

# キャビテーションを活用した 連続対向流抽出機

大阪サニタリー株式会社 田中 豊嗣  
株式会社ユーロテクノ 嶋多 剛介

## 1 はじめに

ANDRITZ 社は、製紙パルプや水力発電等の分野で良く知られた存在で世界約 80 カ国に約 30,000 人の社員を抱えるオーストリアを代表する機械メーカーである。その ANDRITZ 社が満を持して開発したのが TURBEX という抽出機である。その特徴は以下の 4 点である。

- ① キャビテーションを利用していること
- ② 固形分と抽出剤(水等)が装置内を対向して流れていること
- ③ 固形分と液体を連続で供給することにより、バッチ式の抽出ではなく連続式の抽出を実現していること
- ④ 室温下(最大約 35℃)で抽出しているため、省エネでありかつ熱に敏感な材料の抽出に向いていること

次章では、TURBEX のこれらの特徴について深掘りしていく。

## 2 キャビテーションの利用

キャビテーションとは、液体中に気泡が生じる一種の沸騰現象である。通常水は温度が

100℃に達しないと沸騰しないが、液体が高速で流れることにより圧力が飽和蒸気圧以下まで低下し、室温下でも気泡が発生している状態がキャビテーションと呼ばれる。キャビテーションが、例えばポンプ内部で発生するとステンレス製ポンプの腐食の原因にもなるほど大きなエネルギーを有している。TURBEX ではこのキャビテーションを意図的に発生させており、局所的、短時間の間に温度が 20000 K、圧力が 1000MPa にも達する。気泡は発生、成長、爆縮を 1 秒間に約 1000 回繰り返しており、この時発生するエネルギーにより投入された固形分の細胞壁が破壊されることにより抽出が促進される。

## 3 対向流と連続抽出

続いて、図 1 に TURBEX 内部の固形分と液体の流れを示す。TURBEX が従来の一般的な抽出機と大きく異なる点の 1 つに、連続抽出機であるという点が挙げられる。原材料である固形分と、水などの抽出材は定量で連続的に TURBEX に供給され、抽出後の抽出液や固形の残渣も連続的に TURBEX から排出される連続型のシステムとなっている。図 1 は、抽出時の TURBEX 内部の固形分と液体の出入りを表

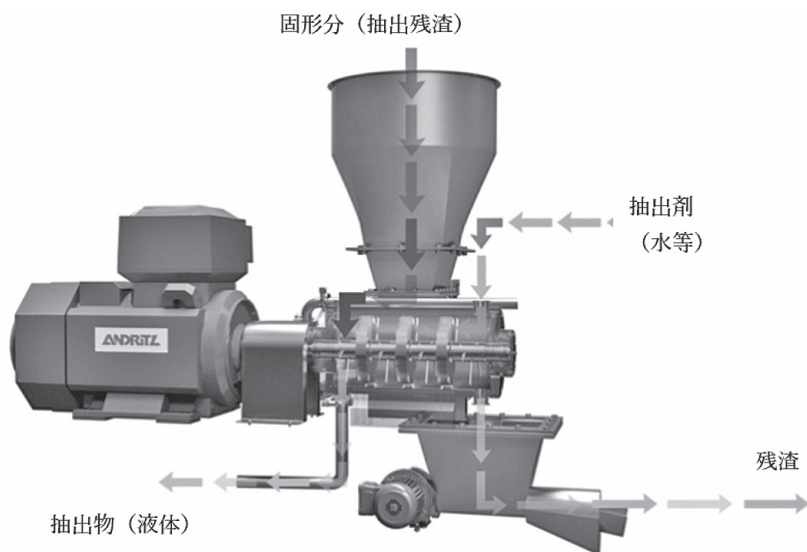
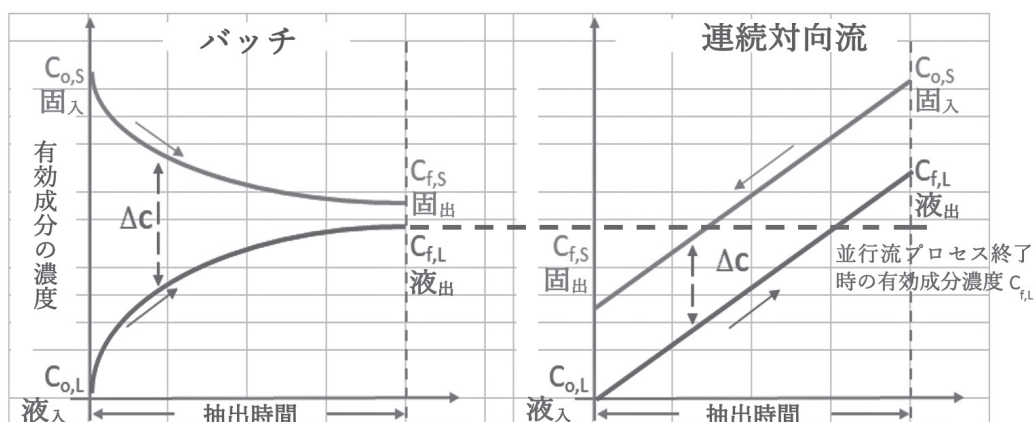


図1 TURBEX内部の物体の流れ



$C_{o,S}$  固形分の始点時濃度  $C_{f,S}$  固形分の終点時濃度  $C_{o,L}$  液体の始点時濃度  $C_{f,L}$  液体の終点時濃度

図2 並行流と対向流の比較

わしたものである。図1のとおり、固形分は左上から投入され残渣として右下に排出され、一方液体である抽出剤は右上から供給され有効成分を含む抽出液として左下に排出されており、互いに逆方向に流れる対向流を形成している。

連続対向流のメリットは、終点での抽出濃度がバッチ式と比べて高くなる点にある。図2は、バッチプロセスおよび連続対向流プロセスにおいて、原材料である固形分と液体である抽出材に含まれる有効成分の経時変化を表したものである。

バッチプロセスでは、液体である抽出剤に含まれる有効成分は当初図2の左側グラフの左下 ( $C_{o,L}$ ) から始まり、抽出が進むにつれ増加し最終的に図2の左側グラフの右中央 ( $C_{f,L}$ ) に達し製品となる。続いて固形分に含まれる有効成分は図2の左側グラフの左上 ( $C_{o,S}$ ) から始まり抽出が進むと有効成分が減少していき最終的には左側グラフの右中央 ( $C_{f,S}$ ) に達し残渣となる。

それに対して TURBEX の連続対向流プロセスは、液体である抽出剤に含まれる有効成分は

当初図2の右側グラフの左下 (Co,L) から始まり、抽出が進むにつれ増加し最終的に図2の右側グラフの右中央 (Cf,L) に達し製品となる。また、固形分に含まれる有効成分は図2の右側グラフの右上 (Co,S) から始まり抽出が進むと有効成分が減少していき最終的には図2の右側グラフの左中央 (Cf,S) に達し残渣として排出される。ここで、バッチプロセス後と連続対向流プロセス後の抽出材に含まれる有効成分量 Cf,L を比べると連続対向流プロセスの方が液体に含まれる有効成分の濃度が高いことが分かる。

これは、個体と液体の有する有効成分の濃度差  $\Delta C$  が高い方が抽出の効率が良く、また、この濃度差  $\Delta C$  がバッチプロセスの場合は時間経過とともに小さくなり効率が低下するのに対し、連続対向流プロセスの場合は  $\Delta C$  が一定間隔を維持できており終点まで抽出効率が低下しづらいためである。

## 4 室温化での抽出

バッチ式の抽出では、抽出効率を高めるため熱を加えることが多い。一方、TURBEX では熱エネルギーの代わりにキャビテーションエネルギーを利用している。先に述べたとおり、キャビテーションでも局所的に高温になってい

るが、これはあくまで局所的な現象でありプロセス前後での液体の昇温は1~5℃程度に抑えられている。このため、室温で供給された液体はほぼ同じ温度の抽出液として排出される。これは、省エネの観点からは非常にメリットが大きい。また、熱による風味の変化やポリフェノールのように熱を加えるとその有効性が損なわれる物質の抽出にも最適である。

## 5

## フレッシュ原料からの高い収率

TURBEX 抽出機には独自の特徴が有る旨、説明してきた。ここでは、その特徴により実際の抽出効率がどの程度高いのかご理解いただくために、TURBEX とその他の抽出機を使ってオリーブからオレウロペインを抽出した結果を表1に示す。キャビテーション・対向流を活用した TURBEX が低温、低液体個体比率、短時間で高収率を上げていることが示されている。

続いて、各種の固形分をバッチ抽出した結果と、TURBEX を用いて連続抽出した結果を比較した。結果は表2のとおりである。なお、バッチ抽出は、液体個体比率 10~15 対 1、プロセス温度 30~75℃、攪拌時間 1~2 時間、一方 TURBEX は液体個体比率 5~7 対 1、プロセス

表1 TURBEXとその他の抽出機の比較

	従来型のバッチ機	超音波式バッチ機	対向流抽出機	TURBEX
動作モード	バッチプロセス	バッチプロセス	連続対向流方式	連続対向流方式
抽出材 (溶媒)	50% 水/50% エタノール	50% 水/50% エタノール	50% 水/50% エタノール	水
液/固 比率	20:1	15:1	10:1	7:1
抽出時間	60~120 分	15 分	30~120 分	1 分(min)
抽出温度 [°C]	70	30	60~70	30
総収量	27%	34%	52%	59%
オレウロペインの収量	46%	62%	85%	99%

表2 TURBEXとバッチ抽出機を用いて各種固形分を抽出した結果の比較

水またはアルコールを利用した抽出			
固形分	バッチ機 (総収率)	TURBEX (総収率)	収率の改善
マテ茶	22%	37%	+ 68%
ビールの搾りカス	13%	31%	+ 138%
オリーブの葉	14%	50%	+ 257%
月桂樹	21%	24%	+ 14%
レモンパーム	15%	23%	+ 53%
カモミール	18%	23%	+ 28%
紅茶 ポリフェノール	5%	23%	+ 460%

表3 世界の主な食品加工残渣とそれに含まれる有効成分 ※ANDRITZ社調べ

No	名称	世界での年間排出量	含まれる有効成分 (％は DM 参照)
1	ビールの抽出残渣	4200 万トン	脂質 8-11%, ポリフェノール 1-2%, タンパク質 22-26%, 食物繊維 23-25%
2	シトラス、オレンジの皮	12000 万トン	脂質 11-14%, ポリフェノール 8-10%, タンパク質 12-15%, 食物繊維 23-26%
3	ブドウの抽出残渣	3200 万トン	脂質 5-6%, ポリフェノール 7-8%, タンパク質 22-24%, 食物繊維 55-60%
4	ジャガイモの皮	7000 万トン	脂質 1-3%, ポリフェノール 1-3 %, タンパク質 13-16%, 食物繊維 46-50%, 総炭水化物 62-67%
5	リンゴの抽出残渣	600 万トン	脂質 1-4%, ポリフェノール 1-3.5%, タンパク質 3-6%, 食物繊維 40-50%, 総炭水化物 48-62%
6	玉ねぎの皮	4000 万トン	ポリフェノール 5-6%, 炭水化物 80-88%

温度 15～35℃，原材料の前処理時間を含めた抽出時間 1 時間の条件で抽出した。また，収率の計算は特定の有効成分に的を絞らず抽出できたものすべてを対象とする総収率とした。低温，短時間にも関わらずいずれの固形分を使った抽出結果においても TURBEX の収率が高く，特に紅茶，ビールの搾りカス，オリーブの葉では総収率が倍以上の結果を示した。こうした事例から TURBEX の持つ高い可能性をご理解いただけると思う。

## 6

### 食品加工残渣のアップサイクル

ANDRITZ 社ではお茶やコーヒー等の製品の抽出以外に，世界中で膨大に排出される食品加工残渣のアップサイクルにも注目している。表 3 は，主な食品加工残渣の一例である。膨大な量が廃棄されていることがご理解いただけるだろう。有償で廃棄していた食品加工残渣から有効成分を抽出し，食品や化粧品の

添加物として利益を生むとしたら、経済的にも素晴らしいことであると同時に、廃棄されていたタンパク質やポリフェノールといった有効成分の活用は、人口増加による将来予想される栄養素不足への解決策となり得る可能性を秘めている。従来の抽出機は、効率の低さや多大なエネルギーが必要な点等、加工残渣のアップサイクルを商業ベースに乗せることが難しい理由があったが、新しく開発された TURBEX により、こうした課題が克服されると期待されている。

## 7 最後に

最後に、本TURBEXは、現在国内の横浜にある弊社のテストセンターにてテスト可能である。すでに、国内の多くの食品メーカー殿のさまざまな材料の抽出テストを行っており、既存の方式に比べ抽出が改善したという声もいただいている。

■ 本記事のお問い合わせ先

**大阪サニタリー株式会社**

<https://www.osaka-sanitary.co.jp/>

