神鋼環境ソリューション技報
2010年度・Vol.7・No.2
14
KOBELCO ECO-SOLUTIONS
ENGINEERING REPORTS

目　　次　　CONTENTS

1　＜巻頭言＞
～知的資本経営を目指して～

3　A/W 有孔ブロック®の逆洗時における水力学的検討　Hydraulic Study on Water Back Wash Performance of A/W Underdrain Block®

14　新型イオン交換装置　Introduction of New Ion Exchange Process

19　ベトナム LOTECO 工業団地排水処理設備　Waste Water Treatment System for Long Binh Industrial Zone in Vietnam

23　兵庫西汚泥溶融処理設備での高濃度クロム含有下水汚泥溶融システムと運転状況　Melting System to Process Sewage-sludge Containing High Concentration Chromium and Operating Situation in Hyogo-Nishi Sewage Sludge Melting Treatment Facility

30　播磨製作所における省エネ，生産性改善，安全性改善事例
―省エネ，生産性改善，安全性改善に係わる新規導入設備―　New Equipments That Improve Manufacturing Efficiency, Safety and Saving Energy in Harima Plant

37　納入実績紹介

38　施設・技術紹介

42　TOPICS

＜巻頭言＞

～知的資本経営を目指して～

京都大学 産官学連携本部
特任教授 **宗 定 勇**
Isamu Sojyo

第１次産業では，自然が対象だから，知の力による付加価値増大や生産コスト低減はむつかしい。第２次産業である工業製品は知の力による新規事業創造や競争力アップが可能であるために工業力を高めた国が先進国になる。

イギリスを嚆矢（コウシ）とした産業革命を経験した国は，農村に隠れていた潜在失業者を工業が吸収して，潜在失業者が消失した時点以降，限られた労働力を出来るだけ効率的に使用するために技術を開発し，知的財産権を蓄積し，大衆消費社会を実現した。いわゆるルイス的転換である。

私は，1991年のソ連崩壊が，情報，お金（資本），商品，技術，人が自由に国境を越えて移動出来るグローバル市場経済という新しい時代を切り拓いたと考える。このエポックメイキングが否応なく人々をたったひとつのグローバル市場におけるメガ・コンペティションに駆り立てているのが現代世界の最重要な時代定義であると思っている。

著名な経済人類学者のカール・ポラーニーは，以前は社会の中に経済が埋め込まれていたけれども19世紀にそれが大転換して，経済の中に社会が埋め込まれたと喝破した。20世紀の最後に世界全体が経済の中に埋め込まれてしまった。

産業革命の経験とルイス的転換の有無によって，先進国は高コスト社会，途上国は低コスト社会と分かれて，グローバル市場で対峙している。

安価大量規格品では高コストの先進国経済社会は競争力を持ち得ない。先進国企業は，大量生産する拠点を低コスト途上国へ移せば良い。では，先進国社会の比較優位は何に求めるべきか？ 途上国が競争力をもたない財とは何か？

それは知の力が生み出すところの従来存在しなかった財であろう。

経済学の成果であるJ.S.ミルの「交易条件」の理論とD.リカードの「比較優位・機会費用」の理論を適用して考えると，先進国の中では，知識集約的知的労働の方が途上国よりも機会費用である労働集約的肉体労働の量が少ないので，知識集約的知的労働の方に比較優位がある。従って，先進国は知的労働に特化し，途上国は肉体労働に特化すると，先進国も途上国も共に総労働時間を節約出来ることとなる。

ここに私の「非必要経済」の理論，即ち「1970年代以降の先進国経済は，必需品でも便利な機能

財でもない，生存のために必須ではないけれども，『楽しい』『おもしろい』『美味しい』というような感性価値を持つ財 ―これを私は「非必要経済」と定義した訳であるが― が経済成長の牽引力となった。」という思想を持ち出すと，グローバル・メガ・コンペティション時代の先進国では，従来存在しなかった『楽しい』『おもしろい』『美味しい』という感性価値を持つ財を知の力で需要創造するという比較優位を追求して行く事が合理的であるという結論に至る。
時間とともに安価大量規格品の技術や経営力が途上国へ移転すればする程に，この知の力の比較優位は際立って来る。いわば夢の未来財を需要創造する技術と経営の力が未来を切り開く競争力となる。

私はそういう未来財を需要創造する知の力を知的資本と呼ぶことにしたい。先進国知的資本が需要創造する未来財は，商品の機能自体ではなく，非価格競争力を持つ感性価値財であろう。ディズニーランド，おもてなしの高級ホテル，柔らかいボンネットと優美な乗り心地の高級車等は，既にこの感性価値を実現している。

これからは，更に各社会が持つ個性豊かな文化価値を未来財として開発することが重要となる。従来型の知的財産の権利確保と活用という知的財産管理では，先進国の豊かな知的資本主義化は不可能である。1980年代以降，米国産業強化を目的としたプロパテント政策を強行した，米国の現在の巨大貿易赤字がその事を証明している。

高コスト先進国であるわが国は感性価値，文化価値を持つ未来財の需要創造を若者が担うべく，戦後の荒廃，高度成長，バブル崩壊を経験したシニアと若者との，世代をまたがる対話が望まれる。日本文化に西欧文明を接ぎ木して，西欧文明の果実を受け取ってきたわが国が世界に対し如何なる貢献が出来るのか？ を問い直す時が来ている。

A/W 有孔ブロック®の逆洗時における水力学的検討

Hydraulic Study on Water Back Wash Performance of A/W Underdrain Block®

村上吉明*
Yoshiaki Murakami

中島優一**
Yuichi Nakashima

森藤昭博***
Akihiro Morito

当社は，上水道をはじめ工業用水，下水三次処理ろ過設備の下部集水装置として空気／水洗浄式有孔ブロック（A/W 有孔ブロック）を採用してきた。A/W 有孔ブロックでは，ブロック上部にろ材として設けられた砂層でろ過することによりろ過水が得られる。一般にろ過装置は，蓄積した懸濁物質を逆洗により除去することで性能を維持している。本報告では，A/W 有孔ブロックの逆洗時における水の均一分配性，フロックの除去性能およびろ材の安定性を数値シミュレーションにより評価した。その結果，A/W 有孔ブロックは，逆洗水の均一分散性に優れ，フロックを除去しつつ，ろ材も安定化できると確認できた。

A/W block is used for underdrain systems of filtration facility for municipal water, industrial water and sewage tertiary treatment water. Water is filtered in sand layers laminated on A/W block and then gathered through inside of A/W block. Generally, the performance of filtration device is maintained by removing the accumulated suspended solid by backwashing. In this report, using computational simulation, the authors examined the performance of water distribution of A/W block at backwash, the removal performance of flocks, and the stability of sand layers. As the result, it has been shown that A/W block has superior characteristics in uniform distribution of backwash water. In addition, it can also control spills of filter media, although good removal of flocks is predicted.

Key Words：

下部集水装置	Under drain system
砂ろ過	Sand filtration
逆洗	Back wash
均一分配	Uniform distribution
数値シュミレーション	Computer fluid dynamics

【セールスポイント】

従来型の下部集水装置よりも，逆洗時に水を均一分配させる性能を持つため，ろ材を安定化でき，長期的な性能維持が可能である。

ま え が き

A/W 有孔ブロックは下部集水装置として使用される有孔ブロックで，ブロック上部にろ材として設けられた砂層でろ過することによりろ過水が得られる。一般にろ過装置は，時間経過に伴ってろ層中に懸濁物質が蓄積するため，一定時間経過毎に逆洗を行い，懸濁物質を除去する必要がある。この逆洗で，初期状態と同様のろ層の状況を作り出せるかど

うかにより，装置性能は左右される。逆洗後に装置性能を低下させる状況として，逆洗時に洗浄不良により懸濁物質が十分除去できない場合やろ材の不均一，ろ層の偏りの発生などが考えられる。通常，急速ろ過プロセスでは凝集剤を添加し，懸濁物質をフロックにして捕捉する。そのため，逆洗時にはろ材中のフロックを排出できるだけの逆洗条件が必要となる。もし逆洗水が均一に分配できないと，局所的にろ材通過時の圧損が上昇し，ろ過の不均等な領域が発生する。あるいは，局所的な流れにより逆洗時に砂が一部流出したり，ろ材高さが減少してろ過性能が低下する。

A/W 有孔ブロックについて数値シミュレーションを用いて上記検討を行ったところ，同装置の逆洗性能について，良好な結果を得ることができたので以下で報告する。

1. A/W 有孔ブロックの概要

A/W 有孔ブロックの模式図および A/W 有孔ブロックを用いた砂ろ過プロセスの模式図をそれぞれ図１，２に示す。A/W 有孔ブロックは高密度ポリエチレン製の下部集水装置で均等な集配水性，軽重量，低圧力損失，良好な施工性などの特長を持つ。ろ過時は，原水はろ材の上部から流入する。ろ過されたろ過水は A/W 有孔ブロック上部の多孔板を通り，集水部に流入する。さらに，集水部に流入した水は抜出し口より圧力渠へ流れ込み，ろ過水として得られる。時間経過に伴いろ材中に懸濁物質が蓄積するため，定期的に逆洗を行う必要がある。逆洗では，圧力渠から水を逆向きに流し，ろ材内部の懸濁物質を逆洗水とともに排水トラフに流出させる。この時逆洗水を均一にろ材中に通過させて懸濁物質を除去し，かつ，ろ材を安定化させることが，装置の性能を保持する上で必要条件である。

2. 水の均等分配性検討

2.1 モデル予測

A/W 有孔ブロックには流路に分岐のためのオリフィスが多数配置されており，逆洗工程時に装置から水が流路と垂直に均一に流出する。

一般にメインの流路から多数の分岐配管が出ており，さらにその分岐配管から均一に流体が流出するような場合には，連続等分布配管による近似モデルが有効である[2)]。

連続等分布配管の概要を以下に示す。図３のような配管を考える。主管に対して垂直に n 個の分岐配管が接続されており，n 番目の分岐配管からは水が q_n だけ流出している。ここで分岐管が無数に存在し，さらに全ての分岐配管から水が均一に流出する場合を考える。流入口を原点として配管に沿って x 軸を取り，主管の長さを L，$x = L$ での静圧を p_e，流体の密度を ρ，管摩擦係数を λ，主管の代

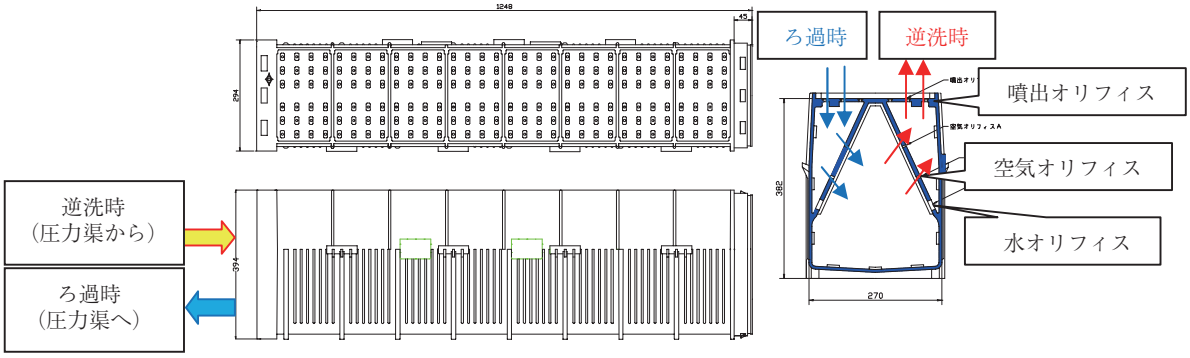


図１　A/W 有孔ブロックの形状

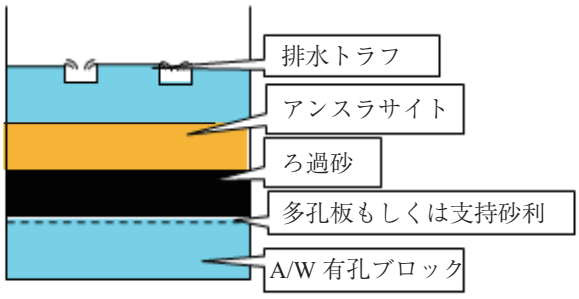


図２　砂ろ過模式図

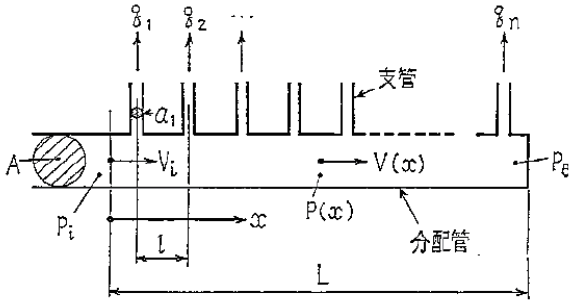


図３　連続等分布配管のモデル図[2)]

表長さを D，ある x における静圧および流速をそれぞれ p, V とすれば，支管の静圧分布は $\frac{p-p_e}{\rho}=\left\{\frac{\lambda}{3D}(L-x)-1\right\}\frac{V^2}{2}$ となる。

ここで，分配管特性パラメータとして $k_d=\left(\frac{\lambda L}{3D}-1\right)$ を導入し，種々の k_d における静圧分布を求めると**図４**のようになる。$k_d<0$ では，ディフューザー作用による昇圧が管摩擦による圧力低下よりも大きくなるため，流入口から離れるにしたがって静圧が増大する。

流れに対して垂直な向きに水を流出させる力は静圧に比例する。すなわち，逆洗で水を均一に流出させるには，水路内における静圧が均一である必要があり，k_d の絶対値を小さくするかあるいは動圧，すなわち流速を小さくする必要がある。

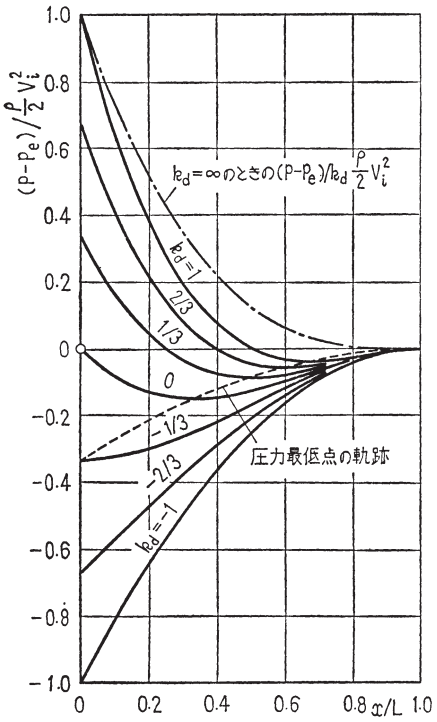


図４　種々の k_d における静圧分布[2)]

2.2　静圧分布均一化に向けた検討および評価

(1)　装置長さ L の縮小

k_d の絶対値を小さくするには，A/W 有孔ブロックの長さを短くする方法が挙げられる。たとえば，**図５**のように圧力渠を分岐させて A/W 有孔ブロックそのものの長さを短くすることで L を小さくすることができる。ただし，配管工事が大幅に増加するため，ここでは検討しない。

(2)　水路の代表長さ D の増大および流速 V の低下

そこで，代表長さを大きくし，さらに流速を小さくすることを考える。そのためには，水路の拡大が挙げられる。

図６に従来型および新型の有孔ブロックの断面形状を示す。新型の A/W 有孔ブロックは断面が広がっているために流速を低下させることができ，さらに代表長さも大きくなっているために k_d も小さくなる。

そこでケーススタディとして，長さ５m の A/W 有孔ブロックを用いて0.7 $m^3/m^2/min$ で逆洗を行う場合における分配特性パラメータおよび流入口と装置端での静圧差を求める。

すると従来型では $k_d=-0.84$となって，両端では約80 Pa の圧力差がつく。

一方，新型では $k_d=-0.74$となって，両端では約27 Pa の圧力差となる。すなわち，新型構造としたことによって水路内での圧力差が1/3程度まで低減できると期待できる。

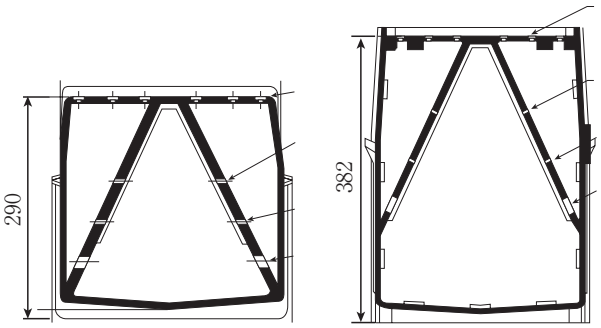


図６　有孔ブロックの断面形状
（左：従来型下部集水装置，右：A/W 有孔ブロック）

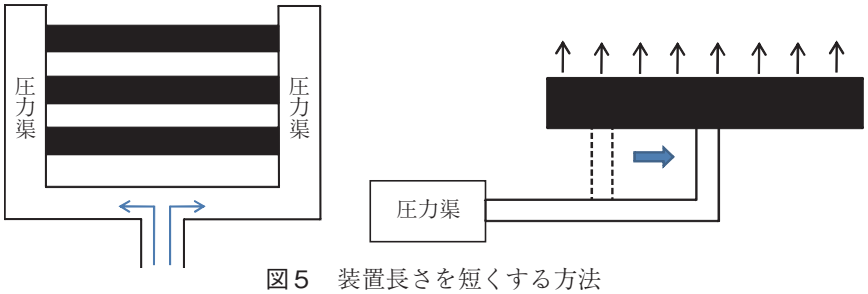


図５　装置長さを短くする方法

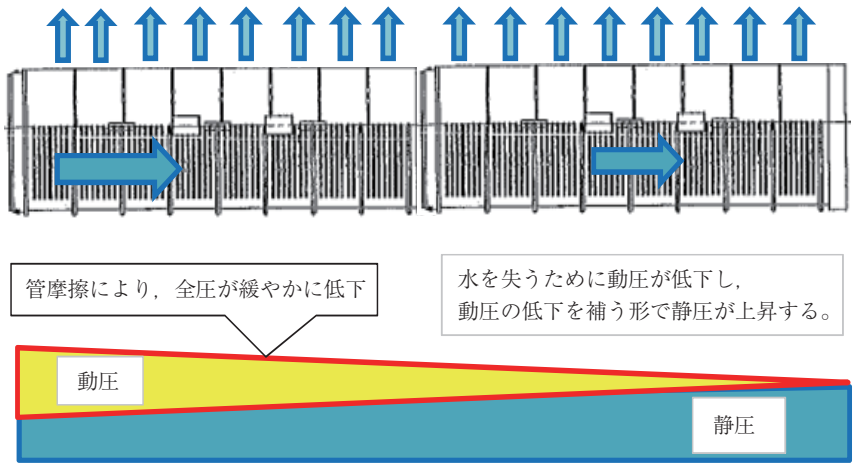


図７　下部集水装置の分配特性パラメータから予測される圧力分布

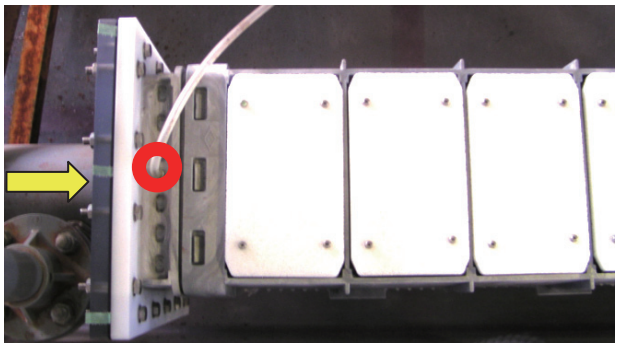


写真１　実験装置流入口付近

石山らによれば，装置長さ５m，洗浄速度0.7 $m^3/m^2/min$ の条件で流路とオリフィス出口における差圧が２kPa であった。従来型でも同程度の差圧と仮定した場合，従来型では両端に４％程度の静圧差がつくものが，新型では１％程度まで低減できることになり，圧力勾配の低減には有効と予測できる[1)]。

さらに三角部分の水路についても k_d を求めると，k_d ＝−0.63となった。いずれの流路における k_d の値も −1/3未満となり，図３より流入口から離れるにしたがって静圧が単調に増加する結果になった。これは，管摩擦による圧力損失よりも動圧の低下を補う静圧回復が大きいことを示している。圧力分布のイメージ図を図７に示す。

2. 2. 1　数値シミュレーション

上述したモデルの妥当性を評価し，さらに A/W 有孔ブロックが従来型に対して優位性を持つか数値シミュレーションによって検証した。

(1)　実験結果の再現

数値シミュレーションによって内部の流動状況を再現可能となる条件を見出すため，実験結果と数値シミュレーション結果の比較を行った。また，数値シミュレーション結果ならびに実験結果が理論的に説明可能か検証することで，数値シミュレーション結果の妥当性を評価した。

表１　計算条件

条　件	パラメータ	値
物性条件	密度（kg/m^3）	1 000
	粘性係数（Pa・s）	0.001
装置条件	有効長さ（m)	5
運転条件	洗浄速度（$m^3/m^2/min$）	0.2, 0.5, 0.7, 1.0

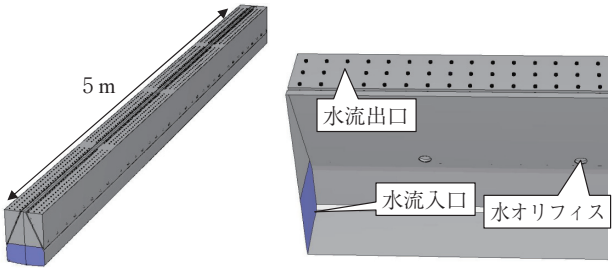


図８　計算領域（左：全体図，右：入口付近）

実験装置の入口付近外観を写真１に示す（写真は多孔板取付け時）。実験では逆洗水を側面から➡の方向に流入させた。装置は１つ当たり1.25 m のブロックを４つつなげて全体で５m とし，装置の損失水頭を測定するため，●で示した地点にマノメータを取付けた。

上記の実験内容を数値シミュレーションにより再現した。計算領域の全体図および流入口付近を図８に示す。計算領域は４つのブロックを直列に接続し，全体の長さを５m とした。流入境界は図８の青色で示した面として，水を均一な流速で流入させた。計算領域は対称境界を用いて全体の半分とし，メッシュ数は84万メッシュとした。

計算条件を表１に示す。流量条件は0.2〜1.0 $m^3/$

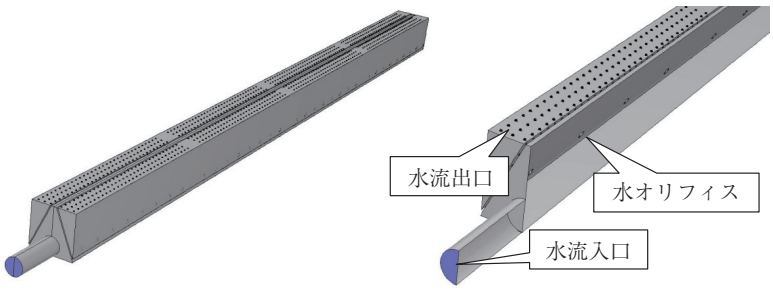


図９　計算領域（従来型）

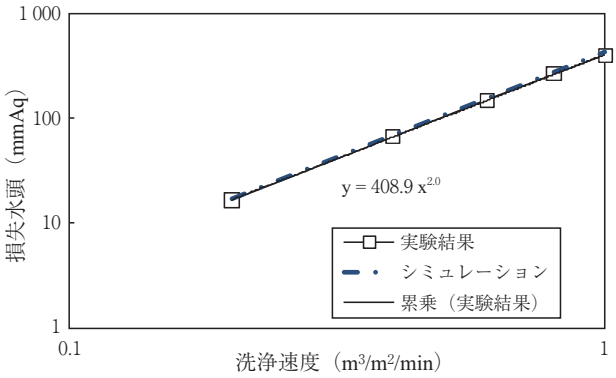


図10　洗浄速度と損失水頭との関係

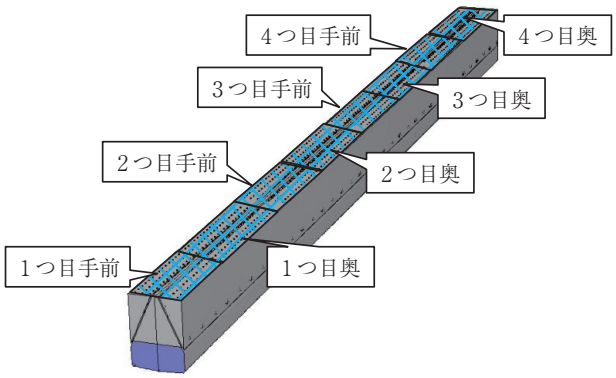


図11　水流出口の分割条件

m^2/min とした。乱流モデルには realizable k-ε モデルを使用し，圧力と運動量については２次精度風上差分を用いた[3)]。

⑵　従来型下部集水装置との比較

実験条件が再現可能となった条件に基づき，従来型に対しても数値シミュレーションを行い，形状による性能の差を評価した。計算領域を図９に示す。流量条件および計算における設定条件は上記と同様とした。従来型は実験装置の形状に合わせて流入口をパイプで接続した。

2.3　結果および考察

2.3.1　数値シミュレーション結果の妥当性評価

⑴　圧力損失

横軸を洗浄速度，縦軸を損失水頭として，両対数プロットしたものを図10に示す。直線の傾きは2.0で，多孔板を取付けなかったときの圧力損失は洗浄速度，すなわち流速の２乗に比例した。また，数値シミュレーションで得られた圧力損失と実験との結果はよく一致した。

⑵　流量分布

図11のように24個の穴を１つのグループとして，水の流出口を入口側から８つのグループに分割した。計算では４つのブロックが並んだ状況を想定しているため，各ブロックでの流入口側と流出口側とで水の流出量を比較した。

各洗浄速度における水の流出量分布を図12に示す。どの洗浄条件でも水量の平均値からのばらつきは小さく，ほぼ均一な水の流出が可能となっていた。１つのブロック内での流出量は均一であったが，流入口から離れるほど，流出速度が上昇する傾向が見られた。

装置の対称面における静圧コンターを図13に示す。水が抜け出ることによって静圧が回復しており，その勾配は入口に近いほど大きくなった。

この傾向は近似モデルによって予測された結果とよく一致しており，モデルによる予測，実験結果および数値シミュレーション結果が一致したことから，計算結果は妥当と判断した。

2.3.2　従来型装置と A/W 有孔ブロックの比較

洗浄速度0.2 m^3/m^2/min における従来型装置と A/W 有孔ブロックとの流量分布，および平均流出量に対する最大値と最小値のずれをそれぞれ図14，15に示す。

従来型装置の場合，１つめブロックの奥から２つめブロックの手前にかけて流出量が平均値に対して10～20 %少なくなり，逆に４つめブロック全体の流出量は平均値に対して20 %近く増加した。一方，A/W 有孔ブロックは全てのブロックで均一に水が流出している。

洗浄速度が0.7 m^3/m^2/min 以上のときはどちらも均

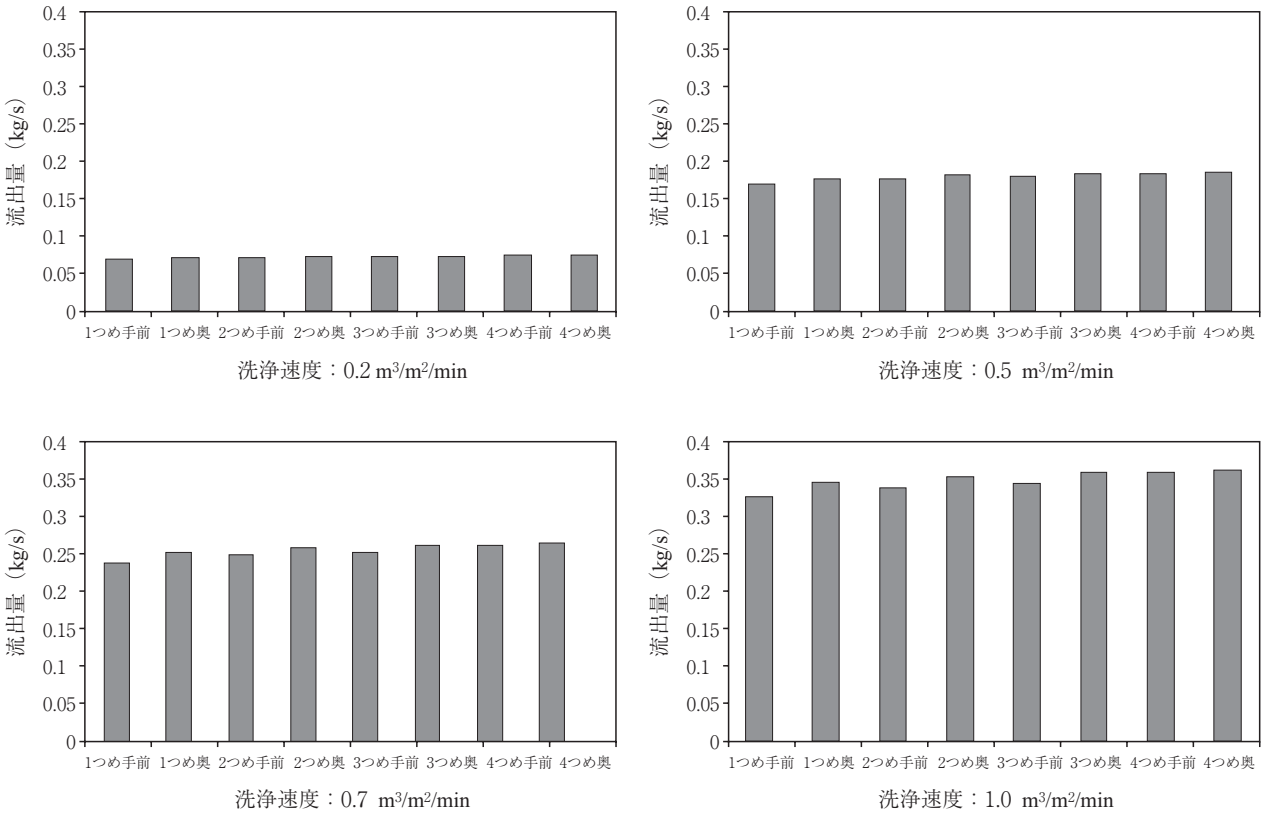


図12　水の流出量分布

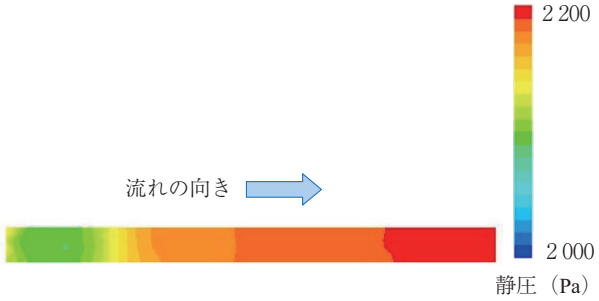


図13　装置対称面における静圧コンター
（洗浄速度0.7m³/m²/min）

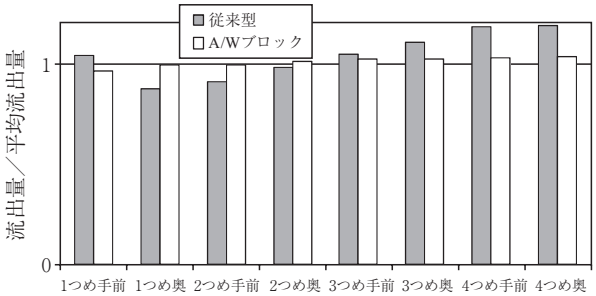


図14　従来型と A/W ブロックとの流量分布の比較
（洗浄速度：0.2 m³/m²/min）

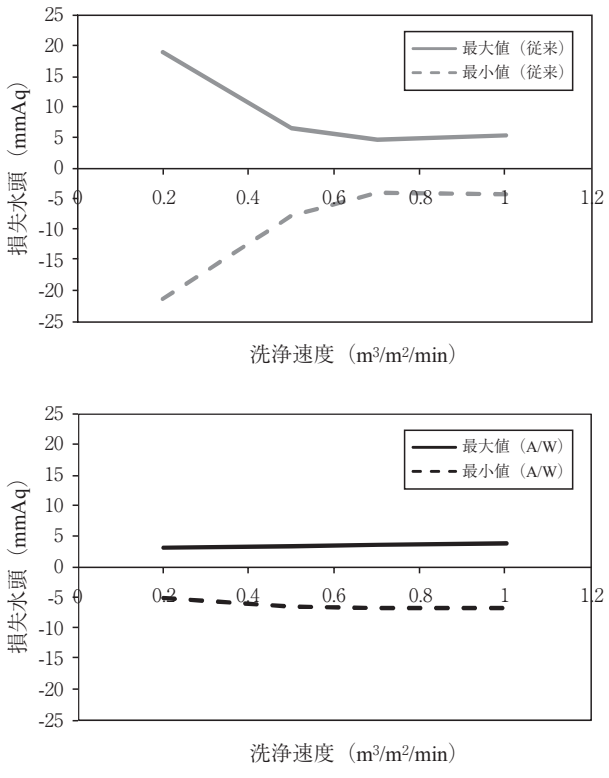


図15　流量の最大値と最小値の平均値に対するずれ
（上：従来型，下：A/W ブロック）

一に水を流出できているが，洗浄速度が小さくなると従来型の流量分布が極端にばらついた。また，A/W 有孔ブロックの方が最大値の平均値からのずれが小さくなった。

2. 3. 3　大型装置の場合の圧力勾配の予測および対策案

以下では多数の流路が圧力渠から並列に配置されるような大型の装置を想定する。上記までの検討結果に基づき，均一に水を流出させるためには，以下の２つの条件を満たすことが必要なことがわかる。

⑴　１つの流路内における圧力が均一である。

⑵　複数の流路間における圧力が均一である。

⑴については，A/W 有孔ブロックは流路内における圧力分布が均一であることが確認できたので，さらに⑵を満たすための必要条件を検討する。

まず複数の流路間における圧力勾配の有無を確認するため，A/W 有孔ブロックと同様に連続等分配による近似を用いる。すると $k_d = 0.97$となり，圧力渠入口にもっとも近い流路と離れた位置の流路間でも入口における動圧と同程度の圧力差が発生していることがわかる。

圧力渠の場合でも，分配管特性パラメータの絶対値を小さくする，あるいは逆洗管内での流速を低下させることで流量の均一化が図れる。ただし，圧力渠の長さや代表長さを変更するのはコスト上困難である。そこで複数の流路間を連通ブロックによって接続し，複数の流路間に水が流れるようにすることを考える。イメージを図16に示す。

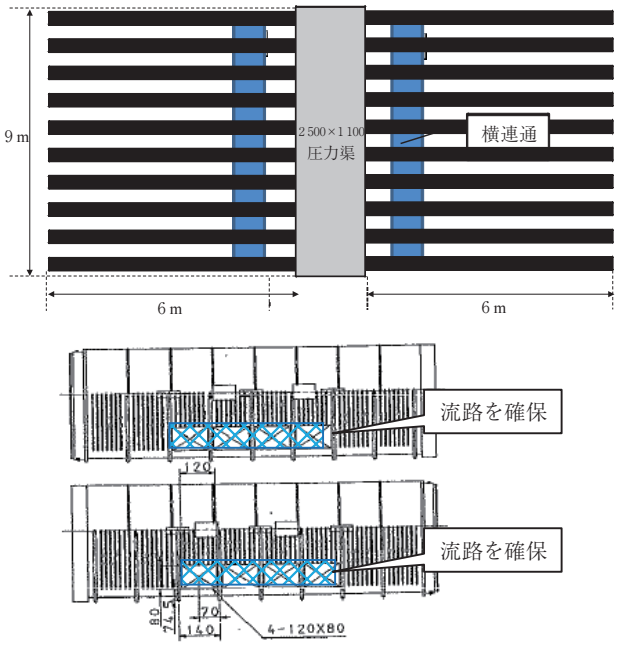


図16　横連通のイメージ（上：全体図，下：詳細図）

以下で具体的な効果を検証する。前提条件を表２に示す。

表２の条件で運転した場合，分配管（A/W 有孔ブロック入口）地点での圧力は1.7×10^4 Pa となる。一方，圧力渠入口での動圧は83 Pa なので，$p = p_e - 83$（Pa）となり，両端における圧力差は0.5 %程度となる。次に隣接する流路間の差圧は，最大約５Pa であり，これは入口での圧力の約0.03 %に相当する。いま，連通ブロックをオリフィスとみなせば，流路間を最大0.06 m/s の流速で水が流れる。流入水が連通ブロック断面を通過するのに約2.9秒間かかるので，連通ブロックを通過可能な水量は流入量に対して50 %以上あり，隣接する流路間の差圧はほぼ完全に緩和できると期待できる。

さらに，連通ブロックの設置位置について検討する。連通ブロックを圧力渠から離してしまうと，連通ブロックよりも手前のブロックでは流路間での差圧によって，水オリフィスを通過する水量にも差が発生し，不均一な流出となる。そのため，連通ブロックは圧力渠からもっとも近いブロックに設置すべきである。

3.　逆洗による懸濁物質除去性能

3. 1　砂ろ過性能に関する一般的指標

一般に砂ろ過における i 層目のろ材の調和平均径 D_i とろ材厚み L_i に対し，$\sum L_i/D_i \geq 800$が成立すれば，急速ろ過は安全に実施可能とされている[4)]。

3. 1. 1　ろ材流出防止に関する評価

逆洗時のろ材および排水トラフの模式図を図17に示す。逆洗に伴いろ材中から懸濁物質が排出されるが，膨張したろ材と排水トラフとの距離が小さすぎるとろ材が流出してしまい，逆に大き過ぎるとろ材から懸濁物質が排出し難くなる。ろ材の流出防止には，樋縁への接近速度が洗浄速度よりも小さく，かつ終端速度よりも大きいことが必要である。これを数式で表記すると $U_d < \dfrac{SU_T}{\pi L_W} \leq U_T$ となる。ただし，ここで，S はトラフ間隔，L_W はトラフ上端から流動ろ材面までの距離，U_d は懸濁物質の終端速度，U_T は総洗浄速度である。

表２　設備の前提条件

設備条件	ラテラル長さ	6 m
	ラテラル本数	29 本× 2 列
	圧力渠サイズ	2.5 m × 1.1 m × 9 m
	ブロック間のスペース	17 mm
	水面高さ	ブロック + 1 500 mm
運転条件	洗浄速度	0.7 $m^3/m^2/min$

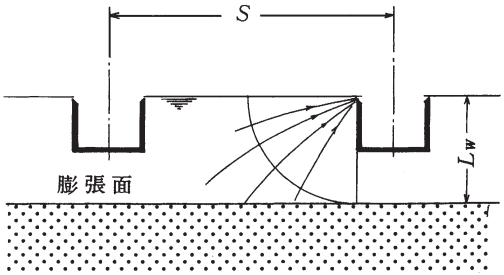


図17　逆洗時のろ材および排水トラフの模式図[5)]

表３　ろ材および水の物性値および終端速度

	ろ過砂	アンスラサイト	水
粒　　径（mm）	0.79	1.68	—
密　　度（kg/m^3）	2 630	1 550	1 000
粘性係数	—	—	0.001
終端速度（m/s）	0.13	0.135	—
有 効 径（mm）	0.63	1.26	—
60 % 径（mm）	0.83	1.75	—
均等係数（－）	1.32	1.39	—

終端速度は Allen の式より

$$U_T = \left\{\frac{4}{225}\frac{(\rho_s-\rho_f)^2 g^2}{\rho_f \eta}\right\} D_S$$ となる。

ろ過砂およびアンスラサイトの物性値および Allen の式から求められる終端速度を**表３**に示す。ろ材の膨張比 E は次式で得られる。

$$E = \frac{(U_B/U_T)^r - \varepsilon}{1-(U_B/U_T)^r}$$

ただし，U_B は逆洗速度，ε はろ材の空隙率である。また，r は流動層の流動速度 U について，$\varepsilon = \left(U/U_d\right)^r$ により与えられ，Richardson によれば $r = 0.222$ である[5)]。

3. 1. 2　懸濁物質除去に関する評価

フロックを懸濁物質の代表例として考える。フロックの粒度 D_s（cm）と有効密度 ρ_s（g/cm^3）については，凝集剤を PAC，ALT 比を 1：20 のとき $\rho_s = \dfrac{0.00040}{D_s^{1.30}}$ と求められている[6)]。すなわち，フロックは粒径の増加に伴い密度が低下する。そこでこの密度に関する関係式を Allen の式に代入すると，$U_T \propto D_s^{0.133}$ となり，粒度の増大に伴い沈降速度も上昇することがわかる。丹保の研究では，上記の凝集条件で生成されるフロックの最大径はおおよそ 4 mm であり，この場合の終端速度 U_d は $U_d = 0.34$ m/min と求められる。

3. 1. 3　砂ろ過装置における逆洗速度の評価

当社納入実績値における A/W 有孔ブロックのろ材条件，水深条件および逆洗速度を**表４**に示す。上記の評価結果と比較しても，ろ材条件および逆洗条件はろ過性能が充分に確保でき，ろ材の流出もなく，さらにフロックも充分に除去可能な条件となっている。

表４　ろ材、水深条件と逆洗条件

ろ材条件	ろ過砂 アンスラサイト 水深（アンスラサイト上面～水面）	500 mm 300 mm 1 080 mm
逆　　洗	洗浄速度	0.6 m/min

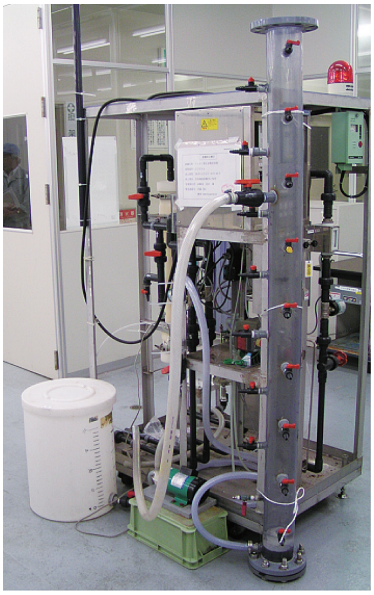


写真２　小型実験装置

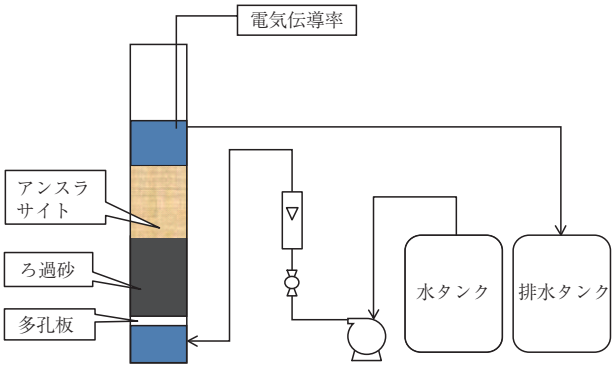


図18　実験装置模式図

3. 2　小型装置実験

実機でも上記内容が再現できるか評価する必要があるが，実機において逆洗時のろ材の膨張高さを測定するのは困難であるため，ろ材や水の挙動は数値シミュレーションでの予測が必要となる。そこでまず，**数値**シミュレーションにより妥当な結果が得られるモデルを小型装置実験により確認した。

小型実験装置の外観を**写真２**，実験フローを**図18**，実験条件を**表５**に示す。カラム底部付近の白色

部分がA/W有孔ブロックの多孔板で，その上にろ過砂，さらにアンスラサイトの層を設けた。

実験では，水の挙動予測が実施可能か確認するため，初期条件としてカラム内を食塩水で満たし，下から純水を通じた。図19に示す通り，食塩水濃度と電気伝導率とは比例関係にあるので，電気伝導率から初期に投入した食塩水がどこまで希釈されたか評価できる。ただし，食塩水の密度は水よりも大きく，カラム内の食塩水が高いと実機での挙動とかけ離れる可能性があるため，食塩水の初期濃度は0.1 wt%とした。

ポンプを起動した時刻を $t = 0(s)$ とし，10秒ごとに電気伝導率を求めた。

また，ろ材の膨張高さは外部から測定した。

3. 2. 1　小型装置数値シミュレーション

小型装置実験の計算領域を図20に示す。初期条件としてカラム内に入れた食塩水と水との計算には化学種輸送モデル，ろ材相の計算にはオイラー・グラニュラーモデルを用い，分散相としてろ過砂およびアンスラサイトをそれぞれ別の相とした。小型装置実験同様，カラム流出口における食塩水濃度をプロットし，その時間変化を求めた。また，ろ材の膨張高さは，計算中におけるろ材の界面位置から決定した。水およびろ材の膨張高さについて，共に挙動を予測できるモデル条件を用いて実機での計算を実施した。

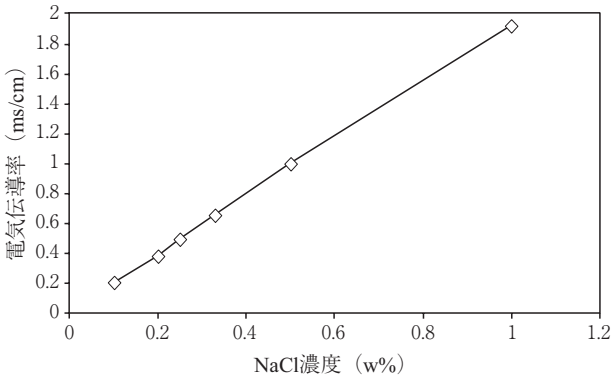


図19　食塩水濃度と電気伝導率

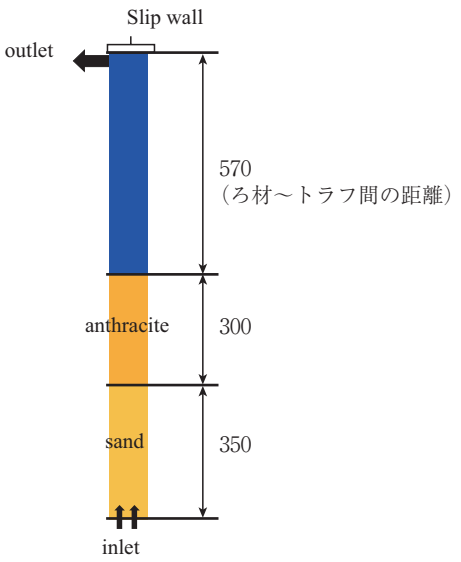


図20　計算領域模式図

3. 2. 2　実機数値シミュレーション

上記に基づき定めた計算条件を表5，実機スケール数値シミュレーション計算領域模式図を図21に示す。槽形状，ろ材厚みおよび運転条件は当社実績値を用いた。初期状態においては $\sum L_i/D_i = 934 > 800$ であり，安全とされる範囲に収まっている。数値シミュレーションでは，ろ材の流出抑制性能，ろ材中にトラップされた懸濁物質の除去性能および逆洗によるろ材高さの変化から，短期および長期にわたる性能評価を試みた。

ろ材の流出性は，ろ材の膨張高さから算出した。懸濁物質の除去性能は，砂層の底面近傍に配置したフロックが，系外へ排出可能か検討した。フロックの有効密度（=（フロックの密度）－（水の密度））と粒径の関係は，丹保の関係式のうち，凝集剤をPAC，ALT比1：20としたときの値を用いた[6)]。フロックの直径と有効密度の関係をAllenの式に代入

表5　小型装置実験条件

カラム条件	内　径	107 mm
多孔板条件	厚　み	20 mm
アンスラサイト条件	充填高さ	多孔板上面から 300 mm
ろ過砂条件	充填高さ	アンスラサイトの上に 350 mm
水条件	液面高さ	多孔板上面から 1 250 mm

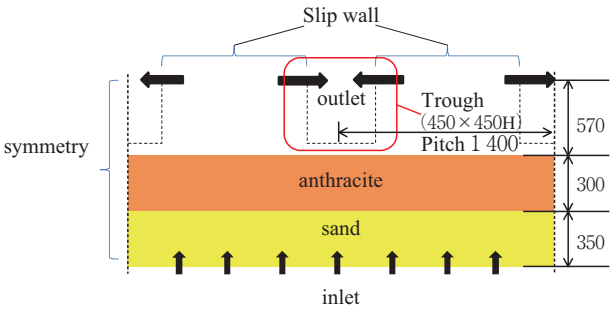


図21　実機スケールシミュレーション計算領域模式図

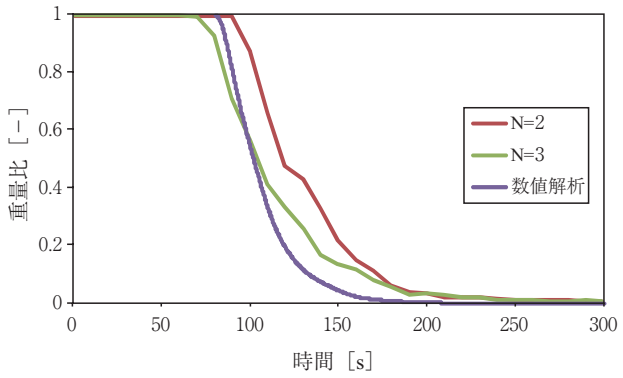


図22　電気伝導率の時間変化測定結果

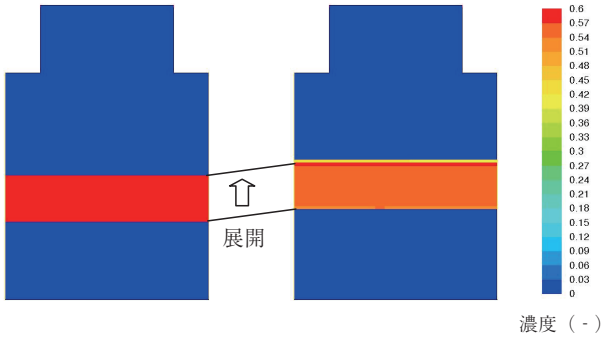


図24　アンスラサイト濃度のコンター図
（左：初期状態，右：逆洗後）

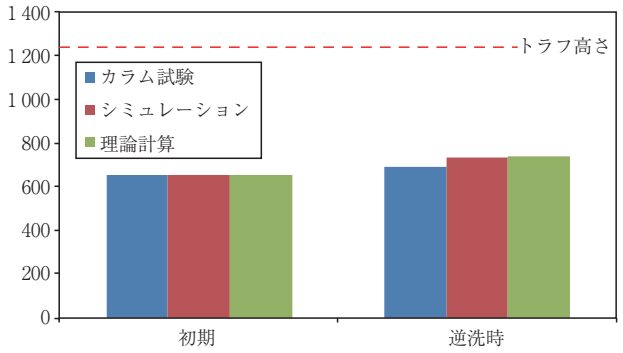


図23　ろ材の膨張高さの実験結果と計算結果の比較

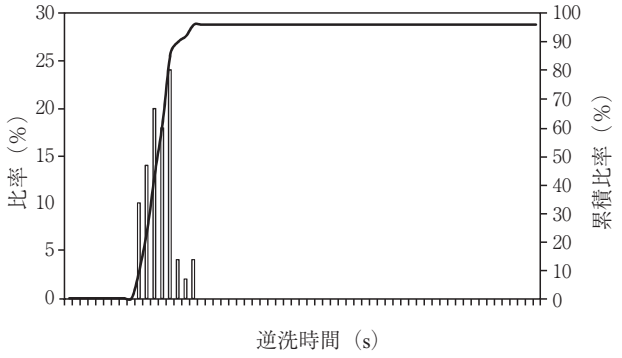


図25　フロックの滞留時間分布

すると，終端速度は直径の増加関数となり，大きなフロックほど系外へ排出させるのが困難となるため，丹保のデータにおいてフロック径のおおよその最大値３mm，有効密度２×10^{-3}とした。

3.3　逆洗数値シミュレーション結果

3.3.1　小型装置実験

小型装置実験時における電気伝導率と数値シミュレーションにおけるトレーサー物質濃度の時間変化およびろ材の展開高さをそれぞれ図22，23に示す。数値シミュレーションによる予測結果と実験結果とを比較すると，トレーサー濃度の時間変化がよく一致した。また，ろ材の展開高さについても理論予測，実験結果および数値シミュレーション結果はよく一致しており，逆洗時におけるろ材および水の挙動を予測可能と考えた。

3.3.2　実機スケール数値シミュレーション

均一分散性の評価結果から，逆洗水は均一に分散可能であり，どの断面においても同様な流れパターンが得られると考えられたため，２次元モデルでも内部状況を充分に予測可能と考えた。逆洗前後におけるアンスラサイト濃度のコンター図を図24に示す。なお，アンスラサイト層の下にはろ過砂の層が存在する。ろ材の最大膨張高さは排水トラフ付近で最大となり，およそ80 mm となった。これは，理論予測の結果120 mm と比較して小さい。この原因として，ろ過砂とアンスラサイトの層が厳密には分離しないこと，ろ過砂層の上にはアンスラサイト層が存在するため，ろ過砂の展開高さが理論予測よりも小さくなることが考えられる。５分間の逆洗後，底面を壁面境界としてろ材の高さを確認したところ，10秒後には界面高さの平均値からのずれは７mm 未満となった。逆洗後，もっともろ材厚みが小さくなった領域でも $\sum L_i/D_i$ の変化は１％以内であり，充分にろ過性能を維持できると考えられる。

また，PAC によって生成されるフロックのうち，沈降速度が最大となる４mm のフロックについて，粒子軌跡を確認した。その結果，全体の96 ％のフロックが30秒後には排水トラフから排出された。フロックの滞留時間分布を図25に示す。残ったフロックはトラフ底面のよどみ領域に停滞したが，ろ材内部からは除去可能であり，フロックを剥離させることができれば，異物の除去は可能と考えられる。上述した通り，逆洗やろ過の過程でフロックの径がより小さくなれば，終端速度はさらに小さくなるた

め，フロック除去はより容易となり，フロックは除去可能と考えることができる。

以上から，当社の A/W 有孔ブロックは逆洗時における均一分散性，フロック除去性能およびろ材の安定性いずれに対しても良好な性能を保有することが確認できた。また，逆洗後におけるろ材の高さのばらつきも小さく，長期的に初期性能を保持することが可能と期待できる。

む　す　び

A/W 有孔ブロックについて，逆洗時における逆洗水の均一分散性，フロックの除去性能およびろ材の安定性を検討した。その結果，A/W 有孔ブロックは従来品と比較して逆洗時における水の均一性が優れており，さらにフロック除去性能，ろ材の安定性についても優れた性能を有することが確認できた。

今後，より多くの施設で A/W 有孔ブロックが利用されることを期待したい。

［参考文献］

1）石山　明，中島優一，長谷川進（2006）“下部集水装置としての多孔板付き空気―水洗浄式有孔ブロックの水理特性”，全国水道発表研究発表会講演集，Vol.57 pp.188-189

2）日本機械学会編（1979)”技術資料　管路・ダクトの流体抵抗”

3）FLUENT Inc.（2005）“FLUENT6.2ユーザーズガイド”

4）藤田賢二，内藤幸穂（1985）“改訂上水道工学演習” pp.207-208

5）藤田賢二，山本和夫，滝沢智（1999）“急速濾過・生物濾過・膜濾過”

6）丹保憲仁（1972）“凝集とフロック形成（4)”，水処理技術，Vol.13，No.4

*商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 新規プロセス室　**商品市場・技術開発センター プロセス技術開発部 廃棄物処理室　***水処理事業部 技術部 水処理室

新型イオン交換装置

Introduction of New Ion Exchange Process

山地洋樹*
Hiroki Yamaji

金澤浩二*
Kohji Kanazawa

平井孝明*
Takaaki Hirai

安友邦彦**
Kunihiko Yasutomo

浄徳拓也***
Takuya Joutoku

大朝　功****
Isao Ootomo
技術士（水道部門）

下向流通水，上向流再生型のイオン交換装置の運転方法と，その高効率な再生方法を確立した。

本イオン交換装置は，従来のイオン交換装置に対して採水能力を同等とした場合，再生にかかる時間，排水，薬品量を大幅に削減できる。また線流速を高くとることができ，樹脂が充てんされない空間部分を少なくすることができるため，装置がコンパクトであるといった特長を持つ。

We established a highly efficient ion exchange process and a regeneration process, featured downward flow service and upward regeneration. This ion exchange process has the feature, greatly reducing a regeneration time, regeneration chemicals, and rinsing water consumption. But this process is compared with a past process and the performance doesn't change. And plant is very compact for result of high linear velocity and small dead space.

Key Words：

下向流通水，上向流再生	Downward Flow Service, Upward Flow Regeneration
省エネルギ	Saving Energy
省資源	Saving Resource
省廃棄物	Saving Waste

【セールスポイント】

従来よりも再生薬品量，再生排水量，再生時間を大幅に削減できるイオン交換装置である。

再生時間が大幅に短縮され，運転管理が容易である。

構造がシンプルでコンパクトであり，イニシャルコストに優れている。

ま え が き

イオン交換による水処理方法はその原理から，破過した樹脂に対して塩酸，苛性ソーダなどの薬品を用いて再生する必要がある。また再生で発生した排水は，放流する際に中和等の処理を行わなければならない。

イオン交換装置の性能は，処理水質や採水量に加え，この再生薬品量や再生排水量，再生時間をいかに少なく抑えられるかにかかっており，当社はこれまで，高効率のイオン交換装置として，上向流通水，下向流再生型の「スーパーフロー」を開発，販売してきた。

一方，下向流通水，上向流型のイオン交換装置も古くから存在していたが，再生時の樹脂流動を抑えるため，大量の「押さえ水」を上部から投入し，下部から投入される再生薬品とともに樹脂塔中間から抜出す方法を採っていたため，膨大な再生排水が発生していた。

今回の下向流通水，上向流再生型の新型イオン交換装置は，従来のスーパーフローよりも再生薬品量，再生排水量，再生時間を大幅に削減することが可能なイオン交換装置である。また樹脂塔構造も非常にシンプルかつコンパクトとなり，イニシャルコスト，ランニングコスト両面に優れた装置である。以下に概要と運転結果を紹介する。

1. 新型イオン交換装置の概要

1.1 新型イオン交換装置の構造

図１に新型イオン交換装置と従来機の概略構造を示す。

新型イオン交換装置は逆洗時に展開させない。このため樹脂が充てんされない空間（以下，フリーボードと記す）が極端に少なく，樹脂塔高さが大幅に低減される。また従来機では通水時の樹脂の流動を抑えるためにリンス層を設けているが，下向流通水の新型イオン交換装置では通水時に樹脂が流動しないため，リンス層は必要ない。代わって再生時の整流効果を高めるために，少量のイナート樹脂が充てんされている。

さらに塔に付属するノズルが少なく，中間多孔板も不要で塔内部の構造，外部配管ともにシンプルである。

なお，樹脂塔内にストレーナを取付けた隔壁を設けることで，塔内に複数種の樹脂を充てんした複床型での運用も可能である。

1.2 新型イオン交換装置の再生工程

図２に新型イオン交換装置の基本的な再生工程を示す。新型イオン交換装置の再生工程は以下の５工程のみである。

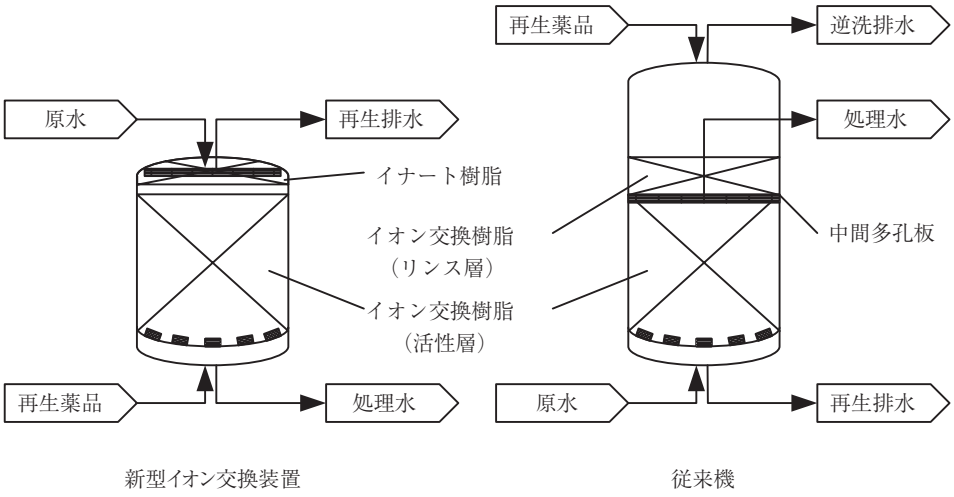


図１　新型イオン交換装置，従来機概略図

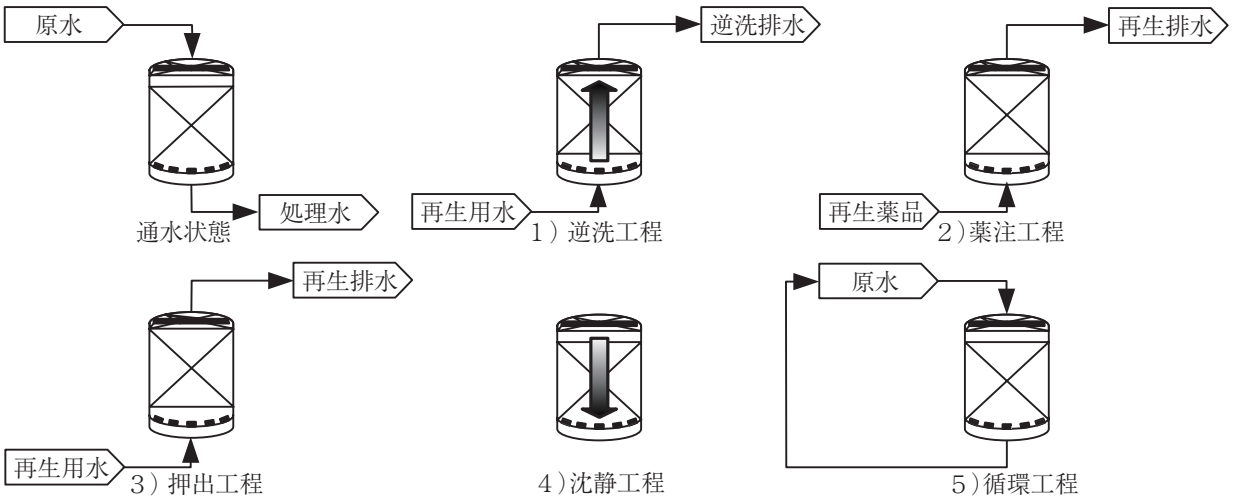


図２　新型イオン交換装置の再生工程

1）逆洗工程

通常の逆洗時の線流速（LV）より３倍以上の高LV で短時間の逆洗を行う。これにより樹脂層は展開することなく樹脂塔上部に押し付けられる。

また運転中に破砕した樹脂や，原水中に含まれ樹脂塔内に蓄積した懸濁物（SS）はこの工程で塔外に排除される。

この状態のまま以下の工程を行うことで，樹脂層を固定したまま上向流での再生が可能となった。

2）薬注工程

樹脂層を上部に押し付けたまま，下部より再生薬品を注入する。カチオン樹脂には塩酸などの酸，アニオン樹脂には苛性ソーダなどのアルカリを注入することで，破過した樹脂が再生される。

3）押出工程

再生薬品の注入を停止し，再生用水のみを通水して樹脂塔内の薬品を押し流す。

4）沈静工程

通水を停止し，上部に押し付けた樹脂層を樹脂塔下部に沈降させる。沈降高さがわずかで樹脂層は下部から順次沈降していくため，上部と下部の樹脂が混合することは無い。

またこの工程は圧密された樹脂をほぐす効果もある。

5）循環工程

処理水水質が目標水質に到達するまで処理水を原水配管に戻した循環運転を行う。

以上が新型イオン交換装置の全再生工程であり，再生に要する時間は樹脂塔高さにもよるが，おおむね１時間前後で完了し，処理を再開することができる。

2.　新型イオン交換装置による運転結果

2.1　新型イオン交換装置の概要

図３および写真１，写真２に新型イオン交換装置のフローシートと写真を示す。カチオン塔は塔径460 mm，強カチオン交換樹脂を190 L，アニオン塔は塔径500 mm で中間板を有し，塔上部には弱アニオン交換樹脂，塔下部には強アニオン交換樹脂をそれぞれ160 L 充てんしている。

原水は工水の凝集濾過処理水を使用し，原水ポンプ（P-11）で昇圧，ミクロンフィルタ（MF-1）でSS 分を除去したのち，導電率（EC）計をとおってカチオン塔（CT-1）上部より下向流で塔内に供給され，脱カチオン処理される。処理水は下部より流出し，脱炭酸塔（DG-1）で炭酸ガスを除去してから脱炭酸水ポンプ（P-21）で再度昇圧されて，アニオン塔（AT-1）上部より下向流で塔内に供給され，EC 計，積算流量計をとおって脱アニオン処理される。

写真１　カチオン塔

写真２　アニオン塔

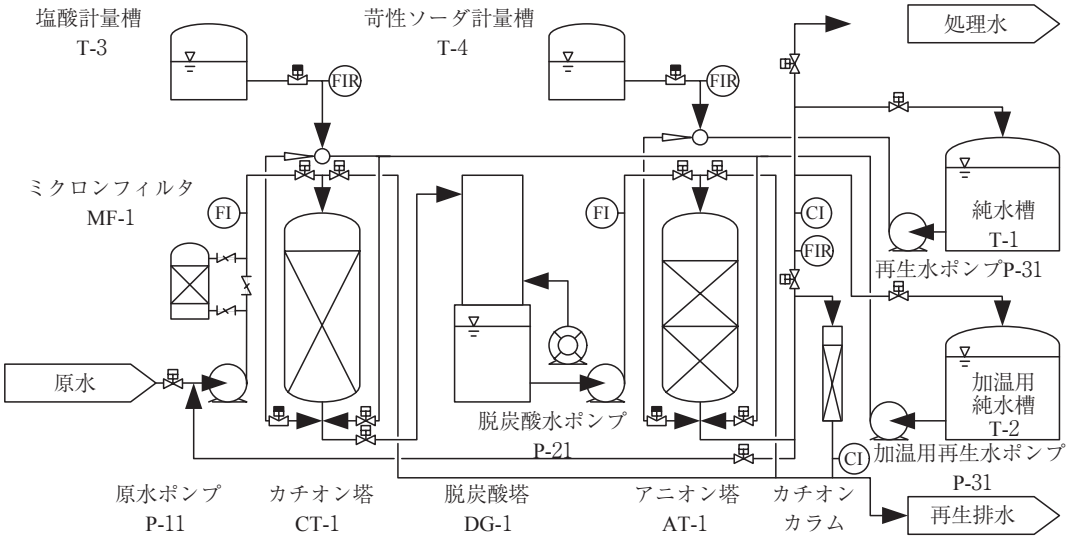


図３　新型イオン交換装置のフローシート

イオン交換処理水は，純水槽（T-1），加温用純水槽（T-2）に再生に必要な再生用水を貯留したうえで処理水槽へ送水される。

また，本装置ではシリカ計の代わりに，処理水側にカチオン樹脂を充てんしたカチオンカラムを設けて，処理水の一部を再度カチオン交換処理してECを測定し，カチオンブレイクかアニオンブレイクかを判断できるようにし，塔ごとの性能を評価できるようにした。

カチオン塔の再生は，図２に示した工程の通り，まず再生ポンプ（P-31）を使用して逆洗を行う。薬注工程では再生ポンプから供給される再生用水を駆動水としたエゼクタにて，塩酸計量槽（T-3）から必要量の塩酸を塔下部から供給して再生を行う。押出工程では塩酸の供給だけを停止して，塔内の塩酸を押し流す。沈静工程後，アニオン塔の沈静完了まで待機して，循環工程を行う。

またアニオン塔の再生もカチオン塔と同様に，まず再生ポンプを使用して逆洗を行う。薬注工程では加温用再生ポンプ（P-32）から供給される再生用水を駆動水としたエゼクタにて，苛性ソーダ計量槽（T-4）から必要量の苛性ソーダを塔下部から供給して再生を行う。なお原水中にはイオン状シリカ（SiO_2）が含まれるため，あらかじめ再生用水を40℃に加温して再生効果を高めている。押出工程では苛性ソーダの供給だけを停止して，塔内の苛性ソーダを押し流す。沈静工程を経た後，所定の処理水質に到達するまで循環工程を行う。

以上のカチオン塔，アニオン塔の再生は，自動で行われる。

2.2　原水のイオン負荷について

新型イオン交換装置の原水は水質が一定ではないため，採水量だけでは交換容量を評価できない。このため，原水ECごとに各イオン濃度を測定，ECとイオン濃度の関係を把握してから，運転中のイオン負荷を割り出して性能評価を行った。図４に原水ECごとのイオン濃度の測定結果を示す。

結果，原水中のイオン濃度は概ねECと相関関係にあり，原水ECを測定し，記録することで運転中のイオン負荷を計算することができることを確認した。

2.3　運転結果

2.3.1　処理性能について

図５に運転結果の一例を示す。新型イオン交換装置の運転条件において，処理水水質設定はECで2 μS/cmとした。すなわち，再生時の循環工程は処理水ECが2 μS/cm以下まで低下したら完了とし，運転中は処理水ECが2 μS/cm以上に上昇したら停止し，再生を行った。

図５において，処理水ECは0.2 μS/cm以下まで低下しており，２床３塔型イオン交換設備としては十分な処理水質を達成している。42時間運転後に処理水ECが2 μS/cmに到達したが，カチオンカラム処理水ECは通水中と変化が無いため，カチオン樹脂がブレイクしている。

なお，処理水中のイオン状シリカは50 μg/L以下であった。

2.3.2　停止後の水質立ち上がりについて

強カチオン樹脂，強アニオン樹脂は再生時に膨潤して体積が大きくなるが，運転時間の経過とともに収縮して体積が小さくなる。上向流通水である従来機の場合，原水槽水位低下などで運転を停止すると，収縮した樹脂が落下して樹脂層が崩れることがある。その後運転を再開しても水質を得られない場合は，再生を行う必要がある。

下向流通水である新型イオン交換装置でもこのような現象は起こり得ないか，処理水ECが上昇し始

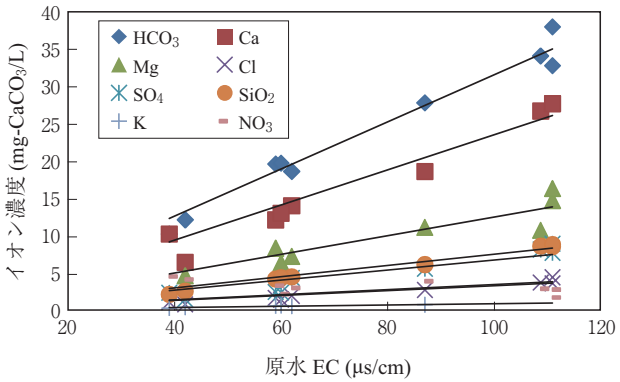


図４　原水ECとイオン濃度の関係

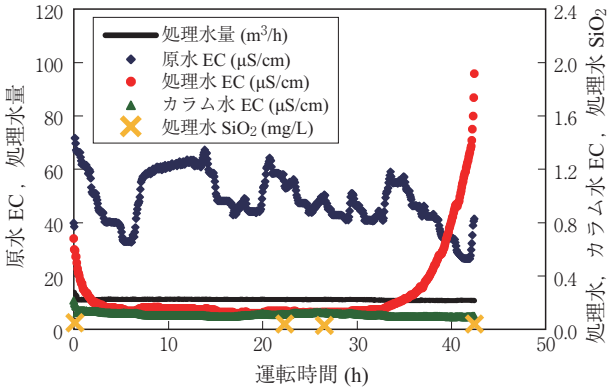


図５　新型イオン交換装置運転状況の一例

表１　再生時間，再生排水量の比較

			従　来　機	新型イオン交換装置
処　理　水　量			206 m^3/h ×21 h	190 m^3/h ×23 h
C塔	塔　径，高　さ		2 400 φ×4 200 SH	2 200 φ×2 000 SH
	樹脂量	SC	9 600 L（活性層：7 643 L）	6 800 L
A塔	塔　径，高　さ		2 600 φ×4 800 SH	2 300 φ×2 700 SH
	樹脂量	WA	3 700 L	3 000 L
		SA	9 300 L（活性層：7 700 L）	5 500 L
塩　酸　使　用　量			983 kg/cycle（35 %）	836 kg/cycle（35 %）
苛性ソーダ使用量			867 kg/cycle（45 %）	611 kg/cycle（45 %）
再　生　時　間			120分	47分
再　生　排　水　量			189 m^3	68 m^3

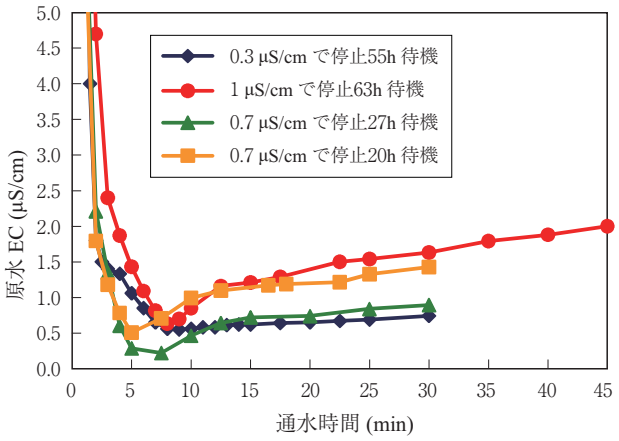


図６　運転中断，再開後の水質

めた時点で運転を中断し，数時間後に運転を再開して確認を行った。結果を図６に示す。

中断後の運転再開時は循環工程を行うが，処理水ECは循環開始から３分から５分で2 μS/cmを下回り，運転が可能となった。また中断，再開した場合の採水量は，中断しない場合の採水量と変わらなかったため，新型イオン交換装置では運転の中断は全く影響ないことが確認された。

2. 3. 3　再生時間，再生排水量について

イオン交換装置において，薬注，押出，循環の３工程は時間，排水量ともにもっとも影響の大きい工程である。特に押出工程では薬注工程で注入した再生薬品を十分に押し流す必要があることから，従来機では，押出工程だけで１時間以上を要している。

新型イオン交換装置では，デッドスペースが非常に小さいことから投入した薬品が速やかに塔外へ押し流されること，またLVを高く設定しても洗浄効果が変わらないことから，20分程度で完了し，排水量も60 %程度に削減できる。また所定水質に到達するまで実施する循環工程も，従来機の20分に対して概ね６分から８分で完了した。

2. 3. 4　再生効率について

採水量と原水ECより算出されるカチオン負荷は，再生レベル46g-HCl/L-Rに対し，再生効率90 %以上である57g-$CaCO_3$/L-Rに達した。従来機の再生効率は70 %から75 %であるため，新型イオン交換装置は非常に高効率である。

表１に4 000 m^3/dの純水設備を想定した場合の比較結果を示す。新型イオン交換装置は従来機に比べ，樹脂量は32 %削減，再生薬品使用量は22 %削減，再生排水量，再生時間に至っては60 %以上が削減されており，省エネルギ，省資源，省廃棄物な設備となっている。

む　す　び

イオン交換装置の性能を大きく左右する再生時間，再生排水の大幅な削減は，付帯する再生排水処理設備，再生用水製造のための樹脂，再生薬品の増加を極限まで小さくすることができ，イニシャルコストの低減に効果が高い。また再生薬品や再生排水の削減はランニングコストの低減にも効果が高い。当社が納入してきた従来機は順次更新時期を迎えているが，それらの更新およびその他の設備においても新型イオン交換装置が広く採用されることを期待する。

*水環境・冷却塔事業部 技術部 計画室　**神鋼環境メンテナンス株式会社 水処理本部 技術部 第三技術室　***神鋼環境メンテナンス株式会社 水処理本部 技術部 東京技術室
****神鋼環境メンテナンス株式会社 水処理本部 技術部

ベトナム LOTECO 工業団地排水処理設備

Waste Water Treatment System for Long Binh Industrial Zone in Vietnam

西尾敏幸*
Toshiyuki Nishio

星住勝彦**
Katsuhiko Hoshizumi

当社は2010年５月に，ベトナムに当社にとって初めての水処理設備を納入した。これは，LOTECO 工業団地内の各工場からの排出される排水量の増加に伴い，排水処理設備の能力増強が必要となり，当社が第３期の排水処理設備を納入したものである。第２期の排水処理設備建設時に，他水処理メーカにより第３期分の土木水槽も既に建設されていたが，当社の処理システムに適合させるために改造を実施し，各水槽の機能を大幅に変更した。現在，保証処理水質を満足したうえで，順調に稼働しており，本稿にて紹介する。

Phase Ⅲ of Waste Water Treatment System was delivered to Long Binh Industrial Zone in Vietnam for increasing of waste water from industrial factories. Water basins for Phase Ⅲ had already been constructed at same time when Phase Ⅱ was constructed, so we rebuilt those basins in order to adjust to our treatment system. The system now has been operating stably, achieving guaranteed discharge quality.

***Key Words*：**

生　物　処　理	Biological treatment
ベ　ト　ナ　ム	Vietnam
工　業　団　地	Industrial zone

【セールスポイント】

当社にとってベトナムにおける初の納入設備である。
既存水槽を最大限利用することで，顧客の設備投資負担を軽減できた。
設備フローがシンプルであり，安定運転が可能である。

ま え が き

ベトナムには現在，約150の工業団地があり，経済発展が著しい中，現在も新規の工業団地が各所で建設中である。工業団地は民間企業が開発・造成のうえ，各企業へ工場敷地をレンタルし，また電気・上水の供給および排水（下水）処理を供給することで運営されている。

各工場から排出される排水は，工業団地との契約で決められた水質まで自工場内の排水処理設備で処理され，その後，工業団地により設置された集中排水処理設備にて河川放流できる水質まで処理される。ただし，工業団地の集中排水処理設備は通常，凝集沈殿処理，生物処理および滅菌処理のみで構成されるため，本設備で除去できない重金属類等は，各工場で河川放流レベルまで事前に処理する必要がある。

LOTECO 工業団地はベトナム南東部，ホーチミン市中心から北西へ約30 km 離れたドンナイ省ビエンホア市内に位置している。入居している企業はベトナム国内および海外含め2009年９月時点で52社にのぼる。1996年に運営を開始し，同年に第１期の排水処理設備（処理能力1 500 m^3/d），2004年に第２期の排水処理設備（処理能力4 000 m^3/d）を建設している。そして2010年５月に，当社が第３期の排水処理設備（処理能力4 000 m^3/d）を建設し，現在稼働中である。

本稿では，当社が納入した第３期排水処理設備の概要を紹介する。

1. 処理プロセスおよび改造内容

図１に第２期，第３期の排水処理設備のフローシート，および図２に生物処理槽の平面配置を示す。

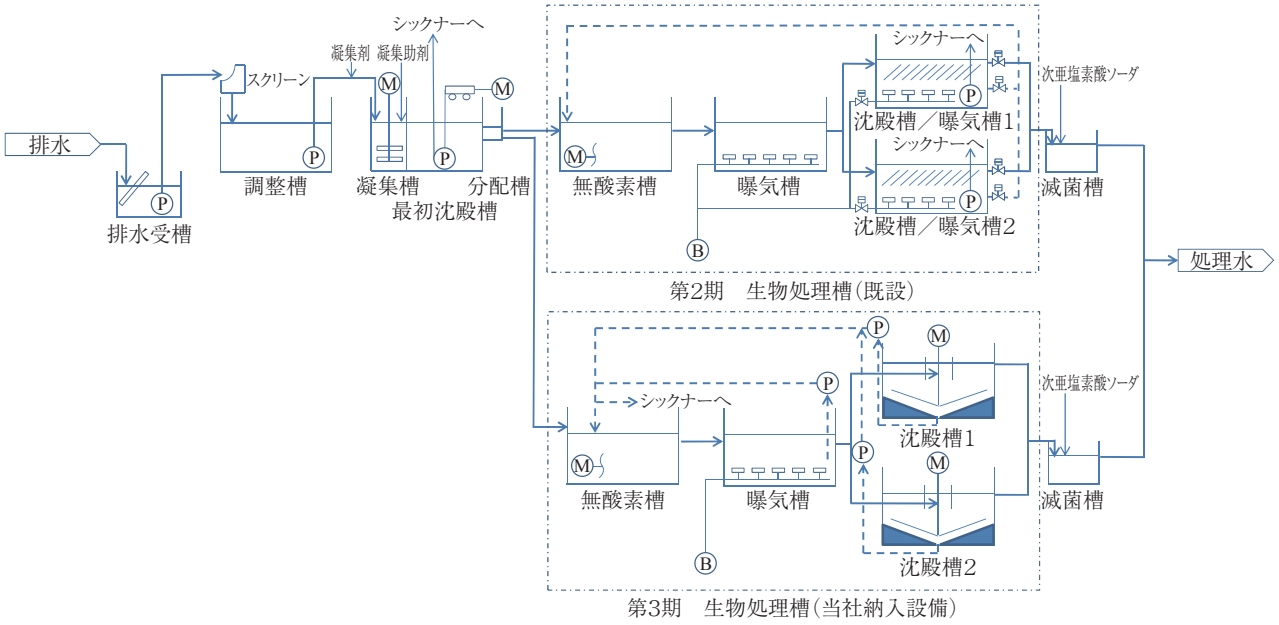


図１　第２期，第３期　フローシート

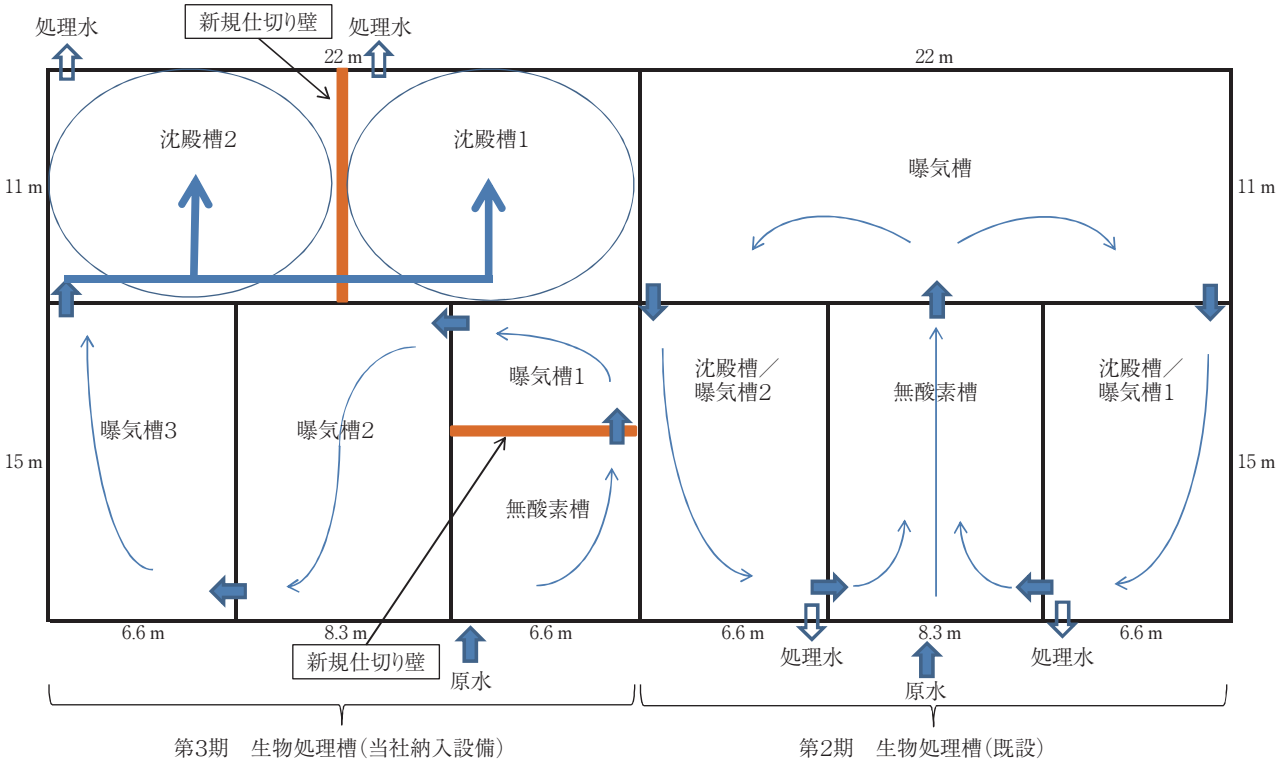


図２　第２期，第３期　生物処理槽　平面配置

表１　原水および処理水の水質

項　　目	原　　水		処　　理　　水	
	設 計 条 件	実測・分析値	保　証　値	実測・分析値
水量（m^3/d）	4 000	2 955	—	—
pH（－）	5～9	6.2～6.6	6～9	7.1～7.2
SS（mg/L）	≦350	140～148	≦50	1～34
BOD（mg/L）	≦300	100～120	≦30	17～22
NH_4-N（mg/L）	≦20	1.1～3.2	≦5	0.1～0.15
T-N（mg/L）	≦30	5.9～12	≦15	3.2～4.6

写真１　設備外観１（曝気槽）

写真２　設備外観２（曝気槽）

排水受槽から最初沈殿槽までは，第２期，および第３期の共通設備となる。その後の生物処理槽以降は，それぞれ独立した設備となる。

生物処理槽では，BOD および窒素の除去が必要であるため，無酸素槽，曝気槽，沈殿槽の処理プロセスが必要となる。

第２期の排水処理設備では，沈殿槽が２槽設置され，運転切り替えにより１槽は沈殿処理，もう１槽は曝気槽として交互に機能するようになっている。沈殿槽の表面積は小さく，沈降分離性能を向上させるために沈殿槽の内部には，樹脂製の傾斜管が設置されている。

第３期の生物処理槽（土木水槽）は，第２期と同じ処理プロセスを適応することを前提に，第２期の設備建設時に他水処理メーカにより既に建設されていたが，処理の安定性および，よりシンプルな運転を考慮し，当社が改造を実施した。

第２期の設備では曝気槽として使用している水槽の中間に仕切り壁を設け，２槽のレーキ付の沈殿槽に改造した。汚泥の沈降分離に必要な表面積を確保することで，傾斜管の設置を不要とし，かつ連続処理とすることで，沈殿 / 曝気の運転切り替えを不要とした。

写真３　設備外観３（沈殿槽）

また，第２期の設備では無酸素槽および沈殿 / 曝気槽として使用している水槽を，無酸素槽および曝気槽に改造した。この際，既設の仕切り壁は除去せずそのまま利用し，多段処理とすることで，曝気槽

前段で BOD の除去を行い，後段での窒素の硝化反応が進行しやすい構成とした。

なお，曝気槽処理液の循環，および沈殿槽からの汚泥の返送には，陸上ポンプの設置場所が確保できないこと，また，既設ブロワの能力に余裕があったことから，エアリフトポンプを採用した。

2. 処 理 状 況

表 1 に性能確認時の原水および処理水の水質を示す。また，**写真 1，2，3** に稼働中の設備外観を示す。

処理水質は全項目において保証値を満足していた。

なお，処理水保証値はベトナムの産業排水排出基準の中でも最も厳しい Level A に該当する。

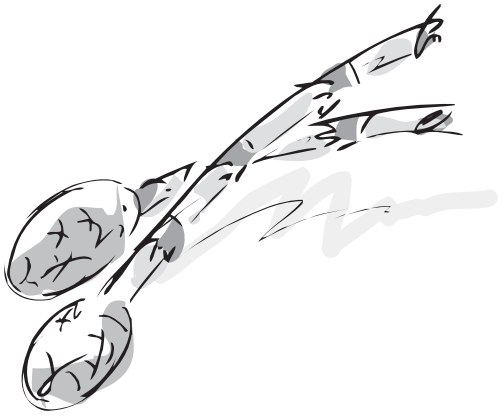
む す び

以上 LOTECO 工業団地に当社が設置した第 3 期排水処理設備の概要を紹介した。ベトナム国内では，経済発展が著しいこと，また，近年，排水の水質規制に対する監視が強化されていることもあり，水処理設備のニーズが年々高まっている。

本件は，当社としてベトナム国内で初の納入設備であるが，今後も当社の水処理技術および経験を生かした設備を納入することで，ベトナムの環境保全および水処理技術の向上に貢献することができると考える。

最後に，当社設備の導入を決定し，建設中および試運転中に多大なるご協力を頂いた THE LONG BINH TECHNO PARK DEVELOPMENT CO., LTD 殿に深く感謝の意を表する。

*海外部 技術室　**水環境・冷却塔事業部 技術部 ベトナム・プロジェクト室



兵庫西汚泥溶融処理設備での
高濃度クロム含有下水汚泥溶融システムと運転状況

Melting System to Process Sewage-sludge Containing High Concentration Chromium and Operating Situation in Hyogo-Nishi Sewage Sludge Melting Treatment Facility

坂井義広*
Yoshihiro Sakai

石井　豊**
Yutaka Ishii

曲健太郎***
Kentarou Magari

芦田直行***
Naoyuki Ashida

吉田成希*
Shigeki Yoshida

当社は，兵庫西流域下水汚泥広域処理場の汚泥溶融設備の１系列目（全体２系列）を完成させ，2010年4月より本格稼働を開始している。同設備で処理する下水汚泥は高濃度のクロムを含有しているため，生成スラグからの六価クロム溶出を抑えるプロセスが必要となる。まず循環流動焼却炉で燃焼に必要な空気量を絞った抑制燃焼を行い，六価クロムの発生を抑えた焼却灰を生成する。これを旋回灰溶融炉で高温溶融したのちに急冷し，クロムをスラグ中に封じ込める。スラグは，最終的には道路用溶融スラグ細骨材として再利用が可能となる。

ここでは高濃度クロム含有下水汚泥焼却溶融システムと運転状況について紹介する。

Kobelco-Eco Solutions has completed the first-line of the sludge melting treatment facilities in Hyogo-Nishi Sewage sludge treatment plant and started operation since April 2010. Due to high concentration of chromium in the sewage sludge, Melting-process for leaching–out control of hexavalent chromium is required. Pyrolysis combustion of low-air-ratio is adopted in circulating fluidized bed incinerator to prevent producing hexavalent chromium in incinerated ash. And by quenching after at high melting temperature in swirl flow ash melting furnace, chromium is shut in slag safely. Slag can be reused as molten slag fine aggregate for road construction. We introduce melting system to process sewage sludge containing high concentration chromium and operating conditions.

Key Words：

下　水　汚　泥	Sewage sludge
六　価　ク　ロ　ム	Hexavalent chromium
抑　制　燃　焼	Pyrolysis combustion
溶　融　ス　ラ　グ	Melting slag
旋　回　灰　溶　融　炉	Swirl flow ash melting furnace

【セールスポイント】

・熱分解炉での抑制燃焼により六価クロムの生成を抑制できる。
・塩基度の適正な管理および，溶融炉での高温溶融，急冷によりスラグからの六価クロムの溶出を抑制できる。
・オンラインで焼却灰の性状を管理することで，効率良く安全なスラグの生成ができる。

ま え が き

下水汚泥中には重金属が含まれている場合があり，処理方法によっては，生成物からの溶出が問題となる。特に，汚泥に高濃度のクロムが含有されている場合，通常の焼却処理を行うと有毒な六価クロムへ酸化されてしまう。当社が実施した実験の結果，燃焼に必要な空気を絞った抑制燃焼により，クロムの酸化を抑え，焼却灰からの六価クロム溶出量が低減できることを確認した。しかし，「土壌の汚染に係る環境基準」の溶出量基準を満足することはできなかった。そこで，重金属類をスラグ中に封じ込め可能な溶融処理方法を検討した。

現在，兵庫西流域下水汚泥広域処理場で処理されているような10 000 ppm を超える高濃度クロム含有汚泥の処理は国内で類を見ず，コークスを利用した強還元雰囲気下で下水汚泥を直接溶融する方式が採用されていた。一方当社は実証実験を重ね，焼却灰を酸化雰囲気下で溶融したスラグでも，クロムを安定的にスラグ中に封じ込めることが可能な処理プロセスの開発に成功した。各種実証実験を通じて，溶融過程におけるクロムの挙動に関して得られた知見を以下に示す。[1)]

・溶融温度の違いにより，スラグ中のクロムの化合物形態は変化する。
・灰中に六価クロムが含まれていてもその大部分は，酸化雰囲気化でも高温にすることで，三価クロムへ還元される。
・灰の塩基度（灰組成のうち酸化カルシウムと二酸化ケイ素の重量比で示される指標）を１以下に調整し，溶融温度を1 400 ℃以上，かつその温度から急冷することで，溶融スラグからの六価クロムの溶出を抑制できる。
・灰中の全クロム濃度を50 000 mg/kg 以下に抑えることで，溶融スラグの安定出滓が可能となる。

現在，兵庫県姫路市にある兵庫西流域下水汚泥広域処理場において，当処理プロセスを用いた溶融設備の操業を開始し，安定した運転操業を達成できている。

表１　設 備 概 要

処理量	145 WSt/d × ２系列 （33 DSt/d：含水率77 %の標準汚泥として）
処理方式	循環流動焼却炉（抑制燃焼）＋旋回灰溶融炉
排ガス処理設備	サイクロン式およびろ過式集塵＋洗煙処理＋触媒脱硝
使用燃料	都市ガス
排ガス基準値（※）	ばいじん：0.008 g/m^3_N 以下 硫黄酸化物：11 ppm 以下 窒素酸化物：30 ppm 以下 塩化水素：3 ppm 以下 ダイオキシン類：0.1 ng-TEQ/m^3_N 以下
溶融スラグ管理基準	一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ JIS A 5032
操業開始日	４号溶融設備：2010年４月１日 ５号溶融設備：2011年４月１日（予定）

※排ガス基準値は酸素濃度12 %換算値

1. 設 備 概 要

1.1 処理プロセス

本溶融設備の概要を**表１**に，処理フローを**図１**に４号溶融設備の全景を**写真１**に示す。当処理プロセスは，煩雑な操作をすることなく，前述の六価クロムの溶出抑制条件を容易かつ安定して満たせるように設計されている。以下に各工程の特長を紹介する。

1.1.1 汚泥供給

当処理場は，広域汚泥処理場であるため，周辺処理場より，含水率や塩基度など性状の異なる汚泥やし渣・沈砂が搬入される。前述のとおり，溶融スラグの塩基度を１以下に調整することが重要であるが，その際，各汚泥の性状が一定でないことが問題となる。処理する汚泥の性状，特に塩基度の変動幅が大きくなることで，塩基度の調整が困難になることが想定された。そこで，当処理場で処理される汚泥を塩基度の高いもの，中程度のもの，低いもの，およびし渣・沈砂の４種類に分類し，それぞれ熱分解炉へ定量供給することで，変動幅の縮小を図った。

写真１　４号溶融設備全景

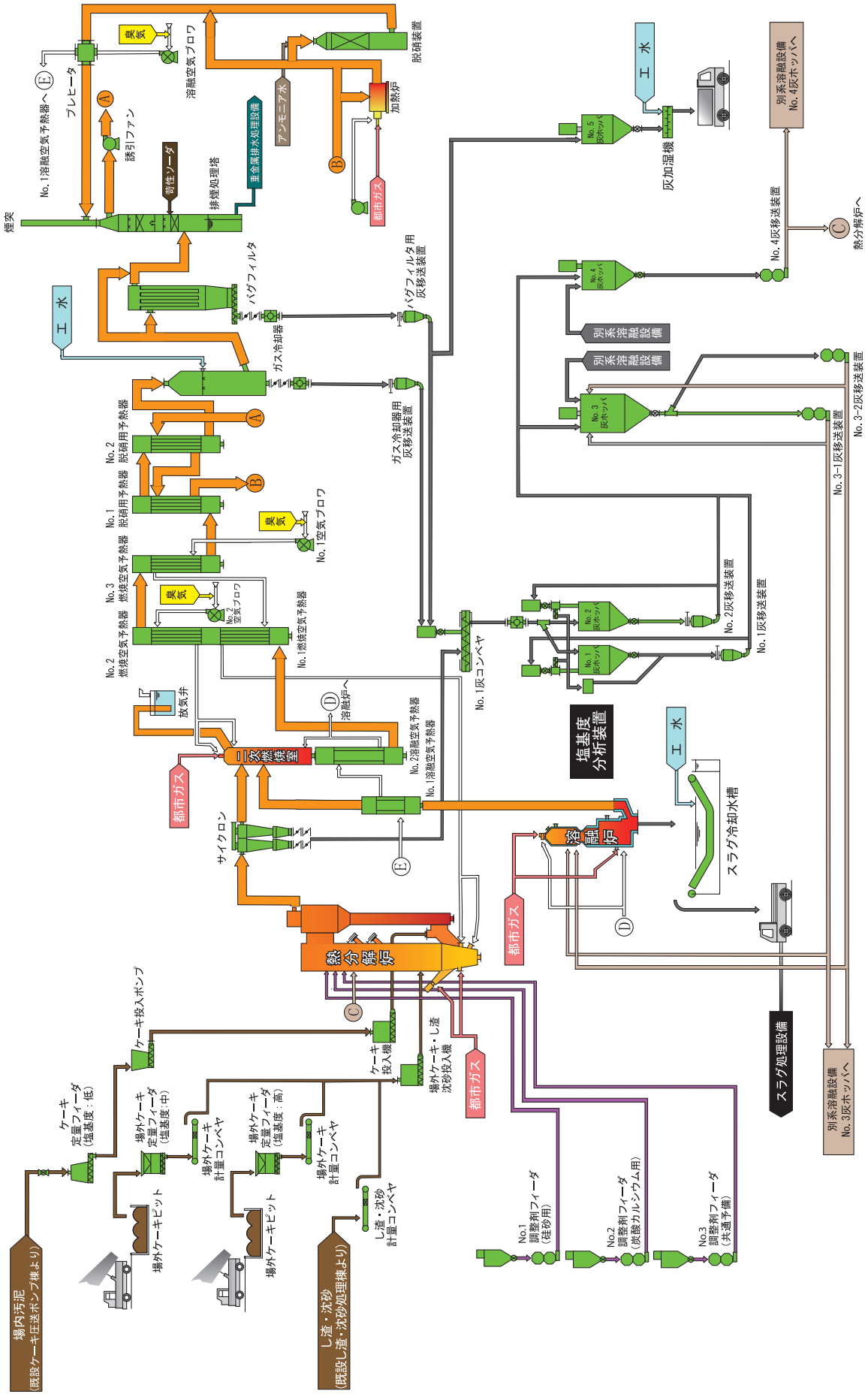

煙突
No. 1溶融空気予熱器へ
プレヒータ
誘引ファン
苛性ソーダ
排煙処理塔
重金属排水処理設備
アンモニア水
溶融空気ブロワ
脱硝装置
加熱炉
都市ガス
工水
バグフィルタ
バグフィルタ用灰移送装置
ガス冷却器
ガス冷却器用灰移送装置
No. 2脱硝用予熱器
No. 1脱硝用予熱器
No. 3燃焼空気予熱器
No. 2燃焼空気予熱器
No. 1燃焼空気予熱器
No. 2空気ブロワ
No. 1空気ブロワ
蒸気
放気弁
No. 1コンベヤ
No. 1灰移送装置
No. 2灰移送装置
No. 3-1灰移送装置
No. 3-2灰移送装置
No. 4灰移送装置
熱分解炉へ
別系溶融設備
No. 4灰ホッパへ
No. 5灰ホッパ
No. 4灰ホッパ
No. 3灰ホッパ
No. 2灰ホッパ
No. 1灰ホッパ
灰加湿機
塩基度分析装置
溶融炉
二次燃焼室
No. 2溶融空気予熱器
No. 1溶融空気予熱器
溶融炉へ
サイクロン
スラグ冷却水槽
スラグ処理設備
別系溶融設備
No. 3灰ホッパへ
熱分解炉
ケーキ投入ポンプ
ケーキ投入機
場外ケーキ・し渣沈砂投入機
ケーキ定量フィーダ（塩基度：低）
場外ケーキ定量フィーダ（塩基度：中）
場外ケーキ定量フィーダ（塩基度：高）
場外ケーキ計量コンベヤ
場外ケーキピット
し渣・沈砂計量コンベヤ
No.1調整剤フィーダ（硅砂用）
No.2調整剤フィーダ（炭酸カルシウム用）
No.3調整剤フィーダ（共通予備）
場内汚泥（既設ケーキ圧送ポンプ棟より）
し渣・沈砂（既設し渣・沈砂処理棟より）

図1　処理フロー図

1.1.2　抑制燃焼

汚泥を灰化するために熱分解炉で焼却処理を行う。熱分解炉では，六価クロムの発生を抑えるため，抑制燃焼（空気比１以下）により焼却処理する。安定した抑制燃焼をおこなうため熱分解炉は，循環流動焼却方式を採用した。循環流動焼却炉は，高温の流動砂を高速で循環させることにより，炉内温度を均一かつ高温に保持できる。この流動砂の循環が，抑制燃焼時に発生する砂層温度の低下を防ぎ，安定した抑制燃焼を可能にしている。

1.1.3　塩基度調整

塩基度調整剤は熱分解炉へ空気移送により投入され，焼却灰の塩基度調整が行われる。循環流動焼却炉内は撹拌混合性がよいため，焼却灰と塩基度調整剤を効率よく均一に混合させることができる。

1.1.4　完全燃焼

熱分解炉で生成された抑制燃焼灰は，後段のサイクロンで約９割が捕集される。未燃ガスを含む排ガスは，さらに後段の二次燃焼室へ導かれる。二次燃焼室では，完全燃焼に必要な燃焼空気を投入することで，炉内温度を850 ℃以上に維持し，シアンやダイオキシン類等の有害物質を酸化分解する。

1.1.5　排ガス処理

二次燃焼室から排出された排ガスは，熱回収設備で廃熱を回収したのち，排ガス処理設備へと導かれる。廃熱回収は輻射式熱交換器，多管式熱交換器で行われ，熱分解炉，二次燃焼室，および溶融炉に投入される各燃焼空気の予熱や，脱硝効率を上げるための再加熱に利用される。

排ガス処理設備は，バグフィルタ，排煙処理塔，脱硝装置で構成されている。それぞれ，ばいじん，硫黄酸化物，塩化水素，窒素酸化物を，**表１**に示す基準値以下まで除去したのち煙突より排出される。

1.1.6　塩基度管理システム

サイクロンおよびバグフィルタで捕集された焼却灰は，灰ホッパで一旦貯留される。当社は，その貯留過程において塩基度分析装置により焼却灰の塩基度やクロム濃度等をオンラインで測定・管理可能なシステムを構築した。従来は，スラグの出滓状況の目視による推測や，分析業者による溶融スラグの分析により塩基度を把握していた。目視確認の場合は，定量的な把握が難しく，分析の場合は結果を得るまでに時間を要するため，管理基準を超過した場合は，的確かつ迅速な対応が困難であった。しかし，このシステムにより，六価クロムの溶出抑制条件を満足している焼却灰は溶融炉へ，満足していない焼却灰は熱分解炉へ返送し，再度塩基度調整を行うことが可能となった。また，測定結果をもって，熱分解炉へ投入している塩基度調整剤の投入量も調整が可能である。なお，塩基度分析装置の詳細は後述する。

1.1.7　灰溶融

溶融炉の形式は，立形旋回灰溶融炉である。焼却灰は水分や可燃分がほとんど変化しない均質な性状であるため，汚泥溶融方式と比較して炉内温度制御が容易で，良質なスラグが得られるという特長を有している。燃料は温室効果ガスの排出量が少ない都市ガスを採用した。

焼却灰は溶融炉側面から空気移送により炉内へ投入される。炉内へ吹き込まれた焼却灰は，壁面に形成されているスラグ層で捕捉され溶融し，壁面を伝って出滓口まで流れ落ちる。

前述のとおり，溶融スラグからの六価クロム溶出抑制には，1 400 ℃以上での溶融が必要であり，適切な温度管理が求められる。そのため，炉内の温度監視装置として，耐火物内に埋め込んだ熱電対の計測結果から炉内温度の推定が可能な FM センサーおよび，直接炉内温度を計測できる放射温度計を設置した。

さらに，溶融スラグを急冷するため，溶融炉出滓口の直下にスラグ冷却水槽を設置している。溶融炉出滓口より水槽内に落下したスラグはここで急冷され，フライトコンベヤによりスラグコンテナへ搬出される。また，出滓口は水封されており，外気の炉内への流入を防いでいる。これにより，出滓口付近の温度低下の防止が可能となっている。

溶融炉から排出される溶融排ガスは，二次燃焼室へ導かれ熱分解炉からの排ガスと合流し，後段の排ガス処理設備へ排出される。

1.1.8　スラグ処理

スラグコンテナへ搬出されたスラグは，スラグ処理設備へ搬送される。スラグ処理設備は，破砕機，磨砕機，搬送コンベヤ，スラグバンカ等で構成されている。溶融スラグは粒度調整および磨砕処理を経て，製品スラグとなる。

1.2　塩基度分析装置の概要

前述のとおり，溶融スラグからの六価クロム溶出を抑制するためには，焼却灰の塩基度を１以下に管理する必要がある。また，燃料消費量の削減や耐火物の保護といった経済性，旋回溶融炉の安定出滓を考慮し全クロム濃度を50 000 mg/Ash kg 以下に抑える必要がある。

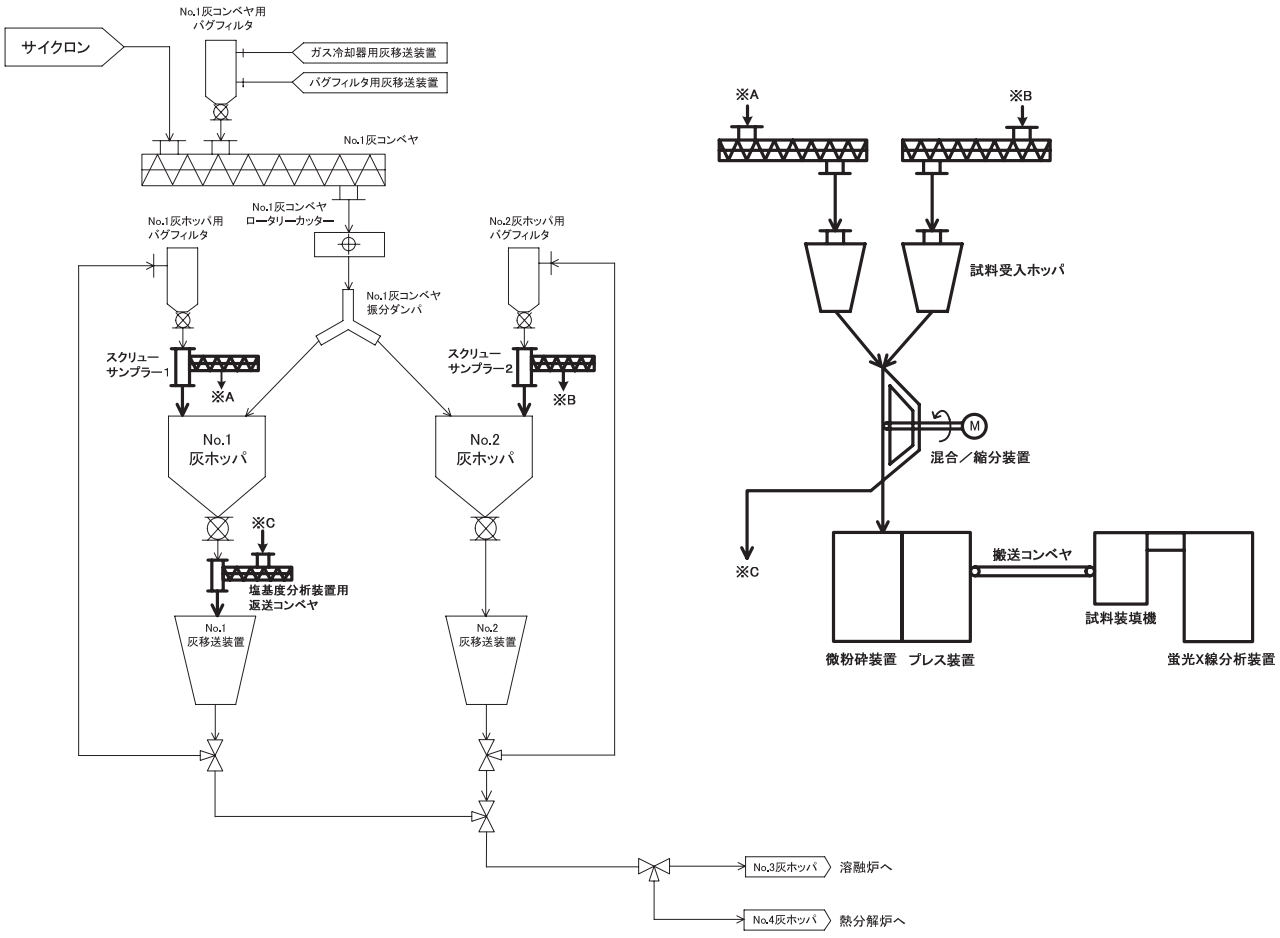


図２　分析・搬送設備フロー

従って，焼却灰の塩基度と全クロム濃度の分析を行い，その数値管理を行うことが重要となるが，試料のサンプリング，前処理および分析作業は非常に煩雑であるとともに熟練度を要する。

本設備では，運転員の負荷軽減と連続かつ安定的に分析結果を得ることを目的として，一連の作業を全自動で行えるオンライン型の前処理装置および蛍光 X 線分析装置（以下，塩基度分析装置）を導入した。

焼却灰の分析・搬送設備フローを**図２**に示す。

サイクロン・ガス冷却器・バグフィルタで回収された焼却灰は No.1 灰ホッパに貯留される。貯留された焼却灰は，No.1 灰移送装置により No.1 灰ホッパへ移送される。これは焼却灰を循環させ，性状を均質化することを目的としている。

その間，塩基度分析装置により焼却灰のサンプリング・分析を行い，性状監視を行う。ここで分析結果が判定基準を満足していなければ，熱分解炉への塩基度調整剤の投入量を変化させることにより調整が可能となっている。

No.1 灰ホッパが満杯になれば最終分析を行い，分析結果が判定基準を満足していれば No.3 灰ホッパへ移送し，溶融炉で焼却灰をスラグ化する。分析結果が判定基準を満足していなければ No.4 灰ホッパへ移送，熱分解炉への再投入により焼却灰の塩基度を再調整する。一方で，No.1 灰移送装置が No.3, 4 灰ホッパへ焼却灰を移送している間，No.1 灰コンベヤ振分ダンパを No.2 側に切り換え，No.2 灰ホッパ側で分析を継続することにより，連続分析を可能としている。これら一連の工程は中央監視制御装置で制御している。

次に塩基度分析装置の工程の説明を行う。前処理装置外観，塩基度分析装置外観写真を**写真２，３**に示す。

焼却灰のサンプリングはスクリューサンプラーにより行われる。サンプリングされた焼却灰は試料受入ホッパにいったん貯留されたのち，混合／縮分装置へと送られる。混合／縮分装置では撹拌混合が行われ，均質化が図られたのち，縮分が行われる。縮分された焼却灰は前処理装置へ送られ，整型プレス

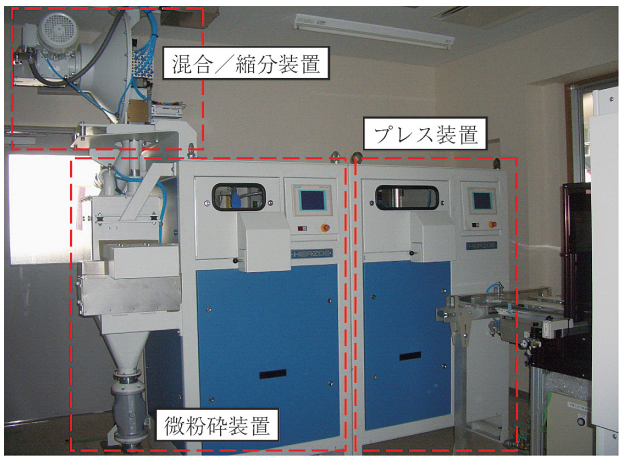


写真２　前処理装置外観

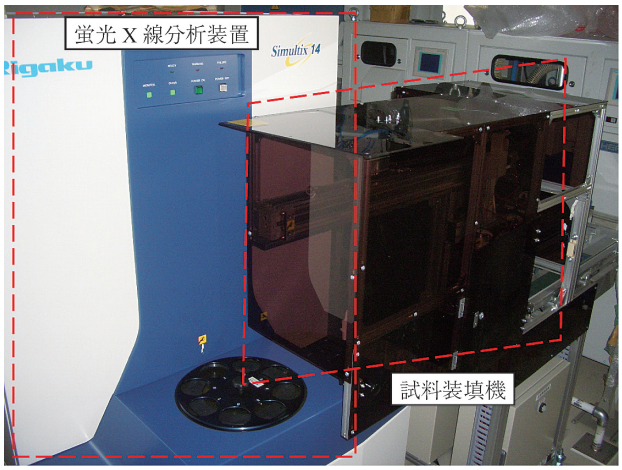


写真３　蛍光 X 線分析装置外観

され分析試料となる。分析試料は，搬送コンベヤ，試料装填機を介して蛍光 X 線分析装置へと送られ分析が行われる。分析が完了すると結果が中央監視制御装置へ送信される。また，分析が完了すると分析試料は，試料装填機，搬送コンベヤを介して前処理設備へと返送される。

2.　実負荷運転の実績

2.1　汚泥処理量および稼働率

2010年４月より操業開始した４号溶融設備における９月までの約６カ月間の処理実績を**表２**に示す。計画処理量4 339 DSton に対して実績処理量は4 379 DSton と計画量を上回っており，順調に脱水汚泥を処理できている。

また，運転実績を**表３**に示す。計画汚泥投入時間とは，定期修繕等を除く９月末までの焼却運転を予定していた時間を示す。汚泥投入時間は，熱分解炉へ汚泥を投入していた時間を示す。汚泥投入時間を計画汚泥投入時間で除した設備稼働率は99 %となり，初期トラブルが少なく安定操業ができている。

表２　４―９月間の処理実績

項　　目	単位	４―９月の累計計画値	４―９月の累計実績値
場内汚泥	DSton	3 357	3 061
場外汚泥（塩基度：高）	DSton	483	739
場外汚泥（塩基度：中）	DSton	318	392
し渣・沈砂	DSton	181	187
合　　計	DSton	4 339	4 379

※ DSton とは固形物量を表している。

表３　４―９月間の運転実績

項　　目	単位	４―９月の累計値
計画汚泥投入時間	h	3 292
汚泥投入時間	h	3 262
汚泥投入停止時間	h	30
設備稼働率	%	99.1

写真４　製品スラグ

2.2　製品スラグの品質

製品スラグの外観を**写真４**に示す。本設備で生成されたスラグは１週間毎に品質確認を行いながら，最終的に１カ月分を１ロットとして品質管理を行っている。製品スラグの分析結果を**表４**に示す。操業開始以降８月までの全てのロットにおいて溶出量試験および含有量試験とも基準値以下であり，問題ないことを確認した。この結果により，前述の六価クロムの溶出抑制条件で重要な焼却灰の塩基度管理，溶融炉の温度管理等が適切であることが確認された。

2.3　排ガス性状

2010年４月の操業開始以降に煙突出口で測定した

表４　製品スラグ分析結果

項　　目			基準値	４月分	５月分	６月分	７月分	８月分
有害物質の溶出量	カドミウム	mg/L	0.01以下	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
	鉛	mg/L	0.01以下	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
	六価クロム	mg/L	0.05以下	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満
	ひ素	mg/L	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
	総水銀	mg/L	0.0005以下	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
	セレン	mg/L	0.01以下	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
	ふっ素	mg/L	0.8以下	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満
	ほう素	mg/L	1以下	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満	0.2未満
有害物質の含有量	カドミウム	mg/kg	150以下	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
	鉛	mg/kg	150以下	96	39	37	63	98
	六価クロム	mg/kg	250以下	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
	ひ素	mg/kg	150以下	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
	総水銀	mg/kg	15以下	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
	セレン	mg/kg	150以下	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
	ふっ素	mg/kg	4 000以下	65	24	16	10未満	34
	ほう素	mg/kg	4 000以下	10未満	10未満	10未満	10未満	10未満

※９月は溶融運転を行っていないためスラグ分析データはなし。

表５　排ガス性状

項　　目		基準値	測定値
ばいじん	g/m^3_N	0.008以下	0.001未満
硫黄酸化物	ppm	11以下	1未満
塩化水素	ppm	3以下	1未満
窒素酸化物	ppm	30以下	3
ダイオキシン類	$ng\text{-}TEQ/m^3_N$	0.1以下	0.00013

※表中の数値は全て酸素濃度12 %換算値

排ガス性状を**表５**に示す。全ての項目で基準値を満足していることが確認された。

む　す　び

前述のとおり，４号溶融設備は，2010年４月からの操業開始以降，順調に操業を継続している。また，生成された溶融スラグからの六価クロムの溶出も抑制できており，当社が実証実験等を行って得た知見を，実処理設備での操業に反映できていることを確認した。

2011年４月からは，現在試運転中である５号溶融設備も操業開始予定である。今後も，これまでに得られた知見や４号溶融設備の運転実績にもとづき，クロムを高濃度に含有している汚泥の安全かつ安定処理に貢献できるよう努めていきたい。

最後に，本工事を遂行するにあたり，多大なご助言，ご協力をいただきました兵庫県中播磨県民局姫路土木事務所流域下水道課，兵庫県県土整備部土木局下水道課，（財）兵庫県まちづくり技術センターの関係各位には，深く感謝の意を表します。

[参考文献]

1）髙橋正光ほか：高クロム含有汚泥の溶融処理におけるクロムの挙動，第44回下水道研究発表会講演集，平成19年度，P.835-837

*水処理事業部 技術部 汚泥焼却室　**経営企画部　***水処理事業部 技術部 電気計装室

播磨製作所における省エネ，生産性改善，安全性改善事例

New Equipments That Improve Manufacturing Efficiency, Safety and Saving Energy in Harima Plant

―省エネ，生産性改善，安全性改善に係わる新規導入設備―

大川敦彦*
Atsuhiko Okawa

長山真二*
Shinji Nagayama

山本雅也*
Masaya Yamamoto

宮内啓隆*
Hirotaka Miyauchi

播磨製作所は当社のものづくりの拠点として1976年にステンレス鋼，クラッド鋼などの大型機器の製造工場として設立され，その後1992年には，それまで神戸にあったグラスライニング製造工場を統合し現在に至っている。ものづくりに不可欠である生産性の向上，安全性の向上に加え，近年新たに省エネルギという観点から新規設備を導入した事例を紹介する。

Harima Plant was established in 1976, as primary plant for manufacturing of pressure vessels made of stainless steel, cladding plate and so on. It was combined with Kobe plant for manufacturing of glass lined pressure vessels in 1992. This report introduces some examples of new equipments that improve manufacturing efficiency, safety and saving energy in Harima Plant in these days.

***Key Words*：**

播磨製作所	Harima Plant
生産性向上	Improvement of manufacturing efficiency
安全性向上	Improvement of safety
省エネ	Saving energy

ま え が き

いつの時代も「ものづくり」を行う製造メーカの工場においては，コストに直結する生産性の向上，また実際に生産にかかわる人のための安全性向上は普遍的に不可欠な要素である。加えて近年においては，環境に関してCO_2の削減＝省エネルギが製造業にとって大きな問題として取上げられており，グラスライニング機器を主に製造する播磨製作所においても，その製造工程上，大型の焼成炉を有するため，省エネルギを行うことはコストダウンにも寄与することとなる。以下に生産性の向上（コストダウン），安全性の向上，省エネルギをキーワードとして，近年導入した設備について紹介する。

1. 省エネ設備導入事例

グラスライニング機器は高温で製品を焼成することからエネルギ消費も大きく，播磨製作所全体の約60 %のエネルギがグラスライニング機器の焼成に消費されている。また2005年の省エネ法改正に伴い，播磨製作所は第一種エネルギ管理指定工場として指定を受けた。我々は，この指定を受ける以前から，いち早く地球環境問題に着目し，環境負荷の小さい，地球に優しい工場づくりをめざしてきた。今まで行ってきた省エネ活動と環境に配慮した設備導入事例の一部を以下に示す。

1. 1 高性能グラスライニング焼成炉（導入年1996年から2001年）

播磨製作所のエネルギ消費設備のなかでも，とり

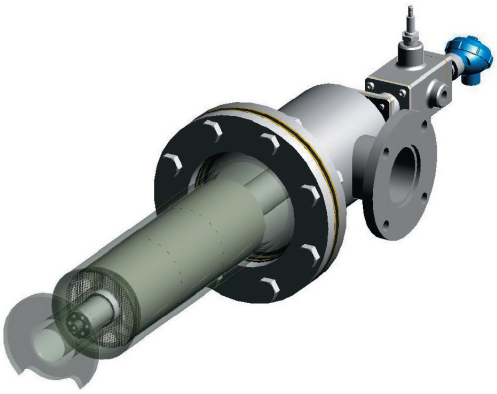


図１　リジェネレイティブバーナ

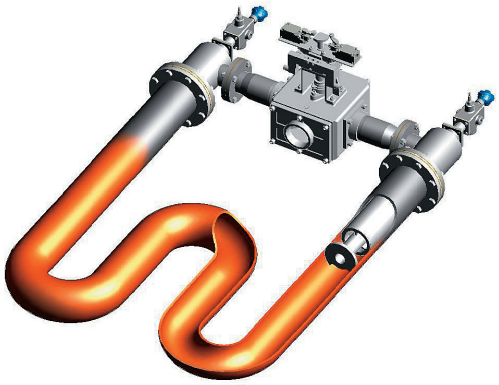


図２　ラジアントチューブ

写真１　インバータ制御コンプレッサ

わけグラスライニング機器の焼成炉のエネルギ消費割合が非常に大きい。したがって省エネのためには，グラスライニング焼成炉の改善が不可欠となる。播磨製作所では，NEDO（独立行政法人　新エネルギ・産業技術総合機構）の高性能工業炉導入フィールドテストを経ていち早く，従来使用していた主力電気式焼成炉から，都市ガス式リジェネレイティブバーナ（蓄熱式バーナ　図１）搭載の高性能グラスライニング焼成炉へ1996年から2001年にかけ順次変更・導入を行った。リジェネレイティブバーナを使用することで高い排熱回収を実現し，また炉の断熱材には断熱性能の良い材料を採用することで既存炉より高い熱効率を実現することができた。そして，ラジアントチューブ方式（図２）を採用したことによって，高温の輻射熱が得られ品質向上が実現できた。この高性能グラスライニング焼成炉を採用したことで，主要炉を電気式のまま使用していた場合と比較すると，2005年度ベースでは約30 %の省エネ（原油換算比較）を実現し，CO_2 換算では1300トンを削減することができた。

1.2　コンプレッサのインバータ化（導入年2007年）

当製作所では，エアーの消費も非常に多く，グラスライニングの前処理としてショットブラスト工程がその消費の多くを占める。エアーの消費量が時間帯により異なること，ピーク時にも対応が必要なことから複数台あるコンプレッサは，早くから台数制御や吐出圧力制御により高効率化を図ってきた。しかしながら，エアー１m^3当たりに消費する電力量，つまり空気原単位においては我々がめざす効率には達しておらず，さらなる改善を図るべくインバータ制御のコンプレッサ（写真１）を新しく導入した。このインバータ制御のコンプレッサ導入により，空

気原単位で約13 %の消費量削減を達成し，省エネ効果をもたらすことができた。

1.3　空調設備（導入年2009年）

当製作所では，グラスライニングの品質向上と粉塵対策の一環として，グラス紛を製品に吹き付けるための施釉ブースを設けている。施釉ブースは，グラスライニング機器の被施釉物の定量的な乾燥度合いを保つための湿度コントロールが必要であるため，従来より大型のガスヒートポンプ方式の空調設備を備えていた。この空調設備においても，既存のものより省エネタイプとなる電気ヒートポンプ方式の空調設備（**写真２**）を導入した。また，事務所棟の空調設備においても，エネルギ効率の高い空調設備（**写真３**）を順次導入を実施し，身近な電気消費設備においても確実に省エネを図り，CO_2換算で43トンの排出量を削減することができた。

1.4　焼成炉躯体からの熱損失の低減（導入年2009年）

先に述べたとおり，主要炉において高性能グラスライニング焼成炉を採用したことで30 %もの省エネを達成したため，残された省エネ対策は地道なものとならざるを得ない。私たちはサーモグラフィ（**写真４**）により炉体温度状況を可視化することで，炉体からの熱損失の大きさを焼成炉毎に調査，ならびに分析を行った。その結果，経年により開口部からの炉内ガス漏出箇所が大きい箇所を特定することができ，対策として開口部の炉内ガス漏出箇所を可能な限り小さくするべく，断熱改善工事を実施した。その結果，焼成作業１バッチ当たりの焼成時間を20 %削減することが可能となり，リードタイムの短縮だけでなく，CO_2換算で61トンの排出量を削減することができた。

2.　生産性向上設備導入事例

播磨製作所においては，生産性向上のための新規設備を導入しており，2006年度以降，28件の生産性向上に寄与する設備導入を実施してきた。その事例の一部を以下に示す。

写真２　電気ヒートポンプ式空調

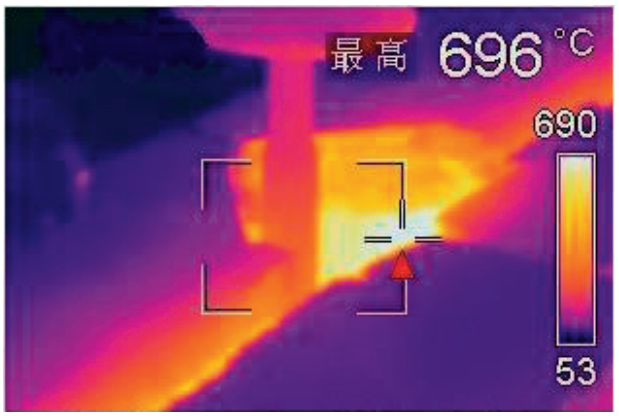


写真４　サーモグラフィの測定写真例

写真３　省エネタイプ事務所空調

写真５　グラインダロボット

2.1　グラインダロボット（導入年2010年）

本設備導入により，これまで手作業で行わざるをえなかった特殊製品におけるグラインダ作業の内75％の作業の自動化に成功。これにより，コストの12％を削減することが可能となった。

また，グラインダ作業はいわゆる粉塵作業であり，これを自動化することにより，作業者の身体的負担を軽減することができ，安全衛生向上にも寄与している。また，夜間における自動運転が可能になったため，グラインダ作業のリードタイムが40％削減できた。

2.2　購入部品位置情報管理システム（導入年2009年）

従来，製品を製作，組立する際に購入部品を紛失する事例が度々あり，なかには高価な部品や，大きな部品の所在が不明となることもあった。このため関係部署を集め度重なる打ち合わせを行った結果，その原因として

1）置き場所を間違える。（オーダー番号の見間違い等）
2）置き場所が決まっていないものがある。
3）運搬者の記憶だのみ。（時間が経つと忘れる）
4）責任範囲が明確でない。（持って行った―受け取っていない）

等が考えられた。その対策として

1）大きな部品は部品毎の置き場所，小さな部品はオーダー毎の置き場所を決める。
2）誰が，いつ，どこに部品を置いたか，移動させたかが分かるようにする。

以上の２点を実施することとした。この内２）の解決を目的として購入部品位置管理情報システム（図３）を導入した。これにより，すべての購入部品について，誰が，いつ，どこに保管したかの追跡がパソコン上で可能となり，「部品を探す」「部品が紛失する」というムダの削減と物揃えのスピードアップが可能となり，年間約850時間の工数削減が実現出来た。

2.3　鋼板切断用ガス変更による切断の高効率化（導入年2009年）

これまで，鋼板の切断においては，都市ガスを利用していたが，12 mm 以上の板厚における当社標準の溶接開先である X 開先の切断において，燃焼強度が低いために，１回の切断で開先加工を行うことが困難であった。そこで，都市ガスよりも燃焼強度の高い水素ガス（プロパンガスを約20％混合）を用いた切断方式を検討した結果，板厚38 mm の切断においても X 開先の１回切断が可能となった（写真６）。

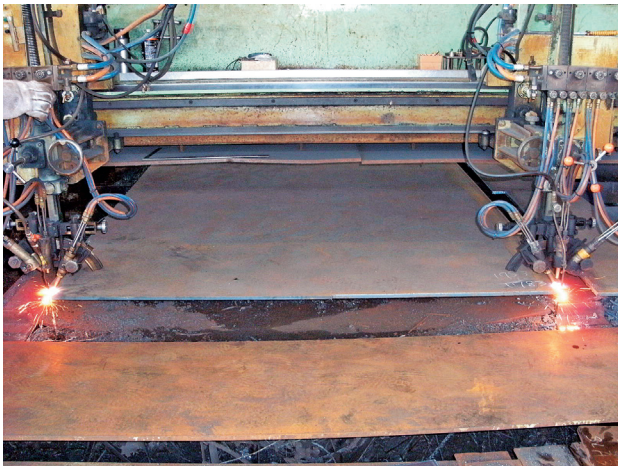


写真６　水素ガスによる鋼板切断状況

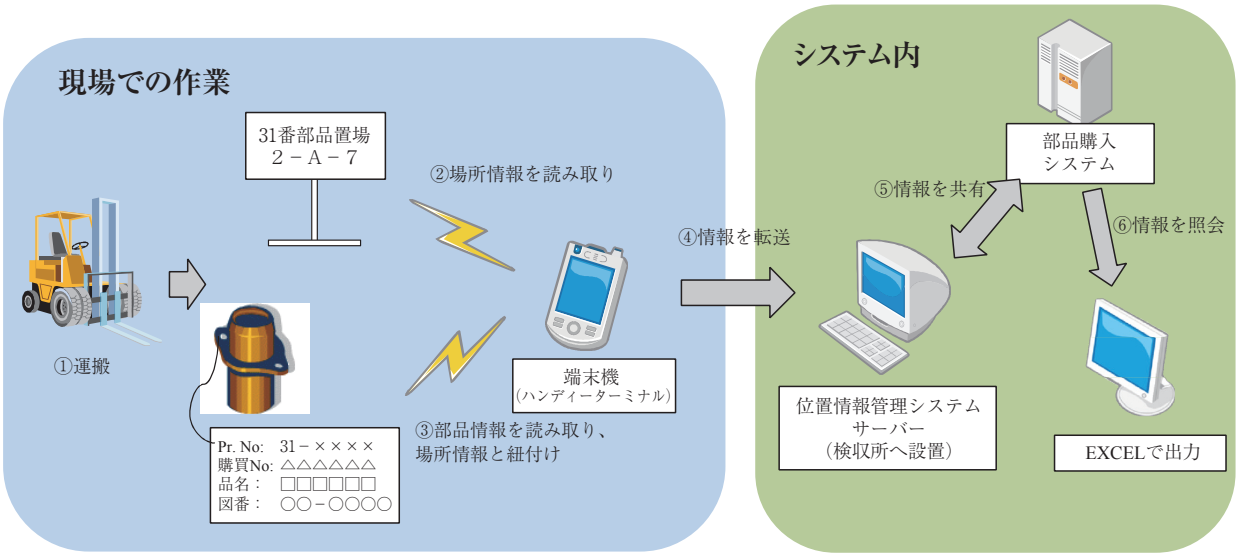


図３　購入部品位置情報システムイメージ図

写真７　鏡板罫書きロボット

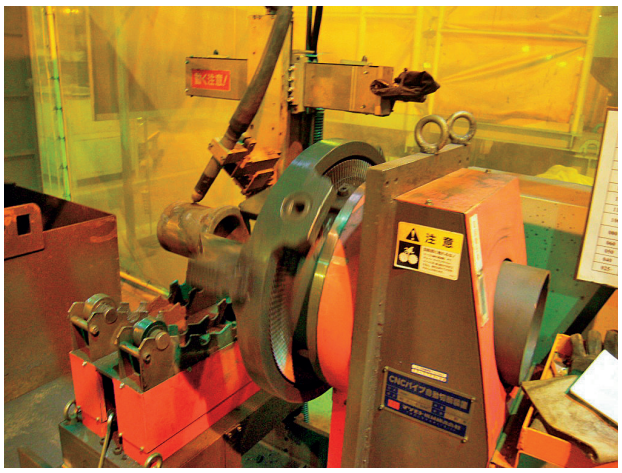


写真８　新ノズル切断装置外観

水素ガス発生装置＋プロパン混合装置を導入し，X 開先の１回切断を行うことで切断時間は50 ％以下となり，省人化が可能となった。

2. 4　鏡板罫書きロボット（導入年2008年）

これまで手作業で行っていた鏡板への芯出し・罫書き作業の自動化を図るため，鏡板罫書きロボット（写真７）の導入を行った。

このロボットは完全オフラインティーチングを採用し，設計部門にて作成したプログラムを USB メモリ等のメディアを用いて，ロボット用パソコンに INPUT し，スタートボタンを押すだけで，自動的に作業が行われる。これにより，ロボット罫書き作業中は作業者は平行して別の作業が出来るようになり年間約480時間の工数削減が実現出来た。

2. 5　グラスライニング機器用ノズル切断装置（導入年2005年）

当初はそれまで使用していた，ガス切断器搭載の専用設備の単なる老朽化に伴う更新で検討を進めていたが，新たにメーカ製の CNC（数値制御）パイプ切断機にグラスライニング機器用ノズル切断の専用プログラムを採用することとした。従来の設備では，ノズルへの罫書き，切断位置の合わせに30分以上の時間を要していたが，本設備（写真８）を導入することでノズルのサイズ・板厚・切断高さの最大，最小を入力するのみで切断可能となった。また，切断にはプラズマ切断機を用いており，切断後のグラインダ手入れ時間もガス切断時の1/10程度となり，年間300時間の工数削減が実現出来た。

３．安全性向上設備導入事例

当播磨製作所は前述の省エネに関する設備導入，生産性を向上させる設備の他，生産にかかわる人の安全性を向上させる設備導入を実施してきた。さらに，リスクアセスメント活動についても継続的に実施しており，その事例の一部を以下に示す。

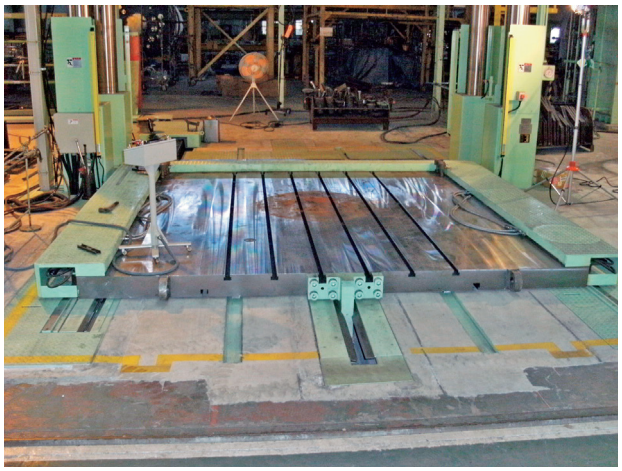


写真９　新プレスの底盤の移動機構

3. 1　500 t プレス（導入年月2009年３月）

従来使用していた500 t プレスは昭和43年の導入から49年間使用し，老朽化による設備更新を行なった。その際，使用時の安全性を向上させるため，被加工物（主に缶体の鏡）を載せる底盤の移動機構（写真９）を新たに追加した。グラスライニング機器特有のスウェッジ加工を行うため，従来の500 t プレスではプレスの前後に設置したクレーン２台により，被加工物をプレスの真下ある底盤上に引き込む作業を行っていた（写真10）。さらに，被加工物を置いた状態で金型を交換する場合は，不安定な足場である被加工物の中に入り，金型を交換する必要があった。

底盤をスライド移動させる機構を追加することにより，クレーン２台で被加工物をプレスの真下の底盤に引き込む作業が無くなり，さらに，金型の交換

時にも底盤をスライド移動させることで，プレスの真下に作業スペースができ，安定した足場での金型の交換作業が可能となった。

3.2　ロードメーター（導入年月2009年７月）

海外顧客向けの製品を出荷する際は，製品の重量を測定する必要がある。従来の秤はクレーンフックに秤を吊り下げるタイプのものであり，段取り作業に時間が掛かるほか，重量測定時には作業者が秤上に乗り込んで，製品と一緒に吊り上げられ，高所で数値を確認しなければならず，決して安全性の高い作業ではなかった（**写真11**）。新たに導入したロードメータ（**写真12**）は体重計のように，パッドの上に製品を置くことにより重量を測定することのできる設備である。この設備の導入により，作業者は地上で製品重量を測定することが可能となり，高所作業が不要となった。

3.3　粉じん職場の作業環境向上（導入年月2009年３月）

グラスライニング機器の製造において，技術の核である釉薬と呼ばれるグラスの元となるペーストを製造，取扱う作業場は釉薬そのものと釉薬の原料が微細な粉末状であることから，粉じんが多量に発生する作業環境である。とくに釉薬を製造するために原料を投入する作業，製造された釉薬を製品に吹き付ける施釉作業場の周辺については，いずれも多くの粉じんが発生する職場となっている。

粉じん職場での作業環境を向上させるべく，釉薬原料の配合作業については，配合機の投入口の形状変更（**写真13**），および局所排気装置のフードの形

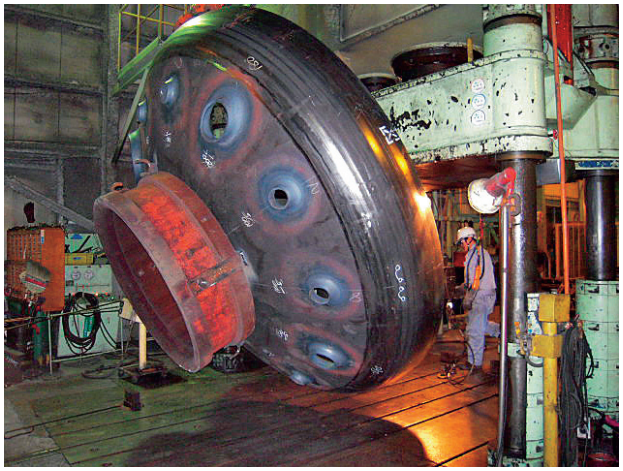


写真10　旧プレスでの被加工物の引き込み作業

写真11　吊り下げ式秤での重量測定作業

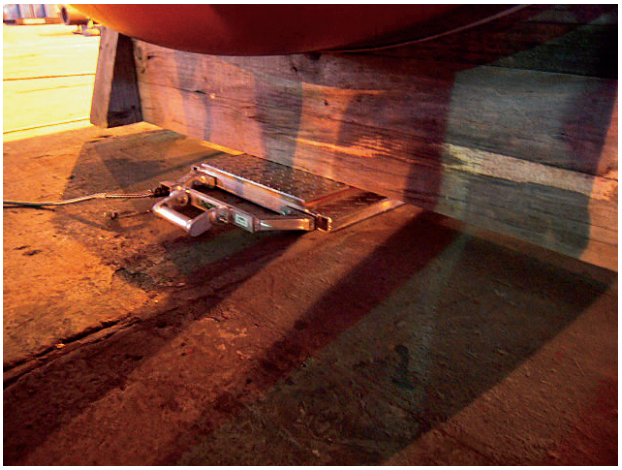


写真12　ロードメータでの重量測定作業

写真13　配合機投入口の形状変更

写真14　局所排気フードの形状変更

写真15　改造後の施釉ブース

表１　近年のリスクアセスメント活動概略

年　度	内　　容	抽出件数
08年度	播磨製作所安全総点検パトロール	13件
09年度	挟まれ・巻き込まれに関するリスクアセスメント	52件
09年度	墜落・転落に関するリスクアセスメント	39件

状を変更（写真14）することにより，集じん効率を高めた。また施釉作業場においては施釉ブースの拡張，出入口の構造を変更し密閉性を高めること（写真15）で，周囲への粉じんの飛散を抑制することに成功した。

これらの改善により，現在ではいずれの作業場についても作業環境が適切に管理され，他の作業場と遜色ない作業環境となっている。

3.4　リスクアセスメント活動

播磨製作所では継続的にリスクアセスメント活動を行っていくため，毎年，年度当初に計画を立て，年間を通じて安全に関する設備改善活動を行っている。またリスク評価された作業についてはリスクレベルの高いものから安全作業手順書を作成し，08年度から新たに作成した安全作業手順書は約250件となっている。くわえて，08年以降は法改正に伴う現場の作業環境改善や，職場の安全レベルの向上を目的として，表１のような活動を実施し，現場での該当箇所の総点検を行い，抽出されたすべての箇所で対策を講じている。

むすび

ものづくりを継続していくためには，常に世の中の変化に対応し，従来の方法より，より良い方法に改善を続けていくことが必要である。本稿においては設備導入事例についてクローズアップしたが，播磨製作所では現状に満足すること無く，その時代にあった，設備，方法を常に考え，実践していくことを継続していきたい。

*プロセス機器事業部 生産部 製造室

水素・酸素発生装置「HHOG」を原子力発電所向けに初納入

当社は，2010年４月に産業ガスメーカー　大陽日酸東関東株式会社を通じて，日本原子力発電株式会社東海第二発電所に，オンサイト型水素・酸素発生装置「HHOG」（水素ガス供給量20 m^3_N/h，酸素ガス供給量10 m^3_N/h）２基を納入した。

固体高分子電解質膜を使用した水電解式水素・酸素発生装置が日本国内の原子力発電所で採用されたのは，今回が初めてである。

納入した「HHOG」の特長

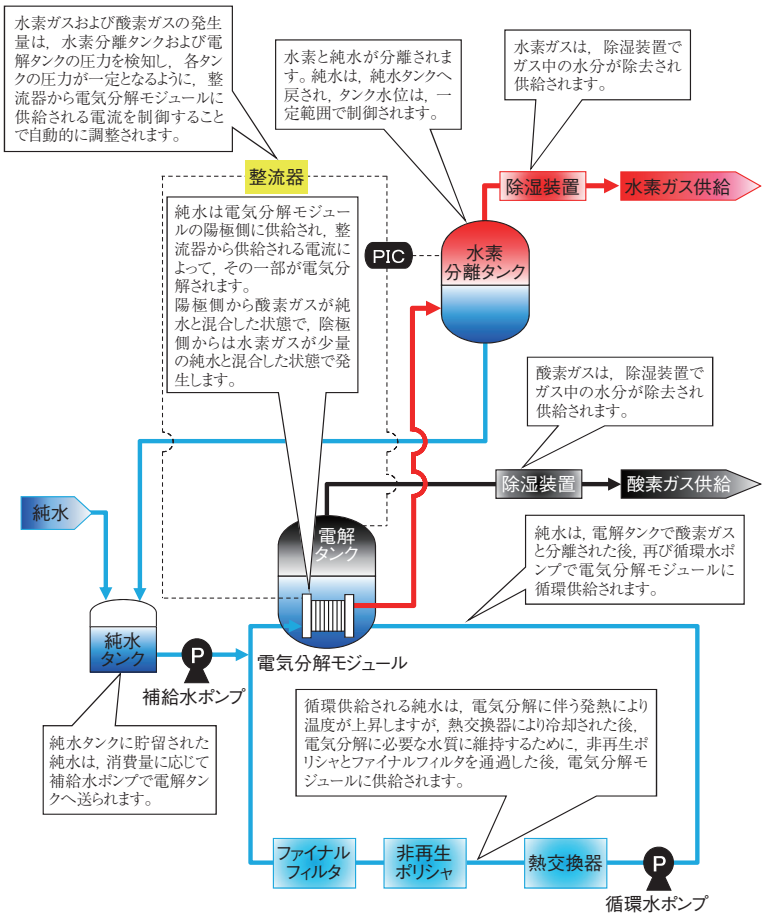
① 固体高分子電解質膜を使用することで，薬品（電解質）を使用せずに純水を直接電気分解できるため，発生するガスに不純物が混入せず，高純度の水素ガス（純度99.999 %）と酸素ガス（純度99.9 %）を発生，供給することができる。

② 圧縮機を使用せずに水素ガスを0.85 MPa，酸素ガスを0.75 MPa に昇圧し，供給することができる。なお，発生するガス圧力が１MPa 未満であるため，装置として高圧ガス保安法の適用を受けない。

③ 水の電気分解では，水素ガス２，酸素ガス１の割合でガスが発生するが，ガスの発生比率に制約を受けることなく，発電所内での要求量に応じて水素ガスおよび酸素ガスの供給量を自動でコントロールすることが可能な独自の制御システムを導入している。

④ 固体高分子電解質膜に純水と電気を供給するだけでガスが発生するため，ガスの発生および停止（装置の起動および停止）を即座に行うことができる。

⑤ 原料は水と電気のみであり，原料に毒・劇物，危険物等を使用せず，二酸化炭素などの副成ガスの発生がなく，廃液処理も不要である。



HHOG 概略フロー説明

納入した HHOG

川越市資源化センター　リサイクル施設

1. 施 設 概 要

本施設は，埼玉県川越市の複合的な廃棄物処理施設として平成22年４月にオープンした川越市資源化センター内に建設されたもので，市内で発生する不燃ごみ，粗大ごみ，びん・缶，その他プラスチック製容器包装を１日５時間運転で53 t 処理および資源化する機能を有している。

同センター内には他にも当社が建設した流動床式ガス化溶融方式の熱回収施設，剪定枝や刈草を資源化する草木類資源化施設，環境学習や交流活動の拠点となる環境プラザなどがある。

本施設の特長は，以下の２点である。

① 多種多様なものが含まれる不燃ごみから，銅や真鍮などの有価物と破砕工程で爆発の恐れがあるスプレー缶などの危険物および破砕不適物を確実にかつ効率よく回収・除去するために，手選別コンベヤを備えている。

② その他プラ容器ラインには，風力選別機とロールスクリーンを組み合わせた機械式選別機を備え，その他プラ容器をフィルム系，固形系に分けるとともに小粒残さを除去し，手選別作業の負荷低減を図っている。

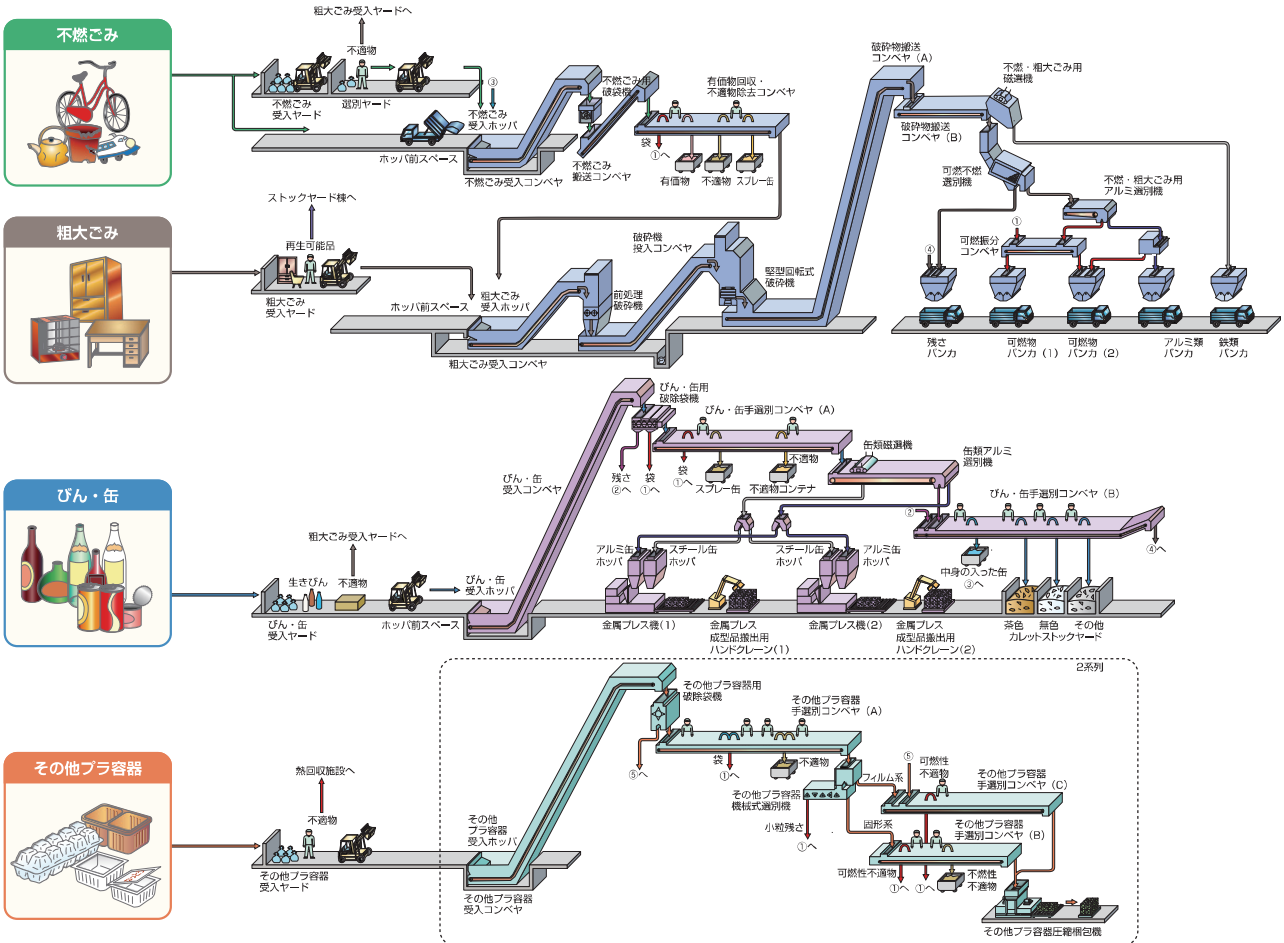
2. 処 理 設 備

2.1 処理能力および処理対象物

全体処理能力は53 t/d であり，処理対象物は以下の①～④である。

① 不燃ごみ：8.4 t/d

② 粗大ごみ：0.9 t/d



③　びん・缶：22.4 t/d
④　その他プラ容器：21.3 t/d

2.2　処理の流れ

1）不燃ごみ

不燃ごみは，有価物，スプレー缶などの危険物およびその他不適物を手選別した後，粗大ごみとともに処理する。

2）粗大ごみ

粗大ごみは，再生可能品・不適物を手選別した後，２種類の破砕機で細かく破砕し，磁選機で鉄を，可燃不燃選別機で残さ（不燃物）を，アルミ選別機でアルミを選別回収し，残りは可燃物として回収する。

回収された鉄，残さ，アルミ，可燃物は各々バンカに貯留する。

3）びん・缶

びん・缶は破除袋機にて袋を破り除去した後，手選別コンベヤにて不適物を除去し，磁選機でスチール缶，アルミ選別機でアルミ缶を選別回収する。その後手選別コンベヤにてびんを「無色」「茶色」「その他」の３色に分別する。

回収されたスチール缶，アルミ缶は金属プレス機で圧縮・成型して貯留される。びんは色ごとにカレットストックヤードに貯留する。

4）その他プラ容器

その他プラ容器は，破除袋機にて袋を破った後，手選別コンベヤにて不適物を除去し，その他プラ容器機械式選別機でフィルム系と固形系と小粒残さに分ける。その後手選別コンベヤにてさらに不適物を除去し，圧縮梱包機で圧縮梱包して貯留する。

3.　資源化物のリサイクル

本施設で回収された資源化物は，それぞれの再生工場へ引き取られリサイクルされている。

不燃ごみ・粗大ごみから回収された鉄，アルミおよびスチール缶，アルミ缶はそれぞれ鉄，アルミの原料として利用される。

色ごとに選別されたびんは，びんの原料として再利用されるほか，土木材料や建築材料としても利用される。

また，その他プラ容器は製鉄所の高炉還元剤やコークス炉化学原料として主に利用され，一部はプラスチック製品に加工される。

なお，可燃物はセンター内の熱回収施設で処理され，熱エネルギーとして回収されて発電や温水に利用される。さらに，残さも同じく熱回収施設で処理され，その一部は道路用アスファルト骨材等に利用可能なスラグとして回収される。

したがって，本施設に持ち込まれたごみでリサイクルされないものは，コンクリート塊など一部の処理不適物とスラグ化されなかった残さのみであり，リサイクル性の高い施設となっている。

さくらリサイクルセンター　資源化ごみ処理施設

1. 施 設 概 要

本施設は，三重県北西部に位置する伊賀市の「さくらリサイクルセンター」（当社施工のRDF化施設。2002年竣工）の敷地内に建設されたリサイクル施設である。

本施設では伊賀市北部地区で収集される，金属性粗大および金属類，アルミ缶，ペットボトル，びん類，プラスチック製容器包装の資源ごみを１日５時間運転で17.3 t処理し，資源化物を回収する。

建設用地として既存RDF化施設と同一敷地内の空きスペースを利用する計画であり，用地の形状，面積に制約があった。このため，幅約19 m ×長約110 mと細長い建屋にごみの受入ヤードから処理設備，資源化物の貯留ヤードを合理的に配置した施設となっている。

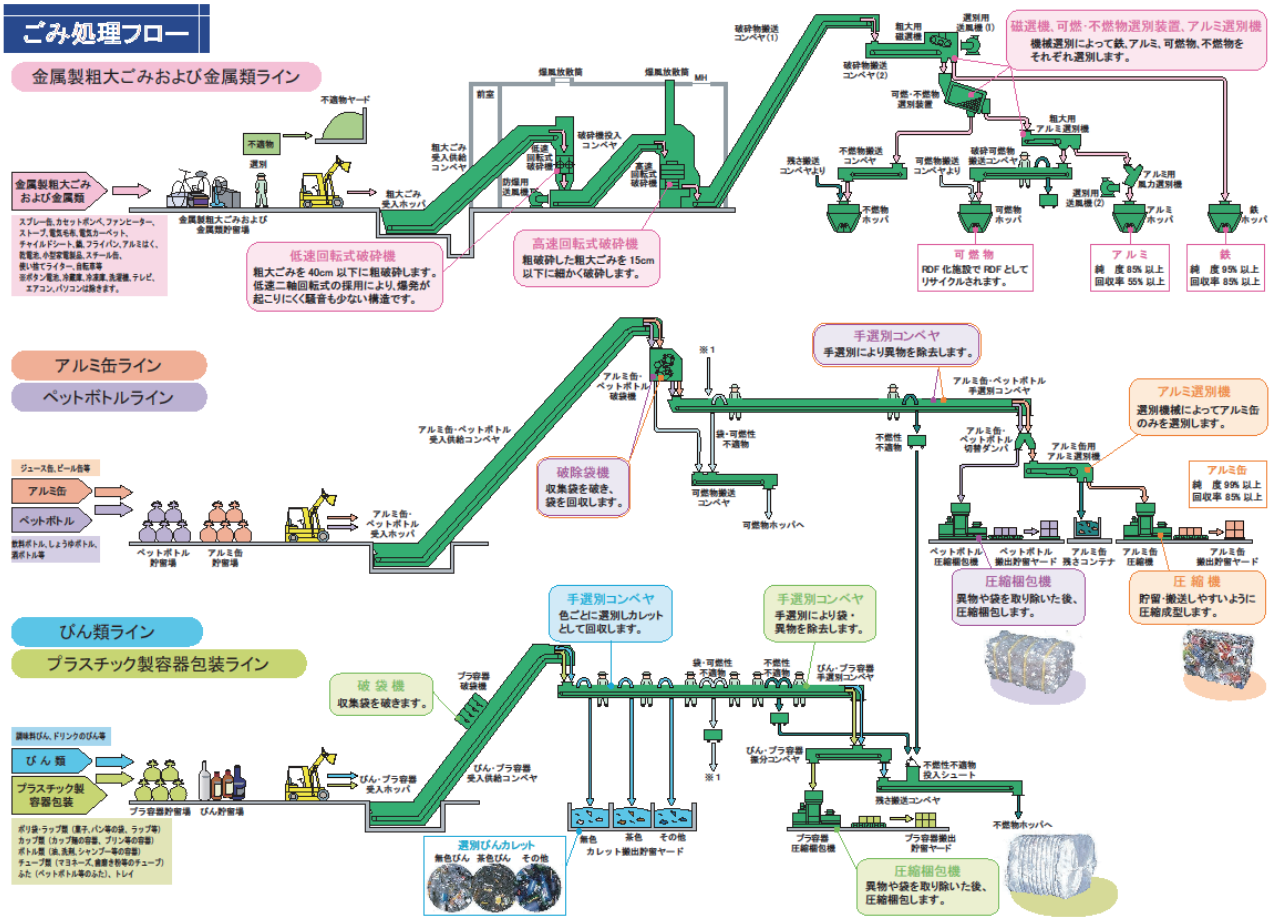
特に処理設備は，限られたスペース内に必要な機能を有したプラントを配置する必要があり，処理ラインの兼用化（１ラインで２種類のごみを処理できる）を採用してこれを達成している。

2. 処 理 設 備

2.1 処理能力および処理対象物

全体処理能力は17.3 t/dであり，処理対象物は以下の①～⑤である。

① 金属性粗大ごみおよび金属類：7.3 t/d
② びん類：2.4 t/d
③ プラスチック製容器包装：6.0 t/d
④ アルミ缶：0.5 t/d
⑤ ペットボトル：1.1 t/d



本施設では，②と③，および④と⑤の処理ラインをそれぞれ兼用し，時間差処理を行うことで，３ラインで５種類のごみ処理が可能となっている。この処理ラインの兼用化により，限られたスペースに必要十分な機能を有した処理設備を配置でき，また機器点数を削減したことでメンテナンス費の削減も図られている。

2.2　処理の流れ

１）金属性粗大ごみおよび金属類

金属性粗大ごみおよび金属類は２種類の破砕機で破砕処理後，磁選機で鉄を，可燃・不燃物選別装置にて不燃物を，アルミ選別機でアルミを選別回収し，残りは可燃物として回収する。

回収物は貯留ホッパで貯留する。

２）びん類

びん類は手選別により無色・茶色・その他の色別に回収し，貯留ヤードで貯留する。

３）プラスチック製容器包装

プラスチック製容器包装は，手選別しやすいように破袋機で収集袋を破袋したのち，手選別により異物を除去後，圧縮梱包機で圧縮梱包して貯留する。

４）アルミ缶

アルミ缶は破袋機にて収集袋を破り除去した後，手選別で異物除去を行い，アルミ選別機でアルミ缶のみを回収し，圧縮機で圧縮・成型して貯留する。

５）ペットボトル

ペットボトルは破袋機にて収集袋を破り除去した後，手選別で異物除去を行い，圧縮梱包機で圧縮梱包して貯留する。

3.　稼 働 状 況

本施設は，2010年６月25日の竣工以降，順調に稼働を続けている。回収された資源化物は，リサイクル資源として再び資材や製品として生まれ変わり，資源循環型社会の構築に寄与している。

TOPICS

ドイツ・環境展 “IFAT ENTSORGA 2010”出展

2010年９月13日～17日，最大規模の国際上下水処理・廃棄物処理・リサイクル専門見本市「IFAT ENTSORGA 2010」がミュンヘンで開催され，当社は「Waste to Energy（廃棄物からエネルギー回収）」をテーマとし，ガス化溶融プラントの模型とパネル，およびオランダ CB & ILummus 社との業務提携を紹介するパネルを展示しました。

当社は，昨年10月にもケルンで開催された環境展 ENTSORGA’09で，当社 Düsseldorf 事務所の開設と海外でのビジネス展開を紹介するプレゼンテーションを行うと共に，ドイツの廃棄物処理プラント会社と共同で下水汚泥焼却・溶融プラントのパネル展示も行い注目を集め，PR 効果を実感しました。今年も継続して出展し，ヨーロッパで廃棄物処理ビジネスを展開する上でさらなる知名度の向上を図りました。

IFAT 事務局によると，入場者は５日間で185か国，11万人。当社の展示物は目を引き，廃棄物の処理から得られるガスを発電で利用する技術への関心は高く，様々な要求や数多くの質問を受け，ニーズの高まりを感じました。

なお，開催地のミュンヘンでは，IFAT が終了した翌日からビール祭りが始まり，街全体がビールを平和に美味しく飲める幸せを味わっていました。

フランス・環境展 “POLLUTEC 2010”出展

2010年11月30日～12月３日，欧州最大級の国際環境・エネルギー展「POLLUTEC 2010」がフランスのリヨンで開催されました。毎年３万から７万人の来場者で賑わう同展は，パリとリヨンで交互に開催され，水処理，廃棄物処理に関わる機器や設備と，エネルギー利用システム，電気自動車など多岐にわたる展示が行われます。

当社のブースでは，IFAT と同様に，「Waste to Energy」をテーマとした展示を行うと共に，プレゼン会場で，当社 Düsseldorf 事務所の髙橋所長が，“Why not Gasification & Melting?”と題して，ガス化溶融プラントに関する講演を行いました。プレゼンは好評で，講演後に当社ブースを訪れ，質問をされた方も多く，「ガス化」に対するヨーロッパでの関心の高さを実感しました。

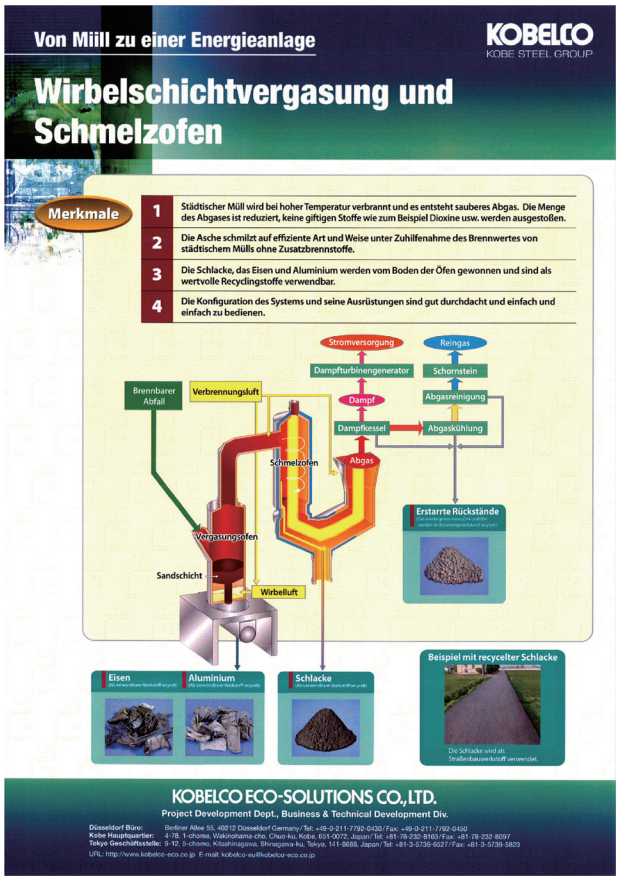
リヨンは，フランス南東部に位置し，パリに次ぐ第２位の都市で，各銀行の本社が数多くある経済の中心地でもあります。例年は比較的温暖な気候ですが，今年は58年ぶりの大雪に見舞われ，展示会初日夕方から大雪の影響で航空路，鉄道網が乱れたうえ，市内主要駅からの交通網がストップしたため，会場バス２時間半待ちなどのハプニングもありました。POLLUTEC が開催された11月，12月は，日本でも馴染みのあるワインの産地ボジョレーの新物が出回り，リヨンの街が一層活気づく季節です。

当社ブース内での商談の様子

リヨン会場周辺に降った大雪

展示会用に作成したドイツ語の説明資料

当社ブースで配布した“Waste to Energy”のマウスパッド



TOPICS

インド・国際 PCB（ポリ塩化ビフェニル）処理技術セミナーで講演

2010年８月24日～25日，ニューデリーで，インド政府の環境森林省と UNIDO（国連工業開発機構）および GEF（地球環境ファシリティ・ファンド）が主催する PCB 処理技術セミナーが開催され，当社より，商品市場・技術開発センター長 淨弘執行役員が「当社の PCB 処理技術と実績，適用性について」と題し，プレゼンテーションを行いました。

インド国内では，負の遺産として長い間保管されてきた PCB 汚染物を段階的に廃止するため，UNIDO とインド政府が連携して'10年２月，プロジェクトを立ち上げ，PCB の処理に対して GEF より資金が供与されることになりました。

今回のセミナーでは，インド国内に保管されている PCB の内，７700トンの PCB を３ケ所のプラントで'28年までに処理をするという計画に基づき，PCB 管理と処理の技術を保有している会社11社（日本４社，欧米４社，インド３社）からプレゼンテーションが行われました。

当社のプレゼンテーションでは，多種多様な PCB 廃棄物および汚染物の処理が可能で，豊富な納入・処理実績を有する，以下の４つの技術を紹介し，安全で信頼性の高い技術であるという評価を得ました。

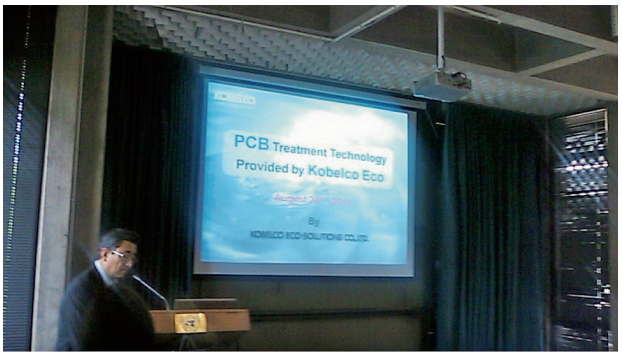
１）高濃度の PCB を脱塩素化反応により無害化する液処理技術（SP 法），

２）真空超音波洗浄や撹拌洗浄などを組合わせて容器処理を行う技術（SED 法），

３）洗浄や加熱が困難な形態の PCB 汚染物に対して処理を行うプラズマ溶融技術，

４）環境省の技術認定を取得した，微量 PCB を無害化し，絶縁油として再生させる技術（HDR 法）

セミナー参加者全員で
前列左端が発表者の淨弘執行役員



なお，セミナーが開催されたニューデリーは，インド北部に位置し，約2 200万人の人口を有するインドの首都圏にある大都市です。

経済成長が著しい街は，活気に満ち溢れ，おびただしい数の自動車，バイク，力車やタクシー，移動する人々であふれ，交通渋滞もしばしばあります。自動車が信号待ちで停まると，どこからともなく，物を売りに来る人びとが近寄って来ることもあり，生活感の格差も感じました。

日本との時差は３時間30分という珍しい設定で，日本との交信を試みる時は一苦労です。

近年の世界的なエコロジー意識の高まりはインドにも波及しており，'01年には全ての商用車に圧縮天然ガス燃料を使用することが義務づけられたり，'09年２月にはデリーでレジ袋が使用禁止になるなど，国や州単位で環境問題への取組みが盛んになっています。