

博士論文要約

【研究の目的】

本研究は、製品の特徴及び排出形態双方が多様なポリ塩化ビニル樹脂（以降、塩ビ樹脂）製品のリサイクル促進のため、リサイクル・システムを設計、評価する手法（枠組み）を提案し、事例検証を行い、また、具体的なリサイクル・システムの設計を試み、その有効性・有用性を確認することを目的とする。

【塩ビ樹脂製品の社会・産業的位置づけとリサイクル促進の必要性】

塩ビ樹脂はプラスチック生産量の15%を占め、エチレンの13%、電解塩素の4割を消費し、化学産業における位置づけは大きい。相溶性が高く非晶質であることからマテリアル・リサイクル性能に優れ、再生材の環境負荷はバージン樹脂製品の1/4程度となる。他方、熱処理で腐食性のHClが生成するため極力マテリアル・リサイクルすることが望まれる。世界的動向として社会・経済の持続可能性が追求され、欧州プラスチック戦略、G7海洋プラスチック憲章においてプラスチックのリサイクル促進が求められている。国内でも、第四次循環型社会形成推進基本計画の中にプラスチック資源循環戦略の策定が入っている。他の汎用樹脂に比して塩ビ樹脂製品のリサイクルは進んではいるが、その一層の推進が求められている。製品の多様性に加えてリサイクルに影響する要素も極めて多様であることから、多面的かつ効率的に評価してリサイクル・システムを設計・評価する手法が求められる。

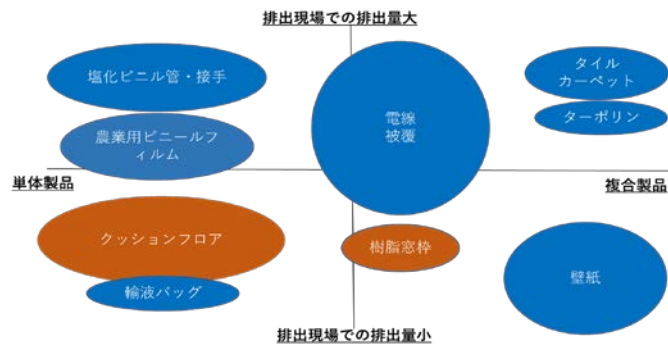


Figure 1: 塩ビ樹脂製品の類型

社会・経済の持続可能性が追求され、欧州プラスチック戦略、G7海洋プラスチック憲章においてプラスチックのリサイクル促進が求められている。国内でも、第四次循環型社会形成推進基本計画の中にプラスチック資源循環戦略の策定が入っている。他の汎用樹脂に比して塩ビ樹脂製品のリサイクルは進んではいるが、その一層の推進が求められている。製品の多様性に加えてリサイクルに影響する要素も極めて多様であることから、多面的かつ効率的に評価してリサイクル・システムを設計・評価する手法が求められる。

【リサイクル・システム設計・評価の枠組み（以降「枠組み」と言う）】

リサイクルに影響を及ぼす多様な要素を体系的に評価できるように3つにグループ化する。一つ目は市場と技術的要素群で、リサイクルの入口から出口までのモノの流れに関する要

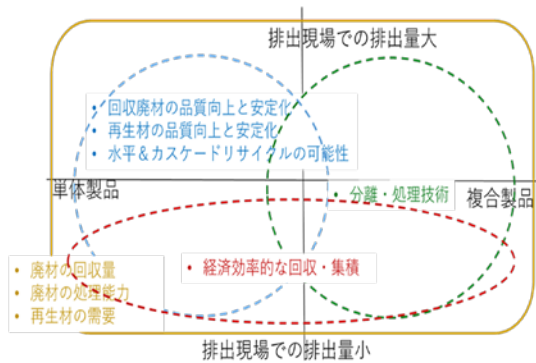


Figure 2: 市場と技術的要素群と塩ビ樹脂製品の類型の関係

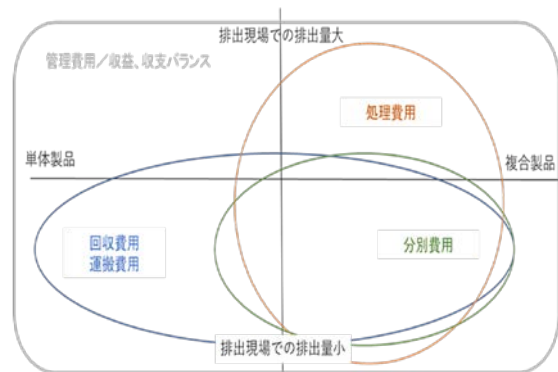


Figure 3: 経済的要素群と塩ビ樹脂製品の類型の関係

素を包含する。二つ目は経済的要素群で、リサイクルの経済性にかかる要素を包含する。三つ目は制度と体制的要素群で、経済的要素以外でリサイクルに影響を及ぼす要素を包含する。次に、塩ビ樹脂製品を、その製品の特徴から、リサイクルが容易な単体製品か異素材との分離が必要な複合製品かという軸と、排出現場での廃材排出量の多寡を軸として類型化する(Figure 1)。塩ビ樹脂製品の類型と上述の3つの要素群との関係を検討し、製品類型毎に重要な要素を明らかにする(Figure 2~4)ことで、システムの設計・評価を効率的に行うことを可能とする「枠組み」(Figure 5)とした。また、排出量が小さい時に経済効率的に廃材を回収、集積する方法として、巡回回収及び小口回収の集積法を提示し、さらに、運搬や処理において最小限の単位について考慮することなど、リサイクル・システムの設計・評価における具体的なガイダンスを与えている。

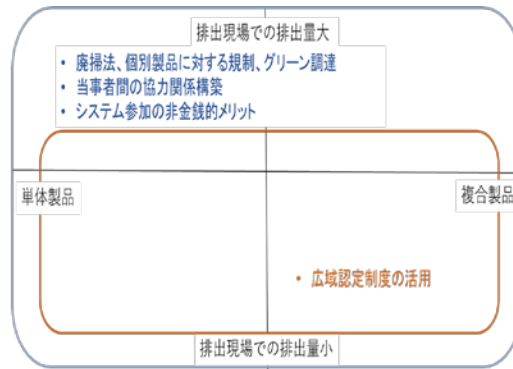


Figure 4: 制度と体制的要素群と塩ビ樹脂製品のタイプの関係

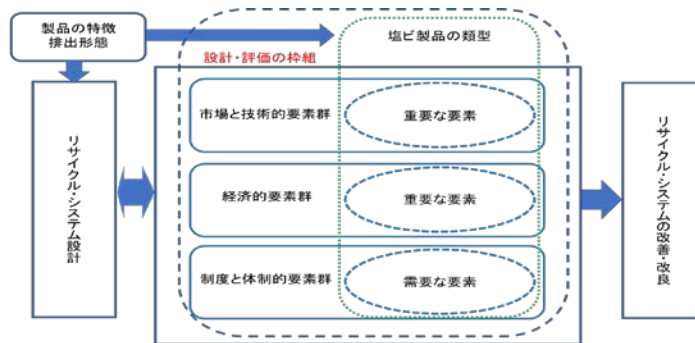


Figure 5: リサイクル・システム設計・評価の枠組

【塩ビ樹脂製壁紙張替え時に排出される廃材のリサイクルの事例検証】

複合製品で排出現場での排出量が少なく、さらに、多種の廃材が排出される類型について「枠組み」を使い検証した。(一社)日本壁装協会が考案したリサイクル・システム (Figure 6) は「枠組」が提示した小口回収の集積法と二段階分別法を組み合わせている。実証試験において、現場で一次分別 (9つに分別) した廃材を分別センターで2次分別し、中間処理業者に処理を委託したところ、これまで最終処分されていたすべての廃材がリサイクルされ、二段階分別が有効であることが確認された(Figure 7)。

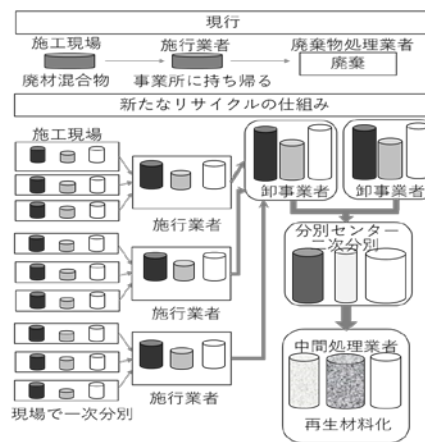


Figure 6: 紙張替時廃材リサイクルのフロー図

また、費用は、現在施工業者が廃棄物処理のために支払う費用と同等であると試算された。「枠組み」のアプローチに従い、分別、運搬、処理等の量的単位の制約を考慮し、廃材を排出する施工業者に廃棄物処理料金並みの費用を課し、システム運

| 施工現場における一次分別 | | | | 分別センターでの二次分別と最終用途 | | | |
|----------------------------------|--------|------|--|-------------------------------|-----------|--------|-------|
| 内容 | 重量(kg) | 回収回数 | | 内容 | 用途 | 重量(kg) | % |
| W1 使用済壁紙 | 36.8 | 6 | [Diagram showing flow from primary sorting to secondary sorting] | 使用済壁紙 (W1)及び汚れのない新しい壁紙端材 (W6) | 備砂 | 57.0 | 71.9 |
| W2 包装紙 | 2 | 1 | | 養生用紙 (W7) | | 4.0 | |
| W3 包装用プラスチック端材 | 2 | 1 | | 包装紙 (W2) | 2.0 | | |
| W4 パテ残遺 | 5 | 1 | | 保護フィルム (W6)と養生用プラスチック (W8) | プラスチック再生材 | 7.3 | 10.6 |
| W5 コーナービート | 1 | 1 | | 包装用プラスチック端材 (W3) | | 2.0 | |
| W6 新しい壁紙の端材と壁紙接合面をカッターから保護するフィルム | 28.5 | 3 | | 使用済壁紙と新しい壁紙で汚れたもの (W1, W6) | RPF材料 | 8.3 | 17.5 |
| W7 養生用紙 | 4 | 1 | | パテ残遺 (W4) | | 5.0 | |
| W8 養生用プラスチックシート | 7.3 | 2 | | コーナービート (W5) | | 1.0 | |
| W9 塵 | 1 | 1 | | 汚れたプラスチックと塵 (W6, W8, W9) | 1.0 | | |
| 合計 | 87.6 | 17 | | 合計 | | 87.6 | 100.0 |

Figure 7: 壁紙張替時廃材の二段階分別結果

営の収支を合わせるのに必要な回収現場数を試算したところ、少なくとも 3,000 からの回収が必要であることが分かった。施工業者 30~60 社の参加が必要となる。これは、首都圏での排出の 1%程度である。分別及び廃材管理の徹底のための研修や廃材追跡のために簡易に操作できる手段が必要となることが分かった。このように「枠組み」がリサイクル・システム設計に有用な示唆を与えたことが確認された。

【塩化ビニル管・継手のリサイクル事例の検証】

単体製品で、排出現場で排出される廃材の量が多い事例として、塩化ビニル管・継手協会が 1998 年～2002 年にかけて設計・運用したリサイクル・システム(Figure 8)を、「枠組み」を使い検証した。この事例は、良質な再生材を得ることが可能な類型であり、付加価値の高い用途への利用とカスケードリサイクルの可能性を追求することが重要な課題であることを「枠組み」が示している。市場と技術的要素群の評価においては、「枠組み」が重要性を指摘している再生材を利用した製品の品質向上と安定化の担保策が機能した一方で、「枠組み」が指摘するカスケードリサイクルの可能性は意識されておらず、システムをより柔軟に運用する余地があった。経済的要素の評価においては、協力会社のみでカバーできない地域に導入した中間受入場関連費用と協力会社への協力金が大きなコスト要因であることを明らかにした。

制度と体制的要素の評価においては、業界の自主的な取組が、業界が目標とした強い規制の回避を達成した一方で、リサイクル・システムに参加する非資金的なメリットが考慮されていなかったことを明らかにした。

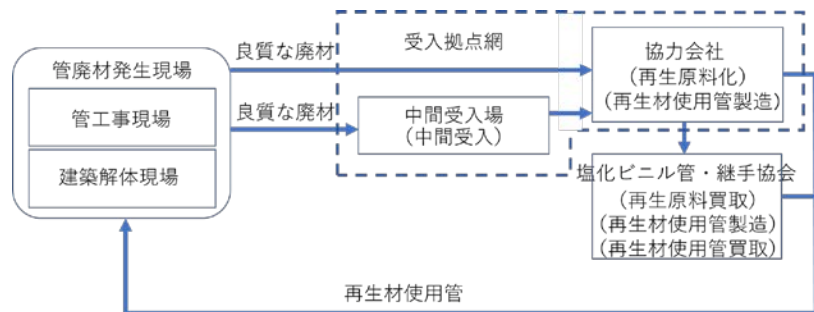


Figure 8: 塩化ビニル管・継手のリサイクル・システム(1998-2002)

塩化ビニル管・継手協会は、その後、このシステムを改善し、処理が不要な良質な廃材の買取りに加えて処理が必要な廃材は逆有償で引き取ることとしてシステムに柔軟性を持たせるとともに、協力金を支払わない契約中間処理業者という仕組みを

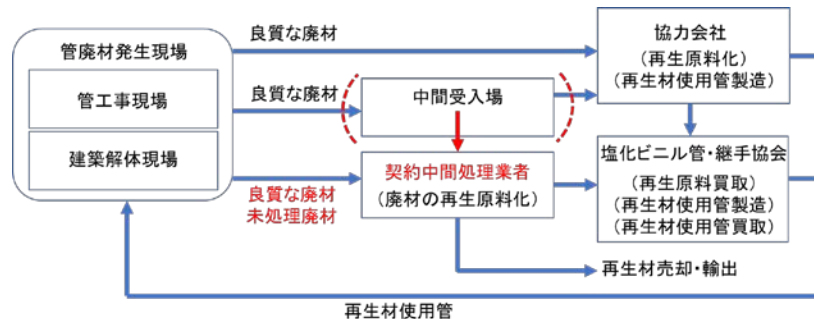


Figure 9: 改善されたリサイクル・システム(2004-2016)

導入した(Figure 9)。契約中間処理業者の数は 49 に増え中間受入場は全廃された(Figure 10)。リサイクル量は 2 万トン程度に増えコストは 1/10 以下に削減された。契

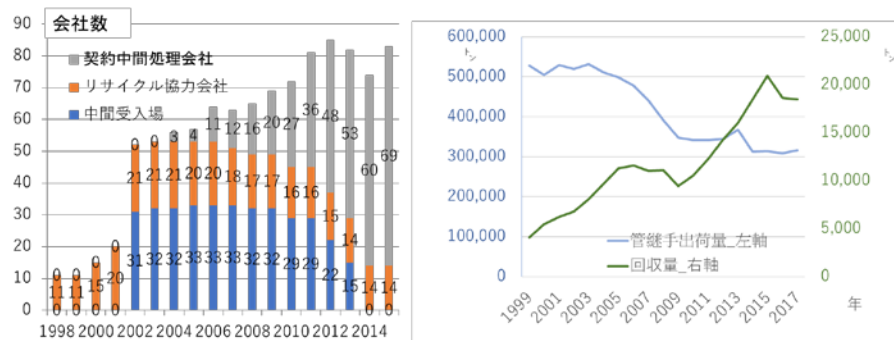


Figure 10: 協力会社、中間受入場、契約中間処理会社数の推移と廃材回収量の推移

約中間処理業者が増化したことは、「枠組み」が指摘する非金銭的メリットが十分大きかったことを表している。これにより契約中間処理業者と協力会社という待遇の異なるパートナーを併存させる必要がなくなり、最終的には両者は統合され協力金が削減された。これらのシステムの改善は「枠組み」による検証結果が示す方向性に沿ったものであることが確認された。

【塩ビ樹脂製品リサイクル・システム設計・評価の枠組みの評価】

「枠組み」を使い、残りの 2 つの類型の中の単体製品で排出現場での排出量が小さい事例として塩ビ樹脂製医療用製品を、複合製品で排出現場での排出量が多い事例としてターポリンのリサイクル・システムの設計を「枠組み」を使って試行した。その結果、医療用製品の回収と集積については、「枠組み」が示す小口回収の集積方法と循環回収法が応用できる可能性が示唆された。また、排出現場で分かりやすい製品のみを分別回収することにより現場における作業負担を減らし、合わせて廃材（使用済み製品）の質を高め、それにより、リサイクルの費用の軽減を図ることができる可能性を示唆した。ターポリンの事例においては、処理した再生材の需要について確認ができ、処理費用と運搬費用が大きな鍵を握ることが示され、「枠組み」は有用なガイダンスを与えた。塩ビ樹脂製品の 2 つの類型についての事例検証において、「枠組み」が有用な示唆を与え、回収集積方法や運搬、処理などで最小単位を考慮した評価法など「枠組み」が示した具体的な手段の有効性が確認されていることから、塩ビ樹脂製品の 4 つのすべての類型の事例において、「枠組み」の有効性、有用性が確認できた。さらに、評価すべき要素をグループ化し体系的に整理し、製品を製品の特徴と排出形態で類型化して、リサイクル・システムを効率的に設計・評価するアプローチが塩ビ樹脂以外の素材の製品に応用できる可能性についても検討した。結果として、3つの要素群の設定、及び、製品の類型化において排出現場での排出量の多寡を軸とすることについては汎用性があることを示し、製品の類型化のもう一つの軸は素材の特徴に応じて選択することにより有効な枠組みとして利用しうることを明らかにした(Figure 11)。今後、事例検証を積み上げて枠組みの構成を見直し個別経済的要素のデータを補追することにより、この「枠組み」の有効性と有用性が一層高まるものと考えられる。

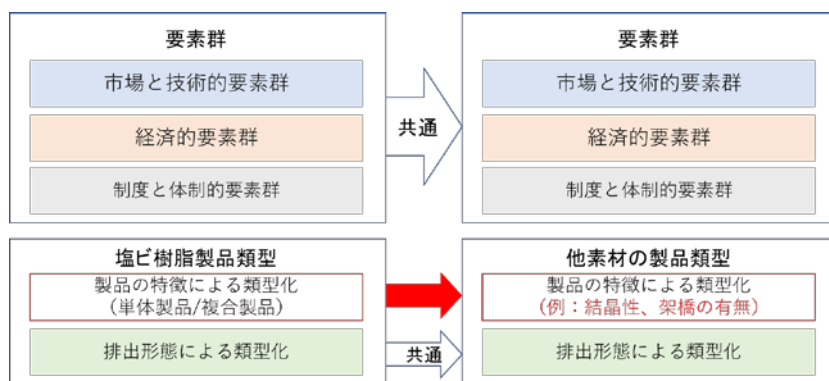


Figure 11: 他素材のリサイクル・システム設計・検討への「枠組み」の応用可能性