

廃自動車・廃家電のシュレッダーダストのリサイクル技術開発

平良秀春、花城可英、國吉和男

1 はじめに

2004年に施行される自動車リサイクル法に向け、使用済み自動車のリサイクル技術の開発が近年注目をあびている¹⁾。自動車リサイクル法が施行される背景として、使用済み自動車をシュレッダー処理する際に発生するシュレッダーダストの処分費が全国的に高騰してきたため、円滑な処理を行うことに支障をきたす可能性が出てきたことが一因と考えられる。1996年4月よりシュレッダーダストの埋め立ては管理型埋立処分場への移行が強化されたが、沖縄県においては管理型埋立処分場の数が少なく、さらに逼迫した状態である。その為、他県よりも早く埋め立て処分費（シュレッダーダストの処分費）が高騰し、有償で引き取られていた使用済み自動車は排出者から処理する費用を負担してもらう逆有償となった。²⁾その結果、放置自動車が増加し、社会問題化している。このような現象は近年全国的に発生している。このような背景のもと、使用済み自動車のリサイクルにおいてシュレッダーダストのリサイクルによる減量化は急務である。一方、シュレッダーダストの減容固化技術に関しては研究開発が行われており^{3),4)}、実際に取り組みを行っているシュレッダー事業者もいる。この減容化したシュレッダーダストを全国に広く分布している製鋼用電気炉やセメントキルン等の助燃剤として利用することができれば、既存インフラを利用した比較的实践し易いシュレッダーダストのリサイクルシステムを構築することができる。しかし、シュレッダーダストは銅や塩化ビニルを含有している。銅は製鋼において品質低下の原因となるため、製鋼においては品質管理において厳しく管理されている。塩化ビニルはセメントキルンにおいて塩化ビニル中の塩素が製品品質を低下させる恐れがある。これらの問題を解決するために静電分離技術を用いた銅及び塩化ビニルの除去を行うパイロットプラントを導入し分離技術の開発を行った。

2 実験方法

2-1 銅静電分離装置

シュレッダーダスト中の銅の分離は（株）ゼーマグ製の銅静電分離装置（ZSS-25150CU）を用いた。その原理の概要を図1に示す。銅（金属）とプラスチック類が混合されたものを積層しないように回転ドラム電極の上部に供給する。混合物は回転ドラムの回転により対向電極

付近に運ばれる。対向電極と回転ドラムの間には静電界場が形成されており、その静電界場を混合物が通過する際にその混合物が負に帯電する。帯電した物質の内、金属類については導電率が高いため、瞬時に回転ドラムに電荷を放電し、回転ドラムの遠心力で前方に飛行落下する。しかし、プラスチック類は電荷を保持するため回転ドラムに付着した状態で回転し、ブラシ位置付近で落下する。このような現象を利用してシュレッダーダスト中の銅を分離する。

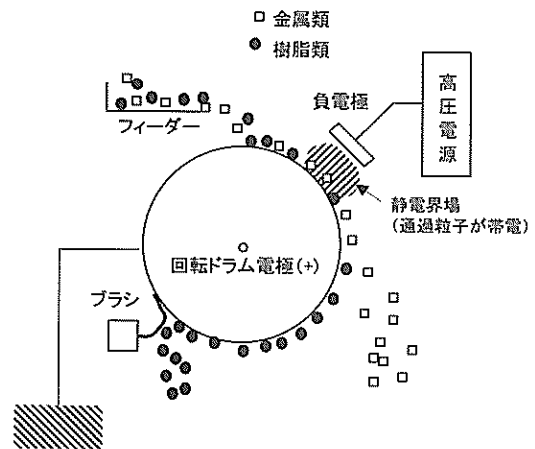


図1 銅（金属）の静電分離の概要

2-2 塩化ビニル静電分離装置

シュレッダーダスト中の塩化ビニルの分離は（株）ゼーマグ製の塩化ビニル静電分離装置（ZSS-25150PV）を用いた。その原理の概要を図2及び図3に示す。

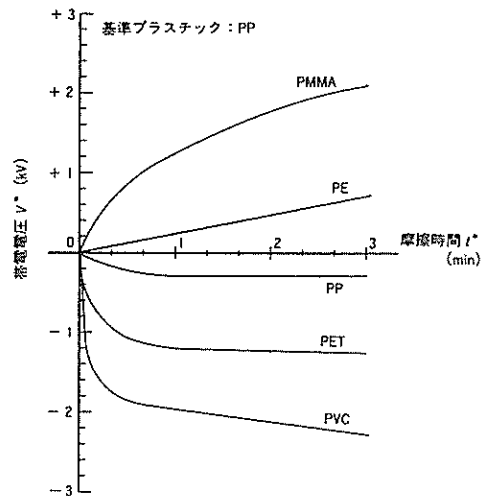


図2 プラスチックの摩擦耐電特性⁵⁾

塩化ビニルの静電分離はプラスチックの摩擦帯電特性を利用して分離する。これは異種のプラスチックを相互に摩擦することでプラスチック表面がその材質に応じた特性で帯電するものである。その摩擦帯電特性において正に帯電しやすいものから負に帯電しやすいものまでを並べた帯電列は下記の通りである。

(-) PVC-PET-PP-PE-PS-ABS-PMMA (+)

*PVC (ポリ塩化ビニル)

PET (ポリエチレンテレフタレート)

PP (ポリプロピレン)

PE (ポリエチレン)

PS (ポリスチレン)

ABS (アクリロニトリルブタジエンスチレン)

PMMA (ポリメタクリル酸メチル：アクリル)

前畑ら⁵⁾により報告されているポリプロピレンを基準プラスチックとして他のプラスチックと摩擦させた際の帯電特性が図 2 である。

これらのことから塩化ビニルが他のプラスチック類より負に帯電し易いことが解る。そこで塩化ビニルを含むプラスチック類が図 3 のように振動フィーダーにおいて摩擦帯電を起こし、負に帯電した塩化ビニルを回転ドラムに付着させて除去を行う。正に帯電した他のプラスチックについては遠心力と負極への吸引力により前方（負極側）へ飛行落下する。

このような現象を利用してシュレッターダスト中の塩化ビニルを分離する。

3 実験結果及び考察

3-1 銅静電分離試験

3-1-1 デバイダー位置の影響

銅静電分離試験におけるサンプル採取位置を図 4 に示す。供給されたダストは回転ドラム電極の回転により電極間の静電界場を通過し帯電する。樹脂類については帯電した電荷を保持することで回転ドラムに吸着し、ブラシ付近で落下する。この落下してくる金属含有率が低下したサンプルを分離物 A とした。また、導電性の高い金属類は電荷を放出し回転ドラムの遠心力により前方に飛行落下する。この飛行落下してくる金属類が濃縮されたサンプルを分離物 B とした。この分離物 A は固形燃料化されるものであり、次の工程である塩化ビニル静電分離装置に供給するものである。シュレッターダスト中の銅を静電分離するには基本的に前述のように金属類と樹脂類の分離が起こるが、処理困難物であるシュレッターダストはその材料組成が複雑であり、より純粋な状態で分離することが困難である。特にデバイダー（仕切板）付

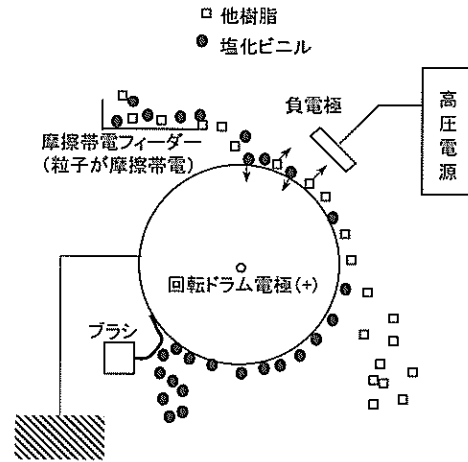


図 3 塩化ビニルの静電分離の概略

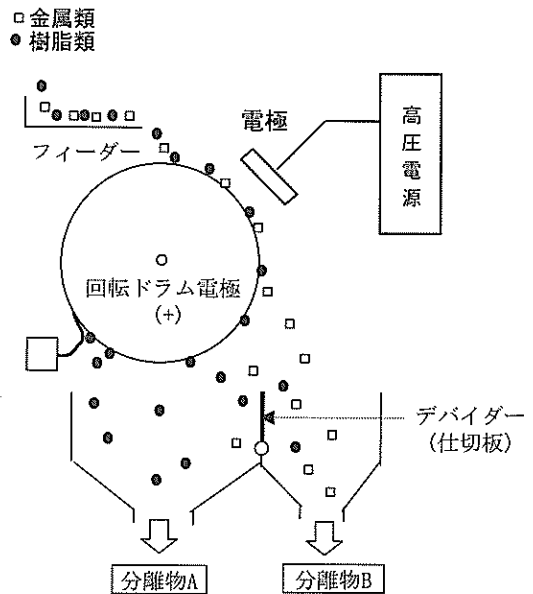


図 4 銅静電分離試験におけるサンプリング位置

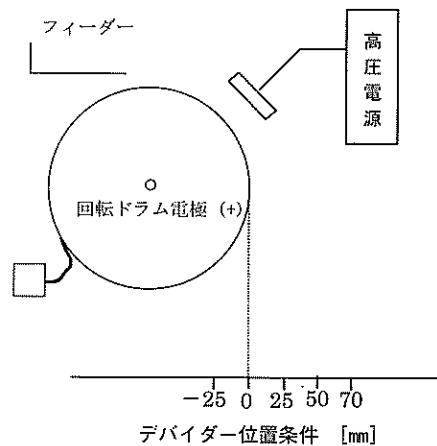


図 5 銅静電分離試験におけるデバイダー位置

近には明確に分離されていない中間層が存在し、この中間層をデバイダーによりどのように分けるかが分離効率に大きく影響する。そこで、デバイダー位置と分離効率の関係調べるために試験を行った。試験の際に設定したデバイダーの位置条件について図5に示す。デバイダー位置については回転ドラムの負電極方向の外側から垂直方向に下ろした点を基準点0mmとし、その基準点から負電極側を正として、10mm、15mm、25mm、50mm及び70mm、反対側を負として-25mmとし、計7条件とした。デバイダー位置条件が基準点0mmよりも正側が多くなっているのは分離対象である金属類が遠心力により前方に飛行落下することから、基準点よりも負側には殆ど金属類が存在しないと思われ、デバイダーの分離効率に対する最適位置条件が正側に存在すると予想したためである。

銅静電分離試験の結果を図6に示す。試験条件は印加電圧32kV、回転ドラム回転速度は5rpmとした。印加電圧は高い値での設定が望ましいが、一方で印加電圧を高くするとスパーク発生頻度が高まり、分離効率が逆に低下する場合がある。従って、スパークの発生頻度が小さい範囲でより高い印加電圧を設定することが望ましく、予備試験にて目視やスパーク発生音により印加電圧の条件設定を行ったところ安定していたのは32kVであったため、銅静電分離試験においては基本的に印加電圧を32kVと固定した。図6においてデバイダー位置を-25mmから70mmに移動していった。移動させると供給ダストに対する分離物Aの総回収率が高くなり、一方の銅の除去率は低下した。これは分離物Aの収率をより高くすると銅の除去効率が低下することを示している。この実験における分離物Aの銅含有率を図7に示す。デバイダー位置を-25mmから70mmに移動すると図6の銅除去率の低下に伴って銅含有率が高くなっている。銅の含有率の数値目標を0.5%として、その数値目標を達成するデバイダー位置は25mmであった。

3-1-2 回転速度及び印加電圧の影響

回転ドラム電極の回転速度と銅分離の関係を図8及び図9に示す。これらによると回転速度を5~15rpmの範囲で変化させても分離に大きな影響は見られなかった。印加電圧と銅分離の関係を図10に示す。図10において印加電圧を32~34kVに増加させたところ分離物Aの回収率が増加する結果となった。その際の銅の除去率は殆ど変化がないことから、プラスチック類の回転ドラム電極への付着力が増加しているためと思われる。回転ドラム電極への付着力は静電誘導によるものであり、この効果は帯電物の負帯電量が大きいほど強い力になることが知

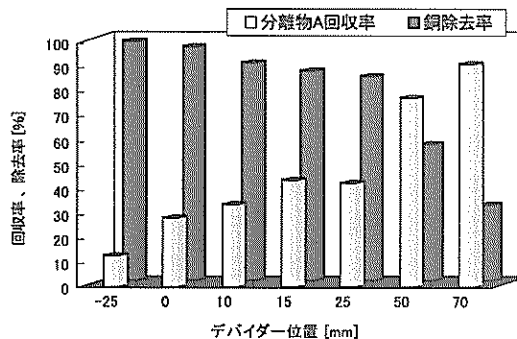


図6 各デバイダー位置における分離物Aの回収率及び銅の除去率

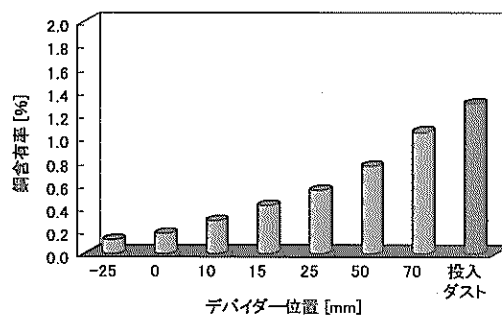


図7 各デバイダー位置における分離物Aの銅含有率

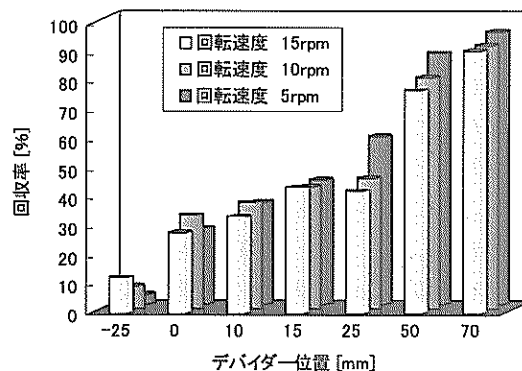


図8 各回転速度における分離物Aの回収率

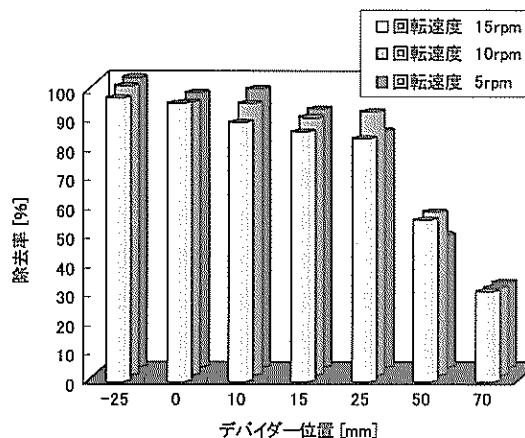


図9 各回転速度における銅の除去率

られている。従って、印加電圧を上げることにより、静電界場を通過したプラスチック類の負帯電量が増加し、プラスチック類の回収率が上昇したと思われる。この結果から、印加電圧を増加させると分離能が向上することが予想されるが、前述した通り、印加電圧の増加に伴うスパークによる分離能の低下も予想される。予備試験では32kV以上ではスパーク等が起こりやすいことを確認しており、32kV以上での運転においてはさらなる繰り返し試験を行う必要があると思われる。

3-1-3 材料組成による分離評価

供給物であるダスト、分離物A及び分離物Bの材料組成を図11に示す。銅の主な起因となるワイヤーについて見ると供給ダストにおいて約2%存在している。このBダストを静電分離することで分離物Aのワイヤーが0.8%、分離物Bのワイヤーが5.2%となった。これは化学組成において分離を評価した際の数値と類似している。また、分離において顕著に見られる傾向として、ラバー類が分離物Bに集中していることがあげられ、分離物Aにはラバー類はほとんど見られなかった。ラバー類が分離物Bに集中した原因はラバー類の弾性が高いため、回転ドラム上に供給された際、弾んで回転ドラムに吸着することなく前方に飛行落下しているためと思われる。そこで、分離を行っている際に回転ドラム部分を観察したところラバー類が弾んで前方へ飛行落下する現象を確認することができた。このことから、ラバー類の弾みを押さえるような対策をとることで分離物Aの回収量が増え、歩留まりが向上し、銅含有率もさらに低減化することができるとと思われる。プラスチック類についても分離物Bに一部移行している。これはラバー類と同様に弾むことで前方に飛行落下しているものも一部あると思われるが、粉砕や供給フィーダー等でプラスチック類が摩擦帯電を起こし、正に帯電したプラスチック類が負極に引き寄せられるように前方へ飛行落下したものであると思われる。原因として弾性と摩擦帯電のどちらが主であるかは今回では確認できなかったため、今後検討が必要である。

3-2 塩化ビニル静電分離試験

3-2-1 回転速度の影響

塩化ビニル静電分離試験におけるサンプル採取位置を図12に示す。フィーダーにおいて摩擦帯電を起こしたダストは回転ドラムの上部に供給され、回転ドラム電極の回転に伴い、負に帯電しやすい塩化ビニルは正極である回転ドラムに吸着され、正に帯電したプラスチック類については負極に引きつけられるように前方へ飛行落下する。この前方に飛行落下した分離物を分離物Cとした。

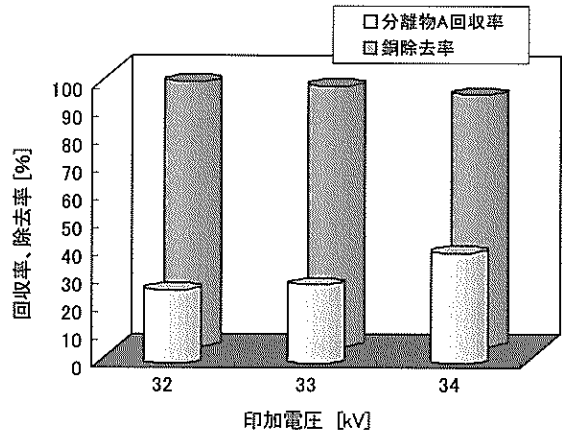


図10 各印加電圧における分離物Aの回収率及び銅の除去率 (回転速度15rpm、デバイダー位置 0mm)

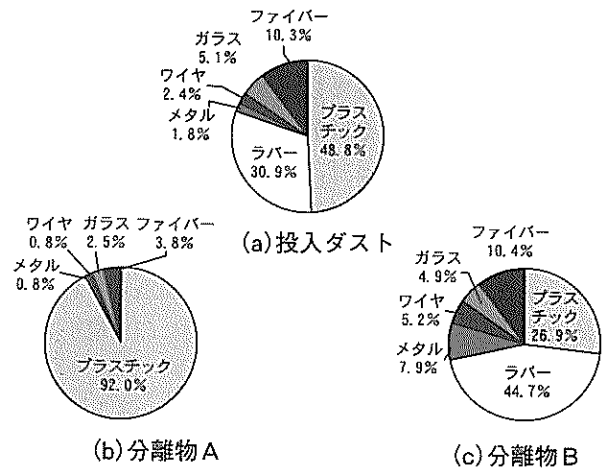


図11 投入ダスト、分離物A及び分離物Bの材料組成

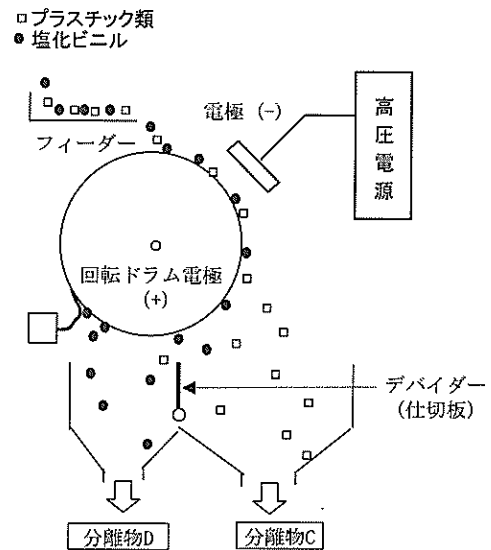


図12 塩化ビニル分離試験におけるサンプリング位置

また、ブラシ付近で落下する分離物を分離物Dとした。

試験を行う際のデバイダーの位置条件について図13に示す。デバイダーは銅静電分離装置と異なり、基準点0mmから負側の領域が設定範囲である。分離試験では予備試験の結果を基に、より多くの塩化ビニルを除去できるようにデバイダー位置を設定した。その位置は基準点0mmから負側で-60mmの位置であり、塩化ビニル分離試験においてデバイダー位置は固定とした。回転ドラム電極の回転速度と塩化ビニル分離能の関係を図14に示す。印加電圧は35kVとし、回転速度は20、25、30及び35rpmと変化させ、それぞれの分離能を調べた。塩化ビニルの評価については廃棄物中の塩化ビニルを定量する事が非常に困難であったため、塩素量を測定し推測することにした。まず、分離物Cの回収率を見てみると、各回転速度において約95%と高い回収率を示した。一方、塩素除去率は約30%であり、これらの数値は各回転速度において殆ど変化がなかった。

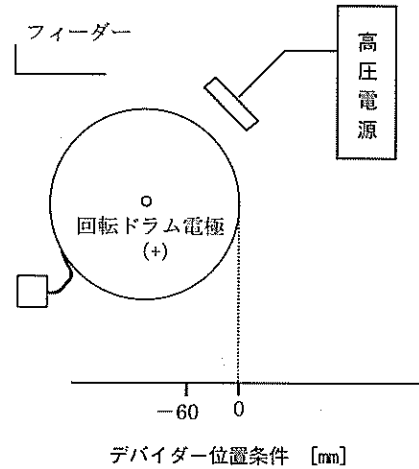


図13 塩化ビニル分離試験におけるデバイダー位置

3-2-2 印加電圧の影響

印加電圧と塩化ビニル分離能の関係を図15に示す。投入ダストは銅静電分離装置において銅を含む金属含有率が低減したものであり、より高い印加電圧をかけることができると考え、印加電圧を31kV、33kV及び35kVとし分離試験を行った。印加電圧を31kVから35kVへ上げていくと、分離物Cの総回収率は約90%と殆ど変わらないが、塩素除去率が約12%から約30%に増加しているのが解る。印加電圧35kVではスパークは殆ど起きなかったが、予備試験においてそれ以上の印加電圧でスパークが起こった。従って、印加電圧は35kVが最適であると思われる。

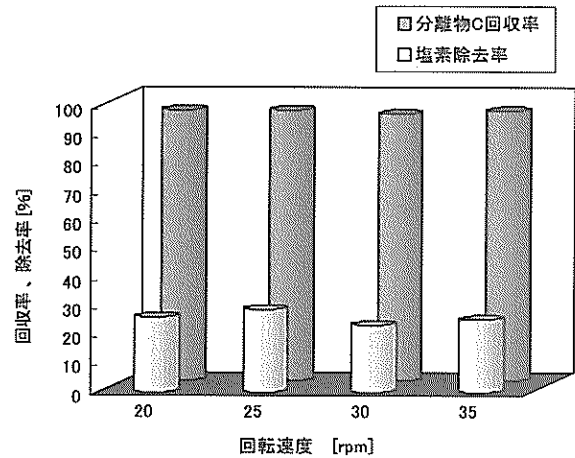


図14 各回転速度における分離物Cの回収率及び銅の除去率

4 まとめ

銅及び塩化ビニルの静電分離による除去について検討したところ下記のことが解った。

(1) 銅静電分離における最適分離条件はデバイダー位置が基準点から25mmの位置で、回転速度15rpm、印加電圧32kVの条件であった。その際の銅の除去率は約84%、銅の含有率は約0.5%であった。

(2) 銅静電分離において回転ドラム電極の回転速度は5~15rpmの範囲において影響はなかった。

(3) 銅静電分離において印加電圧の高い条件でより高精度に分離が可能であった。

(4) 塩化ビニル静電分離における最適分離条件はデバイダー位置が基準点から-60mmの位置で印加電圧35kVであった。その際の塩素の除去率は約30%であり、塩素含有率は約1.6%であった。

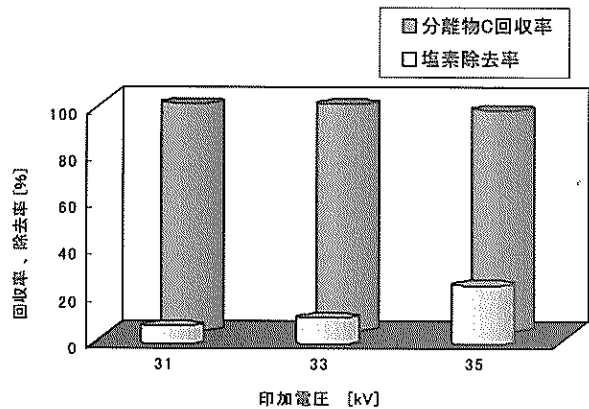


図15 各印加電圧における分離物Cの回収率及び銅の除去率
(回転速度35rpm、デバイダー位置 -60mm)

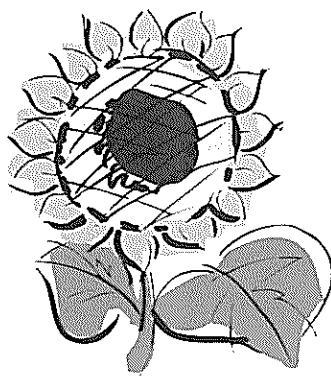
(5) 塩化ビニル静電分離において回転ドラム電極の回転速度は20~35rpmの範囲において影響は無かった。

(6) 塩化ビニル静電分離において印加電圧の増加とともに塩化物の除去率が増加した。

この研究は沖縄特別振興対策事業費を活用し「シュレッダーダスト減量化推進事業」として実施したものである。

参考文献

- 1) 平成11年廃棄物リサイクル技術の開発事業化動向調査報告書 (社)日本機械工業連合会 (財)クリーン・ジャパン・センター (2000)
- 2) 鳥しょ型リサイクル産業の事業可能性調査 (株)トロピカルテクノセンター (2001)
- 3) 使用済み自動車シュレッダーダスト減容・固化・乾留ガス化技術の研究開発 (社)日本自動車工業会 (2000)
- 4) シュレッダーダスト処理・リサイクルの技術開発動向 (株)エムティーエス (1997)
- 5) 前畑英彦、井上哲也、塚原正徳、荒井浩成、玉越大介、東篠千明、長井健一、関口善利 日立造船技報 59 pp.222-226 (1998)



編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。