

## 浮遊選別法によるプラスチックの分離\*

芝田 隼次<sup>1</sup> 松本 茂野<sup>2</sup> 日下 英史<sup>3</sup>  
山本 秀樹<sup>4</sup> 森本 芳生<sup>5</sup>

### Feasibility of Flotation to Separation of Waste Plastics

by Junji SHIBATA<sup>1</sup>, Shigeno MATSUMOTO<sup>1</sup>, Eishi KUSAKA<sup>2</sup>  
Hideki YAMAMOTO<sup>1</sup> and Yoshio MORIMOTO<sup>3</sup>

1. Faculty of Engineering, Kansai University, Yamate-cho, Suita-shi 564
2. Faculty of Engineering, Kyoto University
3. Graduate School of Engineering, Kansai University

As part of studies on the development of separation process for efficiently separating waste plastics, the applicability of flotation method to the separation of inherently hydrophobic plastics has been investigated. For optimizing the flotation operation conditions, floatability measurements of plastics was carried out in solutions including wetting-agent, and flotation separation using two plastics mixture as well. Moreover, the dense media separation and flotation process, which has been proposed in this investigation, were examined in terms of the plastic grade and percent recovery. Polyvinyl chloride (PVC), polycarbonate (PC), polyacetal (POM) and polyphenylene ether (PPE) were used as test polymers, and tannic acid, sodium ligninesulfonate, polyoxyethylene lauryl ether, Aerosol OT and saponin as wetting-agents.

The floatability measurements showed that the increased concentration of wetting-agent brings about the decrease in percent floatability of each of polymers; this might be explained in line with adsorption behavior of surface-active species. Separation flotation using two plastics mixture indicated that one plastic is sufficiently separated from another in an optimum concentration of wetting-agent. Furthermore, the wetting-agent mixture was found to improve the efficiency of the separation flotation. Finally, according to the results obtained from the flotation tests, a dense media separation and flotation process was proposed and applied to the differential separation of the four plastics mixture. It was found that the proposed process satisfactorily separated one plastic from others with high grade and recovery at each of the operations; the 100% PPE floats is obtained with 100% recovery in the dense media separation, the 95.7% PVC sinks with 90.7% PVC recovery in the first flotation, and the 87.6% POM floats and the 90.3% PC sinks with 99.2% POM and 83.6% PC recoveries, respectively, in the second flotation. We suppose this separation process to be feasible for recycling waste plastics.

**KEY WORDS** : Recycling, Plastics, Flotation, Gravity Separation Wetting Agent

### 1. 緒 言

プラスチックは軽くて丈夫、透明なものもある。酸素や水を通さない、断熱性があるなど、実にいろいろな性質のものがあって、それぞれの特性をいかした使い方がされている。プラスチックは実用的に便利であるため、年々その用途が拡大され、消費量が増えてきている。そのため、生産量も増加の傾向をたどっている。日常生活で使用されている製品のほとんどは、汎用樹脂と呼ばれるポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリ塩化ビニ

ルなどのプラスチックである。例えば、包装フィルム・容器類などがあり、使用すれば用がなくなりすぐに捨てられるものが多い。さらに、このような身の回りの製品ばかりでなく、プラスチックは電子・電気製品や自動車、情報・通信機器、航空・宇宙開発まで広い分野に使用されている<sup>1)2)</sup>。我が国のプラスチック年間生産量は、1,200万tをここ数年続けている。このうち約半分は、プラスチック廃棄物として排出されており、その処理対策は大きな課題となっている。プラスチック産業は、現高度社会における有用な工業素材供給源として欠くことのできない重要な役割を担っているだけに、今後のプラスチック廃棄物処理対策法は極めて重要な課題と考えられる。

1993年では、上記廃棄プラスチックの36%を埋立、53%を焼却して処分している。残りは、成型し直すなどして再び製品としてリサイクルされている<sup>2)3)</sup>。埋立処理の場合には、地中でプラスチックが分解されないために埋立地を占領し、空隙が多くなるために地盤の不安定化を来し、跡地利用にも問題を起す。

\* 1995年11月17日受付 1996年1月26日受理 平成6年度および平成7年度資源・素材学会春季大会において一部発表

1. 正会員 工博 関西大学教授 工学部化学工学科  
2. 正会員 関西大学工学部化学工学科研究生  
3. 正会員 工博 京都大学助手 工学部資源工学科  
4. 正会員 工博 関西大学専任講師 工学部化学工学科  
5. 関西大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程  
〔著者連絡先〕 FAX 06-388-8869 (関西大・化学)  
キーワード: リサイクル, プラスチック, 浮遊選別, 比重選別, 湿潤剤

Table 1 Plastics used in this study.

	Plastic	Engineering Plastics		
	Polyvinyl chloride	Polycarbonate	Polyacetal	Polyphenylene ether
Abbreviation	PVC	PC	POM	PPE
Specific Gravity	1.30	1.20	1.41	1.05
Structure	$\left( \text{CH}_2 - \text{CH} \left( \text{C}_6\text{H}_4 \right) \right)_n$	$\left( \text{CH}_2 - \text{CH} \left( \text{C}_6\text{H}_4 \right) \right)_n$	$\left( \text{O} - \text{CH}_2 - \text{O} \right)_n$	$\left( \text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} \right)_n$
Uses	pipe of sewerage water, tile, automobile parts, packing materials, floor boards	switches, cover, camera body, sheet films, artificial kidney	automobile parts, electronic parts, bearings, toys	housing of copy machine, housing of computer, connector, switches

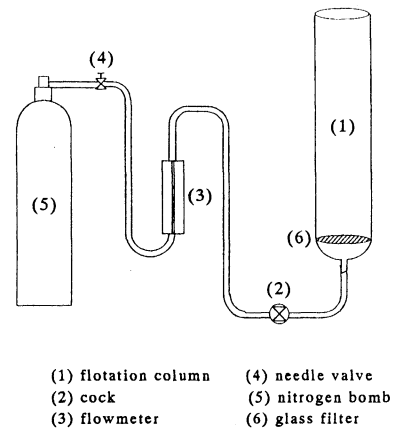


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

焼却処理の場合には、塩化ビニル、塩化ビニリデンなどの塩素を含むプラスチックが混入していると、猛毒であるダイオキシンが生成することがある。また、焼却の際に発生する塩化水素ガスのために焼却炉に排ガス処理施設が必要となり、建設費の高騰につながる。このような見地から、プラスチックを回収し、再利用することが最も合理的であると考えられており、消費後の収集が拡大され、各種プラスチックの分別問題が解決され、プラスチックのリサイクルが生産樹脂製造に代わる経済的な方法として認められるようになれば、この方法の大幅な普及が期待される。

プラスチックをリサイクルするためには、まず第一段階として、廃棄プラスチックを回収し再生原料として供給可能とならしめるよう単一または一定混合比のプラスチックに分離・分別・精製する必要がある。これを目的として、廃棄プラスチックの分離法が1970年代頃いくつか提案されている<sup>4)~11)</sup>。しかしながら、近年金属の代替品として需要の伸びが著しいエンジニアリングプラスチック類に対する再生あるいは再使用の処理法についての基礎資料はほとんど見あたらない<sup>12)13)</sup>。化学的処理の困難なプラスチックを経済的に精製するためには物理的あるいは界面化学的分離法に依るところが大きく、したがって、バルク特性、表面特性などが多種多様なエンジニアリングプラスチックに対して浮遊選別法を適用した場合に、試薬の作用特性、分離特性などを把握し、相互分離のプロセスを確立していくことは重要な課題である。

本研究では、浮遊選別法によってエンジニアリングプラスチックと汎用プラスチックの中でも処理法が困難であるポリ塩化ビニルの混合物に着目した。Table 1に示すようなポリ塩化ビニル、ポリカーボネート、ポリアセタールおよびポリフェニレンエーテルの混合プラスチックを対象とし、代表的な湿潤剤として親水性有機コロイドのタンニン酸、陰イオン界面活性剤のリグニンスルホン酸ナトリウムおよび非イオン性界面活性剤のポリオキシエチレンラウリルエーテルなどを単独あるいは混合使用した系でのプラスチック分離プロセス開発を目的とした基礎試験の結果について報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 実験試料および試薬

実験に使用したポリ塩化ビニル (PVC と略記)、ポリカーボネート (PC)、ポリアセタール (POM) およびポリフェニレンエーテル (PPE) のプラスチックは、いずれも三菱瓦斯化学(株)より提供を受けたビーズ状試料 (粒度 2~4 mm) である。後述の手選別を容易にするため、プラスチックごとに色は異なっている。

試薬は、湿潤剤としてタンニン酸、リグニンスルホン酸ナトリ

ウム、ポリオキシエチレンラウリルエーテル、サポニンおよびエアゾル OT、pH 調節剤として塩酸および水酸化ナトリウム、重液調製のための塩化ナトリウムを実験に使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 単一プラスチック系での浮遊率測定 実験に用いた装置を Fig. 1 に示す。図中の分離槽の内径は 40 mm、高さ 500 mm (容量 653 ml) である。粒度 2~4 mm の PVC、PC、POM および PPE のプラスチック 10 g を所定濃度の湿潤剤溶液 600 ml で 10 min コンディショニングを行った。その後、プラスチックを湿潤剤溶液とともに分離槽に移し、分離槽の底部からガラスフィルター (No. 3) を通して窒素ガスを 12 ml/min の流量で 3 min 導入した。なお、気泡剤としてパイン油 (添加量 50 mg と一定) を用いた。浮上したプラスチックを採取し、乾燥重量を測定し、浮遊率を求めた。

2.2.2 2成分混合プラスチック系の優先浮選試験 2成分混合プラスチック系の優先浮選試験は以下のように行った<sup>14)</sup>。PVC、PC、POM および PPE のプラスチックから任意の2種類をそれぞれ 10 g、合計 20 g を所定濃度の湿潤剤溶液 3,000 ml 中で攪拌して 10 min コンディショニングを行い、2.2.1と同様に Fig. 1 に示される分離装置を用いて 3 min 浮選を行った。この場合の分離槽は内径 100 mm、高さ 400 mm (容量 3,140 ml) のガラス製カラムである。浮上採取したプラスチックを乾燥させた後、手選別により各々のプラスチックに分離してそれぞれの重量を測定することにより品位および実収率を求めた。

2.2.3 4成分混合プラスチック系の優先分離試験 重液選別法と浮選法を組み合わせた分離プロセスによる4成分混合プラスチック優先分離試験は以下のように行った。まず、4種類のプラスチックを任意の割合で混合し、40 g の供試試料とした。この混合試料を重液選別法<sup>10)</sup>により分離したプラスチックを洗浄・乾燥させた後、第一段浮選、第二段浮選を行った。なお、第二段浮選は、第一段浮選で分離した産物を洗浄・乾燥させた後に行った。また、分離槽は容量 3,140 ml のガラス製カラム、起泡剤はパイン油 (添加量 150 mg) を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 単一プラスチックの浮遊率

プラスチック類は高い自然浮遊性を有し、浮選法でプラスチック混合物を優先分離するためには、選択性の高い湿潤剤の使用が望まれる。本節では、用いた4種類のプラスチックを沈下させる

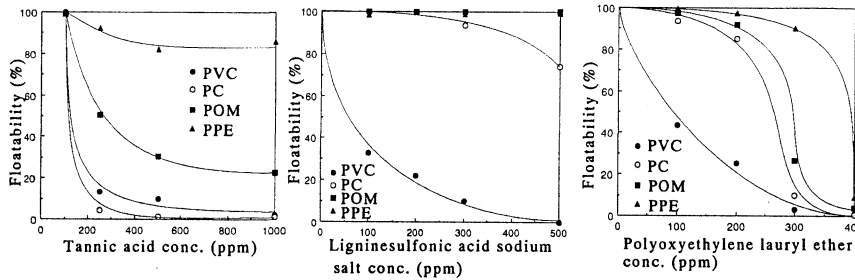


Fig. 2 Relationship between conditioning agent and float percent.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

ために用いる湿潤剤の濃度、溶液 pH などの溶液条件がプラスチック浮遊率に及ぼす影響について検討した。

3・1・1 プラスチックの浮遊率に及ぼす湿潤剤濃度の影響

湿潤剤としてタンニン酸、リグニンスルホン酸ナトリウムおよびポリオキシエチレンラウリルエテルを用いた場合の湿潤剤濃度と浮遊率との関係を Fig. 2 に示す。この場合の溶液 pH はすべて自然 pH の 5~6 である。

湿潤剤にタンニン酸を用いた場合には、PVC および PC はタンニン酸濃度 250 ppm で浮遊率が 15% 以下に低下し、顕著な湿潤効果が認められる。POM の浮遊率はタンニン酸濃度の増加とともに徐々に低下し、濃度 1,000 ppm で 20% 程度に低下する。PPE の浮遊率はすべてのタンニン酸濃度で浮遊率は 80% 以上であり、タンニン酸は PPE の表面の親水性化にほとんど寄与していないことが認められる。

一般に湿潤剤濃度、湿潤剤吸着量、吸着の配向特性、湿潤性および浮遊率の間には密接な関係があり、タンニン酸濃度を増加すると PVC、PC および POM の浮遊率も低下することから、有機コロイドであるタンニン酸のプラスチック/水界面への吸着が表面を親水性化し、PVC、PC および POM の浮遊率を低下させるものと推察される。また、タンニン酸の湿潤効果は、PC ≈ PVC > POM ≫ PPE の順で小さくなると考えられる。

湿潤剤としてリグニンスルホン酸ナトリウムを用いた場合には、PVC の浮遊率は湿潤剤濃度の増加とともに低下し、300 ppm で 10% 以下に低下する。PC の浮遊率は、500 ppm にまで湿潤剤濃度を増加すると 75% 程度に低下する。一方、POM および PPE の浮遊率はすべてのリグニンスルホン酸ナトリウム濃度で 95% 以上であり、ほとんど疎水性のままである。したがって、リグニンスルホン酸イオンは 300 ppm 以下の低濃度領域においては PVC 表面にのみ極性基を溶液側に向けて吸着し、PVC 表面を親水性化することにより、PVC 浮遊率を低下させるものと推察される。

湿潤剤にポリオキシエチレンラウリルエテルを用いた場合には、PVC は 100 ppm 以上、PC および POM は 300 ppm 以上、PPE は 400 ppm に湿潤剤濃度を増加すると浮遊しなくなり、すべてのプラスチックは 400 ppm で 10% 以下に低下する。このことより、ポリオキシエチレンラウリルエテルの湿潤効果は PVC > PC ≈ POM > PPE の順で小さくなることが考えられる。

3・1・2 プラスチックの浮遊率に及ぼす pH の影響

Fig. 3 は湿潤剤のタンニン酸 (1,000 ppm)、リグニンスルホン酸ナトリウム (200 ppm) およびポリオキシエチレンラウリルエテル (200 ppm) 存在下で各プラスチックの浮遊率に及ぼす pH の影響を検討した結果を示している。図に示されているように、タンニン酸およびポリオキシエチレンラウリルエテル存在下では pH を変化させても浮遊率は変化しないが、リグニンスルホン酸ナトリウム存在下では pH が 5 以下の酸性になるに従ってすべてのプラスチックの浮遊率が低下する。以上の結果から、タンニン酸のような有機コロイドあるいはポリオキシエチレンラウリルエテルのような非イオン性界面活性剤は、溶液 pH が変化しても分子の極性基がほとんど影響を受けないため浮遊率も変化しないと推察される。また、リグニンスルホン酸ナトリウムのような陰イオン性界面活性剤を用いるとイオンの極性が失われる低 pH 領域で浮遊率が低下することから、界面活性剤イオンよりも分子として存在する方が、プラスチック表面に吸着しやすく、したがって湿潤 (抑制) 効果も高いと考えられる。

3・2 2成分混合プラスチック系の優先浮遊

次に本研究で用いた 4 種類のプラスチックのうち任意の 2 種類を混合した試料を用い、前節の結果を参照しながら、優先浮遊試験を行った。なお、本節での実収率は、各混合試料中のそれぞれのプラスチックについて全重量に対する浮上したものの重量百分率で示している。また、pH 調節剤は使用せず、すべて自然 pH の 5~6 で浮遊実験を行った。

Fig. 4 は湿潤剤としてリグニンスルホン酸ナトリウムを用い

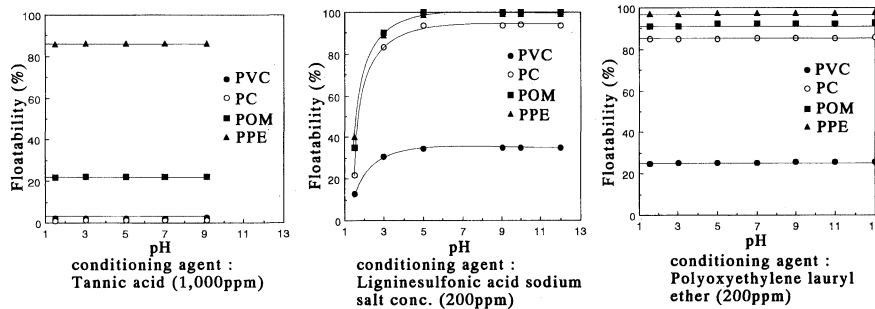


Fig. 3 Relationship between pH and float percent.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

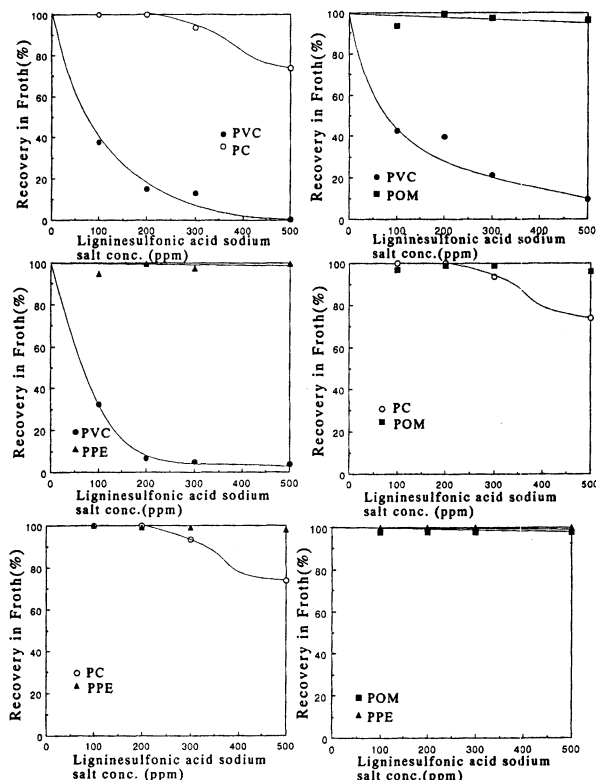


Fig. 4 Relationship between ligninesulfonic acid sodium salt conc. and percent recovery of plastic in froth.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

た場合の湿潤剤濃度と実収率との関係を示している。いずれの組み合わせでも PVC は 300 ppm 以上の湿潤剤濃度で表面が親水性化し、浮上が抑制される。一方、PC, POM および PPE は湿潤剤濃度が増加しても実収率は 80 % 以上であり、ほとんど疎水性のままである。したがって、PVC を含む混合系では、リグニンスルホン酸ナトリウム濃度 300 ppm 以上でほかのプラスチックとの分離が可能であることが示唆される。

Fig. 5 に湿潤剤としてタンニン酸を用いた場合の湿潤剤濃度と実収率との関係を示す。PVC および PC は、いずれの混合系においても 250 ppm 以上で表面が親水性化されて実収率が著しく低下する。POM は、単一系に認められたように、湿潤剤濃度が増加すると実収率は徐々に低下し、1,000 ppm の高濃度で 20 % 程度に低下する。PPE はいずれの系でもその表面は疎水性から親水性に変化し難く、すべての濃度で 80 % 以上の実収率を示す、すなわち、タンニン酸の湿潤効果は認められない。以上のことから、PVC/PPE 混合系および PC/PPE 混合系でのタンニン酸濃度 250 ppm 以上、POM/PPE 混合系での同濃度 1,000 ppm で、PPE の実収率は 80 % 前後の高い実収率を維持し、PPE が他方のプラスチックと分離可能であることが示唆される。

Fig. 6 に湿潤剤としてポリオキシエチレンラウリルエーテルを用いた場合の湿潤剤濃度と各混合系におけるプラスチックの実収率との関係を検討した結果を示す。いずれの混合系においても、湿潤剤濃度を 400 ppm 以上に増加すると、表面が親水性に変化するため、実収率が低下する。しかしながら、濃度増加に伴う実収率低下の傾向はプラスチックごとに異なるため、PVC/PPE 混合系および PC/PPE 混合系において湿潤剤濃度を 300 ppm にすることにより、PPE をそれぞれ PVC および PC より分離するこ

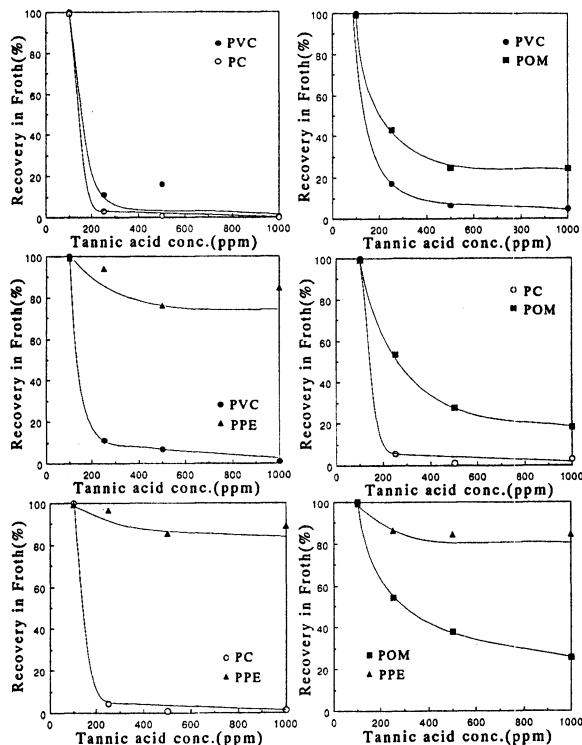


Fig. 5 Relationship between tannic acid conc. and percent recovery of plastic in froth.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

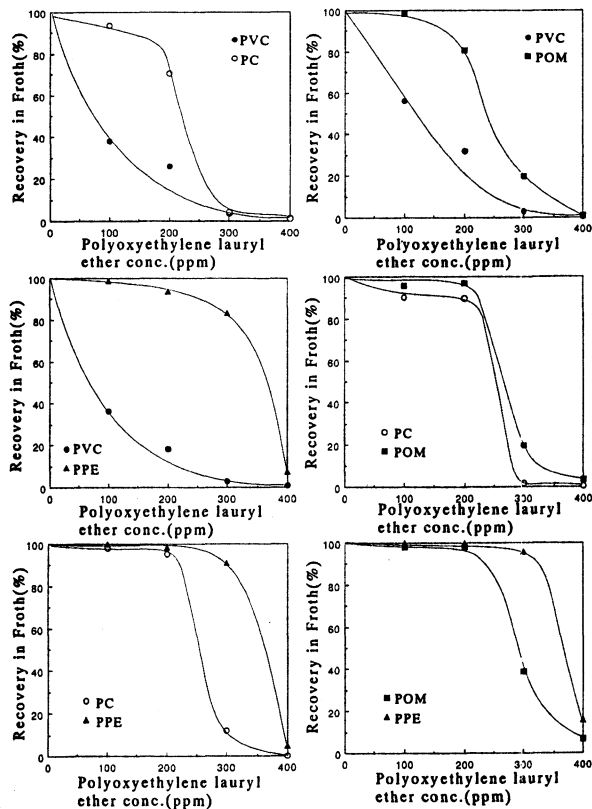


Fig. 6 Relationship between polyoxyethylene lauryl conc. and percent recovery of plastic in froth.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

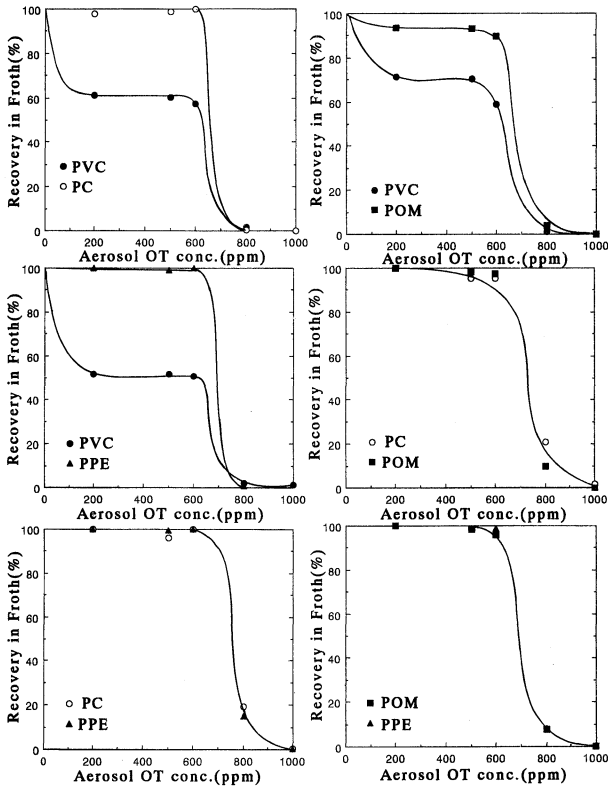


Fig. 7 Relationship between aerosol OT conc. and percent recovery of plastic in froth.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

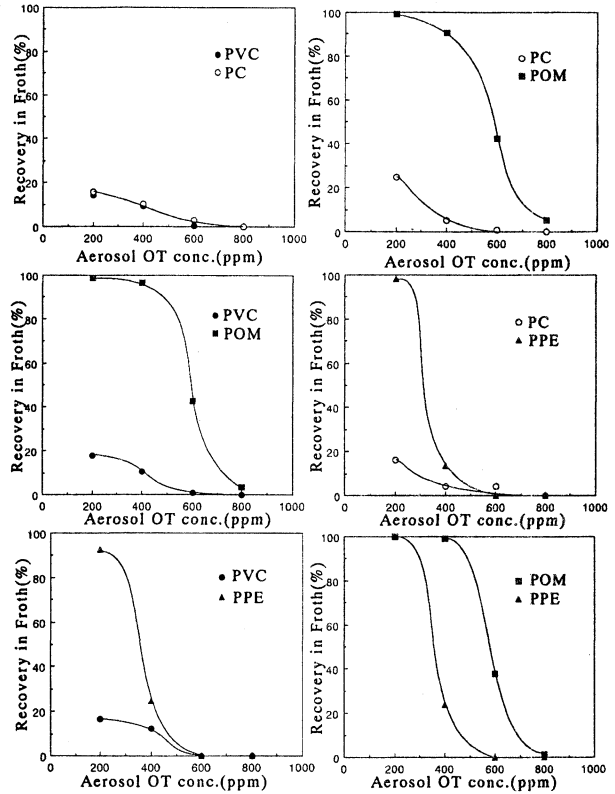


Fig. 9 Relationship between aerosol OT conc. and percent recovery of plastic in froth in a solution of 100 ppm saponin.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

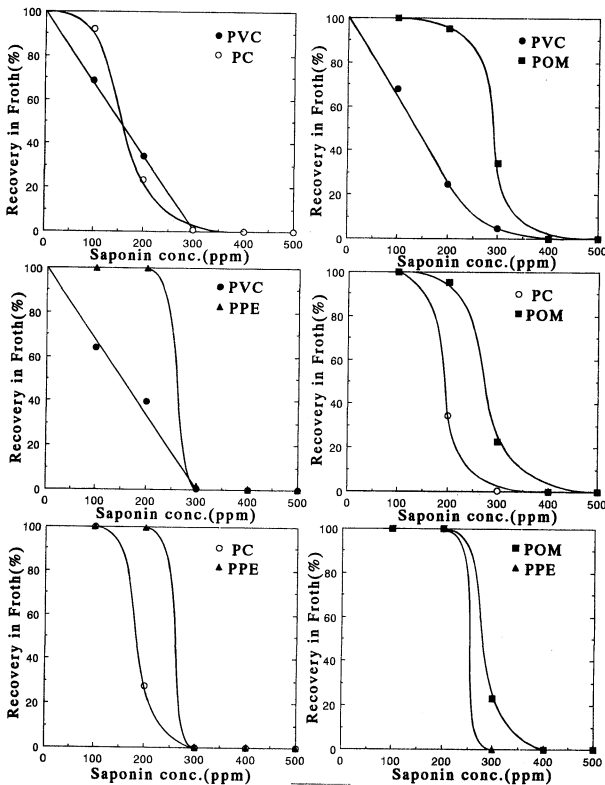


Fig. 8 Relationship between saponin conc. and percent recovery of plastic in froth.  
conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

とが可能である。

Fig. 7 に湿潤剤としてエアロゾル OT を用いた場合の湿潤剤濃度と実収率の関係を示す。PVC は湿潤剤濃度が 200~600 ppm の範囲で実収率 60% を示し、湿潤剤濃度 800 ppm で完全に浮上が抑制される。PC, POM および PPE については実収率の湿潤剤濃度依存性が類似しており、相互分離は困難である。

Fig. 8 に湿潤剤としてサポニンを用いた場合の湿潤剤濃度と実収率の関係を示す。PVC の実収率は湿潤剤濃度の増加とともに直線的に減少し、濃度 300 ppm でプラスチック表面が親水性に変化している。PVC/POM 混合系、PC/PPE 混合系での粗選は可能である。

浮遊選別法においては、溶液中に界面活性剤イオンとその中性分子が共存する系あるいは 2 種類の界面活性化学種が共存する系では、それぞれが単独で存在する系よりも浮遊性はよくなることが知られている<sup>15)-16)</sup>。プラスチックの浮遊分離において、2 種類湿潤剤併用による効果を把握することは、試薬の選択性向上あるいは消費量低減にとってきわめて重要な課題である。そこで、2 種類の湿潤剤を併用した場合の効果について以下検討を行った。

Fig. 9 は、サポニン濃度 100 ppm と一定の場合、エアロゾル OT 濃度がプラスチック実収率に及ぼす影響を検討した結果である。図に示されているように、PVC, PC および PPE はエアロゾル OT 濃度 600 ppm で完全に表面が親水性化され、浮上が抑制される。同様に POM は、エアロゾル OT 濃度 800 ppm でいずれの混合プラスチック系においても浮上が抑制される。PVC/POM 混合系、PC/POM 混合系および POM/PPE 混合系では、エアロゾル OT 濃度 400 ppm でそれぞれ PVC, PC および PPE が選択的に抑制されるので、浮遊挙動に差ができ、分離可能であ

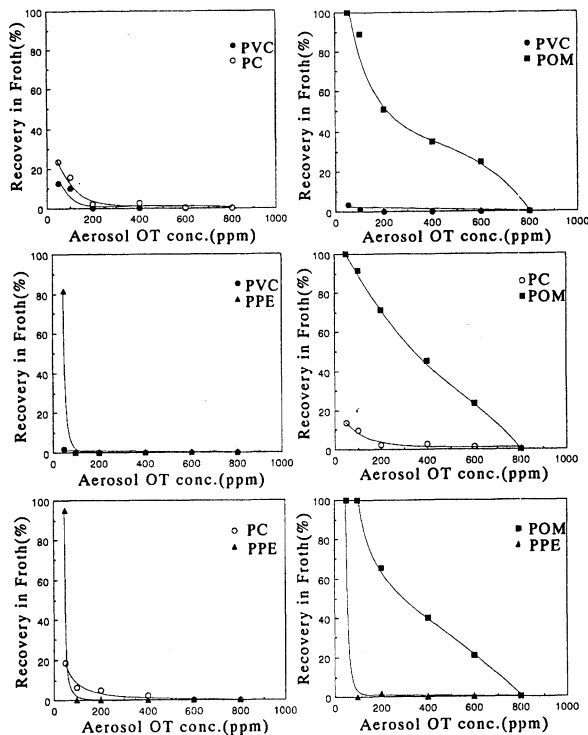


Fig. 10 Relationship between aerosol OT conc. and percent recovery of plastic in froth in a solution of 200 ppm saponin.

conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

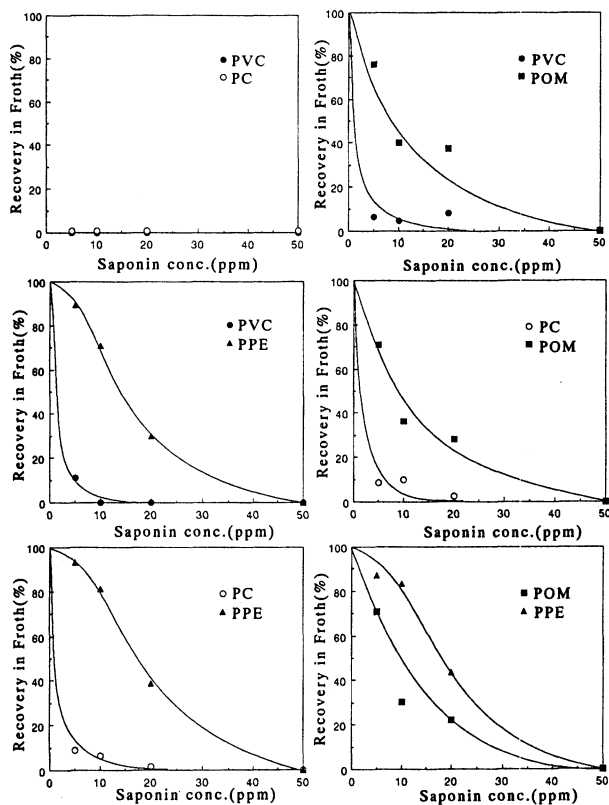


Fig. 11 Relationship between saponin conc. and percent recovery of plastic in froth in a solution of 50 ppm tannic acid.

conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

と思われる。PVC/PPE 混合系および PC/PPE 混合系では、エアロゾル OT 濃度 200 ppm でそれぞれ PVC および PC が選択的に抑制され浮選分離が可能となる。Fig. 10 は、サポニン濃度 200 ppm 一定の場合のエアロゾル OT 濃度が実収率に及ぼす影響について検討した結果であるが、サポニン 100 ppm の場合よりもより低エアロゾル OT 濃度領域で PVC, PC および POM の実収率が低下し、PPE の実収率も著しく低下する。PVC/PC 以外の混合系ではサポニンの存在下でエアロゾル OT 濃度をコントロールすることにより 2 種プラスチックの相互分離が可能となることが確かめられた。

Fig. 11 および Fig. 12 に、タンニン酸濃度をそれぞれ 50 ppm および 100 ppm と一定にした場合、サポニン濃度がプラスチック実収率に及ぼす影響について検討した結果を示している。いずれのタンニン酸濃度でも 5 ppm の低濃度のサポニン添加で PVC および PC が完全に抑制されることが認められる。Fig. 2 に示される 100 ppm 以下のタンニン酸濃度領域での PVC および PC の浮遊率 (ほぼ 100%)、および Fig. 8 に示される 100 ppm 以下の低サポニン濃度領域での PVC および PC の実収率 (約 70% 以上) などと比較しても、その併用の効果が顕著である。PVC/POM 混合系, PVC/PPE 混合系, PC/POM 混合系および PC/PPE 混合系で相互分離が可能であることが示唆される。

本節の 2 成分混合プラスチック系の優先浮選分離試験結果を基に、6 種の 2 成分混合プラスチック系において、試薬とその添加濃度の最適条件を検討した。Table 2 に、各混合系において分離成績が最もよかった湿潤剤およびその添加濃度を示す。いずれの系でも、最適条件下においては、品位 78.7~99.7% の浮上あるいは沈降産物が 73.4~99.6% の実収率で回収可能である。

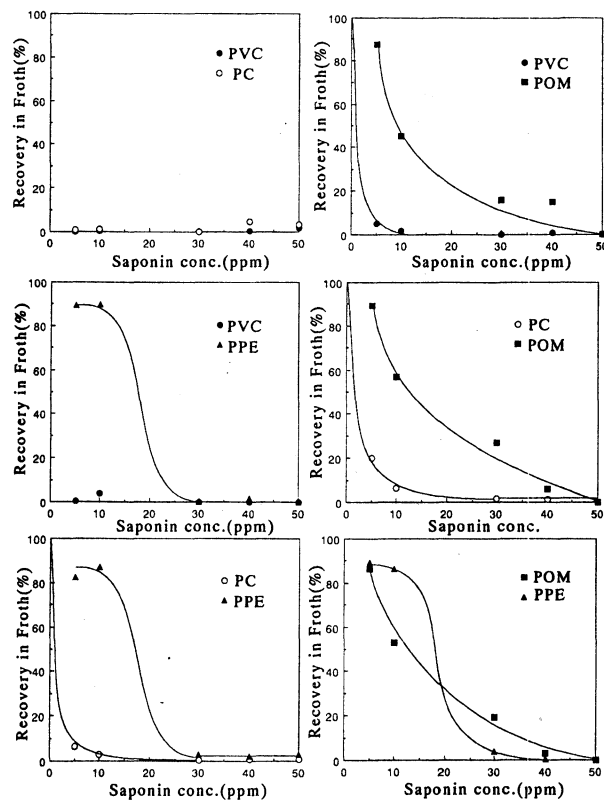


Fig. 12 Relationship between saponin conc. and percent recovery of plastic in froth in a solution of 100 ppm tannic acid.

conditioning time : 10 min, flow rate of nitrogen gas : 12 ml/min, time of aeration : 3 min

Table 2 Results of flotation.

	Conditioning agent		Recovery (%)	Purity (%)
PVC PC	Lignine sulfonic acid sodium salt 500ppm	Float (PC)	74.0	99.5
		Sink (PVC)	99.6	79.3
PVC POM	Lignine sulfonic acid sodium salt 500ppm	Float (POM)	96.7	90.8
		Sink (PVC)	90.2	96.5
PVC PPE	Lignine sulfonic acid sodium salt 300ppm	Float (PPE)	97.4	94.9
		Sink (PVC)	95.0	97.3
PC POM	Saponin 200ppm Aerosol OT 50ppm	Float (POM)	99.5	88.0
		Sink (PC)	86.3	99.7
PC PPE	Tannic acid 500ppm	Float (PPE)	85.5	98.8
		Sink (PC)	99.0	87.2
POM PPE	Saponin 200ppm Aerosol OT 100ppm	Float (POM)	100.0	100.0
		Sink (PPE)	100.0	100.0

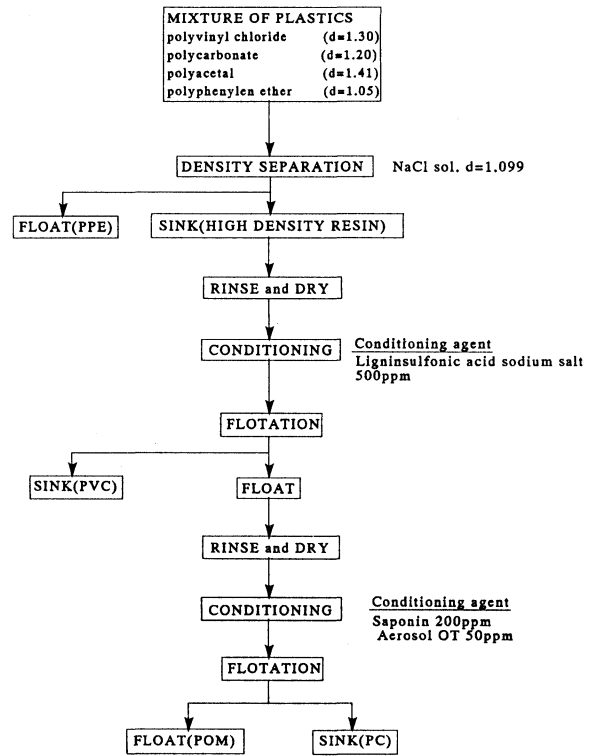


Fig. 13 Flow chart of floataion.

3・3 4種混合プラスチック系の優先分離

前節までに得られた優先浮遊選別試験結果も参考に、PVCの11.126g、PCの11.427g、POMの10.785gおよびPPEの6.711gを混合した総量40.049gの4種混合プラスチック試料を対象に優先分離を試みた。その優先分離試験のフローシートをFig. 13に示す。試験の方法は以下の通りである。まず、4種の中で最も比重の小さいPPEを浮上産物中に分離・回収するために、比重を1.099に調節された塩化ナトリウム溶液で重液選別を行う。次に、沈降産物（PVC、PCおよびPOMの3種のプラスチック混合物）をリグニンスルホン酸ナトリウムの500ppmを含む溶液で浮選を行い、PVCのみを沈下物として回収する。最後に、浮上したPCおよびPOMをサポニン200ppmとエアロゾルOT50ppmの混合湿潤剤溶液を用いてPCを沈下物、POMを浮上物として回収する。

Table 3に重液選別、第一段浮選および第二段浮選の試験結果を示す。重液選別において、PPEはそれ以外と完全分離される。また、第一段浮選ではPVC品位が95.7%の沈降産物がPVC実収率90.7%で得られ、第二段浮選においては、POM品位87.6%の浮上産物がPOM実収率99.2%で、PC品位90.3%の沈降産物がPC実収率83.6%でそれぞれ得られる。

以上、重液選別法と多段浮選を組み合わせた優先分離プロセスにより、4種混合プラスチック試料からそれぞれ単一プラスチック試料を分離・回収可能であることを示した。

4. 結 言

近年需要の伸びが著しいエンジニアリングプラスチックを含む混合プラスチック廃棄中の各プラスチックを分離回収するためのプロセスを開発することを目的に、単一プラスチックの浮遊率測定、2成分混合プラスチック系での優先浮遊基礎試験を行い、浮選分離プロセスの最適化について検討を行った。また、重液選別と浮選法を組み合わせた優先分離プロセスを提案し、4種類のプラスチックを含有する混合プラスチックの優先分離に適用した。

Table 3 Results of separation of plastics.

Density Separation(NaCl sol. d=1.099)			
	Added Amount(g)	Float(g)	Sink(g)
PVC	11.126	0.0	11.126
PC	11.427	0.0	11.427
POM	10.785	0.0	10.785
PPE	6.711	6.711	0.0
Total	40.049	6.711	33.338

First Flotation					
	Added Amount(g)	Float(g)	Sink(g)	Total PVC Recovery(%)	PVC Purity(%)
PVC	11.126	1.030	10.096	90.7	95.7
PC	11.427	11.067	0.360		
POM	10.785	10.695	0.090		
Total	33.338	22.792	10.546		

Conditioning agent : Ligninesulfonic acid sodium salt 500ppm

Second Flotation					
	Added Amount(g)	Float(g)	Sink(g)	Total Recovery(%)	Purity(%)
PVC	1.030	0.0	1.030		
PC	11.067	1.516	9.551	83.6	90.3
POM	10.695	10.695	0.0	99.2	87.6
Total	22.792	12.211	10.581		

Conditioning agent : Saponin 200ppm+Aerosol OT 50ppm

得られた結果を要約すると以下のようである。

- 1) 単一プラスチック系における浮遊率測定結果では、用いる湿潤剤の濃度増加と浮遊率低下が対応関係にあった。このことより、湿潤剤が吸着し表面が親水性になることにより浮遊率が低下することを考察した。
- 2) 有機コロイドや非イオン性界面活性剤を用いた場合には、浮遊率のpH依存性は認められないが、陰イオン性界面活性剤を用いるとpHが酸性側に低下するほど浮遊率も低下することから、界面活性剤イオンよりも分子の方がより吸着しやすいこと、すなわち湿潤効果が高いことを指摘した。
- 3) 2成分プラスチック混合系において、1つの湿潤剤を単独

で使用するよりも2種の湿潤剤を併用することにより、試薬消費量低減と選択性改善に効果があることを示した。

4) 4成分混合プラスチック試料に対して、重液選別法と2段階の浮選法を組み合わせたプロセスを適用することにより、高品位の各単一プラスチックが得られた。本研究で提案されたプラスチックの分離プロセスは、プラスチック廃棄物の処理へ適用可能であることを示唆した。

**謝辞** 本研究に当たり、プラスチックをご提供いただきました三菱瓦斯化学(株)ならびに三菱エンジニアリングプラスチック(株)の奈良崎則雄氏に感謝申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 社団法人プラスチック処理促進協会：ポリマーダイジェスト，1992年10号，p. 37-44，(1992)
- 2) 芝田隼次・森本芳生：関西大学工業技術研究所資源エネルギー研究会講演集，12号，p. 27-48，(1994)
- 3) 円山普薫：ポリマーダイジェスト，1993年8号，p. 14-32，(1993)
- 4) 和泉澄夫・田中 宏：公開特許公報，昭和56-20169，(1981)
- 5) 斉藤浩三・和泉澄夫：公開特許公報，昭和51-30879，(1976)
- 6) Izumi, S. and Tanaka, H. : US Patent, No. 3926791, (1975)
- 7) 斉藤浩三：公開特許公報，昭和50-70479，(1975)
- 8) Maumee, M. J. G. and Sehlmeier, T. R. : US Patent, No. 4617111, (1984)
- 9) 斉藤浩三・長野郁男・和泉澄夫：昭和49年度日本鉱業会秋季大会分科研究会資料，O-4，(1974)
- 10) 下飯坂潤三・鴻巣 彬・林 雄造：日本鉱業会誌，Vol. 90，p. 775-779，(1974)
- 11) 下飯坂潤三・鴻巣 彬・林 雄造・斎藤浩三：日本鉱業会誌，Vol. 92，p. 675-679，(1976)
- 12) 芝田隼次・森本芳生・小川一幸：資源・素材学会平成6年度春季大会研究・業績発表講演要旨集，p. 294，(1994)
- 13) 芝田隼次・森本芳生・宮田一行：資源・素材学会平成7年度春季大会研究・業績発表講演要旨集，p. 113，(1995)
- 14) Sisson, E. and Tomkin, M. : DAVOS RECYCLE '92 INTERNATIONAL FORUM AND EXPOSITION, April, p. 1-13, (1992)
- 15) 臼井進之助：界面動電現象(北原文雄・渡辺昌編)，p. 313-334，(1972)，共立出版(東京)
- 16) Moudgil, B. M., Soto, H. and Somasundaran, P. : Reagents in Mineral Technology (Somasundaran, P. and Moudgil, B. M., eds.), p. 79-104, (1988), Marcel Dekker (New York)