ₂ /y	Incl.recycle t-CO ₂ /y
04.10	サミット明星パワー	糸魚川	196	513	103						221300	221300
06.05	王子製紙	日南	130	541	117						44700	223700
06.09	北越製紙	勝田	195	513	102						192600	192600
06.10	中越パルプ	二塚	130	530	124						30600	183400
07.08	ダイセル化学	大竹	300	541	128						0	158300
07.10	日本製紙	富士	230	505	104						223200	297600
07.11	日本製紙	岩沼	230	505	104						168000	252000
08.03	高砂製紙	茨城	65	450	63						75000	107100
08.05	日本大昭和板紙	秋田	180	480	80						33300	33300
08.09	日本製紙	白老	280	536	130						45800	68600
08.12	日本製紙	旭川	170	510	104						152000	215500
09.01	王子製紙	富岡	300	485	70						145300	246900
09.03	Kumho (韓国)	麗水	250 × 2	540	130						0	111100
09.07	日本大昭和板紙	芸防	280	535	100		()				(45000)	(45000)

* CO₂ reduction is estimated from the design condition by SHI.

一つは、日本初の電力小売事業用大型バイオマス発電所（サミット明星パワー株式会社向け 発電出力50 MW 2004年納入）である。既に、3年間の安定操業を実現している。他の一つは、当社初の脱化石燃料の新エネルギー混合燃料（TDF、建設系廃材、パークおよびペーパーラッジ）焚きの工場熱電併給用ボイラ（王子製紙株式会社日南工場 2006年納入）である。

2 バイオマス焚きボイラの開発経緯

バイオマス焚きボイラの開発は、電力小売事業自由化および国策としての新エネルギー開発事業用途に対応するべく行われた。

循環流動層ボイラでの対応可能な燃料は、図1に示す通り多種多様であるが、新エネルギー燃料は発熱量の不安定性や多くの重金属類や腐食を引き起こす成分を含むことから、比

較的大型で高温高压ボイラへの適用は避けられてきた。

一方で、1990年代より欧米でのバイオマス燃料の高温高压化（10 MPa、500 以上）への需要が高まり、当社技術提携先のフォスターウィラ社を中心にバイオマス焚きボイラの開発が進み実用化されてきた。

国内においては、当社は燃料性状の安定性を補完するとともに腐食抑制を目的として石炭混焼によるバイオマス燃料の適用を開始し、さらに広範囲な燃料へ展開を実践している。

3 国内のバイオマス燃料および廃棄物燃料の使用実績

表1に、当社納入循環流動層ボイラの燃料使用実績を示す。バイオマス燃料からTDF、RPFおよびスラッジなどの幅広い燃料対応をしている。

表1に示すすべてのボイラが稼働した時点でのバイオマス燃料でのCO₂削減は約1300000 t/yと推測され、さらに新エネル

表2 主要仕様
Major specifications

Boiler	SHI-FW compact CFB INTREX type
Power generation	50 MW
Steam output	196 t/h
Steam press.	10.1 MPa
Steam temp.	513
Fuels	Demolition wood (70-90%)
(Heat base %)	Semi-anthracite (10-30%)
Plant efficiency	37.05 % (Performance test data)

ギー燃料の使用による化石燃料(石炭)からのCO₂削減を考慮すれば、約2300000 t/yのCO₂削減が期待されることになる。

4 新エネルギー燃料使用のリスクとボイラ設計考慮点

バイオマスを含む新エネルギー燃料の使用に際して、最も重要なことは燃料成分の管理であるが、事実上の管理の困難さから、その燃料ごとに燃焼特性だけでなく、腐食成分や異物混入特性を把握・評価し、設計的な考慮をする必要がある。大別すれば、次の5点があげられる。

4.1 過熱器管の腐食対策

バイオマス燃料では、生物由来のアルカリ金属類(Na, K)および塩素などが混在し、低融点灰の生成・付着による過熱器管の溶融塩腐食のリスクが高く設計的な配慮が不可欠となる。当社の場合、最終過熱器を腐食性ガスと遮断された外部循環材中に設置することにより、腐食環境の低減を目的とした方式(INTREX型過熱器)を採用している。さらに、INTREX型過熱器は保守点検を容易にするべく管板一体構造を採用し、外部に引き抜くことを可能としている。

4.2 炉内循環材のアグロメーション防止対策

アルカリ金属および塩素の化合物は、上記の腐食のほかに低溶融点化合物を生成し、炉内循環媒体の凝集および粗大化(アグロメーション)の発生により、炉内循環材の流動不良の懸念から、循環材中アルカリ金属類の濃度管理が必要となる。具体的には、必要に応じ炉内に砂の供給を行い、循環材の抜出量を増加させることにより、循環材中のアルカリ金属類の濃縮を防止している。

4.3 廃棄物由来の燃料に対する炉内異物混入対策

建設系廃材を主としたバイオマス燃料では、釘、蝶番および電線などの金属異物の混入があり、炉底空気ノズルの摩耗や炉底でのネスティングの発生による流動障害の懸念から安定的な異物排出が不可欠の条件となる。さらに、TDFでは燃料重量の10%を超えるワイヤが炉内に投入されることから、そのリスクは飛躍的に増大する。

当社の場合、ステップグリッドと呼ばれる階段状の炉底構造を採用し、燃焼空気の供給と同時に複数設置された大型排出口に向かって異物の円滑な移動を可能とし、異物の確実で容易な排出、流動障害の防止を実現している。

4.4 過熱器管のデポジット生成防止および運転障害対策

前述の低溶融点を持つ化合物は、過熱器へのデポジット付着対策が合わせて必要になる。この対策には、燃料ごとに化学的な付着のほかに物理的な衝突による付着の考慮が必要となり、最適な流速選定や管配置が重要となる。



図2 2次過熱器
Second super heater

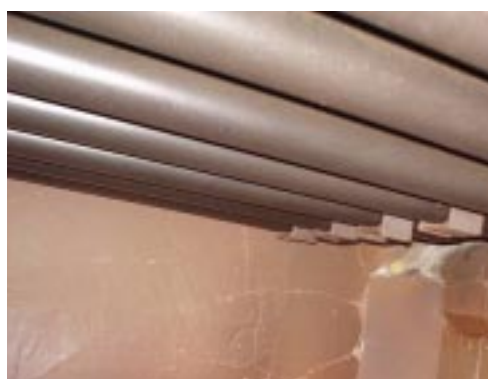


図3 4次過熱器
Final super heater

4.5 炉内伝熱および摩耗対策

循環流動層ボイラでは、火炉内伝熱において輻射伝熱とともに、炉内循環材による水管への伝熱が大きな寄与をしている。新エネルギー燃料のなかには炉内循環材の比重を重くするものも存在し、炉内伝熱特性が経時的に変化をする場合もある。炉内循環材の比重の増加とともに火炉伝熱管の摩耗リスクも増加することから、伝面設計時における伝面配置計画と伝熱設計には考慮が必要とされる。

5 サミット明星パワー株式会社の運転実績

代表例として、サミット明星パワー株式会社バイオマス発電所向けのボイラを紹介する。サミット明星パワー株式会社バイオマス発電所は、2002年度の新エネルギー補助対象事業として設計・建設され2004年より営業運転を開始している。設備概要は、表2に示す通り、建設系廃材燃料を主燃料としている。循環流動層ボイラによる高効率燃焼により、本発電所でのプラント発電効率は石炭焚き並みの35%以上の高効率を実現している。冒頭の図に、ボイラ概要を示す。前述の対策を考慮した、バイオマス焚き用に開発されたボイラとなっている。

次に、本発電設備の運転実績および定期点検から得られた知見を述べる。

5.1 過熱器の腐食状況

バイオマス燃料を使用していることから、塩素分およびアルカリ金属分の持込みは避けられないが、運転3年を経た状態での過熱器への付着は軽微であった。現在まで、懸念す



図4 排出異物
Contamination

表3 主要仕様
Major specifications

Boiler	SHI-FW compact CFB INTREX type
Steam output	130 t/h
Steam press.	11.5 MPa
Steam temp.	541
Fuels (Heat base %)	2" x 2" TDF with wires (80 %) Demolition wood and bark (17 %) Paper sludge (3 %)

べき腐食兆候は見られていない。図2に2007年定期点検時の2次過熱器、図3に4次過熱器を示す。

5.2 炉内からの異物排出

炉内への異物の持込みは主に建設廃材からの釘や番線屑などであるが、磁選処理の困難な非磁性異物の混入も多く見られる(図4)。1日での異物の発生量は約200 kg程度であり、ほぼ全量が炉内から排出され炉底での流動障害を発生していない。

5.3 摩耗状況

炉底部のステップグリッドノズルには一部に摩耗を生じているが、年1回の点検時に肉盛りなどの補修を実施することで安定した連続操業を確保している。

5.4 運転運用

本発電所は小売電力事業用電力を供給するものであり、送電出力(小売電力)をスケジューラに登録し、そのスケジュールに合わせて自動追従運転をしている。その際、隣接する明星セメント株式会社にも送電をしていることから、工場の負荷変動を吸収しつつ小売電力供給するボイラ自動追従制御運転となっている。

6 王子製紙株式会社向けボイラの運転事例

王子製紙株式会社日南工場向けボイラは、主燃料をTDFとして脱化石燃料を目標に工場の熱電併給用に設計建設された。循環流動層ボイラにおいて、主燃料にTDFを適用した日本での1号機である。表3に、ボイラ仕様を示す。本ボイラは、バイオマス焚きボイラ的设计に加え、更なる耐腐食性およびデポジットの付着への配慮、炉内への異物持込み対策が強化されている。TDFに含まれるワイヤは、炉内で粉化までは至らないことから、ベットの強制循環・磁選分別により炉内のワイヤ濃度を制御することで、ワイヤの堆積および鳥の巣のように絡んでしまうネスティングによる流動障害などの発生は十分に抑えられている。図5および図6に、燃料および排出されたワイヤの状態を示す。



図5 TDF
Tire derived fuel



図6 排出ワイヤ
Discharged wire

設計当初においては、TDF由来の重金属とバイオマス由来のNa, Kなどのアルカリ金属類によるデポジットの発生や腐食を懸念したが、運転開始1年後の点検結果では、顕著なデポジットの成長や腐食兆候は見られていない。

試運転での調整では、投入されたTDFが炉内に十分に拡散せずに局所燃焼を起こし、石灰石消費量の増大などの問題が発生したが、炉底の空気分配調整により解決した。燃料サイズによる流動燃焼の違いを再認識した点もあった。

7 むすび

- (1) 循環流動層による燃焼技術は、バイオマスを含む新エネルギー燃料を使用しても石炭同等の発電効率が得られ、CO₂削減と同時に化石燃料の代替燃料として資源有効利用に大きく貢献できることが実証できた。
- (2) 新エネルギー燃料の安定燃焼運転には、各燃料性状に応じてボイラ設計上の技術面の考慮および対策が必要である一方、操業面では、燃料品質の把握および管理も重要である。
- (3) 今日の新エネルギー燃料焚きボイラの安定燃焼は、客先およびメーカーの相互協力により、今まで発電ボイラに燃料として使用できなかったエネルギー源でも有効利用できることの実証事例と解釈している。

今後とも循環流動層ボイラの多種多様な燃料への高い対応性を追いつつ、一方で客先を通じて地球環境を守るボイラの提供を目指したい。

ロータリーキルンを用いた金属回収

Metal Recovery Using Rotary Kiln

鉄山 一州* 河上 勇*

Isshu TETSUYAMA

Isamu KAWAKAMI



ロータリーキルン
Rotary kiln

循環型社会形成推進や近年の金属価格高騰に伴って急速に高まっている金属含有廃棄物からの有価金属回収ニーズに応えて、金属リサイクルに関連してロータリーキルンを新たな二つの用途に適用する開発を行い、極めて良好な結果を得ている。

一つは、ロータリーキルンを高負荷高性能焙焼炉としたもので、廃触媒からニッケル、バナジウムおよびモリブデンを経済的に回収することに成功し、実用機が順調に稼働している。

他の一つは、ロータリーキルン内にて廃棄物系還元材により、電気炉ダスト中の酸化鉄を金属鉄に還元して回収すると同時に亜鉛を気相へ分離し、後段のフィルタにて濃縮回収するもので、安定的に経済的なりサイクル事業が可能となることを実証テストにて確認した。

In response to the rapidly increasing demand for recovery of valuable metals from waste containing metals, we have developed two methods by adopting rotary kilns for metal recycling. The first method is improvement of a rotary kiln to a high-load, high-performance roasting furnace. We have succeeded in economically recovering nickel, vanadium and molybdenum from spent catalysts. The commercial plant has been operated with high efficiency to recover rare metals. The second method is recovery of iron and zinc from the electric furnace dust. Refuse plastics are utilized as both fuel and reduction agent in the rotary kiln. The stable operation has been confirmed through the demonstration test and it is expected to enable an economical recycling.

キーワード：廃棄物溶融，希少金属回収，溶融還元

1 まえがき

廃棄物の焼却溶融処理用に1992年にスイスから技術導入したスラグ排出型ロータリーキルンは、既に多数の納入実績があり、残渣の溶融スラグ化による土木資材への再資源化（マテリアルリサイクル）や余熱回収・発電（サーマルリサイクル）などの特徴により、循環型社会形成推進に貢献している⁽¹⁰²⁰³⁰⁴⁾。さらに、この技術を国内市場特有の灰溶融ニーズに対応させる改善改良開発を行い、オリジナル技術を越えた長

期間の溶融運転が可能で、燃費のよい商品に生まれ変わらせてきた⁽⁵⁰⁶⁾。また、製鉄所内の酸化金属ダストからNi, Cr, Fe, Znを回収する溶融還元システムを開発し、1998年に実機（240 t/d）を納入している。

こうしたロータリーキルンの特長を生かして、近年の金属価格高騰に伴って急速に高まっている金属含有廃棄物からの有価金属回収ニーズに応え、当社では継続的に新用途への技術適用開発を行っている。

本報では、実用化段階の二つの開発技術、

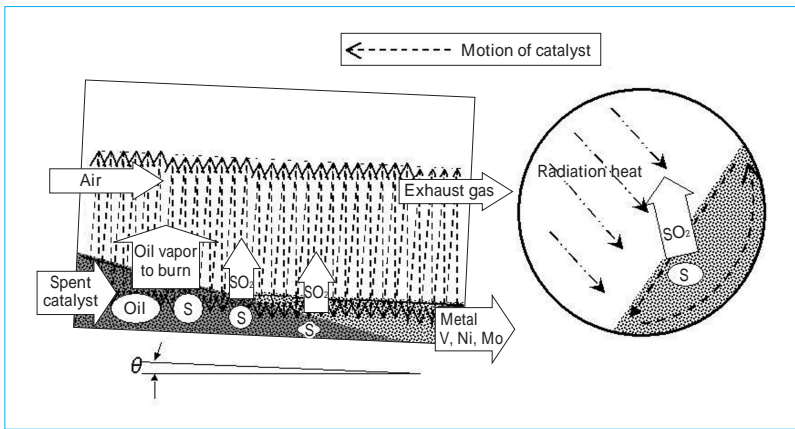


図1 使用済み触媒焙焼の原理
Principle of roasting spent catalyst

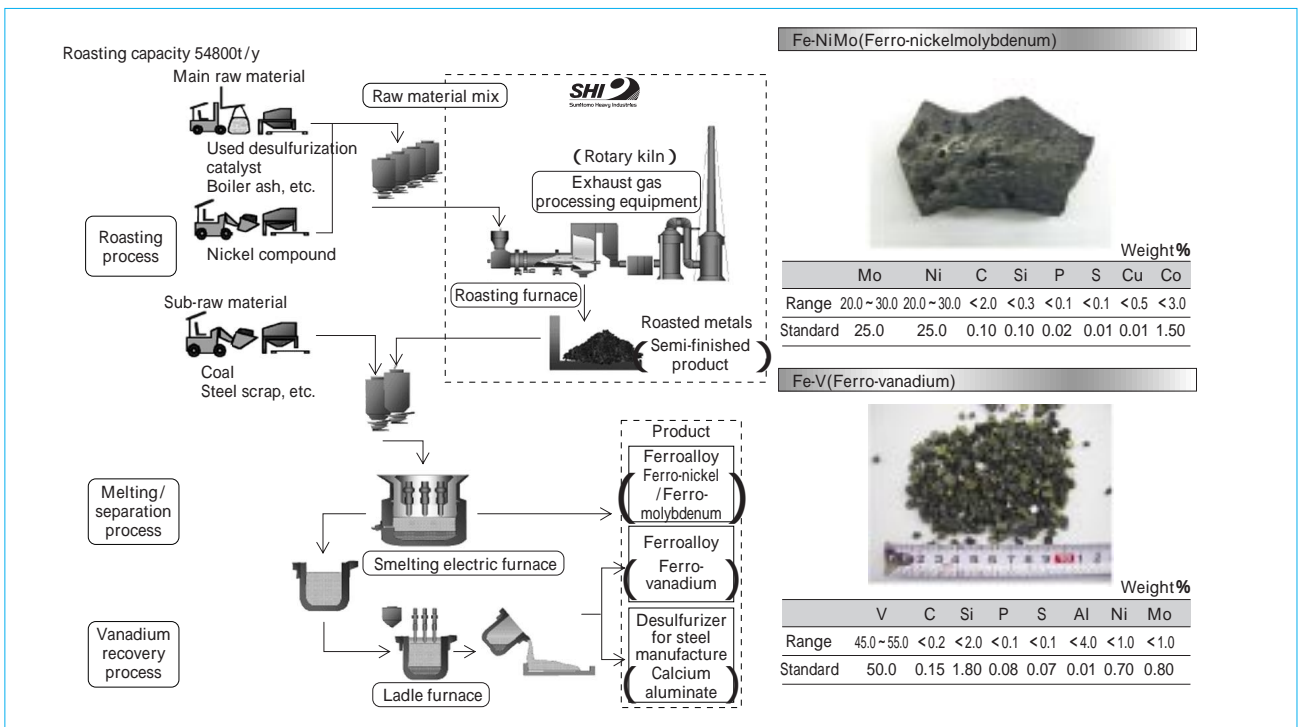


図2 使用済み触媒資源化設備の概要と製品（合金鉄）
Metal recovery process for spent catalyst and its product

- (1) 使用済み脱硫触媒からの希少金属回収
 - (2) 電気炉ダストからの鉄・亜鉛回収
- について報告する。

2 使用済み脱硫触媒からの希少金属回収

2.1 開発の目的・原理

製油所内で発生する使用済み脱硫触媒には、希少金属のニッケル、モリブデンおよびバナジウムが含まれている。これら希少金属は、従来、湿式法により回収されてきたが、より簡便で経済的な資源回収ができる乾式冶金精錬法を適用するべく、JFEマテリアル株式会社と共同してロータリーキルンを用いた新プロセスを開発した。

図1に、ロータリーキルンによる使用済み触媒焙焼の原理を示す。使用済み触媒に付着した硫黄分は、精錬プロセスの障害物質であり、これを焙焼して効率よく分離するのが、前処理としてのロータリーキルンの役割である。わずかな傾斜を持つロータリーキルン内では、使用済み触媒が回転しながら強い攪拌を受けてゆっくりと前進する。付着している油分

と硫黄分が燃焼し、ロータリーキルン内部は適切な温度に保たれ、十分な滞留時間の後排出される金属は、硫黄分が規定値以下の濃度となって、後段の金属精錬工程へ送られる。高負荷高効率な焙焼が可能なることから、設備がコンパクトで燃費も良い。

2.2 使用済み触媒資源化設備の概要と特長

メタルテクノロジー株式会社（JFEマテリアル株式会社、三菱商事株式会社および鹿島北共同発電株式会社の出資）に本技術が納入され、順調に稼働している。同社は、産業廃棄物などに含有される希少金属を再資源化し、循環型社会形成に貢献する目的で設立された。

図2に、同社の使用済み触媒資源化設備⁷⁾の概要と製品（合金鉄）を示す。前処理である焙焼工程は、当社が納入したロータリーキルンで、焙焼能力は54800 t/yである。金属精錬部分は、ニッケル・モリブデン回収工程とバナジウム回収工程で構成されて、JFEマテリアル株式会社の長年培ってきた合金製造技術を応用した高温下の乾式冶金精錬法によりバナジウム、ニッケルおよびモリブデンとの合金鉄などを製



図3 バッチテスト用試験機（ロータリーファーネス）
Bench scale test equipment (Rotary furnace)

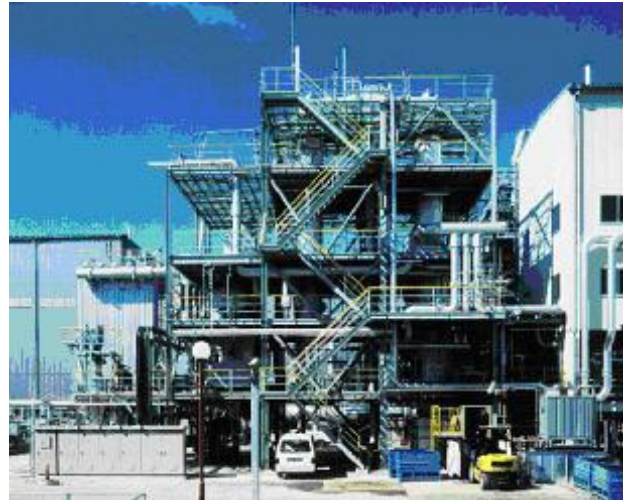


図4 連続テスト用多目的試験設備（ロータリーキルン）
Demonstration test equipment (Rotary kiln)

造している。

従来、使用済み触媒などの産業廃棄物は、ソーダ焙焼法 + 湿式法にて希少金属類の回収(モリブデンおよびバナジウム)が行われていたが、本開発技術では回収品の用途を合金鉄の添加剤とすることで、希少金属の再資源化をモリブデンおよびバナジウムに加えてニッケルにまで拡大した。資源回収面のほか、本プロセスでは添加剤コストや水処理コストが大幅に低減され、経済面でも優れている。

また、希少金属の含有により注目されている使用済み触媒は、付着している油分や臭気により、排出国とリサイクル国間の移動を制限されるケースがある。本プロセスの適応で、前処理工程の焙焼設備のみを排出国に設置し、使用済み触媒の可燃性や臭気の除去および不純物(油分および硫黄分)の除去による回収金属の濃縮(減量)を行い、精錬工程側へ輸入するようにすれば、付加価値が増加するとともに適正な資源循環の国際ビジネスが展開できると考えられる。

3 電気炉ダストからの鉄・亜鉛回収

3.1 開発技術の概要・目的・原理

大阪製鐵株式会社と当社が共同で開発している電気炉ダストからの鉄・亜鉛回収システムは、廃プラスチックなどの廃棄物を熱源と還元材に利用して、経済的に電気炉ダスト中の酸化鉄の還元と酸化亜鉛の還元分離を行うことを目的としている。多くのケースについて、実際の電気炉ダストを用いてバッチテスト(図3)および連続テスト(図4)⁸⁾を行い、原理確認と性能予測を実施している。図3のバッチテスト用試験機はロータリーキルンを輪切りにしたような回転炉で、1バッチ50~200 kgの試料をバーナにより加熱し燃焼や熔融状況の観察が可能である。時間経過を炉内での移動と見立てるシミュレータで、各種処理対象物の最適処理条件を探索することができる。図4の連続テスト用多目的試験設備は実機と同様の構造を持つ実証試験機で、10~15 t/dの処理能力があり、設計条件の最終確認などに用いる。

図5に、本技術の原理を示す。廃プラスチックなどの可燃性廃棄物と電気炉ダストをロータリーキルン内に投入し、内部を強還元雰囲気とするとともに固体還元温度域に保つ。電

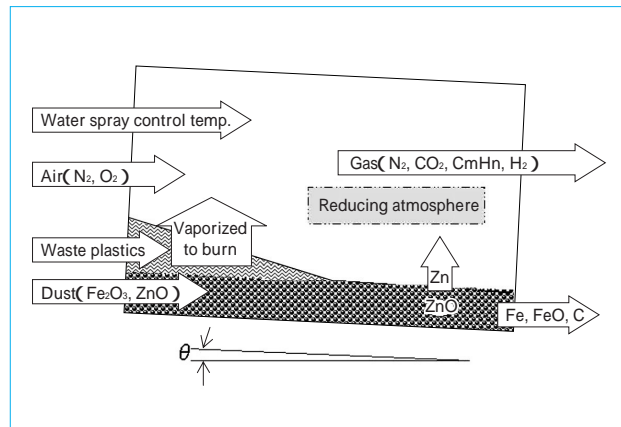


図5 電気炉ダスト資源化の原理
Principle of reduction in electric furnace dust

気炉ダストの近傍で可燃物から発生した熱分解ガスや一酸化炭素が強い還元作用を及ぼし、電気炉ダストに含まれる酸化鉄を金属鉄に還元し、酸化亜鉛を還元揮発させる。気体側へ移行した亜鉛は、排ガス処理工程にて高純度の亜鉛原料として回収される。

3.2 本プロセスの特長

コークスや石油など新たな化石燃料および還元材を加えずに可燃性廃棄物を用いて、電気炉ダスト(これも廃棄物)の再資源化を行う資源効率が極めて高いプロセスである。廃棄物で廃棄物の資源化処理を行い、しかも2次廃棄物の発生がほとんどない。循環型社会推進に寄与するとともに鉄鋼メーカーなどに廉価な鉄源の供給を可能にし経済性にも優れている。

システムの特長としては、次の4点があげられる。

- (1) 廃プラスチックが熱分解して発生する水素および炭化水素により、従来の還元法よりも低温で効率的な反応である。
- (2) 低温運転により、従来のキルン還元法(ウェルツ法)で運転の障害になっていた炉内のクリンカトラブルを抑制している。
- (3) ウェルツ法が必要であった前処理(乾燥および成型)

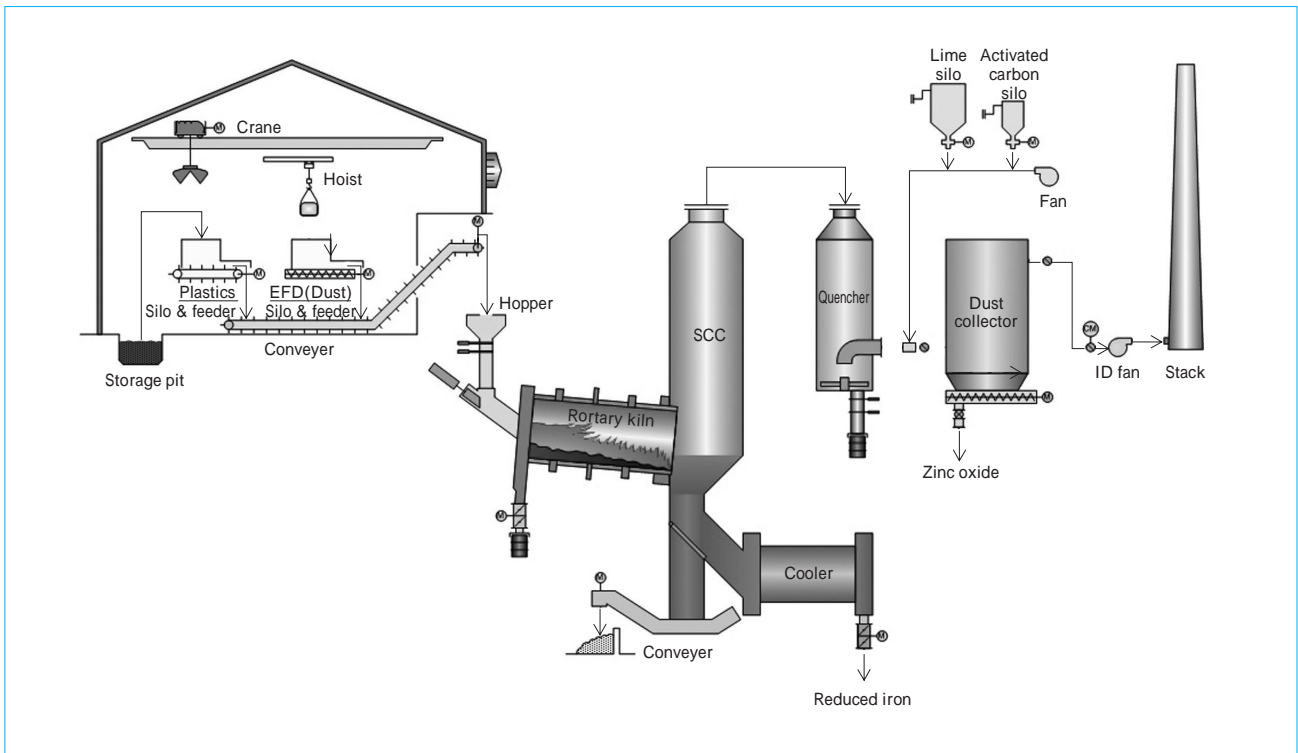


図6 電気炉ダスト再資源化施設
Metal recovery process of electric furnace dust

が不要で、図6に示すフローシートの通り、システムがシンプルである。

- (4) 前処理設備の省略と新たな化石燃料（還元材）を使用しないことによる優れた経済性を有している。

4 今後の取組み

今回紹介した2件の共同開発プロセスでは、当社の試験設備が技術検証するうえで大きな役割を果たしている。

当社の金属回収プロセス開発への取組みには長い歴史があり、これまでに鉄鋼ダストのリサイクル設備（固体還元および溶融還元）および廃乾電池のリサイクル設備の開発と納入を行ってきた。これらのノウハウや多数の産業廃棄物処理設備実績で蓄積された膨大なデータを生かして、「金属資源の再生」をテーマに従来のプロセスの応用および水平展開を中心に、経済的で確実な有価金属・希少金属の回収・再資源化技術の研究開発を進めている。

5 むすび

- (1) 使用済み触媒からの希少金属回収について、従来法（湿式）よりも経済性のある乾式の新方式をJFEマテリアル株式会社と共同開発し、実用施設が順調に稼働している。
- (2) 廃プラスチックなど廃棄物を燃料および還元材に用いた電気炉ダストからの金属鉄・亜鉛原料回収という資源効率および経済性に優れた新技術を、大阪製鐵株式会社と共同開発した。
- (3) ロータリーキルン試験設備の活用により、ここに紹介した二つの用途開発以外にも数多くある新規用途開発に邁進し、顧客の要望に応じていく。

（参考文献）

- (1) 河上勇, 石川是孝. シュレッダーダストおよび廃家電製品焼却溶融処理テスト. 財団法人クリーンジャパンセンター, リサイクル技術研究発表会論文集, 1995.
- (2) 河上勇, 鉄山一州, 酒井伸一. シュレッダーダストと土砂の混合物の焼却溶融テスト. 第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集, p.319 ~ 321, 1997.
- (3) 小田切克己, 岩田昇, 住友実. 愛媛県廃棄物処理センター焼却溶融施設. 第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.950 ~ 952, 2000.
- (4) 黒豆伸一. 灰溶融炉における廃プラスチック混焼による重金属揮散促進効果. 第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集, p.1006 ~ 1008, 2004.
- (5) 阿川隆一, 鉄山一州, 岩田昇, 河上勇, 小沢昭治, 平山直道. スラッグ排出型ロータリーキルンによる焼却灰と飛灰等の混合溶融処理. 日本機械学会第8回環境工学シンポジウム 98講演論文集, p.280 ~ 283, 1998.
- (6) 藤田健司, 河上勇, 藤吉秀昭, 武田信生, 八木英雄, 大島康司. 廃棄物処理残さ中のダイオキシン類の分解・安定化に関する調査 - 広域灰溶融先進事例 -. 第23回全国都市清掃研究発表会講演論文集, p.195 ~ 197, 2002.
- (7) 株式会社メタルテクノロジー. 入手先 < <http://www.metatech.co.jp/> > , (参照2008-06-18)
- (8) 鉄山一州. ロータリーキルンの廃棄物再資源化への適応. 住友重機械技報, 158号, p.19 ~ 22, 2005.

高速凝集沈殿装置 スミシックナー[®]

High Capacity Clarifier Sumi-Thickener

安部 俊彦* 中野 淳*

Toshihiko ABE

Atsushi NAKANO



スミシックナー[®] (22 m)
Sumi-Thickener (22 m)

スミシックナー[®]は省スペース型の高速凝集沈殿装置であり、170基以上の納入実績を有している。

次の構造上の特長により、一般的な凝集沈殿装置と比べて、高い表面積負荷とすることができる。その特長とは、ミキシングチャンバの槽内設置と高分子凝集剤の分割添加による沈降性の良好な凝集フロクの形成、回転するディストリビュータによる槽内への原水の均一分散供給、および槽内均一上昇流による表面積の有効活用の三つである。また、原水の種類によっては、ブランケットゾーンを形成することにより、処理水の清澄性が向上する。

最近の代表的な用途として、雨水排水処理、活性汚泥スミスラッジ[®]システム、用水用処理（河川水の濁度除去）および沈殿濃縮による固形物の回収などがある。

Sumi-Thickener is a space-saving high-speed coagulation system, and more than 170 Sumi-Thickener units have been installed. Because of its structural features described below, Sumi-Thickener is operable under higher surface loading than ordinary coagulation systems. The features include: 1) good flocculation for excellent sedimentation, achieved through the installation of a mixing chamber inside the tank and polymer coagulant dosing at several points; 2) a uniformly distributed supply of raw wastewater to the tank using a rotating distributor; and 3) effective utilization of the surface area through a uniform upward stream formed inside the tank. In addition, the formation of a blanket zone increases the clarity of the treated water depending on the type of raw wastewater used. Recent representative applications of Sumi-Thickener include rainwater drainage, activated sludge treatment using the Sumi-Sludge system, the diversion of water (turbidity removal from river water), and solid recovery by coagulation and thickening.

キーワード：排水処理，沈降分離装置，活性汚泥処理

1 まえがき

排水処理の主な単位操作として、凝集沈殿装置がある。円形や矩形の水槽を利用し、工場排水などの液体中に浮遊する懸濁物質（SS）^注を液体と固体の比重差により固液分離する装置は、一般的に沈殿装置と呼ばれている。そのなかで、SSを無機凝結剤および高分子凝集剤などの効果を利用してフロク状にし、フロクを沈降させ液体から分離する装置が凝集沈殿装置である。

凝集沈殿装置は、少ない表面積でより多くの固液分離が可能になるように、さまざまな工夫がなされている。

住友重機械エンパイロメント株式会社（SHI・EV）のスミシックナー[®]は、一般的な凝集沈殿装置と比較して、より少ない表面積で大容量の固液分離が可能になるように開発された装置である。一般的な凝集沈殿装置より少ない面積で処理可能なことから、高速凝集沈殿槽と呼ばれている。各種排水処理、用水用処理および生産工程における沈降分離装置として、170基以上の納入実績を有している。

凝集沈殿装置の利用目的は液体の清澄用と固形物回収用（または濃縮用）の二つに大別され、主に工場排水を河川や海域に放流する清澄用として利用されている。特殊用途として、パルプ製造苛性化工程の清澄槽や苛性ソーダ製造原料工

表1 スミシックナー[®]の代表的用途
Typical application of Sumi-Thickener

大分類	中分類	小分類	分離スラッジ (SS)	処理水SS濃度 (mg/L)
排水処理	活性汚泥	3次処理沈殿用	活性汚泥	~ 20
		最初沈殿用	排水夾雑物	
		接触酸化沈殿用	活性汚泥	
	無機スラッジ	ヤード散水・雨水清澄用	石炭、鉱石、コークス、水砕スラグ	~ 30
		スクラバ排水清澄用		
		金属加工排水	切削・研磨	
		製紙排水		
フッ素排水		フッ化カルシウム		
半導体製造排水				
生産設備	水回収	RH (真空脱ガス) 循環水清澄用	鉄鋼	~ 30
		CCM (連続鑄造機) 循環水清澄用	鉄鋼	
		圧延循環水清澄用	鉄鋼	
		集塵機洗浄水循環用	鉄鋼	
	原料回収	金属精錬回収用	銅、銀	~ 10
		水酸化アルミ回収用	水酸化アルミニウム	
		紙料 (白水) 回収用	紙料	
	固形物回収・濃縮	水酸化マグネシウム	水酸化マグネシウム	~ 10
		酸化チタン	酸化チタン	
	清澄用途	粗塩水清澄用	水酸化マグネシウム	~ 15
			炭酸カルシウム	
緑液清澄用		ドレックス		
用水・濁度処理		河川水濁度除去用	泥、藻類	~ 20

代表的な数値で、条件により異なる。

程の清澄槽として利用されているものもある。

近年、設置面積が小さいことが評価され、半導体洗浄排水などの電子業界向けに納入が増加している。

2 凝集沈殿装置の評価

凝集沈殿装置は、単位表面積当たり単位時間当たりの処理水量を表面積負荷 ($m^3/(m^2 \cdot h)$) で表わし、この数値が大きいほど少ない表面積 (小さな水槽) で多くの液体 (処理量 (m^3/h)) を処理できることになる。水槽内は、表面積負荷に応じた上昇流速 (m/h) となり、SSは上昇流速以上の沈降速度となった場合に、沈降し液体より分離される。

表面積負荷は処理水量 (m^3/h) ÷ 水槽表面積 (m^2) で計算されるが、実際は水槽表面積に対して均等に液体が流れないことから、部分的に計算上の数値よりも大きな上昇流速で流れている。少ない表面積で大容量の固液分離を実現するには、表面積を有効に利用する必要があり、それには凝集沈殿槽内を均一流にする必要がある。スミシックナー[®]は、この点に着目して開発された凝集沈殿装置である。

スミシックナー[®]の代表的な適用例を表1に、代表的な設計表面積負荷を表2に示す。

3 構造

スミシックナー[®]の概略を、図1に示す。

スミシックナー[®]は、主に次の部位により構成される。

- (1) 槽本体
- (2) 流入管
- (3) センターシャフト

- (4) ミキシングチャンバ
- (5) タービン
- (6) ディストリビュータ
- (7) レーキ
- (8) コーンスクレーバ
- (9) ディスチャージコーン
- (10) 集水樋
- (11) 駆動部

スミシックナー[®]は、一般的な凝集沈殿槽と比較して、高分子凝集剤でSSをフロック化するミキシングチャンバが槽内に配置されていることと、処理対象液体 (原水) を槽内に均一に分散させる回転するディストリビュータが設置されていることが大きく異なっている。

4 各部位の特長

次に、スミシックナー[®]の各部位の特長を述べる。

4.1 ミキシングチャンバ

流入管より流入した処理対象液体 (原水) を受入れ、タービンにより攪拌しながら、高分子凝集剤を添加してSSをフロック化する。

一般的な凝集沈殿槽は凝集槽と呼ばれる攪拌水槽を凝集沈殿槽の手前に設置し、緩速攪拌機により攪拌しながら高分子凝集剤を添加してSSをフロック化する。沈降性のよい凝集フロックの形成には、処理対象のSSに適したイオン性 (カチオン、アニオンおよびノニオン) の高分子凝集剤を選定し、凝集フロックが形成される高分子凝集剤の添加率 (処理水量当たりの高分子凝集剤添加量 (mg/L)) に合わせて添加する。

表2 代表的な設計表面積負荷
Typical design load

排水の処理	設計表面積負荷 (m ³ /(m ² ・h))							処理水SS濃度 (mg/L)
	0	2	4	6	8	10	30	
活性汚泥3次処理			→					~20
抄紙・脱墨排水・白水回収			→					~30
電子・硝子研磨排水 (エッチング, シリコン, フッ酸排水を含む)			→					~20
非鉄金属排水 (メッキ, ガス洗浄を含む)			→					~20
鉄鋼直接系排水 (RH, CCM, 圧延循環水)			→				→	~30
原料ヤード (石炭, 鉱石, スラグ)			→					~30
用水処理・濁度除去	→							~20

代表的な数値で、条件により異なる。

この場合、高分子凝集剤の添加は凝集槽内で任意の位置 1 箇所に添加することから、高分子凝集剤とSSが十分に反応しない場合や未反応の場合がある。また、凝集槽から凝集沈殿槽への通水過程で形成された凝集フロックが破壊される場合もある。

スミシックナー[®]は、より効果的に凝集フロックを形成させるべく、ミキシングチャンパをスミシックナー[®]槽内に設置し、かつ高分子凝集剤をミキシングチャンパの数箇所に分割添加できるようにしている。高分子凝集剤の数箇所への分割添加は段階的に凝集フロックを形成できることから、少ない添加率で沈降性のよい凝集フロックを形成できる。

4.2 ディストリビュータ

回転するディストリビュータにより、槽内に均一に原水を分散させる。

一般的な凝集沈殿槽は、槽内に設置されたフィードウェルと呼ばれる内塔に原水を受け入れ、フィードウェル下部(図1 スミシックナー[®]のミキシングチャンパ下部)より原水を分散させている。したがって、槽内の中心から外側に向う上昇流となり、表面積を有効に使用することができない。

スミシックナー[®]は、槽内を均一な上昇流とし表面積を有効に使うことで、表面積負荷を大きくすることができるような構造とした。

4.3 レーキ

沈降したSS(スラッジ)を槽中央部にかき寄せ、ディスチャージコーンからスラッジを回収する。沈降スラッジをかき寄せの際に、共回り(沈降スラッジが一体となりレーキとともに回転する現象)によりレーキが過トルクとならないように、レーキに取付けられているかき寄せブレードの形状および配置を工夫している。

5 最近のスミシックナー[®] 代表的用途

5.1 雨水排水処理

製鉄所、発電所および化学工場では、所内に石炭や鉄鉱石のヤードを所有している場合が多く、降雨時にはヤードから大量の雨水が排出されている。ヤードから排出される雨水はヤード内鉱物(石炭や鉄鉱石)がSSとして含まれた雨水と

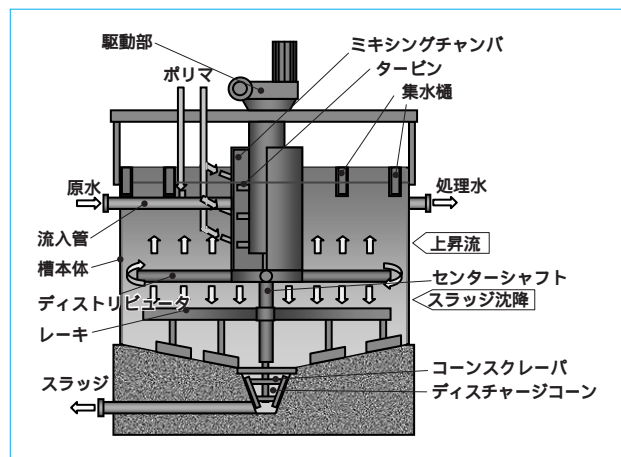


図1 スミシックナー[®]
Sumi-Thickener

なることから、SSを含み着色された液体となる。法規上は、雨水はそのまま放流可能な場合もあるが、放流口付近には大量の着色水が流出することから、環境対策として雨水処理設備を設置する工場が増加している。

スミシックナー[®]は、大量の雨水を小さな設置面積で処理可能なことから、雨水処理設備用凝集沈殿槽として数多く採用されている。

雨水排水に含まれるSSの性質により表面積負荷は変わるが、5 ~ 15 m³/(m²・h)で設計している。一般的な凝集沈殿槽では、1 ~ 5 m³/(m²・h)程度の表面積負荷で設計されるので、設置面積で2 ~ 5 倍の差になっている。

本用途では、降雨時と晴天時の流入水量が大きく異なることから、流量変動対策を考慮したシステムとしている。また、SSの密度が大きいので、沈降スラッジは濃縮し易く、スラッジ引抜きの閉塞対策についても考慮したシステムとしている。

5.2 活性汚泥処理用スミスラッジ[®]

有機性排水を好気性処理する方法として、一般的に活性汚泥法が使われている。活性汚泥は有機物を分解する微生物がフロック状になったもので、曝気槽内に保持されている。曝

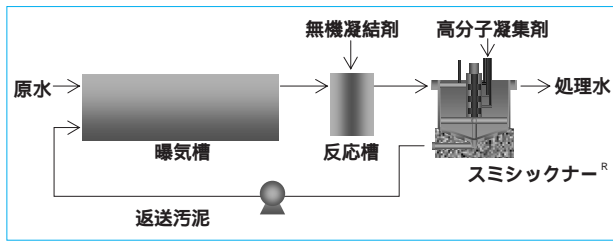


図2 スミスラッジ[®]システム
Sumi-Sludge system

気槽内に保持されている活性汚泥により排水中の有機物を分解後、沈殿槽で活性汚泥フロックを沈降分離し、清澄な処理水と活性汚泥とを固液分離する。

活性汚泥フロックは沈降速度が小さく、固液分離するには、表面積負荷 $8 \sim 12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 程度の大きな沈殿槽を設置する必要がある。また、放流規制値が厳しい地域では、さらに凝集沈殿装置を設置する必要がある。通常、活性汚泥沈殿槽と凝集沈殿槽は分けて設置している。したがって、このような地域における排水処理設備は広大な敷地を必要とする。

活性汚泥沈殿槽と凝集沈殿装置を組み合わせることで、大幅な省スペース化を実現した。このシステムを、SHI・EVではスミスラッジ[®]システムとして納入している。

スミスラッジ[®]システムのフローを、図2に示す。

曝気槽から流出する曝気処理水に直接無機凝結剤および高分子凝集剤を添加して、フロックの沈降速度を高め、スミシックナー[®]に流入させて固液分離を行うことにより、従来法と比べて大幅な省スペースを実現している。スミシックナー[®]は、一般的には活性汚泥沈殿槽から流出するような、微細なフロックでも沈降分離することが可能である。

スミスラッジ[®]システムでは、汚泥を高濃度に濃縮することができることから、曝気槽内の活性汚泥濃度 (MLSS) を高く保つことで、より多くの活性汚泥微生物を曝気槽内に維持する。また、硝化菌のように増殖速度が遅く、沈殿槽から流出しやすい微生物でも、曝気槽内に容易に保持することができるようになった。したがって、活性汚泥の容積負荷 (曝気槽単位容積当たり単位時間当たりの有機物処理量) ($\text{kgBOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$) を、スミスラッジ[®]システムを採用しない標準活性汚泥法と比較して $2 \sim 3$ 倍とすることができ、生物処理の安定化とともに、バルキングなどによる汚泥流出トラブルのない処理が可能となった。

沈降した活性汚泥を $2 \sim 3\%$ に濃縮して引抜くことが可能で、活性汚泥返送量が一般的な活性汚泥沈殿槽と比較して $30 \sim 50\%$ 程度にすることができ、汚泥返送ポンプの動力を削減可能である。

凝集沈殿処理では、無機凝結剤の添加から活性汚泥の無機分の比率が高いものとなるが、沈降性に優れた汚泥であるので、濃度を高くしても沈殿槽から流出することはない。

紙パルプ産業向けなど、処理水量が大きくなるほど設備投資金額の削減効果が大きくなることから、大水量処理ではスミスラッジ[®]システムが数多く納入されている。また、曝気槽を酸素曝気とした処理システムにもスミスラッジ[®]システムを採用することができる。

また、処理水量が小さい場合でも装置点数が削減でき、設置スペースが小さくできることにより、スミスラッジ[®]システムが採用されている。

スミスラッジ[®]システムは、凝集沈殿処理による処理水質の安定化および曝気槽の汚泥濃度を高くすることによる汚泥処理の安定化が期待できる。

5.3 用水用処理 (河川水濁度除去用)

工業用水や飲料水 (上水) を河川水から精製する処理場では、河川水のSSの除去に沈殿槽を設置する。沈殿槽処理水は、工業用水用途では砂ろ過器で処理後に工場に供給され、飲料水用途ではさらに活性炭吸着塔や精密膜により処理後に飲料水として供給される。

沈殿槽の一般的な運転方法は、取水した河川水に水道用ポリ塩化アルミニウム (Poly Aluminum Chloride for water works PAC) を添加することにより、河川水中の濁質をフロック化し沈降分離させる。工業用水用途では高分子凝集剤を使用する場合もあるが、多くの場合はPACのみの添加でフロックを形成させる。形成されたフロックは、微細で軽いので固液分離が困難で、清澄な処理水 (沈殿槽処理水の要求水質は高く、濁度で $5 \sim 10 \text{ mg/L}$ 以下が一般的) を得るのに、スラッジブランケットによるろ過効果で清澄する。

ここでスラッジブランケットとは、槽内に形成フロックを堆積させ、堆積フロック中を通水させることで、フロック層によるろ過効果で微細フロックを補足させるものである。

5.4 固形物回収用途

基板洗浄排水などのフッ素含有排水の処理は、水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) により水中に溶解しているフッ化物イオンをフッ化カルシウム (CaF_2) として析出させ沈降分離する。

フッ素は放流基準値が低く、析出した CaF_2 はできるだけ補足したいので、用水用処理と同様にスラッジブランケットによるろ過効果で清澄化する。

スラッジブランケットにおいても、未反応のCaとFの反応の進行により、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を有効利用することができる。

6 むすび

- (1) スミシックナー[®]は高い表面積負荷で沈殿処理を行うことを可能とした、省スペース型凝集沈殿装置である。
- (2) その特長は、ミキシングチャンバと高分子凝集剤の分割添加による沈降性の良好な凝集フロック形成、回転するディストリビュータによる原水の槽内への均一分散供給および槽内均一上昇流による表面積の有効活用である。

今後もスミシックナー[®]の特長を生かし、各種排水処理、用水用処理および生産分野における沈降分離のアプリケーション拡大に努めていきたい。

注 SSとは浮遊物質、水の中に存在する粒径 2 mm 以下の固形物の総称である。

UASB系排水処理システム

UASB Processing Wastewater Treatment Systems

知久治之*
Haruyuki CHIKU



UASB系排水処理システム
UASB processing wastewater treatment systems

1980年代にUASB法の試験研究が始められてから30年弱が経過した。この間に超高負荷型のEGSB法などが開発され、現在では世界の嫌気性排水処理設備の6割程度をUASBプロセスが占めていると言われている。

住友重機械エンバイロメント株式会社（SHI・EV）では、Biobed[®]、Biothane[®]、AquaSAT[®]、Biobed[®]-UおよびBiothane[®]-Uの5機種の商品で、工場で排出されるさまざまな排水濃度および排水量に合わせ適性機種を提案可能としており、排水BOD濃度 約200 mg/L～数万mg/L、また排水量 数m³/d～15000 m³/d以上と幅広い濃度および範囲での実績を有している。

近年、周辺技術開発も手掛けており、それらを含むSHI・EVのUASBプロセス概要を紹介する。

It has been almost 30 years since the start of test research on the UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) method in the 1980s. During this period, various systems, including a super high load type of EGSB (Expanded Granular Sludge Bed), have been developed, and it is said that UASB processes currently account for approximately 60% of all anaerobic wastewater treatment systems worldwide. With five models of UASB-based systems: “Biobed[®],” “Biothane[®],” “AquaSAT[®],” “Biobed[®]-U” and “Biothane[®]-U,” Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd. (SHI・EV) is capable of offering the optimum model according to the concentration and quantity of wastewater discharged from the plant, ranging from 200 mg/L to over 10000 mg/L in BOD concentration and from a few m³/d to over 15000 m³/d in wastewater. This report describes an overview of SHI・EV's UASB processes, including the peripheral technology developments .

キーワード：有機性排水処理，嫌気性処理，エネルギー回収

1 まえがき

2007年は日本から世界へ向けて「クールアース50」の発信、2008年は洞爺湖サミットも開かれ、近年、国内企業においても環境に対する意識がめざましく向上してきている。

1980年代前半までの産業排水処理は単なる公害防止装置として位置づけられ、排出基準を達成することのみが重視され、省エネルギーに関しては問題視されていなかった。このことから、従来の有機性排水処理では曝気ブローなどの大きなエ

ネルギーを必要とし、余剰汚泥発生量も多い活性汚泥法および好気性ラグーンが主流とされていた。

その後、オランダのLettinga博士の研究によりUASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 法の排水処理設備が開発され、1980年代後半には実用化されている。UASBは高負荷運転が可能で、エネルギー効率がよく、余剰汚泥発生量が少ないという特長があり、1990年代前半から全世界で適用拡大されてきている。2000年には国内でも高負荷型UASB法とされるEGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 法などを含

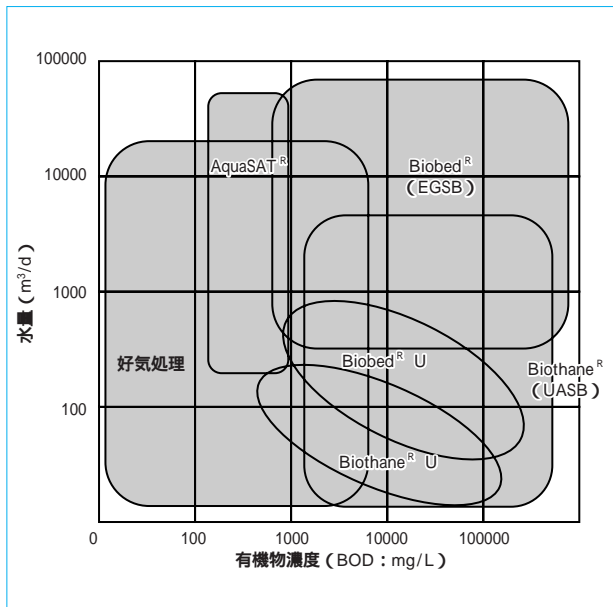


図1 UASB系排水処理システムのセグメント
Segmentation of UASB systems

めると180基以上が稼働していると言われている¹⁾。

住友重機械エンパイロメント株式会社(SHI・EV)はUASB系排水処理システムにおいて多種多様な経験を有し、食品、ビール/飲料、化学および製紙業界ほかに計70基以上の納入実績を誇り、国内主力メーカーとして位置づけられている。

2 UASB系排水処理システム

1980年代、SHI・EVの前身である住友重機械エンパイロテック株式会社は独自でUASBの試験研究を重ねており、1989年にオランダのBSI (Biothane System International社、当時GIST・BROCADES社)とBiothane[®] (UASB)の技術提携を行った。1995年には同社とBiobed[®] (EGSB)の技術提携を行い、数々の試験研究・設計製作・販売を行ってきた。2004年には車上渡し可能なユニット商品Biothane[®]・U (UASBユニット)およびBiobed[®]・U (EGSBユニット)を自社開発し、2006年には、これまで嫌気性処理が適用不可とされていた低濃度有機性排水にも対応できる嫌気性処理設備としてAquaSAT[®]をアサヒビール株式会社と共同開発、実機化した。このほかにも、これら処理に関係するさまざまな周辺装置や周辺機器の開発も行っている。

SHI・EV保有のUASB系排水処理システムのセグメントを、図1に示す。排水BOD^(注1)約200 mg/L～数万mg/L、また排水量 数m³/d～15000 m³/d以上と幅広い濃度および範囲での実績を有し、工場で排出されるさまざまな排水濃度および排水量に合わせ、適性機種を提案可能としている。

SHI・EVのUASB系排水処理システム、近年開発されている周辺設備および周辺機器を次に説明する。

2.1 Biothane[®] (バイオタン[®])

Biothane[®]は、UASB型排水処理装置である。設備の概略を、図2に示す。安定的なメタン発酵を維持するのに、前段に酸生成槽を持つ二相式の嫌気性発酵槽としている。反応槽下部より排水を流入させ、グラニューロ汚泥(直径0.5～3 mm程度の自己造粒汚泥)床にて、排水中の有機物をメタン発酵させて除去し、上部の三相分離装置(セトラ)により、バイ

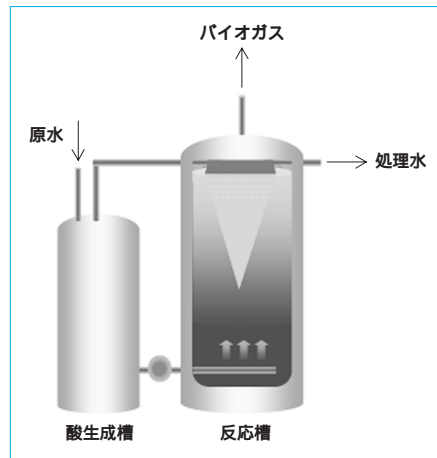


図2 Biothane[®]設備フロー
Diagrammatical view of Biothane[®]

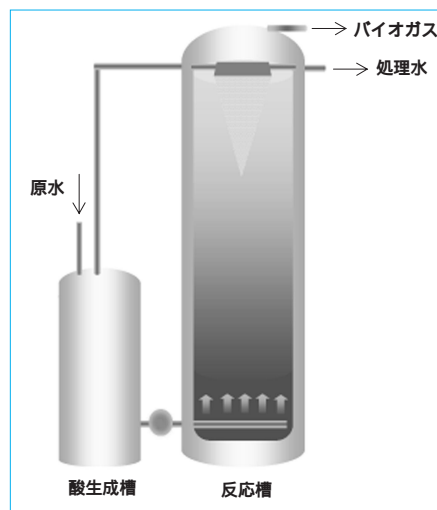


図3 Biobed[®]設備フロー
Diagrammatical view of Biobed[®]

オガス、処理水およびグラニューロを分離する構造としている。COD_{Cr}^(注2)容積負荷 7～15 kg/(m³・d)と活性汚泥法の数倍～十数倍の高負荷運転が可能であり、処理設備は非常にコンパクトとなる。

2.2 Biobed[®] (バイオベット[®])

Biobed[®]は、EGSB型排水処理装置である。Biothane[®]以上の高負荷運転を目的としている。この概略を、図3に示す。この装置はBiothane[®]に対して縦方向に容積を確保し、保持汚泥量を高め、液流速を高く維持できることによりCOD_{Cr}容積負荷10～30 kg/(m³・d)と超高負荷を実現させている。上部セトラへの負荷はUASBよりも高くなることから、セトラは高性能な分離構造としている。

2.3 AquaSAT[®] (アクアサット[®])

AquaSAT[®]はBOD500 mg/L以下の低濃度排水に対応させた装置である。この概略を、図4に示す。パイロット試験ではビール工場のEGSB処理水を対象とし3～9 kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は約85%、飲料工場排水を対象とし3～6 kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は80%以上²⁾、紙パルプ工場(DIP)排水を対象とし負荷8～10 kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は約65～72%、また紙パルプ工場(KP)排水を対象とし負荷10 kg/(m³・d)の負荷でCOD_{Cr}除去率は約86%

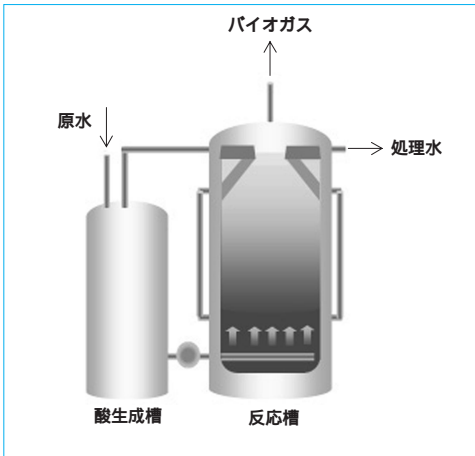


図4 AquaSAT[®]設備フロー Diagrammatical view of AquaSAT[®]

と良好な処理結果が得られている。

2.4 UASB系排水処理システムの特長

図5に好気性処理（活性汚泥）と嫌気性処理（UASB系含む）の比較を示すが、これは100 kgのCODを90%処理した場合の参考エネルギー収支である。好気性処理と比べ嫌気性処理は余剰汚泥発生量が低く、バイオガス中のメタンガスによりエネルギー回収が可能となる。

次にBiobed[®], Biothane[®]および AquaSAT[®]の特長をまとめる。

- (1) 高負荷運転が可能で省スペースである。
 Biobed[®] 10 ~ 30 kg/(m³・d)
 Biothane[®] 7 ~ 15 kg/(m³・d)
 AquaSAT[®] 3 ~ 7.5 kg/(m³・d)
- (2) 曝気動力が不要で省電力を実現している。
- (3) 余剰汚泥発生量が少ない。(活性汚泥の約1/10 ~ 1/6)
- (4) バイオガスよりエネルギー回収が可能である。
- (5) 濃度変動および流量変動に強い。

2.5 SS可溶化装置

SS(注3)の回収、減容およびメタンガス回収システムを構築し、オプションでBiothane[®], Biobed[®]およびAquaSAT[®]システムへ組み込みを可能としている。装置フローを、図6に示す。比較的大規模の排水処理においてはこの設備を採用することにより、大幅な余剰汚泥の削減が見込める。

2.6 汚泥監視カメラ

嫌気性処理の反応槽は基本的に密閉型であり、内部状況の把握が困難である。運転中でもこれを手軽に観察できる水中カメラを独自に開発、製造、販売している(図7)。

このカメラは内部の流動状態の確認ができるよう最適に設計されており、嫌気性および好気性を問わず、反応槽内の流動状態の確認が手軽に可能となった。

3 処理設備運転

3.1 Biobed[®]の処理性能

Biobed[®], Biothane[®]および AquaSAT[®]では、高負荷型であるということが一つのポイントとなる。さまざまな排水に適用するべく、膨大な数の試験を行ってきたが、そのなかでも代表的ともいえるビール排水を対象としたBiobed[®]負

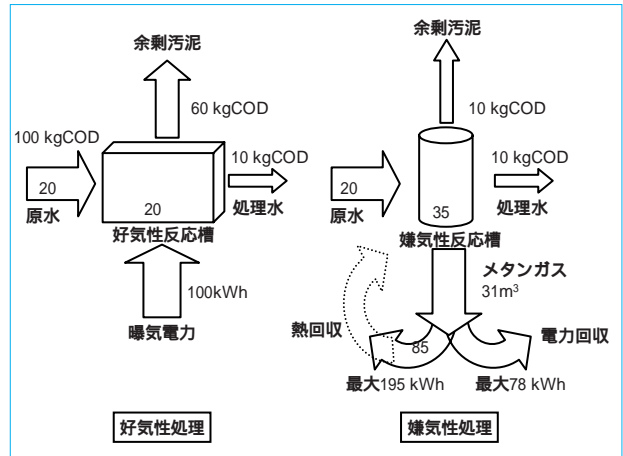


図5 好気性処理と嫌気性処理のエネルギー収支 Energy balance of aerobic and anaerobic treatment

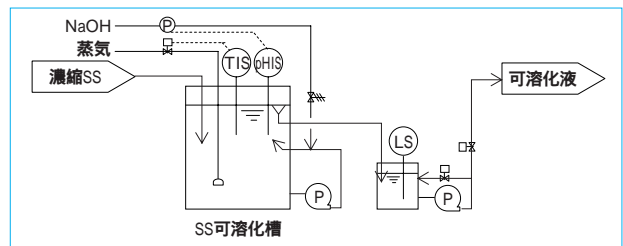


図6 SS可溶化装置フロー Flow diagram of reactor for dissolving SS

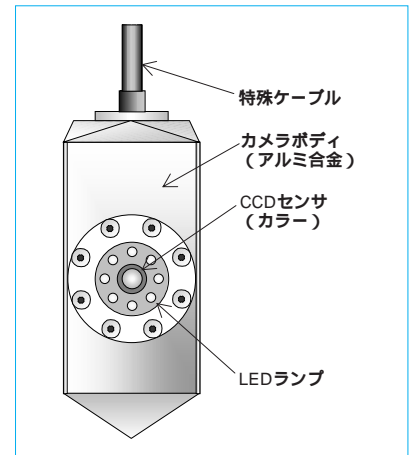


図7 汚泥監視カメラ Sludge camera

荷試験を次に説明する。

3.1.1 試験条件

- (1) 試験開始の負荷を5 kg/(m³・d)とし、40 kg/(m³・d)まで確認を行った。
- (2) 3 ~ 9日ごとに負荷を増加させた。
- (3) 酸生成槽の設定温度は38 °Cとした。
- (4) 酸生成槽の設定pHは約7.0とした。

3.1.2 試験結果

- (1) 負荷試験の結果を、図8および図9に示す。試験での最大負荷は40 kg/(m³・d)であり、COD_{Cr}除去率は約70%、処理水VFA(注4)は約300 mg/Lであった。
- (2) COD_{Cr}除去率85%を超える安定負荷としては25 ~ 30 kg/(m³・d)と判断され、処理水VFAは100 mg/L以下であった³⁾。

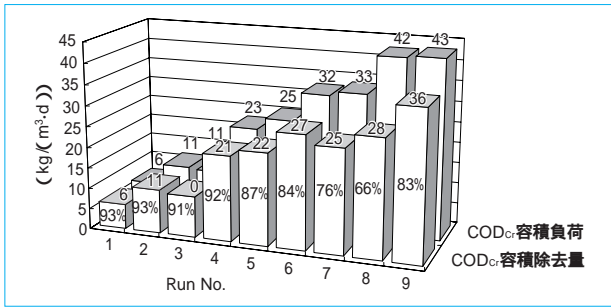


図8 COD_{Cr}容積負荷と除去率
COD_{Cr} loading and removal

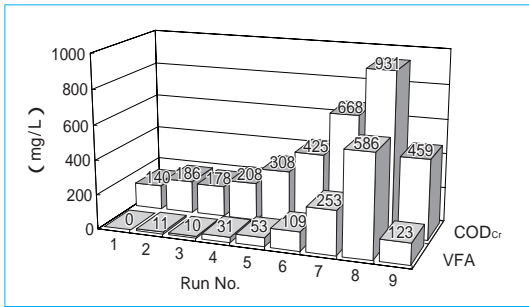


図9 処理水COD_{Cr}とVFA
COD_{Cr} and VFA of effluent

4 その他解析技術

UASB系排水処理システムの高性能化を目的に、種々の解析を行っている。ここでは2例を紹介する。

4.1 シミュレーションによる流動解析

反応槽内部の流動状態およびセトラの性能などを解析するべく、コンピュータシミュレーションによる流れ解析を行っている。AquaSAT[®]の開発などでは低濃度排水条件をインプットし、コンピュータシミュレーションにてセトラ分離状態の確認を行っており、実機でも良好な分離能力を発揮させている(図10)。

4.2 群集解析

排水処理設備の流入水には環境中の雑菌が多く含まれており、生物反応槽は、常にコンタミネーションにさらされた状態となり、反応槽内の微生物は純粋培養とはなり得ない。このことから従来から生物処理はブラックボックス的に取り扱われており、経験値を頼りに設計、運転されている。

近年、微生物の遺伝子解析技術も進歩し、同定に用いられる遺伝子データの蓄積も整ってきた。SHI-EVでは、4種類の遺伝子解析方法を適用し、反応槽内の微生物相の解析を行い、微生物相による実設備運転状態の把握に役立てている。

5 むすび

(1) UASB系排水処理システムは、次の通りである。

- (a) Biobed[®]
中～大型工場向けの超高負荷型である。
- (b) Biothane[®]
中～大型工場向けの高負荷型である。
- (c) AquaSAT[®]
中～大型工場向けの低濃度対応型である。

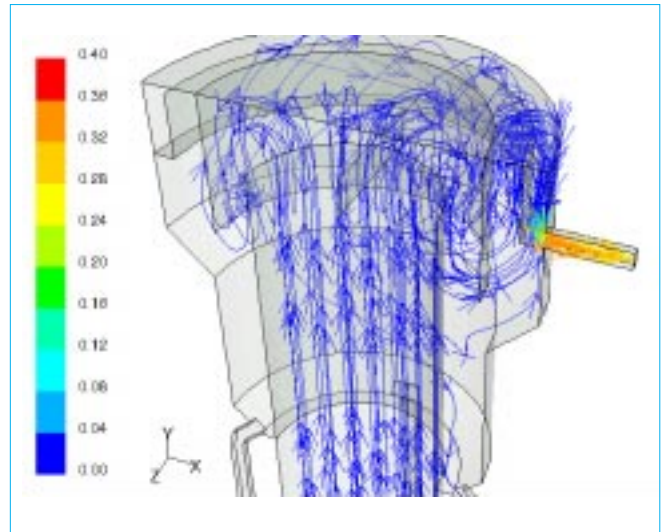


図10 シミュレーションによる流れ解析
Flow simulation

- (d) Biobed[®]・U
小～中型工場向けの超高負荷型である。
- (e) Biothane[®]・U
小～中型工場向けの高負荷型である。

(2) 有機性排水処理において、これらUASB系排水処理システムを用いた場合、大きなCO₂削減効果があり、低ランニングコストかつメタンガスとしてエネルギー回収も可能となる。産業排水処理設備のなかで今後一層注目されるプロセスと思われる。

(参考文献)

- (1) 原田秀樹ほか. 超高速メタン発酵バイオリクターの開発と汚泥菌叢の分子微生物生態解析. 環境バイオテクノロジー学会誌, vol. 4, no. 1, p.19～27, 2004.
- (2) ほか. 低濃度排水への嫌気性処理システムの開発. 第39回日本水処理学会年会, p.339, 2005.
- (3) 栗栖治夫ほか. Application of the BIOBED EGSB Reactor to Brewery Waste Water. 8th International Conference on Anaerobic Digestion, IAWQ, 1997.

- 注1 BODとはBiochemical Oxygen Demand (生物化学的酸素要求量) のことで、生物易分解性の有機物の指標である。
- 注2 COD_{Cr}とはChemical Oxygen Demand (化学的酸素要求量) の分析方法の一つで、重クロム酸カリウムを酸化剤とした酸素要求量である。生物難分解性の有機物も含めた有機物全体を示す指標である。
- 注3 SSとはSuspended Solid (浮遊性物質) のことで、いわば水中で浮遊している細かなゴミを示す。
- 注4 VFAとはVolatile Fatty Acid (揮発性脂肪酸) のことで、酢酸、プロピオン酸、酪酸および吉草酸有機酸などの揮発性有機酸の総量を示す。

高負荷対応のメタン発酵システムの検討

Examination of High-Load Methane Fermentation Systems

三井昌文* 島本敦史**
Masafumi MITSUI Atsushi SHIMAMOTO

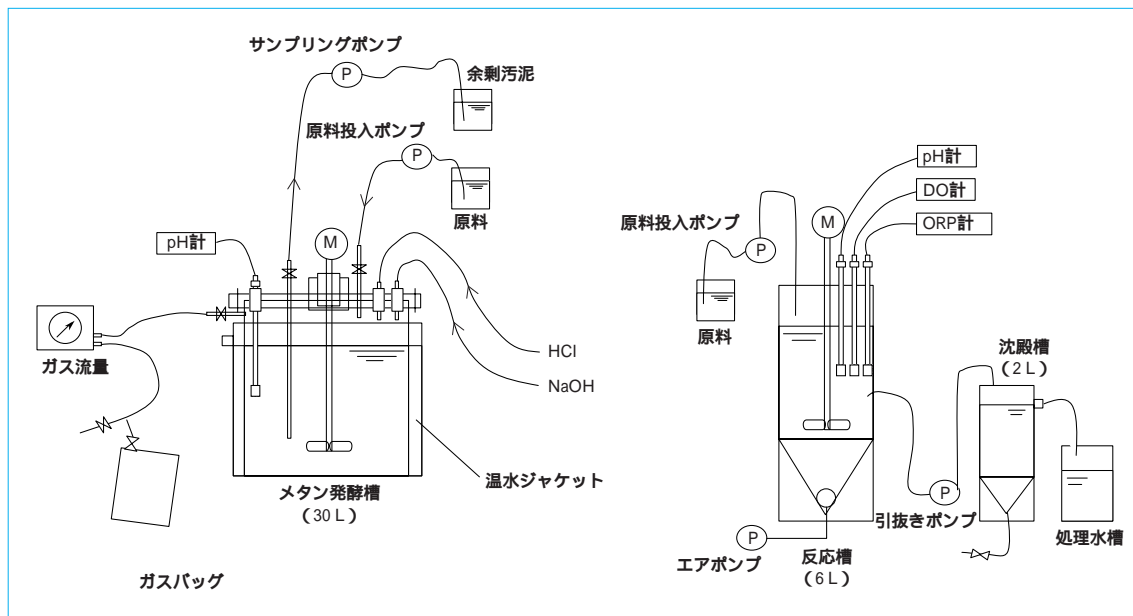


図1 試験装置概要
Device for experiment

地球温暖化防止の観点から、バイオマス活用の推進が重要となっている。バイオマスの代表的な資源化技術であるメタン発酵は、処理対象物の固形物濃度によって、固形物濃度が低い廃液の処理に用いるUASB法およびEGSB法と、固形物濃度が高い有機性廃棄物の処理に用いる完全混合型メタン発酵法がある。従来から用いられている完全混合型メタン発酵法では、UASB法やEGSB法のような高い負荷がとれず、メタン発酵槽が大型になり、建設コストが高い、広い敷地面積が必要であるといった問題がある。

こうした問題に対応するべく、メタン発酵槽内の汚泥濃度を高く維持することにより、メタン発酵槽内の菌体濃度を高く維持し、高負荷運転を可能とすることを目的としてメタン発酵試験を実施した。また、試験結果に基づき、実際の施設を建設した場合について検討した。

From the viewpoint of global warming prevention, it has become important to promote the practical use of biomasses. Methane fermentation, which is a representative technology for recycling biomasses, is classified by the solid concentration of biomass into the UASB and EGSB methods used in treating effluents with low solid concentrations, and the complete mixing methane fermentation used in treating organic wastes with high solid concentrations. The complete mixing methane fermentation, which has been used for many years, involves problems such as the inability to allow high loading achieved with the UASB and EGSB methods, and the need for a large methane fermentation tank, the high construction cost and the large site area. To address these problems, Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd. (SHI-EV) conducted a methane fermentation test with the aim of maintaining the fungus concentration inside the methane fermentation tank to enable high-load operation. Based on the test findings, SHI-EV also studied a case in which an actual facility was constructed.

キーワード：有機性廃棄物，汚泥濃度，メタンガス

1 まえがき

地球温暖化防止の観点から、バイオマス活用の推進が重要となっている。バイオマスはカーボンニュートラルという特性をもっていることから、バイオマスを化石資源由来のエネルギーや製品の代替として資源化することにより、二酸化炭素の発生を抑制できるものである。

バイオマスの代表的な資源化技術であるメタン発酵は、処理対象とする有機性廃棄物の固形物濃度によって、SS(注1)

濃度が1000 mg/L以下の濃度の低い有機性廃棄物の処理に用いられる、UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 法およびEGSB (Expanded Granular Sludge Bed) 法と、UASB法やEGSB法では処理できないISS濃度が高い有機性廃棄物の処理に用いられる完全混合型メタン発酵法がある。

完全混合型メタン発酵法は従来から用いられている方法であるが、UASB法やEGSB法のような高い負荷がとれず、メタン発酵槽が大型になり、建設コストが高い、広い敷地面積が必要であるといった問題がある。こうした問題に対応する

表1 有機性廃棄物性状
Characteristics of organic waste

pH	3.90
TS	92700 mg/L
VS	87300 mg/L
SS	20400 mg/L
T-COD _{Cr}	159000 mg/L
T-BOD	83500 mg/L
T-N	6550 mg/L
T-P	798 mg/L

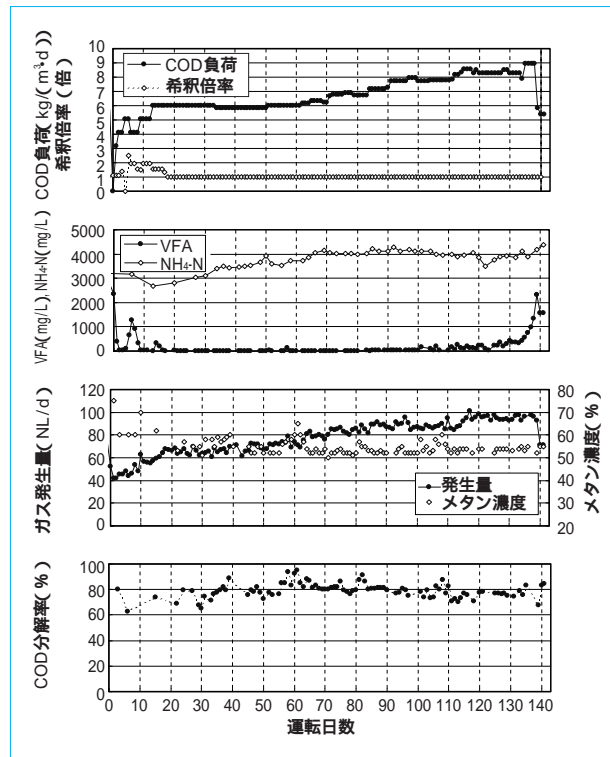


図2 メタン発酵試験運転結果
Results of experiment on methane fermentation

べく、メタン発酵槽内の汚泥濃度を高く維持することにより、メタン発酵槽内の菌体濃度を高く維持し、高負荷運転を可能とすることを目的としてメタン発酵試験を実施した。また、試験結果に基づき、実際の施設を建設した場合について検討した。

2 試験内容

メタン発酵槽内の汚泥を濃縮することにより、汚泥濃度を高く維持した状態で、有機性廃棄物の投入量を段階的に増加させ、メタン発酵槽への最大COD_{Cr} (注2) 負荷の確認試験を実施した。また、窒素分を多く含む有機性廃棄物をメタン発酵した場合、アンモニア阻害が起こる可能性があるが、本試験では高温発酵よりもアンモニア阻害に耐性がある中温発酵を採用し、希釈水を使用せずに負荷の確認を実施した。

また、メタン発酵では窒素は除去できないことから、メタン発酵後の処理水を活性汚泥処理により窒素除去する必要がある。そのことから、本試験のメタン発酵後の処理水を処理対象として、活性汚泥処理試験も同時に実施し、活性汚泥処理における負荷の確認を行った。

2.1 試験対象物質の性状

表1に、処理対象物質として選定した有機性廃棄物の性状を示す。処理対象物質は液状で、前処理を必要とするような夾雑物を含んでいない。

VS/TS (注3) は94%、COD_{Cr}濃度は159000 mg/Lと高く、有機物を多く含んだメタン発酵に適した物質である。またT-N (注4) 濃度は6550 mg/Lと比較的高く、メタン発酵した場合、アンモニアによる阻害が起こる可能性がある。

2.2 試験方法

試験装置概要を、図1に示す。

メタン発酵槽 (容量30 L) は温水ジャケットによる加温により、約37℃で一定に保持した。またHCl, NaOHを添加することによりpHを7.0~7.3でほぼ一定に保持した。

メタン発酵槽から一定量汚泥を引き抜き、遠心分離機で分離し、上澄水は別途タンクに貯留して活性汚泥処理の試験の原水として用い、沈降分離した汚泥の一部を濃縮汚泥としてメタン発酵槽に投入した。濃縮汚泥はメタン発酵槽内の消化汚泥濃度が約50000 mg/Lとなるように投入量を調整した。

メタン発酵槽への有機性廃棄物の投入は、1日に1~2回、COD_{Cr}容積負荷が所定の値となるように行い、メタン発酵槽へのCOD_{Cr}容積負荷を段階的に増加させた。

発生したバイオガスは、ガス積算流量計で測定後、ガスバッグに1日分貯留し、CH₄濃度を測定した。CH₄濃度は、CO₂検知管で毎日1回測定した。

活性汚泥処理装置では、反応槽 (6 L) で間欠曝気により窒素除去し、沈殿槽 (2 L) で固液分離し、上澄水を処理水として性状を測定した。

2.3 メタン発酵試験結果

図2に、運転結果としてCOD_{Cr}容積負荷と希釈倍率、VFA (注5) 濃度とNH₄-N濃度、バイオガス発生量と発生ガス中のCH₄濃度およびCOD_{Cr}分解率の推移を示す。

試験は希釈水を用いることなく安定運転可能であることを確保すべく、いったんCOD_{Cr}容積負荷 6 kg/(m³·d)で約40日間定常運転を行った。その間、NH₄-N濃度は約3000 mg/Lから約3500 mg/Lに緩やかに上昇傾向であったが、アンモニア阻害の影響は見られず、VFAの蓄積傾向はなく、COD_{Cr}分解率も80%前後であり、発酵状態は良好であると考えられることから、段階的に負荷を上昇させた。

COD_{Cr}容積負荷 8 kg/(m³·d)で、再度運転状況の安定性を

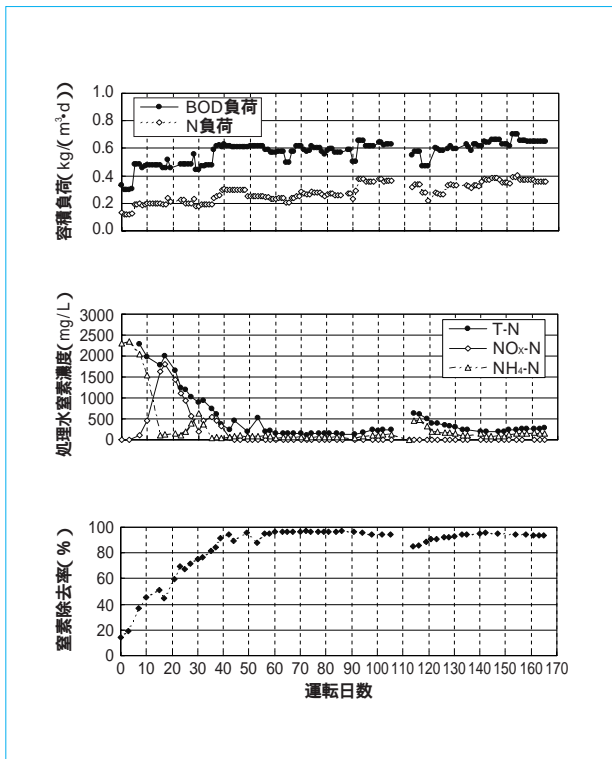


図3 活性汚泥試験運転結果
Results of experiment on activated sludge treatment

確認するべく約20日間定常運転を行った。その間、VFAの蓄積傾向はなく、COD_{Cr}分解率も80%前後であり、発酵状態は良好であると考えられた。NH₄-N濃度は約4000 mg/Lまで上昇して安定しており、アンモニア阻害の影響なく安定して運転が可能であると考えられることから、さらに段階的に負荷を上昇させた。

COD_{Cr}容積負荷8.5 kg/(m³·d)では、若干VFAが検出されたものの、COD_{Cr}分解率も80%前後で発酵状態は良好であると考えられた。さらにCOD_{Cr}容積負荷を9 kg/(m³·d)に増加させたところ、VFAが蓄積したので、限界負荷に達したと判断し、運転を停止した。

以上の結果からメタン発酵槽の最大COD_{Cr}容積負荷は、8.5 kg/(m³·d)以下であることを確認した。またCOD_{Cr}容積負荷が8.5 kg/(m³·d)の期間中のガス発生量は、投入量当たり約80 m³/t、CH₄濃度は平均54%であった。

2.4 活性汚泥試験結果

図3に、運転結果として窒素容積負荷、BOD容積負荷、処理水の窒素濃度および窒素除去率の推移を示す。

運転開始から約70日間は立上げ期間であり、処理を安定させるとともに、窒素容積負荷を約0.25 kg-N/(m³·d)まで上昇させた。立上げ期間後の70~90日に、窒素容積負荷を約0.25~0.28 kg-N/(m³·d)で処理の安定性を確認した。90~105日において窒素容積負荷を約0.36~0.38 kg-N/(m³·d)に上昇させ処理の安定性を確認した。105~114日は試験の都合上いったん処理を停止し、115日より再度立上げを行い、0.35~0.39 kg-N/(m³·d)の窒素容積負荷で運転を確認した。

運転開始から90日目以降、NO_x-N濃度は0 mg/Lであるが、若干処理水にアンモニアが残留したので処理水のT-N濃度が若干高くなった。これは槽内の曝気が不十分であることによ

表2 活性汚泥平均処理水
Results of treated water by
activated sludge treatment

SS	473 mg/L
T-COD _{Cr}	2860 mg/L
F-COD _{Cr}	1890 mg/L
T-COD _{Mn}	1190 mg/L
T-BOD	112 mg/L
T-N	254 mg/L
NH ₄ -N	124 mg/L

り、実際の処理設備において曝気量、曝気時間をコントロールすることで処理が可能であると考えられる。

以上のことを考慮して、0.35~0.39 kg-N/(m³·d)の安定運転時期において、処理水の平均T-N濃度は181~278 mg/Lで、窒素除去率は94~97%と良好な結果が得られた。

活性汚泥処理水の平均性状を、表2に示す。本試験では、沈殿槽での固液分離が不十分であることから、処理水のSSが若干高く、SS由来のT-Nの占める割合が高いが、膜分離装置などで固液分離すれば、SS由来のT-Nを分離することができることから、さらに窒素除去率を高めることができる。

また、処理水のF-COD_{Cr}濃度は1890 mg/Lと高く、着色があることから、活性汚泥処理でも処理することができない難分解性の有機物が残留していることが分かった。それにより、実際の施設を計画する場合、凝集処理などによる難分解性有機物の除去が必要であると考えられた。

3 実施検討結果

以上の結果を基に、試験の対象物質として選定した有機性廃棄物を処理対象物として、実際にバイオガス化施設を建設した場合について検討した。施設の計画処理量は、100 m³/dとした。処理対象物の温度が低い場合、加温により必要なエネルギーが増加するが、今回の評価では、処理対象物の温度が高く、加温することなく中温発酵(約37℃)によるメタン発酵を行うことができるものとした。

放流水性状は、下水道放流が可能レベルまで処理することを想定して、SS:300 mg/L以下、BOD:300 mg/L以下、COD_{Mn}:300 mg/L以下、T-N:150 mg/L以下とした。

施設概略フローを、図4に示す。

原料は原水貯槽で貯留し、定量的にメタン発酵槽に移送する。メタン発酵槽は約37℃で一定に保ち、中温発酵により有機物を分解しバイオガス化する。また、濃縮汚泥槽より汚泥濃縮機で濃縮した汚泥を返送することにより、メタン発酵槽内の汚泥濃度を高濃度に維持する。メタン発酵槽から発生したガスは、いったんガスホルダに貯留し、脱硫塔でバイオガス中に含まれる硫化水素を除去後、蒸気ボイラの燃料として利用する。メタン発酵設備の余剰汚泥および汚泥濃縮機の濃縮分離液は、活性汚泥処理設備の余剰汚泥とともに汚泥貯留槽に貯留し、脱水機で脱水後活性汚泥処理設備に移送する。

活性汚泥処理設備は、低コストおよび省スペース化を図ることを目的として、住友重機械エンパイロメント株式会社独自の高速凝集沈殿槽スミシックナー[®]を採用した活性汚泥処理システムであるスミスラッジ[®]システムを採用するものとした。硝化・脱窒槽で窒素除去後、スミシックナー[®]で凝集

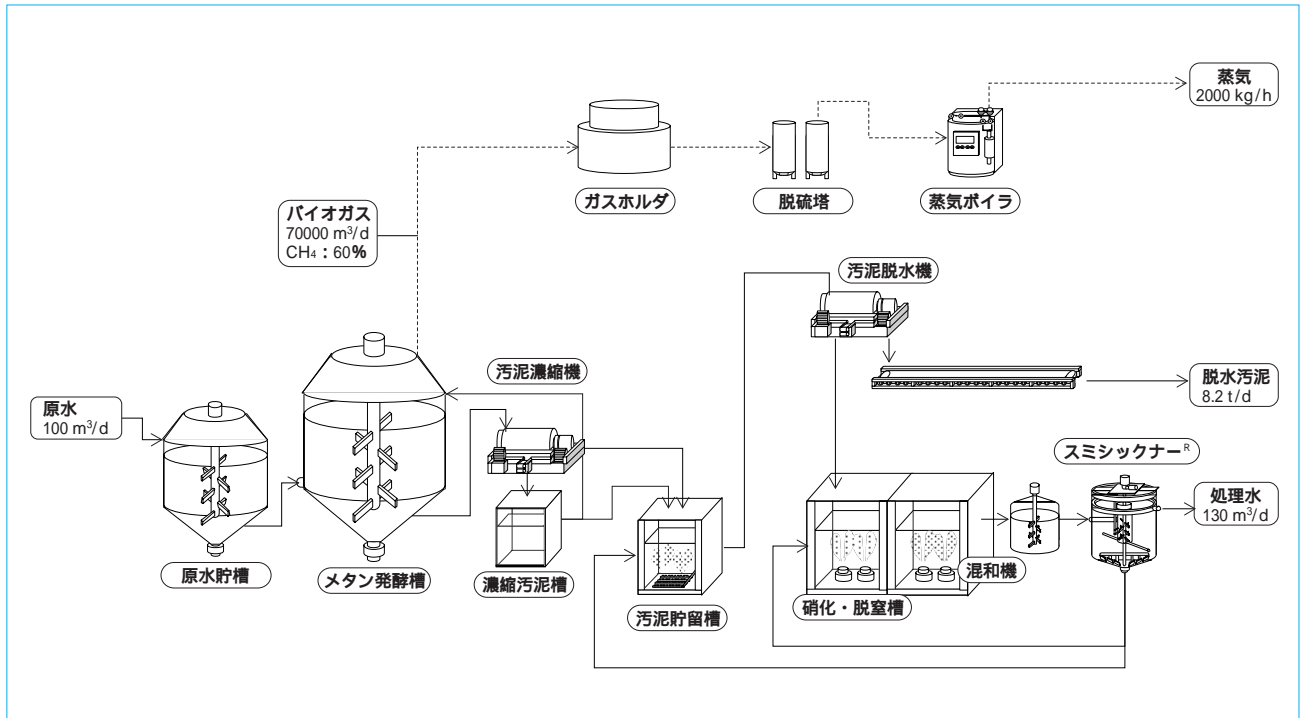


図4 施設概略フロー
Process of feasible facilities

沈殿処理し放流する。スミシクナー[®]から引き抜いた汚泥は、硝化・脱窒槽の汚泥濃度を維持するべく硝化・脱窒槽に返送し、一部を余剰汚泥として汚泥貯留槽に移送する。

原水100 m³/dをメタン発酵設備で処理することにより、バイオガスは70000 m³/d (CH₄濃度 60%)発生する。このバイオガスを蒸気ボイラの燃料として利用することにより2000 kg/hの蒸気を回収できる。本設備で処理することにより排出される処理水は130 m³/dで、脱水汚泥は8.2 t/d (含水率 80%)である。

なおCH₄濃度は、メタン発酵槽への最大COD_{Cr}負荷の確認試験の平均54%よりも若干高い値に設定したが、これは実施設では試験装置よりも消化汚泥中に溶け込むCO₂の量が多くなると考えられることによる。

4 むすび

- (1) メタン発酵試験の結果、メタン発酵槽内の汚泥 (TS) 濃度を約50000 mg/Lまで濃縮することにより、最大荷COD_{Cr}容積負荷を8.5 kg/(m³・d)まで高めることができることを確認した。また、このときのガス発生量は投入量当たり約80 m³/t、CH₄濃度は平均54%であった。
- (2) メタン発酵処理水の活性汚泥試験の結果、窒素負荷0.35~0.39 kg-N/(m³・d)での安定運転を確認し、窒素除去率は94~97%と良好な結果が得られた。
- (3) 100 m³/dの処理規模の実施設を想定して試算を行い、以下の結果を得た。原水100 m³/dをメタン発酵設備で処理することにより、バイオガスは70000 m³/d (CH₄濃度 60%)が発生する。このバイオガスを蒸気ボイラの燃料として利用することにより、2000 kg/hの蒸気を回収できる。本設備で処理することにより排出される処理水は130 m³/dで、脱水汚泥は8.2 t/d (含水率 80%)である。

注1 SSとは浮遊物質、水の中に存在する粒径 2mm以下の固形物の総称である。

注2 CODとは化学的酸素要求量、排水中の被酸化物質、主として有機物によって消費される酸素の量である。二クロム酸カリウムにより酸化して測定する酸素要求量 (COD_{Cr}) と、過マンガン酸カリウムにより酸化して測定する酸素要求量 (COD_{Mn}) などがある。

注3 VSとは強熱減量、汚水の水分を105~110で蒸発乾固した後の残留物をさらに約600で強熱してガス化発散させた物質を言い、主として有機物を表示するもので揮発分とも言う。

TSとは全蒸発残留物、検水を蒸発乾固したときに残留する物質である。

注4 T-Nとは全窒素量である。

注5 VFAとは揮発性脂肪酸である。メタン発酵では、有機物負荷が許容限度以上になると異常発酵を起こし、脂肪酸が蓄積されて処理が悪化する。

メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置

Ultra Fine Bubble Membrane Tube Diffuser

松崎 祐子* 真鍋 教市* 鈴木 茂* 富田 欣*

Yuko MATSUZAKI

Kyoichi MANABE

Shigeru SUZUKI

Yasushi TOMIDA



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(D 2000)

近年、地球温暖化問題への関心の高まりから、電力多消費型の下水処理施設においても、電力消費量およびCO₂発生量の削減が求められている。下水処理施設全体における電力消費量の30~40%は反応タンクの散気により消費されることから、高効率の超微細気泡散気装置が導入され始めている。超微細気泡散気装置とは、細かいスリットの開いたメンブレンから微細気泡を発生させ、高い酸素溶解効率を得るものである。

本報では、高い酸素溶解効率を有し、さまざまな維持管理ニーズにも対応できる新たな超微細気泡散気装置について、酸素溶解効率、攪拌能力および圧力損失特性などを実施設でのデータを踏まえて調査し、その有効性を検証した。

Due to the growing interest in global warming, energy-intensive wastewater treatment plants (WWTPs) have been required to reduce their power consumption and CO₂ emission. Since 30-40% of the total power consumption in the whole WWTPs is derived from the aeration process, efficient diffusers called ultra fine bubble diffusers have been introduced. The ultra fine bubble diffuser is intended to achieve high oxygen transfer efficiency by generating fine bubbles from a membrane with fine perforation slits. This paper illustrates the availability of new ultra fine bubble membrane tube diffuser which corresponds with the various maintenance needs, by examining its oxygen transfer efficiency, mixing ability and pressure loss in the actual WWTP.

キーワード：下水処理，活性汚泥，酸素溶解

1 まえがき

近年、地球温暖化は、人類が早急に対処すべき最も重要な環境問題になっている。京都議定書では2010年末までに1990年ベースで6%の温室効果ガス(CO₂など)発生量の削減が義務付けられており、さまざまな取組みが推進されている。

一方、下水処理施設は、生活排水や工場排水などの汚水を浄化することにより、生活環境や公共用水域水質を保全する重要な役割を果たすが、汚水1m³当たり平均0.45kWh、我

が国の下水道施設全体で年間約70億kWhの電力を消費している。これは100万kW級大型発電所の年間発電量に相当する膨大なエネルギーが下水処理施設で消費されていることになり、下水道は日本の総電力消費量の約0.7%を占める電力多消費型事業といえる。

下水処理プロセスでは、反応タンクという水槽で微生物(活性汚泥)を水中の酸素により活性化させ、汚水中の有機物などを処理する。この活性汚泥により消費される水中の酸素を供給し、活性汚泥を水槽内で均一に攪拌するには、多量

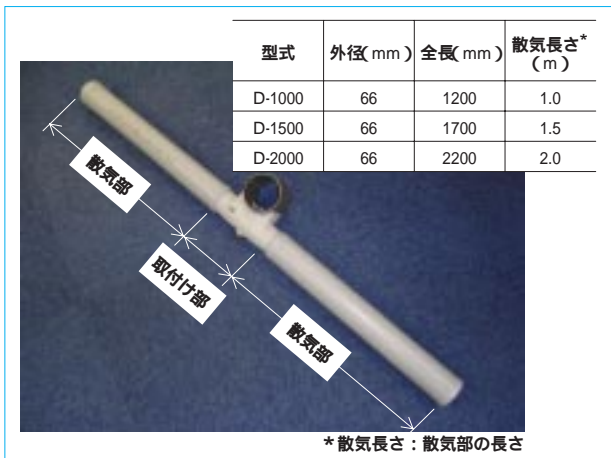


図1 散気装置
Diffuser

の空気を散気する必要がある。散気システムは、送風機と汚水中で気泡を散気する散気装置から構成されるが、送風機の電力消費量が下水処理施設全体の30～40%を占めていることから、この散気に要する電力消費量を削減することが大きな課題となっている。

以上のような背景から、従来の多孔質セラミック製散気板・散気筒に代わって、汚水中に噴き出す気泡を超微細化し、水中への酸素溶解効率を高めた超微細気泡散気装置が導入され始めている。酸素溶解効率が高くなれば、必要空気供給量の低減、さらには送風機の動力負荷の低減につながり、電力消費量（CO₂発生量）を削減することができる。

現在主流となっているのは、パネル形状のポリウレタンゴム製メンブレン（散気膜）から散気する、メンブレンパネル式超微細気泡散気装置¹⁾と呼ばれるものである。

本報では、パネル式と同等の高い性能を有しつつ、さまざまな設計ニーズや維持管理ニーズに対応できる新たな特長を有する、メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置『ミクラス^R』の下水への適用について報告する。

2 装置の概要

2.1 メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置の概要

メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置の外観・仕様を図1に、その構造・材質を図2に示す。本散気装置は、ポリプロピレン製のパイプ型本体、シリコンゴム製のチューブ型メンブレン、本体固定金具およびメンブレン固定バンドなどの構成部品が一体化した構造である。

材質・構造的特長を次に示す。

2.1.1 メンブレン

耐熱性（140以下）・耐油性の高いシリコンゴムを採用しており、ポリウレタンゴムやEPDMゴムなどでは問題になりやすい高温空気や腐食性の高い下水（工場排水や温泉排水などを含む）へも適用が可能である。メンブレンの表面は滑らかで生物スライムが付着しにくく、目詰まりを抑制する効果がある。また、メンブレンをパイプ型本体に差し込み、両端をバンドで固定するシンプルな構造で、メンブレンのみの交換が可能である。側面にのみ発泡用スリットを多数有し、散気停止時にも污泥がスリット面に堆積しないことから、メンブレンパネル式に比べてスリットの目詰まりリスクを低減

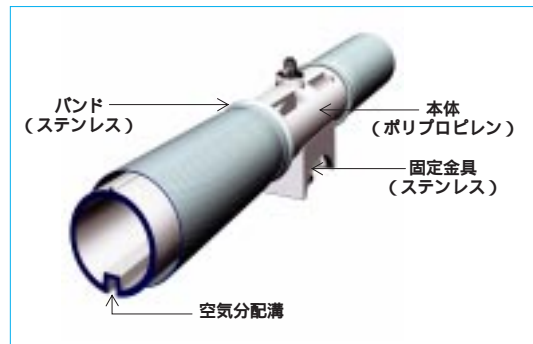


図2 散気装置の構造と材質
Configuration and materials of diffuser

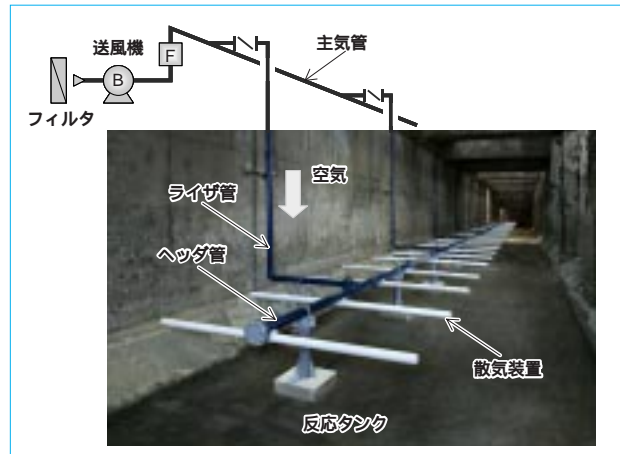


図3 散気システム構成例
Composition of aeration system

できる。

2.1.2 パイプ型本体

円筒中空構造の本体は、散気時の浮力が中実構造に比べて約1/5になり、振動を抑制できる。空気ヘッダ管への取り付け部は、穴を開けたヘッダ管にボルト付きの本体固定金具を直接差し込み、トルクレンチで締め込むだけのユニークな構造である。それによって、メンブレンパネル式に必要なヘッダ管との継手や散気装置用架台などが不要となる。

2.1.3 ラインナップ

反応タンクの形状に合わせて効率的な配置設計ができるように、3種類のラインナップがある。

本装置の散気原理を次に示す。

(1) 散気時

ヘッダ管からの空気は空気分配溝を通して散気装置先端まで供給される。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。

(2) 散気停止時

メンブレンの収縮と水圧によりスリットは閉じて本体に密着し、止水性の高いスリット構造によってメンブレン内への汚水浸入を防止する。

2.2 散気システムへの適用

本散気装置を組み込んだ散気システムは、散気装置を反応タンク底部全面に設置した全面エアレーション式や、底部片側のみを設置し散気により旋回流を発生させて攪拌する旋回流式に適用できる。図3に、旋回流式の全体構成例を示す。



図4 散気装置吊上げシステム
Diffuser-hoisting system

フィルタを通して送風機により吸引された清浄な空気は、主気管および反応タンク内ライザ管を経て池底部近くのヘッダ管へと分散され、ヘッダ管に配列された本散気装置から超微細気泡として散気される。その気泡の上昇によって酸素が水中に高効率で溶解され、同時に反応タンク内の攪拌が行われる。

2.3 運転方法

基本的な運転方法は従来の散気装置と同様であるが、装置当たりの通気量を幅広く制御でき、通気停止時でも目詰まりが生じにくいことから、標準活性汚泥運転はもちろん、擬似嫌気好気運転、高度処理運転および硝化促進運転など、目的や流入水質に合った運転に対応できる。運転時に用いることを推奨する標準通気量範囲は、膜長さ当たりの風量として $2.1 \sim 6.4 \text{ Sm}^3/\text{m/h}$ (注) である。

3 特長

本散気装置を用いたシステムには、高い性能に加え、維持管理性がよいという特長がある。取付けおよびメンブレンの交換が容易なことや、耐熱性・耐油性に優れたシリコン製メンブレンを採用したことで、これまでのメンブレンパネル式散気装置に比べ大幅に維持管理性が向上した。

また装置が軽量であることから、反応タンクの形状が適用条件を満たせば、吊上げ機構との組み合わせが可能である。点検・交換が必要な場合でも、簡単な作業で散気装置をスラブ上まで吊上げることで、運転を継続したまま、水抜きをせずに行うことが可能となる(図4)。

4 性能

散気システムに求められる基本的な性能として、次の点を満足する散気装置を目標とした。

表1 酸素溶解効率試験条件

Measurement conditions of oxygen transfer efficiency

エアレーション方式	全面エアレーション式	旋回流式
試験水槽	型式 角型水槽 寸法 $6.0 \text{ (W)} \times 6.0 \text{ (L)} \times 5.5 \text{ (D)} \text{ m}$	
散気装置	寸法 $66 \times 2200 \text{ mm (D-2000)}$	
	散気長さ 2 m/本 発泡面積 $0.30 \text{ m}^2/\text{本}$	
散気装置本数	20本	10本
占有面積比 (=散気装置投影面積/池面積)	8.0 %	4.0 %
散気水深	5 m	
設定通気量	(散気長さ当たり) $2.1 \sim 6.4 \text{ Sm}^3/\text{m/h}$ (投影面積当たり) $31.8 \sim 97.0 \text{ Sm}^3/\text{m/h}$	

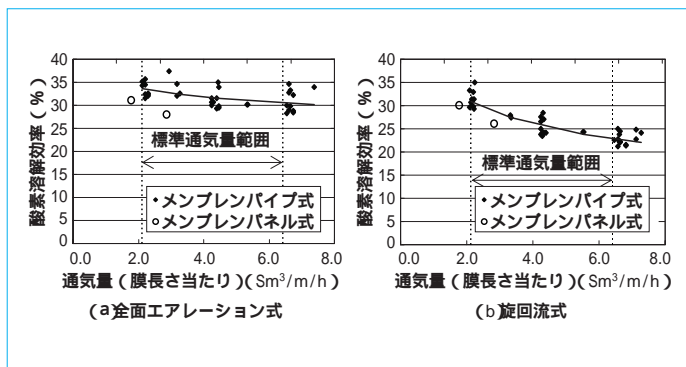


図5 酸素溶解効率測定結果

Measurements of oxygen transfer efficiency in freshwater

- (1) 酸素溶解効率 メンブレンパネル式¹⁾と同等である。
- (2) 攪拌能力 反応タンク底部流速 0.1 m/s 以上を確保する。
- (3) 圧力損失 初期圧損が低く、長期的に目詰まりしにくい。

4.1 酸素溶解効率

全面エアレーション式および旋回流式の二つの散気方式において試験水槽での清水試験を行い、酸素溶解効率を非常法²⁾により測定した。その試験設備および試験の条件を、表1に示す。

図5に、酸素溶解効率の測定結果を示す。全面エアレーション式において平均 $31 \sim 33 \%$ 、旋回流式において平均 $22 \sim 31 \%$ となり、メンブレンパネル式と同等、かつセラミック散気板(全面エアレーション式で $20 \sim 32 \%$ 、旋回流式で $14 \sim 16 \%$)³⁾ に比べ非常に高い効率が得られた。このときの気泡径を発泡面から 300 mm 上方で測定した結果、散気板の約 3 mm に対し約 1.2 mm と微細な気泡であった。

既設としてセラミック散気板が稼働していた国内下水処理場に本散気装置を導入し、導入前後の空気倍率を調査した結果を、図6に示す。空気倍率とは、生物による処理の際に、汚水 1 m^3 当たり吹き込む空気量を指す。

既設散気板を使用している期間に約 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、 30% の空気量削減効果が得られた。

4.2 攪拌能力

酸素溶解効率が高くなると、空気量を削減できる一方、反応タンク内の攪拌効果が低下するおそれがある。攪拌能力を確認するべく、実設備において標準通気量範囲内の最低通気

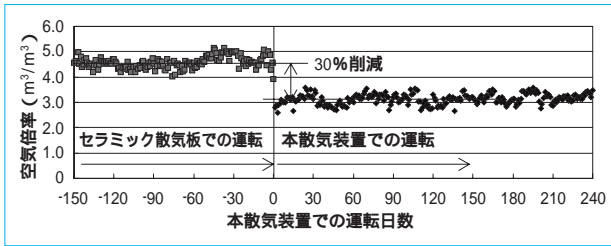


図6 実施における空気倍率の変化
Change in air/wastewater ratio by installation of ultra fine bubble membrane tube

量 (2.1 Sm³/m/h) 付近で運転し、反応タンク内の流速分布を測定した。

図7に、流速分布を示す。散気装置を底部から1.5 mの高さに設置した旋回流式の反応タンクであったが、底部においても活性汚泥が堆積しないとされる流速0.1 m/sを確保しており、十分な攪拌効果が得られていることが示された。

4.3 圧力損失特性

活性汚泥の付着などによりメンブレンのスリットが目詰まりすると、メンブレンの圧力損失が上昇する。圧力損失が送風機の吐出圧を上回ると運転ができず、装置の交換が必要となる。それ故に、メンブレンの圧力損失は目詰まりや装置寿命の指標となる。

本装置を導入した国内下水処理場のなかでも、水温が高く、腐食性の下水を処理している処理場で、本装置の圧力損失を4年間調査した。図8に、経年変化を示す。ここで示されている圧力損失には、メンブレンだけでなくそのライザ管や元弁の圧力損失も含まれる。さらに、約1年および4年運転後に散気装置を引き上げ、酸素溶解効率およびメンブレンの物性を調査した結果も同時に示す。

圧力損失は運転開始6ヶ月目程度までは緩やかに上昇する傾向を示すものの、それ以降は安定的に一定の範囲内に維持された。また、長期の運転でも、メンブレンの強度および装置の酸素溶解効率は安定的に初期の特性を維持していることが分かった。

他の実績でも同様の特性を示しており、本装置は目詰まりによる圧力損失の上昇は少なく、長期間交換なしで運転できると考えられた。

5 むすび

- (1) 超微細気泡により、全面エアレーション式において平均31~33%、旋回流式において平均22~31% (標準通気量範囲、散気水深5 m、清水) と高い酸素溶解効率が得られた。酸素の供給に必要な空気量を削減でき、電力削減効果が期待できる。
- (2) 反応槽内の活性汚泥混合液を十分攪拌可能である。
- (3) 目詰まりによる圧力損失の上昇が少なく、安定した運転が可能である。
- (4) チューブ型シリコン製メンブレンを採用し、従来のメンブレンパネル式超微細気泡散気装置に比べて、大幅に維持管理性、据付け性および高温・腐食性下水への適用性が向上した。

本装置は現在までに国内下水処理場で7件(農業集落排水処理設備を含む)の実績があり、順調に稼働中である。ま

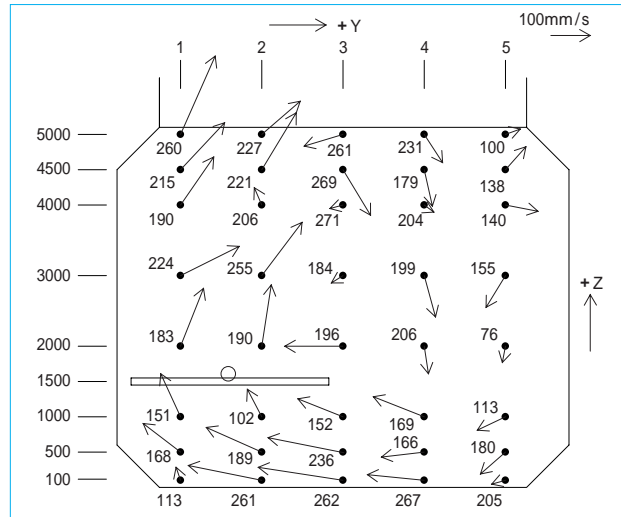


図7 反応タンク断面の流速分布
Velocity profile of aeration tank section

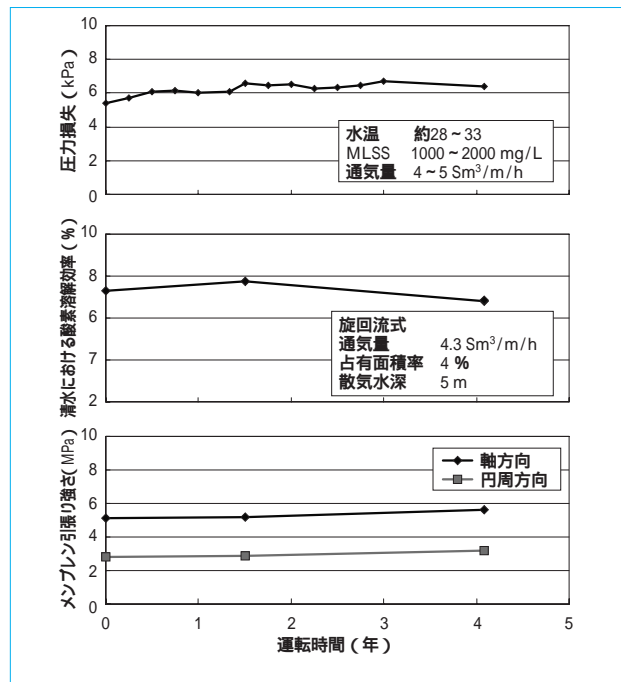


図8 圧力損失、酸素溶解効率および引張り強さの経年変化
5-years trend in pressure loss, oxygen transfer efficiency and tensile strength of membrane

た、2008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⁾。今後は、地球温暖化防止対策に貢献しうる本装置の拡販に注力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. p.4~30, 2004.
- (2) 社団法人日本下水道協会. 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2001年度版. p.93~96, 2001.
- (3) 社団法人日本下水道協会. 下水道試験方法 上巻 1997年版. p.275~276, 1997.
- (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. 2007.

注 Sm³: 標準状態(温度20℃, 絶対圧101.3 kPa, 相対湿度65%)の空気量

噴射式揚砂機 スミジェッターの最適化

Optimization of Jet Pump Sumi Jetter

柄澤 俊康*

Toshiyasu KARASAWA



実証試験設備
Proof facilities

噴射式揚砂機スミジェッターは、下水道の沈砂池設備において中核を成す機種である。

従来型スミジェッターは、効率を高めることを目標として開発されたが、揚砂に必要な圧力水量を多く必要とするという問題があった。本開発では、その問題を解決すべく、圧力水量削減を目標とした。スミジェッターの各構成要素を分析した結果、これまでそれほど重要視してこなかったノズルの形状に着目し、性能に与える影響を調査した。ノズル形状最適化に、流体シミュレーション技術を活用し、多様な代替案・改善案を検討した。

その結果、ノズル内部角度、ノズル長さおよびノズル径の最適化を図ることができた。シミュレーション結果をもとにノズルを作成し、実証設備にて圧力水使用量を削減できることを確認した。

The jet pump "Sumi Jetter" described in this report is a new model that serves as the core of grit chamber facilities for sewers. The previous Sumi Jetter model was developed in order to increase efficiency, but it was disadvantageous in that a large amount of pressurized water was required to lift sand. In developing the new model, Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd. (SHI-EV) aimed at reducing the amount of pressurized water in order to solve this problem. After analyzing the Sumi Jetter components, SHI-EV focused attention on the shape of the nozzle, and investigated how it affected the performance of the pump. To optimize the nozzle shape, the simulation technique was utilized to examine various alternatives and improvements. As a result, SHI-EV have been able to optimize the inner angle, length and diameter of the nozzle. Based on the simulation, a new nozzle was produced, that reduced the consumption of pressurized water in a demonstration facility.

キーワード：下水処理，沈砂池設備，流体シミュレーション

1 まえがき

下水処理施設における沈砂池設備は、その後の下水処理プロセスを円滑にさせるとともにポンプや処理施設の摩耗や閉塞を防ぐべく、下水処理プロセスの前処理として汚水中の砂分や夾雑物などを除去する役割を担っている。雨天時には雨水が沈砂池に流入し、雨水処理後に直接放流される場合が多く、放流水域の汚染や土砂の堆積防止にも沈砂池が重要な役割を担っている。

沈砂池では、汚水中砂分は沈砂池にて流速を低下させて沈降分離され、池底に沈殿する。その沈殿した砂（沈砂）は池上まで揚げて沈砂貯留ホッパまで搬送される。その搬送には、池底の沈砂を集砂してかき揚げるバケット式沈砂かき揚げ機、沈砂を搬送する水平コンベヤやフライトコンベヤおよびスキップホイストなどを組み合わせて、貯留ホッパまで搬送するシステムがこれまで主に採用されてきた。しかし、機器の過密化、悪臭の発生、機器の腐食および維持管理作業の動線の複雑化などが起因して、作業環境の悪化および臭気問題

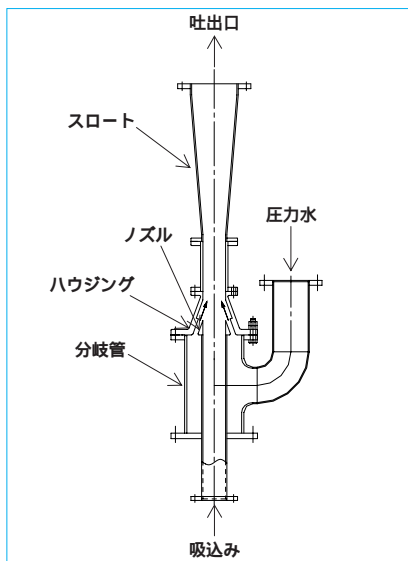


図1 スミジェッターの内部構造
Inner section of Sumi Jetter

など、維持管理上の問題が顕在化している。

そこで、作業環境や悪臭などの問題が解消できる方法として、噴射式揚砂機の導入、改築更新が増加している。噴射式揚砂機は、加圧水をノズルから高速噴流することにより負圧でスラリー化した砂を吸い込み揚砂するシステムである。沈砂をクローズド配管で移送できることから、機械式搬送設備が省略でき、機器レイアウトがフレキシブルになり、作業環境や悪臭が改善される。維持管理が容易な設備として、近年多く採用されているシステムである。住友重機械エンパイロメント株式会社では、揚泥作業船で用いられていたマルチノズル式のエジェクタを応用した噴射式揚砂機『スミジェッター』を商品化している。沈砂池設備の更新改修ニーズに大きく貢献し、多くの実績を有している。沈砂池設備更新では、噴射式揚砂機の高揚程化、高揚砂化および圧力水使用量削減などのニーズが高まりつつある。

本報では、圧力水使用量削減に対応する目的で、流体シミュレーション解析技術を利用してその最適化を図った開発事例について述べる。

2 スミジェッターの仕組み

2.1 構造および機能

図1に、スミジェッターの構造を示す。

各構成部品およびその機能を次に示す。

2.1.1 ノズル部

圧力水をハウジング部に所定の角度で高速噴流として噴出する噴射口である。

2.1.2 ハウジング部

圧力水がノズルから高速噴射した後、噴射流を所定の角度で誘導し絞り込んで、負圧吸引力を揚砂管内に効率的に生成させる誘導漸縮部である。

2.1.3 分岐管

圧力水ポンプからの圧力水を、二つのノズルに分散供給する滞留部である。

2.1.4 スロート部

ノズルからの高速噴流と吸込み管から吸引される沈砂スラ

表1 各構成要素と検証内容
Inspection items of components

No.	構成要素	検証内容
1	ハウジング	ノズル設置角度
2	スロート	スロート内部角
3	ノズル	ノズル数
		ノズル径

リーが合流し、高い流速・圧力損失となるが、それを軽減させる漸拡部である。

2.2 スミジェッターの揚砂原理

加圧水ポンプから供給される圧力水がノズルから高速噴流によりハウジング部が負圧となり、吸込み管よりスラリー化した沈砂が揚砂される。沈砂はスロート部で噴流と混合され、漸拡部で圧力、速度を減らし、所定の揚程まで揚砂される。

2.3 スミジェッターの特長

2.3.1 粗大夾雑物の搬送が可能

吸込み口から吐出口まで管内に突起物がないので、粗大夾雑物で閉塞することなく搬送することが可能である。

2.3.2 搬送機器が不要

吸込まれた沈砂はクローズド配管内で搬送されるので、搬送機器が不要である。

2.3.3 沈砂洗浄効果の期待

吸込まれた沈砂は高速噴流により攪拌されることから、管内搬送中に洗浄効果が期待できる。

2.3.4 駆動水は原水が使用可能

高速噴流を生み出すノズル口径が20 mm以上あることから、駆動水はポンプ井水をストレーナ処理して使用可能である。

2.3.5 保守点検が容易

構造が簡単なので故障がほとんどなく、また、搬送は配管で行うことから、保守点検は駆動水ポンプのみで容易である。

3 噴射式ポンプの改善

3.1 改善要素決定

スミジェッターにて要求される揚水量および揚程などの仕様を満足させるには、各構成要素の最適化を図っていく必要がある。これまでの実験で、表1に示すような構成部品の仕様の最適化を図ってきた結果、目標値としていた揚程20 m以上で揚水量 $1 \text{ m}^3/\text{min}$ を達成することができた。しかし、ジェットポンプ式揚砂機の稼働状況から、ポンプ場などでは限られた用水をうまく使用しないと、ジェットポンプの運転に支障が出るという課題などが指摘されている。そこで、加圧水ポンプの加圧水量を現状より削減できるジェットポンプ構造を検討する必要がある。今回、構成要素のうちノズル形状の効率化による加圧水量削減効果を検証したので報告する。

4 流体シミュレーションによる検証

ノズル特性がジェットポンプ性能に与える影響を、流体シミュレーション技術を活用して調査した。問題解決のフローを、図2に示す。

4.1 流体シミュレーションの活用

流体シミュレーションではノズル形状の変更は比較的容易にできることから、繰返し作業によるノズル形状の最適化を

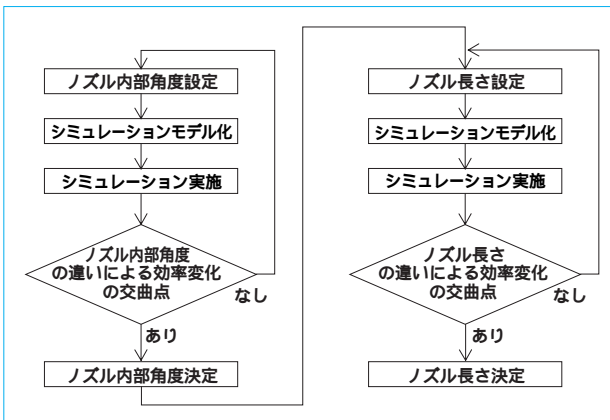


図2 問題解決のフロー
Problem solving flow

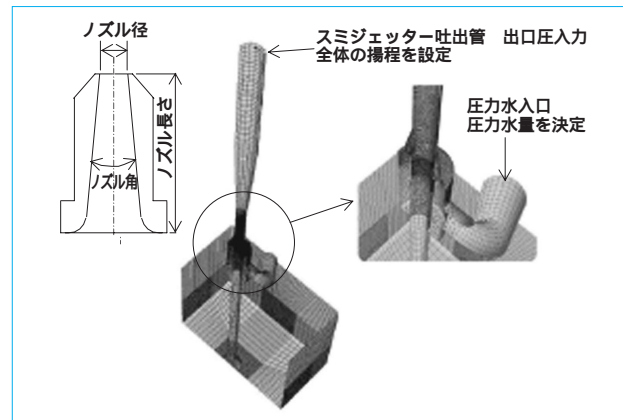


図3 シミュレーションモデル
Simulation model

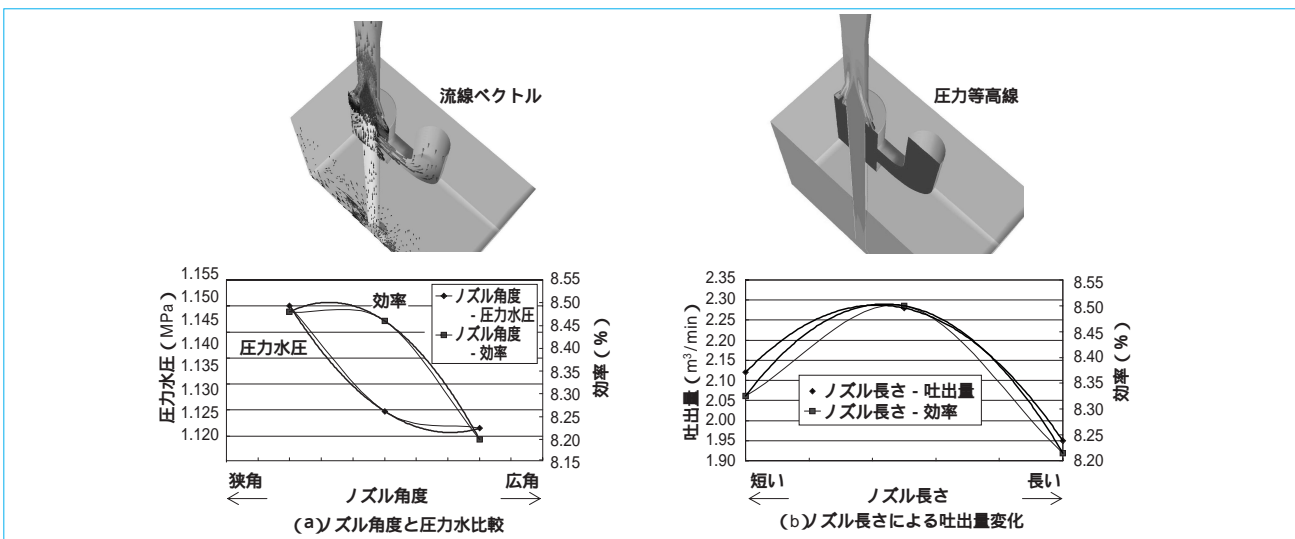


図4 シミュレーション結果
Results of simulation

迅速に行うことができる。また、ノズルの製作、交換およびテストなど、実験にかかる費用を大幅に削減することが可能であることから、作業迅速化および費用削減が可能となる。なお、流体シミュレーションにて導かれた結果と実測には、ズレを生じることが知られているが、パラメータ変更による性能変化の傾向は変わらないことから、流体シミュレーション上で結果の良いノズルにて実証試験を行うこととした。

4.2 シミュレーション方法

ノズルの大きなファクタであるノズル口径、ノズル内部角およびノズル長さのパラメータを変更しシミュレーションを行った。ソフトは、アンシス社製のフルーエントVer.6.3を使用した。

図3に、シミュレーションに使用した3Dモデルを示す。本モデルは対称系(シンメトリー)であり、シミュレーション高速化を図るべく対称面で分割し、半分のモデルにて実施した。シミュレーション物理モデルは3次元、定常流および乱流(標準k-εモデル)とした。圧力水の水量および吐出口にかかる圧力(スミジェッターの揚程)を変化させ、各ノズルにおける性能曲線を求めた。

また、各要素変更による性能比較にジェットポンプ全体の効率を算出した。ジェットポンプの効率は以下のように求められる¹⁾。

圧力水量および吐出流量をそれぞれ(Qn),(Qd)とすると、吸込流量(Qs)と(Qn)の流量比(M)は、

$$M = (Qd - Qn) / Qn = Qs / Qn$$

また、圧力比(N)は、

$$N = (Pd - Ps) / (Pn - Pd)$$

ここでPは全圧を示し例えば(Pd)は、

$$Pd = P_d + \rho v^2 / 2$$

効率(η)は、

$$\eta = M \cdot N$$

図4に、ノズル角度と圧力水比較のグラフおよびノズル長さによる吐出量変化を示す。

4.2.1 ノズル内部角

ノズル内部角について、角度を3種類設定しシミュレーションにより評価した。圧力水量一定の条件でシミュレーションしていることから、圧力水圧が小さいと圧力水ポンプ動力が小さいことを意味する。また、効率はジェットポンプ全体の効率を示す。以上より、圧力水圧が小さく、ジェットポンプの効率が高いノズル内部角を選定した(図4(a))。

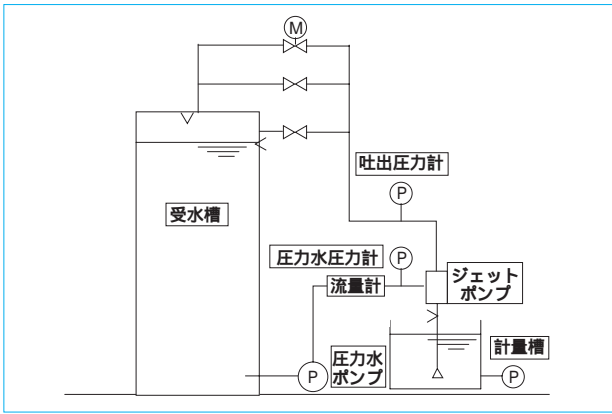


図5 実証試験装置
Flow of proof facilities

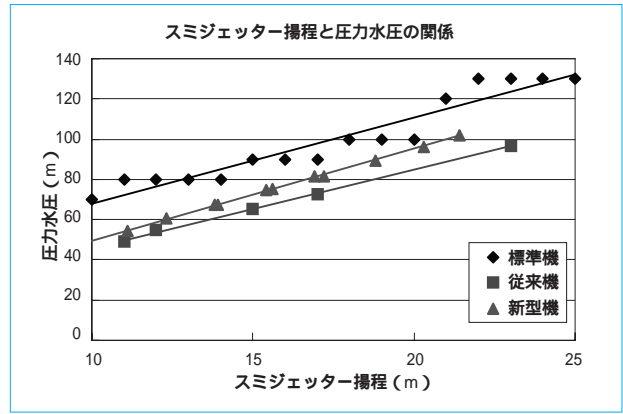


図7 圧力水圧特性
Results of pressurized water head

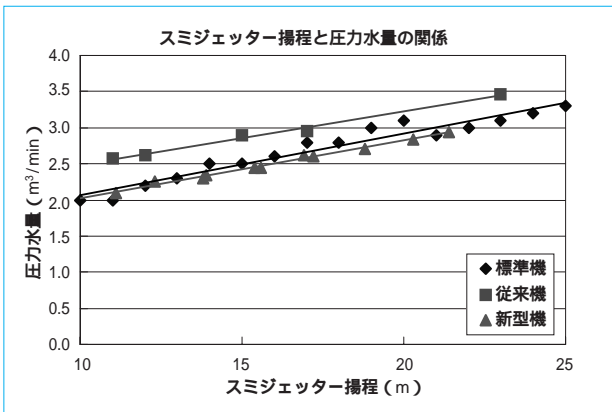


図6 圧力水量特性
Results of pressurized water flow rate

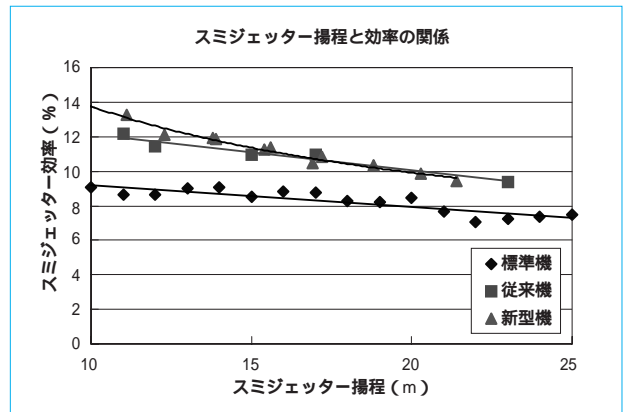


図8 スミジェッター効率特性
Results of Sumi Jetter efficiency

4.2.2 ノズル長さ

ノズル長さは、前述ノズル角度で選定した内部角を持つ短中、長の三つのノズルについてシミュレーションにより評価した。ノズルの取付け位置はノズル出口先端位置を合わせて配置した。シミュレーションはスミジェッターの揚程を一定としており、吐出量が多いと性能が良いジェットポンプと判断できる。そのことから、ノズル長さに対する吐出量と効率のピークがほぼ一致しており、その点のノズル長さを本ジェットポンプにおける最適長さとした(図4(b))。

ノズル径は圧力水のユーザ要求水量と従来型で必要な水量を比較し、Borda-Carnotの式²⁾などを用い、口径を導き出した。

5 実機性能試験結果

シミュレーション結果により導き出されたノズルを製作し、実機性能試験を行った。実証試験設備の概要を、図5に示す。

スミジェッターの吸込み水量と揚程ごとの圧力水の仕様を得るべく、シミュレーションと同様に圧力水量とスミジェッターの揚程を変化させ実験を行った。圧力水量はインバータにて回転数を変化させ調整し、スミジェッターの揚程は吐出管出口のバルブ開度を調整して変化させた。決められた揚砂量 - 揚程における圧力水の仕様を得るべく、変化させた圧力水ポンプの仕様ごとに、決められた揚砂量前後の揚砂量 - 揚程を測定した。揚砂量 - 揚程は1次式で近似されることから、設定した圧力水での揚砂量における揚程を算出し、スミ

ジェッターの揚砂量 - 揚程に必要な圧力水仕様を得た。結果を、図6、図7および図8に示す。

スミジェッター揚程と圧力水量のグラフ図6より、圧力水の使用量は従来機に比べ最大15%削減され、改善の目的は達成された。スミジェッター揚程と圧力水圧のグラフ図7より、圧力水圧は従来機に比べ高くなった。しかし、スミジェッター揚程と効率のグラフ図8より、従来機と比較し同程度の効率となっており、低揚程においては効率が向上した。また、標準機との比較では2%程度、効率が高いことが分かる。

6 むすび

- (1) 噴射式揚砂機スミジェッターのノズル開発について流体シミュレーションを行った。
- (2) シミュレーション結果を参考に実証試験を行い、圧力水使用量を最大15%削減できることを確認した。

(参考文献)

- (1) 社河内敏彦. 噴流工学 - 基礎と応用 -. 森北出版, p.182, 2004.
- (2) 水理公式集昭和60年版. 土木学会, p.395.

下水汚泥脱水機用スクリーブレスの開発

Development of Screw Press for Sewage Sludge Dehydrator

柄澤 俊康*

Toshiyasu KARASAWA



実証機
Dehydrator for on-site test

我が国では、下水汚泥の減容化に脱水処理を行っている。従来、フィルタプレスや遠心脱水機のように広いスペースや大きな動力が必要であった。昨今、凝集剤の性能向上によりスクリーブレスでも脱水可能となり、低動力、省スペースの機種が多く採用されている。

住友重機械エンバイロメント株式会社においても、汚泥脱水のスクリーブレスを開発した。本機は、スクリーブレスによる脱水ケーキの性状の安定化に、内部圧力の一定制御機構を有していることが特長である。脱水機出口の排出量を制御し、内部圧力が高くなれば排出量を多くし、圧力が低くなれば排出量を少なくすることで内部圧力を一定に保ち、脱水ケーキの含水率を安定化させる。

実証試験により、含水率82%以下、SS回収率95%以上の性能を有することを確認した。

In our country, sewage sludge is generally dewatered to reduce its volume. Conventionally, filter presses required large spaces and centrifugal dehydrators needed large powers for dewatering sewage sludge. Recently, the increased performance of flocculants has enabled even screw presses to dewater sewage sludge, and various models of low-power, space-saving screw presses have been introduced. Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd. (SHI-EV) lately developed a screw press designed for sludge dewatering. This equipment is characterized by its mechanism for constant control of the internal pressure to stabilize the properties of the dehydrated cake produced by the screw press. It maintains a constant internal pressure and stabilizes the moisture content of the dehydrated cake by controlling the discharge from the dehydrator outlet. Specifically, it increases the discharge if the internal pressure rises, and reduces the discharge if the pressure lowers. As a result of conducting a demonstration test, SHI-EV confirmed that the screw press achieves a moisture content of 82% or less and an SS recovery rate of 95% or higher.

キーワード：下水処理，汚泥減容，含水率

1 まえがき

下水道事業は、水処理工程で消費する電力や汚泥焼却炉から排出される二酸化炭素や一酸化二窒素など、温室効果ガスの大きな排出源となっており、1997年の京都議定書発効により、これら温室効果ガスの削減が強く求められている。

下水汚泥処理設備に限ると、動力の少ない脱水機による消費電力削減や、汚泥含水率低下による汚泥減容が求められている。

一方、下水汚泥の脱水処理に用いられる脱水機には、真空ろ過機、フィルタプレス、ベルトプレス、遠心脱水機およびスクリーブレスなどさまざまな機種がある。これらのなかでも、低動力脱水機としてスクリーブレスがあげられる。

ここで、スクリーブレスの採用に当たって、二つの課題が指摘されている。一つは、スクリーブレスの脱水工程ではスクリーブ軸方向の脱水に、スクリーブプレス直径の約8倍の長さが必要になり、ベルトプレスなどの設置スペースに比べて長さ方向が長くなり更新時に制約になってしまう。もう一つは、背圧板による圧搾圧力の調整によって汚泥排出目詰まりが起りやすく、圧搾圧力も変動しやすいことから、脱水汚泥の含水率が不安定となり、焼却処分時の受入れ条件を満足できない場合などがある。

そこで、住友重機械エンバイロメント株式会社は、この2点を解決するべく、濃縮ゾーンとしてスクリーブ軸と平行に配置されたドラム濃縮機構を採用することによりスクリーブプレスの全長を抑制し、圧搾圧力の調整にスクリーブダイ機

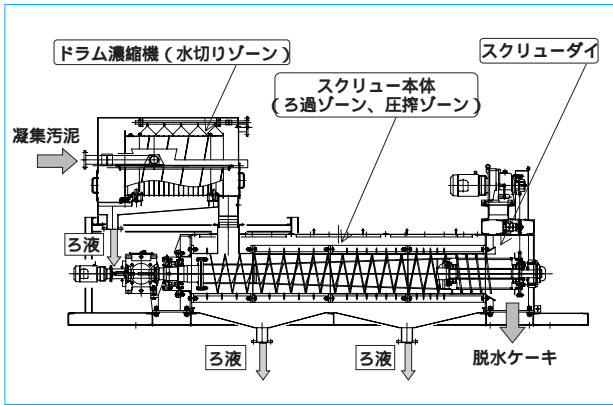


図1 脱水ユニット
Dehydration unit

構¹⁾を採用することにより、汚泥含水率を安定化させたスクリープレスを開発した。

本報では、スクリープダイ式スクリープレスの紹介と実証試験結果を報告する。

2 スクリープダイ式スクリープレスの脱水原理

スクリープレスは高分子凝集剤の性能の向上とともに、多様な汚泥への適用範囲も広がり、脱水性能も向上してきたことにより、その採用が増えてきている。スクリープレスは、一般にスクリーンとなる外筒の内側にスクリープが配置され、スクリープは後段に向けて外筒とスクリープ間の容積を減少するように漸拡する構造となっている。スクリープレスの脱水プロセスでは、スクリーン外筒とスクリープの間に投入された汚泥は、スクリープの回転により水切り・濃縮ゾーン、ろ過ゾーンおよび圧搾ゾーンの各ゾーンを段階的に通過しながら後段に移送され、加圧脱水が行われる。圧搾ゾーンの出口に設置された背圧板により汚泥出口の隙間を調整することで、脱水の圧搾圧力を調整する仕組みとなっている。

本スクリープの特徴であるスクリープダイについて説明する。装置を、図1に示す。スクリープレスの一般的構造では、出口部の背圧板により圧搾圧力調整することを述べたが、本脱水機では背圧板機構の代わりに背圧生成ユニットとしてスクリープ軸と同軸で異なる回転速度で駆動するスクリープで構成された、スクリープダイ機構を採用している。スクリープダイを本体軸とは異なる回転数で回転させることにより、出口部における汚泥の送り量を制御することで、圧搾圧力の調整が可能となる。内部圧力を検知しながら汚泥内部圧力を容易に調整・制御することにより、汚泥性状に合わせた安定した脱水運転を実現している。

上記のような特徴を持つスクリープダイ式スクリープレスは、汚泥凝集混和槽、ドラム濃縮機およびスクリープレスから構成されている。水切り・濃縮ゾーンをドラム濃縮機として、ろ過・圧搾ゾーンをスクリープレスとして機能分担した一体ユニットシステムである。これは、水切り・濃縮ゾーンとろ過・圧搾ゾーンを分離することにより従来のスクリープレスより全長を短くできるとともに、ドラム濃縮機とスクリープレスを上下方向で一体化を図ることができるという利点を優先した結果である。投入された汚泥は汚泥凝集混和槽で混和凝集されて、図1に示すドラム濃縮機にて

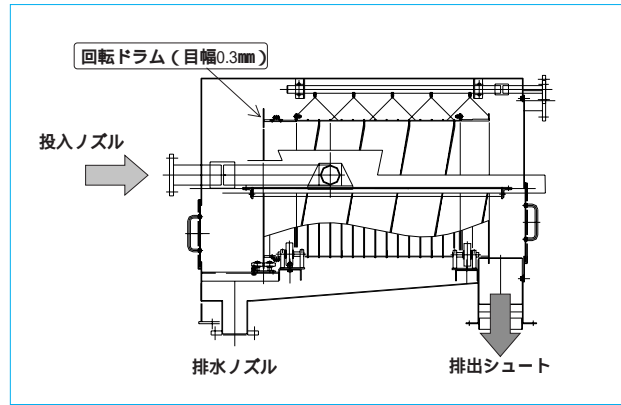


図2 ドラム濃縮機
Drum type concentration machine

濃縮・水切りされる。さらに、その濃縮汚泥はスクリープ本体に投入され、ろ過圧搾工程を経て脱水される。このプロセスを一連のスクリープレス脱水機ユニットとするべく、ドラム濃縮機をスクリープレスの上に搭載し、ドラム濃縮機からの濃縮汚泥をスクリープレスの汚泥受入れ口で受け入れることができるようにユニット構成されている。

次に、本スクリープレスの脱水原理をゾーンごとに詳しく説明する。

2.1 水切り・濃縮ゾーン

混和凝集された汚泥はドラム濃縮機に投入され、せん断力や圧力を加えることなく、10秒程度のドラム移送中に自然に水切り・濃縮され、スクリープレス受入れ口に投入される。これにより、約6割の水が回収される。

2.2 ろ過ゾーン

水切り・濃縮された汚泥は、スクリープレスのろ過ゾーンに投入される。濃縮された汚泥はスクリープ羽根により外筒スクリーン内部で移送され、スクリープ羽根のせん断力によりさらに水切りされる。

2.3 圧搾ゾーン

濃縮・ろ過された汚泥は、最終部の圧搾ゾーンへ移送される。圧搾ゾーンでは、スクリープ羽根のせん断力に汚泥通過面積の漸減やスクリープダイ機構による圧搾圧力が加わり、汚泥内部圧力を上昇させながら圧搾脱水される。

3 スクリープダイ式スクリープレス構造

3.1 ドラム濃縮機

ドラム濃縮機の構造を、図2に示す。ドラム濃縮機は、(1)ケーシング内に回転可能に固定された、(2)円筒ドラム、(3)駆動装置および(4)洗浄スプレーにより構成される。

3.1.1 ケーシング

本体の固定、ろ液の回収・排水、濃縮汚泥の排出・防臭および水飛散防止のカバーで構成している。

3.1.2 円筒ドラム

目幅0.3 mmのウェッジワイヤスクリーンでドラム形状を形成し、円筒内部に汚泥を排出するスクリープが設置されている。汚泥は円筒内部に投入されることから内面がウェッジワイヤの平面となるように配置される。ドラムは、ケーシングに固定された4個の主ローラ上に設置され、サイドローラにより横振れを防止する。

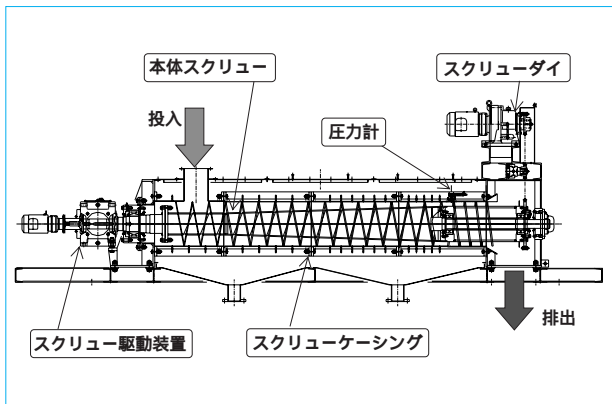


図3 スクリュープレス
Screw press

3.1.3 駆動装置

駆動軸に直結された減速機により駆動される。ドラム外周にピンギヤチェーンを巻き、駆動軸のピンギヤ用スプロケットで動力を伝達する。

3.1.4 洗浄スプレー

円筒ドラム外側に設置されドラム中心に向かって洗浄水をスプレーし、ウェッジワイヤの目詰まりを防止する。

3.2 スクリュープレス本体構造

スクリーダイ式スクリープレスの構造を、図3に示す。スクリーダイ式スクリープレスは、(1)本体スクリー、(2)スクリーダイ、(3)外筒スクリーン、(4)本体スクリー駆動装置、(5)スクリーダイ駆動装置および(6)洗浄スプレーより構成される。

3.2.1 本体スクリー

外筒スクリーン内部に投入された汚泥を移送し加圧脱水するスクリーで、軸は円錐形状をしており、後段側ほど容積が減少するように配置される。スクリー羽根はらせん形状で、スクリー軸と一体となる。

3.2.2 スクリューダイ

脱水機出口部に設けられた背圧調整のスクリーで、軸はベアリングを介し本体スクリー軸に別回転可能な状態で設置され、らせん状のスクリー羽根が軸と一体となる。

3.2.3 外筒スクリーン

パンチングメタルとフレームで構成された円筒状のスクリーンで、圧搾ゾーンではさらに補強のパンチングメタルで覆われている。

3.2.4 本体スクリー駆動装置

本体スクリー軸上に直結された減速機で、高トルクおよび低速回転を生み出す。回転数は、インバータにより可変としている。

3.2.5 スクリューダイ駆動装置

脱水機出口上部に設置された減速機で、スクリーダイはチェーン掛けにて動力を伝達される。回転数は、インバータにより可変としている。

3.2.6 洗浄スプレー

スクリー外筒周囲に配置され、外筒スクリーの目詰まりを防止する。運転中は間欠洗浄を行い、運転終了時も洗浄を行う。

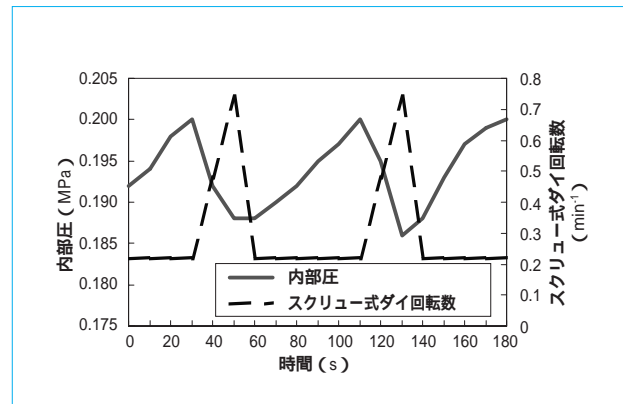


図4 制御特性
Characteristics of control

4 スクリューダイ制御方法

スクリーダイは前述のように脱水機内圧を調整する要素で、脱水機内部圧を検出し、圧力一定となるよう制御している。脱水機内部圧を検出するべく、スクリーダイ入り口部分にはピストンを設置し、ピストンを押す力をロードセルにて測定し、圧力に換算することで内圧を検出している。

内圧が設定値以下の場合、スクリーダイの回転数を落とし出口部の排出量を減らすことで脱水機内部圧を高める。逆に内圧が設定値以上となった場合、スクリーダイの回転数を漸増させ出口部汚泥の排出量を増加し脱水機内部圧を低下させる。また、脱水機内部圧を設定値以上で制御することから、インバータによるスクリーダイ回転数を変更する場合には増速時の目標回転数へゆっくりと変わり、減速時の目標回転数へ速く変わるように制御されている。図4に、制御特性グラフを示す。設定圧力(0.2 MPa)以上でスクリーダイ回転数が漸増し、内圧を制御できていることが分かる。

5 脱水機運転状況

5.1 脱水設備仕様

脱水機仕様および濃縮機仕様を、表1に示す。

5.2 試験条件

高分子凝集剤を数種採用し、脱水試験を実施した。汚泥濃縮機+脱水機の一連の試験として、脱水汚泥含水率82%以下、SS回収率95%以上を目標とし、処理量、薬注率を調整した。

5.3 濃縮機運転結果

実験では、高分子凝集剤は強カチオン系ポリマの0.2%溶液を使用した。消化汚泥(汚泥濃度0.7~1.2%)に高分子凝集剤を約2.5%(対DS)を添加して、ドラム濃縮機の濃縮性能を調査した。その運転結果を、表2に示す。濃縮-脱水を連続的に行うことから、機械濃縮だけを目的とする場合の薬品注入率0.3~0.5%(対DS)に比べて、2%強と高い薬品注入率が必要になる。しかし、濃縮汚泥濃度も7%強と安定した高い濃縮性能を達成でき、濃縮により得られる回収水のSS回収率も95%以上を確保できることが確認できた。

5.4 スクリューダイ式スクリープレス運転結果

スクリーダイ式スクリープレスの運転結果を、表3に示す。原水濃度を変えて脱水性能特性(含水率)を調査した

表1 脱水設備仕様
Specifications of dehydration facilities

	スクリーブレス	ドラム濃縮機
形式	スクリーダイ式スクリーブレス	ドラム式濃縮機
処理能力	50 kgDS/h	3 m ³ /h
外径	スクリーン径 400 mm	ドラム径 600 mm
処理性能	含水率 82 % 以下	濃縮濃度 4 % 以上
洗浄水量	300 L/min	20 L/min
回転数	スクリーブ本体 最大1.39 min ⁻¹	最大20.7 min ⁻¹
	スクリーダイ 最大4.2 min ⁻¹	
電動機	スクリーブ本体 1.5 kW	0.4 kW
	スクリーダイ 3.7 kW	
数量	2台	2台

表2 ドラム濃縮機運転結果
Performances of concentration machine

污泥投入量 (m ³ /h)	1.5	2	3	2
原水濃度 (%)	1.3	1.14	0.88	1.07
薬品名	TC-833L	TC-833L	TC-833L	TC-590H
薬注率 (%) (対DS)	3.49	3.51	2.95	1.87
濃縮污泥濃度 (%)	8.3	7.3	7.6	7.2
濃縮機SS回収率 (%)	99.71	97.77	97.38	96.8

表3 スクリーブレス運転結果
Performances of screw press

污泥投入量 (m ³ /h)	1.5	2	3	2
原水濃度 (%)	1.3	1.14	0.88	1.07
薬品名	TC-833L	TC-833L	TC-833L	TC-590H
薬注率 (%) (対DS)	3.49	3.51	2.95	1.87
脱水ケーキ含水率 (%)	79.7	79.57	82.5	82.87
濃縮機SS回収率 (%)	97.79	97.32	97.41	97.97

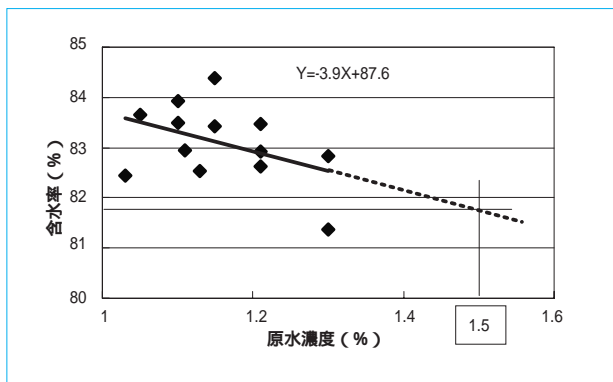


図5 原水濃度と含水率
Relation between density and dewatering rate

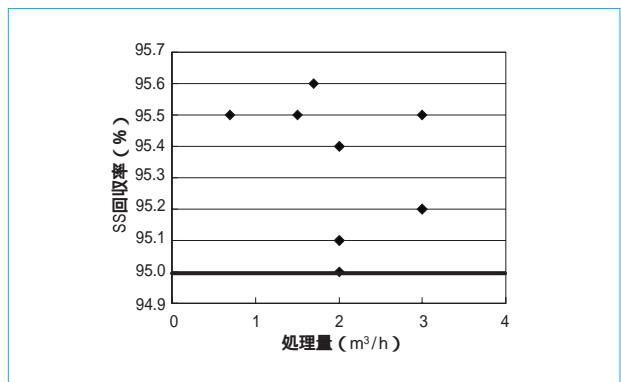


図7 処理量とSS回収率
Relation between sludge supply and SS recovery rate

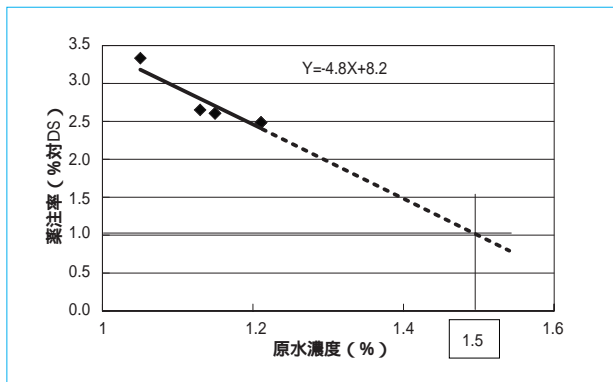


図6 原水濃度と薬注率
Relation between density and flocculant injection rate

結果を、図5に示す。原水濃度により脱水性能(含水率)が影響されやすいことを示している。その関係を次に示す。

$$Y(\text{含水率}\%) = -3.9X(\text{原水濃度}\%) + 87.6$$

となり、原水濃度1.5%では含水率は82%以下となると推定される。

また、原水濃度と薬注率のグラフを、図6に示す。原水濃度が濃くなれば薬注率は下がる傾向にあることが分かる。同様に補間直線式は、

$$Y(\text{薬注率}\%) = -4.8X(\text{原水濃度}\%) + 8.2$$

となり、原水濃度1.5%では薬注率は約1%になると推定される。

処理量とSS回収率のグラフを、図7に示す。SS回収率は処理量に関わらず95%以上の性能を有することが分かる。

以上の結果から、原水濃度が1.5%までは、目標値である含水率82%以下、SS回収率95%以上が達成可能である。

6 むすび

スクリーダイ式スクリーブレスは、次の特長を有する脱水機として開発された。

- (1) 水切り・濃縮ゾーンをスクリーブレス上に配置したドラム濃縮機で機能させることにより、スクリーブレス直径の約5倍の長さでの脱水を可能にした。
- (2) スクリーダイによる圧搾圧力調整機能により、污泥含水率を安定化させた。
- (3) 実証試験により、含水率82%以下、SS回収率95%以上の性能を有することを確認した。

(参考文献)

- (1) 白戸紋平. スクリーブレスによる連続圧搾研究.

住友重機械エンバロメント株式会社

時代を先導する技術

2007年1月、住友重機械工業株式会社の水処理事業を分離、住友重機械エンバロメント株式会社（SHI・EV）として新たなスタートを切った。

SHI・EVは、民間向け水処理施設に関する事業（環境システム事業）、官公庁向け上下水施設に関する事業（上下水事業）および水質・大気・ガスなどの分析・測定に関する事業（分析・測定事業）の三つを柱としている。総合水処理メーカーとしてプラントから各種ユニット機器まで市場ニーズに的確に対応し、水処理に関するトータルソリューションを提供している。

住友重機械の水処理設備の歴史は古く、1916年に住友金属鉱山株式会社にシクナーを納入したことに始まる。

そして1966年の環境衛生研究所（神奈川県・平塚市）の開設は、住友重機械をして生物処理技術の先駆者としての評価を確たるものにする。1960年代から1970年代の経済高度成長のなかで、産業界の水処理技術への期待は並々ならぬものがあり、住友重機械の取組みは時代の要請でもあった。

平塚での生物処理技術開発の開始は、住友重機械の「新しい地で」、「新しい技術を」、「新しい人々によって」開発、という進取の精神の成せるものと言ってよい。

環境システム事業 資源循環への挑戦

これからの社会では、資源循環型社会への対応が強く求められる。SHI・EVは、嫌気性処理を適用したエネルギー回収およびスミシクナー[®]によるマテリアル回収の実績をベースに、アプリケーションの拡大を目指す。

主要製品

環境システム事業では、用排水処理装置を中心とする、環境対策システムを、さまざまな業種の民間工場向けに提供している。

システムは、流入水の水量、水質および処理水基準値を基に、微生物の有機物分解能を利用した生物処理や、物理・化学反応を利用した分解、分離などの単位操作を組み合わせで構成される。

1. 嫌気性処理装置（EGSBおよびUASB）

嫌気性菌を用いて、排水中の有機物をメタンと炭酸ガスに分解する排水処理装置である。反応槽内で、グラニューク状の菌体を高密度で維持する技術により、高負荷処理が可能となった。EGSB型の負荷は15～30 kgCOD_{Cr}/(m³・d)であり、従来の活性汚泥の5～20倍の能力を有している。

特長

- (1) 高負荷でコンパクトである。
- (2) 省電力である。
- (3) バイオガスの有効利用(エネルギー回収)が可能である。
- (4) 余剰汚泥など廃棄物発生量が少ない。
- (5) 運転管理が容易である。

ビール、食品および飲料などの業界を中心に実績を伸ばし、化学および紙パルプ工場などへ適用範囲を拡大している。当

初は主として大型プラントに取り組んだ。小型ユニット開発後、中小規模の工場の導入も進んでいる。

2. スミシクナー[®]

排水中の懸濁物質を凝集、沈降分離する高速凝集沈殿処理装置である。沈降性の優れた凝集フロックを成長させ、沈殿槽内で均一な上昇流を形成できる構造を開発したことにより、従来型に比べてコンパクトで高性能な装置となった。

特長

- (1) コンパクトである。(従来型と比べ表面積負荷5～10倍)
- (2) 凝集性の向上により処理水の清澄化が可能である。
- (3) スラッジブランケット形成により更なる清澄化が期待できる。
- (4) 汚泥の濃縮が可能である。
- (5) 多段添加により薬品添加量の削減が可能である。

紙パルプ、鉄鋼、食品および電子業界と言った幅広い業種の工場での用排水処理や製造工程向けなど、150基以上の実績を有している。開発後20年以上が経過したが、活性汚泥と組み合わせたスミスラッジ[®]システムや、小型ユニット装置の開発、各種アプリケーション実績に基づいた改善を進め、実績を伸ばしている。



嫌気性処理設備



高速凝集沈殿処理設備



浸漬膜処理設備



排水処理設備
周辺システム



下水・沈砂池設備



下水・水処理設備

上下水事業 次世代コンポーネントを強化

多様化・高度化しつつある上下水道システムは、更なる性能向上が求められている。SHI・EVは、次世代のニーズに応じて独自のコンポーネント商品（単品機器・ユニット）の商品力を強化し、開発、拡販を推進する。

主要製品

上下水事業では、独自のコンポーネント商品（ユニークなキー要素）を中心に、単品機器および処理ユニットを官公庁向け上下水道施設に提供している。

1. スミレーター[®]UD

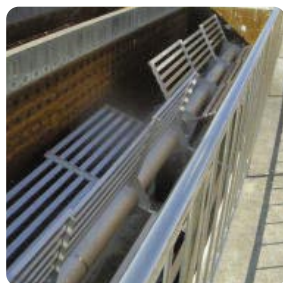
スミレーター[®]は、比較的小規模な下水処理施設や集落排水処理施設などの生物処理に利用されるオキシデーションディッチ（OD）に適した縦軸型機械式曝気装置である。

スミレーター[®]にインペラ（攪拌羽根）昇降機能を付加した高度処理対応のスミレーター[®]UDは、従来型スミレーター[®]の特長および機能をそのまま継承し、無酸素攪拌時の動力低減や低負荷運転対応をより容易にしている。

また、好気運転時は高速運転および無酸素攪拌運転時はインペラ水中位置で低速運転する。適切な酸素供給量と適切な無酸素攪拌を同時に実現し、安定した高度処理運転が可能となる。



下水・汚泥処理設備



上水道設備



農業集落排水処理設備



浸出水処理設備



ダイオキシン類分析



分析・測定事業

特長

- (1) 初期低負荷運転時対応が容易である。
- (2) 攪拌効率が向上する。
- (3) 安定した高度処理運転が可能である。
- (4) 保守点検が容易である。

スミレーター[®]およびスミレーター[®]UDは、その効率の良さを評価され、OD向け縦軸型曝気装置においてトップシェアを維持している。

2. カスケード式汚泥かき寄せ機

この設備は、比較的大規模の下水処理場で採用されている矩形沈殿槽向けに開発されたものである。従来のフライトによる汚泥かき寄せ機構と往復動機構を組み合わせた、新しいタイプのかき寄せ機である。

チェーンフライトに代表される従来型汚泥かき寄せ機と比較して、機器が池底に集約され、かつ部品点数が少なく、シンプルな形状となっている。

特長

- (1) 構造がシンプルで軽量である。
- (2) 保守点検が容易である。
- (3) 電力費が従来機に比べ削減できる。
- (4) 機器がユニット化されており据付け施工が容易である。
- (5) 新設、増設、更新のいずれの場合にも適用が可能である。

上市以来約5年が経過し、そのユニークな構造から、順調に受注を伸ばしている。

分析・測定事業 水処理の新規技術を開発

社会では、環境改善への取組みが大きな流れとなっている。SHI・EVは、長年培ってきた水処理技術、バイオマス技術および排ガス処理技術などに基づいた新規技術開発と各種分析・測定事業を推進する。

主要製品

分析・測定事業では、ダイオキシン類、土壌・地下水汚染調査から一般水質分析、作業環境測定まで多種多様な分析・測定で自然環境と人間の調和を目指し、高度な技術による迅速で信頼性の高い環境データを提供している。

1. ダイオキシン類分析

ダイオキシン類の分析は、これまで培ってきたノウハウや豊富な経験をベースに、徹底した精度管理による分析、解析を行い、その結果を基にダイオキシン類の発生抑制やその対策についてコンサルティングも行っている。

2. 土壌・地下水汚染調査

汚染土壌の調査計画を立案、現地調査、分析および評価に基づく修復を提案することで、お客様の要求するトータルソリューションを提供している。

本 社 東京都品川区
 設 立 2007年 資本金 4億8千万円
 事 業 民間向け、官公庁向け水処理に係る事業
 および環境に関する分析・測定事業
 URL <http://www.shiev.shi.co.jp/>

（開発部長 加藤 仁）

水素高排気速度タイプクライオポンプの開発

Development of High Hydrogen Pumping Speed Type Cryopump

及川 健*

Ken OIKAWA



クライオポンプ ANSI10
Cryopump system ANSI10

近年、イオン注入装置向けクライオポンプ市場では、スループットの向上やイオンの注入量シフト対策から水素高排気速度タイプのクライオポンプの要求が高まっている。

当社では、現在、イオン注入装置向けクライオポンプシステムとして、水素高排気速度タイプをラインナップしていないことから、これを開発する必要がある。今回、ノーマルタイプの現行システムをベースに、排気速度シミュレーションによるパネル形状の設計と、活性炭に対する水素分子の付着確率の検討を行うことによって、メインフランジがANSI10のクライオポンプについて目標の水素排気速度10000 L/sを達成した。

通常、水素高排気速度タイプのクライオポンプは冷凍機への熱負荷が大きいことから、ノーマルタイプに比べ大型の冷凍機を使用する。活性炭パネルへの熱負荷を低減させる方法などを開発することによって、ノーマルタイプと冷凍機を共通化することに成功し、省エネルギーなどを実現した。

In the ion implantation equipment market, the recent demand for high hydrogen pumping speed type cryopump has been increasing because of throughput enhancement and implantation dose shift improvement. Under such circumstances, we have developed high hydrogen pumping speed type cryopump based on the existing model which is not high hydrogen pumping speed type cryopump. Hydrogen pumping speed has been improved by designing the charcoal panel using pumping speed simulation and parametric change in the sticking coefficient of hydrogen molecule to charcoal. As a result, hydrogen pumping speed has been increased to 10000 L/s with cryopump ANSI10. Cryopumps with high hydrogen pumping speed need larger than normal refrigerators because of the large thermal loading. By developing the method for reducing the thermal loading on the activated charcoal panel, we succeeded in sharing the refrigerator with normal types and achieved energy saving.

キーワード：クライオポンプ，排気速度，水素，省エネルギー

1 まえがき

クライオポンプとは、極低温冷凍機により冷却したパネルに気体を凝縮・吸着させることによってチャンバの真空排気を行う真空ポンプで、主に半導体・FPD製造装置に使用される。当社では、現在、スパッタリング装置、イオン注入装置および蒸着装置向けのクライオポンプをラインナップしているが、本報では、イオン注入装置向けクライオポンプのみを対象とする。イオン注入装置はアウトガスとして水素を発生

するが、近年、スループットの向上やイオンの注入量シフト対策に効果のある、水素高排気速度タイプのクライオポンプの要求が高まっている。現在、水素高排気速度タイプをラインナップしていない当社としては、早急にこれを開発し、ラインナップに加える必要がある。

本報では、ノーマルタイプの現行モデルに対し、水素の排気速度を向上させた水素高排気速度タイプのクライオポンプの開発について説明する。

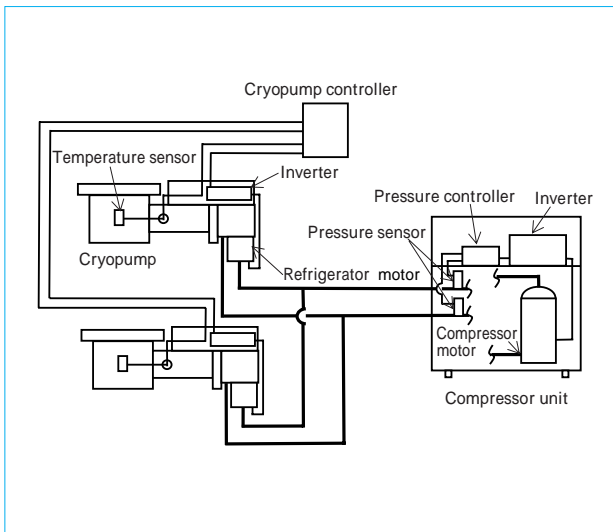


図1 クライオポンプシステム
Cryopump system

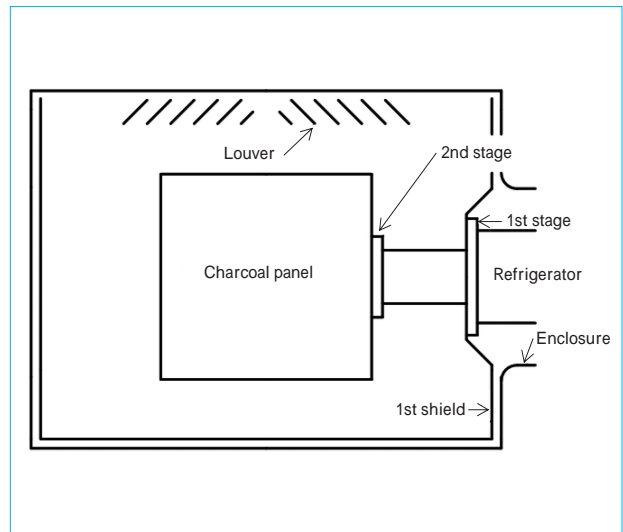


図2 クライオポンプの内部構造
Inner layout of cryopump

2 当社クライオポンプシステムの特徴

当社のクライオポンプシステムを、図1に示す。当社クライオポンプシステムには、クライオポンプと圧縮機ユニットにそれぞれインバータ制御を採用しているという他社にはない特徴がある。クライオポンプは、冷凍機モータの回転数を操作することで1段ステージの温度を一定に制御する。また、圧縮機ユニットは、差圧が一定値になるよう圧縮機本体の運転周波数を操作する。これによって、クライオポンプの性能が安定するとともに、クライオポンプが消費するガス量が小さいとき、システムの消費電力を抑えることができる。

また、イオン注入装置では1装置当たり3～4台のクライオポンプが搭載される。競合他社のシステムでは2台の圧縮機が必要であるのに対し、ノーマルタイプの現行システムはインバータ制御を採用することで、クライオポンプが消費するガス量が大きいとき、圧縮機の運転周波数を他社のものより高くできることから、同クラスの圧縮機が1台で済む。よって、当社クライオポンプシステムは省エネルギーと省スペースというメリットがある。

3 水素排気速度

当社ノーマルタイプANSI10の水素排気速度は5500 L/sであるが、水素高排気速度タイプでの目標は、顧客の要望および競合他社の仕様をターゲットにANSI10で10000 L/sとした。図2に、クライオポンプの内部構造を示す。ルーバおよび1stシールドは冷凍機1段ステージに接続され、活性炭パネルは2段ステージに接続され、それぞれ冷却される。水素分子は、活性炭パネルに吸着することで排気される¹⁾。

クライオポンプの排気速度の計算は、分子流領域の場合、モンテカルロ法を利用したシミュレーションにより行うことができる²⁾³⁾。活性炭パネルの製作と排気速度の測定を繰り返す試作・実験は多くの時間とコストを要するが、設計段階でシミュレーションを用いることで時間とコストを省くことができる。事実、今回の開発においてもシミュレーションを

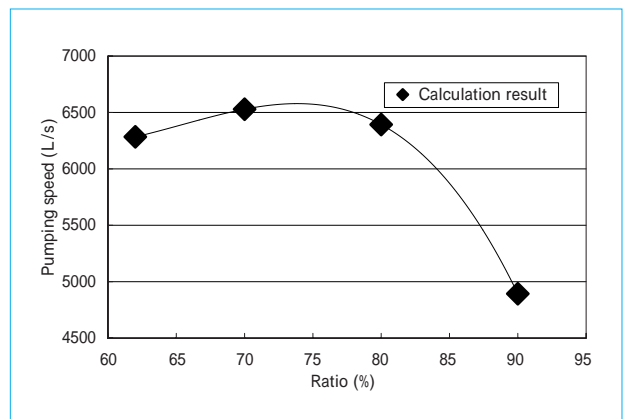


図3 排気速度と活性炭パネル径の比率
Pumping speed vs. diameter ratio of charcoal panel and bore

用いることで試作・実験を最小限に抑えることができた。

3.1 排気速度シミュレーション

シミュレーションは、入射させた分子の捕獲の有無を計算し、それを繰り返すことで捕獲確率(N)を求める。そして、ポンプ開口部の面積(A)と分子の平均速度(c)の積の4分の1である流入コンダクタンスと捕獲確率(N)によって排気速度(S)を求める。ここで、水素分子の活性炭に対する付着確率をパラメータとして指定する必要がある。

$$\text{捕獲確率}(N) = \frac{\text{吸着分子数}}{\text{総分子数}}$$

$$\text{排気速度}(S) = \frac{cA}{4} \times N$$

シミュレーションは、ルーバおよび活性炭パネルの形状の代表的な寸法をパラメータとして、排気速度を計算することで、水素の高排気速度を実現する条件を導く。例として、あるパネル形状についてポンプ開口径と活性炭パネルの径の比率を変化させたときの排気速度のグラフを、図3に示す。図

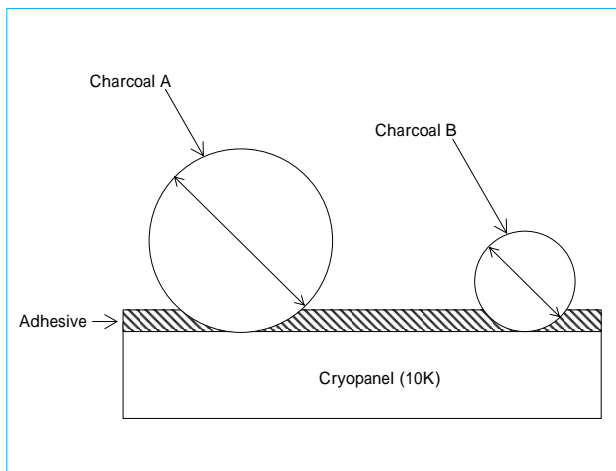


図4 径の異なる活性炭の比較
Charcoal size comparison

より、比率が70～75%のとき、排気速度は最大となっている。このパネルは、放射による熱負荷を防ぐ目的で天板が付いているタイプであることから、比率が大きいと天板が入射分子の抵抗となり、排気速度が低下する。一方、比率が小さいと活性炭パネルの表面積が小さくなることを意味することから、活性炭パネルに入射する分子が減り排気速度は減少する。

3.2 水素の付着確率

活性炭に対する水素分子の付着確率とは、水素分子が活性炭に衝突したときに吸着される確率で、通常0.2～0.3程度といわれている。開発当初、活性炭はノーマルタイプと同じ図4に示すAの円柱状活性炭を使用していたが、排気速度が出なかったことから、径の小さいBの活性炭も同時に評価したところ、同じ形状のパネルにもかかわらず排気速度に大きな変化が現れた。これは、活性炭形状によって付着確率が異なることを表している。

そこで、活性炭への入射分子温度および放射による熱負荷が異なる3種類のパネル形状で活性炭による水素の排気速度の違いを測定したところ、図5のような結果となった。ここで、入射分子温度はTYPE 2>TYPE 1>TYPE 3の順で大きく、活性炭に対する放射による熱負荷もTYPE 2>TYPE 1>TYPE 3の順で大きい。結果より、ノーマルタイプのように活性炭への放射による熱負荷が小さく入射分子温度も小さい場合は活性炭の径による排気速度の変化は見られないが(TYPE 3)、活性炭への熱負荷が大きく入射分子温度も大きい場合は活性炭の径が小さい程、排気速度は大きくなるのが分かった(TYPE 2)。これは、活性炭の径が大きい程、熱負荷に対して活性炭表面の温度が上昇し、水素の付着確率が減少することが理由と考えられる。したがって、水素高排気速度タイプのように放射による熱負荷や入射分子温度が高くなる傾向にあるパネル形状では、活性炭の径が小さい方が排気速度は大きくなるのが分かった。また、図5において、導入ガス流量の増加とともに排気速度が減少しているのは、ガスによる熱負荷と圧力上昇による熱負荷の増加で活性炭温度が上昇したことによって水素の付着確率が減少し、排気速度が減少したことが理由と考えられる。

3.3 結果

3.1のシミュレーションおよび3.2の付着確率に関する検討

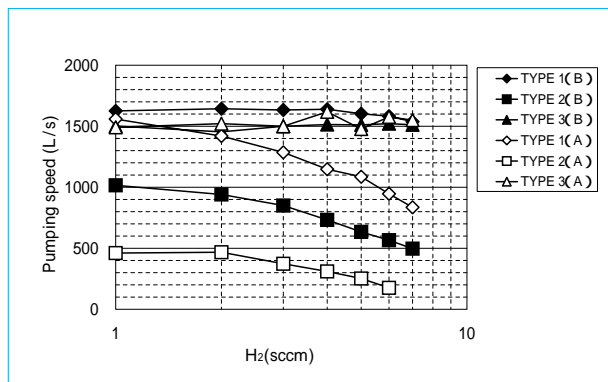


図5 活性炭径によって起こる排気速度の変化
Pumping speed as a function of charcoal size

より活性炭パネルを設計し、水素の排気速度を測定した。その結果、目標の水素排気速度10000 L/sを達成することができた。表1に、ノーマルタイプと水素高排気速度タイプの排気性能の比較を示す。

4 その他の仕様

4.1 冷凍機の2段温度

水素高排気速度タイプは、排気速度を向上させる目的でルーバ外径を減らし、ポンプ内部への流入コンダクタンスを大きくするとともに、吸着面積を増やす目的で活性炭パネルを大きくしたので、活性炭パネルへの放射による熱負荷が増加し、ノーマルタイプに比べ2段温度が上昇した。2段温度を下げるには、冷凍機の周波数を上げる必要があるが、当社クライオポンプは1段温度に対するインバータ制御を採用していることから、冷凍機周波数は1段に対する熱負荷によってほぼ決まる。そこで、2段温度を下げるべく次の方法を開発した。

(1) 放射の低減方法の開発

活性炭パネルに対面する表面の放射率を上げることで、活性炭パネルへの熱負荷を減少させる方法を開発した。また、ルーバの位置を工夫することで排気速度を低下させることなく、活性炭パネルへの熱負荷を減少させる方法を開発した。

(2) 冷凍機モータ周波数制御法の開発

1stシールドの内側表面は、活性炭パネルへの熱負荷を抑えるべく放射率を高くして、外側表面は1段への熱負荷を抑えるべく放射率を低くするが、1stシールド外側表面の吸収率を調整して、冷凍機周波数を目標の値にする方法を開発した。

4.2 再生時間

クライオポンプは組込み式の真空ポンプであることから、定期的に吸蔵したガスを放出し再生させる必要がある。クライオポンプの再生中は装置を止めなければならないので、装置の稼働率は低下する。図6に、本開発において製作した活性炭パネルの活性炭面積と水素排気速度を示す。グラフより、水素の排気速度は活性炭面積の対数関数にほぼ近似できることが分かるが、同じ活性炭面積でも排気速度が大きく異なる場合もある。活性炭面積が大きいとパネル重量が増加するの

表1 ノーマルタイプと水素高排気速度タイプの性能比較
Comparison of pumping speed

Model		Normal	High pumping speed
Main flange		ANSI110	ANSI110
Pumping speed for 20K gas (L/s)	N ₂	3600	4000
	H ₂ O	9500	9500
	H ₂	5500	10000
	Ar	3000	3300

で、クライオポンプの再生時間は長くなる。よって、同じ排気速度であれば活性炭面積は少ない方がよい。今回開発した高排気速度タイプの再生時間は、活性炭パネルの軽量化によって、ノーマルタイプに比べ若干の延長に抑えることに成功した。

4.3 省エネルギー

当社クライオポンプシステムの特徴で述べた通り、ノーマルタイプの現行システムは、クライオポンプと圧縮機ユニットにインバータ制御を採用しているため、省エネルギーおよび省スペースというメリットがある。しかし、水素高排気速度タイプでは活性炭パネルへの熱負荷が大きくなるので、

- (1) 2 段温度の上昇
- (2) 再生時間の増加
- (3) 1 段と 2 段の冷凍能力のバランス

という問題から、大型の冷凍機を用いる必要があるが、大型の冷凍機は消費するガス量が大いいため、イオン注入装置 1 装置当たり 2 台の圧縮機ユニットが必要になり、省エネルギーおよび省スペースのメリットが消えてしまう。

しかし、4.1および4.2で述べた通り、活性炭パネルへの放射による熱負荷の低減方法の開発、パネルの軽量化および冷凍機周波数を目標の値にする方法の開発によって、これらの諸問題を解決することで、冷凍機をノーマルタイプと共通化することに成功した。これによって、水素高排気速度タイプのクライオポンプシステムにおいても、省エネルギーおよび省スペースのメリットを維持することができた。

5 口径の異なるクライオポンプの開発

水素高排気速度クライオポンプの需要は、クライオポンプのメインフランジがANSI110のほかにISO320やISO250などがある。これらは、ポンプの開口径が異なることからすべての仕様が異なるが、ANSI110をベースにこれまで述べた技術を用いることで水素排気速度、2 段温度および再生時間などについて目標となる仕様を達成することができた。また、冷凍機もノーマルタイプと共通化することができた。

6 むすび

- (1) 排気速度シミュレーションによる活性炭パネルの設計と、水素付着確率の温度依存性に関する検討から、ANSI110のクライオポンプについて、水素排気速度10000 L/sを達成した。
- (2) 活性炭パネルへの放射による熱負荷を低減させる方法を開発した。

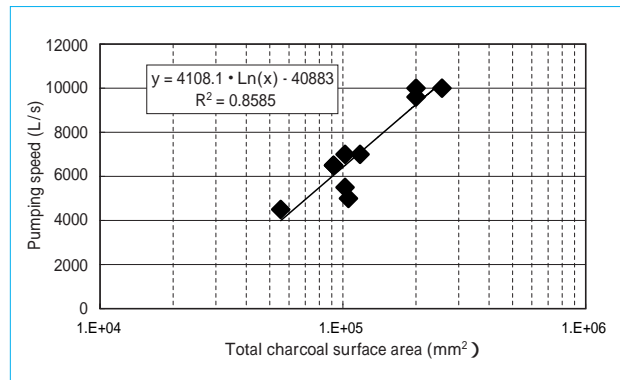


図6 活性炭面積と水素排気速度の関係
Pumping speed vs. total charcoal surface area

- (3) インバータ制御のクライオポンプに対する、1 段・2 段温度の調整方法を開発した。
- (4) ノーマルタイプと水素高排気速度タイプのクライオポンプについて、冷凍機を共通化することに成功した。これによって、ノーマルタイプでの省エネルギーおよび省スペースを水素高排気速度タイプでも実現した。

(参考文献)

- (1) 株式会社アルバック編. 真空ハンドブック. 株式会社オーム社, July, 2002.
- (2) 秋山好胤, 中山勝矢, 斎藤真人. モンテカルロ法によるクライオポンプ排気速度の算出. 真空, 第12巻, 第4号, p.20, Dec., 1968.
- (3) 間仁田栄子, 中山勝矢. 真空技術におけるモンテカルロ法. 真空, 第11巻, 第2号, p.9, Dec., 1967.

油圧ショベルの省エネ油圧制御

Hydraulic Control for Saving Energy in Hydraulic Excavator

塚本 浩之*
Hiroyuki TSUKAMOTO



図1 SH200-5 LEGEST

1 はじめに

油圧ショベルLEGEST SH200-5は、その高い省エネルギー性能が評価され、経済産業省が主催する「平成19年度省エネ大賞 省エネルギーセンター会長賞」を受賞した（図1）。

本機は、SIH：S（シーズ SUMITOMO Intelligent Hydraulic System）という独自の油圧制御システムにより油圧ロスを徹底的に低減させ、さらに、SPACE 5（スペース5）という新型エンジンシステムと合わせて、従来機に対して作業量をアップしながら燃費を20%改善した。

本報では、油圧制御システムについて紹介する。

2 LEGESTの油圧制御技術

SIH：Sの省エネルギーに関する特筆すべき事項は次の6項目であり、これらについて解説する。

- (1) 再生回路の充実
- (2) 操作系全体のヒートアップ性向上による暖機時間低減
- (3) ポンプ過渡負荷制御
- (4) 旋回リリーフ流量低減
- (5) ポンプスタンバイ圧低減
- (6) ポンプリーク量低減

2.1 再生回路の充実

前モデルのSH200-3まではブーム下げおよびアーム閉じにおいて、自重を利用して油を再生させる回路を設定し、ポンプ吐出量を増加させることなく軽負荷時の速度アップを実現させていた。バケット閉じについても多くのユーザより速度アップの要求があり、本機ではバケット閉じにも再生回路を搭載し、自重落下するすべてのアクチュエータに再生回路を設定した（図2）。特に、アームにおいては回路Aを設け、掘削時に負荷圧が上昇した場合は回路をタンクに開放し、背圧を低減することで、軽負荷時の速度確保と重負荷時の掘削

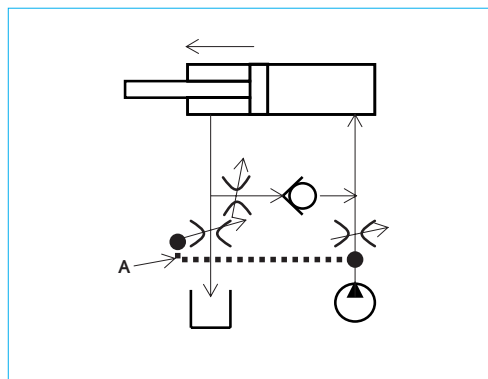


図2 再生回路
Regeneration circuit

力確保を両立させた。

2.2 操作系全体のヒートアップ性向上による暖機時間低減

各アクチュエータやコントロール弁内の摩擦や損失により温まった戻り油を新型クッション弁に導き、タンクに接続された回路中に絞り設けた。これにより、より多くの温まった油をパイロットラインを経由させ、リモコン弁自体を温まり易くし、操作系全体のヒートアップ性能を向上させた（図3）。この改良で、従来機に対して約30%の暖機時間の短縮が可能になった。

2.3 ポンプ過渡負荷制御

エンジン馬力は一定であることから、油圧ポンプはエンジン馬力を超えないように、圧力の変動に伴って吐出量との積が一定になるよう制御されている。（馬力一定制御）ここで低負荷、最大速度でアクチュエータが作動している場合、油圧ポンプは馬力一定制御外の最大吐出状態にあり、この状態で作業機が急に高負荷になると、ポンプは斜板を小傾転側に移動させ吐出量を制限して馬力を一定に保とうとする。とこ

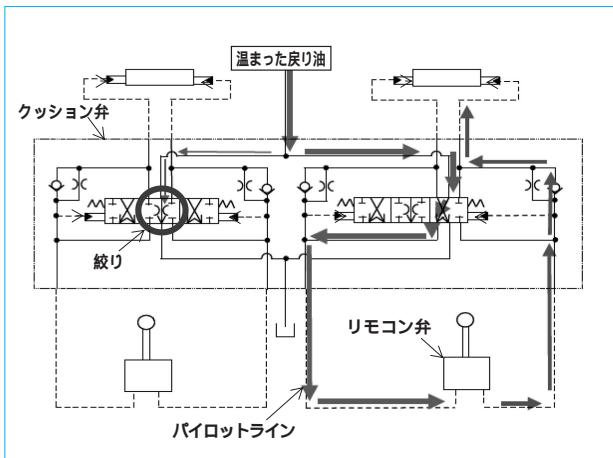


図3 ヒート回路付き新型クッション弁
New cushion valve with heat circuit

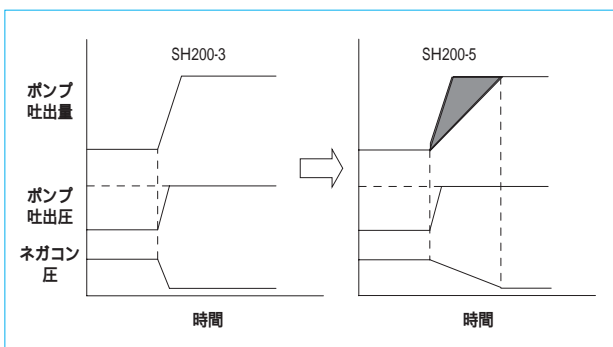


図4 旋回リリーフ流量低減
Swing relief cut-off control

るが斜板の応答遅れによりエンジン馬力をオーバーしてしまい、エンジン回転数ダウンが発生し、回転を戻すには過剰な燃料が消費される。本機では圧力センサにより圧力上昇の時間的变化を検出し、この変化量が任意の値以上の場合は、馬力一定制御外でも先行してポンプの斜板を小傾転側に移動させるようにして馬力オーバーを防止し、過剰な燃料消費の低減を可能にさせた。

2.4 旋回リリーフ流量低減

油圧ショベルは旋回の慣性モーメントが非常に大きいことから、旋回開始時はポンプ吐出量のほとんどが旋回モータ付きのリリーフ弁より捨てられる(図4ハッチング部)。本機では圧力センサにより旋回操作と駆動圧を検出してポンプ油量を徐々に増やすことにより、タンクへ捨てる油量を最小限に抑え、消費馬力を低減し、旋回作業時の燃料消費を最小とした。特に、油圧ショベルは作業機の姿勢・負荷の有無により慣性モーメントが大きく変動することから、通常であれば姿勢・負荷の大小を検出し、そのときの慣性モーメントに合わせた油圧制御が必要であるが、本機は制御ソフトのアルゴリズムを最適化することにより、圧力センサ信号のみで最適な流量制御を可能にしている。

2.5 ポンプスタンバイ圧低減

住友建機製造株式会社の油圧ショベルは人間の感覚に最もマッチすると言われているネガティブコントロールシステム(ネガコン)を採用しており、回路最下流に絞り(ネガコン絞り)を設けて任意の圧力を発生させ、未作業時はこれをボ

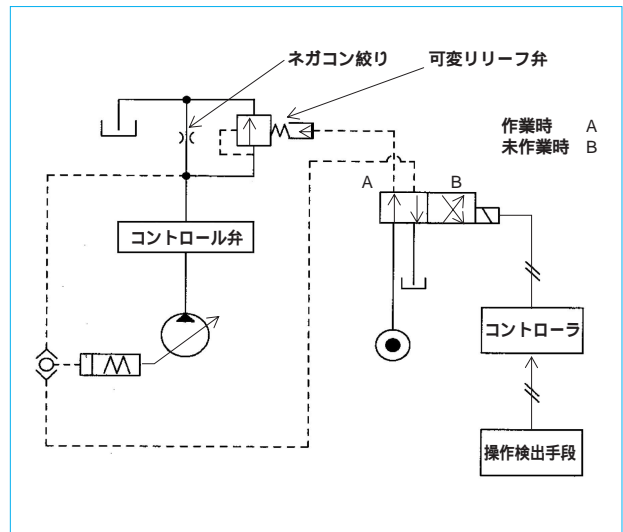


図5 新ネガコン制御回路
New negative control circuit

ンプ流量制御部に作用させてポンプ吐出量を最小に保持している(図5)。SIH:Sでは上記絞りに平行して可変リリーフ弁を設置し、未作業時はリリーフ圧を上記任意の圧力より低い設定とし、さらにシャトル弁を介して制御用ギヤポンプ圧を流量制御部に作用させ、ポンプ油量を最小に保持するようにしたことから、未操作時の消費馬力を約1/3に抑えることが可能となった。

2.5 ポンプリーク量低減

油圧ポンプにおける各摺動部のリーク量の分析をポンプメーカーで実施し、リーク量に対する影響度の高い部位についてクリアランスの最小化を実施した。これにより約60%までリーク量が低減され、効率にして約2%の改善効果があった。

3 おわりに

- (1) SIH:Sは、最適化された油圧回路に最先端の電気制御技術を融合させることで成し得た省エネルギー技術である。
- (2) 現在SIH:Sを搭載したLEGESTシリーズが全世界で稼働中であり、国内をはじめ各国のお客様に実作業での低燃費で好評を得ている。
- (3) 今後とも油圧ショベルには、原油の高騰および地球温暖化などにより更なる燃費低減が求められる。世界中で日本の油圧ショベル技術が席卷している現状においては、この分野の技術革新は世界規模での効果をもたらすであろうと考えている。

クーラント浄化装置(FSU)の開発

Development of FSU Type Coolant Separator

宮川 和彦*

Kazuhiko MIYAGAWA



ファインセミクロユニット FSU型
Fine Semi-closed Unit FSU type

1 はじめに

環境問題、省エネルギーおよびリサイクル化が叫ばれるなか、工作機械に用いられるクーラント浄化装置は、クーラント液から研削屑などを分離する装置として利用されている。研削屑などは、加工条件によってさまざまな形状を有しているが、一般的な鉄系の磁性材料にはマグネットセパレータが広く用いられている。また、マグネットセパレータで分離回収できない微細研削屑および非磁性の砥粒粉などは、タンク内に沈殿・攪拌分離を行い回収する場合や、サイクロン装置でのろ過が一般的である。

クーラント浄化装置は2槽タンク方式が一般的であるが、この方式には次の問題点がある。

- (1) 2槽式タンク構造によりタンクの設置スペースが拡大する。
- (2) 除去できなかった研削屑や砥粒粉がタンク内に沈殿し、沈殿した研削屑や砥粒粉から細菌が発生し悪臭が発生する。
- (3) 沈殿物の除去により、クーラント液の交換、タンク内清掃の工数、廃液処理費用および副資材費が発生する。
- (4) 定寸装置や治具などへの研削屑や砥粒粉堆積による精度悪化への影響もみられる。

本開発は、従来方式で課題となっている「クーラントタンクの省スペース化」、「クーラント交換およびタンク清掃インターバルの延長」および「磁性研削屑の再利用化」を目標としている。

次に、開発したクーラント浄化装置FSU (Fine Semi-closed Unit) について述べる。

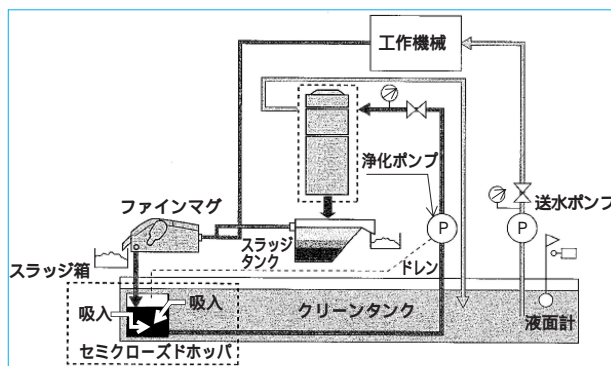


図1 FSU方式システム
System configuration of FSU type

2 構造

システム構成を、図1に示す。

その構造は、クリーンタンク内にセミクロードホッパを配置し、工作機械からの戻りクーラント液はファインマグ(マグネットセパレータ)で1次ろ過し、セミクロードホッパへ供給される。ホッパ内の液は浄化ポンプで吸い上げられ、ファインクロン(サイクロン装置)へ供給され、微細研削屑および非磁性の砥粒粉などを効率よく除去後クリーンタンクへ戻される。このように、汚染濃度の高い液をタンク内へ直接拡散させずに、セミクロードホッパ内部に溜めてろ過させることから、タンク内の液を清浄に保つことが可能になっている。セミクロードホッパは側面上部にタンク内部の液を流入させる吸込み口が設けられ、開閉式仕切り板によりホッパ内部の汚染液を流出させない逆流防止機構となっている。また、この吸込み口よりタンク液面に浮上しているス

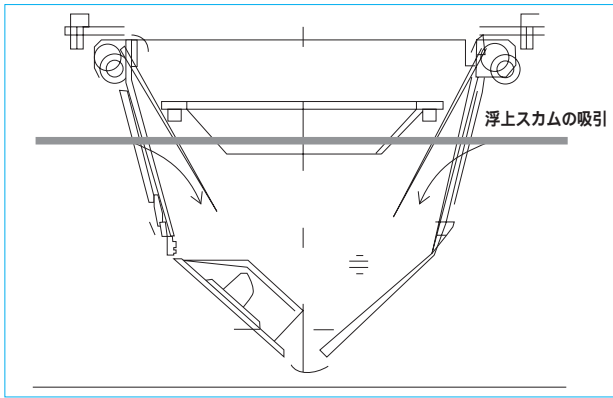
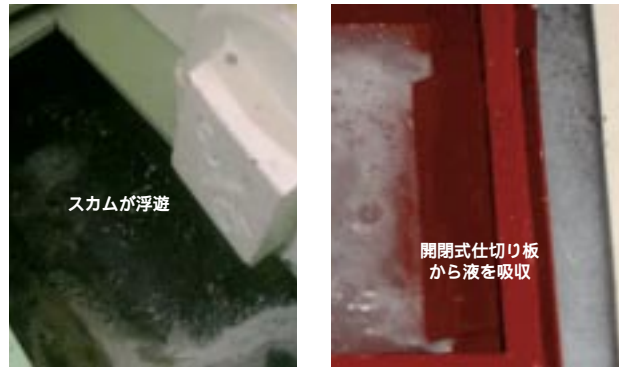


図2 セミクローズドホッパ
Semi-closed hopper



(a)槽式 (b)FSU方式

図4 スカム捕捉性能比較
Comparison of performance on capturing scum

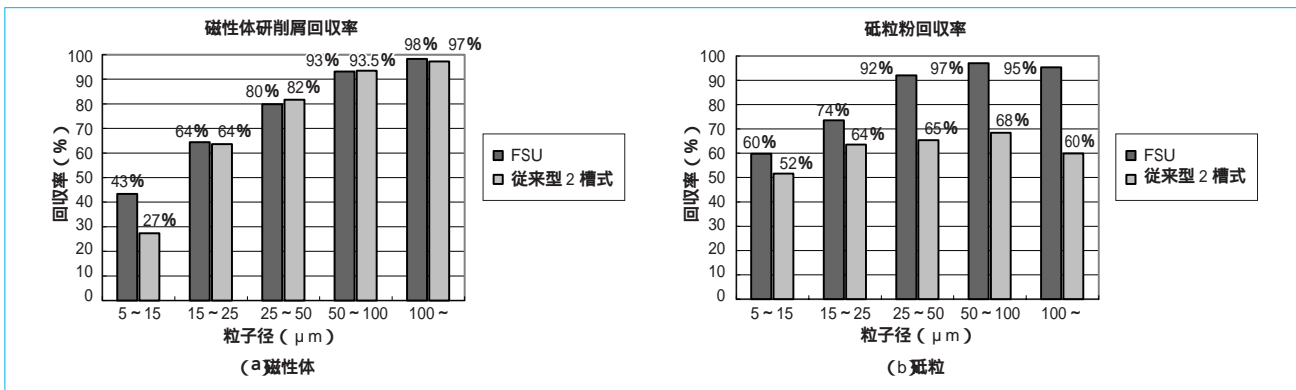


図3 粒子径別回収率
Comparison of capture rate for particles

カム（槽の液面に浮上した固形物や油脂分の凝集物）を効率よくホッパ内部に吸入することができる（図2）。

3 特長

- 1次槽が省け、クーラント総液量の削減およびタンクの省スペース化が可能となる。（省エネルギーおよび省スペース）
- セミクローズドホッパをタンク中央に配置し、浮上スカムを効率よく回収している。これによりクーラント液の空気接触を促進し、嫌気性バクテリアの発生を抑制している。
- タンク内沈殿物の大幅削減により、クーラントの悪臭激減およびクーラント交換頻度を大幅に削減している。（油脂使用量削減）
- マグネットセパレータより回収された磁性研削屑は、原材料へのリサイクルを可能としている。

4 性能評価

ユーザにおけるベンチマークおよびサンプリングにより、次の評価を得た。

- 省スペース
従来型タンクユニットや2槽式タンクユニットに比べて、ファインセマイクロユニットでは設置面積を10~50%に削減できた。
- 磁性体研削屑および砥粒粉の回収率向上
磁性体研削屑の回収率は、5~15 μmで16%改善さ

れた（図3(a)）。

また、砥粒粉の回収率は、5 μm~100 μmの粒子径において8~35%まで改善された（図3(b)）。

(3) クーラント液の浄化度向上

加工直後に採取されたクーラント液とファインセマイクロユニットにて処理されたクーラント液との沈殿物の比較を行い、ろ過処理後のサンプル瓶底にはほとんど沈殿物は確認されなかった。

(4) 浮上スカムの捕捉率向上

ファインセマイクロユニットの特長であるセミクローズドホッパの内側閉閉式吸込み口から、浮上スカムを効率よく吸引している（図4）。

5 おわりに

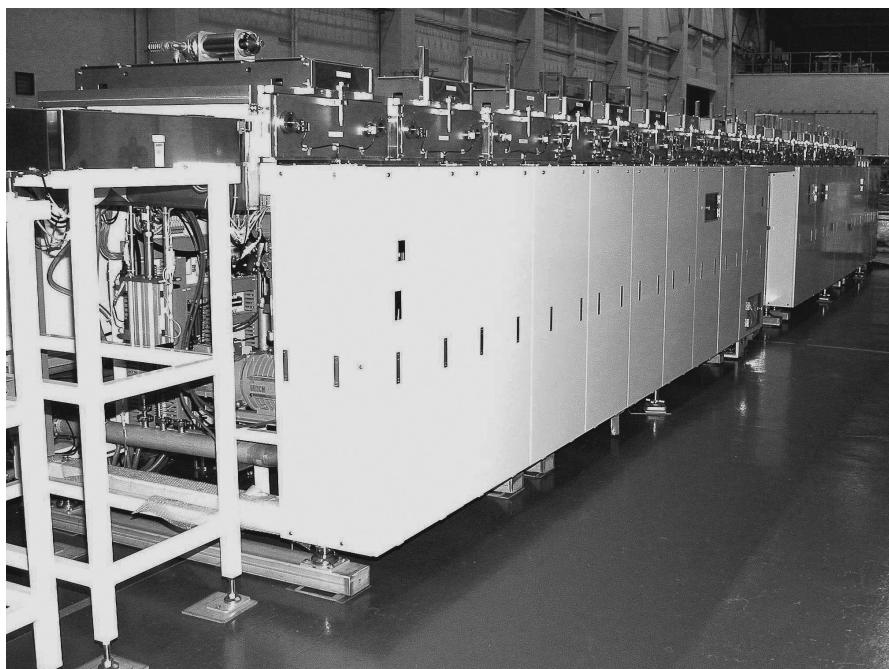
- 環境問題や省エネルギーなど地球温暖化につながる油脂削減問題や廃液処理問題を、ファインセマイクロユニットを使用することで解決することができた。
 - 資源のリサイクル化を促進するなかで、従来産業廃棄物としていた磁性研削屑などを原材料へリサイクルすることができた。
- 今後も工場内環境改善に対応した機器や、地球温暖化防止につながる商品を継続して提供していく所存である。

（参考文献）

- 中原司. ファインセマイクロユニット FSU - 110. 住友重機械技報, p.31, vol.163, no.163, 2007.

太陽電池用成膜装置

Thin Film Coating System for Photovoltaic Cell



近年、太陽電池は結晶シリコン系が主流であるが、シリコン材料供給問題や発電コストの低減問題で、シリコン使用量が少ない薄膜シリコン系太陽電池やシリコンをまったく使用しない化合物系太陽電池への期待が高まり、各社で開発と実用化が進められている。これらは構造上透明電極が必要で、これにZnO系薄膜が用いられており、安価で高性能な膜の生産装置が求められている。今回、低抵抗でかつ高透過率のZnO膜を高速成膜レートで生産可能なZnO用RPD(Reactive Plasma Deposition)装置をラインナップに加えた。

RPD装置は従来の蒸着装置、スパッタ装置およびCVDとは異なるRPD成膜法を適用した装置で、圧力勾配型プラズマガンとプラズマビームコントローラを組み合わせ、蒸発源の直上に高密度プラズマを集束させて蒸発材料を昇華させる。そして、イオン化させて反応性を高めることで、均質な膜を形成できるものである。本装置の膜は緻密で表面平滑であり、ドーパ元素を適正に添加することで更なる高品質の膜質が期待できる。

主要仕様

プラズマ源	圧力勾配型プラズマガン
ハース	プラズマビームコントローラ式
基板姿勢	水平走行、デポアップタイプ成膜式
対応基板サイズ	200×200mm, 400×500mm, 730×920mm
蒸発材料	ZnO焼結体(ドーパ元素: Ga, Alなど)

オプション機能

基板加熱装置	加熱成膜用(パネルヒータ, ランプヒータ)
基板冷却装置	低温成膜用(液体冷却式パネルクーラ)
材料連続供給装置	長時間連続運転用

特長

- (1) 低抵抗膜($2.4 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}$)かつ高透過率(波長400~1000nmにおいて85%以上)のZnO膜が低温で形成できる。
- (2) 成膜室にプラズマガンとプラズマビームコントローラのユニットを適正に配置することで、ユニット1組で基板サイズが400mm幅まで、ユニット2組で400~1100mm幅まで、1100mmを超えると4組を配置して対応できる。
- (3) インライン式装置構成で基板を連続搬送することで、小さなフットプリントで高い生産性が得られる。
- (4) 成膜材料は自動供給機構により供給され、成膜材料の補給は装置運転を中断することなく行えることから、安定した成膜速度で長時間運転が可能である。

油圧ショベル SH120-5

Hydraulic Excavator SH120-5



本開発は、国内オフロード法、北米EPAおよび欧州EU排ガス規制に適合した中型油圧ショベル12トン級を、「SH120-5型」としてフルモデルチェンジして発売するものである。

このフルモデルチェンジ機は、全世界に向けて供給する戦略主力機種であり、世界中の顧客要望を集め、開発の随所に反映した。開発に当たり、先般発売の20トン級と同様に「運動性能」、「経済性能」および「快適性能」という三つの性能について徹底的にこだわり、「SPACE 5（スペース5）」というエンジンシステムと「SIH：S（シーズ）」という油圧システムを開発・融合することで、大作業量の発揮と燃費の15%改善を実現した。

主要仕様

機種名	SH120-5
バケット容量	0.50 m ³
運転質量	12300 kg
定格出力	70.9 kW/2000min ⁻¹
最大掘削半径	8310 mm
最大掘削深さ	5540 mm

特長

(1) 大作業量の実現とサイクルタイムの大幅アップ - バケット掘削力5%アップ、走行駆動力7.5%アップ、バケット閉じスピード37%アップおよびアーム掘削力6%アップを実施したことで、力強い大作業量と大幅なサイクルタイムの短縮を実現した。また新たに追加したSP

(Super Power) モードにより、かつてない大作業量を実現、現行比2.5%の作業量アップを図っている。SPモードへの切替えは、スロットルとモード切替えを連動させた一体型スロットルボリュームにより簡単操作が可能となった。さらに、油圧回路の最適化と操作状態のセンシングにより、オペレータの力加減をスムーズに伝える高い操作性を実現した。操作レバーの投入量に応じて走行速度が変化、複合操作が必要な山間部や高い場所での作業も円滑に行える。

- (2) 新エンジンシステム「スペース5」によるコモンレール超高压燃料噴射システムとトータルの制御技術で9%の燃費改善、新油圧システム「シーズ」によるポンプ制御関係の効率改善で6%の燃費改善を実現し、二つのシステムを高い次元で融合させることで現行機比15%の燃費改善を達成した。整備性としてはショベル上部に登らず地上からのメンテナンスが容易となり、清掃やパーツ交換時間の短縮を図った。本体には管理用コントローラと通信機器を標準装備し、機械の状態を容易に確認でき、管理コスト・メンテナンスコストを削減でき、幅広い情報の入手で機械のトータルマネジメントを図った。
- (3) ワイドキャブの採用により広く大きな前方視界および右下視界を確保し、安全性能が大幅に向上した。さらに、低騒音エンジンおよび低騒音マフラの搭載に加え、遮音・吸音設計などの採用により超低騒音を実現した。

(住友建機製造株式会社 細江 雅義)

油圧ショベル SH75 125 135 225-3B

Hydraulic Excavator SH75 125 135 225-3B



本開発は、国内オフロード法、北米EPAおよび欧州EU排ガス規制に適合した小旋回型油圧ショベル 7 ~ 20トン級を、それぞれ「SH75, SH125, SH135, SH225-3B型」としてモデルチェンジして発売するものである。

この小旋回型油圧ショベルシリーズは、旋回半径が小さく済むことから狭い作業環境、都心の工事や林道工事において威力を発揮し、近年海外においても需要の伸びているモデルである。開発に当たり標準シリーズと同じ低燃費、低騒音型のエンジン「SPACE 5 (スペース 5)」を搭載、上記の排ガス規制に対応するとともに、先般発売の20トン級と同様に「運動性能」、「経済性能」および「快適性能」という三つの性能がセールスポイントである。

主要仕様

	SH75-3B	SH125/135-3B	SH225-3B
バケット容量 (m ³)	0.28	0.45/0.50	0.80
運転質量 (kg)	7330	12700/13200	22500
定格出力 (kW/min ⁻¹)	40.0/2000	70.9/2000	114.4/1800
最大掘削半径 (mm)	6520	8205	9910
最大掘削深さ (mm)	4140	5470	6700

特長

- (1) 4モデルとも、小旋回の弱点である安定性をクラスアップ、標準機と同等以上の安定性を確保している。また、作業量(サイクルタイム)をSH125, 135では4%, SH225では5%のアップを実現した。SH125, 135につ

いては7.5%の走行駆動力アップも実現した。各モデルにおいて、標準シリーズと同等の作業量を確保したことにより、都心、林道工事のみならず、後端半径が短いという安全性を生かし、あらゆる現場に対応できるモデルとなっている。

- (2) 新エンジンシステム「スペース5」による共通レール超高圧燃料噴射システムとトータルの制御技術(SH75は除く)により、SH125, 135においては新たに設定したEモード(燃費優先モード)で26%, またSH225では5%(現行同等モード比)の燃費改善を達成した。整備性としてはショベル上部に登らず地上からのメンテナンスが容易となり、清掃やパーツ交換時間の短縮が図れる。本体には管理用コントローラと通信機器を標準装備している(SH75は除く)、機械の状態を容易に確認でき、管理コスト・メンテナンスコストを削減し、幅広い情報が入手でき、機械のトータルマネジメントが図れる。
- (3) 撥水シート地の採用や内装カラーの変更、また特に市街地使用の多いSH75については、キャブ内騒音5.3 dBの低減により快適な作業空間を提供する。また、エンジン騒音の低減によりSH75は2.1 dB, SH125, 135は3 dBの周囲騒音低減を実現した。SH125, 135については、国内超低騒音認定を取得した。

(住友建機製造株式会社 高嶋 康二)

油圧ショベル SH330-5 SH350HD-5

Hydraulic Excavator SH330-5 SH350HD-5



本開発は、国内・欧米の排出ガス3次規制、国内騒音規制および欧州騒音規制などの環境規制に適合した油圧ショベル33トン・35トン級を、「SH330-5型」および「SH350-5型」としてフルモデルチェンジして発売するものである。

このフルモデルチェンジ機は、インフラ整備などの大型土木工事、エネルギー資源開発や砕石現場などのハードな作業現場用として全世界に向けて供給する中大型クラスの戦略主力機種である。従来機から搭載の「SPACE 5（スペース5）」というエンジンシステムと新油圧システムである「SIH：S（シーズ）」を融合することで、かつてない大作業量の発揮と燃費の改善を実現した。

主要仕様

	SH330-5	SH350HD-5
バケット容量 (m ³)	1.4	1.6 (HD)
運転質量 (t)	33.0	35.2
定格出力 (kW/min ⁻¹)	202/1900	202/1900
最大掘削半径 (mm)	11170	10670
最大掘削深さ (mm)	7340	6730

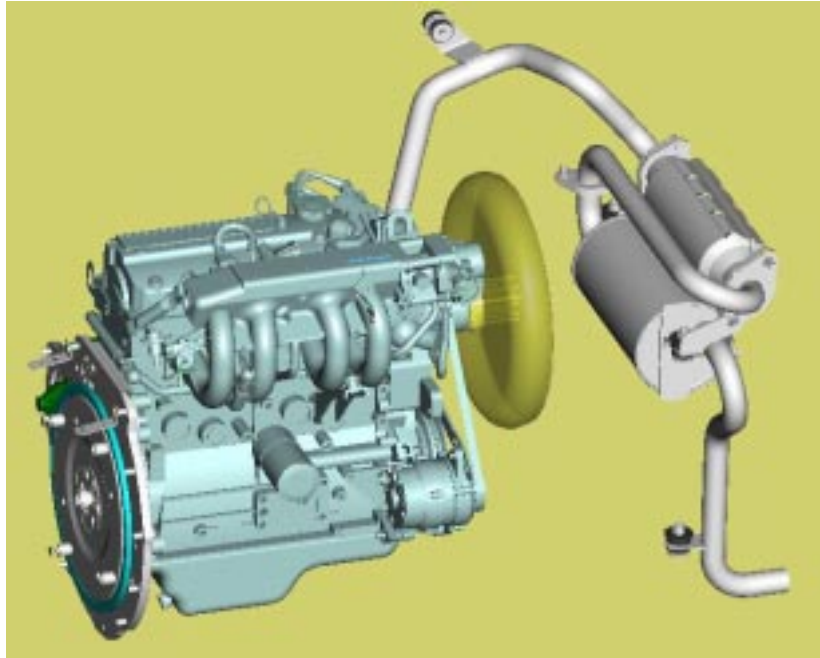
特長

- オペレータや工事現場周囲で働く人の安全環境を確保することを第一に考え、FOPS、OPS、アクセスおよび視界性などの安全規格に準拠、オペレータ保護ガード設定や手摺を充実、日常点検・定期点検部位の配置やアクセス方法の改良を実施している。集中配置の安全スイッチ、走行アラーム、大音量ホーンおよびゲートロックを標準装備し、視界性を飛躍的に向上させた新型オペレータキャブの搭載、後方確認を行えるバックカメラとモニタの装備を実施している。
- 高まる地球環境への配慮に応じて、排出ガス規制適合エンジンを搭載、国内・欧州の騒音規制認定を取得している。エンジン制御の改良と油圧機器の改善を実施し、排出ガス量の低減や高周波領域の音圧を低減させ、環境への配慮を強化した。グリースや作動油の劣化による交換・廃却量を抑えるべくEMS（Easy Maintenance System）や高性能フィルタを採用することで、環境に与える影響を大幅に低減した。
- 従来機で40%のエンジンオイル消費の低減と5%の燃費低減を実現した排出ガス3次規制適合エンジンの共通レール電子制御システム「スペース5」を搭載し、本機では新油圧システム「シーズ」を搭載したことで「スペース5」との高次元での融合を図り、さらに燃費低減を実現した。同時に油圧回路・油圧機器の改良を行い、操作性の改良、バケット閉じスピード33%アップ、サイクルタイム短縮を図り、かつてない大作業量を効率よく産出せる作業性を実現した。
- デザインは、厳しい作業環境での安心感、軽快感のみならず、都市部作業での周囲環境や景観との調和を配慮した。

（住友建機製造株式会社 高橋 秀樹）

フォークリフト用低排出ガスのガソリン・LPGエンジンシステム

Low Exhaust Emission - Gasoline・LPG Engine System for Forklift Truck



これまでフォークリフトを含む特殊自動車に関する排出ガス規制は、出力19～560 kWのディーゼルエンジン車のみが対象になっていたが、2006年から新たな排出ガス規制が導入され、ディーゼルエンジン車の排出基準強化とともに、ガソリンおよびLPGエンジン車に対する排出ガス規制が追加された。(注)また、新排出ガス規制では、従来の規制にはなかったシステムの耐久性に関する基準も追加され、厳しい内容となっている。

住友ナコマテリアルハンドリング株式会社(住友ナコMH)では、ガソリン・LPGエンジンの排出ガス規制導入に先駆けて、低排出ガス・LPGエンジンをオプション設定していたが、今回ガソリンエンジン用の排出ガス規制対応システムの開発に合わせて、基本システムの統合、性能/耐久性の向上を図った。

(1) 新ガソリン・LPGエンジンシステムの特徴

- ()内に、従来方式/新システムのメリットを示す。
- 電子制御式燃料噴射装置をガソリンおよびLPGエンジンともに採用した。(機械式キャブ・ミキサ/低排出ガス化)
 - エンジンコントローラにより点火時期の最適制御化を図った。(機械式進角装置/性能向上・低排出ガス化)
 - 空燃比センサを装備し、フィードバック制御を可能にした。(制御なし/低排出ガス化)
 - 三元触媒を採用した。(触媒なし/低排出ガス化)
 - 電子制御式ガバナを装備した。(機械式ガバナ/性能向上・低排出ガス化)

- エンジン制御と車輪速度制御を統合したコントロールユニットを開発した。(ユニットなし/性能向上・低排出ガス化)

これらの施策を盛り込むことにより、新ガソリンおよびLPGシステムでは、排出ガス規制への適合と同時に、住友ナコMH従来車比で5～10%の燃費改善も達成することができた。

(2) 新エンジンの排出ガス性能比較

	排出ガス値 (g/kWh)		
	CO	THC	NO _x
排出ガス規制値(ガソリン・LPG)	20.0	0.6	0.6
従来の標準ガソリン車	36.2	4.4	22.1
新排出ガス規制対応ガソリン車	2.0	0.05	0.01
従来の標準車に対する低減率	94%	99%	99%
従来の標準LPG車	28.0	2.1	12.1
従来のオプション低排ガスLPG車	1.5	0.15	0.36
新排出ガス規制対応LPG車	1.5	0.01	0.02
従来の標準車に対する低減率	95%	99%	99%

ISO 8187 4 C2モードテストによる排ガス測定値である。
数値は、代表的エンジンの一例を示す。

注 新排出ガス規制の適用時期は、エンジンの種類および出力区分によって分かれている。今回紹介するガソリン・LPGエンジン車は、対象となる19～560 kWの全出力区分とともに切替え完了期限は2008年8月末である。

(住友ナコマテリアルハンドリング株式会社 加藤 恭正)

住友重機械技報第167号発行にあたり

住友重機械技報第167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。

2008年8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)

(発信元)

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

貴組織名
担当部署
氏 名
TEL No.
FAX No.

住友重機械技報第167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)

(新送付先)

送付番号 _____

送付番号 _____

組織名称 _____

組織名称 _____

担当部署 _____

→ 担当部署 _____

所在地 _____

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。

論文・報告の中では _____

技術解説の中では _____

新製品紹介の中では _____

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,プレストギヤモータ,コンパワー遊星歯車減速機, [平行軸]バラマックス減速機,ヘリカルパディボックス, [直交軸]バラマックス減速機,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,バラマックス,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,インジェクションフロー成形システム,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

レーザドリルシステム　**レーザアニーリングシステム****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****YAG高調波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XYステージ**Nanoplaneシリーズ　**リニアモータ** Nanoplaneシリーズ　**マイクロマシン**　**エキシマレーザアニーリングシステム**　**ウエハ研削装置**　**ウエハ洗浄装置**

AURORAおよびNanoplane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** : 都市ごみ焼却施設,リサイクル施設,流動層ガス化溶融炉,産業用廃棄物処理施設　**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　**精密XYステージ**Nanoplaneシリーズ　**リニアモータ**Nanoplaneシリーズ　**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およびNanoplaneは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

事業所

本　　社	〒141-6025	東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術開発センター	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
関 西 支 社	〒541-0041	大阪市中央区北浜4丁目7番26号(住友ビル2号館)	技術開発センター	〒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			
　　西奈工場	〒799-1393	愛媛県西条市今在家1501番地			

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**　**動く歩道**

金属加工機械

鍛圧機械 : フォージングプレス,油圧プレス,フォージングロール,超高压発生装置　**工作機械**,**クーラント処理装置**　**SPX(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**,**ゴライアスクレーン**,**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**,**スタッカノリクレーマ**),**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**

船舶海洋

船舶 : **油槽船**,**撒積運搬船**,**鉱石運搬船**,**鉱油兼用船**,**コンテナ船**,**自動車運搬船**,LPG船,LNG船,**カーフェリー**,**ラッシュ船**,**作業船**,**大型洋式帆船**,**巡視船**,他　**海洋構造物** : **海洋石油生産関連構造物**,**浮体式防災基地**,**浮体式海釣施設**,その他**海洋構造物**　**海洋開発機器** : 各種**ブイ**,**船用環境機器**

インフラ整備関連

橋梁 : 一般橋,長大橋　**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・バルブ製造装置,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**)**パイボラック**(**横型2軸反応装置**)

マックスブレンドおよびパイボラックは,住友重機械工業株式会社の登録商標です。

建設機械,**産業車輛**

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**

その他

航空用機器,**精密鑄鍛造品**,**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。

技 報 編 集 委 員

委 員	渡 辺 哲 郎	委 員	太 田 朝 也
	石 塚 正 之		井 辻 孔 康
	増 田 雅 之		木 村 良 幸
	大須賀 浩 幸		梅 田 健 太 郎
	三 田 秀 樹		乃 美 和 博
	平 田 秀 徹		久 保 隆
	西 原 秀 司		日 南 敦 史
	川 井 浩 生		古 川 竜 治
	村 野 賢 一	事務局	技術本部
	池 田 一 茂	アシスト	SNBC
	木 村 一 博		勝千代田プランニング
	小 島 宏 志		

住 友 重 機 械 技 報

	第167号 非売品
	2008年8月10日印刷　8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)869-2302
発 行 人	吉 井 明 彦

無断転載・複製を禁ず　©