

## 低発泡充填を可能にするスプレッドレス式飲料充填バルブの内部流動状況の定量評価技術による新型飲料充填機の開発

### Development of New Filling Machine by Quantification Technique for Flow Velocity Distribution in the Filling Valve without Spreader

小林 宜弘<sup>\*1</sup>  
Takahiro Kobayashi

内田 豊一<sup>\*1</sup>  
Toyokazu Uchida

石倉 真治<sup>\*2</sup>  
Shinji Ishikura

犬飼 規雄<sup>\*2</sup>  
Norio Inukai

多種多様な容器に飲料を充填する際、型替が必要な拡水部品（スプレッタ）を不要化できれば、多品種生産における生産性を大幅に向上することができる。飲料充填バルブの流路を適正化し、出口流速分布を均一化した流れで充填することにより、スプレッタの不要化に成功した。この際、PIV（粒子画像可視化流速計測法）とCFD（計算流体力学）を併用して、計測とシミュレーションを融合した手法で流路の最適化を行い、充填中に発生する泡の量を26%低減可能とすることに成功した。

#### 1. はじめに

飲料メーカーは消費者ニーズに応えるため、多種の飲料を開発し、多様な形状のPETボトルやボトル缶などの容器に飲料充填する多品種生産を行って市場投入している。このため品種切替時間の短縮は製造効率の向上につながるため、飲料充填機械にも型替え時間の短縮・操作性の向上が望まれている。

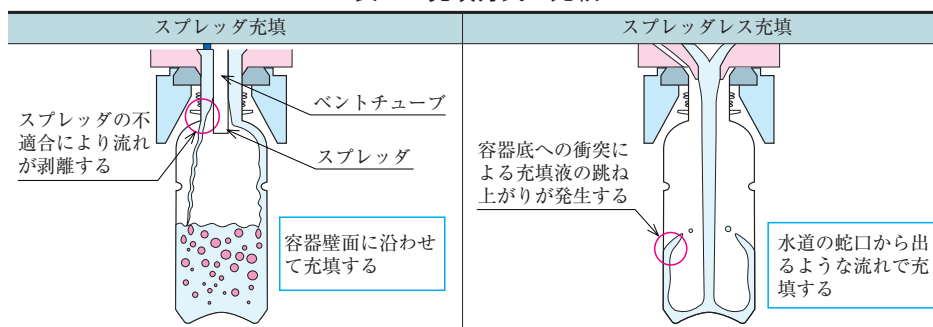
これまでの飲料充填機械は、水道の蛇口から出るような流れで飲料充填すると容器底や液面に衝突する際に泡が発生し、充填完了液位まで充填すると泡が容器から吹きこぼれ、充填不足や容器外部を汚す問題を引き起こす。泡が増加するのは、ノズル出口における流速分布の不均一性により噴流が乱れ、液面衝突により泡の巻き込みが増大することが原因である。発生泡量低減には充填流速を下げ衝突エネルギーを下げる

必要がある。このため充填液を容器首部近傍にあるスプレッタと呼ばれる拡水部品で容器内部に沿うように円錐状（環状液膜流）に広げ、容器内壁で減速させることで衝突エネルギーを減少させていた（表1）。ただしこのスプレッタは容器形状に合せた形状であるため、容器が変わると型替え時間に人手がかかるため、不要化が望まれていた。

当社では、このようなニーズにこたえ、衝突エネルギーが低く、発生泡量が少ないスプレッタ方式の充填バルブを開発した。衝突エネルギー低減の方法として、充填バルブ構造を最適化して充填流の流速分布平均化を行ない、ピーク流速を下げることを行なった。

このバルブ構造の最適化には流動解析（CFD：Computational Fluid Dynamics）を用い、さらにこの結果を粒子画像可視化流速計測法（PIV：Particle Image Velocimetry）で解析を検証する。このバル

表1 充填方式の比較



\*1 技術本部名古屋研究所産業機器研究室

\*2 三菱重工食品包装機械(株)技術部機械設計グループ

ブ内部流動状況定量評価技術により、バルブ構造最適化設計法<sup>(1)</sup>を確立した。以下にその概要を報告する。

## 2. PIV と CFD によるバルブ内流動状況の把握

PIV とは流れにトレーサ粒子を混入させ、連続した粒子画像から正規化相互相関法によって粒子移動量から流れ場の流速分布を求める手法であり、実機と全く同じ流路形状を持つ可視化充填バルブを用い計測を行った。

試験装置は図1に示すように、温調された循環水路を形成しており、水路途中に計測対象である可視化充填バルブを設置した。光源にはレーザーを使用し、シリンダリカルレンズで広げたスリット光を可視化バルブへ照射する。照射部をカメラで撮影し、得られた粒子画像から流速分布を算出する。

一方、CFD の解析モデルは図2に示すように三次元ハーフモデルで、時間平均型乱流モデル (RANS) を

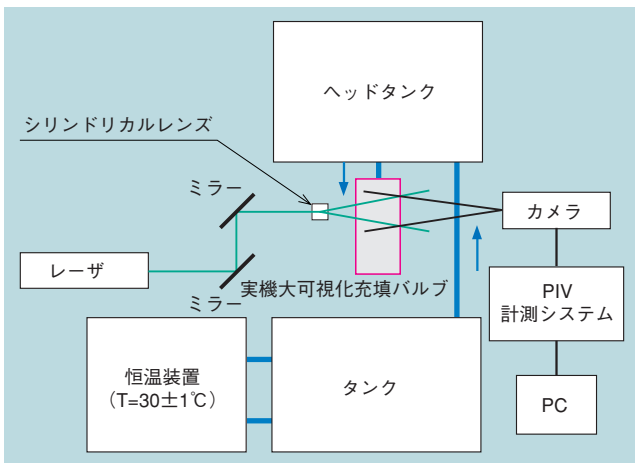


図1 PIV 計測試験装置

適用した。

PIV での流速分布計測結果と CFD での解析結果の比較結果を図3に示す。PIV 結果と CFD 結果とでは中心流速の誤差は2%，ピーク流速の誤差は5%であり定性的・定量的に良く一致している。このことから CFD を正しく行なうために重要な計算点配置、乱流モデル、境界条件が適正であることを検証できたと考える。

さらに、PIV 計測は、充填開始・停止時の非定常の流動状態が可視化できるので、CFD では困難な非定常状態の流動状態の定量化も、アクチュエータ挙動やシールゴム変形等を正確にモデル化することなく充填工程のすべてにおいて現象把握が可能であるので、今後更なる性能向上に寄与させていく予定である。

## 3. CFD によるバルブ構造の最適化とその効果

CFD を用いて充填バルブ内の形状を最適化しバルブ出口流の流速分布を平坦化することで発生する泡量低減を試みた。形状の最適化を行なうために、どの部分が出口流速分布の平坦化、乱れの低減に効果がある

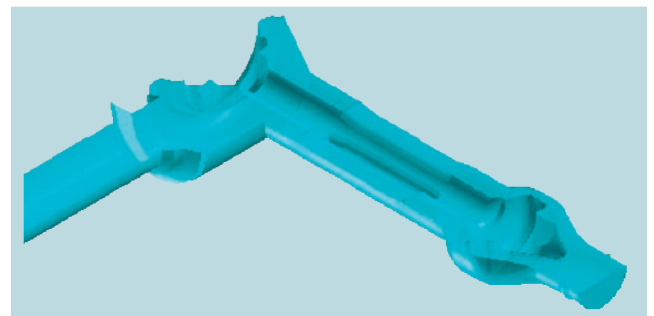


図2 CFD 解析モデル

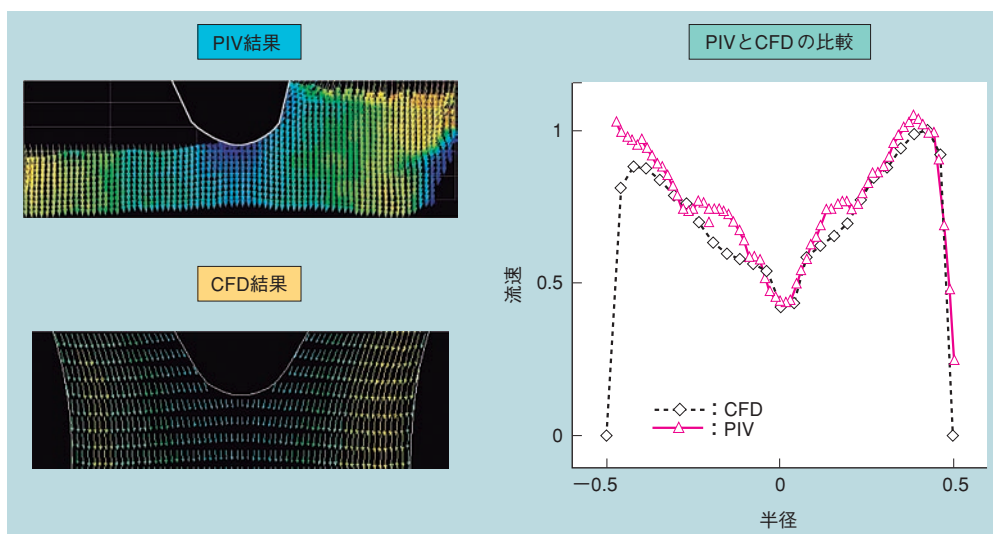


図3 PIV 結果と CFD 結果の比較

レーザー光の輝度不足により半径-0.5付近のPIV結果は正確に計測できなかったが、定性的・定量的に概ね良い相関が得られている。

かを調べた。

バルブ内の整流部構造や閉止弁、出口合流部形状等を CFD の構造パラメータとし、バルブ出口流速分布と乱流エネルギーを評価指標とした。最も出口流速分布の平均化、乱れの低減に効果があるのは、出口合流部形状であることを突き止め、この部分を中心に最適化を行なった。最適化したバルブと最適化前のバルブで発泡しやすい茶系飲料を充填したときの発生泡量を測定した結果、充填中に発生する泡量を 26% 低減することができた。

この充填バルブでの泡量はこれまでのスプレッド充填の約 1.3 倍であったが、回転式飲料充填機械に適用する場合、従来のスプレッド式は容器受け渡し時に上下動させる必要があるため、スプレッド式充填と同等の泡量となる流量に落として充填時間が長くなったとしても、スプレッドの上下動時間が無くなったことで、トータルでの有効充填時間は長くすることができ、スプレッドレス式の新型機はスプレッド式の従来機に比べ、生産性を同等にすることができた。この結果、無炭酸飲料専用の充填機械では容器に非接触で充填することが可能となり、サニタリ性も向上した。

#### 4. おわりに

PIV 計測と CFD 解析を用いた流動状況定量化技術を構築することで、試作回数を減らして充填バルブ内の流路最適化することを可能とし、容器底の衝突時に発生する泡を抑制するスプレッド不要化を実現した。

現在この充填バルブを用いて、炭酸飲料充填可能な充填機も開発した。今後この充填バルブを用いて多段変速充填(充填開始時は低流量で途中から高流量化し、

充填開始時の容器底での衝突エネルギーを下げ、発生泡量を低減させる充填方法)することにより、更に約 31% 発生泡量を低減し、スプレッド式並みの発生泡量で、スプレッドレス充填が行えることを確認しているので、更に生産性を向上した充填機も提供可能な状態である。

これにより新型機では従来の同じ生産量の機械に対して充填バルブ数を削減しメンテナンス性も向上させることができ、ユーザの負担軽減に貢献できると思われる。

スプレッドレス充填による型替性改善・生産性向上を含め、少しでも多くのユーザニーズに応えられるよう、より良い機械開発を進めていきたい。

#### 参考文献

- (1) 小林宜弘ほか、飲料充填バルブ内の流動状況の可視化及び流速分布の定量評価手法の検討、流体工学部門講演会講演概要集 No.05-32 (2005) p.146



小林宜弘



内田豊一



石倉真治



犬飼規雄