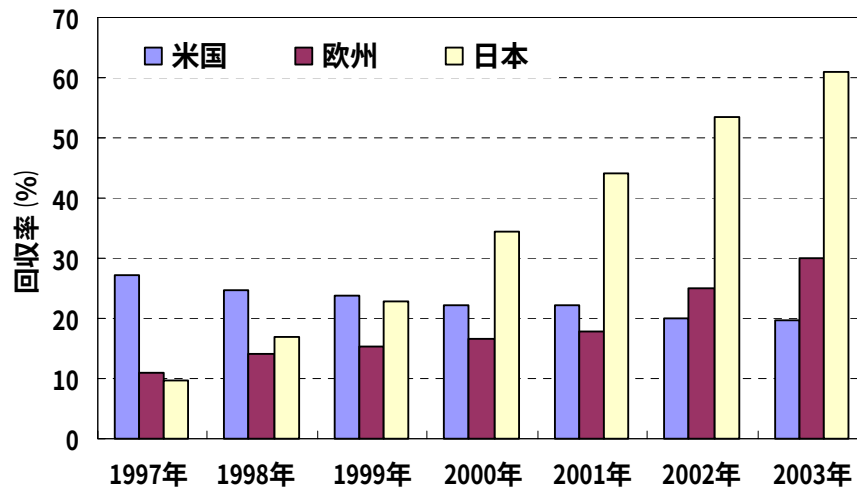
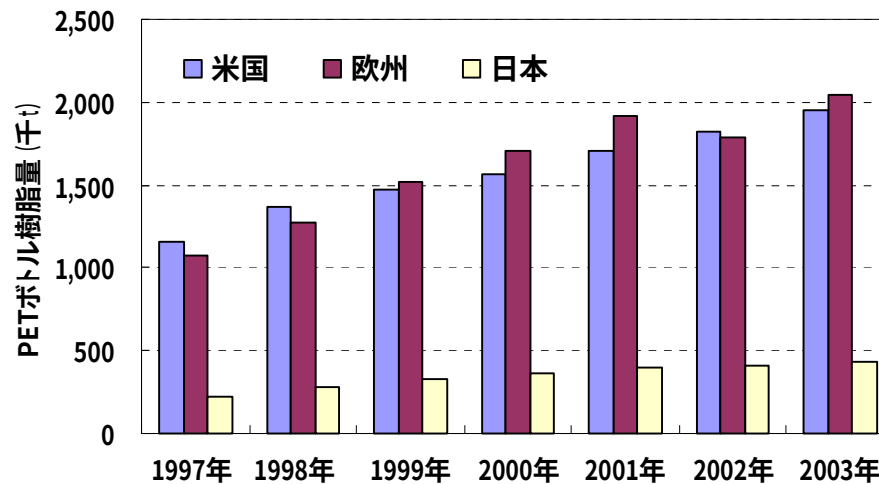


別添資料

「マテリアルリサイクルによるPETボトルの ボトル to ボトル再生技術の動向」

日米欧におけるPETボトル樹脂生産量、回収率の推移



NAPCOR 米国PET 容器資源化協会によると、米国で回収率が低下しているのは、再生事業に価格インセンティブが働かないこと、リサイクルに回りにくい小型ボトルが増えていること、リサイクル予算減、消費者の無関心等があるとしている。

出典：(社) PETボトルリサイクル推進協議会

日米欧のPETボトルリサイクル用途の推移 (単位:千t)

	用途	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年
米 国	繊維	145	188	189	205	197
	シートとフィルム	32	40	31	29	17
	食品用ボトル	19	24	31	24	35
	非食品用ボトル	24	21	22	18	20
	その他	39	47	52	60	49
	リサイクル量合計	259	320	325	336	318
欧 州	繊維	70	-	-	-	-
	シートとフィルム	18	-	-	-	-
	食品用ボトル	4	-	-	-	-
	非食品用ボトル	3	-	-	-	-
	その他	13	-	-	-	-
	リサイクル量合計	108	-	-	-	-
日 本	繊維	6.1	16.9	25.2	38.3	48.7
	シートとフィルム	1.1	5.2	11.5	23.4	37.5
	食品用ボトル	0	0	0	0	0
	非食品用ボトル	0.8	0.2	0.2	0.3	0.4
	その他	0.4	1.6	2.7	6.6	8.3
	リサイクル量合計	8.4	23.9	39.6	68.6	94.9

出典: (社) PETボトルリサイクル推進協議会

- ・繊維の用途が圧倒的に多いが、日本では卵パック等にも再生品が多く使用されているため、シート of 用途もかなり多い特徴がある。
- ・欧州における食品用ボトルの用途は、約8万t (マテリアルリサイクル法による再生) と見積もられる。
- ・2004年から、日本における用途として、食品用ボトルに約9万tが計上される予定である。

マテリアルリサイクルによるPETボトルのボトル to ボトル再生には、2通りの手法が報告されている。

1. 多層品製造法 (再生樹脂を中間層とし、表層が未使用樹脂である3層構造)
2. 超洗浄リサイクル法 (単層品)

食品に接触して使用される用途には、アメリカ合衆国食品医薬局 (日本の厚生省に相当、以下FDAと略す) からの食品接触容器用途として許容できるとのオピニオンレター (No Objection Letter ; NOL) を取得*する事が求められる。

FDAのNOLの承認を得るためには、以下の資料と試験データを提出*する必要がある。

- (1) 再生工程の完全なる説明書
- (2) 再生工程が汚染物質を除去しうることを示すために実施された試験の結果
- (3) そのプラスチックの使用条件を提案する説明書

FDAがこれに対して審査し、安全と判断すれば、NOLのオピニオンレターが発行される。

なお、(2) の汚染物質除去の立証には、数万種類に及ぶ化学物質の全てを確認する事は不可能であるとして、①揮発性で無極性の有機物、②揮発性で極性のある有機物、③不揮発性で無極性の有機物、④不揮発性で極性のある有機物の各々のカテゴリーから代表的な物質を「代理汚染物質」として選択し、その数種類を組み合わせたもので原料を故意に汚染させた後再生工程で処理して、その除去性を調べる試験法が推奨されている。

* Recycled Plastics in Food Packaging (<http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-recy.html>)

FDAのガイドライン*として、各カテゴリーの代表的な物質の例として各々①トルエン(揮発性無極性)、②クロロホルム(揮発性極性)、③リンダン(不揮発性無極性)、④ダイアジノン(不揮発性極性)などを例示している。さらにジナトリウムモノメチルアースネートのような塩についても注目すべき諸物性の範囲を完備しているとして推奨されている。

本試験実施時の安全性の判断基準として、溶出試験で、残留する代理汚染物質が10ppb以下である事が求められている。

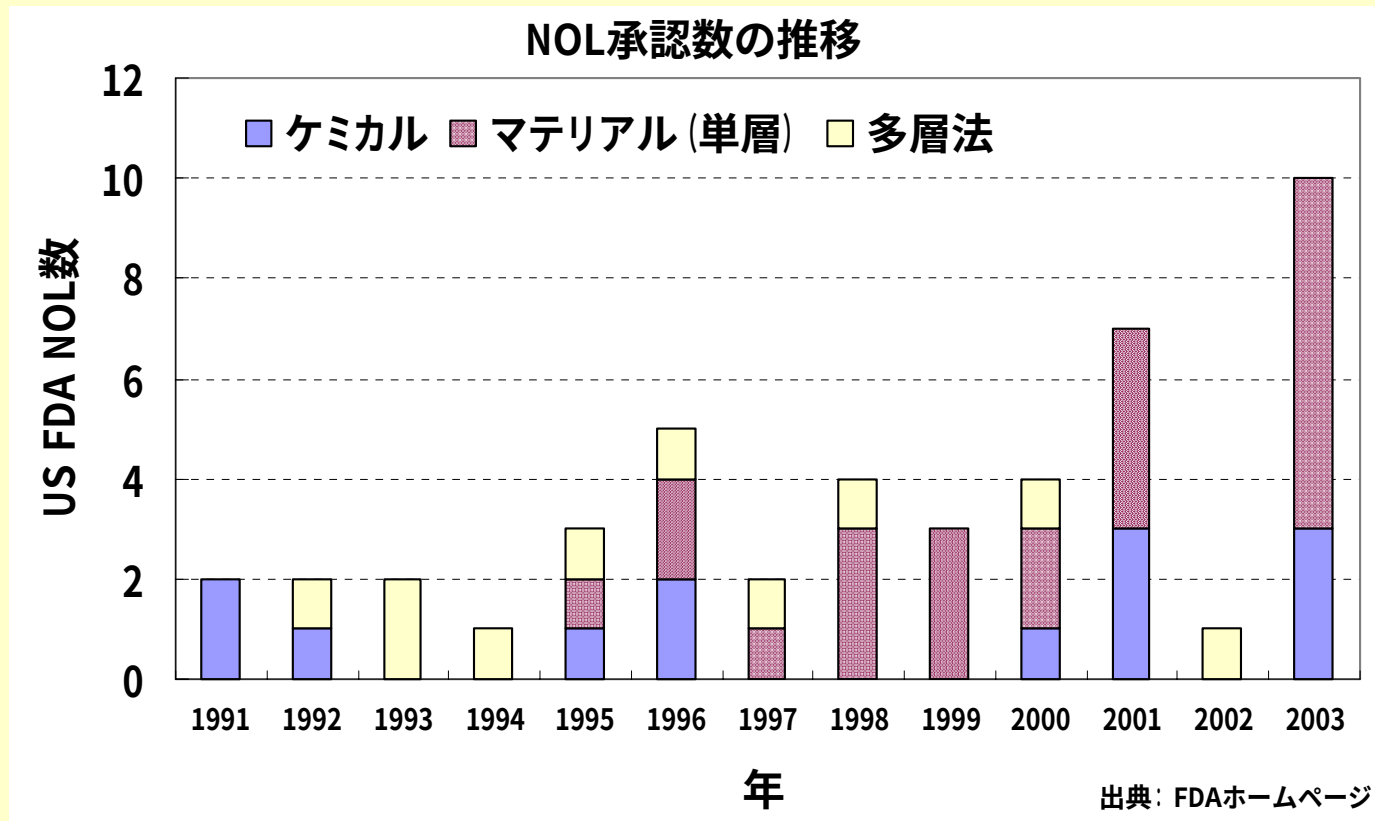
欧州では、再生品の食品用途適用に関する規制に関して、特に欧州指令は発行されておらず、各国毎の個別の対応に任されているが、ILSI (International Life Sciences Institute) 欧州支部がPMTF (Packaging Material Task Force) を発足させ、食品用途使用に関するガイダンスを発行**している。この中で、チャレンジテスト (FDAと同様な代理汚染物質試験の考えを採用) を受ける事により安全性を確保するよう求めている。このガイドラインが欧州指令に発展していくと見なされる。

なお、FDAは、現在、化学的な再生工程により製造されたPET樹脂については、もはやガイドラインに基づく個別審査は必要としない判断を下している。

* Points to Consider for the Use of Recycled Plastics in Food Packaging: Chemistry Considerations
(<http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-cg3b.html>)

** 「Recycling of Plastics for Food Contact Use」, ILSI Europe Report, 1998年Report, 1998年

2003年8月時点で、83件のNOLが発行されており、その内、PET樹脂に関しては46件が取得(多層品10件、単層品23件、ケミカル13件)している。2001年には、アイエス(ペットリバース)と帝人(帝人ファイバー)がケミカルリサイクルで取得している。



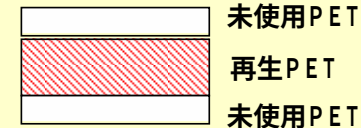
PETリサイクル品の食品用PETボトル展開の経緯

- ・マテリアルリサイクルにより再生されたPET樹脂を中間層とし、表層が未使用PET樹脂である3層構造のPETボトル(米国のContinental PET Technologies社の製造技術)が1997年からスイスで、1998年よりベルギー、スウェーデンで実用化された。この製品の衛生面に関しては、1993年にはFDAよりNOLを取得している。その後、これら多層構造のPETボトルは、コスト面で有利な単層ボトル(マテリアルリサイクル)に置き替わりつつある。
- ・ドイツのSchmalbach Lubeca AG社が1994年に世界で初めてマテリアルリサイクルによって再生されたPET樹脂を使用して単層品の食品用PETボトルを成形することに成功、FDAの認可を得て、この再生PETを”Supercycle“と名付けて、アメリカのミシガン州で年産2万tの生産を行った。その後これまでに12社が申請して既にFDAのNOLを取得している。米国では現在このマテリアルリサイクルPET再生樹脂を製造するメーカーが7社(Phoenix Technologies等)にのぼっており、食品グレードの再生樹脂生産能力は6~10万トンと見られる。また欧州では約6万トンと言われている。
- ・米国では1991年からイーストマンケミカル社、アメリカンヘキスト社により、ケミカルリサイクル法によるPETボトルの再生が実用化されていたが、現在では行われていない。なお、化学分解法のプロセスは世界各国からFDAに申請されており、現時点では13社17件のNOLが出されている。但し、現在欧米では、コスト面からケミカルリサイクル法よりマテリアルリサイクル法による単層品法が主流となっている。

1. 多層品製造法

素性の分かっている回収ボトルから作られた高品質の食品用グレード樹脂をバージン樹脂にサンドイッチした多層構造のPETボトルがFDA承認を受けている。使用に当たっては、未使用PET樹脂層の厚みを1mil (約25ミクロン) 以上とし、食品に触れる部分から再生樹脂層までは1mil以上離す事との制限が設けられている。

多層品ボトルには、50-60%の回収再生樹脂が3層構造の真中の部分に使用される。



多層品ボトルの代表的なメーカー

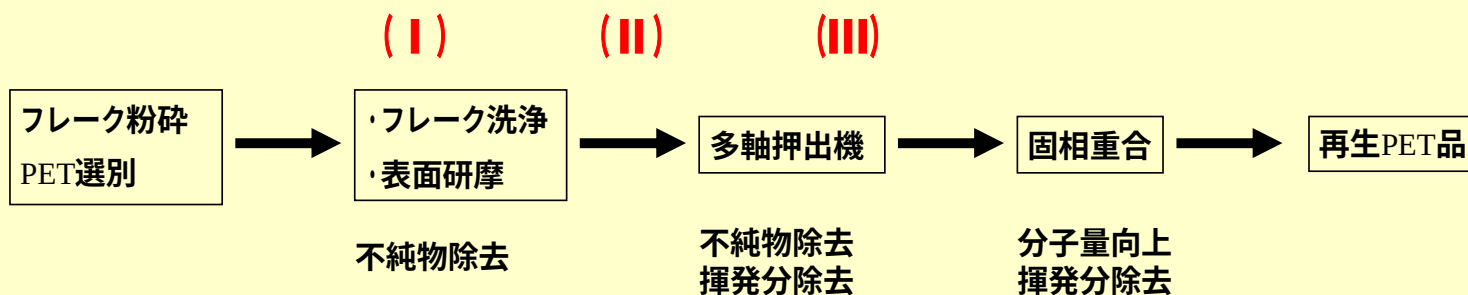
- Continental PET Technologies Inc. (1992, 1994) - soft drink bottles
- Union Carbide (1995) - bottles
- PET Technologies Ltd. (1998) – bottles
- Ivex Packaging Corp (2000)

現在は、再生コストの安い単層品の超洗浄リサイクル法に替わってきている。

2. 超洗浄リサイクル法 (単層品)

この手法では、不純物 (異物、触媒残渣等)、揮発成分の除去 (表面の一部削り落とし) と分子量の維持回復 (固相重合) が行われる。

使用済みPETボトルからの再生法の基本的な構図は下記の通りである。



(I) 粉碎、選別されたPETフレークの高温液での洗浄及び表面研磨の実施

(II) 洗浄フレークをベント付き多軸押出機に通し、揮発成分の除去やフィルターでコンタミ成分の除去

(III) リアクターにフレークを入れ、固相重合を行わせる。この段階で、ボトル成形に必要な分子量まで上げるが、同時にグリコール、アセトアルデヒドやオリゴマー等の揮発成分も除去

超洗浄リサイクル法の代表的プロセス技術一覧

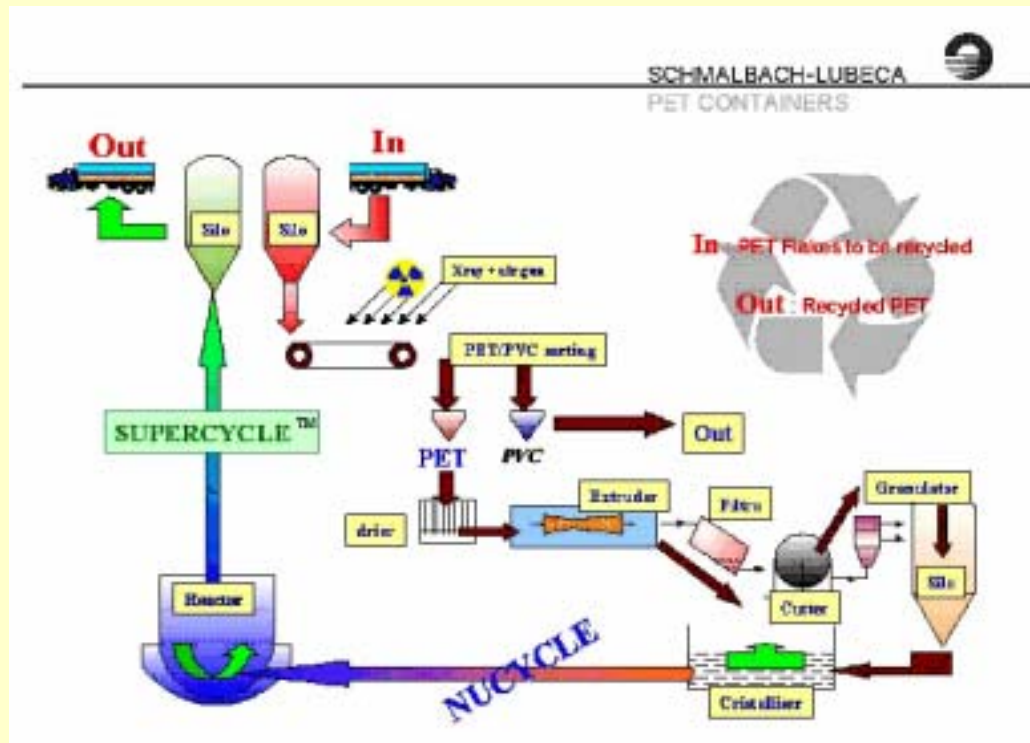
プロセス技術	会社名	概要・特徴	能力	投資例
Supercycle™	Schmalbach-Lubeca AG (現、AMCO 社)	• 1994 年 FDA NOL 取得 • 最初に B to B 法を商業化 • 最近、Bühler プロセスを導入	年間 4 万 t *	年間約 7,000t 生産規模：建造費 約 6 億 8 千万円
Ecoclear™	Wellman, Inc.	• 1996 年 FDA NOL 取得 • 北欧圏でも実用化	年間 3 万 t	?
Stehning Process	OHL	• 1999 年 FDA NOL 取得 • 年間 5 千 t ~ 3 万 t 製造規模のプラント	?	年間 15,000t 生産規模：建造費 約 8 億 4 千万円
VacuRema Process	Erema	• 2000 年 FDA NOL 取得 • フレークからの連続製造プロセス • 第 4 世代新技術を開発（製造コスト削減）	• EU を中心に 11 系列稼働	年間約 8,000t 生産規模：設備費 約 9 千万円
UnPET Technology	United Resource Recovery Corp.	• 2000 年 FDA NOL 取得 • 洗浄にアルカリ液を使用し、一部ケミカルリサイクルモ7要素を加	• 年間約 3 万 t (@ ドイツ、スイス)	?
Bühler Process	Bühler	• 2001 年 FDA NOL 取得 • 洗浄から固相重合工程までの連続生産によるコスト競争力が大 • 12 軸押出機による生産性向上	• 72 系列以上に導入 • 洗浄リサイクルプロセスの約 6 割のシェア	年間約 10,000t 生産規模：建造費 約 6 億 7 千万円

* 最近、Bühler Processを導入している。

(1) Supercycle™ PET (Schmalbach-Lubeca AG, 現在 AMCOR 社)

Supercycle™ PETは、マテリアルリサイクルされた樹脂から製造された食品用として最初にFDA NOLを取得(1994年)した。Supercycle™ PETは、米国ミシガン州のプラント(20千t/年)で製造されている。2基目のプラント(6千t/年)が1998年にフランスに導入され、2002年には後述するBühler Processを導入し、20千tに増設されている。

プラント建造費の例:年産7千tで、5,000,000 EURO (約6億8千万円)



(2) Ecoclear™ (Wellman)

Wellman社のEcoclear™は、1996年にFDA NOL を取得した。Ecoclear™は、Wellman社のプロセス技術 (自動選別、化学的及び熱による洗浄) を使って造られる。Ecoclear™ recycled content の食品容器向けPET樹脂とPETシート (25% 回収PET使用) は、Wellman社の30千 t /年 プラント (オランダ) で作られている。

Ecoclear™は、欧州のスカンジナビア、オランダやベルギーの国で広く使われている。

(3) OHL Apparatebau and Verfahrenstechnik GmbH

OHL社は、5千～30千t/年の規模で作られた製品を供給している。OHLの再生 PETは、1999年にFDA NOL を取得しており、Stehning PETリサイクルプロセスは1999年からドイツで使用されている。

OHL のプラント製造コスト試算：

5千 t/yスケール：DM 8- 9 million (約5億7千万円)

10千 t/yスケール：DM 10-11 million (約7億円)

15千 t/yスケール：DM 12-13 million (約8億4千万円)

(4) Erema プラスチック回収システム

Erema TE-VSV (VacuRema法) プロセスは、ボトルフレークを飲料用ボトルやシート製造に適した原料に転換する。フレークからペレタイズ工程を経ずに溶融押し出しを行い、製品を作る事が出来る。

VacuRema法では、飲料用ボトルを回収した製品から食品接触用途に使うPETリサイクル品の製造について、2000年11月にFDA NOLを取得している。

Eremaシステムは、食品接触用途での承認をドイツ、スイス、オーストリア、カナダ、ハンガリー、ブラジルでも受けている。

Eremaは、最近、Erema第4世代システムと呼ばれる新しい技術(T-DD技術)を投入した。この技術では、廃PET製品の前処理と押出機投入工程を分離し、効率的で均一な押出機への供給処理が可能になっており、また、新規な押出機の開発により、再生処理のエネルギーコストを最大20%の削減が可能になっている。

Erema設備費は、サイズとスペックに依る。

RM TE-VSV設備費

600 kg/hr スケール: DM 1,005,000 (約6,700万円)

950 kg/hrスケール: DM 1,351,000 (約9,100万円)

VacuRema法は、シート、繊維や紐などの非食品用途にヨーロッパの多くのプラントで使用されている。2001年から11のVacuRemaプロセスが売られている(ヨーロッパが6ヶ所)。

(5) UnPET Technology (United Resource Recovery Corp.)

United Resource Recovery Corp. (URRC、米国) は、1996年から、使用済みPETボトルから飲料用ボトルに再生する技術開発を開始し、UnPET技術を開発した。2000年2月に再生品が飲料用途に使えるものとしてFDA NOLを取得している。

UnPET法では、フレーク表面の洗浄にアルカリ液を使用し、リアクター中でPET樹脂表面を溶解させる工程を設けている。溶解したPET樹脂は、モノマーまで解重合され、ケミカルリサイクルの要素も含むプロセスになっている。表面の一部だけをケミカルリサイクルする事になる。このため、UnPET法は、Hybrid UnPET法とも呼ばれており、廃PETボトルのケミカルリサイクルで達成される品質、高純度をマテリアルリサイクル並のコストで行う様に設計されている。このプロセスでの再生PET樹脂は、バージンPET樹脂よりも20%から30%コストが安い*とされている。

UnPET技術は、Cleanaway Plastic Recycling GmbHにライセンスされており、ドイツとスイスでそれぞれ15千t／年、13千t／年の生産規模で商業化されている。

*URRC社ホームページに記載

廃PET投入ライン



Rotary tubular kiln

(6) Bühler

廃PETボトルからボトルグレードのペレットを作る事が出来るBühlerプロセスは、従来、独立していた異物や不純物除去ステージと分子量調節する固相重合ステージを連結し、連続プロセスとする事により、バージン PET製造よりも 10%エネルギー消費をカット出来 (150 KWh/t以下)、バージン PETと競合出来るとされている。

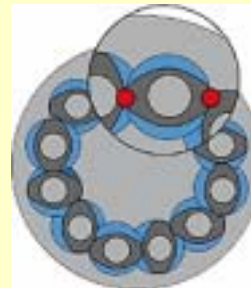
Bühler プロセスは、2001年にFDAのNOL を取得している。

最初のBühler法による食品用 PET 再生ライン(1250 kg/hr)は、2001 年にSchmalbach-Lubecca AG (フランス) に導入された。投資額:DM1,000万 (約6億7千万円)

Bühler プロセスは、現在、全世界で72系列以上 (総生産能力:450万t、ほとんどが繊維用途と推定される) 導入されており、約6割のマーケットシェアを占めている。

Bühler プロセスの主要技術は、Bühler Ring 押出機である。この押出機は、12軸式押出機であり、混練効率が非常に高いため、乾燥、溶融、脱気の3工程を数秒の極めて短時間で行う事が出来る。このため、生産効率の高さと合わせ、PET樹脂の品質低下を最小限に抑える事が出来るとされている。

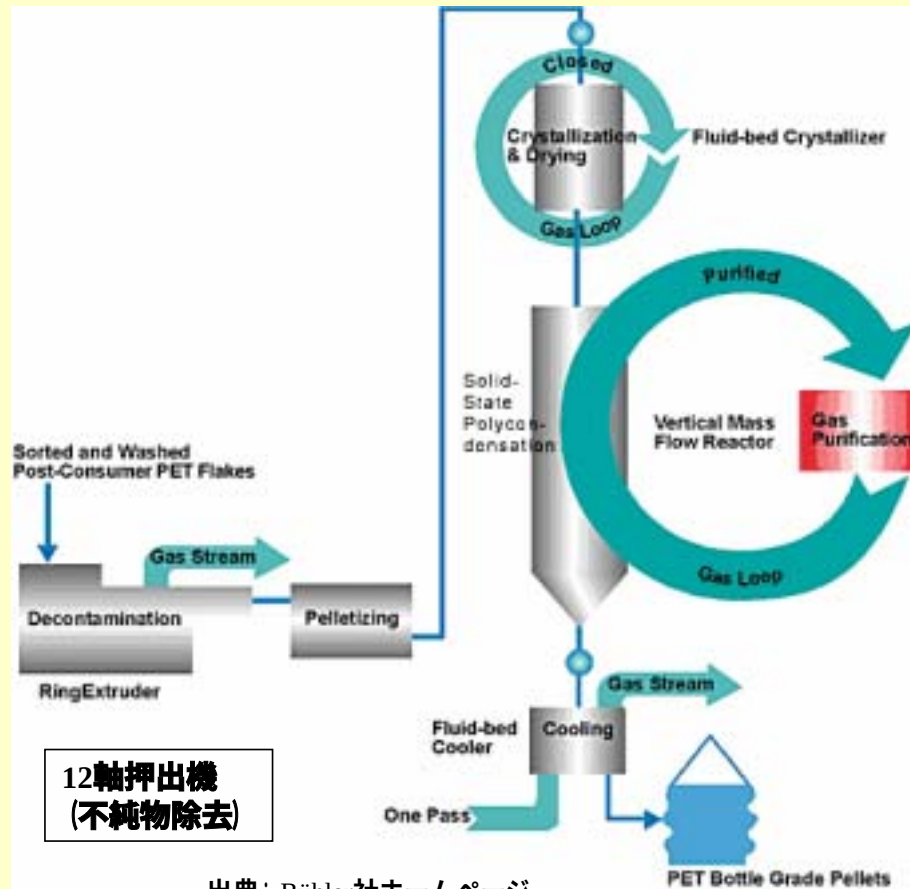
Bühler Ring 12軸押出機



出典: Bühler社ホームページ



Bühler 連続ペレット化プロセス



12軸押出機
(不純物除去)

固相重合
(分子量アップ、
揮発分除去)

出典: Bühler社ホームページ

3. その他

国内でも、マテリアルリサイクルによるPETのボトル to ボトル再生についての検討が行われている。

- ・ホソカワミクロン(株)は、三井化学エンジニアリング(株)の超洗浄技術(アルカリ洗浄)を活用して、PET製品表面をアルカリ処理し、自社開発の固相重合技術と組み合わせた超洗浄リサイクル法によるボトル to ボトルの展開を視野に、固相重合装置の実証プラントを設置(1999年)している。この新プロセス技術は、NEDOの補助を受け、ホソカワミクロンと三井化学エンジニアリングとの共同開発プロジェクトになっている。米国のURRC技術と同じタイプのもと考えられる。
- ・東洋製罐が多層品製造法によるボトル to ボトル再生法の実用化を目指した検討を行っている。＊
ボトル成形前にプリフォームを作る必要があるが、このプリフォーム製造を通常行われている射出成形法ではなく、より低温で成形できる圧縮成形法で行う技術を開発した。この圧縮成形法の技術を活用し、効率的なPETボトル多層品製造を行う事を計画している。
FDAのNOLは問題なく取得出来る見通しであるが、国内の食品安全委員会での承認が課題と考えられる。

＊東京パック2004(2004年10月5日～10月9日開催)展示会で公表

主要参考資料

1. Plastic Bottle Recycling in the UK (The Waste and Resources Action Programme (WRAP)刊, 2002年)
2. PETボトルリサイクル年次報告書 2004年版 (PETボトル推進協議会)
3. 「Recycling of Plastics for Food Contact Use」, ILSI Europe Report, 1998年