

光照射と加熱による着脱色を利用した リサイクルしやすい着色ガラスの創製と ガラスびんリサイクルへの効果

産業技術総合研究所 生活環境系
姫路工業大学大学院 工学研究科 物質系工学専攻*

角野 広平・矢澤 哲夫*

Easily recyclable glasses colored by photo-irradiation and an estimation of the effect on glass-bottle recycle of this technology

Kohei Kadono, Tetsuo Yazawa*

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

*Himeji Institute of Technology

1. はじめに

循環型社会を確立するために素材、製品のリサイクル・リユースが求められ、そのための技術開発が急務の課題となっている。ガラスは、リサイクル・リユースに適した素材であるが、リサイクル率をより向上させるためには、解決すべき課題も少なくない。そのひとつとして、ガラスびんでは、一頃のワインブームの際に象徴的に示されたように、着色ガラスの問題がある。すなわち、同じ色にしか再生されない、無色や他の色のガラスと混ぜることができないなどの理由で、着色ガラスがガラスびんのリサイクルにとって障害になっていると考えられる。そこで、我々は、リサイクルしやすく、またリサイクルの障害とならない着色ガラスを次節に述べるような発想により開発しようと試みてい

る。

この技術の詳細な内容や課題などについては既に本誌他¹⁾で報告してきた。ここでは、この技術の概要について簡単にふれた後、この技術を導入した際の、リサイクルに及ぼす効果を予測し、これをもとに環境への影響評価を試みる。

2. リサイクルしやすい着色ガラス技術の概要^{2,3)}

ガラスは、紫外線やX線、 γ 線など高エネルギー電磁波（光）を照射することによって着色することは良く知られている。このような着色は、可逆的で、多くの場合加熱などによって（少なくとも再溶融によって）、脱色する。従って、この光照射による着色と加熱による脱色を利用すれば、着色ガラスでも無色ガラスとして、リサイクルが可能になると考えられる。光照射による無色ガラスの着色機構として、①可視域に吸収を持つような欠陥（カラーセンタ）

〒563-8577 池田市緑ヶ丘 1-8-31
TEL 072-751-9642
FAX 072-751-9627
E-mail: kadono-k@aist.go.jp

の生成、②ガラスにあらかじめ微量の無色イオンを含有させ、光照射によって、イオンの価数を変化させたり、ナノ微粒子を生成させることによってガラスを着色させる方法、また、吸収による着色ではないが、レーザー照射により③ガラスへの屈折率変調構造やマイクロクラックの導入による着色がある。表1にこれまでにガラス製品への応用が可能な程度に、濃く安定に着色が達成できた色についてまとめた。また、このようなガラス素材を使ってガラスびんを作製し着脱色した例を図1に示す。

現在のところいろいろな色を実現するためには、微量とはいえ、異なる不純物を添加する必要がある。しかし、理想的には、単一のガラス組成でいろいろな着色が可能であることが望ましい。このような技術に発展する可能性のある

表1 これまでに得られている着色の色と着色メカニズム

色調	色調	色調
コラーセンタ	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	茶色、黄褐色
イオンの価数変化	$\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{3+} + e$	黄褐色
微粒子の生成	$n\text{Ag}^+ + m\text{e}^- \rightarrow n\text{Ag}_m$	黒
屈折率変調構造		わずかな紅色
マイクロクラック		白色



図1 $\text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{3+}$ の変化を利用したガラスびんの着脱色

研究成果として、赤井らは、イオン交換と熱処理によりガラス表面層に銀微粒子を析出させ黄色に着色させたガラスにフェムト秒レーザーを照射することによって、着色が黄色から赤、青に変化し、3原色を同じ組成のガラスで発色させることを報告している。

一方、表1の着色技術でも、加熱、もしくは再熔融によって無色ガラスに戻るわけであるから、この技術による着色ガラスが無色ガラスや他の色のガラスに混入していたとしてもそれを取り除く必要はなく、従ってリサイクルへの障害は緩和されると期待できる。

3. ガラスびんのリサイクル³⁾

3.1 色別に見たガラスびんのリサイクル

この技術を着色ガラスびんに導入した場合の環境やリサイクルに対する効果を予測するために、色別に見たガラスびんリサイクルの現状を把握しておく必要がある。ガラスびん全体のマテリアルフローは、ガラスびんリサイクル促進協議会により公表されている⁴⁾。一方、色別のマテリアルフローについてはこのような詳細データがなかったため、いくつかのデータソースを組み合わせ推定された。結果を表2に示す。表から分かるように、回収されたガラスびんの内、リサイクルされずに廃棄されるびんが、無色、茶、その他色それぞれ、30%、24%、22%となり、無色びんが最も多くなっている。これは、無色カレットの引き取り基準が厳しく、金属や陶磁器などの混入の他に、着色びんの混入により廃棄されるためと考えている。また、無色、茶色カレットは、いずれも90%以上がびん to びんのリサイクルであるのに対して、その他色カレットでは約2/3が他用途に使われている点も注目すべきである。

3.2 ガラスびんリサイクルにおけるエネルギー消費

LCAの手法により、色別に見たガラスびんの製造からリサイクルまでのエネルギー消費量が評

表2 ガラスびんの色別マテリアルフロー推定結果（千トン）
（平成12年）

	無色	茶	その他色	合計
国内生産量	890	767	163	1820
生産				
ヴァージン原料	(484)	(100)	(85)	(669)
再生カレット (a%)	(405)	(660)	(76)	(940)
工業カレット	(231)	(282)	(43)	(556)
国内消費量	858	752	360	1970
消費				
ワンウェイびん	(813)	(576)	(341)	(1730)
リターナブルびん	(45)	(216)	(119)	(380)
排出量	839	699	352	1890
廃棄				
ワンウェイびん	(813)	(576)	(341)	(1730)
リターナブルびん	(26)	(123)	(11)	(160)
回収				
未回収量 (b%)	288 (34%)	241 (34%)	121 (34%)	650 (34%)
収量量	550	459	231	1240
一次廃棄量 (c%)	339 (21%)	83 (18%)	37 (16%)	459 (21%)
カレット量	411	376	194	981
再生				
二次廃棄量 (d%)	29 (5%)	27 (6%)	14 (6%)	70 (6%)
カレット再生量	381	349	180	910
処理				
びん以外 (e%)	(376)	(321)	(64)	(760)
びん以外	(3)	(28)	(117)	(150)

(a%) 国内生産量に対する割合
(b%) 排出量に対する割合
(c%) 収量量に対する割合
(d%) 収量量に対する割合
(e%) カレット再生量に対する割合

表3 ガラスびん1本（100 g）にかかるエネルギー消費量（MJ）

プロセス	A	B	C	D	E	F	G	H	合計
無色	0.063	0.006	0.804	0.116	0.032	0.033	0.008	0.13	1.074
割合(%)	5.8	0.5	74.8	10.8	3.0	3.1	0.7	12.2	
茶	0.046	0.007	0.777	0.116	0.032	0.051	0.009	0.014	1.053
割合(%)	4.3	0.7	73.3	11.3	3.1	4.9	0.9	1.3	
その他色	0.062	0.006	0.802	0.116	0.032	0.029	0.009	0.014	1.071
割合(%)	5.8	0.6	74.9	10.9	3.0	2.7	0.9	1.3	

価された。製造からリサイクルまでを、A. 原材料製造段階、B. カレット輸送段階、C. ガラスびん製造段階、D. 流通・使用段階、E. 未回収・直接埋立段階、F. 市町村回収段階、G. 事業系回収段階、H. 再生処理段階の8段階に分け、それぞれについて、容器間比較研究会で設定されているエネルギー消費原単位⁵⁾などを利用して計算された。また、市町村、事業系回収段階（F, G）では、回収方法、即ち、色別に回収するか、びん、缶、ペットボトルを混合して回収するかなどによって選別にかかるエネルギー消費が異なるため、近畿3府県（大阪、京都、兵庫）での各自治体の回収方法を調査し、その割合を用いてエネルギー消費が算出された。結果を表3に示す。

4. ガラスびんリサイクルへの効果³⁾

この技術を導入した場合の環境への影響評価として、技術導入後の製造からリサイクルまでの色別のエネルギー消費量を試算した。リサイクルに対する効果は、最も控えめに見積もって、無色びんや茶びんの一次廃棄量がその他色びんのそれと同じになると考えた（一次廃棄量約6万トン減）。また、製造段階においては、無色びん、その他色びんの再生カレットの使用割合が、茶びんのそれと等しくなると考えた。結果を表4に示す。表より、技術導入後では、無色、その他色びんの製造、リサイクルにおいて、エネルギー消費が減少している。無色びんでは、カレットの使用率が上がることによる省エネルギーの割合が大きいことがわかる。

表4 着脱色技術導入前後でのエネルギー消費量
(MJ/100 gびん)

	導入前			導入後		
	無色	茶色	その他色	無色	茶色	その他色
A. 原材料製造	0.062	0.046	0.062	0.046	0.046	0.046
B. 再生カレット輸送	0.006	0.008	0.006	0.008	0.008	0.008
C. びん製造	0.804	0.777	0.802	0.777	0.807	0.807
D. 流通・使用	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116
E. 廃棄・埋立	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
F. 市町村収集	0.033	0.031	0.029	0.031	0.030	0.029
G. 事業系収集	0.008	0.009	0.009	0.007	0.008	0.009
H. 再生処理	0.013	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014
合計	1.074	1.033	1.071	1.032	1.062	1.062

光照射による着色にかかるとエネルギーは、0.05 MJ (=3.4W x 10 s)とした。

5. おわりに

多くのリサイクル技術は、既存の製品や素材の分離、選別技術であったり、廃棄物の再利用技術であるのに対し、本稿で紹介した技術は、新たなリサイクルしやすい素材の開発である。従って、ここで紹介したLCA的な解析による環境への影響評価はもちろんのこと、他に、既存の製造プロセスやリサイクルシステムへの親和性、製品の品質なども重要な検討課題となる。さらに、本稿では述べなかったが、コストの問題もある。本技術は、製造プロセスでは光照射によりコストアップになる。しかし、試算によれば、廃棄量の減量、選別作業の軽減などにより、製造からリサイクルまでを考慮すると全体としてコストダウンになる。容器間の競争の中では、実用化のためには、リサイクルプロセスと製造プロセスにおけるコストのバランス

が取れるような社会システムも技術の展開に則して検討する必要がある。

本技術開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託により実施した。

参考文献

- 1) 角野広平, 矢澤哲夫, New Glass, 17 (2), 39 (2002), 矢澤哲夫, 角野広平, 山手貴志, セラミックス, 37 (12), 952 (2002).
- 2) 平成13年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究「建築廃材・ガラス等リサイクル技術開発 簡易型ガラス着脱色技術開発 光照射によるびんガラスおよび板ガラスの着脱色技術開発」成果報告書 (平成14年3月).
- 3) 同 平成14年度成果報告書 (平成15年3月).
- 4) ガラスびんリサイクル促進協議会
<http://www.glass-recycle-as.gr.jp/>
- 5) 容器間比較研究会「LCA手法による容器間比較報告書〈改訂版〉」(2001. 8).