廃棄樹脂サッシの再資源化に関する研究

— 分離技術に着目して —

STUDY ON RECYCLING OF USED PVC WINDOW

— Focusing on the dismantling methods —

村上敦亮 — * 1 清家 剛 — * 2
下山英男 — * 3 小野聡志 — * 4
木川正樹 — * 5 金 容善 — * 6
磯部孝行 — * 7

Nobuaki MURAKAMI — * 1 Tsuyoshi SEIKE — * 2
Hideo SHIMOYAMA — * 3 Satoshi ONO — * 4
Masaki KIGAWA — * 5 Yongsun KIM — * 6
Takayuki ISOBE — * 7

キーワード：
樹脂サッシ, 再資源化, 塩化ビニル, 分離技術, 機械化

Keywords:
PVC sash, Recycle, Poly vinyl chloride, Dismantling method, Mechanization

The load of the classification process is one of big issues in the material recycling of used PVC window. This study aims to find efficient and accurate dismantling method used PVC window to recycle it. We dismantled used PVC window by the machinery and the manual methods and evaluated the quality of products using recycling materials. As a result, the large quantities disposal by the machinery process seems to be possible. But at the same time, contaminations of recycle material influenced products quality and productivity. By additional treatments for reducing contaminations in recycle PVC materials, products quality were improved.

1. 背景と目的

現在、環境問題が顕在化するようになり、社会全体として低炭素化社会及び循環型社会の形成が求められている。その中で、建設産業においても低炭素化に向けた取り組みが推進され、住宅産業においては、開口部の熱性能向上に資する建設資材として樹脂サッシに注目が集まっている。将来的には、住宅の性能向上を目指す上で、全国的に広く普及する事が想定される。

日本では1970年代から発売され、北海道において1980年代から普及が進み、メーカーの種類も国内外で様々なものが取り扱われている。一方、それらが住宅の耐用年数に達するのに伴い、北海道における樹脂サッシの廃棄はこれから本格化すると予想される。

樹脂サッシは図1に示すよう、窓枠及び障子に使用される型材として塩化ビニル樹脂（以下塩ビ）が使用されている。これに補強材として鉄やアルミなどの金属、ガラス、ビス・丁番などの様々な部品によって構成されており、さらに躯体との間には、ビス、アンカー、シーリング、断熱材等が介在する。樹脂サッシの資源循環の観点から見た場合は、解体現場から塩ビ型材のみまでの選別負荷が大きい建設資材であると言える。

しかしドイツを中心とする欧州では、樹脂サッシの再資源化システムが構築されており、積極的に回収が行われ、再度塩ビ型材の原

図1 樹脂サッシの構成

料として利用^{1),2)}されている。日本国内においても塩ビを用いた代表的な建材である塩ビ管は、積極的に回収が行われている³⁾。

日本国内における樹脂サッシの再資源化の状況は、多くが最終処分されている⁴⁾と想定されている。しかし樹脂サッシの再資源化に関する研究として、既往文献⁵⁾によって、樹脂サッシの組成調査や、手選別と機械選別による作業効率の分析が行われており、硬質塩ビが4割程度回収可能であること、機械化によって効率的な選別が可能であることが示されている。だが再生原料の品質確保については、

¹⁾ 樹脂サッシ工業会 技術委員長
(〒193-0942 東京都八王子市梶田町1218-3 大信工業株式会社)
²⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授・博士(工学)
³⁾ (株)エクセルシャノン開発技術本部 花巻 主幹
⁴⁾ (株)LIXIL CSR・環境推進部 グループリーダー
⁵⁾ YKK AP (株)安全環境管理部
⁶⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 研究員・博士(工学)
⁷⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科 博士課程・修士(環境学)

¹⁾ Technical Chairperson, PVC Windows Industries Association
²⁾ Assoc. Prof., Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
³⁾ Director, Technical Development, Hanamaki Office, EXCEL SHANON Corporation
⁴⁾ Manager, CSR and Environmental Promotion Department, LIXIL Corporation
⁵⁾ Office of Environment Management Safety & Environment Dept., YKK AP Inc.
⁶⁾ Researcher, Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.
⁷⁾ Doctoral Student, Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, M. Env.

詳細に分析が行われおらず、課題が残されている。また他の塩ビ建材では、小山らによって、塩ビ床材を事例として、塩ビ系建材の再資源化に関する品質確保について検証⁹⁾がなされている。

そこで本研究では、選別負荷が大きい廃棄樹脂サッシの再生原料への活用を目標として、活用が見込まれる分離技術によって再資源化された塩ビ原料を用いた際の、押出成型品であるサッシ材製造上の阻害要因の検証を目的とした。

2. 試験方法

樹脂サッシの分離技術は、選別段階、再生段階において、様々な手法が存在する。国内における樹脂サッシの再資源化は、手解体・手選別による方法が最も一般的であるが、一方ドイツにおいては、専用設備による機械選別が実施されている。今後の大量処理の観点からは、機械選別の導入による再資源化が望ましいが、導入には設備投資がかかる。

そこで手解体以外にも、既存設備による機械選別を組み合わせた再生手法に着目し、検証を実施した。それぞれの手法の違いによって、異物混入の状況や技術的品质の確認、外観の確認を行い、再資源化された塩ビ原料利用の影響を捉え、可能性を検証した。

この一連の検証を以下の3点のプロセスに分け、廃棄樹脂サッシ再資源化の分離技術に関して検討する。はじめに、今回検証を実施した樹脂サッシの再資源化の作業概要及びフローについて整理した。次に、各フローに基づいた再生原料を用いて、押出成型による形材製造の検証を行い、それぞれの試験体の評価を行った。最後に、上記の内容を踏まえて、品質確保の観点から分離技術に関しての課題点を明らかにした。

2.1 作業概要

再資源化作業概要を、表1に示す。廃棄樹脂サッシから再生原料を使用した試験体の作製手順は、以下の通りである。

廃棄樹脂サッシ回収工程では、解体現場において発生した樹脂サッシを回収し、中間処理工場に搬入する。樹脂サッシ分解工程では、これを部材単位に解体・選別した後、枠・框部分を再資源化業者へ運び、塩ビ形材を取り出す。再資源化工程において、表2で示される作業により再資源化を行う。最後に製造工程で、再生原料を各樹脂サッシメーカーにおいて押出成型機に投入し、試験体の作製を行う。なお同じ塩ビであっても、サッシの気密材などに使用される軟

表 1 樹脂サッシの再資源化作業概要

廃棄樹脂サッシ回収	建物から樹脂サッシの取外し・回収
樹脂サッシ分解	ガラス除去・部材状に切断
再資源化	部品解体・破砕選別処理・異物除去
製造	押出成形・評価

図 2 試験体作製フロー図

質塩ビは、レジン重合度が異なり可塑剤を加えていることから、基本的には分けて再生することが望ましい。

次に、今回の分離技術における作業概要を、表2にまとめる。粉砕は、後の機械選別や製造時の作業性を向上させるための前処理として行われる。

機械選別は、北海道の日本資源技術(株)が所有する設備で実施した。この設備はOA機器廃材の処理のための設備であるが、樹脂サッシとの材料構成が類似すると考えられることから試験に用いた。この設備は、粉砕と選別が一連の流れで処理される。

手選別は、従来からの選別方法であり、機械選別等によって除去できない軟質塩ビ等を、人手によって選別する作業である。

リペレットは、再資源化の過程の中で混入した異物を除去する目的で行う。押出機械に投入された材料は、熔融温度の違いにより、金属片などを金網に捕捉する。押出した材料はペレット状に整える。この処理は、埼玉県(株)照和樹脂の所有する設備にて行った。

微粉砕は、破砕した材料を粉状まで砕く際に、混入した異物も同様に微粉砕化し、再生原料による製造した際に混練させ、目立たなくさせる目的で行う。金属や砂のような硬い物質は、機械を痛めるため処理できない。この処理は、茨城県の(有)清田商店の所有する

表 2 分離技術における作業概要

作業名	粉砕	機械選別	手選別	リペレット	微粉砕
内容	廃棄樹脂サッシの粉砕	プラントによる材料選別	粉砕前の人手による事前選別	粉砕された材料のリペレット	粉砕された材料の微粉砕化
期待する効果	材料の粒度を整える	廃棄サッシ分離の効率化	機械選別出来ない異物の除去	異物除去	異物の粉砕・均一化
概要	一定の長さで分解された樹脂サッシを投入し、一定の大きさ(8mm程度)に砕く。	湿式による比重分離選別プラント。選別機の前に粉砕設備が設けられており、主にOA機器等の樹脂複合製品の選別処理を行う設備。	機械選別が出来ない軟質塩ビ等を、人手によって粉砕前に分離を行う。	概念図 材料を押し出す機械に投入し、熔融温度の違いにより、金属片などを金網に捕捉し除去する。	破砕した材料を粉状まで砕き、混入された異物を目立たなくさせる。微粉砕が可能な材料は一般的な樹脂。金属や砂のような硬い物質は、機械を痛めるため処理できない。

設備にて行った。

2.2 試験体作製フロー

表 1, 2 に示された作業内容から、試験体の作製方法のフローを、図 2 にまとめる。

これらの再資源化工程について、手法 1 ～ 4 に示される分離技術によって、試験体を作製した。手法 1 として粉碎後、機械選別を行ったもの。手法 2 として、手法 1 にリペレット工程を加えたもの。手法 3 として、手選別後、粉碎を行ったもの。手法 4 として、手法 3 に微粉碎工程を加えたものとした。

2.3 評価方法

押出成型においては、コンパウンドの配合はメーカーごとに異なり、かつ金型は各原料に合うよう設計されることが一般的であるため、再生塩ビ原料のような材料に変更された場合、形状が安定して製造されるか、確認が必要となる。そこで本研究では、手法 1 ～ 4 を用いて得られた再生原料により単純な板状の断面による押出成型を行い、製造時の異常の有無、型材の外観・断面の評価を行った。

3. 試験体の検証

試験体の外観及び断面への影響に関する検証結果を、表 3 に示す。プラントによる処理のみである手法 1 では、押出成形による形状が整えられず、試験体の製造試験を中止した。これはプラントでの材料選別及び異物除去が十分でなかった事が要因と考えられる。

手法 2 ～ 4 では、製造は可能であり、型材の断面形状に問題はなかった。しかし、リペレット化の追加処理を行った手法 2、手選別による事前処理を行った手法 3 では、型材の表面に異物が見られた。手選別による事前処理及び微粉碎を実施した手法 4 からは、異物の影響は見られなかった。

3.1 阻害要因

異物混入の割合が、製造の可否に大きな影響を及ぼしている事が想定される。そこで各手法の再生原料に、どの程度の異物が混入し

図 3 再生原料への異物混入量

ていたか比較を行った。異物混入量は、押出成型機のコイルに捕捉された異物の重量を、再生原料の投入量で除した値とした。異物混入の定量的な分析は、異物がコイルに捕捉されなかった手法 2 と手法 4 を除き、追加処理をしていない手法 1 と手法 3 のみ実施し、算定結果を図 3 に示す。

手法 1 の再生原料は、300ppm の異物混入があり、製造そのものが出来なかった。再資源化の段階で異物除去が十分に行われていない場合、押出成型機に設置されているコイルに異物が積み重なり、押出成型機のコイル目詰まりによって樹脂の流れが低下し、設計通りの成形が出来なくなる。手法 1 では、製造時のコイルへの目詰まりが開始早々に起きたため、製造が出来なかったと考えられる。

手法 2 のリペレットの際に、コイルに捕捉された異物の様子を表 3 下段左に示す。手法 2 においては、リペレット化により、多くの異物除去がされたことが把握できる。リペレット化の段階で、異物除去が十分に行われたことから、試験体製造において異物による目詰まり等の影響は認められなかった。

手法 3 の再生原料によって製造を行った後のコイルの状況を、表 3 下段中に示す。コイル上にも若干の異物が捕捉された。試験体の外観にも異物混入の形跡が認められた。ここでは、小径の異物はコイルでは捕捉できず、これらが型材の表面に現れ影響を与えている。異物混入量は、40 ppm となっており、手法 1 の 13%程度に低減するこ

表 3 製造試験結果一覧

	手法1	手法2	手法3	手法4
外観	製造不可	異物あり	異物あり	異物なし
断面		問題なし	問題なし	問題なし
異物補足状況		リペレット段階	製造段階	製造段階

とができた。しかし得られた形材表面に異物の影響がみられるほか、長時間の製造を行うと目詰まりの影響が現れてくる。そのため、この品質の再生原料を用いる事は、製品の品質管理上、困難であると言える。

手法4における製造後の金網の状況を表3下段右に示す。手法4の形材に、異物の発生は認められず、金網上にも異物はほとんど認められなかった。

3.2 異物の解析

特に顕著であった異物を写真1に示す。異物①は、金属片である。これは補強材やビス等からの、切断・穴あけ等から発生した切子と思われる。異物②～④には、異種類の樹脂が含まれていた。その種類の確認のため、赤外分光法による組成分析を行った。異物②は、窓の部品の一部として使用されているポリアセタールとナイロンの2種類、異物③は、ナイロン、異物④は、窓の部品の一部として使用されているPETと防火樹脂窓に使われる無機系耐火材と思われる。このような金属や無機系材料は、樹脂に溶けないため、形材表面への影響が大きく表れた。また異種類樹脂も、硬質塩ビの熔融温度より融点の高いもの（ナイロン、PET）は金網に捕捉され、目詰まりの原因となっていた事が分かった。

4. まとめ

廃棄樹脂サッシの分離技術に関し、得られた再資源化原料を用いた際の製造上の阻害要因について、検証結果を以下にまとめる。

機械処理による再生原料には、回収した樹脂サッシ由来と見られる多種類の異物が混入していた。機械処理のみの場合、押出成型に大きな影響があり、製造が出来なかった。手選別では、異物混入量が低減され、製造は可能であるが、形材表面への異物の影響は残された。

リペレットや微粉碎の処理を実施することで、異物の影響は低減されることが分かった。しかしリペレットでは、小径の異物は金網では除去が不可能であるため、品質管理上課題点が残った。一方、微粉碎は異物の影響が見られず、形材の仕上がりが最も良好であった。ただし金属などは事前に分離する必要があるため、それらの選別処理が重要となる。

廃棄樹脂サッシの機械処理による分別においても、適切な工程によって異物の影響を低減させれば、再生原料として利用可能であることを示す事ができた。しかし再資源化に向けた大きな課題として、品質の安定化、及び選別機能の向上などが挙げられる。

再生原料の品質安定の観点から、廃棄樹脂サッシは、いつ、国内外のどのメーカーの製造したものが、どの位の割合で回収されるか予測不能である。これをブレンドした再生原料は、コンパウンドとして組成が安定しない。このためメーカー側の品質保証の観点からは、用途を制限される。樹脂サッシへの再利用を幅広く行うためには、再生原料に対応した製品設計上の工夫や製造技術の開発を行うなどの検討が必要とされる。

再生原料を用いた形材の品質評価においては、JIS A 5558の規格を満たすことが求められる。そのため異物の影響を最小限に抑えた上で、規格が満たされることの検証が必要である。

今回検討したプラントで選別できない材料に、二重成品品がある。特に軟質塩ビの混入は、硬質塩ビのみの再生原料に比べ品質が変わ

写真1 リペレット前の再生原料に混入していた異物

ってしまい、価値の低い材料として扱われてしまう。しかし分離には大変な手間を要することから、効率よく機械分離する手法の確立が必要である。

謝辞

本研究は、塩ビサッシリサイクル合同WG（委員長：東京大学 清家剛准教授）における研究成果によるものであり、樹脂サッシ工業会、（一社）日本サッシ協会、塩ビ工業・環境協会、及び試験に際し多大な御協力を頂いた関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 牧野弥生, 清家剛, 金容善, 村上敦亮, 金子ちほり: ドイツにおける樹脂サッシリサイクルの実態調査 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 社会システム, pp.93-94, 2013
- 2) 金子ちほり, 清家剛, 金容善, 村上敦亮, 牧野弥生: ドイツにおける樹脂サッシリサイクルの実態調査 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 社会システム, pp.95-96, 2013
- 3) 塩ビ管・継手協会: ホームページ, 入手先
<<http://www.ppfa.gr.jp/recycle/rate/index.html>> (参照 2014.8.26)
- 4) 磯部孝行, 清家剛, 金容善: 樹脂窓の再資源化システム構築に関する研究 北海道における廃棄された樹脂窓の実態調査及び排出量予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1381~1382, 2014
- 5) 経済産業省北海道経済産業局, 日本資源技術株式会社: 平成21年度3Rシステム化可能性調査事業報告書 樹脂サッシの廃棄状況の実態やリサイクルのために必要な技術や仕組み等に関する調査, 2010.3
- 6) 小山明男, 水本直紀, 西下孝夫, 菊池雅夫: 叩解法を用いた塩化ビニル系建設廃棄物の再資源化技術開発, 日本建築学会技術報告集, Vol.14 No.28, pp.399-404, 2008.10
- 7) 山口晃平, 小山明男: 塩化ビニルタイルカーベットの廃棄物処理実態調査およびリサイクルへの適用性, 日本建築学会技術報告集, Vol.20 No.45, pp.491-496, 2014.6

[2014年10月15日原稿受理 2015年1月6日採用決定]