

ガラス成形プロセスに対する理解を深める

Emhart Glass社

工業ガラスの成形工程は、原材料の溶解と精製、前炉での熔融ガラスの冷却と調整、供給装置での連続的なガラスの流れからガラス塊への遷移、および個別装置での実際の成形プロセスといったユニツプロセスが複雑に連続するものである。一方、ガラス容器の成形は、大きく分けて次の5段階となる供給装置でのガラス塊の形成、型へのガラス塊の移動と挿填、パリのン（Parison）の圧縮成形またはブロー成形、中空へのパリのンの反転、容器の再加熱と最終的なブロー成形。

圧縮成形またはブロー成形の工程では、いったんガラス塊が型に挿填されるとプランジャーはガラス塊を圧縮してパリのンの形状を作り上げる。この段階でパരിンは逆さまになるので、空気が送られて最終形状になる前に反転させる必要がある。この役目を担うのがスイングアームで、パリンを吹き込み用の鑄型に反転させる。鑄型では、所定のボトル形状に吹き込まれる前にパリのンの表面が再加熱される。容器がブロー成形され、成形後の変形がほとんどなくなるまで冷却されると、ボトルは鑄型から取り出され、コンベヤーにのせられ、検査を受けることになる。

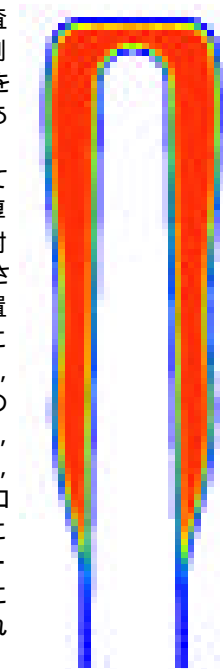
加工工程のガラスは非常にもろいため、正確な設計情報を得るには完全なモデリングが必要だ。特に、ボトルの最終的な厚みの分布をコントロールするためには、上流へ向かう加工条件の影響を考慮した総合的なアプローチが重要となっている。

Emhart Glass社では、ガラス成形設備の解析と設計にFLUENTとPOLYFLOWを利用している。その主な目的は、プロセスパラメーターに対する最終製品の感度を判断するこ

と欠陥の原因を調査すること、コストと時間を削減しながら製品設計を改善することの3つである。

プロジェクトによっては、ボトルの最終的な厚み予測における放射モデルの影響も調査された。前炉と供給装置の領域のモデリングにはFLUENTが使われ、成形段階（ガラス塊の形成、ガラス塊の挿填、パリのンの圧縮、反転、パリのンの再加熱、ブロー成形）のモデリングにはFLUENTのシミュレーション結果を基にPOLYFLOWが使われた。

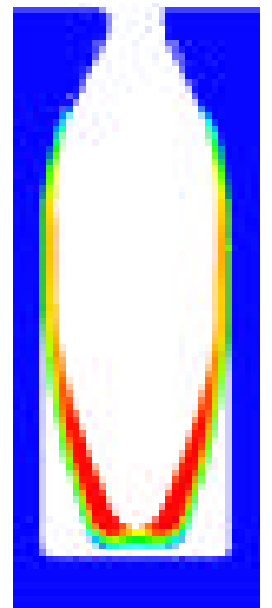
圧縮のシミュレーションは、過酷なメッシュ変形にも連続計算が可能となる新開発のmesh-to-mesh補間技法を使用した。ネック部分はかなり冷却され、きわめて高い粘度になる。パリンは、その後かなりダイナミックな3次元計算で反転され、仕上げ用の鑄型に移された。ガラスパリのンの中心部が熱伝導と熱放射によって表面を再加熱する際、熱の作用が強い影響を及ぼし続け、パリンは自らの重みでたろんでくる。最終的には、ガラスが鑄型に接触するまで圧力がかけられる。パリのンの再加熱と最終的なブロー



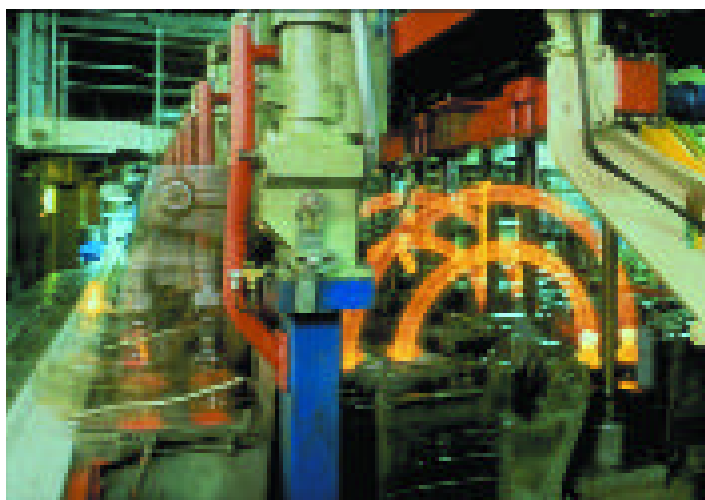
パリのンの圧縮成形

た、温度と粘度の分布にはかなりの違いがあった。この相違する結果は成形モデルに送られ、ボトルの最終的な厚み予測での顕著な相違を得るのに用いられた。

このプロジェクトの結果、ガラス成形プロセスの重要段階の一部に十分対応できるPOLYFLOWの強力な性能に加え、FLUENTで利用できるDOMなどといった正確な熱放射モデルの必要性が明らかとなった。ガラス成型加工は上流の粘度変化に敏感なため、処理加工の初期段階から後の段階へと情報を転送することは重要な要素であろう。この意味で、FLUENTとPOLYFLOWの組み合わせは、容器形成プロセスのモデリングに対する統合的なアプローチを開発する上で大きな戦力となることが証明されたと言える。



パリのンのブロー成形



製造ラインにおけるパリのンの仕上げ用鑄造への反転 (提供: Emhart Glass社)

成形に関しては、ブロー成形計算用のPOLYFLOW本来の再メッシュアルゴリズムが非常に順調な処理を行ない、問題なく完全な解決策を得ることができた。

前炉と供給装置におけるガラスのモデリングには、ディスクオートデネートモデル (DOM) と有効熱伝導率モデルの2つの熱放射モデルが使われた。予測の感度を評価するため、両者の結果が成形シミュレーションに移され