

TSK 技報

2010
Spring

No. 13

月島機械株式会社

TSK 月島機械株式会社

www.tsk-g.co.jp

特集

過給式流動炉を利用した
下水汚泥焼場におけるNO_x-N₂O排出特性

新型吊下分離機の開発

固定床触媒反応器による
パラジクロロベンゼン製造プロセスの開発

技術紹介

プラズマアシスト蒸着法(PAD)の
樹脂フィルム基材上ITO成膜への展開

製品紹介

月島機械における製造管理システムへの取り組み
Dual Reflux式PSAによる溶剤回収

目次

4	巻頭言 開発とエンジニアリング	取締役兼執行役員 エンジニアリング本部副本部長 中島 和男
6	特集1 過給式流動炉を利用した下水汚泥燃焼場におけるNO _x -N ₂ O排出特性	独立行政法人産業技術総合研究所 村上 高広・北島 暁雄・鈴木 善三／長沢 英和
11	特集2 新型吊下分離機の開発	阿部 研・渡會 知則
16	特集3 固定床触媒反応器によるパラジクロロベンゼン製造プロセスの開発	川端 友寛／北九州市立大学 浅岡 佐知夫
23	技術紹介 プラズマアシスト蒸着法 (PAD) の樹脂フィルム基材上 ITO 成膜への展開	丸田 和彦
28	製品紹介1 月島機械における製造管理システムへの取り組み	岸波 和人
32	製品紹介2 Dual Reflux式PSAによる溶剤回収	月島環境エンジニアリング 藤澤 良成
36	ティーブレイク“月島茶房” 砂糖の話	茂木 淳浩
38	会社概要・編集後記	

TSK 技報

No.13 2010

CONTENTS

4	Foreword	NAKAJIMA Kazuo, Board Member, Executive Officer Deputy General Manager, Engineering Division
6	Paper1 <i>NO_x and N₂O Emission Characteristics during Sewage Sludge Combustion in a Fluidized Bed Incinerator with Turbocharger</i>	MURAKAMI Takahiro / KITAJIMA Akio / SUZUKI Yoshizo / NAGASAWA Hidekazu
11	Paper2 <i>Development of New Fully Automatic Sugar Centrifugal</i>	ABE Ken / WATARAI Tomonori
16	Paper3 <i>Development of para-dichlorobenzene production process with fixed-bed catalytic reactor</i>	KAWABATA Tomohiro / ASAOKA Sachio
23	Technology Introduction <i>The application of Plasma Assisted Deposition (PAD) for ITO on flexible substrate made of plastic</i>	MARUTA Kazuhiko
28	Product1 <i>TSK-MES (Traceability, Safety, Know-how communicability Manufacturing Execution System)</i>	KISHINAMI Kazuhito
32	Product2 <i>Solvent recovery by the Dual Reflux PSA</i>	FUJISAWA Yoshinari
36	Tea Break	MOGI Atsuhiko
38	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



世界自然遺産・青森県白神山地の麓
「十二湖」の春の風景

開発とエンジニアリング



中島和男

取締役兼執行役員
エンジニアリング本部副本部長

【商品開発とコストダウンは企業存続の必須条件】

技術で生きる会社にとっては、商品開発とコストダウン(改善活動を含む)は自動車に例えれば両輪であり、そのどちらか一方が欠けても会社存続はおぼつかない。つまり、お客様が求める機器・プロセス・システムを開発し商品化し、それらの改善改良を繰り返すこと、そして、コストダウンを行い常にお客様の期待・要求に応え続けることは企業存続の必須条件である。一方、それら商品(機器、装置、プラント設備、維持管理)をお客様に提供することで得る利益は開発費用にも当てられるわけであり、所定の品質・納期・コストで仕上げて少しでも多くの利益を生み出すための仕組みであるエンジニアリング手法も改善改良が求められる。

【開発成果を得るためのエンジニアリング手法】

よく言われることではあるが、研究開発に限らず物事をやり遂げる為には、担当者の熱意と情熱が不可欠である。実話に基づくテレビドラマで研究開発に没頭・苦悩しながらも熱意と情熱で課題を克服する技術者や、それを支える同僚を根性物語風に描き感動を呼んだことは記憶に新しい。確かに、その通りであり否定する者はいないが、知識と能力が伴っていることが前提である。更に開発品が市場の要求にマッチしていなければ企業にとっては無用の長物となり、上市が競合に遅れをとってしまえば先行者利益は得られず、技術に未完成部分がある事を見逃して商品化すれば大きな代償を支払うことになることは自明の理である。したがって、テーマ発掘から商品化までの研究開発のエンジニアリング手法(やり方、考え方、仕組み)は非常に重要である。

最近の当社の商品開発の実績では、汚泥関連の設備・機器を製品化できた成功例(汚泥炭化設備、本稿掲載の過給式流動焼却炉)がある。商業プラントとしての稼働はこれからではあるものの、カーボンニュートラル、省エネルギーでCO₂削減による地球温暖化防止にマッチした社会貢献ができる商品である。もちろん、当社への相応の利益貢献も期待できることから、社会、そしてお客様とWIN-WINの関係を築けると確信している。技術の完成度を更に高め、当社の将来を担う商品として育てて行かねばならない。それと同時に、人的資源等の制約はあるが、これらを越える新たな技術に目を向けること、即ち、技術開発の継続を図らねばならないことはいうまでもない。

一方、新開発プロセスを使ったプロジェクトで、完成までに予想以上の時間と労力を費やしたという事例もある。今、振り返ってみると、担当者は熱意と情熱を持って業務に取り組んでいたが、知識経験不足の補完/開発段階でのテスト/データ採取と分析/課題抽出と解決/技術完成度の評価/スケジュールと予算管理等の各種手法(やり方、考え方、仕組み)、および、人人体制/管理体制、つまり開発業務のエンジニアリングに反省すべき部分があった。また、知識経験の不足を補完する目的も含めた社内外有識者による開発状況の点検、議論および助勢の方法には改善の余地がある。一方、知識も経験もあったが、エンジニアリング手法が不十分であったため、当社の技術力が十分に発揮されないまま設備化されてしまった事例もある。同様な事態を再発させないように、この反省点を開発業務及び開発技術の実設備化に生かさねばならない。

新商品は一朝一夕に開発できる物ではなく、必ず成果が出るというものでもない。それは、他社でも苦勞していることである。だからこそ、テーマ選定、目標設定(仕様、コスト)、テスト・解析・評価、外部技術の入手などの手順と手法、予算とスケジュール管理方法、つまり開発業務のエンジニアリング手法に関する様々な事例集・指導書が刊行されている。目的の物(設備・機器・役務)を所定の品質・納期・コストで創り上げる手法のことをプロジェクトマネジメント/エンジニアリングと一般的には呼んでいるが、その拠って立つところは、開発手法でも同じあり、当社に適した開発エンジニアリングが求められる。

情熱・熱意・経験・知識・能力、そして、適切な開発エンジニアリングの実行が伴って初めて目的の開発成果が得られる。現在、当社はフェーズゲート方式などの開発手法を取り入れながら開発業務を行っている訳であるが、開発担当者は妥協せず決めた事をきっちり実行し、たとえ開発担当者でない者も一人ひとりが開発に関心を持ち、知恵を出し合えば、当社を支える次の新商品を開発上市できると確信している。

【業務手法の開発】

技術開発のエンジニアリング手法だけでなく、事務管理(財務、総務、人事)、EPC(Engineering, Procurement, Construction)、機器製造、維持管理などの業務もエンジニアリングの一種であり、その手法についても改善改良の継続は重要である。過去においては「QC活動」による業務改善運動を実施したこともあったが、これ

は、部門内の改善改良活動という位置付けに留まりがちであった。そこで、従来手法を見直し「あるべき姿」を構築することにより業務効率と品質の向上を図ること、そして、手作りのITシステムを最新のシステムにすることを目的として2002年末にTBR活動(Tsukishima Business Process Re-engineering)を開始した。

これは業務改善の域を越え、新しい業務手法の開発と言って良いものである。社外コンサルタントの力を借り、当社の規模・商品・リソース(人、技術、予算)に適した月島機械流の業務手法(あるべき姿)とそれを補完するITシステムを開発(再構築)したものである。その結果、管理業務および技術業務の改訂/標準化/可視化、技術データの一元化などが図られ、業務効率と品質の向上並びに意識改革に大きな成果が出ている。しかし、その成果を定量的に評価すると、必ずしも初期の目標に達していない部分もある。商品開発、およびコストダウン活動と同様に業務改善活動(業務手法の開発)の継続は企業存続のための必須条件である。技術的な進歩の著しいツールとしてのITを積極的に活用し、今後とも「継続は力なり」をモットーに、TBR活動を地道に継続しなければならない。

また、現在直面しているような生産拠点の海外シフトの加速、環境・エネルギー関連ビジネスの台頭といった事業環境の転換期においては、たとえ最近開発改善した業務手法であっても社会・業界の変化に対応するためには改訂しなければならない場面もある。同様に、業務を実施する上での考え方・姿勢(当社の文化)も社会・業界の変化に応じて変える事も必要である。「変わる」ことは勇気と決断が求められるが、熱意と情熱を持って従前の形にとらわれることなく変わらねばならない。

【おわりに】

お客様から月島機械は、いい意味でも悪い意味でも真面目な会社だと言われることがある。この長所の部分を生かし、愚直に、そして真摯に社会・業界・お客様と対面し、技術を持って産業の発展と環境の保全に寄与し社会に貢献するという企業理念を達成していきたい。

過給式流動炉を利用した下水汚泥燃焼場における NO_x-N₂O 排出特性

NO_x and N₂O Emission Characteristics during Sewage Sludge Combustion in a Fluidized Bed Incinerator with Turbocharger

Abstract

A new type of sewage sludge incinerator that combines a pressurized fluidized bed combustor and a turbocharger driven by flue gas was proposed. The nitrogen content of the sewage sludge is considerably higher than that of other solid fuels. Thus NO_x and N₂O emissions are anticipated to be high. The objectives of our study were to clarify the effect of operating pressures on NO_x and N₂O emissions using a laboratory-scale pressurized fluidized bed combustor (PFBC), and to compare NO_x and N₂O emissions in our proposed combustor and a conventional combustor, which is operated at atmospheric condition, using a demonstration plant. Additionally, a computational analysis was made for the demonstration-scale combustor, and the calculation results were compared with the experimental results. Fundamental experiments showed that NO_x emissions were strongly dependent on the operating pressure, as has been observed previously for NO_x emissions in coal combustion. In contrast, N₂O emission was only weakly dependent on the operating pressure but was strongly dependent on the freeboard temperature. For the demonstration-scale combustor, NO_x and N₂O emissions in the flue gas under pressurized conditions were less than half of those observed under atmospheric conditions. In the pressurized combustor, a rapid increase in temperature was observed, and the position showing the highest temperature moved toward the bottom of the freeboard. These results indicate that N₂O was decomposed in a high-temperature zone formed locally in the freeboard. The temperature distributions in the combustor can be predicted quantitatively by computational analysis.

本研究では、加圧流動層炉と過給機を組み合わせた新型の下水汚泥焼却炉（過給式流動炉）を提案した。下水汚泥中には、他の固体燃料と比較して N 含有量が高く、NO_x および N₂O の排出量が懸念されている。そこで本研究では、研究室規模の加圧流動層燃焼炉により、NO_x および N₂O 排出特性における圧力の影響を明らかにした。また過給式流動炉実証プラントにより、排ガス中の NO_x および N₂O 排出濃度を、従来型の常圧流動炉のそれらと比較した。さらに、実証プラント規模の燃焼炉に対するシミュレーション解析も行い、計算結果と試験結果とを比較・考察した。基礎実験より、排ガス中の NO_x 濃度は、石炭燃焼の場合と同様、運転圧力に強い依存性を示した。一方 N₂O 濃度は、運転圧力よりも燃焼炉内のフリーボード温度に強い依存性を示すことが分かった。実証プラント試験では、過給式流動炉の方が常圧流動炉よりも、排ガス中の NO_x および N₂O 濃度を半分に以下に低減できた。過給式流動炉では、フリーボード下部に局所的な高温域を形成し、そこで N₂O は分解されるために低減できる。その燃焼炉内温度分布は、シミュレーション解析により予測することができた。

キーワード：下水汚泥、加圧流動層、燃焼、排ガス特性、NO_x、N₂O、温度分布、シミュレーション
 Keyword : Sewage sludge, pressurized fluidized bed, combustion, flue gas characteristics, NO_x, N₂O, temperature distribution, computational analysis

村上 高広
 MURAKAMI Takahiro
 独立行政法人 産業技術総合研究所
 エネルギー技術研究部門

北島 暁雄
 KITAJIMA Akio
 独立行政法人 産業技術総合研究所
 エネルギー技術研究部門

鈴木 善三
 SUZUKI Yoshizo
 独立行政法人 産業技術総合研究所
 エネルギー技術研究部門



長沢 英和
 NAGASAWA Hidekazu
 研究開発本部
 研究開発部
 プロジェクトグループ

廃棄物学会
 環境システム計測制御学会

1 はじめに

下水汚泥の排出量は年々増加しており、その処理方法の一つとして焼却が挙げられる。本研究では、加圧流動層炉と過給機を組み合わせた過給式流動システム（図1）を提案し、前報¹⁾では、システムの特徴および北海道の長万部町に建設した実証プラントの運転特性について報告した。下水汚泥中には、石炭や木材などの他の固体燃料と比較して N 含有量が高く、NO_x および N₂O の排出量が懸念されている。とくに、N₂O の地球温暖化係数は CO₂ の 310 倍と高く、その排出量の低減がシステムを運用する上で重要となる。そこで本報では、システム中の加圧流動層燃焼炉（Pressurized Fluidized Bed Combustor; PFBC）に着目し、以下の方法により、下水汚泥からの NO_x および N₂O 排出特性における圧力の影響を明らかにすることを目的とした。

- ・産総研の実験室内にある研究室規模の加圧流動層燃焼炉により、広範な運転圧力条件で基礎燃焼実験を行い、NO_x および N₂O 排出における圧力の影響を明らかにする。
- ・北海道長万部町の実証プラントにより燃焼試験を行い、排ガス中の NO_x および N₂O 排出濃度を測定し、従来型の常圧流動炉のそれらと比較する。またその相違について、燃焼炉内温度分布の比較により考察する。
- ・シミュレーション解析により、流動層燃焼炉内の温度分布における圧力の影響について理論的に考察する。

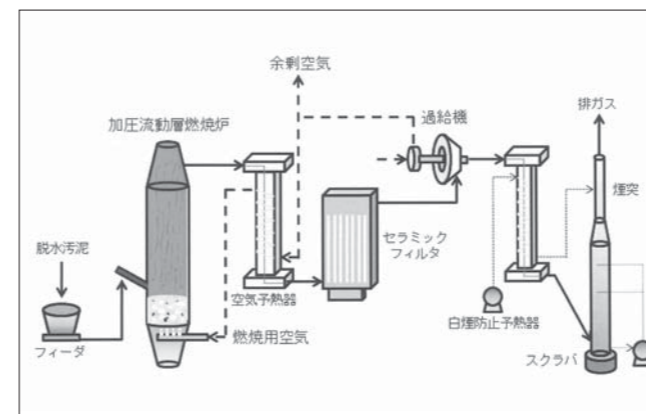


図1 過給式流動層システムの概略図
 Fig.1 Schematic diagram of a pressurized fluidized bed combustor combined with a turbocharger

2 実験方法および条件

2.1 研究室規模の加圧流動層燃焼炉による基礎燃焼実験

図2に加圧流動層燃焼システムの全体構成を示す。加圧容器（内径：1200mm、高さ：3200mm）内にバブリング流動層燃焼炉（反応管内径：80mm、高さ1200mm）を設置し、各種制御装置は容器の外部に設置することで、電気炉や供給空気量を操作した。コンプレッサーで製造された加圧空気は、加圧容器内へ所定の圧力条件になるまで供給した。流動層実験装置内の空気量を計測するために、その配管を一旦容器外に導き、マスフローメータで計量した後、再び容器内に

戻し、装置下部へ接続して供給する構造とした。圧力容器内の圧力は、容器内の温度変化、流動層の層高変化、流路の圧力損失の変化による空気流量の変化などにより若干変化する。このため、マスフローコントローラを手動制御することにより、容器内の圧力を一定に保った。運転中の温度は、熱電対により砂層内（T_{b1}：50mm、T_{b2}：300mm）およびフリーボード（T_{fb1}：800mm、T_{fb2}：1200mm）で各2点測定した（括弧内の数値は分散板からの高さ）。燃料はモノポンプにより、所定温度に到達後、装置最上部の垂直投入管より連続供給した。流動媒体には7号珪砂（平均粒径：約240μm）を使用し、静止層高で300mmとなるように充填した^{2),3)}。

実験条件として、燃料は表1に示す実脱水汚泥を使用した。運転圧力は0.2、0.3および0.6MPaの3条件とし、砂層温度は1000～1200K、流動条件は最小流動化速度の約3倍とした。燃焼後の排ガスは、セラミックフィルタで脱塵し、大気圧まで減圧した後、ガス中の水蒸気をインピンジャーにより凝縮除去させ、ガス分析計により排ガス中の NO_x および N₂O 濃度を測定した。

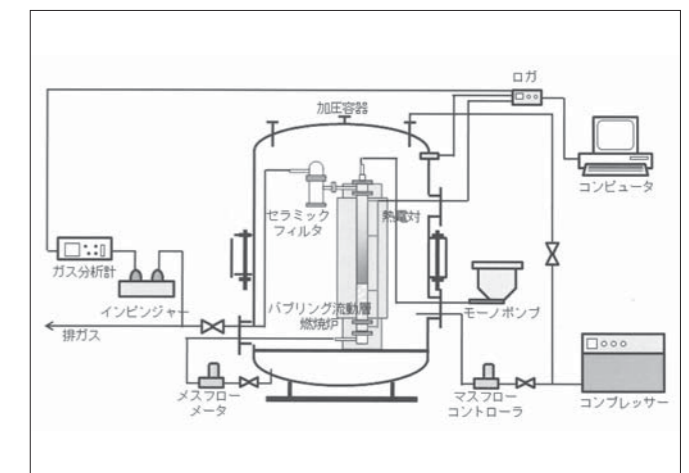


図2 研究室規模の加圧流動層燃焼システムの概略図
 Fig.2 Schematic diagram of a laboratory-scale PFBC system

表1 基礎実験で利用した脱水汚泥性状
 Table1 Properties of the sewage sludge used for fundamental combustion tests

工業分析値 [wet, wt.%]	水分	78.0
	揮発分	13.9
	固定炭素	1.8
元素分析値 [dry, wt.%]	灰分	6.3
	C	29.8
	H	4.0
	N	5.0
高位発熱量 [MJ/kg (dry)]	S	1.1
	O	31.4
		17.10

2.2 実証プラントによる燃焼試験

図3に実証プラントの概略図を示す。本プラントは、主に燃料フィーダ、加圧バブリング流動層燃焼炉、空気予熱器、セラミックフィルタ、過給機および煙突からなる。燃焼炉は内径700mm、高さ9200mmで、炉内温度は熱電対により測定した(砂層内:300および600mm、フリーボード:1300, 3000, 4600および6800mmの計6点、数値は分散板からの高さ)。流動媒体は、平均粒子径が400および700μmの混合珪砂を使用した。定常運転中の層高は950mmであった。過給機は、貨物自動車のディーゼルエンジンに搭載されている汎用品を使用した。本プラントの運転手法は前報^{1),4) 6)}による。実験条件は、脱水汚泥供給量は180~190kg/hとし、砂層温度で1000~1050K、圧力は約0.2MPaとした。空気比は排ガス中のO₂濃度ベースで約1.6とし、流動条件は最小流動化速度の約6倍とした。

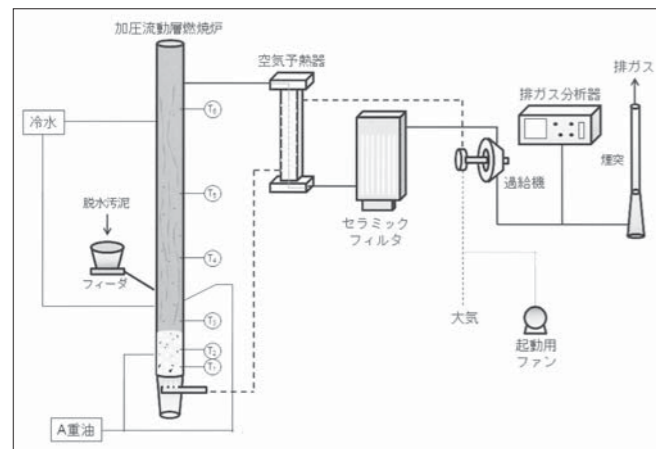


図3 実証プラントの概略図
Fig.3 Schematic diagram of a demonstration plant

2.3 シミュレーション解析

実証規模の流動層燃焼炉内の温度分布について理論的に考察するために、汎用詳細化学反応計算ソフトCHEM₃KIN⁷⁾ IIIパッケージを使用してシミュレーション解析を行った⁸⁾。使用した燃焼反応式(化学種:49、素反応:277)は、GRI-Mech サイトより引用した⁹⁾。実証プラントの条件を模擬するために、脱水汚泥(性状は表2)およびA重油供給量は、180および20kg/hにそれぞれ設定し、空気比は1.5とした。熱損失は、断熱および燃焼炉から周囲雰囲気への熱移動を考慮した場合の2条件を行った。熱移動については、周囲温度は360K(実測値)、総括熱伝達率(h)を2.8および5.6 W/(m²K)に設定した。圧力は常圧流動炉と加圧流動炉の運転条件を考慮し、0.1および0.3MPaの2条件とした。両圧力条件において、ガス速度を一定にするため、燃焼炉の高さは圧力に依らず一定とした。計算開始点は、砂層最上部、すなわちフリーボード最下部とした。

フリーボード入口のガス組成が初期条件として計算に必要であるため、主要なガス組成(H₂, CO, CH₄, CO₂, H₂O, O₂およびN₂)について、脱水汚泥の乾燥および熱分解、A重油の燃焼は砂層内で完了すると仮定し、これら燃料の物質およびエネルギー収支により、表3のようにガス組成を決定した。SO₂については、少量であったために省略した。

表2 シミュレーションで使用した脱水汚泥性状
Table2 Properties of the sewage sludge used for calculations

		脱水汚泥
工業分析値 [wet, wt.%]	水分	86.6
	揮発分	9.89
	固定炭素	1.49
	灰分	2.02
元素分析値 [dry, wt.%]	C	43.6
	H	6.97
	N	7.27
	S	0.82
	O	26.2
高位発熱量	[MJ/kg (d.b.)]	20.2

表3 フリーボード入口のガス組成
Table3 Estimated gas compositions at the inlet of the freeboard

ガス	モル分率 [%]
H ₂	0.0039
CO	0.0097
CH ₄	0.0117
CO ₂	0.0513
H ₂ O	0.3199
O ₂	0.0585
N ₂	0.5450

3 結果および考察

3.1 基礎燃焼実験によるNO_xおよびN₂O排出特性

研究室規模のPFBCにおけるNO_x排出の運転圧力の影響について図4に示す。本図より、NO_x排出濃度は運転圧力に依存し、圧力が高くなるに連れてその濃度は低くなっている。本傾向は、石炭燃焼の場合と同様である¹⁰⁾。石炭燃焼では、層内でチャーによるNOの還元効果が、圧力が増加するに連れて高くなることにより、NO_x濃度は低くなると考えられる。したがって、本研究で使用した揮発分の燃焼が主体である脱水汚泥の燃焼においても、このような加圧の効果があるといえる。さらに、汚泥中の水分はとても高いため、OラジカルやOHラジカル濃度に影響を与え、NO生成反応を抑制する効果がある¹¹⁾、加圧条件により水蒸気分圧が高くなるので、NO_x抑制効果も大きくなると推測できる。

図5にN₂O排出濃度とフリーボード温度との関係を示す。本図より、NO_x-N₂Oのトレードオフの関係より、圧力が高くなるに連れて、N₂O濃度は若干高くなる傾向にあるが、フリーボード温度に強い依存性を示した。フリーボード温度が高くなるに連れて、その濃度は低くなっている。したがって、脱水汚泥の燃焼では、加圧条件においても、燃焼炉内のフリーボード温度で排ガス中のN₂O濃度を整理できる。

3.2 実証規模によるNO_xおよびN₂O排出濃度の比較

表4に過給式流動炉における排ガス中のNO_x濃度およびN₂O排出係数を、常圧流動炉におけるそれらと併せて示す^{12),13)}。N₂O排出係数とは、1トンの脱水汚泥から排出されるN₂O量で定義される。結果として、両濃度とも過給式流動炉の方が、常圧流動炉よりも半分以下の濃度に低減できることが分かった。NO_xについては、基礎実験結果から得られたように、加圧により層内でチャーによるNO還元効果の増大、

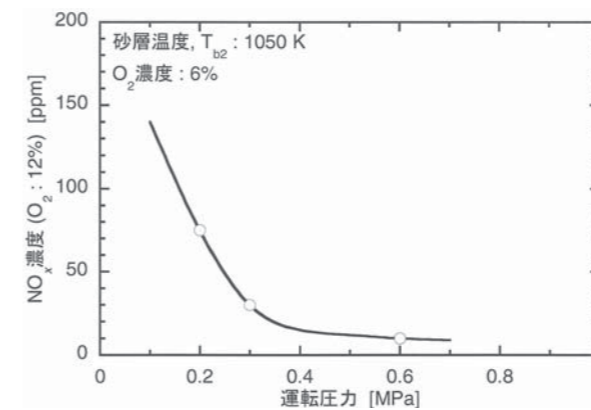


図4 排ガス中のNO_x濃度と運転圧力との関係
Fig.4 Relationship between NO_x emissions in the flue gas and operating pressure

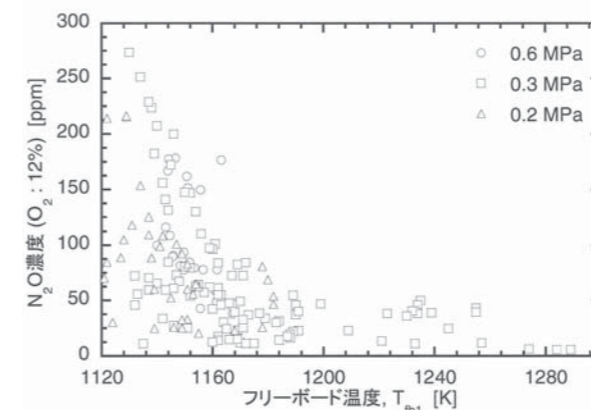


図5 排ガス中のN₂O濃度とフリーボード温度との関係
Fig.5 Relationship between N₂O emission in the flue gas and freeboard temperature

表4 実証プラントにおける過給式流動炉および従来型常圧流動炉とのNO_xおよびN₂O排出濃度の比較
Table4 Comparison of NO_x and N₂O emissions for the pressurized and conventional plants

	従来型常圧流動炉	過給式流動炉
NO _x emissions (O ₂ :12%) [ppm]	100	31.5
N ₂ O emission factor [g-N ₂ O/t-de-watered sludge]	645	280

高水蒸気分圧によるNO生成の抑制効果の増大によるものといえる。一方N₂Oについては、基礎実験では、圧力が高くなるに連れて、その排出濃度は若干増加する傾向にあったが、実証プラントでは過給式流動炉の方が半減した。基礎実験では、燃焼炉内のフリーボード温度を電気炉により独立に制御していたため、ここでは実証規模での燃焼炉内温度分布に着目し、両炉での比較を行った。結果を図6に示す。本図中の常圧流動炉の温度分布は、本実証プラントと同規模の運転データを採用した¹⁴⁾。両流動炉とも砂層内の温度が最も低く、ここでは汚泥燃料の乾燥および熱分解が起こっていると考えられる。一方、フリーボード温度においては、両炉間に顕著な差異が生じた。過給式流動炉では、分散板より3000mm付近のところで局所的な高温域を形成し、その後、出口へ向かって温度は減少している。砂層温度条件を変化させても、同様の結果が得られた。これは、加圧により燃焼速度が促進されたことで、砂層内で熱分解したガスが、この付近で燃焼していると考えられる。一方、常圧流動炉では、過給式流動炉よりもフリーボー

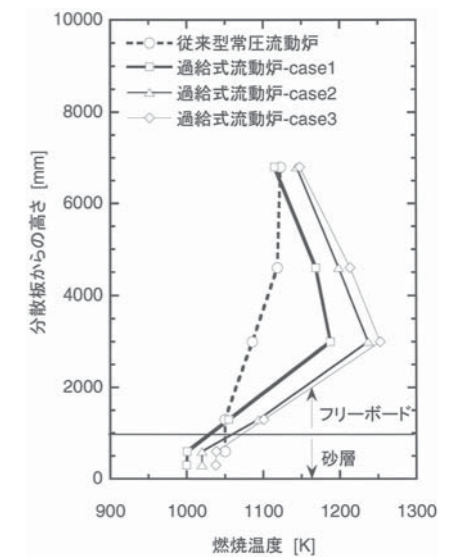


図6 実証プラント規模における過給式流動炉および従来型常圧流動炉の燃焼炉内温度分布の比較
Fig.6 Comparison of temperature distributions observed in combustors operated under atmospheric and pressurized conditions for the demonstration plant scale

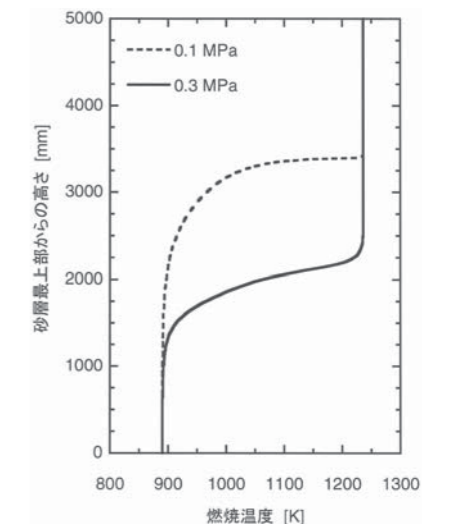


図7 シミュレーションによる断熱条件でのフリーボード内温度分布の圧力による影響
Fig.7 Effect of pressure on temperature distributions in the freeboard under the adiabatic conditions by calculation

ド内の温度上昇が緩慢であることから、熱分解ガスはフリーボード全体で燃焼していると考えられる。したがって、過給式流動炉では、フリーボード下部の局所的な高温域でN₂Oが分解され易くなるため、その排出量を低減できるといえる。

3.3 シミュレーションによる燃焼炉内温度分布の圧力による影響

前節では、排ガス中のN₂O濃度は、過給式流動炉の方が常圧流動炉よりも半減でき、これは炉内温度分布の差異によるものと考えた。ここでは、燃焼反応式を組み込んだシミュレーション解析により、圧力による燃焼炉内温度分布の差異について理論的に考察した。図7に計算で得られた断熱条件におけるフリーボード内温度分布の圧力による影響について示す。本図より、圧力が高くなると温度の立ち上がりは速くなっており、フリーボードの下部で最高温度に達している。これは

加圧の効果により、特定の素反応の化学反応速度が促進されたことによると考えられる。したがって、圧力が高くなるほど、温度はフリーボード下部でシャープに上昇することが分かった。

つぎに、加圧条件において、燃焼炉内の熱損失を考慮した結果を図8に示す。熱損失が高くなるほど、温度の立ち上がりおよび最高温度への到達は、フリーボード上部へ移動しており、最高温度到達後、炉の出口へ向かって温度は低下している。これは、図6に示す過給式流動炉の温度分布の傾向と一致する。図9には、総括熱発生速度で整理した結果を示す。総括熱発生速度とは、各素反応の熱発生速度の総和で定義される。本図より、各条件における最高温度到達点と総括熱発生速度がピークとなる領域は一致している。熱損失が高くなるほど、総括熱発生速度の生成はブロードになる傾向にあり、これは熱損失が高くなるに連れて、特定の素反応の化学反応速度が遅くなることによる。したがって、実証規模の燃焼炉内の温度分布は、ガス燃焼反応式を組み込んだシミュレーション解析により予測できることが分かった。

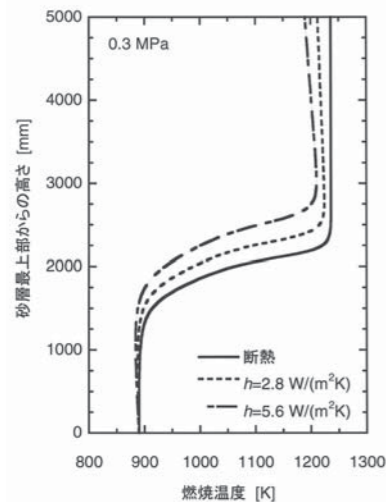


図8 シミュレーションによる加圧条件下でのフリーボード内温度分布の熱損失による影響
Fig.8 Effect of heat loss on temperature distributions in the freeboard under elevated pressure by calculation

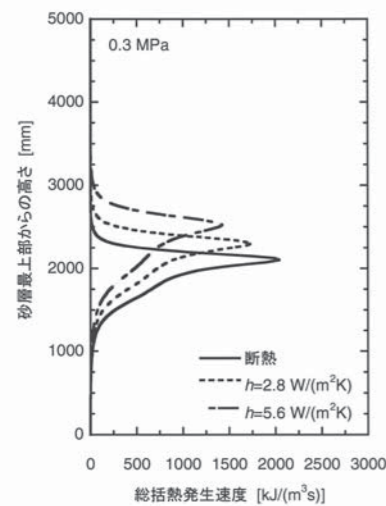


図9 シミュレーションによる加圧条件下での熱発生速度の熱損失による影響
Fig.9 Effect of heat loss on heat production rates in the freeboard under elevated pressure by calculation

4 まとめ

本研究により、得られた成果を以下に示す。

- 1) 研究室規模の加圧流動層燃焼炉による基礎実験より、排ガス中のNO_x濃度は、圧力が高いほど層内でのチャーによるNO還元効果、および高水蒸気濃度によるNO生成抑制効果により低くなることが分かった。一方、排ガス中のN₂O濃度は、燃焼炉内のフリーボード温度分布が同等の条件であれば、圧力が高くなるに連れて若干増加する傾向にあるが、フリーボード温度に強い依存性を示すことが分かった。
- 2) 過給式流動炉実証プラントによる燃焼試験より、過給式流動炉では、常圧流動炉よりも排ガス中のNO_xおよびN₂O濃度を半分以下に低減できることが分かった。とくにN₂Oについては、過給式流動炉では、フリーボード下部に局所的な高温域を形成し、そこでN₂Oは分解されるために低減できる。
- 3) 燃焼反応式を組み込んだシミュレーション解析により、実証規模の燃焼炉内温度分布の圧力による影響を予測することができた。

5 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託による「都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発」のプロジェクトにおいて実施した成果の一部、および月島機械株式会社および三機工業株式会社との共同研究において実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 長沢英和ら：過給式流動層燃焼設備の実証運転、TSK 技報、p.6~13、2008
- 2) 村上高広ら：過給式流動炉における下水汚泥の基礎燃焼特性、高温学会誌、p.166-170、2008
- 3) 村上高広ら：研究室規模の加圧流動層燃焼炉による下水汚泥の排ガス特性に及ぼす圧力の影響、高温学会誌、p.9-12、2010
- 4) 村上高広ら：過給式流動炉実証プラントにおける下水汚泥の燃焼特性評価、高温学会誌、p.81-84、2009
- 5) T. Murakami, et. al. : Combustion Characteristics of Sewage Sludge in an Incineration Plant for Energy Recovery, Fuel Proc. Tech., p.778-783, 2009
- 6) T. Murakami, et. al. : Combustion Characteristics of Sewage Sludge using a Pressurized Fluidized Bed Incinerator with Turbocharger, 20th Intl. Conf. on fluidized bed Combustion, p.877-882, 2009
- 7) 「CHEMKIN」はReaction Design社の登録商品
- 8) 北島暁雄ら：加圧型流動層炉運転時燃焼特性に関する詳細化学反応を考慮した数値解析、第47回燃焼シンポジウム、p.364-365、2009
- 9) C. T. Bowman : http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/
- 10) 鈴木善三ら：実験室規模の加圧流動層燃焼における窒素酸化物の生成特性—チャーによるNO_x分解—、日本エネルギー学会誌、p.773-779、2005
- 11) M. Shoji, et. al. : Modeling Study of Homogeneous NO and N₂O Formation from Oxidation of HCN in a Flow Reactor, Energy, p.337-345, 2005
- 12) 本多裕姫：次世代型下水汚泥焼却炉、地球環境、p.98-102、2001
- 13) 清水俊昭：地球温暖化とイベントリ、下水道新技術推進機構—下水道機構だより、2007
- 14) 平成17年度～19年度NEDO成果報告書：都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発、2008

新型吊下分離機の開発

Development of New Fully Automatic Sugar Centrifugal

Abstract

Fully Automatic Sugar Centrifugal has been widely used in the sugar industry in Japan and overseas. It is one of the main products of Tsukishima Kikai as it has delivered over 2,000 units so far. To cope with the recent needs generated in domestic and foreign markets, Tsukishima Kikai began to renew the Sugar Centrifugal in 2008, and the development took two years for completion. After test run with the actual 1.75 ton/batch type Sugar Centrifugal, it will be in market from 2010. By keeping good performance of the existing Sugar Centrifugal such as simple and very low trouble ratio, the renewal obtained increased capacity and much better sanitary-considered design. In addition, a permanent magnet was applied for up and down motion of parts contacting massecuite, which created a unique mechanism that enabled less consumable parts and occurrence of metal powder. This mechanism can be adopted for machine with a capacity of less than 1 ton/batch for the domestic market and may lead to develop new demands for replacing conventional Sugar Centrifugals.

吊下分離機は、砂糖用分離機として国内外で広く使用されており、月島機械はこれまでに2,000台を越える納入実績がある主力製品のひとつとなっている。近年の国内外の市場・客先ニーズに対応する為、吊下分離機をリニューアルする事とした。2008年から2年間をかけ開発、1.75ton/batch実機テストを経て2010年より上市する。新型機は、既存機のシンプルで故障が少ない特徴は踏襲し、サイクル数増加とサニタリー性向上を果たした。また、接液廻り機構部に永久磁石を用い、消耗部品・摩耗粉がないユニークな機構も搭載した。

開発した機構は、国内の1.0ton/batch以下の機種に対しても適用出来、今後の装置更新需要を振り起こす魅力がある。

キーワード：サイクル数増加、サニタリー性追求、永久磁石

Keyword : Increase of cycle number, sanitary-considered design, permanent magnet



阿部 研

ABE Ken

エンジニアリング本部
機器設計部
分離グループ グループリーダー



渡會 知則

WATARAI Tomonori

エンジニアリング本部
機器設計部
分離グループ

1 はじめに

吊下分離機は、砂糖用分離機として国内外で広く使用されており、月島機械ではこれまでに2,000台を越える納入実績がある主力製品のひとつとなっている。吊下分離機はバッチ式分離機であり、1バッチ(1サイクル)あたりの処理量がバスケットサイズや分離機の高さを決定する為、各社1バッチあたりの処理量別にラインアップを構成している。性能差は「1バッチ(1サイクル)あたりの時間がいかに短いか」で比較され、1時間当たり何バッチ稼働するかを「サイクル数」と呼んでいる。モータのトルクが大きく、バスケット等の回転部品が軽量であれ

ばあるほど、回転上昇/下降時間が短くなる他、分離しやすいバスケットやスクリーンとすることで分離時間が短縮され、サイクル数が増加する。また、砂糖を排出する掻き取り時間を短くすることでサイクル数が増加する。

近年、当社が得意としている東南アジア・西アジアの砂糖工場は生産量を拡大してきており、吊下分離機も大型化してきている。また、価格的に安価な中国製も稼働し始めてきた。

この市場状況に対応し、欧米の競合他社は、性能面での優位性を保つ為、サイクル数を増加した新型機を開発し売り込みをかけている。また、国内の砂糖工場においては、稼働時間や使用期間が長い分離

機に対して、バスケットや掻取装置、モータや制御盤等の主要ユニットを新規に更新する事で対応している。更新する際、客先はより消費電力が少ない事や、消耗部品が少ない事、摩耗粉が製品に混入しない事を要望し、当社においても最新設計のユニットを提案し更新している。国内の様々な工場と同様に、砂糖工場においても、消費電力削減や機械装置へのサニタリー性向上に対する要求は厳しさを増してきている。

この様な市場背景・客先ニーズに対応する為、月島機械でも吊下分離機をリニューアルする事とし、2008年から実機テストを経て2年間のかけ開発、2010年より上市する。新型機は、既存機のシンプルで故障が少ない特徴は踏襲し、サイクル数増加とサニタリー性向上を果たした。また、接液廻り機構部に永久磁石を用い、消耗部品・摩耗粉がないユニークな機構も搭載した。

本稿では、新機構の特徴や実機テスト結果も含め、新型機の開発結果を報告する。

2 開発コンセプト

吊下分離機に対する市場ニーズより、以下を柱とした。

2.1 消費電力を増加することなく、1サイクル時間を削減する。

吊下分離機はバッチ式で、供給・加速・振り切り・減速・掻き取りのそれぞれの工程に対して時間短縮する必要があるが、加速・減速時間を大幅に短縮しようとすると、大きなモータトルクが必要となり、電力消費量がアップする。一方で、掻き取り工程は、掻取装置がエアシリンダで駆動する機構で構成されている為、シリンダストロークの短縮やシリンダ作動速度を早くする事で時間短縮可能であり、モータトルクに頼らなくて良い。従って、第一に掻き取り時間を短縮する機構を開発し、搭載する事とした。図1に吊下分離機の1サイクル工程と掻き取り時間短縮効果を示す。

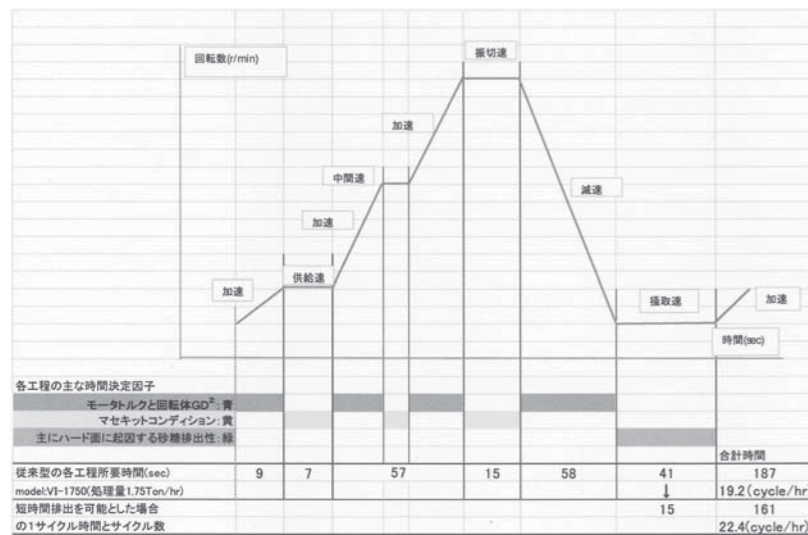


図1 吊下分離機の1サイクル工程と掻き取り時間短縮効果
Fig.1 One cycle process of Fully Automatic Suspended Type centrifuge and the validity of shortening discharging time

2.2 今後更に要求が高まるコンタミ防止ニーズに対し、

コンタミ発生要素を根本から排除した機構を搭載する。

接液となるバスケット廻りから機械的に摺動する部品を削減し、特に回転部と固定部が摺動する部品を接液部周りから完全に無くする機構を搭載する事とした。

図2に示す様に、当社の吊下分離機は従来からコーン型ケーシングで装置を覆っており、外部からのコンタミが入りにくい特徴があったが、内部機構をコンタミレスとする事で更に明確に差別化できる。国内ニーズを反映した最新機構を搭載することで、近い将来、国内並みに要求度が高まる海外顧客のコンタミ防止ニーズを先取りし、競合他社との差別化を図り優位性を保つ事が目的である。

3 コンタミレスで、短時間掻き取りする機構の開発と設計

3.1 バスケットバルブ下方開排出方式の採用

従来型はバスケット内部に設置されているバスケットバルブを上方にひきあげ、開口部(バスケットサポータの排出口)をあけ、砂糖をスクレーパで掻き取り排出していた(以降、上方開排出方式と呼ぶ)。競合他社は、バスケットバルブを下方にさげ開口部をあけて排出している(以降、下方開排出方式と呼ぶ)。

上方開排出方式(従来型)は下方開排出方式(競合他社)と比較し、排出時以外はバスケットバルブ下面とバスケット下面が接し開口部に蓋がされる為、マセキット漏れが発生しないメリットがある。一方で、排出時はバスケットバルブのコーン部で砂糖の流路が狭くなることから、砂糖が排出されにくく、結果として掻取時間を短くできないデメリットがあった。

新型機では短時間排出を可能とすべく、下方開排出方式を採用する事とした。採用するにあたり、他社構造を把握した上でデメリットやリスクに対して配慮した。



図2 1.75 ton-batch 吊下分離機外観
Fig.2 1.75 ton-batch Fully Automatic Suspended Type centrifuge

《デメリットに対する配慮》

競合他社は、バスケットバルブを保持する機構にバネやロータリジョイント等の機械部品を用いていた。定期的な点検や消耗部品の交換を実施しなければ定位置で保持できず、マセキット漏れやコンタミ発生に繋がる機構である。

新型機は、機械的摺動もせず、半永久的に定位置保持力が持続する永久磁石を用いる事でこのデメリットを解消した。図3にバスケットバルブ昇降装置の構造図を示す。支持部からの摩耗がなく、消耗部品も削減される。他社や類似機構を有する工業用機械と比べてもユニークな機構であり、特許申請中である。

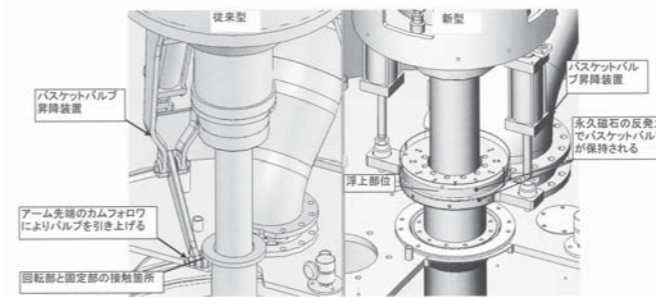


図3 バスケットバルブ昇降装置 構造図
Fig.3 Cut model of New basket valve device

また、永久磁石の特徴に対し、バスケットバルブに加わる負荷や実機の設置環境に対して設計的な配慮をした。

主な事項を以下に示す。

- ・永久磁石の特徴1: コストは磁石の大きさに比例する。互いの距離が近づくほど磁力が増す。
- 配慮事項: 磁石の反力は駆動シリンダに加わる。過剰な磁石を採用すると、装置自体が大型化すると同時に、コストアップにも繋がる。
- 互いの磁石間の磁力は、以下の式で表わされる。

$$F(N) = \frac{1}{4\pi\mu} \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

m_1, m_2 : 磁気量(wb) — 磁石の物性や大きさに依存する。
 r : 磁石間の距離(m)
 μ : 透過率(H/m) — 磁石が配置される廻りの環境(媒質)に依存する。

従って、同一の磁石を同一環境下で使用する場合、磁石間の距離と磁力は反比例する。バスケットバルブ重量以外に、マセキットが供給され、分散版へ落下する時の衝撃荷重等も考慮し、最適な磁力と距離を決定した。

- ・特徴2: 周囲温度150度以上で脱磁する。
- 配慮事項: 周囲温度は50度以下であり問題なし。
- ・特徴3: 衝撃に対して割れやすい。
- 配慮事項: 表面をステンレスでコーティングすると共に、互いの磁石が直接接触しない様に、安全ストッパを設けた。

《リスクに対する配慮》

下方開排出方式は月島機械として初採用であり、砂糖排出口となるバスケットサポータの形状を変える必要があった。バスケットサポータは下部シャフトと連結しており、駆動モータの回転力をバスケットに伝達する重要な回転部品であり、十分な強度が必要とされる。

この為強度解析を実施し、従来型と同等以上の強度を有する最適な形状とした。また、吊下分離機の下には砂糖搬送用のコンベアが配置される。特に複数台の吊下分離機がコンベア上に配置される場合には、バスケットサポータの回転風による砂糖の巻き上げが発生しない様にしなければならない。この為流体解析を実施し、従来型と同等以下の上昇流となる最適形状とした。図4に強度解析結果を、図5に流体解析結果を示す。

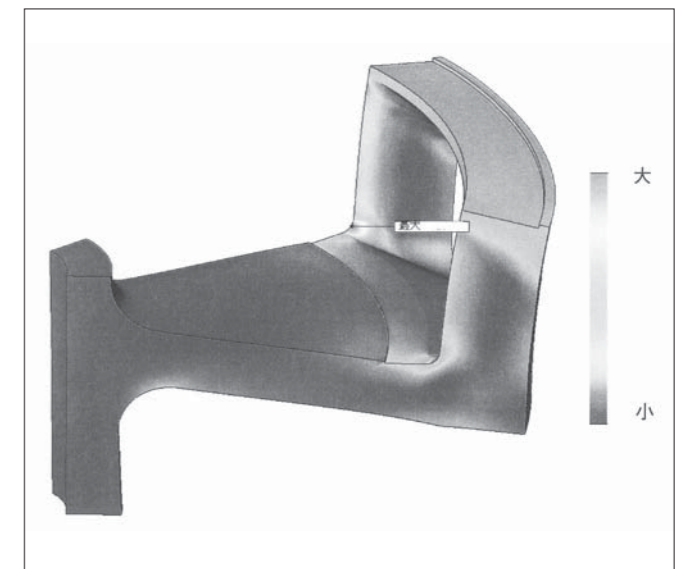


図4 バスケットサポータ応力コンター図
Fig.4 Result of FEM of Basket supporter

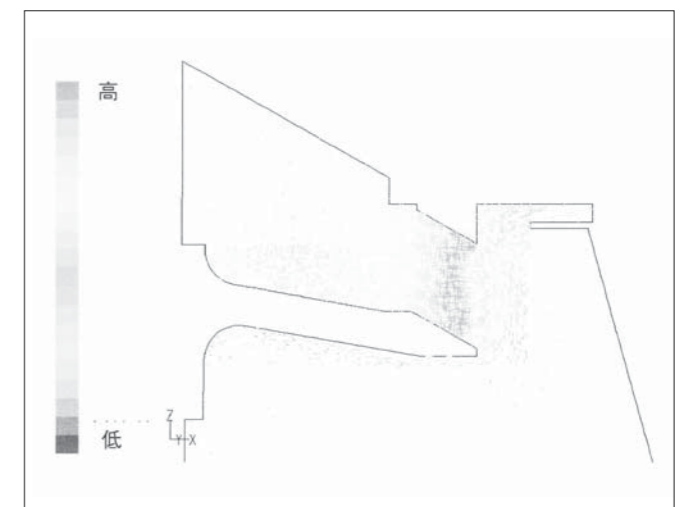


図5 バスケットサポータ廻りの旋回風速度ベクトル図
Fig.5 Result of Fluid numerical analysis of Basket supporter

3.2 大型スクレーパとコンタミ防止型垂直エアシリンダの採用

短時間掻き取りに対しては、スクレーパの上下幅を拡大し、スクレーパを垂直作動させる垂直エアシリンダのストロークを減少させることが有効である。

新型機には、マセキット供給時にマセキットとスクレーパが接触しない流路を確保する隙間を設けた上で、極力上下幅を拡大したスクレーパを採用する事とし、従来の垂直エアシリンダストロークを695mmから200mmとした。大型スクレーパの強度解析をFEMで実施し、十分な強度を確保すると共に最適な形状とした。

また垂直エアシリンダは、ストロークを減少すると共に消耗部品を削減した新機構とした。吊下分離機の掻取装置は、垂直エアシリンダのロッドがスクレーパと連結しており、水平入り戻りエアシリンダにより垂直シリンダ自体を回転させ、スクレーパを砂糖層にカットインさせている。従来型は垂直エアシリンダにキーを掛け、回転力を伝達させていたが、キーは定期的な交換が必要となる。また、シリンダ先端のロッドシールが摩耗してしまうと、シリンダロッドに付着したキーの摩耗粉が接液・接粉部となるロッド先端まで流出する可能性がある構造であった。

新型機ではキーレス構造の垂直エアシリンダとした。エアの供給管および排出管である2本のシリンダロッドをシリンダ内部に並列に配置し、スクレーパと連結する軸に回転力を伝達させる機構とした。図6に構造図を示す。消耗部品を削減し維持管理を容易で安価とすると共に、コンタミを防止した。

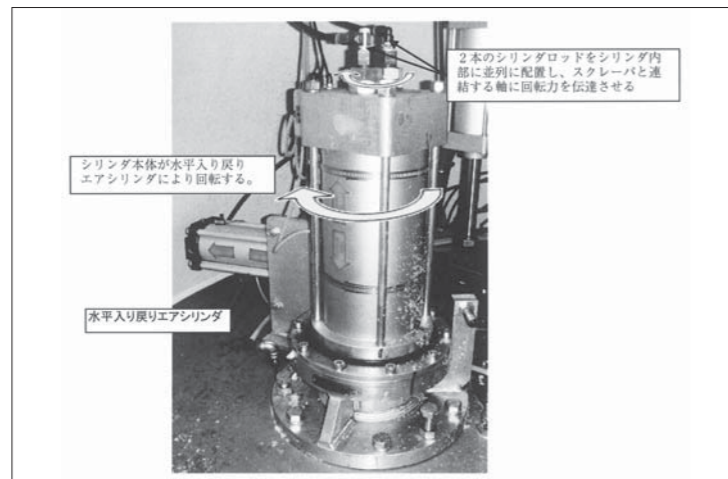


図6 コンタミ防止型(キーレス)垂直シリンダ 構造図
Fig.6 New vertical air cylinder

表1 新型機と従来機の仕様比較
Table1 Comparison of New centrifuge and Conventional one

	新型機	従来機
処理量(ton/batch)	1.75	同左
バスケットサイズ(高さmm x 内径mm)	1100 x φ1600	同左
設置スペース(□mm)	□2200	同左
モータ仕様	永久磁石モータ	同左
バスケットバルブ保持方式	永久磁石方式	カムフォロワ方式
バスケットバルブ開方向	下方	上方
垂直シリンダストローク(mm)	200	695
垂直シリンダ回転伝達方式	キーレス方式	キー方式
スクレーパ上下幅(mm)	895	400

4 運転性能評価テスト

短時間掻取機構の作動安定性を評価する為、実機を製作し、運転性能評価を行った。実機のサイズは、特に今後海外の砂糖工場で拡販が見込まれる1.75ton バッチとした。主な従来機との仕様比較を表1に示す。

4.1 無負荷運転テスト

新たに採用した機構に対し、作動安定性と作動スピードを主に確認する為、無負荷運転と各機構の作動を繰り返し行った。永久磁石を用いたバスケットバルブの作動も含め、作動安定性は十分確保されており、目標作動スピードである掻き取り工程時間 15(sec) 以内で作動できるハードである事を確認した。

4.2 実負荷運転テスト

日本国内は精製糖工場が多く、機器のサニタリー性に対する要求も厳しい。国内展開も視野に入れ、海外でも原糖工場ではなく精製糖工場に実機を設置し、実負荷運転テストを実施した。

このテスト結果をもとに、以下に示す更なる改良を加えた。

●非圧縮性流体を用いたハイドロチェッカーによるスクレーパ安定作動装置の採用

実機には、既に2.0ton バッチで採用し、砂糖の掻き取り残しが少ない掻き取り方式(以降正面掻き取り方式と呼ぶ)を採用した。正面掻き取り方式では、スクレーパを水平作動させる水平入り戻りエアシリンダの作動スピードを上げ、スクレーパを砂糖層に入り込ませると、砂糖によってスクレーパが更に砂糖層に入り込む状態となり、シリンダスピードよりも素早くスクレーパが水平入りしてしまう。大型スクレーパを採用するとこの状態が更に顕著になり、結果として、目標スピードで掻き取りしようとすると、大量の砂糖が一度に掻き取られ、砂糖排出口を塞いでしまう現象が発生した。

この現象は、水平入り戻りエアシリンダのエアが圧縮性を有する為に発生する。従って、作動スピードを安定化させる為に、非圧縮性流体が充填したシリンダ(以降、ハイドロチェッカーと呼ぶ)を配置し、安定作動を実現した。尚、駆動源は従来通りのエアであり、エア消費量も同様である為、消費電力増加はない。

ここで重要であるのは、接液部近傍に配置される掻取装置に、非圧縮性流体としてオイルを使用することは、従来型がエア駆動のみであったことに対して不利であり、食品機械では適用できない。従って、流体には水を用いた。

ハイドロチェッカーを用いる事で、目標スピードを達成し、安定して掻き取り出来ることを確認した。様々なマセキット性状や結晶の硬さで作動スピードが左右されず、装置としての安定性が向上した。

●新型掻取装置の電気的インターロックの追加

実際の運転では、結晶缶の切り替えタイミングやメンテナンス前等、供給量を絞った運転となる。供給量感知装置の供給レベルや、振り切り時間、ケーキ洗浄時間をオペレータが都度変更して運転すれば、結晶品質が安定し排出時の硬さも均一であるが、設定変更が適切でない場合、脱密すぎ/脱密不十分が発生する事もある。この場合、掻き取り時に砂糖がスクリーンから崩れて排出口を塞いだり、スクレーパに衝撃荷重が加わる等、通常運転では発生しない状態が起こりうる。このような状態においても、掻取装置に過大な負荷が加わらない様に、掻き取り中のスクレーパにかかる負荷をモータトルク値で監視し、掻き取り工程中はモータの能力を制限することにした。尚、このインターロック

は、掻き取り動作中のみ有効とし、加減速等、他の動作ではモータ最大能力が発揮される為、通常運転時のサイクル数には影響しない。

この様な改良を新型機に加える事で、安定運転と1サイクル時間が短縮可能であることを確認した。表2に実負荷運転結果を従来機との比較も含めて示す。

5 まとめ

新型吊下分離機は、現在でも海外工場では需要増加している1.75ton バッチ分離機を軸として開発完了し、2010年より受注活動を開始する。消費電力が低く、コンタミ防止可能なユニークな機構が搭載されており、サイクル数は欧米競合に引けをとらない実機が完成した。日本国内ニーズ対応・Made in Japanの特徴も分かりやすく色濃く出ており、海外のお客様に対しても魅力的な分離機であると自負している。また、国内向けは1.0ton バッチ以下が主流であり、今回開発した機構はスケールダウンすることで搭載可能であることから、機械的安全性に不安要素がない。サニタリー性に対して要求が厳しい異性化糖(ブドウ糖やセルロース等)を生産するお客様に対しても、装置更新し満足していただける機構である。

最後に、バスケットバルブ保持部に永久磁石を用いた機構は、機械的摩耗やコンタミを削減したい様々な工業機器に対する先駆けとしても注目して頂きたい新機構であり、今後月島機械の様々な装置への応用も期待される。

表2 新型機の実負荷運転結果と従来機の比較
Table2 Result of running test of New centrifuge

	新型機	従来機
処理量(ton/batch)	1.75	同左
機械サイクル数(duty cycle、cycle/hr)	26.1	21.0
実運転サイクル数(cycle/hr)	23.5	19.4
実運転掻き取り工程時間(s)	17.0	41.0
接液部廻りの回転部と固定部の摺動箇所数(コンタミ発生源の削減数)	従来機の2箇所に対し、新型機は無しとした。従来機では、接液部廻りの回転部と固定部の摺動箇所として、 ① バスケットバルブ昇降装置のアーム先端部 ② バスケットバルブ下端とバスケット下面があったが、新型機ではバスケットバルブ昇降装置に永久磁石を用いる事で、これらの摺動箇所を無くした。	

固定床触媒反応器による パラジクロロベンゼン製造プロセスの開発

*Development of para-dichlorobenzene production process with
fixed-bed catalytic reactor*



川端友寛
KAWABATA Tomohiro
研究開発本部
研究開発部
プロジェクトグループ

浅岡佐知夫
ASAOKA Sachio
北九州市立大学
国際環境工学部
教授

Abstract

Following the growth of polyphenylene sulfide (PPS) market, the demand of para-dichlorobenzene (PDCB) as a raw material of PPS is expected to expand. Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) obtained by license right with Nippon Light Metal Co., Ltd. (NLM), one of the leading PDCB suppliers in Japan, technical know-how of liquid phase chlorination process, which included issues for improvement. In this report, the development of the PDCB production process is described that solves problems of a conventional process by using a fixed-bed reactor with a solid catalyst that establishes an efficient and economical process of catalyst preparation, catalyst separation and waste slurry generation.

ポリフェニレンサルファイド(PPS)市場の拡大にともない、その原料であるパラジクロロベンゼン(PDCB)の需要拡大が見込まれる。月島機械は国内の有力なPDCBサプライヤーであった日本軽金属株式会社と技術供与契約を締結し、従来の液相塩素化反応プロセスの技術供与が可能になった。一方、従来法には課題となる項目も含まれ、液相触媒を固体触媒に変更することで改善に寄与し、より効率的かつ経済的なプロセスとなり得る。本稿では固体触媒を用いた固定床反応器によるPDCB製造プロセスの開発について記載する。

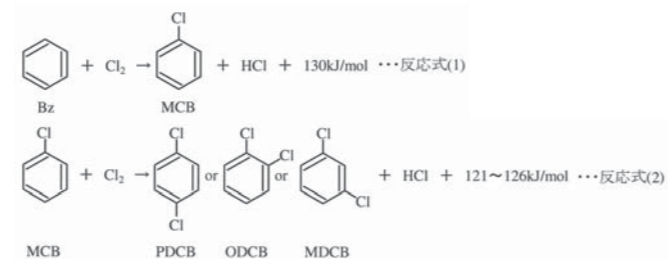
キーワード：パラジクロロベンゼン(PDCB)、固定床、塩素化、触媒、ゼオライト
Keyword：Para-dichlorobenzene (PDCB), fixed-bed, chlorination, catalyst, zeolite

1 はじめに

パラジクロロベンゼン(PDCB)は反応式(1)および(2)に示されるとおりベンゼン(Bz)またはモノクロロベンゼン(MCB)の塩素化反応により生成する。PDCBは防虫剤、消臭剤、合成染料などの用途に多く用いられてきた。また近年では高機能樹脂の一つであるポリフェニレンサルファイド(PPS)の原料に使用されるようになり注目を集めている。

PPSはベンゼン環と硫黄原子の単純な繰り返しからなる結晶性ポリマーである。耐熱性、耐薬品性、耐剛性に優れた難燃性樹脂であり、これらの特徴を活かし金属や熱硬化性樹脂の代替として自動車、電気・電子部品などの分野で需要が拡大している。PPSの需要増加に伴い、その原料であるPDCBも今後の需要拡大が期待される。

上述のPDCB需要拡大を見越し、月島機械では従来のPDCB製造プロセスのもつ問題点を解決すべく新たな触媒反応プロセスの開発を実施した。本稿ではその詳細について記述する。



2 触媒とは¹⁾

触媒とは反応物と反応中間体を形成し通常と別の反応経路を生み出すことで、反応を進み易くしたり、ある種の生成物を選択的に合成するものである。一般的に触媒の形態は気体・液体・固体のいずれでもかまわない。触媒相と反応物相が両方とも気相あるいは液相のように触媒と反応物の境界面がない場合、その触媒は均一系触媒と呼ばれる。代表的な均一系触媒の形態としては、溶媒に可溶性金属錯体や水溶液中のイオンなどであり、触媒と反応物の両方が液相である液相反応の場合が多い。一方、触媒相と反応物相が異なる相を形成する場合の触媒は不均一系触媒と呼ばれる。固体触媒を固定床もしくは流動(スラリー)床とし、気相もしくは液相の反応物を接触させるのが不均一系触媒の一般的な使用方法である。

3 液相触媒によるPDCB製造^{2), 3)}

3.1 従来のPDCB製造触媒

PDCBは反応式(1)、(2)により生成する。その際、触媒として塩化第二鉄や五塩化アンチモン等のルイス酸触媒を溶解させて使用したり、それらに硫黄等の助触媒を添加した液相触媒反応が一般的である。

月島機械は国内の有力なPDCBサプライヤーであった日本軽金属(株)と2009年4月に塩化第二鉄を主触媒とし、助触媒を添加する液相触媒反応の技術供与契約を締結したことで、国内外にPDCBプロセス供与が可能となった。

3.2 液相反応テスト

液相触媒でのBzの塩素化反応の傾向を把握するため、ピーカースケールのテストを実施した。テスト装置図を図1に示す。触媒には塩化第二鉄を用い、Bzに触媒を溶解させたのち、Cl₂ガスをBzに吹き込んで反応を行った。反応温度70℃、圧力は常圧にて実施した。一定時間ごとに反応液をサンプリングし、ガスクロマトグラフィーにて組成分析を行った。テスト結果を図2に示す。

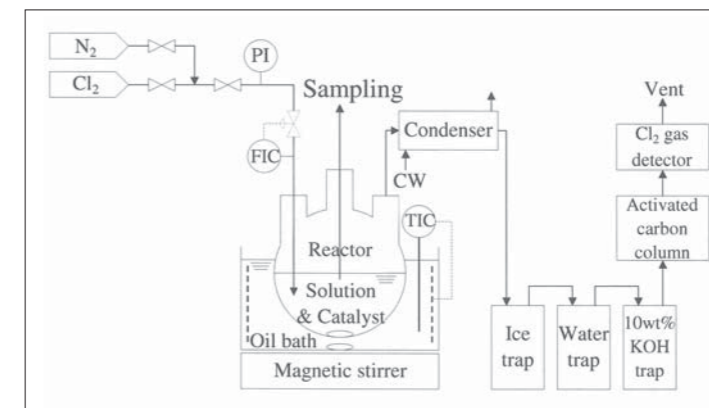


図1 液相塩素化反応テスト装置図
Fig.1 Experimental apparatus of liquid phase chlorination

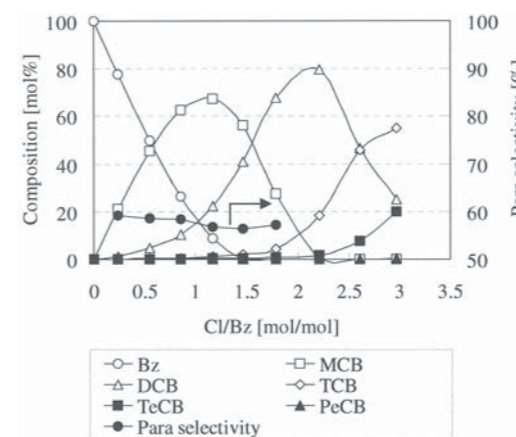


図2 液相塩素化反応テスト結果
Fig.2 Test results of liquid phase chlorination

図2横軸のCl/Bzは単位BzあたりのCl置換数を表しており、反応進行度を示す。反応進行に伴い、溶液中のBz濃度が減少し、MCB濃度が上昇していることがわかる。またMCB濃度の上昇と同時にジクロロベンゼン(DCB)濃度も上昇しており、MCB生成とDCB生成が併発的に発生してしまっていることがわかる。さらにCl/Bz=1.0以上ではトリクロロベンゼン(TCB)およびテトラクロロベンゼン(TeCB)も合成されてしまい、生成物として得べきDCBの濃度は約80%を最大値とし、その後は減少した。DCB中のPDCB割合を示すパラ選択性は、TCBが生成していないCl/Bz=0.85において58.4%であった。塩化第二鉄のみの液相反応では反応場に立体障害が存在しないため、パラ選択性は58.4%と低い値になったと考えられる。

なお一般的にTCBへの転化反応速度はPDCBよりもオルソジクロロベンゼン(ODCB)の方が速いため、TCB生成とともにODCBが相対的に減少することで見かけ上のパラ選択性は急激に増加する傾向がある。そのためパラ選択性はCl/Bz=1.8までの記載とした。

一方、助触媒に硫黄等を使用することでパラ選択性が向上することが知られている。主触媒に塩化第二鉄、助触媒に硫黄を使用して再現テストを行った。テスト装置・操作は塩化第二鉄のみでのテストと同様に行った。テスト結果を図3に示す。

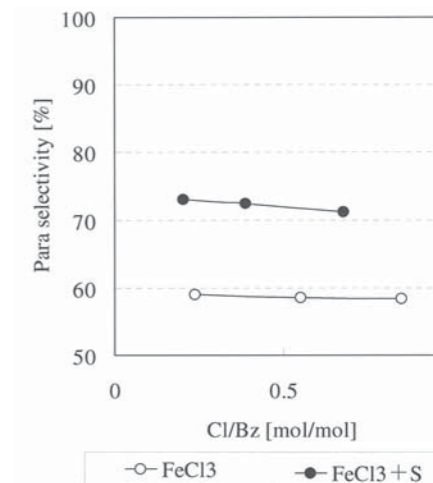


図3 液相塩素化における助触媒添加の影響
Fig.3 Effect of promoter addition at liquid phase chlorination

図3より、助触媒に硫黄を使用することでパラ選択性が73.1%まで向上したことがわかる。塩化第二鉄のみでは立体障害がないためパラ選択性は58.4%と低い値であったが、硫黄の添加により反応場に立体障害が発生し、その結果パラ選択性が向上したものと考えられる。

3.3 液相反応プロセスの課題

液相反応では下記(1)~(3)に示されるようなプロセス上の課題が存在する。月島機械では液相反応プロセスの課題を解消すべく、固体触媒を使用した固定床反応プロセスの開発を実施した。

(1) 触媒供給設備が必要

液相反応プロセスでは原料であるBzに触媒を溶解させて反応器に供給する必要がある。塩化第二鉄は潮解性があり、触媒調整には相応の設備が必要であった。固体触媒を使用する固定床反応プロセスとすることで定常的な触媒供給設備が不要となり、イニシャルコスト、ランニングコストの削減が可能である。

(2) 触媒除去設備が必要

液相反応プロセスでは原料と共に供給した触媒は反応液中に混在するため、反応液から触媒を除去する必要がある。一般的にはアルカリ液や水による多段抽出法や、蒸留塔にて反応液を全量吹き上げることにより使用済み触媒を分離していた。固定床反応プロセスとすることで触媒の分離工程が必要なくなり、イニシャルコストが削減されるとともにランニングコストが大幅に削減される。

(3) 廃触媒の恒常的処理が必要

液相反応プロセスで上記(2)のように除去された触媒は再利用できず、使用済み触媒は廃水や廃触媒スラリーとして恒常的に処理される必要があった。固定床反応プロセスでは廃水や廃触媒スラリーは発生せず、触媒寿命等による触媒交換時を除いて恒常的な廃水処理や産廃処理が不要となりランニングコストが削減される。

4 固体触媒によるPDCB製造^{1), 2)}

固体触媒の多くは多孔質であり、固体触媒反応の多くはその細孔内で進行する。当社では固体触媒のひとつであるゼオライト触媒に着目した。図4に示すとおり、ゼオライトはケイ素(Si)あるいはアルミニウム(Al)と酸素(O)が規則的な骨格構造を形成することで、結晶内におよそ0.1~1.0nmの均一な細孔を有する。ゼオライトの細孔径はゼオライトの種類によって決まるが、細孔径が反応物・生成物と同じオーダーであることにより反応に立体障害を与え、特定の生成物を選択的に合成することが可能である。

4.1 スラリー床反応テスト

4.1.1 液相触媒との比較

固定床反応テストを行う前にゼオライト触媒でのPDCB合成反応の傾向を得るため、液相反応で使用した装置・操作でスラリー床反応テストを実施し液相触媒との比較を行った。固体触媒としてはBEA型

ゼオライト粉末触媒を使用した。その結果を図5に示す。

図2に示したとおり液相触媒ではMCB、DCB、TCB生成は併発的に起こっていたが、図5に示すとおりゼオライト触媒を用いた場合はほぼ完全に逐次的となっており、Cl/Bz=1.8においても反応はDCBまででとまり、TCBの生成は確認されなかった。またパラ選択性は約75%となり、液相触媒のテスト結果よりも高い結果となった。これらはゼオライト触媒のもつ細孔により反応場に立体障害が発生した影響と考えられる。

上記のとおりPDCB合成反応においてゼオライト触媒が有効であることが判明した。スラリー床反応テストにてさらに詳細な検討を実施し、より有効なゼオライト触媒を絞り込んだ。

4.1.2 ゼオライト種の影響

構造および細孔径の異なる各種ゼオライト粉末触媒の活性およびパラ選択性を比較し、本反応に有効なゼオライト種を探索した。その結果を図6に示す。使用したゼオライトはMFI型、MWW型、BEA型、

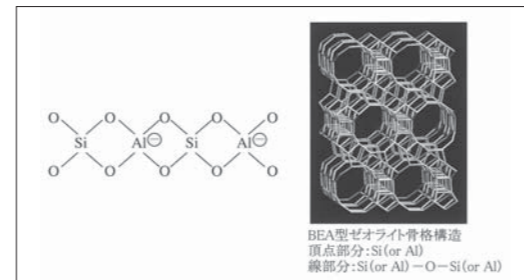


図4 ゼオライト骨格構造 Fig.4 Framework of zeolite

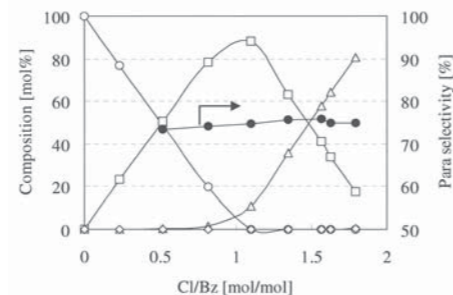


図5 スラリー床塩素化反応テスト結果 Fig.5 Test results of slurry-bed chlorination

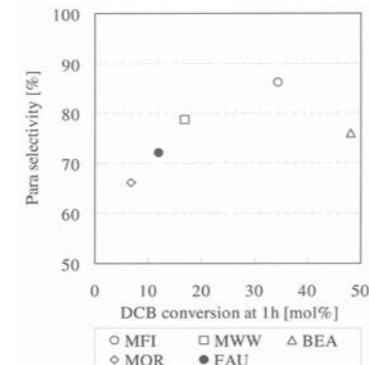


図6 スラリー床塩素化におけるゼオライト種の影響 Fig.6 Effect of zeolite type at slurry-bed chlorination

MOR型、FAU型の5種類である。MFI型の細孔径が最も小さく、この順番に細孔径が大きくなっている。本結果よりBEA型ゼオライトが高活性、MFI型ゼオライトが高パラ選択性であることが判明した。

4.1.3 SiO₂/Al₂O₃の影響

Siイオンは+4価であるため図4のようにゼオライト骨格中で結合している4つのOと電気的につながっているが、Alイオンは+3価でありゼオライト骨格中Alはアニオンサイトとなる。そのアニオンサイトにイオン結合したプロトンや金属カチオンが反応の活性点となることが一般的である。骨格中Al濃度はSiO₂/Al₂O₃として示される。SiO₂/Al₂O₃を調整したBEA型ゼオライトを使用し、反応へのSiO₂/Al₂O₃の影響を検討した。その結果を図7に示す。活性はSiO₂/Al₂O₃が小さくなるほど、すなわちゼオライト骨格中のAl濃度が増加するほど高くなった。骨格中Al濃度が増加することで活性点が増加したためと考えられる。ただし骨格中Al濃度が一定以上になると活性は低下した。ゼオライト骨格中にAlが安定的に存在する濃度には限界値があり、この点を境に活性が低下するものと考えられる。

4.1.4 骨格元素種の影響

MFI型ゼオライト骨格中のSiやAlは鉄(Fe)等で置換することが可能であり、一般的に骨格元素にAlを使用した方がFeよりも強いアニオンサイトを形成することが知られている。骨格元素をAlからFeに変更することで弱いアニオンサイトを保有するMFI型ゼオライトを調整し、反応テストを実施した。その結果を図8に示す。図8より、骨格元素を

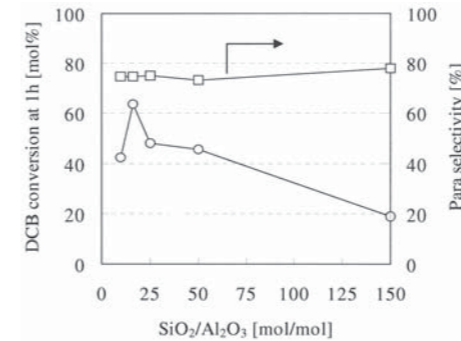


図7 スラリー床塩素化におけるSiO₂/Al₂O₃の影響 Fig.7 Effect of SiO₂/Al₂O₃ at slurry-bed chlorination

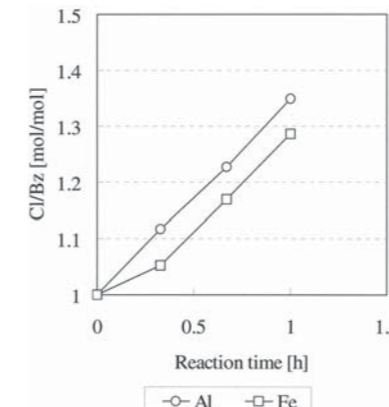


図8 スラリー床塩素化におけるゼオライト骨格元素種の影響 Fig.8 Effect of framework element at slurry-bed chlorination

Alとした方がFeとするよりも高活性であった。第4.1.3項 SiO₂/Al₂O₃の影響の結果と合わせ、本反応ではAlにより形成された強いアニオンサイトが反応活性点となっていることが推測される。

4.1.5 成型助剤の影響

固定床反応器に適用するためには触媒の固定および反応器の圧力損失の関係上、粉末ゼオライト触媒は好ましくなく、成型助剤を使用したゼオライト触媒成型体を使用する必要がある。粉末触媒と成型触媒の違いを把握する基礎テストとして、BEA型ゼオライト粉末をそれぞれナノパーティクルシリカ(np-SiO₂)およびナノパーティクルアルミナ(np-Al₂O₃)で成型し、成型した触媒を使用して反応テストを実施した。その結果を図9に示す。np-SiO₂、np-Al₂O₃ともに成型処理を行うことで、ゼオライト粉末と比較して活性の低下が観察されたものの、np-SiO₂成型体の場合は低下が小さかった。本反応系においては成型助剤としてnp-SiO₂を使用することが優位であると考えられる。

以上のスラリー床反応テスト結果より、本反応で使用するゼオライト触媒としては表1のようなものが望ましいと推測された。

4.2 固定床反応器の構築

第3.3項に記載したとおり、固定床反応プロセスとすることで従来の液相反応プロセスの課題を解決することが出来る。ただし固定床反応器を用いるためには別途課題も発生する。それに対し検討した結果の詳細を以下に記載する。

4.2.1 除熱方法

反応温度はBzへのCl₂ガス溶解度、反応液の粘性、Bzの蒸発等に影響を及ぼし、反応速度や収率を左右する。反応式(1)、(2)のとおりBzおよびMCBの塩素化反応は激しい発熱反応であるため、効率的な除熱で適正な温度範囲を維持することが重要となる。

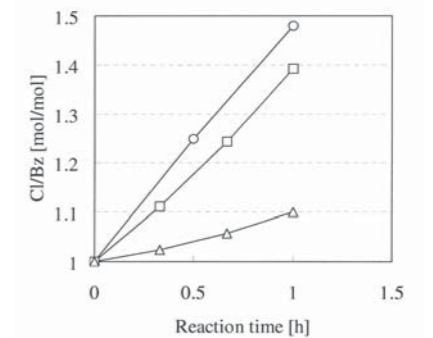


図9 スラリー床塩素化における成型助剤の影響 Fig.9 Effect of binder at slurry-bed chlorination

表1 スラリー床反応テスト結果 Table1 Results of slurry-bed reactor

パラメータ	望ましい条件
ゼオライト種	BEA型:高活性 MFI型:高パラ選択性
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al濃度が高いほど高活性 ただし骨格中Al濃度限界値以下
骨格元素種	Al
成型助剤	np-SiO ₂

従来法ではジャケットやコイルを用い反応器を間接冷却していた。液相反応器の場合、間接冷却にかかる熱伝達係数(U値)はおおよそ1,700~2,000kJ/m²h°C程度が確保され、十分な冷却が可能であった。しかしながら固定床反応器を使用した場合、反応器内のガス/液容積バランスは圧倒的にガスが多く占める。その結果、間接冷却では十分なU値が確保されず、結果として過大な伝熱面積が必要となる。反応器の大きさは主に必要触媒量から決定されるものであるが、その寸法では間接冷却に必要な伝熱面積が不足し十分な冷却をすることができない。

月島機械は上記問題を解決するため、溶媒の蒸発潜熱を利用した直接冷却方式を開発した。つまり原料であるBz、Cl₂ガスとともに溶媒を反応器へ同時供給し、反応器内で溶媒を蒸発させることで反応熱を除熱するものである。蒸発した溶媒はコンデンサーで再凝縮して循環使用が可能であり、再凝縮の際はシェルアンドチューブ式などの汎用熱交換器で十分なU値を確保することが可能である。

溶媒は反応に影響を及ぼさないこと、また沸点がBz (b.p. 80.1°C)よりも低いことが条件となり、クロロメタン類、クロロエタン類が候補となる。後述する固定床反応テストにおいては溶媒として沸点61.3°Cのトリクロロメタン(CHCl₃、別名:クロロホルム)を使用しているが、十分な反応温度制御が可能であったことに加え、反応に悪影響を及ぼさないことが確認されている。

4.2.2 固定床反応器へのフィード方法⁴⁾

液体であるBzおよびCHCl₃、気体であるCl₂の固定床反応器へのフィード方法は表2のように3通り存在する。固定床プロセスを構築する上で適切なフィード方法を決定する必要がある。

反応器内で生成物の逆混合が発生してしまうことにより、原料・生成物の正確な滞留時間制御が困難となる。それにより過反応によるTCB、TeCB等の生成および副反応の発生が懸念される。また反応を促進するためにはCl₂をBzへ積極的に溶解する必要がある。表2に示すそれぞれのメリット・デメリットを考慮した結果、本反応器としてダウンフローフィードが最も好ましいと考えられる。

ダウンフローではガスと液の供給バランス、および反応器径によりフローパターンは図10のように変化する。採用すべきフローパターンは灌液流(gas-continuous or trickling flow)もしくは脈動流(pulsing and foaming flow)であるが、液体が触媒粒子状を重力によって膜状に流下し、その空間をガスが連続相となって降下する灌液流が望ましい。そのためには必要触媒量およびガス・液の供給バランスから適切な反応器径を選定する必要がある。

4.3 固定床反応テスト

第4.2項の検討を受け、固定床反応器でのテストを実施した。テスト装置図を図11に示す。固定床反応器にゼオライト触媒成型体を充填し、Bz、CHCl₃およびCl₂ガスを流通させて塩素化反応を行った。反応温度は75°Cとした。G/Lセパレーター内の反応液を定期的にサンプリングし、ガスクロマトグラフィーでの分析により反応液組成を確認した。

使用した触媒は表1のスラリー床反応結果をもとにBEA型、MFI型ゼオライトを基本としたが、スラリー床反応と固定床反応の違いを考慮し、以下のとおり再度触媒の最適化を実施した。

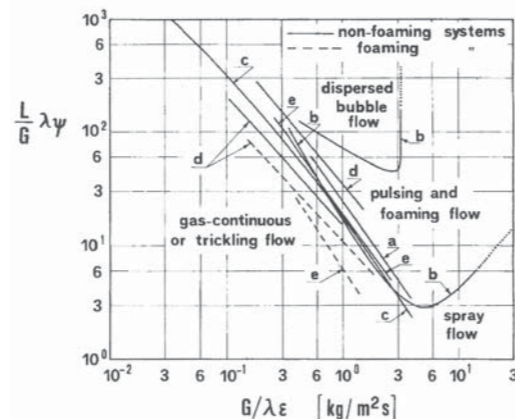
4.3.1 ゼオライト種の影響

BEA型、MFI型ゼオライト成型体を使用してBzの塩素化反応を行った。DCB収率を図12に、パラ選択性を図13に示す。いずれの触媒においても固定床反応においてDCBの生成が確認された。ただし各触媒で活性劣化が観察され、特にMFI型では顕著な活性劣化が観察された。パラ選択性はスラリー床反応テスト結果と同様、MFI型が高い値を示した。

MFI型ゼオライトの細孔は直径0.53~0.56nmであり、BEA型ゼオライトと比較して小さい。そのため大きな立体障害を与えるため高

表2 固定床反応器へのフィード方法
Table2 Feed method to fixed-bed reactor

フィード方法	アップフロー	カレントフロー	ダウンフロー
ガス供給部	下部	下部	上部
液供給部	下部	上部	上部
反応器内の状態	液の連続相	ガスの連続相	ガスの連続相
メリット	・液分散器の必要なし	・生成物の逆混合なし ・Cl ₂ のBzへの溶解促進	・生成物の逆混合なし ・Cl ₂ のBzへの溶解促進
デメリット	・生成物の逆混合発生 ・Cl ₂ のBzへの溶解が律速	・液分散器が必要 ・フラッシングの懸念あり	・液分散器が必要



ϵ = bed void fraction, dimensionless
 λ = $[(\rho_G/\rho_{air})(\rho_L/\rho_{water})]^{0.5}$ = parameter defined by Charpentier and Favier (1975), dimensionless
 ψ = $\frac{\sigma_{water}}{\sigma_L} \left[\frac{\mu_L}{\mu_{water}} \left(\frac{\rho_{water}}{\rho_L} \right)^2 \right]^{1/3}$

図10 フローパターン分布
Fig.10 Map of flow pattern

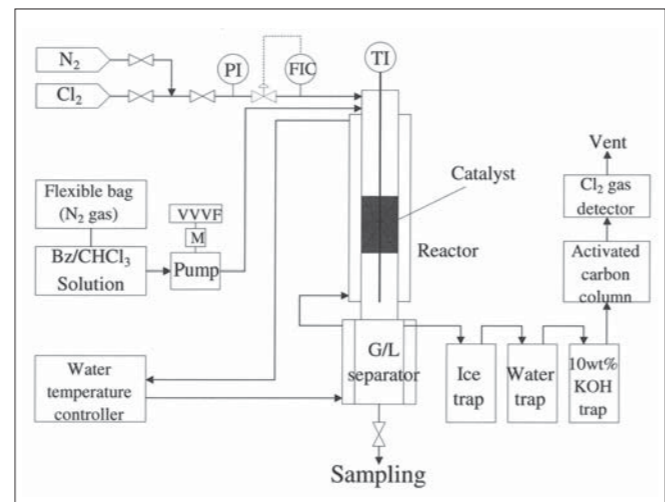


図11 固定床塩素化反応テスト装置図
Fig.11 Experimental apparatus of fixed-bed chlorination

いパラ選択性を示す一方で、生成物が細孔内で閉塞することにより細孔内部の活性点が使用できなくなり活性低下を引き起こしたと考えられる。

それに対しBEA型ゼオライトは直径0.64~0.76nmの大きな細孔を有する。若干の活性劣化は見られたものの、本反応にはBEA型ゼオライト成型体が最適であると考えられる。

4.3.2 カチオン交換率の影響

アニオンサイトを占めるカチオンの割合(カチオン交換率)を0~85%としたBEA型ゼオライト成型体を調整し、本反応へのカチオン交換率の影響を検討した。カチオンにはナトリウムイオンを使用し、NaCl水溶液によるイオン交換により調整を行った。その結果を図14に示す。

図14より、カチオン交換を行わなかった触媒と比較して、カチオン交換を行った全ての触媒で活性の向上が見られた。その中でもカチオン交換率15~30%において高活性との結果を得た。パラ選択性はカチオン交換率上昇とともに低下する傾向が見られた。本結果より、最適なカチオン交換率は15~30%であるとの知見を得た。

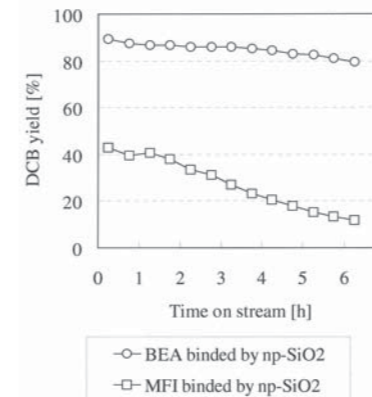


図12 固定床塩素化におけるDCB収率へのゼオライト種の影響
Fig.12 Effect of zeolite type to DCB yield at fixed-bed chlorination

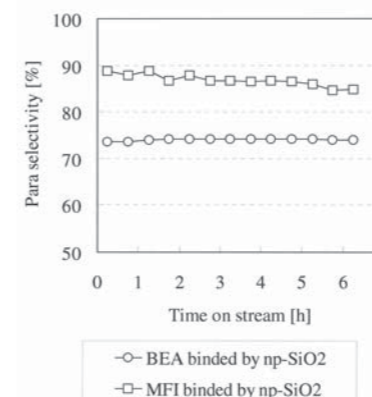


図13 固定床塩素化におけるパラ選択性へのゼオライト種の影響
Fig.13 Effect of zeolite type to para selectivity at fixed-bed chlorination

4.3.3 SiO₂/Al₂O₃の影響

SiO₂/Al₂O₃を16~150としたBEA型ゼオライト成型体を調整し、本反応へのSiO₂/Al₂O₃の影響を調査した。その結果を図15に示す。スラリー床反応と同様に、低シリカ触媒ほどAl₂O₃に起因する活性点が多く存在するため高活性となった。またSiO₂/Al₂O₃16および150においてパラ選択性が向上した。SiO₂/Al₂O₃16の触媒に関しては、活性点が過密であり、生成物同士が互いに牽制しあうため高いパラ選択性となったと考えられる。SiO₂/Al₂O₃150の触媒に関しては、活性点が過疎であるため活性点間の距離が遠く、立体障害の影響が大きくなるため高いパラ選択性となったと考えられる。また過小なSiO₂/Al₂O₃ではゼオライト骨格が維持されない可能性もあるため、SiO₂/Al₂O₃は16~25が最適であると考えられる。

4.3.4 最適化触媒での結果

以上の結果をもとにBEA型ゼオライト成型体を各種最適化した固体触媒を調整した。最適化触媒の詳細な性状は記載を差し控えていただいたことをご理解願いたい。図12、13における最適化前のBEA型ゼオライト成型体との比較を図16に示す。

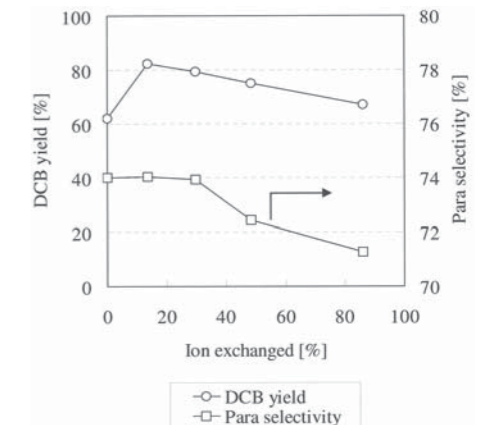


図14 固定床塩素化におけるイオン交換率の影響
Fig.14 Effect of ion exchange at fixed-bed chlorination

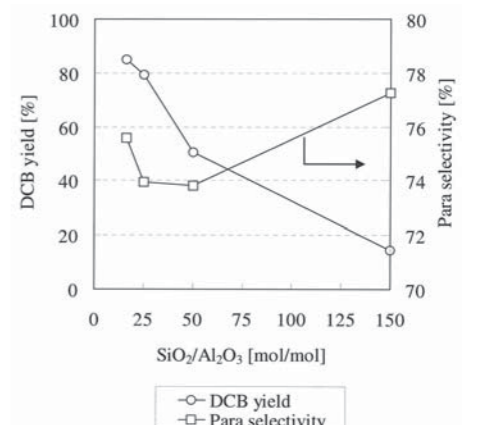


図15 固定床塩素化におけるSiO₂/Al₂O₃の影響
Fig.15 Effect of SiO₂/Al₂O₃ at fixed-bed chlorination

最適化触媒でのDCB収率は約92%で安定的に得られ、最適化前に見られた活性劣化は観察されなかった。また最適化触媒でのパラ選択性は約77%で安定的に得られ、最適化前の約74%よりも3%程度の向上が見られた。従来法である液相触媒と比較しても2%程度向上した。

4.3.5 基本データの採取

固定床反応器を使用して様々な条件で反応テストを行い、プロセス設計に必要な基本データを採取した。本稿ではその一部として反応速度定数kについて紹介する。

触媒の反応速度定数は触媒量および反応器寸法を決定するために重要である。図17に示すとおり、供給するCl₂とBzもしくはMCBのモル割合が同じ条件(Cl₂/Bz=Cl₂/MCB=1.0)でBzおよびMCBの塩素化反応を比較した場合、MCBの塩素化反応の方が反応速度定数が小さい。ただし供給するMCBに対して2倍量のCl₂を供給(Cl₂/MCB=2.0)したところMCBの塩素化反応の反応速度に向上がみられた。

これによりMCBの塩素化反応に必要な触媒量を削減することができ、コストダウンが可能である。

4.4 プロセス概念設計

各種基本データを採取した後、固定床反応器を用いたPDCB製造プロセス反応工程の概念設計を実施した。理想的な反応工程のフローを図18に示す。別途実施した触媒寿命テストの結果、触媒寿命は2,000～4,000h程度であると推定された。触媒劣化時は触媒交換が必要であるが、その場合反応器をサイクリックに使用できるよう反応器は最低2段、好ましくは3段とした。図18は反応器2段を常時使用とした場合のフローである。

Cl₂はBzに対して2倍量供給し、Cl₂が全て消費されるよう触媒量を決定する必要がある。No.1 ReactorではBzの塩素化を、No.2 ReactorではMCBの塩素化を主に行うが、第4.3.5項にあるとおりCl₂をそれぞれの反応器に分割供給するのではなく、図18のように供給することでNo.2 Reactorでの反応速度を向上することができ、触媒量を削減することが可能である。

これにより従来法である液相塩素化反応プロセスが有する触媒調整・触媒分離・廃スラリー発生といった問題点を解消し、有益なプロセスを構築することが可能であると考えられる。

5 まとめ

PDCB製造プロセスに用いられる晶析・精製技術は、従来から月島機械のコア技術であり強みとも言える技術である。今後はそれらコア技術に加え、反応工程も含めたトータルプラントとして顧客へ提供していきたい。

PDCBプラントの市場は従来の日本、欧米から特に中国、インドを主とするアジア地域に移行しつつある。今後のプロセスは経済性向上、低環境負荷に合致することが必須となっており、従来の液相反応よりも新規性および優位性のあるプロセスが望まれる傾向がある。固定床反応プロセスには未だ商業化に向けた検討項目が残されており、早急な克服が望まれる。日本軽金属(株)から供与を受けた液相反応プロセスと合わせ、新プロセスとして固定床反応プロセスを拡販し、環境適合技術として市場の認知を受けることができれば幸甚である。

参考文献

- 1) 菊地英一, 瀬川幸一, 多田旭男, 射水雄三, 服部英: 新しい触媒化学第2版, pp.4, 42-44 (2005)
- 2) 月島機械株式会社: パラジクロロベンゼンの製造方法, 特開2009-102275 (2009)
- 3) H. F. Wiegandt, P. R. Lantos: Improved Yields of p-Dichlorobenzene, INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY, Vol.43, No.9, pp.2167-2172 (1951)
- 4) A. Gianetto, G. Baldi, V. Specchia and S. Sicardi: Hydrodynamics and Solid-Liquid Contacting Effectiveness in Trickle-Bed Reactors, AIChE Journal, Vol.24, No.6, pp.1087-1104 (1978)

プラズマアシスト蒸着法 (PAD) の樹脂フィルム基材上 ITO 成膜への展開

The application of Plasma Assisted Deposition (PAD) for ITO on flexible substrate made of plastic

Abstract

Plasma Assisted Deposition (PAD) is consisted of deposition and plasma source. Based on the principle, PAD can deposit high performance film on low temperature with keeping high rate, and also can deposit on plastic substrate, that used to be able to do only on heatproof material like glass substrate. The same things are said about ITO, well known as transparent conductive oxide, deposition. So we have deposited ITO film on flexible substrate made of plastic by PAD, its performance were low resistivity ($< 2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$) with high deposition rate ($> 7 \text{ nm/sec}$). A roll to roll type PAD system has been developed with its merit for demand of market.

プラズマアシスト蒸着法 (PAD) は蒸発源とプラズマガンの組合せせからなり、その原理から高い成膜レートを維持しつつ低温で高性能な成膜が可能である。それゆえ、従来高温に耐えられるガラスなどの基材上でできなかった成膜が樹脂基材上でも可能となった。透明導電膜としてひろく使われているITO成膜についても同様に成膜できることがわかり、樹脂フィルム基材上に高い成膜速度 ($> 7 \text{ nm/sec}$) で低い比抵抗 ($< 2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$) の成膜を可能とした。このPADの特徴を活かしてRoll to Roll型装置を開発し市場のニーズに応えている。

キーワード: PAD, 圧力勾配型プラズマガン, ITO, 樹脂フィルム基材, Roll to Roll
Keyword: PAD, pressure gradient type plasma source, ITO, flexible substrate made of plastic, Roll to Roll

1 はじめに

今や携帯電話やパソコンのモニターなどのIT機器、液晶テレビやポータブルプレイヤーなどの家電製品、太陽電池など、私たちの身の回りには透明導電膜が使用されている製品が数多く出回っており、それらは月日と共に高輝度、高精彩、長寿命、タッチ機能付きなど高性能・高機能化してきている。その透明導電膜にはおもにスズ添加酸化インジウム (ITO: Indium Tin Oxide) が使われており、透明度を向上し比抵抗を下げるために成膜時に300℃以上の加熱が必要であり、このため以前は基材にガラスが使用されていた。

しかしながら、基材の方は軽量化と耐衝撃性、生産性などの理由で、ガラス材料から樹脂材料、さらに厚さが数十～数百μmという樹

脂フィルム材料が望まれるようになり、それに対応したITO成膜技術が必要となってきた。今では130℃程度の加熱で比抵抗が $4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の成膜が可能となり^{1), 2)}、樹脂フィルム基材への対応もされている。その成膜方法は、大面積用途が多いことやプロセスの適性により、スパッタリング法が主流となっている¹⁾。

月島機械が開発してきたプラズマアシスト蒸着法 (PAD: Plasma Assisted Deposition) は、低温で高性能な成膜が可能で成膜速度も高いという特徴³⁾を活かして、樹脂フィルム基材上のITO成膜用途にも対応している。その量産用装置としてRoll to Roll型PAD装置を開発した。ここではそれらに関する技術について紹介する。

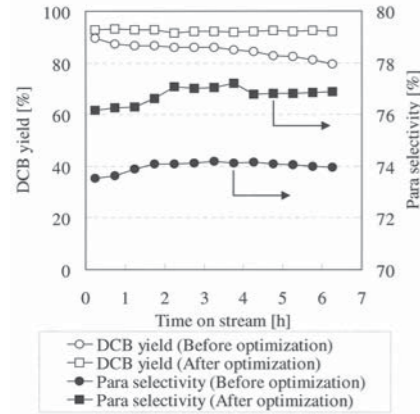


図16 固定床塩素化における触媒最適化の効果
Fig.16 Effect of catalyst optimization at fixed-bed chlorination

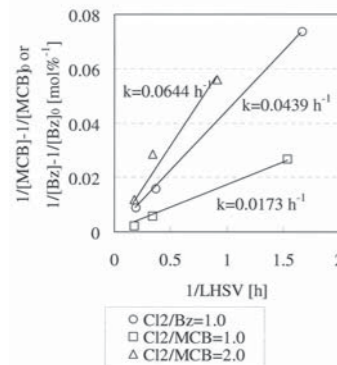


図17 固定床塩素化における反応速度
Fig.17 Reaction rate of fixed-bed chlorination

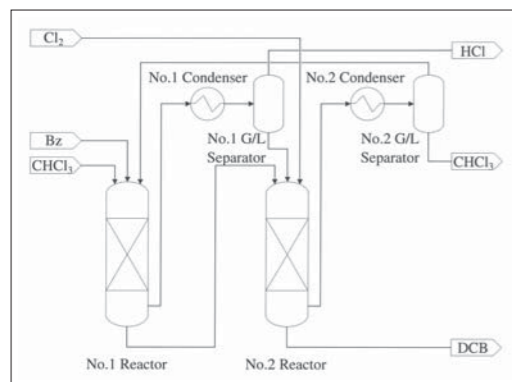


図18 固定床反応器を用いたPDCB製造プロセス概念フロー
Fig.18 Schematic flow of PDCB production process with fixed-bed reactor

2 PADの原理および特徴

PADは蒸発源とプラズマガンからなり、蒸発した材料粒子が基材に届くまでの空間と基材表面とでそれぞれ反応および活性化が行われている。また、その構成要素からそれぞれの制御パラメータが独立しているという特徴をもつ。PADの原理の模式図を図1に示す。

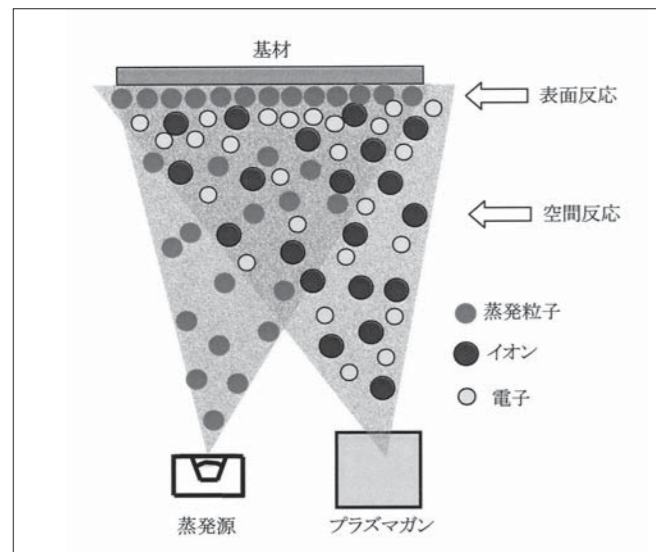


図1 PADの原理(模式図)
Fig.1 Schematic of PAD principle

2.1 蒸発源とプラズマガン

成膜される材料は真空容器の中において蒸発源で加熱され、蒸発して基材表面に届いて膜が形成されていく。この成膜方法を真空蒸着法と呼ぶ。PADはこの真空蒸着法の蒸発源とそのアシスト源としてのプラズマガンを組み合わせて成膜する方法で、蒸発した材料粒子や導入されたガスをイオン化するためイオンプレーティング法の一種と位置付けられる。

2.2 空間反応と表面反応

2.2.1 空間反応

蒸発源で成膜材料が加熱され蒸発している一方で、プラズマガンが酸素のような反応ガスプラズマあるいはアルゴンのような不活性ガスプラズマをその空間に供給している。そのため、蒸発した材料粒子はその直後にプラズマにさらされ、その中のイオンや電子、ラジカルの影響を受け材料粒子もイオン化するなどして活性化される。

反応ガスプラズマである場合は、それと反応して化合物を生成する。例えば、反応ガスとして酸素を導入した場合は酸化物が生成され、その状態で基材に到達し成膜される。

その模式図を図2に示す。

この空間反応は基材温度の影響がないところで行われるため、基材が低温であっても高温時と同等な膜質で成膜ができるという特徴がある。

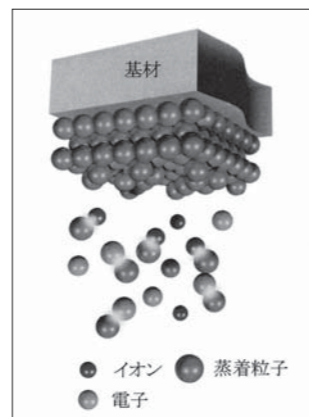


図2 空間反応の模式図
Fig.2 Schematic of spatial reaction



図3 表面反応の模式図
Fig.3 Schematic of surface reaction

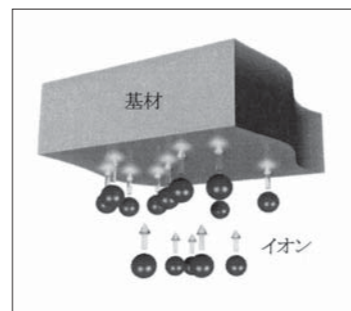


図4 イオンクリーニング効果の模式図
Fig.4 Schematic of ion cleaning effect

2.2.2 表面反応・表面拡散

電子はイオンに比べてはるかに軽いためプラズマ中の移動速度が大きく、イオンよりも早く基材表面に達する。そのため基材が電気的にフローティングされている場合にはその電位がマイナス側になり、その電界によってプラス電荷となっているイオンを引き寄せ表面粒子と衝突し、そこでも反応や拡散が行われる。

例えば反応ガスが酸素の場合は酸素イオンが基材表面に引き寄せられてくるが、空間反応で酸化されなかった材料粒子はそこでも反応する機会がありその酸化物が生成されて成膜される。アルゴンなどの不活性ガスをういた場合は反応はせず、電界によって引き寄せられたイオンの運動エネルギーによって衝突のみが起こり、表面付近粒子の緻密化がなされる。これをイオンボンバード効果という。

これと同時に表面粒子の拡散も行われ平坦化されるが、これをマイグレーション効果という。この模式図を図3に示す。反応ガスを用いた場合でもこれらの効果は現れる。

これらの2つの効果も、低温の基材上に高温時と同等な膜質で成膜ができるという理由のひとつである。つまり、基材自体は低温であってもその表面では上で述べたようなプラズマによる作用が働いているのである。

その他に、蒸発源を使用せずにプラズマガンのみで使用して基材表面をプラズマ処理することも可能である。成膜する前の処理として使用し基材表面を活性化およびクリーニングして、膜と基材の密着性を向上させることもできる。これをイオンクリーニング効果という。

図4にこの模式図を示す。

2.3 蒸発源制御とプラズマガン制御の独立性

PADにおいては蒸発源の制御とプラズマガンの制御がそれぞれ独立しており、最適な成膜条件を探す場合や膜質をコントロールする上でそれは大きなメリットとなる。蒸発源側はプラズマガン側の設定条件に制約されずに、そこに投入する電力とその成膜速度を監視するシステムによって制御管理ができる。一方、プラズマガン側でも蒸発源側の設定条件に制約されることなく、導入するガスの種類と量、放電電圧や放電電流を制御することができる。

これは、スパッタリング法や同じイオンプレーティング法の一つであるHDPE (High Density Plasma-enhanced Evaporation) 法¹⁾のように、ターゲットにかける電力またはプラズマガンに流す電流という一つのパラメータで、材料の蒸発速度とプラズマによる反応または活性化の両方を行っている成膜方法とは大きく異なる点である。

その他、PADの成膜速度に関しては、真空蒸着法をベースとしているのでそれと同等で、一般的にスパッタリング法のものより高いという特徴も持っている。

3 PADによるITO透明導電膜の成膜例

前項で述べた原理と特徴によって、PADはITO成膜においても低温で高温時と同等な膜質の成膜ができる可能性があることが予測された。そのためこれまでに多くの成膜試験を行ってきたが、PADによるITOの膜性能が現在主流のスパッタリング法とほぼ同レベルであることがわかった。また、成膜速度についてもスパッタリング法の数倍以上と真空蒸着法とほとんど変わらないレベルで可能であることもわかった。

以下にその成膜結果の例を紹介する。

3.1 低温でのITO結晶化

透明導電膜は光学透過性と電気伝導性が高い次元で両立されていることが求められるが、ITO膜でそれがなされるためには少なくとも結晶化が行われていなければならないと考えられている。通常ITOの結晶化には基材温度を高温にする必要があるが、PADでは基材温度を高温にすることなく樹脂フィルム基材上にその成膜が可能である。

PET (Poly Ethylene Terephthalate) を使用したITO成膜例のX線回折 (XRD : X-Ray Diffraction) 測定結果を図5に示す。

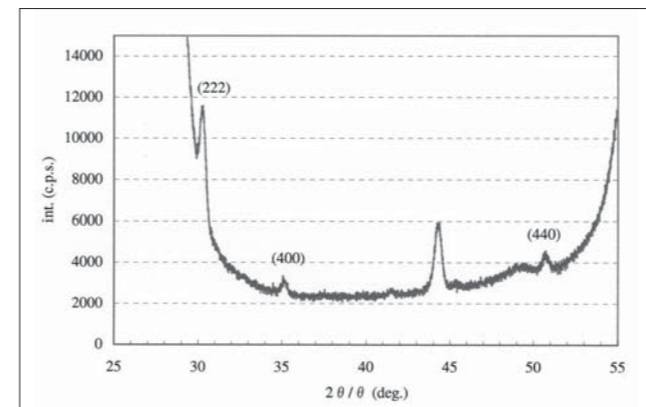


図5 PADによるPETフィルム上ITO成膜 XRD測定結果
Fig.5 XRD result of the ITO deposition on PET by PAD

(222)、(400)、(440)の各配向面のピークが観察され、PET基材が耐えられるような低い温度でも結晶化がなされていることがわかる。

注) 上記以外のピークはPETフィルム基材のものである。

3.2 平滑な膜表面

スパッタリング法による成膜は、成膜プロセス中の粒子のエネルギーが数百 eV と高いため¹⁾、樹脂フィルム基材表面のみならず成膜されている膜表面も粗けてしまいやすい。PADはそれに比べると数 eV ~ 数十 eV と低いため、基材表面や膜表面に悪い影響を与えにくい。

PADの膜表面の滑らかさを示すITO成膜の走査型電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) と原子間力顕微鏡 (AFM : Atomic Force Microscope) の分析例を図6に示す。表面粗さ測定値 Ra (平均) と Rmax (最大) は基材そのものの表面状態の依存性が高いため、ここでは平滑性の良好なガラス基材を使用した。

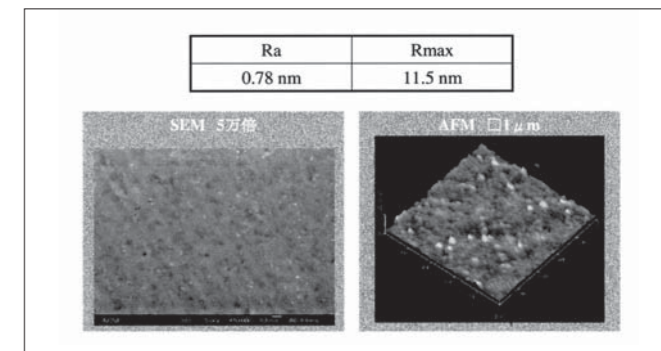


図6 PADによるITO成膜の表面分析例
Fig.6 Example of the surface measurement on ITO film by PAD

Raは< 1 nmでRmaxは>10 nmとなっているが、今後のPAD開発を進めて行く過程において、有機EL用途で求められているITO膜表面の高度な平滑性Rmax < 10 nmが、エッチングや表面研磨などの後工程²⁾なしで実現できるのではないかと考えている。

3.3 PET上ITO成膜の評価例

PET基材上に成膜した低抵抗ITO透明導電膜の評価の一例を表1に示す。

表1 低抵抗ITO成膜の評価結果例
Table1 The evaluation example of low resistance ITO film

シート抵抗 (Ω/sq)	10
膜厚 (nm)	248
成膜レート (nm/sec)	8.6
比抵抗 (Ω・cm)	2.5 × 10 ⁻⁴
全光透過率 (%)	86.8
表面粗さ Ra (nm)	0.94
環境試験後抵抗変化率 (%) [60℃, 90%, 240hr]	8

250nm 程度の膜厚で比抵抗 $2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 、光学透過率 86.8% が実現されており、その成膜レートは 8.6 nm/sec であった。表面粗さも PET 基材上の成膜でありながら Ra で 1 nm を下回る値となっている。また、環境試験においても 10 日間の抵抗変化率が 8% と良好な値となっている。

4 Roll to Roll 型 PAD 装置

ロール状に巻かれた基材を引き出して何らかの処理を行い、再びロールに巻き取る方式を Roll to Roll と呼ぶ。量産的に樹脂フィルム基材上に成膜を行うためには、従来のバッチ型ではなくこのような Roll to Roll の形態をとる必要がある。

1 回の成膜でドーム状または円筒状の治具に載せられた基材が何周も回転して膜質や膜厚が平均化されるバッチ型と違い、Roll to Roll 型はある基材面が成膜室を通過する数秒から数十秒の間のみで成膜される。これを数百 m 以上の長さによって同じ成膜が行われなければならないため、長時間連続で安定した成膜プロセスが必要となる。また、基材幅方向には分布が発生しないようにしなければならない。これらに対応するため、後の 4.2 項以下で説明する各部で整備と工夫がされている。

4.1 装置構成

真空室のほか、主に排気系、フィルム搬送系、成膜系、制御系で構成される。

概略を図 7 に示す。

片方の巻き取りロールに巻かれた樹脂フィルム基材がいくつかの補助ローラや補助機器を通過した後、メインロールに巻き接合しながら加熱または冷却されて成膜される。その後、さらに別のローラや機器の間を通過し最終的にもう一方の巻き取りロールに巻かれていく。

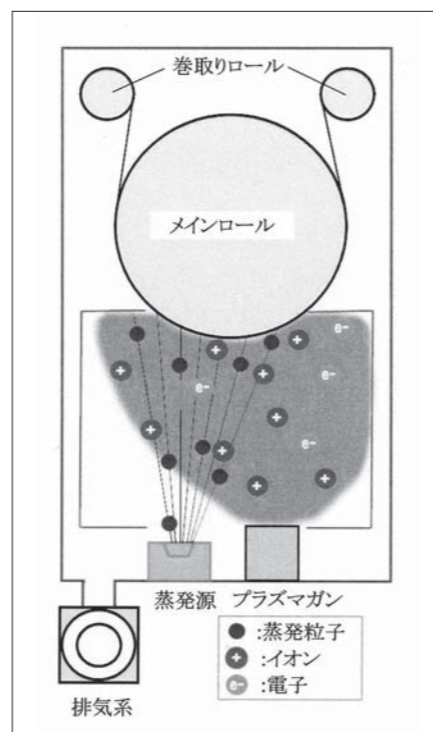


図 7 Roll to Roll 型 PAD 装置の概略図
Fig.7 Schematic of Roll to Roll type PAD system

4.2 装置の実例

樹脂フィルム基材上に成膜するために、実際に設計された量産向け Roll to Roll 型 PAD 装置例を以下で紹介する。

外観イメージを図 8 に示す。

4.2.1 真空室

樹脂フィルム基材の巻き出しや巻き取りをするための各種ローラが収まるフィルム搬送室と、蒸発源とプラズマガンが備えられた成膜室

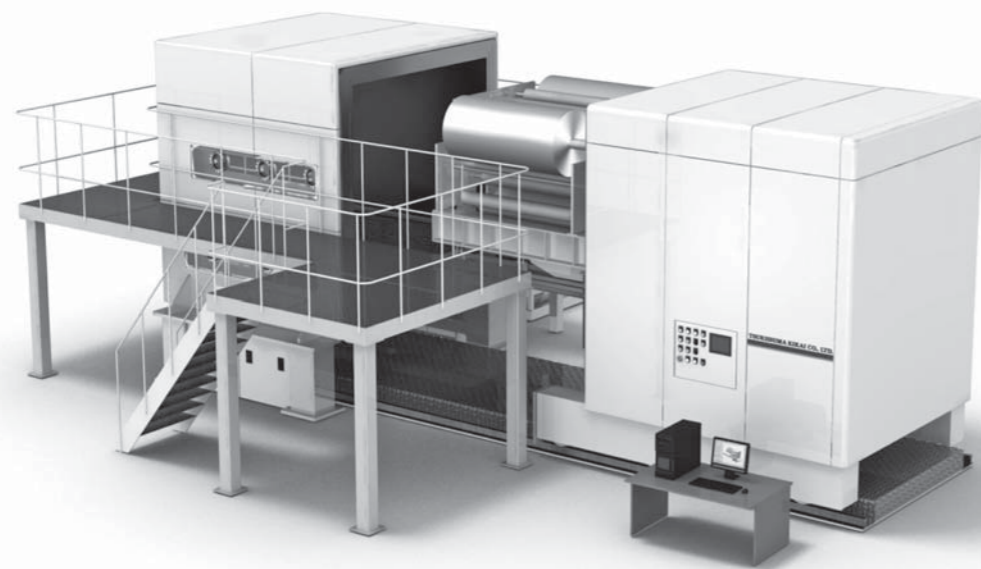


図 8 Roll to Roll 型 PAD 装置の外観図
Fig.8 A bird's-eye view of a Roll to Roll type PAD system
左側の真空室からフィルム搬送系が引き出されている状態。成膜時には図の中央に見えているローラ部分まで真空室に入る。

との 2 つに分割されている (図 8 左)。また、ビューポートが数ヶ所配置されており内部の監視が可能となっている。

4.2.2 排気系

フィルム搬送室と成膜室それぞれにターボ分子ポンプとドライポンプを装備している。樹脂フィルム基材から発生する水蒸気の排気を強化するため、フィルム搬送室にはさらにクライオポンプ (トラップ) も備えている。

4.2.3 フィルム搬送系

ロール上に設置された台車上に設置されており、樹脂フィルム基材のセットやメンテナンス時にその台車とともに真空室から引き出せるようになっている (図 8 中央および右)。樹脂フィルム基材の成膜前処理用にヒータを備えているほか、光学モニタと抵抗値モニタも備え常に成膜の状態を監視することが可能である。

メインローラは加熱温調が可能になっており、各成膜プロセスに合った基材温度で運転することができる。

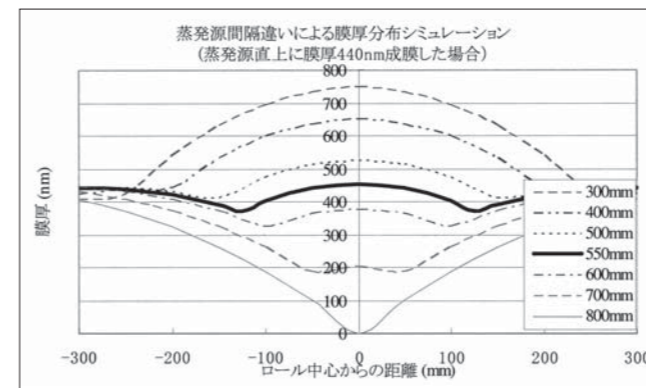


図 9 最適な蒸発源の間隔を求めるシミュレーション例
Fig.9 Simulation example of researching optimum distance for two deposition sources
この例では、2 つの蒸発源の間隔を 550mm にした時に膜厚分布が少なくなることを示している。

表 2 Roll to Roll 型 PAD 装置の主な仕様
Table2 Main specification of the Roll to Roll type PAD system

<寸法・重量>	
設置面積	W 13 m × L 8 m × H 4 m
総重量	40 t
<排気系>	
粗排気ポンプ	ドライポンプ
主排気ポンプ	ターボ分子ポンプ+クライオポンプ
<フィルム搬送系>	
ロール幅	1500 mm
基材フィルム厚	30 ~ 350 μm
送り速度	0.5 ~ 20 m/min
送り方向	正逆運転可能
<成膜系>	
蒸発源	270度偏向型電子ビームガン
アシスト源	圧力勾配型プラズマガン
膜厚制御	水晶式膜厚計
圧力制御	真空計+導入ガス流量コントロールバルブ
材料供給	顆粒用間欠式
<制御系>	
光学モニタ	分光式、透過率
抵抗値モニタ	非接触式

4.2.4 成膜系

蒸発源として 270 度偏向型電子ビームガンおよびリング状ハースとその回転機構を備えており、連続運転に対応できるように材料供給機構も装備されている。また、圧力勾配型プラズマガンを採用しており長時間の安定動作が可能である。これらは樹脂フィルム基材の幅に応じて成膜室底部の最適な位置に設置されており、単体の実測分布パターンからシミュレーション検討をして決定した。その一例を図 9 に示す。

高い成膜速度で長時間運転をすると、基材以外の部分の防着板には着膜がされ続けてしまう。特に蒸発源付近はそれが激しく、それが原因による不具合が発生しやすくなるため、この部分の防着板については、同じ面が長時間蒸発源に向かないよう回転移動させる機構を設けて対処している。

4.2.5 制御系

水晶式膜厚計をそれぞれの蒸発源に対して備え、安定した速度での成膜を実現している。膜厚計内部の水晶振動子には寿命があるため、専用のシャッターで間欠制御をすることで寿命を延ばすように工夫し、長時間成膜に対応している。

材料蒸発部では電子ビームガンのスキャンコントロールとハース回転機構の速度制御によって膜厚分布の調整が可能である。

そのほか、真空計と導入ガス流量コントロールバルブによる成膜室内圧力制御の機能も備え、成膜プロセスの最適化を行える。

主な仕様を表 2 にまとめる。

5 まとめと今後の展望

PAD の原理から樹脂フィルム基材上の ITO 成膜例と、その量産機である Roll to Roll 型装置の実例までをその技術とともに紹介したが、比抵抗 $< 2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ や有機 EL 向け $R_{\text{max}} < 10 \text{ nm}$ などさらなる高性能で、幅 1m 以上の樹脂フィルム基材用途と生産性の高い ITO 成膜の PAD プロセス開発を引き続き行っていく。また、ITO の代替材料として注目されている ZnO などへの応用も考慮している。

その他に、最近では透明バリア性フィルムのニーズも高まってきており、そのバリア性は水蒸気透過度で $10^{-2} \text{ g} / (\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm})$ 以下のハイバリア膜、さらに有機 EL 用途の長寿命化を目的とした $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ g} / (\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm})$ 台のものも要望されている。PAD による膜の緻密性を活かし、このような分野も視野に入れ展開していく予定である。

参考文献

- 1) 日本学術振興会 透明酸化物光・電子材料第 166 委員会編, 透明導電膜の技術 改訂 2 版, オーム社 (2006)
- 2) 高木悟: 透明導電膜の現状と今後の課題, J. Vac. Soc. Jpn., Vol.50, No.2, pp.31-36 (2007)
- 3) 飯田竜一: 大電流プラズマアシスト蒸着装置の開発と光学薄膜成膜への展開, TSK 技報, no.9, pp.20-27 (2008)

月島機械における 製造管理システムへの取り組み

TSK-MES(Traceability, Safety, Know-how communicability Manufacturing Execution System)



岸波 和人
KISHINAMI Kazuhito
エンジニアリング本部
電装技術部

Abstract

The intentional mislabeling and contamination of agricultural chemicals have surfaced in the food industry. The consumer's concern and demand for higher quality of product is rising in recent years. In the manufacturing industry, the safety and quality control of products are important, so strict management of raw materials and prevention of error in operation are necessary to improve value of the product. TSK developed the "Manufacturing Execution System (TSK-MES)" and provided many systems in response to requests from the industries it had installed PA plants, such as the food, auto parts, resin compounds and other industries. Actual examples of TSK-MES system and trend of market are briefly described in this report.

近年、食品業界における偽装や異物混入などの問題が顕在化し、製品品質に対する消費者の関心と要求レベルは非常に高くなってきている。さらに製造業においては生産される製品の安全性や品質の管理が重要となり、原材料の厳密な管理、製造工程における操作ミス防止策が製品価値向上のための重要な要素となってきた。このような背景から月島機械がFAプラントを納入してきた食品業界、自動車部品業界、樹脂コンパウンド業界等から「製造管理システム」の要請があり、自社でソフトを開発し多数納入してきた。ここで、業界動向や当社の納入事例を簡単に紹介する。

キーワード：生産管理システム、製造管理システム、トレーサビリティ、製品の安全・安心
Keyword: Manufacturing Management System, Manufacturing Execution System, traceability, reliable and safety of products

1 はじめに

生産現場において、生産効率向上のためにコンピュータを活用した生産管理システムが広く浸透してきた。一方、製品の安全に対する社会のニーズは高まるばかりであり、これに対応するため製造の各現場では膨大な製造データを管理する状況に迫られてきている。

このような環境の下、システムインテグレータを中心に、製造データを管理する「製造管理システム」のパッケージソフトが提供されている。しかし、そのままでは使えないケースが多々あることから、製造プロセスを熟知した月島機械が生産管理システムをプラントと一括で納入できるよう、システムの開発、製作に取り組んできた。

ここに、食品業界等のFAプラントに納入してきたシステムの事例を紹介する。

2 生産管理システムと製造管理システム(MES)、その背景について

企業の生産活動は非常に多岐にわたっている。受注後または販売計画から生産計画をたて、製造、出荷されるが、その間には様々な作

業や管理が存在している。これらをコンピュータで統合し、生産工程を効率的に運用するために生産管理システムが導入されてきた。

一方で、製品品質のトラブルがあった場合の影響が非常に大きくなり、企業の存続さえ左右しかねない状況の中で、トラブル防止のためによりきめ細かな管理が要求されるようになってきた。これに応えるため、近年MES (Manufacturing Execution System)が多く導入され、作業ミス防止やトラブル時の製造履歴追跡(トレーサビリティ)などが可能になった。図1に生産管理システムとMESの概念及び既存パッケージソフト階層との関連を示す。

MESを構成する主な機能は以下の通り。

- ①原材料の在庫管理とロット管理
- ②製造、作業指示の発行
- ③製造、作業進捗管理
- ④実績データ収集とトレーサビリティ
- ⑤製品品質管理
- ⑥プロセス、設備管理

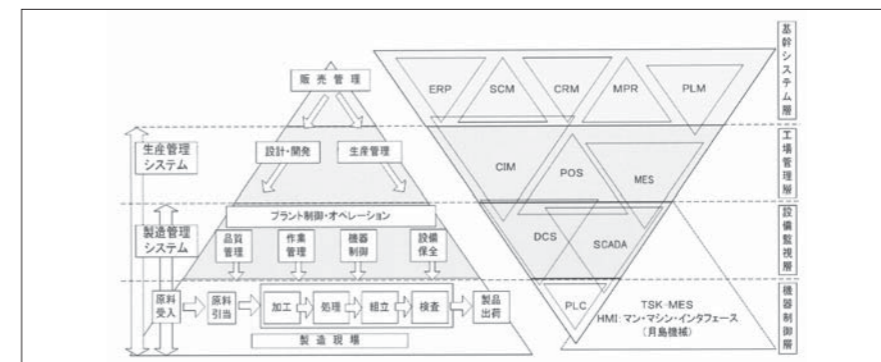


図1 生産管理システムとMES概念図及びパッケージソフト階層 *略語は文末参照
Fig.1 Relationship among Manufacturing Management System/MES and packaged software level

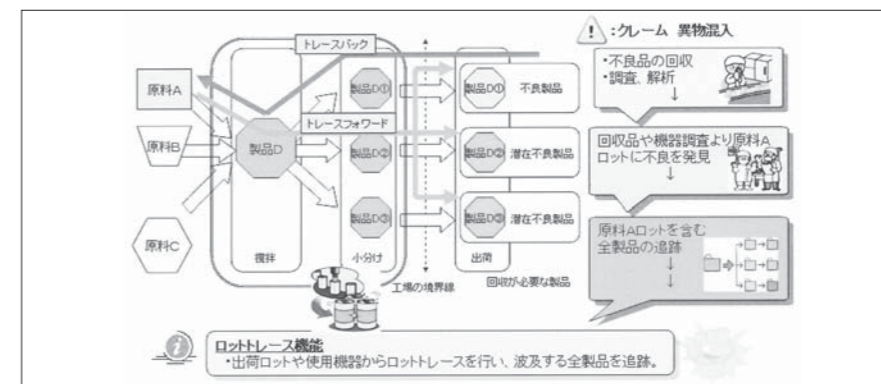


図2 トレース機能概念図
Fig.2 Traceability function concept

生産管理に関するシステムを階層に分け、上位から順に「基幹システム層」「工場管理層」「設備監視層」「機器制御層」の4階層に区分し、各々の階層で提唱されているキーワードとパッケージソフト総体を重ねて表したものである。上位3層までのそのほとんどが、システムインテグレータからリリースされているパッケージソフトとなる。

システムインテグレータが提唱するMESなどのパッケージソフトは上位の基幹システムからのトップダウン型ソリューションである。これはソフトウェア業界にとって基幹業務がシステム化やパッケージ化しやすく、業務効率やペーパーレスなどの改善を目に見える形で提案し実装することに長けているものと考えられる。

これらパッケージソフトの価格は数百万円といった高額なものが多く、多機能なことで操作性を軽視しているものも見受けられる。そのような高額なシステムを導入してもうまく稼働しないという悲惨なケースも実はかなりの割合で生じているようで、過去の統計では約70%はまともに稼働していないというデータもあった。さらに、このパッケージソフトを導入しても制御機器や設備が自在に操れるかというと、答えは否と言わざるを得ない。パッケージソフトと制御機器をシームレスに繋ぐためのソフトウェアが必要になっている。

最下層に位置する機器制御層のプログラム構築は都度設計、開発しているのが現状である。上位3層までのパッケージソフトと制御層を繋ぐための開発ツールは徐々に整備されつつあるが、機器を制御し必要なデータを収集するための統合パッケージと呼ぶに相応しい製品は見当たらない状況である。

TSK-MESは管理層、監視層をシームレスに機器制御層へ繋ぐことを目的としている。設備機器を熟知しきれないシステムインテグレータ

の提案するパッケージソフトと、工場設備で稼働する制御システムを如何に全体最適な形に作るためのサポートを行うか、今後も月島機械のような設備メーカーの課題となっている。

3 月島機械製造管理システムのコンセプト

近年の顧客ニーズに答えるべくTSK製造管理システムの目指す機能として、

- ・原材料管理から製品出荷に至る全ての製造工程の履歴を可視化し、製造履歴を遡り事故・クレームの原因を調査して製品への波及範囲の明確化を容易にするトレーサビリティ【Traceability】機能。
 - ・製造指図をペーパーレス化し作業者にタッチパネル画面などで分かりやすい形で提供、未習熟者を含め作業者が安心してルール通りに製造を実行できるようなノウハウの伝達【Know-how communicability】機能。
- 上記機能をベースとして、月島機械はプラントメーカーとしての工場・設備・システム全般に関連する設計能力を活かし、TSK-MES (Traceability, Safety, Know-how communicability - Manufacturing Execution System)として最終的に顧客へ安心・安全【Safety】を提供できるシステム構築を目指している。

3.1 【T: Traceability】トレーサビリティ (図2)

生産管理の世界では、異物、異常が発見された場合、その製品履歴をさかのぼり、製造履歴を見ることは、トレーサビリティの中でもトレースバックと言われている。このトレースバックと同様にト्रेसフォワード

と言われているものがある。外部からの指摘後に対応、回収する作業を始めるのではなく、製造事業者が自らの工程管理により、製造工程、機器に問題が発見された場合、その工程で製造された製品が、出荷し受け渡された顧客へ対して事前に通知対応するという考え方である。この対応により、企業のマイナスイメージを最小限にとどめることが可能となる。また、製造企業側も不良品をピンポイントで回収することが可能であれば、製品回収コストを最小限に抑えられる。

月島機械のシステムでは、製造実績、洗浄履歴、操作履歴、機器の使用履歴、トレンドデータなどをトレース情報として保存し、指摘された不良製品の製造履歴から、トレースバック機能により不良原料や不良機器、不良工程を追跡し特定することが可能である。また、特定された不良原料等からトレースフォワード機能により他製品への波及範囲(潜在不良製品の追跡)を特定可能なシステムを提供している。

また、プラントメーカーとしての強みを活かし、設備、機器の特性や仕様能力、ソフトウェアのアルゴリズムに至るまでを検証し、操作性の良いトレーサビリティ機能を製造管理システムへ組み込んでいる。

図3は製造番号・製品品番、仕込み番・ロット、使用機器、製造日時(FROM～TO)などの各種キーワードによりトレース検索可能とし、結果をWindowsライクのツリー表示させることにより、直感的に理解できるような画面構成を特徴としたものである。また、各種キーワードでのAND検索+前方一致検索やプルダウンメニューによる機器選択など、操作性の良いものとしている。

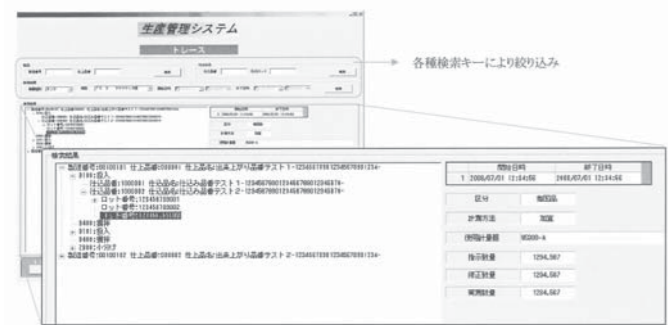


図3 ロットトレース画面
Fig.3 Lot traceability sample display

図4は工程を時系列に表示させ、製造過程の進捗状況履歴を視覚的に画面表現することを特徴としたものである。

3.2 【K: Know-how communicability】ノウハウの伝達 (図5)

作業用の現場端末としてカラータッチパネルを採用し、製造指図、仕込み指図、各種工程指図等をわかり易いように表示する。また、各工程ごとの作業ガイダンスも表示することで、簡単で間違いのない製造が可能となる。同時にデータ入力作業を軽減し、操作履歴の自動取り込み機能等、操作性の良いものとしている。

システムの拡張可能性をあらかじめ組み入れ、追加、変更、組替え変更などが柔軟に行えることを検討し、その影響を最小限にする設計を行っている。また、ロングライフ設計として、構成する機器の汎用性、流用性からソフトウェア開発環境に至るまでをトータルに検討し、より長く使用可能な機器編成となる設計を行う。

機器制御レベルでの計量器、PDA、バーコードリーダー、IDタグ等を使ったシステムの構築は月島機械の得意とするところであり、プラントメーカーの強みを活かしてERPやMESなどの上位システムと制御機器をシームレスに接続し、設計・工程変更に対応可能なシステム設計を目指している。



図4 モニタリング画面
Fig.4 Monitoring sample display

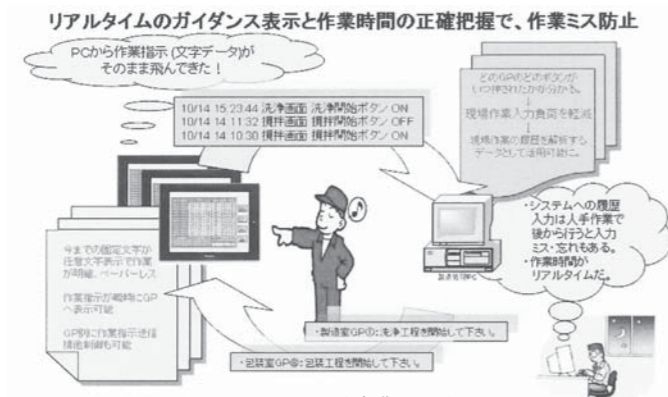


図5 現場操作イメージ図
Fig.5 Field operation imaging figure

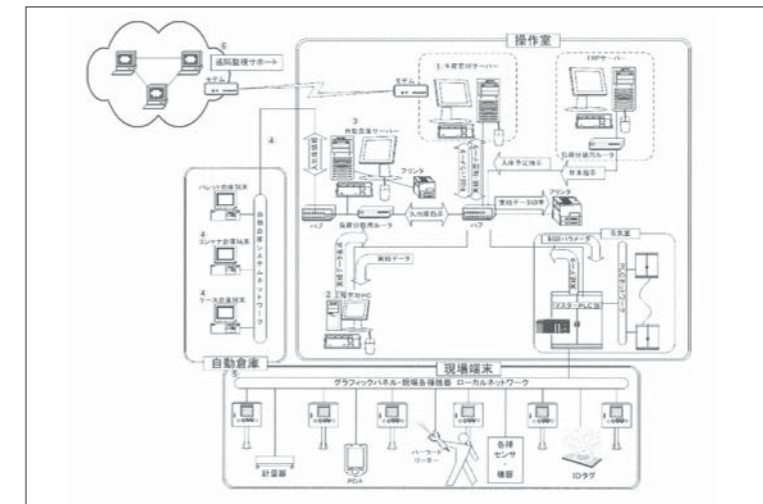


図6 システム構成図
Fig.6 System configuration

3.3 納入事例

今までに納入した実績より代表的な事例を図6に示す。

- ①生産管理サーバ (操作室)
 - ・指図の履歴、各種マスタデータ(原料マスタ、処方マスタ、機器マスタ、制御パラメータ等)、洗浄履歴データ等を管理保存する。
 - ・各工程のプログラムを起動、制御、管理する。
 - ・指図データを作成し、各種処方をバッチ単位に編集しマスタPLCへ制御パラメータとしてデータ転送する。
- ②工程管理PC (操作室)
 - ・制御情報をリアルタイム監視し表示する。
 - ・アラーム表示する。
 - ・生産管理サーバに保存されたデータを収集し、実績データを表示する。
 - ・過去のロット実績を検索し表示する。
- ③自動倉庫サーバ(操作室)
 - ・各種倉庫の入出庫データ、在庫を管理する。
 - ・制御サーバからの入庫指示を実行する。
- ④各種倉庫制御端末(自動倉庫)
 - ・パレット、ケース、コンテナ倉庫の入出庫制御を行う。
 - ・手動操作端末としても使用可能とする。
- ⑤各種現場端末
 - ・計量指示等、制御PCからの指示データを表示する。
 - ・手動操作端末としても使用可能とする。
- ⑥遠隔監視サポート
 - ・遠隔地にある工場設備においても、電話回線等によるサポート体制で安心を提供する。

点を特徴としている。しかし、その実状は生産管理システムパッケージに生のデータを送り続けるための制御システムの仕組みが必要である。

活きたデータを制御PLCから収集し生産管理システムパッケージに送るためには、経路、回線の敷設から配線の種類選定、ネットワークならその情報線に乗せるデータ量、データフォーマット内容の取り決め、取り合いタイミングの整合性、通信機器の特性、他付帯設備、周辺機器との影響(ノイズなど)をバランス良く設計する必要がある。さらに、これらハードウェアに関連する事項を明確にする段階で、同時平行で熟考するのがソフトウェア環境となる。OSの信頼性、将来性(ライフサイクル)、機能、そのOS上で起動するアプリケーションで要求仕様を満たされるかを検証し、ハード、ソフトの両面一体としての生産管理システムを考える必要がある。

工場の自動化設備を導入し操業を営む製造現場では、新システムの導入は自社の存続を賭けた挑戦である。

そのような状況を見極め、今後とも設備提供メーカーとしての強みを活かした提案活動を行い、よりバランスの取れたシステム設計を行う所存である。

略語補足説明

- MRP: 資材所要量計画 (Material Requirement Planning)
- ERP: 企業資源計画 (Enterprise Resource Planning)
- SCM: 供給連鎖管理 (Supply Chain Management)
- CRM: 営業支援システム (Customer Relationship Management)
- POS: 生産時点情報管理 (Point of Sales)
- CIM: コンピュータ統合生産 (Computer Integrated Manufacturing)
- SFC: 工程管理 (Shop Floor Control)
- MES: 製造実行システム (Manufacturing Execution System)
- DCS: 分散制御システム (Distributed Control System)
- SCADA: 生産監視制御システム (Supervisory Control and Data Acquisition)
- PLC: プログラマブル・ロジック・コントローラ (Programmable Logic Controller)

4 おわりに

実際に販売されている生産管理システムパッケージは、ERPが提供するような「何をどのくらい生産するか」という大まかな製造指示ではなく、「何時何分に、どのラインに、どの原材料と仕掛品を投入して、どのような手順/工程で製品を完成させるのか」といった詳細な指示が行える

Dual Reflux 式PSAによる溶剤回収

Solvent recovery by the Dual Reflux PSA



藤澤 良成
FUJISAWA Yoshinari
月島環境エンジニアリング(株)
開発研究部

Abstract

In recent years, pressure swing adsorption (PSA) method has been popular for recovery of volatile organic compounds (VOC) in the vent gas from various process lines in factories. Traditional stripping PSA with chillers for condensation has been commercialized already. The author focuses on Dual Reflux PSA method, an innovative concept for VOC recovery, by making VOC highly concentrated and its recovery in a liquid state. The author describes the theory of Dual Reflux PSA, comparative analysis with the conventional PSA method and the test result using the bench scale test apparatus. With the test apparatus, stable operation with low level emission and high recovery rate of VOC was achieved. This report introduces the outline of the new solvent recovery system, Dual Reflux PSA of Tsukishima Kankyo Engineering Ltd. (TSKE).

近年、PSA法は揮発性有機溶剤(VOC)を回収する分離技術として様々な分野で利用され、実用化されている。筆者らは、VOCを高濃縮し、液体で回収することのできる新しいPSA法として、Dual Reflux PSAに着目した。本稿では、Dual Reflux PSAの原理、標準的なPSA法との比較、ベンチスケールの試験装置を用いた試験結果を報告する。試験ではDual Reflux PSAがVOCの排出削減及び高い回収率を得ることに効果的であることを確認した。

ここでは、月島環境エンジニアリング(株)が開発した新しい溶剤回収システムであるDual Reflux PSAについてその概要を紹介する。

キーワード：揮発性有機化合物、溶剤回収、省エネ、二元還流型圧カスイング吸着、シミュレーション
Keyword：VOC, solvent recovery, energy saving, Dual Reflux PSA, simulation

1 はじめに

大気汚染の防止を図るため2004年よりVOC(Volatile Organic Compounds)に関する大気汚染防止法改正が行われた。VOCとは、揮発性有機化合物を指すが、具体的にはトルエン、酢酸エチル、ジクロロエタンなどの有機溶剤が代表的な物質である。これらの物質が大気中に放出されると光化学スモッグの原因となる光化学オキシダントや、SPM(浮遊粒子状物質)、また最近では、化学物質過敏症の原因物質とされており社会的な問題になっている。

環境省の調査では2000年度の国内VOC排出量は約150万トンであり、汚染物質の削減レベルとして2010年度までにVOC排出量3割削減を目標に法規制と自主的取組の双方を組み合わせること(ベストミックス)により効果的に削減することが求められている。

このような状況の中、従来月島環境エンジニアリングにて多数実績がある活性炭によるVOC処理装置に加えて、Dual Reflux式PSAの開発を行いVOC処理製品ラインナップの拡充を目指した。

本稿ではDual Reflux式PSAの概要を述べるとともに、単一溶剤における溶剤回収について試験機を製作し、試験を行った結果について紹介する。

2 溶剤回収技術

2.1 TSAとPSAの特徴

気相中のVOC回収技術としては吸着-蒸気脱着による温度スイング吸着法(TSA)、吸着-減圧脱着による圧カスイング吸着法(PSA)が主流である。それぞれの特徴について以下に説明する。

2.1.1 TSA (Thermal Swing Adsorption)

TSAでは、吸着材として活性炭を用い、活性炭に直接蒸気を接触させ高温雰囲気にて脱着を行う方法が多い。このため水分とVOC成分との分離が別途必要となる。さらに高温下においてVOC成分が変質を起こす場合があり、吸着槽を高純度にするケースもある。処理領域としては大風量、高濃度まで幅広く対応可能である。月島環境エンジニアリングでは、この方式による回収設備として80基以上の実績がある。

2.1.2 PSA (Pressure Swing Adsorption)

PSAでは、吸着材として活性炭のほか、ゼオライトや疎水性シリカゲルなどを用い、運転は常温下で行い、操作圧力の変動により吸脱着を行う。大気からの酸素濃縮や水素の精製などが一般的であるが、近年はVOCの回収へも適用が図られている。蒸気を使用しないため、水分との分離が不要であり、回収されたVOC成分をそのまま扱うことが

可能である。また、温度を上げないためVOC成分の変質が少なく、脱着にかかるランニングコストが低いことが特徴である。処理領域としては、使用する吸着材の特性上、活性炭と比較して単位吸着材当たりのVOC吸着量が小さいことから大風量での処理には不向きである。

2.2 Dual Reflux 式PSA (Dual Reflux PSA)の位置付けと特徴

Dual Reflux PSAは「吸着の研究舎」広瀬 勉氏(熊本大名誉教授)の発案¹⁾によるもので、先述のようなPSAのメリットを最大限に生かしつつ、従来PSAでは不得意とされてきた低濃度VOC処理に対して一気に濃縮を行い凝縮、回収しようとするものである。

従来PSAはModified stripping PSA(脱着ガスを原料ガスに戻すことで濃縮する通常のPSA循環濃縮型)であり、濃縮度が低いため原料ガスが低濃度の場合は濃縮ガスを飽和濃度にまで上げるために吸脱着循環を過剰に行う必要が生じる。一方Dual Reflux PSAのシステムは蒸留と概念が似ており原料ガスを塔の中段に供給し、塔内に濃縮部と回収部を持つことが大きな特徴である。Dual Refluxはこの蒸留に見立てた際に塔頂からのクリーンガスの一部を脱着時の推進力としてパージに利用するラインと、凝縮器からのベントガスを吸着側の濃縮部へ戻すラインの二つを併せ持つことから二元還流型圧カスイング吸着と呼ばれる。

筆者らはこの原理に着目し、これらを実現するための試験装置を製作し、VOC成分を液体で回収することに成功した。

2.3 従来型PSAとの比較

従来型PSAとDual Reflux PSAの比較を図1に示す。

従来型PSAでは、吸着側下部よりVOC含有ガス(入口ガス)を供給

して吸着させる。VOCを吸着除去したクリーンガスは排気として系外へ排出される。ここで系外に排出されるガスの一部をパージガスとして脱着側へ供給すると同時に真空ポンプにて系内を負圧にし、圧力差をつけることでVOC成分の脱着を行う。脱着後のガスは冷却し、VOCを凝縮させ液体として回収する。脱着の推進ガスとして塔頂より供給したパージガスと冷却凝縮器にて凝縮しきれなかったVOC成分がベントとなる。このベントガスは風量が少なく、冷却凝縮器出口では飽和であるため濃度は高い。従来型PSAでは、このベントガスが入口ガスと合流するフローである(図1)。

一般的にPSAで使用する吸着材は、等量の物質を吸着する場合、ガス濃度が高いほど、言い換えればガス分圧が高いほど、単位吸着材に対する吸着量が多く、逆に分圧が低いほど単位吸着材あたりの吸着量が少ない。このことから吸着材にとって吸着に有利なベントガスを入口ガスと合流することはベントガスからみれば、入口ガスに希釈されることになる。従って、必要吸着材量は多くなり、コストアップの要因になっている。また、入口ガスが低濃度の場合には冷却凝縮器で凝縮に至るまでに過剰な吸脱着が必要ことや、別途、PSAの前段にハニカムローターなどの濃縮装置を構築するケース²⁾がある。

Dual reflux PSAは塔内に回収部と濃縮部を持ち、VOC含有ガスを中段に供給して吸着させる。濃縮部では、回収溶剤からのベントガスを吸着材の特性を有効に利用して吸着させることができるため別途濃縮装置を設ける必要はない。また、回収部では入口ガス濃度を低減させるだけの吸着材を充填すればよい設計が安易である。

モデルケースとして、入口ガス濃度1,000 $\mu\text{mol/mol}$ 、ガス量5,000Nm³/h、脱着時のパージガス500Nm³/hを供給すると、吸脱着を重ねて溶剤を回収する定常運転ができるとすると、従来型PSA

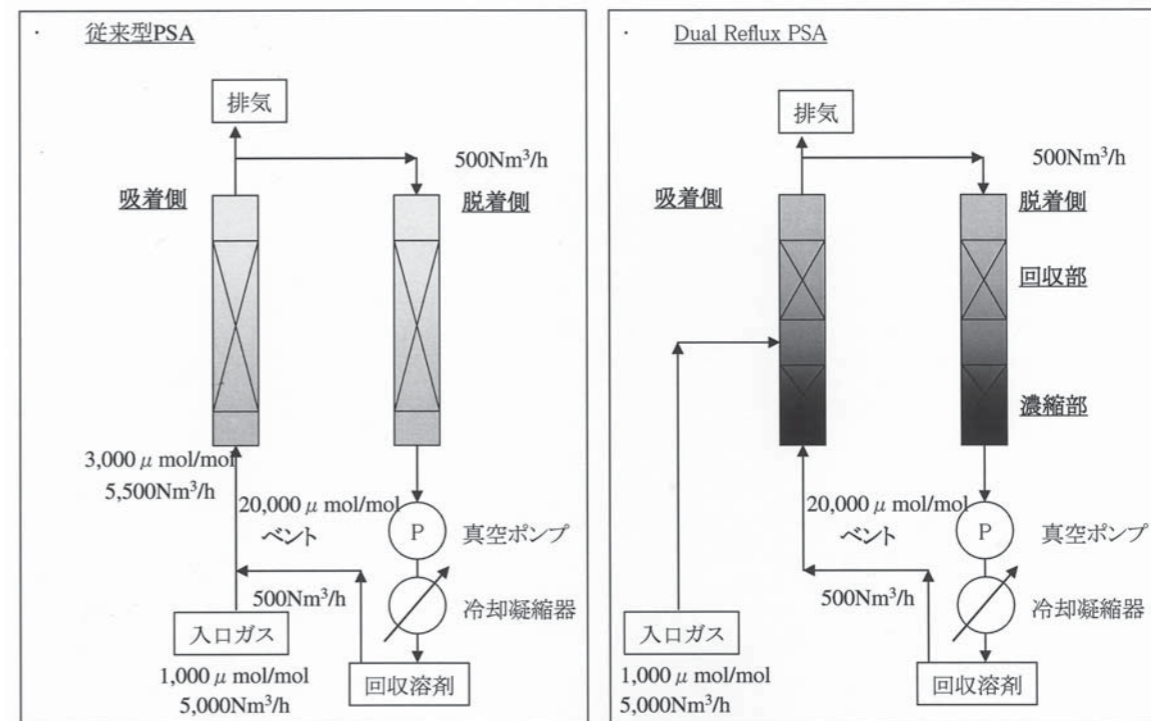


図1 従来型PSAとDual Reflux PSAの比較
Fig.1 Comparison of the conventional PSA and Dual Reflux PSA

では、ベントガスと入口ガスの合流の濃度は約3,000 $\mu\text{mol/mol}$ となり、この3,000 $\mu\text{mol/mol}$ に対する充填材量が必要となる。Dual reflux PSAでは同条件で運転した場合、回収部では1,000 $\mu\text{mol/mol}$ 分の充填材量を考慮すればよく、濃縮部にいたっては、20,000 $\mu\text{mol/mol}$ の高濃度かつ、小ガス量を吸着すればよいため、吸着の特性を加味すると必要吸着材量は従来型PSAに比べて2割から3割程度削減が可能である。吸着材として使用するゼオライトは活性炭などに比べ高価であり、吸着材の量が少なく済むということは結果的に装置の小型化と低価格化が可能である。

3 試験装置の概要

3.1 システムフロー

システムフローを図2に示す。

二塔切替式の吸着槽を用い、片側を吸着、もう一方を脱着というPSAの手法によりDual Refluxの原理を組み合わせた溶剤回収システムの構築を行った。以下処理フローを説明する(図2)。

VOC含有ガス(溶剤含有ガス)を廃ガスファンにより吸着側の槽の中段に供給する。吸着材にVOCが吸着され、出口から清浄ガスが排気される。設定時間に達すると、VOC含有ガスの供給をもう片方の塔に切替え、他方の塔は真空ポンプによって反対方向に吸引される。パージガスは、VOCの爆発領域を避けるため窒素を清浄ガス側から供給し、吸着されたVOCを脱着する。脱着されたガスは真空ポンプの吐出にて常圧となり、後段に設置された熱交換器で冷却凝縮され、VOCを液体として回収する。凝縮できずにパージガスに同伴されるVOCは、再び吸着側濃縮部へ導入し吸着操作を行なう。タイマーにより自動的にこれを切替える。

3.2 小型試験装置の概要

先述のシステムフローを実現するための小型試験機を製作した。

図3に試験装置の外観を示す。

装置高さについては変更可能な仕様にしており、取り扱う溶剤によって槽高を変更することができる。また、出口濃度の常時監視や、各部位の

流量、温度、圧力など運転状況を自動的に記録できるような記録計も有している。脱着時の真空ポンプについてはドライ型で真空度を調節できるようなインバーターと凝縮冷却熱交換器が一体となったものを使用している。

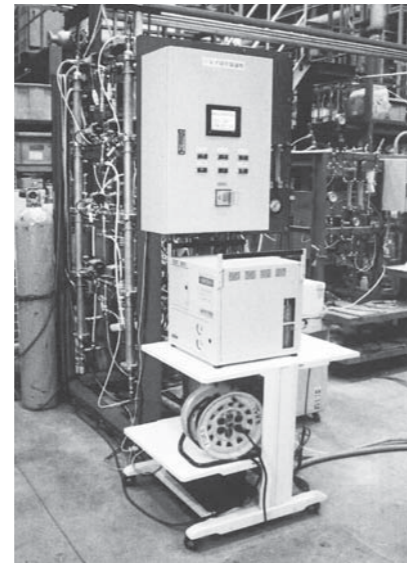


図3 試験装置外観
Fig.3 External view of test unit

試験装置仕様
吸着槽 43mm×2塔式
装置高さ 2,200mm H

4 試験結果

4.1 試験結果

表1に示すように、VOC成分としてトルエンを採用し、入口ガス濃度を約5000 $\mu\text{mol/mol}$ として、試験を行った(図4³⁾)。

吸着から脱着が終了するまでの塔内温度の挙動は、吸着時に吸着熱による発熱反応が起こり、塔内の温度が上昇する。脱着時には吸熱反応により逆に温度が低下していることが確認できた。また、出口濃度の挙動は、吸着時間とともに出口濃度が上昇しているが、A塔吸着後は脱着の終わったB塔の出口ガスに切り替わるので、VOC濃度が下がった状態に復旧することが分かる。ピーク時においても10 $\mu\text{mol/}$

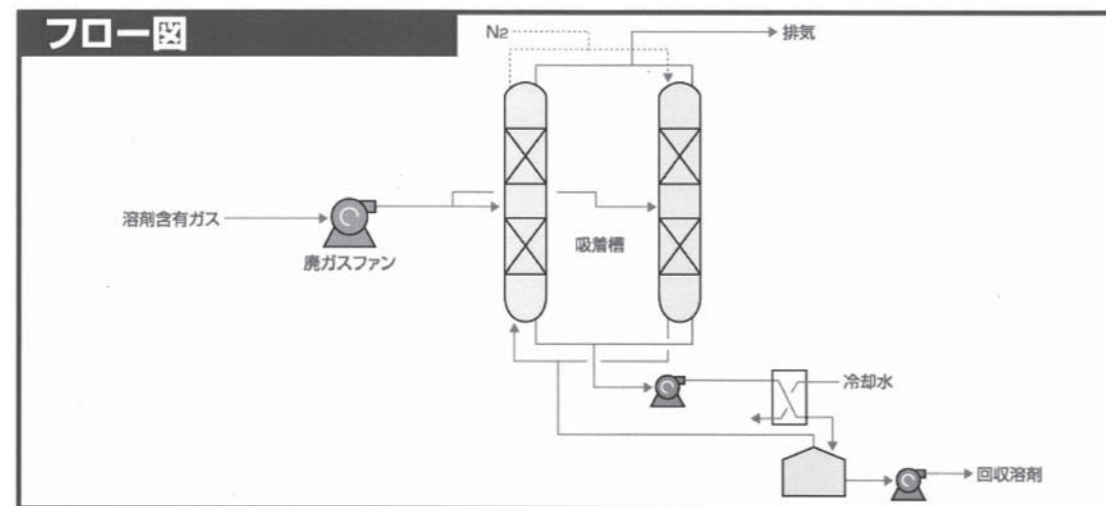


図2 Dual Reflux PSA システムフロー
Fig.2 Dual Reflux PSA System Flow

表1 運転条件とその結果
Table1 Results of test run

VOC成分	トルエン
VOC入口濃度	5,200 $\mu\text{mol/mol}$ (入口ガス平均濃度)
VOC出口濃度	9.7 $\mu\text{mol/mol}$ (出口ガス平均濃度)
回収率	99%以上

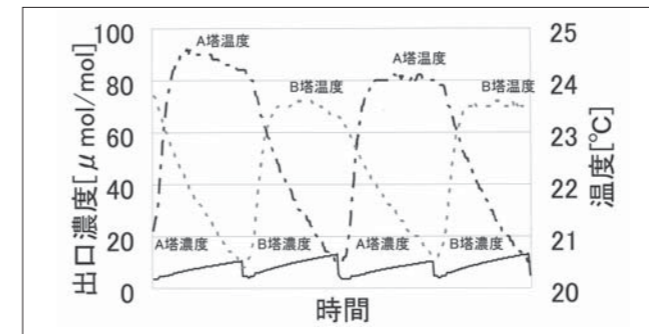


図4 温度、濃度の挙動
Fig.4 Temperature and exhaust gas concentration

molを下回る状態を維持できた。試験では塔内の状況を把握するためにあえて出口ガス濃度を破過させる条件としたが、吸着材充填量や運転条件を変えることで出口濃度を抑制することが可能である。

5 運転パラメーター

出口濃度を抑制する方法として、吸着材充填量増量の他に、運転条件側では、吸脱着の切替え時間、脱着時のパージガス量、さらには塔内圧力(真空度)などの因子が複合的に絡み合うことにより濃度を制御することが可能であるが、Dual Reflux PSAは動的平衡による運転となるため、各種の運転パラメーターの決定にはシミュレーションが必須である。また、実際の装置設計においてもVOCガスの供給位置を決定するためにシミュレーターを使用する。

6 シミュレーションについて⁴⁾

6.1 シミュレーションソフト

運転条件の決定や装置設計で使用するシミュレーターについては明治大学理工学部応用化学科茅原研究室の協力により製作されたソフトを使用する。

これはラングミュア式とStop & Go吸着理論を基礎に制作された視覚化シミュレーションソフトウェアでこれにより最適なVOC含有ガスの供給位置や、安定運転のための各種のパラメーターが決定できる。

6.2 試験との比較

図5にシミュレーションと比較した結果を示す。横軸には脱着時のパージガス量比^{*1}をとり、縦軸には安定運転時のガス出口濃度をプロットしたもので、シミュレーション結果と試験値がよく一致再現性が確認できた。これらの結果から、パージガス量比を大きくすることがガス出口濃度の抑制につながる事が分かる。

*1パージガス量比=(Actualのパージガス量)/(Actualの入口ガス量)で示される

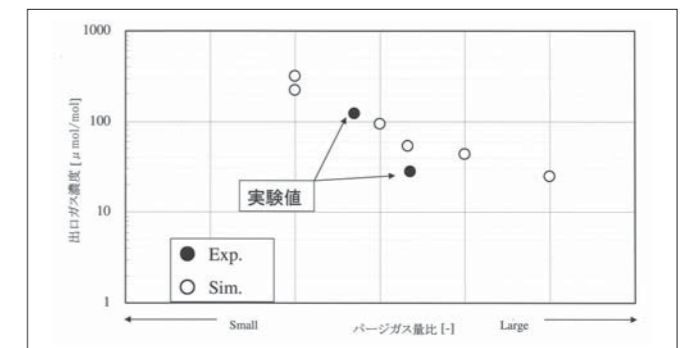


図5 パージガス量比と出口濃度
Fig.5 Volumetric purge gas feed ratio and Exhaust gas concentration



図6 回収溶剤
Fig.6 Recovered Solvent

7 おわりに

図6に示すように、Dual Refluxの原理を用いて、VOC含有ガスから液体として溶剤を回収することができた。またシミュレーションを用いることにより安定運転を実現することができた。

このようにシミュレーションと試験とを組み合わせることで多種多様な種類のVOC処理、回収の引合いに対応することが可能であり、PSAとDual Refluxの原理の利点を最大限に利用することで客先の期待を充分満足できる商品を提供できると考える。

今後の展開として、パイロット試験機を製作し、客先のご協力を得て実証試験を行う予定である。また、これを機に、月島環境エンジニアリング(株)のVOC回収製品ラインナップの充実を図るとともに、多成分系におけるVOCについての基礎データの収集に努め拡販体制を整えていきたい。

最後に、本システムの構築にあたっては明治大学茅原研究室の多大なる協力の賜物であり、同研究室に感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) R.Wakasugi,A.Kodama et al, Recovery of Volatile Organic Compounds as Condensate by Pressure Swing Adsorption with Enriching Reflux, J.Chem.Eng.Japan37,pp374-377 (2004)
- 2) 春田智明 :VOC吸着回収システム,TSK技報,no.6,p6-10,(2006)
- 3) 藤澤良成 他 :VOC回収用Dual Reflux PSAの操作条件の検討,第23回日本吸着学会研究発表会講演要旨集,p56,(2009)
- 4) 千代田拓也 他 :Dual-Reflux PSA シミュレーションによる操作条件の検討,第23回日本吸着学会研究発表会講演要旨集,p55,(2009)

砂糖の話



茂木 淳浩

産業事業本部営業部・グループリーダー

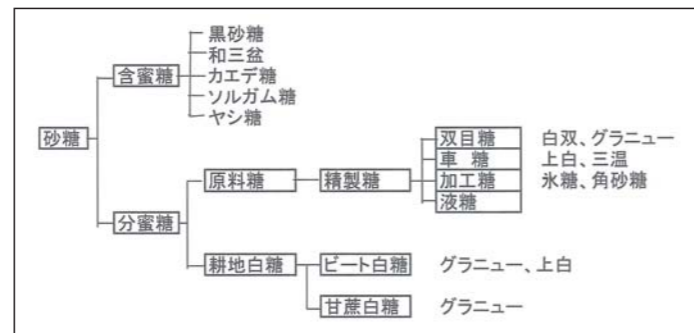
月島機械はその事業を、製糖用機器類の国産化を図ることから起業したことは、皆さんがよく知るところです。過去に発刊された技報の中にもさまざまな製糖用機器・プロセスについての技術や研究が紹介されています。

今回は、それら技術が活かされてきた砂糖そのものについて、簡単に触れてみたいと思います。

砂糖の種類

甘蔗や甜菜からの砂糖は、製造法の違いにより含蜜糖と分蜜糖に分けられます。含蜜糖とは、甘蔗を搾汁後、蔗糖を含む糖汁液から不要な成分を簡単に取り除いたのち濃縮し、固化させたものです。含蜜糖の中には、甘蔗以外の原料作物から採取された砂糖もあります。一方分蜜糖とは、糖汁液を清浄したのち濃縮、加熱晶析させて結晶蜜を作り、遠心力を用いて結晶を取り出した砂糖を指します。

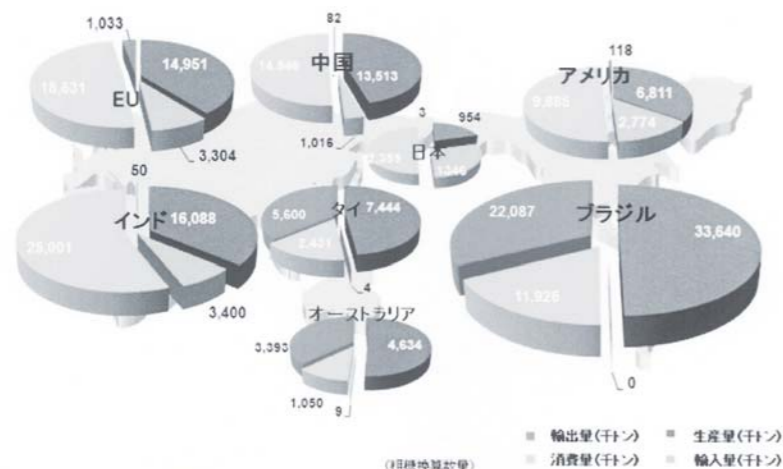
各種砂糖の分類と名称



世界の砂糖需給

2008/09年度の世界の砂糖生産量は、1億4869万トン(粗糖換算数量)と見込まれています。おもな生産国は、ブラジル、インド、EU、中国、タイなどで、ブラジルが全体の約23%を占めています。原料比でみると、近年、甜菜糖のEU地域での生産減により甘蔗の占める割合が全体の約3/4を占めています。

世界の輸出量は4840万トンと見込まれ、おもな輸出国はブラジル、タイ、オーストラリアなどで、やはりブラジルが輸出全体の45%を担っています。砂糖の消費量が多い国を見ると、インド、EU、中国、ブラジルの順となっています。



(資料:農産産量振興機構委託調査会社LMC International Ltdの推計(2009年10月10日現在)による)

バイオマス資源としての砂糖の利用

甘味料としての砂糖の消費量は、用途別には、菓子・パン類に消費されるものが最も多く、約1/3を占めます。次いで清涼飲料、家庭での使用、乳製品、の順になります。しかし、近年では、砂糖は甘味料だけでなく、環境にやさしいバイオマス資源として利用されており、生分解性物質の原材料としても使われています。

地球温暖化対策の観点から、いま世界の注目を浴びているのが、砂糖(甘蔗)を原料としたバイオエタノールの製造で、砂糖生産時に発生する糖蜜(国によっては圧搾汁を混合する場合も有り)をエタノールの発酵原料としています。バイオエタノールはガソリンと混ぜ、自動車用燃料としてブラジルをはじめとし、多くの国で利用されています。このエタノールプラントでは、甘蔗の搾りかすであるバガスがエネルギー源として使用され、エタノールの生産に必要なエネルギーのほとんどを賄っており、化石燃料の使用量が非常に少なく済むのが特徴となっています。

また、甘蔗をはじめとする生物資源からのアルコールは、光合成で得られたエネルギーを、バイオマスの熱エネルギーとして利用することで、二酸化炭素・酸素・水の循環を繰り返すこととなり、自然界全体として大気中の二酸化炭素量変化をもたらさないで、カーボンニュートラルな素材として評価されています。

砂糖の不思議な働き

砂糖は食材に甘味を付けるだけと思っている方が多いと思いますが、お菓子を甘く味付けるだけではなく、料理のうまみを引き出し、食材をバランスよくまとめ上げる不思議な力を持っています。クッキーやスポンジケーキに砂糖を入れずに作ると、クッキーはサクサク感がなく、スポンジケーキほとんど膨らまないといったこととなります。クッキーやケーキのそうした食感は、砂糖が作り出していたこととなります。砂糖には水としっかり結びつき、水分を保持する性質があり、この性質がクッキーのサクサク感やスポンジケーキの弾力感を生んでいるわけです。さらに、砂糖にはきれいな焼き色を出す効果もあるため、砂糖なしで焼いたクッキーやスポンジケーキは白っぽく出来上がってしまいます。

終わりに

私たち人間の脳は、身体の中でも大量のエネルギーが必要とされる部位ですが、そのエネルギー源となるのがブドウ糖で、一日に大人の脳が必要とするブドウ糖の量は100グラム前後に及ぶそうです。しかも他の器官は、タンパク質や脂質をエネルギーとすることができませんが、脳はブドウ糖しかそのエネルギーになりえません。

食べてからブドウ糖に変わるまで何段階かの消化プロセスが必要なパンやご飯に比べ、果糖とブドウ糖から構成されている砂糖(蔗糖)は素早く脳のエネルギーになることができます。

一人当たりの年間砂糖消費量がおよそ18kgとOECD加盟国の中では一番少ない日本(EUや米国は30-40kg前後)であるにもかかわらず、その消費減少傾向に歯止めがかからないのが現実です。脳の機能を高め、筋肉の疲労を速やかに改善させる効果を持つ砂糖をバランス良く摂取することは、私たちが健康な生活を送っていくうえで不可欠でしょう。

まめ知識

甘蔗(サトウキビ)糖発祥の地はインドで、紀元前より既に砂糖が作られていたとされています。おもに熱帯・亜熱帯気候の地での特産品として珍重されてきました。日本へは、17世紀初頭中国より奄美大島に甘蔗が伝えられ、薩摩藩が甘蔗糖の生産を奨励、藩の大きな収入源としていました。18世紀になると、温帯、冷帯地区で甜菜を原料とした甜菜糖(ビート糖)の製造が開始されました。時のナポレオンが甜菜糖の製造を奨励したため、フランス、ドイツを中心にヨーロッパ諸国、さらには北アメリカまでその生産が拡大されていきました。



サトウキビ畑と甜菜

参考文献

- 1) 砂糖の科学 橋本仁、高田明和編 朝倉書店
- 2) 砂糖の事典 日高秀昌、岸原士郎、斎藤祥治編 東京堂出版
- 3) 雑学読本NHKためてガッテン11 NHK科学・環境番組部編 日本放送出版協会
- 4) 独立行政法人農畜産業振興機構ホームページ

会社概要

名称	月島機械株式会社 (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)	設立	大正6年5月
取締役社長	山田 和彦	資本金	66億4680万円
創業	明治38年8月	従業員数	601名(平成21年3月末現在)
		売上高	475億円(平成21年3月期)

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	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
東京支社	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593	(研究所)	〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12 TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661
大阪支社	〒541-0045 大阪市中央区道修町2-6-6(塩野日生ビル) TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415	(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
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	〈海外〉	
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	TSKジャカルタ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office Sequis Plaza 22nd Fl.Suite 2203 Jl. Jend. Sudirman Kav. 25 Jakaruta Selatan 12920 TEL: +62-21-526-7732/7734 FAX: +62-21-526-7790	
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	TSKハノイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office(THO) Unit 202,V-Tower, 649 Kim Ma Street,Ba Dinh District,Hanoi TEL: +84-4-7669965,7,8 FAX: +84-4-7669969	
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	TSKムンバイ駐在員事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 8,Krishna Kunji 1st floor above HDFC Bank Near Fly over Bhayandar (W)Thane-401 104 TEL: +91-22-2815-2784 FAX: +91-22-2815-2785	
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	〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル) TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806		
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		

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	〈海外関連会社〉	
※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	月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. <TES>	
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	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	
※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(ノトライトビル) TEL.03-6386-3964 FAX.03-3537-8764	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	
※サンエコサーマル(株)	〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55 TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381	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	
※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		
※連結子会社			



編集後記

Editor's Note

佐藤 剛 編集委員

最近、自動車の安全性について話題になっている。自動車はユーザの要望や他社との競争等によりめざましい進歩をとげている機械だが、安全への要求も当然第一に考えなければならない。自動車に限らず産業機械でも、安全、高性能、耐久性、環境保護、低コスト等多くの要望があり、そのバランス感覚が求められている。より多くの要望に応えた技術を提供できるよう、常に技術の研鑽が必要と再認識した。

TSK技報 NO.13 2010

年2回(4月・10月)発行

問い合わせ先:giho@tsk-g.co.jp

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

佐藤 教子 小野 基巳

佐藤 剛 加藤 善二

近藤 洋正 青井 有里

山口 彩子