

## 第2部 使い捨ておむつをとりまく問題とその対策 — 処理する立場から

# リサイクルの効果を考える：ライフサイクルの視点から

まつもと とおる  
北九州市立大学 環境技術研究所 松本 亨

### 紙おむつのリサイクル

紙おむつは、複合素材であり分離・選別が難しいということや、汚物の付着による衛生的な問題から、自治体の清掃工場における廃棄物焼却発電を除くと、再資源化はあまり進んでいません。再資源化としては、エネルギー回収とマテリアルリサイクルの事例があります。エネルギー回収は、固形燃料化(RPF)によりボイラーの燃料として利用することが主流です。

紙おむつは、主にパルプ、プラスチック、高吸水性樹脂(SAP)で構成されており、吸水性や強度に優れていると

いう特徴から針葉樹から抽出された良質なパルプが使用されています。マテリアルリサイクルとしては、使用済み紙おむつからパルプを取り出し、建築資材等へ再利用することが実現しています。水溶化処理という方法で紙おむつを素材ごとに分離する技術が開発され、2005年より福岡県の大牟田エコタウン内で稼働しています。紙おむつを素材別に分離することでマテリアルリサイクルが可能となるため、焼却・埋立量を減少させることができ、同時に、天然資源消費量の削減にも貢献すると考えられます。

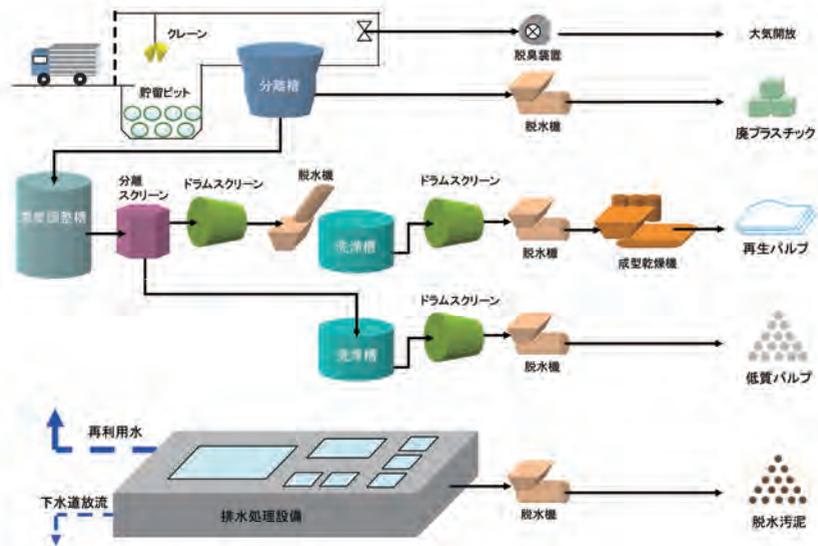


図1 水溶化システムの工程

### リサイクルシステムの概要

水溶化処理システムの工程を図1に示します。病院・福祉施設から搬出された使用済み紙おむつは、収集・運搬業者によってリサイクル工場へ搬入されます。工場ではエネルギー、水、薬剤が投入され、パルプおよび低質パルプ、プラスチック、汚泥に分離されます。分離工程において大量の水を使用しますが、その約80%は循環利用されています。ここで回収された再生パルプは、防火板として使用される石膏ボードの原料(補強繊維)として再利用されています。低質パルプおよび脱水汚泥は、土壌改良剤として利用され、プラスチック類はRPF燃料となりエネルギーとして回収されています。

ここで紹介するリサイクル工場は20t/日の処理能力で、1日10万枚の使用済み紙おむつのリサイクル処理を行い、紙おむつ約8万枚に相当するパルプが回収されています。病院および福祉施設から排出される事業系の使用済み紙おむつとともに、2011年10月からは福岡県大牟田町の家庭から排出される使用済み紙おむつの回収・リサイクルを開始しています。2008年に大牟田町を対象として実施された可燃ごみ組成調査によると、焼却ごみの11%(重量比)を紙おむつが占めており、賦存量<sup>†</sup>は町内で年間100tを超えると推定されています。2016年度の回収量が98.4tですから、賦存量のうちかなりの部分を回収できているようです。

### ライフサイクルアセスメント(LCA)とは

リサイクルにより、焼却時等のCO<sub>2</sub>排出が削減されます。プラスチックとパルプを回収・再資源化することで、新規製品の製造時CO<sub>2</sub>も削減されるでしょう。一方で、ここで取り上げている水溶化処理では、リサイクルしない場合と比較して、水消費量が增大します。このようにリサイクルには環境負荷を減少させる効果と増加させる効果がありますが、これらを総合的かつ定量的に評価できるのがライフサイクルアセスメント(LCA)です。LCAとは、製品・サービスのライフサイクル全体(資源採取-原料生産-製品生産-流通・消費-廃棄・リサイクル)を対象に、環境負荷・影響を評価する手法です(図2)。廃棄物処理やリサイクルはサービスですが、焼却やリサイクルの一工程だけでなく、再資源化によってバージン資源から生産する工程を削減できる効果なども包括的に評価が可能です。

ここでは、使用済み紙おむつの水溶化処理システムを用いたリサイクルと、焼却処理を対象にLCAを用いて比較評価した結果を紹介します<sup>1)</sup>。LCAは本来さまざまな環境負荷・影響について評価する手法ですが、現在地球温暖

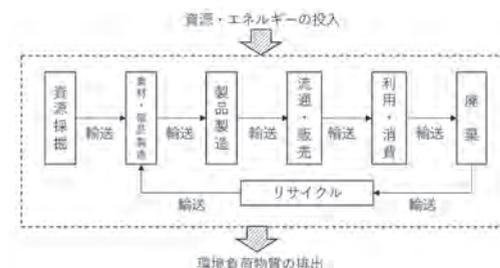


図2 LCAの概要

©2023 松本 亨 この記事はクリエイティブ・コモンズ [表示 - 非営利 4.0 国際] ライセンスの下に提供されています。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.ja>

<sup>†</sup> 賦存量：理論的に算出された使用済み紙おむつ排出量

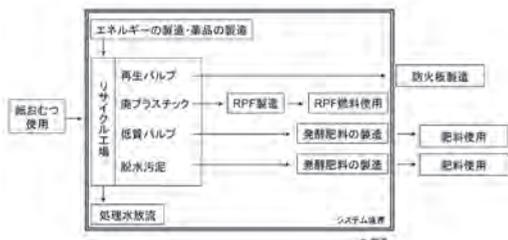


図3 リサイクルケースの評価範囲



図4 焼却ケースの評価範囲

化に大きな関心が集まっていますので、ライフサイクルにおける温室効果ガス排出量を評価指標として選定しました。

## LCAで評価すると

### 比較システム

図3、4はLCAの評価対象システムを表現したものです。図3がリサイクルケース、図4が焼却ケースです。リサイクルケースの評価範囲は、使用済み紙おむつがリサイクル工場に搬入されて、各種素材に分解、二次利用可能な状態に再生されるまでとしました。つまり、再生パルプが防火板製造工場へ搬入されるまで、廃プラスチックがRPFに加工され燃料として使用されるまで、低質パルプおよび脱水汚泥が発酵肥料へと再商品化されるまでです。

焼却ケースは、一般廃棄物として焼却処理、埋立処分されるケースです。再生パルプの比較対照はやはり防火板製造に用いられるバージンパルプとし、廃プラスチック類はRPFとしてエネルギー回収されることから、比較対照を石炭の燃焼とし、低質パルプおよび脱水汚泥の比較対照は化学肥料(単質肥料)とします。

なお、公平に比較するために設定す

る基準(機能単位)ですが、使用済み紙おむつ1年間分の処理(約4,400t)としました。処理に要する薬剤(塩化カルシウム、メタノール、次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、高分子凝集材)やエネルギー消費量(電力、工業用水、ガス)、廃棄物、排水の実データをもとに評価を行いました。

### 輸送工程の変化

図3、4中の矢印には、ほぼすべて輸送が絡みます。使用済み紙おむつがリサイクル工場、あるいは焼却施設に搬入されるまでは同じ条件であると仮定して、評価対象外としました。一方、リサイクル工場から再商品化工場までの輸送は評価に含めました。

輸送は全て4tの営業用トラック(軽油)とし、平均積載率を62%と仮定しました。再商品化工場までの実際の距離を算出し、同一品目が複数の再商品化工場へ搬送している場合はその平均値を用いました。

### 焼却処理、埋立処分の変化

リサイクルケースでは、工場で使用済み紙おむつが20t処理された場合、乾燥重量で再生パルプが3.18t、廃

プラスチックが1.69t回収されます。

一方、焼却ケースでは、同じ量を焼却処理することを想定します。埋立量は、紙おむつの各構成材料の量と灰分から推計できます。パルプとプラスチックの灰分比は乾ベースで0.0742、0.0557と設定し、このデータを用いて焼却後の埋立量を推計しました。

### エネルギー回収の効果

リサイクルケースのRPFの比較対照は石炭です。その場合、発熱量(kcal/kg)ベースで石炭の必要量を等価換算します。RPFの単位発熱量は5,000~6,000kcal/kgなので、ここでは中間の5,500kcal/kgとしました。この値にRPFの製造量を乗じることで、RPFの総発熱量を算出しました。石炭の発熱量25.7MJ/kgを用いて単位換算を行うことで、焼却ケースの石炭の必要量を推計しました。

### 肥料の効果

リサイクルケースの低質パルプおよび脱水汚泥の比較対照は、単質肥料です。成分が同じではないため単純に重量で比較できません。そのため、窒素含有量をベースに肥料の必要量を設定しました。食品残渣および下水汚泥から作られた発酵肥料と化学肥料の物質構成の窒素分を比較すると、重量あたり窒素含有率で化学肥料のほうが発酵肥料の場合に比べて約5~10倍多く含んでいるようです。そこで、発酵肥料と化学肥料の窒素含有率比を1:5と仮定し、

発酵肥料は化学肥料の5倍の重量で機能が同等としました。

### パルプ回収の効果

リサイクルケースによって取り出される再生パルプの比較対照は、バージンパルプを設定しました。再生パルプと同量のバージンパルプの製造プロセス由来CO<sub>2</sub>を評価しました。原料由来CO<sub>2</sub>については、カーボンニュートラルの原則から評価対象外としました。

### その他の温室効果ガスの考慮

リサイクルケースでは、RPF燃料焼却時にメタン(CH<sub>4</sub>)と亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)が発生し、下水汚泥発酵肥料製造時にCH<sub>4</sub>が発生します。焼却ケースでは、使用済み紙おむつの焼却時にCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oが発生し、埋立処分時にCH<sub>4</sub>が発生します。これらを推計し、GWP(地球温暖化係数)を用いてCO<sub>2</sub>排出量に等価換算しました。

### 評価結果

図5は、リサイクルケースと焼却ケースのLCA結果です。評価指標は、CO<sub>2</sub>排出量と温室効果ガス排出量(CO<sub>2</sub>等価換算)で示しています。いずれも、リサイクルケースのほうが環境負荷が小さい結果となりました。使用済み紙おむつ4,400tを処理した結果、リサイクルケースから2,397t-CO<sub>2</sub>排出されますが、同じ量を焼却した場合3,820t-CO<sub>2</sub>が排出されることになります。つまり、リサイクルすることで年間1,423tのCO<sub>2</sub>削減効果があるといえます。

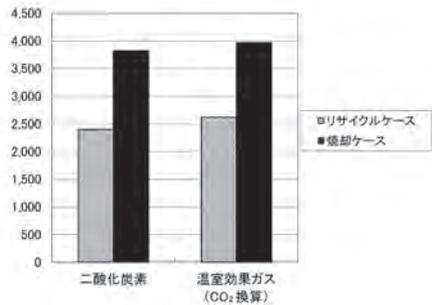


図5 LCAの結果 (年間処理量4,400 t)

この内訳を詳細に見ます(図6)。リサイクルケースにおける水溶化システム+RPF(製造・燃焼)、焼却ケースにおける焼却処理・埋立処分+石炭(採掘・燃焼)を比較してみます。焼却ケースでは、廃プラスチックは焼却されるだけで有効に活用されていません。その一方で、リサイクルケースの廃プラスチックは石炭の代替として活用されます。いずれの廃プラスチックも焼却されてCO<sub>2</sub>として排出されますが、焼却ケースの廃プラスチックは有効活用されず別途石炭を必要としている分、CO<sub>2</sub>排出量が多くなります。

また、焼却ケースにおけるバージンパルプ製造工程からのCO<sub>2</sub>排出も目立ちます。これに相当するのはリサイクルケースのバージンパルプ製造工程ですが、後者はほとんど判別できないくらい小さいことがわかります。

### 紙おむつto紙おむつの動き

現在「紙おむつto紙おむつ」、いわゆるクローズドリサイクルのための技術開発と実証が進められています。実

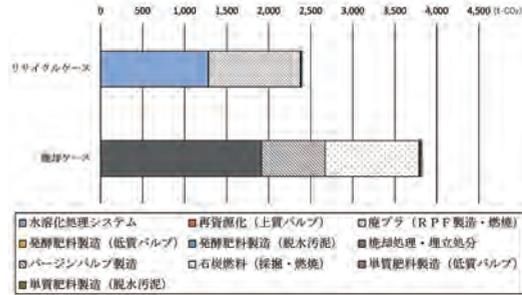


図6 LCAの内訳 (年間処理量4,400 t)

現すれば、紙おむつの生産量増加に伴う森林伐採の抑制や、使用済み紙おむつの増加による廃棄物処理に伴う環境負荷のさらなる低減に貢献できると考えられます。

クローズドリサイクルのLCAについても、既に研究事例があります。例えば、ユニ・チャームでは使用済み紙おむつからSAPとパルプを回収し、再度紙おむつに再利用する研究が進められています<sup>2)</sup>。SAP、パルプいずれも紙おむつの原料としての品質を満たしているとのことですが、再資源化率を80%とし、残り20%はバージン材を投入するとして計算されています。その結果、温室効果ガス排出量は埋立処理との比較で47%削減、焼却処理との比較では39%削減されるという結果が出ています。

筆者らも、紙おむつメーカーへのヒアリングから、再生パルプを紙おむつの原料とする場合、バージンパルプ使用時に通常の工程に必要なロール・シートパルプの粗砕・微粉碎工程が不要と

なるため、使用エネルギーが削減される可能性があることを確認し、仮想的な数値を用いてLCAを実施しました<sup>3)</sup>。使用済み紙おむつのパルプとプラスチックについて、①RPF、建材、②工業用プラスチック(擬木)、建材、③プラスチックとパルプのクローズドリサイクルを想定して評価しました。その結果を図7に紹介します。

### 今後の展望

今後、家庭ごみ中の使用済み紙おむつの量は増大すると予想されていますが、分別・リサイクルを検討する自治体も増える傾向にあります。ここではすべての再資源化技術を取り上げることができませんでしたが、新たな技術

が開発され、実証されつつあります。また、紙おむつの分別回収に情報通信技術(ICT)を活用することで効率化を図ることも行われるようになっていきます。

地域と再資源化技術の特性を考慮し、その地域にとっての最適な技術・システムを検討することも、LCAの今後の課題といえると思います。

また、使用済み紙おむつのリサイクルが及ぼす環境面以外の影響、例えば地域の産業への影響、高齢者やその家族さらにコミュニティへの影響などを総合的に評価することができれば、SDGs(持続可能な開発目標)の視点からの総合評価に発展させることが可能だと思えます。

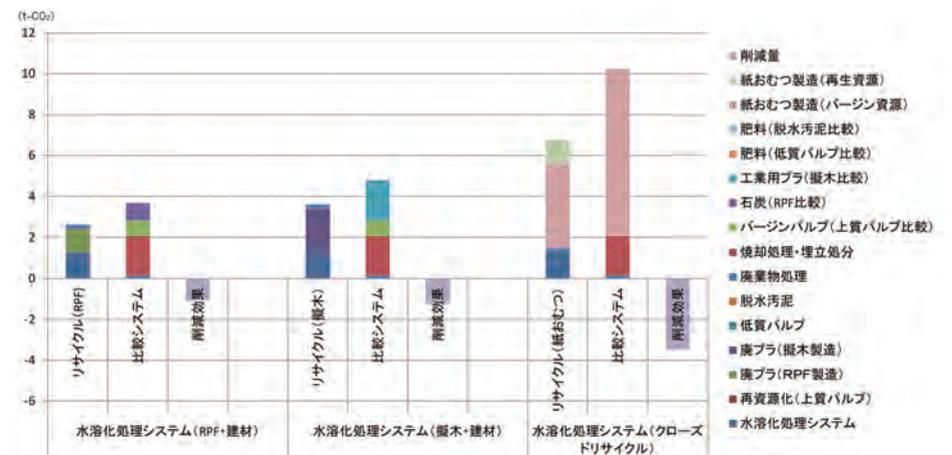


図7 クローズドリサイクルを含むリサイクルのLCA (年間処理量4,400 t)

### 参考文献

- 1) 藤山淳史, 櫻井利彦, 松本 亨, 長 武志: 使用済み紙おむつのマテリアルリサイクルのライフサイクルインベントリ分析, 日本LCA学会誌, 第8巻, 第1号, pp.37-44 (2012)
- 2) 伊坪徳宏, 和田宏光, 今井茂夫, 明賀 聡, 牧野直樹, 正昌宏一: 使用済み紙おむつのクローズドリサイクルの環境影響評価, 環境情報科学論文集 第33巻, pp.241-246 (2019)
- 3) 田口 直, 本田雄暉, 松本 亨, 長 武志: 紙おむつのクローズドリサイクルのLCAと業界内カーボンオフセット方法論の考察, 第12回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, D3-08, pp.344-345 (2017)