



# アクアガス（微細水滴含有過熱水蒸気）システムの 開発と農産加工への応用

（平成 22 年度日本食品科学工学会技術賞）

五十部誠一郎<sup>1\*</sup>、小笠原幸雄<sup>2</sup>、根岸由紀子<sup>3</sup>、殿塚婦美子<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所

<sup>2</sup> 株式会社タイヨー製作所

<sup>3</sup> 女子栄養大学栄養科学研究所

<sup>4</sup> 女子栄養大学名誉教授

## Development of a New Heating System by Combining Superheated Steam and a Hot Water Spray (Aqua-Gas<sup>TM</sup>) and Its Application to Food Processing

Seichiro Isobe<sup>1\*</sup>, Yukio Ogasahara<sup>2</sup>, Yukiko Negishi<sup>3</sup> and Fumiko Tonzuka<sup>4</sup>

<sup>1</sup> National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research  
Organization, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba 305-8642

<sup>2</sup> Taiyo Seisakusho CO. LTD., 226-10 Shimizukawa, Hokuto 041-1221

<sup>3</sup> Kagawa Nutrition University Kagawa Education Institute of Nutrition, 3-9-21 Chiyoda, Sakato 350-0288

<sup>4</sup> Junior College of Kawaga Nutrition University, 3-24-3 Komagome, Toshima, Tokyo 170-8481

Superheated steam was applied to food processing because of advantages that include efficient heat transfer by latent heat and the prevention of product oxidation. Superheated steam solves problems such as water absorption and the dissolution of solid content from foods caused by hot water or saturated steam heating; however, it causes low product yield due to its high drying capacity. In order to extend the application of superheated steam to food processing, a new oven system (Aqua-gas<sup>TM</sup>) using superheated steam and micro droplets of hot water has been developed. In this system, a mixture of superheated steam and hot water was achieved under normal pressure by spraying pressurized boiling water into a heating chamber through a nozzle. It was found that Aqua-gas has a higher heat transfer rate than ordinal superheated steam, especially with cold materials. Fresh vegetables have been pasteurized effectively with little change in texture by heating with this system. The moisture content of the food product processed with this oven system can be controlled by regulating the amount of micro droplets used in the superheated steam. This system is currently used in the food industry for cooking potato salad, preprocessing meat, and in the pasteurization of fish products in Japan.

(Accepted May 25, 2011)

**Keywords** : superheated steam, water micro droplet, blanching, condensation, surface pasteurization

**キーワード** : 過熱水蒸気, 微細水滴, ブランチング, 凝縮, 表面殺菌

### 1. はじめに

過熱水蒸気は従来から加熱初期の凝縮潜熱と熱容量の大きい 100℃ 以上の水蒸気による素材への迅速な熱伝達と酸素をほとんど含まない加熱媒体として、乾燥などに用いら

れてきた。

過熱水蒸気は、家庭用電気調理機器にも搭載され、健康増進に寄与する効果（調理時の素材からの脱塩や脱油の現象や加熱時の素材の酸化防止等の効果）や焼成処理が可能なことから注目され、一般消費者への認知や実際の導入も進んでいる。食品加工の分野においても、水産物の焼成処理や農産物・食品素材の乾燥、さらには農産物および食品の殺菌効果についての検討が行われ<sup>1)~6)</sup>、既に多くの分野で実用化されている。

<sup>1</sup> 〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

<sup>2</sup> 〒041-1221 北海道北斗市清水川 226-10

<sup>3</sup> 〒350-0288 埼玉県坂戸市千代田 3-9-21

<sup>4</sup> 〒170-8481 東京都豊島区駒込 3-24-3

\* 連絡先 (Corresponding author), seiichi@affrc.go.jp

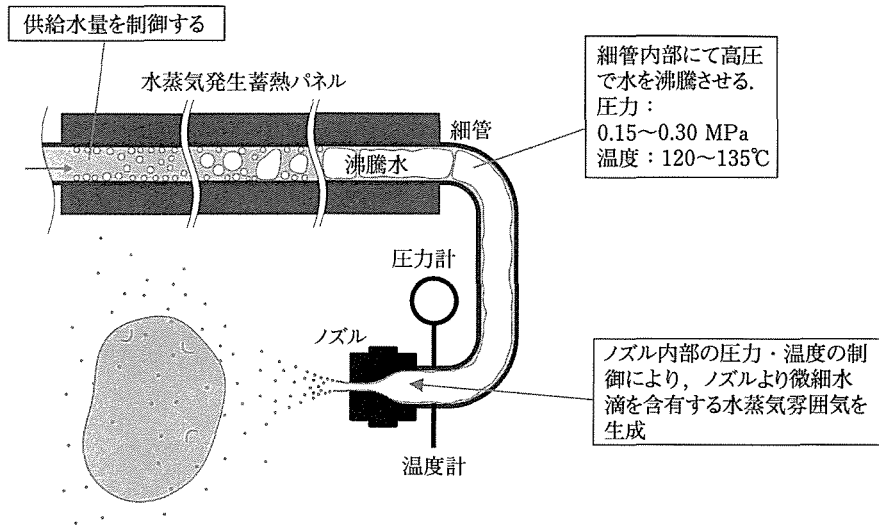


図 1 アクアガスの発生機構

過熱水蒸気を安定的条件で調整するには、一般的に 150℃以上と高温であり、かつ処理中の乾燥現象が農産物の品質や歩留まり低下を引き起こすことが課題であった。そのような課題の改善のため、筆者らは、過熱水蒸気システムの改良を進め、新しいシステムを開発した。圧送ポンプでヒーター内へ移送された水を加圧状態で 140℃ 程度まで加熱し、115℃ の温度設定を行った加熱庫内にノズルから噴霧することで生成される、微細水滴を含む過熱水蒸気の加熱媒体を用いるシステムであり、この加熱媒体をアクアガスと呼称している（この「アクアガス」の用語は食品および研究分野において共同研究企業により商標登録されている）。

開発したシステムでは、従来の過熱水蒸気よりも低温域（115℃）でも安定的かつ微細水滴が含まれることで従来の過熱水蒸気よりも熱効率がよく、また処理中の乾燥現象も抑制できる。このシステムの農産加工への実用化のために、このアクアガスの特性解明、発生機構の確立、装置化、さらに実際の農産加工での評価および最適手法の確立について、生物系特定産業技術研究支援センター「生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業」の中で 5 機関において連携して研究を進めてきた。

現在では、このアクアガス加熱の加工処理用の装置が 11 台販売され、農畜産物の加熱処理等へ利用が開始されており、今後も効率性の向上のための連続システムの開発や低コストでの厨房タイプの開発が継続されている。

ここでは、このアクアガスシステムの概要と農産加工への応用を目的として取り組んできた成果について概説する。

## 2. アクアガスシステムの目的<sup>7)~9)</sup>

食品の安全性などの問題から消費者の国産農産物嗜好が強い現状がある。一方、国産農産物については収穫時期が

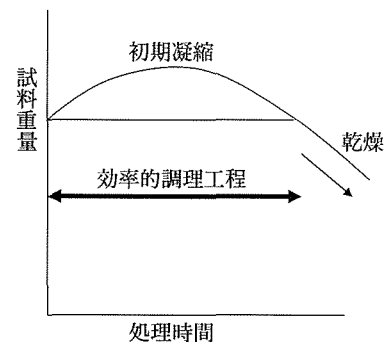


図 2 初期凝縮過程から乾燥過程への試料重量変化

限定されていることから、素材によっては輸入農産物に依存する状況にある。またカイワレダイコンの食中毒事故以降、生野菜の流通販売においては、その微生物制御が大きな課題となっている。

このような状況下で、農産物の高品質かつ安全で日持ち性の高い一次加工食材が調製出来ないかという観点から検討を行い、過熱水蒸気に注目して新たなシステムを開発した。このシステムの最大のポイントは、過熱水蒸気での初期凝縮からの一定期間の加熱処理を効率的に実施することであり、そのために、加熱した水を高速で加熱チャンバ内に噴霧し、加熱チャンバ内に常圧で 115℃ 前後の微細水滴を含んだ過熱水蒸気雰囲気を調整し、食材加工するシステムを開発した（図 1）。食材を過熱水蒸気雰囲気に投入してからの初期過程は、伊與田らが報告しているように ①凝縮過程、②蒸発復元過程、③蒸発乾燥過程からなる「凝縮から蒸発への反転過程」と見なされる<sup>10)</sup>。この経過での食材の重量変化を図 2 に示す。

ここで重要なのは、加熱初期では表面を水蒸気の凝縮による水層が存在し湿った状態で潜熱の形で熱が伝達される

ことであり、これが野菜などの表面の短時間殺菌に利用できる。さらに、その後の処理工程で農産物を長期間貯蔵するのに必要な自己酵素の失活などに必要な加熱処理を進める際にも、食材表面に形成された水層が蒸発している過程においては、食材重量の減耗を生じることなく、効率的な調理工程が設定できる。この2つの効果をより促進することを目的で開発されたのが、アクアガスシステムである。

### 3. アクアガスの基礎特性

#### 1) 熱特性<sup>1)</sup>

アクアガスの加熱対象物への熱伝達率を測定するため、加熱チャンバ内に定常熱流を作り、その熱流束の測定が可能な熱流計を作製し、アクアガスの他に過熱水蒸気ならびに高温空気の熱流計への熱伝達係数を測定した。加熱媒体の温度は、アクアガス試作機が最も安定してアクアガスを発生させることが可能な115℃とした。過熱水蒸気ならび

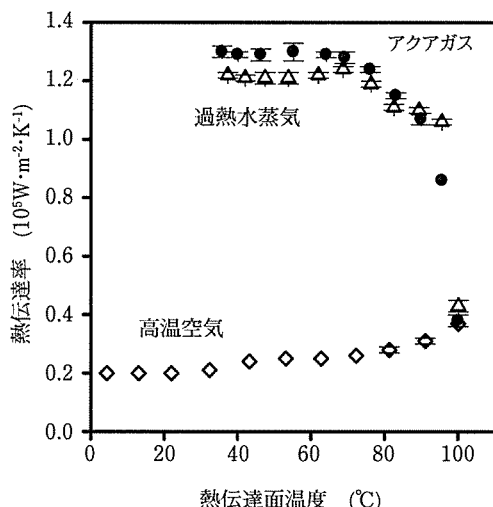


図3 アクアガスの熱伝達係数の温度依存性—過熱水蒸気、高温空気との比較—

に高温空気を用いた実験においては、アクアガスオープンへ過熱水蒸気あるいは高温空気をそれぞれ導入することにより行い、熱流計付近の加熱媒体流れ等の条件が同一になるよう調整し測定を行った。また加熱媒体の熱伝達率について、加熱対象物の表面温度に対する依存性を調べるため、熱流計表面温度を変化させ測定を行った。

測定された加熱媒体から熱流計への熱伝達率を図3に示した。アクアガス、過熱水蒸気ともに、熱流センサ表面温度が70℃以下では熱伝達率はほぼ一定の値を示したが、熱流センサ表面温度が70℃以上になると、熱伝達率が低下する傾向が見られた。またアクアガスと過熱水蒸気を比較すると熱流センサ表面温度が80℃以下ではアクアガスの熱伝達率が過熱水蒸気よりも高い値を示した。この理由としては図4に示したような食品表面の凝縮水層を微細水滴による攪拌作用と推察している。

測定では、また熱流センサ表面温度が80℃以上になるとアクアガスの熱伝達率は過熱水蒸気と比較して低くなった。この熱伝達係数の温度依存性の原因としては、熱流センサ表面に付着した凝縮水等が熱移動抵抗となったためと考えられ、微細水滴によりセンサへの水の付着が多いアクアガスではこの傾向が強くなったためと考えられる。

またモデル食品試料として澱粉ゲルを用い、アクアガス、過熱水蒸気および高温空気にて加熱を行い、試料の質量変化を測定しそれぞれの加熱媒体の乾燥特性を評価した。測定されたモデル食品試料の質量変化を図5に示した。高温空気を用いた実験では試料の質量は測定開始後直ちに減少した。これは試料からの水分の蒸発によるものと考えられた。アクアガスならびに過熱水蒸気を用いた実験では、測定開始後、試料表面において水蒸気の膜状凝縮が観察され、凝縮水の付着による試料の質量増加が確認された。アクアガス、過熱水蒸気を用いた実験共に、試料の質量は約10分間増加した後、減少に転じた。アクアガスにおける試料質量の減少速度は過熱水蒸気と比較して遅かっ

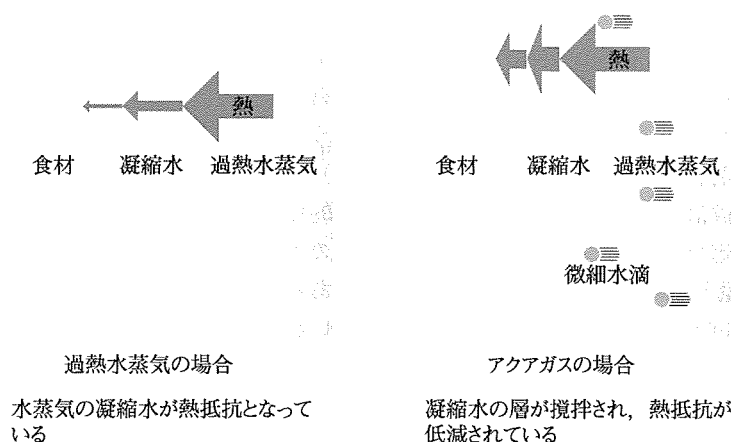


図4 アクアガスの伝熱メカニズム

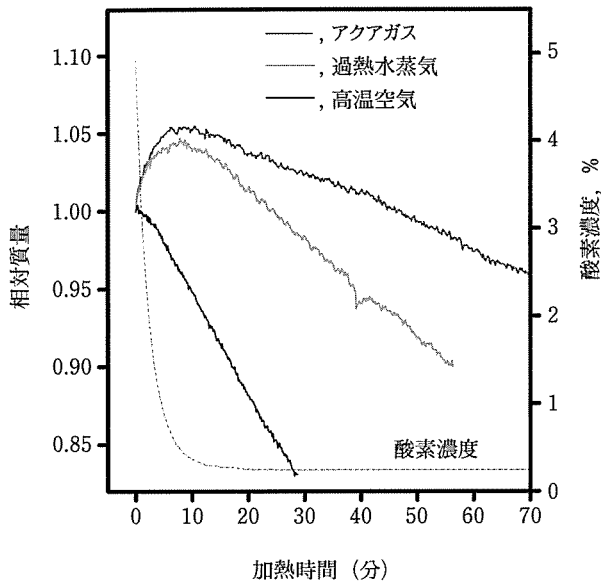


図 5 アクアガスなどの加熱処理でのデンプンモデル試料の質量変化

た。これはアクアガス中の微細水滴が試料に付着し、試料の乾燥を抑制したためと考えられる。

2) 微細水滴の挙動<sup>11)</sup>

アクアガスでの微細水滴の確認と挙動解明のために、高速カメラによる測定を実施し、微細水滴の存在および粒径などを明らかにした。撮影箇所はノズル近傍から 20 mm 刻みで 120 mm までの位置とし、それぞれの撮影箇所に合わせてカメラと照明の位置を動かした。撮影された微細水滴から水滴径を画像処理により計算した。図 6 に口径 1.3 および 1.9 mm のノズルを使用した際のノズル出口から 20 mm の位置において撮影された微細水滴画像を示す。ノズル口径により生成される微細水滴の径に違いがあることが明らかになった。さらに 1.9 mm ノズルでは初めに大粒径の水滴が生成され、その後水滴が剪断され小粒径の液滴となり、また 1.3 mm ノズルではノズル噴霧口から小粒径の水滴が噴霧される様子が観察された。

3) 微細水滴の発生機構<sup>12)</sup>

実際の食品加工に関して、アクアガスの条件設定にノズル形状や供給水量が重要な因子であり、そのための微細水滴の発生条件の制御方法についても検討を行った。加熱室の温度を 115℃ に設定した場合の、噴霧ノズル内部の圧力(ノズル内圧)および装置に供給された熱水量(流量)と各条件での水蒸気流量と水滴流量の関係を図 7 に示す。ノズル内圧が低い場合は供給水量と理論水蒸気流量は一致し、水滴が含まれないが、ノズル内圧が上昇し水蒸気噴流が音速に達する(図 7 の破線部分)と実測供給水量が理論水蒸気流量を上回ることが確認された。つまりこの条件が噴霧された熱水の一部が噴霧された時点で蒸発できない点(臨界点)と考えられ、この条件以上で加熱室内に水滴が存在

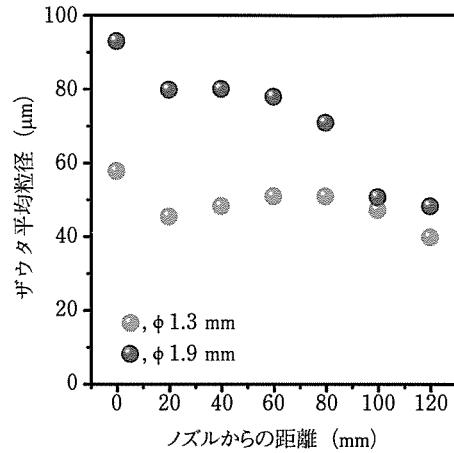


図 6 微細水滴の平均粒径変化

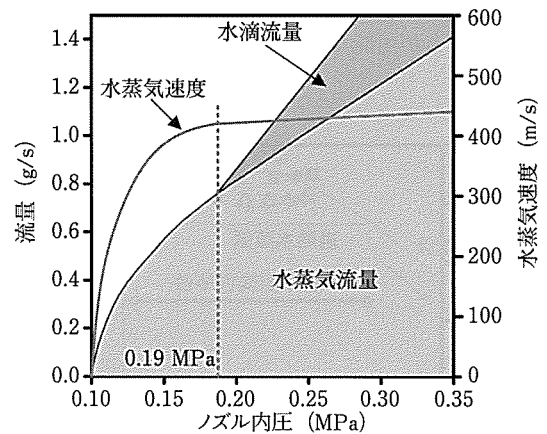


図 7 水蒸気流量、水滴流量とノズル内圧の関係

する状態が発生する。つまり、ノズル内圧と供給水量を制御することで、アクアガスの発生状態やさらに水/水蒸気の比を制御できることを示しており、この結果を活用することで、アクアガスの状態の制御が可能となり、実用化が可能となった。

4. 農産加工への応用

アクアガスは、通常の過熱水蒸気に比べて、2つの特徴を有している。1つは、加熱初期での熱伝達効率が高いということ、2つ目は、加熱時の蒸発速度の制御(速度低下)が出来るということである。食品加工に用いられる一般的な過熱水蒸気温度は、120℃ から 200℃ 程度であり、1つの大きな特徴として焙煎や焼成といった処理工程も可能である。アクアガスでは、115℃ 前後で、焼成処理には向かないが、比較的低温であることから、農産物の 1 次処理などへの応用が想定される。特にカイワレダイコンの集団食中毒事故以来、高品質の微生物制御法の要望の高い生野菜の殺菌処理や、自己酵素失活、物性改善等の目的で実施されるブランシングへの利用が期待される。食材によって

は、ある程度の加熱処理時間を必要とするものがあるが、過熱水蒸気処理の場合、高温での品質劣化に加えて、過熱水蒸気の特徴的な現象として、伊與田らが報告している<sup>10)</sup>凝縮から乾燥にいたる反転過程の中で、食材の乾燥による歩留まりの低下が予想される。アクアガス処理の場合、含有する微細水滴により、この反転過程の制御が出来ることで、加熱処理中の歩留まりの向上が大きな利点である。

さらに通常の飽和水蒸気処理や茹で処理で懸念される対象農産物成分（特に水溶性画分）の溶出や周辺の水の一部吸水による物性変化などを低減することで、品質の保持が期待できる。

1) アクアガスによる殺菌<sup>12)~16)</sup>

アクアガスおよび過熱水蒸気にてキュウリの加熱を行い殺菌効果について検討した。

処理温度は115℃とし、処理時間は30秒および60秒とした。未処理の試料と加熱処理をした試料について、一般生菌数をコロニーカウント法にて計数した。

キュウリの殺菌結果を図8に示した。アクアガスおよび

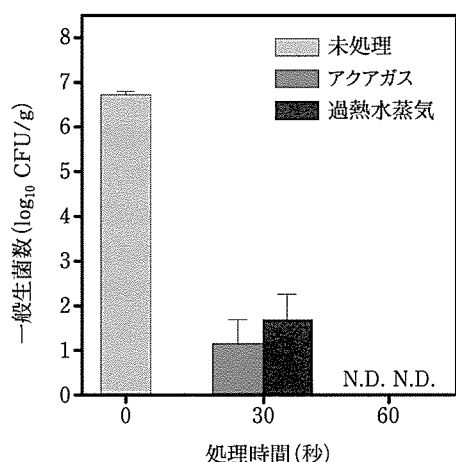


図8 キュウリ常在菌（一般細菌）への殺菌効果

過熱水蒸気ともに30秒間の加熱で一般生菌数を10<sup>2</sup> CFU/g以下に減少させることができ、また60秒間加熱された試料からは一般生菌は検出されなかった。加熱中の試料表面温度を測定したところ、アクアガスでは過熱水蒸気と比較して速やかな温度上昇が見られ、このためアクアガスは更に高い殺菌効果を示したものと考えられた。加熱処理後の試料の物性や色彩を測定した結果、生のニンジンに近い値であり、30秒間加熱した試料についてはほぼ生野菜としての品質が保たれていると判断された。その理由としてアクアガスの迅速な加熱処理と加熱処理後の速やかな冷却処理を組み合わせることで、図9に示すように野菜の内部組織の熱劣化を抑制していると考えている。生野菜に近い品質を残して、短時間処理で素材表面の微生物を殺菌する用途が適用できる素材としてはニンジン、キュウリ、キヌサヤ、ブロッコリー、カリフラワー、グリーンアスパラなどが挙げられる。またこれらの野菜の短時間での殺菌処理物は、サラダ、マリネ、カルパッチョなどが想定されている。なお、後述するポテトサラダなどの調製については、短時間処理で殺菌したニンジン、キュウリなどの利用例と、それらを食材として調製した食品の日持ち性向上を示すものである。

サラダ等に用いられるレタス、サラダ菜、ホウレン草、キャベツの殺菌には非常に高いニーズがあるが、葉菜類などにおいては、10秒程度の処理でも野菜の組織が温度で軟弱化されることで、現時点では利用できない状況にある。今後は短時間処理の改良、さらに加熱処理全般の課題でもある加熱処理後の迅速な冷却方法の検討も進めていく予定である。

また枯草菌胞子をジャガイモ表面に植菌してアクアガスや過熱水蒸気、さらに熱水処理での殺菌効果を検討した結果、アクアガス（115℃）のD値は2.8と、過熱水蒸気（120℃）、熱水（100℃）でのD値、5.0、6.8に比べて、高い

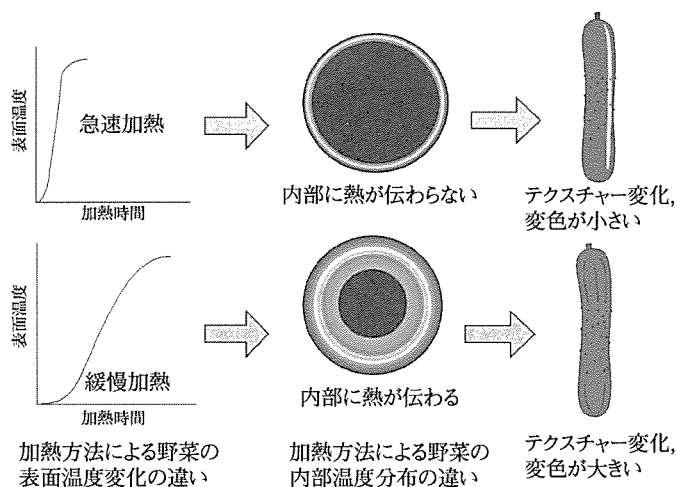


図9 加熱方法が野菜の品質に与える影響の違い

殺菌効果を示し、100℃以上でかつ、湿熱状態での凝縮による表面の迅速な温度上昇がその理由と考えられる。

## 2) アクアガスによるジャガイモのブランチング<sup>17)18)</sup>

ジャガイモは流通量の季節変動が大きく、長期保存技術の開発が求められている。加熱処理により酵素を失活させるブランチング処理はジャガイモ長期保存の有効な手段の一つである。そこでアクアガスによる高品質なジャガイモのブランチングを試みた。ジャガイモ（男爵）のうち質量が140～160gのものを選び、115℃のアクアガスおよび過熱水蒸気ならびに100℃の熱水を用いてジャガイモの加熱処理を行った。加熱中のジャガイモ内部の温度分布を測定し、また5～30分間加熱したのち急冷したジャガイモの中心部を通る切断面において、ジャガイモの品質低下に関わり耐熱性の高いペルオキシダーゼが活性を示す領域を簡易的に測定したところ、熱の進行とともにジャガイモの表層部から温度が上昇し、これに伴ってペルオキシダーゼの失活が進行し、25～30分間の加熱処理によりジャガイモ中のペルオキシダーゼがほぼ失活した。別途行った実験により加熱媒体間には熱伝達率に差が確認されたが、ペルオキシダーゼ失活の進行に加熱媒体間の差は見られなかった。これは、ジャガイモ内部における熱拡散が温度上昇に対して支配的であったためと考えられる。

115℃のアクアガスおよび過熱水蒸気ならびに100℃の熱水にて、ジャガイモ中の酵素失活に十分な加熱時間は30分と判明したことから、それぞれの加熱条件にて30分間加熱処理したジャガイモについて品質の評価を行った。

加熱処理を行ったジャガイモについて、力学的特性を測定した結果、熱水にて処理されたジャガイモは軟化が著しく進み、もろく崩れやすくなっており形状を保持しがたいという結果となった。アクアガスおよび過熱水蒸気にて処理されたジャガイモは軟化が比較的抑えられており、形状が保持されていた(図10)。色彩については、いずれの加熱媒体による処理においてもジャガイモ表皮の明度および鮮やかさが低下したが、熱水にて処理されたジャガイモにおいてその傾向が顕著であった。ジャガイモ表皮に関しては未処理の試料には細胞壁由来と考えられる網目構造が観察され、アクアガスおよび過熱水蒸気にて処理された試料についても同様な構造が観察されたが、熱水にて処理されたジャガイモ表面にはこのような構造は認められなかった。またジャガイモ中心部については、未処理のものについてはデンプン粒が観察され、アクアガスおよび過熱水蒸気にて処理された試料においてはやはり細胞壁由来と考えられる構造が観察された。熱水にて処理された試料においても同様な構造が観察されたが、全体的に滑らかになっていた。以上のことを考慮すると、熱水処理と比較してアクアガス処理および過熱水蒸気処理においては、ジャガイモの品質低下を抑制した加熱処理が行えると考えられた。

またそれぞれの加熱媒体にて加熱処理されたジャガイモ

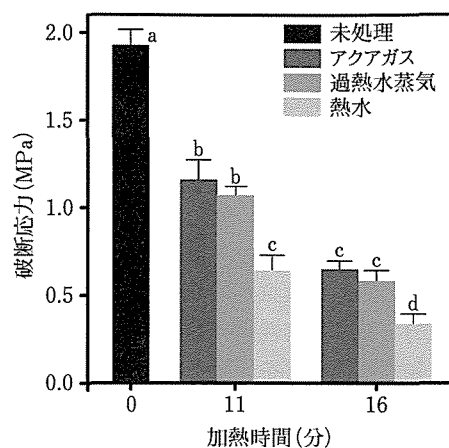


図 10 加熱によるジャガイモのテクスチャー変化

の目減りについて測定した結果、アクアガス処理ではジャガイモの目減りが抑制され、これは微細水滴によりジャガイモの水分が調整されたためと考えられた。以上の結果から、アクアガス処理ではジャガイモの目減りを抑えながら良好な品質にてブランチングを行うことが可能であると結論付けられた。

## 3) ブロッコリーのブランチング<sup>19)</sup>

ブロッコリーを用いて、アクアガス加熱と既存の加熱法(茹でる、蒸す)について実験を行った。3-4cmの小房に切り分け、実験に供した。加熱条件は、芯温が95℃到達時までとした。処理時間をアクアガスで5.2分、茹で加熱で4.3分、蒸し加熱で5.7分であった。処理試料について物性、色調および総ビタミンC量の測定および官能検査を実施し、その結果、アクアガス加熱処理では、水っぽさがなくまた甘みが強いという味の面と硬さにおいても「丁度良い」と評価され、味および嗜好性が良好であることが明らかになった。色調においては、冷蔵貯蔵後の色変化が少なく、さらにビタミンCにおいても他の処理に比べて高い残存率(100%)を示しており、栄養面でも嗜好性の面でも品質の高い加熱食材を調製できる可能性を示唆していた。既にアクアガス加熱処理で上記のような優位性を確認したのものとして、他にも枝豆<sup>20)</sup>、ダイコン<sup>21)</sup>、さといも<sup>22)</sup>、ニンジン<sup>23)</sup>についても報告しているので、参照されたい。

## 4) アクアガスによるポテトサラダ調理<sup>13)</sup>

ポテトサラダは惣菜の中でも、販売量が高い商品である。しかしながら、原材料の初発菌制御が困難なことから、安全とおいしさを両立させることが難しく、その品質保持技術の開発が急務となっている。そこでアクアガスおよび従来法にてポテトサラダを調理し品質について検討した。アクアガス調理ではジャガイモ、ニンジン等はアクアガス加熱を行い、タマネギ、キュウリ等の材料についてはアクアガスによる短時間加熱により殺菌したものをを用いた。従来の調理法では、ジャガイモ、ニンジン等は蒸し器で加熱

表 1 ポテトサラダ中の菌数変化 (CFU/g)

試験区	初発		10℃ 4日後	
	一般生菌数	大腸菌群	一般生菌数	大腸菌群
対照	$1.5 \times 10^3$	陰性	$9.0 \times 10^5$	陰性
アクアガス	<300	陰性	<300	陰性

対照においては、ジャガイモは蒸し機で加熱（芯温 95℃ 到達後 20 分）、キュウリ等の野菜については、200 ppm の次亜塩素酸ナトリウム溶液浸漬処理あるいは沸騰水での短時間加熱処理して調製した。アクアガス処理においては、素材を各加熱時間で処理して、調製した：ジャガイモ（芯温到達後 10 分）、キュウリ（1 分）、人参（4 分）、キャベツ（3 分）。

し、タマネギ、キュウリ等は次亜塩素酸ナトリウム水溶液等を用いて殺菌したものを用いた。

それぞれの方法で調理したポテトサラダを 10℃ に保存し、細菌数の変化を調べた結果を表 1 に示した。アクアガスにて調理されたポテトサラダは大幅に日持ちが改善したと言えよう。さらにパネル 6 名にて二点嗜好試験法により食味試験を行った結果、食味、香り、テクスチャー、色調全てにおいて対照処理よりもよいという結果となった。大型アクアガス加熱装置（アクアクッカー）を用いて加熱処理したジャガイモを使用したポテトサラダは、平成 17 年秋から継続的に試験販売され、他の総菜などと比較した商品評価としても高い評価を継続的に得た。

今後は、短時間殺菌処理などを効率的に行う装置の開発も含めて研究成果として認められている生野菜の殺菌処理も含めたポテトサラダなどの総菜や他の食品製造への普及を進める予定である。

### 5. アクアガス加熱処理の特徴を生かしたレシピ開発<sup>24)</sup>

今まで述べてきたアクアガスでの野菜などの表面殺菌処理やブランシングでの特性評価を基に、大量調理でのアクアガス加熱処理の利用方法について、女子栄養大学で検討を行った。その結果、アクアガス処理することで、従来の加熱処理よりも品質的に優れた条件や微生物制御処理により安全性が高まった野菜素材を用いた食品調理による微生物学的リスク低減、さらに省エネ、時間短縮などの調理の作業性での利点などを明らかにして、それらの特徴を利用したレシピなどを開発した。

具体的には、アクアガス加熱による赤飯については、「振り水の必要がなく、作業の省力化が可能、また加熱による水分蒸発がなく加水量調節による硬さの調製が容易である。この加熱処理で、米のつやや香りがよく炊き上がる。」という特徴を有している。このレシピ集は、品質特性などについては論文化したものを基礎に、さらに大量調理の観点での利点を加えた 150 以上のレシピを纏めたものであり、現在もそのレシピの作成などを継続している。提案された高品質で安全性の高い、調理方法は給食関係者から注

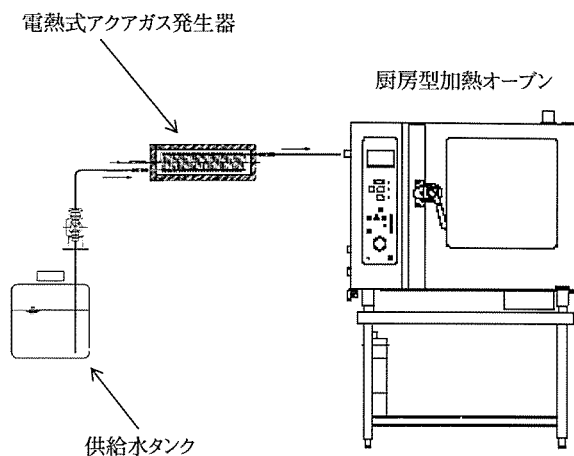


図 11 アクアガス発生機の活用方法（一例）

目され、病院給食や学校給食での実用化に向けて実証試験が継続されている。

### 6. アクアガス加熱装置の実用化<sup>25)26)</sup>

アクアガス加熱処理については、装置開発担当のタイヨー製作所で複数の試作機を経て実用機を開発し、大量生産用アクアガス加熱装置（アクアクッカー）（ジャガイモの加熱処理で 1 回 200 kg 程度の処理が可能）、さらにホテルパン 1/2 サイズ 5 枚を処理できる厨房型アクアクッカーを既に製造販売を開始している。現在、ベルトコンベヤーを組み込んだ連続式の加熱装置の開発を行っているところである。さらに水蒸気を用いた通常の加熱容器などにアクアガスを導入して低コスト、省スペースで利用できるように、電熱式あるいは蒸気式の熱交換装置を組み込んだアクアガス発生器を開発した（図 11）。装置の実用化とともに、アクアガス加熱装置を用いた食品の製造販売も、試験販売されていたポテトサラダだけでなく、鶏肉製品などが既に販売されており、今後も増加する予定である。

### 7. さいごに

農産加工においてニーズの高い野菜などの表面殺菌やブランシングに対して、過熱水蒸気を活用するために開発した新しいシステム（アクアガス）について、装置の概要から基本特性、さらにいくつかの農産加工への応用事例について述べた。これらの応用事例については、一般的な農産物において予備検討などをすでに実施しているが、適用しにくい野菜なども多くあることがわかっている。今後は、アクアガス処理を様々な農産物へ応用し、高品質で安全な汎用食材を周年安定供給することが可能なシステムについて検討し提案していく予定である。またそれらの食材をアクアガスにて効率的かつ高品質に調理することが可能なレシピを開発・提供することによりアクアガス利用を促進し、安全でおいしい食品の供給に貢献していきたいと考える。



このアクアガス技術の開発は生物系特定産業技術研究支援センター「生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業」の「アクアガスを用いた高品質汎用食材の新規調製技術の開発：コンソーシアム構成：(独)食品総合研究所(当時)，(株)タイヨー製作所，女子栄養大学，(株)ローズコーポレーション，(有)梅田事務所」によって実施されたものである。

農畜産物を安全で美味しく処理する技術として開発したアクアガスは、現在、厨房や給食施設、さらに加工食品への展開を行っており、このような取り組みが出来たのは、開発当初に梅田圭司先生(有限会社梅田事務所代表(当時)，元食品総合研究所長)の調整の元，女子栄養大学香川芳子学長，ローズコーポレーション市村 稔社長(当時)，タイヨー製作所丸山 量社長などの皆様の理解を得て，各専門分野をカバーしたコンソーシアムを立ち上げられたことによります。開発当初から本技術に携わってこられた関係者，さらに今回，アクアガス加熱について評価頂き，またその成果を紹介する場を与えて頂いた食品科学工学会の関係者に深謝申し上げます。最後に今回の成果を前にご逝去された梅田圭司先生のご冥福をお祈りいたします。

## 文 献

- 1) 塚田 直，食品工業に於ける加圧水蒸気と過熱水蒸気の利用，日食工誌，**31**，536-545 (1984).
- 2) 西岡不二男，浅岡大介，山崎雅夫，過熱水蒸気を用いたホクテ白干し製品の高品質化，日本食品科学工学会誌，**51**，167-171 (2004).
- 3) 阿部 茂，宮下和夫，過熱水蒸気および高温空気による水産乾製品の表面殺菌，日本食品科学工学会誌，**53**，373-379 (2006).
- 4) 小野和広，遠藤浩志，稲津康弘，宮尾茂雄，白菜付着微生物に対する過熱水蒸気の殺菌効果，日本食品科学工学会誌，**53**，172-178 (2006).
- 5) 小野和広，遠藤浩志，山田純市，庄司一郎，五十部誠一郎，常圧過熱水蒸気は生そばの保存性と食味に及ぼす影響，日本食品科学工学会誌，**54**，320-325 (2007).
- 6) Bari, L., Nei, D., Sotome, I., Nishina, I., Hayakawa, F., Isobe, S. and Kawamoto, S., Effectiveness of superheated steam and gas catalytic infrared heat treatments to inactivate salmonella on raw almonds. *Foodborne Pathogens and Disease*, **7**, 845-850 (2010).
- 7) 五十部誠一郎，高品質食品製造を目的としたアクアガス調製技術の開発，食糧，**47**，1-19 (2009).
- 8) 五十部誠一郎，アクアガスの加熱機構と農産加工への応用，日本食生活学会誌，**17**，193-197 (2006).
- 9) Sotome, I. and Isobe, S., Food processing and cooking with new heating system combining superheated steam and hot water spray. *JARQ*, **45**, 69-76 (2011).
- 10) 伊興田浩志，西村伸也，野邑奉弘，過熱水蒸気乾燥における凝縮から蒸発への反転過程，日本機械学会誌論文集，**63**，170-176 (1997).
- 11) 五月女格，坂本晋子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎，微細水滴を含む過熱水蒸気の伝熱・乾燥特性，日食工誌，**6**，229-236 (2005).
- 12) Sotome, I., Ogasawara, Y., Nadachi, Y., Takenaka, M., Okadome, H. and Isobe, S., Measurement of steam/water ratio in nozzle jet of an oven system using superheated steam and hot water spray. *Japan Journal of Food Engineering*, **10**, 163-173 (2009).
- 13) 五月女格，小関成樹，鈴木啓太郎，五十部誠一郎，山中俊介，小笠原幸雄，名達義剛，微細水滴を含む過熱水蒸気処理による野菜の高品質殺菌処理，防菌防霉，**33**，523-530 (2005).
- 14) 山中俊介，五月女格，津田升子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎，微細水滴を含んだ過熱水蒸気の殺菌効果の評価と食品調理加工への応用，防菌防霉，**35**，341-349 (2007).
- 15) 五十部誠一郎，非加熱殺菌法を中心とした新規殺菌技術，日本食品微生物学会雑誌，**27**，115-122 (2010).
- 16) 五十部誠一郎，「青果物/カット青果物の衛生管理法と微生物制御技術 11 物理的微生物制御技術 (2) 熱殺菌」，防菌防霉，**35**，519-526 (2007).
- 17) 五月女格，鈴木啓太郎，小関成樹，坂本晋子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎，微細水滴を含む過熱水蒸気によるジャガイモの1次加工処理，日本食品科学工学会誌，**53**，451-458 (2006).
- 18) Sotome, I., Takenaka, M., Koseki, S., Ogasawara, Y., Nadachi, Y., Okadome, H. and Isobe, S., Blanching of potato with superheated steam and hot water spray. *LWT-Food Science and Technology*, **42**, 1035-1040 (2009).
- 19) 殿塚婦美子，長田早苗，谷 武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子，アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第1報 ブロッコリーについて，日本食生活学会誌，**16**，242-248 (2005).
- 20) 殿塚婦美子，長田早苗，谷 武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子，アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第2報 枝豆の加熱法・加熱時間による物性および色調について，日本食生活学会誌，**18**，245-264 (2007).
- 21) 長田早苗，殿塚婦美子，谷 武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子，アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第3報 だいこんについて，日本食生活学会誌，**18**，223-230 (2007).
- 22) 殿塚婦美子，長田早苗，谷 武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子，アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第4報 さといもについて，日本食生活学会誌，**19**，214-223 (2008).
- 23) 長田早苗，殿塚婦美子，谷 武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子，アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第5報 にんじんについて，日本食生活学会誌，**19**，239-246 (2008).
- 24) 五十部誠一郎，給食施設における調理加工技術の新しい方向性，日本栄養士会雑誌，**53**，4-7 (2010).
- 25) 梅田圭司，名達義剛，穴戸 弘，丸山 量，小笠原幸雄，山本 巧，五十部誠一郎，被加熱材料の加熱方法及びその装置，特許4336244号 (2009.7.3).
- 26) 梅田圭司，名達義剛，穴戸 弘，丸山 量，小笠原幸雄，山本 巧，五十部誠一郎，革新的殺菌方法とその用途及び装置，PCT/JP2005/013264 (2006.1.26 国際公開).

(平成 23 年 5 月 25 日受理)