

| | |
|--------------|---|
| Title | 清酒発酵プロセスにおける官能特性の最適化制御 |
| Author(s) | 松浦, 一雄 |
| Citation | 大阪大学, 1996, 博士論文 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://doi.org/10.11501/3110224 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | | | | |
|------------|------------------------|---------|---------|--------|
| 氏名 | まつ 松 | うら 浦 | かず 一 | お 雄 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) | | | |
| 学位記番号 | 第 1 2 2 9 2 号 | | | |
| 学位授与年月日 | 平成 8 年 3 月 5 日 | | | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当 | | | |
| 学位論文名 | 清酒発酵プロセスにおける官能特性の最適化制御 | | | |
| 論文審査委員 | (主査) | | | |
| | 教授 | 塩谷 捨明 | 教授 | 吉田 敏臣 |
| | 教授 | 菅 健一 | 教授 | 山田 靖宙 |
| | 教授 | 室岡 義勝 | 教授 | 大嶋 泰治 |
| | 教授 | 小林 昭雄 | 教授 | ト部 格 |

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、清酒発酵プロセスにおいて、発酵終了時点の官能評価値を最適に制御するシステムの構築を目的とした研究の結果をまとめたものである。

序論では現在の清酒業界が抱えている労務問題を概説し、本研究の目的および構成について述べている。

第一章では、清酒の香りの評価に大きく寄与する酢酸イソアミル ($i\text{-AmOAc}$) の最大生成を糖化液を用いて試みた。 $i\text{-AmOAc}$ の消長をシミュレートするための数学的なモデルを構築し、これをもとに発酵終了時点の $i\text{-AmOAc}$ 濃度が最大になるようにダイナミックプログラミングを使用して最適温度軌道を求めた。最大生産実験の結果、発酵終了時点の $i\text{-AmOAc}$ 濃度を定温条件の最大値の 1.6 倍に高めることができ、きき酒試験においても香りの評価が最良となっている。

第二章では、発酵工程における温度以外の操作手段を開発する目的から超音波照射について検討した。超音波照射によって発酵液中の溶存二酸化炭素 (DCO_2) 濃度を低減させ、酵母増殖、エステル生成等が促進され、発酵液あたりの超音波強度は、 $3\text{W}/1$ が最適となっている。

第三章では、清酒醪のアルコール濃度の目標値制御について研究した。提案した発酵速度軌道制御は、あらかじめ決定しておいたアルコール生成速度軌道に、二酸化炭素ガス発生速度から推定されるアルコール発生速度を追従させるように温度を操作するものである。本方法の有効性を酵素力価、酵母初期濃度あるいは米の品種等を変化させた制御試験で確認した結果、発酵終了時点のアルコール濃度および比重を精度良く制御できることが確認できている。

第四章では、清酒中の成分濃度から官能評価を客観的に知るために、エキスパートが行った官能評価を数理的に解析することを試みた。遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて Dempster - Shafer 測度 (DS) 基本確率の各要素への分布を学習させた。13 種の成分濃度を入力し、そのときのきき酒評価値を出力値とした。吟醸酒発酵プロセスにおける 13 種類の微量成分の濃度の時系列データをもとに学習し、上記モデルによるきき酒評価値の推定値の時系列データと検定データを比較した。DS を用いることにより成分の消長から判断されるきき酒評価値の推移を良く表現できている。

第五章では、実用的な時間内で発酵プロセスの最適化問題を解くために、GA の導入を試みた。方法論の確立のため、

微分方程式によって記述されたモデルを用いた汎関数の最大値探索問題と二点境界値問題を解き、GAの実用性を検討した。その結果、最大原理やダイナミックプログラミングによる結果に対して、ほぼ同様の軌道が実用的時間内に算出できている。

第六章では、状態変数と操作変数間のダイナミクスのモデル化を自動化するために、ファジィ推論を基本とする発酵プロセスのシュミレーション方法を提案した。この、シュミレーションモデルは、GAによってファジィルールを獲得する学習能力を持つ。このファジィシュミレータによって、発酵プロセスの状態変数を予測することを試みた。さらに、このシュミレーションモデルに適応能力を持たせるために、ファジィルールの分散化学習を行わせる方法論を提示した。吟醸酒発酵プロセスを対象として、提案した手法の有効性を確認した結果、上記ファジィシュミレータが官能評価やエタノール生成速度等のプロセスの状態を良好に再現すること、ファジィルールの分散化学習によって、過去の運転データを活用しつつ適応的な能力も合わせ持つ制御系を構築することが可能となった。本研究の成果を応用し、実験的な制御試験を行ったところ、最適制御あるいは最適化制御によって得られた吟醸酒は、香気に優れ、味の端麗な優れた品質を持つものとなっている。

最後に本研究の全体を総括においてまとめている。

論文審査の結果の要旨

清酒発酵プロセスの官能評価の最適化をはかるために、官能評価の合理的な推定方法や制御方法が要求される。本論文は、超音波による発酵速度の促進、測定可能な成分濃度からの官能評価値の推定方法、ファジィ推論による状態変数のシュミレーション方法やその適応的な学習、およびオンラインでの最適化計算などを行うシステムの構築を目的とした研究結果をまとめたもので、以下に要約するよういくつかの新しい提案を行うとともに、二、三の重要な知見ならびに結論を得ている。

- (1) 清酒中の成分濃度から官能評価値を客観的に知るために、官能評価を数理的に解析することを試みている。ここで、情報が欠如していることと、情報が信用できないことを区別することができる Dempster - Shafr 測度 (DS) をゆらぎの大きな官能評価に適用し、従来人間の主観によって決定していたDSの基本確率の各要素への分布を遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて学習させている。吟醸酒発酵プロセスにおける13種類の微量成分の濃度の時系列データをもとに上記モデルにより官能評価値の推定値の時系列データを計算したところ、DSを用いることにより、成分の消長から判断される官能評価値の推移を良く表現できることを示している。
- (2) さらに実用的な時間内で発酵プロセスの最適化問題を解くために、GAの導入を試みている。微分方程式によって記述されたモデルを用いた汎関数の最大値探索問題と二点境界値問題を解き、GAの実用性を検討し、従来使用されていた最大原理やダイナミックプログラミングによる最適化計算の結果に対して、ほぼ同様の軌道が実用的時間内に算出できることを示している。
- (3) 状態変数と操作変数間の動力的関係のモデル化を自動化するために、GAを用いてファジィ推論のルールを獲得させるシュミレーション方法を提案している。このファジィシュミレータによって、発酵プロセスの状態変数を予測することを試み、良好に状態推移をシュミレートできることを示している。また、このシュミレーションモデルに適応能力を持たせるために、ファジィルールの分散化学習を行わせる方法論を提案し、過去の運転データを活用しつつ適応的な能力も合わせ持つ制御系を構築している。このシステムを用いて、実験的な制御試験を行ったところ、最適制御あるいは最適化制御によって得られた吟醸酒は、香気に優れ、味の端麗な優れた品質を持つものであることを検証している。

以上のように、本論文は清酒発酵プロセスの高級制御に必要なバイオプロセス工学について価値ある知見を得ており、清酒製造ならびに生物プロセス制御の分野に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。