二軸スクリュ方式による塩素系ポリマー含有廃プラスチックの脱塩素技術

時 久 昌 吉^{*1}・炭 広 幸 弘^{*1}・千 村 禎^{*1}・橋 本 憲 明^{*2}

1. はじめに

現在、我が国では、年間 1500 万トン以上のプラスチックが生産され、その内、約 1000 万トンが廃棄物として排出されている。これらの一部は、マテリアルリサイクル、固形燃料化、発電に利用されているものの、その半分以上は未利用のまま廃棄されている（図 1¹⁾）。

しかし、単純焼却施設の不足、最終処分場の残余容量の減少、ダイオキシン発生などが大きな社会問題となっている。これらの問題を解決するために、廃プラスチックを高炉、セメントキルンおよびエネルギー回収用の原燃料として、また、油化、ガス化して有効利用する試みが行われ、商業運転も開始されている^{2)~8)}。主要な廃プラスチックのリサイクル技術を表 1 に示す。

しかし、廃プラスチックを各種原燃料等として利用する場合には、塩素系ポリマーの熱分解により発生する塩化水素に起因する装置の腐食、ダイオキシンの生成を抑制する必要がある。そのため、前処理として、廃プラスチックから塩素を除去するいわゆる脱塩素処理が必要となる。当社では、基盤技術である二軸スクリュ押出技術を応用して、塩素系ポリマーを含む廃プラスチックの脱塩素装置を開発・上市した⁹⁾。本稿では、脱塩素装置の概要・特長について解説し、本装置を用いて廃プラスチックを脱塩素した実施例について紹介する。

2. 廃プラスチックの脱塩素プロセスの概要

廃プラスチックの脱塩素プロセスは、前処理工程、脱塩素工程および排ガス処理工程から構成されている（図 2）。各工程の概要は以下の通りである。

①前処理工程

次工程で処理し易い性状にすることを目的としている。主に缶、瓶、土砂等の分別装置および破碎装置からなる。

②脱塩素工程

熱分解により廃プラスチックを脱塩素することを目的としている。熱分解を効率的に行うために、可塑化と脱塩素の機能をそれぞれ備えた装置からなる。脱塩素装置と可塑化装置の機能の比較を表 2 に示す。

図 2 廃プラスチックの脱塩素プロセス

図 1 廃プラスチックの分類と処理・処分の現状（2000年統計）

^{*1} Tokihisa, Masayoshi / Sumihiro, Yukihiro / Timura, Tadashi

㈱日本製鋼所機械研究所

広島市安芸区船越南 1-6-1 (〒736-8602)

^{*2} Hashimoto, Noriaki

日鋼設計㈱

広島市安芸区船越南 1-6-1 (〒736-8602)

2002.5.10 受理

③排ガス処理工程

熱分解により発生する塩化水素、炭化水素を処理することを目的としている。塩化水素は回収して再利用する場合と中和・無害化を行なって外部に排出する場合がある。炭化水素は燃焼して H_2O 、 CO_2 とし、外部に放出する。主に、燃焼炉、クエンチャー、除害設備等からなる。

3. 二軸スクリュ方式の脱塩素装置の特長

当社の脱塩素プロセスの最大のポイントとなるのが、図3に示す二軸スクリュ方式の脱塩素装置である。廃プラスチック中の塩素系ポリマーを効率的に熱分解させ、塩化水素を効率的に除去するために、二軸スクリュ方式の脱塩素

表1 廃プラスチックのリサイクル技術

リサイクル技術	主要実施企業等
高 炉 吹 込 み	NKK ²⁾
コークス炉化学原料化	新日本製鉄 ³⁾
セメント原燃料化	トクヤマ ⁴⁾ 他
ガ ス 化	宇部興産／荏原製作所 ⁵⁾
油 化	新潟プラスチック油化センター ⁶⁾ 札幌プラスチックリサイクル ⁷⁾ 他
マテリアルリサイクル	西日本ペットボトルリサイクル ⁸⁾ 他
サーマルリサイクル	自治体他

表2 可塑化装置と脱塩素機の機能の比較

機 能	可塑化装置	脱塩素機
	可塑化・溶融	脱塩素
スクリュ回転数	せん断発熱による可塑化のため高速回転	滞留時間確保のため低速回転
スクリュ径	小	大
メンテナンス性	セグメントスクリュにより交換作業容易	損傷少なくほぼメンテナンス不要
機能分離の効果	せん断発熱により高速・省エネでの可塑化が可能	均一・効率的な熱分解と高性能脱塩素が可能

図3 脱塩素装置

装置は以下の特長を有している。

①スクリュの混合・混練機能による効率的な可塑化・熱分解
一般にプラスチックは熱伝導率が小さくかつ高粘性流体であるため、均一に可塑化・熱分解することは困難である。しかし、二軸スクリュ方式の脱塩素装置ではシリンダからの外部加熱のみならず、スクリュからのせん断作用によるせん断発熱により、効率的な可塑化が可能である。

また、PVCは熱分解するとポリエンを生成し表面が固化するため、内部まで均一に分解することは困難となる。しかし、二軸スクリュ方式の脱塩素装置では二軸スクリュ特有の混合・混練機能により廃プラスチックを均一・効率的に熱分解することが可能である。

②塩化水素の反応抑制による高性能の脱塩素

塩素系ポリマーの熱分解により発生する塩化水素(HCl)は非常に反応性が高いため、廃プラスチック中の無機フィラーと容易に反応して高沸点塩化物を生成する。しかし、二軸スクリュ方式の脱塩素装置では、発生した塩化水素を即時に除去することができるような構造としているため、無機フィラーとの反応を抑制でき、高性能な脱塩素が可能である。

③スクリュの表面更新機能による高性能の脱揮

二軸スクリュ方式では特有の表面更新性能を有しており、これを利用することにより塩化水素を効率的に脱揮除去することができるため、高性能の脱揮が可能である。

④セルフクリーニング機能によるコーキングの防止

塩素系ポリマーが熱分解すると、炭化するため流動性が低下し、炭化物がスクリュ表面やシリンダ内壁面に滞留しいわゆるコーキング現象が発生する。しかし、二軸スクリュ方式の脱塩素装置では一方のスクリュが他方のスクリュの表面に付着した材料を掻き取る(セルフクリーニング機能)と同時に、シリンダ内壁面の材料を掻き取る機能を有するため、コーキング現象の防止と安定な運転が可能である。

⑤マテリアルシールによる高い安全性

プラスチックが分解すると様々な有毒ガス、爆発性のガスが発生するため、脱塩素装置では装置内部への空気の混入、外部への発生ガスの漏れを防止する必要がある。二軸スクリュ方式の脱塩素装置では、スクリュ形状によって材料をスクリュとシリンダの間に充満させることができるため(マテリアルシール)、これにより脱塩素装置内部への空気の混入と発生ガスの外部への漏れを防止できる。

⑥原料組成変動に対する柔軟な適応性

廃プラスチックはその出所により組成・含水率等が変動する。二軸スクリュ方式の脱塩素装置では、運転条件の変更を比較的容易に行うことができるため、原料組成変動に対しても比較的柔軟に適応することができる。

⑦高い耐久性と容易なメンテナンス

二軸スクリュ方式の脱塩素装置はスクリュはセグメント方式、シリンダはブロック方式で構成されているため、厳しい腐食・摩耗環境の領域にはその部分のみに耐腐食性・耐摩耗性の材料を適用することが可能となっているため、装置全体の耐久性を向上させている。また、腐食・摩耗が発生した場合でも、その部分のスクリュ・シリンダのみを交換することができるため、メンテナンスが容易である。

4. 実施例

4.1 一般系廃プラスチック

図4に、一般家庭から排出される初期塩素濃度が2.5～3.5 wt%と比較的低い都市ごみ系廃プラスチックと容器包装リサイクル法に基づいて収集された廃プラスチック（以下、容り法廃プラ）を用いた場合の、温度と残留塩素濃度の関係を示す。一般的に残留塩素濃度が0.5 wt%以下であれば、各種の原料料として使用できるとされているが、330℃以上の温度にすることで0.5 wt%以下が達成されている。

4.2 産業系廃プラスチック

図5に、産業活動に伴って排出され、初期塩素濃度が比較的高い産業系廃プラスチックを用いた場合の残留塩素濃度を種類毎に示す。図中の一般廃プラ比重分別重量物とは、一般系廃プラスチックを水で比重分別し、水中に沈殿した

図4 温度と残留塩素濃度の関係（一般系廃プラスチック）

図5 廃プラの種類と残留塩素濃度の関係

廃プラスチックであり、主にPVC、PVDC等の塩素系ポリマーの他、PSやPETなどから構成されている。

図から明らかなように、プラスチックの種類が変わっても残留塩素濃度はそれほど変化していない。

図6に原料中の初期塩素濃度と脱塩素後の原料中の残留塩素濃度の関係を示す。図から、二軸スクリュ方式では幅広い塩素濃度の材料を安定的に脱塩素処理可能となっている。

5. 他の脱塩素方式との比較

表3に、二軸スクリュ押出法による脱塩素と他の方式による脱塩素の比較を示す。

原料中のPVC量に関しては、他の方式は高濃度あるいは低濃度のPVC量の材料にのみ適応可能であるのに対し、二軸スクリュ押出法ではスクリュによる安定した材料の送り分解ガスの即時除去により低濃度から高濃度の原料に対応することができる。

装置内部の材料の流動に関しては、キルン法では原料を流動させるために粉粒状の流動助剤が必要なのに対し、二軸スクリュ押出法および単軸スクリュ法はスクリュの送りにより流動助剤は不要である。

発生ガスの分離方法に関しては、キルン法ではキャリアガス（窒素）により分離するのに対し、二軸スクリュ押出法をはじめとした他の方式では、真空脱揮方式であるためキャリアガスは不要である。

異物への適応性に関しては、キルン法は空間が大きいいため比較的強いものに対して、二軸スクリュ押出法では、摩耗

図6 初期塩素濃度と残留塩素濃度の関係

表3 二軸スクリュ押出法と他の方式との比較

	二軸スクリュ法	単軸スクリュ法	バッチ分解槽法	キルン法
原料中のPVC量	低濃度～高濃度	低濃度	低濃度	高濃度
装置内での原料の流動	スクリュによる流動	不要	不要	流動助剤による流動
発生ガスの分離	真空脱揮	真空脱揮	真空脱揮	キャリアガスによる分離
異物への適応性	摩耗箇所の特定と当該部分への特殊材料適用	摩耗箇所の定期的メンテナンス	排出口・配管に残留	強い
装置サイズ	小さい	大きい	大きい	大きい
エネルギー効率	高い	低い	低い	低い
ランニングコスト	低い	高い	高い	高い

箇所を特定することと当該部分へ特殊な耐腐食・耐摩耗材料を適用することにより異物に対応することが可能である。

装置サイズに関しては、単軸スクリュ法、バッチ分解槽法およびキルン法は滞留時間の確保のためあるいは装置内部での材料の充填率が低いいため装置が長くあるいは大きくなるのに対して、二軸スクリュ押出法では充填率が高く滞留時間を長く確保できる構造になっているため装置が小さくかつコンパクトになる。

エネルギー効率に関しては、装置の大きさからくる放熱面積の相違により、他の方式よりも二軸スクリュ押出法が、エネルギー効率が高い。

以上より、ランニングコストに関しては他の方式よりも二軸スクリュ押出法の方が低くなる。

図7に二軸スクリュ押出法とキルン法の脱塩素性能の比較を示す。図から、二軸スクリュ押出法はキルン法よりも幅広いPVC濃度の原料を処理でき、残留塩素濃度も低減されている。

図7 二軸スクリュ押出法とキルン法との比較

6. おわりに

本稿では、塩素系ポリマーを含む廃プラスチックの脱塩素プロセスの概要、脱塩素装置の特長および性能について、一般系廃プラスチックおよび産業系廃プラスチックの脱塩素を例にあげて紹介した。本装置を用いれば、多種多様な廃プラスチックを脱塩素処理することが出来るとともに、廃プラスチックによる環境負荷の低減、脱塩素処理後の原料の用途拡大が可能になる。今後、この特長を活かした地球環境にやさしい脱塩素固形燃料の製造装置として提案していく所存である。

なお、本研究の一部は、(財)地球環境産業技術研究機構の地球環境保全関係産業技術開発促進事業(平成11年度～13年度)の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) (社)プラスチック処理促進協会資料
- 2) 家本 勲ら：プラスチックス, 49(9), 44 (1998)
- 3) (社)プラスチック処理促進協会：プラスチックトウモロ, 7 (2000)
- 4) 野嶋春紀：プラスチックス, 49(3), 52 (1998)
- 5) 広勢哲久ら：プラスチック化学リサイクル研究会第1回討論会研究講演発表要旨集, 21 (1998)
- 6) 新潟プラスチック油化センター, 歴世礦油(株)パンフレット
- 7) 札幌プラスチックリサイクル(株)パンフレット
- 8) 鹿子木公春：プラスチック化学リサイクル研究会第4回討論会研究講演発表要旨集, 41 (2001)
- 9) 時久昌吉ら：プラスチック化学リサイクル研究会第3回討論会研究講演発表要旨集, 61 (2000)