

Means of Training Talented Chemists with Environment - Proper Perspectives. The 2001 Presentation of Creativity - Enhancing Subject (Attempted) of the Department of Applied Chemistry and Biotechnology. "Study on PET Bottles from Energetic Point of View."

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2010-10-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 黒川, 陽一郎, 斎藤, 隆通, 宮島, 尚子, 山口, 毅, 高橋, 一朗, KUROKAWA, Yoichiro, SAITO, Takamichi, MIYAGAWA, Naoko, YAMAGUCHI, Takeshi, TAKAHASHI, Ichiro メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/2541

環境問題を視野に入れた化学系の人材養成に関する一工夫 平成13年度生物応用化学科創成科目（試行）発表 「PET ボトルを考える」

Means of Training Talented Chemists with Environment-Proper Perspectives.
The 2001 Presentation of Creativity-Enhancing Subject (Attempted) of
the Department of Applied Chemistry and Biotechnology.
"Study on PET Bottles from Energetic Point of View."

黒川陽一郎*
(福井大学工学部生物応用化学科)
斎藤 隆通*
(福井大学工学部生物応用化学科)
宮島 尚子*
(福井大学工学部生物応用化学科)
山口 毅*
(福井大学工学部生物応用化学科)
高橋 一郎*
(福井大学工学部生物応用化学科)

1. まえがき

周知の通り、生物応用化学科のカリキュラムは、前身学科以来、学部3年生後期の専門科目は選択科目のみとし、学生たちに卒論配属先を考えながら受講してもらうスタイルが定着していた。しかしながら、研究室の数が増えると共に研究室の名称や研究内容・手法に重なり合う部分も増え、結果として、講義と短時間の研究室説明会だけでは、学生たちが配属先について適切に判断を下すのには充分でなくなってきた。加えて、3年前期までまじめに単位を取得してきた学生の間には、暇を持て余す向きもあり、配属までの期間中の意識の弛緩も問題になっていた。とはいえ、卒論配属を3年後期からフルに行うだけの時間は（平均的な）学生の側にはないし、研究室の側はどうかというと、今以上の人数を収容するとなると安全の面から心配がある。こうした中で、演習を中心とする形で専門横断型の総合的な判断力を訓練する、従来開講されていたとは全く異なるタイプの科目を作るべきだという声が強くなり、誕生したのが「創成科目」である。初年度の平成13年度は、発案者の末信一朗、寺田 聡、前田 寧の3先生を中心に試行が行われた。教員9名と学生35名(いずれも有志)が参加し、10月下旬から教員ごとに会合を持ち、12月14日に成果を発表して終了した。本稿は、初年度の成果から、高橋担当分に、必要最小限の修正(図版のミスや言葉使いなど)を施して収録したものである。本科目の精神として、教員はあくまでもアドバイス役であり、調査・構成を含め学生たちの力で成されたものであることを強調しておきたい。

2. 食品用 PET ボトルの背景

飲料の容器は今までアルミ缶やスチール缶が主流であったのが、ここ数年、PET ボトルが増加し、シェアに大きな変化が起きている。本稿の目的は、エネルギー面から見た場合のリサイクルの妥当性の検証にあるが、まずは PET ボトルの背景から説明に入りたい。

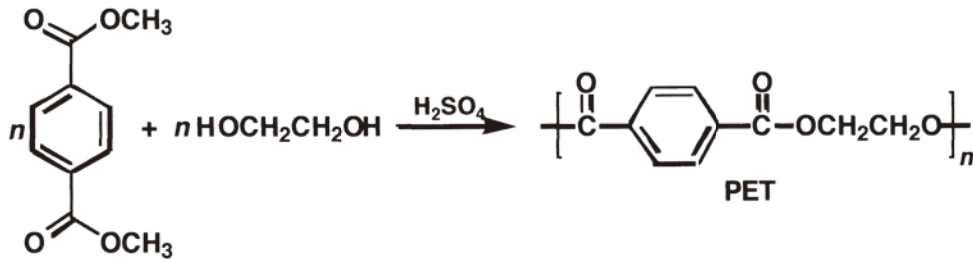
(キーワード：創成科目，PET ボトル，リサイクル，エネルギー)

*Yoichiro KUROKAWA, *Takamichi SAITO, *Naoko MIYAGAWA, *Takeshi YAMAGUCHI,

*Ichiro TAKAHASHI

(Department of Applied Chemistry and Biotechnology, Faculty of Engineering, Fukui University, 910-8507 Fukui, Japan)

PETは、体系名ポリエチレンテレフタレート [Poly(ethyleneterephthalate)]として知られるエステル型高分子（ポリエステル）の省略名である。合成繊維として知られるダクロン（Dacron）やテリレン（Terylene）の化学構造はPETと同じであり、いずれもテレフタル酸メチルエステルとエチレングリコールによるエステル交換反応が主な合成法である [1]。



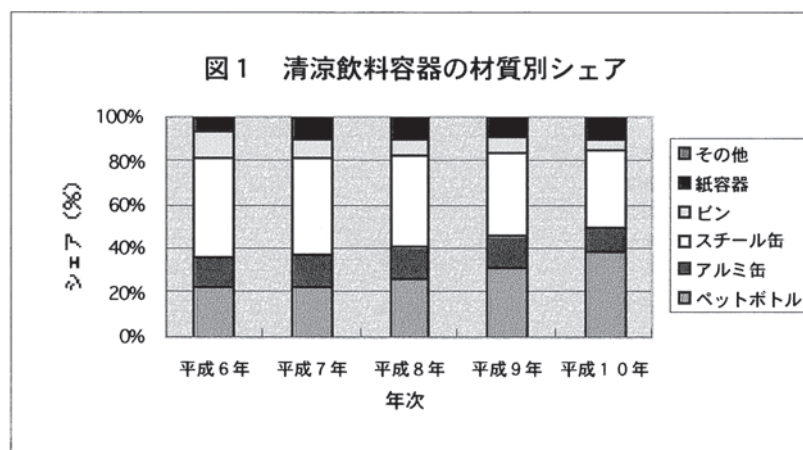
PETは実用面から見ると、次のような歴史を歩んできた。

1940年イギリスで発明されたPET樹脂は、樹脂繊維の製造販売が1953年（デュポン社）と1955年（ICI社）に開始されることにより、市場に現れた。日本では、東洋レーヨン（現在の東レ）と帝国人造絹糸（現在のテイジン）がICI社からその製造技術を導入したのが始まりである。その後PET樹脂はX線写真フィルムや磁気テープに応用されるようになった。

一方、1970年代前半頃にはプラスチックボトルは塩化ビニール製が主流であった。世界初のPETボトルが登場したのは1974年、アメリカでペプシコーラが使用を開始した時である。日本初のPETボトルが登場したのは1977年、キッコーマンが醤油用パッケージとして採用した時であった。その後、日本では、食用油と調味料の容器として導入され、更に、清涼飲料や酒類の容器としても使用されるようになった [2]。

ペットボトルが主流となった理由は、軽くて丈夫な上、耐熱性・透明性・ガス遮断性に優れており、今までは重くて割れやすいビンを使っていたのに代わる素材として注目されたためである。因みに、500mL容器の重量を比較すると、PETボトルが40gであるのに対し、ガラスビンは約200g（ワンウェイ=195g、リターナブル=198g）、アルミ缶が19g、スチール缶が47g、紙容器が21gである [3]。

図1は、日本における清涼飲料容器の材質別シェアのグラフである。一見して明かなように、PETボトルは年々そのシェアを拡大しており、他の容器は徐々に減少の傾向にある [4]。

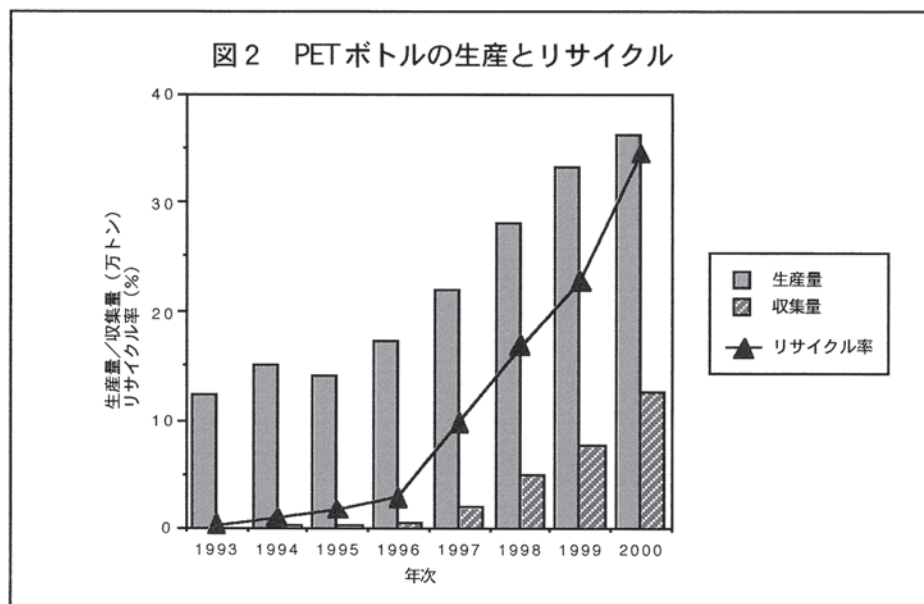


3. PETのリサイクルについて (1)

このようにシェアを拡大するという事は、言い換えれば消費量が増加することであり、結局、使ったあとのゴミ処理の問題に行き着く。先に挙げた構造式から明かなように、PETはC, H, O だけから成る物質なので、もし、PET だけで燃やせるならば、全てCO₂とH₂Oになるので、特に問題はな

い。しかしながら、PET ボトルは他のゴミと一緒にすることが多く、ゴミの中に塩素化合物（主に食塩からくる）が含まれたまま、高温高压下で燃焼すると OH ラジカルを生じ、ひいてはダイオキシンの発生につながる可能性が大きい。だからといって1回ごとのゴミ燃焼量を減らすと、恐らくコスト割れの問題が起きる——PET ボトルのリサイクルの必要性が提起され、検討されている理由の背景には、間違いなくこの問題の存在がある。

図2は、PET ボトルの生産量、回収量、リサイクル率を示したグラフである [5]。



1997年あたりからリサイクル率が増加し始めたのが認められる。これは、1997年4月から、「容器包装リサイクル法」が実施され、それ以降リサイクルに対する意識が上昇しているためと考えられる。なお、実際のリサイクル工程は、まず収集した後、不純物の分別、分離を繰り返す、最終的に再生ペットフレック、ペットパレット（再生樹脂）にリサイクルされ、ここで初めて再利用の準備が整うことになる [6]。

次に、再生樹脂の用途を見ると、繊維が55.9%、シートが34.1%と、ほとんどが繊維製品である。残りは成型品が9.5%、ボトルが0.5%あるものの、ここでボトルというのは、シャンプーなどの、食品用でないボトルのことであり、食品用のボトルとして再生されるものは皆無である。しかも、繊維やシートになってしまうとそこから更にリサイクルされることなくそのまま燃やすか埋め立てられてしまうため、合計90%もある割には実はあまり有効なリサイクルではないことが分かる [7]。

何故、食品用のPET ボトルは再生品として含まれていないのであろうか？実は日本では、PET ボトルは一般廃棄物扱いとなっており、リサイクルしたPET 樹脂を使った再生PET ボトルは食品衛生上問題となるため、食品用PET ボトルとしてリサイクルされる道がないからである [8, 9]。

これに対し、アメリカでは「ケミカルリサイクル法」が施行されており、これによるリサイクルPET 樹脂が、食品用に使われている。具体的には、メタノリシス法（溶融したPET ボトルとメタノールを混合し200℃前後で加溶媒分解する方法）とグリコリシス法（過剰のエチレングリコールで加溶媒分解する方法）があり、原料（及びその類似物、テレフタル酸エステル誘導体）の99%が回収可能とされている [10]。こうして得た「回収原料」を用いた再生PET ボトルは、食品用としての使用をFDA（アメリカ食品医薬品局）から許可されている。「回収原料」は混合物とはいえ低分子であり、蒸留のような簡単な精製法により異物を除くことができる上、最初に述べたエステル交換反応を用いることで最初と全く同じ性質を持つPET が合成できる点、精製法が制限される再生樹脂（高分

子) より、衛生面も含めて安心だと判断されたせいもあるか。ともあれ、回収原料を用いた PET ボトルは、現在、ヘキスト社で25%、コカ・コーラ社で80%を占めるまでになった [10]。

4. PET のリサイクルについて (2)

ここで、日本でペットボトルを、再生樹脂を経由する方法を用いて100%リサイクルした場合、エネルギーの点から見て効率が良いのかどうかを考察してみる。

まず、PET ボトルのリサイクルにより、新(さら)の原料(業界用語で「バージン原料」という)を用いた PET 樹脂製造に比べて、どの程度エネルギーを節約できるかを検討する。ここでは、(株)よのペットボトルリサイクルで行われているリサイクルのデータをもとに試算してみた [9]。

1時間のリサイクルに必要な電気量は750kWhであり、これは645,000kcalに相当する。また、1時間に処理される PET ボトルは1.5万tであり、1.5L PET ボトル(1本60g)の本数に換算して25,000本となる。この2つの値より、1.5L PET ボトル1本当りのリサイクルエネルギーは、

$$645,000 \text{ (kcal)} \div 25,000 = 25.8 \text{ (kcal)}$$

と計算できた。

同じ1.5L PET ボトルをバージン原料から製造すると、(社)プラスチック処理促進協会のデータより、1本当り326kcalを要することが分る [2]。従って、リサイクルした時に節約できるエネルギーは、この2つの値の差をとることにより、

$$326 \text{ (kcal)} - 25.8 \text{ (kcal)} = 300.2 \text{ (kcal)}$$

と求められた。

次に、PET 製、スチール製、アルミ製、ガラス製容器を各々製造するのに要するエネルギーを比較してみた。表1に挙げた数値は、(社)プラスチック処理促進協会のデータ [2]に基づき、以下の改変を施し整理したものである：

- エネルギー値はすべて内容物1.5L当りに換算した。
- リサイクルによる製造・加工に要するエネルギーについては：
 - ・PET ボトルは、製造・加工の値から、節約されたエネルギー値(先に求めたもの)を引いた値を、
 - ・スチール缶は1/3のエネルギーでリサイクルできるので、製造・加工の値を3で割った値を、
 - ・アルミ缶は1/33のエネルギーでリサイクルできるので、製造・加工の値を33で割った値を、
 - ・ガラスビン(ビン)は洗浄だけで24回使い回すことができる(ドイツで既に行われている)のでその間のリサイクルエネルギーとしては、一升(1.8L)ビンの洗浄に必要な熱量(111.5kcal [11,12])の5/6倍の値を、それぞれ掲げた。

表1 飲料容器の製造・加工段階での消費エネルギー、リサイクルエネルギー(内容物1.5L当り)

	PET ボトル	スチール缶	アルミ缶	ガラスビン
製造・加工	754.95	1315.65	3600.00	4715.70
リサイクル	454.75	438.55	109.09	92.92

【単位： kcal】

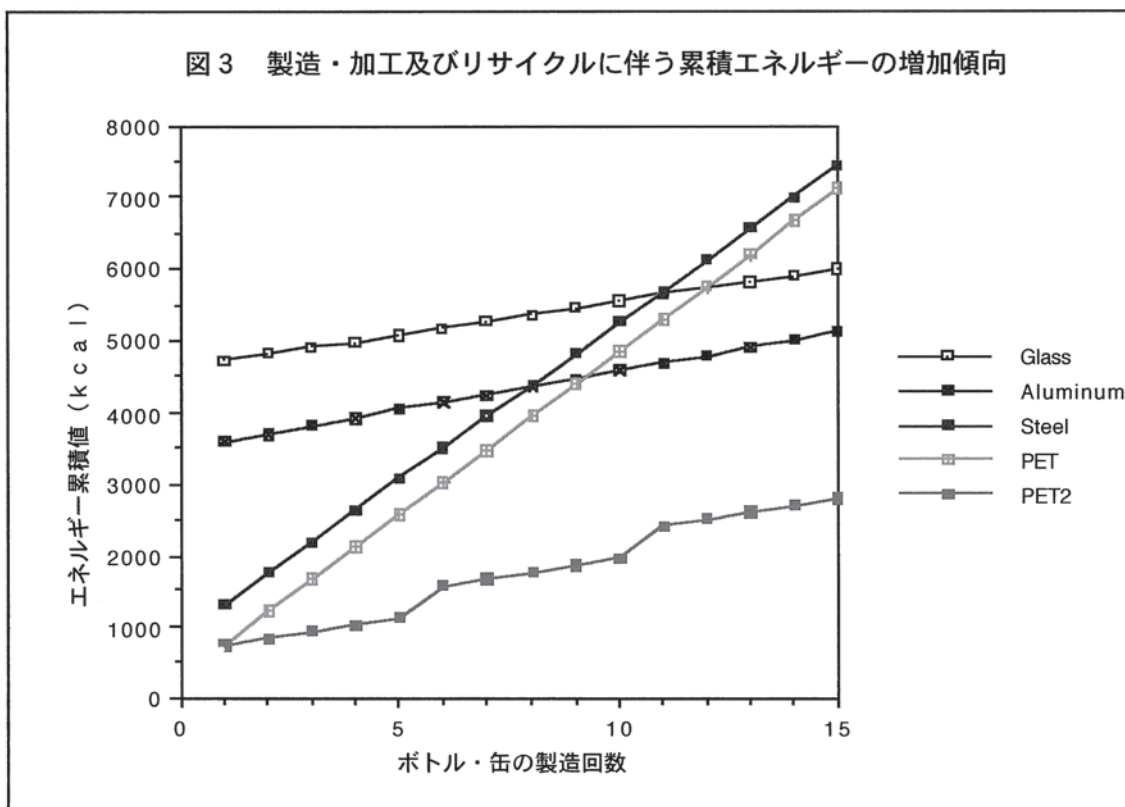
これを見ると、アルミ缶やガラスビンは、当初の製造・加工こそ PET ボトルに比べて大きなエネルギーを要するが、その後のリサイクル(ガラスの場合は洗浄による「使い回し)では逆に小さなエネルギーで済むことが分かる。従って、エネルギーに関する議論を正しく行うためには、1回、2回・・・とリサイクルを繰り返した時、容器についての製造エネルギーの累積値が、製造回数が増える

につれてどのように増加するか傾向を見る必要がある。

図3は、表1の数値を用いて、各容器ごとに、

$$(\text{累積エネルギー}) = (\text{製造・加工エネルギー}) + (\text{リサイクル製造エネルギー}) \times (\text{回数} - 1)$$

を計算し、グラフに直したものである。



これを見ると、PET ボトルは約8回のリサイクルの時点で累積エネルギー値がアルミ缶 (Aluminum) に追いついてしまうことがわかる。PET ボトル (PET) は、バージン原料からの製造・加工のエネルギー値こそ低いものの、リサイクルに要するエネルギーが他の3種の容器に比べて高いため、リサイクルを繰り返すにつれてついには累積エネルギー値でガラスビン (Glass) もスチール缶 (Steel) も超えてしまう。従って、PET ボトルの単純なリサイクルは、エネルギー面から見て効率が良いとはいえないことが明らかとなった。

PET ボトルをいわゆる「リターナブルボトル」として使っていくことを仮定し、例として5回洗浄して使い回しをし、6回目にはバージン原料から製造・加工すると仮定した場合の累積エネルギーのグラフは一番下の折れ線 (PET2) のようになる [洗浄に必要なエネルギー値は、参考文献がなかったので、とりあえず、ガラスビン洗浄の数値 (表1) をそのまま用いた]。以上の検討から、ペットボトルを使い回しすることによって、1回で使い切ったり何度も単純にリサイクルするよりも、消費エネルギーをトータルで低くできることが明らかとなった。

5. 結論

現在の法律では衛生面から許可されていないが、これからのPET ボトルは、食品用として再生PETが利用できるようにする必要がある。これは、安全面の配慮がされれば可能であろう。その上で、現在日本ではプラスチックボトルとして他のごみに混ざっているPET ボトルが、リサイクル資源とし

て認識され、徹底した分別回収が行われる必要がある。以上のことを徹底するには、やはり国として動かないと無理があり、いろいろ書きましたが、小泉総理に相談する必要があるでしょう・・・

更に、何回でも使い回しができるように作り、PET ボトルの製造に要するエネルギーの累積値を低く抑えることが必要と考えられる。

6. 質疑応答再録

Q (末信一朗先生) : 総説をまとめた、指示されたという感じがなく、良くできてると感心しました。ところで、理科大の先生だったと思いますが、PET の輸送コストを考えると燃焼の方がましと言っておられます。原価計算は難しいのですが、これを論破できますか？

A (黒川陽一郎君) : 一般の人が近くに焼却場を作って欲しくない環境があるので、焼却場は各県とも1~2カ所しかなく、そこへ運びこむための輸送コストを考えるとリサイクルの方が良いかと・・・

なお、高橋が最近調べた所、ポリエステル繊維やPET に性質が類似するとされるポリ乳酸繊維の燃焼熱は1g 当たり約5kcalであった [13]。従って、これらを1.5L PET ボトル分 (60g) 燃焼すると、約300kcal の熱量が発生することになり、この値は、本稿の検討で述べたPET のリサイクルによるエネルギーの節約分に等しい。となると、PET の焼却処理は、現時点では新規施設の建設が難しいため、リサイクルに比べて高くつくことになると考えられる (黒川君の回答で正しいと思う)。

謝辞

本稿をまとめるに当たり貴重な意見を頂戴しました、池田功夫先生に感謝します。

参考文献

- 1) 「有機化学—その基礎の理解—」 W.W.Linstromberg, H.E.Baumgarten 著, 野副重男訳, 東京化学同人, 平成3年9月, 306頁
- 2) 「素材の流れ—PET 第2回」 http://www.ner.co.jp/green-web/pay_back/980625/pay_gb/2b.htm
- 3) 「LCA 手法による容器間比較」安田 (東京大学) 他, 平成12年5月
- 4) 「清涼飲料統計資料」(社) 全国清涼飲料工業会
- 5) 「わかりやすい容器リサイクル ペットボトル」
http://www.takara.co.jp/environment/recycle/a4_4-4.htm
- 6) 「PET ボトル再生工程図」 <http://www.biwa.ne.jp/~rde/Image4.gif>
- 7) 「PET ボトル再生樹脂の用途」(財) 日本容器包装リサイクル協会, 平成12年3月
- 8) 「再生PET の用途」[リサイクルの問題点] <http://www1.doshisha.ac.jp/~gunjima/pet/recycling.html>
- 9) 「よのペットボトルリサイクル株式会社使用済みPET ボトル再生処理加工工場見学会報告」
<http://www.ostec.or.jp/tec/emv/news/no30.htm>
- 10) 「ペットボトルのケミカルリサイクル」 <http://www.kcn.ne.jp/~azuma/QA/chemicals/C015.htm>
- 11) 「清酒製造工程における省エネルギーについて」 <http://www/jasmec.go.jp/db/hp6/98/honbun/9827.htm>
- 12) 「一升瓶の現状」 <http://www.media-net.ne.jp/yoshi/issyoubinn.htm>
- 13) 「新技術情報提供サービス」より, 「完全循環型生分解性繊維 (ポリ乳酸繊維)」
<http://www.s-iri.pref.shizuoka.jp/tech/texti/te101219.htm>