NKK技報

NKK TECHNICAL REPORT

PB99-153231

環境特集

No.159

1997年9月

REPRODUCED BY: NTIS
U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161

NKK

ISSN 0915-0536

目　　次
〔環境特集〕

巻頭言

環境特集号に思う　－行政と技術の転換期にあたって－ ……平山　直道

論　文

ストーカ炉におけるダイオキシン等低減化技術 ……1
長田　容，藤井　聡，鈴木　実，青木　丈彦，横山　隆

流動床炉におけるダイオキシン等低減化技術 ……6
岩崎　敏彦，能登　隆，松井　聰，横山　隆，鈴木　康夫

ＮＫＫのダイオキシン類除去技術 ……11
長田　容，浜口　敬三，鮎川　将，横山　隆

流動床ごみ焼却炉の燃焼制御システム ……16
田鍋　実，秋山　肇

ごみ焼却炉ハイブリッド燃焼制御システム ……21
藤井　聡，黒田　学，野上　祐一，阿瀬　始，澁谷　榮一，横山　隆

ごみ焼却残渣の電気抵抗式灰溶融プロセス ……26
藤澤　能成，中原　啓介，仲尾　強，寺辻　和広，明石　哲夫，平岡　英伸

分別ごみ資源化システム前処理選別技術 ……31
有本　誠，秋保　慶志，宅和　稔朗，押田　栄二，吉永　陽一，浅野　幹之

一般廃棄物ＲＤＦシステム前処理選別技術 ……35
横山　隆，阿部　盛一，藤沢　能成，押田　栄二，吉永　陽一，浅野　幹之

ＮＫＫごみ固形燃料(RDF) 化システム ……39
横山　隆，上原　初男，阿部　盛一，奥山　契一，浅野　幹之

ごみ空気輸送システム ……43
野北　英次，弘津　和彦，井上　冬樹

都市ごみ焼却発電に係わる国の施策と動向 ……48
石関　幸二，土田　徹，塚腰　雅友

東京都江戸川清掃工場建設工事を終えて ……54
北原　重雄

固定化微生物利用技術 ……59
局　俊明，馬場　圭，澤田　豊志，山田　英樹，武智　辰夫，厚浦　裕

次世代上水処理技術（膜ろ過技術） ……65
武智　辰夫，峯岸寅太郎，深田　尚平，池田　正之，蔭山　佳秀

算盤形消化槽攪拌機の振動特性 ……70
遠藤　淳，上村　健二，青柳　健司，亀崎　俊一

商品・技術紹介

廃棄物高温ガス化直接溶融炉 ……75
ハイパー火格子採用最新鋭ごみ焼却施設　一宮市ごみ焼却施設建設工事 ……78
最新の公害防止と自動化のごみ焼却施設　東京都江戸川清掃工場 ……80
トヨタ自動車㈱殿向け複合産業廃棄物処理施設 ……82
灰溶融スラグの有効利用 ……84
分別ごみの資源化システム ……86
ＮＫＫ環境Ｒ＆Ｄセンター ……89
ごみ焼却プラント配管設計への三次元ＣＡＤの適用 ……91
国内向け全連続式ごみ焼却プラント ISO9001認証取得 ……93
環境プラント技術部門業務システム（EOA System） ……95
水中プロペラＯＤシステム ……96

CONTENTS
[Special Issue "Environment"]

Foreword ..... N. Hirayama

Articles

Control of Dioxins Emission from Stoker type Incinerator 1
Y. Osada, S. Fujii, M. Suzuki, T. Aoki and T. Yokoyama

Influence of Calcium Compound Fed to Furnace on Emissions from Fluidized Bed Incinerator 6
T. Iwasaki, T. Noto, S. Matsui, T. Yokoyama and Y. Suzuki

NKK's Dioxin Removal Techniques 11
Y. Osada, K. Hamaguchi, S. Ayukawa and T. Yokoyama

Automatic Combustion Control System for Fluidized Bed Incinerator 16
M. Tanabe and H. Akiyama

Hybrid Combustion Control System for Refuse Incineration Plant 21
S. Fujii, M. Kuroda, Y. Nogami, H. Ase, E. Shibuya and T. Yokoyama

NKK Electric-resistance Furnace for Residues from Municipal Solid Waste Incineration Plants 26
Y. Fujisawa, K. Nakahara, T. Nakao, K. Teratsuji, T. Akashi and H. Hiraoka

Presorting Technologies for the Waste Recycle System 31
M. Arimoto, K. Akiu, T. Takuwa, E. Oshida, Y. Yoshinaga and M. Asano

Presorting Technologies for the NKK's RDF System 35
T. Yokoyama, S. Abe, Y. Fujisawa, E. Oshida, Y. Yoshinaga and M. Asano

NKK RDF (Refuse Derived Fuel) Production System 39
T. Yokoyama, H. Uehara, S. Abe, K. Okuyama and M. Asano

Pneumatic Refuse Transportation System 43
H. Nogita, K. Hirotsu and F. Inoue

National Government Policy and Trend of Municipal Waste to Energy Plant 48
K. Ishizeki, T. Tsuchida and M. Tsukakoshi

Impressions of Tokyo Metropolitan Edogawa Incineration Plant Construction 54
S. Kitahara

Advanced Biological Water Treatment Using Immobilization Technology 59
T. Tsubone, K.Baba, T. Sawada, H. Yamada, T. Takechi and H. Atsuura

Drinking Water Treatment using Micro-Filtration Membrane 65
T. Takechi, T. Minegishi, S. Fukada, M. Ikeda and Y. Kageyama

Vibration Characteristics of Mixer for Conventional Digestion Tank 70
J. Endo, K. Uemura, K. Aoyagi and S. Kamezaki

New Achievements

High Temperature Gasification & Direct Melting Process of Solid Waste 75

An Advanced Incineration Plant with Hyper Grate 78

Municipal Incineration Plant of Ichinomiya City Aichi Pref.
Refuse Incineration Plant with Advanced Pollution Control Technology and Full Automatic Operation 80

Tokyo Edogawa Incineration Plant
Complex Industrial Waste Treatment Facility for TOYOTA Motors Corp. 82

Valuable Use of Ash Melting Slags 84

Recycle System for the Waste 86

NKK Environment R&D Center 89

Application of 3D-CAD for Piping Design of Refuse Incineration Plant 91

Acquisition of Certificate for Continuous Operating Refuse Incineration Plant of Japan 93

Engineering Office Automation System in Environmental Plant Planning and Design Dept. 95

Oxidation Ditch System with Submerged Propeller 96

巻　頭　言

環境特集号に思う
－行政と技術の転換期にあたって－

東京都立大学
名誉教授　平　山　直　道

製鉄，造船，プラント，機械など広い産業分野において一流の実績をもつ日本鋼管が，長年にわたり世界的規模で発展させてきた環境部門を主題にして，本誌において特集号を企画されることは喜びに耐えません。

企業の内部で最近環境部門が従来以上に重視されるようになった理由の第一はもちろん，環境部門が社内の他の部門と比較して成長が速く，新規制に富み安定性，永続性がみられることにある。

理由の第二は，環境部門が日本の生活環境，自然環境を守るため，あるいは日本の産業の持続可能な成長のために，必要欠くべからざる部門となったことである。

さらに第三の理由は，今後21世紀に向かって産業廃棄物を含めた日本の環境政策の上で，および環境ビジネスの形態の上で，大きい変革が期待され，したがって，そのため現在環境技術の上でも大きい変化の岐路にさしかかっていることにある。

上述の第一，第二の諸点は重要であるが，従来から認識されていたことであるから特にここでは触れない。ここでは第三の点，すなわち日本が環境政策上，あるいは環境ビジネスの形態の上での変革の時期にさしかかっている点を考えてみたい。

廃棄物政策に関連して，まず述べておかなければならないことは世界各国において大きい転換が行われつつあることである。廃棄物への対応としては環境影響の最小化，施設の充実に重点が置かれた時代から，減量リサイクル，物質とエネルギーの有効利用の時代に入り，さらには消費物資の製造段階にまでさかのぼって廃棄物の質と量を制御し，資源を循環させようとする時代に入りつつある。ドイツに端を発する容器包装リサイクル法は容器包装に用いられた材料について関連事業者にリサイクルを行わせ，製造段階からこれが使用された後，廃棄物になったときの環境影響を考慮して材質の検討を行わせ，またできるだけ資源の環境と廃棄物の減量再利用を促進させるための経済的効果をねらいとするものである。

日本においては紙，缶，びん，ペットボトルについて本年（1997年）４月に適用が開始されたが，従来からあるていど自治体で独自に実施していたものが多いので影響はそれほどでなかった。しかし2000年からは過去自治体があまり取り組んでいないプラスチック容器の回収が始まる。ドイツではプラスチックを含めて一気に適用して４

年を経過したが，主としてプラスチックの再利用には問題が多く，総費用も数千億円に達する莫大な経費をかけている。日本でこの仕事を一手に引き受けている指定法人日本容器包装リサイクル協会（筆者も理事に連ねているが）にとっても今後に大問題を控えているわけである。

最近ドイツではプラスチック系容器包装廃棄物の物質回収問題解決の一つの手段として溶鉱炉において還元剤として使う技術が台頭し，現実的な方法として脚光を浴びている。日本鋼管もかなり以前から国の援助を得てこの方法を独自に研究し（筆者も依頼によりこの開発グループを主催している），併せて日本特有の塩化ビニールをかなり含んだプラスチックについても関連協会とともに塩素分の除去を兼ね備えた前処理工程も開発していることは心強い。この技術によって改質を兼ねた前処理を組み込んだ収集システムが完成されれば一般廃棄物，産業廃棄物を問わずプラスチック系の廃棄物への応用が大きく期待される。

日本にとってもう一つ重要なことは環境ビジネスの形態である。廃棄物処理処分の民営化はアメリカで始まったが，最近欧州で建設される焼却炉は大部分民営となり，自治体が完全な責任をもつ第三セクター方式を堅持してきたドイツにおいても新技術応用の設備などは民営方式が多い。自治体で建設運営しているのは日本だけとなってしまった。日本でも運転の民間委託は盛んであるが，民営まで進まないのには多くの問題を抱えているからであろう。自治体のみを対象としてきた国庫の補助制度および低金利の起債の制度，国と自治体の税制上のバランスの問題，さらには一般廃物の税金による処理，労働組合の処遇問題など，日本独特の条件が多すぎる。過去においては環境設備の急速な充実に寄与した制度と思うが，現在では思い切った改善の足枷になっているかもしれない。日本の都市も諸外国と同様で，処理処分設備が高度化してくるのに自治体の財政は危機的状況になっている。そろそろ日本でも国と自治体が協力して上述の基本的な問題を解決し制度改善に結論を出すべきときが来ていると信ずる。

ただし，設備や運転は民営で能率化されても，自治体が市民に対して責任を果たすことにおいては変わりない。民営の不安要素がないように，市民が安心して任せられる条件を自治体は模索しなければならない。同時に高度な契約会社の時代であるから，過去にありがちであったことを付言すれば，民間に対しても安定操業できる環境を保証することを忘れては信頼できる民営化は実現しない。

もし自治体との関連で大企業が廃棄物関連ビジネスに乗り出す環境ができれば，産業廃棄物についても弾みがつき，弱小といわれた従来からの業界を内部に取り込んで高度化された新しい処理業界が出現することが大いに期待されるのである。

今後のこのような新分野に日本鋼管が引き続き指導的立場を維持されるよう期待して筆を置く。

ストーカ炉におけるダイオキシン等低減化技術

Control of Dioxins Emission from Stoker type Incinerator

長田　容　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員　工博
藤井　聡　基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム　主任研究員
鈴木　実　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員　工博
青木　丈彦　環境プラント設計部　プラント設計室
横山　隆　環境プラント設計部　開発室　室長

Yo Osada, Satoshi Fujii,
Minoru Suzuki, Takehiko Aoki
and Takashi Yokoyama

当社ストーカ炉の特徴である二回流式ごみ焼却炉は，構造上，炉内燃焼ガスの混合性にすぐれ，低NO_x化と完全燃焼化が容易に達成される。これに高度自動燃焼制御システムを組み込むことで，集じん機前でダイオキシン類濃度を1ng-TEQ／Nm^3 以下に低減することも可能になる。本論では燃焼の高温安定性の観点から，CO濃度，二次燃焼室の温度，炉内冷却用水噴霧条件などとダイオキシン類排出濃度との関連を実炉にて検証した結果について述べる。

NKK's Two-Way Flue Gas Combustion System for a stoker type MSW incinerator can easily create low NO_x and complete combustion on account of structurally high performance of combustion gas mixing. Moreover, with the help of an automatic combustion control system (NKK hybrid ACC), a significant reduction of dioxins emission less than 1ng-TEQ／Nm^3 before a dust collector can be attained. From a view point of high temperature and stable combusting, experimental results on the effect of dioxins emissions on CO concentrations, temperatures at secondary combustion zone and water injecting conditions for cooling the combustion chamber have been described.

1. 緒　　言

ストーカ式焼却炉は全国で稼働中のごみ焼却炉の80%強を占める。ストーカ式焼却炉は，通気孔をもつ耐熱鋼などで炉床を構成するストーカ（火格子）が炉幅または炉長方向に前後往復運動をすることでごみを搬送しながら焼却する方式である。当社のストーカ炉は焼却炉内に中間天井を設けることによって，乾燥段からの未燃成分ガスと後燃焼段からの燃焼ガスをガス混合室（二次燃焼室）にて衝突させ混合燃焼させる二回流ガス流れ方式を特徴としている。これによって安定完全燃焼の管理とともに，自己脱硝による低NO_x化，負荷変動への対応が容易になるなどの利点が得られる。加えてファジー制御と炉内燃焼モデルに基づく制御を組み合わせたハイブリッドACC(Automatic Combustion Control）による高度な燃焼制御システムの導入によって，より徹底した安定燃焼が行える[1]。

一方，ごみの焼却にともなって排出されるダイオキシン類は，前駆物質となる微量有機化合物がガスの冷却過程で飛灰中の重金属を触媒にして生成することが明らかにされており[2]，不完全燃焼生成物を排出しない燃焼がダイオキシン類排出低減の重要な前提条件とされている。完全燃焼にはいわゆる3Tの原則，すなわち高温燃焼（Temperature），高温域での十分な滞留時間（Time），燃焼ガスと空気の良好な攪拌混合（Turbulence）がキーポイントとされ，最近改定された厚生省の「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」においても，新設全連続炉の燃焼管理条件として，燃焼温度を旧ガイドラインの 800℃以上（ 850℃以上の維持が望ましい）から 850℃以上（900℃以上の達成が望ましい）に50℃上げ，滞留時間を炉形式によらず2秒以上確保し，安定完全燃焼の指標となる一酸化炭素(CO)については4時間平均値として 30ppm以下（旧ガイドラインでは 50ppm以下）に維持しつつ新規定として100ppm を超えるCO濃度のピークを極力発生させないような運転を行うよう求めている[3]。

本論文では，当社の二回流式ストーカ炉のガス流れを汎用流体解析ソフトで解析した結果と，ダイオキシン類の排出濃度に及ぼすCO濃度の変動，炉内温度とその変動および炉内冷却用水噴霧条件との関連を150T／日の全連続式ストーカ炉にて実炉計測した結果について述べるとともに，燃焼過程でのダイオキシン類の生成抑制条件について詳説する。

2. 二回流式ストーカ炉

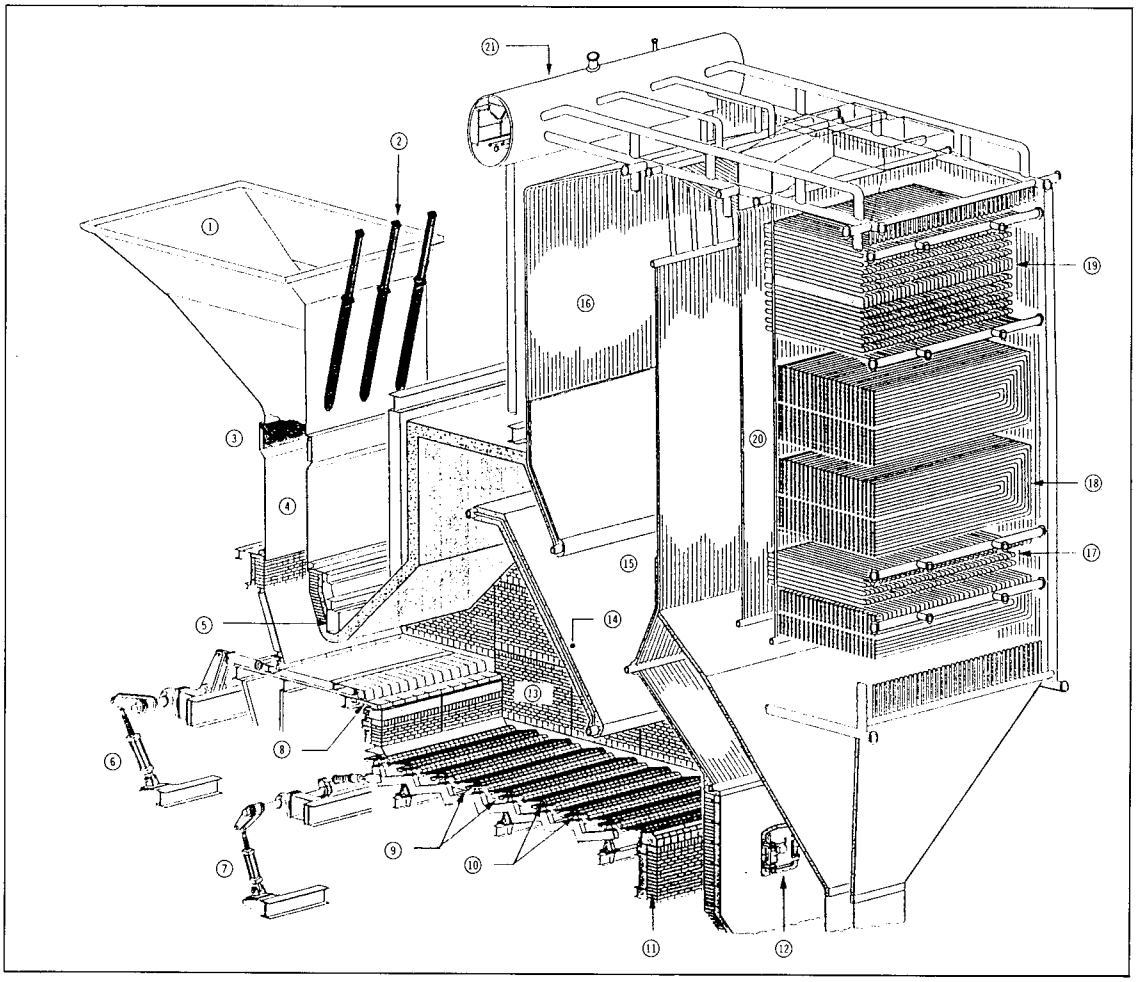
当社では独自開発した動型のNKK ハイパー火格子炉と揺動型のフェルント型火格子炉の2タイプを商品化している。**Fig. 1** にはコンパクトでありながらさまざまなごみ質に対しても安定燃焼可能なNKK ハイパー火格子炉の概念図を示した[4]。ともに燃焼室に設けた中間天井によって，乾燥段で生成する酸素をほとんど含まない未燃ガスと比較的酸素を多く含む高温の主燃焼ガスを二分し，ガス混合室

で強制的に衝突させ効果的に混合攪拌が行える構造になっている。ガス混合室では未燃ガスによって主燃焼ガス中のNO_xが還元分解されると同時に炉温制御用の空気を再燃焼用に供給することで均質な高温雰囲気と十分な再燃焼時間が得られ，850℃以上，滞留時間2秒以上とする新ガイドラインで示された完全燃焼のための条件が達成される。

これらの効果を確認するため，汎用の流体解析ソフトSTAR-CDを用いて，炉内の流れベクトルとCO濃度の分布を解析した[5]。解析は三次元で行い，炉中心部に対称境界条件を設定して実炉の半分の領域で行った。なお，ガス混合室におけるガス流れや燃焼反応を精度よく解析するため，主煙道および副煙道の入り口からボイラ第1室までの間の解析メッシュをより細かく設定してある。また，種々の境界条件は炉内の燃焼特性計測時の実測値を用いて設定した。計算で得られた炉内の速度ベクトル分布を**Fig. 2**に，またCO濃度分布を**Fig. 3**に示した。

この解析結果から，燃焼ガスは乾燥段と燃焼段上流側の領域では副煙道に，燃焼段下流側と後燃焼段では主煙道側に流入することがわかる。また，ガス混合室で衝突した二つの流れはボイラ第1室で循環流領域を形成して混合され，ボイラ第3室において対流伝熱管を模擬して設置された多孔質体によって幅方向の流速分布が均一化される。一方，CO濃度は副煙道入り口では約2.5%の値を示すが，炉冷却空気が吹き込まれる副煙道内部では低下し，ガス混合室からボイラ第1室にかけて形成される循環領域内で混合され完全に燃焼する。なお，ボイラ第2室で実炉計測したCO濃度は約2ppmであって，この領域ではもはやダイオキシン類の前駆物質となる未燃ガス成分はほとんど消失していることが確認された。

これら解析結果をもとに，最新の焼却炉ではさらに混合



① Hopper
② Bridge removing equipment
③ Hopper gate
④ Chute
⑤ Cooling-air
⑥ Hydraulic drive system for refuse feeder
⑦ Hydraulic drive system for moving grates
⑧ Refuse feeder
⑨ Fixed grate
⑩ Moving grate
⑪ Ash discharge port
⑫ Access manhole
⑬ Furnace (Combustion chamber)
⑭ Intermediate ceiling
⑮ Gas mixing chamber
⑯ Radiant heat exchange tubes
⑰ Superheater
⑱ Contact heat exchange tubes (horizontal evaporation tubes)
⑲ Economizer
⑳ Boiler bypass
㉑ Boiler drum

Fig. 1 NKK hyper grate system

が効率よく行われるように，後燃焼段からガス混合室にいたるゾーンに突起部（ノーズ）を設けたり，二回流の分配比調整や，炉冷却用空気の吹き込み位置と角度あるいは噴射速度の調整などを行うことによって炉内での徹底した完全燃焼化を図っている。

3. 燃焼管理因子とダイオキシン類濃度との関係

3. 1 CO濃度とダイオキシン類濃度との関係

CO濃度はごみの不完全燃焼の指標として採用され，厚生省の新ガイドラインでも維持すべき濃度を4時間平均で30ppm 以下としている。ところが，30ppm を下回る燃焼条件ではCO濃度の平均値だけではダイオキシン類濃度との相関が不明確になり，より徹底した燃焼管理をするためにはその変動をも考慮した運転が必要になる。これは，わずかでも燃焼が乱れると多環芳香族を含む煤のような未燃成分が発生し，ボイラ内に飛灰とともに滞留して，いわゆるメモリー効果によってその影響が後々まで及ぶためである[6]。

そこで，CO濃度の変動，すなわち燃焼の安定性を示す指標を用いてダイオキシン類の生成濃度との関係を評価した。**Fig. 4** にダイオキシン類を計測している時間帯にCO濃度が30ppm 以上排出された時間の割合とダイオキシン類濃度との関係を示した。

ダイオキシン類測定時間中に 30ppmを超えるCOのピークが1度も検出されない非常に安定した燃焼を行うとボイラ出口において1ng-TEQ／Nm³ 程度以下に抑制できるが，この頻度が多くなると1ng-TEQ／Nm³ 以下に維持することは困難になることがわかった。

3. 2 ガス混合室温度とダイオキシン類濃度との関係

ガス混合室は，乾燥段からの未燃ガスと後燃焼段からの燃焼ガスが衝突し，さらに炉冷却用空気の流入によって混合が促進され未燃ガス成分が完全燃焼するゾーンである。したがって，ここでの温度を高く保ち，かつ滞留時間を長く取ることがダイオキシン類の生成抑制につながる。

Fig. 5 にはガス混合室の平均温度とボイラ出口のダイオキシン類濃度の関係を示した。また**Fig. 6** にはガス混合室での燃焼安定性を示す指標としてダイオキシン類測定中のガス混合室温度最小値とダイオキシン類濃度との関係を示した。ガス混合室平均温度の上昇とともに顕著にダイオキシン類濃度が低下し，新ガイドラインに明記されているように 850～ 900℃に維持することが効果的であることがわかった。また，ガス混合室の最小温度とダイオキシン類濃度との関係も同様の傾向があることが確認できた。これら

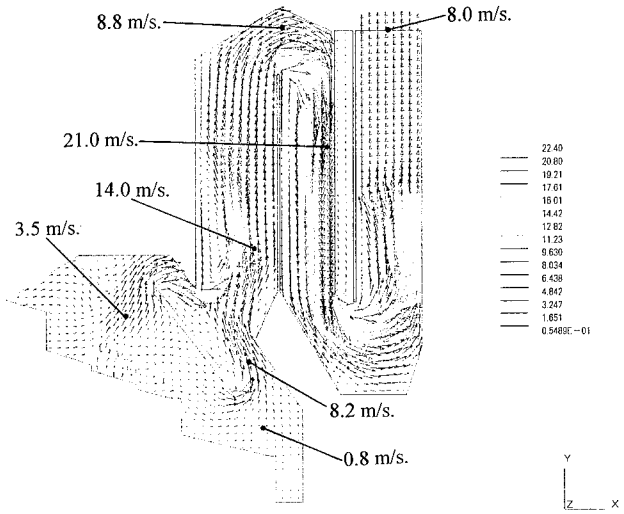


Fig. 2 Predicted velocity vector profile

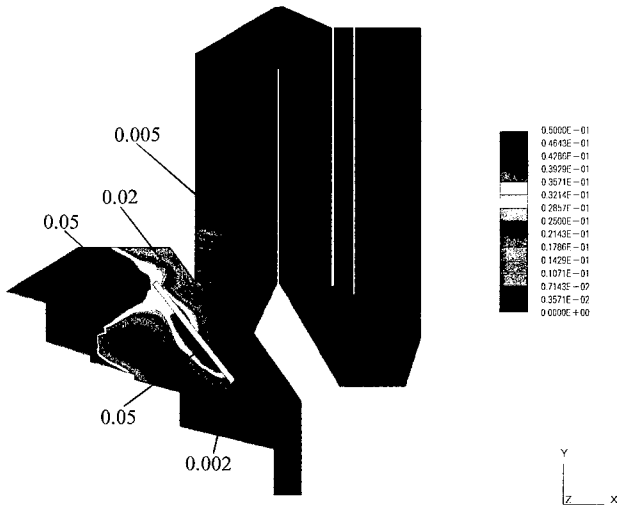


Fig. 3 Predicted CD mass fraction concentration profile

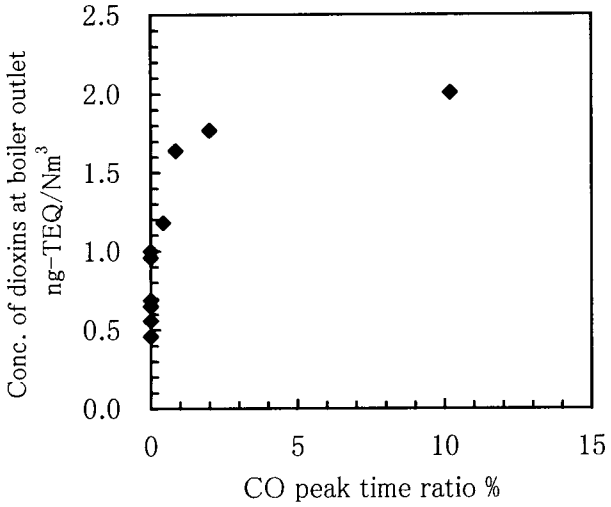


Fig. 4 CO peak time ratio of over 30ppm during dioxins sampling time vs. concentration of dioxins at boiler outlet

の結果から，ボイラ出口濃度を1ng-TEQ／Nm³ 以下に抑制するためには，ここでの温度を最低でも 850℃以上とする高温燃焼を行うことが重要であることがわかった。

3. 3　炉内水噴霧量とダイオキシン類濃度との関係

ガス混合室温度を高温に維持するとダイオキシン類の生成は抑制されるが，高温になり過ぎると炉壁への灰の溶着（クリンカーの生成）やサーマルNO_x の増加，ボイラ水管の熱腐食など悪影響を生じやすくなる。特に高カロリーのごみを焼却すると炉内温度が上がり過ぎ，これらの現象を生じやすくなることが指摘されている。その対策として，燃焼段上部から水をノズルで噴霧して炉内を冷却する操作が行われている。そこで水噴霧条件とダイオキシン類排出濃度との関係を精査した。**Fig. 7** には水噴霧量とバグフィルタ入り口におけるダイオキシン類濃度との関係，また **Fig. 8** には水噴霧量の標準偏差との関係を示した。

水噴霧量の平均値はガス混合室の温度と関係しており，明確な相関はみられなかったが，その標準偏差との関係では弱いながらも正の相関がみられた。水噴霧量の変動が大きいこと，すなわち短時間であっても過剰に噴霧されて燃焼ガスが冷却されるとダイオキシン類は生成しやすくなることを示唆している。これは，水が直接火炎に触れると燃焼が凍結されてガス冷却過程においてダイオキシン類生成の主因成分となる煤を生成しやすくするためと考えられ，炉内への水噴霧においても炉内温度に応じて可変させるような高度な制御が必要であることがわかった。

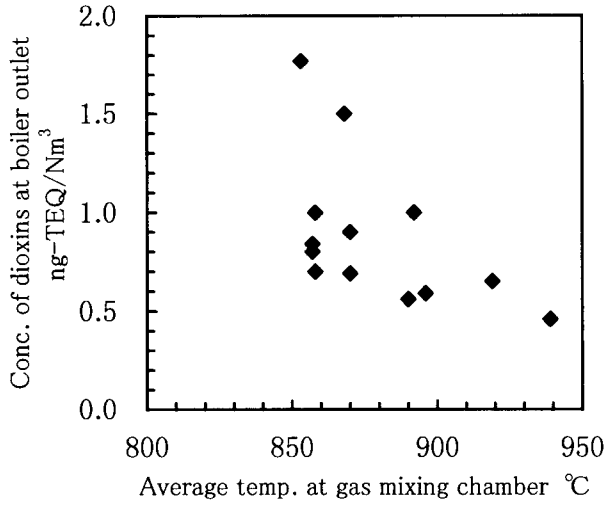


Fig. 5　Average temperature at gas mixing chamber vs. concentration of dioxins at boiler outlet

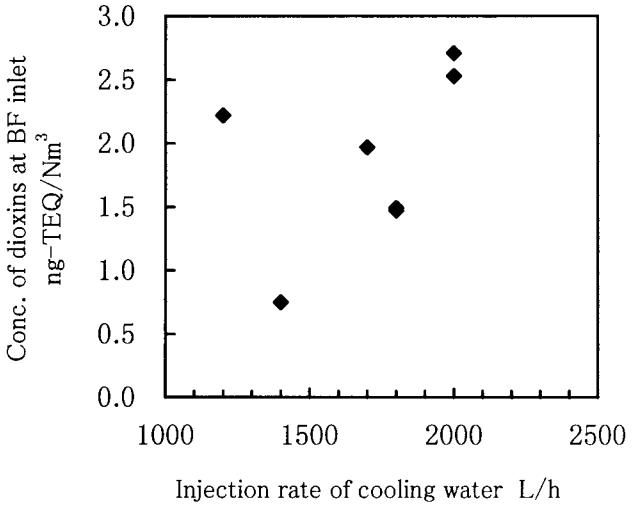


Fig. 7　Injection rate of cooling water vs. concentration of dioxins at baghouse inlet

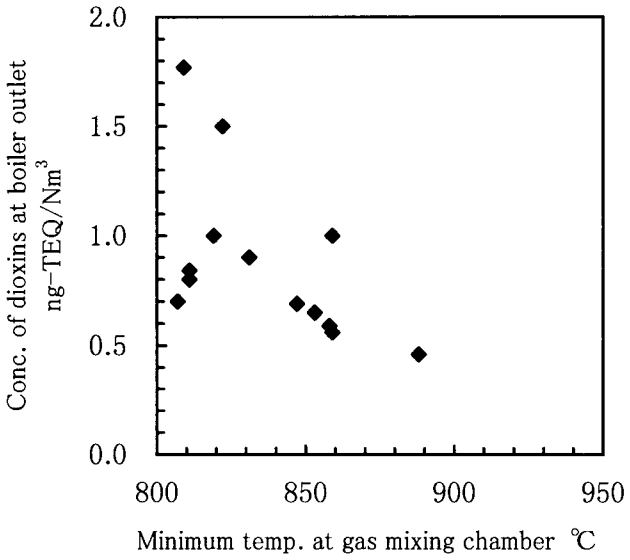


Fig. 6　Minimum temperature at gas mixing chamber vs. concentration of dioxins at boiler outlet

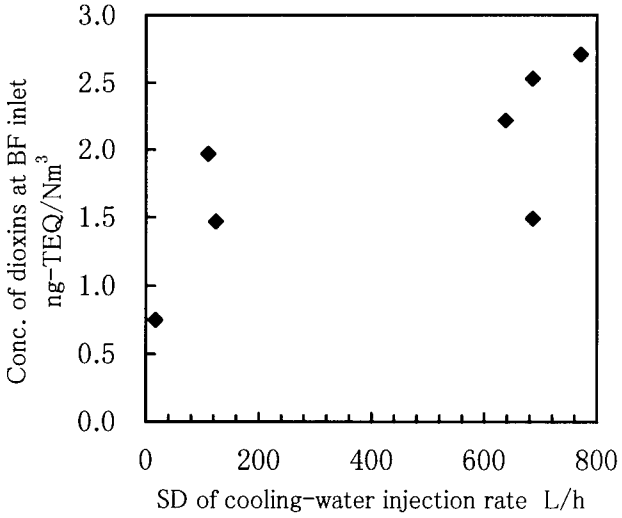


Fig. 8　Standard deviation of cooling-water injection rate vs. concentration of dioxins at baghouse inlet

4. 結　　言

ごみ焼却にともなうダイオキシン類生成を抑制するためには，二次燃焼室での混合性を向上させ，ここでの温度を850℃以上に安定して維持することが重要であることを実炉計測結果をもとに示した。当社の二回流式ストーカ炉は元来これら条件を得やすい構造を有しているうえ，さらに高度自動燃焼制御システムとして開発したハイブリッドACC を導入することでCOピークの発生を抑えつつ炉出口温度を高温かつ安定に維持した運転が達成でき，ダイオキシン類の発生を排ガス処理装置の入り口で1ng-TEQ／Nm^3 以下まで低減することも可能になる。

おわりに，実炉計測において多大なるご協力をいただいた自治体関係者各位に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

1) 野上祐一ほか. “ハイパー火格子ごみ焼却炉燃焼制御システム”. NKK技報. No.156, p.26-29(1996).
2) Vogg, H. et al. “Thermal behavior of PCDD／PCDF in fly ash from municipal Incinerators”. Chemosphere. Vol.15, p.1373-1378(1986).
3) 厚生省水道環境部. “ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン［前編］”. 都市と廃棄物. Vol.27, No.3, p.21-32(1997).
4) 永関三千男ほか. “都市ごみ用 NKKハイパー火格子焼却炉”. NKK技報. No.147, p.25-26(1994).
5) 青木丈彦ほか. “都市ごみ焼却炉内ガス流れ解析”. 日本機械学会［No.95-51］シンポジウム講演論文集. 東京, 1995-07. 第8回熱工学シンポジウム. p.109-110.
6) Addink, R. et al. “Mechanisms of formation and destruction…”. Environ. Sci. Technol. Vol.29, No.6, p.1425-1435(1995).

＜問い合わせ先＞
川崎研究センター　燃焼システム研究室
Tel. 044 (322) 6251　長田　容
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7531　横山　隆

流動床炉におけるダイオキシン等低減化技術

Influence of Calcium Compound Fed to Furnace on Emissions from Fluidized Bed Incinerator

岩崎　敏彦　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
能登　　隆　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
松井　　聰　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
横山　　隆　環境プラント設計部　開発室　室長
鈴木　康夫　環境プラント設計部　開発室　統括スタッフ

Toshihiko Iwasaki, Takashi Noto, Satoshi Matsui, Takashi Yokoyama and Yasuo Suzuki

ベンチスケール規模の流動床式燃焼実験装置を用いて燃焼実験を実施し，石灰石の炉内供給の影響について検討を行った。その結果，石灰石を炉内に供給することで，炉内脱 HCl反応が起こり，ダイオキシン類の生成に対しては炉出口以降の特に煙道部における抑制効果について良好な結果が得られた。以上の結果について，実炉を用いた実証実験を行ったところ，HCl,ダイオキシン類のいずれに対しても，ベンチスケール実験と同様の傾向がみられた。

The combustion experiments of plastic pellet with calcium compound were carried out by using a bench scale fluidized bed combustor to investigate the effect of calcium as a inhibitor on PCDDs and PCDFs formation. The emissions level of PCDDs and PCDFs were measured at three points after the furnace outlet. As a result, the concentration of PCDDs and PCDFs were reduced by feeding calcium compound. Therefore, calcium compound plays an important role in an inhibiting effect on a formation of PCDDs and PCDFs from municipal solid wastes incineration plant.

1. 緒　　言

廃棄物焼却炉からの排ガス中には，HCl やダイオキシン類などの有害物質が含まれている。このような有害物質のうち，近年特にダイオキシン類の問題が注目されている。廃棄物焼却炉からのダイオキシン類排出抑制に関する研究は数多くなされているが，ダイオキシン類の生成を焼却炉内において抑制するための手段の一つとして，完全燃焼をめざした燃焼改善が挙げられている。しかしながら，焼却炉におけるダイオキシン類は，焼却炉出口から集塵機にいたる過程での再合成により増加することが知られており，さらなる低減のためには焼却炉内における完全燃焼に加え，炉出口以降における再合成を抑制することが重要になってくる[1]。

一方，流動床式焼却炉は多様な廃棄物性状に対応可能なことから，一般ごみ以外にも分別ごみや産業廃棄物などの焼却処理に対して実績を上げており，最近ではごみ固形化燃料(RDF) の燃焼への適応が期待されている。

本稿では，ベンチスケール規模の流動床式燃焼実験装置を用いて燃焼実験を実施し，石灰石の炉内供給の影響について検討を行った。その結果，ダイオキシン類の生成に対し，特に煙道部における抑制効果について良好な知見が得られたので以下に報告する。また，併せて流動床式ごみ焼却炉の実炉を用いた実証実験の結果についても報告する。

2. ベンチスケール燃焼実験

2. 1　実験装置および方法

Fig. 1 に燃焼実験で用いたベンチスケール規模の流動床式燃焼実験装置の概要を示す。流動床部は内径150mm,高さ 850mmの耐火物構造となっている。流動床部の上側は，内径200mm,高さ5300mmのフリーボード部が設けられており，外熱式ヒータによって温度制御が可能となっている。流動媒体としては平均粒径0.53mmの硅砂を使用した。供試試料としてはポリエチレン(PE)，ポリ塩化ビニル(PVC)のペレットを使用し，石灰石の炉内供給を模擬するものとして，$CaCO_3$ を含有したポリエチレンのペレット(PE(Ca))

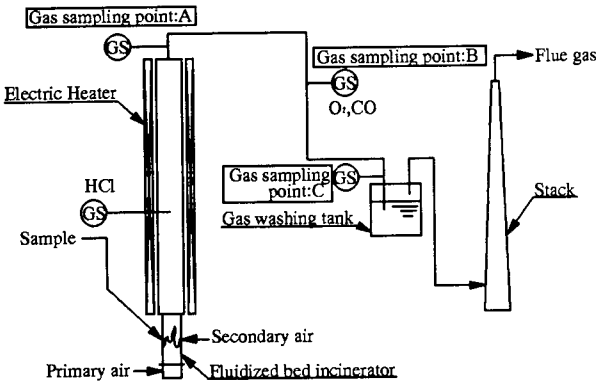


Fig. 1　Schematic diagram of FBC experimental apparatus

を添加した。このペレットの粒径は約3mmであり，それぞれの分析値をTable 1 に示す。

実験は上記のペレットを事前に十分混合し，テーブルフィーダによって砂層上部に定量供給を行った。また，各ペレットの混合比はPVC の割合が2wt% となるようにし，PE(Ca)はCa／Cl モル比が所定の量になるように添加した。

燃焼排ガス中のダイオキシン類濃度の測定は，雰囲気温度の異なる三つのサンプリングポイントにおいて行った。サンプリングポイントはFig. 1 のA,B,C で示す。それぞれの温度は,Aで約 800℃,Bで約 280℃,Cで約 110℃となっている。また,HCl濃度については分散板上高さ3000mmのフリーボード部において測定を行い，炉内における脱HCl反応についての検討も行っている。また，運転状況の監視を行うため，O_2,CO濃度について煙道部における連続測定を行った。

本実験における実験条件を以下に示す。

煙道部O_2濃度：8%
フリーボード部温度：800～850℃
砂層部温度：790℃

2. 2 実験結果

ベンチスケール燃焼実験を通じて，排ガス中のCO濃度は1ppm 以下であり，燃焼状態は極めて良好であった。各サンプリングポイントにおけるダイオキシン類の分析結果をFig. 2 ～Fig. 5 に示す。Fig. 2 およびFig. 4 は$CaCO_3$ を供給しない場合のダイオキシン類（PCDDs ／ PCDFs ）の濃度を，Fig. 3 およびFig. 5 は$CaCO_3$ をCa／Cl モル比が2となるように供給した場合のそれぞれの濃度を示している。いずれの場合でもダイオキシン類は炉出口以降のAからBにいたる領域で増加しており，この温度ゾーンにおいてダイオキシン類の再合成が起こっていると考えられる。しかしながら，$CaCO_3$ を炉内に供給した場合はダイオキシン類の再合成はみられるものの，その総量は$CaCO_3$ を

Table 1 Properties of plastics

	PE	PVC	PE(Ca)
Ash	0.02	0.06	17.03
Ca	-	-	11.10
Combustibles	99.98	99.94	82.97
C	78.84	42.82	61.76
H	13.02	5.55	9.69
N	0.03	0.03	0.03
S	0.04	0.04	0.07
Cl	0.07	44.54	0.05

(dry%)

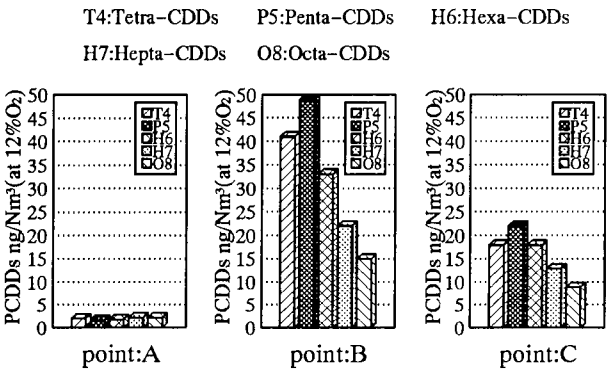


Fig. 2 Concentration of PCDDs without $CaCO_3$

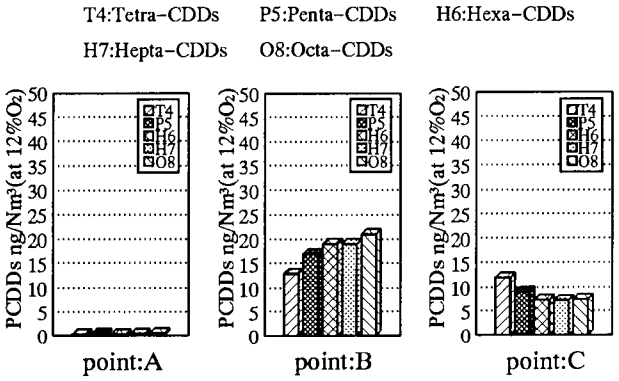


Fig. 3 Concentration of PCDDs with $CaCO_3$

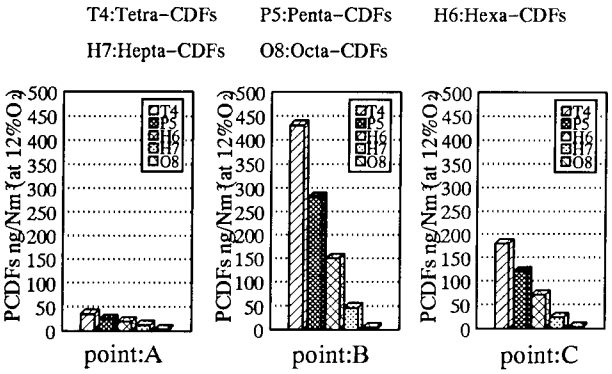


Fig. 4 Concentration of PCDFs without $CaCO_3$

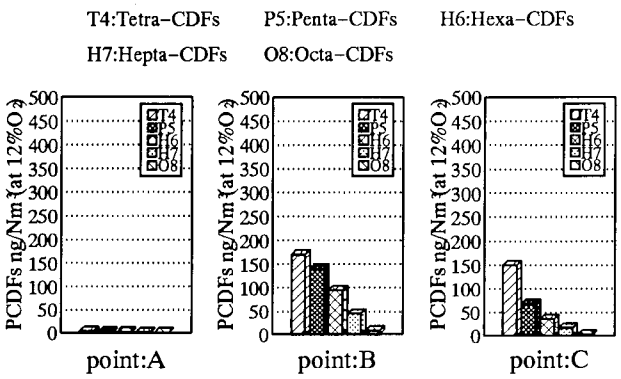


Fig. 5 Concentration of PCDFs with $CaCO_3$

供給しない場合に比べてPCDDs，PCDFs ともに減少しており，$CaCO_3$ 供給によるダイオキシン類生成に対する抑制効果が認められた。また，今回得られたダイオキシン類の分析値を毒性等価濃度(I-TEQ) を用いて表わすと**Table 2** のようになり，Ca／Cl モル比を増加させることにより毒性等価濃度が低減することが確認された。

今回の実験では$CaCO_3$ の供給量とフリーボード部におけるHCl 濃度の関係について測定を行っているので，その結果を**Fig. 6** に示す。$CaCO_3$ を供給しない場合のHCl 濃度約200ppmに対し，Ca／Cl モル比＝2では約130ppm，Ca／Cl モル比＝4では約100ppmとなっており，Ca／Cl モル比を増加させるにしたがって，HCl 濃度は減少する傾向がみられた。この結果から示されるHCl 除去率は，一般のごみ焼却におけるストーカ炉への石灰粉末吹き込み試験を行った四阿らの結果[2]と同様の傾向を示している。

以上のベンチスケール実験により，焼却炉内に$CaCO_3$ を供給することで，炉内脱HCl 反応が認められ，HCl 除去率については従来と同様の知見が得られた。また，ダイオキシン類濃度は煙道部において著しく低減しており，炉内に供給された$CaCO_3$ が炉出口以降に飛散することによる，ダイオキシン類の生成抑制効果の可能性を見い出した[3]。

Table 2　Effect of $CaCO_3$ on PCDDs／PCDFs

Ca/Cl mol ratio	point:A	point:B	point:C
0	1.89	25.97	12.13
2	0.19	11.02	5.44
4	0.05	2.48	2.64

(ng-TEQ/Nm³)

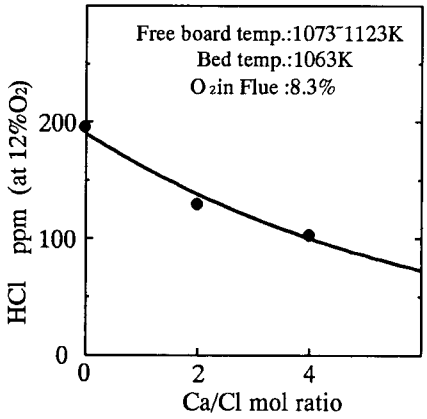


Fig. 6　Relationship between Ca／Cl mole ratio and HCl

3. 実炉における実証実験

ベンチスケール規模の実験によって得られた結果について，実炉を用いた実証実験を行った。使用した流動床式ごみ焼却炉の設備概要を**Table 3** に，概略フローを**Fig.7** に示す。

今回の実証実験では砂循環ラインを利用して炉内に石灰石の供給を行い，排ガス中のHCl およびダイオキシン類の濃度を測定し，石灰石を供給しない場合との比較を行った。石灰石の供給量はモル比でCa／Cl＝4 とした。HCl 濃度は炉出口では手分析で，バグフィルター出口においては連続分析計を用いて測定している。また，ダイオキシン類については炉出口，空気予熱器出口，バグフィルター入口および出口の 4 ヵ所において同時測定を行った。測定ポイントを**Fig. 7** に示す。

実証実験における排ガス測定結果を**Table 4** と**Table 5** に示す。炉出口およびバグフィルター出口におけるHCl 濃度はベンチスケール実験での結果と同様に，石灰石の炉内供給により減少する傾向がみられる。No.1とNo.4の場合のバグフィルター出口におけるHCl 濃度の連続分析の結果を**Fig. 8** に示す。

ダイオキシン類の毒性等価濃度は，石灰石の炉内供給直後に排ガス測定を行った**Table 5** のNo.3については，供

Table 3　Specification of fluidized bed incineration plant

Furnace	Fluidized bed incinerator
Capacity	30t/16h ,2 units
Flue gas cooling	Quenching by water spray
Flue gas treatment	**Dry $Ca(OH)_2$+Bag filter**

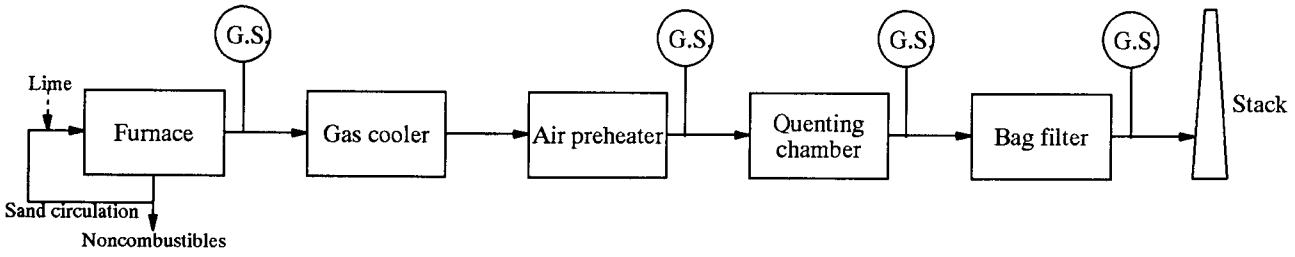


Fig. 7　Schematic diagram of fluidized bed incineration plant

給を行わない場合と同程度となっているが，石灰石供給後，十分に時間が経過したNo.4の場合には，炉出口以降のいずれの場所においても低いものとなっている。No.1とNo.4についてのダイオキシン類の同族体分布を，**Fig. 9～Fig.12**に示す。これらの図からも石灰石の炉内供給によりダイオキシン類濃度が低減していることがわかる。以上の傾向はベンチスケール実験の結果と一致しており，このことから炉内に供給された石灰石が炉出口以降に飛散し，煙道部においてダイオキシン類の生成を抑制することが確認された。また，このときのバグフィルター出口におけるダイオキシン類の毒性等価濃度は，1990年に厚生省により策定された，ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止などガイドライン（旧ガイドライン）の目標値である0.5ng-TEQ／Nm^3 を下回る結果となった[4]。

Table 4　Measured result of flue gas

No.	Ca/Cl	HCl (ppm)		CO(ppm)
		Fur.out	B.F.out	B.F.out
1	0	340	60.1	26.6
2	0	270	56.2	21.4
3	4	230	37.1	11.9
4	4	230	24.9	22.8

Table 5　Effect of $CaCO_3$ on PCDDs／PCDFs

No.	Ca/Cl	Fur.out	A.P.out	B.F.in	B.F.out
1	0	5.61	5.87	6.71	1.22
2	0	1.87	6.53	5.29	1.03
3	4	1.06	6.68	6.06	1.19
4	4	0.83	2.96	2.70	0.44

(ng-TEQ/Nm^3)

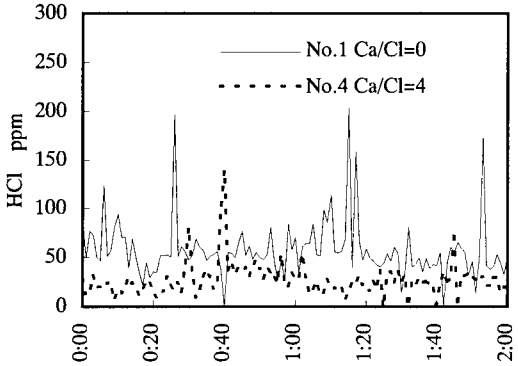


Fig. 8　HCl concentration at bag filter outlet

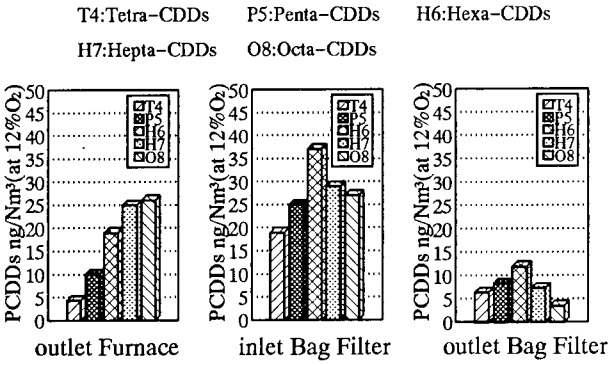


Fig. 9　Concentration of PCDDs without $CaCO_3$

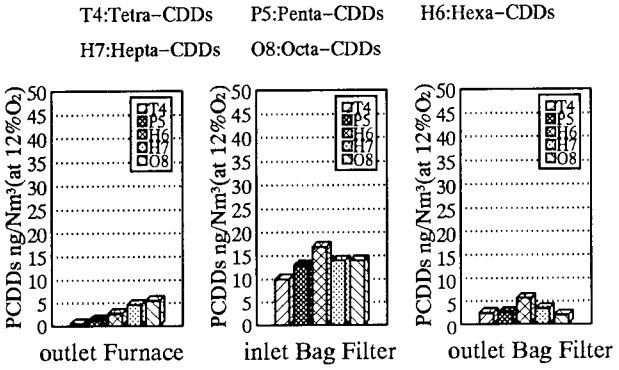


Fig.10　Concentration of PCDDs with $CaCO_3$

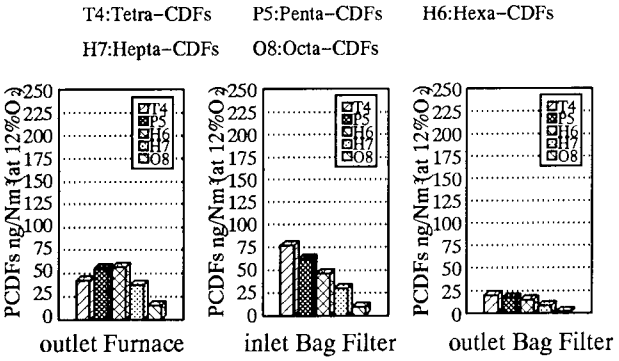


Fig.11　Concentration of PCDFs without $CaCO_3$

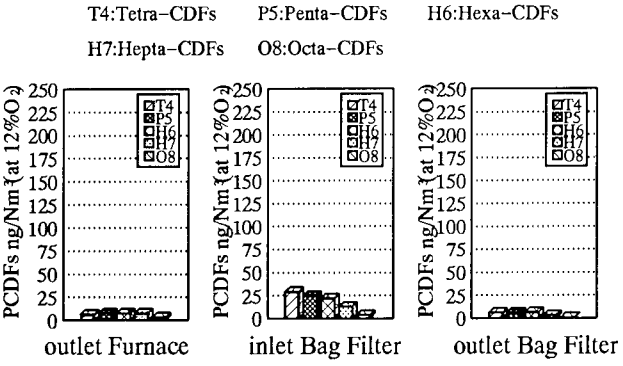


Fig.12　Concentration of PCDFs with $CaCO_3$

4. 結　　言

ベンチスケール規模の流動床式燃焼実験装置を用いて燃焼実験を実施し，ダイオキシン類生成に及ぼす石灰石炉内供給の影響について検討を行い，さらに実炉において実証実験を行った。その結果，焼却炉内に石灰石などのカルシウム化合物を供給することにより，炉出口以降におけるダイオキシン類の生成が抑制されることがわかった。

1997年1月に公表された，ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止などガイドライン（新ガイドライン）では，排ガス中のダイオキシン類濃度の基準値は，全連の新設炉において0.1ng-TEQ／Nm^3 とさらに厳しい値となっているが[5]，この基準値をクリアするには，本報におけるカルシウム化合物の炉内供給に加え，さらなる燃焼改善，および活性炭吹き込みなどによる排ガス処理と組み合わせることで達成できるものと考えられる。

参 考 文 献

1) Hiraoka, M. et al. "Source Control Technologies in MSW Incineration Plants". Dioxin'94. Vol.19, Kyoto, 1994-11. p.275-291.
2) 四阿秀雄ほか. "ごみ焼却炉における塩化水素対策の実際". 公害と対策. Vol.14, No.10, p.1059-1067(1978).
3) Matsui, S. et al. "Inhibition Effect of Calcium Compound …". Proceedings of the 1995 International Incineration Conference. Bellevue, 1995-5 p.381-385.
4) 松井聰ほか. "石灰石の炉内添加による…". 第6回環境工学総合シンポジウム '96. 川崎, 1996-7. 日本機械学会. p.110-113.
5) 厚生省水道環境部. "ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止などガイドライン". 都市と廃棄物. Vol.27, No.3, p.21-32(1997).

<問い合わせ先>
川崎研究センター　燃焼システム研究室
Tel. 044 (322) 6249　岩崎　敏彦
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7658　横山　隆

NKK のダイオキシン類除去技術

NKK's Dioxin Removal Techniques

長田　容　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員　工博
浜口　敬三　川崎研究センター　燃焼システム研究室
鮎川　将　環境プラント設計部　開発室
横山　隆　環境プラント設計部　開発室　室長

Yo Osada, Keizo Hamaguchi,
Susumu Ayukawa and Takashi Yokoyama

ごみ焼却排ガスからのダイオキシン類排出濃度については1997年1月，厚生省のガイドラインが改定され新設炉ではすべて0.1ng-TEQ／Nm³以下に強化された。当社ではこの基準をクリアする方法として炉内での安定完全燃焼を徹底させた上で，バグフィルタの低温化，粉末活性炭吹き込み，活性炭充填吸着塔，脱硝触媒による分解などの技術を組み合わせて対応している。本論では排ガス処理技術を中心に当社のダイオキシン類除去技術を紹介する。

Regulations of dioxin emissions from MSW incinerator flue-gas had been tightened up as below 0.1ng-TEQ／Nm³ for all newly constructed incinerators by the guidelines of the Japanese Ministry of Health and Welfare in January 1997. NKK follows the new regulations by integrated techniques of low temperature bag filter, powdery activated carbon injection into the bag filter, moving bed adsorbing tower packed with activated carbon, and decomposition by de-NO_x catalyst under stable and complete combustion. This paper reviews the application and performance of these dioxin removal techniques.

1. 緒　　言

わが国において，都市ごみの焼却にともなって排出されるダイオキシン類の総量は，全排出量の80% 程度を占めるものと推算されており，欧州なみの緊急な削減対策が求められている[1]。

ダイオキシン類は焼却炉内で安定完全燃焼を図っても排ガスの冷却過程(200～ 500℃) で飛灰中のCu化合物などを触媒にして極微量の前駆物質から再合成する[2),3)]。したがって，燃焼改善だけでは今回の新ガイドラインの目標値である排ガス中濃度0.1ng-TEQ／Nm³以下という厳しい基準をクリアすることは困難であり，排ガス処理系統での確実な除去が必要になる。

ごみ焼却排ガスには除去を必要とする有害物質としては，ばいじん，窒素酸化物，塩化水素，硫黄酸化物などが含まれており，すでにこれらの除去プロセスは確立され，基準値に応じた適切な除去装置が設置されている。排ガス処理系におけるダイオキシン類の除去では，既存のこれら有害物質の除去装置にダイオキシン類の除去機能を付与するか，あるいは同時除去を目的とした運転条件で操作することで対処する場合が多い。燃焼段階での生成抑制については前2報にて詳説したので，本報ではバグフィルタにおけるダイオキシン類除去効率の改善手法，活性炭による吸着除去方法および脱硝触媒による分解性能について解説する。

2. 排ガス中ダイオキシン類の除去方法

2. 1 バグフィルタによる除去

従来，集じん装置は電気集じん機が主流であったが，その一般的な操作温度である 300℃付近ではダイオキシン類が再合成によって装置前後で増加する場合があり，1990年12月の旧ガイドラインにおいて 200℃以下での集じんを求めたこともあって，それ以降新設された焼却炉ではすべて低温高効率集じんが可能なバグフィルタが採用されている。今回の新ガイドラインではより積極的にバグフィルタへの転換を求めており，それも低温での運転を指導している。

Fig. 1 には当社が納入した焼却炉で得られたデータからバグフィルタ前後の除去率と集じん温度の関係をまとめて示した。集じん温度の低下によってダイオキシン類の除去率は向上し，160℃以下では除去率が95% 以上に達し，入り口濃度が2ng-TEQ／Nm³以下であればバグフィルタだけで0.1ng-TEQ／Nm³以下が得られる場合もある。ただし，ごみ焼却排ガス中には水分が20～40% 含まれており，またSO_x も微量ながら存在するので酸性腐食と灰の固着を考慮すると 150～ 160℃程度が実質的な操作温度の下限値となる。

バグフィルタがダイオキシン類除去に有利な理由は，集じん効率が高くダイオキシン類を含むサブミクロンの飛灰粒子も除去できることに加え，ろ布表面のダスト堆積層を排ガスが通過する際に気体状のダイオキシン類も飛灰表面

に吸着して除去されるためと推定される。そこで，バグフィルタ入り口の温度を 230℃と高めに維持し，堆積した灰の払い落とし条件を変えることによって，ろ布表面のダスト堆積層の厚みを変え，ダイオキシン類濃度を計測した。**Fig. 2** には，ダスト堆積層の厚みの指標となるバグフィルタ前後の差圧とダイオキシン類除去率の関係を示した。差圧の増加につれダイオキシン類の除去率が改善される傾向がみられた。このように，ダイオキシン類の除去を目的としたバグフィルタの操作においては操作温度の低下と差圧の管理が重要になる。

2. 2　粉末活性炭噴霧による吸着除去

毒性評価に係わる4塩素置換体以上のダイオキシンとフランは，沸点は 400℃以上ではあるものの蒸気圧は水銀に匹敵するほど高く[4]，ごみ焼却炉排ガス中での存在状態を考えると集じん温度領域である 200℃程度であってもガス状で存在する比率が高いものと推定される[5]。

Fig. 3 には飛灰中の有機炭素濃度とダイオキシン類除去率の関係(230℃) を示した。飛灰中の有機炭素分が多いほど除去効率が増加することがわかる。この関係はダイオキシン類の吸着媒体は飛灰中の微量の有機炭素，すなわち未燃の煤が関与することを示唆している。飛灰中の未燃炭素は 300℃付近ではダイオキシン類の出発物質であるが (de novo 反応)[2]，それ以下ではダイオキシン類の吸着媒体になるものと考えられる。完全燃焼を徹底することはダイオキシン類の生成量そのものを低下させることにつながるものの，バグフィルタでの除去においてはかえってこの吸着媒体としての機能を減少させることになる。そこで，粉末状活性炭をダイオキシン類の吸着媒体としてバグフィルタ前の煙道に吹き込んで吸着除去する方法が有効になる。バグフィルタ前への粉体の吹き込みは塩化水素除去を目的とした消石灰粉末の吹き込みが一般に行われており，既設炉への適用も比較的容易である。

活性炭の吹き込み形態としては，消石灰と活性炭を別個にサイロから切り出し排出濃度に応じて吹き込む方式と，均一分散による除去効率の向上や発火などの事故防止の観点から活性炭を前もって消石灰と混合して吹き込む方式がある。そこで両者の利点を考慮し，吹き込み量の調節が可能となるように活性炭高濃度含有消石灰を調製して消石灰とともに配管内で混合搬送し配管に吹き込む方式を採用しダイオキシン類の除去効果を確認した。

活性炭はヤシ殻活性炭（比表面積1030m²／g）を用い，通常のJIS 特号消石灰とともに消石灰搬送車に所定量入れ，タンク内で噴流混合して調製した。試験はストーカ式全連続炉（A 工場：200T／ 日）と准連続炉（B 工場：25 T／日）にて実施した[6]。

A 工場ではACC による自動燃焼を行っているため燃焼が安定し，もともと突発的なCOピークの発生は少ない。今回はさらに計測期間中に手動介入して常時 10ppm以下

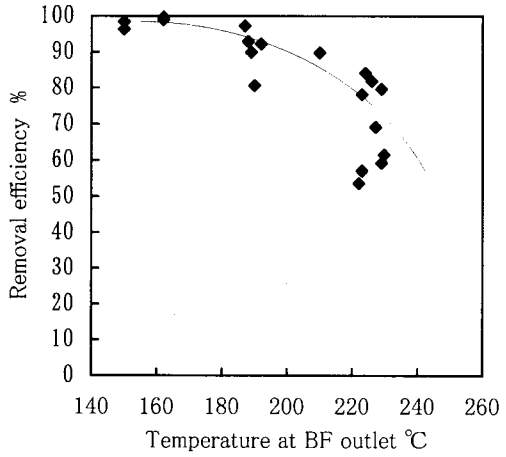


Fig. 1　BF temperature vs. removal efficiency of dioxins

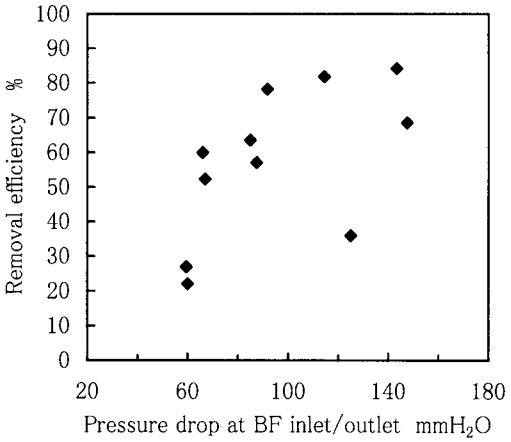


Fig. 2　Pressure drop at inlet／outlet of BF vs. removal efficiency of dioxins

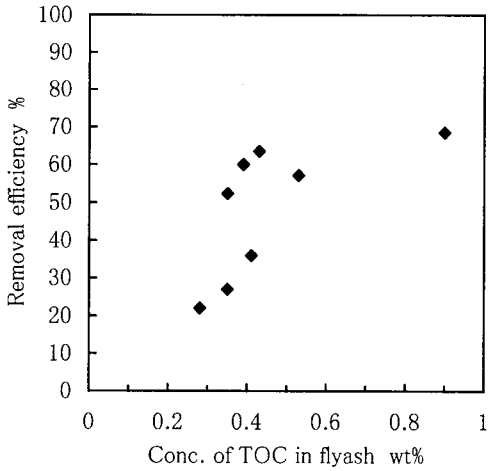


Fig. 3　Concentration of total organic carbon in fly ash vs. removal efficiency of dioxins between BF

となるような徹底した燃焼管理を行った。この結果，ボイラ出口のダイオキシン濃度は1点を除き1ng-TEQ／Nm³以下に抑えることができた。また，バグフィルタ出口の濃度もバグフィルタ入り口温度が 200℃とやや高いのにもかかわらず，活性炭なしで0.1ng-TEQ／Nm³前後の低い値となった。なお，HCl 濃度も基準値である 50ppm以下に常時維持された。**Fig. 4** に活性炭添加濃度とバグフィルタ出口のダイオキシン類濃度およびバグフィルタ前後の除去率の関係を示した。活性炭を吹き込むとバグフィルタ出口においてダイオキシン類濃度が低下し，全測定時で0.04 ng／Nm³以下に低下した。このうち，4ケースでは0.01 ng／Nm³以下の極めて良好な値となり，ややバラツキはあるものの，活性炭を0.1g／Nm³程度添加するだけでダイオキシン類除去率は95% 以上に達した。

B 工場は1回流炉頂型水噴射式ガス冷却方式のため二次燃焼が安定せず，炉出口温度とCO濃度が変動して，バグフィルタ入り口のダイオキシン類濃度は 1.6～9.9ng-TEQ／Nm³とやや高い値になった。活性炭添加濃度とバグフィルタ出口ダイオキシン類濃度およびバグフィルタ前後の除去率との関係を**Fig. 5** に示した。バグフィルタ出口の濃度は活性炭を吹き込まないと1.6，0.71ng-TEQ／Nm³であったが，活性炭を添加するとTEQ 濃度は顕著に低下し，0.1g／Nm³の添加で 0.1ng／Nm³を下回るデータが得られた。0.3g／Nm³以上添加すると1データを除き，ほぼ安定して0.1ng-TEQ／Nm³以下となり，全連炉のA工場なみの排出濃度まで低下した。　これらの結果から活性炭の吹き込み量は集じん機入り口のダイオキシン類濃度が全連炉のように数ng-TEQ／Nm³程度と低い場合には0.1g／Nm³以下で十分であり，また准連・バッチ炉のような入り口濃度が高い場合であっても0.3g／Nm³程度の添加で全連炉なみの高除去率が得られることがわかった。なお，消石灰の吹き込みを行う場合はばいじんの濃度は3～6g／Nm³程度になるので，飛灰中の活性炭含有量は全連炉の場合，数% であって，飛灰の性状を大きく変えることはない。

2. 3　活性炭系吸着剤充填塔による除去

集じん後の排ガスを活性炭系吸着剤の充填塔に通過させてダイオキシン類を吸着除去する方法はやや装置は大きくなるものの粉末活性炭吹き込み方式よりも確実なダイオキシン類除去方法として欧州では実績がある。

当社では，ドイツWKV 社から本技術を導入し，実プラント排ガスを用いてパイロット試験を行いその性能を確認している[7]。本装置では，集じん機で除じんされた排ガスを移動床装置下部から導入して活性炭系吸着剤と接触させ，ダイオキシン類を吸着除去する。吸着塔内部は，排ガスと吸着剤の接触が効率よく行えるような特殊な工夫がなされており，また装置下部では吸着やダストの詰まりによって劣化した吸着剤を順次抜き出せるような構造にしている。抜き出された吸着剤は焼却炉内に投入して処理する。吸着剤の補給は装置頂上部の供給ホッパから重力降下により自動的に行わせる。

Fig. 6 に，比表面積が 300m²／gの円筒状造粒活性炭(5 φ×5)を吸着塔に充填し，排ガスを 130～ 150℃，空間速度（SV : Space Velocity）800h⁻¹で導入した場合のダイオキシン類と水銀の濃度の経時変化を示した。140日の連続使用で水銀除去率はやや低下したが，ダイオキシン類濃度は常時0.1ng-TEQ／Nm³以下に維持され，劣化が認められないことがわかった。

本装置は，確実にダイオキシン濃度を0.1ng-TEQ／Nm³以下に低減できる有効な方法ではあるものの，装置がやや大きくなり，発火防止のための付帯設備が必要になる。このため，出口の濃度をより厳しい0.05ng-TEQ／Nm³以下に低減する要望があった場合に適用する。

2. 4　高性能触媒脱硝技術による除去

一般にごみ焼却炉における窒素酸化物低減対策としては，燃焼制御あるいは炉内へのアンモニア水または尿素水の噴

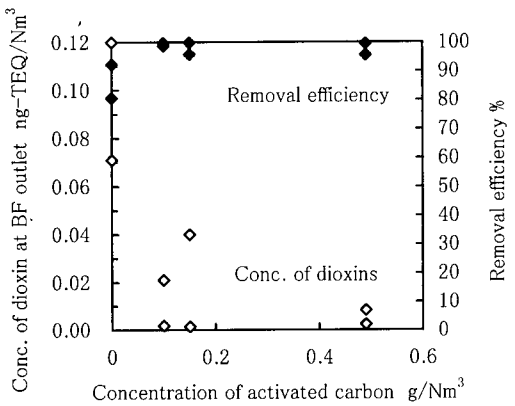


Fig. 4 Dependence of activated carbon injection on dioxins removal (plant A;continuous)

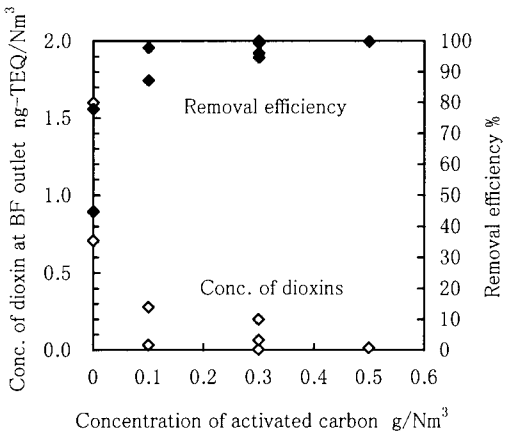


Fig. 5 Dependence of activated carbon injection on dioxins removal (plant B;semi-continuous)

霧による無触媒脱硝法を採用するケースが多い。しかし，50ppm以下の厳しい基準を要求される時には集じん機の後流にチタン－バナジウム酸化物系のハニカム型触媒脱硝装置を装備して対応する場合がある。最近，このチタン－バナジウム酸化物系脱硝触媒がダイオキシン類の除去機能を併せもつことが確認され注目されている[8]。除去機構は詳細には解明されていないが，単に吸着によるものではなく，触媒表面での酸化分解あるいは脱塩素によるダイオキシン骨格の破壊が生じているものと推定されている。

Fig. 7 に 230℃における空間速度（SV：Space Velocity）と脱硝触媒前後のダイオキシン類除去率の関係を示した。脱硝反応と同様，低SV，すなわち接触時間が長くなるほど高い除去率が達成でき，通常の脱硝率が得られる操作条件ではダイオキシン類除去率70％ 程度は期待できる。したがって，条件によってはバグフィルタの低温使用との組み合わせで活性炭を用いないで新基準の0.1ng-TEQ／Nm³をクリアすることも可能になる。

脱硝反応での操作温度はSO_x とアンモニアの反応で生ずる酸性硫安の付着を考慮して通常 200℃以上で操作されるため，低温集じんを行った場合は再加熱により 200℃以上とし，また 200℃以上で集じんする場合はそのまま触媒層に排ガスを流通させて行う。アンモニアを供給する脱硝反応とダイオキシン類分解反応は触媒表面で競合するので，アンモニアの供給量が少ないほどダイオキシン類分解率は向上することが予想される。したがって，高脱硝率を必要としない場合にはアンモニアの供給を極少量にすれば 200℃以下であってもダイオキシン類の分解は可能になるものと思われる。

3. ダイオキシン類排出低減システムフロー

以上の単位操作を組み合わせ，当社では基準値に応じ，**Fig. 8** に示すフローを提案している。

燃焼管理を徹底し，バグフィルタ入口の濃度を2ng-TEQ／Nm³以下に低減できる場合は，バグフィルタの温度を

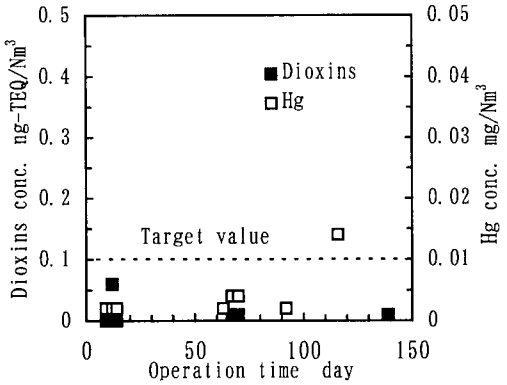


Fig. 6 Change of dioxins and Hg concentrations in outlet gas with operation time

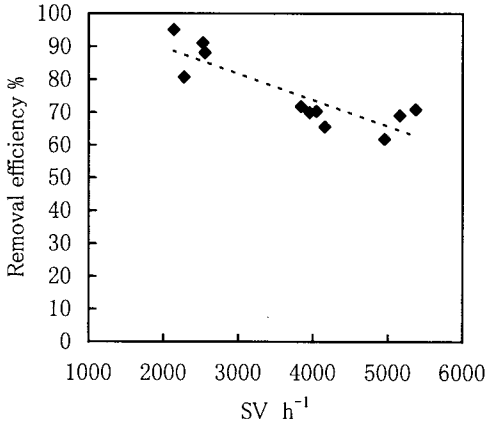


Fig. 7 Space velocity vs. removal efficiency of dioxins by de-NO_x catalyst

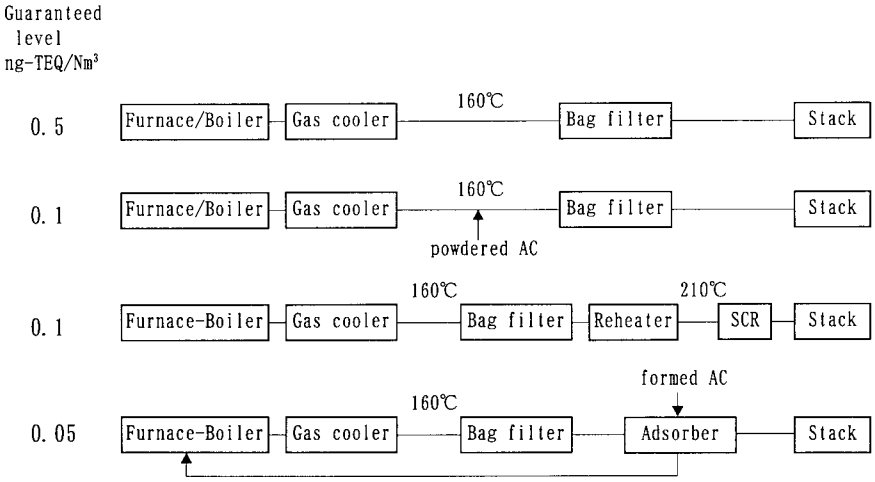


Fig. 8 NKK's standard flue-gas treatment system for dioxin removal

160℃まで低減すれば0.5ng-TEQ／Nm³以下には低減でき，また確実に0.1ng-TEQ／Nm³以下にするためには粉末活性炭の吹き込みを行う。NO_x の基準値が50ppm 以下の場合は脱硝触媒を設置して活性炭の吹き込みは行わずにバグフィルタの低温化との組み合わせで対応する。また,0.05ng-TEQ／Nm³以下を保証するためにはやや装置は大きくなるが活性炭充填吸着塔を設置する方式で対応する。

4. 結　　言

ごみ焼却排ガス中のダイオキシン類濃度を低減する方法として，バグフィルタの低温・高差圧化，粉末活性炭のバグフィルタ前への吹き込み，活性炭吸着移動床による吸着，さらには脱硝触媒による分解が有効であることを示すとともに，排出基準に応じた当社システムを解説した。新ガイドラインの目標値である0.1ng-TEQ／Nm³ を達成するためにはバグフィルタの差圧を高く維持しつつ操作温度を 160℃程度とし粉末状活性炭をバグフィルタ入口に吹き込むか，活性炭充填吸着塔を設置することによって確実に達成できることを示した。また，脱硝触媒を設置する場合は，バグフィルタの温度を 160℃にすることで活性炭によらなくても新基準値を達成できることを示した。今後もより精緻で確実なダイオキシン類の除去技術の確立に向け，研究開発を継続する所存である。

おわりに，開発を進めるにあたり，多大なる協力をいただいた自治体関係者各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

1) Hiraoka, M. "Municipal solid waste management in Japan -situation and problems-". Proc. of the Kyoto conference on dioxins problem of MSW incineration 1991. Kyoto, 1991-05. Organizing Committee of the Kyoto Conference on Dioxins Problem of MSW Incineration. p.1-9.
2) Vogg, H. et al. "Thermal behavior of PCDD／PCDF in fly ash from municipal Incinerators". Chemosphere. Vol.15, p.1373-1378(1986).
3) Addink, R. et al. "Mechanisms of formation and destruction…". Environ. Sci. Technol. Vol.29, No.6, p.1425-1435(1995).
4) Rordorf, B. F. "Prediction of vapor pressures, boiling points…". Chemosphere. Vol.18, p.783-788(1989).
5) Smolka, A. et al. "Gas／particle partitioning before and after…". Chemosphere. Vol.34, p.1075-1082(1997).
6) 長田容ほか. "活性炭入り消石灰による…". 第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集. 東京, 1997-01. 全国都市清掃会議. p.212-214.
7) 山口宏ほか. "ごみ焼却炉におけるダイオキシン類除去技術". NKK技報. No.148, p.14-21(1995).
8) Hagenmaier, H. et al. "Catalytic oxidation - a technology for the reduction…". Proc. of 10th Int. Symp. on Dioxin Vol.3. Bayreuth, 1990-09. p.65-68.

<問い合わせ先>
川崎研究センター　燃焼システム研究室
Tel. 044 (322) 6251　長田　容
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7531　横山　隆

流動床ごみ焼却炉の燃焼制御システム

Automatic Combustion Control System for Fluidized Bed Incinerator

田鍋　実　基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム　主任研究員
秋山　肇　環境プラント設計部　開発室

Minoru Tanabe and Hajime Akiyama

当社ではごみ焼却熱の有効利用，ごみ処理の低公害化に対する重要性から，流動床ごみ焼却炉の燃焼安定化を目的として燃焼制御システムを開発してきた。このシステムは現在，2工場3システムが稼働している。このシステムによる実機運転の結果は良好であり，燃焼の変動が大きいとされている流動床ごみ焼却炉の燃焼制御システムとして有効であることを示した。

NKK has been considering to use heat energy from incineration plant and to decrease environmental pollution, and has been developing combustion control system for fluidized bed incineration plant which performs them by steady combustion. Three of this combustion control system are now in practical use and perform good task. This system is effective to control fluidized bed incineration plant.

1. はじめに

ごみ焼却炉にはストーカ炉，キルン炉，流動床炉などがある。流動床炉は都市ごみをはじめとして各種産業廃棄物，汚泥，プラスチックなどの燃焼に対してすぐれた特性を有するため，最近各方面で採用が進んでいる。当社ではこれらのニーズに対応して流動床ごみ焼却炉を開発し[1]実績を上げてきている。

流動床ごみ焼却炉の特徴の一つとして燃焼速度が速いことが挙げられる。このため，起動・停止が容易である反面，燃焼制御を困難なものにしている。

最近ではごみ焼却熱の有効利用を図るため，ボイラ・タービンなどを備えた発電設備を有するプラントが増加している。このようなプラントでは燃焼の安定化は蒸気の安定供給，発電量の安定化につながる大切な要因である。

さらに，最近の環境問題への関心の高まりから，廃棄物処理の低公害化が重要な問題となってきている。ごみ焼却炉の排ガスにおける有害物質としては，NO_X，CO，ダイオキシンなどが挙げられるが，これらの発生要因の一つに不安定な燃焼がある。したがって，公害防止の観点からも，燃焼の安定化は重要なものである。

以上のような燃焼安定化の必要性から，当社では流動床ごみ焼却炉用の燃焼制御システムの開発を行ってきた。このシステムは1996年に実機化され，現在，2工場3システムが稼働している。ここでは，この燃焼制御システムについて報告する。

2. 流動床ごみ焼却炉

Fig. 1 は流動床ごみ焼却炉を示す。ごみピットからクレーンにより搬送されてきたごみは給じん機により焼却炉内に投入される。投入されたごみは一次空気により流動化された約600℃の砂と接触し乾燥，熱分解，一部燃焼する。熱分解により発生した可燃性ガスは二次空気と接触して急速に燃焼し，一方，熱分解した残りの固形分は砂の中で徐々に燃焼する。焼却炉で燃焼した排ガスは熱回収工程，排ガス処理工程を経て煙突から排出される。また，不燃物は砂

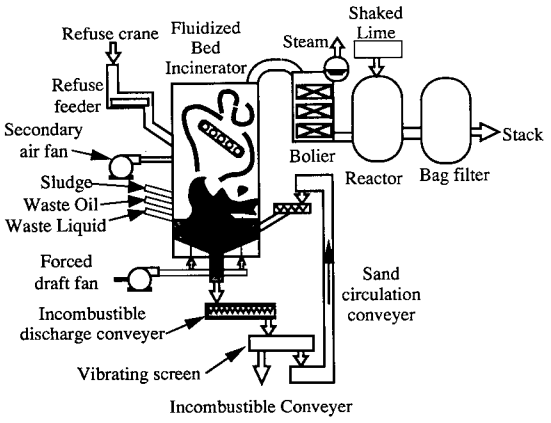


Fig. 1　Fluidized bed incineration plant

とともに炉底から排出され，砂は分級後再び焼却炉内に戻される。

流動床ごみ焼却炉はストーカ（火格子）炉と比べて，起動・停止が容易である，燃焼速度が極めて速い，汚泥などの低発熱量のものから廃プラスチックなどの高発熱量のものまで幅広く焼却できる，などの特長をもっている。しかしながら，その燃焼速度が速いために，ストーカ炉に比べて燃焼制御が難しい。たとえば，ごみはその性質上定量的に供給することが難しいため，特にごみが一時的に大量に投入された場合に，燃焼が急激に激しくなり，焼却炉内圧力の上昇や一時的な不完全燃焼によるCOの発生を招く。この急激な燃焼はごみが焼却炉内に投入されてから数秒で完結してしまうため，フィードバックによる制御も困難である。

3. 燃焼制御システム

3. 1 従来の燃焼制御

従来，当社の流動床ごみ焼却炉の燃焼制御は**Fig. 2**に示すようにPIDコントローラと，シーケンサを主体とした燃焼支援システム(Combustion Support System; 以下，CSSと略記する）によって行われていた。PIDコントローラは給じん機速度，二次空気量などを個別に定値制御しており，相互に協調動作を行うことはない。一般廃棄物焼却炉の場合は給じん機は一つだけであるが，産業廃棄物焼却炉の場合には，固形ごみ，汚泥，廃液，廃油など形状も発熱量もさまざまなものを焼却する必要がある。これらのごみは，それぞれの給じん機から焼却炉内に供給されるため，給じん特性や焼却負荷を考えて各給じん機の設定を行わなければならない。

一方，CSSはおもにごみの過大投入時におこる急激な圧力上昇や排ガス性状の悪化を避けるために，ごみの過大投入が検出された場合に二次空気の量を増加する，一次空気の量を変更する，給じん機を停止する，焼却炉内圧力を下げる，給じん機下のダンパを閉じるなどのシーケンス操作を行う。これは当社の過去の経験から得た流動床ごみ焼却炉の運転知識を具体化したもので，燃焼制御にエキスパートシステム的な制御を取り入れたものである。このCSSは異常燃焼の回避に有効なものであるが，通常の燃焼を行っている場合の燃焼状態の改善に対する寄与は少ない。このため，従来の制御系では以下のような問題点が残されていた。

(1) ごみの熱量変動が大きい場合，ごみ投入量の制御のみでは燃焼状態を十分に安定化できない。

(2) ごみによって給じん機速度を一定に保った場合でも定量供給性が大きく異なるため (1)の問題をさらに拡大する場合がある。

これらの問題を解決するためには，燃焼状態を的確に把握し，制御操作を行うしくみを開発する必要があった。

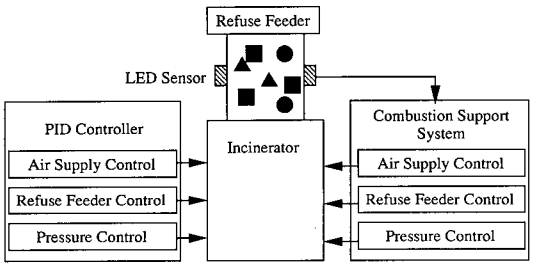


Fig. 2　Combustion support system

3. 2 ファジィ制御

今回開発した燃焼制御システムでは制御方式としてファジィ制御[2),3)]を採用した。これはファジィ制御が

(1) 制御ルールが言語的に記述できるため当社が有する流動床ごみ焼却炉に関する知識，オペレータの運転ノウハウが有効に利用でき，開発期間が短縮できる。

(2) 対象プラントにあわせたきめ細かな調整が行える。

(3) 制御目標の追加・変更に柔軟に対応できる。

などの利点があり，ごみ性状の変動の大きいプラントに対して有効であると判断したためである。特に (1)の特徴により，さまざまな観測量の組み合わせで燃焼状態を的確に判断し，操作を行うという制御ルールが容易に作成・利用できる。実際にオペレータはこのような判断に基づき，いくつかの操作を協調して適切に行っている。この点が従来の制御方式と最も異なる点である。

また，ごみの一時的な過大投入に対応するために二次空気の量を増加する，一次空気の量を変更する，給じん機を停止する，焼却炉内圧力を下げる，給じん機下のダンパを閉じるなどの操作は，一定周期で行われる通常の制御操作ではタイミングを逃すおそれがあるため，従来どおりCSSで行い，燃焼制御システムではそれらの量と時間の設定のみを行うようになっている。

3. 2. 1 メンバシップ関数

ファジィ制御においては，制御ルールとメンバシップ関数で性能が決定される。本制御では以下のような方針でメンバシップ関数を決定した。

(1) メンバシップ関数の数

一つの観測量・操作量に対してメンバシップ関数の数（ファジィ分割の数）を多く設ければよりきめ細かな制御が可能になるが，調整すべきパラメータの数が多くなることを考えると保守性の低下を招く。燃焼制御システムでは，これまでの流動床ごみ焼却炉の運転経験から，メンバシップ関数の数を一観測量あたり3とした。

(2) メンバシップ関数の組み合わせ

一つの制御ルールの条件部に数多くのメンバシップ関数を組み合わせて用いればよりきめ細かな制御が可能になるが，記述が複雑になり保守性の低下を招く。これを避ける

ために制御規則の階層化という手法があるが，対象によってはうまく階層化できない場合も多い。燃焼制御システムでは単純な記述の制御ルールを用い，制御ルールの数を増やすことで性能を維持することにした。

(3) メンバシップ関数の形状

一般に用いられているメンバシップ関数には三角形型，台形型，釣り鐘型などがあるが，本質的な優劣はないと考えられる。燃焼制御システムでは設定値近傍にある程度の許容範囲を設けることにしたため，台形型を用いた。これは，プラントの状態が許容範囲内にある場合には現在の状態を変更せず，「ようすをみる」というオペレータの操作を模擬したものであり，不感帯に相当する。燃焼制御システムで用いたメンバシップ関数の形状を**Fig. 3** に示す。

3. 2. 2　制御ルール

燃焼制御システムで用いる制御ルールは，当社設計技術者とのインタビューおよびオペレータとのインタビューから得られた運転操作知識をもとに構成した。これらの制御規則は大別すると以下のようになる。

(1) 各種ごみの処理量を確保するために各給じん機速度を制御するルール群

(2) 温度（特に炉出口温度）を維持するために各給じん機速度を制御するルール群

(3) 蒸気発生量の変動を吸収するために各種給じん機速度を制御するルール群

(4) 各種ごみ投入量に応じて焼却炉内圧力を制御するルール群

(5) 各種ごみの投入量に応じて短い周期で二次空気量を制御するルール群

(6) 排ガス中のO_2 濃度に応じて長い周期で二次空気を制御するルール群

(7) ごみ質からCSSのための各種設定値をつくるルール群

3. 3　システムの動作

Fig. 4 に実機システムの構成を示す。信号の流れを中心にして，各サブシステムの機能を説明する。

まず，プラントに設置された各種センサからのプロセス信号は一括してDCSに取り込まれる。

DCSでは，焼却炉に対する制御信号の上下限の設定，バーナやノズルの本数制御，ダンパや制御弁のPIDパラメータの設定など下位の制御と，プラントの監視を行う。また，減温塔，有害ガス除去装置，バグフィルタなど焼却炉以外の設備の制御も行っている。

焼却炉の制御に必要なプロセス信号はデジタル化されてDCSからPLCへ送られる。PLCでは当社のCSSの機能が実行され，ごみの一時的な過大投入に対して，二次空気の量を増加する，一次空気の量を変更する，給じん機を停止する，焼却炉内圧力を下げる，給じん機下のダンパを閉じるなどの操作を行っている。このCSSの動作に対する設定値は燃焼制御システム(Automatic Combustion Control System; 以下，ACCと略記する）がファジィ推論により決定する。また，PLCはACCのファジィ推論に必要なデータをラッチする。

ACCは**Fig. 5** に示すようなモジュール群で構成された，パーソナルコンピュータ上のソフトウェアである。具体的には汎用ファジィ推論エンジン，制御ルールベース，プロセス信号入力および制御信号出力用の入出力信号領域，オペレータが設定値を入力するためのパラメータ領域，入出力信号領域からプラントに信号を送受信するための入出力モジュール（通常はDCS上の通信プログラム），信号を入出力信号領域に割り付ける入出力定義ファイル，制御ロジックを記述したルール定義ファイル，オペレータが実際に操作するユーザインターフェースモジュールの組み合わせで構成されている。

これらのモジュールのうち，汎用ファジィ推論エンジン，制御ルールベース，プロセス信号入力および制御信号出力

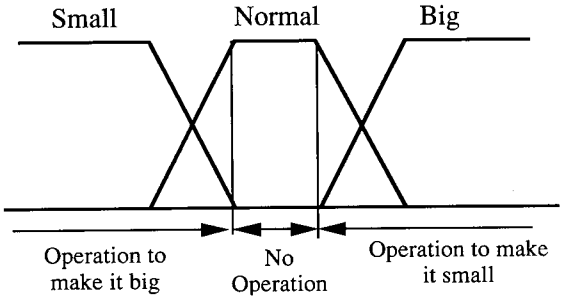


Fig. 3　Membership function

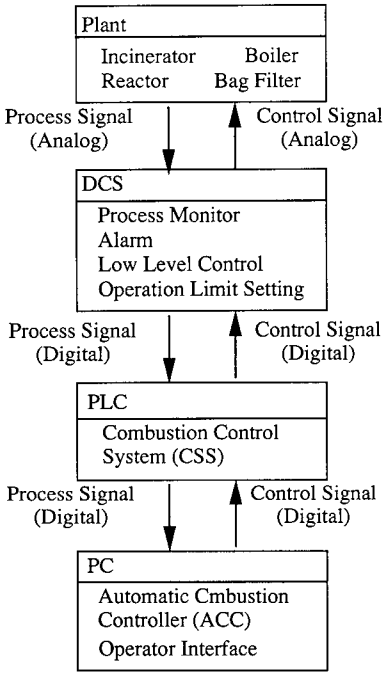


Fig. 4　System configuration

用の入出力信号領域，オペレータが設定値を入力するためのパラメータ領域は対象プラントに依存しない一般性のあるモジュールである。

一方，入出力モジュール，入出力定義ファイル，ルール定義ファイル，ユーザインターフェースモジュールは対象プラントごとに異なったものとなる。

このようなモジュール構成をとることにより，他のプラントに適用する際にもルール定義ファイルの部分だけを取り替えればよい。また，インターフェースのカスタマイズも容易なものとなっている。ユーザインターフェース画面の例を**Fig. 6**，**Fig. 7** に示す。

ACCは一定周期でPLCから**Table 1** の入力信号に示すプロセスデータを読み出し，データの平滑化，微分といった前処理を行い，制御ルールベースを参照してファジィ推論を行い，**Table 1** の出力信号に示す操作量を決定する。この手順を**Fig. 8** に示す。決定された値はPLCに書き込まれる。

PLCはACCによって書き込まれた操作量をDCSに送るとともに，CSSの設定値を変更する。

DCSはPLC経由でACCからのデータを受け取り，それをPID制御の設定値として，各操作端に実際の制御信号を出力し，制御を行う。

4. 実機運転結果

今回開発した燃焼制御システムは，当社が1997年7月末に工事を完了したトヨタ自動車㈱環境センターの複合産業廃棄物処理施設内に設置された流動床産業廃棄物焼却炉の燃焼制御システムとして採用されている。焼却炉の諸元を**Table 2** に示す。

この焼却炉において燃焼制御システムで運転した場合の温度および排ガス中のCOとNO_xの濃度を**Fig. 9** に示す。炉出口温度はCOが完全燃焼するとされている。850℃以上の約1000℃に安定に維持されており，このプラントの公害防止保証値である 50ppm以下を十分に満足している。また，COとならんで公害規制の対象となるNO_xについても，約 60ppmと低い値であり，このプラントの公害防止保証

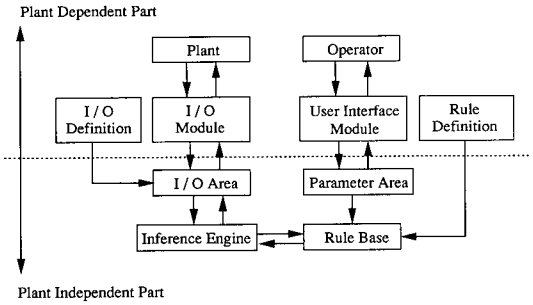


Fig. 5　Automatic Combustion Control system

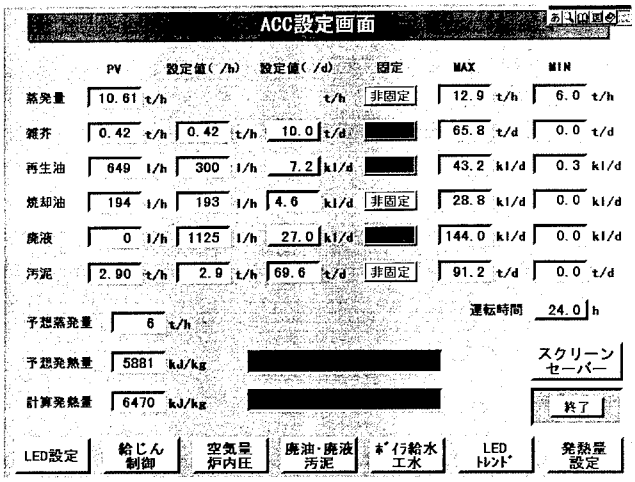


Fig. 6　ACC outlook

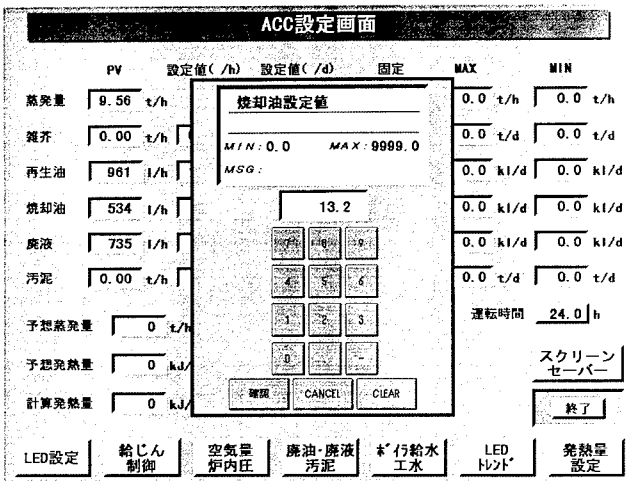


Fig. 7　ACC operator interface

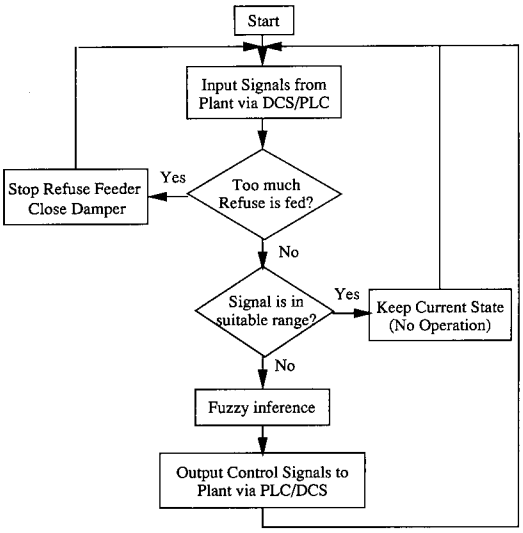


Fig. 8　Flow chart of fuzzy combustion control

値である 95ppm以下を十分に満足している。この制御に用いたファジィルールの数は，各種ごみの供給量制御に103ルール，二次空気量制御に24ルール，CSSの設定値制御に12ルールである。

5. おわりに

流動床ごみ焼却炉の燃焼安定化を目的として燃焼制御システムを開発した。燃焼制御システムによる実機運転の結果は良好であり，燃焼の変動が大きいとされている流動床炉の制御システムとして十分な性能をもつものにできた。今後もさらに研究開発を重ね，燃焼制御システムをより効果的なものとして行く所存である。

最後に実機運転データの収集に際し，多くのご配慮をいただいたトヨタ自動車工業㈱の関係者各位に深く感謝するしだいである。

参 考 文 献

1) 坪井晴人ほか. "流動床式都市ごみ焼却炉の開発". NKK技報. No.133, p.49-58(1990).
2) 浅井喜代治ほか. "ファジィ情報処理入門". 東京オーム社. p.1-63(1993).
3) 水本雅晴. "最近のファジィ推論". 情報処理. Vol.29, No.1, p.11-22(1988).
4) 田鍋実ほか. "ボイラ付き流動床焼却炉のファジィ燃焼制御". 第15回全国都市清掃研究発表会講演論文集. 1994, (社) 全国都市清掃会議, p.239-241.
5) 田鍋実ほか. "流動床焼却プラントのファジィ燃焼制御". NKK技報. No148, p.6-13(1994).

＜問い合わせ先＞
基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム
Tel. 044 (322) 6435　田鍋　実
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7681　秋山　肇

Table 1 I/0 signals

Input Signal	Output Signal
Air Flowrate (Primary, Secondary)	Secondary Air Flowrate
Pressure in Incinerator	Refuse Feeder Speed
Temperature (Fluidized Bed, Freeboard, Top of Incinerator)	Refuse Supply
Refuse Feeder Speed	Waste Oil Supply (Freeboard, Fluidized Bed)
Refuse Supply	Waste Liquid Supply (Freeboard, Fluidized Bed)
Sludge Supply	Sludge Supply
Waste Oil Supply (Freeboard, Fluidized Bed)	Boiler Water Supply
Waste Liquid Supply (Freeboard, Fluidized Bed)	Cooling Water Supply (Freeboard, Fluidized Bed)
Cooilng Water (Freeboard, Fluidized Bed)	Boader Value (To Stop Refuse Feeder , for CSS)
LED Count	Control Time (To Stop Refise Feeder, for CSS)
Mean Calolific Value	Boader Value (To Control Primary Air , for CSS)
Steam Generation	Control Time (Primary Air Air Flowrate, for CSS)
Boiler Water Supply	Boader Value (To Control Secondary Air , for CSS)
Boiler Level	Control Value (Secondary Air Flowrate, for CSS)
Exhaust Gas Flowrate	Control Time (Secondary Air Flowrate, for CSS)
Exhaust Gas Component (O_2, CO, NOx, SOx, HCl)	Boader Value (To Control Pressure, for CSS)
	Boader Value (To Stop Waste Oil, for CSS)
	Boader Value (To Stop Waste Liquid, for CSS)

Table 2 Plant specification

Plant capacity	159.6 t/d (4.98x10^{10} kcal/d)	
Gas Cooling System	Boiler (18.3 t/h, 23kg/cm^2)	
Environmental Quality Stanard	HCl	>80ppm (12%O_2)
	SOx	>175ppm
	NOx	>95ppm (12%O_2)
	CO	>50ppm (12%O_2)
	Dust	>30mg/Nm^3

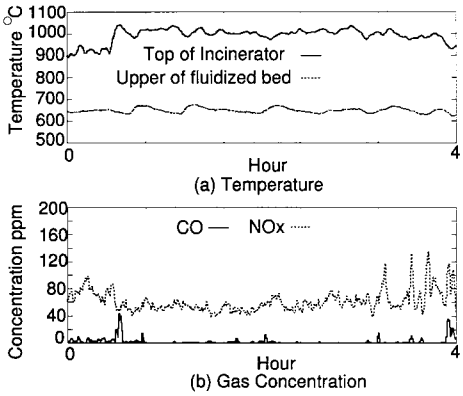


Fig. 9 Control result with ACC

ごみ焼却炉ハイブリッド燃焼制御システム

Hybrid Combustion Control System for Refuse Incineration Plant

藤井　聡　基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム　主任研究員
黒田　学　基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム
野上　祐一　制御技術部　電気システム設計室　統括スタッフ
阿瀬　始　制御技術部　統括スタッフ　工博
澁谷　榮一　環境プラント設計部　焼却炉設計室　室長
横山　隆　環境プラント設計部　開発室　室長

Satoshi Fujii, Manabu Kuroda,
Yuichi Nogami, Hajime Ase,
Eiichi Shibuya and Takashi Yokoyama

廃熱ボイラ・発電タービン付きストーカ式ごみ焼却炉における排ガス中の一酸化炭素（CO），窒素酸化物（NO_X）の同時低減と，蒸気発生量の安定化を目的とする自動燃焼制御システム（ACC）を新たに開発し，実用化した。本システムは，ファジィ推論によるCO，NO_X低減制御と，数式モデルに基づいて構成した蒸発量安定化制御を組み合わせたハイブリッドACCである。実工場に本システムを適用した結果，CO，NO_X濃度の同時低減と蒸気発生量の安定化が確認された。

NKK has developed a new automatic combustion control system that increases the stability of steam flow from the boiler, while simultaneously reducing CO and NO_X oncentrations in the exhaust gas discharged from a municipal refuse incinerator with a boiler-turbine. This control system consists of a simulation model based controller that stabilizes the steam flow rate and inner temperature, and a fuzzy based controller, which adjusts the secondary air to reduce CO and NO_X concentrations. This control system has been installed to an incinerator in service and indicated good control performances.

1. 緒　　言

ごみ焼却炉は，社会生活において排出されるさまざまなごみを処理するという重要な役割を担っている。近年では，ごみの焼却処理にともなって発生する有害物質の低減や膨大な熱エネルギーの回収に関心がますます高まっている。

排ガス中の有害物質については，従来より規制されていたNO_X，塩化水素（HCl），硫黄酸化物（SO_X）などに加え，ダイオキシン類においても1997年1月に「新ガイドライン」が示され，ごみ焼却炉の公害防止対策に対する要求は年々高度になってきている。しかしながら，ダイオキシン類と相関が高いといわれるCOの抑制とNO_Xの抑制には相反する面があるため，それらを同時に低減することは必ずしも容易ではない。一方，ごみ焼却熱の有効利用を図るため，ボイラ・タービンを備えた発電設備を有するプラントが増加しており，蒸気発生量の高度安定化も重要な課題である。

当社のストーカ炉は，従来のＮＫＫ－フェルント方式に加え，近年のごみ処理環境の変化に対応した当社独自設計のハイパー火格子方式がある。これらの方式の炉は，中間天井をもつ独自の二回流炉であることから，本来非常に良好な燃焼が可能であり，還元二段燃焼によるNO_X抑制も容易である。また自動燃焼制御装置[1),2)]により安定な燃焼制御も実現されており，各種規制値を大幅に下回る排ガス特性を実現している。しかしながら，上述のような最近の社会的要請に応えるためには今後，さらにきめ細かな燃焼制御が必要になってきた。

そこで，当社では，排ガス中のCO，NO_X同時低減と蒸気発生量の安定化を目的とするハイブリッド自動燃焼制御（以下，ハイブリッドACCと略記する）を開発し，実用化した。本論では，ハイブリッドACCの制御内容および実機での燃焼制御結果について報告する。

2. ごみ焼却炉設備概要

ハイパー火格子炉の概要を**Fig. 1**に示す。ごみホッパシュート底部のごみは，給じん装置の往復運動によって水平に配置された火格子上に送り込まれ，撹拌されながら移動する。そのとき，火格子上のごみは火格子下から送られてくる予熱された燃焼空気によって乾燥し燃焼する。最終的に，ごみは後燃焼ゾーンに送られて完全に灰となり炉から排出される。

燃焼排ガスは，主煙道を通過するガス流れと副煙道を通過するガス流れの二回流となる。ガス混合室では，ガスの混合および未燃ガスの再燃焼が行われる。混合・再燃焼した排ガスはボイラで熱回収され，排ガス処理設備通過後に煙突から大気中へ放出される。ボイラで発生した蒸気はタービンへ送られて発電に使われる。

3. CO, NO_x 発生の要因

3. 1 CO, NO_x 発生の特性

CO, NO_x 濃度を低減する制御を考えるためには，実際の焼却炉の運転状態とCO, NO_x 発生の関係を定量的に把握する必要がある。

そこで，多数の実炉における系統的なデータ計測と解析の結果，COのピーク的な増加には次の2種類の場合があることを明らかにした。(**Fig. 2**)

case 1：燃焼の活発化が原因の酸素不足によるCOの発生

case 2：酸素（O_2）が十分あるにもかかわらず，温度が低いために，O_2 がCOの再燃焼に寄与しないことによるCOの発生

3. 2 CO, NO_x，温度の関係

Fig. 3 は実炉データを整理して得られた二次空気量とCO, NO_x，およびガス混合室温度の静的な関係を模式的に示したものである。3. 1節で述べたcase 1 は領域Ⅰに相当し，case 2 は領域Ⅲに相当する。燃焼状態が**Fig. 3** の領域Ⅱにあれば，CO, NO_x が同時に低い状態に保たれることになる。

4. ハイブリッド制御の導入

3章にて得られた知見から，基本的には常に燃焼状況を **Fig. 3** の領域Ⅱに保つ制御が有効であると考えた。そのためには，まず，燃焼の長期的安定化を図る必要がある。これは，設定蒸気発生量に見合うごみを安定供給し，炉内のごみ滞留量を一定化した上で燃焼空気量を適切に制御することで実現する。ところが，炉内では種々雑多なごみに起因した突発的な燃焼変動も頻繁に発生している。それらの現象はモデル化困難であり，モデルに基づいた制御系では対応できない。そこで，このような短期的変動はファジィ制御によって抑制することにした。このように性格・目的の異なる2種類の制御系を**Fig. 4** のように組み合わせることで炉内燃焼を長期的にも短期的にも安定化させること

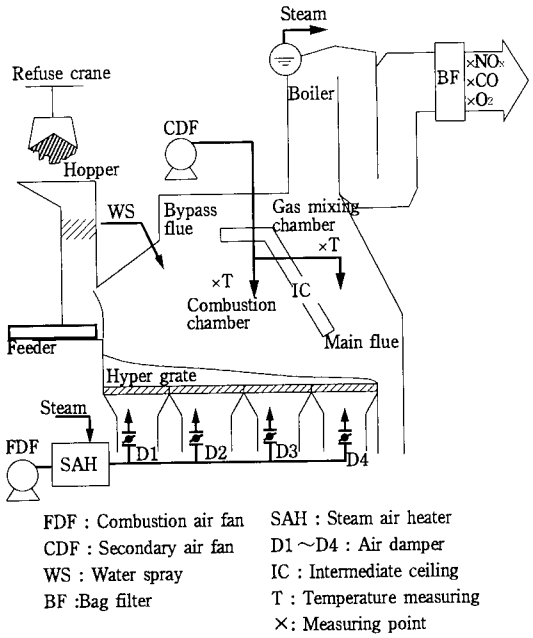


Fig. 1　Refuse incineration plant

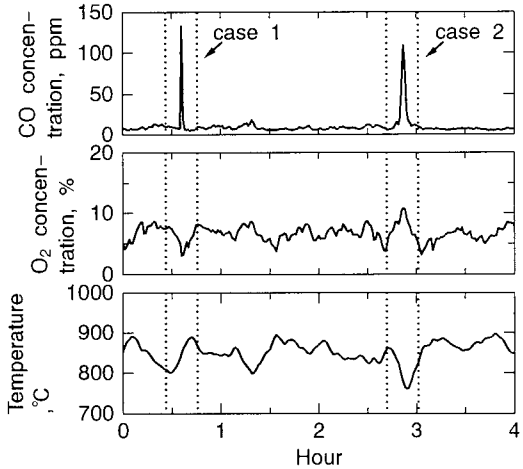


Fig. 2　Relation among CO, O_2 and temperature

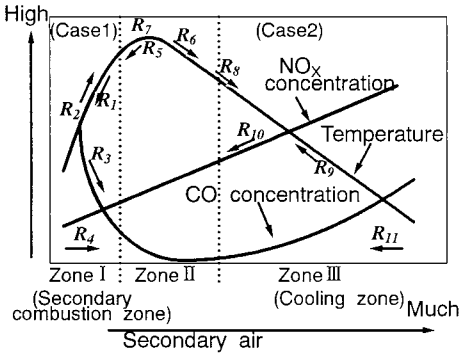


Fig. 3　Relation among CO, NO_x and temperature

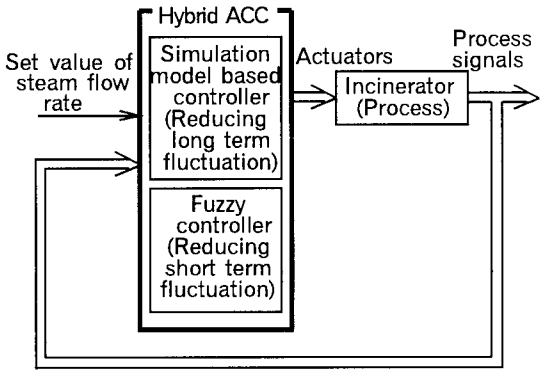


Fig. 4　Schematic diagram of Hybrid ACC

ができる。

5. 長期的燃焼安定化制御方式

5. 1 燃焼プロセスのモデル化

燃焼の長期的安定化を目的とする制御系は，ごみ焼却炉における各種操作量の動的応答，および炉内に供給されるごみの量と組成変動がもたらす影響の時間的変化の解析を基に構成されるが，それに先立ち制御系の動作と有効性を確認することを目的とした炉内燃焼モデルを作成した。

モデル化に際して設定した基本的な仮定は，以下に示すものである。

(1) 燃焼空気の風箱（乾燥1段，燃焼2段，後燃焼1段）の位置ごとに，火格子上のごみをブロックに分割する。

(2) 煙道は，燃焼室，副煙道，主煙道，ガス混合室に分割する。

(3) それぞれのブロックでのモデルは，熱・物質収支を基にした完全混合モデルとする。

(4) ごみは水分，可燃分，灰分から構成されるとし，可燃分の組成はCとHとOとする。

(5) ごみ層内での反応および煙道での反応は，それぞれ(1)～(5) 式とする。

$$C + O_2/2 = CO + Q_1 \quad \cdots\cdots (1)$$

$$C + O_2 = CO_2 + Q_2 \quad \cdots\cdots (2)$$

$$CO + O_2/2 = CO_2 + Q_3 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + Q_4 \quad \cdots\cdots (4)$$

$$H_2O(l) = H_2O(g) + Q_5 \quad \cdots\cdots (5)$$

ただし，

Q_i ; $i = 1 \sim 5$: 反応，蒸発熱

以上の考え方に基づいて得られたモデルの概要を **Fig. 5** に示す。

Fig. 5 において，火格子上のごみや煙道のブロックは物質収支と熱収支を基に構成される。一例として，ごみの物質収支と熱収支を示す。

$$dW_{ij}/dt = V_{i-1}\ W_{i-1j} - V_i\ W_{ij} + R_{ij} \quad \cdots\cdots (6)$$

$$d(\sum_j C_j\ W_{ij}\ T_i)/dt = V_{i-1} \sum_j C_j\ W_{i-1j}\ T_{i-1} - V_i \sum_j C_j\ W_{ij}\ T_i + Q_{ri} + Q_{gi} + Q_{fi} + \sum_j Q_j\ R_{ij} \quad \cdots\cdots (7)$$

ただし，

i : ブロック番号を示す添字　　j : 成分を示す添字

W_{ij} : j 成分の重量　　V_i : ごみの移動速度

R_{ij} : j 成分の反応，蒸気発生量　　C_j : j 成分の比熱

T_i : ごみの温度

Q_{ri} : 燃焼空気からごみへの熱伝達

Q_{gi} : 燃焼ガスからごみへの熱伝達

Q_{fi} : ごみ層表面火炎からごみへの熱伝達

5. 2 シミュレーション

このように表現した炉内燃焼モデルの妥当性を調べるために，焼却炉の燃焼状態に大きく影響を与えるごみの低位発熱量（以下，H_uと略記する）を一時的に低下させた場合の実炉とモデルの応答を比較した。

Fig. 6 の実線は，実炉において，ごみの一時的なH_u低下が発生した時点以降の蒸気発生量変動であり，破線はモデルを用いたシミュレーションの結果である。両者の蒸気発生量落ち込みの応答波形がほぼ一致していることから，炉内燃焼モデルが実炉をかなり忠実に表現していることがわかる。

5. 3 制御系設計

5. 2 節で述べたように，炉内燃焼モデルの妥当性を確認したので，このモデルを用いて制御系設計の検討に必要なシミュレーションや制御パラメータの調整などを進めた。

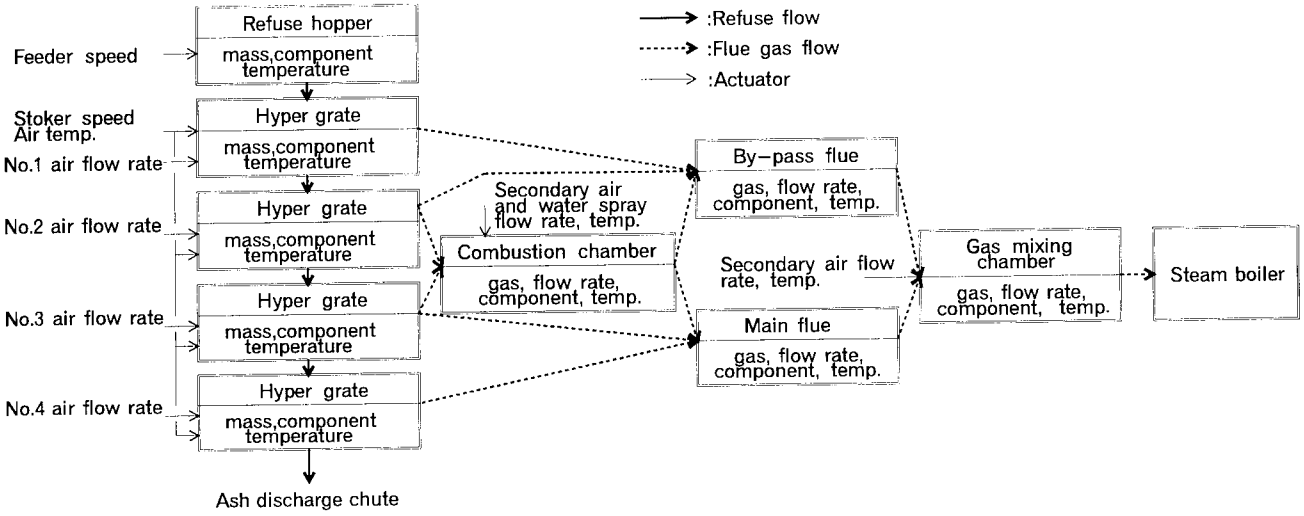


Fig. 5　Structure of mathematical model

燃焼の長期的安定化を目的とする制御を行うために，以下のような基本的な考え方で制御系を構成した。

(1) 設定蒸気発生量とH_uから決まる目標焼却量に見合うごみが安定的に供給され，炉内のごみ滞留量が極力一定となるように火格子速度を制御する。

(2) 燃焼空気の総量と火格子下配分割合はおもに蒸気発生量に基づいて制御する。蒸気発生量が設定蒸気発生量を下回ったときには，総量を増やし主燃焼域に燃焼空気が集中するように火格子下配分割合を調整し，燃焼の活発化を促す。一方，蒸気発生量が設定蒸気発生量を上回ったときには，総量を減らし燃焼空気を火格子面全体に分散させ，主燃焼域への配分割合を減少させることで，燃焼を抑制する。

5. 4　制御系シミュレーション

制御系の性能を評価するために，5. 2節と同じ条件の炉内燃焼モデルに5. 3節で構成した制御系を適用してシミュレーションを行った。**Fig. 7** に示すように，H_uの一時的な変動にもかかわらず蒸気発生量の変動を低く抑えることが可能であり，制御系が妥当であることが確認できた。

6. ファジィ制御によるCO，NO_X同時低減制御方式

5章で示したように炉内燃焼モデルに基づく制御により，ごみ質変動にもかかわらず安定な燃焼が可能になり，長期的，平均的には**Fig. 3** の領域Ⅱでの運転が保証される。しかしながら，実炉においては炉内燃焼モデルでは表現できないような短期的変動も発生し，例えば**Fig. 2** に示すようなCOの突発的発生となって現れる。このような非線形の強いプロセスの制御に対して，ファジィ制御が適していると考えられる。

ファジィ制御は，CO，NO_X，O_2，ガス混合室温度，および二次空気量の5つの入力からなり，操作出力は二次空気量の設定値となる。**Fig. 3** の中のR_1は**Table 1** の各規則番号に対応し，矢印はその規則による二次空気量の操作方向を表す。燃焼状態が領域Ⅰにある場合には規則$R_1 \sim R_4$，領域Ⅱにある場合には規則$R_5 \sim R_7$，領域Ⅲにある場合には規則$R_8 \sim R_{11}$によって，二次空気量が制御される。

これらの規則全体としての動きは，通常，ガス混合室温度を完全燃焼に必要な範囲に保ち，かつO_2が適正範囲となるように二次空気量を調整する。COあるいはNO_Xが上昇した場合にはこれらを抑制するように二次空気量を調整し，常にCO・NO_Xを同時に低く保つ領域Ⅱの状態を維持している。

7. 実炉運転結果

炉内燃焼モデルとシミュレーションを基本として開発した長期的燃焼安定化制御およびCO，NO_Xの短期的変動低減を目的としたファジィ制御を組み合わせたハイブリッドACCを導入した炉の運転条件および結果を**Table 2** に示す。一例として，**Table 2** の焼却能力100T／日ハイパー火格子炉における蒸気発生量，CO，NO_Xの推移を**Fig. 8** に示す。

本ACCによって蒸気発生量は十分安定しCO，NO_X濃度は低く抑えられている。**Fig. 2** にみられるようなCOの突発的発生は皆無である。

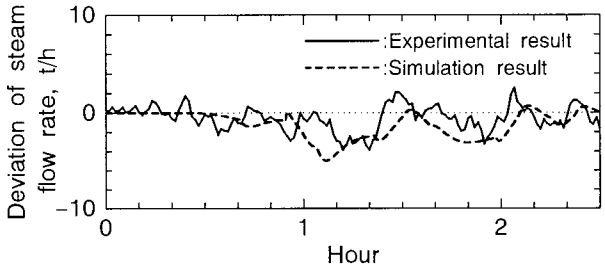


Fig. 6　Responses to change in H_u

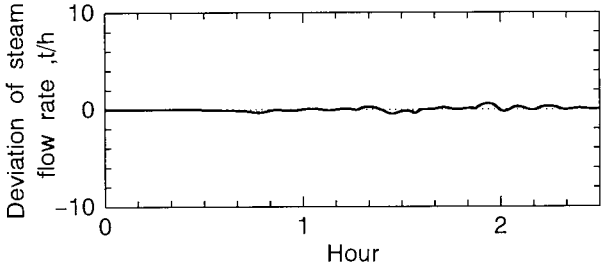


Fig. 7　Simulation result

Table 1　Control rules

Rule No.	Input signals (Antecedents)					Output signal (Consequent)
	CO	NOx	O_2	Temp.	Secondary air flow rate	Set value of secondary air flow rate
R_1				High	Small	Negative
R_2				Low	Small	Positive
R_3	High					Positive
R_4			Low			Positive
R_5			High	High	Medium	Negative
R_6			Adequate	High	Medium	Positive
R_7				Low	Medium	Zero
R_8				High	Big	Positive
R_9				Low	Big	Negative
R_{10}		High				Negative
R_{11}			High big			Negative

CO　:CO concentration in exhaust gas
NOx　:NOx concentration in exhaust gas
O_2　:O_2 concentration in exhaust gas
Temp. :Temperature in gas mixing chamber

8. 結　　言

従来のNKK－フェルント方式およびハイパー火格子方式の焼却炉に燃焼の長期的安定化とCO，NO_x の短期的変動の同時低減を目的としたハイブリッドACCを実機導入したところ，COとNO_x の同時低減が可能となり，平均値，ピーク値ともに低いレベルで安定化させることができた。同時に蒸気発生量も安定化することができた。

本制御装置により，排ガス中の有害物質の低減，ごみ発電によるエネルギー回収効率の増大に対する将来の社会的要請にも十分に応えられるものと考えられる。

参 考 文 献

1) 大木英彦ほか．“ごみ焼却発電における燃焼自動制御システム”．日本鋼管技報．No.90，p.85-95(1981)．
2) 小柳弥夫ほか．“NKK－フェルント式ごみ焼却炉用蒸気安定化装置の開発”．日本鋼管技報．No.84，p.85-93(1980)．
3) 白井正明ほか．“ごみ焼却炉燃焼制御システム”．NKK技報．No.152，p95-99(1995)．
4) 野上祐一ほか．“ハイパー火格子ごみ焼却炉燃焼制御システム”．NKK技報．No.156，p26-29(1996)．
5) 田鍋実ほか．“流動床焼却プラントのファジィ燃焼制御”．NKK技報．No.148，p.6-13(1994)．

<問い合わせ先>
基盤技術研究所　計測制御研究部　制御システムチーム
Tel. 044 (322) 6435　　藤井　聡
制御技術部　電気システム設計室
Tel. 045 (505) 7748　　野上　祐一

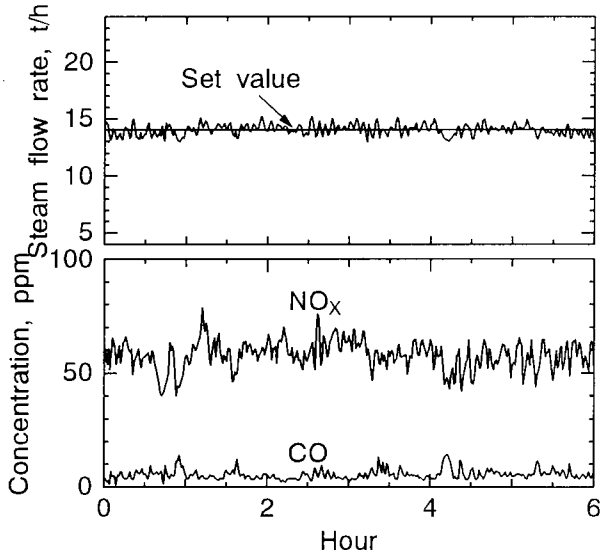


Fig. 8　Operation results with Hybrid ACC

Table 2　Operation results with Hybrid ACC

Operating conditions			Results				
Incineration capacity (ton/day)	Stoker type	Set value of steam flow rate (ton/hour)	Steam flow rate		NOx concentration (O_2 12% conversion)	CO concentration (O_2 12% conversion)	
			Average(t/h)	Standard deviation /ave.(%)	Ave. (ppm)	Ave. (ppm)	Max. (ppm)
100	Hyper grate	14.0	14.0	3.5	58	5.6	15
150	conventional	21.0	20.9	2.9	50	6.7	14
300	conventional	40.0	39.6	3.5	67	6.5	10

ごみ焼却残渣の電気抵抗式灰溶融プロセス

NKK Electric-resistance Furnace for Residues from Municipal Solid Waste Incineration Plants

藤澤　能成　川崎研究センター　燃焼システム研究室　室長
中原　啓介　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
仲尾　　強　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
寺辻　和広　環境プラント設計部　部長
明石　哲夫　環境プラント設計部　焼却炉設計室　統括スタッフ
平岡　英伸　環境プラント設計部　焼却炉設計室　統括スタッフ

Yoshinari Fujisawa, Keisuke Nakahara, Tsuyoshi Nakao, Kazuhiro Teratsuji, Tetsuo Akashi and Hidenobu Hiraoka

ごみ焼却残渣の溶融固化処理は，最終処分が解消できる完結型処理として期待されており，溶融生成物であるスラグ，メタルの利材化，溶融飛灰の資源化が注目される。NKK 電気抵抗式灰溶融炉のスラグは安全，良質で用途が広く，溶融飛灰は亜鉛，鉛を高濃度に含有し資源化に有利である。当社は京都市，東京都など多くの自治体から発生した多種類の焼却残渣を対象に実用規模の試験プラントによる溶融試験を重ね，灰溶融プロセスの有効性と安定性を実証した。

Landfill capacity is decreasing seriously and the remaining landfill site will be used up in about 8 years in Japan. Residues from municipal solid waste (MSW) incineration plants are landfilled and finding out new landfill sites is difficult. In addition, the residues contain toxic heavy metals as well as dioxins. The residues require treatments for de-toxifing before being landfilled. Vitrification process can solve these problems by 1) reducing volume of residues and utilization of its products from residues which can solve the landfill problem, 2) de-toxifing residues. NKK has developed the vitrification technology of an electric-resistance furnace. This report introduces a demonstration plant and presents results obtained from the plant operations for treating residues from Kyoto City and Tokyo Metropolitan MSW incineration plants.

1. 緒　　言

溶融固化処理は，ごみ焼却残渣である焼却灰，飛灰の無害化，資源化が図れることから，今後のごみ処理システムの主要プロセスとして期待される[1]。当社は，長年にわたる溶融固化処理技術の開発[2]により，無害化，資源化に優れた電気抵抗式灰溶融プロセスを確立した。

当社は，電気抵抗式灰溶融プロセスについて，処理能力12T／日の連続実験炉試験[3]に続き，実用規模の処理能力24T／日の実証プラントによる長期操業試験を京都市との共同研究，東京都との共同研究として実施し，プロセスの有効性とプラントの操業安定性を実証した[4)-7)]。また，多くの自治体から発生した焼却残渣の溶融試験も実施し，プラントの適応性とスラグの安全性を確認した。スラグの利材化についてタイル，ブロックの試作，骨材試験によりスラグ利用の可能性を実証し[5),10)]，溶融飛灰の資源化（製錬原料として利用）の可能性についても明確にした[11)]。

本報告では，処理能力24T／日の灰溶融実証プラントの試験操業実績から，プラントの操業性および無害化に関わる有害金属の移行挙動や有害ガスの発生，ダイオキシン類の分解，さらには資源化に関わるスラグの安全性，利材性および溶融飛灰の資源化の可能性などについて示す。

2. 溶融固化処理への期待

最終処分場の不足が深刻化し，溶融固化処理への期待が減容化による最終処分場の延命から溶融生成物の利材化，資源化による最終処分の解消へと高まり，スラグの安全性，利材性が強く求められている。有害金属の無害化について，以前はスラグ組織に封じ込め安定化することが注目されたが，現在はスラグ利用の視点から，溶融過程において有害金属は揮発させ溶融飛灰として資源化する方向が望ましいと考えられている。また，溶融固化処理はごみ焼却残渣のダイオキシン類の有力な熱分解法でもあり，有害金属とダイオキシン類を同時に無害化でき，しかも溶融生成物の資源化により最終処分の解消の可能性があることから溶融固化処理への期待は大きい。

3. NKK 電気抵抗式灰溶融プロセス

3. 1 電気抵抗式灰溶融炉

電気抵抗式灰溶融炉の構造と溶融原理を**Fig. 1** に示す。電気抵抗式灰溶融は，溶融状態のスラグに電流を流し，スラグが発生する抵抗熱で溶融スラグ上に浮遊する供給灰を溶融スラグに溶け込ませる方式である。溶融炉は深い溶融スラグ層に黒鉛電極が挿入され通電できる構造であり，溶融スラグの温度は約1500℃に保持される。黒鉛電極の消耗を抑制するため，溶融炉は密閉構造とし炉内は還元雰囲気である。供給灰の金属分や炉内の還元反応で生成した金属分は比重差により沈降して溶融スラグ層の下に溶融メタル層を形成する。溶融スラグと溶融メタルはヘッド圧を利用してそれぞれの専用口から排出される。

3. 2　電気抵抗式灰溶融プロセス

電気抵抗式灰溶融プラントのフロー例を**Fig. 2** に示す。プラントは，灰供給設備，溶融炉，溶融炉出口ガスの燃焼室，集じん機，スラグとメタルの固化設備から構成される。溶融炉出口ガスは，燃焼室でCO，H_2を燃焼し，バグフィルタでダストを溶融飛灰として捕集したのち放出される。溶融スラグは空冷処理あるいは水砕処理される。空冷処理では砕石状スラグ，水砕処理では砂状スラグが得られる。溶融メタルは空冷処理によりインゴットとして回収される。

3. 3　NKK 電気抵抗式灰溶融プロセスの特徴

電気抵抗式灰溶融炉は，溶融スラグ層上の供給灰層（カバリング灰層），深い溶融スラグ層，溶融スラグ層に接続の専用口からのスラグ排出（オーバーフロー排出でない），還元雰囲気の炉内など他形式の溶融炉とは炉構造，溶融方法が異なり，つぎの特徴を有する。

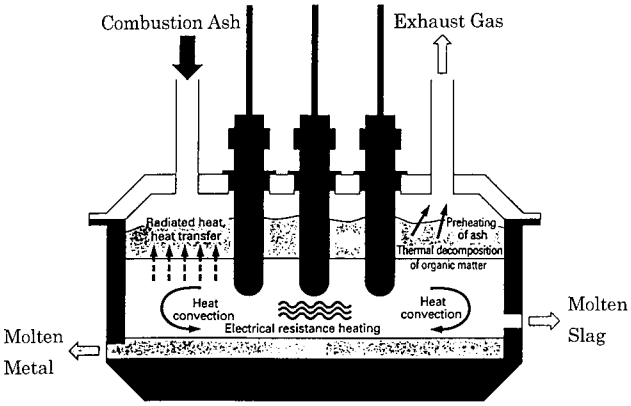


Fig. 1　NKK electric-resistance furnace

(1) 操業性
- スラグの粘性調整の必要がなく，副資材を要しない。
- 還元雰囲気の溶融のため電極の消耗が少ない。
- 穏やかな溶融のため騒音が低い。
- 飛散灰，ガス同伴灰が少なく，ダストの発生が少ない。
- 溶融スラグ層が深く，供給灰の成分変動に適応できる。
- 溶融炉の廃ガス量が少ない。
- HCl，SO_x，NO_x の発生が少ない。

(2) ごみ焼却残渣の無害化
- 還元雰囲気によりダイオキシン類が完全分解される。
- 鉛などの有害金属は揮発し，溶融飛灰に濃縮される。

(3) スラグの性状と利材化
- 炉内比重分離と専用口排出によりメタルの混入がない。
- 溶融スラグ層からの排出のため供給灰の混入がない。
- 還元雰囲気の溶融のため有害金属の含有が少ない。
- 炉内滞留が長く均質組成で有害金属の含有が少ない。
- 有害金属の溶出が極めて少なく安全性が高い。
- スラグの用途に合わせた成分調整が可能である。
- 砕石状の空冷スラグ，砂状の水砕スラグが製造できる。

(4) 溶融飛灰の性状と資源化
- 亜鉛，鉛の含有が多く，資源化に有利である。
- 水洗処理により亜鉛，鉛の濃縮物が容易に得られる。

4.　実証試験

電気抵抗式灰溶融実証プラントにおいて焼却灰溶融および焼却灰と飛灰の混合溶融について連続操業試験を実施した。ここでは，焼却灰溶融試験の1例(CASE 1[5])と焼却灰と飛灰の混合溶融試験の2例(CASE 2[4),6)]，CASE 3[7])を示す。

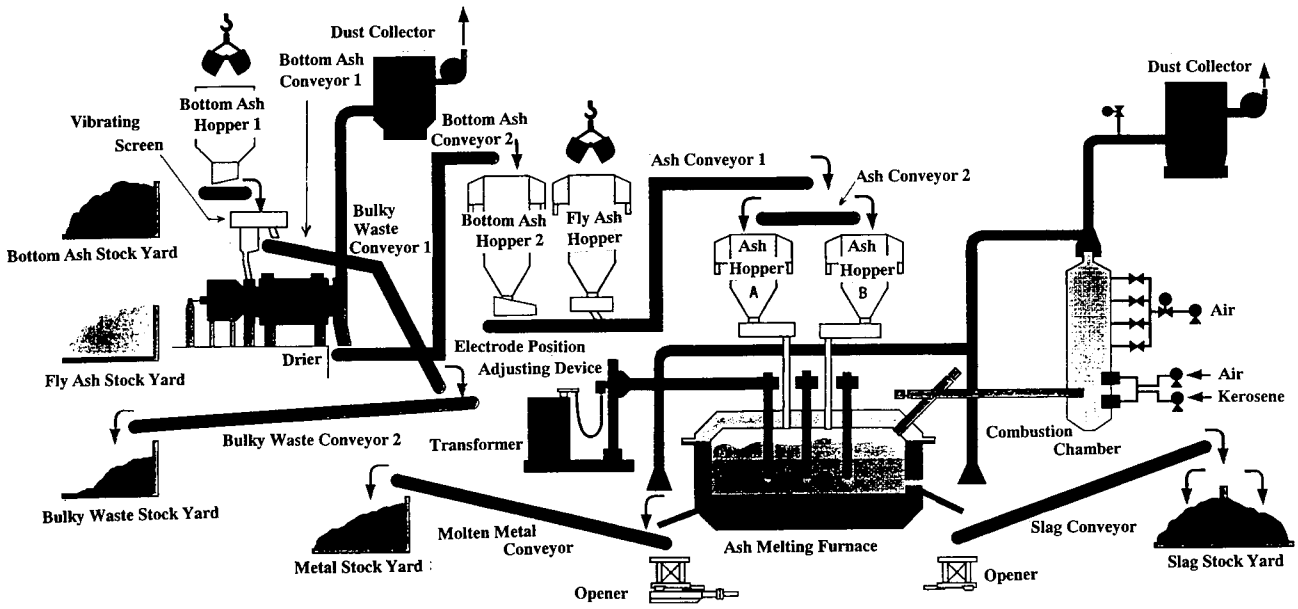


Fig. 2　Flow diagram of NKK ash melting process for demonstration

4. 1　試験方法

4. 1. 1　試験プラント

試験はFig. 2にフローを示した処理能力24T／日の灰溶融実証プラントにより実施した。実証プラントは，灰の受け入れ，溶融，ガス処理，スラグ・メタルの固化まで連続した操業が可能である。灰溶融炉の設備諸元をTable 1に示す。

4. 1. 2　供試灰

供試した焼却残渣の成分分析例をTable 2に示す。CASE 1では全連続式ストーカ炉の焼却灰，CASE 2では全連続式ストーカ炉の焼却灰と飛灰（湿式塩化水素除去装置付き，EP灰），CASE 3では全連続式ストーカ炉の焼却灰（焼却灰と飛灰をクリンカチャンネル処理した灰）と飛灰（乾式塩化水素除去装置付き，EP灰）を供試した。これらは代表的な焼却プロセスの焼却残渣である。焼却灰は篩分け処理により大塊物を除き，乾燥処理により水分を4～6%程度にした。飛灰は無処理とした。焼却灰と飛灰の混合は発生量比を標準とした。

4. 2　試験結果

4. 2. 1　操業実績

焼却灰溶融および焼却灰と飛灰の混合溶融ともに，長期の安定操業を実証した。CASE 1は延べ111日間に1340Tを溶融処理し，CASE 2は延べ33日間で760Tを溶融処理した。CASE 3は灰供給の制約から試験日数は短いが順調な操業を確認した。灰溶融電力原単位は灰供給量24T／日において約860kWh／灰T であり，電極消耗量は約1kg／灰T であった。また，耐火物の1年以上の耐久性を確認した。

4. 2. 2　物質収支

スラグ，メタル，溶融飛灰の生成率は供給灰の成分に依存する。CASE 2を例に物質収支をFig. 3に示す。CASE 1～3においてスラグの生成率は供給灰の70～80%であり，メタルの生成率は供給灰の4～15%であった。溶融飛灰の生成率は焼却灰溶融の1%に対し，塩類を多量に含む飛灰と焼却灰の混合溶融では2～4%であった。

5.　ごみ焼却残渣の無害化と資源化

実証試験の結果から無害化と資源化に関わる課題について以下に示す。

5. 1　溶融生成物の成分と主要元素の移行挙動

CASE 1～3において生成したスラグ，メタル，溶融飛灰の成分分析例をTable 3に示す。また，これら溶融生成物の構成元素について含有の多い順に示す。

スラグ；　Si，Ca，Al>>Na，Fe
メタル；　Fe>>Cu>Si，P
溶融飛灰；　Cl，Na，K，Zn>Pb

溶融過程において構成元素は特徴的な移行挙動を示す。CASE 3を例に主要元素のスラグ，メタル，溶融飛灰への移行率をFig. 4に示す。スラグにはSi，Al，Ca，Mgの全量とNa，Kの大部分が移行し，メタルにはCuの大部分，Fe，Pの多くとPbの一部が移行した。溶融飛灰にはCdの全量，Pb，Znの大部分が移行した。元素の移行挙動には溶融雰囲気（酸化，還元）が影響する[9]。

5. 2　スラグの安全性と利材化

スラグはPb，Cdなどの有害金属の含有が極めて少ない[8]。電気抵抗式灰溶融炉は還元雰囲気の溶融であり，しかも炉内滞留時間が10時間以上と長く，重金属は揮発だけでなく金属としてメタルにも移行するため，スラグの重金属含有量は極めて少ない[9]。スラグの有害金属の溶出について土壌環境基準の判定方法である環境庁告示46号溶出試

Table 1　Specification of experimental furnace

Furnace Type	NKK electric resistance furnace
Capacity	24 t／day
Furnace Outer Dimension	3.9 m (diameter), 1.9 m (height)
Electrode	Carbon 0.2 m (diameter)
Transformer Capacity	1100 kVA

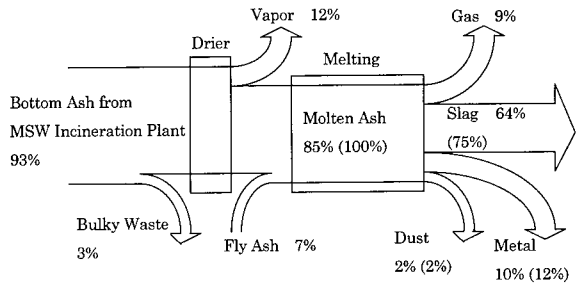


Fig. 3　Material balance (CASE 2)

Table 2　Chemical composition of residue from MSW combustion furnace

Element		CASE 1	CASE 2		CASE 3	
		Bottom Ash	Bottom Ash	Fly Ash	Bottom Ash	Fly Ash
Si	mass %	25.0	15.0	10.3	17.6	15.0
Al	mass %	9.0	9.5	6.3	8.3	7.9
Ca	mass %	6.5	13.7	10.2	15.6	14.5
Mg	mass %	0.75	1.2	1.4	1.5	1.7
Fe	mass %	12.0	10.3	2.3	5.5	1.4
Na	mass %	1.4	2.1	7.7	1.7	3.3
K	mass %	0.30	0.85	6.2	0.97	3.8
Cl	mass %	0.37	1.6	12.0	1.2	7.4

験を実施し，**Table 4** に示す結果を得た。スラグは土壌環境基準を十分に満足する水準であった。

空冷スラグの骨材特性を**Table 5** に示す。空冷スラグは道路用骨材，コンクリート骨材の規定値を満足しており，広範囲な利用の可能性が実証された[5),10)]。

5. 3 溶融飛灰の資源化

溶融飛灰はPbを 4～7%，Znを18～25% 含有する。Pb, Zn, Na, K，Clの含有率の合計は85～95% を占め，Si, Al, Caなどの灰分元素の含有は少ない。これは飛散灰，同伴灰の混入や，溶融過程におけるSiの揮発がないことによる。溶融飛灰は水溶性のNaCl, KCl と難溶性のZnO, PbO, $PbCl_2$ から構成されることから，水洗処理によりNaCl, KCl を浸出し，Zn, Pbの濃縮物を容易に得ることができる。溶融飛灰の水洗処理試験の結果を**Table 6** に示す。水洗処理物はZnを51%，Pb を16% 含有しており，鉛・亜鉛同時製錬プロセス（ISP プロセス）の製錬中間原料として利用の可能性が高い[11)]。

5. 4 溶融炉，燃焼室出口ガスの性状

溶融炉出口ガス，燃焼室出口ガスの分析例を**Table 7** に示す。溶融炉出口ガスは燃焼室で燃焼され，COは5ppm未満に低減した。またSO_x，NO_x，HCl は低濃度であり，これまでの報告例[1)]の低値に属する。燃焼室出口ガスのHCl 濃度が30～60ppmと低いことに関して，代表的なHCl生成反応である (1),(2)から考察すると，溶融炉出口ガスのSO_x 濃度が3ppm未満と極めて低いため反応 (1)の可能性は低く，SiO_2, Al_2O_3が固体として存在し反応が遅いため反応 (2)の可能性も低い。このため電気抵抗式灰溶融プロセスではHCl の生成は少ないと結論した[6)]。

$$2\,NaCl + H_2O + SO_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow 2\,HCl + Na_2SO_4 \quad \cdots\cdots(1)$$

$$2\,NaCl + H_2O + 2\,mSiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2\,HCl + 2\,NaAlSi_mO_{(2+2m)} \quad \cdots\cdots(2)$$

Table 3 Chemical composition of products from electric-resistance furnace

Element		Slag			Metal			Dust		
		CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3
Si	mass%	23.7	21.3	17.0	3.85	1.72	0.60	0.23	0.57	0.67
Al	mass%	10.8	10.4	11.5	<0.01	0.03	<0.01	0.26	0.23	0.16
Ca	mass%	11.4	10.9	21.0	0.02	<0.01	<0.01	0.37	0.16	0.54
Fe	mass%	1.29	6.47	0.46	84.7	92.2	91.0	0.75	0.69	0.09
Na	mass%	4.50	4.43	2.10	<0.01	<0.01	<0.01	12.3	16.1	11.7
K	mass%	0.94	1.18	0.80	<0.01	<0.01	<0.01	9.4	13.0	20.4
P	mass%	0.024	0.34	0.41	2.65	2.35	2.30	0.043	0.044	0.44
Cu	mg/kg	120	200	99	58700	52100	77000	1100	1400	2600
Pb	mg/kg	<10	72	<10	1000	2750	500	100000	64000	41000
Zn	mg/kg	175	1660	370	1300	1760	480	270000	214000	189000
Cd	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5	<10	<10	<0.5	1000	3100	4100

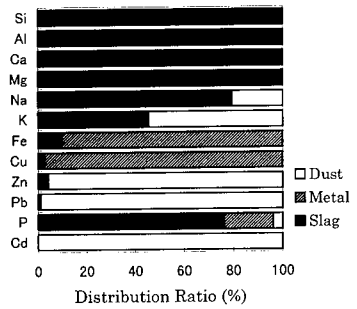


Fig.4 Distribution ratio of elements (CASE 3)

Table 4 Leaching test on molten slag

Item	Unit	Result			Regulation
		CASE 1	CASE 2	CASE 3	
Hg	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005
As	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
Se	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	0.01
Cd	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	0.01
Pb	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	0.01
Cr^{6+}	mg/l	<0.04	<0.04	<0.04	0.05
pH	-	7.2	8.2	10.0	

Specified by EPA, Japan
(Environment Protect Agency Notification No.46)

Table 5 Properties of molten slag

Item	Molten Slag	Aggregate Standard for Road-Crushed Rock-Class1	Aggregate Standard for Concrete
Specific Gravity	2.68	>2.45	>2.5
Moisture Absorption Rate [%]	0.06	<3.0	<3.0
Abrasion loss [%]	34.1	<35	<40
Stability [%]	<1		<12
Corrected CBR [%]	99		

Table 6 Leaching effect on dusts from M.F.

Element	Dust from M.F.		Treated Dust	
Na	12.9	mass%	0.70	mass%
K	12.7	mass%	0.21	mass%
Pb	6.1	mass%	15.8	mass%
Zn	21.5	mass%	51.4	mass%
Cu	0.20	mass%	0.24	mass%
Sn	0.32	mass%	0.52	mass%
Cl	32.9	mass%	2.6	mass%

5. 5 ダイオキシン類の分解

CASE 3 を例に溶融プラントにおけるダイオキシン類の挙動を**Fig. 5** に示す。溶融炉は還元雰囲気にあり，ダイオキシン類の分解率はほぼ 100% であった。プラント全体における分解率は99% 以上であったが，燃焼室条件の最適化から溶融飛灰に存在したわずかのダイオキシン類の低減によりプラント全体においてもほぼ 100%の分解が期待できる。

6. 結　　言

実用規模の処理能力24T／日の電気抵抗式灰溶融試験プラントによる長期連続操業試験により，プラントの安全性と安定性を実証した。また，無害化に関わる溶融過程における有害金属の移行挙動，有害ガスの発生，ダイオキシン類の分解，および資源化に関わるスラグの安全性・利材性，溶融飛灰の資源化の可能性について考察を進め，つぎに示す電気抵抗式灰溶融プロセスの特徴を確証した。

(1) ごみ焼却残渣の無害化と資源化

- 有害金属は溶融飛灰に濃縮され資源化の可能性が高い。
- スラグは有害金属の含有と溶出が少なく安全性が高い。
- スラグはメタル，灰の混入がなく良質で利材性が高い。
- ダイオキシン類は熱分解により無害化される。

(2) プラントの安全性と安定性

- 溶融処理にともない発生する有害ガスが少ない。
- 焼却灰，焼却灰と飛灰の混合灰の安全かつ安定した連続溶融ができる。

電気抵抗式灰溶融プロセスの実証試験の実施にあたり京都市殿，東京都殿のご指導とご協力に深く感謝の意を表する。

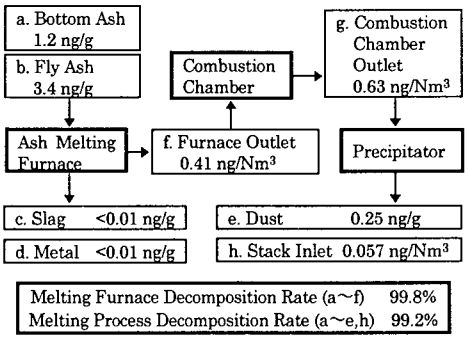


Fig. 5 Behavior of dioxin (dioxins are shown by I-TEQ)

参 考 文 献

1) 古角雅行．“東京都の飛灰対策の現状”．廃棄物学会誌．Vol.5, No.1, p.46-59(1994).
2) 江藤肇ほか．“サブマージドアーク炉によるごみ焼却灰溶融処理設備の開発”．日本鋼管技報．No.85, p.73-85(1980).
3) 明石哲夫ほか．“電気抵抗式溶融炉による都市ごみ焼却灰溶融技術”．NKK技報．No.143, p.9-16(1993).
4) 中村一夫ほか．“電気抵抗式灰溶融炉による焼却灰と飛灰の混合溶融試験”．第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集．p.176-178(1997).
5) 稲葉時夫ほか．“電気抵抗式灰溶融炉による焼却灰溶融試験”．第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集．p.179-181(1997).
6) 明石哲夫ほか．“電気抵抗式溶融による飛灰処理技術の開発”．第７回廃棄物学会研究発表会講演論文集Ⅰ．p.430-432(1996).
7) 明石哲夫ほか．“電気抵抗式灰溶融炉の開発”．第７回環境工学総合シンポジウム講演論文集．p.171-174 (1997).
8) 中原啓介ほか．“ごみ焼却灰溶融スラグの性状”．第17回全国都市清掃研究発表会講演論文集．p.115-117(1996).
9) 品川拓也ほか．“廃棄物溶融スラグ中の重金属の挙動”．第７回環境工学総合シンポジウム講演論文集．p.163-165(1997).
10) 平岡英伸ほか．“電気抵抗式灰溶融炉による溶融スラグの有効利用”．第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集．p.101-103(1997).
11) 中原啓介ほか．“溶融飛灰からの有価金属の回収”．第18回全国都市清掃研究発表会講演論文集．p.104-106(1997).

<問い合わせ先>
川崎研究センター　燃焼システム研究室
Tel. 044 (322) 6252　中原　啓介
環境プラント設計部　焼却炉設計室
Tel. 045 (505) 7623　明石　哲夫

Table 7 Properties of exhaust gas from electric-resistance furnace

Item	Unit	Furnace Outlet			Combustion Chamber Outlet		
		CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 1	CASE 2	CASE 3
Flow Rate	wet Nm³/h	230	210	140	970	690	300
Temperature	℃	340	695	420	810	743	640
H_2O	%	40.7	29.3	26.3	9.4	9.9	12.6
CO_2	dry %	21.0	31.6	21.6	4.8	11.5	11.4
O_2	dry %	1.1	0.8	<0.1	16.7	10.7	10.5
CO	dry %	43.7	26.2	39.8	<5ppm	<5ppm	<2ppm
H_2	dry %	4.9	23.1	27.8	<0.1	<0.1	<0.1
HCl	dry ppm	60	60	88	27	48	58
SOx	dry ppm	5	<3	<3	7	<3	<3
NOx	dry ppm	<5	10	9	58	50	80
Dust	g/Nm³	57	47	44	19	14	20

分別ごみ資源化システム前処理選別技術

Presorting Technologies for the Waste Recycle System

有本　誠　環境・リサイクル技術センター　主査
秋保　慶志　環境・リサイクル技術センター　統括スタッフ
宅和　稔朗　環境・リサイクル技術センター
押田　栄二　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム　主査
吉永　陽一　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム　主任研究員
浅野　幹之　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム

Makoto Arimoto, Keishi Akiu,
Toshio Takuwa, Eiji Oshida,
Youichi Yoshinaga and Motoyuki Asano

当社は，横浜市にある鶴見事業所の敷地内に一般廃棄物のリサイクルを中心とした次世代技術の実証施設群を「環境R＆Dセンター」として1996年4月に集約・建設し，研究・開発を行っている。本稿では分別ごみ資源化システムにおける前処理選別技術について述べる。当社の分別ごみ資源化システムは，高速破袋機と高性能風力選別装置を核とした特徴ある前処理選別技術により，さまざまなごみ質に対して安定した選別が可能である。

We have developed a sorting and recovery system for recyclable waste such as glass bottles, plastic bottles, steel cans, aluminum cans and other residuum. This system incorporates a combination of various systematized sorting equipment, including a bag breaker & remover, wind-powered sorter, and aluminum, plastic, and bottle-color separators. In this paper we would report about the presorting equipments for the newly developed sorting and recovery system, mainly such as a bag breaker and a high performance wind-powered sorter.

1. 緒　　言

近年，一般廃棄物の排出量の増大，用地の確保難などから，最終処分場の枯渇が問題となっている。また，「容器包装に係る分別収集および再商品化の促進等に関する法律(通称；容器包装リサイクル法)」が1997年4月に施行され，循環経済をめざした社会のしくみが整備されつつある。こうした社会背景から，今後もより高度な再資源化技術のニーズが高まって行くと予想される。

一方，一般廃棄物の中間処理における資源化処理はいまだに人手に頼る比重が大きく，作業環境の改善や大量処理への対応が急務になっている。当社でも，一般廃棄物処理プラントにおける自動化技術の開発に積極的に取り組んでおり，各コンポーネントの開発およびシステム設計に関してのノウハウの蓄積に努めてきた。これら技術の集大成として1997年3月には栃木県芳賀郡中部環境衛生事務組合殿向けにガラスびんの自動色選別とスチール缶，アルミ缶，PETボトルを自動的に分類選別する資源化施設を竣工した。それに先立つ1996年9月には，客先のさまざまなニーズに対応した選別技術の開発を目的として，当社鶴見事業所内「環境R＆Dセンター」に，資源化システムパイロットプラントを建設し，研究・開発を行っている[1)]。

本稿では当社における分別ごみ資源化システムの前処理選別技術を紹介し，併せて性能試験結果を報告する。

2. 前処理選別技術について

実際に収集されるごみは，不特定多数の住民から排出されるものであることから，あらかじめ定められた品目以外のごみが混入する可能性が高く，その状態も予測困難である。そのため，分別ごみ資源化システムにおいては，ガラスびんの自動色選別装置などの高精度な選別機械が十分な性能を発揮するために，不特定なごみを選別可能な性状まで均質化する必要があり，これを前処理選別技術と呼んでいる。**Fig. 1** に示した当社の分別ごみ資源化システムは

(1) 受け入れたごみ袋を破って内容物をごみ袋から取り出す破袋工程
(2) 選別不適物を除去して資源化可能な物を取り出す不適物除去工程
(3) 磁選機により鉄類を除去する磁力選別工程
(4) 風力選別および丸物選別によってガラスびんを取り出すガラスびん選別工程
(5) 選別されたガラスびんを色別に分別するびん色選別工程
(6) 風力選別後に残ったアルミ缶とPETボトルをアルミ選別機で分離するアルミ選別工程
(7) 残ったプラスチック系廃棄物より塩素含有プラスチックを除去するプラスチック選別工程

から構成されており，このうち (1)～(4) までを前処理工程と呼んでいる。

3. 構成機器

3. 1 破袋機

破袋機はごみ袋の中から内容物を取り出す装置であり，分別ごみ資源化システムでは最も上流に位置する。当社の破袋機はPhoto 1 に示すように，外周に等間隔に破袋刃をもつ2枚の円盤（Saucer）を同一平面上に近接して配置したユニークな構造をしている。このソーサは互いに反対方向に回転していて，袋が2枚のソーサの真ん中に投入されると左右ソーサ外周部の刃が袋に引っかかり，2枚のソーサの回転運動により左右に引き裂かれる。内容物はこの左右の裂け目から排出される。破袋の様子をPhoto 2 に示す。

この破袋機の仕様をTable 1 に示す。本破袋機の特徴は，袋を外側に引っ張って破る方式なので，破袋力を外側から内側に向けて作用させる従来方式と比べて袋の中にあるガラスびんなどの破損が極めて起こりにくく，かつ高速に破袋できるので大量処理が可能であることである[2)]。

3. 2 不適物選別機

振動を利用した篩い分け装置で，40mm以下の残渣と150mm 以上の長大物の除去を行う。この工程では40mm以下の物として乾電池や石ころ，ガラス屑などが除去され，長大物としてはボンベ類や鍋類などの，下流機器の間口よりも大きい物が除去される。装置の外観をPhoto 3 に示す。

3. 3 風力選別装置

3. 3. 1 装置の特徴

本装置は前処理選別技術の核となる選別装置である。磁選機でスチール缶を選別したあとの廃棄物を，風力によっ

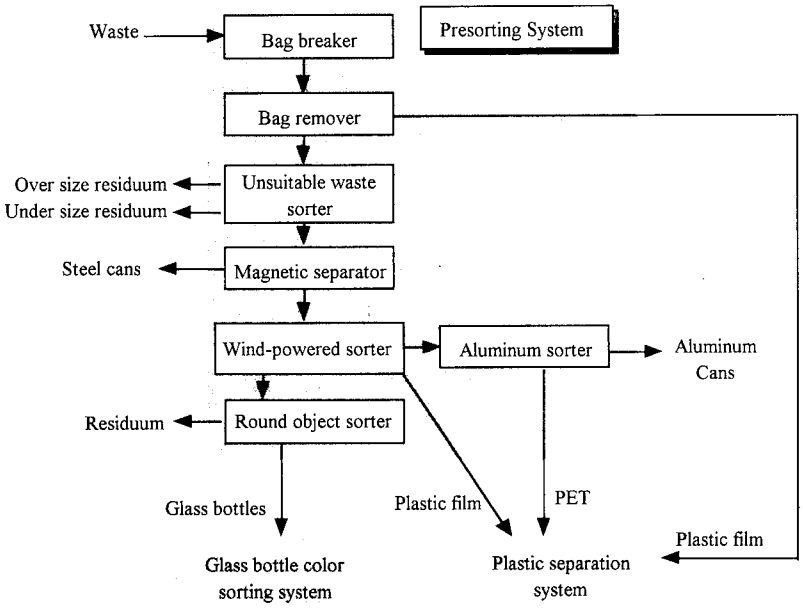


Fig. 1 NKK automated waste sorting and recovery system

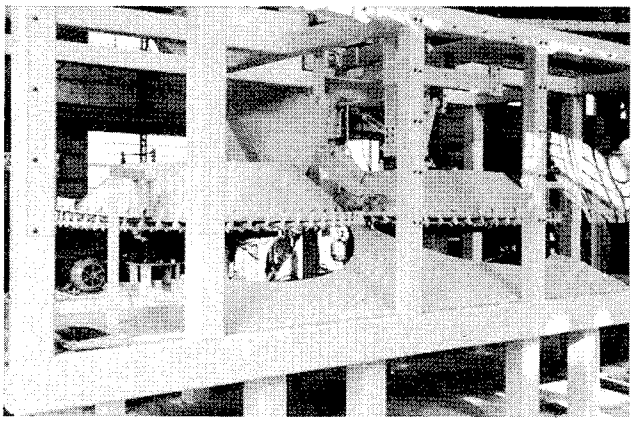


Photo 1 Bag breaker

Photo 2 Opening plastic bags by the bag breaker

て飛ばされる距離に応じて重量物（ガラスびん），中量物（アルミ缶，PETボトル），軽量物（フィルム類）の3種に分別する。風力源として圧縮空気を使用し，風量を従来の1%程度に抑制しているので，従来の風力選別装置で必要とされたサイクロンや集塵機が不要となり，設備の小型化と建設コストの低減にも大きく寄与している。**Table 2** に風力選別装置の仕様を示す。

3. 3. 2 選別原理

従来，缶・びんの選別には風力選別装置は不適当とされていた。その理由として

(1) 選別対象物の形状の影響を受けやすく選別精度が悪い
(2) 均一な流れを作るのが難しいので選別精度が悪くなる
(3) サイクロンやバグフィルタなどの補助設備の建設コストが大きい。

などが挙げられる。

当社の開発した風力選別装置はノズルから吹き出す圧縮空気を風力源とすることにより上記の欠点を解消している。つまり，単位体積あたりのエネルギーの大きな圧縮空気を用いることにより少ない風量でも物体を遠くまで飛ばすことが可能となり，また，ノズル配列を工夫することにより均一な流れを実現することが可能となった。また，通常の風力選別では選別対象物の投影面積によって飛距離が決まるので，つぶれた缶などは選別精度が低下していた。当社方式の風力選別装置では，ノズルからの圧縮空気の作用する面積が選別対象物よりも小さいので選別対象物の形状に関わらず高精度な分別が可能となった[3]。

3. 3. 3 装置構成

Photo 4 に風力選別装置の外観を示す。ごみは振動式の供給フィーダにより，ほぐされながら装置に投入される。投入されたごみはノズルからの圧縮空気により質量に応じた距離で飛ばされる。つまり，比重の大きなガラスびん類は手前の重量物シュートに落下し，一方アルミ缶やPETボトルはノズルから遠方の中量物シュートに飛ばされ，さらに，フィルムや紙類はメッシュコンベヤ形式の軽量物シュートに回収される。

3. 3. 4 風力選別装置の選別性能

ガラスびん，アルミ缶，PETボトル，フィルム類の混合ごみを風力選別装置で選別した結果を**Fig. 2** に示す。重量物シュート，中量物シュート，軽量物シュートの全シュートについて，目的とする内容物を95%以上の純度で回収で

Table 1 Specification of the bag breaker

Type	Twin saucer type
Weight	3700kg
Saucer diameter	φ 1330mm
Saucer speed	Max 30rpm
Power Unit	2.2kW×2
Throughput	45bags/min (14ton/h)
Glass breaking ratio	Under 5%

Table 2 Specification of the wind-powered Sorter

Type	High pressure wind-powered sorter	
Throughput	6ton/h	
Utility	Compressed air ($3kgf/cm^2$, $3Nm^3/min$)	
Performance	Heavy	Glass bottles; Purity 98%
	Medium	Al. Cans, PET bottles; Purity 98%
	Light	Film, Paper; Purity 100%

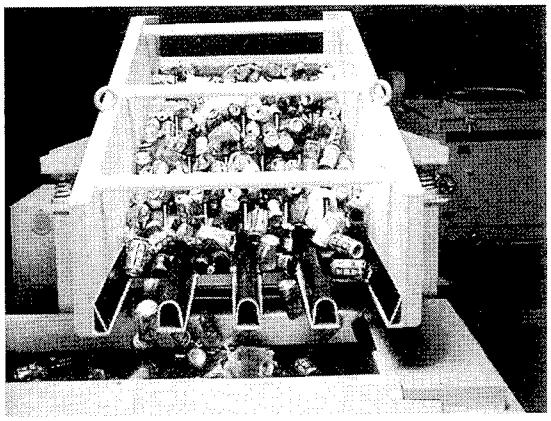


Photo 3 Unsuitable waste sorter

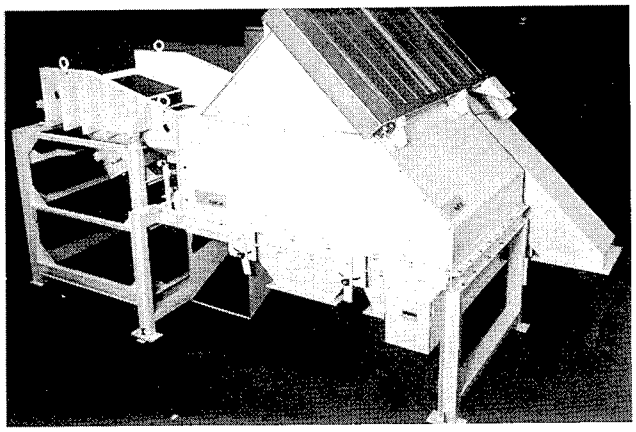


Photo 4 Wind-powered sorter

きている。特に，軽量物シュートではほぼ 100%のフィルム純度を達成している。また，つぶれたアルミ缶も重量物シュートに混入することなく，中量物シュートに回収されている。

3. 4　丸物選別装置

風力選別装置で重量物シュートに回収されたガラスびんは傾斜コンベヤを利用した丸物選別装置で形状選別を行う。これは，リサイクルに適さない灰皿などの結晶化ガラスや陶磁器類を除去して飲料びんの純度を上げるためである。

3. 5　アルミ選別装置

中重量物シュートに回収されたアルミ缶とPETボトルは渦電流式のアルミニウム選別機でアルミ缶とPETボトルに選別される。

4.　実ごみによる前処理選別性能試験

4. 1　試験条件

本前処理選別装置に実際に家庭から排出された分別ごみを投入し，選別性能試験を行った。収集した分別ごみを抜き出し，検査した組成を**Fig. 3** に示す。収集した分別ごみは袋収集であったが，収集段階で60%程度は袋が破れて中身が出ていた。また，ガラスびんの 3 割弱がすでに破損していた。また，異物としては鍋類が多く，その他玩具，スプレー缶，中身入りの缶詰などが混入していた。なお，本性能試験は 6 t／hの処理速度で行った。

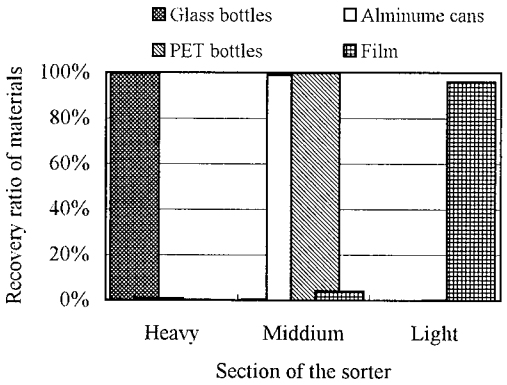


Fig. 2　Test result of the wind-powered sorter

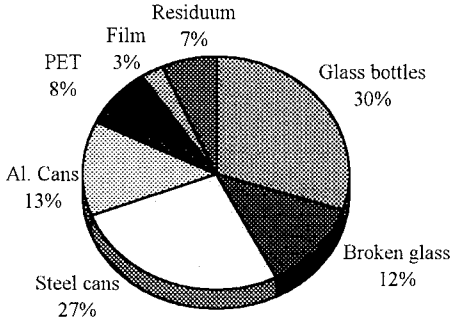


Fig. 3　Contents of waste

4. 2　試験結果

選別後の各選別対象物の選別純度，回収率を**Table 3** に示す。なお，純度と回収率は次のように定義した。

$$P = W_r / (W_u + W_{err})$$

$$R = W_r / W_{input}$$

ただし，

P：純度　　R：回収率

W_r：シュートに正しく回収された内容物量

W_{err}：シュートへの選別不良物の混入量

W_{input}：前処理選別装置への投入量

スチール缶については，フィルム類の磁選機への巻き込まれによってアルミ缶など一緒に混入したと考えられる。

ガラスびんは回収ボックス内のガラス破片も不純物にカウントしているので少し低めの値になっている。また，破袋機を含め，ガラスびんの割れを低く抑えているので，ガラスびんの回収率は88%とかなり高くなっている。

5.　結　　言

当社の特徴ある前処理選別技術について述べた。特徴ある要素技術を組み合わせることにより，非常に高い選別精度を達成することができた。今後もリサイクル時代の到来とともに廃棄物処理に求められる技術は高度化・多様化して行くと考えられる。これからも個々の要素技術の拡充と，システム技術により，顧客ニーズに合わせた柔軟なシステムを提供して行きたいと考えている。

参　考　文　献

1) Akiu, K. et al. "Resource Recovery System for Recyclable Waste". 7th ISWA International Congress (1996).
2) 浅野幹之ほか. "ツインソーサ式破袋機の開発". 全国都市清掃会議予稿集.
3) 浅野幹之ほか. "風力式3種選別装置の開発". 第 5 回環境工学総合シンポジウム予稿集.

<問い合わせ先>
環境・リサイクル技術センター
Tel. 045 (505) 7406　宅和　稔朗
基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム
Tel. 044 (322) 6286　浅野　幹之

Table 3　Purity and recovery of sort

Material	Purity (%)	Recovery ratio(%)
Glass bottles	95%	88%
Steel cans	93%	95%
Al. Cans	99%	86%
PET bottles	83%	99%
Film	100%	—

一般廃棄物RDFシステム前処理選別技術

Presorting Technologies for the NKK's RDF System

横山　隆　環境プラント設計部　開発室　室長
阿部　盛一　環境プラント設計部　開発室
藤沢　能成　川崎研究センター　燃焼システム研究室　室長
押田　栄二　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム　主査
吉永　陽一　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム
浅野　幹之　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム

Takashi Yokoyama, Seiichi Abe,
Yoshinari Fujisawa, Eiji Oshida,
Youichi Yoshinaga and Motoyuki Asano

RDF製造施設における不燃物と可燃物の選別工程に揺動反発式選別装置を導入して実証試験を行った。本選別装置と風力選別装置を組み合わせることにより，不燃物除去と可燃物の回収を高い次元で両立させることが可能であることがわかった。

NKK developed the RDF system in which we applied a ballistic separator and an air classifier in order to separate combustibles from household waste. In this paper, we report the ballistic separator and our presorting system for RDF.

1. 緒　　言

家庭から出る一般廃棄物を圧縮・固形化して貯蔵・運搬を可能としたごみの固形燃料(RDF;Refuse Derived Fuel)は，従来のごみ発電に比べて高効率なエネルギー回収が可能なため，ごみの中間処理方法の選択肢の一つとして徐々に定着しつつある。

RDFを製造する場合の技術上のポイントとして

(1) 燃焼時に灰分となる不燃物を除去すること
(2) 可燃成分をできる限りRDF化して，余計な残渣を生じないこと
(3) 有価物を回収できること
(4) ごみ質の変動に対しても安定した操業が可能であること
(5) 異物混入に対しても安定した操業が可能であること

などが挙げられる。これらの条件を満たすためには，ごみの貯留，乾燥，分別，搬送，固形化といった各要素技術を組み合わせて，ごみ質やRDFの用途に合わせた最適なシステムを構築することが不可欠となる。

当社は，横浜市の鶴見事業所内「環境R＆Dセンター」に次世代廃棄物処理技術の実証プラントを集約して研究・開発を推進している。RDF製造の実証プラントは1996年9月より同センター内で稼働しており，実証データを蓄積している。今回，一般廃棄物からの不燃物除去を目的として，揺動反発式選別機を用いた前処理選別システムを構築し，RDF製造の実証運転を行ったので報告する。

2. 揺動反発式選別装置

2. 1 選別原理

揺動反発式選別機（Ballistic separator）は物体が反発板に衝突した際の弾道が物体の密度，形状，硬度などによって異なることを利用して物質の選別を行う機械である。本装置は当社がオーストリアのInnovative社より技術導入した。本装置の外観を**Photo 1** に示す。

本装置の選別原理を**Fig. 1** に示す。本装置は傾斜配置された反発板（Paddle）をクランク軸（Crank shaft）で揺

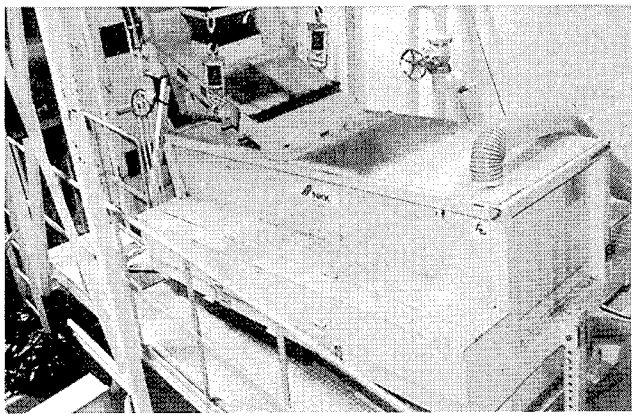


Photo 1　Appearance of the ballistic separator

動運動させる非常に簡単なものである。混合廃棄物を揺動反発板上に投入すると，例えば，金属類のような固い物質は反発板上で大きく跳ねて，揺動運動に関係なく傾斜の下側に落下する。一方，フィルムや布などの軽くて柔らかい物質は反発板上での大きな跳ね上がりがなく，揺動反発板から与えられる推進力により傾斜の上方に搬送されて行く。その結果，重量物と軽量物の選別が行われる。また，反発板の揺動運動はごみのほぐし効果が大きいので，反発板上に篩穴を設置しておくことにより，小径物の選別を行うことが可能である。

すなわち，**Table 1** に示すように本選別機は3種類の選別が可能である。

本選別機の特徴は以下のとおりである。

(1) ごみの投入量の変動に対して比較的安定な選別性能を発揮する。

(2) 堅牢で単純な構造なので故障に対して強い。

(3) クランク軸が反発板の下部に貫通しない構造を採用しているので，軸に布類がからみつくなどのトラブルがない。

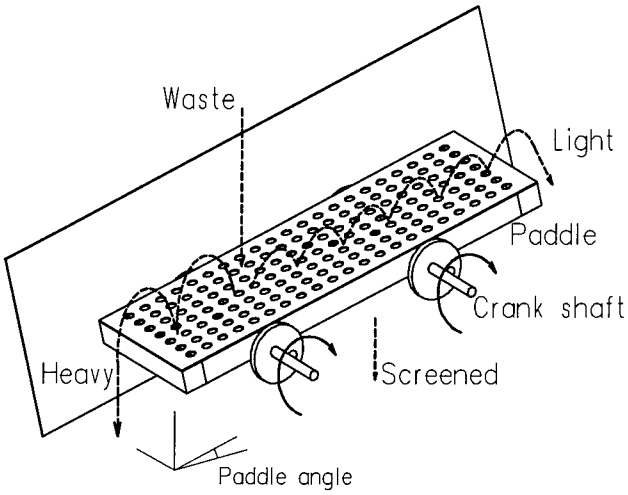


Fig. 1　Principle of ballistic separator

Table 1　Parameters of the ballistic separator

Categoly	Material	Parameter
Heavy	metal, solid plastic, rubber etc.	Inclined angle Paddle speed
Light	paper, film,	
Screened	soil, metal, stone, peaces of china, peace of glass, lumber, etc..	Screen size

2. 2　選別特性試験

2. 2. 1　試験概要

揺動反発式選別機の各種廃棄物に対する選別特性を調べるため，選別特性試験を行った。試験に用いた選別装置の仕様を**Table 2** に示す。本装置の選別性能を決めるパラメータは**Table 1** に示すように反発板の傾斜角（Paddle angle)と反発板の回転数（Paddle speed）である。試験に用いた装置は，反発板の回転数は103rpm～206rpmまで連続的に変更可能で，かつ傾斜角度は0度～9度まで1度刻みに変更可能となっている。この試験に用いたサンプルと試験条件を**Table 3** に示す。

2. 2. 2　試験結果

Fig. 2 は各サンプルが傾斜上方の軽量物側に回収された割合の試験結果を示す。傾斜角が小さいほど，また回転数が大きいほど軽量物側に回収されやすくなる。また，重量物の除去性能は傾斜角が9度の場合の方が6度の場合より良好である。特にボルト・ナットといった金属塊は傾斜角9度の場合，ほぼ完全に除去することが可能である。

また，軽量物の紙やフィルム類などのごみは160rpm以上では95%以上の回収率を有している。この結果，軽量物と重量物に関して非常に良好な分離性能を有していること

Table 2　Specification of the ballistic separator

Type	Ballistic separator
Capacity	$5m^3/h$
Power unit	1.5kW
Paddle rotation	103rpm ～ 206rpm
Number of paddles	1pcs
Screen size	20mm

Table 3　Experimental condition

Paddle angle	6°, 9°
Paddle speed	103rpm ～ 206rpm
Screen size	φ 20mm
Samples	Paper(□100mm) Plastic film Card board PS plate Alminum cans Bolt Nut

がわかる。また，中間の材質として段ボールや発泡スチロールのトレー容器のように，軽量であるが，ある程度弾力のある物質は回転数や傾斜角によって重量物側にも軽量物側にも回収可能である。また，どの物質についても，ある程度回転数が上がると回収率がほぼ横這いになる傾向があることがわかる。この結果，選別条件には傾斜角度が大きな影響を及ぼしていることがわかる。

このように，揺動反発式選別機はごみ質や目的に応じて回転数や傾斜角を設定することにより幅広い用途に用いることが可能であるし，さらに複数台組み合わせたり，風力選別などと組み合わせることにより，目的に合わせた最適な選別システムを構築することが可能となる。そのためには今後も選別のためのデータベースを蓄積して行く必要がある。

3. RDF前処理選別システムへの適用

3. 1 RDF製造システムフロー

当社の実証施設におけるRDF製造フローを**Fig. 3** に示す。ピットに貯留された廃棄物は最初に一次破砕（Primary shredding）されて乾燥工程に入る。乾燥工程（Dryer）では水分量がほぼ10%程度に制御される。日本の一般廃棄物の含水率は40%～60%といわれており，欧米の一般廃棄物に比べて非常に含水率が高いので，最初に乾燥工程を組み込むことにより，選別精度の向上を狙っている。乾燥ごみは振動フィーダで層厚を均質化された状態で揺動反発式選別機（Ballistic separator）に投入される。

揺動反発式選別機で乾燥ごみは次の３種に選別される。

(1) 重量物側には金属類や硬質プラスチック類が主として回収されている。当社の実証施設では硬質プラスチックは，塩素含有率が高いことからRDF不適物として除去しているが，RDFの用途によってはこれらも燃料化のラインに入れることは可能である。

(2) 小径物としては厨芥，木屑，砂，石，ガラス・陶磁器類，電線，針金類などが回収され，さらに縦型の風力選別装置（Air classifier）により２種選別されて軽量物のみ回収される。反発板の篩目のサイズは後段の造粒性を考慮してϕ20mmに設定している。

(3) 軽量物側に紙，フィルム類，布類が回収され，これら

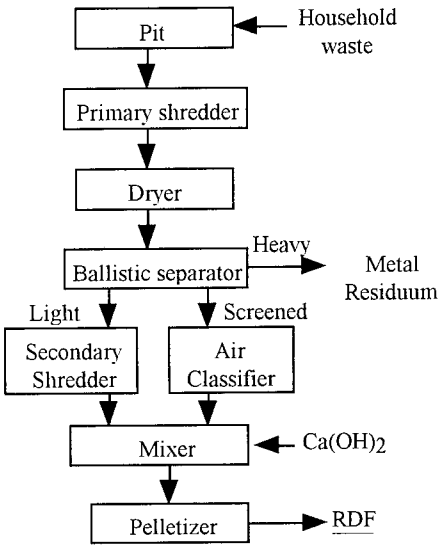


Fig. 3 The flowchart of RDF system

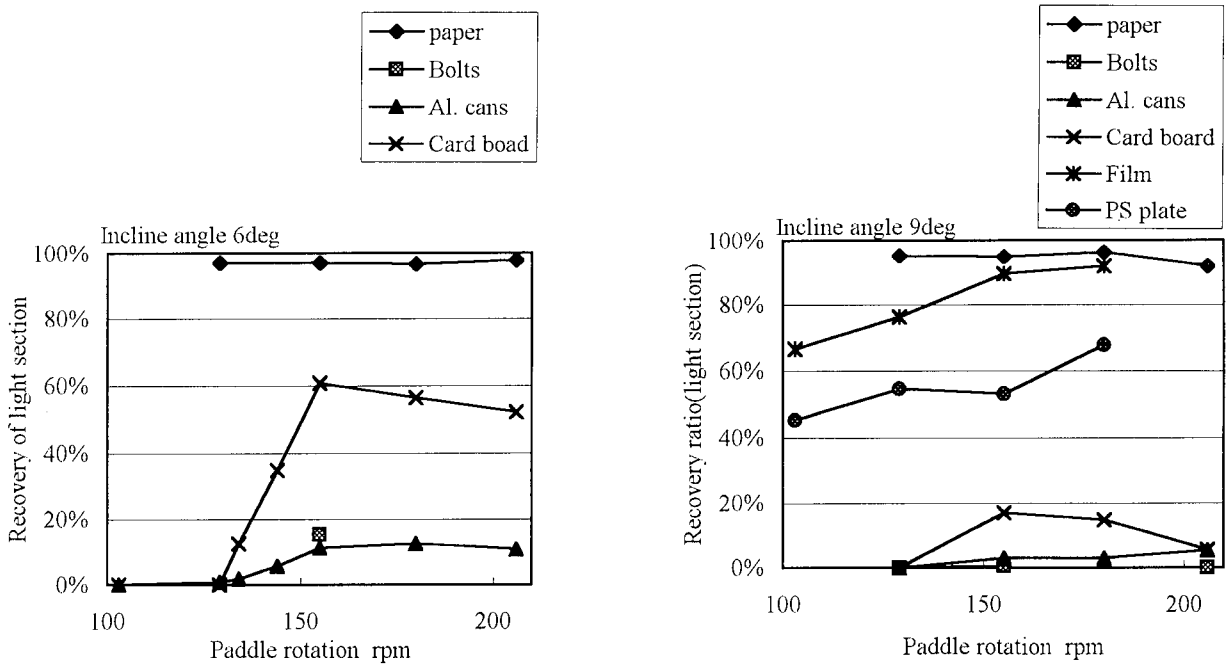


Fig. 2 Experimental result

は二次破砕（Secondary shredding）されて造粒可能寸法まで細断される。金属や石などの硬いものが混入しないので破砕機の刃のメインテナンスコストを低く抑えることが可能となる。

風力選別された小径物と二次破砕された軽量物は混合後圧縮成型される。

3. 2　運転結果

当社の実証施設において1996年10月より一般廃棄物を用いたRDF製造の実証運転を行い，前処理選別システムにおける不燃物の除去性能を確認した。選別前のごみの乾燥重量組成を**Fig. 4** に示す。一般廃棄物にはRDF化不適物として金属および陶磁器類が3％程度混入していたが，できあがったRDF中の鉄分含有率は元素分析で0.29％であり，本前処理システムが有効に作用することが確証されている。

4. 結　　言

当社が技術導入した揺動反発式選別機の特徴を述べた。本揺動反発式選別機は簡易な選別原理で重量物と軽量物の効率よい選別が可能であり，今後も適用分野の拡大が見込まれる。

また，本揺動反発式選別機と風力選別機を組み合わせて当社実証施設の前処理分別システムに適用し，仕様どおりの性能を有することを確認した。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7658　阿部　盛一
基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム
Tel. 044 (322) 6286　浅野　幹之

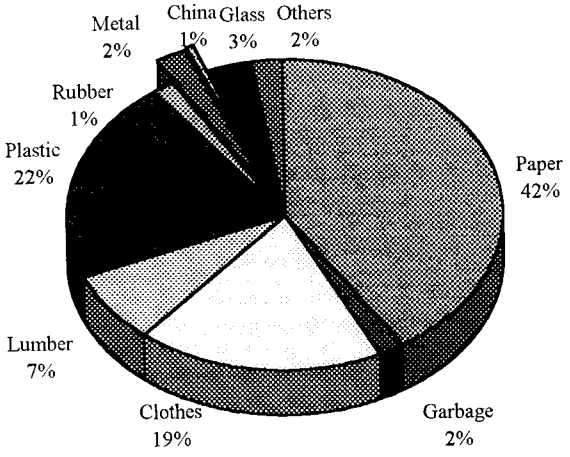


Fig. 4　Waste composition of household waste

NKKごみ固形燃料（RDF）化システム

NKK RDF (Refuse Derived Fuel) Production System

横山　隆　環境プラント設計部　開発室　室長
上原　初男　環境プラント設計部　開発室　主査
阿部　盛一　環境プラント設計部　開発室
奥山　契一　川崎研究センター　燃焼システム研究室　主任研究員
浅野　幹之　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム

Takashi Yokoyama, Hatsuo Uehara,
Seiichi Abe, Keiichi Okuyama
and Motoyuki Asano

廃棄物を有効に利用する技術の一つとして，新たに「ごみ固形燃料(RDF) 化システム」を開発した。本システムは破砕・乾燥・選別・造粒の各工程にて構成され，精度の高い選別を可能としている。これまでに当社の鶴見事業所内に建設した処理量20T／日の実証プラントにて，四季を通じた実証試験を行い，各種データを取得した。また，製造したRDF の燃焼試験を実施し，その有効性を確認した。

Recently in Japan, a lot of attention has been paid for the RDF-system. NKK has developed a process where Municipal Solid Waste (MSW) is converted into Refuse Derived Fuel (RDF). This system consists of the production process of shredding, drying, fractionation and pelletizing, and it has the good fractional performance. Several campaigns of experiment were conducted through the four seasons at RDF pilot plant (throughput capacity;20tons／day) in NKK Tsurumi Works. We have verified the effectiveness of this system through not only the RDF production but also the incineration test.

1. 緒　　言

わが国における廃棄物は，経済の発展とともに年々増加の一途をたどり，年間総排出量は5億トンにも達している。これまでの廃棄物処理方法の多くは，焼却または埋め立てであり，さらにはプラスチック類などの増加による廃棄物の高カロリー化もともない，最終処分場の問題や焼却にともなう公害問題がクローズアップされてきている。そこで，廃棄物を「単に燃して埋める」から「資源として有効利用する」循環型社会への移行が望まれている。

当社はこれまでにもこれに応え，ボイラ付き焼却炉，灰溶融炉，資源化リサイクルプラントなど，数多くの環境分野のプラントを手掛けてきたが，この度さらに，廃棄物を固形燃料（Refuse Derived Fuel 以下，RDF と略記する）として再資源化する「NKK ごみ固形燃料化システム」を開発した。1996年5月より鶴見事業所の「環境R&D センター」内に実証プラントの建設を行い，9月よりプラントの稼働を開始した。これまでに四季を通じた実証試験を行い，各種運転データおよび試験データを取得した。本稿では，本システムの概要，実証プラントの概要および実証試験の内容について紹介する。さらに，製造したRDF を流動床炉で燃焼した試験結果についても併せて紹介する。

2. NKKごみ固形燃料（RDF）化システム構成

本システムの基本フローを**Fig. 1** に示す。本システムは，「廃棄物をより効率・精度よく可燃物と不適物に選別する」ことを開発のコンセプトとした。そのために，以下の工程を設けた。

(1) 乾燥効率や選別精度を高めるため，細かく破砕（一次破砕）する。

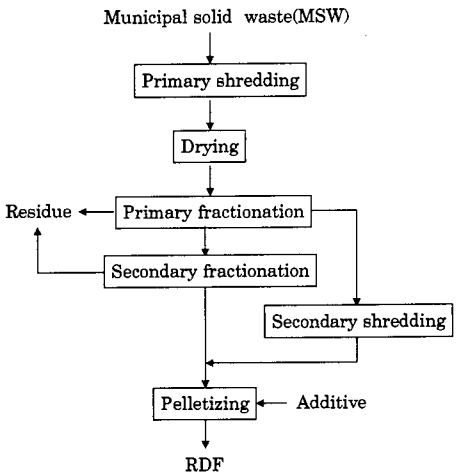


Fig. 1　Flow of NKK RDF system

(2) 選別前に乾燥を行う。
(3) 一次選別，二次選別の二段階選別を行う。

3. 実証プラント概要

基本フローを基に設計した実証プラントの概要を以下に示す。実証プラントフローを**Fig. 2** に示す。

(1) 名称：ごみ固形燃料(RDF) 化システム実証プラント
(2) 所在地：横浜市鶴見区末広町2-1
(3) 処理対象ごみ：一般廃棄物（家庭ごみ）
「以下，ごみと略記する」
(4) 処理能力：20T／日＝16hr
(5) 稼働開始：1996年9月
(6) 敷地面積：約400m² （ピット含まず）

3. 1 一次破砕

ごみの場合，組成を特定することは難しく，あらゆる物が混入していることを想定しなければならないが，万能な破砕機は存在せず，目的にあった破砕機を選定する必要がある。主な，選定条件を以下に示す。

(1) 破砕後粒径：約50mm以下
(2) 金属塊などの破砕困難な対象物にも対応可能

本プラントでは，低速で回転する二軸せん断式破砕機を二段重ねで採用した。

3. 2 乾燥

Table 1 に示すように，日本のごみは，地域などにより差があるが，一般に含水率が高いため，

(1) 高強度なRDF とする
(2) RDF の腐敗を防止する

には，ごみの含水率を低減する必要がある。また，低含水率のごみは，腐敗しにくく，かつ搬送コンベヤなどへの付着が少ないため，

(3) プラント内の臭気低減
(4) メインテナンス時の作業環境良好

などにも効果を発揮する。本プラントで採用した，灯油を燃料とするロータリー式乾燥機は，ごみを外側の低速で回転している乾燥炉および内部の高速で回転している攪拌羽で攪拌し，バーナで発生させた熱風と直接接触させることにより，前方に送りながら，含水率が10% 以下になるまで乾燥させる。

3. 3 選別

ごみには，**Table 1** に示すように，金属・石・ガラスなどの燃料として不適な物が含まれており，RDF とする場合，極力その不適物を取り除く必要がある。また，その

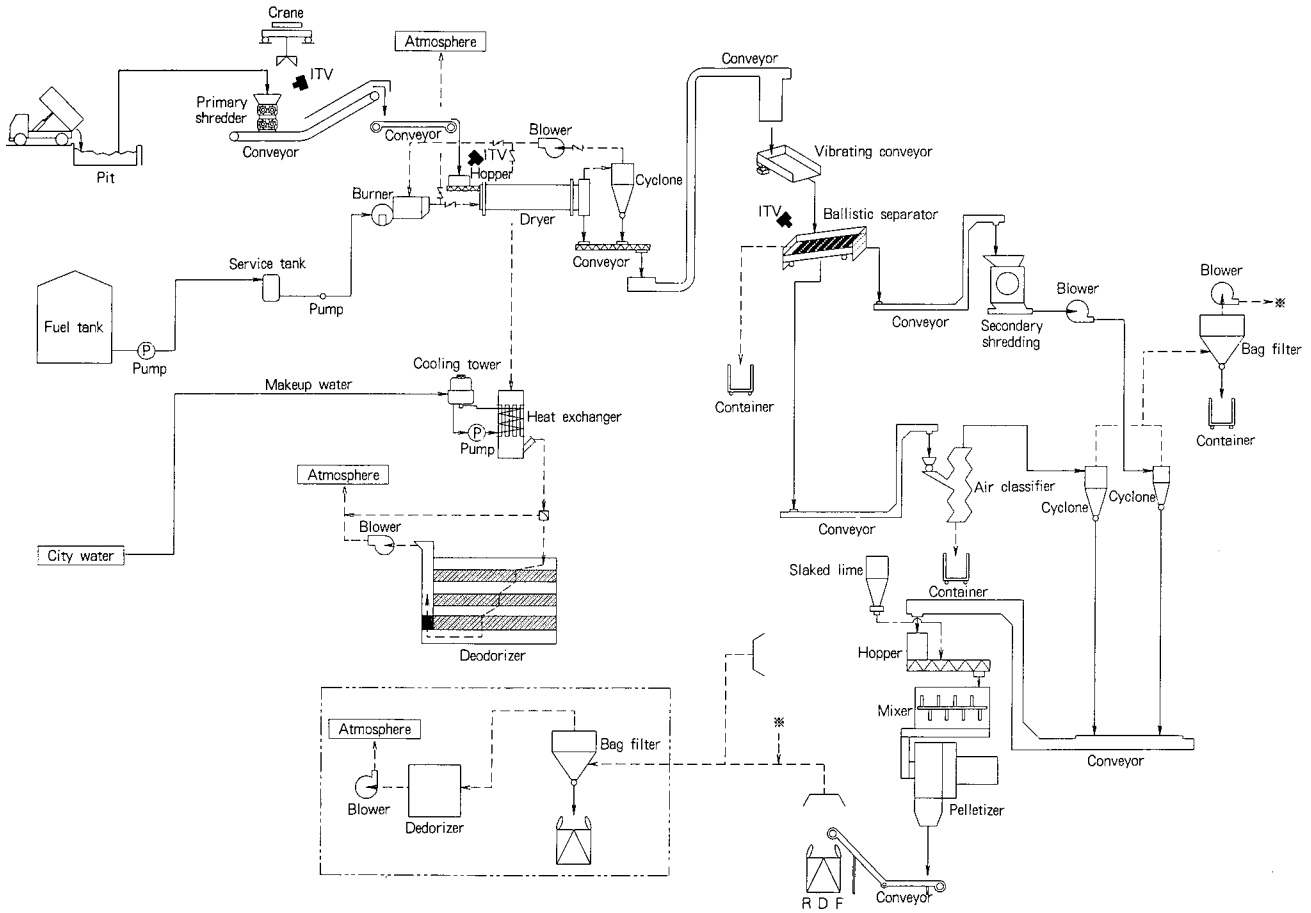


Fig. 2　Flow of NKK RDF pilot plant

不適物とともに，燃料となる可燃物まで除去することは好ましくない。例えば，衣類・雑貨などの一見可燃物と思われる物の中にも，意外に金属部品（ボタン・チャック・スプリング・補強材など）が多く混在しており，その中から金属部品のみを取り除き，残りをRDF とするためには，

(1) ごみを細かく破砕し，可燃物と不適物を分離する

(2) 水分により不適物に可燃物が付着しないよう乾燥する

(3) 選別精度を上げるため，複数の選別機を組み合わせる

必要があり，それをシステム化した。なお，選別機には一次選別として，

(4) 物質の反発力の差を利用して選別するバリスティックセパレーター

二次選別として，

(5) 物質の比重差により選別する風力選別機

を採用した。バリスティックセパレーターの概略をFig. 3 に示す。（バリスティックセパレーターの詳細は，本特集別稿「一般廃棄物RDF 前処理選別技術」で詳述する。）

Table 1 Composition of raw waste

Item	Unit	'96.10	'97.3
Apparent specific gravity	ton/m^3	0.12	0.2
Moisture	Wet%	37.7	42.1
Ash	Wet%	15.5	9.5
Combustible	Wet%	46.9	48.4
Higher heating value	kcal/kg	2470	2480
Lower heating value	kcal/kg	2060	2040
Paper	Dry%	55.8	65.3
Kichen waste	Dry%	3.5	1.1
Cloth	Dry%	5.8	2.2
Garden waste	Dry%	3.7	5.8
Plastic	Dry%	18.7	15.6
Rubber·Leather	Dry%	1.4	0.2
Metal	Dry%	4.8	5.1
Stone	Dry%	0.6	0.5
Glass	Dry%	2.0	1.4
Others	Dry%	3.7	2.9

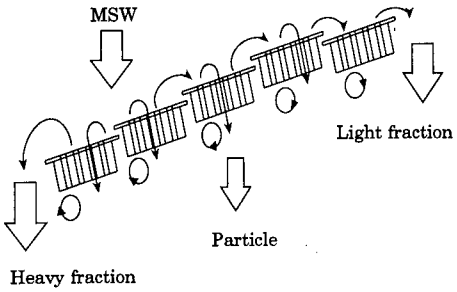


Fig. 3　Schematic at ballistic separator

3. 4　二次破砕・造粒

造粒には均一で高強度のRDF とするため，リングダイ式を採用した。Fig. 4 に示すように，ごみは高速で回転しているリングダイとローラー間で粉砕されながら，リングダイにあいた穴に送られ，ごみと穴間に働く摩擦により，圧縮・成型される。本方式の場合，リングダイは容易に交換でき，ごみ質に合わせたリングダイを採用することにより，容易に高強度なRDF を製造することが可能である。ただし，ごみ質・粒径とリングダイ穴径・厚さおよび処理能力には相関関係があり，本試験では，穴径φ5，φ10，φ15の3種類のリングダイにより，その特性を把握した。なお，高強度のRDF の場合，Photo 1 に示すように，摩擦熱により十分加熱され，表面が黒色なRDF となる。また，粉砕効果を上げ，造粒性を高めるため，高速で回転する一軸回転式破砕機により二次破砕を行った。

4. 試験結果

秋ごみおよび冬ごみの実証試験時において取得した運転データをTable 2 に示す。なお，試験時は，RDF 燃焼時の有害ガスの抑制およびRDF の腐敗性試験のため，消石灰をごみに対して約1％ 添加した。秋ごみと比較して冬ごみによる試験時は，含水率の違いから，燃料消費量が変化したが，電力に関しては，ほぼ大差のない結果となった。このことは，ごみを破砕直後に乾燥することにより，選別以降の機器への含水率の違いによる負荷がほとんどなかったためと想定される。

実証試験における稼働実績をTable 3 に示す。本試験では，発熱量がほぼ均一で，含水率を10% 以下に抑えたRDF を，ごみに対して約50% の割合で安定して製造できた。RDF の組成をTable 4 に示す。また，本システムで製造したRDF の燃焼試験を流動床炉にて実施した。燃

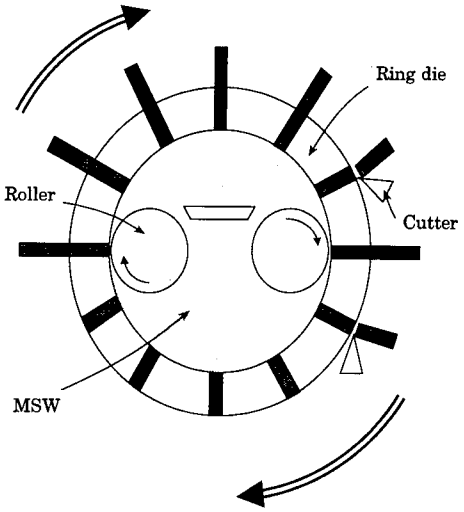
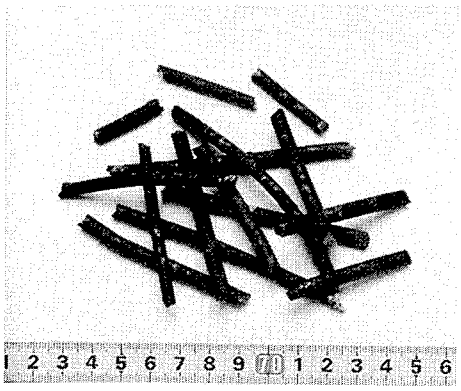
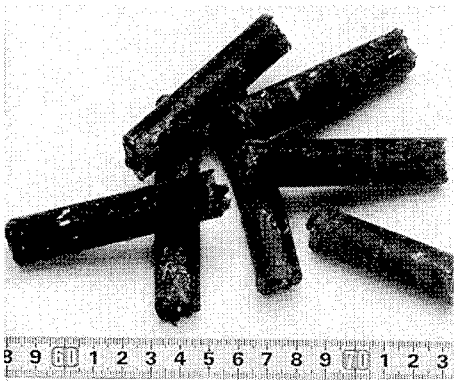


Fig. 4　Schematic at pelletizer

焼試験の結果をTable 5 に示す。試験結果は，RDF 燃焼がその排ガス特性において問題のないことを示している。特に昨今話題になっているダイオキシンの値は，炉出口で0.5ng-TEQ／Nm³ と低い値を示しており，その安定した燃焼特性が確証された。また，セメントキルンにて総量125トンのRDF 燃焼試験を実施し，セメント燃料としての有用性を確証した。



φ5



φ15

Photo 1　RDF

Table 2　Running data

Item	Unit	'96.10	'97.3
Quantity of used fuel	ℓ/h	34.9	44.0
	ℓ/ton-MSW	26.4	34.1
Quantity of producing RDF	kg/h	824	667
Quantity of used MSW	kg/h	1322	1290
Quantity of used power	kW	130.5	134.5
	kW/ton-MSW	98.7	98.8
Quantity of used slaked lime	kg/h	13.2	12.9

Table 3　Operating experience

Item	Unit	'96.10	'97.2～3
Operating time of NKK RDF pilot plant	h	239	119
Quantity of used MSW	ton	305	153

5. 結　　言

実証試験を通じ，当社が開発したごみ固形燃料化システムの有用性が確証された。RDF システムは，ごみのサーマルリサイクル技術の一つとして，これまでに全国で10数のプラントが建設されており，さらに，厚生省によるダイオキシンガイドラインの強化と併せて，焼却炉によるエネルギー回収・排ガス対策が困難な中・小規模の自治体での導入が検討されている。今後はその普及が加速するものと思われ，当社においても，これまでの焼却を初めとした環境関連技術を基に，RDF 利用法を積極的に提案し，これからの環境負荷低減のために努力して行きたいと思う。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7531　阿部　盛一
川崎研究センター　燃焼システム研究室
Tel. 044 (322) 6332　奥山　契一

Table 4　Composition of RDF

Item	Unit	'96.10	'97.2
Apparent specific gravity	ton/m³	0.5	0.6
Moisture	Wet%	9.1	9.8
Higher heating value	kcal/kg	4360	4120
Lower heating value	kcal/kg	4010	3800
Ash	Dry%	15.1	16.4
Volatile component	Dry%	72.5	69.8
Fixed carbon	Dry%	12.4	13.8
C	Dry%	44.0	49.9
H	Dry%	6.0	5.7
N	Dry%	0.9	1.0
S	Dry%	0.2	0.1
Cl	Dry%	0.7	0.7
O	Dry%	33.0	26.2

Table 5　Effect of firing RDF

Item	Unit	Value
NOx	ppm	49.5
SOx	ppm	0.7
HCl	ppm	12.8
CO	ppm	<10
Dust	mg/Nm³	40
DXN	ng-TEQ/Nm³	0.5*

* Measured value of the exit from the furnace

ごみ空気輸送システム

Pneumatic Refuse Transportation System

野北　英次　都市環境システム営業部　主査
弘津　和彦　環境プラントプロジェクト部　室長
井上　冬樹　環境プラントプロジェクト部　主査

Hidetsugu Nogita, Kazuhiko Hirotsu and Fuyuki Inoue

当社は，ごみ空気輸送システムにおいて多くの実績を有している。それらの経験を基に独自の技術開発を行い，日本のごみに適合するよう改良を行ってきた。本稿では，恵比寿ガーデンプレイスのシステムを実施例として上げ，当社のごみ空気輸送システムを紹介するとともに，開発の現状についても述べる。

NKK has many results of pneumatic refuse transportation system. On those experience, NKK has developed and improved the system to adapt to the refuse in Japan. This report introduce NKK's pneumatic refuse transportation system by means of the system at Yebisu Garden Place and state the present situation of development.

1. はじめに

ごみ空気輸送システムは，1961年セントラルスグ社にて開発され，1967年頃からスウェーデンにて本格プラントが稼働を始め，それ以降欧米において，数多くの導入実績を上げている。日本国内においては，1970年代前半より導入が開始され，現在までに大小合わせ26件のプラントが稼働している。

ごみ空気輸送設備は過去，官庁主導による地域レベルの筑波学園都市，横浜みなとみらい21，幕張新都心，東京臨海副都心などの大規模開発地に導入されてきた配管径が500～600Aの大口径プラントと，ごみ発生量が約2～5T／日程度の商業・業務単独ビルや複合ビルなどに適したごみ破砕機付きの配管径が150～250Aの小口径プラントが主流を占めてきた。

当社は大森ベルポート，ホテルニューオータニなどに納入した小口径プラントまた，長岡ニュータウン，幕張新都心などに納入した大口径プラントの実績もふまえ，独自の技術開発を行い日本のごみに適合するようごみ空気輸送システムの改良を行ってきた。

本稿では，民間の再開発事業としては国内最大規模であり，事務所，ホテル，デパート，美術館，住宅など一つの都市としての機能を抱え，今後の再開発計画におけるごみ処理のあり方として，そのモデルになる施設と考えられる恵比寿ガーデンプレイスのごみ処理を例に上げ，当社のごみ空気輸送システムを紹介するとともに，将来のごみ空気輸送の方向性について考える。

2. 恵比寿ガーデンプレイスのごみ空気輸送システム

2.1 システムの導入背景

1887年恵比寿にビール工場ができてから，ちょうど100年，1987年その歴史の幕を閉じた。その恵比寿ビール工場跡地に，基本設計を含め10年の歳月をかけ，1994年9月に誕生したのが，恵比寿ガーデンプレイスである。

恵比寿ガーデンプレイスは，新しい都市機能のあり方を求め，開発にあたっては計画段階より東京都清掃局，目黒区，渋谷区，地域住民などとの打ち合わせをとおし，新しい理想的なごみ処理のあり方を構築してきた。

ごみ処理の具体化にあたっては，サッポロビール（株）の開発理念，（株）久米設計の豊富な実績，当社のノウハウを基に進められてきた。そして，恵比寿ガーデンプレイスでめざしたものは，積極的な資源の有効活用と人に優しいごみ処理システムである。このため，再生資源の利用の促進に関する法律（通称：リサイクル法）が施行される以前より，びん・缶・紙類などをリサイクル対象と考え，計画段階からリサイクルのためのスペースを検討してきた。また，大量に発生する一般ごみと多品種少量となる資源物に対して，それぞれに適した処理方法を検討した。発生量の多い物については積極的に機械化を推進し，ごみ処理の

効率化を図り，きめ細かな分別を必要とするものについては，発生元から分別しやすいよう，設備面からサポートすることとした。

このような理念を基に導入されたのが，ごみ空気輸送システムである。

2. 2　システムの特徴

恵比寿ガーデンプレイスは，大別して10棟の施設から構成されている。これら施設のごみをパイプラインにより一ヶ所に集め，各種別ごとコンテナに分別収集することにより，ごみ分別の徹底とごみ搬出の効率化を可能としている。**Fig. 1** に全体配置図を示す。

さらに，各施設からのごみ発生量の変動に対しても10棟の施設を対象としているため平均化され，各棟での貯留スペースの削減ばかりでなく，施設全体としてのスペース削減が可能となっている。また，すべてのごみを一ヶ所に集められることにより，施設全体としてのごみ処理の管理が容易となり，さらに大型コンテナを利用することにより，運搬効率が一般のごみ収集車に対し，約3倍に向上している。

ごみ投入口は，分別収集を徹底するために4種類を設け，いつでもごみを投入することを可能とし，ごみ発生者の利便性を向上させることにより精神面からも，ごみ分別の促進をはたしている。

空気輸送の対象とならない資源化物に対しても，分別容器の配置や資源化物置き場を十分に確保することにより，資源化率を向上させている。

2. 3　システムの運転フロー

本ごみ空気輸送設備は，地域内の集合住宅・オフィス・ホテルおよびデパートなどの業務施設より出される約16T／日のごみを一旦貯留し，地下に敷設した500Aのごみ輸送管によってガーデンプレイスタワー地下5階のごみ収集センターまで総延長約1kmを空気輸送し，コンテナに詰め込み，最終的に搬出するまでの一連のごみ輸送設備である。**Fig. 2** にシステムフローを示す。

ごみ投入口はシステムフローに示すように，各建物ごとに設けられている。投入口に投入されたごみは，一旦貯留装置に貯留される。このためごみの収集運転に影響されず，いつでもごみを投入することが可能である。ごみの収集運転は，事前に設定された処理スケジュールにより，自動的に開始される。始めにごみ収集対象施設の吸気弁が開き，送風機によってごみ輸送管内に空気流を生じさせる。その後排出弁を開きごみを輸送管内に排出する。ごみは気流に乗り収集センターまで輸送される。輸送されたごみは，ごみ分離機によって空気と分離されて，ごみ分離機下部のコ

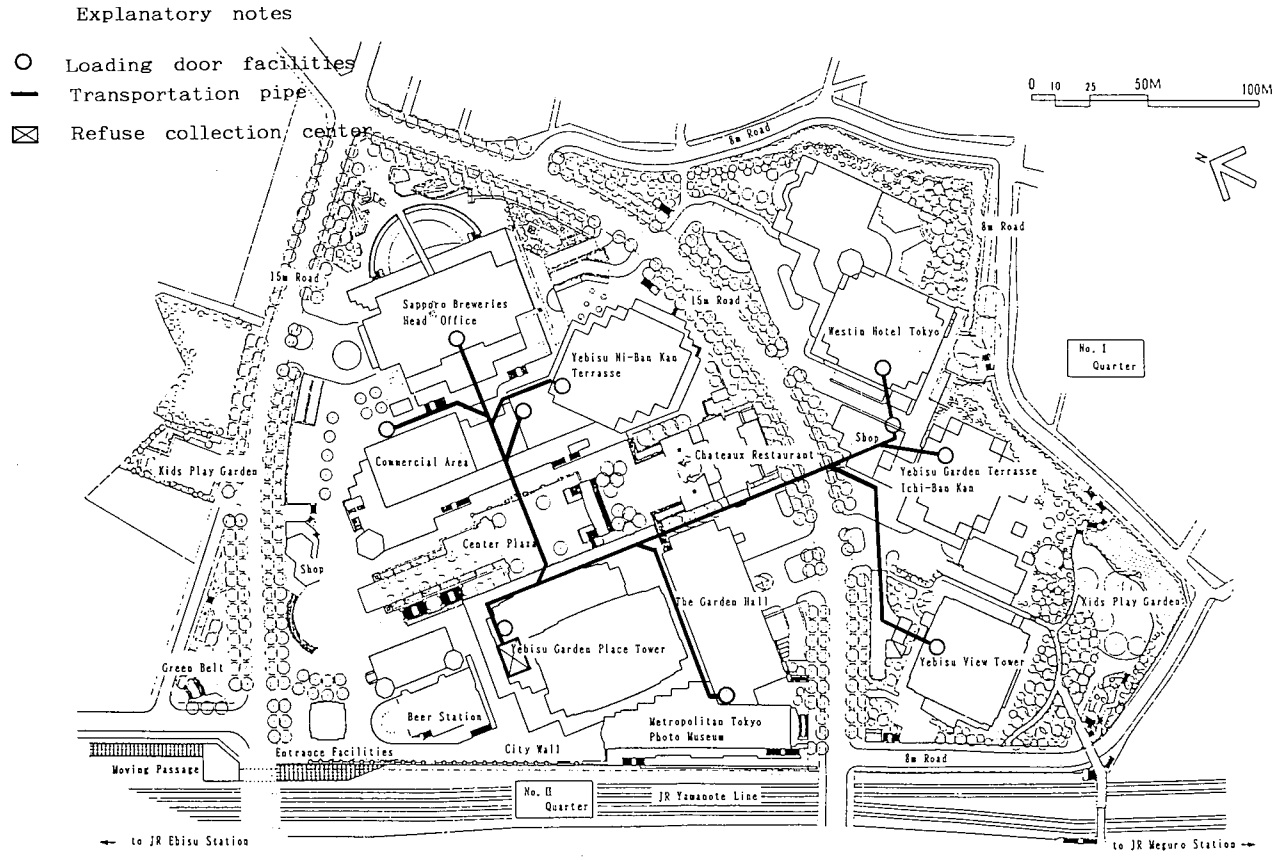


Fig. 1　Overall lay out

ンパクタによりコンテナ内に減容して詰め込まれる。コンテナは，コンテナ移動装置と専用の昇降装置により，地下5階のコンテナヤードから地下2階のコンテナ発着ステーションへ運搬され，コンテナ輸送車にて場外に搬出される。

一方，ごみと分離された空気は，集じん機により塵を取り除き送風機を通過した後，消音器，活性炭吸着式脱臭装置で減音，脱臭し，大気中に放出される。

Photo 1 にごみ投入口，**Photo 2** に貯留排出装置，**Photo 3** にコンテナヤード，**Photo 4** に中央制御装置を示す。

2. 4　ごみの分別収集

ごみ分別収集の方法は，投入口をごみ種別ごとに設置しそれぞれを別々に収集している。コンテナは住宅系可燃ごみ，住宅系不燃ごみ，事業系可燃ごみ，事業系不燃ごみおよびリサイクルコンテナの5種類とし，各種別ごとにごみを収集し貯留している。

ごみの搬出は，コンテナ車の運転員により必要な種別のコンテナ搬出要求ボタンが押されると，要求されたコンテナが自動的にコンテナトラック待機場所まで搬送され，それぞれのごみ受け入れ場まで搬出される。空コンテナの搬入も搬出と同様，自動的に行われる。

2. 5　システムの運転制御

恵比寿ガーデンプレイスにて新しく取り入れられた制御方式の特徴は，次のとおりである。

(1) ごみの排出運転

貯留ドラムの回転数は，インバータによりごみの詰め込み時や排出時に最も適した状態に制御されている。このことにより，ごみの吸引圧力が安定し収集能力が従来の約1.5倍となっている。

(2) 風量自動変更制御

収集対象の施設ごとに，そのごみ質に適した風速を確保できるよう，自動的に送風機入口風量を変更している。

(3) 閉塞防止運転

ごみの収集運転中に送風機の吸引圧力が一定値以上になると，閉塞の前兆と判断して自動的に大気導入弁を制御し，ごみ輸送管内の圧力を変動させることにより，閉塞を防止する。

(4) ごみ種別切替運転

5種類のごみを収集対象としており，それぞれの種別に対応した専用コンテナに自動的にごみが収集される。

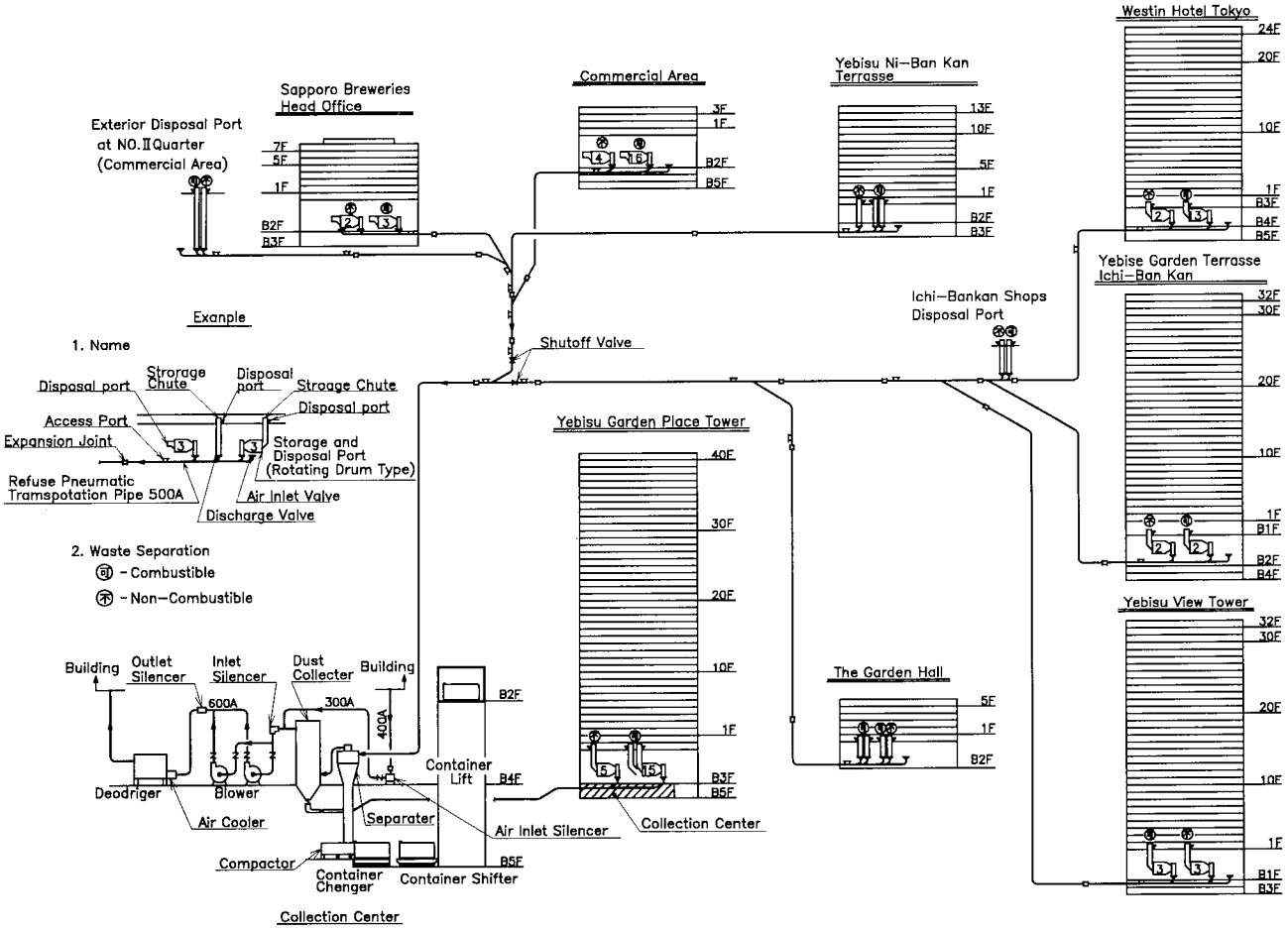


Fig. 2　System flow diagram

3. ごみ空気輸送システムの課題と対応

3. 1 システムの課題

ごみ空気輸送システムは，国内に導入されて以来25年近くの歴史をもち，稼働したプラントについては利用者からそれぞれ高い評価を得ているが，それと同時にいくつかの課題もみえてきている。それらは次のとおりである。

(1) 従来の新市街地を中心に導入が推進され建設されてきた大口径プラントは，多くの実績を有しているが，これらは規模が大きく広い収集センタ用地が必要となり，また，初期建設コストの負担が大きい。一方，ビル単位で導入されてきた破砕機付きの小口径プラントは，破砕機が比較的高価であるため，投入設備の多い施設には適しにくい。

これらのことから，今後導入が期待される中規模の住宅地や既成市街地向けには，新しいシステムの開発が必要である。

(2) ごみ輸送管がごみで摩耗し，肉厚が減少し穴明が発生するトラブルが数カ所のプラントにおいて起っている。このようなトラブルに対応するための摩耗防止対策としては，ごみ輸送管の線形による対応，管材質による対応および輸送風速による対応が考えられるが，線形による対応は，配管レイアウトが道路，建物での取り合いなどで決まるものであり限度がある。材質による対応は，耐摩耗性のすぐれた材料として，耐摩耗鋳鉄（ベーナイト鋳鉄，高クロム鋳鉄），耐摩耗鋳鋼が現在使用されているが，高価であり初期建設コストを上げる一つの要因となっている。輸送風速による対応は，風速を下げると摩耗に対し非常に有効であるが，ごみの性質，輸送時間によって決定されるものであり限度がある。

(3) リサイクル法が施行されて以降，リサイクルに対する認識が高まりこれらのニーズに応えた，リサイクルの推進とその効率収集を可能とする，新しいリサイクル対応型管路収集システムの開発が必要となってきている。

3. 2 課題への対応

今後，ごみ空気輸送システムが広く受け入れられ，愛されるシステムとして発展して行くためには，当然ことながら前項の課題に対応するシステムでなければならない。当社としても，それらシステムの開発に努力しているところである。

3. 2. 1 中口径プラント

中規模の住宅地や既成市街地への導入対応として当社では，従来の大口径プラントに比較して，初期投資を50%以下，ランニングコストを70%以下とする。また，システム全体の小型化を図るなどを基本コンセプトに，従来のシステムを見直した結果，次のような中口径プラントの基本システムができあがった。

Photo 1 Refuse loading door

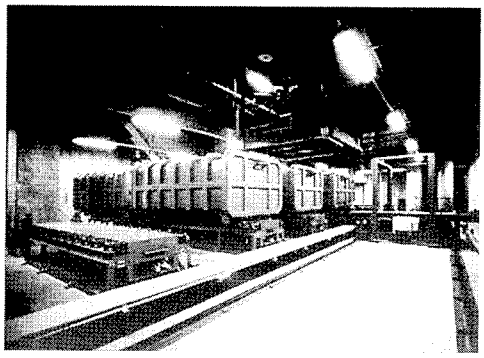


Photo 3 Container yard

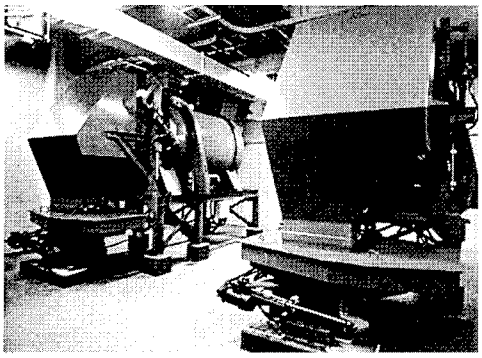


Photo 2 Storage and discharge unit

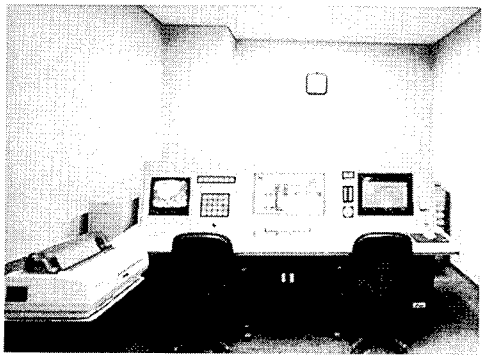


Photo 4 Central control unit

(1) ごみ輸送配管径を 500～600Aを 350～400Aとする。
(2) 1日の収集回数を増すことにより，投入設備を簡素化してユニット化し，直接埋設できる構造として市街地での占有面積を小さくする。
(3) センター機器の小型化が図られ，センターが建物の地下駐車場の一部や公共空間の地下にも収容できる。

現在，350Aの実験プラントを設置して実証試験中で，ほぼ実用化の目途がたっている。**Photo 5** に350A実験プラントを示す。

3. 2. 2 ごみ輸送管の摩耗対策

耐摩耗材において，当社はすでに加工性，溶接性がSS材とほぼ同等で，価格的にも高価でなく，耐摩耗性もSS400の2倍程度の性能をもつ，耐摩耗高SI鋼管を開発済みである。なお，この鋼管は恵比寿ガーデンプレイスのごみ輸送管に実際使用されている。

ごみ輸送管の摩耗部の補修方法ついては，管外面から鋼板を溶接する方法が採用されているが，外面からの補修が困難な直接埋設部などの区間では新しい補修方法の開発が急がれていた。また，摩耗部分の管を内面から肉盛りなどの補修をする場合は，その作業性，作業環境から自動化が求められている。当社ではこれら要求に応えられる管内面溶接ロボットの開発に着手し，口径 500～600A用の溶接ロボットの設計，製作を完了した。**Photo 6** に溶接ロボットを示す。

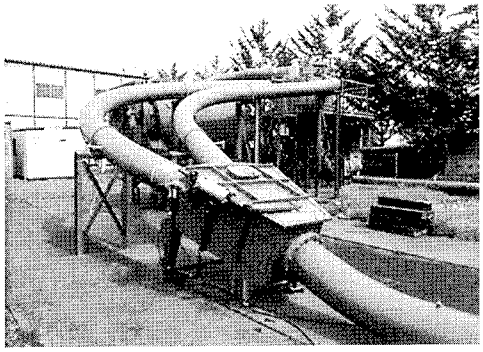


Photo 5 350A Pilot plant

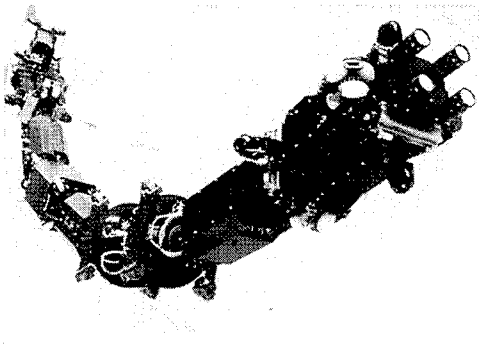


Photo 6 Welding robot

3. 2. 3 袋収集システム

リサイクル対応型管路収集システムとして当社は，袋収集システムを開発中であり，すでに実証試験の段階まできている。このシステムでは，ごみ排出者はあらかじめ配布された，専用の色つきビニール袋に決められたごみと資源化物を種別ごと入れ，投入設備に投入する。各投入設備のごみ貯留排出装置は，一ヶ所に1基設けられ，種別の色つきビニール袋が混合して貯留される。それらは順次パイプラインを通じて収集センターに，ビニール袋が破れないスピードで輸送される。輸送されたビニール袋は，分離排出装置にて空気と分離貯留され，順次選別ラインに排出される。選別ラインでは，光センサにてビニール袋の色を選別して，ごみ種別ごとに各ホッパに排出される。可燃ごみ，不燃ごみは，コンパクタによりコンテナへ，資源化物はそれぞれのオープンコンテナに排出貯留され，処理場へ輸送される。

なお，袋収集システムはリサイクル対応だけでなく，従来の空気輸送システムより低風速で輸送可能であるため，摩耗対策，送風機の動力減によるランニングコスト低減にも有効である。**Photo 7** に色選別装置を示す。

4. おわりに

現在，ごみ空気輸送システムは社会の新しいニーズに対応するシステムへの変換が求められており，当社としても新しいニーズに対応するよう研究・開発を進め，より経済的で合理的なシステムの追求を進めて行きたい。また，空気輸送システムだけでなく，総合都市開発企業としてのノウハウを生かし，新しい都市に対応したごみ処理のあり方を探求し，今後もよりよいシステムを提案して行く所存である。

<問い合わせ先>
環境プラントプロジェクト部
Tel. 045 (505) 8752　井上　冬樹

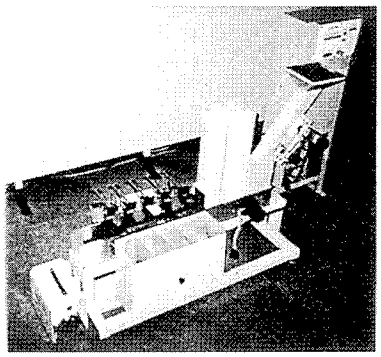


Photo 7 The equipment for color selection

都市ごみ焼却発電に係わる国の施策と動向

National Government Policy and Trend of Municipal Waste to Energy Plant

石関　幸二　環境プラントプロジェクト部　主幹
土田　　徹　環境プラントプロジェクト部　計画室　主査
塚腰　雅友　環境プラントプロジェクト部　計画室

Koji Ishizeki, Toru Tsuchida
and Masatomo Tsukakoshi

都市ごみ焼却発電施設をとりまく行財政的支援には，ごみ処理施設全般の国庫補助（厚生省），廃棄物発電開発費の国庫補助（通産省）および地方債の起債認可（自治省）などがあり，さらにダイオキシンの新ガイドラインでも積極発電が示されている。今後，各自治体においてもごみ焼却施設の発電化に，積極的に取り組むものと考えられる。他の化石燃料を導入せず本来的な高効率化としての蒸気の高温高圧化，ダイオキシンガイドラインで示されている小型焼却炉の発電付き全連続炉化，さらに代替施策としてのＲＤＦ発電について当社の対応を述べる。

Japanese major administrative and financial support systems for the municipal waste to energy plant are as follows, i. e. a state subsidy for waste treatment plant under the jurisdiction of ministry of health and welfare, a state subsidy for the waste to energy plant under jurisdiction of ministry of international trade and industry, and local government bond under the control of ministry of home affairs. Further more, the guideline of dioxins prevention measure for municipal waste treatment plant recomends to apply the waste to energy plant. It is supposed that many local governments would be eager about the waste to energy plant construction. And NKK's actions concerning to high temperature and pressure boiler system, small size waste to energy plant and RDF firing power plant are mentioned.

1. はじめに

近年，ごみを資源として見直す気運が社会的に高まりつつあるなかで，これまで焼却処理していた都市ごみをエネルギーとして，積極的に発電に利用する動きが，行財政的にも明確化されてきた。

都市ごみ焼却発電をとりまく，行財政的支援を整理し，ごみ発電技術の動向に対する当社の対応を述べる。

2. 都市ごみ焼却発電をとりまく環境

2. 1　都市ごみ処理施設に係わる国庫補助のしくみ

地方自治体が都市ごみ処理施設を建設する場合の財源としては，一般的に国庫補助および地方債（借入金）に依存しており，国の財政支援策に大きく影響される。

国の財政支援としては，大きく分けて厚生省，通産省の国庫補助および自治省管轄の地方債の起債がある。それぞれの役割は，

(1) 厚生省；ごみ処理施設全般の国庫補助
(2) 通産省；廃棄物発電開発費の国庫補助
(3) 自治省；地方債の起債認可

となっている。

ごみ処理施設を建設する場合の事業費構成例を図１に，財源内訳け例を表１に示す。

2. 2　都市ごみ発電促進に係わる国庫補助

以上に述べた従来の厚生省国庫補助に加え，最近廃棄物のエネルギー化促進の観点から，通産省の国庫補助が加わっている。以下に発電に係わる厚生省，通産省の国庫補助の分担を整理する。

(1) 発電した電力をすべて自己消費する場合

発電に係わる設備はすべて厚生省の補助対象となる。

(2) 発電した電力の余剰分（自己消費した残り）を特定供給先（近隣の同一地方公共団体の他部門）へ送電する場合

(1) 分の補助金の他，厚生省より出力（kW）に応じた金額が，基準事業費に加算される。

（基準事業費×補助率＝補助額）

(3) 発電した電力を売電した場合

厚生省および通産省の補助金交付対象となる。発電に係わる建設費を自己消費電力と売電出力の比に分割し，それぞれ自己消費分は厚生省，売電分は通産省の補助金が受けられる。

表１　財源内訳け例

項　目	比　率
国庫補助金	約　7％
事業費補正金	約　3％
地方債	約85％
単独費（自己財源）	約　5％

1996年度　300T／日発電設備付施設の例
（公害防止指定地域以外の場合）

以上国庫補助の他に，起債の面でも電力事業債として，高効率発電に係わる起債も認められており，廃棄物発電事業に対する国庫補助が従来より一歩前進し，行政的にバックアップする気運がでてきている。

2. 3　国庫補助以外の発電促進要素

近年清掃工場から排出されるダイオキシンが社会的に注目を集めており，厚生省のごみ処理に係わるダイオキシン類発生防止の新ガイドラインが1997年1月に策定された。

新ガイドラインの中で，従来小規模ごみ焼却施設である機械化バッチ炉（8時間／日運転炉），准連続炉（16時間／日運転炉）は原則廃止し，ダイオキシン排出の少ない全連続炉（24時間／日運転炉）への切り替えを指導している。同時に，小規模ごみ焼却施設で従来採用されていた，水噴射による排ガス冷却方式を，ごみ焼却熱の有効利用の観点から，原則廃熱ボイラ方式とし，極力発電設備を設けるものとしている。

さらに，全連続炉が困難な場合，ごみのRDF化施設（ごみの燃料化施設）の採用も推奨されている。

3.　今後のごみ焼却発電の方向

これまで述べて来た行財政的な支援により，今後ごみ焼却発電の需要がさらに高まるものと思われる。ごみ焼却発電の方向として，以下の3点を挙げ当社の対応を紹介する。

(1) 高効率化（国庫補助および起債）

ごみ焼却発電では，排ガス中に含まれる腐食性ガスの影響から，蒸気条件を高くできない特殊事情がある。現状40atm，400℃を上限としている蒸気条件を過熱器の材質を改良することなどにより，高温高圧化し，発電効率を高めることが求められる。

(2) 発電付き小型ごみ焼却施設（ダイオキシンの新ガイドライン）

従来の准連続炉規模の焼却施設についても全連続炉とし，発電設備を設けることが求められる。

(3) RDF発電設備（ダイオキシンの新ガイドラインおよび国庫補助）

RDFはその製造技術もさることながら，製品であるRDFの供給先の確保が問題となる。現在，地元の福祉施設，セメント工場，発電ボイラなどが供給先の候補として挙げられ，一部実用化に近づいているものもある。

RDF燃焼発電設備も今後の可能性の一つとして挙げられている。県主導で計画が推進されている事例もあり，今後の進展が望まれる。

4.　ごみ発電の高効率化

発電立地の制約や地球温暖化からごみ発電の高効率化に注目されるようになり，さまざまな提案がなされてきた。

これらには，1)ガス化溶融炉を使ったコンバインドサイクルやRDF発電のように新しいごみ処理システムの開発，2)従来のシステムに都市ガスなどのクリーン燃料を付加してごみ発電側の効率向上と全体出力を増加をさせる方法，3)在来ごみ処理の中で蒸気の高温高圧化や再熱サイクルなどが考えられている。ここでは高温高圧化の例をとり概説する。

日本ではNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）での高効率廃棄物発電技術開発が行われており，今年度は100atm×500℃のパイロットプラント試験が行われる。また東京都とプラントメーカとの共同研究で蒸気温度400℃および450℃用の材料開発が1998年まで継続されている。この他にも蒸気の高温高圧化をめざした過熱器材料の開発への取り組みが真剣に行われているが，当社では台中市向けで溶射材により40atm×400℃のシステムを実施し，現在横浜市金沢工場向けで40atm×400℃のプラントを建設

<table>
<tr><td colspan="7">総事業費</td></tr>
<tr><td colspan="3">標準事業費</td><td colspan="2">標準事業費を超える事業費</td><td colspan="2">重点化分</td></tr>
<tr><td colspan="3">基準事業費</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">（建屋・門柵・塀等）</td></tr>
<tr><td>国庫補助金</td><td>地方債</td><td>事業費補正</td><td>地方債</td><td>単独費</td><td>地方債</td><td>事業費補正</td></tr>
</table>

(1) 標準事業費、基準事業費はごみ処理トン数に応じ決められた算出式により算定される。
(2) 国庫補助金＝基準事業費×補助率
(3) 補助率；　公害防止指定地域以外の場合；補助率 1/4
　　公害防止指定地域の場合；補助率 1/2
(4) 重点化分；　建築分を示す。
(5) 地方債は自治体の借入金を示し、元利分（20%前後）は地方交付税として還付される。
(6) 事業費補正は地方交付税として還付される。
(7) 単独費は自治体の自己財源を示す。

図1　事業費構成例

中である。金沢工場向けではSUS310（C<0.08wt%）を高温部に使用している。当初NiとCrを含む各種の材料からラボテストによってスクリーニングし，**図2**に示すような含有率の鋼の腐食減肉が少ないことが明らかになった。すなわちNi=20～35wt%，Cr=20～25wt%で試験温度450℃の材料がもっとも過熱器材料として適しており，**図3**からわかるようにSUS310，アロイ800Hなどが妥当であると判断した。また，粒界侵食量は減肉量に比べて小さいため粒界侵食の影響は無視できることがわかった（**図4**）。一方，実炉での腐食減肉試験を重ね**図5**のような減肉量データを得ている。

実炉での腐食減肉量はいくつかのプラントで比べるとボイラの同じ位置で試験しても結果が大きく異なり，ときには腐食速度に2倍以上の差が出る。これはテストピースの温度を同じとしても，ガス温度，Cl濃度をはじめとするガスと灰の成分，ガスの偏流や渦の影響，灰の堆積量などさまざまな要素が関与しているためと推定している。実際の高温高圧ボイラの過熱器の設計においては管の材質ばかりでなく，ガス温度，ガス流速，ガスの偏流防止，蒸気流速，蒸気の流れ方向（対向流，平行流），灰除去の方法など多くのファクターを考慮する必要がある。

実際の当社での蒸気温度400℃～450℃程度のボイラに対してのガイドラインは以下のようにしている。

(1) 火炉上部は燃焼ガスの混合性の高い炉形状とし，COなどの還元性ガスを完全燃焼する。

(2) 第1パス輻射室では未燃ガスおよび浮遊未燃粒子が完全燃焼できるよう，十分なガスの滞留時間を取るため，3～4m/sとやや遅い流速を採用する。

(3) 第2パス輻射室では飛灰を慣性集塵効果により下部ホッパーに落塵させるようガス流速を6～8m/sとやや高めにする。

(4) 過熱器入口でのガス流速を均一にするための整流板をボイラ水管で構成する。形状は灰付着の少ない形を採用する。

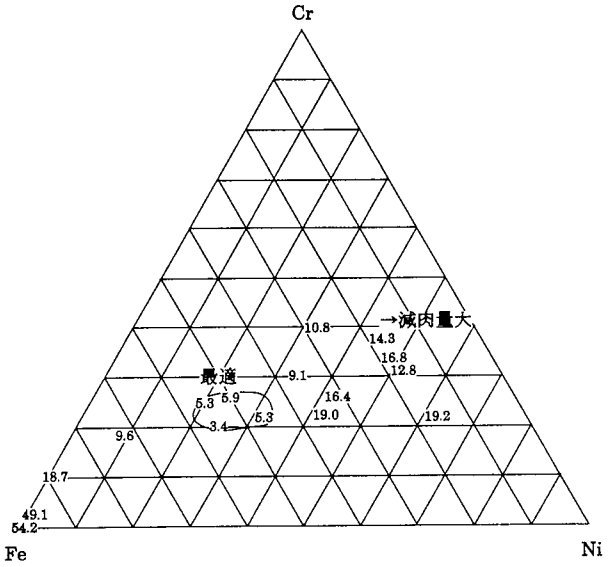


図2　腐食減肉量とNi，Cr含有率の関係

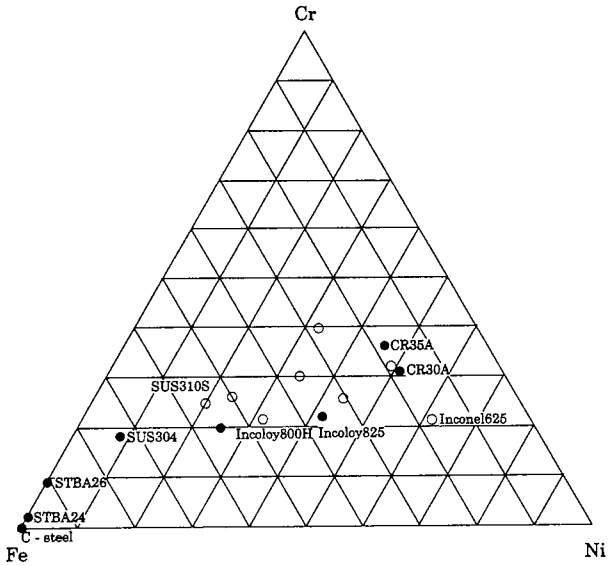


図3　供試材のNi，Cr含有率

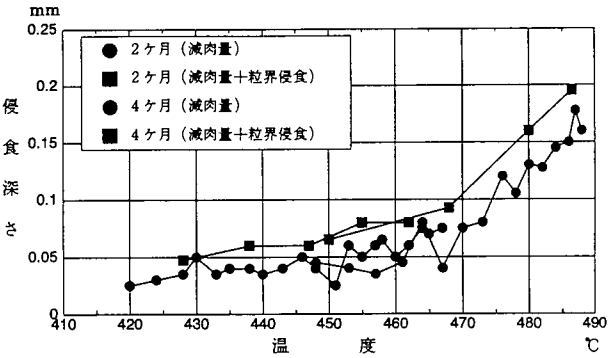


図4　侵食深さの温度依存性

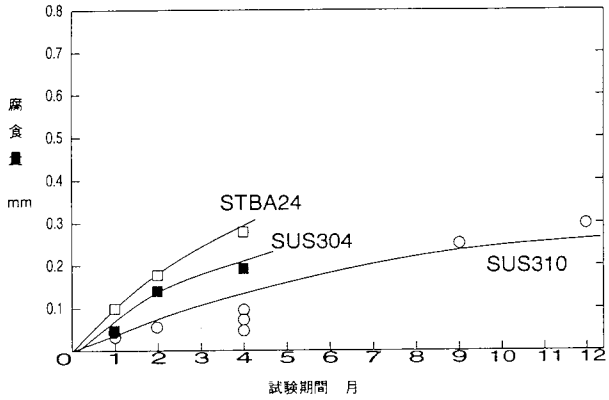


図5　実炉試験における減肉量の時間変化

(5) 第1パス，第2パスの輻射伝熱面において，十分な伝熱面を確保し，対流伝熱部入口ガス温度を最高 650℃に抑えることにより灰の溶着を防止し，灰の堆積による腐食，偏流による酸化層の剥離，腐食促進を防ぐ。

(6) 過熱器管群の前にスクリーン管群を置いてガス流れの均一化および付着灰の成長を防止する。

(7) 過熱器管群内ガス流速は4～6m/sに抑え酸化層の剥離を防ぐ。

(8) 煤吹器の蒸気噴射に対して吹き出しノズルに近い管列にプロテクタを装着して酸化層の剥離，腐食促進を防止する。

(4)の例として図6，7に整流板を入れない場合と入れた場合の流れ解析計算によるガス流れの流線と流速分布を示す。過熱器部への入口流速分布が2枚の整流板をいれることによりなだらかな分布になっており，この計算結果は実設計に反映されている。

このように高温高圧は単に材料の開発のみに留まらずさまざまな知見が必要である。

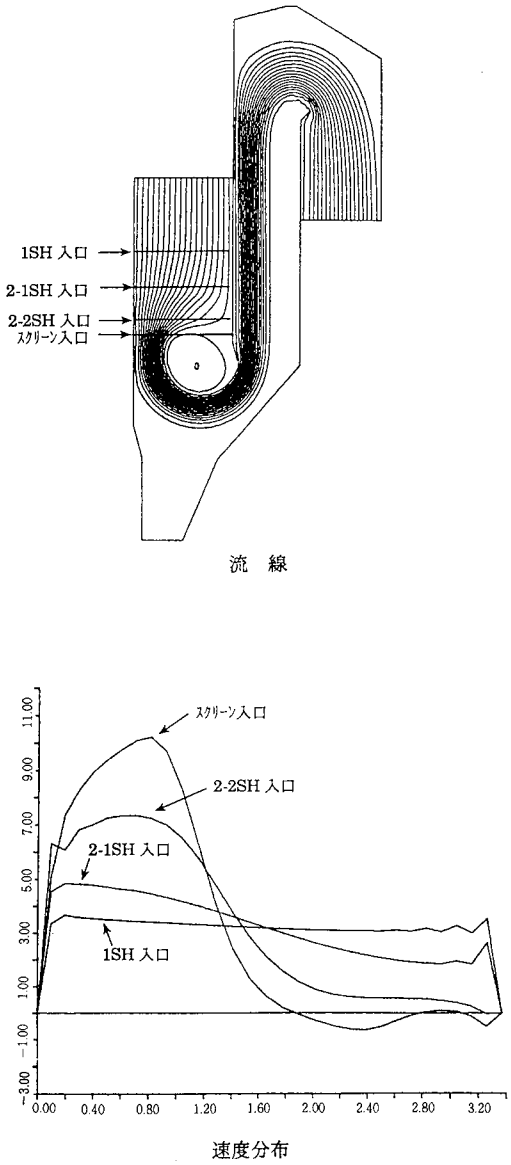


図6　整流板のない場合の流速分布

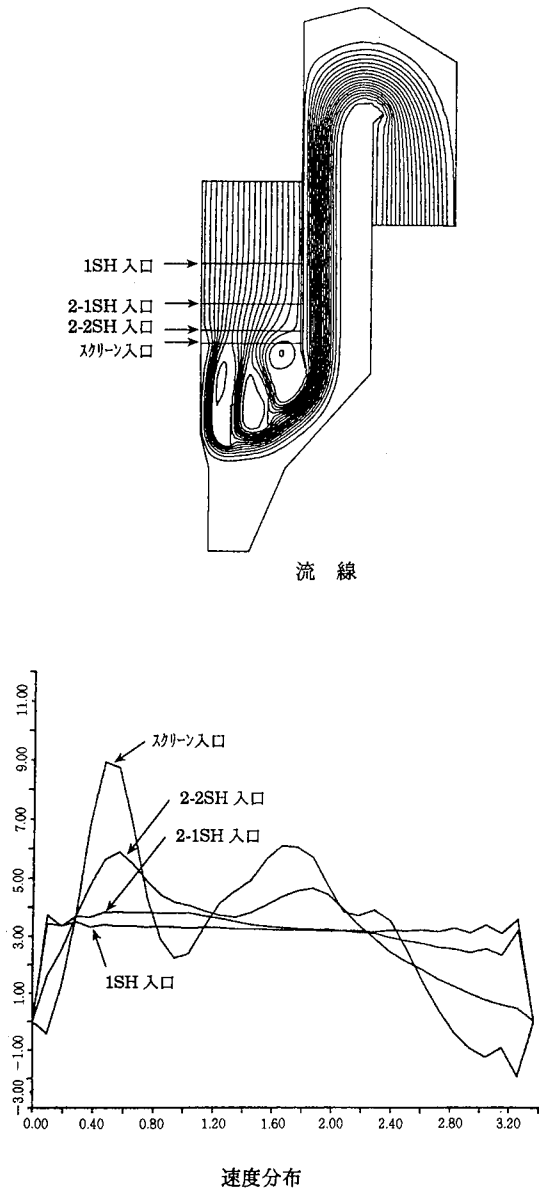


図7　整流板を入れた場合の流速分布

5. 発電付き小型ごみ焼却施設

従来，ごみ発電は技術的，経済的制約から，ある程度の大規模施設（ごみ焼却量約200T／日以上）に限られており，小規模施設にならざるを得ない自治体では准連続炉とし，排ガスを水噴射によって冷却するケースが多かった。小規模施設でのごみ発電を阻害する要因としては，1)従来のごみ焼却処理施設に比べてボイラ設備や発電設備が必要となり，コスト高となる，2)小規模施設では焼却炉が小型のため，大規模施設に比べて焼却特性がごみ発熱量や焼却量の小さな変動に影響を受け，安定したボイラ蒸発量，発電量が得られにくい，3)ごみ発電施設の運転には電気事業法により定められた資格をもった人員を確保する必要がある，といったことが考えられる。ところが，ダイオキシンの新ガイドラインによって清掃工場は連続運転かつボイラ付きが原則となり，准連施設の建設が事実上不可能となった。そこで，小規模施設（ごみ焼却量約100T／日以下）における，ごみ発電導入の検討を行った。検討にあたっては，ごみ焼却炉の規模を40T／日×２炉（＝80T／日）と設定し，具体的な見通しを得ることができた。

(1) 発電出力の試算

試設計の結果，２炉運転時最大約1000kWの発電が可能であった。この出力は，ごみ焼却設備内で消費する電力をすべて賄うことができ，売電まで可能となる出力である。

発電出力について，試算した結果を**図８**に示す。

(2) ランニングコスト試算

発電付き小型ごみ焼却施設のランニングコストを同規模の全連ガスクーラ施設と比較したものが**表２**である。それによると，年間約３千万円弱負担が少なくなり，ガス冷却水として再利用水を使用したとしてもほぼ同じランニングコストとなった。

以上の見解をもとに当社では，発電付き小型ごみ焼却施設の実現性を確認し，ニーズに合わせたプランを提供できる体制を整えている。

6. ＲＤＦ発電

ごみをペレット状の燃料に加工し，燃焼して発電を行うのがRDF発電と呼ばれているものである。

RDFは広義にはほとんど収集したごみそのものの段階からガス化，油化したものまで多くの段階が含まれるが，日本でいくつかのテストプラントを含むプラントが建設されているものは，不燃物を取り除き水分を調節してペレット状に整形したものを生産するものである。

RDF発電は蒸気温度を上げて高効率な発電が可能であるが，他のごみ発電と比較するにはRDFを製造する際のエネルギーを差し引かねばならないため他の方式に対する優位性を示しにくい。むしろ中小都市にとってダイオキシン発生の問題や有資格技術者不足の問題を避けられる点から，各自治体で製造したRDFを一カ所に集めて発電する方式が検討されている。

RDF製造プラントで一廃から作られるRDFはϕ15×30mm長さのペレットで，かさ比重0.5～0.6,低位発熱量約4000～5000kcal／kgである。燃焼性は揮発分が多いことから極めてよい。ストーカ方式と比べると，クリンカトラブル回避，NO_x低減の容易性から流動床方式の方がマッチしており，石炭混焼にも対応しやすいと考えている。Cl分が0.5～1.0wt%程度の場合燃焼時にはHClは250～500ppm（O_2 12%換算）と推定される。したがって高温蒸気過熱器を考える場合，燃焼ガスに直接触れずに流動層内で過熱器管を加熱する方式が提案されている。

当社「Ｒ＆Ｄセンター」では，RDF製造設備のみならず，流動床炉による燃焼までの一貫した設備を整えており，客先の事情に合わせた開発体制を確保している。（**写真１**）

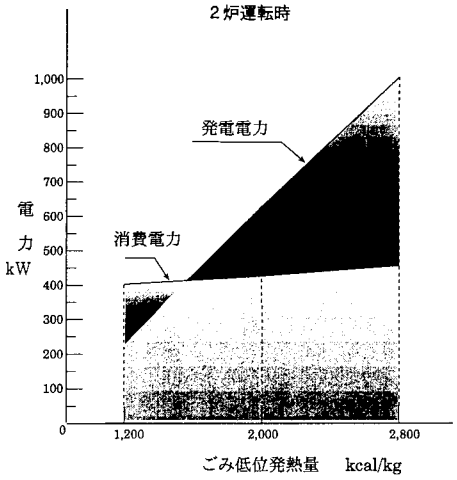


図８　小型ごみ発電施設の電力バランス

表２　運転経費の比較

種別			小型ごみ発電施設	全連ガスクーラ	備考
運転条件			80 T／日 Hu＝2,000 kcal/kg 330 日/年	千円/年	
用役費	電力	基本料金	5,200	10,300	
		従量料金	0	34,500	
	上水		5,900	23,800	上水使用
	燃料		200	200	
	薬剤、油脂など		30,800	29,300	排ガス処理など
用役費合計			42,100	98,100	
人件費	運転員		108,000	108,000	
	ＢＴ主任技術者		8,000	0	
維持補修経費			51,000	30,700	５年平均
合計			209,100	236,800	

7. 結　　言

都市ごみ処理施設をとりまく環境の大きな流れとして発電が指向されており，予想される都市ごみ焼却発電施設の需要に対し，当社は的確に対応できる体制を整えている。さらに，今後複雑化して行く商品構成に対応すべく開発を進めている。

<問い合わせ先>
環境プラントプロジェクト部
Tel. 045（505）7656　石関　幸二
環境プラントプロジェクト部　計画室
Tel. 045（505）7684　土田　　徹

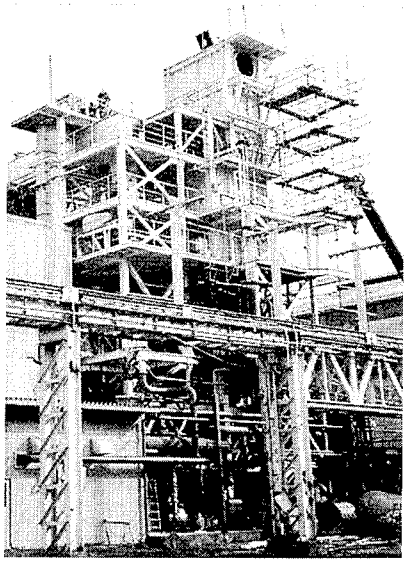


写真 1　流動床式焼却炉（環境Ｒ＆Ｄセンター）

東京都江戸川清掃工場建設工事を終えて

Impressions of Tokyo Metropolitan Edogawa Incineration Plant Construction

北原　重雄　環境プラントプロジェクト部　プロジェクト室　室長

Shigeo Kitahara

現地工事における現場代理人の考え方や行動は採算や品質をはじめ安全から人材育成まであらゆる面に大きな影響を及ぼす。本稿では，企業の社会的責任の問われる昨今の厳しい環境の中，首都圏で展開した清掃工場建設工事に現場代理人として従事した当社が，技術革新，ゼネコンとの折衝，安全活動などの取り組みでとった諸策の紹介と，会得した成果にその背景にある所感を加え述べる。

The idea and the action of a site manager strongly affect the wide-ranging aspects such as cost, quality, safety and human resource training. This article describes the concrete actions such as technology improvement, negotiation with the civil contractor and safety action, the fruits, and the impressions based on the experience of the author had engaged in this metropolitan plant as a site manager in recent severe circumstances requests social responsibility.

1. はじめに

設備近代化のために，東京都のごみ焼却処理施設である江戸川清掃工場の立て替え建設工事が，当社の東京都向け工場の4件目として1997年1月末に無事竣工し，引き渡しを終えた（**写真1**）。

この工事に現場代理人として従事した当社が遂行してきた現地工事の運営方法，考え方やその背景，実施状況，安全衛生活動の実体，引き渡しが近づくにしたがい日増しに感じる企業責任の重さを関係者一同のチームワークで乗り越えた結果，またそれを今後の工事で生かすための指針などを本稿で紹介し，本工事の記録の1ページとするとともに同類の建設工事の計画，管理に参考例となれば幸いと考える。

またプラント工事と土木建築工事を大手ゼネコンと乙型JV（所掌も請負金も明確な異業種間の共同企業体）で受注し，日々繰り広げられる調整のなかで当社現場代理人として体験し得たことも紹介する。

写真1　江戸川清掃工場全景空撮

2. 江戸川清掃工場の設備と工事工程概要

(1) 設備

設備規模：焼却設備 600T／日(300T／日×2炉)
敷地面積：約 28000m²
建築物：鉄骨鉄筋コンクリート造5階建て
延べ床面積：約 21900m²
煙突：150m

(2) 工事工程概要

工事名称：東京都江戸川清掃工場建設工事
請負者：日本鋼管・佐藤工業建設共同企業体（乙型JV）
全体工期：1992年12月～1997年1月
実施設計：1992年12月着工から12ヶ月間
土木工事：1993年12月着工から12ヶ月間
建築躯体工事：1994年5月着工から13ヶ月間
プラント先行工事：1994年10月着工から1ヶ月間

プラント本格工事：1995年4月着工から16ヶ月間
姿　完　成：1996年7月
試運転工事：1996年8月着工から6ヶ月間
竣工引き渡し：1997年1月

実施設計を除いて延べ38ヶ月の全体工期であり，プラント工事は土木建築工事が始まって1年以上経った途中から乗り込み，建築工事と混在競合しながら進めて行く。（写真2）

3. プラントの設備・工事・特徴，テクニカルイノベーション

(1) プラント設備の概要

焼　却　炉：全連続燃焼式ストーカ炉　　2炉
（当社－フェルント式二回流炉）
排ガス冷却：過熱器付き自然循環型コーナーチューブボイラ
排ガス処理：ばいじん除去…ろ過式集じん機
塩化水素，イオウ酸化物，水銀除去…消石灰噴霧およびガス洗浄
窒素酸化物除去…触媒脱硝設備
ダイオキシン除去…燃焼管理および低温ろ過式集じん機
飛灰処理：排ガス中和安定化方式
熱 利 用：蒸気タービン発電 12300kW，場内加熱利用，場外熱供給，売電
排水処理：凝集沈殿，ろ過処理，下水放流
運転制御：自動燃焼装置，全自動クレーン，集中運転操作監視

(2) プラント工事の概要

プラント工事期間：1995年4月～1996年7月
試運転工事期間：1996年8月～1997年1月
工　　法（炉　室）：テルハ工法
工法（排ガス処理）：オープン工法
総　労　働　時　間：65万時間（完全無災害）

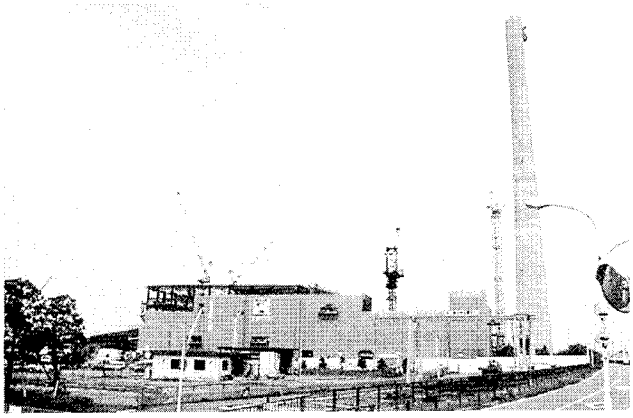


写真2　プラント着工時の状況

(3) プラント工事の特徴，テクニカルイノベーション

(a)工事方法の改善

清掃工場建設工事でプラント機器据え付け工事の進め方には次の二つがある。

（i）テルハ工法…建屋の天井に仮設ホイストを付け機器を取り込む
（ii）オープン工法…建屋の屋根ができる前に機器を取り込む

江戸川清掃工場建設工事ではテルハ工法を炉室の機器据え付けに採用した。テルハ工法の弱点である横もち作業に改善の照準をあて「横もちのゼロ」をめざし協議し，炉室に納品車を直接乗り入れられるようにした。

建築工事との調整や仮設工事費の一部負担増となったが軌道敷設が不要となり　屋外での品物の荷卸，積み替えが減少し建築での負担増を上回るコストダウンになった。またそれ以上に「ジャストインタイムの納期管理」を徹底することが工事管理上重要な要因であるとの認識がスタッフの中に高まったことに別な成果を感じた。

排ガス処理設備は，屋外設置の工場であることからオープン工法で行った。ゼネコンの協力により，建築工事用のタワークレーンをプラント工事で引き続き使用することができ，大きなメリットとなった。クレーン撤去と駆体の復旧が6ヶ月あと送りになり建築工事の工程調整難となったが，交渉には後工程となるプラント工事側からの建築工事への協力を説き，双方の利害を理解しあい結論を導いた。

お互いに相手のことを気使う風土を作り，＜まず「Give」から始めよ＞が有利な交渉結果を得る原点ではないでしょうか。

(b) 製造部との連携

最近の全連続式清掃工場（24時間連続で運転される工場）ではごみ焼却で発生する高温排ガスの冷却にボイラを使う。（このボイラから発生する蒸気でタービン発電機を廻し発電する）この工場を「ボイラ・タービン付き」といい，その構成設備はプラントの中でも重要な部分であり，設備量も工事量も多い。

当社では鶴見事業所の重工製造部でこのボイラとタービンを製作している。この利点を生かし両者協議で改善テーマを掲げ検討，実施した。今回策定したテーマの一部と成果を紹介する

テーマ1．所掌区分の見直し…「できるだけ多くの付属金物を工場で取り付ける」
テーマ2．事前計画の充実…「パネル分割会議を詳細設計前に開催する」

現地組み立て型ボイラの水冷壁パネルを製造部門で製作するときの経済的な大きさと建設部門で運搬据え付け時に安全容易な大きさとは必ずしも一致せずほとんどの場合相反している，特に搬送ルート，方法によっては詳細設計を変更しなければならないこともある。

江戸川清掃工場に搬送するには東京の密集住宅街のせまい道路を利用するルートのみでパネル分割にはかなり苦慮したが設計変更などの協力でノートラブルで終えた。

テーマ3．コミュニケーションの強化…「製造部・建設部の意志疎通・交流を図る」

前述したボイラパネルの50台を越すトレーラ輸送には製造，建設両方の担当者の協力と努力がありコミュニケーションのよさがこの好結果を生んだ。今後もこの協力関係を強化して行きたい。

(c) 配管工事の改善

配管工事において江戸川清掃工場で試みたテーマの一部を紹介する。

（i）作図の充実…三次元CAD による配管装置図，スプール図の作成（炉室，ボイラ補機室）

（ii）プレファブ化…溶接鋼管のすべてを工場プレファブし，さらに可能な限り焼き曲げなどによりエルボレス化（溶接エルボを使わないこと）する。

（iii）ユニット化…プレファブ工場でユニットにする。

いずれのテーマも現地作業量が減少しコスト，安全面で効果があった。

4. ゼネコンと繰り広げた諸々と当社の役割

プラント工事の着工前に1年以上も土木建設工事を展開しているため，プラント工事乗り込みや引き継ぎ後のさまざまなできごとは建築ゼネコンがそれまでに敷いた軌道に沿わざるを得ないことが多い。

江戸川清掃工場では次に掲げる項目について建築ゼネコンと当社の間で業務や費用の分担を協議実施した。最終同意にいたる議論の中には，両者が同じ東京に拠点を構える会社であり「企業責任のあり方」とそれを「全うしようとする考えと意志」が一致していたことがあり大部分で同意，協力できた。

(1) 近隣住民対応

近隣住民と東京都との間に工事遂行上の協定があり，それに記載ある項目の厳守が工事管理上でＪＶが最も傾注したことの一つである，特に資機材搬入用トラックなど車両の搬入時間厳守管理は前述したボイラ用のトレーラ車の時間管理以上に苦労した。協定時間以前に来た違反車は，それがたとえ1分1秒であれ搬入を許可せずに帰らせた。コストアップになる判断であったが，ここにもゼネコンとの無違反競争と相乗し「決められたことは一つの妥協も許さず守る」という決意があり，その行為がさらに担当者自身の意識を高める結果にもなった。

(2) 仮設関連

トイレ，シャワー，売店，ガードマンハウス，入退場門の設置，維持管理，事務所用地の整備，維持などをJVの共通使用，管理項目とし費用分担した。設置は事前協議の上ゼネコンで一括施工した。JV両者で総合的に仮設設備の計画管理ができたことも後述する衛生管理の優良事業所として，江戸川労働基準監督署から表彰される結果につながった。（**写真3**）

(3) 統括安全管理について

基本的には乙型JVであるので労災のカウントは個々が負担した。

統括安全衛生責任者はプラント乗り込みまではゼネコンが，以降は当社が務めた。安全のスーガンや考え方，取り組み，どれをとっても当社とゼネコンのトップの考え方が一致し，お互い切磋琢磨で両者ともにレベルアップした。合同朝礼2回／月，協議会相互出席1回／月，各種の技能講習，実技研修，体験学習，職長会主催焼き肉大会など懇親会などを協賛で行い従業員全員の意識の高揚に務めた。

もう一つ大きな活動として江戸川労働基準監督署管内で請負金額10億円以上の有期事業所を対象とした「大型現場労働災害防止協議会」の幹事会社を発足年度と次年度をゼネコンと当社で務めたことである。現場には監督署を始め管内の事業所代表が集まり協議会を開いた。またこの際のパトロールでも高い評価を得，甲斐あって1996年の全国労働衛生週間に江戸川労働基準監督署署長から有期事業所としては管内で初めて衛生優良事業所として表彰された。

5. 成功した安全衛生活動

当社江戸川事業所の安全衛生活動について改めて記述するが，実施した活動の過程も結果も大成功だといえる。それは「トップの決意と妥協を許さぬ実行」を終始一貫させたからだと思っている。

65万時間完全無災害記録の達成は単に精神論だけでなく，全従業員の毎日の地道な活動の積み重ねによって成されたことです。またその背景には事業所の所長，副所長，工事主任，担当技師，業者の責任者，工事担当，親方，棒心と必ずいる組織の上位者，いわゆる「集まりの中のトップ」

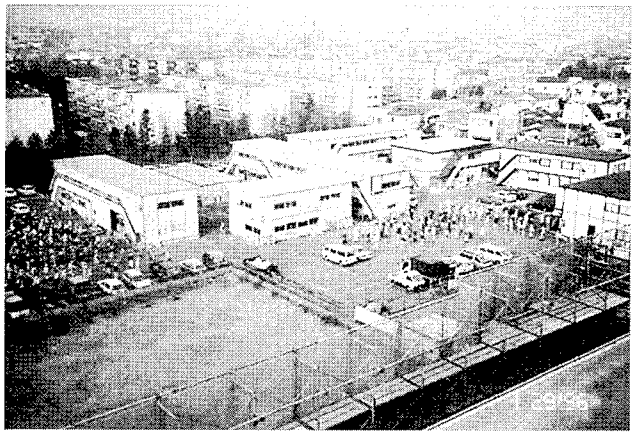


写真3　仮設事務所と近隣

となった者の「決意と実行」があり，その決意を守る努力があったからです。これはゼネコンの所長から建築工事の業者までも同じであった。（**写真４**）

当社江戸川事業所では「基本ルールの励行」をスローガンにして，墜落災害の絶滅，4S運動の実施，安全保護具の完全着装，安全サイクルの定着化，を重点項目として展開，年度ごとにマンネリ防止のため，スタッフや業者責任者の決意表明，体験学習や外部講師による啓蒙，と安全活動を絶え間なく続け，「日々迫りくる恐怖」を追い払い続けた。　結果だけとらえれば「安全活動など何もしなくてもよかったのではないか」といわれたり，「江戸川は安全が厳しかったので参った」とか恨まれる言葉ばかり聞こえるが，無事故で終わったことが「無類の喜び」なのは当社だけではなかろう。

6. 現地工事管理体制と現地事務所のあり方

現地工事の管理体制について事務所運営を含み特筆したいのは次のことである

(1) 建設工事の着工に先立つ所長方針の提示と周知徹底

当社江戸川事業所の行動指針（建設スローガン）を全員参加の「工夫・挑戦」とした。

工事に関する目標と同時に提示し，その「達成に向かった活動ができる風土」を作るのはその組織のトップの必修の役割である。

(2) 構成メンバーの所属部署

工事主管部署の当社環境プラントプロジェクト部は２名，グループ会社のエヌケーケープラント建設㈱から機械，電気合わせて８名，エヌケーテクノス㈱から１名，当社，エヌケーケープラント建設㈱の臨時雇用が３名，のメンバーで工事施工管理組織を構成した。

所属の異なるメンバーからなる組織のチームワーク作りには，日常業務以外の場から見い出し発展，強化させた。

この中で目標以上の成果を上げるのには，常に相手のことを思う気持ちや，時にはボランティア行為が必要で，またそれを組織のトップが理解し，指導し，率先垂範することが欠かせないことである。

また今後は構成メンバーからみても，現地工事の施工，安全や工事管理の部分をグループ会社が分担し，機器購入，原価管理や開発，それに共通技術部を含む全体総括を当社で受けもつことが基本ではなかろうかと思う。

(3) 専任安全と事務長の兼任配置

この規模の工事現地には専任の安全衛生管理者を配置している。当社江戸川事業所では専任安全管理者に事務長職を兼務させ事務所内のとりまとめや，チームワーク作りの潤滑剤，として活躍できるようにした。専従者のパーソナリティーに依るところが多い職務であるが期待以上の成果があった。

「安全第一」と常にどこでも叫ばれているが，結局それも人のやっていることであり，人の管理，人のやる気の問題である。強行にやるか，おだててやらせるか，いわばイソップ物語の「北風と太陽の知恵比べ」と同じことであり，結果がよくなるのならば「方法は一つ」ではない，所長を全面的にバックアップできる事務長兼専任安全管理者をこれからも配置したい。

(4) 現地事務所のOA化

写真４　無災害記録達成記念

組織体系図には現れていないが，当社江戸川事業所は環境プラントプロジェクト部の管轄現場としては初めて全面的な現地事務所のOA化が実施された現場である。もちろん鶴見事業所とも接続されており電子メール，サーバーの共用など頻繁に活用された。

現場事務所のOA化で何よりの成果は，現地工事担当者の意識変革であった。ともすれば工事屋特有の親方的存在感の強い風習が，OA機器を取り扱うことにより「エンジニヤー」に変身したのです。さらに事務所内の環境はよくなり，身なりもよくなった。

7. おわりに

約2年間の現地工事と試運転に携わり無事初期の目的を達成し終えた今，改めて振り返って感じることは，本当に災害を起こさなくてよかったということにつきる。「あのとき事故を起こしていたら」と考えると背筋の寒くなる思いである。

東京都の発注物件である。当社のお膝下である。直近の清掃工場建設工事で災害を起こし痛い目に遭ったばかりの時期である。手慣れたゼネコンとのJVで気が緩められない。さらに当社にとっても気構えが最高潮に達した時期。とすべてにおいてハイテンションな建設工事現場であったが，関係者の協力を得て完遂でき大いに満足している。

工事施工，監理のうえで大変お世話になった東京都清掃局歴代担当課長の鈴木殿，茂中殿，浅川殿，建設担当の小杉殿，安藤殿，JVパートナーの佐藤工業㈱東京支店江戸川作業所の田島殿，坂本殿にこの場を借りて謝意を表す。

「トップの決意と妥協を許さない実行」が「他人を気使う風土」の中で育まれれば「必ずよい実を結ぶ」ということを最後にもう一度いっておきたい。

<問い合わせ先>
環境プラントプロジェクト部　プロジェクト室
Tel. 045 (505) 7687　北原　重雄

固定化微生物利用技術

Advanced Biological Water Treatment Using Immobilization Technology

局　俊明　川崎研究センター　水システム研究室　主任研究員　工博
馬場　圭　川崎研究センター　水システム研究室
澤田　豊志　川崎研究センター　水システム研究室
山田　英樹　川崎研究センター　水システム研究室
武智　辰夫　川崎研究センター　水システム研究室　室長　理博
厚浦　裕　水処理技術部　プラント技術室　室長

Toshiaki Tsubone, Kei Baba,
Toyoshi Sawada, Hideki Yamada,
Tatsuo Takechi and Hiroshi Atsuura

当社は微生物固定化法を応用した新規の下水高度処理技術として，樹脂系中空円筒状担体を利用した各種のシステムを開発した。本稿では，微生物固定化担体の選定・開発の経緯と，窒素，リン除去システムなどの各種下水高度処理システムへの適用例およびその特性について紹介する。

NKK has developed new type of advanced biological waste water treatment systems using immobilization technology. This paper reports how our carrier for immobilization was developed and summarizes the characteristics of some newly developed waste water treatment systems, including nitrogen and phosphorus removal system, using the carrier technology.

1. 緒　　言

現在および将来の下水処理技術の課題には処理水質の向上，処理エネルギーの低減，施設面積の削減などがある。このような背景の下，1985年度～1989年度にわたって新しい下水処理方式の開発に関する建設省の総合技術開発プロジェクト「バイオフォーカスWT」が実施され，種々の固定化担体を用いた排水処理システムが開発された[1]。

微生物固定化担体を用いた流動床バイオリアクターは排水処理に関与する微生物を担体に固定化し，この担体を曝気槽内で流動化させて排水の処理を行う装置であり，この装置は微生物を高濃度に曝気槽内に保持することができるため，曝気槽の小型化あるいは処理水質の向上を図ることの可能なものとして近年注目を集めている[2]。

当社はバイオフォーカスプロジェクトの中で樹脂系中空担体を利用した流動床バイオリアクターを開発した。本稿では，この流動床バイオリアクターに用いられる微生物固定化担体の選定・開発の経緯とこの流動床バイオリアクターの各種下水処理システムへの適用例およびその特性について紹介する。

2. 微生物固定化担体の選定・開発

微生物を担体に固定化する方法は包括法と結合法とに大別される[2]。

包括法とはポリエチレングリコールやポリビニルアルコールなどの水溶性高分子と微生物を混合し，水溶性高分子を重合，ゲル化させることにより，高分子ゲルの格子中に微生物を固定化する方法である。この方法の特徴は，微生物を高濃度に固定化できること，特定の微生物を優先種として利用できることおよび汚泥発生量の低減が期待できることとされている[2]。

一方，結合法とは砂や活性炭あるいはプラスチックビーズのような粒子の表面に微生物を，微生物自身が生産する粘性物質を介して自然発生的に付着させ生物膜を形成させる方法である。

当社は，担体の選定にあたって，まず，結合法と包括法の比較，検討を行った。包括法においては，微生物が高濃度に担体内部に固定化できることが特長の一つとされているが，汚水処理に使用されている間に担体外表面に生物膜が形成され，基質もしくは酸素の拡散抵抗を生じるために，担体外表面の生物膜近傍のみが有効層となる可能性がある。この場合には担体内部に微生物を包括固定することの効果は得られないのみならず，担体内部の占める体積はリアクターの有効容積を減じるというデメリットをもたらすことになる。そこで，このような現象がみられるかどうかを調べるために固定化剤としてポリエチレングリコールを主成分とした光硬化性樹脂を用いた場合およびポリビニルアルコールを用いた場合について，それぞれ微生物を包括した球状担体と包括しない球状担体とを製造し，流動床による下水の連続処理比較実験を行った[3)-5)]。その結果，いず

れの固定化剤を用いた場合においても，微生物包括固定の有無による呼吸速度および処理水の溶解性 BODの差はほとんどみられなかった。さらに，**Photo 1** は，ポリエチレングリコール系の光硬化性樹脂により微生物を包括固定化した担体を3ヶ月間の下水の連続処理に供した後に切断し，断面を走査型電子顕微鏡で観察したものであるが，微生物の存在は担体の表面近傍に限られていた。

以上の結果からすれば，少なくとも BOD除去に関しては担体内部に微生物を固定化する効果はないものとみられ，当社は素材の強度，経済性などに優位性のある結合型担体の開発に注力した。なお，松原ら[6]はポリビニルアルコールを冷凍させて作成した担体を用いて下水の処理実験を行い，下水の硝化処理においても硝化菌の包括固定が特に有効ではないことを報告している。

流動床バイオリアクター用の結合型担体に要求される特性には以下のようなものがある。

(1) 微生物付着性がよいこと
(2) 流動性がよいこと
(3) 長寿命であること
(4) 低コストであること

当社は種々の材料についての検討[4]をふまえて，これらの条件を満足する担体として**Photo 2** に示すような樹脂系中空担体を開発した[3]。

この担体は表面への微生物の付着性を高めるために粗面化処理が施されており，さらに単位体積あたりの微生物固定化量を増大させるために形状を中空円筒状（外径 4mmφ，内径 3mmφ，長さ 5mm）としている。基材はポリプロピレンで，比重調整材を添加することにより担体の比重は水よりごくわずかに大きくなるように調整されている。この担体と水との比重差はごく小さいため，本担体は水中での流動性にすぐれている。したがって，曝気方式として撹拌エネルギーの小さい全面曝気を採用し高い酸素溶解効率を得ることができる。また，ポリプロピレンは化学的および生物学的な分解を受けにくく機械的強度も大であるため，担体は長期間の使用に耐えるものである。さらに，ポリプロピレンは低価格の樹脂であり，安価な担体となる。なお，本担体は成形条件を変更することにより，大きさ，形状の異なるものを製造することができる。

3. 樹脂系流動床バイオリアクターの適用例

樹脂系中空担体を用いた流動床バイオリアクターシステムには種々の利用法が考えられる。この担体を利用したシステムに関して，筆者ら[7]がバイオフォーカスプロジェクトの中で実施してきたパイロット実験の他，多くの実験，検討が行われてきており，これらの結果が公表されている[4), 5), 8)-23)]。その中から代表的なシステムを以下に概説する。

（適用例－1）

Fig. 1 に示すシステムは担体を投入した曝気槽（流動床バイオリアクター）へ一次処理水を導入し，担体に付着した生物による処理を行って，さらに，後段の固液分離装置で曝気槽処理水中のSSを除去して清澄な処理水を得るものである[8)-13), 16)]。

曝気槽は担体の下流側への集中と短絡流を防止し，かつ上流側から下流側にかけて異なる生物相を形成させるために通常3段程度に仕切られており，曝気槽各段の間および曝気槽出口にはウエッジワイヤースクリーンが設置されている。

曝気槽では主として溶解性成分の分解，除去が行われるものの，SS成分の除去はほとんど行われず，また，曝気槽処理水には増殖，剥離した生物が含まれているため，後

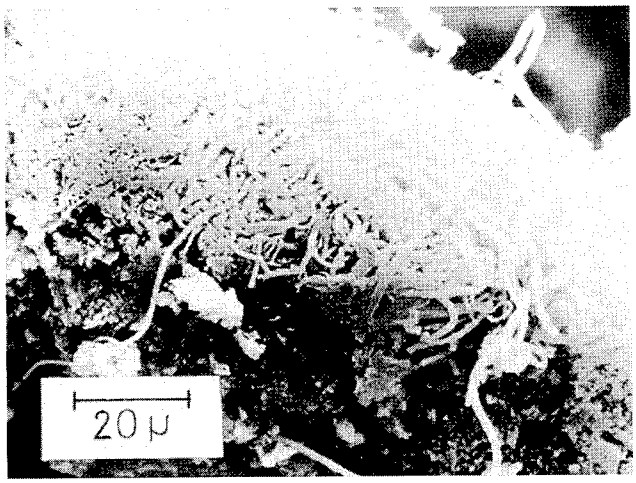


Photo 1　Cross section of the carrier prepared by entrapping method

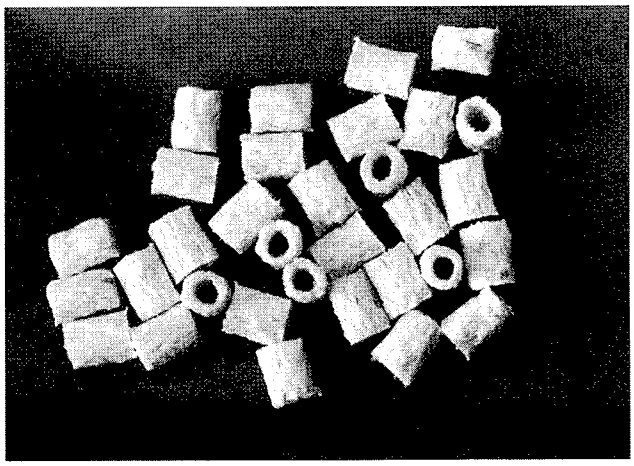


Photo 2　Shape of carriers used for immobilization of microorganisms

段で固液分離処理を行う必要がある。本システムでは曝気槽処理水中のSS成分を後段の固液分離装置で除去し，清澄な処理水を得る。

後段の固液分離装置には種々のものが適用できるが，不織布，アンスラサイトおよび砂を用いた下向流式複合ろ過装置を用いた場合[10]と上向流式砂ろ過装置を用いた場合[11),12]について実験，検討を行った。上向流式ろ過装置は下部より上部に向かって徐々に粒径が小さくなるろ層構成とすることにより従来の上向流式砂ろ過装置と比較して単位ろ過池面積あたりの捕捉SS量を増大させたものである。

このシステムでは曝気槽内の微生物濃度を高く保つことができるので曝気槽の小型化が可能となる。さらに従来の活性汚泥法と異なっており，最終沈澱池での活性汚泥の沈降分離と沈降汚泥の返送を行わないため，バルキングの問題がないという特長がある。また，曝気槽の各段において排水の性状と負荷に対応した微生物相が形成されることが確認されており[7]，合理的な処理法と考えられる[24]。

後段の固液分離装置に上向流ろ過池を用いたシステムを宮崎県都城市の新下水処理場設備へ適用することに関して実験，検討が行われた結果，標準活性汚泥法と比較して，処理水質は良好であり，省面積性，エネルギー自立率ではすぐれており，建設費は多少高くなるとみられるが省面積化することによる用地費を含めればほぼ同等と見込まれるとの評価[8),9]を受けて実設備の建設が行われ，1996年5月より供用されている。担体の真容積基準の充填率（以下，充填率と略記する）が10%，流入水量が計画値の約16%という初期運転条件において，処理水の BODおよびSSの平均値はそれぞれ 2.8mg／Lと1.1mg／L と極めて良好であった。また，稼働中の同設備においても担体の流動性は良好であり，曝気槽内において担体はほぼ均一に分布していた[16]。

また，このシステムは，活性汚泥法においては曝気槽内部に保持することの難しい硝化菌や難分解性成分の分解菌のような増殖速度の小さい細菌を担体に固定化することにより曝気槽内部に高濃度に保持することができるため，硝化能力[3]や難分解性 CODの除去能力の高いことが報告されている[23),25]。

さらに，既存の下水処理場の多くは標準活性汚泥法を採用しているが，限られた敷地内で計画値を越える負荷量に対処するために，既存の設備を軽微な手直しをすることによって大きな負荷を受け入れ可能にするシステムが望まれるケースもある[26]。このシステムは曝気槽に担体分離用のウエッジワイヤースクリーンを設けて担体を投入する，最終沈澱池をろ過池に変更するなどの改造により既存施設の能力拡大に適用できる[25]。

（適用例－2）

Fig. 2 のシステムは従来の活性汚泥法の曝気槽に担体分離用のスクリーンを設け，曝気槽に担体を投入したものである。このシステムは栃木県高根沢町の設備に適用され，従来長時間曝気法と浸漬ろ床接触酸化の組み合わせ処理で最大処理量 600m³／日であったものを最大処理量2100m³／日の施設へと改造した例である。この設備は，1993年3月に供用開始となっている。担体充填率は5%，曝気槽内滞留時間は 4.6時間という条件において処理水質はT-BODが4mg／L,SSが 2mg／Lと目標値であるT-BOD5mg／L, SS 20mg／L を満たすものであった[17]。

（適用例－3，4）

循環式硝化脱窒法は後段の硝化槽でアンモニア態窒素を硝酸態窒素に硝化し，生成した硝酸態窒素の一部を前段の脱窒槽へ循環返送して，脱窒菌の作用によって硝酸態窒素を窒素ガスへと還元することにより排水中の窒素の除去を行うものである[27]。一方，嫌気－無酸素－好気法は循環式硝化脱窒法と同様の原理で窒素を除去するとともに，嫌気槽で活性汚泥からリンを吐き出させ，好気槽で吐き出した以上のリンを活性汚泥に摂取させ，余剰汚泥中にリンを濃縮して系外へ排出することにより排水からのリンの除去を行うものである[27]。いずれも下水の高度処理を目的としたシステムであるが，これらの方法においては活性汚泥の硝化速度が小さいため，下水の反応槽内での滞留時間がいずれの場合も16時間程度必要となり滞留時間が6～8時間である標準活性汚泥法と比べて2倍程度の大きな反応槽を要するという問題がある。

Fig. 3 および**Fig. 4** のシステムは，それぞれ循環式硝化脱窒法および嫌気－無酸素－好気法の曝気槽（好気槽）に担体を投入したものであり，担体を利用して硝化細菌を曝

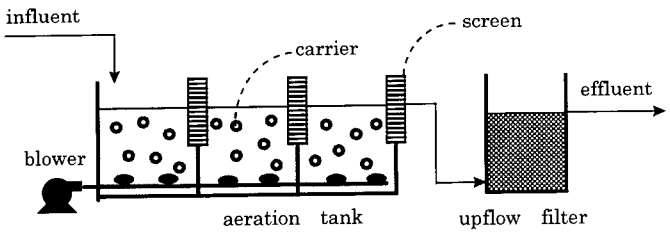


Fig. 1　Flow diagram of BOD removal system（Ⅰ）

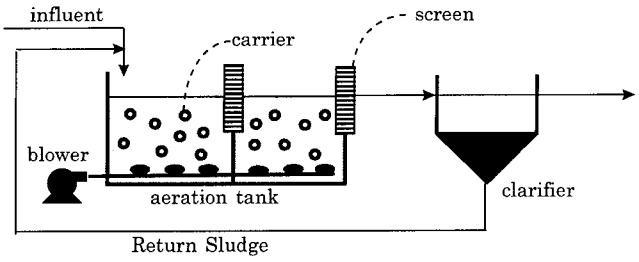


Fig. 2　Flow diagram of BOD removal system（Ⅱ）

気槽内部に高濃度に保持することにより，反応槽の小型化と硝化処理の安定化を図ったものである。

Fig. 3および**Fig. 4**のシステムに関しては，川崎市と共同して処理水量15m³／日のパイロットプラントを用いた実験を実施している。**Table 1** は**Fig. 4** に示したシステムを用いて滞留時間9時間，循環水量比2.0，返送汚泥比0.3，MLSS 1750mg／L,担体充填率5％という条件における流入水質と処理水質を示したもので，処理水の T-Nは 7.8 mg／Lとなり，10mg／L以下という目標値をクリヤーした[18]。一方，処理水の T-Pは 1.0mg／Lとなり 0.5 mg／L という目標値を達成することはできなかった。この理由として，流入水のT-BOD／T-P 比が小さかったことが考えられる。**Fig. 5** は同実験における,T-P除去率と流入水の T-BOD／T-P比の関係を示したものである[19]。**Fig. 5** にみられるように，流入水の T-BOD／T-P比が大である場合には T-P除去率が高かった。このような結果は，生物的リン除去の原理が余剰汚泥中にリンを濃縮して系外に排出することにより排水からのリンの除去を行うものであり，余剰汚泥の発生量が流入水の T-BOD濃度にほぼ比例することによって説明される。一般的に，生物学的リン除去が良好に行われるためにはT-BOD／T-P 比は20～25程度以上の値であることが必要であるといわれている。本パイロットプラント実験データの60％以上において流入水の T-BOD／T-P比が25以下であることを考慮すれば，流入水の T-BOD／T-P比不足による生物脱リン能力の不足分をカバーするために反応槽に凝集剤を添加して化学的にリンを固定化して余剰汚泥として系外に排出することが有力とみられ，凝集剤としてAl／P比が 1.5以上となるように PACを添加した場合には処理水の PO_4－Pは 0.5 mg／Lとなった[20]。さらに，本パイロットプラント実験において担体付着汚泥と浮遊汚泥中の硝化細菌の計数を行った結果，反応槽内において亜硝酸化細菌の7割以上，硝酸化細菌の9割以上が担体表面に固定化されており，担体を投入することは硝化細菌を反応槽内に高濃度に保持するために有効であることが確認された[18]。また，**Fig. 3** に示した循環型硝化脱窒法の好気槽に担体を投入したシステムのパイロット実験から，溶解性 BOD成分の方が脱窒のための還元剤として非溶解性 BOD成分より利用されやすいこと[21]，硝化のみならず BOD除去に関しても担体投入の効果が認められ，高負荷条件下で最も顕著であるとの知見[14]が得られている。

なお，循環式硝化脱窒法および嫌気－無酸素－好気法ともに脱窒のためには水素供与体として BOD成分を必要とするが，合流式下水処理場などではBOD／T-N 比が小さく，脱窒のための BOD成分の不足する場合がある。このような場合には最初沈澱池をバイパスしたり，最初沈澱池の汚泥滞留量を増大させて反応槽流入水の BOD／T-N比を大きくするといった対策が考えられるが，このような運転方法を採用した場合には反応槽への狭雑物の流入量の増大が予想されるので，反応槽手直しでの狭雑物除去対策も考慮する必要がある。

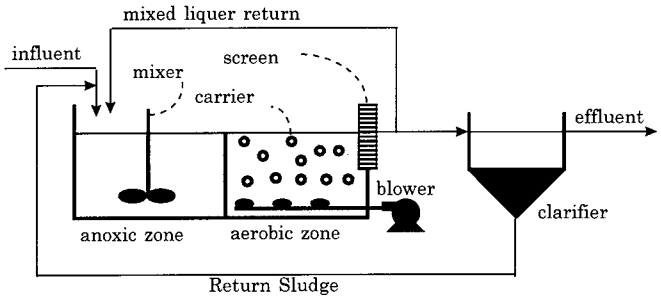


Fig. 3 Flow diagram of BOD and nitrogen removal system (I)

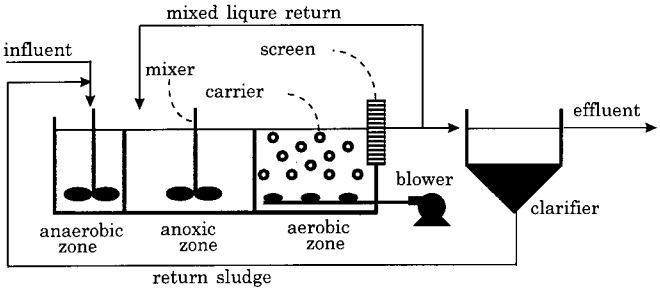


Fig. 4 Flow diagram of BOD, nitrogen and phosphorus removal system

Table 1 Average composition of influent and effluent

		influent	effluent
BOD	mg/L	69.0	2.0
COD	mg/L	45.4	7.5
SS	mg/L	53.5	1.5
T-N	mg/L	27.4	7.8
NH_4-N	mg/L	15.9	trace
T-P	mg/L	3.2	1.0
PO_4-P	mg/L	1.7	1.0

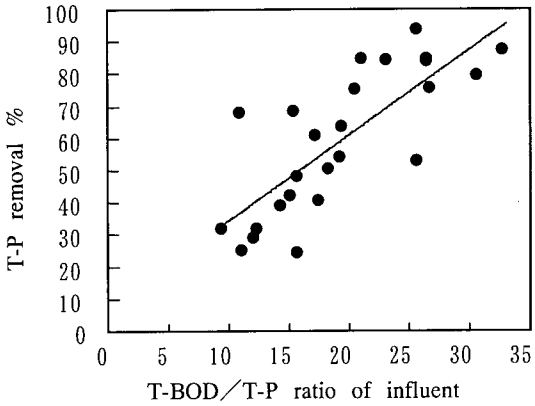


Fig. 5 Relation between T-P removal and T-BOD／T-P ratio of influent

（適用例－5）

Fig. 6 に示したシステムは，基本的に**Fig. 3** のシステム同様，循環型硝化脱窒法の好気槽に担体を投入したものであるが，好気槽の下流側2段にのみ担体を投入し，最上流側の好気槽には担体を投入していない点が**Fig. 3** と異なる。本システムに関して大津市との共同研究として大津浄化センターにおいて活性汚泥法実装置の一系列を改造した実験を実施中である[22]。大津浄化センターの反応槽の構造は**Fig. 7** に示されるようないわゆる深層型の反応槽となっており，散気装置は反応槽水深のほぼ中間の位置に設置されている。実験条件は流入水量が11800m³／日，循環水量が10200m³／日，返送汚泥量が7200m³／日，送風量が43000m³／日，滞留時間が 5.2時間であり，担体充填率は1996年12月8日までが 2.5%，それ以降は3%である。**Fig. 8** は同実験における水質の経日変化を示したもので，担体への汚泥の付着が完了して，ほぼ安定した処理の行われた1996年3月14日～1997年3月末までの期間において，処理水のT-BOD および T-Nの平均値はそれぞれ 2.3mg／Lおよび5.7mg／L となり，目標値であるT-BOD 10mg／LおよびT-N 10mg／L以下を常に満足した。包括固定化担体を深層型の反応槽に投入した場合には担体の流動性が低いために装置の基本的な改造が必要であったと報告されている[28]が，本実験においては装置の基本構造を変更していないにもかかわらず，担体は良好に流動し，反応槽内にほぼ均一に存在した。

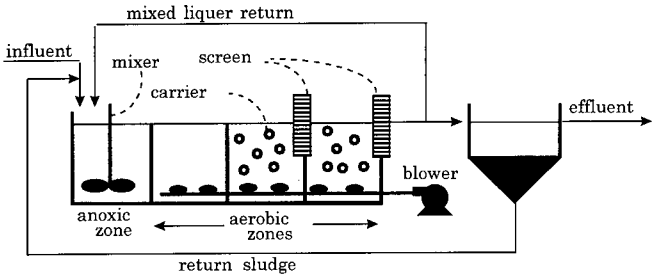


Fig. 6　Flow diagram of BOD and nitrogen removal system (Ⅱ)

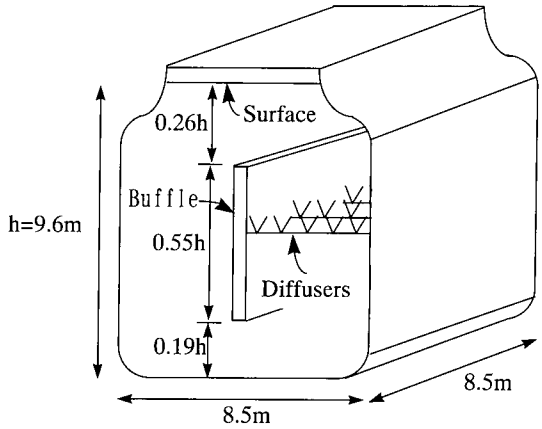


Fig. 7　Configuration of deep aeration tank system

4. 結　　言

以上，樹脂系中空担体を用いた排水処理装置に関して，担体選定・開発の経緯と各種下水処理システムへの適用例について概説した。これらのシステムに共通する特長は，担体に微生物が高濃度に固定化されるため処理装置が小型化できる点である。これらのシステムは処理場用地の確保が困難な地域での省施設面積型下水処理システムとして適しており，緑地化など，処理場空間の有効利用を図る上でも効果的である。さらに，既存の処理施設を改造して高負荷対策，高度処理対策に適用する上でも有効かつ経済的である。

1998年10月には海域の富栄養化対策として T-Nが60mg／L，T-P が 8mg／Lという一般排出規制値が本格適用され，今後多くの地域での上乗せ規制が必至の状勢にある。今回紹介したシステム技術が今後の水環境の改善・保全に少しでも貢献できれば幸いである。

最後に，一連の研究開発において指導，助言，協力をいただきました東北大学の栗原康名誉教授ならびに須藤隆一教授，建設省土木研究所，日本下水道事業団，都城市，栃木県高根沢町，川崎市，大津市ならびに日水コンの関係各位に，甚深の謝意を表します。

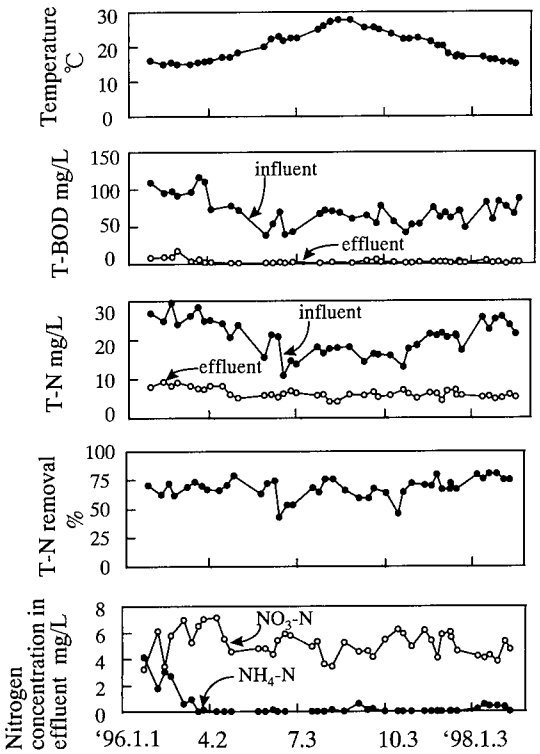


Fig. 8　Performance of BOD and nitrogen removal system (Ⅱ) using deep aeration tanks

参 考 文 献

1) 建設省. "バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書（下水道編)". (1991).
2) 須藤隆一. "微生物固定化法による排水処理". 産業用水調査会. 1988.195p.
3) Tsubone, T. et al. "Effects of Biomass Entrapment and Carrier Properties on the Performance of an Air-Fluidized Bed Biofilm Reactor", Water Environ. Vol.64, p.884-889(1992).
4) 竹内秀二ほか. "結合型固定化担体による下水処理". 第25回下水道研究発表会講演集. p.303-305(1988).
5) 局俊明ほか. "包括型樹脂系固定化担体による下水処理", 第25回下水道研究発表会講演集. p.315-317(1988).
6) 松原極ほか. "高分子ゲルを用いた流動層による下水の硝化". 第30回下水道研究発表会講演集. p.461-463(1993).
7) 建設省. "バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書（下水道編)". p.583-592(1991).
8) 鈴木宏. "都城市新下水道システム－バイオフォーカスによる新技術－". 水すまし. No.70, p.76-84(1992).
9) 京才俊則ほか. "バイオフォーカスと新下水処理システムの実用化－都城市でのエネルギー自立型下水道－", 月刊下水道. Vol.16, No.6, p.10-14(1993).
10) Tsubone, T. et al. "Characteristics of an Air-Fluidized-Bed Biofilm Reactor System With a Multi Media Filter". Water Science & Technology. Vol.30, p.101-110(1994).
11) 高橋正宏ほか. "担体投入型生物処理システムの処理性能に関する一考察". 下水道協会誌論文集. Vol.31, No.379, p.49-60(1994).
12) 局俊明ほか. "担体投入型生物処理システムの設計・制御因子について". 下水道協会誌論文集. Vol.32, No.383, p.50-63(1994).
13) 局俊明ほか. "担体投入型生物処理システムの数式モデルによる検討". 環境工学研究論文集. Vol.32, p.359-370(1995).
14) 建設省. "バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書（下水道編)". p.572-582(1991).
15) 建設省. "バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書（下水道編)". p.572-582(1991).
16) 西川好久ほか. "担体投入型エアレーションタンクの初期運転状況". 第34回下水道研究発表会公演集. p.28-30(1997).
17) 佐藤和明ほか. "微生物固定化担体投入による下水処理場の処理能力増強について". 第31回環境工学研究フォーラム公演集. p.31-33(1994).
18) 阿部庄次郎ほか. "担体投入型嫌気－無酸素－好気法によるリン・窒素除去実験". 第33回下水道研究発表会公演集. p.564-566(1996).
19) 越後泰成ほか. "担体投入型嫌気－無酸素－好気法プロセスのリン除去特性". 第34回下水道研究発表会公演集. p.449-451 (1997).
20) 阿部庄次郎ほか. "凝集剤を併用した担体投入型嫌気－無酸素－好気法プロセスのリン除去特性". 第34回下水道研究発表会公演集. p.452-454(1997).
21) 高田誠ほか. "担体投入型循環変法プロセスの脱窒速度とBOD-SS負荷および水温との関係について". 第33回下水道研究発表会公演集. p.636-638(1996).
22) 横江勇ほか. "結合固定化担体を用いた深層曝気槽での下水高度処理について". 第34回下水道研究発表会公演集. p.37-39(1997).
23) 馬場圭ほか. "難分解 COD成分を含む工場廃水の処理について". 第32回下水道研究発表会公演集. p.174-176(1995).
24) 須藤隆一. "微生物固定化法による排水処理". 産業用水調査会. 1988.21p.
25) 建設省土木研究所. "1990年度下水道関係調査研究年次報告書". p.149-161(1991).
26) 建設省. "バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書（下水道編)". p.384-387(1991).
27) 村田恒雄. "下水の高度処理技術". 理工図書. p.201-235(1992).
28) 船越泰司ほか. "担体添加活性汚泥法の深槽曝気槽への適用検討". 第31回下水道研究発表会公演集. p.515-517(1994).

＜問い合わせ先＞
川崎研究センター　水システム研究室
Tel. 044 (322) 6266　局　俊明

次世代上水処理技術（膜ろ過技術）

Drinking Water Treatment using Micro-Filtration Membrane

武智　辰夫　川崎研究センター　水システム研究室　室長　理博
峯岸寅太郎　川崎研究センター　水システム研究室　主任研究員
深田　尚平　川崎研究センター　水システム研究室　主任研究員
池田　正之　水処理技術部　プラント技術室　主査
蔭山　佳秀　水処理技術部　プラント技術室　総括スタッフ

Tatsuo Takechi, Torataro Minegishi,
Shohei Fukada, Masayuki Ikeda
and Yoshihide Kageyama

横須賀市水道局と当社は，1991年9月～1996年3月まで，高度浄水処理システムの構築を目的として，生物接触ろ過処理，膜処理，オゾン処理，活性炭処理および二酸化塩素処理に関するパイロット実験を実施した。本稿では，連続通水実験により得られた有機性中空糸MF膜の運転特性，汚濁物質除去特性および経済性について述べる。

A series of pilot plant study on advanced drinking water treatment, including unit processes of biological filtration, membrane filtration, ozonation, activated carbon treatment and chlorine dioxide treatment, was conducted from September1991 to March 1996, under a cooperation with Waterworks Bureau of Yokosuka City and NKK. This paper describes some operational characteristics, pollutant removal performances and cost analysis of micro-filtration (MF) hollow fiber membrane.

1. 緒　　言

ここ数年来水道界において，21世紀につながる新しい浄水処理プロセス技術の一つとしての膜ろ過技術への期待が高まっている。厚生省は，膜ろ過技術を小規模浄水処理プロセスに適用するためのナショナルプロジェクトとして，「膜利用型浄水システム開発研究（MAC21計画：Membrane Aqua Century 21)」による実証実験を1991年度からスタートさせた[1)-3)]。1994年11月にはその実証実験の成果を踏まえて「小規模水道における膜ろ過施設導入ガイドライン」を公示するに至り，現在，処理水量が1000 m^3／日を越える浄水場においても膜ろ過技術が実用化されつつある。さらに，厚生省は，「MAC21計画」に引き続いて，1994年度から3年間のプロジェクトとして「膜利用型新高度浄水技術開発研究（高度処理MAC21計画)[4)]」を組み，通常の膜ろ過処理のみでは十分な除去の期待できない消毒副生成物生成能や臭気物質などを対象とした除去システムの確立および膜ろ過による排水濃縮技術の確立のための技術開発を実施した。

横須賀市水道局と当社は，「MAC21計画」に先んじて，安全でおいしい水を安定的に供給することを目的として，「次世代型高品位浄水プロセス技術調査委員会」を発足させ，1991年9月から「次世代型高品位浄水プロセス」に関するパイロット実験・研究を実施した[5)-18)]。この研究は，パイロット実験を通じて，膜ろ過技術を中心に，生物接触ろ過，オゾン＋活性炭処理，二酸化塩素処理および高効率型オゾン溶解装置であるUチューブオゾン接触槽に関する運転特性および処理特性を把握し，総合的に次世代型浄水プロセス技術の確立を図ったものである。

本報告は，1991年9月～1996年3月まで実施された「次世代型高品位浄水プロセス」パイロット実験のうちの，有機精密（MF）膜連続通水実験結果に関するものである。

2. 実験方法

2. 1　実験フロー

実験装置は，横須賀市水道局有馬浄水場に設置し，相模川表流水を原水とした。有機膜パイロット実験装置の処理水量は30 m^3／日で，実験フローは**Fig. 1** に示したとおりである。

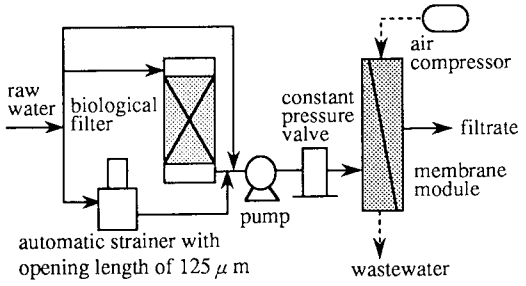


Fig. 1　Schematic flow diagram of the membrane plant

2. 2 供試膜モジュール

Table 1 に，実験に用いた有機膜モジュールの概略仕様および運転条件を示す。供試膜はポリプロピレン製の中空糸MF膜（日本メムテック㈱製）で，公称孔径が0.2 μmである。通水方式は膜の外側から内側に通水する外圧式であり，中空糸膜はケーシングの中に束ねられてモジュール化されている。膜モジュールは，1モジュールあたり2 m^2の膜面積を有する小型のものが5本装填されており，総膜面積は10 m^2である。運転方式として膜間有効圧力50kPaの定圧ろ過方式を用いた。ろ過能力を維持するために一定時間ごとに物理洗浄を行ったが，この物理洗浄の方法は，原水の流通をしゃ断した後中空糸内側から外側に向かって約600kPaの圧縮空気を吹き込み，さらに中空糸外側へ膜流入水を導入することによって，剥離させた汚濁成分を系外へ押し出すというものである[19]。

2. 3 実験条件

Table 2 に，1991年度～1995年度までの実験期間における主な通水条件を示した。実験開始当初は数回の台風による高濁水（最大464度）が流入したため，循環率10%のクロスフロー方式で通水運転したが，その後デッドエンド方式に変更して通水運転を継続した。いずれの期間においても凝集剤は無添加とした。

2. 4 水質分析

膜供給水および膜ろ過水を対象とした分析項目は濁度，色度，pH，電気伝導度，過マンガン酸カリウム消費量（$KMnO_4$消費量），アンモニア性窒素，E_{260}，TOC，トリハロメタン生成能（THMFP），総Fe，総Mn，Al，溶性ケイ酸，一般細菌，大腸菌群，芽胞菌などで，1日1回もしくは月に1回の頻度で上水試験方法に準拠して分析を実施した。膜ろ過水の細菌計数用試料は，ウォーターシール用の容器を用いてサンプリング口を空気に接触させないように採取した。また，物理洗浄排水や薬品洗浄排水についても適宜水質分析を行った。

2. 5 薬品洗浄方法

1993年度までは薬品洗浄を実施するタイミングを，流束が薬品洗浄直後の初期透過流束の50%にまで低下した時点として運転したが，1994年度からは膜ろ過流束が0.5 m^3／m^2／日になった時点で薬品洗浄を行うこととした。薬品洗浄において，水酸化ナトリウム2 wt%水溶液による循環運転および浸漬洗浄と硫酸1 wt%水溶液による循環運転および浸漬洗浄とを併用した。

3. 実験結果

3. 1 運転特性

3. 1. 1 流束の経時変化

Fig. 2 に，1991年9月～1996年3月（積算運転時間39900Hr）における膜透過流束の20℃粘度換算値の経時変化を示す。**Fig. 2** の中に記したⅠ～ⅧのRunは，**Table 2** に示した実験条件に対応するものである。**Fig. 2** に示した結果は以下のようにまとめられる。

(1) 膜供給水に生物接触ろ過処理水を用いた場合，凝集剤の添加を行うことなく2 m^3／m^2／日以上の高流束で比較的安定した運転が可能であった。この物理洗浄間隔を60分としてデッドエンド方式で通水した場合の，膜処理部のみでの回収率は平均95%に達した。

(2) 膜供給水に河川水もしくはオートストレーナ（目開き125 μm）処理水を用いて凝集剤無添加で運転した場合，物理洗浄間隔を60分としてデッドエンド方式で30日間通水すると，流束は初期流束の50%まで低下した。物理洗浄間隔を30分とした場合でも約75日間通水した後の流束は初期流束の50%程度まで低下した。

(3) 膜供給水としてオートストレーナ（目開き 125 μm）処理水を用い，物理洗浄間隔を30分としてデッドエンド方式で運転した場合，流束は0.7 m^3／m^2／日程度で安定する傾向が見られた。

(4) 流束が0.5 m^3／m^2／日まで低下した時点で薬品洗浄操作を行うとすれば，薬品洗浄頻度は1年に2回以下であることがわかった。

Table 1 Characteristics and operational conditions of the membrane

membrane	
pore size	0.2 μm
material	polypropylene
type	hollow fiber
total area	10 m^2
operation	
inlet pressure	75 kPa
outlet pressure	25 kPa
physical washing by	compressed air and feed water

Table 2 Operational conditions of MF membrane plant

Run	Accumulated operational time hours	filtration mode	feed water for the membrane	IPW*2 min	coagulant addition
Ⅰ	0- 870	cross-flow	effluent from the biological filter	15	no
Ⅱ	870- 3200	dead-end	effluent from the biological filter	15	no
Ⅲ	3200- 4370	dead-end	effluent from the biological filter	30	no
Ⅳ	4370-12000	dead-end	effluent from the biological filter	60	no
Ⅴ	12000-13835	dead-end	Sagami River surface water	60	no
Ⅵ	13835-17030	dead-end	effluent from the biological filter	60	no
Ⅶ	17030-18875	dead-end	effluent from the AS*1(200 μm)	60	no
Ⅷ	18875-39900	dead-end	effluent from the AS*1(125 μm)	30	no

*1 Automatic strainer　　*2 Interval of physical washing

3. 1. 2　薬品洗浄による膜透過性能の回復性

Fig. 3 に，薬品洗浄直後の膜透過流束（20℃粘度換算値）の経時変化を示す。**Fig. 3** に示した結果は以下のようにまとめられる。

(1) 流束が0.5m³／m²／日まで低下した時点で薬品洗浄を行った場合の薬品洗浄直後の膜透過流束は約3.8m³／m²／日であり，流束が初期値の50%になった時点で薬品洗浄を行った場合の薬品洗浄直後の膜透過流束とほぼ同じであった。

(2) 洗浄用薬品の繰り返し使用に関する実験を行った結果，少なくとも5回の再利用が可能であった。

3. 2　汚濁物質除去特性

Table 3 に，1991年9月～1996年3月における膜供給水および膜ろ過水の水質分析結果を示す。**Fig. 4** は，本実験に用いた有機膜による主な汚濁物質の平均除去率と除去率のバラツキ（標準偏差）との関係を示したものである。

Table 3 および**Fig. 4** に示した結果の概要は，以下のとおりである。

(1) 濁度および細菌はほぼ100%除去され，除去率のバラツキも小さかった。通常の塩素濃度では容易に滅菌処理できない芽胞菌もほぼ100%除去された。

(2) 総Feの除去率は，総MnおよびAlの除去率に比べて高

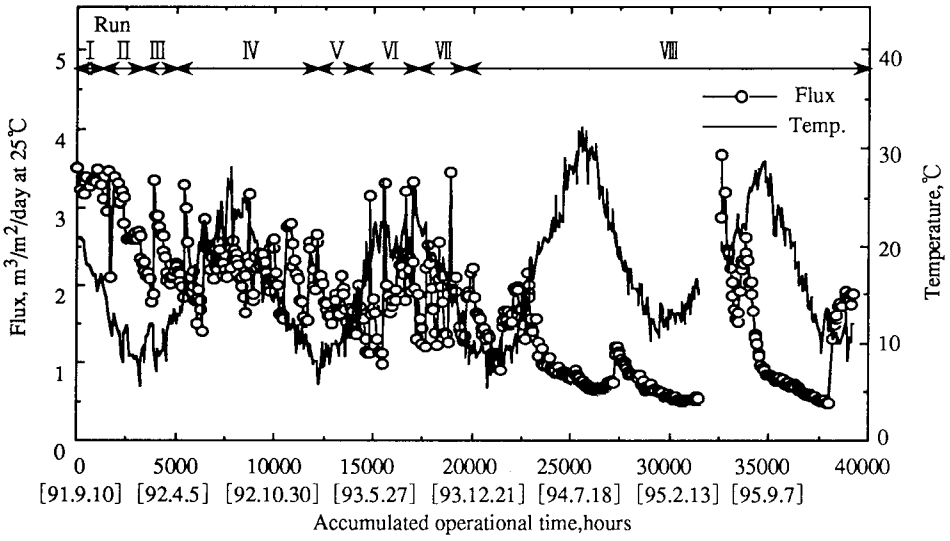


Fig. 2　Changes in temperature and flux of the membrane

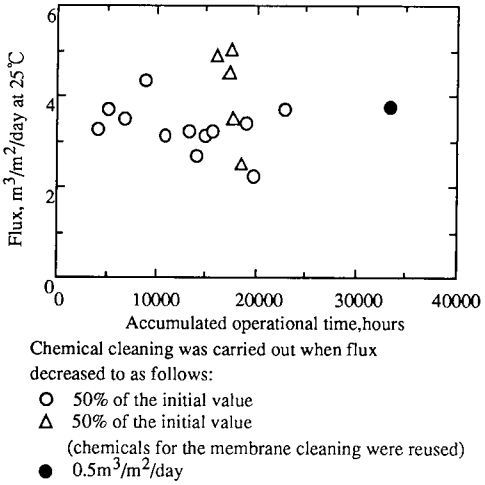


Fig. 3　Change in flux of the membrane just after a chemical cleaning

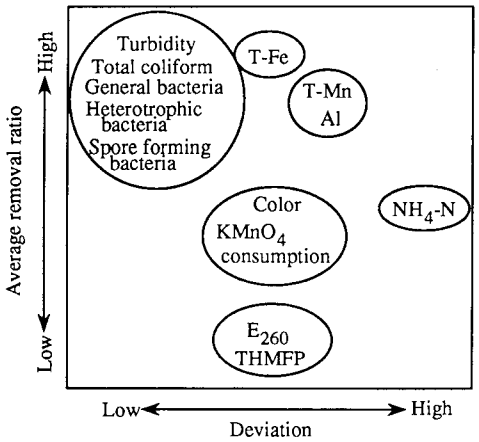


Fig. 4　Relationship between mean value and deviation of pollutant removal ratio

く，総Feの除去率のバラツキは総MnおよびAlの除去率のバラツキよりも小さかった。

(3) 有機物の指標である$KMnO_4$消費量，E_{260}およびTHM FPの除去率は，約15%～40%と比較的低い値であった。

4. 経済性の検討

パイロット実験結果を基に，低流束運転の場合と高流束運転の場合について経済性の比較検討を行った。本検討のための前提条件を以下に示す。

- 計画浄水量：50000m³／日
- 膜供給水：オートストレーナ処理水
- ろ過方式：無薬注デッドエンドろ過
- 物理洗浄間隔：30分
- 運転方式：定流量ろ過運転
- 膜耐用年数：3～5年

低流束運転および高流束運転における設備仕様，建設費および運転費をまとめたものが**Table 4** である。**Table 4** において，建設費および運転費は，低流束運転の場合を100とした場合の比較値として表してあり，運転費の内訳は，カッコつきの数値で示してある。

低流束運転の場合には薬品洗浄頻度が少ないため，薬品費の低減および維持管理の容易さというメリットが期待できるものの，**Table 4** に見られるように，高流束運転の場合の方が低流束運転の場合に比べて高回収率，省スペースであり，建設費，運転費ともに安価であることがわかる。薬品洗浄操作に代替できるものとして，短時間で終了し，しかも廃液処理の不要な洗浄技術を開発することは，高流束運転をバックアップする上でも重要であると見られる。

5. 結　　言

「次世代型高品位浄水プロセス技術調査委員会」によるパイロット実験は4年6ヶ月（延べ 40000時間）にわたって実施され，有機MF膜の運転特性および処理特性を中心に，高度処理に関する数多くの成果を得ることができた。特に，40000時間にも及ぶ連続膜処理実験は国内で初めてのものであり，供試有機膜が実用化に耐えうるとの確かな手応えを得た。

現在，膜ろ過技術は，簡易水道を中心に，凝集沈殿－砂ろ過処理に代替できるものとして普及しつつあるが，今後，耐塩素性の病原性原虫動物（クリプトスポリジウムなど）を確実に除去するために膜ろ過設備を導入するというケースも増加するものと見られる。さらに，1997年度には高度処理MAC21で得られた成果を踏まえて，「膜ろ過高度浄水施設導入ガイドライン」および「膜を利用した浄水場排水処理に関するガイドライン」が策定される見込みであり，比較的大規模な浄水場における膜処理設備の導入も展望さ

Table 4　Cost analysis under a different flux condition

	Low flux	High flux		
Flux	0.5m³/m²/day	1.5m³/m²/day		2.0m³/m²/day
Membrane area	100,000m²	33,000m²		25,000m²
Water recovery	77.6%	91.5%		93.3%
Floor area	7,200m²	2,050m²		1,800m²
Chemical cleaning cycle	1 time/year	4 times/year		8 times/year
Construction cost	100	42		35
Membrane life	5 years	5 years	3 years	3 years
Operation cost	100	39	59	48
(1)Power cost	(10.0)	(8.3)	(8.3)	(8.0)
(2)Membrane replacement	(89.6)	(29.7)	(49.6)	(37.9)
(3)Chemical cost	(0.4)	(1.0)	(1.1)	(2.1)

Table 3　Qualities of the feed water and filtrate

	Feed			Filtrate			Average removal ratio(%)
	max.	min.	av.	max.	min.	av.	
Turbidity(mg/L)	464.0	0.6	9.0	0.28	0.00	0.00	100
Color(mg/L)	65	2	6.1	7	1	3.0	57.4
SS(mg/L)	37.0	0.5	6.5	1.4	0.0	0.1	97.1
$KMnO_4$ consumption(mg/L)	7.4	1.2	3.7	3.7	0.8	2.3	37.0
NH_4-N(mg/L)	0.21	0.00	0.05	0.20	0.00	0.03	53.8
T-Fe (mg/L)	4.280	0.001	0.309	0.080	0.000	0.010	94.7
T-Mn (mg/L)	0.090	0.000	0.014	0.010	0.000	0.002	78.4
Al(mg/L)	0.790	0.006	0.242	0.441	0.000	0.059	73.1
E_{260} (-)	0.152	0.061	0.091	0.126	0.049	0.075	16.9
General bacteria(CFU/mL)	24000	570	5610	160	0.0	28.5	99.3
Heterotrophic bacteria(CFU/mL)	280000	5200	66793	7300	3.3	929	97.9
Total coliform(MPN/100mL)	110000	94	19462	54	0	2.8	100
Feacal coliform(MPN/100mL)	2200	45	502	2.9	0	0.1	100
Spore forming bacteria(CFU/mL)	180	18	57	0.10	0.00	0.01	100
THMFP(mg/mL)	0.042	0.007	0.019	0.041	0.006	0.017	14.1

れるに至っている。著者らは，「安全でおいしい水」を確保するための技術開発にさらに努力する所存である。

本研究を実施するにあたり，ご指導，ご協力をいただきました丹保憲仁・現北海道大学総長，真柄泰基・国立公衆衛生院水道工学部長（現北海道大学工学部教授），木村尚史・大阪大学基礎工学部教授および金子光美・摂南大学工学部教授ならびに横須賀市水道局関係各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 真柄泰基．“膜ろ過技術におけるMFとUFの特性”．高度処理MAC21学術研究発表会論文集．p.83-91(1995).
2) 伊藤義一．“水道における膜利用技術の開発”．水環境学会誌．Vol.18, No.2, p.85-89(1995).
3) 武智辰夫ほか．“小規模浄水場向け膜処理設備”．NKK技報．No.149, p.32-39(1995).
4) ㈶水道技術研究センター．膜利用型新高度浄水技術開発研究－研究事業報告書－．(1997).
5) 蒲田修．“次世代型高品位浄水プロセスの実証実験”．ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム93．p.3-21(1993).
6) 佐々木一春ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅰ）”．第43回全国水道研究発表会講演集．p.286-288(1992).
7) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅱ）”．第43回全国水道研究発表会講演集．p.289-291(1992).
8) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅲ）”．第43回全国水道研究発表会講演集．p.292-294(1992).
9) 佐々木一春ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅳ）”．第44回全国水道研究発表会講演集．p.330-332(1993).
10) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅴ）”．第44回全国水道研究発表会講演集．p.333-335(1993).
11) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅵ）”．第44回全国水道研究発表会講演集．p.336-338(1993).
12) 佐々木一春ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅶ）”．第45回全国水道研究発表会講演集．p.196-197(1994).
13) 佐々木一春ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅸ）”．第45回全国水道研究発表会講演集．p.214-215(1994).
14) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅷ）”．第45回全国水道研究発表会講演集．p.270-271(1994).
15) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅹ）”．第46回全国水道研究発表会講演集．p.240-241(1995).
16) 藤木昭義ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅺ）”．第46回全国水道研究発表会講演集．p.130-131(1995).
17) 伊藤和廣ほか．“横須賀市における次世代型高品位浄水プロセス実験（Ⅻ）”．第47回全国水道研究発表会講演集．p.182-183(1996).
18) Tsuchiya, H. et al. “Pilot Plant Study on Drinking Water Treatment by Membrane”. Proceeding of HYDROTOP94. p.497-504, Marseilles,(1994).
19) 三浦邦夫ほか．“MF中空糸膜，ガス逆洗型「MEMCORシステム」について”．膜.Vol.20, No.5, p.328-336(1995).

<問い合わせ先>
川崎研究センター　水システム研究室
Tel. 044（322）6262　峯岸寅太郎
水処理技術部　プラント技術室
Tel. 045（505）7807　蔭山　佳秀

算盤形消化槽攪拌機の振動特性

Vibration Characteristics of Mixer for Conventional Digestion Tank

遠藤　淳　水処理技術部　汚泥処理技術室　主査
上村　健二　水処理技術部　汚泥処理技術室　統括スタッフ
青柳　健司　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム　主任研究員
亀崎　俊一　基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム

Jun Endo, Kenji Uemura,
Kenji Aoyagi and Shun-ichi Kamezaki

近年，汚泥消化の効率化を狙って，消化槽投入汚泥の高濃度化が進められている。攪拌能力の面から高濃度汚泥への対応が難しいガス攪拌方式に換えて，算盤形消化槽頂部に荷重をかけることなく高濃度汚泥に対応できる機械式攪拌機を新たに開発した。本報では，容量2000 m³ 相当の算盤形消化槽に適用可能な機械式攪拌機の振動特性に関する実験および数値計算結果について報告する。

The recent aim of enhancing high efficiencies in sludge digestion is accelerating the tendency to feed digestion tanks with sludge in higher concentrations than before. As an alternative to gaseous mixing systems having low performances in mixing sludge in high concentrations, NKK developed a mechanical mixer that makes it possible to mix sludge in high concentrations without exerting loads on the top of conventional digestion tanks. This report describes the results of experiments and numerical calculations on the vibration characteristics of the mechanical mixer applicable to 2000 m³ capacity conventional digestion tanks.

1. まえがき

近年，汚泥消化の効率化を狙って，消化槽投入汚泥の高濃度化が進められている。

国内で稼働中の算盤形汚泥消化槽は，低濃度汚泥用としてそのほとんどがガス攪拌方式により処理が行われている。しかし，ガス攪拌方式は攪拌能力が低いため，高濃度汚泥への対応が難しい。また，算盤形消化槽頂部には構造上大きな荷重をかけることができず，頂部載荷型の機械式攪拌機の採用は困難である。

そこで算盤形消化槽頂部に荷重をかけず，高濃度汚泥に対応可能な機械式攪拌機（**Fig. 1**）を新たに開発した。

本報では，容量2000 m³ 相当の算盤形消化槽に適用可能な機械式攪拌機の振動特性を，実験および数値解析により明らかにしたので報告する。

2. モデル実験

2. 1 実験用機械式攪拌機

実験用機械式攪拌機を**Fig. 2** に示す。実験用機械式攪拌機の上部構造は，攪拌機を囲むようにその上部2カ所をリング状に束ねた4本のガイドパイプおよび昇降ガイド付き攪拌機により構成されている。攪拌機は，ガイドパイプの内側に沿って昇降できるようになっている。また，下部構造は，ドラフトチューブおよび3本のドラフトチューブサポートにより構成されている。3本のドラフトチューブサポートは，それぞれ4本のケミカルアンカーにより実験用水槽の底に固定した。攪拌機は，ドラフトチューブ上端面フランジ上に自重により落とし込まれる。実験用機械式攪拌機の上部構造は容量2000 m³ 相当の算盤形消化槽に適用する実機と同一構造に製作したが，下部構造は実験用水槽の深さが浅い（水深4 m）ため実機に比べ短いものとしている。

2. 2 実験項目

実験用水槽（縦 約7 m×横 約8 m×深さ4 m）に実験用機械式攪拌機を設置し，水深をドラフトリング位置まで

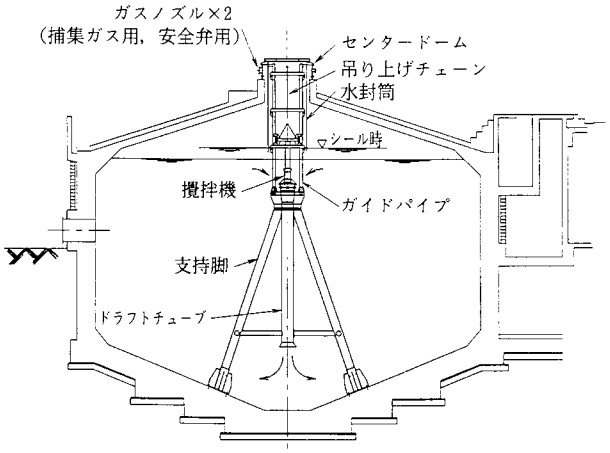


Fig. 1　Mixer of conventional digestion tank

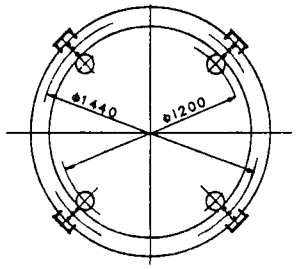
1100mmとして，以下の実験を実施した。

(1) 固有振動モードの測定

実験用機械式攪拌機の振動特性を把握するため，インパクト加振法で周波数応答関数を測定し，実験モード解析によって固有振動モードを求める。

(2) 攪拌機稼働時の振動の測定

実験用機械式攪拌機の稼働時に発生する振動を把握するため，攪拌機に振動加速度センサーを取り付け，稼働時の振動加速度を測定する。



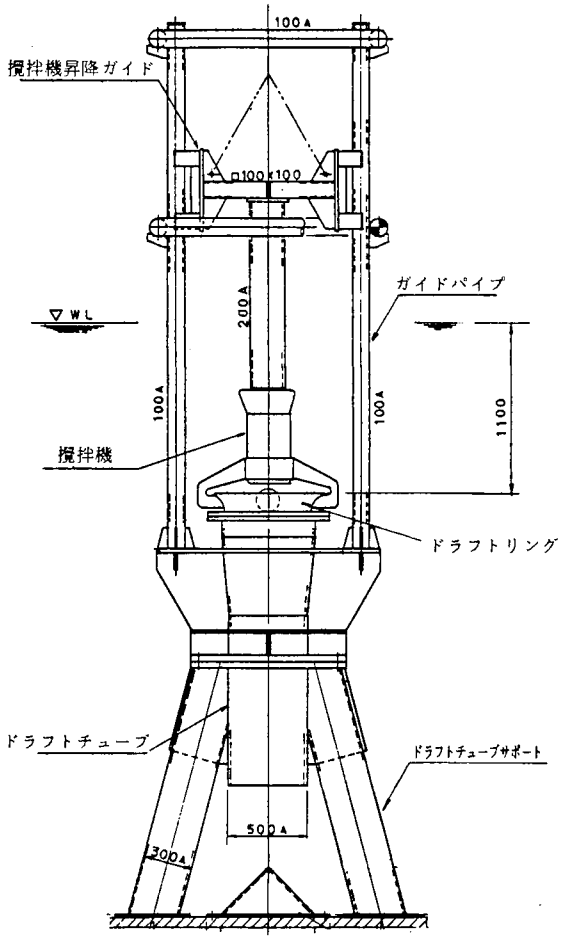


Fig. 2　Test apparatus

2. 3　固有振動モード

2. 3. 1　実験方法

実験は，ガイドパイプ上端部の支持を自由と固定の2種類の支持方法で行った。実験用機械式攪拌機の固有振動モードの測定は，実験モード解析によって行った。まず，モデル化した各節点に振動加速度センサーを取り付け，加振点を力検出器付きインパクトハンマーで加振し，振動加速度センサーの振動応答加速度とインパクトハンマーの加振力から周波数応答関数を各測定点ごとに測定する。さらに，実験モード解析システム「DYANA Hyper Modal 」を用いて，測定した周波数応答関数にカーブフィットを行い，モーダルパラメータ（固有振動数，モード減衰比など）を求め，このモーダルパラメータから固有振動モード形を計算する。

あわせて，実験用機械式攪拌機に「NASTRAN」を適用して振動解析を行い，固有振動数，周波数応答関数，モード形を求め，実験結果と数値解析結果を比較する。解析にあたっては，攪拌機のパイプ状の部分はビーム要素で，板の部分はシェル要素でモデル化した。また，攪拌機本体部分は，形状が複雑であるためモーター・プロペラ部分は節点集中質量で置き換え，その他パイプの部分はビームでモデル化を行った。また，ドラフトチューブサポートの最下端は固定支持とした。

2. 3. 2　実験結果

実験用機械式攪拌機の固有振動モードについて，以下にまとめて示す。

(1) 20Hz以下の周波数領域で計測された固有振動モードは，すべての実験条件でガイドパイプが一次の曲げ振動を行う同一のモードであった（ガイドパイプの支持条件が十分でなかったためか，固定支持条件でも同一のモードが計測された)。また，このモードでは，ドラフトチューブはほとんど振動しない。

ガイドパイプ上端部の支持が自由の場合の加振点における周波数応答関数について，実験および数値解析により求めた結果を **Fig. 3** に示す。また，一次の曲げ振動のモード形をそれぞれ **Fig. 4** に示す。実験結果と計算結果はほぼ一致し，ほぼ良好な計算ができているものと考えられる。

(2) ガイドパイプ上端部を固定支持にすると，ガイドパイプの一次の曲げの固有振動数が自由支持（6.5Hz)の場合に比べて約6Hz上昇した。また，ガイドパイプ上端部の一次の曲げ固有振動数における単位力あたりの振動変位は，自由支持の場合に比べて約1／10程度に小さくなった。

2. 4　稼働時の振動

実験用機械式攪拌機の稼働時における振動を測定した。実験条件を**Table 1** に示す。

以下に，稼働時に生じる振動の計測結果についてまとめて示す。

(1) 各計測点において計測された振動変位は周波数20Hz

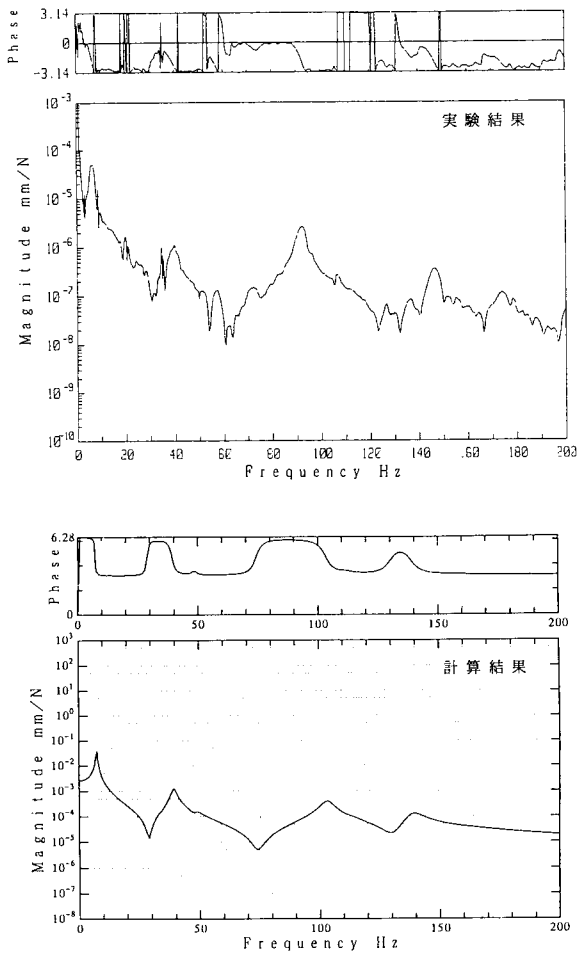


Fig. 3　Typical frequency response function

以上ではほとんど無視できる程度に小さい。

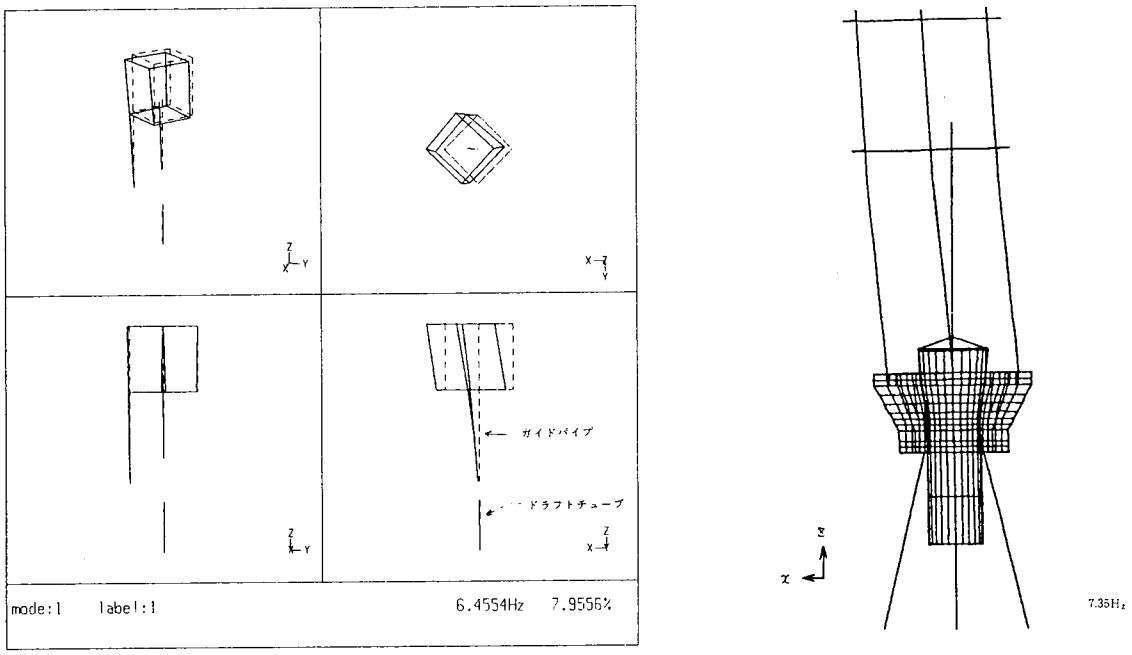
(2) 振動変位が最も大きい場所は，攪拌機においては攪拌機支柱上端部，また，ガイドパイプではガイドパイプ上端部である。ドラフトチューブよりも下部はほとんど振動しない。

(3) 攪拌機の支柱上端に生じる最大振動変位は，攪拌機の回転数に一致した周波数で生じる強制振動であり，ガイドパイプの支持条件に拘わらず，振幅は最大片振幅 120 μm 程度（回転数480rpm〔インバーター周波数50Hz〕，575rpm〔同60Hz〕）であった。

(4) ガイドパイプの振動は，上端部支持が自由の条件では，ガイドパイプの一次の曲げ固有振動（6.5Hz）と攪拌機の回転数（480，575rpm）に一致した周波数で生じる強制振動の両者が顕著であるが，その最大変位（片振幅）は，前者が10 μm程度，後者が30 μm程度であった。また，上端部支持が固定の条件では，強制振動のみが生じ，その最大変位は片振幅5 μm程度であった。

Table 1　Experiment condition

ｲﾝﾊﾞｰﾀ周波数 (ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ回転数)	50Hz 480rpm		60Hz 575rpm	
ｶﾞｲﾄﾊﾟｲﾌﾟ支持条件	自由	固定	自由	固定



実験結果　　計算結果

Fig. 4　Deformation plots of a mode shape

3. 実機の振動特性解析

消化槽容量2000m³相当の実機を対象として，「NASTRAN」により固有振動数，周波数応答関数，および振動モード形を求める振動解析を行った。解析方法は，2. 3. 1項で述べている方法と同様である。

Fig. 5 に実機の解析モデル形状を示す。解析にあたって，ガイドパイプ上端部は固定支持としている。解析モデルの振動特性計算結果を解析モデルの諸元とともに **Table 2** にまとめて示す。**Table 2** において，振動変位は実験データより推定した攪拌機の加振力（約600N）を考慮したもので，ドラフトチューブサポート上部観測点（**Fig. 5**）における周波数応答関数から，静的な力が加わった場合（OHz），および攪拌機の回転数に相当する周波数8.0Hz（回転数480rpmに相当），および9.5Hz(同575rpm)における値を読み取り示している。

また，計算例としてCASE 1のドラフトチューブサポート上部観測点（**Fig. 5**）における周波数応答関数を**Fig. 6**に，一次の振動モード形を**Fig. 7** に示す。

Table 2 のいずれの解析モデルにおいても，ガイドパイプ上端部支持を固定としているため，実験において支持自由の場合にガイドパイプに生じていた曲げのローカルモードの発生は抑えられ，全体構造の曲げのモードが生じることがわかった。**Table 2** からドラフトチューブサポートを大径，厚肉化し実機構造の曲げ剛性を高めれば，全体構造の曲げの固有振動数を高めることができ，また振動変位の低減も可能となることがわかる。たとえば，CASE 3（450A×8.0t）では，CASE 1（300A×6.5t）に比べ，全体構造の一次の曲げ固有振動数が高く（12.81→13.84Hz），振動変位（励振周波数 8～9.5Hz）は約60%以上低くなっている。

Table 2　Calculation results

CASE	ドラフトチューブサポート	数値計算結果					
		固有振動数		振動変位（片振幅）		ガイドパイプ固定部反力	
		ドラフトチューブサポート Hz	ガイドパイプ Hz	周波数 Hz	ドラフトチューブサポート上部 mm	N Y方向	N Z方向
1	300A 6.5t	12.81	—	0	0.020	5.2	2.7
				8.0	0.035	8.7	85.2
				9.5	0.049	11.6	168.7
2	350A 8.0t	13.55	—	0	0.015	4.4	1.8
				8.0	0.024	6.7	58.2
				9.5	0.031	8.3	106.6
3	450A 8.0t	13.84	—	0	0.011	4.3	12.8
				8.0	0.016	5.8	21.9
				9.5	0.019	6.7	45.1
4	400A 5.0t	13.88	—	0	0.019	5.3	19.6
				8.0	0.031	8.4	43.4
				9.5	0.040	10.7	94.8

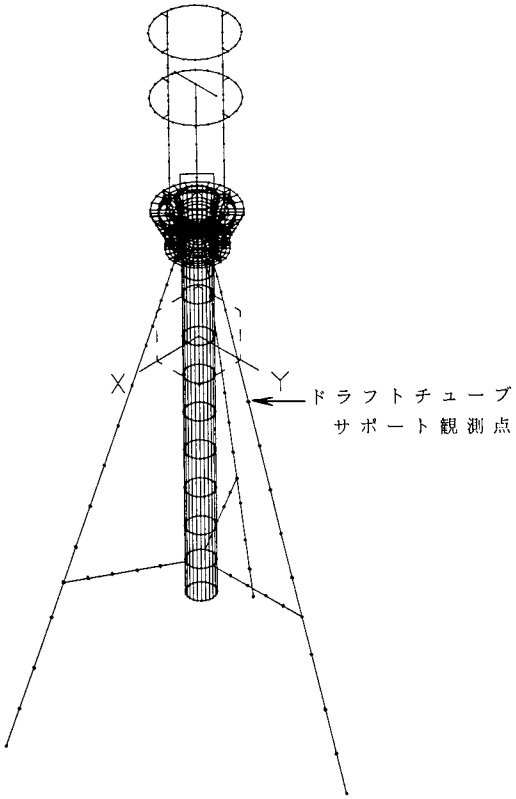


Fig. 5　Analytical model for FEM

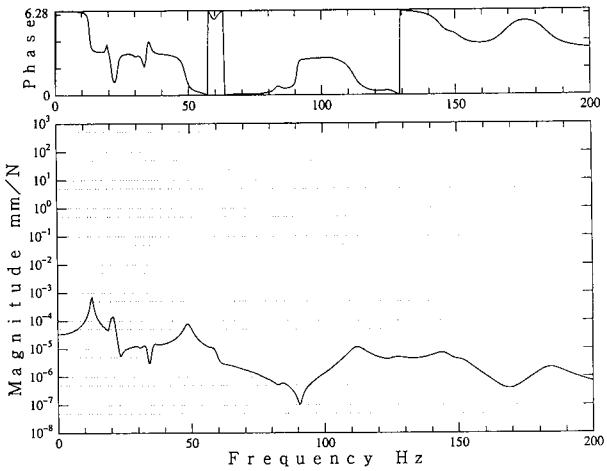


Fig. 6　Frequency response function

CASE 1の実機構造に実験データより推定した加振力(約600N)が働いた場合，ドラフトチューブサポート上部において発生する振動変位は片振幅約 0.049mmと予想され，またこの時固定部に働く反力は，水平加振力方向に11.6N,鉛直方向に168.7N程度が働くことが予想される。

4. あとがき

容量2000m³相当の算盤形消化槽に適用可能な機械式攪拌機の振動特性を実験および数値計算により解析した。その結果，稼働中に攪拌機に発生する振動は，まったく問題のないレベルで，かつ攪拌機上部を固定する消化槽頂部にも大きな反力が負荷されないことが明らかとなった。

本機械式攪拌機の開発により，高濃度汚泥への対応が可能となり，既設のガス攪拌方式から攪拌能力の高い機械式攪拌機へ更新を望まれる顧客のニーズに応えることができると考えている。

<問い合わせ先>
水処理技術部　汚泥処理技術室　上村　健二
Tel. 045 (505) 7666

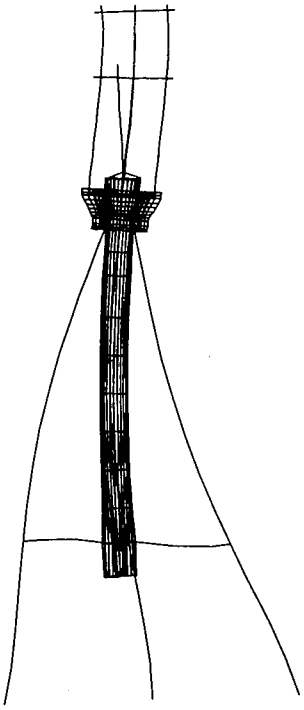


Fig. 7　1st mode shape

廃棄物高温ガス化直接溶融炉

High Temperature Gasification & Direct Melting Process of Solid Waste

1. はじめに

廃棄物処理については，減容化，無害化処理という面からだけでなく，利材化や電力としてのエネルギー回収という面から新しい技術への期待が高まっている。当社では，それらの要望に応えるために1992年から次世代の廃棄物処理技術として，一つの炉で廃棄物中の不燃分を溶融スラグ化して利材化すると同時に，可燃分をガス燃料化できるガス化直接溶融技術の開発に着手した。

1995年には当社鶴見事業所内に処理規模24T／日のパイロットプラント（**写真1**）を建設し，さまざまな廃棄物を処理対象物として長期間の連続操業を実施して，技術開発を完了した。

本報では，本技術の原理を説明するとともに，パイロットプラントで実証した特長について紹介する。

2. 廃棄物高温ガス化直接溶融技術

2.1 原理

廃棄物高温ガス化直接溶融炉の概念を**図1**に示す。

本炉は，当社の保有する高炉技術とごみ焼却の流動床技術とを組み合わせた新しい発想の技術であり，炉体は下部の移動層からなる高温燃焼溶融ゾーン，その上の流動層からなる乾留ゾーン，さらに生成ガスが高温で滞留するフリーボードの三つのゾーンで構成されている。

廃棄物は，補助燃料のコークス，調整剤の石灰石とともに炉の上方部から炉内の乾留ゾーンに投入される。ここは副羽口からの送風により 600℃程度に維持されており，廃棄物は攪拌されながら急速に昇温，乾留される。プラスチックなどが相互に融着するようなトラブルは回避できる。揮発分はフリーボードへ飛び，不燃分を含む乾留残渣はコークス，石灰石とともに下層へと降下する。

高温燃焼溶融ゾーンでは，主羽口から供給される酸素富化空気により廃棄物中の固定炭素とコークスが高温燃焼し，その熱で不燃分が溶融する。溶融物は炉底に滴下し，湯溜まりで比重差によりスラグとメタルが分離した後，出滓口から炉外へ排出される。

生成ガスは，フリーボードで三段羽口からの送風により1000℃の還元雰囲気に維持された後，可燃性ガスとして炉外へ排出される。

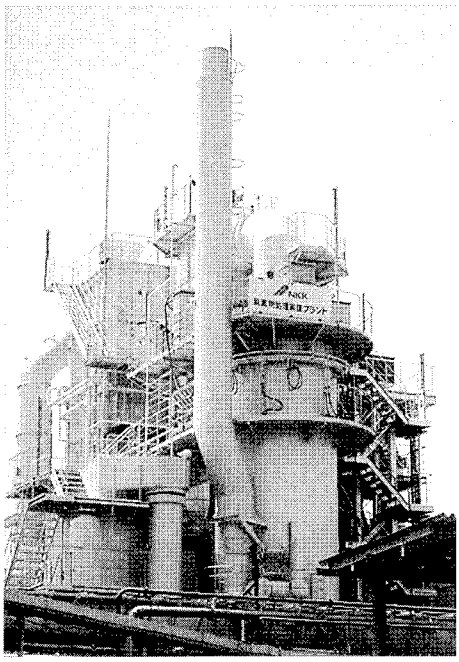


写真1　パイロットプラントの外観

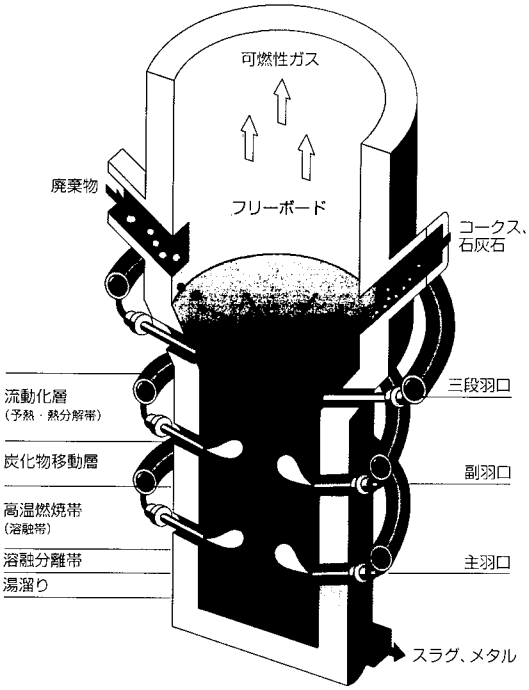


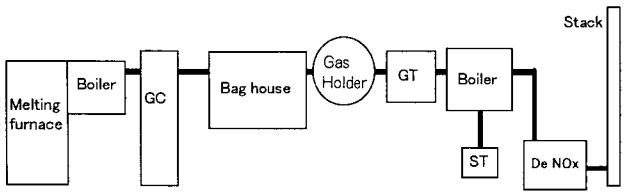
図1　廃棄物高温ガス化直接溶融炉の概念

2. 2　本技術を適用したプロセス

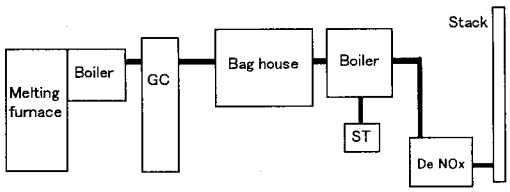
本技術のプロセス構成として，溶融炉からの生成ガスをガス処理後，燃料として利用するプロセスと，生成ガスをそのまま燃焼させて廃熱を利用するプロセスの二とおりが考えられる。

燃料として利用するプロセスにはさらに二つある。一つは**図 2** (a)に示すように，低カロリーガスタービンのガス燃料として利用し発電をする，ガスタービン複合発電システム（あるいはガスエンジン発電システム）がある。もう一つは**図 2** (b)に示すように，高温高圧ボイラのガス燃料として利用し発電するシステムである。このように溶融炉から発生した生成ガスを直接ガス燃料として利用するシステムは，ガス量が少ないのでガス処理装置の規模が小さくてすみ，さらに燃料として使用できるため，発電効率も著しく向上できる特長をもつ。

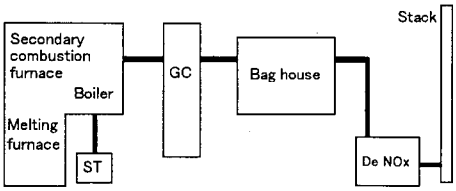
また**図 2** (c)に示すような，二次燃焼廃熱ボイラ発電システムがある。上記のプロセスに比べガス量は増えるが，従来の焼却システムに比べ低い空気過剰率で完全燃焼が可能となる。そのことにより従来の廃熱ボイラよりは高い発電効率が見込まれる。



（a）　ガス化ガスタービン複合発電システム



（b）　ガス化高温高圧ボイラー発電システム



（c）　二次燃焼廃熱ボイラー発電システム

図 2　廃棄物高温ガス化直接溶融技術のプロセス構成

3.　実証試験の結果

処理量24T／日のパイロットプラントを用いて長期間の連続操業を実施した。

表 1 には，廃棄物を処理したときの溶融炉出口のガス性状を示す。生成ガス中の可燃成分は，おもに一酸化炭素と水素であり，タール分の少ないハンドリング性のよいガスである。また炉内から発生した塩化水素が石灰石と反応し，塩化カルシウムなどの塩を合成するため，HCl 濃度は50ppm 以下と低く抑えられる。

二次燃焼炉出口のダイオキシン類の濃度は，**表 2** に示すように0.20ng-TEQ／Nm^3であり，溶融炉内が高温還元雰囲気であるため，ダイオキシンの生成が低いレベルで抑えられている。

排出した溶融スラグの組成を**表 3** に示す。スラグ中の金

表 1　溶融炉出口での代表的な生成ガスの性状

CO	%dry	29
CO_2	%dry	9
H_2	%dry	6
H_2O	%wet	6
CH_4	%dry	2
HC	%dry	0.5
タール	mg/Nm^3	250
HCN	ppm	140
NH_3	ppm	190
NO_x	ppm	10
HCl	ppm	10
H_2S	ppm	19
COS	ppm	10
CS_2	ppm	2
SO_x	ppm	1
低位発熱量	MJ/Nm^3	5.3
ガス温度	K	1300

表 2　二次燃焼炉出口での代表的な排ガス組成

CO	ppm	16
NO_x	ppm	39
SO_x	ppm	25
HCl	ppm	10
DXN	ng-TEQ/Nm^3	0.2

表 3　溶融スラグの代表的な組成

SiO_2	%dry	41.4
CaO	%dry	34.8
Al_2O_3	%dry	2.8
MgO	%dry	1.6
FeO	%dry	1.1
Cr_2O_3	%dry	0.3

属類の含有率は非常に低い値であり，また**表4**に示すように環境庁告示46号法に準ずる方法で土壌環境基準を満たしていることを確認した。また物理的強度試験(JIS A5015)を行い表乾比重，吸水率，修正CBR などの道路用鉄鋼スラグの規格を満足していることより，利材化原料として有効であることも確認できた。

4. 廃棄物高温ガス化直接溶融技術の特長

本技術の特長をまとめると次のとおりである。

(1) 廃棄物中の灰分は，重金属類の溶出のない完全に無害なスラグとして回収でき，また機械的強度にもすぐれているので路盤材などへの有効利用が可能である。さらに最終処分すべき排出物は集塵灰のみであり，200 分の1の減容化が可能である。

(2) 高温還元燃焼により，ダイオキシン類などの微量有害物質の生成を抑制でき，また排ガスも非常にクリーンであり，外部環境に負荷を与えない無公害型のプロセスである。

(3) 廃棄物中の可燃成分をタール分の少ないハンドリング性のよい可燃性ガスとして燃料化回収できるため，ガスタービンなどの電力変換率の高いエネルギー回収プロセスとの組み合わせが可能である。

(4) コークスを補助燃料として使用し，廃棄物は炉内の流動層部で熱分解ガス化されるので，ほとんど可燃成分のない廃棄物からプラスチックリッチな廃棄物まで，トラブルなく安定処理でき，幅広い廃棄物の処理が可能である。

(5) 廃棄物のガス化反応と溶融反応とを一つの炉で処理できるため，シンプルかつコンパクトな構成となる。

5. おわりに

廃棄物高温ガス化直接溶融技術は，高い電力回収が可能であるばかりでなく，リサイクル社会のニーズにも適合した新しい技術であり，今後，廃棄物処理分野において，ますますその占める割合が高まって行くと思われる。

<問い合わせ先>
エンジニアリング研究所　G開発プロジェクトチーム
Tel. 045 (505) 7527　　松平　恒夫
中村　　直

表4　スラグの溶出試験（環告46号）

成　分		測定値	基準値
アルキル水銀	mg/l	<0.0005	検出されないこと
総水銀	mg/l	<0.0005	0.0005以下
カドミウム	mg/l	<0.005	0.01以下
鉛	mg/l	<0.005	0.01以下
有機リン	mg/l	<0.01	検出されないこと
六価クロム	mg/l	<0.05	0.05以下
砒素	mg/l	<0.005	0.01以下
セレン	mg/l	<0.005	0.01以下
シアン	mg/l	<0.02	検出されないこと
PCB	mg/l	<0.0005	検出されないこと
トリクロロエチレン	mg/l	<0.002	0.03以下
テトラクロロエチレン	mg/l	<0.0005	0.01以下

ハイパー火格子採用最新鋭ごみ焼却施設 一宮市ごみ焼却施設建設工事

An Advanced Incineration Plant with Hyper Grate Municipal Incineration Plant of Ichinomiya City Aichi Pref.

1. はじめに

一宮市向けに建設を進めてきた，タービン発電機付きごみ焼却施設の建設工事は，1994年８月に着工以来３年を経過し，1998年３月の竣工に向けて，最後の仕上げ段階に入っている。周辺環境との調和に十分配慮したデザインの施設外観は，従来の施設のイメージを一新するものである。

一宮市においても，近年の急激なごみの増加，高ごみ質化への変化などにより，建設以来20年近く経過した既設施設では，老朽化が進み対応が困難になってきたので，今回最新鋭の新ごみ焼却施設を建設することになったものである(**図１**)。本施設について以下に紹介する。

2. 施設の概要および設備

2. 1 概要

焼却能力：450T／日（150T／日×３炉）
敷地面積：41312.68m²
工　　期：1994年８月６日～1998年３月20日
工 場 棟：階　　数；地下２階地上５階ＰＨ２階建
　　構　　造；鉄筋コンクリート造，鉄骨造
　　一部鉄骨鉄筋コンクリート造
　　延床面積；17640.6m²
　　建築面積；5825.1m²

2. 2 設備

受け入れ・供給設備：
　ピット＆クレーン方式
　　ごみピット容量；11250m³
　　ごみクレーン　；手動，半自動，全自動
燃焼設備：
　焼却炉形式；全連続燃焼式焼却炉
　　（ＮＫＫ二回流式ハイパー火格子）
燃焼ガス冷却設備：
　排熱ボイラ方式；蒸発量 24.7 T/h
　最高使用圧力，温度；35kg/ｃm²，340℃
排ガス処理設備：（**表１**）
　Hcl,SOx；乾式有害ガス除去装置（消石灰吹込）
　NOx　；無触媒，触媒脱硝併用方式
　ばいじん；バグフィルタ（170℃）
排水処理設備：
　生物処理，凝集沈殿，砂ろ過，活性炭吸着処理

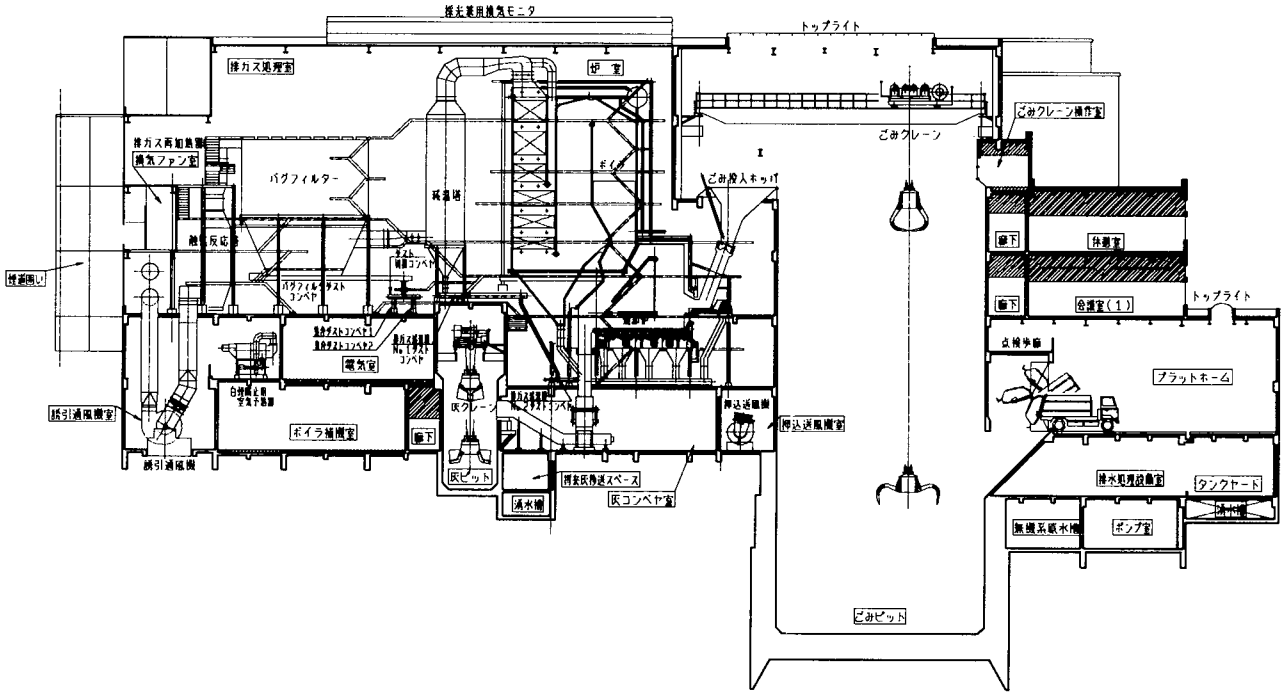


図１　ごみ焼却施設概要図

場内クローズドシステム（無放流）
余熱利用設備：
発電；復水式蒸気タービン（最大出力7000kW）
場内；冷暖房，給湯
場外；「西部としよりの家」へ温水供給
通風設備：
平衡通風式
煙　　突；59m，鋼鈑製3筒集合型
灰出し設備：
ピット＆クレーン方式
集じん灰；セメントおよび薬剤固化処理
灰クレーン；手動，半自動，全自動
電気設備：
受　　電；77kV，60Hz，2回線受電
発電電力供給；粗大ごみ処理施設，し尿処理施設および斎場へ電力供給し，さらに余剰電力は中部電力へ売電を行う。
計装設備：
操作監視方式；中央集中監視操作方式
自動制御；自動燃焼制御（ハイブリッドACC）
焼却炉の自動立ち上げ，立ち下げ
蒸気タービンの自動立ち上げ，立ち下げ
ごみクレーン自動運転制御
灰クレーン自動運転制御

2. 3　施設の主な特徴

(1) 本施設のごみピットは土留併用開削工法（連続地中壁工法）で施工されるのが一般的であるが，地質条件（不透水層が深い，ピット底盤レベルに玉石層がある，地下水位が高いなど）を検討した結果，ニューマチックケーソン工法が採用された。ごみピットに接してごみピット汚水槽もあり，L字型の非対称ケーソンで，かつ1000m²という規模の大きさとなった。

表1　公害防止基準

項　目	基準値
1）排出ガス基準	
ばいじん	0.02g/Nm³（Dry,$O_2$12%基準）
塩化水素	20ppm 以下（Dry,$O_2$12%基準）
硫黄酸化物	20ppm 以下（Dry,$O_2$12%基準）
窒素酸化物	50ppm 以下（Dry,$O_2$12%基準）
一酸化炭素	50ppm 以下（Dry,$O_2$12%基準）
2）排水	
再利用水水質基準	
PH	5.8～8.6
BOD	25(20)mg/ℓ（）内は日平均
COD	25(20)mg/ℓ（）内は日平均
SS	30(20)mg/ℓ（）内は日平均
3）騒　音	敷地境界にて50dB(A)

(2) 電波障害対策として，煙突外筒の形状を菱型にし，また工場棟および煙突外面に電波吸収体（約2700m²）が施工されている。
(3) 現在稼働している既設施設に隣接しての工事のため，工事用敷地が狭いことはもとより，既設施設との取り合いが多く，きめ細かな工事管理が要求された。
(4) 近年の高カロリーごみを安定燃焼するために開発した「NKKハイパー火格子」を採用した最大規模の焼却施設となった。
「NKKハイパー火格子」の特徴は，
- 均一な燃焼空気の供給がなされるため，すぐれた安定燃焼性が得られ，COとNO$_x$を同時に低く安定して押さえることが可能。
- 燃焼効率がよく，ごみの完全燃焼が可能となり，落じん量が少ないので良質な灰が得られる。
- 自己清浄作用がありアルミトラブルがない。
- すぐれた耐久性を有している。
- 保守点検が容易。

などである。
(5) 本施設は，
- 「NKKハイパー火格子」の採用。
- ハイブリッドACCの採用。
- 排熱ボイラでの排ガスの急速低温化。
- バグフィルタによる集じん機の低温化および高効率集じん
- 触媒による酸化分解効果

などダイオキシン対策としても配慮されている。
(6) 一宮市は「繊維の町」として知られるほど繊維産業の盛んな都市でもあるがため，繊維屑が多量に持ち込まれる。ごみ投入ホッパからごみピット内に垂れ下がった長尺の繊維屑を自動的に掻き取り，切断するホッパー紐切断装置はこの工場ならではのものといえる。

3. おわりに

1994年8月に着工以来，これまで数多くの方々のご協力の許にここまで順調に推移し，10月からの試運転を残すのみとなった。一宮市の本施設にかける期待の大きさは並々ならぬものがあるが，本施設は当社の最新鋭の技術を結集したものであり，期待以上の性能を実証するものと確信している。

おわりに本施設の建設にあたって，多大なご指導・ご鞭撻をいただいた一宮市の関係各位に深く感謝申し上げます。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　プラント設計室
Tel. 045（505）7686 谷地田　修一

最新の公害防止と自動化のごみ焼却施設 東京都江戸川清掃工場

Refuse Incineration Plant with Advanced Pollution Control Technology and Full Automatic Operation Tokyo Edogawa Incineration Plant

1. はじめに

当社は1992年12月，東京都江戸川清掃工場を，北・板橋・杉並・目黒の各清掃工場に引き続き，当社の東京都で5番目の建設実績焼却施設として受注し，約4年の建設工期を経て，1997年1月に竣工した。

本施設は東京都が区部の可燃ごみの安定焼却をめざし，旧清掃工場の立て替えを計画したもので，600T／日のごみ焼却能力を有する，最新の公害防止技術と自動化技術とを駆使した最新鋭の大型ごみ焼却施設である。本施設について以下に紹介する。

2. 施設の概要

2. 1 概要

写真1に施設全景を示す。

(1) 敷地面積：約 28000m²
(2) 工　　期：1992年12月～1997年1月
(3) 焼却能力：600T／日（300T／日×2炉）
(4) 発注者：東京都
(5) 請負者：日本鋼管・佐藤工業建設共同企業体
　　（当社はプラントの設計施工を担当）

2. 2 設備

図1にフローシートを示す。

(1) 焼却能力：300T／日×2炉
(2) 焼却炉形式：NKK—フェルント式DG型焼却炉
(3) 排ガス冷却：廃熱ボイラ式
(4) 排ガス処理：ろ過式集じん機（バグフィルター）
　　乾式および湿式有害ガス除去設備
　　触媒脱硝設備
(5) 飛灰処理：排ガス中和安定化方式
(6) 発　　電：蒸気タービン発電機（12300kW）
(7) 排水処理：施設排水—処理後下水道放流
　　生活排水—下水道放流
(8) 公害防止基準（排ガス関係）
　　ばいじん；0.02g／Nm³以下
　　塩化水素；15ppm以下
　　硫黄酸化物；20ppm以下
　　窒素酸化物；70ppmかつ9.0Nm³／h 以下
　　水　　銀；0.05mg／Nm³以下

3. 施設の特徴

3. 1 周辺地域の環境との調和

本施設は江戸川区内の住宅地部に建設され，周辺は住宅地が接近した立地条件にある。施設敷地約28000m²のなかで施設棟は，住宅地側から極力離す配置とし，あいだには緩衝緑地を設けた。さらに，施設建物は日照を妨げないよう低層化し，機能の許す範囲での形状の配慮を行った。

3. 2 公害防止の徹底

本施設のごみ焼却炉はNKK—フェルント式DG型焼却炉で，二回流ガス流れを有するガス混合性のすぐれた焼却炉であり，ごみの完全燃焼を実現している。

焼却処理によって生ずる排ガス中のばいじんは，廃熱ボイラと排ガス減温塔で冷却され，ろ過式集じん機で捕集される。さらに，排ガス中の塩化水素，硫黄酸化物は，ろ過式集じん機前での消石灰吹き込みと，苛性ソーダ溶液で排ガスを洗浄する洗煙設備で除去される。これらの排ガス処理装置には，最新の公害防止技術が採用されており，完成時の性能試験においても，基準値を十分に達成していることが確認された。

一方，ろ過式集じん機で捕集された排ガス中の飛灰の処理には，排ガス中和方式を採用し，重金属の安定化を図っている。また，本施設から発生する排水の処理や臭気対策にも万全を期している。

写真1　施設全景

3. 3　施設の自動化

ごみ収集車の計量から搬送・投入・焼却・灰の搬出までほとんどすべての作業は自動化され，機器の操作や運転状況の監視は，すべて中央制御室で行われる。運転操作の自動化は定常運転時のみならず，運転開始の立ち上げ時や運転停止の立ち下げ時についても，全自動化を採用している。

3. 4　余熱利用

600T／日のごみを焼却して得られる熱を利用して蒸気タービン発電機で12300kWの電力を発電し，そのうち約1／3を施設内で使用し，余った電力は東京電力に売却している。

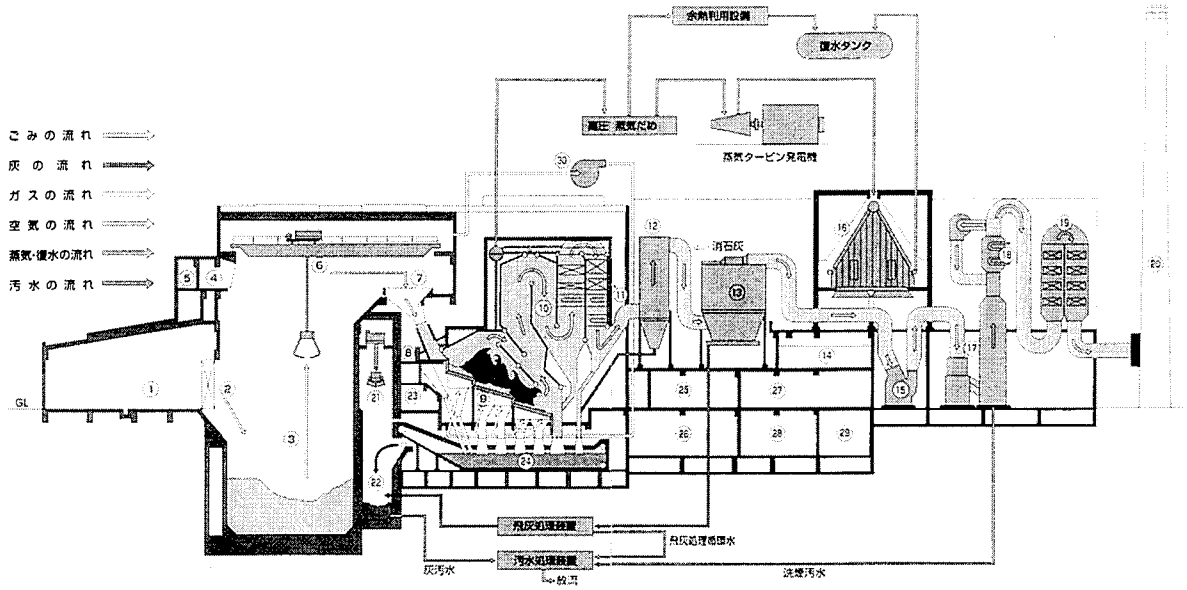
さらに，隣接する江戸川区「くつろぎの家」にも温水を供給し，冷暖房・給湯に利用している。

4. おわりに

当社は国内各地に，数多くのごみ焼却施設を建設しており，ここで紹介した江戸川清掃工場は，都市型の代表的な焼却施設の一つである。今後，ごみ焼却施設の建設にあたっては，これらの施設の実績をふまえ，ますます厳しくなりつつある公害規制をクリヤーできる最新技術と，エネルギー発生基地としてのエネルギー回収技術の強化に努力するとともに，建設地とその周囲環境との調和のある，親しまれる焼却施設の建設をめざしている。

おわりに，本施設の建設にあたって，東京都清掃局の関係各位に，多大なご指導・ご鞭撻をいただいたことを深く感謝いたします。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　プラント設計室
Tel. 045（505）7686　伊藤　純一



①プラットホーム
②ごみバンカゲート
③ごみバンカ
④ごみクレーン制御室
⑤見学者廊下
⑥ごみクレーン
⑦ごみホッパ
⑧給じん機
⑨焼却炉
⑩ボイラ
⑪エコノマイザ
⑫減温塔
⑬ろ過式集じん機
⑭汚水処理電気室
⑮誘引ファン
⑯タービン排気復水器
⑰洗煙設備
⑱蒸気式ガス再加熱器
⑲窒素酸化物除去設備
⑳煙突
㉑灰クレーン
㉒灰バンカ
㉓炉用ファン室
㉔灰コンベヤ（灰冷却水槽）
㉕中央制御室
㉖配電盤室
㉗低圧電気室
㉘純水設備室
㉙減温減圧装置室
㉚押込ファン

図1　フローシート

トヨタ自動車㈱殿向け複合産業廃棄物処理施設

Complex Industrial Waste Treatment Facility for TOYOTA Motors Corp.

1. はじめに

ますます深刻化するごみ問題は社会問題となっており，廃棄物の有効利用が求められている。びん・缶などの容器包装資材を再利用するための再資源化システム，ごみを乾燥・選別し可燃物を燃料（RDF）にするごみ固形燃料化システム，廃プラスチックを分類後液体燃料とする油化システムなど，さまざまな技術が開発され，広く実用化されているものもある。ごみ処理対策はリサイクル型社会への転換期に入ったということができる。

一方，海洋に囲まれた国土をもつわが国においては，ごみの焼却処分は，その減量（容）性・安定性・無公害性より依然としてごみ処理の最重要技術である。ごみは焼却して灰にすると，その容積は約1／20になるといわれており，廃棄物の中間処理方法としてすぐれたものである。

一般廃棄物処理の低公害化・熱利用促進と同様，産業廃棄物処理の高度化も進んでいる。今回は，トヨタ自動車㈱殿向けに1997年7月末に工事を完了した複合産業廃棄物処理施設を紹介する（**写真1**）。本施設はNKK式流動床焼却炉（**図1**）を中心としたもので，生産設備から排出される多種多様な産業廃棄物を一括処理し，焼却熱の有効利用を行うものである。また，最新の一般廃棄物処理施設と同等以上の高い公害防止基準を達成している。

2. 施設概要

トヨタ自動車㈱殿環境センターには既存施設として，石炭・廃棄物混焼の流動床焼却炉（焼却量216T／日，発電能力16MW），ロータリーキルン型汚泥焼却炉（焼却量60T／日×2炉）があるが，今般トヨタ自動車㈱殿では，流動床式焼却炉を中心とした複合産業廃棄物処理施設を計画・発注された（**表1**）。

本施設は，廃油廃液分離設備・流動床式焼却炉・廃液焼却炉・その他付帯設備より構成される（**図2**）。

3. 各設備の特徴

3.1 廃油廃液分離設備

本設備は，各工場より排出される廃油・廃液を受け入れ汚泥・再生油・廃液に分離するものであり，9 m³/hの処理能力がある。

タンクローリより積み降ろされた廃油液は，振動篩にて夾雑物（鉄片，プラ片など）を取り除かれた後，廃油液受槽に貯留される。受槽よりポンプ圧送され，ボイラ蒸気を利用した熱交換器で加熱され流動性を高める。その後，遠心力を利用したデカンタにて，比重差により汚泥・再生油・廃液に分離する。再生油はバーナでの燃焼に利用できる高品位の燃料として利用している。

分離後にはそれぞれタンクに貯留され，汚泥は排水処理汚泥とともに，流動床式焼却炉にて焼却される。再生油・廃液は流動床式焼却炉または廃液焼却炉で処理され，また再生油は既存汚泥焼却炉の燃料として利用される。

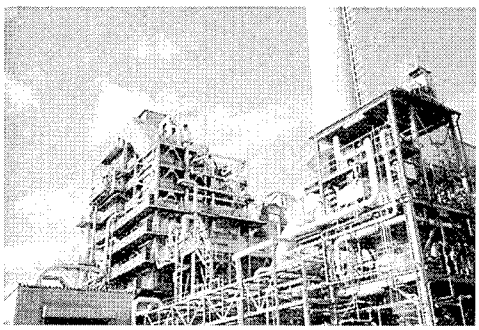


写真1　プラント全景

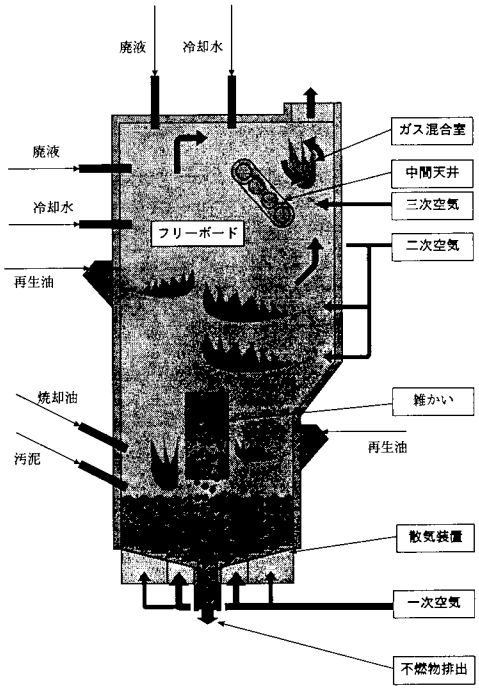


図1　NKK式流動床焼却炉

3. 2　流動床式焼却炉

流動床式焼却炉は，159.6T／日の雑かい（廃プラなど）・汚泥・再生油・焼却油・廃液を処理し，蒸気として熱回収するものである。

廃プラなどの雑かいは，搬入車より金属検知器を装備したコンベヤへ投入された後，破砕されピットで一時貯留され焼却される。炉の燃焼状態により，再生油・廃液は，炉底部の流動媒体直上およびフリーボード部の両方より炉内に供給できるようになっている。

焼却炉の制御はDCS（ディジタル分散制御）によっており，さらに生産設備の稼働状況による廃棄物の増減や既存廃棄物焼却施設の保守点検に応じて，幅広い焼却量に調整できる自動燃焼制御装置を装備している。

表１　施設仕様

項　目	仕　様
受入供給設備	ピット・アンド・クレーン方式 全自動クレーン 破砕機（15t/h：１台　5t/h：１台） 破砕機供給コンベヤ（金属検知機付）
廃油廃液分離設備	$9m^3/h$ 遠心式三相デカンタ （$6m^3/h$：２台　$3m^3/h$：１台）
流動床式焼却炉	159.6T／日
ボ イ ラ	18.3t/h 2.25MPa（$23kg/cm^2$）
排ガス処理設備	乾式消石灰吹込　＋　バグフィルタ 焼却炉内　無触媒脱硝（尿素水噴霧）
灰出し設備	重金属安定剤添加
廃液焼却炉	43T／日
計装制御設備	ＤＣＳ方式 自動燃焼制御装置
安全設備	ワイヤロープスイッチ 光電管式スイッチ ３点セット方式安全装置
公害防止基準	塩化水素　80ppm（12%O_2） 硫黄酸化物　175ppm 窒素酸化物　95ppm（12%O_2） 一酸化炭素　50ppm（12%O_2） ばいじん　$30mg/Nm^3$
工　期	1995年３月１日～1997年７月31日

公害防止基準は，燃焼制御や尿素水を用いた炉内無触媒脱硝や乾式消石灰噴霧・バグフィルタなどにより，最新一般廃棄物焼却施設同等以上の高基準を達成する。

3. 3　廃液焼却炉

廃液焼却炉は，43T／日の廃液を液中焼却炉にて処理するもので，他の焼却炉休止中に運転される。

排ガスは水酸化ナトリウム水溶液による冷却缶や炉内無触媒脱硝・ベンチュリスクラバなどにて処理する。公害防止基準は，流動床式焼却炉と同等の高水準である。

3. 4　安全設備

本施設には，トヨタ自動車㈱殿社内規準により厳重な安全設備を備えている。コンベヤ周囲などのワイヤーロープスイッチや光電管式スイッチ，回転機械周辺などの危険域を区分するフェンス出入扉には，３点セット方式安全装置（扉鍵，非常停止スイッチおよびセーフティープラグを解除しないと扉が開かない）を備えている。

4.　ま　と　め

今回納入した産業廃棄物処理施設は，多様な性状の廃棄物を低公害に減容化し，熱回収するものである。トヨタ自動車㈱殿において既存の焼却炉と併せて，低環境負荷で効率のよいエネルギー回収の一助となるものである。また当社では一般廃棄物から産業廃棄物まで顧客のニーズに併せて，廃棄物の減容化，無公害化，熱利用にさまざまな技術を開発している。

最後に本施設の計画から設計施工・試運転調整に協力いただいたトヨタ自動車㈱関係者各位に謝意を表する。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045（505）7531　秋山　肇

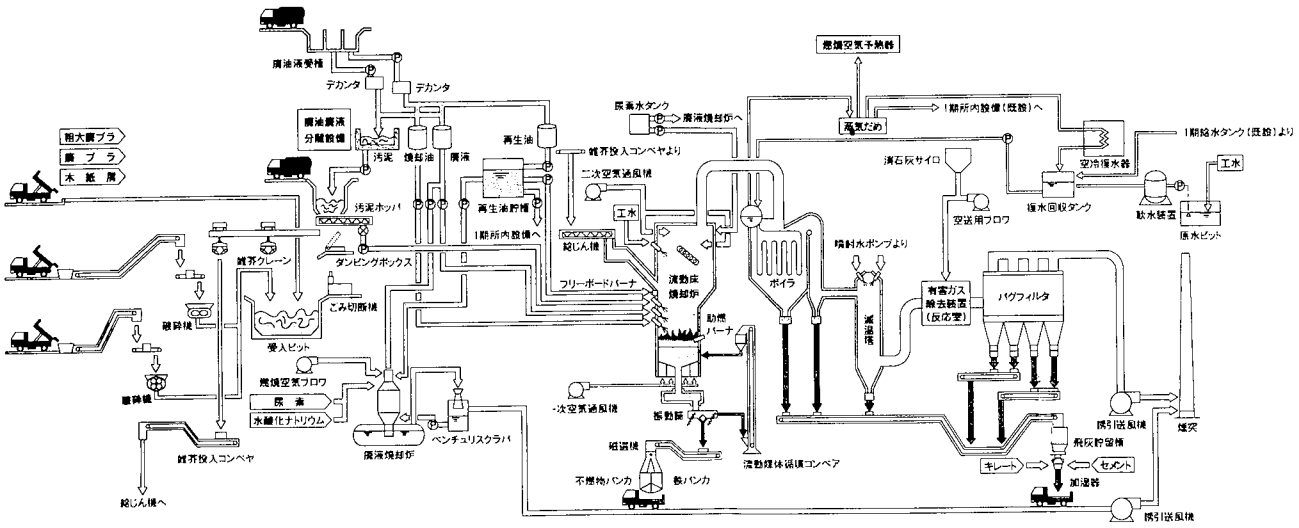


図２　施設フロー図

灰溶融スラグの有効利用

Valuable Use of Ash Melting Slags

1. はじめに

近年，埋め立て処分場の逼迫が深刻となり，その対策が急務となってきた。焼却灰の溶融処理は，その切り札といえるもので，焼却灰を溶融処理することによって無害でリサイクル可能なスラグを作るプロセスである。

本稿では，ＮＫＫ電気抵抗式灰溶融炉によって製造したスラグの特徴と用途について報告する。

2. ＮＫＫ電気抵抗式灰溶融スラグの特徴

ＮＫＫ電気抵抗式灰溶融炉は，**図１**に示すように，溶融スラグ層（図中⑦）における電気抵抗熱がその熱源となっている。溶融物であるスラグ・メタルは炉内で比重分離し，別々の排出口から出湯している。溶融スラグ層の上部は未溶融の灰層（図中⑥）で覆われているが，スラグ出湯口は灰層よりも下部にあるため，溶融スラグへ未溶融の灰は混入しない。また，分離出湯によりスラグ中へのメタル混入がないことから，メタル除去の工程が不要となり，空冷スラグを製造可能である。

3. 溶融スラグの安全性

ＮＫＫ電気抵抗式灰溶融炉は，高温（スラグ温度1500℃程度），還元雰囲気で溶融処理を行うため，重金属は還元除去されてスラグ中の含有量は少なくなる。**表１**に溶融スラグの成分分析値の例を示す。また，廃棄物処理埋め立て基準（環境庁告示13号）および土壌環境基準（環境庁告示46号）による溶出試験においても，**表２**に示すように，すべての成分について規格を満足しており，リサイクルする上で，安全上問題はない。

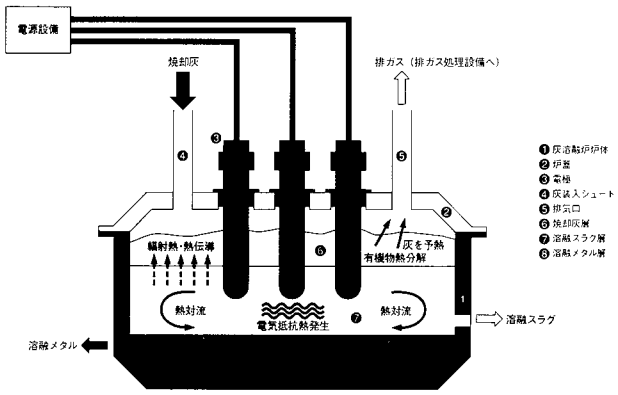


図１　ＮＫＫ電気抵抗式灰溶融炉の構造

4. 溶融スラグの利用用途

溶融スラグの骨材強度を**表３**に示す。比較的遅い冷却速度で固化させた空冷スラグは，道路路盤材用骨材として単体でも十分な強度をもっていることがわかる。試験舗装においても，空冷スラグは砕石との代替が可能であることが確認できた。

また，空冷スラグを細砂の代替としてアスファルト混合物に用いた場合，スラグ20%配合でも「アスファルト舗装要綱」に定める規定値を満足していた（**図２**）。現在，試験舗装を実施し，供用性について調査中である。

これらの他にも溶融スラグには，**表４**のような幅広い用途での利用が可能である。試作品の例を**写真１**に示す。

表１　溶融スラグの成分例

成分	単位	含有量
Si	mass %	23.7
Ca		11.4
Al		10.8
Mg		1.22
Na		4.50
K		0.94
t.Fe		1.29
Pb	mg/kg	tr(<10)
Zn		175
Cu		116
Cd		tr(<6.5)

tr：検出限界以下。()内は定量下限値。

表２　溶融スラグの溶出試験結果の例

成分	単位	溶出量	土壌環境基準
Hg	mg/*l*	tr(<0.0005)	0.0005
As		tr(<0.005)	0.01
Se		tr(<0.002)	0.01
Cd		tr(<0.001)	0.01
Pb		tr(<0.005)	0.01
Cr^{6+}		tr(<0.04)	0.05

表３　溶融スラグの強度特性および路盤材規定値

物性項目	スラグの物性値		道路用骨材の規定値	
	空冷スラグ	水砕スラグ	下層路盤	上層路盤
表乾比重(g/cm²)	2.65	2.70		
吸水率(%)	0.75	0.12		
すりへり減量(%)		30.9	<50	<50
修正 CBR(%)	18.6	98.1	>20	>80

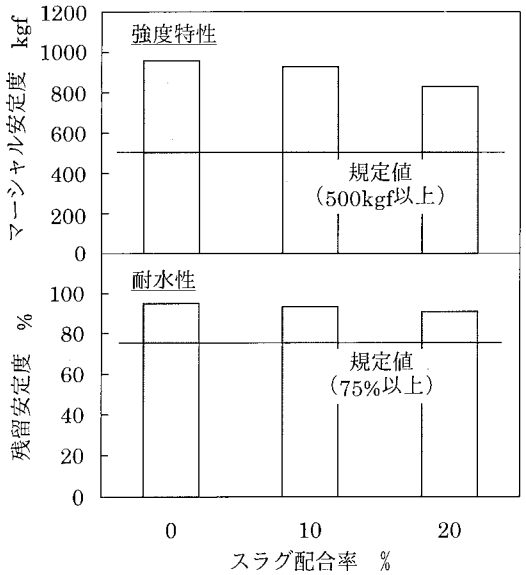


図2　溶融スラグ入りアスファルト混合物の室内試験結果

表4　溶融スラグの利用用途

分類	用途
一次製品	埋め戻し材、裏込め材
	サンドマット
	路盤材
	コンクリート
	砕石ドレーン材
	アスファルト舗装用骨材
二次製品	インターロッキングブロック
	コンクリートカラー平板
	空洞ブロック
	透水性歩道用ブロック
	ヒューム管、 下水道推進工法用鉄筋コンクリート管
	土留めブロック、積みブロック
	汚水ます、雨水浸透ます
	歩車道境界ブロック
高付加価値製品	人造石（擬石、結晶石）
	カラー石
	舗装用焼成タイル
	大型外装用焼成タイル
	保水性タイル(毛細管現象による高保水性)
	断熱材
	ロックウール

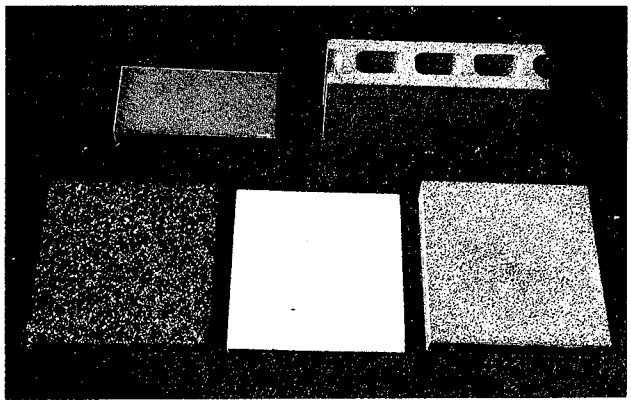


写真1　溶融スラグによるタイルなどの試作品例
左上：保水性タイル（スラグ配合率70%）
右上：空洞ブロック（同10%）
左下：透水性歩道用ブロック（同24%）
中下：舗装用焼成タイル（同50%）
右下：コンクリートカラー平板（同50%）

5. おわりに

NKK電気抵抗式灰溶融スラグは，安全性が高い，メタルの混入がない，空冷により強度を高くすることができるといった，有効利用する上で有利な特徴がある。今後，さらにこれらの特徴を生かすための用途開発およびスラグ製造技術の開発を進めて行く予定である。

なお，電気抵抗式灰溶融炉の初期開発は，㈱タナベと共同で行った。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　焼却炉設計室
Tel. 045（505）7623　勝呂　洋次
平岡　英伸

分別ごみの資源化システム

Recycle System for the Waste.

1. はじめに

ごみの排出量は年々増大し，その処理施設および最終処分場の用地確保難，焼却処理にともなう公害問題などがある。また，容器リサイクル法の段階施行により社会的整備も進んでいる。

このような背景から，ごみの再資源化技術のニーズが高まっている。こうしたなかで，当社は，分別ごみを自動的に高速で再資源化するシステムを構築した。

2. システムの特徴

当社システムの特徴は以下のとおりである。

(1) 全自動のシステムにより，分別ごみを高速で選別する

(2) スチール缶，アルミ缶，びん，プラスチックボトルなど，多様なごみの選別により再資源化が可能である

(3) 高純度選別および大量処理が可能な最高性能の「びん色選別システム」を装備している

(4) ごみの回収方法や種類，量など，各自治体の実状に合わせて，柔軟にシステムを構築できる

(5) PVCの除去をはじめとして，プラスチックの高度分別が可能である

3. 構成機器の概要

3. 1 破袋機

図1に示すように周辺に多数の刃を有する2個の回転円盤により，ごみ袋を高速で引き裂いて内容物を破損せずに取り出せる。また，除袋も同時に行う機構を備えている。

3. 2 不適物選別機

再資源化に適さない大型ごみ，残渣などを取り除く。また，後工程の選別がしやすいようにごみの層厚を調整する。

3. 3 風力選別機

ごみを高圧空気により吹き飛ばし，ごみの飛距離が異なることを利用して重量物，中量物，軽量物の3種類に選別する。図2に風力選別機の動作機構を示す。

3. 4 丸物選別機

風力選別機で重量物側に選別されたびん・陶磁器類を再資源化される丸いびんと再資源化に適さない陶磁器類に選別する。

3. 5 びん色選別システム

びん色選別システムは，サイズ分け機・整列装置・色識別装置，仕分け装置から構成されている。図3，図4にサイズ分け機と色識別装置の機構を示す。

サイズ分け機は，色識別の効率を高めるために，びんを

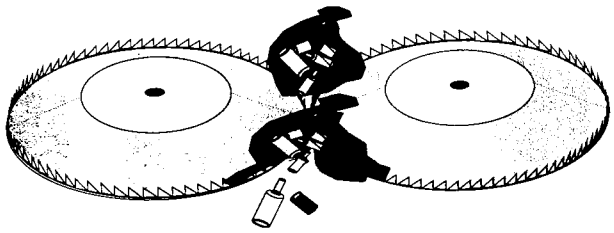


図1 破袋機機構

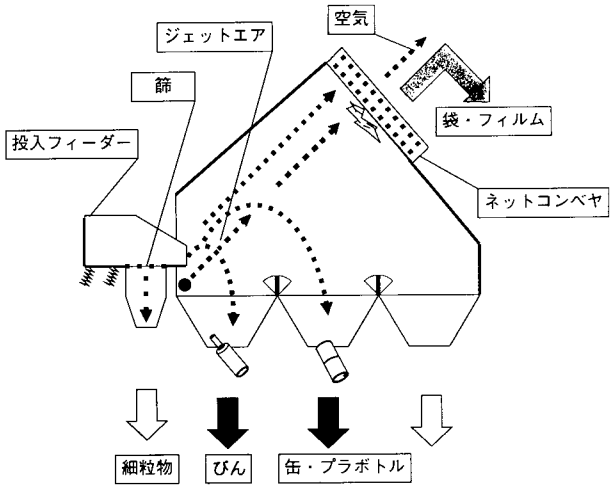


図2 風力選別機の動作機構

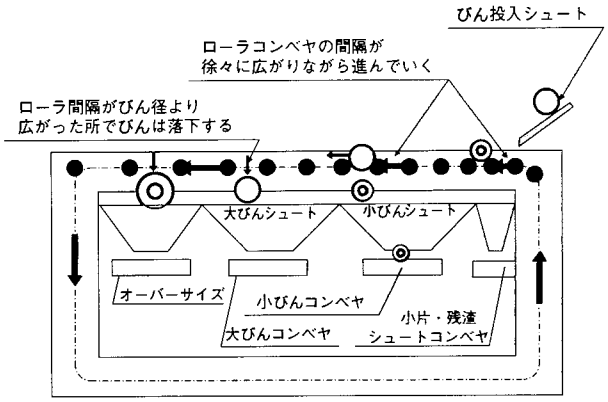


図3 サイズ分け機

サイズによって4種類（極大びん・大びん・小びん・ガラス屑）に選別する。

整列装置は，縦と横のコンベヤの組み合わせによりびんを1本ずつ一定の間隔で搬送する。

色識別装置は，独自の照明装置によるびんの底部での散乱・透過光をCCDカメラで画像処理することにより，ラベルの影響を受けずに6種類（透明・茶・緑・青・黒・その他）に選別する。

3. 6　プラスチック分離システム

プラスチックの形状で，湿式と光学式の2形式で対応する。

3. 6. 1　湿式プラスチック分離機

遠心力などを利用した重力加速度の作用により，水中においてプラスチックが材質により比重が異なることを利用して，主としてPVCなどを分離する。図5に遠心式の模式図を示す。

3. 6. 2　光学式プラスチック分離機

X線あるいは近赤外線を用いて，材質を選別する。特にボトル形状のプラスチックに有効である。

4.　システムフロー

全システムフローは図6に示すとおりだが，自治体の実状に合わせ柔軟にシステムを構築している。

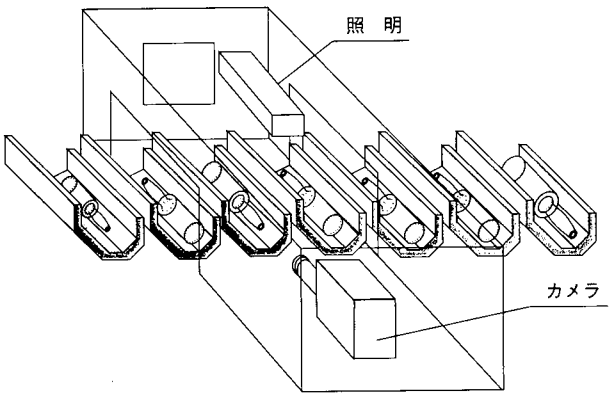


図4　色識別装置

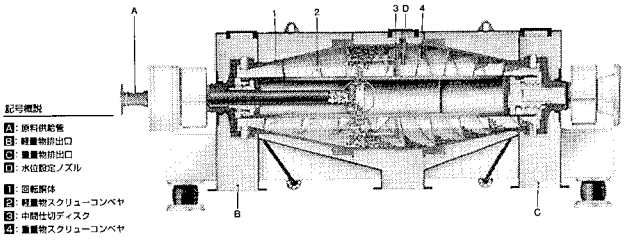


図5　遠心式模式図

5.　納入実績

当社鶴見事業所内の「環境R＆Dセンター」（処理能力30T／5h，1996年4月竣工）と下記自治体に納入実績を有する他，すでに数件受注し，近々竣工予定である。

栃木県芳賀中部環境衛生事務組合殿

（処理能力12.5T／5h，1997年3月竣工）

びん・缶・PETボトル混合コンテナ収集

図7は上記自治体に納入した機械配置鳥瞰図を示す。

<問い合わせ先>
基盤技術研究所　計測制御研究部　機械システムチーム
Tel. 044 (322) 6286　浅野　幹之
環境・リサイクル技術センター
Tel. 045 (505) 7406　宅和　稔朗

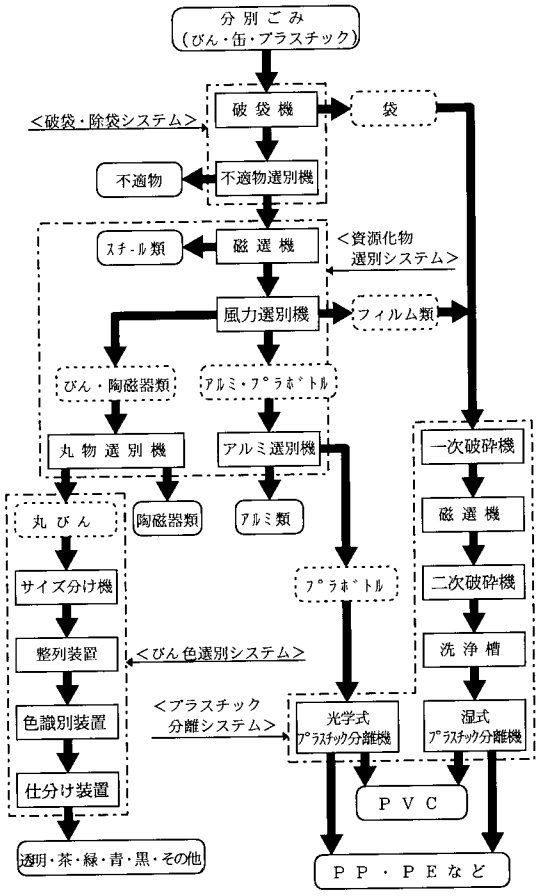


図6　システムフロー

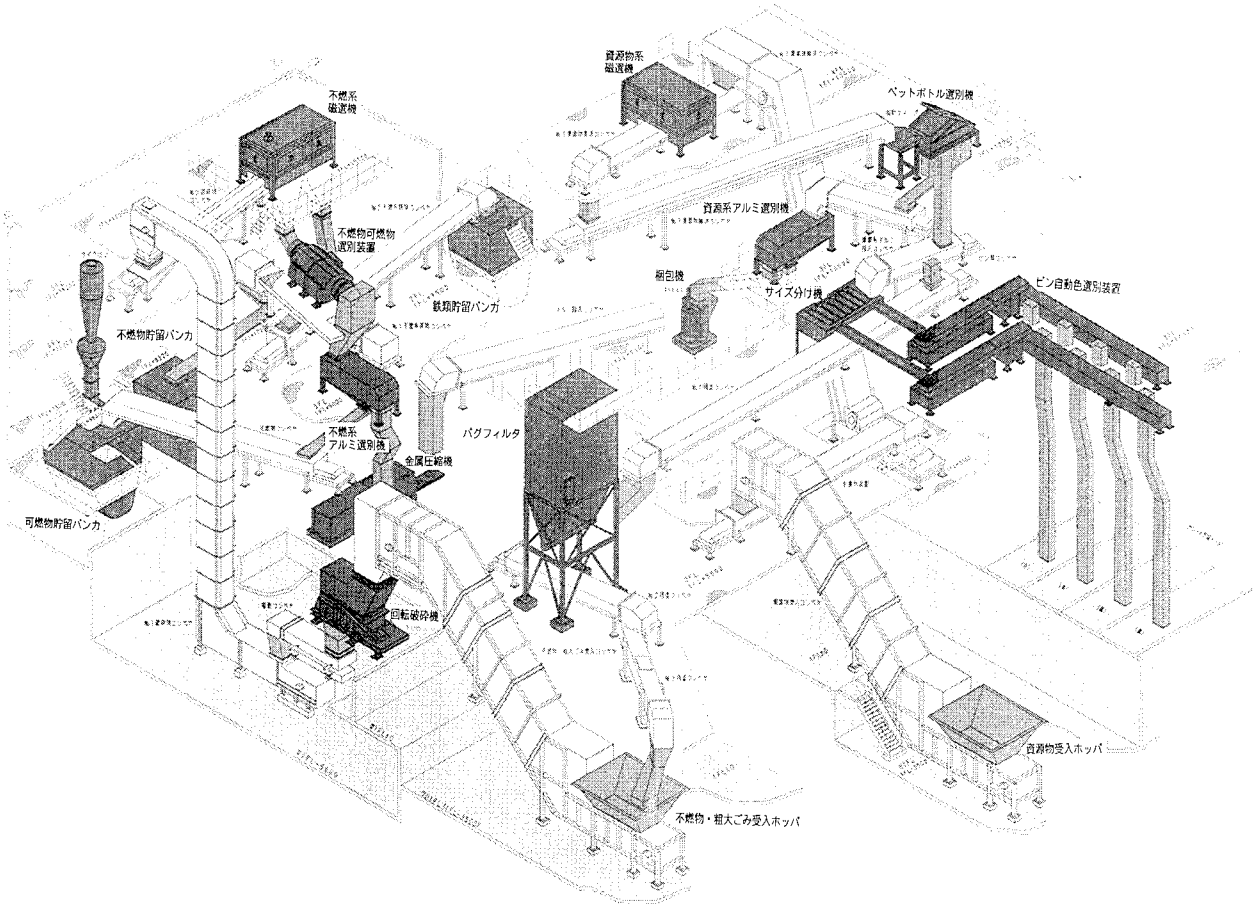

資源物系
磁選機
不燃系
磁選機
ペットボトル選別機
資源系アルミ選別機
不燃物可燃物
選別装置
梱包機
サイズ分け機
ビン自動色選別装置
鉄類貯留バンカ
不燃物貯留バンカ
バグフィルタ
不燃系
アルミ選別機
金属圧縮機
可燃物貯留バンカ
回転破砕機
資源物受入ホッパ
不燃物・粗大ごみ受入ホッパ

図７　機械配置鳥瞰図

NKK環境R&Dセンター

NKK Environment R&D Center

1. はじめに

1997年4月に容器包装リサイクル法が施行され，また，厚生省の第8次廃棄物処理整備5ヶ年計画にもみられるように，廃棄物処理は行政・技術の両面で大きな転換期にある。世界的にもリサイクル・循環型の社会が指向され従来のように「ごみ」を「燃やして処理する」ことから，ごみの排出を抑え，分別リサイクルし，焼却処理する場合であっても，熱エネルギーの最大活用を図ることが求められている。この新しい動きの中で，自治体も，廃棄物を排出する企業も，廃棄物を処理する企業も新しい処理システムへの取り組みを開始している。このような中で，エンジニアリング企業として顧客のニーズに応え，社会の環境保全ニーズに応えて行くためには，それぞれの自治体・企業の廃棄物の質，量，地理的・経済的条件などに即して，どのような施設の組み合わせが，環境負荷という観点から最適であるかを提案していくことが重要になってくる。

当社は，横浜市にある鶴見事業所の敷地内に廃棄物のリサイクルを中心とした次世代技術の実証施設群を集約・建設し「環境R&Dセンター」として，1996年4月に開設した。次世代型の廃棄物処理技術の実証をおもな目的とし，あわせて各自治体や廃棄物を処理する企業などに公開することとした。

本稿では，本センターの概要について紹介する。

2. センターの概要

センターは5つの施設からなり，それぞれの施設は以下に述べる特徴を有する。

(1) 流動床式焼却炉（処理量 24T／日）

あらゆる廃棄物を焼却し，高度な燃焼制御やガス処理システムなどを多角的に開発，試験するための施設。

［特徴］

- ごみの安定供給と最適な炉形状，および高度な燃焼制御により実現される完全燃焼（独自の給じん装置，ファジー制御など）
- 不燃物の排出性能にすぐれた散気装置
- あらゆる廃棄物に対応可能（RDF，シュレッダーダスト，汚泥など含む多様な廃棄物）
- 高効率なエネルギー回収が可能

(2) 高温ガス化直接溶融炉（処理量 32T／日）

廃棄物を直接溶融，スラグ化し，発生する可燃性ガスをガスタービンなどで高効率発電に利用できる技術を実証するための施設。**写真1**にガス化溶融炉を示す。

［特徴］

- 製鉄所の高炉とごみ焼却用流動床炉を融合しコンパクト化を達成したすぐれた技術
- 副羽口による流動化（棚つり防止と均一温度達成）
- 高温還元雰囲気のフリーボード部によるタールとダイオキシンの発生防止
- 高品質なスラグ，重金属類の溶出完全防止

(3) ごみ固形燃料化システム（処理量 20T／日）

廃棄物のなかから可燃物を選別し，固形燃料（RDF）化を効率的に行う技術を実証するシステム。

［特徴］

- すぐれた不燃物分離性能（3種分離）を有する分別機
- リングダイ方式による良質なRDFの製造

(4) 電気抵抗式灰溶融炉（処理量 24T／日）

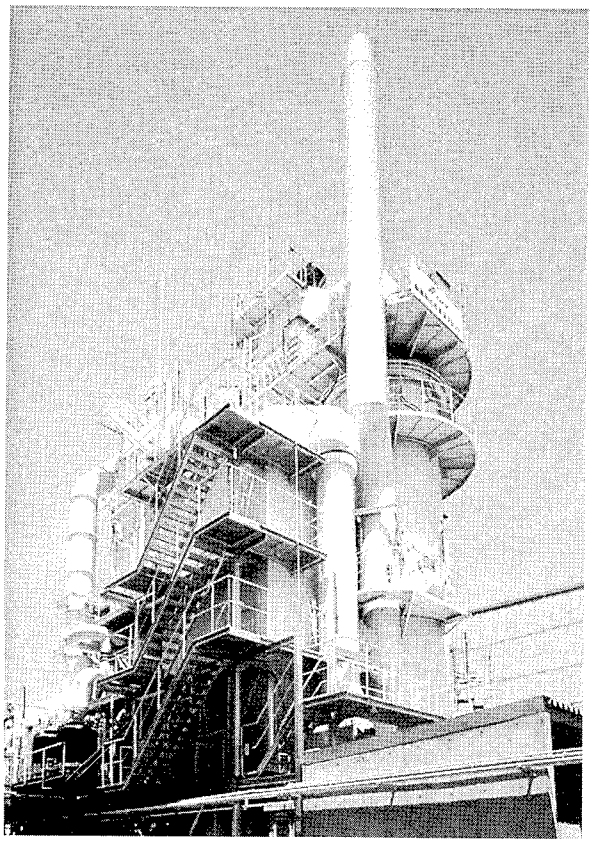


写真1　高温ガス化直接溶融炉

焼却灰，集じん灰を経済的かつ効率的に完全溶融する独特の技術と，無害化・再利用ができるスラグとメタルの分離排出などを実証するための施設。

［特徴］

- 電気エネルギーを直接溶解熱に変換する高い熱効率（約70%）の灰溶融システム
- 炉内を還元雰囲気とし，極度な高温を発生しないため，耐火物の寿命が長い。
- 高品質なスラグは上層路盤材，アスファルト混合骨材やタイルなどとして再利用可能

(5) 分別ごみ資源化システム（処理量　6T／h）

分別資源ごみをびん，缶，プラボトルなどに効率的，経済的に選別する技術の実証施設。

［特徴］

- 高速処理（6T／h）が可能な完全自動化システム
- サブシステムの組み合わせが自由な柔軟なシステム設計が可能
- 独自な破袋，除袋システム
- 高効率（約 18000本／h，純度 100%）な自動色選別装置（6色識別）
- 独自な風力による3種選別装置

3. センターの運営体制

本センターの運営体制は**図1**に示されるように，社内各部署が関与している。見学者への対応は社内一丸となって柔軟に対応している。1996年4月の開設以来，1年間で約350組，2600人強の方々を案内した。（**表1**に見学者数の推移を示す。）また，見学者の内訳を**表2**に示す。

4. おわりに

本稿では，環境R&Dセンターの概要につき紹介した。センター開設以来，見学者も盛況のうちに推移している。昨今，環境問題が一段と注目される一方，監督省庁も新しい法律や規制を制定しており，めまぐるしく変わる社会ニーズに今後とも技術的にも経済的にも歓迎される商品の開発を続けて行きたい。

<問い合わせ先>
都市環境システム営業部　環境施設営業室
Tel. 03 (3217) 3085　亀ヶ谷　隆司
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7531　上原　初男

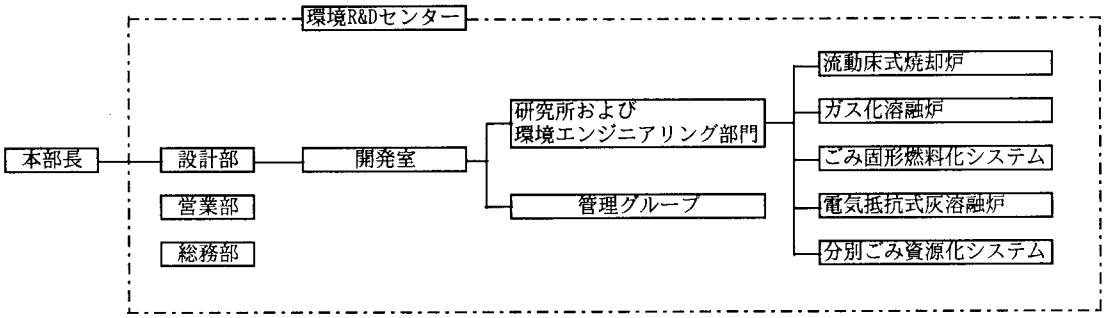


図1　環境R&Dセンターの組織

表1　センター見学者の推移

	96.4	5	6	7	8	9	10	11	12	97.1	2	3	合計	平均（人/月）
人数	18	22	73	219	118	223	517	532	146	147	386	223	2624	219
組数	3	5	13	20	17	25	118	42	16	19	43	28	349	29

表2　センター見学者の内訳

	人数	団体数
官庁	915	110
企業（産廃）	803	74
議員	76	9
研究会	216	18
マスコミ	52	7
コンサル	24	5
海外	61	13
その他（下請等）	51	9
社内（関連会社含）	234	16
ウエステック'96	192	83

ごみ焼却プラント配管設計への三次元CADの適用

Application of 3D-CAD for Piping Design of Refuse Incineration Plant

1. はじめに

当社は，清掃工場建設工事において1967年から現在にいたるまで，100基以上の竣工実績をもっている。ごみ焼却プラントの配管設計・施工においては，非常に高度な専門技術を要求され，近年特にこの傾向が強まりつつある。それに対応するため，現在の設計手法の見直しが必要となった。従来の手書き方法に替わる手段として，近年急速に進歩している三次元CADを清掃工場建設工事の配管設計に適用したので，その概要を紹介する。

2. 三次元CADの概要

三次元CADとは，コンピュータ空間の中に実物大の三次元プラントモデルを構築し，これを元に三次元CADがもっている干渉チェック機能などを活用し，図面化するシステムである。また図1に示すようにこの三次元プラントモデルは，隠線処理機能により，任意のエリアを任意の方向からみた実在感のある鳥瞰図の作成などもできる。

3. 適用の背景

3. 1 短期的視点

(1) 三次元CADがもっている干渉チェック機能などにより図面精度の向上を図る

(2) スプール図，材料集計表作成機能による，配管設計精度の向上と効率化

(3) 配管設計における設計技術力の強化

3. 2 長期的視点

配管設計技術の継承と若手技術者の確保・育成の一助とする。

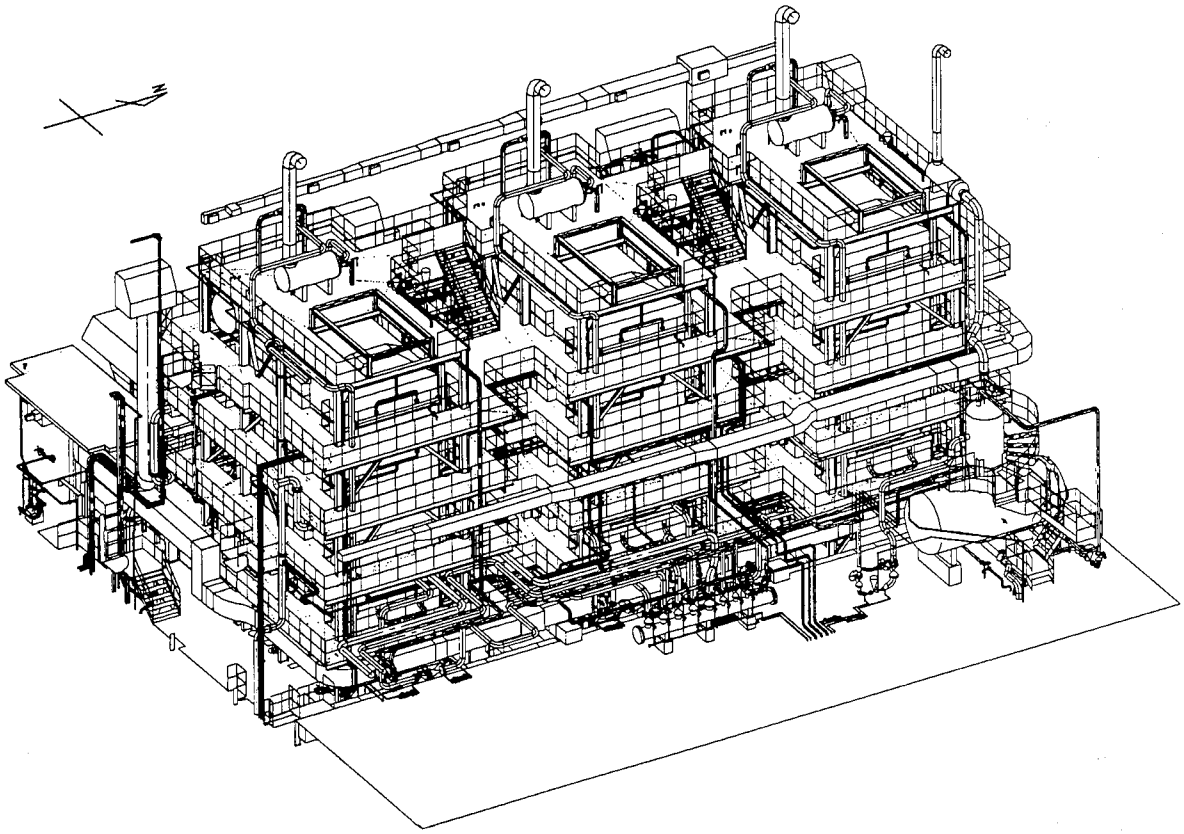


図1 三次元プラントモデルによる鳥瞰図
(M工場炉室鳥瞰図)

3. 3　ごみ焼却プラント配管の特徴

(1) 建築躯体にて囲壁された屋内配管が大半を占める
(2) 多種多様な流体，管種，口径にわたる
(3) ボイラ・タービン設備，余熱利用センタおよび公害防止設備などを有する複雑で大規模，かつ高度な専門技術を総合した施設
(4) 電路，建築設備配管，空調ダクトなどとの輻輳が多い

4. 運用体制

現在使用しているシステムは，UNIX環境のエンジニアリングワークステーション5台で構成され，このうち1台がサーバーで残り4台がクライアントとなっている。このほか外付けハードディスク，プロッタ，プリンタおよび補助記憶装置にて構成される。

入力は，配管，機器，躯体，鉄骨ごとに分担入力し，それぞれ平行して入力作業を進める。最終的にこれらのデータは結合して一つのファイルにまとめ，三次元プラントモデルとして完成させる。このように分担作業を行うことで，作業の効率化と短縮が可能となる。また，三次元CADでは，モデル入力の完成を起点とし，配管図の作成，材料集計表および配管スプール図の出力が，平行して可能である。このため，配管図の完成に先行して，材料の発注やプレファブ化が可能である。

図2に従来の設計手法と三次元CADによる設計手法の比較を示す。

5. 評　　価

(1) 各種チェック機能を活用することにより，図面および材料集計の精度が上がった
(2) 任意の断面図や詳細図が短時間で作成可能なので，取り合い調整や打ち合わせがタイムリーに行えた
(3) 鳥瞰図によりプラントの全体像がイメージ的に捉えられ，施工計画・施工管理が容易となり現場工数の削減につながった
(4) ビデオ化することにより，事前レビューが容易となり，保守性，操作性，安全性が視覚的に検討できるので，客先および社内からも高い評価を得た

6. 今後の展開

以上述べたように三次元CADの採用は，種々の点で現場も含めた設計・施工の合理化に貢献できる。今後は実績を積み上げて行く中で，
(1) 炉体，ボイラ，タービンおよびポンプ廻りをモジュール化し，入力作業の重複を避ける
(2) 炉体鉄骨，通風ダクト，排ガスダクトなどへの適用範囲の拡大
(3) 現場とのオンライン化に取り組み，さらなる効率化に貢献したいと考えている

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　プラント設計室
Tel. 045 (505) 7686　伊藤　純一

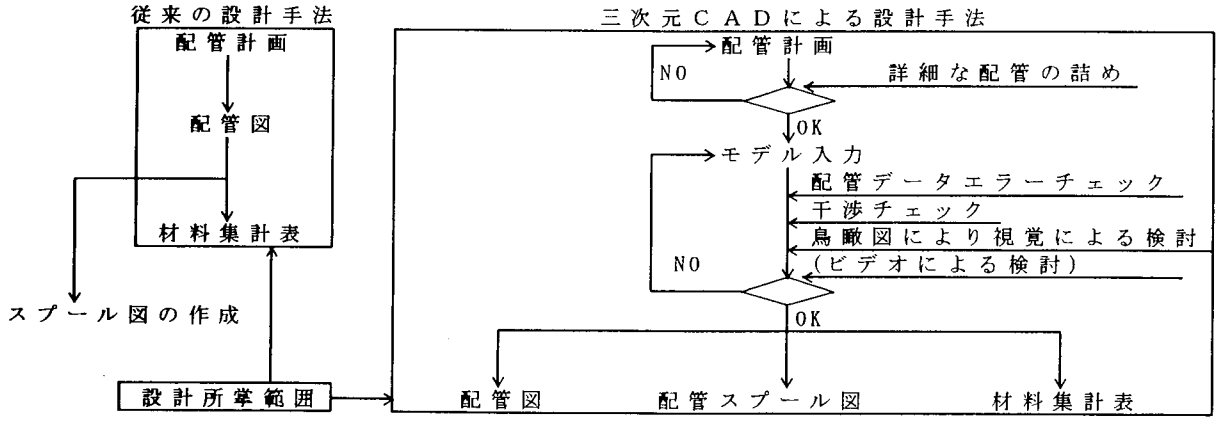


図2　設計手法の比較

国内向け全連続式ごみ焼却プラント ISO9001認証取得

Acquisition of Certificate for Continuous Operating Refuse Incineration Plant of Japan

1. はじめに

国際化・情報化の進展により，国際市場のみならず国内市場においても企業間競争に対処すべく，国際的に通用するISO規格に基づいた品質システムを再構築することが当社の方針として打ち出され，顧客満足の考えに基づくISO 9000sの認証取得を推進することとなった。

2. 認証取得の背景と狙い

当社において，関連組織規模の拡大とともに，従来規格の文書相互の関係が複雑化し，運用面での維持が困難な点もでてきた。

ISO品質システムの基本理念である「顧客満足に対処するための明確化され，体系付けられた責任と権限による企業活動と，その結果の文書化／記録にある」との考えから，現状を見直し，再構築することとなった。

以下を主な狙いとした。

(1) 審査登録をきっかけとして，継続的な品質システムを作り，業務の合理化および明確化を図る。

(2) 顧客からの信頼を得，品質要求に応えるものとする。

(3) 営業戦略的に優位に立てる。

(4) ISO登録が必須条件となりつつある海外物件対応への足掛かりとなるベースを作る。

このために，新しく品質システムを作るのではなく，現状の業務内容・業務フローおよびシステムを活かし，これの見直しと整理をすることでISO要求事項に適合するシステムを構築することを基本の考えとした。

3. 取得推進活動

3. 1 推進チーム編成

当社内に1996年７月にISOチームを編成し，品質システム管理責任者と選任スタッフ２名，関連部署から兼任スタッフ３名の計６名でワーキングを開始した。

最初は，ISO規格の要求事項の解釈と理解のための勉強会からスタートし，現状の業務把握，問題点の抽出と改善案の検討を積み重ねながらの資料整理およびシステムの方向付けを模索していった。

3. 2 対象範囲と審査登録機関の選定

(1) 対象商品として，国内向け全連続式ごみ焼却プラントとした。

(2) ISO9000s規格の種類として，設計から付帯サービスまでをカバーしている ISO9001登録とした。

(3) 審査機関としては，従来より当社と関係も深く，当社の認証登録の多い（財）日本海事協会殿（以下，Ｑ－ＮＫと略記する）とし，審査の依頼を行い基本協定を結んだ。

3. 3 マスタープラン作成

活動期間１年間で認証取得すべく，作業内容とスケジュールを検討し，マスタープランを作成した（**表１**）。

1996年９月には社内の関係者全員を集めての品質方針宣言を実施し，トップダウンによるシステムの確立・実行・維持が展開されることとなった。

3. 4 システム文書の作成

ISO9001 の要求事項，社内品質マニュアルおよび認証取得済みのシステム文書を参考にしながら品質マニュアルの原案および関連文書の作成に着手した。

(1) ISOチームと関係部署で作成するシステム文書の内容整理と分担を決めた。

(2) 社内で作成するシステム文書の統一化，整合性をとるため，文書全体の体系化を図り，文書構成および文書番号の取り方などを定めた「システム文書管理要領」を作成した。

(3) 既存の文書で流用できるものは多少手を加え，極力活用した。

(4) 社内の横通しを図りながら進めた。

(5) 文書作成と並行して，ワーキンググループでの討議および関連部署との全体会議で審議・検討を重ねた。

(6) 活動開始６ヶ月後の1996年12月，品質マニュアル初版の制定・発行となった。

3. 5 普及教育・ＰＲ活動とシステム運用

業務に携わる全員参加が基本であり，かつ，重要であることから，システム普及と早期定着を図るため，次の活動を実施した。

(1) 対象者全員にISO9000s普及教育実施。（約 260名）

(2) 役職者以上を対象とした内部品質監査員教育実施。（約 70名）

(3) 関係部署での部門教育実施。（システム導入教育）

(4) 執務室や会議室に品質方針・目標のポスター掲示。

(5) 対象者全員に名刺大の品質方針・目標を書いたカードを配付。

(6) 1997年３月，プロジェクト遂行責任者によるISOシステム運用開始宣言のキックオフ実施。

3. 6　事前調査と実地審査

1997年４月８日，Ｑ－ＮＫによる事前調査（予備審査）を受審し，数点の指摘事項（軽不適合）を受けた。対象関連部署と協議，調整を行い，是正処置の実施および是正報告を行った。

これと並行して内部品質監査を実施し，不適合事項の是正とフォローアップを行った。

また，これらの報告と評価を行うため，マネージメントレビューを実施後，６月23日，６月25日～27日の４日間で実地審査（本審査）を受審した。重大な不適合もなく，日本の認定機関である，（財）日本適合性認定協会（JAB）と，オランダの認定機関である，Raad voor Accreditatie（RvA）およびQ－NKの認証登録が完了した。

4. ま　と　め

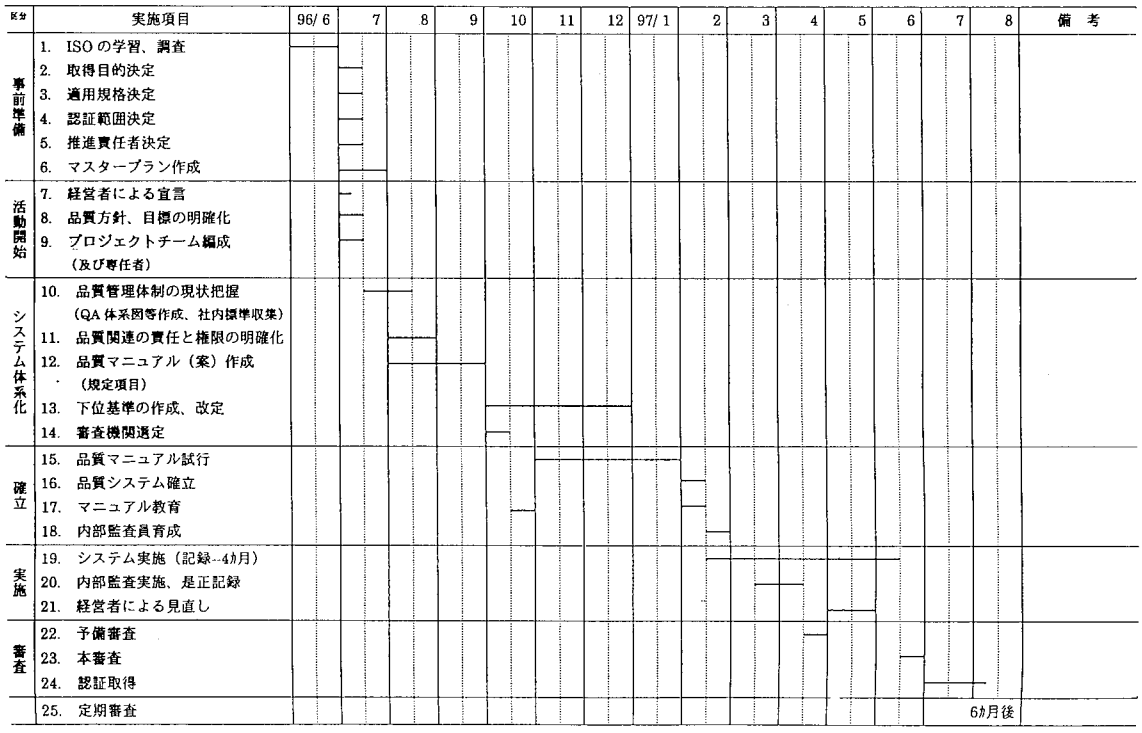
1997年７月22日付けで，Q－NKより登録証の交付を受け，当初予定の１年間での認証登録をすることができた。しかし，これがISOシステムのスタートであり，今後の実行・維持の積み重ねが，より重要かつ，大変な業務であるとともに，組織を上げての取り組み，定着化が必要である。

なお，今後の検討課題を以下に示す。

(1) 准連続炉，機械化バッチ炉の適用。
(2) 産業廃棄物処理施設の適用。
(3) 粗大ごみ処理施設の適用。
(4) 開発・新技術の処理施設の適用。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部　ISOチーム
Tel. 045（505）7785　宮本　利夫

表１　マスタープラン



環境プラント技術部門業務システム（EOA System）

Engineering Office Automation System in Environmental Plant Planning and Design Dept.

1. 概　　要

当社の環境プラント技術部門では，ごみ焼却プラントの計画・設計業務を対象として，業務処理の効率化と高度化を目的とした業務システムを開発した。

本システムはDBを中心として，エンジニアリング業務の電子化処理と，技術資産（図書や技術情報）の一元管理と活用を行う。業務と設備機器の体系（以下，WBSと略記する）を構築し，システムのベースとして適用した。

全員がエンジニアリング業務の基本ツールとして使用し，業務フローに沿って業務処理している。1994年4月に初期稼働し，DBのデータ量は現在約53GBである。

所期の目的を達成し成果を得たので，紹介する。

2. 業務システムの仕様と機能

本システムにはEWS（エンジニアリングワークステーション）を採用した。**図1**にネットワーク構成を示す。クライアント／サーバー方式で部門LANを構築し，部外ともネットワーク接続している。

2. 1 EWSの仕様

(1) OS：UNIX（Sun OS-4.1.3）

(2) アプリケーション：DTP・表計算・CAD

2. 2 EWSの業務支援機能

業務の特徴は，大量の見積・受注工事，多数の社内外関係者，最大10000 件／1工事の図書，最長5年の工事期間などである。次に示す支援機能は，DBを利用して本業務を組織的・計画的・効率的に処理するものである。

(1)「図書管理」は，図書番号の自動発番，識別管理およびファイル管理する。

(2)「WBS作成」は，機器の構成・担当者を設定して，作成予定図書リストと管理テーブルを自動作成する。

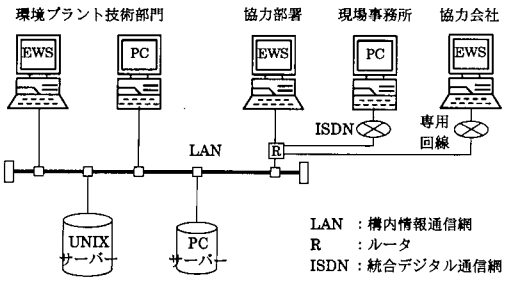


図1　ネットワーク構成

(3)「設備概要検索」は類似工事を検索し，「WBS検索」はWBSをマトリックス表示して図書を検索する。

(4)「承認管理」は，図書の承認管理情報とファイル管理権を管理し，図書に電子サインを自動挿入する。

(5)「出図状況管理」は図書の出図予定に対する状況を表示し，「設計進捗管理」は設計業務の進捗状況を表示する。

3. 業務システムによる業務処理

EWSの電子的机上で，DBの図書・情報の検索と利用，図書作成と管理，電子メールによる関係者との業務連携，DBへの図書・情報の保管などの業務を行う。以下に主要な業務処理を示す。

(1) 総括設計者は，工事開始時に「WBS作成」で業務分担（担当者・作成予定図書）を決め，関係者に業務を指示する。図書出図日を「出図状況管理」で設定する。

(2) 担当者は，担当する図書を検索して作成準備をする。標準・類似図書・技術情報を検索して活用し，電子メールで情報授受や共同作業も行う。

図書作成後は，「承認管理」で図書の照査・承認の依頼を行う。「目録作成」で用途別目録を自動作成し，承認済み図書とともに出図する。

(3) 管理者・総括設計者は，「出図状況管理」や「設計進捗管理」で図書作成や設計進捗の予実管理を行う。

4. 業務システムの効果

急増し多様化した環境関連設備のエンジニアリングニーズに対して，技術検討・新技術が増加したにもかかわらず，順調に業務対応することができた。効果を以下に示す。

(1) 見積工事・受注工事・開発では，1人あたりの業務量を増加させることができた。

(2) 技術開発と新規商品化にも貢献できた。

(3) 技術資産の活用，各種機能の駆使，およびカラー編集など，図書作成が高品質化し短納期となった。

(4) 技術資産を活用し，標準化・技術伝承が促進できた。

(5) ISO9001s認証の基礎システムとすることができた。

<問い合わせ先>
環境プラント設計部
Tel. 045 (505) 7658 寺辻　和広
環境プラント設計部　開発室
Tel. 045 (505) 7685 丹治　盛吉

水中プロペラODシステム

Oxidation Ditch System with Submerged Propeller

1. はじめに

オキシデーションディッチ法（OD法）は，運転管理が容易で負荷変動に強く，窒素も除去できることから欧米では古くから採用されている下水処理方式であり，わが国でも近年地方都市において急速に普及が進み，小規模下水処理施設の主流となっている。

当社では従来のオキシデーションディッチ法よりもさらに高度な処理水質，効率的な酸素供給，低い運転コスト，容易な維持管理などを目標に水中プロペラODシステムを開発し，営業活動を行っている。

従来のオキシデーションディッチ法は，ディッチ表面に設置した縦軸型や横軸型のローターを回転することにより表面曝気を行いながら，同時に槽内の撹拌（水流発生）を行うものである。この方法では曝気と撹拌という異なる機能を同一の装置（ローター）で行うため，変動する流入汚水負荷に応じた各機能の最適なコントロールが困難という問題があった。

これに対して水中プロペラODシステムは，曝気と撹拌を別々の装置で行うことで，おのおののコントロールを独立自在にしたものである。曝気には最も信頼性が高く実績の豊富な散気方式を採用し，また撹拌には低速大径の水中プロペラを採用することで，流入汚水負荷に対し，各機器を常に最適かつ最小エネルギーで運転することを可能にしたシステムである。

また，地方都市の小規模下水処理施設では，技術者の確保が年々，困難になってきている状況にあるため，流入汚水負荷に応じた酸素供給を全自動化する間欠曝気制御用のDOコントローラ「RSC−100」を開発した。

2. 水中プロペラODシステムの特長

図1に水中プロペラODシステムの概略図を，**写真1**に水中プロペラと散気装置を示す。

水中プロペラODシステムの特長として以下の5項目が挙げられる。

(1) 嫌気・好気状態の完全確保

曝気装置と撹拌装置が独立しているため，曝気装置への空気の供給を停止しても，水中プロペラで槽内撹拌を行うことができ，嫌気状態を完全確保できる。したがって，良好な窒素除去性能を有する。

(2) 負荷変動・初期対策が容易

酸素供給を行うブロワの運転間隔，運転時間を調整することにより負荷変動への対応や流入汚水が少ない供用開始初期の運転が容易に行える。

(3) 省エネルギー化

プロペラ径を大きくとり，低速回転させることにより，小さな動力で水流を発生できる。また，散気装置には，微細気泡を発生するゴムメンブレン製散気ディスクを採用し，高い酸素溶解効率が得られる。したがって，従来の縦軸型や横軸型の表面曝気方式の約 1.5倍の 3 kgO_2/KWhの酸素供給効率が得られる。

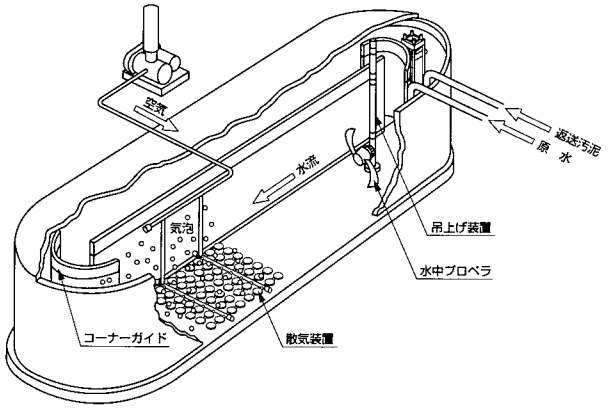


図1　水中プロペラODシステム概略図

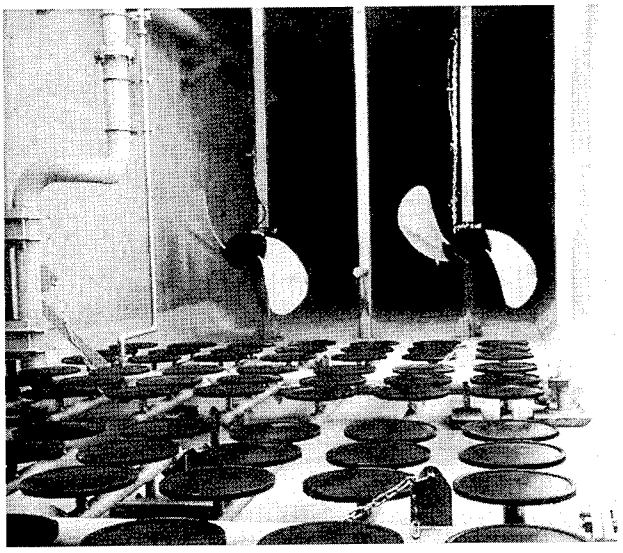


写真1　水中プロペラと散気装置

(4) 省スペース化

従来の縦軸型や横軸型の表面曝気方式では適用水深が2～3m程度であるのに対して，水中プロペラ方式では最大水深で5～6mまで適用可能であるため，省スペース化を図ることができる。

(5) 大きな流入汚水変動を解消

フロート式一定流量排出装置を組み合わせることにより，ディッチの水位を変動させ，ディッチに流量調整機能をもたせることができる。これにより，最終沈殿池への流入水量が一定となるため，汚泥界面が安定し，良好で安定した処理水質が確保できる。

3. DOコントローラ「RSC－100」

オキシデーションディッチ法のような低負荷活性汚泥法では硝化によるpHの低下を防ぐため，多くの処理場で間欠曝気運転を行っている。従来，間欠曝気運転の制御はDO計のトレンド記録から判断して24時間タイマーと曝気装置（ブロワ）の回転数を手動設定するため，供用開始時や週間変動，季節変動の大きな処理場では対応に苦慮している。この問題を解決するため，当社ではDOコントローラ「RSC－100」を開発した。

本体を**写真2**に示す。

3. 1 曝気制御の原理

制御の概念図を**図2**に示す。

負荷の状態に応じてインターバル時間T_Iを最大8時間から最小1時間の間で自動設定する。自動設定されたインターバル時間T_Iにおいて最適な好気時間比R_{AO}となるようにブロワの停止タイミングを制御する。また，ブロワがインバータ制御の場合にはDOのピーク値を2mg/l程度になるように風量制御を行う。

3. 2 特長

DOコントローラ「RSC－100」は以下に示す特長を有する。

(1) 最先端のハードとソフト

プロセス制御用として定評のあるM68000（モトローラ社製CPU）を使用した当社独自のハードとリアルタイムOSを使い，アプリケーションソフトとして当社の制御ノウハウを組み込んだものである。

(2) 液晶パネル表示による操作性の向上

監視，操作部は液晶パネルと押ボタンスイッチで構成されている。制御状態をトレンドグラフと一覧表で表示し，各種パラメータの入力も簡単に行うことができる。

(3) 多彩なオプション機能

ホストコンピュータ，PLCなどの外部機器との通信機能や返送汚泥量，余剰汚泥量の制御機能などを付加することが可能である。

4. 今後の展開

小規模下水処理施設の主流であるオキシデーションディッチ法の中で，水中プロペラODシステムはすぐれた性能を有するため，現在までの受注実績は29件であるが，今後さらに普及して行くものと期待される。

<問い合わせ先>
水処理プラント営業部　第一営業室
Tel. 03 (3217) 2601　渡辺　健
水処理技術部　技術サービス室
Tel. 03 (3217) 2611　金森　聖一

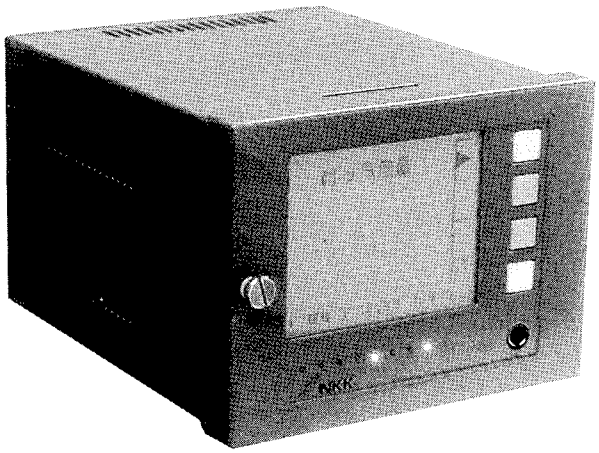


写真2　DOコントローラ「RSC－100」

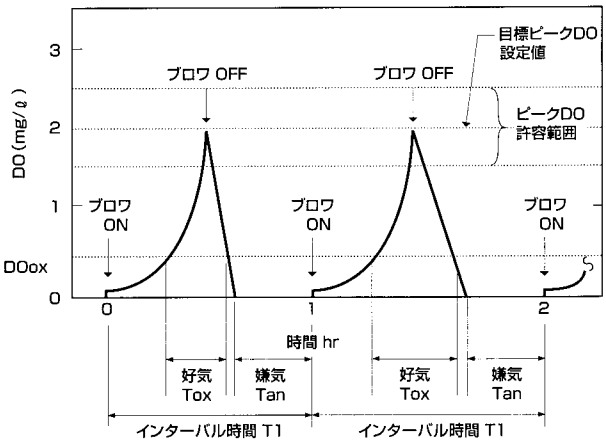


図2　制御の概念図

日本鋼管株式会社

本社
〒100 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 Tel/03(3212)7111 Fax/03(3214)8400

大阪支社
〒541 大阪市中央区平野町四丁目1番2号（大阪ガスビル内）
Tel/06(223)7500 Fax/06(223)7591

名古屋支社
〒450 名古屋市中村区名駅三丁目28番12号（大名古屋ビル内）
Tel/052(561)8612 Fax/052(561)8620

北海道支社
〒060 札幌市中央区北三条西三丁目1番地44（札幌富士ビル内）
Tel/011(271)2211 Fax/011(271)2218

東北支社
〒980 仙台市青葉区一番町三丁目1番1号（仙台富士ビル内）
Tel/022(264)2411 Fax/022(221)4760

千葉支社
〒260 千葉市中央区富士見二丁目3番1号（塚本大千葉ビル内）
Tel/043(227)3471 Fax/043(225)0833

神奈川支社
〒220-81 横浜市西区みなとみらい二丁目2番1号
（横浜ランドマークタワー内）
Tel/045(212)3311 Fax/045(212)3127

新潟支社
〒950 新潟市東大通一丁目3番1号（新潟帝石ビル内）
Tel/025(245)5341 Fax/025(244)2566

北陸支社
〒930 富山市桜橋通り3番1号（富山電気ビル内）
Tel/0764(32)3511 Fax/0764(32)3518

静岡支社
〒420 静岡市鷹匠一丁目1番1号（新静岡センター内）
Tel/0542(55)4151 Fax/0542(55)4155

三重支店
〒514 津市広明町349-1（いけだビル内）
Tel/0592(28)6011 Fax/0592(28)6008

神戸支社
〒651 神戸市中央区御幸通四丁目2番20号（三宮中央ビル内）
Tel/078(251)7767 Fax/078(251)7789

岡山支店
〒700 岡山市中山下一丁目9番40号（新岡山ビル内）
Tel/0862(31)0331 Fax/0862(32)7662

中国支社
〒730 広島市中区基町5番44号（広島商工会議所ビル内）
Tel/082(228)0148 Fax/082(228)5637

四国支社
〒760 高松市寿町一丁目1番8号（日本生命高松駅前ビル内）
Tel/0878(25)0081 Fax/0878(25)0082

九州支社
〒812 福岡市博多区千代一丁目17番1号（パピヨン24内）
Tel/092(632)1511 Fax/092(632)1519

沖縄支店
〒900 那覇市久茂地三丁目21番1号（国場ビル内）
Tel/0988(68)9426 Fax/0988(62)1703

基盤技術研究所
〒210 川崎市川崎区南渡田町1番1号

総合材料技術研究所
〒721 福山市鋼管町1番地

エンジニアリング研究所
〒210 川崎市川崎区南渡田町1番1号

京浜製鉄所
〒210 川崎市川崎区南渡田町1番1号
Tel/044(322)1111 Fax/044(322)1500

福山製鉄所
〒721 福山市鋼管町1番地
Tel/0849(45)3118 Fax/0849(45)3000

津製作所
〒514-03 津市雲出鋼管町1番地
Tel/0592(46)2010 Fax/0592(46)2781

清水製作所
〒424 清水市三保387番地の1
Tel/0543(34)2961 Fax/0543(34)2171

富山製造所
〒934 新湊市庄西町二丁目9番38号
Tel/0766(84)4171 Fax/0766(82)5403

NKK CORPORATION

HEAD OFFICE
1-2,1 chome, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 Japan Tel:03(3212)7111 Fax:03(3214)8400

Overseas Offices & Affiliates

New York
NKK America Inc. New York Office
450 Park Avenue, New York, N. Y. 10022 U. S. A.
Tel:(212)826-6250 Fax:(212)826-6358

Washington D. C.
NKK America Inc. Washington D. C. Branch Office
1215 17th street, N. W.
Washington D. C. 20036 U. S. A.
Tel:(202)467-8010 Fax:(202)452-8075

Vancouver
NKK CORPORATION Vancouver Office
P. O. Box 49168, Four Bentall Centre,
Suite 3394-1055 Dunsmuir Street,
Vancouver, B. C. V7X-1J1 CANADA
Tel:(604)687-0091 Fax:(604)688-7020

London
NKK Europe Ltd. London Office
4th Floor, West Block, 11 Moorfields High Walk,
London EC2Y 9 DE, U. K.
Tel:(0171)628-2161 Fax:(171)638-1374

Düsseldorf
NKK Europe Ltd. Duesseldorf Office
Immermannstrasse 43, 40210 Duesseldorf, Germany
Tel:(0211)353481 Fax:(211)361-3589

Rotterdam
NKK NETHERLANDS B. V.
9th Floor, Room No.913 Calandstraat 66
3016 CD Rotterdam, THE NETHERLANDS
Tel:(31)10-436-13-44 Fax:(31)10-436-14-57

Singapore
NKK CORPORATION Singapore Office
78 Shenton Way, #15-03, S-079120 Republic of Singapore
Tel:2217277 Fax:224-4568

Jakarta
Jakarta Representative of NKK CORPORATION
Midplaza, 19th Floor, JL. JEND. Sudiman Kav. 10-11
Jakarta 10220, Indonesia
Tel:5707572 Fax:(21)5703294

Bangkok
NKK CORPORATION Bangkok Regional Office
11th Floor, Ramaland Building
952 Rama IV Road, Bangrak. Bangkok 10500, Thailand
Tel:(2)632-9270 Fax:(2)632972

Beijing
NKK CORPORATION Beijing Office
1720, Beijing Fortune Building, Chaoyang District, Beijing,
People's Republic of China
Tel:6500-4375 Fax:6500-3844

Shanghai
NKK CORPORATION Shanghai Office
Room 208, Shanghai International Trade Centre
Shanghai 200335, People's Republic of China
Tel:6270-1980 Fax:6270-1977

Hong Kong
NKK CORPORATION Hong Kong Office
402 Fairmont House
8 Cotton Tree Drive, Central, Hong Kong
Tel:2810-0604／0595／4218 Fax:2810-4262

NTIS is authorized to reproduce and sell this report. Permission for further reproduction must be obtained from the copyright owner.

NKK技報 **No.159** 1997年9月20日発行

発行人 山岡 洋次郎
発行所 日本鋼管株式会社
技術開発本部 知的財産部
〒210 川崎市川崎区南渡田町1番1号
Tel.044(322)6347 Fax.044(322)6522
編集所 日本鋼管テクノサービス株式会社
情報サービス部
〒210 川崎市川崎区南渡田町1番1号
Tel.044(322)6615 Fax.044(322)6520
印刷所 日本鋼管ビル管理株式会社 NKBクリエーション
〒100 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号

Published by Intellectual Property Dept.,
NKK CORPORATION
1-1, Minamiwatarida, Kawasaki-ku,
Kawasaki, 210
Tel.044(322)6347 Fax.044(322)6522
© NKK CORPORATION 1997
Edited by Information Service Dept.,
NK Techno Service Co., Ltd.
1-1, Minamiwatarida, Kawasaki-ku,
Kawasaki, 210
Tel.044(322)6615 Fax.044(322)6520

NKK
日本鋼管株式会社