

TSK 技報

2007
no.7

月島機械株式会社

特集テーマ:TSKグループの技術紹介～次の100年に向けて～

- 特集1 二重円筒加圧脱水機
トルネードプレス[®]の開発
- 特集2 ABSインペラ式攪拌機と
数値シミュレーション解析
- 特集3 パラキシレン新精製プロセス
“ PX-Flash ”

製品紹介

コークス炉装入炭用乾燥調湿設備



目次 特集テーマ：TSKグループの技術紹介 ～次の100年に向けて～

3	巻頭言 最良の技術をもって社会に貢献	代表取締役社長 山田 和彦
4	特集1 二重円筒加圧脱水機トルネードプレス®の開発	高尾 大・根尾 航太郎
12	特集2 ABSインペラ式攪拌機と数値シミュレーション解析	望月 淳・高田 哲夫
17	特集3 パラキシレン新精製プロセス“PX-Flash” －断熱冷却晶析による大規模溶融精製プロセスの開発－	神戸 達哉・石井 究・大内 健二
26	技術紹介1 新しい気液接触装置	久保 大・結城 智博
32	技術紹介2 下水流動焼却設備の運転支援システム	西山 守・上野 勇
38	製品紹介 コークス炉装入炭用乾燥調湿設備	野口 隆行
42	設備紹介 大型電子ビーム溶接装置とその適用事例について	真庭 健一
46	ティーブレイク“月島茶房” 今更ですが「水の科学」	栄川 満
48	会社概要	
50	営業品目・編集後記	

TSK 技報

NO.7 2007

CONTENTS

Special Edition : Introduction of TSK Group's Technology for Next 100years

3	Foreword	Kazuhiko YAMADA, President and CEO
4	Paper1 <i>Development of Double Cylindrical Filter Press “TornadoPress®”</i>	Dai TAKAO / Kotaro NEO
12	Paper2 <i>ABS impeller type mixer and its mixing simulation</i>	Jun MOCHIZUKI / Tetsuo TAKADA
17	Paper3 <i>New Purification Process “PX-Flash” for p-Xylene Mass Production using Adiabatic Cooling Crystallization</i>	Tatsuya KANBE / Kiwamu ISHII / Kenji OUCHI
26	Technology Introduction1 <i>Newly developed gas-liquid contact system</i>	Daiki KUBO / Tomohiro YUKI
32	Technology Introduction2 <i>Operation Support System of Sludge Fluidized Bed Incineration Plant</i>	Mamoru NISHIYAMA / Isamu UENO
38	Product <i>Coal Moisture Control plant</i>	Takayuki NOGUCHI
42	Manufacturing Technology <i>Technical Report of Large sized Electron Beam Welding Machine and its applications</i>	Kenichi MANIWA
46	Tea Break “Science of Water”	Mitsuru EIKAWA
48	Corporate Profile	
50	Technology & Products / Editor's Note	

表紙の写真



2005年に世界自然遺産へ登録された
北海道知床半島の春の風景

最良の技術をもって 社会に貢献

代表取締役社長 山田 和彦

TSK 技報は 2004 年 4 月の創刊から 3 年が経ち、本巻で第 7 巻を数えるに至りました。本巻では、月島機械とグループ会社の技術を紹介します。社外の方々にも TSK 技報をお配りし、当社の技術を多くの方にご紹介させていただくことになりました。今後は、TSK 技報を媒体として、様々な場面で社内外の技術者の方々による活発な技術論争が繰り広げられることを期待しています。

ご承知の通り、当社は 2005 年に創業 100 周年を迎えました。これまでの 100 有余年の歴史は当社の技術革新の歴史とも言えます。製糖プロセスに始まり、化学、環境分野を中心に機器の設計、製作からエンジニアリングまで一貫して社会に提供して参りました。現在は電子ビーム溶接技術やバイオエタノール、汚泥燃料化など、技術開発を加速させ、新事業の展開や、基礎技術をさらに発展させ、新型脱水機の開発や新たな化学プロセスのご提案を図っています。

私たちの先輩諸氏は、時の要請に技術をもって応えることで、自らをも発展させてきたのです。当社が 100 年に渡って行ってきたこの「時の要請に技術をもって応える」ということは、月島機械が月島機械であるために最も必要とされる「意志」であります。それは当社の企業理念として真っ先に「わが社は最良の技術をもって産業の発展と環境保全に寄与し、社会に貢献します」と謳われていることにも表れています。

そして、現在の私たちは「次なる 100 年に向けた事業の自立」をめざす中期経営計画「NEXT100」に取り組んでいます。当然ながら、「事業」として「自立」するためには弛みない技術開発・技術革新がなければ実現することはできません。技術開発とは、新しい技術にチャレンジし、商品化する、そしてお客様に満足していただくことを指します。



当社を取り巻く事業環境はかつてないほどの厳しさとなり、求められる技術も日々刻々と変化しています。このような状況下、且つ、当社の限られたリソースのなかで成果を得るためには「当社が社会に貢献できる最良の技術は何か」ということを考えなければなりません。お客様に密に接し、マーケットを見据え、どの分野に集中し、どの技術を選択するか、技術をどの時点で取捨するかであります。当社には「そこそこの技術」は必要ありません。「最良の技術」をひたすら追求し、何があっても諦めることなく、最後までやり遂げることが重要だと思います。そのようにして得られた技術をもって社会に貢献することが、「NEXT100」にて掲げる「事業の自立」に繋がります。

当社が今後も成長し続けていくためには、社会（お客様）から「月島機械なら何とかしてくれる」と望まれる技術集団になること、そしてそのために真の技術者を育成し続けなければならないと考えています。

冒頭にも申し上げましたが、この TSK 技報は本巻から社外へも配付されることとなります。今後は、TSK 技報の公開によって対外的に当社の「最良の技術」をアピールしていきたいと考えています。また、同時に、この TSK 技報が技術者一人ひとりの日頃の努力の成果を披露し合い、お互いに切磋琢磨する場として活用されるよう期待しています。

二重円筒加圧脱水機 トルネードプレス®の開発

Development of Double Cylindrical Filter Press “TornadoPress®”



高尾 大
Dai TAKAO
研究開発部
プロジェクトグループ



根尾 航太郎
Kotaro NEO
機器設計部
分離グループ

Abstract

Generally digested and mixed raw sludge (2~3 wt% DS) at sewage sludge plants in Japan are dewatered up to 18 to 24 wt% by Belt Press Filter (BP), Screw Press (SP) and Centrifuge Decanter (CD) for drying or incineration.

Recent urgent needs for developing a dewatering machine can be classified into three. First is minimizing construction cost of dewatering machine itself. Second is minimizing power consumption for reducing carbon dioxide. Third is increasing DS-content in dewatered sludge for reducing auxiliary fuel in thermal treatment such as drying, incineration and carbonization. Especially the third need is the most important problem for sewage treatment to improve auxiliary fuel consumption.

In response to this background, the Double Cylindrical Filter Press (DCFP) “TornadoPress®” has been developed with a unique squeezing effect for obtaining higher DS-content.

DCFP is arranged vertically and composed of four parts: rotating outer and inner cylindrical screens, fixed spiral wall between the mentioned double cylinders and back pressure plate.

Three dewatering mechanisms are featured in DCFP: “both sides filtration,” “both sides transportation,” and “back-pressure plate.” “Both sides transportation” and “back-pressure plate” generate effective shearing force for achieving higher DS-content (as much as 3~10 points up) than other types of dewatering machines, and the installation area can be reduced 1/2~1/3 than that of existing SP by vertical arrangement and high filtration capacity based on “both sides filtration.”

キーワード：脱水、二重円筒加圧脱水機、縦型配置、両面ろ過、両面搬送
トルネードプレス®

Keyword : Dewatering, Double Cylindrical Filter Press, Vertical arrangement, Both side filtration, Both side transportation, TornadoPress®

1 目的

1.1 はじめに

日本の下水処理場では、固形物濃度0.015～0.02% (SS150～200mg/l)程度の流入下水を生物学的処理(標準活性汚泥、嫌気消化)や物理学的処理(沈降濃縮や遠心・浮上濃縮)を経て、固形物濃度2～3%-ds程度の濃縮汚泥とし脱水処理している。通常これらの脱水処理にはベルトプレス脱水機(以降、BPと称す)や遠心脱水機(以降、CDと称す)が用いられ、含水率76～82%の脱水汚泥とし、焼却処理・農地還元・セメント化処理されている。

昨今では下水道事業全般においてコスト低減、省エネが強く求められ、脱水工程においてもこれらのニーズに適合する脱水機が求められており、スクリュープレス¹⁾(以降、SPと称す)、ロータリープレス脱水機といった金属ろ材系脱水機がBPや遠心脱水機の代替機種として急速に普及している。これは、構造が簡素でろ布の交換を必要としないため維持管理性に優れ、且つ低動力であることが客先のニーズに適合したためといえる。

一方で、脱水汚泥の処分については、N₂O対策のための高温焼却や、乾燥もしくは炭化処理した下水汚泥の燃料利用が注目を集めており、燃費の改善のために脱水工程での低含水率化が求められている。

こうした背景から、従来にない斬新なろ過・圧搾メカニズムを有し、コンパクトな構造で脱水ケーキの低含水率化を図る事が可能なトルネードプレス[®]を開発した。現在、実証試験を実施中であり、良好な結果を得ているので、本稿にて報告する。

1.2 脱水機のコネプト

本脱水機の特徴としては、以下の点が挙げられる。また、図1に従来脱水機との位置付けを示す。

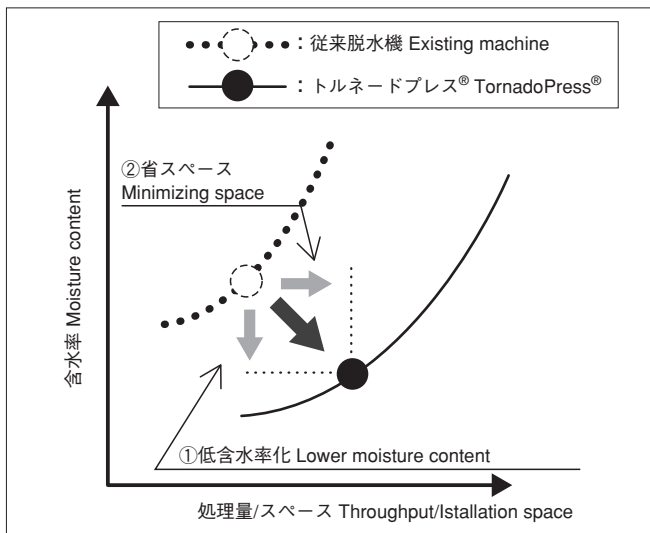


図1 トルネードプレス[®]の性能の位置づけ
Fig.1 Positioning of TornadoPress[®] performance in market

- ①高圧搾機能を実現し、従来脱水機と比較し脱水ケーキ含水率を最大で4ポイント(混合生汚泥比較)低減。
- ②同等処理量で機器外形の小型化を実現し、SPと比較し1/2～1/3の省スペース化。

前者①については、脱水ケーキ量の低減による運搬費・処分費の低減に加え、焼却時の補助燃料費の削減効果も挙げられる。後者②については、配置計画時の省スペース化はもちろんであるが、ケーキを上方より排出する構造のためケーキ搬送設備に乗り継ぐための本体架台が簡素化でき建設費の削減が可能となる副次的な利点もある。

2 基本構造と脱水機構について

2.1 基本構造

図2にトルネードプレス[®]の概観を示す。外形は円筒形のケーシングにより構成され、従来の脱水機(SPやBP等)とは異なり縦型配置を採用している。基本的なフローは、前段の凝集混和槽にて高分子凝集剤により凝集した汚泥を、機器下方の汚泥投入管より投入し、ケーキ排出は上方より、分離液は下方の排水管から排出される。



図2 トルネードプレス[®]の概観
Fig.2 Outer shape of TornadoPress[®]

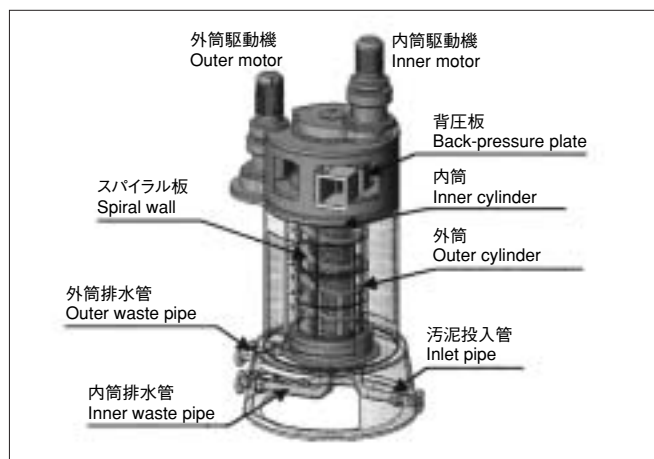


図3 トルネードプレスの基本構造
Fig.3 Basic structure of TornadoPress®

図3に基本構造を示す。本脱水機は同心配置された大小2つの金属製円筒ろ材(以降、内筒と外筒)、スパイラル板及び背圧板の4つの主要部品から構成されている。

スパイラル板は上述の内外筒間に固定され、螺旋状の汚泥流路を形成している。

内外筒はろ過と搬送という2つの機能を有する。円筒の表面は孔径1.0～0.2mmの金属製ろ材で構成されており、凝集汚泥を固液分離する。また、上部の減速機により同方向・同角速度で回転する内外筒は、挟み込んだ汚泥を円周方向に搬送する。円周方向に搬送された汚泥は、スパイラル板に沿って上方へと登っていく。

また、スパイラル板下部には可動式のスクレーパーが配置され内外筒ろ材表面に接触することで、ろ材の目詰まりを防いでいる。

背圧板は機器上部にて螺旋状の汚泥流路の終端に接続され、汚泥の排出断面積を調整することで、排出汚泥の含水率調整及び脱水汚泥の機外排出を行う。

上記の主要部品は、臭気拡散・ろ液飛散を防止するため密閉された円筒形ケーシングに収納されている。円筒形のケーシングは複数の点検口を有しており、簡易開放できることからメンテナンス性にも優れている。

2.2 脱水機構

図4に脱水機構に関連した内部構造を示す。また、併記したグラフは一般的な混合生汚泥を標準状態で脱水した場合の機長における内部の固形物濃度分布を示している。螺旋状の汚泥流路始端から投入された凝集汚泥は下記に示す3つ固液分離ゾーンを経て脱水が行われる。

- ①内外筒の両面のろ材によるろ過濃縮を行う『ろ過濃縮ゾーン』
 - ②回転する内外筒により徐々に上方に搬送されながら圧搾作用を行う『圧搾脱水ゾーン』
 - ③背圧により汚泥を最終的に圧搾・排出する『背圧ゾーン』
- 以下に各ゾーンにおける主要な機能・原理について紹介する。

2.2.1 ろ過濃縮ゾーン

高分子凝集剤により凝集された汚泥は供給ポンプにより機器下部の汚泥投入管より螺旋状の流路に圧入される。投入当初、汚泥の固形物濃度は2～4%-ds程度と極めて低く、流動して機内に充填される。充填された汚泥はポンプの投入圧(MAX50.0kPa)をろ過差圧として内外筒によりろ過(以降、両面ろ過)され、固体濃度10%-ds程度まで濃縮される。ろ過濃縮の進行によりろ材表面には圧縮ケーキ層が形成されろ過流速の低下を招くが、スパイラル板に固定されたスクレーパーが定期的ろ材表面のケーキ層を掻き取ることで、ろ過流速の低下を防止する。

2.2.2 圧搾脱水ゾーン

固形物濃度10%-ds以上にろ過濃縮された汚泥は粘性が上昇し流動性を失った半固形物状を呈する。このため、内外筒との間に摩擦が生じ、回転する内外筒に挟まれスパイラル板に沿って円周方向の搬送作用(以降、両面搬送)を受ける。また両面搬送とスパイラル板の間に生じる干渉により汚泥にはせん断効果を与えられ、脱水が行われる。

2.2.3 背圧ゾーン

背圧板は汚泥の排出断面積を減少することで更に高いせん断および圧搾効果を生じ、高い内圧(MAX200.0kPa)にて汚泥を最終的に脱水・排出する。

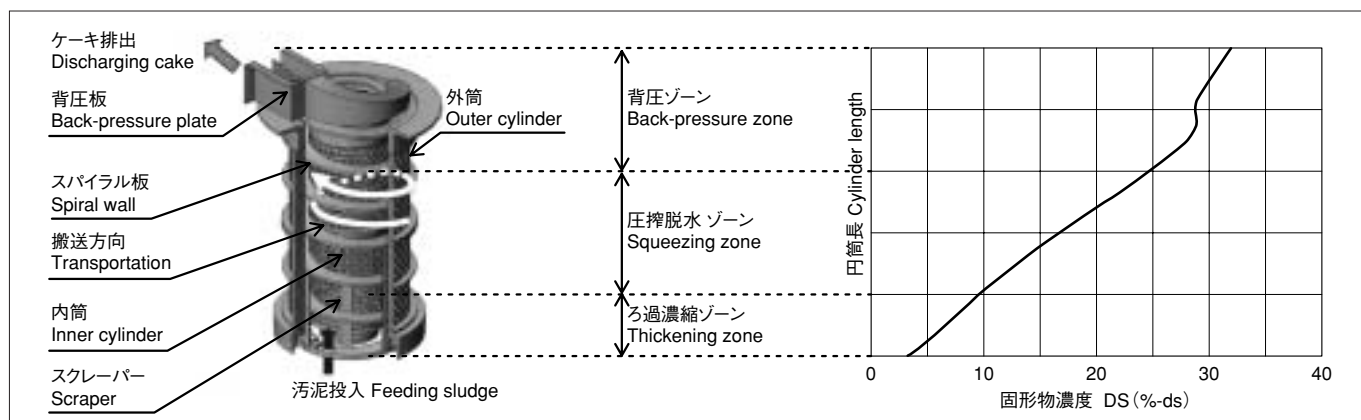


図4 内部構造
Fig.4 Detailed structure

3 基礎試験

2章でも言及したように本脱水機は、各ゾーンにおいて図5に示すような特徴を有している。

本章では図中の『①両面ろ過』、『②両面搬送+スパイラル圧搾』及び『③背圧による排出断面積の縮小』の3点の脱水性能の向上因子について、実際のトルネードプレス®を用いて検証した結果を示す。

3.1 試験方法

試験には図6に示したφ300/150×500型(φD/d×L)の試験機を用いた。対象汚泥は消化汚泥A(TS2.0%-ds、VTS67%-TS、繊維状物100Mε5%)及び混合生汚泥A(TS2.5%-ds、VTS83%-TS、繊維状物100Mε32%-TS)の2種類を用いた。以下に各試験方法を示す。

3.1.1 両面ろ過

内筒にろ材を設置した場合(両面ろ過)と設置しない場合(片面ろ過)の性能を比較した。

3.1.2 両面搬送

内外筒共に回転させた場合(両面搬送)と外筒のみ回転させた場合(片面搬送)の性能を比較した。

3.1.3 背圧による排出断面積の縮小

背圧板によって排出断面積を減少させた場合の脱水性能の変化を検証した。

3.2 試験結果及び考察

3.2.1 両面ろ過

図7に両面ろ過(内外筒共にろ材)及び片面ろ過(外筒のみろ材)の脱水性能比較を示す。ただし、処理量は単位時間辺りの固形物処理量で表記した。両面ろ過体系の方が含水率81%付近では2倍以上、82%付近では1.7倍の処理量向上が認められる。例として定圧圧搾の固液分離進行度 $U^{(2)}$ におけるろ過時間 T_m 、 T_f とろ過面数 i (両面:2、片面:1)の影響を式(1)、(2)に示す。式(1)、(2)ではろ過面数 i への依存性が異なり、ろ過時(U_f)では両面:片面比=2:1、圧密時(U_c)では4:1に比例する。今回の体系では片面と両面のろ過面積が異なり、かつ連続場における変圧ろ過のため、直接的な比較はできないが、圧密過程により近い低含水率領域において両面ろ過の効果が顕著になると考えられる。

$$U_f = \left(\frac{i}{\omega_0}\right) \times \sqrt{Kw} \times \{ \sqrt{(T_f + T_m)} - \sqrt{T_m} \} \quad \dots\dots (1)$$

$$U_c = 1 - \exp \left\{ -\frac{\pi^2}{4} \times C_e \times T_f \times \left(\frac{i}{\omega_0}\right)^2 \right\} \quad \dots\dots (2)$$

- U_f : ろ過比 (-)
- U_c : 圧密比 (-)
- i : ろ過面数(両面ろ過:2、片面ろ過:1)
- ω_0 : 固体質量 W / 装置断面積 A (kg/m^2)
- K : 修正ろ過係数 (-)
- T_f, T_m : ろ過時間 (sec)
- C_e : 修正圧密係数 (-)

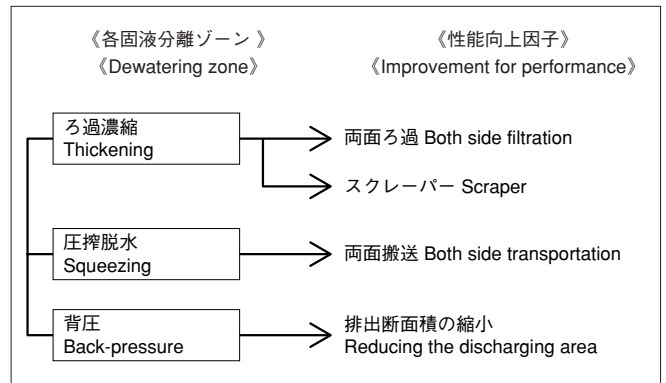


図5 各固液分離ゾーンにおける性能向上因子
Fig.5 Improvement for performance in each zone

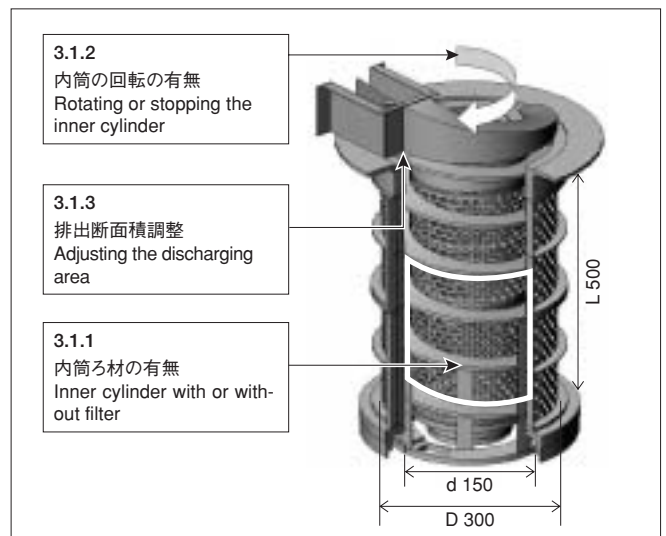


図6 基礎試験 試験機仕様
Fig.6 Test machine specification for basic experiment

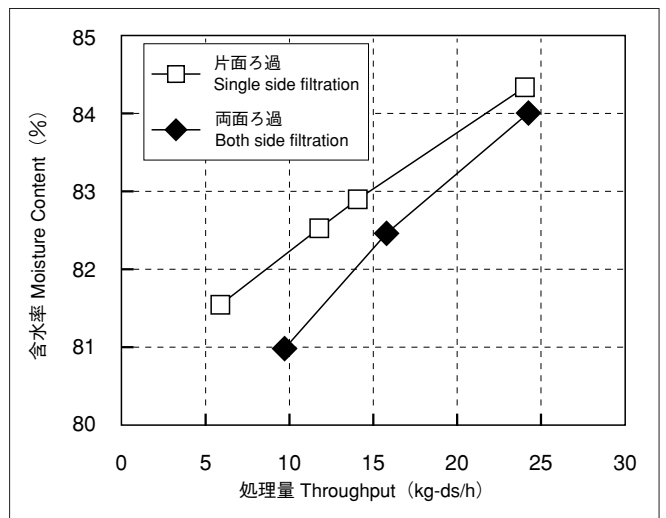


図7 両面ろ過と片面ろ過の性能比較
(汚泥:消化A、投入圧:25.0kPa、回転数:0.5~2.0rpm)
Fig.7 The comparison of the dewatering performance between “Both side” and “Single side” filtration (sludge:Digested A, input pressure:25.0kPa, rotation speed:0.5~2.0rpm)

3.2.2 両面搬送

図8、9に両面搬送(内外筒共に回転)及び片面搬送(外筒のみ回転)の2つの搬送体系の脱水性能比較を示す。両面搬送(図中◆)と片面搬送(図中□)の比較から、最低到達水分が消化汚泥で2ポイント、混合生汚泥で4ポイントの低減が図れている。

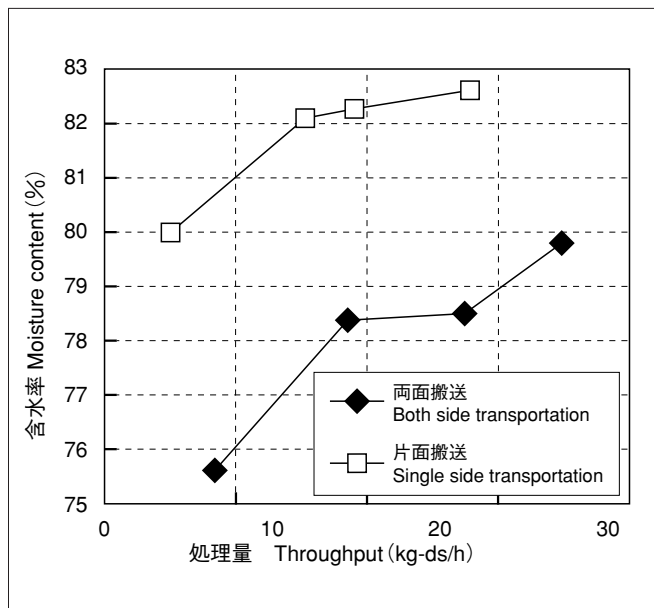


図8 脱水性能における搬送体系の影響 (汚泥:混合生 A、投入圧:35.0kPa、回転数:0.5~4.0rpm)

Fig.8 The influence of the transportation system on the dewatering performance (sludge: Mixed raw A, input pressure:35.0kPa, rotation speed:0.5-4.0rpm)

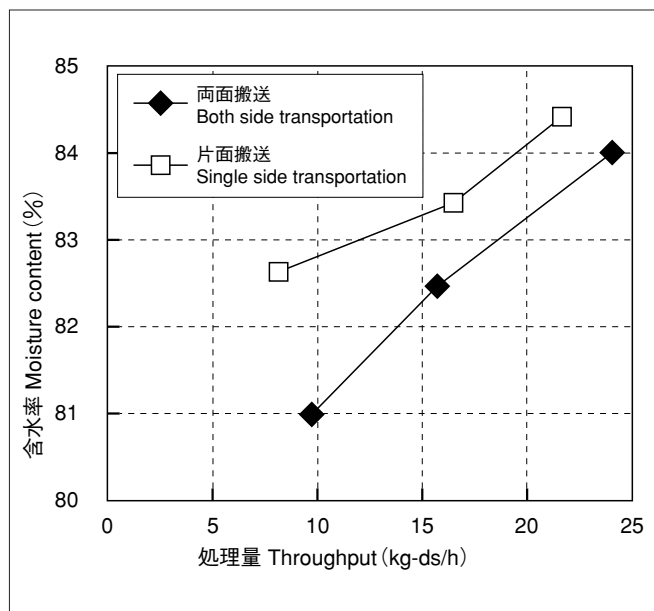


図9 脱水性能における搬送体系の影響 (汚泥:消化 A、投入圧:25.0kPa、回転数:0.5~2.0rpm)

Fig.9 The influence of the transportation system on the dewatering performance (sludge: Digested A, input pressure:25.0kPa, rotation speed:0.5-2.5rpm)

これはろ室径方向のケーキ搬送速度とせん断応力分布における搬送体系の影響が起因していると考えられる。図10にろ室径方向での搬送速度分布の概念及び式(3)~(5)に容積流量 Q、せん断力 τ 及び内圧 P の関係式³⁾を示す。両面搬送体系では両面から搬送力が得られるため、汚泥内部ではせん断応力勾配 ($d\tau/dh$) が大きく、より高い内圧 P が発生していると考えられる。

$$Q \propto \int u dh \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau \propto \frac{du}{dh} \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta P = \frac{dP}{d\ell} \propto \frac{d\tau}{dh} \dots\dots\dots (5)$$

- Q : 容積流量 (m³/sec)
- u : 搬送速度 (m/sec)
- h : ケーキ厚さ (m)
- τ : せん断力 (N/m²=Pa)
- P : 圧力 (N/m²=Pa)
- ℓ : ろ室長さ (m)

一方、一般的なる過式を式(6)に示す。今回の試験体系では同処理量あたりのろ過時間 T、ケーキ厚さ h、ろ過抵抗 Rs、Rm は同じであるため、脱水効率を示すろ過流速 dV/dT は発生する圧力 P に比例となる。

$$\frac{dV}{dT} = \frac{P}{(Rs \times h + Rm)} \dots\dots\dots (6)$$

- V : 単位面積当りのろ液量 (m³)
- T : ろ過時間 (sec)
- P : 圧力 (Pa)
- Rs : ケーキのろ過抵抗 (m⁻¹)
- Rm : ろ材のろ過抵抗 (m⁻¹)
- h : ケーキ厚さ (m)

今回の結果からは、両面搬送の内圧 P₂ が P₁ より高く、高ろ過流速 = 低含水率化に効果があったと推定される。

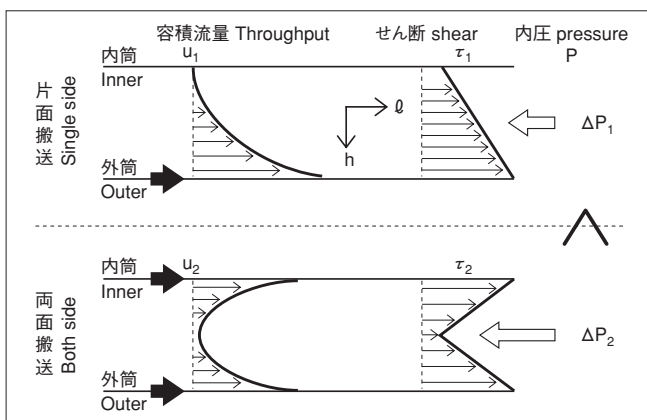


図10 搬送速度分布概念図と搬送体系の関係 Fig.10 The relationship between Q and transportation system

3.2.3 背圧

図11に背圧板によって排出断面積を減少させた場合の脱水性能への影響を示す。ただし、排出断面積は全開時を1とした場合の比率で示す。図12にろ室径方向での搬送速度分布の概念を示す。背圧操作により排出抵抗を高めた場合、汚泥内部にはより高い内圧 ΔP が発生している状態となる。同時に、容積流量 Q は減少傾向となり、過度な抵抗では処理量が著しく低下する。ろ過式 (6) にあてはめると、ろ過時間 $T (\propto 1/Q)$ と圧力 P の両者が増加するため、相乗的な効果により図11に示すように顕著な含水率の低下が認められたと考えられる。なお、実際の処理では汚泥の性状に合わせて上記の傾向が異なるため、最適条件と考えられる P_2 に調整する背圧機構が必要となる。

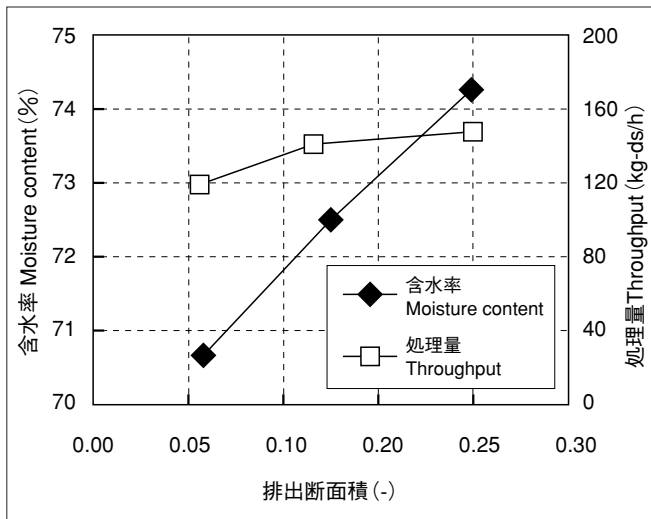


図11 脱水性能における背圧部の排出断面積の影響 (汚泥:混生 A, 投入圧:35.0kPa, 回転数:1.0rpm)
 Fig.11 The influence of the discharging area in the back-pressure plate on the dewatering performance (sludge: Mixed raw A, input pressure :35.0kPa, rotation speed:1.0rpm)

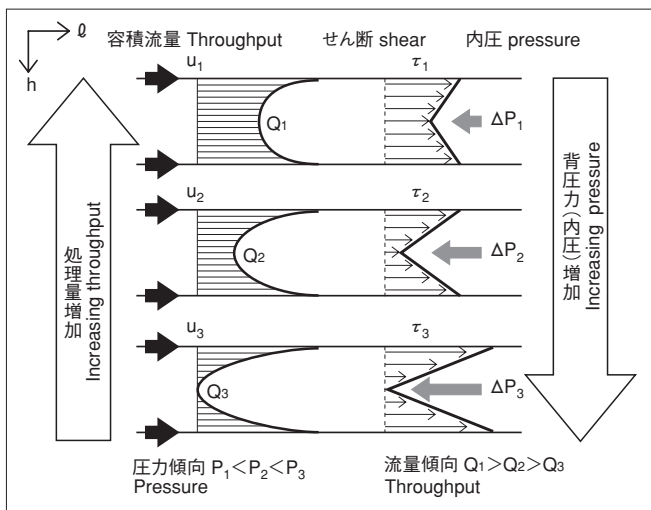


図12 容積流量、せん断力及び内圧の関係
 Fig.12 The relationship between throughput, shear and pressure

4 実証試験

商用機と同等の構造及び処理容量を有したパイロット機 $\phi 500 \times 1000$ 型 ($\phi D \times L$) を用いて実証試験を行った結果を示す。

4.1 試験方法

パイロット機 $\phi 500 \times 1000$ 型 ($\phi D \times L$) を実際の下水処理場に設置し、脱水実験を行った。表1に今回の実証試験で用いた汚泥種及び性状を示す。

今回の試験では、①スパイラルデザインの最適化、②消費動力の検証及び③既存脱水機との性能比較の3点について実施した。試験方法を以下に示す。

表1 対象汚泥の汚泥性状一覧
 Table1 Characteristics of each sludge

混合生汚泥 Mixed raw sludge				消化汚泥 Digested sludge			
処理場 Plant	TS	VTS	繊維 Fiber	処理場 Plant	TS	VTS	繊維 Fiber
B	2.7	83.7	45	B	1.9	70	10
C	1.9	83.9	46.7	C	1.6	50	10
D	2.2	84.0	40.0	D	1.8	67	10
単位 unit	TS : %-ds, VTS : %-TS, 繊維 Fiber : 100Me' 網上 Residual %-TS						

4.1.1 スパイラルデザインの最適化

脱水性能について対象汚泥毎にデザインの最適化を行うことは、脱水汚泥の低含水率化を実現する上で最も重要なパラメータと言える。ここでは、スパイラルデザインとしてピッチ数 P_n (巻数) の異なる2デザイン (N および $2N$) を使い、脱水性能におけるスパイラルピッチ数 P_n の影響について検証した。対象汚泥としては消化汚泥 B 及び混合生汚泥 B の2種を用いた。

4.1.2 運転トルクの検証

脱水機としての機械設計の最適化のためには、脱水運転時に必要なトルクを正確に把握する必要がある。このため脱水機の運転動力 (理論動力 (kw) = 回転数 (rpm) \times トルク (Nm) / 9550) の把握のため、様々な汚泥での運転条件と所要トルク、回転数の関係について調査した。対象汚泥としては表1に示した全6種の汚泥を用いた。

4.1.3 既存脱水機との性能比較

実際の下水処理場において、稼動している既存脱水機との性能比較を行い、トルネードプレス®の脱水性能上の優位性について検証した。

4.2 結果及び考察

4.2.1 スパイラルデザインの影響

図13及び14に脱水性能におけるスパイラルピッチ数 Pn (2N及びN)の影響を示す。なお、処理量は単位外筒ろ過面積あたりの固形物処理量で表記した。汚泥種により傾向が異なり、消化汚泥においては低ピッチ数 Pn化に伴い顕著な性能の改善が認められる一方、混合生汚泥では殆ど影響が認められず、誤差範囲と考えられる。スパイラルの低ピッチ数 Pn化に伴いピッチ角 α が高角化することから、消化汚泥では図12に示したような径方向の搬送速度勾配に加えて鉛直方向の搬送速度勾配や圧搾圧力も脱水性能に影響があるためと考えられる。

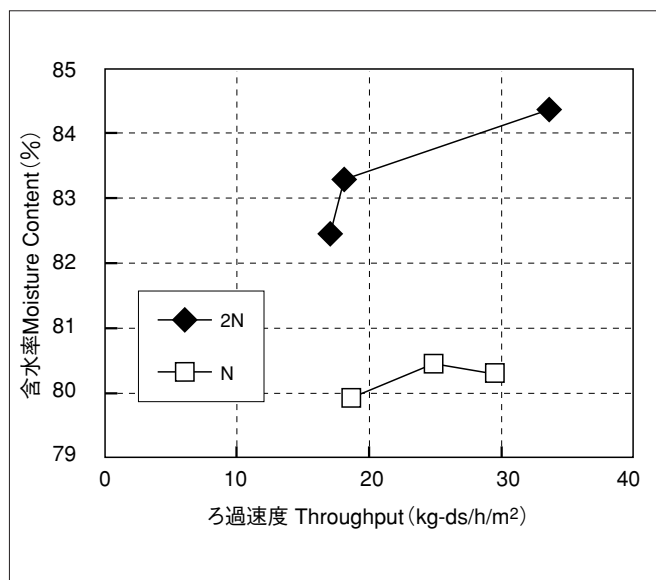


図13 脱水性能におけるスパイラルピッチ数 Pnの影響
(汚泥:消化 B、投入圧:35.0kPa、回転数:0.15~0.4rpm)

Fig.13 The influence of spiral pitch number Pn on the dewatering performance
(sludge: Digested B, input pressure:35.0kPa, rotation speed:0.15~0.4rpm)

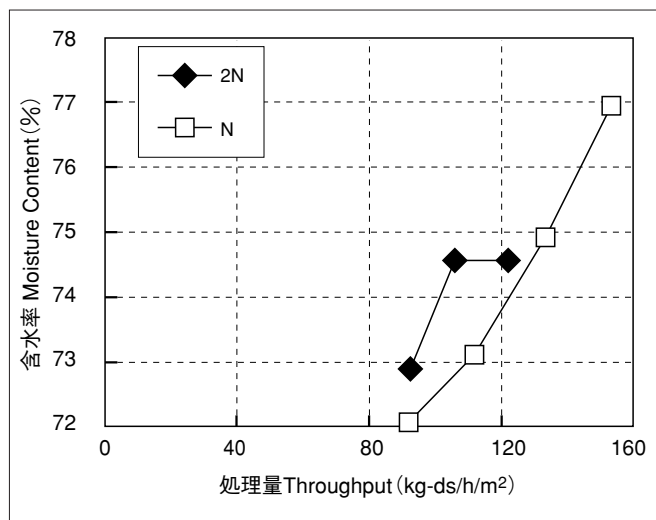


図14 脱水性能におけるスパイラルピッチ数 Pnの影響
(汚泥:混生 B、投入圧:35.0kPa、回転数:0.6~2.0rpm)

Fig.14 The influence of spiral pitch number Pn on the dewatering performance
(sludge: Mixed raw B, input pressure:35.0kPa, rotation speed:0.6~2.0rpm)

4.2.2 運転トルクの評価

図15に運転トルクと排出含水率の影響を示す。(なお、トルク値は混合生汚泥含水率72%時の平均トルクを1とした場合の比率で示す) 運転に必要なトルク値は排出される脱水汚泥の含水率に依存する傾向にあった。また、図16に回転数と処理量の関係を示す。回転数についても処理量と一定の傾向にある。(なお、回転数は混合生汚泥標準ろ過速度68kg-ds/h/m²時の平均回転数を1とした場合の比率で示す) 以上より、対象となる汚泥、含水率及び処理量領域に併せて設計することで機械設計の最適化が図れると言える。

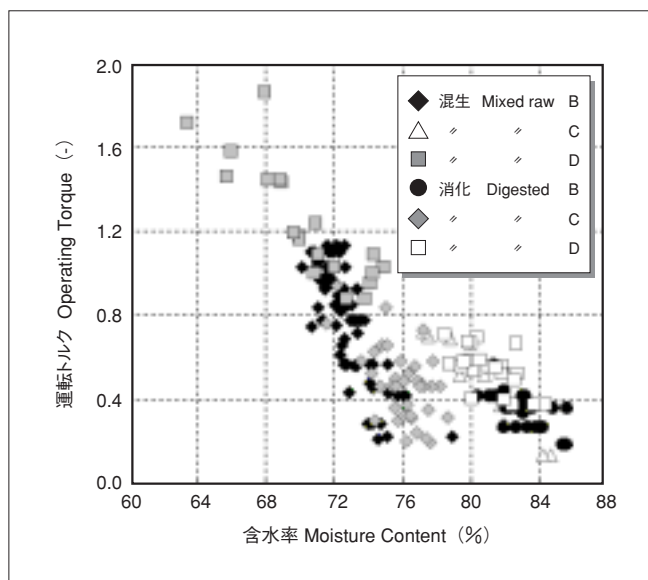


図15 運転トルクと含水率の関係(φ500×1000型、汚泥:全種)

Fig.15 The relationship between the operating torque and moisture content
(φ500×1000, sludge:all)

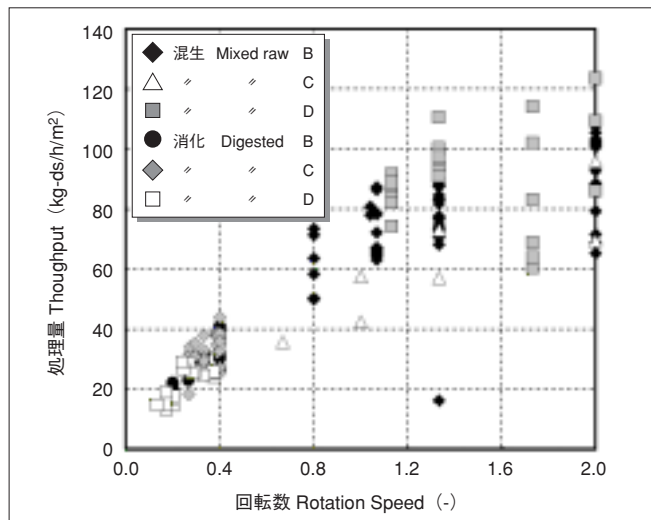


図16 回転数と処理量の関係(φ500×1000型、汚泥:全種)

Fig.16 The relationship between the rotation speed and throughput
(φ500×1000, sludge: all)

4.2.3 既存脱水機との性能比較

図17及び18に実際の処理場で運転されている既設脱水機との性能比較の代表例を示す。なお、処理量は標準処理量を100%とした場合の負荷率で表記し、薬注率等の調質条件は同一での比較を行った。

同等の負荷率(80%付近)では混合生汚泥Cでは含水率6ポイント程度の低減、混合生汚泥Dでは3ポイント程度の低減であった。一方、同等の含水率では、既設脱水機の負荷率×1.5～2.0倍程度の高負荷で運転できることが確認された。

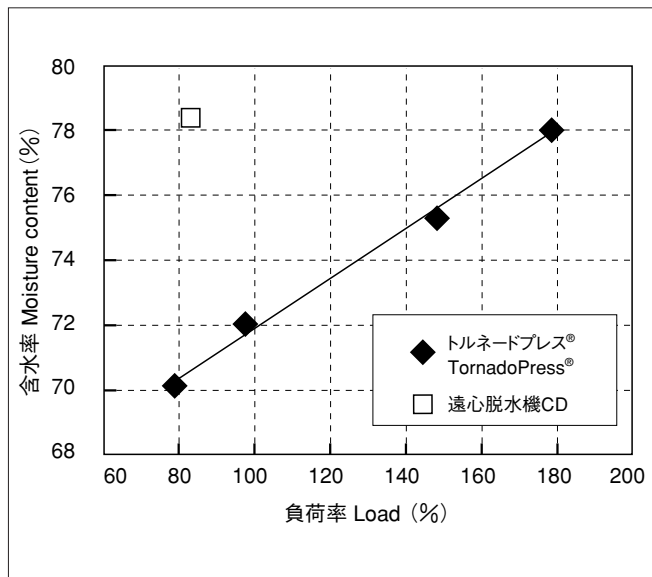


図17 脱水性能における既設脱水機との比較
(汚泥:混生C、薬注率:0.6%共通、既設機:30m³/h型遠心脱水機)

Fig.17 The comparison of the dewatering performance with the existing machine
(sludge: Mixed raw C, dosage: 0.6% common, existing machine: 30m³/h centrifuge decanter)

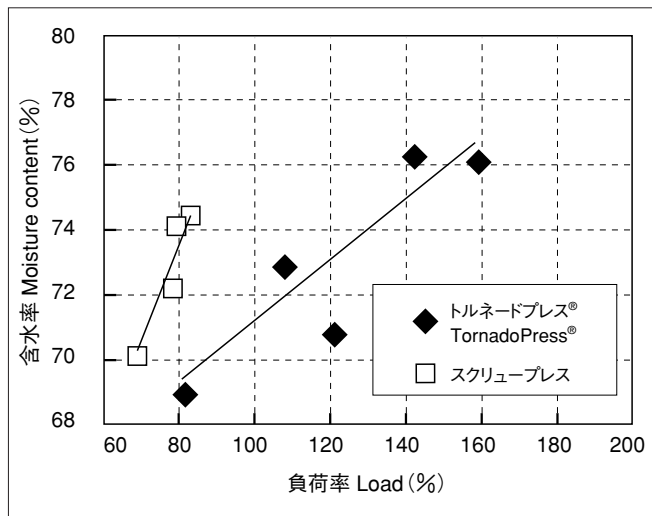


図18 脱水性能における既設脱水機との比較
(汚泥:混生D、薬注率0.7%共通、既設機:φ900型SP)

Fig.18 The comparison of the dewatering performance with the existing machine
(sludge: Mixed raw D, dosage: 0.7% common, existing machine: φ900 SP)

5 まとめ

トルネードプレス®はその脱水原理から以下の優位性があることが分かった。

- ・両面ろ過によりろ過機としての容量が向上し、機器の小型化を図れる。
- ・両面搬送+スパイラル圧搾により高い圧搾効果を有し、脱水汚泥の低含水率化を図れる。
- ・背圧により内部汚泥の搬送速度分布を調整することで任意の条件で脱水運転ができる。

また、実証試験では以下の事項が確認された。

- ・スパイラルデザインについては、消化汚泥に対しては低ピッチ数化が性能改善に大きく寄与する。
- ・所要トルク・回転数は汚泥種、含水率及びろ過速度に依存し、これらの条件から機械設計の最適化が可能である。
- ・既設脱水機との比較では同等負荷率では含水率3～6ポイントの低減効果、同等含水率では負荷率を1.5～2.0倍程度で運転できることが分かった。

なお、本脱水機は、京都府殿と『二重円筒加圧脱水機フィールド実証試験による性能確認および脱水・乾燥工程におけるコスト低減策の検討』、財団法人下水道新技術推進機構殿と『二重円筒加圧脱水機に関する共同研究』にて、脱水性能および維持管理性評価を実施中である。これら共同研究の成果を持って、今後の汚泥処理計画の改善に活用していきたい。

参考文献

- 1) 村澤、土本、桜井、佐野、濾過分離シンポジウム'01、世界濾過工学会日本会、p142-146
- 2) 化学工学の進歩8 濾過工学、化学工学協会編、楨書店、p146-152
- 3) 森、乙竹、五十嵐、化学工学、第18巻、第5号(1954)

ABS インペラ式攪拌機 と数値シミュレーション解析

ABS impeller type mixer and its mixing simulation

望月 淳

Jun MOCHIZUKI

研究開発部
開発企画部グループ

高田 哲夫

Tetsuo TAKADA

月島テクノソリューション株式会社
技術支援部

Abstract

To cope with global warming, the efficient use of digestion gas, namely, a biomass energy at sewage treatment plants is growing. Cogeneration system, which uses digestion gas for fuel is becoming highly efficient year by year, and reexamination of digestion process itself is also progressing. For example, a project is starting for receiving waste-food biomass which is added to sewage sludge from outside to increase digestion gas generation by the mixing. In addition, from the perspective of sludge treatment system, the introduction of mechanical thickening system is progressing because sludge thickening with only conventional gravity thickening has become difficult. To treat highly dense sludge, a digester requires optimum digestion efficiency with optimum digestion temperature control and sufficient mixing where mixing quality of digester determines digestion quality.

ABS impeller type mixer features a low-powered, unique impeller-shaped mixer that creates a flow to prevent sludge sedimentation without draft tube. Motor output is reduced significantly, i.e., approximately 1/5 that of a gas mixing method against similar capacity, and approximately a half of the power against a conventional screw mixer.

キーワード: 消化、インペラ、攪拌、シミュレーション、省エネルギー、軽量化
Keyword: digester, simulation, impeller, energy saving, weight reduction

1 はじめに

近年、地球規模で問題となっている温暖化対策の一つとして、下水処理場ではバイオマスエネルギーである消化ガスを有効利用する動きが顕在化しつつある。消化ガスを燃料とするコージェネ機器は年々高効率化されており、また消化プロセスそのものの見

直しも進んでいる。一例としては、下水汚泥以外の湿潤バイオマスを外部から受け入れ、下水汚泥との混合処理によって消化槽での消化ガス発生量の増加を図ろうとするプロジェクトも始まっている。また、汚泥処理システム側からみると、従来の重力濃縮単独での汚泥濃縮が困難となり、機械濃縮システムの導入による汚泥の高濃度化が進んでいる。このような汚泥の高濃度化において、消化槽内で最適な消化効率を得るためには、適切な消化温度の管理と十分な攪拌が必要不可欠となる。

消化槽での攪拌の目的は、

- ・投入汚泥と嫌気性微生物との十分な接触
- ・槽内温度の均一化
- ・スカム発生の防止
- ・投入汚泥の消化槽内での速やかな分散
- ・タンク底部での固形物の堆積防止
- ・汚泥粒子に付着しているガスの分離

等である。したがって、消化槽攪拌の良否が消化の良否を決定する重要なポイントであるといえる。

本稿では、ABS社から導入したインペラ式攪拌機(以下、ABSインペラ式攪拌機と記す)の特長および消化槽での攪拌状態をシミュレーションにて解析した結果を報告する。

2 消化槽の攪拌方法について

現在、消化槽の攪拌方法は、下記の3つの方法に区分される。

- ・ガス攪拌
- ・ポンプによる攪拌
- ・機械攪拌

ガス攪拌は従来型消化槽形状である算盤形、亀甲形消化槽に数多く採用されているもので、発生した消化ガスをガスブロウにより加圧させて、槽内に再び吹き込み、ガスリフト効果を用いた汚泥の攪拌である。

ポンプによる攪拌は補助的な役割が強く、ガス攪拌との共用にて用いられているケースが多い。

機械攪拌は、汚泥の流れを導くドラフトチューブとチューブ内に設置されたスクリーユにより槽内全体を攪拌するものである。国内の下水汚泥消化槽には1985年に初めて導入され、従来のガス攪拌から順次更新されてきている。また、本稿で紹介するABSインペラ式攪拌機も機械攪拌方式の一つであり国内では2003年から稼働を始めている。

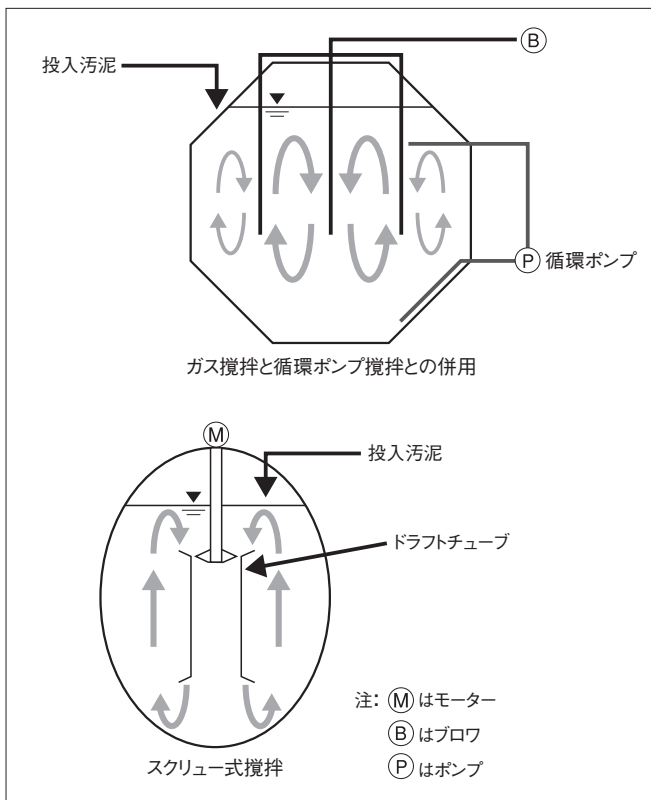


図1 消化槽の攪拌方法
Fig.1 Mixing method of digester tank

3 ABS インペラ式攪拌機の特長

機械攪拌方式の一つである本攪拌機の特長を下記に示す。

3.1 シンプルな構造

ABSインペラ式攪拌機は、図2に示すように槽中央に設置したシャフトと最上段に2枚のインペラ、下段に3枚のインペラから構

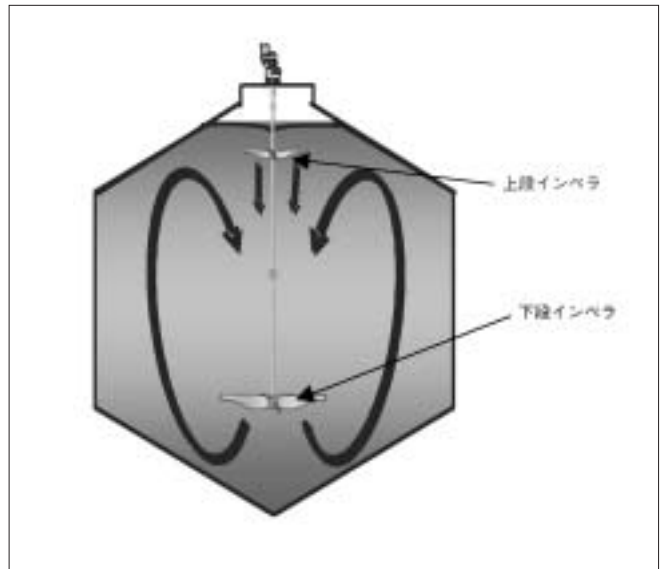


図2 ABSインペラ式攪拌機
Fig.2 ABS impeller type digester mixer

成される。亀甲形消化槽など槽高さがある場合は3枚インペラが中段にもう1段追加となる。この大きなインペラを低速回転(10~25rpm)で動かし消化槽全体を攪拌する。いままでのスクリーユ式攪拌機では、汚泥流れを導くドラフトチューブが必要であったが、本攪拌機はドラフトチューブを必要としない構造になっている。

3.2 低速回転による高い攪拌能力

本攪拌機の攪拌量(吐出流量)は、式(1)によって求められる。式(1)において、インペラ径は3乗の値で効いてくる。

ドラフトチューブが不要なABSインペラ式攪拌機は、このインペラ径を2~4mと大きくとることができ、低速回転(10~25rpm)でも、従来型のスクリーユ式攪拌機と同じ攪拌量を得ることが可能となる。

$$Q = Nq \times N \times D^3 \dots (1)$$

Q : 攪拌量 = 吐出量 [m³/min]

Nq : 吐出流量係数 [-] (ABSインペラ式の場合 Nq=0.50~0.60)

N : 回転数 [rpm]

D : インペラ径 [m]

3.3 低動力化

本攪拌機に必要なモーター動力値は式(2)によって求められる。

ABSインペラ式の場合、動力数N_pは0.19~0.31の範囲となる。この値は、同様な攪拌方式である3枚羽根ピッチパドルの動力数

0.64、3枚羽根フラットパドルの動力数0.47と比較して低い値となり所要動力の低減につながる。図3に各機械攪拌方式での消化槽容量における電動機出力を示す。従来型のスクリーユ式攪拌機と比較しても約1/2の低動力化が可能となる。

$$P = \frac{Np}{10^3} \times \rho \times \left(\frac{N}{60}\right)^3 \times D^5 \times \text{インペラ段数} \times (1/\eta) \dots (2)$$

- P : 攪拌機所要動力 [kW]
- Np : 動力数 [-] (ABSインペラ式の場合 Np=0.19~0.31)
- ρ : 液密度 [kg/m³]
- N : 回転数 [rpm]
- D : インペラ径 [m]
- η : 機械効率 [%]

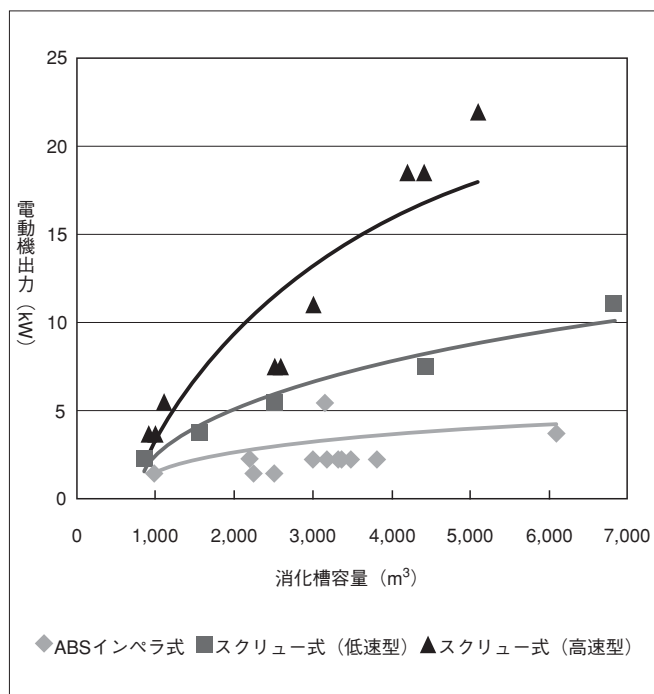


図3 各機械攪拌方式における動力負荷
Fig.3 Motor Power in each mixing system

3.4 軸封構造

ABSインペラ式攪拌機は高速型のスクリーユ式攪拌機の回転(300~600rpm)に対して低速回転(10~25rpm)のため、消化槽内の消化ガスを槽外へ流出させない構造として安全性の高い液体シールを用いることができる。図4にシール部分の構造を示す。シャフトに溶接されたシールポットが一緒に回転するシ-

ル構造であるため、高速回転機器によく用いられるメカニカルシールのような金属摩擦部分がなく、頻繁に部品を交換する手間がかからない。また、シール水位が低下した場合は、シールポット部に設けた液位レベル計で検知し、外部から簡単にシール水を補給できる構造となっている。

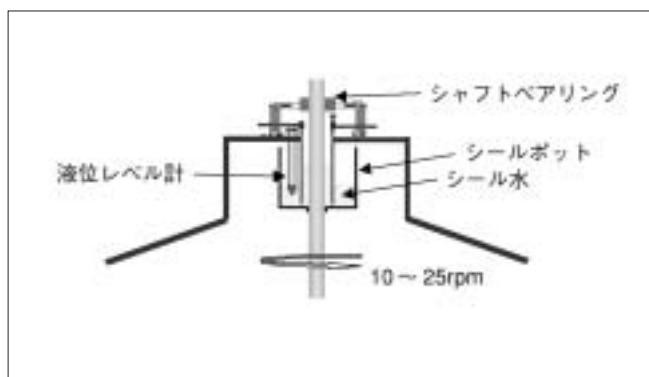


図4 軸封構造
Fig.4 Seal housing structure

4 シミュレーション解析

本ABSインペラ形状による槽内の攪拌状態を確認するため、数値シミュレーション解析を実施した。

解析にあたっては、槽内の流体物性値を下記の条件にて設定した。

- ・粘性係数 0.2 [kg/m·s]
- ・密度 1050 [kg/m³]
- ・シミュレーション解析ソフト FLUENT 6.2.16

4.1 インペラ形状による攪拌効果について

形状による攪拌状態の比較として、10m×10m×10mの槽内の中心に設置したインペラ径2,320mmのABSインペラ式攪拌機と同径で羽根枚数も同じパドル式攪拌機によるシミュレーション解析を実施した。回転数はともに20rpmとなる。

図5および図6に、ABSインペラ式攪拌機形状およびパドル式攪拌機形状を示す。ABSインペラ式攪拌機の形状は、中心側のインペラに幅を持たせており、先端部にいくほどインペラ幅が小さくなる形状で全体的に流線型状となっている。一方、パドル式攪拌機は、垂直方向に対して45°の傾きを持つパドル形状で先端部においてもパドル幅は同じ構造となっている。

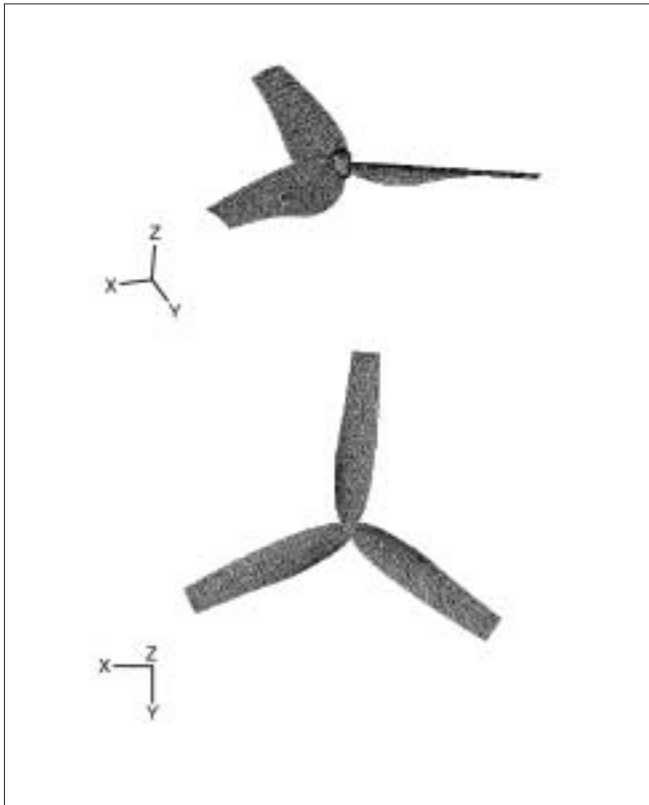


図5 ABSインペラ式攪拌機形状
Fig.5 ABS Impeller shape mixer

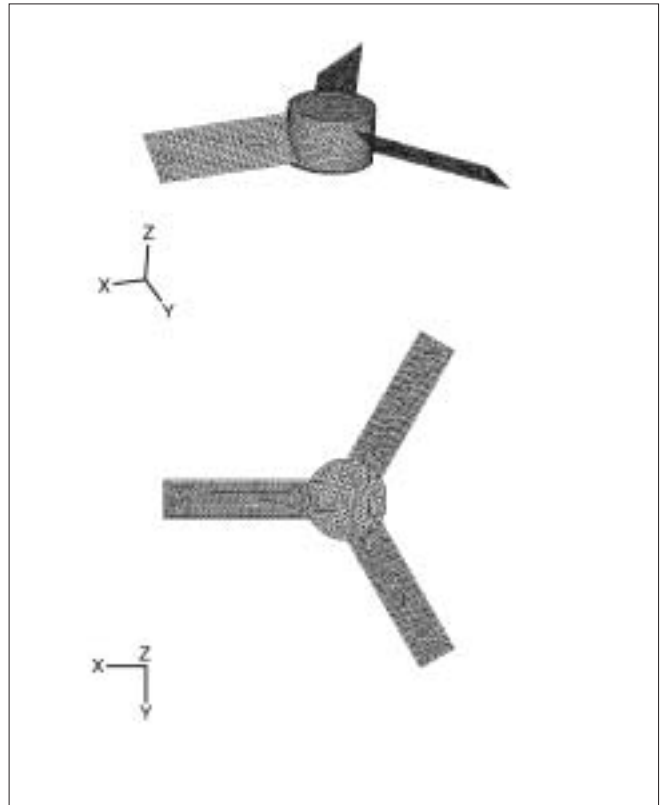


図6 バドル式攪拌機形状
Fig.6 Paddle shape mixer

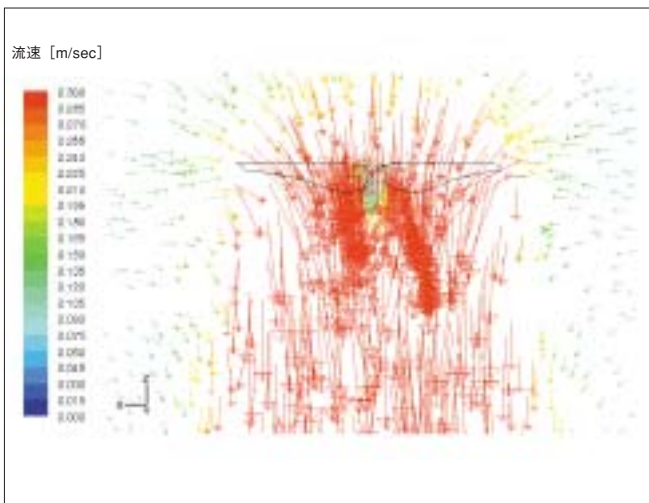


図7 ABSインペラ式攪拌機による攪拌状態
Fig.7 Mixing simulation by ABS impeller type mixer

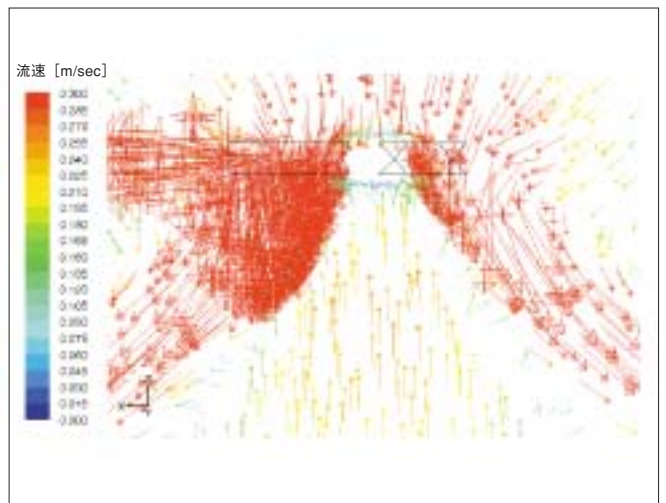


図8 バドル式攪拌機による攪拌状態
Fig.8 Mixing simulation by Paddle type mixer

図7および図8に、それぞれの攪拌機のシミュレーション解析結果をベクトル図で示す。ABSインペラ式攪拌機では、インペラ上部では中央部分に集まってくる流れが発生しており、インペラ通過後は、インペラ径とほぼ同じ幅において、鉛直下向きへの強い流れが生じている。一方、パドル式攪拌機では、パドル上部においては同じく中央部分に集まってくる流れとなっているが、パドル通過後は遠心状に流れが拡散しているのが確認できる。また、パドル下部においては、ABSインペラ式とは反対に上向流となる流れが発生している。このシミュレーションにより、ABSインペラ式攪拌機のインペラ形状は、流れを鉛直下部方向に集約する流れが発生していることが解る。

また、本シミュレーション解析結果より得られたそれぞれの攪拌機にかかるトルクは、ABSインペラ式で284N・m、パドル式で951N・mとなり、パドル式に対して約30%の動力負荷にて運転可能であることを示した。

4.2 消化槽内全体の攪拌効果について

次に、2000m³ 亀甲形消化槽(直胴径12.7m×高さ21.7m)におけるABSインペラ式攪拌機を適用した場合のシミュレーション解析結果を図9に示す。槽内の流体物性値は、前述の4.1と同条件にて設定した。

本消化槽における、ABSインペラ式攪拌機の仕様は、上段に2枚インペラでインペラ径が2100mm、中・下段に3枚のインペラでインペラ径が2800mmから構成されており、インペラ回転数は12rpmとなる。

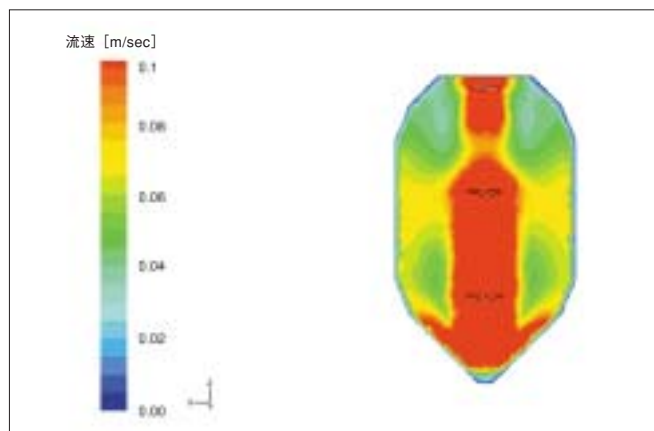


図9 亀甲形消化槽における槽内シミュレーション結果
Fig.9 Mixing simulation result in hexagon shape digester tank

消化槽全体においても、この各段インペラから発生する鉛直下部方向へ向けて発生する強い流れにより、汚泥流れを導くドラフトチューブを用いなくても消化槽下部に向けて強い流れが生じている結果が確認できた。この流れにより消化槽底部においては、汚泥沈降防止の目安となる流速0.1m/sec以上の流れを確保しており、消化槽底部での汚泥の堆積抑制となる。

5 おわりに

このABSインペラ式攪拌機は、従来型のガス攪拌やスクリー式攪拌機に比べ大幅に電動機出力を削減した省エネルギー型攪拌機となる。また、シャフト構造等を見直し、従来型攪拌機に比べて軽量化しているため、現在ガス攪拌方式で頂部に荷重をかけられない消化槽においても更新適用できる。

現在のところ(2007年3月末現在)、海外では1985年から500基以上、また日本では、2003年から汚泥消化槽向けに16基の納入実績があり、安定した運転を継続している。

参考文献

- 1) 藤川ら、「インペラ式消化槽攪拌機の運転性能について」第42回下水道研究発表会、p999-1001、2005年7月
- 2) 澤原:「消化ガス有効利用技術について」、新政策、p122~123、2006年10月
- 3) 佐竹化学機械工業株式会社:「攪拌技術」、1992年12月

パラキシレン新精製プロセス “PX-Flash” —断熱冷却晶析による大規模溶融精製プロセスの開発— *New Purification Process “PX-Flash” for p-Xylene Mass Production using Adiabatic Cooling Crystallization*



神戸 達哉
Tatsuya KANBE
産業事業本部
プラント計画部
化学プラントグループ



石井 究
Kiwamu ISHII
研究開発部
プロジェクトグループ

大内 健二
Kenji OUCHI
産業事業本部
プラント計画部

Abstract

Along with the increase of Polyester production in Asia, especially in China, p-xylene is now in great demand all over the world, and the demand continues to outstrip the supply. Under the backgrounds, Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) accelerates the commercialization of new purification process “PX-Flash” for p-xylene mass production. TSK’s core technology of crystallization is applied as one method of crystallization for p-xylene purification process, which features application of adiabatic cooling for growing crystals and the application of wash column for purifying crystals.

With the adiabatic cooling method, refrigerant gas is dissolved in mixed xylene at high pressure, then refrigerant gas is flashed at low pressure. And flashed gas deprives mixed xylene liquid of heat, p-xylene crystals crystallize out of the solution. Compared with conventional indirect-cooling method, the size of crystallizer can be compact because of no need heat transfer area.

In addition, p-xylene crystals produced by adiabatic cooling crystallization is purified at the wash column. The wash column produces highly-pure crystals by forming a crystal bed mechanically and allowing countercurrent contact of feed slurry and a part of melt that melted the scraped crystal bed. Mechanical formation of crystal bed makes column size compact. As above mentioned, this process can reduce initial and running cost lower than indirect-cooling method.

This paper reports the development of the new process “PX-Flash” for p-xylene mass production.

キーワード：断熱冷却晶析、洗浄塔、溶融精製、大規模生産、パラキシレン

Keyword : Adiabatic cooling crystallization, Wash column, Melt purification, Mass production, p-xylene

1 はじめに

アジアにおいて需要が旺盛なポリエステル増産に伴い、その中間原料であるパラキシレン(p-xylene) (以下、PXと称す)の数十万トン規模での増産が世界中で計画されている。当社では、Counter Current Cooling Crystallization プロセス(以下、“4Cプロセス”と称す)と呼ばれる「間接冷却式の掻取結晶缶及び精製塔を組み合わせ

たPX精製プロセス」を保有している。しかしながら、数十万トン規模の設備に対応するには掻取結晶缶及び精製塔の大型化が困難である点や機器点数の増加によりイニシャルコストが高くなり、市場でのコスト競争力が低下するなどの課題が多い。そこで、PXの大規模な能力増強に対応すべく、“4Cプロセス”より安価な設備コスト、ランニングコストで、コスト競争力のあるPX新精製プロセス(以下、“PX-Flash”と称す)を市場に提供することを目的として

開発を行っている。“PX-Flash”は「断熱冷却晶析(adiabatic cooling crystallization)と結晶洗浄塔(wash column)を組み合わせたプロセス」となっており、現在“4Cプロセス”よりもインシヤルコスト・ランニングコストともに経済的に優位性を持ったプロセスを構築できることに目処がついた。現在は商用化を目指して詳細を詰める作業を実施している。本稿では、“PX-Flash”の開発成果について概要を報告する。

2 PXの市場動向

繊維、容器などに用いられるポリエステル製の旺盛な需要の背景のもとで、その中間原料となる高純度テレフタル酸(PTA)の需要が増加しており、2006年～2010年をピークとして世界各地においてPTAの需要増が予測されている。それに伴い、PTAの原料となるPXの増産も必須であり、経済産業省の統計データ¹⁾によれば、2002年の段階で1870万トンであったPXの世界需要は、2008年には2780万トンと推定されており、2002～2008年における年平均伸び率は6.8%と試算されている。

特に中国、台湾、インドを中心とするアジア圏では2008年において150万トンの供給不足が予測されており、2005年にアメリカで発生した大型ハリケーンの影響に伴うキシレンの輸出量減少(2004年比で半減)も相まって、今後もアジアにおけるPX需給はタイトバランスで推移するものと見られる。2007年以降はアジア圏を中心に各地で10～80万トン規模の新設/設備増強が計画されているが、オマーン国営石油(80万トン)やKARO(クウェート:82万トン)などの大型プロジェクトの計画延期が続いており、アジア域内において依然としてひっ迫状態が続くものと見られる。²⁾

3 PX精製プロセスにおける当社の従来技術 (“4Cプロセス”)

一般的にPXは、石油精製工程における留分(ナフサ)の改質、あるいは分解によって得られる混合キシレンより分離される。この混合キシレンは主に3種のキシレン異性体(オルソキシレン(OX): b.p.144.4℃、メタキシレン(MX): b.p.139.1℃、パラキシレン(PX): b.p.138.3℃)の混合物である。これら異性体の沸点は非常に近接しているため、蒸留によりPXのみを分離することは困難である。従って、この混合キシレンからのPXの分離には、従来より分子構造の違いを利用したゼオライトによる吸着法か、融点の違いを利用した晶析法が用いられてきた。

晶析法によるPX精製設備に関しては、当社においても過去に1981～84年に6万トン/年・設備(3系列)、1994年に4万トン/年・設備(能力増強)を納入している。これらはいずれも間接冷却方式による掻取結晶缶と結晶の洗浄・溶融精製(melt purification)を行う精製塔を組み合わせた当社独自のプロセスである“4Cプロセス”(図1)が採用されている。これら各設備の製品純度・生産量ともに顧客要求を充分満足させた非常に優れたプロセスである。

しかし、この“4Cプロセス”は、1990年代以降に数多く建設された年産数十万トンクラスの大型PX精製設備に対しては、次第にその競争力を失ってゆくことになる。これは、“4Cプロセス”における間接冷却式の掻取結晶缶および精製塔の大型化が困難であり、より大規模生産(mass production)に効率的な吸着プロセスに、精製方式がシフトしていったことが主たる要因として挙げられる。

間接冷却方式で採用している掻取結晶缶を大型化するには、生産量増加に比例して胴側面上の冷却面積を大きくする必要がある。

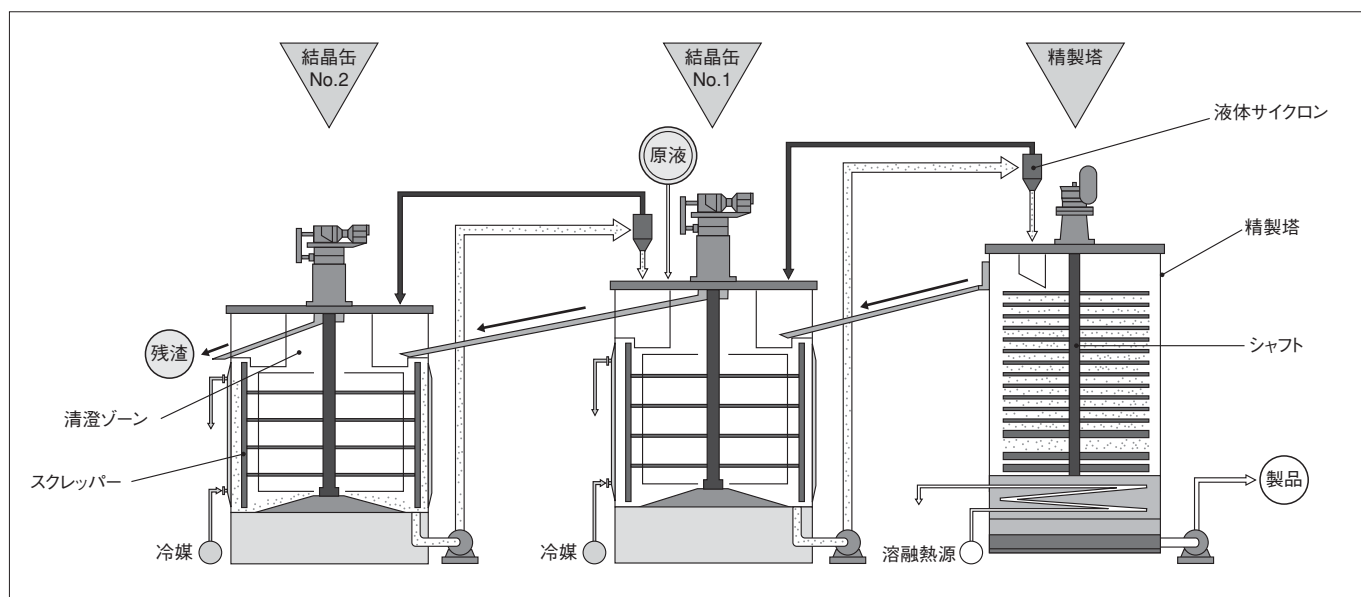


図1 “4Cプロセス”フロー
Fig.1 Process flow of “4C Process”

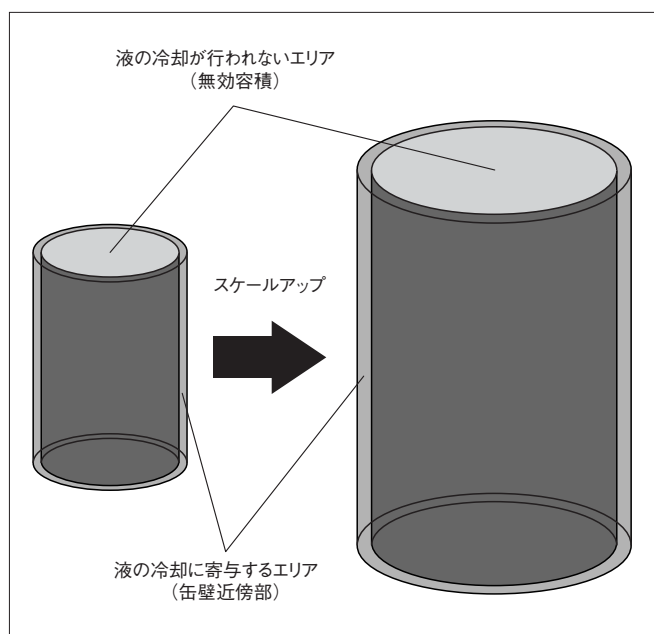


図2 結晶缶スケールアップに伴う無効容積の増加
Fig.2 Increasing of useless volume arose from the scale-up of crystallizer

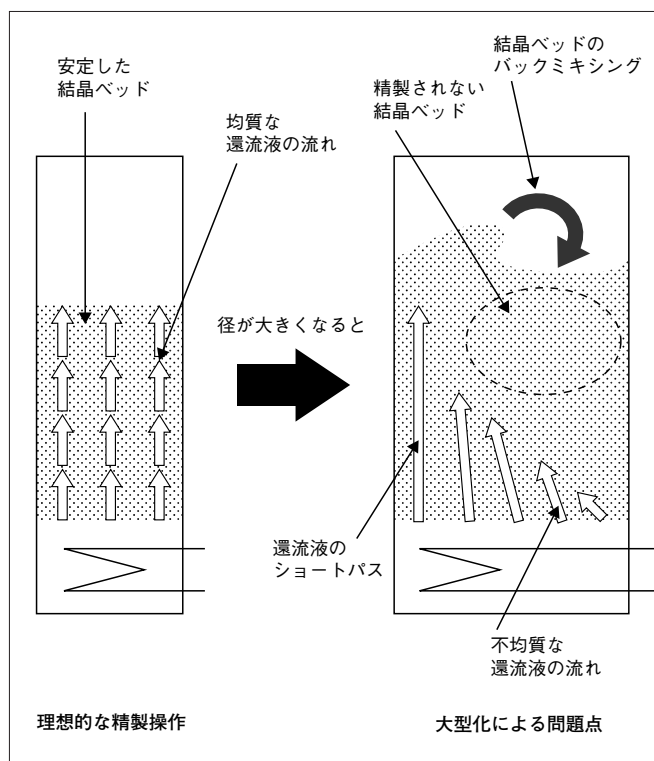


図3 精製塔大型化に伴う問題点
Fig.3 Negative effects caused by scale-up of purifier

しかし、それに伴う問題点として、結晶缶の体積、すなわち余剰な無効容積も冷却面積の増加割合以上に増え、缶内の均質混合が困難となる(図2)。また、精製塔は、重力沈降により結晶の充填層(ベッド)を形成し、下部から結晶の融液を還流させることで結晶の洗浄・精製を行う機構であるが、塔径が大きくなると還流液のショートパスや結晶ベッドのバックミキシングなどが発生し、結晶ベッドが不安定となり、十分な精製効果が得られなくなる(図3)。

従って、従来型の“4C プロセス”をその機器構成のまま大型化することについては、設計・製作上の問題もさることながら、上記に伴い、製品品質の確保が困難となる問題がある。一方、最適な機器サイズをベースに、機器点数を増やすことで生産量増加に対応する場合、機器の材料費や製作費、建設費、運転費など経済性の面で優位性を失う。

これらの問題を解決し、設備費および運転費が安価で大量生産に適用可能なPX精製プロセスを市場に提供すべく、筆者らは断熱冷却晶析ならびに結晶洗浄塔を用いた“PX-Flash”の開発に取り組んでいる。

4 PX 新精製プロセス “PX-Flash”

4.1 プロセスの概要

図4に現在開発中の“PX-Flash”のフローを示す。

本プロセスは冷媒ガス加圧用のコンプレッサー、吸収コンデンサー、プレフラッシュタンク、結晶缶、液体サイクロン、プロパンストリッパー、およびPXの結晶を精製するための結晶洗浄塔から構成されている。

原料の混合キシレンはNo.1吸収コンデンサーに導かれ、冷媒であるプロパンガスを高压条件下で吸収し、所定の温度に調整された後、No.1プレフラッシュタンクに供給される。ここで所定の圧力まで放圧されることにより、溶解したプロパンの一部が気化することで熱が奪われ、混合キシレンは所定の温度まで冷却される。その後、混合キシレンは常圧下で運転されるNo.1結晶缶に導かれる。ここでさらにプロパンの蒸発が起こり、その断熱冷却効果により混合キシレン中にPXの結晶が析出する。得られたPXの結晶を含むスラリーは、結晶洗浄塔にて母液とPXの結晶に分離され、分離された結晶は精製操作を経て製品として排出される。

洗浄塔において分離された母液は、No.2吸収コンデンサーに導かれ、上述の工程と同様にガス吸収、プレフラッシュを経て常圧で運転されるNo.2結晶缶に送られる。No.2結晶缶における晶析操作はNo.1結晶缶の操作温度よりも低い温度で行われ、PXを結晶として析出させ、可能な限りPXを回収する。得られた結晶スラリーはNo.1結晶缶付属の液体サイクロンに導かれ、濃縮されたスラリーはNo.1結晶缶へ、清澄液はプロパンストリッパーへ送られる。プロパンストリッパーにおいて清澄液中のプロパンが脱気され、残りは残渣として排出される。

各結晶缶、プレフラッシュタンクおよびプロパンストリッパーで発生するプロパンガスは、コンプレッサーで再加圧され、冷媒ガスとして循環使用される。

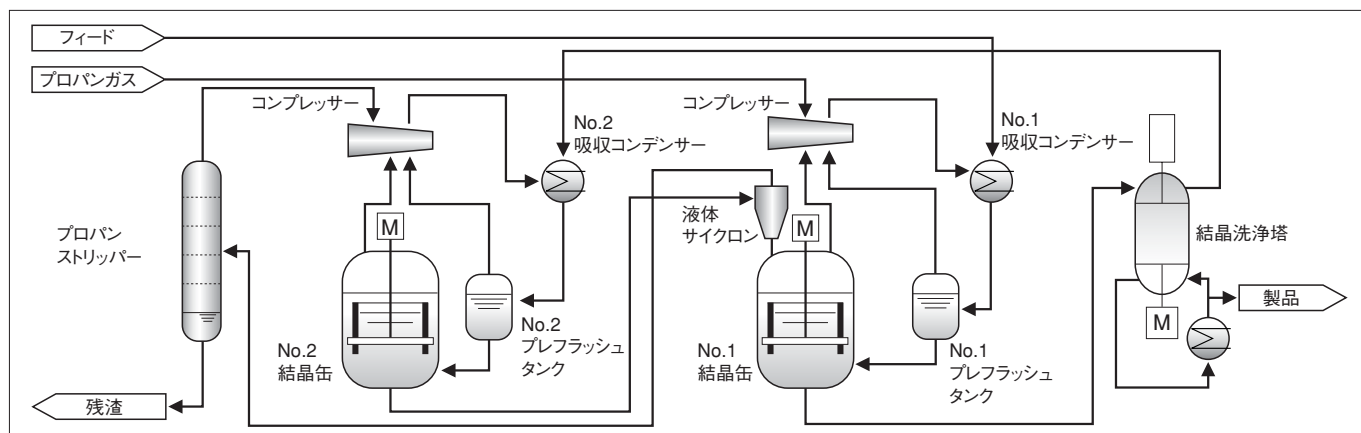


図4 “PX-Flash” プロセスフロー
Fig.4 Process Flow Diagram of “PX-Flash”

※便宜上、コンプレッサーが2基記載されているが、
実際は1基で併用可能である

各機器の操作条件は原料中のPX濃度や要求される回収率によって異なる。例えば、冷媒ガスとしてプロパンを使用し、原料中のPX濃度が92wt%の場合、吸収コンデンサーによる冷媒ガス吸収圧力を0.7～1.0MPa、No.1およびNo.2結晶缶の温度をそれぞれ-5～5℃および-25℃～-15℃とすることで、99.7wt%以上のPX製品純度と、90%以上のPX回収率が得られる。

4.2 プロセスの特徴と原理

“PX-Flash”の主たる特徴は、①結晶を得るための冷却方式として、混合キシレンに溶解させた冷媒ガスを気化させることによる断熱冷却方式を採用していること、および②結晶精製方式として、機械的に結晶ベッドを形成させる結晶洗浄塔を採用していることである。

以下に、これら2つの利点と原理について説明する。

4.2.1 冷媒ガスを用いた断熱冷却晶析^{3),4)}

混合キシレンからPXの結晶を得る場合、PX濃度に応じた結晶化点まで液を冷却する必要がある。間接冷却方式の場合、ジャケット付きの結晶缶などを用い、外部より混合キシレンを冷却することでPXの結晶を得るが、析出した結晶が缶体の冷却面に付着するため、それらを除去して常に一定の伝熱係数を得るための掻取機構(スクレパー)が必要となる。これに対し、今回“PX-Flash”で採用した断熱冷却方式による晶析法においては、溶解したプロパンの蒸発潜熱により液を冷却するため、掻取機構を必要としない。この断熱冷却晶析のシステムを、図5に示す。まず、高圧下で混合キシレン中に冷媒ガスを溶解させる(図5①)。それを常圧下に供することで混合キシレン中に溶解している冷媒ガスが蒸発し、蒸発潜熱により液が冷却され、結晶が析出するシステムである(図5②)。

“PX-Flash”に使用する冷媒ガスの条件は、混合キシレンに適当な溶解度を持つこと、加圧状態で溶解したガスが常圧下で容易に気化すること、混合キシレンに対して不活性な物質であることであり、以上の条件を満たせばプロパンに限らず使用可能である。

上記4.1項では冷媒ガスとしてプロパンを使用した例を紹介している。PX以外の成分濃度により影響されるが、例えばPX濃度90%程度の混合キシレンに対して0.8MPaG,30℃の飽和条件下でプロパンを吸収させた吸収液を大気圧下で放圧すれば、全重量に対して40～50wt%のPX結晶を得ることができる。今回、検証ベースとしてプロパンを使用しているのは、石油リファイナリー設備において比較的容易に得られ、高圧ではキシレンに適度な溶解度を有しながら常圧下で容易に気化し、オレフィン類(炭素二重、三重結合を有する不飽和炭化水素類:有機物に対して反応活性を有することが多い)と比較して安定した物性を有しているためである。

純粋なPXの結晶化点は13.3℃であるが、混合キシレン系ではPX以外の不純物濃度が大きくなるほど結晶化点は低くなる。図6はPX-混合キシレン系の固液平衡線図の一例である。

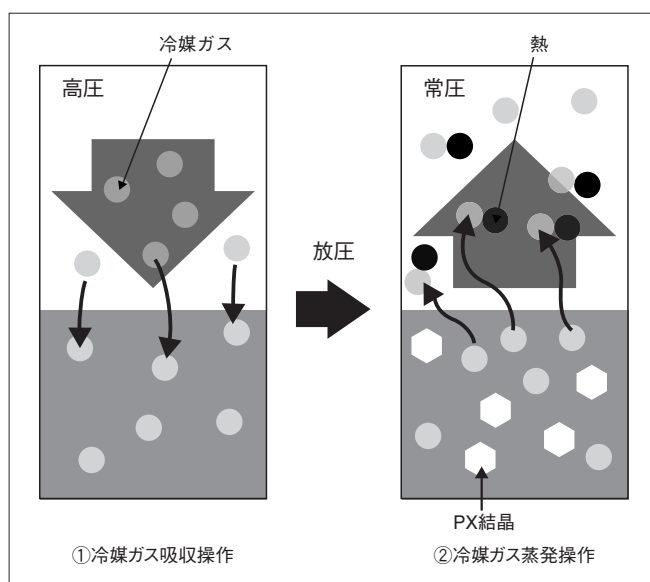


図5 断熱冷却晶析の原理
Fig.5 Principle of adiabatic cooling crystallization

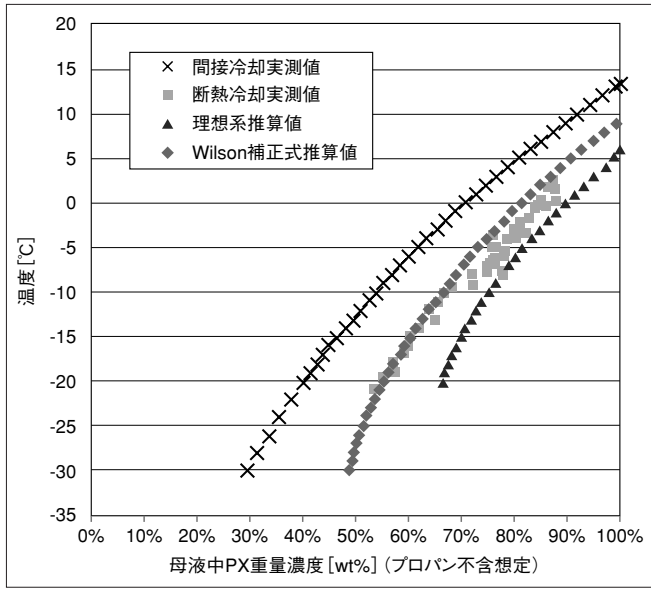


図6 PX-混合キシレン系固液平衡線図
Fig.6 Solid-Liquid equilibrium (PX-mixed xylene system)

図中×で示されたプロットは間接冷却晶析を行った際の実測値である。また、図中■で示されたプロットは断熱冷却晶析を行った際の実測値である。その他のプロット(図中▲◆)はプロパンが溶解している混合キシレン系の常圧下における固液平衡線図の推算値であり、▲が理想系の推算値、◆がWilson式を用いてγ補正を行った推算値である。図は縦軸が温度、横軸が母液中PX濃度を示している。間接冷却以外のプロパンが溶解している系については、溶解しているプロパンを除く混合キシレン系におけるPX重量濃度をプロットしている。すなわち、図中のPX濃度は次式にて表される。

$$\text{母液中PX重量濃度} = \frac{\text{母液中PX重量}}{\text{母液重量} - \text{母液中溶解プロパン重量}} \times 100 \dots (1)$$

なお、◆および▲で示された推算値は次のように求めている。

2成分以上の物質が混在する系において、分子間の相互作用が全くなく、分子体積をゼロと仮定した理想系における気液平衡関係はRaoult則により(2)式で表される。

$$P y_i = P_i^s x_i \dots (2)$$

ここでPは全圧[kPa]、 y_i および x_i はそれぞれ成分iの気相モル分率[-]と液相モル分率[-]、 P_i^s は純物質の飽和蒸気圧[kPa]である。

また、固液平衡関係が単純共晶系で固相が純物質であると仮定すると、次式(3)が成り立つ。

$$\ln x_i = \frac{H_m}{RT} \left(\frac{1}{T_w} - \frac{1}{T} \right) \dots (3)$$

(3)式中 H_m は融解熱[J・K/mol]、Rは気体定数[J/(mol・K)]、 T_m は融点[K]、Tは平衡状態における温度[K]である。

これら(2)および(3)式を用いて、系を理想気体および理想溶液からなるものと仮定してプロパン-混合キシレン系の常圧下における気液平衡データを算出し、プロットしたものが図6中に示す理想系推算値(▲)である。

しかし、実際の系においては各成分間に分子間相互作用が働くため、理想系における平衡関係からは「ずれ」が生じる。そこで、(4)式に表す多成分系Wilson式により、各成分について組成・温度・圧力における活量係数 γ_i [-]を算出し、各条件における気液平衡関係ならびに固液平衡関係を(5)式および(6)式により算出した。活量係数 γ は理想系からの「ずれ」の程度を表し、理想系においては $\gamma=1$ である。

$$\ln \gamma_i = -\ln \left(\sum_j x_j \Lambda_{ij} \right) + 1 - \sum_k \frac{x_k \Lambda_{ki}}{\sum_j x_j \Lambda_{kj}} \dots (4)$$

$$P y_i = P_i^s \gamma_i x_i \dots (5)$$

$$\ln x_i \gamma_i = \frac{H_m}{RT} \left(\frac{1}{T_w} - \frac{1}{T} \right) \dots (6)$$

ここで、nは成分数、i、j、kは成分を表す。なお、 Λ はWilsonパラメータ[-]であり、固液平衡が存在する温度範囲で活量係数を精度良く表現するために、温度の関数として次式にて表される。

$$\Lambda_{ij} = \frac{V_j}{V_i} \exp \left(-\frac{\lambda_{ij} - \lambda_{ji}}{RT} \right) \dots (7)$$

$$\lambda_{ij} - \lambda_{ji} = AL_{ij} + \frac{BL_{ij}}{T} \dots (8)$$

なお、 V_i は純液体のモル容積[m³/mol]であり、これらは対象操作範囲で一定と見なした。また、 $\lambda_{ij} - \lambda_{ji}$ はi、j成分をペアとしたWilsonパラメータ[J/mol]であり、ALおよびBLは表2に示すWilsonパラメータである。

(2)式および(5)式における純物質の蒸気圧 P^s の算出にあたっては、次に示すWagner式を用いた。なお、 τ はWagner式のパラメータ[-]であり、 T_r は換算温度[K]である。

$$\ln \frac{P_i^s}{P_c} = \frac{VP_{\alpha} \tau + VP_{\beta} \tau^{1.5} + VP_{\gamma} \tau^3 + VP_{\delta} \tau^6}{T_c} \dots (9)$$

$$\tau = 1 - T_r \dots (10)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \dots (11)$$

ここで VP は表3に示す各成分における蒸気圧パラメータ、 T_c は臨界温度[K]である。

各平衡関係および活量係数の算出には、式中の各物性値やパラメータについて次の表1, 2, 3に示す値を用いた。

表1 純物質の物性値
Table1 Physical properties of pure components

	V_l [m ³ /mol]	T_c [K]	P_c [kPa]	H_m [J・K/mol]	T_m [K]
プロパン	0.0000757	369.8	4,250	—	85.50
MX	0.000123	617.1	3,540	11,600	225.30
PX	0.000123	616.2	3,510	17,108	286.40

表2 Wilsonパラメータ(2成分マトリックス)
Table2 Wilson parameters matrix for the propane + binary eutectic systems

	プロパン	MX	PX
プロパン AL_{ij} [J/mol]	0	-19,370	-149.1
BL_{ij} [J・K/mol]	0	4,912,000	384,500
MX AL_{ij} [J/mol]	-12,270	0	-4,010
BL_{ij} [J・K/mol]	7,162,000	0	407,800
PX AL_{ij} [J/mol]	-521.3	4425	0
BL_{ij} [J・K/mol]	340,000	-497,300	0

表3 純物質蒸気圧算出のためのパラメータ
Table3 Calculation parameters for vapor pressure of pure components

	VP_a [—]	VP_b [—]	VP_c [—]	VP_d [—]
プロパン	-6.722190	1.332360	-2.138680	-1.385510
MX	-7.592220	1.394410	-3.227460	-2.403760
PX	-7.634950	1.507240	-3.196780	-2.787100

これら(4)~(11)式を用いて、気相を理想気体と仮定してプロパン-混合キシレン系の気液固平衡データを算出し、プロットしたものが図6中に示す Wilson 補正式推算値(◆)である。

図6より、間接冷却実測値(×)と断熱冷却実測値(■)には一定の温度差が生じている。これは、断熱冷却晶析ではプロパンが溶解しているため、間接冷却と比較して不純物量が多く、凝固点降下が起きているためと考えられる。また、断熱冷却を想定したいずれの推算値(▲◆)も実測値(■)と完全に一致するには至らな

かった。PX濃度が50~70wt%の領域では、理想系推算値(▲)は実測値(■)にほぼ一致しているが、70~90wt%の領域では実測値(■)が理想系推算値(▲)と非理想系推算値(◆)の中間程度の値をとっている。ただ、実測値、推算値ともに溶解度曲線は類似のカーブを示しており、混合キシレンにプロパンが溶解した際の溶解度の傾向は確認することができた。今後実測値データを補完することにより、実測値と推算値の差を補正していく。

4.2.2 結晶洗浄塔の基本原則

本プロセスにおいては、結晶精製装置としてFreez Tec社製ピストン駆動式結晶洗浄塔(以下、FT洗浄塔と称す)を採用している。図7にFT洗浄塔のフローを、図8にこのFT洗浄塔の動作機構をそれぞれ示す。

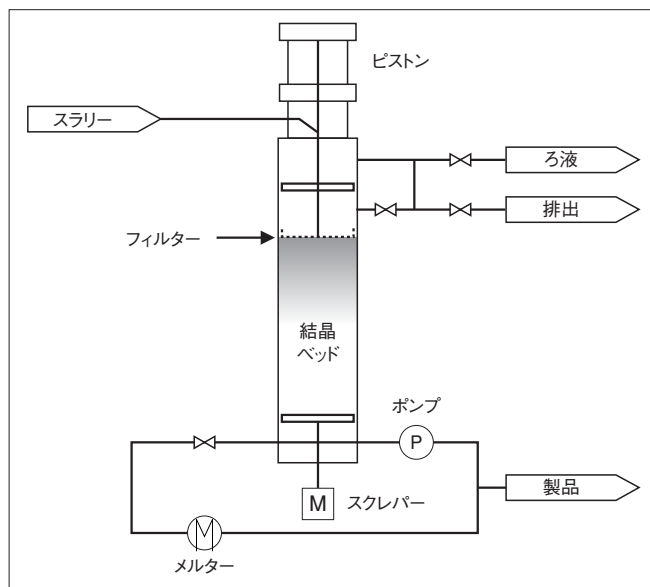


図7 FT洗浄塔フロー
Fig.7 Process Flow Diagram of FT wash column

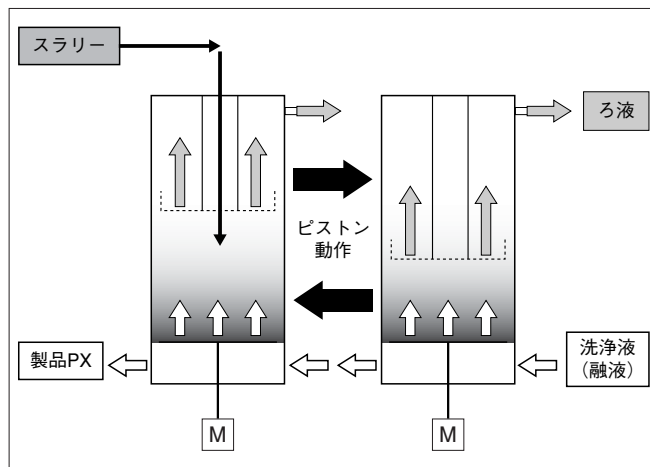


図8 FT洗浄塔動作機構
Fig.8 Operation mechanism of FT wash column

FT 洗浄塔は主に結晶ベッドを圧密するピストンと、ピストン前面に設置されたフィルター、ピストンのシャフトを通じてカラム内にスラリーを供給するフィードパイプ、結晶ベッドを掻き取るスクレッパー、掻き取られた結晶を溶融するメルトター、および融液を結晶ベッド内に洗浄液として圧入するためのポンプから構成されている。

FT 洗浄塔の動作機構は次の通りである。

- ①ピストンが上昇しながらフィードパイプよりカラム内にスラリーを受け入れる。この際、余剰な母液はフィルターを通じて系外に排出され、カラム内では結晶が濃縮される。
- ②ピストンが上端に達するとフィードが停止され、ピストンが下降を開始する。
- ③ピストンは下降しながらスラリーを圧搾し、結晶ベッドを形成する。圧搾により母液は系外に排出される。
- ④結晶ベッドは圧密されると同時に、下部のメルトループより供給される高純度の製品融液により洗浄される。
- ⑤結晶ベッドが圧密され、所定時間が経過するとスクレッパーが起動し、製品融液により洗浄された結晶ベッドを掻き取る。
- ⑥掻き取られた結晶はメルトループ内のメルトターにて溶融された後、一部が洗浄液としてカラム内に供給され、残りは製品として排出される。
- ⑦結晶ベッドの掻き取りと製品の排出により、ピストンが下端に達すると、ピストンは再び上昇しスラリーのフィードが開始される。

上記①～⑦はあくまで説明のために簡略化した主要部位の動作シーケンスであり、これ以外にも温度・圧力および各種設定値により制御される流入／排出バルブシーケンスが組み合わされて、高純度の結晶精製が行われる。

結晶ベッド内で行われている洗浄・精製は主に「洗浄融液による母液の置換洗浄」「結晶表面微細孔内の不純物拡散」「発汗現象 (Sweating)」の3つの作用による(図9)。発汗現象とは、結晶内に取り込まれた不純物が、製品結晶との溶解温度の差により結晶内より溶出してくる現象である。

通常の洗浄液を用いた洗浄操作においては、洗浄に供された洗浄液はその後母液とともに不純物側に排出される。FT 洗浄塔においては高純度融液が浸透するにつれ、母液を含む結晶ベッドの温度勾配により再結晶化し、「Wash Front」と呼ばれる特殊な界面が形成される(図10)。

FT 洗浄塔においては、洗浄液として製品結晶の融液を用いているため、融液は結晶ベッド内で熱を奪われ Wash Front において再結晶される(図11)。したがって、FT 洗浄塔内では、見かけ上、融液が母液側へ排出されず、FT 洗浄塔に供給された結晶の全量が製品として排出される。つまり、FT 洗浄塔は製品結晶の融液を洗浄液として用いても、洗浄操作における製品ロスが無く(見かけ上の還流比がゼロ)、プロセスメリットが高い装置であると言える。

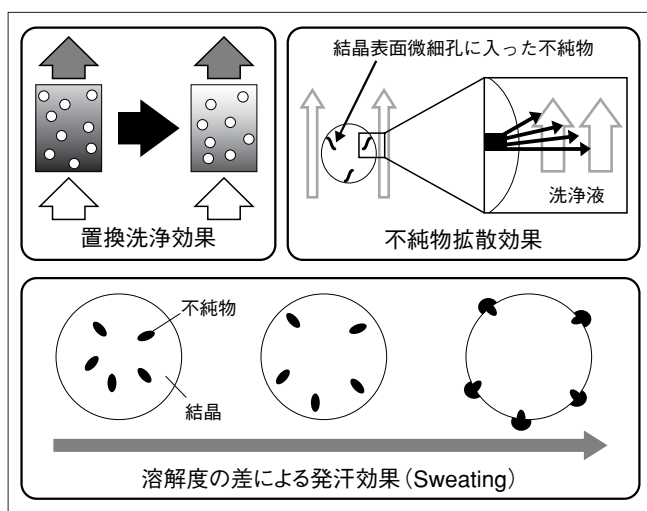


図9 結晶洗浄塔における精製機構
Fig.9 Purification mechanism in the wash column

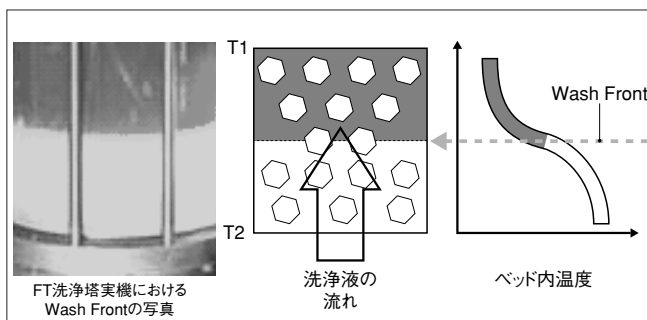


図10 結晶ベッド内温度分布
Fig.10 Temperature distribution in the packed crystal bed

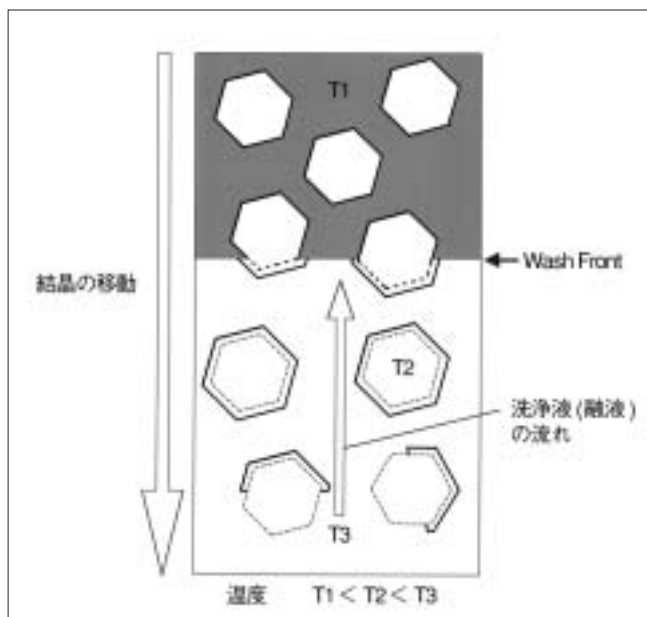


図11 Wash Front における再結晶機構
Fig.11 Recrystallization mechanism at Wash Front

表4 “PX-Flash”と“4Cプロセス”の経済性比較
Table4 Economic comparison between “PX-Flash” and “4C Process”

算定ベース		“PX-Flash”	“4Cプロセス”
生産量	トン/年	300,000	300,000
製品純度		99.8%	99.8%
原料供給 PX 組成		90.0%	90.0%
製品回収率		95.0%	95.0%
主要機器構成			
結晶缶型式、基数		DP 結晶缶 2 基	掻取結晶缶 10 基
精製機構		FT 洗浄塔 4 基	溶融精製塔 12 基
ユーティリティー消費量			
スチーム	kg/h	3,600	5,700
冷却水	トン/h	800	1,000
結晶缶冷却負荷	kJ/h	16,242,000	17,163,000
電力消費量			
コンプレッサー	kWh/h	2,000	—
その他電力	kWh/h	700	2,800
Total	kWh/h	2,700	2,800
コスト比率 (“PX-Flash” 建設費を1とした)			
プラント建設費	—	1	1.24
年間ランニングコスト	—	0.08	0.10
総費用 (建設費 + 運転費) (15年)	—	2.27	2.80
総費用 (建設費 + 運転費) (5年)	—	1.42	1.76
総費用 (建設費 + 運転費) (3年)	—	1.25	1.55
総費用 (建設費 + 運転費) (1年)	—	1.08	1.34

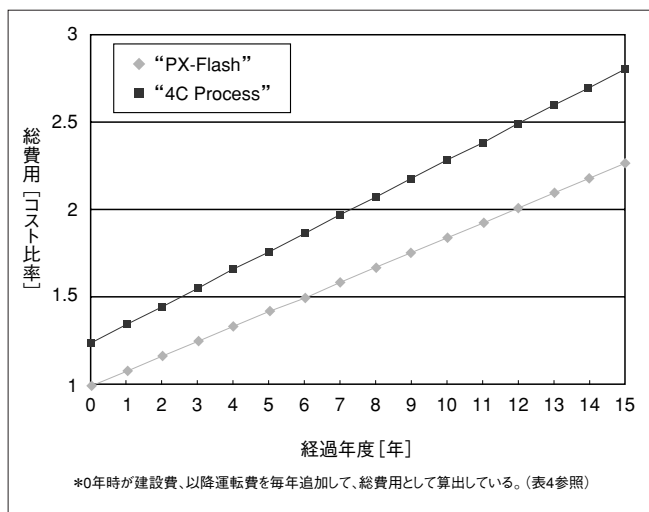


図12 “PX-Flash”と“4Cプロセス”の経済性比較
Fig.12 Economic comparison between “PX-Flash” and “4C Process”

5 プロセスの経済性

“PX-Flash”について、従来法である“4Cプロセス”のシミュレーション結果との経済性の比較を行った。その比較表を表4に示す。各プロセスは年産30万トン規模のプラントについて比較したものである。表中の“PX-Flash”のデータはプロセスシミュレーションを行い算出したものである。なお、“4Cプロセス”におけるユーティリティー使用量は結晶洗浄融液量などを実績ベースで仮定し、シミュレーションを行い算出したものである。

これらの結果より、“4Cプロセス”より“PX-Flash”は2割程度建設費が安価であり、かつ運転費用においても年間で2割程度安価であり、コスト優位性が見られる(図12)。

従来の“4Cプロセス”の場合、精製塔から結晶缶への還流液中

には結晶に由来するPXが存在する。よって、生産量より多くの結晶を析出・溶融させる必要があること、および結晶缶への還流液の流入により、精製塔において加えられた熱を結晶缶に戻すことになるため、結晶缶の冷却負荷が増大する。従って、プロセス全体の消費エネルギーが高くなる。これに対し、“PX-Flash”では析出した結晶はすべて製品として排出され、結晶缶への融液および熱の戻りがないため、運転費用の面でも優位性を有する。

6 パイロットプラントによるテスト結果

本プロセスの開発にあたり、当社研究所内にパイロットプラントを建設し、実証テストを行った。図13、14にパイロットプラントのフローと設備の写真を示す。

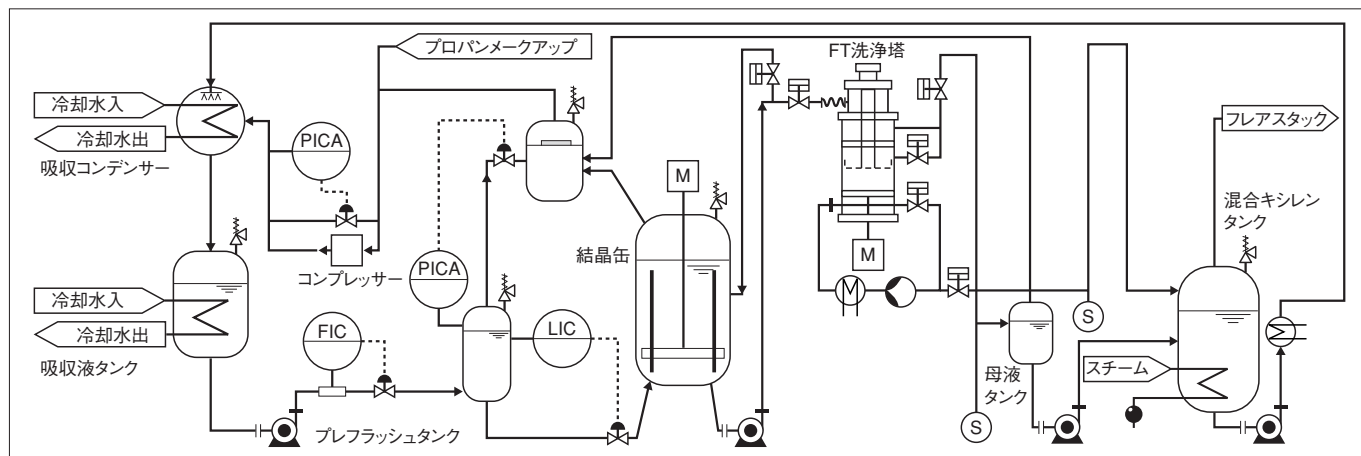


図13 パイロットプラントフロー
Fig.13 Process Flow Diagram of pilot plant



図14 パイロットプラント写真
Fig.14 Pilot plant photo

パイロットプラントはコンプレッサー、吸収コンデンサー、プレフラッシュタンク、結晶缶、FT 洗浄塔および各セクションにおける液を貯蔵するタンクから構成されており、ガス吸収条件の検証をはじめ、商業設備(図4参照)における No.1 結晶缶および No.2 結晶缶の想定条件における晶析テストおよび FT 洗浄塔の精製能力検証ができるシステムとなっている。なお、当社にて実施したパイロットテストでは、プロパンを冷媒ガスとして用いている。

晶析条件の検証においては、図6に示した固液平衡データのとおり、推算値データと実測値データが類似の傾向を示すことが確認された。表4にて紹介した経済性比較においては、“PX-Flash”のプロセスデータを理想系における推算ベースでシミュレーションしている。しかし、パイロットテストでの実測データにおいては、理想系よりも同一PX組成において高い温度での晶析操作の可能性が判明した。したがって、今後予定されている実測データを反映したシミュレーションにおいては、事前検証ベースのシミュレーションよりプロセスのエネルギー使用量および機器構成の面で経済的に有利な方向にシフトした結果が得られると予測される。

一方、FT 洗浄塔の精製能力の検証においては、今回のテストにおける目標値(生産量:12トン/m²/hr、製品PX純度:99.7wt%以上)を達成し、目標値以上の精製能力において3時間以上の連続運転を確認している。FT 洗浄塔の精製能力は生産量および前段の結晶缶操作温度に大きく影響されるため、今後は設備の運転安定性をはじめ、各段の結晶缶操作温度やそれらに適合する機器構成など、プロセストータルでのメリットが創出できるように、プロセスの商業化に向けて最終段階の調整を行う。

7 おわりに

本稿では当社が新規に開発したPX新精製プロセスである“PX-Flash”について、その特徴と基本的な原理ならびに現在進行しているパイロットテストの結果概要について報告した。シミュ

レーションおよびパイロットテストを通じて、“PX-Flash”の経済的な優位性を確認することができた。すでに本開発のプロセス構築は最終段階に来ており、テストデータの充実およびそれらのデータに基づくシミュレーションの補正を行い本格的な販促活動を開始する。今後のポリエステル市場の拡大に伴うPXの増産に向けて、本開発新PX精製プロセス技術が市場で評価され、商業設備納入に繋がるべく注力していく。

特許

- 特開 2006-272300 有機化合物の断熱冷却式晶析方法及び装置
- 特開 2006-272301 有機化合物の断熱冷却式晶析方法及び装置
- 特開 2006-272302 有機化合物の断熱冷却式晶析方法及び装置
- 特開 2006-273825 有機化合物の断熱冷却式晶析方法及び装置

参考文献

- 1) 経済産業省:世界の石油化学製品の今後の需給動向(2006年3月24日), pp12~15 (2006)
- 2) 重化学工業通信社:アジアマーケットレビュー 2006.12/1号, vol.18, No.21, pp12~13 (2006)
- 3) 前田光治, 長浜邦雄:キシレン異性体2成分系および液化ガスを含む3成分系の気液平衡, 化学工学論文集, 第18巻, 第5号, pp.714-722 (1992)
- 4) 前田光治, 乗富秀富, 加藤覚, 長浜邦雄:液化ガスを用いた2成分系共晶有機混合物の晶析分離-結晶粒径およびろ過挙動, 化学工学論文集, 第19巻, 第6号, pp.1096-1104 (1993)

新しい気液接触装置

Newly developed gas-liquid contact system

Abstract

The gas-liquid contact tower is widely used for distillation, stripping, absorption and other chemical processes.

Tsukishima Kankyo Engineering Ltd. developed new packed tower which has an excellent advantage for gas-liquid separation in large Henry constant system.

The inside structure of it is very unique to prevent falling of the upward gas from huge amount of downward liquid, and it is very suitable and economical for many applicable fields.

This paper shows the concept for high efficiency of the newly developed packed tower, and the following applications. First purification of digestion gas from municipal wastewater sludge. CO₂ is absorbed and removed, accordingly CH₄ is purified and concentrated effectively. Second is production of ultra-high concentration ozone water. Third is VOC(Volatile Organic Compound) removal plant.

キーワード: 充填塔、吸収、放散、蒸留塔

Keyword: Packed Tower, Absorber, Stripper, Distillation column



久保 大樹

Daiki KUBO

月島環境エンジニアリング株式会社
技術本部
プロセス設計第1部



結城 智博

Tomohiro YUKI

月島環境エンジニアリング株式会社
技術本部
開発研究部

1 はじめに

化学プロセス、排水処理などのプラントでは、様々な気液接触装置が採用されている。気相、液相のどちらを分散相とするかで装置の内容も変化してくるが、装置の高性能化を求めるには気液接触面積を増大させることが共通のテーマとなる。また、上昇ガスに対し吸収液を流下させ気液を接触させる場合、ガスに対して大量の液を流下させるとガスが液に押し込まれ逆流を起し、効果的な気液接触を得られない問題もある。この問題を解決するために、ガスの逆流防止板を挿入した充填塔を開発した。

この充填塔の開発によって、消化ガスのCH₄精製設備では装置のコンパクト化、オゾン水製造設備では超高濃度オゾン水の製造が可能となる。また、廃水中からのVOC(揮発性有機物)除去では、少量の蒸気を用いることで大気中にVOCを放散させずに回収することが可能である。

本稿では、この充填塔の基本概念と、システムについての実施例を紹介する。

2 新規開発充填塔の基本概念

2.1 ガスの逆流現象と防止効果

蒸留や吸収・放散に使用される気液接触装置である充填塔や棚段塔のガス及び液のおおよその操作量は、塔の構造的な特性により大きく変わるが、図1に示した充填塔および棚段塔の範囲で行われることが多い。

充填塔が吸収操作に使用される場合、液/ガス操作量は平衡からの乖離を考慮して経済的な範囲として、 $mG_M/L_M = 0.5 \sim 0.8$ 程度の範囲で決められることが多い。従って、扱う物質が水に溶解しにくくヘンリー定数 m が大きい場合、処理する液量に対しガス量が非常に小さい状態となる。例えば、ヘンリー定数が1000以上あるような場合、ガス量は液量の $1/1200$ [mol/mol] 以下になる。このとき、液とガスを向流接触させると、塔内では流下液流れによる上昇ガスの同伴が起きる。流れ方向でガスが混合される結果、ガス側濃度の均一化が起り、向流接触の効果が激減してしまう。

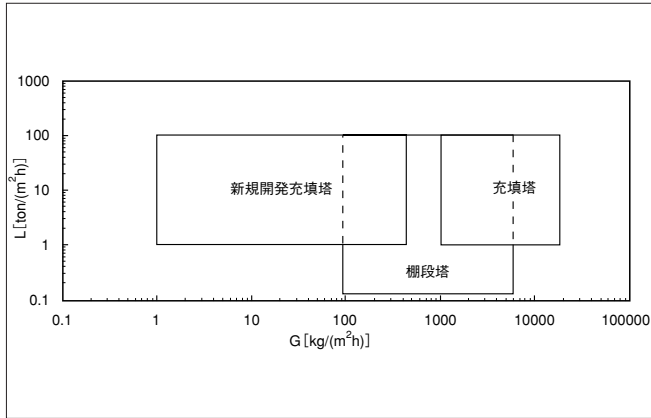


図1 充填塔・棚段塔操作範囲
Fig.1 Range of operation (Packed Tower, Plate column)

ここで、 m が非常に大きい、つまり L/G が非常に大きな処理時にはガスの逆流を防止することが有効である。この特殊な充填塔には塔内部にガス逆流防止板が複数挿入されており、効果的な液ガスの向流接触を得ることが出来る。

2.2 基本モデル式

通常の微分型気液接触装置では、 G 、 L が一定と見なされる系で以下の式(液側基準)が用いられている。

$$dz = \frac{L_M}{K_L a \rho_M} \cdot \frac{1}{x^* - x} dx \quad (1) \quad \text{ここで、} y = mx^*$$

G が L に比べ非常に小さく、ガスの逆混合が予想される系では、ガス及び液をピストンフローと見なせる通常の微分型気液接触装置と比べ、ガス側の混合による濃度の均一化が無視できなくなり、その結果、見かけの物質移動係数が小さく見積られることになる。

新規開発充填塔では、このガスの逆混合を防止する逆混合防止板を流れ方向に複数段設置している。そこで、図2に示すようにガス逆流防止板にはさまれた一段内のガス組成を完全混合(ガス組成は一定)と見なす。

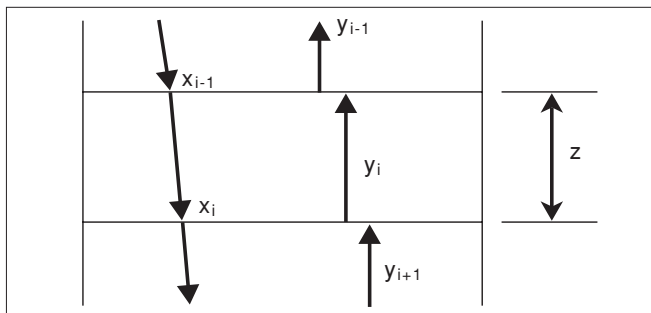


図2 段内概念図
Fig.2 Concept chart in steps

このことより、式(1)は積分することができ、一段長さ z 内で $y = const.$ すなわち $x^* = const.$ として

$$z = \frac{L_M}{K_L a \rho_M} \int_{x_i}^{x_{i-1}} \frac{dx}{x^* - x} = \frac{L_M}{K_L a \rho_M} \ln \frac{x_i^* - x_{i-1}}{x_i^* - x_i} \quad (2)$$

すなわち

$$N_{OL} = \ln \frac{x_i^* - x_{i-1}}{x_i^* - x_i} = \frac{z K_L a \rho_M}{L_M} = \frac{z}{H_{OL}} \quad (3)$$

式(3)を多段に展開し、実験により得られる H_{OL} を用いることで、各段の組成および塔頂、塔底の組成が得られる。

< 記号 >

- G : ガスの空塔質量速度 [kg/m²h]
- G_M : ガスの空塔モル速度 [kmol/m²h]
- H_{OL} : 液相基準総括 H.T.U. [m]
- $K_L a$: 液相基準総括物質移動係数 [L/h]
- L : 液の空塔質量速度 [kg/m²h]
- L_M : 液の空塔モル速度 [kmol/m²h]
- m : ヘンリー定数 [-]
- N_{OL} : 液相基準総括物質移動単位数 [-]
- x, y : 液相中、気相中の溶質・ガス成分のモル分率 [-]
- z : 1 段高さ [m]
- ρ_M : モル密度 [kmol/m³]
- i (添字) : 段番号
- $*$: 平衡

3 新規開発充填塔の実施例と利用法

3.1 消化ガスの精製

3.1.1 利用の目的

下水汚泥を嫌気性消化処理することにより発生する消化ガスには、CH₄(60%程度)、CO₂(35~40%)、その他(数%以下)が含まれている。消化ガスはCO₂を多く含有するため発熱量が低い。そこで、CH₄とCO₂を効率よく分離することができれば、CH₄をより多く含むことによる消化ガスのカロリーアップにつながるほか、CO₂も別途利用が見込まれる。効率よく分離するには消化ガス中からCO₂を除く方法が考えられ、その手段として吸収法が有効であるが、通常の吸収塔を用いて水を吸収液とすると、CO₂の特性から液ガス比を大きくする操作となり、流下する吸収液に上昇ガスが同伴してしまい、塔内の上下方向でのガス混合が起きる。そこで、先に挙げたガスの逆流防止機構を有する充填塔を利用することとした。

なお、3.1.2 項及び 3.1.3 項に示す内容は、横浜市公募型共同研究のテーマ及び研究内容「消化ガスの高品質化と高濃度CO₂の有効利用の研究」に基づく試験として実施されたものである。

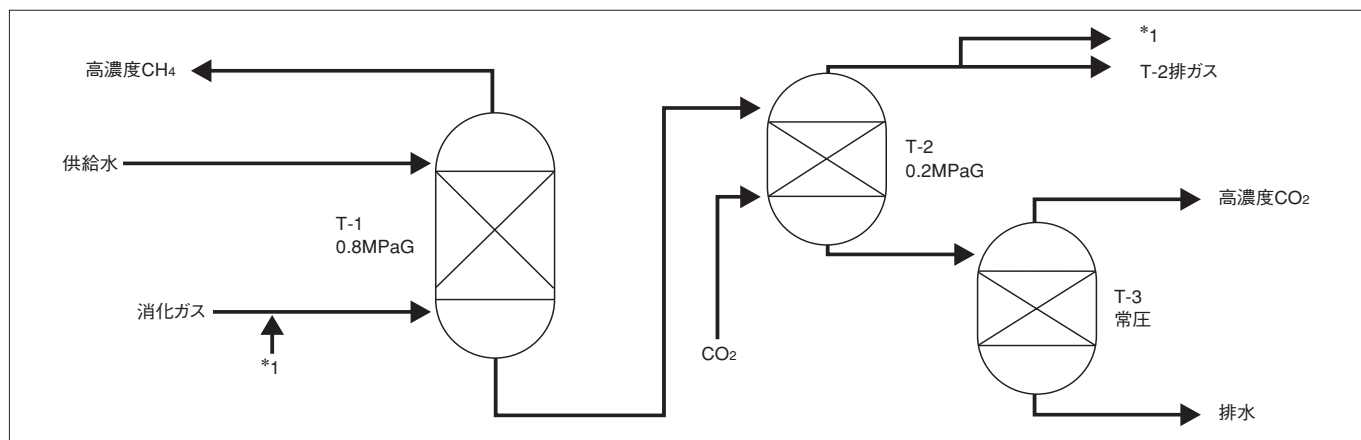


図3 消化ガス精製概略フロー
Fig.3 Flow sheet of digestion gas refinement system

3.1.2 処理システム

試験装置の概略フローを図3に示す。

吸収塔(T-1)及び調整塔(T-2)は前述したガスの逆流防止機構を有する充填塔であり、塔径200A、充填物はテラレットS-0を用いた。また、放散塔(T-3)は塔径200Aの充填塔で、充填物はラシヒーパーリング #0.5を用いた。

消化ガスと供給水はT-1内に導入し、0.8MPaG下で向流接触させ、CO₂を水に吸収させることにより、CH₄濃度を上昇させた。CO₂が溶け込んでいる水はT-1より低い圧力で維持されているT-2(0.2MPaG)へ送られ、溶存ガス(CH₄及びCO₂の一部)を放出させた。水はさらに大気圧のT-3に送られ、溶存ガス(CO₂)を放出させた。なお、T-2排出ガスをリサイクルする実験についても行った。

3.1.3 結果及び考察

得られた結果を表1に示す。

表1に示す条件に対し、消化ガス中のCH₄ガス濃度はT-1排出ガスで95%以上まで達成された。また、CO₂ガス濃度はT-3排出ガスで94%以上まで達成された。

表1 実験結果
Table1 Experiment result

吸収水		消化ガス 流量 Nm ³ /(m ² h)	T-2供給CO ₂ 流量 Nm ³ /(m ² h)	T-1排出ガス CH ₄ 濃度 vol%	T-3排出ガス CO ₂ 濃度 vol%	T-2 排出ガス リサイクル
流量 m ³ /(m ² h)	温度 ℃					
30	17	159	0	99.9	94.4	なし
30	16	178	9	99.8	98.7	あり
50	21	271	0	99.3	96.2	なし
50	22	306	11	97.8	99.0	あり

従来設備との比較の観点から新潟県N市での消化ガス精製の例を示す。N市では都市ガスへの消化ガス利用が積極的に進められており、同実証プラントにおいて、常圧、25～27℃で消化ガスを用いた脱炭酸処理を行っており、塩ビ製2inラシヒリング状の充填物を用いた充填高さ7mの従来型吸収塔により、処理ガス量26～34m³/(m²・h)において、供給ガス中のCO₂濃度23%程度を2%まで減じる性能を得ている。また、K_{1a}としては10～30[L/h]が報告されている¹⁾。一方、新規開発充填塔を用いた今回の実験により得られたN_{OL}、H_{OL}からK_{1a}に換算すると70～95[L/h]であり、非常に大きな差となって現れた。このことから、本実験では新規開発充填塔の特性である逆混合の抑止効果が大きく働いたと考えられ、従来に比べて装置をコンパクトにできることが確認された。

3.2 超高濃度オゾン水の製造

3.2.1 利用の目的

オゾン水の酸化力は塩素水より強く、オゾンは静置により自己分解して酸素になることから、環境に優しい物質として、塩素に代わる上水やプール、食品容器の殺菌、パルプ漂白、樹脂及び金属材料の表面改質、半導体分野での洗浄やレジスト剥離などへの利用が図られている。

オゾン水はオゾンガスを水と接触させ、溶解して作られる。本来オゾンは水に溶けにくい物質であり、その溶解濃度に応じ10～20ppm以下程度のもを単にオゾン水、数十ppm程度のもを高濃度オゾン水、100ppmを超えるものを超高濃度オゾン水と呼んでいる。

従来のオゾン水の製造方法は、エジェクターや膜などを用い、気泡の細分化、攪拌効果の増大、接触面積の増大などを利用して高濃度・高回収率を図ってきた。しかし、これらの方法は

いわゆる一段の操作であり、得られるオゾン水の濃度とオゾン回収率の両者を満足するものではなかった。ちなみに、従来型のオゾン水製造設備では、数十 ppm のオゾン水を製造する際のオゾン回収率は 50% 以下である。また、オゾン水製造に吸収塔が見られないのは、オゾンのヘンリー定数が非常に大きいため、効率の良い L/G 比にすると G が非常に小さくなり、塔内での逆流による濃度の均一化が起き、向流操作が満足に行えないためと考えられる。

そこで、先に挙げたガスの逆流防止機構を有する充填塔を利用することにした。本設備の特徴としては以下の点が挙げられる。

- ・ガスの逆流防止機構を採用することで十分な向流接触を得ることができ、入口ガス平衡に近い高濃度オゾン水製造が可能である。
- ・出口ガスは純水との平衡になるので、十分低いガス濃度であり、後段の残留オゾン分解触媒の大きさを十分小さくすることが可能である。
- ・連続相がガス相、分散相が液相であるため、オゾンの吸収は液側律速と考えると、逆相であるエジェクターや膜に比べ、速い吸収速度が得られる。

本システムを用いることにより、効果的な向流操作を実現し、高濃度のオゾン水を高効率で製造することが可能となった。

3.2.2 処理システム

概略のフローを図 4 に示す。

供給水はガスの逆流防止機構を有した塔頂部に供給され、供給水が塔内を流下するに従って、塔底から供給されるオゾンガスを吸収して超高濃度オゾン水となり、塔底部から排出される。

3.2.3 結果

本システムにより、超高濃度オゾン水(100~200ppm)の製造が可能である(最大 234ppm (世界最高レベル))。更に、オゾンガス回収率が高く、これまでの 50% に対して、例えば 100ppm を超えるオゾン水を製造するとき、90% 以上の回収率を達成できる。そのため、廃オゾンガス分解に関わる設備等を大幅に削減することが可能である。

3.3 廃水中の VOC 除去

3.3.1 利用の目的

廃水中に溶けている VOC 類は揮発性が高く、放散塔で処理する場合、理論的には処理液に対しごく少量の放散ガスで処理することが可能である。しかし、従来型の充填塔を用い処理すると、塔上部より流下する処理液が多量であるために上昇する放散ガスが攪拌され、ガス側での逆流が発生し、ガス側濃度の均一化が生じるために十分な処理能力が得られなかった。その結果、多量の放散ガスが必要となり、VOC を含んだ多量のガスを大気中に排出しないようにするには、焼却処理や活性炭吸着処理が必要となった。しかし、前者は多量の燃料が必要となり、後者は活性炭層が廃水から蒸発した水分によって早期に飽和に達してしまうため、実用的には困難であった。

また、蒸留によってこれら有機物を廃水中から除去するには、十分な蒸気と濃縮段による VOC の濃縮が必要であり、本設備に比べ、濃縮段及び多量の蒸気が必要となる。

そこで、この問題を解決するために本システムを利用し、少量の蒸気による蒸留操作を可能とした。

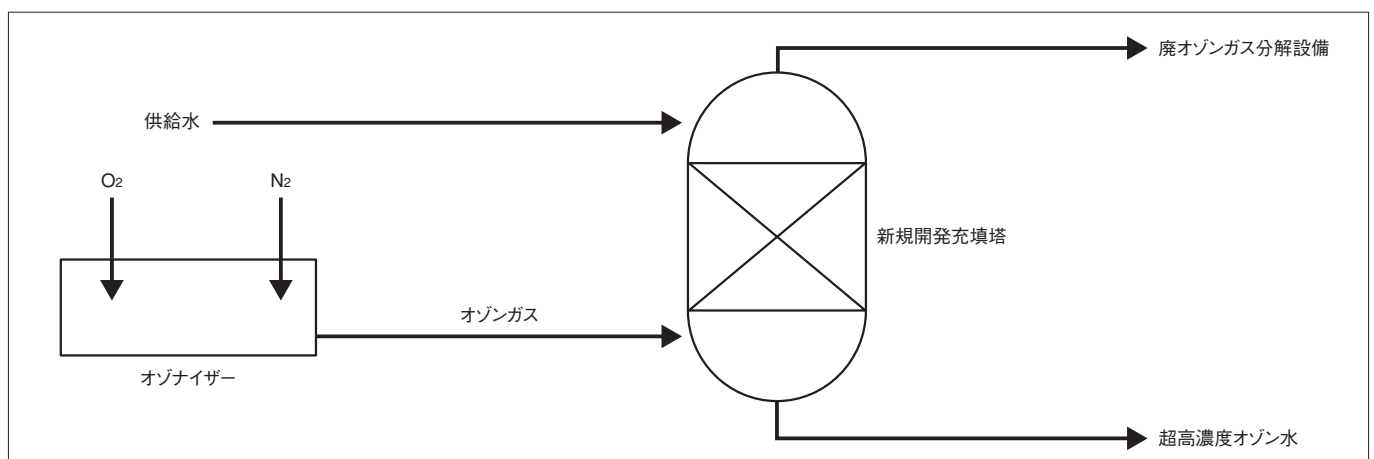


図4 超高濃度オゾン水製造概略フロー
Fig.4 Flow sheet of ultra-high concentration ozone water manufacturing system

3.3.2 処理システム

概略のフローを図5に示す。

廃水はまず加熱器で予熱され、ガスの逆流防止機構を有する充填塔に送られる。塔内では上昇蒸気によって廃水中の微量成分が除去され、処理水は塔の下部から排出される。塔内の上昇蒸気は次第に有機物濃度が高くなり、塔頂部を出た後、凝縮器で冷却され液化する。使用する蒸気量が非常に少量なので、この液を分離器にて有機物相と水相に容易に分離することができる。水相は塔に戻して再処理することができ、有機物相はそのまま混合溶剤などとして回収することができる。

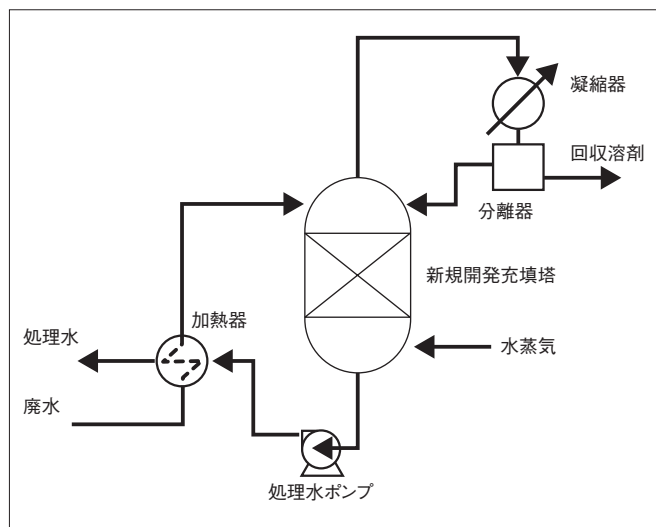


図5 VOC除去設備概略フロー
Fig.5 Flow sheet of VOC removal plant system

3.3.3 成果

ジクロロメタンを含む廃水を本システムで処理した場合と、曝気法処理した場合との経済比較を表2に示す。

曝気法では、温度が低いと廃水中の有機物は十分に除去できないため、必要な温度まで加温する必要がある。本システムにて処理した方法は、加温型曝気法に比べ、用役量は同程度あるいはそれ以下であり、大気への放散はほぼゼロに抑えられる。表3に実機での性能確認結果を示す。

表3に示したように VOC 成分が含まれた廃水において環境基準値以下を達成することができ、さらに少量の蒸気を用いて大気に放出することなく回収することができた。

このことから、この設備は今後さらに要求されるであろう VOC 類のより厳しい環境保全に大きく貢献できる技術であると考えられる。

表2 ジクロロメタン処理における経済比較
Table2 Economic comparison (VOC (Dichloromethane) removal plant system)

		VOC 除去設備	曝気法 (常温)	曝気法 (加温)	
廃水量	m ³ /h	18	18	18	
廃水有機物濃度	wt ppm	2,000	2,000	2,000	
操作温度	°C	100	約25	50	
処理水有機物濃度	wt ppm	0.02	2	0.02	
回収有機物量	kg/h	36	0	0	
大気への放散量	kg/h	0	36	36	
用役量	蒸気使用量	kg/h	210	0	280
	冷却水使用量	m ³ /h	2.3	0	0
	電気使用量	kW	2	4	4

表3 実機での性能確認結果
Table3 Performance (VOC removal plant system)

項目	廃水濃度 (入口) mg/L	処理水濃度 (出口) mg/L	環境基準基準値 mg/L
ジクロロメタン	3.3	0.0012	0.02
トリクロロエチレン	96.4	<0.0012	0.03
テトラクロロエチレン	25.6	0.0019	0.01

4 実績

3.2 項及び 3.3 項に示したシステムにおける実績を表 4.1、4.2 に示す。また、VOC 除去設備を図 6 に示す。

(なお、3.1 項の消化ガス精製設備については現在、試験機にて試験中である。)

表 4.1 実績表 (高濃度オゾン水製造)

Table 4.1 Supply record (Ultra-high concentration ozone water manufacturing system)

NO.	完成年度	納入先	納入場所	オゾン水濃度 mg/L	処理量 L/min
1	2001	a社	愛知	180	2
2	2002	b社	長崎	100	20
3	2004	c社	愛知	140	6

表 4.2 実績表 (廃水中の VOC 除去設備)

Table 4.2 Supply record (VOC removal plant system)

NO.	完成年度	納入先	納入場所	発生源又は 対象物	処理量 m ³ /h
1	2003	A社	千葉	Groundwater	50
2	2003	B社	千葉	Fine Chemical	15
3	2007	C社	茨城	Groundwater	30

5 まとめと今後の展望

L/G が極端に大きい場合の気液接触設備の実用と適用について述べた。このシステムにより、本来水に溶けにくい物質であるオゾンを高濃度で利用したり、廃水中の汚染物質 (VOC) を外部に放出することなく極限まで除くことが可能となった。

今後さらにガスの逆流防止機構を有する新規開発充填塔の利用が見込まれると考えられる。



図 6 VOC 除去設備
Fig.6 VOC removal plant system

参考文献

- 1) 長部恵介: 長岡市における消化ガスの精製による都市ガス原料化について、下水道協会誌、第37巻、第447号、pp. 13-19 (2000)

下水流動焼却設備の運転支援システム

Operation Support System of Sludge Fluidized Bed Incineration Plant



西山 守
Mamoru NISHIYAMA
研究開発部
開発企画グループ

環境システム計測制御学会員



上野 勇
Isamu UENO
月島テクノメンテサービス株式会社
ITシステム部

環境システム計測制御学会員

Abstract

Efficient support system using computer is increasing in demand for maintenance of fluidized bed sewage sludge incineration plants to obtain fuel-efficiency, reduction of emergency repair costs and other needs. As a response, a system was developed integrating both operation support and equipment diagnostic functions. Operation support function calculates optimum operating conditions such as fuel efficiency and greenhouse gas reduction based on simulations using actual operating data. Equipment diagnostic function detects abnormal signs of equipment, and displays measures for failures based on various equipment data.

キーワード：運転支援、設備診断、シミュレーション、ライフサイクルコスト
Keyword: Operation support, Equipment diagnosis, Simulation, Life Cycle Cost

1 はじめに

月島機械は月島テクノメンテサービス (TTMS) と共同で「下水流動焼却設備の運転支援システム」(以下、本システム)を開発し、実炉でのフィールドテストを経て今春から新設の焼却設備とともに稼動を開始する。本システムは、運転シミュレーション機能により設備の省エネ運転を支援するとともに、設備の異常兆候の把握機能を用いて、設備の最適な運転・補修計画の立案を容易にすることを目的としたコンピュータソフトである。

2 開発の背景

環境省の「21世紀環境立国戦略」策定や京都議定書の約束達成に向け、規制強化が進んでいる。改正省エネ法により焼却設備を有する下水処理場の多くが一層の省エネを求められると共に、昨年改正された「地球温暖化対策の推進に関する法律」により、下水処理場などからのCO₂(N₂O、CH₄等含む)の年間排出量の報告が本年から義務化された。下水処理プロセスの中では焼却設備のエネルギー消費量は比較的多く、なおかつ最近では地球温暖化係数が高いN₂Oの排出低減のため高温燃焼が推進されており、運転改善による燃費向上に対するニーズは一段と高まっている。

一方で、公共事業の縮減の中、包括的民間委託^{*)}が急速に広まり、月島機械グループの水環境事業(TTMS含む)においては、設備の

ライフサイクル全般におけるソリューションビジネスに活路を見出し、利益創出型包括モデルの実現を図ることが必要となってくる。これらのニーズに応えるべく、本システムは下水焼却として最も普及している流動焼却設備を対象に、省エネ対策とライフサイクル・ビジネスの両面で活用できるツールとして開発を行った。

3 運転支援とその効果

本システムは、主に次の特徴がある。

<運転シミュレーション機能>

①低燃費運転：運転状態に応じてより低燃費で運転するための方法をガイダンス表示し、フィールドテストにおいて従来比10%以上の補助燃料低減を確認した。

②シミュレーション：次に示す機能により、日々変化する脱水ケーキ発生量や性状等に応じたより適切な運転・操業計画に役立つ。

主なシミュレーション機能	説明
地球温暖化ガス排出量低減	地球環境配慮の運転条件算出
最大ケーキ投入量演算 低負荷時のケーキ投入量演算	他の炉が補修中などケーキ投入量が多い時、もしくはケーキ発生量が少なく他の炉との配分比率を求めるときに役立つ
自然点算出・ケーキ水分変化とランニングコスト等計算	脱水工程を含めた全体最適検討用

<設備診断機能>

③異常兆候診断：診断ルールをもとに設備の異常兆候を診断することで突発故障を未然防止し、補修計画立案時にも利用することでライフサイクルコストの低減が行える。

これらの機能と特徴を以下に説明し、ライフサイクル・ビジネスにおける発展した使い方を8～9章にて説明する。

4 システム構成

本システムの構成を図1に示す。プロセスデータなどの中央監視にて得られる情報をデータベースに集約し、「運転支援」と「設備診

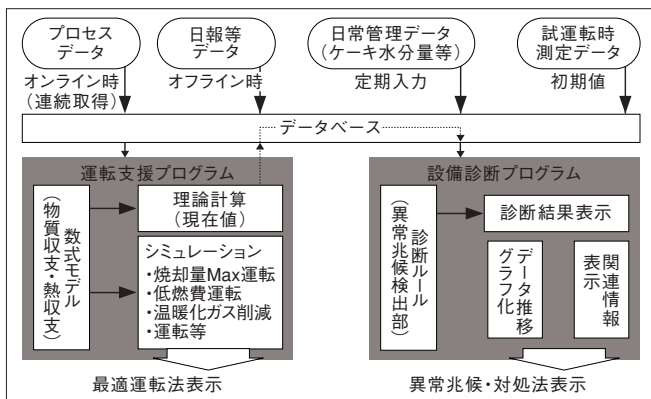


図1 運転支援システムのプログラム構成
Fig.1 Program module diagram

断」の2つのプログラムにて情報連携して処理を行う構成である。「運転支援」プログラムでは、実際の焼却設備の挙動を物質収支・熱収支にもとづく化工計算式と、過去から蓄積されたデータをもとにモデル化(以下、数式モデル)している。数式モデルとデータベースを用いることで、目的に応じたシミュレーション計算が可能になり、より適した運転条件を求めることができる。ここで計算された値は、プロセスデータとともに「設備診断」プログラムに渡され、診断ルールを用いて異常兆候の自動診断が行われる。

既存設備への適用を容易にするため、設備に特別なセンサや装置を追加せず、中央監視にて収集されるプロセス信号をもとに演算を行う仕組みである。計算に必要なが自動測定できない情報のうち、変動の大きいケキ性状の情報は、自動で推定値を求める手法を開発し、変動の少ない放熱量等の項目は、測定方法を明確化して事前測定の結果を数式モデルに組み込んだ。

自社開発のソフトウェアであるが、当社では十数年前から同様の取り組みを行っており、幾度の改良を加え今日に至っている。これまで、元々誤差が含まれるプロセスデータを用いた数値演算において、実用に耐えうる計算精度と信頼性をどのように確保するかが最大の課題であった。この度、設備の定常状態の統計情報をもとに、実設備の各状態量と計算上の値が適合するよう、計算上のパラメータを自動補正する仕組みを考案した。他の炉への適用を容易に行うための汎用性の仕組みも加え、実用化の目処が立った。図2に本システムの表示画面を示す。

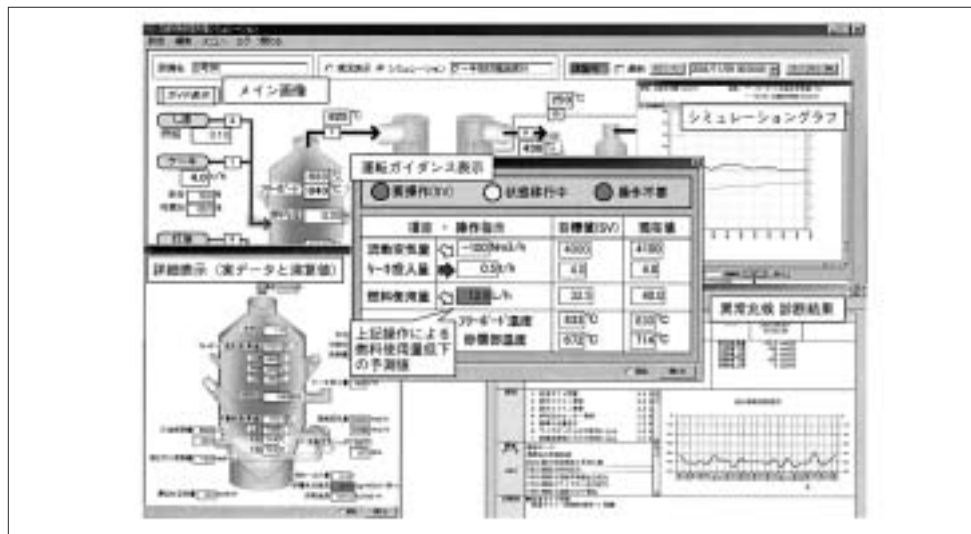


図2 運転支援システムの表示画面
Fig.2 Display images of this operation support system

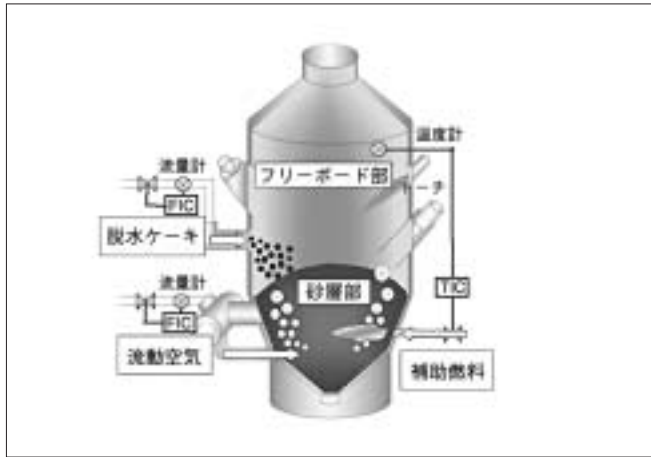


図3 流動焼却炉の制御概念図
Fig.3 Control diagram of fluidized bed incinerator

5 低燃費運転

本システムを用いると、次に示す方法により省エネ運転が可能となる。

流動焼却炉内に供給するのは、「脱水ケーキ」、「流動空気」、「補助燃料」である。当社製設備の標準的な制御方法の概念を図3に示す。脱水ケーキと流動空気はオペレータが所定量を設定し、炉内フリーボード部の温度が設定値になるように補助燃料使用量を自動制御する構成である。省エネ運転とは、流動空気量を必要最小限の値にすることで、燃焼に寄与しない空気の加温に使われる余分な燃料使用量を減らす方法であり、考え方を図4に示す。

本システムでは、従来難しいとされていた必要空気量を自動演算することで低燃費運転を行う。図5に演算ロジックを示す。現在の運転データをもとに、炉内温度上下限などの制約条件を満たす中

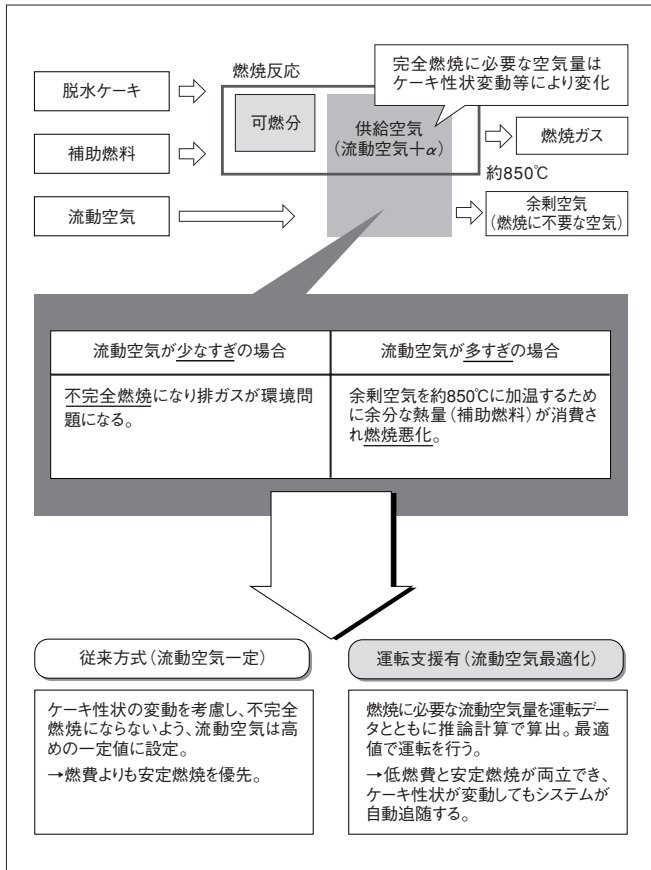


図4 流動空気の調整と燃費の関係
Fig.4 Relations of combustion air control and fuel-efficiency

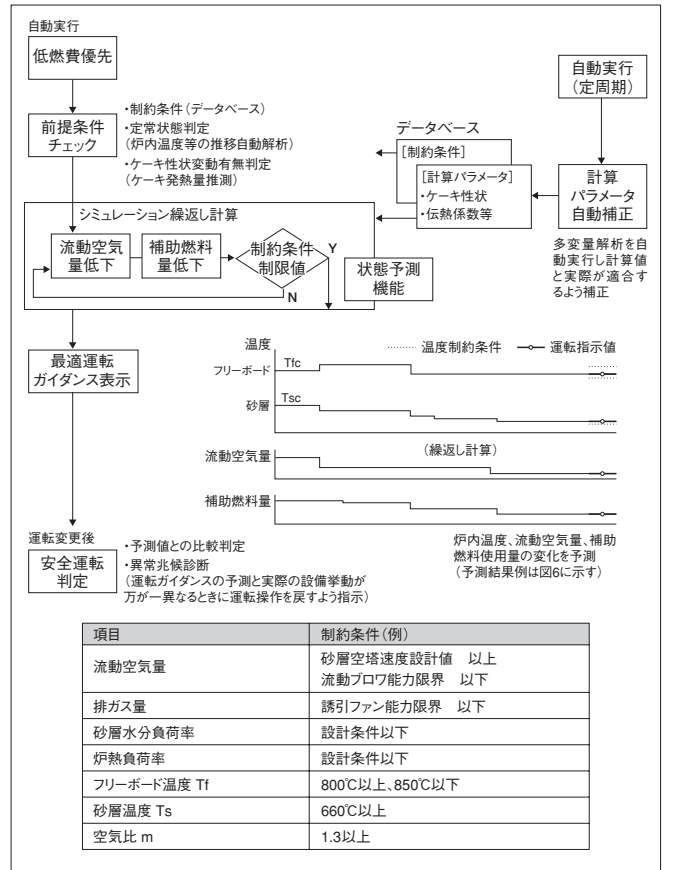


図5 低燃費運転の演算ブロックと制約条件
Fig.5 Calculation logic of minimizing fuel consumption

で、仮に流動空気量を変化させて補助燃料をさらに下げることが可能かシミュレーション演算により求めている。運転上の設定変更が必要な場合には、図2中央に示すガイダンス画面に表示され、オペレータはその指示に従って運転操作を行う。

低燃費運転のフィールドテストの結果を、図6に示す。最初に図6(A)点にて低燃費運転のシミュレーション計算を行った。その結果、流動空気量を $400\text{Nm}^3/\text{h}$ 低下することで、補助燃料使用量を低減できることが予測された。次に流動空気量を予測通り低下させる運転操作を行い、補助燃料を段階的に下げた運転を行った。図6(B)点、(C)点のプロットが炉内温度の予測値、実線が実際の値の推移であり、双方がほぼ一致しているため、本システムによる運転指示が正しいことを示している。なお、テスト時には炉内温度一定制御は行わず、補助燃料使用量は本システムから出力された予測値をもとに手動で設定した。

このとき、補助燃料(都市ガス)を $12\text{Nm}^3/\text{h}$ 低減させることができ、直前の燃料使用量の18%相当を低減できることを確認した。この手法により、従来比10%以上の燃料低減効果を見込んでいる。

6 シミュレーション

炉の物質収支・熱収支にもとづいたシミュレーション計算を行うためには、燃焼物である脱水ケーキの発熱量等の性状把握が必要となる。本システムでは過去の工業分析結果などの統計情報と現在の

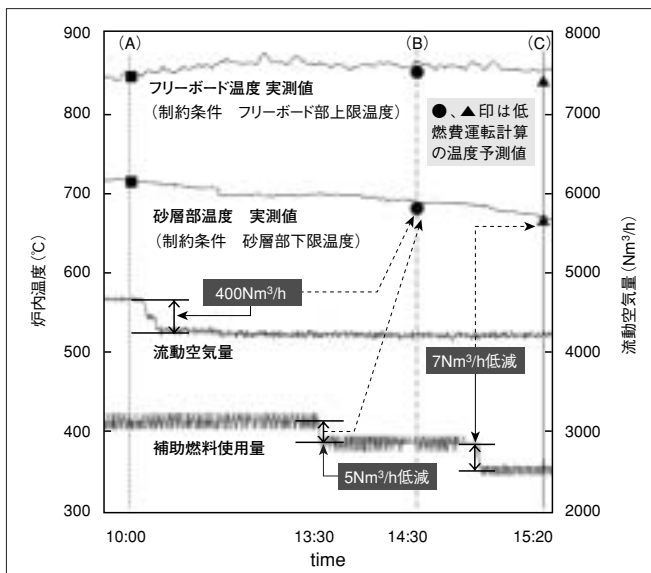


図6 低燃費運転時の流動空気量と燃料使用量の推移
Fig.6 Combustion air and fuel trend graph of energy saving mode

炉内温度分布や物質収支から、多変量解析を用いてケーキ性状を近似的に求める手法を開発した。

シミュレーション演算においては最初に、計算結果と実際のプロセスデータの値が適合するケーキ性状を推論計算にて求める。次に、運転シミュレーション機能を用いて、オペレータが入力した目的や条件に応じて演算結果を運転指示やグラフとして表示する。

シミュレーションの一例として、最も低燃費となる複数の運転条件の中から、地球温暖化ガスの発生量が最小となるポイントを求める。地球温暖化ガスの排出量を最小化するためには、低燃費運転に加えて、排ガス中の N_2O (温暖化係数が CO_2 の310倍) を最小化することが有効であり、炉内フリーボード部で高温燃焼を行う必要がある。低燃費と高温燃焼の一見相反する目的から、シミュレーション・グラフを用いて最適点を求めた経過を図7に示す。

本システムの特徴として、炉内の砂層部とフリーボード部を分離したモデルを採用しており、各部の温度条件や運転条件を指定して、目的に応じた最適解を求められるものとなっている。

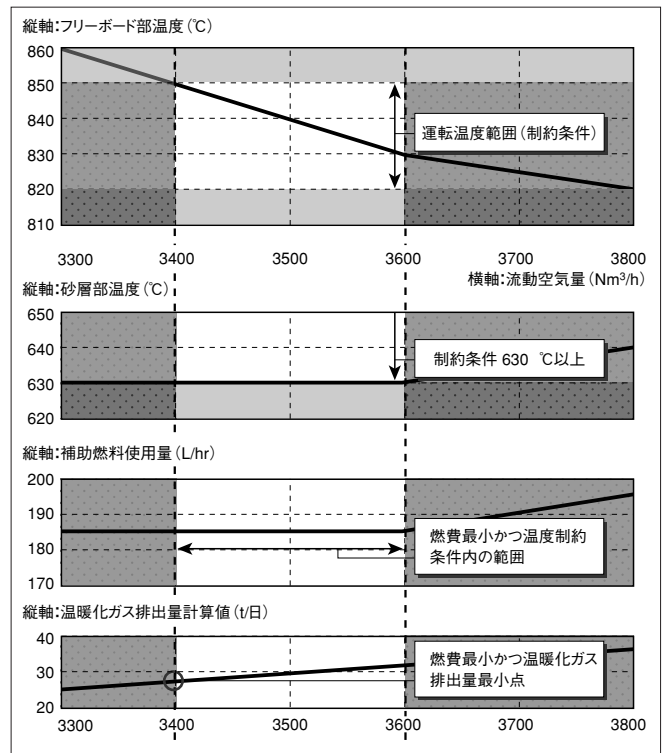


図7 シミュレーショングラフ例
(燃費最小の運転範囲から温暖化ガス排出量最小点を求める)
Fig.7 Simulation graph

注: 温暖化ガス排出量は「温室効果ガスの排出量の算定に関する省令(H18改正)」にて規定された換算係数を使用し、 N_2O の CO_2 換算係数は通常燃焼を 800°C 、高温燃焼を 850°C とみなし直線回帰計算。

7 異常兆候診断

異常兆候診断とは、プロセス値をもとに異常兆候を自動検出し、異常の原因と対処法を可能性の高い順に表示する機能であり、複合的な判断が行えるようFTA(fault tree analysis)形式の診断ルールを用いている。例として‘熱交換器異常’の診断概要を図8に示す。ルール内の各項目には上下限值や比較条件等の判定式を設定しており(図のA部)、診断に必要なデータはデータベース部(図のC部)を参照する。図のA部で異常と判定された場合は、Bの項目へ移行し、推定される異常原因を含む診断結果をガイダンス表示する。異常原因として複数項目考えられる場合には、もっとも重要度が高いと判定されたものを‘主要原因’として表示する。

設備の中央監視による警報は単純なプロセスデータをもとにした上下限判断であるが、本システムでは数式モデルから導き出される計算結果をもとに、設計値との比較など細かい判断が行えるようになっている。空気予熱器の例では、総括伝熱係数や圧力損失などを自動計算し、その経時変化をもとに補修の必要性の判定に活用することができる。

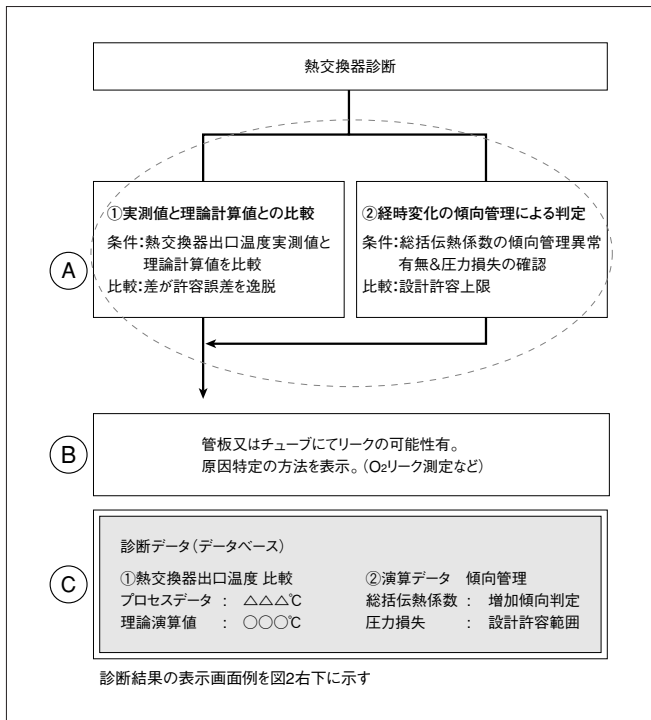


図8 診断ルール例(熱交換器診断の一部)
Fig.8 Example of a diagnosis rule

8 本システムの水平展開について

①新設、更新、の設備建設に付加した展開(新設フィールド)

燃料使用量の低減ニーズは以前にも増して高まっているが、N₂O削減のための高温焼却(850℃)が普及した場合、燃料使用量の増加が懸念され、これを抑制するために、より一層の省エネ運転が求められる。発注形態がイニシャルコスト一辺倒の価格競争から、技術力による差別化が可能な総合評価方式に移行する兆しがある中、本システムを設備に付加して提案しオンラインで組み込み活用することで、高温焼却と省エネを同時に実現し、付加価値向上を図れる。

②包括委託に付加した展開(包括フィールド)

レベル2以上の性能発注^{*2)}においてはユーティリティの管理が重要となる。日常運転においてシミュレーションによる最適運転ポイントを見出し実行することにより燃料の低減が図れる。またシミュレーションによる自然ケーキ水分の算出や複数炉の効率的な並列運転にも活用できる。また、他の情報ツールと組み合わせることにより、設備情報を相互に連携させ、業務の効率化や本システムの活用促進が期待できる。

③補修工事の顧客対応(補修フィールド)

補修工事を含めたレベル3の性能発注^{*2)}が進むと補修コスト削減のため工事の分割発注が進み、プラントメーカー系による補修工事規模の縮小が懸念される。このためメーカー系補修の優位性を維持するために、一層の付加価値向上が求められている。

従来、時間基準保全(TBM)により一定期間毎に行っていた補修を、当システムの診断機能を用いた状態基準保全(CBM)に変えることで、オーバーメンテナンスの防止による補修費の低減が見込める。設備のリスクを正確に把握し補修計画時に利用することで、コスト・質ともに優れた補修が行えるようになる。この補修計画支援については、まだシステムの完成度が十分ではなく、実際の補修計画でのテスト的な適用を経て、今後ブラッシュアップしていきたい。

④顧客への改善提案(ソリューション・ビジネスの一環)

顧客の運転日報等をもとに、シミュレーションによる運転状況の解析や異常兆候の診断を行い、顧客にフィードバックする技術サポートを行なう。補修計画時の付加価値向上の一環として、あるいは省エネ提案などのソリューションとして取組み、本システムを用いることで従来よりも解析・診断作業の効率化を図ることができる。さらに、顧客打ち合わせなどで顧客の要望をもとに、その場でシミュレーションを行

い結果を可視化して示すことにより、よりきめ細かく具体的な提案が可能になる。このような改善提案や業務支援は、顧客とのラインを深くし当社のプライオリティを向上させるとともに、改善提案が新たな仕事に繋がる可能性もある。「月島機械グループは顧客の立場に立った提案をする」このようなイメージが醸成できたら良いと感じる。

9 最後に ～将来展開と活用～

運転支援システムは、設備建設後のユーティリティ費低減、補修費低減に寄与するツールであり、運転や維持管理の効率化を図ることが可能である。

ライフサイクル・ビジネスの中での本システムの位置付けを図9に示す。ライフサイクルコスト(LCC)を最小化し、資産価値を最大化するためには、設備の建設、運転管理、補修、ユーティリティを含めたトータルコストを縮減し、設備を延命化することが必要となる。またこれらの情報を設備設計に反映させより完成度の高い設備へとPDCAを廻し続けることが重要である。

包括委託や DBO^{*3)}などが進むと、より効率的な設備管理が不可欠である。特に今後急増する包括委託において本システムを使用すると、自社グループの設備情報管理システム (PM3) 他と組み合わせて効果の最大化が期待できる。情報を有効活用し、効率化とサービス事業展開に結びつける会社が生き残っていく時代、本システムが水環境事業のソリューションビジネス展開の一翼を担えることを期待する。

*1) 包括的民間委託 (包括委託) とは

運転管理や維持管理を民間企業の裁量に任せる性能発注による委託方式であり、委託期間は複数年契約が可能。民間企業の運転管理ノウハウの活用による業務の効率化、コスト縮減、公共人件費の削減などの効果を見込む。

*2) 性能発注とレベル

レベル1: 運転管理のみの性能発注

レベル2: 運転管理+ユーティリティ (電気、燃料、薬品など) の性能発注

レベル3: 運転管理+ユーティリティ+補修の性能発注

*3) DBOとは

Desing Build operate 公設民営方式の意味

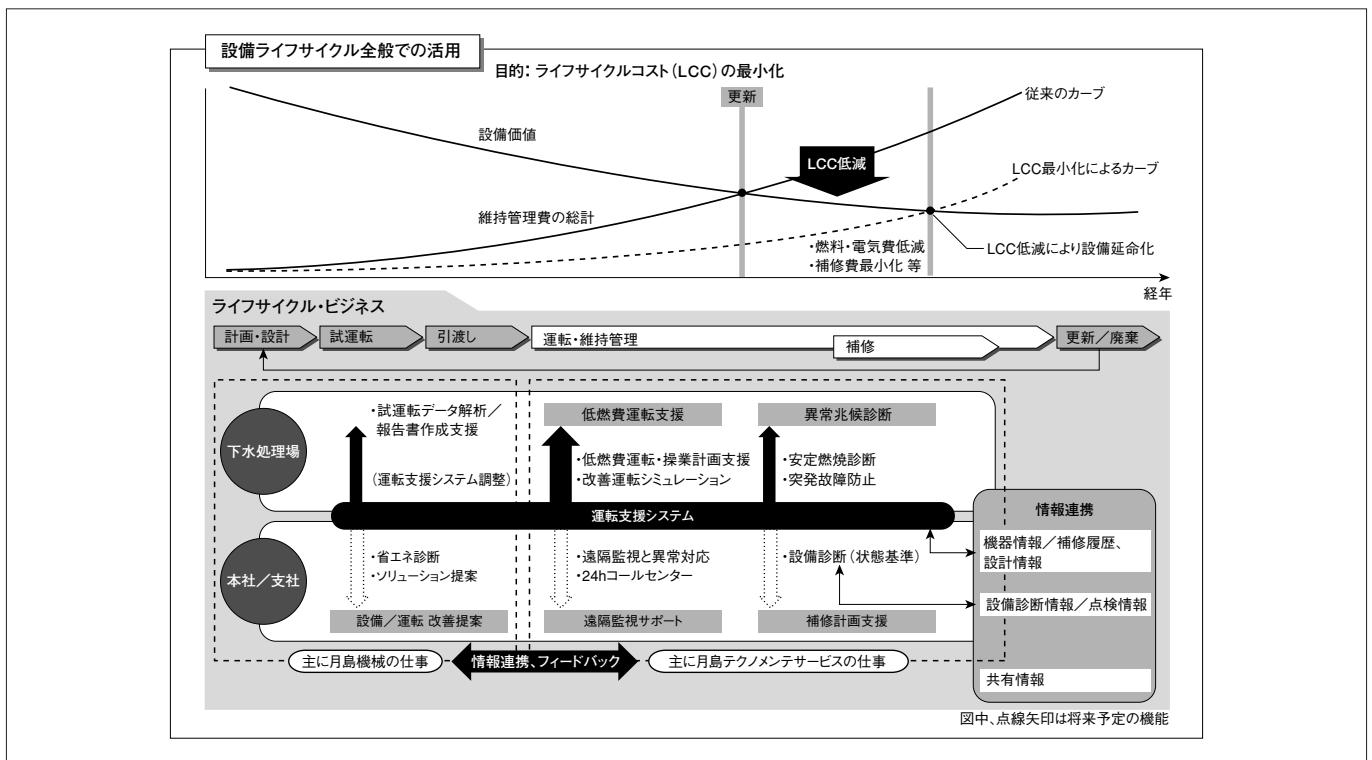


図9 本システムとライフサイクル・ビジネス展開
Fig.9 Life-Cycle business and solutions

コークス炉装入炭用乾燥調湿設備

Coal Moisture Control plant



野口 隆行
Takayuki NOGUCHI

産業事業本部
産業機械計画部
乾燥グループ

Abstract

Steam Tube Dryer (STD), an indirect heating rotary dryer is one of Tsukishima Kikai's core products evaluated highly with over 450 installations overseas and in Japan. The dryer is applied in many industrial fields including general chemistry, steel, nonferrous metals, ceramics, foods, fishing, pulp & paper, environment and other fields. This paper describes the adoption of the STD for coal drying at steel plants before charging coal into the coke oven. It allows stable preliminary coal drying and moisture control by reduced moisture content from 10% to 6% that leads to decreased heat consumption of coking, improved coke strength, expanded use of low-quality coal, large-volume treatment, and stable-continuous operation.

キーワード: 乾燥機、間接加熱、石炭
Keyword: dryer, indirect heating, coal

1 はじめに

月島機械の主力機器であるスチームチューブドライヤ (STD) は、1957年の技術導入以来、数々の改良、改善を重ね、2007年1月現在で世界各国へ450基以上の納入実績がある。適用分野は一般化学をはじめ、鉄鋼、非鉄、窯業、食品、水産、紙・パルプ、環境等数多くの工業分野で用いられ、同時に適用処理物としては、石炭をはじめとする鉱石類、テレフタル酸・ポリカーボネート・ポリエチレン等の樹脂類、コーンファイバー・コーンジャーム等の飼料食品関連、焼却灰・汚泥等のリサイクル関連と多岐に渡っている。本稿ではテレフタル酸乾燥設備と並んで STD の代表的な適用例であるコークス炉装入炭用乾燥調湿設備 (CMC: Coal Moisture Control plant) についての概要、特徴について紹介する。

2 設備概要

2.1 CMC導入のメリット

従来、製鉄所のコークス炉に装入される石炭は、ヤードで野積みされた状態から直接投入し、コークスを製造していた。CMC導入にあたり水分を約10%から約6%へ安定的に予備乾燥、調湿を行うことで、次のメリットが実証されている。

(1) 低位品質炭の利用拡大

調湿炭水分の低減によりコークス炉装入時の石炭の嵩密度が上昇し、コークス強度が向上する。そのため安価な低位品質炭の利用割合を高めることができる。

(2) 熱エネルギーの削減

STD熱源の蒸気は、工場内での廃熱回収から得られたものを利用できるため、大幅な省エネルギーが図れる。



図1 コークス炉石炭用乾燥調湿設備
Fig.1 photo of CMC

(3) コークス炉での生産性のアップ

コークス炉内での乾燥工程を炉外で行うことで炉の生産性が向上し、調湿炭の水分を安定させることで、操業の省力化が図れる。

2.2 CMCでSTDが採用される理由

CMCの乾燥機選定に関して、経済性は当然のこと、設備の特性上、大量処理・連続安定操業・運転の容易性が要求される。容器回転・間接加熱型のSTDが採用されたのは、STDがまさしくこれらの特徴を持つからである。

図2にSTDの構造図示す。回転するSTD本体の全長にわたって、同心円状に多数の加熱管が配列されており、加熱管を通じて間接的に伝熱させ乾燥する、いわゆる間接加熱型乾燥機である。その本体を回転支持するために2つのタイヤ、ローラーを備えており、本体の回転は、本体駆動用の電動機からピニオンギア、ガスギアを介して行われる。原料供給部は一般的にスクリーコンベアを、製品排出部はシュートを採用している。

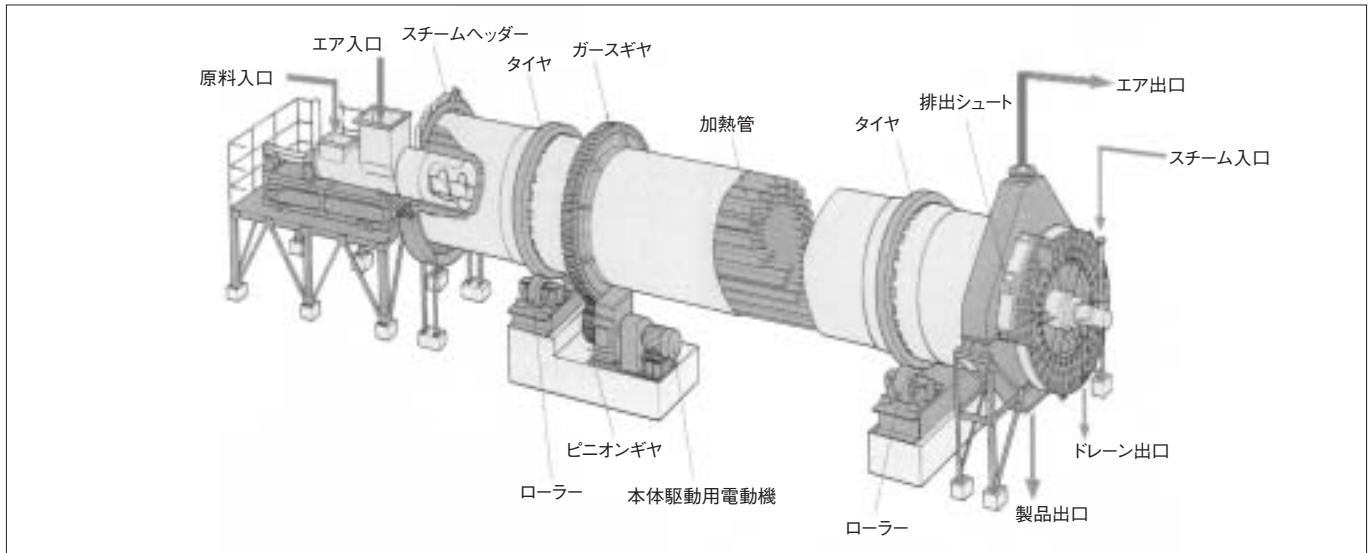


図2 スチームチューブドライヤ構造図
Fig.2 Structure of Steam Tube Dryer

< STDの特徴 >

(1) 大容量処理が可能

構造上、多数の加熱管を配列できるため単位容積あたりの伝熱量は、回転乾燥機では最大である。ロータリーキルンと比較すると単位容積あたりの伝熱面積が約3～6倍となる。さらに構造がシンプルであり、大型化しやすいので大容量処理が可能である。

(2) 排ガス量が少ない

間接加熱型のため、キャリアガスは蒸発水量の排気に必要な量のみを供給すればよい。そのため、直接加熱型の排気量を100とすると、STDでは20～30と少なくすることができる。従って、集塵機等の排ガス処理設備をコンパクトにすることが出来る。

(3) 運転制御が容易

乾燥機入口の処理量、水分の変化・変動に対する制御項目は、基本的に加熱源温、キャリアガス流量、排気ガス圧力の3点であり、いづれも外からの単独操作ができるため、運転調整が容易である。

(4) 熱効率が高い

間接加熱型のため熱源として蒸気を用いることが多いが、ドレン回収等を行うことで熱効率が80～90%となる。(直接加熱型では一般的に50～60%である)

2.3 設備フロー

図3は、CMCに適用されるSTD廻りの一般的な設備フローである。STDの熱源は工場内の廃熱を回収した蒸気を使用し、ドレンはキャリアガスの予熱用として更に熱回収される。原料炭は、スク

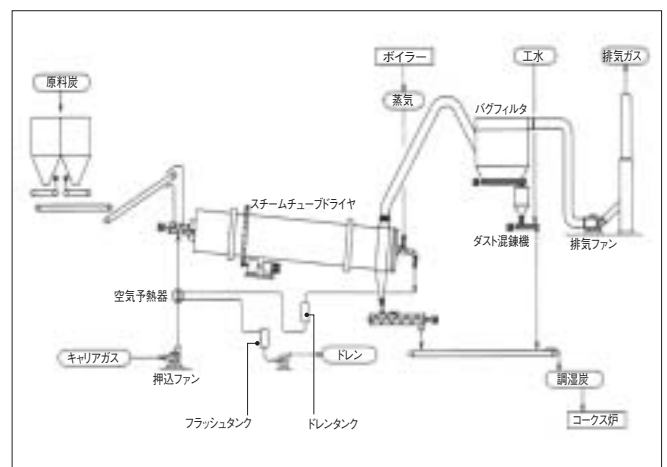


図3 CMCフロー
Fig.3 Process Flow of CMC

リューフィーダでSTDに投入され、STD胴体の回転と傾斜により下流側に運ばれ、胴体下流端に設けられた開口部より排出される。蒸発水分は、並流(処理物の流れと同方向)で流されたキャリアガスによって系外に排出される。キャリアガスを並流とする理由は、CMCの運転範囲では乾燥特性が恒率乾燥区間のみであること及びSTD入口部で結露による付着を防止するためである。また、キャリアガスに同伴されたダストは、バグフィルタにて集塵するが、低水分の微粉であり、非常に発塵しやすいため、ダスト量に応じた加水制御を行い、混練して、調湿炭ラインに戻している。

2.4 設備能力、設備仕様

表1、表2にCMC納入実績例として、設備能力、主設備仕様を示す。本実績例のSTD仕様は、水蒸気加熱管付きの容器回転型乾燥機としては世界最大級のものである。STDの主材質は、原料炭銘柄毎の腐食因子や各原料炭のブレンド後の乾燥加熱時に発生する特殊な腐食媒介物等を考慮して、特に慎重に決定する必要がある。最近では、耐摩耗性や将来的な低位品質炭の導入の流れも踏まえて、2相ステンレス系を採用することが多い。

3 設備の特徴

CMCでは、全体設備の関係性及び石炭の持つ物性から以下の特徴がある。

3.1 ドライヤ水分制御対策

調湿炭水分が過乾燥状態になると、コークス炉へ搬送中のベルトコンベア等にて発塵が起り、環境問題となる。特に発塵は、水分が約5%以下になると顕著になる。更に、コークス炉で装入炭の嵩密度が過度に上昇し、コークス排出時に炉体煉瓦の損傷が起きやすくなる。また、水分変動が大きい場合、コークス炉の操業上、熱バランス調整が必要となり、運転が煩雑となる。これらの点を考慮し、CMCプロセスでは水分は完全自動制御とし、設定水分±0.3%程度の範囲で運転制御している。制御方式はSTD内の石炭滞留時間が長いことから、基本的にフィードフォワード方式を用いる。

表3に制御に関する基本的な考え方をまとめた。

表1 設備能力
Table1 Capacity

対象処理物	コークス炉装入用石炭
設備処理量	530ton-Wet Solid/h
原料炭水分	Nor.10%
調湿炭水分	Nor.6%

表2 主設備仕様
Table2 Specification of main equipment

機器名	主仕様
STD	主寸法:径4.2m×長さ35.5m 伝熱面積:3480m ² 本体電動機:550kW
バグフィルタ	処理風量:1300m ³ /min.
押し込みファン	容量:600m ³ /min. 電動機:22kW
排気ファン	容量:1300m ³ /min. 電動機:132kW

表3 制御の基本的な考え方
Table3 Basic control logic

制御項目	考え方
蒸気圧力	1.原料炭供給量・水分値・温度、及び目標調湿炭水分値を基に、昇温・乾燥に必要な熱量を算出する。 2.必要熱量、STD固有の総括伝熱係数・伝熱面積を踏まえて、目標蒸気温度を算出し、飽和温度に相当する蒸気圧力を制御する。
キャリアガス量	1.原料炭供給量・水分値・及び目標調湿炭水分値を基に、蒸発水量を算出する。 2.蒸発水量により、目標ガス露点となるために必要なキャリアガス量を制御する。
排気ガス圧力	1.排気ファンのダンパー開度を調整し、系外からの漏込み空気量が最低限となるように、排気ガス圧力を制御する。

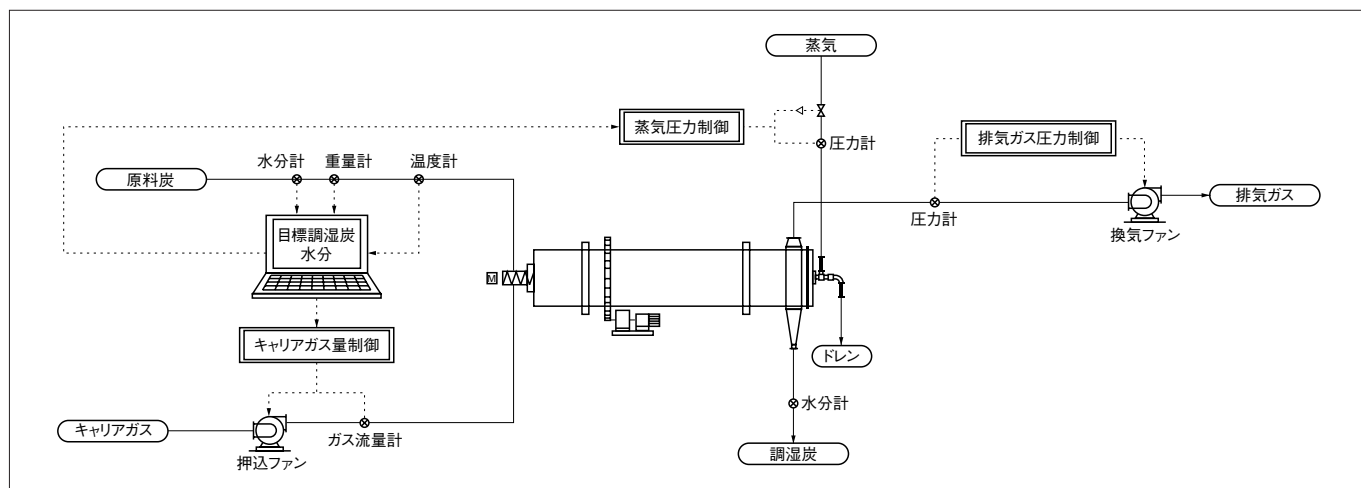


図4 制御フロー
Fig.4 Control flow for moisture control

表4 安全対策項目
Table4 Safety measure for operation

項目	目的	内容
酸素濃度監視	粉塵爆発防止	1. 運転立上げ時:STDへ原料炭供給する前に、各ラインよりN ₂ バージを行い系内O ₂ 濃度を13vol%以下とする。 2. 定常運転時:常時O ₂ 濃度を測定し、13vol%以上で警報、自動N ₂ バージ実施する。
調湿炭の温度監視	着火防止	STDの排出口にて調湿炭の温度測定を行う、緊急時には散水も可能である。
爆発放散口の設置	機器保護	排気ガスライン、バグフィルタに爆発放散口を設置する。

3.2 安全対策

粉塵爆発性を持つ石炭とそのダストが、高温にて系内に大量に存在するため、系内の酸素濃度監視等の特有の安全対策が必要となる。安全対策を表4にまとめた。

4 納入実績

2007年1月までのCMCの納入実績を表5にまとめた。国内・海外合わせて5社の実績がある。

表5 CMC納入実績表
Table5 Reference list

顧客名称	建設場所
国内 A	九州地方
国内 B	中国地方
海外 C	中国
海外 D	韓国
海外 F	台湾

5 おわりに

本稿で紹介したCMCは、最近の鉄鋼業界の活況を受け、特にアジア地域(中国、台湾等)の鉄鋼メーカーから問い合わせがある。今後、これらの案件に対して、今まで得られた技術的なフィードバックをより精査するとともに、最新のコンピューター解析(FEMによる応力解析、FLUENTによる伝熱解析等)の導入、部材の海外調達等による包括的なコストダウン及び更なるSTDの大型化検討を進めて、受注拡大に努めていきたいと考える。尚、CMCの技術、経験をベースにしたSTDの新たな適用例として、改質褐炭や銅鉱石用乾燥機があり、これらも積極的に展開していきたい所存である。

参考文献

- 1) 笠岡玄樹、本間道雄：コークス炉配合炭の調湿技術、川崎製鉄技報、Vol 25、No.4、pp. 1-6 (1993)
- 2) 伊藤正康、小池恒夫：スチームチューブドライヤ、月島機械100年の技術、pp.118-125 (2005)

大型電子ビーム溶接装置とその適用事例について

Technical Report of Large sized Electron Beam Welding Machine and its applications



真庭 健一

Kenichi Maniwa

月島テクノマシナリー株式会社
製造技術部

Abstract

Since installation of the first Electron Beam Welding (EBW) machine in 1973, Tsukishima Kikai has been involved with a number of welding applications both in and outside the company for over 30 years. EBW is effectively applied to large welding structures as well as welding of dissimilar metals, allowing welding not possible with normal arc welding, and leading to significant cost reductions and quality improvement of joints.

In November 2006, the fourth machine started operation. This report describes the overview of Tsukishima Kikai's 30-year history of electron beam welding with introductions of welding equipment and techniques.

キーワード: 電子ビーム溶接、電子銃、真空チャンバー、アルミニウム合金、異材継手

Keyword: Electron beam welding (EBW), Electron beam gun, Vacuum chamber, Aluminum alloy, Dissimilar material joint

1 はじめに

月島機械は1973年に電子ビーム溶接装置1号機を導入以来、数多くの製品・受託加工品の溶接を手掛け、2006年11月には通算4号機の稼働を開始した。本稿は、30年余にわたる月島機械の電子ビーム溶接の歴史を概観し、溶接装置および溶接技術の紹介を行うものである。

2 電子ビーム溶接装置概要

電子ビーム溶接(EBW:Electron Beam Welding)装置の主な構成要素としては、電子銃(ガン)、高電圧発生装置、加工室(真空チャンバー)、ワーク駆動装置(XYテーブル、回転テーブルなど)、真空排気装置、制御盤、操作盤などがある。ここでは、その代表的なパーツとなる電子銃と真空チャンバーに関して、装置の特徴を以下に述べる。

2.1 電子銃

電子銃はいずれも150kV高電圧タイプのもを採用している。1号機ではNEC製6kW機、その後は独シュタイガーバルト社製のものを選定し、出力は2号機が15kW、3号機では30kW(その後60kWに増強)、4号機は60kWである。低電圧タイプ(~60kV)のものと比較すると、ビームを細く収束できるため、EBWに特有な深溶込み溶接において同一パワーでも、よりビード幅の狭い、より溶込みの深い溶接部を得ることができる。これにより溶接変形を小さく抑えられ、溶融範囲や熱影響部が狭く精細な溶接が可能となり、様々なアプリケーションにおいて優位性を持っている。

1、2号機では、下向きガンのみであったが、3、4号機ではそれに加えて水平ガン(図1)も装備させ、いわゆる2ガン仕様の装置とし

ている。水平ガンの採用理由は、当時早急に施工技術を確立する必要のあった、アルミ合金厚板の完全溶込み溶接を行うためである。EBWにおける深溶込み溶接部では、底部にスパイクと呼ばれる独特の溶込み状態が見られ、これに起因するポロシティやコールドシャットなどの欠陥が残存してしまう。これらを防止するために、一つは裏当て金を設けて当該部分を裏当て部に追いやって製品部分に欠陥を残さない方法と、もう一つはウラナミ溶接を行いこれら欠陥が発生しないようにする方法が考えられる。100mmあるいはそれを超える厚板の下向き溶接では、前者は溶接サイクル(金属の溶融凝固現象)が重力の影響を受けるため、安定性を保持することが困難になってくるという問題、後者は、同じく重力の影響で著しい溶融金属の溶け落ちが発生し、必要な接合断面積を確保できないという問題が生じる。これに対して、横向き溶接を採用することにより、多少の工夫が必要となるものの、これら問題点を回避でき、十分実用に供しうる品質の溶接部が得られる。



図1 水平ガン
Fig.1 The horizontal Gun

アルミの厚板溶接においては、さらに十分なアーキング対策を施す必要があるため、集束レンズを2式装備し、電子銃は屈曲部を持たせている（電子ビームがガンの中で電磁的に曲げられて照射される）。これにより、溶接中に大量に発生する金属蒸気が電子ビーム発生部にまでたどり着くことを防止でき、電子銃内部の真空度が悪化することにより発生するアーキング（ガン内放電）を減少させ、安定したアルミ厚板溶接を実現させることが可能となっている。それでもなお、多少のアーキングが発生することは避けられないが、その際の溶接部への影響度を数十ケースで確認した結果、アーキングによる極短時間の熱源遮断が起きても、それに起因する顕著な欠陥発生のないことを非破壊検査などで検証している。

また、2ガン仕様であることの副次的な効果として、万一片方のガンが故障して生産ラインから長期離脱を余儀なくされた場合でも、もう一方のガンと入れ替えて使用することにより、設備ダウンリスクの回避が可能である。

2.2 真空チャンバー

真空チャンバー（ワーク駆動装置も含む）はすべて自社製である。1号機導入当時においては真空チャンバーの製造に関する知識があまりなかったため、なかなか所定の真空度に到達させることが出来ず、相当な苦労があった。その後、1986年に導入した2号機では1号機の問題点の多くが改良され、また1994年には現在の排気系の基本となる排気システムへの改造工事なども行っている。2003年に導入された3号機以降の設備仕様においては、これらの経験が生かされると共に、新規開発案件も豊富に盛り込まれている。

3号機（図2）は、1、2号機の老朽化による代替機としての必要性和、液晶パネル製造装置用アルミチャンバーの大型化への対応を考慮して、1号機の平面積と2号機の高さを合わせ持つ超大型チャンバー（W3.8m×L8.5m×H2.9m（有効高さは2.3m））となった。排気系は月島機械独自の機器構成による高速排気システムであり、粗引きは大型油回転ポンプおよびメカニカルブスター2台を直列に接続した排気ラインを2系列、また主排気としては大型クライオポンプ2台を備えている。本システムにて、溶接可能となる 7×10^{-2} Paまでの排気時間は20分未満となっている。3号機導入からわずか3年後の2006年、アルミチャンバーの増産、さらなる大型化要求に応え、また、新たなアプリケーションを強力に見出していくことを目的として導入された4号機（図3）は3号機よりもさらに大型（W4.8m×L9.7m×H3.1m（有効高さは2.4m））となった。容積が3号機のほぼ1.5倍となったため、排気系も粗引き3系列、主排気3台を装備し3号機と同等の排気能力を持たせてある。いずれのチャンバーもワーク駆動用にCNC制御のXYテーブルや回転テーブル、そして水平ガン駆動用のスライダを持ち、電子銃のパラメータと合わせて溶接作業はすべてプログラム運転で実施されていて、複雑な溶接形状にもフレキシブルに対応可能である。

前述した水平ガンの駆動機構となる、上下ストローク1mのガンスライダは、新規開発による自社設計・製作品であり、本チャンバーにおける最大の特徴である。Oリングを用いて真空シールを行い、スライド動作中も一定の真空度を維持して溶接が可能である。なお、電子ビーム溶接に係わる作業エリアはクラス100,000のクリーンルームとなっており、半導体産業やエネルギー関連など、クリーンな作業環境への要求にも十分応えられるものである。



図2 電子ビーム3号機（新1号機）^{注1}
Fig.2 No.3 EBW machine (new No.1)

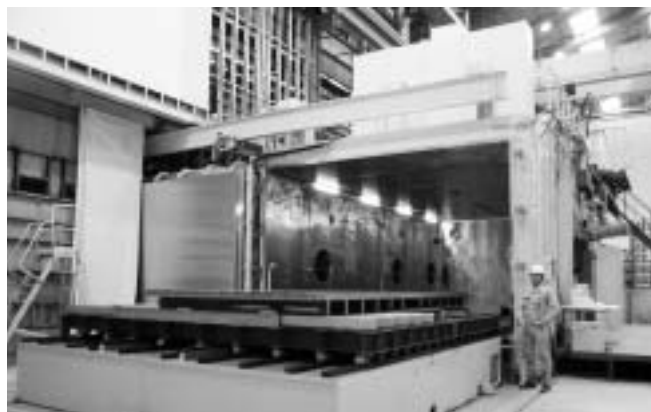


図3 電子ビーム4号機（新2号機）^{注1}
Fig.3 No.4 EBW machine (new No.2)

3 電子ビーム溶接の実績紹介

本項では、過去社内外にわたって取り組んできた様々な分野での案件を説明しながら、材質毎に整理して電子ビーム技術を紹介する。

ステンレス鋼

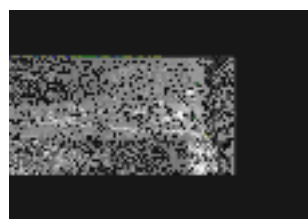
月島機械の製品においては、最も適用例が多い。1号機導入当初より、フィルタープレス用ろ板の溶接を手掛け、1980年代前半よりインクラインドディスクドライヤーのディスクの製作を開始した。本部品は第二種圧力容器(二圧)に該当するが、当時電子ビーム溶接は二圧に採用された実績がなかったため、継手性能に関して機械強度や組織写真など様々なテストデータを監督官庁へ提出し、特別認可を受領した。2号機導入後は、デカンターの回転体(ボウル、コンベア)、EW分離機のバスケットなどにもEBW適用を拡大した。304や316などのオーステナイト系のステンレス鋼がメインで、板厚範囲は4mmから50mmまでであった。3号機導入前までは下向き溶接に限られていたが、出力がアップし、また横向き溶接の対応が可能となったことから、さらに厚板への適用が期待されており、今後、精力的にテストを進めていく予定である。

アルミニウム合金

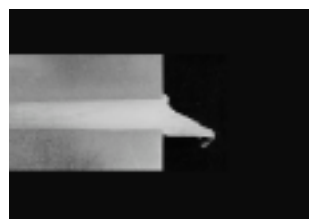
研究開発用途としてA6061合金(Al-Mg-Si系)での真空チャンバーの製造実績¹⁾がある。この材料は、化学成分的に溶接割れ感受性の高い材料であり、特に溶接材料を使用しないEBWにおいては溶接困難な部類に入るが、試行錯誤の上、完成させることが



図4 131mm厚アルミニウム合金 EBW溶接部(30kW機)
Fig.4 The cross section of aluminum alloy joint welded by 30kW EBW machine (131mm thick)



(a) 不安定凝固部(上写真白枠部)
(a) Unstable solidification
(portion closed by white line in Fig.4)



(b) 安定凝固部(60kW機)
(b) Stable solidification welded by 60kW EBW machine

出来た。液晶パネル製造装置用途としては、Al-Mg系の5000番台の材料(A5052やA5083)が使用されている。すでにチャンバー素材として500台以上を出荷しており、総溶接長さは5kmを優に超える。当初は30kWの電子銃にて生産していたが、出力不足に起因する欠陥が少なからず発生し、その補修に相当なコストが掛かっていた。100mm以下の板厚であれば、30kWでも十分貫通可能であったが、100mmを超えてくると貫通能力が不足し、それにより安定したビームホールが得られず、板厚底部(ビーム抜け側・ルート部)への熱伝達が不十分となり、前述したコールドシャットとそれに伴うポロシティーやポイドが発生しやすくなるものと考えられた(図4、および4(a))。60kWに出力アップしたことによりルート部溶込み状態が非常に安定し、大幅に欠陥減少が図られ溶接品質が格段に向上した(図4(b))。

銅および銅合金

銅および銅合金は熱伝導度が非常に大きく、通常のアーク溶接などではすぐに熱が逃げてしまい母材が十分に溶融してくれないため、予熱が必須となるが、EBWではエネルギー密度がアーク溶接の数千倍にも及ぶことから、予熱なしでも容易に溶接することが可能であり、適用メリットが高い材質の一つである。月島機械の製品としては、研究開発用途として無酸素銅製プラズマ溶融炉(溶込み深さ30mm程度)の製造実績がある。受託加工品としては、冷却板やブスパー、導波管など多くの製品を手掛けてきた。取扱量としては、アルミ、ステンレスに次いで多い。

チタンおよびチタン合金

チタンは溶接性の良い材料であるが、活性が高いため溶接中に酸素や窒素と容易に反応し溶接部の品質が劣化する。したがって、溶接部は十分、不活性ガスによるシールドを行わなければならない。一方、EBWにおいては、すべての作業が真空下にて行われるため、面倒なガスシールドを省略出来る。一般に使用されるシールド用のアルゴンガス純度99.98%に対して、EBWにおける 1.3×10^{-2} Paの真空中の不純物は、0.000013%程度²⁾であり、酸化や窒化の問題は完璧に回避することが可能である。過去の実績としては、月島機械の製品では、P-100 EW分離機の洗浄バスケット(純チタン、10t)などがあり、受託品も何点か手掛けている。チタンや類似金属であるジルコニウムなどの活性金属の溶接にはEBWは非常に適していると言える。

ニッケルおよびニッケル合金

ニッケルおよびニッケル合金は、様々な種類の合金が実用化されているが、一般的には溶接性は良好である。ニッケルは不純

物（リンや硫黄など）と高温時に低融点化合物を形成するため高温割れを発生しやすい材料である。従って、EBWに限らず溶接直前における開先およびその近傍のクリーニングが非常に重要となる。製品実績として、核燃料用キルン（ハステロイ X、6t）やカーペンター 20 合金（80t、両側溶接）などがある。

異材継手

物理的あるいは化学的性質が大きく異なるような金属同士を溶接接合する際は、電子ビーム溶接特有の狭幅ビードや低入熱により接合の可能性が広がる。実績としては、受託加工品の真空容器で、溶込み深さ 3mm 程度の銅 +SUS 異材継手があり、またサンプル的には 30mm までの接合を実現している（図5）。その他、銅 +アルミなどを初めとして、様々な組合せの引き合いも頂戴しており、今後異材継手の需要は、益々増えていくものと思われる。

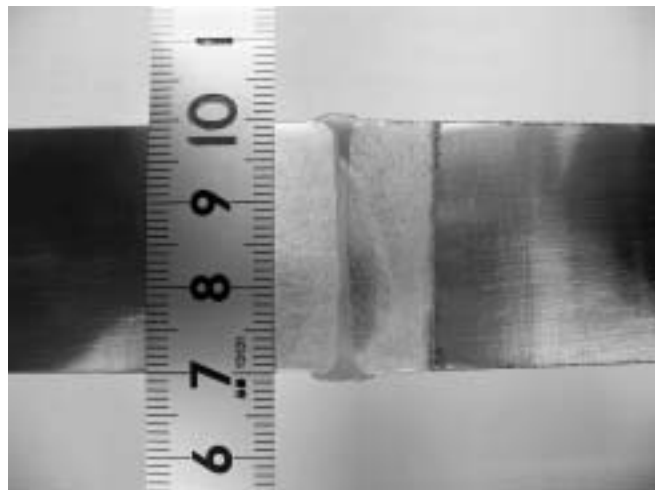


図5 銅 +SUS 異材継手 (30mm、右手が銅)
Fig.5 Dissimilar material joint of Copper (righthand side) and Stainless steel (30mm thick weld)

4 おわりに

電子ビーム溶接技術に関して、ハード、ソフト両面から紹介を行った。EBWはもちろん万能とは言えないが、適材適所に採用することにより、大幅なコスト削減や、継手品質の向上が可能であり、また通常のアーク溶接では実現不能な溶接も可能にするなど、たいへん優れた接合方法である。最近では電子ビーム溶接に関する引き合いも非常に多くなってきており、また一つ一つが新しいアプリケーションで難易度も高く、それらの試作、実用化に向けて多忙の毎日が続いている状況であるが、今後も電子ビーム溶接を核とした生産技術のブラッシュアップを継続していきたいと考えている。最後に、電子ビーム溶接が様々な分野へ広く適用されていくことを期待し、その際に本稿が多少なりとも参考となれば幸いである。

以上

参考文献

- 1) 高橋善則：アルミ真空チャンバーの製造技術、TSK 技報創刊号、p36 (2004)
 - 2) 橋本達哉：電子ビーム溶接、溶接便覧第2版、p321 (1973)
- 注) 1、2号機は現在、その長年にわたる役目を終え撤去される。今後は現3号機、4号機をそれぞれ新1号機、新2号機としてEBW事業を引き継いでいく予定である。

今更ですが「水の科学」

日常生活に溢れかえっている水ですが、様々な性質を持っています。そして、その性質も様々な場面で見ているのですが、あまりにも日常過ぎて水の性質だということを忘れていた場合が多くあります。ここでは、今更ですが、その水の性質をご紹介します。と思っています。



科学① 虹の元「水」

ありふれた絵のような気もしますが、図1虹のある風景では間違っているところが一箇所だけあります。わかりますか？

分かったという方も多いと思いますが、正解は「太陽と虹が同じ方向に出ている」ことです。虹は太陽の光を空気中の水蒸気が反射するために起きる現象なので、反射光を見ようとすると、太陽と逆の方向を向かなければなりません。

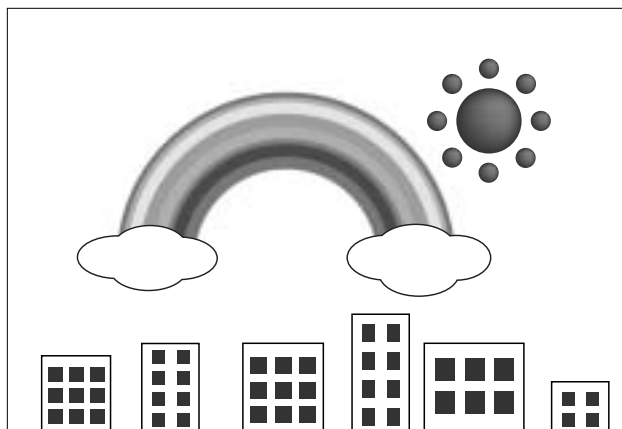


図1 虹のある風景

また、虹は良くみると二重に見えることもあります。これは目の錯覚ではなく、れっきとした水滴による光の反射作用です。水滴で反射した光は、一度に全ての光を反射する訳ではなく、光の一部は水滴内で反射を繰り返しています。この反射光がうっすらとした二つ目の虹を作ります。

現在は高いビルなどが乱立し、虹を見ること自体が難しいですが、機会に恵まれたらじっくりと観察してみてください。

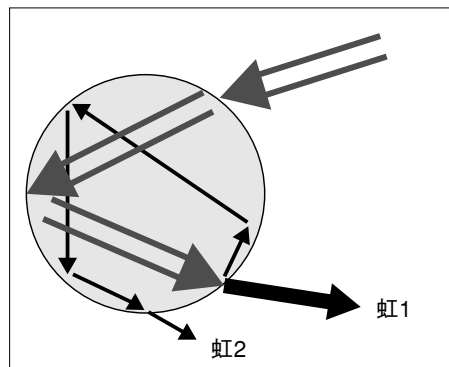


図2 水滴での光の反射イメージ

科学② 浮く水、沈む水

最近は地球温暖化のせいなのか、あまり見かけなくなりましたが、冬になると池や水溜まりの表面に氷ができます。でも、なぜ氷は水底にできず、表面にできるのでしょうか？

地面や土より空気の温度が低いからというものもありますが、それよりも水の密度が関係しています。水は約4℃の時に密度が最大となり、一番重い状態になります。しかし、約4℃より高くても低くても密度は小さくなり、軽い状態となります。つまり、水が氷になる直前の0~4℃の間では冷たいほど軽い状態なので水面上り、水面から凍っていくという現象が起きます。

この性質は水を始めた少数物質特有のもので、エタノール等の一般的な物質では冷たくなるほど密度が小さくなり、重くなる性質を持っています。

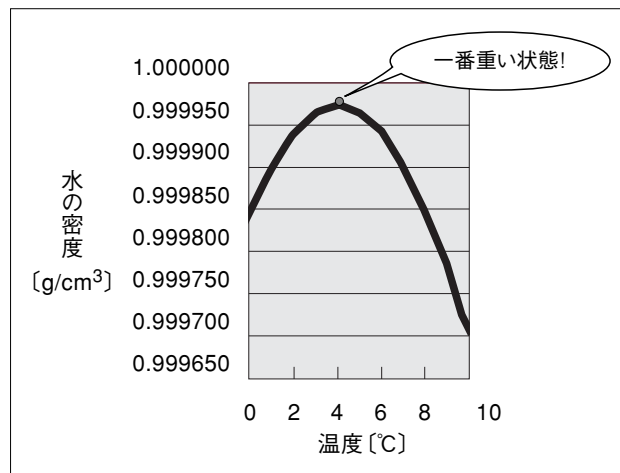


図3 水の密度と温度の関係



なぜ、約4°Cの時に水の密度が高くなるのか？

密度は分子の凝集状態を表しています。分子と分子が接近していれば密度は高く、遠ければ遠いほど密度が小さいこととなります。水分子には分子同士を結びつける力として水素結合という力を持っているのですが、この力が影響し、約4°Cの時に密度が最大となります。

水は液体よりも個体(氷)のほうが密度が小さくなる性質を持っているのですが、氷を分子レベルで見ると、分子と分子が水素

結合により、隙間の多いきれいな格子状態になっています。この状態から温度が上昇すると分子は動くようになり、やがて格子は崩れ始めて液体になります。さらに温度が上昇すると分子が活発に動き、分子と分子の距離は遠くなります。格子が崩れ始め、格子の隙間に分子が入り込んだ状態が一番分子が密集している状態なのですが、その時の温度が4°Cと考えられています。

科学③ 一瞬で凍る水

テレビなどでペットボトルに入っていた水が一瞬で凍る手品を見かけたことはありませんか？これは水の過冷却の性質を利用したものです。水は0°Cで氷になるというのが常識ですが、氷になるためには「氷の核」が必要となります。この氷の核ができるためには、核となる不純物が必要だったり、核が生じるための振動が必要になります。つまり、きれいな水をゆっくりと冷やしていくと0°C以下になっても氷にはなりにくい性質を持っています(この状態を過冷却と言います)。一瞬で氷ができる手品はこの性質を利用したものです。

何度か失敗は繰り返しますが、コツを掴めば簡単にできます。是非、お試しください。

～手順～

- ①ペットボトルをきれいに洗います。
- ②ペットボトルに市販されている精製水か、浄水器の水を1/3程度入れます。
※汚れている容器、水だと不純物により氷の核ができてしまい過冷却の状態になりません。
- ③ペットボトルの蓋をしないまま冷凍室に入れ、1～2時間ほど冷やします。
※冷やし過ぎると氷になってしまうので、冷却時間は適時調整してください。
- ④ペットボトルの水が凍っていないことを確認し、静かに冷凍室から取り出したら、ペットボトルを強く振ると一瞬で氷になります。

科学④ 生命に不可欠な水

人体の約60～70%は水と言われています。体内の水は、赤血球や細胞に必要な栄養素など、人体に必要な様々なものを溶かしこみ、体の隅々まで運んでいます。様々な物質を溶解させるという性質も水の特長の一つですが、これも水素結合が強く影響しています。物質は分子と分子と引きつけるファンデルワールス力などのように、様々な化学結合をしているのですが、この中には水素結合より弱い結合力もあります。水素結合より弱い力で結合している物質が水の中に入ると、水素結合の力を持った水分子によってバラバラに引き離され、水に溶解することになります。もちろん、金属結合のように水素結合よりも強く、水に溶解しにくい物質もありますが、水ほど多くの物質を溶解させるものはありません。

しかし、水が溶解させるのは人体に必要な物だけでなく、富栄養

化の元になる窒素やリン、有害な重金属なども溶解させ、湖沼や海など自然界の隅々まで運んでいきます。その結果、日本の各地で水質汚染が起きており、閉鎖性水域から悪臭が発生する、小川でメダカがいなくなったなどの問題が発生しています。汚染源としては、下水、排水も考えられますが、庭や土に埋めたゴミに汚染物質が含まれていれば、やがて地下を通りいたるところに運ばれていきます。このまま汚染が続けば、安全な天然水がなくなり、飲める水道水、作物に撒ける水をつくるのに莫大な費用を要するという日が来るかも知れません。

日本では水が潤沢にあるだけに様々なものを水で洗い流していますが、水の流れる先を見つめて、流すものを見つめ直してはいかがでしょうか。

会社概要

名称	月島機械株式会社 TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.
取締役社長	山田 和彦
創業	明治38年8月
設立	大正6年5月
資本金	66億4680万円
従業員数	725名(平成19年2月現在)
売上高	562億円(平成18年3月期)

詳しくは www.tsk-g.co.jp に
アクセスをお願いいたします。

事業所

本社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591
東京支社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593
大阪支社	〒541-0043 大阪市中央区高麗橋3-5-12(東京海上日動ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415
札幌支店	〒060-0807 札幌市北区北七条西1-1-2(SE山京ビル) TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520
仙台支店	〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK小田急ビル) TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316
横浜支店	〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル) TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086
名古屋支店	〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル) TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624
広島支店	〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス) TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771
福岡支店	〒810-0001 福岡市中央区天神2-8-41(福岡朝日会館) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806
新潟営業所	〒950-0087 新潟市中央区東大通1-7-10(新潟セントラルビル) TEL.025-245-9351 FAX.025-245-9383
和歌山営業所	〒640-8343 和歌山市吉田432(シティビル太田) TEL.073-427-6085 FAX.073-427-6085
沖縄営業所	〒901-2131 沖縄県浦添市牧港1-5-12 TEL.098-874-5793 FAX.098-874-5793

市川事業所(工場)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
(環境プロセス 開発センター)	〒272-0011 千葉県市川市高谷新町6-4 TEL.047-328-8761 FAX.047-328-8789

〈海外〉

TSKジャカルタ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. JAKARTA REPRESENTATIVE OFFICE<<TJO>>
22nd Floor, Plaza DM, Jl. Jend. Sudirman Kav. 25, Jakarta 12920, Indonesia
TEL. +62-21-526-7732/7734 FAX. +62-21-526-7790

TSKハノイ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. HANOI REPRESENTATIVE OFFICE<<THO>>
Unit202, V-Tower, 649 Kim Ma Street Ba Dinh District, Hanoi
TEL. 84-4-7669965,7,8 FAX. 84-4-7669969

TSK上海駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. SHANGHAI REPRESENTATIVE OFFICE
Rm.908 The Nanzheng Building, No.580 Nanchin Rd.(W) Shanghai 200041,CHINA
TEL. +86-21-6267-8800 FAX. +86-21-6218-8855

TSKムンバイ駐在員事務所
TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. MUMBAI LIAISON OFFICE
138A 1st floor Shaheed Bhagat Singh Colony JB Nagar Andheri(East) Mumbai 400 059 India
TEL. +91-22-2831-4596 FAX. +91-22-2825-6265

連結会社及び主な関連会社

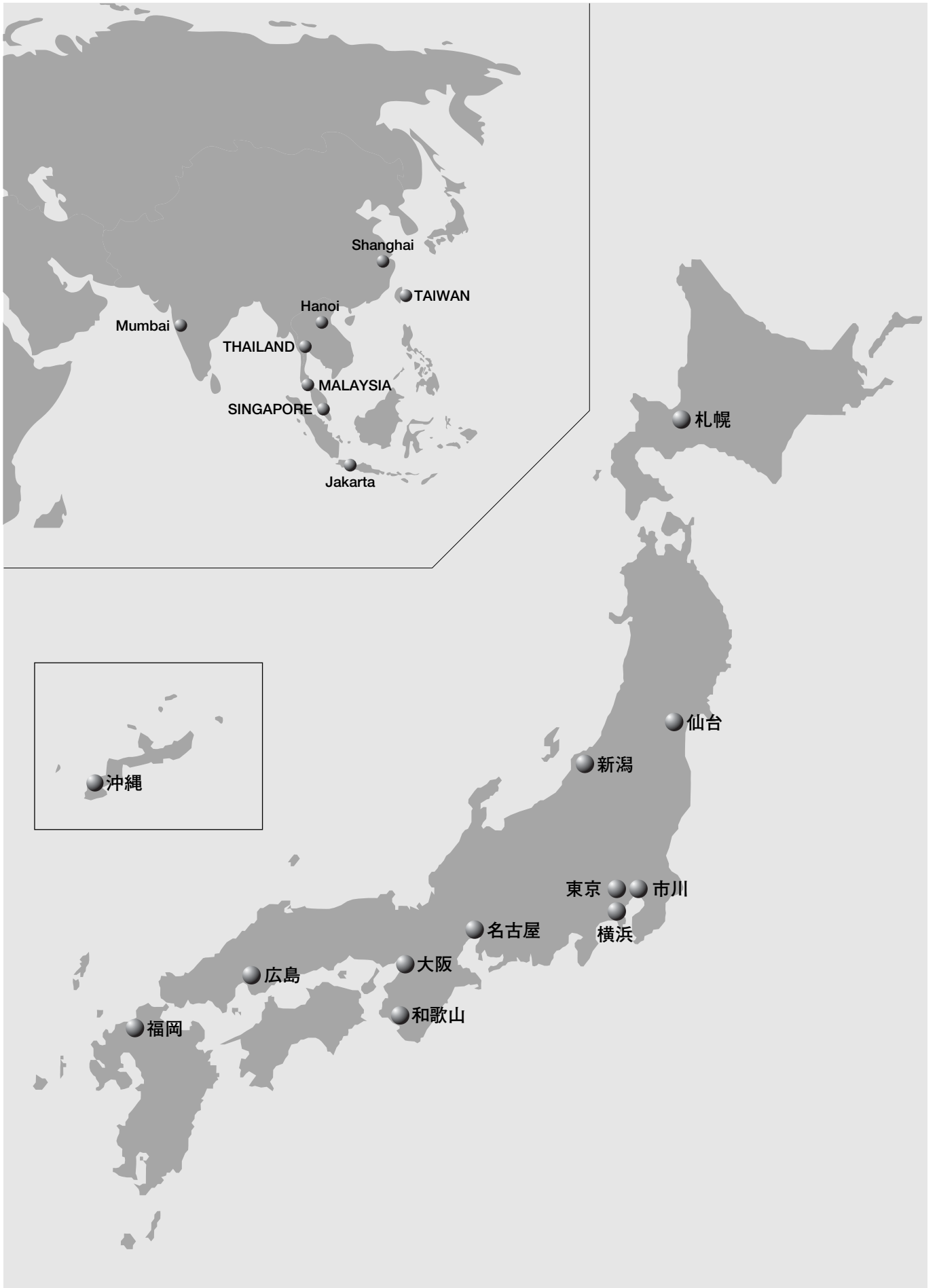
月島テクノメンテサービス(株)	〒104-0052 東京都中央区月島4-8-14 TEL.03-3533-6272 FAX.03-3533-2588
月島テクノマシナリー(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0033 東京都中央区新川2-12-15(ノットライトビル) TEL.03-6386-3964 FAX.03-3537-8764
サンエコサマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381
月島テクノソリューション(株)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12(市川事業所) TEL.047-701-0221 FAX.047-397-6201
寒川ウォーターサービス(株)	〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6(事業所) TEL.0467-72-0862 FAX.0467-72-0863

月島エンジニアリングシンガポール(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. <<TES>>

月島エンジニアリングマレーシア(株)
TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. <<TEM>>
SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca,
163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia
TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377

TSKエンジニアリングタイランド(株)
TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. <<TET>>
United Center Building 14th Floor, Room1404,
323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
TEL. +66-2-231-1726~30 FAX. +66-2-231-1731

TSKエンジニアリング台湾(株)
TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. <<TETA>>
6th Floor, No.24, Min Sheng, W. Road, Taipei, Taiwan R.O.C.
TEL. +886-2-2523-6975~6 FAX. +886-2-2521-1429



■ 上下水道設備および機器

I 設備

ポンプ機械設備、沈砂・沈澱池設備、曝気設備、汚泥濃縮設備、汚泥消化設備、消化ガス貯留・発電設備、薬品注入設備、汚泥脱水設備、汚泥乾燥・焼却設備、汚泥溶融・結晶化設備、脱臭設備、高度処理設備、汚泥有効利用設備、脱水ケーキ貯留・搬送設備

II 機器類

① 上水道・工業用水道関係

DCフィルタ(横形加圧脱水機)	DMフィルタ(横形加圧脱水機)	TMフィルタ(横形加圧脱水機)
オートサンドフィルタ	ウクライナフィルタ	ろ過濃縮機
フロキュレータ	リンクベルト式汚泥掻寄機	水没式クラリファイヤ
消石灰空気輸送装置	薬品注入用各種機器	鋼板製配水タンク
ドライ粉末活性炭注入設備	膜ろ過設備	

② 下水・し尿関係

メタン濃縮スクリュープレス脱水機	ベルト型濃縮機	トルネードプレス脱水機
スーパープレスロールフィルタ	DCフィルタ(横形加圧脱水機)	フスロールフィルタ(ベルトプレス脱水機)
オートサンドフィルタ	セントリホープ(遠心濃縮機)	セントリエース(遠心脱水機)
流動焼却炉	ウクライナフィルタ	インクラインドディスク型ドライヤ
結晶化炉	回転炉床式焼却炉	巡回溶融炉
オールプラスチック製リンクベルト	D P 型クラリファイヤ	超微細気泡散気装置
沈砂掻寄装置	オールプラスチック製円形掻寄機	ローブ式掻寄機
汚泥攪拌装置	振動スクリーン式沈砂洗浄機	デュアルエース(自動水分・濃度測定装置)
薬品注入用各種機器	特殊型定量フィーダ	活性炭再生装置
スルージェス(大型ケーシング・定量供給装置)	嫌気性消化槽	鋼板製卵型消化槽
高効率流動焼却炉	ハイ・メタ・ダイジェスタ(バイリアクター)	脱水ケーキ用バルブシステム(TSK-GEHOポンプ)
	焼却灰溶融炉	

■ 産業用設備および機器

I 設備

- ① 化学肥料
 - 硫酸、塩安、硝安、過燐酸石灰、尿素、高度化成肥料製造プラント
- ② 合成繊維
 - DMT、カプロラクタム、その他各種溶剤、副生成品製造プラント
- ③ 合成樹脂
 - ビスフェノールA、ポリカーボネード、テレフタル酸製造プラント
- ④ 鉄鋼、金属
 - 高炉水砕スラグ処理、コークス原料炭調湿、有効金属回収プラント
- ⑤ 石油化学工業
 - エチレン、ブチレン、スチレンその他およびそれらの誘導体プラント
- ⑥ 石油および瓦斯工業
 - 原油、石油分留、ガソリンペーパー回収装置、メタノール、ホルマリン、各種貯槽
- ⑦ 工業薬品
 - 硫酸、燐酸、苛性ソーダ、ソーダ灰、染料中間体、過酸化水素、硫酸製造プラント
- ⑧ 食品工業
 - 製糖、製塩、グルタミンソーダ、コーンスターチ、でんぶん、食用油プラント
- ⑨ 製紙、パルプ
 - 連続苛性化、黒液蒸発、白水回収、酸素漂白プラント
- ⑩ 製薬
 - 局方糖、抗生物質、医薬品
- ⑪ 原子力工業
 - 放射性廃棄物の処理プラント
- ⑫ 各種廃水および廃酸処理装置
 - 工場排水、工業用水、チタン廃酸、ピッキング廃酸プラント
- ⑬ 廃ガス処理装置
 - COGまたは脱硫ガスのアンモニア回収、重油ボイラ、回収ボイラ、その他各種排ガスよりのSO₂吸収およびそのあと処理プラント
- ⑭ FAシステム
 - 粉体、液体、樹脂成形物等ハンドリングプラント

II 機器

- ① ろ過機
 - 水平ベルトフィルタ
 - 高炉水砕インパフィルタ
 - ドラムフィルタ
 - デイクシング(脱ろう)フィルタ
 - ② 遠心分離機
 - EW押出式遠心分離機
 - 吊下型遠心分離機
 - ③ 乾燥機
 - スチームチューブドライヤ
 - 流動層乾燥機
 - 外熱キルン
 - ④ 蒸留・晶析
 - キューニー型規則充填物(ロンパック)
 - D P 型晶出機
 - 間接冷却式晶出機
 - ⑤ 精製・クロマト分離
 - アイセップ(ISEP)
 - シーセップ(CSEP)
 - ⑥ FA機器
 - 自動計量システム
 - 薬液自動充填装置
 - 設備保全システム
 - ⑦ 貯槽
 - フローティングルーフトンク
 - ドライシールガスホルダ
 - ⑧ 混合・成形
 - MTIユニバーサルミキサ
 - SMCスーパーインプリ
 - ⑨ 振動機械
 - ボールトン振動研磨機
- | | |
|----------------|------------------|
| ロータリープレッシャフィルタ | ベルトフィルタ |
| プリコートフィルタ | トレイフィルタ |
| プレスロールフィルタ | DCフィルタ(横形加圧脱水機) |
| クリケットフィルタ | セラミックフィルタ |
| コニカル型遠心分離機 | コニックス型遠心分離機 |
| バードデカンタ | GMP対応遠心分離機(横型) |
| ホッパードライヤ | インクラインドディスク型ドライヤ |
| ろ過乾燥機 | クリーンフラッシュ |
| 蒸発缶 | 連続溶融精製装置 |
| 掻取型晶出機 | 成長型(オスロ型)晶出機 |
| ポリ袋挿入・シール機 | 自動開袋機 |
| ドラム反転計量システム | 減容装置 |
| 固定屋根式タンク | 球形タンク |
| 高圧サイロ | |
| MTI堅型高速ミキサ | MTI横型ミキサ |
| 真空・圧空成形機 | |
| ボールトン振動ふるい | ボールトン振動ミル |

■ 焼却設備

焼却設備

活性炭、石膏、水酸化マグネシウム等、各種物質の焙焼・煅焼パルプ、紙工場汚泥等各種物質の焼却プラント

焼却炉

旋回流廃液燃焼炉、堅型廃液燃焼炉、高速流動焼却炉、多目的焼却炉、溶融キルンシステム

■ 真空設備

真空成膜装置、超高真空装置、光学膜成膜装置、スパッタ装置、真空チャンバー、プラズマ重合装置、プラズマモニタ

■ バイオ設備

バイオマスエタノール製造設備、メタンガス製造・貯蔵設備、消化ガス貯蔵設備

事業内容

- 以下の各種機械・装置の計画、設計、製造、据付工事、修理、賃与、並びに保守管理（産業用機械、化学機械、動力機械、運搬機械／廃水・汚泥・排ガス用の処理装置／化学プラント／医薬製造装置、食品加工機械／廃棄物処理機械・装置／合成樹脂・石材の成形装置・加工機械／半導体製造装置、真空成膜装置、及び関連機器／その他各種機械・装置、及びそれらの関連機器・装置）
- 工業溶炉・焼却炉・熔融炉の設計、設計、製造、建設、据付工事、修理、保守管理並びに廃棄物の処理事業
- 土壌汚染・地盤環境の調査、診断、コンサルティング並びに土壌浄化の計画、設計、施工
- 油槽・ガスホルダー・鉄構工作物の計画、設計、製造、建設、据付工事、並びに保守管理
- 土木・建築・機械・電機・計装・配管等の各種設計・工事、並びに関連機器の保守管理、修理
- 工業薬品、各種機械、装置の輸入販売、輸送、梱包、保管
- 各種公害防止機械、各種産業用機械、化学機械に関する試験・研究、並びに科学研究分析
- 人材派遣による廃棄物の処分、上下水の処理、及びそれらの設計、試験又は研究
- 電子計算機のプログラムの設計、保守管理、並びにデータ通信事業及び関連機器の賃与

連結会社及び主な関連会社

月島テクノメンテサービス(株)

上下水道処理設備の運転・保守管理並びに補修改善工事、工業薬品の販売、環境設備に関する機器・備品の販売

月島テクノマシナリー(株)

産業用機器の製造請負、選別機・研磨機・ろ過機的设计製造、射出成形機・ガスインジェクション装置・研磨材の販売、電子ビーム溶接受託加工

月島テクノソリューション(株)

各種実験・試験評価サービス、解析・技術コンサルティングサービス、検査サービス

月島環境エンジニアリング(株)

環境改善および各種化学工業・一般産業装置・機器の設計、製造、販売

サンエコサーマル(株)

産業廃棄物、一般廃棄物の中間処理業（焼却）

寒川ウォーターサービス(株)

寒川浄水場排水処理施設等の事業運営

編集後記

Editor's Note

西田 克範 総責任者

例年より早い桜の開花に心のなごみを感じながら、また、新年度のスタートに気が引き締まるなか、TSK技報第7号を予定通り、発刊することができました。そして念願がかない、本号よりお客様をはじめとして社外へ配布することに致しました。

これまでの多くの執筆者の方々、新旧の編集委員ほか、関係者の尽力のもと、'04年春の創刊号から6号まで3年間社内用に発刊してきましたが、本号でやっと帆を揚げ、大海原へ初めて出航する新船の気持ちに似て、感慨深いものがあります。

今後、本技報を通じ、社内外の皆様と技術を軸に一層の

コミュニケーションを深めることができると確信しております。そしてTSKの技術にさらに磨きが掛かり、技術で社会に貢献できれば望外の喜びです。読者の皆様には技術内容についてはもちろん、ご意見ご要望を是非ともお願いしたいと思います。

本号ではTSKグループの新しい技術を意識的に集めて特集と致しました。年に2回の発刊でまだまだ未熟なレベルの技報ですが、技術陣、編集委員ともども、精一杯努力して参ります。

今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

TSK技報 NO.7 2007
年2回(4月・10月)発刊

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:西田 克範

編集委員長:吉越 昭雄

編集委員:高橋 正純

荒井 健

和泉 俊彦

迎 崇博

佐藤 教子

柴川 満

千代島 有里

山口 彩子



TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp