

環境研究総合推進費補助金
次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業
総合技術開発報告書

プラスチックと金属の結合物を分離する実用機（MPセパレーター）の開発と
分離材料の再資源化の促進に関する実証試験
(3J143002)

平成 26 年度～平成 28 年度

Development of Practical Machine for Separating the Metal-Plastic Bindings
and Promotion of Recycling of the Separated Materials

平成 29 年 5 月

有限会社サンプラスチック

プラスチックと金属の結合物を分離する実用機
(MPセパレーター)の開発と分離材料の再資源化の促進
に関する実証試験
(3J143002)

I. 成果の概要

1. はじめに (技術開発の背景)	・ ・ ・ ・ ・ i
2. 技術開発の目的	・ ・ ・ ・ ・ i
3. 技術開発の詳細	・ ・ ・ ・ ・ ii
4. 実証施設の設置場所等	・ ・ ・ ・ ・ ii
5. 開発した技術がもたらす効果	・ ・ ・ ・ ・ ii
6. 技術開発の主な発表状況	・ ・ ・ ・ ・ iii
7. 研究者略歴	・ ・ ・ ・ ・ iii

II. 成果の詳細

要旨	・ ・ ・ ・ ・ 1
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 1
2. 技術開発の目的	・ ・ ・ ・ ・ 1
3. 技術開発の詳細	・ ・ ・ ・ ・ 1
4. 実証施設の設置場所等	・ ・ ・ ・ ・ 11
5. 本開発により得られた成果	・ ・ ・ ・ ・ 11
6. 技術開発の主な発表状況	・ ・ ・ ・ ・ 14
7. 引用文献	・ ・ ・ ・ ・ 15

III. 研究概要図

IV. 英文概要

補助事業名	環境研究総合推進費補助金次世代循環型社会形成推進技術基盤整備事業 (平成 26 年度～平成 28 年度)
所 管	環境省
研究課題名	プラスチックと金属の結合物を分離する実用機 (MP セパレーター) の開発と分離材料の再資源化の促進に関する実証試験
研究番号	3J143002
研究代表者名	三島克己 (有限会社サンプラスチック)
総事業費	55,184,000 円 (うち平成 28 年度:0 円)
国庫補助金	7,892,000 円 (うち平成 28 年度:0 円)
研究事業期間	平成 26 年 5 月 30 日～平成 29 年 3 月 31 日
技術開発のキーワード	プラスチックと金属の結合物、過熱水蒸気、電磁誘導加熱、遠心力、分離、再資源化、実用機
共同技術開発者	五島 雅由 (有限会社サンプラスチック) 牛 立 斌 (信州大学) 倉科 哲寛 (ニッキトライシステム株式会社) 鈴木 陽 (直富商事株式会社)

成果の概要

1. はじめに (技術開発の背景等)

プラスチックと金属の結合物は車をはじめ OA 機器、日用品、医療機器、玩具等幅広い分野で大量に生産、使用されている。また、すでに役目を終えた結合物も世の中に大量に存在する。しかし、それをリサイクル可能にする合理的な処理方法は存在しない。現状は埋め立て、輸出、焼却が大半である。

その理由として、

- ① プラント等によらず発生現場、回収現場で処理できる小型で簡易的な分離機がない
- ② 粉碎等によらずそのままの形で分離できる技術が開発されていない
- ③ プラント等大量処理現場に現物のまま搬送を考える場合、コスト的に問題がある
- ④ 火災等の問題があり大量の保管が困難、また同じ理由で加熱分離する方法の実用化が難しい

等が考えられる。そこで、過熱水蒸気、誘導加熱、遠心力を利用し、火災の危険性はなく、そのままの形でプラスチックと金属を分離できる小型で移動可能な分離機を開発し、発生現場、回収現場でプラスチックと金属の分離処理を可能とし、合理的リサイクルシステムの構築を図る

2. 技術開発の目的

発端は 2007 年、プラスチックと金属の結合物を分離する研究会として産、学、官連携プロジェクトの編成に始まる。プラスチックと金属の結合物から手掛け、金属以外の有機材料、無機質材料等のプラスチックとの分離を視野に入れていた。第 1 段階として分離の理論の確立に取り組んだ。4 年後、誘導加熱、過熱水蒸気、遠心力の組み合わせにより求める成果が得られるとの方向を得、遠心分離の中古機を改造して第 1 回のテスト機を制作しデータ収集を行った。その結果 POM, PET の樹脂で 96～97% 結合物からプラスチックを分離する成果を得た。次に理論を実用化するために 2012 年 4 月、第 2 の実験試作機の開発設計を開始した。プラスチックと金属の結合物をそのままの形で分離する機械は世界的に見ても存在せず、実用

機開発のためには数段階のテスト実績が必要と判断された。同年 11 月、試作機の組み上げ完成、稼働テスト開始。翌年 6 月、実用可能な実験試作機の完成に至る。この試作機をベースに小型家電までを対象とした大型（200 L）、中型（50 L）、小型（20 L）を処理できる実用試作機を開発する計画である。

3. 技術開発の詳細

技術は大別して二つになる。一つは結合物を分離する原理であり、もう一つは分離の機能である。

（１）プラスチックと金属の結合物を分離する原理

プラスチックと金属との結合物を分離するには再加熱し結合物からプラスチックを取り除けばよい。理屈では簡単だがこの作業には次のような問題点がある。

- ① プラスチックはその種類により熱分解しやすい。温度ムラがあれば分離にムラが生じる。
- ② 分離はプラスチックの粘性を下げるため、生産時以上に加温する必要がある。その過程でプラスチックの気化が進み、発火点以上の熱源に触れた場合、静電気、金属の接触により火花が出た場合火災に繋がる。

これらの解決のために熱源として電磁誘導加熱と過熱水蒸気を、分離力として遠心力を使用した。温度管理は誘導加熱により正確に、火災の問題は過熱水蒸気による酸欠状態で解決した。分離率は遠心力により高め、テストで POM, PET でプラスチックと金属の分離率 96～97%の実績を得た。

（２）分離機能とその特色

実用化を考える場合、次の点が重要なポイントとなる。これらが実用化を妨げる理由でもある。

- ① 発生場所、初期収集場所で分離を行い、移動による経費をなくする。
- ② 大規模な炉等によらず、どこにでも設置できるよう小型化されること。
- ③ 作業は簡単で誰でも実行でき、分離後そのまま現在のリサイクルルートに乗る事。

機械は移動式であり水と圧縮エア、200V の電源があればどこにでも設置できる。また、大、中、小の 3 機種あり、用途に応じ使い分けも可能。分離条件は樹脂により設定でき、取り扱いは容易。機械から取り出した時点で金属とプラスチックに分かれ、そのまま現状のリサイクルルートの利用が可能。

4. 実証施設の設置場所等

松本市笹賀 5487、ニッキトライシステム（株）笹賀工場

5. 開発した技術がもたらす効果

（１）技術的貢献度

中型機の完成により次の点が期待できた。

- ① 結合物のリサイクル率を大幅に向上させることができる。また、現状ルートの活用でリサイクルの見える化と、それにより人々が参加しやすい環境をつくることができる。
- ② 結合物の大半は輸出と、その先の焼却が一般的のようだ。地球規模では間違いなく環境負荷に結びついている。結合物と共に、MP セパレーターを輸出すれば、その負荷の軽減に有効な対策となる。

中型機の完成時点では以上の効果が期待できた。しかし、それまでは開発のみに集中していた注意を需要面に向けてみたら、開発を開始して以来 9 年の歳月が思いかけない状況をもたらしていた。

（２）得られた成果の実用化

中型機がほぼ 90%完成した H27 年の 8 月、中間報告のプレゼンが行われ、その結果の講評で、MP セパレーターの市場性、および応用分野について実情把握が必要ではないかとの指摘があった。試作機が完成し、開発当初問い合わせのあった企業に製品の紹介と、分離テストに使う資料の提供を受けるため、県内の会社訪問を行った。しかし、9 年前の開発当初調査した反応と比較すると、あまりにも手ごたえが感じられず、開発への要請もなくなっていた。そして、大手 2 社では金属とプラスチックの結合物のほとんどは海外生産となっており、不良品処理に対する問題点はなくなったとのことだった。そのため、早急に現在の実態を把握する必要に迫られた。だが、自力調査では限界があり、より客観的な事実を把握するためには専門家による調査が必要と判断された。そこで、環境関係の専門調査会社である「環境ビジネスコンスタンス社」に依頼し調査を実施した。その結果次の点が判明した

- ① 近年の様々な規制の強化と処理技術の向上は、産業廃棄物についてはこれ以上のリサイクルの促進と最終処分量の減少は困難な水準に達したと推定される。
- ② プラスチックと金属の結合物を使用する業界の生産状況は、テレビは 2005 年と比べて 2014 年は

10.6%まで減少、洗濯機は32.3%減少、その他の家電についても大幅に減少している。また、海外への生産拠点の移動により、国内の結合物の生産は10%以下となっている。

- ③ 自動車のリサイクル率については、業界の複数のリサイクルチームが競う形で技術開発を進め、法施工時のH17年の57～66%と比べてH26年は97%までに上昇している実態がある。

以上の現状を見ると、リサクルと言う点ではほぼ完成された形まで進歩し、すべてが機械化、自動化された形であり、人手を要するMPセパレーターはコストの点で採算が合わず、需要先がほとんど見込めない現状が明らかになった。

(3) 社会貢献への見込み

以上の結果により、MPセパレーターを開発しても需要先が見込めないことがはっきりした。また、新たな需要先を検討してみたが、市場調査の結果、積極的な需要先の掘り起しは困難と推定され、企業としての採算性、これ以上の費用投入の有効性を考えると中断すべきとの結論に至った。したがって計画の変更による中断を申請し、受理となった。技術は時間による価値の変化があることを強く感じさせられた。

6. 技術開発の主な発表状況

- 1) 渡邊健太、三島克己、二華院輝、倉科哲寛、寺島一幸、鈴木陽、牛立斌：金属・プラスチック複合廃棄物の分離装置における分離条件の最適化、日本機械学会北陸信越支部第53回総会・講演会、講演論文集、No.409 (2016)

7. 研究者略歴

研究代表者：三島 克己

正眼短期大学「禅人間学科」卒業 有限会社サンプラスチック取締役

共同技術開発者

- 1) 牛 立斌

信州大学工学部大学院卒業、工学博士、機械システム工学科准教授

- 2) 五島 雅由

東京電機大学工学部卒業、有限会社サンプラスチック工場長

- 3) 倉科 哲寛

ニッキトライシステム株式会社代表取締役社長

- 4) 鈴木 陽

山形大学大学院農学研究科生物環境学専攻修了 直富商事株式会社技術研究室長

3J143002 プラスチックと金属の結合物を分離する実用機（MP セパレーター）の開発と 分離材料の再資源化の促進に関する実証試験

【要旨】

プラスチック、金属共に単体では申し分のないリサイクル材料である。しかし、その結合物の大半は、リサイクル不能な廃棄物として処理されている。その理由は、結合したままでは再資源化は不可能であり、リサイクルには分離が前提となるからである。しかしそれを分離する実用的な機械は現在のところ完成していない。従って、現在の実用的かつ合法的処理は埋め立て、焼却、途上国への輸出、途上国での焼却等が大半となっている。しかも、その利便性から結合物は今後も増加をすると判断され、それと共に環境への負荷も増大する危険がある。そのため、社会的課題として1日も早くプラスチックと金属を分離する実用機の開発と、結合物のリサイクルシステムの構築が望まれている。

1. はじめに

開発の動機・背景

- (1) プラスチックと金属の結合物は自動車をはじめ OA 機器、日用品、医療機器、玩具等幅広い分野で大量に生産、使用されている。
- (2) しかしそれを結合物単体でリサイクル可能にする合理的処理方法は今のところ開発されていない。
- (3) 省資源、省エネルギー、環境への対応は今日ますます重要性を増してきた社会的課題であり、限られた資源の有効活用と環境負荷の軽減、リサイクル社会の確立が強く求められている。
- (4) プラスチック、金属共に単体では申し分のないリサイクル材料である。しかし、それが結合することによりリサイクル不能となるとところに大きな問題点がある。
- (5) そのため、1日も早く発生現場、回収現場で分離処理を行い、現状のリサイクルシステムとの結合が可能な小型分離機の開発、使用の一般化が望まれている。

2. 技術開発の目的

(1) プラスチックと金属の結合物を分離し、リサイクルを可能にする機械の開発の目的

プラスチックと金属の結合物の分離、リサイクルがなぜ可能にならないのか、その理由を追及すると次の点が上げられる。

- 1) 火災等の根本的な問題があり、加熱分離する方法の実用化が難しい。
- 2) 粉砕、切断に寄らず、原形で分離できるリサイクル率の高い技術が開発されていない。
- 3) 発生現場、回収現場で処理できる、小型で簡易的な分離機が無いため一般化しない。
- 4) プラント等、大量処理場への現物のままの搬送はコスト的に問題がある。

等の問題点を克服し、結合物のリサイクルを可能にする機械を開発する。

(2) 開発の内容

- 1) 火災の危険が無く、そのままの形で分離できる機能を持つ機械を開発する。
- 2) 移動可能で、発生現場、回収現場で処理が可能な小型の分離機を開発する。

3. 技術開発の詳細

(1) 開発の内容

プラスチックと金属の結合物を分離するに当たり、様々な加温方法を試みたが、プラスチックは気化しやすく、高温の熱源があればすぐ火災に結びつくことが判明した。そこで、火災にならない条件として

- 1) 酸素が可燃条件以下になる環境をつくる (15%以下で良いが、理想的には 5%以下)
- 2) 設定温度以上に過熱されることのない加温方法
- 3) 引火の原因となる高温の熱源の除去

の 3 点をキーワードに加温方法を追及したところ、それを満たすものとして過熱水蒸気、電磁誘導加熱の組み合わせにいたった。また、分離の効率を上げるため、さらに遠心力を組み入れ、過熱水蒸気、誘導加熱、遠心力の組み合わせでもって加温、分離の原理とした。

(2) 開発する分離機の特徴

- 1) 分離槽の中の空気を過熱水蒸気で置き換えて昇温する構造の為、分離槽の中の酸素量は可燃状態をはるかに下回る。(推定 5%以下)
- 2) 過熱水蒸気は 100℃以下の物体に触れると水滴化し昇温を大きく阻害する。誘導加熱で分離槽内を 100℃以上に予熱して過熱水蒸気を投入すれば、水滴化による昇温阻害が防止でき熱効率が大きく向上する。
- 3) 誘導加熱、過熱水蒸気共に±1℃で管理可能なため、設定ミスでも無い限り過剰加熱されることはなく、ミスをソフト的にチェックすれば火災に結びつく可能性はほとんどない。
- 4) 洗濯機の脱水層の原理で金属からプラスチックが分離されるため分離効率が高い。

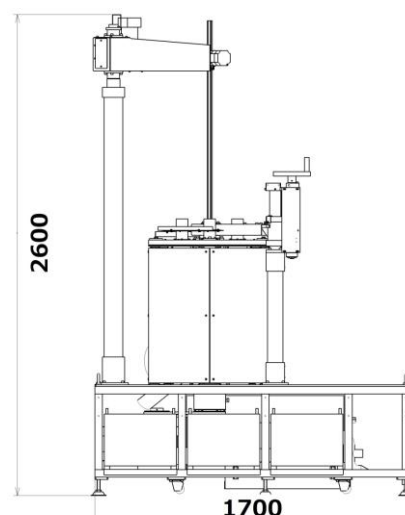
(3) 開発した分離機の概要図と写真

1) 開発した MP セパレーター

H26 年度試作機 (50L 型)



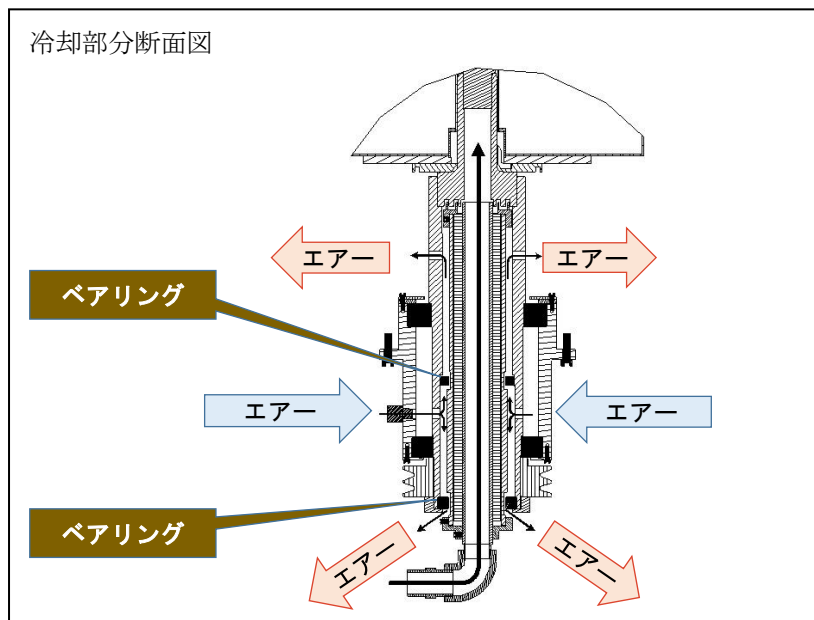
設計図



2) 設計製作課題その1

・高温ベアリング

高速対応のグリース封入タイプで、耐久性や500℃以上の耐熱性を持つベアリングは開発されていない。従って、断熱・冷却の構造強化で対応する。



3) 設計製作課題その2

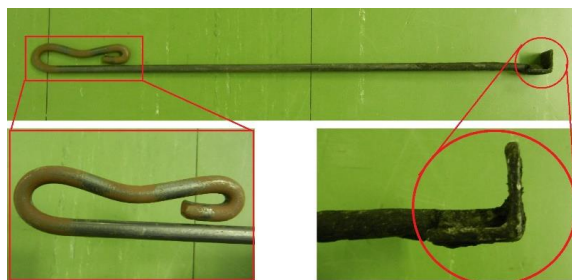
・剥離性の向上（分離樹脂取り出しの効率化）

- a. 分離樹脂は自重で流出する構造に変更
- b. カーボン、ガラス入り等粘性が高く自重で流出しない樹脂は、掻き出し治具を使用
- c. 流出しやすくする対策として、バイブレーターの使用、分離槽の形状変更を改造点として検討

流出の状態



掻き出し治具

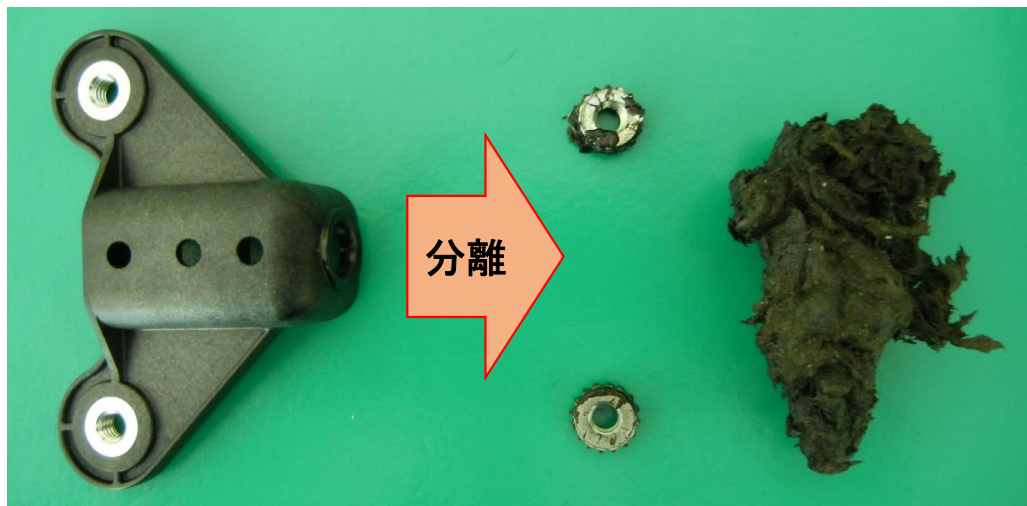


4) 分離実例（設計製作課題対策後の分離実例）

樹脂ごとの目安となる最適分離温度の割り出しの実施。例としてブラケット BPL を挙げる。

樹脂：ナイロン（アミラン CM3006G-30）				
蒸気過熱 温度設定値	底面 温度	側面 温度	モーター 回転数	回転 時間
500 °C	350 °C	350 °C	500 rpm	5 分

ブラケット BPL（アミラン CM3006G-30） 分離率：99.7%

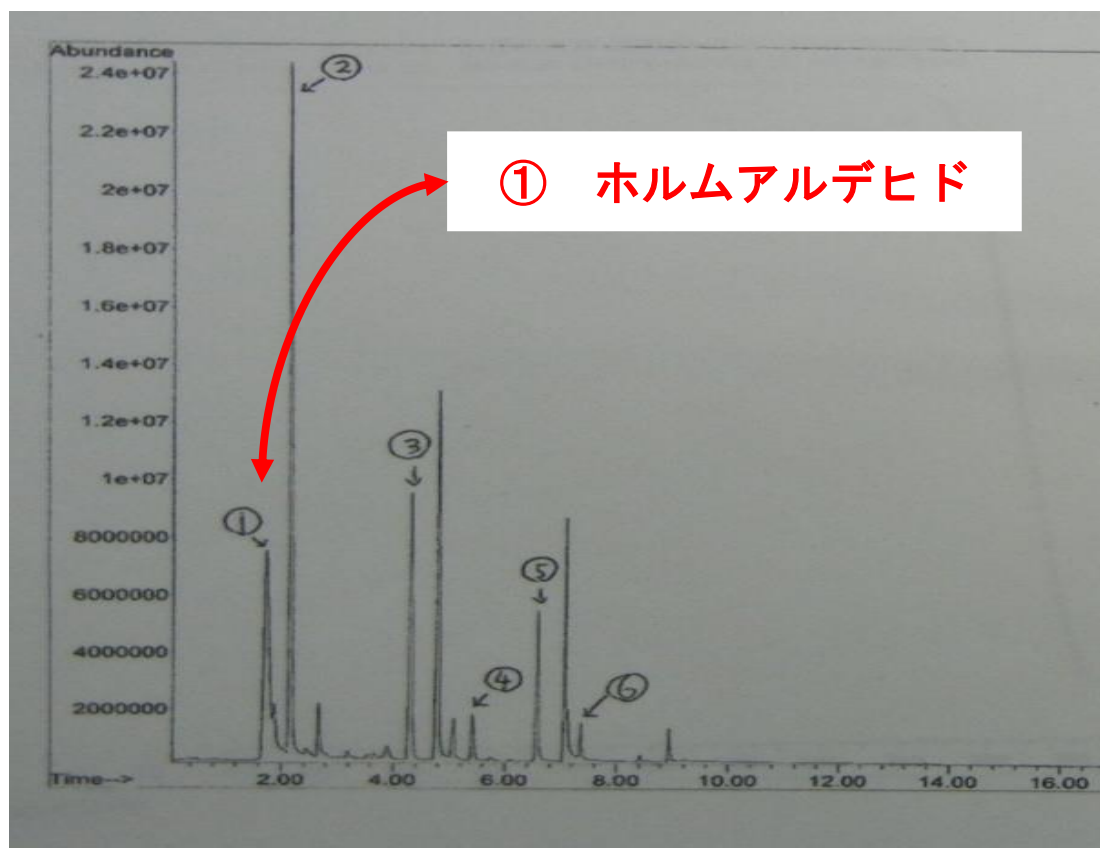


5) 設計製作課題その3

・ガス分析

安全にはガス分析による裏づけを欠かせない。その例として、問題のある POM から分離温度での分析を実施した。POM が分解するとホルムアルデヒドが発生する。その基準は日本産業衛生学会の勧告値によると、8 時間で 0.1ppm となっている。必要に応じ各樹脂の分離時における作業場のガス分析を実施し、基準外であれば、換気、局所排気、有害ガスの除去装置の設置等により、基準値内に収める対策をとる。

分離温度 250℃で 30 分間過熱した場合の発生ガス分析結果



(4) 分離試験結果

1) 試験方法

a. 供試部品

供試部品は自動車やプリンターなどに使用される部品の生産不良品として排出された金属とプラスチックを結合した廃棄物であり、結合したプラスチックはそれぞれ POM、PET、PBT、Nylon、及びガラス 30% 含有の Nylon の 5 種類である。供試部品の外観写真を Fig.1 に、プラスチックと金属の質量を Table 1 に示す。

Fig.1 Photograph of the parts for

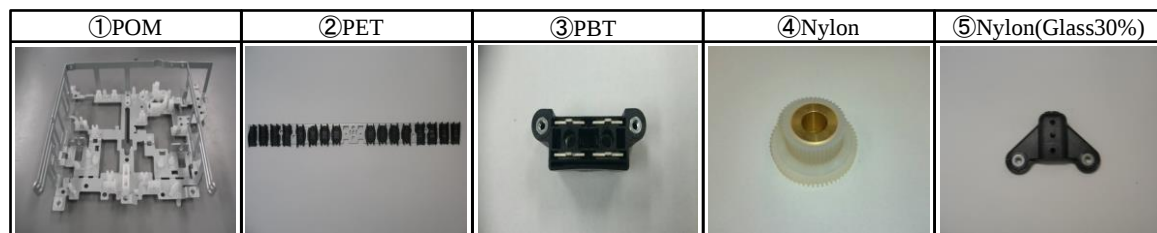
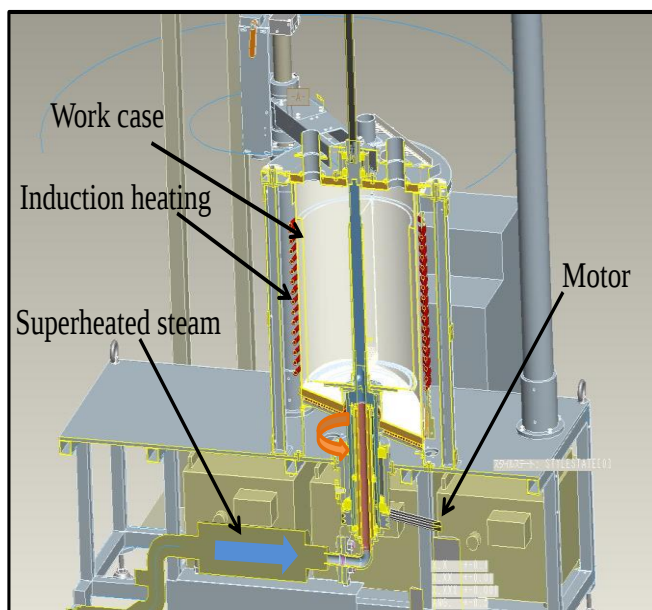


Table 1 Metal-plastic parts for test.

	Plastic	Plastic mass(g)	Metal mass(g)
①	POM	14.6	150
②	PET	21.9	64.1
③	PBT	20.5	23.3
④	Nylon	3.20	23.2
⑤	Nylon(Glass30%)	13.2	7.50

b. 試験機及び試験条件

Fig.2 Illustration of the MP separator.



MP セパレーターの 50L 試作機（環境省環境研究総合推進費補助金事業により開発）を試験機として使用した。MP セパレーターの原理図を Fig.2 に示す。分離試験では、まず電磁誘導加熱により各種供試部品

のいった分離槽内を 150℃まで昇温する。その後過熱水蒸気を投入することで無酸素状態下に近い分離槽内環境を作り出し、プラスチックの発火の可能性を除去した。続いて、設定の分離温度まで昇温後、各種供試部品のいったワークケースを 4 分間回転することで廃棄物の分離を行った。

本研究では、分離条件として樹脂の種類、供試部品の形状、回転速度及び各供試部品のプラスチックの熱分解を起こさないと考えられる加熱温度を検討した。各供試部品の試験条件を Table 2 に示す。POM を含む①の部品に対しては 240～265℃の温度範囲で、500rpm と 750rpm の 2 種類の回転速度で分離試験を行った。PET を含む②の部品は 320～340℃で試験を行い、回転数を 750rpm で正転逆転を 2 分間ずつ行う試験を行った。また、Table 2 に示す※の試験では部品同士が重ならない様に網状のガイドに部品を入れて試験を行った。PBT を含む③の部品では 340℃、750rpm で分離試験を行った。Nylon を含む④の部品では 330℃、500rpm で分離試験を行った。Nylon のガラスを 30%含む⑤の部品では 350℃、750rpm で分離試験を 2 回行った。分離試験後、電子天秤により各部品の質量を測定し、分離率を式(1)により算出した。

Table 2 Test conditions for each of the parts part.

	number	Temperature(℃)	Rotation speed (rpm)
①	34	250	500
	32	255	500
	32	260	500
	32	265	500
	32	265	500
	32	260	750
	32	250	750
	32	245	750
	32	240	750
②	64	320	500
	64	340	500
	64	320	750 Forward&Reverse
	64	330	750 Forward&Reverse
	64	330	750 Forward&Reverse
	40	330	750 ※
③	120	340	750
④	402	330	500
⑤	243	350	750
	240	350	750

$$\text{分離率(\%)} = \{W2 - (W0 - W1)\} / W2 \times 100 \quad (1)$$

ただし、W0：分離試験後供試部品質量(g)、W1：供試部品金属質量(g)、W2：供試部品プラスチック質量(g)とした。

c. プラスチックの示差熱分析及び FT-IR 分析

各種供試部品に使用するプラスチックの熱分解挙動を調査するため、示差熱分析装置（理学 TG8120）を用いて温度上昇によるプラスチックの質量変化を分析した。分析試験では、①～⑤の供試部品用プラスチックを 500℃まで昇温して分析した。また、①の供試部品用プラスチックについて 240℃での温度保持による質量変化も分析した。

さらに、①の供試部品の POM に対して 245℃と 265℃で分離試験後、FT-IR（フーリエ変換型赤外線分光分析）により性質変化の分析を行った。

2) 結果及び考察

a. 分離試験結果

POM を含む①の供試部品における分離率に対する回転速度と温度の関係を Fig. 3 示す。まず、Fig. 3 に示す様に、240℃以上の分離試験ではいずれも高い分離率を得た。また、分離温度を高くするにつれて分離率の向上が確認された。これは、プラスチックが温度上昇により粘度が低下した為であると考えられる。ただし、255℃以上では刺激臭が発生し、特に 265℃で顕著に感じた。同一温度で分離した場合、分離率は 500rpm と 750rpm の回転速度の違いによる大きな差は生じなかった。これは遠心力を利用して分離を行い一定方向のみで力を受けるため、溶融したプラスチックが部品の金属部に滞留した為と考えられる。

Fig. 3 Relationship between the separation rate of parts ① and temperature.

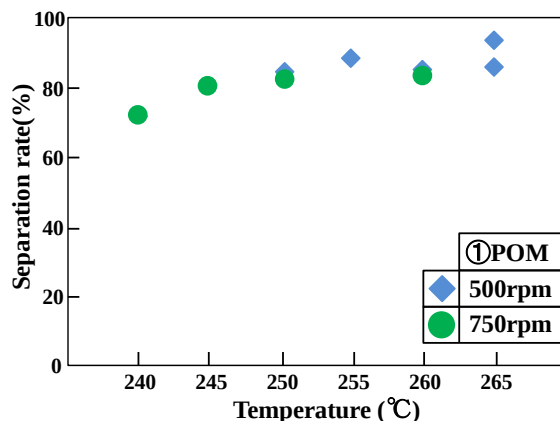
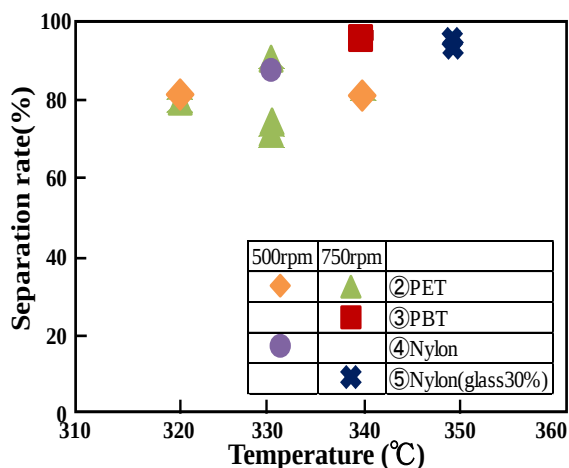


Fig. 4 Relationship between the separation rate and temperature .



POM 以外の各プラスチックに対する分離率と温度の関係を Fig. 4 に示す。PET を含む②の部品は 330℃で分離率が 70%台であったが、各プラスチックを含む部品において分離率は 80%を越えていた。②の供試部品は Fig. 1 に示す様に板状であり、プラスチックが溶融することで部品同士が重なり合い分離率が低下したと考えられる。そこで、部品同士が重ならないように網状のガイドに部品を入れることで 91%に向上した。②の供試部品を同一温度で分離した場合、分離率は 500rpm と 750rpm で 2 分間ずつ正転逆転による大きな差は生じなかった。また、②～⑤の各供試部品の分離試験では刺激臭が感じなかった。

b. 各種プラスチックの熱分析及び FT-IR 分析結果

POM の昇温による質量変化を Fig. 5 に示す。165℃付近では吸熱反応を示していることから融点であると推定される、また、質量の減少は 250℃付近から始まり 270℃より急激になった。これにより POM の熱

分解反応は 250℃付近から始まることが分かる。これは、斎藤ら⁽⁴⁾の結果と一致する。また、分離試験で刺激臭を感じ始めた温度と一致する。**POM** を 240℃で保持した場合の質量変化を Fig. 6 に示す。温度を保持した場合においても質量は緩やかに減少していた。**POM** は熱分解温度以下でその近い温度で維持する場合でも、質量の減少が起こることが分かった。各種プラスチックの熱特性について同様な試験を行い、結果を Table3 に示す。それぞれの熱分解温度は **PET** が 380℃、**PBT** が 350℃、**Nylon** が 335℃、**Nylon (glass 30%)** が 410℃であった。これらの供試部品に対する分離試験はいずれも熱分解温度以下で行ったため、刺激臭を感じなかったと考えられる。

Fig.5 Thermal analysis of POM to 500℃.

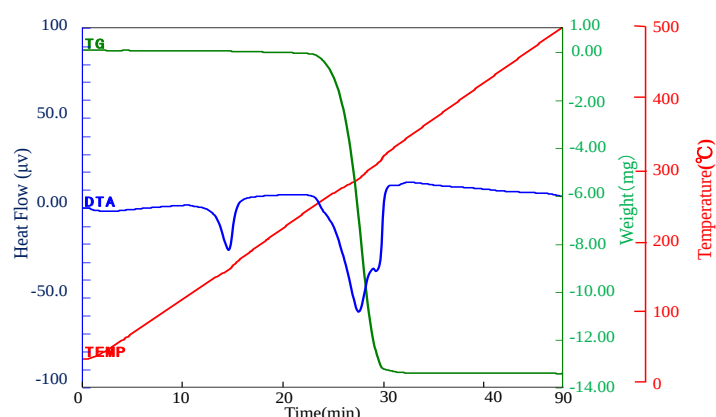


Fig.6 Thermal analysis of POM kept at 240℃. keeping.

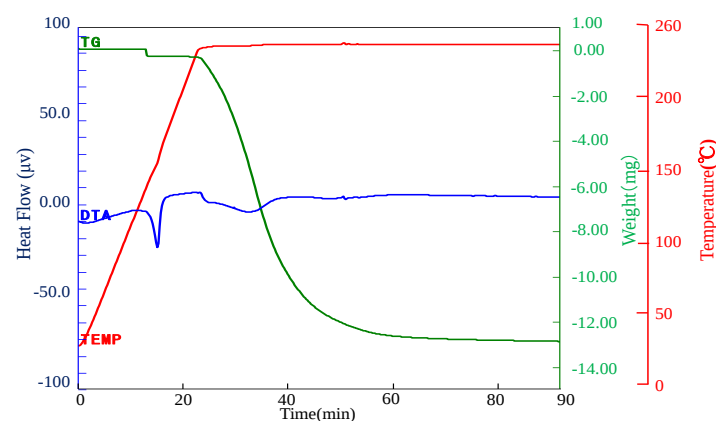
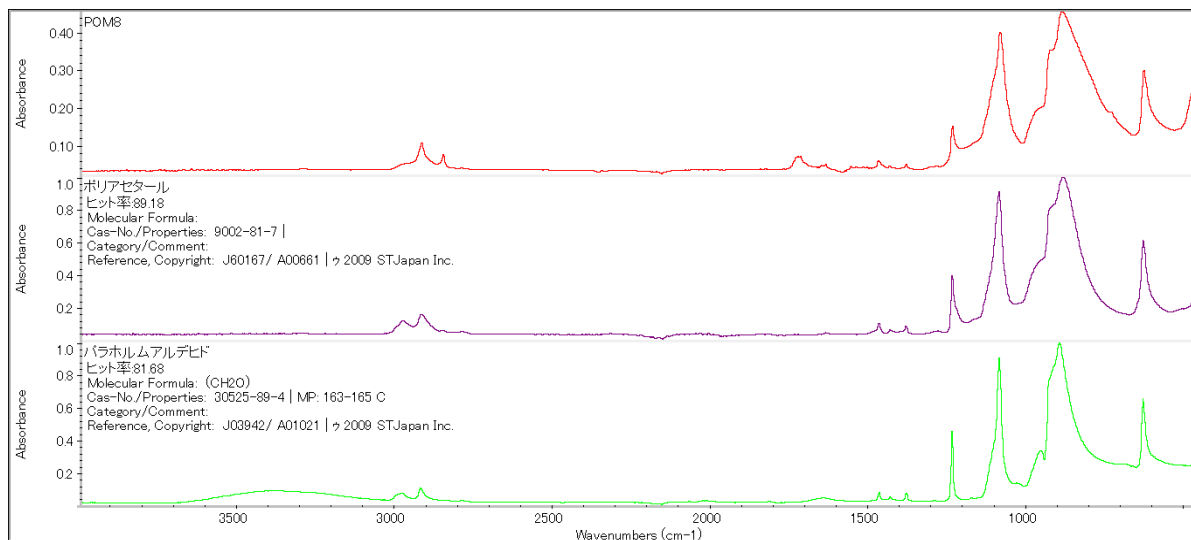


Table 3 Thermal properties of each parts.

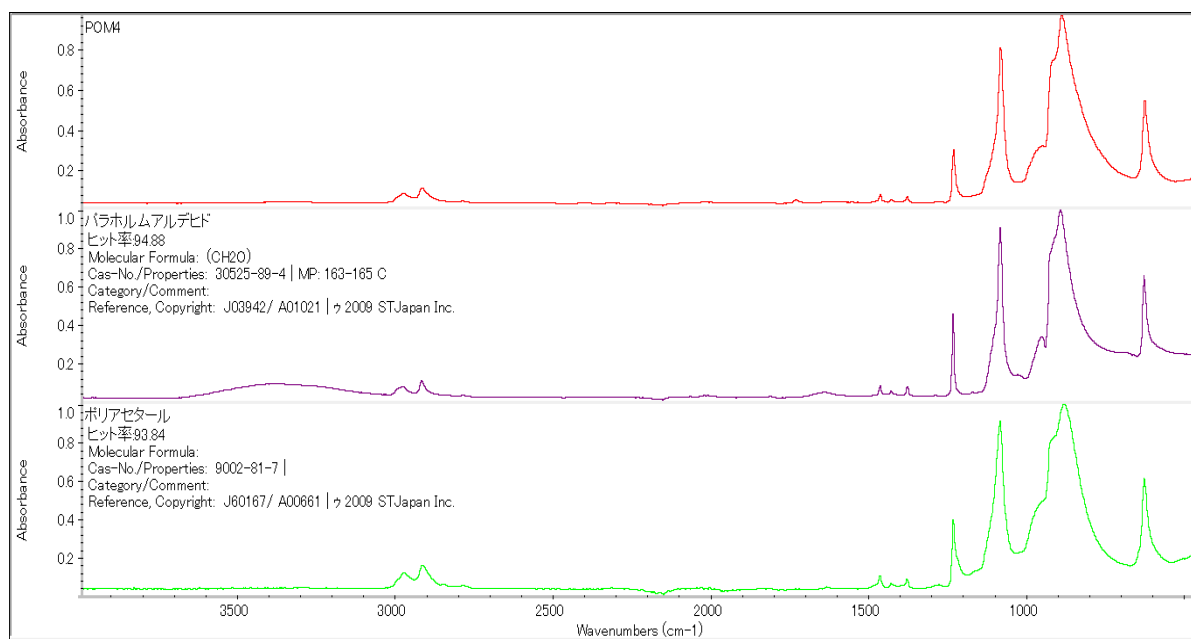
	Plastic	Melting point(°C)	Pyrolysis temp. (°C)
①	POM	165.0	245.0
②	PET	240.0	380.0
③	PBT	220.0	350.0
④	Nylon	260.0	335.0
⑤	Nylon(Glass30%)	250.0	410.0

Fig.7 The results of FT-IR analysis for POM separated at 245°C and 265°C.

(a) POM separated at 245°C



(b) POM separated at 265°C



(i) 245°Cと(ii) 265°Cの条件の分離試験で使した POM の FT-IR 分析を行った。(i)と(ii)の分析結果をそれぞれ Fig. 7(a)と Fig. 7(b)に示す。(i)では POM との一致率が 89.18%を示しており分離試験後も性質は殆ど変化していない。よって、この温度では熱分解反応が起きていないと考えられる。(ii)ではパラホルムアルデヒドとの一致率は 94.88%であるため、性質の変化が起きたと推測できる。この結果と示

差熱分析の結果により (ii) で分離試験を行った際に生じた刺激臭が熱分解によるものであることが分かる。(ii)での分離率の結果は 94%と良好であるが熱分解の可能性が高いため、(i)以下の温度(245℃)での分離が好ましいと考える。

3) 結言

MPセパレーターの 50L 試作機を用いた金属・プラスチック複合廃棄物の分離試験を実施した結果、各種プラスチックを含む供試部品で高い分離率を達成した。また、分離率に及ぼすプラスチックの種類、分離温度、回転速度および部品の形状の影響について確認できた。

分離試験及び示差熱分析や FT-IR 分析の結果より最適な分離条件を検討した。POM を含む場合は最適分離温度が 245℃以下、PET、PBT、Nylon および Nylon(glass 30%)を含む場合は本試験の分離温度が適切であったと確認できた。回転速度の分離率への影響は見られなかったため、本試験の 500rpm 回転速度で 4 分間一定方向での分離条件が適当であると考えられる。また、部品同士が出来るだけ重なり合わないよう工夫する必要がある。

参考文献

- (1) 本多 俊一, 廃棄物資源循環学会誌 Vol. 22, No. 2, P. 117-124, (2011).
- (2) 天谷 賢児, 新井 雅隆, 日本エネルギー学会誌 Vol. 74, No. 11, P. 962-969, (1995).
- (3) 徳田 昌則, 日本機械学会誌 Vol. 95, (880), P. 177, (1992).
- (4) 斎藤 幸廣, 小林 佐敏, 西田 弘一, 熱測定 Vol. 25, No. 3, P. 56-66, (1998).

4. 実証施設の設置場所等

松本市笹賀 5487 ニッキトライシステム (株) 笹賀工場

5. 本研究により得られた成果

(1) 技術的貢献度

プラスチックと金属の結合物をそのままの形で分離できる機械を様々な手段で探してみたが存在しない。また、過去の特許等を探してみても本開発に類似する機械は見当たらない。しかし、原理は全く異なるが、プラスチックと金属の結合物を処理する方法には次のものがあり、問題点も比較的わかり易い。

- 1) 破碎、シュレッダーにより結合物を破壊し、磁石等により付着する金属の 1 次分離を行う。残るものを人手により分離する。分離できないものはごみ、シュレッダーダストとして焼却、埋め立て等により処理する。
- 2) 上記に対する問題点と優位性
 - a. 技術の優位性

破碎、シュレッダーによる処理は、結合物単体で行われている例はあまりなく、他の物質 (例えば、自動車の座席等非金属との混合) と共に処理されるため、ゴミ、ダストの発生は不可避であり、後処理として焼却による環境負荷の増大、埋め立て場所の逼迫等 2 次的社会問題につながっている。本開発の

場合、金属のリサイクルはほぼ 100%、樹脂も、金属に付着して残るもの以外はそのままりサイクルされ、リサイクル率 90%を目指しており、ゴミ、ダストの発生は殆どない。

b. 開発状況の優位性

破碎、シュレッダーともにプラント形式で行われ、処理場への運搬、破碎刃、シュレッダー刃の摩耗損傷、騒音、粉じんの発生があり実行場所が限定される。本開発の場合、発生場所で処理ができ、現状のリサイクルルートで処理すれば運搬の問題はない。

また、分離時にプラスチックから発生するガスもあるが、現在行われている成形作業を基準として環境条件を整え、作業環境の目安としたい。分解温度以下で管理して発生ガスを抑制し、換気条件、扱う樹脂によって必要であればガス処理装置（基本的にはポリアセタールに限定され、市販品あり）の設置により可能と判断され、設置場所はそれほど限定されず汎用性が高い（発生ガスの種類と量、人体への影響は文献、ガス分析でも調査中、現在問題がある対象は塩化ビニール、ポリアセタールの 2 種類に限定される模様）。

また、火災を防ぎつつ溶融分離する方法は、他に具体的な開発例が見られず、独創性も開発の大きな優位性となっている。

c. 目指す成果の優位性

リサイクルの成果の一つに、対象物質のリサイクル率が上げられる。破碎、シュレッダー処理は、原形を破壊する時に発生する混合ごみを伴う。この中には分離不能な金属、その他の非金属、樹脂も多く含まれ、リサイクルの対象とならない。

プラント基盤、携帯等の小型家電等を対象とした小型の破碎式分離装置も開発されているが、破碎を伴う限り、同じ条件のもとにあり、対象範囲も限定されている。また、本開発のリサイクル率はこれらの方法と比べて非常に高い可能性がある。

もう一つ、リサイクルのクリーン性がある。破碎、シュレッダー処理等によるリサイクルは、必然的にゴミ、ダストを伴い、相応の環境負荷を免れることができない。本開発は金属、樹脂共にリサイクル率は高く、ゴミ、ダストの発生は皆無と言ってよい。従ってもっともクリーンなりサイクル方法と言える。

（２）得られた成果の実用化

1) 背景及び動向

a. 実用化される製品・サービスを投入する市場分野の概要

プラスチックと金属の結合物はその利便性ゆえに自動車、OA機器をはじめ、日用品、玩具、医療器と幅広く利用されている。当然、それらの製品の生産現場で発生する不良品の処理には分離機が理想的である。

また、耐用年数が過ぎ、使用済みとなった機械を分解処理する場合にも多量の結合物が発生する。廃棄物中間処理業者、焼却場に集まる結合物も大量にある。使い捨ての医療器等も潜在的な巨大市場と言える。

このように、人間の生活の中から発生してくる結合物は実に多種、多大な規模と言える。しかも、技術の進歩はそれをますます増大させる方向に動くと推定される。しかしながら、環境負荷とリサイクルの問題を考えた場合、破碎、シュレッダー処理、輸出等の対応では余りにも不十分と言わざるを得ない。

環境負荷はほとんどなく、リサイクル率の非常に高いMPセパレーターこそ、プラスチックと金属の次世代の処理技術と言える。

b. 市場の動向、規模、将来性

i. 市場の動向

ごみは、社会問題として各自治体でも減少させる方向で取り組んでいる。しかし、リサイクルに対する要望は今後ますます強くなると考えられ、埋め立て、焼却等、環境負荷を伴う処理は社会的に認められない方向に動くと推定される。従って、プラスチックと金属の結合物のみでなく、破碎、切断を伴わないリサイクル処理は、小型家電、家電、プラスチックと非金属の結合物等、様々な分野に利用価値を見いだせる可能性が高い。

ii. 市場規模

プラスチックと金属の結合物は、人間が生活活動をする場所に大量に使用され、時間の経過と共に使用済み品として排出されてくる。これは世界共通の現象であり、人間の生活状態がそのまま市場を形成しているともいえる。

プラスチックと金属の結合物は、人間が生活活動をする場所に大量に使用され、時間の経過と共に使用済み品として排出されてくる。これは世界共通の現象であり、人間の生活状態がそのまま市場を形成しているともいえる。

同様に、環境省の統計によると、生産活動の中から排出されるごみの処理を行う産業廃棄物中間処理業の全国の許可件数は、H23 年度 288,801 件、その中の 5%の場所で使用されたと仮定すると、その数は約 14,400 台となり、市場規模としては相当数見込める。

iii. 市場の将来性

結合物を現状の形で分離可能な技術は、現在のところMPセパレーター以外には見受けられない。同じリサイクル処理でも、破碎、シュレッダー処理は環境負荷に繋がるのみならず、リサイクル率も悪く、将来的には問題点がありすぎると判断される。

従って、MPセパレーターが世に出れば、リサイクル事業の一端を担う機械として広く利用される可能性が高い。また、分離技術は世界的にも類似品のない独創性があり、現在まで他の方法でも製品化されたものがない。従って、競合技術も簡単に開発されないと推定され、本発明で実用化される技術の優位性はゆるぎない。

c. 市販製品・サービスの到達点・問題点

i. 現状方法（製品）、サービスで実現できていること

現状方法としては、プラント形式による破碎、シュレッダー処理、小型の粉碎装置を備えたリサイクルがある。前者の場合、破碎、切断後、磁石による分離に加えて人力による分別作業によりリサイクルにつなげている。強みとしては、種類を選ばず、混合で大量処理が可能な点であり、リサイクル率を無視すれば作業効率は高い。

対象物の粉碎とその後の比重を利用した分別装置を備えた小型の分離機がある。小型で移動可能であり、小型家電、基盤等のリサイクルを対象に販売されている。金属とプラスチックの結合物の視点から見た場合、粉碎工程は小物には適用可能と考えられるが、大物に対しては限定的ではないかと推測される。

ii. 現状方法の問題点

破碎、切断は最終的には分別のできない金属、非金属、プラスチック等の混合したゴミ（ダスト）が発生し、焼却、埋め立ての環境負荷を防止できない。加えて、処理場までの搬送が必要であり、汎用性が無くリサイクル率も上がりにくい。

小型のリサイクル機は場所的には汎用性があるが、処理対象が限られ使用面での汎用性に劣る。また、処理できない混合物も破碎等と同じと判断され、リサイクル率は上がりにくいのではないかと。

（３）社会貢献への見込み

中型機がほぼ 90%完成した H27 年の 8 月、中間報告のプレゼンが行われた。その結果の講評で、MP セパレーターの市場性、および応用分野について実情把握が必要ではないかとの指摘があった。

開発当初問い合わせのあった企業に製品の完成の報告と、分離テストに用いる資料の提供を受けるため会社訪問を行った。しかし、当初調査した反応と比較すると、あまりにも手ごたえが感じられず、開発への要請も消失していることが分かった。その理由として、その中の大手 2 社では、金属とプラスチックの結合物はいまやほとんどが海外生産となっており、不良品処理に対する需要はなくなったとのことだった。

以上の経過から、MP セパレーター開発継続の根拠を得る為に、早急に現在の実態を把握する必要に迫られた。だが、自力調査では限界があり、より客観的な事実を把握するためには専門家による調査が必要と判断された。そこで、環境関係の専門調査会社である「環境ビジネスコンスタンツ社」に調査を依頼した。その結果次の点が判明した。

- 1) 近年の様々な規制の強化と処理技術の向上は、産業廃棄物についてはこれ以上のリサイクルの促進と最終処分量の減少は困難な水準に達したと推定される。
- 2) プラスチックと金属の結合物を使用する業界の生産状況は、テレビは 2005 年と比べて 2014 年は 10.6% まで減少、洗濯機は 32.3% まで減少、その他の家電についても大幅に減少している。また、海外への生産拠点の移動により、国内の結合物の生産は 10% 以下に減少している。
- 3) 自動車のリサイクル率については、政府主導で業界の複数のリサイクルチームが競う形で技術開発を進め、法施工時の H17 年の 57~66% と比べて H26 年は 97% までに上昇している実態がある。

以上の現状を見ると、リサイクルと言う点では MP セパレーターとは異なる方法でほぼ完成された形まで進歩している。処理のすべてが機械化、自動化され、人手を要する MP セパレーターはコストの点で採算が合わず、需要先がほとんど見込めない現状が明らかになった。

以上のような経過により、MP セパレーターを開発しても需要先がないことがはっきりした。また、新たな需要先を検討してみたが、市場調査の結果、積極的な需要先の掘り起しは早急には困難と推定された。従って企業としての採算性、これ以上の費用投入の有効性を考えると、残念ながら中断すべきとの結論にいたった。結果として計画の変更による中断を申請し、受理となった。技術は時間による価値の変化があることを強く感じさせられた。

6. 技術開発の主な発表状況

（１）誌上発表

特に記載すべき事項はない

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 渡邊健太、三島克己、二華院輝、倉科哲寛、寺島一幸、鈴木陽、牛立斌：金属・プラスチック複合廃棄物の分離装置における分離条件の最適化、日本機械学会北陸信越支部第 53 回総会・講演会、講演論文集、No.409（2016）

（３）知的財産権

- 1) 国立大学法人信州大学、三島克己：「分離回収装置および分離回収方法」、特願 2011-225958、特許第 5311591、平成 25 年 7 月 12 日

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

（６）その他

特に記載すべき事項はない

7. 引用文献

特に記載すべき事項はない

[研究概要図]

プラスチックと金属の結合物を分離する実用機（MP セパレーター）の開発と
分離材料の再資源化の促進

課題番号 3J143002 有限会社サンプラスチック三島克己



[英文概要]

Development of Practical Machine for Separating the Metal-Plastic Bindings and Promotion of Recycling of the Separated Materials

Principal Investigator: Katsumi MISHIMA

Institution: Sanplastic Ltd.

81-4 Houfukujimachi, Matsumoto-City, Nagano prefecture,
399-7421, JAPAN

Tel: +81-263-64-3110 / Fax: +81-263-64-3262

E-mail: sanpla-hp@sanplastic.co.jp

Cooperated by: Shinshu University, Nicki Try System Co. Ltd., Naotomi Trading Co. Ltd.

[Abstract]

Key Words: Metal-plastic complex, Super-heated steam, Electromagnetic induced heating, Centrifugal force, Separation, Recycle, Practical machine

The metal-plastic complexes are produced in large quantities and used in a wide range of fields including cars, OA equipment, daily necessities, medical equipment, toys and so forth. However, there is no reasonable treatment method to make them recyclable. The current situation is that most of the complex wastes are treated as landfill, export and incineration. Resource saving, energy conservation and environmental protection are social issues that have become increasingly important today. There is a strong demand for effective utilization of limited resources, reduction of environmental impact, and establishment of a recycling society.

For the above reasons, in this work, a compact and movable MP separator (50L) for separating metal-plastic complexes was developed using super-heated steam, electromagnetic induced heating and the principle of centrifugal force. Furthermore, using the present test machine (MP separator) demonstration tests for separating various metal-plastic complex wastes were conducted at temperatures between 250°C~350°C. As a result, higher separation rates of above 80% of plastic were confirmed.

On the other hand, we conducted a market research on the new demand destination of the MP separators. That made it clear that the MP separators are not profitable in terms of cost, and the demand situation can hardly be expected.