

レンズ付きフィルム「写ルンです」 ペレタイズレス樹脂再生システムの開発

富永 佳博* , 岡村 大輔**

Development of Pelletizeless Plastic Recycle System for “Quick Snap”

Yoshihiro TOMINAGA* and Daisuke OKAMURA**

Abstract

One of the main concepts for our “Inverse manufacturing system” is to make brand-new “Quick Snap”s from used ones. The plastic parts of used Quick Snaps have been conventionally recycled via pelletizing, which, however, needs a large amount of heat for melting. Moreover, some properties of the plastic are deteriorated during pelletizing. We have developed a new plastic recycling process without pelletizing. The new process is characterized by directly molding chipped plastic pieces. Compared to 64% reduction of CO₂ emission by the former, pelletizing process relative to the emission for virgin pellet manufacture, the new pelletizeless process can reduce CO₂ emission by about 90% on the same basis.

1. はじめに

レンズ付きフィルム「写ルンです」の製造において、「写ルンです」は「写ルンです」に戻す、すなわち、クローズドループのリサイクルを基本コンセプトの一つとして、早くからリサイクル・リユースの自動化技術開発とシステム作りを進めてきた。1998年には、その集大成としてリサイクル・リユースから製造までを一貫して行なう循環生産工場が稼働開始した。現在、「写ルンです」は約300万本/月回収されている。

回収された「写ルンです」は品種ごとに仕分けられて、ラベル、小箱などの外装部材を取除かれた後、各パーツに分解される。主要部品は検査、修理してリユース(再使用)している。前カバー、裏カバーなどの外装樹脂部品などは、ユーザー取り扱い時に汚れたり傷が付く場合が多く、そのままリユースすることはできない。「写ルンです」には複数回循環再生しても比較的物性劣化しにくい「ポリスチレン樹脂」を使用している。これまでは破砕後、循環生産工場外で洗浄し、熱溶解してペレットにした後、再び循環生産工場内で成形する方法で樹脂リサイクル(再生利用)してきた。しかし、「写ルンです」は樹脂を複数回循環使用するため、リサイクル回数に応じて樹脂の劣化もわずかに進むことによる品質への影



Photo 1



Photo 2

本誌投稿論文(受理2001年9月12日)

* 富士写真フイルム(株)足柄工場 生産技術部
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

* Production & Engineering Division
Ashigara Factory, Fuji Photo Film Co., Ltd.
Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

** 富士写真フイルム(株)足柄工場 LF部
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

** LF Division, Ashigara Factory
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

響が大きくなる懸念がある。また、ペレット化する時、溶融するために大量の熱エネルギーを必要とする。そこで、ペレット化せず、破碎形状のまま直接再成形することにより樹脂の物性劣化を最小限に抑え、さらに、リサイクルに要する消費エネルギーを減少できる「ペレタイズレス樹脂リサイクル」方法を開発し、2001年3月から循環生産工場内にて自動化設備を稼働開始した。

本報告は「ペレタイズレス樹脂リサイクル方法」の開発についてまとめたものである。



Fig. 1 Closed loop recycling.

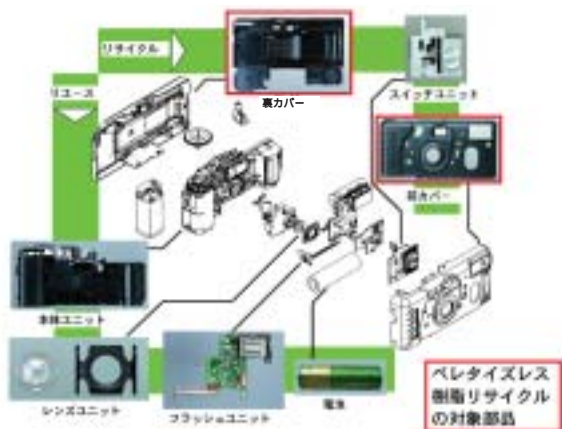


Fig. 2 Components of "Quick Snap".

2. これまでの樹脂リサイクル方法

これまでは成形時に樹脂粒形状が揃っていないと、成形品の重量、寸法がバラついてしまうので、破碎片形状のままでは「写ルンです」のような精密部品の成形には向かないと考えられていた。そのため、粒形状を直径2mm×長さ3mmの円柱形状(ペレット)に揃える「ペレット化」という方法で、リサイクルした樹脂を成

形機に投入していた。この方法は破碎、水洗後、一度溶融して押し出した樹脂を切断して円柱形状の樹脂粒にするものである。

溶融押し出しする際にフィルターを通すことで、溶融しない固形異物をフィルターで除去できる長所があるため、品質保証の観点からも各分野でこのシステムが多く採用されてきた。

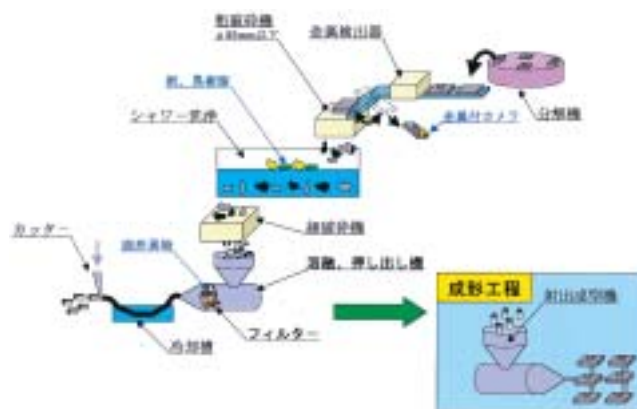


Fig. 3 Procedures of "Pelletizing".

ペレット化による樹脂再生システムにおけるリサイクル時の環境負荷(CO₂排出量)を分析すると、ペレット化するための樹脂を溶融する際の熱エネルギーが大部分を占めていた。

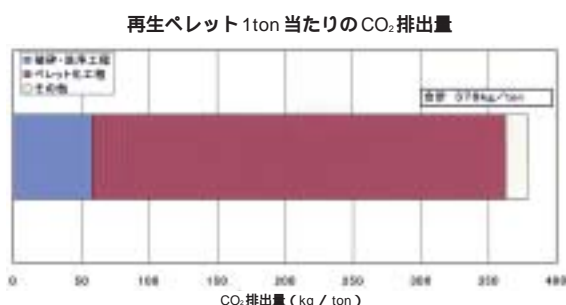


Fig. 4 CO₂ emission analysis of the "Pelletizing" recycling process.

3. 「写ルンです」に要求されるリサイクル樹脂の性能

3.1 回収品に含まれる異物の影響

「写ルンです」の樹脂をリサイクルする上で一番重要なことは「写真性の保証」である。しかし、回収品をリサイクルして使用する場合には、日常的使用状態において写真フィルムに有害な異物が付着する懸念がある。写真フィルムは、シリコン、花粉、蛍光物質、水銀などさまざまな異物が出すガスや直接接触することによる化学反応、フィルム面の傷、圧痕などにより写真の一部に画像の欠陥を生じる場合がある。ユーザーによって撮影された大切な写真に影響が出ることは、「写ルンです」の品質保証上許されないことであるため、これらの写真性に有害な異物を樹脂リサイクル工程で徹底的に取除かなければならない。

3.2 リサイクル樹脂の物性変化

「写ルンです」の主原料である樹脂は複数回の再生使用に耐えられるように、樹脂の中でも繰り返し再生による物性劣化が比較的少ない熱可塑性の「ポリスチレン樹脂」を使用している。

「写ルンです」はリサイクル時の分解を容易にするため爪係合を採用しているため、特に使用時の落下強度に耐えうるカメラ設計が重要である。そこで、使用しているポリスチレン樹脂には耐衝撃性を持たせるために、ブタジエンゴムを重合し、耐衝撃性を高めたハイインパクトのポリスチレン樹脂を用いている。Fig. 5はリサイクル回数と耐衝撃性(アイゾット強度)の関係を調べた結果である。リサイクル回数が増えると熱溶解回数が増えるため、その回数にほぼ比例して耐衝撃性がわずかに落ちていくことがわかった。

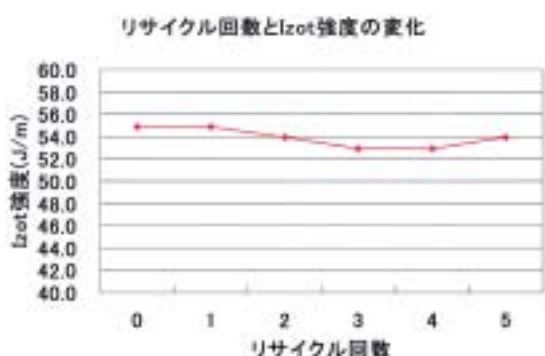


Fig. 5 Deterioration of Izot impact strength with repetitive recycling.

成形安定性を確認するために、成形機適性に対する物性変化も調べた。その一例として、Fig. 6にリサイクル回数と流動性の関係を示す。こちらもリサイクル回数が進むと、わずかに物性が変化していくことがわかった。

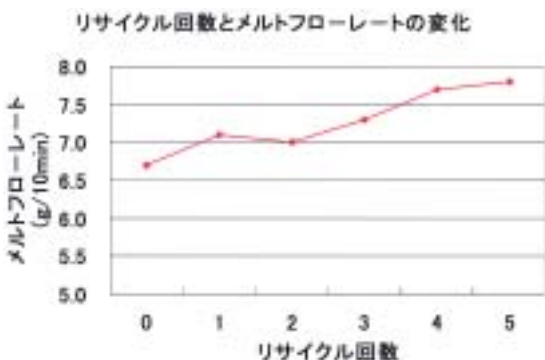


Fig. 6 Change in melt flow rate with repetitive recycling.

樹脂は、マーキングなどによる再生回数の管理などが不可能なため、樹脂を複数回使用し再生する「写ルンです」では、物性劣化保証のためバージン樹脂とのブレンドにより品質劣化を防いできた。そこで、さらにリサイクル樹脂品質を高めるため、リサイクル時の樹脂の物性劣化を最小限に抑える目的で、ペレット化時の熱溶解工程を排除して破碎形状のまま直接再成形する「ペレタイズレス」樹脂リサイクル方法の開発に着手した。

3.3 リサイクル樹脂の写真性への影響

樹脂リサイクルによる物性劣化変化と同様に、写真性への影響も調査した。特に、写真性に対して有害な異物が混入していても、同じ条件下では、新品樹脂に対して再生回数が進んだ樹脂はわずかながら写真性に悪影響を及ぼすことがわかった。

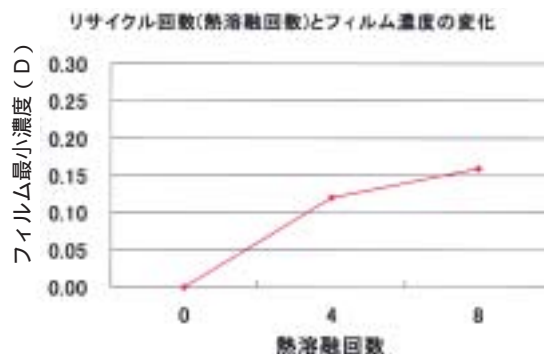


Fig. 7 Photographic effect of the recycled plastic as the function of the number of recycling.

これは、樹脂を再生時のペレットにする時と再び成形する時の熱溶解によって、樹脂からごく微量の写真性に対して有害なガスが熱分解して発生し易くなるためと考えられている。そのため、写真フィルムと共に密封状態で販売される「写ルンです」やフィルムカートリッジの樹脂には、この点に配慮してガスの発生を最小限に抑えるように樹脂の熱分解を抑制する酸化防止剤や、写真性に有害なガスに対する吸着剤を樹脂に微量添加する技術を進めている。しかし、再生樹脂に新たに添加物を加えることは、樹脂物性劣化の原因になったり、コストアップとなる場合が多く、熱溶解回数自体を減らすことが大変重要である。これに対しても、熱溶解回数を半減できる「ペレタイズレス」方式が有利である。

4. ペレタイズレス樹脂リサイクル方法の技術開発ポイント

ペレタイズレスはペレット形状ではなく、樹脂部品を細かく破碎したままの形状で成形機に投入する方法である。この方法は「ペレット化」に比べて樹脂の物性劣化が少なく、再生時の環境負荷も軽減できる反面、成形品への品質面に対するリスクが高くなる。



Fig.8 Difference in the shape of the plastic pieces used for molding.

ペレタイズレス化への主な課題を下記に列挙する。

- ① 回収樹脂に付着する異物除去システムの確立
- ② 成形機射出ノズル内への残存異物除去フィルター装着
- ③ 破砕片での成形安定性

4.1 回収品に含まれる写真性有害異物の調査と品質保証方法

回収品の実態調査の結果，Fig. 9のようにユーザーによる落書き（ペンキなど）や金属，紙，フィルム，砂などさまざまな異物が存在することがわかった。



Fig. 9 Examples of the contaminations in used "Quick Snap".

また，その使用環境から化粧品やたばこのように，ユーザーが無意識に付けてしまう異物や，現像所での現像液などの付着も懸念される。そこで，付着しうる異物を想定し，写真性への影響調査を広範囲に行った。これらの懸念異物をいかに取除くかが工程を組む上でのポイントとなる。そこで，これらの異物を体系化し，その品質保証方法をまとめた。

回収品現物調査より，付着する異物の9割はホコリやタバコ屑で，ユーザー取り扱い時の付着であることが分かった。これらの個体異物は，水洗またはエアブローにより排除，清浄可能である。また，回収ルート上での異物付着ケースで，写真性に対して最も注意すべき有害異物は現像所での写真現像液である。これに対しては，従来の「ペレタイズ」工程では異物除去，洗浄を行ってから再ペレタイズした後，抜き取り検査で写真性評価を行なうシステムで保証していた。

これらの調査結果と品質保証方法を Table 1 に示す。

Table 1 Methods of Removing Contaminations from Used "Quick Snap".

異物内容	頻度	異物の排除方法
ホコリ・タバコ屑・砂など	↑ 多 い ↓ 少 ない	エアブローまたは水洗
飲料・油・手あかなどの付着物		強力な湿式温水洗浄
細かい砂や土		網による分離
紙片などの軽量片		風力を利用して選別
非金属片		射出成形時にフィルターで分離
鉄粉・鉄片		マグネットにて排除
その他の金属片		渦電流方式の金属検出機にて排除
その他の有害異物		抜き取りによる写真性評価

4.2 洗浄技術開発

これまでのペレット化工程では洗浄力が弱く，写真性に対して有害な異物を完全に落としきれていなかったため，再生樹脂の用途が写真フィルムと直接接しない「前カバー」に限定されてきた。しかし，「ペレタイズレス」では再生樹脂の用途を拡大して，写真フィルムに直接接触する部品へも使用可能にするため，これまでに比べてさらに洗浄力を向上した洗浄技術を開発し導入した。

この「ペレタイズレス」工程は環境負荷を減らすことを目的の一つとしているため，洗浄方式を以下のポイントから検討を進めた。

- ① 溶剤・洗剤を使用しない
- ② 物理洗浄方式でかつ強力
- ③ 省エネルギー型

一般的に物理洗浄は高圧，高速，熱を利用するものである。中でも，特に高圧を使用すると洗浄に使用するエネルギーが多くなる。そこで，圧力を低くしてその分エアを自分で吸い込んで洗浄力を補う「温水気泡洗浄方式」を導入した。この方式の特徴は，洗浄水が特殊ノズルを通過する際にエジェクター効果によりエアを自分で吸い込む部分にある。吸い込まれたエアによりキャピテーション効果が発生し，樹脂表面の汚れを削り取ることをねらった。また，溶剤を使用しなくても温水（約40℃）のみで十分な洗浄効果が得られるため，排水処理による環境汚染の心配も無い。

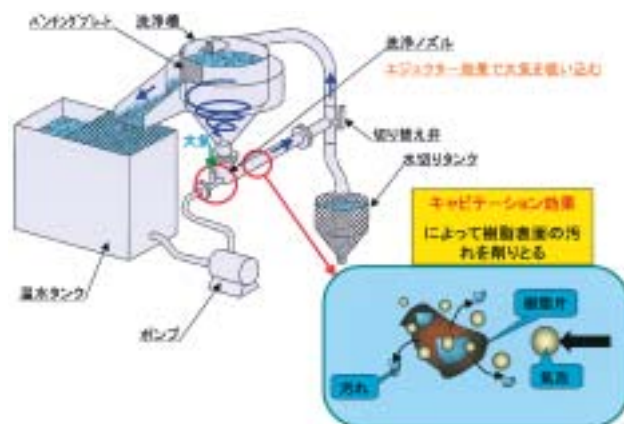


Fig. 10 Construction of the cleaning machine.

この洗浄システムによる洗浄力向上の効果を Fig. 11 に示す。再生ペレット化工程での水洗方式と，今回導入したペレタイズレス工程での洗浄力を比較した結果である。水滴法（濡れ性試験）で洗浄度を評価しており，一定量の水を樹脂表面に落とした時に，表面が清浄であれば水滴径が小さく，逆に汚れていれば水滴径が大きくなる。比較のため，同量の機械油を付けて洗浄前後の樹脂表面の清浄度を比較した結果，ペレット化工程では洗浄後の方が水滴径が大きくなったのに対し，ペレタイズレス工程では洗浄後の方が水滴径が小さくなっており，機械油を付ける前よりも樹脂表面が清浄になっていることがわかる。これは，サンプルとした成形品表面に付着していた離型剤も落ちたためと考えられる。

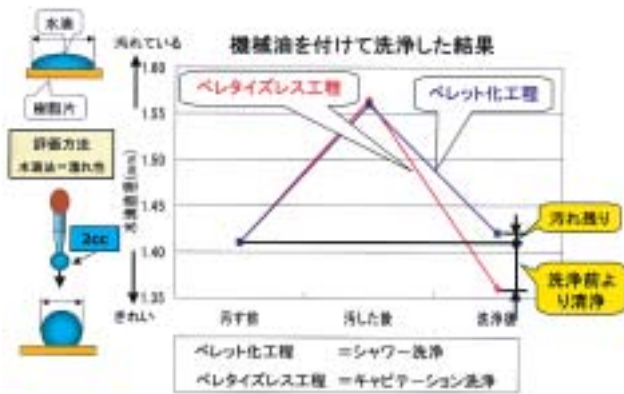


Fig. 11 Comparison of cleaning effects.

この結果から、これまでの「ペレット化」に比べて非常に高い洗浄力であることがわかる。また、この洗浄装置にて水溶性ペンキ、接着剤、化粧品などさまざまな附着しうる写真性有害異物を付けて洗浄した結果、ほとんどの異物が除去可能であることが確認でき、再生樹脂を写真フィルムと直接接触する部品へも使用可能と判断した。

4.3 射出成形機用フィルターの開発

ペレタイズレス樹脂再生工程を通過してきても取り除けなかった固形異物(たとえば、大き目の異物や木片など)を成形前までに除去する必要がある。このような異物は樹脂を溶かしてフィルターで濾さないでと取除けない。しかし、ペレタイズレス工程は途中で樹脂を溶かさなことを特長としているため、唯一、樹脂を溶かす部分である成形機の射出ノズル内にフィルターを取り付けた。このフィルターシステムをノズルフィルターと呼ぶ。目的は成形品への固形異物混入防止と金型の保護である。市販のノズルフィルターでは所望の形状、大きさの異物(ホチキスの針のような細長い物など)が除去できなかったため、フィルター部分を新規開発により製作した。

フィルターに要求される性能は、

- ① 0.3mm以上の異物をトラップ
- ② 耐圧：140Mpa以上
- ③ フィルターにトラップされた異物を簡易に除去できる

である。除去する異物の大きさは、これまでのペレット化工程の押し出し機の所にあるフィルター開口寸法と、成形機および金型内の最狭部から決定した。

フィルター形状をFig. 12に示す。フィルターは射出成形時の圧力損失を減らすため、0.3mm以下の穴を狭い間隔で肉厚の超強力鋼に多数開ける必要がある。この穴開けはドリルでは不可能であった。また、レーザーではパワーが弱く、穴開けに時間が掛かって隣の穴がつぶれてしまう。結果的に、電子ビームにて加工することにより、0.2mmの丸穴を0.5mmピッチで多数開けることができた。ちなみに、今回開発した45mm×長さ30mmのフィルターには約15,400個の丸穴が開いており、その総開口面積は約25mmの穴面積に相当し、一般的な射出ノズル先端の穴面積よりも広い。

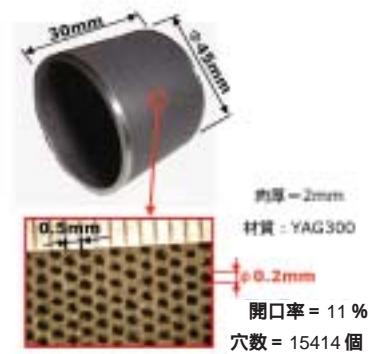


Fig. 12 Filter structure.

4.4 破砕片での成形安定性確認

先にも述べたように、これまで破砕片ではその形状バラツキの影響で安定した成形ができないと考えられていた。そこで、実際に破砕片を使って成形実験し確認した。なるべく現行の成形条件で成形できるように、ペレットに近い破砕片を作ることを考えた。そのポイントは主に下記の3点である。

- ① ペレット(2mm×長さ3mm)に近い大きさに分布が集中していること
- ② 細かい樹脂粉が少ないこと
- ③ 大きい破砕片(6mm以上)が少ないこと

そこで、破砕機出口(スクリーン)の穴径を変えて破砕した際の粒度分布を測定した。その結果をFig. 13に示す。スクリーン径5mmでは細かい樹脂粉が多く、また、7mmでは6mm以上の破砕片が増えることから、ちょうどよい分布である6mmのスクリーンに決めた。

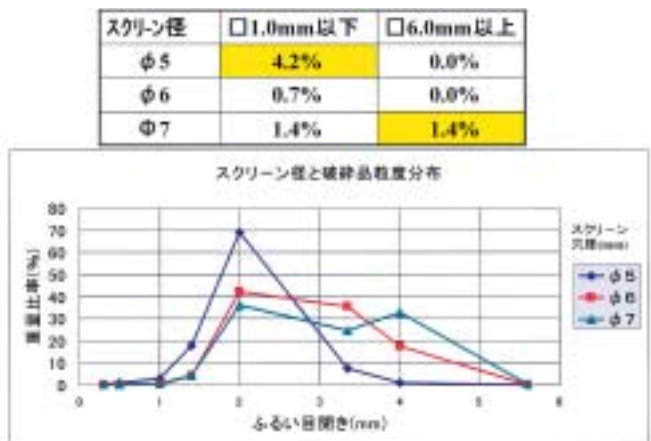


Fig. 13 Size distribution of the chipped plastic.

次に、6mmのスクリーンで破砕した樹脂で実際に「写ルンです」の部品を成形してその重量変動と成形安定性を評価した。この結果、重量変動バラツキがペレットと大差無かった。成形安定性の指標(射出圧力、充填時間など)もペレットに対してはバラツキがあったが、許容範囲内であることも確認できた。ペレットに対しては若干の成形条件の変更は必要だったが、破砕片のままでも十分安定した成形ができることが確認できた。

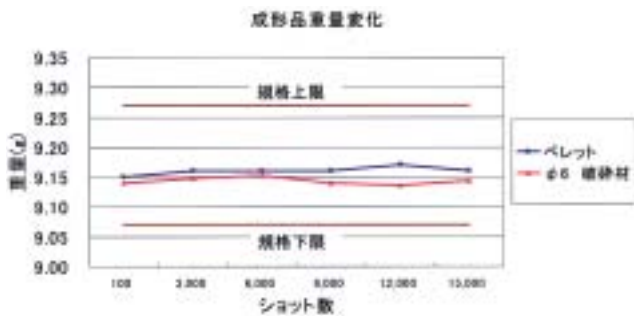


Fig. 14 Molding test with the chipped plastic.

4.5 工程フロー

以上のような検討結果および要素開発などを踏まえ、Fig. 15に示すペレタイズレス樹脂再生システムのフローを構築した。ポイントは、なるべく上流で異物を除去することである。まず、金属異物を取り除き、次に25mmの大きな穴径のスクリーンで破碎した後、風力選別機にて紙、フィルムなどの軽量異物を除去する。次に、最終形状である6mmのスクリーンで破碎する。その後、温水気泡洗浄機にて油、化粧品などの写真性有害異物を洗い流す。再度金属除去を確認してペレタイズレス再生樹脂の完成である。この樹脂は写真性試験などの種々の抜き取り検査を経た後、生産計画に応じて成形機に投入する。成形機の射出ノズル内にはフィルターがあり、微残留の固形異物も最終的に取除けるようになっている。

このペレタイズレス樹脂再生システムは、現在、稼働開始しており、「写ルンです」の樹脂成形部品の材料として供給されている。

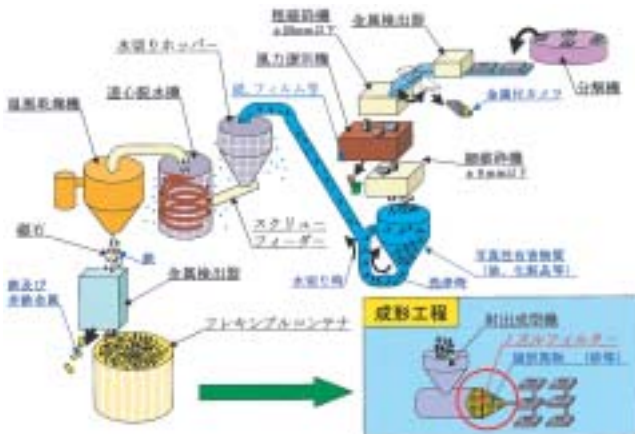


Fig. 15 "Pelletizeless" recycling process.

5. 環境負荷の軽減効果

このシステムの稼働による樹脂リサイクルにおける環境負荷(CO₂排出量)軽減効果をFig. 16に示す。バージンペレット(石油から作った樹脂ペレット)を作るのに要するCO₂排出量を100%とすると、従来のペレット化によるリサイクル方法で約64%のCO₂削減効果があった。今回、さらにペレタイズレス化することにより、

ペレット化に対しては約72%、バージンペレットに対しては約90%のCO₂排出削減効果があることがわかり、非常に大きな効果が得られた。

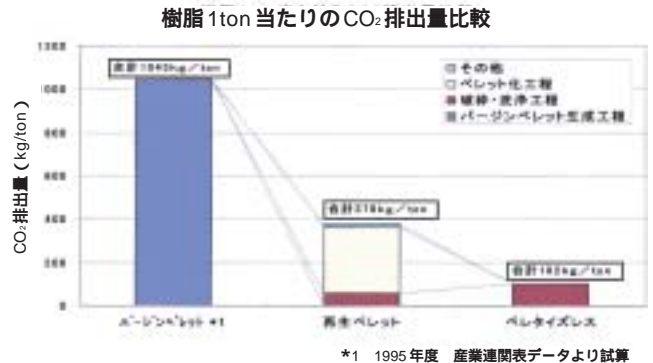


Fig. 16 Comparison of CO₂ emission at each process.

6. 再生樹脂の品質向上による用途拡大とエコマーク認定

今回、ペレタイズレス樹脂再生システムを導入した結果、「写真性」に対するリスクがこれまでよりもきわめて低くなり、フィルムと直接接触する部品にも再生樹脂の使用用途を拡大できた。それにより、「写ルンです」に占める再生プラスチック使用比率を高くでき、「再生材料を使用したプラスチック製品」のエコマークの基準を満たすことができた。現在、フジカラー「写ルンです シンプルEye800」と「写ルンですスーパー Eye800」が、レンズ付きフィルムとしては初めてエコマーク認定されている。

7. おわりに

ペレット化せずに再生利用する樹脂リサイクル技術はほとんど実践例がない。しかも、この樹脂の写真性への影響を保証して、「写ルンです」の樹脂部品に再使用するのにはきわめてリスクが高かった。そのため、一つずつ実験と確認を繰り返し、製品品質や工程上の問題を解決しながら技術開発してきたため、研究、開発に長い時間を費やした。しかし、この結果、物性劣化が少なく、環境負荷も低い新しい樹脂再生方法を確立できた。これからのリサイクル技術における環境負荷削減の方法として、この技術が「写ルンです」に留まらず各方面での樹脂リサイクルにも応用できれば幸いであると考えている。

(本報告中にある“写ルンです”、“フジカラー”は富士写真フィルム(株)の商標です。)