

TSK 技報

2011
Spring

No.15

月島機械株式会社

TSK 技報 no.15 2011 Spring

TSK TECHNICAL REVIEW

TSK 月島機械株式会社

TSK 月島機械株式会社
www.tsk-g.co.jp

論文

電子ビーム溶接技術

— 溶け込み深さに及ぼす溶接因子の影響 —

工業晶析装置

技術紹介

圧搾ブロー脱水機

TSK-MTIミキサシリーズ

ボールトン振動機械



目次

4	巻頭言 ニッチからコア技術へ 執行役員 産業事業本部 プラント計画部 副担当役員 (ICAプロジェクト担当) 下田啓二
6	論文1 電子ビーム溶接技術—溶け込み深さに及ぼす溶接因子の影響— 岩下 雅樹
11	論文2 工業晶析装置 津崎 裕也
20	技術紹介1 圧搾ブロー脱水機 樋上 隆至・島田 純
25	技術紹介2 TSK-MTIミキサシリーズ 山口 良二
30	技術紹介3 ボルトン振動機械 丸山 昭夫
34	TSK 特許紹介
38	コーヒーブレイク “月島茶房” 塩の話 Part 2
39	会社概要・編集後記

TSK 技報

No.15 2011

CONTENTS

4	Foreword	SHIMODA Keiji, EXECUTIVE OFFICER INDUSTRIAL BUSINESS DIVISION
6	Paper1 <i>Electron Beam Welding Technology-Effects of Welding Parameter on Penetration Depth-</i>	IWASHITA Masaki
11	Paper2 <i>Industrial Crystallizer</i>	TSUZAKI Hiroya
20	Technology Introduction1 <i>Squeeze and Blow dehydrator</i>	HIGAMI Takashi / SHIMADA Jun
25	Technology Introduction2 <i>TSK-MTI Mixer</i>	YAMAGUCHI Ryoji
30	Technology Introduction3 <i>Boulton Vibratory Machines</i>	MARUYAMA Akio
34	Patent of TSK	
38	Coffee Break	
39	Corporate Profile / Editor's Note	

表紙の写真



兵庫県の世界遺産に登録されている、姫路城の春の風景

ニッチからコア技術へ



下田啓二

執行役員
産業事業本部
プラント計画部 副担当役員
(ICA プロジェクト担当)

戦後の日本の産業の発展に伴い、環境問題が生じた。これは生産や製造の過程で排出される廃棄物による環境汚染の問題であり、公害問題として産業廃棄物の少量化、無害化という対策が施されてきた。21世紀に入り、新たな環境問題として気候変動問題が注目を集めている。気候変動の原因としては、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの増加であると言われている。二酸化炭素の問題は本質的にはエネルギー問題であり、究極的には実質的に二酸化炭素を排出しない代替エネルギーの確保が出来るかということになる。

これらの環境問題に対して、当社はこれまでに培ったコア技術を適用し、時代の要請に応えるべく、産業廃棄物対策としての焼却設備や排煙脱硫設備を、二酸化炭素対策としての汚泥の燃料化設備や木質系バイオマスのエタノール製造設備を開発し、世に送り出している。

当社は1905年の創業当時は、製糖機械の輸入、据え付けと調整から始まり、製糖機械の製作へと入っていった。製糖プロセスは、蒸発、晶析、分離、濾過、乾燥という要素技術の総合力を必要とした。これらの要素技術は現在では当社のコア技術となって数々の商品群を構成している。しかしながら当時はコア技術という意識はなく、製糖というニッチな分野の事業で培った技術を、その後参入した製塩事業を最初のステップとして、化学、石油化学、鉄鋼、上下水等の事業を通して進化、高度化させることになった。

本号では、そのニッチな分野から当社のコア技術となった晶析技術と、製糖機械や鉄管の製作、そして鉄骨や橋梁の建設から始まった当社の溶接技術を紹介する。

当社の初期の結晶缶は製糖用の蒸発型結晶缶であり、攪拌機は無く、自然循環により晶出させるものであった。製糖から、製塩、硫酸、芒硝、尿素、樹脂原料と晶析技術の適用分野を広げ、それぞれに適した結晶缶を開発してきた。これらの中には今回の論文で紹介しているDP結晶缶(Double Propeller)や当社技報No.12「高純度PDCB製造プロセスと熔融精製技術」の中で紹介したTSK 4Cシステム(Counter Current Cooling Crystallization)があり、当社のヒット商品となっている。

欧米を中心に様々な実験や設備建設を通して晶析技術に関する実績が積み上げられてきたが、現在に至っても設計手法、スケールアップ手法に確立した理論はない。当社は常にパイロットテストを実施し、過飽和度、核発生、成長速度などの設計因子を確認しながら、過去の実績データをベースに設計する手法をとっている。

また、近年ではリチウムイオン二次電池関連の研究にも取り組んでおり、今後の成果が期待される。

当社は製糖機械に続き、鉄骨、橋梁、鉄管、貯蔵タンク等を創業当初に製作・納入しているが、当時は金属材料同士を接合する場合は鍛接や機械的接合(ボルトやリベット)によっていた。各種機能材料の開発に対応した溶接方法が開発され、当社は溶接加工技術を身につけていった。

機械部品の精密溶接を行う為に導入した電子ビーム溶接で、自社の製品のみならず、各種業界における高付加価値製品を受託加工している。真空中で加速した電子ビームを被加工物に照射することにより溶接を行うため、溶接による歪みが抑えられ生産性が向上する。こうした特長により、受託

加工の対象は自動車、航空機、重電機器、原子力、宇宙等多岐にわたっているが、現在は液晶パネル製造用のアルミチャンバの溶接が主体となっている。今後さらに求められる先端分野に向けた溶接技術の開発に発展させたい。

溶接技術を中心とした当社の製造技術は2001年に市川工場製造部門から分社化された月島テクノマシナリー(TSTM)に引き継がれている。

技術を売る会社として、当社ではニッチに応える独自技術の強化が必要である。晶析に限らず濾過・分離・乾燥等においてもお客様からサンプルをいただきテストを実施して、最適な装置を提案する体制をとっている。そのためほとんどの製品が一品ごとの受注生産となっている。本号の技術紹介にある、圧搾ブロー脱水機、ミキサー、振動篩、ミルも同様にテストを実施して最適な装置を提案している。

時代の要請に応じて、当社の技術の適用分野は変遷してきた。我々が直面している地球環境問題やエネルギー問題は困難な課題を投げかけられているが、ニッチからコア技術へと研鑽を重ね、これらの課題に取り組んでいきたい。

電子ビーム溶接技術

—溶け込み深さに及ぼす溶接因子の影響—

Electron Beam Welding Technology -Effects of Welding Parameter on Penetration Depth-



岩下雅樹
IWASHITA Masaki
月島テクノマシナリー（株）
製造技術部

Abstract

Electron beam welding is characterized by deep and narrow penetration, high welding speed, and small welding deformation because of high energy density. Tsukishima Kikai is manufacturing many aluminum alloy vacuum chambers using electron beam welding machine equipped with high power electron beam gun and large vacuum chamber. This report describes the effects of welding parameter on partial penetration welding in flat position. The results obtained in this study are as follows:

- (1) Penetration depth is in proportion to accelerating voltage and beam current, and inversely proportional to welding speed.
- (2) To deepen penetration depth, the a_b value should be adjusted to around 0.7 so that the power density of electron beam becomes high near the root portion of penetration.
- (3) Penetration depth welded without beam oscillation increased by about 20% in comparison with that welded with beam oscillation.
- (4) Spike length of penetration welded with beam oscillation frequency 100Hz is short in comparison with that welded without beam oscillation or with beam oscillation frequency 10000Hz.

電子ビーム溶接はエネルギー密度が大きいため、深く、幅の狭い溶け込みが得られ、溶接速度が速い、溶接変形が小さい等の特徴がある。月島機械の設備は大出力の電子銃、大型の真空チャンバを備えており、アルミ製真空チャンバを数多く製作している。アルミニウム合金の下向き部分溶け込み溶接における溶接因子の影響について以下の結論を得た。

- (1) 溶け込み深さは加速電圧、ビーム電流に比例し、溶接速度に反比例する。
- (2) 深い溶け込みを得るには、ルート部で電子ビームのパワー密度が大きくなるように a_b 値を 0.7 程度に調整することが必要である。
- (3) オシレーションなしの場合はオシレーションありに比べ、溶け込みが約 20% 深くなる。
- (4) オシレーション周波数 100Hz の場合、オシレーションなしまたは周波数 10000Hz に比べ、スパイク長が短い。

キーワード：電子ビーム溶接、溶け込み深さ、アルミニウム合金、溶接入熱、オシレーション
Keyword : Electron beam welding, Penetration depth, Aluminum alloy, Heat input, Beam oscillation

1 はじめに

電子ビーム溶接は1950年にSteigerwaldにより加速電圧50kVの装置で行われた¹⁾のが最初であり、以来様々な技術的改良が加えられ、様々な産業分野に適用されている。

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、多くの製品の溶接に適用してきた。その後、電子ビーム溶接装置は大型化、高出力化し、現在は3号機、4号機が稼働している。本稿では、これまでに蓄積したアルミニウム合金の電子ビーム溶接特性を報告する。

2 電子ビーム溶接の概要

2.1 電子ビーム溶接の原理

電子ビーム溶接は、高真空中でフィラメント（陰極）より放出された電子を高電圧で加速し、被溶接物に衝突させ、そのエネルギーを利用して行う溶接方法である。電子ビーム溶接の原理を図1に示す。

2.1.1 電子の発生

フィラメントを電氣的に加熱し、熱電子を放出させる。この時フィラメントは高温となるため、融点の高い材料を使用する必要があり、一般的に

タングステンが使用されている。また、大気中で加熱した場合、容易に酸化し、フィラメントが劣化するため、高真空中で加熱する必要がある。

2.1.2 電子の加速

放出した電子はフィラメントとアノード（陽極）間に高電圧（通常40～150kV）を印加して加速される。電圧が高いほど、電子の速度は増加し、電子の衝突エネルギーが増加する。

2.1.3 電子ビームの収束

加速した電子は、そのままでは拡散するため、電磁レンズ（電磁コイル）に電流を流し、これにより発生した磁界により収束され、エネルギー密度を高くする。電子ビームの径はビーム電流に比例し、加速電圧に反比例する。

2.1.4 電子ビームの照射

電子を金属に照射すると、電子は金属原子と衝突拡散を繰り返し、金属を加熱し溶融させる。溶融金属は過熱状態になり、瞬時に沸点に達し金属蒸気となる。金属蒸気は密度が小さいため、電子ビームはより深部に入り、深い孔（ビーム孔）が形成される。これを電子ビームの穿孔作用と呼び、ビーム孔を通じて金属内部を溶融することで、深い溶け込みを得ることができる。

2.1.5 溶接

電子ビームを移動させると、電子ビームはビーム孔の前方の壁に衝突し、これを溶融する。溶融された金属は、ビーム孔の周囲の壁を伝わって後方へ移動し、溶融池を形成する。溶融池は溶接の進行とともに凝固し、溶接が行われる。

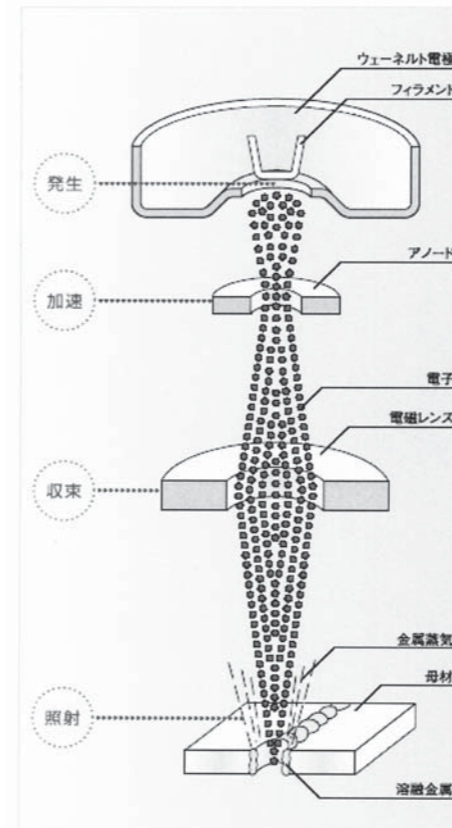


図1 電子ビーム溶接模式図
Fig.1 Schematic diagram of electron beam welding

2.2 電子ビーム溶接の特徴

電子ビーム溶接は通常のアーク溶接の数倍のエネルギー密度の熱源（ $10^{11} \sim 10^{13} \text{W/m}^2$ ）を利用するため、以下の特徴を有する。

- (1) 深く、幅の狭い溶け込み溶接が可能であり、溶接変形が非常に小さい。
- (2) 溶接速度が非常に速い。
- (3) 高融点材料の溶接が可能である。
- (4) 異材溶接が比較的容易にできる。
- (5) 真空中での溶接のため、活性金属の溶接においても機械的性質、耐食性および外観の劣化を最小限にすることが可能である。
- (6) 溶接結果にバラツキが少なく、精密溶接や多量生産に適している。

一方、短所としては以下があげられる。

- (1) 装置が高価である。
- (2) 真空チャンバ内で行うため、チャンバの大きさにより被溶接物の寸法が制限される。
- (3) 真空チャンバの排気時間が必要である。
- (4) 溶接部の開先精度を良くし、開先を十分に清浄にする必要がある。
- (5) 電子ビームは磁気により曲がるため、残留磁気の大い材料には不向きである。
- (6) 電子が被溶接物に衝突する際にX線が発生するため、X線の防護が必要である。

2.3 月島機械の電子ビーム溶接装置

電子ビーム溶接装置は、電子銃（ガン）、高電圧発生装置、真空チャンバ、ワーク駆動装置（XYテーブル、回転テーブル等）、真空排気装置、制御盤および操作盤から構成されている。表1に電子ビーム溶接装置の仕様、図2に電子ビーム溶接装置4号機を示す。

現在稼働中の電子銃は、3号機ともに60kWと高出力であり、超厚板の貫通溶接を安定して施工している。150kVの高電圧タイプであり、低電圧タイプ（60kV未満）と比較すると、ビームを細く収束できるため、同じ出力でもよりビード幅の狭い、深い溶け込みを得ることができる。また、各装置とも下向きガンおよび水平ガンを装備しており、様々な製品形状に対応が可能である。

真空チャンバは3号機とも超大型チャンバであり、製品寸法の制限が少ない。

排気系は粗引きとしてロータリーポンプおよびメカニカルブースターポンプ、主排気としてクライオポンプを備え、20分で溶接可能となる真空度まで到達可能である。

表1 電子ビーム溶接装置仕様
Table1 Specification of electron beam welding machine

		3号機	4号機
電子銃	加速電圧	150kV	150kV
	定格出力	60kW	60kW
真空チャンバ	長さ	8.5m	9.7m
	幅	3.8m	4.8m
	高さ	2.9m	3.1m
排気系	到達圧力	$6 \times 10^{-3} \text{Pa}$	$6 \times 10^{-3} \text{Pa}$
	排気時間	20min	20min
駆動系ストローク	Xテーブル	4m	4.5m
	Yテーブル	1.8m	2.3m
	Zスライダ	1m	1m

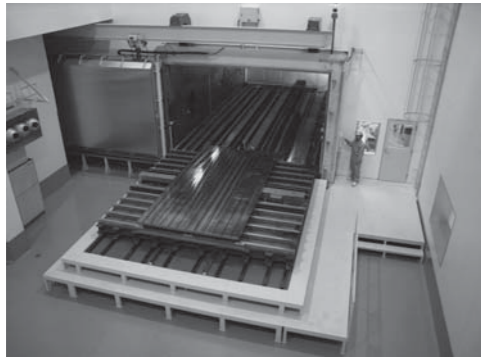


図2 電子ビーム溶接装置4号機
Fig.2 Appearance of electron beam welding machine no.4

2.4 アルミチャンバの製作例

月島機械において、これまでに製作したアルミチャンバを紹介する。アルミニウム合金は、真空特性が良い、機械加工性が良い、軽量で取り扱いが容易等のメリットがあり、超高真空の領域で用いられる容器に使用されることが多い。特に液晶パネル製造装置用としては、Al-Mg系のA5052が多用されており、すでにアルミ製真空チャンバを1000台以上出荷している。図3は液晶パネルの検査装置に使用するチャンバである。本チャンバはA5052製で板厚100mm以上を立向上進で貫通溶接している。

アルミニウム合金は深溶け込み溶接時にはルート部への熱伝達が不十分となり、コールドシャットとこれに伴うルートポロシティが発生しやすい。しかし、大出力の電子ビーム溶接装置を使用することで、現在では100mm以上の溶け込み深さを安定して得ている。また、最近ではクリーンエネルギーとして注目されている太陽電池の製造装置として真空チャンバの需要が増加している。

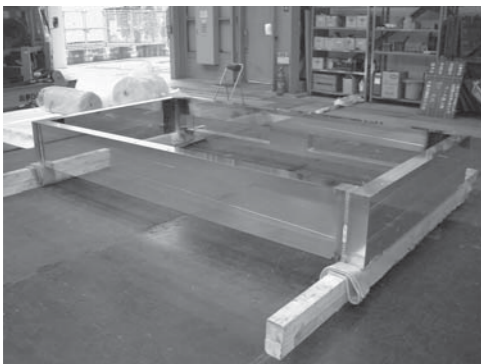


図3 液晶パネル検査装置チャンバ
Fig.3 Appearance of chamber for flat-panel display inspection

3 アルミニウム合金の電子ビーム溶接特性

供試材料にはAl-Mg系のA5052を使用した。2.4項で述べたように本材質は真空中で用いられる容器に使用されることが多い。表2に化学成分の一例を示す。

電子ビーム溶接は加速電圧、ビーム電流、溶接速度、ビームの焦点位置、オシレーション(電子ビームの振動)等の溶接パラメータにより溶け込み深さが決定される。様々な溶接条件で溶接を行い、マクロ試験により溶け込み深さを確認し、各々のパラメータが溶け込み深さに及ぼす影響を調査した。

電子ビーム溶接は下向き部分溶け込み溶接を行った。電子ビーム溶接で部分溶け込み溶接を行った場合、図4に示すように溶け込み深さが一定しない。これはスパイクと呼ばれ、溶け込み底部にはルートポロシティが存在している。そこで、ルートポロシティが存在しない健全部の深さ(最も浅い溶け込み深さ)を溶け込み深さとした。

表2 材料の化学成分の一例
Table2 Example of chemical composition of materials used

A5052	化学成分(%)							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
	0.06	0.25	0.05	0.05	2.59	0.19	0.01	rem.

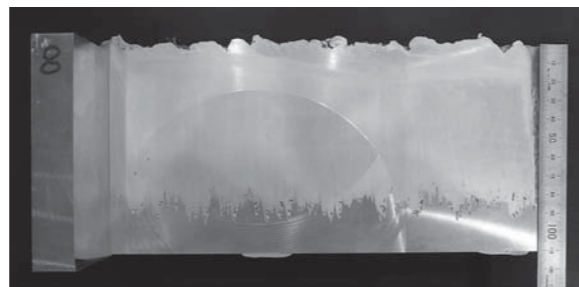


図4 部分溶け込み溶接部に発生したスパイク
Fig.4 Spiking phenomena of partial penetration

3.1 溶接入熱の影響

図5は溶接入熱を変化させた場合の溶け込み深さの変化を示す。オシレーションありの条件で、焦点位置は各溶け込み深さに対して適正な溶け込み形状となる値を採用している。溶接入熱 H は次式で表される。

$$H = E \cdot I / v$$

ここで、 E は加速電圧、 I はビーム電流、 v は溶接速度である。従って、溶け込み深さは加速電圧、ビーム電流に比例し、溶接速度に反比例する。下向き溶接は、横向き溶接に比べ深い溶け込みを得ることが困難である。²⁾これは下向き姿勢では溶融金属が重力の働きでビーム孔を埋めようとするのに対し、横向き姿勢ではこれがないためだと言われている。月島機械では、現在までに下向き部分溶け込み溶接(溶接入熱5063kJ/m)で溶け込み深さ108mmを安定して施工している。図6に本条件でのマクロ試験の結果を示す。溶け込み中央における溶融幅は5mm、スパイク長 Δhp (最も深い溶け込み深さ-最も浅い溶け込み深さ)は15mmである。

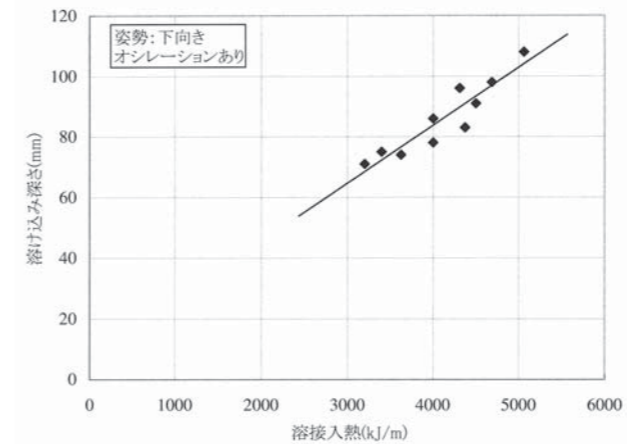


図5 溶接入熱が溶け込み深さに及ぼす影響
Fig.5 Effect of heat input on penetration depth

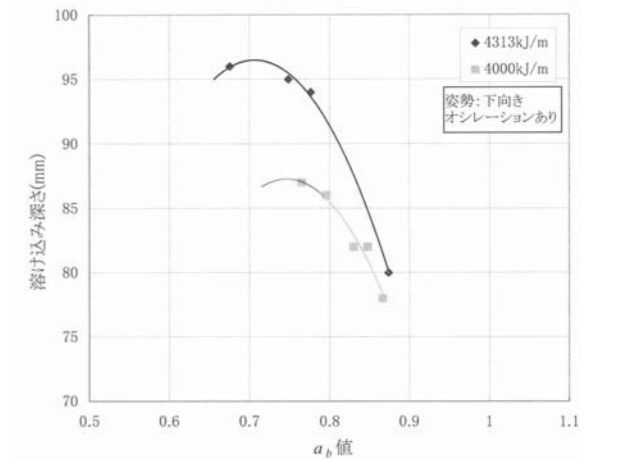


図7 焦点位置が溶け込み深さに及ぼす影響
Fig.7 Effect of focal position on penetration depth

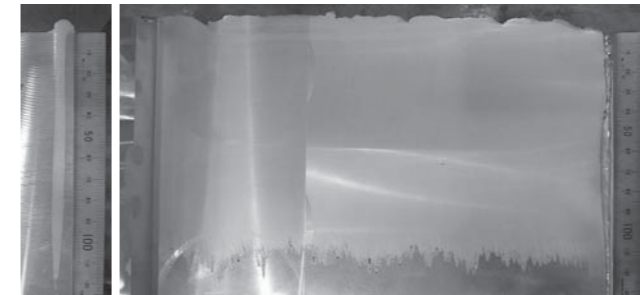


図6 溶接入熱5063kJ/mの断面および縦マクロ写真
Fig.6 Macro-structure welded by heat input 5063kJ/m

3.2 焦点位置の影響

図7は焦点位置(活性変数 a_b)を変化させた場合の溶け込み深さの変化を示したものである。溶接入熱は4313kJ/mおよび4000kJ/m、オシレーションありの条件で a_b 値を変化させた。 a_b 値は次式で表される。³⁾

$$a_b = D_0 / D_f$$

ここで、 D_f は電磁レンズ中心から焦点位置までの距離(焦点距離)、 D_0 は電磁レンズ中心から試料表面までの距離(対物距離)である。従って、 $a_b < 1.0$ は電子ビームの焦点が試料の内部にあることを示す。焦点距離は試料が溶けないような微小電流を用い、試料表面で焦点を合わせた時の対物距離から求めている。溶接入熱によらず、 a_b 値が小さくなると溶け込みは深くなるが、その傾きは徐々に緩やかになる。溶け込み深さのピーク値は、溶接入熱が4313kJ/mで a_b は約0.7、入熱が4000kJ/mで a_b は約0.75である。これは深い溶け込みを得るには、 a_b 値を小さくし、ルート部で電子ビームのパワー密度が大きくなるように調整する必要があることを示している。

3.3 オシレーションの影響

図8は溶接入熱に対する溶け込み深さの関係をオシレーションの有無で比較したものであり、溶接姿勢は下向きで、 $a_b=0.91$ である。オシレーションなしの場合はオシレーションありに比べ、溶け込み深さが約20%深くなる傾向が見られた。オシレーションは電子ビームを振動させることで溶融金属の凝固パターンを変化させ、ポロシティの発生防止に有効である⁴⁾が、同等の溶接入熱では溶け込みが浅くなる。これはオシレーションを行うことで、エネルギー密度が相対的に下がるためであると推測される。

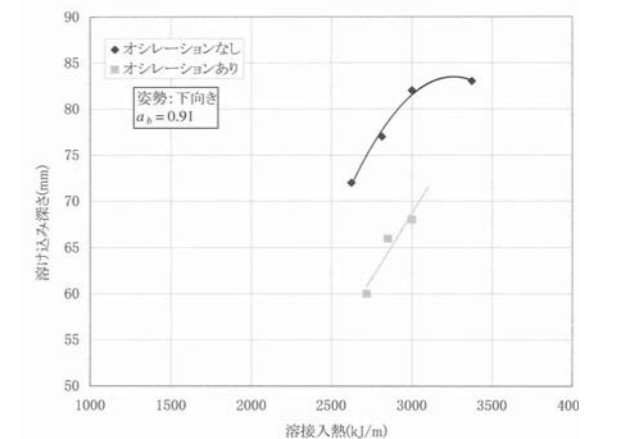


図8 オシレーションが溶け込み深さに及ぼす影響
Fig.8 Effect of beam oscillation on penetration depth

図9はオシレーション周波数とスパイク長 Δhp の関係を示したものであり、溶接姿勢は下向きで、焦点距離は各溶け込み深さに対して適正な溶け込み形状となる値を採用している。溶接入熱が大きいほど、スパイク長は大きくなる傾向が見られる。また、オシレーション周波数100Hzの場合、オシレーションなしまたは周波数10000Hzに比べ、スパイク長が小さく、安定した溶け込み深さを得ることが可能であった。

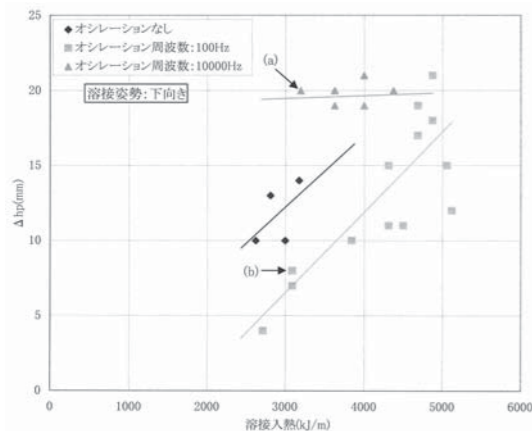
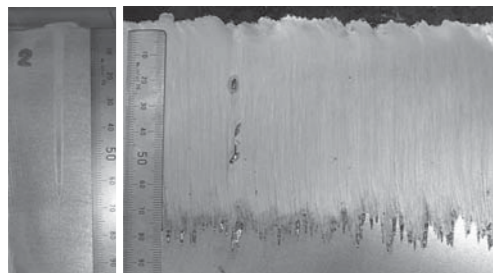
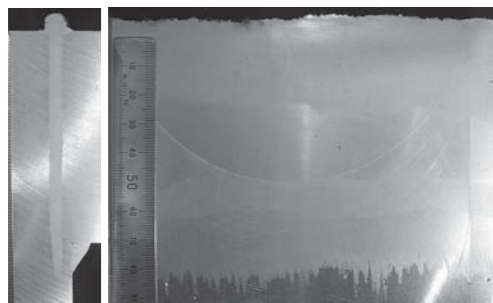


図9 オシレーション周波数がスパイク長に及ぼす影響
Fig.9 Effect of beam oscillation frequency on spike length

図10に(a)および(b)条件でのマクロ写真を示す。(a)はオシレーション周波数が10000Hzの場合で、 $\Delta hp=20$ でありルートポロシティおよびコールドシャットが多く見られる。一方、(b)はオシレーション周波数が100Hzの場合で、 $\Delta hp=8$ でありルートポロシティが少なく比較的安定した溶け込みであることが見て取れる。一般にルート部で電子ビームのパワー密度が最大となる時、スパイクおよびルートポロシティが最も顕著に発生することが知られている。⁵⁾しかし、溶け込みを深くするにはルート部で電子ビームのパワー密度を上げる必要がある。(3.2項参照)ルート部の欠陥を改善するには、オシレーション周波数を適切にすることが効果的である。



(a) オシレーション周波数 10000Hz, 溶接入熱 3200kJ/m, a_b 値 0.80
(a) Beam oscillation frequency 10000Hz, Heat input 3200kJ/m, a_b value 0.80



(b) オシレーション周波数 100Hz, 溶接入熱 3094kJ/m, a_b 値 0.77
(b) Beam oscillation frequency 100Hz, Heat input 3094kJ/m, a_b value 0.77

図10 オシレーション周波数による溶け込み形状の比較
Fig.10 Comparison of macro-structure on beam oscillation frequency

4 おわりに

月島機械の電子ビーム溶接装置でA5052材の下向き部分溶け込み溶接を実施し、溶け込み深さを調査した結果、以下の結論を得た。

- (1) 溶け込み深さは、加速電圧、ビーム電流に比例し、溶接速度に反比例する。
- (2) 深い溶け込みを得るには、ルート部で電子ビームのパワー密度が大きくなるように a_b 値を0.7程度に調整する必要がある。
- (3) オシレーションなしの場合はオシレーションありに比べ、溶け込みが約20%深くなる。
- (4) オシレーション周波数100Hzの場合、オシレーションなしまたは周波数10000Hzに比べ、スパイク長が小さく、安定した溶け込み深さを得ることが可能である。

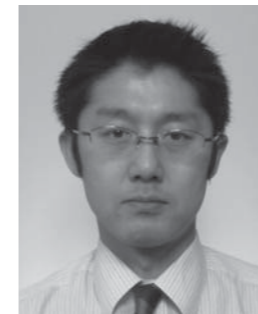
電子ビーム溶接の溶け込み深さを決定する要因は多く、複雑である。溶接姿勢、材料の熱伝導率、融点などによっても溶け込み特性は大きく変化する。今後、横向きや立向きなどの溶接姿勢、銅などの他の材料、より大出力での特性について調査していく考えである。

参考文献

- 1) 黒田秀郎: 電子ビーム溶接, 日刊工業新聞社(1971)
- 2) 益本功, 沓名宗春, 安田耕三: 溶融特性におよぼす溶接因子の影響, 溶接学会誌, 第50巻, 第11号, p.1095-1101(1981)
- 3) 荒田吉明: 電子ビーム熱源の特性とその溶接技術開発に対する展望, 溶接学会誌, 第41巻, 第11号, p.1338-1349(1972)
- 4) 益本功, 沓名宗春, 安田耕三: 大出力電子ビーム溶接の実用化に関する基礎研究(第2報), 溶接学会誌, 第51巻, 第1号, p.27-32(1982)
- 5) 塚本進, 入江宏定: 電子ビームによる母材の溶融課程とスパイクの形成機構, 溶接学会論文集, 第8巻, 第3号, p.331-336(1988)

工業晶析装置

Industrial crystallizer



津崎 裕也
TSUZAKI Hiroya
産業事業本部
プラント計画部
プロセス第1グループ

Abstract

The roots of Tsukishima Kikai's crystallization technology for the chemical industry began from introduction of crystallization technology for the sugar industry. Tsukishima Kikai has developed different types of crystallizers since 1960 such as Forced Circulation, Calandria, Oslo, DP, and Scraped surface crystallizers. These have been applied widely in fields such as chemical and food industries with more than 200 crystallizers delivered up to now. In recent years, requirements for the quality of the product have been high and diversified. It has been more important that the product is produced under the optimum condition. This paper describes Tsukishima Kikai's latest crystallization technology and know-how of crystallization to produce crystals of required quality in response to the needs of the users.

月島機械における化学工業用の晶析技術は砂糖用の晶析技術導入から始まった。1960年以降、各種晶析装置の開発を行い、現在月島機械の保有する晶析装置は、強制循環型晶析装置、カランドリア型晶析装置、オスロ型晶析装置、DP型晶析装置、掻き取り型晶析装置である。これらは化学、食品など幅広い分野に応用され、現在まで200機を超える納入実績がある。昨今は、ユーザーの製品品質に対する要求は高く、かつ、その要求も多様化してきているため、これまで以上に最適な晶析条件で製品を製造することの重要性が増してきている。本稿では、所定の性状の結晶を得るための手法と昨今のユーザー要求に対応した晶析技術を紹介する。

キーワード: DP型晶析装置、オスロ型晶析装置、DTB型晶析装置、過飽和、核発生、粒度
Keyword: DP crystallizer, Oslo crystallizer, DTB crystallizer, Supersaturation, Nucleation, Particle size

1 はじめに

晶析とは、溶液中に溶け込んだ目的物を溶解度の温度依存性を利用して冷却または加熱濃縮により結晶化させ、分離する単位操作であり、食品、医薬、化学など幅広い分野で用いられている。

月島機械における工業晶析は砂糖用の強制循環型晶析装置に始まり、その後、さまざまな分野に適用範囲を広げ、これまで100種類以上の物質用に晶析装置を納入している。代表的な実績としては、食塩、硫酸、硫酸ソーダ、硫酸ニッケル、硫酸銅、青化ソーダ、ビスフェノール A、パラキシレン、アジピン酸などであり、物質毎の異なる要求品質、運転条件に対応するために各種晶析装置を開発してきた。現在では、強制循環型晶析装置に加え、カランドリア型、オスロ型、DP型、掻き取り型の晶析装置を有し、月島機械のコア技術の一つである。

晶析工程で得られた結晶の性状は、濾過・分離、乾燥、分級、搬送などの後工程の機種選定や装置仕様に大きな影響を与え、また、純度、粒度、形状などの製品品質を決定付けることから、晶析工程で所定の性状の結晶を製造することは、プラント全体の採算性の向上の観点から

非常に重要と言える。

しかし、晶析操作において結晶性状に影響を与える因子は非常に多く、それらが複合的に絡み合うため、全ての因子を最適に調整し、所定の性状の結晶を製造することは決して容易ではない。結晶性状に影響を与える主な因子は以下の通りである。

- 1) 晶析装置由来の因子
型式、装置サイズ、攪拌条件、流動状態など
- 2) 溶液由来の因子
溶液中の不純物成分と含有率、粘度、pH、温度など
- 3) 目的物(結晶)の性状由来の因子
物質毎に異なる結晶形状、結晶の成長速度、溶解度など
さらに昨今は、高品質、高機能、多品種製造など、ユーザーの製品品質に対する要求は高く、且つ多様化してきているため、これまで以上に最適な晶析条件で製品を製造することの重要性が増してきている。
本稿では、所定の性状の結晶を得るための手法と昨今のユーザー要求に対応した晶析技術の一部を紹介する。

2 晶析装置設計

晶析は、溶液中から目的物を結晶として析出させる、もしくは、既に溶液中に存在する結晶を成長させる操作である。所定の性状の結晶を得るためには、結晶の発生条件や結晶の成長速度に配慮しなければならない。晶析装置においては、結晶の発生や成長に関係する運転条件をどのように調整するのかを予め想定した設計が求められる。以下に晶析装置設計を行う上で考慮される諸条件について記載する。

2.1 操作過飽和度

結晶の核発生速度と成長速度は、溶液の過飽和度の影響を受け、溶液の飽和度がどの状態であるかが重要となる。

溶液の飽和度の状態は大きく4つに分類される。

- 1) 不飽和状態

溶液中の目的物濃度が飽和濃度に達していない状態。
- 2) 飽和状態

溶液中の目的物濃度が飽和濃度まで達している状態。
- 3) 過飽和状態
 - a) 準安定領域の状態

核発生は起こらず、溶液中に結晶が存在している場合、結晶の成長が促される。
 - b) 不安定領域の状態

溶液中の目的物濃度が準安定域の過飽和状態を超えた状態。この状態の液からは目的物が結晶核(微細な結晶粒子)として発生する。

過飽和度は、飽和状態 < 準安定領域過飽和状態 < 不安定領域過飽和状態の順に高くなり、結晶の成長速度や結晶核発生速度も過飽和度が高いほど上昇する。一般的に結晶成長速度と過飽和度の関係は以下の式で表わされる。

$$\text{結晶成長速度} = k_G \cdot \Delta C^n$$

k_G : 定数
 ΔC : 過飽和度 = 過飽和溶解度 - 飽和溶解度
 n : 次数

結晶の成長速度が大きい程、結晶の平均粒径は大きくなる。上記式から平均粒径を大きくしたい場合には過飽和度を高く設定すれば良いことになる。しかし、その一方で過飽和度が高くなるに従い、結晶核の発生も高くなるため、大きな結晶と微細な結晶が混在したブロードな粒度分布になっていく。さらに過飽和度をあげ、結晶の成長速度より核発生速度が上回ってくると、得られる結晶の平均粒径としては小さくなる。この平均粒径と過飽和度の関係は図2のように表わされる。

実際の晶析装置設計においては、加熱濃縮や冷却によって過飽和度を発生させる場所とそれを消化する場所(結晶が成長する場所)とがある程度離れていることになるため、それぞれの場所での過飽和度は異なると考えられる。さらに晶析装置内における過飽和度の分布は装置内の流動性の違いによって変動する。(より流動性が高い場合はこの分布が小さく、流動性が低い場合は大きくなる)

そこで月島機械の晶析装置設計においては、流動性の違いを晶析装置内の循環溶液の循環量に置き換え、循環量の変動と過飽和度

発生場所における最大過飽和度の変化を操作過飽和度(見掛け上の過飽和度)としてまとめた以下の式を設計値として用いている。

$$\text{操作過飽和度} \Delta C = (\text{結晶析出量}[\text{kg/h}]) / (\text{循環量}[\text{m}^3/\text{h}])$$

先の過飽和度と同様、操作過飽和度も結晶成長速度と比例関係にある。

結晶の成長速度を調整するために操作過飽和度を変動させる場合は、晶析装置内の溶液循環量を調節する。つまり、結晶の粒度調整は装置内の溶液循環量の調節によって行う。

この手法はオスロ型晶析装置(図3)及び、DP型晶析装置(図4)の設計に取り入れられている。

操作過飽和度と循環量の考え方はオスロ型、DP型共に同じであるが、循環量の調節がオスロ型の場合は、外部循環ライン上の循環ポンプの回転数制御であるのに対し、DP型は晶析装置内に取り付けられた攪拌羽根の回転数を変動させ、装置内に取り付けられたドラフトチューブの内外循環流量を調節する点が異なる。

【オスロ型】
 操作過飽和度 $\Delta C = (\text{結晶析出量}[\text{kg/h}]) / (\text{ポンプ外部循環量}[\text{m}^3/\text{h}])$

【DP型】
 操作過飽和度 $\Delta C = (\text{結晶析出量}[\text{kg/h}]) / (\text{攪拌機によるドラフトチューブ循環量}[\text{m}^3/\text{h}])$

粒度と操作過飽和度の関係は不純物を含めた各物質系固有のものであるため、テストなどで事前に所望する粒度の結晶を得るために必要な操作過飽和度を確認し、実装置における操作過飽和度の可変範囲、すなわち、循環量の可変範囲を決定する。

2.2 結晶の滞留時間

結晶の成長速度は物質毎に異なる。つまり、所定の粒度まで成長するために要する時間もそれぞれ異なるということである。結晶は晶析装置内を滞留している間に成長するため、所定粒度の結晶を得るためにはその結晶の成長速度に見合った滞留時間を確保できるように晶析装置の容量を決定しなければならない。

但し、設計条件として結晶の滞留時間を長くするほど、結晶生産量に対する晶析装置の容量は大きくなり設備費が増大するため、過剰に滞留時間を確保しない配慮も必要である。

2.3 核発生

晶析装置内を滞留する結晶の数は、結晶粒度を決定付けるもう一つの大きな要素である。

McCabeの ΔL 則によると、同じ晶析条件下では、結晶の成長速度はその粒子径の大小に関わらず一定であるとされている。従って、前項までに述べた結晶成長速度と滞留時間を所定の条件に設定しても、晶析装置内に滞留する結晶の核数が多い程、結晶粒度は小さく、核数が少ない程、結晶粒度は大きくなる。

晶析装置内における核発生機構には二種類あり、それぞれの核発

生数を調整することは、所定粒度の結晶を得るために重要である。以下に核発生機構とその調整方法について記載する。

2.3.1 一次核の発生

不安定領域の過飽和状態で溶液中から析出する微細な結晶核のことを一次核と呼ぶ。晶析装置内の過飽和度や結晶スラリーの濃度は必ずしも均一でないため、結晶との接触が不十分な箇所では局所的に過飽和が進み、一次核が発生することがある。一次核の発生数次第で粒度分布は大きく変動することもあるため、均一な粒度の結晶を安定的に得るためには、一次核の発生を抑制することが望ましい。

オスロ型晶析装置は、その構造上、高い操作過飽和度での運転となるため、一次核が発生し易い。

オスロ型晶析装置(図3)は、晶析室より結晶混入量の少ない清澄母液を外部循環させ、加熱器を経由して蒸発部で蒸発濃縮し過飽和度を持った溶液となる。この過飽和溶液をテールパイプにて晶析室底部に滞留する結晶に接触させ結晶の成長を促す方式であるが、蒸発室、テールパイプ中を流動する過飽和溶液中には結晶が殆ど存在しないため、一次核が発生し易い状態にある。

これに対しDP型晶析装置(図4)は、攪拌機による槽内循環方式を採用しているため、ドラフトチューブ内外を結晶スラリーが循環する。槽内の液面で蒸発濃縮により製造された過飽和溶液は、槽内循環している結晶と直ちに接触し脱過飽和されるため、一次核の発生を抑制する効果がある。

2.3.2 二次核の発生

二次核とは、懸濁されている結晶スラリー中から発生する結晶核のことで、発生機構は様々であるが、経験的に結晶-結晶間、結晶-装置内壁間、結晶-攪拌羽根間の接触、過飽和度、スラリー濃度が関係すると考えられ、次式で示される。

$$\text{二次核発生速度 } B = kN^a \sigma^b M^i$$

二次核発生速度は攪拌羽根回転数N、過飽和度比 $\sigma = (\text{過飽和溶解度} - \text{飽和溶解度}) / (\text{飽和溶解度})$ 、スラリー濃度Mのa、b、i乗に比例することを示す。

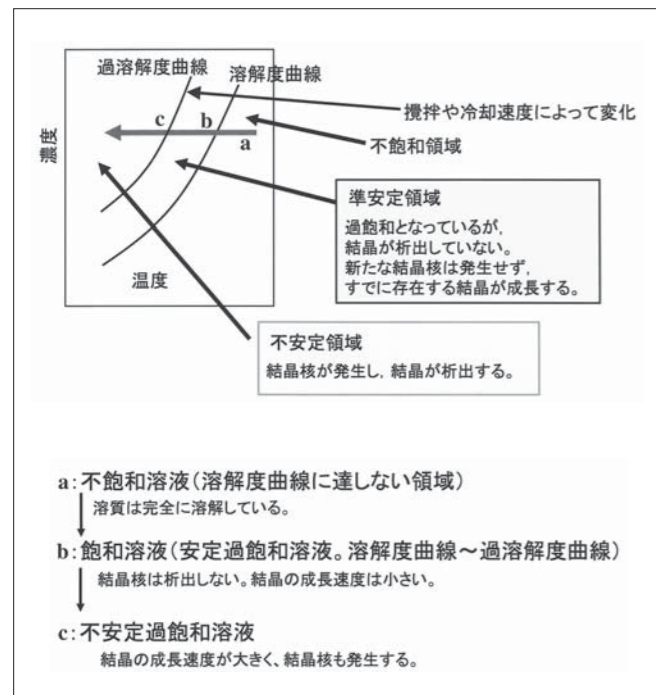


図1 溶液の状態
Fig.1 Solution condition

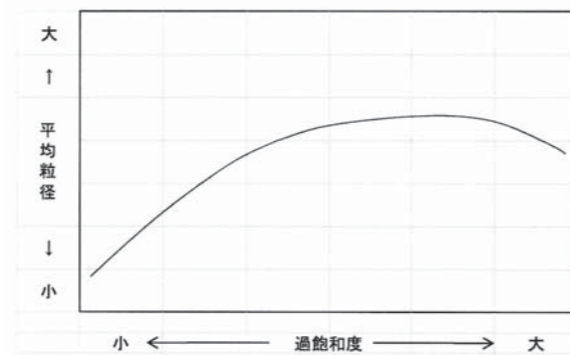


図2 平均粒径と過飽和度の関係
Fig.2 Supersaturation vs Average particle size

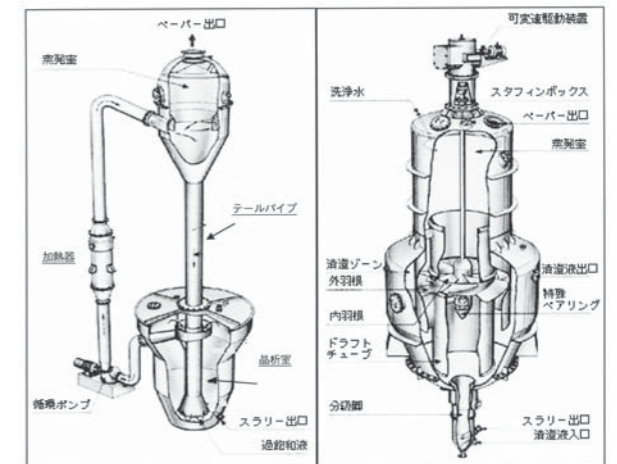


図3 オスロ型晶析装置
Fig.3 Oslo Crystallizer

図4 DP型晶析装置
Fig.4 DP Crystallizer

この他にも各種系における二次核発生速度に関する研究はされており、その実験式を表1に示す。

いずれの式にも共通して言えることは攪拌羽根の衝撃による結晶破碎を考慮している点であり、晶析装置における二次核発生数の制御は主に攪拌羽根のチップスピードの設定で調整される。

二次核の発生を抑制したい場合、攪拌羽根の衝撃による結晶破碎を防ぐために、攪拌機の回転数を低くし攪拌羽根のチップスピードを下

げる対策を取ることが多い。しかし、一方で一次核の発生を抑制するために必要な流動状態を確保するためには、攪拌機を所定の回転数以上に設定しなければならない。その点、DP型晶析装置は、晶析装置の胴径に近い大型のダブルプロペラにより低速回転で大循環量を確保することが可能であるため、他の攪拌型晶析装置に比べ大幅に二次核の発生率が抑制される。

表2にDTB(ドラフトチューブ&パッフル)型晶析装置などに代表されるドラフトチューブ付きSP(シングルプロペラ)型晶析装置とDP(ダブルプロペラ)型晶析装置のチップスピード(Ratio of Impeller Tip Speed)と二次核発生率(Ratio of Generated Nuclei Number)の比較を示す。各晶析装置のドラフトチューブ内循環流量を同じとした場合、攪拌羽根径Dのシングルプロペラのチップスピード U_1 に対し、2Dのシングルプロペラのそれは4分の1の $U_2=1/4U_1$ 、3Dのダブルプロペラでは、7.2分の1の $U_3=1/7.2U_1$ となる。2次核の発生率はチップスピードに比例するため、攪拌羽根径Dのシングルプロペラの2次核発生率を1とした場合、2Dのそれは1/4、3Dのダブルプロペラでは1/7.2となる。

液として晶析装置内へ戻すことにより、排出された結晶核の回収も行う。

2.4.2 種晶の添加

一般的には、晶析装置内の結晶核数が減ってきた場合の補充用として種晶が添加されることが多いが、ここでは意図的に種晶を添加することで得られる結晶粒度を制御する手法を月島機械の実績をもとに紹介する。

ある製品において、平均粒径が100~300 μm の範囲であり、かつ、均等数n(nは結晶粒径の分布の広がり具合を示す定数で、数値が大きいほど分布が狭いことを意味する。)が3.2~5.0と高い粒度均一性を求められたことがあった。均一な粒度分布の結晶を得るために、オスロ型晶析装置やDTB型晶析装置に比べ、一次核や二次核の発生数の低いDP型晶析装置のテスト機を用いて晶析テストを実施した。その結果、目標とする粒度分布に近い結晶を得ることはできたが、若干目標値に届かなかったため、目標とする平均粒径100~300 μm に対し所定の粒径の種晶を結晶生産量に対しある割合で連続的または間欠的に添加した。これにより、100~300 μm の範囲によりシャープな分布を持つ結晶を製造することに成功した。

これは先に述べたMcCabeの ΔL 則におけるポピュレーションバランス理論を応用した手法であり、目標の粒径に近い結晶の核数を晶析装置内で意図的に増やすことで、結晶粒度の均一性の向上を図った粒度制御手法である。

2.5 流動状態

結晶成長は、過飽和溶液と結晶の接触により促される。槽内の流動状態が良いほど過飽和溶液と結晶の接触効率が向上し、結晶成長は促進される。

表1 二次核発生速度実験式
Table1 Experimental formula of secondary nucleation rate

研究者	形式 取扱物質系	実験式	文献 No.
Qian Ru-Yung 他	完全混合 内部循環 マリプロペラ KCl	$(M_T \text{ TIPS}^3) < 7.1$ の時 $B^0 = 0.162G^{2.78}(M_T \text{ TIPS}^3)^{0.7}$ $7.1 < (M_T \text{ TIPS}^3) < 9$ の時 $B^0 = 5 \times 10^{-3}G^{2.78}(M_T \text{ TIPS}^3)^{1.2}$	1)
豊倉 他	完全混合 ピッチドブレード カリ明バン 12 水塩	$N_{NS} = K_3(\Delta C)^{P_3}n^3d^4(\sin \phi)$	2)
豊倉 他	流動床 硫酸銅 5 水塩	$N_{NS} = 1.2 \times 10^6(\Delta C)^{1.6}(\text{Re})^{4.0}$	3)
豊倉 他	流動床 硫酸マグネシウム 7 水塩	$N_{NS} = 3.6 \times 10^{15}(\Delta C)^{3.8}(\text{Re})^{4.8}$	3)
R.W. Rousseau W.L. McCabe 他	完全混合 硫酸マグネシウム 7 水塩 硫酸カリウム	$B_L^0 = K \left\{ \frac{n_r^3 D_r^5}{V_{tc}} \right\} (\Delta C)^{PL^3}$	4)
R.C. Bennett 他	外部ポンプ循環 食塩 硫酸 炭酸ソーダ	$B^0 = K \left\{ \frac{\text{TIPS}^2}{\text{TO}} \right\}^{0.97} (G^{0.93}m^{0.84})$ $B^0 = KG^{0.82}m_2^{2.05}/\text{TO}^{0.92}$ $B^0 = K \left\{ \frac{\text{TIPS}^2}{\text{TO}} \right\}^{1.15} Gm_2$	5)

(記号説明)

Ru-Ying		McCabe 他	
M_T	: スラリー濃度 [kg/m ³]	B_L^0	: 粒径ベース核発生速度 [No./min/L の単位粒子数]
TIPS	: インペラーチップスピード [m/s]	L	: 粒径 [mm]
B^0	: 2次核発生速度 [No./m ³ ·s]	n_r	: インペラー回転数 [1/s]
G	: 成長速度 [μ m/s]	D_r	: インペラー径 [cm]
N_{NS}	: 結晶単位表面積当り 2次核発生速度 [No./m ³ ·s]	V_{tc}	: 結晶缶容量 [cm ³]
ΔC	: 過飽和度 [kg·mol/kg H ₂ O]	Bennett 他	
Re	: レイノズル数 [-]	TO	: 結晶缶ターンオーバータイム [結晶缶容量/循環量]
ϕ	: インペラーブレードアングル [rad]	G	: 成長速度 [mm/h]
n	: インペラー回転数 [1/s]	m	: $n^0 L^4 dL$
d	: インペラー径 [m]	n^0	: 結晶サイズ ϕ における想定核数
		L	: 結晶サイズ
		K	: 定数

2.4 核数制御

2.3節では核発生の抑制について記載した。ここでは、所定粒度の結晶を得るために結晶核数をコントロールする手法について記載する。

2.4.1 核消し操作

晶析装置内における一次核、二次核の発生数の増大が結晶粒度に影響を与えることが懸念される場合、晶析装置内の結晶核数を減少させる以下のような手法が採られる。

1) 結晶核の分級・排出

粒径による結晶の沈降速度の差を利用し、晶析装置内で分級を行い、小粒径の結晶のみを晶析装置外へ排出する。結晶と溶液の比重差が大きい場合に適用される。

2) 結晶核の溶解

晶析装置内の結晶核を溶解により減少させる手法である。溶解方法としては、加熱溶解、希釈溶解のどちらかが用いられる。前項1)で分級排出された溶液中の結晶核をこれらの方法で溶解させ、清澄

表2 SP(シングルプロペラ)型晶析装置とDP(ダブルプロペラ)型晶析装置の比較
Table2 Comparison of SP (Single Propeller) crystallizer and DP (Double Propeller) crystallizer

Impeller Type Item	Small SP	Large SP	DP
Sectional Dwg.			
Agitator Efficiency	0.4	0.4	0.64
Circulation Flowrate as same	$G = \frac{0.4\pi \cdot D^2 \cdot D \cdot N_1}{4}$	$G = \frac{0.4\pi(2D)^2 \cdot (2D) \cdot N_2}{4}$	$G = \frac{0.64\pi(3D)^2 \cdot (3D) \cdot N_3}{4 \cdot 2}$
Ratio of Rotating Speed	N_1	$N_2 = \frac{1}{8} N_1$	$N_3 = \frac{1}{21.6} N_1$
Ratio of Impeller Tip Speed	U_1	$U_2 = \frac{1}{4} U_1$	$U_3 = \frac{1}{7.2} U_1$
Ratio of Generated Nuclei Number	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{7.2}$
Ratio of Average Crystal Particle Size	1	$\sqrt[3]{4} = 1.58$	$\sqrt[3]{7.2} = 1.93$

図5に攪拌型晶析装置における流動状態と結晶成長速度の関係を示す。同じ過飽和度設定である場合、より攪拌機の回転数が高く流動性の良い状態の方が結晶の成長速度は速くなる。但し、ここで注意すべきは、同じ攪拌槽において、回転数を変動させると操作過飽和度も追従して変動するため、同じ攪拌槽で操作過飽和度を一定のまま回転数を変動させることは不可能である。しかし、型式が異なる装置同士や同じ型式の装置であってもスケールの異なる装置同士では、同じ操作過飽和度の条件下で流動状態が異なることがある。

これは、同じ操作過飽和度であっても機種や装置サイズによって、結晶の成長速度が異なり、結果、得られる結晶の粒度に差異が生じる可能性を示している。従って、晶析装置の機種選定及びスケールアップ設計の際には、流動状態の差異を考慮することが、所望する粒度の結晶を得る上で重要である。

2.6 スラリー濃度

晶析装置内のスラリー濃度が低下すると微細結晶が発生する傾向が確認されている。これはスラリー濃度の低下自体が招いた結果ではなく、前述の一次核の発生機構と関係する。スラリー濃度の低下は、晶析装置内に存在する結晶の総比表面積の低下を招き、過飽和溶液と結晶の接触率を低下させる。その結果、過飽和溶液から一次核が発生することとなる。また、スラリー濃度が高過ぎる場合も晶析装置内における流動状態の低下や「2.3.2二次核の発生」の項で記載した通り、二次核発生速度の上昇を招く恐れがあるため、連続式晶析装置の場合、晶析装置内のスラリー濃度は、およそ15～30wt%の範囲で設計されることが望ましい。

3 処理物の性状と結晶品質

2章では晶析装置の設計や運転条件と結晶品質の関係について述べた。ここでは、処理物の性状と結晶品質の関係について記載する。

3.1 処理物の性状

目的物を溶解している溶液の性状が結晶品質に与える影響は非常に大きい。例えば、同じ結晶を製造する場合でも溶液中の不純物成分や濃度が異なるだけで、粒度、形状、純度が大きく変化する。このため、

晶析においては何よりも溶液の性状を把握することが第一である。

溶液中の不純物が結晶に作用して形状や粒径などの結晶性状を変化させることを媒晶作用という。この一例を表3に示す。表中の不純物は硫酸結晶に影響を与える代表的な物質の一部であり、その他にも影響を与える物質は多数存在する。しかし、これを調査することは際限が無いため、実際には与えられた溶液で晶析テストなどを実施し、不純物濃度、pH、温度、粘度などの溶液の性状と結晶品質の関係を確認し、晶析条件を決定する。

3.2 媒晶剤の添加

溶液中の不純物が結晶に与える影響を抑制するために、媒晶剤を添加し、所望する形状、粒径になるよう晶癖を変化させる手法がある。媒晶剤も溶液中の不純物と同様、媒晶作用により結晶性状を変化させる役割を持ち、その種類や添加量などについては数多く研究がされている。一例として先の硫酸結晶の形状を粒状にするためには、スルファミン酸を媒晶剤として添加することが良く知られている。

4 月島機械の晶析技術

最近の晶析技術の検討事例を以下に紹介する。

4.1 硫酸製造における晶析装置

硫酸は昔から肥料用として製造されてきた製品であるが、求められる製品品質は、時代の変遷とともに変化している。硫酸晶析設備における納入実績は、1960年代以降から国内外合わせて、延べ45セットあるが、求められる製品品質に合わせ設備改善を繰り返してきた。ここでは、最近の国内硫酸市場における大粒径化ニーズに対する晶析技術を紹介する。

4.1.1 硫酸製品に求められる品質

化学肥料の3大成分は窒素、リン酸、カリウムである。さらに化学肥料は大きく以下の2種類に分けられる。

1) 化成肥料

3大成分のうち、2成分以上を含んだ造粒肥料。

肥料原料(窒素化合物、リン酸化合物、カリウム化合物)を粉砕、混合、造粒、乾燥して製造される。

2) BB肥料

BBとは、Bulk Blendingを意味しており、3大成分のうち1成分ずつを含む肥料原料の内、2種類以上の肥料原料を物理的に混合したもの。化成肥料のように加工製造の手間がかからない経済的な肥料。

硫酸は肥料の3大成分のうち、窒素系の肥料原料として用いられる。BB肥料用としての硫酸は、混合対象となるリン酸系、カリウム系の肥料原料と同等の粒度であることが求められ、国内におけるその要求粒

度は2～4mmである。2mm未満の粒径の硫酸は化成肥料向けとなる。国内では、BB肥料用としての大粒硫酸は、化成肥料用の小粒硫酸の約2倍の価格で取引されるようになっており、硫酸製造設備における大粒硫酸の生産へのシフトが望まれている。

4.1.2 硫酸大粒径化技術

大粒硫酸の生産割合を向上させるためには、結晶性状に影響を及ぼす因子を出来る限り以下の表4に示す条件に設定することが望ましい。

表3 硫酸における媒晶作用⁷⁾
Table3 Shape modification of Ammonium sulfate crystal

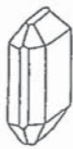

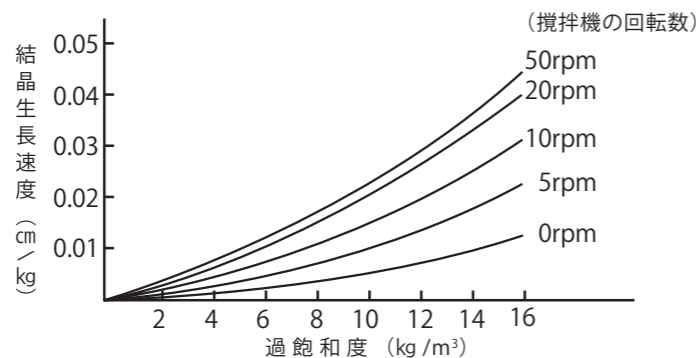
硫酸アンモニウムの結晶		不純物	濃度範囲	媒晶作用
A 角柱状結晶	B 米粒状結晶	1. 遊離酸 (H ₂ SO ₄)	pH<2	⇒ 脆く薄い結晶
		2. Fe ³⁺	50～500ppm	⇒ 微細、針状結晶
			50～500ppm	⇒ (成長速度低下 1/3～1/10)
			2000～5000ppm	⇒ 星状結晶
		3. Cr ³⁺	20～40ppm	⇒ 米粒状結晶
			50～250ppm	⇒ 微細、針状結晶
		4. Al ³⁺ , As ³⁺	50～500ppm	⇒ 微細、針状結晶
		5. H ₂ PO ₄	1000～2000ppm	⇒ サイコロ状結晶 (軸比低下)
		6. その他 (酢酸、EDTA、CN ⁻)		⇒ 晶癖悪化のインヒビター

表4 硫酸大粒径化のための諸条件
Table4 Condition to produce Ammonium sulfate crystal of large size

No.	結晶性状に影響を及ぼす因子	大粒硫酸の製造割合を向上させるための設定条件
1	操作過飽和度	準安定領域の範囲内で出来る限り高い操作過飽和度に設定。
2	結晶の滞留時間	硫酸結晶の成長に最低限必要な滞留時間と経済性の両面を考慮し、4～6時間の範囲で設定。
3	一次核発生率	可能な限り発生率を抑制する。
4	二次核発生率	可能な限り発生率を抑制する。
5	流動状態	可能な限り流動性を良くする。 (留意点: 所定の操作過飽和度を確保しつつ、可能な限り流動性を良くすることが肝要。)
6	スラリー濃度	20～40wt%の範囲内で設定。
7	溶液の性状	【不純物濃度】 硫酸結晶の成長を阻害するまたは結晶形状を針状にするような不純物は可能な限り少なくする。 【pH】 フリーの硫酸が存在している場合、pH<2では脆く薄い結晶になるため、pH>2の条件とする。
8	媒晶剤添加	原液中に結晶成長を阻害する不純物が存在する場合は、媒晶剤の添加により晶癖を変化させる。 【COG硫酸】 COG硫酸とは、コークス炉から排出されるCoke Oven Gas中のアンモニアガスを硫酸で吸収したのち晶析により製造された硫酸のことを言う。この硫酸は媒晶剤を添加しない条件では、柱状結晶となるため、媒晶剤を添加して粒状に形状を変化させた方が粒径は大きくなる。 【ラクタム硫酸】 ラクタム硫酸とは、カプロラクタムの製造過程で副生する硫酸のことを言う。この硫酸は媒晶剤を添加しない条件でも粒状結晶が得られる。
9	種晶添加	ポピュレーションバランスを整え、一次核の発生を抑制する目的で添加する場合がある。



4.1.3 晶析装置性能比較

一般的に硫酸晶析用として選定されるオスロ型晶析装置、DTB型晶析装置、DP型晶析装置の性能比較を表5に示す。

DP型晶析装置は、他の晶析装置に比べ、一次核の発生率及び、二次核の発生率を抑制する効果が高い。従って、大粒硫酸の生産割合の向上が最も期待できる装置と考える。(表6参照)

4.2 その他のDP型晶析装置の適用例

前節、硫酸晶析へのDP型晶析装置の適用例においては、均一かつ大粒径の結晶製造について記載したが、ここでは、均一かつ小粒径の結晶製造への適用例について紹介する。

以下の図6の凝集結晶は、DP型晶析装置で反応晶析を行い、製造したものである。

反応晶析とは、反応により過飽和状態をつくり、結晶を析出させる晶析方法である。反応晶析を用いて難溶性の物質を製造する場合は、高過飽和状態で結晶が析出するため微細な結晶核が発生する。DP型晶析装置にて過飽和度、攪拌速度などの諸因子の設定条件を最適化することで、微細、且つ、粒度分布のシャープな凝集結晶を得ることができた。本品析技術は、最近の高機能化製品の需要に対応する技術として期待される。

5 工業晶析装置の展望

結晶性状には、液性状や過飽和度などが多分に影響を与えるとの一般的な認識から、所望の結晶を得るために重要な要素は、装置仕様より運転条件であると考えられがちである。

しかし、本稿で解説した通り、型式の異なる晶析装置同士、同型式の装置においてもサイズの異なる装置同士で操作過飽和度、核発生率、流動状態などの諸条件を全て同一の設定にすることはできない。従って、所望する結晶性状を得るために求められる運転条件を安定的に確保するためには、適切な装置設計(機種選定、スケールアップなど)が重要な要素である。

この意味で、以下の特徴をもつDP型晶析装置は、優れた晶析装置と言える。

- 1) 核発生の抑制効果が高いため、大粒径から小粒径まで幅広い粒度の結晶に対し、粒度分布のシャープな結晶の製造が可能。
- 2) 攪拌機(ダブルプロペラ)の回転数調節により槽内部に取り付けられたドラフトチューブ内外の循環流量を変化させ、容易に所望の操作過飽和度に調整することが可能。
- 3) 操作過飽和度をスケールアップファクターとして用いるため、スケールアップが容易。

しかし、昨今は従来に比べ、より高品質、高機能の製品を安定的に製造することが求められ、また、製品品目や要求品質が多様化してきている。そのため、これまで以上に最適な晶析装置設計、新機種の開発が望まれる。

6 おわりに

工業晶析技術において、所定の性状の結晶を得るための手法と昨今のユーザー要求に対応した晶析技術の一部を月島機械の知見や一般に公開されている資料などを基にまとめた。また、月島機械製の晶析装置についても紹介した。晶析装置を計画、設計する上で少しでも参考になれば幸甚である。

本稿で紹介した内容は、影響因子が多く、その挙動を把握することが容易ではない晶析技術を諸先輩方が研究を繰り返し、理論的に関係づけることによって現象をまとめられた足跡であり、現在に至るまで多大な時間と労力を費やされたことと想像する。今後は、それらに今後の市場ニーズに合わせた改善、改良を加え、月島機械のコア技術として継承していきたいと思う。

参考文献

- 1) Qian Ru-Ying et al., World Congress III of Chem. Eng., Tokyo, P949 (1986)
- 2) 豊倉 賢他, 化学工学論文集, 5, P596 (1979)
- 3) 豊倉 賢他, 化学工学論文集, 6 (6), P602 (1980)
- 4) L.G. Bauer, R.W. Rousseau and W.L. McCabe, AIChE J., 20, P653 (1974)
- 5) R.C. Bennett, CEP, 80 (3), P89 (1984)
- 6) 化学工場 第7巻 第12号 P32 (1963)
- 7) 化学工学シンポジウムシリーズ64 晶癖を決定する諸因子とその制御 P8

表5 晶析装置性能比較
Table5 Performance comparison of crystallizer

1 晶析装置型式	1 名称 2 概略図	オスロ型	DTB型	DP型
2 晶析メカニズム (硫酸結晶の大粒化)	1 操作飽和度と制御方法	循環ポンプ流量で調節	攪拌機回転数でドラフトチューブ内の循環流量調節	攪拌機回転数でドラフトチューブ内の循環流量調節
	2 一次核の発生量	多	少	少
	3 二次核の発生	結晶が殆ど存在しないため一次核が発生しやすしい。	過飽和域(液面)に結晶スラリーが供給されるため一次核の発生は抑制される。	過飽和域(液面)に結晶スラリーが供給されるため一次核の発生は抑制される。
	4 晶析槽容量に対する結晶滞留時間(RT)	RT ≈ 7~8hr (晶析槽中の清澄ゾーンには結晶が殆ど存在しないため、実際の有効スラリー容量から見た滞留時間は上記数値より短い。)	RT ≈ 4~5hr スラリーの均一攪拌。 上記RTはドラフトチューブ内外容量に対する値。	RT ≈ 4~5hr スラリーの均一攪拌。 上記RTはドラフトチューブ内外容量に対する値。
3 設備仕様	1 容量/寸法	大	中	中
	2 特徴	1) 晶析槽内に攪拌部がない構造。 2) 高発熱部と晶析部が分かれている。 3) 結晶スラリーは晶析槽底部で沈降流動。 4) 清澄母液を外部循環し加熱。	1) 晶析槽に攪拌機(ダブルプロペラ)設置。 2) 高発熱部が晶析槽内で行われる。 3) 結晶スラリーは均一攪拌される。 4) 清澄母液を外部循環し加熱。	1) 晶析槽に攪拌機(ダブルプロペラ)設置。 2) 高発熱部が晶析槽内で行われる。 3) 結晶スラリーは均一攪拌される。 4) 晶析槽の内部エレメントで加熱。 (DTBのような清澄母液外部循環タイプにも対応可能。)
4 性能	1 結晶粒度	(粒子径) 小 (粒度分布) 広い 過飽和度の高い液と結晶を接触させるため結晶の成長速度が速く、大粒子径になりやすい。しかし、一方で一次核の発生も多く、結晶の粒度分布は広くなる。	(粒子径) 中~大 (粒度分布) 狭い 均一攪拌のため、オスロより一次核の発生が抑制され、粒度分布が狭い。しかし、攪拌羽根のチップスピードによっては二次核が発生する。	(粒子径) 中~大 (粒度分布) DTBより狭い 均一攪拌のため、オスロより一次核の発生が抑制され、粒度分布が狭い。DTBより低速回転のため、二次核の発生量も少なく、より狭い粒度分布となる。
	2 攪拌羽根径D	大	D ₁	D ₂ = 3D, 程度
	3 攪拌効率	-	0.4前後	0.6前後
	4 攪拌チップスピードu	-	u ₁	u ₂ = 1/5 ~ 1/10 x u ₁
	5 循環流量	(循環ポンプ) Gと同程度 m ³ /hr (攪拌機) - m ³ /hr	(循環ポンプ) 0.3~0.4G m ³ /hr (攪拌機) Gより多め m ³ /hr	(循環ポンプ) - m ³ /hr (攪拌機) Gより多め m ³ /hr
	6 所要動力	(循環ポンプ) P kW (攪拌機) - kW	(循環ポンプ) 0.3~0.6P kW (攪拌機) 0.4~0.8P kW (圧縮率により係数変動。)	(循環ポンプ) - kW (攪拌機) 0.4~0.8P kW (圧縮率により係数変動。)
5 操作性	1 スケーリング (主なスケールリング箇所)	1) 高発熱部液面付近の内壁 2) フォームパイプ内 3) 晶析槽インバーフロー液面付近の内壁	・液面付近の内壁	・液面付近の内壁
	2 閉塞 (主な閉塞箇所)	1) フォームパイプ内 2) スラリー排出配管内	殆どなし。	殆どなし。
	3 洗浄	1) 高発熱部・晶析部の液面の定期洗浄が必要。 2) フォームパイプ、スラリー排出配管内閉塞時は槽内希釈洗浄が必要。	1) 液面付近の定期洗浄が必要。	1) 液面付近の定期洗浄が必要。
6 メンテナンス性	1 メンテナンス項目及び頻度	1) 循環ポンプ駆動部交換 : 1回/5年 2) - : - 3) - : - 4) 槽内希釈洗浄 : 1回/1~2週間 5) - : -	1) 循環ポンプ駆動部交換 : 1回/5年 2) - : - 3) - : - 4) - : - 5) 攪拌機シール部交換 : 1回/1~2年	1) - : - 2) - : - 3) - : - 4) - : - 5) 攪拌機シール部と下部ベアリング交換 : 1回/1~2年
	2 設置スペース (スペース小程 数値大)	2	3	4
	3 製品粒度 (粒度大程 数値大)	5	4	5
	4 所要動力 (動力小程 数値大)	3	4	5
	5 安定稼働 (安定性大程 数値大)	3	5	5
7 評価 (5段階評価) 注) 3は標準による比較ではありません。	1 設置スペース (スペース小程 数値大)	2	3	4
	2 製品粒度 (粒度大程 数値大)	5	4	5
3 所要動力 (動力小程 数値大)	3	4	5	
4 安定稼働 (安定性大程 数値大)	3	5	5	
5 メンテナンス性 (メンテナンス少程 数値大)	3	4	4	
総合評価	16	20	23	

表6 晶析装置の核発生数
Table6 Number of nucleation of crystallizer

	小 ← 核発生数 → 大	装置特性
一次核発生数	DP型 < DTB型 << オスロ型	<ul style="list-style-type: none"> ・DP型やDTB型などの攪拌型晶析装置は攪拌混合により結晶と過飽和液の接触が良いため、過飽和液は直ちに脱過飽和され、一次核の発生が抑制される。 ・DTB型はDP型と同じ槽内循環量を得るためには攪拌機の回転数を高くしなければならぬ。実際には二次核の発生が懸念されるため、DP型程に循環量を上げることは難しい。 ・DTB型は循環量の制約から流動性がDP型より劣り、一次核の発生数はDP型より多くなり易い。 ・オスロ型は過飽和度をもっとも高くなる蒸発部に結晶が存在しないため、一次核が発生し易い。
二次核発生数	DP型 = オスロ型 < DTB型	<ul style="list-style-type: none"> ・DP型は大型羽根により低速で攪拌を行うため、二次核の発生はごく微量である。 ・オスロ型は外部循環ライン中への結晶の混入を避けるように設計すれば、外部循環ポンプによる結晶破砕に起因する二次核の発生は抑制できる。 ・オスロ型は晶析装置底部に高濃度のスラリーが滞留しているため、結晶同士の接触によりごく微量の二次核が発生すると考えられる。 ・DTB型は、DP型に比べ攪拌羽根径が小さいためにDP型と同等の攪拌状態を得ようとした場合、攪拌羽根のチップスピードはDP型の5~10倍の速度となる。よって、二次核が発生し易い。

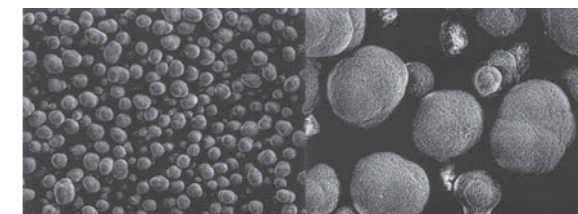


図6 反応晶析により製造された凝集結晶
Fig.6 Agglomerated crystal produced by reaction crystallization

圧搾ブロー脱水機

Squeeze and Blow dehydrator

Abstract

Horizontal Belt Filter (HBF) of Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) is a continuous vacuum filter. HBF enables highly uniform and effective cake washing, but dehydration is insufficient compared with other types of dehydrators such as filter press and batch type centrifuge.

In a production process that requires high performance of cake washing and dehydration, it is often the case that an additional dehydrator is equipped downstream of HBF to reduce the moisture content.

Generally, the filter press and batch type centrifuge are applied in the process where high dehydration is required, and these dehydrators are used widely in a various industries.

The characteristics of these machines are higher ΔP , G force and longer dehydration time compared with HBF. However, these dehydrators are operated under batch operation and it is not good at washing the cake uniformly and effectively.

To improve their performance, TSK developed the new machine with high dehydration and continuous operation, named "Squeeze and Blow Dehydrator." This machine can be combined with existing HBF. "HBF with Squeeze and Blow Dehydrator" achieves highly efficient and uniform cake washing with high dehydration under continuous operation, which improves many washing and dehydration processes.

月島機械は真空式の水平型ろ過機として月島一水平ベルトフィルタ (HBF) をラインナップしている。当該機は優れたケーキ洗浄能力が最大の特徴であるが、真空吸引でろ過操作が行われるためろ過ケーキの到達含液率が高い。そのため、プロセス内で難脱水性物質に適用される場合には、当該機後段に脱水専用の設備を別途設ける事が多々ある。

一方、到達ケーキ含液率が低い装置としてはフィルタープレスや回分式遠心分離機などが知られており、これらの機器はその汎用性の高さから産業分野の至るところで採用されている。フィルタープレスや回分式遠心分離機などの脱水操作はバッチ式のため、ろ過のための差圧や遠心力を大きくとれることや脱水時間を長くとれるという特徴を持っているが、その一方で連続処理ではないため、均一なケーキ洗浄が難しいという欠点を持つ。

今回、HBFの後段に圧搾ブロー脱水機構を付加することで、高い洗浄性を備え、高脱水性を有し、さらに連続処理を可能とするこれまでのろ過の分野において新しいタイプの機器を商品化した。

キーワード：高効率脱水、圧搾ブロー、連続処理、固液分離
Keyword：High-efficient dehydration, Squeeze and Blow, Continuous process, Solid-Liquid separation,

樋上 隆至
HIGAMI Takashi
産業事業本部
プラント計画部
産業機械グループ



島田 純
SHIMADA Jun
エンジニアリング本部
機器設計部
ろ過グループ

1 はじめに

月島機械は真空式の水平型ろ過機として月島一水平ベルトフィルタ (以下、HBF) をラインナップしており、これまで240台以上の納入実績を有している。当該機は優れたケーキ洗浄能力が最大の特徴であるが、真空吸引でろ過操作が行われるためケーキの到達含液率が高い。そのため、プロセス内で難脱水性物質に適用される場合には、当該機後段に脱水専用の設備を別途設ける事が多々ある。

一方、ケーキ含液率が低い機器としてはフィルタープレスや回分式遠心分離機などが知られており、これらの機器はその汎用性の高さから産業分野の至るところで採用されている。フィルタープレスや回分式遠心分離機などの脱水操作はバッチ式のため、ろ過のための差圧や遠心力を大きくとれることや脱水時間を長くとれるという特徴を持っているが、その一方で連続処理ではないため、均一なケーキ洗浄が困難であるという欠点を持つ。

今回、HBFの後段に圧搾ブロー脱水機を付加することで、高い洗浄性を備え、高脱水性を有し、さらに連続処理を可能とするこれまでのろ過の分野において新しいタイプの機器を商品化した。本稿では、その付加機器である圧搾ブロー脱水機について紹介する。

2 開発背景

2.1 既存技術

従来の一般的な固液分離機器として、真空ろ過機、フィルタープレス、遠心分離機などがある。図1に示すようにそれぞれの脱水機はその脱水原理や機械構造に起因する特徴がある。しかしながら洗浄能力・脱水能力・連続処理のすべてにおいて高い能力を兼ね備えた機器は存在しない。

		処理量	洗浄性	沈降性への適用性	脱水性	適用粒径
真空ろ過機	連続式	○	◎	◎	△	2.5~100 μm
	バッチ式	△	◎	○	△	5 μm以上
フィルタープレス	バッチ式	△	○	△	◎	1 μm以上
遠心分離機	連続式	◎	△	◎	○	50 μm以上
	バッチ式	△	○	○	◎	5 μm以上

↓
HBFへ圧搾ブロー脱水機を適用することにより、洗浄性が高く脱水能力の高い連続ろ過機となる。

		処理量	洗浄性	沈降性への適用性	脱水性	適用粒径
HBF+圧搾ブロー脱水機	連続式	○	◎	◎	◎	2.5~100 μm

図1 一般的な固液分離機器の特徴
Fig.1 Characteristics of Solid-Liquid separation equipments

2.2 期待効果

月島機械では洗浄能力に優れたHBFをラインナップしているが、その排出部に圧搾ブロー脱水機を付加することで洗浄能力・脱水能力・連続処理能力を高いレベルで備える機器が商品化できると考えた。三つの機能を有することで以下の効果が期待できる。

- ① プロセスの簡略化
HBFの優れたケーキ洗浄能力に加え、真空脱水では到達しえなかったケーキ含液率が一台の機器で得られるため、2次脱水機およびその周辺設備も不要となり、設備投資額の削減、工期の短縮が可能となる。図2に圧搾ブロー脱水機の適用によるプロセス改善モデル例を示す。
- ② ケーキ性状の改善
チキソトロピー性、ダイラタンシー性を示すケーキ含液率の領域を下回ることが可能なため、後工程設備での付着トラブルが激減する。(後段機器のプロット計画の柔軟性拡大、乾燥機種の選択幅の拡大)
- ③ 金属コンタミ無し
処理物が本機器へ投入されてから排出されるまで金属部と接触しないため、金属コンタミの心配が極めて少ない。
- ④ ケーキ粗砕効果
ケーキは粗砕された状態で排出されるため多くの場合で解砕設備が不要である。
- ⑤ 定量排出性
ケーキは連続定量排出されるため、乾燥機への定量供給設備が不要である。

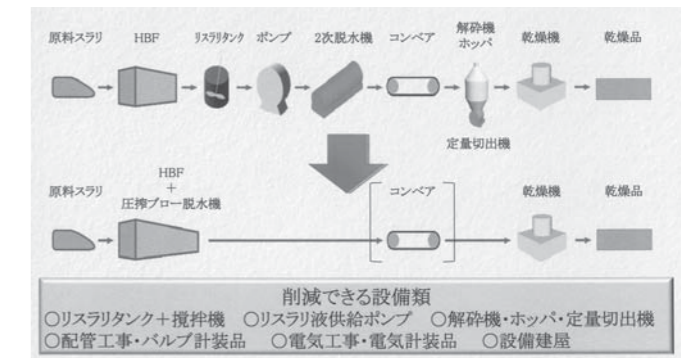


図2 圧搾ブロー脱水機の適用によるプロセス簡略化のモデル例
Fig.2 Simplified process model with Squeeze and Blow Dehydrator

3 脱水原理

3.1 圧搾ブロー脱水機構

圧搾ブロー脱水の模式図を図3に示す。ケーキを圧搾した状態で圧縮流体(気体)を与え、粒子間空隙に存在する液分を気体で置換させることによりケーキ含液率の低減効果を得る。

図3のような脱水機構は単なる粒子間空隙を縮小させることによる圧搾脱水のケーキや真空脱水のような小さな差圧のみでは微粒子間空隙に存在する液分を抜き出すことができないケーキの脱水率改善に有効である。また、圧搾しながらの脱水であるためケーキにクラックを発生させることなく圧縮気体による脱水を行うことができる。そのため、ケーキのクラックによるショートパスが発生するような処理物においても、従来の単なる圧縮気体による加圧脱水よりも高いケーキ含液率の低減効果を得ることができる。実際の機器においては、加圧ベルトにより圧搾を行った上で、図3の右側に示すようにろ過ろ布を通してエアブローを行う。ろ過ろ布とシールベルトによって処理物を捕捉し、加圧ベルトのテンションによる面圧はエアブロー圧力よりも高く設定することでろ布の浮き上がりによるエア洩れを防ぐことができる。

3.2 基礎試験

図4に示す79cm²のろ過面積を持つ真空ろ過・圧搾ブロー脱水リーフテスト機を用いて、本脱水原理の脱水能力検証を実施した。

試験は図5に示すように、円筒形試験機底のろ過部に試料である珪藻土スラリー(平均粒径 13.4μm)をセットし、①真空ろ過(-67 kPaG)、②真空脱水(-67 kPaGにて30sec)、③圧搾(0.5 MPaG)、④圧搾(0.5 MPaG)+ブロー脱水(0.4MPaGにて2~120sec)の手

順で実施した。その結果を図6に示す。

珪藻土によるテスト結果から、本脱水原理は真空ろ過と比較し差圧が大きいので、圧搾ブロー脱水後10~20secまで大きくケーキ含液率が低下する傾向がみられた。その後、脱水時間の増加とともにゆるやかに脱水が進む結果となった。実験に使用した珪藻土スラリーは真空ろ過および真空脱水のみではケーキがチキソトロピー性を示したが、2secの圧搾ブロー脱水により、ケーキ性状は大きく変化し、チキソトロピー性は失われた。上記のように、本脱水原理は短時間の脱水でも大幅なケーキ含液率の低下やケーキ性状の改善を可能とすることが大きな特徴である。

また、珪藻土以外のサンプルについての圧搾ブロー脱水能力確認テストの結果を表1に示す。

既存の脱水に優れたろ過機のデータとケーキ含液率を比較しても、ほぼ同等のケーキ含液率を達成しており、その高い脱水性が認められる。

4 処理機構

4.1 機器全体構成

HBFと圧搾ブロー脱水機を組み合わせた構成を図7に示す。脱水は以下のステップで行われる。

- (1) HBFによりろ過洗浄脱水されたケーキを加圧ベルトで最大0.5MPaGの力で面圧搾する。
- (2) 面圧搾された状態のケーキに対し、ベルト駆動を兼ねたブロードラムから圧縮エアを供給し、ケーキを貫通する方向に外側へ向かってブロー脱水をかける。
- (3) 脱水されたケーキは面圧搾から開放され連続的に排出される。

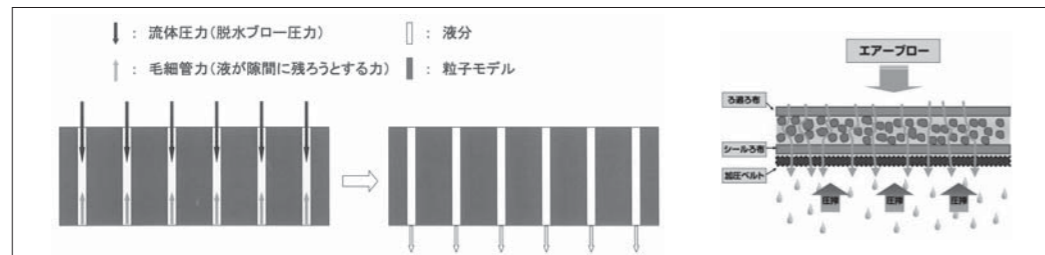


図3 脱水原理のイメージ
Fig.3 Concept of dewatering mechanism principle

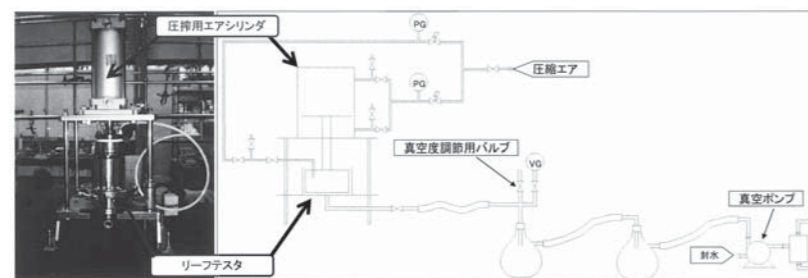


図4 圧搾ブロー脱水のリーフテスタ外観ならびに概略フロー
Fig.4 Appearance of Squeeze and Blow Leaf tester and Test flow

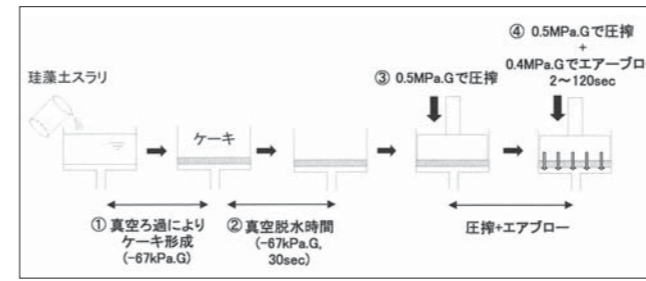


図5 圧搾ブロー脱水リーフテスト手順
Fig.5 Leaf Test Procedure of squeeze and Blow system

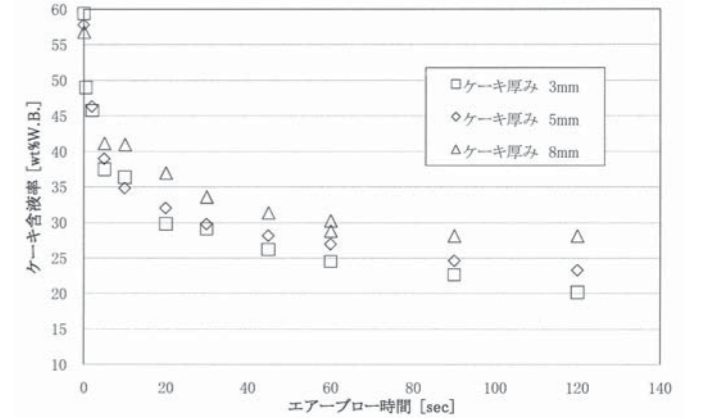


図6 エアブロー時間と到達ケーキ含液率の関係
(サンプル:珪藻土、平均粒径13.4μm、エアブロー圧力:0.4 MPaG)
Fig.6 The relationship between air blow time and cake moisture
(sample: Diatom earth, average particle size : 13.4 μm, air blow pressure : 0.4 MPaG)

表1 各脱水機との水分の比較
Table1 Comparison of moisture with several types of dehydrators

物質名	真空脱水のみ		その他脱水		圧搾ブロー脱水	
	wt%W.B.	wt%W.B.	脱水方法	ブロー圧力 MPaG	wt%W.B.	ケーキ性状変化
樹脂A	25.9	20.4	連続遠心	0.2	20.2	-
樹脂B	44.9	44.3	連続遠心	0.2	34.6	-
樹脂C	29.5	21.1	連続遠心	0.1	22.8	-
樹脂D	43.7	-	-	0.5	25.8	チキソ性の改善
樹脂E	37.8	約15	バッチ遠心	0.2	19.8	チキソ性の改善
樹脂F	37.8	約15	バッチ遠心	0.4	16.1	チキソ性の改善
樹脂G	42.1	約15	バッチ遠心	0.3	17.1	チキソ性の改善
有機物A	60.7	49.8	連続遠心	0.4	41.4	チキソ性の改善
有機物B	72.6	約55	フィルタープレス	0.3	56.9	チキソ性の改善
有機物C	54.6	-	-	0.4	33.1	チキソ性の改善
金属A	14.8	-	-	0.4	11.2	チキソ性の改善
金属酸化物A	73.5	約55	フィルタープレス	0.3	64.1	チキソ性の改善
金属酸化物B	62.1	-	-	0.4	35.5	チキソ性の改善
金属酸化物C	46.0	-	-	0.4	10.2	チキソ性の改善
金属酸化物D	15.1	-	-	0.4	5.8	チキソ性の改善
金属水酸化物A	12.4	-	-	0.4	9.3	チキソ性の改善
金属水酸化物B	15.4	-	-	0.4	7.0	チキソ性の改善
無機物A	17.1	-	-	0.3	9.3	チキソ性の改善
無機物B	26.5	-	-	0.4	8.8	チキソ性の改善
無機物C	54.1	約45	フィルタープレス	0.4	44.9	チキソ性の改善
無機物D	26.5	-	-	0.3	13.7	チキソ性の改善

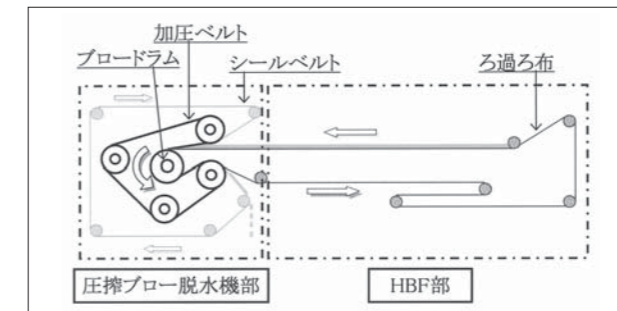


図7 HBF+圧搾ブロー脱水機の構成
Fig.7 Construction of Horizontal Belt Filter and Squeeze and Blow dehydrator

4.2 圧搾ブロー脱水機の構造

圧搾ブロー脱水機の構造を図8に示す。加圧ベルトは加圧ベルト緊張装置(図8では緊張ロールの位置を決定する装置)によって緊張され、目漏れ防止用のシールベルトを介してケーキを圧搾する。また、連続走行を可能とするため、圧搾ブロー脱水機は自動蛇行検知システムを備えており、蛇行が発生した場合には蛇行修正ロールの角度を自動で調整して蛇行を修正する。

4.3 ブロードラム部詳細

ブロードラム部の詳細を図9に示す。ブロードラムは、表面の多孔部から加圧エアーを噴出してケーキを脱水する。ブロードラム内部は周方向に複数の部屋に分割され、各部屋への加圧エアー供給を制御することによりブロー脱水する範囲(角度)を調整できる。従って、ろ布速度とブロー範囲選定の二つの組み合わせにより、ブロー時間を調整できる。

また、ブロードラムはろ布、加圧ベルト、シールベルトを走行させる駆動用ロールを兼ねている。

加圧ベルトは3.1項にて説明したように、エアーブロー時の浮き上がりによるエアー洩れを防ぐ機能を有する。つまり加圧ベルトはエアーブローの圧力より大きな面圧でブロードラムに巻きつける必要がある。ロールに掛かる面圧とろ布張力は比例関係にあるが、既存のろ布では要求する面圧が得られないため、ろ布メーカーと共同で加圧ベルト用のろ布を新たに開発した。

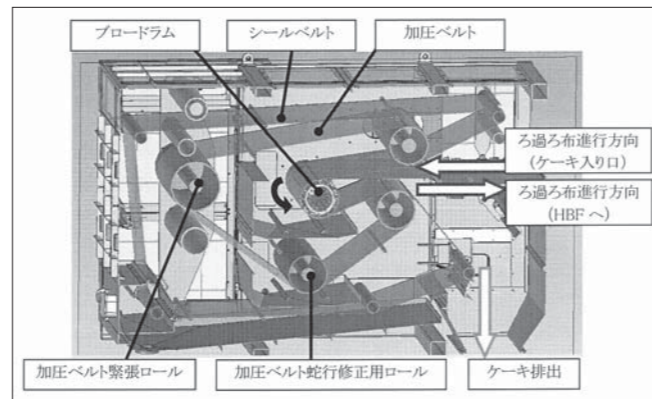


図8 圧搾ブロー脱水機の構造
Fig.8 Structure of Squeeze and Blow dehydrator

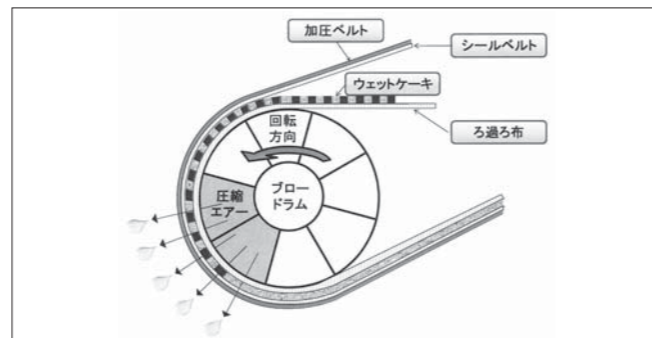


図9 ブロードラム部詳細
Fig.9 Detail view of Blow Drum

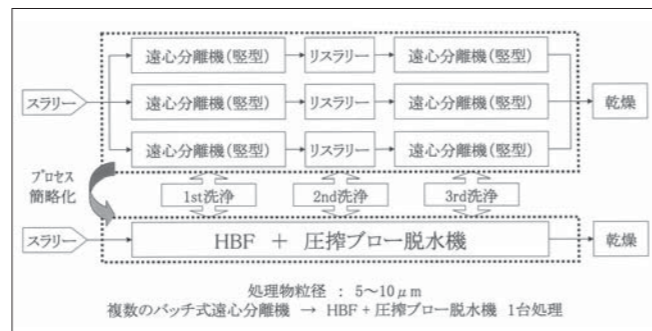


図10 洗浄脱水設備のプロセス比較
Fig.10 Comparison of washing and dewatering process



図11 実機外観
Fig.11 Appearance of Squeeze and Blow Dehydrator

5 受注実績

2009年1月に商業用1号機の試運転が開始され、2009年4月から商業運転を開始している。本受注は、元々は複数の遠心分離機で予定されていたプロセスをHBF+圧搾ブロー脱水機1台のプロセスへ変更し受注に至った経緯がある。当初予定されていたプロセスと当社提案の新プロセスとの比較を図10に、実機外観を図11に示す。

6 終わりに

圧搾ブロー脱水機は商品化されて間もない機器であり、未だ改良・開発の余地があると考えている。今後、装置のスリム化を行い、機器の付加価値向上を目指したい。

繰り返しになるが、本稿で紹介した圧搾ブロー脱水機は、洗浄性と脱水性を高いレベルで兼ね備えた上で連続処理が可能な、従来にはない機器である。処理物の適応範囲は広く、従来HBFが得意としていた処理物はもちろんのこと、温暖化対策技術として注目されるリチウムイオンバッテリーの材料など、電池材料系へも積極的に展開していきたいと考えている。

特許

特許第4381461号 固液分離装置、濾過装置、および固液分離方法
特許第4381462号 固液分離装置、濾過装置、および固液分離方法
特許第4677484号 固液分離装置、濾過装置、および固液分離方法

TSK-MTI ミキサシリーズ

TSK-MTI MIXER



山口 良二
YAMAGUCHI Ryoji
月島テクノマシナリー(株)
産業機械事業部

Abstract

MTI mixers are used in many countries. Since tie-up of Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) with Mischtechnik International GmbH (MTI) in 1988, many customers in Japan are using the MTI mixers. MTI mixers are highly evaluated widely in industrial fields such as food, resin, and metal. The details of MTI mixers are described in this paper.

MTIミキサシリーズは世界各国で使用されており、1988年のMTIとの提携以来日本国内でも多くのユーザーに使用されている。MTIミキサシリーズは食品、樹脂、金属など幅広い分野で高い評価を得ている。MTIミキサシリーズの機械や用途について本稿で紹介する。

キーワード: MTI, ミキサ
Keyword: MTI, Mixer

1 はじめに

ドイツMTI社(Mischtechnik International GmbH)との技術提携により製造販売を行っているTSK-MTIミキサの各種ミキサについて紹介する。

MTI社はドイツ北部のデトモルト市で1980年初頭に設立され、ユニークな各種ミキサを世に送り出してきたミキサ専門のベンチャーで、従業員約30名の小さい企業である。現在もPVC(ポリ塩化ビニル樹脂)用ミキサを中心にドイツ、ヨーロッパにことまらずワールドワイドに活動している。またPVC用ミキサでは欧州No.1のシェアを持っている。

月島機械グループとの提携は1988年2月で、現在もその提携は継続されている。月島機械グループでの納入実績は263機(2011年2月28日現在)である。

2 各種MTIミキサの紹介

MTIミキサはすべてバッチ式のミキサであり、プラスチック、食品、ブレーキ材、金属など幅広い分野で使用されている。また混合のみならず粉碎、乾燥などの領域での適用も増えてきている。MTIミキサシリーズはユニバーサルミキサ、反転ミキサ、バキュームミキシングドライヤ、高速ミキサ、横型ミキサ、システムミキサの各種ミキサからなっている。

それぞれの特徴や適用例を以下に記載する。

2.1 ユニバーサルミキサ

シリーズのメインのミキサで、“温度を上げずにやさしく混ぜる”をコンセプトに小型8Lから大型3,000Lまでの幅広いラインアップを揃えている。堅型下部駆動方式で混合を受け持つアジテータは周速6m/秒の低速で回転し、一方槽壁にセットされるチョッパは最大3,600rpmの高速回転で凝集物を砕く効果を持つ。



図1 ユニバーサルミキサ混合槽内部、3枚羽根のアジテータと槽壁のチョッパ
Fig.1 Inner view of Universal mixer, 3-blades agitator and chopper on side wall



図2 ユニバーサルミキサ全景
Fig.2 Outside view of Universal mixer

2.1.1 混合のメカニズム

アジテータは2段より構成され、下段のメインのアジテータは内容物を掻き上げる羽根の機構になっており、上段の小さいアジテータは逆に押し下げる機構になっている。この作用により粉体は下段のメインアジテータで回転しながら槽壁にそって持ち上げられ中心付近では上段の小アジテータにより引き込まれて、全体としては回転しながら中心に吸い込まれるように動く。回転と上下の動きが分散と混合を促進し短時間での処理を可能にする。一度中心部に潜り込んだ粉がまた槽壁近くで表面に出てくる循環は5循環(1循環7秒)でほぼ均一に混ざっているように見え、通常の混合であれば3分で完了する。図3に混合パターンを示す。

用途としては樹脂粉体への添加剤や顔料の分散混合、小麦粉への砂糖、塩、油脂の混合、ブレーキ用のコンパウンドや金属、無機フィラーの表面改質など名称の通り様々な物質に適用可能である。

特長を整理すると以下の通りとなる。

- 1) 混合とせん断の機能がそれぞれ独立していて、せん断を選択的に与えることができる
- 2) コンパクトな構造でスペースを取らない。
- 3) 混合物の温度が上がらない。
- 4) 槽内を減圧、真空にすることができる。
- 5) アジテータ、チョッパが容易に取り外せ、内部を十分に洗浄できる。

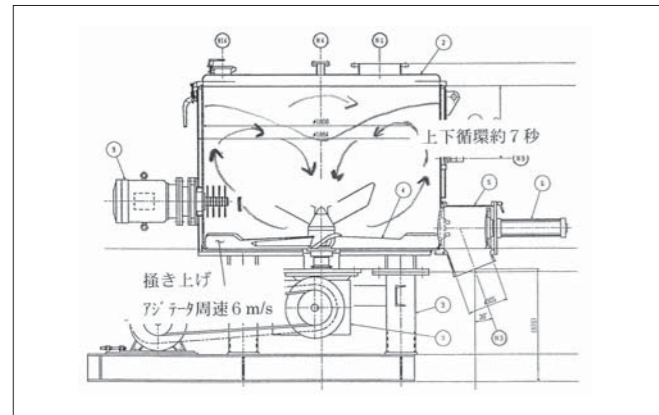


図3 ユニバーサルミキサの混合パターン
Fig.3 Mixing flow pattern of Universal mixer

2.1.2 用途例

主な用途、事例を以下に紹介する。

a) 小麦粉プレミックス

ホットケーキ、パンケーキなどの小麦粉ベースのミックス粉で、小麦粉に塩、砂糖、香料、粉乳、そして固形油脂(バターやショートニング)をそのまま分散混合できる。すなわち固形油脂を湯せんして溶かしてから混ぜる必要がないことが特長となる。ユニバーサルミキサではチョッパの破碎作用を利用し、ダマの生成無く、固形油脂と小麦粉の分散混合が可能である。またチョコレートや黒糖配合品では

品種切替の際にアジテータ類が全て取り外せて、混合槽を空にしての清掃が可能なのが、選定の際のポイントになっている。表1に他のミキサとの比較を示す。

表1 小麦粉プレミックス用ミキサ 比較表
Table1 Comparison of wheel compound mixer

比較項目	TSK-MTI ユニバーサルミキサ	ナウター型ミキサ
1. クリーニング性能 1.1 簡易クリーニング (類似パッチ間の清掃) 1.2 完全クリーニング 1) クリーニング方法	槽内には入らず、点検口からの手動エアージェットのみで清掃。 10~15分で完了する	同左
2) クリーニング時間	チョコレート配合品 約 1時間 黒糖配合品 約 1.5時間	詳細手順は不明であるが、要点は以下の通り 1) 清掃時は深く、密閉型の強い槽内に人が入って清掃する必要はある 2) スクリューは分解、取外しが難しく、完全な清掃はできない
2. 混合性能 2.1 微量成分の混合 (1%以下等)	分散性能が良いので、一括混合ができる	微量成分の一括混合は難しい。従って微量の副原料に対して、予備混合機を使用して主原料と混合し、増量してからナウターに投入する
2.2 液状、固形油脂の分散	高速チョッパにより短時間でダマのできない均一分散ができる	分散に時間がかかり、かつダマが発生するので、後工程にダマ分散機を必要とする
2.3 混合時間 1) 粉体混合 2) 液状、固形油脂との混合	約 5分 約 5分	約 20分 約 30分
2.4 パッチチャージ量の負荷変更	最大投入量の1/3までの変更が可能	同左
3. 設置スペース 1tonミキサの場合	下記の通り、省スペースがある 1.5m 幅×3.5m 長×2.2m 高	ミキサのみでも下記の通り 2.4m 径 × 4.3m 高 上記に加えて、予備混合ミキサ及びダマ分散ミキサのスペースの追加が必要になる

b) ブレーキコンパウンド

ブレーキパッドは走行する車を停止させる重要な部品で、様々な物質が配合されて作られている。通常10~20種類の成分の配合が行われ、その分散混合具合はブレーキの性能に大きな影響を与える。

ブレーキパッドは金属粉や繊維をフェノール樹脂で固めて作られていて、補強繊維として以前はアスベストが使用されていた。現在は発ガン性の問題でアスベストは使用禁止となり、代わりにアラミド繊維が使用されている。アラミド繊維は防弾チョッキにも使用される強固な繊維でその分散が難しく混合するには技術を要する配合物質である。そのアラミド繊維含有のコンパウンドにユニバーサルミキサのチョッパによる解繊が効果を発揮し、短時間で繊維をほぐして樹脂や金属繊維の混合を可能にする。この混合は時間勝負であり、時間をかけ過ぎると逆に繊維が絡み合って玉になってしまう、ブレーキパッドの欠陥になる。ユニバーサルミキサは短時間で繊維をほぐしながら粉体と混合するという配合条件には非常に適したミキサと言える。実際に多くの車のブレーキパッドがユニバーサルミキサで混合した原料で作られている。

図4に原料仕込み時、図5に混合5分完了時の写真を示し、表2に他社ミキサとの比較を示す。



図4 ブレーキコンパウンド原料仕込み時(型式:EM100B)
Fig.4 Charge of raw material for brake compound

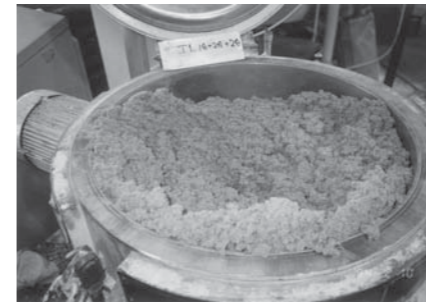


図5 ブレーキコンパウンド混合5分完了時(型式:EM100B)
Fig.5 Mixed brake compound after 5min mixing

表2 摩擦材用ミキサの比較
Table2 Comparison of brake compound mixer

比較項目	TSK-MTI ユニバーサルミキサ	アイリッヒミキサ	レディゲミキサ
アラミド繊維の閉鎖	混合物が槽壁に沿って上昇する位置に水平軸でチョッパが配置されチョッパによる閉鎖性能に優れている	チョッパが垂直軸のため高速回転すると混合物がチョッパから離れ槽壁に集まり、閉鎖能力が高くない	メインベラ間にチョッパを配置するので、大口径のチョッパを使用できず、インバータにより4500~6000rpmに回転数をアップして閉鎖する
分散性・混合性	チョッパによる繊維の閉鎖が良好で3~5分の短時間で混合できる	5~10分で混合できる	横長の槽のため、混合物の水平方向の動きが緩慢で、混合時間は6~12分必要
クリーニング性	槽上面は全面開放できる。下部駆動のため、インベラを上部に取外しでき、クリーニングが容易	上蓋で羽根をサポートしているため、構造が複雑で、上蓋部の表面積が大きくクリーニングに手間がかかる	羽根の取外しができず槽の全面開放ができないので、クリーニングに時間を要する
混合物の排出性	10秒位の短時間に全量排出できる	傾斜構造で中心部に排出弁があるため、全量排出ができない	混合物の水平方向(軸方向)の移動が遅く、排出時間が長くなる

c) BMC・人造大理石の混練

ユニバーサルミキサはこれまで混合機としての用途が中心であったが、BMC、人造大理石への適用でこれまで使用されていたニーダーを超える性能が見いだされ、ユニバーサルミキサの混練機としての用途が確立された。BMCはBULK MOLDING COMPOUNDSの略で浴槽、洗面ボール、キッチンカウンターなどのプレス加工用の成形原料である。ベースの樹脂としては不飽和

ポリエステル樹脂、アクリル樹脂等が使用され、フィラーとして水酸化アルミニウム、ガラスフリット、炭酸カルシウム、また補強材としてチョップドストランドのガラス繊維、カーボン繊維が使用される。

混練の過程は図6に示すチョッパの負荷電流値が良く示している。主羽根により粉体と硬化剤および顔料等の微量成分とが分散混合される。同時にチョッパによる高速剪断作用で粉体の凝集解砕を行いつつ、バインダとしての樹脂は粉体の1次粒子に含浸していく。この過程が1次分散過程である。樹脂が含浸された粒子同士は、やがて互いに強い付着性を示すようになり、チョッパの負荷も増大して混練物全体が最終的には1つの塊となり、チョッパの剪断力により混練物中の気泡も除かれ、混練操作が完了する。この過程が高負荷過程である。ユニバーサルミキサは真空気密性が良く、人造大理石では気泡混入防止のために真空下にて混練が行われる。ユニバーサルミキサのBMCにおける他の混練機との比較を表3に示す。

いくつかの事例を紹介したが、ユニバーサルミキサはその名称の通り様々な用途に適用できるミキサである。

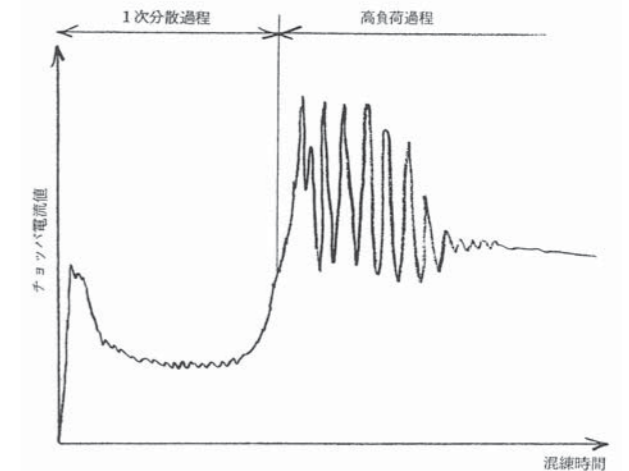


図6 BMC混練におけるチョッパ負荷変化
Fig.6 Chopper load change of BMC compound mixing

表3 BMC混練機比較表
Table3 Comparison of BMC compound mixer

比較項目	TSK-MTI ユニバーサルミキサ	ブレード型ニーダ	プラネタリミキサ
混練時間	1~3分	15~45分	15~45分
水酸化アルミ最大配合率	450部	450部	200部
ガラス繊維最大配合率	配合率: < 25% 繊維の破壊 小 繊維の解繊容易	配合率: < 25% 繊維の破壊 大	配合率: < 5% 繊維の解繊困難
排出方式	排出弁開閉による自動排出	機械反転 自動化に難有り	容器移動・反転 又はピストン押し
真空対応	真空下の排出可	真空下の排出不可	真空下の排出不可
混練粘度	低粘度から高粘度まで幅広い	低粘度の混練は困難	高粘度の混練は困難
システム化	クローズドシステム化が可能	開放ステーションが必要	開放ステーションが必要
予備混合	粉体ミキシング兼用で少量添加剤のプレミキシングが可能	粉体ミキシングは困難	粉体ミキシングは困難

2.2 反転ミキサ

ユニバーサルミキサの兄弟機種として反転ミキサがある。これは混合槽部を脱着型とし、計量、貯蔵、輸送用容器としても使用可能で、ミキサ上下の投入排出配管を不要としたパイプレス対応の多品種少量生産用のミキサである。分離型混合槽(コンテナポット)に原料を入れてミキサ本体に装着し、ミキサ全体を180度反転して混合(混合機としてはユニバーサルミキサと同じ)し、その後また反転して混合槽を脱着し、次工程へ運ぶ。月島機械のFAシステムに組み込んだ際の対応も可能で、その技術に関しては特許も取得している。



図7 反転ミキサ全景
Fig.7 Outside view of Reversal mixer

2.3 バキュームミキシングドライヤ

ユニバーサルミキサのひとつで、減圧、真空乾燥用途のミキサを独立させてバッチでの乾燥機として使用される。真空ポンプ、コンデンサ、真空用バグフィルタなどと組み合わせてシステム化される。製品水分がPPMオーダーの精密乾燥、製品温度を上昇させないで減圧下での乾燥、液相から固相までの相変化をとまなう一連の乾燥、脱泡などが得意分野となる。また混合、粉碎と併せての使用も可能で、混合+乾燥、乾燥+粉碎、混合+乾燥+粉碎など一台で二役、三役が可能なミキサである。

2.4 高速ミキサ

縦型下部駆動のミキサで“温度を上げて速く混ぜる”がコンセプトのいわゆるヘンシェルタイプのミキサである。10Lのテスト機から大型1000L機までをラインアップしている。

MTI社はヘンシェル社を源流とする会社で、同じくヘンシェル社から分かれたパッペンマイヤーから分離独立した会社なので、変遷の過程でそれまでの欠点を直し数々の改良を加えてきている。棒状の多段アジテータはMTI社オリジナルで、現在は各社の高速ミキサでも主流となっているアジテータ構造である。

主な用途はPVCのホットブレンド用で、アジテータと粉体との摩擦だけによって数分で約120℃まで温度を上げてPVC樹脂粉に添加剤を分散混合する。またアラミド繊維含有ガasket材のコンパウンドの混練りにも強い混合せん断性能が評価されて使用されている。

2.5 横型ミキサ

混合軸が水平な横型のミキサで、円筒状の混合槽の外周が全てジャケットとなっており主に冷却用のクーラーミキサとして使用されている。従来の縦型のタライ型クーラーは図9に示す様に充填率の関係でもっている冷却面の全てを使用できない。これに対して横型は円筒状の冷却面全てを有効に使えるため、優れた冷却性能を発揮できる。また横型ミキサは図10に示すように混合槽を割ったように開閉する蓋構造をしており内部が大きく開放されるのでメンテナンス性も向上し、この点もユニークな特徴となっている。チョップも取り付け可能である。実績としては電子材料のIC封止材用に多数納入している。

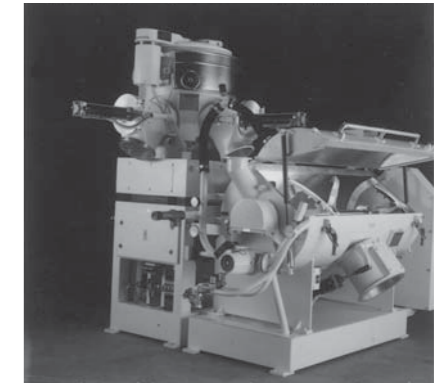


図11 縦型高速ミキサと横型クーラーミキサによるシステムミキサ全景
Fig.11 System mixer of Vertical heater mixer and Horizontal cooler mixer

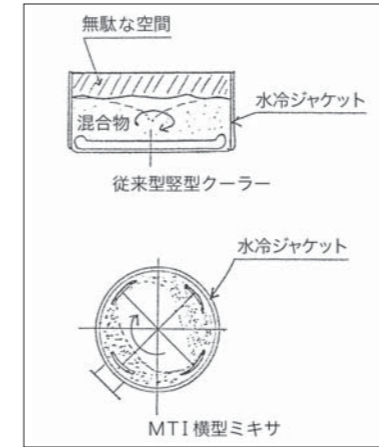


図9 横型ミキサの冷却方法
Fig.9 Cooling system of Horizontal mixer

3 まとめ

MTIミキサの最大の長所はその混合効率にある。つまり従来型と比較してひとまわり小さい型式で同じ処理量が得られる。また、混合+粉碎、乾燥+粉碎、乾燥+混合など従来2種の装置が必要だったところを1基で済ませられる複合機能も大きな魅力と言える。

混合性の評価は数値で表すことが出来ず、目視での評価以外は製品化しての性能評価となるため、実績・経験を集積した技術が重視され、混合テスト評価が欠かせないものである。月島機械グループでは種々のテスト機を保有して評価に備えている。ユニバーサルミキサでは30L機、100L機、500L機の3種類、反転ミキサは15L機と50L機、縦型高速ミキサは20L機、100L機、横型ミキサでは400L機並びに超小型の0.5Lの反転ミキサテスト機を保有している。

粉体混合は歴史ある技術だが、粉体の世界はまだ未知の現象が多く、混合テストで蓋を開けた時の景色には常に新しい発見がある。今後もいろいろな業界のお客様と新しい発見を共有していきたいと考える。

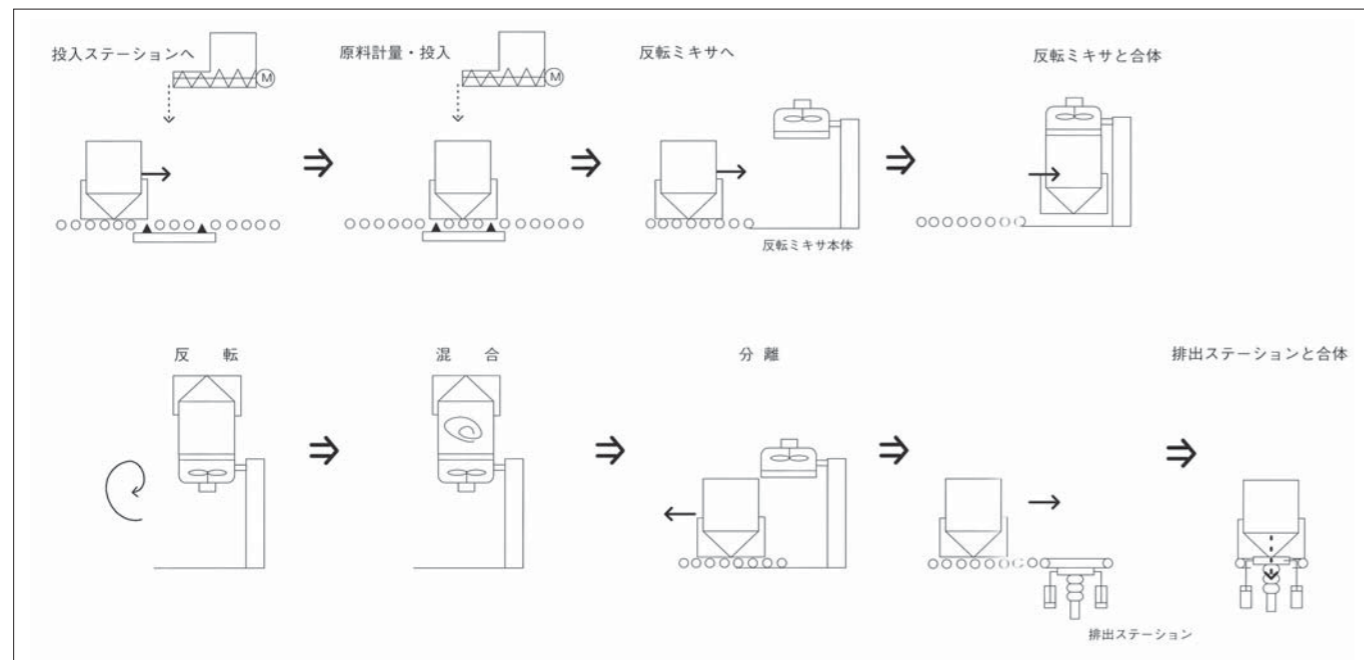


図8 反転ミキサを使用したFAシステム
Fig.8 FA system using Reversal Mixer

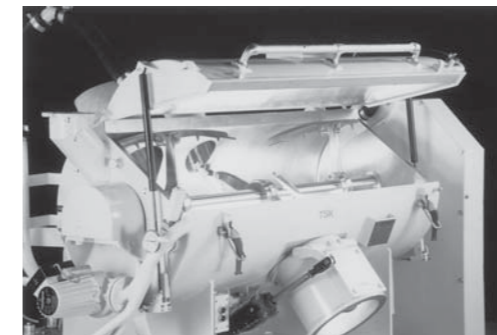


図10 蓋を開けた状態の横型ミキサ
Fig.10 Outside view of Horizontal mixer with opening the door

2.6 システムミキサ

前述の高速ミキサと横型ミキサを組み合わせたコンビネーションタイプのミキサで、加熱混合の高速ヒーターミキサで温度を上昇させた混合物を横型のクーラーミキサで冷却する用途で使用される。高速ミキサが加温しているときに同時に横型ミキサで冷却するシンクロ運転が可能のように、高速ヒーターミキサの容量に対して4倍の容量のクーラーミキサを組み合わせて性能アップを図っている。

ボルトン振動機械

Boulton Vibratory Machines

Abstract

Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) has been manufacturing Boulton Vibratory Machines under license from William Boulton Ltd., a British company since 1965. “BOULTON VIBRO-ENERGY MILL” spread widely in the U.K. and Europe since 1953, and SWECO played its parts in spreading these machines in the U.S.A.

Manufacturing of Boulton Vibratory Machines has been transferred from TSK to Tsukishima Machine Sales Co., Ltd., and now, Tsukishima Techno Machinery Co., Ltd. is manufacturing these machines.

Vibro-Energy Vibratory Machine includes types such as “Vibrating Mill,” “Vibrating Sieve,” “Vibrating Polisher,” and “Vibrating Mixer,” with sales record of more than 6000 machines up to now.

ボルトン振動機械は、1965年の月島機械と英国のボルトン社 (William Boulton Ltd.) との技術提携によって月島機械で製作されるようになった。ボルトン社のバイプロエネルギー振動機械、その内のボルトン振動ミルは1953年以来英国およびヨーロッパに普及し、米国ではSWECO社により広く普及している。

ボルトン振動機械は、1979年に月島機械からサブライセンスを受けて、月島マシンセールスで製造販売するようになった。2005年からは合併により月島テクノマシナリーにおいて製造販売している。

ボルトン社のバイプロエネルギー振動機械は、振動ミル・振動スクリーン・振動研磨機・振動ミキサなどの機種があり、これまでに月島機械グループとして6000台以上の販売実績がある。

キーワード：振動ミル、振動ふるい、振動研磨機
Keyword：Vibrating mill, Vibrating sieve, Vibrating polisher

1 はじめに

ボルトン振動機械は、1965年の月島機械と英国のボルトン社 (William Boulton Ltd.) との技術提携によって月島機械で製作されるようになった。ボルトン社のバイプロエネルギー振動機械その内のボルトン振動ミルは1953年以来英国およびヨーロッパに普及し、米国ではSWECO社により広く普及している。

ボルトン振動機械は、1979年に月島機械からサブライセンスを受けて、月島マシンセールスで製造販売するようになった。2005年からは合併により月島テクノマシナリーにおいて製造販売している。

ボルトン社のバイプロエネルギー振動機械は、振動ミル・振動スクリーン・振動研磨機・振動ミキサなどの機種があり、これまでに月島機械グループとして合わせて6000台以上の販売実績がある。

2 ボルトン振動ミル

2.1 粉砕の目的

- 1) 化学工業やその他諸工業において、固体を微粒化する要求が増々高まっている。粒子の表面積の増加や微粒化の長所が、いろいろな分野で用途開発されている。
- 2) 固体の化学的ならびに物理的な性質は、粒子サイズによって大きく変化し、おおそ比表面積に比例して高機能化される。すなわち、微粉砕された物質は粉砕前のものに比べてはるかに大きな商品価値を持つことになる。
- 3) 固体と液体もしくは気体との間の化学反応は、通常固体の表面で起こるので、粒子を細かくし比表面積を増加するほど反応性が高くなる。

粉砕の目的は、物質を微粉砕することにより以下の効果を得ることである。

- ・溶解性、吸着性、分散性を向上し、反応性を増大する。
- ・混合状態をより精密化する。
- ・流動性を改善することにより、ハンドリング性を向上させる。
- ・製品の均質化をはかる。

2.2 振動ミルの特長

本振動ミルを使うことの特長を以下に示す。

- 1) 粉砕効率が高い。
エネルギーの大部分が粉砕に直接無駄なく使われる。
- 2) 製品の粒度分布がシャープになる。
三次元振動と円柱状メディアの使用によって、シャープな粒度分布が得られる。
- 3) 製品に対するコンタミが少ない。
メディアの動きにムダがなく、過剰な衝撃力が働かず、メディア、装置のライニング材からのコンタミが少ない。
- 4) 消費エネルギーが少ない。
ミル内での粉砕効率が高く、駆動部でもモーターベアリング以外に摺動部分がないため伝達ロスも少なく、消費動力が少ない。
- 5) ランニングコスト・メンテナンス費が少ない。
粉砕室は耐摩耗性のライニングが施されており(張替可能)、駆動部の消耗品も少ないため維持費が安い。
- 6) サンプルング・製品の排出が容易である。
運転しながら粉砕物の取り出しが可能である。
- 7) 粉砕効果が安定。
一定の操作条件に対し、一定の製品が得られ粉砕作業が正確にコントロールできる。

2.3 振動ミルの機構

リング状の①粉砕室とその中央部に取り付けられた振動機構からなり、粉砕室の中に小さくて非常に硬い②粉砕メディアを充填する。粉砕メディアの形状はφ1/2×1/2インチの円柱状のものが多く、材質は焼結アルミナが一般的である。被粉砕物は粉砕メディア間の空隙部をほぼ埋める程度に入れる。振動装置は粉砕室の中央部に直接取り付けられており、粉砕室全体が③スプリングによって支えられている。したがって振動装置で発生する全エネルギーが直接粉砕メディアに伝えられる。振動装置は特殊な④両軸振動モーターでできており上部に取り付けられた⑤上部ウェイトは粉砕室に水平回転運動を与え、下部に取り付けられた⑥下部ウェイトは上下運動を与える。この2つの運動が合成されて複雑な三次元の高周波の振動が発生する。

この振動が粉砕室内の粉砕メディアに伝わり、メディア同士がお互い粉砕物に衝撃を与え合い、摩砕し合って粉砕物を微細化する。また、メディアは粉砕室の中心軸のまわりに、一定の速度で回転しながら転動していく。このメディアの転動運動が粉砕物にせん断力を与え、さらに混合、分散作用をおよぼす。

メディアは、粉砕室の中に多数個投入するので、粉砕物を介し

たメディア同士の衝突回数は非常に多い。微粉砕された粉砕物は、モーターを駆動させたまま⑦排出口を開くことにより排出できる。

シャープな粒度分布を得るために、粉砕メディアの形状は円柱形を標準としている。ボールミルなどでよく使われる球形メディアでは、メディア同士の接触が点接触のみで粉砕の面から見るとよくない。

円柱メディアの場合、点接触だけでなく、線接触および面接触するようになる。これは、メディア同士がぶつかり合って振動するとき、まず大きな粒子が最初に粉砕され、その大きな粒子が他の小さい粒子と同じサイズになった段階で、はじめて小さい粒子も一緒に粉砕されるが、このときメディアの線および面による接触部分で、摩砕が生じ粉砕物が均一化される。

メディアの材質は、粉砕物へのメディア材質のコンタミネーションの許容量により選定される。

粉砕室の内面は、耐摩耗性材料でライニングしている。標準的にはゴムライニングまたはポリウレタンライニングであるが、ステンレス製やセラミックコーティングもある。

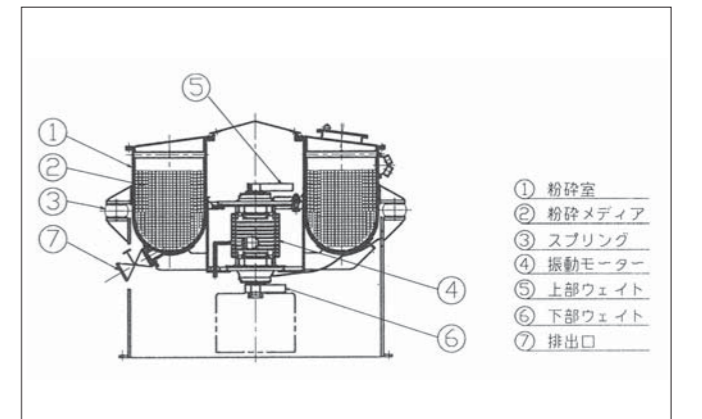


図1 ボルトン振動ミル概略図
Fig.1 Schematic view vibrating mill

2.4 振動ミルの用途

- 1) 微粉砕と分散
物質の微粉砕ばかりでなく、粒子の凝集したものを再分散させる目的にも適している。
- 2) 微粉砕と混合
数種類の原料を効率よく混合粉砕できる。
- 3) 湿式と乾式
どちらの方式も可能である。
- 4) 振動ミルの用途
主な処理物質は、酸化チタン、アルミナ、水酸化アルミ、フェライト、炭化ケイ素、窒化ケイ素、群青、顔料、釉薬など。

2.5 振動ミルの適用条件

効果的な粉砕のための原料の供給粒度は、60mesh(250μ)以下である。粉砕後の粒径は粉砕物にもよるが、1ミクロンまたはサブミクロンまでの粉砕が可能である。

3 ボールトン振動ふるい

3.1 ふるいの目的

- 1) ふるい分け
製品の分級や粒度を揃える。異物除去など。
- 2) 固液分離
製品を固体と液体に分けるろ過操作。

3.2 振動ふるいの特長

- 1) ふるい網上、網下の物質が連続的に自動排出できる。
- 2) ふるいの運動(振動方向の強さ)は製品の必要に応じて自由かつ簡単に調整できる。
- 3) 構造が簡単でふるい網上の物質は、うず巻き状に移動して分散し、ふるい面との接触が効果的に行われるため、最大のふるい分け効率が期待できる。
- 4) ふるい網はクランプ締めであるため取替が簡単で、排出口の方向は自由に変更できる。
- 5) 駆動部の上下アンバランスウェイトに対する位相角度を変えることにより、処理物の性状に適したふるいの運動が得られる。

3.3 振動ふるいの機構

基本的な振動機構は振動ミルと同様である。粉碎室の代わりに網を1段ないし数段取り付けた構造になっている。乾式・湿式、一段・多段、微粉・粗粒、比重の軽いもの、重いものやその他いろいろな用途に使用できる。また、ふるい分け、固液のろ過、分離、脱水、回収、洗浄等にも広く応用されている。

駆動方式は、振動モーター直結型(図2)と汎用モーターベルト駆動型(図3)がある。その他、ATSシステム式の空気圧を利用したふるい網緊張装置や超音波装置付のふるいもあり用途に応じて選定できる。

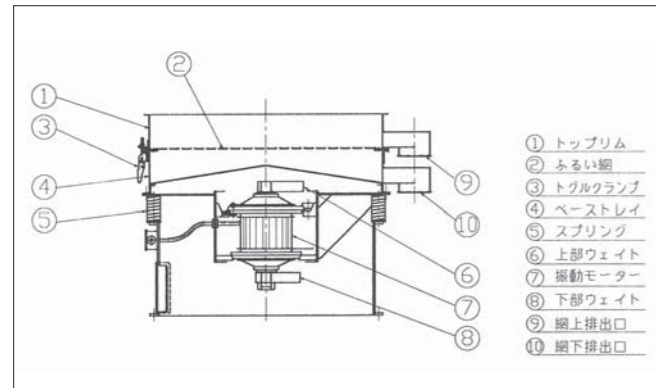


図2 ボールトン振動ふるい直結型概略図
Fig.2 Schematic view of vibrating sieve (Vertical vibrator)

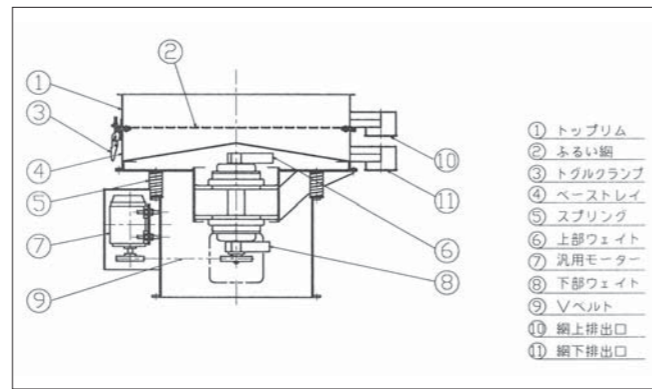


図3 ボールトン振動ふるいベルト駆動型概略図
Fig.3 Schematic view of vibrating sieve (Belt drive)

3.4 振動ふるいの用途

- 1) 振動ふるいによる固液分離
遠心分離、ろ過等の固液分離操作や湿式分離操作には、沈降槽、ろ過機、遠心分離機、液体サイクロン等の単体機械が使用されているが、これらの機械は一般的に設備費と保守費が高い。これらの機械の中には、振動ふるいで十分に代替できる場合が多々あり、むしろ振動ふるいの方が有利な場合がある。
- 2) 化学工業
薬品、医薬、樹脂原料や製品のふるい分け、異物除去、廃液からの有価物の回収や精製など。
- 3) 鉱物・金属工業
けい砂などの鉱物、合成研磨材、建材、窯業原料などのふるい分けなど。
- 4) 食品工業
穀物、食品、ドライミルク、チョコレート、砂糖、デンプン溶液、家畜飼料などのふるい分けや精製など。
- 5) 製紙・パルプ
コーティング材、サイズ材、ホホワイトカーボン、炭カルなどの粗粒除去、ろ過、異物除去、廃水処理など。
- 6) 各種工場廃水
工場廃水の処理など。
- 7) し尿汚水処理
し尿および家畜汚水の処理など。

4 ボールトン振動研磨機

4.1 研磨の目的

各種の金属部品、プラスチック、セラミック製部品などの表面研磨・バリ取り、スケール落とし、カエリ取り、粗研磨、精密研磨、光沢研磨、つや出しなどがある。

4.2 振動研磨機の特長

- 1) 短時間で美しい仕上面が得られる。
薄肉の部品やデリケートな部品も研磨できる。

- 2) ランニングコストが安く経済的である。
構造が簡単で、設備費、運転費、保守費が安い。
- 3) 取り扱いが簡単である。
小型軽量で据え付けが容易であり、ワークやメディアの投入、排出が簡単に行え、運転中に研磨の進行状態を確認できる。
- 4) メディアは種々の材質、サイズ、形状、硬度があり、用途・目的に応じて選択できる。
- 5) コンパウンドもそれぞれの用途・目的に応じて選択できる。

4.3 振動研磨機の機構

基本的な振動機構は振動ミルと同様である。ワーク(被研磨材)とメディア(研磨材)を投入する①研磨槽(コンテナ)とその下に取り付けられた振動機構からなっている。コンテナは②センターチューブを中心としたリング状の研磨槽で内面は耐摩耗性ゴムライニングまたはポリウレタンライニングなどがある。

研磨作業は、コンテナ内に研磨する製品とメディア(研磨材)を投入する。そして研磨を促進するためのコンパウンド(添加薬品)と水を供給する。コンテナの振動によって、これらの投入されたものはコンテナ内を回転しながら②センターチューブのまわりを旋回する。この間に、製品はメディアと接触し研磨がおこなわれる。

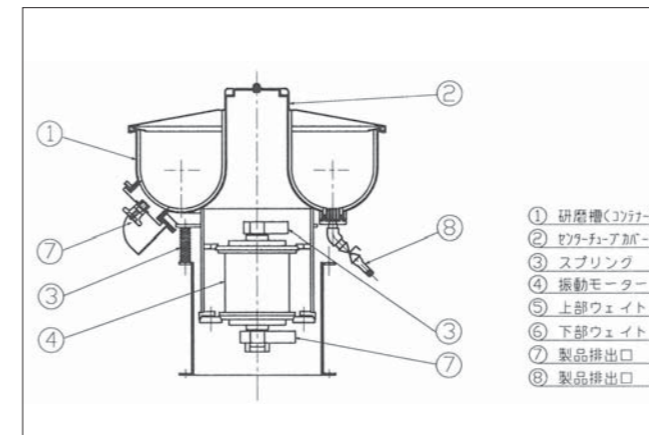


図4 ボールトン振動研磨機概略図
Fig.4 Schematic view of vibrating polisher

4.4 振動研磨機の用途

主なものは、自動車部品、オートバイ部品、自転車部品、電気部品、OA機器部品、航空機部品、装飾品、陶磁器などである。

金属部品の表面仕上げにパレル式研磨機が使用されて様々な型式のものが開発されてきたが、ボールトン振動研磨機は取扱いの容易さ、広い使用範囲などで好評を得ている。

ボールトン振動研磨機は、同じ振動原理に基づく振動ミルや振動ふるいの長年にわたる経験と実績を背景に開発されたものである。



図5 サンプル写真
Fig.5 Sample photo

5 おわりに

ボールトン振動機械は、製造販売を開始して40年以上経過した技術であるが、あらゆる用途で現在も使用されている。標準品ばかりではなく、お客様の特殊仕様に応じてその都度種々の改良や新機種を加えてきた。また、初期に納入した機械で現在も使用されているものも多く、寿命の長い機械でユーザーの信頼を得ている。しかし、振動機械は成熟した機械でもあり、振動機器の市場は競争も多く、さらに低価格指向にあり、今まで以上のコスト低減が必要である。これからも、月島機械グループの豊富な納入実績や数多くの経験を生かして、新たな需要および新規顧客の開拓に取り組んで参りたい。

2010年度に登録された特許の中、今回の特集に関わる技術について2報取り上げて概要を紹介する。これら晶析、固液分離の単位操作は月島機械のコア技術であり、プロセスを構築する上で重要な機器となりうるものである。これまでの特許やノウハウとなっている技術の上に積み重ねて今後の月島機械を支えるコア技術として発展することを期待する。

発明の名称 **晶析方法及び装置**

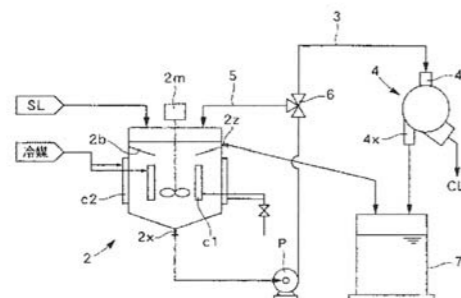
登録番号 特許第4518465号 (登録日:2010/5/28 出願日:2003/7/7)

発明者 望月 雅人 大内 健二

目的 本発明は、結晶析出量の少ない原料を効率良く晶析し、回収する方法および装置に関するものである。
原料の容量に対して結晶析出量が少ない物質の晶析を行う場合、処理後のスラリー濃度がそれほど高くなり、また得られる結晶の粒径も小さくなりがちである。そのため、晶析自体の効率が低くなるばかりでなく、処理後のスラリーをそのまま固液分離機に供給し、結晶分を回収しようとしても、(イ)分離機での脱液率が低下する、(ロ)分離する結晶量に対する分離機の稼働負荷が高くエネルギー効率が悪い、等の問題がある。
本発明は、結晶缶内のスラリーから清澄液を連続的に抜出すという簡素な手法により、結晶缶における結晶成長操作中にスラリーを濃縮し結晶析出量の少ない物質を効率良く晶析でき、スラリーを直接分離機に供給することで回収を効率良く行うことができる晶析方法及び装置を提供するものである。

発明概要 種晶を含む所定濃度の原液スラリーを結晶缶2内に連続的に供給し、結晶缶2上部の抜出口からオーバーフローにより清澄液を連続的に抜出すことにより結晶缶2内のスラリーを濃縮しながら、スラリー中の結晶を成長させる一方で、結晶缶2内のスラリー濃度が所定の抜出濃度に達する度に、結晶缶2内のスラリーを抜き出して固液分離機4に供給し、固液分離機4によりスラリーから成長結晶CLを分離するようにする。

発明の効果 結晶缶内のスラリーから清澄液を連続的に抜出すという簡素な手法により結晶缶における結晶成長操作中にスラリーを濃縮でき、スラリーは濃縮装置を使用せずに分離機に供給することができる。このような簡素な手法を採用することにより設備コスト及びランニングコストを著しく低減することができる。また本操作は、スラリー濃縮を伴う結晶成長ステップを行う一方で、結晶缶内のスラリー濃度が所定の抜出濃度に達する度に、結晶缶内のスラリーを抜き出して固液分離機に供給し結晶回収を行うようにするため、見かけ上晶析処理全体としては連続処理とすることができる。



関連する主な登録特許

No	発明の名称	登録番号	概要
1	被処理液循環型晶析装置	4428612	微細な結晶を少なくすることができる被処理液循環型晶析装置
2	被処理液循環型撈取式晶析装置	4338119	被処理液循環型の撈取式晶析装置
3	撈取式間接冷却晶析法	3238185	撈取式間接冷却晶析法

発明の名称 **固液分離装置および固液分離方法**

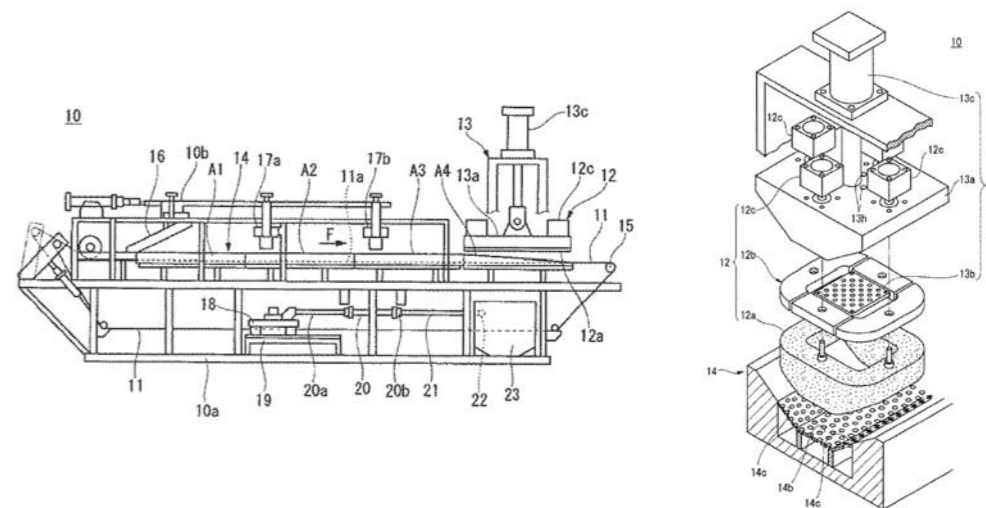
登録番号 特許第4597827号 (登録日:2010/10/1 出願日:2005/9/20)

発明者 佐藤 益弘 本間 友基 高木 浩伸 陳 貴吉 桜井 伸隆

目的 本発明は、スラリーから液状物質と固形物質とを分離する固液分離装置および固液分離方法に関するものである。
従来の固液分離装置は表面にスラリーが供給される濾過部と、その濾過部の表面に供給されたスラリーを加圧する加圧手段と、濾過部の裏面側に濾液を回収する回収手段とが備えられている。加圧されることでスラリーから液状物質が搾り出されて濾液とケーキが分離できるようになっている。この場合加圧されるケーキは濾過部の表面側に向けて単に押圧しているだけであったので、加圧時に、ケーキが、濾過部の表面に沿った方向に加圧部よりも外側に押出される、あるいは飛散するおそれがあり、得られるケーキの純度にばらつきが生じ、結果として固形物質の純度が低下するという問題があった。
本発明の固液分離装置は、この濾過部の表面に向けて上下運動が可能な枠状または環状のシール材を有するシール手段と、濾過部の表面に供給されたスラリーを加圧する加圧手段を備えてケーキと加圧部、濾過部の密接性を調整することで固形物回収率、純度を改善するものである。

発明概要 シール手段は、シール材を開口面が全周に互って濾過部の表面または供給されたケーキに押圧されて密接可能となるようにバックアッププレート若しくはダイヤフラムを備えている。加圧手段は、濾過部の表面またはその表面に供給されたケーキに密接されたシール材を加圧する構造としてバックアッププレート若しくはダイヤフラムが、そのシール材の周方向に複数設置されて互いに独立して駆動する。それによりシール材は、その周方向に沿った位置ごとに、濾過部の表面、またはその表面に供給されたケーキへの密接力が調整可能となる。

発明の効果 ケーキを濾過部、濾過部の表面に向けて上下動可能な枠状若しくは環状のシール材12aを有するシール手段、ケーキを加圧する加圧手段が備えられ、シール材はその開口面が濾過部の表面またはケーキに押圧されて密接可能な構造とすることで固液分離の効率が向上して固形物質の純度のばらつきを少なくして純度を向上させることができる。



関連する主な登録特許

No	発明の名称	登録番号	概要
1	固液分離方法	4522933	固液分離方法
2	固液分離方法	4522932	固液分離方法
3	真空濾過装置の洗浄方法および真空濾過装置	4368773	真空濾過装置の洗浄方法および真空濾過装置
他 17件の登録特許			

平成22年度 登録特許一覧

1) 月島機械(株) 登録特許

No	登録番号	出願日	発明の名称	概要
1	4657906	2005/12/9	濾過ユニット	貯水槽等内に設置する濾過ユニット
2	4623667	2006/9/12	ろ過装置	掻き取り効果を向上させたろ過装置
3	4623666	2006/9/12	ろ過装置	内枠との密着性、取付の効率を向上させたろ過装置
4	4619917	2005/10/14	リグノセルロースの前処理方法	リグノセルロース原料中の糖を効率よく回収する前処理方法
5	4619831	2005/3/8	リグノセルロースの前処理方法	
6	4619550	2001/1/11	スラッジ・ケーキ状物質の分散噴出装置	スラッジ・ケーキ状物質を分散噴出させ噴出口閉塞、分散不良を防止する方法
7	4597827	2005/9/20	固液分離装置および固液分離方法	固形物質の純度を向上させる固液分離方法
8	4596505	2001/6/14	排ガス処理装置及びその方法	流路が閉塞せず清掃容易な排ガス処理装置
9	4590608	2000/6/7	ろ過・乾燥装置	ろ過槽に解砕装置を設置したろ過・乾燥装置
10	4582712	2005/12/15	ろ過装置	脱水ケーキの圧密度調整が可能なるろ過装置
11	4577820	2004/7/26	ビスフェノールAの製造方法及び装置	高い純度のビスフェノールAをケミカルリサイクルする方法及び装置
12	4573228	2005/5/18	粉粒体の混合装置	攪拌羽根を設けたコンテナ型の混合装置
13	4565986	2004/12/16	重金属を吸収した植物からの重金属回収システム	重金属吸収植物体からの重金属回収システム及び重金属回収方法(共願:大成建設)
14	4565554	2004/12/28	ガス抜き装置及びこれを設けた汚泥搬送設備	搬送管路内の滞留ガス抜き装置、及びこれを設けた汚泥搬送設備
15	4548791	2006/4/14	遠心分離機	ろ過性能の優れた遠心分離機
16	4541070	2004/8/13	汚泥凝集装置及び方法、薬品供給位置制御装置	脱水機に投入する凝集汚泥の質を一定に保つ汚泥凝集装置及び方法、薬品供給位置制御装置
17	4536686	2006/6/7	遠心分離機のシュートケーシング	シュートケーシング内側の閉塞を防ぐ方法
18	4530342	2004/7/6	含蜜糖の製造方法及び製造装置	さとうきび由来の独特の風味を残した含蜜糖の製造方法及び製造装置
19	4522933	2005/9/20	固液分離方法	固形物質の純度を向上させる固液分離方法
20	4522932	2005/9/20	固液分離方法	
21	4522797	2004/9/7	リグノセルロースの前処理方法及びエタノール製造方法	リグノセルロース含有原料から効率よく糖液を得る前処理方法及びエタノール製造方法
22	4521608	2000/6/22	砂糖きび搾り滓の分離方法および分離装置	砂糖きびの搾り滓からバガシロを効率よく採取する分離方法および分離装置
23	4518501	2005/10/12	ろ過装置	ケーキの圧密脱水性能、搬送性を向上させるろ過装置
24	4518500	2005/10/12	ろ過装置	ろ過濃縮性能、SS回収率を向上させるろ過装置
25	4518495	2005/6/16	ろ過装置及びろ過方法	小型化、脱水性能を向上させるろ過装置及びろ過方法
26	4518465	2003/7/7	晶析方法及び装置	結晶析出量の少ない物質を効率良く晶析、回収する方法及び装置
27	4515158	2004/5/31	電子ビームガンおよびプラズマ装置	ボールピースの磁気特性の変化を抑え電子ビームの軌道を安定化した電子ビームガン

28	4513075	1999/12/2	炭酸ソーダの添加による軟化処理を含む限外ろ過処理による甘蔗からの精製糖製造プロセス	効率よく直接精製糖を製造する方法
29	4503430	2004/12/24	濾過装置	所定位置に該濾過モジュールを案内し円滑に配置することが可能な濾過装置
30	4497475	2005/3/8	フィルタープレス装置	濾布の繊維中に保持された固形分を迅速・容易・安価に除去できる装置
31	4494399	2004/3/31	L-乳酸の製造方法	L-乳酸の製造方法 (共願:三菱化学フーズ)
32	4493039	2006/1/6	ろ過装置	ケーキを圧密し脱水を促進させる圧密度調整が可能なるろ過装置
33	4493038	2006/1/6	ろ過装置	
34	4493032	2005/10/12	ろ過装置	ろ過濃縮性能、圧密脱水性能、SS回収率及び搬送性を向上させるろ過装置
35	4493031	2005/10/12	ろ過装置	ろ過濃縮性能を向上させるろ過装置
36	4493030	2005/10/12	ろ過装置	仕切りの強度向上、形状の維持、ろ過作業を安定化したろ過装置
37	4493024	2005/6/16	ろ過装置	小型化、脱水性能を向上させたろ過装置
38	4491642	2003/7/29	箱もの内容物の処理方法および処理装置	充填した袋体を収容した段ボール箱を自動開梱し、袋体を自動排出する方法及び装置

2) 月島環境エンジニアリング(株) 登録特許

No	登録番号	出願日	発明の名称	概要
1	4637810	2006/11/1	脱硫廃液と硫黄粒子の焼却処理方法	硫黄粒子を含む脱硫廃液を焼却処理する方法
2	4615079	1999/10/25	塔方式の気液接触装置	ガス量の少ない気液接触の効率を向上した装置
3	4611355	2007/9/27	ガス処理方法およびガス処理設備	Dual Reflux PSA法に準じた成分除去を行うガス処理方法およびガス処理設備
4	4606936	2005/4/7	基板の洗浄方法	オゾン水でレジスト剥離等の基板の洗浄を行う効率的な洗浄方法
5	4593191	2004/6/21	焼却設備における熱交換器の洗浄方法	焼却設備より排出される燃焼排ガスを冷却水に直接接触させて冷却する際の熱交換器の洗浄方法
6	4542190	2009/3/11	廃棄物の燃焼発電方法及びその燃焼設備	廃液燃焼炉からの熱エネルギーを効果的に活用する焼却法
7	4542171	2008/5/7	廃液の燃焼方法及びその燃焼装置	廃液燃焼の熱量の有効利用、CO ₂ 発生削減の方法
8	4509695	2004/7/28	廃液焼却処理方法	低発熱量の廃液を焼却処理する方法(共願:豊田ケミカルエンジニアリング)
9	4485738	2002/6/12	目的物質を分離・回収する方法	有価物や不純物の塩などを分離・回収する方法

塩の話 Part 2

前号で紹介した月島機械とかかわりの深い身の回りの結晶“塩”の続編を紹介します。塩は海水からの採取が中心でありその海水に焦点を当ててみました。先の東日本大震災で多大な被害を受けた福島第1原子力発電所でも冷却手段として用いられていますし、月島機械でも海水法として排煙脱硫設備の吸収、冷却に用いる例があります。

1 はじめに

前号で紹介したとおり一般的な塩の製法は海水を原料として確立されてきました。海水から濃い塩水(かん水)を得る「採かん(採鹹)工程」と、そのかん水を煮つめて塩の結晶を得る「せんごう(煎熬)工程」という二つの工程からなります。今回はこの海水の性質と濃縮、析出方法について紹介します。

2 海水の性質

純粋に塩辛い味がする物質は塩しかありません。似たような味を示す有機物や無機物はありますが、安全で信頼のおける物質としては塩以外にありません。その原料となる海水中には 5×10^6 トンという膨大な量の塩が存在します。その海水の成分を表1に示します。海水中には約2.7%の塩(塩化ナトリウム)が含まれており、それ以外はマグネシウム、カルシウム、カリウムの塩が含まれています。海水中の可溶性の固形物を基準にすると塩化ナトリウムは既に約78%の純度で存在しています。従って塩を回収するには共存する他の無機塩の性質、主に溶解度差で結晶化することで精製することができます。実際には海水は、イオン交換膜等を利用した採かん(採鹹)工程¹⁾で一段濃縮され他の不純物が除外されて、約92%の純度の高濃度塩水を得た後に結晶化をおこなっています。また、海水を濃縮することは、一方では淡水を得ることになります。特に海水と淡水の浸透圧差を利用した逆浸透法は海水淡水化技術として広く普及しています。従って海水濃縮と淡水化は表裏の技術と言えます。

3 海水(かん水)からの塩の析出

塩の結晶化工程は前号で紹介したとおり多重の真空蒸発缶が使用されています。発電用の蒸気タービン後の低圧蒸気(1bar以下)を利用して蒸気量に対して高い蒸発量が得られる効用缶方式が用いられています。蒸気量に対する水の蒸発量は3重効用缶で約2.6倍、4重効用缶では約3.2倍に増えます。効用缶は各蒸発缶に真空度並びに平衡となる温度の勾配を持たせて高温側で蒸発した蒸気を次の蒸発缶の加熱源に利用することで効率的に熱が利用されています。海水(かん水)を濃縮した際におこる不純物の析出と製品である塩の析出の関係を図1に示します。かん水を濃縮する(図で右側に進む)とまず塩が析出し(左側 一点破線)、続いて硫酸カルシウム(石こう)が析出し最後に塩化カリウム(右側 一点破線)が析出します。塩化カリウムは不純物となるため析出の手前で濃縮を終了させます。このときの母液は $MgCl_2, KCl, NaCl, CaCl_2$ を含むのがりとなります。また製品の塩は沈降速度差を利用して石こうと比重分離して精製します。この濃縮操作の際に問題となるのは蒸発缶の加熱面のスケールリングで、その対策の一つとしては本技報内で紹介のあった石こうの種晶を添加する方法です。もう一つは順給、逆給の給液方法を組み合わせることで2号缶で起こる石こうの析出を防ぐことです。これらの手法により数ヶ月の連続運転が行われています。

4 おわりに

2号にわたり塩を特集しましたが、砂糖と並んで塩は自然界から採取する結晶の代表と言えます。またそれは月島機械の結晶化技術の原点とも言えます。物質の性状、共存する化合物との相互作用を把握して結晶の品位を高めることは物質が変わっても同じアプローチが必要となります。

表1 海水の組成²⁾

塩類	濃度 (g/kg)	固形物中濃度 (g/100g)
NaCl	26.69	77.70
MgCl ₂	3.28	9.55
MgSO ₄	2.10	6.11
CaSO ₄	1.38	4.02
KCl	0.72	2.10
CaCO ₃	0.10	0.29
MgBr ₂	0.08	0.23
合計	34.35	100.00

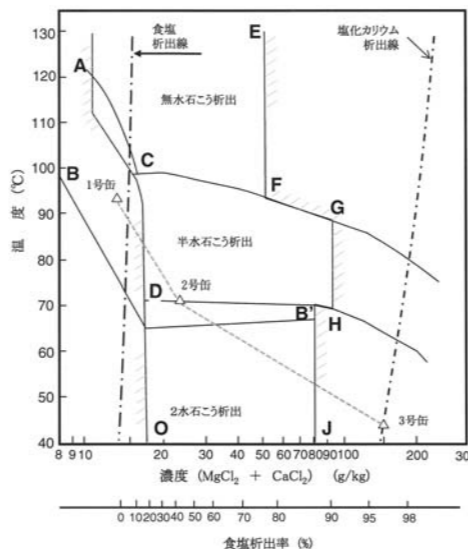


図1 石こう析出領域での塩の挙動²⁾
斜線内はスケールリングが起こる境界。1号～3号缶は順給の場合の操作線。

参考文献

- 1) たばこ塩の博物館
<http://www.jti.co.jp/Culture/museum/sio/index.html> (2011年3月現在)
- 2) 塩の事典 東京堂出版(平成21年)

会社概要

名称	月島機械株式会社 (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.)
代表取締役社長	山田 和彦
創業	明治38年8月

資本金	66億4680万円
従業員数	614名(グループ2,205名)(平成22年3月末現在)
売上高	単独: 390億円 連結: 676億円(平成22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
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	〒541-0045 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
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	〒810-0062 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
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ジャカルタ駐在事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Jakarta Representative Office Sequis Plaza 22nd Fl.Suite 2203 Jl. Jend. Sudirman Kav. 25 Jakarta Selatan 12920 TEL: +62-21-526-7732/7734 FAX: +62-21-526-7790
TSKハノイ駐在事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Hanoi Representative Office Unit 202,V-Tower, 649 Kim Ma Street,Ba Dinh District,Hanoi TEL: +84-43-766-9965,7~8 FAX: +84-4-7669969
TSKムンバイ駐在事務所 Tsukishima Kikai Co.,Ltd.Mumbai Liaison Office 8,Krishna Kunj 1st floor above HDFC Bank Near Fly over Bhayandar(W)Thane-401 104 TEL: +91-22-2815-2784 FAX: +91-22-2815-2785

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.03-3533-6271 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(市川事業所) TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354
月島ビジネスサポート(株)	〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15 月島機械(株)内 TEL.03-3533-4824 FAX.03-3536-0968
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.047-359-1651 FAX.047-359-1661
月島環境エンジニアリング(株)	〒104-0033 東京都中央区新川12-12-15 (ヒューリック八丁堀ビル3~6階) TEL.03-6386-3960 FAX.03-3537-8763
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
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

〈海外関連会社〉

月島エンジニアリングマレーシア(株) TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. <TEM> 月島エンジニアリングシンガポール(株) TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. <TES> 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
月島環境機械(北京)有限公司 TSK ENGINEERING CHINA CO.,LTD 北京市朝陽区景華南街5号遠洋光華中心C座15階08室 (営業開始日:2011年6月初旬予定)

編集後記

高尾ひろ子 編集委員

東日本大震災発生から約2ヶ月が経とうとしています。福島第一原子力発電所の事故も含め、今回の災害は「想定外」「想定以上」と言われており、それぞれが設定した安全対策をはるかに上回る地震と津波で大規模の災害となりました。月島機械が関係している処理場・施設も災害でダメージを受けた所が複数か所にも渡っており、復旧を待たれています。復旧に向けて貢献できるよう技術力を常に磨き、安全で信頼の高い機械を作り続けられる会社でありたいと思います。

Editor's Note

TSK技報 NO.15 2011

年2回(4月・10月)発刊
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:佐藤 正則

編集委員:高橋 正純 荒井 健

佐藤 教子 加藤 善二

佐藤 剛 近藤 洋正

石井 究 橋口 秀之

高尾 ひろ子