

学 位 論 文 題 名

ビールの製造技術と香味品質に関する研究

学位論文内容の要旨

世界各地で時代とともに多種多様なビールが誕生してきたが、醸造方法に本質的な違いはない。19世紀なかば、ピルゼン市（チェコスロバキア）で誕生したピルスナービール（原麦汁10～12エクス<sup>1</sup>/<sub>100</sub>%、アルコール4～5<sup>1</sup>/<sub>100</sub>%）は世界各地で生産されるビールの主流を占める淡色ビールである。1970年代に米国で広まったライトビール（原麦汁7～8%、アルコール3～5%）は軽快な香味を特徴とする低カロリーの新しいタイプのビールである。ほかに濃色の黒ビール（原麦汁12.5%、アルコール5.5%）やスタウトビール（原麦汁1～8%、アルコール8%）などがある。日本のビールの製造技術はドイツから導入されたものであるので、今日でもそのベースはドイツ技術においているが、日本のビール製造技術として新たにアレンジされたものも少くない。これまでビールの香味を定量的に表現することが難しく、化学分析技術も香味成分の極く一部を測定できるに過ぎなかった。

ビールの香味品質を設計し、実際にこれを実現しようとするればビール香味、化学分析値及び製造法の相互関係が明らかにされている必要があり、このため官能検査へ統計学的手法を適用してビールの香味特性を数量化して評価する方法を確立した。さらに高濃度ビール及びライトビールを開発するにあたり、香味品質を実現するための新規醸造法の開発ならびにビールの香味安定性を向上するための醸造条件を明らかにすることにより、新商品開発の新しい技術の開発を目的として研究を実施した。得られた結果は次の通りである。

1. 高濃度ビールの製造技術開発および香味品質改善の試み

1) 高濃度ビールの香味特性と嗜好性

ビールの基本香味特性を表現する用語として国際的にも広く使われている多数の用語から20の用語を選び、それら用語の官能特性に関する心理量を、強度と嗜好性尺度として計量し、重回帰分析法により解析してビールの香味特性を数量化した。“香味のよさ”に対する官能特性の寄与率は97%と大きく、これら20の官能特性を評価すればビールの香味特性をほぼ完全に把握できることを示し、ビールの官能検査法を確立した。高濃度ビールの「香味のよさ」は「麦芽香味」、「エステル香味」、「こくみ」、「甘味」の4香味特徴と、その調和性

「まるみ」によって決定されていると判断され、原麦汁15%ビールの「香味のよさ」が13%、17%に比べて最も優れていた。また香味安定性は原麦汁濃度が高くなるほど向上し、特に15%ビールの香味安定性は顕著に良好であった。

## 2) 糖及び窒素成分の摂取と揮散性成分の生成に及ぼす麦汁濃度と発酵温度の影響

酢酸エチルの生成は摂取されたエキス量が多いほど、また窒素成分の摂取量が少なく、酵母の増殖が少ないほど多く生成する傾向が認められた。酢酸エチルの生成は発酵温度が高くなってもやや増大する程度であるが、麦汁濃度が高くなると原麦汁濃度あたりの生成の増大は顕著であった。

## 2. ビールの醸造条件および香味安定性

### 1) 醗、麦汁の酸素吸収とビールの香味安定性

醸造パイロットプラントの仕込工程において醗や麦汁に通気して酸化させると麦汁の溶存酸素量が高くなり、得られたビールは酸化を防いで調整した麦汁からの対照ビールに比べて、色度が濃く、ポリフェノール含量が少ない。酸化還元電位、還元力、酸素吸収能などの酸化還元指標から見て酸化状態にある。保存すると混濁安定性が悪く、強い酸化臭がついて香味安定性が著しく劣った。

### 2) 主発酵条件とビールの香味安定性

大型醸造パイロットプラントを用いて主発酵パラメーターを種々の組み合わせで変えた場合に低温発酵の実用性を保ちながら、香味安定性の向上が図れるかにつき試験した。酸化臭指標（亜硫酸含量、酢酸イソアミル含量）と実用性指標（全ダイアセチル含量、発酵日数、酵母回収倍率）を設定した結果、指標を満足させる発酵条件として10℃発酵を組み合わせることにより目的とする醸造法を案出した。

## 3. ライトビールの香味設計技法の開発

### 1) 醸造パイロットプラント及び工場での醸造によるライトビールの香味品質分析

高濃度醸造ではエステルの生成が著しく促進されることが確認された。イソフムロン9~14mg/ℓの範囲で「苦味の快さ」の評価がよかった。原麦汁濃度が8.5%を超えるとカロリーが30kcal/100mlを超える。12オンス（355ml）壺で100kcal/壺未満に抑えるには28kcal/100ml以下でなければならないと判断された。高濃度醸造ビールと低濃度醸造ビールのブレンドビールの香味評価は高いものが多かった。

### 2) 化学分析値、官能検査値を用いた数理統計解析によるライトビールの香味設計

ライトビールの「香味のよさ」に強く影響する香味特性は通常のビ

ールに比べて「軽快さ」、「苦味の快さ」との相関が高い。試醸ライトビールの香味特性と化学分析値との単相関をみた結果、「苦味の快さ」、「こくみ」、「まるみ」、「軽快さ」そして「香味のよさ」などの香味特性は窒素成分量（全窒素あるいはホルモン態窒素）、エステル含量、イソフムロン含量の3因子に強く依存していることが判明した。

開発するライトビールを“非常に軽く、すっきりしているが水っぽいアメリカンタイプのライトビール”とは、はっきり一線を画し、従来のピルスナータイプのビールに近い独自の香味特徴を有する領域に香味地図上位置付けた。

#### 4. 新しい発酵法「分割発酵法」によるライトビール製造技術の開発

##### 1) 化学分析値と醸造方法との対応解析

ビールのカロリーは発酵度が多少変動しても、原麦汁濃度によってほぼ決まることが判明した。ライトビールのカロリーは通常ビール（原麦汁10～12%）と明らかに差のある原麦汁濃度に設定すべきで外国ビール及び試醸ビールの香味評価から7.5%以下の原麦汁濃度では優れた評価のビールがないことから、8%が設定すべき原麦汁濃度の下限と考えられた。試醸ライトビールについては発酵度とビール香味の間に明らかな相関は見られなかった。高濃度発酵をする場合は、糖度の切れが緩慢になる傾向があるので14℃程度の高濃度発酵を採用した方がよい。

ライトビールでは“水っぽさ”、“物足りなさ”を補うために、高エステル含量を確保することが必要である。今回試みた醸造方法のうちで望ましいエステル含量に達したのは15%以上の高濃度発酵後、炭酸水あるいは低濃度ビールで希釈するという方法であった。安定的に高エステル含量を維持するには、高濃度ビールは18%程度、低濃度ビールは4%程度とするのが適当であると判明された。

##### 2) 「分割発酵法」の考案

開発ターゲットを満たすライトビールの分割発酵法は「14～21%の高濃度麦汁を最低14℃で発酵させて十分にエステル類が生成した時点で別に発酵させた3～6%の低濃度麦汁発酵液で原麦汁濃度6～9%相当にまで希釈・ブレンドして、この混合ビールを更に後発酵させて熟成させる方法」である。

高濃度麦汁の望ましい原麦汁濃度は16～20%で、低濃度麦汁のそれは4～5%である。また低濃度麦汁の全窒素含量は30mg/100g以上であることが望ましいと判断された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 千 葉 誠 哉

副 査 教 授 富 田 房 男

副 査 教 授 田 原 哲 士

学 位 論 文 題 名

## ビールの製造技術と香味品質に関する研究

本論文は、和文253頁、図65、表66、5章からなり、ほかに参考論文10編が付されている。

世界各地で時代とともに多種多様なビールが誕生してきたが、醸造方法に本質的な違いはない。19世紀なかば、ピルゼン市（チェコスロバキア）で誕生したピルスナービール（原麦汁10～12エクス<sup>W</sup>/<sub>W</sub> %、アルコール4～5<sup>V</sup>/<sub>V</sub> %）は世界各地で生産されるビールの主流を占める淡色ビールである。1970年代に米国で急速に広まったライトビール（原麦汁7～8%、アルコール3～5%）は軽快な香味を特徴とする低カロリーの新しいタイプのビールである。ほかに濃色の黒ビール（原麦汁12.5%、アルコール5.5%）やスタウトビール（原麦汁18%、アルコール8%）などがある。ビールの製造は、伝統と経験に基づく技術分野であり多様なビールの香味の特徴を定量的に表現することが難しく、数量化して的確に評価することは困難と考えられていた。

本研究は、化学分析と官能検査へ統計学的手法を適用してビールの香味性を解析することにより香味特性を数量化して評価する方法を確立し、それを応用して新しいタイプのビールを迅速、適確に設計、開発することを意図してなされたものである。研究の結果は、以下のように要約される。

1. ビールの基本香味特性を表現する用語として国際的にも広く使われている多数の用語から20の用語を選び、それら用語の官能特性に関する心理量を、強度と嗜好性を尺度として計量し、重回帰分析法により解析してビールの香味特性を数量化した。“香味のよさ”に対する20の官能特性の寄与率は97%と大きく、これら20の官能特性を評価すればビールの香味特性をほぼ完全に把握できることを示し、ビールの官能検査法を確立した。

2. 国産、輸入のピルスナータイプビールおよび高濃度ビール69試料につき官能検査による香味評価を行った。国産と輸入のピルスナービール、高濃度ビールは官能検査によってそれぞれのグループに識別され、高濃度ビールの“香味のよさ”は「麦芽香味」「エステル香味」「こくみ」「甘味」の寄与が大きく、その4香味特性の調和性による「まるみ」によって決定されると評価された。この評価に基づき、高濃度ビールの製造条件を検討して、原麦汁15%、低温発酵（5→8→4℃）が最も適当であり、香味の安定性が優れていることを示した。

3. 国産ビール60試料につき20の官能検査値により判別関数分析を試みた結果、各銘柄ごとの香味の調和性の違いは、7つの官能特性、「こくみ」「エス

テル香味」「酸化臭」「ホップの異臭味」「甘味」「苦味の快さ」「炭酸ガスの快さ」の官能検査の正準変量として捕えることができた。これら7つの官能特性値を重回帰式に代入して得られた値を2つの正準変量を2軸とする直角座標上に分布させるとビールの各銘柄ごとにクラスターを形成し（香味地図）、国産ビールの銘柄を明確に識別できることを示した。

4. ライトビールとは従来のビールより「軽快」で「すっきり」とした香味を与えるビールを総称したものであり、多くは原麦汁の濃度が7.5~8%の麦汁を発酵させ、カロリーは通常のビールの約70%である。輸入ライトビール29試料の官能検査による評価の結果、その“香味のよさ”は「軽快さ」と「苦味の快さ」により大きく影響されると判断された。

5. 59種のライトビールを試醸し、各香味特性と化学分析値の単相関を検討した。その結果、「こくみ」「まるみ」「軽快さ」「苦味の快さ」などの香味特性は、窒素成分含量、エステル含量、イソフムロン（苦味成分）含量の三因子に大きく依存していることが判明した。

6. ビールのエステル含量は、「軽快さ」に大きく寄与しているが、原麦汁を高濃度で発酵させるほどエステルの生成が促進される。米国タイプのライトビールは、エステル含量を高めるため原麦汁濃度を高めに設定して発酵させ、炭酸水で希釈する製造法が広く用いられている。このため幾分“水ぼく”「こくみ」に乏しい、香味としては“物足りない”感じを与える。原麦汁7.5~8%のままで発酵させると、「こくみ」「エステル香味」に乏しく、官能検査の評価が低いものが少ない。

7. 試醸した59種のライトビールの官能検査と化学分析の反覆対照により、ピルスナータイプビールの「こくみ」を留めながら「軽快」で「苦味の快さ」をもつ新しいタイプのライトビールの設計、開発を試み、分割発酵法を考案した。この発酵法は、16~20%の高濃度麦汁を14℃以上で発酵させエステル類（主に酢酸エチル）が十分生成した時点で、別途4~5%の低濃度麦汁発酵液で原麦汁濃度の8%相当まで希釈ブレンドして熟成させる方法である。この方法によって開発された新タイプのライトビールは、国内ではじめて製造されたライトビールであり国内ビールの多様化の先駆となったものである。

以上のように本研究は、ビール香味特性の数量化を可能にし、それに基づき新しいタイプのビールの製造法を開発した。これらのプロセスは、ビール工業のみならず広く伝統的酒類、食品産業界においても新製品の開発、品質管理などにも応用が期待され、学術的にも産業的にも寄与するところが大きいと評価される。

よって審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者木村良臣は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格あるものと認定した。