

日本スピンドル技報

NO. 50 2010

NIHON SPINDLE TECHNICAL REPORT

目 次

巻頭言	齊藤 十内
 技術報告	
◆CFD を用いたパルス集塵機の解析と応用	1
	上田 聡
◆マルチパルスジェット法によるバグフィルタの払い落とし効率の向上	4
	木嶋 敬昌, 卯山 貞信, 鮑 力民, 郁 明々, 剣持 潔
◆省スペース型高性能パルス集塵機の稼働報告	9
	飯尾 良夫
◆内外歯加工技術の開発	13
	檜垣 孝二, 谷口 真一
◆汎用シューマイ成形機 (i・S シリーズ) の開発	18
	石田 博昭
◆クリエコⅢの省エネ性の向上	21
	泉 憲司
◆不燃木製学校間仕切の商品化	24
	池田 潤也, 松島 強
◆タイヤ用シート製造装置の開発	28
	頼金 敏昭
◆ホモゲナイザーのバルブ内の流れと乳化効果	35
	住友 尚志
 知財報告	 43

NIHON SPINDLE TECHNICAL REPORT

NO. 50 2010

CONTENTS

MessageJunai SAITO

TECHNICAL REPORT

- ◆Analysis and application of pulse jet bag filter system using CFD 1
Akira UEDA
- ◆Improving cleaning efficiency of a bag filter system using multiple jet pulses 4
Takamasa KISHIMA, Sadanobu UYAMA, Limin BAO, Mingming YU, Kiyoshi KEMMOCHI
- ◆Operation report of space saving pulse jet bag filter system 9
Yoshio IIO
- ◆Development of method for forming gear of both sides13
Koji HIGAKI, Shinichi TANIGUCHI
- ◆Development of general versatility SHAOMAI forming machine (i・S series')18
Hiroaki ISHIDA
- ◆Improvement of energy efficiency of Cle-Eco III21
Kenji IZUMI
- ◆Commercialization of non-flammable wooden partitions for school24
Junya IKEDA, Tsuyoshi MATSUSHIMA
- ◆Development of sheet preforming machine for tire manufacturers28
Toshiaki YORIKANE
- ◆Study of internal flow and emulsification effect in a homogenizing valve35
Takashi SUMITOMO

INTELLECTUAL PROPERTY REPORT43

巻 頭 言

社 長 齊 藤 十 内



平素は当社の事業にご支援とご協力を賜り、厚くお礼申し上げます。

当社の経営ビジョンには、「人と地球に優しい環境と空間を創造する」という一文があり、当社は長年の事業活動を通して、経営ビジョンの実現に取り組んでまいりました。具体的には、環境改善・省エネ・省資源を実現する技術、並びに安心・安全を実現する技術により、社会への貢献を果しております。近年の地球

規模での産業の発展によって、経営ビジョンに即した社会からの要請がますます強くなっているため、全社を挙げて研究開発に邁進しているところです。

今回の技術報告では、それぞれの業界で高い評価をいただいている戦略商品に関する環境関連技術、並びに安心・安全関連技術について報告しております。産業用集塵装置については、これまでの実績と解析力を駆使して、省エネ・高性能化・コンパクト化の実現と併せ、交換部品の長寿命化を実現しました。産機事業のバリフォーマについては、自動車部品業界の多様な要請に応える工法開発力で、自動車の更なる軽量化を実現し、省エネ・省資源に貢献しました。シューマイ成形機については、今までにない電気制御方式を採用して汎用性や生産性の向上を実現し、食生活の安心・安全に貢献しました。空調機器のクリエコⅢについては、湿度調節時の無駄な消費電力を抑制する新制御方式を採用し、省エネを更に進化させました。木製学校間仕切は、従来の木製間仕切のラインアップに不燃タイプを加え、教育現場における安心・安全性に貢献しました。タイヤ用シート製造装置については、独創的なセミオープン機構を採用し、生産製品の高品質化と省エネの両立を実現しました。ホモゲナイザーについては、運転条件が乳化作用に与える影響について解明し、省エネを実現する最適な運転を実現しました。

また、当社は、これら技術開発成果の保護と利用を推進して企業価値の最大化を図るため、研究開発活動と一体となった知財活動を実行しております。その一例として、国内保有特許件数の推移および近年の登録特許を巻末に紹介します。

今後とも、社会に貢献する企業として最善の努力を尽くす所存ですので、引き続きご愛顧、ご指導を賜りますよう宜しくお願い申し上げます。

CFD を用いたパルス集塵機の解析と応用

Analysis and application of pulse jet bag filter system using CFD

技術開発室

上田 聡

Akira UEDA

Abstract

The high performance of dust corrector is strongly required. But, the experiments are conducted by the computation instead of actually doing due to its difficulty. In this report, we have analyzed pulse jet bag filter system using CFD. The results of analysis correspond with experiment. Verifying the performance of improvement idea numerically, we confirm the effect.

1. はじめに

産業活動に伴い発生する硫黄酸化物、窒素酸化物、煤塵、有害物質などの浮遊粒子状物質は、大気汚染防止法やダイオキシン類対策特別措置法などにより規制の対象とされている。集塵機はこのような粒子状物質を除去するために用いられている。集塵機には省エネ（低圧力損失制御）や長寿命（フィルタ破損の低減）などといった高性能化が求められており、前者については、より効果的な捕集ダストの払い落とし方法がパルスジェット方式において望まれている。しかし、その構造の最適化については装置の大きさや現象の短時間性などによる実験の困難さゆえに、長らく技術者の経験に頼っていた。

近年、CFD（computational fluid dynamics、数値流体力学）が急速に発達し、コストの低い方法で検証ができるようになって来た。本報ではCFDを用いた集塵機のパルスジェット式払い落とし挙動の解析を行い、性能向上に向けた検証を行った。

2. CFDの手法

集塵機は大型のものではフィルタ長さが10mにもなる物もあり、性能の測定や実験には大きな労力が必要である。また小さな模型による実験では、大きな実機で現れる現象がどこまで再現できているか疑問が残る。一方数値モデルを用い、計算機によって解析を行えば、コストや実験期間を削減しつつ、実際の大きさの装置での実験と同等の結果が得ることができる。本報では集塵機のパルスジェット方式

への適用を前提としたCFDの概要を述べる¹⁾。

パルスジェット方式においては噴射気流の風速が大きく、空気の体積変化が無視できない。そのため流体モデルには非定常3次元圧縮性流れを採用する。モデルの基礎方程式を以下に示す：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i' u_j'), \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{u}) = \nabla \cdot (k \nabla T) - \nabla \cdot (p \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau} \mathbf{u}) + \rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u} \dots\dots\dots (3)$$

ここで $\mathbf{u}$ は流速、 ρ は密度、 E は流体の持つ全エネルギーである。

また装置の大きさにより、流れ場は乱流となっている。乱流は基本的には上記の基礎方程式から導く事ができるが、十分な解像度を得るには非常に細かな格子幅や時間ステップ幅を採用しなければならず、計算量を考えると現実的には不可能である。そのため乱流モデルを用いて微細な流れ構造をモデリングする。乱流モデルには以下の基礎方程式で表される標準 $k-\varepsilon$ モデルを採用した：

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} k) = \nabla \cdot (\Gamma_k \nabla k) + G - \rho \varepsilon, \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{\partial (\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \varepsilon) = \nabla \cdot (\Gamma_\varepsilon \nabla \varepsilon) + P - \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C \frac{\varepsilon}{k}, \dots\dots\dots (5)$$

ここで k は乱流運動エネルギー, ε はその散逸率である.

上記の基礎方程式だけでは温度 T と密度 ρ の関係などが明らかでなくそのままでは解くことができない. そのため補助方程式が必要である. 補助方程式には以下のものがある.

$$\tau_{ij} = 2\mu D_{ij} + \lambda \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} : \quad \text{ニュートン流体のせん断応力} \cdots (6)$$

$$\lambda = -2\mu/3 : \quad \text{粘性率についてのストークスの関係} \cdots (7)$$

$$\Theta = -k\nabla T = -k \frac{\partial T}{\partial x_j} : \text{フーリエの熱伝導則} \cdots (8)$$

$$e = c_v T : \text{温度と比熱の関係} \cdots (9)$$

物理現象は本来連続的であるが, 計算機では連続性を直接表す事ができないので, これらの基礎方程式を空間・時間について離散化しなければならない. その基本である FTCS 法を, 質量保存を表す式(1)に適用すると,

$$\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\Delta t} + \frac{(\rho u)_{i+1}^n - (\rho u)_{i-1}^n}{2\Delta x} = 0 \cdots (10)$$

となる. このような式は式(2)から(5)に対しても立てることができる. 空間を離散化し, 各点に対して式(10)を作り連立させ, 最終的に行列方程式を構成する. これを解くことによって流れ場を求める事ができる.

3. 集塵機モデリング

解析を行った集塵機モデルの概略形状を図1および図2に示す.

タンク内には2気圧の圧縮空気が入っており, タンク内のバルブ開閉によってインジェクタパイプ(IP)内にエアが流れる. エアはフィルタ直上に設けたノズル穴よりフィルタ内へ流れ, フィルタに付着した捕集ダストを払い落とす構造になっている. 本解析では集塵機に通常複数設置されているIPのうち1本を解析対象とし, IP直下に16本のフィルタが取り付けられた場合を想定した. また, IPからフィルタへの吹き出しの様子を知ることが目的のため, フィルタ面は壁面として扱い, フィルタ外部の空間とダスト払い落とし現象を省略することで計算負荷の軽減を図った.

流入条件としては圧縮空気タンクの側面部に圧力境界条件 (0.2MPa) を, 本体側面部に対称境界条

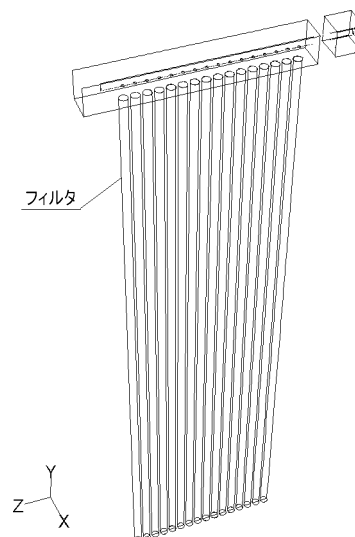


図1 モデル概略

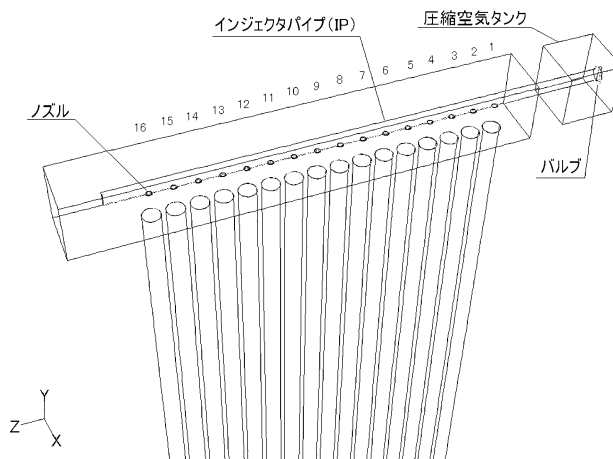


図2 上部拡大図

件を設定した.

バルブ周囲は流れが高速かつ複雑になると予想されるため, 格子を生成する際, 特に高精度にする必要がある. 本モデルでは最小セル寸法は1mmとした.

バルブの動作の再現は, 格子面が不連続となる境界面をバルブ近傍に設定し, 境界をまたぐ計算はセル間で補間を行うことで行った.

離散化手法は空間について2次精度風上差分, 時間について1次精度陰的法を用いた. 時間ステップ幅は0.1ミリ秒, 総セル数は約70万点である.

4. 解析結果

以上の手法を用いて, 計算機によって流れ場を解いた. 以下にその結果を示す.

図3および図4は中央断面におけるIPおよびその周辺部分の100ミリ秒後の速度場と圧力場を可視

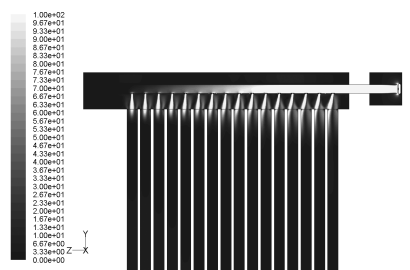


図3 払い落とし時の速度分布 (m/s)

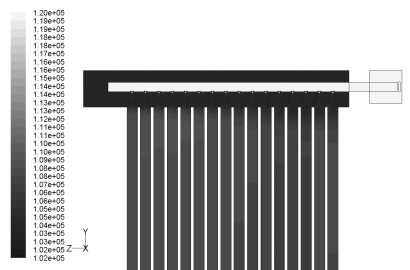


図4 払い落とし時の圧力分布 (Pa)

化したものである。図中の白い箇所が高速／高圧となった部分である。圧縮空気がIP内を通り、吹き出しノズルからフィルタへ向けて噴出している様子が分かる。

この解析結果が実機内の現象を捉えているか確認するため、同条件にて実験を行い、その結果を比較する。比較には最も測定がしやすい物理量として、IP内の圧力変動を選択した。それらを40ミリ秒まで比較したグラフを図5に示す。バルブから流れてきた圧縮エアが24ミリ秒でIP内に達し、圧力が上がっている様子が再現されている。また、解析結果と実験値で立ち上がり時間および最大圧力が概ね一致しており、解析は実現象を十分再現できている事が分かる。

5. 改善案の検証

以上より解析を実験の代替として用いる事ができることが示された。ここでは解析による払い落とし性能の向上案の検証例を示す。

ノズルより吹き出す空気の流れ分布（図3）を見ると、空気はノズルより斜めに吹き出し、そのためフィルタの側面部に当たっており、当たっていない方の側面ではエアの逆流が起こっている。集塵機中央部のフィルタ1本について拡大した図（図6(a)）をみるとそのことが良く分かる。これではフィルタ上部にてエアは外へ抜けてしまい、最下部へ達する事ができない。すなわち吹き出しの効率が良くない事が分かる。

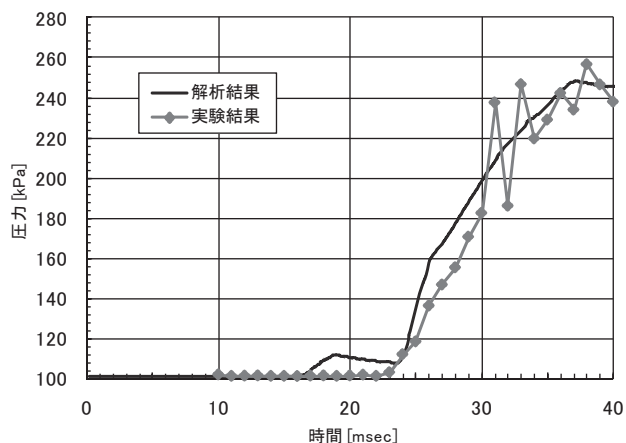
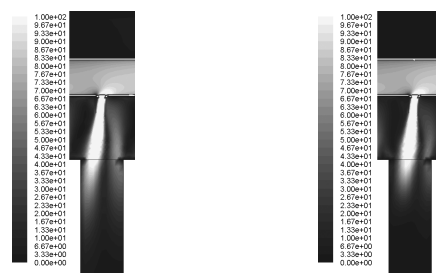


図5 IP内圧力挙動の比較



(a) 現状モデル

(b) 改善モデル

図6 払い落とし性能向上案の速度分布

これを改善するため、吹き出し空気がフィルタ入口の中心を狙うようにノズル位置および形状を調整し、検証用モデルを作成して同様に解析を行った。改善したモデルでの風速分布を図6(b)に示す。改善モデルはフィルタに入るエアの流量が約5%増加しており、また図を見てもエアがフィルタ内に効果的に入っている事が分かる。

6. まとめと今後の取り組み

本報により、CFDによる数値解析は実験の代替となることを検証することができた。また数値実験により効率的に払い落としが出来るノズルの最適設計を行った。

今後は一層の形状最適化を実現して払い落とし性能をより向上させる。

7. 参考文献

- 1) 宮内敏雄, 数値流体力学基礎コース, ISS 産業科学システムズ, 1997

8. 関連特許

- 1) 特許出願中

マルチパルスジェット法によるバグフィルタの払い落とし効率の向上

Improving cleaning efficiency of a bag filter system using multiple jet pulses

技術開発室 木嶋 敬昌, 刈山 貞信

信州大学繊維学部 鮑 力民, 郁 明々, 剣持 潔

Takamasa KISHIMA, Sadanobu UYAMA

Limin BAO, Mingming YU, Kiyoshi KEMMOCHI

Abstract

In recent years, non-woven bag filters have been used in waste incinerators to efficiently collect dust and remove detrimental gas. However, the dust removal efficiency decreases with time until the bag filters are no longer usable. The dust adhering to the fabric is a major determinant of bag filter life. In this paper, we suggest using multiple jet pulses that change pulse parameter only for the bag cleaning systems of currently used dust-collection equipment. Under the same conditions, the bag cleaning efficiency of multiple jet pulse systems exceeds that of conventional single-pulse methods. Furthermore, the superiority and effectiveness of multiple pulse jet methods were clarified.

1. はじめに

パルスジェット方式によるバグフィルタの払い落とし効率の影響因子に関する研究報告を以下に紹介するが、近年はほとんど見当たらない。Hindy ら¹⁾は円筒型バグフィルタについて、ろ布の差圧および払い落とし時の加速度とダスト払い落とし効率の関係を調べている。また、ろ布の目付はダスト払い落とし効率に大きく影響していることを報告している。Simon ら²⁾は円筒型バグフィルタを利用し、払い落とし効率と噴射ノズルのサイズと噴射位置がろ布の運動に与える影響を調べた。Dennis ら³⁾はろ布の表面特性がろ布の運動に与える影響に関する研究を行った。これによると、堆積粉塵の払い落とし効率はろ布の素材だけでなくその表面処理状態に大きく影響されるとしている。Ellenbecker ら⁴⁾は平面ろ布を用いた実験から、払い落とし効率と気流量およびろ布加速度の関係を調べ、気流量と加速度のいずれが増加しても払い落とし効率が向上し、粉塵堆積量が多いほど効率は急上昇していると報告している。Dennis ら⁵⁾は粉塵を堆積させたろ布の衝突による払い落とし実験を行って、粉塵堆積量が多く衝突加速度が大きいほど払い落とし効率が高いことを示している。また、粉塵が剥離するには大きな加速度がある程度連続して作用する必要があると報告している。しかし、これらの実験と解析は数回または数十回程

度の集塵処理を行ったろ布を対象として行ったもので、年間数万回集塵および払い落とし操作を行う実機で使用されるろ布の状態と異なる。

本研究では、ろ布の長寿命化と集塵操作におけるランニングコスト低減を目的として、パルス時間間隔を制御して複数回連続払い落とし操作を可能とするマルチパルスジェット方式を提案し、同一消費エネルギー下におけるダスト払い落とし効果を検証した。

2. マルチパルス式粉塵払い落とし法

集塵操作の省エネルギー化とろ布の長寿命化のためには、払い落としの効率の向上は重要である。特にろ布内部に堆積しているダストは圧力損失(ΔP_{ci})に大きく影響するため、ここでは、ろ布内部に堆積しているダストを払い落とすことに注目した。

マルチパルスジェット払い落とし方式は、図1に示すように、第1段階の噴射気流でろ布表面のダストを払い落とし、第2段階の噴射気流をろ布が完全に噴射前の位置に戻る前に噴射し（フィルタ内空間が噴射前よりも大きい状態）、ろ布内部に残留したダストを効果的に除去する方法である。本報告ではパルスジェット噴射に消費する噴射気流量を多段においても単段と同一となるようにして検証した。

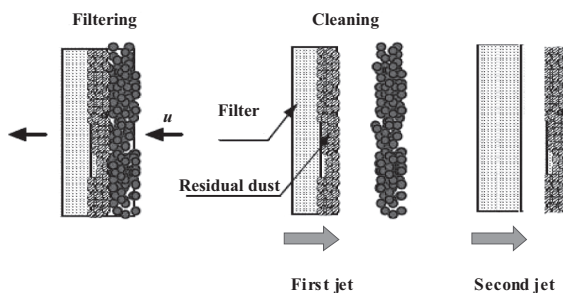


図1 マルチパルスジェット払い落とし過程

3. 実験装置及び方法

3.1 評価装置および方法

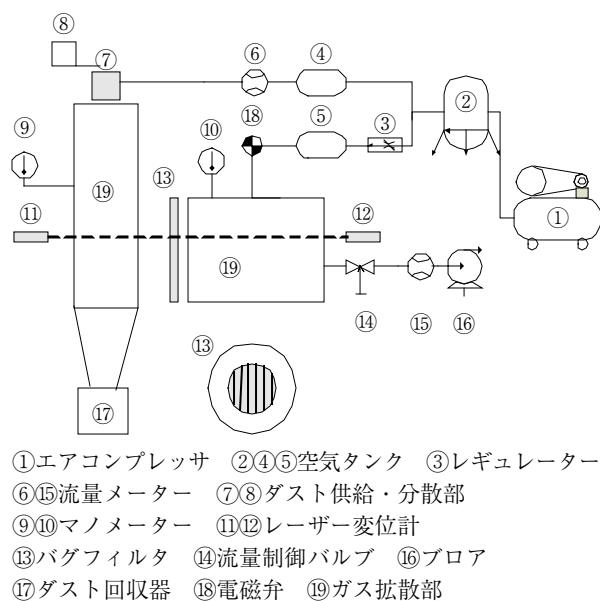
集塵および払い落とし性能の評価法は国際標準化が進められているが、ここでは、JIS Z 8909-1（集塵用ろ布評価方法）に概ね準拠したバグフィルタの集塵及び払い落とし性能評価装置を試作して、使用した。図2 (a) に装置概略を示す。試験装置は、ダスト供給・分散部（⑦⑧）、ガス拡散部⑯・サンプルろ布装着部⑬、払い落とし機構部（①②③⑤⑬）および制御・記録部から構成されている。図2 (b) は試験装置本体の外観である。

まず、おもりにより張力を付与したサンプルろ布（FLT450X（ポリエステル製、有効ろ過面積0.0314m²、目付450g/m²）をサンプルろ布装着部⑬に取り付ける。あらかじめサンプルフィルタを固定した枠（⑬）を性能評価装置に装着して初期圧力損失 $\Delta P_{Initial}$ を測定した後、⑬をダスト付着加速装置に設置し、24

時間処理をすることで長期使用時のフィルタ内部へのダスト堆積状態を再現する⁶⁾。次に、⑬を性能評価装置に再装着し、集塵・払い落とし性能評価を実施した。

本報では、ダストの供給速度は0.01g/sec、ろ過速度は1.7m/minとし、ダスト分散器⑦により粒子をフィルタ上に均一捕集されるよう供給した。尚、集塵前後の圧力損失（ $\Delta P_{collect}$ ）は圧力センサー⑨と⑩を利用して測定を行った。図3に集塵・払い落とし性能評価試験結果の概略を示す。ダストの捕集が進むと、圧力損失は徐々に増加する。新品ろ布では初期圧力損失（ $\Delta P_{Initial}$ ）は小さいが、長時間処理を実施すると、払い落とされないフィルタ内残留ダストによる影響で、初期圧力損失（払い落とし後フィルタ差圧）（ ΔP_{ci} ）は高くなり、 ΔP_{ci} と圧力損失の制御値（ $P_{Control}$ ）との差が小さくなり、頻繁に払い落とし操作をする必要性が生じる。これにより動力消費が大きくなり、ろ布の機械的な耐久寿命が短くなる。

ここでは、圧力損失の制御値（ $P_{Control}$ ）が1000Paに到達すると集塵操作を終了し、ダスト払い落とし操作を行った。払い落とし操作は、電磁弁⑬の開閉により行い、空気タンク⑤内の圧縮空気（圧力：200 kPa）をガス拡散部に噴射する。パルスジェット噴射気流によるフィルタ前後の差圧がろ布を伸長し、堆積しているダストを慣性力などによりろ布から剥離させることができるため、圧力損失（ $\Delta P_{collect}$ ）は下がることとなる。尚、ここでは、3.2に記載する



(a)



(b)

図2 集塵および払い落としテスト装置図

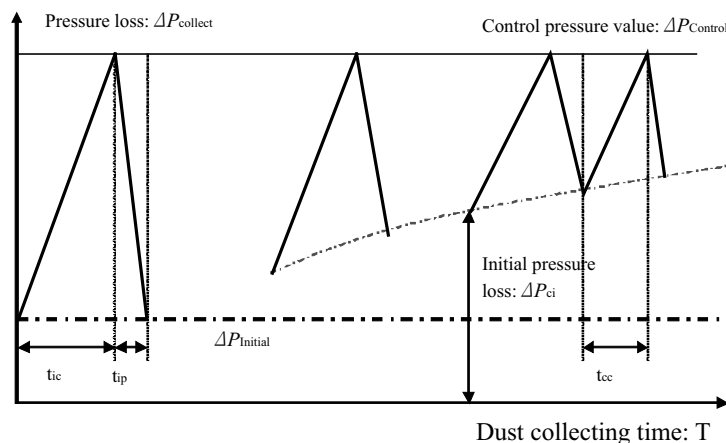


図3 集塵払い落とし操作における差圧挙動

マルチパルス方式（多段噴射）・ノーマル方式（単段噴射）による集塵・払い落とし操作を10回実施し、これらの払い落とし後フィルタ差圧を測定した。

本研究では、製鉄高炉向け集塵機を対象として、性状の類似している JIS Z 8901 試験用粉体の 8 種（関東ローム焼成品）を用いて、ダストの付着加速処理、および集塵・払い落とし性能評価を行った。ここで、粉体密度：2.9～3.1g/cm³、6.6～8.6μm である。また、粉体の水分に起因する付着性の払い落とし性能への影響を低減するため、前処理として、130℃24時間粉体を乾燥し、これを使用した。さらに、乾燥前と後、磁製乳鉢で粉体を粉砕した。尚、実験は恒温恒湿ルーム（20±5℃，50±10%）で行った。

3.2 マルチパルス噴射時間の設定

JIS Z 8909-1に定めたパルスジェット噴射時間（50ms）における空気消費質量を測定し、試験装置による圧縮空気噴射制御時間とエア消費質量との関係を求めた。次に、電磁弁の応答時間から図4のような時間配分を選定した。表1はその詳細である。

4. 実験結果および考察

図5は、ノーマルパルスジェット方式時のフィルタ差圧挙動（ ΔP_f ）を示している。図より、パルスジェット噴射に伴って、圧力差が急激に上昇して、およそ1400Paがピーク値になっていることがわかる。

図6は、マルチパルスジェット方式（Multiple 0）によるフィルタ差圧挙動（ ΔP_f ）を示したものである。これより、33msの第一段階パルスジェット噴射後、圧力差がおよそ900Paに到達し、50msの噴射停止時間後、33msの第二段階パルスジェット噴

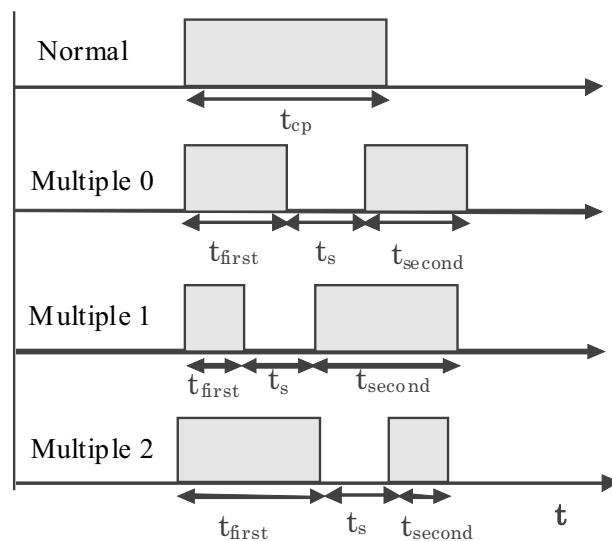


図4 マルチパルスジェット噴射時間

表1 パルス噴射時間条件

	t_{cp} (s)	t_{first} (s)	t_s (s)	t_{second} (s)
Normal	0.07	—	—	—
Multiple 0	—	0.033	0.050	0.033
Multiple 1	—	0.020	0.050	0.040
Multiple 2	—	0.040	0.050	0.020

射後、圧力差がおよそ1200Paに到達していることがわかる。Multiple 1と Multiple 2もほぼ同様の二つ傾向を示した。

図7は、払い落とし前後のフィルタ断面の観察結果を示したものである（VW-6000, KEYENCE Co. Ltd.）。(a)は、払い落とし前を、(b)は、ノーマルパルスジェット方式後の断面写真である。これより、払い落とし操作によりろ布表面堆積したダストはほとんど払い落とされたが、ろ布内部に侵入したダストはまだ多く残留していることがわかる。一方、(c)は、

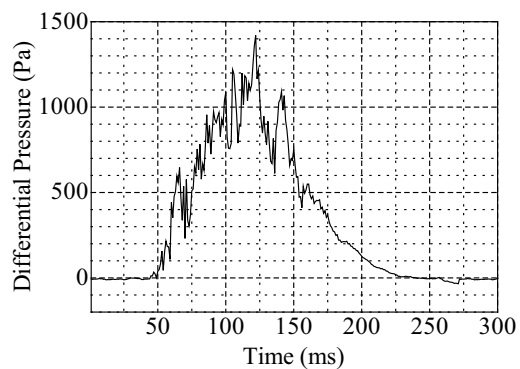


図5 ノーマルパルス噴射時のフィルタ差圧挙動

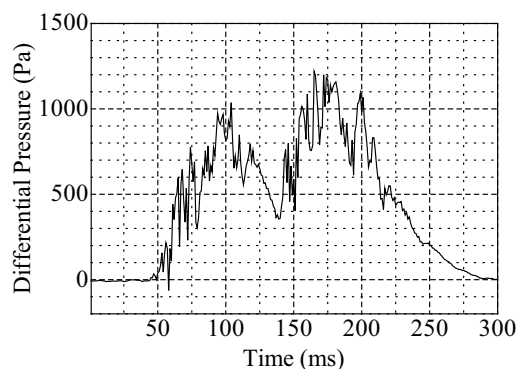


図6 マルチパルス噴射時のフィルタ差圧挙動 (Multiple 0)

マルチパルス (Multiple 0) の場合の断面写真である。図より、ろ布内部のダスト残留量は (b) よりも少なくなっていることがわかる。

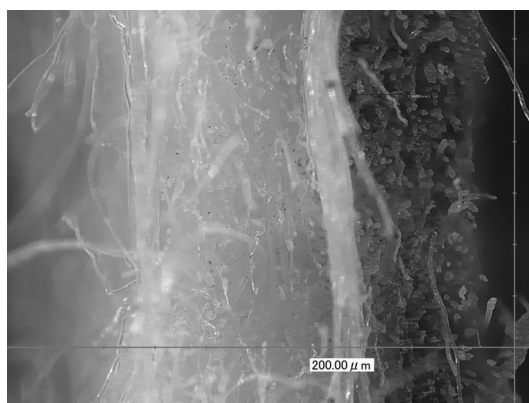
図8は、払い落とし後フィルタ差圧を比較して示したものである。これより、マルチパルスジェット方式の方が、ノーマルパルスジェット方式よりも低くなっていることがわかる。払い落とし効率 ($\eta = \Delta P_{\text{initial}} / \Delta P_{\text{ci}}$) に換算すると、Multiple 0では払い落とし効率が13.3%向上したこととなる。Multiple 1とMultiple 2でも一定程度の向上が見られるが、これらの差異に関しては、今後詳細に検討する必要がある。

5. まとめ

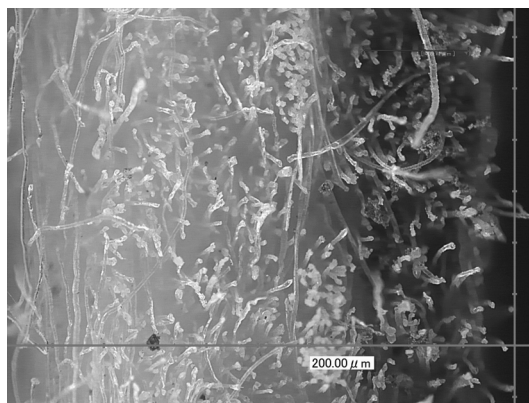
パルスジェット方式のバグフィルタ集塵装置における払い落とし効率を、ろ布内部の残留ダストに着目して検証した。これより、本報で提案したマルチパルスジェット方式は、現行のノーマルパルスジェット方式と比較して、13.3%向上することが分かり、優位性を確認できた。本報告は、現在学術誌投稿準備中（鮑力民他）より一部抜粋した。



(a) 払い落とし前



(b) ノーマルパルス払い落とし後



(c) マルチパルス払い落とし後 (Multiple 0)

図7 払い落とし前後のフィルタ観察 (FLT450X)

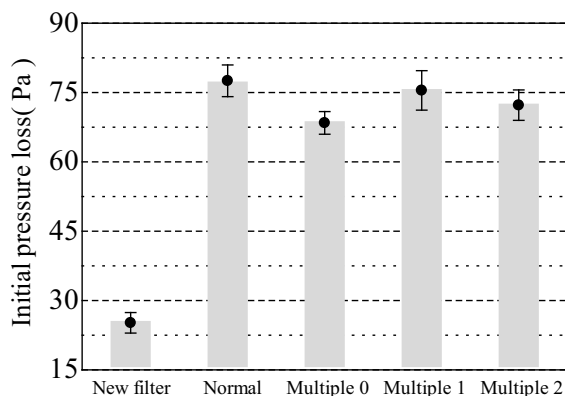


図8 払い落とし後フィルタ差圧の比較

6. 参考文献

- 1) K. T. Hindy, J. Sievert and F. Löffler Influence of cloth structure on operational characteristics of pulse-jet cleaned filter bags, Environment International, Vol. 13, 2, 1987, 175-181.
- 2) Xavier Simon, Sandrine Chazelet, Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings, Powder Technology, Volume 172, 2007, 67-81.
- 3) Richard Dennis, Reed W. Cass and Robert R. Hall, Dust Dislodgement from Woven Fabrics Versus Filter Performance, Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 28, No. 1,

1987, 47-49.

- 4) Michael J Ellenbecker and David Leith, Dust removal from Non-Woven Fabrics-Cleaning Methods Need to be improved, Filtration and Separation, July/ August, 1981, 316-320.
- 5) R. Dennis, J. E. Wilder and D. L. Harmon, Predicting pressure loss for pulse-jet filters, J. Air Pollution Control Association, 31, 9, 1981, 987-992.
- 6) 鮑 力民他, 第63回日本繊維機械学会講文集, 2010.

7. 関連特許

- 1) 特許出願中

省スペース型高性能パルス集塵機の稼働報告

Operation report of space saving pulse jet bag filter system

環境システム事業部

飯尾 良夫

Yoshio IIO

Abstract

The bag filter system with long filters (10m) is very effective because that needs a less space than convenient filter. High performance pulse jet bag filter system with long filters (10m) has been delivered to many companies. This paper reports on the good operation situations.

1. はじめに

集塵機は、廃棄物焼却炉、製鋼工場から排出される煤煙から煤塵などの有害な粒子状物質を分離する装置であり、我々が産業活動をしていく上で必要不可欠な設備のひとつである。集塵機の歴史は18世紀の産業革命以降、産業・工業の発展とともに発展し、重力集塵、隔壁集塵、電気集塵、ろ過集塵等々目的に応じた集塵機が考案され採用されてきた。

ろ過集塵機は、家庭で使用している掃除機をはじめとした袋（バッグ）でゴミを捕集し、空気と分離する仕組みで基本技術としては非常に古典的な原理の装置である。廃棄物焼却においては、一時低圧損の利点を有する電気集塵機に替わられつつあったが、排ガス中に含まれるダイオキシン類を効率よく分離除去できることから再び見直され需要の伸びとともに進化を継続している。

ろ過集塵機はその特徴の内、分離除去する粒子状物質の適用範囲が広いこと、集塵効率が高いことが見直され、廃棄物焼却炉だけではなく製鋼・製鉄、ボイラ、発電施設で使用されていた集塵機の更新を機に電気集塵機などから、ろ過集塵機に置きかえるケースもある。

また各種産業界から、ろ過集塵機へのニーズの高まりに伴い、性能向上を求める要望は以前にも増して高まってきている。

2. 開発の経緯と現状

前報¹⁾にて、新商品「省スペースのための10m 長尺ろ布を搭載した高性能パルス集塵機」について、

当社内に設置した実証機による実証実験と目標達成を証明する理論的根拠を中心にした基本技術について報告した。

2010年2月より、JFE スチール株式会社西日本製鉄所倉敷地区殿で高炉铸床集塵機として処理風量：15000m³/分クラスの大型集塵機2基が稼働に至り、その後も、2010年4月より新日本製鐵株式会社八幡製鐵所殿で製鋼用集塵機として処理風量：16000m³/分クラスが稼働を開始し、両集塵機とも順調に稼働していることが確認されている。さらに今後、株式会社住友金属小倉殿、住友金属工業株式会社和歌山製鉄所殿、および株式会社神戸製鋼所加古川製鉄所殿への納入・運転開始を控えている。

本稿では、主に実機での性能評価について報告する。

3. 気流解析技術の構築 —実設計への展開—

高速ろ過、長尺ろ布、ろ布密集化などの要素開発は、パルスクリーニング性能やプレダスターの整流機能に依存している。しかしながら、実設計に適用させるためにはケーシング内の気流を如何にコントロールするかが課題となる。言い換えれば其々のユニット毎に性能を向上させることができて、集塵機内の気流をコントロールできなければ、実機においてろ布破損のトラブルを発生させてしまう危険は払拭できない。我々はユニット毎の性能を向上させる技術だけではなく、実機設計段階での気流解析能力を十二分に取得しておく必要があると考え、解析技術の構築に取り組んでいる。以下に実案件に案件

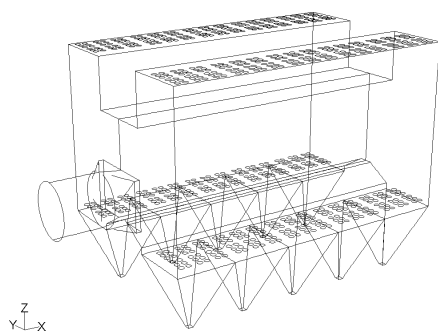
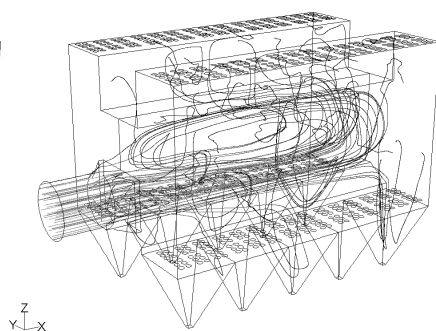
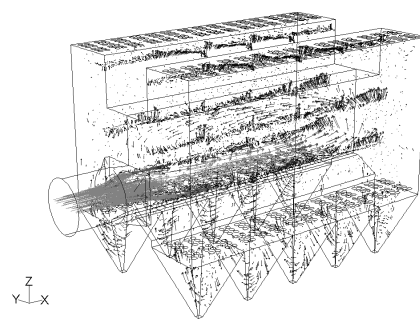


図1 解析モデル

図2 速度流線可視化による
解析検証図3 速度ベクトル可視化による
解析検証

の設計段階における気流解析事例を示す。

この事例は、実際に納入した集塵機における設計段階の解析事例である。図1に解析モデル、図2に解析結果の流線、図3に速度ベクトル図を示す。高速ろ過、長尺ろ布、ろ布密集技術を実機に適用する場合、従来の仕様と比べ気流の集中が発生し易くなるので、実設計段階で気流解析による検証を行うことにより、ろ布破損の原因になる気流の集中を改善し信頼性の確保を行っている。

4. 10m ろ布を搭載した高性能集塵機の稼働状況紹介

現在、開発した高性能パルス集塵機は9機が順調に稼働しており、この6月に10機になる。製作中を含めると17機になる。これまでに納入し現在稼働している集塵機の稼働状況の内、10m ろ布を採用している実案件の稼働事例について報告する。

4.1 事例1 JFE スチール株式会社 西日本製鉄所 倉敷地区殿 鋳床集塵機

本集塵機は、処理風量15000m³/分の高炉鋳床用である。稼働開始は2010年2月からであり、10m

ろ布をご採用頂いた集塵機の第1号である。お客様には10m ろ布の適用妥当性について納得いただけない場合があるが、実稼働状況も実証テストと同様良好であることを確認できた。

本集塵機について、その性能を以下に紹介する。集塵機の基本仕様を表1、運転状況を表2に、集塵機外観を写真1に示す。

本集塵機の実運転では、一定期間定格風量を越えるろ過風速1.7m/分の条件で運転を行い、パルス

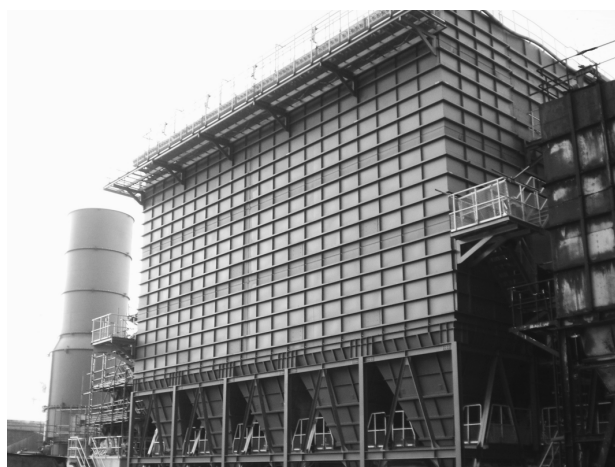


写真1 集塵機外観写真

表1 集塵機の基本仕様

基本仕様		
1	処理風量 (m ³ /分)	15000
2	ろ過面積 (m ²)	9800
3	ろ過風速 (m/分)	1.53
4	ろ布長さ (m)	10
5	ダイヤフラム弁数	150
6	ろ布本数/インジェクタパイプ	16
7	ろ布総本数 (本)	2400
8	粒度径 (μm)	30

表2 運転状況

調査項目			
1	稼働開始時	2010/02	
2	調査月日	2010/03	2010/06
3	処理風量 (m ³ /分)	15000	15000
4	ろ過風速 (m/分)	1.53	1.53
5	全体差圧 (kPa)	1.4	1.4
6	ろ布差圧 (kPa)	0.6	0.6
7	パルス周期 (一巡) (分)	20	20
8	出口ダスト濃度	<1mg/m ³	—

表 3 集塵機の基本仕様

基本仕様		
1	処理風量 (m ³ /分)	16000
2	ろ過面積 (m ²)	11550
3	ろ過風速 (m/分)	1.39
4	ろ布長さ (m)	10
5	ダイアフラム弁数	176
6	ろ布本数/インジェクタパイプ	16
7	ろ布総本数 (本)	1816
8	粒度径 (μm)	10

表 4 運転状況

調査項目		
1	稼働開始時	2010/04
2	調査月日	2010/05
3	処理風量 (m ³ /分)	16000
4	ろ過風速 (m/分)	1.39
5	全体差圧 (kPa)	1.8
6	ろ布差圧 (kPa)	1.1
7	パルス周期 (一巡) (分)	115
8	出口ダスト濃度	<1mg/m ³



写真 2 集塵機外観写真

機構の払い落とし能力はろ過速度1.7m/分まで可能であることの確認ができています。今後実機においても1.7m/分のろ過速度は、気流解析による整流検証をすることで実現できる段階に至ったと言える。

4.2 事例2 新日本製鐵株式会社 八幡製鐵所 製鋼用集塵機

本集塵機は、処理風量16000m³/分の製鋼用であり、2010年4月から稼働している。集塵機の基本仕様を表3、運転状況を表4に、集塵機の外観を写真2に示す。

5. 10m ろ布の交換作業性

ろ布交換時期は運転条件・状況によって異なるが、製鉄所施設の集塵機では一般的に2～5年で交換している。ここでは、10m ろ布交換作業の容易性に関して説明する。

10m ろ布の場合、ろ布を内部で支持しているリテーナは2分割タイプを採用している。2分割タイプのリテーナはこれまで廃棄物焼却施設などで集塵機が屋内据付の場合で屋根があるため抜き代スペースがない施設で採用されてきた方式である。

これまでのろ布長さは6mから7mまでがほと

んどであった。6m ろ布ではリテーナも6mを採用しており取り扱いに問題は無い。7m程度のリテーナの取り扱いは熟練者が作業する上で問題は無かったが、天候状況で強風時などを考えるとこれ以上長いリテーナの取り扱いは不安全であるため、10mのリテーナには実績のある2本継ぎを採用している。10m 2本継ぎの作業工数は、7m 1本に対しろ布1本当たり2割程度増加するが、集塵機1台当りろ布本数は3割減少するため、作業工数は増加しない。

図4に2本継ぎリテーナの取り扱い要領を示す。当社社内実証機に於けるろ布交換作業を写真3に、実際の据付時のろ布取り付け作業を写真4に示す。

6. おわりに

開発した高性能集塵機について、稼働事例を紹介することができた。今後は更なる付加価値をご提供すべく開発をすすめていく予定である。

7. 参考文献

- 1) 飯尾良夫, 省スペース型高性能パルス集塵機, 日本スピンドル技報, 2009, No. 49, p. 7-12

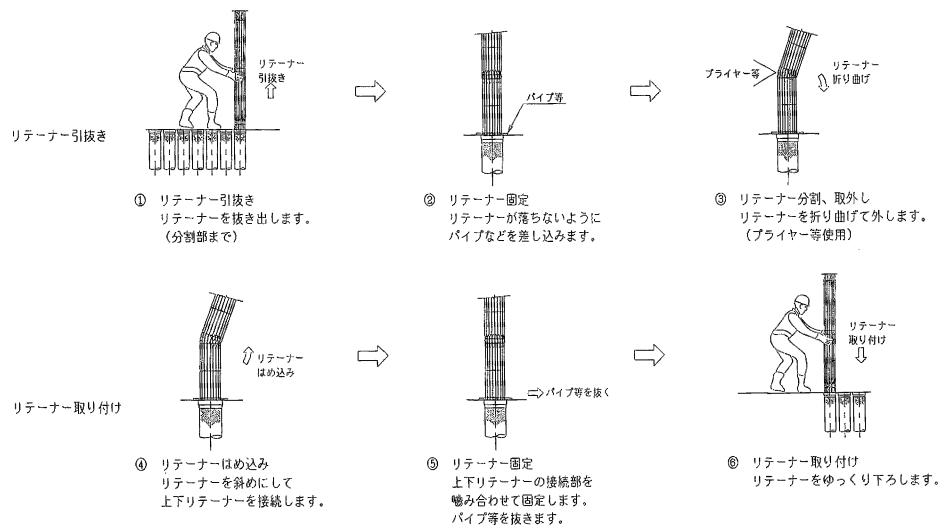
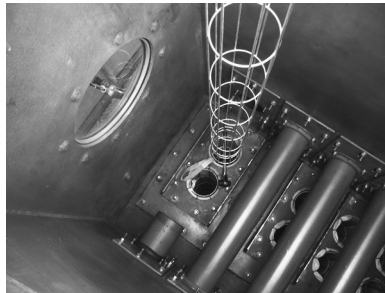


図4 2本継ぎリテーナーの取り扱い要領 (取扱説明書より抜粋)



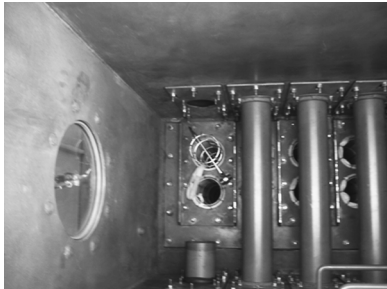
1 インジェクターチューブ取り外し後



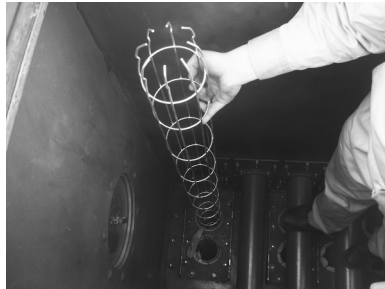
2 リテーナー取り外し中



3 リテーナー上段取り外し中



4 リテーナー上段取り外し後



5 リテーナー下段取り外し中



6 リテーナー上下段取り外し完了

写真3 2本継ぎリテーナーの取り扱い要領



写真4 ろ布取り付け作業状況

8. 関連特許

- 1) 日本スピンドル製造(株), 集塵装置, 特許第
3477420号, 2003-12-10

内外歯加工技術の開発

Development of method for forming gear of both sides

産機事業部

檜垣 孝二, 谷口 真一

Koji HIGAKI, Shinichi TANIGUCHI

Abstract

Here we would like to introduce the flow forming application for gear-rolling of both inside and outside in the clutch drum which is one of the components in the automobile transmission unit.

1. はじめに

当社産機事業部の主力機種（バリホーム）の主要市場である自動車部品産業は大きな転換期を迎えている。一つはハイブリッド車，電気自動車を中心としたエンジン・パワートレインの大きな革新・変化であり，もう一つは自動車本体の需要・生産地域の主流が途上国へと変わりつつある点である。このような状況で自動車部品の多様化と改良のサイクルはますます加速しており，従来型の少品種大量生産ラインの継続は成り立たなくなっており，あらゆる顧客において生産革新が求められている。

当社も数年前に多段のオートマチックトランスミッション（AT）に用いられるクラッチドラムの内歯スプライン成形を開発課題としてテスト加工を繰り返し，実生産機の受注を達成するまでの成果を得た。しかし，これだけでは前述の市況変化には十分対応しきれないと考え，不確実な将来予測において要素技術の幅を拡大し，多様化する自動車部品の脱プレス・脱切削へと繋げる一環として内外歯転造加工に着目した。

自動車のAT構造（図1）を見ると，クラッチドラム，クラッチハブ，各種ギアと内歯または外歯を有する部品が多い。この内，用途として内歯を使用するクラッチドラムの中で，①センサーとして外歯も使用する②重量軽減のため，などの理由で内外歯両方が存在するものの比率が高く，このタイプはプレスまたはグローブ転造での成形に適応している。一般的なフローフォーミングはローラーにより外側から回転体を成形するため，内歯だけの加工には適しやすいが，内外歯同時の加工を行うには外歯を

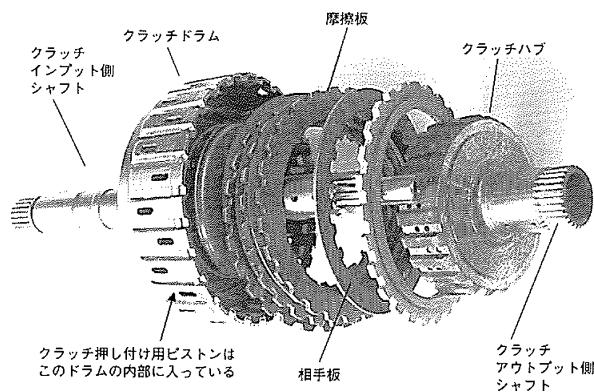


図1 オートマチックトランスミッションの構成¹⁾

成形するためのダイスローラーと内歯成形用のマンドレルを同調回転させて加工する必要がある，この工法で実際に加工されている例は少ない。本開発は内歯専用クラッチドラムの専用加工機に内外歯を加工できる機能を付加することで機種の充実と販売の拡大を最終目標とし，内外歯の加工技術を確立することを第一の技術課題に位置付けている。ここでは，主に内外歯の転造における加工テストの概要について報告する。

2. 加工方法の概要

2.1 歯形寸法および加工手順

図2に今回試作した歯形の寸法を示す。加工手順は以下のとおりである（図3）。

- ①円盤素材をカップ状に加工する。このときは通常のRローラーを用い，内歯が形成されないようマンドレルから少し浮かせた状態に加工する。
- ②ギア転造 図3の金型・治工具により内歯と外歯

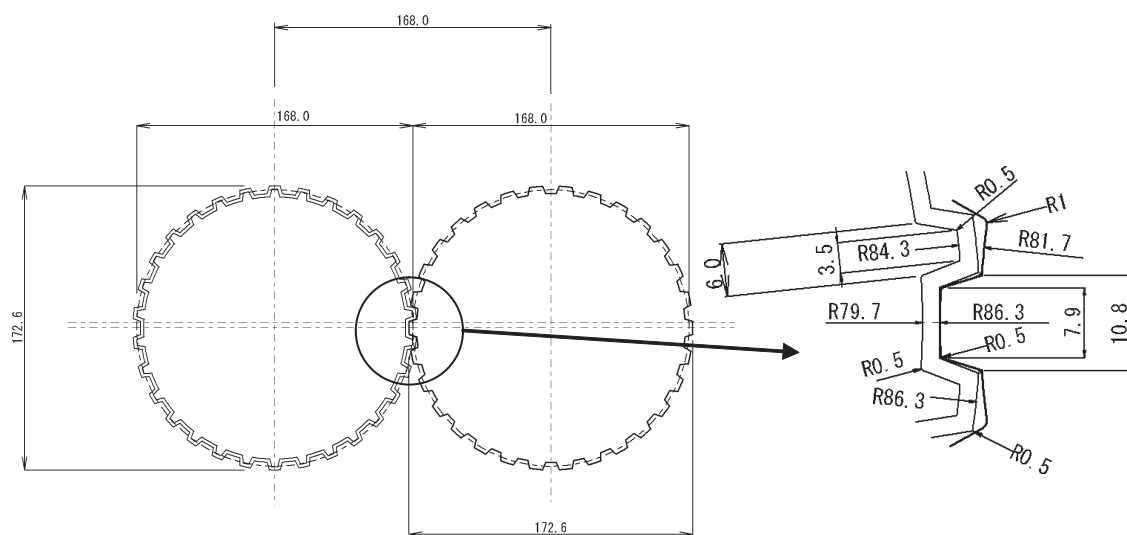
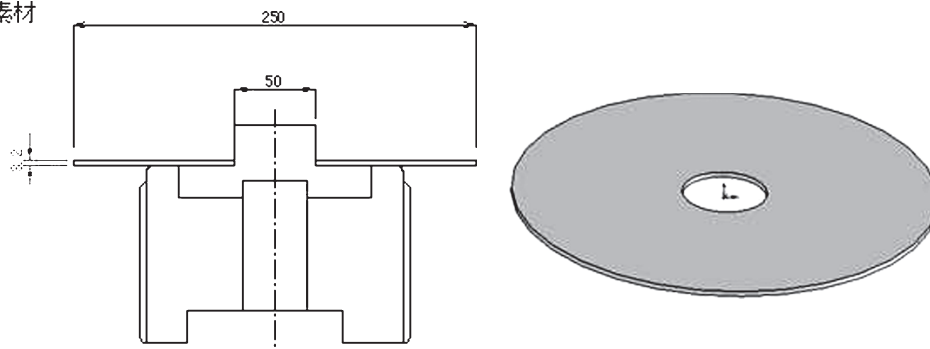
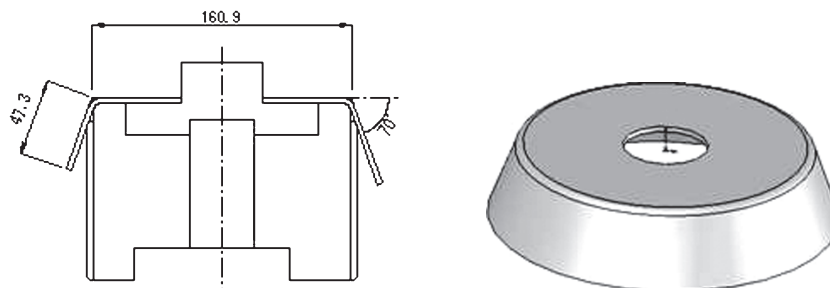


図 2 歯形寸法

1. 素材



2. 第 1 工程 (カップ)



3. 第 2 工程 (内外歯加工)

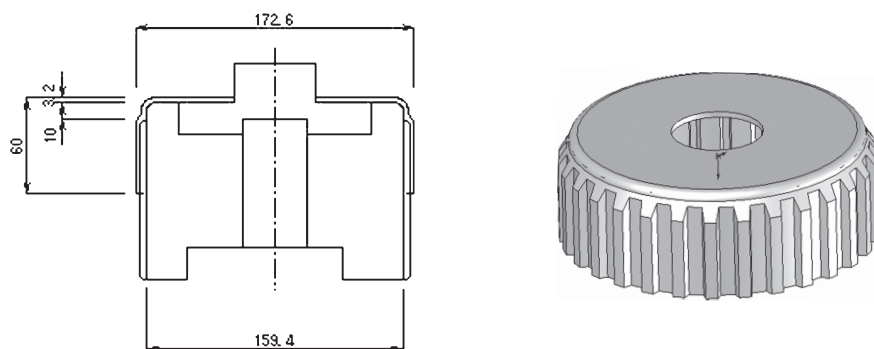


図 3 加工手順

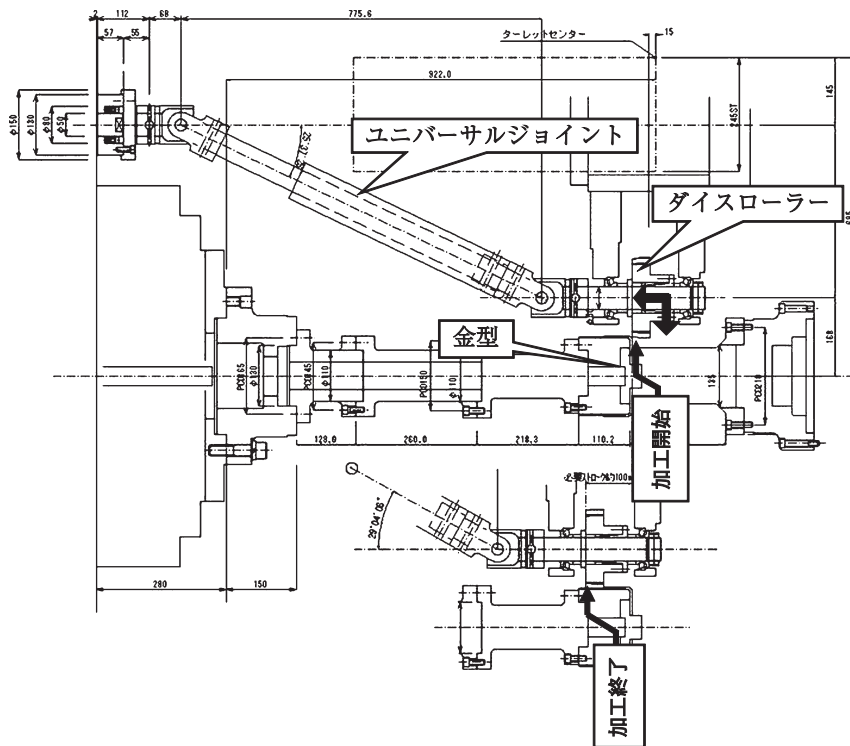


図4 金型・治工具配置図

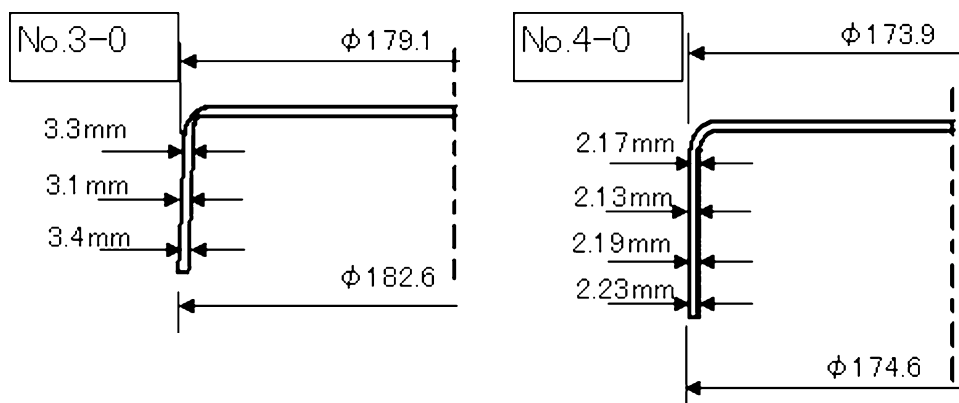


図5 カップ素材

を同時に転造加工する.

2.2 内外齿加工

図4に内外歯加工における金型・治工具の配置図を示す。前述のダイスローラーとマンドレルの同調にはユニバーサルジョイントを用い、ダイスローラーは回転軸方向と軸直角方向両方に移動可能としている。

2.3 カップ素材について

前工程のカップ素材については、金型から少し浮かせた No.3 素材、および金型にかなり押し付けた No.4 素材を製作した（図 5）.

3. 加工結果

No.3 素材は板厚が厚く次工程の加工度を大きくすることができる反面、板厚が不均一となり中央付近で薄くなった。No.4 素材は板厚のバラツキは小さいが全体的に薄くなった。

ダイスローラーの動きについては、当初、図 6 (a) のように、カップの湾曲部から軸方向に直線上に動かすことを考えていたが、微妙な位相ズレのためか、ローラーの入り口付近で偏った変形が大きく、全体的にも肉の偏りが大きかった。そのため、図 6 (b) のように加工開始位置においてローラーを軸直角方向に移動させ、金型の歯形とローラーの歯形を十分に噛み合わせた後に軸方向へ移動させることとした。

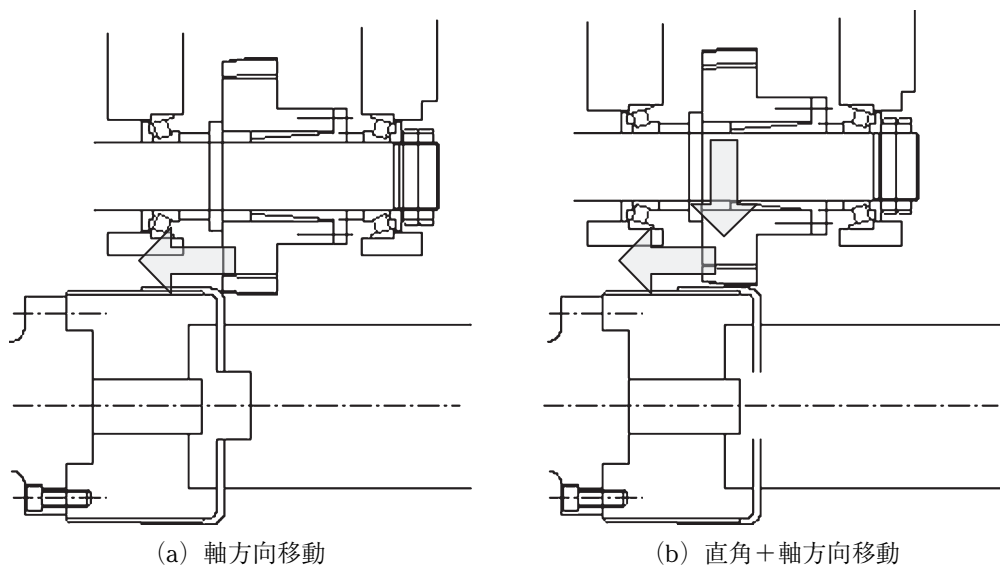


図6 ダイスローラーの動き

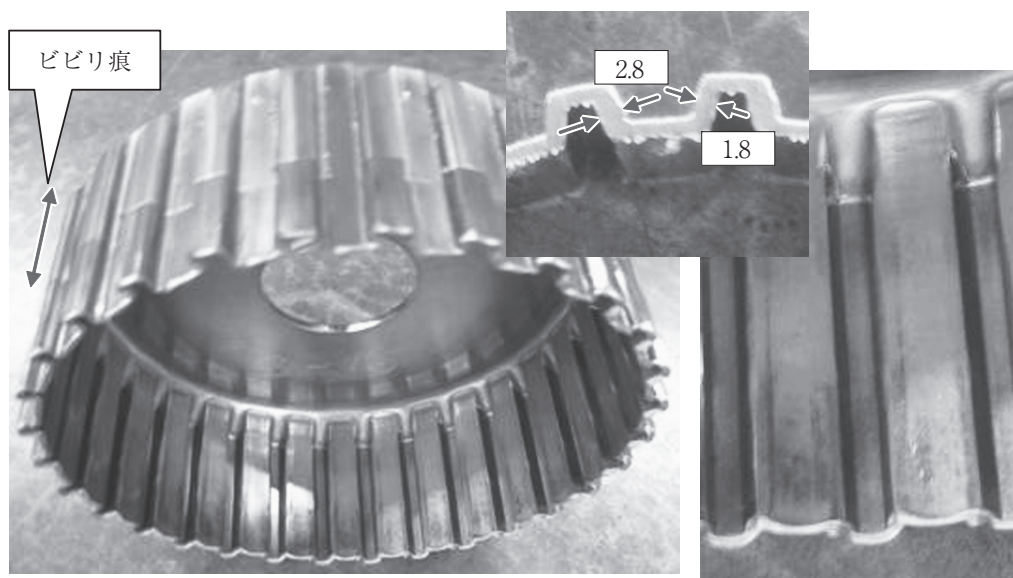


図7 加工結果 (No. 3 素材)

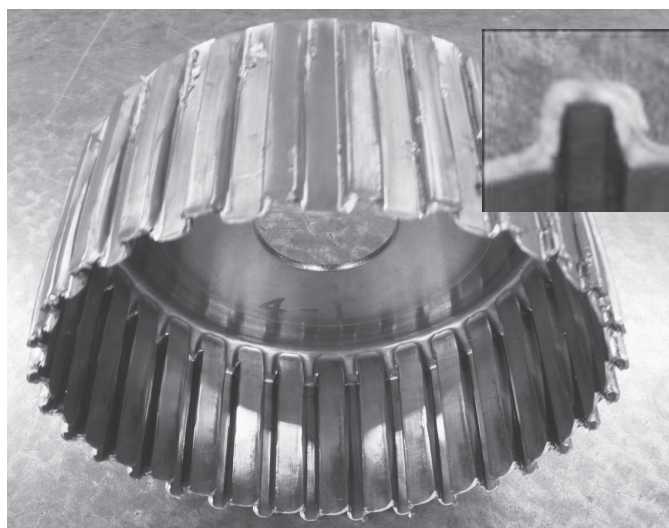


図8 加工結果 (No. 4 素材)

表1 加工条件, 結果

	加工条件				加工結果			
	カップ 素材	加工開始時の ローラー動き	加工時の ローラー動き	主軸の回転 (正転, 逆転)	歯の形, 詰まり	剥離カス	ビビリ痕	板厚偏肉
①	No. 3	←(軸方向)のみ	←(軸方向)のみ	正転のみ	歯形が ゆがんでいる	若干発生	発生	有
②	No. 3	↓+← (径方向+軸方向)	←(軸方向)のみ		詰まりが悪い	若干発生	発生	有
③	No. 3	同上	←(軸方向)のみ	正転+逆転	詰まり具合, 少し改善	若干発生	発生	有
④	No. 3	同上	←(軸方向)のみ	正転+ 逆転 (加工度増)	詰まり具合, かなり改善	多くなった	発生	有
⑤	No. 3	同上	←(軸方向)のみ	正転 (加工度減)+ 逆転 (加工度増)	詰まり具合, 更に改善	少なくなった	発生	有
⑥	No. 3	↓(径方向のみ)	↓↓↓ (径方向のみ)	同上	良好	ほとんど無し	無し	有
⑦	No. 4	↓(径方向のみ)	↓↓↓ (径方向のみ)	同上	詰まりが, 少し悪い	若干発生	無し	有
⑧	No. 3	↓+← (径方向+軸方向)	←(軸方向)のみ	正転 (加工度減)+ 逆転 (加工度増)	詰まり具合, かなり良好	発生	発生	有

図7にNo.3素材による加工結果を示す。加工パス（正転、逆転）を工夫した結果、当初不完全であった肉の詰まり、歯の張り具合、剥離カスなどは、かなり改善されたが、ローラーを移動させたことでローラー終端の接触部が振動し、ビビリ痕となって残ってしまっていることがわかる。また歯の断面では向かい合う歯面の片側に厚みが偏る傾向となった。

次にNo.4素材を用いてNo.3素材と同様の加工を行った結果、図8に示すように肉の詰まりが悪くなり歯の形状が傾斜して変形した。また向かい合う面の板厚の偏りについても改善されることはなかった。No.4素材は、板厚バラツキは少ないものの、全体的に薄く加工度が小さくなったためと考えられる。

その他のケースを合わせて、加工を実施した条件と結果を表1に示す。

4. 考察と今後の展望

今回、自動車のトランスミッションで使用されるクラッチドラムのように歯長の大きい内外歯をフローフォーミングで加工できたが、以下のような課題を残した。

- ①今回、板材からカップ素材の加工を同じ歯形付きの金型を用いた。このため、板厚のバラツキが発生し、歯の中間部で肉の詰まりが悪い箇所が発生

した。今後はカップ専用の金型を準備し板厚のバラツキを抑えることとしたい。

- ②限られた推力で歯長の大きいギアを安定加工するためにダイスローラーを軸方向に移動させたが、結果、ローラーの終端が加工品にビビリ痕を残すこととなった。ローラー終端Rを変化させるなど対策を検討する予定である。

- ③今回に限らず、ギア転造を行った場合、向かい合う歯の面の板厚が偏ることがある。一般的には正転→逆転を繰り返すことが対処策と言われており、今回もあらゆる組み合わせで正転→逆転を行ったが、体積の偏りは最初（1パス目）の加工時に発生している模様で、最初のうち加工度を小さくするなどの調整は、多少の効果はあったものの抜本策とはならなかった。今後、主軸とローラーの同調装置のバックラッシュなど治工具の見直しを含めて再検討するつもりである。

5. 参考文献

- 1) 山森隆宏, 雨宮泉, 柴山尚士, オートマチックトランスミッション—構造・作動・制御（自動車工学シリーズ）, 山海堂, 2005

6. 関連特許

- 1) 特許出願中

汎用シューマイ成形機（i・S シリーズ）の開発

Development of general versatility SHAOMAI forming machine (i・S series')

産機事業部

石田 博昭

Hiroaki ISHIDA

Abstract

This machine has been developed with the key word "General versatility". Conventional machines have to be needed big modifications for product change as it is fully dedicated. Features of our new i・S series' are following:

- 1) Coping with the product change by changing only attachment parts and units,
- 2) Replacing the experience and intuition of veteran operators with "numerical value" for machine adjustment.

1. はじめに

食品機械分野において、成形機と呼ばれる分野がある。半固形状の具材を一定量ずつ取り出し、所定の形状に成形を行い、商品に応じて皮で包む、トレーに載せる等の処理を行なう自動機である。国内においては冷凍・チルド食品の普及と共に市場は拡大したが、昨今では更新需要が主となり、比較的安定した市場規模の商品である。一方で、今後アジア地域を中心に、食文化の変化と共に市場拡大が期待されている。

当社グループ企業のイズミフードマシナリはかつてシューマイ成形機において国内トップシェアを誇っていたが、主力を液体系の処理装置に移行した関係で成形機分野での商品改良が滞り、近年ではシェアが下落していた。一方、産機事業部では自動車部品業界に多くを依存した商品構成となっており、景気変動の影響を受けにくい体質改善が求められていた。

そこで産機事業部のリソース投入により、シューマイ成形機の商品力を向上させ、国内シェアの拡大と共に、伸張する海外市場での展開を睨んだ新商品の開発を行なう事とした。

ここでは、2010国際食品工業展『FOOMA 展』に出展したコンセプト機について報告する

2. シューマイ成形機（i・S シリーズ）の開発

2.1 業界のニーズ

冷凍食品・チルド食品共ますますその商品性は多様化・短寿命化してきており、そのニーズに対応できる『汎用性』を重視した成形機が求められてきている。また熟練オペレーターの減少や、微調整対応の為に各動作の『見える化』『数値管理化』を求める声も高まっている。

2.2 開発機の仕様

イズミフードマシナリが市場に供給してきたシューマイ成形機は、1 モーターによるカム・リンク機構を用いたメカ方式の機械であった。大量生産機が求められていた時代は、唯一1分間に60ショット×連数の生産が出来る機械として国内トップシェアを誇っていたが、商品改良が滞っていたのと合わせ業界のニーズの変化（『大量生産』⇒『大量生産＋汎用性』）には、現有のメカ方式では対応できなくなってきた。

今回『大量生産＋汎用性』を実現するため、シューマイ成形機を13のユニットに分割し、計12台のサーボモーターと電動アクチュエーターでユニット毎に駆動させる電気制御方式を採用した。シューマイ成形機（i・S シリーズ）コンセプト機の主仕様を表1に、概観写真を図1に示す。尚、i・S とは

表1 シューマイ成形機 (i・S シリーズ) コンセプト機 主仕様

主仕様	A	B
対象サイズ (外径×高さ)	Φ30×25h	Φ45×32h
基準重量	16g	35g
連数	3 連	2 連
皮サイズ	□65mm	□85mm
皮送りピッチ	35mm	47.6mm
麺帯機	2 ローラ	←

ユニット名	段取替え方法	A	B
麺帯機	圧延ローラーユニット交換	麺幅65mm 用	麺幅85mm 用
ギヤポンプ	入力値変更 (回転数)	★	◆
計量ピストン	入力値変更 (ストローク量)	★	◆
	コック部品交換	3 連用	2 連用
ギャザリング	ユニット交換	Φ30用 3 連	Φ45用 2 連
充填ノズル	ユニット交換	Φ30用 3 連	Φ45用 2 連
皮送りユニット	ユニット交換	35mm ピッチ用	44mm ピッチ用
	入力値変更 (送り量)	35mm×3 ピッチフィード	44mm×2 ピッチフィード
皮切断ユニット	ユニット交換	35mm ピッチ×3 連用	44mm ピッチ×2 連用
ターンテーブル	充填部品交換	Φ30×3 連用	Φ45×2 連用
突き上げユニット	ユニット交換	35mm ピッチ×3 連用	44mm ピッチ×2 連用
掻き出しユニット	ユニット交換	35mm ピッチ×3 連用	44mm ピッチ×2 連用
	入力値変更 (掻き出しストローク)	★	◆
P&P	ユニット交換	35mm ピッチ×3 連用	44mm ピッチ×2 連用

★・◆：数値

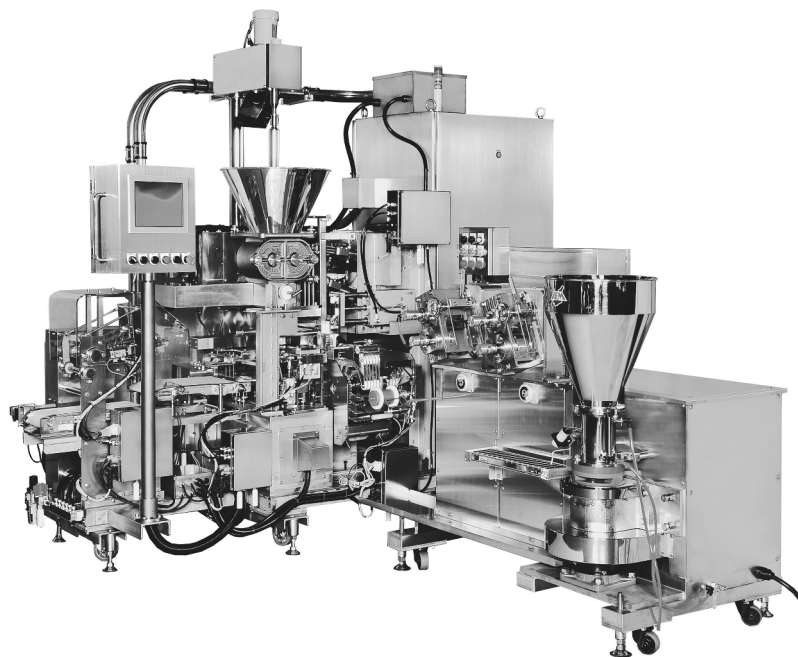


図1 シューマイ成形機 (i・S シリーズ) コンセプト機 概観写真

“Intelligent Servo-drive” の略称である。

2.3 特長

- ①従来のメカ方式では微調整作業を経験的に行っていたが、電気制御方式（サーボモーターと電動アクチュエーター）の採用で、全て数値の変更で行えるようになった。またこれらの変更は全て操作盤上のタッチパネルで簡単に行なう事が出来る。
- ②現有機はサイズ、連数ごとで専用機化されており、仕様の変更には機械の改造が必要であったが、開発機はサイズと連数に関わる部分をユニット交換もしくは部品交換することで汎用性を確保した。コンセプト機は $\phi 30\text{mm}$ (16g) と $\phi 45\text{mm}$ (35g) の2種類のシューマイサイズを段取り換えにより製造可能な成形機である。

3. 今後の予定

6月8日から11日の予定で東京ビッグサイトにて開催された2010国際食品工業展『FOOMA 展』において、イズミフードマシナリのブースに日本スピンドルグループとしてシューマイ成形機（i・S シリーズ）コンセプト機を出展・展示し、国内外の多数の顧客より高い関心を得る事が出来た。FOOMA 展後にはお客様に本出展機をテスト機として貸し出しを行い、VOC 収集実施後、2010年度中に国内市場向け i・S-T6 機を市場投入する。

4. 関連特許

- 1) 特許出願中

クリエコⅢの省エネ性の向上

Improvement of energy efficiency of Cle-Eco III

空調システム事業部

泉 憲司

Kenji IZUMI

Abstract

New moisture control system of the clean room system Cle-Eco III has been developed. This paper reports the higher energy efficiency and the easiness to use.

1. はじめに

クリーンルームは、安定した空気を得るために、半導体から食品加工と様々な業界で多くのシステムが組まれている。熱源には過冷却、過除湿した空気を電気ヒータや加湿器を用いて再加熱、加湿し、要求条件に達した温調空気を供給する方式が一般化している。このシステムのメリットは温湿度精度にあり、安定した温度、湿度が得られる特長がある一方、冷却能力と同等のヒーターや加湿器の能力が必要となり、無駄な電力を消費しているケースが大半であった。しかし、最近、地球温暖化防止のためのCO₂削減がクローズアップされ、省エネが必要不可欠なアイテムとなってきている。

当社クリーンルームシステム「クリエコⅡ」は、空調設備の運転電力を大幅に削減し、独自の制御(WPNSET制御方式)¹⁾で温度、湿度、それぞれ±1℃、±5%にコントロールすることが可能である。

しかし湿度制御を行う場合、±5%に制御されていても、省エネ性が悪くなる運転パターンがあり、更なる運転電力の削減を要求されている。

本報告では、省エネ性をクリエコⅡと比較して16%カットすることに成功した新制御方式と、今までのお客様からの声を反映した新機能を追加した新製品「クリエコⅢ」の特長について説明を行う。

2. 「クリエコⅢ」の特長

(1) 省エネ性を16%向上

湿度制御時の無駄な除湿、加湿を最小限に抑え、運転電力量をクリエコⅡと比較して16%カットする

ことに成功した(詳細は3項にて)。

(2) 運転データのロギングが可能

温度、湿度だけではなく冷凍機、電気ヒータ、加湿器の出力、異常履歴、各種設定値などもロギングを可能とした。データはUSBメモリーにて簡単に取り出すことが可能である。

(3) ウィークリータイマーを標準搭載

運転中の省エネだけでなく、運転の必要のない時間帯はウィークリータイマー(図1)を使って運転/停止を自動的に行う。曜日毎に運転時間の設定が可能のため、ラインの稼働状況に応じて省エネが可能である。

(4) LANに接続して遠方操作が可能

クリエコⅢ本体にLANを接続しパソコンに専用のソフトをインストールすると、遠方からの操作やデータのロギングなどが可能となり、現場に行く手間を大幅に削減できる。(図2)



図1 ウィークリータイマー設定画面



図2 遠方操作画面（例）

（５）多点温度監視や清浄度の監視が可能

オプションにて、多点温度監視用のセンサーや清浄度監視用のパーティクルカウンターを本体に接続すると、さまざまなデータを監視，ロギングすることが可能となる。

３．省エネ性向上のための新制御方式

従来のクリーンルームシステム「クリエコⅡ」で用いられている制御方式「WPNSSET 制御方式」は，現在の室内の負荷を検知して冷凍機の運転を最適な状態に変化させ，自動的に温度を±1℃，湿度を±5%に制御している。

湿度の制御方法としては，設定湿度に対して一定の値を外れると，除湿量を変化させるために冷凍機的能力を変化させて湿度を調節している．それに加えて微調整のために加湿器にて比例制御をおこなっている。

しかし，除湿量を上げるために冷凍機的能力を上げると湿度が下がるため，加湿器の出力が上がり湿度が設定値に安定してしまう場合がある。

この状態では無駄な運転電力量を消費することとなる．そこで，加湿器の出力を監視して冷凍機の運転を下げて除湿量が必要な能力を満足すると判断した場合は，自動的に冷凍機的能力を下げる制御を考案し，テストを行った。

４．実験内容

実験機（クリエコパック10馬力：ESC-10B，再加熱ヒータ：12kW，加湿器：8kW）を用いて，様々な負荷条件にて実験を行った．実験条件について表1に示す。

表1 負荷テスト条件

測定 No	顕熱負荷 (kW)	潜熱負荷 (kW)	風量 (m³/min)	制御
No 1	0	0	80	従来制御
No 2	0	0	80	従来制御
No 3	0	12	100	従来制御
No 4	0	12	100	従来制御
No 5	8	0	100	従来制御
No 6	8	0	100	従来制御
No 7	8	12	80	従来制御
No 8	8	12	80	従来制御
No 9	0	0	100	新制御
No10	0	0	100	新制御
No11	0	12	80	新制御
No12	0	12	80	新制御
No13	8	0	80	新制御
No14	8	0	80	新制御
No15	8	12	100	新制御
No16	8	12	100	新制御

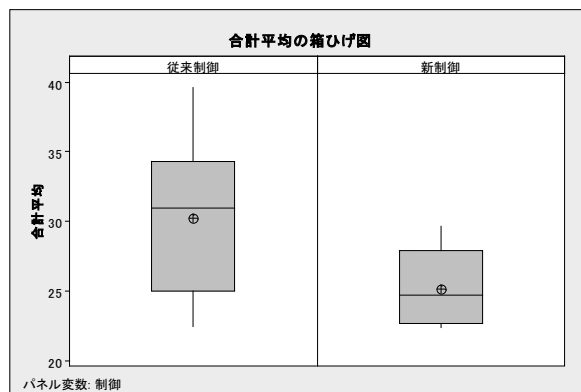


図3 省エネテスト結果

５．実験結果（省エネの評価）

前項の負荷条件においてテストを行ったところ，下記に示す通りの結果が得られた。

テスト結果としては，運転電力量の平均値として従来制御比83.4%（16.6%カット）となり，消費電力量の削減を確認することができた。

６．まとめ

今回考案した新制御を採用することにより「WPNSSET 制御方式」で発生していた湿度調節時の無駄な消費電力を抑制することが可能となり，かつ

タッチパネルシステムの機能を向上させることにより使いやすさも向上した。

本システムは室内環境や地球環境に幅広く貢献し、産業界の多岐に利用されることが期待できるものである。

7. 関連特許

- 1) 日本スピンドル製造(株)，空気調整装置における湿度制御方法，特許第44854475号

不燃木製学校間仕切の商品化

Commercialization of non-flammable wooden partitions for school

建材事業部 池田 潤也

(株)ARS 松島 強

Junya IKEDA, Tsuyoshi MATSUSHIMA

Abstract

This paper introduces about the manufacturing method of non-flammable wood and developed non-flammable wooden partitions for school.

1. はじめに

従来、学校に於ける教室と廊下を隔てる間仕切壁は建築基準法施行令（114条）により耐火性能を要求され、建具等を有する壁に於いては不燃材料で造られなければならないと規定されているが、建具自体は不燃性能を求められていなかった。

当建材事業部の主力商品である木製学校間仕切は、教室と廊下を隔てる形に設置するが、壁の一部と見なす場合は、不燃性能を要求される為、鋼製間仕切となり、建具として扱う場合は木製学校間仕切が採用される場合がある。しかし、その判断基準は明確でなく地方自治体の判断に委ねるところである。

先般、日本建築行政会議¹⁾より、建具に於いても不燃性能を要求するとの解釈が示された。これらのことから、我々は法規制に合致した商品を念頭に不燃性能を有する木製学校間仕切の商品化に取り組むこととした。

不燃木材は製造設備のイニシャルコストが高いことや、強制的に不燃液を木材に注入することによる仕上りの悪さがこれまでの課題であったが、近年では浸漬含浸法が開発され、徐々に上述の問題も解決されてきている。

ここでは、不燃木材の製造法（ARS(株)にて実施）とこれによる不燃木製学校間仕切の紹介を行う。

2. 不燃木材の歴史

不燃木材の歴史は古く、170年前にスウェーデンのベルツェウスがリン酸アンモニウムを提案したのが始めと言われている。現在でもこのリン酸アンモニウムは、弊社に限らず多くの不燃木材に使わ

れており、今も尚これより優れたものは出現していないと言っても過言ではない。

当初この技術は安全マッチの製造に採用された。マッチの軸木に希薄なリン酸アンモニウム水溶液を浸み込ませ、軸木の燃える速度を調整している。そして木材に濃厚なリン酸アンモニウム水溶液を多量に浸み込ませれば、加熱時に木材は炭化し、燃えて発熱することがないという事がほぼ証明されていた。

3. コーンカロリメーター機とガスバーナーでの燃え方の違い

「物」が燃えるということは、加えられた熱エネルギーにより、物質が化学反応を起こすという事である。コーンカロリメーター機（図1）は約700度の熱源からの放射熱により、試料から分解ガスを発生させる。その分解ガスに着火源の火花（イグナイター）で点火すると炎が出る。炎は物自身ではなく分解ガスが燃えているという事で、さらに一度着火すると炎が着火源となり、発生し続けるガスに次々と引火して燃え続ける。ガスが燃え尽きると、物は炭や灰になる。一方ガスバーナーの温度は約1300℃である。勿論、物は燃えるが、1) 温度が高過ぎる為、分解ガスが発生せず瞬時に炭化してしまう。2) 輻射面積が少ない為、連続してガスが発生しないので、炎は発生し難い。等が考えられる。

火災が発生した場合、5～10分で室内温度はおおよそ500℃に達する。この間、可燃物からは分解ガスが発生し、炎は燃え続ける。また、分解ガスが充満し、一気に発火した現象が、フラッシュオーバーである。コーンカロリメーター機はこの様な火災

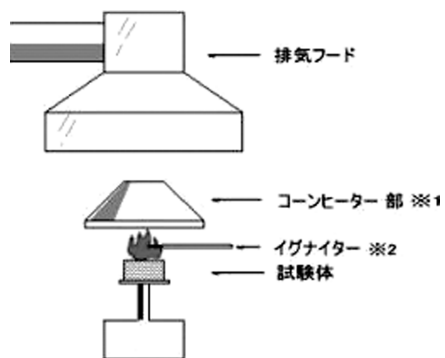


図1 コーンカロリメーター機

性状を再現できる、世界基準の唯一の燃焼装置である。

コーンカロリメーターは、ISO-5660に準拠しており、世界でも幅広く認知された最も優れた燃焼機械である。勿論、日本における防火材料の燃焼試験にも使われている。当社では、品質管理を目的として本機を利用している。

4. 不燃木材の製造方法

4.1 浸漬方法

日本における不燃木材は減圧加圧機（図2）で製造されるのが一般的で、木材への防腐・防蟻処理でも使われているACQ（Alkaline Copper Quaternary）を用いて製造されている。これは減圧加圧を繰り返し、木材へ薬液を注入する方法である。製造過程としては、製材→乾燥→加工（羽目板等）→減圧→加圧注入（図3）→乾燥→仕上げの工程があり、その他の作業も含めるとおおよそ8前後の工程を費やす。ここで言う乾燥とは、温度120度の高温蒸気乾燥を

指し、現在最も一般的なKD材（Kiln Dried）などで用いられている。木材への強制加圧は、飽和圧を発生させるため注入部と非注入部のムラが起りやすく、表面だけの処理になってしまいがちであり、その為、羽目板等の比較的薄い材料の処理に用いる。また白化現象が起りやすいのも特徴である。

当社で行っている浸漬方法は、製材→不燃液浸漬→乾燥→加工→仕上げであり、その他細かな作業を含めても6工程前後である。

その特徴として第一に乾燥材を処理しない事が挙げられる。原理を、図4を用いて説明する。木材中にある水分には、細胞の中や隙間に存在する液体の状態である「自由水」と細胞壁に組織結合の状態が存在する「結合水」の2通りがある。浸漬含浸は製材を大気圧下で不燃液に浸漬する事であり、強制的な圧力を加えることなく、浸透圧によって自由水と結合水が不燃液に入れ替わる「置換」によって不燃木材となる。この方法は木材への浸透性が高く、水と置換した薬剤が硬化することによって木材の強度も上がり、寸法安定も期待できる。また表面だけの



図2 加圧減圧装置

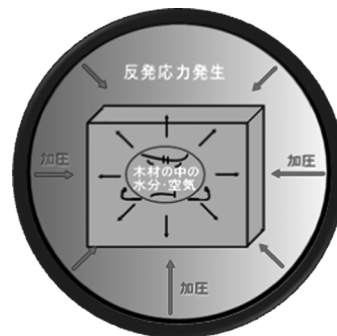


図3 加圧注入

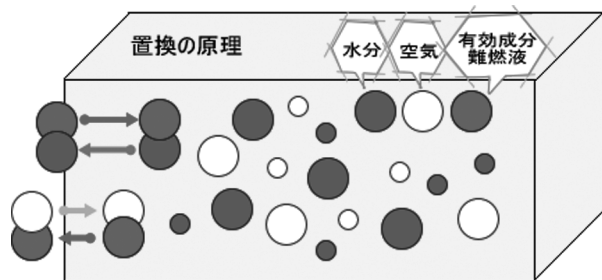


図4 浸漬含浸の原理



図5 不燃薬剤浸漬槽

処理ではないので、削っても、切断しても不燃性は保たれている。そして、図5に示すように加圧減圧装置に比べ簡易な浸漬槽で不燃処理をおこない、白化現象が極めて少ないのも特徴のひとつである。また、薬剤にはホウ酸も使われているため、防蟻、防腐効果も兼ね備えている。当社では、杉、桧の2種類の不燃認定を取得しており、認定の材料制限も12～50mmと多用途に使用出来る。

4.2 乾燥

現在の木材の乾燥の主流は、高温蒸気乾燥であり、通常、KD (Kiln Dried) と呼ばれている。これは木材のリグニン成分を軟化させて、乾燥の進行で材に引っ張りが生じたときに、材面割れを起こさないように処理する方法である。リグニンの軟化温度である85℃以上の温度で約13時間程度蒸し、次に、乾球温度120℃、湿球温度90℃で24時間処理する。大断面のものであっても短時間で乾燥でき、蒸気を当てながら乾燥を行うので、材面のひび割れが極めて少ない等のメリットがあり、安価で安定供給が可能な方法だが、木材の細胞を破壊し、強度、耐久性への問題がある。また、高温処理をするとセルロースが糖分に変わり、耐蟻性を失うことや、エネルギー源は石油が主であるという欠点がある。

木材にとって最も良いとされている乾燥は、AD (Air Dried, 自然乾燥) と言われている。現に、人工乾燥機など無かった頃に建てられた、築100～200年などと言う家は、現在でも沢山残っている。しかしADは時間の問題、材面のひび割れやムラ等の問題がある。(いつの間にか日本では、木材のひび割れ、若干の反り、曲がり等も不良品のように扱われるようになってしまった。)

この間に位置するのが、低温乾燥である。(株)ARS

では、遠赤外線を使った、低温除湿乾燥を行っている。40～50℃程度で乾燥を行う。低温除湿乾燥は、木の組織を壊すことなく乾燥をすることが出来、不燃木材には最も適した乾燥方法と言える。また、エネルギーは電気だけなので、大変エコロジーな乾燥方法と言える。企業にとって、エネルギーコストの削減は、現在、最も重要な課題と考える。NF・WOODは、製造過程において、化石燃料の使用が少ないエコロジーな商品と言える。

5. 不燃木製学校間仕切について

上述の浸漬含浸法による不燃木材を採用して不燃木製学校間仕切の開発に着手している。現在、1次試作、2次試作(図6)を終え、問題点を抽出し、商品化に向け鋭意取組中である。課題として、1) 不燃化による材料硬化に伴う難加工化への対応、2) ムク材を使用することによる反りの最小化(学



図6 桧、杉材による試作

校間仕切の可動部（扉・障子）に大きな影響を及ぼす），３）建築予算に見合う実行コストの実現，４）不燃性能を阻害しない塗装の選定，等が挙げられる．

これらの課題解決には(株)ARSとの協議並びに試作検証を繰り返し，業界に先駆け2010年度10月の商品化を目指している．

6. 今後の展望

校舎，とりわけ教室に木材を使用することにより，子供の精神安定に効果があるという研究が示され，

文部科学省の校舎への木材使用の推奨を背景に木製学校間仕切の需要は高まってくると予測する．

大都市圏では法規制により木製学校間仕切の採用を見送っていたが，不燃化を実現することにより採用機会の増加を見込んでいる．現在，首都圏を中心に需要の把握とPR活動を行っている．

7. 参考文献

- 1) 日本建築行政会議編，建築物の防火避難規定の解説2005，第6版，ぎょうせい，2006

タイヤ用シート製造装置の開発

Development of sheet preforming machine for tire manufacturers

株式会社モリヤマ

頼金 敏昭

Toshiaki YORIKANE

Abstract

The sheet preforming machine for tire manufacturers requires significant electric power to operate continuously for 24 hours. Moreover, the kinds of silica-compound have increased recently in tire manufacturers and have obstructed the improvement of productivity.

This manuscript introduces about the feature of the new model SPM (Sheet Preforming Machine) developed in order to solve these problems.

1. はじめに

タイヤ製造プロセスにおいては、ミキサーで混練りされたゴムコンパウンドを成形工程に供給するためにシート状に予備成形される。このシート化に用いられる装置は2本ロール機からローラヘッド付1軸押出機に変遷し、自動化と環境保全が図られてきたが、さらに生産効率を向上させ、残留ゴムの極小化、省エネルギー化を図るためにSPM（シートプレフォーミングマシン）は開発された¹⁾。SPMは、加圧型ニーダーやインターナルミキサーの下流に簡単に設置することができ、タイヤコンパウンドから工業用品ゴムまで、様々なゴムコンパウンドに対応することが可能である。

図1に示すように、SPMのフィーダー部は、当社が独自に開発したMS式2軸テーパースクリューを持ち、ゴムコンパウンドの噛み込みと噛み砕き機能が働く構造となっている。この2軸テーパースクリューが異方向に回転することによって投入ゴムコンパウンドの均一性向上を図りながら、適度に圧縮してロールへの安定した連続供給を可能にしている。加えてユニークなバンクコントロール機構とロール傾斜機構がシーティング工程の完全自動化と省エネルギー化を実現している。また10Lミキサー用の小型機から620Lミキサー用の超大型機まであらゆる処理量に対応できる機種構成になっている。

近年、タイヤメーカー各社の技術進歩により、タイヤの走行時の省エネ性は著しい進歩を遂げているが、一方、製造工程においてタイヤ用シーティング

機は、24時間連続稼動のため大きな消費電力を必要とする。また最近シリカ系コンパウンドの種類の増加、多品種化等により、生産性向上にも難しさが出てきている。

当社は、タイヤ製造用SPM機をこれまでも数多く提供してきたが、「タイヤ製造工程における省エネに貢献したい」という思いから同機をさらに進化させた「新型SPM（セミオープンバンク型SPM）」を開発した。

2. 開発技術の紹介

2.1 商品コンセプト

当社現行型SPMはオープンバンク方式を採用している。オープンバンク方式は図2に示すように、2軸テーパースクリュー押出機とロールとの間の材料貯留部（バンク部）の上方が開放されており、押出機からの材料供給量とロールの圧延量の関係が変動した場合にバンク部は緩衝機構として機能する。その反面、ロールへの噛み込みが安定し難い材料においては、シートの両端の形状が乱れる等の問題を生じる事があった。

これに対してクロズドバンク方式では、図2に示すように、バンク部上方が閉鎖されており、常にロールに材料を押し付けながら圧延する。これによりロールへの材料の噛み込みが安定し、シート幅まで材料が圧延されて寸法精度が高いシートを得る事ができる。しかし、オープンバンク方式の様な材料供給量と圧延量の変動に対する緩衝機能がなく、バ

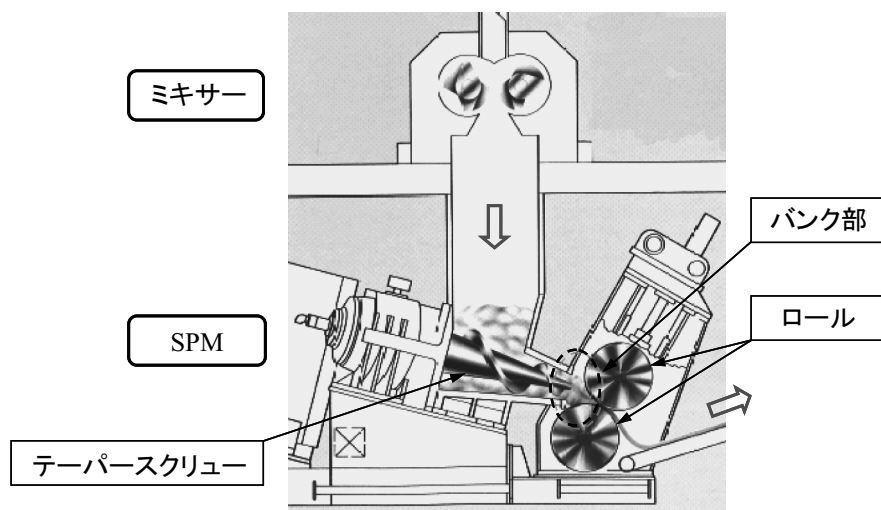


図1 SPM 概略

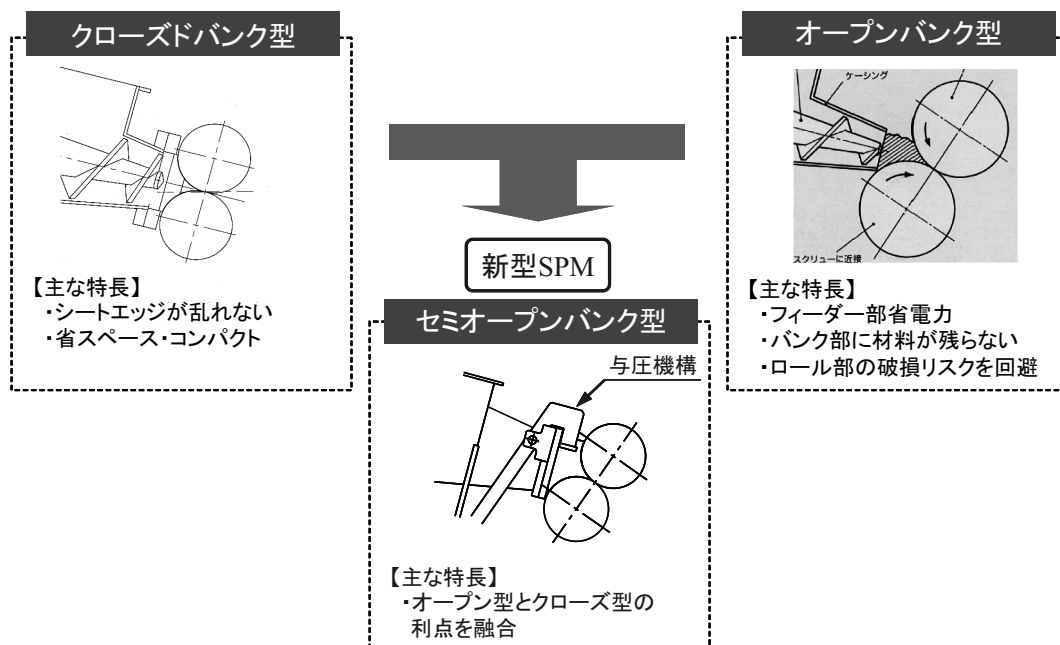


図2 各種バンク方式の特長

ンク部の内圧が急激に高まった場合には装置を損傷する危険性がある。

今回当社が開発した新型SPM（セミオープンバンク型SPM）は、バンク部の材料を上方から一定の圧力で押圧する与圧機構を設けている。この与圧機構はロールの圧延量に対して押出機からの供給量が多くなって内圧が上昇する様な場合には与圧部材が上昇して内圧の上昇を防ぐことができ、逆に押出機からの供給量が減少した場合には与圧部材が下降してバンク内の圧力を確保してロールへの噛み込みを安定させることができる。更に与圧部材の位置を検出して所定の位置より高くなった場合には押出機のスクリュウを減速し、低くなった場合は加速する

フィードバック制御機能を備えている。

2.2 性能検証に用いた試験装置

当社では性能検証用試験装置として、テーパースクリュー単独駆動型、セミオープンバンク型の容量75L用新型SPM（SPM-75-SO）を製作した。試験装置の写真を図3に、主な仕様を表1に示す。

2.3 新型SPMによる品質向上

①シートエッジの改善

シリカ系配合のコンパウンドはロールに噛み込みやすく、現行型SPMでシートにしたとき、シートエッジが乱れやすく、生産性が悪くなることがある。

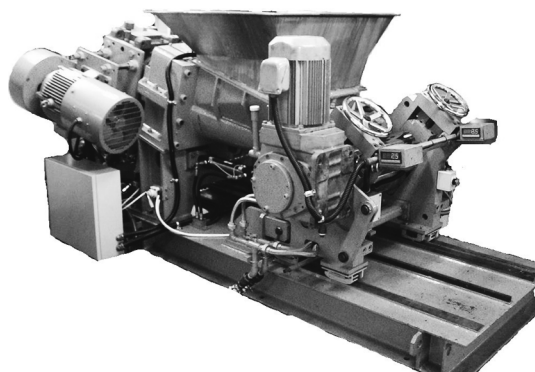
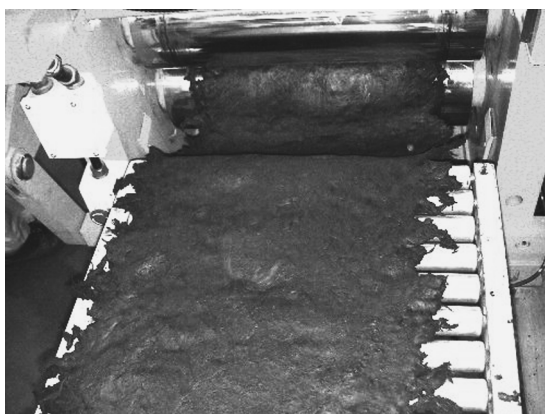


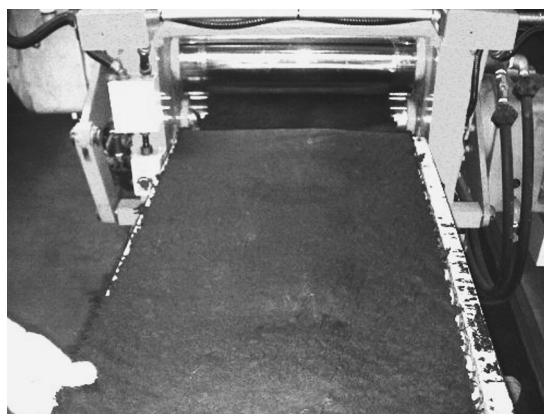
図3 試験装置 (SPM-75-SO)

表1 試験装置の主仕様

フィーダーモータ	11kW 4P×2台
スクリー回転数	1.5~15.1rpm
バンク部与圧力	Max. 1 MPa
ロールモータ	5.5kW 4P×2台
ロール回転数	1.4~13.8m/min
ロール寸法	φ200mm×600mm



(a) 与圧なし



(b) 与圧あり

図4 シートエッジの比較

これに対し新型 SPM はバンク部の与圧機構により、材料をロールへ安定して噛み込ませることができる。このためシート成形性が向上し、シートエッジの乱れを減少させることが可能になった。

図4は試験装置を使用してバンク部与圧あり／なしにおいてタイヤ配合ゴム（配合比率は表2参照）をシート形状にしたときの比較写真である。与圧なしの場合はシート両端が不規則に乱れ、かつシート表面の凹凸が大きいのに対し、与圧ありの場合はシート両端の乱れが減少し、シート表面が滑らかになっており、与圧することによってシート品質が向上したことがわかる。

②バンク部残留材料ゼロ

新型 SPM は現行型 SPM と同様に、押出機より押出された材料を下側のロールで支持する構造を採用した。この構造により与圧機構で押圧された材料は下側のロールに押付けられ滞留することなく圧延されるため、バンク部内に材料が残留することはない。

また2.3①で述べたように、バンク部に与圧機構を設置することによりシートの品質を向上させることが可能になるが、バンク部内の圧力が上がるため、

表2 タイヤ配合ゴムの配合比率

配合材料	重量比
天然ゴム (RSS#3)	20
SBR1502	80
ISAF カーボン	20
シリカ (ニップシール NA)	30
アロマオイル (LPO-R)	10
酸化亜鉛	5
ステアリン酸	2
合計	167.0

バンク部材料を押圧する与圧部材周りの隙間に材料が侵入し滞留しやすくなり、この材料がシート成形工程終了後もバンク部内に残留することがある。このためバンク部内の清掃作業が必要となり、生産性が悪くなる。この課題を解決するために、シート成形工程中に一時的に与圧部材を開放させることにより与圧部材周辺に付着していた材料を剥がし、シート成形工程終了後に与圧部材周辺に残留する材料を無くす方法を考案した。

上記を検証するために、試験装置を使用して与圧

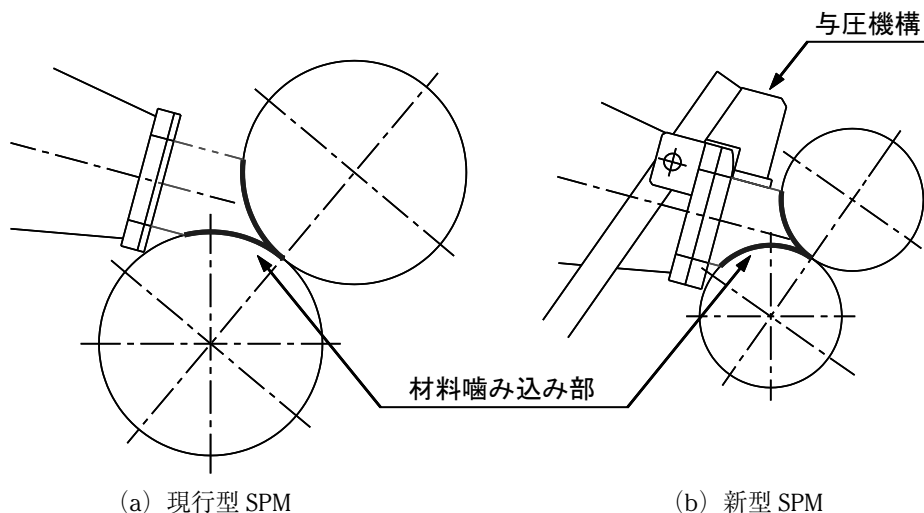


図5 ロール部の比較

部材の開放制御がない場合とある場合において、シート成形工程終了後の与圧部材周辺に残留する材料の量を比較する試験を行った。与圧部材の開放制御がない場合は、与圧部材周辺に少量の材料（投入量に対して約0.004%）が残留するが、開放制御がある場合は残留する材料が完全に無くなることが確認された。またこのとき、与圧部材を一時開放したことによるシートエッジ形状の乱れは、開放時間が短いため発生せず、シート品質に影響を及ぼすことはない。

また新型 SPM では上記制御による方法のほかに、与圧部材の形状を工夫することにより、与圧部材周辺の隙間に入り込む材料を少なくすると同時に、隙間に入り込んだ材料を排出しやすい構造を採用している。

2.4 新型 SPM による省エネ効果

①ロールによる省エネ効果

図5に示すように、新型 SPM はバンク部に与圧機構を設けたことにより、現行型 SPM よりもロールへの材料の噛み込みが安定した結果、現行型 SPM よりもロール直径を小さくすることが可能となる。また材料を上方から押圧しているため、噛み込みに必要な部分のロール面積が小さくなり、材料を圧延するのに必要な動力は小さくなる。その結果、新型 SPM のロール駆動部は現行型 SPM よりも約20%の省電力を実現した。

②フィーダーによる省エネ効果

当社製品による比較では、フィーダーの消費電力はオープンバンク方式のほうがクローズドバンク方式に比べて小さく、省エネ効果が高い。これは、ク

ローズドバンク方式では材料をロールへ定量供給するために常に材料をロールに押し付けながら圧延しており、常にオーバーフィード（供給過多）の状態を維持する必要があるため、フローバック（逆流）が発生し無駄なエネルギーを消費しているためである。

新型 SPM では更なる省エネを目指し、フィーダースクリュー形状を変更し、現行型よりもスクリュー大径部のフライトリード角を約20%小さく、かつスクリュー小径部のフライトリード角を約20%大きくした構造を採用した。

図6は試験装置を使用して、現行型スクリューと新型スクリューとのピーク電力を比較した結果である。このテストでは処理量を同じにしてテストを実施したところ、ピーク電力は新型スクリューの方が天然ゴムでは約23%、タイヤ配合ゴムでは約17%低くなる結果が得られた。また積算電力においても、新型スクリューの方が天然ゴムでは約23%、タイヤ配合ゴムでは約20%低くなる結果が得られた。この要因として、材料の噛み込みがスクリュー大径部のフライト先端部とケーシングとの隙間で起こるときにピーク電力が発生しており、この噛み込み部の面積は新型スクリューの方が小さくなるからと考察する。

2.5 新型 SPM による装置のコンパクト化

①ロールの小径化

上記2.4①で述べたように、セミオープンバンク方式により、材料を圧延するのに必要なロール駆動トルクは小さくなる。このため駆動部に対する負荷が低減してロール部のコンパクト化が可能となった。

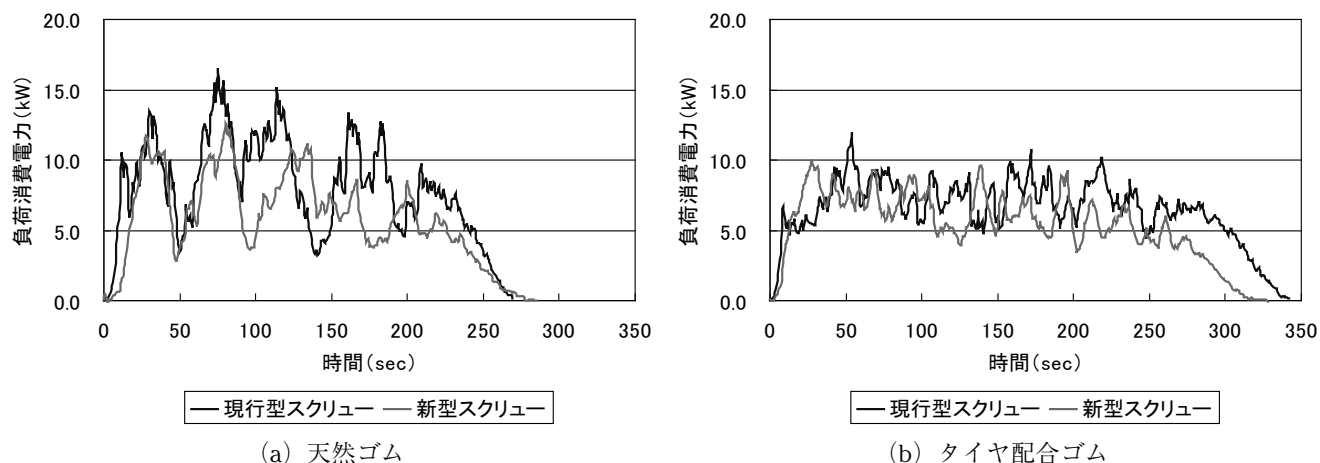


図6 スクリュー形状の違いによるピーク電力の比較

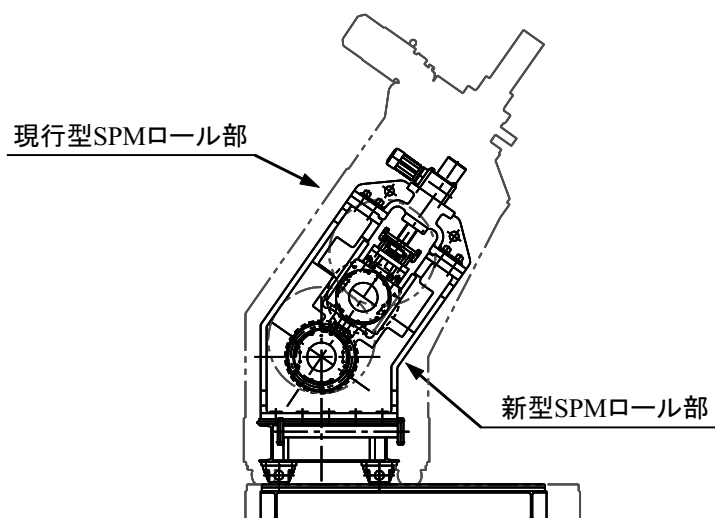


図7 ロール部比較 (SPM-12NH の場合)

例えば370L ミキサー用 SPM (SPM-12NH) の場合、図7に示すように、セミオープンバンク化により、ロール部重量を現行機より約35%の軽量化させ、また大幅なコンパクト化を実現した。

②フィーダー駆動方式の変更

現行型 SPM では2軸のテーパースクリューは1台のモータ及び減速機からの動力をベベルギヤ（傘歯車）により分配して駆動していたが、新型 SPM ではより小容量の2台のモータ及び減速機からの動力により同期機構を介して各々単独にスクリーを駆動している。これによりスクリーの駆動軸に対する負荷は分配され、軸径及びその他駆動部品もより小さいサイズに変更でき、フィーダー部のコンパクト化が可能となった。

例えば370L ミキサー用 SPM (SPM-12NH) の場合、図8に示すように、現行型 SPM ではモータと減速機とはユニバーサルジョイントにて連結され動力を伝達している。このため、SPM 機械後方の寸

法が長くなり、大きな機械設置スペースが必要となっていた。これに対し、新型 SPM ではモータ、減速機の小型化によりモータと減速機を共通のベッド上に設置し、これらをカップリングにて直結することが可能となる。そしてこれらを設置したベッドをトルクアームで受ける構造を採用することで、現行機に比べ機械全長を約25%、機械設置スペースを約30%小さくすることができた。これは基礎工事量の低減につながり、タイヤメーカーにとって大きなメリットとなる。

2.6 新型 SPM による安全対策

クローズドバンク型のシート成形装置ではバンク内の材料圧力を検出して押出機からの材料供給量をフィードバック制御しているが、弾性を有するゴムやプラスチックの場合はバンク内の材料は圧力分布のばらつきが大きく、特定の箇所の圧力検出値に基づいて材料供給量を制御することは困難である。

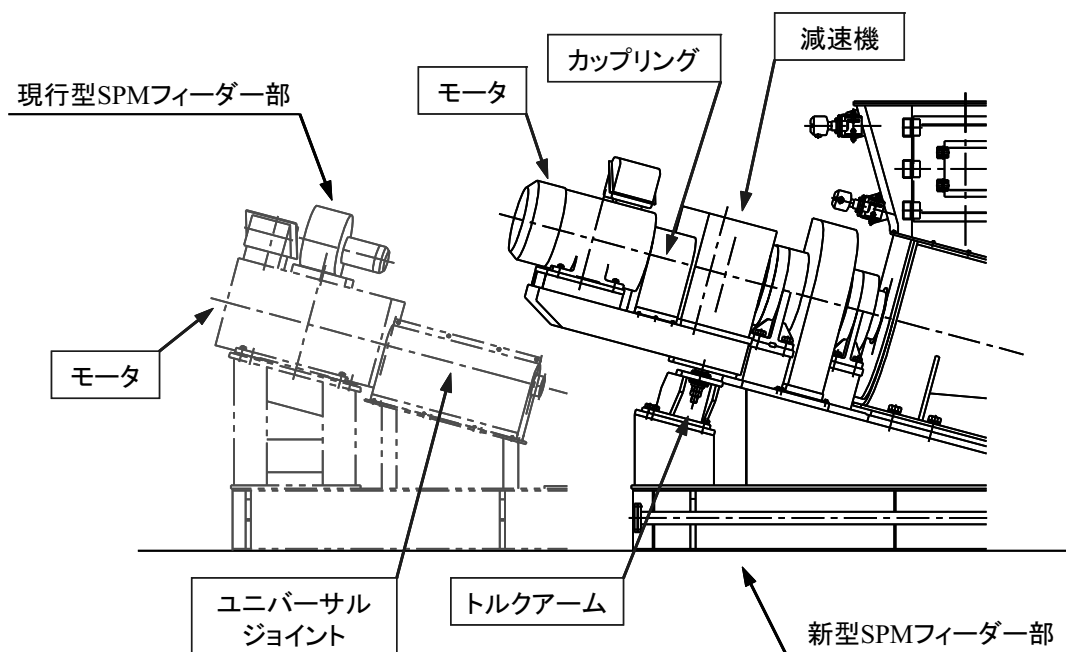


図8 フィーダー部比較 (SPM-12NH の場合)

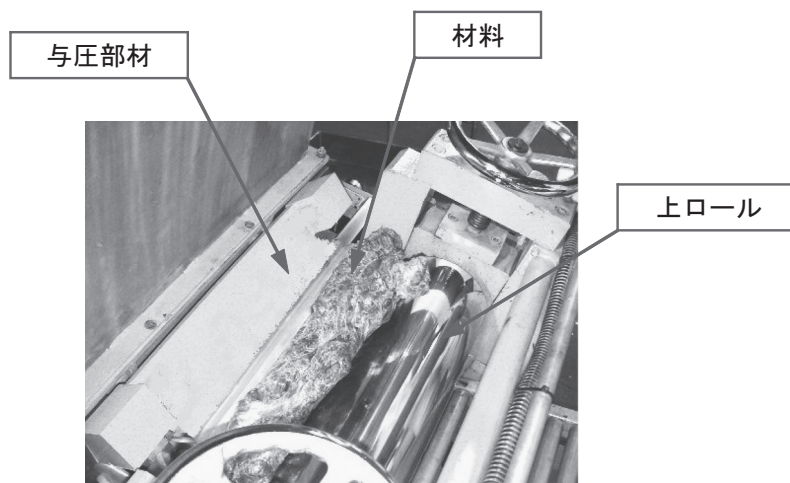


図9 装置破損リスク回避試験

また、バンク部は閉鎖されており圧力の緩衝機構をもたないために押出機からの材料供給を制御しても制御の応答性能によってはバンク内の圧力が急激に高まって装置の破損につながる可能性がある。

これに対して、新型 SPM ではバンク部の与圧機構により、押出機からの供給量が過多になった場合には与圧部材が上昇して急激なバンク内の圧力上昇を防止することができる。万一、混練による可塑化が不十分な材料等によりロールが過負荷となる、またはスリップして圧延ができなくなった場合であっても与圧部材は上部開口部の開口端まで上昇してバンク部が開放された状態となり材料をバンク外へ排出させることができるため、異常発生時にもバンク内に急激な圧力上昇を生じることなく、装置の破損

を未然に防止することができる。

上記の状態を検証するために、試験装置を使用してロールを停止させた状態でフィーダーを運転し、バンク内に材料が充満して高圧状態になったときに、与圧部材が開放して材料がバンク上方へ排出して装置破損の危険が回避できるか試験を行った。図9はこのときの写真である。ロール停止状態でフィーダー運転を行うと、バンク内の圧力が与圧部材の押圧力以上になり、与圧部材が材料に押されて上昇し始め圧力の上昇が抑えられる。さらに与圧部材が上昇しバンク上部が開放状態になると、そこから材料が漏れ出す。この検証により新型 SPM は現行型 SPM 同様に装置の破損リスクへの対応性があることが確認できた。

3. まとめ

近年の環境問題の高まりにより、タイヤ製造工程においてはシリカ系コンパウンドが増加している。また24時間連続稼動するタイヤ用シーティング機の省エネルギー化への取り組みが今後ますます加速すると予想される。

今回当社が開発した新型 SPM は、バンク部に与圧機構を設け、2 軸テーパースクリューを各々単独に駆動することにより、シート品質の向上、省エネルギー化、そして装置のコンパクト化が可能となった。これにより新型 SPM はタイヤ製造工程における省エネを実現できる装置として大いに期待される。

4. 参考文献

- 1) 森山俊夫, 「混練工程の合理化・システム化」: ゴム用機械ガイドブック1989年版, ポステイコーポレーション, 1988, p12~16

5. 関連特許

- 1) (株)モリヤマ, 粘性物質をシート状に成形する装置, 特許第3423760号
- 2) 日本スピンドル製造(株), 樹脂材料の混練り・シート状成形方法及びそれに用いる装置, 特許第3500258号
- 3) (株)モリヤマ, ローラヘッド押出機の制御方法, 特許第4294005号

ホモゲナイザーのバルブ内の流れと乳化効果

Study of internal flow and emulsification effect in a homogenizing valve

イズミフードマシナリ(株)

住友 尚志

Takashi SUMITOMO

Abstract

The homogenizer is extensively used to emulsify, disperse the products in various industrial fields including: food, chemical, pharmaceutical and biotechnology. The homogenizer basically consists of a high-pressure plunger pump usually with triple plungers to minimize pressure fluctuations and a homogenizing valve with a narrow gap. However, the flow within the homogenizing valve is not clarified theoretically. If the flow pattern within the homogenizing valve could be solved, a more efficient and stabilized emulsification could be carried out. In this paper, the influence of shape modification of the homogenizing valve was investigated in the emulsification effect. The experiments using a small homogenizer are conducted. We studied the influence of the flow pattern (velocity distributions, pressure distributions, shear stress) on the drop size distribution obtained in the experiment, and investigated the relation between the average value of wall shear stress and the emulsification effect in the homogenizing valve. The flow patterns were investigated using a computational fluid dynamic model of the flow in the homogenizing valve. The purpose of this paper is to clarify the effects of differences in the shapes of valves on the results of emulsification.

1. はじめに

古くから圧力式乳化機は牛乳の乳化装置として長時間均質な状態を保つために使用されてきた。この他に乳化装置として回転式、超音波式といったものがあるが、圧力式乳化機は、安定した乳化が得られるため幅広い分野で利用されている。

しかし、Walstra は、圧力式乳化機では、せん断・乱流・キャビテーションが同時に引き起こされ、乳化に対する重要度が高いものからこれらをランク付けすることは非常に難しいと述べている¹⁾。近年のCFDの発展にともない、Stevenson と Chen は、商用のCFDコードを用いて、圧力式ホモゲナイザーの乳化部である均質バルブ全体におけるフローパターンのモデリングをおこなっている²⁾。また、Floury らによって、Stansted Fluid Power 社の高圧均質バルブのフローパターンが研究されている³⁾。このように均質バルブ内の流れについて研究されているが、おもに圧力の違いで検討されており、形状の違いについてはほとんど検討されておらず、依然として明らかにされていない部分がある。

均質バルブのバルブ隙間は非常に小さく、バルブ隙間の寸法・圧力・流速を実験により測定すること

は困難である。そこで、Floury らの研究³⁾と Nakayama の空気マイクロメータにおける流体の作用の研究⁴⁾、Phipps の高圧ホモゲナイザーによる乳化液における油滴の研究⁵⁾、萩原の半径流ノズルに関する研究⁶⁾を参考に、本研究では隙間流れのレイノルズ数から隙間部分が放射状の層流であるとした計算式からバルブ隙間を算出した。さらに均質バルブ内の圧力・流速およびせん断応力の代表値を導いた。ここで、これらの計算結果と二次元軸対称の数値シミュレーション結果を比較検討する。次に層流と仮定した計算結果の内部流動と実験で得られる乳化後の液滴径の関係について検討した。

特に本研究では、バルブ形状の一部を変更し、形状の違いによる乳化作用への影響について明らかにした。また、せん断応力の平均値により乳化後の液滴径を比較し、その代表値による整理式を導出した。

2. 実験装置および方法

実験装置はホモゲナイザー（HV-0H、イズミフードマシナリ製）を利用し、1段目の均質バルブのみで乳化する形に改造したものを使用した。ホモゲナイザーによって処理される液体は高圧プランジャーポンプにより均質バルブへ送液される。液体は均質

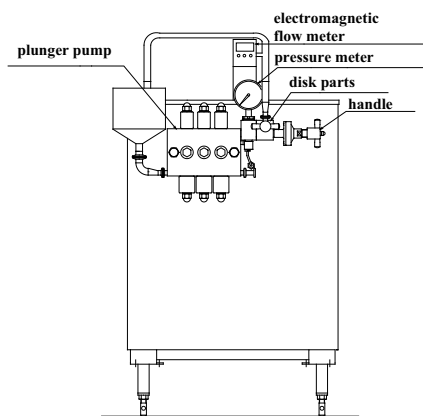


図1 ホモゲナイザー

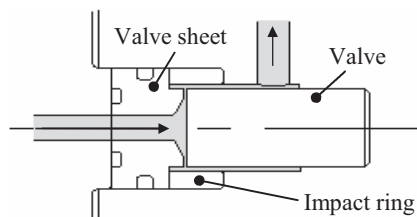


図2 均質バルブ

バルブの非常に小さな隙間を通過した後、インパクトリングに衝突し大気圧下へ放出される。このバルブにおいてせん断、衝突、キャビテーションなどの作用により液滴が微細化されて乳化現象が起こる。

実験装置およびバルブの概略図をそれぞれ図1、図2に示す。

実験方法は、モータ回転数を設定するためインバータの周波数を調整する。次にバルブ入口の圧力 P_0 が所定の圧力になるようにハンドルを回すことでバルブ隙間を調整し固定する。流量70l/h、所定圧力（10, 20, 40, 60, 80MPa）で処理した液をそれぞれ取り出し、粒度分布を測定した。粒度分布はレーザ回折式粒度分布測定装置（SALD-2200、島津製作所製）により測定した。実験では流量を流量計により測定した。

実験で使用する液体は、シリコンオイルの予備乳化液と流動パラフィンの予備乳化液である。シリコンオイルの予備乳化液（20℃）の密度 ρ は995kg/m³、粘度 μ は1.6mPa・sであり、水89wt%、シリコンオイル10wt%、乳化剤1wt%の混合液である。また、界面張力 γ は14.1mN/mであった。流動パラフィンの予備乳化液（20℃）の密度 ρ は982kg/m³、粘度 μ は1.5mPa・sであり、水89wt%、流動パラフィン10wt%、乳化剤1wt%の混合液である。また、界面張力 γ は4.4mN/mであった。実験の際は、乳化処理前の液温が20℃になるようにし、処理後に直ちに20℃まで冷却した。

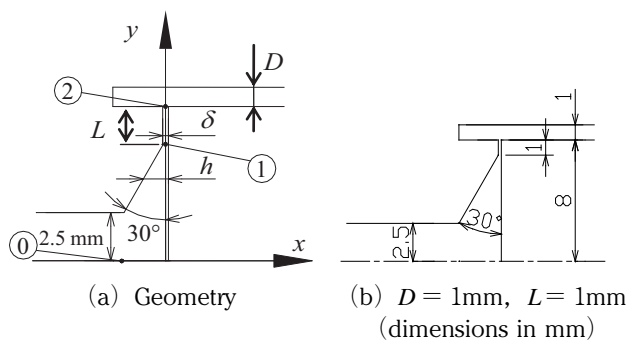


図3 バルブ隙間

3. バルブ隙間における流れ

図3はバルブ隙間の概略図を示す。図3で長さ L の部分（ $y_1 \leq y \leq y_2$ ）を隙間平行部と名付ける。添え字0, 1, 2, は図3に示す位置であり、それぞれバルブ入口、隙間平行部入口、隙間平行部出口を表す。 y は中心軸から半径方向の位置を表す。またバルブ隙間 δ は隙間平行部における隙間を表す。

図3(b)は、傾斜角度30°・バルブ半径8mm・バルブ入口半径2.5mm・インパクトリングまでの距離1mm・隙間平行部長さ1mmの場合を示す。本研究では、インパクトリングまでの距離 D を1mmとし、バルブ半径を8mmに保った状態で隙間平行部長さ L を変更して解析および実験をおこなった。

バルブとバルブシートの隙間 h の式を示す。

$0.0025\text{m} \leq y \leq y_1$ のとき

$$h = (y_1 - y) \tan \theta + \delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$y_1 \leq y \leq y_2$ のとき

$$h = \delta \quad \dots\dots\dots (2)$$

連続の式より求めたバルブとバルブシートの隙間 h における平均流速 v は、次式となる。

$$v = \frac{Q}{2\pi y h} \quad \dots\dots\dots (3)$$

バルブ隙間の流れが層流であるとし、バルブ入口から隙間平行部の出口まで、隙間部の半径位置 y での圧力 P_y を考えると、次式で表される。

$0 \leq y \leq 0.0025\text{m}$ のとき

$$P_y = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_0^2 + \frac{6\mu Q}{\pi \delta^3} \ln \frac{y_2}{y_1} + \zeta \frac{1}{2} \rho v_1^2 \dots\dots (4)$$

$0.0025\text{m} \leq y \leq y_1$ のとき

$$P_y = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_y^2 + \frac{6\mu Q}{\pi \delta^3} \ln \frac{y_2}{y_1} + \zeta \frac{1}{2} \rho v_1^2 \dots\dots (5)$$

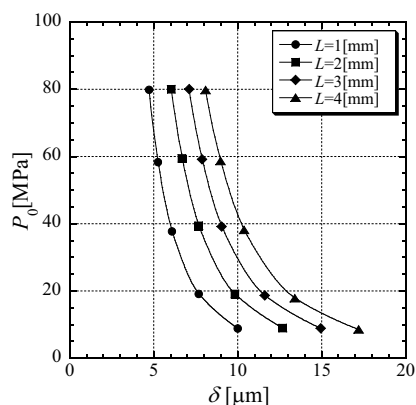


図4 バルブ入口圧力とバルブ隙間の関係

$y_1 \leq y \leq y_2$ のとき

$$P_y = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_y^2 + \frac{6\mu Q}{\pi \delta^3} \ln \frac{y_2}{y} \dots\dots\dots(6)$$

式(4)において隙間平行部の出口を出た後の圧力を $P_2 = 0 \text{ Pa}$ とし、バルブ入口流速 v_0 が非常に小さいので右辺第三項を無視できるとすると、バルブ入口圧力 P_0 (バルブを通過する際の圧力損失) は、次式となる³⁾⁵⁾。

$$P_0 = \zeta \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{2\pi y_1 \delta} \right)^2 + \frac{6\mu Q}{\pi \delta^3} \ln \left(\frac{y_2}{y_1} \right) + \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{2\pi y_2 \delta} \right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

式(7)の右辺第一項は隙間平行部入口における入口損失を、第二項は隙間平行部における摩擦損失を表し、第三項は隙間平行部出口における出口損失を表している。隙間平行部へ流入する入口は、緩やかな 30° であり、入口損失係数は $\zeta = 0.2$ とする²⁾。図4では、流量 Q を 70 l/h として、式(7)より計算したバルブ隙間 δ と入口圧力 P_0 の関係を示す。

バルブ隙間 δ は入口圧力 P_0 が高いほど狭い。また、同じ入口圧力においてバルブ隙間 δ を比較すると、隙間平行部長さ L が短い方がバルブ隙間 δ は狭くなる。これはバルブ隙間の大きさが同じ場合、隙間平行部長さが短い方が隙間平行部での摩擦損失が小さくなるためである。

バルブの隙間平行部 ($y_1 \leq y \leq y_2$) は平行円板のようになっており、隙間平行部での水力直径 2δ を用いると、レイノルズ数 Re は、次式で表される。

$$Re = \frac{2\rho v \delta}{\mu} \dots\dots\dots(8)$$

さらに式(3)で示す隙間平行部 ($h = \delta$) での平均流速 v を代入すると、隙間平行部でのレイノルズ数 Re は、次式となる。

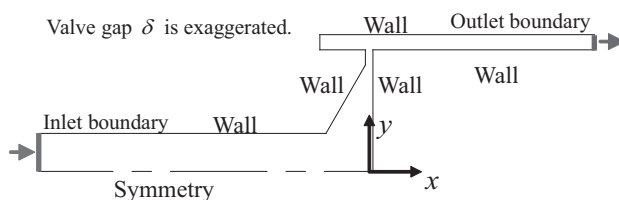


図5 計算領域概略

$$Re = \frac{\rho Q}{\pi \mu y} \dots\dots\dots(9)$$

隙間平行部でのレイノルズ数は、流量 Q と中心軸から半径方向の距離 y に依存し、隙間 δ には依存しない。また、隙間平行部でのレイノルズ数は、入口で最大となる。レイノルズ数は、隙間平行部の出口で約500となり、隙間平行部の入口では、隙間平行部長さ $L = 4 \text{ mm}$ の場合で約1000となる。このためバルブ隙間では層流と仮定する。

隙間平行部の流れは層流であるとし、隙間平行部での二次元軸対称のポアズイユ流れの流速 v_{gap} (y 軸方向の速度) は、次式となる³⁾。

$$v_{\text{gap}} = \frac{3Q}{4\pi y \delta} \left[1 - \left(\frac{2x}{\delta} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(10)$$

隙間平行部入口付近では流れがまだ十分に発達していない助走区間である。助走区間の終わる位置 y_e は、次式で表される⁶⁾。

$$y_e = y_1 + \frac{y_1}{5} \sqrt{\frac{R}{10}} \dots\dots\dots(11)$$

ここで R は、次式である⁶⁾。

$$R = \left(\frac{\rho v_1 \delta}{\mu} \right) \left(\frac{\delta}{y_1} \right) \dots\dots\dots(12)$$

また、流速 v_1 は、式(3)より求めた隙間平行部入口の平均流速である。

4. 流れのシミュレーション

流れ解析には市販コード (Fluent6.3) を使用し、二次元軸対称流れとして定常解析を行った。本研究での流れ解析では、均質バルブに流入する流体は、非圧縮性流体でかつ熱の移動を伴わないと仮定した。計算コードでは、質量保存および運動量保存の方程式、有限体積法を用いた。本研究では解析に用いる乱流モデルとして、 $k-\epsilon$ RNG モデルを使用した。

均質バルブにおける流れを二次元軸対称流れとして計算した。図5に計算領域を示す。

x 軸を対称軸とし、均質バルブ入口の条件に流速を与えた。壁面における流速をゼロとし、均質バルブ出口の条件に大気圧を与えた。また、均質バルブ

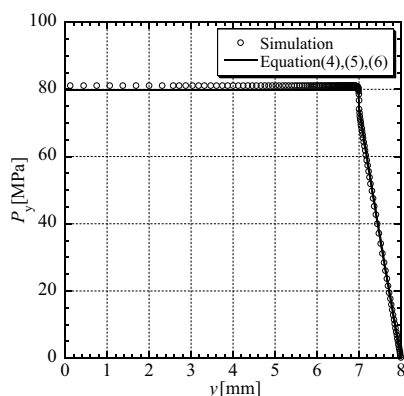


図6 圧力分布
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

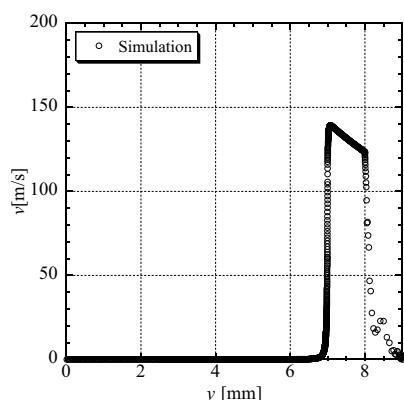


図7 y 軸での速度分布
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

入口における乱流強度は、1 %とした。

5. 均質バルブ内の流れ

図3(b)に示す形状において、入口圧力 $P_0 = 80 \text{ MPa}$ に対応する流量 $Q = 70 \text{ l/h}$ を用いて数値シミュレーションを行った。図6では、数値シミュレーションによる圧力分布と式(4)~(6)より計算した圧力分布を比較した。グラフの縦軸は隙間での圧力 P_y で、横軸は中心軸から半径方向の距離 y である。図7は、 y 軸上（バルブ隙間の中央を通る）での数値シミュレーションによる流速値を示す。

図6をみれば、隙間平行部の $y = 7 \text{ mm}$ から $y = 8 \text{ mm}$ において圧力が低下している。これは隙間平行部のバルブ隙間が非常に狭いことによる摩擦損失の影響であると考えられる。また、隙間平行部の入口 $y = 7 \text{ mm}$ で圧力が急に低下する。これは、図7の隙間平行部入口で見られる速度の急激な増加による圧力低下に加え、入口損失の影響であると考えられる。また、バルブ入口圧力 P_0 （均質バルブを通過するときの圧力損失）の大部分は、隙間平行部での摩擦損失である。

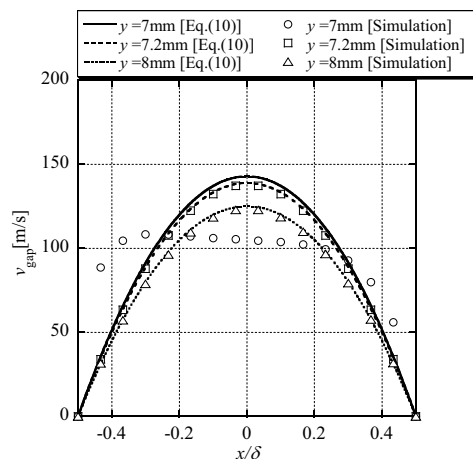


図8 バルブ隙間での速度分布
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

図7において、バルブ隙間が非常に狭いため隙間平行部で速度が大きくなる。隙間平行部で入口から出口に向かうにつれ徐々に速度が減少しているのは、 y 軸正方向に向かうに従い流路断面積が増えるためである。

図8は、隙間平行部の数値シミュレーションによる速度分布と式(10)による速度分布の比較を示す。グラフの縦軸は速度 v_{gap} (y 軸方向の速度) で、横軸は軸方向位置 x をバルブ隙間 δ で割り無次元化した値を示す。同図は、入口圧力 $P_0 = 80 \text{ MPa}$ における各半径方向位置での速度分布である。数値シミュレーションによる値は式(10)の値とよい一致を示し、流れの傾向は捉えられている。前述のように半径方向に向かうに従い流路断面積が増えるため、入口の流速に比べて出口の流速が小さくなる。隙間平行部の入口 $y = 7 \text{ mm}$ で、数値シミュレーションによる値と式(10)による値は大きく異なる。これは、入口付近では、まだ流れが十分に発達していないためである。式(11)より助走区間の終わる位置 y_e を計算すれば $y_e \approx 7.2 \text{ mm}$ となる。この位置以降では隙間平行部の流速は放物分布となる。

せん断応力の代表値として、次式で表されるせん断応力 τ_w を採用した。

$$\tau_w = -\mu \left(\frac{\partial v_{\text{gap}}}{\partial x} \right)_{x=\delta/2} = \frac{3\mu Q}{\pi y \delta^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

これより τ_w は、半径方向距離 y に反比例し、バルブ隙間 δ の二乗に反比例することが分かる。隙間平行部の壁面で受けるせん断力を求めるために隙間平行部の入口から出口までのせん断応力を積分すると、壁面でのせん断力 F_s は、次式となる。

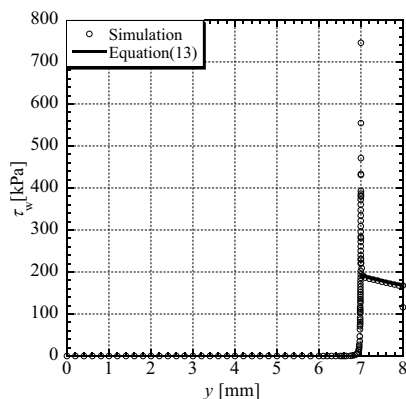


図9 壁面せん断応力
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

$$F_s = \int_{y_1}^{y_2} \tau_w 2\pi y dy = \frac{6\mu Q}{\delta^2} (y_2 - y_1) \quad \dots\dots\dots(14)$$

また、隙間平行部における壁面でのせん断応力の平均値 τ_{ave} は、次式となる。

$$\tau_{ave} = \frac{F_s}{\pi(y_2^2 - y_1^2)} = \frac{6\mu Q}{\pi\delta^2(y_2 + y_1)} \quad \dots\dots\dots(15)$$

図9は、壁面 ($x = \delta/2$) でのせん断応力のシミュレーション結果と式(13)より求めた隙間平行部の壁面せん断応力 τ_w の比較を示す。シミュレーション結果では隙間平行部入口 $y = 7 \text{ mm}$ で壁面せん断応力が急激に増加し、隙間平行部に比べて大きいせん断応力が局所的に作用している。これは、今回の計算では入口部における急激な流れの変化を捉えるには、メッシュ数が少なかったことが考えられる。入口を除く隙間平行部において、シミュレーションによる値と式(13)による値はよい一致を示す。また、半径方向距離 y が大きくなると流速が小さくなるため、隙間平行部での壁面せん断応力は小さくなる。図10は、隙間平行部長さ L を変更して式(13)より求めた壁面せん断応力 τ_w を示す。図4に示すように、隙間平行部長さが短い方がバルブ隙間は狭いため、壁面せん断応力が大きい。

6. 流れの乳化作用

ウェーバー数 We_τ は気泡や液滴が他の液体中で運動する場合、その境界面に働く慣性力と界面張力の比を示す無次元数である。せん断応力 τ 、界面張力 γ 、乳化処理前の液滴径 d_0 、乳化処理後の液滴径 d 、定数 k 、定数 m 、代表長さ l とすると、式(16)、(17)が提案されている⁷⁾。

$$We_\tau = \frac{\tau l}{\gamma} \quad \dots\dots\dots(16)$$

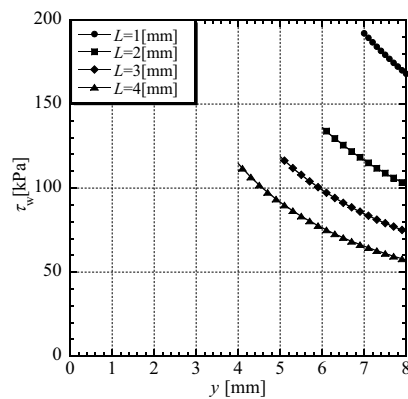


図10 壁面せん断応力と隙間平行部長さとの関係
($P_0 = 80 \text{ MPa}$)

$$We_\tau = k \left(\frac{d_0}{d} \right)^m \quad \dots\dots\dots(17)$$

式(16)、(17)より、実験と文献を参考に $m = 1.0^7)$ として次のように仮定する。

$$\frac{\tau\delta}{\gamma} = k \frac{d_{before}}{d_{32_the}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

これより、乳化処理後の推定液滴体面積平均径 d_{32_the} は、次式で表される。

$$d_{32_the} = k \frac{d_{before} \gamma}{\tau\delta} \quad \dots\dots\dots(19)$$

ここで、せん断応力 τ に壁面せん断応力の平均値 τ_{ave} を代入すると、次式となる。

$$d_{32_the} = k \frac{\pi d_{before} \gamma \delta (y_2 + y_1)}{6\mu Q} \quad \dots\dots\dots(20)$$

本研究では二種類の予備乳化液を使用し、測定した粒度分布は、一般的な体積基準の液滴径で取り扱うこととする。実験に使用した予備乳化液の液滴体面積平均径を、乳化処理前の液滴体面積平均径 d_{before} とする。シリコンオイルの予備乳化液は、界面張力 $\gamma = 14.1 \text{ mN/m}$ 、乳化処理前の液滴体面積平均径 $d_{before} \doteq 5.65 \mu\text{m}$ であった。また、流動パラフィンの予備乳化液は、界面張力 $\gamma = 4.4 \text{ mN/m}$ 、乳化処理前の体面積平均径 $d_{before} \doteq 6.64 \mu\text{m}$ であった。

実験結果において、隙間平行部長さ L を 1 mm から 4 mm まで形状変更し得られた結果を、グラフ中で隙間平行部長さ 1 mm の場合 $L = 1 \text{ mm}$ 、 4 mm の場合 $L = 4 \text{ mm}$ などと表記する。

図11は、図3(b)に示す形状において流動パラフィンの乳化実験を行った結果で、体積基準の粒度分布を示す。図12はシリコンオイルの実験で、入口圧力 P_0 と実験により測定した乳化処理後のメジアン径 (体積基準) d の関係を示す。いずれの形状に

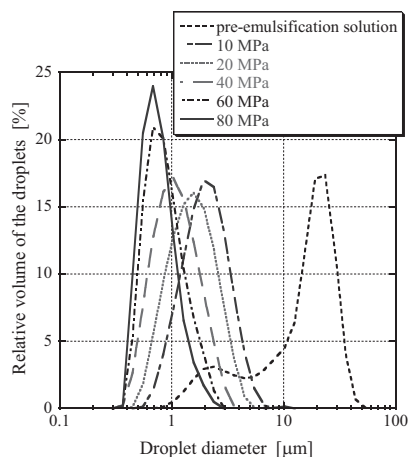
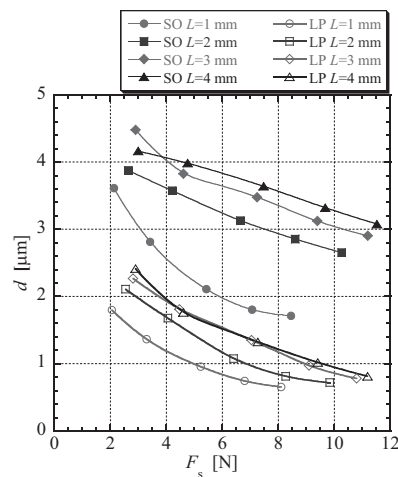
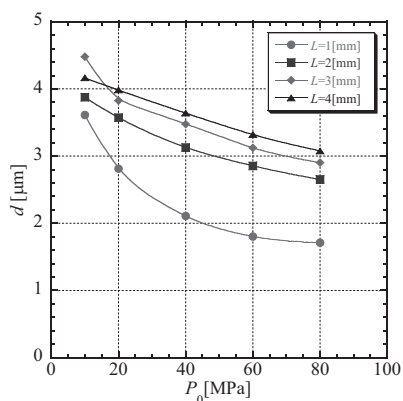
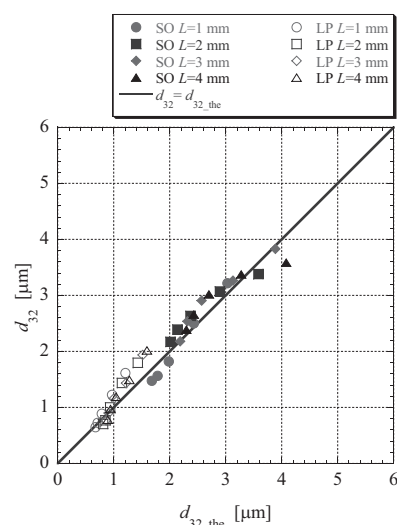


図11 液滴径分布（流動パラフィン）

図13 F_s と d の関係
(SO；シリコンオイル，LP；流動パラフィン)図12 P_0 と d の関係（シリコンオイル）図14 $d_{32,the}$ と d_{32} の関係
(SO；シリコンオイル，LP；流動パラフィン)

おいても，入口圧力 P_0 を大きくすると，隙間が狭くなり流速が大きくなるためメジアン径 d が小さくなる．また，隙間平行部の長さ L が異なるものを比較すると，同じ入口圧力 P_0 において隙間平行部長さ L が短い方がメジアン径 d は小さくなる．これは同じ入口圧力 P_0 において，隙間平行部長さ L が短い方がバルブ隙間 δ は狭く，隙間での流速も大きいため，メジアン径 d は小さくなると考えられる．

図13は，入口圧力 P_0 を10MPa～80MPaに変化させた実験により得られた乳化処理後のメジアン径（体積基準） d と式(14)より求めた壁面でのせん断力 F_s の関係を示す．グラフ中の黒塗り（SO）がシリコンオイル，白抜き（LP）が流動パラフィンの結果である．せん断力 F_s が大きくなるとメジアン径は小さくなる．しかし，隙間平行部で受けるせん断

力 F_s が同じでも隙間平行部長さが異なると，メジアン径は大きく異なる．隙間平行部長さ L が長い場合，隙間平行部でせん断応力を受ける距離が長く，せん断力 F_s は大きくなる．それに関わらずメジアン径 d はそれほど小さくならない．

図14は，前述の仮定に基づく式(20)より求めた液滴径 $d_{32,the}$ と実験により測定した乳化処理後の体面積平均径 d_{32} の関係を示す．グラフ中の黒塗り（SO）がシリコンオイル，白抜き（LP）が流動パラフィンの結果である．式(20)の係数 k は，今回 $k=18$ とした．界面張力と乳化処理前の体面積平均径は，それぞれの液に対応する値を使って計算した．計算による液滴径 $d_{32,the}$ と実験による体面積平均径 d_{32} は，ほぼ同じ値となっており，液滴径を隙間平行部の壁面せん断応力の平均値から予測できると考えられる．計算式では，隙間平行部の壁面せん断応力のみを考

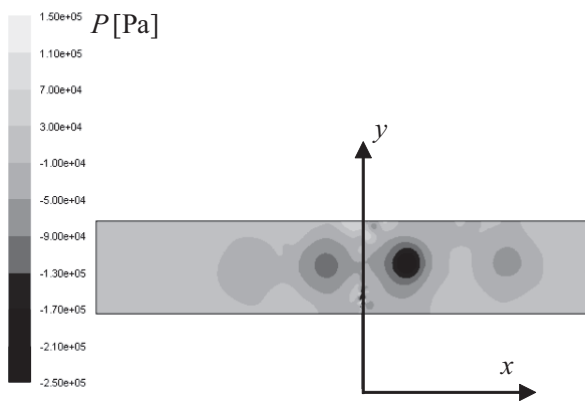


図15 バルブ出口領域での圧力分布
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

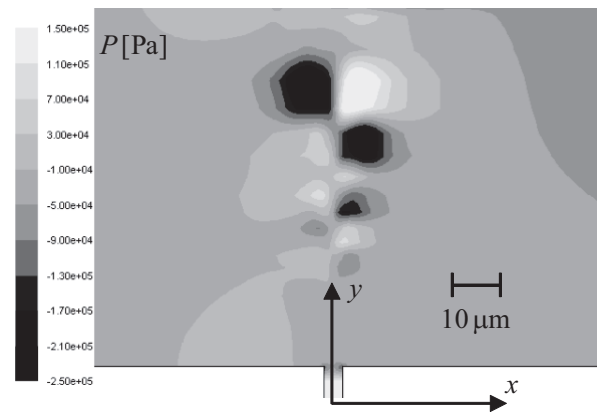


図16 隙間平行部出口での圧力分布
($D = 1 \text{ mm}$, $L = 1 \text{ mm}$, $P_0 = 80 \text{ MPa}$)

慮した。そのため、計算による液滴径 d_{32_the} と実験による体面積平均径 d_{32} の間で少しのズレが生じる。これは、隙間平行部入口や出口での液滴破壊の影響が考えられる。今回、処理液の違いの影響として界面張力を含み、乳化処理後の液滴径が界面張力に比例する形の整理式で、乳化処理後の液滴径をほぼ整理できた。

隙間平行部長さが最も短い $L = 1 \text{ mm}$ の場合のバルブ隙間の出口領域の圧力分布を図15に示す。出口噴流の左右に生じる循環流中心部の低圧域と出口噴流がインパクトリングに衝突する位置での高圧域が見られる。また図16は、バルブ隙間の出口領域の出口噴流近傍を拡大し、そこでの圧力分布を示す。これは、キャビテーションが発生するかどうかを検討する目的で簡易的に行った数値解析結果である。隙間出口付近に逆回転渦の交互配列とそれらの渦中心での低圧領域が見られる⁸⁾。これらのバルブ隙間出口領域の循環渦中心およびバルブ隙間出口近傍の交互逆回転渦中心ではキャビテーションの発生が考えられ、これらが乳化結果の違いに二次的に影響すると考えられる。

7. まとめ

ホモゲナイザーの内部流れと乳化作用の関係を検証するため、本研究では、バルブ形状を変化させて乳化実験を行い、数値シミュレーションにより内部流れを検討した。それにより以下のことが明らかになった。

- (1) 入口圧力および流量が同じ場合、隙間平行部が短い形状の方が、バルブ隙間は狭くなり、隙間平行部の流速も大きく、せん断応力が大きいので、乳化作用が大きい。

- (2) 隙間平行部の壁面で受けるせん断力が大きくなるとメジアン径は小さくなる。しかし、隙間平行部で受けるせん断力が同じでも隙間平行部長さが異なると、メジアン径は大きく異なる。
- (3) 隙間平行部の壁面せん断応力の平均値により、処理液の違う乳化実験から得られた体面積平均径が整理できた。これより処理液の違いも含む乳化作用の整理式を提案できた。
- (4) 隙間平行部の流れを層流として求めた計算結果（圧力分布、速度分布）は、二次元軸対称のシミュレーション結果とよく一致している。
- (5) バルブ隙間出口の出口噴流近傍の交互逆回転渦と出口循環流の中心でキャビテーションが発生し、これらが乳化結果の違いに二次的に影響すると考えられる。

8. 記号

- d : 乳化処理後の液滴径 [m]
 d_0 : 乳化処理前の液滴径 [m]
 d_{before} : 乳化処理前の液滴体面積平均径 [m]
 d_{32_the} : 乳化処理後の推定液滴体面積平均径 [m]
 D : バルブ隙間出口からインパクトリングまでの距離 (図3) [m]
 F_s : 壁面でのせん断力 [N]
 h : バルブとバルブシートの隙間 (図3) [m]
 L : 隙間平行部長さ (図3) [m]
 P : 圧力 [Pa]
 P_y : 隙間部の半径位置 y における圧力 [Pa]
 P_0 : バルブを通過する際の圧力損失 [Pa]
 Q : 流量 [m^3/s]
 Re : レイノルズ数

v	: 流速 [m/s]
v_y	: 隙間部の半径位置 y における流速 [m/s]
x	: 軸方向座標 [m]
y	: 半径方向座標 [m]
y_e	: 助走区間が終わる位置 [m]
δ	: バルブ隙間 [m]
γ	: 界面張力 [N/m]
μ	: 粘度 [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]
ρ	: 密度 [kg/m^3]
τ_w	: 壁面せん断応力 [Pa]
τ_{ave}	: 壁面せん断応力の平均値 [Pa]
ζ	: 入口損失係数
添字	
0	: バルブ入口
1	: 隙間平行部入口
2	: 隙間平行部出口

9. 文献

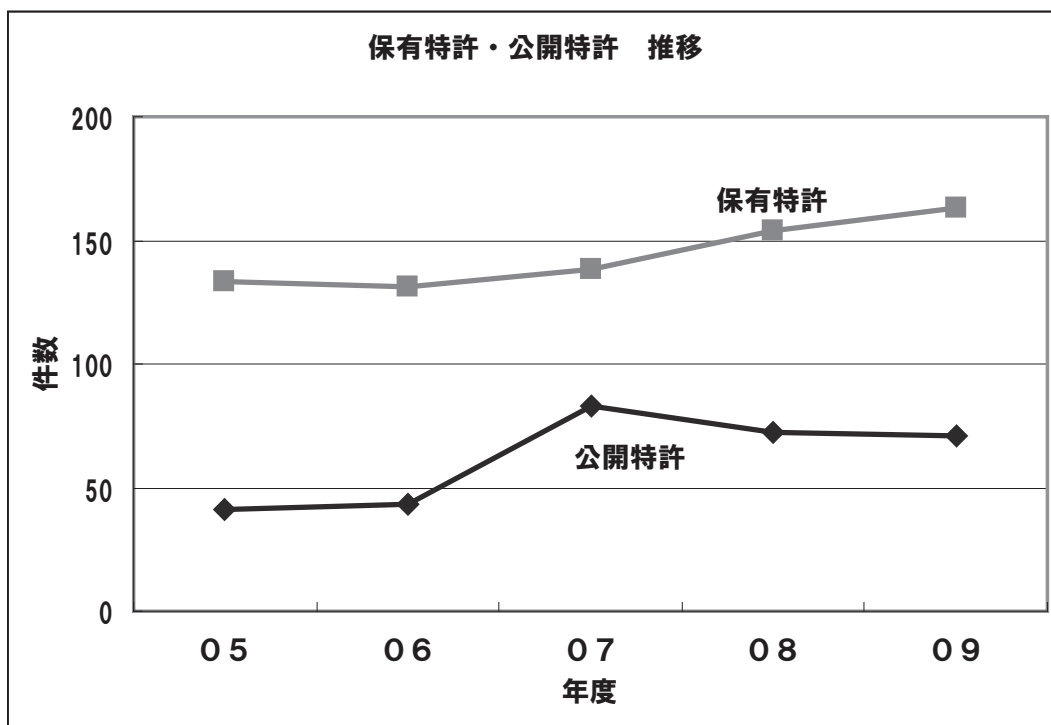
- 1) Walstra, P., Formation of emulsions, *In: Becher, P (Ed.), Encyclopedia of Emulsion Technology: Basic theory*, Vol. 1, Marcel Dekker, New York, Basel (1983), pp. 58–126.
- 2) Stevenson, M.J., Chen, X.D., Visualization of the Flow Patterns in a High-pressure Homogenizing Valve Using a CFD Package, *Journal of Food Engineering*, Vol. 33 (1997), pp. 151–165.
- 3) Flourey, J., Bellettre, J., Legrand, J., Desrumaux, A., Analysis of a new type of high pressure homogeniser. A study of the flow pattern, *Chemical Engineering Science*, Vol. 59 (2004), pp. 843–853.
- 4) Nakayama, Y., Action of the Fluid in the Air-Micrometer (3rd Report, Characteristics of Double-Disc Nozzle No.1, In the Case of Compressibility Being Ignored), *Bulletin of JSME*, Vol. 7, No. 28 (1964), pp. 698–707.
- 5) Phipps, L.W., The fragmentation of oil drops in emulsions by a high-pressure homogenizer, *Journal of Applied Physics D: Physics*, Vol. 8 (1975), pp. 448–462.
- 6) Hagiwara, T., Studies on the Characteristics of Radial-Flow Nozzles (1st Report., Theoretical Analysis of Outward Flow), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 28, No. 186 (1962), pp. 138–145, (in Japanese).
- 7) Yano, T., Matsumoto, S., Hayashi, H., Kako, M., *Food Engineering Fundamental Lecture*, Vol. 9 *Emulsification and Dispersion*, Kourin (1988), pp. 170–173, (in Japanese).
- 8) Shakouchi, T., *Jet Flow Engineering*, Morikita Shuppan (2004), pp. 16, (in Japanese).

10. 関連特許

- 1) 特許出願中

知的財産報告 (Intellectual Property Report)

◆国内保有特許の推移

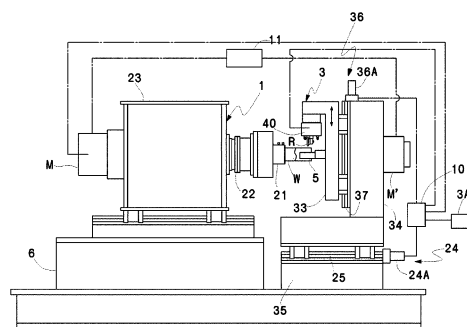


◆登録特許紹介 (2009年度)

【産機事業部】

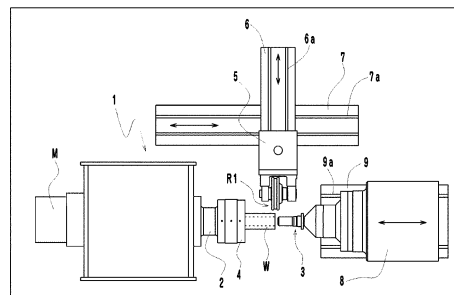
特許第4388762号 円筒形状の被加工材料に対する成形加工方法及びその装置

【請求項1】 加工用工具を取り付けた工具取付機構と、加工用工具に対向して配備される円筒形状の被加工材料を保持する保持機構とを備えた成形加工装置によって、円筒形状の被加工材料に対して成形加工を行う成形加工方法において、被加工材料に偏芯又は傾斜して芯金を挿入し、緩衝機構を具備した加工用工具を、被加工材料に押し当てながら、被加工材料及び芯金に対して、相対回転させながら被加工材料の軸方向に相対移動させるとともに、緩衝機構によって、成形加工中に加工用工具が被加工材料を介して芯金に当接した位置で加工用工具に過剰な押圧力が働くことを加工用工具を後退移動させることにより回避するようにして、被加工材料の軸心を、被加工材料と加工用工具とを相対回転させるときの回転軸の軸心と一致させた状態で被加工材料を芯金に沿った形状に成形加工することを特徴とする円筒形状の被加工材料に対する成形加工方法。



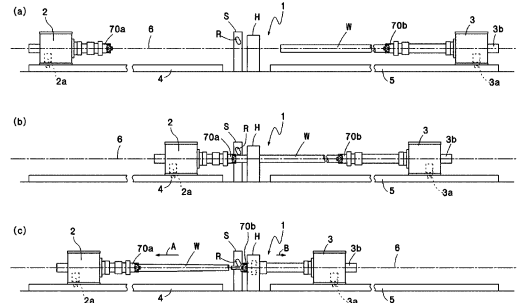
特許第4393470号 絞り加工方法及びその装置

【請求項1】 回転する主軸先端に中空円筒状のワークを取り付け、前記ワークの内径寸法より大径寸法としたマンドレルをワークの一端側から内周部に押圧挿入することによってワークの端部を拡開させた後、絞りローラを前記ワークの外周面に当接して絞り加工を施す絞り加工方法であって、前記マンドレルを押圧挿入することによって拡開させたワークの端部に、ワークの当初の外径に沿って、絞りローラ周面にワーク周面と当接する当接部分を複数設けた絞りローラを主軸方向に移動することにより絞り加工を施すことを特徴とする絞り加工方法。



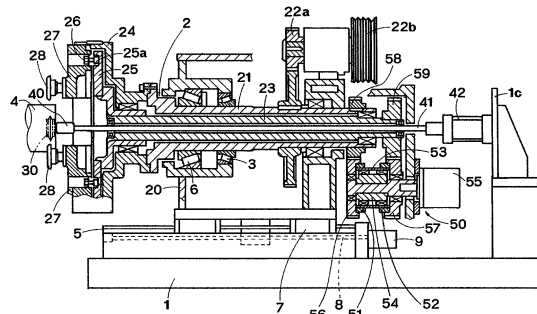
特許第4393543号 テーパ鋼管加工機

【請求項1】 走行駆動手段によって軸方向に移行する駆動側回転機構台に配設した把持装置により鋼管の後端を回転自在に取り付けるとともに、駆動側回転機構台をテンション側回転機構台側に移行することによって、絞り加工装置の出口側に待機させた、走行駆動手段によって軸方向に移行するテンション側回転機構台に配設した把持装置により鋼管の先端を回転自在に取り付け、鋼管を回転させながら順次移動させ、絞り加工装置の絞りローラによって鋼管にテーパ加工を施すテーパ鋼管加工機において、前記駆動側回転機構台及びテンション側回転機構台に配設した把持装置のうち、少なくとも一方の把持装置を、鋼管の管端を挟持する内径把持体と、外径把持体とを備え、内径把持体及び外径把持体をそれぞれ押圧することによって内径把持体と外径把持体との間隔を狭める押圧手段とを備えた把持装置とし、前記テーパ加工の終了後、把持装置と鋼管との間に生じる引張力の働く方向と逆方向に回転機構台を動かしながら、前記把持装置の内径把持体及び外径把持体の押圧を解除するように押圧手段を作動させ、テーパ鋼管の一端を把持装置から取り外すように構成されたテーパ鋼管の取外構造を有することを特徴とするテーパ鋼管加工機。



特許第4456208号 スピニング加工装置

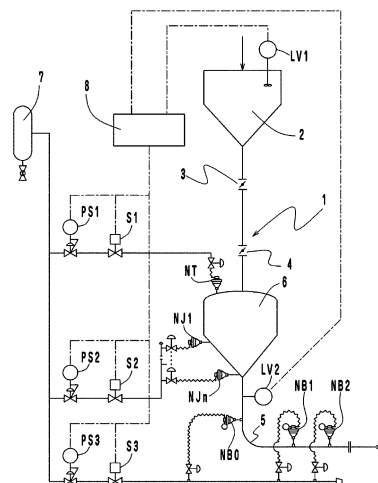
【請求項1】 内管及び外管の二重管から成る主軸と、前記外管の先端部に設け前記外管の軸を中心に前記外管と共に回転する第1の回転体と、該第1の回転体と平行に前記内管の先端部に設け前記内管の軸を中心に前記内管と共に回転する第2の回転体であって、前記内管の軸回りに第1の案内路及び第2の案内路を形成した第2の回転体と、該第2の回転体の前記第1の案内路及び第2の案内路に沿って夫々移動可能に、前記第1の回転体に支持する第1の加工具及び第2の加工具と、前記内管及び前記外管を同方向に回転駆動し、且つ必要に応じて前記内管と前記外管との間に回転差が生起されるように前記内管及び前記外管を相対的に回転駆動する駆動手段とを備え、前記第2の回転体が一方に回転するとき前記第1の加工具と前記第2の加工具が相対的に逆方向に移動するように前記第1の案内路及び第2の案内路を形成し、回転不能に支持した被加工部材に対し、前記第1の加工具及び第2の加工具を公転駆動しながら、前記第1の加工具を前記第1の案内路に沿って径方向に駆動すると共に、前記第2の加工具を前記第2の案内路に沿って径方向に駆動するように構成したことを特徴とするスピニング加工装置。



【環境システム事業部】

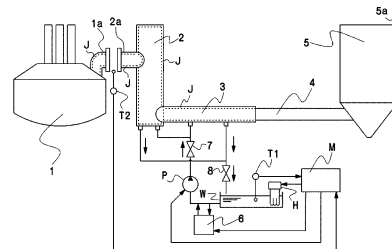
特許第4336350号 気体輸送の制御方法及びその装置

【請求項1】 貯留槽から送られてきた粉粒体を蓄えるトランスポータ内に一定量の粉粒体が溜まった後、トランスポータ内の内圧を一定圧力まで上昇せしめ、ブースタノズルからの圧縮空気によって輸送管を介して粉粒体を輸送する気体輸送の制御方法において、トランスポータ内の粉粒体の量を計測するレベル計が、粉粒体がなくなったことを検知した場合に、貯留槽内の粉粒体の量を計測するレベル計が、所定量の粉粒体の量を検知したときには、圧縮空気の供給を止め、輸送管内に粉粒体を残存させた状態で、貯留槽に蓄えられた粉粒体をトランスポータに送り込み、トランスポータ内に一定量の粉粒体が溜まった後、トランスポータ内の内圧を一定圧力まで上昇せしめ、ブースタノズルからの圧縮空気によって粉粒体の輸送を再開するようにし、前記貯留槽内の粉粒体の量を計測するレベル計が、所定量の粉粒体の量を検知しなかったときには、圧縮空気の供給を継続し、輸送管内に粉粒体が残存しないように、ブースタノズルからの圧縮空気によって粉粒体を送りきるようにすることを特徴とする気体輸送の制御方法。



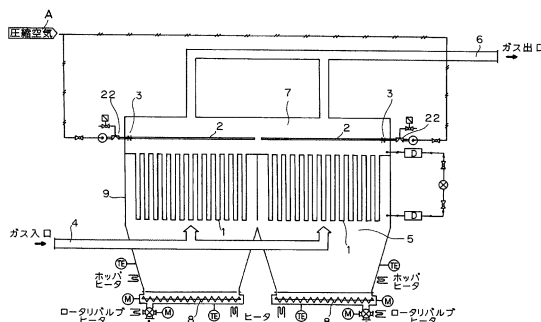
特許第4350554号 配管内の結露防止方法

【請求項1】電気炉から排出される排ガスを吸引し、二重構造の水冷ジャケット式とした配管ダクト等を通して集塵機で正常空気に処理した後大気中に排出するシステムにおいて、システム停止時に、ジャケット内の水温以下の温度の空気を配管内に供給することを特徴とする配管内の結露防止方法。



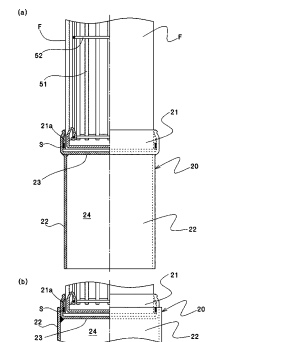
特許第4357494号 バグフィルタ装置

【請求項1】排ガスを濾過することにより集塵する濾布と、該濾布に下流側から圧縮空気を間欠的に噴射することにより堆積した粉塵を払い落とす噴射管と、該噴射管に圧縮空気を間欠的に供給する噴射バルブとを備えたバグフィルタ装置において、噴射管の最上流の噴射口から噴射バルブまでの区間に、噴射口から流入する排ガスを阻止する弁状体を設けたことを特徴とするバグフィルタ装置。



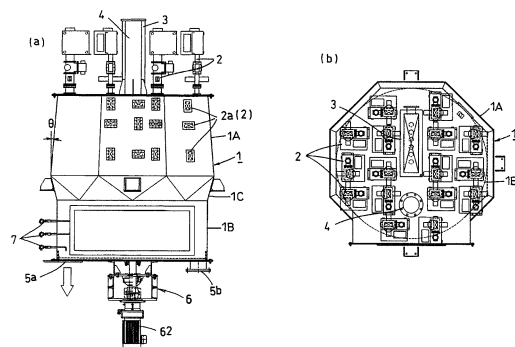
特許第4359630号 バグ式集塵機

【請求項1】筐体の内部を区画壁により上下に区画し、下部を含塵空気導入室、上部を浄化空気室とし、前記区画壁には多数の筒状のバグフィルタを取り付け、含塵空気をバグフィルタの下側から導入するバグ式集塵機において、前記バグフィルタに、バグフィルタの下端周部を覆いバグフィルタの下方にエア溜まりを形成するようにした筒体を配設したことを特徴とするバグ式集塵機。



特許第4417904号 有機ハロゲン化合物等の有害物質の処理装置

【請求項1】有機ハロゲン化合物等の有害物質が付着・吸着した固体を導入する筐体と、該筐体内に導入した有害物質が付着・吸着した固体にマイクロ波を照射するマイクロ波照射機構と、筐体内に導入した有害物質が付着・吸着した固体を攪拌する回転羽根を有する攪拌機構とを備えた有機ハロゲン化合物等の有害物質の処理装置において、前記攪拌機構の回転羽根を櫛歯状で、かつ、櫛歯の間隙の寸法を照射するマイクロ波の波長の1/2以下に形成したことを特徴とする有機ハロゲン化合物等の有害物質の処理装置。

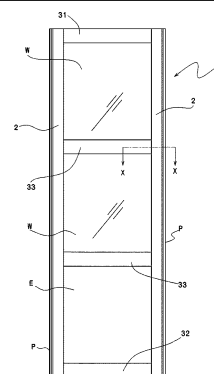


【建材事業部】

特許第4291349号 框扉

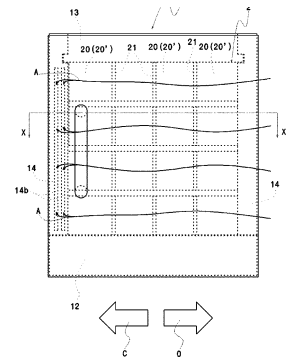
【請求項1】木製の堅框と横框とを備え、堅框の内側面に、横框の端部に形成した連結突部が嵌入する嵌入孔を設けた框扉において、堅框の外側面に全長に亘って形成した溝部に、金属製の補強部材を取り付けるとともに、前記横框の端部に形成した連結突部に、前記堅框との当接面にネジ穴を形成した断面コ字状の金属製の連結部材を取り付け、前記横框との接合箇所に対応する堅框及び補強部材に形成した小孔に挿通したネジを、前記嵌入孔に嵌入された連結部材に螺合することによって、堅框と横框とを接合したことを特徴とする框扉。

【請求項2】補強部材が、堅框に形成した溝部に嵌る断面コ字状部と、堅框の溝部を形成する両壁面を覆う断面L字状部とを備えてなることを特徴とする請求項1記載の框扉。



特許第4319638号 引戸装置

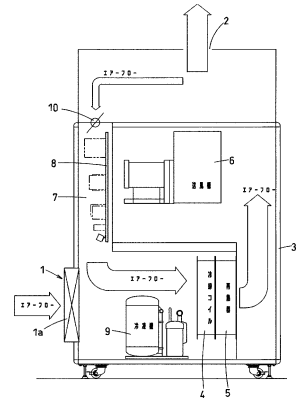
【請求項1】 出入り口に配置される引戸扉と、引戸枠部材と、該引戸枠部材の一侧に形成され、引戸扉を収納する戸袋とからなる引戸装置において、引戸扉を、下骨、上骨及び両縦骨によって枠組みし、表面に化粧板を配設するとともに、内部に芯材を装置し、前記芯材に空気清浄化物質を装入又は塗布し、引戸扉の両縦骨に、空気流入口と空気流出口を開口し、芯材表面と化粧板の間に、前記空気流入口と空気流出口に接続する空気流通路を形成したことを特徴とする引戸装置。



【空調システム事業部】

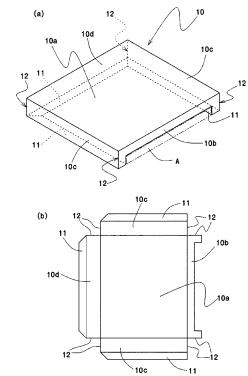
特許第4340673号 空調装置

【請求項1】 空気吸入口と空気排出口とが形成された筐体と、空気吸入口の下流側に配設された冷却コイルと、冷却コイルの下流側に配設された再熱器と、空気排出口から筐体内の空気を排出する送風機とを備えた空調装置において、冷却コイルと再熱器とにより温度調整した空気の一部を取り込んで再度冷却コイルに還流させるバイパス流路を設け、該バイパス流路に空調装置の制御盤を配設したことを特徴とする空調装置。



特許第4377418号 散水槽用カバー部材

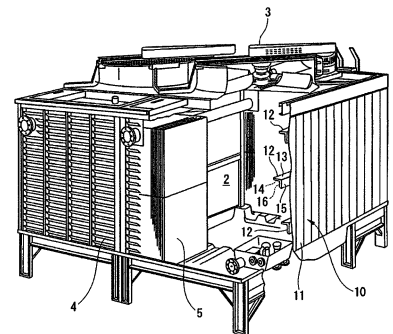
【請求項1】 上向きに冷却水を供給する送水管を備えた散水槽の上部を覆う散水槽用カバー部材において、散水槽用カバー部材の天板の周縁から側板を、側板間に隙間が形成されないように垂設することによって、散水槽用カバー部材を下方が開口した箱状に形成し、散水槽の側壁に接しない側板の下端縁に冷却水が通過する開口部を、該側板の側縁の近傍域を除いて、形成したことを特徴とする散水槽用カバー部材。



【冷熱事業部】

特許第4464426号 パネル、パネル取付構造及び冷却塔

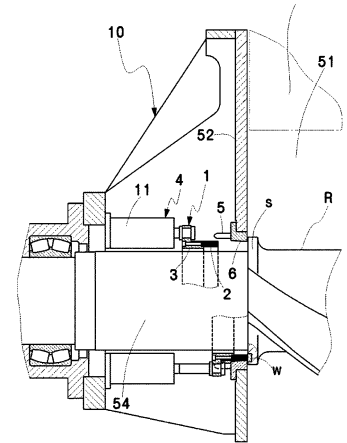
【請求項1】 パネルを取り付けるパネル取付フレームのパネル取付面と向き合うパネル本体と、このパネル本体の両側部に形成され、パネル取付面に押し当てられる取付基部とを備え、各取付基部に掛止部を形成し、該掛止部をパネル取付面の背面側に形成したパネル固定具装着面に押し当てられるパネル固定具の本体部分からパネル取付フレームを貫通して延びるアームに設けられた係止爪によって掛け止めるようにしたパネルにおいて、各取付基部には、該取付基部に突き合わされる別体のパネルの取付基部に設けられた先端側が上向きの係止凸部又は奥側が上向きの係止凹部と係合する奥側が上向きの係止凹部又は先端側が上向きの係止凸部が形成されるとともに、該取付基部に突き合わされる別体のパネルの取付基部に設けられた嵌合凹部又は嵌合凸部と嵌合する嵌合凸部又は嵌合凹部が形成されてなることを特徴とするパネル。



【株式会社モリヤマ】

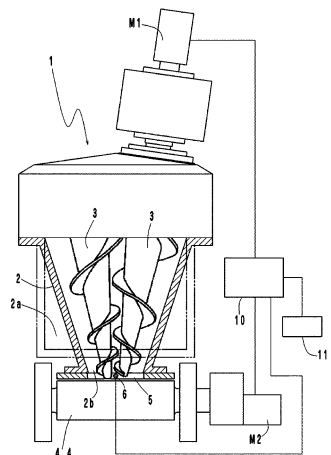
特許第4293778号 メカニカルシール

【請求項1】 ケーシング側壁を貫通してケーシング外に突出する軸部のメカニカルシールにおいて、軸に配設したリング状のパッキン受け部と、該パッキン受け部に摺接するリング状のパッキン押さえに固定したリング状のメカシールパッキンとよりなり、前記パッキン押さえを、軸と平行な方向に伸長作動する油圧シリンダのピストンロッドの先端に装着し、油圧シリンダの伸長作動に伴ってメカシールパッキンをパッキン受け部に対して離れた状態から、押し当て、その状態で軸を駆動手段によって回転するように構成するとともに、ケーシング側壁に軸と平行に突出形成した複数の係止部材と、前記パッキン押さえに開口した前記係止部材が挿入される位置決め孔とからなる係止手段を配設し、前記油圧シリンダの押し側回路にアキュムレータを組み込んだこと特徴とするメカニカルシール。



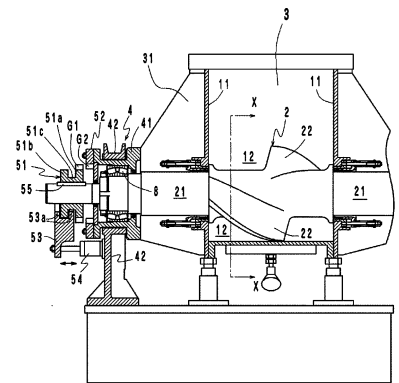
特許第4294005号 ローラヘッド押出機の制御方法

【請求項1】 バンク内に、押出材料を押し出すテーパスクリューと、前記バンク内に押し出された押出材料を押出成形するローラヘッドとを備えたローラヘッド押出機の制御方法において、予め設定した、ローラヘッド回転速度と、該ローラヘッド回転速度に対するテーパスクリュー回転速度の速度比と、該速度比のときのバンク内圧力を基準にしたバンク内圧力範囲を記憶し、記憶したローラヘッド回転速度と、該ローラヘッド回転速度に対するテーパスクリュー回転速度の比から算出したテーパスクリュー回転速度によって自動運転を開始し、バンク内圧力が、前記バンク内圧力範囲を外れたときに、ローラヘッド回転速度は一定のまま、テーパスクリュー回転速度を変更することによって、前記速度比を変更し、バンク内圧力が、前記バンク内圧力範囲に復帰したとき、当初の速度比に戻して、押出材料を押出成形することを特徴とするローラヘッド押出機の制御方法。



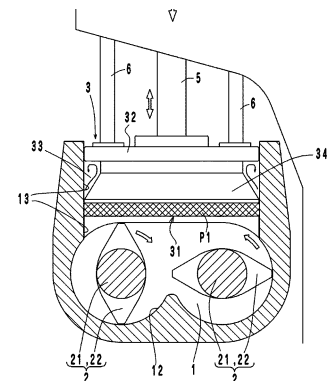
特許第4313332号 混練機

【請求項1】 混練材料を収容する混合槽と、該混合槽に収容された混練材料を混練する並列した2本のロータと、ロータを回転させるための駆動装置とを備え、前記ロータの一方のロータ軸を中心に、前記混合槽を混合槽反転機構によって反転させて、混練済み材料を排出する混練機において、ロータ軸の正逆の回転力を混合槽反転機構に伝達する、前記ロータ軸に沿って摺動操作されるロータ軸の正逆の回転力を伝達可能な伝達部材と、混合槽の側板に前記ロータ軸と同心状に設けた、前記伝達部材を摺動操作することによって伝達部材に噛合して従動する従動部材とからなる伝達機構を配設したことを特徴とする混練機。



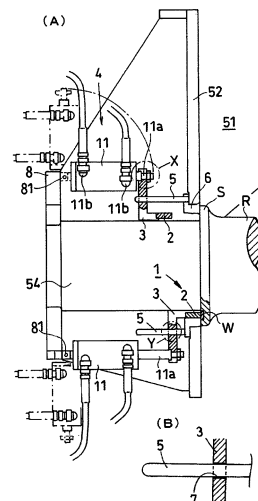
特許第4378339号 混練機

【請求項1】 混練材料を収容する混合槽と、該混合槽に収容された混練材料を混練する並列した2本のロータと、該混合槽の上部開口部に摺動可能に挿入される加圧蓋とを備えた混練機において、加圧蓋の混合槽との摺動部を、上下複数段に区分し、下段蓋には、該下段蓋と混合槽側壁間との隙間を可及的小とするパッキンを配備し、前記上下蓋間には空気溜まりを形成したことを特徴とする混練機。



特許第4393251号 メカニカルシール

【請求項１】 ケーシング側壁を貫通してケーシング外に突出する軸部のメカニカルシールにおいて、軸に配設したリング状のパッキン受け部と、該パッキン受け部に摺接するリング状のメカシールパッキンとからなり、該メカシールパッキンが装着されたリング状のパッキン押えを軸と平行な方向に移動可能になるように押圧手段にネジ止めによって装着し、該押圧手段の移行に伴ってメカシールパッキンがパッキン受け部と接離可能に構成するとともに、前記押圧手段を、パッキン押えから離脱させた状態で、後部を揺動可能に枢支した押圧手段を、軸近傍位置から退避させ、パッキン押え及びメカシールパッキンを軸に沿ってケーシング側壁から離れた位置に移動可能にしたこと特徴とするメカニカルシール。



【(株)イズミフードマシナリ】

特許第4458536号 粉体混合ポンプ

【請求項1】円筒状ケーシングの内部に、攪拌翼を備えたロータを同心状に配設し、該攪拌翼の回転により、ロータの前方に設けた流入口から攪拌翼の外側に液体を導入するようにしたポンプにおいて、円板状のロータの外周部に複数の攪拌翼を突設し、該攪拌翼の外側と内側とにスリットを有する筒状のステータを配設するとともに、該内側ステータの内側を液体の流路とチャンバとに区画する仕切板を形成し、該チャンバに連通する粉体流入口をケーシングに設けたことを特徴とする粉体混合ポンプ。

