

住友重機械技報

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW

環境施設小特集
No. 146

2001年8月

巻頭言 環境施設小特集の発行に当たり

●春口健二

〈環境施設小特集〉

総説

1

●近藤正樹

論文・報告 ガス化溶融炉の開発

3

●江原信夫、阿川隆一

論文・報告 高効率汚泥処理システムの開発

9

●中川 崇、手嶋 実、大塚 敬

論文・報告 小型コンポスト設備の実証試験

13

●佐藤三生男、佐藤 浩、瀬崎賢二郎

論文・報告 家畜糞尿処理システムの開発

17

●岡崎良安、野口真人、生村隆司、加藤明徳

技術解説 汚泥減溶化システム

21

●鈴木 公

論文・報告 高速繊維ろ過を前処理とした

高効率UF膜ろ過浄水システムの開発

23

●江川 健、真鍋教市、井上 勇、佐藤三生男

論文・報告 生物ろ過設備による下水2次処理水の高度処理

27

●尖石美子、中尾彰夫、小園正信

技術解説 超微細気泡散気装置「エアレボ」

31

●本藤和臣、小園正信、富田 欣、中尾彰夫

技術解説 下水放流水の紫外線消毒

33

●小山哲三、中尾彰夫、小園正信

論文・報告 石炭火力用低低温電気集塵装置

35

●名嶋慎司

技術解説 焼結用乾式脱流・脱硝装置

39

●廣野拓哉、田中新実、桂原一孝、後藤博樹

〈論文・報告〉

論文・報告 標識合成装置

41

●田中 明、水津弘太郎、新屋 洋、佐佐木基仁

論文・報告 中間段リングサイクロロン(IRC)の製作

45

●日朝俊一、小野恒一、熊田幸生

論文・報告 ヘリコプタ搭載カメラマウントの制御性能の改善

49

●吉田竜也、大塚康洋

〈新製品紹介〉

新型標準ギヤボックス パラマックス9000シリーズ

53

2輪ごみクレーン巻上げ用減速機 SHCシリーズ

54

IPMモータ駆動用インバータ AF-330

55

新型単相電動機(0.1~0.2kW)

56

油圧シヨベル SH75X-3/SH125X-3/SH135-3

57

油圧シヨベル SH300-3/SH400-3

58

油圧シヨベル SH800LHD-3

59

クローラクレーン SC2000-3

60

自走式ロールクラッシャ SS180RG

61

新型電気式フォークリフト FB09-30PE

62

On Publishing Special Section of Environmental Facility

●K. HARUGUCHI

SPECIAL SECTION OF ENVIRONMENTAL FACILITY

	Introduction	1
		●M. KONDOH
<i>T/PAPER</i>	Development of Gasification and Melting System for MSW	3
		●N. EHARA, R. AGAWA
<i>T/PAPER</i>	Development of High Efficient System for Dispose of Sewage Sludge	9
		●T. NAKAGAWA, M. ICHIMA, K. OOTSUKA
<i>T/PAPER</i>	Verifying Function of Small Compost Facility	13
		●M. SATOU, S. SATOU, K. FUCHIYAKI
<i>T/PAPER</i>	Development of Livestock Excreta Treatment System	17
		●Y. OKANISHI, M. NOGUCHI, T. IKUMURA, A. KATO
<i>T/INVENTION</i>	Reduction System of Sludge Contents	21
		●T. SUZUKI
<i>T/PAPER</i>	Development of High-Flux UF Membrane Filtration System with Pre-Treatment of High-Flux Fiber Filtration	23
		●T. EGASHI, K. MANABE, I. INOUE, M. SATOU
<i>T/PAPER</i>	Tertiary Sewage Waste Water Treatment Using Aerobic Biological Filter	27
		●Y. SHISHIDO, M. KOSEKI, A. NAKAO
<i>T/INVENTION</i>	Ultra-Fine Bubble Aeration Panels "Air Revol"	31
		●K. HONDOU, M. KOSEKI, Y. TOMITA, A. NAKAO
<i>T/INVENTION</i>	Ultraviolet Radiation System for Disinfecting Waste Water	33
		●T. KOBAYASHI, A. NAKAO, M. KOSEKI
<i>T/PAPER</i>	Lower Temperature EP for Coal Fired Power Plant	35
		●S. NAJIMA
<i>T/INVENTION</i>	Dry Process Desulfurization Denitrification System for Sinter Machine	39
		●Y. TAKANO, H. TANAKA, K. KATSURAHARA, H. GOTO

TECHNICAL PAPER

	Labelled Compounds Synthesis Module	41
		●A. TANAKA, K. NAGATSU, H. ARATA, M. SASAKI
	Manufacturing of RIKEN Intermediate-Stage Ring Cyclotron (IRC)	45
		●T. HIJASA, K. ONO, Y. KUMATA
	Improvement of Control Performance of Camera Mount System Installed on Helicopter	49
		●T. YOSHIDA, Y. OHYUKA

NEW PRODUCTS

	Standardized Gear Box PX9000 Series	53
	Crane Hoist Drive with Twin Shafts SHC Series	54
	High Performance IPM Inverter AF-330	55
	New Single-Phase Induction Motor (0.1~0.2kW)	56
	Hydraulic Excavator SH75X-3/SH125X-3/SH135X-3	57
	Hydraulic Excavator SH300-3/SH400-3	58
	Hydraulic Excavator SH800LHD-3	59
	Crawler Crane SC2000-3	60
	Roll Crusher SS180RG	61
	New Electric Powered Fork Lift Truck FB09-30PE	62

環境施設小特集の発行に当たり

常務執行役員 春口 健二



3年間のプラント・環境事業本部長を辞するに当たり、21世紀初頭の今、環境事業について日頃感じていることを述べてみたい。

日本はかつて世界から[黄金の国、ジャパン]といわれたが、私達にとっては黄金連山でなく、今も昔も変わらぬ生活環境・自然環境の豊かな国と言える。なぜなら周囲を囲む海や縦走する山岳(緑)が、四季折々の生活環境と、海の幸、山の幸、里の幸を私達に恵んでくれる。樹木が水を守り(保水、浄化)、山々は貯水池のごとく雪解けの清水をたくわえ、夏の野を潤す。水がおいしい。空気が気持ちよい。緑と紅葉が心と目を保養してくれる。また、南北に細長い国土には、四季の変化に富んだ土地それぞれの風景と生活風土があり、多様な文化が育まれている。私達の先祖もそれぞれの地域に流れ、住み着き、この環境を黄金の国土と感謝した。そして知恵と努力で、生活向上と文化創造を繰り返しながら発展してきた。

今の日本の生活環境はどうだろう。戦後以降の一時期、日本はインフラ整備、国をあげての物作り、高度経済成長を推し進めた。その結果、世界でトップクラスの貿易立国となり物的豊かさで社会資本整備は整ったが、古来日本の伝統だった質素儉約、物を大切にす文化は薄れ、使い捨て文化と贅沢が異常な状態で定着しつつある。今や食物の半数以上が輸入品であり、食材の40%が生ごみとして捨てられている。車はあふれ、大気汚染、騒音が社会問題になった。植林保護の不備などで山土が痩せ、河川の汚濁の一因にもなっている。産業廃棄物の処理場不足も深刻さを増し、製造設備と供給の動脈産業と同様に、リサイクル、再資源化など静脈産業の整備が急務となっている。

しかし、まだまだ日本の自然環境は恵まれており、外国人からみると黄金の国に変わりはない。世界一の長寿国となったし、国民の環境への理解は更に高まり、一億総ダイオキシンの博士と言われるほどとなった。先輩が多くの財産(物流や生産のインフラ、変わらぬ国土や安全など)を残してくれており、環境設備についても普及率は着々と向上している。今も、豊かな国である。この恵まれた環境遺産を維持向上し、次世代へ引き継ぐことが、私達の責務である。

今後は生活様式の変化とともに、環境設備に関するニーズもますます多様化し、高度化、複合化、広域化等技術上、行政上の変化が予想される。更に各自治体の財政難は深刻で、環境設備の維持管理費用の節約や、新設でなく既存の設備を改造しての長寿命化も急務となっているし、発注形態も構造指針から性能指針へと高性能で低コストの要求が高まっている。一方、地球温暖化や資源の有限性等地球規模での環境問題の観点から、環境設備はごみの減容化、汚泥等のコンポスト化、熱エネルギー回収など資源循環型社会の実現に寄与することも必須である。また、民間企業も、“環境に優しく”、“ごみゼロ化をめざすトータルソリューション”という社会的使命が求められており、今後多様なニーズが生まれ、その規模も急速に拡大するだろう。

今後、私達プラント・環境事業本部の使命は、その地域の生活者にとって最も大切な設備であるこれらの環境設備の維持管理やサービスの向上に努めるとともに、次代のニーズに対応できるよう、新技術の開発と既存技術のレベルアップで顧客満足に徹することだ。そのためにも営業、技術、研究所、維持管理技術が、更に一体化し、切磋琢磨し、力をつけるべきである。例年受け入れている10数名の新人技術者が、間もなく100名、200名の次次代を背負う軍団として立ち上がってくる。今後は特にアジアの国々とも協調し、地域全体の環境を配慮し、お互いの生活環境改善へ貢献できる集団でありたい。

環境施設小特集

総 説

Introduction

近 藤 正 樹*

Masaki KONDOH



1 はじめに

当社のプラント・環境事業本部は水処理、排ガス処理、廃棄物処理のための設備／装置／機器と流動層ボイラや化学装置を手がけ、広く環境技術をカバーしている。本小特集では11件の環境技術を紹介するが、その内訳は水処理が8件、排ガス処理が2件、廃棄物処理が1件となっている。

水処理の分野では、その半数が汚泥減容化に関するものである。水処理では必然的に汚泥が発生し、最終処分場の逼迫や高い処理費用のために汚泥の減容化技術が求められている。しかし、汚泥の発生源や種類・量等によって焼却、コンポスト、メタン発酵や乾燥などの多様な技術が必要となる。また、最近では地方自治体の財政悪化に伴い、省エネルギー対策や低コストで高度処理ができる設備、機器が強く求められている。ここでは、酸素溶解効率の高い散気装置、長寿命の紫外線ランプによる殺菌と上水UF膜の閉塞防止技術について報告する。

排ガス処理の分野では、当社は古くから電気集塵装置と活性炭／活性チャーによる乾式脱硫・脱硝設備を手がけており、低低温電気集塵装置、及び新たに除塵機能を備えた乾式脱硫・脱硝装置を紹介する。

廃棄物処理では、都市ゴミ焼却炉、産業廃棄物焼却・溶融炉やリサイクルセンターの建設を行ってきた。ここ数年、都市ゴミのガス化溶融炉の開発が盛んに行われているが、当社も2001年1月に廃棄物研究財団からガス化溶融炉技術評価書を取得したので、今まで行ってきた実証試験結果を報告する。

以上の11件の技術概要を、次に紹介する。

2 廃棄物処理

2.1 ガス化溶融炉

近年、ダイオキシンの大幅な低減、灰の溶融スラグ化による無害化などを目的として、都市ごみのガス化溶融炉の開発が盛んに行われるようになり、実設備の建設も増えてきた。当社は循環流動層とロータリーキルンを組み合わせたガス化溶融システムを開発し、2001年1月に廃棄物研究財団から技術評価書を受領した。本システムの特徴は都市ごみ乾燥機を付設しているため、幅広いごみ質に対して安定運転が可能なことである。またガス化炉で発生した熱分解ガスは油分が少なく、更に冷却除塵することで清浄なガスが得られた。溶融炉の燃焼排ガス処理にも十分な対策を講じてあり、スラグは土木資材として利用できることを確認した。

3 汚泥減容化

3.1 高効率汚泥処理システム

大量の下水汚泥を処理する場合、焼却は有効な方法の一つであるが、最近の地方財政の逼迫から焼却炉の建設費や処理費の低減が強く求められている。汚泥焼却で問題になるのは、約80%の含水率である。もしこれを70%程度に下げることができたら、それだけで汚泥量は約40%減少するので、燃料消費も排ガス量も減り装置も小さくなる。そこで、汚泥含水率を70%以下にできる新型脱水機と合わせて循環流動層で効率よく焼却することによって、汚泥処理費と焼却炉の建設費を大幅に下げようとするものである。

3.2 小型コンポスト設備

農業集落排水処理場から発生する余剰汚泥は数10kg/日と少なく、大半は廃棄処分されている。しかし、この汚泥は重金属等で汚染されていないので緑農地へ還元できるコンポスト化のニーズが高まっており、安価で省スペースな装置が求められている。籾殻などの水分調整材を用いることなく、1週間のバッチ処理方式で実証テストを行い、良質なコンポストが得られた。

3.3 家畜糞尿処理システム

全国で発生する家畜糞尿は年間9000万tと言われ、臭気問題や地下水汚染を引き起こしている。当社は財団法人畜産環境整備機構の補助を受け、東京農業大学で実証テストを開始した。処理プロセスは膜分離を組み込んだメタン発酵で、メタン菌を高濃度化するとともに清澄なメタン発酵脱離液を得ることができる。更にアンモニアストリッピングで脱離液の窒素除去を行っており、コンパクトで低処理コストの設備を目指している。

3.4 汚泥減容化システム

最近、産廃処理業者の汚泥引取り価格が上昇し、工場の維持管理費を大きく圧迫しており、汚泥減容化設備の引き合いが増えている。その減容化のための簡便な方法として、汚泥乾燥がある。含水率80%の汚泥を瞬時に含水率5%の粉末にする遷音速の過熱スチームによる直接乾燥システムを紹介する。

4 上水・下水処理

4.1 高効率UF膜ろ過浄水システム

最近、浄水場で膜ろ過の使用が増えている。しかし、膜ろ過には膜の閉塞という問題があり、これを解決するため岐阜大学と共同研究を行った。実証試験では閉塞の原因となる濁質等を繊維ろ材を用いた凝集ろ過で前処理した後、膜処理を行った。その結果、膜閉塞を解決しただけでなく、膜処理だけでは得られない良質な水が安定して得られるようになった。

4.2 生物ろ過設備による下水2次処理水の高度処理

下水処理水の再利用や放流水域の環境保全のために、下水の高度処理が求められている。当社のバイオフィルタは、ろ過機能の他にろ材表面の微生物による有機物やアンモニア態窒素等を高度に処理する機能を持っていることを実証した。

4.3 超微細気泡散気装置『エアレボ』

下水処理施設の消費電力の40~50%を占める活性汚泥反応タンクの曝気システムの省エネルギーは維持管理費の大きな削減になるだけでなく、地球温暖化防止の観点からも注目されている。そこで、平均気泡径1mmの超微細気泡散気装置を用いたところ、従来の散気装置に対して約20%の風量削減効果があった。

4.4 下水放流水の紫外線消毒

紫外線(UV)消毒は残留性がないので環境に優しい消毒法であるが、UVランプは寿命が短いという欠点があった。当社が採用したランプは、インジウムアマルガムを用いた長寿命型であり、テストの結果、保証寿命が最長12000時間で、水温変動に強いランプであった。また水の汚れ(UV透過率)により、ランプ強度を自動制御することで効果的な消毒を行った。

5 排ガス処理

5.1 石炭火力用低低温電気集塵装置

石炭焚きボイラの電気集塵装置は集塵性能を上げるため集塵温度を下げて来て、ついに100以下の温度領域の低低温電気集塵装置が提案されるようになった。この温度領域では、集塵極や放電極への硫酸塩付着による性能低下、コロナクエンチ現象やダストの電気抵抗率の低下によるダスト再飛散などの問題があった。これらを解決して電源開発株式会社橋湾火力発電所に低低温電気集塵装置を納入し、2000年末から順調に稼働している。

5.2 焼結用乾式脱硫・脱硝装置

本装置は新日本製鐵株式会社名古屋製鐵所に納入し、1999年5月から稼働しているが、活性チャーによる脱硫・脱硝機能の他に脱塵機能を有している。つまり、移動層集塵装置でもある。吸着塔は多孔板で仕切られ、前中後の3室に分かれている。活性チャーの移送速度は、前室>中室>後室とダスト濃度の高い上流ほど速く設定されている。吸着塔出口のダスト濃度は10mg/Nm³以下になっており、高い評価を得ている。

6 おわりに

地方自治体の財政悪化、地球温暖化対策、ごみ最終処分場の逼迫など様々な理由から、環境装置/設備には省エネ、低コスト、高性能及び資源・エネルギー回収といった様々な要望が寄せられている。当社は総合環境装置メーカーとして、これらの多様なニーズに技術、営業及び研究部門が一致協力して応えて行く所存である。

環境施設小特集

ガス化溶融炉の開発

Development of Gasification and Melting System for MSW

江原 信夫* 阿川 隆一*

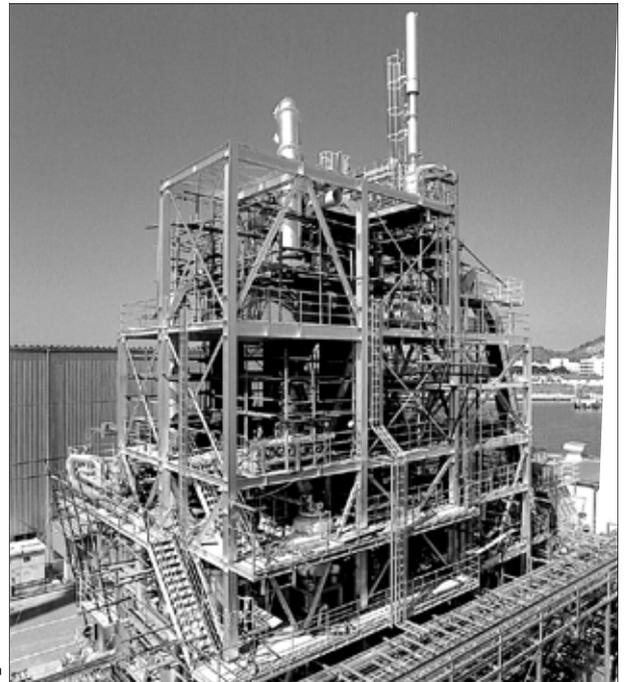
Nobuo EHARA

Ryūichi AGAWA



実証施設

Demonstration plant



溶融炉

ガス化炉

当社は、次世代ごみ処理技術のガス化溶融炉の開発に着手し、当社新居浜製造所内に実証施設（20t/日）を建設した。本システムは都市ごみを対象としており、循環流動層式ガス化炉とキルン式溶融炉で構成されている。

1999年11月より30日連続を含む延べ116日の実証試験を実施し、本システムの妥当性を検証した。

The municipal solid waste (MSW) gasification and melting system has been developed using a 20t/d demonstration plant built in SHI Niihama Works. This system is comprised of a gasifier of circulated fluidized bed type and a melting furnace

of kiln type. In the gasifier, MSW is converted to combustible gas and char at a gasification temperature of 770-900 . In the melting furnace, a part of combustible gas and char is burned at a temperature of over 1200 . Then the ash in char is melted. Surplus gas is used as fuel at a MSW dryer and a boiler. The demonstration test has been conducted for a period of 1.5years (including continuous 30days) since November 1999. During this operation, this plant has processed 2224t MSW. Operation results indicate that dioxins emission in flue gas (stack inlet) is below 0.1ng/Nm³ and safe and useful slag is produced in this plant.

1 まえがき

近年最終処分場の逼迫、ダイオキシン類の問題という観点から、ごみをガス化し得られた熱分解ガスとチャーを高温で燃焼させてチャー中の灰を溶融しスラグとして回収するガス化溶融炉が次世代ごみ処理技術として注目されている。当社では、1998年にドイツのクルップウーデ社より循環流動層式ガス化炉を技術導入し、当社の実績豊富なロータリーキルン式溶融炉と組み合わせたガス化溶融炉の開発に着手した。1999年11月には当社新居浜製造所(愛媛県)内に都市ごみを対象とした20t/日規模の実証施設を建設し、2000年11月まで30日連続を含む延べ116日間の実証試験を行い、2001年1月に廃棄物研究財団より廃棄物処理技術評価書の交付を受けた。

本報では、実証施設の概要と実証試験結果より得られた知見を報告する。

2 実証施設概要

2.1 プロセスフロー

実証施設のプロセスフローを、図1に示す。ごみヤードに貯留された都市ごみは、破袋された後、磁選機により大型磁性物を分離除去し、1次破砕機で50mm程度に破砕され、乾燥機に定量供給される。乾燥機に供給されたごみは、回転キルン内で攪拌されながら熱風炉で発生させた熱風と直接接触することにより、ごみ中の水分が蒸発し乾燥する。乾燥したごみは、2次破砕機により30mm程度に破砕される。この前処理設備にてごみは水分25%以下に乾燥され、30mmアンダーに破砕されて性状が均質化される。破砕乾燥処理されたごみは、一旦乾燥ごみ貯槽に貯留された後ガス化炉へ供給され、熱分解ガスとチャー（炉底灰と飛灰）に分解される。熱分解ガスは、廃熱回収ボイラで冷却された後バグフィルタにて除

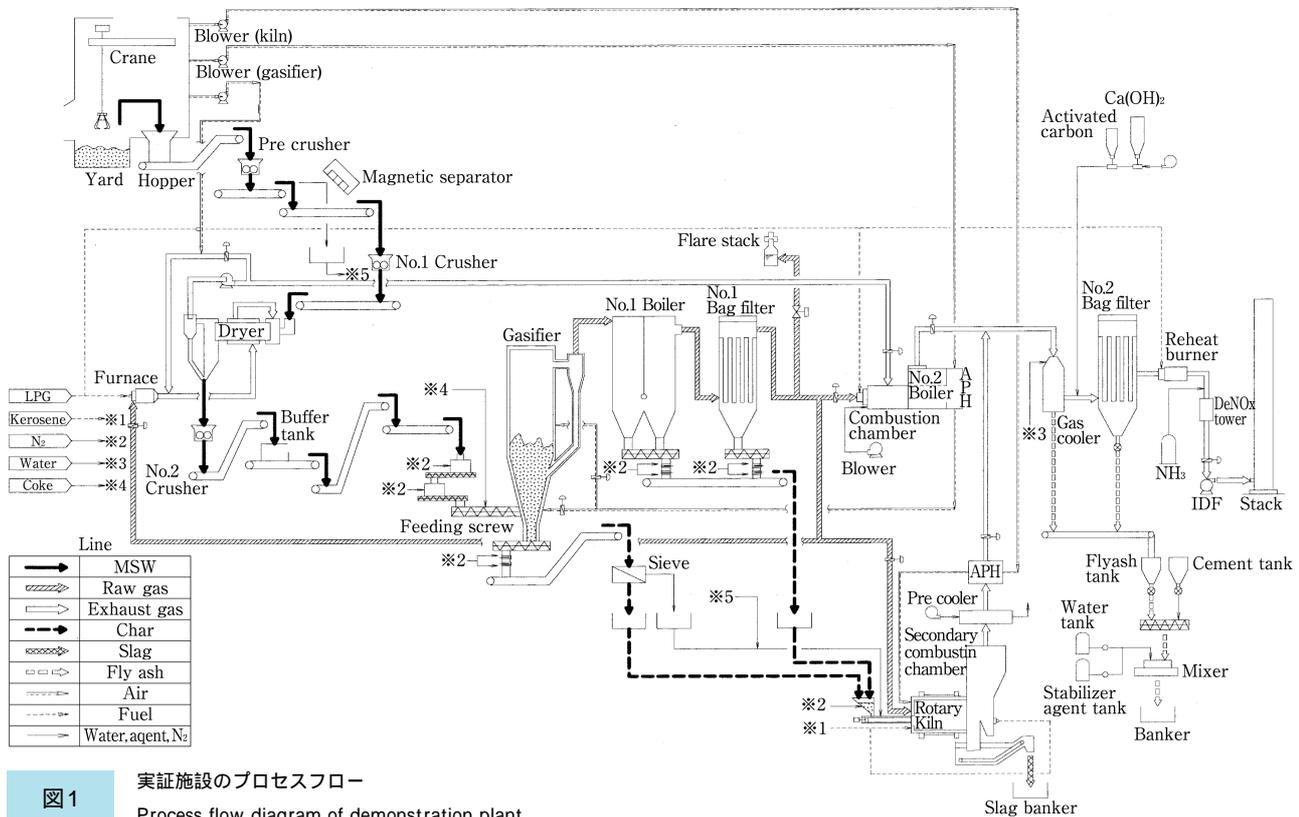


図1 実証施設のプロセスフロー
Process flow diagram of demonstration plant

表1 実証施設仕様
Specifications of demonstration plant

MSW throughput		20t/d
Gasifier	Type	Circulated fluidized bed
	Diameter(free board)	1.1m
	(bottom)	0.3m
	Height	12.4m
	Temperature(fluidized bed)	550 ~ 700
(free board)		770 ~ 900
Melting furnace	Type	Rotary kiln
	Diameter	1.2m
	Length	5m
	Temperature	1200 ~ 1250
Gas treatment unit	HCℓ	Dry process by Ca(OH) ₂ injection
	SO _x	Dry process by Ca(OH) ₂ injection
	NO _x	Catalytic denitrification with NH ₃
	Dust	Bag filter

塵される。本処理を行うことで、ごみ中の塩素類の大半はチャー側に固定されるため、熱分解ガス中の塩素濃度は非常に低く燃料として使用可能となる。冷却除塵された熱分解ガスは、溶融炉、ごみ乾燥機及び熱分解ガス燃焼室の熱源として使用される。チャーは、全量溶融炉に投入され熱分解ガスとともに約1250 で高温燃焼、溶融処理することで溶融固化物(スラグ)として回収される。また熱分解ガス燃焼室では、熱分解ガスを燃焼するとともに乾燥排ガスを導入し850 以上で高温燃焼処理する。溶融排ガス、熱分解ガス燃焼室排ガスは、各々空気予熱器、廃熱ボイラで熱回収される。各排ガスは、熱回収後合流し乾式処理+触媒脱硝方式にて排ガス処理され煙突より排出される。乾式排ガス処理により回収される飛灰は、薬剤処理を行い重金属を固定した固化物として回収される。

表1に、実証施設の仕様を示す。

2.2 主要機器概要

ガス化炉及び溶融炉の構造を、図2に示す。ガス化炉は本

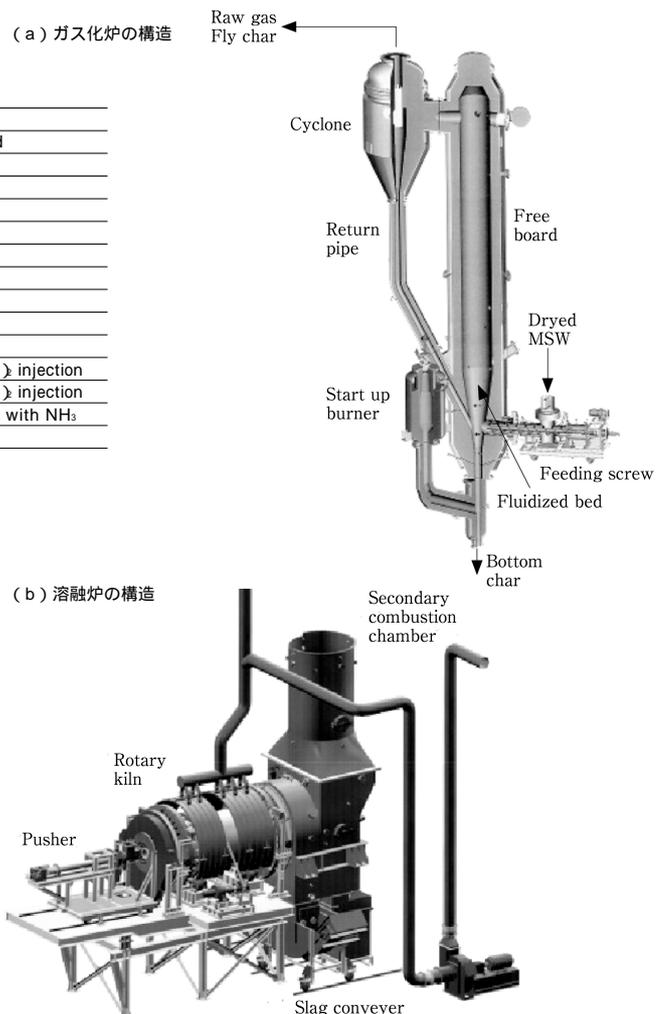


図2 ガス化炉及び溶融炉の構造
Construction of gasifier & melting furnace

体とサイクロン及びリターンパイプで構成されている。このガス化炉の特徴として、次のことが挙げられる。

- (1) 循環流動層方式を採用しているため、チャーは数10回炉内へ戻され循環する。その結果として、チャー中の炭素は効率よくガス化する。
- (2) 流動層部に吹きこむ流動用空気とフリーボードに吹き込むガス改質空気は独立しているため、流動層部とフリーボード部の温度を各々設定することが可能である。そのため、流動層部はクリンカ発生防止を目的として550～700℃、フリーボード部はタール分解促進を目的として770～900℃で制御可能である。
- (3) 流動層部で発生した熱分解ガスは前述のように高温で制御されるフリーボード部にて加熱され、またフリーボードでの滞留時間は5秒間と十分にとっているため、生成される熱分解ガス中にはタール分がほとんど含まれず、後段でのタールトラブルが発生しない。
- (4) 前処理設備にて投入ごみの水分とサイズをできるだけ均質化することにより、都市ごみ特有の大きな質の変動はガス化炉に持ち込まないため、ガス化炉の性能を常時安定して発揮することができる。

溶融炉は、1980年代にPCBを含む有害産業廃棄物の焼却・溶融プロセスとして開発され発展してきたスラグ排出型ロータリーキルンを用いており、供給装置、キルン本体及び2次

燃焼室から構成されている。この溶融炉の特徴として、次のことが挙げられる。

- (1) ロータリーキルンの回転によってチャーは攪拌され、燃焼と溶融が促進される。また、炉内には大きなスラグ溜まりが形成され十分な滞留時間をとることができるので、常に高品質な溶融スラグが生成される。
- (2) キルンからの燃焼排ガスは2次燃焼室において、2次空気を高速で吹き込み2次燃焼室出口排ガスのCO濃度を30ppm以下に制御し、また排ガス温度900～1100℃で2秒以上の滞留時間を確保し、ダイオキシン類の発生を抑制している。
- (3) ガス化炉からのチャーだけではなく、がれき類や廃プラスチックなどの同時処理も可能である。

3 実証試験結果

3.1 ごみ質

実証試験は、新居浜市提供の都市ごみを使用した。図3に、設計ごみ発熱量と、実証試験中のごみ発熱量を示す。ごみ発熱量は、872～2966kcal/kg（3650～12415kJ/kg）であった。

3.2 ごみ処理能力

図4に、実証試験結果に基づいたごみ処理能力を示す。実証試験において、ごみ発熱量とごみ処理能力の関係は、ほぼ

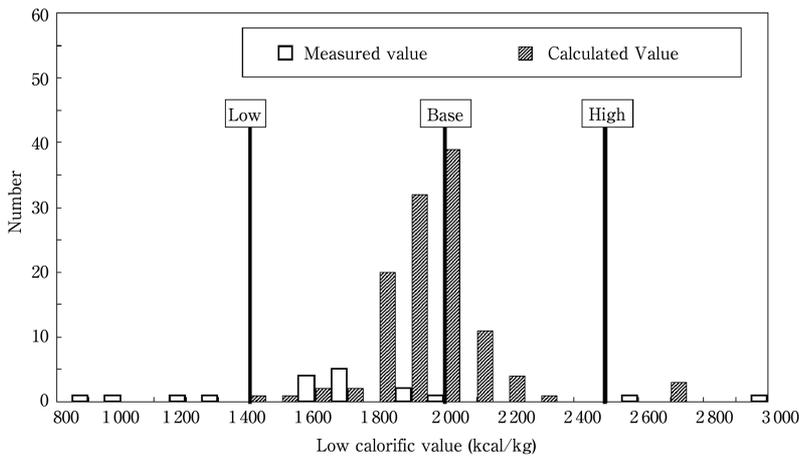


図3 ごみ発熱量
LHV of MSW

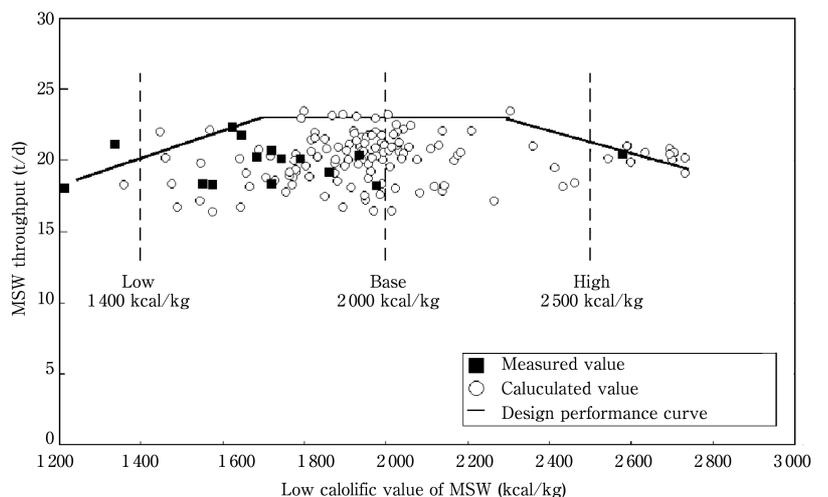


図4 ごみ処理能力
Capacity of MSW throughput

計画値と一致しており、概ね定格ごみ処理量（20t/日）が達成できている。

3.3 ガス化炉内温度の推移

試験中のガス化炉各部の温度推移を、図5に示す。ごみを破碎乾燥し、性状を均一化することで安定した運転となっている。また、流動用空気量とフリーボードでのガス改質空気量を調整し、流動層部の温度を550~700℃、フリーボード部の温度を770~900℃に制御している。

3.4 熱分解ガスとチャーの性状

表2に、熱分解ガス、熱分解ガス燃焼排ガス及びチャーの

性状を示す。熱分解ガスの性状は、冷却除塵後の値である。ばい塵、タール分が少ないガスが生成されていることがわかる。また熱分解ガス燃焼排ガス中のばい塵及びHC濃度が低いことから、従来のごみ焼却炉での排ガスによる高温腐食環境とは大きく異なる条件であり、熱回収を行う上で有利になると考えられる。チャー中の塩素濃度は8.15~10.65%と高い値をとっている。図6に、本システムの塩素収支を示す。ごみ中の塩素の96.9%がチャーに固定されていることがわかる。またチャー中の炭素量は計画値である30%以下を満足しており、ごみ中の炭素の90%以上がガス化している。

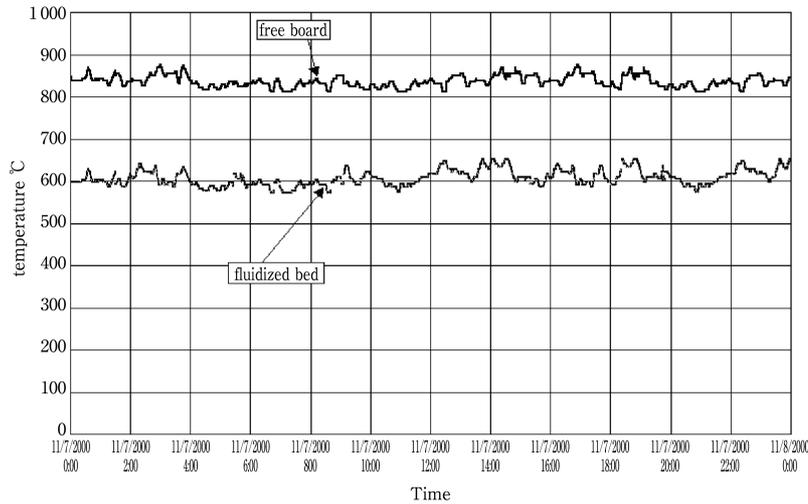


図5 ガス化炉内温度推移
Temperature trend in gasifier

表2 熱分解ガス、熱分解ガス燃焼排ガス及びチャーの性状
Compositions of combustible gas & flue gas & chars

(a) 熱分解ガスの性状

Item	Unit	2000/11/7
Dust	%-dry	0.03
H ₂	%-dry	10.8
O ₂	%-dry	0.05
N ₂	%-dry	59.8
CO	%-dry	11.1
CO ₂	%-dry	13
CH ₄	%-dry	4.4
C ₂ H ₆	%-dry	0.026
C ₂ H ₂ +C ₂ H ₄	%-dry	0.58
C ₂ H ₈	%-dry	<0.001
C ₂ H ₆	%-dry	0.012
Oil	g/Nm ³ -dry	2.1

(b) 熱分解ガス燃焼排ガス性状

Item	Unit	2000/9/5	2000/9/5	2000/9/7	2000/9/8	2000/11/7	2000/11/12
HC ℓ	ppm-O ₂ 12%dry	6	4	7	4	4	4
SOx	ppm-O ₂ 12%dry	69	64	83	37	58	53
H ₂ S	ppm-O ₂ 12%dry	-	-	<1	-	-	-
Dust	g/Nm ³ -O ₂ 12%dry	-	-	-	-	0.001	0.002

(c) チャー性状

Item	Unit	2000/5/18	2000/5/25	2000/11/7
Moisture	wt.%	6.30	6.01	6.16
Ash	wt.%	63.21	68.07	66.64
Combustible	wt.%	30.49	25.92	27.20
C	wt.%	64.69	44.16	54.43
H	wt.%	2.36	2.69	2.53
O	wt.%	23.56	38.74	31.15
N	wt.%	0.98	0.94	0.96
S	wt.%	0.25	0.31	0.28
Cl	wt.%	8.15	13.15	10.65
Low calorific value	kJ/kg	9151	7736	8443

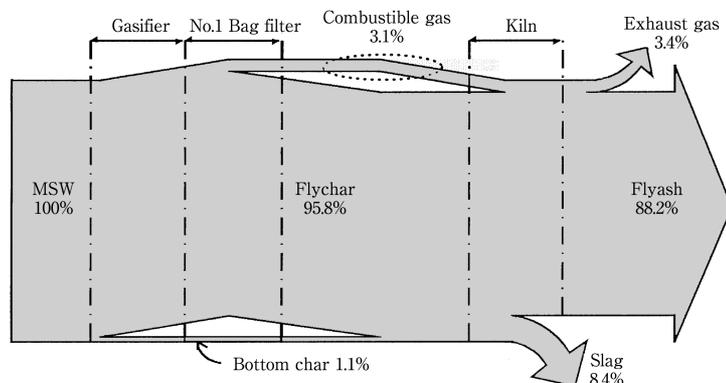


図6 塩素収支
Cl balance

3.5 溶融炉内温度，2次燃焼室出口O₂，CO濃度推移

溶融炉の温度，2次燃焼室出口O₂，CO濃度推移を，図7に示す。本図より，COのピークを30ppm以下に抑制すると同時にO₂濃度を2～3%で制御できている。従来の焼却排ガス中のO₂濃度が6～8%であるのに対し，本システムが低空気比の運転ができていていることがわかる。なお，酸素濃度にばらつきがあるのはガス化炉からの生成ガスの発熱量変動によるものであるが，CO濃度は低く抑制されており発熱量変動に十分対応できていることがわかる。

3.6 チャーの燃焼特性

図8に，溶融炉への投入したチャー中の炭素量と溶融炉内燃切り位置との関係を示す。図8に示すように，炭素量が増加するに従って燃切り位置が溶融炉出口に近づいている。

ごみを定格処理（20t/日）した時のチャー発生量は70～100kg/hであり，チャー中の炭素含有率を30%とすると21～30kg/hの炭素量となり，燃切り位置が3mで燃焼完了してい

る。実証施設の溶融炉の長さは5mと余裕があるため，溶融炉からは，未燃物のない良質なスラグが生成されていることがわかる。

3.7 スラグ性状

表3(a)に，スラグの溶出試験結果を示す。再生利用に係わる目標基準を満足する結果が得られており，アスファルト骨材への適用が可能であることを確認した。また表3(b)に示すように，溶媒のpHを変化させた場合においてもpH2～12の範囲で再生利用に係わる目標基準を満足する結果が得られたことから，再利用の範囲が広がると考えられる。

3.8 排ガス，溶融飛灰性状

煙突入口での排ガス及び溶融飛灰の性状を，表4に示す。排ガスについては，全ての項目について，自主管理値を満足する結果を得た。

溶融飛灰は特別管理一般廃棄物であり，厚生省告示194号で定められた処理を行う必要がある。表重金属固定剤（キレ

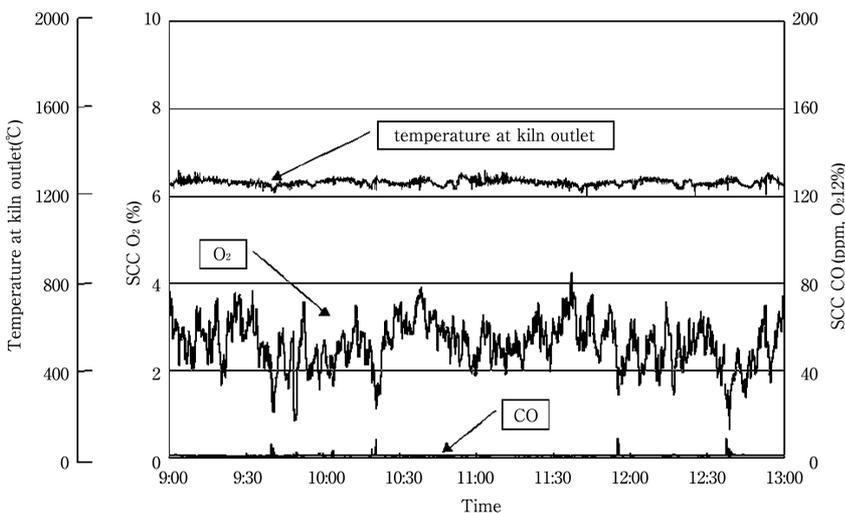


図7 溶融炉出口温度及び2次燃焼室排ガスO₂，COトレンド
Trend O₂, CO on SCC and temperature in kiln outlet

表3 スラグの溶出試験結果
Leaching test result of slag

(a) スラグの溶出試験結果

Item	Unit	Value	Environmental standard
Pb	mg/l	<0.005	<0.01
Cd	mg/l	<0.001	<0.01
As	mg/l	<0.001	<0.01
Cr ⁺	mg/l	<0.02	<0.05
T-Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005
Se	mg/l	<0.001	<0.01
pH	-	6.90	-

(b) スラグの溶出試験結果(pH2～12)

Item	Unit	Value					
		2.20	2.90	4.40	5.40	5.70	7.10
pH	-	7.90	8.60	9.60	11.10	11.60	-
Pb	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cd	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
As	mg/l	0.019	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cr ⁺	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
T-Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Se	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pb	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
Cd	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-
As	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-
Cr ⁺	mg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	-
T-Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	-
Se	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	-

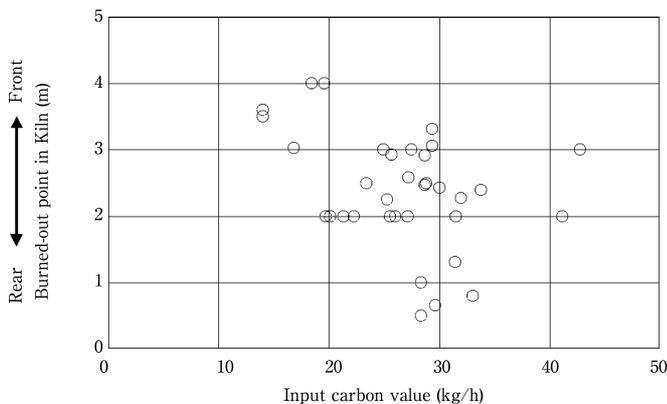


図8 溶融炉での炭素供給量と燃切り位置の関係
Burned-out point vs input carbon value

ート)を10%添加することにより、「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準」を満足している。

3.9 ダイオキシン類総排出量

スラグ、溶融飛灰及び排ガス中のダイオキシン類濃度を表5に示す。

ダイオキシン類総排出量は0.74 $\mu\text{g-TEQ}/\text{ごみt}$ であり、厚生省基準値である5 $\mu\text{g-TEQ}/\text{ごみt}$ を下まわっている。

3.10 スラグ化率

2000年5月9日～6月10日迄の連続運転時(総ごみ処理量603t)において、回収されたスラグ量は46.25t、溶融飛灰は2.93tであった。このことから、スラグ化率(スラグ量/スラグ量+溶融飛灰量)は、94%と高い値を達成した。

4 システムの安全性

本システムは、熱分解ガス及びチャーを取り扱うシステムであり、次に示すような対策が施されているため安全性は確保されている。

4.1 熱分解ガスの漏洩対策

乾燥ごみ供給装置、チャー排出装置はロックホッパ形式になっており、ロックホッパ上下のロックバルブを交互に開閉して外部との遮断を確実にし、熱分解ガスが外部に漏洩しないように乾燥ごみの供給とチャーの排出を行うことができる。ロックバルブに漏洩がないことが確認されない限り、ロックバルブが開閉しないように自動制御されているので、熱分解ガスの漏洩を確実に防止することができる。

4.2 熱分解ガスの爆発性

炉内を窒素で完全に置換して酸素が残存していないことを確認の上でガス化炉の運転が開始され、停止時の降温中も窒素を供給する自動操作となっており、立上げ立下げ時においても熱分解ガス中の酸素濃度は極めて低い。通常運転時には、発生熱分解ガスの酸素濃度を常時監視しており、酸素濃度が4%以上を検知した場合には緊急停止する。

以上より、熱分解ガスの爆発の危険性はないと判断される。

4.3 チャーの粉塵爆発性

炉底灰及びガス化炉飛灰は、空気と遮断された状態で80

以下に冷却された後、ロックホッパを経由して排出されるため、高温のチャーが空気と接触することはない。溶融炉のチャー供給ホッパは、溶融炉との間をロータリーバルブで遮断し、更に窒素パージされているため粉塵爆発の危険性はない。

5 むすび

実証試験を通して、次の知見が得られた。

- (1) 排ガス中のダイオキシン類濃度は、平均0.0015 $\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ で基準値を満足しており、ダイオキシン類総排出量についても0.74 $\mu\text{g-TEQ}/\text{ごみt}$ に抑制できた。また、排ガス中のHC ℓ 、SO x 、NO x 、CO及びばい塵濃度についても自主管理値以下となっており、本システムの低公害性を確認できた。
- (2) 設備から排出されるスラグは、再生利用に係わる目標基準を満足し土木資材としてのアスファルト骨材への適用が可能であることを確認した。また、スラグ化率は94%と高い値であった。
- (3) ガス化炉は、フリーボード部を770～900の高温で制御しているため有機物の分解・低分子化が十分に行われ、発生する熱分解ガスにはタール分がほとんど含まれず、後段での付着トラブルを発生させない。更に冷却除塵することでHC ℓ 分が固定されたチャーを除去し、HC ℓ 分の少ない熱分解ガスとなり、高温高压ボイラの過熱器用の熱源に適していることを確認した。

最後に本実証試験の実施に際し、収集ごみの提供等多大なる協力を頂いた新居浜市に深く感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) 鉄山一州, 阿川隆一, 岩田昇. スラグ排出型ロータリーキルンによる焼却灰と混合灰等の混合溶融処理. 第8回廃棄物学会研究発表会, 1997 講演論文集, P.657～P.660.
- (2) 阿川隆一他. スラ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 環境工学総合シンポジウム, 1998 講演論文集, p.280～283.
- (3) 小田切克己他. 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, 2000 講演論文集, P.950～P.952.

表4 排ガス性状及び溶融飛灰溶出試験結果
Exhaust gas & leaching test of fly ash (after stability treatment)

(a) 排ガス性状(2000/5/23)

Item (stack)	Unit	Value	Self-restraint
HC ℓ	ppm, O $_2$ = 12%	1	30
SO x	ppm, O $_2$ = 12%	0.8	30
NO x	ppm, O $_2$ = 12%	<10	50
CO	ppm, O $_2$ = 12%	15	30
Dust	mg/Nm 3 , O $_2$ = 12%	<0.0005	0.01
Dioxins	ng-TEQ/Nm 3 , O $_2$ = 12%	0.00018	0.1

(b) 溶融飛灰(安定処理後)の溶出試験結果(2000/11/7)

Item	Unit	Value	Environmental standard
Pb	mg/ ℓ	<0.01	<0.3
Cd	mg/ ℓ	<0.005	<0.3
As	mg/ ℓ	<0.005	<0.3
Hg	mg/ ℓ	<0.0005	<0.005
Cr $^{6+}$	mg/ ℓ	<0.02	<1.5
Se	mg/ ℓ	0.006	<0.3
pH	-	12.5	-

表5 ダイオキシン類濃度及び総排出量
DXN's concentration

Item	Unit	2000/3/23	2000/5/23	2000/6/1	2000/7/6	2000/11/7	Average	Generation/MSW-t	$\mu\text{g-TEQ}/\text{MSW-t}$
Flue gas	ng-TEQ/Nm 3 *	0.00094	0.00018	0.0044	0.00064	0.0016	0.0015	11600Nm 3	0.017
Slag	ng-TEQ/g	-	0.0022	-	N.D.	0.000002	0.00073	77kg	0.057
Fly ash	ng-TEQ/g	-	0.22	-	0.099	0.091	0.14	4.9kg	0.67
Total									0.74

* O $_2$ 12% dry

環境施設小特集

高効率汚泥処理システムの開発

Development of High Efficient System for Dispose of Sewage Sludge

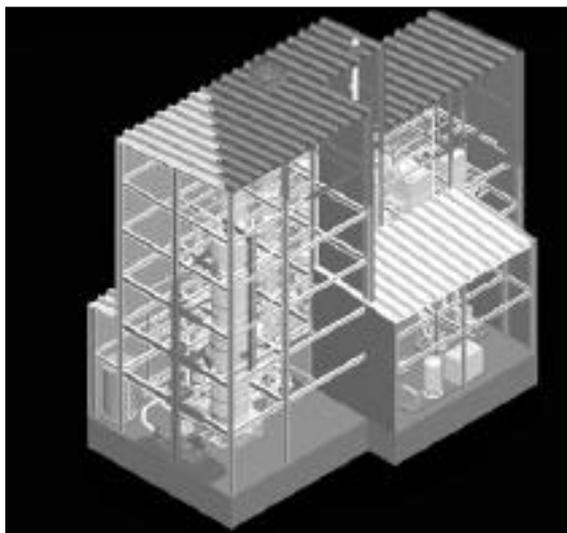
中川 崇* 手嶋 実*

Takashi NAKAGAWA

Minoru TEJIMA

大塚 敬*

Kei OOTSUKA



高効率汚泥処理システム実証設備

Development system of real-scale model

「高効率汚泥処理システム(3Sシステム)」においては、下水汚泥の脱水システム段階で、新型脱水機『ハイパープレス』により、含水率70%以下の脱水ケーキとする。この低含水脱水ケーキを循環流動層炉により効率良く焼却する。特長を、以下に示す。

- (1) 設備のコンパクト化(約35%削減)
- (2) 補助燃料の削減(定常運転時使用量ゼロ)
- (3) 排ガス量の低減(約25%削減)

本報では、基礎試験における結果を報告する。

The name of system is "3S system". This system is composed of the dehydration machine and incineration system that dispose sewage sludge. The new type dehydration machine

("Hyper-press") discharges sewage sludge cake with equal to or less than 70% moisture content. Then, it is effectively incinerated by Circulating Fluidized Bed (CFB). The good points of 3S system are as followings.

- 1) The setting space of the system can be reduced.
(About 35% of reduction)
- 2) It is possible to reduce additional fuel.
(Generally, it is zero when operating)
- 3) It is possible for exhaust gas to decrease.
(About 25% of reduction)

This paper reports about the result of the preliminary research.

1 まえがき

私達が生活する中で生じる下水は、下水処理場にて処理され、処理の最終過程で下水汚泥が発生する。この下水汚泥の減量を目的とした処理方法のひとつに焼却処理がある。しかし、近年の環境保護による最終処分場の建設問題や処理場からの排出物の規制強化により、環境への負荷軽減を考慮した処理設備が重要視されている。更に、自治体の財政逼迫により、設備の経済性が注目されている。

当社は、無害化はもとより、建設コストや維持管理費の低減を図った「高効率汚泥処理システム」(図1)を実証試験中である。本システムは高効率脱水による低含水率脱水ケーキを焼却することで、「重油等の補助燃料使用量の削減」、「排ガス量の低減」を可能とし、「焼却システムのコンパクト化、管

理費の大幅な低減、環境負荷の軽減」の実現を目指している。

本報では、「高効率汚泥処理システム」の基礎試験結果を中心に報告する。

2 低含水率脱水ケーキの実現

2.1 新型脱水機の紹介

下水汚泥を脱水減容化したものを、脱水ケーキと呼ぶことにする。

既存機種であるベルトプレス脱水機や遠心脱水機では、含水率75~83%程度の脱水ケーキを排出する。これに対し、新型機種『ハイパープレス』は、含水率68%の脱水ケーキを実現した。

ハイパープレスの構造を、図2に示す。4段の加圧板が縦方向に配置され、下の加圧ほど加圧力が増す。汚泥は、ベル

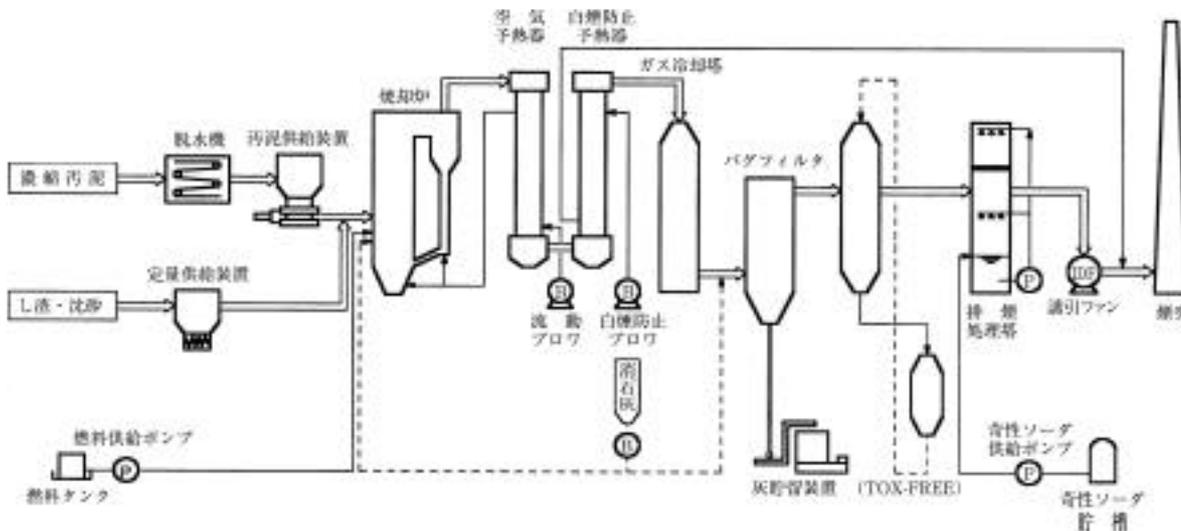


図1 高効率汚泥処理システム
Outline of 3S system

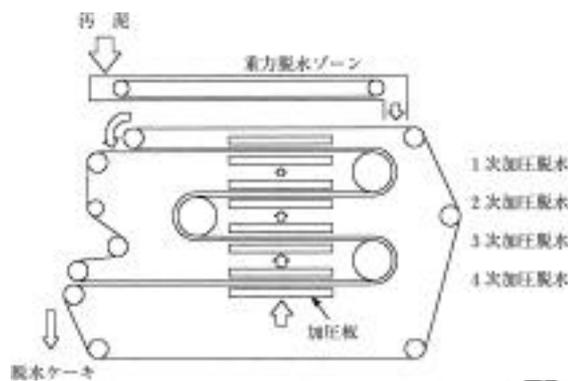


図2 ハイパープレス
Hyper-press



図4 脱水ケーキ圧送状況
Discharge of cake

トに挟まれて各加圧板を移動し順次加圧脱水される。設置スペースや処理能力は従来のベルトプレスと大差なく、低含水率脱水ケーキが得られる特長がある。

2.2 設備のコンパクト化

『ハイパープレス』により得られた含水率68%の脱水ケーキ（低含水率脱水ケーキ）とベルトプレスにより得られた含水率81.5%の脱水ケーキの容積比較を、図3³⁾に示す。含水率81.5%の脱水ケーキの容積を100%とすると、含水率68%の脱水ケーキの容積は58%となった。これは、「高効率汚泥処理システム」の汚泥供給設備や焼却設備の設置スペースが、

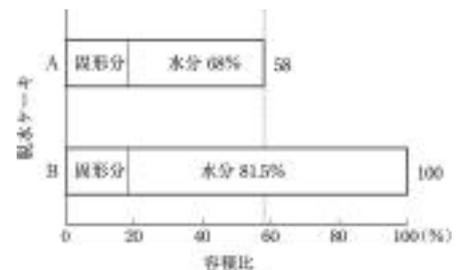


図3 基礎試験結果(1)
Results of preliminary research (1)

従来の設置スペースに対して60%程度にコンパクト化できることを示唆する。

2.3 低含水率脱水ケーキの搬送

搬送にはポンプ圧送を用いる。図4に、圧送状況（炉投入口近傍の低含水率脱水ケーキ吐出状況）を示す。中圧ポンプを使用し、押し込み方法を改良することで、低含水率ケーキのポンプ圧送が可能となった。

3 焼却基礎試験

3.1 工場試験設備概要

工場における試験設備にて、「高効率汚泥処理システム」の基礎試験を行った。図5に、工場試験設備の概略フローシートを示す。試験設備は焼却規模2.4 t/日であり、構成を以下に示す。

- (1) 脱水設備 ハイパープレス, ベルトプレス
- (2) 汚泥供給設備 汚泥ポンプ, 圧送用配管
- (3) 焼却設備 循環流動層炉
- (4) 排ガス処理設備 冷却塔, バグフィルタ, 誘引ファン

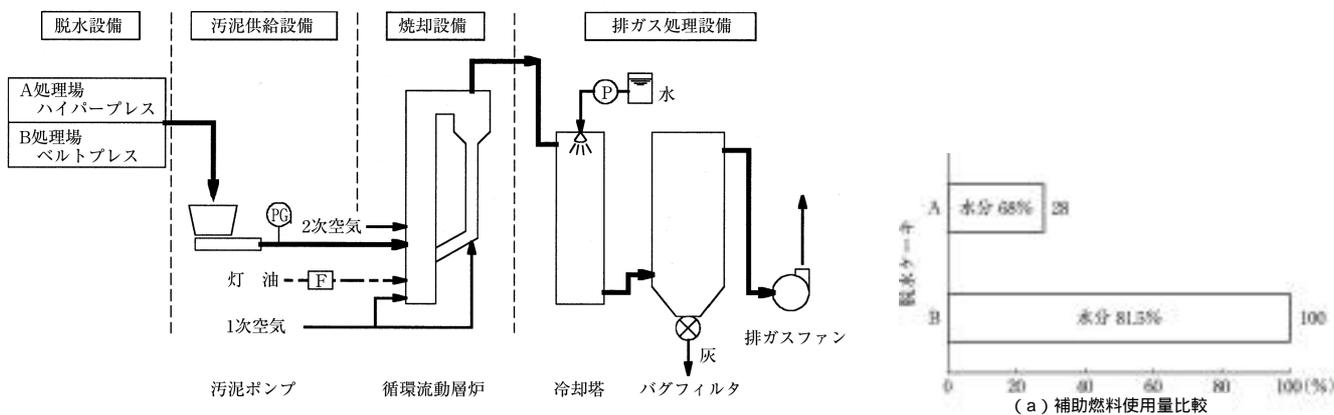


図5 工場試験設備
Outline of preliminary research system

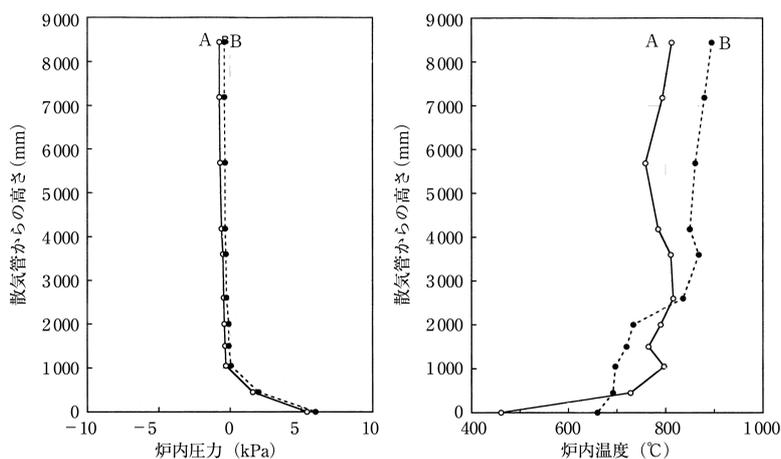


図7 炉内圧力と炉内温度
Results of pressure & temperature in CFB

『ハイパープレス』により得られた含水率 68% の脱水ケーキ（脱水ケーキAとする）とベルトプレスにより得られた含水率 81.5% の脱水ケーキ（脱水ケーキBとする）の焼却における比較試験を、工場試験設備にて行った。

3.2 補助燃料削減結果

脱水ケーキの含水率が低減されると、脱水ケーキ自体の発熱量が増加する。そのため、焼却炉内に投入する補助燃料（灯油、重油、消化ガス等）が削減可能となる。脱水ケーキAと脱水ケーキBの焼却試験による補助燃料（灯油）使用量の比較を、図6(a)²⁾に示す。

脱水ケーキBを焼却した場合の灯油使用量を100%とすると、脱水ケーキAを焼却した場合の灯油使用量は28%となった。実機ベースでは、含水率70%近傍の脱水ケーキが自燃領域である試算となる。脱水ケーキが自燃領域に近づけば、補助燃料使用量は0に近くなる。

3.3 排ガス量低減結果

脱水ケーキAと脱水ケーキBの焼却試験による排ガス量の比較を、図6(b)³⁾に示す。

脱水ケーキBを焼却した場合の排ガス量を100%とすると、脱水ケーキAを焼却した場合の排ガス量は45%となった。これは、排ガス処理設備の設置スペースが、従来の設置スペースに対して50%程度にコンパクト化できることを示唆する。

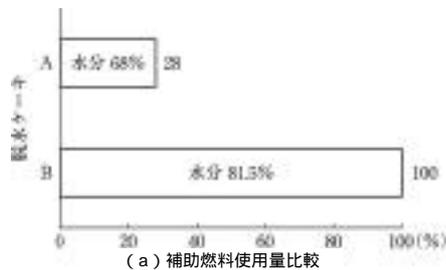


図6 基礎試験結果(2)
Results of preliminary research (2)

4 循環流動層炉基礎試験

4.1 循環流動層炉について

現在、下水污泥焼却で主流をしめる流動層炉に対し、更に焼却効率を高め、投入物の負荷変動に対する対応幅の向上や、設置スペースのコンパクト化を目指して循環流動層炉を開発中である。

4.2 焼却基礎試験における炉内状況

脱水ケーキAと脱水ケーキBの循環流動層炉における焼却状況を、炉内圧力分布と炉内温度分布にて、図7に示した。

温度分布からは、脱水ケーキB(含水率高)の方が濃厚層部での温度低下がみられるが、700 程度を維持している(散気管からの高さ0~約2500mmの範囲)。散気管から約2500mm以上では800 以上に温度を回復している。炉内圧力分布においても極端な差はなく、低含水率でも高含水率でも焼却運転が可能であり、含水率の負荷変動には対応幅のあることを示唆している¹⁾。

4.2.1 焼却基礎試験における排ガス成分

脱水ケーキAと脱水ケーキBにおける燃焼状態を見るため、循環流動層炉サイクロン出口の排ガス成分を測定した。

4.2.2 燃焼状態

燃焼状態の指針として、酸素(O₂)、一酸化炭素(CO)、二

成分		脱水ケーキA	脱水ケーキB
O ₂	%	11.4	6.0
CO	ppm	50	40
CO ₂	ppm	8.8	12

表1

炉出口の排ガス濃度
Results of exhaust gas at exit of CFB

運転ポイント		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
汚泥投入量	kg/h	80	80	80	80
汚泥投入位置	mm	1250	3600	1250	1250
焼却温度		850	850	850	700
空気比	-	1.3	1.3	2.0	1.3
シアン化水素濃度	ppm	6.0	2.2	19	190

表2

過酷運転によるシアン発生テスト結果
Results of HCN test by hard operation

酸化炭素 (CO₂) の排ガス中濃度を測定した。その結果を、表1に示す。

COが40~50 ppm程度、O₂が6~12%程度であることから、脱水ケーキAも脱水ケーキBもほぼ完全燃焼されたことがわかる。

4.2.3 法規制への対応

大気汚染防止法における煤塵、SO_x、NO_x、HC_ℓについて、排ガス中濃度を測定した。

脱水ケーキAと脱水ケーキBの循環流動層焼却において、法基準を満足する結果を得た。

4.2.4 シアンの発生について

炉の運転を過酷な条件で運転することにより、シアンの発生状況を測定した。焼却した脱水ケーキは含水率79%のベルトプレス脱水ケーキである。焼却運転の条件とシアン濃度を、表2に示す。

燃焼温度を下げた運転が最もシアン濃度が高かった。工場試験機は小型(炉内径300mm)であり、攪拌は充分に行われるものと思われる。よって、シアン発生要因は温度による割合が大きいものと考えられる。

4.2.5 炉のシミュレーションについて

今後の炉の設計において各種係数を把握する必要性から、焼却基礎試験にて熱的挙動のシミュレーション^②と振動解析による構造のシミュレーション^③を行い、基礎データを確保した。更にデータ収集を行うことで、シミュレーションによる炉の最適設計が可能となるであろう。

5 実証設備

5.1 実証設備概要

焼却規模10t/日の「高効率汚泥処理システム」実証設備を美幌終末処理場(北海道網走郡)敷地内にて実証試験中である。

冒頭に設備外形写真と3D-CAD図、図1に概略フローシートを示す。

実証試験設備の構成を、以下に示す。

- (1) 脱水設備 高加圧型脱水機
- (2) 汚泥供給設備 サイロ式汚泥ホッパ、汚泥供給ポンプ、圧送用配管
- (3) 焼却設備 循環流動層炉
- (4) 排ガス処理設備 空気予熱器、白煙防止予熱器、冷却塔、バグフィルタ、排煙処理塔、誘引ファン、排煙筒、(TOX-FREE:ダイオキシン処理装置)

5.2 スケールアップ

焼却基礎試験により、焼却規模2.4t/日の各種設計データを蓄積した。同様にして実証試験にて焼却規模10t/日の設計データを蓄積することにより、スケールアップの設計ポイントを把握したい。更に、当社が保有するシミュレーション技術を応用することにより、スピーディーかつ経済的な「高効率汚泥処理システム」の設計が可能となるであろう。

6 むすび

「高効率汚泥処理システム」を開発するに当たり、実証試験に先立って行った基礎試験から次の知見が得られた。

- (1) 低含水率脱水ケーキの実現
新型脱水機『ハイパープレス』により、含水率68%の脱水ケーキが得られた。
- (2) 設備のコンパクト化
含水率68%と81.5%の脱水ケーキの焼却基礎試験による結果から、次の可能性が示唆された。
a. 供給設備と焼却設備が60%程度にコンパクト化可能
b. 排ガス処理設備が50%程度にコンパクト化可能
- (3) 補助燃料使用量の削減
含水率81.5%の脱水ケーキを焼却した際の補助燃料使用量を100%とすると、含水率68%の脱水ケーキの際は28%の補助燃料使用量となった。炉の放散熱量を考慮すれば、実機ベースでは補助燃料使用量が0に近づくであろう。

本年度は実証試験を実施中であり、更なるデータの蓄積を行っていく予定である。

最後に、試験を実施するに当たり、指導を頂いた京都大学の武田信教授を始め、協力頂いた美幌町、中外炉工業株式会社、日立金属株式会社に深く感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) Prabir Basu, Scott A. Fraser. Circulating Fluidized Bed Boilers. Butterworth-Heinemann, 1991, p.19~54.
- (2) 小川彰一, 鈴木茂. 次世代炉のガス化炉流動実験. 試験報告書, 1999.
- (3) 岡田真三. 循環流動床式ガス化炉の変動荷重の評価. 研究報告書, 1999.

環境施設小特集

小型コンポスト設備の実証試験

Verifying Function of Small Compost Facility

佐藤 三生男*

Mikio SATOU

淵脇 賢二郎*

Kenjiro FUCHIWAKI

佐藤 進*

Susumu SATOU



試験設備

Test facilities

農業集落排水処理場は1998年度までに約4000件、年間400件程度の割合で建設が進んでいる。この処理場から排出される汚泥（有機汚泥）は、現在廃棄物として焼却又は埋立処分されているのがほとんどである。処理場単位でこの汚泥をコンポスト化する小型コンポスト設備の実証試験を行い、良好な結果が得られたので報告する。

The construction of waste effluent treatment sites in agricultural villages has been in progress: The total number of the sites constructed had reached almost 4000 until 1998 with

an annual growth rate of approximately 400 sites. The vast proportion of sludge (organic sludge) discharged from each waste effluent treatment site is currently disposed by employing the method of incineration or reclamation. Substantive results, which our research team considers worth reporting here, have been obtained by conducting a test to verify that a Small Compost Facility installed at each waste effluent treatment site adequately composts the sludge discharged from that site.

1 まえがき

農業集落排水処理施設から排出される汚泥（農集排汚泥）をコンポスト化し、緑農地へ還元しようというニーズが高まっている。処理対象人員500人～3000人規模の農集排汚泥は、汚泥乾量で10～70kg/日と少なく、排水処理施設の維持管理体制は、週1～2日の巡回メンテナンスとする場合が多い。一般的に水分調整資材として、モミガラ、木材チップ及びオガクズ等が用いられるが、地域によってはこれらの資材が入手困難である。また処理場単位にコンポストの施設を設ける場合、省スペースで安価な設備が望まれる。これらの状況を考慮し、次のような目標で小型コンポスト設備の実証試験を行った。

- (1) 内部混合型発酵機とする。
- (2) 水分調整資材（モミガラ等）を使用しない。
- (3) 週1～2日の巡回メンテナンスが可能なバッチ処理とする。

- (4) 発酵温度は65℃以上で48時間以上を維持する。
- (5) 製品の植害試験、肥培効果を確認する。

2 試験場所、農業集落排水処理施設の概要

2.1 試験場所

埼玉県内

2.2 排水処理施設の概要

農業集落排水処理施設

計画水量 360m³/日

処理方式 回分式活性汚泥方式（JARUS-X型）

余剰汚泥量 27.5kg DS/日

3 コンポスト試験フロー

試験設備外観を冒頭に、コンポスト試験フローを図1に、発酵機構造図を図2に示す。

試験は脱水工程（1～2日）発酵工程（4～5日）製品の取出し、乾燥工程（1日）の流れで行い、1週間のバッチ運

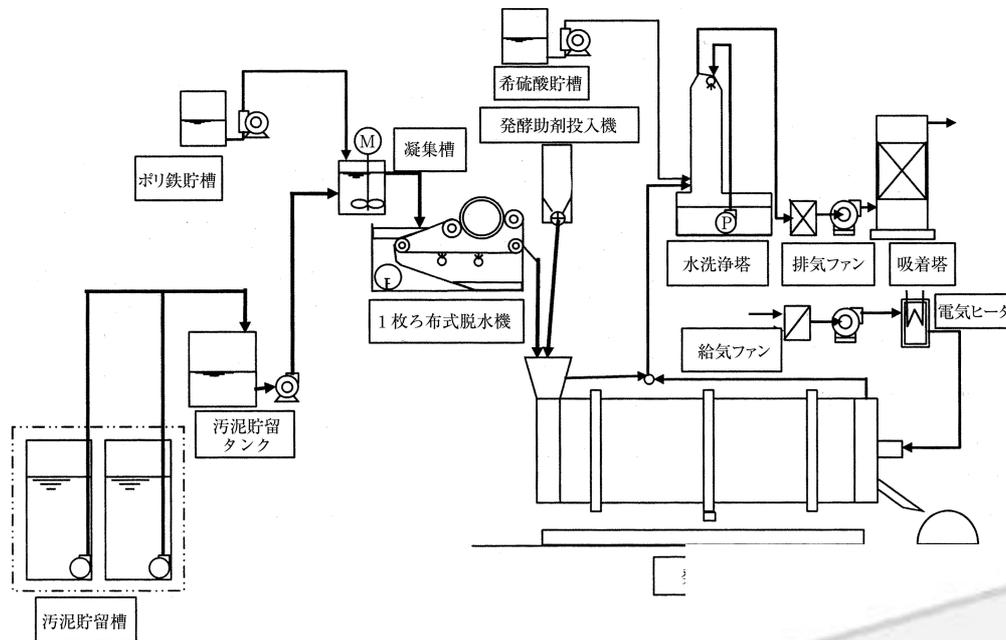


図1 コンポスト試験
Compost test flow

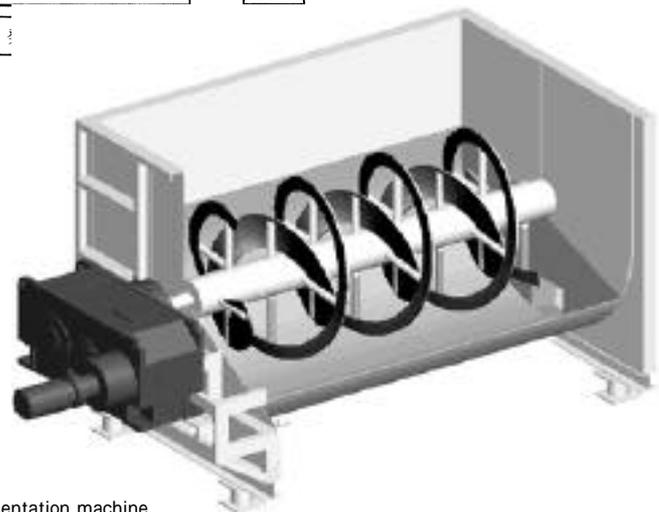


図2 発酵機の構造
Structure of fermentation machine

転である。1週間分の余剰汚泥を脱水し、発酵後30%の製品水分で取り出される。

汚泥貯留タンクの汚泥は凝集槽に送り、ポリ硫酸第2鉄で凝集し、処理能力25kgDS/hの1枚ろ布式脱水機(3.0kW)で、ケーキ含水率80~82%まで脱水される。この脱水機は吸引ブロワによる前段脱水部と、圧搾ローラによる後段脱水部で構成され、小型で高効率な脱水機である。

脱水ケーキは、シュートで発酵機(10m³)に落下する。発酵機は保温構造の横型円筒ドラムで、内部に被発酵物が循環する様に二重スクリュウ羽根混合装置(5.5kW, 最大回転数0.4rpm)を設けている(図2)。発酵機内部には水分調整された製品コンポストが充填されており、脱水工程中発酵機は製品コンポストと脱水ケーキ及び発酵助剤である乾燥鶏糞を連続で混合する。

発酵工程では切返しを目的に一定時間ごとの混合を行う。好気発酵に必要な通気は、給気ブロワにより発酵機下部のキリ穴から吹き込んでいる。

発酵工程中の臭気は排気ファンで吸引し、酸洗浄塔、活性炭吸着塔で除去する。酸洗浄塔では硫酸酸性循環水により、アンモニアが中和除去される。

発酵工程の有機物分解熱で多量の水分が蒸発するが、製品水分30%を得るには乾燥が必要で、ヒータによる熱風乾燥を行った。

4 試験結果

4.1 脱水工程

試験期間中の供試汚泥は汚泥濃度(MLSS)で10300~19200mg/ℓ(平均12600)、有機物で63~82%(平均70)の変化を示した。季節変動と排水処理設備の処理状況でこの程度の変動は起きると考えられる。

汚泥性状が脱水性能に及ぼす影響は大きく、ポリ硫酸第2鉄(比重1.45, Fe=11%)の添加量は、汚泥1m³当たり1.8~5.1ℓ(平均3.6)の変動を示し、脱水ケーキ含水率は78~84.2%(平均80.7)、有機物は63~80%(平均68.6)の変化を示した。

脱水前の発酵機内部には水分30%程度の製品コンポストが充填率30~40%で充填されており、脱水ケーキの投入終了時の混合汚泥水分が40%を越えないようにした。この混合後水分40%は一般的な発酵前水分55~60%に比べ、かなり低いものである。モミガラ等の水分調整資材を使用せず、内部混合方式であることから、混合水分が40%を越えると、混合汚泥の練り混みが生じるからである。

発酵助剤に乾燥鶏糞を使用した目的は、発酵温度(6548h以上)の維持と、製品の肥効性を考えたものである。乾燥鶏糞の成分値平均は、水分9.0%、有機物68.6%、窒素3.1%、リン酸5.1%、カリウム3.2%であった。

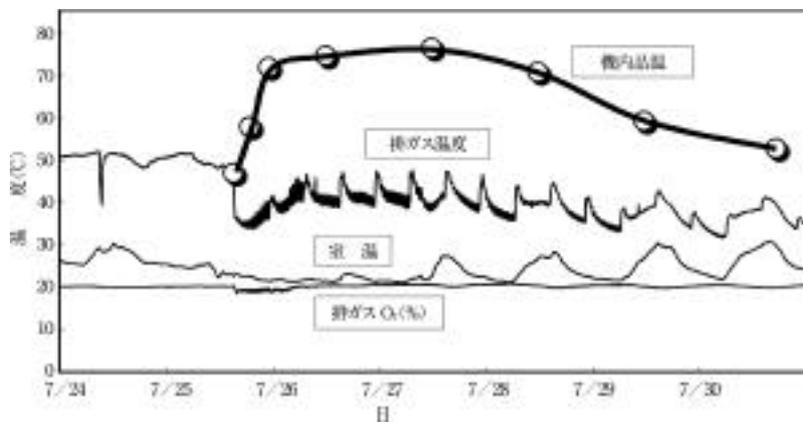


図3 発酵工程
Fermentation process

4.2 発酵工程

発酵工程での温度変化の一例を、図3に示す。

2000年5月から2001年3月までの二重スクリー型発酵機の発酵結果の要約を、以下に示す。

- (1) 発酵開始後、数時間で温度上昇が激しくなり、冬季を含め65℃以上、48時間以上の発酵温度が維持される。
- (2) 製品の粒度は1mm以下が50%以上の粉末状で、8mmふるい下で90%以上である。
- (3) 発酵機の切返し間隔と混合時間は、1日3回（8時間ごと）、40分間混合が最適であった。間隔がこれより短いと高温維持時間が短く、間隔が長いと高温維持時間はより長くなるが水分の蒸発が少ない。
- (4) 発酵工程で切返しのみで通気しない場合、高い発酵温度は維持できるが、水分の蒸発が少なく、下部のキリ穴から給気をする必要がある。給気ブロワは1 m³/minで間欠運転とした。連続通気換算で発酵機内汚泥1 m³当たり、67ℓ / m³汚泥・minとなる。
- (5) 排気ガス温度は、給気ブロワの間欠運転、8時間ごと40分間の切返しに合わせて変化している。発酵温度が高く維持され、発酵が活発に行われると、発酵熱により多量の水分が蒸発し、機内は水蒸気で見えなくなる。

4.3 乾燥工程及び製品の取出し

2日間の脱水工程以外はタイマによる自動運転で、5日間の発酵工程が終わると乾燥工程に入る。

乾燥はヒータで85℃に温度調整した熱風を吹き込み、製品水分で30%までとした。

取出したコンポストは8 mmふるい下で90%以上、大きさの最大は3 cm程度で、硬いが内部は発酵しており未発酵なものはない。

粉末状の割合が多いため、含水率が30%程度まで下がると風で飛散しやすく、施肥での取り扱いを考えると造粒することが望ましい。

4.4 製品コンポスト

製品コンポストの性状を、表1に示す。

2000年度に肥料取締法が改定され、汚泥等のコンポスト製品は、これまでの特殊肥料の届け出から、普通肥料の扱いを受けることになった。

扱いの区分から有害物質の項で、水銀、カドミウム及びヒ素の他に、亜鉛、銅、ニッケル、鉛及びクロムが加わったが、

表1 製品コンポストの性状
Properties of product compost

分析項目	単位	下水堆肥基準	製品コンポスト
pH	-	< 8.5	7.2
水分	%	< 50	31.4
有機物	%	> 35	52.5
C / N	-	< 20	6.2
窒素	%	> 1.5	4.5
リン酸 (P ₂ O ₅)	%	> 2.0	7.1
カリウム (K ₂ O)	%		2.0
アルカリ分	%	< 25	8.8
水銀	mg/kg	< 2	0.4
カドミウム	mg/kg	< 5	1.2
ヒ素	mg/kg	< 50	2.9
亜鉛	mg/kg	< 1800	770
銅	mg/kg	< 600	270
ニッケル	mg/kg	< 300	30
鉛	mg/kg	< 100	28
クロム	mg/kg	< 500	44
アルミニウム	%		2.1
鉄	%		2.8
カルシウム	%		5.9

pH, 水分以外は乾量当たり。

これら有害物質はいずれも基準値以下であった。

本製品は有機物を50%以上、窒素を4.5%、リン酸を7.1%、カリウムを2%含んでいる。その他アルミニウム2.1%、鉄2.8%、カルシウム5.9%を含有している。

4.5 排ガス処理

乾燥工程の必要風量で、給気ブロワや排気ファンの能力を決めているため、発酵工程と乾燥工程では、排気ガス量が大きく違う。

排気ファンは発酵工程では、インバータを最低の10Hzとし、風量1.4m³ / minで吸引しているが、乾燥工程では風量10m³ / minで吸引している。

一方給気ブロワは、発酵工程では間欠吹き込みで通気量を調整しているが、乾燥工程では9 m³ / minの連続としている。

発酵工程時及び乾燥工程時の臭気成分を測定した結果、硫化水素は好気発酵が保たれていることから、発酵機出口で測定下限値の0.001ppm以下で問題ない。アンモニアは酸洗浄

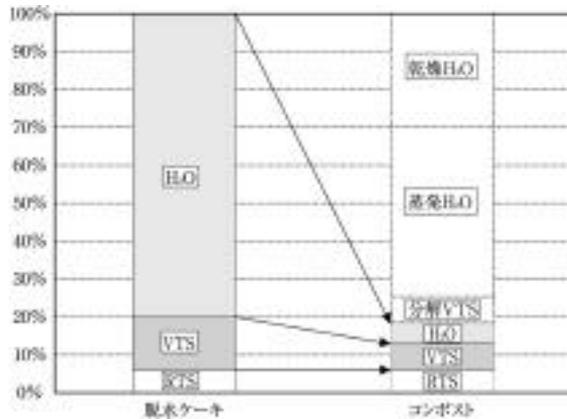


図4

汚泥の減量化率

Decreasing percentage of sludge

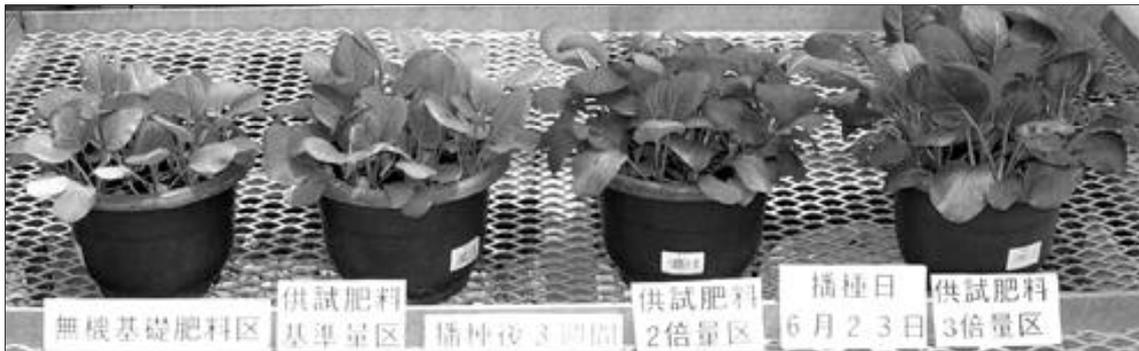


図6

コマツナの生育結果

Resultant growth of comatuna

塔で循環液のpHを4以下に設定することで、1 ppm以下まで処理された。他の臭気成分の除去性から、酸洗浄塔の後は生物脱臭が望ましいと考える。

4.6 汚泥の減量化率

脱水ケーキ及び乾燥鶏糞中有機物の分解による発熱量は、カロリー測定結果から分解有機物当たり5000kcal / kg・VS程度で、発酵で有機物の50%が分解される。乾燥鶏糞を汚泥乾量の30%添加し、製品コンポスト水分を30%とした場合、必要な水分蒸発量の内40%がヒータによる乾燥工程で、60%が発酵工程の有機物分解による発熱で蒸発する計算になる(図4)。

発酵乾燥により原料は1/4.4に減量する。

5 ランニングコスト

試験期間中の使用電力(仮設電力)、水道(脱水工程が主)及び薬品等のランニングコストを計算した結果、余剰汚泥1 m³当たり処理費は2500円、週2日の人件費を入れた場合7500円/m³程度となる。

6 植害試験

製品コンポストの植害試験を、宇都宮大学野生植物科学研究センター・植物機能解析部門に依頼した。

6.1 阻害的作用について

宇都宮土壌にコンポストを混和した培養土でのコマツナの発芽及び生育に対して、阻害的作用は生じなかった。

6.2 肥培効果について

混和した培養土でのコマツナの生育は、無施用区より明らかに肥培効果が認められた。基礎無機肥料区の葉色が淡緑色

を呈していたのに対し、コンポスト区では濃緑色を呈し、明らかに健全な生育をした(図5)。

上記結果より、製品コンポストは植物の発芽・生育に何ら害作用を与えないと判断できる。また、このコンポストの肥培効果が確認された。

7 むすび

- (1) 農集排汚泥をモミガラ等の水分調整資材を用いずに、内部混合型発酵機でコンポスト化することができた。
- (2) 二重スクルー型発酵機では、内部の製品コンポストと原料(脱水ケーキ+乾燥鶏糞)の混合後、含水率が40%を越えないようコントロールすることが重要である。
- (3) 1週間サイクルのバッチ運転において、発酵温度65以上で48時間以上が維持でき、粉末状の製品が得られた。
- (4) 発酵乾燥による減量は1/4.4で、人件費を除くランニングコストは処理汚泥1 m³当たり2500円程度である。
- (5) 製品コンポストの植害試験で、植物の発芽・生育に何ら害作用を与えず、また肥培効果が確認された。

本試験に当たり協力、指導を頂いた宇都宮大学の重川弘宣教授、及び関係各位に深く感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) 有機廃棄物資源化大辞典・有機質資源化推進会議編。
- (2) 集落排水、季刊no.62, p.13~18, Sep.,2000.
- (3) 農業集落排水技術研究発表会講演集, p.27~36, 2000.

環境施設小特集

家畜糞尿処理システムの開発

Development of Livestock Excreta Treatment System

岡庭良安*

Yoshiyasu OKANIWA

生村隆司*

Takashi IKUMURA

野口真人*

Masahito NOGUCHI

加藤明德*

Akinori KATOU



実証プラント
Pilot plant

膜分離プロセスを組み込んだメタン発酵システムについて報告する。このシステムは2つの目的を有しており、ひとつはメタン発酵液の菌体濃度を高めること、今ひとつは清澄な膜透過液を得ることにある。

ベンチスケールの実験結果を、以下に示す。

- (1) 固形物濃度8.4%の膜ろ過が行えた。
- (2) 回転平膜の使用条件を、以下に示す。
フラックス $0.2\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$
運転操作圧力 $10 \sim 13\text{kPa}$
ディスク直径 210mm
ディスク回転数 300rpm
- (3) VS負荷 $5\text{kg-VS}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$ において、従来のメタン発酵と同様のCODcr分解率が得られた。
- (4) 処理液のCODcrは、従来法より良好であった。

The methane fermentation system that has a membrane separation process is described in this paper. This system has two purposes, the first is the concentration of the methane fermentation liquid and the second is collection of clearly permeated

liquid.

This paper reports the result of the bench scale experiment of the system. We used the Rotary Disk membrane to the system.

The result of the bench scale experiment is following:

- 1) It achieves 8.4% of total solid concentration by the membrane separation.
- 2) The condition of the use of the Rotary Disk membrane is as follows.
Operating flux: $0.2\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$
Operating pressure: $10 - 13\text{kPa}$
Disk diameter: 210mm
Number of rotations of the disk: 300rpm
- 3) The achieved volatile-solid (VS) load was $5\text{kg-VS}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$. When the load was almost same, the percentage of removed CODcr was same as the conventional methane fermentation.
- 4) CODcr of processing liquid was better than the conventional methane fermentation.

1 まえがき

全国で発生する家畜糞尿は年間約9000万tと言われ、その大部分が肥料として有効利用されているものの、野ざらしで堆肥化されている糞尿も多く、家畜密度の高い地域では地下水汚染や悪臭といった環境問題が顕在化している。

ヨーロッパにおいては家畜糞尿のメタン発酵処理技術がデ

ンマークやドイツを中心として普及し、バイオガスエネルギーが回収されるとともに発酵液は液肥として利用されている。しかし、液肥として利用する場合、糞尿中の窒素分はそのまま農地に還元されるため、窒素過多の日本国内においては窒素除去の可能な糞尿処理技術が必要になると考えられる。

当社においても農畜産廃棄物の処理に関する研究、及び研究を踏まえた嫌気性消化処理プロセスのケーススタディーを

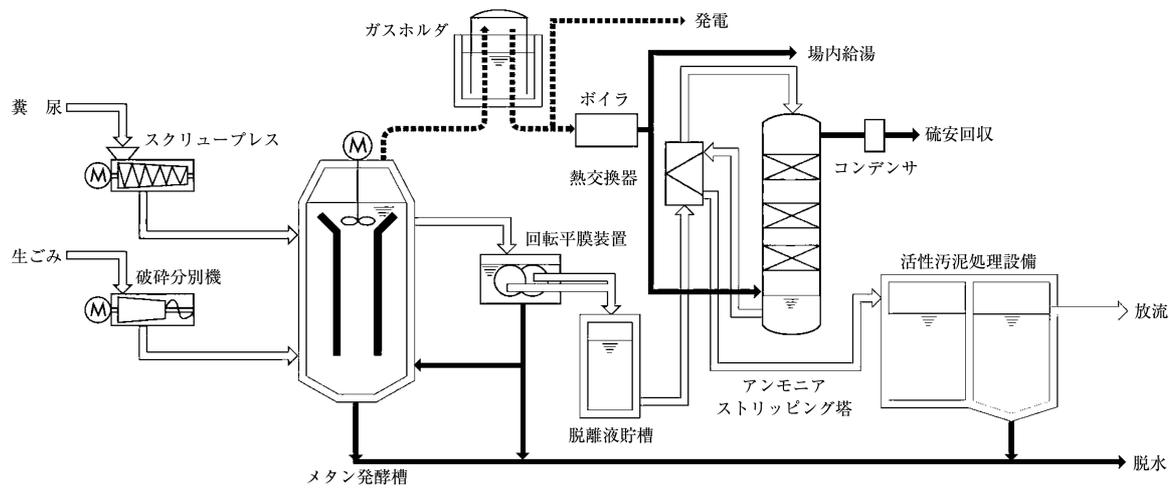


図1 膜分離メタン発酵システムの構成
Methane fermentation system with membrane separation

実施している⁽¹⁾。

本報ではメタン発酵後の脱離液の脱窒素処理までを行うことを目的とした膜分離メタン発酵システムを紹介し、システム検討のために実施したベンチスケールのメタン発酵実験結果を報告する。

2 膜分離メタン発酵システム

膜分離メタン発酵システムの構成概念を、図1に示す。本システムでは、乳牛の糞尿や豚糞尿等比較的高水分の除渣後の家畜糞尿、及び生ごみを混合してメタン発酵を行い、回転平膜を用いて脱離液を得る。メタン発酵で発生したメタンガスはアンモニアストリッピング処理の熱源として利用し、膜分離した脱離液中の窒素除去を行う。

アンモニアストリッピングでは脱離液中の窒素を選択的に除去し、生物学的窒素除去を行うために必要な炭素窒素比(C/N比)を整える。従って、生物学的脱窒素のための外部からの炭素源補給を不要にできるとともに、窒素負荷量を下げることによって生物学的脱窒素設備をコンパクト化できる。本システムの実証プラント(処理能力約0.5t/日)の全景を、冒頭に示す。実証試験プラントは東京農業大学内に建設され、

表1 試験試料の性状
Characteristics of test samples

分析項目	単位	連続試験		回分試験			
		乳牛糞尿		生ごみ	乳牛糞尿 + 生ごみ		
		O牧場	O牧場		N牧場	F牧場	
pH	-	7.20	7.49	8.33	7.70	4.11	6.07
TS	mg/l	102900	115000	65100	83500	159000	116000
VS	mg/l	77360	85600	35700	66100	146000	92600
MLSS	mg/l	93300	98600	34000	52900	78500	102000
VSS	mg/l	71960	74800	23900	45400	74900	83200
COD _{Cr} (T)	mg/l	111200	123000	77700	122000	286000	153000
COD _{Cr} (F)	mg/l	16960	10500	32400	34100	129000	38800
COD _{Mn} (T)	mg/l	39860	51300	-	34000	84600	44100
COD _{Mn} (F)	mg/l	5686	4030	-	9800	42100	10400
NH ₄ -N	mg/l	373	384	4088	1990	860	712
TK-N	mg/l	3050	3170	-	5140	5700	3820
T-P	mg/l	763	356	-	830	733	1000
BOD(T)	mg/l	5455	4410	-	13000	114000	23700
BOD(F)	mg/l	2380	1860	-	8850	66500	14400
VS/TS	%	75.1	74.4	54.8	79.2	91.8	79.8
COD _{Cr} /VS	-	1.44	1.44	2.18	1.85	1.96	1.65

2001年4月現在馴養運転中である。

3 ベンチスケール試験

3.1 供試試料

試験に用いた飼育方法の異なる3牧場から入手した牛糞尿、生ごみ、及び牛糞尿と生ごみの混合物の性状を、表1に示す。表1中のO牧場の牛糞尿をメタン発酵連続試験に使用し、回分試験では表1に示す全ての原料を用いた。また、表1中の生ごみ混合牛糞尿はO牧場の牛糞尿と生ごみを固形物比で4:1に混合したものである。

O牧場及びN牧場の牛糞尿は1.5mm目のスクリーブプレス、F牧場の牛糞尿は2mm目のドラムプレスで藁等の粗大有機物を除去したものをを用いた。O牧場及びF牧場はフリーストール牛舎、N牧場はバンクリーナ式牛舎である。

また、生ごみは飲食店厨房の生ごみ及び青果市場から出る生ごみを粉砕機でペースト状に粉砕して使用した。

3.1.1 牛糞尿の性状

O牧場の牛糞尿は、TS10.3%、VS7.74%、固形物中の有機物比は0.75であり、COD_{Cr}/VS比は1.44であった。N牧場、F牧場の牛糞尿のVS/TS比は各々0.55、0.79であった。また、COD_{Cr}/VS比は各々2.2、1.9であった。

O牧場、N牧場の糞尿は屋外に堆積されていたため、雨水の影響を受ける可能性があった。一方、F牧場の糞尿は牛舎から排出された直後の糞尿を脱水したものである。

O牧場の糞尿はCOD_{Cr}/VS比が小さく、易分解性の有機物が少ないことが示唆される。

3.1.2 生ごみの性状

生ごみはTS15.9%、VS14.6%、COD_{Cr}28.6%であり、VS/TS比 約0.92、COD_{Cr}/VS比 約1.96であり、有機物比率が高く、かつ易分解性有機物の比率が大きい。

3.2 メタン発酵連続試験

次の3種類のメタン発酵実験を行った。

【実験1】 牛糞尿を原料とした膜分離メタン発酵実験

【実験2】 上記【実験1】の対照実験として、牛糞尿を原料とした膜分離を行わない従来型メタン発酵実験

【実験3】 牛糞尿と生ごみの混合原料を用いた、膜分離を行わない従来型メタン発酵実験

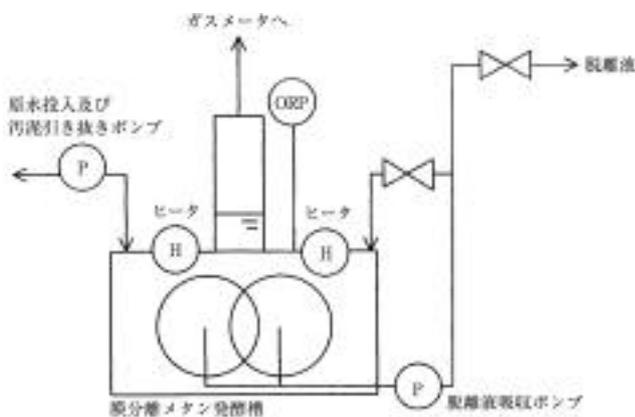


図2

膜分離メタン発酵試験装置
Experimental equipment of methane fermenter with membrane separation

3.2.1 膜分離メタン発酵試験【実験1】

a. 試験装置

膜分離メタン発酵の試験装置を、図2に示す。膜分離には回転平膜分離装置を用いた²⁾。回転平膜分離装置は中空の回転軸に設置した円板の両面にポリスルホン材質の限外ろ過膜を貼っており、中空の回転軸を吸引することによってメタン発酵混合液から透明な脱離液を回収できる。回転膜分離装置では複数の回転軸に装着した円板膜を交互に組み合わせ同方向に回転させることにより、膜面のせん断流速を上げセルフクリーニングを行うことによって長期間安定したフラックスを得ることができる。

試験装置の主な仕様を、以下に示す。

メタン発酵槽容積 10ℓ (回転平膜槽を兼ねる)

膜分離装置型式 円板状回転平膜

平膜の形状 210mmディスク(0.05m²)×6枚, 計0.3m²

b. 運転方法

メタン発酵槽を外熱ヒータで加熱し、発酵温度を中温(約37)にコントロールし、スクリュープレスで粗大固形物を除去した牛糞尿を1日1回発酵槽へ投入した。

膜分離装置は回転数300rpmとし、吸引間隔を18分吸引、2分停止の20分サイクルの間欠吸引で運転した。吸引時の膜透過流束は0.2m³/m²・日とした。

3.2.2 従来型メタン発酵試験【実験2,実験3】

a. 試験装置【実験2】、【実験3】

試験装置のメタン発酵槽は容積8ℓの角型とし、攪拌機で攪拌した。また、発酵槽全体を温水ジャケットで保温し、発酵槽内を約37に維持した。

b. 運転方法

【実験2】【実験1】と同様、O牧場の牛糞尿を原料とした。発酵液の引き抜き及び原料の投入を1回/日行い、順次有機物負荷を上昇させた。

【実験3】表1中のO市牛糞尿と生ごみを混合したものを原料とした。運転方法は【実験2】と同様とした。

3.3 メタン発酵回分試験

3.3.1 試験装置

容量500mℓの三角フラスコにメタン発酵混合液300mℓを入れ、恒温湯とう槽内で浸とうし、発生するガスをガスホルダに貯留して、発生量を計測した。

3.3.2 運転方法

発酵温度を中温(約37)とし、表1に示す牛糞尿、生ごみ、及び牛糞尿と生ごみの混合物についてバイオガス発生量を把握した。試料の投入量は全て3g-COD_{Cr}/300mℓとした。種汚泥は【実験2】の牛糞尿で馴養した汚泥を使用し、試料を添加しないブランク実験を行って、試料を添加した実験のガス発生量を補正した。

4 試験結果

4.1 連続試験

4.1.1 膜分離メタン発酵

VS負荷を2.8~4.9kg-VS/m³・日に変化させて実験を行った。メタン発酵槽の負荷量、バイオガス発生量等の運転データを、表2に示す。

実験を行った負荷範囲では、メタン発酵槽内の有機酸濃度は酢酸換算で1000mg/ℓ以下の運転ができた。表中のCOD_{Cr}分解率(%)は理論メタンガス発生量が分解COD_{Cr}1g当たり0.35Nℓであるとして、次式で算出した。

$$\text{COD}_{Cr}\text{分解率}(\%) = \frac{\text{メタンガス発生量}(N\ell)}{\{0.35(N\ell/g\text{-COD}_{Cr}) \times \text{投入COD}_{Cr}(g)\}} \times 100$$

表2

メタン発酵試験の結果
Results of methane fermentation

実験区分	膜分離メタン発酵試験			従来型メタン発酵試験					
	実験1			実験2		実験3			
供試試料	乳牛糞尿(O牧場)			乳牛糞尿(O牧場)		乳牛糞尿(O牧場)+生ごみ			
項目	単位	RUN1	RUN2	RUN3	RUN1	RUN2	RUN1	RUN2	
pH	-	7.5	7.2	7.1	7.3	7.3	7.6	7.7	
HRT	日	29.8	18.7	15.1	29.9	15.1	22.7	15.7	
TS	mg/ℓ	78800	94600	78300	80000	92000	76400	82500	
VS	mg/ℓ	54500	66600	55500	53400	64200	53900	58800	
SS	mg/ℓ	62900	83700	71400	65500	78900	63200	69600	
VSS	mg/ℓ	45000	60700	52600	45500	56500	45900	50600	
COD _{Cr} (T)	mg/ℓ	105900	110300	91800	80200	-	85300	91300	
COD _{Cr} (F)	mg/ℓ	4300	4000	4400	10700	12300	15400	7800	
NH ₃ -N	mg/ℓ	1180	940	640	950	700	1180	1530	
BOD(F)	mg/ℓ	-	690	1390	2550	950	520	760	
Fe	mg/ℓ	1220	1170	680	-	480	550	780	
容積負荷	COD _{Cr} 負荷	kg/m ³ ・日	3.8	5.4	6.7	3.7	7.2	5.8	8.5
	VS負荷	kg/m ³ ・日	2.8	4.0	4.9	2.7	5.3	4.0	5.9
汚泥負荷	COD _{Cr} 負荷	kg/kg・日	0.06	0.07	0.09	0.07	0.09	0.09	0.12
	VS負荷	kg/kg・日	0.05	0.05	0.07	0.05	0.07	0.06	0.08
CH ₄ 濃度	%	54.9	58.3	55.8	54.9	53.4	54.4	54.3	
VFA(酢酸換算値)	mg/ℓ	560	550	770	46	57	59	58	
COD _{Cr} 分解率	%	24.4	15.4	12.2	19.9	13.9	43.5	37.2	

VS負荷2.8~4.9kg-VS/m³・日, HRT29.8~15.1日に変化させることによって, COD_{Cr}分解率は24.4~12.2%となった。

膜分離装置は回転軸の回転数を300rpmとし, フラックス0.2m³/m²・日で運転を行った。その結果, 6.4~7.9%のメタン発酵汚泥を対象に約2ヶ月間の安定運転が可能であった。また, この間の膜間差圧(透過圧力)は10~13kPaであり, 高濃度メタン発酵汚泥の膜分離が実用化可能と判断できた。膜透過液は有色透明で, COD_{Cr}4000~4400mg/ℓ, BOD 690~1760mg/ℓの脱離液が回収できた。

4.1.2 牛糞尿の従来型メタン発酵

【実験2】ではVS負荷2.7及び5.3kg-VS/m³・日に変化させて実験を行った。処理データを, 表2に示す。VS負荷2.7, 5.3kg-VS/m³・日, HRT29.9, 15.1日に対してCOD_{Cr}分解率は19.9及び13.9%であった。

各々の負荷条件は【実験1】のRUN1及びRUN3とほぼ同一であり, COD_{Cr}分解率もほぼ等しい。但し, 溶解性のCODを示すCOD_{Cr}(F)値は膜分離液の約2.5倍の水質であり, 膜分離した脱離液の水処理が簡易に行える可能性が示された。

4.1.3 牛糞尿と生ごみの従来型メタン発酵

【実験3】では, VS負荷4.0及び5.9kg-VS/m³・日に変化させて実験を行った。処理データを, 表2に示す。VS負荷4.0, 5.9kg-VS/m³・日, HRT22.7, 15.7日に対して, COD_{Cr}分解率は43.5及び37.2%であった。

O牧場のCOD_{Cr}分解率は低かったものの, 生ごみを混合することでメタンガス発生量を格段に高くできた。

4.2 メタン発酵回分試験の結果

3種類の牛糞尿, 生ごみ, 牛糞尿と生ごみの混合物について実施した回分試験の結果を, 図3に示す。得られたバイオガスのメタンガス濃度及びCOD_{Cr}分解率を, 表3に示す。メタンガス濃度が高い結果は, 実験期間中に発酵液のpHが上昇し, 二酸化炭素が溶解したためと考えられる。

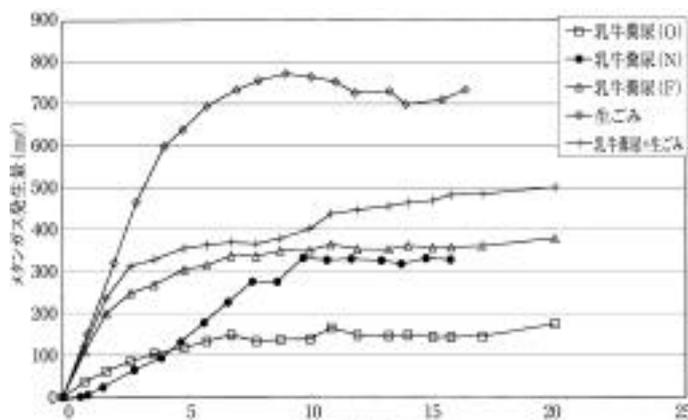


図3 回分試験によるメタンガス発生量
Methane gas generation on batch test

表3 回分試験結果
Conclusion of batch test

分析項目	単位	乳牛糞尿			生ごみ
		O牧場	N牧場	F牧場	
COD _{Cr} 分解率	%	15.5	31.7	35.0	78.1
CH ₄ 濃度	%	74.1	90.9	75.8	81.4

連続試験に用いたO牧場の糞尿は, 回分試験でのCOD_{Cr}分解率も低く15.5%であった。N牧場, F牧場の牛糞尿では各々32%, 35%の分解率が得られており, COD_{Cr}/VS比が大きい糞尿では10~15日間の発酵で30%以上のCOD_{Cr}分解率が期待できることが示されている。

生ごみのメタン発酵では, 約10日間で約78%のCOD_{Cr}が分解している。

N牧場の牛糞尿では発酵初期の6日間, F牧場の牛糞尿では発酵初期の2日間で発生する総ガス量の1/2以上のバイオガスが発生しており, 特にF牧場の発生間もない糞尿では初期の2~3日間の易分解性有機物の分解によるガス発生が全体の発生量に大きく影響していることがわかる。

5 むすび

- (1) 最大でSS濃度8.4%のメタン発酵汚泥を膜分離することが可能であった。膜分離メタン発酵処理試験では, 原料のCOD_{Cr}/VS比が低かったため, COD_{Cr}分解率は12~24%となった。
- (2) 膜分離メタン発酵試験の対照実験として行った従来型メタン発酵実験においても, 同一負荷で同様のCOD_{Cr}除去が行えた。しかし, 【実験1】の膜ろ過液のCOD_{Cr}濃度は【実験2】の溶解性COD_{Cr}濃度の約2.5分の1であり, 膜分離メタン発酵処理ではメタン発酵脱離液の水処理を簡易にできる可能性が示された。
- (3) 回分試験結果では, COD_{Cr}/VS比が高い牛糞尿では, 30%以上のCOD_{Cr}分解率が期待できた。また, 生ごみ単独のCOD_{Cr}分解率は78%, 牛糞尿に生ごみを固形物比4:1で混合した原料では期待通りガス発生量が増加し, 46%のCOD_{Cr}分解率が得られた。

筆者らは, し尿汚泥に生ごみを混合し, メタン発酵処理において発生したバイオガスを用いて処理設備の使用電力を賄えることを示した⁽³⁾。家畜糞尿処理においては, 生ごみを混合したメタン発酵処理に膜分離を組み合わせることによって, 脱離液処理を含めた全体システムとしての有意性を確認したい。

尚, 本研究は1999~2001年度, 財団法人畜産環境整備機構の助成研究事業の研究成果の一部を含んでいる。

(参考文献)

- (1) 加藤明德, 野池達也. 各種畜産廃棄物の嫌気性消化処理におけるメタンガス発生量. 廃棄物学会論文集, vol.10, no.1, p.1~8, 1999.
- (2) 岡庭良安, 中島宏, 竹田久人, 大熊那夫紀. 回転平膜によるし尿・浄化槽汚泥の処理技術. 用水と廃水, vol. 1, no.5, p.11~14, 1999.
- (3) 岡庭良安. バイオガスシステム. クリーンエネルギー, p.25~29, Mar., 2000.

環境施設小特集

技術解説

汚泥減容化システム

Reduction System of Sludge Contents

鈴木 公*
Tadashi SUZUKI

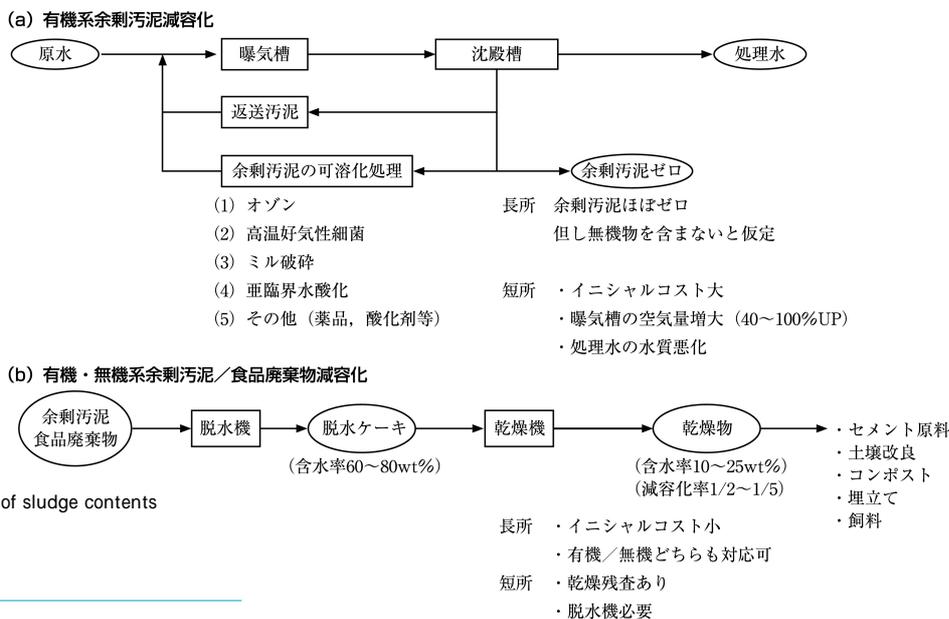


図1 減容化の分類
Groups regarding reduction of sludge contents

1 はじめに

活性汚泥法は下水や有機性排水の処理技術として、その経済性や効率面の高さから広く利用されている。しかし、この方法の最大の欠点は、排水中の汚濁物質が一部汚泥へと変換されて、余剰汚泥を発生することである。近年の汚泥発生量は年間で約3~4億m³と言われ、その汚泥の約70%は大都市圏を中心に焼却処理、又は埋立て処分されている。

しかしながら、国土の狭い日本では最終処分場の逼迫、焼却処理におけるダイオキシン類の発生等の問題があり、汚泥の最終処分が難しくつつある。

また、2001年5月には「食品循環資源再利用促進法」、いわゆる「食品廃棄物リサイクル法」が施行され、5年間でリサイクル率を20%向上させることが義務付けられ、140~180万tを新たにリサイクルする必要に迫られているのが現状である。

ここでは、有機・無機汚泥及び食品廃棄物の全てに対応可能な乾燥機を利用した減容化システムを紹介する。

2 汚泥・食品廃棄物等の減容化方法

一般に減容化という場合、図1に示されるように2種類の方法に分類することができる。

1つは図1(a)項に示す有機汚泥の減容化方法で、発生する余剰汚泥を可溶化処理して曝気槽に戻すことにより、余剰汚泥の発生をゼロにしようとするものである。この余剰汚泥の可溶化処理方法には、各種の方法が開発されており、代表的なものとしてオゾン、高温好気性細菌、ミル破碎、亜臨界水酸化及び酸化剤などによるものがある⁽¹⁾。

これらの方法は、余剰汚泥を物理的、化学的又は生物学的な手段で分解することにより、再度曝気槽で処理可能な形態に変化させることを目的としている。本方式の長所は、余剰汚泥の発生がほぼゼロになることである。一方、短所としてはイニシャルコストが高いこと、曝気槽の負荷が大きくなる

ことに伴って曝気空気量が増大(40~100%アップ)すること及び難分解性物質の処理水への流出に伴う水質の悪化などが挙げられる。

もう1つの方法は、図1(b)項の有機・無機系汚泥及び食品廃棄物の減容化である。この方法は、被処理物を乾燥することにより重量を低減化して減容化を図る方法である。本方法の長所は、有機系汚泥のみならず、無機系汚泥及び食品廃棄物の減容化まで対応可能なこと及び物理的な乾燥操作という従来技術の応用で済み、イニシャルコストが安くて済むことである。また、短所は脱水機が必要なこと、物理的な乾燥のみなので汚泥がゼロにならず、多少乾燥残渣が残ってしまうことである。

当社は後者の乾燥機を利用した汚泥減容化システムに着目し、当社が従来から保有している嫌気処理設備との組み合わせにより、非常に省エネルギーで、かつコンパクトな設備を実現した。

3 乾燥機による汚泥減容化システム

3.1 超音速スチームドライヤ(USSドライヤ)

超音速スチームドライヤ(Ultra Super Sonic Steamドライヤ 以下USSドライヤ(三友工学株式会社製))とは、高温・高圧の過熱蒸気を超音速で噴射することにより、同時に発生するダイヤモンド形の衝撃波によって、水分を含んだ固体を細かな粒子に粉碎し、粒子内部の水分を表面に導き出すことにより、瞬時に蒸発・乾燥させるジェット噴射型気流乾燥機である⁽²⁾。本ドライヤの概観を、図2に示す。本機は当社環境技術研究所に設置されているテスト機で、生汚泥(含水率80%)処理量14~30kg/h規模のものである。

本ドライヤの基本構成を、図3に示す。基本構成は本体、



図2 USSドライヤテスト機
USS dryer for sample tests

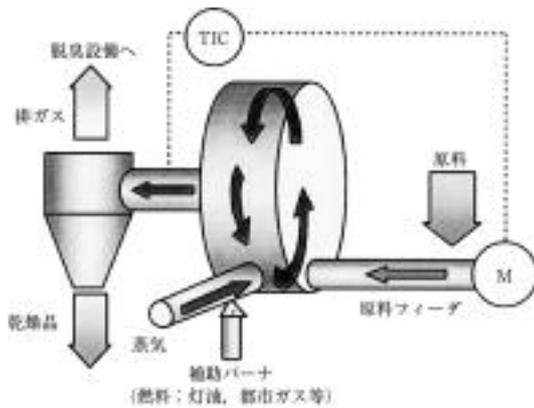


図3 USSドライヤの基本構成
Basic structure of USS dryer

原料フィーダ、サイクロン、制御盤から成っている。本体は0.4Mpaの過熱蒸気を絞り込んでマッハ1の超音速気流を発生させるノズルとこの気流を接続方向に送り、高速の旋回流を生じさせる円筒状の釜及び一度蒸発したミストの乾燥物への再付着を防止するためのキャリアエア及び補助熱源としてのバーナ部からなる。制御方法は非常にシンプルで、ノズル前のスチーム圧力を減圧弁により所定の圧力(0.4MPa)に保持することと釜内の温度を約80~130に保つために、原料の供給量をインバータにより増減するだけである。尚、乾燥物の含水率は釜内の温度により決まる。

乾燥の原理は、超音速のスチーム気流中に物体を置くと圧力の不連続面を生じ、衝撃波が発生することを利用している。即ち、この衝撃波の含水性物質への衝突及び気流の動圧により被処理物を解砕し、比表面積を大きくすることで、長い恒率乾燥期間が得られるようにしている。更に、一度被処理物から出たミストが再びその被処理物に再付着する確率を低くするため、ノズルのエジェクタ効果を利用して外部から補助熱源(バーナ)により加熱された空気を吸引することで、ミスト濃度を希薄にしながらサイクロン等で乾燥品を捕集するようになっている。本ドライヤの特長を、以下に示す。

- (1) 有機・無機両汚泥及び食品廃棄物の減容化に対応可能である。
- (2) 乾燥物の含水率制御が容易である(含水率制御範囲5~50%程度)。
- (3) 低温での乾燥のため(80~130), ダイオキシン類の

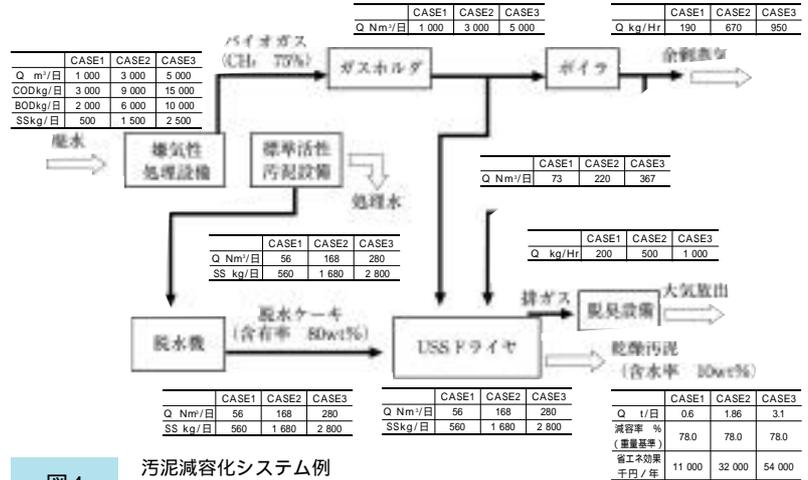


図4 汚泥減容化システム例
Example for reduction system of sludge contents

発生は無い。

- (4) 自動運転により、運転管理が容易である。
- (5) シンプルでコンパクトな設備である。(生汚泥処理量8t/日規模の実機サイズ2.8m(L)×2.5m(D)×2.6m(H))

3.2 汚泥減容化システム構成例

本ドライヤは、余剰汚泥或いは食品廃棄物等の発生する工場に設置されるが、当社が保有する技術の1つである嫌気性排水処理設備と組み合わせることで、更に優れた経済性を発揮することができる。その例を、図4に示す。

嫌気性排水処理設備からはバイオガス(メタン約75%)が発生するために、これを一時ガスホルダに貯留してから、通常はボイラで燃焼させてスチームを製造している。一方、USSドライヤは乾燥の主熱源としてスチーム及び補助熱源の燃料としてLPG、灯油等を使用しているが、これらは全てバイオガスにより代用可能であるので、必要なユーティリティは電力のみとなる。このため、ランニングコストが5~6千円/(生汚泥1t処理)から1~2千円/(生汚泥1t処理)へと大幅に削減することができる。

また、上記ランニングコストの低減とともに、汚泥の乾燥による減容化効果(重量基準で約80%減)により汚泥の外部への引取価格を2万円/(生汚泥1t)とすれば、図4のCase2の場合、約32百万円/年のコスト削減が見込まれることになる。

4 おわりに

本報で、汚泥減容化技術としてのUSSドライヤ概要とそのドライヤを当社の嫌気性排水処理設備に組み込んだ場合に、非常に大きなコスト低減効果があることを紹介した。

排水処理設備から発生する余剰汚泥の減容化技術については、現在様々な方法が提案されているが、当社としては、この優れた技術を広く展開することにより、21世紀の循環型社会の形成と発展に貢献したいと考えている。

(参考文献)

- (1) 株式会社技術情報センター・汚泥を発生させない新しい排水処理技術・講習会テキスト, p.31, may, 2000.
- (2) 池上彦彦, 山内肇・蒸気による排水汚泥の乾燥システム・用水と廃水, vol.42, no.6, p.72, 2000.

環境施設小特集

高速繊維ろ過を前処理とした高効率UF膜ろ過浄水システムの開発

Development of High-Flux UF Membrane Filtration System with Pre-Treatment of High-Flux Fiber Filtration

江川 健* 真鍋 教市*

Takeru EGAWA

Kyoichi MANABE

井上 勇* 佐藤 三生男*

Isamu INOUE

Mikio SATOU



UF膜ろ過装置

UF membrane filtration plant

水道分野では最近、小規模水道施設を中心に膜ろ過浄水設備の導入が進められている。しかし、膜ろ過の実用化に当たっては、膜の薬品洗浄や膜交換などの維持管理費の低減が求められている。そこで、塩鉄凝集と高速繊維ろ過を前処理として膜ろ過と組み合わせた高効率な膜ろ過浄水システムを採用することにより、膜では除去し難い色度、有機物等を除去できるとともに、高い膜ろ過速度でも膜の目詰まりが生じにくく、安定した膜ろ過運転ができることを長期的に実証確認した。

Recently, it has been promoted to introduce membrane filtration plants for potable water treatment facilities, especially

small-scale facilities, in the potable water field in Japan. The application of membrane filtration for potable water treatment, however, requires the reduction of the maintenance cost for chemical washing and replacement of membrane modules. Therefore we have developed and demonstrated the new high-flux membrane filtration system with the pre-treatment of FeCl_3 coagulation and high flux fiber filtration over long period, to remove colors and organic compounds, as well as to perform the stable membrane filtration operation with little membrane fouling and high membrane flux.

1 まえがき

日本の水道は普及率は既に96%程度に達しているが、原水水質の悪化、水道技術者の不足、浄水施設の老朽化、耐塩素性原虫による被害及び発癌性物質（トリハロメタン）問題など、まだ様々な課題を抱えている。近年の浄水技術にはこれらの問題に対応しながら、更に安全でおいしい水を簡単な維持管理で生産できる技術が求められている。これらのニーズに応える技術として最近注目されているのが、「膜ろ過浄水システム」である。

膜ろ過浄水システムは、従来の凝集沈殿砂ろ過処理と異なり、原水中の濁質や細菌類などを精密ろ過（MF）膜や限外ろ過（UF）膜でろ過して物理的に固液分離することで除去する浄水技術である。膜ろ過浄水技術には、膜の孔径より大きい濁質や細菌類が完全に除去できる、装置が非常にコンパクトにできる、装置が全自動化されているため運転管理が容易である、といった長所がある。日本では1991年の厚

生省膜利用型新浄水研究開発プロジェクト（MAC21計画）から開発や実用化が進められてきた。既に小規模水道施設を中心に200ヶ所以上の導入が図られており、近年では中規模や大規模の浄水場での導入も始まってきている。

一方膜ろ過浄水システムの問題点には、使用していくうちに定期物理洗浄でも洗浄しきれない濁質や有機物等が膜内に堆積していく膜閉塞の問題がある。膜閉塞が進行すると、通常の圧力では水量が出なくなるなど、膜ろ過運転に支障をきたしてくる。この膜閉塞は薬品で洗浄して閉塞物質を除去することで回復させることができるが、薬品洗浄の回数が多くなると維持管理費が上昇したり膜の寿命が短くなったりするので、膜閉塞を生じにくくする対策が維持管理上重要となる。そのため、オゾンや活性炭などによる前処理で膜の閉塞物質を事前に除去する研究が多くなされている。

当社もMAC21の時期から、膜ろ過浄水システムの試験を行ってきたが、膜ろ過単独の運転では原水の水質によっては安定した高効率運転が難しいことや⁽¹⁾、本試験地の原水に中

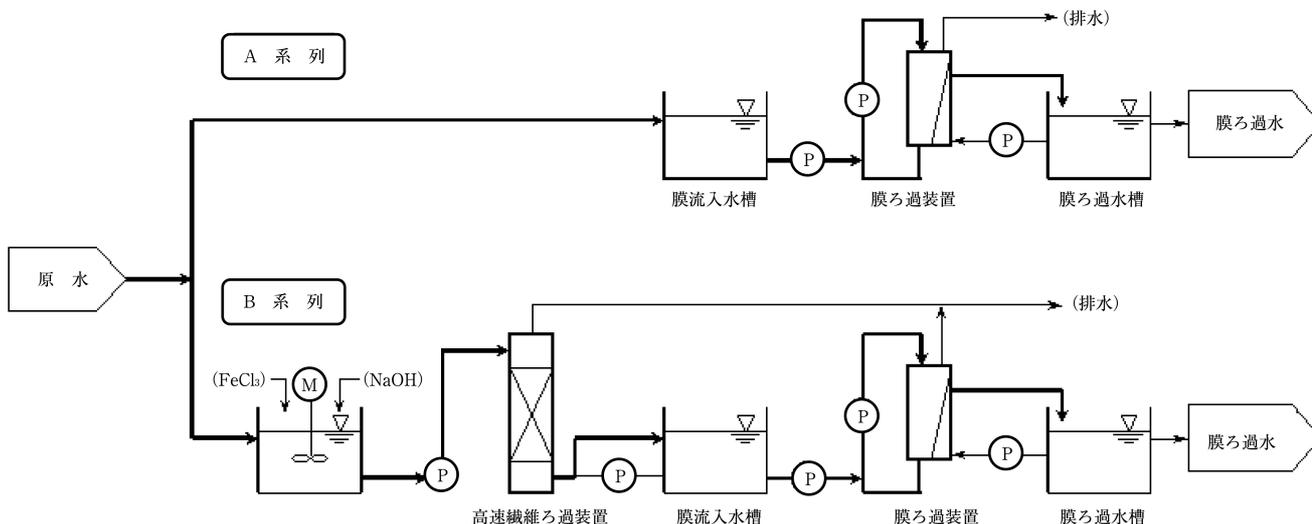


図1 実験フロー
Flow diagram of pilot plant

表1 装置仕様と運転条件
Characteristics of pilot and operating conditions

(a) 装置仕様

高速繊維ろ過	ろ材	長繊維ろ材
	材質	ポリプロピレン
	繊維径	約40 μm
	繊維長	100cm
	装置寸法	200mm x 2 000mm
膜ろ過	種類	内圧式UF中空糸
	材質	酢酸セルロース
	分画分子量	100 000Dalton
	膜面積	7.2m ²
	中空糸内径	0.93mm
	モジュール長	130cm

(b) 運転条件

系列	処理水量	操作項目	操作条件		
A	10m ³ /d	UF膜	ろ過方式	全量ろ過	
			膜ろ過流速	1.3~2.2m/d	
			流量制御	定流量制御	
			膜差圧	20~60kPa	
B	10m ³ /d	凝集	凝集剤	塩化第2鉄	
			注入方式	原水濁度に関係する注入式	
		高速繊維	急攪時間	15分	
			ろ過方式	下向流	
			ろ過速度	720m/d (1200m/d)	
			逆洗方式	水・空気併洗+水洗逆洗	
			逆洗頻度	差圧20kPaで逆洗	
			UF膜	A系列と同じ	

多く含まれる色度成分が膜ろ過単独では除去できないこと⁽²⁾などから前処理の設置を検討し、建設費や維持管理費が安価で省スペース化もできる高速繊維ろ過を調査して⁽³⁾、前処理として採用した。この前処理との組み合わせで、膜閉塞が非常に少ない高効率膜ろ過浄水システムの実証試験を長期間行った。

なお、本報告は高効率浄水処理システムの確立を目的とした厚生省高効率浄水技術研究開発 (ACT21) プロジェクトの持ち込み研究の一環として、1999年9月から2001年3月までの期間、岐阜大学と共同で行った研究である。

2 本試験の概要

本試験は、次のような目標を目指して実施された。

- (1) 凝集と高速繊維ろ過による前処理を行うことで、膜閉塞要因物質を低減して高効率膜ろ過運転の長期安定運転を達成する。
- (2) 高速繊維ろ過の最適運転条件を把握して、長期連続運転の実証を行う。
- (3) 膜ろ過単独では除去できない色度などを前処理で低減し、処理水水質の向上を図る。
- (4) 凝集剤に塩化第2鉄を採用し、鉄系凝集剤の浄水処理での効果を実証する。

本試験のフロー図を図1に、装置の仕様や運転条件を表1

に示す。原水を直接膜ろ過するA系列と原水を凝集と高速繊維ろ過による前処理を行った後に、膜ろ過するB系列の2系列に分けて連続運転を行い、2系列の膜閉塞状況や処理水水質の比較を行うことで、前処理の効果の実証を行った。膜ろ過の運転方式には、原水の全量をろ過するデッドエンドろ過 (全量ろ過) 方式と、原水を循環させて膜表面に蓄積される濁質等の剥離洗浄を行いながら、原水の一部を膜ろ過するクロスフローろ過方式とがあるが、本システムでは循環動力が不要なデッドエンドろ過方式を採用することで運転の高効率化を図った。

現在、日本では凝集剤にはアルミ系の凝集剤が多く使用されているが、アルミニウムの人体への影響の見直しなどから、鉄系の凝集剤の検討も始まっている。そこで本試験でも凝集剤には塩化第2鉄を採用した。凝集剤の注入量は原水濁度に応じた制御を行い、凝集pHはラボテストの結果を参考に5.8に制御した。また、高速繊維ろ過はろ過速度30m/hで運転したが、高濁度時でも捕捉した濁質がリークしないろ過差圧が20kPaであった⁽⁴⁾ので、ろ過差圧が20kPaになると逆洗を行う制御で運転した。

装置は運転管理の容易さを目標に、前処理装置、膜ろ過装置とも全自動運転で行った。プラントの運転状況はパソコン通信を用いて遠隔地でも監視できるシステムで行った。

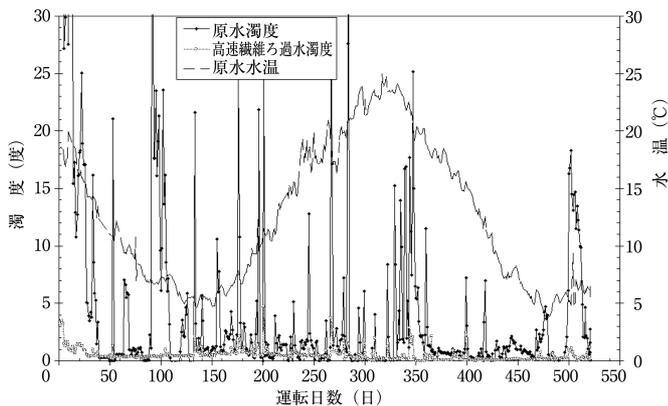


図2 高速繊維ろ過の濁度除去性
Turbidity trend of raw water and pre-treated water

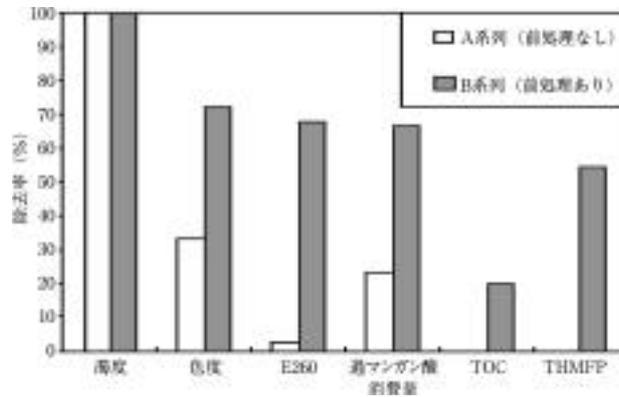


図3 膜ろ過水の比較 (除去率)
Comparison of UF treated water (Removal rate)

表2 平均水質
Average water quality

分析項目	膜原水A(原水)	膜ろ過水A	膜原水B (高速繊維ろ過水)	膜ろ過水B
濁度	1.54	0.00	0.02	0.00
色度	5	3	2	1
E260	0.059	0.057	0.019	0.019
過マンガン酸	2.1	1.6	0.9	0.7
TOC	0.5	0.5	0.4	0.4
THMFP	0.011	0.011	0.005	0.005
全鉄 (mg/ℓ)	0.04	0.02未満	0.03	0.02未満
全マンガン (mg/ℓ)	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満
E390 (5cmセル)	0.009	0.008	0.002	0.002

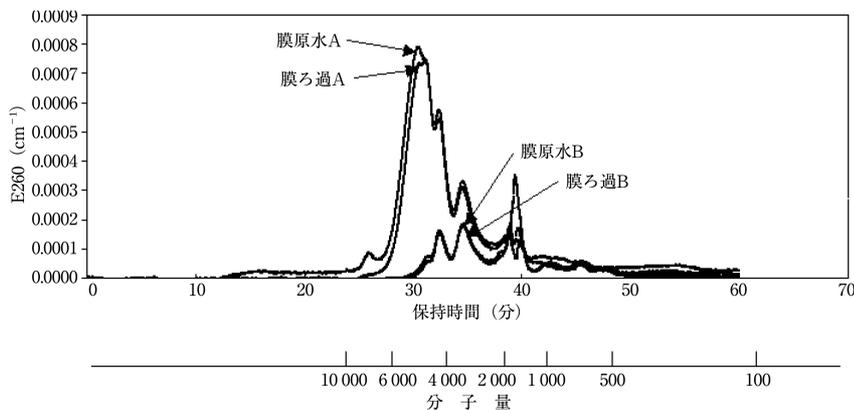


図4 原水と膜ろ過水の分子量分布
Molecular weight distribution of raw water and UF filtration water

3 実証試験結果

3.1 高速繊維ろ過の濁質除去への有効性

図2に、原水濁度と高速繊維ろ過水濁度の経時変化の結果を示す。値は濁度計による連続測定値である。凝集pHや最適逆洗条件を適切に設定することで、安定した自動運転が行えることが確認された。約1年半程度の連続運転を行ったが、原水濁度や水温の変動にかかわらず高速繊維ろ過による濁度の除去は安定して行うことができた。これにより、後段の膜への濁質負荷は安定して低いレベルに抑えることができた。

3.2 処理水水質の向上への効果

表2に各系の原水と処理水(膜ろ過水)の平均水質を示す。前処理で濁度のみならず、紫外外部吸光度やトリハロメタン生成能等の値も低減されることが確認された。原水中に含まれ

るフミン質等の有機物が除去されていると考えられるが、膜ろ過単独ではほとんど除去できない有機物由来の物質も前処理で低減できることが確認された(図3)。

凝集処理では添加した凝集剤の後段へのリークを抑制する運転管理が求められるが、本試験では凝集剤として添加した鉄の高速繊維ろ過水中での濃度は、ほとんどの場合定量下限値未満であった。また、高速繊維ろ過水から鉄が多少検出された時でも、後段の膜ろ過水中の鉄濃度は常に定量下限値未満であった。全自動運転であるが、凝集剤の処理水へのリークはなく、安全な水が簡単にできることが確認された。

また、図4に、各系の原水と処理水について溶解性有機物の分子量分布を測定した結果を示す。検出は260nmの紫外外部吸光度で行った。保持時間30分辺りからいくつかのピークが現れたが、前処理後にはそれぞれのピークが除去されている

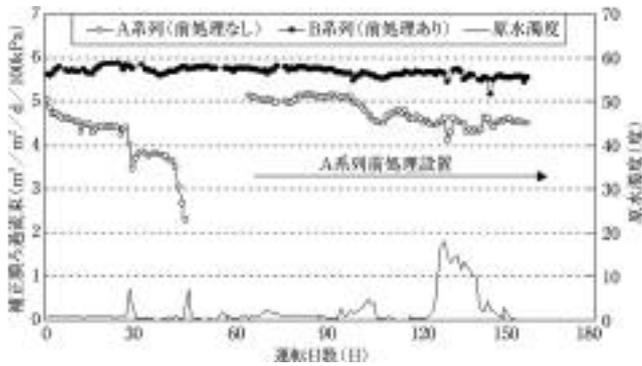


図5

補正膜ろ過流束の結果

Result of permeability (at20 °C)

ことがわかり、特に早い時間出現する高分子有機物を示すピークは、前処理により非常に良く除去されていることが確認された。膜の閉塞要因の一つといわれている高分子有機物が除去されていることから、この前処理操作を行うことで膜閉塞によって生じる差圧上昇を、大きく低減できることも予想された。

3.3 膜閉塞の抑止効果

図5に、補正膜ろ過流束の結果を示す。補正膜ろ過流束は、水温の影響を20°Cに換算した、膜の単位面積、単位圧力、単位時間当たりのろ過流量で、膜が閉塞するほど小さな値になり、本試験で使用した膜では2.4 m³/m²/d/100 kPa程度が膜の薬品洗浄を行う目安となる。膜ろ過の運転は、比較のためA系列とB系列で常に同じ条件(表1参照)で運転した。

前処理のないA系列は運転開始から急速に膜閉塞が進み45日程度で薬品洗浄が必要なレベルまで膜閉塞が進んだが、前処理を行ったB系列では約6ヶ月間膜閉塞は全くなく安定した膜ろ過運転ができた。また、A系列も膜が閉塞した後に膜の薬品洗浄を行ってからは、前処理後の水を原水としてデッドエンドろ過運転を行ったが、B系列同様に膜閉塞はほとんど進まなかった。A系列では更に100日目辺りから膜ろ過流束をB系列の1.7倍の2.2 m³/m²/dまで上昇させたが、それでも膜閉塞はほとんど進まずに安定運転を達成できた。これまでの結果で示したように、前処理によって濁質や高分子有機物が常に低減されていたためと考えられる。前処理を行うことによって、高負荷でのデッドエンドろ過も十分可能であることが確認された。

4 むすび

本実証試験から、以下の結果を得た。

- (1) 凝集と高速繊維ろ過による前処理で濁質や高分子有機物を低減することによって、高負荷のデッドエンドろ過でも安定した運転が行えることが確認された。
- (2) 高速繊維ろ過は差圧を指標とした適切な逆洗条件を設定することで、長期間の安定運転ができることが確認された。
- (3) 鉄系凝集剤は、凝集pHを適切に管理することで鉄による色度の問題等もなく安定した凝集処理が行えることが確認された。

- (4) 凝集と高速繊維ろ過による前処理を行うと、膜ろ過単独に比べて色度、紫外吸光物質、トリハロメタン原因物質なども大幅に低減でき、処理水の水質が向上することが確認された。また、最終処理水(膜ろ過水)から凝集剤や細菌類がリークすることはなく、比較的簡単な操作で常に安全な水を得ることができた。

以上のことから、本システムは、膜ろ過浄水システム実用化のための1つの有効な方法であると考えている。

本試験の遂行に当たり、指導・協力を頂いた岐阜大学湯浅晶教授をはじめとする岐阜大学流域環境研究センター及び浄水場の関係者に心から感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) 佐藤三生男, 井上勇, 中尾彰夫. 高濁度原水のUF膜ろ過. 第51回全国水道研究発表会.
- (2) 伊藤健造, 渡辺祐次, 後藤千重, 湯浅晶, 松井佳彦, コラ・フレデリック. 内圧中空系UF膜の閉塞に及ぼすクロスフロー流速の影響. 第50回全国水道研究発表会.
- (3) 真鍋教市, 佐藤三生男, 江川健. 膜ろ過の前処理として的高速繊維ろ過の性能. 第51回全国水道研究発表会.
- (4) 高速繊維ろ過を前処理とした高効率UF膜ろ過浄水システムの開発. 高効率浄水技術研究(ACT21)中間報告書, P.119-124, Jan., 2001.

環境施設小特集

生物ろ過設備による下水2次処理水の高度処理

Tertiary Sewage Waste Water Treatment Using Aerobic Biocological Filter

穴戸 美子*

Yoshiko SHISHIDO

中尾 彰夫*

Akio NAKAO

小関 正信*

Masanobu KOSEKI

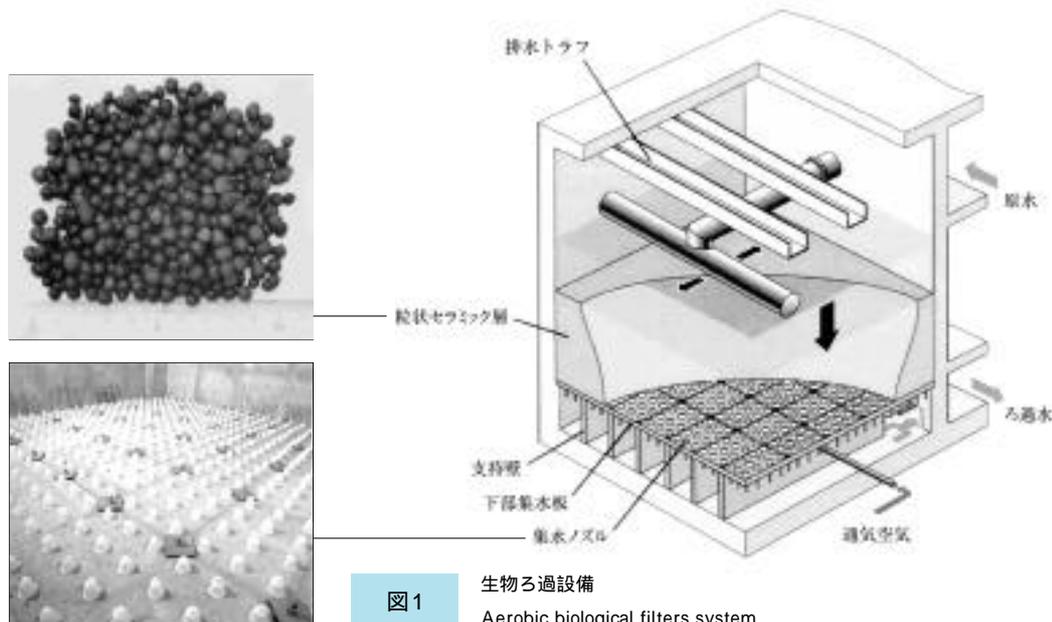


図1

生物ろ過設備
Aerobic biological filters system

当社の生物ろ過設備は下水の高度処理設備として開発され、その特徴は粒状セラミックのろ材と下部集水装置にある。本設備は、物理的ろ過作用と微生物の分解作用により、SSやBOD、アンモニア態窒素などを効果的に除去する。

本報では、当社が納入した生物ろ過実設備の構造と処理性能等について報告する。

The aerobic biological filter is tertiary treatment plant for sewage waste water, and it has packed ceramic resins and nozzle strainers. It is also effective for removing SS, BOD, ammonium, and so on by physical filtration and biological degradation. In this paper, we describe the performance of commercial plant, which was developed and delivered.

1 まえがき

近年、環境問題に対する関心が社会的に高まっており、下水処理の分野においても、放流水域の環境保全や閉鎖系水域の富栄養化防止、水道水源の水質保全や下水処理水の水資源としての再利用などを目的として、高度処理が求められている。

下水の高度処理には、砂ろ過、生物ろ過及び活性炭などの様々な処理技術があるが⁽¹⁾、生物ろ過は砂ろ過の特徴である物理的浄化作用に加え、微生物の働きによる生物的浄化作用も併せ持つ技術として注目されている。

ここでは、下水の高度処理設備として当社が開発し、Y市N浄化センターに納入した生物ろ過設備について⁽²⁾、その原理と構造、及び年間を通じての処理性能と運転状況について報告する。

2 生物ろ過の原理と特徴

ろ過には無通気で通水する通常ろ過と、空気を供給しながら

ら通水する好気性生物ろ過がある。生物ろ過の充填ろ材にはセラミックやアンスラサイトなどの無機系固定床のもの、プラスチックやポリマなどの有機系流動床のものがある。2次処理水の通水方法には生物ろ過池の上から下へ流す下向流と、下から上へ流す上向流がある。当社の生物ろ過設備は下向流固定床ろ過方式であり、下水である2次処理水は通気しながら好氣的にろ過処理される。

生物ろ過の特徴は、水質の浄化作用とろ過特性にあり、水質浄化には物理的浄化と生物的浄化の2つがある。物理的浄化では下水2次処理水中に浮遊している懸濁物質(SS)や微粒子などが、ふるい分け効果や凝集効果などによりろ材間の空隙に捕捉される。生物的浄化では、ろ材表面に附着又は生育している微生物群、つまり生物膜が、下水2次処理水中に溶解している有機物やアンモニア態窒素(NH₄-N)、亜硝酸態窒素(NO₂-N)等の汚濁物質を分解除去する。

一方、ろ過特性はろ過抵抗が急激に上昇するという特徴があり、この現象は、流入するSS濃度やろ過処理の継続時間が深く影響している⁽³⁾。捕捉したSS量や過剰に増殖した生物

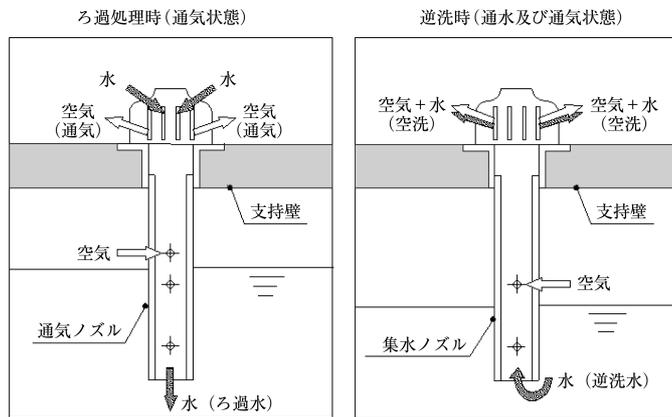


図2 ノズルの構造
Nozzle filters

表1 生物ろ過設備の仕様
Specifications of aerobic biological filters

項目	仕様	
流入条件	処理水量	最大 約 6 000m ³ /日/池
処理性能	原水水質	BOD 15mg/l SS 13.5mg/l
	ろ過水水質	BOD 10mg/l SS 7 mg/l
構造	池数	3池
	ろ過面積	約27m ² /池
	ろ過方式	下向流固定床ろ過方式
	集水方式	ノズル方式
ろ層	ろ材	粒状セラミック
	ろ材寸法	平均径 6 (有効径 4.3mm)
	ろ層厚	2m
ろ過条件	ろ過速度	222m/日
	通気風量	2.2m ³ /m ² /h (60 m ³ /h/池)
洗浄条件	空洗・併洗時	空洗速度 60m/h 水洗速度 27m/h
	水洗時	水洗速度 54m/h

膜量が、空気の抜け道をふさぎ、ろ槽内に空気だまりが生じた結果、急激に圧損が高くなるためであると考えられる。しかし、処理水温や水質の季節変動などにも関係していることが推測され、生物ろ過の特性を解明するためには今後も詳細な検討を要する。

3 生物ろ過設備の構造

構造を、図1に示す。本設備は下向流好気性固定床方式で、原水である下水2次処理水が入ってくる散水管、粒状セラミックろ材を充填した2mのろ層、ろ液の集水及び通気のためのノズルが配置されている下部集水装置、逆洗排水を集める排水トラフから構成されている。当社の生物ろ過設備の特徴は、充填ろ材と集水装置にある。

ろ材は粒状の焼成セラミックで、平均粒子径は約6mmと大きいので、ろ層全部でSSや微粒子などを捕捉する全層ろ過となっている。ろ材の比重は水より重く、材質がセラミックと硬質であるため、逆洗により系外へ流出したり、長期間の使用により摩耗して減少することなく、連続的に逆洗することが可能である。表面は多孔質となっているため、微生物が付着して生物膜を形成しやすいので、有機物やNH₄-Nなどの汚濁物質除去に優れている。逆洗方法も通常のろ過では、可能な限りSSを洗い流すのに対し、生物ろ過では、いつもほぼ一定の生物膜を残すように逆洗している。

一方、集水装置は次のような特徴を有している。

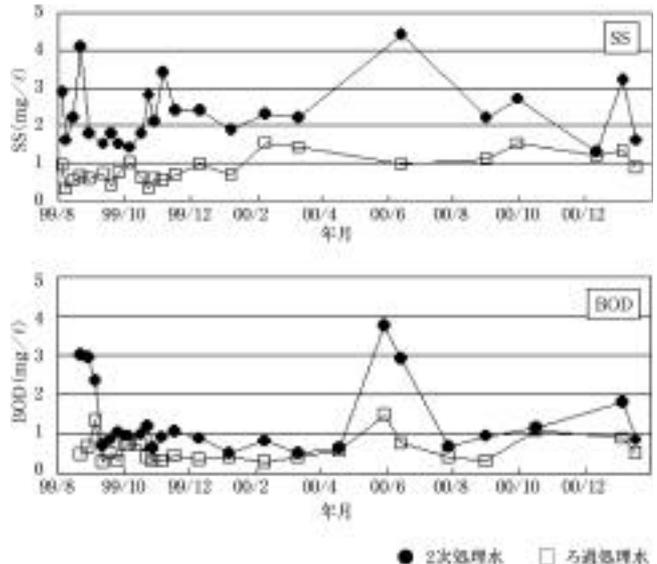


図3 2次処理水及び放流水のSS及びBOD濃度
SS and BOD concentration of raw and filtrated water

- (1) プレハブ方式なので、現場施工が容易である。
- (2) 取付レベル精度が高く、またノズルの圧力損失が均一で、空洗や水洗時の分散性が優れている。
- (3) 支持層として砂利層を必要としないため、ろ過池の深さを節約できる。
- (4) 集水装置下部に空気ゾーンが形成されるので、通気や逆洗が均一かつ効率的に行える。

集水装置の集水板は支持壁で支えられており、ノズルが24個/m²配置されている。このノズルを通して、ろ過時の集水と通気、逆洗時の通気と通水が行われる。ノズルの構造を、図2に示す。ノズルには、通気と集水を行う通気ノズルと、集水のみ行う集水ノズルの2種類があり、通気ノズルは2個/m²、集水ノズルは22個/m²で配置されている。通気ノズルでは、3つある穴のうち一番上の穴から空気が入り、上部ドームのスリットから分散気される。集水ノズルでは、逆洗のための穴が2個あるのみで、この2つの穴はろ過時には水没しているため通気されず、集水のみが行われる。逆洗時には通気及び集水全てのノズルから空気と水が分散供給され、逆洗水は排水トラフより回収される。

4 生物ろ過設備の性能

4.1 仕様

Y市N浄化センターに納入した生物ろ過設備の仕様を、表1に示す。本設備は1998年に納入し、現在も稼働中である。処理水量は18000m³/日、処理性能は原水の生物学的酸素要求量(BOD)が15mg/l、SSが14mg/lに対し、ろ過水のBODが10mg/l、SSが7mg/lとなっている。ろ過池の大きさは27m²×3池、ろ過速度は220m/日と砂ろ過同等のろ過速度であり、通常の生物ろ過のろ過速度150~180m/日より1.2~1.5倍も高負荷運転となっている。

4.2 処理水質

生物ろ過設備の処理性能を調べるために、年間を通じて2次処理水及びろ過処理水の水質調査を行った。その結果を、

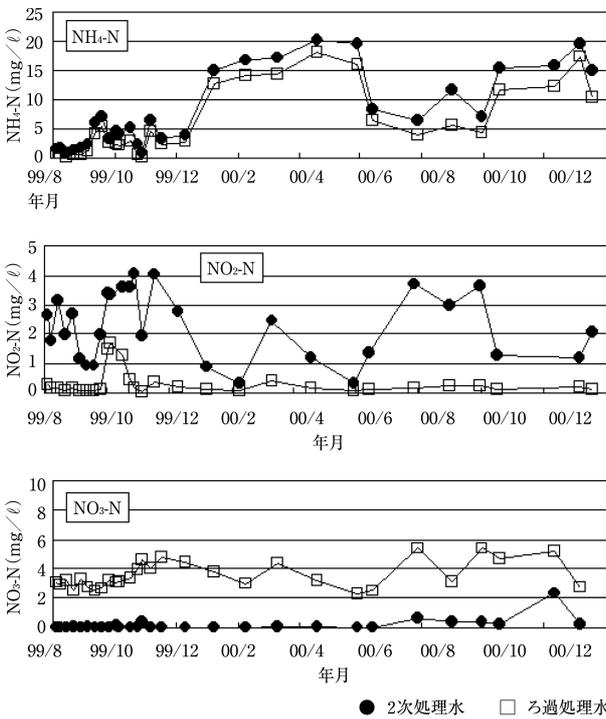


図4 2次処理水及び放流水のNH₄-N、NO₂-N、NO₃-N濃度
NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N concentration of raw and filtrated water

図3及び図4に示す。SS、BOD及びNH₄-Nの年間平均は2次処理水がそれぞれ2.3mg/l、4mg/l、8.2mg/l、生物ろ過水は1.0mg/l以下、1.8mg/l、6.1mg/lであった。これらの結果から、2次処理水中のSS及びBODなどは年間を通じて安定して除去されていることがわかった。また、生物ろ過では2次処理水のアンモニア態窒素及び亜硝酸態窒素が減少し、硝酸態窒素が生成していることから、生物膜中の硝化菌により硝化されていることがわかる。

これらの水質調査結果から算出した年間の除去率を、図5に示す。本設備は高負荷運転にもかかわらず、年間平均でSSが60%、BOD50%、化学的酸素要求量(CODMn)25%、NH₄-N40%、NO₂-N及び大腸菌群80%以上を除去できることがわかった。本設備は大腸菌群の除去性能が高いことから、後段にある紫外線消毒装置への負荷を大幅に低減していると考えられる。また、毒性が強いNO₂-Nの除去性能が高いことから、亜硝酸型となった活性汚泥処理設備の後段処理にも有効であり、今後応用範囲が広がる可能性がある。

4.3 逆洗条件と運転状況

本設備の最適逆洗条件を検討するため、空洗時と併洗及び水洗時の逆洗排水中におけるSS濃度の経時変化を調べた。その結果を、図6に示す。

空洗時のSS濃度は開始後約3分までに急激に高くなり、開始後5分以降はほぼ一定であった。このことから、ろ材に付着しているSSは、約5分間の空洗でほとんど剥離できることがわかった。

併洗及び水洗の場合、通水開始時のSSが600mg/l以下の時は約6分間で、1000mg/l以上と高い時でも約7分間で100mg/l以下になった。このことから、逆洗排水中のSSは通常の場合は6分間、SS濃度が高いときでも8分間の水洗でほぼ排出できることがわかった。

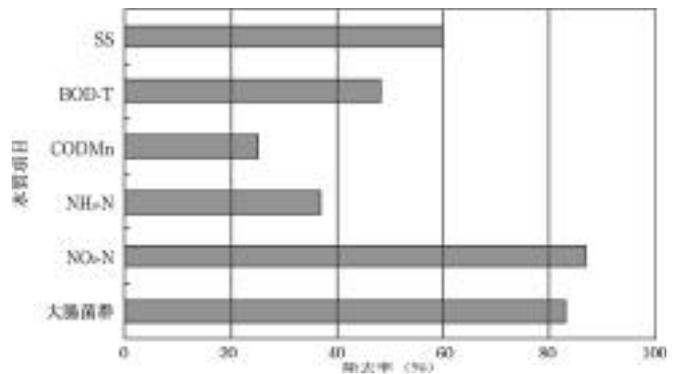


図5 水質の年間平均値と除去率
Results of waste water treatment by aerobic biological filters

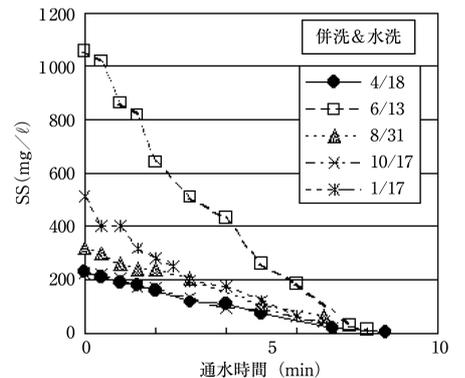
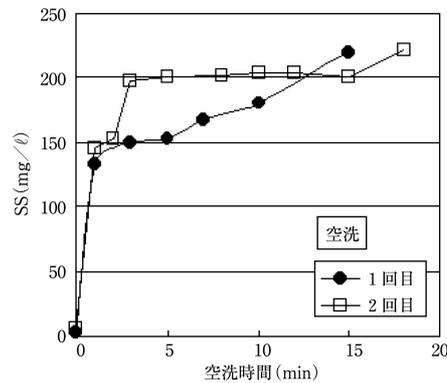


図6 空洗時と併洗及び水洗時の排出SS量
SS removal volume by air wash and water wash

以上の結果から、本設備の逆洗条件は、通常の場合が空洗5分 - 併洗6分 - 水洗4分とし、2次処理水の汚れやすさへのSS付着物が多く、洗浄を強化したいときは空洗5分 - 併洗8分 - 水洗4分で行うこととした。

本設備は現在この逆洗条件で運転しており、その逆洗状況と1回の逆洗で排出されたSS量を図7に示す。1999年10月～12月は逆洗条件の検討を行ったため、逆洗頻度が多くなった。また、4～6月の水質変動期に逆洗回数が増加する傾向が見られた。逆洗間隔は年間を通じ、通常3～10日であり、安定して運転されている。

逆洗排出SS量も逆洗状況と同様に1999年10月～12月は、逆洗条件の検討を行ったためばらつきは多いが、それ以降は年間を通じて約20kgを排出しており、安定してSSを捕捉していることがわかる。

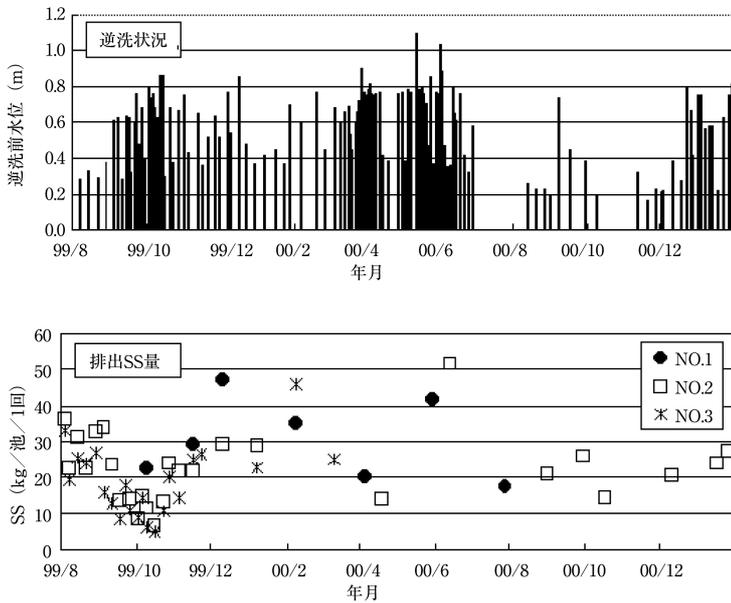


図7 実機設備の逆洗状況と排出SS量
Chronological change of SS removal and back wash regarding commercial plant

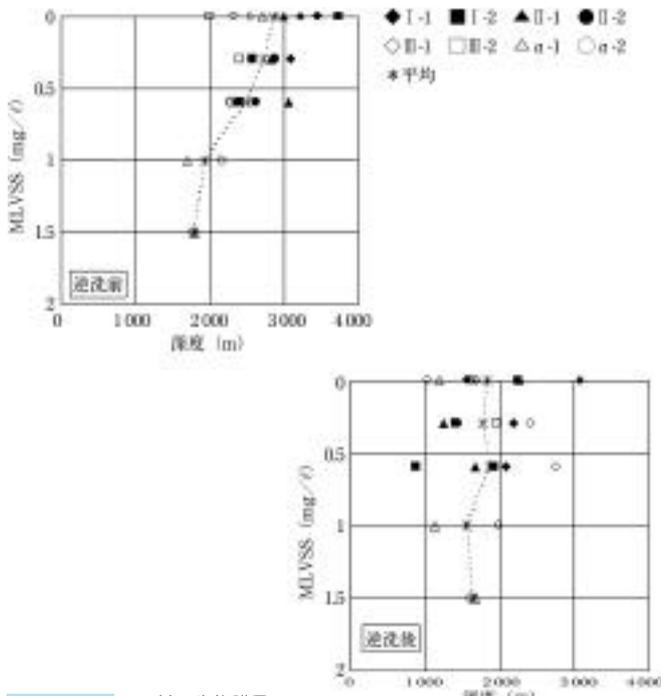


図8 ろ材の生物膜量
Biofilm volume of ceramic resin

4.4 ろ材の生物膜量と逆洗後の安定性

水質浄化に直接携わっているろ材の生物膜量を調べるため、ろ材に付着している有機性浮遊物質 (MLVSS) を測定した。結果を、図8に示す。逆洗前のMLVSSは約2300mg/l、逆洗後は約1800mg/lと、逆洗により約500mg/l剥離することがわかった。これを1池当たり換算すると約27kgとなり、実際の逆洗排出SS量にほぼ匹敵していることがわかった。また、MLVSSは逆洗前及び逆洗後も、ろ層全体に付着しており、これは全層ろ過の特徴を示していると考えられる。

逆洗による生物膜の減少が処理水質に及ぼす影響を調べるために、逆洗後のSS及び大腸菌群の経時変化を調べた。結果を、図9に示す。逆洗直後は逆洗排水中に残留したSS及び

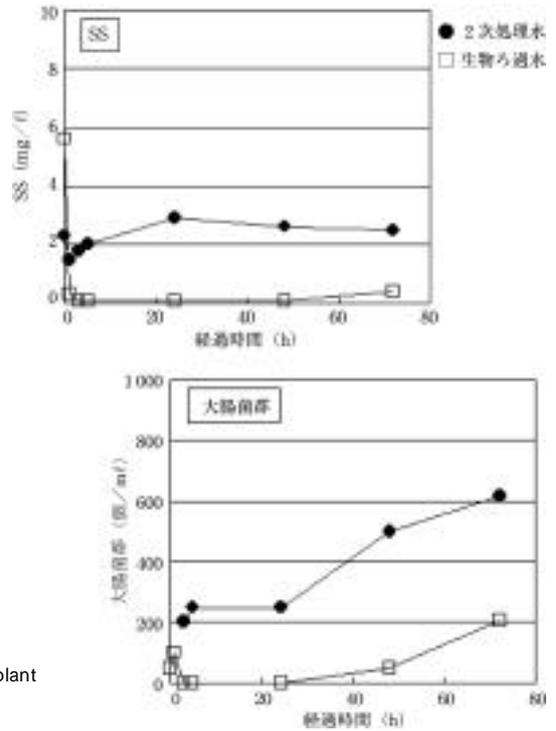


図9 逆洗によるSS及び大腸菌群除去の影響
Effects of SS and E. coli removal by back wash

大腸菌群が流出するため、一時的にろ過処理水中の濃度が高くなったが、それぞれ1時間以内に低くなった。この結果から、本設備は現在の逆洗条件の場合、逆洗後も安定してSS及び大腸菌群を除去できることがわかった。

5 むすび

下水の高度処理設備として当社が開発し、Y市N浄化センターに納入した生物ろ過設備について、処理性能と運転状況を調査した。その結果、次のことがわかった。

- (1) 生物ろ過設備は高負荷 (220m/日) にもかかわらず、下水2次処理水中に含まれるSS, BOD, 大腸菌, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素を高性能に除去できる。
- (2) 逆洗頻度は年間を通じて3~10日であり、高負荷でも安定して運転可能である。
- (3) 生物膜はろ層にまんべんなく付着しており、逆洗による処理水質への悪影響はほとんどみられない。
- (4) 生物ろ過は毒性の強いアンモニア態窒素や亜硝酸態窒素を除去できることから、下水の高度処理に非常に有効な設備である。

(参考文献)

- (1) 小関正信, 村田圭三, 中尾彰夫. 下水2次処理の生物ろ過と生物活性炭処理. 第34回下水道研究発表会講演集, p.698, 1997.
- (2) 真鍋教市, 小関正信, 幕田啓二, 中尾彰夫. 下水3次処理における生物ろ過システムの開発. 第36回環境工学研究フォーラム講演集, p.31, 1999.
- (3) 小関正信, 真鍋教市, 鳥海正彦. 生物ろ過・実機の特性と逆洗方法について. 第37回下水道研究発表会講演集, p.695, 2000.

環境施設小特集

技術解説

超微細気泡散気装置『エアレボ』

Ultra-Fine Bubble Aeration Panels "Air Revo"

本 藤 和 臣*

Kazuomi HONDOU

富 田 欣*

Yasushi TOMITA

小 関 正 信*

Masanobu KOSEKI

中 尾 彰 夫*

Akio NAKAO

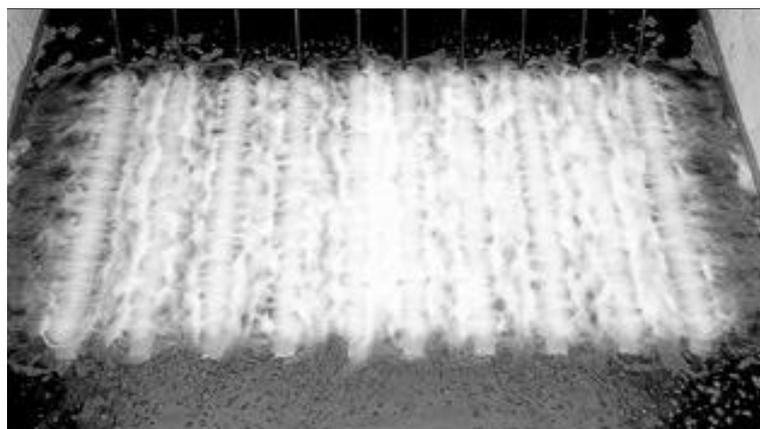


図1

エアレボ設置例

Establishment example of "Air Revo"

1 はじめに

地球温暖化防止対策が進むなかで、下水道処理施設でもCO₂削減が求められ、電力使用量の削減が望まれている。その中でも、水処理設備の生物処理を行う反応タンクでは曝気に処理場全体の40~50%の電力が消費されている。

この生物反応タンクの曝気に要する電力を大幅に削減するため、従来の散気装置に代わり酸素移動効率の高い超微細気泡散気装置『エアレボ』を導入した。ここでは、この『エアレボ』の性能調査と実機における運転状況及びブロワーの電力量削減効果について解説する。

2 構造

『エアレボ』は、長さ2m~4m、幅0.15mの大きさで、ステンレス製のベースプレートに微細な孔のある樹脂製散気膜シートを張り、外周枠にて散気膜シートを固定して気密を保つパネル構造を有する。散気を停止しても散気膜シートは水圧によりベースプレートに張り付いた状態となるため、散気膜シートを通して汚水が逆流しにくく、気孔の目詰まりが起りにくい構造となっている。更に、散気時には、空気供給

表1

酸素移動効率（清水 散気水深5m，発泡面積比10%，風量40Nm³/m²・h）

Oxygen transfer effect (clean water, aeration water depth 5m, rate of aeration area 10%, flow rate 40Nm³/m²・h)

	全面曝気	緩やかな旋回流	深槽旋回流
エアレボ	33%	28%	30%
散気板(従来品)	20%	15%	22%

口からベースプレートと散気膜シートの間へ空気が供給され、一定圧（400~500mmAq）以上になると散気膜シートに開けた孔が開いて空気が超微細気泡となって散気される。

3 性能

3.1 酸素移動効率

清水，散気水深5m，発泡面積比（反応槽の底床面積に対する散気装置の占める面積の割合）10%，散気面積当たりの風量40Nm³/m²・hにおける酸素移動効率を、各方式について表1に示す⁽¹⁾。

表1に示すように、『エアレボ』は散気板に比べてかなり高い値である。一方、酸素移動効率に対する発泡面積比の影響について検討すると、発泡面積比が高くなるにつれて、酸素移動効率は高くなる傾向にあり、全面曝気式においてその傾向が顕著である。

3.2 発生気泡径の測定

3.1の全面曝気式と同条件において、『エアレボ』直上0.3mの位置に水中カメラを設置し、発生している気泡を撮影した（図1）。気泡径は図2に示す分布となり、平均気泡径は約1mm前後である⁽²⁾。これは、散気板等で言われている平均気泡径2mm⁽³⁾程度と比べて、同じ通気量の場合、気液接触表面積が理想的には2倍改善されたことになり、酸素移動効率の向上に大きく寄与すると考えられる。

3.3 槽内攪拌性能

『エアレボ』では酸素移動効率が非常に高いため、低風量運転による汚泥の攪拌悪化が懸念される。そこで、水深5m，散気水深4mの条件において緩やかな旋回流方式で流速を測定した。その結果、一般に言われている反応タンクの攪拌に

必要とされる $0.4 \sim 0.5 \text{ Nm}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ より低い $0.2 \text{ Nm}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ 程度でも、槽内底部流速は汚泥攪拌に必要とされる $10 \text{ cm} / \text{s}$ 以上を満足した。実負荷運転においても反応槽は十分に攪拌され、汚泥の沈みはないと考えられる。

また、図3は、実機深槽旋回流方式における、槽容積当たりの風量 $0.4 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}$ における反応タンク内の断面二次元での流動状態を示したものである。

槽の高さ方向に5ヶ所で流速を測定し、その二次元平均流速ベクトルを示したものである。非散気部B点において流速が小さい箇所があるが、底部の下降流速が一番速いことから循環流が非散気部外壁に衝突し、下流れにて巡回していると判断できる。

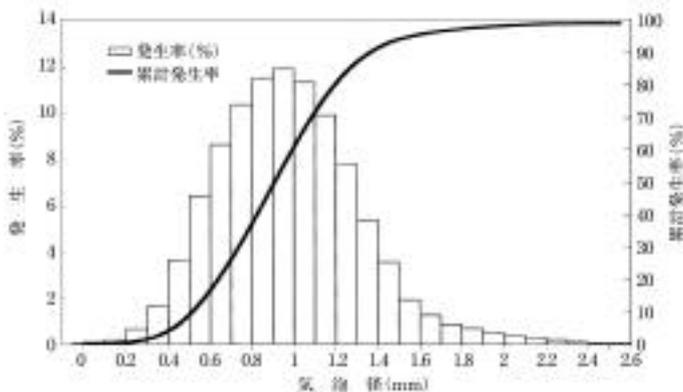


図2 気泡径発生分布
Air bubble diameter occurrence distribution

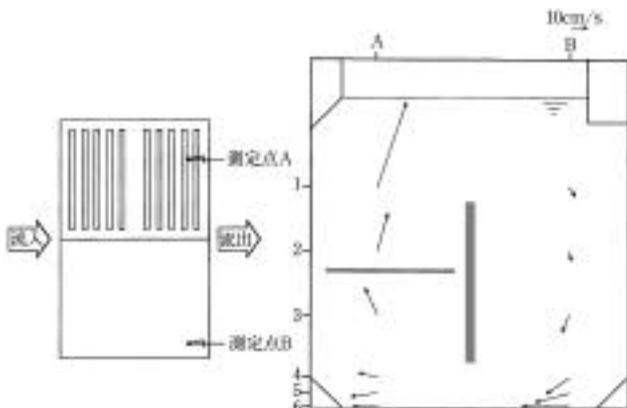


図3 槽内二次元流速分布
Two dimensional flow speed in Aeration tank

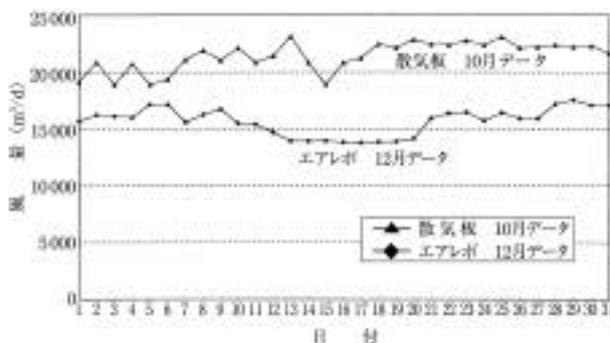


図4 送風量の比較
Comparison of air flow rate

4 実機での適用

4.1 緩やかな旋回流

H市T終末処理場の反応タンク設備は2池/2系列あり、1槽目を嫌気、2~4槽目を好気とし、4槽目から1槽目に汚水を戻す循環脱窒運転を行っている。1槽目の嫌気槽は攪拌機による攪拌を行い、2~4槽目の散気装置は散気板を用い、片側旋回流方式で曝気を行っている。今回、その内の1系列の散気装置を『エアレボ』による緩やかな旋回流へ変更した。『エアレボ』の設置枚数は3m長さを10枚/1槽で、計30枚設置している。

同処理場では、末端4槽目の反応タンクのDO値が $1 \sim 2 \text{ mg} / \ell$ になるように各系列とも処理風量を変えて運転を行っている。その結果、2系散気板の風量は $8400 \sim 11000 \text{ Nm}^3 / \text{日}$ であり、それに対し、1系『エアレボ』は $6000 \sim 8400 \text{ Nm}^3 / \text{日}$ と約30%少ない風量で運転が可能であった。空気倍率(処理水量に対する散気風量)は散気板の5~7倍に対し『エアレボ』は4~5倍と、風量を低減できた。

また、1系『エアレボ』では、2系散気板と処理水質には差がなく、少ない風量で同等の処理が可能であった。

送風機電力量は、1999年度 $970 \sim 1380 \text{ kWh} / \text{日}$ に対し、1系列を『エアレボ』に換えた2000年度では $800 \sim 1090 \text{ kWh} / \text{日}$ と約20%電力量の削減効果があった。

4.2 深槽旋回流

O市O浄化センターの反応タンク設備は1池4槽で構成されており、1,2槽を水中攪拌機による嫌気運転、3,4槽を散気板による好気運転を実施、また、4槽目の汚水を循環ポンプにて1槽目に戻す循環脱窒運転を行っていたが、今回、好気槽2槽の散気装置を散気板から『エアレボ』に更新した。同処理場では、4槽目の反応タンクDO $2 \text{ mg} / \ell$ 、放流水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去率90%以上になるよう送風量の管理を行っている。その結果、図4に示すように散気板の場合 $20000 \text{ m}^3 / \text{日}$ であったのに対し、『エアレボ』に変更後は20%減の約 $16000 \text{ m}^3 / \text{日}$ で運転を継続している。散気装置更新前後での流入水量の変動は少なく、 $4000 \sim 5000 \text{ m}^3 / \text{日}$ で推移していた。空気倍率は散気板4~5倍に対し、『エアレボ』は3~4倍程度となった。

5 おわりに

セラミック散気板と『エアレボ』の実負荷運転で、次のようなことがわかった。

- (1) 緩やかな旋回流及び深槽旋回流では、散気板に比べ『エアレボ』では約20~30%低い風量で実負荷運転が可能である。
- (2) 緩やかな旋回流方式及び深槽旋回流方式では、風量を削減しても、十分な攪拌効果がある。
- (3) 『エアレボ』の導入により、送風機の電力量の大幅な削減が可能であることを実証した。

(参考文献)

- (1) 第20回下水道研究発表会 . 6-6, p.194 ~ 196 .
- (2) 第37回下水道研究発表会 . 7-22, p.464 ~ 466 .
- (3) 下水道協会誌論文集 . vol.34, no.413, p.27 ~ 43 .

環境施設小特集

技術解説

下水放流水の紫外線消毒

Ultraviolet Radiation System for Disinfecting Waste Water

小山 挺三*

Teizo KOYAMA

小関 正信*

Masanobu KOSEKI

中尾 彰夫*

Akio NAKAO

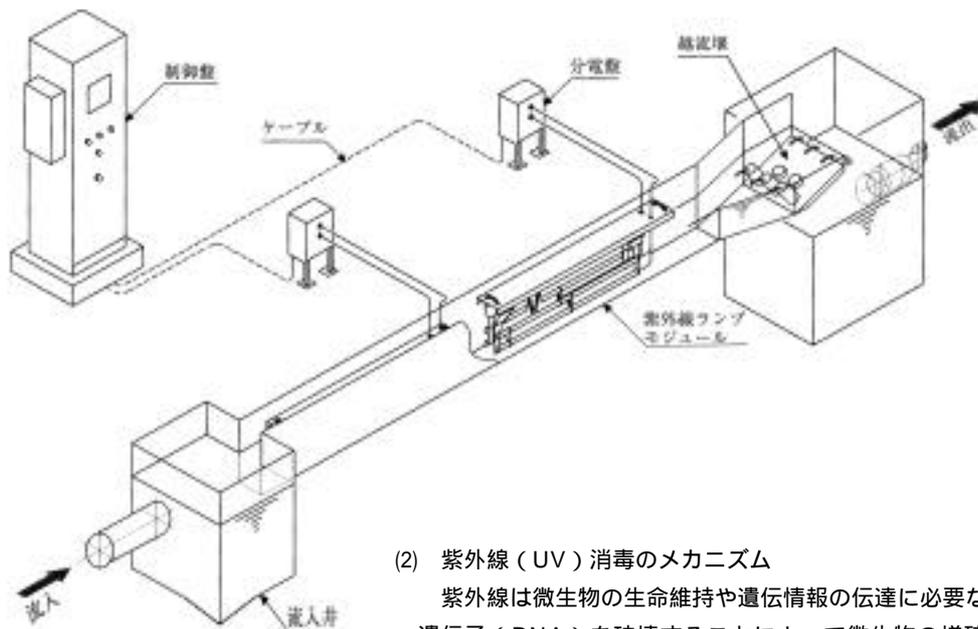


図1

紫外線消毒装置

Ultraviolet system for disinfection

1 はじめに

下水処理水の消毒は、これまで一般に塩素を用いて行われてきたが、近年、下水道の普及が進むにつれて、水道水源水域や水産水域等に放流する処理場が増加している。消毒に次亜塩素酸ナトリウムを使用すると、遊離塩素の作用により発ガン性のある有機塩素化合物（トリハロメタン等）が生成しやすいため、放流水中の残留塩素の抑制が必要となる。そのため塩素消毒に代る消毒技術の開発が求められている。

代替消毒法として有望な紫外線（以下UV）消毒法の技術導入の一環として、実証試験を福井県小浜浄化センターにて実施した（1998年5月～2001年3月）。

本試験では、UV照射量と殺菌率の関係、UVによる大腸菌と一般細菌の殺菌効果を主に実証した。ここでは、小浜浄化センターで得た知見を基に、UV消毒法についてその消毒原理と消毒装置（図1）について解説する。

2 紫外線の消毒原理

(1) 紫外線（UV）とは

紫外線は電磁波の一種であり、固有の波長を持っている。電磁波を大別すると波長の短い方からX線、紫外線、可視光線及び赤外線と4種類に分けられる。

紫外線領域は更に3領域に分けられ、可視光に近い方からUV-A、UV-B、UV-Cとに分類される（図2）。

特にUV-C領域の紫外線はエネルギーが強いため消毒に適している。

(2) 紫外線（UV）消毒のメカニズム

紫外線は微生物の生命維持や遺伝情報の伝達に必要な遺伝子（DNA）を破壊することによって微生物の増殖を抑え、消毒する。紫外線の中でも特に波長が253.7nmの光は消毒効果が強い。紫外線の照射には、石英ガラスを組み込んだ水銀ランプを使用している。

(3) 紫外線（UV）ランプの種類

紫外線（UV）ランプは、点灯時のランプ管内の水銀蒸気圧によって低圧、中圧及び高圧に分類される。点灯時の水銀蒸気圧が約100Pa以下のものは低圧ランプ、約1～100kPaのものは中圧ランプ、約100kPa以上のものは高圧ランプと呼ばれている。

水銀ランプから発せられるUVの波長は、ランプ内の水銀蒸気圧により異なる。水銀蒸気圧が高くなる程、UVの高波長側の放射が多くなる。従って、低圧水銀ランプは他の中、高圧ランプに比べ260nm付近の波長効率が低い。

3 紫外線消毒の特徴

利点としては、薬品を使用しないので有害物質を生成しない。また残留性がないので放流先の環境に悪影響を与えない、微生物の遺伝子に直接作用するので、薬品では消毒できなかった細菌やウイルスに対して効果がある、薬品による消毒では薬品の取り扱いに注意が必要である。紫外線消毒では薬品を使用しないので安全である、水銀ランプを点灯するだけの操作であり、取り扱いが容易である、紫外線殺菌に要する時間は3～5秒で済むので、装置をコンパクトにできる。

一方、欠点としては、紫外線に当たらない部分の消毒ができない、紫外線消毒直後に太陽光などの可視光線が当たると細菌によっては酵素の働きにより光回復することがある。

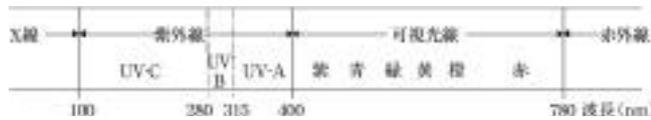


図2

電磁波の波長
Wave length of electromagnetic



図3

紫外線モジュール
UV module

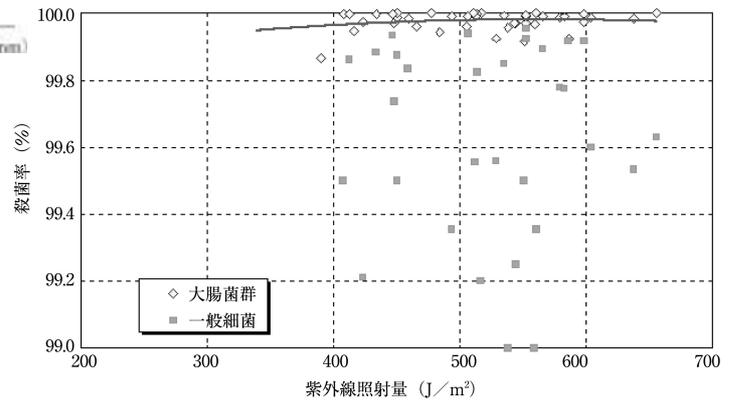


図4

紫外線照射量と殺菌率の関係
Disinfection rates for UV dose

4 紫外線 (UV) 消毒装置の特長

(1) インジウムアマルガムランプ

従来の紫外線ランプは、水銀の液滴をランプに封入していたが、当社の装置の紫外線ランプ（スペクトロサーム）は、水銀合金であるインジウムアマルガムをランプの内壁に固着している。その結果、従来型低圧ランプに比べ運転温度が高温対応となっており、水温にほとんど依存しない性能である、競合他社のランプと比較してランプ寿命が長い（12000時間の保証寿命）。

(2) ランプ出力可変制御

紫外線センサ及び流量計（又は他計器）からの信号により、ランプ出力を50～100%の間で連続的に制御でき、下水に対する紫外線（UV）照射量を実測して、照射量を調整することが可能である。

5 紫外線装置の構造

(1) 紫外線（UV）モジュール

紫外線モジュールは、正確に配置された構造と細く組まれたフレームからなり、それぞれのモジュールは支持、反射板、垂直支持アングル、スペクトロサームUVランプ及び紫外線センサで構成されている（図3）。

(2) 紫外線（UV）ランプ

ランプは、住友精密工業株式会社（WEDECO社製）の高性能スペクトロサームUVランプ（UV-C出力125W）を使用している。

それぞれのランプは石英の保護管に独立かつ密閉されており、交換時には簡単に手で取り外すことができる。

(3) 自動洗浄システム

運転中、水中の有機・無機成分が石英管に付着して紫外線照射強度が下がるのを防ぐため、シ・ケンサにより制御される自動洗浄システムを設けており、付着物を定期的に除去する。各石英管には、紫外線に強く、摩耗しにくいテフロン製のリングブレードが2個取り付けられている。ステンレス製の洗浄部品は支持、反射板の下（水面上）に取り付けられた空圧シリンダで作動する。

また、洗浄の周期は、シ・ケンサにより調整することができる。

(4) 制御盤

ランプ電源供給安定器、紫外線センサ、電子機器及び計器類から成る。

6 紫外線 (UV) 消毒装置の性能

小浜浄化センターでの実証結果のうち、UV照射量と殺菌率（大腸菌群と一般細菌）の関係を図4に示す⁽¹⁾。

UV照射量が大きいく程、殺菌率は高くなる。下水の消毒基準は、消毒直後で大腸菌群の殺菌率99.9%以上である。従って、図4から下水基準を満足するためのUV照射量は350～400J/m² = 35～40mWs/cm²以上となり、十分性能を満足している。下水では一般細菌の消毒基準はなく、600J/m² = 60mWs/cm²以上照射することにより99%以上の殺菌効果があるとされているが、本装置では600J/m²以上で殺菌率は99.5%以上となった⁽²⁾。

7 おわりに

紫外線（UV）消毒法により、塩素と同等の消毒効果を実証できたので、今後、水道水源水域、水産水域及び中小河川の清水復活水域等に放流している下水処理場を対象に営業展開を予定している。

図3は、財団法人日本下水道事業団/秋田県八森町に採用が決まり、2002年3月納期に向け製造中の製品（300Wランプ×4本）である。

(参考文献)

- 小関正信，江川 健，岡 正人．紫外線消毒による大腸菌ファージの殺菌効果．第37回下水道研究発表会講演集，p.731～732，2000．
- 財団法人日本下水道事業団．最近の消毒技術の評価に関する報告．97-003，p.43～46，1997．

環境施設小特集

石炭火力用低低温電気集塵装置

Lower Temperature EP for Coal Fired Power Plant

名 嶋 慎 司*

Shinji NAJIMA



石炭火力用低低温電気集塵装置
Lower temperature EP for coal fired power plant

近年、環境規制の強化に伴い、石炭火力発電所用電気集塵装置（以下EPと呼ぶ）の高性能化が要求されている。

当社では、EP出口煤塵濃度が $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下となる高性能な低低温EPの開発を完了した（従来のEPでは $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 程度であった）。また、当社では、低低温EPの第1号機を電源開発株式会社橋湾火力発電所2号機用として納入し、2000年12月より順調に運転中である。

In recent years, for more severe environmental regulation,

the highly efficient electrostatic precipitators (called as EP) for coal fired power plant have been needed. In our company, highly efficient lower-temperature EP, which can achieve outlet concentration less than $30\text{mg}/\text{Nm}^3$, has been developed. (The concentration of conventional EP is about $100\text{mg}/\text{Nm}^3$.) The first lower-temperature EP made by us has been delivered for the Electric Power Development Co., Ltd. Tachibanawan No. 2 coal fired power plant. And it is under operation with satisfactory results since December 2000.

1 まえがき

従来の石炭焼きボイラ用の電気集塵装置（Electrostatic Precipitator 以下EP）は、エコノマイザとエアヒータ間（高温EP）、又はエアヒータと熱回収側ガスガスヒータ（GGH）間（低温EP）に設置されるのが一般的であった。近年、両者に加え性能低下要因の一つである逆電離現象を解決し、集塵性能を上げるために、GGH（熱回収側）の下流側に電気集塵装置を設置するケースが提案されてきた。これを、低低温EPと呼ぶ。石炭火力用排煙処理システムの構成例を、図1に示す。

当社もこれに対応するために、当社で基礎的検討、続いて電源開発株式会社竹原火力発電所で実証試験を行い、低低温EP基礎技術を確立した。また、本システムのEP1号機として国内最大規模の1050MW出力を持つ、電源開発株式会社橋

湾火力発電所（2号機用）に納入し、2000年12月より商業運転を開始した。

本報では、本設備の概要及びこれまでに得られた結果について報告する。

2 従来システム及び低低温システムの概要

従来の石炭火力用排煙処理システム（低温EP及び高温EPシステム）では、煤塵濃度はEP出口で $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 程度であり、湿式脱硫装置で除塵後、再加熱GGH（再生回転式）のリーク分を含め、煙突入口で $20\sim 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 程度であった。

近年、環境規制強化に伴い、客先から煙突出口の排煙不可視化対策が要望されてきており、煙突入口で $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下の煤塵濃度とする低低温EPシステムの採用が始まり、石炭火力用排煙処理システムでは主流となって来ている（図1）。

低低温EPシステムの場合、EP出口で $30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下の

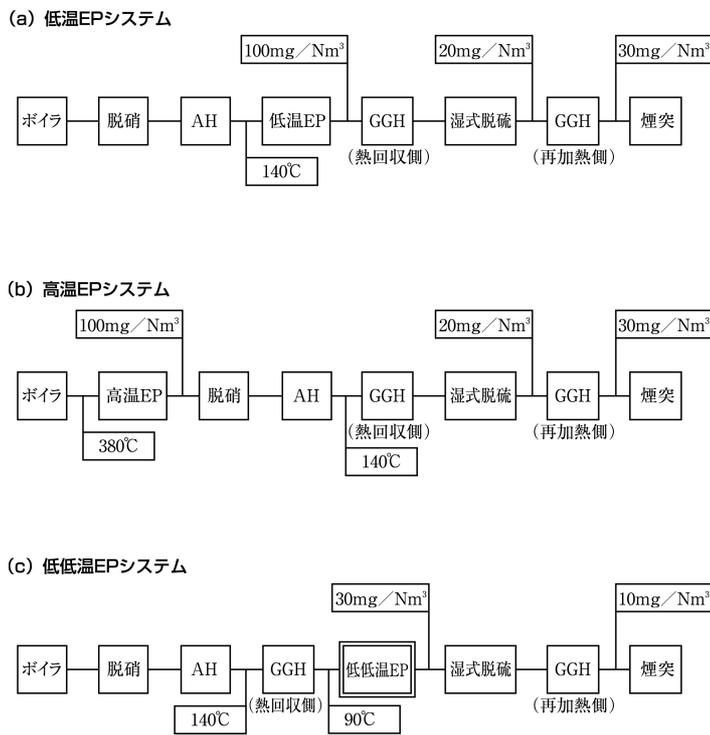


図1 石炭火力発電所排煙処理システム
Flue gas control system of coal fired power plant

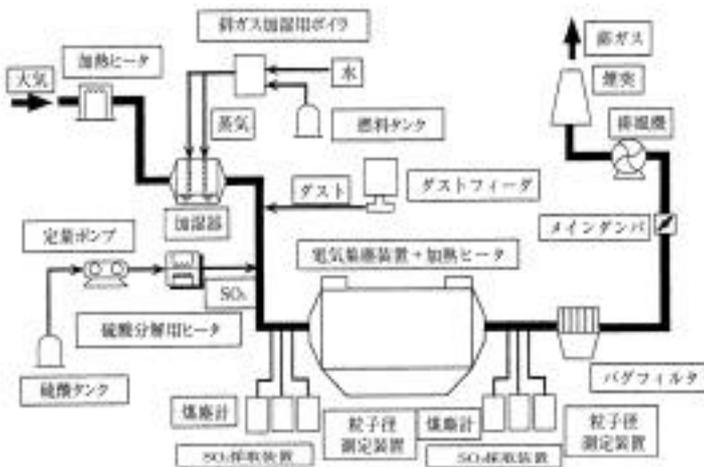


図2 試験設備の系統
System diagram of test facility

煤塵濃度であり、従来のEP（EP出口で約100mg / Nm³）に対し1 / 3以下を実現するEPを設計する必要があった。

3 設計時の確認項目

3.1 低低温EPの基本特性

従来、EPが設置される低温領域（120～150）に対し、低低温領域（90程度）にEPを設置するために、次の項目を確認し、低低温EPの基本特性の確認を試験により行う必要があった。またEPの基本特性データ収集には、図2に示すように、低低温EP入口ガス条件模擬用として、加熱器、加湿器及びSO₂注入装置を有する試験装置（モデルEP）を設置し、投入する試験用ダストにはSO₃を含まないダスト（フライアッシュ）を使用した上で、低低温EP基本特性データの収集を行った⁽¹⁾。

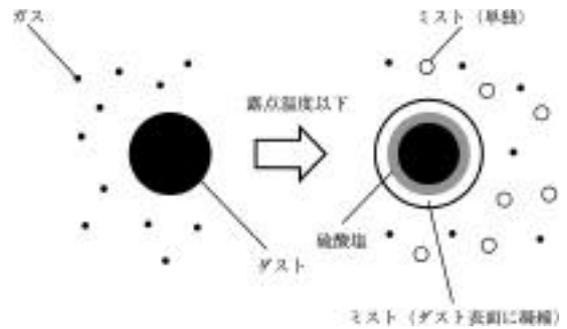


図3 酸露点付近でのSO₃の存在形態
State of SO₃ at near sulfuric acid dew point

3.1.1 SO₃ミストの挙動⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

従来、EPの使用ガス温度を140程度としている理由の一つとしては、ガス温度を酸露点以下とした場合に発生するSO₃ミストによる装置の腐食が懸念されていたためであった。

しかし、低低温EPではガス温度を90程度以下として集塵を行う必要があるため、酸露点に達して発生したSO₃ミストによる、装置への影響を確認する必要があった。

当社では、モデルEPの入口、出口及び集塵したダスト（フライアッシュ）のSO₃量を調査した結果、十分なEP入口煤塵濃度があれば、SO₃ミストはフライアッシュ表面に凝集した状態で排ガス中より除去されるために、装置の腐食の問題となるような事態は生じないと考察している。

内容は、以下に紹介する。

- (1) 酸露点に達した場合、排ガス温度が低い程、排ガス中に存在するガス状のSO₃は減少し、ミスト状のSO₃の状態となる。
- (2) SO₃を含まないフライアッシュをモデルEPに投入したにもかかわらずモデルEP入口で硫酸塩が検出されたことより、凝縮したSO₃ミストはフライアッシュ表面に凝集し、フライアッシュ表面のアルカリと反応して、硫酸塩を形成している（図3）。
- (3) モデルEPの各ホッパ（計4ホッパ）で回収されるフライアッシュ量及び硫酸塩濃度が同じ捕集分布の相関を示していることから、SO₃ミストはフライアッシュ濃度に対し、一定比率でフライアッシュに凝集（排ガス中より除去）されていることを確認した。

3.1.2 低低温EP採用時の荷電安定性

従来のEP（低温EP）の排ガス温度は140程度で使用するため、一般に逆電離といわれる現象が発生し、集塵性能が低下することがあった。逆電離対策としては、従来SO₃注入によるダストの改質、又はEPの大型化等、設備のランニング又はイニシャルコストが増加する方法が主体であった。当社では、この「逆電離対策」としてパルス荷電装置を自社開発し、電力事業用EPを含む多くの客先に納入し、高い評価を得ている。また逆電離対策の新方式確立のため、数多くの基礎研究を行っている。

しかし、ガス温度を90程度以下とする低低温EPではダストの電気抵抗率の低下（約1 × 10¹¹・cm以下）により逆電離が発生しない領域となるため、従来の低温EPと比較して、非常に安定した荷電（安定した性能）でEPが運用できる大きな利点を確認されている。

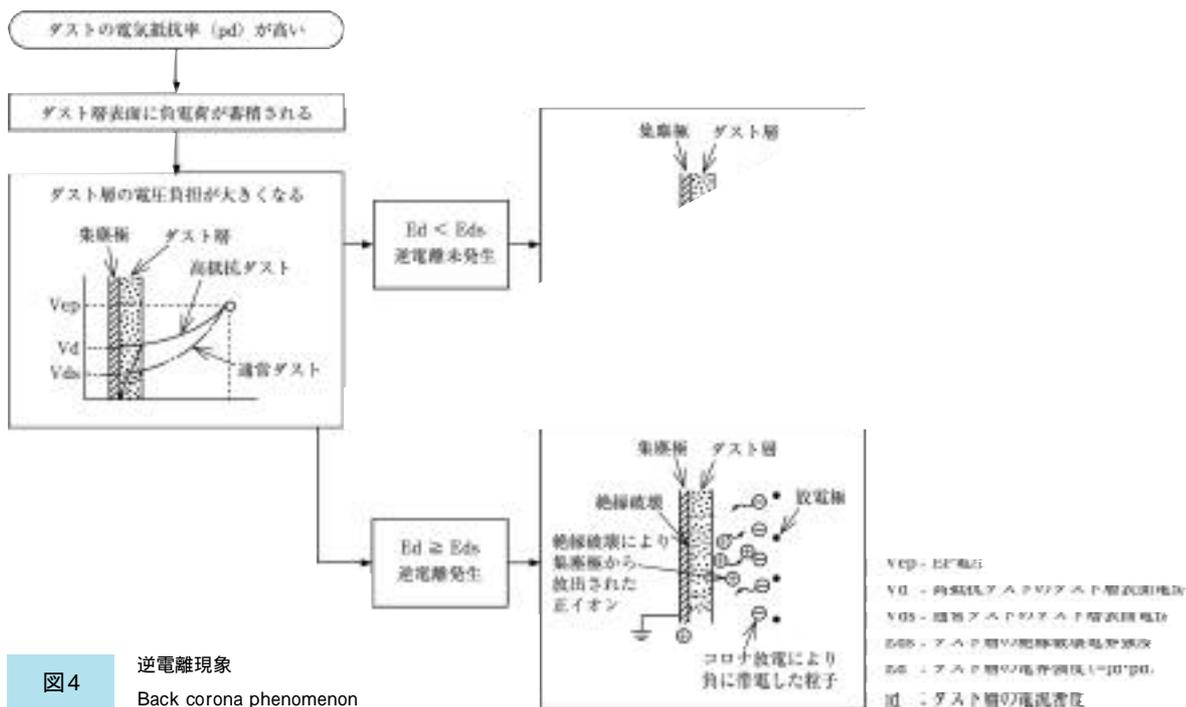


図4 逆電離現象
Back corona phenomenon

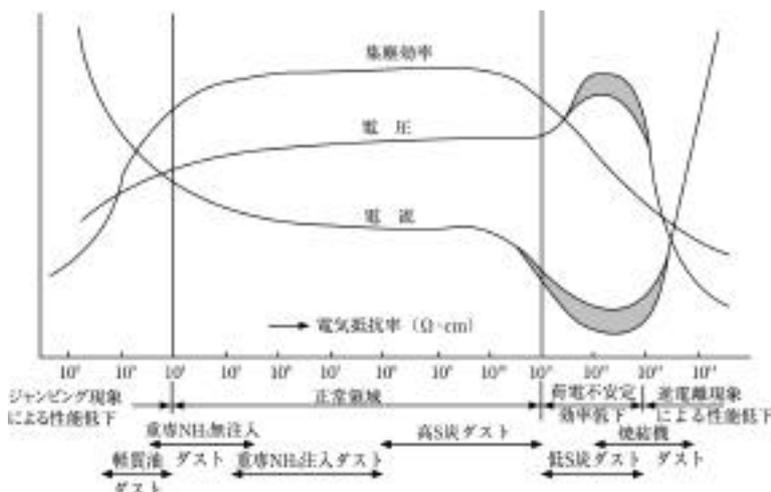


図5 各種ダストの電気抵抗率とEPの挙動の関係
EP performance and dust electrical resistivity

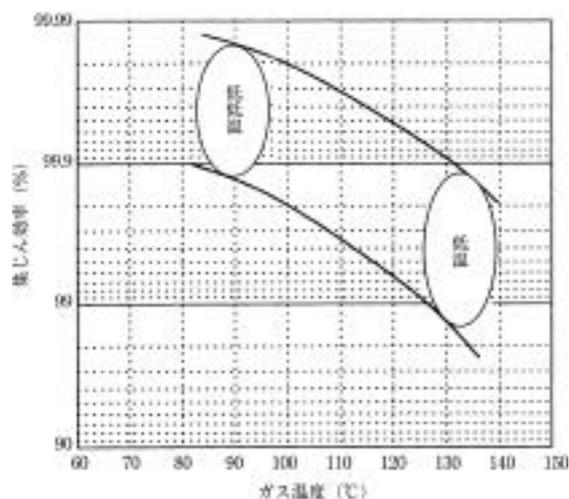


図6 低低温EPの集塵効率
Efficiency of lower temperature EP

次に、逆電離現象及び低低温EPと低低温EPの集塵性能比較について述べる。

〔逆電離現象〕

逆電離現象とそれによる集塵性能の低下は、次の状況が進行した場合に発生する。

- (1) ダスト(フライアッシュ)の電気抵抗率が高い場合、集塵極に集塵されたダストの電荷が集塵極板(アース側)に移行せずにダストの表面に非常に高い電荷が残る。
- (2) 更に電気抵抗率の高いダストの集塵が進んだ場合、ダスト表面の電荷が蓄積される(図4)。
- (3) ダスト層の電荷(蓄積される電荷)が高くなった場合、集塵極板~ダスト(堆積)層表面の電位差が大きくなり、絶縁破壊電界強度より大きくなると、集塵したダスト層が局部的に絶縁破壊され、ダスト層から飛び出した正イオンにより負に帯電したダストが中和され、また同時に、

集塵したダストが再飛散することによりEP出口含塵濃度が増加し、結果として集塵性能が低下する(図4)。

図5に、ダストの電気抵抗率とEPの荷電特性及び集塵効率についての関係を示す。

〔低低温EPと低低温EPの集塵性能比較〕

逆電離現象が発生する領域の低低温EPと発生しない領域の低低温EPの温度別による集塵性能比較を、図6に示す。逆電離が発生しない低低温EPの性能が低低温EPの性能と比較して、集塵性能が良くなっていることを実証試験で検証した。

3.1.3 EP荷電特性(電圧-電流)特性

EPの安定性を確保するためには、使用環境下におけるEPの荷電(電圧-電流)特性を把握した上で装置を設計する必要がある。低低温EPは低低温EPと比較して逆電離を発生しない安定した荷電特性が得られるが、高い集塵性能を確保するために低低温EPの荷電特性とは異なる次の内容を確認し、

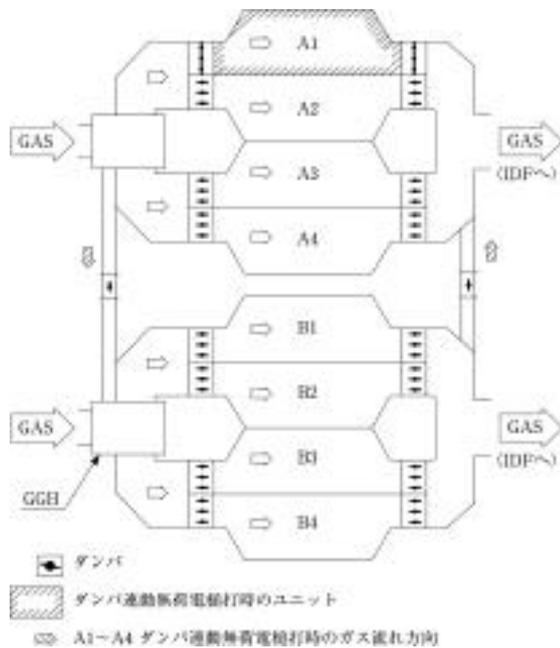


図7 ダンパ運動無荷電槌打方式
System diagram of damper closed power off rapping system

安定した荷電（電圧 - 電流）特性を維持できるEPの設計を行う必要がある。

- (1) 従来の低温EPと比較して、排ガス中にSO₃ミストが多く存在するため、コロナクエンチング現象が発生する。結果として電圧 - 電流特性が高電圧側に移行する⁽¹⁾。今後は、海外の高S炭を石炭焼きボイラ用に使用する傾向があるため、電圧 - 電流特性が高圧側に移行しても問題が発生しない設備設計として十分に検討する必要があった。
- (2) SO₃ミストがフライアッシュ表面のアルカリと反応して生じる硫酸塩の電極板（特に放電線）への付着量が増加した場合、放電現象が阻害され、結果として電圧 - 電流特性が高電圧側に移行するので設計上配慮が必要である。

3.2 低低温EPの設備設計

低低温EPではSO₃の挙動及び荷電特性を確認し、EPの安定運用を確立するだけでは無く、EP出口煤塵濃度を従来の1/3以下とする対策が必要である。

当社では、EPの内部流速を決定するため、モデルEPを使用してEP内部流速と集塵性能の比較を行い、また、電源開発株式会社竹原火力発電所での実証試験を実施した。この結果、槌打時のガスの再飛散値が無槌打時のEP出口濃度より高いことを確認した。よって、EPの高性能化を実現するためには、内部流速の均一（最適）化及びEP槌打によるガスの再飛散を防止する必要がある事を確認した。

これらの結果より、当社では次の対策を反映した低低温EPの設備設計を行った。

3.2.1 EP内ガス流速によるダスト再飛散防止対策

低低温EPでは、EP内ガス流速が不均一な場合、ガス流速が特に早くなる場所では、再飛散を起こし易くなる傾向がある。従って、EP内部のガス流速分布均一化のため、コンピ

ュ - タシミュレーション及びEPの1/20ガスフロ - モデルを使用したテストを実施し、EP内部の全ての集塵機構部について、ガス流速が均一となるような設計とした。

内容を、以下に示す。

- (1) SO₃ミストがフライアッシュ表面に凝集することにより、フライアッシュの電気抵抗率が低くなる。しかし電気抵抗率が低い煤塵（フライアッシュ）は帯電した電荷を集塵極板（アース側）へ失いやすいため、従来の低温EPと比較し、集塵極板上のダストは電氣的に中性となりやすく、中性化したダストはガス流速により剥離しやすくなり、結果として再飛散量が増える。
- (2) SO₃ミストが凝集したフライアッシュは低温EPと比較して、集塵極板上で圧密されにくいいため、ガス流速によるせん断力により集塵極板表面部のダストが剥離し、再飛散を起こしやすき可能性がある。ガス流せん断力による再飛散の可能性については、極板上のフライアッシュ層が薄い場合に対し、厚くなった場合には再飛散量が増加する可能性があるため、当社ではEPの各荷電区分において、ダスト層が著しく厚くならないようEPの運用を考慮した。

3.2.2 槌打による再飛散発生の防止対策

従来のEP出口煤塵濃度に対し、1/3以下（EP出口で30mg / Nm³以下）の高性能を低低温EPで実現するための改良方法を検討した。

当社では槌打による再飛散を防止する対策として、EP前後に設置したダンパのうち、槌打実施ユニット部の出口・入口ダンパを閉じた後、槌打を実施するダンパクローズ方式を検討し、ダンパクローズ時に無荷電で槌打するダンパ運動無荷電槌打方式を採用することとした（図7）。

上記方式を追加した結果、当初予定通りの性能を發揮した。従来EPと比較して非常に高性能なEPを納入することができた。

4 むすび

- (1) 1994年に電源開発株式会社竹原火力発電所での実証試験を実施し、更に、1995年よりモデルEPを使用したデータ収集を行った結果を反映し、実機設計を完了した。
- (2) 実機としては、2000年12月より実用負荷運転を実施しており、順調に運転中である。

（参考文献）

- (1) 当社研究報告書 低低温EPの集塵性能評価と問題点の抽出． May, 1995.
- (2) 同研究報告書 EP内におけるSO₃の挙動解明（I）,（II）． May, Apr., 1996.
- (3) 同研究報告書 アッシュに含まれる化学成分の電気抵抗率の検討． Apr., 1996.

環境施設小特集

技術解説

焼結用乾式脱硫・脱硝装置

Dry Process Desulfurization Denitrification System for Sinter Machine

鷹野 拓 弥* 田中 裕 実*

Takuya TAKANO

Hiromi TANAKA

桂原 一 孝* 後藤 博 樹*

Kazutaka KATSURAHARA

Hiroki GOTO



乾式脱硫・脱硝装置

Dry process desulfurization denitrification system

1 はじめに

新日本製鐵株式会社名古屋製鐵所に納入した乾式脱硫・脱硝設備は、焼結排ガス用の大規模乾式排ガス処理プラントとして、1999年8月より稼働中である。本設備は従来の活性チャーを用いた排ガス中の脱硫・脱硝に加えて、脱塵（ダストの除去）機能を有している点に特長があり、多機能型の乾式排ガス処理設備として初めて実用化された。

2 設備概要

本設備は製鐵所の焼結工程から排出されるガスの清浄化を目的として、活性チャーによる脱硫・脱硝・脱塵を同時に行っている。処理ガス量は1300000Nm³/hである。いずれの項目も規定の除去性能を満足しており、特に脱塵については出口ガス中のばい塵濃度概ね10mg/Nm³以下を達成し、高い評価を得ている。

3 活性チャー

本設備で用いられる活性チャーは、ミクロの複雑な多孔構造を有する広義の活性炭の一種である（図1）。

円筒ペレット状（9mm）の粒体であり、吸着塔内で充てん層を形成し、ゆっくりと降下している。活性チャーは比表面積が150～300m²/g程度と活性炭に比べて小さい、すなわち賦活の度合いが小さい点で区別される。微量成分の吸着能では活性炭に及ばないと言われているが、活性チャーには脱硝触媒としての機能があるため、脱硫・脱硝設備に使われている¹⁾。

4 設備のフロー

設備は、排ガス処理工程と脱離・再生工程に大別される（図2）。

4.1 排ガス処理工程

排ガスは昇圧通風機で昇圧され、吸着塔内の活性チャー充てん層を通過し、煙突から排出される。各有害成分は、活性チャー充てん層で次の機構により除去される。

(1) SO_xは、硫酸又はアンモニウム塩の形で、活性チャーに吸着除去される。



(2) NO_xは、活性チャーの触媒作用によりアンモニアと反応し、N₂に還元される。

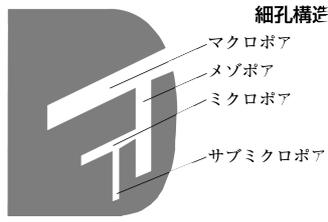


(3) ダストは、活性チャー充てん層のろ過作用により、排ガス中から除去される。

以上のように、吸着塔という一つの設備において、脱硫・脱硝・脱塵を同時に行える多機能型の排ガス処理設備である点に本設備の特長がある。このことにより、設備をコンパクトにすることが可能である。

4.2 脱離・再生工程

吸着塔で一定時間ガス処理に用いられ活性が低下した活性チャーは、コンベヤで脱離塔へと移送される。脱離塔の加熱器は、シェル&チューブ型の熱交換器であり、シェル側を熱風発生炉から供給される加熱ガス、チューブ側を活性チャーが流れている。チューブ側にはキャリアガス（窒素あるいは



形状 / サイズ	円柱状 / 4~9mm
比表面積	150~300m ² / g以上
細孔径	10~1000Å
細孔容積	0.05~0.1cc / g
原料	石炭系
用途	脱硫・脱硝

図1 活性炭
Activated char

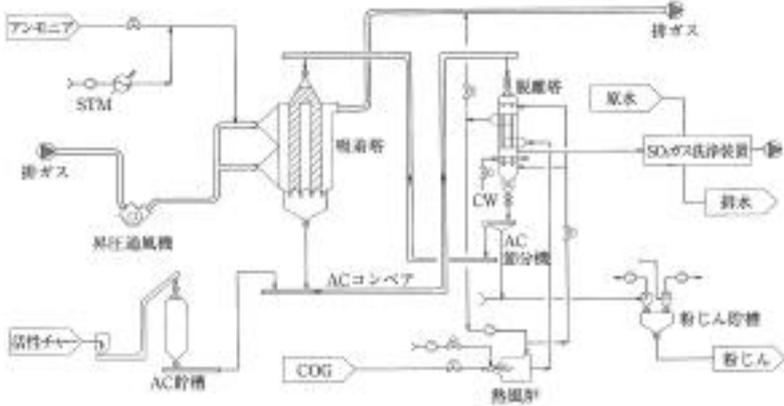
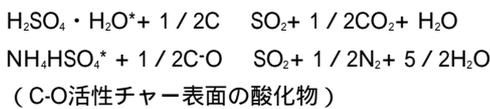


図2 プロセスフロー
Process flow

燃焼後の不活性ガス)が注入され、還元雰囲気となっている。

ここで活性炭は約 400 に加熱され、吸着されたSO₂が次の化学反応により脱離する。



続いて活性炭は冷却器で冷却された後、ふるい分け機に運ばれる。ここでは機械的な振動を活性炭に与えることにより、付着した焼結ダストや粉化した活性炭をふるい落として除去する。このようにして再生された活性炭は、再びコンベヤで吸着塔へと運ばれ、排ガス処理に循環利用される。

5 吸着塔活性炭充てん層の構造

本設備では除塵機能を高めるための新技術として、活性炭充てん層に多孔板の仕切を設け、3層構造を採用している(図3)。各層の下部には活性炭を定量で切り出すためのロールフィーダが取り付けられており、その回転数を制御することによって各層の活性炭降下速度を変えている。3層はガスの入口側から前室、中室及び後室と呼ばれ、活性炭の降下速度は前室>中室>後室に設定される。

ガスの入口に位置する前室では、ダスト負荷が高いため、活性炭層の閉塞やガスの偏流が起こりやすい。そこで前室は活性炭降下速度を早くすることで、捕集したダストを早く系外へ排出し、層の閉塞を防ぎ、除塵層として機能し

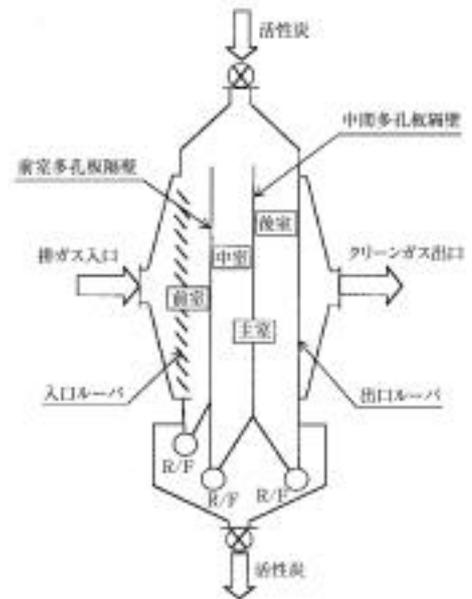


図3 活性炭充填層の3層構造
Sectioned activated char moving bed

ている。

一方、後室では最も降下速度を遅くしている。降下速度が早くなると、活性炭相互、あるいは内部構造物と活性炭が摩擦するため、捕集したダストの再飛散と摩擦による活性炭粉発生の度合いが大きくなってしまふ。従って、出口ダクトに隣接する後室では、降下速度を最小に設定し、出口ガス中のダスト濃度を低く抑えている。この構造の採用により、出口ダスト濃度概ね10mg/Nm³以下が達成されている。

6 おわりに

乾式脱硫・脱硝装置は、複数の有害成分を同時に除去できる多機能型の排ガス処理設備であり、湿式法と比べて設備をコンパクトにできる。以上のように本設備は高度処理が可能な排ガス処理設備として、環境保全への貢献が期待される。

(参考文献)

- (1) 後藤浩平・活性炭の脱硝活性(1)・化学工学会年次大会, 1997.

標識合成装置

Labelled Compounds Synthesis Module

田中 明* 永津 弘太郎*

Akira TANAKA

Kōtaro NAGATSU

新屋 洋* 佐佐木 基仁*

Hiroshi ARAYA

Motoji SASAKI



¹⁸F標識合成装置

¹⁸F-labelled compounds synthesis module

PET検査は従来のX線CTやMRIが形態上の変化を描出するのに対し、血流量や代謝量など機能上の変化を描出できることが特長である。近年、PET検査は大きな進展を遂げ、脳、心臓、がんなどの検診に広く用いられるようになってきた。特にFDG-PET検査はがん検診に用いられ、検査の要求は増大している。

本報ではFDG-PETの簡単な変遷と新しく開発された¹⁸F標識化合物の合成装置について述べる。¹⁸F標識化合物はFDG検査の欠点を補う化合物探索が行われており、本装置は放射薬品化学分野の進展に寄与するものと期待される。

PET studies provide the functional imaging information such as blood flow or metabolism at the specified region in human organs. It is completely different from the conventional

X-ray CT or the MRI morphology imaging information. Recently PET studies have evolved with the great progress to be applied for inspection of brain as well as heart function, and cancer etc on a clinical basis. Especially FDG-PET inspection for cancer is gaining widespread clinical acceptance and the requirement of the FDG inspection greatly increasing. At the same time, the research for new ¹⁸F-Labelled compounds which may make up the defect of the FDG has been recognized. This article describes the brief history of a FDG-PET and ¹⁸F-Labelled compound synthesis module. The module is our new product to supply several kinds of ¹⁸F-Labelled compounds to meet the recent trend.

1 まえがき

PET (Positron Emission Tomography) 検査は脳、心臓、がんの診断に幅広く用いられている。近年の急速な技術進歩に伴い、X線CTやMRI検査により微少の病変を検出することができるようになった。PET検査はこれら形態画像イメージングと異なり、血流や代謝などの生化学的変化をとらえる機能情報を得ることができるため、応用研究が急速に進展している。¹⁵Oガスをを用いたPET検査は保険が適用されており、また、¹⁸F-FDG (フルオロデオキシグルコース) を用いたPET検査は高度先進医療として、ガン検査などに利用されている。PET検査は利用する核種 (¹¹C, ¹³N, ¹⁵O, ¹⁸F) の半減期が短いことから病院内にサイクロトロンを設置する必要があり、また、多くの人員が必要なことから国内では約40

施設程度のみで検査が実施されている。しかし、近い将来FDG-PET検査に関して健康保険適用が認められ一般に普及されることが期待される¹⁾。

¹⁸F核種は、¹⁸F-FDG (以下FDG) 以外の化合物は国内ではそれほど多く使用されていない。しかし、¹⁸Fの半減期が110分と比較的長く、その標識化合物は合成面でも代謝研究の面でも有用な化合物として、またFDGの欠点を補う化合物として、近年多くの研究がなされるようになってきた。

当社はPETの発展を目指した研究施設の要求に応えるべく、¹⁸F標識化合物の多種類合成が可能な標識装置を新たに開発した。

本報では、FDG-PET検査の変遷と、研究用として開発された¹⁸F標識合成装置について報告する。

2 FDG-PET検査の変遷

PET検査用核種を製造するための院内向けに小型化されたサイクロトロンは、我が国では1980年頃に開発され、¹⁸OガスやFDGを用いた最初のPET研究が開始された。それ以降20年にわたり、多くの技術革新がなされてきた。たとえば、

- (1) 放射化が少なく、ビーム制御が容易な負イオン加速型サイクロトロンが開発され、性能が安定し、専門の運転員がいなくても簡単に扱えるようになった。(現在、当社では院内用サイクロトロンには全て負イオン加速型を提供している)
- (2) 当初FDGは重陽子照射によって製造された¹⁸F₂ガスを用いて合成されていたが、1986年に陽子照射によって製造された¹⁸Fイオンを用いて合成する優れたFDG合成法が開発され、大量のFDGの製造が可能となった²⁾。
- (3) コンピュータや検出素子の進展に伴い、カメラの撮影時間、データ処理時間が飛躍的に短くなり、三次元データ収集や40分程度の短時間で全身スキャンができるなど、患者数増加やスクリーニング検査に対応できるようになった。
- (4) FDGの大量製造が可能となったことで、院内サイクロトロンとしては従来の陽子加速18MeVクラスから12MeVクラス以下の低エネルギーのもので十分なものとなった。更に、FDG専用機として、加速粒子の種類を陽子に限定した小型サイクロトロンも誕生している。

当社は院内サイクロトロンを製造し、国内では50%以上の市場を獲得している。当社製負イオン加速型サイクロトロン

表1 負イオン加速型サイクロトロン機種
Classification of negative cyclotron

エネルギー	加速粒子	対象機種	エネルギー(p/d)	用途
高(16MeV以上)	p, d	HM18	18/10	研究用・FDG大量合成用 PET複数台施設
低(12MeV以上)	p, d	HM12	12/6	小規模FDG製造 ¹⁸ O核種の臨床利用
低(12MeV未満)	p	HM MINIttrace	10/-	FDG専用

表2 PET薬剤製造施設
Institutions for PET inspection

地区	病院名	エネルギー(p/d)
北海道	北海道大学医学部付属病院	18/10
東北	東北大学サイクロトロンRIセンター	12/6
関東	文部科学省放射線医学総合研究所	18/10
	千葉大学医学部附属病院	18/10
	東京大学医学部附属病院	18/10
	東京都老人総合研究所	18/10
	ハイメディック山中湖倶楽部	18/10
	西台クリニック	18/10
	国立がんセンター東病院	12/6
	立川メディカルセンター	12/6
中部	中部病院長寿医療研究センター	18/10
	浜松ホトニクス	18/10
	名古屋市総合リハビリテーションセンター	18/10
	木沢記念病院中部療養センター	18/10
	大雄会病院	10/-
関西	大阪大学医学部附属病院	18/10
	滋賀県立成人病センター	18/10
	生体機能研究所	18/10
	京都大学医学部附属病院	16/8
	国立循環器病センター	18/10
	神戸先端医療センター	18/10
四国	香川医科大学附属病院	18/10

(当社納入施設のみ掲載。建設中を含む。2001年3月現在)

機種一覧を、表1に示す。当社製サイクロトロンを設置し、PET薬剤製造に利用している施設を、表2に示す。サイプリスHM12の写真を、図1に示す。

3 ¹⁸F 標識合成装置

3.1 ¹⁸F 標識合成について

¹⁸F核種は従来、重陽子を照射する方法によって製造されていた。この時、痕跡程度の微量のフッ素ガスを含むネオンガスをターゲット物質として、²⁰Ne(d, ¹⁸F)核反応で¹⁸Fを製造する。¹⁸Fは製造後、¹⁸F₂ガスあるいはアセチルハイポガス(CH₃COO¹⁸F)として、原料物質を含む溶液にバブリング回収され、反応に供される。多くの化合物は求電子付加反応で2重結合部位に付加し、加水分解によって保護基を取り除いた後、溶媒を留去し、精製して生理食塩水中に目的物を得るという工程が一般的である。

また、¹⁸F標識フロロドーパなど脳神経に作用する化合物の場合は高速液体クロマトグラフィーやシリカゲルなど吸着物質を用いて製造物から原料物質や不純物を除いた精製物として生理食塩水中に回収され使用されている。

一方、陽子を照射する方法で製造される¹⁸F核種は、容器に充填された1mℓ程度の同位体濃縮水(H₂¹⁸O)をターゲット物質として、¹⁸O(p, n)¹⁸F核反応によって製造される。照射終了後、全量を配管を通してホットラボ室に移送され、ホットセル内に設置されている標識合成装置に送られる。¹⁸Fはイオン交換樹脂に吸着されK¹⁸Fとして回収される。K¹⁸F溶液は加熱し水を除去後、環状ポリエーテルや4級アンモニウム塩などの相間移動触媒と共に原料物質との反応に供される。原料物質は¹⁸Fイオンの求核置換反応を優先的に促進させるために、目的とする置換基に金属イオンを有する遊離基や、

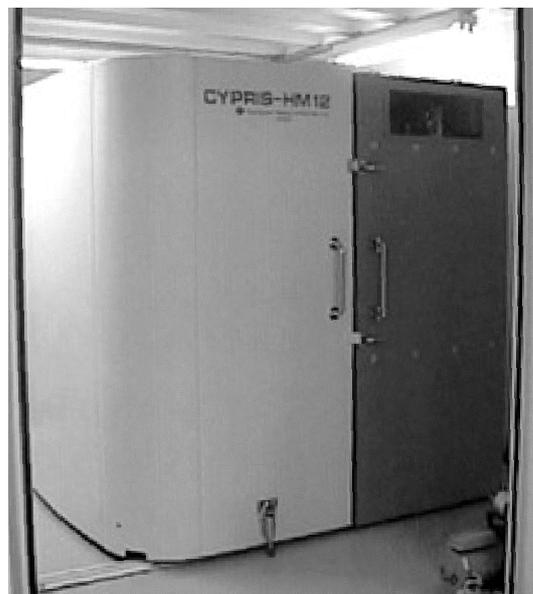


図1 サイプリス HM12
Cypris HM12

スルフォニル基を有するトシレートやトリフレートなどを付加した化合物が用いられることが一般的である。合成後は加水分解によって標識部位以外の保護基をはずし、前記と同様の分離精製操作のあと生理食塩水中に回収され使用されている。

3.2 ^{18}F 標識合成装置

PETに使用される化合物開発には、放射性薬品化学の知識が要求される。広く使用される放射性薬剤として扱われるためには、次の制約を満足する反応系を考慮しなければならない。

- (1) 自動化が容易な反応系である。
- (2) 1ステップ、又は2ステップの簡単な反応である。
- (3) 装置を遮蔽できる容器に収まる程度に装置が小型化できる。
- (4) 半減期を考慮し、最短時間で必要収量が得られる反応系を選択する。
- (5) 原材料が容易に入手できる。

我々は従来の各種化合物の合成文献から ^{18}F 標識反応に必要な機能を分類吟味し、装置を構成することによって主にプログラムと反応ラインを変更することで多種類の化合物を製造する装置を開発した。その際、陽子あるいは重陽子で製造されるいずれの化合物にも対応できることとした。更に、これらの要求を満たす装置として、次の構造及び機構を取り入れることとした。

- (1) 加熱・冷却可能な反応器を同時又は連続的に2個使用できる。
- (2) 反応器容積が大型(8mℓ以下)あるいは小型(3mℓ以下)に対応可能である。
- (3) 反応途中の溶液投入のための貯留槽(リザーバ)を容積可変のものを10個以上用意する。
- (4) 分離精製の市販カラム(Sep-pak等)を3ヶ所で使

用できる。

- (5) 自動で高速液体クロマトグラフィーに注入し、目的物を分離できる。
- (6) 濃縮用エバポレータを設ける。
- (7) 液の移送、吸引用にシリンダ付きシリンジを2ヶ所に設ける。

装置は、重量の制限で2個に分割した。また、装置メンテナンスを考慮し、ユーティリティガスの流量計や減圧弁を装置外に格納した。これら検討を経て製作した合成装置を、冒頭に示す。また、本装置の施設設置例を、図2に示す。仕様の一覧を、表3に示す。

3.3 合成例

本装置は現在群馬大学医学部附属病院及び浜松ホトニクス株式会社に設置し、種々の標識化合物合成研究に使用されており、装置の性能確認と多目的装置としての改良改善、完成度向上に努めている。本装置を用いた合成の実例として、次の3例を述べる。

3.3.1 3- ^{18}F -Fluoropropyl- -methyltyrosineの合成(陽子照射の例)

a 合成方法

- (1) 先に記した方法で ^{18}F 核種を製造し反応器に回収する。
- (2) 反応器に K_2CO_3 とクリプトフィックス222を加える。
- (3) 反応器から水分を除去し、アセトニトリルに溶解した原料(N-t-Butyloxycarbonyl-O-[3-Tosylpropyl]- -methyl-tyrosine)を加えて95℃で15分加熱する。
- (4) アセトニトリル溶液は冷却後、シリカカラムを通過させる。目的物はカラムに留まり少量のエーテルで回収し、次の反応器に移送する。
- (5) トリフロロ酢酸を加えて20分間加水分解を行い、加熱し、溶媒除去後生理食塩水を加えて目的物(3- ^{18}F -Fluoropropyl- -methyltyrosine)を回収する。合成化



図2

施設設置例
Example of installation

表3

^{18}F 標識合成装置仕様

Specifications for ^{18}F -labelled compound synthesis

	F 110	F 120
寸法	400W × 350D × 400H	400W × 350D × 400H
主機構	反応機構 1個 溶液槽(リザーバ) 5個 F ₂ (アセチルハイポ)導入機構 ロータリーエバポレータ RI検出器(2ヶ) HPLC注入ユニット Seppakカラム分離ユニット	反応機構 1個 溶液槽(リザーバ) 7個 F ₂ 水溶液導入機構 ^{18}O 水分離回収機構 RI検出器(2ヶ) Seppakカラム分離ユニット(2ヶ)

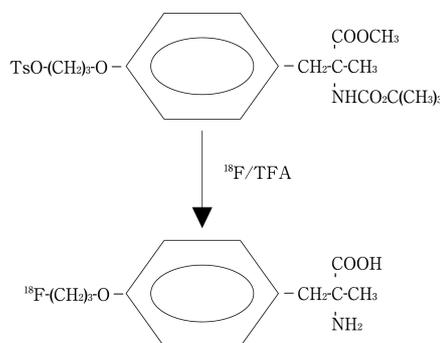


図3

3- ^{18}F -Fluoropropyl- -methyltyrosineの合成化学式
Synthesis schemes for 3- ^{18}F -Fluoropropyl- -methyltyrosine

学式を、図3に示す。

b 合成結果

合成は、6.7GBqの¹⁸Fイオンを用いて75分後に2.3GBqの目的物が得られた。合成効率は、54%であった。またHPLC（液体クロマトグラフィー）で検定の結果、目的物は95%以上の放射化学的純度で得られた。

3.3.2 FDGの合成⁽³⁾（陽子照射の例）

a 合成方法

- (1) 上記と同じ。
- (2) 上記と同じ。
- (3) 反応器から水分を除去し、アセトニトリルに溶解した原料（1,3,4,6-Tetra-O-Acetyl-2-O-Trifluoro methane-sulfonyl- β -D-Mannopyranose）を加えて、80℃で5分加熱する。
- (4) 溶媒除去後、塩酸を加えて15分加水分解を行い、イオン交換樹脂と精製カラムを通して、目的物（FDG）を回収する。

b 合成結果

合成は、35GBqの¹⁸Fイオンを用いて50分後に14GBqの目的物が得られた。合成効率は、55%であった。またHPLCで検定の結果、目的物は95%以上の放射化学的純度で得られた。

3.3.3 フロロメチルタイロシンの合成⁽⁴⁾

（重陽子照射の例）

a 合成方法

- (1) 重陽子照射にて¹⁸Fを製造し、アセチルハイポとして回収する。
- (2) 回収ガスは原料（Methyltyrosine）のトリフロロ酢酸/酢酸混合溶液中に室温でパブリック回収され、しばらく放置する。
- (3) 加熱して溶媒除去後、生理食塩水を加えて原料をHPLCに注入し、カラム分離する。
- (4) 放射能検出器の指示で目的物を分画し、エバポレータで溶媒除去後、生理食塩水を加えて目的物を回収する。

b 合成結果

合成は、2.1GBqの¹⁸F標識アセチルハイポガスを用いて回収開始から60分後に820MBqの目的物が得られた。合成収率は、56%であった。（¹⁸F₂ガスからの合成収率は16%）またHPLCで検定の結果、目的物は95%以上の放射化学的純度で得られた。

3.4 応用例

本装置を用いて、その多目的装置としての性能を確認中である。現在のところ、次の化合物が合成できることが確認されている。（合成未実施のものを含む）

- (1) 重陽子照射によって合成される¹⁸F標識化合物
 - フロロフェニルアラニン
 - フロロタイロシン
 - フロロドーパ
 - フロロアルファメチルタイロシン
 - アルファメチルトリプトファン
 - フロロウラシル
- (2) 陽子照射によって合成される¹⁸F標識化合物
 - FDG
 - フロロチミジン

フルオロプロピルアルファメチルタイロシン
フロロエチルコリン

4 むすび

- (1) ¹⁸F化合物がPETおける研究用途に多用されている。当社は多種類の化合物を自動で合成できる装置を開発した。
- (2) 本装置を用いて、多くの化合物の合成を実証し、容易に自動化ができ、合成経路を変更できる装置は被曝防止と効率的な研究推進に有益であることを確認した。

本装置の開発において、群馬大学医学部の井上登美夫助教授、富吉勝美講師、浜松ホトニクス株式会社PETセンターの塚田秀夫主任研究員及び原田典弘研究員の多大な助言と協力に深く感謝の意を表する。

（参考文献）

- (1) 樋口徹也，遠藤啓吾．FDG-PET検査の動向．PET通信，2000，Winter，p.2～4．
- (2) K. Hamacher, H. Coenen, G. Stoecklin. Efficient Stereospecific Synthesis of No-Carrier Added 2-¹⁸F-Fluoro-2-Deoxy-D-Glucose Using Aminopolyether Supported Nucleophilic Substitution. J. Nucl. Med., 1986, 27, p.235-238.
- (3) K.Hamacher, G. Blessing, B. Nebeling. Computer-aided Synthesis of No-Carrier added 2-¹⁸F-Fluoro-2-deoxy-D-glucose. Appl. Radiat. Isot., 1990, 41, 1, p.49～55.
- (4) K.Tomiyoshi, K. Amed, S. Muhammad, T.Higuchi, T. Inoue, K. Endo., D. Yang. Synthesis of isomers of ¹⁸F-labelled amino acid radiopharmaceutical: Position 2-and 3-L-¹⁸F-methyltyrosine using a separation and purification system. Nuclear Medicine Communications, 1997, 18, p.169～175.

中間段リングサイクロトロン(IRC)の製作

Manufacturing of RIKEN Intermediate-Stage Ring Cyclotron (IRC)

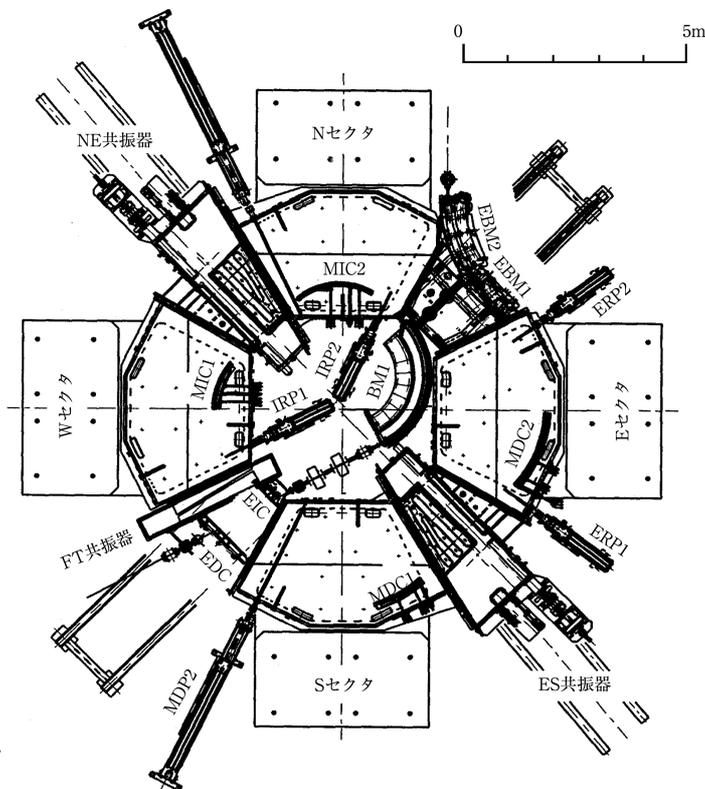
日朝俊一* 小野恒一*

Toshikazu HIASA

Kouichi ONO

熊田幸生*

Yukio KUMATA



中間段リングサイクロトロン
RIKEN IRC

現在、理化学研究所においてRIビームファクトリー計画が進行中である。この計画はブースタ加速器の増設計画と多目的実験用リングの新設計画からなっている。当社は、3つのブースタ加速器のうち、中間段リングサイクロトロン(IRC)の全体と超電導リングサイクロトロン(SRC)の共振器を受注した。2001年3月末に当社新居浜製造所内量子クリーンショップでIRCの製作を完了し、工場試験により所定の性能が達成されていることを確認した。本報では、IRCの全体構成、セクタ電磁石の構造、仕様及び磁場測定結果、共振器の構造、仕様及び静特性試験結果について述べる。

The RI beam factory is under construction at RIKEN. A new multi-stage accelerator system and a new multi-use experimental storage ring will be built in the RI beam factory. The multi-stage accelerator system consists of three ring

cyclotrons of a K520-MeV fixed frequency ring cyclotron (fRC), a K980-MeV intermediate-stage ring cyclotron (IRC) and a K2500-MeV superconducting ring cyclotron (SRC). It will boost the heavy-ion beam supplied by the existing K540-MeV ring cyclotron (RRC) in energy up to 350 MeV/nucleon. The whole components of the IRC, the acceleration resonators of the SRC and some components of the beam transport system have been manufactured by SHI. In the spring of 2001, the IRC has been completed and validated by some tests at Niihama works. Following items are described in this report.

- 1) Structure and components of the IRC
- 2) Structure, specification and magnetic field measurement of the sector magnet
- 3) Structure, specification and low-power test of the acceleration resonator

1 まえがき

現在、理化学研究所(埼玉県和光市)において、RIビームファクトリー計画が進行中である¹⁾。この計画は、既設のリングサイクロトロン(RRC 当社納入)で加速されたイオンビームを更に高いエネルギーまで加速するブースタ加速器の増設計画と、RIビームの発生・分離装置(Big RIPS)及び様々な原子核実験を行うための多目的実験用リング(MUSES)の新設計画からなる。

ブースタ加速器は、固定周波数リングサイクロトロン(fRC)、中間段リングサイクロトロン(IRC)及び超電導リングサイクロトロン(SRC)の3つの加速器からなり、これらの加速器で順次加速された重イオンビームのエネルギーは350MeV/nucleonとなる。

当社は、IRC全体、SRCの共振器及びビーム輸送系の一部を受注した。IRCはSRCに次いで2番目に大きいリングサイクロトロンであり、1998年から製作を開始し、2001年3月末に当社新居浜製造所内量子クリーンショップで製作完了した。

表1 セクタ電磁石の仕様
Specifications of sector magnet

セクタースパン角	53度
ギャップ	80mm
全高	5200mm
重量	700t/sector
メインコイル	
最大磁束密度	1.9T
最大起磁力	1.78×10^6 AT
最大電流	450A
最大電力	330kW
トリムコイル	
トリムコイル数	20対
最大電流	400,500,600A
最大電力	180kW

本報では、次の項目について述べる。

- (1) IRCの全体構成
- (2) セクタ電磁石の構造、仕様及び磁場測定
- (3) 主共振器の構造、仕様及び静特性試験

2 IRCの全体構成

IRCは4セクタの常伝導リングサイクロトロンであり、セクタ電磁石(E, S, W, Nセクタ)、主共振器(ES, NW共振器)、フラットトップ共振器(FT共振器)、真空チャンバ、入射取出し機器、ビーム診断機器などから構成される直径約15m、総重量約3000tの大型のセパレートセクタ型サイクロトロンである。サイクロトロンの加速能力を示すK値は980で、常電導では世界最高レベルとなる。

RRC、もしくは、IRCで加速されたイオンビームは、ビーム輸送系を通りIRCに導かれ、入射機器である偏向電磁石(BM)磁気チャンネル(MIC 1, 2)及び静電チャンネル(EIC)を通してその中心部の加速領域に入射される。主共振器とフラットトップ共振器の電極には高周波電圧が発生しており、位相のあったイオンビームは電極を通過する際に加速され、エネルギーが増加する。セクタ電磁石が発生する磁場で曲げられたイオンビームは、ほぼ円運動をしながら繰り返し加速され、エネルギーの増加に伴ってその軌道半径は次第に大きくなる。そして、取出し機器である静電チャンネル(EDC)、磁気チャンネル(MDC 1, 2)及び偏向電磁石(EBM 1, 2)によって外部に取り出される。この間、加速状態をモニターするラジアルプローブ(IRP, MDP, ERP)、位相プローブ(PP)などのビーム診断機器が適宜配置されており、入射、加速及び取出しを効率よく行うために用いられる。また、ビーム加速領域は、残留ガスとの衝突によるビームロスを1%以下とするために 1×10^{-6} Pa以下の超高真空に保たれている。

3 セクタ電磁石

3.1 構造と仕様

セクタ電磁石の仕様を、表1に示す。セクタ電磁石の構造はRRCと同様であるが、ポールギャップ、メインコイルの設計を最適化した結果、RRCと比較して消費電力を70%程度に抑えながら最大磁束密度を1.9Tまで上げることができた⁽²⁾。

セクタ電磁石では、純鉄製の磁極が作る磁場をトリムコイ

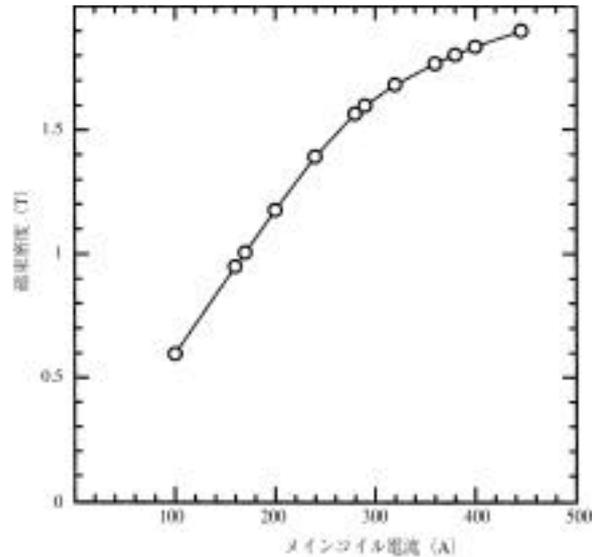


図1 Eセクタ電磁石の励磁特性
Excitation curve of E-sector magnet

ルを使って補正し、所定の磁場分布を精度よく作り出す必要がある。従って、セクタ電磁石を製作する場合、形状加工精度に配慮して、目標とする磁場分布と磁極による実際の磁場分布の相違をある許容範囲内にとどめること、そして、時間的に安定な磁場分布を得ることが大きな課題となる。このことは、結果的にトリムコイル消費電力の低減にもつながる。IRCのセクタ電磁石においては、これらの課題を達成するために次の方策を施した。

- (1) 三次元磁場解析コード(TOSCA)による磁場解析を行い、モデル電磁石を製作することなく、所定の磁場分布を発生する磁極形状を定める。
- (2) 精密加工により、磁極間隙の組立後の平行度を $50 \mu\text{m}$ 以下とする。
- (3) 電磁力、自重によるヨークの撓みを磁極とヨークの間に設けた1mmのパーセルギャップによって吸収する。
- (4) 磁場分布の時間的な不安定要素であるメインコイルの温度上昇を10程度に抑える。
- (5) トリムコイル冷却水の入口/出口温度の平均値を一定に保ち、磁極表面温度を制御する。
- (6) 磁極間隙に設置したポールスペースに测温抵抗体を取り付け、温度をモニターし、磁極表面温度のフィードバック制御を可能にする。

3.2 磁場測定

セクタ電磁石は、磁極間隙や位相などの寸法検査で所定の精度が達成されていることを確認した後、理化学研究所によって励磁特性の測定と磁場分布の測定(マップ測定)が行われた。

励磁特性は、磁極間隙にNMRを設置して測定された。Eセクタ電磁石の測定結果を、図1に示す。いずれのセクタ電磁石も定格電流450Aで最大磁束密度1.9T以上が得られている。

磁場マップは、4台のセクタ電磁石それぞれについて90度マップと、2台のセクタ電磁石を並べて設置した時の180度マップが測定された。磁場マップの測定には、空圧駆動、非

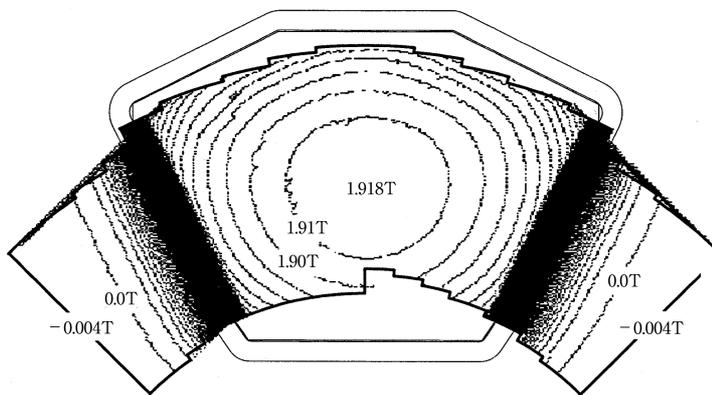


図2 Eセクタ電磁石の磁場マップ (メインコイル 445.5 A)
Magnetic field contours of E-sector magnet (Main coil 445.5 A)

表2 主共振器の仕様
Specifications of acceleration resonator

共振周波数	18 ~ 38.2 MHz
最大加速電圧	600 kV @ 38.2 MHz
加速ギャップ	250 mm
最大消費電力	150 kW
電圧安定度	1×10^{-4}
位相安定度	± 0.1 度
空洞内法寸法	1650 (W) × 4770 (L) × 3200 (H) mm
総重量	50 t

磁性の磁場測定装置を製作・使用した。Eセクタ電磁石の90度マップ測定結果を、図2に示す。

三次元磁場解析の結果と比較すると、磁束密度の絶対値は1%以下、磁場分布(相対値)は端部を除いて0.1%以下の精度に収まった。従来、この様な大型の強磁場電磁石を製作する際には、小型のモデル電磁石を製作し、励磁特性と磁場分布を評価した上で実機の製作を行っていた。今回の磁場測定の結果、大型で強磁場の電磁石であっても、三次元磁場解析に基づく設計が有効で、モデル電磁石製作にかかるコストと時間を省けることが実証された。

時間的な磁場分布の安定度については、据付後確認される予定であるが、3.1の(4)、(5)、(6)で述べた新しい機能により、良好な結果を得られることが期待されている。

4 主共振器

4.1 構造と仕様

主共振器の仕様を表2に、内部構造を図3に示す。多種多様なイオンを様々なエネルギーに加速するため、主共振器には18~38.2 MHzという広い共振周波数の可変幅と、600 kV (@38.2 MHz)という高い加速電圧が要求される。

従来、同軸型と呼ばれる共振器が使われ、内部にショート板を設置し、これを摺動させ同軸部長さを変化させて共振周波数を調節する構造が一般的であった。しかしながら、ショート板の摺動ストロークが非常に長いため摺動機構が非常に大掛りになったり、インダクタンス成分により共振周波数を変化させるため共振周波数の高い領域で電力効率が低下し励振に必要な高周波電力が極端に増加する問題があった。また、摺動接点部が劣化すると接触不良による焼付きが生じるため、

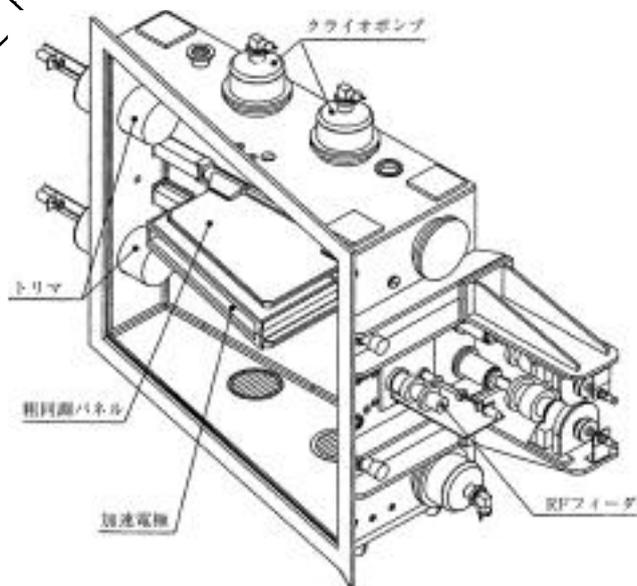


図3 主共振器の構造
Schematic drawing of acceleration resonator

定期的に接点部品を交換しなければならない保守上の問題もあった。

そこで、IRCでは、大阪大学向けのリングサイクロトロンでも採用した当社独自のフラッピングパネル方式(特公平7-66877)を採用し、これらの問題点を解決した。この方式では、加速電極の上下に対向して取り付けられた1対の粗同調パネルを0~90度回転させ、共振回路のキャパシタンス成分を変化させて共振周波数を調節する。この場合、共振周波数の増加に伴って電力効率も向上するため、励振する高周波電力が共振周波数に依らずほぼ一定となる利点がある。また、摺動接点を排除しているため、接点部品の劣化によるトラブルや部品交換の手間も省くことができる。

このほか、主共振器内部には、運転中の熱変形に伴う共振周波数の微妙なずれを自動的に補償するトリマや、内部を高真空に排気するクライオポンプ等が設置されているが、ショート板を排除したことにより、内部構造が非常にシンプルになっている。

このフラッピングパネル方式は理化学研究所にも高く評価されており、IRCのみならずSRCの主共振器(4台)にも採用されている。

この共振器の基本設計では、理化学研究所によって三次元電磁場解析コード(MAFIA)を用いた電磁場解析がなされ、共振器内部の基本寸法が決定された。MAFIAによる計算結果は、共振周波数範囲17.8~38.4 MHz、Q値29400 (@17.8 MHz)、37800 (@38.4 MHz)である⁹⁾。Q値とは電力効率を表す数値であるが、実際には、共振器形状、電気的コンタク

ト、銅表面状態が理想状態では製作できないため、MAFIA計算値の60～70%程度となる。

共振周波数範囲は、共振器内部（銅表面）の詳細な構造によって決まり、Q値は共振器内部の構造、電気的コンタクトの状態や銅表面の粗さによって決まる。製作に際しては、共振器内部の寸法精度確保、確実な電気的コンタクトの確保、銅表面の仕上げ精度と清浄度確保に留意した。

一方、主共振器は機械構造的には大型の真空箱である。大気圧による変形が小さくなる構造とし、同時に、真空度仕様値 1×10^{-6} Pa以下を達成する必要がある。従って、大気側は強度が大きい非磁性の材料を用い、真空側はアウトガスが少なくなる構造でなければならない。更に、共振器内部表面には熱が発生するため水冷される必要がある。以前のRRCでは、ステンレス板に冷却水用の溝加工を施し、それに銅板を圧着した材料（クラッド材）が使われたが、製造コストと入手性に難点がある。そこで、IRCでは、構造材であるステンレスに水冷銅薄板の内張を取り付けた二重構造とし、その間を差動排気するシステム（特開2000-268999）を採用して、変形と真空の両面において仕様を満足する設計とした⁴⁾。

4.2 静特性試験結果

静特性試験は、理化学研究所によって、共振周波数の測定、Q値の測定、トリマの周波数調整範囲の確認、フィード結合度の調整、上下アンバランスピックアップ信号レベルの確認が行われた。

共振周波数とQ値の測定結果を、図4に示す。パネル角度を-3度から91度まで変化させると、共振周波数範囲は15.4～41.4MHz（パネル0度では17.8MHz）、Q値は全範囲において計算値の75%程度であった。その他の項目についても良好な結果が得られている。

いずれの結果も設計値を満足しており、特にQ値は予測よりも良い結果が得られた。寸法精度、銅板の表面状態、電気的コンタクトの全てにおいて、品質管理の成果が現れたといえる。

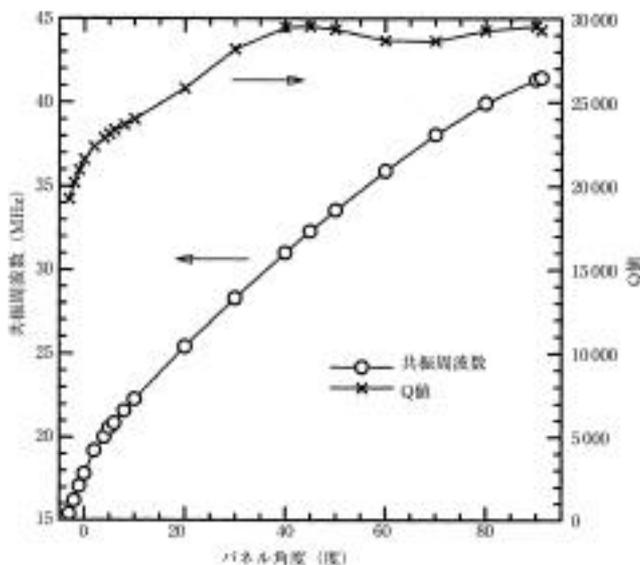


図4

共振周波数とQ値の測定結果
Measured resonant frequencies and Q-values

5 むすび

IRC主要機器の構造、仕様と工場試験結果について述べた。

- (1) 三次元磁場解析に基づき、モデル電磁石を製作することなく、大型の強磁場電磁石を製作した。また、磁場測定により、1.9 Tの最大磁束密度が予定の起磁力で達成され、磁場分布が精度よく形成できていることが実証された。
- (2) フラッピングパネル方式により、広い共振周波数範囲で高いQ値を有する大型共振器を製作した。また、実測により、15.4～41.4MHzの共振周波数範囲と、MAFIA計算値の75%以上ものQ値が得られた。
- (3) 差動排気排気システムを採用することにより、超高真空（ 1×10^{-6} Pa以下）の大型共振器を製作した。

他のIRC構成機器についても良好な試験結果を得ており、据付け後の真空テスト、実負荷テスト、そしてビーム加速テストが待たれるところである。

なお、工場試験のうち磁場測定と共振器静特性試験は理化学研究所が主体となり、当社がサポートする形で行われた。執筆に当たり、指導頂いた同研究所加速器基盤研究部の各位に深く感謝の意を表する。

(参考文献)

- (1) Y.Yano et al. RIKEN RI Beam Factory Project, 16th ICRAA, Denton, TX (2000), in press.
- (2) T.Mitsumoto et al. Construction of the IRC for RIKEN RI-Beam Factory, Proc. 12th Symp. on Acc. Sci. and Tech., WAKO (1999) 183.
- (3) N.Sakamoto et al. Model Test of the RIKEN-IRC Main Resonator, Proc. 12th Symp. on Acc. Sci. and Tech., WAKO (1999) 224.
- (4) T.Hiasa et al. Vacuum Design of RF-resonator for the RIKEN Intermediate-stage Ring Cyclotron, Proc. 12th Symp. on Acc. Sci. and Tech., WAKO (1999) 293.

ヘリコプタ搭載カメラマウントの制御性能の改善

Improvement of Control Performance of Camera Mount System Installed on Helicopter

吉田 竜也* 大塚 康洋*

Tatsuya YOSHIDA

Yasuhiro OHTSUKA

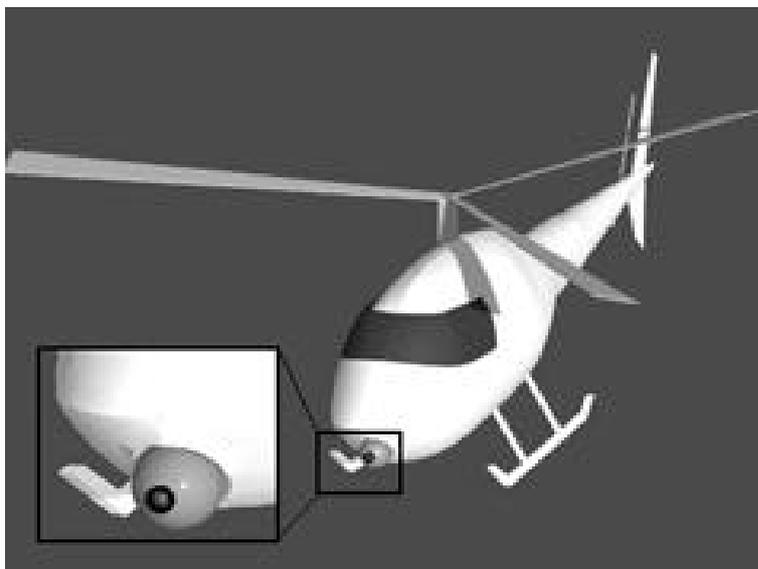


図1

ヘリコプタ搭載カメラマウント
Camera mount system installed
on helicopter

ヘリコプタ搭載カメラマウントへの切換えPID制御アルゴリズムの適用を検討し、試作機によってその有用性を確認した。この切換えPID制御アルゴリズムの特徴を、以下に示す。

- (1) 直感的でわかりやすい制御アルゴリズムにより、両立の困難な複数の制御仕様を同時に満足することができる。
- (2) それぞれの状態適切な制御パラメータを求めることにより、短時間でシステムのチューニングが可能である。

Application of the switching PID control algorithm to a camera mount system installed on helicopter is examined and

the validity of the algorithm is verified through trial products. The merits of this switching PID control algorithm are as follows:

- 1) Two (or more) kinds of control performance that is difficult to be compatible can be satisfied simultaneously, by using this control algorithm that is intuitive and easy to understand.
- 2) System tuning is able to be achieved in a short time, because control parameters are adjusted individually for an each situation.

1 まえがき

よくテレビで見られるヘリコプタからの報道映像は、ヘリコプタの動揺に対して安定化されたカメラ映像である。図1に示すようなヘリコプタに搭載したカメラマウントにおける制御上の特徴としては、高い周波数成分を含むヘリコプタの動揺に対して安定化（スタビライズ）させながら、カメラを被写体に短時間でオーバーシュートなく指向（スルーイング）させ、そして高精度に追従（トラッキング）させることがあげられる。

サーボ系の制御手法としては、一般的で信頼性のあるPID制御が広く用いられている。PID制御は、ゲイン定数を設定する比例（Proportional）動作、遅れ要素を入れて低周波のゲインを上げて定常偏差を少なくする積分（Integral）動作、微分要素を入れて位相を進め、高周波特性を強くして実効的にゲインを上げ、安定で応答の速い系を設計する微分（Derivative）動作からなるフィードバック制御方式である⁽¹⁾。

PID制御の利点は、コントローラの調整パラメータが少なく、応答を見ながら直感的な調整がしやすいという点である。しかしながら今回の制御対象においては、旋回・俯仰の両軸に対するマスバランスがとれていないという要因もあいまって、スルーイング動作に適した制御パラメータとトラッキング動作に適した制御パラメータが大きく異なった。このため、通常PID制御によってスルーイング動作とトラッキング動作の要求性能を両立させることが困難であった。

より高性能な制御を実現する手法としては、H制御や μ 設計、線形行列不等式などの先端的ロバスト制御理論を適用することが考えられる。先端的ロバスト制御では、制御性能の向上と設計モデルの正確さとは相関があり⁽²⁾、対象としたモデルに対しては高いレベルで制御できるが、予期せぬ外乱などで制御対象が想定したモデルから離れてしまうと制御性能は低下してしまう。従って、先端的ロバスト制御を、正確にモデル化しづらい対象に対して適用するためには、慎重な検討が必要である。

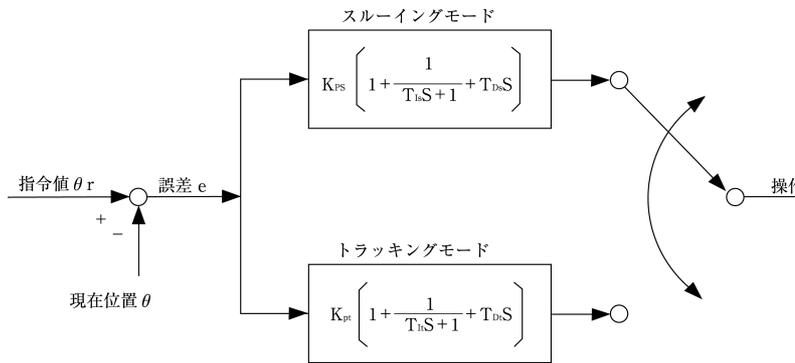


図2 切換えPID制御アルゴリズム
Switching PID control algorithm

そこで今回は、カメラマウントの動作状況に応じてコントローラの制御パラメータを切換える切換えPID制御アルゴリズムをヘリコプタ搭載カメラマウントに適用し、その有用性について検討を行った。

2 切換えPID制御アルゴリズム

2.1 切換えPID制御アルゴリズムの概要

切換えPID制御アルゴリズムは、図2に示すようにPIDコントローラの制御パラメータを制御目的に応じて動作中に切換えるアルゴリズムである。

ここで、 K_{ps} はスルーイング動作に適した比例ゲインを、 T_{is} はスルーイング動作に適した積分時間を、 T_{ds} はスルーイング動作に適した微分時間を、 K_{tr} はトラッキング動作に適した比例ゲインを、 T_{ti} はトラッキング動作に適した積分時間を、 T_{dt} はトラッキング動作に適した微分時間を意味する。

制御モードは、カメラをすばやく指向させ所定の方位へ整定させるためのスルーイングモードと、高精度で被写体を追従するためのトラッキングモードからなり、それぞれ制御目的に適するように独立に設計され、ある条件で切換えられる。

(1) スルーイングモード

スルーイング動作時には、高速でカメラを被写体にスルーイングさせ、その後なるべく短時間で整定させることが要求される。従って、速応性及び減衰性を改善するように制御パラメータを調整する。

(2) トラッキングモード

トラッキング動作時には、機体の動揺にスタビライズしながらなるべく高精度で被写体の動きにトラッキングすることが求められる。つまり、誤差(=指令値-現在位置)をできるだけ小さくするように制御する必要がある。

以上のように、切換えPID制御アルゴリズムでは、それぞれの制御目的に合った制御パラメータを各モード別にチューニングできるという利点がある。このため、短時間でシステム全体のチューニングが可能である。

2.2 切換えロジック

この切換えPID制御アルゴリズムは、コントローラへの誤差入力 e の大きさにカメラマウントの動作状態を観測し、そ

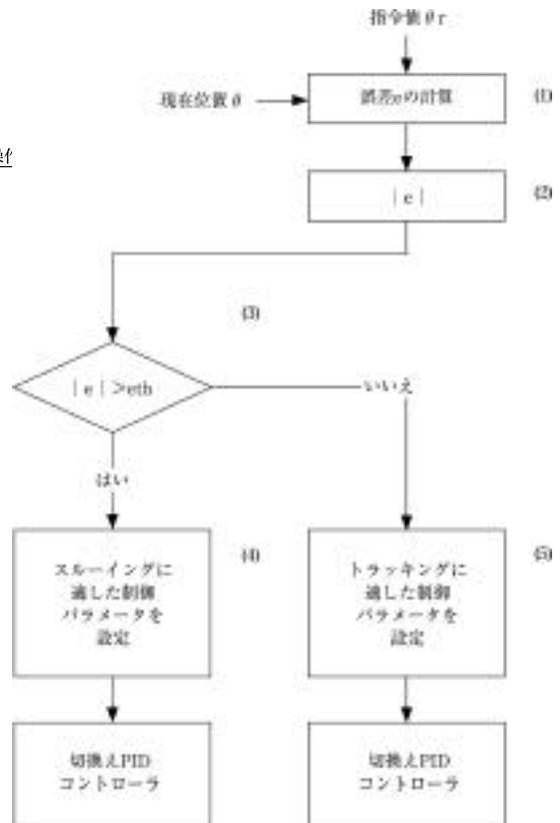


図3 切換えロジック
Switching logic

の大きさに応じて制御パラメータを切換えるアルゴリズムである。そのため、制御パラメータを切換える際に基準となるしきい値 e_{th} を設定した。

$|e| > e_{th}$ (指令値と現在位置との誤差が大きい スルーイング動作) の時は、すばやくスルーイングさせるのに適切な制御パラメータを使用し、 $|e| < e_{th}$ (指令値と現在位置との誤差が小さい トラッキング動作) の時は、追従誤差を小さくするような制御パラメータに切換える。

この切換えロジックのフローチャートを、図3に示す。

- (1) 指令値 θ_r と現在値 θ から、その差 $e = \theta_r - \theta$ が算出される。
- (2) 誤差 e の絶対値 $|e|$ が算出される。
- (3) $|e|$ と制御パラメータの選択を判断するしきい値 e_{th} との大小が比較される。
- (4) $|e| > e_{th}$ の時は、スルーイング動作を重視した制御パラメータがPIDコントローラに出力される。
- (5) $|e| < e_{th}$ の時は、トラッキング動作を重視した制御パラメータがPIDコントローラに出力される。

フィードバックループ内のコントローラを切換える場合には、切換え時の過渡応答の抑制に工夫を要する。制御モード切換え時の過渡応答抑制に関しては、切換え時に予測演算に基づいて付加入力进行操作量に加える手法³⁾などが提案されている。

今回は単純に、スルーイングモード時に減衰性を重視した制御パラメータを用い、またしきい値 e_{th} を小さく選ぶことで、切換え時の過渡応答抑制を達成した。

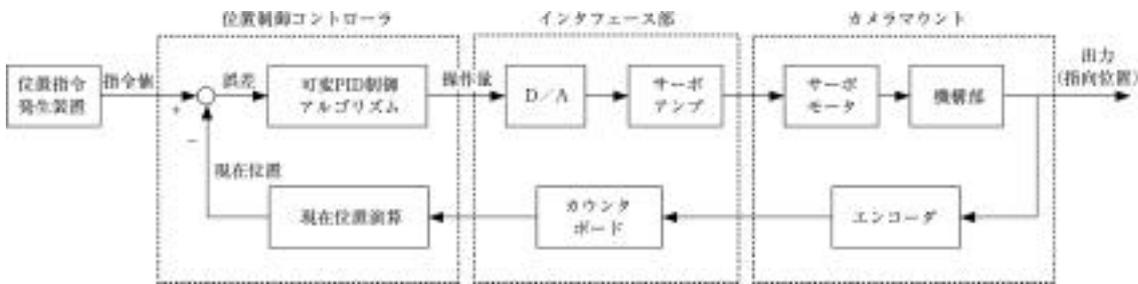


図4 カメラマウントシステム
Camera mount system

3 ヘリコプタ搭載カメラマウントシステムへの適用

3.1 カメラマウント機器構成

今回試作したカメラマウント制御システムの構成を、図4に示す。この制御システムは、旋回軸と俯仰軸をそれぞれ独立に制御しており、以下の4つの部分で構成される。

- (1) 位置指令発生装置
- (2) 位置制御コントローラ
- (3) インタフェース部
- (4) カメラマウント

位置制御コントローラの制御アルゴリズムはソフトウェアにより実行されているため、容易に制御パラメータを変更できる。サーボアンプは汎用サーボアンプであり、内部にマイナーループをもっている。カメラマウントには、サーボモータとカメラの指向位置を検出するためのエンコーダが取り付けられている。

位置指令発生装置によって模擬的な指令パターンを発生させ、位置制御コントローラの制御方式として、固定パラメータのPID制御を用いた場合と、今回の切換えPID制御アルゴリズムを用いた場合の応答特性を比較する。固定パラメータとしては、スルーイング動作とトラッキング動作の制御仕様を妥協的に両立するようトレードオフして設定した値を用いた。

3.2 テスト結果

3.2.1 ステップ応答

図5に、スルーイングを模擬したステップ状の指令値を旋回方向に与えた場合のテスト結果を示す。固定パラメータの場合はオーバーシュートを生じてしまい、整定時間が長くなっているのに対し、切換えパラメータの場合はオーバーシュートも少なく、整定時間が短くなっているのが確認できる。

3.2.2 正弦波応答

機体動揺に対してスタビライズしながらカメラを任意の方向に保持することを想定した、正弦波状の指令値を旋回方向に与えた場合のテスト結果を、図6に示す。この結果を見る

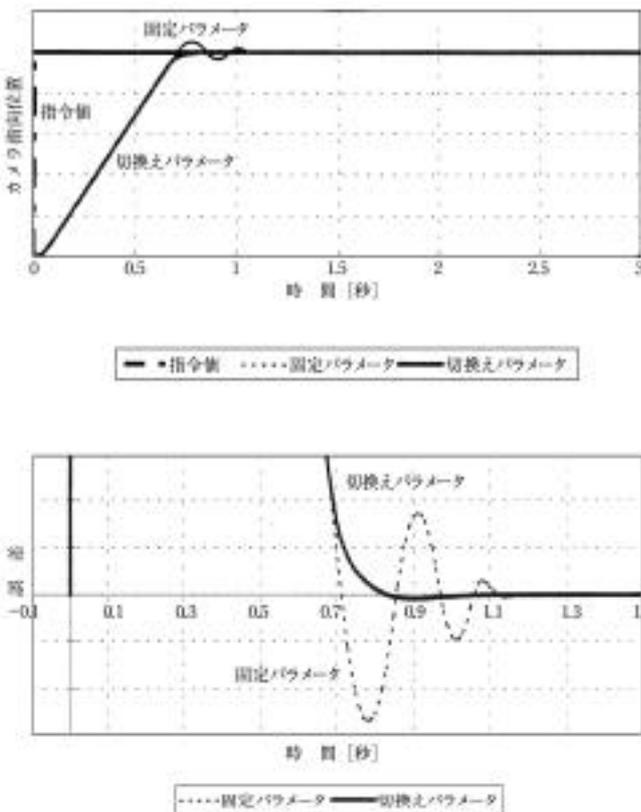


図5 ステップ応答
Step response

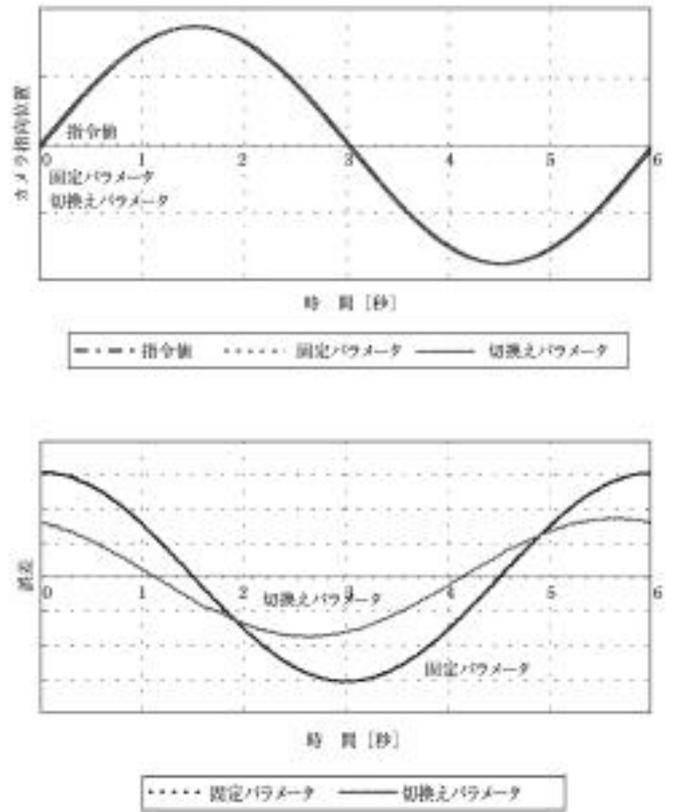


図6 正弦波応答
Sinnsoidal response

と、切換えパラメータの場合の方が、明らかに誤差が小さく、追従特性がよいことがわかる。切換えパラメータの場合の誤差（ピーク値）は、固定パラメータの場合に比べ約1/2となった。

3.2.3 複合応答

ヘリコプタの機体動揺に対してスタビライズしながら、カメラを被写体に向けてスルーイングし、その後被写体の動きをトラッキングすることを模擬した指令値に対するテスト結果を、図7に示す。それぞれ、以下のような数値を用いて模擬した。

- (1) ヘリコプタの機体動揺 振幅 $\pm 5^\circ$ 、周期6秒の正弦波
- (2) スルーイング 振幅 60° のステップ入力
- (3) トラッキング 速度 $5^\circ/\text{s}$ のランプ入力

従来のように制御パラメータを固定にした場合では、オーバーシュートが生じてしまい、その結果、スルーイング後の整定時間が長くなってしまふ。これに対して、切換えPID制御アルゴリズムを用いた場合には、誤差が小さくなった時点で制御パラメータをトラッキング動作に適した制御パラメータに切換えるので、オーバーシュートが軽減され、整定時間が短くなっている。

また、スルーイング後のトラッキング動作に関しても、切換えPID制御アルゴリズムを用いた場合の方が、誤差が小さく、高精度でトラッキングしていることが確認できた。

4 むすび

ヘリコプタ搭載カメラマウントへの切換えPID制御アルゴリズムの適用を検討し、試作機によってその有用性を確認した。その結果、マスバランスのとれていない制御対象におい

ても、切換え時の安定性を確保しつつ、スルーイングとトラッキングの要求性能を両立できることが実証された。

この切換えPID制御アルゴリズムはデジタルコントローラにおいてはソフトウェアによって容易に実現できるものであり、特徴を以下に示す。

- (1) 直感的でわかりやすい制御アルゴリズムにより、両立の困難な複数の制御仕様を同時に満足することができる。
 - (2) それぞれの状態で適切な制御パラメータを求めることにより、短時間でシステムのチューニングが可能である。
- また、今回の適用例に限らず、制御上のトレードオフ問題の解消に有効な手法と考える。

(参考文献)

- (1) 上滝致孝, 明石友行. 制御理論の基礎と応用. オーム社, p. 85 ~ 136, 1986.
- (2) 野波健蔵, 西村秀和, 平田光男. MATLABによる制御系設計. 東京電機大学出版局, p. 1 ~ 14, 1998.
- (3) 山口高司, 平井洋武. モード切り換え型制御系における付加入力を用いた初期値補償設計と磁気ディスク装置への適用. 計測自動制御学会論文集, vol. 32, no. 8, p. 1219 ~ 1225, 1996.

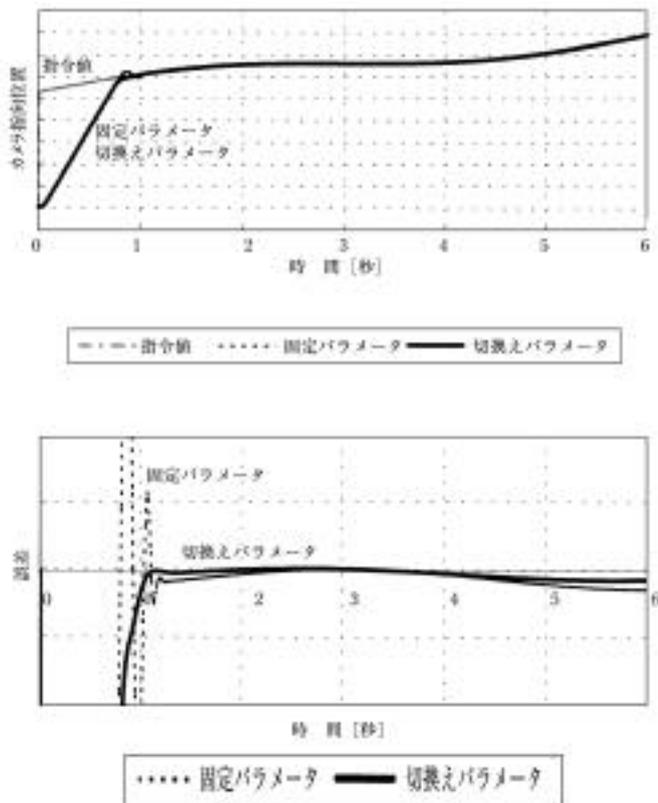


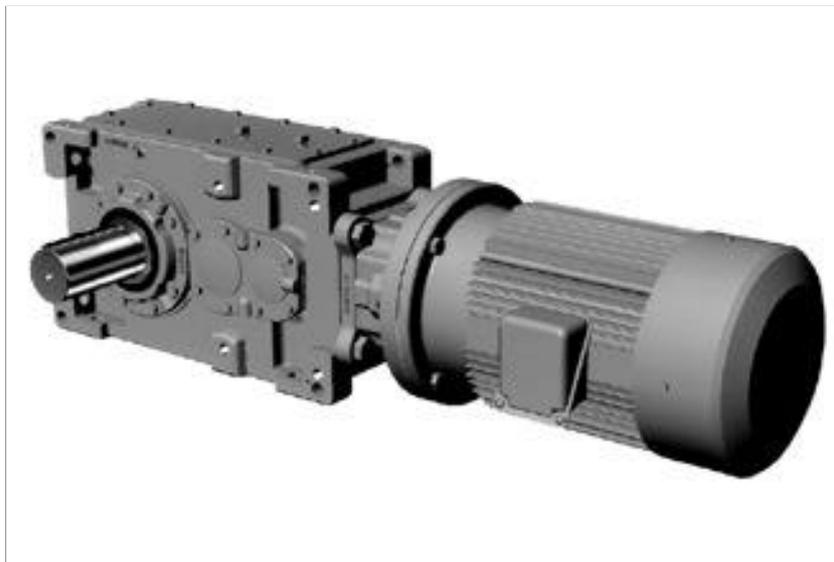
図7

複合応答
Composition response

新製品紹介

新型標準ギヤボックス パラマックス®9000シリーズ

Standardized Gear Box PX9000 Series



パラマックス®9000シリーズは、半世紀を超える実績と経験を生かし、様々な用途に適用できるように標準化された汎用減速機シリーズである。一般産業用減速機として現在までに約12000台以上の製品実績を持つパラマックス®8000シリーズの後継機種として、2000年10月から世界市場に向けて販売を開始した。

本シリーズでは、ユーザにとって「使いやすいギヤボックス」をコンセプトに、駆動モータとギヤボックスを直結するドライブユニット構造を新たに標準化した。従来のようなカップリングによる結合ではなく、ホロー（中空）入力軸に直接モータ軸をマウントするため、ユニット全体の小型化を図ることが可能である。更に、モータ組付け時の心出し作業が不要、モータ直結により回転物が表面に出ないため安全対策不要というメリットがある。5.5~55kWまでのモータに対応しており、JEM、IEC、NEMAの各モータ基準に準拠した世界各国のモータが取付け可能である。

主要仕様

サイズ 9015~9136 全24サイズ
 出力トルク 2.6kN・m~552kN・m
 公称減速比 6.3~500（標準数R20列）
 軸形式 平行軸 直交軸
 据付け 横形 立形 直立形
 出力軸 ソリッド（中実）軸 ホロー（中空）軸

特長

- (1) 直交形減速機において、モータとギヤボックスを直結するドライブユニット構造を標準化している。
- (2) 新型冷却ファン及び導風カバーにより、従来比最大約80%の熱容量アップを達成している。
- (3) 更なる最適選定が行えるように、新たに4サイズを追加し、24サイズへとラインアップを拡大している。

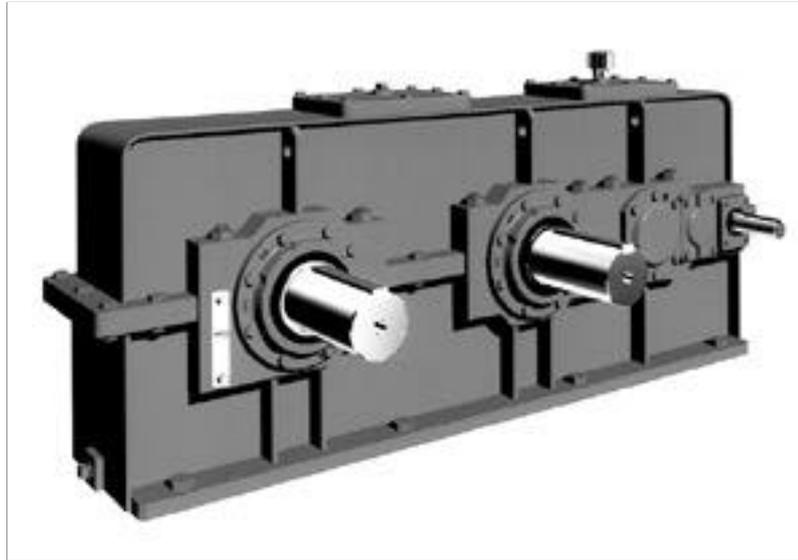
- (4) 負荷による力を据付け面に伝える働きを持つハウジングについては、FEM解析を行い、負荷時における変形を可能な限り抑えている。これにより、常に良好な歯当たりを確保することが可能となっている。
- (5) 圧力角25°を採用し、歯車曲げ強度のアップを実現している。
- (6) 高精度に加工されたヘリカルギヤ及びスパイラルベベルギヤを採用しており、低騒音の運転が可能である。
- (7) 歯車には浸炭焼入れと高精度の機械加工が施され、更に最適な歯形・歯すじ修整を行うことで、高負荷容量化及びコンパクト化を実現している。

（PTC事業本部 黒川英二）

新製品紹介

2軸ごみクレーン巻上げ用減速機 SHCシリーズ

Crane Hoist Drive with Twin Shafts SHC Series



環境問題対策の一環として、ごみ焼却施設の新設及び更新が増加している。施設内に設置されるごみクレーンは、クラブバケットをツインドラム方式で巻上げる方式のため、巻上げ用減速機には2本の出力軸が必要とされる。

従来、ごみクレーン巻上げ用減速機はごみクレーンメーカー指定寸法で都度設計していたが、ごみ処理設備に需要増加を機に、業界で初めてシリーズ化した。

本シリーズは、豊富な出力2軸減速機の実績をもとに、2軸心間距離及びトルク範囲の徹底した調査・分析によりごみクレーンに最適な2軸心間距離とサイズを有する、ヘリカル減速機である。

また、2本の出力軸駆動用の分配ギヤを減速機に内蔵することにより、設備の省スペース化及びメンテナンスの省力化が可能である。

主要仕様

形式・枠番 SHC060～SHC090 全4枠番

減速比 1/20～1/63

出力2軸心間距離 470mm～650mm

出力トルク 22kN・m～77kN・m

SHCシリーズ機種

吊上げ荷重(t)	6	8	12	14
枠番	SHC060	SHC070	SHC080	SHC090
出力2軸心間距離(mm)	470	530	620	650
出力トルク(kN・m)	22	38	57	77

特長

- (1) 出力2軸減速機の豊富な実績をもとに、業界初のシリーズ化により迅速な引合い対応が可能である。
- (2) 専用設計の出力軸駆動用1:1分配ギヤを減速機ハウジング内に内蔵することにより、2本の出力軸としている。

- (3) ごみクレーン巻上げ用として専用設計することにより、最適な出力2軸心間距離を有し、軽量かつコンパクトである。
- (4) 標準部品の共用化により、短納期に対応できる。

(PTC事業本部 村上稔昭)

新製品紹介

IPMモータ駆動用インバータ AF-330

High Performance IPM Inverter AF-330



環境問題に対する世界的関心の高まりから、産業分野でも、省エネルギーへの取組みが加速してきており、永久磁石を回転子に埋め込むことにより高効率化・小型化を図ったIPMモータ（Interior Permanent Magnet Motor）が、従来の誘導モータに変わる次世代モータとして注目されている。

当社では、IPMモータの性能をフルに発揮することが可能な高性能専用インバータAF-330シリーズの開発を完了した。

主要仕様

適用モータ電圧・容量	3相 200V級 400V級 5.5～22kW（55kWまで拡張予定）
制御方式	センサ付きベクトル制御 （内蔵型オプションカード追加） センサレスベクトル制御
始動トルク	センサ付き制御 200%以上 センサレス制御 150%以上
速度制御範囲	センサ付き制御 1：500 センサレス制御 1：100
速度変動率	センサ付き制御 ±0.01%以内 センサレス制御 ±0.2%以内
保護機能	過電流 過電圧 不足電圧 過負荷 出力短絡 地絡 温度異常 欠相 3相不平衡他
保護構造	IP20（15kW以下） IP00（22kW以上）
適用機械	省エネ用途 押出機や搬送機械など

特長

< IPMモータ >

(1) 電力損失を約45%低減し（誘導モータとの比較）、国内、海外の高効率規格をクリア（新JIS、EPA等）している。

誘導モータに対して1～2倍小型化（当社比）しており、容積比では約40%小型化、重量比では約40%軽量化している。

(2) 当社製サイクロ[®]減速機と直結が可能である。

< IPMインバータ(AF-330) >

(1) 最大トルク制御により、IPMモータの高トルク及び高効率という特性をフルに活用している。

(2) センサ付き制御とセンサレス制御の切り換えが可能である。センサ付き制御時は、内蔵型オプションカードを追加する。

(3) 32bit-RISC型マイコン制御により、高速・高性能化を実現している。

(4) 高精度電圧検出回路により、低速性能の向上を図っている。

(5) RS-485通信機能を標準装備し、通信による運転及びパラメータの設定が可能である。

(6) PID制御機能を標準装置し、プロセス制御に適用が可能である。

(7) シーケンス入出力端子ロジックをシンクタイプとソースタイプの切り換えが可能であり、各種コントローラとの接続可能である。

(8) DCリアクトル接続端子を標準装備し、高調波電流制御対策への対応が可能である。

(9) 回生制動回路を内蔵している。（15kW以下）

（PTC事業本部 小松幹生）

新製品紹介

新型単相電動機(0.1～0.2kW)

New Single-Phase Induction Motor(0.1～0.2kW)



当社は、民生用減速機市場向けに、アルタックス[®]、ハイポニック減速機[®]用単相電動機「FSシリーズ」0.1～0.75kWを1993年に販売を開始した。本単相電動機は、高頻度、高トルク運転が可能な優れた特性を有しており、シュレツダ、農業用機械及び立体駐車場などの用途で使用されている。

この度、多様化する市場要求に対応するため、従来のコンデンサ始動コンデンサラン型単相電動機に加え、0.1～0.2kWコンデンサラン型単相電動機を2001年7月に開発を完了した。

本製品は、コンベア駆動用や洗浄機など高トルク特性を必要としない一般用途の単相電動機で、始動方式を変更したことにより、当社従来品と比較してコンパクトになっている。また、鉄心形状を改善することで低騒音化を実現している。

主要仕様

容量	0.1kW 0.2kW 4極
外被構造	全閉外扇形
電源	100V 50 / 60Hz 200V 50 / 60HZ
絶縁	B種
時間定格	連続定格
始動方式	コンデンサラン
始動トルク	100%
最大トルク	170%
その他	ブレーキ付き標準対応

特長

- (1) コンデンサラン方式の採用により、ガバナスイッチ、始動用コンデンサが不要となり、電動機本体のコンパクト化を可能にしている。
- (2) 回転子鉄心の形状改善及び巻線設計の最適化により、約5dBの騒音低減を実現している。(当社従来品比較)

新製品紹介

油圧ショベル SH75X-3/SH125X-3/SH135X-3

Hydraulic Excavator SH75X-3/SH125X-3/SH135X-3



本開発は、標準バケット容量0.28m³、0.45m³クラスの後方超小旋回型油圧ショベル及び超小旋回型油圧ショベルをフルモデルチェンジし、SH75X、SH75XU、SH125X、SH125XUとした。また、標準バケット容量0.5m³クラスの後方超小旋回型油圧ショベルを新たに設定し、SH135Xとしたものである。

新型スピンエースは、「AAA BALANCE（トリプルバランス）」をキャッチコピーに「安定」、「安全」及び「安心」の向上とそれをバランス良く配置したユーザーニーズに適合した機械である。

特に後方超小旋回型油圧ショベル（SH75X、SH125X、SH135X）は、今までコンパクト故に犠牲となっていた安定性の悪さを改善し、小廻り性を維持しつつ抜群の作業安定性を実現している。また、超小旋回型油圧ショベル（SH75XU、SH125XU）は、管理設等の作業を更にしやすくするために微操作性が一段と向上している。

特長

- (1) 大型旋回輪の採用とブーム上下操作性の改良により、機械の揺れを低減し、カウンタウエイトの増量や重心位置の見直し、フロントアタッチメントの材質アップと軽量化などにより、小旋回タイプでありながら抜群の安定性を実現している。また、掘削力、旋回力及び走行駆動力を従来機比アップしている。
- (2) 排出ガス2次規制対応型エンジンを搭載し、トータルバランス設計により低燃費及び低騒音を実現し、更にハウスカバーは全てメタルを採用して、補修性及びリサイクル性を向上させ、経済性と環境に配慮している。
- (3) 標準機と同等のスペースを確保した大型キャブを搭載し、広い足元スペースや作業姿勢に合わせたコンソール一体スライド機構など快適な作業空間を実現して、エアコンも標準装備している。（SH75XUを除く）また、作動油透析システム「クリーンネフロン」を標準装備し、作動油10000時間無交換、フロントアタッチメントには、EMS（Easy Maintenance System）を標準装備し、1000時間無給脂としている。

主要仕様

	SH75X	SH75XU	SH125X	SH125XU	SH135X
タイプ	後方超小旋回	超小旋回・側溝掘り	後方超小旋回	超小旋回・側溝掘り	後方超小旋回
標準バケット容量（m ³ ）	0.28	0.28	0.45	0.45	0.5
運転質量（kg）	7090	7800	12400	13400	13000
定格出力（kW / min ⁻¹ ）	41.9 / 2000	41.9 / 2000	64 / 2100	64 / 2100	64 / 2100
最大掘削半径（mm）	6520	6490	8205	7525	8205
最大掘削深さ（mm）	4140	4200	5470	4890	5470

（住友建機製造株式会社 富士敦夫）

新製品紹介

油圧ショベル SH300-3/SH400-3

Hydraulic Excavator SH300-3/SH400-3



建設工事現場では、大型機械の導入によるコスト削減・工期短縮とともに、環境保全及び安全への対応が強く求められており、30t以上のクラスの大型ショベルにも大作業量の確保・耐久性の向上に加え、燃費、排ガス及び騒音の低減など環境への対応と安全機能向上への要望がますます強くなっている。

この度発売した大型NEOシリーズでは、大型クラスとしてより求められる頑強さ（耐久性、信頼性）を向上させた。また、中形クラスで好評のオペレータキャブにより、優れた居住性を実現し、同じく好評のNEOシステムの搭載により、パワー・スピードのアップと抜群の操作性、低燃費、低騒音及び排出ガスの低減を図り、環境にも配慮した機械となっている。

主要仕様

	SH300-3	SH400-3
標準バケット容量 (m ³)	山積み 1.40	1.80
	平積み 1.04	1.40
運転質量 (kg)	33000 (33600)	43600
定格出力 (kW / min ⁻¹)	184 / 2000	235.4 / 1950
最大掘削半径 (mm)	11170	12000
最大掘削深さ (mm)	7340	7720

特長

- (1) バケット・アーム・ブームの形状及び材質の見直し、ローフレーム及びトラックガード形状の見直し等により、更なる強化を施し耐久性を向上させている。また、油圧シリンダのサイズアップ、エンジン出力アップで、よりパワフルな作業を実現している。（掘削力 従来機比10～20%アップ）更に、走行駆動力をアップし、悪路での機動性を高め、より力強い走行を可能としている。

- (2) エンジンを電子制御する機構と油圧ポンプを含む周辺機器及びそれらをコントロールするコンピュータによって構成されるNEOシステムの搭載により、油圧ショベルの運転状況を常時監視して、各制御を最適なポジションに自動で設定することができ、「自動モード」、「自動掘削力アップ」及び「オートアイドル」が可能となり、より一層のスピーディーでスムーズな作業と、燃費の低減を実現している。（燃費 従来機比20%向上 - 自動モード時）また、国土交通省排出ガス2次規制案適合のクリーンエンジンの搭載及び大口径クーリングファンの採用により、騒音と排出ガスの低減を行い環境への対応を図っている。
- (3) 広く大きくなった新型キャブ、日本語表示の大型フルドット液晶モニタの採用、更にオートエアコンの標準装備でより一層快適な居住空間を実現している。また、キャブ内騒音とキャブ振動の低減、オペレータシートの改良及び操作レバー操作力の低減により、オペレータへの疲労軽減を実現している。
- (4) 排出ガス・騒音低減に加え、作動油交換時間を10000時間にしたクリーンネフロン（特許取得済）とロングライフ作動油の採用及び1000時間無給脂のフロントアタッチメントEMSの搭載などで、環境にやさしい機械としている。

（住友建機製造株式会社 高橋秀樹）

新製品紹介

油圧ショベル SH800LHD-3

Hydraulic Excavator SH800LHD-3



Neo-Power PAXシリーズに80t油圧ショベルを加え大型機種ラインアップを充実させるとともに、人と環境に優しい油圧ショベルとして、排出ガス2次規制対応エンジンを採用、低騒音でも厳しい欧州2次規制に対応している。国内外の砕石/マイニング、海洋土木、大規模工事でのニーズに対応できる大型油圧ショベルである。

主要仕様

標準バケット容量 3.3m³
 運転質量 78400kg
 定格出力 331kW / 1800min⁻¹
 最大掘削半径 14120mm
 最大掘削深さ 8690mm

特長

- (1) 排出ガス2次規制対応エンジンを搭載、また更なる排出物削減をにらみ、インタクーラを採用、電子制御エンジンとしている。
- (2) 大型ラジエータ採用によりエンジンファン回転数を抑え、油圧脈動防振機構採用により欧州の動的騒音2次規制をクリアしている。
- (3) アタッチメントとボールレースの給脂間隔の延長、ネフロンフィルタと長寿命作動油により、作動油交換時間を延長している。
- (4) 大型ハンドレールでメンテナンスの安全を確保し、軽量グリスガンで給脂作業容易化、アンダーカバーに特殊ボルトを採用しボルト緩みを防止している。
- (5) 自動モードにより最適な作業モードを自動選択、アタッチメント自重降下時のエネルギー再生により低燃費を実現している。
- (6) アーム掘削力アップとスムーズな操作性作込み、ワイドなキャブ及びロングクローラ標準による抜群の安定性

により、長時間運転しても疲れない居住性能となっている。

- (7) オプションとして、大土量仕様では4.1m³バケット（標準は3.3m³）、ショートブーム&ショートアームの構成により、掘削力アップと大作業量の実現が可能である。
- (8) 輸送ユニットは、最大24tまで分割可能である。輸送規制上可能であれば、ローサイドフレームをリトラクトし輸送幅を抑え、アタッチメントを除くアッパー本体とローフレーム一体での輸送が可能である。

新製品紹介

クローラクレーン SC2000-3

Crawler Crane SC2000-3



油圧クローラクレーンのニューラインアップとして、最大吊上げ能力200tのSC2000-3を2001年4月より販売を開始した。

本機は、中型クローラクレーンの、SC1200に続くシリーズモデルとして、ユーザーニーズの多様化と作業環境の変化に対応べく、4つの開発コンセプトをもとに開発したものである。そのコンセプトを、以下に示す。

- (1) コンパクトで輸送性に優れ、特に組立・分解で効率的作業ができるクレーンであること。
- (2) クラストップの性能及び高能力ウインチの搭載など多様な作業対応ができるクレーンであること。
- (3) 安全機能を充実したクレーンであること。
- (4) 低騒音及び排出ガス2次規制に対応した、環境に優しいクレーンであること。

主要仕様

	クレーン	タワー
最大吊上げ能力	200t × 5.0m	25t × 14.0m
基本ブーム長さ	15.25m	-
最長ブーム長さ	88.40m	-
ブーム + 補助ジブ最長	73.20m + 30.50m	-
タワー + タワージブ最長	-	60.95m + 51.80m
フロントドラム巻上げ・下げ ロープ速度	120 ~ 2m / min	120 ~ 2m / min
リアドラム巻上げ・下げ ロープ速度		51 ~ 2m / min
エンジン型式	三菱 6D24-TL ディーゼルエンジン	
定格出力	235kW / 2000min ⁻¹	

特長

- (1) 最大ドラムロープ速度120m / minを達成し、大幅な作業時間の短縮を実現するとともに、減速機をドラムに内蔵した大容量ワイドドラムの採用により、ワイヤロープの寿命を向上させている。
- (2) ガイダンス機能を持つ、文字表示機能付き新型過負荷防止装置により、設定作業の容易化を図り、設定作業ミスから起こる事故を防止するとともに、15種類の音声による各作業における事故防止の警報機能を持っている。
- (3) 従来のフロアレバー操作方式からア・ムチェアレバー操作方式への変更により、オペレータのレバー操作時の負担を大幅に軽減させている。
- (4) 足まわりの組立てにシリンダジョイント方式を採用することにより、シューフレームを引っ掛けた後シリンダ操作だけで固定できるようになり、組立て作業時間を大幅に短縮させている。
- (5) 公道輸送及び作業現場内等の各種の輸送形態に合わせた輸送スタイルを実現することができるコンパクトなボディ及びオペレータキャブのスイング格納により、幅3190mm、クラス最小の輸送幅を実現している。
- (6) エンジンの排出ガス2次規制と低騒音型建設機械の基準をクリアし、環境問題に充分配慮した機械になっている。

先に発売されたSC1200とともに、これからのクローラクレーンの新基準となるクレーンといえる。

(住友重機械建機クレーン株式会社 神谷 実)

新製品紹介

自走式ロールクラッシャー SS180RG

Roll Crusher SS180RG



建設解体廃棄物の増大と規制強化に対応するため、現場内処理及び再利用を図ることを目的とした自走式ガラ破砕機を開発した。

低騒音、低振動及び低粉塵で環境に充分配慮した、都市型工事向けの装置となっている。

主要仕様

運転質量	18000kg
破砕方式	2段4軸ロール式
処理能力	30t/h～70t/h
投入最大ガウ法	600mm×400mm×300mm
エンジン	いすゞBB-6BGIT
定格出力	103kW/min ⁻¹
走行速度	3.8km/h
登坂能力	36% (20°)
輸送寸法	4070mm(L)×2700mm(W)×3150mm(H)

特長

- (1) 作業性
 - a. 2段4軸低回転ロールの採用と独自のビット形状により、ガラ及びアスファルトの付着が無い。
 - b. ロール両端の油圧モータ直結により、破砕力が大きい。
 - c. 低回転ロール方式により、低騒音、低振動及び低粉塵を実現している。
 - d. コンベヤ上の永久磁石式磁選機により、ガラに混入している鉄筋を連続除去できる。
 - e. 制御盤の連動スイッチをONにするという簡単な操作で、連続自動運転が可能である。
- (2) 安全性
 - a. 機械両側に非常停止スイッチを設置している。
 - b. 破砕不能な異物混入の際、圧力センサで過負荷を感知し、自動反転で破砕装置を保護して、パトライトでオ

ペレータに通知する。

- c. 制御盤の切換えスイッチにより、作業時に走行レバーに触れても走行はしない。

(3) 環境性

- a. 排出ガス2次規制対応エンジンを搭載している。
- b. クリーンネフロン（作動油透析装置）の搭載により、作動油の交換間隔を大幅に延長している。

新製品紹介

新型電気式フォークリフト FB09-30PE

New Electric Powered Fork Lift Truck FB09-30PE



国内フォークリフト市場は環境意識の高まりを反映し、急激に電気式車輛（以下電気車）への移行が進んでいる。しかしながら、従来の電気車は、排ガスが出ない、騒音が小さいという特長がある反面、エンジン車に比べ性能が低い、稼働時間が短い、充電に時間が掛かるとの短所があり、環境対策として、短所がネックとなり、電気車化に踏み切れないユーザーも少なくなかった。

本機は、こうした状況を踏まえ、「1日フル稼働できる、エンジン車並みのパワーと性能を持った電気車」というコンセプトで開発された新型電気車である。

主要仕様

	新型	従来型	エンジン車
代表機種	FB15PE	FB15PX	FG15P7
最大荷重	1500kg	1500kg	1500kg
走行速度(無負荷)	18km/h	15km/h	18.5km/h
上昇速度(負荷)	450mm/s	340mm/s	515mm/s
ホイールベース	1380mm	1250mm	1340mm

特長

- (1) ACモーターコントロールの採用により、エンジン車に匹敵するパワーと高性能を実現している。他社の電気車と比較しても、特に瞬発力、負荷時荷役速度、負荷時走行速度において優位である。
- (2) 車体の最下部までバッテリーを落とし込むDBBコンセプトと呼ばれるバッテリー配置及び偏平タイヤの採用により、低重心設計を実現した。その他、後車軸の揺動を最適に保つラバーストップの採用及びホイールベース延長などにより、従来比で飛躍的に走行安定性を向上させている。
- (3) 住重制御システム株式会社と共同開発した新型充電器

は、定電流定電圧方式の採用により、フォークリフトの鉛蓄電池用としては他に例を見ない急速充電（最大1時間でバッテリー容量の約4割を充電）を可能にしている。更に、安定充電によりバッテリー寿命の延長という画期的な特長がある。

- 急速充電は、昼休み1時間の補充で午前中に消費した電力の約80～90%を充電することができ、高密度作業モードでの長時間稼働を可能にしている。従来車はバッテリーを使いきると充電するのに8～10時間もかかり、急な作業量変動等により稼働時間を延長したい時、スペアバッテリーが必要であった。新型充電器は、充電時間に比例して従来比大きな電力を充電できるので、僅かな充電時間で1～2時間の稼働延長にも対応可能である。
- (4) 今回採用の運転席レイアウトは、a. ハンドルをシートに対し左へオフセットし、小径ハンドルを採用、b. 荷役レバーをシート横、運転者の膝横辺りに配置することにより、オペレータの疲労を軽減することを実現している。測定結果では、当社従来比 a. に関して30%、b. に関して20%もの疲労軽減効果を得た。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 西濱巳基男)

住友重機械技報第146号発行に当たり

住友重機械技報第146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、更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、お願い致します。

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でお知らせ頂きたいよう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。

2001年8月

〒141-8686 東京都品川区北品川5丁目9番11号

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

<p>(宛先)</p> <p>住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 (0468) 69 - 2355</p>	<p>(発信元)</p> <p>貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.</p>
---	---

住友重機械技報第146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	
	住 所 _____	
	〒 _____	必要部数 _____ 部

本号の読後感について	<p>1 . 本号で、一番関心を持たれた記事は、</p> <p style="padding-left: 40px;">論文・報告、技術解説の中では、</p> <p style="padding-left: 40px;">新製品紹介の中では、</p>
	<p>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。)</p> <p style="padding-left: 40px;">1 興味深かった 2 特に興味なし</p>
	<p>その理由をお聞かせ下さい。</p>

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変速機、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、コンパワースタック減速機、[平行軸]パラマックス減速機、ヘリカルバディボックス、[直交軸]パラマックス減速機、ハイポニック減速機、ペベルバディボックス、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、コンパワースタック、バディボックス、ハイポニック減速機、ライタックス、HEDCON、バイエル及びバイエル・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：射出機、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 ●シート成形機：真空真空成形機、真空成形機、パンチャ、その他周辺機器

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

●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 ●マイタロマシ ●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及び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、運動層ガス化炉融炉、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 ●L線処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器、医療機器、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、有機化合物合成装置、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及びNanoplaneは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流システム

●自動車庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FAシステム ●無人搬送システム

金属加工機械

●鋳鉄・非鉄機械：コアス炉溶射装置、焼結設備、連続製造設備、QSP(中厚スラブ連続鋳造設備)、圧延機及び付着設備、鋼管製造設備、鋼板精整設備、矯正機、剪断設備、アルミ鋳造機、アノード鋳造機 ●鍛圧機械：フォーミングプレス、油圧プレス、フォーミングロール、超高压発生装置 ●SPS(放電プラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ、落降有役クレーン(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、懸吊クレーン、自動クレーン、ヤード機器(スタッカ、リクレーマ、スタッカ/リクレーマ)、シャッローダ、ベルトコンベア及びコンベアシステム

船舶海洋

●船舶：油槽船、積積運搬船、乾石運搬船、乾油兼用船、コンテナ船、自動車運搬船、LPG船、カーフェリー、ラッシュ船、作業船、大型洋式帆船、船艇、遊覧船、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 ●水門：各種ゲート ●海洋・港湾構造物：沈埋面、ケーソン ●シールド掘削機 ●生活関連設備：機械式駐車場、動く歩道 ●空港関連設備

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：循環運動層ボイラ ●圧力容器：リアクタ、塔、槽、熱交換器 ●攪拌混合システム：マックスフレンド攪拌槽、スーパーフレンド(同心2軸型攪拌槽)、パイボラック(複式2軸反応装置) マックスフレンド及びパイボラックは、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

製紙機械

抄紙機、ワインダ、各種製紙関連設備

建設機械、産業車輛

油圧式ショベル、移動式環境保全及びリサイクル機械、クローラクレーン、トラッククレーン、ホイールクレーン、杭打機、道路舗装機械、フォークリフト

その他

航空用機器、精密鋳造品、防衛装備品(各種機関銃、機関砲及びシステム)

事業所

本社	〒141-8086	東京都品川区北品川5丁目9番11号(住友重機械ビル)
関西支社	〒541-0041	大阪市中央区北浜4丁目5番33号(住友ビル)
北海道支社	〒060-0042	札幌市中央区大通り西7丁目1番地(千代田生命ビル)
東北支社	〒980-0811	仙台市青葉区一番町4丁目7番17号(小田急仙台ビル)
中部支社	〒461-0005	名古屋市中区東栄1丁目10番24号(栄大野ビル)
中国支社	〒730-0016	広島市中区輪町13-4(広島マツダビル)
四国支社	〒760-0023	高松市寿町2丁目3番11号(高松丸田ビル)
九州支社	〒810-0041	福岡市中央区大名2丁目8番22号(天神管成ビル)
田舎製造所	〒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	千葉県稲毛区長沼原町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
群馬製造工場	〒239-0822	神奈川県横須賀市須賀町4丁目7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	〒713-8588	岡山県倉敷市玉高乙島新津8290番地

新潟製造所	〒992-8588	愛媛県新居浜市地開町5番2号
東千葉製造所	〒799-1393	愛媛県東予市今在家1501番地
平塚事業所	〒254-0800	神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号
技術開発センター	〒237-8555	神奈川県横須賀市夏島町19番地
技術開発センター	〒292-8588	愛媛県新居浜市地開町5番2号(新居浜)
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(田無)
海外事務所	London, New York, Singapore	

本号に関するお問い合わせは、技術本部技術編集事務局(電話番号以下記)宛お問い合わせします。

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

技報編集委員

委員	渡辺 遼	菅 正	三 善	委員	幸 松	崎 敏	瑞 彦
	岡田 隆	野 正	寺 幸		小 柴	島 崎	志 雄
	青野 正	田 正	徹 幸		関 隆	口 良	昭 昭
	平野 正	倉 一	香 志		齊 白	藤 久	華 隆
	高 倉	星 一	志 志		久 保		隆 隆
	浅 野	原 一	人 彦	事務局	技術本部		
	野 神	沢 一	彦 彦		アシスト	SNBC	
	大 井	井 一	彦 彦				

住友重機械技報

第146号 未発表

平成13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
〒141-8086 東京都品川区北品川5丁目9番11号
(住友重機械ビル)

お問い合わせ電話 横須賀(0468)89-2300
発行人 高橋直樹

※本文中のソフトウェア等の商標表示は、省略しております。

無断転載・複製を禁ず