

# 過熱水蒸気に空気が混入した場合の 加熱効率および品質の変化 —スチームコンベクションと過熱水蒸気機器の違い—

Influence to heating efficiency and quality of food  
when air mixed in superheated steam

阿部 茂

北海道立食品加工研究センター 食品開発部

〒 069-0836 北海道江別市文京台緑町 589-4

Tel: 011-387-4119 Fax: 011-387-4664 E-mail: abe@foodhokkaido.gr.jp

Tsutomu Abe

Hokkaido Food Processing Research Center, Dept. of Food Development

589-4, Bunkyodai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-0836

Tel: +81-11-387-4119 Fax: +81-11-387-4664 E-mail: abe@foodhokkaido.gr.jp

## 研究の分野

本研究は過熱水蒸気機器に空気が混入して発生した数件のクレームによって始められたものである。

過熱水蒸気 (Superheated steam = SHS ) は通常の蒸気をさらに 100 °C 以上に加熱した高温の水蒸気ガスであり、極低酸素、高凝縮潜熱、ガス放射熱等の特長を有する。これまでの研究により、食品加工において過熱水蒸気処理は従来の加熱方法と比較して、エキス損失低減、歩留まり改善、色調改善、物性改善、および表面殺菌などの様々な効果を有することが明らかとなっている。

最近になって食品企業による大型過熱水蒸気機器の導入が進み、高品質な加工食品が相次いで開発、製造され始めた。しかし一方で、過熱水蒸気機器の空気混入を原因とする問題が浮上した。これは、過熱水

蒸気機器の大型化や老朽更新に伴って、機器構造を変化させた時や、複数の機器の性能比較を行った場合に、同一品質が製造できない (悪くなった)、製造条件が全く異なる、などの相談が多く寄せられるようになって判明したことである。

過熱水蒸気はその特性から上方に滞留しやすく、余剰蒸気はコンベア出口の上方から排出される。その時、下部が陰圧になるため処理部出入り口の下部や機器の空隙部分から空気を巻き込むことが原因の一つと考えられている。数社の機器の酸素濃度を計測したところ、酸素が 3 ~ 15% 混入している (大気は約 21%) ことが判明した。過熱水蒸気に空気が混入すると、加熱効率の悪化、食品表面の過乾燥、表面のコゲ、異臭などが起きることが予想され、食品機械メーカーの機器ごとに酸素濃度が異なっているようであれば、食品企業にとっては安定した品質の製品を製造できない危険性が高まることになる。

一方で、過熱水蒸気機器とスチームコンベクションの違いについては数年前から議論があった。当時は実作業時の明確なメリットを見いだすことができなかったために、スチームコンベクションと比較して高額な過熱水蒸気機器の普及が進まなかったという経緯があった。しかし、その後の研究で必要十分な過熱水蒸気の供給によって、過熱水蒸気処理によるメリットが最大限に活用できることが明らかとなり、スチームコンベクションでは生み出すことのできない様々な効果を発揮できるようになった。加えて、スチームコンベクションでは構造上空気が混入するために、無酸素状態で加熱を行うことができる過熱水蒸気機器とは品質が異なることが予想されている。

### 過熱水蒸気のみカニズム

過熱水蒸気はスチームコンベクションをPower upした加熱方法である？

#### 1. 過熱水蒸気利用のポイント

食品に過熱水蒸気処理を行った場合は、以下の順序で加熱が行われる。加熱初期段階では食品の表面温度が低いために過熱水蒸気が凝縮し、その凝縮伝熱により食品が加熱される。次いで食品表面の温度が上昇し、食品表面が 100℃を越えた段階から過熱水蒸気の顕熱による加熱が行われる(図1)。

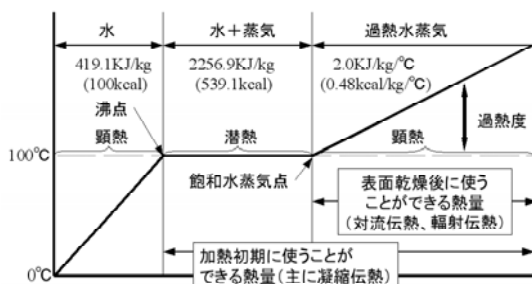


図1 過熱水蒸気による加熱メカニズム

過熱水蒸気を行った場合の食品の重量変化を模式的に表したのが図2である。食品加工における過熱水蒸気処理では、食品表面に水分が凝縮している時間と食品内部までの加熱時間のバランスが、その製品品質を決定する。そのパラメータは処理温度、処理時間、蒸気量、空気混入率、(+コンベア内のゾーンニング)の4条件からなる。

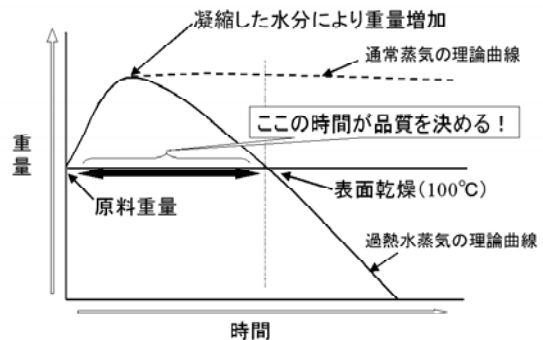


図2 過熱水蒸気処理時の重量の理論曲線

#### 2. 高温空気やスチームコンベクションと過熱水蒸気の違い

高温空気、スチームコンベクション、および過熱水蒸気を用いた加熱処理では図3の模式図に示したように、酸素濃度と蒸気量の違いにそれぞれの特性を見いだすことができる。この場合、酸素濃度が少なく、蒸気量が多いほど加熱効率が低いことを示している。

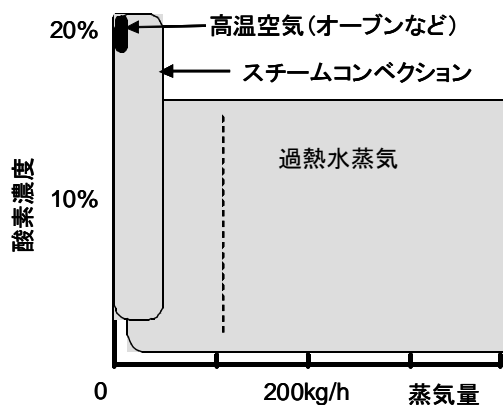


図3 各加熱方法の酸素濃度と蒸気量の模式図

注1 他の熱媒体の影響は無視  
注2 処理槽内の実測値を想定

## 研究目的および内容

本研究では過熱水蒸気に空気に混入した場合の食品に対する加熱効率や品質に与える影響について検討を行う。

### 1. 実験条件

過熱水蒸気機器内の空気混入率を 14 % (酸素濃度 3 %), 50 % (酸素濃度 10 %), および 72 % (酸素濃度 15 %) になるように調整した。処理温度は 150 °C, 蒸気量は約 140kg/h-m<sup>2</sup> で一定とした。試料には 4cm 角に成型したバレイショ (品種:男爵) を用い, 各測定値は3個の平均値とした。

### 2. 結果

#### 1) バレイショ中心部の温度変化

図 4 に示すように, 酸素濃度が大きくなるほど, バレイショの中心部の温度上昇が遅くなるのがわかる。特に中心部温度が 90 °C に到達する時間では, 酸素濃度が 3% と 15% で 16 分の開きが生じた。この結果は過熱水蒸気が高温空気と比較して高いエンタルピーを有することに起因している。また, 中心温度が 80 °C より 90 °C の方が大きな差を生じている。これは与える熱量が少ない場合は温度の上昇率が加熱途中で緩慢になるためである。

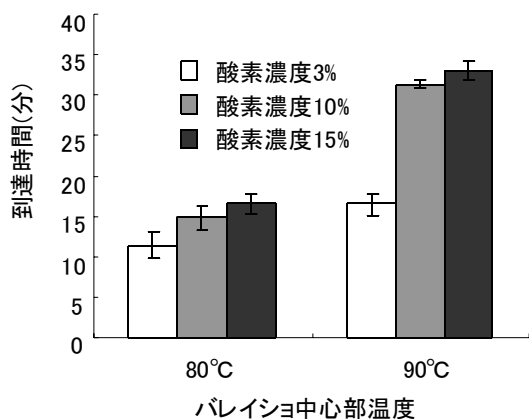


図4 過熱水蒸気中の酸素濃度を変化させた場合のバレイショの各温度の到達時間の変化

#### 2) 表面の破断応力

中心部温度が 85 °C に達した段階のバレイショ表面の破断応力を測定した。酸素濃度の上昇に伴って, 加熱が長期時間化するために表面の乾燥が進み, 結果として表面が硬くなるのがわかった。

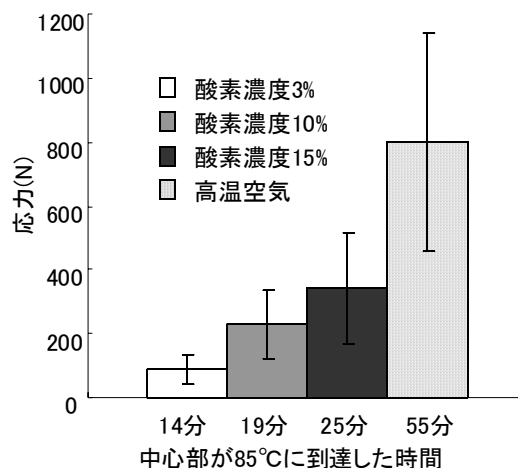


図5 バレイショ表面の破断応力への影響

#### 3) 微細構造

さらにバレイショ表面の微細構造を観察したところ, 酸素濃度 3% ではデンプン粒の残存が認められたが (図 6), 酸素濃度 15% では表面全体にデンプン粒の糊化が認められた (図 7)。これは酸素濃度が少ない状態の過熱水蒸気では, 表面組織が湿潤している時間が短いためデンプン粒が糊化するための十分な水分が無かったと考えられる (図 2 の黒矢印部分が短い)。一方, 酸素濃度が多い場合は表面温度の上昇が遅いため, 表面に水滴の付着している時間が長くなり, 表面付近のデンプン粒が糊化したと考えられる。

また, データでは示すことができないが, 酸素濃度 15% ではバレイショ全体が褐変していた。さらに表面には乾燥した厚い膜が形成されており, 商品としての価値も低下しているように思われた。

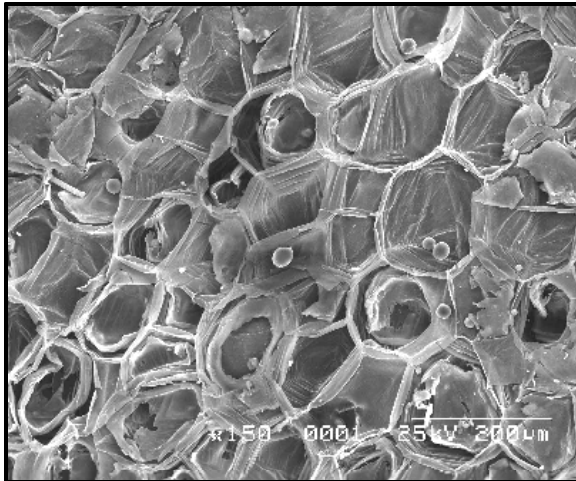


図6 酸素濃度3%で過熱水蒸気処理した  
パレイシヨの表面構造(加熱時間14分)

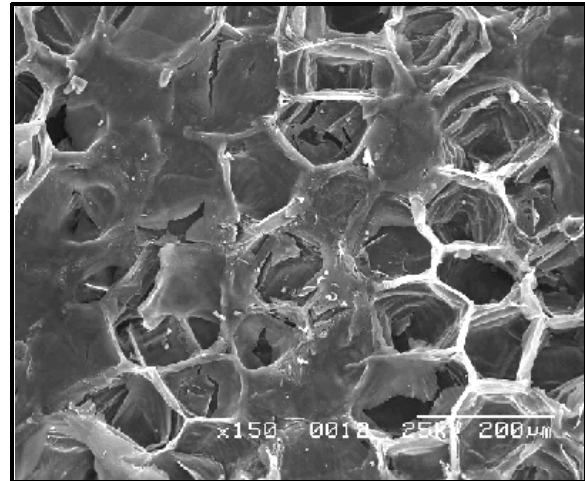


図7 酸素濃度15%で過熱水蒸気処理した  
パレイシヨの表面構造(加熱時間25分)

## まとめ

過熱水蒸気に空気が混入した場合は、加熱効率の悪化や表面の硬化が起きることがわかった。本実験ではパレイシヨを用いたが、他の野菜類でも同じ傾向が認められた。

一方、畜産加工や水産加工では空気混入による品質への影響は少なかった。これは水産物や畜産物は加熱時間が短い(おおよそ10分以下)ものが多いこと、また、農産物と比較して比熱が小さく内部への温度伝達が速いために明確な差が現れなかったと考えられた。

## 今後の展望

過熱水蒸気機器の仕様書に空運転時の酸素濃度(または空気混入率)の記載をすべきである。

現在の過熱水蒸気機器は最高温度と蒸気量が仕様書の中に記載されているが、これでは製品の品質維持に不十分であることも多く、仕様の設定を見直す必要があると

考えられる。また、過熱水蒸気機器の運転時の空気の除去も容易ではなく、こうした問題に関する機器改良や空気混入率のレギュレーション化も今後の課題になると思われる。

また、本発表ではスチームコンベクションと過熱水蒸気機器の違いについて、空気混入の観点から実験を行ったが、空気が混入していることが悪いことという訳ではないことを付記しておく。現存の過熱水蒸気機器でも空気が混入していたから、最良の品質の製品を開発できた食品もある。また、酸素があつて初めてローストビーフの香ばしい香りを作ることができ、また、魚を焼いたときに美味しそうな焦げた匂いをつくるのできるのである。実際、過熱水蒸気でローストビーフや焼き魚を作ると淡泊(良く言うと上品)な風味になり、少し物足りないような感じになることが多い。過熱水蒸気が食品加工に利用されてから久しいが、これまではスチームコンベクションとは一線を画した分野で技術が論じられてきた。今後は同じ土俵で検討を行うことで、更に新たな発見ができるのではないだろうか。