

『品質安定へのオプション・・・ろ過と熱処理の基礎知識』 text: 渡邊 拓也

1. はじめに

我が国のクラフトブルーイングの現場では、ろ過や熱処理をビールに施すのは必ずしも一般的なことではありません。実際、「地ビール」は無ろ過が基本、という声も聞かれますし、そもそもその必要を感じない方も多いように思います。筆者自身、製品の生産地と消費地がほぼイコールである小規模なブルワリーの場合は基本的に無ろ過がベターだと思います。論点は様々あるかと思いますが、そのようなブルワリーの場合にはろ過や熱処理をすることによるメリットよりもデメリットの方が大きいと考えられるからです。メリットとして考えられる一つはシェルフライフ (shelf-life) すなわち商品としての品質を一定の基準の中で保持できる期間が延びることですが、原則として併設のレストラン等でビールが消費されるならこのメリットにさほど意味は感じられません。また、ビールの濁りに関しては、一定レベルまではろ過を行わなくても技術的にクリアすることが可能ですので、高価なろ過設備を導入する程のメリットが得られるとは限りません。何より、ろ過にせよ熱処理にせよ、ある程度の設備とスペースが必要になるとともに、十分な知識と経験を要する工程が加わるのですから、現場のブルワリーへの負担も大きなものになります。ですので、そのようなブルワリーにおいてのろ過・熱処理はあまり現実的だとは思えません。

しかし、例えば酵母の具合が思わしくない等の理由で思ったように酵母の沈降が進まないような場合、緊急避難的に軽いろ過をかけることで出荷できるレベルまでビールの品質が改善することもあります。また、販路の拡大を図るためにビンや缶にビールを詰めて流通させるような場合には、上述のシェルフライフの延長が大きなメリットとして感じられることでしょう。つまり、ろ過や熱処理という工程は、好きか嫌いかは別として、必要に応じてするしないを決定すべき一つのオプションである、と考えたほうが良いように思います。

そこで今回は、そのオプションをより効果的に取捨選択するために、ろ過と熱処理に関する基本的な事項についてご紹介したいと思います。実務上のろ過・熱処理は、そのブルワリーでの使用原材料、醸造方法、パッケージング方法等の様々な要素を勘案して行う必要があるため、慎重な検討が不可欠です。その準備段階で、今回の内容が参考になれば幸いです。また、以前このコラムで採り上げた「ビールの濁りと清澄化」も合わせてお読みいただければより広い視野で理解していただけだと思います。



2. 何を「ろ過」するのか？

ビールの仕込み工程での麦芽ろ過では、麦芽と麦汁が混ざった状態のマッシュから麦芽カスを分離して麦汁を取り出します。これは設備の見た目や大きさ、細部の仕様が異なっても、できるだけきれいな麦汁を採取するという点では全く同じ目的で同じものをろ過していると言えます。ところが、今回採り上げたビールのろ過 (filtration) の場合、設備の種類自体何種類もありますし、同じ種類の設備であっても何を目的にして使用するかで使用方法が異なります。そこでまずはろ過の目的とろ過されるものに焦点を合わせて、ろ過を分類してみましょう。

ろ過の目的として最もシンプルなもの、異物の除去です。異物と言うとやや範囲が広がりすぎますので、もう少し絞って「はっきり確認できる固形物」としておきましょう。具体的にはホップやモルトのカス、凝集した酵母の塊、非常に高分子で残留していたたんぱく質や炭水化物、そしてあまり想像したくありませんが、髪の毛や昆虫やその他のゴミがその

対象です。これらの対象物を見ていただければ、それらは基本的には醸造工程の管理によってほとんど気にならないレベルまで排除できるものであることが分かると思います。ですからこの目的のためだけににがしのかのフィルターを導入するのはあまり現実的ではありません。

次に挙げられるのは酵母の除去です。ビール中に残った酵母がビールに与える影響は様々ありますが、特に重要な点は、ビールの透明度と風味への影響でしょう。これらは結局は残留している酵母の数によってその影響の度合いも左右されます。例えば、非常に多く残っていればビールは酵母の雑味が強く透明感の無いものになり時間とともに酵母臭が出てきます。しかしある程度まで酵母を減らしていればそれなりの透明感とよりクリーンな味になるでしょう。それでもなお、少しでも酵母が残っていれば、長期保存の間には様々な品質上の影響は避けられません。このように、どれくらいの酵母をろ過によって除去すれば望ましい効果が得られるのか、という点を勘案してろ過のレベルを決定する必要があります。

次に目的の一つとして重要なものとしては、チルプーフ (chill-proof) つまり寒冷混濁の防止があります。以前このコラムでご紹介しましたが、ビール中でたんぱく質とポリフェノールが複合体を形成して低温化で不溶性になりビールが白濁するのが寒冷混濁 (チルヘイズ) です。これは酸化や温度の変化によって促進され、時間とともにその度合いを増します。そのため、ビンや缶に詰められて広く流通するビールの場合は特に注意が必要であり、品質管理上の大きなポイントとされます。チルプーフに対してはろ過工程のみでもある程度の効果は期待できますが、その原因物質をより効果的に除去するために、清澄剤とろ過の組み合わせがよく採用されます。

もう一つは酵母以外の微生物の除去です。ご存知のように我が国の大手ビールメーカー各社はこれを行うことにより熱処理をせずに長期保存が可能な商品を実現させています。いわゆる雑菌自体はいくら注意をして醸造しようといくらかはビール中に存在し続けます。その中にはビールの品質に悪影響を与える可能性のあるものも含まれています。大きさについても様々ですので、例えば酵母を完全に除去するレベルのろ過であっても、いくらかのものはそれを通り抜けてビール内に残留します。ですから、完全に雑菌を除去するためには非常に精密なろ過が必要とされます。イメージとしては、酵母の完全除去がポアサイズ 1 μmレベルのろ過だとすると、雑菌の除去には 0.5 μm以下のレベルが必要となります。その分当然のことながらろ過設備自体高価なものになりますし、実際にはいきなりこのレベルのろ過を行うことは不可能で前段階のろ過が必要であることなどから、一般のクラフトブルワリーでは現実的な選択肢にはならないでしょう。この目的のためであれば、むしろ後述する熱処理の方が現実的だと思います。

このようにビールのろ過といっても、その目的には様々な可能性があり、またそれに合わせたフィルターの選択肢があります。ざざっぱに、粗いろ過：酵母の一部を除去するレベル (5 - 10 μm)、通常ろ過：酵母のほとんどを除去するレベル (3 μm)、精密ろ過：酵母を完全に除去するレベル (1 μm)、超精密 (除菌) ろ過：ビールに悪影響を及ぼす雑菌を除去するレベル (0.5 μm以下)、と分類してみます。粗いろ過では、大きな固形物から死んだ酵母の一部程度のもので除去されますので、雑味を減らすと同時にやや透明度が上がるという効果が期待できます。しかし、いわゆるシェルフライフの改善はほとんど期待できません。ですので、年間生産量数十k lレベルでそのほとんどが工場周辺で消費されるようなクラフトブルワリーにふさわしいものだといえます。ただ

し、その効果はビールを丁寧に注意深く作っていただければ得られるものとさほど変わりませんので、導入に際しては本当に意味があるのかを検証する必要があります。通常ろ過になると、ほとんどの酵母が除去されて透明度はかなり向上します。また特に清澄剤との組み合わせによりチルブルーも期待できます。ですからシェルフライも多少延ばせると考えられます。さらにこのレベルのろ過ではビール内の様々な化学成分にはほとんど影響を与えませんので、ビールのコクや苦味、色といったものに関して、特に心配する必要はありません。これらの点から、年間100～200kl以上で近隣への出荷も行っているようなクラフトブルワリーにふさわしいと考えられます。精密ろ過のレベルになると、酵母は完全に除去されますので、透明度の向上に加えてより長いシェルフライが得られます。ですので、広いエリアに対して様々な形態で商品を流通させるブルワリーにとって必要な過だと言えます。このレベルまでは一度のろ過で到達するのは困難なため、通常2段階以上のろ過が必要とされます。また、ビンや缶へのパッケージング工程での酸素や雑菌の混入に対してより脆弱になりますので、それらを含めた工程管理がより複雑で高度なものにならざるを得ません。さらに、このレベルまでくると、ビールの味や色へも影響が出てきやすく、そのビールの特徴がやや失われる傾向がありますので、ビールスタイルの選択も必要になるでしょう。このようなことから、クラフトブルワリーでは特に大きく成長した時初めて現実味が出てくる過だといえます。もちろん導入することは誰にでもできますが、初期コストはもちろんランニングにも相当なコストがかかりますので、ビールの販売形態や販売量等をふまえた慎重な検討なしでは、経営上大きなリスクを背負うこととなります。これ以上のレベルのろ過は、いわゆるナショナルブランドの規模の話になりますので、割愛します。注意すべきは、ろ過のレベルに関わらず、ろ過は十分な熟成が行われたビールに対して行われる、ということが前提で、決してブルワリーの技術的なミスやビールの未熟さをカバーしてくれるものではないことです。十分な注意を払い工夫を凝らして作ったビールにはそもそもあまりろ過する必要はないのですが、それでもなお目的に応じて磨き上げるために行うもの、という感じでしょうか。ですから、これからろ過工程の導入を検討される方はまずは原料選択、仕込みプロセス、発酵管理といった醸造工程そのものをもう一度しっかり見直して、品質の向上にチャレンジされることをお勧めします。その上でろ過工程を導入すればろ過工程自体も楽になり、その効果もより大きなものになるでしょう。



3. 代表的なろ過設備

このように、一口でろ過といってもいくつもの選択肢があるわけですが、実際に一般的なクラフトブルワリーで使用されるろ過設備となるとある程度の範囲に落ち着きます。そこで、ここではその代表的なろ過の概要と留意点をご紹介します。

(1) 遠心分離 (centrifugation)

厳密に言うところろ過ではありませんが、実際に遠心分離器を使用されているブルワリーもあるようですし、使用目的もろ過設備と同様ですので、ここでご紹介します。遠心分離器は文字通り遠心力を利用して固形物（この場合は酵母とその他の比較的大きい固形物）をビールと分離するものです。言ってみれば、重力の作用を強制的に数千倍にも増幅して固形物を「沈殿」させるようなものです。ですので、特に酵母による濁りをコントロールするのに適しています。これだけでビールの清澄化を済ませているブルワリーもあるようですが、普通は他のろ過設備によるろ過の効率を上げるためにその前処理として行われます。メリットは、比較的簡単にビールの清澄化が可能でまたその度合いの均一化が図れることで、仕込みから出荷までの期間を短縮できます。しかし、あまりに早いタイミングで酵母を除去してしまうと、本来必要であった貯酒過程での香味成分の熟成が進まない可能性がありますので、時期と度合いについては注意が必要です。また、十分な貯酒期間を経た後に遠心分離器にかけ

ると、もろくなっている酵母の細胞壁が強力な遠心力によって破壊され、濁りや酵母臭の原因になるといわれています。その他、分離中のビールの温度上昇や酸素の混入等にも十分なケアが必要です。

(2) 珪藻土ろ過 (kieselguhr/diatomaceous earth/D.E. filtration)

ビールのろ過において、最も広く行われているのがこの珪藻土ろ過で、クラフトブルワリーの中にも結構使用されているところがあると思います。珪藻土とは、単細胞の藻である珪藻が海底や湖底に積み重なって化石化したもので、二酸化ケイ素（シリカ）を多く含んでいます。地殻移動等で地表に現れたものが採掘され、粉碎後焼かれて、様々な大きさに分類されます。この珪藻土をろ過助剤として用いるのが珪藻土ろ過です。

ろ過のメカニズムは、麦汁のろ過をイメージしていただければ分かりやすいでしょう。つまり、ステンレス製の細かい穴の開いたスクリーン上に、ハスク、大きな麦芽の粒、小さな麦芽の粒、という順で麦芽の層を作り、そこを通り抜ける間により細かい粒がその層の中で捕まって麦汁がきれいになる、という仕組みです。これが、麦芽でなくて珪藻土であるようなものです。小規模なブルワリーで最も一般的に見られる珪藻土ろ過器（水平リーフ・加圧型）では、耐圧密閉タンク内に一定間隔で上下に並ぶ円板状のステンレス製の過板（実際は上面に微細な穴があり中が空洞で真ん中を貫くパイプにつながっている）の上面に珪藻土が積み重なってろ過層を作るわけです。このようなろ過層全体で微細な粒子をからめ捕るようなフィルターをデプス（depth）フィルターと呼びます。このタイプのもは、ろ過層内の迷路のような複雑な通り道で物理的に粒子を留めるとともに、電気的にさらに細かいものまでとらえることも多いため、効率良く比較的広い範囲のものを除去することができます（図1）。



1.表面ろ過
ろ過層表面の孔径（ポアサイズ）より大きいものを濾しとる。
2.デプスろ過
ろ過層内部の迷路状の通り道で物理的に粒子を捕えてろ過する。
3.デプスろ過（吸着）
ろ過層内部でろ過層との電荷差によって小さな粒子を吸着させてろ過する。

図1：ろ過のメカニズムのタイプ

原典：Technology Brewing and Malting / Wolfgang Kunze

実際の工程を簡単に順を追って見てみましょう。まず、上記のように珪藻土によるろ過層を作る必要があります。この作業をプリコート（precoat）と言います。これにはビールもしくは水に粗いタイプの珪藻土と場合によってはより安定させるためにセルロース等の繊維を混ぜて循環させます。続いてもう少し細かい珪藻土を混ぜて循環させて、しっかりしたろ過層を作ります。その上でろ過に移りますが、その間もビールに珪藻土を規則的に混ぜながら流していきます（図2）。これをボディーフィード（body-feed）と言います。ろ過が進むにつれてろ過層は厚くなって行きますので、ろ過板の間隔が物理的にろ過層で詰まったり、密閉タンク内の圧力が上がりすぎたりすると終了となります。その後炭酸ガスを利用してろ過設備内のビールを回収した後、ろ過層を崩して廃棄し洗浄・殺菌を行います。このように、珪藻土ろ過設備としては少なくとも次のようなものがが必要です。ろ過器本体（耐圧密閉容器で内部にろ過板）、ミキシングタンク（珪藻土を入れてビールや水と混ぜる）、メインポンプ、ボディーフィード用ポンプ、それらをつなぐステンレス配管およびバルブ、圧力ゲージ等々。その他、炭酸ガスの供給が不可欠です。もっとも、小規模ブルワリー向けの小型のユニットもありますので、全体で珪藻土ろ過器という感じにはなっています。

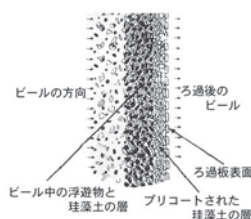


図2：珪藻土ろ過のイメージ図
 原典：The Practical Brewer / MBAA

珪藻土ろ過は、ろ過層を自分で作るわけですから比較的成本パフォーマンスがよく、また粗いろ過からかなり細かいろ過まで同一設備で対応可能な点で優れているといえます。その上、設備自体はステンレス製ですので、洗浄・殺菌が比較的容易であるといえます。実際、とにかく何か一台ろ過器を導入しよう、というのであれば最も有力な選択肢でしょうし、一般的なクラフトブルワリーでは一度のろ過プロセスで十分な清澄化効果が得られるでしょう。さらに精密なろ過が必要な場合には、二度のろ過を行ったり、他のろ過設備に送る前処理としてこの珪藻土ろ過を行うのが普通です。一方、プリコートが必要等その使用方法が比較的煩雑で、珪藻土の投入量やビールの流量、フィルター内の圧力変化等、多くの要素をケアしなければ効率良いろ過ができません。そのため、使用者側に十分な熟練が必要とされる点が難点であり、同じ理由から、ろ過レベルの均一化を図るのがやや難しいといえます。また、珪藻土ろ過だけではビールに有害な微生物を完全に排除するレベルまでは到達できませんので、それが目的の場合はそれにふさわしいろ過を続けて行うか熱処理する必要があります。

注意点を一点。珪藻土は通常粉末の状態であり取り扱われますが、その使用時に発生する埃を吸い込むと肺の中に珪藻土が入り、特にその成分に含まれる結晶化したシリカが肺の病気の原因になると言われています。そのため、日常的に珪藻土を取り扱う人は、マスクの着用はもちろんですが袋の保管やこぼれた粉末の掃除（掃き掃除ではなく水洗いが好ましい）についても十分な注意が必要です。

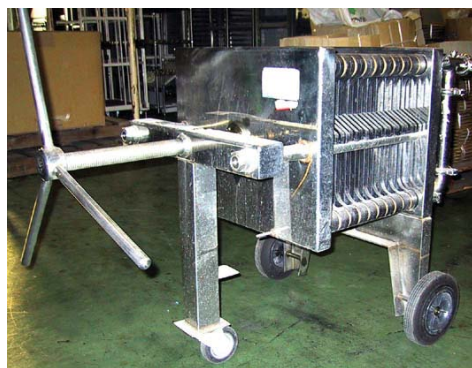


写真：「珪藻土ろ過器のミキシングタンクに珪藻土を投入するブルワー（マスクは着用しましょう！）。右手にあるのがろ過器本体。」
 Photo by T.Watanabe

(3) シートろ過 (sheet filtration)

シートろ過は、主としてセルロースと珪藻土からできている紙の板のようなシートをろ過層として使用するもので、そのシートを何枚ものステンレスやプラスチックでできたプレートに挟み込んで固定し、そこにビールを通してろ過を行います。実際のビールのフローをイメージしにくい方は <http://www.abecfiltration.com/filtration.htm> のサイトで簡単なアニメーションで見ることができます。シートフィルター自体は、珪藻土ろ過器に比べるとかなりシンプルな構造だと言えます。また、珪藻土ろ過と同様デプスフィルターですが、シートのグレードを選択することで比較的簡単にろ過のレベルをコントロールできます。操作自体も珪藻土ろ過器と比べると容易で、設備の導入にあたっては炭酸ガスの供給さえ確保されればよいので、小さなものなら気軽に導入できると言えるでしょう。一方で、シート自体のろ過能力が決まってしまうため、濁りの強いビールをろ過するとすぐに目詰まりを起こす可能性が高く、ビールの状態の変動が大きい

ブルワリーにとってはやや扱いにくいといえます。また、珪藻土ろ過と比べると、ろ過層自体を購入する訳ですから一般的にはランニングコストが高くなります。



写真：シートフィルター本体。小規模なブルワリーであればもっと小さい、つまりプレートの枚数が少ないもので十分。
 Photo by T.Watanabe

これらのことから、シートフィルターを導入するにあたっては、その目的に合致しているかを十分検討するべきです。たとえば、基本的には無ろ過なだけけれど緊急避難的に粗いろ過をかけられる設備を持っておきたい、といった場合には小さなシートフィルターが最もリーズナブルなろ過器だと言えます。一方、基本的にすべてのビールにろ過をかけるブルワリーの場合では、一台だけ導入するのであれば珪藻土ろ過器の方が適しているでしょう。もちろん、より精密でかつ安定したレベルのろ過を行うために珪藻土ろ過器とシートフィルターを併用するようなパターンも考えられます。

これら以外にも様々なろ過があるわけですが、一般的なクラフトブルワリーにとってはまず上記の3種類からの選択となるでしょう。各々メリット・デメリットがありますし、実際の導入にあたっては結構悩ましいものです。ですが、最低限は「年間何k lをどのレベルまでろ過する場合」という具体的なプランをふまえたコストシミュレーションを行うべきです。同時に、「誰がいつろ過工程を行うのか」という側面も無視できません。いずれにせよ、そのプロセス無しで適当に導入してしまうと、結果として無ろ過である場合より最終製品の品質が低下してしまう可能性が高いといっても過言ではありません。また、導入後はろ過設備の洗浄・殺菌についてのしっかりしたプログラムを作成するなど、微生物汚染のリスクを確実に減らすように細心の注意が必要になります。

以下次号へ

渡邊 拓也 (わたなべ たくや) / ビール醸造技術コンサルタント
 西宮市在住 e-mail: watanabe@ktx.or.jp