

ビール醸造工場における分離・濾過技術

キリンビール(株)技術開発部醸造研究所 栗原 欣也

はじめに

琥珀色の輝きときめ細かくクリーミーな泡は、ビールの外観品質にとって欠くことの出来ない特性であり、今日、世界のビールは一部の例外を除いて、ほとんどのものが濾過をすることにより、光沢のある透明度と市場での安定性を確保している。近年のビール流通範囲の拡大、消費形態の多様化、さらには新鮮さ・生志向の高まりから、ビールの混濁安定性、香味安定性への消費者の要求はますます厳しくなっており、この点からもビール濾過の持つ役割は、さらに重要性を増していると言える。現在のビール濾過の主流は珪藻土濾過であり、濾過機及び周辺設備の発展と運転技術の向上により、精度が高く、経済性に優れた固液分離が達成されている。

本稿では一般的なビール濾過技術の現状について述べるとともに、次世代に注目される最新のビール濾過技術について紹介する。

1. ビールの製造方法とビールの性状

(1) ビールの製造方法

ビールは麦芽、ホップ、澱粉質糖化原料、水を酵母で発酵させた醸造物であり、製造工程の概要は図1の通りである。

(2) 濾過前ビールの性状

後発酵を終えたビールは、pHの低下と-1℃の低温で貯蔵する間に、一部の不溶性物質が沈殿し清澄度を増すが、酵母($10^5 \sim 10^6$ 個/ml)、凝固蛋白及びホップ樹脂などの混濁成分が浮遊している。ビールは固形分含量からみるとそれほど濾過性の悪い液体ではないが、

濾過前ビール中の難濾過性物質として、 β -グルカン(20~100mg/l)や高分子の蛋白質(200~300mg/l)が含まれている。したがって、ビールの濾過性に影響を及ぼす貯酒ビールの品質の変動については十分留意する必要がある。

弊社では、貯酒の濾過性を簡便に測定できる予測装置を開発し、1999年6月にアメリカで開催されたASBC大会で発表を行った。当該装置は濾過性の良し悪しを判断できるだけでなく、濾過性の悪化原因が、酵母か難濾過性物質のどちらかであるのかも判断出来る装置であり、濾過性悪化原因に応じて、助剤配合を変更し、ビール濾過前に事前に対応できる画期的な装置である。

2. ビール濾過の目的

ビール濾過の当初の目的は、濁りのない透明な黄金色の(艶のある)ビールを造ることにあった。コップについだビールの透明な黄金色と白い泡のコントラストは、飲む人の心をくすぐる何ともいえず魅力を持っている。ビールの濾過技術は、人工的に固形分を取り除きビールの透明度を上げるために開発されたもので、除去すべき固形分とは、蛋白とポリフェノールの結合物、ホップ樹脂、酵母などである。

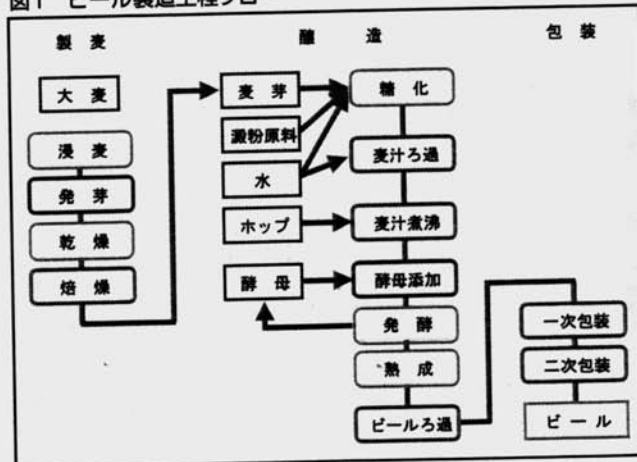
現在でもビール濾過の最も重要な目的が固形分の分離・除去であることには変わりはない。しかしそれに加え、シリカゲルやPVPPなどを濾過助剤と共に使用すること

で、“酸化混濁、寒冷混濁”の原因となる蛋白質(混濁蛋白質)・ポリフェノールを適度に除去し、混濁安定性の向上をはかる事も行われている。弊社では混濁蛋白質吸着能に優れたシリカゲルを富士シリシア化学(株)と共同で開発し、1997年9月にアメリカで開催されたMBAA大会で発表を行った。当該シリカゲルは従来品より1.5倍以上の混濁蛋白質吸着能を有し、泡の安定性を損ねることなく、混濁安定性の向上(同量の添加量では従来品に比べ30%以上)が認められた画期的なシリカゲルである。近年、海外のビール会社では発酵、貯酒タンクを効率的に利用するために、最終製品より1.2~1.6倍濃い麦汁を仕込工程でつくりそのまま発酵・熟成させ、ビール濾過時に脱気水で希釈する方法(高濃度醸造法)が一般的に行われている。このような場合、濾過工程ではビールの濃度(原麦汁エキス濃度)・炭酸ガス濃度の最終調整も濾過工程の目的の一つとなる。

3. ビール濾過工程の各装置

ビール濾過工程は通常1段の処理ではなく、複数の装置を連続して用いた

図1 ビール製造工程フロー



多段処理が用いられている。装置としては、遠心分離機、珪藻土濾過機、デプス・メンブレンなどのカートリッジフィルターの3つが現在使用されている主なものである。濾過工程において重要な事は、前述目的を達成する事はもちろんであるが、ビールの劣化の原因となる空気の巻きこみ(溶存酸素の上乗せ)を出来るだけ低く抑える事、およびビールに必要な香味成分、起泡成分を取り除かない事である。

(1) 遠心分離機

遠心分離機のみで上述の固形分を完全に取り除くことは困難ではあるが、以下に挙げる3つの事例のごとく用いられている。1番目は、下面発酵ビールについて珪藻土濾過の前段で、固形分をできるだけ除去し、長時間の珪藻土濾過、使用珪藻土の減少を目的として使われるものである。2番目の事例としては、ドイツなどにおける酵母入り上面発酵ビールの熟成、冷却後の酵母除去に用いられるものである。3番目として、比較的小規模の醸造場で、熟成終了後ビールの最終清澄化処理として用いられている。

(2) 珪藻土濾過機

珪藻土濾過機は、珪藻土などを濾過助剤として使用する濾過機であり、ビール濾過においては、支持体上に濾過助剤でプリコートを行うことにより濾層を形成し、ボディーフードとして、濾過助剤を注入しつつ濾過を行う堆積型フィルターである。濾過機の構造、および支持体の違いにより、キャンドルタイプ、水平リーフ、垂直リーフタイプ、プレート&フレームタイプが使用されている。現在、大規模醸造場では、濾過工程になくてはならない装置として、珪藻土濾過機が使用されている。珪藻土濾過機は、珪藻土など濾過助剤の使用後の処理に難点があるにも関わらず、世界で主流のビール濾過機となっている。その理由には、以下の5つが挙げられる。

- ① ビールの味や性状を変化させない
- ② ランニングコストが安く、自動化が可能である
- ③ 濾過能力が大きい(濾過流速、差圧が比較的大きく取れる)
- ④ 濾過対象範囲が広い(原液に合

せて濾過助剤の選択ができる)

- ⑤ 濾過助剤が濾層になるため支持体であるエレメントは再生使用可能である

(3) カートリッジフィルター

カートリッジフィルターは珪藻土濾過機の後段に設置され、珪藻土濾過機から抜け出てきた濾過助剤、酵母などの捕捉に使用されている。珪藻土濾過機は、急激な流量変動や差圧変動に弱く、循環・濾過の切り替え時など、前後の圧が急に変動すると、出口の濁度が上昇し、濾過助剤や酵母などが二次側に流出することがある。そのため珪藻土濾過機の二次側には、流量変動、圧力変動に対しても頑丈なフィルターが必要である。以前は、シートを平板枠濾過機にはめ込んだシートフィルターが用いられていたが、大きく重いシートの交換に多大な労力が必要であるため、現在は円筒状やディスクセル状のカートリッジフィルターが普及している。カートリッジフィルターの濾過機構は、機械的篩い作用(篩い構造による直接除去)、濾過の吸着作用(界面動電位に基づく吸着)があり、各々の材質と構造により能力が異なっている。様々な会社が多種類のカートリッジフィルターを発売しているが、ビール香味など品質への影響がない(少ない)こと、要求される固形分除去能力があること、すべてのカートリッジフィルター合計のトータルランニングコストが許容範囲内であることの3点を確認の上、導入する必要がある。これらのフィルターの中には、高い固形分除去能力を有するが、ビールの色や味に影響するものもあるため、選定は慎重に行う必要がある。

4. ビール濾過に関する技術開発

安価で大量処理が可能である現行の珪藻土濾過が、今後もビール濾過の主流として存在する事は間違いない。最新鋭の工場では、濾過機本体のみならず、周辺も含めた濾過システム全体が高度に自動化されている。

珪藻土濾過機で問題となるのは、濾過助剤の消費と廃棄スラッジの処分である。対策として、ビール濾過性の改善や、高性能遠心分離機での前処理により、より長いサイクルでの濾過および濾

過助剤量の削減が提案されている。廃棄スラッジについては、熱処理、アルカリ処理による珪藻土への再利用、及び土壌改良剤、建材など他用途での有効利用が実施されている。珪藻土濾過機の改良と合わせて、珪藻土濾過の代替となる濾過方式の検討も進められている。濾過助剤再生使用技術が一つの方

(1) 最新のキャンドル型珪藻土濾過機

KHS社¹⁾、SeitzSchenk社で開発されたキャンドル型珪藻土濾過機は、エレメントの間隙が $30\mu\text{m}$ (通常のエレメントは $50\sim 70\mu\text{m}$)と小さい。これによりブリコートが中庸の濾過助剤(融剤焼成品は不必要)による1段のみでよくなり、ブリコート時間の短縮と助剤使用量の削減が達成されている。また、新しい洗浄システムの採用により洗浄性が良く、洗浄水の使用量が削減できる。ボディーフード 0.8kg/KL で使用した場合、20時間の長時間濾過が可能である(最大珪藻土添加量 9kg/m^2)(写真1)。

(2) 濾過助剤再生使用技術

① 珪藻土湿式再生法²⁾

ドイツのHenninger Braeu AG社が開発した方法で、使用済み珪藻土を4~5%苛性ソーダ中で 80°C 1時間攪拌しつつ加熱した後、バキュームベルトフィルター上で水洗・酸洗・脱水する方法である。再使用時には新しい珪藻土を10~20%補えば濾過に支障がなく、5回再生

写真1 キャンドル型珪藻土濾過機



使用しても満足する濾過が可能であると報告されている。

②珪藻土加熱再生法

Tremonis社が開発した方法³⁾、使用済み珪藻土を連続的に熱風式乾燥機に掛け、水分2%に乾燥する。乾燥後の珪藻土は700~780℃の高温ミキシング装置で焼かれ、高温ガスサイクロンで分離50℃に冷却後、醸造場へ送られ再使用される。輸送コスト、水処理コスト、乾燥・焼成のエネルギーコストが高いため、最高でも再生珪藻土のうち50%が再使用され、残りは別の目的に使用されている。再生珪藻土35~50%に新品珪藻土を併用し使用されている。濾過の状況は、全量新品の時に比べ、使用濾過助剤量、濾過差圧上昇、出口濁度、総濾過量、除菌能力、ビール香味などにおいて同等であると報告されている⁴⁾。

③RFM法⁵⁾

繊維長さの異なるセルロース、ポリエチレン繊維、セラミック粉末の混合物を再生濾過助剤として使用する。水平リーフフィルターを使用し、30~40mmの厚さのブリコートをを行った後、濾過をする。濾過後に80℃の熱水、80℃1%苛性ソーダ、熱水、1%リン酸、冷水で再生し、一旦、ミキシングタンクに回収し、再度ブリコートし直し使用する。

④遠心分離機+再生用セルロース法⁶⁾

Westfalia-Separator社は、遠心分離機と特殊な再生可能セルロースを濾過助剤として使用する水平リーフフィルターを組み合わせたシステムを開発した。遠心分離機で酵母の99%を除去し、残りの酵母と固形分をセルロース濾過機で除去する。シリカゲルやPVPPを用いた安定化を併用することも可能である。

⑤F&S濾過システム⁷⁾

VLB Berlinで開発された濾過と安定化を1台の濾過機で行うシステムで、遠心分離機と再生可能濾過助剤を使用する水平回転リーフ濾過機を組み合わせ使用。濾過助剤としては、針葉樹木由来の粗いセルロースと細かいセルロース繊維にPVPPを混合し一段階のブリコートとして用いる。

⑥深層砂濾過

粒径150 μ mのジルコン砂、珪砂、無煙砂を濾材として使用する^{8,9)}深層砂濾過システムである。濾層の厚みは1mで

濾過能力は15~30hl/m²h程度。1日に1回の逆洗を行い濾材を再生しつつ濾過を行う。出口ビール濁度が高く、後段にカートリッジフィルターが必要である。

(3)濾過助剤を使用しない濾過

①クロスフローメンブレン濾過機

管状の膜モジュールの内側流路に濾過前液を高流速で循環させ、この流れと垂直方向に濾液を得る方法である。膜表面の掻取り効果のため透過流束が維持され長時間濾過が可能である。膜の材質としては、ポリエーテルスルホン、ポリスルホン、セラミック、ポリプロピレンなどが試みられている¹⁰⁾。現在の大規模ビール工場の濾過機と同等能力の装置を考えると、過大な膜面積が必要になり、現時点では設備投資コスト、ランニングコストが高くなるため、珪藻土濾過の代替になる可能性は小さい。

②Multi Micro System

多層式シートフィルターの一種。材質はセルロース、珪藻土、パーライト、焼結ガラスで、これらを結合剤で厚さ25mmに成形したデプス型フィルターを逆陣笠状保持体に積層する。濾過能力は15hl/m²hで90時間ごとに苛性ソーダ、酸で再生を行う。遠心分離機1台の後段にMultiMicro-System2台を濾過溜タンクの前後で使用し、詰め機に直結する例がある¹¹⁾。

③振動式膜分離装置(VMF System)

Pall社が開発したVMF Systemは、円盤型のフィルタースタックが水平方向に振動し、濾過対象液に対して、高いせん断応力を与えることで、従来のクロスフロー濾過に比べ、少ない環流速で高い透過流束と高い濃縮倍率を達成させている。タンクボトム回収酵母からビール分を分離する用途でヨーロッパを中心に導入が始まっている(写真2)。

5. ビール濾過の今後

これまでビール濾過の現状と現時点の技術開発について述べてきた。前世紀の100年間で、ビール濾過についての技術は確立され大きく進歩してきた。今後は、ランニングコストの低減と環境負荷の低減が一層はかられ、濾過助剤や安定化剤の削減と再生が促進されるであろう。現時点でも一部で行われているが、カートリッジフィルターにお

写真2 振動式膜分離装置(VMF System)



いてもランニングコストの低減と環境負荷の低減から、フィルター再生技術が一層普及していくと思われる。現在では、濾過工程本流のオペレーションはほとんど自動化され、省力化されている。今後のビール濾過に関する技術開発、技術革新の動向が楽しみである。

＜参考文献＞

- 1) H. Westner: Brauwelt, 141, (15/16), P.576-578(2001)
- 2) G. Sommer: Brauwelt, 128, (17), P.666-669(1988)
- 3) W. Russ: Brauwelt, 132, (21), P.963-969(1992)
- 4) H. Galaske, P. Finis: Brauindustrie, 73(12), P.1386-1388, 1435(1988)
- 5) D. Oechsle, L. Gottke: Brauwelt, W. Baur: Proceedings of the 22nd Convention IOB, P.116-118(1992)
- 6) S. Donhauser, D. Wagner, C. Waubke: Brauwelt, 128, (42), P.1838-1846(1988)
- 7) Prof Dr. Karl Wackerbauer, H. Evers: Proceedings of the 22nd Convention IOB, P.104-108(1992)
- 8) M. T. McKechnie: Brewers' Guardian, 124, (7), P.36-43(1995)
- 9) T. Finnigan: Brewing & Distilling International, 18, (6), P.33-36(1988)
- 10) G. Freeman: Brewers' Guardian, 125, (12), P.27-32(1996)
- 11) H. Schafft: Brauwelt, 140, (25), P.1009-1016(2000)

＜著者略歴＞

栗原欣也(くりはら きんや)

- 93年 東京水産大学大学院水産学研究所(博士課程前期)食品生産学専攻修了
93年 キリンビール(株)入社、技術研修後、岡山工場パッケージング担当勤務
94年 岡山工場醸造担当勤務
98年 技術開発部技術研究所勤務
00年 技術開発部醸造研究所勤務、現在に至る

趣味: スキューバダイビング、弓道、育児
抱負: 伝統を大切にしながら、新規技術開発にチャレンジしたい。