Osaka University Knowledge Archive

Title	Approach for Controlling Fermentation Performance and Evaluating Lager Yeast Activity in Low-Malt Beer Brewing
Author(s)	小林, 倫子
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48445
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【16】

氏　　名	小　林　倫　子（こばやし　みちこ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２１１２７　号
学位授与年月日	平成 19 年３月 23 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科応用生物工学専攻
学　位　論　文　名	Approach for Controlling Fermentation Performance and Evaluating Lager Yeast Activity in Low-Malt Beer Brewing （発泡酒醸造における発酵挙動の制御とラガー酵母の活性評価）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　塩谷　捨明 （副査） 教　授　大竹　久夫　　教　授　清水　　浩　　助教授　片倉　啓雄 教　授　福井　希一　　教　授　関　　達治　　教　授　小林　昭雄 教　授　卜部　　格　　教　授　原島　　俊　　教　授　金谷　茂則 教　授　仁平　卓也　　教　授　四方　哲也

論　文　内　容　の　要　旨

発酵食品の生産において、工場での生産計画をより精密に実行し、最終製品の品質を一定にすることは非常に重要である。そこで、本論文では、第一章序章のあと、第二章から第四章までで所与の培養時間で培養温度を操作して発酵進行度の指標であるアパレントエキス濃度や呈味成分濃度を目標値に収める制御系の設計法や連醸回数を決めるための指標の開発を行っている。

まず、第二章では工場で生産された麦汁、酵母を用い、2.5 L の筒型発酵槽にて静置培養を行った。排ガス中の CO_2 濃度をもとにアパレントエキス濃度の推定を行い、標準的な発酵活性を持つ酵母の発酵データから、発酵温度、アパレントエキス全消費量と CO_2 生産速度の関係を詳細に調べた。そして、アパレントエキス全消費量と培養温度に対して CO_2 生産速度が算出できるモデルを構築した。このモデルを基に現在の酵母活性を発酵温度に換算して表現することにより、所与の時間に発酵を終了するための発酵温度を決定するアルゴリズムを開発した。その結果、所定の時刻にアパレントエキス濃度を設定値に一致させる制御が実現された。

第三章では、第二章とほぼ同じ実験材料・装置を用い、まず、酵母が生成する二酸化炭素量から、過剰であると好ましくない呈味の原因となる揮発性成分濃度の推定を行った。さらに、この推定モデルを用いてシミュレーションを行った結果、多様な温度プロファイルによって、時間内にアパレントエキス濃度を既定の値にまで減少させ、揮発性成分の生成が設定値以下であるという不等号制約を満たすという条件が達成できることがわかった。そこで新たに制約を加え、温度プロファイルを決定し、それらを用いて実際に自動制御培養を所定時間行ったところ、アパレントエキス濃度、揮発性成分濃度、ともに既定の値にほぼ一致させることができた。さらに、ビールの苦味に影響するイソα酸濃度を測定したところ、温度プロファイルが異なるとイソα酸濃度も異なる値を示すことがわかった。よって、これらの方法によりエキスと揮発性成分の制約を満たしながら苦味成分といった呈味に幅のある操作が行えるようになった。しかし、上記の制御を備えても、発酵温度に換算された酵母の活性の値が著しく低かったり高かったりした場合は制御可能範囲から外れてしまう場合があり、次の発酵に使われる酵母の活性を培養開始前に評価する必要が

あった。

そこで第四章では酵母の活性の変化は主に連醸回数に因ることがわかっているので、連醸に伴う酵母細胞の変化を解析した。実験では、まず、培養液の濁度を測定することによって、連醸回数の増加により酵母の増殖が遅れていくことを確かめた。さらに、イソアミルアルコールの生成量が増加することも確かめられた。次に、染色試薬を用い、細胞膜電位、活性酸素の変化をフローサイトメータで測定することにより、連醸回数の増加に伴い、活性酸素が細胞内に蓄積し、細胞膜電位は減少していくのが観察された。したがって、この方法は連醸回数決定の目安となりうることが示唆された。

最後に、第五章に全体の結論をまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は発泡酒発酵工程の解析と制御に関するものであり、工場での生産計画をよりよく実行させるため、さらに最終製品の品質を一定に保つために、同条件でも異なる醗酵をバッチごとに同じになるように制御する技術の開発を行った論文である。

第一章では、発泡酒醸造のようなバイオプロセスに対して、既に報告されている制御方法と比べた新規性及び研究の目的、さらに醸造工程全体の知見を記述している。

第二章では、発酵進行度の指標であるアパレントエキス濃度を排ガス中の CO_2 濃度からオンラインで推定するシステムの構築を行った。次に、アパレントエキス全消費量と培養温度に対して CO_2 生産速度が算出できるモデルを構築し、それを基に現在の酵母活性を発酵温度に換算して表現することにより、所与の時間に発酵を終了するための発酵温度を決定するアルゴリズムを開発した。その結果、所定の時刻にアパレントエキス濃度を設定値に一致させる制御が実現された。

第三章では、ビールの品質に大きく関わる揮発性成分を考慮に入れた制御を行った。酵母が生成する二酸化炭素量から揮発性成分を推定するモデルの構築を行い、時間内にアパレントエキス濃度を既定の値にまで減少させ、揮発性成分の生成が設定値以下であるという不等号制約を満たす温度プロファイルの作成を行った。さらに実際に自動制御培養を所定時間行い、与えられた条件を満たしながら、エネルギー投入や苦味成分といった生産条件や呈味に幅のある操作を可能とした。

第四章では、連醸に伴う酵母細胞の生理学的な変化をフローサイトメトリーにて解析した。実験では、連醸回数に伴い、酵母の増殖の遅れ、イソアミルアルコール生産量の増加を確認した。次に、染色試薬を用い、細胞膜電位、活性酸素の変化をフローサイトメータで測定することにより、連醸回数の増加に伴い、活性酸素が細胞内に蓄積し、細胞膜電位は減少していくのが観察された。フローサイトメトリーより得られた知見と培養で得られた知見を基に連醸回数を決定した。

第五章では、各章のまとめ、本論文の工学的意義、および、ビール醸造などのバイオプロセスにおける本論文で開発された技術の重要性を述べている。

以上のように、本論文は発泡酒醸造における問題点を解析し、さらに発酵を様々な形で制御することに成功している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。