過熱水蒸気特性を利用した食品加工、環境浄化への応用について*

Application of Superheated Steam Characteristics for Food Processing
and Environmental Remediation Industry宮 武 和 孝**
MIYATAKE Kazutaka

Abstract With a life style of healthy and sustainable (LOHAS) intention, superheated steam cooking ovens have attracted attention recently. According to the main issue of this review, the establishment of a resource saving society, we introduce an outline of the principle of superheated steam including its characteristics; the generating apparatus itself, the application of food processing including the sterilization, drying and environmental fields. Superheated steam is steam at a temperature higher than water's boiling point. If saturated steam is heated at constant pressure, its temperature will rise, producing superheated steam. To produce superheated steam in a power plant or for processes (such as cooking), the saturated steam, from the steam drum is passed through a super heater. Superheated steam has three heat characteristics; condensation heat transfer, convection heat transfer, and emission heat transfer, respectively. In the present review, we describe the induction heating of a carbon element for a generator. By using these merits, we applied them for food processing, including household cooking. Besides energy saving and environmental benefits, the oxygen-free atmosphere appears to improve product quality by retarding some deterioration reactions in food materials. Under-atmospheric pressures are often required with foodstuffs, which are sensitive to high temperatures due to denaturalization reactions. These benefits increase the added value of foodstuff, including unused or discarded natural resources by changing them into a powder. Superheated steam characteristics are useful for environmental remediation, especially recycle and reuse of active-charcoal and the washing and drying processes of the drum tube recycling industry and the same time we show not only the total cost saving, but also decreased dramatically energy and water exhaustion. From our evidence, we propose that superheated steam technology is useful in the food processing and environmental industries, but have a high potential for other industrial applications in the near future as well.

Keywords: Superheated steam, Heat transfer characteristics, Condensation heat transfer, Convection heat transfer, Emission heat transfer, Food processing, Environmental remediation

1. はじめに

水で焼くオーブンが発売され、過熱水蒸気という言葉が一般に知られることとなった。元来過熱水蒸気の利用は、機械金属工業や化学工業では一般的技術であるが、食品工業では比較的新しく、1980年代の後半から殺菌、乾燥などへの利用が始まり、過熱水蒸気の熱力学見地からの熱効率や

殺菌効果に対しての研究が1990年代に行われた。21世紀になると、食の安全・安心、さらには健康調理などの効果を期待して、とりわけ食品への利用が増加し、食品の表面殺菌や、食品の組成への影響などについても研究が広がっている。我が国においても、本技術集が民間会社から出版され、その基本原理、装置開発、食品加工と殺菌、調理

* 2011.5.24 受付

** 大阪府立大学名誉教授 〒594-1111 和泉市光明台2丁目27-3
TEL&FAX: (0725)56-7130 E-mail: eubni616@ican.zaq.ne.jp

への応用展開、バイオマス利用としての炭化、木材乾燥、ダイオキシン、農薬などの有害物質の分解無害化、汚染汚泥の浄化と資源化、家畜糞の炭化資源化、さらには過熱水蒸気による水蒸気改質によるエネルギー生産など多岐にわたって記載、紹介されている[1]。

ここでは「省資源化社会に向けて」の技術として、熱水蒸気の特性を概説し、その性質を考慮した我々の開発してきた装置、続いて食品加工、環境浄化への応用展開の現状、最後にその将来性、方向性ともいうべき展望の順で紹介する。

2. 過熱水蒸気の特性と装置

100℃で蒸発した飽和水蒸気を、常圧のままさらに高温に加熱した無色透明の気体が過熱水蒸気である。過熱水蒸気利用については、20世紀初頭のドイツの著書「空気と蒸気での乾燥」がある[2]。つまり空気と水蒸気による乾燥機能として「Over heated water」としての原理が示されている。約90年以上前に発見された一種のエネルギーではあるが、「温故知新技術」と言える。過熱水蒸気は他の加熱媒体とは異なる加熱特性を有する。1) 湿熱加熱と乾熱の双方の特性を合わせ持つ、2) 表面において初期加熱効率性が高い、3) 空気加熱より乾燥効率が優れている、4) 無酸素近似加熱が可能であるなどである[3]。

過熱水蒸気を用いて加熱すると被加熱物、特に食品などに対して凝縮熱および顕熱を与えることで、加熱と乾燥ができる。Fig. 1に過熱水蒸気の性質と加熱特性を示している。

Fig. 1 Characteristics of superheated steam.

通常の水蒸気（飽和水蒸気）との違いは100℃以上の顕熱による加熱を行える点にある。水蒸気では

は被加熱物との接触により、水蒸気が凝縮し、表面に水が付着する凝縮伝熱により加熱される（1 kcal/kg/℃ + 539.1 kcal/kg）。通常の水蒸気は100℃であるため、被加熱物は100℃以上にはならない。被加熱物は常に凝縮した水分子が表面に存在する状態で温度が上昇する。これを湿熱状態で加熱されると表現している。一方、過熱水蒸気加熱では、その初期段階において過熱水蒸気の凝縮により急激に表面温度が上昇し、100℃に表面温度が達すると、次に顕熱により加熱が行われる。このような加熱初期の急激な温度上昇が被加熱物の表面温度100℃以下である場合、過熱水蒸気の総熱量は、 $(1 \text{ kcal/kg/}^\circ\text{C} \times [100^\circ\text{C} - \text{被加熱物温度}] + 539.1 \text{ kcal/kg} + 0.48 \text{ kcal/kg/}^\circ\text{C} \times [\text{過熱水蒸気温度} - 100^\circ\text{C}])$ で表され、多量の凝縮熱を与えることによるものである。この時、過熱水蒸気の凝縮熱量は被加熱物の初期温度が低いほど多くなり、表面温度が100℃になるまで持続される。被加熱物は100℃になると、過熱水蒸気の顕熱（0.48 kcal/kg/℃）でさらに加熱しながら被加熱物表面の水分を蒸発乾燥させることができる。この段階の加熱は、過熱水蒸気的气体による対流伝熱が主となるが、過熱水蒸気は空気（0.24 kcal/kg/℃）の2倍であることから、効率的に加熱できる。さらに、水分子そのものが、非対称分子の立体構造を有しているため、過熱水蒸気状態の水性ガス状態では、放射伝熱が考えられ、温度の上昇に伴いこの効果が顕著になることで、加熱効率が極めてよいとされている。食品への効果をまとめると、過熱水蒸気加熱では、急激な初期加熱による表面温度上昇と内部の緩やかな温度上昇を利用できることであり、その結果として表面がカリッとして、中がやわらかい高品位調理が可能となっている。表面乾燥後の加熱は顕熱と対流伝熱と放射熱によっておこなわれるが、過熱水蒸気の顕熱（0.48 kcal/kg/℃：気体）は、同重量の100℃の水（1 kcal/kg/℃：液体）と比較すると1/2以下であるため、表面乾燥後は表面の温度上昇は減少し、結果として煮熱や蒸熱と比較して内部の温度上昇は緩やかになる。また、過熱水蒸気による急激な上昇は、前述した凝縮熱と顕熱によるものであるが、処理装置内の過熱水蒸気の流れそのものが、被加熱物表面の境界膜（表面付近の熱交換を行う層と思われる）の破壊を促進し、被加熱物表面の湿潤から乾燥までの時間をより短くし、こ

れが特に食品加工調理において、よい結果をもたらしていると考えている。

なぜ過熱水蒸気を使用するのかといえば、使用した過熱水蒸気は水に戻る、水に戻った状態で不純物を除くか、途中で除くかあるいは、あるいは分解できる、再生可能エネルギーを利用すれば、資源循環型であり、我々の研究室の趣旨に添うものであり、効率的に過熱水蒸気をつくり、付加価値の高いものに高効率で利用できれば、環境負荷が小さい技術と考えるからである。

過熱水蒸気の発生法は、①オイル燃焼方式、②ガス燃焼方式、③電気加熱方式、④圧縮方式、⑤熱媒方式、⑥高温排熱利用方式、⑦その他これらの方法と、いくつかを組み合わせた複合方式などがある[4]。ただし、過熱水蒸気は、飽和蒸気を発生させ、さらに加熱装置により加熱する二段階にて作られるので、エネルギーを消費していることを認識しておく必要がある。電気による過熱水蒸気の作り方を、Fig. 2 に示す。実際 Fig. 3 に図示したように二段階にて作られる。

Fig.2 Production of superheated steam (SHS) by electricity and its application.

Fig. 3 Production of superheated steam.

我々の研究室では、熱効率や、温度制御などを考慮し、電気による誘導加熱方式を用いている。

また抵抗発熱体には、カーボンを使用しているが、その理由は、効率的に与えた電気エネルギーを蒸気に与え、過熱水蒸気にするためである。誘導加熱による抵抗発熱体の発熱は、

$$P=I^2 \cdot R$$

で与えられる。加熱電力の総和は、 $P=P_1+P_2+P_3+P_4$ であり、吸収電力(P_1)は $4.186 \times MC\Delta T$ (kW)、放射電力損(P_2)は $5.74/\epsilon \cdot [(273+t_2/1000)^4 - (273+t_1/1000)^4]$ (w/cm²)、対流損(P_3)は $159\Delta p$ (μw/cm²)、伝導損(P_4)は $372\Delta T \sqrt{k} \cdot c \cdot s/t$ (w/cm²)の式からなる。つまり、水蒸気の加熱は抵抗発熱体よりの伝導熱と放射熱により行われるので、伝熱面積の大きな形状と放射率の高い材料が理想であり、この式で示されるように、吸収電力放射電力損(P_2)、対流損(P_3)、伝導損(P_4)がすべての熱損失が、通過する蒸気に伝わるようにすることである。

対象となる材料は、ステンレス(比重:7.9、比熱:0.11、放射率:0.5以下)、カーボン(比重:3.5、比熱:0.16、放射率:0.8以上)、グラファイト(比重:2.25、比熱:0.17、放射率:0.8以上)、SiC(比重:3.1、比熱:0.16、放射率:0.8以上)、サーメット合金等が利用できるが、比重、比熱、

Photo 1 Multipurpose superheated stem generator.

固有抵抗、放射率で優れた値を持つカーボンがよいと考えている。さらに、加工性と値段、水や流体に対する耐腐食性にも優れ、衝撃、熱膨張も小さいことがその理由である[5]。我々は、耐久性と発熱効果を期待して、Photo 1 左の写真に見られるように赤く発熱した炭素発熱体を SiC 加工(炭化珪素)、スピネル加工(MgO, Al₂O₃)にて溶射表面加工することで、寿命を5-10倍ほど延ばす

だけでなく、輻射熱と微量酸素による炭素の劣化（収縮）を防ぐことに成功している(Photo 2)[6]。

Spinel coating:
 Al_2O_3 (70%), MgO (30%) SiC coating and
thermal spraying

Photo 2 Improvement of the durability of the carbon heating element.

Photo 1にあるように過熱水蒸気発生装置には、蒸気発生機（ボイラー）と高周波電源装置が内蔵されている。装置から発生した過熱水蒸気は、目的に応じて背面配管から、オープン、炭化炉、焙煎機、抽出装置、乾燥装置などに送られる。

オープンでは、殺菌、乾燥、食品調理加工用として 100°C から 400°C の過熱水蒸気が使用できるように設計されている。粒状品の処理には回転機能のついた焙煎機が対応し、化学薬品を含む汚染物質等の抽出には、 150°C から 450°C までの蒸気により抽出し、効率的に凝縮できるようにした抽出装置がある。さらに、炭化炉として、 900°C の範囲まで使用できるように設計されている。いずれも高精度温度制御と消費電力をモニターできるようにしてある。さらに、この装置の前面に、活性炭再活性化連続回転式過熱水蒸気処理および食品用小型乾燥装置が付随している。

3. 過熱水蒸気による調理・食品加工

3.1 調理器開発

過熱水蒸気は、凝縮伝熱、対流伝熱、輻射熱の3つのエネルギーを持ち、毛羽元就の3本の矢あるいは合わせ技エネルギーと呼んでいる。この熱エネルギーは、空気より数倍高い熱量があり、これを利用して「焼く」、「揚げる」、「蒸す」、「炒める」、「温めなす」、「解凍」が行える。使用中は、過熱水蒸気が空気を追い出すので、酸素濃度が低い。常温で水にとける酸素は 6ml/kg 程度あるが、

水から生成した過熱水蒸気には数 ppm の酸素しか存在しない。空気が混入していない 100% 過熱水蒸気では、ほぼ無酸素の熱処理ができることになる。このような条件では、高温になっても脂分の酸化が起こらず、異臭成分が発生しない。ビタミン C も酸素と反応しやすい物質であるが、過熱水蒸気加熱では破壊が抑制される。さらに、食品中の水分が保たれるために、細胞が壊れにくく、健康にも良い、高品位調理ができるといわれている。過熱蒸気調理の利点を Table 1 にまとめた。特に、食品加工全般においては、歩留まり、これは主としてエキスを流出によるものであるが、過熱水蒸気を用いると製品となる歩留まりが上がり、コストを下げられることが判っている[4,5]。

Table 1 Useful characteristics of superheated steam for cooking and food processing.

1	Rapid and effective heat transfer
2	Infrared effect during cooking
3	Simultaneous steaming and drying
4	Prevention of oxidation
5	Safe and reliable cooking
6	Prevention of hardening of surface due to protection of surface water
7	Reduction of oil and preservation of nutrients
8	Remove of harmful ingredients and bad odors
9	Fresh cooking of vegetables
10	Simultaneous cooking and sterilization

また、これまで調理加工以外にも、この技術を多面的に活用してきたが、それらの事例を Table 2 に示した。この中には、ヘルシオに代表される利便性と新しいニーズである環境健康志向家電として販売された家庭用過熱水蒸気調理器も含まれている[4]。

3.2 野菜無菌化と新規ロジスティクスに向けて

昨今の食品に対する安全性から、農水省統計による食品の安全性に対する意識調査によれば、農畜水産物の生産過程の安全性に対し約 77% が不安、製造加工工程での安全性に対し約 74% が不安、輸入農産物原材料の安全性では約 91% が不安という結果が出ている。この点を鑑みて、野菜の無菌化とロジスティクスについて検討したプロジェクトを簡単に紹介する。技術的には、ブランチングに類似のものである。キュウリ、レタス、大根、白菜を 180°C 、処理時間 10 秒において、

Table 2 Typical applications of superheated steam for industry.

Purpose	Items and research co-laboration form	Temperature and characteristics
Deodorizing	Decomposition of odorous gas (wasted soy sauce cake: Food industry)	200~900 °C A,B,C (See below)
Food waste	Drying and carbonization(Food industry)	500 ~ 800 °C A,B,C
Cooking appliances	Household cooker (Consumer electronics industry)	250 ~ 300 °C A,B,
Organic waste	Drying and carbonization(Food industry)	400 ~ 600 °C B,C
Carbonization	Carbonization of wood and bamboo (waste industry)	300 ~ 800 °C A,C
Decomposition of harmful chemicals	Decomposition of Dioxins (chemical industry)	400 ~ 500 °C A,D
Extraction of harmful chemicals	Extraction of Dioxins from soil and pesticides from vegetables (chemical industry)	200 ~ 400 °C D
Sterilization	Rice bran and vegetables(Food industry)	130 ~ 300 °C D
Processing method	Quality improvement of thermal processing Rope (Rope manufacturing industry)	10°C lower than each rope melting point B,D,E

A: anoxia, B: fused three heat characteristics, condensation heat capacity, convection heat transfer, and emission heat transfer, C: superheat temperature, D: controllability, E: normal pressure

一般生菌数は、1,000 から 10,000 分の 1、大腸菌はいずれも陰性となった。その他、山椒の実「260℃、5 秒」、デンプン粉、大豆、ソバ粉、甘草、桂皮「粉末」「140 から 190℃、5 秒」の処理により、一般生菌数は、1,000 から 10,000 分の 1 に、大腸菌はいずれも陰性、耐熱菌では 10% 以下にすることができた。特に長いもの実験においては、耐熱性芽胞菌は、190℃15 秒で測定限界以下になっていた。さらに食品の表面に付いた農薬や脂分の除去すること、殺菌して保存性を向上させること、不快臭を除去して鮮度保持することもできた。さらに、煮崩れなどで出ている食品のロスをなくすこともでき、コーヒーの焙煎に言えば、歩留まりが改善されるだけでなく、雑味が除去でき、すっきり味になることなどを確かめている。さらに、過熱水蒸気にて、ウナギ、アナゴなどの白焼きができることも合わせて確認している[5]。

さらにブランチング技術の変法として、過熱水蒸気と酵素法の融合によるカキ果実（青果物）の剥皮システムの産学官による開発事例がある[5,7]。ここでは詳細は省くが、250 から 350℃、数秒から十数秒の過熱水蒸気処理により、殺菌と同時に、柿の表面から 1 - 2mm に存在すると考えられている酵素の阻害剤（ペクチナーゼインヒビター）を変性させることで、酵素（ペクチナーゼ）の作用を十分に発揮させ、柿表皮を剥離し、剥離表皮も資源化する方法である。カキ以外の他の果実はもとより、根菜類やイモ類も含めた他の青果物への応用が期待されている。

3.3 野菜の乾燥・粉末化への利用

野菜、根菜類は生の状態で流通し購入されなかったものは、家畜飼料やそのまま廃棄されているのが現状である。また、現在の野菜等の流通システムは生産物すべてが商品になるものでなく、流通システムにあるものだけが商品として扱われ、それ以外は現実には破棄されており、これがコストを下げられない大きな要因になっている。これを改善するには、Fig. 4 にあるように、たとえばブドウを例にすると、高級品は贈答、中級品はスーパー、デパート、小売店での店頭販売、さらに低級品はワインなどに加工することで、全ての生産物を全て商品、資源化することにより、価格を安定化できるものである。さらに、6 次産業化を目指した地域ブランド野菜生産も、季節変動や天候不順による生産量の調節も難しい。このような中で、食品の安全・安心と、価格安定化も考慮した資源を有効に利用し、かつ付加価値を考慮した加工技術開発が望まれていた。

その分野に過熱水蒸気技術を導入し、熱処理によるブランチングと殺菌を行い、さらに乾燥あるいは粉末化することで、付加価値を高めた資源利用を産学連携で行った。野菜や根菜など 15 種類過熱水蒸気乾燥装置にて、乾燥して製品化、さらに粉末して製品化まで行うものである。150℃から 220℃、数秒から数分の過熱水蒸気処理により、ブランチング効果による野菜の色調変化抑制は無論、製品の機能性（甘味の向上）維持だけでなく、従来の工程で問題となっていた野菜・根菜表

Fig.4 Product mix pricing.

面に付着している一般生菌数、大腸菌数を、ゴボウでは、グラムあたり 4.8×10^4 個から 30 以下に、陽性から陰性へ、大根では、 1.8×10^4 個から 10 個に、陽性から陰性に、ホウレンソウでは 6.2×10^5 個から 5.9×10^2 に、陽性から陰性にすることができ、一挙に問題が解決できた。導入した装置は Photo 3 に示している。約 2 年前から、稼働しているが、これまでの生産販売から外れた農産物を高付加価値化するだけでなく、過熱水蒸気による製品の色や機能性向上を可能にし、保存性や加工性のバリエーションを与えることとなり、現在民間会社のドーナツ素材や栄養補助食品に使用されている[8]。

Photo 3 Large scale superheated steam generation equipment for food processing.

3.4 未利用生物資源の高付加価値化－パパイアの有効利用

同様の観点から、パパイアを用いて、未利用資源の高付加価値化とブランド化のため、過熱水蒸気処理による果肉と果皮に含まれる有用成分を探索し、資源化、高付加価値化することによる有効利用について研究した。過熱水蒸気処理を、 $150^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ で行い、ブランチング効果、殺菌効

果を測定した。成分比較のため、糖、およびアミノ酸分析を行い、抗酸化作用については、DPPH ラジカル、ABTS ラジカルを用いたラジカル捕捉能として測定、さらに実験動物を用い、抗アレルギー性について測定した。

乾熱による殺菌に比べて、過熱水蒸気では、秒単位での殺菌が可能であった。パパイアの果肉、果皮の過熱水蒸気処理乾燥粉末における有用な活性の探索を行った結果、抗酸化作用、SOD 阻害活性、チロシナーゼ阻害活性、 α -グルコシダーゼ阻害活性、ヒアルロニダーゼ阻害活性を保持して加工できるだけでなく、過熱水蒸気処理を行った粉末では、抗酸化作用や阻害活性が上昇する傾向がみられた。また、ヒアルロニダーゼ阻害活性と関連があると考えられる抗炎症作用についてアレルギー誘発マウスを用いた実験を行ったところ、過熱水蒸気処理を行った乾燥粉末を与えた飼料で、アレルギーが抑制された。このような過熱水蒸気の効果は全く新しい知見であり、食品加工への応用も含め、現在検討中である[9]。

4. 環境方面への展開

4.1 過熱水蒸気による活性炭再生とその利用

資源循環により、省資源・維持可能な社会を形成するため過熱水蒸気を用いて、再利用されなかった医療用活性炭を再利用することを目的として、吸着再生実験を行った (Photo 4)。

再生評価には、活性炭にキシレンを吸着させ、これに過熱水蒸気処理を温度、時間、攪拌などを加え、活性炭粒子への影響や吸着力への有効性確認をその脱離・洗浄効果を吸着装置にて判定した。飽和キシレン吸着炭を 300°C から 600°C の過熱水蒸気により 30 分から 1 時間処理することにより重量減少が見られ、活性炭に吸着されたキシレンが脱離剥離したものであると判断した。Table 3 にあるように、未使用活性炭と同様のキシレン吸着力が回復し、その能力は 30 回以上持続され、過熱水蒸気による剥離洗浄効果と判断した。また活性炭の細孔測定では、その形状や表面積、細孔径などへの影響はみられなかった[10]。過熱水蒸気は、熱伝導と凝縮により、洗浄効果をもつことから、使用済み活性炭の再活性化技術として可能であること、さらに精度の高い温度制御性により、小口から大口ロットによる対応ができ、低コストにて循環再利用することを現在実証中である。

Nine-cc of xylene was evaporated to a concentration of 400ppm in a cubic meter glass box. Evaporated gas was absorbed in activated carbon and after two hours the gas concentration was measured by using a gas detector tube. This experiment was repeated for 40 times.

Photo 4 Adsorption experimental methods.

Table 3 Effect of superheated steam on charcoal.

Charcoal	Xylene concentration in measuring equipment
Virgin charcoal	10 ppm
Reactivated (5 times)	10 ppm
Reactivated (10 times)	10 ppm
Reactivated (20 times)	11 ppm
Reactivated (25 times)	15 ppm
Reactivated (30 times)	18 ppm
Reactivated (40 times)	120 ppm

4.2 過熱水蒸気と誘導加熱キメラ技術によるドラム缶再生

循環型社会構築の観点から、ドラム缶の再生利用の強化が求められている。特に、ショットブラストによる廃棄物を出さないこと、乾燥や洗浄における熱エネルギー水の節約と洗浄汚染水の削減、また作業環境としての臭い、騒音や有害ガスなどの発生を抑え、総合的に環境負荷の少ないシステムの開発導入が求められている。我々は、ここでこれまでの過熱水蒸気を利用した経験から、洗浄工程への利用、また、過熱水蒸気を発生させる原理としてきた誘導加熱を合わせて使用する

ことで、これらの問題点を解決しようとしている。これまで、Fig. 5にあるように、過熱水蒸気の凝縮と剥離作用および疎水的性質を利用して、過熱水蒸気をドラム缶内部洗浄に使用している。改良工程の概要は、秒単位の誘導加熱により、ドラム缶表面の温度を塗料融点近傍まで加熱し、その後ブラシで剥ぎ取る最初の工程がある。ここでは、誘導加熱で表面塗装剥離を行うことで、ショットブラスト工程をなくし、ショットブラスト滓を生成させず、廃棄物排出をゼロにするものである。内部洗浄には、過熱水蒸気を使用して剥離洗浄を行い、効率的な内部洗浄が可能になり、さらに余熱を利用して乾燥も行うことができるので、熱風炉乾燥を省ける。最終的には、ドラム缶あたり熱エネルギーでは、従来法では1缶あたり16,600 kcalを使用していたが、新規方法では8,000 kcalとなり、50%の削減を達成し、洗浄水およびリンス水消費を1/10以下にすることができた。これらの工程を導入することで、作業労働環境、特に臭い、有害物質、騒音などの問題を解決するだけでなく、ショットブラストでは生ずるドラム缶表面の衝撃痕を無くすることで、表面塗料の削減と塗膜の均一化による高効果塗装を可能にした。それを可能にしたのは、誘導加熱と剥離手段の複合利用を開発したことによるものである。

5. 展 望

過熱水蒸気装置のハード面で課題となるのは発生装置である。それは、ボイラーでの1次加熱による水蒸気生成、さらに種々の加熱方式による過熱水蒸気への変換の二段階方式で過熱水蒸気が発生されるため、ボイラーを使用し続ける必要

Fig. 5 Drum tube recycle system by fusion of superheated steam and induction heating.

があり、エネルギーコストが高い欠点がある。そのためボイラーの制御性を高める必要があり、同時に、同じエネルギーで生成した過熱水蒸気自体に機能性や目的別に発生させ、エネルギー削減を達成することで、新規な応用展開が期待できる。これを同時に達成するためボイラーレスが検討されている[6]。

同時に解明しなければならない課題として、1000℃を超える過熱水蒸気の特性とその利用である。超高温過熱水蒸気は未開拓分野であり不明な点も多いが、この温度領域を用いて、過熱水蒸気と有機物を接触させ、水素、メタン等を生成する反応である水蒸気改質反応に使用できるかもしれない。反応プロセスを以下に示すが、

ここで生ずるメタンや水素を燃料とすることができるからである。実際、関連報告が水蒸気改質処理法によるウランで汚染された廃 TBP/n-ドデカン処理技術開発として既になされている[11]。

過熱水蒸気装置が食品加工機械産業や環境分野にどのような影響を持つかについては興味のあるところである。ただ大きな方向性として食品加工産業では大型化による効率的な大量加工を目指す方向、小型装置により、少量多品種を個別対応装置で付加価値をつける方向に 2 極化すると思われる。

環境分野については、過熱水蒸気がブラウンフィールド（土壌汚染の存在、あるいはその懸念から、本来、その土地が有する潜在的な価値よりも著しく低い用途あるいは未利用となった土地）の浄化に利用できる可能性があり、20 兆円を超える巨大市場が存在するとさえ言われている。その主たるものは、VOC 汚染、重金属汚染、油汚染であり、この分野では省資源型装置の大型化と、個別対応装置開発が望まれている。

最後に過熱水蒸気は、智慧の活用によって、その利用展開が期待できるものであり、作る技術というよりは、むしろ使う、使い込む技術であることを再度強調させていただきたい。過熱水蒸気については、下記まで問い合わせ下さい。(財)大阪科学技術センター 技術振興部 katayama@ostec.or.jp <http://www.ostec.or.jp/>

謝 辞

最後に予期しなかった異分野からの原稿依頼の機会を頂いたことに感謝すると同時に、貴重なご意見、コメントが頂戴できれば、幸甚である。

参考文献

- [1] Handbook of Superheated Steam Technology-Its Characteristics and Recent Developing Usage and Equipments (in Japanese), NTS, Tokyo, (2005).
- [2] E.Hausbrand, Das Trocknen mit Luft und Dampf, 61-63, Verlag von Julius Springer (1920).
- [3] H. Suzuki; Characteristics of Superheated Steam, Handbook of Superheated Steam Technology-Its Characteristics and Recent Developing Usage and Equipments (in Japanese) NTS, Tokyo, 3-16 (2005).
- [4] K. Miyatake, Multi Purpose Use of Superheated Steam (in Japanese), IEEJ Journal, Vol.128, 97-100, (2008).
- [5] K. Miyatake, Superheated Steam Multi Use Project, Cooperative Research Activities among Industry, Government and Osaka Prefecture University (in Japanese), Chuokeizaisya, Tokyo, 97-112, (2009).
- [6] K. Miyatake, Development of Boiler-less Functional Superheated Steam Generator (in Japanese), Report in JST 2010 Seed Excavation Research (Developing Type) (2010).
- [7] K. Miyatake, Research and Development of Persimmon Peeling Machine by Fusion of Superheated Steam and Enzymatic Technologies (in Japanese), Reports in 2008 Regional and New Industry Development Subsidy Project, supported by The Ministry of Economy, Trade and Industry Kinki Bureau (2008).
- [8] <http://www.mikasangyou.co.jp/>
- [9] M.Hirotata, Y.Suzuki, M.Ueda, M.Nakazawa, K.Miyatake, H.Inui, A.Syoujou, T.Enomoto, T.Fujita, I.Kobayashi, Y.Ishikawa, M.Miyagi, T.Okuma and K.Ito, Effective Use of Superheated Steam for Papaya (in Japanese), Annual Meeting of JSBBA 2011 Abstract, p.72 (2011).
- [10] K.Miyatake, M.Ueda, M.Nakazawa, I.Kobayashi and T.Tashiro, Application of Superheated Steam for Charcoal Regeneration (in Japanese), Annual Meeting of JSBBA 2008 Abstract, p.207 (2008).
- [11] A.Nakagawa, T.Sone, and K.Tashiro, Treatment Technology Development of Uranium Contaminated Spent TBP/n-dodecane Solvent by Steam Reforming (in Japanese), JAEA-Technology, 2010-014 (2010). <http://www.jaea.go.jp>