

包装アーカイブス

PET ボトルおよびリサイクリング (包装容器の革命)

キーワード ; PET ボトル、リサイクル、容器包装リサイクル法、リサイクル工場、BtoB

前書

ここ半世紀で包装の形態が大きく変化し、生活習慣にも影響を与え、技術の進歩が新しい文化を造った。

ガラスビンが普通であった飲料容器は、PET ボトルの出現でワンウェイという流通形態を生み出し、回収方法が大幅に変化した。その結果、ゴミ問題にまで世間を騒がせたが、PET ボトルがいち早くリサイクルに取り組み世の中のルールを変えていった。そうした経緯から、ここにリサイクリングに至るまでを中心にまとめ、PET ボトルに携わった先人達の足跡を辿ってみる。

黎明期

1. PETボトルの誕生

1967年 Dupont 社が PET ボトルの基礎技術を開発し、1974年に米国で炭酸飲料用に使用が始まった。ちなみに、同種の材料のポリエステル繊維は、1941年に ICI 社が開発し、Dupont 社が商業化し、“Dacron”として世に出る。

2. 我が国でのPETボトル

食品ボトルの中で、醤油ボトルが塩ビでプラスチック化されていたが、モノマーの発ガ

ン性の問題でいち早く、エバールやナイロンのバリアー樹脂とポリオレフィンとの積層ボトルに切り替わった。しかし、透明性において外観が充分満たしていなかった。その時、大手の加工メーカー(株)吉野工業所の創業社長 吉野弥太郎氏は PET ボトルの将来を予見して、自社技術で製造機械、金型まで作り、全社あげて不眠不休で研究開発に明け暮れた。その間、素材メーカー当時の東洋紡(株)とボトル用樹脂を共同開発し、キッコーマン(株)茂木社長は先陣を切って醤油用の PET ボトルを世に出した。その後、高い成形技術を駆使し肉厚で透明度を要求される化粧品容器も PET ボトルで可能にし、またビール業界では生樽用ガラス瓶を 2LPET ボトルをはじめ、5L 球状ボトルに、清酒でも大型 2L、キヨスクやコンビニ対応の小型ボトル、焼酎も超大型の 2L、4L、5L などを開発し、業界の市場拡大に貢献した。1952年には PET 樹脂の衛生安全性が確認され 1982年に PET ボトル製造関連企業の努力により厚生省の告示に漕ぎ着けた。告示 370 号に PET が追加され、告示 20 号として清涼飲料水に使用が認められたが、飲用後の散逸を懸念して容器のリサイクルを前提にすることが条件として付けられた。

そのリサイクルを推進するために「PET ボトル協議会」(ボトル協)が 1982年 10月に設立され、ボトル成形メーカー15社と樹脂メーカー7社が参画した。

同時にそのボトル協の中に技術ワーキンググループ(技術WG)を設立し、リサイクル技術全般の調査、検討を開始した。当WGは数社のボトルメーカーと樹脂メーカーで構成

包装アーカイブス

され、持ち回りの幹事会社の事務室で毎月のように検討会を行い、リサイクルの情報を求めて調査に回った。その情報をもとに、各社でそれぞれ不純物の分離技術の実験を行い、一貫したリサイクルプロセスの検討を始めた。

3. リサイクルへの道

リサイクルを前提にスタートした PET ボトルは米国ではすでに回収方法の検討としてデポジット制など環境問題を視野に入れた活発な動きのもとにリサイクルが始まっていた。再生された PET 樹脂は需要の大きいカーペットに再利用されリサイクルに好都合な条件が揃っていた。当時、吉野工業所は米国シカゴに進出し、PET ボトルの工場を取得して清涼飲料用ボトルの生産を開始し、米国内に販売した。この実績が後に日本での衛生安全性の法律の改正の基礎になった。

3.1 探索調査：国内外のリサイクル設備、回収方法 法律、啓発活動

関東では秦野、静岡で、また関西では上山商店が小規模ながら独自でリサイクルを始めていた。(Fig.1)

特に上山商店は家業が米屋という点で精米作業までの考え方を PET ボトルリサイクルでの選別分離工程に応用し、1984 年頃からボトルメーカーと組み良質の再生樹脂を生産し、精密成形品に再利用されていたと思われる。この上山商店の技術はポリエチレンテレフタレートが加アルカリ分解することを利用して、洗浄工程にアルカリ（苛性ソーダ）を使用していた (Fig.2, Fig.3)。



Fig. 1 秦野展示会



Fig. 2 アルカリ洗浄



Fig. 3 筆者の洗浄液の排水調査

技術WGは当時の市中回収での汚れたボトルをリサイクルするためには、この洗浄技術

包装アーカイブス

が必須のものと考え実験を依頼し、共同でデータを蓄積した。当時は、このような独自の技術は秘密にするところが多い中、快く実験に協力して頂けた。

3.2 自主設計ガイドライン:リサイクル可能な材質及び品質規格を定める

3.3 ミニプラントの調査、選択:欧米数社の調査

リサイクルに関しては、当時「プラスチック処理促進協議会」も活発に調査を実施しており、ボトル協が発足したばかりの時期には共同で海外情報の収集に参加した。1990年頃国内でもリサイクルプラントの必要性が高まり、ボトル協は独自で一貫したリサイクル工場を建設する方針を固めたが、国内には青写真がなく、海外で実績のあるメーカーに設備見積もりを取る作業に入った。その結果、イタリアの2メーカーに絞り現地調査を行った。

特にイタリアのゴボーニ社、ソレマ社への調査団を派遣し技術WGが中心になって洗浄実験を実施した。



Fig. 4 汚れた回収ボトル

日本から汚れた PET ボトルを空輸し、洗浄試験を実施した (Fig.4)。洗浄後の品質 (白度、PVC 残さ、接着剤、アルミ、ラベルなどの分離レベル) を比較検討し、ゴボーニ社プロセスを採用した。

3.4 本プラント:技術 WG による設備導入

設備導入に当たっては、技術 WG のメンバーが設計中のゴボーニ社へ確認のため再度調査に行き、目標品質を得る設備内容への設計変更も実施した。この設備の中で重要な個所は、上山商店で得たアルカリ洗浄を導入していることである。汚れた回収ボトルを熱アルカリで洗浄し、ボトルの表層の一部を溶解して、汚れ以外に吸着した内容物の除去も行っていることである。

成熟期

4. リサイクルプラントの稼働

分別回収が充分でない時代に回収ゴミから分別された PET ボトルをいかに純度の高い樹脂原料に戻すかが大きな課題であり、それゆえ設備も大規模なものとならざるを得なかった。導入を決定したゴボーニ社の設備も約 20m ものドラム式洗濯機でボトルの丸洗いから始まっている (Fig.5)。

そのため洗浄後の排水については基準を厳しく設定し環境への配慮を十分に考えたが、リサイクル工場を設置するに当たっては受け入れてくれる自治体への説明にかなりの労力を割いた。その結果、総合排水処理設備の完備した工業団地に落ち着き、栃木県小山市の西坪山工業団地に設置が決定した。

包装アーカイブス



Fig. 5 ドラム式洗浄機

第1号プラントのWPR^{*1}では、当時混合回収によるボトルの汚れや異物の混入が多く、「チョコ停」と称するラインの緊急停止が頻繁に発生し、設備補修や改造に多大な費用の追加と労力を要した。そのため、分別回収による汚れの少ないボトルが要望され、回収方法の教育、啓発のために頻繁に見学者を受け入れて、ゴミ工場ではないというイメージ作りに現場を挙げて対応した。

4.1 WPR^{*1}(1993. 9稼働)

ボトル協が独自で設立し、パートナーの山一カレット社（コーラなどのガラスビンの回収会社、後のWWJ）と共同で操業に入った。立ち上げに際しては、技術WGのメンバー全員でゴボーニ社から送られてきたノウハウブックを翻訳し、作業標準書を作成した。折しも、皇太子の御成婚で祝賀ムードの中、技術WGのメンバー会社の会議室を借り切り、約4カ月、土日も割いて翻訳作業が続いた。その間にも設備建設の進捗状況を確認しながら試運転の準備に取り掛かった。技術WGメン

バーは、ゴボーニ社のアドバイザー、運転を担当する山一カレットの従業員とともに、夏休みを返上して設備の稼働確認を行った。



Fig. 6 搬入されたベール

安定運転：搬入ベール（回収ボトルの圧縮梱包）の仕分け、設備改造、6000トン／年の能力確認（Fig.6）

品質確認：検査方法の確立、品質安定化
用途開発：ボトル協各社が再生樹脂の引取り義務を負い、繊維とシートへ用途拡大

4.2 YPR^{*2}(1997. 4稼働)

ボトル協独自で完成したWPRは難産であったが、一貫したリサイクルプラントのモデルを造り上げたことに飲料業界も理解を示し、1993年には「PETボトルリサイクル推進協議会」を設立し、再商品化事業の拡大にボトル協と協力することになった。国も1995年には後述の「容器包装リサイクル法」を施行し、リサイクルリングに拍車をかけた。YPRはこうした背景のもとに国の補助金（NEDO資金）の申請を行い、WPRの技術を改良して設立された。設備立ち上げは、三重県柘植の

包装アーカイブス

山中に、東洋製罐（株）森氏の号令の下、ボトル協メンバー約 50 名が各プロセスを分担し、試運転を行った。時期は丁度スギ花粉が飛び交う中、花粉症に悩まされつつ、厳しい品質確保のため、設備の修正を行い 1997 年 4 月に操業に漕ぎ着けた (Fig.7)。

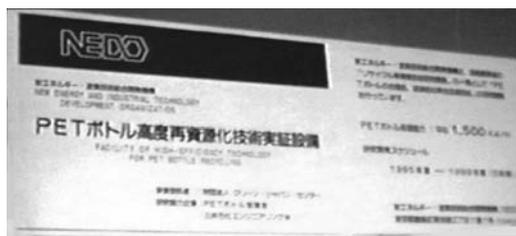


Fig. 7 NEDO資金による実証設備



Fig. 8 新規洗浄設備

初代の工場長には WPR で苦労された日本ユニペット社の三大寺氏が就任し、その指揮のもと最新の設備を思いのままに稼働させ、高品質の再生樹脂にリサイクルされた (Fig.8)。

再生樹脂は繊維用原料として用途が伸び、稼働率も順調に推移し、ラインを増設し設備能力を倍増するまでに至った。その陰には、後述の“容器包装リサイクル法”が施行され自治体によりボトルの回収が順調に始まり、

良質なベールが入手できるようになったことによるものである。YPR では新規用途の開発のため、得られた再生樹脂を固相重合による高分子量の樹脂に再加工する設備を追加し、リサイクルの拡大を図ろうとした。

4.3 リサイクル工場増設

その後、WPR、YPR の例に見習って北九州に NPR*³ (1998.4)、北海道に HPR*⁴ (1999.4)、そして PET ボトルの大消費地である東京にも新たな回収方法、いわゆる「東京ルールⅢ」(店頭回収)を大議論の末に採用し 23 区全域に施行して、受け皿として TPR*⁵ (2000.4) が東京湾埋立地に設立された。それぞれの設備は、約 10,000 トン/年の設備能力を備えた大型工場であった。

以降、現在では地域に適した規模の設備が順次設立され、南は沖縄まで全国に広がり約 60 社 70 工場が稼働するに至った。

(注)*¹WPR: ウィズペットボトルリサイクル

*²YPR: よのペットボトルリサイクル

*³NPR: 西日本ペットボトルリサイクル

*⁴HPR: 北海道ペットボトルリサイクル

*⁵TPR: 東京ペットボトルリサイクル

5. 容器包装リサイクル法

「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」いわゆる“容器包装リサイクル法”(容リ法)は 1995 年に施行され、PET ボトルリサイクルの実績を後押ししたと思われるような法律で、循環型社会のリサイクルの仕組みを構築するため、消費者、自治体、製造業者が一丸となって全国規模で動

包装アーカイブス

き出した。1997年には対象がガラスびん、缶、PET ボトルまで広がり効率的な分別回収が始まった。

5.1 リサイクル率の変遷

「容り法」が施行されたことにより、自治体の回収量が飛躍的に増加し、従来の民間による地道な努力が行政指導によって日の目を見ることになった。その結果、回収率も数%台から10%台に一気に上昇し、その後年々順調に推移した。現在、その回収率は欧米を遙かに超え、約70%に達し、世界最高水準を維持している。一時、回収量が再生処理量を上回り回収ボトルが未処理のままに放置された現象もあったが、前述のようにリサイクル工場の増設が進んだことにより解消した。

6. BtoB(ボトルからボトルへ)

ーケミカルリサイクル:化学分解法ー

従来のリサイクル(マテリアルリサイクル)だけでは量産されるPET ボトルをリサイクルして繊維製品、シートなどへの再商品化製品の需要に限界が見られ、本来のPET ボトルに戻すBtoB(ケミカルリサイクル)が急務となりつつあった。当時は国内での循環型リサイクルが当然視されており、回収ボトルおよびリサイクル樹脂を中国などへの再生綿用に輸出することは論外のことであった。

一方、化学分解法によりケミカルリサイクルされたPET樹脂は飲料用容器への使用に当たり、衛生安全性の検討を進めたり、その安全を保証するためのガイドラインを推進協が作成し、それに沿った試験結果をもとに国の「食品安全委員会」に掛け審議がなされた。

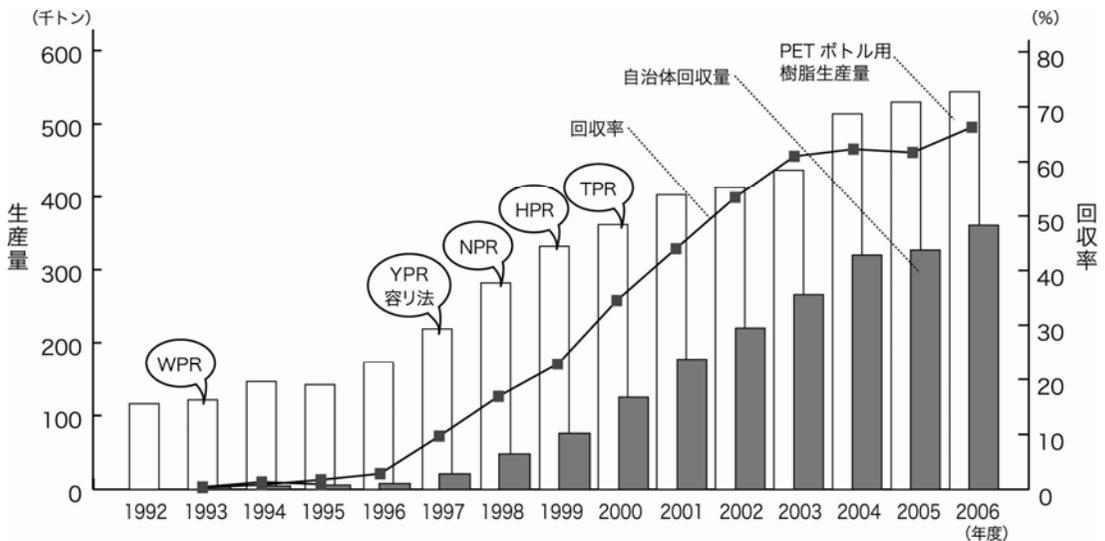


Fig. 9 リサイクル率の変遷

包装アーカイブス

以前、石油由来の原料から製造した PET 樹脂が厚生省の告示を得る際に安全性の確認を行った国立衛生試験所に再度アドバイスを頂き、2004 年に当食品安全委員会での認可を受けた。更にパブリックコメントに対しても問題なく正式に衛生安全性が確認された。

すでに、米国ではケミカルリサイクルの手法は FDA で認めており、国内のアイエス社の BHET 法も FDA オピニオンレターを取得していた。

ボトル使用後の付着した微量成分がリサイクルプロセスでどの程度除去されるかを PPB オーダーまで分析し、そのプロセスが技術的に衛生安全性を保証することを確認したのである。このガイドラインに沿って国内では、アイエス社 (2002 年) と帝人ファイバー社 (2003 年) がそれぞれ異なった手法で商業化プラントを立ち上げたが、操業に至ったのは世界でも日本の 2 社だけであった (アイエス社は現在ペトリファインテクノロジー社として東洋製罐 (株) が事業継続している)。これらの化学分解法でリサイクルされた PET 樹脂は、「食品安全委員会」で石油由来の原料から製造された PET 樹脂と同等であることを認められたので特に区分することなく飲料ボトルに使用され市場に流通している。

7. PETボトルの用途、性能、構造変化

用途 ・醤油、めんつゆ、ドレッシング等調味料

適応樹脂に特徴、キャップに工夫

・コーラ、サイダー等炭酸飲料

適応樹脂に特徴、丸底にハカマ接着

ペタロイド型自立一体ボトルに変化

軽量化

・お茶、ジュース類

適応樹脂に特徴、高温充填、耐熱性

口部白化、成形方法、軽量化

・ミネラルウォーター

適応樹脂に特徴、低温殺菌充填、

軽量化

<軽量化> 3 R 対応で軽量化進む

一例 2 リットルボトルでは 69 グラム→59 グラム (最新 35 グラム)

樹脂特徴 重合触媒 Ge 系、Sb 系

高重合度 (固相重合)

微量成分 (低アセトアルデヒド、低オリゴマー)

キャップ アルミ→ポリプロピレン

ラベル 紙、塩ビ→ポリスチレン、PET など

その他用途拡大 酒類、洗剤、化粧品、医薬品等

8. PETボトルリサイクリングの意義

8.1 当初の目的

PET ボトルが市場に出るまでには、すでに缶、びんでポイ捨て散乱が目にも余る状況にあり問題視される中で、PET ボトルのようにワンウェイの方向はゴミ問題が容易に想定され衆目が集まることは明白であった。

包装アーカイブス

一方、ゴミ問題は焼却か埋立てかで、排ガス問題や用地確保の判断に議論が渦巻いていた。PET ボトルはこれらの問題を解消する方向でいち早くリサイクルへの道を歩むことになる。PET ボトルは焼却しても有毒ガスの問題はないが、世論では焼却を良しとせず、またボトルは嵩高いゆえ満杯になりつつあった埋立地の負担が増加するなど、一般のゴミ問題とは異なる解決方法が問われていた。そのような時期に、国はリサイクルを前提としてPET ボトルの清涼飲料への使用を認可し、国が後押しする機運が出来つつあった。

PET ボトルが清涼飲料への使用が始まると同時に「PET ボトル協議会」を設立してリサイクルを鋭意進めた結果、国も新たに「容器包装リサイクル法」を施行するに至った。その法律の下に自治体、再生事業者、消費者が三位一体となり協力したことが、世界に誇る回収率の高いリサイクリングにまで発展した。

8.2 現在及び将来

リサイクルが進む中で、トータルエネルギーの消費についても問われるようになり、ボトル成形からリサイクルに至るまでの LCA の検討も試みた。

しかし、単に物の流れだけではなく、将来、PET ボトル原料が石油由来のエネルギー以外で代替される可能性が少ないと思われるため、原油の高騰、枯渇などを考えると現在軌道に乗っている PET ボトルリサイクリングは時流に沿った改良を加え継続していく必要がある。

ボトルまたは再生樹脂として海外輸出が経済原理で行われている現状では、国を挙げて構築した我が国のリサイクルは崩れかかっている。石油の全面輸入国である我が国が、折角作った石油資源を海外へ出してしまうと言う大きな矛盾を平気でやっていることを考え直さねばならない。

結び

PET ボトルと一口で言っても、原料のポリエチレンテレフタレートだけではなく、その樹脂組成、ボトル本体、成形方法、キャップ、ラベル、接着剤、印刷、梱包、輸送、保管、店頭や消費者の評価など、当時リサイクルに関連した企業、樹脂メーカー、成形メーカー、中身メーカー、流通など、それぞれの思いを遥かに超えた領域まで考慮しなければならない巨大な産業の集約された産物である。しかも、リサイクルとなれば環境問題を外しては考えられない。

その中には、自然との調和（汚さない）、ゴミに対する考えの人間の思想の変化や対応に留意しなければならなかった。しかし、PET ボトルの生い立ちはボトルを作ること、使用すること、リサイクルすることなど、まず始めようと言う意欲で取り組んだ上で決して成功の道ばかりではなかったが、法律まで創り世の中に貢献してきたことは先人たちの努力が実った結果である。

これまでもいろいろなリサイクルが社会的に試されてきたが、中でも PET ボトルリサイクルが実現したことは喜ばしい。PET ボトルを始めとするプラスチックの容器包装のリ

包装アーカイブス

サイクルは他の分野、たとえば建材、家電、あるいは食品リサイクルの突破口となったところに意義があると信じている。PET ボトルの出現によって、従来のガラスビンと比較して桁違いに容器重量が軽減され、更なるボトルの軽量化も進みつつある。そのため、おもに輸送エネルギーの軽減、しいては CO₂ の削減が考えられ、3R (Reduce, Reuse, Recycle) の推進につながると確信している。

今までは、PET ボトルがゴミの代名詞と言われたこともあったが、良しにつけ悪しきにつけ、最も優れた材料として現在の包装容器の発展に寄与した代表選手である（一部に、技術的にまた考え方には多論が御有りでしょうが昔話のなかで御理解いただきたいと思えます）。

謝辞

このアーカイブスをまとめるに際して、PET ボトル協議会で長く貢献された元技術委員長の（株）クラレの中塚さんはじめ、毎年開催している技術 WG・OB 会の内田さん、平田さん、三大寺さん、野中さん、須賀田さん、および（有）上山商店の上山さんにご協力をいただき、また PET ボトルリサイクル推進協議会広報誌の編集をされている（株）MD の杉原さんにも資料や写真の提供、校正を手伝って頂きました。

当時を振り返りながら皆さんで議論し、助言をいただきましたことに謝意を表します。

元吉野工業所研究部長 串田 秀男