

# 射出コンプレッション方式を用いた プリフォーム成型機の開発



おがさわら・なおや  
2010年サントリーホールディングス株式会社入社。  
天然水工場勤務を経て  
サントリーMONOZUKU R I エキスパート株式会社  
包材部所属。  
現在はペットボトルおよび  
プリフォームの設計開発担当。

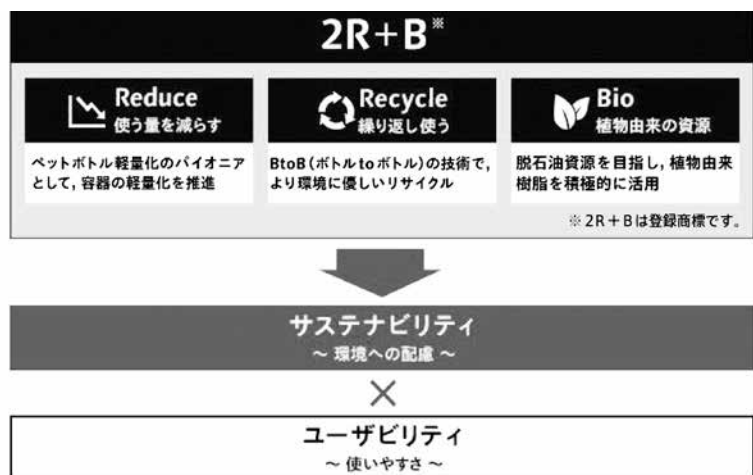
小笠原 直也

## 1. はじめに

サントリーグループは企業理念「人と自然と響きあう」に基づき、最高品質の商品・サービスをお客さまにお届けするとともに、持続可能な地球環境を次世代に引き継ぐためにさまざまな環境負荷低減活動をおこなっている。商品を守り品質を保持する役割を持つ容器包装の多くは、お客さまが中味を消費した後、廃棄物となる。サントリーグループでは容器包装の社会的な影響を認識し自主基準「環境に係る容器包装等設計ガイドライン」設定（1997年）以降、飲料業界トップレベルの環境に配慮した容器包装の開発に取り組んでいる。

ペットボトル開発においては、樹脂使用量の削減（Reduce）と再生素材の使用（Recycle）により徹底した資源の有効活用を図りつつ、可能な範囲で石油由来原料を植物由来原料で代替（Bio）していく考え方で取り組むことで、環境負荷を低減している。これをペットボトルの「2R+B」戦略（第1図）としている。ペットボトルの軽量化による原材料の削減（Reduce）については「サントリー天然水」550mLにおいて、独自開発の国産最軽量（11.3g）ボトルを実現し、2Lボトルについては29.8gとし、国産2Lペットボトルで初めて30g以下のボトル重量を実現した。

サントリープロダクツ株式会社 <sup>ほろな</sup> 榛名工場ではさらなる容器軽量化の展開、容器輸送時の燃料・



第1図 サントリーのペットボトル開発「2R+B」戦略

CO<sub>2</sub>排出量の削減を目的として、PET樹脂「レジジン」からペットボトル用プリフォームを成型する新製造ラインを導入し、2016年7月より製造を開始した。本ラインにおけるプリフォーム成型機は従来の射出成型方式とは異なる世界で初めての「射出コンプレッション成型方式」を採用しており、従来方式に比べ軽量化に適した薄肉で延伸倍率の最適化が可能なブロー成形性に優れたプリフォームを生産可能としている。

## 2. 射出コンプレッション成型方式の特徴

榛名工場を導入した「射出コンプレッション成型機」はイタリアのSIPA S.p.A社（以下、SIPA社）で開発されたシステム（XTREME）である（第2図）。「射出コンプレッション成型」は、72型または96型（榛名工場は96型機を導入）の金



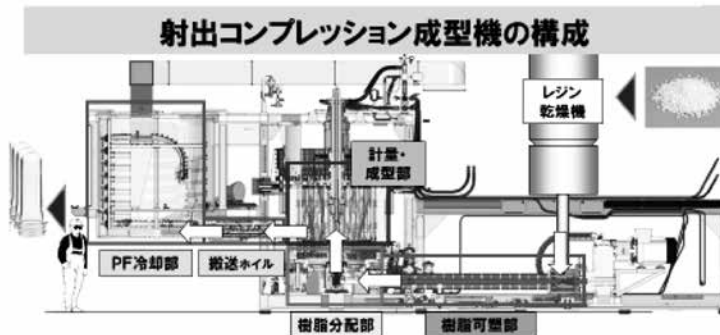
第2図 SIPA社射出コンプレッション  
プリフォーム成型機「XTREME」

型のおおのにおに射出シリンダーを持ち、溶融した樹脂をおおのの金型に定量射出する。この際、コア金型は最大10mm上がっており、射出完了後、コアを高圧エアで押し下げ、プリフォームをコンプレッション成型する。すなわち射出成型の特徴とコンプレッション成型の特徴を併せ持った方式である。射出コンプレッション成型機の成型フローを(第3図)に、従来方式との比較を(第4図)に示す。

従来の成型方式と比較した「射出コンプレッション成型方式」の利点は以下があげられる。

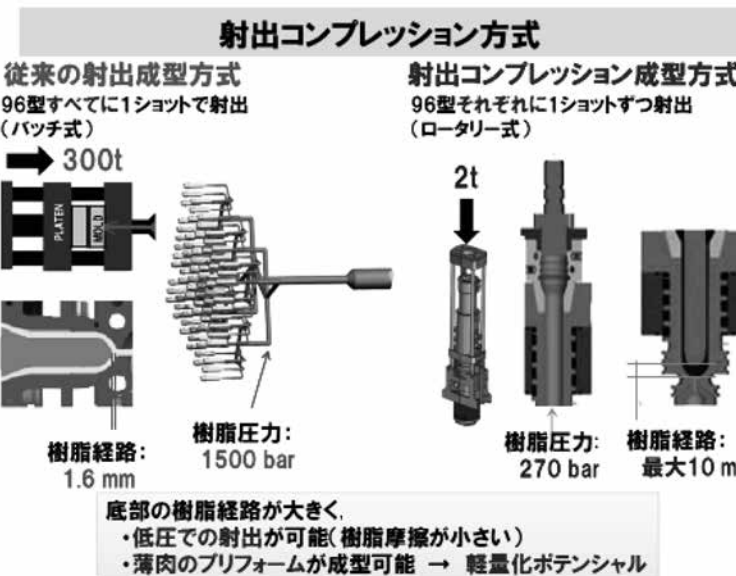
①プリフォーム薄肉化による最適設計・軽量化

従来の射出成型方式では金型を完全に閉じた状態で射出するため、樹脂の流動経路確保のためプリフォームの肉厚に制約があり、特に軽量化の進んだプリフォームにおいては肉厚確保のためにプリフォームが短く、または細くなりブロー成形性に影響を与えることがあった。本方式では射出時にコアが上がるため金型の隙間が広くなり、従来よりもプリフォームの肉厚を薄く設計することができ、軽量化したプリフォームであっても最適な延伸倍率でブロー成形性の良好なプリフォームを設計することが可能となった。またコアの上下動作のため底部から余分な肉を抜いて軽量化が可能である。このような特徴から、本システムは特に小容量の軽量プリフォームの成型機として非常に有利である。



- 樹脂可塑部 ...可塑化スクリーによるせん断及びバンドヒータによる熱により樹脂溶融。
- 樹脂分配部 ...溶融した樹脂をディストリビューターで分配し、各成型ステーションに分配する。
- 計量・成型部 ...3ヘッド一組で32ステーションで構成される。(計96型) シリンダーで樹脂を計量し射出。射出完了後、コアを押し込み成型される。
- 搬送ホイル ...成形PFをホイルアーム先端のカップで受取り、検査後、PF冷却部へ受け渡す。
- PF冷却部 ...螺旋状のユニットで構成され、PF口部から挿入されたノズルエアにより冷却。

第3図 射出コンプレッション機の構成(カラー図表をHPに掲載 C060)



第4図 射出コンプレッション方式と従来射出方式の比較  
(カラー図表をHPに掲載 C061)

②射出速度を高くでき、サイクルタイムが短く生産性が高い

射出時の抵抗が少ないため、樹脂の射出速度を20g/秒以上(一般的には10~12g/秒といわれる)まで高くすることができ、従来方式に比べ成型サイクルタイムを短縮することが可能で高い生産性を実現可能である。

③ロータリー式のためプリフォームの連続排出が可能

設備はロータリー式でありプリフォームは金型から連続排出されるため、機内での検査が可能で

ある。成型機の外に検査機を設置する必要がなく、従来方式に比べ成型ラインのシンプル化と面積の極小化が可能である。

### 3. 本システム導入の過程で 取り組んだ主な課題と方策

本方式は世界初のシステムとなるため、導入に際して入念なプリフォームの品質・設備信頼性の評価を実施した。

#### ①プリフォームの設計について

・榛名工場のプリフォーム成型ラインにおける

対象プリフォームは、500mL帯の飲料用ペットボトルとしては国内でも最軽量レベルである15gを狙いとした。プリフォームの形状設計においては、射出コンプレッション方式の特徴である薄肉プリフォームが成型可能であることを活かし、15gでありながら、従来の20gプリフォームと同等の外寸法とした。延伸倍率を最適化することで、280～650mL製品まで広く使用可能なプリフォームを実現することができるとともに、従来のプリフォームと同等の外寸法とすることで、短く細いプリフォームに対応していない旧式のブロー

成形機でも本システムで成型した15gのプリフォームが使用可能となり、容器展開の幅が広がった。

・目標の成型サイクルタイム（＝生産能力）を実現するためには、成型後のプリフォーム冷却の効率化が重要である。今回開発したプリフォームでは胴部を薄肉化しているため、もっとも厚肉の箇所は瓶口部となっており、瓶口の冷却の効率化が重要となった。今回、瓶口高温部のより近傍に冷却水パスを設置し、効率的な冷却を実現するため、瓶口の金型に3Dプリンター技術を活用したDMLS金型（Direct Metal Laser Sintering）（第5図）を採用し、成型サイクルタイムの最適化をおこなった。

・コンプレッション成型時にはコア金型が上下に動作するため、コア金型と固定側の金型との合わせ面にあたるプリフォーム瓶口部の金型割り位置が非常に重要である。金型の割り位置については以下の3パターンで試作をおこなった（第6図）。

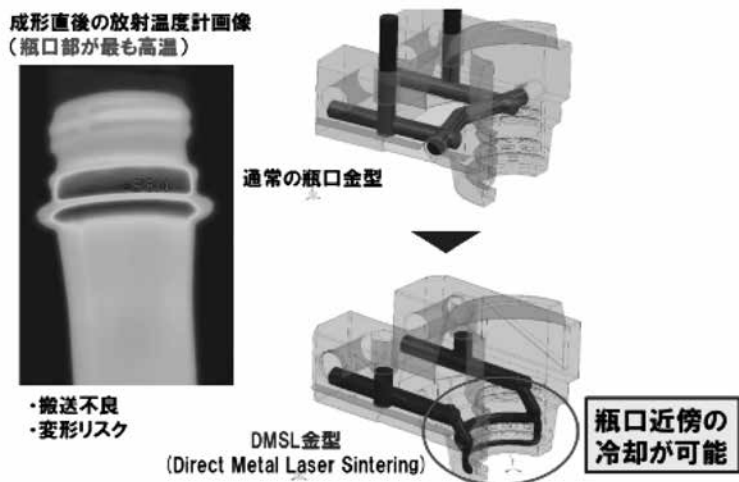
パターン A. 瓶口外面側  
（結果）金型に鋭利な箇所ができ、鋭利部で割れが発生。

→金型耐久性の観点から採用不可。

パターン B. 瓶口中央部

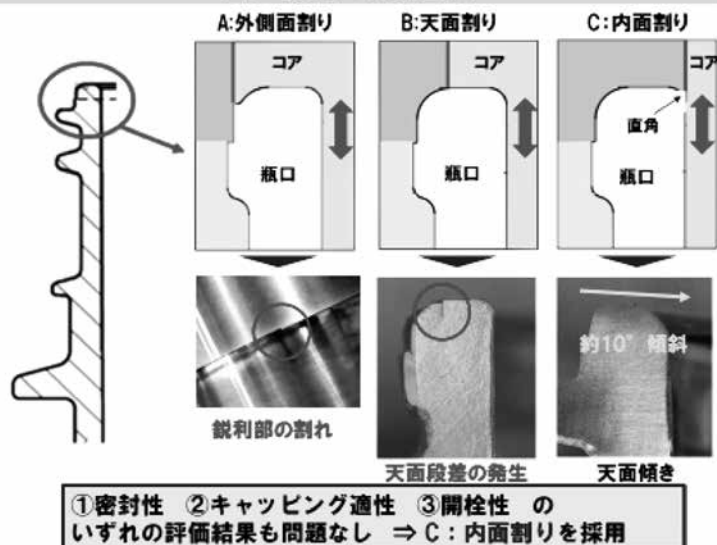
（結果）コアの動作により、樹脂が過充填気味になった際には口天面に段差が

#### 金型冷却設計の最適化



第5図 金型冷却設計の最適化 (カラー図表をHPに掲載 C062)

#### 金型設計の最適化



第6図 金型割り位置設計の最適化 (カラー図表をHPに掲載 C063)

発生するリスクあり。

パターン C、瓶口内面側（パターン A の結果を考慮し、接触部を直角とした）

（結果）コンプレッション時に口天面内側に自然に R が形成される。樹脂がコアに追従することで、口天面が若干傾く傾向あり。

パターン B / C については、天面段差・バリの発生リスクと密封性能への影響を慎重に評価を実施した。

パターン B については瓶口の成型性は良好であったが、コンプレッションの構造上、プリフォームの重量がばらついた際には天面に段差・バリが発生するリスクがあると考えられたため、今回の採用は見送った。ただし、榛名工場における試運転や生産の実績から十分な重量の安定性が確認されたため、次回以降に金型を製作する場合にはパターン B も検討可能と考える。

パターン C についてはコンプレッション時に口天面付近の樹脂がコアに追従するため、10～20°程度の口天面の傾きが発生する。密封・開栓性能としては、1 ピースの樹脂キャップは構造上インナーシールが主流であるため、口天面の傾きは密封性には影響しないと思われるが、確認のため**第 1 表**に示した密封性評価を実施した。この評価結果から本プリフォームは我々サントリーブランドのペットボトル飲料に適用可能な十分な品質を確保していると判断し、最終的な瓶口割り位置については「パターン C、瓶口内面側」を採用した。

## ②設備設計について

・本成型機の特徴として各金型に射出シリンダーを持つため、金型ごとの重量調整が可能である。これにより、金型ごとの微妙な寸法差等を考慮した金型ごとの最適な重量設定が可能で、より安定

**第 1 表** 金型割り位置パターン C のキャッピング評価

	密封性能		開栓性能
	落下衝撃	瞬間耐圧	1stトルク
巻締め角度	巻角下限		巻角中心
評価基準	1 m 落下	50psi×1分	110±40Ncm
A社キャップ	OK (n=10)	OK (n=10)	ave. 100Ncm σ6.0
B社キャップ	OK (n=10)	OK (n=10)	ave. 116Ncm σ5.7

したプリフォーム品質を実現できた。

・従来型のプリフォーム成型機との大きな相違点のひとつは、高温下での熔融樹脂の分配方法である。本設備はロータリー式であるため、高温の樹脂を回転体の中で各金型に分配するためのロータリージョイントが必要になる。設計においては各構成部品の熱膨張およびその吸収構造に十分な注意をし、評価をおこなった。

・本設備の稼働は榛名工場が世界初となるため、イタリアの SIPA 社工場において80時間程度の実成型運転を実施し、設備の信頼性・耐久性の評価を実施した。設備出荷の条件として、下記項目について SIPA 社との議論をおこない、確認の上で設備の出荷判断をおこなった。

a. 目標の生産速度で生産されるプリフォームが要求品質を満たすこと

（日間変動・金型内変動を考慮しても十分に品質を満たすこと）

b. 連続運転における設備単体の稼働率が目標値を満たすこと

c. 発生した不具合については、原因究明と対策立案が完了していること

d. 連続運転終了後、機械の主たる箇所を分解し、異常な損傷・磨耗のないこと

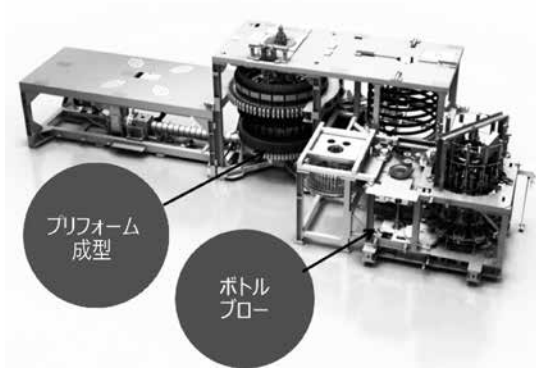
e. 榛名工場内で想定される作業について、安全性・作業性が確保されていること

## ③射出コンプレッション成型機の稼働状況について

本成型機は上記にあげたような包材設計・設備設計に関する課題をクリアし、榛名工場に搬入後、当初の予定よりも約1年の遅れをもって2016年7月よりプリフォーム生産を開始した。運転時間を徐々に延長し、連続運転時間が12時間に達した2016年9月の稼働率は平均で90%以上を達成した。

## 4. 本技術の将来性

射出コンプレッション成型機 XTREME は、従来の射出成型方式とは異なりロータリー式であるため後工程となるブロー成形機との直結が可能であり、プリフォーム成型時の熱を用いてブロー成



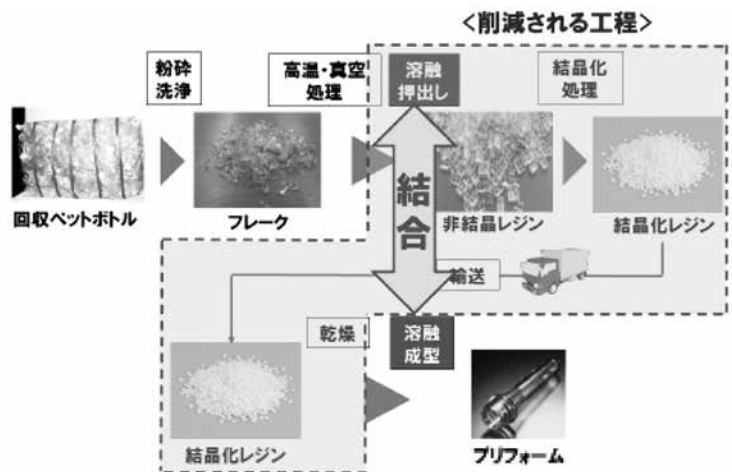
第7図 SIPA社提案「XTREME SINCRO」

形することでさらなる省スペース化と省エネルギー化を見込むことができる。SIPA社では2014年にXTREME機とブロー成形機を直結させたXTREME SINCROシステム構想(第7図)を発表した。

また、同様に前工程との連結も可能である。リサイクルPETフレークを原料として投入し、フレークをメカニカル処理する設備を上流工程に連結することによって、フレークから直接プリフォームを成型することができる(第8図)。サントリーホールディングス株式会社は、ペットボトルリサイクルを手がける協栄産業株式会社、射出コンプレッション成型機を開発したSIPA社、PETフレーク処理設備を製造するEREMA社(オーストリア)と4社共同によってこのダイレクトリサイクル技術の開発に成功した。リサイクルPETフレーク(Flake)、プリフォーム(Preform)の頭文字を取り、本技術をF to Pダイレクトリサイクル技術と呼んでいる。

技術開発にあたっては、機械をSIPA社内で組み立て、実際にリサイクルPETフレークを投入しプリフォームを成型しながら、フレーク処理機側から成型機側に送られる樹脂圧力の安定性などの技術検証をおこなった。

本F to Pダイレクトリサイクル技術は、メカニカルリサイクルPETレジンをプリフォーム成型工程に投入する従来の工程と比較して4工程削減することにより、CO<sub>2</sub>排出量を約25%削減する



第8図 F to P(フレーク to プリフォーム)ダイレクトリサイクル技術(カラー図表をHPに掲載C064)

ことが可能な見込みである。本技術は、協栄産業株式会社に導入され、製造されたプリフォームは2018年夏以降、サントリー食品インターナショナル株式会社の製品に順次採用される予定である。

## 5. おわりに

サントリープロダクツ(株)榛名工場において、世界初の射出コンプレッション成型機を導入し、2016年7月より生産を開始した。

射出コンプレッション成型方式の特徴を活かし、薄肉で280～650mLまでの幅広い容量帯に使用可能なブロー成形性に優れたプリフォームの開発をすることができた。榛名工場では本システムにより年間約3億本のプリフォームの製造を計画している。

また、この射出コンプレッション成型機の応用として、F to Pダイレクトリサイクル技術の開発に成功し、協栄産業株式会社に導入される。製造されるプリフォームは2018年夏以降、サントリー食品インターナショナル株式会社の製品に順次展開される予定である。

最後に、本システムの開発にあたり世界初の技術確立の苦勞を共にしてくれたSIPA社の担当者・技術者の皆さまのご協力とご貢献に、心から感謝申し上げます。