

ビール製造の効率化

醸造技術開発研究部門副部門長 水野 昭博

1. はじめに

平成6年4月のビールの法定製造数量を60klに引き下げる規制緩和により、地ビールの製造が開始された。地ビール製造の課題の一つとして、品質における付加価値の創出があげられる。少人数製造に起因する高い労働負荷に対して技術的解決も必要と考えられる。我々は、地ビール製造におけるこれらの課題に対して高濃度醸造が有効ではないかと考えた。一方、大手ビール製造者においては従前から伝統的パッチ式発酵方法を採用しているが、製造効率が高く、環境負荷の少ないビール製造方法が待望されている。これまでに固定化酵母技術を用いた連続発酵が検討されたが、実用化されていない。本講演では、ビール製造の効率化等を目的として行った高濃度醸造と連続発酵についての研究を紹介する。

2. ビールの高濃度醸造

(1) ビールの高濃度醸造とは

高濃度醸造は、通常より高い原麦汁エキス分の麦汁を発酵させたビールに加水して通常のアルコール分の製品とする醸造法である。この高濃度醸造には、製造効率の向上等のメリットがある一方、原麦汁エキス分の増加に伴う発酵度の低下、エステル生成量の増加等により通常の製品とは異なる品質となることが問題として指摘されている。

(2) -グルコシダーゼを用いた並行複発酵によるビールの高濃度醸造

ビールは、麦芽と副原料を糖化して製造した麦汁をビール酵母により発酵させて製造される。この製造法は、糖化と発酵の工程が分離されているので、単行複発酵型式と呼ばれている。麦汁中の主要な糖はマルトースとマルトトリオースであり、ビール醸造に用いる酵母にはこれらの糖の資化発酵能が要求され、高濃度醸造に用いるビール酵母はその特性がより強いことが望ましい。一方、清酒醸造は糖化と発酵が同時進行する並行複発酵型式であり、この発酵型式が20%にもなる高アルコール分生成に大きく寄与していると考えられている。

我々は、ビールの高濃度醸造において、麦汁中のマルトース等のオリゴ糖からグルコースを生成させ、生成したグルコースを発酵させる並行複発酵型式のビール醸造によって発酵度低下の問題を解決できるのではないかと考え、加水分解反応と糖転移反応を持つ -グルコシダーゼの利用について検討した。 -グルコシダーゼを用いる高濃度醸造の機構を第1図に示した。加水分解反応によるオリゴ糖からグルコースの生成とともに、糖転移反応により非発酵性のイソマルトオリゴ糖が生成する。この非発酵性糖の生成がグルコース生成の緩衝反応となって、グルコアミラーゼを用いた場合とは異なり、グルコースは暫時生成するので急激な浸透圧上昇を引き起こすことはない。麦汁中にグルコースが常に供給されるので、グルコースリプレッションによって酵母はマルトースが存在しても優先的にグルコースを資化する。この並行複発酵型式の高濃度醸造によって、発酵度は向上し、酵母へのストレスに起因する酢酸生成の増加を防ぐことが出来た。また、添加した -グルコシダーゼの活性は、発酵期間中に低下することはなかった。グルコースを発酵させるこの発酵型式においては、使用する酵母にマルトース資化性を必要とせず、アルコール生成能の高い清酒酵母を始めとしてあらゆる醸造用酵母が使用可能である。

(3) アルコール生成能が高く酢酸生成能の低いビール酵母の変異株

高濃度醸造においてはエステル生成の増大が品質上の大きな問題の一つであるが、高浸透圧条件における発酵ではオフフレーバーである酢酸の生成量が増大することが知られている。2 - デオキシグルコース耐性はグルコースリプレッションを解除した変異酵母の取得に多く用いられており、ビール酵母においてもアルコール生成能の高い変異株が取得されている。我々が従前に取得した清酒酵母の2 - デオキシグルコース耐性株には酢酸生成が低い傾向が認められた。アルコール生成能が高く酢酸生成能が低いビール酵母は高濃度醸造に有用と考え、2 - デオキシグルコース耐性によって、アルコール生成能が高く酢酸生成能が低いビール酵母の変異株を取得した(第2図)。

3. ビールの連続発酵

(1) 連続発酵の課題

連続発酵が実現できれば、バッチ式の発酵と比較して、製品品質のバラツキの減少、製品歩留まりの向上、バッチ毎の洗浄殺菌の必要性解消による排水処理設備(環境)への負荷低減、省力化・省エネルギーによる製造効率の向上、設備の簡略化等の多くのメリットが生じる。そこで、これまでに固定化微生物法を利用した多くの連続発酵に関する研究開発が行われてきた。しかし、固定化微生物法では、発酵は固定化担体の表面に存在する一部の微生物又は固定化担体から脱離した微生物によって進行しているのが実態であり、発酵系全体の微生物活性を長期間高く維持することができない。また、多孔質担体を用いた場合には、雑菌汚染した際の対処が困難であることも問題である。

(2) 新規な連続発酵システム

上記の連続発酵の諸問題を克服するために考案した新規な連続発酵システムを第3図に示した。このシステムでは、バッチ式で製造した麦汁を前発酵槽へ移送し、直ちに酵母を添加し発酵を開始させる。前発酵槽を複数用意してバッチ毎に酵母添加済み麦汁を一時貯留し、溶存酸素が枯渇した後に麦汁順次主発酵槽へ送る。主発酵槽に供給する麦汁中の活性の高い酵母が主発酵槽内に既に存在する滞留時間の長い酵母と混ざらず、酵母の生理状態と同調した麦汁成分の変化を行わせることを目指して、麦汁は主発酵槽の上部から供給し、主発酵槽の内部には透水性を持たず表面が平滑な担体を充填する。主発酵槽内に充填した担体によって、酵母は槽底部へ急速に凝集沈降せず担体上に沈積し、発酵槽内の酵母密度は高まる。また、滞留時間の長い酵母を発酵槽底部へ順次沈積させて、槽底部から活性の低い酵母を取り出すことが可能となる。主発酵槽内は常に活性の高い酵母を保持できるので、酵母の自己消化によるビール品質の低下を防止可能な連続発酵システムとなる。さらに、用いる担体は多孔質や透水性ではないので、液種の切り替え、雑菌汚染の際の洗浄殺菌において利点を持つ。

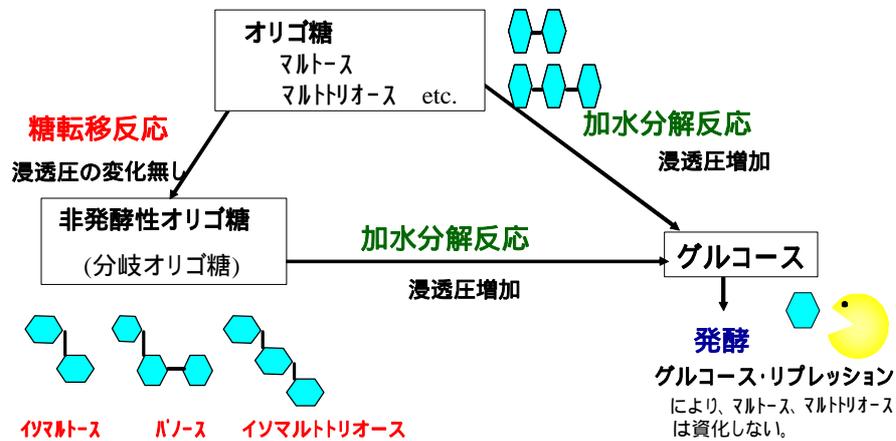
この連続発酵システムの主発酵槽に球径 6 mmのガラスビーズを充填して連続発酵を行ったところ、1ヶ月間の安定的な連続発酵が可能であり、若ビールの品質は、前発酵槽において酵母増殖を2世代行わせることによって、バッチ式による場合とほぼ同等となった。酵母の活性は、1日1回ガラスビーズを振動させて槽底部に沈積した酵母を抜き取ることによって、安定的に高く保ち得た。主発酵槽内は混合均一系であったが、大多数の酵母はガラスビーズ上に沈積して発酵に参画していた。

4. おわりに

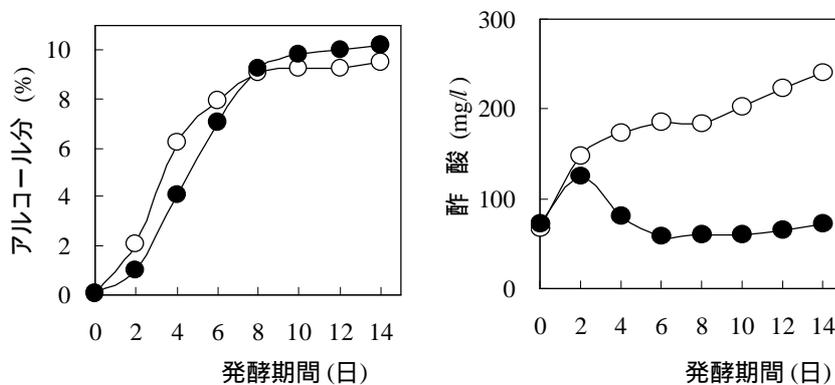
21世紀は「環境の世紀」とも言われている。酵母を利用する、元々、省エネルギー産業である醸造においても、更に効率性の高い、環境にも配慮した新規な製造方法が求められている。考案した連続発酵システムはフィージビリティー・スタディーの段階だが、研究開発が進み実用化された暁には、

前述のように多くのメリットが生じる。一方、飽食のこの時代においては、多種多様な消費者嗜好を満たす品質のビールを製造する技術も求められている。 - グルコシダーゼをビール醸造に利用することによって、高濃度醸造の課題解決とともにビール品質の多様化に貢献できるものと考えている。

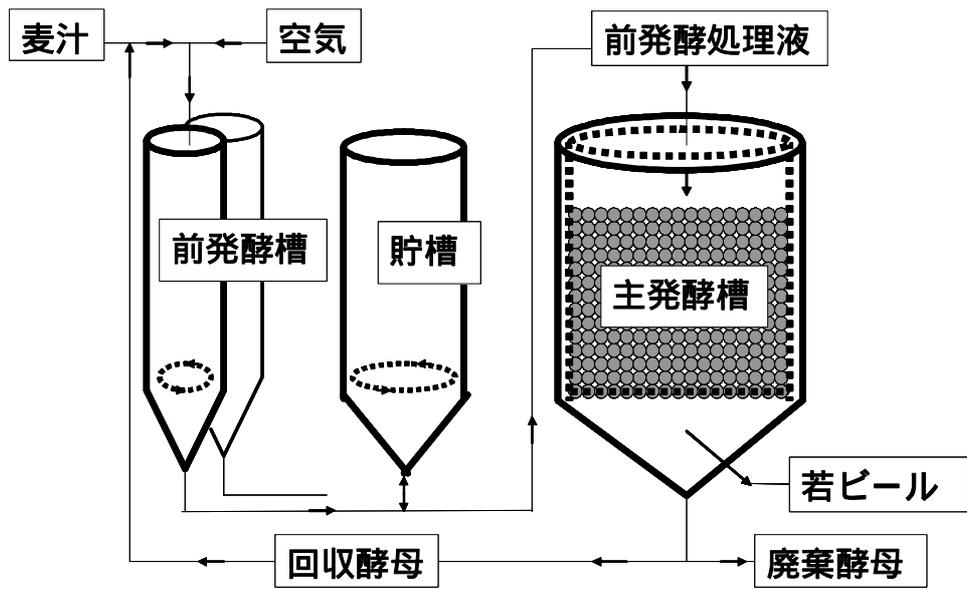
なお、 - グルコシダーゼを利用する高濃度醸造は天野エンザイム(株)・天野仁氏、連続発酵は(前)秋草学園短期大学・井上喬教授との共同研究によった。



第1図 - グルコシダーゼを添加した並行複発酵による高濃度醸造



第2図 アルコール生成能が高く酢酸生成能の低いビール酵母の発酵特性
 : 上面発酵ビール酵母 NCYC1245 親株, : 2 - デオキシグルコース耐性株
 原麦汁エキス分: 20% (w/w)、発酵温度: 15



第3図 新規な連続発酵システム