

完全無通風自動製麴装置の開発

株式会社 フジワラテクノアート
代表取締役社長 藤原 恵子

(株)フジワラテクノアート 執行役員技術開発部長 狩山 昌弘
(株)フジワラテクノアート 技術開発部課長 森 章
(株)フジワラテクノアート 技術開発部 臼井 康朗
(株)フジワラテクノアート 技術部課長 平田 利雄

はじめに

麴を使用する日本の伝統的醸造食品は日本人の生活レベルの向上と嗜好の変化によってより繊細な味と香りが要求されている。醸造食品製造においてその味と香りに大きな影響を与えているのが麴である。清酒、味噌、醤油、酢等の醸造食品全てに高品質化が求められており高品質な麴造りが要求されている。清酒でいえば吟醸酒、大吟醸酒あるいは純米吟醸酒は近年確実にシェアを伸ばしておりその生産性の向上が強く望まれている。しかし通常の製品に比べ高品質がゆえに杜氏の経験と技術力が問われ、このような高級酒の麴づくり（製麴）は特に機械化、自動化が困難であった。また杜氏による手づくりにしても高品質の麴を安定的に製造することは、かなり高度な技術を有する杜氏でさえ困難な管理操作を必要とする。

本開発の動機は、高度な技術を有する杜氏でさえ難しい「麴づくり」を高品質かつ安定的に生産することができる自動化装置を開発することにより、大半が中小である全国約2,000の醸造場の製造技術発展に寄与するとともに日本の伝統的食文化発展に資することであった。

開発のねらい

本開発では、市販のスキーウェアやゴルフのレインウェアなどに使用されているポリテトラフロロエチレン（PTFE）を素材とした機能性布を採用しこの布の特性を利用すれば従来の酒造業界では概念のなかった無通風状態における製麴（せいぎく、麴を造ること）方法が確立できるとの発想のもとに、吟醸麴用の全く新しい自動製麴装置の開発を目指した。

「麴づくり」のポイントは、麴1粒1粒の表面から水分を適性に蒸発させながら適性品温経過を実現し、麴菌を適性に増殖させることである。従来の自動化装置では、麴層に通風することにより適性品温経過を実現することはできたが、麴表面からの水分蒸発は不十分であり、吟醸麴の命である「突き破精麴（つきはぜこうじ）」は実現できなかった。本開発では、手づくり麴の基本である伝統的な「蓋麴法（ふたこうじほう）」の本質を抽出し、それを実現するためにポリテトラフロロエチレンを素材とした機能性布（以下、機能性布）が有している微細な連続多孔質薄膜構造を利用し、無通風状態における水蒸気分圧差による水分蒸発量制御法を開発することとした。これにより適正品温経過を維持し、同時に麴表面から十分な水分蒸発を

確保して高品質な吟醸麴を造り出すことができると考えた。そしてこの制御を自動化するための新たな制御アルゴリズムを開発することにより、品質において再現性の高い自動製麴装置の開発を目指した。

装置の概要

図1に装置の断面概略図、図2に麴品温制御の概念図を示す。

装置は図1に示すように吟醸麴を6cm堆積し、所定距離を隔てて上下に機能性布を配置している。この機能性布により麴近傍の空間と室内空間とが隔てられている。室内の空気は空気調和装置により温湿度が制御されていると同時にファンにより十分に攪拌され、機能性布の表面における水蒸気分圧は均一となっている。麴は増殖、代謝により発熱し温度が上昇するが、麴が持っている水分が蒸発し蒸発潜熱により除熱され温度上昇が抑えられる。蒸発した水分は機能性布を通過して室内に拡散される。

図2に麴温度制御の考え方を示している。上述したように本装置は麴堆積中に通風して除熱する方式でないため麴からの発熱はほぼ全量が蒸発潜熱によって取り除かれる。したがって、連続的に計測する麴の温度を目標値に沿って推移させるには、その目標値と計測値が一致するよ

うに麴からの水分蒸発量を制御すればよいことになる。ところで麴からの水分蒸発量 W_2 は機能性布における水蒸気通過量 W_1 と一致する（若干の遅れは無視）。すなわち、水蒸気通過量 W_1 が制御できれば麴の温度は制御できることになる。機能性布における水蒸気通過量 W_1 は次の式で表せる。

$$W_1 = K (h_2 - h_1)$$

K は機能性布特有の透湿抵抗と膜面積によって決まる定数である。この式から分かるように水蒸気通過量 W_1 は布表裏の水蒸気分圧差によって決まる。すなわち、制御可能な室内空気の水蒸気分圧 h_1 （室内は十分に攪拌されているため水蒸気分圧 h_1 は均一）を制御すれば水蒸気通過量 W_1 が制御できることになる。したがって、麴温度も制御できるということになる。

実際の装置においては、この制御を自動化しなければ品質における高い再現性は得られない。しかし制御系のむだ時間が長いため、従来のPID制御では制御できない。開発チームは、この製麴システムを手動制御で繰り返し実施することにより、ある規則性を発見した。この知見に基づき特殊制御アルゴリズムを開発することができ、品質における再現性の高い自動化が実現した（図3）。また、手入れ（攪拌の意）

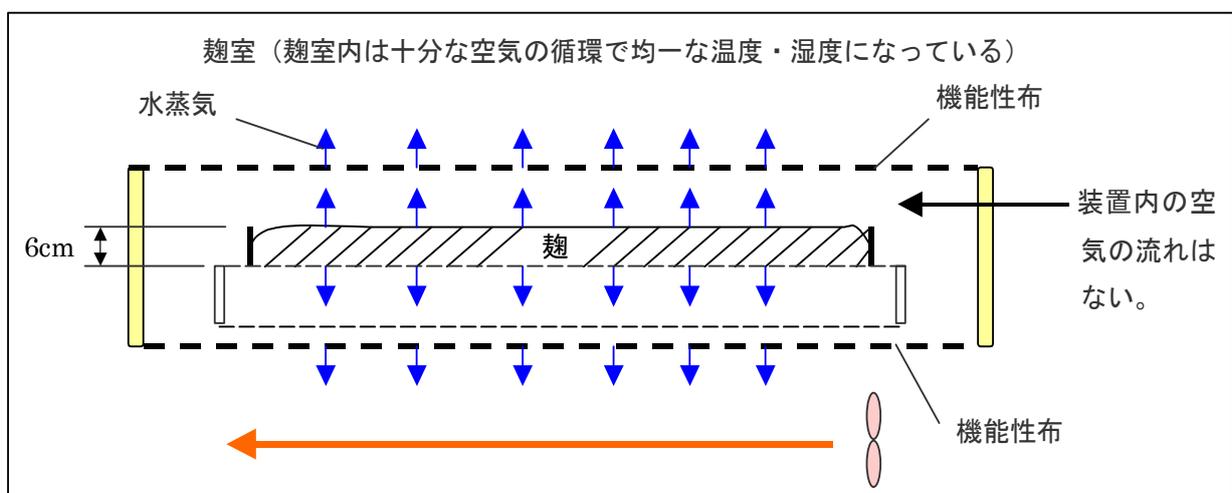


図1 装置の断面概略図

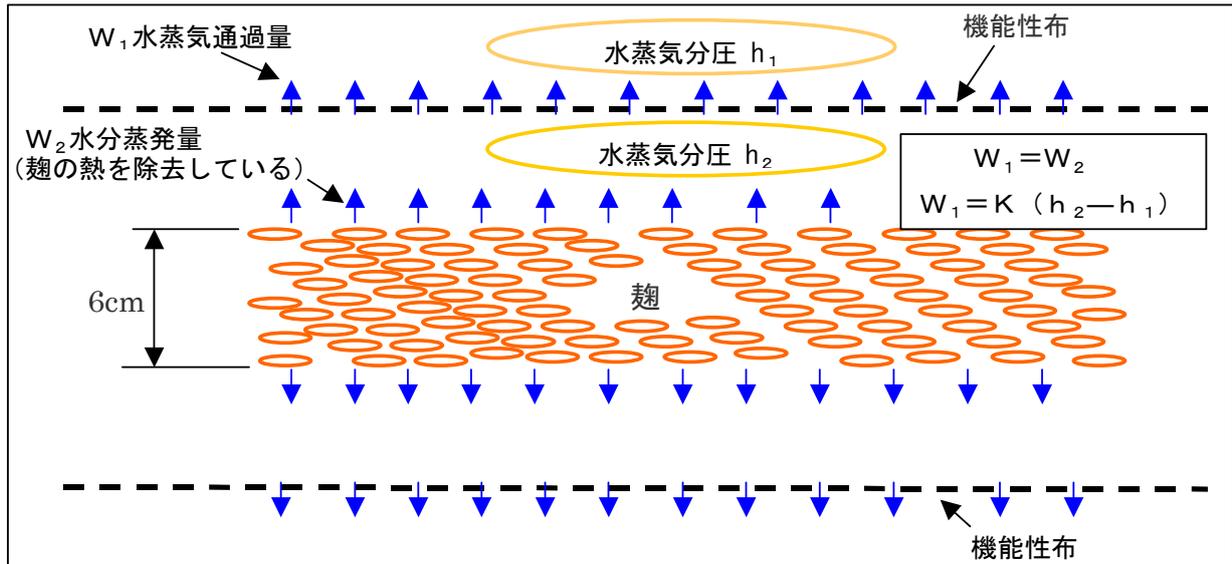


図2 麴品温制御の概念図

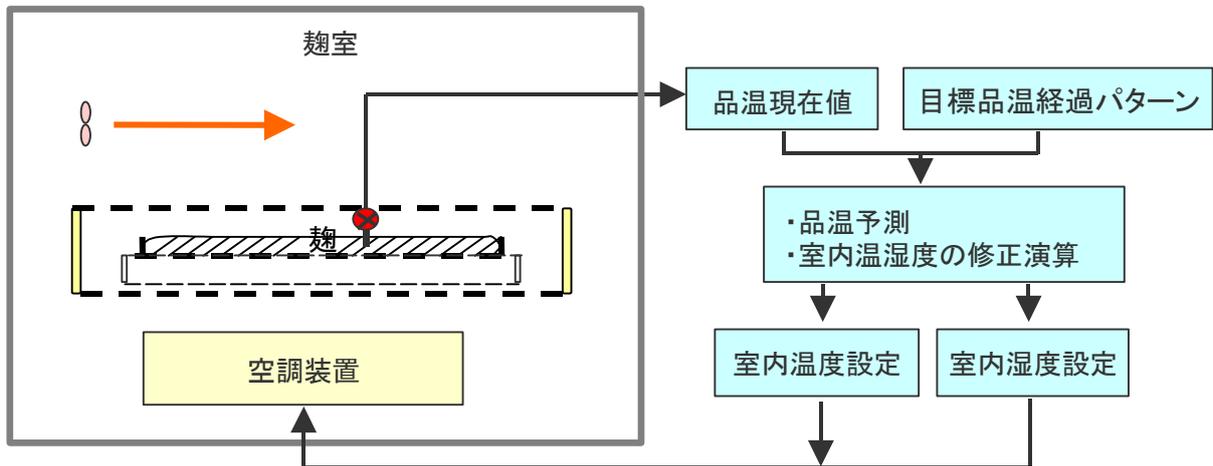


図3 品温制御フロー



図4 麴室内に設置された完全無通風自動製麴装置



図5 完全無通風自動製麴装置内部

の自動化と相まって、無人運転化を実現した。
装置の写真を図4、図5に示す。

技術上の特徴

普通清酒用の麹は機械による通気式製麹法で製造されている。蒸した米の表面に麹菌を付けた後25cm程度に堆積し、堆積層に適温適湿の空気を通風しながら40数時間製麹する。この方法で製造された麹は比較的米の表面に麹菌の菌糸が伸長した形態となり、普通清酒の製造には品質上問題ないが吟醸酒や大吟醸酒の製造には使用できない。吟醸酒や大吟醸酒で用いられる麹は米の表面に菌糸の伸長があまりなく米の内部に向かって菌糸が伸長している形態（突き破精麹）がよい。この突き破精麹が醪の発酵工程で吟醸酒に相応しい味と香りを醸し出す。

杜氏による吟醸酒用の手造り製麹では、蓋麹法が古くから採用されてきた。蓋麹法は30×45cmの杉の木箱（麹蓋）に3cm程度の厚みに麹を堆積させる。この麹蓋を麹室の中に多数積重ね、室内温湿度・麹蓋の積重ね・積替えなどによって杜氏の勘と長年の経験で製麹する。蓋麹法で高度に製麹管理すると吟醸酒製造に適した突き破精麹を造ることができる。

この2つの製麹法による品質の差は、麹表面からの水分蒸発量の違いによる。通気式製麹法は通風空気に麹が発生する熱を移動させ系外に熱を持ち出して制御する。このとき麹発熱量の70～80%が蒸発潜熱により除熱され、残りが顕熱で除熱される。一方、蓋麹法は麹表面近傍の空気に麹のもっている水分を蒸散して除熱し、そのほとんどが蒸発潜熱による。したがって、蓋麹法による製麹の方が製麹中における麹表面の水分活性が低くなる。菌糸は水分が多い方向に伸びる性質があるため、蓋麹法による製麹では菌糸が麹表面よりは内部に向かって伸長し、結果的に突き破精麹ができる。

本装置は蓋麹法と同じ状態をつくり出している。ほぼ100%蒸発潜熱で除熱するために麹近

傍を無通風状態にし、水蒸気の拡散と機能性布の内外における水蒸気分圧差制御により麹からの水分蒸発量制御を実現している。

実用上の効果

従来、杜氏や蔵人が昼夜を問わぬ管理によってつくり上げてきた吟醸麹は、匠の技を継承する人たちが段々と少なくなってゆく現状で存亡の危機に面している。本装置は、その匠の技が伝統的な蓋麹法の中に隠されていることをつきとめ、機能性素材と全く新しい制御方法によって自動化を実現した。従来、最も自動化が困難であると思われてきた「麹づくり」の工程において自動化、無人化が実現したことにより、高度な製造技術を有しているが季節労働者である杜氏や蔵人による旧来の生産体制から、年間雇用社員による生産性の高い酒造工場へと変わってゆくものと思われる。

また高いレベルでの品質の安定化は、高級酒である吟醸酒や大吟醸酒の需要を喚起し、酒造メーカーの経営を安定化させることができると期待される。経営の安定化は、更に味と香りの豊かな製品の開発へとつながり、酒造業界の活性化が図られることになる。

工業所有権の状況

本装置に関しての特許登録は1件である。

むすび

繊細な味と香りが求められる吟醸酒や大吟醸酒の品質を最も大きく左右するのは麹である。しかしこの「麹づくり」は、高度な技術を有する杜氏でさえ安定的につくることは難しい。高品質な麹を安定的に生産することができる本装置は、大半が中小である全国約2,000の醸造場の生産性と品質の向上、そして製造技術の発展に寄与するものと期待している。