

自動蒸留システムの構築に関する研究

食品工業部 ○安藤 浩毅, 瀬戸口真治, 上山 貞茂*¹, 亀澤 浩幸, 濱崎 幸男*²

1. はじめに

本格焼酎において、微量に含まれる高級アルコール類及び脂肪酸エステル類といった香味成分は官能評価に大きく影響する。製品中の香味成分の含有量は、原料処理、製麴、醸酵工程等、それぞれの工程において取り扱う原料や管理によって影響を受けるが、蒸留工程もそのかぎりではない。特に、蒸留機の構造及び蒸留操作条件等の差異によって酒質が大きく異なると言われている。また、碓ら¹⁾は蒸留における微量成分（香味成分）の留出挙動がアルコール蒸留曲線（以下、蒸留曲線とする）の挙動に対応しているが、微量成分の蒸留曲線は操作の変動の影響を鋭敏にうけると報告している。

そこで本研究では、蒸留曲線を蒸留の指標として、蒸気供給量をコンピュータ制御する新しい自動蒸留システムの構築を行ったので報告する。

なお、本システムで述べる蒸留曲線は、縦軸にアルコール濃度 [v/v %]、横軸に時間 [h] で表し、アルコール濃度は主成分であるエタノール濃度のこととする。

2. 実験

2. 1 アルコール濃度連続測定装置の開発

2. 1. 1 アルコール濃度の測定

アルコール濃度測定には横河電機(株)製の振動式密度計DM61（以下、密度センサーとする）及び、NEC(株)製のパソコン（PC-9801vm）（以下、パソコンとする）を用いて行った。まず、密度センサーを用いてアルコール水溶液の密度を測定した後、パソコンを用いて15℃におけるアルコール濃度に換算した。換算方法は化学便覧²⁾を用いて行い、更に、国税庁規格型酒精計（以下、酒精計とする）によるアルコール濃度測定法を応用して行った。すなわち、任意温度におけるアルコール濃度を測定した後、国税庁の酒精温度換算表³⁾を用いて15℃におけるアルコール濃度に換算した。

Table 1 (密度→アルコール濃度) 換算方法の比較

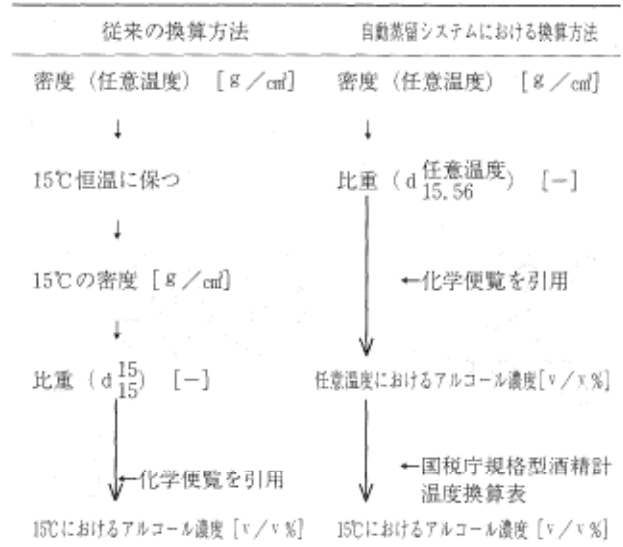


Table 1 に従来より用いられている密度からアルコール濃度へ換算する方法と、任意温度の密度から15℃におけるアルコール濃度へ換算する方法を比較したものを示した。

2. 1. 2 アルコール濃度連続測定に及ぼす温度変化及び流速変化の影響

アルコール水溶液の温度変化及び流速変化に対する密度センサーの精度について検討した。温度変化の影響については、アルコール濃度として約60 v/v % (v/v % = 体積分率×100) に調製したエタノール水溶液の温度を26.2℃の一定温度から毎分1.25℃で約33.7℃まで上下に温度変化させ、また、流速変化の影響については、約30 v/v %エタノール水溶液の温度を一定に保ち、ロー

*¹自治労鹿児島県本部

*²鹿児島県酒造組合連合会

ラーポンプを用いて流速を0.85–9.09 ml/s の範囲で変化させた時のアルコール濃度を密度センサーで測定した。

2. 1. 3 密度センサーの性能評価

密度センサーの性能評価として酒精計との比較により行った。100 l 仕込みの単式蒸留機を用いて焼酎もろみを蒸留し、留出液を分割採取後、密度センサー及び酒精計でそれぞれの区分のアルコール濃度を測定し比較した。

2. 2 自動蒸留システムの蒸留試験

2. 2. 1 自動蒸留制御方法

Fig. 1 に本制御システムの概要を示した。本システムは密度センサー、横河電機(株)製のプログラム調節計 UP25 (以下、UP25とする) 及び指示調節計 UT35 (以下、UT35とする)、山武ハネウェル(株)製の蒸気バルブから構成され、それぞれ各種ケーブルによりパソコンと連動し、アルコール濃度と蒸気供給量とのフィードバック制御で行った。

自動制御方法は、まず密度センサーで測定した密度をパソコンを用いてアルコール濃度に換算し (Table 1)、次に UP25を用いてこの値と標準の蒸留曲線データとの比較を行い、PID (比例+微分+積分) 制御により最適な蒸気供給量を設定し、最後に UT35でその設定値に基づいた蒸気バルブの制御を行った。

なお、UP25及び UT35には、あらかじめ標準となる蒸留曲線のデータ及び蒸気バルブの初期弁開度を設定し、すべての制御状態をパソコンのモニター上で監視できるようにした。

2. 2. 2 自動蒸留試験

蒸気供給量の変化に应答する蒸留曲線の変化を検討するために、Table 2 の条件で運転を行った。すなわち、Run No 1, 2 及び 3 は一定蒸気供給量で、Run No 4 は蒸気供給量を15 kg/h から20 kg/h, 30 kg/h と30分毎に増加させ、Run No 5 は逆に蒸気供給量を30 kg/h から20 kg/h, 15 kg/h と減少させて蒸留を行った。また、Run No 6 ではRun No 4 及び 5 の結果よりTable 4 に示すようなUP25, UT35のPID パラメーター及び蒸気供給量の上限、下限等を設定し、蒸留曲線の制御をさせて運転を行った。

なお、この時の蒸留初期条件は、Run No 1 ~ 6 においてすべて統一とし、仕込み液は甘藷焼酎もろみのアルコール濃度と同程度の12 v/v %に調製したエタノール水溶液を使用した。蒸気圧 (ゲージ圧) は、12 v/v %のエタノール水溶液の沸点付近温度88℃に到達するまで0.20 kg/cm²に保ち (その時点での蒸気バルブの弁開度は100%, 蒸気供給量は ≥ 50 kg/h)、その後、蒸気圧を0.11 kg/cm²に下げた (その時点での蒸気バルブの初期弁開度は100%, 初期蒸気供給量は35 kg/h)。また、メートルボックス部の密度センサーが留出液の密度を感じた時点制御開始とし、エタノール濃度が15 v/v %となった時点蒸留終了とした。

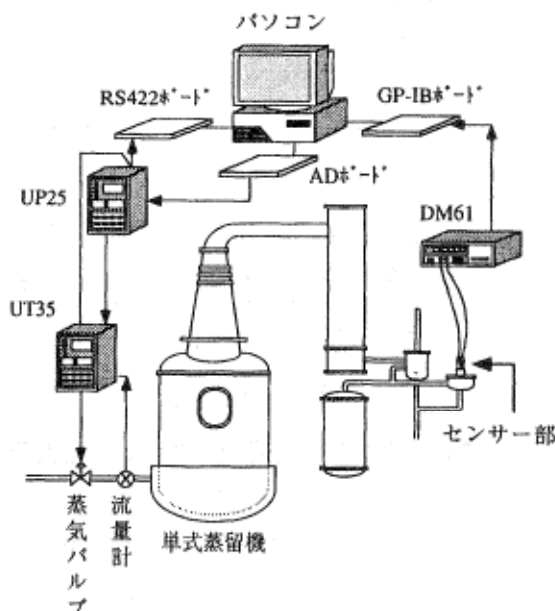


Fig. 1 自動蒸留制御システムの概要

Table 2 実験条件

Run No	蒸気供給量 [kg/h]
Run No 1	20
Run No 2	30
Run No 3	15
Run No 4	15→20→30
Run No 5	30→20→15
Run No 6	制御値

3. 結果及び考察

3. 1 密度センサーの評価

3. 1. 1 アルコール濃度連続測定に及ぼす温度変化及び流速変化の影響

密度センサーの精度に及ぼすアルコール水溶液の温度変化及び流速変化の影響を検討した結果を Fig. 2, 3 に示した。温度変化及び流速変化に影響なく、ほぼ一定濃度であることから温度変化及び流速変化の影響はないことがわかった。このことから、アルコール溶液の温度変化に対して、Table 1 の国税庁規格型酒精計温度換算表に基づいた処理が確実に機能していることがわかった。

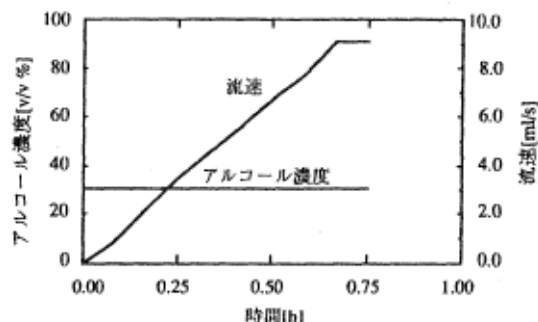
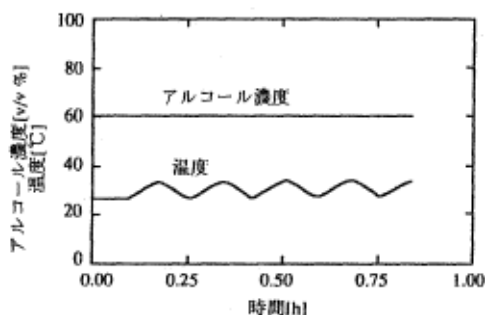


Fig. 2 アルコール濃度連続測定における温度変化の影響 Fig. 3 アルコール濃度連続測定における流速変化の影響

3. 1. 3 密度センサーによるアルコール濃度連続測定

密度センサーのアルコール濃度連続測定装置への適性試験を行った結果 Fig. 4 に示した。蒸留試験を行った際の分割採取液を密度センサー及び酒精計で測定した値をそれぞれ蒸留曲線の形で示したが、0～100度の濃度幅ではスケールが異なり、ほとんど両者の濃度差が認められないので、酒精計基準の差も同図に示した。また、Fig. 5 には酒精計基準の比で示した。全アルコール濃度領域においてばらつきはあるものの酒精計と比較して差が ± 0.5 v/v%以内にとどまり、精度は ± 4 %であった。このことより、今回用いた密度センサーは、酒精計と遜色なくアルコール濃度を連続的かつ精度良い測定が可能であることがわかった。

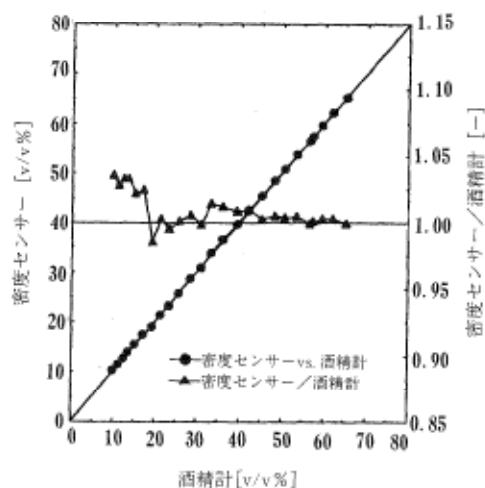
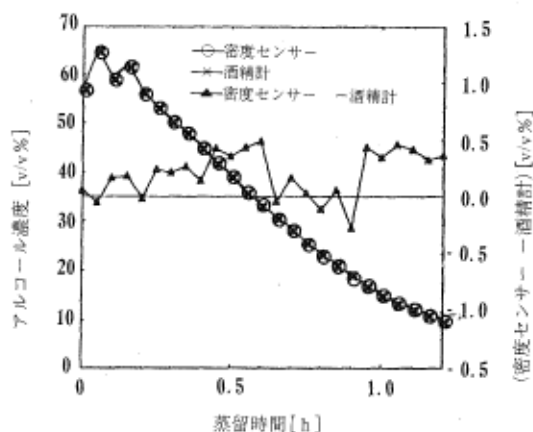


Fig. 4 密度センサーと酒精計の比較 (1)

Fig. 5 密度センサーと酒精計の比較 (2)

3. 2 自動蒸留システムの運転試験

蒸留曲線の蒸気供給量の変化に対する応答性について検討した結果を Fig. 6～9 に示した。Fig. 6 は、それぞれ垂れ始め（メートルボックス部の密度センサーがアルコールの密度を感知した時点）から一定の蒸気供給量で蒸留を行った場合の蒸留曲線を示した。Run No 3 は蒸留垂れ始めに外部から何らかの振動によるセンサーの誤作動が見られたが、アルコール濃度はほぼ直線的に変化することがわかった。このように蒸気供給量を変化させるとそれぞれの傾きで蒸留が行われることが

わかった。

次に蒸気供給量を3段階に変化させた時、蒸留曲線の傾きの違い及び応答性を Fig. 7, 8 に示した。Fig. 7 は蒸気供給量を30分毎に増加させたものであり、Fig. 8 は蒸気吹き込み量を30分毎に減少させたものである。蒸気供給量は設定値の変化に対して2～3分程遅れて追従するが、蒸留曲線が応答するには5～6分程要することがわかった。

以上の応答性をもとに、Run No 6 で蒸留曲線の制御をさせて運転を行った結果を Fig. 9 に示した。この結果により、蒸気供給量の変化に応答しながら標準の蒸留曲線に追従した制御が行われることがわかった。0.8時間辺りから蒸気供給量の下限に差し掛かり、制御されないままの状態にあったが、これは蒸気供給量が零になることによる蒸留の停止をさけるためのリミッターとしての役割を果たしたもので、制御上の問題ではなかった。今回は、この下限を10kg/hにしたが最適値とはいえないと考えられた。また、PID の設定値においても同様のことがいえ、今後最適な設定値を検討する予定である。

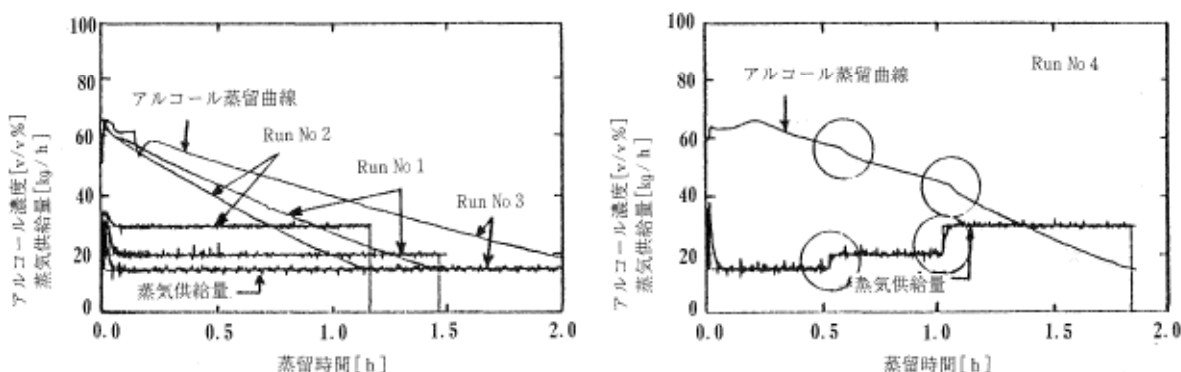


Fig. 6 一定蒸気供給量に対するアルコール蒸留曲線の差異 Fig. 7 蒸気供給量の増加に対するアルコール蒸留曲線の応答性

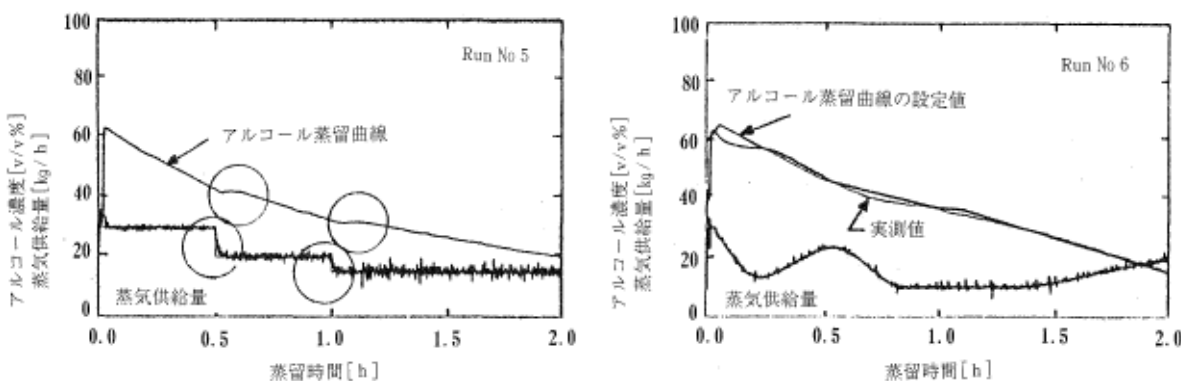


Fig. 8 蒸気供給量の減少に対するアルコール蒸留曲線の応答性 Fig. 9 アルコール蒸留曲線の制御結果

4. おわりに

本研究において、アルコール蒸留曲線を蒸留の指標とした、蒸気供給量をコンピュータ制御する画期的な自動蒸留システムが構築された。しかしながら、まだ製品と蒸留曲線との相関関係が得られていないため充分なものとはいえない。今後、更に改良を加え、データ収集を行い、蒸留システムの完全自動化を確立することにより、酒質の高品質、製品の多様化が図られるものと考えられる。

参考文献

- 1) 碓醉：化学工学論文集，17，No 1，P. 22～28 (1991)
- 2) 日本化学学会編：”化学便覧（基礎編）”，丸善（1966），P. 462～463
- 3) 芝田喜三：”酒精温度換算表”東京百木製作所（1958）