

資源循環性を考慮した複合建材生産システムの構築可能性に関する研究

Study on Possibility of Establishing Composite Building Material Production System Considering Resource Circulation

学籍番号 47-176748
氏名 志村 真人 (Shimura, Maito)
指導教員 清家 剛 准教授

1. 序論

1.1 研究背景・目的

2002年に施行された「建設リサイクル法」によって、主に建築物の躯体に用いられるコンクリートや木材は再資源化が義務付けられた。一方で内外装材や建具は、廃棄物発生量が少ないことから、分別されずに混合廃棄物となりやすく、再資源化率は大きく劣る¹⁾。加えて、建材そのものの高性能化を目指して、異種材料を組み合わせる複合化させた製品（以下、複合建材）の登場によって、さらに再資源化が困難になっている。

そこで本研究では、複合建材の資源循環性の実態と、国内の他産業や国外の建材業界における先進的な取り組みとの比較を通して、複合建材の資源循環性向上の可能性を、生産システムに着目して明らかにすることを目的とする。

1.2 研究方法

対象とする複合建材は、住宅の内外装材・建具に使用される12建材とした（表1）。

まず、各複合建材のライフサイクルを通じた実態を把握するため、製造業者と産業廃棄物処理業者へのヒアリング調査を行った（表2）。並行して、資源循環性を考慮した生産システムを実現している国内の家電業界、及びEU諸国の建材業界の実態を把

握するため、文献調査や建材製造業者等へのヒアリング調査を実施した（表2）。以上の実態調査で得られた知見をもとに、複合建材の生産システムにおける資源循環性の向上可能性について、定性的な評価を行う。

表1 対象とした複合建材

分類	対象複合建材
外装材	ALCパネル・金属サイディング・金属屋根材・窯業系サイディング・化粧スレート
内装材	石膏ボード・複合フローリング・不燃化粧壁材
建具	アルミ樹脂複合サッシ・複層ガラス・合わせガラス・フラッシュドア

表2 調査先一覧

内容	対象	期間
複合建材の 開発設計・製造	製造業者7社	2018.02 -09
複合建材の 中間処理・再資源化	産業廃棄物処理業者2社	2018.10 -12
EU諸国の 建材生産システム	業界団体2団体 製造業者5社 リサイクル業者2社	2016.09 2018.11

2. 複合建材のライフサイクルの実態

2.1 各複合建材の開発設計・製造

製造業者7社への実態調査から、各複合建材を構成する材料（以下、構成材料）と再生原料の使用状況、それらの複合の仕方（以下、複合方法）と分離性、及び製造工程で発生する端材（以下、工場端材）の利用状況を整理した（表3）。多くの複合建材で工場端材を原料として再利用しており、ALCパネルや石膏ボード等では、広域認定制度を利用した新築端材の回収・再利用を行っている。また、廃棄物由来の材料や、未利用材を

原料として利用している複合建材もあることが分かった。複合方法に関しては、分離が可能なもの、分離をしなくても再利用に問題がないもの、分離が困難なものに大別でき、分離が困難な複合建材は工場端材であっても、再利用が難しいことが明らかになった。

2.2 各複合建材の中間処理・再資源化

複合建材の再資源化の可能性を広く把握するため、一般的な中間処理を行う産業廃棄物処理業者、可能な限り再資源化を目指して中間処理を行う産業廃棄物処理業者への実態調査を行った。それぞれの処理水準を一般 / 高度として、各複合建材の処理実態を、水平リサイクル(同等建材の原料として再利用、レベルリサイクルともいう) / カスケードリサイクル(他製品の原料として再利用) / サーマルリサイクル(燃料として再利用) / ガス化熔融処理 / 最終処分に分類して整理した(表3)。一般的な処理水準

の場合は、有価売却が可能な金属を有する建材や、再資源化が義務付けられている木質系建材を除き、経済的合理性からほとんどが最終処分となることが分かった。一方で、高度な処理水準の場合には、廃棄物の性状や分別能力、再委託先の受け入れ基準等を勘案して、水平リサイクル・カスケードリサイクル・サーマルリサイクルの中から、最適な再資源化方法を選択し、分別が困難な場合に限り、ガス化熔融処理となることが明らかになった。

3. 先進的な生産システムの実態

国内外の他産業を含めた、資源循環性を考慮した先進的な生産システムの実態を把握し、複合建材への応用可能性を探る。

3.1 国内の家電生産システム²⁾

国内の家電業界では、製品使用後のリサイクル容易性を考慮した「環境配慮設計」を実践している。実際の再資源化工程を踏ま

表 3 各複合建材のライフサイクルの実態

複合建材	ライフサイクル動脈				ライフサイクル静脈		
	構成材料	再生原料使用状況	複合方法	分離性	工場端材 再利用状況	一般的な 処理水準	高度な 処理水準
外 装 材	ALCパネル	ALC 補強材	工場・新築端材 (ALC)	ALC発泡に よる一体化	破碎すれば 可能	L/C (ALC)	LF C
	金属SD	カラー鋼板 PU	なし	PU発泡に よる一体化	手作業で可能	C (カラー鋼板) T (PU・ アルミライナー紙)	C (カラー鋼板) G (PU・ アルミライナー紙)
	金属屋根材	アルミライナー紙					
	窯業系SD	セメント パルプ	工場・新築端材 フライアッシュ(セメント) 古紙(パルプ)	セメント硬化 による一体化	困難だが分離 しなくても 再利用可能	L	LF L/C
化粧スレート							
内 装 材	石膏ボード	石膏 ボード用原紙	工場・新築端材、副産石膏(石膏) 古紙(ボード用原紙)	石膏硬化に よる一体化	破碎すれば 可能	L(石膏) C(ボード用原紙)	L*(カビなし) C(カビあり)
	複合 フローリング	合板 MDF 化粧シート	合板端材(MDF)	熱硬化性樹脂	困難だが分離 しなくても 再利用可能	T	T
	不燃化粧壁材	VSボード 化粧シート	シラス(VSボード)	接着剤	困難	LF	LF C
建 具	アルミ樹脂 複合サッシ	アルミ 硬質PVC	工場端材・市中スク ラップ(アルミ) 工場端材(硬質PVC)	嵌合接合	部材状は容易 だが粉状は 困難	L(アルミ・硬 質PVCのみ) LF(混合粉)	C/LF C
	複層ガラス	ガラス アルミスペーサー	工場端材(ガラス)	シール材	困難	L(ガラスのみ) LF(複合後)	LF G
	合わせガラス	ガラス 中間膜	工場端材	中間膜粘着性 による一体化	困難	L(ガラス・中間膜のみ) LF(複合後)	LF G
	フラッシュ ドア	LVL 合板・PB MDF+化粧シート	解体材(PB) 合板端材(MDF)	酢ビ系接着剤	困難だが分離 しなくても 再利用可能	T	T T

SD: サイディング PU: 硬質ウレタンフォーム VSボード: 火山性ガラス質複層板 PB: パーティクルボード
L: 水平リサイクル C: カスケードリサイクル T: サーマルリサイクル G: ガス化熔融処理 LF: 最終処分
* 通常、廃石膏ボード由来の再生石膏には混合上限があるが、上限を撤廃する技術が確立されている

えた製品アセスメントガイドラインを策定し、将来的な分解性・再利用性を持たせた製品設計を行っている。それと同時に、「家電リサイクル法」による回収システムが構築され、円滑な再資源化が可能となっている。

3.2 EU 諸国の建材生産システム

“Cradle to Cradle (C2C)”という資源循環性を包含した設計概念を実践する建材製造業者では、C2C 認証制度を利用して、取得基準をもとに廃棄後の再利用性を高める製品設計を行っていた。また、C2C 認証制度によって、製品の市場競争力を高めることが可能となり、製造業者に対するインセンティブの役割を果たしているといえる。

樹脂サッシや板ガラスでは、製造業者主導で自主的に再資源化システムを構築している。樹脂サッシでは、製造業者による専用再資源化施設と、業界団体による回収の仕組みを統一的に整備することで、スケールメリットによる事業化に成功しており、かつ再生原料の使用を義務化することで、安定的な資源循環性が確立されている。板ガラスでは、同様に業界団体による回収・再資源化の仕組みを整備・運営することで事業化が可能となっている。加えて、製造業者らとその費用を負担することで、資源循環性を高める動機付けの役割を果たしている。

3.3 先進的事例の成立要因

以上の先進的事例が成立している要因としては、将来的な再利用性を持たせる開発等の技術面と、市場競争力向上が期待できる認証制度、事業性創出を目指した回収体制の統一的整備等の経済面、両者を促す業界団体の存在が挙げられる。こうして資源循環性と事業性の両立が実現し、自発的な生産システムが構築されていた。

4. 複合建材の生産システムの資源循環性向上の可能性

本章では、複合建材の中でも特徴の異なる石膏ボード・アルミ樹脂複合サッシ・複層ガラス・複合フローリングを取り上げる。

4.1 資源循環性シナリオにおける課題

複合建材の生産システムにおける資源循環性の向上可能性の考察に向けて、資源循環性の目標水準を設定した。高水準から順に、水平リサイクル (L) / カスケードリサイクル (C) / サーマルリサイクル・ガス化溶融処理 (T/G) の3段階のシナリオを設定し、2章の各複合建材のライフサイクルの実態に基づいて、シナリオごとの課題を抽出した (表4)。

4.2 資源循環性向上の難易度評価

抽出した課題に対して、先進的事例における成立要因をもとに、複合建材の生産システムにおける方策を分析した (表4)。さらに、その方策の実現性を、製品改良等で完結できるもの (難易度: 低) / 同業他社や他業界との連携が必要なもの (難易度: 中) / 製品の全面的な刷新が必要なもの (難易度: 高) に分類することで、各複合建材の資源循環性向上の難易度を可視化することができた (図1)。石膏ボードは、構成材料の分離が可能で、廃材の回収体制が存在しているため、再資源化の事業性を高めるための製品・回収方法の改良で、水平リサイクルが実現できると考えられる。同様に、アルミ樹脂複合サッシも、分離が容易であることや、工場端材での水平リサイクルが実現しているため、静脈流通を促す対策をすることで、水平リサイクルが可能になると考えられる。一方で、複合フローリングや複層ガラスは、分離が困難であり、水平リサイクルに不適

な構成材料を使用しているため、大幅な改良を加えないと水平リサイクルは実現しないと想定される。

5. 結論

本研究では、資源循環性を考慮した複合建材の生産システムの構築に向けて、その課題と方策を整理し、実現可能性について定性的評価を行った。さらに、資源循環性向上の難易度を可視化したことで、複合建材

の水平リサイクルの容易性が明確化されたとともに、適切な資源循環性の水準を選択することで、実現可能性が高まることが明らかになった。

今後の課題として、資源循環性を考慮した生産システムの構築を促進するために、実現可能性を定量的に評価する仕組み必要であると考えられる。

参考文献

- 国土交通省：『平成 24 年度建設副産物実態調査』, 2014.
- (一財) 家電製品協会：『家電製品 製品アセスメントマニュアル -第 5 版-』, 2015.

表 4 再資源化シナリオにおける課題とそれに対する生産システムの方策

シナリオ		課題	生産システムにおける方策
石膏ボード	L 石膏ボード	・濡れやカビがある廃材の再資源化 ・再資源化事業性の創出	・防水性、カビ判別容易性を高めた改良 ・スケールメリットを活かした既存広域認定を利用した回収 ・再生石膏（混合上限なし）の利用義務化
	C セメント原料 ライン材 土壌改良材	・粉末状廃材の再資源化 ・市場の安定化	・粉末の発生を防ぐ改良 ・石膏回収量が最大化できるような複合方法の改良 ・競合製品に対する品質優位性の表示・改良
	T/G ガス化溶解	・受け入れ基準への適合	・硫黄濃度低下のためのボード用原紙の割合の向上
	L 複合フローリング	・水平リサイクル可能な製品	・MDF の代替品を基材にした製品に刷新
複合フローリング	C パーティクルボード 敷料	・合板のみの分離 ・再資源化先の市場拡大	・合板側に MDF が付着しない接着剤の開発 ・品質を勘案した接着剤、化粧シートの使用 ・回収体制の整備による廃材量の安定化
	T/G 燃料用チップ	・事業性の維持	・熱回収が困難となる無機系材料の不使用するの徹底管理
	アルミ樹脂複合サッシ	L アルミサッシ	・カスケード利用の需要を上回るような市場拡大
アルミ樹脂複合サッシ 樹脂サッシ			
C ダイカスト合金 他樹脂製品		・市場の安定化 ・既存流通システムへの適合	・部材あたりのアルミの割合を最大化 ・適合不可材料を樹脂部材に複合しない ・回収体制の整備による廃材量の安定化
T/G ガス化溶解		・受け入れ基準への適合	・塩素を含まない異種プラとの複合
複層ガラス	L 板ガラス	・ガラスのみの分離	・分離容易でガラスに付着しないシール材の開発
	型板ガラス	・型板ガラスの市場拡大	・型板ガラスの新たな用途開発
	C グラスウール ピン	・ガラスのみの分離 ・既存流通システムへの適合	・分離容易なシール材の開発 ・スケールメリットを活かして新規に広域認定で回収
	T/G ガス化溶解	・受け入れ先としての維持	・新規の広域認定回収による排出量の安定化

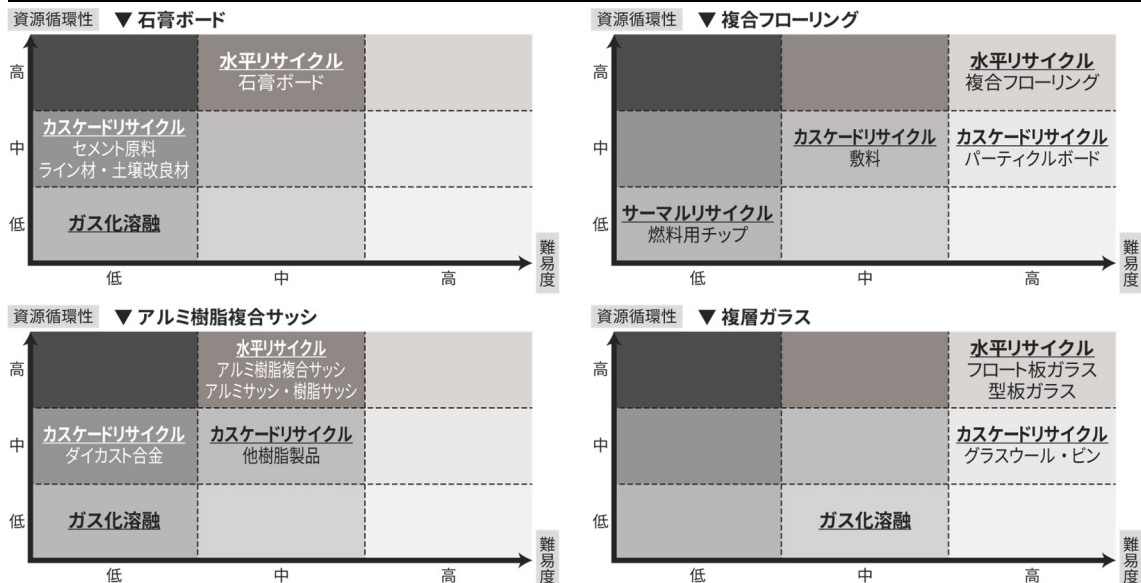


図 1 生産システムに着目した各複合建材の資源循環性向上の難易度