

水流選別装置・なるとオーシャン<sup>®</sup>：  
NAO-1000 の開発

土井 眞・船橋 悟

# 水流選別装置・なるとオーシャン<sup>®</sup> : NAO-1000 の開発

土井 眞\*・松橋 悟

Development of Water Flow Separater · NARUTO-OCEAN<sup>®</sup>:NAO-1000

Shin DOI\* and Satoru FUNABASHI

Nihon-cim Co., Ltd., Kawaguchi-shi, Saitama 334-0054, Japan

**Key words:** Terminal settling velocity, Updraft, Gravity separation, ASR

## 1. はじめに

自動車シュレッダーダスト (ASR) は焼却処理を中心に処理されているが、プラスチックを初め、多くのマテリアルリサイクル可能な素材が含まれている。例えば、ASR からポリプロピレン (PP)・ポリエチレン (PE) 樹脂は、水を使用した比重選別 (浮沈選別) により回収され利用されている。

この方式では、タルクを含み比重 1.0 を越える PP の回収が不可能で、低回収率が課題となっている。そのため、比重 1 より大きな分離点を持ち、選別精度が高く、選別コストが安価な PP 樹脂回収技術が期待されている。

一方、他の選別方法、例えば風力選別法は、数ミリを超える大粒子の高精度分離は難しく、乾式エアテーブル選別は、分離精度が不十分であり、静電選別法は分離精度の維持が難しく、処理能力の確保に大型化とエネルギーが必要である。また、センサー選別法においては、一般的な近赤外線分光法は黒色樹脂を識別不能であり、識別可能な機種は高価で実用には遠い、などの理由により、採算ベースで実用化された例は少ない。

そこで、本課題への対応を主目的に、水流選別を基本原理とした本装置、なるとオーシャン「NAO-1000」を開発した。

本稿では、NAO-1000 の構造、原理とともに、同機を中心とした、なるとオーシャンシステムによる、ASR の分離試験結果を紹介する。

## 2. なるとオーシャンの構造と原理

### 2.1 本体外観及び内部構造

Fig. 1 になるとオーシャン NAO-1000 本体の構造と原理を示す。

なるとオーシャン NAO-1000 は、外筒と内筒を備え、外筒の下端には、ホッパーが設けられている。ホッパー部には水の流入口があり、進入した水流は、外筒、内筒間に形成された円筒状流路の下端から上方に流れ、外筒、内筒間に分級場を形成する。

NAO-1000 の上部に供給された原料粒子は、NAO-1000 中央部の垂直スクリュウコンベアにより下降し、スクリュウコンベアシャフト下端に装着された分散ロー

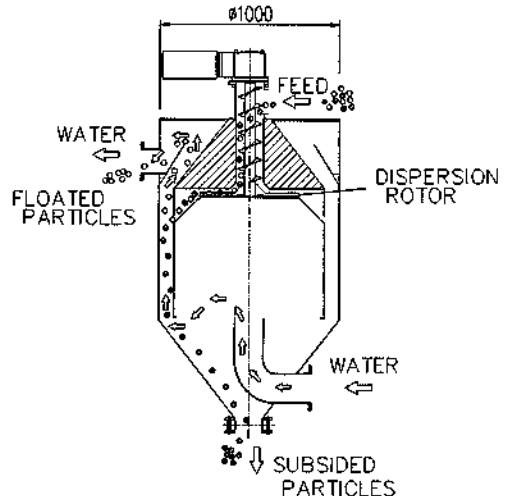


Fig. 1 Appearance and structure of NARUTO-OCEAN:NAO-1000

キーワード：沈降速度, 上昇流, 比重選別  
日本シーム株式会社設計技術部  
2021年7月29日受理  
\*e-mail: doi@nihon-cim.co.jp

ターにより四方に分散し、内筒の高さ方向の概略中央部に設けられたスリットから分級場の略中央部に分散供給される。ここで、原料粒子群中、終末沈降速度が上昇流速より小さいものは分級場を上昇し、装置上端から水流とともに装置外に排出される。一方、終末沈降速度が上昇流速より大きいものは、分級場を下降し、ホッパー部下端から排出装置により排出される。

NAO-1000の内筒内の分散ローターが回転すると、その周速成分が粘性によりNAO-1000内部の水全体に伝播し、回転をする。これにより、分級場内の上昇水流速度は均一化し、さらに各原料粒子が分級場内に存在する間に水から被る力履歴も均一化し、高精度の分離を可能としている。

内筒のスリットを通じた原料粒子の分級場への供給は、分散ローターの回転によりなされるが、スリットからの水の流出は、部分的には多少有るが、全周の積算ではゼロであり、分級場の上昇水流速度には影響を与えず、高精度の分離を可能としている。

上述の様に、NAO-1000は、終末沈降速度の差に応じて粒子群を2分割する装置であるが、密度に応じた分離を期待して運用した場合、各粒子の大きさと形状の違いの影響を受けて分離精度はそれほど高くない。しかし、投入するASRをあらかじめスクリーン付一軸高速式粉碎機、例えば日本シーム株式会社製PF-2000で粉碎し、大きさ、形状をおおむね同一に調整した場合には、各粒子の密度と終末沈降速度が比例する様になり、精度の高い密度分離が可能となる。

NAO-1000の2分割する密度(比重) = 分離点は、水の上昇速度で決定されるため、上昇流を発生させるポンプの回転速度の調整で容易に再現性高く変更可能である。この点は水を使用した比重選別(浮沈選別)に比べ、NAO-1000の大きな利点である。

## 2.2 なんとオーシャンシステムの構成

なんとオーシャン NAO-1000 を運用するあたり、周辺機器と組合せ、なんとオーシャンシステムを構成する必要がある。Fig. 2に、なんとオーシャンシステムの標準構成を示す。

NAO-1000の前段には、ポンプAを配し、水流をNAO-1000に供給する。分級場を上昇した水流と、粒子(浮遊粒)は、NAO-1000本体上部の排出口から排出され、振動篩に入る。ここで、浮遊粒は水流から篩上側に分離され、低比重粒子として回収される。篩下に分離された水流は、貯水槽に入り、再度ポンプAにより利用され循環流Aを形成する。

ポンプAとNAO-1000の間には、揚水管を設け、ポンプA停止時に、NAO-1000内の水が、ポンプA側への逆流を防止している。又、流量計を設け、分級場の上昇流速を計測している。

なんとオーシャン NAO-1000 への原料の供給は、垂直スクルーコンベア上部に接続したスクルーフィーダで行う。

なんとオーシャン NAO-1000 ホッパー部からの沈降粒の排出は、傾斜スクルーコンベア又は、Fig. 2に示す沈降粒回収システムで行う。

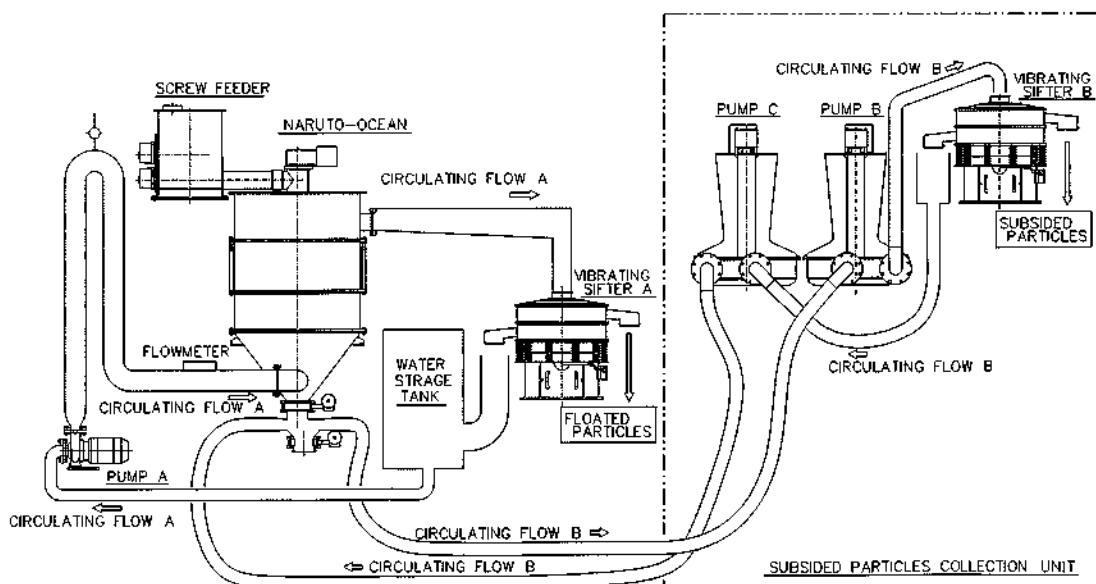


Fig. 2 Configuration of NARUTO-OCEAN system

沈降粒回収システムは、ポンプ B、ポンプ C で循環流 B を形成し、ホッパー内の沈降粒を振動篩 B まで水流輸送するものである。迅速な排出が可能で、排出装置内の残留が無く、ロット間のコンターミネーションを回避できる点が特徴である。以下の実験では、これを用いた。

### 3. なるとオーシャンによる分離試験結果

#### 3.1 試験試料

オーシャンの分離試験にはハリタ金属株式会社より入手した ASR を用いた。これは、自動車用カーシュレッダー工程で粉碎し、風力選別機等で「軽質ダスト区分」を分取し、これより 2 次破碎・磁力選別・渦電流選別・粒度選別・風力選別等により鉄、土砂、アルミ等を除去した区分のもので、PP、PE、ABS、PA、ゴム、銅等が含まれている。発生した全 ASR の約 23 [%] に相当する。

これを、日本シーム株式会社内にて  $\phi 12$  mm 目の多孔スクリーンを装備した粉砕機で粉碎し、分離試験の試料とした。

#### 3.2 運転条件

本分離試験において、流量  $0.067 \text{ m}^3/\text{s}$ 、分級場の上昇流速  $0.029 \text{ m/s}$  であった。原料の投入速度  $500 \text{ kg/h}$  であった。NAO-1000 垂直スクリーコンベア及び分散ローターの回転速度は  $180 \text{ min}^{-1}$  であった。

#### 3.3 分離結果

以下に NAO-1000 による試験試料の分離例を示す。

本分離試験における分配率は、浮上粒 70%、沈降粒 30% であった。

試験試料、浮上粒、沈降粒の各区分において、協和産業株式会社にて成分の内訳・評価をした。

評価方法は、それぞれ縮分法にて約 300 粒を抽出し、目視評価又は臭気判別を個別粒ごとに行った。臭気判別は、熟練した評価者が 1 粒ごとに炎中で燃焼させて臭気を吸引し、材質を特定した。評価結果を Table 1 に示す。

PP の含有率は、原料の 45.9% から浮上品の 62.3% に 12.4% 増加した。また、PE の含有率は、原料の 4.3% から浮上品の 6.2% に 1.9% 増加した。一方、その他の樹脂、ゴム類の比率は減少した。

原料においては、PP、PE 以外の樹脂含有率が高く、マテリアルリサイクル原料としては不十分な純度であったが、NAO-1000 により浮上粒側に、PP、PE 純度の高いサンプルを得た。ASR プロセス初段に比較すれば、投入試料の比率 23%、オーシャン浮上粒率 70%、PP と PE の比率  $(62.3\% + 6.2\%) = 68.5\%$  を掛け合わせると、約 11.0% の高 PP・PE 率材料のリサイクルの可能性が見える。

カーシュレッダー工程後の ASR は、「軽質ダスト区分」のみならず「重質ダスト区分」においてもある程度 PP、

Table 1 Material distribution ratio of each material brass fraction

	material input [%]	Floated particles [%]	Subsided particles [%]
recovery rate [%]	—	70	30
PE	4.3	6.2	0.0
PP	45.9	62.3	7.4
ABS	1.6	0.8	3.3
PVC	3.7	3.1	5.2
PU	1.3	0.4	3.3
PA	2.6	0.4	7.8
PMMA	0.3	0.0	1.1
PC/PBT	0.1	0.0	0.4
PBT	0.2	0.0	0.7
POM	1.1	0.0	3.7
Metal	3.3	0.0	11.1
Printed board	0.3	0.0	1.1
Wood	5.3	5.8	4.1
Rubber	30.0	21.0	50.8

Table 2 Distribution ratio of each material fraction

recovery rate	Floated particles [%]	Subsided particles [%]	specific gravity [—]
PE	100.0	0.0	0.9 ~ 0.965
PP	95.1	4.9	0.9 ~ 1.23
ABS	35.3	64.7	1.01 ~ 1.36
PVC	58.3	41.7	1.35 ~ 1.45
PU	21.4	78.6	1.1 ~ 1.5
PA	10.5	89.5	1.01 ~ 1.42
PMMA	0.0	100.0	1.17 ~ 1.2
PC/PBT	0.0	100.0	1.24 ~ 1.52
PBT	0.0	100.0	1.31 ~ 1.38
POM	0.0	100.0	1.42 ~ 1.56
Metal	0.0	100.0	
Printed board	0.0	100.0	
Wood	77.0	23.0	
Rubber	49.1	50.9	0.91 ~ 1.85

PE を含有している。これらを、「軽質ダスト区分」同様の処理を行い、PP、PE リサイクルの比率をさらに増加させる可能性が議論されており、試算によれば、軽質、重質区分と合わせて 15% 程度になることが期待されている。

浮上粒において、ゴムや木の含有率が 26.8% と高いが、本装置による分離の前においては ASR 製造企業、後においては ASR 精製企業が別途ゴム分離プロセスを組み込み、除去することが見込まれているため、企業を跨いだ全体の ASR—PP&PE 分離プロセスとしては問題ではないと考えられる。

原料中の各成分区分が、水流選別により浮上、沈降した比率を Table 2 に示す。

PEは100%浮上し、PPは95.1%浮上した。比重が1に近いABS、PVC、PU、PAは、両者に分配された、その他の重比重プラスチックは全て沈降した。

成分の組合せにより、より高精度分離が可能なペアと、高精度が期待できないペアが存在するため、より高精度のプラスチックリサイクルを行うには、ASRプロセスの処理手順全体を吟味する必要性が見られる。

#### 4. ま と め

ASRからの高純度のPP、PE回収を目的として、なるとオーシャンNAO-1000及びオーシャンシステムを開発した。

なるとオーシャンは、硬質プラスチック区分の粉砕品を良好に分離し、ASRプロセス初段原料に対して15.0%のPP、PE材料のリサイクルの可能性を示した。引き続き、硬質プラスチック区分以外の区分のリサイクルの可能性を探索し、PP、PEのリサイクルの可能性を広げていく予定である。

また、なるとオーシャンの精度向上、設定可能分離点領域を拡大し、他の用途への適用の可能性を探る予定である。

#### 謝 辞

本装置の開発におきましては、早稲田大学理工学術院の所千晴教授及び皆様、ハリタ金属株式会社の張田社長、寺崎取締役及び皆様、協和産業株式会社の安藤専務、中村様及び皆様、エコメビウス株式会社木原社長、に大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

また、本開発は、「自動車リサイクルの高度化等に資する調査・研究・実証等に係る助成」を受けた活動の一部として行いました。

#### References

1. 2019年度自動車リサイクルの高度化等に資する調査・研究・実証等に係る助成事業（一水流選別活用による樹脂リサイクルの技術開発と設備導入及び普及）報告書、[https://j-far.or.jp/wp-content/uploads/2019report\\_Harita.pdf](https://j-far.or.jp/wp-content/uploads/2019report_Harita.pdf)
2. K. Kikuchi et al.: Transactions of the JSME, 79, 48–60 (2013)