

10 mm以下小粒樹脂の選別技術

Sorting Technology for Small Resin of 10 mm or Less

宮地直也*
Naoya Miyaji

リサイクル工場では従来選別が不可能であった破碎後の小粒樹脂片（径10 mm以下）の高精度選別が望まれている。小粒樹脂片を認識する近赤外線センサの高分解能化、および的確に樹脂片を射落とすパルスエアによる局所噴射技術により、高精度な選別を可能とする樹脂選別装置を開発したので解説する。

High-precision sorting of crushed small resin pieces (diameter 10 mm or less), which could not be sorted at the recycling plant, is desired. We have developed a resin sorting device that enables highly accurate sorting by increasing the resolution of the near-infrared sensor that recognizes small resin pieces and by locally injecting technology with pulsed air that accurately shoots down the resin pieces.

1. 家電リサイクルの課題と小粒樹脂選別

家電リサイクル工場では、回収された製品に対して解体や破碎を行った後、金属や樹脂などの有価物を選別・回収してリサイクルを行っている。家電リサイクル法[1]では、法定リサイクル率が定義されており、その遵守が求められている。ここでのリサイクル率は、リサイクル材として再利用されるマテリアルリサイクルを指し、サーマルリサイクルやコストをかけて廃棄される逆有償の資源はカウントされない。そのため、樹脂リサイクルにおいては、混合樹脂を単一樹脂に選別してマテリアルリサイクルすることが重要である。

当社では、混合樹脂から3種類の樹脂（ポリプロピレン：PP、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン：ABS、ポリスチレン：PS）を自動で選別・回収する樹脂選別装置を開発し、2013年より工場で量産稼働している[2]。しかし、家電の破碎時に発生する混合樹脂のうち10%~30%は径10 mm以下の小粒樹脂であり、これまでの装置では樹脂片が小さいために小粒樹脂が選別できない課題があった。リサイクル樹脂相場が下がりサーマルリサイクルや逆有償となる樹脂量が増加すると法定リサイクル率を遵守できない恐れがある。

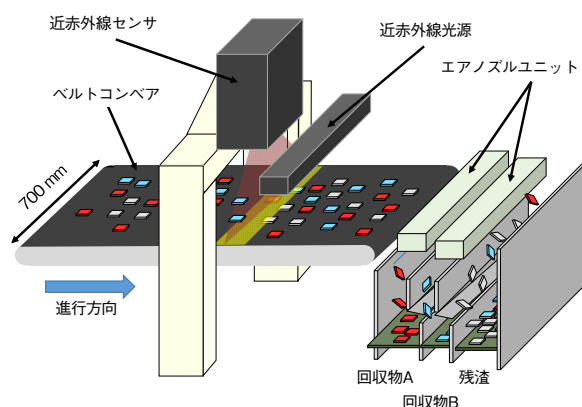
そのため従来選別ができなかった小粒樹脂を高精度に選別する技術の開発を行ったため、ここに報告する。

2. 樹脂選別装置の概要と開発課題

樹脂選別装置の概要を説明する（第1図）。本装置は、近赤外線センサにより樹脂種ごとの反射スペクトルの違い

* マニュファクチャリングイノベーション本部
マニュファクチャリングソリューションセンター
Manufacturing Solution Center,
Manufacturing Innovation Div.

から樹脂種判別を行い（ステップ1）、パルスエアを樹脂片に噴射することで（ステップ2）、樹脂選別回収を実現する装置である。まずステップ1において、ベルトコンベアにて搬送されてきた樹脂片に対し、波長1.3 μm~2.2 μmの近赤外光を照射する。樹脂片からの反射光はセンサにより計測され、樹脂片の位置および反射スペクトルを取得できる。樹脂種ごとに反射スペクトルのピークや形状に違いがあり、これを判別することで樹脂種の判別が可能となる。次にステップ2において、計測された樹脂片の位置および判別結果をもとに、前方に複数配置されたエアノズルに指令を出し、コンベア端から樹脂片が飛翔（ひしょう）するタイミングでパルス状間欠エアを局所噴射し、所望の樹脂種ごとに射落として選別・回収を行う。



第1図 樹脂選別装置の模式図

Fig. 1 Schematic diagram of the resin sorting machine

しかしながら、既開発装置では、①センサの分解能が低く微小片の認識が困難であり、②エアの吹き広がり径が広く微小片だけを高精度に射抜けないため、径10 mm以下（径4 mm以上）の小粒樹脂を選別・回収できなかった。そのため、以下の開発により性能向上に取り組んだ。

- 近赤外線センサの高分解能化 (5.5 mm/画素→1.8 mm/画素：約3倍)
 - 樹脂片の領域内に少なくとも1画素が包含されるように樹脂片の最小径4 mmの1/2以下とした
- エアノズルの高分解能化 (噴射径15 mm→4 mm：約3.8倍)
 - 樹脂片をピンポイントで射落とすために樹脂片の最小径4 mmと同等とした

3. 近赤外線センサの高分解能化

画素分解能の向上 (5.5 mm/画素→1.8 mm/画素) に伴い受光感度が低下したため、システム全体として3倍の感度向上が必要となった。そのための方策として近赤外光の照射強度の向上およびセンサS/N比の改善に取り組んだ。

3.1 近赤外光の照射強度の向上

照射強度向上には一般には高照度の光源への変更が考えられるが、装置のコスト上昇抑制から照射距離を近接化することで照射強度向上に取り組むこととした。

今回はコンベア幅700 mmを均一に照射することが必要であるが、光源を近づけることで、発光素子の配光角により照明ムラが発生する課題が発生した。そこで、配光角設計による照射条件の最適化、および不足分をシェーディング補正処理により、システム許容内の高均一な照射条件を達成した。これにより、約2倍の感度向上を実現した。しかしながら、安定検出の条件 (3倍の感度向上) に向けては不足しており、併せてセンサ側S/N比の改善に取り組んだ。

3.2 センサS/N比の改善

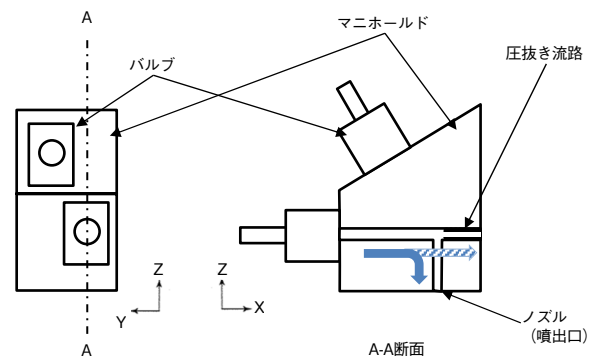
今回使用している近赤外線センサにおいて、素子感度そのものを向上することは困難であったため、冷却でのバックグラウンドノイズ低減によるシステム全体としての感度向上に取り組んだ。具体的には本システムでは空冷による冷却システムを採用しているが、センサボックス内の熱滞留箇所を解析により特定し、空冷のルートを新たに設置した。これにより熱滞留箇所の温度を35°C→25°Cに冷却することに成功し、バックグラウンドノイズの半減に成功した。以上により、システム感度3倍を達成し、小粒樹脂を判別できる高分解能センサ系を実現することができた。

4. エアノズルの高分解能化

隣接して飛翔する小粒樹脂片から対象となる最小径4 mmの樹脂片のみを正確に射落とすために、ノズル吐出口の小径化と樹脂片の飛翔ばらつき抑制に取り組んだ。

4.1 ノズル吐出口の小径化

ノズルの吐出口を小径化すると、バルブ2次側 (排出側) の圧力増加を引き起こす。結果として、バルブを閉じる際に必要な背圧 (バルブ1次側-2次側間の差圧) が不足する課題が発生する。そこでバルブ2次側に残った圧を逃がすために、ノズル流路とは別の圧抜き流路を新設した (第2図参照)。しかし、圧抜き流路追加がパルスエアの出力低下を引き起こすため、ノズル流路と圧抜き流路の圧力バランス解析から、圧抜き流路径をノズル径の4/5にする最適化を行った。これにより樹脂片を射落とす出力とバルブ閉に必要な背圧の確保を両立し、高精度ノズル系を実現した。



第2図 マニホールド構造の模式図

Fig. 2 Schematic diagram of the manifold structure

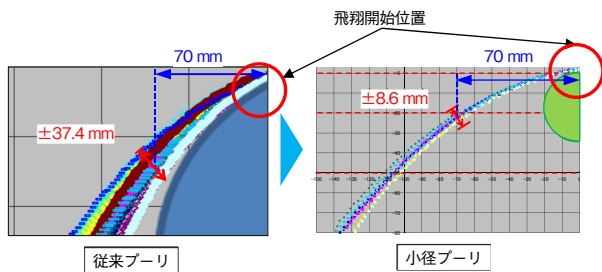
4.2 飛翔ばらつきの抑制

コンベアから放出される樹脂片はその形状や空気抵抗、静電気などの影響により、飛翔経路にばらつきを生じる。この現象は樹脂片が微細になるほど影響が大きく、飛翔ばらつきの抑制を行わなければ、射落とす精度に影響を及ぼす。径4 mmの対象を確実に射落とすためには、エアの吹き広がり・射落とすタイミング精度から、飛翔ばらつき9.6 mm以下への抑制が必要だが (樹脂片射落とす想定位置であるコンベア端部プーリの頂点から水平方向に70 mmの位置)、現状の飛翔ばらつきは37.4 mmであった (第3図左)。ここで飛翔ばらつきとは、第3図横軸をx軸、縦軸をz軸に取り、各方向の3 σ の積の和の平方根を取ったものであり、第3図奥行き方向のy軸については3 σ がほぼ0であったため無視している。またx軸方向のばらつきは、x=70 mmにおけるz座標の平均値におけるx座標の分布から求めた。

樹脂片の飛翔経路の詳細解析によりばらつき抑制に取り組んだ。飛翔経路がばらつく最も大きな原因は、飛翔開始位置の不安定さであった。第4図のように樹脂片の形状、サイズ、帯電状況の違いによる飛翔開始位置の不安定さにより射出される方向にもずれが生じ、飛翔経路がばらついてしまう。飛翔開始位置はコンベア端部のプーリの頂点か

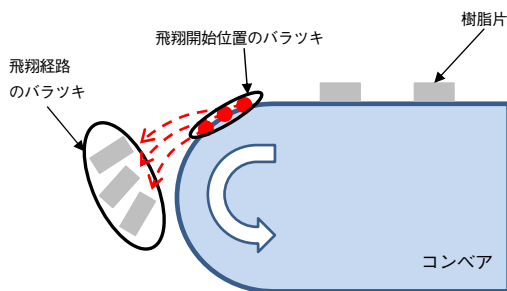
ら水平方向に飛翔することが理想である。しかしプーリ直径に対して樹脂片の射出速度が不足しているため、プーリ頂点で射出できなかった。

これを解消するには、(1) 射出(搬送)速度を上げる(2) 射出速度はそのままプーリ直径を小さくすることが考えられる。しかし(1) 射出速度上げことはセンサのフレームレートと分解能の関係より変更は不可能であった。そこで(2)の対策を採ることとした。プーリ頂点から樹脂片が水平に射出可能な小径プーリのコンベアに置き換えることで、飛翔開始位置をプーリの頂点に揃え、飛翔ばらつきを8.6 mmに抑えることができ(第3図右)、樹脂片を正確に射落とすことが可能となった。



第3図 樹脂片の飛翔軌道測定

Fig. 3 Results of measuring trajectories of the resin pieces



第4図 飛翔ばらつきの模式図

Fig. 4 Schematic diagram of flight variations

術がその一助になると考えられる。

参考文献

- [1] 経済産業省, “家電リサイクル法の概要”, https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/kaden_recycle/case2/case2_01.html, 参照 Oct. 26, 2020.
- [2] 濱田真吾 他, “気流制御を用いた混合樹脂の3種同時選別技術,” パナソニック技報, vol. 62, no. 2, pp. 54-59, 2016.

5. 動向と展望

小粒樹脂選別技術により、今まで低品位な混合樹脂であった小粒樹脂の選別が可能となり、リサイクル材料の高付加価値化による使用用途の拡大とリサイクルの質を高めることによるリサイクル率のさらなる向上(法令遵守)を実現する。サーキュラーエコノミーや再生樹脂の利用拡大の実現に向けては、積極的に活用されていない再生樹脂の利用拡大が必須である。そのためには、混合樹脂を再利用できる品位に押し上げることが求められ、小粒樹脂選別技