



過熱水蒸気と高周波誘導過熱を利用した食品加工における熱処理技術

片倉 正行*

近年、食品加工分野において過熱水蒸気（SHS：Super Heated Steam）を利用した食品の熱処理方法に関心が集まっている。SHSを利用した家庭用汎用調理器が普及するにつれて、食品の素材を活かした熱処理技術が評価されるようになってきた。業務用食品加工分野においても、食品に対して安全な加熱媒体である SHS を利用した生鮮野菜、水産加工物、穀物の粉粒体食品などへの熱処理方法が注目されている。

1. はじめに

日清エンジニアリング(株)は5年ほど前から、食品に対して安全な熱媒体である SHS（過熱水蒸気）がもつ特性を利用した熱処理装置の開発を行ってきた。100℃以下の原料と接触することによって発生する凝縮熱の特性を活かすとともに、装置の接触面に発生する結露を解決すべく改良を重ねた。

また、装置外部から高周波誘導加熱（IH：Induction Heating）を行うことによって凝縮を防止したハイブリッドキルンの製品化を実現した。2006年にハイブリッドキルンの試作機を完成させ、これまでに数々の食品粉粒体での熱処理実験を行い、SHSとIHのハイブリッド化で得られる熱処理効果を追求してきている。試作機のハイブリッドキルンによって熱処理された製品は、既知の加熱法による製品とは違ったもの、たとえば品質劣化の少ないものや従来の風味とは違ったものを作り出すケースがあった。これは新しい商品の開発や商品改良などに大きな意味をもち、今後の研究開発次第では新たな市場を切り開く可能性がある。

このようなニーズの展開に応えるため、当社では少量の熱処理サンプルの製造が可能である小型のバッチ式熱処理装置「ハイブリッドキルン mini」を新たに開発し、2008年2月より販売を開始した。

今後、さまざまな分野での食品粉粒体関連の新商品開発に寄与することを願っている。

2. 開発の経緯

ハイブリッドキルンの装置開発は、従来のキルン型加熱装置の課題を解決し、同時に過熱水蒸気加熱装置の課題も解決するためのコンセプトを構築した。はじめに、これらの課題の洗い出しを行い、5つのポイントに絞り込んだ。

- ① キルン型加熱装置（ガス焚き）の温度制御の難しさと作業環境の悪さ
- ② キルン型加熱装置の製品ロス量の問題（焼きムラや焼け焦げなど）
- ③ キルン型加熱装置の発火
- ④ 加熱装置内面の過熱水蒸気の結露対策
- ⑤ 連続式加熱処理機の汎用性の狭さ

これらの課題解決を目指し、ハイブリッドキルンの開発コンセプトを次のように決定した。

- ① 高周波誘導加熱（IH）の採用による精度の高い温度制御
- ② 外熱加熱と内熱加熱のハイブリッド化によるヒートパターンの多様化
- ③ 連続式加熱処理機であること
- ④ 多様な粉粒体の熱処理に対応可能なこと

この開発コンセプトの構築に大きく寄与したのは、SHSとIH加熱の特徴である。双方の特徴を十分に活かしつつ、多様な粉粒体の熱処理に対応（粒度、形状など）できるラディブレード分散技術の開発を進めることがポイントとなった。続いて、開発のポイントとなった点を述べる。

3. 開発のポイント

3-1. SHS の特徴の利用

（1）品質劣化の防止

凝縮熱の利用による短時間での高温熱処理と凝縮水の再蒸発による品温上昇抑制効果。

* Masayuki KATAKURA；日清エンジニアリング(株)開発営業担当顧問（Tel. 03-3660-3432）

(2) 均一加熱

SHS の対流伝熱による均一加熱。

(3) 酸化防止

無酸素に近い雰囲気下での熱処理。

(4) SHS 利用の課題点

SHS を効果的に利用するために、いくつかの課題を克服する必要があった。食品粉粒体の表面に SHS が凝縮（結露）する際の凝縮熱および水分の利用、凝縮水による粉体同士の凝集や結露水による原料の練りこみ現象の回避、さらに装置内面での付着成長の防止といった課題への対策が必要であった。

(5) SHS の凝縮に対処する

気体でありながら、100℃以下の接触温度領域ではただちに100℃の凝縮水となる SHS をいかにして粉体と接触させ安定した熱処理を行えるか。とくに親水性をもつ食品粉粒体に対して、凝縮液との界面接触で起きる問題点をいかに解決するかも開発の重要なポイントとなった。この頃、一般に開発されていた SHS 加熱装置は原料をベルト式の搬送設備上にセットして、大量の SHS を装置内雰囲気流すもので、これらの装置の結露防止対策は難しかった。また、大量の SHS 使用は処理粉体が微粉を対象とする場合、処理粉体が飛散してしまう懸念があるために必要最小限の SHS を用いて、結露対策を講じた装置構成を検討した。

3-2. IH 加熱の特徴の利用

(1) 温度再現性の確保

温度制御が容易（1℃単位での温度制御が可能）。

(2) 高い熱効率

伝熱面の直接自己発熱による高速加熱・高温加熱が可能。

(3) 作業環境への配慮

燃焼ガスのように排気がないので周辺の温度上昇が少ないクリーン加熱である。

(4) 加熱用ワークコイルの加工性

加熱部の形状に合わせた加工が可能である。

3-3. ラディブレード分散技術の活用

さらに、当社独自の技術であるラディブレード分散技術を利用することにより、より多くの対象物を処理できることを目指した。20 mm を超える大きさのナッツ類から、小麦粉のように 100 μm より小さい粉体まで、幅広い粒径をもつ食品粉粒体の熱処理には、粒子の分散が不可欠である。とくに気体である SHS との接触を効率よく行う必要があり、当社の粉体分散技術の中から、円筒回転体の容器内にて使用するラディブレード分散技術を応用する方式

を採用した。

キルンに応用されたラディブレード分散技術とは、回転円筒体の断面空間を3枚の仕切板で分割し、この3枚の仕切板と円筒体で構成する空間に原料を投入し、仕切板は回転体とともに回転し、伴回り式分散を行う（図1）。この分散機能をラディブレード分散と称している。ラディブレード分散による利点は次の通りである。

(1) 高い熱効率

ラディブレードによる伝熱方式の総合的活用（図2）。

(2) 均一加熱

ラディブレードによる粉粒体の均一加熱の実現（図1）。

(3) 付着防止

ラディブレードによる粉粒体の付着防止（原料の特性に合わせてブレードを製作加工することで実現）。

(4) 原料の非破壊性

ラディブレードによる分散の動きは原料に対して優しく粒子破壊が少ない。

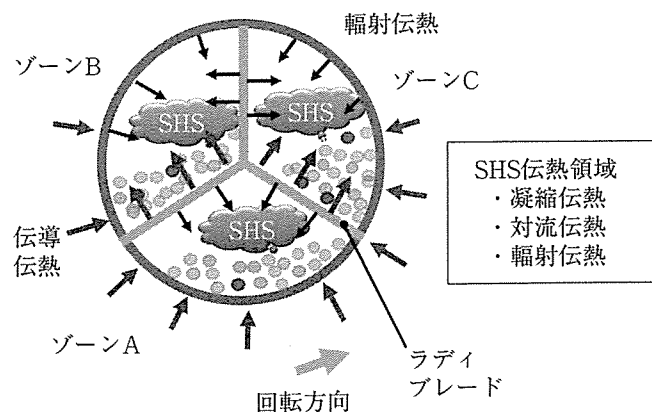


図1 ラディブレード分散と伝熱の概念図

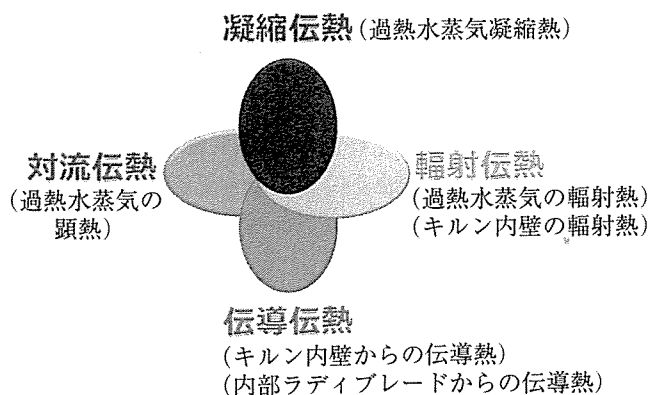


図2 ハイブリッドキルンが利用している伝熱の種類

4. ハイブリッドキルンの基本構造と熱処理

一般にキルンの構造（図3）はよく知られている。円筒回転体は原料排出方向に対して傾斜しており、この傾斜によって原料は排出口へと移動し、傾斜角度の調整で必要な滞留時間（加熱時間）を決定することができる。原料は通常スクリーフイーダで供給される。SHSは内熱加熱方式で原料排出口側から供給され、吸引ファンで系外に排出される。原料供給側は通常マテリアルシール方式を採用し、製品出口はロータリバルブを採用している。回転円筒体は外熱加熱方式で高周波誘導加熱され、原料を内熱と外熱の併用で熱処理する。高周波誘導加熱方式は円筒回転体以外の複雑な装置内面の加熱手段として結露水対策にも利用しやすい。

状況に応じてラバーヒータも有効である。写真1は試作したハイブリッドキルン、電気式ボイラと過熱水蒸気発生装置の全体写真である。図4は設備フロー図で、設備仕様は表1の通りである。

4-1. ハイブリッドキルン内での加熱の様子

3枚の仕切板であるラディブレードと回転体内壁によって構成される扇型の断面空間（図3）において、ゾーンAでは、主に回転体内壁に接触する伝導伝熱、原料層の表面では輻射伝熱が作用する。ゾーンBでは、ブレードの回転方向面で粒子を掻き

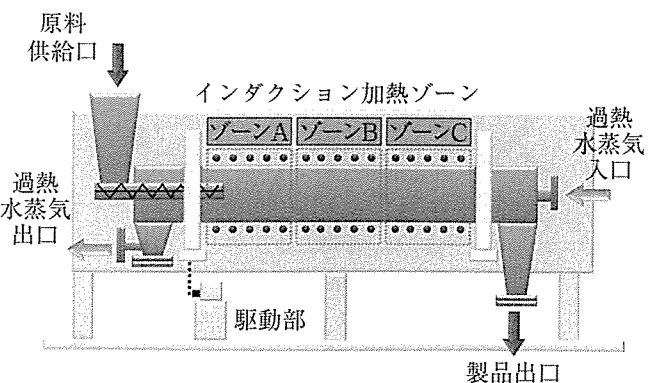


図3 ハイブリッドキルンの構造図（連続式）

揚げ、ブレード先端の位置が頂点に近づくにつれ、粒子はブレード面を滑り出して流動化し、伝導伝熱を受けると同時に輻射伝熱を受ける。

ゾーンCでは、回転速度から得られる遠心力を利用して粒子を分散させている。回転が速くなると、粒子は遠心力を受けてブレード面から軽く浮き上がり粒子分散状態がもっともよくなる。このゾーンCでは、凝縮・対流・輻射伝熱がもっとも効果的に行われる。また断面空間のかたちが扇型になっており、壁面やブレードとの不定型な粒子の動きによっても分散効果が得られる。

このようにして得られた粒子間の隙間にSHSが入り込みやすくなり凝縮・対流伝熱が作用する。ラディブレード分散技術の機能と多様な伝熱方式が効果的に作用することで、粒子群は均一に加熱される。図1のA・B・Cの各ゾーンを外部加熱するIH方式は、とくに吸熱反応を行う熱処理などにおいて、必要な熱エネルギーを速やかに供給できる。熱エネルギー量の十分な供給を可能にし、効率のよい熱伝導の組み合わせによって、熱処理のプロセス制御を容易にしている。粉粒体を十分に分散させることで、

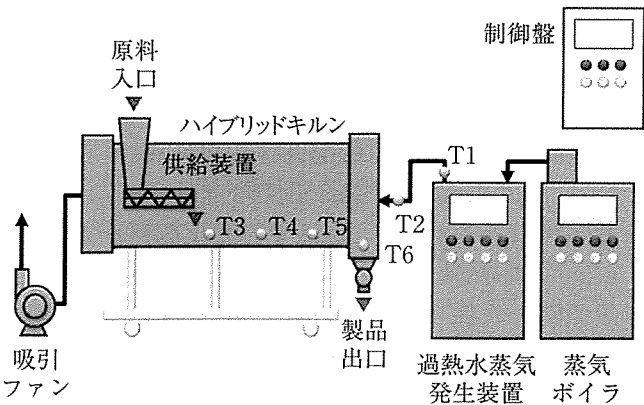


図4 ハイブリッドキルンフロー図

表1 ハイブリッドキルン（連続式）概略仕様

定格電圧	200/220 V
電気容量	15 kW (5 kW×3)
加熱温度	500℃以下 (3ゾーン単独温度調整)
原料供給方式	スクリーフイーダ
処理能力	10 kg/h～ (処理条件による)
キルン傾斜装置	原料滞留時間の調整
装置寸法	L 2,650×W 800×H 1,500 mm
過熱水蒸気温度	常用：300～350℃ (MAX 400℃) インバータ制御
電気容量	10 kW
過熱水蒸気発生量	飽和水蒸気から 90 kg/h, 水から 10 kg/h (過熱水蒸気出口温度 300℃の場合)

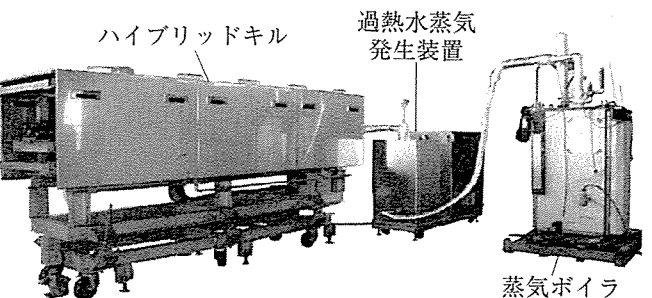


写真1 ハイブリッドキルンの外観写真

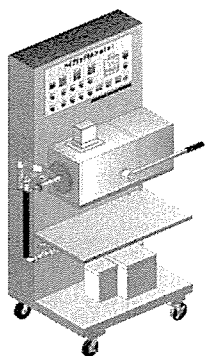


写真2 ハイブリッドキルン mini のイメージ図

表2 ハイブリッドキルン mini (バッチ式) 概略仕様

定格電圧	200/220 V
電気容量	5.3 kW
加熱温度	MAX 270℃
キルン容積	4.18 l
装置寸法	L 550×W 1,500×H 1,500 mm
過熱水蒸気温度	MAX 270℃ インバータ制御
過熱水蒸気発生量	2.5 kg/h (水から)
装置重量	約 80 kg
付属装置	専用制御盤、排気冷却・回収装置

さまざまなプロセス処理が可能である。

4-2. ハイブリッドキルン mini

写真2のハイブリッドキルン mini は少量多品種のサンプル製造を目的にして開発され、新商品開発に適しているバッチ式の小型装置である。内部構造は連続式と同じであるが、原料の供給と排出方法が違ふ。正面の取手がついているケースにキルン本体と過熱水蒸気発生装置が内蔵され、カバー左側にSHSの排気を吸引する配管がある。原料投入時は排気の吸入配管を手動で切り離して、エンドカバーを外すと回転円筒体が見える。そこで取手を下げると円筒体が上に向いてくるのでその状態で原料を供給できる。逆に下げると原料排出を容易に行うことができる。設備仕様は表2の通りである。

5. ハイブリッドキルンによる熱処理事例

写真3はコーヒー豆の焙煎品で加熱温度差による内部組織への熱浸透度合を示している。写真4は大型のアーモンドナッツの焙煎品である。均一な焼き色で熱の通りがよいことがわかる。写真5はゴマの焙煎品である。表面の焼き色が均一であり、写真6では膨化度も十分である。写真7ではゴマとソバのメイラード反応結果を示している。

ゴマの例は、微妙な焼き色を調整できるのが示されている。SHSによる処理物質の組織内部への熱浸

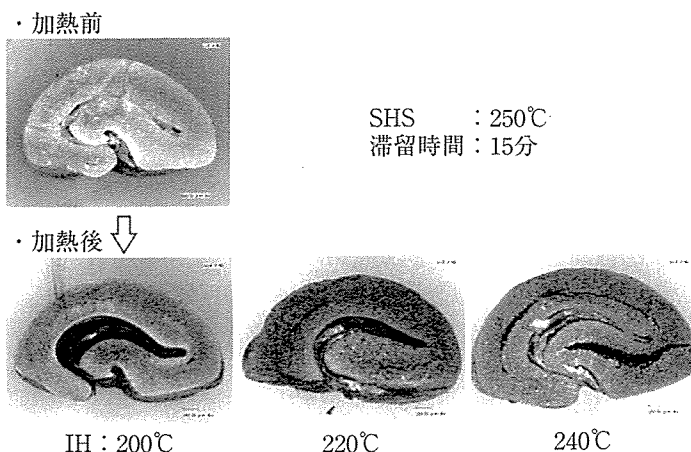


写真3 焙煎・膨化（コーヒー豆）

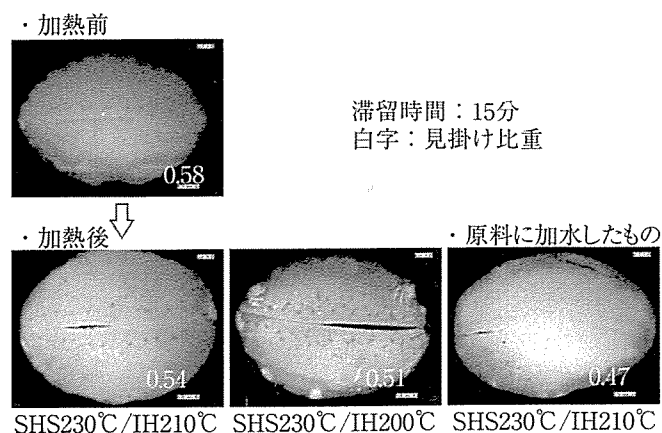


写真4 焙煎・膨化（アーモンド）

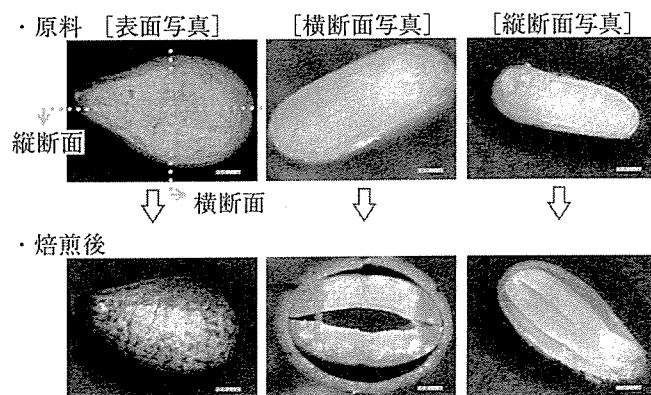


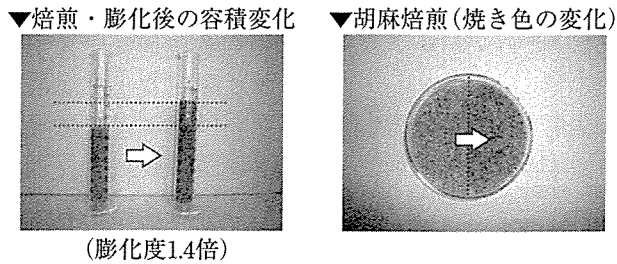
写真5 焙煎・膨化（ゴマ）

透効果が大きく、大型のアーモンドやコーヒー豆でも均一に熱が伝わっているのが事例から判断できる。コーヒー豆の場合は、表面にしみ出る油脂分の量が少ない。ナッツ類の焙煎では、とくに内部組織の均一加熱にはSHSが有効で、表面の焼き色をつけるコントロールにはIHが有効である。SHSの無酸素に近い雰囲気下による効果も、緑茶焙煎で顕著にその特性を発揮している。従来の熱処理方法では、大気

中での処理（有酸素下での処理）では茶葉は黄色く変化する。一方、SHS 雰囲気下（無酸素雰囲気下）では黄色化の少ない緑色を残した焙煎になる。お茶にしたときの色（水色）も、鮮やかであった。穀類

●ゴマの焙煎

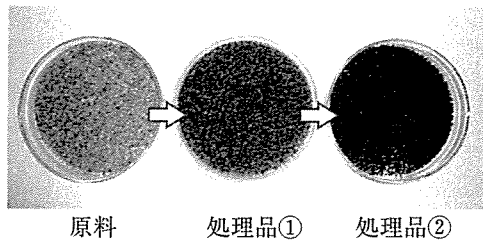
- ・IH温度（外熱）：195℃
- ・SHS温度：154℃
- ・滞留時間：4分
- ・処理量：15kg/h
- ・SHS投入量：11kg/h
- ・キルン回転数：23rpm
- ・原料嵩比重：0.64g/cc
- ・製品嵩比重：0.44g/cc



（膨化度1.4倍）

写真6 焙煎・膨化（ゴマ）

●ソバの
焼き色変化



●ゴマの
焼き色変化

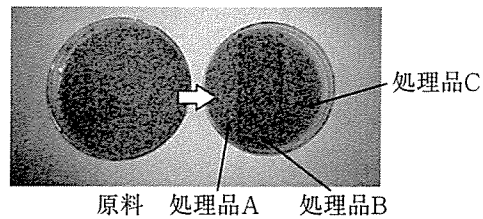


写真7 焙煎・膨化（ソバ・ゴマ）

内部での SHS 熱処理効果、吸湿反応による組織の膨化および改質効果、内部酵素の失活、デンプン臭や胚芽臭の減少効果などの実施例を経験している。穀類など粉粒体の表面では、凝縮熱による殺菌の効果があり、表3は焙煎・殺菌の実施例である。

5-1. 冷却の重要性

食品粉粒体の熱処理では、装置外に排出された製品をただちに冷却し、余熱で熱反応が進行するのを防ぐ必要がある。冷却処理を省くと、品温が下がる過程で吸湿などを起こし製品に微妙な変化を与えるケースがあるので、十分に製品を冷やすことが重要である。

5-2. 実施例の評価と未知の熱処理メカニズム

ハイブリッドキルンの応用分野は食品の粉粒体の処理に限っても表4にまとめたように多岐にわたる。この表は、現状のガス加熱や電気加熱方式の応用分野を当てはめたものであるが、SHS と IH で熱処理された製品の多くは、現行加熱方式で得られない品質であることが確認されている。

ハイブリッドキルンによって熱処理されたゴマ・ソバ・ナッツ類などの焙煎処理品は、ムラのない均質な熱処理品に仕上がっている。現行品とは微妙に味、色、固さなどの食感が異なり、現行熱処理品と異なる評価を受けている。品質評価が異なるのは、無酸素に近い雰囲気での熱処理によって、油脂分の酸化抑制、ビタミンCの酸化破壊抑制などにより、本来素材がもつ成分の熱破壊度が少ないことも、原因ではないかと考えられる。

以上述べたこれらの実施例の一部は、そのメカニズムが十分に解明できていないのが現状であるが、新方式の加熱処理において、新規性のある商品開発

表3 殺菌事例

処理物	菌数		温度条件		処理時間
	原料	処理後	IH	SHS	
生米					
処理品①	1.0×10 ³ cfu/g	300 cfu/g 以下	195℃	137℃	3 分
ゴマ原料					
処理品①	2.9×10 ⁵ cfu/g	300 cfu/g 以下	195℃	143℃	5.5 分
処理品②	2.9×10 ⁵ cfu/g	300 cfu/g 以下	195℃	154℃	4 分
ソバ原料					
処理品①	1.1×10 ³ cfu/g	300 cfu/g 以下	205℃	140℃	4.5 分
処理品②	1.1×10 ³ cfu/g	300 cfu/g 以下	205℃	137℃	4.5 分
処理品③	1.1×10 ³ cfu/g	300 cfu/g 以下	205℃	142℃	4.5 分

表4 ハイブリッドキルンの熱処理応用分野

焙煎処理と同時反応の分野

- ・焙煎（脂質分の滲だしが少ない）
- ・焙煎（殺菌を伴う）
- ・焙煎（焼き色・メイラード反応）
- ・焙煎（膨化を伴う）
- ・焙煎（焙煎品抽出液の水色反応）
- ・焙煎（小麦粉などの微粉体の焙煎）
- ・焙煎（その他の目的）

熱処理

- ・乾燥（菜種・ゴマ・おからなど）
- ・殺菌（100℃以下での単独殺菌処理）
- ・熱分解性ガスの回収（加熱と冷却操作）
（ハイブリッドキルン mini では回収ラインを標準装備）

- ・排気ガスの回収による臭気対策の可能性

無酸素雰囲気下の熱処理

- ・無酸素雰囲気処理のメリット
（脂質・ビタミン類の酸化防止など）

その他熱処理反応

- ・加湿処理（加水反応）
- ・内部酵素失活・緑茶澱粉臭や小麦粉胚芽臭の減少など

が可能であることを示唆していると考えている。

6. おわりに

過熱水蒸気と高周波誘導加熱の特性を利用したハイブリッドキルンは、装置としては一応の完成度が得られた。ハイブリッドキルンの熱処理製品が新市場において、従来得られなかった素材を活かした新商品を創出するためにも、各食品分野において、実用化に向けた今後の研究開発を大いに期待する次第である。

参考文献

- 1) ポスト保存料技術の最新動向, (株)サイエンスフォーラム, 「過熱水蒸気による農水産加工品の表面殺菌効果」: 北海道立食品加工研究センター, 食品開発部水産食品科, 阿部 茂
- 2) ポスト保存料技術の最新動向, (株)サイエンスフォーラム, 「アクアガスによる生鮮食材の殺菌と応用」: (独)農業・食品産業技術総合研究機構, 食品総合研究所, 製造工学研究領域, 製造工学ユニット, 五十部誠一郎
- 3) 過熱水蒸気技術集成, (株)エヌ・ティー・エス, 「過熱水蒸気を用いた高温短時間処理による表面殺菌技術」: 北海道立食品加工研究センター, 食品開発部水産食品科, 阿部 茂
- 4) 過熱水蒸気技術集成, (株)エヌ・ティー・エス, 「過熱水蒸気による健康調理技術の開発」: シャープ(株), 門馬哲也/岸卓士/田中源基/高見星司