

ペットボトルリサイクル製品における環状オリゴマーの濃度評価

「この繊維製品は本当にペットボトルからリサイクルされたものだろうか？」との疑問に答えるため、ポリエステル繊維に含まれている環状オリゴマーの濃度に注目しました。

リサイクル品の真偽

いわゆるグリーン購入法の施行により、リサイクル製品市場が急速に拡大しています。ポリエステル繊維製品についても「ペットボトルリサイクル」という言葉が定着しているように、多くのグリーン製品が店頭に並んでいます。しかし、消費者の立場からリサイクル製品の真偽を判断するには、エコマーク等の表示に頼るしかない状況です。そのため分析によって客観的に判定できる方法が強く望まれています。本研究では、ペットボトルを加熱・溶融してリサイクルする方法、いわゆるマテリアルリサイクルで繊維化した製品を対象とし、ポリエステルに含まれる環状オリゴマーの濃度を尺度とするリサイクル判定方法を提案し、その適用性について検討しました。

ポリエステルの環状オリゴマー

ペットボトルとポリエステル繊維は、ポリエチレンテレフタレート（PET）という同一の高分子化合物です。環状オリゴマーはPETの副生成物で、どちらにも含まれていますが、製造方法によって濃度に違いがでます（図1）。ペットボトルの場合は、一般の繊維・フィルム用原料と異なり、液相重合に続いて固相重合をするため、このときに環状オリゴマー濃度が大幅に低下します。環状オリゴマーは、構成するユニット数によって、分子量の異なるものが複数存在しますが、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）によればそれぞれを分析できます¹⁾。当センターでは環状3量体から環状8量体の濃度をそれぞれ測定しています（図2）。

原料における濃度の違い

ペットボトルから再生したフレーク原料と、一般的な繊維・フィルム用原料の環状オリゴマー濃度の測定結果を比較すると、再生フレークの方が著しく低いことがわかります（表1）。

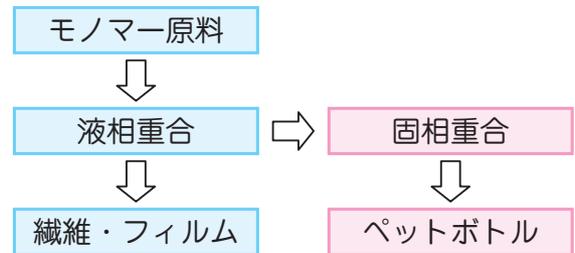


図1 ポリエステル製品の製造方法の違い

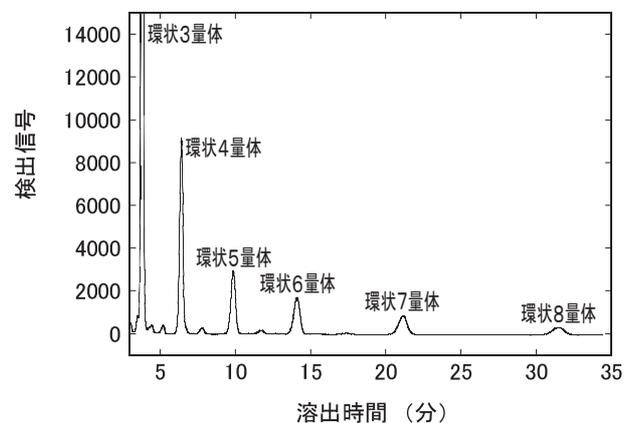


図2 HPLCによる環状オリゴマー分析

表1 環状オリゴマー濃度比較 (単位: wt%)

	再生フレーク平均	繊維・フィルム用
環状3量体	0.509	1.065
環状4量体	0.144	0.327
環状5量体	0.060	0.143
環状6量体	0.042	0.115
環状7量体	0.030	0.084
環状8量体	0.020	0.053

したがって、両者の測定結果と繊維製品の環状オリゴマー濃度を比較すれば、その製品のリサイクル判定ができるはずですが、しかし、原料の時点で差がはっきりしていても、製品化されるまでに環状オリゴマー濃度が変化してしまうと、判定のための手がかりを失うことになりか

ねません。そのため原料から製品に至る全工程の中から、環状オリゴマー濃度が変化すると考えられているプロセスを選び出し、その影響について調べました。

溶融紡糸プロセス

ポリエステル繊維は原料を300℃近くの溶融状態から糸を引くことで製造されます。しかし、この溶融状態が非常に長時間持続すると、固相重合で低下した環状オリゴマー濃度が再び増加します。そこでマテリアルリサイクルを想定し、2軸押出装置で再生フレーク原料を加熱・溶融してから冷却・造粒する操作を繰り返す、原料中の濃度の変化について調べました(図3)。溶融操作を4回繰り返しましたが、濃度はわずかに増加するだけで、繊維用原料よりも大幅に低いレベルを維持しています。この結果から、一般的なマテリアルリサイクルにおける環状オリゴマーの濃度変化は、リサイクル判定に影響を及ぼすものではないといえます。

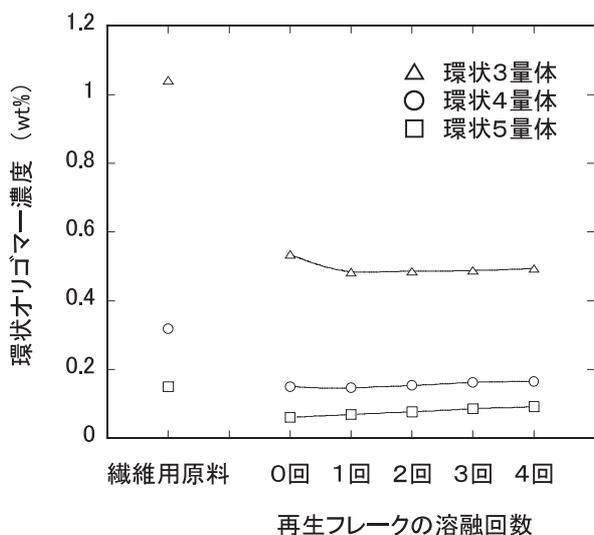


図3 繰り返し溶融に伴う濃度変化

高温染色プロセス

ポリエステル繊維の高温染色は、一般に耐圧密閉容器の中で120~130℃の熱水に漬けて行われます。このとき環状オリゴマーは熱水に拡散し、結果として繊維中の濃度が低くなります。つまり、一般のポリエステル繊維を高温染色すると環状オリゴマー濃度が下がるため、ペットボトルからリサイクルした繊維との区別ができなくなる懸念があるわけです。そこで一般のポ

リエステル繊維を130℃の熱水に浸漬し、環状3量体から環状5量体の濃度変化をそれぞれ調べました(図4)。熱水中に拡散して繊維中の濃度が減少するのは分子量の低い環状3量体のみで、環状4量体以上はほとんど変化していません。これにより環状4量体以上の濃度に注目すればリサイクル判定ができると考えられます。

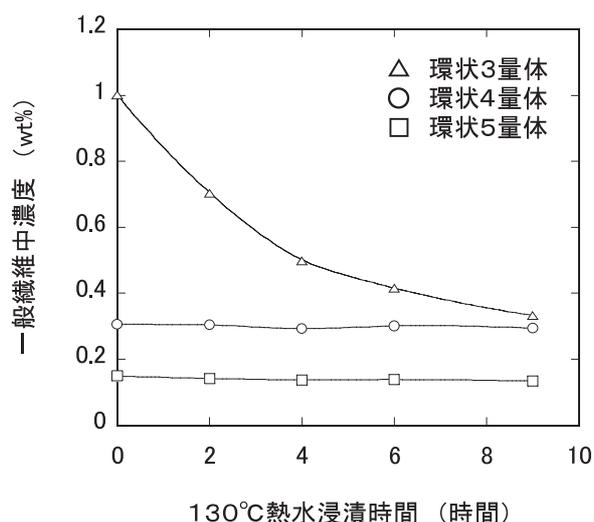


図4 高温染色に伴う溶出の影響

まとめ

リサイクル繊維製品の中にはペットボトルをポリエステルのモノマー原料まで分解する方法でリサイクルしたものもあるため、環状オリゴマーの濃度分析によるリサイクル判定が全ての繊維製品に適用できるわけではありません。しかし、マテリアルリサイクルで繊維化する方法は合理的で大規模な設備を必要としないため、今後もリサイクルの中核を担う方法であり続けると考えられます。そのため、環状オリゴマー分析が多くの繊維製品を対象とするリサイクル判定に役立つと期待されます。

参考文献

1) 日本分析化学会「高分子分析ハンドブック」、p.744

総合支援課 総合支援係 <多摩テクノプラザ>

山本清志 TEL 042-500-2300(代)

E-mail : yamamoto.kiyoshi@iri-tokyo.jp