

## C122

## 蒸気直接接触加熱における気泡径評価モデルの研究

(森永乳業・装置研)  
(千代田アドバンスソリューションズ)

(正) 設楽英夫、(法) 尾辻淳一  
○ (法) 石川恭司\*

## [緒言]

液状食品の製造工程には、食品に直接蒸気を吹き込んで加熱する殺菌方法がある。この蒸気直接接触加熱では、ノズルを通して蒸気を食品に吹き込み、数秒以内という極めて短時間に殺菌を行う。この瞬時高温加熱時の食品の品質・物性を保持するためには、食品と蒸気の混合現象を正確に把握することが重要である。本研究では、数値流体力学 (CFD) によるシミュレータを作成し、装置内の流動状況から殺菌効果の把握を行った。

前報<sup>1)</sup>では、液流量 2,150kg/h とスケールアップした液流量 10,000kg/h の実装置を対象として装置内の混合現象を CFD シミュレータにより計算し、蒸気が食品中で凝縮を完了する長さ (混合長さ) が実験結果とほぼ一致することを報告した。但し、シミュレーション結果の混合長さは、蒸気吹き込みノズル部の初期蒸気の気泡径によって異なった。本研究では、よりシミュレータの精度を高めるため、ノズル部の初期気泡径の推測方法、乱流モデル等を見直してシミュレーションを行い、装置入口気泡径と混合長さの関係について考察した。

## [計算方法]

本研究では、前報<sup>1)</sup>と同様にオイラー多相流モデルにおいて、蒸気気泡径の変化率と輸送を考慮したモデルにて計算を行った。このモデルでは、気泡の凝縮速度は気泡径の輸送式のソース項として与えて、装置内の気泡径分布を考慮した。

乱流モデルは、前報<sup>1)</sup>では標準  $k-\epsilon$  モデルを用いたが、本研究では Shear Stress Transport (SST) モデルを用いた。この乱流モデルは、壁面では乱流/周波数ベースのモデル ( $k-\omega$ ) を解き、バルク流では  $k-\epsilon$  を解くモデルで、蒸気吹き込みノズル部等の壁面せん断応力の予測精度が改善すると期待される。

## [計算条件]

計算用モデル形状は二次元軸対称とし、実装置と同一寸法とした。ノズル近傍では 0.2mm 角のメッシュサイズとした。

実験条件である、80℃の水 10,000kg/h を 150℃まで、160℃の蒸気で加熱する場合を計算の対象とした。

蒸気吹き込みノズル部の初期蒸気の気泡径には、新たに初期気泡径が表面張力等の物性値に依存していると仮定する推算方法を導入した。この推算方法は、以下に示す式<sup>2)</sup>を用い、オリフィスより噴出される気泡にて流量の影響を考慮しない場合に気泡の内面に掛かる圧力と表面張力が釣り合うとの考えに基づく。

$$(\rho_l - \rho_g)gV_F = \pi D\gamma \cos \theta \quad (1)$$

$\rho_l$  [kg/m<sup>3</sup>]:液相の密度  $\rho_g$  [kg/m<sup>3</sup>]:気泡の密度  
 $\theta$  [rad]:気液の接触角  $D$  [m]:オリフィスの径  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>]:重力加速度  $V_F$  [m<sup>3</sup>]:気泡の体積  
 $\gamma$  [N/m]:表面張力

初期気泡径は、式(1)より得られた気泡の体積から、気泡が完全な球と仮定して求めた。上記の推算方法から、液流量 2,150kg/h の場合、初期気泡径は 5.5mm、液流量 10,000kg/h の装置の場合、初期気泡径は 7.0mm を採用した。

## [計算結果]

中心軸上の水の体積割合、混合長さ及び水の温度を図 1 に示す。液流量 2,150kg/h の場合の混合長さは、実測では 440mm であるが、シミュレーションでは 380mm となった。液流量 10,000kg/h の場合の混合長さは、実測では 800~850mm であるが、シミュレーションでは 870mm となった。両方の装置で混合長さは実験とほぼ一致した。

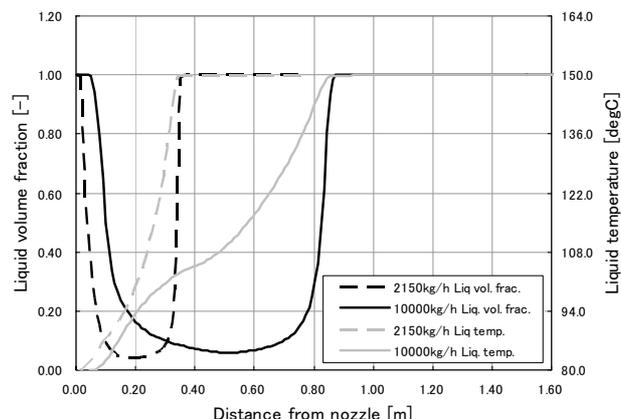


図 1. 中心軸上の水の体積割合、温度

## [結論]

蒸気直接接触加熱で液状食品と蒸気が混合する過程に、気泡径変化を考慮したオイラー多相流モデルを用い、ノズル部の初期気泡径を表面張力に依存するとして推算してシミュレーションを実施し、混合長さが実験結果とほぼ一致した。

## 参考文献

- 1) 設楽英夫, 石川恭司, 小林治樹 化学工学会第40回秋季大会発表講演要旨集, D213 (2008)
- 2) Tsuge, H.: "Concepts in Basic Bubble and Foam Engineering", TechnoSystem, Tokyo, Japan (2005)

\*Tel : 045-441-1284, Fax : 045-441-1288

e-mail : [kyoji.ishikawa@chas.chiyoda.co.jp](mailto:kyoji.ishikawa@chas.chiyoda.co.jp)