

1. 廃プラスチックの現状と将来予測

1.1 世界の廃プラスチックの排出量

Science Communicationによると、今後、世界のプラスチック需要は増加し続け、2050年には、廃プラスチックの累積発生量は現在の約4倍になると予想されている¹⁾。2015年までに人類は既に83億トンのプラスチックを生産し、63億トンの廃プラスチックを排出している。そのうち9%はリサイクルされ、12%は焼却処分されたが、79%は投棄されている。このままプラスチックの増加が続くと2050年までに累積260億トンのプラスチック廃棄物が発生し、そのほぼ半分が投棄又は埋立処分されることになってしまう。プラスチックは簡単に分解しないために今世紀の終わりには地球上に何10億トンもの廃プラスチック廃棄物が存在することになる。しかし、全てのプラスチックがリサイクルされれば累積80億トンの発生量に抑制できる(図1)¹⁾。

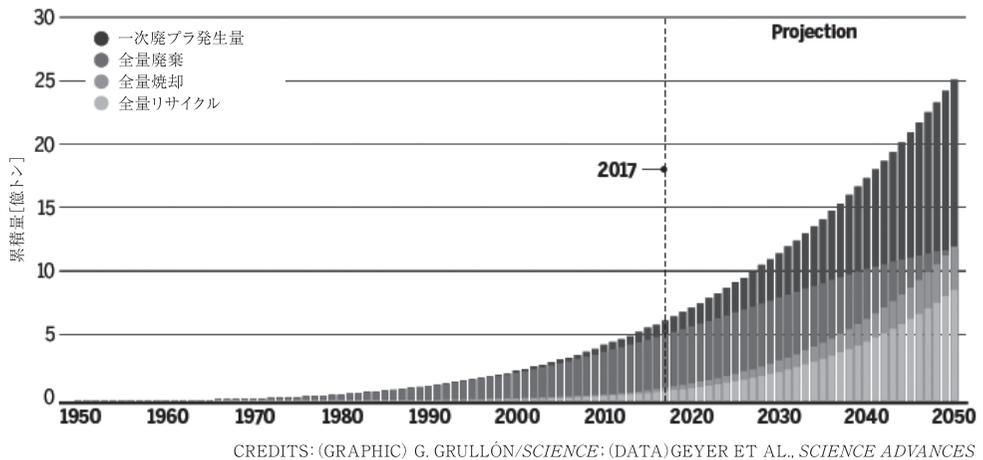


図1 廃プラスチック累積発生量推移と予測¹⁾

1.2 世界の廃プラスチックリサイクルの現状

現在の世界の廃プラスチックのリサイクルの割合は16%にしか過ぎない。日本でいう焼却(サーマルリサイクル)は、世界ではリサイクルに含まれていない。Mckinsey on Chemicals²⁾によると世界のポリマーの生産量は約3.30億トン/年で、廃プラスチックとして2.60億トン排出され、埋立、焼却がそれぞれ40%、25%で、投棄とリークが19%、リサイクルは16%である。

はじめに

地球温暖化が進む現代において、地下資源を使用して製造したプラスチックを一度の使用で廃棄するのは時代の要請にそぐわない。また、植物起源のプラスチックといえども貴重なエネルギーを使用して生産されることに変わりはない。プラスチックそれ自体は、その軽量性、絶縁性、賦形性等の特質から生活の隅々にまで使われており、生活の質の向上に貢献している。プラスチックの特性は組成、分子構成、結晶構造、分子鎖の絡まり、各成分の分散状況等により変わり、各プラスチックの開発者は求められる用途に応じて、プラスチックの各要素を設計している。マテリアルリサイクルではこのような高次構造を保ったままリサイクルすることが可能であり、エネルギー消費量の観点からも優れた方法である。樹脂マテリアルリサイクルに関する各要素技術と主にポリプロピレンリサイクル材の高付加価値分野への適用事例を紹介し、リサイクル事業に関心を持たれている方々、実際に事業を行われている方々に有用と思われる知識を提供したい。

1. 樹脂マテリアルリサイクル向け廃プラスチックの数々

1.1 プラスチック製品製造工程で発生する廃材

1.1.1 重合時のパウダー、ペレット化時のダンゴ

プラスチック重合時の廃材としてパウダーや釜残が発生する。重合停止剤や酸化防止剤が含まれていないことが多く、取り扱いに注意が必要である。例えばポリプロピレンパウダーの酸化防止剤無処方品は、空気中の酸素と反応し、発火の恐れがある。安易に引き取りに同意しないようにすることが必要となる。ペレット化時の廃材であるダンゴ(樹脂の塊)は添加剤処方品が多いが、ギロチンや適した破碎機の設備が必要となり、再生できる会社は一部に限られる。

1.1.2 製品ペレットのグレードチェンジ時の廃材

プラスチックペレット製造時におけるグレードチェンジ時の中間ペレットはバージンプラスチックのOFF品として市場に出ることが多いが、極端に内容が異なると再生用原材料として排出される。特にプラント定修後のスタート時には、ライン洗浄のため、多量のペレット状の廃材が出る。金属分とヤケ、着色品が若干混じると、添加剤が極端に少ないものが混在する。またポリプロピレンの場合はホモ、ブロック、ランダム等の重合組成の変更時にも廃材として

はじめに

マテリアルリサイクルが廃プラスチックリサイクルの理想であるが、実際に回収される廃プラスチックは多層フィルムや多くの機能性プラスチックとの混合品であったり、紙類や木質又は食品残渣等が付着しており、洗浄により元のプラスチックにサイクルすることが困難なものが多い。これらの廃プラスチックを液化してナフサ原料、又はガス化して化学品やポリマーを合成してリサイクルするケミカルリサイクルが注目されている。

1. ケミカルリサイクル技術の概要

廃プラスチックの回収は環境汚染だけでなく温暖化防止としても極めて重要な対策である。欧米では、廃プラスチックの多くは、従来埋め立て処分されてきた。東南アジアではごみ処理場に廃棄処分され、大雨等で海洋に流出し、海洋汚染として大きな問題となっている。日本は市町村単位で、焼却炉で焼却処分されてきた。その意味では、日本は、先進国であった。しかし、欧州をはじめ、廃プラスチックの焼却や埋め立ては地球汚染につながるとして、プラスチック原料として再生利用の検討が進み、今後、世界的に埋め立てや焼却は困難になる。

マテリアルリサイクルが理想であるが、マテリアルリサイクルの困難な多層フィルムや混合廃プラスチックは液化してナフサ原料として用いることが欧州で始まっている。また、廃プラスチックを熱分解により直接分解してモノマー化する技術も開発されつつある。紙類や食品残渣を含む廃プラスチックは、ガス化して合成ガスとしてからメタノール、又はFT合成により炭化水素としてから燃料、又はプラスチック等の化学品原料としてリサイクルする技術が開発されている。

2. 廃プラスチックのケミカルリサイクルによるポリマー製造手法

2.1 ナフサからポリマーの製造

石油の蒸留によって得られるC₄~C₉留分(沸点35~80℃程度)の軽質ナフサは、熱分解(クラッカー)によりエチレンやプロピレン等のオレフィンや芳香族とされ石油化学の基礎原料として用いられている。熱分解は約850℃という高温で分解され、400~600℃に急冷してからガス成分は-160℃、3.7 MPaで深冷分離され、エチレン、プロピレンは蒸留、精製後、重合さ

れポリエチレン，ポリプロピレンが製造されている(図1)。

廃プラスチックを熱分解液化するとナフサ留分に近い留分が得られるため，熱分解液化油は石油原料ナフサクラッカーに混合して用いることができる。廃プラスチック熱分解油には塩素や窒素，オレフィン類が含有しているため，これらの不純物はソーターによる事前選別や熱分解油の触媒による水素化，又は脱塩素等の方法で除去してから用いられている。

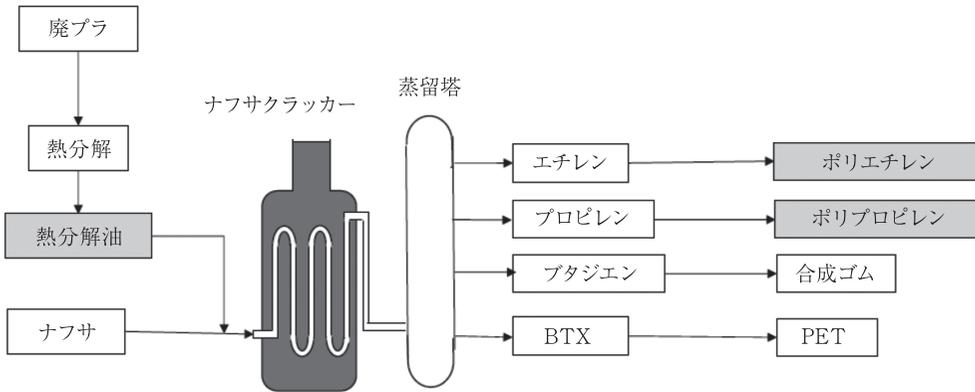


図1 ナフサクラッカーによるポリマー製造スキーム

2.2 廃プラのガス化によるケミカルリサイクル

廃プラスチックをガス化することにより合成ガス(CO/H₂)が得られる。合成ガスからは水素やメタノール，エタノール等を合成することができる。メタノールからはMTOやMTPプロセスによりエチレン，プロピレンを合成することができる(図2)。中国では石炭のガス化によって得られる合成ガスからのメタノール，又は輸入メタノールから既に1,000万トン/年以

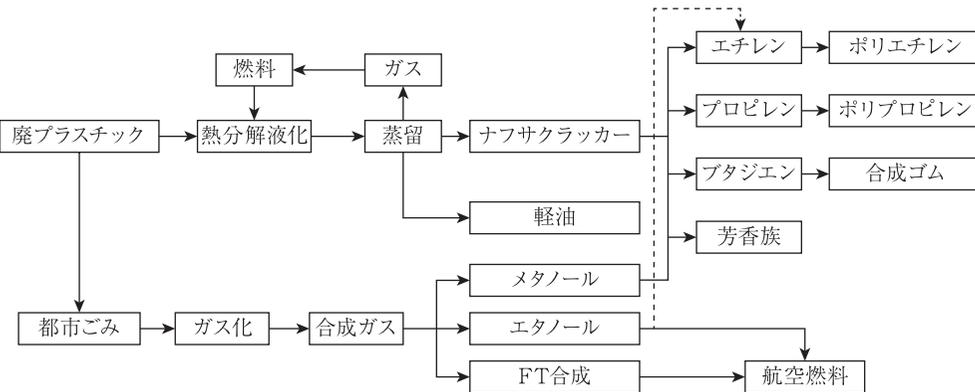


図2 廃プラスチックのケミカルリサイクル

第1節 国内外の包装材料(樹脂)のケミカルリサイクルの現状と再生樹脂の利用事例

住本技術士事務所 住本 充弘

はじめに

2015年にパラダイムシフトが起こり、今までの考え方を一新して「低炭素」から「脱炭素」に切り替えることとなった。確実に進んでいる地球温暖化対応および関連する異常気候への対応などが必要となり、SDGs対応を含めてCircular Economy対応が徐々に進められている。特に包装産業では、海洋プラスチック問題に端を発し、プラスチックの使用量削減および使用済みのプラスチック包材を回収して原料として再利用するCircular Packagingへ変化してきている。プラスチック利用の包装についてはCircular Economyコンセプトが先行して技術開発がまだ伴っていない状態であるが、国内外において徐々に対応が進んできている。包装は、Less Packaging, Less Energyが基本であり、プラスチックを使用する包装では、包装設計の段階で、使用済みの包材を回収して原料として再生して新たに包装資材としてのプラスチックが製造できるように考慮することが求められている。PETボトルでは、先行してメカニカルリサイクルが実用化され、続いてケミカルリサイクルも実用化されようとしている。一番難しい軟包装材料は、モノマテリアル仕様が先行しているが、肝心の回収・再生再利用、Circular Economy/Circular Packagingについてはまだ未整備で不透明なところが多く見切り発車の感じである。異種材料がラミネートされた軟包装材料については溶剤剥離技術や超臨界・亜臨界技術などが鋭意検討されているが、いずれにしても具体化までは業界のコンセンサス、回収方法の法整備、設備の新設が必要であり時間を要する。再生再利用の方向、Circular Economy/Circular Packagingに間違いなく進むが、現在提案されている以外に多くのケミカルリサイクルの提案が今後も続くだろう。

1. ケミカルリサイクルの必然性

Circular EconomyはSDGsに対応する必要な概念であり、実行するために世界で多くの施策が行われている。包装産業においても、Circular Economy対応は必要であり、Circular Packagingの概念が生まれてくる(図1)。

見 本

第2節 軟包装材料に関わる国内外の規制とリサイクル性を高めるためのモノマテリアル化

土屋特許事務所 土屋 博隆

はじめに

最近、包装業界では軟包装のモノマテリアル化が話題となっている。2018年10月及び2021年2月に開催されたTOKYO PACKでは、モノマテリアル化をキーワードとした展示が目立った。モノマテリアル化の発端は、プラスチック製容器包装(商品の容器及び包装)のリサイクル可能化を目標に掲げる欧州委員会(EU)の決議及びそれに続く指令である。JPI(日本包装技術協会)がまとめる日本の包装産業出荷統計によると、国内のプラスチック製容器包装の重量のおよそ42%はフレキシブルパッケージ(軟包装)である。EUで定義するリサイクルを容易に行うためには、軟包装のモノマテリアル化が必須であるという論理により、軟包装のモノマテリアル化が潮流となっている。

軟包装は、複数の材料の特性を生かして複層化することで、機能を発揮するように設計されている。単一の材料構成により軟包装を形成することは、内容物の保護という包装の最大機能を毀損するおそれがある。また、現在のように、高度に内容物を保護する機能を備える軟包装を、その機能を維持してモノマテリアル化することは困難を伴う。ここでは、軟包装のモノマテリアル化を巡る、その背景、目的、方法、事例及び成算について述べる。

1. 欧州の動向

1.1 EU指令

2018年1月16日に欧州委員会はプラスチック戦略を決議し、発表した。委員会での決議案は、2018年10月24日の欧州本会議にて指令として採択された。その中で、2030年までにEU市場におけるすべてのプラスチック製容器包装をリサイクル可能化又はリユースし、使い捨てプラスチック製品を削減し、海洋汚染対策としてのマイクロプラスチックの使用規制を検討しているとしている¹⁾。プラスチック製容器包装のリユースは限定的であり、リサイクル可能とすることがこの指令のポイントである。決議を受け、欧州の様々な包装利用企業がプラスチック製容器包装を2025年までにリサイクル可能にするという目標を掲げている。

EU指令は、2030年までに、EU市場におけるすべてのプラスチック製容器包装は、経済合

見 本

第1節 常圧溶解法による熱硬化性樹脂のリサイクル技術

溶解技術(株) 柴田 勝司

はじめに

熱硬化性樹脂複合材料のうち、ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)は軽量で高強度、高耐久性、低価格であることから、浴槽、自動車部品、鉄道車両部品、小型船舶などに広く利用されている。また、最近急激に普及した炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、スポーツ用品、航空機、風力発電用ブレードなどの高付加価値製品に利用されている。しかしながら、これらの製品に用いられている不飽和ポリエステル樹脂(UP)、エポキシ樹脂(EP)などの熱硬化性樹脂は、成形後には加熱しても溶融しないため再成形できず、どのような溶剤にも溶解しないため各素材を分離できない。

また、電子・電機分野では、プリント配線板、モールドコイル変圧器、モールドモーターなども熱硬化性樹脂複合材料に分類される。絶縁信頼性、耐熱性の点から主にEPが使用されるため、FRPと同様にリサイクルが困難である。

その結果、熱硬化性樹脂複合材料はリサイクルが困難な材料として扱われ、別の材料に置き換える動きがある。このような動きを阻止するためには、適正なりサイクル技術を開発する必要がある。

1. 常圧溶解法の概要

常圧溶解法は、日立化成社(現昭和電工マテリアルズ社)において、2000～2015年に研究され、開発された熱硬化性樹脂複合材料のリサイクル技術である^{1,2)}。触媒であるアルカリ金属塩をアルコール溶媒に配合した処理液を用いて、常圧下、約200℃で樹脂を解重合して可溶化する。これをEP、UPなどの熱硬化性樹脂を使用した各種複合材料に適用すれば、樹脂は解重合して溶解し、金属、ガラス繊維(GF)、炭素繊維(CF)などの無機物は分離回収できる。常圧溶解法の概念図を図1に示す。再生加工費と物流費が再生品の販売によって賄える水平りサイクルを目的とする。

見 本

第2節 亜臨界・超臨界流体による プラスチックのケミカルリサイクル技術

静岡大学 岡島 いづみ

はじめに

現在、プラスチックの大部分は石油等の限りある化石資源から製造されているために、廃プラスチックのリサイクル技術の開発が強く求められている。リサイクルの一つの方法としてケミカルリサイクルがある。これは化学反応により廃プラスチックを分解し資源化する方法であり、熱分解法、酸化分解法、加溶媒分解法等が挙げられる。本節では、溶媒として亜臨界流体または超臨界流体を用いる加溶媒分解を主としたプラスチックのリサイクル技術についていくつか紹介する。

1. 亜臨界・超臨界流体とは

純物質の温度-圧力線図を図1に示す。超臨界流体とは図中の斜線領域で示すように、臨界温度と臨界圧力を越えた高密度の蒸気である。水の場合、臨界温度は374℃、臨界圧力は22.1 MPaなので、超臨界水は高温、高圧の水蒸気といえる。一方、メタノールの臨界温度は239℃、臨界圧力は8.1 MPaなので、メタノールは水よりも低温・低圧で超臨界流体になる。超臨界流体は液

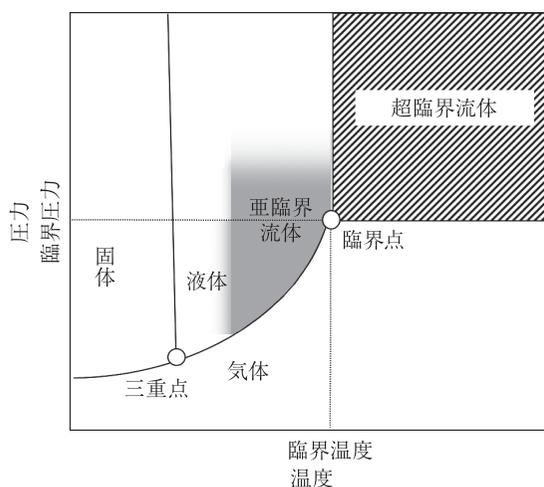


図1 純物質の温度-圧力線図

見 本

第3節 マイクロ波を利用したケミカルリサイクル技術と そのスケールアップ

マイクロ波化学(株) 渡辺 久夫 木谷 径治 菅野 雅皓 亀田 孝裕

はじめに

日本の全製造業の中で化学産業は多くのエネルギーを消費しており、2018年度で約40%を占めている。化学産業の製造の中で行われている多くの操作(特に反応, 焼成, 乾燥など)において, 高温, 大量の熱が化石燃料の燃焼によって得られ外部から操作対象の系に供給されている。このエネルギー供給形態は100年近く変わらない状況であった。このような中, これまで国際的な取り決めの地球温暖化防止が限定的な枠組みで進められてきた。しかし2015年のCOP21で世界190以上の国と地域が温室効果ガス排出量ゼロへ向かう合意がなされ, その動きが近年さらに加速されてきている。

日本政府も2020年に脱炭素社会へ舵を切り, 2050年にはCO₂排出ゼロへ向かうことを表明した。これにより, 様々な再生可能エネルギーが電気エネルギーへ変換利用されることで, 全エネルギーに占める電気エネルギーの比率も確実に増加していき, 石油化学プロセスにおいても積極的に電気エネルギー利用(石油化学プラントの電化)が進むと考えられる。

1. マイクロ波とは

電気エネルギーを利用する加熱技術としては, マイクロ波加熱, 抵抗加熱, 赤外加熱, レーザー加熱などがある。マイクロ波加熱以外は結果的にこれまでと同じ伝熱を基本とする加熱技術であり, あるいは汎用化が難しい技術である。マイクロ波は約1 mm~1 m(周波数300 MHz~300 GHz)の波長を持つ電磁波の一つで, 電子レンジ, レーダー, 携帯電話など広く利用されている。また, 電気エネルギーから70~90%の効率でマイクロ波に変換可能で, しかも直接対象物に光速でエネルギーを与えることができる画期的な手段と考えている。

これまでのプロセス(以後, 通常加熱プロセスと呼ぶ)では, 反応系に外部から熱エネルギーが温度差を利用し伝熱により供給されてきた。この点がマイクロ波を用いた加熱と通常加熱の違いとなる。

見 本

第4節 物理劣化・物理再生理論による 廃プラの高度マテリアルリサイクル技術

福岡大学 八尾 滋 パントン パチヤ
京都工芸繊維大学 大久保 光

はじめに

1950年代に生産を始めたプラスチック製品は、現在では全世界で年間約4億トン生産されている¹⁾。一方でこのように大量生産された結果、2015年までに推計では63億トンもの廃棄プラスチック(廃プラ)が生み出されたとされている。また、その内リサイクルされた廃プラはわずかに9%、焼却処分されたものでさえ12%であり、残りの79%が埋め立てか環境中へ廃棄されたと推計されている。このように廃プラは未だ適切な処理法が確立されておらず、今現在も毎年1,230万トンが海に流出していると考えられている²³⁾。このような廃プラの環境影響を低減するために、使用量そのものを減らす試みが欧米を中心とした先進国で種々提案されている。一方でプラスチックの使用量は今後も大きく増加すると考えられ、一説では2025年には全世界の生産量は約7億トン、2050年には11億トンに達するといわれている⁴⁾。さらに近年では新型コロナウイルスなどの感染症に対する予防・衛生的措置としてプラスチックが多く利用されるようになり、これらの要因を総合すると、発展途上国を中心としたプラスチックの使用量は今後も増加し、それに伴い廃プラの量はさらに増すことが予想される。したがって、このように増え続ける廃プラをどのように処理するかは、喫緊の課題である。

従来日本では、プラスチックのような資源性のあるゴミの量を減らすために、リデュース・リユース・リサイクルの3Rを推奨・実施している。さらに最近では化石資源由来プラスチックを、紙や生分解性プラスチックあるいはバイオマスなど他の素材に置き換える方策(リプレイス：+R)が盛んに模索されている。しかし現状バイオマスから生産されるプラスチックは全生産量の2%にも達していない¹⁾。さらに仮に現時点で食料用あるいは飼料用に収穫されている全地球上のトウモロコシをバイオマスプラスチックに置き換えたとしても、その生産量は全生産量の10%前後と見積もられ、上述した今後さらに増えると予想される需要を満たすことは不可能である。また、特定の種類の作物の収穫量を極端に増産することは生物多様性を損なうなど、逆の意味で地球に過度な負担をかけることになる。一方、生分解性プラスチックに関しても、汎用プラスチック同等に使用できるものは環境中で簡単には分解せず、たとえ環境中で容易に分解する素材であったとしても、結果として大量に発生する廃棄物処理を地球や

第5節 ラマン分光によるプラスチック識別技術と装置開発事例

(株)サイム 土田 哲大 土田 保雄
近畿大学 河津 博文

はじめに

プラスチックリサイクルの高度化・深化の必要性が高まると、複数種類の混合物から、高純度で種類毎に廃プラスチックを選別回収しなければならなくなる。選別回収した廃プラスチックからコンパウンド工程を経て再生樹脂を得るマテリアルリサイクル(メカニカルリサイクル)は、省資源・省エネルギーの効果が大きいものの、回収時の純度はリサイクルの質を左右する。純度が低くければ、カスケードリサイクルといわれ、機械物性や耐久性が要求を満たさず、低品質の一度きりしか使用できないような製品の原料にしかない。純度が高ければ、その廃プラスチックを発生した製品の一部として再度使われる原料となる、いわゆるクローズドリサイクルあるいは水平リサイクルを行うことができる。

廃家電や使用済自動車のリサイクルは、リサイクル費用が消費者の負担となっていることもあり、それぞれのリサイクル法の中で、高い水準の量と質が求められている¹⁾。そのプラスチックリサイクルでは、部品回収によるリサイクルに加え、最終残渣であるシュレッダーダストに含まれるプラスチックすらも高純度で回収し、可能な限りクローズドリサイクルすることが求められる。我々のグループでは、これまで複数のプロジェクトにおいて²⁻⁷⁾、ラマン分光法による光学式プラスチック識別技術を用い、このようなシュレッダーダストからの高純度単一成分プラスチックの選別回収技術開発に取り組んできた。その開発事例を紹介する。

1. プラスチックの光学識別

1.1 プラスチックリサイクルにおける分光測定

大量処理を基本とするリサイクルでは、従来、プラスチックの選別回収は、事前に種類がわかる部品の取り外しといった手選別と分級・比重差による選別が組み合わされて行われてきた。しかし、リサイクルの質の向上が求められ、回収プラスチックの純度を高めるために、プラスチック片1つずつに対して分光測定を行い、その結果を用いてプラスチックの種類を判定し、エアガンで吹き落として選別回収するという、いわゆる光学識別の方法が取られるようになってきた⁸⁾。光学識別法の大きな特徴は、使用する光の波長により得られる情報が異なると

第6節 廃プラスチックの熱分解分析技術と装置例

フロンティア・ラボ(株) 東北大学 渡辺 壱

1. 概論

近年、地球的規模での循環型社会の構築に向けた取り組みとして、廃棄されるプラスチック(廃プラ)を分別してリサイクルが進められている。主なりサイクル法には、廃プラを溶融して加工するマテリアルリサイクルと、化学反応を利用して廃プラをモノマーや別の有用分子に変換するケミカルリサイクルがある¹⁾。いずれの方法においても、原料となる廃プラ素材がリサイクル後の製品の品質や性能に大きく影響するため²⁾、素材の分別や受入検査は非常に重要な工程となる。

一般的なプラスチックの組成分析には、溶剤分別法による成分分離の後に、赤外・ラマン分光法や核磁気共鳴などによる組成分析法が用いられている³⁾。しかし、廃プラの場合は、包装材料、フィルム、梱包材、家電用の筐体、電源ケーブルなど形態や組成が多種多様であり⁴⁾、溶媒に不溶なプラスチックや、カーボンブラックなどの補強材が配合されたもの、2種類以上のプラスチックがブレンドされたものなどが存在する。そのため、組成分析に用いる分析手法によっては煩雑な前処理が必要な場合や解析が不可能な場合がある。

一方、熱分解ガスクロマトグラフ分析法は、ガスクロマトグラフの注入口に直結した熱分解装置内で高分子試料を不活性キャリアーガス中で熱分解し、ガスクロマトグラフによる分離を経て得られるピログラム上の熱分解生成物を手掛かりにして、もとの高分子試料の化学構造や組成を解析する手法である²⁾。この手法は、0.01~1 mg程度の微量試料量で、しかも溶媒に不溶なプラスチックであっても、何ら前処理もせずに分析が可能という特長を有しているため、プラスチック分析の分野では汎用的に用いられている⁵⁻¹¹⁾。

2. 熱分解ガスクロマトグラフ/質量分析システムとその分析法の概要

熱分解ガスクロマトグラフ/質量分析(Py-GC/MS)システムは、四重極質量分析計を検出器としたガスクロマトグラフの注入口に熱分解装置(パイロライザー)を直結し、その間を固定相がない3 mの不活性チューブ、もしくは分離カラムで接続した装置で構成される(図1)。

このシステムを用いる分析法の1つである発生ガス分析(図1(a))では、縦型パイロライザー内で試料を昇温加熱し、その温度毎に発生するガスを質量分析計でモニタリングする。図中の

第7節 CFRP/GFRP からの樹脂の分離・回収技術の国内外の開発動向

溶解技術(株) 柴田 勝司

はじめに

熱硬化性樹脂複合材料の代表的な製品としては、不飽和ポリエステル樹脂/ガラス繊維複合材料(GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastics), エポキシ樹脂/炭素繊維複合材料(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)が挙げられる。

GFRPは1930年代に米国で発明された。1940年代には主に輸送機器用途に開発され、小型船舶の船体、自動車本体および部品、小型飛行機の機体などに使用され始めた。日本へは終戦後に初めてその技術が導入されたが、1960年代には、漁船、浄化槽、浴槽、パネルタンクなどが開発され、1970年代に急速に需要を伸ばした。

また、CFRPは1960年代から製造され始めたが、価格が高いことから、長年にわたって、スポーツ用品である釣り竿、ゴルフクラブ、テニスラケット、スキーなどの高級グレード品のみに使われていた。次第に生産量が多くなり、原価低減の努力もあって、2000年に入ってから航空機に多用されるようになった。その結果、さらに価格が下がり、最近では電気自動車などにも使われるようになってきた。

リサイクルについては、CFRPに使用される炭素繊維(CF)は高価なため、最近ではリサイクルされ始め、回収CFの用途探索も進んできた。一方、CFRP生産量の20倍以上生産されているGFRPについては、2000年頃から約20年間、セメントの原燃料化によるリサイクルしか実用化されてこなかった。しかしながら、ここ数年でリサイクル技術は著しく進歩し、GFRP製の風力発電用ブレードなどがリサイクルされるようになってきた。ここではGFRP並びにCFRPのリサイクル技術に関する最新動向を報告する。

1. GFRP リサイクル技術の動向

1.1 国内のGFRP リサイクル技術

1.1.1 マテリアルリサイクル

(1) アサオカ社, 群馬工業高等専門学校: FRP, 塗料^{1,2)}

粉碎して得たGFRPの微粉末を、充填材としてGFRPに添加することが、アサオカ社と群馬工業高等専門学校(群馬高専)によって検討され、1990年に特許出願された。しかし、この特