

ジュール加熱技術を応用した清酒殺菌システムの2自由度制御

長 縄 明 大*・関 健 史*・秋 山 美 展**
安 田 基 樹***・佐々木 善 幸***・渡 辺 健 吾***

Two-degrees-of-freedom Control of Sake Sterilization System Using Joule Heating Technique

Akihiro NAGANAWA*, Takeshi SEKI*, Yoshinobu AKIYAMA**,
Motoki YASUDA***, Yoshiyuki SASAKI*** and Kengo WATANABE***

On a food heating process, a heat transmission system has been used widely. This system is the most popular and simple, but the system involves some intrinsic problems such as overheating, defective sterilization and scorching. Recently, the Joule heating system has been received keen attentions as a high performance heating system because of non-scorching, accurate heating and cleanness.

In this paper, the temperature control performance of the sake (Japanese rice wine) sterilization using Joule heating technique is discussed. The purpose of this study is to realize the stable control performance for the rapid change of the electric resistivity or the target temperature of the heating material. The control system is composed as the two-degrees-of-freedom (2DF) control system which has a PID controller. We obtained the following results. First, the transient and the steady-state characteristic were attained well if the impedance of heating material changed. Second, if the target temperature was changed rapidly, good control performance was realizable. Furthermore, we verified the settling performance when the perturbation for heating plant occurred.

Key Words: Joule heating, sake sterilization system, two-degrees-of-freedom (2DF) control, PID control, electric power control

1. はじめに

清酒は、その製造工程において、一部の凍結清酒を除いて出荷前にすべて加熱処理される。清酒の加熱は、火入れとも呼ばれ、残存する酵素活性の失活と火落ち菌（濁りや風味低下の原因となる）の殺菌がその主な目的である。普通酒の加熱殺菌では、一般にプレート式や蛇管式の熱交換器を用いて加熱殺菌されるが、吟醸酒などの高級酒では、その香り成分の変化を最小限に抑えるため、ピン火入れと呼ばれる殺菌法が用いられている。しかし、ピン火入れ法は、製品の官能品質（香り成分の保持）を最優先させた加熱殺菌法であるが、清酒を殺菌温度まで温度上昇させるには、湯煎する湯の温度を殺菌温度以上に上げなければならず、ピン内壁面と中心部では温度むらが生じる。また、その作業には熟練度、時間、労力などを必要とする問題点もある。

そこで、少量でも精度よく加熱ができること、加熱ムラの

ない殺菌が容易に行なえること、加熱に伴う風味変化がないことなどを目的とし、ジュール加熱技術を応用した清酒殺菌システムについて検討を行なっている^{1),2)}。ジュール加熱法は、清酒自体に電流を流すことにより発生するジュール熱を利用する方法である。ジュール加熱法の特徴として、温度制御精度が良い、燃焼を伴わないため環境がクリーンであるなどが挙げられる。これまでこのシステムを用いた清酒の殺菌試験が行なわれ、残存酵素活性分析と官能検査などの結果により、ジュール加熱殺菌の有効性が確認されている。しかし、現状では汎用のデジタル調節計を用いており、また殺菌される清酒が変わると電気抵抗率も変わるため、装置駆動時における昇温特性や定常特性にばらつきが生じ、安定した性能が得られないという問題点がある。また、これまで本装置のようにジュール加熱法を用いて、清酒殺菌システムを構築した例はなく、このため目標値応答や温度制御精度などの性能に関する報告もなされていない。

そこで本論文では、高精度な温度制御を実現するため、清酒殺菌システムの2自由度制御を行なった結果について述べる^{3),4)}。2自由度制御系を用いる理由として、以下の点が挙げられる。

(1) 清酒は酒造メーカーや種類により電気抵抗率が異なるため、清酒の温度が殺菌温度に到達するまでの過渡特性にばらつきが生じる。このため、過渡特性のばらつきを抑

* 秋田大学工学資源学部機械工学科
秋田市手形学園町 1-1

** 秋田県総合食品研究所

*** 日本精機 (株)

* Department of Mechanical Engineering, Akita University

** Akita Research Institute of Food and Brewing

*** Nihon Seiki Co., Ltd.

(Received November 10, 2005)

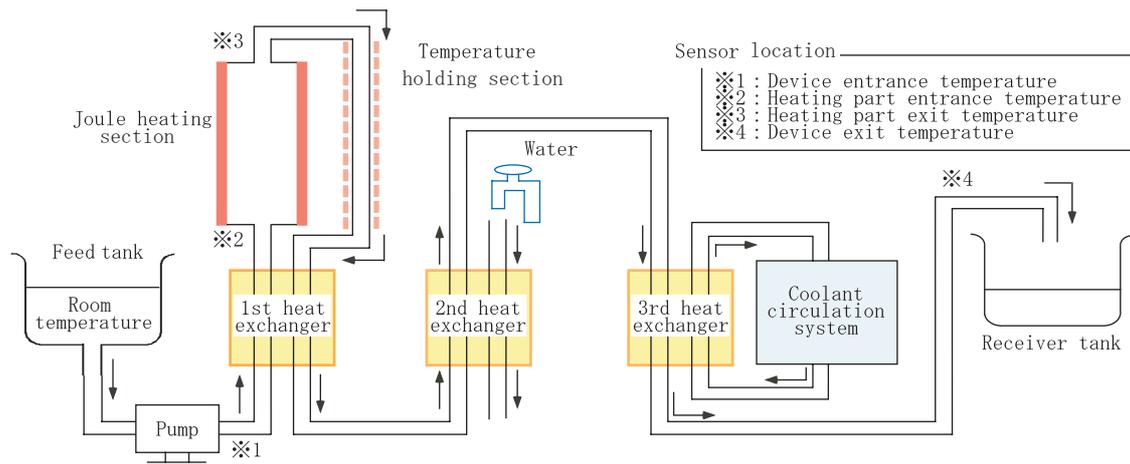


Fig. 1 Sterilization system using Joule heating technique

えるため、フィードフォワードコントローラを導入する。
 (2) 清酒の殺菌では、高精度に殺菌温度を保持する必要がある。このため、殺菌温度到達後の定常ロバスト性を確保するようにフィードバックコントローラを設計する。
 本論文の構成は、つぎのとおりである。まず装置の概要について述べた後、装置の基礎特性について述べる。つぎに、PID 制御を用いた 2 自由度制御により、加熱制御を行なった場合の実験結果について述べる。

2. 清酒殺菌システムの概要

Fig. 1 は、清酒殺菌システムの概略図を示している。Fig. 1 において、殺菌される清酒は供給タンク内に入れられ、供給タンク内の未加熱液はポンプにより 1 次熱交換器へ送られる。未加熱液は、1 次熱交換器において、ジュール加熱器、温度保持部を経て流れてくる殺菌温度の加熱液と熱交換面を介して熱交換を行ない、殺菌温度に応じてジュール加熱器の入口温度は約 30~40 となる。1 次熱交換器により予備加熱された液は、ジュール加熱器に入り、殺菌温度まで加熱される。清酒の殺菌では、殺菌温度をある時間以上保持しなければ効果的な殺菌が行なえないことが知られているため⁵⁾、温度保持部はジュール加熱器から送り出される加熱液が、殺菌温度を保持できるように断熱処理を施してある。これにより、本殺菌システムの殺菌温度保持時間は、ジュール加熱器から送り出された加熱液が、1 次熱交換器に達するまでの時間とすることができる。その後、1 次熱交換器で未加熱液と熱交換をし、さらに 2 次熱交換器、3 次熱交換器で約 10 まで冷却され、受入タンクへ送られる。本システムには、装置入口温度、ジュール加熱器の入口および出口温度、装置出口温度の計 4 箇所(図中の 印)の温度を計測する熱電対が取り付けられており、装置の前面に温度を表示することができる。装置の処理能力は 50~200L/h、装置の電源は 3 相交流、最大負荷電流は 30A である。

Fig. 2 は制御系の構成図を示しており、図中の PC はコントローラとして用いられる。本論文の目的は、ジュール加熱

器出口温度 3 が目標殺菌温度になるように制御を行なうことである。Fig. 2 に示す 4 箇所の熱電対の情報は、センサ回路、AD 変換器を介して PC 内に温度データとして取り込まれる。AD 変換器は、0~100 を 12 ビットで分割するように設定した。

本論文では、0.02%の食塩水 10l を使用して装置の基礎特性を求める。この濃度を用いる理由は、吟醸酒の電気抵抗率は 18.2~26.2Ωm、純米酒の電気抵抗率は 14.6~24.2Ωm であるのに対して、0.02%の食塩水の電気抵抗率は 18.0Ωm であり、純米酒や吟醸酒に非常に近い値であるためである⁶⁾。

本システムでは、ジュール加熱器へ未加熱液を送り出すポンプの指令周波数を調整することが可能であり、Fig. 3 は指令周波数に対する流量の測定結果を示している。Fig. 3 の横軸は、ポンプへの最大指令周波数に対する印加指令周波数の割合を表しており、この値が 100%のとき、最大周波数でポンプを駆動するため、流量が最大となる。また、縦軸は 1 時間当りの水量を示している。Fig. 3 より、指令周波数を大きくしていくと、流量が増えていくようすがわかり、指令周波数

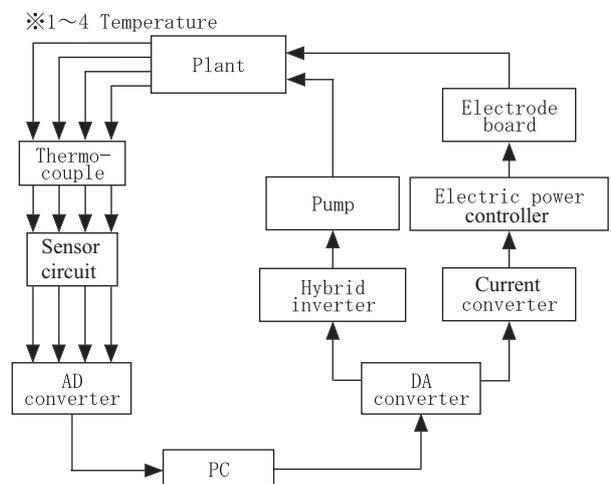


Fig. 2 Composition of control system

と流量は、ほぼ線形な関係にあることがわかる。しかし、流量制御を行なう場合、温度保持部における加熱液の滞留時間にばらつきが生じることになるため、殺菌精度に影響を与えると考えられる。このため、本論文では、ポンプへの指令周波数を固定して未加熱液を一定の流量で送り、ジュール加熱器の電力制御により温度制御を行なうものとする。

Fig. 4 はステップ状の印加電力に対する温度上昇の特性を示しており、(a) が指令周波数 36% の場合の実験結果、(b) は (a) の立ち上がり部分の応答を拡大した図である。ここで、印加電力は、装置前面に表示されている計 4 箇所の温度が一定となった後、PC の計測ループを動作させ、ループ動作の 30 秒後に与えた。図中 30 秒に描かれている縦の点線は、ステップ状の印加電力を与えた時刻を表わしている。なお、データ

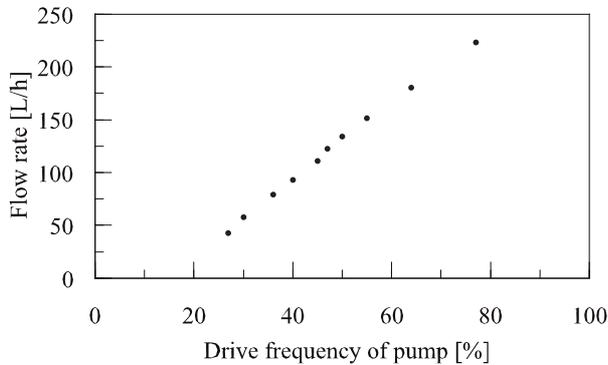
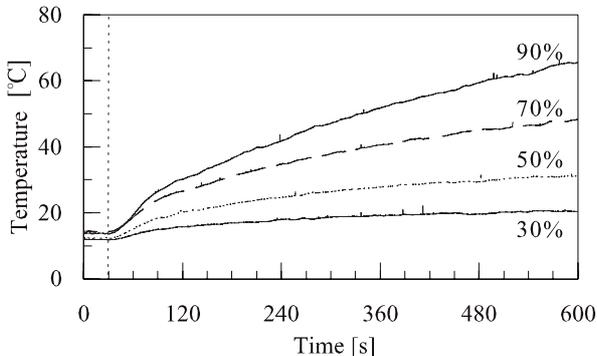
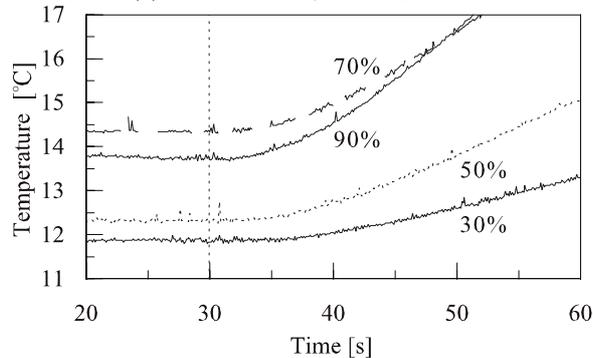


Fig. 3 Flow rate of system



(a) Drive frequency of pump: 36%



(b) Enlargement figure of (a)

Fig. 4 Characteristic of system

取得のためのサンプリング周期は 0.1 秒とした。Fig. 4 には、ステップ状の印加電力を 30, 50, 70, 90% とした場合の実験結果を示しており、これらの値は、ジュール加熱器へ印加できる最大電力に対する印加電力の割合を表わしている。この値が 100% のとき、ジュール加熱器に最大電力が供給され、加熱対象の温度が上昇するように調整される。

Fig. 4(a) より、印加電力を大きくすると温度上昇が速いことがわかる。また、ポンプの指令周波数を変更した場合の特性も測定したが、流速が遅く（指令周波数が低く）、印加電力が大きい場合に昇温速度が速くなった。また、Fig. 4(b) より、印加電力が与えられた時刻は 30 秒であるが、いずれの印加電力に対しても立ち上がり特性が遅れているようすがわかる。取得したデータからこの遅れ時間を求めたところ、おおよそ 2~4 秒であった。このため、本論文では、サンプリング周期を 5 秒に選ぶことにより、むだ時間は 1 サンプリング周期内に収まるため、むだ時間の影響を無視して制御系設計を行ない、制御性能の検証を行なうものとする。

3. 2 自由度制御系の構成

Fig. 5 は、本論文で用いる 2 自由度制御系の構成図を示している。ここで、図中の $F(z)$ は規範モデル、 $P(z)$ は制御対象のモデル、 $\tilde{P}(z)$ は実際の制御対象を示しており、次式で与えるものとする。

$$F(z) = \frac{\beta z^{-1}}{1 + \alpha z^{-1}} \quad (1)$$

$$P(z) = \frac{b z^{-1}}{1 + a z^{-1}} \quad (2)$$

また、 r は目標温度、 v は規範モデルの出力、 y は出力でジュール加熱器出口温度、 u は操作量で印加電力を表わしている。フィードバックコントローラ $C(z)$ は、つぎの PID コントローラとした。

$$C(z) = K_p + \frac{K_i z^{-1}}{1 - z^{-1}} + K_d(1 - z^{-1}) \quad (3)$$

この制御系では、もし実際の制御対象に変動がなく ($P(z) = \tilde{P}(z)$)、外乱も存在しない場合には、偏差 e は常にゼロとなるため、出力 y は規範モデルの出力 v に一致し、理想的な目標値応答特性を得ることができる。しかし、制御対象に変動がある場合 ($P(z) \neq \tilde{P}(z)$) や、外乱が存在する場合、偏差 e はゼロにならないため、フィードバックコントローラ $C(z)$ によりそれらの影響を抑制する。

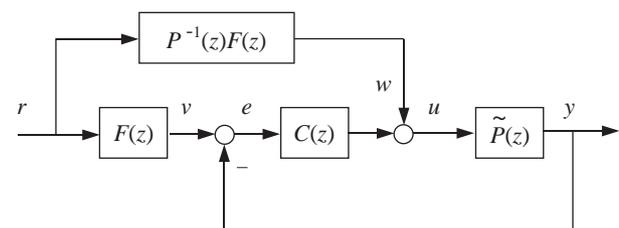


Fig. 5 Composition of 2DF control system

4. 実験結果

本論文では、ジュール加熱方式を用いた清酒の殺菌システムにおいて、(1) 加熱対象の電気抵抗率や目標温度の変化に対して望ましい過渡特性を実現すること、(2) 定常状態において高精度に目標温度を保持することを目的とし、以下の実験を行なう。

- (1) 清酒に近い電気抵抗率の0.02%の食塩水10ℓに対して、目標温度を60に設定した場合の2自由度制御系の性能検証を行なう。一般に、清酒の殺菌では、殺菌温度を60~70に設定するため、この基礎性能の検証である(4.2節)。
- (2) 清酒の電気抵抗率が低くなった場合を想定し、0.03%の食塩水10ℓに対して60の加熱実験を行なう(4.3節)。
- (3) 目標温度を70に設定し、0.02, 0.03%の食塩水に対して加熱実験を行なう(4.4節)。
- (4) 実際の現場では、装置駆動直後において、ジュール加熱器出口温度が目標殺菌温度に到達するまでは、清酒を殺菌することができないため、この間の清酒はすべて捨ててしまうことになる。このため、ダミーの清酒を用いてジュール加熱器出口温度を目標温度に到達させ、その後、殺菌する清酒に切り替える作業を行なっている。この清酒の切り替えの際に電気抵抗率の変化が生じ、加熱対象の特性が変動するため、ジュール加熱器出口温度の定常特性に変動の影響が表われる。そこで、目標温度に到達後、電気抵抗率の異なる食塩水を加えることにより変動を与え、その変動に対する定常特性の検証を行なう(4.5節)。

4.1 実験条件

本論文では、実験結果を比較するため、ジュール加熱器出口温度を20まで昇温させ、しばらくの間20を保持し、その後目標温度60あるいは70まで加熱して行なった。また、実験では受入タンクへ放水される食塩水を、ホースにより供給タンク側へフィードバックさせ循環して用いた。流量は、指令周波数を36%に固定して電力制御を行なった。

Fig. 5のフィードフォワード項に含まれる制御対象のモデル $P(z)$ の係数 a, b は、Fig. 4に示されるステップ状の印加電力に対する温度上昇特性を2400秒まで計測し、その応答波形から1次遅れ系のゲインと時定数を決定した。また、決定したゲインと時定数の数値を確認するため、0.02%の食塩水を60まで加熱する予備実験を行いながら、逐次最小2乗法により式(2)の係数を同定した結果、ステップ応答の結果とほぼ一致した値が得られたので下記の値とした。

$$a = -0.98468, \quad b = 0.013209 \quad (4)$$

一方、フィードバックコントローラ $C(z)$ のPIDゲインは、実験と式(2)のモデル $P(z)$ を用いたシミュレーションを行ないながら決定した。本論文では、制御対象を1次遅れ系としてモデル化を行なっているが、本システムの時定数は約300秒であるのに対して、むだ時間は約2~4秒である。このた

め、PIDコントローラの微分項はほとんど効果がないと考えられるが、実験により目標値応答特性と定常特性を評価しながら、各ゲインを試行錯誤的に調整した。その結果、PIDゲインは以下のとおりとなった。

$$K_p = 15.0, \quad K_i = 0.125, \quad K_d = 0.250 \quad (5)$$

これらのゲインを用いて開ループ伝達関数の周波数応答を計算すると、 $K_d = 0.250$ の場合と $K_d = 0.0$ の場合では周波数応答はほとんど一致する。しかし、付録Aに実験結果を示すように、目標温度60に対して $K_d = 0.0$ で実験を行なうと、次節とほぼ同等な制御性能が得られるが、目標温度を70に設定すると定常振動が発生した。なお、本章のすべての実験において、PIDゲインは(5)式の値を用いた。

また、規範モデル $F(z)$ は、次数を低くして演算回数を少なくし、ジュール加熱器出口温度がオーバーシュートしないように1次遅れ系として与えた。 $F(z)$ の係数 α, β は、過渡特性における操作量が飽和しないようにTable 1に示す値とした。

4.2 0.02%の食塩水に対する目標温度60の結果

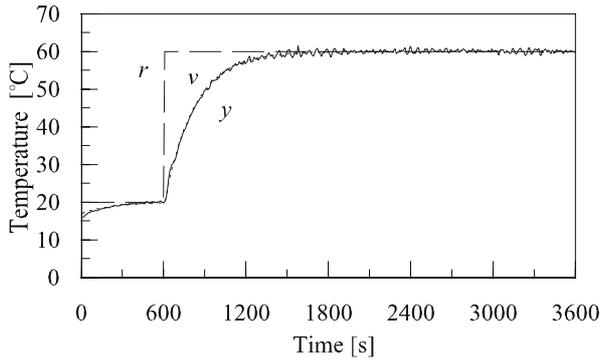
Fig. 6は、0.02%の食塩水に対して、目標温度60の加熱実験を行なった場合の結果を示している。(a)はジュール加熱器出口温度、(b)は操作量である印加電力、(c)は目標温度整定後で、実験開始から1800秒以降の拡大図を示している。(a)より、目標値応答の過渡特性は、規範モデル $F(z)$ の出力 v (図中の点線)にほぼ一致しているのがわかる。また、(b)より、操作量は立ち上がり時において飽和近くまで大きくなるものの、操作量(印加電力)の変化も小さく、良好な結果が得られているようすがわかる。図に見られる約60秒の定常振動の原因は、制御系に混入するノイズの影響である。さらに、(c)より、目標温度整定後は、ほぼ ± 0.5 前後の精度で温度制御できていることがわかる。図に見られる定常振動の原因は、操作量の振動の影響とジュール加熱器における放熱の影響により管路内の食塩水に温度差が生じ、熱電対がこの温度差を計測したことにより生じたものである。以上の結果より、0.02%の食塩水に対する目標温度60の実験では、良好に制御されているようすがわかる。なお、2自由度制御系の有効性を示すため、PID制御系で行なった実験結果を付録Bに示す。

4.3 0.03%の食塩水に対する目標温度60の結果

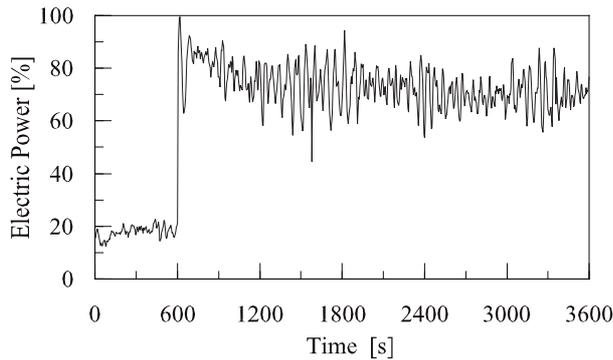
Fig. 7は、0.03%の食塩水に対して、目標温度60の加熱実験を行なった場合の結果を示している。(a)はジュール加熱器出口温度、(b)は操作量である印加電力、(c)は目標温度整定後で、実験開始から1800秒以降の拡大図を示している。

Table 1 Coefficients of reference model $F(z)$

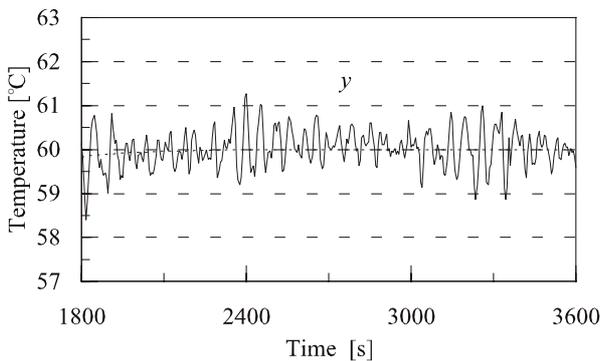
	α	β
60	-0.97726	0.022738
70	-0.98216	0.017839



(a) Exit temperature of heating portion



(b) Electric power



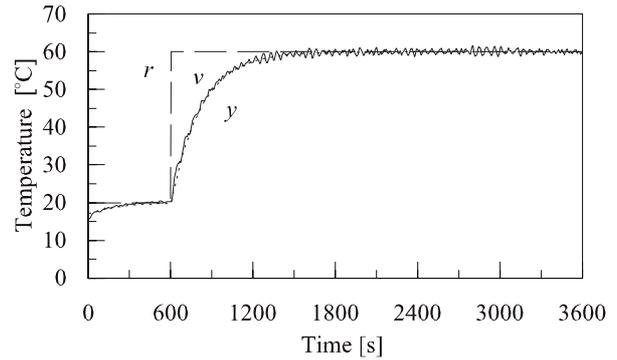
(c) Enlargement figure of (a)

Fig. 6 Experimental results of 2DF control
(Salt solution 0.02%, Target temperature 60)

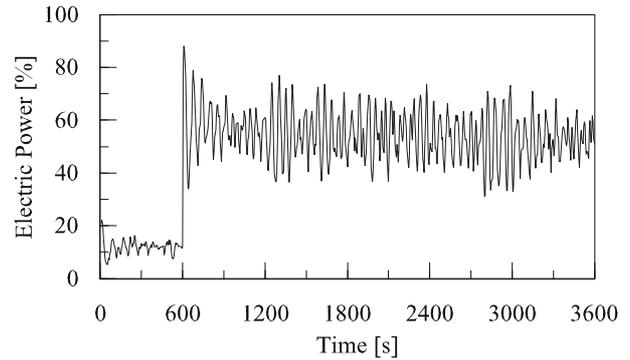
(a) より、目標値応答の過渡特性は、0.02%の食塩水同様に、規範モデル $F(z)$ の出力 v (図中の点線) にほぼ一致しているのがわかる。また、(b) より、加熱対象の塩分濃度が上がり電流が流れやすくなったため、操作量の変化は 0.02% に比べると大きくなったが、加熱に必要な印加電力が低くなり、良好な結果が得られているようすがわかる。さらに、(c) より、目標温度安定後は、ほぼ ± 0.8 以内の精度で温度制御できていることがわかる。以上の結果より、加熱対象の特性が変化した場合においても、良好に制御されているようすがわかる。

4.4 目標温度 70 に対する結果

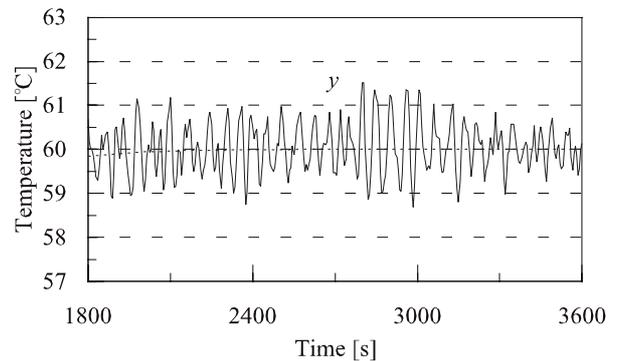
つぎに、目標温度を 70 とした場合の実験結果を Fig. 8 に示す。(a) は 0.02% の食塩水に対する結果、(b) は 0.03% の



(a) Exit temperature of heating portion



(b) Electric power



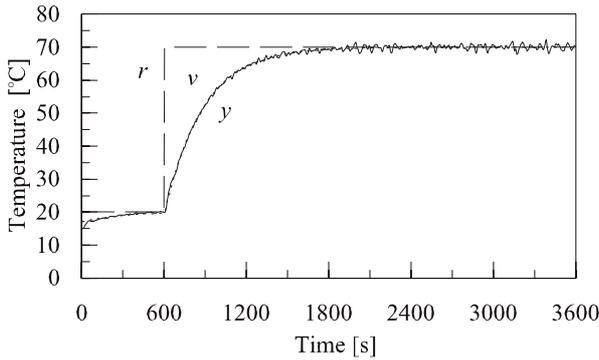
(c) Enlargement figure of (a)

Fig. 7 Experimental results of 2DF control
(Salt solution 0.03%, Target temperature 60)

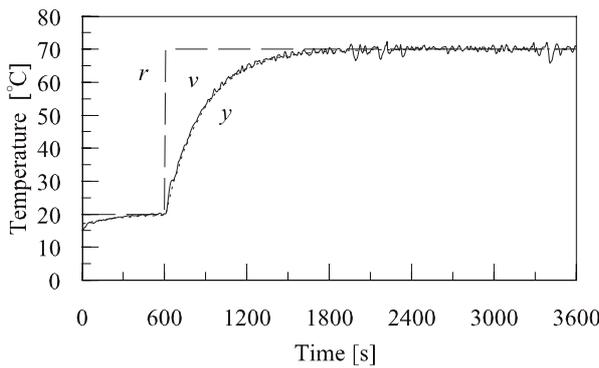
食塩水に対する結果を示している。この結果より、目標温度を変更した場合においても、出力 y は規範モデル $F(z)$ の出力 v (図中の点線) とほぼ一致した過渡特性が得られ、また、定常状態においてもほぼ ± 1.2 の高精度な制御を実現することができた。なお、図に見られる定常振動は目標温度が 60 の場合より大きく見られるが、この原因は操作量の振動の影響と、ジュール加熱器における放熱の影響が目標温度が 60 の場合より大きく、熱電対が管路内の食塩水に生じた温度差を計測したためである。

4.5 特性変動に対する結果

最後に、食塩水の電気抵抗率を変化させ、加熱対象に特性変動を与えた場合の実験結果を Fig. 9 に示す。本論文では、0.02% の食塩水 10ℓ に対して加熱を行ない、目標温度到達後、



(a) Salt solution 0.02%



(b) Salt solution 0.03%

Fig. 8 Experimental results of 2DF control (Target temperature 70)

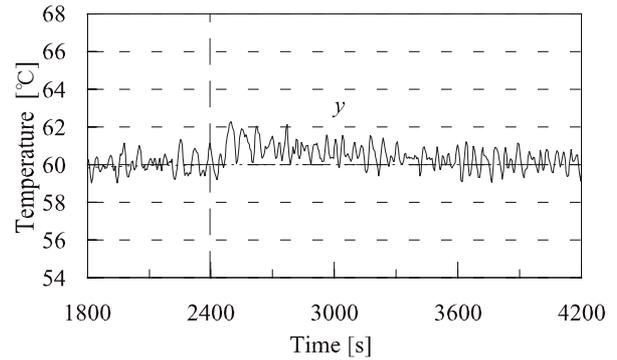
0.05%の食塩水 5ℓ を加え、全体として 0.03%の食塩水 15ℓ にした場合の検証実験を行なった。Fig. 9(a) は目標温度 60 に到達後の 2400 秒に変動を与えた場合の実験結果、(b) は目標温度 70 に到達後の 3600 秒に変動を与えた場合の実験結果を示している。いずれの目標温度に対しても食塩水を加えた直後には、温度変化が生じるものの、変動を与えてから約 900 秒後には定常状態に整定しているようすがわかる。

5. おわりに

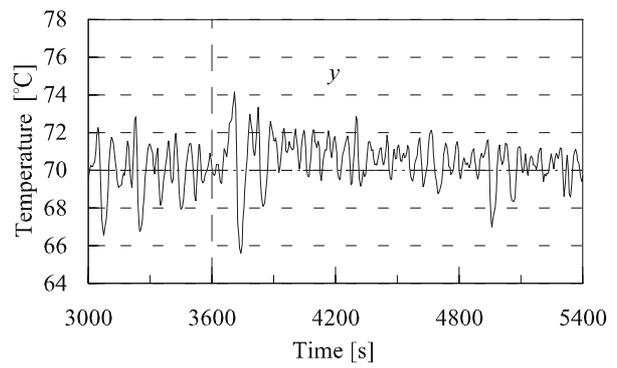
本論文では、ジュール加熱技術を応用した清酒殺菌システムに対して、2 自由度制御系を設計し、食塩水を用いた制御性能の検証を行なった。得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 目標温度を 60 に設定し、清酒に近い電気抵抗率の 0.02%の食塩水と、濃度を高くした 0.03%の食塩水に対して加熱実験を行なったところ、定常状態において、それぞれ ± 0.5 , ± 0.8 の整定性能を実現することができた。
- (2) 目標温度を 60 から 70 に変更した場合でも、規範モデルの出力にほぼ一致しながら、定常状態において、 ± 1.2 の高精度を実現した。
- (3) 実験に用いた食塩水の電気抵抗率を変化させ、加熱対象に特性変動を与えたところ、速やかに整定した。

今後の課題は、実際の清酒を用いて温度制御を行なうことであるが、本論文で行なった食塩水とは電気抵抗率が異なる



(a) Temperature 60



(b) Temperature 70

Fig. 9 Experimental results of 2DF control for perturbation

ことが予想される。また、清酒にはエチルアルコール、アミノ酸、糖類、香気成分、微生物の細胞断片などが含まれているが、これらが殺菌温度域でどのように変化するかを明らかにすることは困難である。しかし、本論文の結果は、PID ゲインを試行錯誤により決定したとはいえ、すべての実験において良好な結果が得られている。このため本論文で実現した特性を基準とし、電気抵抗率や清酒に含まれる成分により、特性変動が生じた場合においても、本論文の特性を実現するように適応手法の導入について検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 秋山美展：ジュール加熱技術による清酒の高品位殺菌システムの開発，ジャパンフードサイエンス，No. 8，85/89 (2002)
- 2) 渡辺健吾：ジュール加熱を応用した高精度液体殺菌システム，ジャパンフードサイエンス，No. 7，91/94 (2002)
- 3) 長縄，関，秋山，安田，佐々木，渡辺：ジュール加熱技術を応用した清酒殺菌システムの温度制御，計測自動制御学会第 5 回適応学習制御シンポジウム予稿集，71/74 (2005)
- 4) 杉江俊治，藤田敬之：フィードバック制御入門，コロナ社 (1999)
- 5) 秋山裕一，他：清酒製造技術，日本醸造協会 (1985)
- 6) 立花忠則：清酒の高品位殺菌技術の開発，ジャパンフードサイエンス，No. 8，91/96 (2002)

《付 録》

A. $K_d = 0.0$ とした場合の実験結果

4.2, 4.4 節では、目標温度 60, 70 に対して、(5) 式における K_d の値を 0.250 とした場合の結果を示した。しかし、

本システムでは制御対象の時定数に比べるとむだ時間が小さいため、PID コントローラの微分項は効果がないように考えられる。そこで、Fig. 5 の 2 自由度制御系において、(5) 式の K_d の値を 0.0 とした場合の実験結果を示す。

Fig. A.1 は、目標温度を 60, 70 にした場合の目標値応答特性を重ねて示している。この図より、過渡特性はいずれの目標温度に対しても、規範モデルの出力（図中の点線）にほぼ一致しているようすがわかる。一方、定常状態では、目標温度が 60 の場合には ± 0.6 の精度を実現しているのに対して、目標温度を 70 とした場合には、 ± 3.0 の定常振動が発生した。

B. PID 制御系で行なった実験結果

本論文の有効性を示すため、PID 制御系で行なった実験結果を示す。本論文では、PID ゲインを (5) 式のように選んだ場合と、目標値応答がオーバーシュートせず、立ち上がり特

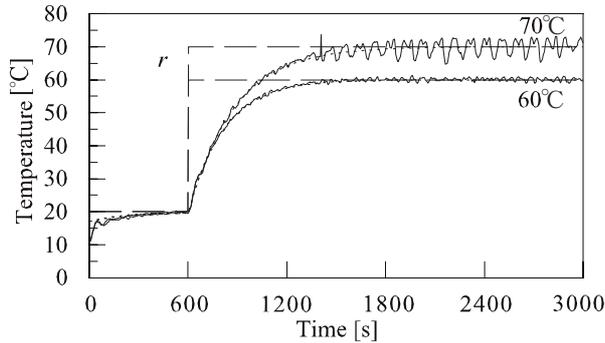


Fig. A.1 Experimental results of 2DF control with $K_d = 0$ (Salt solution 0.02%)

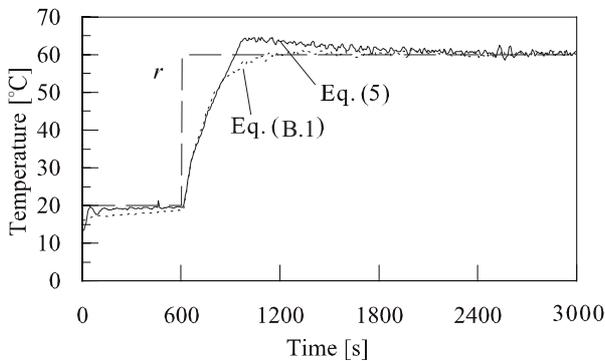


Fig. A.2 Experimental results of PID control with Eq. (B.1) (Salt solution 0.02%, Target temperature 60)

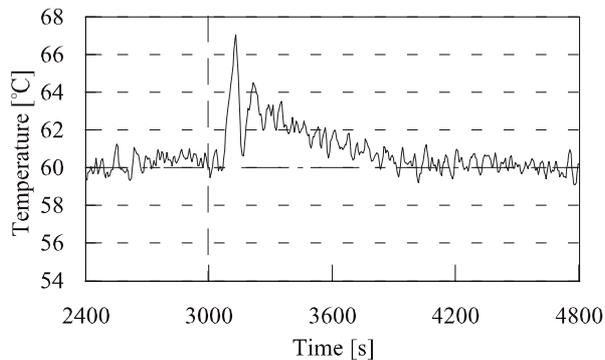


Fig. A.3 Experimental result of PID control with Eq. (B.1) for perturbation

性が速やかに目標温度となるようにつぎのゲインを用いた結果を示す。

$$K_p = 3.0, \quad K_i = 0.05, \quad K_d = 0.01 \quad (\text{B.1})$$

Fig. A.2 は目標値応答の実験結果、Fig. A.3 は特性変動に対する実験結果を示す。Fig. A.2 より、(5) 式の PID ゲインを用いた場合には、出力にオーバーシュートが見られた。また、(B.1) 式の PID ゲインを用いた場合には、操作量が多少飽和するものの出力にオーバーシュートも見られず、良好な結果が得られた。しかし、この場合の特性変動に対する実験結果では、Fig. A.3 に示すように、特性変動を与えた 3000 秒後に温度が約 67 まで温度が上昇し、その後、定常状態に整定した。

[著 者 紹 介]

長 縄 明 大 (正会員)



1995 年東北大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程修了。同年東北大学助手、96 年新潟大学助手を経て、99 年秋田大学工学資源学部機械工学科講師。2001 年同助教授、現在に至る。博士（工学）。機械システムの制御に関する研究に従事。日本機械学会、電気学会、日本ロボット学会、パイオメカニズム学会、IEEE などの会員。

関 健 史



2005 年秋田大学工学資源学部機械工学科卒業、同年秋田大学大学院工学資源学研究所博士前期課程入学、現在に至る。ジュール加熱を用いた食品加工に関する研究に興味を持つ。

秋 山 美 展



2002 年東北大学大学院農学研究科環境修復生物学専攻博士課程修了。現在、秋田県総合食品研究所上席研究員。農学博士。ジュール加熱による高品位食品加工法の開発と食材中の活性酸素消去物質の機能解明およびその応用に関する研究に従事。日本農芸化学会、日本食品科学工学会、XYZ 系活性酸素消去発光研究会会員。日本食品工学会評議員、編集委員。

安 田 基 樹



1978 年東京都立大学工学部工業化学科卒業、79 年日本精機（株）入社、東京営業所配属。石油・天然ガス生産プラント技術営業業務に従事。86 年本社営業企画部所属、化合物半導体素材結晶成長装置、ウェハ製膜装置などの技術営業業務ならびに産学官連携研究開発業務に従事。2001 年常務取締役就任、現在に至る。日本素材学会、秋田化学技術協会、秋田化学工学懇話会会員。

佐々木 善 幸



1995 年日本精機（株）入社、技術開発部所属、各種産業機械ならびに石油・天然ガス生産プラントの電気制御担当、社内 IT システム管理責任者。99 年ジュール殺菌システムの開発に従事し、電気制御設計担当、現在に至る。

渡 辺 健 吾



1997 年秋田大学鉱山学部機械工学科卒業，98 年日本精機（株）入社，技術開発部所属，石油・天然ガス生産プラントならびに各種産業機械の機械設計担当．99 年ジュール殺菌システムの開発に従事し，機械設計担当，現在に至る．

.....