



神鋼環境ソリューション **技報**

Vol.13 No.2 (通巻26号)

KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> Waste to Energy から Thermo-Recycling の先へ	
2 当社の流動床焼却・ガス化技術の紹介	Combustion and Gasification Technologies Using a Fluidized-Bed
11 流動床式焼却炉における低 NO _x 燃焼技術の検証	Verification of Low NO _x Combustion Technology in Fluidized Bed Incinerator
17 大野市木質バイオマス発電所における タブレット端末の導入事例	Introduction Example of Tablet Computer In Ono City Wooden Biomass Power Plant
22 カンボジア向け浄水設備 1 号機の運転状況	Operational Situation of Our First Water Treatment Project in Cambodia
27 培養槽へのスイングスター® 適用検討	Considerations for SWINGSTIR® Application to Culture Vessel
32 施設・技術紹介	
34 TOPICS	
36 論文発表一覧	

Waste to Energy から Thermo-Recycling の先へ



国立研究開発法人国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター
循環利用・適正処理処分技術研究室

室長 肴倉宏史
Hirofumi Sakanakura

廃棄物の焼却や溶融などの熱処理に伴い発生する大気汚染物質の制御や、廃棄物が保有する熱エネルギーの回収では、新技術の開発や技術レベルの向上に今も多くの努力が注がれています。一方で、焼却灰やスラグなどの「熱処理残渣づくり」についてはどうでしょうか。おそらくは、排ガス処理や熱回収ほどには注力されてきていないように思います。その理由の一つは、排ガス処理や熱回収は熱処理施設内でほぼ完結するのに対して、熱処理残渣への対応は、残渣の受入れ先へ引渡されてしまうからではないかと思われます。

廃棄物の発生を止めることはできません。したがって、廃棄物処理の出口を止めることもできません。熱処理は一瞬ですが、残渣は必ず発生し、そして永久に残る場合がほとんどです。熱処理残渣の持続的なりサイクルや処分は、廃棄物マネジメントにおいて必須です。とすれば、今生み出されている熱処理残渣の性状は、持続的なりサイクルや処分に適しているのでしょうか？あるいは、各々の熱処理残渣に対して今行っているリサイクルや処分の方法は、最適な選択になっているのでしょうか？

欧州では、近年、熱処理残渣からの金属回収、とくに、金を中心とする貴金属回収に力が注がれています。経済的に無視できない価値の金属が含まれているからです。研究は以前から行われていましたが、最近では実機化がめざましく、熱処理残渣の取扱い量で年間10万トンクラスの施設は全く珍しくない状況です。さらに、金属回収後の残渣は有害金属の量も減少するので、環境安全性が向上し、最終処分だけでなく、土木資材としてのリサイクルの適性も高まります。2016年に訪問したスイスのZAV Recycling社はWaste to EnergyからThermo-Recyclingへのパラダイムシフトを謳っていました。まさに我々も目指すべき方向であると思いますが、さらに積極的なことも考えたいと思います。すなわち、熱処理の工程の中で、排ガス処理や熱回収を行いながら、より金属回収や土木資材リサイクルに適した残渣を作れないでしょうか。もし最終処分する場合でも、浸出水への長期的な負荷を考えていくべきです。

私は焼却灰や溶融スラグなど、廃棄物の熱処理残渣という「もの」のリサイクルや処分に向けた性状評価に関する研究に取り組んできました。焼却処理や溶融処理など、そのものを生み出す上流側と、建設現場や最終処分場など、そのものを受入れる下流側の両方を見渡すと、熱処理残渣づくりには研究開発の余地が大いにあると考えています。

流動床式焼却炉における低 NO_x 燃焼技術の検証

Verification of Low NO_x Combustion Technology in Fluidized Bed Incinerator



井上尚子*
Naoko Inoue



多田俊哉*
Toshiya Tada



砂田浩志**
Hiroshi Sunada



伊藤 正**
Tadashi Ito



木下民法**
Taminori Kinoshita

NO_x に対し厳しい管理目標値を定めている廃棄物焼却処理施設の多くは触媒脱硝設備を有しているが、焼却炉での低 NO_x 燃焼が実現すれば設備の簡素化と発電効率の向上が期待できる。今回、実稼働中の流動床式焼却炉にて燃焼試験を行い、低空気比燃焼（空気比1.32）と排ガス再循環（EGR）を組み合わせることで NO_x 濃度を40 ppm 程度まで低減できることを確認した。また、熱流体シミュレーションにより NO_x 発生状況を考察した結果、空気比低減が低 NO_x 燃焼にもっとも効果があることが示唆された。

Most of the municipal solid waste incineration plants with strict regulations imposed on NO_x emissions have a selective catalytic reduction (SCR) process. However, low NO_x combustion can simplify this process and improve power generation efficiency. We conducted combustion tests at an operating plant with a fluidized bed incinerator. It was found that low excess air ratio operation (1.32) using the exhaust gas recirculation (EGR) system was able to reduce NO_x to approximately 40 ppm. Furthermore, after observing the NO_x generation status in simulations using computational fluid dynamics (CFD), it was suggested that low excess air ratio operation is the most effective approach to low NO_x incineration.

Key Words :

流動床式焼却炉
窒素酸化物 (NO_x)
排ガス再循環
低空気比
数値流体力学

Fluidized Bed Incinerator
Nitrogen Oxides (NO_x)
Exhaust Gas Recirculation
Low Excess Air Ratio
Computational Fluid Dynamics

【セールスポイント】

- ・総空気比1.32程度の低空気比燃焼と排ガス再循環を組み合わせることで、実稼働中の流動床式焼却炉において触媒脱硝設備がなくとも NO_x 濃度を40 ppm 程度まで低減できた。

まえがき

窒素酸化物 (NO_x) について厳しい管理目標値を設定している焼却施設では、脱硝効率の高い触媒脱硝 (SCR) 設備を設置するケースが多い。しかし、SCR 設備設置に伴う建設費用増加に加え、排ガスを加熱する場合には蒸気が使用されるため、発電効率

が低下するというデメリットがある。そのため、SCR 設備を用いずに NO_x の低減を行うことができれば、設備の簡素化や発電効率の向上が期待できる。

我々はこれまでに流動床式焼却炉において、燃焼の総空気比低減および押込／二次空気の供給割合の最適化により NO_x の発生を抑制できることを確認

した¹⁾。今回、さらなるNO_x低減を目的に実稼働中の焼却炉にて燃焼試験を行った。また、得られた運転状況と排ガス性状から熱流体シミュレーションを実施し、NO_x発生状況を考察した。

1. 実機試験

1.1 試験方法

試験は処理規模46 t/dayの流動床式焼却炉にて行った。試験を行った炉は、低NO_x燃焼技術の一つとして知られている排ガス再循環(EGR)を行うため、バグフィルタ排ガスの一部を炉内へ供給できるよう改造を施している。EGRガスを炉内に供給することは、炉内温度を下げる効果もある。したがって、これまで炉内が高温になるため実施できなかった、より低い空気比での運転が可能となる。本試験では炉内で発生するNO_xの低減を目的に、EGRを用いた低空気比運転を行った。試験中の総空気比は1.3とし、監視している炉内温度が通常運転時(総

空気比1.6)と同程度になるようEGRガス量を決定した。試験中は排ガス測定を行い、低NO_x燃焼の状況を確認した。図1に試験を行った焼却炉の概略プロセスフローを示す。図1には、併せて排ガス測定を行った位置(SP1:二次燃焼部入口, SP2:二次燃焼部出口, SP3:バグフィルタ出口)も示している。表1に排ガスの測定項目および分析方法を示す。

NO_x, O₂, CO, CO₂についてはプローブから連続的に排ガスを吸引して分析計に通し、連続測定を行った。なお、連続測定はそれぞれのポイントで約2時間ずつ行った。ただし、二次燃焼部入口, 出口(SP1, 2)では排ガス中にダストが多いため、ダストによるプローブの詰まりがしばしば生じる。その際はデータ取得を停止し、圧縮空気逆洗することで都度対応した。その他のガス種については、それぞれのポイントで2回のバッチ分析を行った。

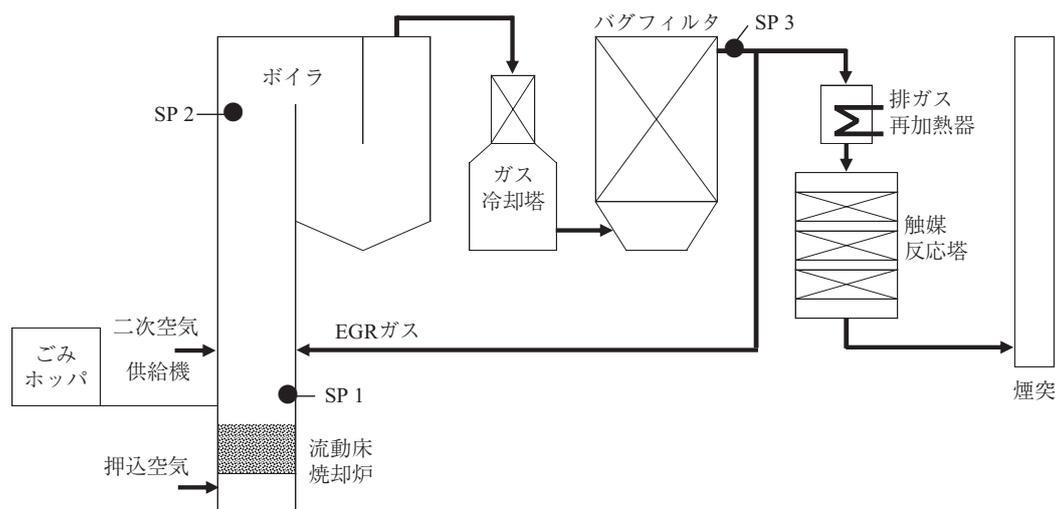


図1 概略プロセスフロー

表1 排ガス測定項目および分析方法

項目	SP 1	SP 2	SP 3	方 法
NO _x	○	○	○	化学発光法
O ₂	○	○	○	磁気風式/ジルコニア式*
NH ₃	○	○	—	インドフェノール青吸光光度法
HCN	○	○	—	4-ピリジンカルボン酸—ピラゾロン吸光光度法
CO	○	○	—	赤外線式
CO ₂	○	○	—	赤外線式
H ₂ O	○	○	—	吸収管
H ₂	○	○	—	TCD- ガスクロマトグラフ
CH ₄	○	○	—	TCD- ガスクロマトグラフ

*SP3でのみジルコニア式を使用

表2 測定結果と運転条件

項目	単位	試験時（低空気比運転時）			通常運転時
		SP 1	SP 2	SP 3	SP 3
NO _x	ppm-dry ppm@O ₂ =12 %	17	77	62	83
		8	44	40	64
O ₂	%-dry	1.2	5.1	7.2	9.6
NH ₃	ppm-dry	1 100	4	—	—
HCN	ppm-dry	71	<0.5	—	—
CO	%-dry	2.9	—	—	—
	ppm-dry	—	50	—	—
	ppm@O ₂ =12 %	—	28	—	—
H ₂	%-dry	1	<0.1	—	—
CH ₄	%-dry	0.5	<0.1	—	—
押込空気比	—	0.32			0.38
総空気比	—	1.32			1.59
EGR 率	%	19			0

1.2 試験結果

低空気比運転時の排ガスの測定結果を表2に示す。連続測定の結果はプローブの清掃時間などを除外した測定値の平均値である。また、表2には通常運転時のSP3（バグフィルタ出口）での排ガス測定結果および測定時の運転条件も併せて示している。ここで、EGR率はBF出口での総排ガス流量に対するEGRガス流量の割合で定義される。

ガス測定の結果、還元雰囲気であるSP1（二次燃焼部入口）ではFuel NO_xの前駆体となるNH₃とHCNが存在しており、NO_xも17 ppmと微量ながら存在している。この結果から、砂層の内部でごみの熱分解によるNH₃、HCNの発生と押込空気との反応によるNO_x生成、およびNH₃、HCNによるNO_xの還元が複雑に起こっていることが窺える。また、NH₃はHCNに比べ砂層での発生量が非常に多いことが分かった。

SP2（二次燃焼部出口）におけるO₂濃度は5.1 %-dryであり、空気比1.3での低空気比運転が実現できていることがわかる。このとき、CO濃度は28 ppm@O₂=12 %であった。しかしながら、同時刻の煙突での測定値は平均5.9 ppm@O₂=12 %であり、COの酸化反応はボイラ下流でも継続しているものと思われる。一方で、NH₃は4 ppm、HCN、H₂、CH₄は検出限界以下となり、二次燃焼部の燃焼状況は良好であったと言える。

SP3での測定の結果、EGRを用いた低空気比運転を行うことでNO_x濃度を40 ppm@O₂=12 %まで

表3 シミュレーション設定

次元	三次元
時間	定常
乱流モデル	k- ω SST
燃焼モデル	渦消散モデル
輻射モデル	DO モデル

抑えられることがわかった。通常運転時のNO_x濃度である64 ppm@O₂=12 %に対して明確な差があり、流動床式焼却炉においてEGRを用いた低空気比運転がNO_x低減に効果があることが確認できた。

2. 熱流体シミュレーション

2.1 シミュレーション方法

炉内のNO_x分布や発生要因が分かれば、炉の設計や燃焼方法の改善に役立てることができる。このような検討において、シミュレーションは非常に有効な手段である。そこで、実機から得たデータを参照してシミュレーションによるNO_x生成挙動の把握を試みた。

シミュレーションには汎用熱流体解析ソフトANSYS Fluent（アンシス・インコーポレイテッドの商標）を使用し、解析領域は砂層表面からボイラ2パス出口までとした。熱流体シミュレーションで使用したモデル等の条件を表3に示す。砂層表面から解析領域に流入する熱分解ガスの流量と組成は、ごみの性状と発熱量および押込空気量から決定した。ガス種にはCO、CO₂、CH₄、O₂、H₂O、Cを考慮した。流入したガス化ガスはボイラ内の二次燃焼領域に吹込まれる二次空気によって燃焼する。焼却

炉部分とボイラ部分の壁面には伝熱条件を与えており、対流と輻射による伝熱を考慮した。NO_xシミュレーションは解析ソフトに搭載されているNO_xモデル (Fuel NO_x, Thermal NO_x, Prompt NO_x) を使用した。今回使用したNO_xモデルは燃焼シミュレーションの結果に対しポスト処理として用いられる。通常運転時の流動床式焼却炉において、シミュレーション上の発生NO_xの大部分を占めるのはFuel NO_xである。Fuel NO_xの前駆体としてはNH₃およびHCNが挙げられる。簡略化のため前駆体をNH₃のみとした場合、Fuel NO_xモデルの反応速度は以下の式で与えられる²⁾。

$$R_1 = A_1 X_{NH_3} X_{O_2}^a e^{-E_1/RT} \quad (1)$$

$$R_2 = A_2 X_{NH_3} X_{NO} e^{-E_2/RT} \quad (2)$$

ここに、 R_1 [s⁻¹] : NO_x生成速度
 R_2 [s⁻¹] : NO_x消失速度
 T [K] : 温度
 X [-] : モル分率
 a [-] : 酸素の反応次数
 R [J/K・mol] : 一般気体定数
 A [s⁻¹] : 頻度因子
 E [J/mol] : 活性化エネルギー

デフォルトの定数を用いた場合のNO_xモデルでは実機の測定結果を再現できなかった。そのため、実機測定結果に合うように上式の定数を調整し、反応速度式を決定した。砂層内で発生するNO_xおよびNH₃については、二次燃焼部入口での測定により得られたデータと砂層の運転状況を鑑みて決定し、砂層表面を入口とし流入条件として設定した。

2.2 シミュレーション結果

本試験 (低空気比運転) および通常運転の条件で燃焼シミュレーションを行った。シミュレーションの結果得られた炉内温度の分布図を図2に示す。分布図からEGRを用いることで低空気比にも関わらず局所的な高温化が抑制されていることが示された。図3に炉内温度の計算結果と実測値の比較を示す。グラフは横軸に炉内温度を、縦軸に砂層表面からの高さをとっている。白いプロットはシミュレーションにより得られた各高さ位置での断面平均温度であり、一方の黒いプロットは熱電対での温度測定結果である。図3より、温度の測定値と実測値は比較的良く一致していることが分かる。次に、O₂濃

度分布の計算結果を図4に示す。シミュレーションにより得られたSP2における低空気比運転でのO₂濃度は5.1% -dryであり、測定値と一致している。これより、シミュレーション結果は実機の炉内環境を良好に再現していると評価し、本計算結果にNO_xモデルを適用した。

NO_xモデルによるシミュレーションにより得られたNO_x濃度の分布図を図5に示す。また、SP2におけるNO_x濃度の計算結果と測定結果の比較を図6に示す。ここで、通常運転時の測定結果はSP3

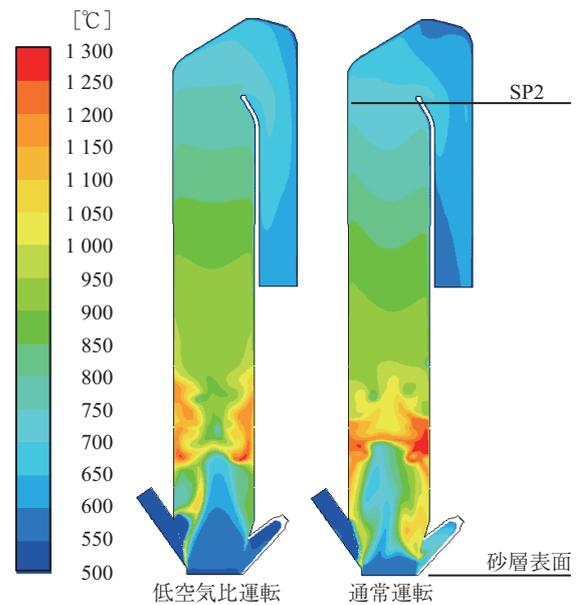
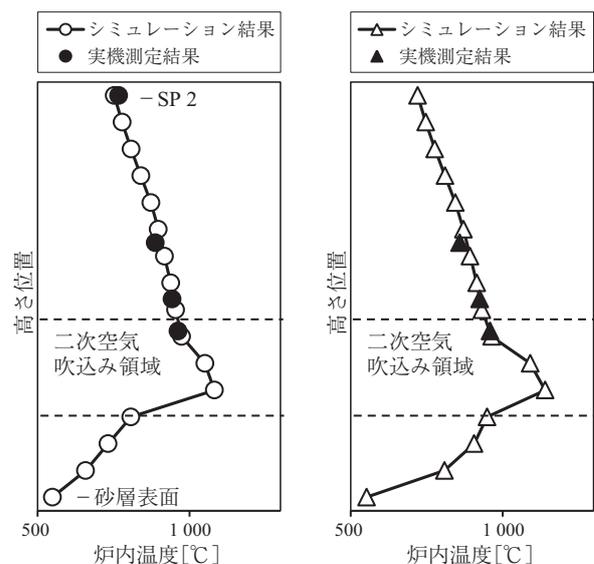


図2 計算結果 (温度コンタ図)



(a) 低空気比運転 (b) 通常運転

図3 炉内温度の計算結果と実測値の比較

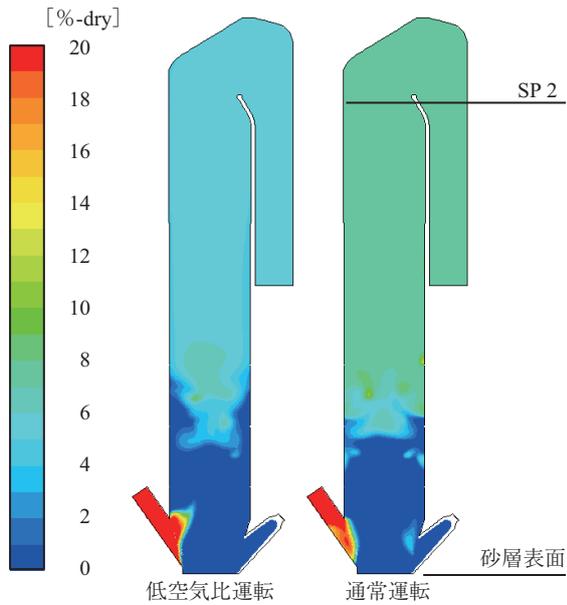


図4 計算結果 (O₂濃度コンタ図)

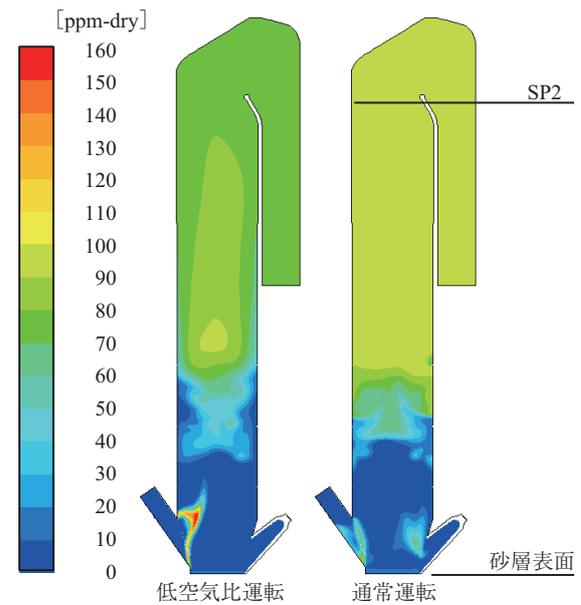


図5 計算結果 (NO_x濃度コンタ図)

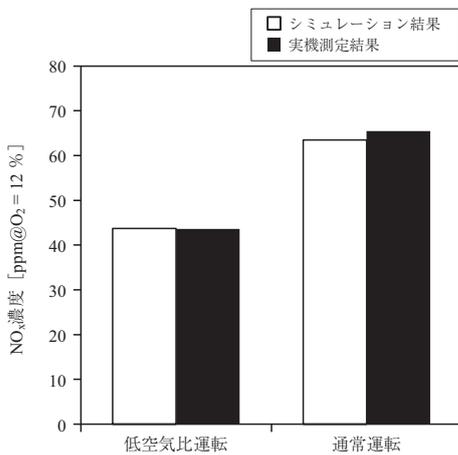


図6 SP2におけるNO_x濃度の比較

(バグフィルタ出口)でのNO_x濃度から算出した。図5より、NO_x生成はSP2の位置でほぼ完結していることが分かる。図6より、本NO_xモデルによる計算結果は低空気比運転時、通常運転時のどちらの測定値とも概ね一致することが確認できた。なお、SP2でのNH₃濃度の計算結果は両条件とも0 ppmであり、実機に近い結果であった。図7にシミュレーションにより得られたNO_x濃度のグラフを示す。図7から、NO_xは主に二次空気吹込み領域の後半にて発生しており、とくに通常運転ではこの領域で急激にNO_x濃度が上昇していることが分かる。NO_x生成に影響を与える因子として、図8、9にシミュレーションにより得られた炉内温度、O₂

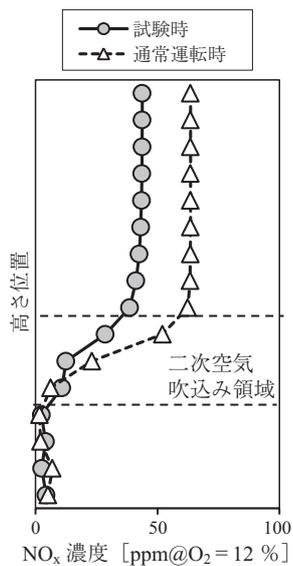


図7 NO_x濃度の計算結果

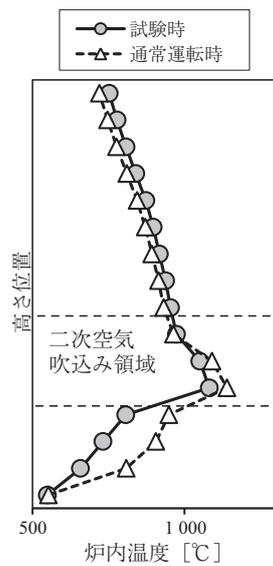


図8 炉内温度の計算結果

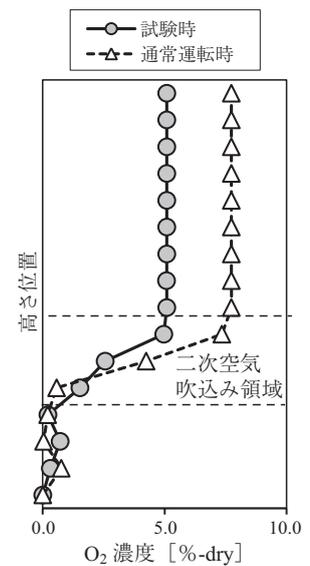


図9 O₂濃度の計算結果

濃度を示す。一般的に炉内温度が高いと NO_x 発生量も増加するが、図 8 に示されるように NO_x が生成する二次空気吹込み領域の後半では炉内温度に大きな差は見られなかった。一方、図 9 において、通常運転では二次空気吹込み領域の後半で O_2 濃度が急激に増加しており、 NO_x の発生挙動と一致していることが分かった。以上のことから、 O_2 濃度の抑制、すなわち総空気比の低減が NO_x 抑制にもっとも効果があることがシミュレーションによる検討で示唆された。

む す び

流動床式焼却炉での発生 NO_x 低減を目的とし、実稼働中の焼却炉にて EGR を用いた低空気比運転試験を実施した。また、得られた運転状況と排ガス性状から熱流体シミュレーションを実施し、 NO_x 発生状況を考察した。それにより、以下の結果が得られた。

1) EGR を用いた低空気比運転を行うことで、バグフィルタ出口での NO_x 濃度を $40 \text{ ppm@O}_2 = 12 \%$ まで抑えることができた。

2) シミュレーションにより NO_x 発生状況について検討した結果、 NO_x は主に二次空気吹込み領域の後半で発生しており、空気比低減が低 NO_x 燃焼にもっとも効果があることが示唆された。

本試験により、低空気比燃焼と EGR を組み合わせることで、流動床式焼却炉において触媒反応塔がなくとも NO_x 濃度を 40 ppm 程度まで低減できることが確認された。

また、今回対象とした流動床式焼却炉において、低空気比運転を含む通常の運転範囲であればシミュレーションにより発生 NO_x を予測できる見込みを得た。本シミュレーション手法は NO_x 生成挙動の把握に有効な手段であると考えており、今後更なるブラッシュアップを進めていく。

[参考文献]

- 1) 砂田浩志ほか：流動床焼却炉における低 NO_x 燃焼の取組み，第36回全国都市清掃研究・事例発表会，(2015)，216-218
- 2) De Soete G.G. : 15th Symposium (International) on Combustion, (1974), 1093-1102

大野市木質バイオマス発電所におけるタブレット端末の導入事例

Introduction Example of Tablet Computer In Ono City Wooden Biomass Power Plant



小川正浩*
Masahiro Ogawa



浦上和也*
Kazuya Uragami



阿部裕一郎*
Yuichiro Abe

福井県大野市に建設した木質バイオマス発電所において、急速に応用分野が広がっているタブレット端末を、現場操作用端末として導入した。中央監視制御装置（DCS）の画面をタブレット端末に表示することにより、現場での運転操作や点検作業に活用した。また、木質バイオマス発電の安定運転のために、ホイールローダにタブレット端末を搭載し、運転員が投入チップの種別および重量を打込むことで、DCSでのリアルタイム管理を実現した。

We introduced a tablet computer whose fields of application are spreading rapidly, for field operation at a wooden biomass power plant in Ono City, Fukui Prefecture. We used it for field operation and maintenance by displaying the same screen as the DCS. In addition, for the stable operation of the biomass power plant, we installed a tablet computer in a wheel loader and developed a screen on which the driver enters the classification and weight of wooden chips. As a result, we succeeded in managing wooden chip feed to the plant in real-time on the DCS.

Key Words :

木質バイオマス発電
タブレット端末
DCS
ICT

Wooden Biomass Power Plant
Tablet Computer
Distributed Control System
Information & Communication Technology

【セールスポイント】

- ・チップの投入管理にタブレット端末を使用することでリアルタイム管理が容易になる。
- ・従来の有線式現場操作盤を無線式タブレット端末に置換え、操作性／信頼性の検証を実施。

まえがき

プラントのプロセス制御は、DCS（Distributed Control System）や PLC（Programmable Logic Controller）+ SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）によって実行されていて、操作が中央制御室から行われる中央集中型の構成となっている。この構成が、プロセス制御の自動化の精度向上

や、省人化に大きく貢献している。

一方で、試運転、点検、トラブル発生時や、機器個別の事情によって、機械設備の直近で動作や状態を観察しながら運転操作する「現場操作」も必要である。この操作を行うために、使用頻度は少ないが、全機械設備に対して、常設の固定現場操作ボタンを個別に設けるといった非効率性を止む無くしている。

こういった課題に対して、かねてから、現場操作盤の省略の代替として、Ethernetのコネクタを現場各所に設け、ハンドヘルドコンピュータを必要時のみに接続して用いたり、現場制御盤に可搬形タッチパネルを接続したりする試みを実施してきた。しかしながら、可搬形のメリット以上に、運転員が操作の複雑さを感じて馴染まず、期待ほど定着してきたとは言えない状態である。

社会情勢として、日常生活の中でスマートフォンやタブレット端末などのモバイル端末が急速に普及し、運転員の端末操作への抵抗感が少なくなっている。また、この普及が、機器の性能やサービス、機種の多様性、無線通信の高速化と信頼性の向上を誘導していて、タブレット端末のプロセス制御への適用が有効になってきた¹⁾。

本稿では、大野市木質バイオマス発電所において、現場操作用としてタブレット端末を適用した事例について報告する。

1. 大野市木質バイオマス発電

1.1 木質バイオマス発電所

当社では、再生可能エネルギー固定買取制度を活用した木質バイオマス発電を実施するため、2014年3月に(株)福井グリーンパワーを設立し、2016年4月に福井県内で発生する間伐材を中心とする木質バイオマス発電事業を開始した。

発電プラントには、当社でごみ焼却分野および下水汚泥焼却分野において豊富な実績を有する流動床式焼却炉の従来技術をブラッシュアップし、より高効率な発電を可能とする流動床式ガス化燃焼炉を適用した。

1.2 プロセスフローの概要

本発電所の全景を写真1に、設備概要を表1に、チップ貯留ヤードの写真を写真2に示す。

1.2.1 木質チップの流れ

発電所敷地内に13 000 m² (15 000 t) の貯木のスペースを所有し、そこで保管された原木を、チップ化している。作られた木質チップをホイールローダで、チップ貯留ヤードから受入ホッパへ運び投入する。受入ホッパ内に投入されたチップは、ホッパ下部に設けた受入ホッパ切出し装置により、供給コンベヤに運ばれる。供給コンベヤから計量コンベヤに運ばれたチップは、搬送コンベヤ、シールゲートを通してガス化炉に投入され、熱分解される。

1.2.2 排ガスの流れ

ガス化炉内で燃焼した排ガスは排熱ボイラに送られ、熱エネルギーを蒸気として回収、排ガスは冷却された後、エコノマイザへ送られる。エコノマイザを出た排ガスは、バグフィルタに送られる。

表1 木質バイオマス発電所の概要

発電所名	福井グリーンパワー大野発電所
所在地	福井県大野市七板41号2番地
敷地面積	31 033 m ² (内、貯木場が13 000 m ²)
操業開始	2016年4月
発電規模	7 000 kW (一般家庭約1万5 000世帯分)
ボイラ型式	流動床式ガス化燃焼炉
想定する燃料	間伐材 (原木) 40 000~50 000 t/年 一般木材 (チップ、製材端材等) 10 000~20 000 t/年 リサイクルチップ 5 000~10 000 t/年 合計 70 000~80 000 t/年



写真1 木質バイオマス発電所全景



写真2 チップ貯留ヤード

1.2.3 蒸気の流れ

排熱ボイラにて発生した蒸気は、蒸気タービンに送られ、発電された電気は、特別高圧変圧器にて6.6 kV から77 kV に昇圧された後、構外の送電線に送られる。

上記の発電運転は自動制御化されており、中央制御室にて常時運転員が発電所全体の状況を監視している。

2. タブレット端末の導入

2.1 導入のメリットとデメリット

当社においても、製造現場の保守・点検業務のツールとして、また、工事現場の図面閲覧用として、タブレット端末の利用が拡大している。同様に、プロセス制御の現場操作にも利用できることが期待される。

現場操作用として、タブレット端末を利用する際のメリットとして、①省配線により電気工事のコスト縮減、工期短縮が図れること、②機械設備の増設や変更への対応が容易であること、③移動体やアクセス困難場所、遠隔地への設置が容易なこと、④固定の現場操作機器自体が削減可能なこと、⑤現場から直接データ入力ができ、記録や報告のための紙面節約と、再入力や誤記を減らせることなど、業務の質の向上やコストダウンに資することができる。

一方、デメリットとして、①画面の大きさに制限があり、一般的に表示／操作部が小さく、操作性や視認性に劣ること、②端末機器の耐環境性に劣り、現場携行に向いていないこと、③端末の持運びが増え、また、通信操作中はハンズフリーになれないこと、④無線通信の安定した接続に懸念があること、⑤セキュリティやデータ漏洩について心配があることなどが挙げられる。

そこで、これらのデメリットを克服しつつ、メリットを活かすために、本案件でタブレット端末を試用し、実用レベルでの有用性と課題の抽出を行った。

2.2 適用場所の選定

本案件で、タブレット端末の適用の可否を判断するために、次のような適用場所を検討した。

2.2.1 現場操作用

タブレット端末導入の対象として、比較的現場での個別操作の少ない、エコマイザストブロー(10台)、機器冷却水冷却塔ファン(14台)の現場操作用とした。その他の現場操作は、従来の固定操作スイッチ箱(IDECC製)を残すことにした。

2.2.2 チップ投入管理用

木質バイオマス発電では、原料となるチップの種



写真3 現場操作用タブレット端末

別および重量により、ボイラへの投入熱量の管理が重要である。また、チップは、運転員によりホイローダで受入れホッパに、手動投入されているので、中央制御室の発電所全体管理とのリアルタイムの通信が必要である。

そこで、チップ投入管理(種別・投入回数・重量)は、ホイローダに搭載したタブレット端末から、運転員によりチップ投入データを打込むこととした。

この試みは、タブレット端末や無線装置の大きな特長である、有線での配線が困難である移動体からのリアルタイム通信の検証である。

2.3 タブレット端末の選定

現場操作用とチップ投入管理用の用途に合わせて2種類の別々のタブレット端末を選定した。

2.3.1 現場操作用

現場操作用は、タブレット端末を屋外に持ち出して、現場での操作が主となるため、保護等級IP65準拠の防塵・防滴性能に優れたタブレット(Panasonic製タフパッドFG-Z1)を採用した。サイズは、屋外でも操作性が良い比較的大きい画面(10.1インチ)を選定した。付属品はショルダーケースを付けて、通常の保守・点検業務に使用し易いように工夫をした。写真3に現場操作用タブレット端末を示す。

2.3.2 チップ投入管理用

チップ投入管理用は、通常運転時はホイローダ運転席で使用するため、一般的な比較的安価なタブレット(東芝製タブレットPC PS38-22MNVG)を選定した。車内での固定方法は、ドリンクフォルダにスタンドを取付けて固定した。固定強度を保つため、8インチの薄型・軽量ボディの型式を選定し

た。また、チップ投入の作業は24時間運転のため、タブレット端末の再充電要求が懸念されるが、シガーソケットより電源を給電することにより解決した。写真4にチップ投入管理用タブレット端末の設置状態の写真を示す。

3. 設置の計画

3.1 アクセスポイントの選定

発電所敷地内の各所（4箇所）に屋外用無線LANアクセスポイントを設置して、DCSにより構成される情報用LANを無線に載せて伝送した。アクセスポイントは、別途電源供給が不要なPoE（Power over Ethernet）型を用いて、動力ケーブルの工事費用を削減した。

電波は指向性を持っているが、2.4 GHz帯の場合、途中の障害物がない直線距離で、アクセスポイントから約100 mの範囲まで伝送することが確認できた。高さ方向に関しても、プラント各所の構造物に反射をして、構内でもっとも高所の地上31 mのフロアまで伝送できることを実測で確認した。



写真4 チップ投入管理用タブレット端末

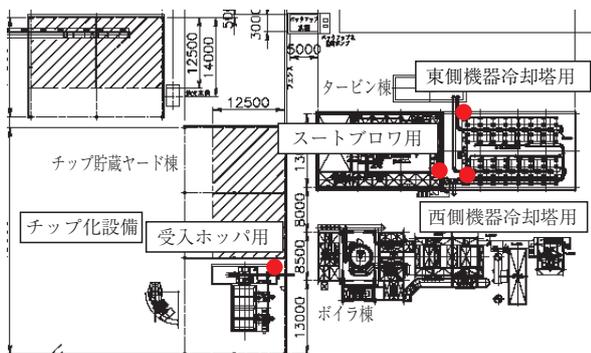


図1 アクセスポイント設置箇所

図1にアクセスポイントの設置箇所を示す。受入ホッパ用、エコマイザーストブロワ用、東側機器冷却塔用、西側機器冷却塔用の4箇所を設置した。

3.2 設置上の工夫

設計上の注意点として、屋外にEthernetケーブルを敷設することにより発生するノイズ（誘導雷等）の悪影響が挙げられる。対策として、屋外からの入線箇所にはアレスタを設置することとした。また、ケーブルは屋外用のSTP（シールド付ツイストペアケーブル）を用いて適切な接地を施し、ノイズの混入を低減させた。

4. 操作画面の設計

4.1 現場操作画面

ストブロワと冷却塔ファンの現場操作画面は、ダブルタップ操作により、画面を拡大することも可能であるので、タブレット端末の特殊画面を製作せず、DCSの画面をそのまま表示することとした。タブレット端末にはDCSの操作画面を表示させて、画面上からタッチペンを用いて操作を行った。

4.2 チップ投入管理画面

ホイロードに搭載したタブレット端末に、投入チップ選択画面と投入チップ重量選択画面の2つの画面を表示させた。運転員によりチップを投入する度に1回ずつ投入ボタンを押下して、中央制御室のDCS画面で管理することとした。

操作手順は、投入チップ選択画面で、投入するチップの種別を選択する。選択したチップの画面の色が変わったら、投入を押下する。誤動作をしてしまったときは、キャンセルを押下する。これらの操作によって、投入チップ重量確認画面の「投入重量(kg)」に積算値が表示される。「重量/投入(kg/回)」から、1回の投入量(kg)を変更することができる。「投入回数(回)」に投入回数が自動カウントされる。入力されたデータは、最終的には帳票にて日報・月報として管理される。

以下の図2に投入チップ選択画面、図3に投入チップ重量確認画面を示す。

5. 導入の成果

チップ投入管理用のタブレット端末を使用することで、ホイロード運転者からリアルタイムに投入チップの情報を中央に伝達することができ、データ入力の省力化および投入の履歴管理を容易にできるようになった。

また、現場操作盤用タブレット端末は、ストブロワおよび冷却塔ファンの単体運転において、従来



図2 投入チップ選択画面



図3 投入チップ重量確認画面

の現場操作盤と比較して、操作性に問題なく、かつ、運転状況をタブレット端末のDCS画面で確認しながら行えるため、作業効率が上がったと考える。

画面のコンパクト化は、操作性とはトレードオフの関係にあり、多くの現場運転員に受入れられる調和点の追求が必要である。さらには、操作頻度や、運転員の積極度、習熟度による影響も大きい検討要素である。

耐環境性については、現場向きの仕様の端末も発売されてきており、次第に解決されつつある。また、端末自体の価格が10万円以下程度と安価になってきており、万が一の故障の際にも、新品への更新の高値感が軽減されてきているのは、導入への好条件である。

無線機器の信頼性については、本案件での試用において、雨や積雪、雷発生時などもとくに障害が起きなかった。

むすび

チップ投入管理画面のように、現場操作用の画面

をあらたに設定する場合は、運用を通じて運転員の改良アイデアや運転方法の限定などで、より使い易い画面に成長できる。今後は、誤操作の防止や減少、誤操作後の回復方法など、より使いやすいものを目指したい。

また、タブレット端末が持つカメラ機能、画像表示機能、音声認識機能などについても利用価値がある。これらの機能を利用して、上り方向である現場からの操作ばかりでなく、下り方向の情報伝送により、現場でプラント全体の状況把握ができ、保全やトラブル対応などにおける作業効率の最適化につながるように試行して行きたい。

最後に、試運転当初よりタブレット端末を熱心に活用頂き、貴重なご意見、ご要望を賜りました、株式会社福井グリーンパワーの皆様にご心より厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) モバイル/ウェアラブル端末によるこれからの作業支援・運転支援, 計装, Vol.59, No.5, pp.9-57 (2016)

カンボジア向け浄水設備 1号機の運転状況

Operational Situation of Our First Water Treatment Project in Cambodia



大野 進*
Susumu Ono



田路明宏**
Akihiro Toji
技術士（衛生）

2014年2月に当社が初めてカンボジアに納入した浄水設備の運転が開始された。日本では上水道・簡易水道向け、工場用水向けとして多数の実績のある銅板製浄水処理設備（凝集・沈殿、急速ろ過）であり、価格、処理性能、維持管理性、安定運転実績が現地企業に評価され採用に至った。運転開始後約2年半が経過し、一般住民へ上水を供給する送配水配管延長も順次行われており設備の稼働率も向上している。順調に継続している運転状況を紹介する。

Our first water treatment system in the Kingdom of Cambodia commenced operation in February 2014. The system is a steel-fabricated water-treatment system, the functions of which are coagulation / sedimentation and rapid sand filtering; many such systems have been installed in Japan for water treatment works, small-scale water works and industrial plant. The system was adopted based on customer evaluation of its competitive price, high performance, maintainability and stable operation record. Two and half years have passed since the start of operation and the system's operation rate is increasing together with the expansion of the water supply pipe network. This report introduces the operation status.

Key Words :

自動サイフォンフィルター	Auto Siphon Filter
浄水設備	Water Treatment System
逆洗	Backwash
急速ろ過	Rapid Sand Filter

【セールスポイント】

- ・当社で初めてのカンボジア上水道向け案件
- ・日本で長年培った技術の新興国への適応
- ・サイフォンを使った確実な自動逆洗機能

まえがき

カンボジアの上水道は首都プノンペンにおいては給水率90%、漏水率一桁という非常に高い整備水準に達している。一方、地方都市や、農村部においてはまだまだ浄水場が足りておらず、未処理の水を生活用水として利用せざるを得ない住民が多数存在

している。カンボジア政府は2025年までに国民の9割に浄水を送配水管により供給可能とし、残り1割には他の方法により供給可能とする方針を打出している。

大都市、中核都市での浄水場の拡張も行われるが、これを補完する一つの方策として、上水道を所

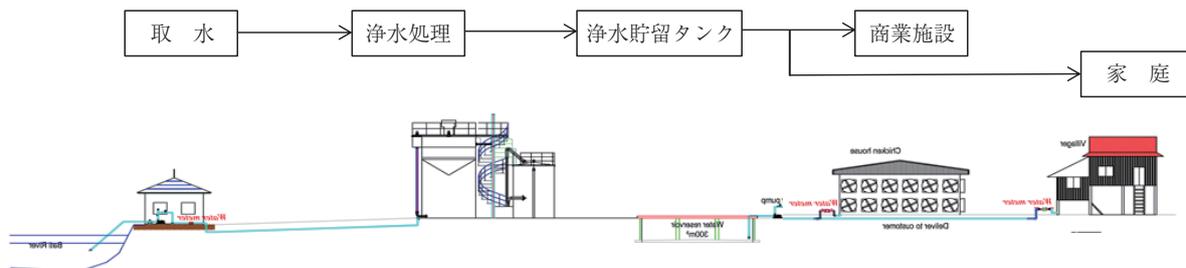


図1 全体フロー



写真1 浄水処理装置

管する工業手工芸省（MIH: Ministry of Industry and Handicraft）が浄水場の無い地域については民間事業者が一定のプロセスを経れば地区ごとに水道事業ライセンスを付与する制度が整備されている。現在約170件（2016年10月資料）のライセンスが民間事業者に付与されていると MIH により公表されている。

当社は、この民間事業者の一つであり、プノンペン市から車で約1時間南下したタケオ州 Krang Thnong 浄水場に鋼板製浄水処理システムを納入し、安定的に良好な水道水を供給している状況について紹介する。

1. 施設の概要

1.1 全体フロー

本浄水場はカンボジア企業の SOMA 社が20年間の水道事業ライセンスを取得し、タケオ州 Bati 湖を水源として隣接する SOMA Farm 敷地内に建設されている。8集落、約2 000世帯、約10 000人および商業施設が給水対象である。日量最大1 080 m³の浄水処理設備の計画に対し、当社システムが採用された。

取水は人工水路により水を引込み自然沈砂を行い、揚水ポンプにて浄水場へ送水している。当社の浄水処理システムにて飲料水基準値以下まで処理し

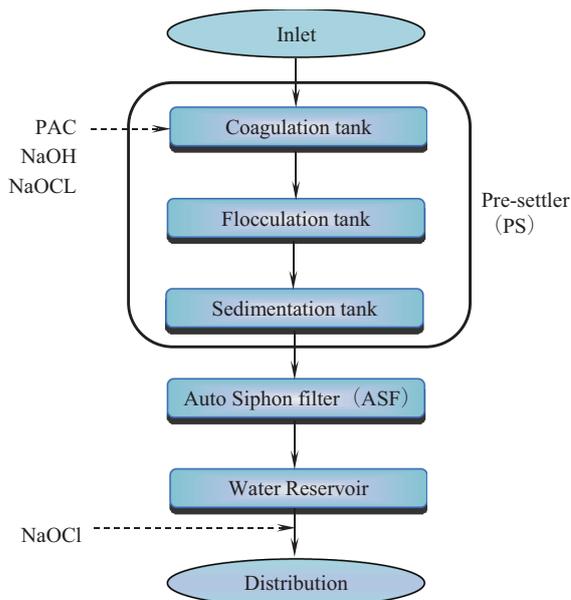


図2 浄水プロセスフロー

た後、浄水貯留タンクを経て各家庭へポンプ圧送されている。送水ポンプはインバーター制御されており、消費電力を抑える取組みがなされている。浄水貯留タンクは浄水処理能力の12時間相当の貯水量である600 m³の容量を擁している。最終的な総配管延長は約50 km を予定しており、順次配管敷設個別接続を行っている。

当社は2013年12月に浄水処理システム（写真1）を納入し、2014年2月より商業運転開始した。全体フローを図1に示す。

1.2 浄水設備の概要

本浄水処理システムは凝集・沈殿機能を一体化させたプリセッター（PS）とサイフォン機能を活用した省エネルギー型の急速ろ過である自動サイフォンフィルター（ASF）で行われる。（図2）

まず、着水井の後に PAC（凝集剤）、前塩素、NaOH を定量ポンプにて注入、薬品混和槽を経て、立下り配管で下部へ送水する。その後上向流で上昇

しながら浮遊懸濁物質のフロックを形成し凝集，傾斜管にて沈降分離後，上澄水が次の急速ろ過工程へと送られる。沈降した汚泥は汚泥貯槽トラフに溜まり定期的に系外へ排出する構造となっている。

急速ろ過工程では当社が日本国内で多数の納入実績を持つ ASF を採用している。ASF は，重力式急速ろ過の一形式である。ろ過工程が進み，ろ層の抵抗（圧力損失）が所定値に達すると，水理学的原理を巧みに取入れた逆洗サイフォン管が逆洗水貯槽に自己保有している逆洗水を自動的に逆流させ，ろ層の洗浄が効率的に行われる。ろ過→逆洗→ろ過の工程を切替えるための弁および制御機器を一切必要としないことからシンプルで故障の無いのが特長である（図3）。

運転要員や制御機器の操作が不要となり，他形式のろ過装置と比べて，維持管理費をはるかに低くおさえることが可能である。運転員の能力に左右されることなく常に必要な逆洗と，良質なるろ過が行われる仕組みとなっている。

1.3 処理性能

日本では水道水として用いられる時は水質基準に従い，濁度は2度以下に適合するろ過速度にて計画する。今回はカンボジアでの水道水質基準に従い，濁度は5NTU 以下に適合するろ過速度にて計画し

た。その他の水道基準はカンボジア水道水質基準（Prakas on National Drinking Water Quality Standards: 2015）に適合している。カンボジアではまだまだ分析技術が未熟で，分析機関が多くないことから民間事業者による日常分析，3カ月毎，年1回の第三者機関での分析と項目が分けられている。

設計当初の原水水質（抜粋），カンボジアの水道水質基準（2015）を表1，2に示す。

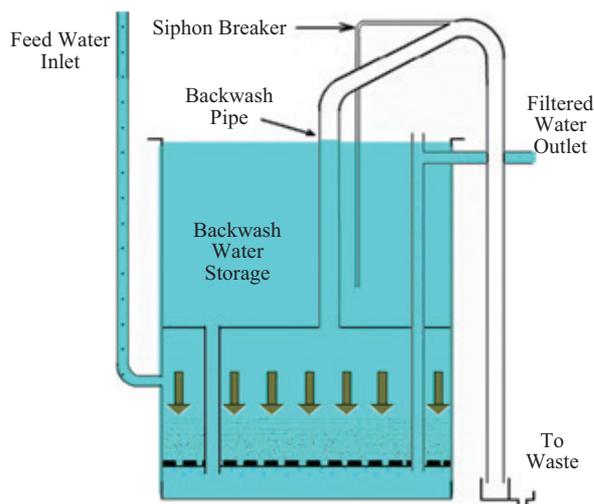


図3 自動サイフォンフィルタ

表1 Raw water characteristics

No	Parameter	Unit	Raw water Testing Result
1	Arsenic	μg/l	0
2	Chloride (Cl)	mg/l	0.95
3	Manganese (Mn)	mg/l	<0.001
4	Total dissolved solid (TDS)	mg/l	50
5	Iron (Fe)	mg/l	≤0.4
6	Nitrate (NO ₃)	mg/l	0.58
7	Nitrite (NO ₂)	mg/l	0.08
8	Ammonium (NH ₄)	mg/l	0.13
9	Sulfate (SO ₄)	mg/l	<0.001
10	Total hardness (CaCO ₃)	mg/l CaCO ₃	20
11	Calcium (Ca)	mg/l	<0.05
12	Magnesium (Mg)	mg/l	1.92
13	Copper (Cu)	mg/l	0.18
14	Zinc (Zn)	mg/l	0.06
15	pH	mg/l	6.61 (6.5~8)
16	Turbidity	NTU	≤39.6
17	Total coliform	Colony/100 ml	≤9 800
18	Escherichia coli	Colony/100 ml	0
19	Total plate count	Colony/1 ml	≤1 088 000
20	Fecal enterococcus	Colony/100 ml	≤300

表2 カンボジア水道水質基準 (2015)

No.	Parameters	Parameters		Exception	Formal inspection level		
		Unit	Max Permission		Daily	Every 3 month	Annual
Micro-biological							
1	E.coli/bacteria	CFU or MPN/100 ml	0			✓	
Chemical							
2	Al	mg/l	0.2	Using alum		✓	
3	NH ₃	mg/l	1.5			✓	
4	As	mg/l	0.05	underground water			✓
5	Ba	mg/l	0.7				✓
6	Cd	mg/l	0.003				✓
7	Cl ⁻	mg/l	250			✓	
8	Chlorine	mg/l	0.1-1.0	Using Chlorine	✓		
9	Cr	mg/l	0.05				✓
10	Cu	mg/l	1	In home use Cu pipe			✓
11	F	mg/l	1.5	underground water			✓
12	Total CaCO ₃	mg/l	300	underground water		✓	
13	Fe	mg/l	0.3	underground water		✓	
14	Pb	mg/l	0.01				✓
15	Mn	mg/l	0.1	underground water		✓	
16	Hg	mg/l	0.001				✓
17	NO ₃ ⁻	mg/l	50			✓	
18	NO ₂ ⁻	mg/l	3			✓	
19	Na	mg/l	250	beach case			✓
20	SO ₄ ²⁻	mg/l	250			✓	
21	Zn	mg/l	3				✓
Physic							
22	Color	TCU	5		✓		
23	pH	n/a	6.5-8.5		✓		
24	TDS or electric able	mg/l or μS/cm	800 or 1 600		✓		
24	Turbidity	NTU/FTU	5		✓		
26	Taste & Odour	-	acceptable		✓		

2. これまでの経過およびプラントの運転状況

2.1 取水ポイントの変更

当初は Bati 湖隣接地に取水ポンプを設置し、直接取水していた。2014年後半に渇水時の水位低下対策として、水路を作り導水した。工事直後に掘削工事影響により土質由来と思われる原水濁度、マンガン値が一時的に上昇したことから、客先への前塩素注入量の増加および残留塩素管理の適正化指導を実施した。また運転開始後1年半経過時にろ過砂、下部集水装置の点検、清掃、交換を実施した。

2.2 給水管延長

接続料金が有料となることから当初は契約件数が低くなっていたが、良好な水道水が給水され始めると安心、安全な水が給水されることが住民に口コミ

で広まり、ニーズが高まった。送配水配管供給の無かった地域ではこれまで未処理の水を生活用水として利用しており、適正に処理された水道水に対する認識が乏しい。そのため水道事業者では個別接続契約に来場された顧客に対して、フローシートパネルを用い、原水の状況、浄水処理方法、使用薬品、残留塩素の役割など一つ一つ丁寧に説明が行われている。

総給水管延長は約50 km、すべて高密度ポリエチレン配管 (HDPE)、口径は63 mm ~225 mm の範囲で計画されている。予定対象供給エリアは4つのゾーンに分けられ給水管敷設延長を本格化し、2017年度中には約1 400世帯、対象エリアの約70 % の世帯へ給水可能となる体制を目指している。(写真2, 3)



写真2 HDPE 管敷状況



写真3 生活用水による子供の水浴び

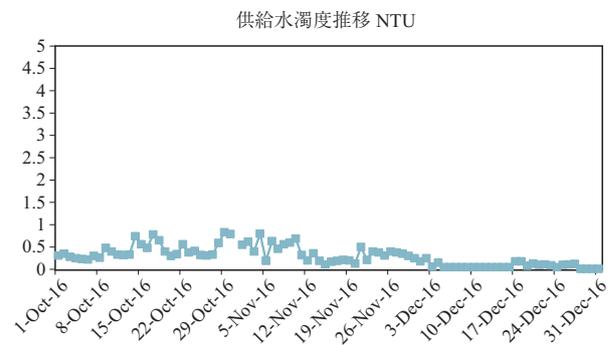


図4 直近3カ月の原水および供給水 濁度推移

2.3 現在の運転状況

浄水場の運転管理は SOMA 社スタッフ10名で実施しており、アドミチーム、浄水処理チーム、送配水チームに分かれて日々の運転維持管理、水道メーター検針／料金徴収、配管敷設延長工事を行っている。

原水水質は納入時から大きな変化は無い。直近3カ月の濁度変化については図4のとおりである。東南アジア特有のスコール等の影響により原水濁度濃度は不安定である。しかし、供出水質については常時濁度1NTUを下まわっており安定的な処理が行われている。

工場の進出、人口増加など少しずつではあるが原水水質の汚染は進んでおり、地方政府、地域住民が一体となった水源管理をしていく必要性が見え始めている。本件については水道事業者、地方政府、地域が一体となり水質保全について活動を行うことで話し合いが持たれている。

3. 今後の展望

カンボジアの都市部以外ではまだまだ上水道普及

率が低く、経済成長に伴い中核都市、地方都市でも上水の必要性が高まってきている。1号案件の納入時には、質よりも量を求める声が多く聞かれたが、最近では量と同時に質も求められてきており、当社が日本で長年培った処理技術、運転ノウハウが貢献できると考えられる。

むすび

本カンボジア1号案件の実績が評価され、他都市に納入した2号機案件も、ほぼ1年間安定運転が行われている。現在は3号機案件の計画が進んでおり、現地生産／調達によるコストダウンを検討中である。近隣諸国のベトナム、ミャンマーでの浄水処理設備の納入にも繋がることを期待されることから、これからも運転データ、ノウハウの蓄積を行い、日本の知見に加え現地に適したシステム提案を行っていく。

[参考文献]

- 1) 飛翔 神鋼パンテック40年史

培養槽へのスイングスター® 適用検討

Considerations for SWINGSTIR® Application to Culture Vessel



小川智宏*
Tomohiro Ogawa



半田裕利*
Hirotochi Handa



加藤知帆*
Tomoho Kato



山上典之*
Noriyuki Yamagami

スイングスターは独自の旋回攪拌方式を採用した、非回転式のコンタミレス攪拌翼である。スイングスターの低せん断攪拌という特長により麹菌の培養においてタービン翼よりも高収率となる結果が得られている。今回スイングスターのガス吸収性能を測定し、これまで報告されている従来型回転方式の攪拌翼と同様にガス吸収容量係数 k_La は単位液量あたりの攪拌動力 P_v とガス空塔速度 U_g で推算できることを確認した。

The SWINGSTIR is a non-rotating contamination-less impeller that uses an original swing-based mixing system. The yield rate for a culture of *Aspergillus oryzae* was higher than that of a double Rushton turbine impeller because of the SWINGSTIR's featured low shear stress agitation. We measured the gas absorption performance of the SWINGSTIR and confirmed that the overall capacity coefficient of gas absorption of the SWINGSTIR could be estimated from the power consumption per unit mass of liquid for agitation and the superficial gas velocity as has been reported for conventional rotating impellers.

Key Words :

ガス吸収
 k_La
スケールアップ

Gas absorption
Overall capacity coefficient of gas absorption
Scale-up

【セールスポイント】

- ・非回転式旋回攪拌
- ・低せん断攪拌翼

まえがき

スイングスターは非回転の旋回方式攪拌を行うことで、回転摺動部のない独自のフレキシブルシールを採用したコンタミレス攪拌機^{1), 2)}である。またスイングスターは、その低せん断でかつ高い混合性能により、麹菌の培養においてタービン翼よりも高収率となる結果が得られている³⁾。培養については混合性能とガス吸収性能が重要な因子である。スイングスターの混合性能について既報^{1), 2)}にて詳述

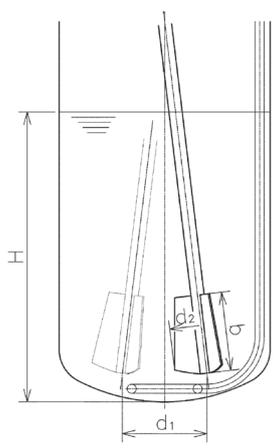
しているが、ガス吸収性能についての研究はこれまで成されていない。

本稿では、スイングスターによる通気攪拌においてガス吸収性能と攪拌条件、通気量、液粘度との関係を実験により把握し、その関係を一般的な相関式にまとめ、スケールアップ時の各因子の変化を表現する試みを加えた。

1. テスト装置およびテスト方法

本テストで使用したテスト装置の概要と各寸法比

表1 スイングスター テスト装置概要

		φ400 テスト装置
形状		
液量	H/D	1.38
旋回径	d1/D	0.4
翼幅	d2/D	0.3
翼高さ	b/D	0.375

を表1に示す。スイングスターは非回転で旋回運動を行う攪拌翼であり、翼スパンに加えて旋回径がパラメータとして加わる。

ガス吸収性能の測定は、次の方法によった。まずテスト液にスパージャーから窒素を通気して液中の酸素を置換した後、攪拌および通気しながら溶存酸素を測定し、次式にて液側物質移動容量係数 $k_L a$ を算出した。

$$k_L a = \frac{\ln(C_i - C_0) - \ln(C_i - C)}{t} \quad (1)$$

ここで、

- C_i : ガス飽和溶解濃度
- C_0 : 初期ガス溶解濃度
- C : 任意の時刻におけるガス溶解濃度
- t : 任意の時刻

である。また溶存酸素の測定には蛍光式溶存酸素計 (WTW 社製溶存酸素計 FDO MULTI3510 型) を用いた。

2. スイングスターのガス吸収特性

2.1 ガス吸収測定結果

スイングスターによって得られた水-空気系の $k_L a$ を、横軸に単位液量当たりの攪拌動力 P_v に対してプロットし、図1に示す。比較のため2段タービン翼に

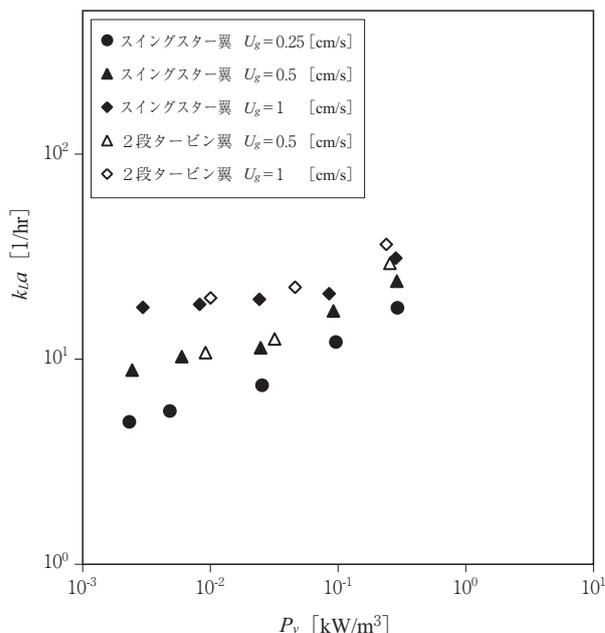


図1 スイングスターおよび2段タービン翼のガス吸収

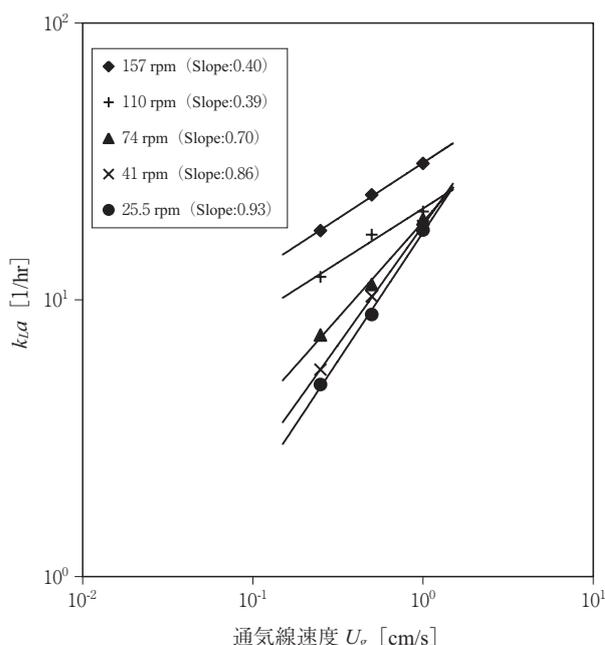


図2 スイングスターにおける U_g と $k_L a$ の関係

よって得られたデータも示す。 $P_v = 0.1 \text{ kW/m}^3$ を超えると2段タービン翼の方がやや高い $k_L a$ をもたらす。タービン翼は、高いせん断力で気泡を微細化することにより高 $k_L a$ を実現する攪拌翼であり、高攪拌動力をかける領域では当然の結果と言えるが、 $P_v < 0.1 \text{ kW/m}^3$ の低動力の領域ではスイングスターと2段タービン翼との間に大きな差異は見られない。

図2はスイングスターの各回転数における空塔ガ

ス速度 U_g と $k_L a$ の関係を示したものである。従来の回転式攪拌翼の $k_L a$ は、通気支配状態では U_g の1乗、攪拌支配状態では U_g の1/3乗に比例する。今回のテスト条件は麹菌での培養³⁾で実績のある通気支配と攪拌支配が混在する領域にてデータを収集した。その領域にて $k_L a$ が1乗から1/3乗に徐々に近づいていく傾向は従来の回転式攪拌と同様であった。

2.2 通気支配と攪拌支配

ガス吸収において通気支配と攪拌支配が混在する状態における $k_L a$ は、

$$K_L / P_{av}^{1/3} = A \cdot P_{gv}^\alpha + B \cdot P_{av}^{2/3} \{P_{av} + P_{av}/N_p\} \quad (2)$$

$$P_{av} = U_g \cdot g \quad (3)$$

で表すことができる⁴⁾。ここで、

A, B, α : 翼種を含む装置形状および物性値から得られる係数

P_{av} : 液単位重量当たりの通気動力

P_{gv} : 液単位重量当たりの攪拌動力

である。スイングスターによって得られた結果を、式(2)の形式にしたがってまとめ、図3に示す。

図3から $P_{gv} < 10^2 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^3$ は通気支配領域、 $P_{gv} > 10^4 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^3$ は攪拌支配領域として区別することができる。同様の結果は培養でよく用いられるディスク

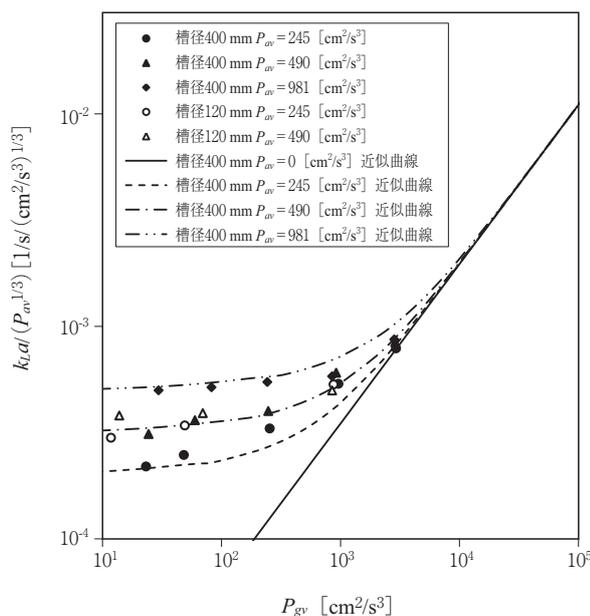


図3 スイングスターの $k_L a$ と通気ガス量の相関

タービン翼でも得られている⁴⁾。また同図に $\phi 120 \text{ mm}$ のテスト機で得られた値をプロットしている。 $P_{gv} < 10^2 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^3$ の通気支配領域で $\phi 120 \text{ mm}$ の方が $\phi 400 \text{ mm}$ よりもやや高い値を示しているのは、通気状況の違いによる影響が考えられるが、 $\phi 120 \text{ mm}$ でも $\phi 400 \text{ mm}$ による結果と同様の相関関係が得られている。

また図中の実線はスイングスターによる結果を式(2)により、攪拌動力の指数項 α をパドル翼と同じ0.75として最小二乗法で近似したラインである。ただしスイングスターの動力数 N_p を直接用いるのではなく、投影径と旋回径の比の2乗を掛けて補正する必要があった。スイングスターの N_p は投影径で定義されているが、この補正により径回転式攪拌機と同じ式で相関でき、実データに近い曲線が得られた。この点の詳細については未だ解明できておらず、今後、さらにデータを増やして明らかにしていきたいと考える。

また $P_{gv} \approx 10^3 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^3$ 以上の攪拌の影響が強くなっている領域において、各実測値と近似曲線との間の差が見られる。スパージャーの吹出し孔の位置について、今回テストで使用したスパージャーはタービン翼用に缶内中心部にガス吹出し孔を配置したものである。スイングスターは槽中心部で下降流、槽壁面で上昇流となるフローパターンを形成するため、槽中心部からガスを吹込むと流れが阻害されることが影響している可能性がある。今後、ガス吹出し孔を槽壁面側に設置するなどにより改善を検討していきたい。

いずれにしてもスイングスターのガス吸収容量係数 $k_L a$ は、タービン翼のような従来の攪拌翼と同様に、単位液量あたりの動力 P_v とガス空塔速度 U_g で推算できることが確認された。よってスイングスターについてもラボスケールの培養で得られる $k_L a$ を用いて実機へスケールアップが可能であり、3節にスケールアップ検討例を紹介する。

2.3 液粘性の影響

培養中に液粘度が上がると、ガス吸収性能が低下する。粘性液でのガス吸収性能を確認した。粘性液としてはニュートン流体である水あめ水溶液を用いた。図4は空塔ガス速度および翼回転数を一定とした場合の液粘度 μ と $k_L a$ の関係を示したものである。液粘度が高くなると気泡まわりの境膜が厚くなるなどの影響で $k_L a$ が大幅に低下し、図4からは、粘度が $0.001 \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$ から $1 \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$ に上昇すると $k_L a$ は約1/50にまで減少している。

表2 スケールアップ時の各因子の変化

容 量		V	L	1.5	100	500	1 000	1 500
槽 内 径	$V_r^{1/3}$	D	mm	120	500	800	1 000	1 200
空 塔 面 積	$V_r^{2/3}$	A	cm ²	113	1 963	5 027	7 854	11 310
液 面 高 さ	$V_r^{1/3}$	H	mm	133	509	995	1 273	1 326
	—	H/D	—	1.11	1.02	1.24	1.27	1.11
ガ ス 通 気 量	—	vvm	—	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	V_r	q	L/min.	0.75	50	250	500	750
空 塔 ガ ス 速 度	$V_r^{1/3}$	U_g	cm/s	0.11	0.42	0.83	1.06	1.11
単 位 液 量 当 た り の 攪 拌 動 力	—	P_v	kW/m ³	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
回 転 数	$V_r^{2/9}$	n	rps	2.5	0.97	0.71	0.61	0.54
			rpm	150	57.9	42.3	36.5	32.3
翼 先 端 速 度	$V_r^{1/9}$		m/s	0.38	0.61	0.71	0.76	0.81

西川ら⁵⁾によると高粘度液の k_La は液粘度 μ 、液拡散係数 D_L 、液表面張力 σ と次のような関係がある。

$$k_La \propto \mu^{-1/3} D_L^{1/2} \sigma^{-0.66} \quad (4)$$

図4から得られる傾きは-0.60で上式の-1/3よりも大きい。液拡散係数 D_L 、液表面張力 σ の増粘による変化を含んでいるからである。いずれにしても内容液が高粘度になると、大幅に k_La が低下することは避けられず、効率的な培養を行うには、なるべく培養液の粘度が上昇しないような条件を見つけ出すことも重要といえる。

3. 実機へのスケールアップ

1.5 L ラボ機から、内容液は低粘度乱流域、装置形状を幾何学的相似、 P_v 値一定で実機100 L、500 L、1 000 L、1 500 Lへスケールアップする場合の各因子の変化をまとめ表2に示す。

ガス移動容量係数 k_La はガス空塔速度 U_g に比例するため、酸素供給の面から考えると U_g 一定でのスケールアップで十分である。しかしながら培養槽では酸素供給だけでなく、呼吸によって発生する二酸化炭素の排出を考慮してvvm一定としてスケールアップする機会が多い。その場合、ガス空塔速度 U_g すなわちガス移動容量係数 k_La は、容量のスケールアップ比率を V_r とすると $V_r^{1/3}$ に比例して増加するので、余裕が生じることになる。ただラボ機にてガス空塔速度 U_g が増加した場合の流動状態や、

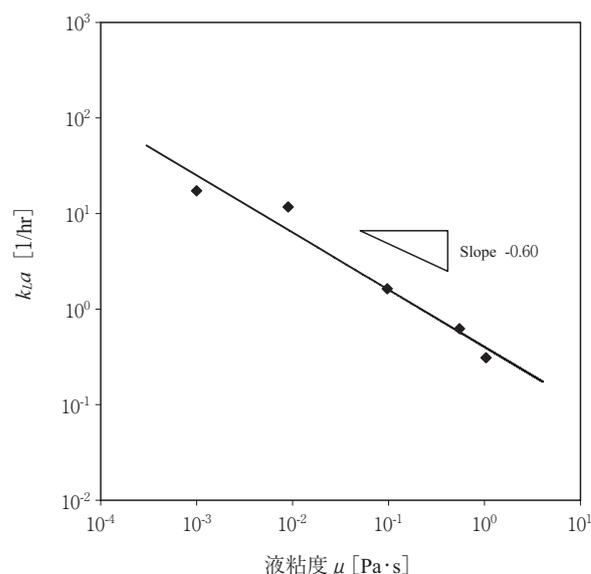


図4 スイングスターにおける液粘度 μ と k_La の関係

$V_r^{1/9}$ に比例して増加する翼先端速度の培養への影響についても確認しておく必要がある。

4. 今後の展望

ガス吸収においてスパージャー形状は重要なファクタであり、2.2節のように吹出し孔位置によって影響がある。また通気支配の領域では吹出し孔径によってもガス吸収性能の改善が可能であり、今後もスイングスターのガス吸収性能について詳細調査、改善検討を行っていきたい。

む す び

本稿では、スイングスターのガス吸収特性を中心にスケールアップ検討について紹介した。これらがユーザ各位の設備検討の参考になれば幸いである。

最後にスイングスターを用いた麹菌の培養に関する研究についてご協力頂いた神戸大学大学院工学研究科、大村直人教授、萩野千秋教授、GHOBADI Nargesさんに、この紙面を借りて深くお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 小川智宏ほか：神鋼環境ソリューション技報 vol.9, No.2 (2013), p.34
- 2) 小川智宏ほか：神鋼環境ソリューション技報 vol.11, No.1 (2014), p.43
- 3) N. Ghobadi et al. : 5th Asian Conference on Mixing Proceedings (2016), p45
- 4) Nishikawa, M. et al. : J. Chem. Eng. Jpn., vol.14, No.3 (1981), p219
- 5) 西川正文ほか：化学工学論文集 第9巻, 第1号 (1983), p76
- 6) Nishikawa, M. et al. : J. Chem. Eng. Jpn., vol.14, No.3 (1981), p227
- 7) 今中照雄：神鋼パンテック技報 vol.41, No2 (1998), p.21
- 8) 山部芳ほか：神鋼環境ソリューション技報 vol.11, No.1 (2014), p.49

次世代型流動床炉，高温高压ボイラを採用し国内最高水準の発電効率を達成，隣接施設に熱エネルギーを供給し未利用エネルギーの活用による世界最高レベルのエネルギー効率を実現した流動床式ガス化燃焼施設 廿日市市殿向け 「次期一般廃棄物処理施設整備運営事業」

廿日市市（広島県）より，2016年7月に受注した本建設および運営事業は，廿日市市，および，大竹市から排出されるごみを処理するもので，本施設の設計・施工を当社が実施し，20年間にわたる運営・維持管理業務を当社と神鋼環境メンテナンス株式会社に構成した特別目的会社にて行います。さらに当事業には，上述企業に加え，地元の協力企業にも参画頂いています。

当社では，流動床式ガス化溶融炉で培った前処理・給じん技術およびガス化燃焼技術を適用し，低空気比燃焼を実現し高効率発電を実現できる次世代型炉の実現に取り組んできました。今回は，低空気比燃焼を可能とすごみの安定供給と，高効率発電をはじめとした経済性に優れた都市ごみ処理システムとして，「流動床式ガス化燃焼炉」と名付けた，次世代型流動床式焼却炉を採用しました。安全・安心・安定であることはもちろんのこと，経済性に優れ，6 MPa × 450 °Cの高温高压ボイラにより，150 t/d規模の高効率ごみ発電施設交付金交付要件（発電効率：14 %以上）を大きく上回る国内最高水準の発電効率21.6 %を実現する施設です。また，タービン排熱を隣接工場へ供給することにより，エネルギー効率は最大で68 %を達成します。

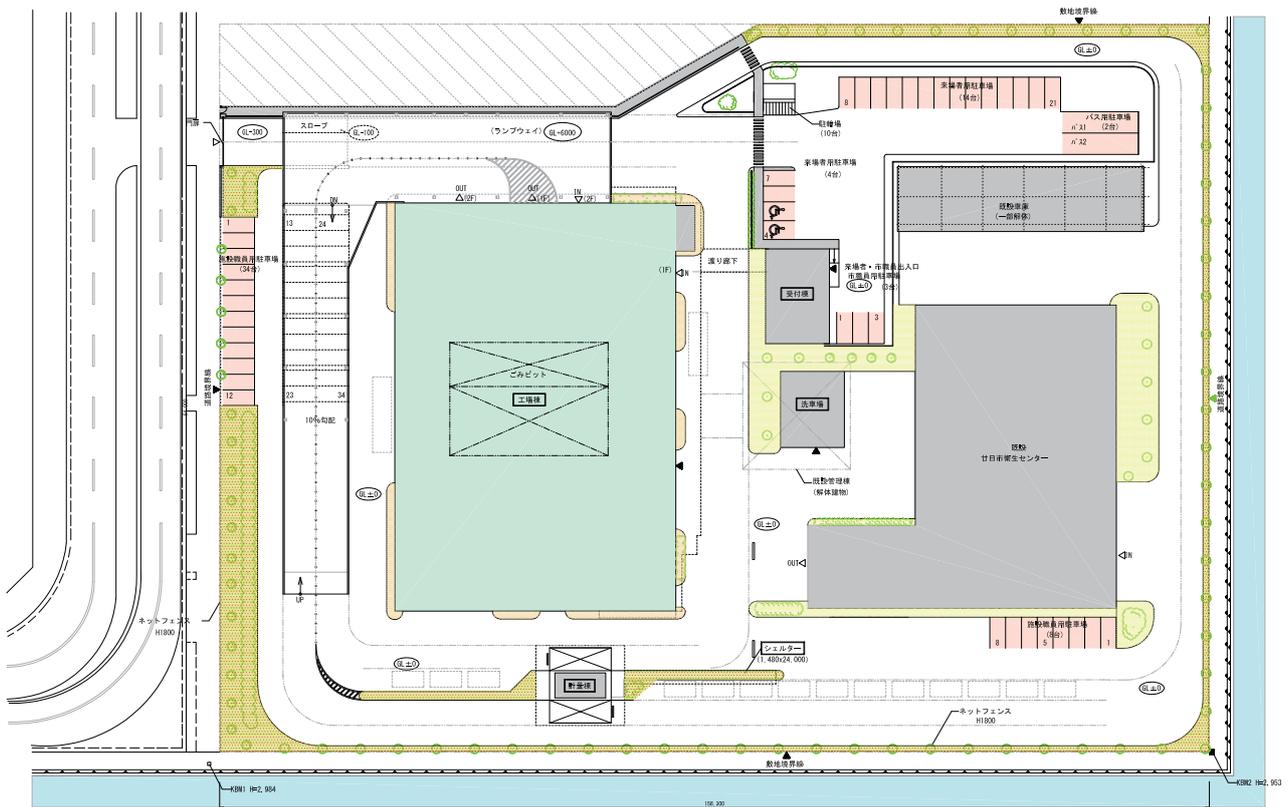
また，本施設は，「熱・電併用によるエネルギー創出」，「宮島の景観と地域社会の融合」という2つのテーマを基に，「地域の環境活力創造拠点」を提案コンセプトとして，地域に根ざした施設とします。

事業の概要

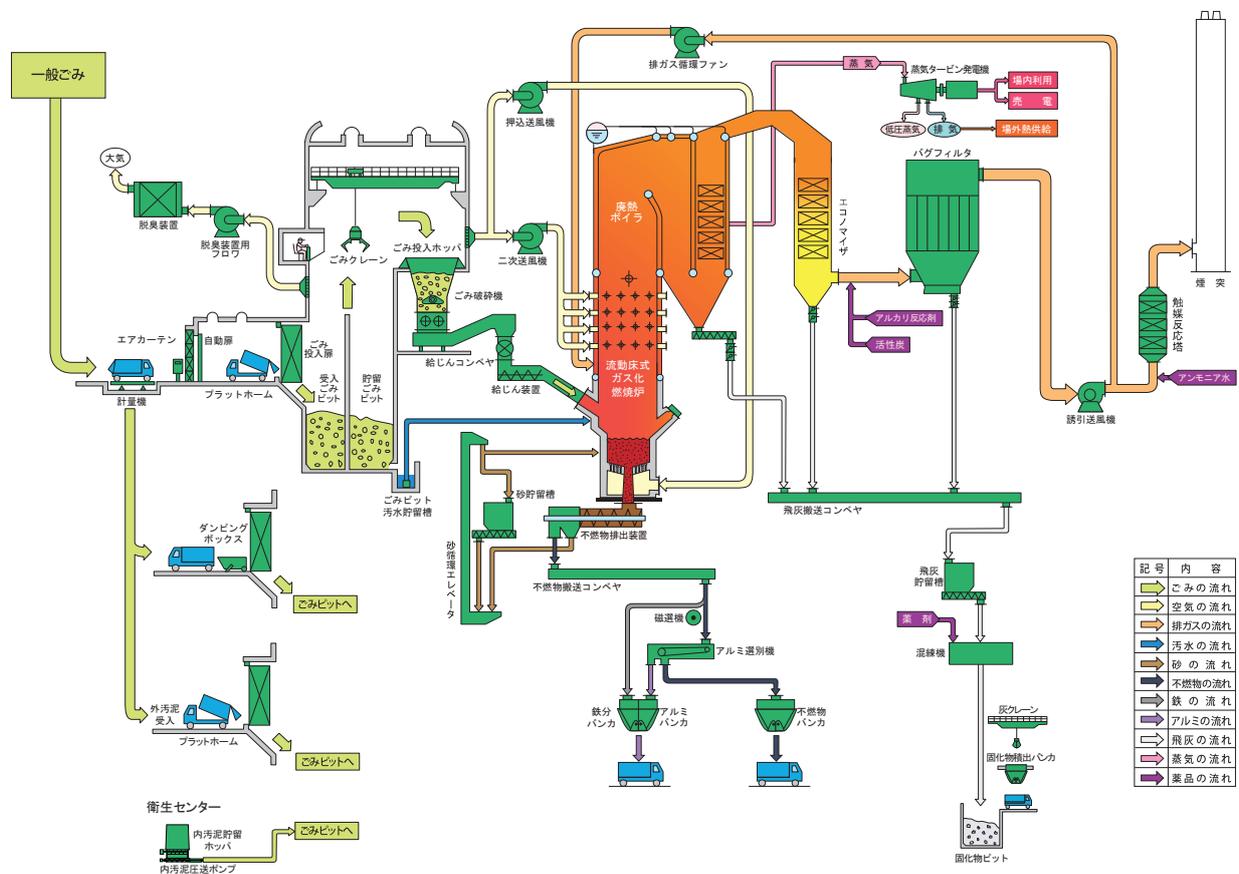
- ①事業名 次期一般廃棄物処理施設整備運営事業
- ②事業内容 エネルギー回収施設（流動床式ガス化燃焼炉），粗大ごみ処理施設の設計・建設，運営・維持管理業務
- ③工期・履行期間
 - (1) 整備工事（設計・建設）：2016年7月から2019年3月まで
 - (2) 運営業務：2019年4月から2039年3月まで
- ⑤契約者
 - (1) 基本契約：株式会社神鋼環境ソリューション，神鋼環境メンテナンス株式会社
 - (2) 建設事業（設計・建設）：株式会社神鋼環境ソリューション
 - (3) 運営事業：株式会社神鋼環境ソリューション，神鋼環境メンテナンス株式会社2社共同出資による特別目的会社
- ⑥施設の能力
ごみ処理能力：150 t/d（75 t/24 h × 2系列）
- ⑦本事業の特徴
 - (1) 国内最高水準の高効率ごみ発電（発電効率：21.6 %）
 - (2) 隣接工場へのタービン排熱供給（最大エネルギー効率68 %）



施設完成イメージ



施設全体配置図



流動床式ガス化燃焼炉のフローシート

展示会だより

■下水道展 '16名古屋

今年度は2016年7月26日（火）～29日（金）、名古屋市のポートメッセなごやで開催され、出展者数277団体、来場者数約35,000人、当社ブースへは約1,000人のお客様が来訪されました。

今回は省エネ・創エネ技術の紹介、運転管理への取組み、海外展開を三つの柱としてブースを展開し、従来の設備メニュー中心の紹介から、当社の事業戦略を感じて戴けるよう工夫しました。

これまで取組んできた省エネ、創エネ、長寿命化技術（鋼板製消化槽、高効率2段燃焼炉、気泡式高効率2段燃焼炉、バイナリー発電、樹脂製汚泥掻き寄せ機、反応槽用槽上攪拌機（パビオミックス、パビオエアレータ））を紹介しました。特に地元愛知県下で建設中の鋼板製消化槽については映像を用意し、特長である「槽内の見える化」、「建設工期の短縮」をPRしました。また、当社の海外展開取組みについて、ベトナムで受注した下水処理場案件を紹介しました。

■ VIETWATER2016

2016年11月9日（水）～11日（金）、ホーチミン市区 Saigon Exhibition and Convention Center (SECC) にて開催され、当社の関連会社 KOBELCO ECO-SOLUTIONS VIETNAM CO., LTD. (KESV) と共同出展しました。出展社数430社、来場者数約12,000人を数えますが当社ブースには約1,000名が来訪、うち200名ほどが



下水道展 '16名古屋

VIETWATER2016



面談対応を希望され、非常に活気のあるイベントとなりました。

工場団地・浄水場・下水処理場等が配置されたイメージ模型、A/W ブロック実物、およびパネル展示で当社の技術を PR しました。

今回は会期中に「鉄鋼排水処理」をテーマに技術セミナーを行いました。質疑応答時間では足りなかった企業の方がブースへ来場され質問されるほどの盛況となりました。またベトナム地場企業のみならず、ベトナム国内で展開する外国企業の来訪もあり、幅広くアピールできる機会となりました。

■京都水道展

今年度は2016年11月9日（水）～11日（金）、京都市「みやこめッセ」で開催されました。水道総会と併催のため、総会出席水道事業関係者約3 400人、加えて学生、市内企業など一般参加者加えて約6 000人規模のイベントでしたが、当社ブースには約600名のお客様が来場されました。

出品は技術 PR を狙い、当社の特長ある技術、上向流式生物接触ろ過設備（U-BCF）、開放型サイフォン・フィルター（OSF）、自然ろ過池（鉄バクテリア利用）、A/W 有孔ブロックなどを紹介しました。

今年は来場者数が多く、また関西の開催であったこともあり、例年以上に多くの方にご覧いただけました。また、例年当社ブースの名物であるオリジナル図書カード作成コーナーにて、今回は紅葉の名所として有名な東福寺を背景としたところ大好評となり、ブース来場者の7割以上の方に作成いただきました。後日完成したカードをお届けし、お客様との距離を縮めています。



論文発表一覧（2015年4月～2017年2月）

発表年月	発表先	発表課目
2015年6月	(一社) 日本環境化学会 第24回環境化学討論会	WET を用いた金属製品製造業の工場排水における 毒性要因の推定と改善
2015年6月	米国水環境連盟, 欧州水協会, (公社) 日本下水道 協会 第5回 EWA/WEF/JSWA 特別会議	Water Reclamation by Used Membrane for Seawater Desalination
2015年6月	(一社) 日本産業機械工業会「産業機械」	流動床式ガス化溶融技術による最終処分場延命化と 高効率発電の推進
2015年7月	(一社) 環境放射能除染学会 第4回環境放射能除染研究発表会	減容化処理焼却灰への飛灰洗浄技術の適用検討
2015年7月	(公社) 日本下水道協会 第53回下水道研究発表会	生物応答を利用した排水管理手法 (WET) と水質 改善事例について
2015年7月	(公財) 水道技術研究センター, 神戸市水道局 第10回水道技術国際シンポジウム	上向流式生物接触ろ過施設の施設概要と運転事例
2015年7月	(公社) 日本下水道協会 第52回下水道研究発表会	汚泥固形燃料化方式の違いによる維持管理上の特性 の比較
2015年7月	EICA 環境システム計測制御学会	日本版 WET 試験の導入・事業化
2015年8月	第7回国際燃料電池ワークショップ2015	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF TIN- OXIDE SUPPORTED IRIIDIUM OXIDE CATALYSTS FOR SOLID POLYMER WATER ELECTROLYSIS
2015年9月	化学工学会 第47回秋季大会「プラズマプロセッシングの新展 開」シンポジウム	PCB 汚染物のプラズマ溶融分解システム
2015年9月	(公社) 空気調和・衛生工学会 平成27年度空気調和・衛生工学会大会	厨芥と厨房排水処理汚泥を用いた日本初の建物内地 下メタン発酵装置の運転状況と効果検証 ～あべのハルカスにおける運転実績～
2015年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第26回研究発表会	厨芥と厨房排水処理汚泥を用いた日本初の建物内地 下メタン発酵装置の運転状況と効果検証 ～あべのハルカスにおける運転実績～
2015年9月	環境省 平成26年度環境研究総合推進費補助金次世代事業	廃棄物ガス化発電技術の高効率化の実証
2015年9月	(一社) 日本水環境学会 第17回日本水環境学会シンポジウム	WET を用いた金属製品製造業の工場排水における 毒性要因の推定と改善
2015年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第26回研究発表会	高温高压化ボイラに向けたスーパーヒータ材料腐食 評価試験 第二報 廃棄物発電用廃熱回収ボイラのスーパーヒータで生 じる腐食減肉メカニズム
2015年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第26回研究発表会	加熱化学処理法によるごみ焼却主灰からのセシウム 揮発除去プロセスの検討
2015年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第26回研究発表会	流動床焼却炉における低空気比燃焼による低 NOx 化
2015年10月	(一社) 日本環境測定分析協会 第23回日環協・環境セミナー全国大会 in 大津 by 琵琶湖	日本版 WET を用いた工場排水の毒性削減への取組 み
2015年11月	(公社) 腐食防食学会 第62回材料と環境討論会	高効率廃棄物発電ボイラ加熱器管の高温腐食による 減肉に及ぼす付着堆積灰性状の影響

発表年月	発表先	発表課題
2015年11月	(公社) 電気化学会 電池技術委員会 第56回電池討論会	固体高分子形水電解用 IrOx/SnO ₂ 系触媒の合成と酸素発生特性
2015年11月	(公社) 全国都市清掃会議「都市清掃」	放射性物質に汚染された焼却残さ中のセシウムの溶出特性に関する研究
2015年12月	日本エレクトロヒートセンターアーク・プラズマ過熱技術部会	「プラズマ溶融分解法による PCB 汚染物の処理技術」
2015年12月	(一財) 日本環境衛生センター 第15回アジア太平洋廃棄物専門家会議 <SWAPI>	Development of a high-efficiency waste gasification and power generation process
2016年1月	(公財) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	準好気性埋立処分場の昨日検査と評価事例 (その2)
2016年1月	環境放射能除染学会第11回講演会	加熱化学処理に寄るセシウムの揮散除去
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式焼却炉における低 NO _x の生成挙動と低濃度化
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	次世代型流動床式焼却炉を用いた環境負担低減の取組み
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式ガス化溶融炉における廃熱ボイラ過熱器の耐用状況
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床炉におけるボイラ蒸気量制御
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式ガス化溶融施設での掘り起こしごみ・汚泥の混焼と高効率発電の稼働状況
2016年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第37回全国都市清掃研究・事例発表会	廃棄物発電ボイラの高圧化に向けたスーパーヒータ材料の耐食性評価
2016年1月	日本工業出版 (株)「環境浄化技術」	過熱蒸気温度450℃ボイラ開発に向けた取組み流動床式ガス化溶融炉におけるスーパーヒータ材料の耐食性評価試験
2016年2月	SAT テクノロジー・ショーケース2016	放射能に汚染された焼却主灰からの Cs 除去技術
2016年2月	Desalination Publications「Desalination Publications」	Characteristics of foulants in the forward osmosis membrane filtration used in municipal wastewater concentration processes
2016年3月	The 3rd 3RINCs	Demonstration test to reduce of environmental loads by fluidized bed technology
2016年3月	(一財) 日本鉄鋼協会 第171回 鉄鋼協会春季講演大会	生物製剤培養による活性汚泥不調時の処置
2016年3月	American chemical Society 251st American Chemical Society National Meeting & Exposition	Development of decontamination process for radioactive cesium from radiation contaminated soil and incineration bottom ash.
2016年7月	(公社) 日本下水道協会 第53回下水道研究発表会	浸透圧発電を組み合わせた省エネ型膜分離活性汚泥法の開発
2016年7月	環境放射能除染学会 第5回研究発表会	仮設焼却施設における耐火物への放射性 Cs 蓄積挙動
2016年7月	日本膜学会「膜」	膜システムの省エネ・創エネ
2016年7月	(一社) 環境放射能除染学会 第5回環境放射能除染研究発表会	加熱化学処理におけるセシウム揮発メカニズムの検証

発表年月	発表先	発表課題
2016年8月	5th Asian Conference on Mixing	Effect of Swingstir impeller on rheology and morphology of submerged fermentation
2016年9月	(公社) 空気調和・衛生工学会 平成28年度空気調和・衛生工学会大会 学術講演	超高層複合都市におけるエネルギー実績 (第3報) バイオガスシステムとその評価
2016年9月	(一社) 環境放射能除染学会	土壌中の粘土鉱物に対する加熱化学処理の効果検証
2016年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第27回研究発表会	廃棄物発電ボイラの堆積灰を用いたラボ腐食試験による腐食減肉メカニズムの究明
2016年9月	(一社) 廃棄物資源循環学会 第27回研究発表会	流動床式ガス化燃焼炉における低空気比運転
2016年9月	9th i-CIPEC 2016	Study of Low NO _x combustion Technology in Fluidized Bed Incinerator
2016年9月	9th i-CIPEC 2016	Development of Gasification and Reforming Process for High-efficiency Power Generation
2016年10月	(一社) 日本肥満学会 第37回日本肥満学会	高脂肪食投与ラットにおけるユーグレナ (<i>Euglena gracilis</i>) 及びパラミロンの肥満抑制効果
2016年10月	EICA 環境システム計測制御学会 第28回環境システム計測制御研究発表会	ガス化溶融炉における排ガス CO, NO _x 制御自動化技術
2016年10月	日本学術振興会 耐熱金属材料第123委員会	SUS 310S ステンレス鋼の高温腐食に及ぼす廃棄物発電ボイラ加熱器管付着灰の影響
2016年10月	EICA 環境システム計測制御学会 第28回環境システム計測制御研究発表会	大野市木質バイオマス発電所におけるタブレット端末の導入事例
2016年11月	日本水道協会 平成28年度全国会議	伏流水に適用された直接ろ過+紫外線処理の運転結果
2016年11月	第24回衛生工学シンポジウム	加熱化学処理による除染廃棄物等焼却残渣からの放射性セシウム除去
2016年11月	水道産業新聞社 第8回水道技術・工法研究会	ろ過池の機能を損なわない下部集水装置の適用事例報告
2016年12月	(一社) 大阪工研協会	バイオガスの精製と都市ガスとしての利用
2017年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第38回全国都市清掃研究・事例発表会	ガス化溶融炉における発電量制御
2017年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第38回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式焼却炉における排ガス再循環を不要とした低空気比運転の実現
2017年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第38回全国都市清掃研究・事例発表会	ガス化溶融炉における排ガス CO, NO _x 抑制
2017年1月	(公社) 全国都市清掃会議 第38回全国都市清掃研究・事例発表会	流動床式焼却炉における高温効率型廃熱ボイラスーパーヒータ材料の耐食性評価

本 社 / 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78	☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮グランドビル)	☎ (078)232-8018 FAX(078)232-8051
技術研究所 / 〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4	☎ (078)992-6500 FAX(078)997-0550
東 京 支 社 / 〒141-8688 東京都品川区北品川5丁目9-12(ONビル)	☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821
〒141-0001 東京都品川区北品川5丁目9-11(大崎MTビル)	☎ (03)5739-5800 FAX(03)5739-5821
大 阪 支 社 / 〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル)	☎ (06)6206-6751 FAX(06)6206-6760
九 州 支 社 / 〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル)	☎ (092)474-6565 FAX(092)441-4440
北 海 道 支 店 / 〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル)	☎ (011)241-4647 FAX(011)241-5759
東 北 支 店 / 〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル)	☎ (022)716-6651 FAX(022)263-2049
名古屋支店 / 〒451-0045 名古屋市中区名駅2丁目27-8(結晶ファイトセントラル)	☎ (052)581-9876 FAX(052)563-2313
播磨製作所 / 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19	☎ (079)436-2500 FAX(079)436-2506
室蘭SD製造所 / 〒050-0055 室蘭市崎守町387-25	☎ (0143)50-3036 FAX(0143)50-3066
テックビル事務所 / Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany	☎+49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450
プノンペン事務所 / Soma Tower, 1st Floor, #2C, street 120, Sangkat Phsar Thmey II, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia	☎+855-23-210-301 FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2016年度 Vol.13 No.2 通巻26号

〈本社〉株式会社神鋼環境ソリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

〈編集発行〉〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 株式会社神鋼環境ソリューション 技術開発センター（神鋼環境ソリューション技報編集委員会事務局）

☎ (078) 992-6527 FAX (078) 992-6504 <http://www.kobelco-eco.co.jp>

〈編集委員〉編集委員長/田頭成能 委員/高橋円・細田博之・下梨孝・横田慎・丸山智裕・斉藤彰・木下民法・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

〈発行〉2017年3月15日印刷 2017年3月22日発行 年2回発行〈禁無断転載〉〈発行人〉横山英樹〈印刷所〉中村印刷株式会社



 神鋼環境ソリューション

この用紙は、パルプを漂白するときに塩素ガスを使わない
「無塩素漂白 (ECF)」という方法で作られています。