

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

2018 年度
修 士 論 文

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

2019 年 1 月 21 日提出
指導教員 清家 剛 准教授

志村 真人
Shimura, Maito

目次

1 章	序論	1
1.1.	研究背景	3
1.2.	研究目的	6
1.3.	用語の定義	7
1.4.	既往研究と本研究の位置づけ	9
1.5.	研究方法と研究の構成	12
2 章	複合建材のライフサイクルの実態	17
2.1.	各複合建材の開発設計・製造	21
2.1.1.	ALC パネル (MA 社)	22
2.1.2.	金属サイディング・金属屋根材 (ME 社)	28
2.1.3.	窯業系サイディング・化粧スレート (MF 社)	34
2.1.4.	石膏ボード (MB 社)	41
2.1.5.	複合フローリング (MG 社)	47
2.1.6.	不燃化粧壁材 (MG 社)	50
2.1.7.	ロックウール化粧吸音板 (MG 社)	53
2.1.8.	アルミ樹脂複合サッシ (MC 社)	57
2.1.9.	複層ガラス・合わせガラス (MD 社)	63
2.1.10.	フラッシュドア (MG 社)	73
2.2.	各複合建材の中間処理・再資源化	77
2.2.1.	一般的な処理水準 (WA 社)	78
2.2.2.	高度な処理水準 (WB 社)	86
2.2.3.	廃石膏ボード専門の再資源化 (WC 社)	95
2.3.	小結	100
3 章	資源循環性を考慮した先進的な生産システムの実態	105
3.1.	国内における環境配慮設計	109
3.1.1.	環境配慮設計の概要	109
3.1.2.	家電の生産システムにおける取り組み	111
3.1.3.	まとめ	119
3.2.	EU 諸国における Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システム	120
3.2.1.	Cradle to Cradle の概要	120
3.2.2.	Cradle to Cradle を実践している製造業者での取り組み	123
3.2.3.	まとめ	128

3.3.	ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システム	129
3.3.1.	樹脂サッシ再資源化システムの概要	129
3.3.2.	再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組み	132
3.3.3.	まとめ	134
3.4.	オランダを中心とした板ガラスの生産システム	136
3.4.1.	板ガラス再資源化システムの概要	136
3.4.2.	再資源化に基づいた生産システムでの取り組み	141
3.4.3.	まとめ	143
3.5.	小結	144
4 章	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	147
4.1.	資源循環シナリオに基づく処理実態と課題	150
4.1.1.	資源循環シナリオの設定	151
4.1.2.	ALC パネル	154
4.1.3.	金属サイディング・金属屋根材	159
4.1.4.	窯業系サイディング・化粧スレート	162
4.1.5.	石膏ボード	165
4.1.6.	複合フローリング	170
4.1.7.	不燃化粧壁材	175
4.1.8.	アルミ樹脂複合サッシ	178
4.1.9.	複層ガラス・合わせガラス	183
4.1.10.	フラッシュドア	188
4.2.	資源循環性の向上可能性評価	189
4.2.1.	方策の難易度の設定	190
4.2.2.	ALC パネル	192
4.2.3.	金属サイディング・金属屋根材	197
4.2.4.	窯業系サイディング・化粧スレート	201
4.2.5.	石膏ボード	205
4.2.6.	複合フローリング	209
4.2.7.	不燃化粧壁材	212
4.2.8.	アルミ樹脂複合サッシ	215
4.2.9.	複層ガラス・合わせガラス	219
4.2.10.	フラッシュドア	223
4.3.	小結	224

5 章	結論	229
5.1.	本研究の総括	231
5.2.	本研究の成果と今後の課題	232
	参考文献	234
	謝辞	238
	資料編	241

1章 序論

1.1. 研究背景	3
1.2. 研究目的	6
1.3. 用語の定義	7
1.4. 既往研究と本研究の位置づけ	9
1.5. 研究方法と研究の構成	12

1.1. 研究背景

建築業界における廃棄物の現状

廃棄物の発生量が増大し、最終処分場の逼迫や不法投棄といった、その処理を巡る問題が深刻化していることを受け、「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）」が2002年に施行された。この法律によって、建築物の建設や改修・解体時に発生する廃棄物（以下、建築系廃棄物）の再資源化が進められている。建築系廃棄物の中でも、主に構造躯体に使用されており、建築物解体時の廃棄物の3/4を占めるコンクリート塊（Co塊）、アスファルトコンクリート塊（As塊）、建設発生木材（図1-1）は、排出事業者による再資源化が義務付けられる「特定建設資材」に指定され、現在ではほとんどについて何らかの再資源化を行っているのが現状である。

一方で、特定建設資材に指定されていない建築資材については、再資源化が義務付けられていないため、排出事業者らによる自主的な再資源化が求められている。近年の環境に対する意識の高まり等を背景として、再資源化に向けた取り組みは積極的にされている一方で、最終処分量の8割以上を占めていることから、再資源化は進んでいないといえる（図1-2）。

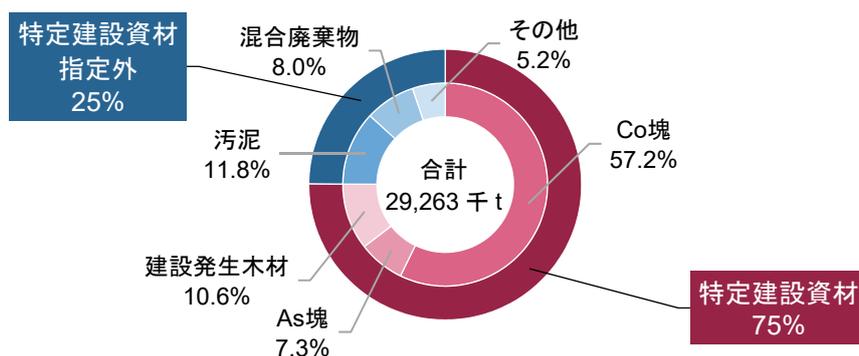


図 1-1 建築系廃棄物の発生量内訳（2012 年度、参考文献 [1]¹より作成）

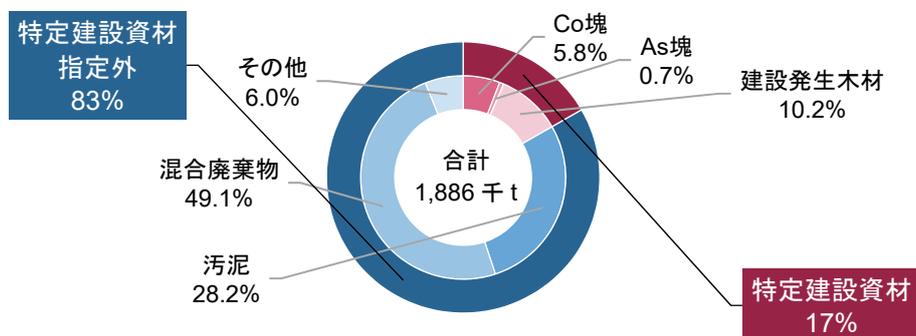


図 1-2 建築系廃棄物の最終処分量内訳（2012 年度、参考文献 [1]より作成）

¹ 国土交通省，“平成 24 年度建設副産物実態調査結果，” 2013。

混合廃棄物の現状と課題

再資源化率の低い特定建設資材廃棄物以外の廃棄物の中でも、特に再資源化率が低いのが「混合廃棄物」で、その再資源化率は59.5%（2012年度）と、最も低い値に留まっている（図1-3）。混合廃棄物は、建設現場で発生する廃棄物を、種類ごとに分別せずに混合させた廃棄物である。「建設リサイクル法」が施行されて以降、建設現場における分別が推進されたこともあり、再資源化率は改善されつつあるものの、建築系廃棄物の中では依然として低い再資源化率に留まっている（図1-4）。

混合廃棄物の再資源化が進まない要因として、まずは選別作業の手間がかかることが挙げられる。中間処理施設における選別作業は、有価物として売却が可能な廃棄物や、再資源化が可能で二次委託費が抑えられる廃棄物の抜き取りが基本となる。分別された状態の廃棄物の場合は、抜き取る廃棄物の種類を把握しやすい一方、混合廃棄物の場合は、現場ごとに混入している廃棄物や性状が多様であるため、抜き取る廃棄物があるかどうか、抜き取ることは可能かどうかを、その都度判断をしながら選別作業を行うこととなり、人手とコストがかかってしまう。結果として、十分な選別作業を行うことができず、本来であれば再資源化が可能な廃棄物も最終処分されてしまい、現状のような低い再資源化率につながっていると想定される。

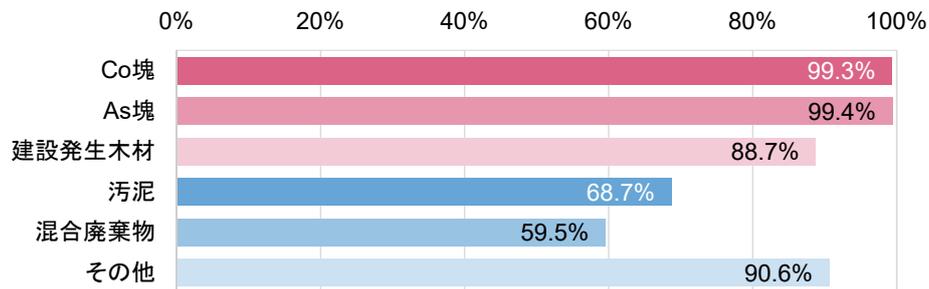


図1-3 各建築系廃棄物の再資源化率（2012年度）²

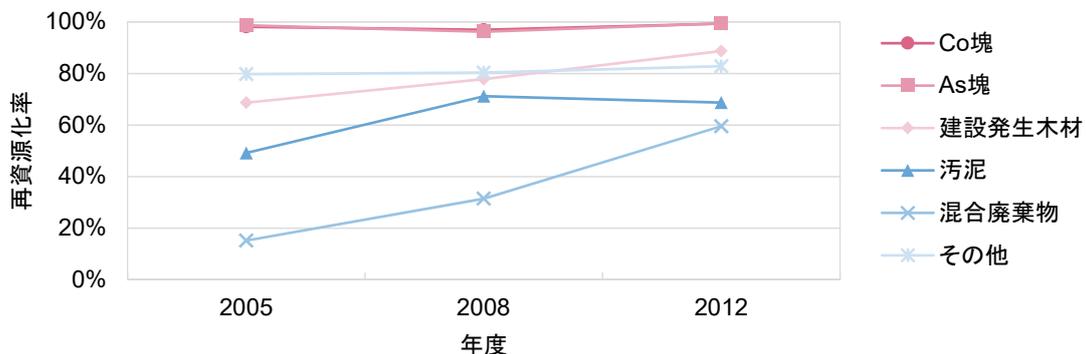


図1-4 建築系廃棄物の再資源化率の変遷（参考文献 [1]及び [2]³ [3]⁴より作成）

² 参考文献 [1]より作成

³ 国土交通省，“平成20年度建設副産物実態調査結果，” 2010.

⁴ 国土交通省，“平成17年度建設副産物実態調査結果，” 2006.

近年の建材動向と課題

混合廃棄物の再資源化を妨げるもう一つの要因として考えられるのは、建材そのものの複合化がある。

内外装材や建具といった構造躯体以外の部位に使用される建材は、特定建設資材に指定される Co 塊、As 塊、建設発生木材に該当することはほとんどなく、混合廃棄物となる可能性が大きい。近年では、施工性や意匠性、建築物に求められる各種性能の向上を目的として、異種建材を組み合わせて複合化させた製品（以下、複合建材と呼ぶ）が次々に開発されている（図 1-5）。

そのような複合建材の中には、どのような材料で構成されているものなのか、また、どのような方法で複合化しているのか、といったことが不明瞭なものもあり、中間処理施設における選別作業をさらに困難にしていると考えられる。このような複合化の潮流は、2020 年に始まる一般住宅における省エネ基準適合義務化をはじめとした、建築物のさらなる高性能化に伴って、より高度な複合化が進むと予想され、複合建材の抱える再資源化に向けた課題は、さらに困難を極めると考えられる。

循環型社会の形成が求められる現代社会の中で、建築業界が資源循環性の向上を目指すことは、持続可能な業界形成の観点から見ても必須である。ゆえに、現状において再資源化が困難であり、今後の開発方針からみても再資源化がより困難になりかねない複合建材に関しては、資源循環性の向上が喫緊の課題であるといえる。

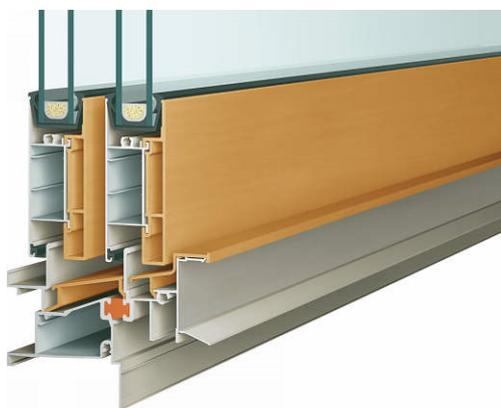


図 1-5 複合建材の例（アルミ樹脂複合サッシ：銀色部材がアルミ、茶色部材が樹脂）⁵

⁵ 出典：YKK AP 株式会社，“画像データダウンロード,” [オンライン]. Available: http://www.mediapress-net.com/search/LINK_JP/index.do?id=YKK07001&tid=LINK_JP. [アクセス日: 19 01 2019].

1.2. 研究目的

研究背景を踏まえ、本研究では、複合建材の資源循環性向上に向けて2つの観点から目的を設定する。

① 現状からの観点（複合建材のライフサイクルを通じた資源循環性の実態）

複合建材の資源循環性向上に向けた対策を講じるためには、まずは複合建材の資源循環性の実態を把握する必要がある。本研究では、ライフサイクルの観点からみた複合建材の資源循環性について明らかにする。

② 将来からの観点（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）

現在の複合建材に関して再資源化に向けた対策を講じる対処療法的な視点のみでは、将来的な資源循環性の向上には結びつかず、複合建材の生産システムから資源循環性の向上を図る検討を行う必要がある。本研究では、①で明らかにされた複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態を、多角的な視点から複合建材の生産システムに反映することで、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を明らかにする。

1.3. 用語の定義

本研究で頻繁に使用する用語のうち、研究論文や文献によって意味が若干異なる用語について、本研究における定義を示す。

複合建材

本研究では、性質の異なる材料を2つ以上使用し、機械的あるいは化学的に接合して一体化させた建材のことを指す。ここでいう材料は、機械的に分離が不可能な状態の素材のこととする。

生産システム

本研究では、図 1-6 のような製造業者における開発、材料調達、製造、販売に加え、メーカーによる廃棄物回収（詳細は2章）や、製造業者らが組織する業界団体の活動も含めた系を指すこととする。

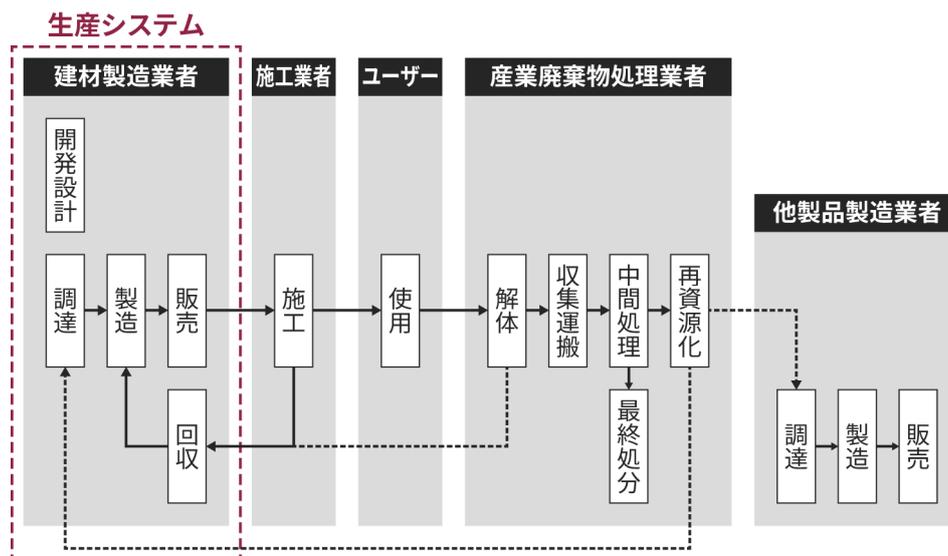


図 1-6 本研究における生産システムの定義

マテリアルリサイクル

マテリアルリサイクルとは、廃棄物を処理し、新しい製品の原料として再利用することである。マテリアルリサイクルには、廃棄物における品質低下の恐れがなく、再び同じ製品として、ないしは同じ製品の原料として利用することができる「水平リサイクル（レベルリサイクルともいう）」と、何らかの品質の低下が発生してしまい、他の製品として、あるいは他の製品の原料として再利用せざるを得ない「カスケードリサイクル」がある。持続的な生産システムを目指すには、水平リサイクルが理想とされるが、その実現には往々にして技術的問題や経済的問題が付きまとう。その際には、カスケードリサイクルが一つの選択肢とし

て有効な場合も存在する。

サーマルリサイクル

サーマルリサイクルとは、廃棄物を単純焼却するのではなく、焼却の際に発生する熱エネルギーを回収・利用することである。マテリアルリサイクルが複数回再利用の可能性を有しているのに対し、サーマルリサイクルは一回限りの再利用という点で、マテリアルリサイクルより劣るが、マテリアルリサイクルが困難な廃棄物の再利用先としては貴重であるといえる。

資源循環性

「資源循環」は、資源が循環するという観点から見ても、本来であれば製品の使用後に何らかの再利用に向けた処理がなされ、再び対象となる製品に戻ること（水平リサイクル）を指す。本研究における資源循環は、循環する範囲を他製品まで拡大し、資源を材料だけでなくエネルギーまで含め、水平リサイクル以外にも、カスケードリサイクル、サーマルリサイクルを含めることとし、「資源循環性」は、それらのリサイクルが可能であることを示すこととする。

ライフサイクル

建材を製造して建築物に施工し、供用期間が終了したり改修時期を迎えたりして解体が行われ、発生した廃棄物を中間処理し、何らかの再生処理を行って、再び資源として再利用する、という流れのことを示す。本研究では、使用段階を境に、材料調達・製造・施工をライフサイクルの「動脈側」、解体・中間処理・再資源化をライフサイクルの「静脈側」と定義する（図 1-7）。

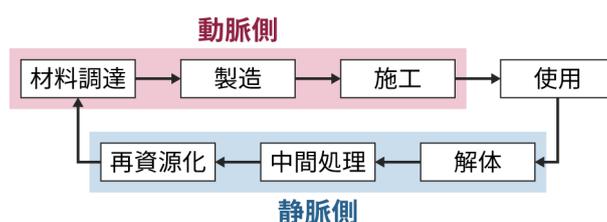


図 1-7 本研究におけるライフサイクルの動脈側 / 静脈側の定義

1.4. 既往研究と本研究の位置づけ

建築における資源循環性に関する既往研究は、建材レベルのものから建築物レベルのものまで、また、設計時・運用時のものから、解体時・処理時のものまで及ぶ。本節では、それらの既往研究を、研究対象のレベル（建築物レベル / 建材レベル）とライフサイクルにおける位置（動脈側：設計時・運用時 / 静脈側：解体時・処理時）の2つの軸で整理をし、その中における本研究の位置づけを明確にする。

既往研究の整理

建築物レベル / ライフサイクル動脈側

佐藤らによって、建築物の資源循環性に関する評価手法の構築が研究されている（既往研究 [4]⁶ [5]⁷）。この研究では、建築物の設計に用いられる LCA ツールに、資源循環性を評価するための項目を検討している。従来の LCA ツールでは、建設時から供用時までの CO₂ 排出量が主な指標となっているが、資源循環性の指標として、新築や改修などにおける資源消費を評価する LCR（Life Cycle Resources）と、改修や解体などにおける廃棄物の発生を評価する LCW（Life Cycle Waste）を導入した。これによって、設計基準案に対して、資源循環性を考慮した対策案を提案することが可能となった。

また、村上らによる研究でも同様の検討がなされている（既往研究 [6]⁸）。この研究では、資源循環性評価項目として、資源枯渇の観点から LC 資機材投入量・LC バージン材投入量・LC 循環材投入量を、廃棄物発生の観点から LC 建設副産物発生量・LC 建設廃棄物発生量・LC 再資源化処理量・LC 最終処分量を導入している。

以上 2 つの既往研究では、設計時に資源消費と廃棄物発生という 2 つの観点から資源循環性を評価し、建築物レベルというマクロな視点で資源循環性の向上に向けた検討を行っている。

⁶ 佐藤正章, 荒井良延, 伊香賀俊治, 近田智也, 間宮尚, 加藤正宏, “資源循環性の評価機能を持つ LCA ツールの概要：建物の資源循環性評価手法の開発その 1,” 日本建築学会技術報告集, 第 24 号, pp. 341-346, 12 2005.

⁷ 佐藤正章, 荒井良延, 伊香賀俊治, 近田智也, 間宮尚, 加藤正宏, “資源循環性のケーススタディ：建物の資源循環性評価手法の開発その 2,” 日本建築学会技術報告集, 第 24 号, pp. 255-260, 2006.

⁸ 村上達也, 林徹夫, 野村幸司, “トータルエネルギーシミュレータの開発：その 8 住宅および都市における資源循環性の評価・予測,” 日本建築学会研究報告九州支部 2 環境系, 第 48 号, pp. 489-492, 2009.

建築物レベル / ライフサイクル静脈側

千田・西村・伊藤らによる研究では、超高層鋼構造建築物3棟を対象として、解体工法と外周養生工法・楊重方法との関連性を整理し、一つの事例に着目して、実際の解体工法の把握したうえで、再資源化の可能性を明らかにしている（既往研究 [7]⁹ [8]¹⁰ [9]¹¹ [10]¹²）。この研究では、超高層建築物の解体の場合、短期間に多種多量の解体材が発生するため、廃棄物の適切な排出量予測に基づいた中間処理施設の選別能力の把握が重要であることが分かった。

以上の既往研究では、解体時における工法を選択と排出量予測を行うことで、建築物レベルでの資源循環性の向上を図っている。

建材レベル / ライフサイクル動脈側

田村らによる研究では、鉄筋コンクリート造の建築物の短寿命化現象を、構造体の性能低下と構造物の機能寿命の低下の両側面から捉え、構造物の構成要素における本質的機能を抽出し、それらの制御する4種類の個別設計要素（リデュース設計 / メンテナンス設計 / リユース設計 / リサイクル設計）から構成される「ライフサイクル設計手法」を提案している（既往研究 [11]¹³）。これによって、設計段階でコンクリートを品質低下がないまま、構造用コンクリートに再利用するリサイクル設計が可能となることが明らかになった。

以上の既往研究では、建材レベルの再資源化性の検討を通して、理論上、水平リサイクルが可能で設計が実現できることを示している。

⁹ 千田光, 清家剛, 西村康一, 伊藤充洋, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究 その1 研究概要および三事例の解体工法,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1059-1060, 2008.

¹⁰ 西村康一, 清家剛, 伊藤充洋, 千田光, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究 その2 事例Jの解体施工の実態把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1061-1062, 2008.

¹¹ 伊藤充洋, 清家剛, 西村康一, 千田光, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究 その3 事例Jの再資源化等の実態把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1063-1064, 2008.

¹² 伊藤充洋, 清家剛, 千田光, 西村康一, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究 その4 解体事例の環境負荷影響把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 1193-1194, 2009.

¹³ 田村雅紀, 野口貴文, 友澤史紀, “リサイクル設計を包含するコンクリート構造物のライフサイクル設計手法,” *コンクリート工学年次論文集*, 第25巻, 第1号, pp. 1457-1462, 2003.

建材レベル / ライフサイクル静脈側

建材の再資源化に関する研究は、既存建材の中間処理実態を明らかにするものや、再資源化システムの構築に関するものなどが数多く行われている。

原田・伊藤・磯部らによる研究では、塩ビ管や樹脂サッシといった硬質塩化ビニル建材を対象として、日本国内の処理実態、海外における再資源化の実態を合わせて、再資源化システムの構築に必要な硬質塩化ビニルの東アジアを含めたマテリアルフローを作成している（既往研究 [12]¹⁴ [13]¹⁵ [14]¹⁶）。

これと関連する原田・志村らによる研究では、樹脂サッシを対象に、国内で普及がいち早く進んでいる北海道における再資源化システムの構築可能性について、LCA による環境負荷低減性や経済性についての検討を行っている（既往研究 [15]¹⁷ [16]¹⁸）。

また、谷川らによる研究では、複合建材を対象として、解体後の中間処理実態を明らかにし、複合の仕方や構成する材料による分類化から再資源化に向けた課題を考察している（既往研究 [17]¹⁹）。

いずれの既往研究も、既存建材に対してライフサイクルの下流側において資源循環性の改善を図るものとなっている。

本研究の位置づけ

本研究は、上記の分類でいうと「建材レベル / ライフサイクル動脈側」となる。既往研究と異なる点としては、構造体に用いられる建材（≡再資源化が義務付けられる特定建設資材）ではなく、構造体以外で使用される内外装材や建具を対象としている点と、処理実態に基づいて資源循環性の向上可能性を図る点が挙げられる。

¹⁴ 原田優作, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 伊藤篤司, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル建材の再資源化システム構築に関する研究: その1 日本国内における実態調査,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 611-612, 2015.

¹⁵ 伊藤篤司, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 原田優作, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル建材の再資源化システム構築に関する研究: その2 韓国、台湾における実態調査,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 613-614, 2015.

¹⁶ 磯部孝行, 清家剛, 金容善, 伊藤篤司, 原田優作, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル建材の再資源化システム構築に関する研究: その3 東アジアを含めたマテリアルフローの作成,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 615-616, 2015.

¹⁷ 原田優作, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 志村真人, “LCA手法による樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性に関する研究 その1 研究概要と処理モデルの設定,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 681-682, 2017.

¹⁸ 志村真人, 清家剛, 金容善, 原田優作, 磯部孝行, “LCA手法による樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性に関する研究 その2 シナリオ設定と分析,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 683-684, 2017.

¹⁹ 谷川壮太, 上田亮平, 中島裕輔, “建築系廃棄物における複合建材の処理実態と再資源化に関する研究,” *日本建築学会関東支部研究報告集 I*, 第 77号, pp. 533-536, 2007.

1.5. 研究方法と研究の構成

研究方法

本研究は、研究目的と対応した以下の手順で進める。

① 現状からの観点：複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態把握

建材製造業者、産業廃棄物処理業者へのヒアリング調査を行い、ライフサイクルを通じた複合建材の資源循環性の実態を把握する。

研究の対象とする複合建材は、内外装材や建具を網羅し、かつ広く普及していると考えられる13建材（表 1-1）とした。

表 1-1 研究対象の複合建材

外装材	内装材	建具
<ul style="list-style-type: none"> ・ ALC パネル ・ 金属サイディング ・ 窯業系サイディング ・ 金属屋根材 ・ 化粧スレート 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 石膏ボード ・ 複合フローリング ・ 不燃化粧壁材 ・ ロックウール化粧吸音板 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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

本研究の最終的な目的である建築業界における資源循環性を向上させるためには、最終製品といえる「建築物」での資源循環性が重要になる。そのため、本研究では、ある一つの複合建材を対象とせず、網羅的かつ広く普及している複数の複合建材を対象とした。これは、それらの複合建材の資源循環性を個別的に丁寧に探ることで、最終的には建築物全体の資源循環性を包括的にとらえることが可能になると考えたためである。

表 1-2 に、ヒアリング調査にご協力いただいた建材製造業者・産業廃棄物処理業者計 10 社の一覧をまとめた。

表 1-2 国内における調査先一覧

業種	調査先	対象建材・業務内容	所在地	調査日
建材製造業	MA 社	ALC パネル	東京都	2018/01/31
	MB 社	石膏ボード	東京都	2018/02/07
	MC 社	アルミ樹脂複合サッシ	東京都	2018/02/14
	MD 社	複層ガラス・合わせガラス	千葉県	2018/04/26
	ME 社	金属サイディング・金属屋根材	山形県	2018/08/22
	MF 社	窯業系サイディング・化粧スレート	奈良県	2018/08/31
	MG 社	複合フローリング・フラッシュドア・ 不燃化粧壁材・ロックウール化粧吸音板	東京都	2018/09/12
産業廃棄物 処理業	WA 社	産業廃棄物処分業者	北海道	2018/11/15
	WB 社	建設廃棄物処分業者	茨城県	2018/12/13
	WC 社	石膏ボード再資源化業者	千葉県	2018/10/23

② 将来からの観点：生産システムに着目した複合建材の資源循環性の向上可能性評価

①で把握した複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態に基づいて、生産システムに着目した複合建材の資源循環性の向上可能性の評価を行う。

評価を行う前準備として、実際に資源循環性を考慮した生産システムが構築されている先進的事例（国内における環境配慮設計に基づいた家電の生産システム、EU 諸国における建材の生産システム）を取り上げ、ヒアリング調査、及び文献調査を通してその取り組みの実態を把握する。

特に、EU 諸国においては、“Cradle to Cradle (C2C)” と呼ばれる資源循環性を包含したデザインコンセプトに基づいた建材の生産システム、及び自発的な再資源化システムが構築されているドイツを中心とした樹脂サッシの生産システム、オランダを中心とした板ガラスの生産システムについて、それぞれ業界団体や製造業者、再資源化業者へのヒアリング調査を実施した。

表 1-3 に、EU 諸国においてヒアリング調査にご協力いただいた業界団体・製造業者・再資源化業者計 11 社の一覧をまとめた。

表 1-3 EU 諸国における調査先一覧

調査対象	調査先	内容	所在地	調査日
C2C	CA 社	サッシ・ドア・ファサードメーカー	ドイツ	2018/11/19
	CB 社	内装・外装タイルメーカー	オランダ	2018/11/21
樹脂サッシ	AGPU	PVC 製品リサイクル団体	ドイツ	2016/09/19
	Rewindo	樹脂サッシリサイクル団体	ドイツ	2016/09/22
	PA 社	樹脂型材メーカー	ドイツ	2018/11/20
	PB 社	樹脂窓メーカー	ドイツ	2016/09/19
	PC 社	樹脂サッシ再資源化業者	ドイツ	2016/09/22
板ガラス	VRN	オランダ板ガラスリサイクル協会	オランダ	2018/11/22
	GA 社	板ガラスメーカー	ベルギー	2018/11/22
	GB 社	ガラス再資源化業者	ベルギー	2018/11/23

以上のような先進的事例の実態把握と整理を通して、資源循環性を考慮した生産システムの成立要因を分析し、複合建材の生産システムへの応用可能性を探り、資源循環性の向上可能性の評価へとつなげる。

研究の構成

以上のような研究方法をもとに、本研究は次のような構成をとっている。

2章では、複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態として、ライフサイクルの動脈側と静脈側の大きく2つに分けて整理を行う（目的・方法①に対応）。動脈側では、建材製造業者への実態調査から、開発設計・製造の実態と資源循環性との関連性を（2.1）、静脈側では、産業廃棄物処理業者への実態調査から、処理水準ごとの複合建材の再資源化方法を（2.2）、それぞれ明らかにする。

3章では、前述の先進的事例について、文献調査やヒアリング調査を通して、生産システムにおける取り組みを整理する（目的・方法②の前準備、3.1～3.4）。さらに、先進的事例の取り組みから、資源循環性を考慮した生産システムの成立要因を分析する（3.5）。

4章は、目的・方法②に対応する。

まず、資源循環シナリオの設定を行い、シナリオごとの処理実態を整理し、それに対する課題を分析する（4.1）。この際に、2章で把握した複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態に基づいて処理実態を整理する。続いて、各シナリオにおける課題に対して、生産システムにおける具体的方策を考察し、方策の実現性に基づいた難易度を設定するこ

とで、生産システムに着目した複合建材の資源循環性の向上可能性を定性的に評価する(4.2)。この際には、3章で分析した資源循環性を考慮した生産システムの成立要因に基づいて、具体的方策の考察を行う。

以上、本研究の章構成とそれらの関係性を図 1-8 にまとめた。

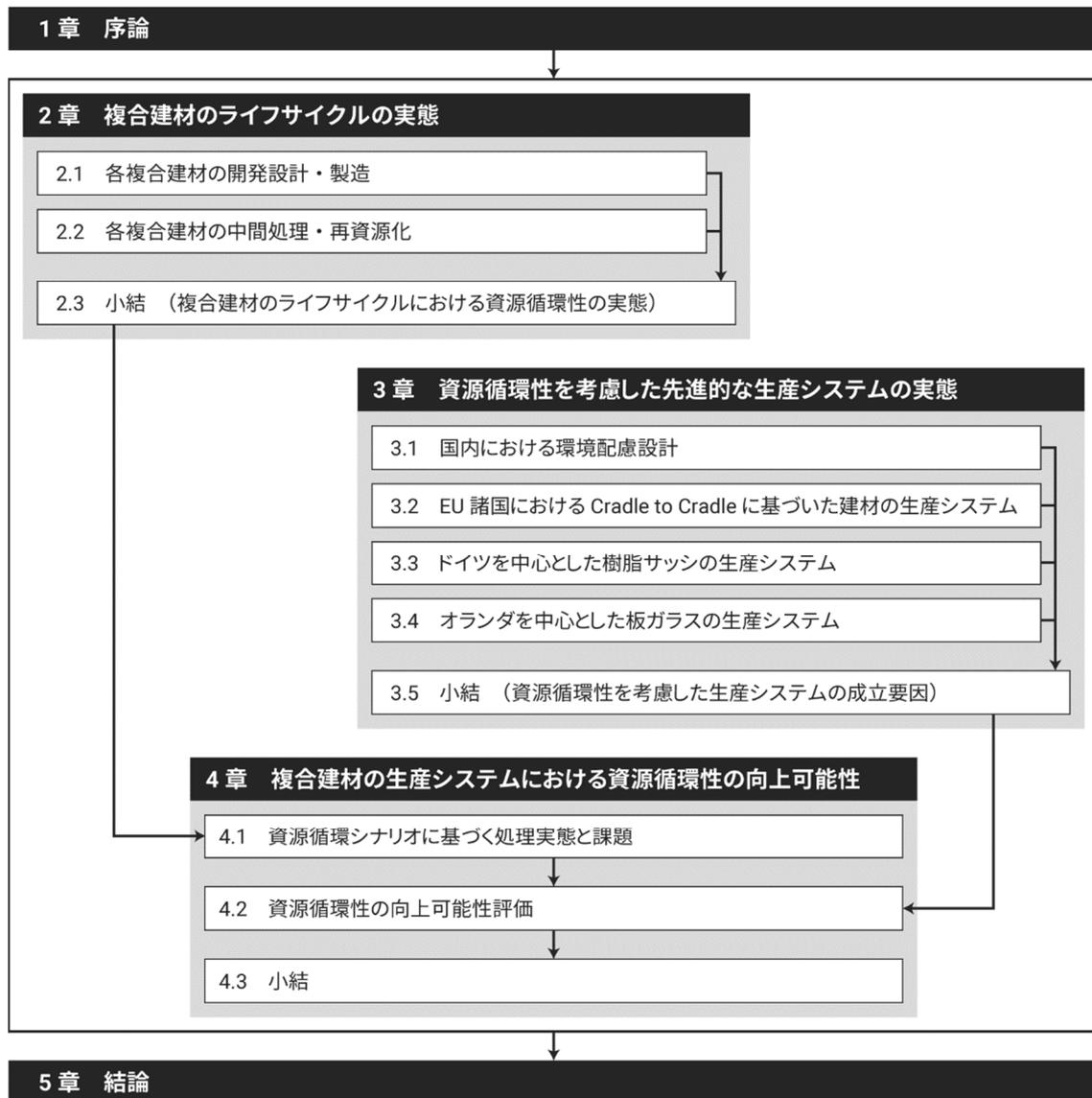


図 1-8 本研究の構成

2章 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	21
2.1.1. ALC パネル (MA 社)	22
2.1.2. 金属サイディング・金属屋根材 (ME 社)	28
2.1.3. 窯業系サイディング・化粧スレート (MF 社)	34
2.1.4. 石膏ボード (MB 社)	41
2.1.5. 複合フローリング (MG 社)	47
2.1.6. 不燃化粧壁材 (MG 社)	50
2.1.7. ロックウール化粧吸音板 (MG 社)	53
2.1.8. アルミ樹脂複合サッシ (MC 社)	57
2.1.9. 複層ガラス・合わせガラス (MD 社)	63
2.1.10. フラッシュドア (MG 社)	73
2.2. 各複合建材の中間処理・再資源化	77
2.2.1. 一般的な処理水準 (WA 社)	78
2.2.2. 高度な処理水準 (WB 社)	86
2.2.3. 廃石膏ボード専門の再資源化 (WC 社)	95
2.3. 小結	100

前章で述べたように、複合建材の多くは、種類が多岐にわたることや建築系廃棄物に占める割合が小さいことから、その資源循環性を取り上げた調査や研究はあまり行われていない。

そこで本章では、ヒアリングを中心とした実態調査を行うことによって、複合建材のライフサイクルの実態を把握し、その資源循環性の現状と可能性を個別的に明らかにすることを目的とする。

ヒアリングは、複合建材を開発・製造・販売を行っている製造業者7社、及び建築系廃棄物の中間処理・再資源化を行っている産業廃棄物処理業者3社(表 2-1)を対象として行い、補足的に統計調査や文献を参考にする。

表 2-1 ヒアリング先一覧(再掲)

業種	調査先	対象建材・業務内容	所在地	調査日
建材製造業	MA社	ALC パネル	東京都	2018/01/31
	MB社	石膏ボード	東京都	2018/02/07
	MC社	アルミ樹脂複合サッシ	東京都	2018/02/14
	MD社	複層ガラス・合わせガラス	千葉県	2018/04/26
	ME社	金属サイディング・金属屋根材	山形県	2018/08/22
	MF社	窯業系サイディング・化粧スレート	奈良県	2018/08/31
	MG社	複合フローリング・フラッシュドア・ 不燃化粧壁材・ロックウール化粧吸音板	東京都	2018/09/12
産業廃棄物 処理業	WA社	産業廃棄物処分業者	北海道	2018/11/15
	WB社	建設廃棄物処分業者	茨城県	2018/12/13
	WC社	石膏ボード再資源化業者	千葉県	2018/10/23

第1節では、製造業者への実態調査によって、各複合建材の要求性能や普及状況について知見を得るとともに、要求性能に対する開発方針や実設計への適用状況、製造状況や工場端材の利用状況についてヒアリングを行うことで、ライフサイクルの動脈側の実態を整理する。

第2節では、産業廃棄物処理業者への実態調査によって、建築系廃棄物の中間処理方法や再資源化方法について広く知見を得るとともに、各複合建材の中間処理・再資源化の状況や問題点についてヒアリングを行うことで、ライフサイクルの静脈側の実態を整理する。ヒアリングは、設立の経緯や再資源化の目標が異なる産業廃棄物処理業者に行った。これは、設立経緯や再資源化目標の違いに起因する中間処理・再資源化の水準を広く調査することによって、複合建材の再資源化可能性を可能な限り把握することを狙いとしたためである。

本章の各節の関係性や、元にした調査を図 2-1 にまとめた。

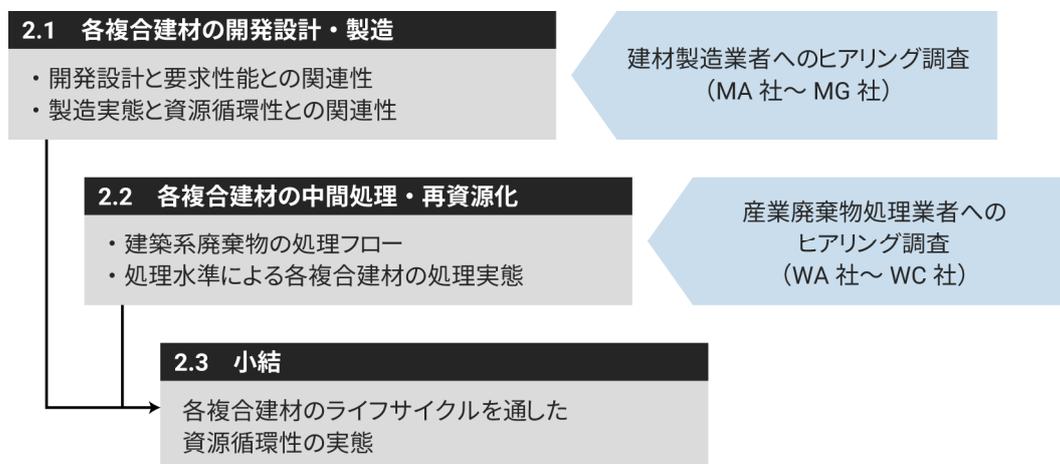


図 2-1 2章の構成

2.1. 各複合建材の開発設計・製造

本節では、複合建材のライフサイクルの動脈側（開発設計、製造）に着目してその実態を整理する。ここでは便宜上、対象とする複合建材を、外装材・内装材・建具の大きく3種類に分類し、性質の似通った複合建材をまとめて、それぞれその実態を整理することとした。

本節の中心となるヒアリング調査と、各項目との対応について表 2-2 にまとめた。

表 2-2 複合建材の分類と本節における各項目との対応

分類	複合建材	調査先	対応する項
外装材	ALC パネル	MA 社	2.1.1
	金属サイディング・金属屋根材	ME 社	2.1.2
	窯業系サイディング・化粧スレート	MF 社	2.1.3
内装材	石膏ボード	MB 社	2.1.4
	複合フローリング	MG 社	2.1.5
	不燃化粧壁材	MG 社	2.1.6
	ロックウール化粧吸音板	MG 社	2.1.7
建具	アルミ樹脂複合サッシ	MC 社	2.1.8
	複層ガラス・合わせガラス	MD 社	2.1.9
	フラッシュドア	MG 社	2.1.10

2.1.1. ALC パネル (MA 社)

概要 (参考文献 [18]²⁰)

ALC パネルは、ALC (Autoclaved Lightweight aerated Concrete : 高温高圧蒸気養生された気泡コンクリート) を板状に成型した建材である。耐火性・断熱性・遮音性に優れており、かつ通常のコンクリートと比較して軽量であることから、鉄骨造をはじめ、木造・鉄筋コンクリート造の外壁を中心として、間仕切壁、屋根、床といったあらゆる部位に使用されている。

ALC は 1920 年代中頃にスウェーデンで開発され、その後は北欧を中心として普及した。その理由としては、北欧では寒冷期が長く、コンクリートの打設が困難になる上に施工期間も制約されることから、工場生産による高品質、かつ断熱性に優れた ALC が非常に有用であったことが挙げられる。

日本では、1963 年に ALC パネルの工業生産が開始した。当初は工場や倉庫といった大型建築への利用がほとんどだったが、ALC パネルの性能に対する認知が広がり、メーカーによる多様な製品が開発されるにつれて、大型建築物に留まらず、小型の商業建築や集合住宅・戸建住宅にも利用されるようになった。現在、国内の製造業者は 3 社のみである。

住宅用外壁材に占める割合は、戸建住宅では 0.7 %、集合住宅では 3.1 %に留まっている (いずれも 2017 年、図 2-2)。

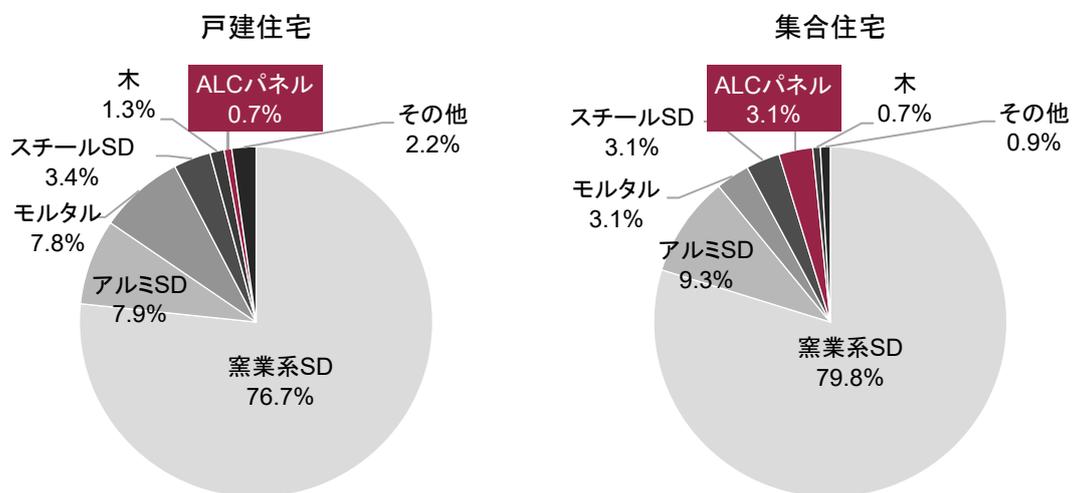


図 2-2 住宅用外壁材における ALC パネルの採用率 (2017 年、統計資料 [19]²¹より作成) ※図中 SD=サイディング、以後同じ

²⁰ 一般社団法人 ALC 協会, “入門 ALC パネル,” 2018. [オンライン]. Available: http://www.alc.gr.jp/pdf/alc_introduction.pdf. [アクセス日: 10 12 2018].

²¹ 一般社団法人 日本サッシ協会, 住宅用建材使用状況調査, 2018.

一方で、住宅用外壁材として広く使用されている窯業系サイディングと、出荷量（重量換算）で比較した場合、ALC パネルの建築物としてのストック量は多いといえる（図 2-3）。

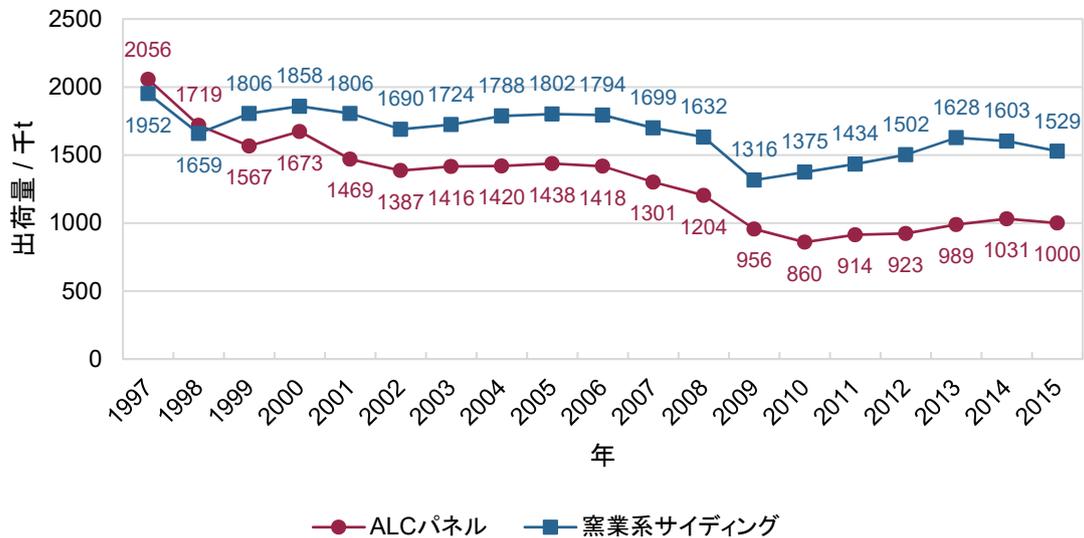


図 2-3 窯業系サイディングと比較した ALC パネルの出荷量（統計資料 [20]²² [21]²³）²⁴

開発設計

ALC パネルは、日本工業規格（JIS）で厚さによって「厚形パネル²⁵」と「薄形パネル²⁶」に分類される（図 2-4）。厚形パネルは、主に鉄骨造や鉄筋コンクリート造といった耐火建築物に使用され、薄形パネルは、木造や鉄骨造に使用される。



図 2-4 厚形 ALC パネル（左）と薄形 ALC パネル（右）

²² 一般社団法人 日本建材・住宅設備産業協会, 2007 年版 建材・住宅設備統計要覧, 2007.

²³ 一般社団法人 日本建材・住宅設備産業協会, 2016/2017 年版 建材・住宅設備統計要覧, 2016.

²⁴ ALC パネルを 600 kg/m³（出典：クリオン，“ALC クリオン：諸物性，” [オンライン]. Available: http://www.clion.co.jp/alc/whats_alc03.html [アクセス日: 17 01 2018].)、窯業系サイディングを 15.2 kg/m²（出典：MF 社パンフレット）とした

²⁵ 厚さ 75 mm 以上のパネルを指す

²⁶ 厚さ 35 mm 以上、75 mm 未満のパネルを指す

ALC パネルを構成する材料は、ALC と補強材の鉄線、あるいはメタルラスや溶接金網である。ALC のみではなく、補強材を使用する理由としては、使用上の強度を発揮するためである。鉄線は厚形パネル、メタルラスや溶接金網は薄形パネルで使用している。いずれの補強材も防錆処理を施している。一方、ALC の主原料は、セメント・珪石・生石灰・アルミ粉末である。アルミ粉末は気泡を発生させるために配合しており、この気泡が存在することによって、高い断熱性・遮音性を確保することが可能となる。また、ALC と補強材となる鉄線、メタルラス・溶接金網とは、ALC が発泡し固化することによって付着している。

以上より、ALC パネルが目標とする性能と、それらを達成するための開発設計との関連性は、ALC パネルを構成する材料（以下、構成材料）と、それらの複合の仕方（以下、複合方法）の観点から整理することができる（表 2-3）。構成材料の一つである ALC は、無機物を主成分としていることから、耐火性に優れ、かつアルミ粉末による気泡が存在することで、断熱性・遮音性も確保することができる。一方で、気泡が存在することによって通常のコンクリートよりも強度が低下してしまうのを補完するために、鉄線やメタルラス・溶接金網と複合することで、施工時や使用時の強度を確保している。

表 2-3 ALC パネルの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	ALC	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐火性の確保 ・ 断熱性、遮音性の確保
	補強材 (鉄線、メタルラス・溶接金網)	強度の確保
複合方法	ALC の発泡による付着	一体化することによって、強度と施工性を両立

製造

MA 社における ALC パネルの製造工程は、以下の通りである（図 2-5）。

まず、型枠に補強材となる鉄線やメタルラス・溶接金網を組み込む。続いて、ALC の主原料となるスラリー状のセメント・生石灰・珪石・アルミ粉末を調合し、補強材を組み込んだ型枠の中に注入し、発泡させる。発泡が終了したら、製品サイズに切断をする。その後、高温高压化で蒸気養生する「オートクレーブ養生」を行うことで、ALC が完全に硬化し、強度と耐久性を備える。オートクレーブ養生が終了すると、パネル鉛直方向の目地部分の加工や、表面の意匠を加工し、検査を経て完成となる。

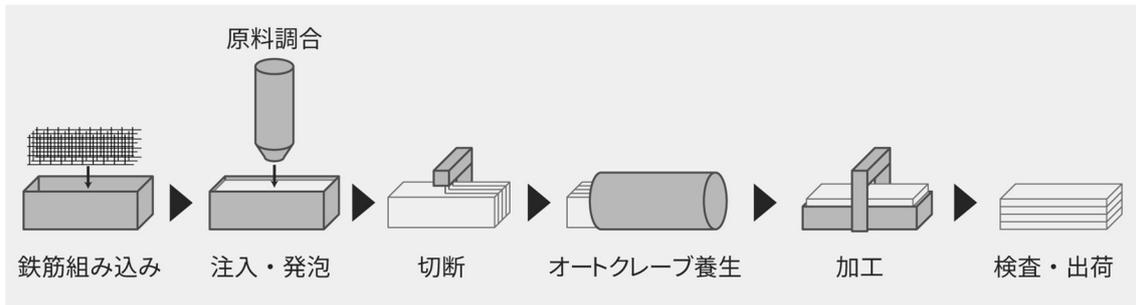


図 2-5 ALC パネルの製造工程

MA 社における ALC パネルの製造工程で発生する工場端材は、大きくオートクレーブ養生前に発生するもの、オートクレーブ養生後に発生するものに分かれる。

オートクレーブ養生前に発生する工場端材は、切断工程における、発泡後の型枠上部の発泡ムラや、型枠の跡がついている側面を取り除いた切断くずで、柔らかい状態で発生するのが特徴である。発生する切断くずは、ALC の原料として再利用を行っている。これは、産業廃棄物としての処理委託費用を削減するために行っているのではなく、ALC の原材料にとりみをつけるために必要なためである。

オートクレーブ養生後に発生する工場端材は、パネル鉛直方向の目地部分や、パネル表面の意匠を加工する際の切削粉で、完全に硬化した状態で発生するのが特徴である。これらの工場端材の大半は、場内で破砕して再生利用するものであるが、一部やむを得ず産業廃棄物として処理委託をするものもある。再生利用するものの中には、破砕後の ALC を粒度別に分別し、おがくずの代替品となる敷料・滑り止めとして再利用される製品と、肥料の原料・水質改良材として再利用される製品、そして、ALC の原料として再利用されるものがある。敷料・滑り止めと、肥料の原料・水質改良材は、大々的に販売をしているものではなく、以前から取引のある業者への小規模な販売に留まっているのが現状である。

また、MA 社では新築施工現場において発生した端材についても、広域認定制度²⁷を利用して回収・場内での再資源化を行っている。新築施工現場では、取り付ける部位のサイズに合わせて切断等を行った際の端材が発生する。MA 社では、その端材を回収して製造工場へと搬入し、オートクレーブ養生後に発生する工場端材と同様に、破砕して補強材を選別し、ALC は ALC の原料として再利用、補強材は有価物として売却をしている。しかし、すべての新築端材を回収できているわけではなく、一部は一般の中間処理施設へ搬入され、セメント原料として再利用されているとのことであった。

²⁷ 製品の製造事業者等が、廃棄物となった自社製品を回収して再資源化をすることを目的とした制度のことで、本来であれば都道府県別に産業廃棄物の収集運搬・処分業の許可を取得が必要があるところを、広域認定を取得すれば、環境大臣の認定のみで全国で収集運搬・処理を行うことが可能となる。

以上、工場端材と新築端材の利用状況を図 2-6 にまとめた。

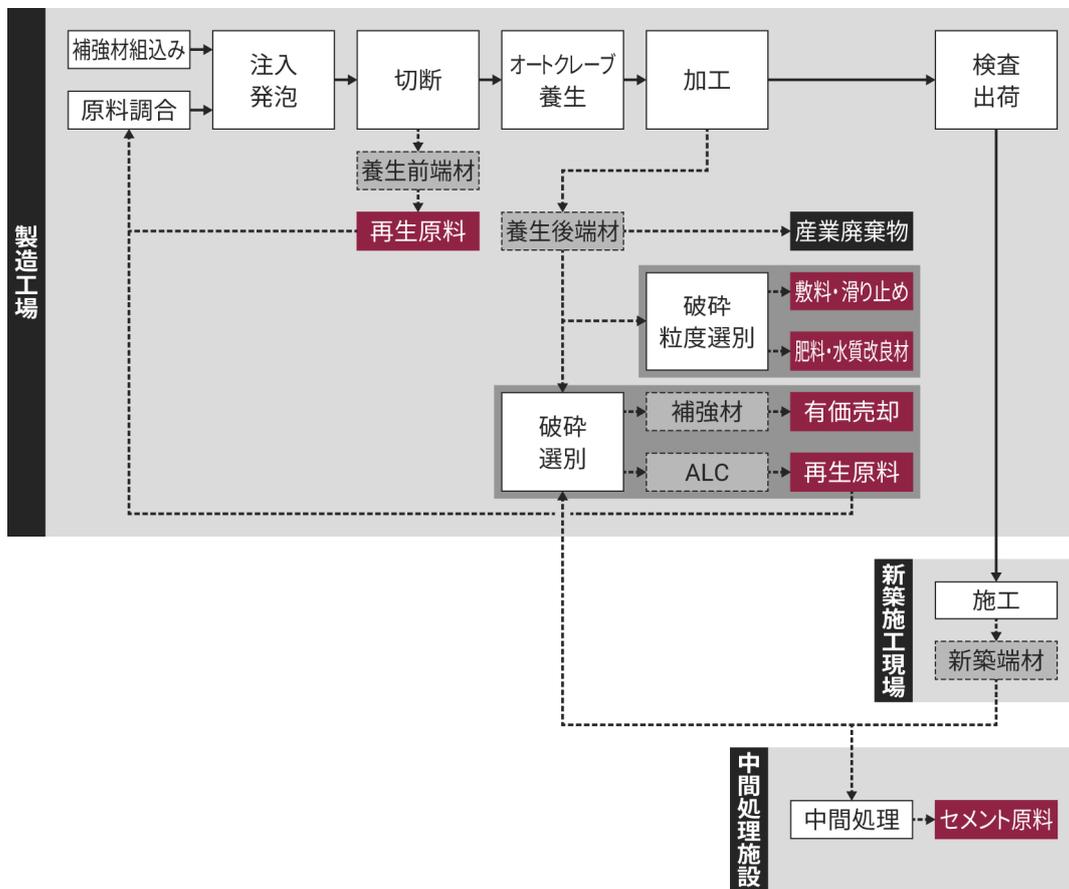


図 2-6 MA 社における ALC パネルの工場端材・新築端材の処理工程

原材料の観点から見ると、MA 社では製造工程で発生する工場端材、及び新築施工現場で発生する新築端材の多くを ALC 再生原料として利用していることが分かる。現状では、原材料に占める ALC 再生原料は 20 %程度であるが、より多くの再生原料を利用することは、品質の観点から困難であるとのことであった。加えて、解体材に関しても、品質保証の観点から ALC の原料として再利用することは困難であるという意見が見られた。ALC の主原料のほとんどが自然由来の物質であり、その成分を調整することが現状でも困難であるところに、経年劣化等で成分が変化している恐れのある解体材を原料として投入すると、品質を一定に保つことがさらに困難になるからである。なお、ALC の主原料の一部であるセメントは、セメントメーカーにおいて様々な廃棄物を受け入れていることから、再生原料が含まれているといえる。

以上より、ALC パネルのもつ資源循環性と製造との関連性は、構成材料と複合方法、発生する端材の利用状況の 3 つの観点から整理することができる (表 2-4)。

ALC は、その原材料中に製造工程で発生する工場端材と、新築施工現場で発生する新築端材の一部を再利用しており、その割合は 20 %程度と 1/5 近くを占める。しかし、それ以上の再利用は品質上困難である。また、ALC の主原料であるセメントは、その製造工程で廃棄物を再利用していることから、再生原料の役割を果たしているといえる。一方で、補強材に関しては、素材が金属（鉄）であるため、有価物として売却が可能となっている。

工場端材は、その一部を ALC の原料として再利用しており、ALC の原料として再利用できない場合でも、敷料・滑り止めや肥料・水質改良材として再利用することが可能となっている。しかし、これらの再資源化先は現時点では小規模であるため、受け皿としては期待できず、一部は産業廃棄物として処理を委託しなければならないのが実態である。

新築端材は、広域認定制度を利用して端材を回収し、製造工場内で処理を行って ALC 原料として再利用しているが、全てを回収・再資源化することは難しく、一部は中間処理業者へと搬入されてセメント原料として再利用される。

解体材に関しては、回収をする枠組みは現時点で存在せず、また、経年劣化等で成分が変化している恐れがあり、ALC の原料として再利用することは品質上困難である。

表 2-4 ALC パネルの製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	ALC	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材の一部を再利用している（20 %程度） 現状以上の端材利用は品質上難しい セメントの原料として廃棄物を再利用している
	補強材 (鉄線、メタルラス・溶接金網)	有価売却が可能
複合方法	ALC の発泡による付着	破碎すれば分離は可能
端材利用 状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> 一部は ALC の原料として再利用している ALC 原料以外にも、再利用先が存在する 一部再利用できないものも存在する
	新築端材	<ul style="list-style-type: none"> 広域認定制度を利用して回収・ALC 原料として再利用している
	解体材	ALC 原料としての再利用は品質上難しい

2.1.2. 金属サイディング・金属屋根材（ME社）

概要（参考文献 [22]²⁸）

金属サイディング・金属屋根材は、柄付けされた金属板と断熱材とを一体成型した外装材である。他の外装材と比較して軽量であることから、施工性や耐震性に優れている。また、耐食性を高めた金属板を使用していることから、耐久性に優れ、寒冷地においてよく見られる凍害の心配がない。加えて、断熱材と一体化していることで、断熱性にも優れており、他の外装材と比較しても圧倒的に熱伝導率が小さい。こういった特徴から、寒冷地域の建築物の外装材や、リフォーム用の外装材として広く普及している。

住宅用外壁材における金属サイディングの採用率は、戸建住宅で3.4%、集合住宅で3.1%に留まっている（いずれも2017年、図2-7）。

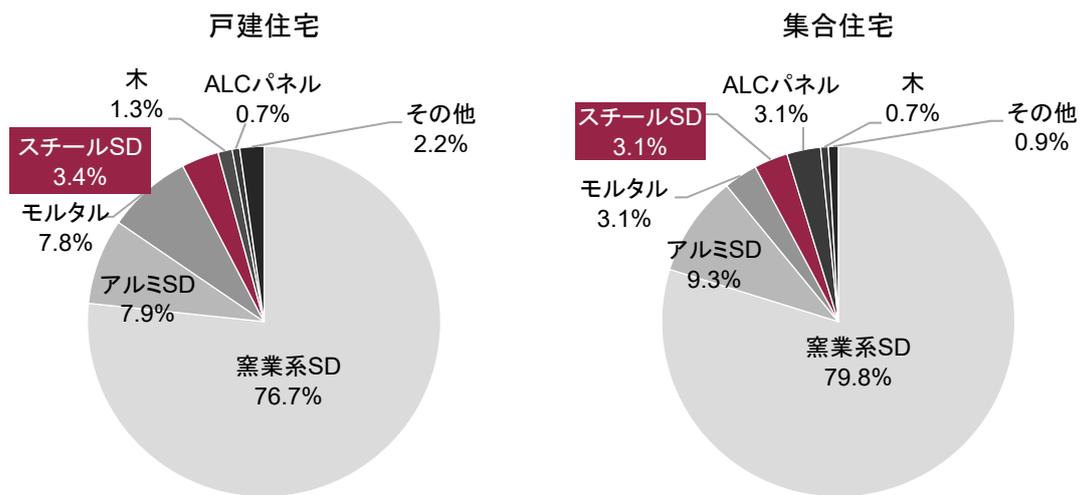


図 2-7 住宅用外壁材における金属サイディングの採用率（2017年）²⁹

²⁸ 日本金属サイディング工業会, “金属サイディングの特徴,” [オンライン]. Available: <http://www.jmsia.jp/siding/>. [アクセス日: 30 12 2018].

²⁹ 統計資料 [19]より作成。本研究における金属サイディングは、表面材がカラー鋼板であるため、このグラフではスチールサイディングにあたる

一方で、前述の通り、金属サイディングは他の外壁材と比較して軽量であることから、リフォーム用外壁材の市場規模のうち、43.9%（2016年度）を占めており、改修における重要な外壁材であるといえる（図 2-8）。

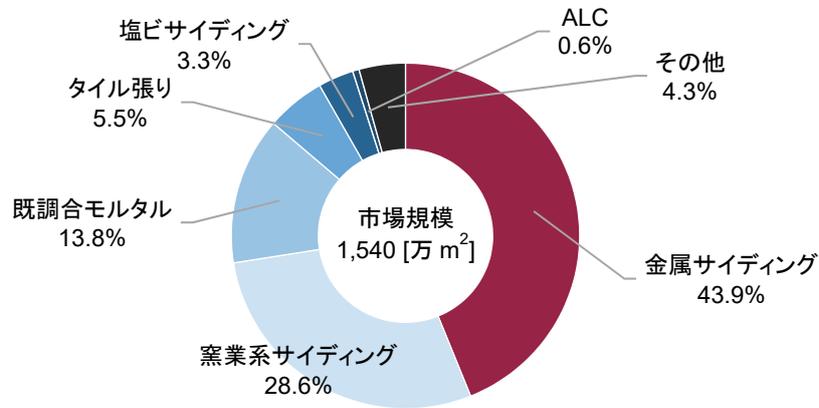


図 2-8 リフォーム用外壁材市場における金属サイディングのシェア
（2016年度、参考文献 [23]³⁰より作成）

また、屋根材出荷量における金属屋根材は、61.9%（2016年）と最も多いことから、広く普及しているといえる（図 2-9）。

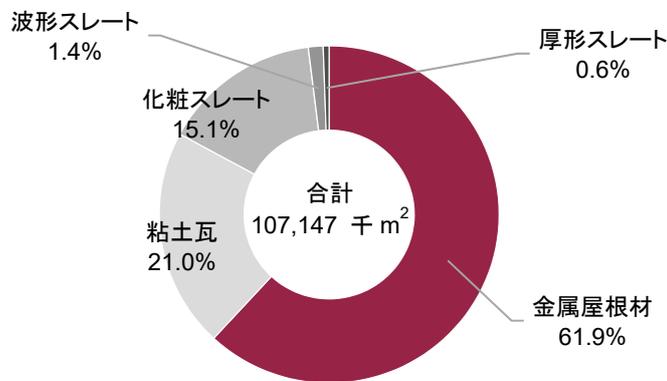


図 2-9 屋根材出荷量における金属屋根材（2016年、統計資料 [24]³¹より作成）

³⁰ 矢野経済研究所, 外壁材市場白書（2016年度版）, 2017.

³¹ 一般社団法人 日本金属屋根協会, “屋根材の統計,” [オンライン]. Available: <http://www.kinzokuyane.or.jp/statistics/index.html>. [アクセス日: 17 01 2019].

開発設計

金属サイディング・金属屋根材を構成する材料は、表面材のカラー鋼板と、芯材のポリイソシアヌレートフォーム³²、裏面材のアルミライナー紙である（図 2-10）。芯材の断熱材・裏面材のアルミライナー紙によって、カラー鋼板を薄くしても断熱性が確保できるようにしている。

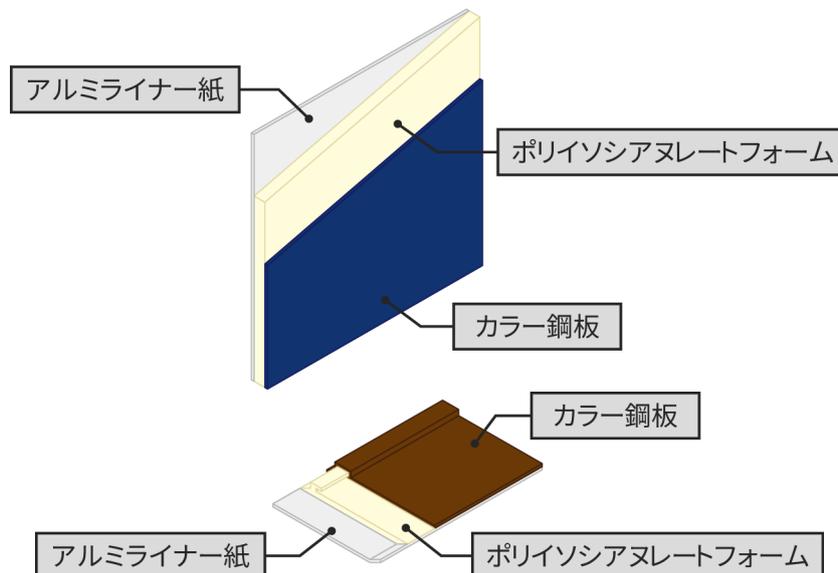


図 2-10 金属サイディング（上）と金属屋根材（下）

これら 3 つの構成材料は、液状のポリイソシアヌレートフォームが発泡する際の自己接着性によって一体化している。一体化することで、ポリイソシアヌレートフォームのみでは確保できない外装材の基本性能（耐久性等）を備えることが可能となる。

以上から、金属サイディング・金属屋根材の要求性能と、それを達成するための開発設計との関連性を表 2-5 にまとめた。

表 2-5 金属サイディング・金属屋根材の開発設計のねらい

開発設計	ねらい	
構成材料	カラー鋼板	<ul style="list-style-type: none"> 軽量化による施工性・耐震性の確保 耐久性の確保
	ポリイソシアヌレートフォーム	断熱性の向上
	アルミライナー紙	
複合方法	ポリイソシアヌレートフォームの自己接着性による一体化	一体化することによる外装材の基本性能と断熱性の両立

³² 硬質ウレタンフォームの一種で、断熱材として使用される

製造

ME社における金属サイディング・金属屋根材の製造工程は、以下の通りである(図 2-11)。

まず、コイル状のカラー鋼板を、アンコイラーと呼ばれる機械で延ばして、エンボスロールで表面材の模様付けをし(エンボス加工をする製品のみ)、表面塗装をする(塗装をする製品のみ)。以上の工程を経たカラー鋼板を反転し、嵌合部となる短手方向の両端をロール成型機で加工する。この時、カラー鋼板の上面は芯材との接合面である。カラー鋼板の上に、液状のポリイソシアヌレートフォームを流し込み、それと同時に上部からアルミライナー紙をあわせる。その後、養生炉内で約2分間かけてポリイソシアヌレートフォームの発泡を調整し、カラー鋼板とポリイソシアヌレートフォーム、アルミライナー紙を一体化させる。養生後は、走行切断機を使用して所定の寸法に切断をし、2名の検査員で製品検査を行い、完成となる。

金属サイディング・金属屋根材の製造の特徴として、材料投入から製品完成までに要する時間が短い(約5分)こと、半製品が発生せず歩留まりが高い(98~99%)ことが挙げられる。

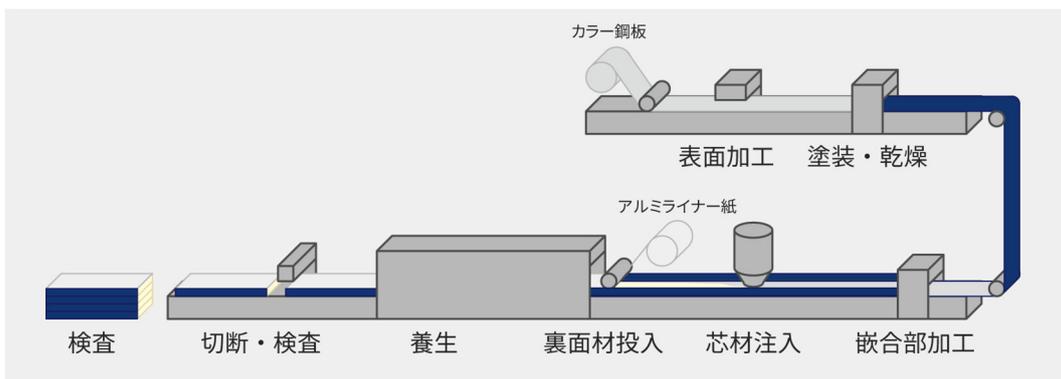


図 2-11 金属サイディング・金属屋根材の製造工程

ME社の製造工程で発生する工場端材には、所定の寸法に切断する際の切断くずと、検査で品質を満たさなかった不良品がある。いずれも、3つの構成材料が一体化した状態で発生しているが、場内で手作業による分離を行っている。嵌合部付近から切れ目を入れ、カラー鋼板と芯材を引き離すことで容易に分離ができる。分離状態は、カラー鋼板と、ポリイソシアヌレートフォームとアルミライナー紙の複合品である(図 2-12)。

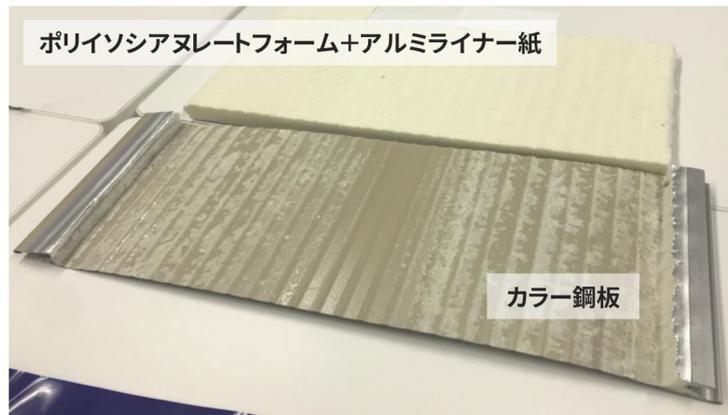


図 2-12 金属サイディングの分離状態³³

カラー鋼板には、ポリイソシアヌレートフォームとアルミライナー紙が付着しているが、このままの状態の有価物として売却し、電炉鋼³⁴として再利用されている。ポリイソシアヌレートフォームとアルミライナー紙の複合品については、産業廃棄物として処理を委託し、RPF³⁵として再利用されている。こうして分離をすることで、カラー鋼板が有価売却品となり、トータルの産業廃棄物処理費用を削減しているとのことであった。

以上、工場端材の利用状況を図 2-13 にまとめた。

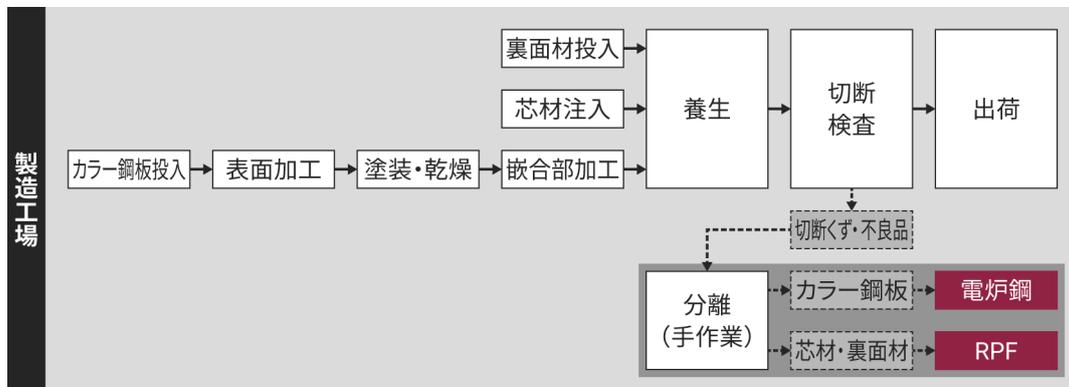


図 2-13 ME 社における金属サイディング・金属屋根材の工場端材の処理工程

原材料の観点から見ると、ME 社では再生原料を使用していない。特にカラー鋼板は、高炉法によって製造される鉄鋼を圧延した高品位の「圧延鋼板」を使用しているため、工場端材等を材料とする電炉鋼では、品質的な観点から使用は難しいとの意見が見られた。

³³ 筆者撮影

³⁴ スクラップを主原料とする鉄鋼のこと

³⁵ Refuse derived paper and plastics densified fuel の略称で、マテリアルリサイクルが困難な古紙及び廃プラスチックを主原料とした固形燃料のこと

以上より、金属サイディング・金属屋根材の資源循環性と製造実態との関連性を、表 2-6 にまとめた。

構成材料の一つであるカラー鋼板は、品質上の観点から、工場端材やその他再生原料を使用することは困難であるといえるが、カラー鋼板そのものは電炉鋼としての再利用が可能であり、有価で取引される。ポリイソシアヌレートフォームとアルミライナー紙に関しても、工場端材や再生原料の使用は見られないが、それぞれ塩素を含まないプラスチック類と紙類であることから、カラー鋼板と分離さえしてしまえば、RPF として再利用が可能である。その分離に関しても、手作業にはなるが分離をすることができる。

このような構成材料の特性から、新築端材や解体材の再利用は難しいと考えられる。また、それらの廃材を回収するシステムも確立されていないとのことであった。

表 2-6 金属サイディング・金属屋根材の製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	カラー鋼板	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材や再生原料を使用することは、品質上難しい 電炉鋼として再利用できる
	ポリイソシアヌレートフォーム	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材や再生原料の使用は想定していない RPF として再利用できる
	アルミライナー紙	
複合方法	ポリイソシアヌレートフォームの自己接着性による一体化	手作業によって分離は可能
端材利用状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> 製品原料として再利用することは難しい カラー鋼板は電炉鋼として再利用（有価物）している カラー鋼板以外は処理委託となるが、RPF として再利用している
	新築端材	<ul style="list-style-type: none"> 材料特性上、再利用は難しい 回収システムは確立されていない
	解体材	

2.1.3. 窯業系サイディング・化粧スレート（MF社）

概要（参考文献 [25]³⁶）

窯業系サイディング・化粧スレートは、セメントを主原料に、有機系繊維を添加した外装材である。従来のモルタル外壁や瓦等と比較して、軽量で施工性が優れている。また、セメントを主原料としていることから、他の外装材よりも外観表現の幅が広く、本物のレンガや瓦と遜色ない質感をもつ製品も登場している。このような特徴によって、戸建住宅を中心に非常に広く普及している。

住宅用外壁材における窯業系サイディングの採用率は、戸建住宅で 76.7%、集合住宅で 79.8%（いずれも 2017 年、）と、いずれも最も採用されており、広く普及しているといえる。

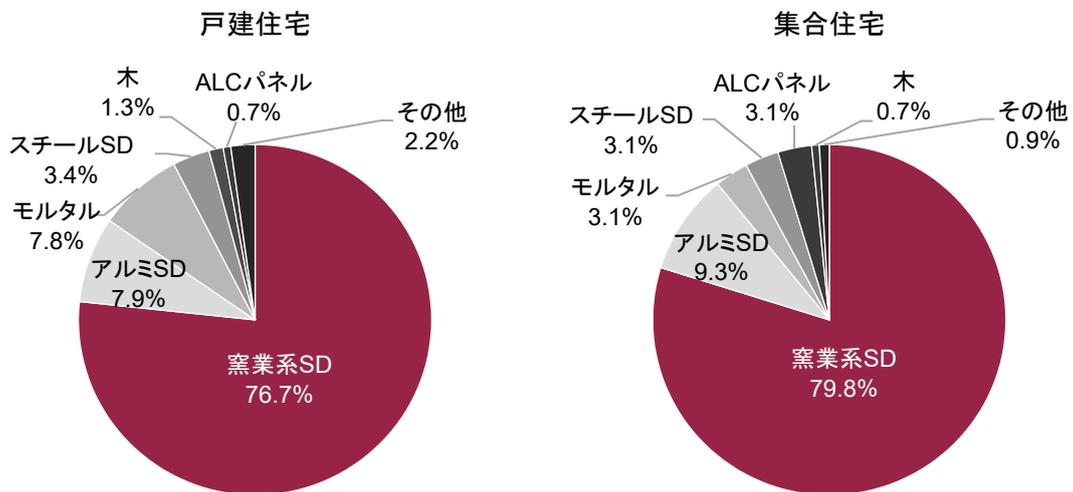


図 2-14 住宅用外壁材における窯業系サイディングの採用率（2017 年）³⁷

³⁶ 日本窯業外装材協会，“窯業系サイディングとは，” [オンライン]. Available: <http://www.nyg.gr.jp/toha/index.html>. [アクセス日: 30 12 2018].

³⁷ 統計資料 [19]より作成

また、屋根材出荷量に占める化粧スレートは、15.1%（2016年）であり、金属屋根材、粘土瓦について多いことから、屋根材においては重要な建材であるといえる。

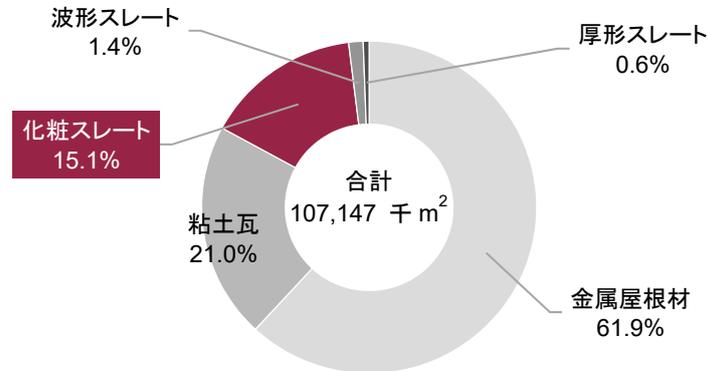


図 2-15 屋根材出荷量における化粧スレート（2016年）³⁸

開発設計

窯業系サイディング・化粧スレートを構成する材料は、セメントとパルプである（図 2-16、図 2-17）。セメントのみで同じ厚みの製品を成形した場合、曲げや衝撃に弱く、外装材としての強度が確保できない。そのため、補強繊維となるパルプを混和させることで、厚みを抑えながらも（＝施工性を高めながらも）、強度を高めつつ、外力を加え続けることによって、一気に破壊してしまうのを防いでいる。セメントとパルプは、セメントの硬化によって形成される微細粒子が、パルプ繊維と絡みつくことによって一体化している。

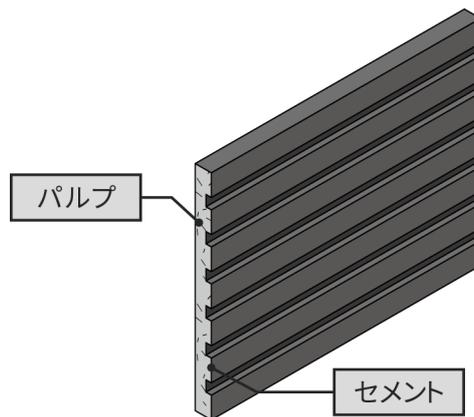


図 2-16 窯業系サイディング

³⁸ 統計資料 [24]より作成

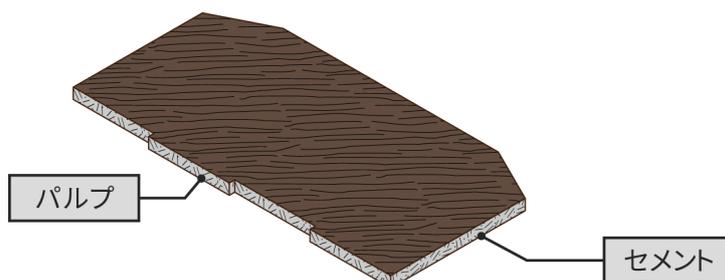


図 2-17 化粧スレート

以上から、窯業系サイディング・化粧スレートの要求性能と、それを達成するための開発設計との関連性を表 2-7 にまとめた。

表 2-7 窯業系サイディング・化粧スレートの開発設計のねらい

開発設計	ねらい	
構成材料	セメント	意匠性の向上
	パルプ	強度と靱性の確保
複合方法	セメント硬化時の微細粒子とパルプ繊維の絡みつき	一体化することによる外装材の基本性能と施工性の両立

製造

MF 社では、抄造法による窯業系サイディング製造工程、押出法による窯業系サイディング製造工程、そして化粧スレート製造工程の 3 種類がある。

窯業系サイディングの 2 つの製造方法では、板状にする成形工程の方法が異なる（図 2-18）。

抄造法とは、水を多く含んだ柔らかい状態の原料を、和紙のようにすきあげて製造する方法である。混合した原料をベルトコンベヤ上で軽く成形し、プレス機で模様をつけて所定の寸法に切断する。その後、約 1 日かけて一次養生を行って、最低限の強度を発現させる。そうしてある程度固まったものを、高温高圧蒸気養生のオートクレーブ窯で二次養生を行い、最終強度を発現させる。二次養生が終わると、嵌合部の加工や表面の塗装を行って完成となる。

押出法とは、水が少ない状態の原料を、押し出し機で板状に押し出して製造する方法である。混合した原料を押し出し機に投入して、ベルトコンベヤ上に押し出して成形をし、所定の寸法に切断する。その後の工程は抄造法と同様である。

抄造法は製造スピードが速く、厚さが薄い汎用品が中心となる。一方で、押出法は厚さを持たせることが可能で、堀が深い柄を加工することができるため、中高級品が中心となる。

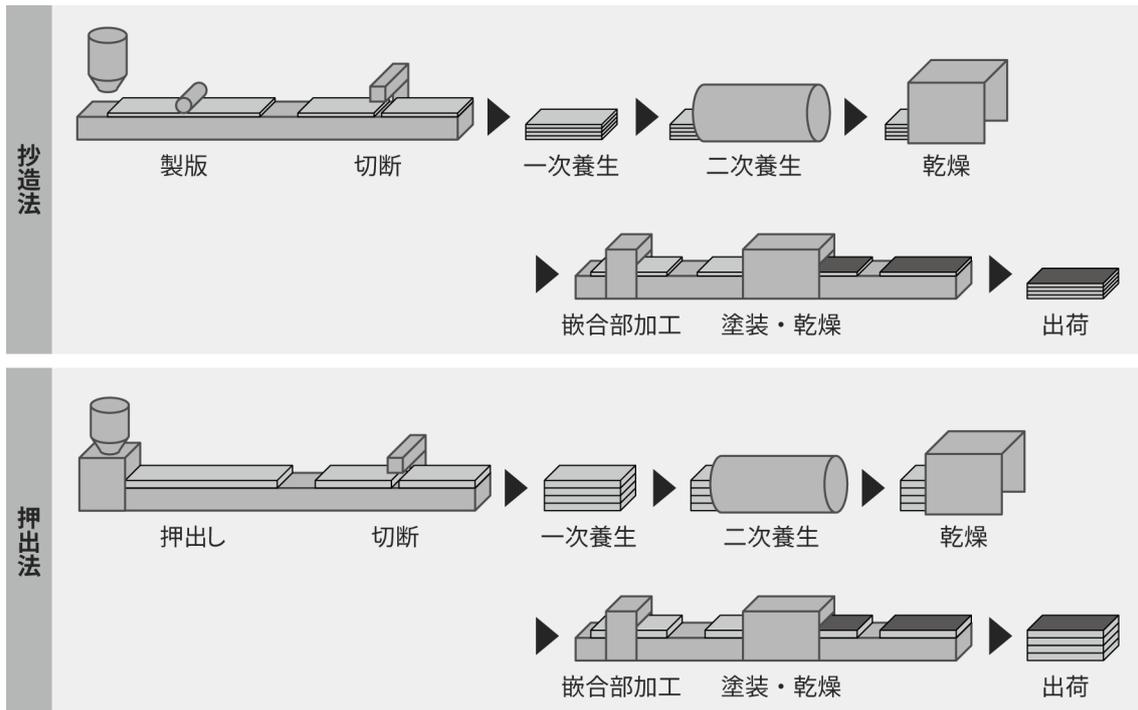


図 2-18 窯業系サイディングの製造工程

化粧スレート製造工程は、上記2種類の製造法よりもより少ない水で成形をする「ハイパードライ製法」を採用している（図 2-19）。粉のような状態の原料をベルトコンベヤに投入し、加圧ロールを通して押し固めながら成形して所定の寸法に切断する。その後は、窯業系サイディングと同様に2度の養生を行い、プレス機で表面に模様をつけ、塗装を行い完成となる。

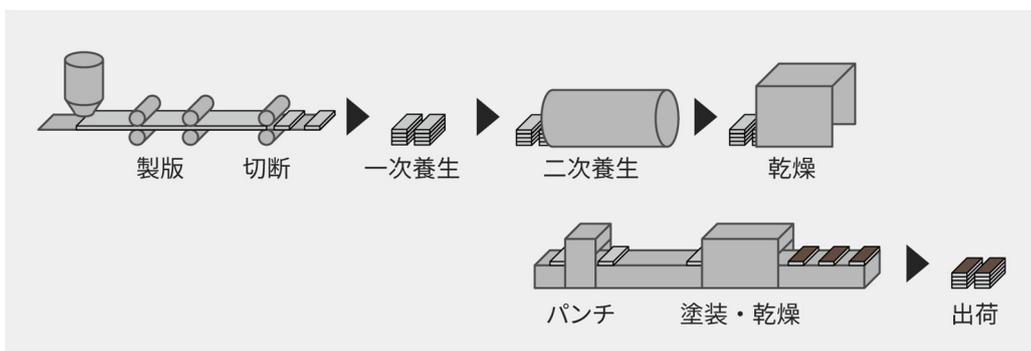


図 2-19 化粧スレートの製造工程

MF社では、それぞれの製造工程で、所定の寸法に切断する際に発生する切断くず、養生後の検査で品質を満たさなかった不良品、表面加工や嵌合部加工で発生する加工くずが、工場端材に該当する。いずれも、場内で回収して製造法ごとに適した大きさに粉砕し、原料と

して再利用している。ただし、製造法の異なる端材の使用には注意が必要であるとのことであった。

工場端材を再利用するのは、反応の助剤として必須であるためである。厳密なメカニズムは解明されていないが、工場端材等のスクラップがないと硬化が悪くなってしまう。

また、MF社では新築施工現場で発生した端材（主に窯業系サイディング）についても、広域認定制度を利用して回収・場内での再資源化を行っている。サイディングメーカーでは10尺（約3000mm）幅で供給をしているが、在来木造等の一般住宅では、9尺ピッチの建方をしているため、取り付け箇所に応じて切断をしなければならない。現在では、10尺ピッチの建方をする住宅も存在するが、その場合でも家の形状に合わせる必要があるため、加工は発生する。MF社では、こういった端材を回収して製造工場へと搬入し、工場端材と同様の処理を行って、同様に再利用している。ただし、全ての新築端材を回収することは困難であるとのことであった。

以上、工場端材と新築端材の利用状況を図 2-20 にまとめた。

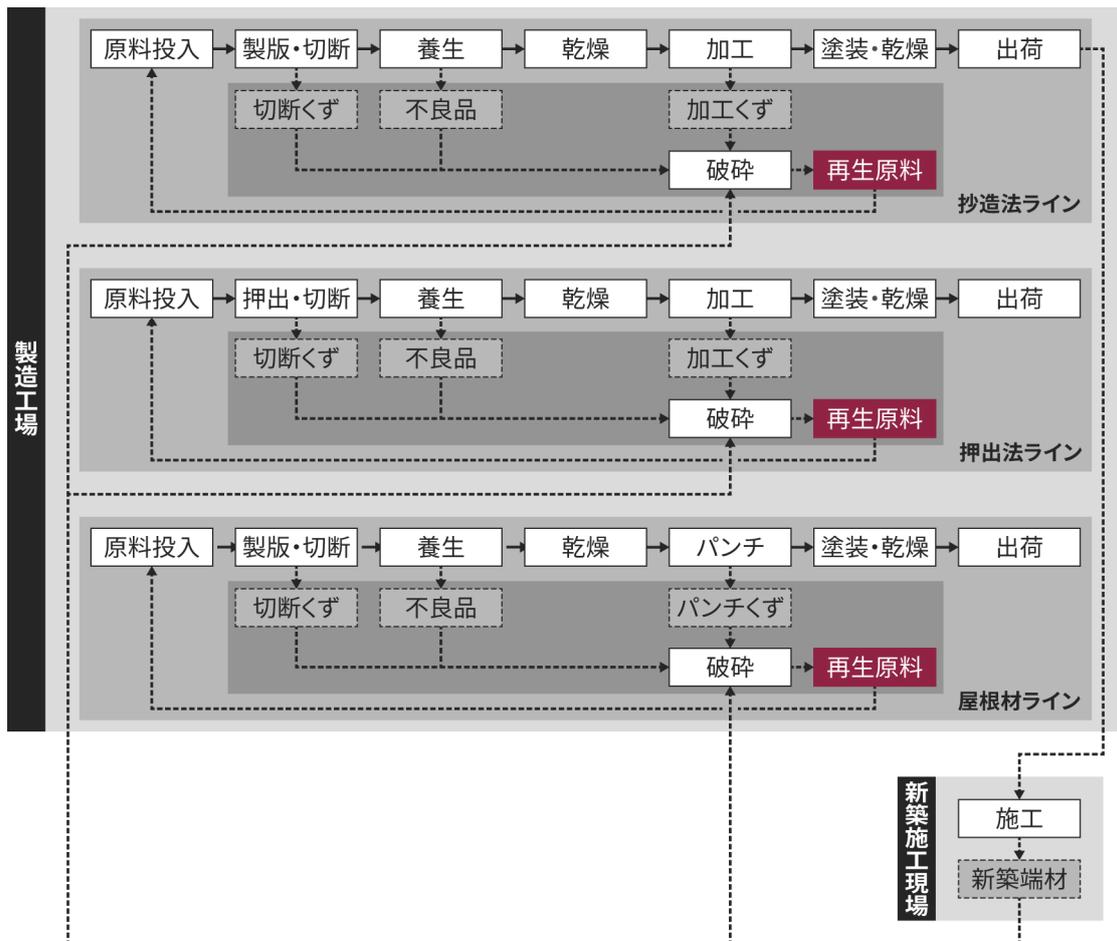


図 2-20 MF社における窯業系サイディング・化粧スレートの工場・新築端材の処理工程

原材料の観点から見ると、MF社では、製造工程で発生する工場端材、及び新築施工現場で発生する新築端材を、スクラップとして原料中に使用している。そのほかにも、原料の一つであるセメントには、火力発電所等で石炭を燃焼させて発生した灰であるフライアッシュを混和しており、これも再生原料といえる。また、パルプに関しても、バージンパルプ製造時に発生した不用品や、新聞紙や段ボールを回収して解繊・洗浄した古紙パルプを一部使用している。スクラップ、フライアッシュ、古紙パルプを、MF社では再生原料として使用しており、その比率は44.1%（2017年度）と、半数に迫る割合になっている（図2-21）。再生原料の内訳としては、フライアッシュ類が54%、スクラップが32%、古紙パルプが8%（いずれも2017年度実績）になっている。このことから、全原料に占めるスクラップは約14%となっている。現在ではスクラップ利用に余裕があるが、使用できる上限はあるとの見解であった。また、スクラップとして考えられるものに解体材があるが、釘などの金属類が混入する可能性があり、生産設備に損傷を与えてしまったり、製品を切断する際に切断器具を破損してしまったりすることにつながるため、使用には慎重であるとの意見が見られた。また、シーリング材に関しても、二次養生の高温時に溶けて、冷却した際に気泡ができてしまい、品質上問題があるため、この点も解体材の使用を困難としている理由に挙げられる。

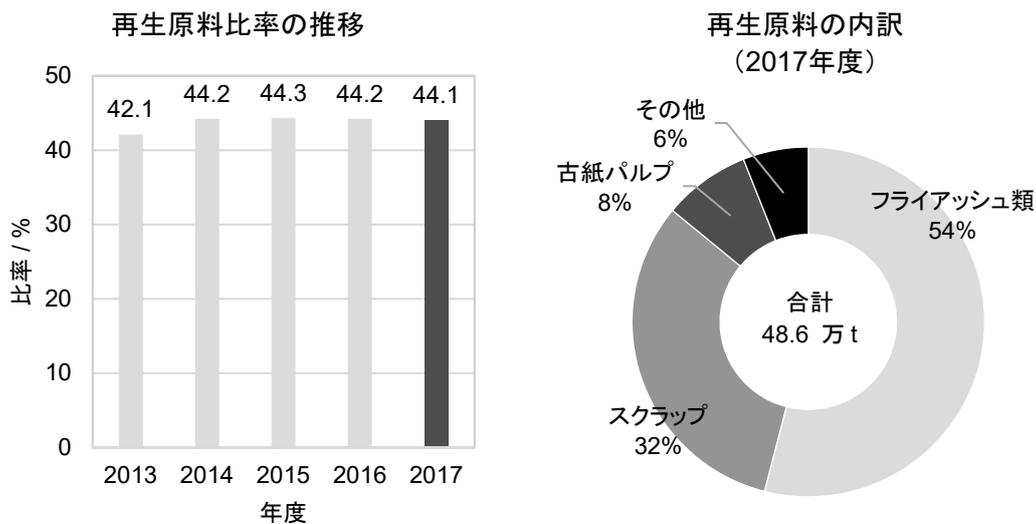


図 2-21 再生原料の使用状況³⁹

以上より、窯業系サイディング・化粧スレートの資源循環性と製造実態との関連性を、表2-8に整理した。

原料として、工場端材や新築端材（広域認定制度を利用して回収）といったスクラップを使用しており、その割合は約14%である。スクラップは生産上必要であり、現時点では利用に余裕があるが品質的な観点から上限は存在する。加えて、スクラップ使用時には、製造法の違いに起因する適合性を考慮する必要がある。そのほかにも、主原料のセメントには、廃

³⁹ MF社提供資料より作成

棄物の一種であるフライアッシュが入っており、再生原料であるといえる。パルプについても、一部に古紙パルプを使用しており、これも再生原料であるといえる。

解体材の再利用に関しては、異物が混入することによる生産設備等の損傷や品質低下の懸念があることから、再利用は困難であると考えられる。

表 2-8 窯業系サイディング・化粧スレートの製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	セメント	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材（回収可能なもの）のほとんどを再利用している（原料比約14%） 端材は生産上必要であるが上限がある 再生原料のフライアッシュ・古紙パルプを使用している
	パルプ	
複合方法	セメント硬化時の微細粒子とパルプ繊維の絡みつき	<ul style="list-style-type: none"> 分離は想定していない 一体となっても再利用は可能
端材利用 状況	工場端材	全量を原料として再利用している
	新築端材	広域認定制度を利用して回収をし、回収可能なものについては全量を原料として再利用している
	解体材	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムは確立されていない 異物混入による生産上・品質上の悪影響から、原料としての再利用は困難

2.1.4. 石膏ボード（MB社）

概要（参考文献 [26]⁴⁰）

石膏ボードは、石膏⁴¹を芯材として、両面を石膏ボード用原紙で被覆成型した建築用内装材である。防火性、遮音性、寸法安定性に優れ、かつ経済性にも優れていることから、建築物の壁、天井などに広く使用されている。

石膏ボードは、1902年にアメリカで開発された。当時は外観が悪く表面は平滑ではないことから評判が悪かったが、技術改良により生産性や品質が向上し、1917年に完成した4尺幅の「へり折りボード」によって、第二次世界大戦後は飛躍的に発展した。

日本では1921年に製造が開始された。当時、芯材は石膏のみではなく、おがくずやもみ殻との混合物であり、表面材も紙に限らず、布や木製薄板が使用されていた。その後、建築物の高層化に必要な不燃化に対して、石膏ボードの優れた防火性が注目され、需要が拡大していった。現在では、石膏ボードメーカー独自の開発や、ゼネコン・ハウスメーカー・下地仕上げ会社との提携により、社会のニーズに合わせた新製品・新工法が市場に投入されており、建築物には欠かせない建材となっている。国内における製造業者は、現在では2社の寡占状態となっている。

石膏ボードの出荷量は、概ね新設住宅着工戸数と同じように推移していることから、需要が安定しているといえる（図 2-22）。このことから、石膏ボードは建築物には欠かせない複合建材であることが窺える。

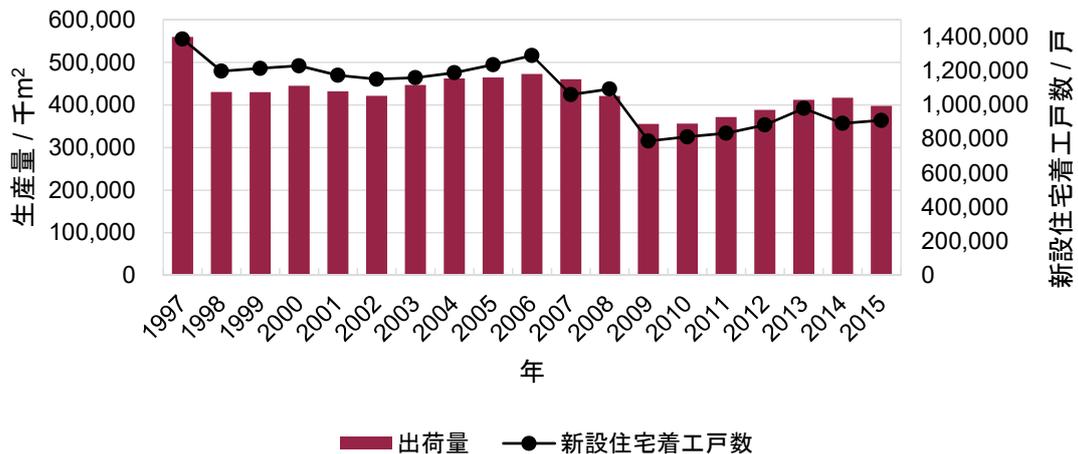


図 2-22 石膏ボードの出荷量⁴²と新設住宅着工戸数（統計資料 [27]⁴³）の推移

⁴⁰ 一般社団法人 石膏ボード工業会, 石膏ボードハンドブック, 2016.

⁴¹ 硫酸カルシウム (CaSO₄ · 2H₂O) ともいわれる

⁴² 統計資料 [20] [21]より作成

⁴³ 国土交通省, “建築着工統計調査 住宅着工統計 時系列表,” 2018.

開発設計

石膏ボードは、その特徴によって 14 種類に分類されている⁴⁴が、ここでは最も一般的な石膏ボード (GB-R) のみを取り上げる (図 2-23)。

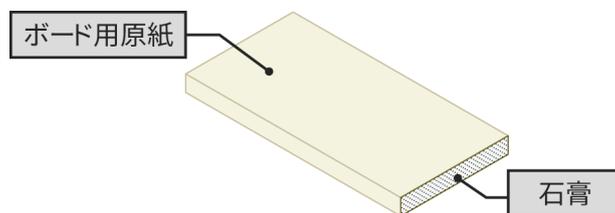


図 2-23 石膏ボード

石膏ボードを構成する材料は、石膏とボード用原紙である。石膏のみを板状に成型するのではなく、ボード用原紙で被覆するのは、施工時や使用時に板状を保持できること、石膏の脆さがボード用原紙で吸収されて、曲面の施工が可能になることが理由として挙げられる。ボード用原紙は可燃物であるが、芯材が耐火性の石膏⁴⁵であることから、全体として防火性を確保することが可能となっている。また、石膏とボード用原紙は、スラリー状の石膏が硬化する際にできる針状結晶が、原紙の繊維に絡みつくことによって一体化している。

以上から、石膏ボードの求められる性能と、それを達成するための開発設計との関連性を表 2-9 にまとめた。

石膏ボードの主となる構成材料である石膏は、その化学的な性質から不燃性に優れており、結晶構造には空気層を多く含むため遮音性にも優れている。一方で、石膏のみだと形状の保持が困難になるところを、ボード用原紙と一体化させることで形状を保持できるようにし、尚且つ曲面施工性をも確保することができる。また、可燃性のボード用原紙のみでは防火性を確保することができないが、石膏と一体化することによってその欠点を補完している。

⁴⁴ 石膏ボード (GB-R)、シーリング石膏ボード (GB-S)、強化石膏ボード (GB-F)、石膏ラスボード (GB-L)、化粧せっこうボード (GB-D)、不燃積層石膏ボード (GB-NC)、普通硬質石膏ボード (GB-R-H)、シーリング硬質石膏ボード (GB-S-H)、化粧硬質石膏ボード (GB-D-H)、構造用石膏ボード (GB-St-A / GB-St-B)、吸放湿石膏ボード (GB-R-Hc / GB-S-Hc / GB-D-Hc / GB-F-Hc / GB-S-Hc)、吸音用あなあき石膏ボード、化粧石膏吸音ボード、特殊石膏吸音ボード

⁴⁵ 単位面積当たりの結晶水が多いため、防耐火性に優れている

表 2-9 石膏ボードの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	石膏	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防火性の確保 ・ 遮音性の確保
	ボード用原紙	<ul style="list-style-type: none"> ・ 形状を保持 ・ 曲面施工性の確保
複合方法	石膏の硬化による結晶と繊維の絡みつき	一体化することによる寸法安定性、施工性の確保

製造

MB社における石膏ボードの製造工程は、以下の通りである（図 2-24）。

まず、受け入れた石膏原料は、焼成工程を経て焼石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）となり、粉碎後にサイロに貯蔵される。その焼石膏は添加剤・混和材と一緒にミキサーに送り込まれて、水と混合されて石膏スラリーとなる。これが連続的に送り出されている表紙と裏紙との間に流し込まれて、板状に成形される。成形されたボードは、コンベヤによって連続的に運ばれ、粗切断される。硬化が終了した後に、乾燥機で自動的・連続的に乾燥し、所定の長さに切断されて検査が行われる。なお、化粧石膏ボードといった製品は、所定の長さに切断された後、加工を行い、検査をするという工程になる。

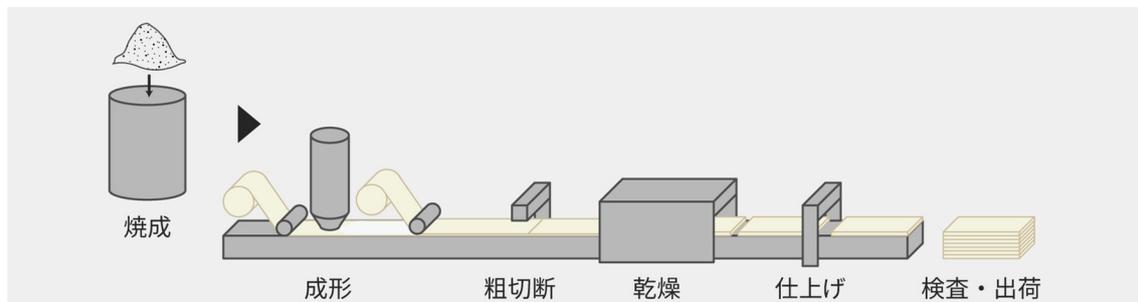


図 2-24 石膏ボードの製造工程

MB社における石膏ボードの製造工程で発生する工場端材は、成形工程後の粗切断で発生する切断くず、乾燥後の仕上げ工程で発生する加工くず、検査で品質を満たしていない不良品がある。いずれも、場内で粉碎しボード用原紙と石膏に分離して、ボード用原紙は製紙会社で敷料やボード用原紙の原料として再利用される。一方で、分離後の石膏に関しては、ボード用の石膏として再利用される。工場端材を場内で再資源化している理由としては、産業廃棄物として処理委託する費用を抑えるためとのことであった。

また、MB社では新築施工現場で発生した端材についても、広域認定制度を利用して回収・場内での再資源化を行っている。石膏ボードを施工する際には、取り付ける天井や内壁の寸

法に合わせて切断を行うため、切断に伴う端材が発生する。MB社では、その端材を回収して製造工場へと搬入し、工場端材と同様の処理を行って、同様の再資源化を行っている。

以上、工場端材と新築端材の利用状況を図 2-25 にまとめた。

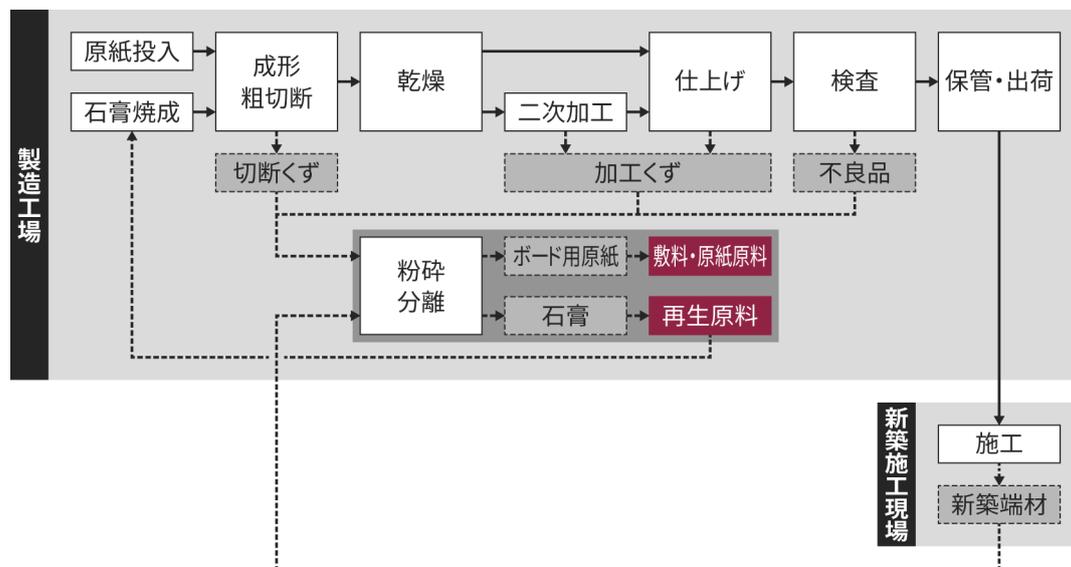


図 2-25 MB社における石膏ボードの工場端材・新築端材の処理工程

原材料の観点から見ると、MB社では、製造工程で発生する工場端材、及び新築施工現場で発生する新築端材について、石膏はボード用石膏再生原料として利用している。また、ボード用原紙の一部に関しても、ボード用原紙再生原料として利用している。

工場端材や新築端材由来の石膏（以下、廃石膏ボード由来の石膏）は、現状では、石膏ボード用原料石膏のうち7.7%を占めている（図 2-26）。端材はそのほとんどを回収・再資源化しているとのことであった。廃石膏ボード由来の石膏のような、一度水和した石膏⁴⁶は結晶が微細であり、これを再度焼成して水和させる際に、通常の石膏よりも多くの水が必要となる。それに伴って添加剤や混和材を調整しなければならず、生産性が落ちてしまう。そのため、MB社を含めた各石膏ボードメーカーでは、廃石膏ボード由来の石膏は、生産性の観点から10%が原料として使用できる上限としている。

また、原料石膏には、天然の石膏に加えて、副産石膏と呼ばれる石膏も存在する。副産石膏には、煤煙中に存在する硫酸が、亜硫酸ガスとして大気中に放出することを防ぐために、炭酸カルシウムと中和させて二水石膏として固定した排煙脱硫石膏⁴⁷などがあり、天然石膏を使用していないという点で、再生原料の一つであるといえる。原料石膏に占める副産石膏

⁴⁶ 焼成工程を経た焼石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ）が、再び水と反応した石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）のこと

⁴⁷ $\text{SO}_2 + \text{CaCO}_3 + 1/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ （吸収反応式）

$\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 3/2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ （酸化反応式）でできる

の割合は、61 %（2016年）であり、天然石膏よりも多く使用されている。天然石膏は海外からの輸入している一方で、副産石膏は国内で生産されているものを使用しているが、製造の特性上、国内の副産石膏の生産量は大きく変わらないため、販売量が増加した際には、天然石膏に頼るしかないというのが現状である。

ボード用原紙についても、原料のほとんどが段ボール古紙、新聞古紙を使用しているため、再生原料でほとんどを占めているといえる。

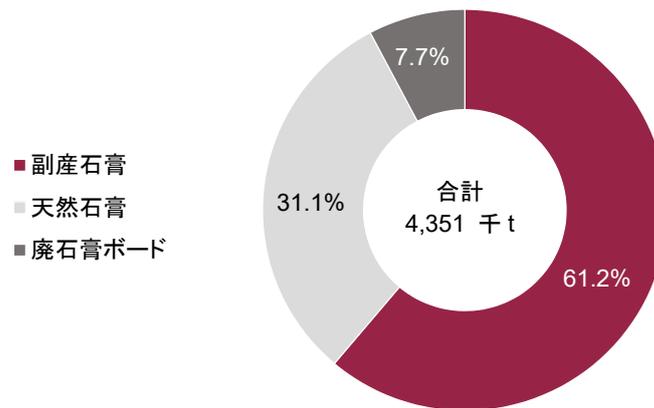


図 2-26 原料石膏の内訳（2018年）⁴⁸

以上より、石膏ボードの持つ資源循環性と製造との関連性を、構成材料と複合方法、発生する端材の利用状況から整理し、表 2-10 にまとめた。

石膏ボードの原料石膏は、その原材料中に製造工程で発生する工場端材と、新築施工現場で発生する新築端材のほとんどを再利用している。現状、その割合は約 8 % と小さく、生産性の観点から上限も 10 % ということから、これ以上の大量の受け入れは期待できないといえる。また、原料石膏の過半数を占める副産石膏も、その製造法から再生原料の役割を果たしているといえる一方で、製造の特性上、生産量は大きく変動しないことから、より多くの副産石膏を利用することは困難であるといえる。

石膏ボードのボード用原紙に関しても、製紙会社を経由して端材の一部を原料として再利用しているほか、そもそもの原料が段ボール古紙や新聞古紙である。

工場端材は、石膏に関してはそのほとんどを石膏原料として再利用している。ボード用原紙に関しても、製紙会社を経由してボード用原紙として再利用しており、再利用ができない場合でも、敷料として再利用が可能となっている。

新築端材は、広域認定制度を利用して端材を回収し、製造工場内で処理を行って、石膏は

⁴⁸ MB 社提供資料より作成

石膏原料として、ボード用原紙はボード用原紙、もしくは敷料として再利用している。

解体材に関しては、改修をする枠組みは現時点ではなく、また、異物の混入の恐れがあることから、原料として受け入れることは困難であるとしている。

表 2-10 石膏ボードの製造実態と資源循環性との関連性

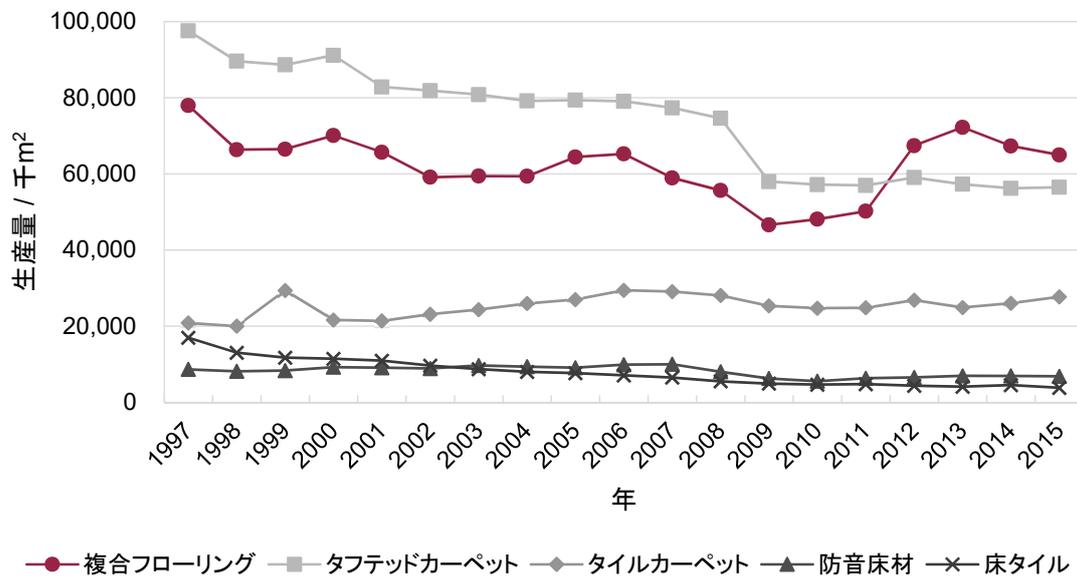
製造		資源循環性
構成材料	石膏	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材のほとんどを再利用している（8%程度） 生産性の観点から、上限は10%程度 煤煙の処理で発生する石膏（排煙脱硫石膏）といった副産石膏を過半数使用している
	ボード用原紙	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材の一部を、製紙業者を通して再利用している 敷料等のカスケードリサイクルも可能 もともとの原料が段ボール古紙や新聞古紙である
複合方法	石膏の硬化による結晶と繊維の絡みつき	破砕すれば分離は可能
端材利用状況	工場端材	ほとんどを原料として再利用、もしくはカスケードリサイクル（ボード用原紙→敷料）している
	新築端材	広域認定制度を利用して回収して、ほとんどを原料として再利用、もしくはカスケードリサイクル（ボード用原紙→敷料）している
	解体材	石膏原料としての再利用は品質上、生産上難しい

2.1.5. 複合フローリング (MG 社)

概要

複合フローリングは、合板等を基材として、表面に化粧シートを貼り付けた床材である。表面材のない無垢フローリングと比較して、表面材を工夫することで、耐久性や防汚性等を高めることができる。そうした特徴から、日本では 1970 年代中ごろから、衛生面で問題視されたカーペットに代わり、普及し始めた。

関連する床材の生産量が漸減する中、複合フローリングは 60,000 千 m² 程度の生産量を維持しており、建築の床材として欠かせない複合建材となっていることが窺える (図 2-27)。

図 2-27 床材の生産量の推移⁴⁹

開発設計

複合フローリングを構成する材料は、基材の合板・MDF⁵⁰と表面材の化粧シートである (図 2-28)。以前は基材に輸入材であるラワン合板を使用していたが、熱帯雨林の破壊に繋がるとのことで、現在では国産のスギやトドマツを使用した合板を使用していることが多い。しかし、こういった植林材は、成長が早いことから比重が軽く軟らかいため、単体で使用すると床材としての強度を確保できない。そこで、MDF と組み合わせることで強度を確保しつつ、平滑性も確保している。表面材の化粧シートには、床材に求める性能 (耐久性・防汚性等) に応じて、天然木薄板やオレフィンシート等が使用されることが多い。

⁴⁹ 統計資料 [20] [21]より作成

(タフテッドカーペットやタイルカーペットは主に非住宅用床材として使用されている)

⁵⁰ Medium Density fiberboard (中密度繊維板) のことで、蒸煮・解繊した木質チップに合成樹脂を加えて板状に成形した木質ボード

合板と MDF、MDF と化粧シートは、熱硬化性樹脂を使用して強固に接合しており、床材として、歩行時にずれが無いようにしている。

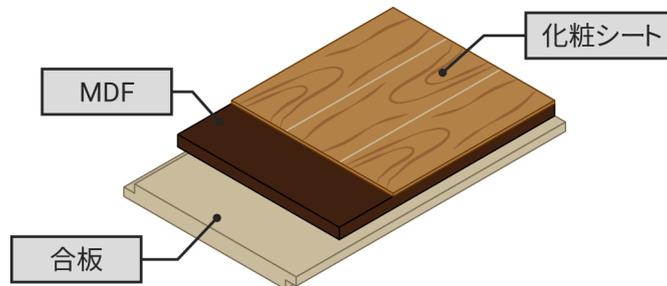


図 2-28 複合フローリング

以上から、複合フローリングの要求性能と開発設計との関連性を表 2-11 にまとめた。

表 2-11 複合フローリングの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	合板	—
	MDF	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強度の確保 ・ 平滑性の確保
	化粧シート	耐久性や防汚性の向上
複合方法	熱硬化性樹脂による一体化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 強度の低い合板と MDF とを一体化することによる強度の確保 ・ 一体化することで、床材としてのずれの発生抑止

製造

MG 社における複合フローリングの製造工程（図 2-29）では、まず、基材となる合板と MDF の貼り付けを行う。合板と MDF はそれぞれ MG 社の関連工場にて製造されたものを入荷して使用している。その後、基材短手方向の両端を実加工し、MDF 表面に化粧シートを貼り付ける。その後、検査をして完成となる。

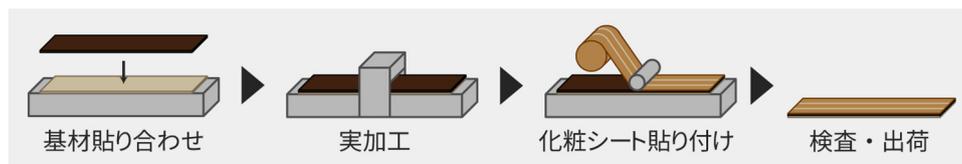


図 2-29 複合フローリングの製造工程

複合フローリングの製造工程では、実加工の際の加工くずと、検査時に品質を満たさなかった不良品が、工場端材として発生する。構成材料は熱硬化性樹脂で一体化しているため、分離は困難であるとのことであったが、可燃性の構成材料のみであることから、分離をしなくても問題がないボイラーの燃料として、場内で再利用している。

また、MG 社では、広域認定制度を利用した新築端材や解体材の回収は行っていない。

以上、複合フローリングの製造工程における工場端材の利用状況を図 2-30 にまとめた。

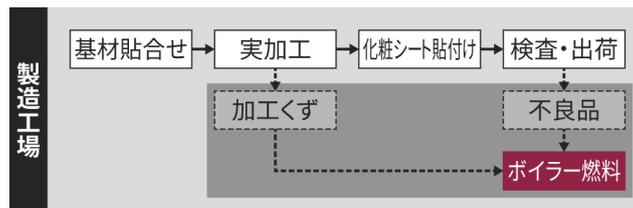


図 2-30 MG 社における複合フローリングの工場端材の処理工程

複合フローリングの製造を原材料の観点から見ると、MDF は合板製造時に発生する端材を原料として製造している点から、再生原料（未利用材）を使用しているといえる。

以上より、複合フローリングの資源循環性と製造実態との関連性を、表 2-12 に整理した。

いずれの構成材料も、工場端材や新築端材等を再利用してはいないが、燃焼させても問題がない材料であることから、発生している工場端材はサーマルリサイクルをしている。MDF に関しては、その原料に合板製造時に発生する端材を利用していることから、合板のカスケードリサイクルの受け皿となっているといえる。

しかし、新築端材や解体材を回収するシステムは存在せず、場内での再利用も想定していない。

表 2-12 複合フローリングの製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	合板	サーマルリサイクルをすることができる
	MDF	<ul style="list-style-type: none"> サーマルリサイクルをすることができる 原料に合板の端材を利用している
	化粧シート	サーマルリサイクルをすることができる
複合方法	熱硬化性樹脂による一体化	<ul style="list-style-type: none"> 分離は困難 分離をしなくてもサーマルリサイクルが可能である
端材利用状況	工場端材	サーマルリサイクルを実施している
	新築端材	回収システムが存在しておらず、原料としての再利用も想定していない
	解体材	

2.1.6. 不燃化粧壁材（MG社）

概要

不燃化粧壁材は、不燃性の建材を基材として、表面に化粧シート等を貼り付けた内装壁材である。壁材として一般的に使用されるクロスとは異なり、パネル状であることから施工性に優れており、また、厚みがあるため、エンボス加工を施すことが可能となり、意匠性にも優れている。基材には不燃性のボードを使用しているため、キッチンといった防火性が求められる箇所の内装壁材としても使用することができる。

開発設計

不燃化粧壁材を構成する材料は、基材の火山性ガラス質複層板⁵¹と、表面材の化粧シートである（図 2-31）。火山性ガラス質複層板は無機系物質が主原料となっているため、不燃性に優れている。また、木質系ボードと同様に現場での切断が可能で、施工性に優れている。化粧シートは、PET フィルムや樹脂コート紙が使用され、防水性や耐久性を高めつつ、意匠性も向上させることができる。

基材と表面材は接着剤を使用して貼り付けており、基材の持つ壁材としての基本性能（不燃性・施工性）に、防水性・耐久性・意匠性といった付加価値を創出している。

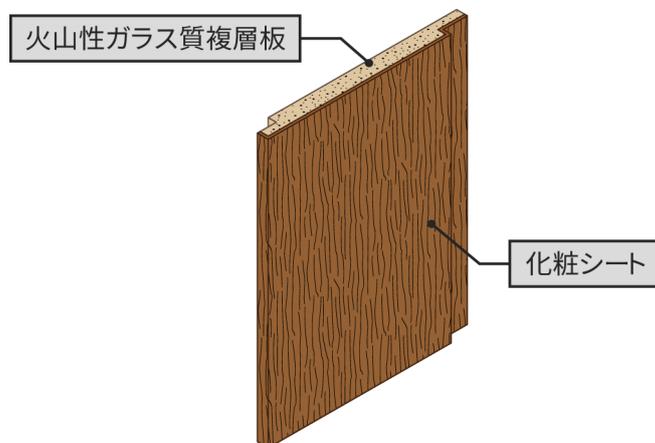


図 2-31 不燃化粧壁材

以上から、不燃化粧壁材の要求性能と開発設計との関連性を表 2-13 にまとめた。

⁵¹ シラス等の火山性ガラス質材料を、ロックウール等の無機系繊維で強化したボード

表 2-13 不燃化粧壁材の開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	火山性ガラス質複層板	<ul style="list-style-type: none"> ・ 不燃性の確保 ・ 施工性の確保
	化粧シート	耐久性や防水性の向上
複合方法	接着剤による一体化	壁材としての性能に防水性・耐久性・意匠性を付加

製造

MG社における不燃化粧壁材の製造工程(図 2-32)では、まず、基材となる火山性ガラス質複層板の製版を行う。製版方法は、前項の窯業系サイディングにおける抄造法とほぼ同じで、主原料のシラス、ロックウール、結合剤の熱硬化性樹脂をスラリーにして、板状に成形しながら脱水をする。その後、製品寸法に切断をして乾燥をする。嵌合部となる部分の加工を行い、基材表面に化粧シートを貼り付け、検査を行って完成となる。

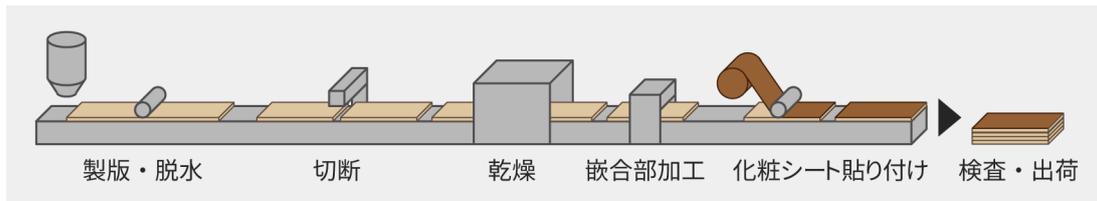


図 2-32 不燃化粧壁材の製造工程

不燃化粧壁材の製造工程では、切断や嵌合部の加工の際の切断くず・加工くずと、検査時に品質を満たさなかった不良品が、工場端材として発生する。いずれの工場端材も、産業廃棄物として処理を委託している。これは、結合剤に使用する熱硬化性樹脂が非水溶性であるため、原料として再利用することが難しいことが理由として挙げられるとのことであった。同様に、新築端材や解体材に関しても、原料としての再利用は困難であると考えられる。

以上、不燃化粧壁材の製造工程における工場端材の利用状況を図 2-33 にまとめた。

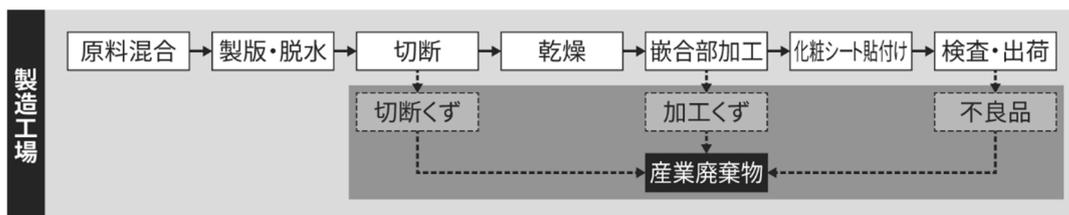


図 2-33 MG社における不燃化粧壁材の工場端材の利用状況

不燃化粧壁材の製造を、原材料の観点から見ると、火山性ガラス質複層板の主原料の一つであるシラスは、細かい粒の軽石や火山灰を主成分としており、これらが堆積することでシラス台地を形成しているが、ここでは水はけが良すぎるために、降雨による土砂崩れや、畑作に不向き等といった問題があった。このシラスを有効利用することで、シラス台地の土砂崩れを防ぎ、畑作を行うことができるようになったとの経緯があり、未利用材の有効活用の一例であるといえる。また、ロックウールに関しても、鉄の製造において、銑鉄の製鋼工程で発生する鉄鋼スラグというリサイクル材を原料として製造しており、再生原料を使用しているといえる。

以上より、不燃化粧壁材の資源循環性と製造実態との関連性を、表 2-14 に整理した。

いずれの構成材料にも、工場端材などを再利用しておらず、場内では再資源化を行っていない。これは、熱硬化性樹脂が非水溶性であるためである。一方で、基材の火山性ガラス質複層板の主原料であるシラスとロックウールは、それぞれ未利用材とリサイクル材であることから、再生原料を使用していると考えられる。

工場端材と同様、新築端材や解体材も、原料として再利用することは困難であり、尚且つ回収システムが存在していないため、現状では回収も行っていない。

表 2-14 不燃化粧壁材の資源循環性と製造実態との関連性

製造		資源循環性
構成材料	火山性ガラス質複層板	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化は難しい 未利用材のシラスと、リサイクル材のロックウールを利用している
	化粧シート	再資源化は難しい
複合方法	接着剤による一体化	分離は困難
端材利用状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> 熱硬化性樹脂によって原料へ再利用をすることが難しい 産業廃棄物として処理を委託している
	新築端材	回収システムが存在しておらず、原料としての再利用も難しい
	解体材	

2.1.7. ロックウール化粧吸音板（MG社）

概要

ロックウール化粧吸音板は、ロックウールを主原料としたボードを使用した天井材である⁵²。吸音性や防火性に優れており、製品によってはホルムアルデヒドを吸着する機能もあるなど、居住環境の快適性に寄与する建材として注目されている。非住宅での採用が多くみられるが、近年では住宅にも使用され始めている。

ロックウール化粧吸音板のように仕上げ材が不要な天井材としては、化粧石膏ボードが一般的であるが、生産量から見ると、ロックウール化粧吸音板が化粧石膏ボードに迫る量になっている。このことから、天井材におけるロックウール化粧吸音板の重要性が増しているといえる。

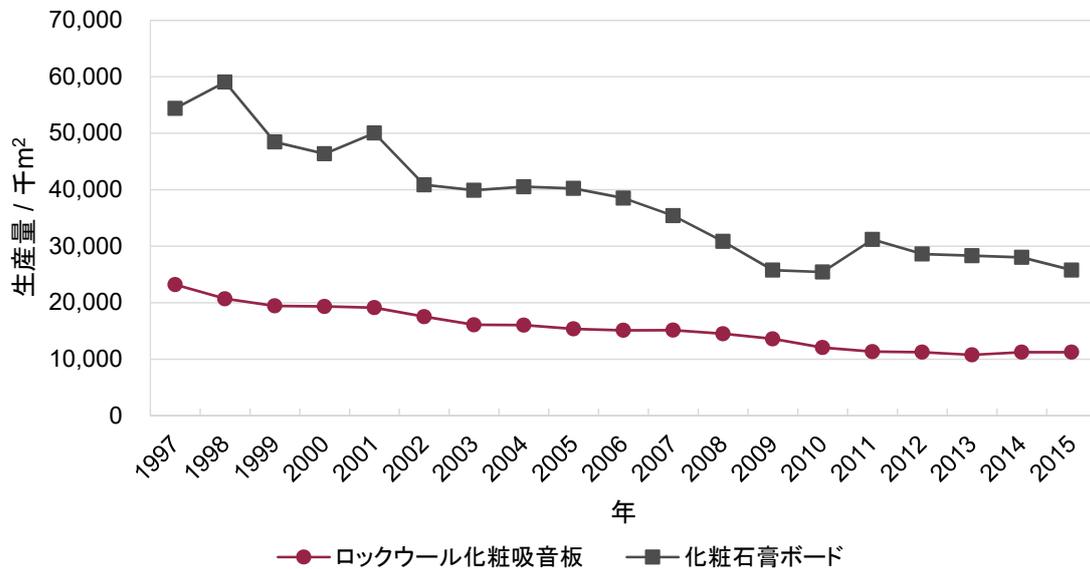


図 2-34 ロックウール化粧吸音板と化粧石膏ボードの生産量推移⁵³

開発設計

ロックウール化粧吸音板を構成する材料は、基材のロックウール吸音板と、表面を塗装している塗料である（図 2-35）。ロックウール吸音板は、無機系繊維のボードであり、無数の空隙を内包しているため、吸音性や断熱性に優れている。また、化粧石膏ボードといった他の天井材と比較して軽量であり、施工者に負荷がかかる天井仕上げを行う際の施工性にも優れている。

⁵² ロックウール化粧吸音板は、他材料と複合しておらず、本論文が定義するところの「複合建材」には当てはまらないが、その構成材料の特徴や製造工程等に資源循環が考慮されているため、本章でその実態を整理するに留め、4章では取り扱わないこととした。

⁵³ 統計資料 [20] [21]より作成（化粧石膏ボード生産量は、天井用の他に内壁用なども含んでいる）

基材表面は、塗料等を使用して仕上げをしている。

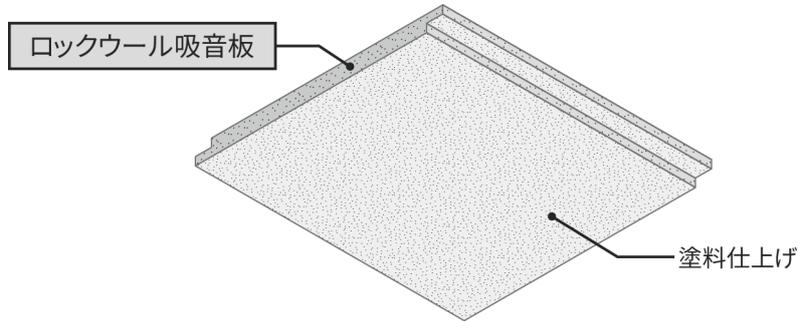


図 2-35 ロックウール化粧吸音板

以上から、ロックウール吸音板の要求性能と開発設計との関連性を表 2-15 にまとめた。

表 2-15 ロックウール化粧吸音板の開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	ロックウール吸音板	<ul style="list-style-type: none"> ・ 吸音性の確保 ・ 断熱性の確保 ・ 施工性の確保
複合方法	—	—

製造

MG社におけるロックウール化粧吸音板の製造工程（図 2-36）では、まず、基材となるロックウール吸音板の製版を行う。製版方法は、不燃化粧壁材とほぼ同じである。主原料のロックウール、結合剤のでんぷんをスラリー状にして、板状に成形した後に脱水をする。ある程度の大きさに切断をして乾燥を行い、嵌合部分の加工を行い、製品寸法に切断をする。その後、二次加工工程で、表面の模様をローラーで付け、表面を塗装して乾燥をし、検査を行って完成となる。

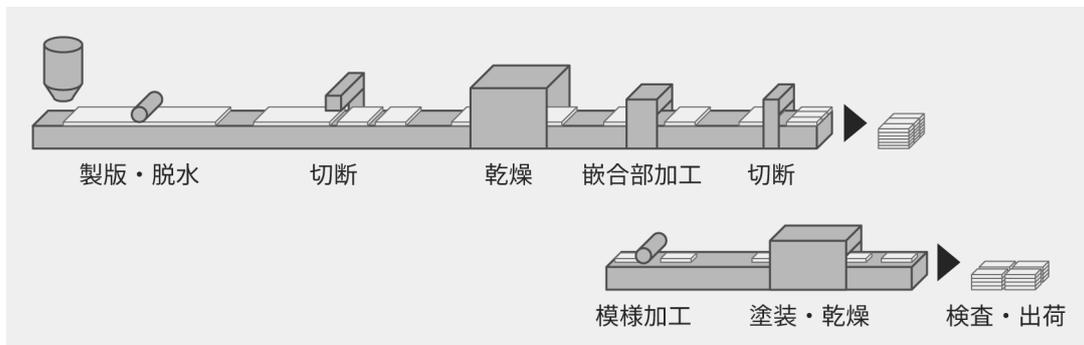


図 2-36 ロックウール化粧吸音板の製造工程

ロックウール化粧吸音板の製造工程では、2回ある切断の際の切断くず、嵌合部の加工や表面模様加工の際の加工くず、検査時に品質を満たさなかった不良品が、工場端材として発生する。いずれも、場内で原料として再利用している。塗料に関しては、原料として再利用するには特に問題にならないとの意見であった。

一方で、新築端材や解体材に関しては、回収を行う体制は整っていないが、工場端材の利用状況から、同程度の異物付着状況であれば、新築端材や解体材を原料として問題なく再利用することができるかと想定される。

以上、ロックウール化粧吸音板の製造工程における工場端材の利用状況を図 2-37 にまとめた。

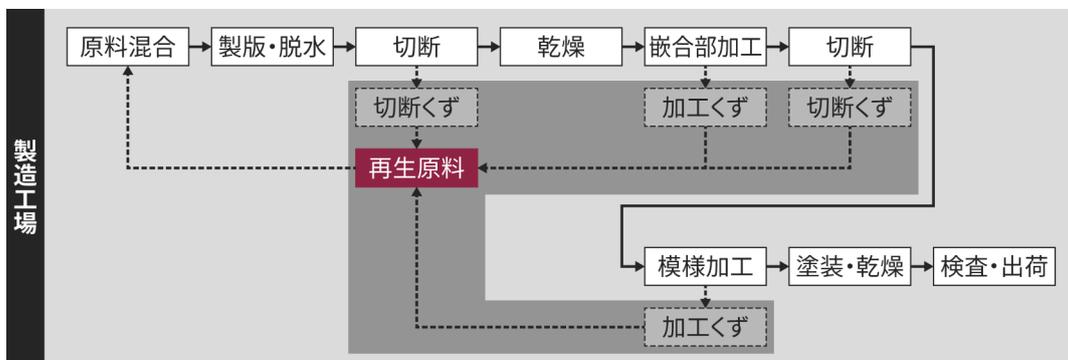


図 2-37 MG 社におけるロックウール化粧吸音板の工場端材の利用状況

ロックウール化粧吸音板の製造を、原材料の観点から見ると、基材であるロックウール吸音板の主原料には、不燃化粧壁材と同様に、リサイクル材である鉄鋼スラグから製造されたロックウールを使用している。ゆえに、再生原料を利用しているといえる。

以上より、ロックウール化粧吸音板の資源循環性と製造実態との関連性を、表 2-16 に整理した。

基材のロックウール吸音板は、その原料に工場端材を利用しており、また、主原料のロックウールはリサイクル材であることから、再生原料を使用しているといえる。

工場端材では、塗料等の異物は許容可能であるため、異物の付着が同程度の新築端材・解体材であれば、原料として再利用は可能であると想定されるが、現状では回収システムが存在していない。

表 2-16 ロックウール化粧吸音板の製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	火山性ガラス質 複層板	<ul style="list-style-type: none"> ・ 再資源化は難しい ・ 未利用材のシラスと、リサイクル材のロックウールを利用している
	化粧シート	再資源化は難しい
複合方法	接着剤による一体化	分離は困難
端材利用 状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱硬化性樹脂によって原料へ再利用をすることが難しい ・ 産業廃棄物として処理を委託している
	新築端材	回収システムが存在しておらず、原料としての再利用も難しい
	解体材	

2.1.8. アルミ樹脂複合サッシ (MC 社)

概要

アルミ樹脂複合サッシは、アルミサッシをベースに、室内側を硬質 PVC 部材、室外側をアルミ部材にしたサッシである。アルミサッシは耐久性、意匠性、採光性に優れている一方、アルミの熱伝導率が高いことから、断熱性や防露性が欠点となっている。対する樹脂サッシは、アルミの熱伝導率の 1/1000 程度であることから明らかなように、断熱性・防露性に非常に優れている一方で、硬質 PVC を使用していることから、アルミサッシよりも耐久性が劣り、強度的な問題から部材幅を大きくする必要があり、意匠性や採光性が欠点である。アルミ樹脂複合サッシは、両者の欠点を補いつつ優れた点を活かしたハイブリッドサッシとなっているのが特徴である。

アルミサッシをベースにして断熱性の向上を図ったサッシは、1995 年頃のアルミ断熱サッシが最初である。これは、室内側・室外側ともにアルミ部材であるが、部材間に硬質 PVC 型材をかしめることで熱橋を防止し、従来のアルミサッシと比較して断熱性を高めている。2000 年頃には、枠部分の室内側を硬質 PVC 部材にして窓枠の結露を防止することを目的としたアルミ樹脂複合サッシが登場した。その後、枠部分だけではなく、障子部分にも硬質 PVC 部材を使用したアルミ樹脂複合サッシが登場し、現在では枠・障子ともに複合化しているアルミ樹脂複合サッシが一般的となっている。

戸建住宅におけるアルミ樹脂複合サッシの採用率は 54.3 %と最も多く、集合住宅でも 37.3%とアルミサッシに次いで採用されている (図 2-38) ことから、アルミ樹脂複合サッシは、住宅用サッシとして広く普及していることが窺える。

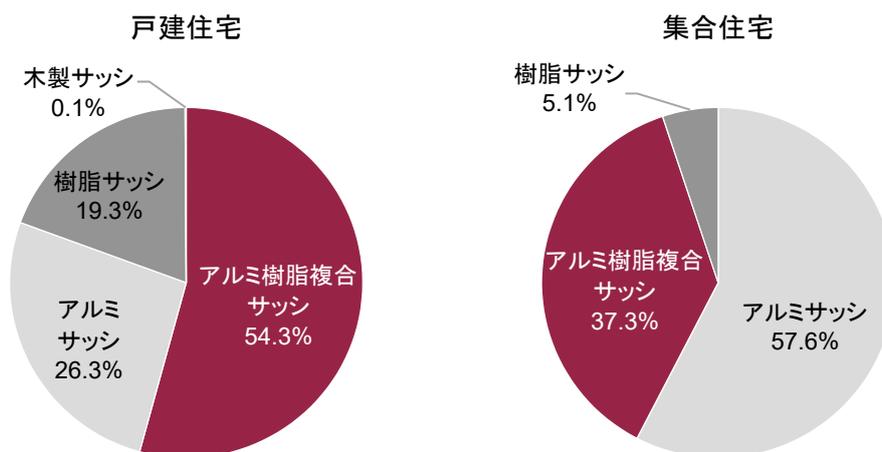


図 2-38 アルミ樹脂複合サッシの採用率 (2017 年) ⁵⁴

⁵⁴ 統計資料 [19]より作成

開発設計

アルミ樹脂複合サッシを構成する材料は、主にアルミと硬質 PVC であるが、製造工程（後述）から明らかなように、アルミサッシ、樹脂サッシに使用される材料と同等のものである（図 2-39）。それぞれに外観色、内観色が数種類あり、それらの組み合わせによってサッシの意匠性が決定される。

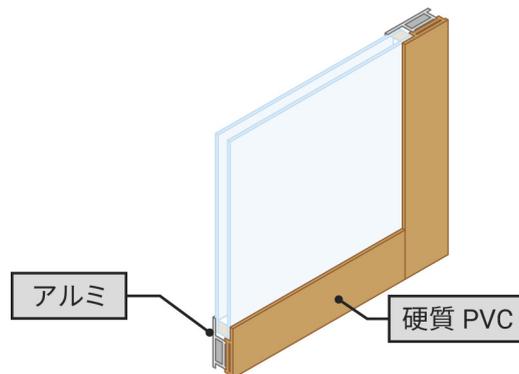


図 2-39 アルミ樹脂複合サッシの構成材料

アルミ部材と硬質 PVC 部材は、形状を工夫することで嵌めこむ「嵌合方式」を採用している。嵌合方式にはスライドさせてはめ込む「スライド嵌合」と、回転させてはめ込む「回転嵌合」がある。アルミ樹脂複合サッシの場合、枠は回転嵌合、障子はスライド嵌合を採用することが一般的である。これは、施工時に誤って枠の硬質 PVC 部材を傷つけてしまった場合や、メンテナンスをする場合に、回転嵌合を採用すると、枠を躯体に取り付けたまま交換をすることができるためである。障子の場合、回転嵌合を採用すると、施工後に硬質 PVC 部材が脱落する可能性が否定できないため、障子が組み立てられた状態では簡単に取り外すことができないスライド嵌合を採用している。スライド嵌合においても、組み立てられた障子を分解することで、硬質 PVC 部材を容易に交換することができる。

以上より、アルミ樹脂複合サッシの要求性能と、それを達成するための開発設計との関連性を表 2-17 に整理した。耐久性・意匠性・採光性に優れているが、断熱性や防露性が欠点のアルミと、断熱性・防露性に優れているが、耐久性・意匠性・採光性が欠点の硬質 PVC とを、交換性を考慮した嵌合方式で複合させることで、サッシとしての基本性能を向上させつつ、メンテナンス性を付加させている。

表 2-17 アルミ樹脂複合サッシの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	アルミ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性の確保 ・ 意匠性の向上 ・ 採光性の確保
	硬質 PVC	<ul style="list-style-type: none"> ・ 断熱性の確保 ・ 防露性の確保
複合方法	部材形状を工夫した嵌合	建材として一体化をしつつ、メンテナンス性を確保

製造

MC 社におけるアルミ樹脂複合サッシの製造工程は、アルミ型材製造工程、硬質 PVC 型材製造工程、加工工程の大きく 3 段階に分かれている（図 2-40）。

アルミ型材製造工程では、まず、アルミのビレット⁵⁵製造を行う。アルミ地金を 1,100℃の炉内で約 5 時間かけ熔解し、マグネシウムやシリコン、チタンといった添加物質を投入して成分調整を行う。熔解したアルミを型枠に流し込み、冷却をすることで後工程の押出しで使用するビレット（長さ 6,100 mm）が完成する。押出し工程では、ビレットを 480℃で加熱して 300～800 mm に切断をし、押出し機にセットする。500℃で加熱しながら金型を通してサッシの形状に成形をする。この際、押出し長さは 45 m にも及ぶ。成形された長尺のサッシは、3～4 m に切断をして、195℃の炉内でエージング⁵⁶を行う。その後、アルミ型材を電解槽に投入し、脱脂⁵⁷・エッチング⁵⁸・陽極酸化⁵⁹・着色・塗装・焼付といった表面処理を施し、完成となる。

硬質 PVC 型材製造工程では、まず、原料の配合を行う。主原料となる PVC 樹脂に、安定剤や混和材を配合し、加熱しながら攪拌を行った後、冷却をして篩にかける。配合が終了した原料を、押出し機に投入して、加熱しながら金型を通してサッシの形状に成形をする。この際、引き取り機と呼ばれる機械で押し出された型材を引っ張ることで、たわみ等が発生しないようにしている。その後、所定の長さに切断をして完成となる。

こうして製造されたアルミ型材・硬質 PVC 型材を同じラインに投入して加工を行う。製品寸法に切断した後、部品を取り付ける穴等をあけて部品を取り付けて完成となる。

⁵⁵ 押出しなどの加工用に適当な寸法に作られた金属塊

⁵⁶ 強度を高める工程

⁵⁷ 油や汚れを除去する

⁵⁸ 表面をあらす

⁵⁹ アルマイト皮膜を付ける

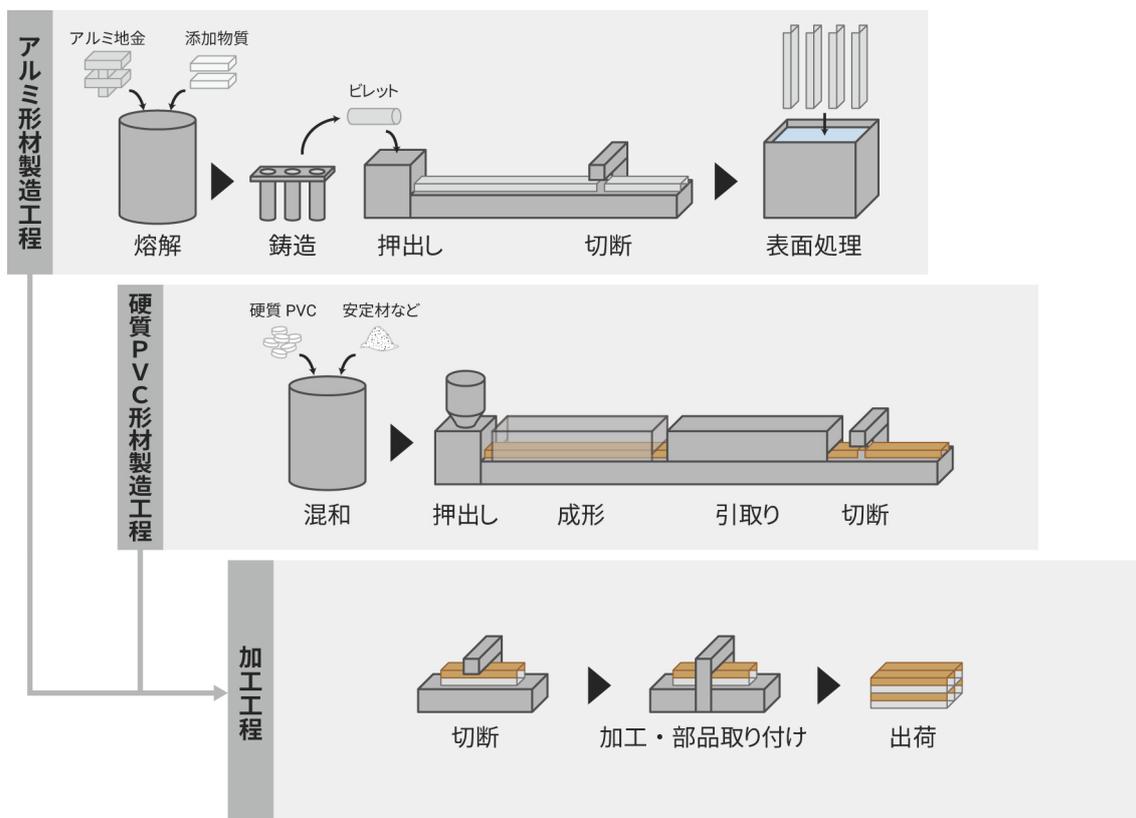


図 2-40 アルミ樹脂複合サッシの製造工程

MC社におけるアルミ樹脂複合サッシの製造工程で発生する工場端材は、アルミ型材製造工程で発生するもの、硬質PVC型材製造工程で発生するもの、そして加工工程で発生するものに分かれる。

アルミ型材製造工程で発生する工場端材は、押出し初期に発生する不良品である。不良品は約1,500 t/月発生しているが、全量をアルミ型材の原料として再利用している。これは、アルミは熔解さえすれば品質が低下することなく利用することができることに起因している。

硬質PVC型材製造工程で発生する工場端材は、アルミ型材製造工程と同様に、押出し初期に発生する不良品である。不良品は約80 t/月発生しているが、そのうち品質的な観点から硬質PVC型材の原料として再利用しているのは、約75%である。再利用する不良品は、場内のリサイクル工程で粉砕、造粒を経てペレット⁶⁰化をし、押出し機へと投入される。残りの約25%は、他の原料と混合できない不良品となり、産業廃棄物として処理を委託している。

加工工程で発生する工場端材は、切断や部品取り付けの際の加工による粉状の加工くずである。アルミ型材と硬質PVC型材を同ラインで加工するため、それらの混合粉の状態

⁶⁰ 加工しやすいように粒子状にしたもの

発生する。そのため、分別が困難となり、産業廃棄物として処理を委託している。

以上、工場端材の利用状況を図 2-41 にまとめた。

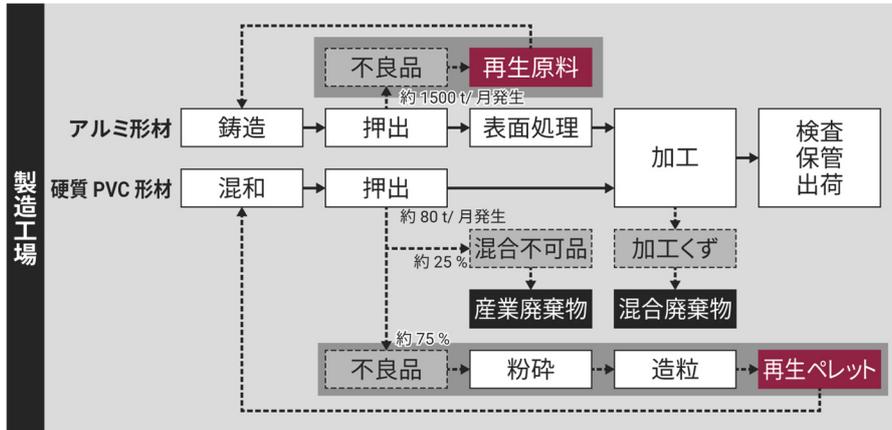


図 2-41 MC 社におけるアルミ樹脂複合サッシの工場端材の処理工程

原材料の観点から見ると、MC 社では製造工程で発生したアルミ型材不良品の全量、硬質 PVC 型材不良品の約 75% を再生原料として利用していることが分かる。また、アルミ型材に関しては、金属問屋等が集まる市中スクラップ⁶¹を原料として使用しており、これに関しても再生原料といえる。アルミ型材に関しては、スクラップ市場が確立されていることや、成分を注視さえすれば品質を保持できることから、再生原料の使用に際する問題はほとんどないといえる。一方で硬質 PVC 型材に関しては、廃材市場が現時点では確立されていないことから、工場端材以外の再生原料を使用することはほとんどない。

以上より、アルミ樹脂複合サッシの資源循環性と製造との関連性を、構成材料と複合方法、発生する端材の利用状況から整理し、表 2-18 にまとめた。

アルミ部材は、その原料中に工場端材と市中スクラップを使用しており、金属であることから、成分を調整さえすればより多くの再生原料を使用することができる。一方、硬質 PVC 部材は、工場端材の約 3/4 を再利用しているものの、一部品質上の問題から再利用できない工場端材も存在し、廃材市場が確立されていないことに起因して、外部再生原料の利用は困難となっている。複合方法に関しては、型材の形状を保っている場合は、手作業で容易に分離することができるが、粉状等のハンドリングが低下した状態では手作業での分離は非常に困難となってしまう。

また、新築端材や解体材を回収する枠組みは、現時点で存在しておらず、MC 社による回収・再資源化は行っていない。

⁶¹ 製造工場や解体現場等から発生した廃材を回収した金属のこと

表 2-18 アルミ樹脂複合サッシの製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	アルミ	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材を全量再利用している 市中スクラップを使用している 品質を調整すれば再生原料を増やすことができる
	硬質 PVC	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材の一部 (3/4) を再利用している 現状以上の再生原料の使用は困難
複合方法	部材形状を工夫した嵌合	<ul style="list-style-type: none"> 型材の形状を保持していれば分離は容易 粉状等の場合、分離は非常に困難
端材利用状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> アルミはすべてアルミ原料として再利用している 硬質 PVC は一部 (3/4) を硬質 PVC 原料として再利用しているが、残りは品質上再利用できず処理を委託している 加工工程で発生するアルミと硬質 PVC の混合粉は、場内で分離できないため処理を委託している
	新築端材	<ul style="list-style-type: none"> 広域認定制度はない
	解体材	<ul style="list-style-type: none"> 回収の枠組みはない

2.1.9. 複層ガラス・合わせガラス (MD 社)

概要 (参考文献 [28]⁶²⁾)

複層ガラスは、2枚の板ガラスの周囲を封着し、その中間に乾燥空気を密封した窓ガラスである。通常の単板ガラスの約2倍の断熱効果を有していることから、近年では冷暖房負荷を軽減し、省エネルギーに役立つ窓ガラスとして注目されている。その高い断熱性から、空調設備を持っている建築物の他にも、一般住宅や鉄道車両、冷凍ショーケースといったように、広範囲で使用されている。

複層ガラスの取り付け率(窓数比)は、年々増加傾向であり、戸建住宅では98.9%、集合住宅では97.7%となっている。このことから、ほとんどの窓において、複層ガラスが使われているといえ、広く普及していることが窺える。

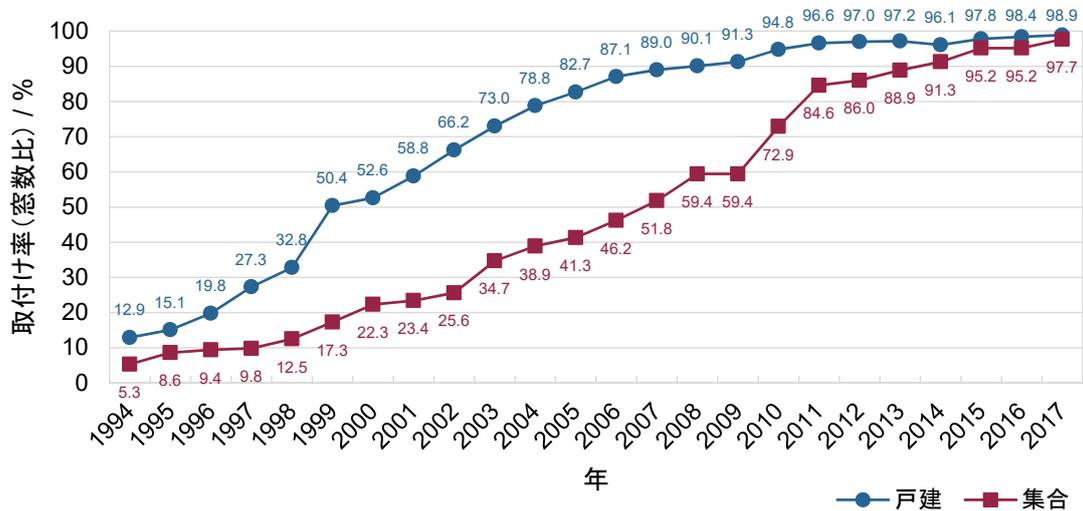


図 2-42 住宅における複層ガラスの取り付け率
(窓数比、統計資料 [19]及び [29]⁶³より作成)

合わせガラスは、2枚の板ガラスを樹脂製の中間膜で貼り合わせた窓ガラスである。万一、強い衝撃を受けて破損しても、強靱な中間膜によって破片の飛散を防止することができ、尚且つ貫通もしにくいため、きわめて安全性が高い。その特徴から、超高層ビルの窓ガラスや、人の多く集まる建物の出入り口等、安全性を要求される箇所に使用されることが多い。また、破壊しても侵入しにくいという特徴もあり、防犯ガラスとしての需要も増大している。

合わせガラスは、主に自動車や鉄道車両のフロントガラス等に使用されることが多く、生産量に占める建築用合わせガラスは16.8%に留まっている(図 2-43)。

⁶² 板硝子協会, “日本の板ガラス,” 2014.

⁶³ 一般社団法人 日本サッシ協会, 住宅用建材使用状況の変遷 《平成5年調査～平成28年調査》, 2017.

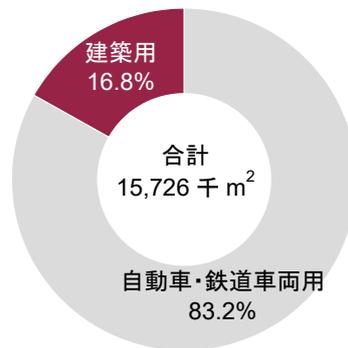


図 2-43 合わせガラス生産量の内訳 (2015 年) ⁶⁴

機能ガラスの生産量においても、合わせガラスは他の機能ガラスよりも少ない生産量となっている (図 2-44) が、地震時の安全性に優れた特性から、今後の普及が見込まれる機能ガラスであるといえる。

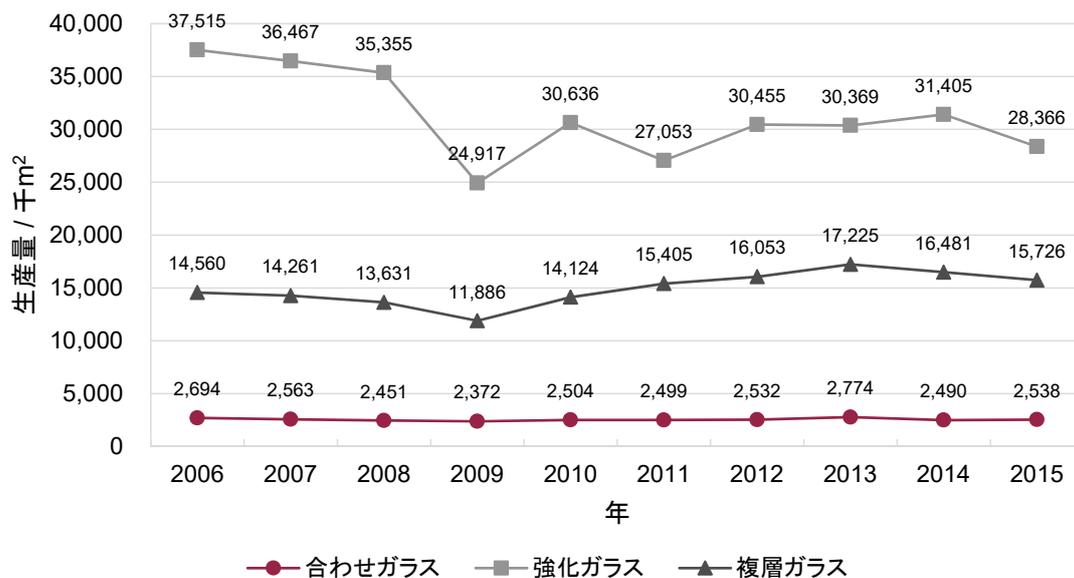


図 2-44 機能ガラスの生産量の推移⁶⁵

⁶⁴ 統計資料 [21]より作成

⁶⁵ 統計資料 [20][21]より作成

開発設計

複層ガラスを構成する材料は、ガラスとアルミスペーサーである（図 2-45）。アルミスペーサーを使用することで、2枚のガラスの間に空気層を形成することが可能となる。アルミスペーサーには乾燥剤が充填されており、空気層内で結露が発生するのを防いでいる。

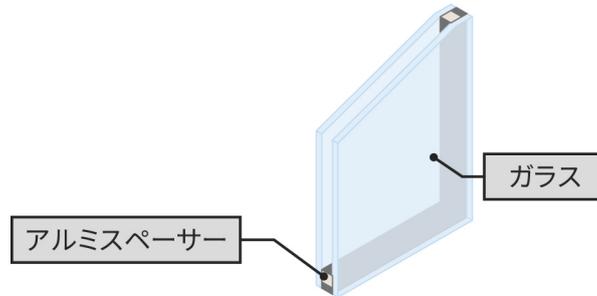


図 2-45 複層ガラス

また、ガラスとアルミスペーサーとは、一次シール（PIB：ポリイソブチレン）と二次シール（ポリサルファイドやシリコン）を使用して接着し、空気層が密閉されるようにしている。

以上から、複層ガラスの要求性能と、それを達成するための開発設計との関連性を表 2-19 に整理した。

表 2-19 複層ガラスの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	ガラス	透過性の確保
	アルミスペーサー	空気層の形成による断熱性の向上
複合方法	一次シールと二次シールによる接着	空気層を密閉することによる断熱性の向上

合わせガラスを構成する材料は、ガラスと中間膜である（図 2-46）。中間膜には PVB（ポリビニルブチラール）が用いられることが一般的である。中間膜があることで、先述の通り、万一強い衝撃を受けても、ガラスの破片が飛散することを防止することが可能となる。また、中間膜は韌性が高いため、単体のガラスと比較して突き破ることが非常に困難となり、開口部の基本性能である防犯性を高めることができる。

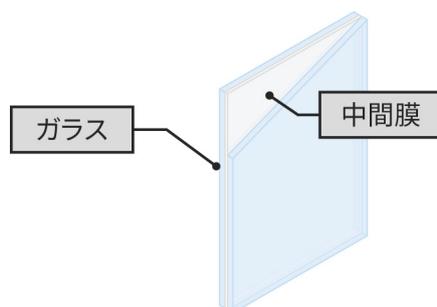


図 2-46 合わせガラス

また、ガラスと中間膜は、中間膜の粘着性を利用して一体化しており、上記のような合わせガラスの特徴を確保している。

以上より、合わせガラスの要求性能と、それに対する開発設計との関連性を表 2-20 に整理した。

表 2-20 合わせガラスの開発設計とそのねらい

開発設計		ねらい
構成材料	ガラス	透過性の確保
	中間膜	<ul style="list-style-type: none"> ・ ガラス破損時の脱落防止 ・ 突き破りに対する抵抗の向上
複合方法	中間膜の粘着性を利用した接着	一体化による

製造

MD 社では、素板と呼ばれる、複層ガラスや合わせガラスのもとになる板ガラスの製造を行う工場と、素板を受け入れて複層ガラスや合わせガラスに加工する工場に分かれている。

MD 社における素板には、フロート法で製造されるフロート板ガラスと、ロールアウト法で製造される型板ガラス⁶⁶、そして、オンライン CVD (Chemical Vapor Deposition) 法で製造される反射膜加工ガラス⁶⁷がある (図 2-47)。

⁶⁶ 表面に型模様を彫り込んだガラスで、光を拡散し視界を適度に遮るという特徴がある

⁶⁷ 表面に特殊な薄い金属膜を付着させたガラスで、日射エネルギー反射性能が高い

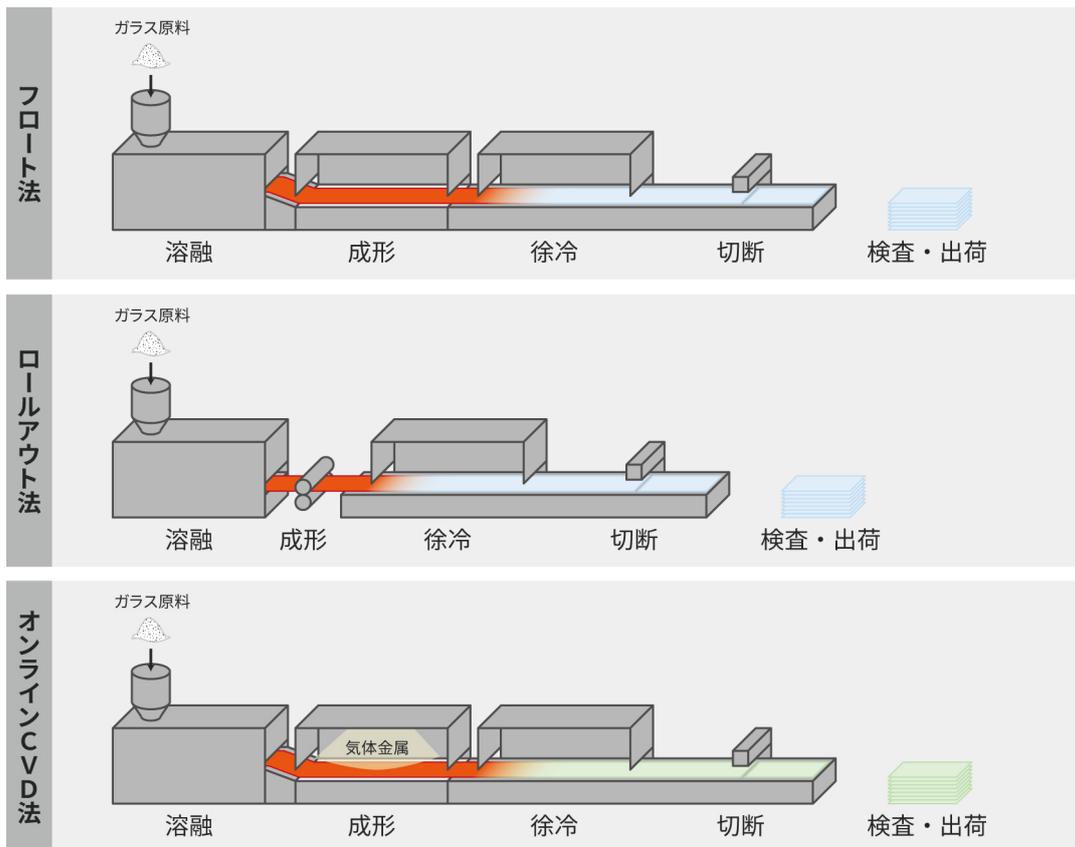


図 2-47 素板の製造工程

フロート法とは、錫とガラスの比重差を利用して、溶融した錫の上に溶融したガラスを浮かべて製板する方法である。約 $1,600^{\circ}\text{C}$ まで加熱して溶融したガラスを、溶融錫の敷かれた炉（フロートバス）に流し込むことで、平滑な板ガラスを成形することができる。こうして成形されたガラスを、徐々に冷却しながら連続的に引き出す。この際に、引き出す速度を調整することで、板ガラスの厚みを替えることができる。徐冷が終了した板ガラスは、洗浄を行って、所定の寸法に切断をし、完成となる。

ロールアウト法とは、溶融したガラスを 2 本の水冷ロールの間に通して製板する方法である。2 本のロールのうち、下側のロールに模様が施されており、連続して模様を転写することができる。MD 社では、現在ロールアウト法のラインは停止しているため、型板ガラスの製造は行っておらず、国内では 1 社のみが現在でも型板ガラスを製造しているとのことであった。

オンライン CVD 法とは、フロートライン上で気体状の金属原料から化学反応を経て、ガラス表面に金属薄膜をコーティングする方法である。フロートライン上で加工が可能のため、大面積・大量生産が可能となっている。これによって製造された反射膜加工ガラスは、Low-E 複層ガラス等に加工される。

こうして製造された素板を使用し、複層ガラスや合わせガラスを製造する。

複層ガラスの製造工程は、まず、素板を製品寸法に切断し、表面を洗浄して乾燥させる。並行して、アルミスペーサーを枠状に組み立て、内部に乾燥剤を封入する。このアルミスペーサーに一次シールを貼り、2枚の板ガラスを貼り合わせる（ペアリング）。ペアリングが終わった複層ガラスの周囲に二次シールを貼り、養生をして検査を行い、完成となる（図 2-48）。

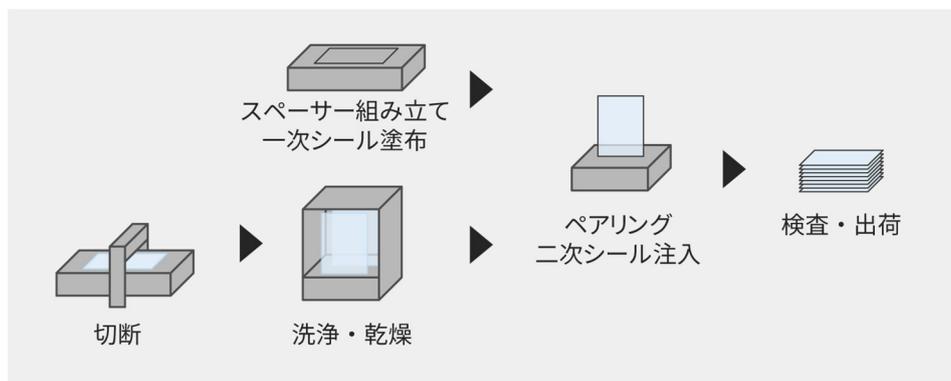


図 2-48 複層ガラスの製造工程

合わせガラスの製造工程は、まず、素板を製品寸法に切断し、表面を洗浄して乾燥させる。こうしてできた板ガラスは、クリーンルーム内で中間膜と貼り合わせ、脱気と予備圧着を行って仮接着をする。その後、10気圧・150℃のオートクレーブ窯で本接着をして検査を行い、完成となる（図 2-49）。

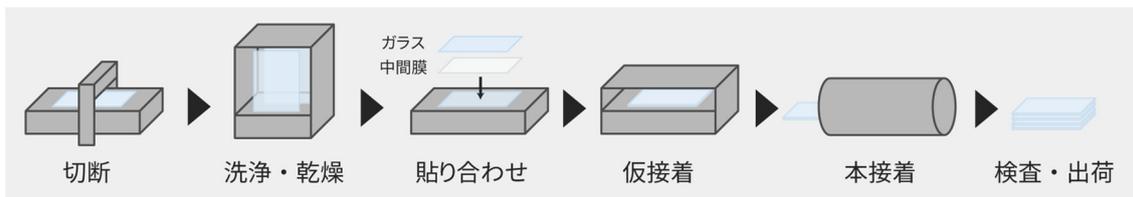


図 2-49 合わせガラスの製造工程

MD社の発生する工場端材は、素板製造工程・複層ガラス製造工程・合わせガラス製造工程によって異なる。

素板製造工程の工場端材には、所定の寸法に切断する際に発生する切断くずがある。フロート法で製造する場合、引き出された板ガラスの短手方向の両端は直線状にはなっていないため、両端を切り落とす必要があるためである。切断くずはガラス単体で発生し、全量を場内で破碎した後、ガラス原料として再利用している。ただし、オンラインCVD法で製造された反射膜加工ガラスは、金属薄膜が付着しているため、フロートラインには戻すことができないが、オンラインCVD法によるラインには戻すことが可能であるため、反射膜加工ガラスの原料として再利用している。

複層ガラス製造工程の工場端材には、ペアリング前の製品寸法に加工する際に発生する切断くずと、検査時に品質を満たさなかった不良品がある。切断くずはガラス単体で発生し、素板の種類（フロート板ガラス／反射膜加工ガラス）によって再利用先が異なるが、いずれも原料として再利用している。一方で、不良品に関しては、ガラスとアルミスペーサーの複合品であるため、スペーサー部分を切断して、ガラスは原料として再利用している。スペーサー部分は、場内ではこれ以上の分離ができないため、産業廃棄物として処理を委託している。

合わせガラス製造工程の工場端材には、中間膜の貼り合わせ前の製品寸法に加工する際に発生するガラス単体の切断くずと、貼り合わせで発生する中間膜の切断くず、検査時に品質を満たさなかった不良品がある。ガラス単体の切断くずは、複層ガラスと同様にガラス原料として再利用している。中間膜の切断くずは、貼り合わせた際に2枚のガラスの間からはみ出た部分を切り落とすことで発生する。これは、中間膜を製造している業者によって引き取られ、中間膜の原料として再利用しているとのことであった。一方で、不良品に関しては、ガラスと中間膜が一体化しており、場内での分離ができないため、産業廃棄物として処理を委託している。

以上、工場端材の利用状況を図 2-50 にまとめた。

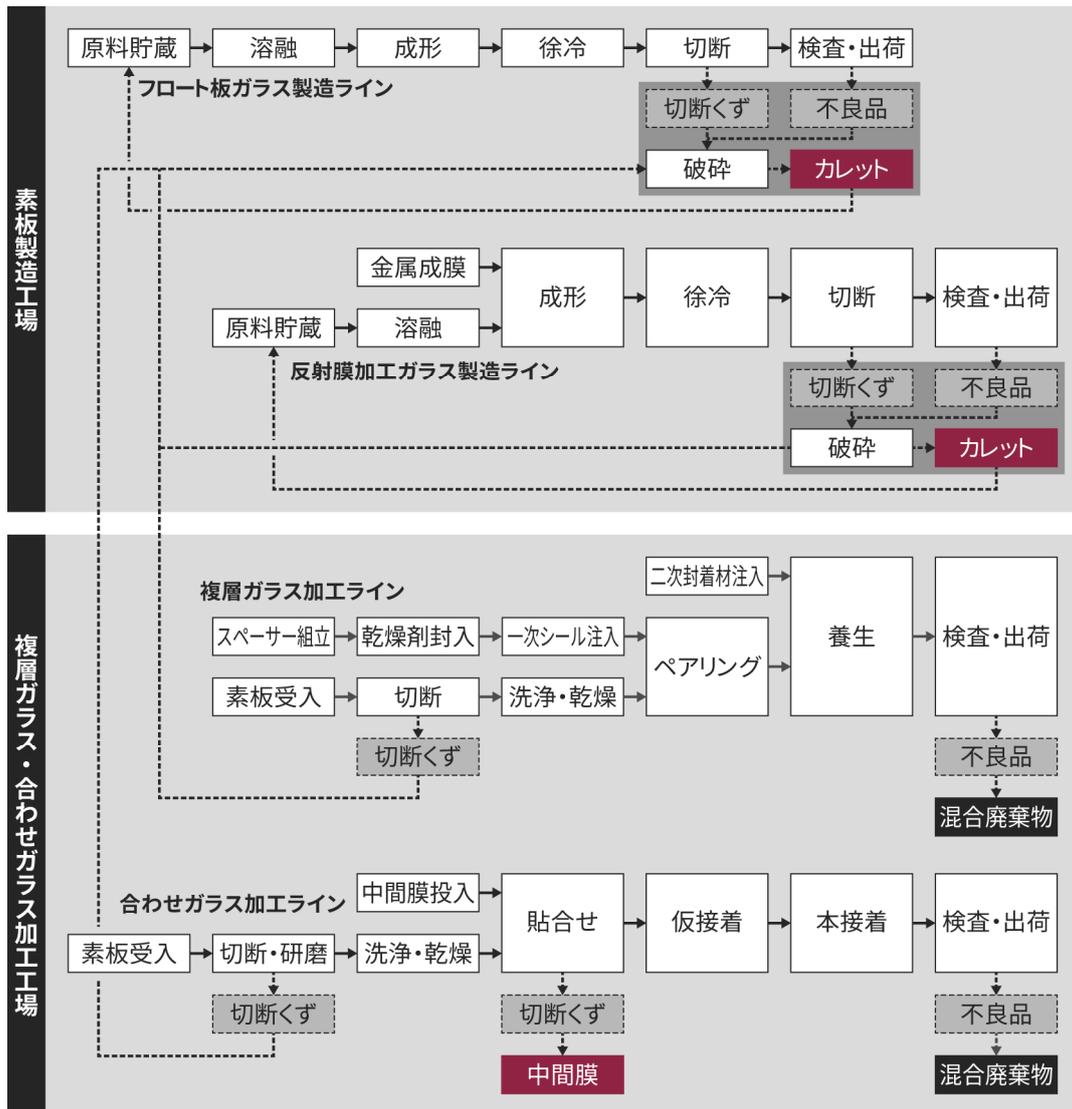


図 2-50 MD 社における複層ガラス・合わせガラスの工場端材の処理工程

原材料の観点から見ると、MD 社では各製造工程で発生する工場端材のうち、ガラス単体のものに限って、そのほとんどをガラスの再生原料として利用していることが分かる。ガラスの主原料のうち、工場端材のようなカレットは 40.9 % (図 2-51) と最も多い。カレットを利用することで、ガラス原料の融点を下げることができ、溶融に係るエネルギーを削減するというメリットがある。一方で、融点でガラスの線膨張係数が決定されるため、融点を下げすぎると強度等に問題が発生するため、これ以上のカレットの利用は困難であるとの意見が見られた。加えて、カレット以外のバーゲン材を現状程度使用しないと、ガラスの耐久性や強度、摩耗性といった基本性能を担保することができないという見解もある。

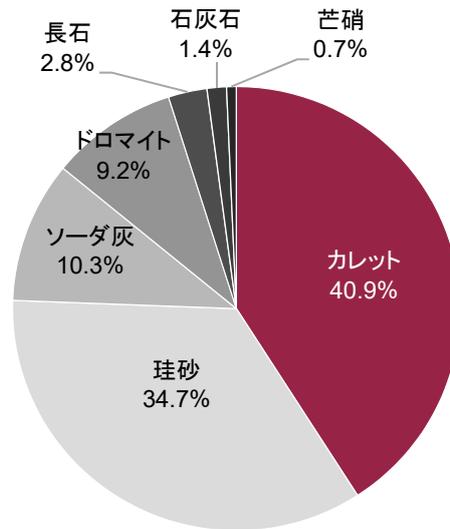


図 2-51 ガラス原料の内訳（統計資料 [30]⁶⁸より作成）

また、ガラス原料は1,600℃という高温で熔融することから、落ち葉等の有機系の異物は炉内で焼失するため、問題はない。しかし、金属類は高温であっても熔け残ってガラス内の気泡や黒点の発生原因となってしまう、フロート板ガラスのような高い透視性を必要とするガラスでは致命的となる。一方で、型板ガラスの場合は、高い透視性を必要としないため、ある程度の気泡や黒点は許容可能となる。

以上より、複層ガラス及び合わせガラスの資源循環性と製造実態との関連性を整理し、表 2-21 及び表 2-22 それぞれにまとめた。

両者に共通して使用しているガラスは、その原材料中に各製造工程で発生するガラス単体の工場端材のほとんどを再利用しており、その割合は4割に上る。しかし、それ以上のカレット利用は、ガラスの品質上困難とされる。また、合わせガラスの中間膜に関しても、単体で発生する工場端材のほとんどを、中間膜製造業者を通して再利用している。

新築端材や解体材については、現時点で回収システムは確立されていない。仮にそれらを再利用する際には、有機系の異物は許容可能であるが、金属系の異物は確実に除去をする必要がある。異物の許容範囲が広い型板ガラスへの再利用は可能性があると考えられるが、国内で型板ガラスを製造している業者は1社のみであることから、型板ガラスの国内需要が小さいことに留意する必要がある。

⁶⁸ 経済産業省経済産業政策局調査統計部，平成13年 窯業・建材統計年報，財団法人 経済産業調査会，2002.

表 2-21 複層ガラスの製造実態と資源循環性の関連性

製造		資源循環性
構成材料	ガラス	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材のほとんどを再利用している（40 %程度） 現状以上の端材利用は品質上難しい
	アルミスペーサー	—
複合方法	一次シールと二次シールによる接着	分離は困難である
端材利用状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> ガラス単体のものは原料として再利用しているが、成分の違いに注意する必要がある ガラスとアルミスペーサーが複合しているものは、場内で分離できず処理を委託している
	新築端材	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムがない 異物の種類によっては再利用が見込める
	解体材	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムがない 異物の種類によっては再利用が見込める

表 2-22 合わせガラスの製造実態と資源循環性の関連性

製造		資源循環性
構成材料	ガラス	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材のほとんどを再利用している（40 %程度） 現状以上の端材利用は品質上難しい
	中間膜	工場端材のほとんどを、中間膜製造業者を通して再利用している
複合方法	中間膜の粘着性を利用した接着	分離は困難である
端材利用状況	工場端材	<ul style="list-style-type: none"> ガラス単体のものは原料として再利用しているが、成分の違いに注意する必要がある ガラスと中間膜が一体化しているものは、場内で分離できず処理を委託している
	新築端材	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムがない 異物の種類によっては再利用が見込める
	解体材	<ul style="list-style-type: none"> 回収システムがない 異物の種類によっては再利用が見込める

2.1.10. フラッシュドア (MG 社)

概要

フラッシュドアは、枠組みをした木を芯材として、表面に化粧シートを貼り付けた扉のことで、主に住宅用内装扉として使用される。無垢材による扉と比較して軽量であり、施工性に優れていることから、現代では住宅に広く使用されている。

開発設計

フラッシュドアを構成する材料は、芯材の LVL⁶⁹と合板またはパーティクルボード、表面材の MDF と化粧シート、木口に使用する木口テープである (図 2-52)。LVL と合板・パーティクルボードで芯材を構成することで、建具内に中空層を形成することができ、軽量化を図ることができる。また、表面材に MDF を使用することで、複合フローリングと同様に、平滑性を向上させることができ、その上に貼る化粧シートの凹凸を抑えることができる。化粧シートには天然木薄板やオレフィンシートを使用することが一般的で、これも複合フローリングと同様に、求める性能に応じて使い分けている。木口テープは、断面を平滑にするために使用しており、ABS 樹脂等が多く利用されている。

芯材の LVL と合板・パーティクルボード、表面材の MDF と化粧シート、芯材と表面材とは、酢ビ系の接着剤を使用して一体化している。また、木口テープは、エチレン酢酸ビニルを使用して接着させている。こうして一体化をすることで、無垢材による扉と比較して軽量化を図り施工性を高めつつ、強度を確保している。

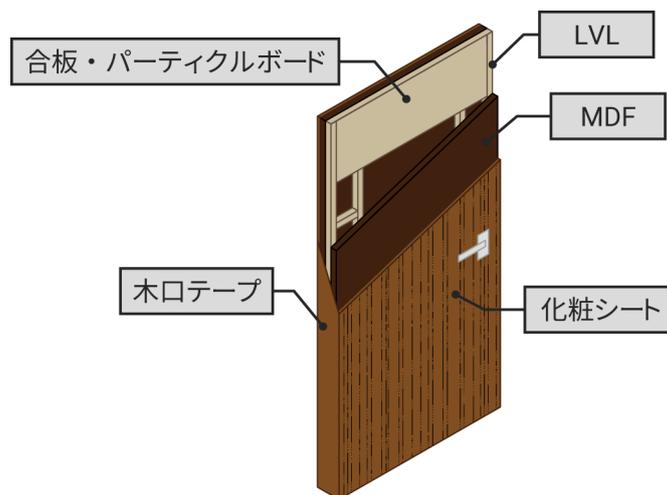


図 2-52 フラッシュドア

⁶⁹ Laminated Veneer Lumber (単板積層材) のことで、単板の繊維方向をすべて平行にして積層させた木質材料

以上から、フラッシュドアの要求性能と開発設計との関連性を表 2-23 にまとめた。

表 2-23 フラッシュドアの開発設計のねらい

開発設計		ねらい
構成材料	LVL	建具の軽量化
	合板・パーティクルボード	
	MDF	平滑性の確保
	化粧シート	耐久性や防汚性の向上
	木口テープ	平滑性の確保
複合方法	酢ビ系接着剤による一体化	建具としての強度と軽量化による施工性の確保

製造

MG 社におけるフラッシュドアの製造工程（図 2-53）では、まず、芯材となる LVL で枠を組み、一部の枠組みに合板、あるいはパーティクルボードを貼り付ける。こうしてできた芯材に対して、両側から表面材（化粧シートを貼り付けた MDF）を貼り合わせて、木口に木口テープを貼り付ける。その後、取っ手等の金具を取り付ける穴を加工して、金具を取り付け、検査を行って完成となる。

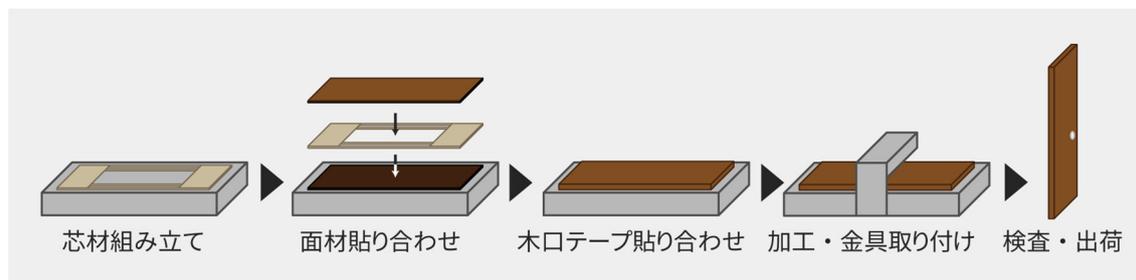


図 2-53 フラッシュドアの製造工程

複合フローリングの製造工程では、芯材の組み立てや加工の際の切断くずや加工くず、検査時に品質を満たさなかった不良品が、工場端材として発生する。構成材料同士は接着剤で一体化していることから、複合フローリングと同様に分離は困難であるとの見解であった。しかし、可燃性の構成材料のみであることから、分離をしなくても問題がないボイラー燃料として、場内で再利用している。加えて、切断くずや加工くずのような木粉については、圧力を加えて固化し、木質ペレット（固形燃料）として再利用している。

また、MG 社では、広域認定制度を利用した新築端材や解体材の回収は行っていない。ただし、内装扉という性質上、新築端材は殆ど発生しないと考えられる。

以上、フラッシュドアの製造工程における工場端材の利用状況を図 2-54 にまとめた。

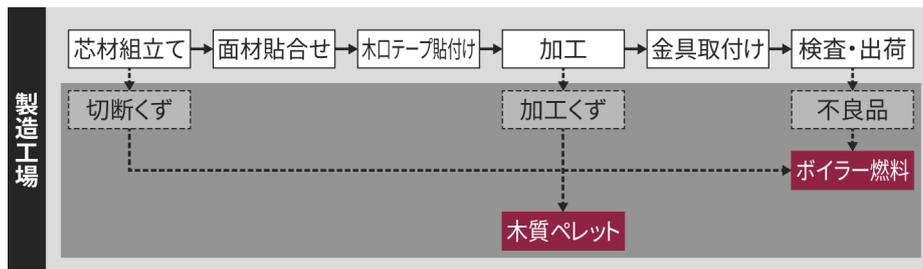


図 2-54 MG 社におけるフラッシュドアの工場端材の利用状況

フラッシュドアの製造を、原材料の観点から見ると、複合フローリングと同様に、MDFの原料の一部に、合板製造時の端材を使用しており、これは再生原料といえる。また、芯材のパーティクルボードには、柱梁等の解体木材を原料として利用しており、これも再生原料といえる。

以上より、フラッシュドアの資源循環性と製造実態との関連性を、表 2-24 に整理した。

いずれの構成材料にも、工場端材や新築端材等は使用していないが、燃焼させても問題がない材料であることから、サーマルリサイクルが可能となっており、実際に工場端材をボイラー燃料として再利用している。また、木粉状の工場端材に関しては、同じサーマルリサイクルであっても、木質ペレットという製品にしており、新たな価値を創出しているといえる。MDF に関しては、複合フローリングと同様に、合板製造時の端材という再生原料を使用している。加えて、パーティクルボードは解体材を原料として使用しており、解体材の再資源化先として有望な構成材料となっている。

一方で、新築端材や解体材に関しては、回収システムが存在しておらず、場内での再利用も想定していない。

表 2-24 フラッシュドアの製造実態と資源循環性との関連性

製造		資源循環性
構成材料	LVL	サーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）をすることができる
	合板・パーティクルボード	<ul style="list-style-type: none"> サーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）をすることができる パーティクルボードは、原料に解体木材を利用している
	MDF	<ul style="list-style-type: none"> サーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）をすることができる 原料に合板の端材を利用している
	化粧シート	サーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）をすることができる
	木口テープ	
複合方法	酢ビ系接着剤による一体化	<ul style="list-style-type: none"> 分離は困難 分離をしなくてもサーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）が可能である
端材利用状況	工場端材	サーマルリサイクル（ボイラー燃料、木質ペレット）を実施している
	新築端材	回収システムが存在しておらず、原料としての再利用も想定していない
	解体材	

2.2. 各複合建材の中間処理・再資源化

本節では、複合建材のライフサイクルの静脈側に着目して、建築物の解体後の中間処理の実態を整理する。先述の通り、中間処理や再資源化の水準（以下、処理水準）の違いを広く調査し、複合建材の再資源化可能性を可能な限り把握するために、設立の経緯や再資源化の目標が異なる3社をヒアリング調査の対象とした。

WA社は、工務店やゼネコンを主要取引先として建設廃棄物を中心に扱う、一般的な中間処理を行う業者である。それに対して、WB社は、住宅メーカーの新築・リフォーム施工現場で発生した建設廃棄物の分別を徹底的に行う業者である。本研究では、WA社を一般的な処理水準、WB社を高度な処理水準として、その処理フローを把握し、複合建材の処理実態を整理することで、複合建材の再資源化可能性を明らかにする。また、廃石膏ボードを専門に取り扱い、再資源化を行っているWC社についても調査を行ったため、石膏ボードの再資源化可能性を補足的に明らかにする。

本節の中心となるヒアリング調査と、各項の対応について表 2-25 にまとめた。

表 2-25 処理水準の分類と本節における各項との対応

処理水準	特徴	調査先	対応する項
一般的	建設廃棄物を中心に扱う一般的な中間処理業者	WA社	2.2.1
高度	住宅メーカーの現場で発生する建設廃棄物を徹底的に分別する中間処理業者	WB社	2.2.2
—	廃石膏ボード専門の再資源化業者	WC社	2.2.3

2.2.1. 一般的な処理水準（WA社）

概要

WA社は、北海道に所在する建設廃棄物を主に取り扱っている産業廃棄物処理業者である。主要な取引先は地元の工務店やハウスメーカーであるため、住宅の新築施工現場、リフォーム施工現場、解体現場から発生する建築系廃棄物をメインに取り扱っている。

中間処理を行う施設と、最終処分を行う安定型最終処分場⁷⁰を保有しており、産業廃棄物の収集運搬、中間処理、最終処分を主な業務内容としている。社員数は35名と、中規模の産業廃棄物処理業者である。

建築系廃棄物の処理フロー

WA社では、全ての品目で収集運搬・処分業の許可を取得しているが、一部、PCB等の特別管理産業廃棄物は実際には取り扱っていない。2018年10月におけるWA社の産業廃棄物受け入れ実績を表2-26にまとめた。自社で収集運搬をする産業廃棄物は合計2,552tで、排出事業者、あるいは排出事業者から委託された収集運搬業者によって持ち込まれた産業廃棄物の3倍以上となっている。なお、自社収集運搬・持ち込みにある混合廃棄物は、集計上の項目であり、本来の意味の混合廃棄物（廃棄物が混載された状態）だけではなく、木くずや廃プラスチックといった品目も含まれている。

表 2-26 WA社における産業廃棄物の受入実績（2018年10月）⁷¹

収集形態	品目	受け入れ実績 / t
自社収集運搬	混合廃棄物	1,920
	石膏ボード	110
	がれき類	522
持ち込み	混合廃棄物	509
	木くず	261

排出事業者によって異なるが、受け入れる廃棄物は、分別された状態ではなく、混載された混合廃棄物の状態であることがほとんどであるとのことであった。これは、廃棄物が発生する現場が狭小であることが多く、廃棄物を回収するコンテナを多く設置することができずに、やむなく混載することになってしまうためである。また、現場での分別を徹底するように指導してしまうと、同業他社に処理を委託するようになってしまい、取引先が減少して

⁷⁰ 有害物質や有機物等が付着しておらず、雨水等にさらされてもほとんど変化しない廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラスくず・コンクリートくず・陶磁器くず、がれき類を埋め立てることができる最終処分場

⁷¹ WA社提供資料より作成

しまうことも要因として挙げられる。そのため、WA社では、石膏ボードが雨に濡れないように対処すること、混載する場合でも安定型品目に管理型品目⁷²を入れないようにすること等の最低限の指導に留め、基本的に混合廃棄物で受け取るということを念頭に、処理フローを構築している。

受け入れた産業廃棄物は、中間処理を行う施設の一角にある選別エリアに運搬され、重機を使用して一定量を展開して人手による選別を行う(図 2-55)。選別は4人+重機操作1人の計5人1班で行う。選別方法としては、展開された廃棄物(基本的に混合された状態)の中で、最も多い廃棄物以外の廃棄物を選別する。例えば、木くずを多く含む混合廃棄物の場合、木くず以外の廃プラスチック類や金属くず等が選別対象となる。なお、選別をするかしないかについては、選別後の処分方法とそれに係る費用と、選別に係るコスト(人件費・重機の燃料費等)とを比較検討しながら判断しているとのことであった。選別された廃棄物は、大きく管理型品目となるもの、安定型品目となるものの2種類に管理されており、処分方法や搬出先ごとに細分類化して集積している(図 2-56)。



図 2-55 選別エリアの様子(左)と選別作業の様子(右)⁷³



図 2-56 選別後の集積の様子⁷³

こうして選別された廃棄物は、場内でさらに中間処理を行うものと、場内では中間処理を

⁷² 安定型最終処分場の許可品目(安定型品目)以外の品目のこと

⁷³ 筆者撮影

行わず、再委託や売却をするものの2種類に分けられる。場内でさらに中間処理を行うものは、主に木くずである。WA社では、保有している破砕機で木くずを破砕し、バイオマス発電・ボイラー用のチップとして製品化している（図 2-57）。なお、バイオマスボイラー用の木チップには、含水率の高い伐根材等を使用することができない一方で、バイオマス発電用の木チップには伐根材を使用できるといったように、要求品質が異なる。これに伴って、バイオマスボイラー用の木チップの方が、バイオマス発電用の木チップよりも売却価格が高くなっている。



図 2-57 選別後の木くず（左）と破砕の様子（右）⁷⁴

それ以外の廃棄物は、場内で中間処理を行わず、売却をするもの（金属くず）、再委託をして再資源化するもの（がれき類、紙くず、金属サイディング、一部の石膏ボード）、再委託をして中間処理・最終処分をするもの（廃プラスチック類、混合廃棄物、石膏ボード）、自社で保有している安定型最終処分場に搬出するもの（がれき・ガラス陶磁器くず）に分けられる。

売却をする金属くずには、アルミサッシや屋根板金、カスケードガレージ、鉄筋等が該当する。それらは選別ののち集積をして、金属問屋等へ売却をする。

再資源化を委託するがれき類は、近隣自治体に所在する中間処理業者へ再委託をし、そこで路盤材等に再資源化される。紙くずは、近隣自治体に所在する古紙再資源化業者へ再委託をし、そこで紙原料として再資源化した後、以前は中国へ輸出、現在は国内で利用している。金属サイディングは、隣接の自動車をメインに扱っている中間処理業者へ再委託をし、そこで破砕・分離をおこなって金属を売却している。また、一部の石膏ボードについては、石膏ボードメーカーや近隣自治体の中間処理業者に再委託をして、石膏ボードの原料や土壌改良材として再資源化しているが、ごく微量（1t/月）である。

中間処理・最終処分を委託する廃プラスチック類は、そのほとんどを近隣自治体に所在する安定型最終処分場を保有している業者へ搬出している。一部中国などへ輸出を行っているが、全体の1%程度と非常に少なく、樹脂サッシやモールといった塩素を含有している不燃建材はリサイクルできない。WA社では安定型最終処分場を保有しているが、残存容量が

⁷⁴ 筆者撮影

限られているため、他社へ委託しているとのことであった。混合廃棄物は、近隣自治体にある中間処理施設で焼却した後に、管理型最終処分をしている。石膏ボードは、混合廃棄物と同様の中間処理業者へ委託をして、管理型最終処分をしている。

がれき・ガラス陶磁器くずは、廃プラスチック類と異なり、自社が保有する安定型最終処分場へ搬出する。

以上の選別後の建築系廃棄物とその処分・再資源化方法を表 2-27 にまとめた。

表 2-27 選別後の建築系廃棄物の処分・再資源化方法（搬出量は 2018 年 10 月実績）⁷⁵

分類	建築系廃棄物	搬出量 / t	処分・再資源化方法
製品化する 廃棄物	木くず	522	破碎してバイオマス発電用チップとして製品化
		240	破碎してバイオマスボイラー用チップとして製品化
有価売却する 廃棄物	金属くず	72	金属類を集積して売却
再委託先で 再資源化する 廃棄物	がれき類	70	再委託先で路盤材として再資源化
	紙くず	38	再委託先で古紙として再資源化
	金属サイディング	26	再委託先で分離した後、金属を売却
	石膏ボード	1	再委託先で石膏ボード原料・土壌改良材として再資源化
再委託先で 最終処分する 廃棄物	廃プラスチック類	297	再委託先で安定型最終処分
	混合廃棄物	115	再委託先で焼却した後、管理型最終処分
	石膏ボード	27	再委託先で管理型最終処分
自社内で 最終処分する 廃棄物	がれき・ ガラス陶磁器くず	133	安定型最終処分

複合建材の処理状況

WA 社では、調査対象としている 13 建材に関して、受け入れ量の大小はあるがほとんどを受け入れている。

受け入れ時点での状態は、先述の通り混載されている場合がほとんどであるが、廃棄物そのものには異物等が付着していることはあまりなく、単体で搬入されてくることが多いとのことであった。受け入れ後の選別は、先述の建築系廃棄物の処理フローに沿って行われる。

⁷⁵ WA 社提供資料より作成

ALC パネル

ALC パネルは、自社内で最終処分する廃棄物（がれき・ガラス陶磁器くず）に該当する（図 2-58）。補強材（鉄線や溶接金網）が有価物として売却できるが、分離に係るコストと売却で得られる利益とのバランスを勘案して、他のがれき・ガラス陶磁器くずとともに集積しほとんどが最終処分となっている。

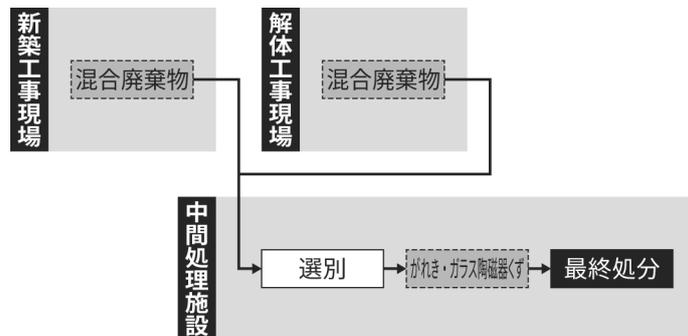


図 2-58 WA 社における ALC パネルの処理工程

金属サイディング・金属屋根材

金属サイディング・金属屋根材は、再委託先で再資源化する廃棄物に該当する（図 2-59）。カラー鋼板が有価物として売却できるが、ALC パネルと同様、分離に係るコストと売却で得られる利益とのバランスを勘案して、場内では分離を行っていない。先述の通り、WA 社の近隣に自動車をメインに扱っている中間処理業者があるため、そこに再委託をし、カラー鋼板と芯材・裏面材とを機械分離した後、カラー鋼板を有価物として売却している。芯材・裏面材については、その処分方法を把握することができなかった。

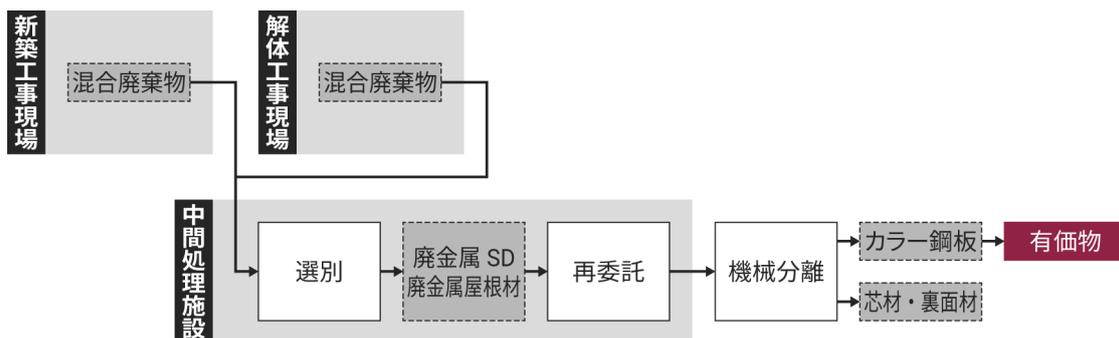


図 2-59 WA 社における金属サイディング・金属屋根材の処理工程
（図中の SD=サイディング）

窯業系サイディング・化粧スレート

窯業系サイディング・化粧スレートは、再委託先で最終処分をする廃棄物に該当する（図 2-60）。場内では、他の管理型品目とまとめて集積し、再委託先で管理型最終処分を行っている。

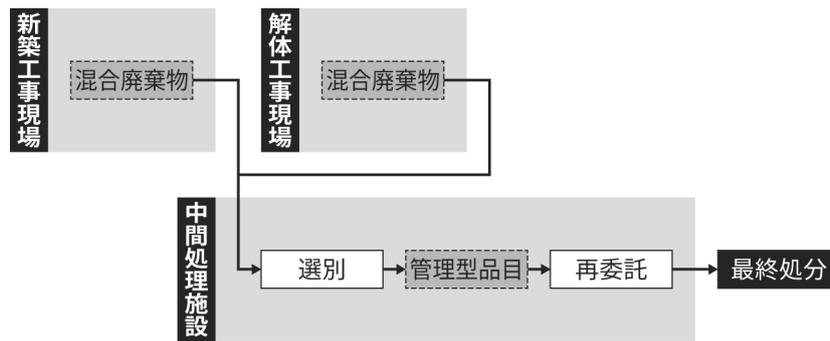


図 2-60 WA 社における窯業系サイディング・化粧スレートの処理工程

石膏ボード

石膏ボードは、先述の通りそのほとんどが再委託先で最終処分する廃棄物に該当し、一部、再委託先で再資源化する廃棄物に該当する（図 2-61）。最終処分を行う業者が再資源化を行う業者のどちらかに再委託するかは、廃棄物の状態や、委託費用によって決まる。

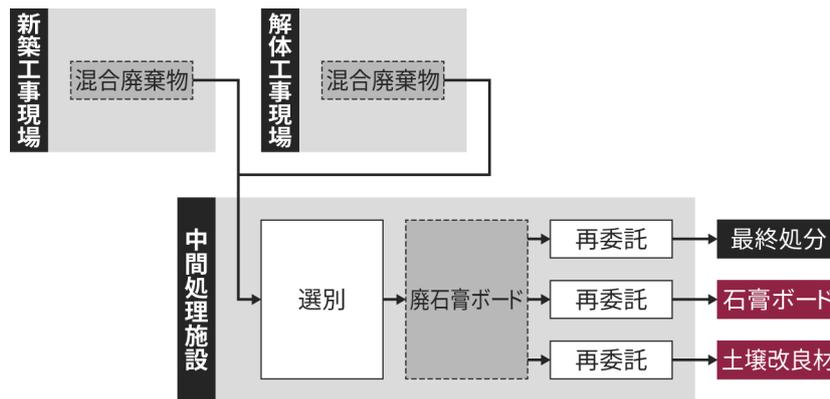


図 2-61 WA 社における石膏ボードの処理工程

複合フローリング

複合フローリングは、製品化する廃棄物（木くず）に該当する（図 2-64）。これらの廃棄物は伐根材ではないため、場内の破砕機で破砕し、品質の高いバイオマスボイラー用チップとして製品化している。

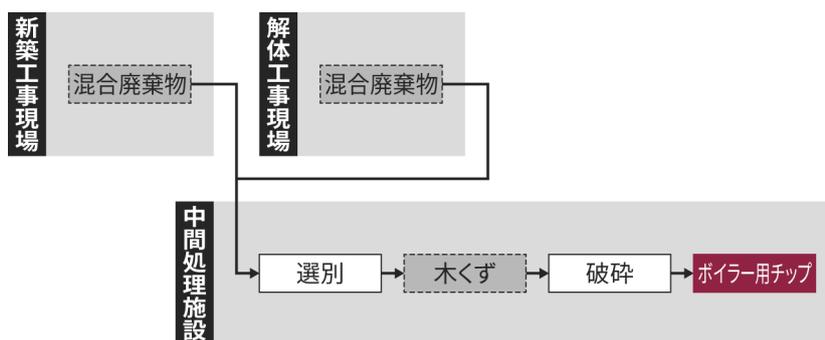


図 2-62 WA 社における複合フローリングの処理工程

不燃化粧壁材

不燃化粧壁材の取り扱いについては、実績がなかったが、無機系の構成材料がメインであることや、構成材料の分離に手間がかかることから、他の安定型品目とまとめられ、安定型最終処分を行うことが想定されるとの見解を示していた。

ロックウール化粧吸音板

ロックウール化粧吸音板の取り扱いについては、実績がなかったが、無機系の構成材料がメインであることや、構成材料の分離に手間がかかることから、他の安定型品目とまとめられ、安定型最終処分を行うことが想定されるとの見解を示していた。

アルミ樹脂複合サッシ

WA 社では、アルミ樹脂複合サッシをほとんど取り扱っていない。これは、北海道の新築住宅に採用されるサッシは樹脂サッシが主流であること、樹脂サッシが採用される以前の住宅では、ほとんどがアルミサッシであるため、アルミ樹脂複合サッシの廃棄物がほとんど発生しないことが理由として挙げられる。仮に搬入されてきた場合は、アルミが有価物として売却できるため、硬質 PVC が付着したまま金属間屋等に売却をすると予想されることであった。

複層ガラス・合わせガラス

複層ガラス・合わせガラスは、自社内で最終処分する廃棄物に該当する（図 2-63）。搬入時はサッシに取り付けられた状態（窓状のもの）のもの、ガラスだけ取り外した状態のもの、割られているものの 3 種類の状態がある。最も多いのは、サッシに取り付けられた状態のもので、重機で粗破砕した後、サッシと分別して自社内で安定型最終処分をするか、分別せずに安定型最終処分をする。どちらの処理方法を選択するかは、サッシの売却価格⁷⁶と分別に係るコストとのバランスによる。次に多いのがガラスだけ取り外した状態のもので、重機による選別時に割れるのを防ぐため、ブルーシートなどで包んで集積し、安定型最終処分をす

⁷⁶ 解体材として搬入されるサッシは、ほとんどがアルミサッシであるため売却が可能である

る。最も少ないのが割られているもので、全体の約 10 %程度である。割られているものも安定型最終処分となる。

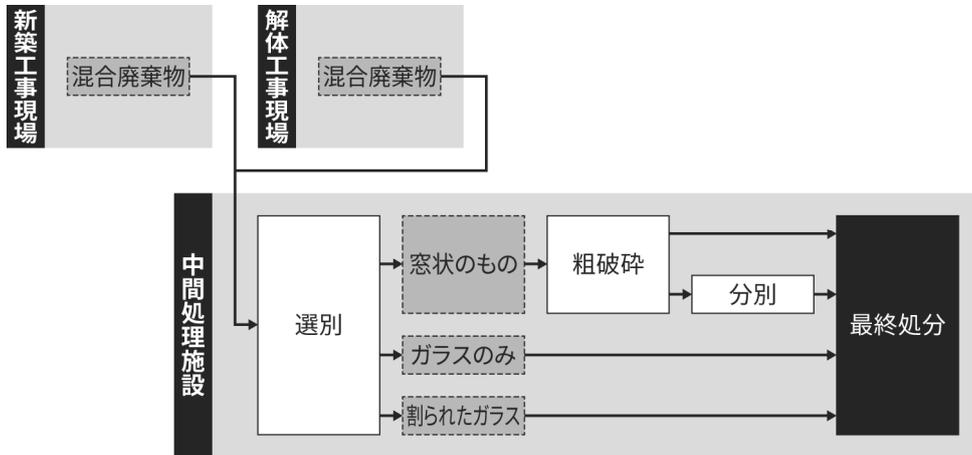


図 2-63 WA 社における複層ガラス・合わせガラスの処理工程

フラッシュドア

フラッシュドアは、製品化する廃棄物（木くず）に該当する（図 2-64）。これらの廃棄物は伐根材ではないため、場内の破砕機で破砕し、品質の高いバイオマスボイラー用チップとして製品化している。

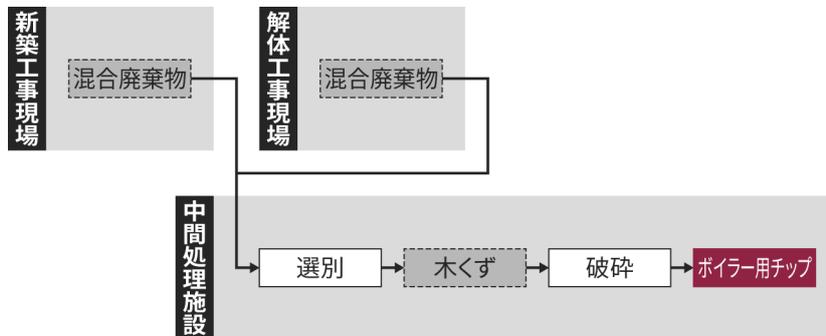


図 2-64 WA 社におけるフラッシュドアの処理工程

2.2.2. 高度な処理水準 (WB 社)

概要

WB 社は、茨城県に所在する建築系廃棄物を取り扱っている産業廃棄物処理業者である。WB 社では、単純焼却や最終処分を可能な限り行わないという方針のもと、住宅メーカーの新築施工現場やリフォーム施工現場と連携して、発生した廃棄物を現場で細かく分別し、それらをリサイクル拠点（茨城県）に回収して、さらに徹底的に分別を行い、再資源化を行っている。

調査を行った茨城県のリサイクル拠点では、関東一円を回収エリアとしている。

建築系廃棄物の処理フロー

WB 社における建築系廃棄物の発生から中間処理までの大まかな処理フローは、以下の通りである（図 2-65）。

まず、新築施工現場やリフォーム施工現場で発生する廃棄物を、現場で分別をする。新築工事で発生する端材等の廃棄物に関しては、製材、石膏ボード、金属類といったように、廃棄物の種類に応じて 20 程度に分類して分別を行う。一方で、リフォームに係る解体工事で発生する解体材については、廃棄物の種類の他に、廃棄物の汚損状況や異物の付着状況を勘案した分類に基づいて分別を行う。

こうして現場で分別された廃棄物は、リサイクル拠点に運び込まれて、再資源化方法に応じてさらに約 80 種類に分別を行う。WB 社のリサイクル拠点では、場内で破砕等の処理を行って製品化する廃棄物、有価物として売却する廃棄物、再資源化を行う業者へ再委託する廃棄物の 3 ルートが存在する。それぞれ、製品化を行うための処理に応じた分別、有価売却が可能となる分別、再委託先の受け入れ基準に適合した分別を行い、それに適した処理を行う。

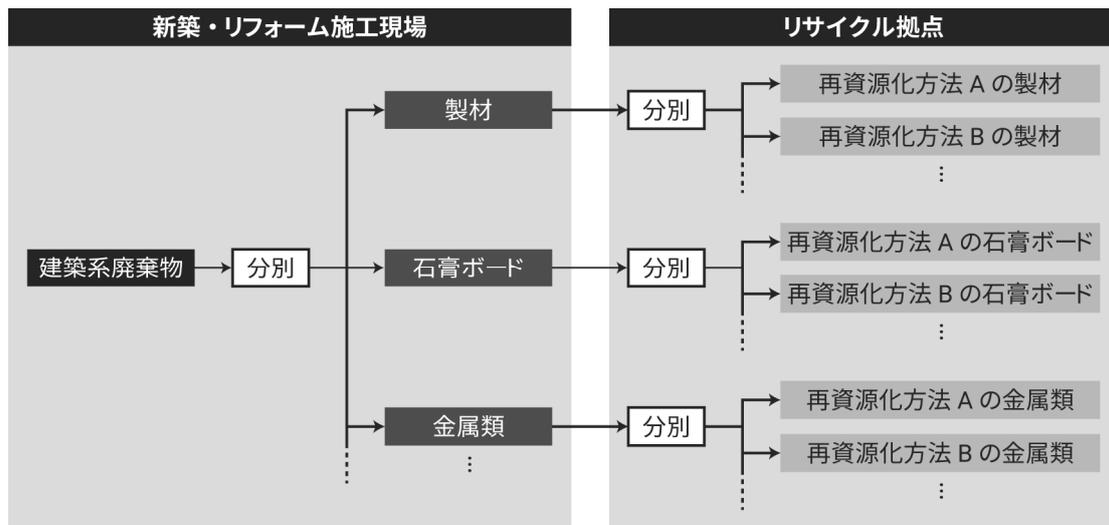


図 2-65 WB 社における建築系廃棄物の大まかな処理フロー

場内でさらに処理を行って製品化をする廃棄物には、木質系廃棄物と廃石膏ボードの一部、一部の廃プラスチック類（スチロール）がある。

木質系廃棄物のうち、製材等の良質なものは、場内の破砕機で破砕を行いパーティクルボードの原料用チップに、木質系以外の素材（オレフィンシートや銀フィルムなど）や MDF 等の繊維板と複合しているものは、同様に場内の破砕機で破砕を行い燃料用チップとして製品化をしている。

廃石膏ボードは、場内で粉砕して紙と分離を行い、石膏と卵の殻とを混合させたライン材を製造している。場内で製品化を行う石膏ボードは、搬入量の約半数である。

スチロールは、付着している異物を除去し、破砕をして溶融を行い、リペレット用のインゴットを製造している。

有価物として売却をする廃棄物には、金属類、電線、一部のプラスチック類（PP、PE）がある。

金属類は、大きく鉄と非鉄に分別して金属問屋等に売却をする。一般的に、非鉄金属の方が鉄よりも高く売却をすることができるが、非鉄金属の分別を行っても売却価格がそれほど高くない場合は、分別を行わずにまとめて売却をすることもあるとのことであった。

電線は、塩ビ被覆の電線に限り場内で破砕し、塩ビと銅を分離する。それぞれ塩ビ業者、金属問屋等に売却をする。

PP、PE は、異物を取り除いた後、圧縮をしてリペレット業者に売却をしている。

上記以外の廃棄物に関しては、再資源化を行う業者へ再委託を行う。再委託における再資源化方法は、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、ガス化溶融処

理⁷⁷の大きく4種類に分けられる。再委託先の選定・再資源化方法の決定に際しては、場内の分別能力が再委託先の受け入れ基準に適合させられるかが大きく影響する。また、水平リサイクルに関しては、再委託先が製造業者であることが一般的であり、製造業者における広域認定の取得の有無が、水平リサイクルの可否を決定している。このようにして検討を重ね、場内での分別が困難な場合には、ガス化溶融処理が選択される。

こうして、WB社では現場と密に連携を取りながら、再資源化方法に応じて最適な分別を徹底的に行うことで、再資源化を推進している。

以上より、WB社における建築系廃棄物の再資源化方法を表 2-28 にまとめた。

表 2-28 WB社における建築系廃棄物の再資源化方法

	建築系廃棄物	再資源化方法
製品化する 廃棄物	木質系廃棄物	破砕してパーティクルボード用チップとして製品化
		破砕して燃料用チップとして製品化
	廃石膏ボードの一部	粉碎・分離をしてライン材として製品化
	スチロール	破砕・溶融をしてリペレット用インゴットとして製品化
有価売却する 廃棄物	金属類	鉄・非鉄に分別して売却
	電線	破砕・分離をして塩ビ・銅ともに売却
	PP、PE	異物を除去して圧縮し売却
再委託して 再資源化する 廃棄物	上記以外の 建築系廃棄物	再委託先で水平リサイクル
		再委託先でカスケードリサイクル
		再委託先でサーマルリサイクル
		再委託先でガス化溶融処理

複合建材の処理状況

WB社では、調査対象としている13建材のほとんどを取り扱っており、それぞれ分別の上再資源化を行っている。

ALCパネル

ALCパネルは、再委託をする廃棄物に該当する(図 2-66)。現場では、他の外壁材やモル

⁷⁷ 廃棄物を熱分解し、生成した可燃性のガスと炭化した未燃焼物をさらに高温で燃焼させて、その燃焼熱で灰分・不燃物等を溶融する処理方法で、廃棄物の減容化が期待でき、溶融固化物であるスラグをリサイクルすることができる

タル、外構のコンクリートブロックといったがれき類とまとめて分別を行い、リサイクル拠点へと回収される。これらは、路盤材やセメント原料へと再資源化されている。場内では、そうした再委託先の受け入れ基準に合わせて、品質や成分ごとに分別を行っている。

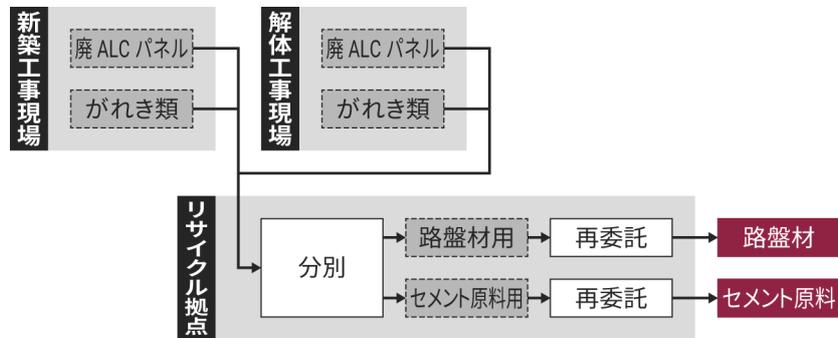


図 2-66 WB 社における ALC パネルの処理工程

金属サイディング・金属屋根材

金属サイディング・金属屋根材は、有価物として売却する廃棄物（カラー鋼板部分）と再委託をする廃棄物（芯材部分）に該当する（図 2-67）。場内ではカラー鋼板と芯材を手作業で分離し、カラー鋼板は金属問屋等に売却、芯材は再委託先でガス化溶融処理を行っている。

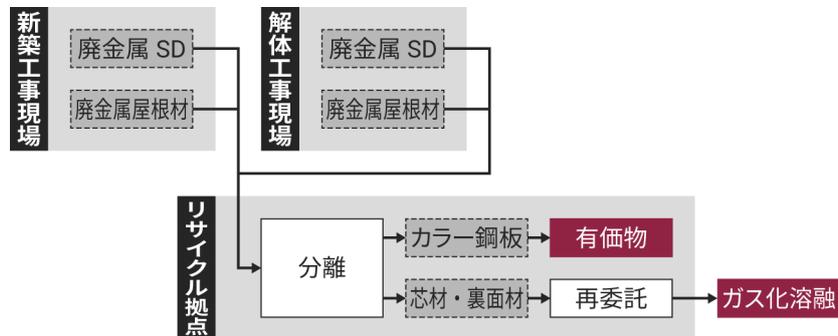


図 2-67 WB 社における金属サイディング・金属屋根材の処理工程
(図中の SD=サイディング)

窯業系サイディング

窯業系サイディングは、再委託をする廃棄物に該当する（図 2-68）。新築工事では、窯業系サイディングのみをまとめてリサイクル拠点へと回収されるが、解体工事では、断熱材や躯体等が付着するため、複合部材としてまとめて分別している。きれいな状態のもので、かつ広域認定を取得している製造業者のものは、メーカーへ再委託をして、窯業系サイディングの原料として再資源化している。広域認定のないものや、異物の付着が見られるものに関しては、ALC パネルと同様の再委託先で、路盤材やセメント原料として再資源化している。

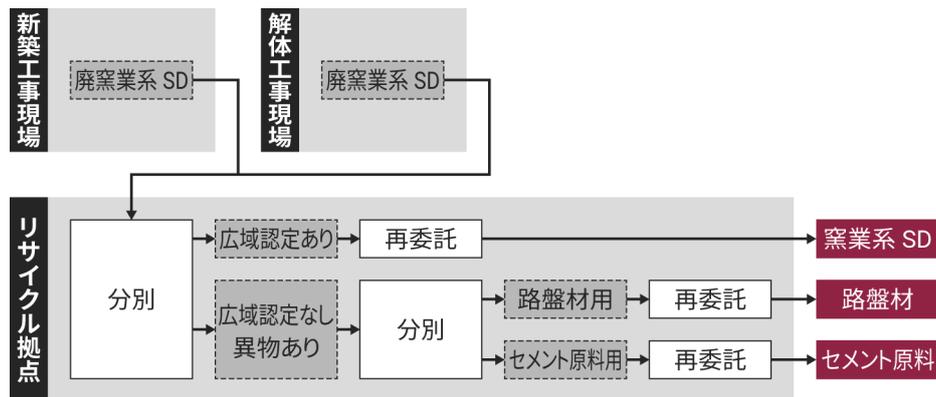


図 2-68 WB 社における窯業系サイディングの処理工程（図中の SD=サイディング）

化粧スレート

化粧スレートは、再委託をする廃棄物に該当する（図 2-69）。新築工事では、化粧スレートのみをまとめてリサイクル拠点へと回収される。解体工事でも化粧スレートのみをまとめているが、過去の製品でアスベストが含有しているものがある可能性があるため、アスベストの含有の有無で分別をする。この際、水密材やアスファルトルーフィングの付着は許容しているが、釘や金具は取り外すように現場で指導している。窯業系サイディングと同様、広域認定を取得している製造業者のものであれば、異物を除去したうえでメーカーへ再委託をし、化粧スレートの原料として再資源化をしている。広域認定を取得していない製造業者のものに関しては、以前は、他の再委託先で路盤材として再資源化を行っていたが、需要の変動から受け入れが厳しくなっており、現在では別の再委託先で破碎を行った後、関西に所在するセメントメーカーにおいて、セメント原料として再資源化している。アスベストの含有が認められる化粧スレートは、適正処分が義務付けられているため、再委託先で最終処分となる。

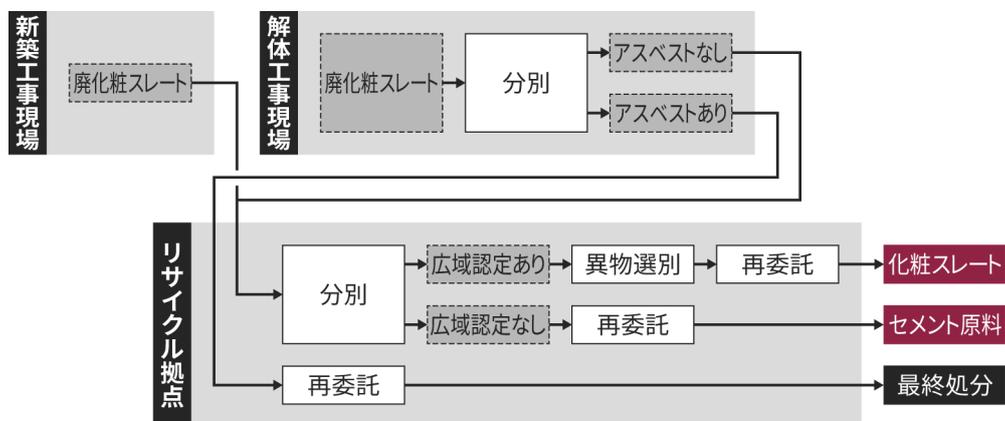


図 2-69 WB 社における化粧スレートの処理工程

石膏ボード

石膏ボードは、場内で製品化をする廃棄物と再委託をする廃棄物に該当する（図 2-70）。新築工事では、異物が付着していないきれいな状態の廃材、クロスや防湿シート等の異物が付着している廃材、粉状の廃材の3種類に分別される。一方で、解体工事では、クロスやビス等の異物が付着している廃材と、カビや汚れがみられる廃材、粉状の廃材の3種類に分別される。こうして分別された廃石膏ボードのうち、約半数は広域認定を取得している石膏ボードメーカーへ再委託をして、石膏ボードの原料として再資源化されている。この際には、受け入れ基準を満たすために、石膏ボードに付着しているクロスや防湿シートを剥がす必要がある。残りの廃石膏ボードは、先述の通り、場内で粉砕・分離をした後、卵の殻と混合してライン材として再資源化をしている。ライン材となる廃石膏ボードは、再委託廃棄物のようなきれいな状態のものもあれば、解体材に見られるカビや汚れのあるものも使用される。ライン材製造時に分離をする紙は、再委託先でさらに石膏と紙に分離して、石膏ボードの原料として再資源化している。なお、粉状の廃材に関しては、上記の再資源化方法を行うことができないため、他の再委託先でガス化溶融処理を行ってが、石膏に含まれる硫黄分が焼却の際に SOx として大気中に排出されるため、対策が必要であるとのことであった。

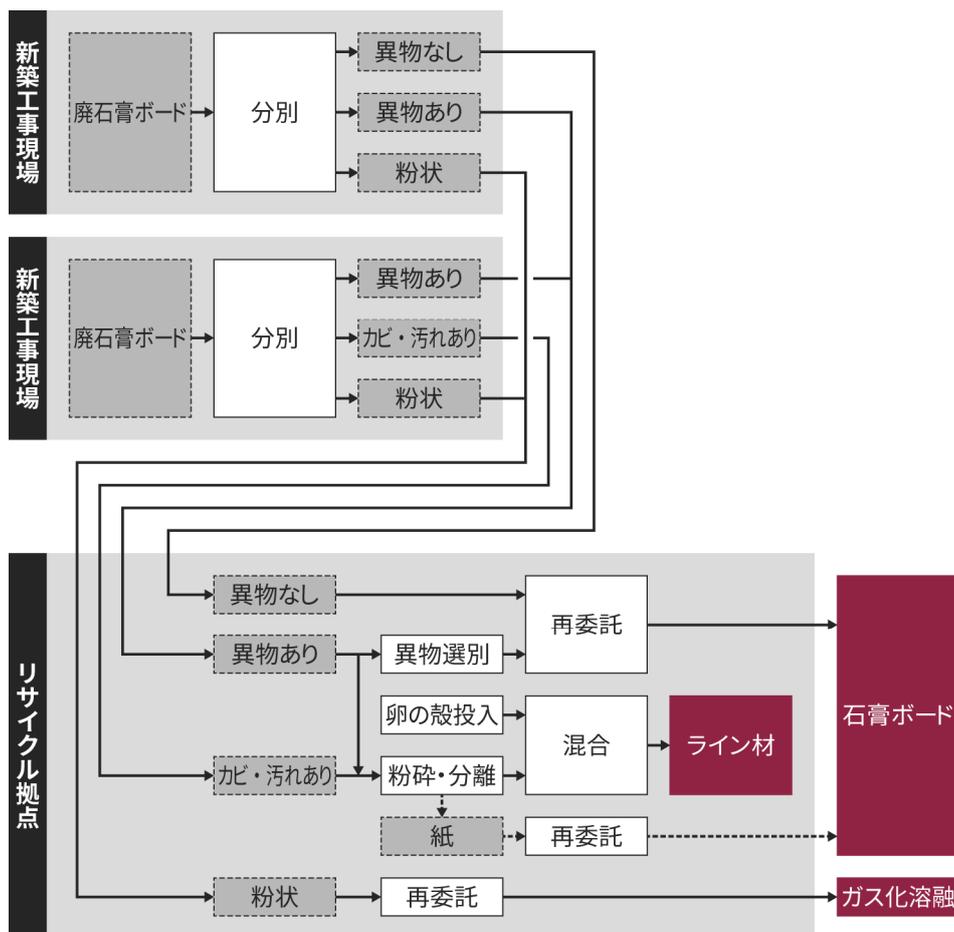


図 2-70 WB 社における石膏ボードの処理工程

複合フローリング

複合フローリングは、製品化をする廃棄物に該当する（図 2-71）。新築工事では、その他の木質フロア材とまとめて分別する。解体工事では、下張り合板等と複合した状態のものが多いため、複合部材としてまとめて分別を行う。いずれの工事の場合も、釘を抜く必要はないが、安全性の観点から折り曲げる必要がある。複合フローリングには MDF が使用されているため、場内の破砕機で破砕・磁気選別を行い、燃料用チップとして製品化・売却をしている。

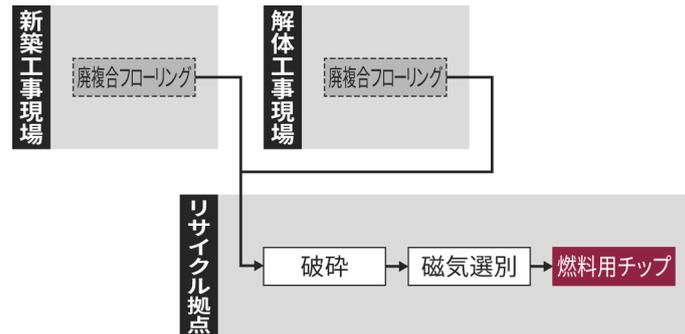


図 2-71 WB 社における複合フローリングの処理工程

不燃化粧壁材

不燃化粧壁材は、再委託をする廃棄物に該当する（図 2-72）。現場では不燃化粧壁材のみをまとめてリサイクル拠点へと回収される。窯業系サイディングと同様の再委託先で再資源化を行うが、不燃化粧壁材のほとんどが広域認定を取得していない製造業者のものであるため、路盤材やセメント原料として再資源化している。

不燃化粧壁材の基材である火山性ガラス質複層板の断面の様子は、木質繊維板のそれと似ているため、現場での分別に際しては注意を払うようにしているとのことであった。これは、木質繊維板に火山性ガラス質複層板のような無機物が混入してしまうと、サーマルリサイクルを妨げてしまうからである。

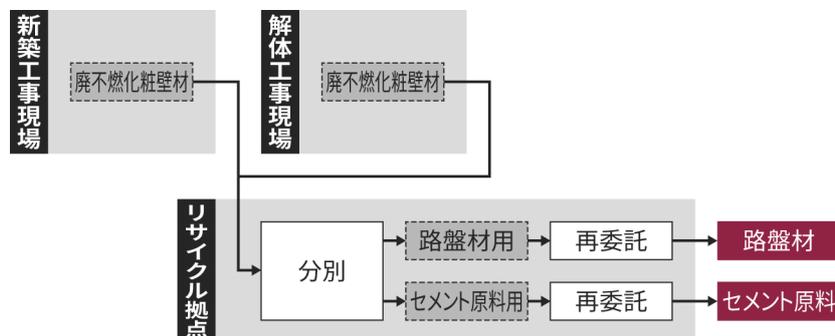


図 2-72 WB 社における不燃化粧壁材の処理工程

ロックウール化粧吸音板

WB社では、ロックウール化粧吸音板はほとんど取り扱っていない。これは、合わせガラスと同様に、住宅ではほとんど採用されていないためである。

アルミ樹脂複合サッシ

アルミ樹脂複合サッシは、有価物として売却をする廃棄物に該当する（図 2-73）。建具という性質上、新築工事では端材等はほとんど発生しない。一方で、解体工事では、サッシのみではなく、取り付けられているガラスや、窓周りの内外装材等が付着するため、複合部材としてまとめて分別を行っている。構成材料の一つであるアルミが、現状では高値で取引されており、硬質 PVC が付着したままでも売却が可能であるため、場内ではガラスを取り外した後、アルミと硬質 PVC とを分離することはせず、そのまま売却をしている。

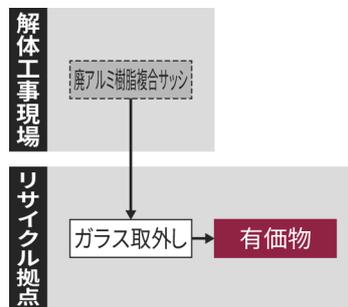


図 2-73 WB社におけるアルミ樹脂複合サッシの処理工程

複層ガラス

複層ガラスは、再委託を行う廃棄物に該当する（図 2-74）。アルミ樹脂複合サッシと同様に、新築工事では端材等はほとんど発生しない。解体工事では、サッシとともに複合部材としてまとめて分別される。場内では、サッシからの取り外しを行い、再委託先で破碎してカレットとして再資源化している。この際、アルミスペーサーやシール材が付着したままでも再委託が可能である。割れた状態の複層ガラスに関しては、ガラスの成分を判別することができない等の理由から、上記の再委託先では再資源化することができないため、他の再委託先でガス化溶融処理を行っている。

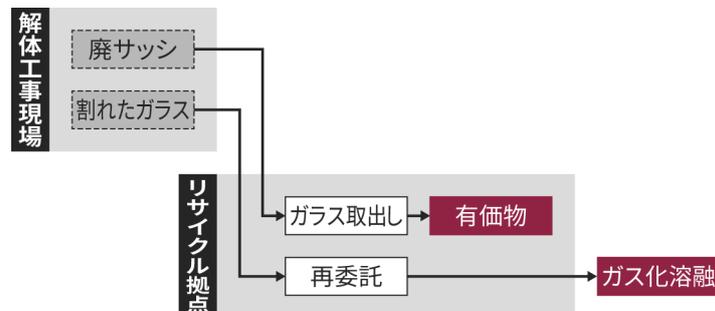


図 2-74 WB社における複層ガラスの処理工程

合わせガラス

WB社では、合わせガラスは殆ど取り扱っていない。これは、WB社が住宅の建築現場から発生する廃棄物のみを対象に回収・分別しており、合わせガラスは住宅ではほとんど採用されていないことが理由として挙げられる。WB社で処理を行う場合には、複層ガラスと同様の処理工程になるとのことであった。

フラッシュドア

フラッシュドアは、製品化をする廃棄物に該当する（図 2-75）。建具という性質上、新築工事では端材などはほとんど発生しない。一方で、解体工事の場合には複合部材としてまとめて分別をする。この際に、フラッシュドアに取り付けられている取っ手などの金具は付着したままで許容される。フラッシュドアにはMDFが使用されているため、複合フローリングと同様に、燃料用チップとして製品化・売却をしている。

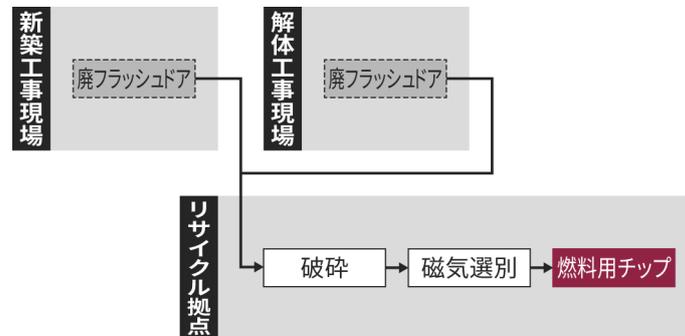


図 2-75 WB社におけるフラッシュドアの処理工程

2.2.3. 廃石膏ボード専門の再資源化（WC社）

概要

WC社は、千葉県に所在する石膏ボードの中間処理・再資源化を行う産業廃棄物処理業者である。石膏ボードメーカーとセメントメーカーとの共同出資によって設立され、新築施工現場や解体現場から回収された廃石膏ボードを専門に受け入れ、石膏原料への再資源化を行っている。リサイクルプラントは24時間稼働しており、1シフト4名の3交代制で運営をしている。

廃石膏ボードの処理フロー

WC社における廃石膏ボードの再資源化工程は、大きく前半の選別工程と後半の再生石膏製造工程に分かれている。

選別工程

搬入される廃石膏ボードは、中間処理業者を経由した新築端材・解体材、解体現場から直接搬入される解体材がある。この中で最も多いのは、中間処理業者を経由した解体材で、その他は少ないとのことであった。それらをWC社では、A～Dの4段階の受け入れ基準を設けて受け入れている（図2-76）。異物の付着がない新築系ボードの「A品」、タッカーやビス、接着剤が付着しているボードの「B品」、ロックウール化粧吸音板等が付着している複合品や全体含水していない「C品」、ロックウール化粧吸音板以外が付着している複合品や全体含水しているボード、粉状・粒状のもの、アスベストやヒ素が含有しているボード等の「D品」である。このうち、C品は搬入量のうち10%以上混入していた場合は受入不可、D品はもれなく受入不可としている。特筆すべき点としては、WC社では廃石膏ボードをメーカー問わず受け入れていることである。これは石膏ボード業界が2社の寡占状態であり、ある程度組成が明らかであることから、再生原料として使用しても差し支えないためであるとのことであった。廃石膏ボードの発生源と受入基準との関連性は、中間処理業者を経由する新築端材がA品、解体材がB～C品であることが一般的である。解体現場から直接搬入される解体材は、中間処理業者を経由する解体材と比較して、状態は一般的に劣っているためB～D品であることが多い。

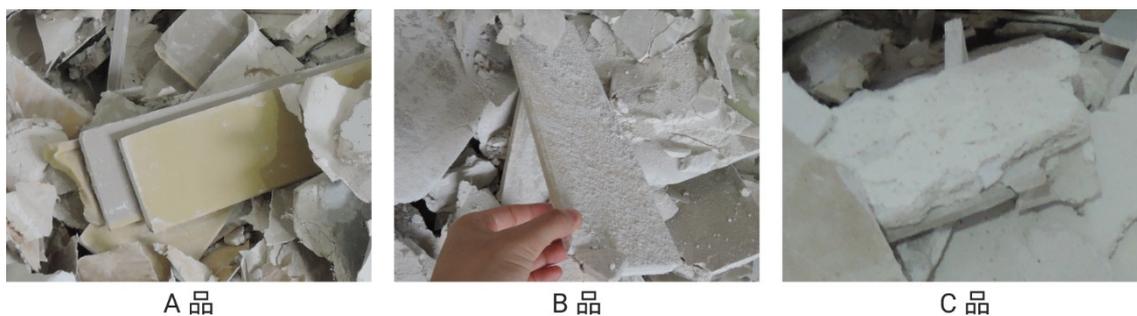


図 2-76 WC 社における廃石膏ボードの受け入れ基準とその様子⁷⁸

受け入れた廃石膏ボードは、まず選別工程に行く（図 2-77）。粗破碎を行った後、手選別で廃プラスチック類や木材、その他建材といった大きめの異物を選別する。手選別ラインは 2 本あり、それぞれに作業員が 1 名ずつ従事する。手選別ラインから伸びているベルトコンベヤの先に、磁気選別ラインがある。磁気選別では、磁気選別装置を用いてビスやタッカー等の磁性金属（主に鉄）を選別する。磁気選別を経た廃石膏ボードは、そのままベルトコンベヤで運ばれ、破碎分離装置へと投入される。ここでは、突起物の付いたドラムを両側から挟み込んで回転させることで、廃石膏ボードをさらに細かく破碎すると同時に、石膏から紙を分離する。



図 2-77 選別工程の様子⁷⁹

選別工程で取り除かれた異物は、その性状に合わせて処理委託等をしている（図 2-78）。手選別で選別された異物は、産業廃棄物として近隣の中間処理業者へと処理委託をする。磁気選別で選別された金属類は、有価物として金属問屋等に売却をしている。また、破碎分離で分離した紙は、圧縮梱包をして製紙会社に引き取ってもらい、段ボールとして再資源化される。なお、製紙会社に引き取ってもらうためには、紙に付着する石膏分は 40 %以下にする必要がある。

⁷⁸ 筆者撮影

⁷⁹ 筆者撮影（ヒアリング当日、手選別ラインでは新人教育のため 2 人体制であった）

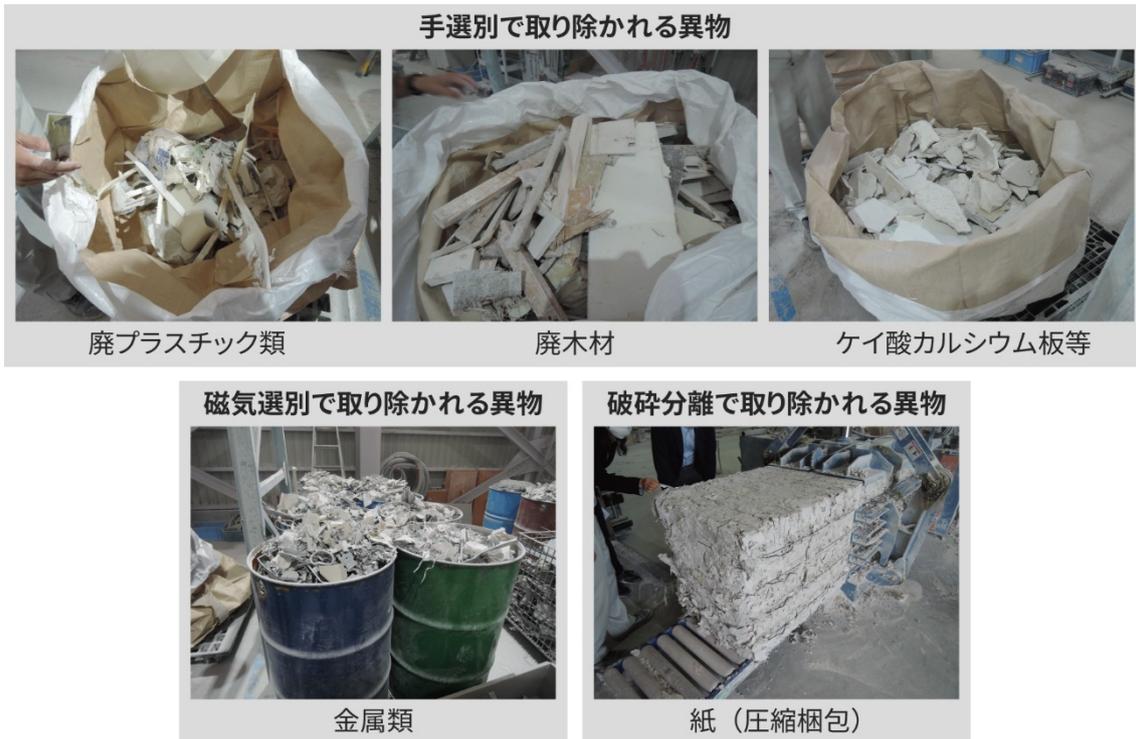


図 2-78 選別工程で取り除かれる異物の様子⁸⁰

再生石膏製造工程

選別工程を経た石膏は、次に再生石膏製造工程へと移る(図 2-79)。選別工程後の石膏は、石膏ボードの石膏と同じ二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であり、このままでも石膏ボードの原料として再利用することは可能である。しかし、前節で述べた通り、廃石膏ボードを単純破碎した二水石膏は、その結晶構造から原料中に 10 %程度しか使用することができない。そこで、WC 社では、廃石膏ボードを単純破碎した石膏の結晶を大型化することで、原料として 100 %再利用することを可能とする技術を採用している。

まず、水への溶解度を高めるために、ボイラー内で二水石膏を焼石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) へ焼成する。その後、水に溶かしてスラリー状にし、網で濾してスラリー内に含まれる細かい金属やロックウール、砂等の細かい異物を取り除く。異物を除去した石膏スラリーは、次に晶析工程へ移る。ここでは、一定の温度に保たれた 5 つの攪拌槽を 15 時間かけて経由することで、スラリー内の石膏が $20\mu\text{m}$ 以上の大きな結晶となる。最後に、結晶化した石膏をベルトコンベヤで運搬しながら、下からバキュームで吸引することで脱水をする。

⁸⁰ 筆者撮影



図 2-79 再生石膏製造工程の様子⁸¹

なお、粒度調整で取り除かれた細かい異物（図 2-80）は、現状では近隣の間処理施設に処理を委託しているが、この異物から砂のみを選別し、土壌改良材として売却することを検討しているとのことであった。



図 2-80 再生石膏製造工程で取り除かれる異物の様子⁸¹

製造直後の再生石膏は 12%～13%程度の水分を含んでおり、若干茶色がかった色味をしているが、しばらくして乾燥が進むと白色となる（図 2-81）。再生石膏は、WC 社の親会社である石膏ボードメーカーが全量買い取っているのが現状である。受け入れた廃石膏ボードを 100 としたとき、破碎分離後は石膏が 90、紙などの異物が 10 である。その後、石膏に加水をするため、再生石膏は 100 製造される。つまり、再生石膏の歩留まりはほぼ 100%であり、製造の面から見ると無駄が非常に少ないといえる。

⁸¹ 筆者撮影



図 2-81 製造直後の再生石膏（左）と乾燥後の再生石膏（右）⁸¹

以上より、WC 社における石膏ボードの処理工程を図 2-82 にまとめた。

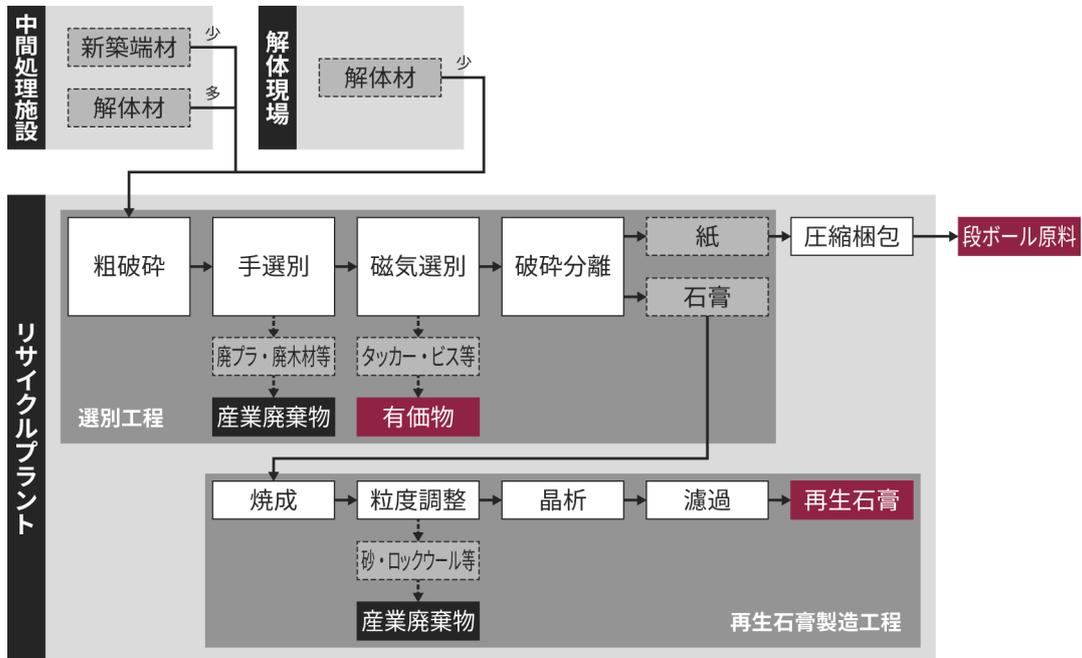


図 2-82 WC 社における石膏ボードの処理工程

2.3. 小結

2章のまとめ

本章では、各複合建材の製造業者、および産業廃棄物処理業者へのヒアリング調査から、各複合建材のライフサイクルを通じた実態を把握することができた。

ライフサイクルの動脈側の実態としては、各複合建材の製造業者への実態調査を通して、要求される性能と開発設計との関連性、製造の実態と資源循環性との関連性について、構成材料・複合方法・端材利用状況から整理することができた。

ライフサイクルの静脈側の実態としては、産業廃棄物処理業者への実態調査を通して、異なる中間処理・再資源化の水準を持つ業者における複合建材の処理実態を把握することで、複合建材の資源循環性の現状と可能性を明らかにすることができた。

ライフサイクルにおける資源循環性の実態

以上から、各複合建材について、ライフサイクルを通じた資源循環性を、構成材料における再生原料の使用状況、複合方法における分離性、工場端材の利用状況、処理水準に応じた再資源化状況から、その実態を整理することができる（表 2-29、表 2-30、表 2-31）。

構成材料

構成材料に着目すると、調査対象とした複合建材の多くで、製造工程で発生した工場端材を原料として再利用していた。工場端材を再利用するのは、産業廃棄物として排出する際の処理費を削減する目的のほか、製造するうえでの反応助剤として使用する目的（ALC パネル、窯業系サイディング・化粧スレート）や、製造コストを抑える目的（アルミ樹脂複合サッシ、複層ガラス、合わせガラス）といった積極的動機も見られた。

さらに、一部の複合建材（ALC パネル、窯業系サイディング・化粧スレート、石膏ボード）では、広域認定制度を利用して、新築現場で発生する新築端材を回収して、工場端材と同じように原料として再利用していた。

しかし、こういった端材の利用については、多くの複合建材で量的な制限がある。理由としては、品質が保証できないこと（ALC パネル、窯業系サイディング・化粧スレート、複層ガラス、合わせガラス）、生産性が低下してしまうこと（石膏ボード、アルミ樹脂複合サッシ）が挙げられた。一方で、そうした量的制限を緩和する技術が確立され、事業化されていることが明らかになった（石膏ボード、WC 社）。

対して、工場端材等を再利用していない複合建材（金属サイディング・金属屋根材、複合フローリング、不燃化粧壁材、フラッシュドア）については、構成材料そのものの、品質的な問題や、製造上の問題から、水平リサイクルが困難であることが分かった。

複合方法

複合方法では、工場端材の利用状況と併せて、分離性と再利用性との関係性が明らかになった。調査対象とした複合建材では、手作業や機械作業による分離が可能なもの、手間がかかり分離が困難なものの2種類に大きく分けられた。分離が可能なものに関しては、多くの場合、工場端材・新築端材レベル、さらには解体材レベルで水平リサイクルが実現しているが、分離が困難なものについては、分離をしなくても再利用が可能なもの、分離をしなければ再利用が不可能なものが存在している。

工場端材の利用状況

構成材料で述べた通り、多くの複合建材では工場端材の水平リサイクルを行っている。他にも、カスケードリサイクルやサーマルリサイクルを行っている複合建材もある。これは、構成材料が性質的に水平リサイクルに適していないことが、大きな要因として挙げられる。

また、やむなく工場端材を最終処分している複合建材に関しては、あらゆるリサイクルがそもそも想定されていないこと（不燃化粧壁材）や、工場端材の発生状態が分離に適していないこと（アルミ樹脂複合サッシの混合粉）が、理由として挙げられた。

処理水準による再資源化状況

一般的な処理水準の場合（WA社）では、有価売却が可能な金属を構成材料に持つ複合建材（金属サイディング・金属屋根材、アルミ樹脂複合サッシ）や、建設リサイクル法によって再資源化が義務付けられている木質系の複合建材（複合フローリング、フラッシュドア）は、再資源化が行われている。一方で、そういった経済的メリットや社会的要請のない複合建材に関しては、経済的合理性からほとんどが最終処分となっている。

それに対して、高度な処理水準の場合（WB社）では、異物の付着状況や発生状態等の廃棄物の性状に対して、再委託先の受け入れ基準といった諸条件をクリアすることができる分別可能かどうかが決定要因となり、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うち、最適な再資源化方法を選択されている。分別が不可能と判断された場合に限り、ガス化溶融処理となる。

表 2-29 ライフサイクルにおける各複合建材の資源循環性の実態 (1/3)

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	・工場端材 [※] ・新築端材 [※] [※] 利用上限があり、現状で余裕なし	ALCの発泡・固化による一体化	破碎すれば可能	・L ・C(敷料・肥料)	LF	C(セメント原料・路盤材)
		補強材	なし			C(電炉鋼)		
	金属サイディング	カラー鋼板	なし	ポリイソシアヌレートフォームの発泡・自己接着性による一体化	手作業で可能	C(電炉鋼)	C(電炉鋼)	C(電炉鋼)
	金属屋根材	ポリイソシアヌレートフォーム	なし			T(RPF)	—	G
		アルミライナー紙	なし					
	窯業系サイディング 化粧スレート	セメント	・工場端材 [※] ・新築端材 [※] ・フライアッシュ(廃棄物由来) [※] 利用上限があるが、余裕あり	セメント硬化による一体化	困難であるが、分離しなくても再利用は可能	L	LF	・L(広域認定がある場合) ・C(セメント原料・路盤材)
パルプ		・工場端材 [※] ・新築端材 [※] ・古紙 [※] 利用上限があるが、余裕あり						

凡例 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

表 2-30 ライフサイクルにおける各複合建材の資源循環性の実態 (2/3)

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	工場端材利用状況	一般的な処理水準	高度な処理水準
内装材	石膏ボード						石膏	・工場端材 [※] ・新築端材 [※] ・副産石膏 [※] 利用上限があるが、余裕あり(利用上限を撤廃する技術あり)
		ボード用原紙	古紙	C(段ボール)	・LF	L		
	複合フローリング	合板	なし	熱硬化性樹脂による一体化	困難であるが、分離しなくても再利用可能	T(燃料用チップ)	T(燃料用チップ)	T(燃料用チップ)
		MDF	合板端材					
		化粧シート	なし					
	不燃化粧壁材	火山性ガラス質複層板	・シラス(未利用材)	接着剤による一体化	困難	LF	LF [※] [※] 実績ではなく見解	C(セメント原料・路盤材)
		化粧シート	なし					
	ロックウール化粧吸音板	ロックウール吸音板	工場端材	—	—	L	LF [※] [※] 実績ではなく見解	—

凡例 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

表 2-31 ライフサイクルにおける各複合建材の資源循環性の実態 (3/3)

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	工場端材利用状況	一般的な処理水準	高度な処理水準
建具 複合サッシ	アルミ	・工場端材 ・市中スクラップ (廃棄物由来)	嵌合による 一体化	部材状であ れば容易で あるが、粉状 は困難	・L ・LF (硬質PVCとの混合粉)	C (電炉鋼) ※ ※実績ではなく見 解	C (電炉鋼)
	硬質PVC	・工場端材※ ※利用上限があり、 現状で余裕なし			・L ・LF (一部の混合不可品、硬 質PVCとの混合粉)		
複層ガラス	ガラス	工場端材※ ※利用上限があり、 現状で余裕なし	シール材に よる一体化	困難	・L (ガラスのみの場合) ・LF (複合している場合)	LF	・C (カレット、割 れていない状態 の場合) ・G (割れた状態の 場合)
	アルミスペーサー	なし			—		
合わせガラス	ガラス	工場端材※ ※利用上限があり、 現状で余裕なし	中間膜の粘 着性による 一体化	困難	・L (ガラスのみの場合) ・LF (複合している場合)	LF	・C (カレット、割 れていない状態 の場合) ※ ・G (割れた状態の 場合) ※ ※実績ではなく見 解
	中間膜	なし			・L (中間膜のみの場合) ・LF (複合している場合)		
フラッシュドア	LVL	なし	酢ビ系接着 剤による一 体化	困難である が、分離をし なくても再 利用は可能	T (燃料用チップ)	T (燃料用チップ)	T (燃料用チップ)
	合板 or パーティク ルボード	解体材 (パーティ クルボード)					
	MDF	合板端材					
	化粧シート	なし					
	木口テープ	なし					

凡例 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: ガス化溶解処理 LF: 最終処分

3章 資源循環性を考慮した先進的な生産システムの実態

3.1. 国内における環境配慮設計	109
3.1.1. 環境配慮設計の概要.....	109
3.1.2. 家電の生産システムにおける取り組み.....	111
3.1.3. まとめ	119
3.2. EU 諸国における Cradle to Cradle に基づいた建材生産システム.....	120
3.2.1. Cradle to Cradle の概要	120
3.2.2. Cradle to Cradle を実践している製造業者での取り組み.....	123
3.2.3. まとめ	128
3.3. ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システム	129
3.3.1. 樹脂サッシ再資源化システムの概要.....	129
3.3.2. 再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組み.....	132
3.3.3. まとめ	134
3.4. オランダを中心とした板ガラスの生産システム	136
3.4.1. 板ガラス再資源化システムの概要.....	136
3.4.2. 再資源化に基づいた生産システムでの取り組み.....	141
3.4.3. まとめ	143
3.5. 小結	144

本章では、資源循環性を考慮した生産システムについて、国内外の他産業を含めた先進的な事例の実態把握を通して、その成立要因を探り、複合建材の生産システムへの応用可能性を明らかにすることを目的とする。

先進的事例として、国内において業界全体で環境配慮設計（詳細は後述）に積極的に取り組んでいる家電の生産システム（第1節）、及びリサイクルに対して積極的に取り組んでいるEU諸国における建材の生産システム（第2節～第4節）を、本研究では取り上げることとした。

家電の生産システムについては、文献の参照を通して、その実態を把握した。

EU諸国における建材の生産システムについては、「Cradle to Cradle (C2C)」という資源循環性を包含したデザインコンセプトに準じた建材の生産システム、自社で再資源化施設を自主的に設立し、再資源化システムを構築している樹脂サッシの生産システム、及び業界全体で再資源化システムを構築している板ガラスの生産システムの、資源循環性への取り組みのアプローチが異なる3つのカテゴリーに分類し、それぞれヒアリング調査を中心として、その実態を把握した。EU諸国における建材の生産システムの調査先を表3-1に再掲する。

表 3-1 EU 諸国における調査先一覧（再掲）

調査対象	調査先	内容	所在地	調査日
C2C	CA 社	サッシ・ドア・ファサードメーカー	ドイツ	2018/11/19
	CB 社	内装・外装タイルメーカー	オランダ	2018/11/21
樹脂サッシ	AGPU	PVC 製品リサイクル団体	ドイツ	2016/09/19
	Rewindo	樹脂サッシリサイクル団体	ドイツ	2016/09/22
	PA 社	樹脂型材メーカー	ドイツ	2018/11/20
	PB 社	樹脂窓メーカー	ドイツ	2016/09/19
	PC 社	樹脂サッシ再資源化業者	ドイツ	2016/09/22
	板ガラス	VRN	オランダ板ガラスリサイクル協会	オランダ
GA 社		板ガラスメーカー	ベルギー	2018/11/22
GB 社		ガラス再資源化業者	ベルギー	2018/11/23

本章の各節の関係性や、元にした調査を図 3-1 にまとめた。

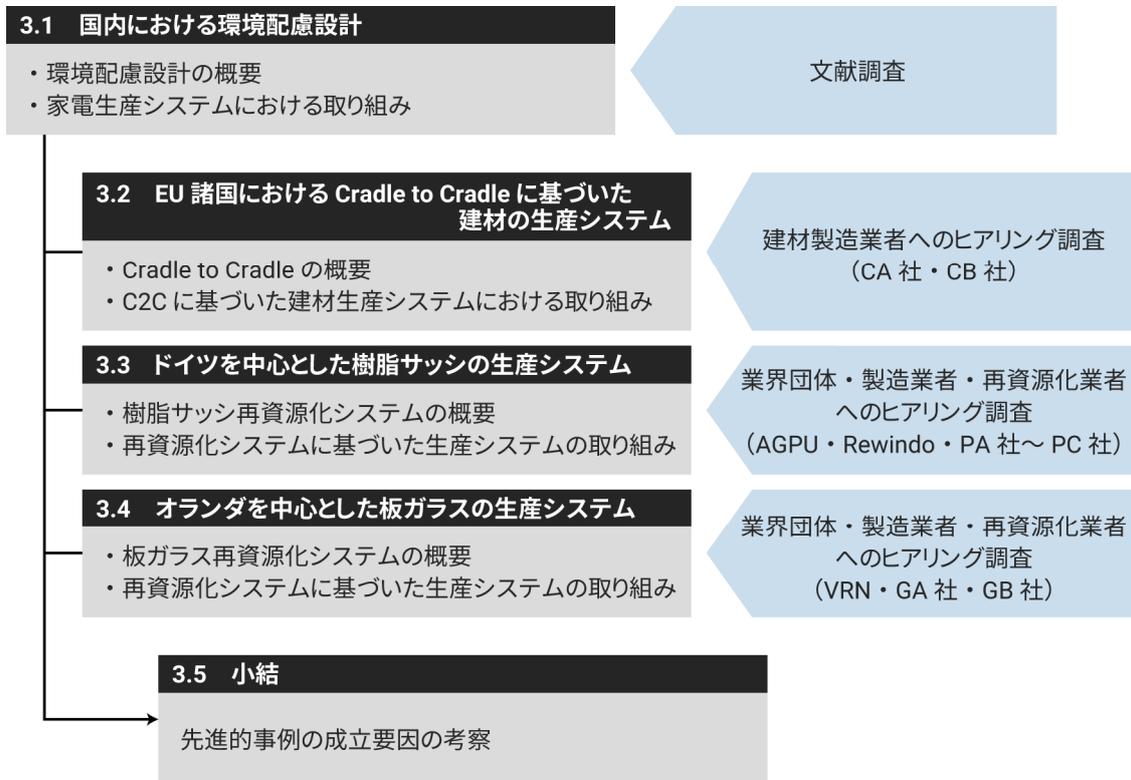


図 3-1 3章の構成

3.1. 国内における環境配慮設計

本節では、先進的な事例として、国内における環境配慮設計について取り扱う。

まず、環境配慮設計の概要について整理し（第1項）、その環境配慮設計に対して積極的に取り組んでいる業界である家電に着目し、その生産システムにおける取り組みを整理する（第2項）。

各項の内容と、それに対応する文献について、表 3-2 にまとめた。

表 3-2 本節における内容と対応する文献一覧

	内容	参考とした文献
3.1.1	環境配慮設計の概要	参考文献 [31] ⁸² [32] ⁸³ [33] ⁸⁴
3.1.2	家電の生産システムにおける取り組み	参考文献 [34] ⁸⁵ [35] ⁸⁶ [36] ⁸⁷ [37] ⁸⁸ [38] ⁸⁹

3.1.1. 環境配慮設計の概要

環境配慮設計の成立背景

1997年の「京都議定書」によって、先進各国に温室効果ガスの削減に関して数値目標を課された。これを受けて、日本では1998年に「地球温暖化対策推進法」が制定され、省エネルギー法が改正された。こうした地球温暖化防止策は、生産者や事業者にも課されることになり、製品開発等において、温室効果ガスの排出抑制、生物資源の多様性の維持と利益配分、金属資源の枯渇、化石燃料の枯渇、有害化学物質の廃絶・削減、オゾン層破壊物質の撤廃、廃棄物の排出抑制、といった制約を受けることとなった。

これに対する方策としては、地球資源の消費を抑え、生産と消費の段階での廃棄物の発生

⁸² 畠中伸敏, 環境配慮設計 エコが征す商品開発, 株式会社日科技連出版社, 2012.

⁸³ 一般社団法人家電製品協会, “環境配慮型製品を目指して -家電業界の製品アセスメントの取り組み-,” [オンライン]. Available: <https://www.aeha.or.jp/assessment/>. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁴ 国立環境研究所, “環境配慮設計 -環境技術解説 | 環境展望台: 国立環境研究所 環境情報メディア,” [オンライン]. Available: <http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=59>. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁵ 一般社団法人 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 (Web版) -,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/assessment_manual/doc/PAM5S/PAM5S_ALL.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁶ 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクル法制定の背景と目的,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_01.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁷ 一般社団法人 家電製品協会, “関係者に求められる役割,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_03.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁸ 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクル制度を支える仕組み,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_04.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].

⁸⁹ 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクルシステムの流れ,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/ref02.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].

を抑えることが挙げられるが、こうした方策を市場に出してしまった製品に対して行うことは困難であり、製品開発時に考慮しなければ改善をすることはできない。

このように、製品の環境負荷の大半が決定付けられる設計時に、環境に配慮するという考え方が生まれ、「環境配慮設計」と称するようになった。環境省の環境白書では、「分解が容易である。リサイクルしやすいよう単一素材を使用するなど製品等の設計段階において環境配慮を行うための手法のこと。」としている。

環境配慮設計の考え方

環境配慮設計では、製品のライフサイクル全般（調達～製造～製品輸送～使用～収集・運搬～リサイクル処理～処分）の環境負荷低減を目的に、製品の設計段階で表 3-3 に挙げたような目標に向けて、工夫や配慮を組み込んで設計する。

表 3-3 環境配慮設計における設計目標

-
- 天然資源の使用量削減
 - 再資源利用の可能性向上
 - エネルギー消費の削減
 - 環境負荷物質の使用制限・禁止
 - 廃棄物の発生抑制
-

こうした環境配慮設計における設計目標に対して、各業界団体などでは、ガイドラインを作成する等の取り組みを行って、実際の設計への実践を行っている。具体的には、設計範囲を素材レベル・部品レベル・製品レベルに分解し、それぞれにおいて、設計目標に対する具体的な検討事項を考慮している（表 3-4）。

表 3-4 環境配慮設計における具体的な検討事項

設計範囲	検討事項
素材レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・原料の使用量を削減する ・可能な限り同一の素材を使用する ・混合しても再資源化に支障のない素材を組み合わせる ・製品内では同一素材部分をできるだけ集中させる ・再生可能な原料を使用する
部品レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・再利用やリサイクル処理を容易にする ・部品を少数化する ・部品を規格化・標準化する ・可能な限り分離させやすい結合方法を採用する
製品レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・部品の統合によって再利用・再資源化可能な部分を取り出しやすくする ・解体の方向性へ配慮する ・使用工具を低減する ・接合箇所を少なくする ・解体しやすい接合方法を採用する ・リサイクル可能な素材にマーキングをする ・輸送、運搬を容易にするような分割構造にする ・破碎、選別を容易にするため、難破碎部品を事前に分離しやすくする ・焼却時における二次汚染物質の排出を抑制する

このような環境配慮設計は、家電製品やパソコン、複写機、自動車において積極的に取り組まれている。中でも家電製品に関しては、いち早く「製品アセスメントマニュアル」（後述）を作成して、環境配慮設計について業界全体で活発に取り組んでいる。

次項では、そういった家電業界に着目し、その生産システムにおける取り組みの実態を整理する。

3.1.2. 家電の生産システムにおける取り組み

製品アセスメントマニュアル

概要

家電製品の安全性の向上や、環境対策などに関して調査研究と政策の立案・実施を行っている一般社団法人家電製品協会が、1991年10月に、他業界に先駆けて『家電製品 製品アセスメントマニュアル』を発行した。ここでは、製品の設計段階で実施する環境配慮設計に

よって低減が期待できる環境負荷の内容を確認し、改善度を評価している。1991年の第1版の発行以降、製品に関わる法制化の動きが活発したことや、環境意識が醸成したことに伴い、適宜アセスメントマニュアルの内容を見直している。

1991年10月施行の「再生資源利用促進法」によって、大型家電製品4品目（テレビ受信機・電気冷蔵庫・電気洗濯機・ユニット型エアコンディショナー）において、再生資源の利用促進に関する判断基準が示された。これに先立って検討されたのが第1版の製品アセスメントマニュアルである。第1版では、廃棄物問題の解決を主目的として、リサイクルに重点を置き、法律における要求事項に加えて、独自の環境配慮項目を設けた。

1994年には、第2版への改訂を行った。第2版では、第1版の主目的を受け継ぎつつ、廃棄物処理の実効性を高めることを目的として、処理困難性の事前評価を小項目として追加をした。

2001年4月に施行された「資源有効利用促進法」に先立って、同年3月に第3版への改訂を行った。ここでは、3R（Reduce, Reuse, Recycle）や地球環境問題、省エネに配慮し、指標よりもより客観的な評価が可能となる「定量評価」の考え方を取り入れた。同年4月に施行された「家電リサイクル法」によって、大型家電4品目のリサイクル処理が行われるようになった。これを受けて、家電リサイクルプラントへの調査をもとに、手解体・分別容易化を目的とした材質表示やリサイクルマークを策定し、その推奨表示サイズや表示位置を定めた追補版を2004年9月に発効した。

その後は、国内外の環境配慮設計の要求情報や、協会の調査研究の成果を盛り込んだり、法規制や規格情報の更新を行ったりして、最新版である第5版が2014年3月に発行された。

製品アセスメントにおいては、製品のライフサイクル（図3-2）を規定して、その全般で環境負荷低減を行うことを目的としている。対象となる製品は、新たに設計・製造する家電製品で、過去の製品には適用されない。

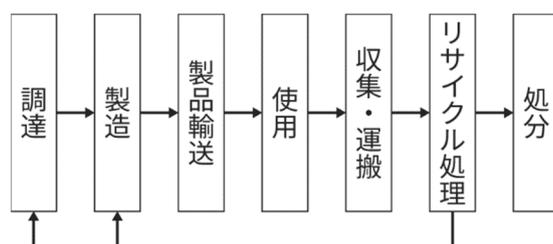


図 3-2 製品アセスメントで規定している製品のライフサイクル

実施に当たっては、「循環型社会形成推進法」で規定している処理の優先順位（図3-3）、「資源有効利用促進法」の判断基準、「廃棄物処理法」の適正処理困難性評価など、法令で規定されている要件と、「家電リサイクル法」によるリサイクルプラントから得られた知見を活かして、継続的な実効性の向上を図っていく方針である。

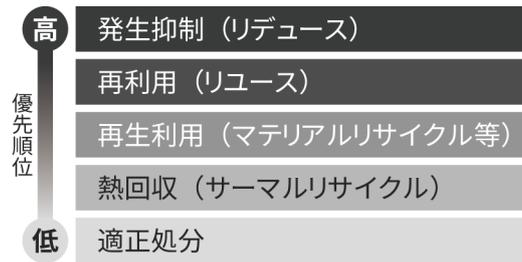


図 3-3 「循環型社会形成推進法」で規定されている処理の優先順位

目的

製品アセスメントマニュアルの目的は、各社で作成・運用する製品アセスメントに関するチェックリストの検討の一助となるよう、環境配慮設計として実施すべき取り組み内容の一例をガイドラインとして示すことである。

加えて、企業活動をするうえで必須とされる環境関連法令のコンプライアンス確認を促す役割も果たしている。

利用方法

まず、製品の安全性や耐久性などを勘案し、製品ごと・製品群ごとの特性に応じた適切な評価項目や基準を設定する。次に、ISO14001（環境マネジメントに関する国際規格）に基づき、新機種的设计段階において、環境配慮の目的・目標を立てて、Plan（計画）・Do（実施）・Check（点検）・Action（見直し）による継続的改善を図る。アセスメントは、設計時点・試作時点・量産試作時点のいずれか、あるいは複数時点で実施をする。

製品アセスメントガイドライン

評価方法

製品アセスメントマニュアルに記載されている「製品アセスメントガイドライン」に従って評価を行う。

製品アセスメントガイドラインは、評価項目とそれに対応する評価基準で大きくは構成されている。評価項目は、その項目を改善することによって、製品のライフサイクルのどの部分の環境負荷が削減できるか、という視点と、製品のライフサイクルのどの部分について改善しなければならないか、という視点から細かく分類されている。評価基準は、基準となる製品（従来同等製品など）との比較や、一定の条件（法令、実施可能性など）に対する満足度を方法として、Yes/Noでの回答が可能となっている。

以上、製品アセスメントガイドラインの評価項目とその目的を表 3-5 に、評価項目と製品のライフサイクルとの対応関係を図 3-4 に示す。

表 3-5 製品アセスメントガイドラインの評価項目と目的⁹⁰

評価項目	目的
1 減量化・減容化	<ul style="list-style-type: none"> ・限りある資源の使用量の削減 ・廃棄物の発生抑制
2 再生資源・再生部品の使用	<ul style="list-style-type: none"> ・資源の循環利用の促進
3 包装	<ul style="list-style-type: none"> ・包装材の省資源、リサイクル等の促進 ・包装材の減量化、減容化等による流通段階での環境負荷低減
4 製造段階における環境負荷低減	<ul style="list-style-type: none"> ・環境負荷物質や廃棄物の削減、省エネなどによる環境負荷低減
5 輸送の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・製品輸送の効率化
6 使用段階における省エネ・省資源等	<ul style="list-style-type: none"> ・消費電力等の削減や温室効果ガスの発生抑制 ・消耗材の使用量削減
7 長期使用の促進	<ul style="list-style-type: none"> ・製品の長期間使用による資源の有効利用、廃棄物の発生量の削減
8 収集・運搬の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済み製品の収集・運搬の効率化
9 再資源化等の可能性の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済み製品の処理の際に再利用しやすい材料を使うことでリサイクル等を促進
10 手解体・分別処理の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済み製品リサイクル等の容易化
11 破碎・選別処理の容易化	<ul style="list-style-type: none"> ・強固な部品や油漏れ、磁石などによる破碎機へのダメージや工程への悪影響の防止 ・破碎後の混合物の選別
12 環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> ・法令、業界の自主基準等で決められた環境負荷物質の使用禁止、削減、管理 ・使用段階やリサイクル処理・処分段階での環境保全性の確保
13 安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・爆発の危険性や火傷、怪我等、安全性の確保とリスクの削減
14 情報の提供	<ul style="list-style-type: none"> ・必要情報をふさわしい表示方法で提供し、使用・修理・処理を適切に実施
15 LCA	<ul style="list-style-type: none"> ・製品のライフサイクルでの環境負荷を定量的に慈善に評価し、設計段階で改善を図り、環境負荷を削減

⁹⁰ 参考文献 [34] p.5 表 4-2 を筆者修正

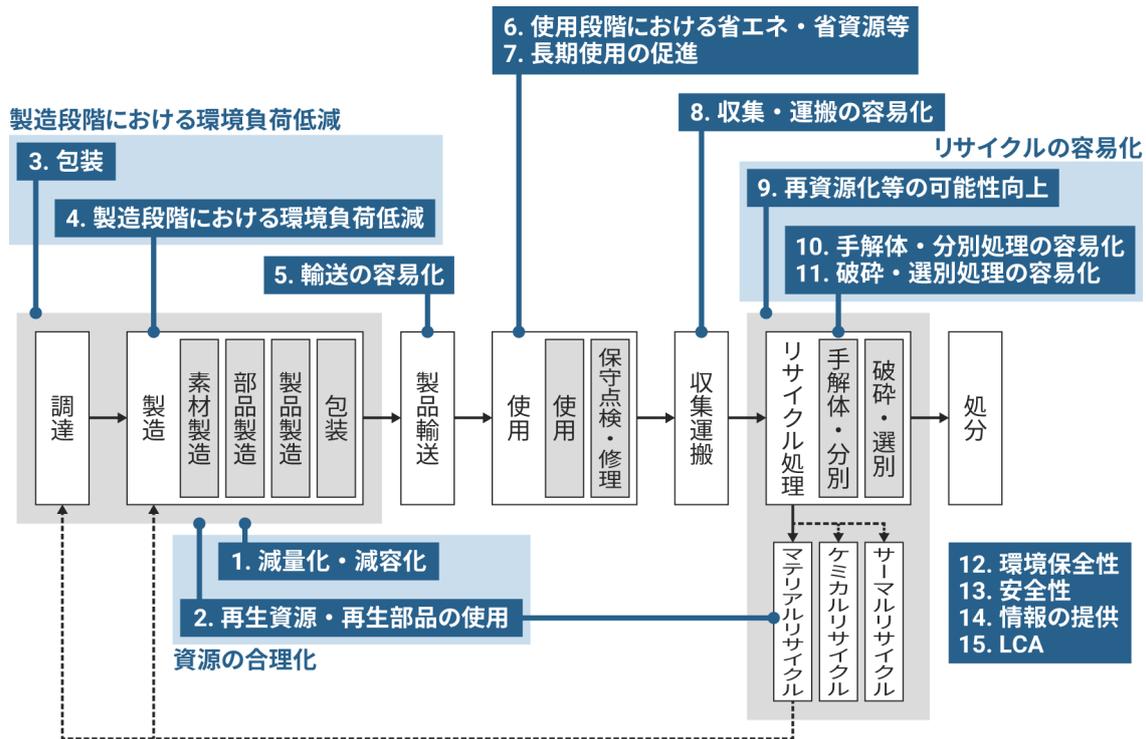


図 3-4 評価項目と製品のライフサイクルとの対応関係

以上のような評価項目において、評価基準をもとに定量的な評価を実施する。結果の算出方法としては、個別評価と総合評価がある。

個別評価とは、採用した評価項目ごとに評価を行うことである（図 3-5）。この場合、特定の項目において新製品が従来製品に劣ることも想定されるが、どの程度許容するかをあらかじめ開発規定等で定めておく必要がある。

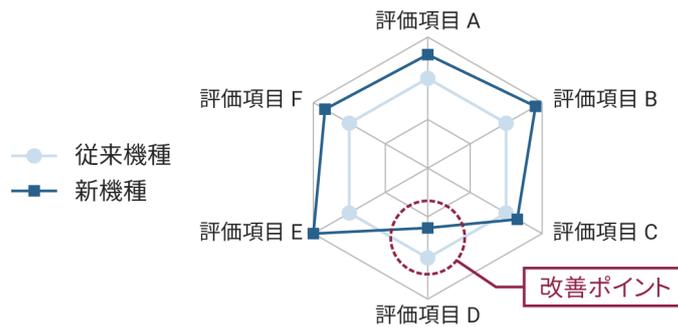


図 3-5 個別評価結果の例

一方で、総合評価とは、何らかの方法で個別評価の結果を総合し、製品全体としての環境配慮性を評価することである（図 3-6）。個別評価点を単純集計して総合点を算出する方法が考えられるが、各評価項目には重きが置かれられないのが欠点と言える。その際には、上記の個別評価を併用することで、新製品における弱点を把握することが可能となる。

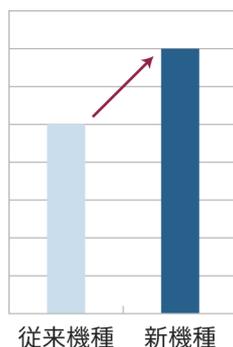


図 3-6 総合評価結果の例

評価項目に対応する検討事項

家電業界では、上記のような製品アセスメントガイドラインに沿って、環境配慮設計がなされている。ガイドラインにおける評価項目で、実際の製品設計や製造工程に関わる部分のみを抜粋し、その具体的な検討事項を表 3-6 に示す。

製造時には、資源投入を最小化すること（1-1、1-2、2-1）や、工場端材を有効活用すること（1-3、4-2、4-3）が検討事項として挙げられている。

使用時には、耐久性を向上させたり（7-1）、維持管理を容易にしたり（7-2、7-3、7-4）することで、長期利用を促し、廃棄物としての発生を抑制することが検討されていることが分かる。

使用後には、廃材が円滑に回収され、再資源化が容易にされやすいように、運搬が容易になるような工夫（8-1、8-2）や、廃材の資源的価値を高める工夫（9-1、9-2）が検討事項として挙げられている。加えて、家電はそのほとんどがプラスチック類と金属とで構成されている。プラスチック類は、基本的に再資源化が容易であり、金属は資源的価値が高いため、それぞれが適切に再資源化できるように、製品から適切かつ容易に取り出せるようにする工夫（10-1、10-2、10-3）や、部品のマテリアルリサイクル性（10-4）が検討されていることが分かる。こうして、廃材そのものの資源的価値を高める検討をしたうえで、実際の再資源化工程に適合するようにする必要がある（11-1、11-2、12-1、12-2、12-3、12-4、12-5）。

表 3-6 評価項目と具体的な検討事項

評価項目	具体的な検討事項
1 減量化・減容化	1-1 製品・部品そのものの質量、体積の削減 1-2 原材料の使用量、希少原材料の使用量の削減 1-3 製造工程で発生する端材の削減
2 再生資源・再生部品の使用	2-1 再生材・リユース材の使用数 2-2 部品の標準化の有無 2-3 部品リサイクルの際の適切な判断ができるような表示の有無
4 製造段階における環境負荷低減	4-1 製造工程の副産物に含有している環境負荷物質の法順守 4-2 副産物の発生量の削減 4-3 副産物の適正処理、リサイクルの有無 4-4 製造工程のエネルギー消費量の削減
6 使用段階における省エネ・省資源等	6-1 製品使用時・待機時のエネルギー消費量・資源消費量の削減 6-2 節電機能の有無
7 長期使用の促進	7-1 製品そのものの耐久性の向上（製品構造、耐久性の高い部品使用） 7-2 美観的耐久性の向上（目に見える部品の耐摩耗性・対汚損性、清掃容易性） 7-3 消耗部品の交換容易性の向上（ユーザー目線） 7-4 保守点検・修理の必要な部分の交換容易性・部品共通化（専門作業員目線）
8 収集・運搬の容易化	8-1 製品の重心バランス適正化 8-2 把手の確実性向上
9 再資源化等の可能性の向上	9-1 再生資源・再生部品として利用可能な原材料比率の向上 9-2 製品全体の再資源化可能率の向上
10 手解体・分別処理の容易化	10-1 手解体・分別の対象物の特定性・識別性の向上 10-2 対象物の取り出し時間・解体時間の削減 10-3 手解体が容易な構造 > 結合方法・結合個所数・取り付け方向など 10-4 部品のマテリアルリサイクル性 > 異種結合部品の必要性検討、手解体・分別の容易性、分離困難な異種結合部品の合計質量の削減、プラスチック部品への金属インサートの削減、プラスチック部品への塗装・めっきの削減、ラベルなどで使用する接着剤の分離性、特定管理物質の有無、プラスチック部品におけるリサイクル性を損なう添加物（難燃剤など）の有無 10-5 類似した物性を持つ異種原材料の削減 10-6 質量 100g（可能であれば 25g）以上のプラスチック部品への材質表示の有無
11 破碎・選別処理の容易化	11-1 破碎機での処理を想定した材料・強度・構造・寸法 11-2 設備の破損損傷につながる部品の有無（塩水・油など）、再生資源に影響を及ぼす特定の化学物質の有無
12 環境保全性	12-1 製品に含まれる環境負荷物質に関連する法令・業界基準の遵守 12-2 製品に含まれるリサイクル阻害要因物質の削減 12-3 製造工程で使用される環境負荷物質に関連する法令・業界基準・自主基準の遵守 12-4 リサイクル処理時・処理後の環境負荷物質の漏出防止・取り外し容易性 12-5 リサイクルプラントへの悪影響の有無（易溶解性、発熱性、腐食性） 12-6 購入時、使用時、修理時、廃棄時における特記事項 12-7 使用済製品の収集・運搬時における特記事項（分解が必要な際の方法、専用工具の必要性など） 12-8 令などで定められた特定の化学物質を使用有無

「家電リサイクル法」による再資源化システム

2001年に施行された「家電リサイクル法」によって、家庭や事業所から排出される大型家電4品目の収集、再商品化を適正にかつ円滑に実施することを目的として、排出者（消費者・事業者）、小売業者、製造業者等、国、地方公共団体といった関係主体の役割が定められた。

排出者は、対象となる家電製品の再商品化が確実に実施されるように、小売業者等に適切に引き渡すとともに、収集・運搬料金と再商品化に係る料金を支払う必要がある。小売業者は、排出者からの家電の引き渡しに応じて、自らが中古品として再使用するか、再使用・販売する業者に譲渡する場合を除き、製造業者等に引き渡す義務がある。製造業者は、廃棄家電を引き取る拠点（指定取引場所）を設置し、小売業者や排出者からの家電の引き渡しに応じる義務がある。加えて、引き取った廃棄家電を再商品化し、有害物質（フロン等）を適正処理する義務がある。地方自治体では、廃棄家電の収集・運搬をすることができ、かつ製造業者等に引き渡すことができる。

以上のような家電リサイクル法に基づいて構築された再資源化システムと、そこにおける各主体の関係性を図 3-7 に示す。

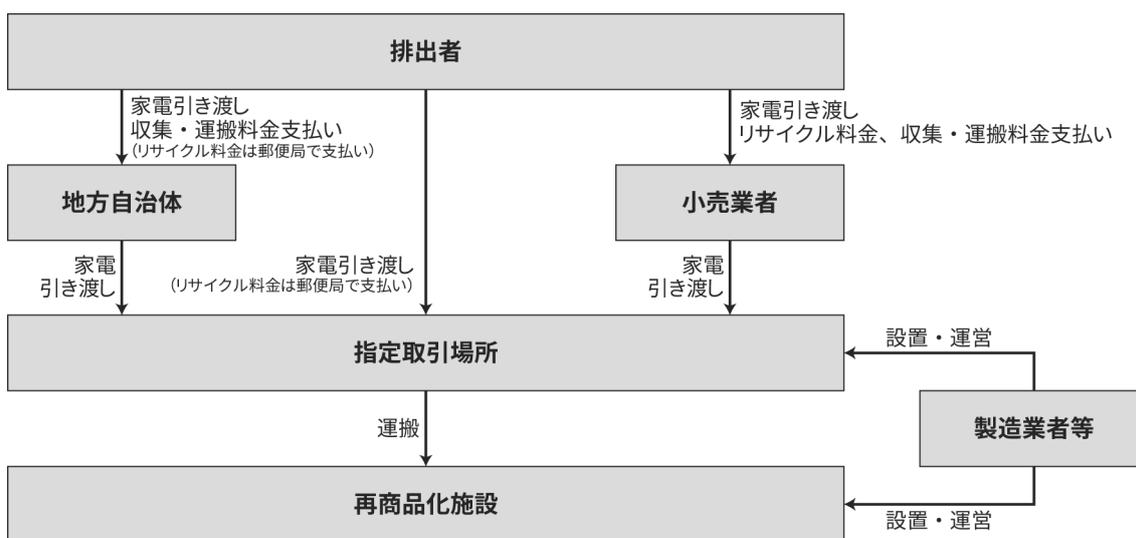


図 3-7 家電の再資源化システムにおける各関係主体の関わり

このように、「家電リサイクル法」によって各関係主体の役割が明記され、現在では円滑な再資源化システムが構築されている。再資源化システムの構築にあたり、製造業者等は、A・Bの2グループに集約され、全国で対象となる家電の回収・再商品化を実施している。2グループに集約することで、初期投資を分散し、新規事業としての経済性を高めるとともに、指定取引場所⁹¹を集約し、小売業者や地方自治体の引き渡しの効率性を高めることが可

⁹¹ 全国に340か所（2018年7月1日現在）ある。2009年10月1日からは、A・Bグループそれぞれの指定取引場所が共有化された

能となった。これをもとに、全国では製造業者等によって再商品化施設が設置されて、廃棄家電の再資源化が行われている。再商品化施設は全国に47か所（2018年7月1日現在）あり、Aグループは、既存のリサイクル業者の施設を活用しながら中核となる専用施設を新設する方法で、Bグループは、素材関連事業者等と提携した専用施設を新設する方法で、それぞれ展開している。

このような高度で持続的な再資源化システムが構築されていることもあり、家電では資源循環性を考慮した生産システムが成立しているといえる。

3.1.3. まとめ

環境配慮設計に基づいた家電の生産システムでは、実際の再資源化工程を反映した製品アセスメントガイドラインを策定することで、将来的な分解性や再利用性を高める製品設計を行っていることが明らかになった。こうすることで、使用後の廃棄物の資源的価値を高めて、再利用を促すことを可能にしているといえる。また、家電リサイクル法によって、製造業者らの回収や再商品化が義務付けられているため、広域的な回収・再資源化体制が整備されている。これによって、廃棄物の循環を促していると考えられ、資源循環性を考慮した生産システムの構築に寄与している。

以上、家電の生産システムにおける取り組みとその目的を、表 3-7 に整理した。

表 3-7 家電の生産システムにおける取り組みとその目的

取り組み	目的
製品アセスメントガイドラインの策定による製品設計	将来的な分解性・再利用性を高め、廃棄物となった際の資源的価値を高めて、資源循環を促す
広域的な回収・再資源化体制の整備	廃棄物の循環を促す

3.2. EU 諸国における Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システム

本節では、先進的事例として、EU 諸国における建材生産システムの一つである、Cradle to Cradle に基づいた建材生産システムを取り扱う。

まず、Cradle to Cradle の概要について整理し（第1項）、Cradle to Cradle に基づいて建材を生産している製造業者2社における取り組みの実態を整理する（第2項）。

各項の内容と、それに対応する調査先や文献について、表 3-8 にまとめた。

表 3-8 本節における内容と対応する調査先・文献一覧

	内容	参考とした調査先・文献	
3.2.1	Cradle to Cradle の概要	参考文献 [39] ⁹² [40] ⁹³	
3.2.2	Cradle to Cradle を実践している製造業者での取り組み	CA 社	サッシ・ドア・ファサードメーカー
		CB 社	内装・外装タイルメーカー

3.2.1. Cradle to Cradle の概要

Cradle to Cradle について

「Cradle to Cradle⁹⁴（以下、C2C）」は、ドイツの科学者 Prof. Dr. Michael Braungart と、アメリカの建築家 William McDonough によって、1990 年代に考えられたデザインコンセプトである。このデザインコンセプトでは、品質や意匠性といった従来の基本性能に加えて、安全に全ての材料を再資源化することで、資源循環性を実現することを目指している。このコンセプトに基づくことで、循環型社会の形成が叫ばれる中での社会的責務を果たすことができ、かつ製品使用後に原材料へと再資源化されるため、原材料価格の変動の影響を受けない安定的な生産が実現できると考えられている。

C2C の目指す資源循環性と原則

C2C が目指す資源循環性は、製品の特性によって「Biological Cycle（生物循環）」と「Technical Cycle（技術循環）」に分類される（図 3-8）。Biological Cycle とは、製品使用後の廃材は堆肥といった栄養素として生物圏に還元され、それを栄養に新たな原材料を育て、製品として使用するという資源循環モデルである。一方で、Technical Cycle とは、製品

⁹² EPEA, “The Cradle to Cradle® design concept,” [オンライン]. Available: <https://braungart-epea.com/cradle-to-cradle/>. [アクセス日: 06 01 2019].

⁹³ Cradle to Cradle Products Innovation Institute, “C2C Product Certification Overview,” [オンライン]. Available: <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>. [アクセス日: 06 01 2019].

⁹⁴ 直訳すると「ゆりかごからゆりかごまで」という意味で、第二次世界大戦後におけるイギリスの社会福祉政策のスローガンである「from the cradle to the grave（ゆりかごから墓場まで）」に由来している

使用後の廃材を、何らかの処理や再加工を行って、新しい製品の原材料として使用するという資源循環モデルである。C2C に基づいて生産をする際には、対象となる製品がどちらの資源循環モデルに適合するかを検討することが必要となる。

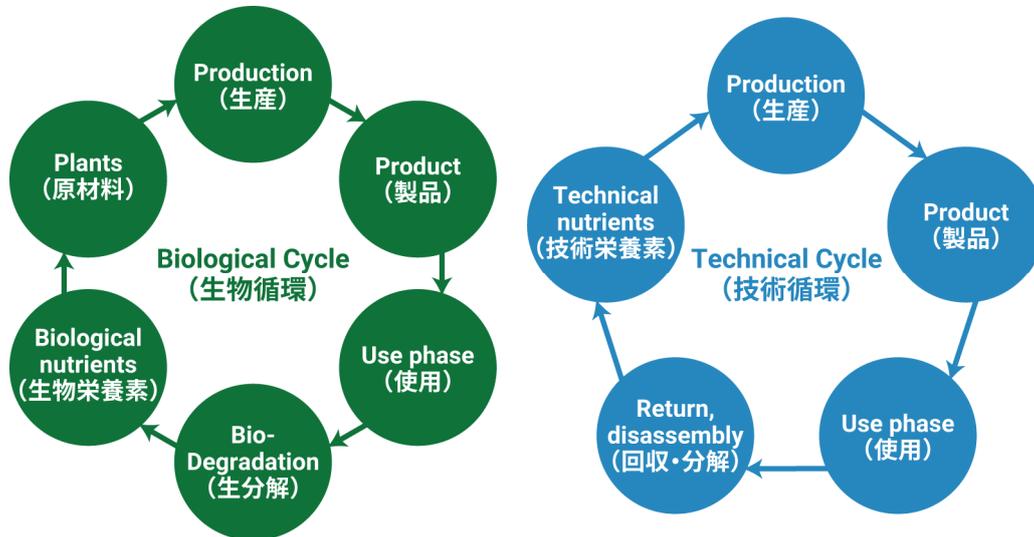


図 3-8 C2C における資源循環モデル

C2C に取り組むにあたっては、“Nutrients become nutrients again”、“Use of renewable energies”、“Celebrate diversity” の 3 原則がある。“Nutrients become nutrients again” とは、生物の排泄物や死骸が、他の生物の栄養素となる自然界の資源循環性に倣って、「廃棄物」という概念をなくし、何らかの「栄養素」として捉えるという原則である。“Use of renewable energies” とは、枯渇が危ぶまれる化石燃料や、将来への負担を残してしまう原子力エネルギーに頼るのではなく、将来に渡って人類や地球に影響を与えない再生可能エネルギーを使用することを推奨するという原則である。“Celebrate diversity” とは、多様で複雑な自然界のシステムに倣い、線形性・一様性が求められる従来の生産プロセスに関しても、様々なアプローチをしていくべきであるという原則である。

Cradle to Cradle Certified (C2C 認証)

上記のような C2C のコンセプトに基づいて製品を生産する際の一つの基準として、「Cradle to Cradle Certified (C2C 認証)」という認証制度がある。

C2C 認証は、Cradle to Cradle Products Innovation Institute (C2CPII) という非営利団体が第三者機関として審査を行い、適合可否を判断している。C2C 認証の取得に当たって、製造業者は、C2CPII が管理する「Cradle to Cradle Certified Product Standard (C2C 認証製品基準)」に基づいて製品設計や生産プロセス等を改善し、その取り組みをまとめた Assessment Summary Reports を C2CPII に提出する。審査を経て認証を取得することができた製品には、C2C 認証の表示をすることが可能となり、消費者や投資家へのアピールが期待できる。

C2C 認証製品基準には、「Material Health (材料健全性)」、「Material Reutilization (材料再使用性)」、「Renewable Energy & Carbon Management (再生可能エネルギーとカーボンマネジメント)」、「Water Stewardship (水管理)」、「Social Fairness (社会的公平性)」の5つの評価項目がある。

「Material Health (材料健全性)」では、製品に使用されている全ての材料について、その化学成分を把握し、より安全な材料に最適化することを目指す。具体的には、前述の Biological Cycle/Technical Cycle に応じて、生物的・技術的に安全かつ再利用できる物質であるかを検討し、含有している化学物質のリスクについて検証をする。

「Material Reutilization (材料再使用性)」では、Biological Cycle/Technical Cycle へと安全に還元することができる材料を使用して、製品を設計することを目指す。具体的な取り組みとしては、再生可能な材料や再生原料の割合を最大化することや、製品使用後に安全に再利用、リサイクル、堆肥化することができる材料の割合を最大化することが挙げられる。

「Renewable Energy & Carbon Management (再生可能エネルギーとカーボンマネジメント)」では、生産プロセスで使用するエネルギーを、全て再生可能エネルギーにすることを目指す。再生可能エネルギーを使用し、製造工程での CO₂ 排出量を相殺する。

「Water Stewardship (水管理)」では、生産プロセスにおいて周囲の水環境への影響を最小限にすることを目指す。生産施設から発生する排水について、含有している化学物質を特定して、環境への影響を検証して最適化をする。

「Social Fairness (社会的公平性)」では、製品のライフサイクルに関わる全ての人や自然を尊重することを目指す。世界的な認証を受けた原材料を使用したり、地域やサプライチェーンに対する改善を行ったりする。

製造業者は、以上5つの評価項目のそれぞれにおいて改善を行い、その改善の度合いによって「Basic」、「Bronze」、「Silver」、「Gold」、「Platinum」の5段階で評価される。カテゴリごとの評価をもとに、製品の総合的な評価 (Overall Certification Level) が決定する (図 3-9)。この際、各評価項目の中で最も低い評価が、総合評価となる。こうすることで、対象の製品においてどの点が改善の余地があるかを明らかにすることができる。

	Basic	Bronze	Silver	Gold	Platinum
Material Health		✓			
Material Reutilization			✓		
Renewable Energy & Carbon Management				✓	
Water Stewardship			✓		
Social Fairness				✓	
Overall Certification Level		✓			

図 3-9 C2C 認証における総合評価方法

5つの評価項目から分かるように、C2C 認証においては、再利用や再資源化の容易性といった製品レベルの検討だけでなく、生産プロセスにおける安全性や省エネルギー性といった企業レベルの検討や、さらには製品に関わる従業員や消費者に対する取り組みも評価対象となる。これによって、一般的に困難とされる製品そのものの環境的な改善（リサイクルをしやすい製品にするなど）だけでなく、製品の性能的な改善によって周囲の快適性や、それによる生産性も評価されるため、製造業者としては取り組みやすい評価基準であるといえる。

2019年1月現在で、C2C 認証を取得している製品は512種類に及んでいる。C2C 認証取得製品は、建材のみならず、家具や衣類、包装紙といったように非常に多岐にわたっている。

次項では、C2C 認証を取得した建材を製造・販売している製造業者2社へのヒアリング調査を行い、C2C 認証の取得に際する取り組みの実態や、C2C 認証建材の資源循環性の実態を明らかにする。

3.2.2. Cradle to Cradle を実践している製造業者での取り組み

CA 社における取り組み

概要

CA 社は、ドイツ北西部に所在する窓・ドア・ファサードメーカーである。1951年に設立され、グループ全体の従業員数は4900名以上で、80か国以上に拠点を設けている。CA社で製造・販売している建材は、住宅用窓（アルミ窓・樹脂窓・スチール窓）、住宅用玄関扉（アルミ扉・樹脂扉・スチール扉）といった住宅用建具と、非住宅用の窓、エントランスド

ア、ファサード等である。

C2C 認証を取得している建材

CA 社では、すべてのアルミ窓、アルミ扉、アルミファサードで、C2C 認証の Bronze を取得している。取得にあたって CA 社が行った各評価項目における具体的な対策を表 3-9 に整理した。

また、一部のアルミ窓とファサードに関しては、“Material Health” で製品に使用されている原料の 95%以上を検査し、“Material Reutilization” で再生原料・再生可能原料・生分解性原料を 65%（重量比）以上に増やす改良を加え、C2C 認証の Silver を取得している。

表 3-9 CA 社における C2C 認証取得に向けた取り組み

評価項目	具体的対策	評価
Material Health	<ul style="list-style-type: none"> ・製品に使用されている原料の 75%以上を検査 ・使用が禁止されている物質の不使用 	Bronze
Material Reutilization	<ul style="list-style-type: none"> ・最低でも 64%以上の原料をリサイクル可能なものに変更 ・リサイクルが可能なアルミ、スチール、ポリアミド断熱材を使用 	Silver
Renewable Energy & Carbon Management	<ul style="list-style-type: none"> ・再生エネルギー比率を 100%化 	Gold
Water Stewardship	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクル可能性についてデータを確保 	Gold
Social Fairness	<ul style="list-style-type: none"> ・地元のサッカー振興のため、アリーナの建設、サッカーチームのメインスポンサーに就任 ・地元企業と共同で、アリーナ屋根に太陽光発電を設置 	Gold

C2C の位置づけと生産システムにおける取り組み

CA 社では、環境的な取り組みで一般的な省エネルギーから、次の段階である資源循環と、それに伴う持続可能性を目指しており、製品・環境・社員・社会・サプライチェーンの 5 つの柱を掲げて取り組みを行う中で、C2C を方針として位置付けている。ここでは、特徴のあった製品・環境・社員における取り組みについて整理する。

製品に関しては、環境的側面と、機能的側面から取り組みを行っている。環境的側面では、前述の通り C2C 認証を取得することでリサイクル性を向上させている。この際には、有害な物質が含まれていると、途端にリサイクルの工程では扱うことができないため、人体に有害な物質を一切使用しないことが大前提となる。その前提の下、実際のリサイクル工程を考

慮した部材の分解容易性等を検討しているとのことであった。資源には限りがあることから、こうした資源循環を促す製品を開発・製造することで、その製品が資源としての価値を新たに持ち、さらには、その製品を使用している建築物にも資源という価値が付与されるという考えの下、CA社では環境的取り組みを行っていた。ただし、CA社では、製品から外れる施工時・解体時のリサイクル性については、不確定要素が多いため、製品そのもののリサイクル性のみの検討に割り切っていた。また、有害物質である鉛を使用していた過去の樹脂サッシをリサイクルすることは、有害物質を排除するというC2Cの大前提に反すると考えられるが、現在を基準として検討するというように割り切っている。これは、過去の有害物質と同様に、現在無害とされている物質も将来的には有害と認定されてしまうかもしれないという不確定要素を孕んでいるためである。こうして、CA社では自社の守備範囲を自らが設定することで、円滑にC2Cに基づいた取り組みを行うことが可能となっていると考えられる。

機能的側面では、製品を通して居住空間の快適性を向上させる取り組みを行っている。C2Cの考え方では、オフィスの建設費を1とすると、その建築物を50年使用したとして、内部で使用される光熱費が10、内部の労働者の人件費が100と概算している。そのため、環境の優れた室内空間にすることが、生産性の向上につながり、持続可能なビジネスが形成されるといえる。CA社では、換気・防音・空気質の改善・二酸化炭素濃度の低減が可能な製品を製造・販売することで、室内環境を改善し、持続可能なビジネスの形成に寄与している。

環境に関しては、2011年を基準としてCO₂の排出量を62%削減することに成功しており、2050年にはCO₂排出をほぼ0にすることを目標としているとのことであった。

社員に関しては、自転車通勤を奨励することで企業活動におけるCO₂排出量のさらなる削減を目指している。また、持続可能性に関する講演等を社員向けに開催することで、C2Cへの理解を促し、C2Cに基づいた行動や開発・製造を内発的に行うことができるように仕向けているとのことであった。

以上のように、CA社では多面的にC2Cについて具体的な取り組みを行っているが、こうした取り組みに係るコストは、製品には一切反映していないとのことであった。C2C認証を取得していない製品と同じ価格に設定することで、設計者や施主に積極的に選ばれるようになり、業界内におけるC2Cの先駆者となることができる。こうすることで、同業他社と差別化を図り、市場競争力を向上させることができるという、企業側のメリットが存在するといえる。

CB社における取り組み

概要

CB社は、オランダ南部に所在する内外装タイルメーカーである。1883年に設立され、従業員数は約600名で、4大陸15か国で展開をしている。売り上げは、ヨーロッパ地域が6割、その他の地域が4割という構成になっている。CB社で取り扱っている建材は、屋内床タイル、屋外床タイル、内壁タイル、外壁タイルである。

C2C 認証を取得している建材

CB社では、ほぼすべての製品で、C2C 認証の Silver を取得している。一部の製品には、塗料の成分にカドミウムが含まれており、その製品に関してはC2C 認証を取得していない。取得にあたってCB社が行った各評価項目における具体的な対策を表3-10に整理した。

表 3-10 CB社におけるC2C 認証取得に向けた取り組み

評価項目	具体的対策	評価
Material Health	<ul style="list-style-type: none"> ・環境や健康への影響がない天然材料を主成分に使用 ・ppm 単位での構成材料の分析 ・重金属の不使用 	Silver
Material Reutilization	<ul style="list-style-type: none"> ・工場端材を原料として再利用（壁タイルでは50%、床タイルでは100%） ・大規模新築現場における新築端材を回収し、原料として再利用（壁タイルでは22%、床タイルでは21%、もしくは45%） 	Silver
Renewable Energy & Carbon Management	<ul style="list-style-type: none"> ・製造工程で使用するエネルギーの1/3を再生可能エネルギーに転換 	Gold
Water Stewardship	<ul style="list-style-type: none"> ・製造工場の排水を敷地内で浄化して再利用 	Silver
Social Fairness	<ul style="list-style-type: none"> ・重要な市場の西欧地域での生産を継続 ・適切に管理された採石場由来の原材料を90%以上使用 	Silver

C2C の位置づけと生産システムにおける取り組み

CB社では、2008年にSustainability Designを企業方針として、製品の持続可能性に加え、顧客と従業員に対して健康を提供するという、サプライチェーン全体の持続可能性も目標に掲げた。これは、タイル製造時に水やその他のエネルギーを大量に使用すること、製造工場が街の中心に位置しており、周辺住民や周辺環境への配慮を行わなければならないこと

が、理由として挙げられる。一方で、持続可能性は非常に広い概念であることから、具体的な取り組みに落とし込めないため、C2C を一つの方針として位置付けた。

前述の通り、現在では製造している製品のほぼ 100 % について、C2C 認証を取得している。一方で、塗料に有害物質を含んでいる製品に関しては、C2C の考え方に反しているため、製造を中止したとのことであった。この場合には、有害物質と同様の発色をする代替物質を使用することはせず、その色のタイルそのものを廃止するという措置を講じている。このことから、Sustainability Design という方針に非常に真摯に取り組んでいることが窺える。

また、CB 社では解体現場に回収用のコンテナを設置し、CB 社製のタイル廃材を回収する取り組みを試験的に行っている。ただし、他社製のタイルやタイル以外の廃材が混入して、再資源化の妨げになっていたり、輸送費がかかることからオランダ国内に限っていたりと、課題は多いとのことであった。

製品レベルの検討と割り切っていた CA 社とは対照的に、CB 社では、これまでの 10 年で、製品製造における C2C の取り組みは一通り完了したとして、今後 10 年は、C2C の取り組みを製造から施工・解体まで広げること为目标としている。これに伴って、製品の製造プロセスの見直しから、解体材の回収方法の確立、再資源化方法の検討までを包含した「Circle Design」を掲げ、ロードマップを作成しているとのことであった。具体的な考えとしては、接着剤の改良や乾式工法の開発（図 3-10）によって、解体をしやすくして資源循環を促進することを挙げていた。



図 3-10 CB 社における乾式工法への取り組み⁹⁵

⁹⁵ 筆者撮影

3.2.3. まとめ

EU 諸国における Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システムでは、C2C 認証制度を利用して、リサイクルを前提とした構成材料や複合方法を選択するようにしていた。これによって、家電と同様、廃棄物の資源的価値を高め、廃棄物の再利用を促しているといえる。C2C 認証制度では、一般的に経済的メリットが小さいリサイクル性の評価（Material Health / Material Reutilization）に加えて、製造プロセスの省エネ・省資源性（Renewable Energy & Carbon Management / Water Stewardship）、サプライチェーンへの貢献性（Social Fairness）といったような、コスト削減や企業価値の向上が期待できる取り組みも評価されるため、製造業者にとっては、認証取得の大きな動機となる。これによって、資源循環性が向上する製品の開発が促されるといえる。

また、C2C 認証を取得することによって、競合製品との差別化を図ることが可能となり、市場競争力を高めることができるとの意見も見られた。こうしたことも、資源循環性を高めた製品の開発を促進する動機となり得る。

以上、Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システムにおける取り組みとその目的を、表 3-11 に整理した。

表 3-11 Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システムにおける取り組みとその目的

取り組み	目的
C2C 認証制度基準を利用した、リサイクルを前提とした製品設計	廃棄物の資源的価値を高めて、再利用を促す
C2C 認証制度の取得	企業価値と市場競争力を高めつつ、リサイクル性が向上する製品の開発動機となる

3.3. ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システム

本節では、先進的事例として、EU 諸国の建材生産システムの一つとして、ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システムを取り扱う。

ドイツでは、樹脂サッシメーカーによる樹脂サッシ再資源化業者の設立を契機として、業界全体で樹脂サッシの再資源化を推し進めている。まず、ドイツを中心に構築されている樹脂サッシの再資源化システムの実態を整理し（第1項）、再資源化システム構築のきっかけとなった樹脂サッシメーカーにおいて、再資源化システムに基づいた生産システムにおける取り組みの実態を把握する（第2項）。

各項の内容と、それに対応する調査先や文献について、表 3-12 にまとめた。

表 3-12 本節における内容と対応する調査先・文献

	内容	参考とした調査先・文献	
3.3.1	樹脂サッシ再資源化システムの概要	AGPU	PVC 製品リサイクル団体
		Rewindo	樹脂サッシリサイクル団体
		PA 社	樹脂型材メーカー
		PB 社	樹脂窓メーカー
		PC 社	樹脂サッシ再資源化業者
		既往研究 [41] ⁹⁶	
3.3.2	再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組み	PA 社	樹脂型材メーカー

3.3.1. 樹脂サッシ再資源化システムの概要

ドイツにおける樹脂サッシ再資源化システムの歴史

ドイツは、樹脂サッシを世界で初めて開発した国であり、古くから樹脂サッシが広く使用されている。1990年代に環境問題に対して積極的な活動を行っている政党「Bündnis 90/Die Grünen（同盟 90/緑の党）」が躍進し、PVC 製品に対する批判が世論の中で高まった。これを受けて、樹脂サッシ業界全体でリサイクル等の対策を協議したが、様々な課題から、当時は業界全体での取り組みを実現することができなかった。その中で、樹脂型材メーカーである PA 社が、自ら樹脂サッシ再資源化業者 PC 社を 1993 年に設立し、自主的に廃棄樹脂サッシの回収・再資源化に取り組み、設立から 5 年後の 1998 年には、累積で 10,000 t もの廃棄樹脂サッシを再資源化することに成功した。これによって、業界全体での取り組みの機運が

⁹⁶ 原田優作，“国内における樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性に関する研究，” 東京大学大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 修士論文, 2017.

高まったため、製造者責任を果たし、PVC はリサイクルが可能で環境負荷の小さい素材であることをアピールすることを目的として、PVC 製品リサイクルに取り組み AGPU や、樹脂サッシのリサイクルに取り組む Rewindo が設立された。

Rewindo が 2002 年に設立されてからは、PB 社は Rewindo と共同体制で樹脂サッシの再資源化に取り組んでいる。

樹脂サッシの再資源化実績

2002 年に Rewindo が設立されたことで、ドイツでは業界全体で廃棄樹脂サッシの再資源化を推進しており、2002 年以降、その再資源化量は増加し続けている。特に 2005 年にドイツ国内における PVC を含む可燃物の埋め立て処分を禁止する法律が施行されたことによって、再資源化量は 2005 年を境に急激に増加した。

2015 年におけるドイツ国内における樹脂サッシの総排出量は、43,990 t である(図 3-11)。そのうち、27,328 t が再資源化されて、再生ペレットとして再利用されている。Rewindo では、総排出量のうち、回収困難な廃材を除いた「Erfassbare verfügbare Menge (回収可能量)」を試算し、それに対して再資源化率を算出している。これによってドイツ国内の樹脂サッシの再資源化率は 89 % と高い実績となっている。

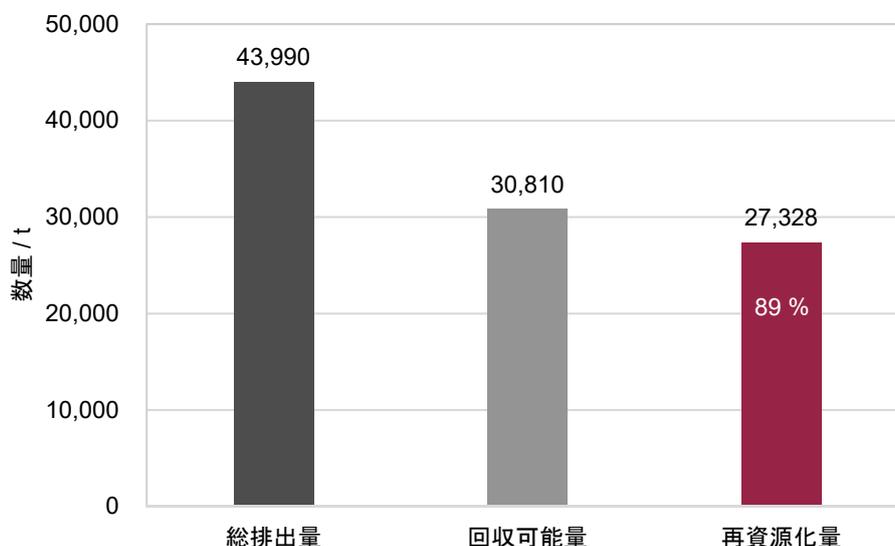


図 3-11 ドイツ国内における廃棄樹脂サッシの再資源化状況 (2015 年) ⁹⁷

樹脂サッシの再資源化の仕組み

調査当時 (2016 年) では、AGPU が広報を担当し、Rewindo が建設業界や自治体等との交渉、及びリサイクルの管理を担当していた。それらの団体からの資金援助を受け、PC 社のような樹脂サッシの再資源化を行う業者で実際のリサイクルが行われている。資金は主に

⁹⁷ Rewindo 提供資料より作成

PA 社のような樹脂型材メーカー（プロファイラー）が提供する形になっている。

再資源化業者では、プロファイラーの製造工場が発生する工場端材や、解体現場で発生する解体材を回収している。ほかにも、プロファイラーから型材を購入して樹脂窓を製造する PB 社のような樹脂窓メーカー（ファブリケーター）の製造工場が発生する樹脂型材の端材も回収している。上記のような回収を円滑に行うため、再資源化業者ではプロファイラー・ファブリケーター・解体工事を担当する工事会社に回収用のコンテナを貸し出している。

こうした再資源化システムを持続的に行うために、プロファイラーの型材製造量に応じて、再資源化業者によるリサイクル材の購入・使用を業界内で義務付けている。

以上、ドイツの樹脂サッシ再資源化システムにおける各主体との関係性を図 3-12 に示す。

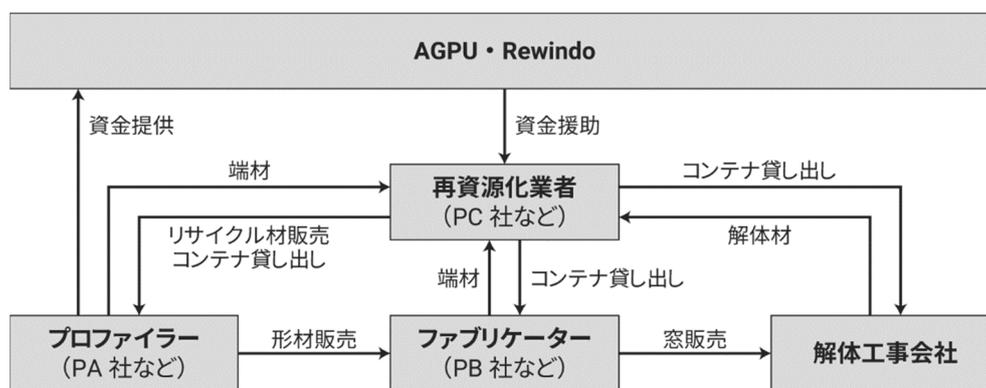


図 3-12 ドイツの樹脂サッシ再資源化システムの各関係主体の関わり

樹脂サッシの再資源化工程

PC 社を例に、樹脂サッシの再資源化工程を整理する。

PC 社は、前述の通り樹脂型材メーカー PA 社の出資によって設立された樹脂サッシ専門の再資源化業者である。ドイツ、イギリス、フランスにリサイクル工場を設けており、ドイツ国内のリサイクル工場は、地理的な中心部に設置することで、ドイツ全土からの回収に対応しつつ、スイスやオーストリアといった近隣諸国からも回収している。なお、PC 社では、PA 社製の樹脂型材のみではなく、すべての樹脂サッシを受け入れている。

受け入れた廃棄樹脂サッシは、その状態や種類ごとに重機で選別される。その後、シュレッダーやハンマーなどで破碎し、選別ラインに投入される。選別ラインでは、磁気選別・比重選別⁹⁸・静電選別⁹⁹・色選別¹⁰⁰の順に選別が行われており、全て機械化されている。磁気選別では鉄、比重選別ではガラスや非鉄金属といった重量物が選別される。磁気選別と比重選別は複数回行われており、これによって異物の選別精度を高めている。その後、静電選別では軟質 PVC、色選別では残った硬質 PVC を白色と有色に選別する。色選別を行う理由と

⁹⁸ 振動する膜の下から送風して重量物と軽量物を分ける選別方法

⁹⁹ 対象物の帯電性を利用した選別方法で、陽極に硬質 PVC が、陰極に軟質 PVC が引き寄せられることによって選別ができる

¹⁰⁰ センサーによって対象物の色を識別する選別方法

しては、ドイツ国内の樹脂サッシは白色が基本であり、白色のリサイクル材の方が高品質だと認識されるためである。

以上の選別ラインを経ると、リサイクル材（再生ペレット）の製造ラインに移る。ペレット製造工程では、選別された硬質 PVC を加熱し、15 分に 1 回交換をするフィルターを通して細かい異物を除去して適切な大きさのペレットに成形する。白色の硬質 PVC は白色ペレットに、有色の硬質 PVC は灰色ペレットに製品化され、それぞれ樹脂サッシの外側、樹脂サッシの内側に主に再利用される。

以上、PC 社における樹脂サッシの再資源化工程を図 3-13 にまとめた。

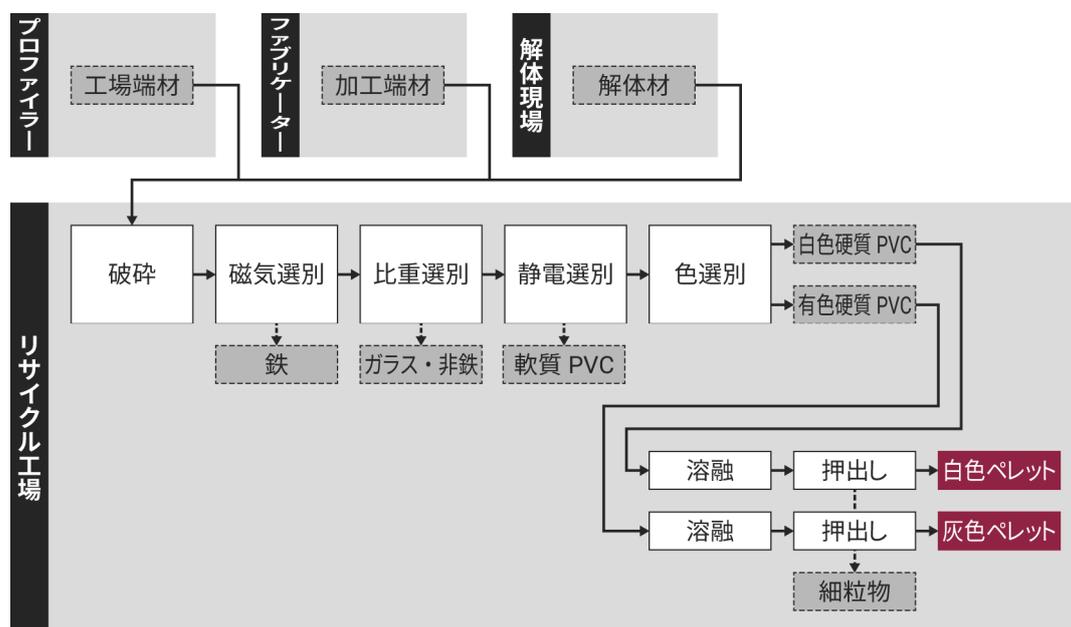


図 3-13 PC 社における樹脂サッシの再資源化工程

3.3.2. 再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組み

以上のような樹脂サッシの再資源化システムが構築されているが、これによって樹脂サッシ生産システム側にどのような影響を及ぼしているかに関して、樹脂型材メーカーPA 社を例にその実態を整理する。

PA 社の概要

PA 社は、ドイツ北西部に所在する樹脂型材メーカーである。1969 年に設立され、従業員数はグループ全体で約 5,000 名であり、ヨーロッパ・北米・アジアに拠点を設けている。取り扱っている樹脂型材は、サッシ・扉・サンシェーディング・シートであり、PVC コンパウンドも製造・販売している。

前述の通り、1993年に樹脂サッシ専門の再資源化業者であるPC社を設立して、樹脂サッシの再資源化も進めている。その処理量は3工場全体で100,000t/年に上る。

再資源化システムに基づいた取り組み

リサイクル材（再生ペレット）の使用

業界内の取り決めから、PA社ではPC社のような再資源化業者が製造しているリサイクル材を原料として使用し、樹脂形材を製造している。

樹脂サッシ用形材の製造では、原料となるPVCコンパウンドやペレットを熔融して、押出し機を通して成形されるが、押出しの際に、バージン材とリサイクル材を混合せずに併用することができる。このような特性から、リサイクル材に多い灰色ペレットを外観に影響を及ぼさない形材内部に、バージン材を形材外部に使用する、といったような工夫が可能となる。

PA社では、形材内部においてリサイクル材を使用する範囲を段階的に広げて、リサイクル材の使用率を上げている（図3-14）。2018年現在では、製造している形材のほとんどについて、リサイクル材使用率を75%に設定している。さらにリサイクル材使用率を上げることは、技術的には可能であるが、それに伴って形材表面のバージン材層が薄くなり、溶着部でリサイクル材層が表出してしまう、外観が悪くなってしまう。そのため、現在の75%がリサイクル材使用率の上限であると考えているとのことであった。また、リサイクル材のみを使用した形材の製造は理論的にも技術的にも可能であるが、同様の理由から商品化は難しいと見ている。

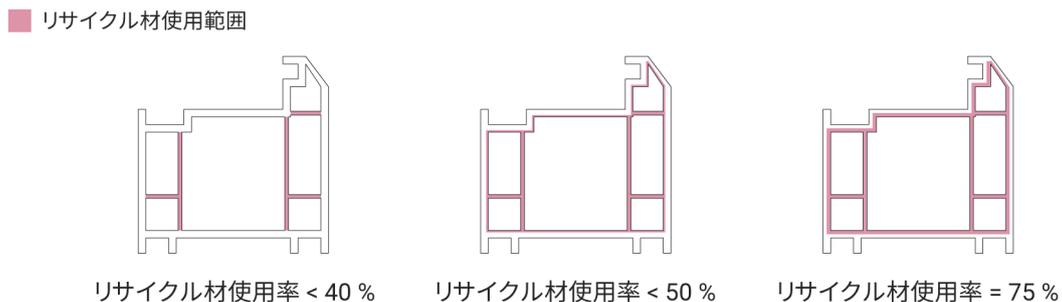


図 3-14 PA社におけるリサイクル材使用率と形材断面の様子

リサイクル材を使用した製品の再資源化に関する対応

上記のようなリサイクル材の使用によって、将来的にはリサイクル材を多く含む製品の再資源化を行うことになることは、容易に想像できる。その際に、再資源化を繰り返すことによる性能の低下が危惧されると考えられる。

PA社では、そのような懸念事項を念頭に置いており、実証実験によって再資源化を7回

行ったリサイクル材を使用しても、性能的には問題がないことを証明しているとのことであつた。

再資源化を考慮した開発

PA 社では、前述の通り PC 社との関係性が強いことから、再資源化工程を踏まえた開発を行っている。

選別に関しては、ガラスや鉄などの異物を除去することは容易で、アルミも基本的にはきれいに除去することが可能である。樹脂サッシには補強材として鉄芯を挿入することがあるが、選別が容易とはいへ、鉄芯がない方がリサイクルはしやすいのは事実である。しかし、大型の樹脂窓には強度の観点から鉄芯は必須であるため、鉄芯の使用を取りやめることはしなかつたとのことであつた。PC 社では、PA 社製の樹脂サッシには鉄芯が挿入されているという前提で、再資源化工程を構築している。

障子と枠の間の気密性を確保するために使用されるパッキンは、分離が難しいとされている。そのため、その部分を同素材の PVC（軟質 PVC）を使用して溶着する方法か、もしくは樹脂部材（EPDM¹⁰¹）を挿入する方法を採用している。どちらの方法を採用するかは、柔軟性が求められるかどうかで決定しているとのことであつた（一般に軟質 PVCの方が柔軟性は高い）。

他社製品の中には、強度の確保を目的として、PVC にグラスファイバーを混合させている形材や、鉄芯の代わりにグラスファイバーを充填している形材、内部の表面にグラスファイバーを付着させている形材が存在している。これらは再資源化工程の破碎時に、粉塵が発生してしまい、選別機械や人体に悪影響を及ぼしてしまう。PA 社ではこういった形材は製造しない方針を一貫している。

以上のように、PA 社では自社内に再資源化業者を抱えていることも大きく影響して、廃材を再資源化する際の懸念事項や、再資源化後のリサイクル材を使用する際の懸念事項を踏まえて、開発を行っていた。

再資源化システムが構築されており、かつそれに深くかかわっている生産システムでは、実際の再資源化工程を考慮した様々な検討と実践が行われているといえる。

3.3.3. まとめ

ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システムでは、PA 社のように自社内に再資源化業者（PC 社）を抱える製造業者において、実際の再資源化プロセスを踏まえた構成材料の選定や、複合方法の改良が行われていることが明らかになった。また、再生原料の使用率を高

¹⁰¹ エチレン・プロピレン・ジエンゴムの略称で、ゴムの一種である

めたり、将来想定されるリサイクル材を使用した樹脂成形のリサイクルに向けて、リサイクル回数の実証実験を行ったりしていることも分かった。このような取り組みによって、廃棄物の再利用を促し、かつ持続的な再利用を実現することに寄与しているといえる。

また、製造業者らが主導して設立した業界団体（Rewindo）による回収・再資源化体制の整備や、再生ペレットの利用を義務化する業界内の取り決めを行うことで、廃棄物の循環を促していることが明らかになった。

以上、ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システムにおける取り組みとその目的を、表 3-13 に整理した。

表 3-13 ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システムにおける取り組みとその目的

取り組み	目的
実際の再資源化プロセスを踏まえた製品開発	廃棄物の再利用を促進し、かつ持続的な再利用を実現する
再生原料の使用率向上	
リサイクル回数の実証実験	
回収・再資源化体制の整備	廃棄物の循環を促す
再生ペレットの利用の義務化	

3.4. オランダを中心とした板ガラスの生産システム

本節では、先進的事例として、EU 諸国の建材生産システムの一つとして、オランダを中心とした板ガラスの生産システムを取り扱う。

オランダでは、業界全体でリサイクル団体を設立・運営し、自主的に板ガラスの再資源化を推し進めている。まず、オランダを中心に構築されている板ガラスの再資源化システムの実態を整理し（第1項）、リサイクル団体の設立に関わった板ガラスメーカーにおいて、再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組みの実態を把握する（第2項）。

各行の内容と、それに対応する調査先や文献について、表 3-14 にまとめた。

表 3-14 本節における内容と対応する調査先・文献

	内容	参考とした調査先・文献	
3.4.1	板ガラス再資源化システムの概要	VRN	オランダ板ガラスリサイクル協会
		GA 社	板ガラスメーカー
		GB 社	ガラス再資源化業者
		既往研究 [41] [42] ¹⁰²	
3.4.2	再資源化システムに基づいた生産システムでの取り組み	GA 社	板ガラスメーカー

3.4.1. 板ガラス再資源化システムの概要

オランダにおける板ガラス再資源化システムの歴史

オランダでは、2003 年から板ガラスのリサイクルを義務付ける法律が施行された。オランダの板ガラス業界は、法律の施行に先立って、オランダ国内での板ガラスの再資源化を推進するために、回収と再資源化を管理・運営する VRN¹⁰³を設立した。目的としては、再資源化による環境負荷の削減や製造者責任を果たすこと等が挙げられるが、リサイクル材を使用することでコストの削減が期待できることが、設立に至る大きな要因となった。板ガラスの製造では、原材料（バージン材）の溶融温度は 1,600～1,800℃であるが、リサイクル材（カレット）を使用することで、溶融温度を 1,400℃まで低下させることが可能となり、溶融に係るエネルギーを削減することができるためである。

また、オランダに限らず、欧州諸国では農業用の温室に板ガラスが使用されることが多い。

¹⁰² 清家剛，“平成 21 年度循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書 「他産業を含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究」(K1902、K2043、K2186)”，2010。

¹⁰³ Vlakglas Recycling Nederland の略称（オランダの板ガラスリサイクルという意味）

この板ガラスは単板であり、ガラス以外の異物が混入する恐れがあまりないため、リサイクルに適しており、持続的な再資源化システムの構築に寄与していると考えられる。加えて、日本と比較して、欧州諸国ではビンの需要が多いため、板ガラスとしての再資源化が困難である場合でも、ビンへとカスケードリサイクルすることができることも、再資源化システムが成立している一因であるといえる。

板ガラスの再資源化実績

オランダ国内では、約 105,000 t (2017 年) の廃棄板ガラスが発生している。そのうち約 68% である 71,300 t が VRN によって回収されている。残りの廃棄板ガラスは、分離にコストがかかるためにやむなく廃棄しているものや、再資源化業者に直接搬入される端材等である。VRN による廃棄板ガラスの量は、2011 年と比較して減少している (図 3-15) が、これは回収効率が低下したのではなく、景気の低迷による改修工事の減少に伴って、排出量が低下したためである。

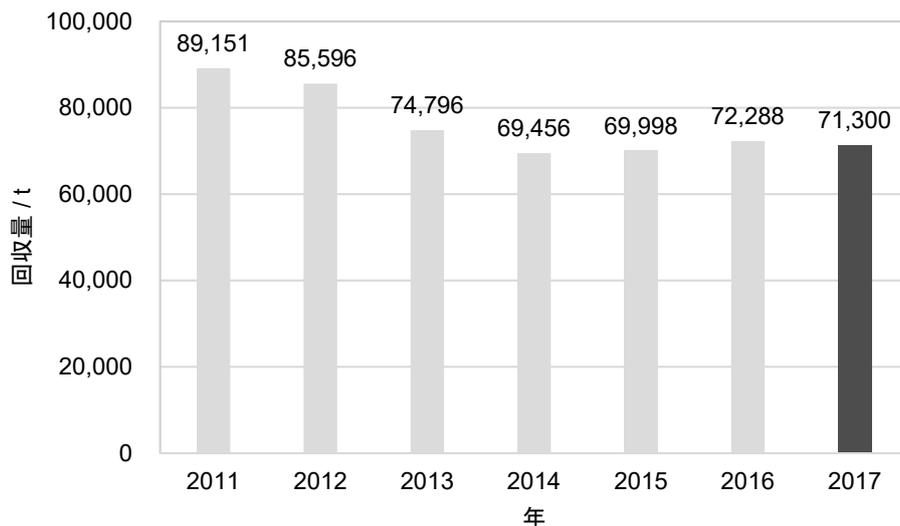


図 3-15 VRN による廃棄板ガラスの回収量¹⁰⁴

回収された廃棄板ガラスのうち、80%以上が混合された状態である (図 3-16)。混合板ガラスには、網入りガラス・鏡・合わせガラス・色ガラス・温室用ガラス・耐火ガラス・安全ガラスが含まれている。

¹⁰⁴ VRN 提供資料より作成

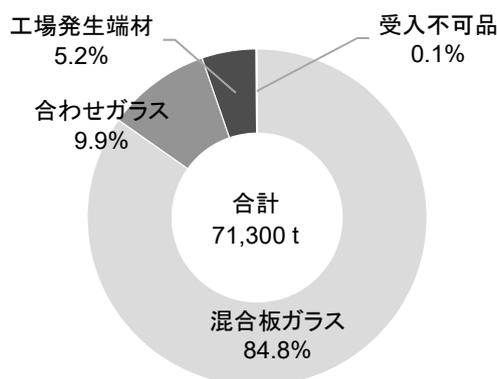


図 3-16 VRN によって回収された廃棄板ガラスの内訳¹⁰⁵

こうして回収された廃棄板ガラスは、入札で選定されたカレット業者（詳細は後述）によって再資源化される。2014～2016 年における再資源化先の内訳としては、ビンが最も多く、板ガラスへの再資源化は 8%に留まっている（図 3-17）。

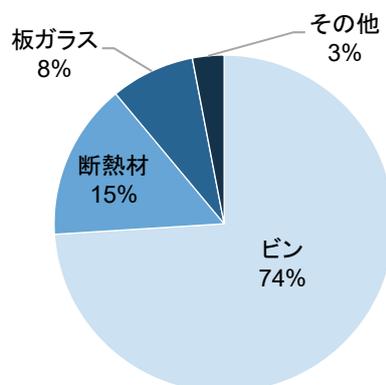


図 3-17 回収された廃棄板ガラスの再資源化先の内訳¹⁰⁵

板ガラスの再資源化の仕組み

オランダにおける板ガラスの再資源化システムは、VRN によって管理・運営されている。VRN の主な業務として、回収コンテナの貸し出しがある。ガラス加工会社や建設会社へ回収コンテナを有料で貸し出すことで、板ガラスが廃棄しやすい環境を創出している。

また、VRN は、オランダ国内において板ガラスを製造・販売するメーカーや輸入業者に対して、その取扱量に応じた「Recycling levy（リサイクル料金）」を徴収している。この資金を元手に、廃棄板ガラスの回収や再資源化の運営を行っている。この課金制度は、政府か

¹⁰⁵ VRN 提供資料より作成

らの指導という形式が採られており、準法的な強制力を持っている。Recycling levy は、2018年現在で、€ 0.3 /m² となっている¹⁰⁶。2015年までは€ 0.5 /m²、2016年からは€ 0.4 /m²と、年々減額されていることから、再資源化システムの管理・運営が経済的に円滑に機能していることが窺える。将来的には、Recycling levy をより引き下げることが検討されているとのことであった（下限値は€ 0.2 /m²程度だと考えている）。

廃棄板ガラスの回収や再資源化の実務に関しては、VRN による入札で業者が選定される。2018年現在、再資源化の業務を請け負っているのは、調査を行った GB 社と、別の大手ガラス再資源化業者の2社である。この2社では、VRN が設置した回収コンテナから回収された廃棄板ガラスの他にも、板ガラスメーカーやガラス加工業者で発生した端材等も受け入れ、ガラスカレットへと再資源化する。ガラスカレットの用途としては、前述の通り、大半がビン用であり、板ガラス用のカレットは少ないのが現状である。

これを受けて、VRN と後述の板ガラスメーカーGA 社等が共同で、板ガラスの水平リサイクルを目指す ”Flat to Flat Project” を進めているが、コストがかかってしまうため、実現には障壁があるとの意見が見られた。

以上、オランダの板ガラス再資源化システムにおける各主体との関係性を図 3-18 に示す。

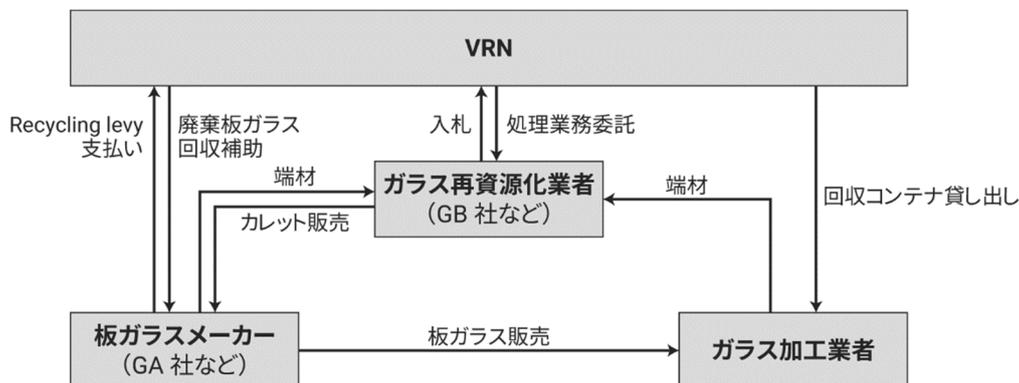


図 3-18 オランダの板ガラス再資源化システムの各関係主体の関わり

板ガラスの再資源化工程

GB 社を例に、板ガラスの再資源化工程を整理する。

GB 社は、ベルギーの工業鉱物会社とフランスの廃棄物処理会社との共同出資によって設立されたガラス専門の再資源化業者である。前述の通り、2018年現在、VRN の再資源化業務を請け負っており、その再資源化量は、VRN が回収する廃棄板ガラス全体の 25% である。グループ全体で、ベルギー国内に再資源化施設を数か所設けており、全体で年間 120 万 t の廃棄ガラスを受け入れている。そのうち 100 万 t がビンで、残りの 20 万 t が板ガラスとな

¹⁰⁶ オランダ国内の板ガラス生産量は 480 万 m² (2017 年) であるため、約 144 万ユーロ (約 1 億 8000 万円) が運営資金となる

っている。GB 社を含むグループ全体で受け入れている廃棄板ガラスのうち、およそ 40% が VRN の回収したものとなっており、最も大きい供給元となっている。オランダに限らず、イギリス等からも廃棄ガラスを回収しており、再資源化したカレットは、主にベルギー周辺で販売を行っている。

今回訪問した再資源化施設は、板ガラスとビンの両方を受け入れており、それぞれ専用のラインで選別が行われていた。以下では、板ガラスの再資源化工程を示す。

受け入れた廃棄板ガラスは、機械で粗破碎され、最初に磁気選別が行われる。この磁気選別は磁性金属のみではなく、電磁誘導の原理を利用して非鉄金属も選別ができる。そのため、鉄だけではなく複層ガラスのアルミスペーサーも除去することができる。その後、手選別ラインで大きな異物（廃プラスチック類等）を選別し、光学選別を行う。光学選別では、カメラや赤外線を用いて異物やガラスの色を識別して空気で弾き飛ばす機器を用いて、異物を除去するとともに、ガラスを色別に分別する。こうしてできたカレットは、検査工程で CSP¹⁰⁷ や鉄・有機物といった異物の混入有無や、納入先の求めるサイズを満たしているかを検査して、出荷となる。

以上、GB 社における板ガラスの再資源化工程を図 3-19 に、廃棄板ガラスの状態の変遷を図 3-20 に示す。

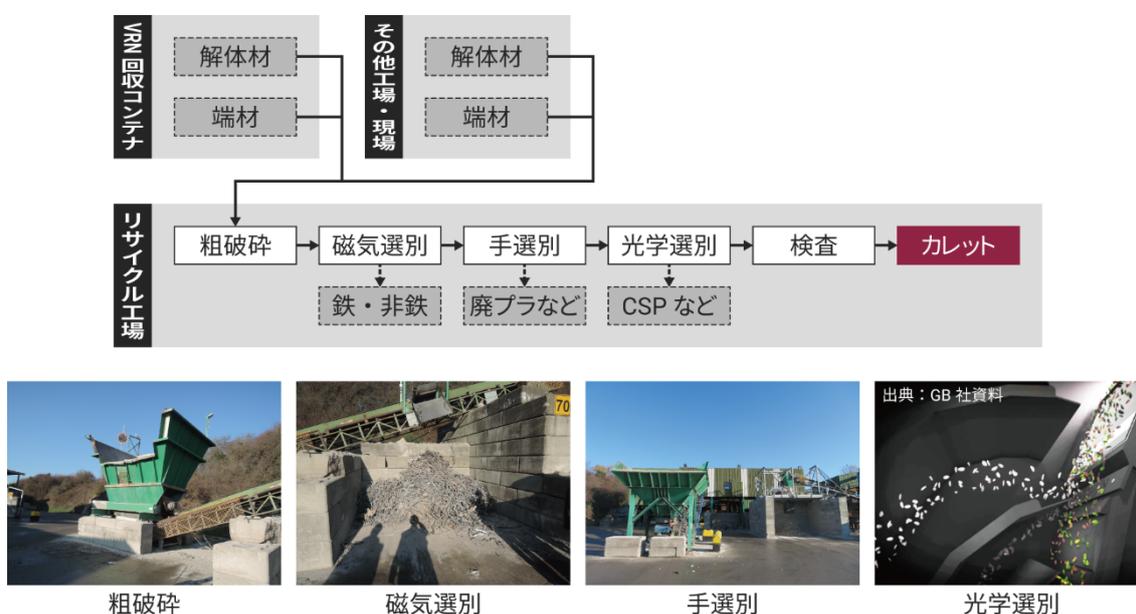
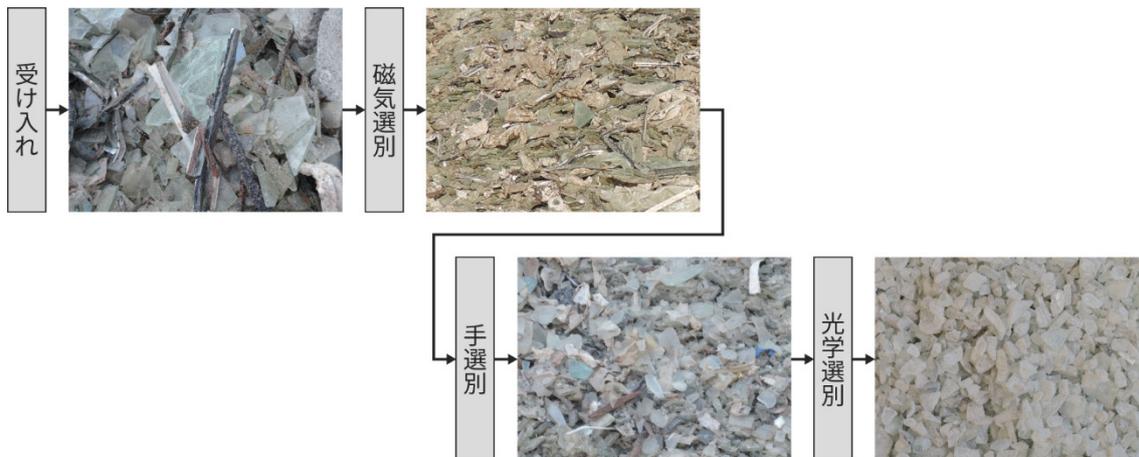


図 3-19 GB 社における板ガラスの再資源化工程¹⁰⁸

¹⁰⁷ Ceramic (陶器)、Stone (石)、Porcelain (磁器) の略称

¹⁰⁸ 出典の表記がないものは筆者撮影

図 3-20 廃棄板ガラスの状態の変遷¹⁰⁹

3.4.2. 再資源化に基づいた生産システムでの取り組み

以上のように、オランダでは板ガラスの再資源化システムが構築されているが、これによって板ガラス生産システム側にどのような影響を及ぼしているかに関して、板ガラスメーカーGA社を例に、その実態を整理する。

GA社の概要

GA社は、ベルギー中央部に所在する板ガラスメーカーである。建築用板ガラスだけではなく、工業用板ガラス（自動車や電子機器等）、化学品の研究開発・製造・販売も主な業務としている。1981年に他国の板ガラスメーカーが、ベルギーの大手板ガラスメーカーを買収して設立した欧州支社であり、従業員数はグループ全体で約16,000名である。西はスペインから、東はロシアまで、欧州諸国に100拠点を構えている。

GA社は、VRNの創立に関わっており、オランダ国内での製造・販売も行っているため、前述のRecycling levyを支払っている。また、2012年には前述のC2C認証を取得している。これは、ヨーロッパの板ガラスメーカーとしては初めてのことであった。GA社においてC2Cを方針として掲げた理由としては、製品に新たな市場価値を付加させたかったこと、C2C認証は2年に一度審査があるため、継続的に開発を進める動機になることが挙げられていた。

よって、GA社は再資源化システムに基づいた取り組みと、C2Cに基づいた取り組みの両方を行っていることになるが、両者は重なる部分が多いため、以下ではまとめてその実態を整理する。

¹⁰⁹ 筆者撮影

再資源化システム・C2C に基づいた取り組み

リサイクル材（カレット）の使用

GA 社では、VRN の仕組みによって回収・再資源化された廃棄板ガラス（カレット）を原料として使用している。これは、樹脂サッシ再資源化システムのように、業界内の取り決めとして使用を義務付けられているのではなく、経済的原理から使用しているとのことであった。前述の通り、カレットを使用することで、ガラス原材料の熔融温度を下げるのが可能で、それに係るエネルギーコストを削減することができるため、メーカーの自発的なカレット使用に繋がっていると考えられる。

一方で、板ガラスの製造では、連続成形という特徴から、異物の混入を非常に嫌う傾向がある。板ガラスの原材料 1 t に対して、CSP が 5 g（濃度にして 0.0005 %）混入してしまうだけで、原料として使用することができない。選別の段階で除去するという考え方はあるが、精度的に困難であるため、回収段階で異物を入れないことを徹底することが現実的であるとの意見も見られた。これに関しては、Recycling levy を支払っている VRN への働きかけを行うことで実現することができると想定される。

成分分析による開発へのフィードバック

VRN による廃棄板ガラスの再資源化を行うようになってから、同時に廃棄板ガラスの研究を行うようになった。一般に、板ガラスの寿命は約 30 年であると見られているため、現在回収している廃棄板ガラスは 30 年前の製品が中心となる。この廃棄板ガラスの成分を検査することで、リサイクルを妨げている成分や、使用量を減らしても問題がない成分を分析することができ、結果として再資源化がしやすく、かつコストダウンを図ることができる製品の開発につながったとのことであった。

また、C2C 認証の取得に向けては、製品に使用している原材料の情報を明らかにすることが必須となっている。GA 社では、原材料の供給元への情報開示を直接、あるいは第三者を介して働きかけることで、有害物質が含有されていないことを確認していた。こうすることで、安全に再資源化工程に組み込むことができる製品として、明示することが可能となった。加えて、C2C 認証を取得した製品では、2 年に一度の審査があるため、リサイクルを阻害する有害物質に対して即座に対応を検討することができる。

以上のように、GA 社では、VRN という再資源化システムを管理する団体との関係が深いことや、ガラスの材料特性（カレット使用によるコストメリット）といったような諸要因が重なって、再資源化を考慮した開発が行われていることが明らかになった。

3.4.3. まとめ

オランダを中心とした板ガラスの生産システムでは、樹脂サッシと同様に、製造業者らが主導して設立した業界団体（VRN）による回収・再資源化体制の整備によって、廃棄物の循環が促進されていた。また、VRNによる再資源化システムが、リサイクルを阻害する有害物質や、使用量を削減しても問題がない物質を特定するきっかけとなり、結果としてリサイクル性と生産性を同時に向上させることができた。

加えて、カレットを使用することで、製造コストを削減することができるため、製造業者にとっては経済的メリットがあると同時に、廃棄物の循環を促す効果も期待できるといえる。

以上、オランダを中心とした板ガラスの生産システムにおける取り組みとその目的を、表 3-15 に整理した。

表 3-15 オランダを中心とした板ガラスの生産システムにおける取り組みとその目的

取り組み	目的
回収・再資源化体制の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物の循環を促す ・ 使用量が削減可能な物質の特定によって、生産性を高める
カレットの自発的利用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 製造コストを削減する ・ 廃棄物の循環を促す

3.5. 小結

3章のまとめ

本章では、資源循環性を考慮した生産システムについて、国内外の他産業を含めた先進的事例のヒアリング調査、及び文献調査から、それぞれの生産システムにおける取り組みの実態を把握することができた。

国内の環境配慮設計に基づいた家電の生産システムでは、再資源化工程を踏まえて、分解性や再利用性を高めた製品設計を、業界全体で推し進める取り組みが行われており、これを下支えする仕組みとして、家電リサイクル法による回収システムの広域的な整備が存在していた。

EU 諸国における Cradle to Cradle に基づいた建材の生産システムでは、認証制度を利用することによって、リサイクルを前提とした構成材料や複合方法の選択が促されていた。また、認証制度では、そういったリサイクル性の評価に加えて、製造プロセスの省エネ性や、サプライチェーンへの貢献といったことも評価項目になっているため、製造業者としては、企業価値を広く高めるきっかけとして、取り組みやすいといえる。加えて、認証を取得することによって、競合製品との差別化を図ることができ、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ことが明らかになった。一方で、それを実現するために、製造業者では認証取得に係るコストを、製品価格に上乗せしないという企業努力をしていることも同時に分かった。

ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システムでは、自社内に再資源化施設を保有している製造業者において、再資源化工程を踏まえた構成材料の選定、複合方法の改良が見られた。また、製造業者らが主導して回収・再資源化体制を整備したり、再資源化による再生ペレットの利用を業界内で義務化する取り決めをしたりすることで、資源循環性を促していることが明らかになった。

オランダを中心とした板ガラスの生産システムでは、樹脂サッシと同様に製造業者らの主導による回収・再資源化体制の整備がされていた。これによって、リサイクルに適さない有害物質や、使用量を減らしても問題がない物質を特定することができ、リサイクル性と生産性を同時に向上させることが可能となっていた。また、ガラスの製造工程では、カレットを使用することによる経済的なメリットがあることで、製造業者による自発的な再資源化を促す一因となり、資源循環性を考慮した生産システムが構築されやすいことも明らかになった。

資源循環性を考慮した生産システムの成立要因

以上から、資源循環性が生産システムで成立するためには、製品そのものが資源循環に適していることと、資源を循環させる経済的仕組みが存在していることの両者が不可欠であるといえる。両者をそれぞれ「再利用性」と「事業性」とし（図 3-21）、資源循環性を考慮

した生産システムの成立要因として、表 3-16 に整理した。

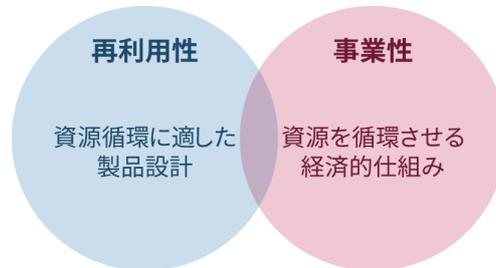


図 3-21 資源循環性を考慮した生産システムの成立要因

表 3-16 成立要因と先進的事例における取り組み

成立要因	先進的事例における取り組み
再利用率	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクルを阻害する構成材料の不使用（家電、C2C、樹脂サッシ、板ガラス） ・再資源化工程を踏まえた複合方法の選定（家電、C2C、樹脂サッシ） ・易解体性を周知する表示（家電） ・構成材料のリサイクル性を周知する表示（家電）
事業性	<ul style="list-style-type: none"> ・回収システムの確立（家電、樹脂サッシ、板ガラス） ・再生原料の利用を義務化（樹脂サッシ） ・再生原料の利用による製造コスト削減（板ガラス） ・競合製品との差別化による市場競争力向上が期待できる認証制度（C2C）

4章 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

4.1. 資源循環シナリオに基づく処理実態と課題	150
4.1.1. 資源循環シナリオの設定.....	151
4.1.2. ALC パネル.....	154
4.1.3. 金属サイディング・金属屋根材.....	159
4.1.4. 窯業系サイディング・化粧スレート.....	162
4.1.5. 石膏ボード.....	165
4.1.6. 複合フローリング.....	170
4.1.7. 不燃化粧壁材.....	175
4.1.8. アルミ樹脂複合サッシ.....	178
4.1.9. 複層ガラス・合わせガラス.....	183
4.1.10. フラッシュドア.....	188
4.2. 資源循環性向上の難易度評価.....	189
4.2.1. 方策の実現性と難易度の設定.....	190
4.2.2. ALC パネル.....	192
4.2.3. 金属サイディング・金属屋根材.....	197
4.2.4. 窯業系サイディング・化粧スレート.....	201
4.2.5. 石膏ボード.....	205
4.2.6. 複合フローリング.....	209
4.2.7. 不燃化粧壁材.....	212
4.2.8. アルミ樹脂複合サッシ.....	215
4.2.9. 複層ガラス・合わせガラス.....	219
4.2.10. フラッシュドア.....	223
4.3. 小結.....	224

本章では、2章において明らかになった複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態に基づいて、3章で整理した先進的事例を参考にしながら、将来的な資源循環性の向上可能性について明らかにすることを目的とする。

第1節では、資源循環性の向上可能性を考察する前段階として、資源循環性の水準に基づいたシナリオ設定を行う。そして、2章における複合建材のライフサイクルの実態、及び参考文献や既往研究に基づき、各複合建材について、水準へ向けた生産システムにおける課題を抽出する。

第2節では、第1節で抽出したシナリオごとの課題に対して、3章の先進的事例の成立要因を踏まえ、複合建材の生産システムにおける具体的方策を分析する。その方策に関して、実現性に基づいた難易度を設定することで、複合建材の生産システムにおける資源循環性向上の難易度を定性的に評価する。

以上、本章における各節の関係性を図 4-1 に示す。

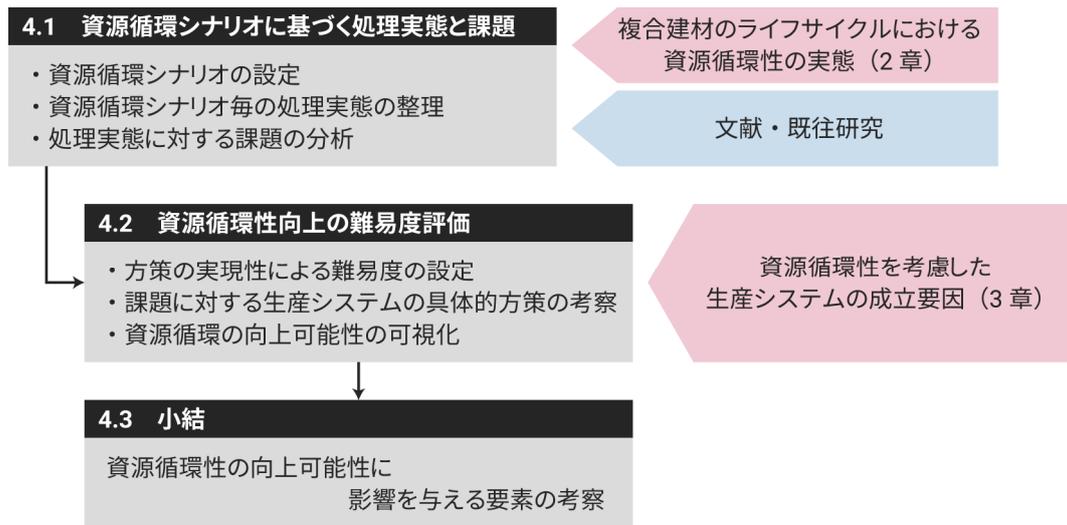


図 4-1 4章の構成

4.1. 資源循環シナリオに基づく処理実態と課題

本節では、資源循環性の向上可能性の考察に向けて、資源循環性の水準に基づいたシナリオ（資源循環シナリオ）を設定し、各複合建材について、水準の到達に向けた課題を抽出する。

まず、資源循環シナリオの設定を行い（第 1 項）、各複合建材について、2 章で整理したライフサイクルの実態を主としつつ、補助的に文献や既往研究を参照しながら、各シナリオにおける処理実態を総合的に整理し、水準の到達に向けた課題を分析する（第 2 項以降）。

なお、2 章でも述べた通り、ロックウール化粧吸音板に関しては、本研究における複合建材の定義に外れることから、本節以降では取り扱わないこととした。

各項と複合建材との対応について、表 4-1 に整理した。

表 4-1 本節における各項と複合建材との対応

分類	対応する項	複合建材
外装材	4.1.2	ALC パネル
	4.1.3	金属サイディング・金属屋根材
	4.1.4	窯業系サイディング・化粧スレート
内装材	4.1.5	石膏ボード
	4.1.6	複合フローリング
	4.1.7	不燃化粧壁材
建具	4.1.8	アルミ樹脂複合サッシ
	4.1.9	複層ガラス・合わせガラス
	4.1.10	フラッシュドア

4.1.1. 資源循環シナリオの設定

資源循環シナリオを設定するにあたり、複合建材における資源循環性の水準を整理する。

本研究の背景として挙げられる「持続的な業界形成」のためには、廃棄物となった複合建材を、再び原材料として利用する「水平リサイクル（図 4-2）」が、最も効果的であると考えられる。これは、廃棄物の発生を抑制することは当然ながら、複合建材に使用する天然資源の消費量削減にも寄与することができるため、持続可能性の高い生産システムを構築することが可能となるからである。よって、水平リサイクルが、複合建材の資源循環性の水準としては最も高く、最終的に目指すべき水準でもあるといえる。

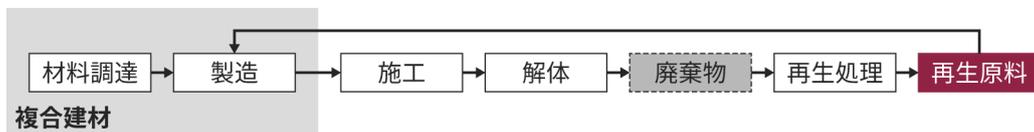


図 4-2 水平リサイクルにおける廃棄物の再利用の流れ

一方で、こういった水平リサイクルの実現には、材料本来の性質を保つことが必要条件であるため、複合建材によっては困難を伴うことが、2章で明らかになっている。そこで、水平リサイクルが困難である場合の次の段階として、廃棄物となった複合建材を、品質の劣る他製品の原材料として利用する「カスケードリサイクル（図 4-3）」や、焼却によって発生する熱を利用して発電等を行う「サーマルリサイクル（図 4-4）」、熱分解によって不燃物等を熔融して得られるスラグを再利用する「ガス化熔融処理（図 4-5）」等が、目指す水準として考えられる。

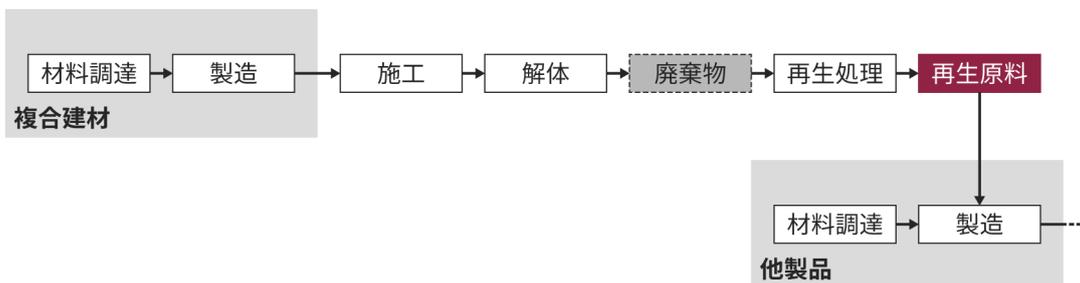


図 4-3 カスケードリサイクルにおける廃棄物の再利用の流れ

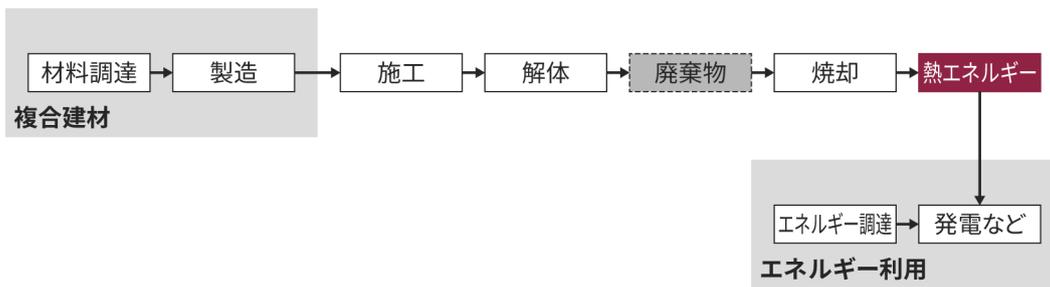


図 4-4 サーマルリサイクルにおける廃棄物の再利用の流れ

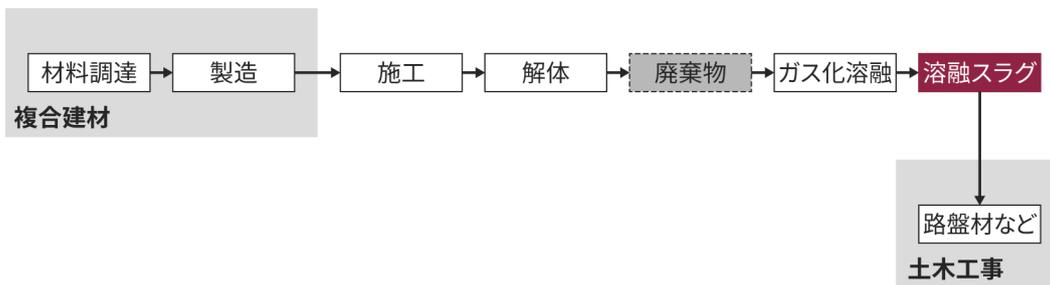


図 4-5 ガス化溶融処理における廃棄物の再利用の流れ

この中でも、サーマルリサイクルやガス化溶融処理は、一回限りの再資源化であるのに対し、カスケードリサイクルは、材料性質の劣化や変化を伴うことから、最終的には最終処分されてしまうが、素材の再利用という観点から見ると、複数回の再資源化の可能性を有している。ゆえに、水平リサイクルに次ぐ水準として、カスケードリサイクルが妥当であるといえる。サーマルリサイクルやガス化溶融処理は、資源循環性の水準としては水平リサイクル、カスケードリサイクルよりも劣るが、熱回収を伴わない単純焼却や最終処分よりも、廃棄物を資源として有効活用している点から考えると、技術的・経済的問題から水平リサイクルやカスケードリサイクルが難しい複合建材の受け皿となり得ると想定される。

以上の整理を受けて、表 4-2 のように資源循環シナリオを設定した。

表 4-2 設定した資源循環シナリオ

資源循環性の水準	資源循環シナリオ	
高	シナリオ L ¹¹⁰	水平リサイクルを目指す
中	シナリオ C ¹¹¹	カスケードリサイクルを目指す
低	シナリオ T/G ¹¹²	その他リサイクル(サーマルリサイクルやガス化溶融処理)を行う

¹¹⁰ 水平リサイクルの別称「レベルリサイクル (Level recycle)」から採用した

¹¹¹ カスケードリサイクル (Cascade recycle) から採用した

¹¹² サーマルリサイクル (Thermal recycle) とガス化溶融処理 (Gasification melting process) から採用した

以上のような資源循環シナリオをもとに、次項では各複合建材の処理実態を整理し、シナリオごとの課題を分析する。

4.1.2. ALC パネル

処理実態

水平リサイクル性

実態調査では、工場端材、新築端材を利用した水平リサイクルが実現していることが分かった。

工場端材に関しては、そのほとんどを ALC 原料として再利用している。MA 社へのヒアリングから、単一素材発生することに加えて、製造するうえで端材を入れる必要があることから、水平リサイクルが促されていると考えられる。また、新築端材に関しても、工場端材と同様の理由に加えて、広域認定制度を利用した回収が可能であることが大きく影響していると考えられる。

一方で、解体材に関しては、実態調査では水平リサイクルの実績はなかったが、ALC 協会による様々な検討がなされている（参考文献 [43]¹¹³）。

ALC パネルは、その施工性の良さから、市街地の狭隘地に建つ建築物に採用されることが多く、解体や現場での分別には困難が伴うと予想されており、解体工法の検討と、それに係るコストが問題になっている。また、ALC パネルに付着する異物を除去しない限り、ALC 原料として再利用することは困難であるとしており、MA 社でも同様の意見が見られた。加えて、ALC のほとんどが自然由来の原料であり、そのコントロールが難しいところに、経年劣化等で成分変化の恐れがある解体材を利用することは、品質保証の観点からも困難であるとの見解を示している。こういった理由から、MA 社では、解体材は広域認定による回収の対象外としている。

現状では、上記のように工場端材や新築端材を原料として再利用しているが、混合には上限があること、それらの端材を利用することによって、その上限にほぼ達していることが明らかになっている。この点についても、水平リサイクルを阻害してしまう要因になり得るであろう。

カスケードリサイクル性

実態調査では、工場端材や新築端材、解体材でもカスケードリサイクルが行われていることが分かった。それらのカスケードリサイクル先としては、セメント原料、敷料・肥料、路盤材が実績として挙げられていた。

セメント原料へのカスケードリサイクルは、広域認定では回収しきれなかった新築端材、

¹¹³ ALC 協会 リサイクル委員会, “環境問題への取り組み,” 29 02 2008. [オンライン]. Available: http://www.alc.gr.jp/pdf/alc_eco2008.pdf. [アクセス日: 12 01 2019].

及び WB 社に持ち込まれた解体材で実現していた。セメント原料への再利用に関しては、ALC 協会による検討でも有力な候補として挙げられていた。その理由としては、ALC パネルの生産拠点と比較して、セメント工場は全国各地に点在しており、その多くが既に廃棄物処理の拠点となっていること、受け入れ可能量が月間 1,000 t を超える規模になること、異物の混入量の制約が少ないことが挙げられている。特に、異物混入の制約が少ない点に関しては、水平リサイクルが困難とされる解体材の再資源化の受け皿として期待できる。そのため、ALC 協会では、セメントメーカーへの実態調査を行い、セメント工場における受け入れ可能な条件と、それに向けた中間処理方法を精査している（表 4-3、表 4-4）。これから分かるように、異物の付着量の制約が少ないとはいえ、セメント工場における受け入れ基準を満たす程度の異物選別が必要であるといえる。

表 4-3 セメント工場において原則受け入れできない品目¹¹⁴

項目	理由	該当品（例）
硫黄、塩素	設備に悪影響	石膏ボード、塩ビクロス
重金属、燐	セメント中の最大含有量を規定	一部のシーリング材や塗料
異物、金属類	設備損傷、 原料調合トラブル	鉄筋混入 ALC
粉砕不可品	原料管理を阻害	有機質接着剤プラスター、シーリング材
成分不均一品	原料調合に乱れ	付着物の量や種類にばらつきがある ALC
100 mm 以上	粉砕不可	全物件

¹¹⁴ 参考文献 [43]より作成

表 4-4 付着物の可否判断¹¹⁵

付着物		判定	理由	備考
目地	モルタル	○	少量かつ無機質	
	シーリング	×	原料管理を阻害	
外部仕上げ材	モルタル塗り	○	無機質でセメント原料と成分が近い	
	タイル張り	△	・セメント中の重金属最大含有量を規定 ・原料管理を阻害	
	吹付仕上げ材	△	・設備に悪影響 ・セメント中の重金属最大含有量を規定 ・原料管理を阻害	
内部仕上げ材	GL ボンド	△	外部仕上げ材（吹付仕上げ材）に同じ	石膏ボードは極力分離
	壁装材	×	・設備に悪影響 ・原料管理を阻害	
	モルタル塗り	○	外部仕上げ材（モルタル塗り）に同じ	
	ペイント	△	外部仕上げ材（吹付仕上げ材）に同じ	
	プaster	△	外部仕上げ材（吹付仕上げ材）に同じ	
	吹付仕上げ材	△	外部仕上げ材（吹付仕上げ材）に同じ	

敷料・肥料へのカスケードリサイクルに関しては、MA 社における工場端材で実現していた。ただし、現状では大口の販路は存在せず、都度生産に留まっているとのことであった。

路盤材へのカスケードリサイクルは、WB 社で取り扱われている解体材で実現していた。他のカスケードリサイクル先とは異なり、単純な破碎のみで再利用できることがメリットであるといえるが、首都圏では路盤材の供給過多¹¹⁶が問題となっており、安定的なカスケードリサイクル先とは言えない状況となっている（WB 社への実態調査）。

その他リサイクル性

ALC パネルは、セメントを主成分としていることから、サーマルリサイクルやガス化熔融処理は想定されていない。

¹¹⁵ 参考文献 [43]より作成

¹¹⁶ 再資源化が義務付けられるコンクリート等の再資源化先として多く供給されているためだと考えられる

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-5 に整理した。

シナリオ L に関しては、異物の混入の恐れがない工場端材や新築端材で実現しているものの、異物が付着する可能性が高く、経年劣化による成分変化の恐れがある解体材の水平リサイクルは困難である。加えて、そもそも端材等の再生原料の混合上限に達していることも、水平リサイクルを大きく阻害している。ゆえに、混合上限を上げるような技術改良が、最初の課題として挙げられ、それが確立されてから、異物の除去のしやすさ、あるいは異物とならないような素材の選定、及びそれらの事業性の確立が課題になると考えられる。

シナリオ C に関しては、セメント原料、敷料・肥料、路盤材が考えられる。セメント原料に関しては、特にシーリングの混入がカスケードリサイクルを阻害することになるため、シーリングの除去や、除去に係る事業性の検討が課題になると考えられる。

敷料・肥料は、現状では市場規模が小さいことから、安定的なカスケードリサイクル先として維持するための市場拡大が課題になると考えられる。

路盤材に関しても、競合品が多く存在していることに起因する供給過多が問題となっていることから、そういった競合品との差別化を図ることが課題になると考えられる。

シナリオ T/G に関しては、ALC パネルの構成材料の性質から、サーマルリサイクルやガス化溶融処理は困難であると考えられるため、分析の対象外とした。

表 4-5 資源循環シナリオに基づく ALC パネルの処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	ALC パネル	<ul style="list-style-type: none"> ・異物付着がほとんどない工場端材、新築端材では実現している ・異物が付着する可能性の高い解体材は、異物を除去する必要がある ・端材等の再生原料の利用上限に達している ・解体材は広域認定による回収の対象外である 	<ul style="list-style-type: none"> ・混合上限を上げる技術改良 ・異物が問題とならない技術改良 ・事業性の確立
	セメント原料	<ul style="list-style-type: none"> ・解体材で実現している ・再生拠点が多く存在している ・水平リサイクルよりも異物の付着の制約が少ない ・シーリング材が再資源化を阻害する 	<ul style="list-style-type: none"> ・シーリングが問題とならない技術改良 ・事業性の創出
C	敷料・肥料	<ul style="list-style-type: none"> ・工場端材で実現している ・現状では、大口販路ではなく、都度生産である 	<ul style="list-style-type: none"> ・市場の拡大
	路盤材	<ul style="list-style-type: none"> ・解体材で実現している ・単純破碎のみで再利用が可能である ・競合品が多く、首都圏では供給過多となっている 	<ul style="list-style-type: none"> ・競合品との差別化
T/G	—	—	—

4.1.3. 金属サイディング・金属屋根材

処理実態

水平リサイクル性

実態調査では、工場端材を含めて水平リサイクルが行われていないことが分かった。これは、構成材料の特性が大きく影響していると考えられる。

金属サイディング・金属屋根材の構成材料の一つであるカラー鋼板は、高炉法によって製造される鉄鋼を圧延した高品位なものであり、カラー鋼板の再利用先として一般的な電炉鋼を利用することは、品質的な観点から困難とされている（ME社への実態調査）。

また、芯材のポリイソシアヌレートフォームに関しても、再加工は容易であるとされている（参考文献 [44]¹¹⁷）が、金属サイディング・金属屋根材では、液状のポリイソシアヌレートフォームが発泡することによる自己接着性によって一体化しているため、製造上の理由から、水平リサイクルは想定されていない。

カスケードリサイクル性

実態調査では、工場端材・解体材におけるカラー鋼板でカスケードリサイクルが実現していた。

工場端材や解体材においては、芯材・裏面材との分離を行うことで、カラー鋼板を電炉鋼へとカスケードリサイクルすることができる。その際に発生する分離については、手作業（ME社の工場端材、WB社の解体材）や、機械（WA社委託先の自動車専門解体業者）で行うことが可能となっている。分離後のカラー鋼板には、芯材であるポリイソシアヌレートフォームが若干量付着してしまうが、電炉鋼として再利用する際には問題になっていないとの見解が示されている。また、電炉鋼というマーケットが存在していることも、カスケードリサイクルを円滑に進めている要因になっていると考えられる。

実態調査からは、異物の付着に伴うカスケードリサイクルの可否については、特に問題はないとの意見が見られた。

一方で、芯材と裏面材に関しては、カスケードリサイクルは行われていない。これは、単一素材への分離が難しいことが要因として挙げられる他、市場が形成されていないことも大きく影響していると想定される。

¹¹⁷ ALC協会 リサイクル委員会, “環境問題への取り組み,” 29 02 2008. [オンライン]. Available: http://www.alc.gr.jp/pdf/alc_eco2008.pdf. [アクセス日: 12 01 2019].

その他リサイクル性

芯材と裏面材に関しては、上記のようなマテリアルリサイクルが困難であり、実態調査では、工場端材、解体材ともに、サーマルリサイクルが行われていることが明らかになった。

カスケードリサイクルに向けたカラー鋼板の分離の際には、芯材と裏面材は一体として発生する。芯材（ポリイソシアヌレートフォーム）は、石炭に近い発熱量を持っており（参考文献 [44]）、裏面材（アルミライナー紙）は可燃性物質であるため、ME 社の工場端材や WA 社・WB 社における解体材では、RPF として再利用している。

異物に関しては、付着が予想されるシーリング材や金物が考えられる。シーリング材はカッターなどできれいに除去することが可能であるとしており、かつ有機化合物であるため、燃焼を妨げる可能性は低いと考えられる。一方で、金物は不燃性であるため、RPF として再利用する際には、除去を検討する必要があると想定される。

各シナリオにける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-6 に整理した。

シナリオ L に関しては、現状の構成材料では水平リサイクルが困難であるため、何らかの技術改良が課題になると考えられる。

シナリオ C に関しては、既存のスクラップ流通システムが存在していることもあり、カラー鋼板の電炉鋼への再利用が盛んにおこなわれている。異物の付着に関しては特に問題がないが、芯材・裏面材を分離する必要がある。その分離については、若干の手間がかかる一方で分離をすることはできるため、分離が可能であることを周知したうえで、現状の事業性を維持することが課題になるといえる。

一方、芯材と裏面材に関しては、現状ではカスケードリサイクルが念頭にないため、何らかの市場形成が課題になると想定される。

シナリオ T/G に関しては、芯材と裏面材の RPF への再利用がある。上記のようなマテリアルリサイクルが困難とされる芯材と裏面材に関しては、RPF が最大の受け皿になるといえるため、異物（金物など）が混入しないように監視をしたうえで、事業性を維持することが課題になると考えられる。

表 4-6 資源循環シナリオに基づく金属サイディング・金属屋根材の処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	金属サイディング	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では水平リサイクルは行われていない ・カラー鋼板は高炉法による高品位な鉄鋼を使用していること、ポリイソシアヌレートフォームは製造上液状が発泡する必要があることから、水平リサイクルに適していない 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平リサイクルが可能な技術改良
	金属屋根材		
C	電炉鋼	<ul style="list-style-type: none"> ・工場端材や解体材で実現している ・既存のスクラップ流通システムが存在している ・カスケードリサイクルには分離が必要 ・分離は手作業・機械で可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・分離が可能であることの周知 ・事業性の維持
	芯材・裏面材のカスケード利用	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では想定されていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・市場の開拓
T/G	RPF	<ul style="list-style-type: none"> ・工場端材や解体材で実現している ・マテリアルリサイクルが難しい芯材・裏面材の受け皿として重要である ・不燃物の混入がサーマルリサイクルを妨げる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・不燃物の混入管理 ・事業性の維持

4.1.4. 窯業系サイディング・化粧スレート

処理実態

水平リサイクル性

実態調査から、工場端材・新築端材・解体材の一部において水平リサイクルが実施されていることが分かった。

工場端材・新築端材ともに、構成材料であるセメントとパルプが一体となった状態で、原料として再利用しており、分離をせずとも再利用が可能であることが窺える。また、こういった端材は、窯業系サイディング・化粧スレートを製造するうえで、反応の助剤として必須であることも、水平リサイクルを促している要因であるといえる。新築端材に関しては、広域認定制度を利用して回収しており、水平リサイクルの実現に寄与していると考えられる。ただし、MF社の広域認定では、解体材は対象外としていることに留意する必要がある。

端材の利用に関しては、前述の通り製造上必須であるが、利用には上限があるとのことであった。また、窯業系サイディングは2種類の方法（抄造法と押出法）で製造されており、異なる製造法の端材の使用には注意が必要であるとの意見が見られた。

一方で、解体材に関しては、適切に分別がされ、かつ自社と同等品のものであれば水平リサイクルは技術的に可能であるとの意見が見られた（MF社への実態調査）。実際に、分別を徹底する産業廃棄物処理業者WB社では、異物の付着がない広域認定を取得している製品に限り、水平リサイクルを行っていた。ただし、一般に分別にコストがかかるため、廃材にはシーリング材や釘などが異物として付着してしまう。シーリング材は、製造時の養生工程で熔解し、内部や表面に気泡を発生させてしまうため、品質上除去する必要がある。釘などの金物に関しては、生産設備を損傷してしまう他、現場での製品切断時に切断機器を損傷してしまう恐れがあるため、生産性・安全性の観点から、除去をする必要がある。

カスケードリサイクル性

実態調査から、工場端材の一部と解体材に関してカスケードリサイクルが行われていることが分かった。カスケードリサイクル先としては、セメント原料と路盤材がある。

セメント原料に関しては、MF社で発生する工場端材のうち、原料として再利用できない場合に限り、カスケードリサイクルされていた。ただし、処理費が高いため、一般的な再利用先ではないとの意見が見られた。また、WB社で取り扱う解体材のうち、広域認定がない製品や、異物が付着しているものについて、ALCパネルとまとめられて、セメント原料へのカスケードリサイクルを行っていた。このことから、ALCパネルにおいて精査していたセメント原料へのカスケードリサイクルに向けた受け入れ条件と中間処理方法に準拠する

必要があると考えられる。

路盤材に関しては、セメント原料と同様に、WB社で取り扱う解体材のうち、広域認定制度がないもの、異物が付着しているものについて、ALCパネルとまとめられてカスケードリサイクルを行っていた。よって、ALCパネルの路盤材へのカスケードリサイクルと同様に、首都圏では供給過多であり、安定的なカスケードリサイクル先とは言えない状況であるといえる。

その他リサイクル性

ALCパネルと同様、窯業系サイディング・化粧スレートはセメントを主成分としているため、サーマルリサイクルやガス化溶融処理は想定されていない。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表4-7に整理した。

シナリオLに関しては、工場端材・新築端材や一部の解体材で実現しており、端材は製造するうえで必要な原料である（ただし、利用には上限が存在する）。しかし、解体材に関しては広域認定の対象外である可能性も含んでおり、回収システムが安定的であるとは言えない。そのため、利用上限を上げる改良に加え、回収システムの安定化が課題になると考えられる。また、窯業系サイディングについては製造法によって、端材が利用できるかどうかを精査する必要があることから、廃材の製造法が確認できるような工夫が課題になるといえる。

シナリオCでは、セメント原料、路盤材へのカスケードリサイクルが考えられる。いずれもALCパネルの時と同様に扱われると想定されるため、セメント原料への再利用には、シーリング材の除去や、それに係る事業性の検討が、路盤材への再利用には、競合品との差別化を図ることが、それぞれ課題になると考えられる。

シナリオT/Gに関しては、窯業系サイディング・化粧スレートの構成材料の性質から、サーマルリサイクルやガス化溶融処理は困難であると考えられるため、分析の対象外とした。

表 4-7 資源循環シナリオに基づく窯業系サイディング・化粧スレートの処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	窯業系サイディング	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材、解体材の一部で実現している 解体材は広域認定の対象外である可能性がある 廃材の利用には上限が存在する 製造法の違いにより、廃材の利用ができない可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 利用上限を上げる技術改良 回収システムの安定化 製造法の識別
	化粧スレート	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材、新築端材、解体材の一部で実現している 解体材は広域認定の対象外である可能性がある 廃材の利用には上限が存在する 	<ul style="list-style-type: none"> 利用上限を上げる技術改良 回収システムの安定化
C	セメント原料	<ul style="list-style-type: none"> 工場端材の一部と解体材で実現している 再生拠点が多く存在している 水平リサイクルよりも異物の付着の制約が少ない シーリング材が再資源化を阻害する 	<ul style="list-style-type: none"> シーリングが問題とならない技術改良 事業性の創出
	路盤材	<ul style="list-style-type: none"> 解体材で実現している 単純破碎のみで再利用が可能である 競合品が多く、首都圏では供給過多となっている 	<ul style="list-style-type: none"> 競合品との差別化
T/G	—	—	—

4.1.5. 石膏ボード

処理実態

水平リサイクル性

一般社団法人石膏ボード工業会の調査 [26]によって、新築工事現場で発生する端材（新築系廃石膏ボード）と、解体工事現場で発生する解体材（解体系廃石膏ボード）の再利用状況の概観が明らかになっている（図 4-6、図 4-7、図 4-8）。

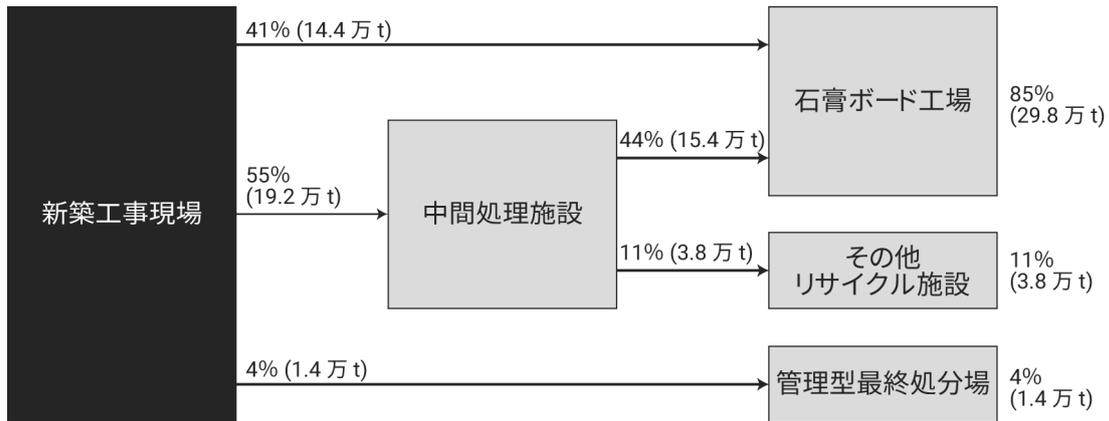


図 4-6 新築系廃石膏ボードの再利用の流れ¹¹⁸

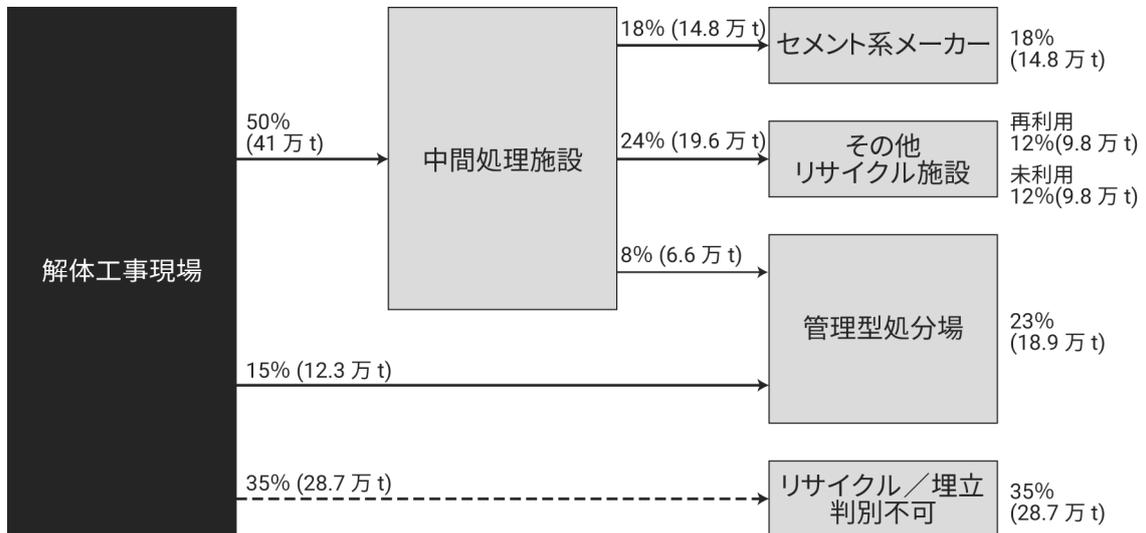
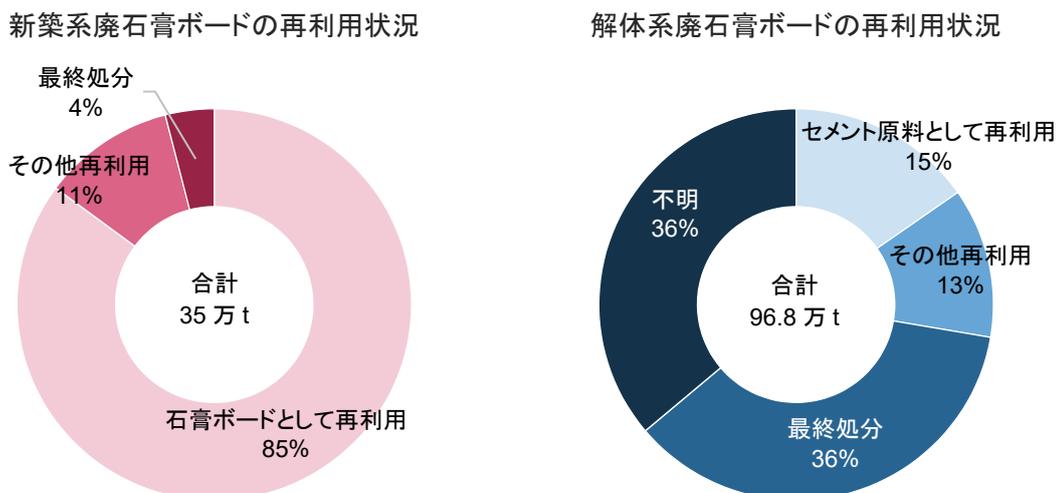


図 4-7 解体系廃石膏ボードの再利用の流れ¹¹⁸

¹¹⁸ 参考文献 [26]より作成

図 4-8 廃石膏ボードの再利用状況内訳¹¹⁹

新築系廃石膏ボードでは、水平リサイクル率が約 85 %と高水準になっている。これは、MB 社のようなメーカーによる広域認定制度を利用して回収し、製造工場内で再資源化する体制が整備されていることが大きく影響していると考えられる。また、新築端材であるため、廃材の状態が良いこと、破碎をすれば石膏とボード用原紙の分離は可能であることも、水平リサイクルを促進する要因となっていると想定される。

一方で、解体系廃石膏ボードでは、一般には水平リサイクルは殆ど行われていないことが分かる。これは、広域認定制度による回収の枠組みに、解体材が含まれていないことや、異物の付着が影響として考えられる。付着する異物として考えられるのは、クロスや釘・タッカーといった金物等であるが、いずれも選別することが可能であることが実態調査から判明している。しかし、選別には手間がかかるため、事業性の創出が課題になるといえる。

また、水濡れがみられる廃材や、カビが発生している廃材は、異物を除去しても水平リサイクルは困難である。加えて、粉末状の廃材については、石膏である確証を得ることが難しいことから、水平リサイクルは困難とされている。

いずれの廃石膏ボードにおいても、廃材を単純破碎した再生石膏は、その結晶構造から石膏ボードの原料として利用できる割合が制限されている（10%程度）が、結晶を大型化することによって、制限を撤廃する技術（WC 社）が確立されている。ただし、この技術に関しては採算性の問題を孕んでおり、他の石膏原料（天然石膏、副産石膏など）と価格競争では不利になってしまう可能性を含んでいる。

¹¹⁹ 参考文献 [26]より作成

カスケードリサイクル性

図 4-8 から、新築系・解体系廃石膏ボードのいずれも、カスケードリサイクルがされていることが分かる。

一般的な中間処理を行う業者（WA 社）では、選別に係るコストを考慮したうえではあるが、土壌改良材へのカスケードリサイクルが実際に行われていた。ただし、市場規模が小さいことから、土壌改良材としての再利用はまれであることも判明している。

また、全ての建築系廃棄物の再資源化を目指す中間処理を行う業者（WB 社）では、水平リサイクルが難しい水濡れが見られるものや、カビが発生しているものを、ライン材として再利用している。一方で、粉末状の廃材に関しては、同様に成分を保証することができないため、カスケードリサイクルは難しいとしている。

以上の実態に加え、業界内でも表 4-8 のようなカスケードリサイクル先の検討が行われている（参考文献 [26]）

表 4-8 廃石膏ボードのカスケードリサイクル先¹²⁰

	用途	リサイクル状況	
一般的	セメント原料	・一部メーカーが受入 ・凝結調整剤としては排煙脱硫石膏が主体	
	土質改良材	①セメント系固化材	・半水石膏を 7～10%混入
		②石灰系固化材	・公共事業に限定
		③石膏系固化材	・法面での緑化工事に実績あり
まれ	建材材料	・ケイ酸カルシウム板の原材料として販売	
	溜池堤体遮水材	・老朽化した溜池の改修用	
	アスファルトフィラー	・道路のアスファルトへ骨材として石粉代替で混入	
	農業資材	・土壌改良材として実績あり	
	その他	・白線用粉末、魚礁ブロック等の添加剤	

現在、カスケードリサイクル先として一般的なものは、セメント原料と土質改良材である。ただし、この場合でも、排煙脱硫石膏や石灰等の競合品が存在するため、これらのカスケードリサイクルを行うためには、品質的、あるいは価格的な優位性が課題になると考えられる。

¹²⁰ 参考文献 [26]より作成

その他リサイクル性

以上のようなマテリアルリサイクルが選択肢としてない場合には、ガス化溶融処理が想定されている（WB社）。ガス化溶融処理では、粉末状の廃材も再利用が可能であるため、廃石膏ボードの受け皿として期待できる。しかし、ガス化溶融処理における熱分解によって、石膏の硫黄分が SO_x として大気中に放出される恐れがあるため、ガス化溶融処理を行う業者では、受け入れ量の制限を設けたり、硫黄濃度を規定したりする等の対応をしているとのことであった。

よって、マテリアルリサイクルが難しい廃石膏ボードの受け皿として維持するためには、そういった規制に対処する必要があると考えられる。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-9 に整理した。

シナリオ L では、水濡れが見られる廃材やカビが発生した廃材、粉末状の廃材は、そもそも水平リサイクルできないため、それらの再資源化をどう行うかが課題となる。また、技術的には水平リサイクルが可能であるが、コストがかかることなどから現時点では一般的ではない。そのため、円滑な水平リサイクルのためには事業性を創出することが課題になると考えられる。

シナリオ C では、水濡れが見られるものやカビが発生したものに関しては問題がないものの、粉末状の廃材は依然としてカスケードリサイクルができないため、その再資源化をどう行うかが課題となる。加えて、カスケードリサイクルでは、競合品が存在するため、市場の安定化を図ることが課題になるといえる。

シナリオ T/G では、上記シナリオでは許容することができない粉末状の廃材を受け入れることができる一方で、石膏に含まれる硫黄分が障壁になってしまう。そのため、受け皿として維持するための工夫（受け入れ基準への適合）が課題になると考えられる。

表 4-9 資源循環シナリオに基づく石膏ボードの処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	石膏ボード	<ul style="list-style-type: none"> ・水濡れやカビの発生した廃材、粉末状の廃材は許容できない ・石膏と紙の分離は可能である ・再資源化に係る異物選別は必須である ・再資源化に係る異物選別は可能だが、採算性の問題がある ・広域認定制度等の静脈流通システムは存在する ・混合上限を解消することは技術的に可能であるが、採算性の問題がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・水濡れやカビの発生した廃材、粉末状の廃材の再資源化 ・事業性の創出
	セメント原料	<ul style="list-style-type: none"> ・水濡れやカビの発生した廃材は許容できるが、粉末状の廃材は許容できない ・石膏と紙の分離は可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ・粉末状の廃材の再資源化 ・市場の安定化
	ライン材	<ul style="list-style-type: none"> ・再資源化に係る異物選別は必須である ・再資源化に係る異物選別は可能だが、採算性の問題がある 	
土壌改良材	<ul style="list-style-type: none"> ・市場規模が小さい ・競合品が存在する 		
T/G	ガス化熔融処理	<ul style="list-style-type: none"> ・熱回収は想定されていない ・ガス化熔融処理は粉末状の廃材も許容できる ・石膏の硫黄分が問題視され、ガス化熔融処理費が高騰しているため、再資源化先として一般的ではない 	<ul style="list-style-type: none"> ・受け入れ基準への適合

4.1.6. 複合フローリング

処理実態

水平リサイクル性

実態調査から、工場端材や新築端材、解体材の水平リサイクルの実績は見られなかった。これは、複合フローリングの構成材料である合板・MDFが水平リサイクルに適していない素材であるためであると考えられる。その理由を以下に示す。

全国木材資源リサイクル協会連合会の木質リサイクルチップの品質規格 [45]¹²¹によると、チップとなる原料に着目した場合、合板はCチップ、MDFはDチップとなる（表 4-10）。

表 4-10 木質リサイクルチップの品質基準¹²²

チップ区分	チップとなる原料	備考
Aチップ	・柱材、梁材、幹材等の断面積の大きいもの ・無垢材	防腐剤、合板、ペンキ付着物、金属、プラスチック類、土砂等の全ての異物、または樹皮を含まないこと
Bチップ	・パレット、梱包材、解体材等の無垢材で 比較的断面積の大きいもの	防腐剤、合板、ペンキ付着物、金属、プラスチック類、土砂等の全ての異物を含まないこと
Cチップ	・合板等	防腐剤、ペンキ付着物、金属、プラスチック類、土砂等の異物を含まないこと
Dチップ	・繊維板、ペンキ、接着剤等が付着したもの ・枝、伐根材等	CCA含有物、金属、プラスチック類、土砂等の異物を基本的に含まないこと
Eチップ	・チップ製造の際の副産物	有害物質、金属を含まないこと

また、同団体のステークホルダーによる調査によって、チップ区分ごとに標準的な再利用先が整理されている（表 4-11）。それによると、Cチップはパーティクルボードとして再利用できるが、Dチップはマテリアルリサイクルが想定されておらず、サーマルリサイクル等が妥当とされている。

¹²¹ NPO 法人 全国木材資源リサイクル協会連合会，“木質リサイクルチップの品質規格について”，2010. [オンライン]. Available: <http://www.woodrecycle.gr.jp/pdf/hinshitukikaku.pdf>. [アクセス日: 06 12 2018].

¹²² 参考文献 [45]より引用

表 4-11 木質リサイクルチップの利用用途基準¹²³

用途		適するチップ区分				
		A	B	C	D	E
マテリアル系	MDF	○				
	エタノール	○				
	製紙	○				
	製紙 (板紙)	○	○			
	木炭	○	○			○
	コンポスト	△ ^{*1}	△ ^{*1}			△ ^{*1}
	マルチング材	○	○			
	IFB / HB	○	○			
	PB	○	○	○		
サーマル系	燃料	○	○	○	○	△
	セメント原燃料	○	○	○	○	○
	高炉還元剤	○	○	○	○	○
その他 ^{*2}	敷料					○
	水分調整剤					○
	培養土					○

IFB：インシュレーションボード HB：ハードボード PB：パーティクルボード

*1 異物や防腐剤を含まない伐根材・除根材が対象となる

*2 利用目的に応じた品質の区分けを行い、C～D チップの副産物を利用する場合は特に注意を払う必要がある

ゆえに、品質的に水平リサイクルが困難な合板と MDF を基材として使用している複合フローリングは、基材を変更しない限り、水平リサイクルは限りなく不可能に近いと想定される。

カスケードリサイクル性

実態調査から、工場端材や新築端材、解体材のカスケードリサイクルの実績は見られなかった。

前述の木質リサイクルチップの品質規格においては、複合フローリングの基材の一つである合板が、パーティクルボードとしてカスケードリサイクルできる可能性を含んでいる。ただし、MG 社における実態調査から、合板と MDF は強固な熱硬化性樹脂で一体化しており、分離は困難であると見ている。仮に合板を分離できた場合には、パーティクルボードへ

¹²³ 参考文献 [45]より引用・修正

の再利用が可能な C チップの品質基準を満たすために、付着する可能性のある金属やプラスチック類を除去する必要がある。

一方で、分離をしない場合では、木質リサイクルチップ利用用途基準（表 4-11）に示されているように、C・D チップ製造時の副産物を利用して、敷料や水分調整剤、培養土としてカスケードリサイクルをすることができる可能性がある。ただし、いずれの場合も利用目的に応じた品質を確保する必要があるため、異物や熱硬化性樹脂が含まれることによる影響を精査しなければならないと考えられる。

その他リサイクル性

実態調査からは、サーマルリサイクル（燃料用チップ）が最も一般的に行われていることが分かった。複合フローリングは木質系建材であるため、建設リサイクル法の特定建設資材に該当する。それゆえ、再資源化が義務付けられているため、上記のマテリアルリサイクルが難しい複合フローリングにとって、サーマルリサイクルは重要な受け皿であるといえる。

産業廃棄物処理業者の実態調査から、無機系の物質さえ混入しなければ、複合フローリングのサーマルリサイクルは問題ないことが分かった（WB 社）。また、一般的な産業廃棄物処理業者においても、燃料用の木質チップは需要が安定しており、事業性もあることが判明している（WA 社）。異物の付着に関しては、木質リサイクルチップ品質基準（表 4-10）に示されているように、金属が最も影響を与えることが分かる。複合フローリングに付着する可能性のある金属としては、釘といった鉄であると考えられるため、磁気選別を導入することで、容易に選別が可能となる（WB 社）。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-12 に整理した。

シナリオ L では、基材が現時点では水平リサイクルに適していない材料を使用しているため、基材に関する技術的な改良が大きな課題になると考えられる。

シナリオ C では、現時点ではカスケードリサイクルは行われていないが、パーティクルボードや敷料等への再利用の可能性を持っている。パーティクルボードの場合は、合板の分離が可能になる技術改良が、まずは課題になると考えられる。また、分離を想定しない場合でも、敷料や水分調整剤、培養土の品質基準に適合させることや、その事業性を創出することが課題になるといえる。

シナリオ T/G では、無機系物質のみに注意すれば、法律による義務化もあり、問題なくサ

ーマルリサイクルが行われるため、現在の事業性を維持することが課題になると考えられる。

表 4-12 資源循環シナリオに基づく複合フローリングの処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	複合 フローリング	<ul style="list-style-type: none"> 木質リサイクルチップ利用用途基準では、MDF、あるいは合板への再資源化は困難 木質リサイクルチップの流通システムは存在している 	<ul style="list-style-type: none"> 水平リサイクルに向けた技術改良
C	パーティクル ボード	<ul style="list-style-type: none"> 合板のみであれば、木質チップとしてパーティクルボードへ再資源化できる パーティクルボードへの再資源化には、ペンキや金属、プラスチック類等の異物を除去することが必須である 木質リサイクルチップの流通システムは存在している 	<ul style="list-style-type: none"> 合板のみの分離
	敷料	<ul style="list-style-type: none"> MDF が付着している場合は、敷料や水分調整材、培養土への再資源化が可能であるが、品質基準を検討する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 再利用先の品質基準への適合 事業性の創出
	水分調整剤 培養土	<ul style="list-style-type: none"> 木質リサイクルチップの流通システムは存在している 	
T/G	燃料用チップ	<ul style="list-style-type: none"> 熱回収は最も一般的 無機系の物質さえ混入しなければ、サーマルリサイクルは問題ない 付着する異物に金属系があるが、木質リサイクルチップ製造時に磁気選別を導入することが多いため、選別できる 	<ul style="list-style-type: none"> 事業性の維持

4.1.7. 不燃化粧壁材

処理実態

水平リサイクル性

実態調査では、工場端材、新築端材、解体材のいずれも水平リサイクルが行われていなかった。

不燃化粧壁材の構成材料である火山性ガラス質複層板においては、原料のシラスとロックウールとを結合させるために、熱硬化性樹脂を使用している。熱硬化性樹脂は非水溶性であるため、原料をスラリー状にして製造する火山性ガラス質複層板では、端材等を原料として使用することは難しいとの見解を示していた（MG社への実態調査）。

上記のような建材そのものの特性から、当然、新築端材や解体材でも水平リサイクルは困難であるといえる。さらに、施工時には両面テープとシリコンコーキングを併用することから、異物の付着も多くみられると想定され、水平リサイクルを妨げる要因になると考えられる。

カスケードリサイクル性

実態調査では、WB社で取り扱う解体材について、カスケードリサイクルが実施されていることが分かった。

WB社では、不燃化粧壁材を、ALCパネルや窯業系サイディングとまとめられて、セメント原料や路盤材へカスケードリサイクルが行われていた。このことから、ALCパネルにおいて精査していたセメント原料へのカスケードリサイクルに向けた受け入れ条件と中間処理方法に準拠する必要があると考えられる。路盤材への再利用に関しても、ALCパネルの路盤材へのカスケードリサイクルと同様に、首都圏では供給過多であり、安定的なカスケードリサイクル先とは言えない状況であるといえる。

その他リサイクル性

ALCパネル、窯業系サイディング・化粧スレートと同様、不燃化粧壁材は無機系物質を主成分としているため、サーマルリサイクルやガス化熔融処理は想定されていない。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-13 に整理した。

シナリオ L に関しては、構成材料が水平リサイクルに適していないことから、水平リサイクルが可能な技術改良が課題になると考えらえる。加えて、解体材などでは、異物が付着する可能性が高いため、その除去と事業性の検討が課題になると考えられる。

シナリオ C では、セメント原料、路盤材へのカスケードリサイクルが考えられる。いずれも ALC パネル、及び窯業系サイディング・化粧スレートと同様に扱われると予想されるため、セメント原料への再利用には、シーリング材の除去や、それに係る事業性の検討が、路盤材への再利用には、競合品との差別化を図ることが、それぞれ課題になると考えられる。

シナリオ T/G に関しては、不燃化粧壁材の構成材料の性質から、サーマルリサイクルやガス化熔融処理は困難であると考えられるため、分析の対象外とした。

表 4-13 資源循環シナリオに基づく不燃化粧壁材の処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	不燃化粧壁材	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では実施されていない ・結合剤の熱硬化性樹脂が非水溶性であるため、製造上水平リサイクルが難しい ・解体材などでは両面テープとシリコンコーキングが付着する可能性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・水平リサイクルを可能にする技術改良 ・異物の除去による事業性の検討
	セメント原料	<ul style="list-style-type: none"> ・解体材で実現している ・再生拠点多く存在している ・水平リサイクルよりも異物の付着の制約が少ない ・シーリング材が再資源化を阻害する 	<ul style="list-style-type: none"> ・シーリングが問題とならない技術改良 ・事業性の創出
C	路盤材	<ul style="list-style-type: none"> ・解体材で実現している ・単純破碎のみで再利用が可能である ・競合品が多く、首都圏では供給過多となっている 	<ul style="list-style-type: none"> ・競合品との差別化
T/G	—	—	—

4.1.8. アルミ樹脂複合サッシ

処理実態

水平リサイクル性

実態調査からは、工場端材の水平リサイクルは、アルミ・硬質 PVC とともに実現しているのに対し、解体材に関しては限定的である。

工場端材は、アルミ単体・硬質 PVC 単体で発生するものに関しては、アルミは全量、硬質 PVC は大半を原料として再利用していた。これは、製造工場内で発生し、かつ単一素材であるため、異物の混入の恐れがなく、成分も同一であることが大きな要因として挙げられる。特に、MC 社によると、硬質 PVC に関しては、樹脂型材を製造しているメーカーごとに、添加剤等が若干異なるため、リサイクルペレットの使用には検討が必要であるとの意見が見られた。

アルミ型材に関しては、その原料に一部市中スクラップを使用していることが、MC 社への実態調査で明らかになった。市中スクラップは、使用後のアルミを回収して、原料として使用しやすいように加工したリサイクル材のことである（図 4-9）。その使用状況は、2007 年の社団法人日本アルミニウム協会による調査 [46]¹²⁴によって 14.3 %であると推計されている（図 4-10）。市中スクラップは、その品質からサッシとして使用されたアルミ由来のものであると考えられる¹²⁵。ゆえに、アルミ型材に関しては、解体材の水平リサイクルが実現しているといえる。

¹²⁴ 社団法人 日本アルミニウム協会，“平成 18 年度経済産業省委託調査 3R システム化可能性調査事業 - アルミニウム展伸材スクラップから展伸材へのリサイクルの可能性調査事業- 調査研究報告書，” 2007.

¹²⁵ サッシに使用されるアルミ合金は、マグネシウムやシリコンを添加しており、一般に他のアルミ合金と比較して品質が高いとされる

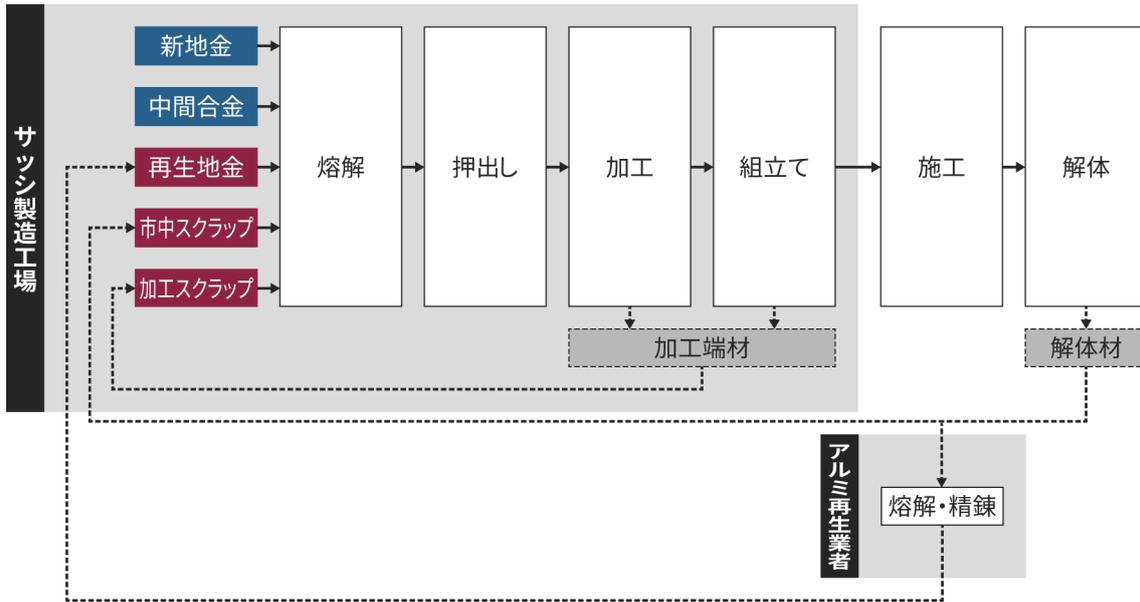


図 4-9 サッシ製造業における端材・解体材の再利用工程¹²⁶

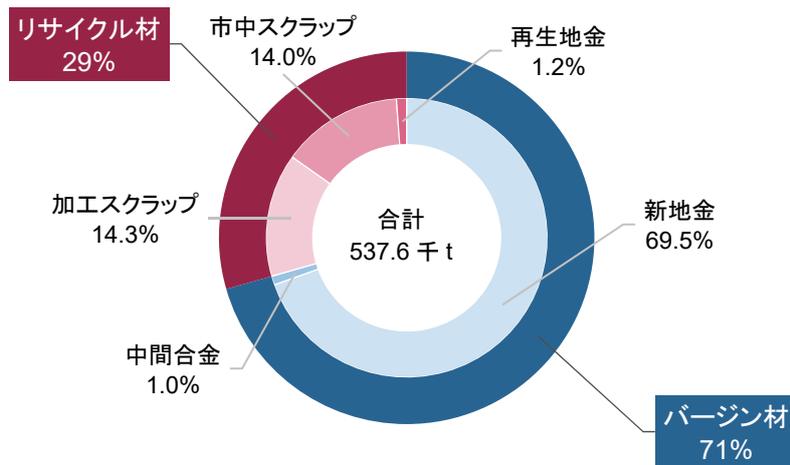


図 4-10 サッシ製造業におけるアルミの原料内訳 (2006 年)¹²⁷

ただし、既往研究 [47]¹²⁸から、市中スクラップをアルミ型材の原料として使用するためには、ビスやクレセントといった鉄を除去する必要があることが分かっている。こういった異物が付着している廃材 (B サッシと呼ばれる) から異物を除去して、純粋なアルミ型材 (A サッシと呼ばれる) にすることは、ビス部分やクレセント部分を周囲のアルミごととカットすることで除去は可能である。しかし、メタルロスが発生してしまうことや、手間がかかる (=

¹²⁶ 中間合金とは、融点が高い添加元素 (Mg、Si) をあらかじめアルミに高濃度に溶かした合金のこと

¹²⁷ 参考文献 [46]より作成

¹²⁸ 志村真人, 清家剛, 金容善, “再資源化用途に着目したアルミ樹脂複合サッシの再資源化システム構築に関する研究,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 491-492, 2018.

コストがかかる)ことから、事業性を確立するためには、除去費用を、異物除去を行う業者における A サッシと B サッシの受入価格差 (40~50 円/kg) に抑制する必要があるとしている (参考文献 [46])。

一方で、硬質 PVC 型材に関しては、前述の理由から解体材の水平リサイクルは行われていない。硬質 PVC を主体とする樹脂サッシでは、リサイクル WG を組織して、解体材を利用した型材の製造と性能実験、解体材の選別技術と事業性の確立に向けた検討を行っているが、選別に係るコスト等が課題とされている。

カスケードリサイクル性

実態調査からは、主にアルミに関するカスケードリサイクルの実績が見られた。これは、アルミは資源的価値が高く、有価物として取引される流通システムが存在することが影響しているとみられる。

アルミ型材のカスケードリサイクル先としては、自動車エンジン等のダイカスト用合金が旺盛であることが既往研究 [47]より明らかになっている。ダイカスト合金は、サッシ用合金と比較して要求品質が高くないことから、異物がある程度付着した状態、つまり B サッシであってもある程度問題がないとされている。このような理由から、産業廃棄物処理業者 (WA 社及び WB 社) では、硬質 PVC 型材を分離することなく、一体となったままでも、有価物として売却することが可能となっていた。

上記のようなアルミ主体のカスケードリサイクルが、現状としては形成されているため、硬質 PVC に関しては、異物として認識されるにとどまっているといえる。WB 社によると、廃棄硬質 PVC を流通させる仕組みは確立されているが、その際には異物を除去する必要がある。硬質 PVC に付着する可能性のある異物としては、ビスやガラス、パッキン等であり、選別は既存の技術内で実現可能である一方で、アルミ型材の高いカスケードリサイクル性から、採算が取れない可能性が高いといえる。

その他リサイクル性

現状では、硬質 PVC と一体になった状態でも、アルミ型材はカスケードリサイクルが実現できているが、他業界への需要に依存していることから、硬質 PVC が付着した状態での受け入れを制限される可能性がないとはいえない。

そのような状況になった場合、硬質 PVC を分離せざるを得ないが、前述の理由から、PVC のカスケードリサイクルを行うことは容易ではないと想定される。そこで、ガス化溶融処理という選択肢があり得ると考えられる。

ガス化溶融処理では、硬質 PVC に異物が付着した状態でも受け入れが許容されることは、

WB 社の実態調査で明らかになっている。ただし、ガス化溶融処理を行う業者における、PVC 等の塩素含有物の処理費が高騰しているとの意見も見られた。ガス化溶融処理では、非常に高温での熱分解を行うため、塩素の燃焼によるダイオキシンの発生を防ぐことが可能であり、従来は最終処分しかすることができなかった塩素含有物が大量に搬入されてきているためである。こうした事情から、硬質 PVC 等の塩素含有物を委託する際には、塩素濃度を下げるように要請があるとのことであった。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-14 に整理した。

シナリオ L では、アルミ樹脂複合サッシへの水平リサイクルに加え、同等建材であるアルミサッシや樹脂サッシも水平リサイクル先として想定される。アルミのカスケードリサイクル先が旺盛であることから、水平リサイクルに必須である異物除去の採算が取れない。そのため、そういったカスケード利用を上回る市場の拡大が課題になると考えられる。また、硬質 PVC を含むサッシ（アルミ樹脂複合サッシ、樹脂サッシ）に関しては、異物を選別するだけのメリットを生むような事業性の創出が課題になるといえる。

シナリオ C では、分離しない場合はダイカスト合金として、分離する場合は硬質 PVC を他の樹脂製品として、それぞれカスケードリサイクルされることが想定される。ダイカスト合金に関しては、現状でも旺盛な需要があるため、それを持続的なものにするためには、安定化を図る必要があると考えられる。一方で、他の樹脂製品に関しては、異物を除去して、既存の塩ビ流通システムへの適合を図るとともに、その事業性を創出することが課題になるといえる。

シナリオ T/G では、マテリアルリサイクルが困難とされる硬質 PVC の受け皿として維持するために、受け入れ先の基準に適合することが課題になると考えられる。

表 4-14 資源循環シナリオに基づくアルミ樹脂複合サッシの処理事態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	アルミサッシ	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ型材では原料の一部に市中スクラップを使用している ・アルミはカスケード利用の需要が旺盛であるため、樹脂が付着したまま有価売却が可能である ・アルミと樹脂の分離は可能である ・分離後のアルミ、樹脂ともに再資源化に係る異物選別は必須である ・分離後のアルミ、樹脂ともに異物選別は可能だが、採算性からほとんど行われていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミのカスケード利用の需要を上回るような市場の拡大
	アルミ樹脂複合サッシ		<ul style="list-style-type: none"> ・アルミのカスケード利用の需要を上回るような市場の拡大 ・事業性の創出
	樹脂サッシ		<ul style="list-style-type: none"> ・事業性の創出
C	ダイカスト合金	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミはカスケード利用の需要が旺盛であるため、樹脂が付着したまま有価売却が可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状のカスケードリサイクルの事業性の安定化
	他樹脂製品	<ul style="list-style-type: none"> ・分離後の樹脂に関しては、塩ビ流通システムが確立されている ・塩ビ流通システムでは、異物を除去する必要がある ・樹脂部材に付着する可能性のある異物は、ビス、ガラス、パッキン等であり、選別は可能だが、採算性に問題がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の塩ビ流通システムへの適合 ・事業性の創出
T/G	ガス化溶融処理	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂部材に関しては、異物を除去しきれない場合にガス化溶融処理が考えられる ・塩素が問題視されており、塩素濃度を低くする必要がある ・ガス化溶融処理先では、塩素含有物が多く搬入されており、処理費が高騰している 	<ul style="list-style-type: none"> ・受け入れ基準への適合

4.1.9. 複層ガラス・合わせガラス

処理実態

水平リサイクル性

実態調査から、複層ガラス・合わせガラスの構成材料の一つであるガラスに関しては、工場端材を原料として再利用するという水平リサイクルが実施されていることが分かった（図 4-11）。また、合わせガラスの中間膜に関しても、中間膜メーカーにおいて原料として再利用していることが明らかになった。

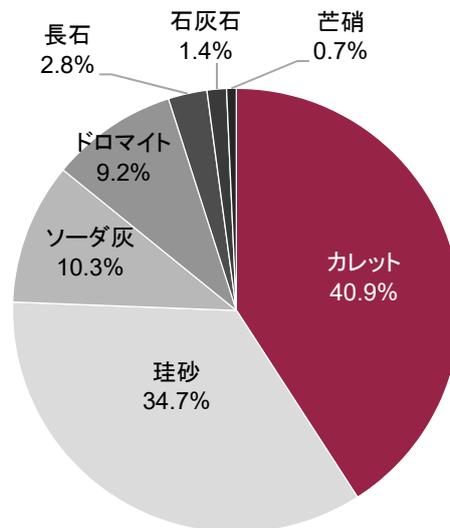


図 4-11 ガラス原料の内訳（再掲）

いずれの場合も、廃材が単一素材で発生していることで、水平リサイクルが実現できると推測される。実際に、複合後の廃材（不良品や解体材等）では、分離が困難であることから、最終処分が一般的である（WA 社および WB 社への実態調査）。

また、工場端材のように品質が管理されていることも、水平リサイクルの実現に大きく寄与していると考えられる。特にガラスの場合は、異物の混入に対して非常に厳しいため、異物混入の恐れがある解体材由来のカレットについては、十分に検討する必要があるとの見解であった（MD 社）。混入が想定される異物と、ガラスへの影響については、既往研究 [48]¹²⁹ によって明らかになっている（表 4-15）。ここから分かるように、異物が混入することで、ガラスに最も求められる透過性が損なわれてしまうため、水平リサイクルを実現するためには、異物を徹底的に除去することが必須条件であるといえる。

¹²⁹ 工藤透, “板ガラスのリサイクル,” *AGC Research Report*, 第 58 号, pp. 7-15, 2008.

表 4-15 混入が想定される異物とガラスへの影響¹³⁰

想定される異物	使用箇所	ガラスへの影響
鉄	建築資材	緑色着色材として働いてしまい、光学特性規格の維持が困難となる
銅・銀	鏡など	<ul style="list-style-type: none"> 銅は青色着色要因となるため、大量に混入した場合は光学特性規格の維持が困難となる ある程度の大きさで混入した場合は、ガラス融液中で溶解拡散がされずに、金属液滴として沈降し、ガラス溶解槽窯を侵食してしまう（メタルドリル）
亜鉛・アンチモン	ブリキ ガラスの酸化剤	金属薄膜形成時に白濁してしまう
アルミニウム	サッシ スペーサー	主成分の酸化ケイ素が金属ケイ素に還元され、大きな粒状欠点を多発させてしまい、美観を損なう他、熱膨張率の違いから徐冷中に破損してしまう
ニッケル	ステンレス	<ul style="list-style-type: none"> ニッケルイオンは着色剤として使用することもあるため、大量に混入した場合には光学特性規格の維持が困難となる 熔融過程で硫化物イオンと反応して難溶解性の硫化ニッケルを生成し、強化ガラス製造工程で高温形態になることで、使用中に低温形態に徐々に変化することで自然破損につながってしまう場合がある
有機化合物	紙 木片 シーリング材 中間膜	混入量が多くなると、ガラス融液中の溶存酸素濃度が低下し、着色欠点や泡欠点を発生してしまうため、光学特性規格を維持するためには、カレットに混入する有機化合物を 100 ppm に抑える必要がある
他社品	—	<ul style="list-style-type: none"> 各社若干組成が異なるため、異組成のカレットが大量に混入すると、屈折率に分布が生じ、透視歪みが悪化する可能性がある 建築用の場合は、自動車用よりは透視歪みの要求性能が緩和されると考えられるため、リサイクル可能量が拡大すると想定される

¹³⁰ 既往研究 [48]をもとに作成。ハイライトは複層ガラスと合わせガラスの構成材料が影響する箇所

他にも、水平リサイクルを阻害する要因としては、ガラスがその物質的・化学的安定性から、最終処分における埋め戻し材として適していることも挙げられる。

ガラスは、非常に安定した無機化合物であることに加え、地球表層部の元素成分を示すクラーク数の構成に非常に良く一致している（表 4-16）こと、一部の製品を除いて鉛やカドミウムといった有害とされる重金属をほとんど含まないことから、最終処分に際する懸念事項がほとんどないといえる。そのため、分離の困難さや、異物の混入の厳しさ、後述するカスケードリサイクル先の需要の小ささ等も相まって、最終処分がされやすいというのが現状である。

表 4-16 クラーク数と板ガラスの構成元素の比較¹³¹

順位	元素	クラーク数	板ガラス内 / %
1	O	49.5	34.4
2	Si	25.8	45.9
3	Al	7.6	1.0
4	Fe	4.7	0.1
5	Ca	3.4	5.7
6	Na	2.6	9.6
7	K	2.4	0.8
8	Mg	1.9	2.4
8 番目までの合計		97.9	99.9

一方で、複層ガラスや合わせガラスに用いられるフロート板ガラスではなく、型板ガラスであれば、異物の混入はある程度許容されるとの意見も見られた（MD 社への実態調査）。ただし、型板ガラスの国内需要が減少傾向であるため、型板ガラスへの水平リサイクルも課題が多く存在する。

カスケードリサイクル性

ガラスを主体として考えた際には、ビンなどの他製品、グラスウール等といった他建材へのカスケードリサイクルがあり（既往研究 [49]¹³²）、カレット業者等の存在により、流通システムは確立されている。実際に、WB 社ではカレット業者への委託により、カスケードリサイクルを実施していた。ここでは、ある程度の異物の混入は許容される。

ただし、ビンに関しては、国内需要が減少傾向にあること、グラスウールは現状で 80 %

¹³¹ 既往研究 [48]から作成

¹³² 清家剛，磯部孝行，“他産業も含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究,” 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 683 号, pp. 17-26, 2013.

以上のリサイクルカレットを使用しており（参考文献 [50]¹³³）、カスケードリサイクル先としてさらに受け入れることが可能かは不透明であることから、現状、カスケードリサイクル先としては一般的ではないといえる。

カスケードリサイクルの場合でも、ガラスとアルミスペーサー、あるいは中間膜との分離は行わなければならない、採算性を考慮する必要がある。

その他リサイクル性

上記のようなマテリアルリサイクルが困難な場合は、無機物で構成されていることを勘案すると、ガス化溶融処理が選択肢として考えられる。石膏ボードの硫黄分や、アルミ樹脂複合サッシにおける硬質 PVC の塩素分が、ガス化溶融処理における懸念事項であることに對して、複層ガラスや合わせガラスは、そのような懸念事項はないと想定される。

各シナリオにおける課題

以上、各シナリオにおける処理実態と、各シナリオを達成するための課題を表 4-17 に整理した。

シナリオ L では、異物の混入が厳しいフロート板ガラスへの水平リサイクルを実現するためには、異物の徹底除去が必要である。そのため、ガラスのみをきれいに分離できるような技術的改良が、まずは課題になるといえる。一方で、型板ガラスは、異物の混入はそれほど厳しくないが、国内需要が低下しているため、型板ガラスの市場拡大が課題になると考えられる。

シナリオ C では、異物はある程度許容されるが、アルミスペーサーや中間膜との分離はしなければならない。ゆえに、ガラスのみを分離できるような技術的改良が、まずは課題になるといえる。また、既存のカレット流通システムは確立されているが、再利用先のビンは、国内需要が減少傾向であること、グラスウールは現状でリサイクルカレットを 8 割以上利用していることから、安定的な再利用先ではないといえる。そのため、既存のカレット流通システムへの適合を図るとともに、事業性を創出することが課題であるといえる。

シナリオ T/G では、再資源化先の一つとして維持するために、事業性の創出とその維持が課題になると考えられる。

¹³³ 硝子繊維協会，“環境性 | 省エネ・温暖化防止・リサイクルに貢献するグラスウール断熱材 硝子繊維協会,” [オンライン]. Available: https://www.glass-fiber.net/glasswool_short_kankyo.html. [アクセス日: 07 12 2018].

表 4-17 資源循環シナリオに基づく複層ガラス・合わせガラスの処理実態と課題

資源循環シナリオ		処理実態	課題
L	フロート板ガラス	<ul style="list-style-type: none"> 再資源化をするためには、ガラスとアルミスペーサー・中間膜の分離を行わなければならないが、手間がかかり採算が合わない ガラス製造工程では精製プロセスがないため、異物の混入を徹底しなければならない 金属類・有機化合物類が混入すると、透過性等に問題が発生する カレットの流通システムは存在する 	<ul style="list-style-type: none"> ガラスのみをきれいに分離できるような改良
	型板ガラス	<ul style="list-style-type: none"> 型板ガラスは、フロート板ガラスと比較して異物の許容範囲が広いが、国内需要が低下している カレットの流通システムは存在する 	<ul style="list-style-type: none"> 型板ガラスの市場拡大
C	ビン	<ul style="list-style-type: none"> 異物の混入はある程度許容される 国内需要が減少傾向であるため、再資源化先として一般的ではない アルミスペーサー及び中間膜の分離は行わなければならない カレットの流通システムは存在する 	<ul style="list-style-type: none"> ガラスのみを分離できるような改良 既存のカレット流通システムへの適合
	グラスウール	<ul style="list-style-type: none"> 異物の混入はある程度許容される 現状で多くのリサイクルカレットを使用しており、受け入れ先として不安定 アルミスペーサー及び中間膜の分離は行わなければならない カレットの流通システムは存在する 	<ul style="list-style-type: none"> 事業性の創出
T/G	ガス化溶融処理	<ul style="list-style-type: none"> 分離が難しい場合には、再資源化先の一つとして挙げられる 	<ul style="list-style-type: none"> 事業性の創出と維持

4.1.10. フラッシュドア

フラッシュドアは、その構成材料が複合フローリングと似ていること、木質系建材であり、再資源化が義務付けられる特定建設資材に指定されているため、フラッシュドアの各シナリオにおける処理実態と、それに対する課題については、複合フローリングと同じであるといえる。

4.2. 資源循環性の向上可能性評価

本節では、前節において分析をしたそれぞれの資源循環シナリオにおける課題に対して、3章の先進的事例の成立要因を参考にしながら、複合建材の生産システムにおける具体的方策を考察する。さらに、その方策に関して実現性に基づいた難易度を設定することで、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を定性的に評価する。

まず、方策の実現性について整理をし（第1項）、各複合建材の資源循環シナリオごとの課題に対し具体的方策を考察して、第1項で整理した実現性をもとに、難易度を評価する（第2項以降）。

各複合建材は、前節に倣い外装材・内装材・建具に大きく分類して考察を行う（表 4-18）。

表 4-18 本節における各項と複合建材との対応

分類	対応する項	複合建材
外装材	0	ALC パネル
	4.2.3	金属サイディング・金属屋根材
	4.2.4	窯業系サイディング・化粧スレート
内装材	4.2.5	石膏ボード
	4.2.6	複合フローリング
	4.2.7	不燃化粧壁材
建具	4.2.8	アルミ樹脂複合サッシ
	4.2.9	複層ガラス・合わせガラス
	4.2.10	フラッシュドア

4.2.1. 方策の難易度の設定

次項以降で考察する方策の実現可能性の評価を行うため、その方策に対する難易度を設定する。

3章における先進的事例では、生産システムにおいて資源循環性の向上を図るために、様々な取り組みを行っていることが明らかになった。そういった取り組みは、改善をする対象のレベルによって、大きく2種類に分類できると考えられる（表 4-19）。

表 4-19 先進的事例における取り組みとその対象レベル

分類	生産システムにおける具体的な取り組み
製品レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・リサイクルを阻害する物質の不使用（家電、C2C、樹脂サッシ、板ガラス） ・再資源化工程を考慮した複合方法の選択（家電、C2C、樹脂サッシ）
業界レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・易解体性を周知する共通の表示（家電） ・使用している素材のリサイクル性を周知する共有の表示（家電） ・製品の資源循環性をアピールする認証制度（C2C） ・再生原料の利用を義務化（樹脂サッシ） ・統一した回収システムの整備・運営（樹脂サッシ、板ガラス）

生産システムにおいて、一企業が自社内で取り組むことができる方策（製品レベル）の方が、同業他社等と協同しながら取り組むような方策（業界レベル）よりも、一般的には容易であると考えられる。また、先進的事例では見られなかったが、製品の改良や、業界レベルでの取り決め等のような、既存技術の範囲内での解決や既存インフラの活用を超えた、大幅な刷新を行わなければ、資源循環シナリオの水準を達成することができない場合も存在すると考えられる。

以上のような考え方から、本研究では、方策の難易度を表 4-20 のように設定した。

表 4-20 本研究における方策の難易度設定

難易度	方策
低	製品レベルの改良
中	同業他社や他業界との連携が必要
高	複合建材を大幅に刷新しなければならない

上記のように設定した難易度と、前節で設定した資源循環シナリオの資源循環性の水準とをあわせることで、図 4-12 のように、複合建材の資源循環性の向上可能性を可視化することができる。

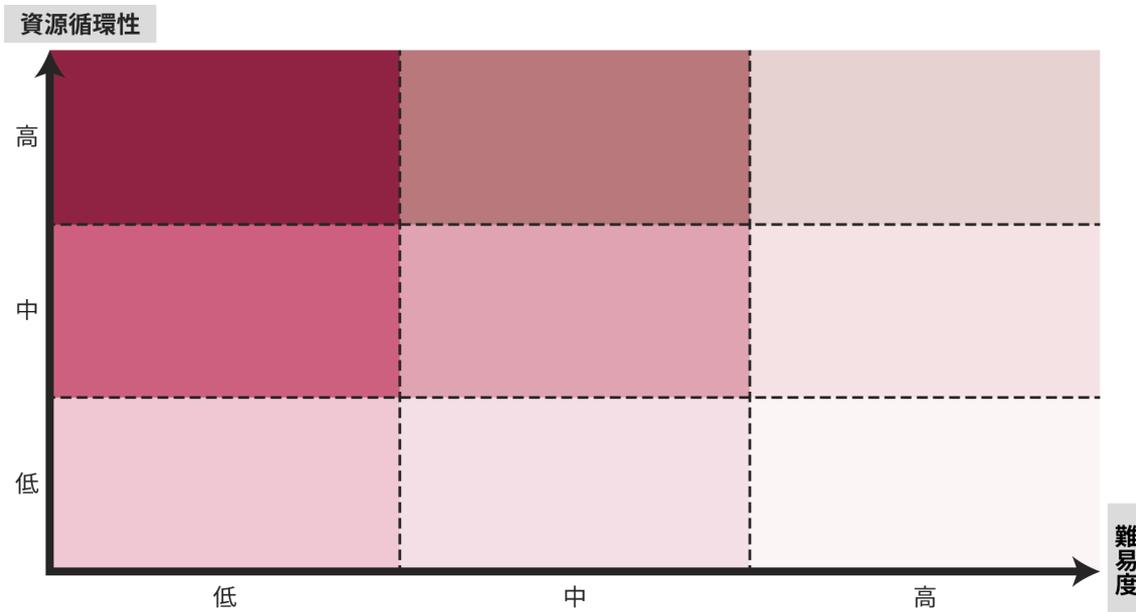


図 4-12 複合建材の資源循環性の向上可能性の可視化

上図では、縦軸が上に行くほど資源循環性の水準が高いことを示している。一方、横軸については、右に行くほど難易度が高いことを示している。つまり、右上の方に行くにしたがって、資源循環性の向上可能性は低くなり、左上の方に行くに従って資源循環性の向上可能性は高くなることを示すことができる。

次項以降では、各シナリオにおける課題に対する方策をもとに、上記のような資源循環性の向上可能性の可視化を図る。

4.2.2. ALC パネル

シナリオLにおける具体的方策

水平リサイクルの実現には、①混合上限を上げる技術改良、②異物が問題とならない技術改良、及び③事業性の確立が課題になる。

①混合上限を上げる技術改良

現状では、工場端材や新築端材での水平リサイクルが実現しているが、その端材によって、原料中に混合することができる廃材量が上限に達している。そのため、現状以上の水平リサイクルを実現するためには、製造上の歩留まりを高めて、端材発生量そのものを減少させることで、混合上限に余裕を持たせる工夫を行うことが考えられる。一方で、それだけでは持続的な水平リサイクルは実現できないため、混合上限を上げるような再生原料の開発や、混合上限を上げられるような生産プロセスや構成材料の大幅な見直しが必要になると考えられる。

②異物が問題とならない技術

上記の混合上限が解決したうえで、次に問題になり得るのは、異物の混入であると考えられる。異物の中でも許容可能なものがあるかどうか、どの程度許容できるかを精査し、異物の混入によって品質の低下の恐れがある場合には、それに適合した用途を選定する必要があると考えられる。例えば、最も品質要求が高いといえる外壁材ではなく、環境が一定しており、品質の要求が比較的低い間仕切壁専用とする、といったような検討も想定される。

③事業性の検討

以上のような技術的方策に加えて、既存の広域認定制度を利用した回収や、業界全体における回収システムの整備を行うことで、スケールメリットによる事業化が可能となり、より持続的な水平リサイクルが実現できるといえる。

以上、シナリオLにおける生産システムの具体的方策を表 4-21 に整理した。

表 4-21 シナリオ L における ALC パネル生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
① 混合上限を上げる技術改良	<ul style="list-style-type: none"> ・生産システムの見直しによる端材発生量の削減 ・混合上限を上げるような再生原料の開発 ・生産プロセスや構成材料の刷新による混合上限の緩和
② 異物が問題とならない技術	<ul style="list-style-type: none"> ・品質ランクを下げた用途の開発
③ 事業性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の広域認定制度を利用した回収、あるいは業界全体における回収システムの整備

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、セメント原料、敷料・肥料、及び路盤材へのカスケードリサイクルが考えられる。

セメント原料への再利用では、①シーリングが問題とならない技術改良、及び②事業性の創出が、敷料・肥料への再利用では、③市場の拡大が、路盤材への再利用では、④競合品との差別化が、それぞれ課題になる。

①シーリングが問題とならない技術改良

セメント原料へのカスケードリサイクルでは、シーリングの混入が最も問題となる。乾式目地材という、目地に挿入するタイプの目地材も存在しているため、そういった目地材の使用を検討することで、セメント原料への再利用が促進されることが考えられる。

②事業性の創出

廃材を受け入れるセメント工場では、まとまった量で、かつ安定的な供給が行われることで、事業性を維持することができる。既存の広域認定制度を利用した回収や、業界全体での回収システムを構築することで、それに対応できるといえる。

③市場の拡大

敷料・肥料ともに競合品が多く存在するため、価格的な優位性を持たせるために、前述のような回収システムを整備することが必要になると考えられる。

④競合品との差別化

路盤材に関しても、競合品が多く存在する。それらとの差別化を図るためには、③と同様に回収システムを整備による価格的な優位性を創出することが考えられる。加えて、ALC パネルの特徴の一つである、生産開始時から一切有害物質を使用していないことをアピール

することができるような表示を行うことも、差別化の一助になるといえる。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-22 に整理した。

表 4-22 シナリオ C における ALC パネル生産システムの具体的方策

課題		具体的方策
セメント原料	①	シーリングが問題と ならない技術改良
	②	事業性の創出
敷料・肥料	③	市場の拡大
路盤材	④	競合品との差別化

シナリオ T/G における具体的方策

前節で述べた通り、ALC パネルにおいては、シナリオ T/G を分析の対象外としている。

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-23 のようになる。

表 4-23 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度	
L	ALC パネル	・生産システムの見直しによる端材発生量の削減	高
		・混合上限を上げるような再生原料の開発	高
		・生産プロセスや構成材料の刷新による混合上限の緩和	高
		・品質ランクを下げた用途の開発	高
		・既存の広域認定制度を利用した回収、あるいは業界全体における回収システムの整備	中
C	セメント原料	・乾式目地材の使用	低
		・既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
	敷料・肥料	・既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
	路盤材	既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
		・有害物質の不使用をアピールする表示	低

以上から、ALC パネルの資源循環性の向上可能性は、図 4-13 のようにまとめられる。

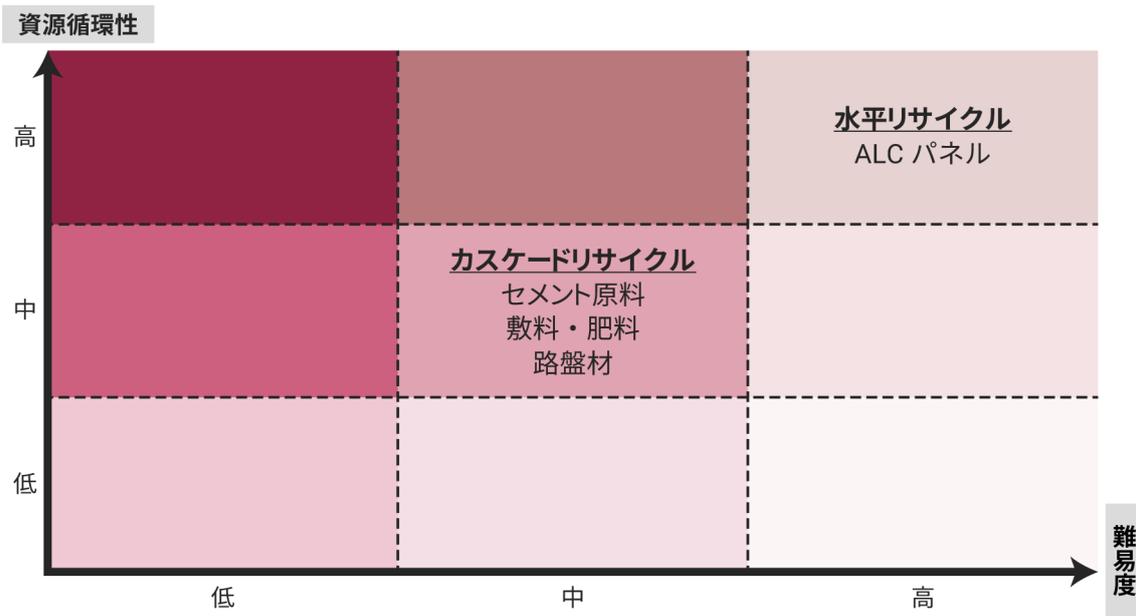


図 4-13 ALC パネルにおける資源循環性の向上可能性

4.2.3. 金属サイディング・金属屋根材

シナリオ L における具体的方策

水平リサイクルを実現するためには、水平リサイクルが可能な技術改良が課題になる。

現状では、金属サイディング・金属屋根材の構成材料のうち、カラー鋼板は水平リサイクルが品質上困難であり、ポリイソシアヌレートフォームは製造上、水平リサイクルが困難である。このような状況から、使用する構成材料を大幅に見直さなければ、水平リサイクルは実現できないといえる。

以上、シナリオ L における生産システムの具体的方策を表 4-24 に整理した。

表 4-24 シナリオ L における金属サイディング・金属屋根材生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
水平リサイクルが可能な技術改良	・水平リサイクルが可能な構成材料に刷新

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、カラー鋼板の電炉鋼へのカスケードリサイクル、及び芯材・裏面材のカスケード利用が考えられる。

電炉鋼への再利用では、①分離が可能であることの周知、及び②事業性の維持が、芯材・裏面材のカスケード利用では、③市場の開拓が、それぞれ課題になる。

①分離が可能であることの周知

既存のスクラップ流通システムへ乗せるためには、カラー鋼板と芯材・裏面材の分離が必須である。一方で、それらの分離は可能であるため、分離方法を表示することで、分離作業の効率化を図ることができると考えられる。

②事業性の維持

既存のスクラップ流通システムへの適合には、安定的な廃材量の確保も重要になってくる。そのため、メーカーによる広域認定制度を新規に利用して回収したり、あるいは業界全体、他業界との共同による回収システムの整備をしたりすることで、回収量を最大化することが、事業性の維持につながるといえる。

③市場の開拓

現状では、芯材・裏面材のマテリアルリサイクルは実現されていない。これは、カスケードリサイクル先が存在しないことが大きく影響しているといえる。そのため、芯材・裏面材

を利用した新製品の開発を行う必要があると考えられる。

以上、シナリオCにおける生産システムの具体的方策を表 4-25 に整理した。

表 4-25 シナリオCにおける金属サイディング・金属屋根材生産システムの具体的方策

課題		具体的方策
電炉鋼	①	分離が可能であることの周知 ・分離方法の表示
	②	事業性の維持 ・新規の広域認定による回収、あるいは業界全体・他業界との共同による回収システムの整備
芯材・裏面材のカスケード利用	③	市場の開拓 ・新製品の開発

シナリオ T/G における具体的方策

サーマルリサイクルを達成するためには、①不燃物の混入管理、及び②事業性の維持が課題になる。

①不燃物の混入管理

サーマルリサイクルにおいては、不燃物の混入が再利用を最も妨げると考えられる。金属サイディング・金属屋根材に混入する不燃物としては、金物が想定されるため、そういった金物を磁性金属に統一することで、中間処理で一般的な磁気選別に対応することができ、不燃物の混入を未然に防ぐことができるといえる。

②事業性の維持

サーマルリサイクルの促進のためには、廃材量の確保も重要であるといえるため、広域認定制度を取得して回収したり、業界全体による回収システムを整備したりすることで、安定した廃材量を確保することができ、事業性を維持することができると考えられる。

以上、シナリオ T/G における生産システムの具体的方策を表 4-26 に整理した。

表 4-26 シナリオ T/G における金属サイディング・金属屋根材生産システムの
具体的方策

課題	具体的方策
① 不燃物の混入管理	・ 金物を磁性金属に統一
② 事業性の維持	・ 広域認定を新規に取得した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-27 のようになる。

表 4-27 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度
L 金属サイディング 金属屋根材	・ 水平リサイクルが可能な構成材料に刷新	高
C 電炉鋼	・ 分離方法の表示	低
	・ 新規の広域認定による回収、あるいは業界全体・他業界との共同による回収システムの整備	中
芯材・裏面材の カスケード利用	・ 新製品の開発	高
T/G RPF	・ 金物を磁性金属に統一	低
	・ 広域認定を新規に取得した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備	中

以上から、金属サイディング・金属屋根材の資源循環性の向上可能性は、図 4-14 のようにまとめられる。

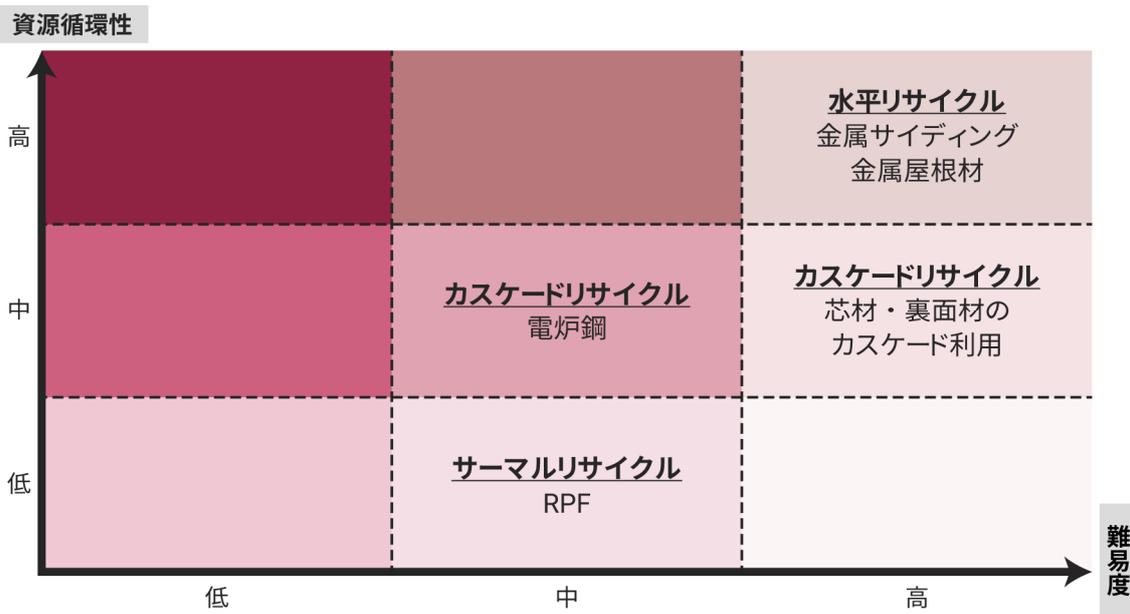


図 4-14 金属サイディング・金属屋根材における資源循環性の向上可能性

4.2.4. 窯業系サイディング・化粧スレート

シナリオLにおける具体的方策

水平リサイクルを達成するためには、窯業系サイディング・化粧スレートでは、①利用上限を上げる技術改良、及び②回収システムの安定化、窯業系サイディングのみ、追加で③製造法の識別が課題になる。

①利用上限を上げる技術改良

現状では、工場端材、新築端材、解体材の一部で水平リサイクルが実現している。一方で、端材利用には上限が存在しており、現状では余裕があるものの、いずれは上限に達する恐れがある。それに対する方策としては、製造プロセスの見直しによる端材の発生量を削減し、上限に対してさらに余裕を持たせることや、利用上限を上げる再生原料の加工方法の開発が考えられる。

②回収システムの安定化

既存の広域認定制度では、解体材は対象外としている。窯業系サイディングや化粧スレートは広く普及しており、大きなストックが見込めるため、既存の広域認定を見直したり、新たに業界全体での回収システムを整備したりすることで、安定化を図ることができ、ひいては事業性の確立も期待できるといえる。

③製造法の識別

窯業系サイディングでは、製造法の違いが水平リサイクルの実現に大きく影響を与えるため、どちらの製造法（抄造法、押出法）によるものか判別することができるような表示を行う必要がある。

以上、シナリオLにおける生産システムの具体的方策を表 4-28 に整理した。

表 4-28 シナリオ L における窯業系サイディング・化粧スレート生産システムの
具体的方策

課題		具体的方策
窯業系サイディング 化粧スレート	①	利用上限を上げる技術改良
	②	回収システムの安定化
窯業系サイディング	③	製造法の識別

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、セメント原料、及び路盤材へのカスケードリサイクルが考えられる。

セメント原料への再利用では、①シーリングが問題とならない技術改良、及び②事業性の創出が、路盤材への再利用では、③競合品との差別化が課題となる。

①シーリングが問題とならない技術改良

セメント原料へのカスケードリサイクルでは、シーリングの混入が最も問題となる。乾式目地材という、目地に挿入するタイプの目地材も存在しているため、そういった目地材の使用を検討することで、セメント原料への再利用が促進されると考えられる。

②事業性の創出

廃材を受け入れるセメント工場では、まとまった量で、かつ安定的な供給が行われることで、事業性を維持することができる。既存の広域認定制度を利用した回収や、業界全体での回収システムを構築することで、それに対応できるといえる。

③競合品との差別化

路盤材に関しても、競合品が多く存在する。それらとの差別化を図るためには、②と同様に回収システムの整備による価格的な優位性を創出することが考えられる。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-29 に整理した。

表 4-29 シナリオ C における窯業系サイディング・化粧スレート生産システムの
具体的方策

課題		具体的方策
セメント原料	①	シーリングが問題と ならない技術改良
	②	事業性の創出
路盤材	③	競合品との差別化

シナリオ T/G における具体的方策

前節で述べた通り、窯業系サイディング・化粧スレートにおいては、シナリオ T/G を分析の対象外としている。

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-30 のようになる。

表 4-30 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度	
L	窯業系サイディング	・生産システムの見直しによる端材発生量の削減	高
		・利用上限を上げる再生原料の開発	高
		・既存の広域認定の見直し、あるいは業界全体による回収システムの整備	中
		・製造法の判別が可能な表示	低
	化粧スレート	・生産システムの見直しによる端材発生量の削減	高
		・利用上限を上げる再生原料の開発	高
C	セメント原料	・乾式目地材の使用	低
		・既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
	路盤材	既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
		・有害物質の不使用をアピールする表示	低

以上から、窯業系サイディング・化粧スレートの資源循環性の向上可能性は、図 4-15 のようにまとめられる。

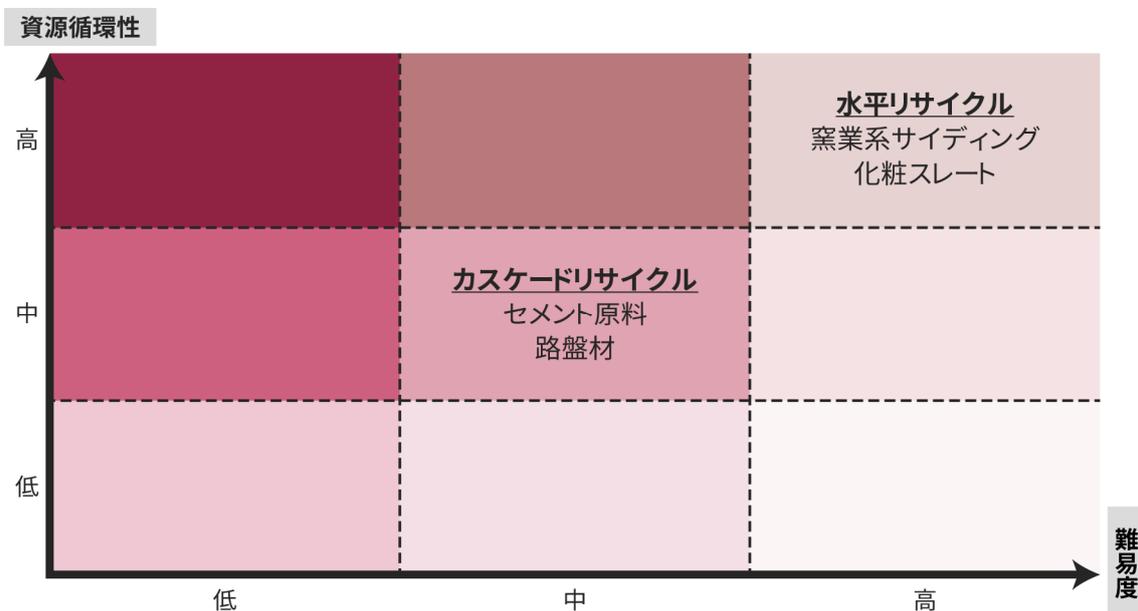


図 4-15 窯業系サイディング・化粧スレートにおける資源循環性の向上可能性

4.2.5. 石膏ボード

シナリオ L における具体的方策

水平リサイクルを達成するためには、①水濡れが見られる廃材やカビが発生した廃材の再資源化、②粉末状の廃材の再資源化、及び③水平リサイクルを促す事業性の創出が課題になる。

①水濡れが見られる廃材やカビが発生した廃材

①に関しては、水に塗れても石膏分の性質が変わらないような工夫をすることが必要であると考えられる。MB 社では、防水性や防カビ性を高めた石膏ボードの開発・製造・販売を、現時点で行っているため、そういった製品を普及させることで、将来的な水平リサイクルを促すことができるといえる。一方で、そのような製品はカビの発生を完全に防ぐことはできないため、カビ発生箇所の判別が容易になるような製品工夫をすることで、廃材全体の水平リサイクルを阻害することがないようにできると想定される。

②粉末状の廃材の再資源化

②に関しては、切断の際に粉末の発生を抑える製品工夫をすることで、そもそも粉末状の廃材が発生することを抑制し、水平リサイクル性を高めることができると考えられる。

③事業性の創出

③に関しては、石膏ボードの普及率を考慮すると、ストックは非常に多いといえるため、既存の広域認定制度を利用したメーカー独自の回収や、業界全体で統一した回収システムを確立することで、スケールメリットを活かした事業性の創出が可能であろう。そうして回収した廃石膏ボードを、WC 社のような専門のリサイクルプラントで再生処理を行い、混合上限のない再生石膏にすることで、リサイクルプラントにおける搬入量の安定化も図ることができる。一方で、再生処理をおこなった再生石膏の出荷先を安定的なものにすることも、リサイクルプラントの持続的な経営には必要である。そのために、先進的事例（樹脂サッシの生産システム）で見られた、再生原料の利用義務化といった取り決めを業界全体で行うことで、安定的な水平リサイクルが実現できると考えられる。メーカーにとっても、再生石膏を利用することは、長期的に見た時に、資源枯渇のリスクを回避することにもつながるといえる。

以上、シナリオ L における生産システムの具体的方策を表 4-31 に整理した。

表 4-31 シナリオ L における石膏ボード生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
① 水濡れやカビの発生した廃材の再資源化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防水性、防カビ性を高めた既存製品の普及 ・ カビ発生箇所の判別容易性の向上
② 粉末状の廃材の再資源化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 粉末発生を抑制する工夫
③ 事業性の創出	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存の広域認定による回収 ・ 業界全体で統一した回収システムの整備 ・ 業界全体で混合上限がない再生石膏の利用を義務化

シナリオ C における具体的方策

カスケードリサイクルを達成するためには、①粉末状の廃材の再資源化と、②市場の安定化が課題になる。

①粉末状の廃材の再資源化

①に関しては、シナリオ L における方策と同様に、粉末の発生を抑制する製品工夫を行うことが重要であると考えられる。

②市場の安定化

②に関しては、競合品の存在するカスケードリサイクル先であるので、そういった競合品に対して、品質的、あるいは価格的に優位となるような工夫が考えられる。例えば、セメント原料に関しては、排煙脱硫石膏との競合が想定される。再生石膏は、廃石膏ボードを単純破砕することで製造できるという利点を活かして、既存の広域認定を利用した回収を行えば、スケールメリットによる価格優位性が期待できる。また、そうした再生石膏の製造における歩留まりを高めることでも、価格優位性を図ることができるといえる。そのような歩留まりを高める工夫の一つとして、石膏の回収量が最大化できるような複合方法の工夫が考えられる。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-32 に整理した。

表 4-32 シナリオ C における石膏ボード生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
① 粉末状の廃材の再資源化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 粉末発生を抑制する工夫
② 市場の安定化	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存の広域認定による回収 ・ 石膏回収量の最大化を図ることができる複合方法の採用

シナリオ T/G における具体的方策

ガス化溶融処理を達成するためには、受け入れ基準への適合が課題になる。

受け入れ基準への適合に向けては、廃材に含まれる硫黄分の濃度が一番問題となるため、その濃度を薄めるために、石膏ボード全体に占めるボード用原紙の割合を高めることが、方策として考えられる。

以上、シナリオ T/G における生産システムの具体的方策を表 4-33 に整理した。

表 4-33 シナリオ T/G における石膏ボード生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
受け入れ基準への適合	・硫黄濃度低下を目的としたボード用原紙の割合の向上

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-34 のようになる。

表 4-34 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度
L 石膏ボード	・防水性、防カビ性を高めた既存製品の普及	低
	・カビ発生箇所の判別容易性の向上	低
	・粉末発生を抑制する工夫	低
	・既存の広域認定による回収	低
	・業界全体で統一した回収システムの整備	中
	・業界全体で混合上限がない再生石膏の利用を義務化	中
C セメント原料 ライン材 土壌改良材	・粉末発生を抑制する工夫	低
	・既存の広域認定による回収	低
	・石膏回収量の最大化を図ることができる複合方法の採用	低
T/G ガス化溶融処理	・硫黄濃度低下を目的としたボード用原紙の割合の向上	低

以上から、石膏ボードの資源循環性の向上可能性は図 4-16 のようにまとめられる。

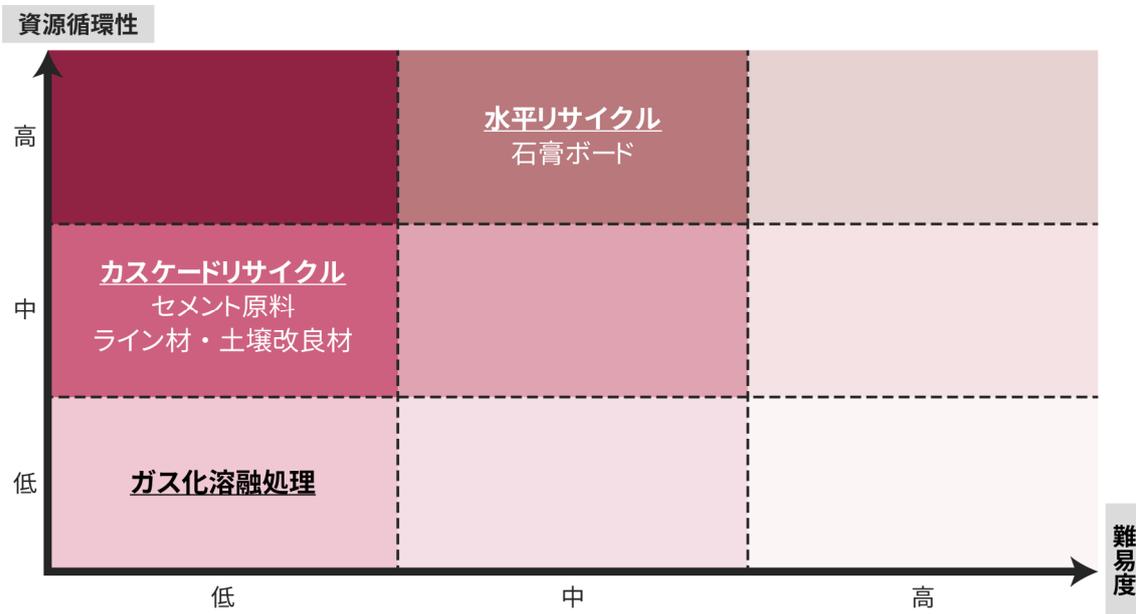


図 4-16 石膏ボードにおける資源循環性の向上可能性

4.2.6. 複合フローリング

シナリオ L における具体的方策

水平リサイクルの達成には、水平リサイクルに向けた技術改良が課題になる。

複合フローリングの基材に使用されている合板と MDF が、品質上の問題から水平リサイクルを大きく妨げているため、基材を水平リサイクルが品質的に可能な材料で代替しない限り、複合フローリングの水平リサイクルは実現できないといえる。

以上、シナリオ L における生産システムの具体的方策を表 4-35 に整理した。

表 4-35 シナリオ L における複合フローリング生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
水平リサイクルに向けた技術改良	・水平リサイクルが品質的に可能な基材で代替

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、パーティクルボードへのカスケードリサイクル、敷料・水分調整剤・培養土へのカスケードリサイクルが考えられる。

パーティクルボードへのカスケードリサイクルを達成するためには、①合板のみの分離が課題になる。また、敷料・水分調整剤・培養土へのカスケードリサイクルを達成するためには、②再利用先の品質基準への適合、及び③事業性の創出が課題になる。

①合板のみの分離

現状では、合板と MDF は熱硬化性樹脂で一体化しており、分離は非常に困難とされている。パーティクルボードへのカスケードリサイクルの可能性を有している合板のみを分離するためには、分離が可能で、かつ分離の際に合板に MDF ができるだけ付着しないような接着剤を開発する必要がある。

②再利用先の品質基準への適合

敷料・水分調整剤・培養土への再利用では、品質基準への適合が求められる。合板や MDF そのものに関しては、木質系建材であることから、特に問題はないと考えられるが、接着剤である熱硬化性樹脂、表面材の化粧シートに関しては、品質的な検討を行う必要があると想定される。

③事業性の創出

敷料・水分調整剤・培養土は、競合品が存在するため、品質的、あるいは価格的な優位性が必要となる。メーカーによる回収や、業界全体での回収を行い、スケールメリットによる事業性を創り出すことで、そういった競合品との価格競争で優位に立つことができるであろう。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-36 に整理した。

表 4-36 シナリオ C における複合フローリング生産システムの具体的方策

課題			具体的方策
パーティクルボード	①	合板のみの分離	・MDF と分離が可能で、かつ分離する際に合板に MDF が可能な限り付着しない接着剤の開発
敷料 水分調整剤	②	再利用先の品質基準への適合	・品質を勘案した接着剤、化粧シートの使用
培養土	③	事業性の創出	・メーカーによる回収、あるいは業界全体での回収システムを整備

シナリオ T/G

サーマルリサイクルを達成するためには、事業性の維持が課題になる。

現状、複合フローリングのサーマルリサイクルは、法律による再資源化の義務化もあって、広く行われている。今後も持続的な事業としていくためには、サーマルリサイクルを妨げる要因になる無機系物質を、製品中に使用しないことを徹底する必要がある。

以上、シナリオ T/G における生産システムの具体的方策を表 4-37 に整理した。

表 4-37 シナリオ T/G における複合フローリング生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
事業性の維持	・無機系物質の不使用の徹底管理

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-38 のようになる。

表 4-38 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ		具体的方策	難易度
L	複合フローリング	・ 水平リサイクルが品質的に可能な基材で代替	高
C	パーティクルボード	・ MDF と分離が可能で、かつ分離する際に合板に MDF が可能な限り付着しない接着剤の開発	高
	敷料	・ 品質を勘案した接着剤、化粧シートの使用	低
	水分調整剤 培養土	・ メーカーによる回収、あるいは業界全体での回収システムを整備	中
T/G	燃料用チップ	・ 無機系物質の不使用の徹底管理	低

以上から、複合フローリングの資源循環性の向上可能性は、図 4-17 のようにまとめられる。

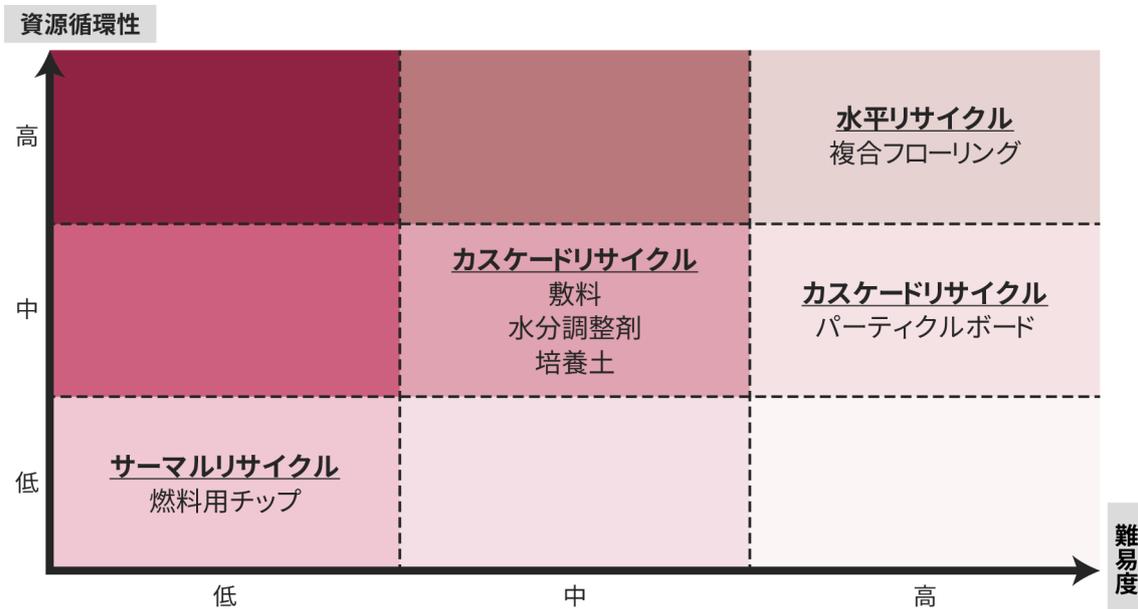


図 4-17 複合フローリングにおける資源循環性の向上可能性

4.2.7. 不燃化粧壁材

シナリオ L における具体的方策

水平リサイクルの実現には、①水平リサイクルを可能にする技術改良、及び②異物の除去による事業性の検討が課題になる。

①水平リサイクルを可能にする技術改良

構成材料の一つである火山性ガラス質複層板の製造では、原料同士の結合のために熱硬化性を使用している。これは非水溶性であり、スラリー状にする必要がある製造方法では、原料として再利用することはできない。そのため、熱硬化性樹脂に代わる結合剤の開発、あるいはスラリー状にする必要がない基材への変更を行わなければ、水平リサイクルは実現できないといえる。

②異物の除去による事業性の検討

異物としては、施工時に使用する両面テープ・シリコンコーキングが想定される。これらは、熱硬化性樹脂と同様に非水溶性であるため、水平リサイクルを阻害する要因になる。これに対しては、ビス留め等の乾式工法の開発によって、磁気選別等で除去することができると考えられる。

以上、シナリオ L における生産システムの具体的方策を表 4-39 に整理した。

表 4-39 シナリオ L における不燃化粧壁材生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
① 水平リサイクルを可能にする技術改良	<ul style="list-style-type: none"> ・水溶性の結合剤の開発 ・スラリー状にしない製造法の基材への変更
② 異物の除去による事業性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・乾式工法の開発

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、セメント原料、及び路盤材へのカスケードリサイクルが考えられる。

セメント原料への再利用では、①シーリングが問題とならない技術改良、及び②事業性の創出が、路盤材への再利用では、③競合品との差別化が課題となる。

①シーリングが問題とならない技術改良

セメント原料へのカスケードリサイクルでは、シーリングの混入が最も問題となる。乾式目地材という、目地に挿入するタイプの目地材も存在しているため、そういった目地材の使用を検討することで、セメント原料への再利用が促進されることが考えられる。

②事業性の創出

廃材を受け入れるセメント工場では、まとまった量で、かつ安定的な供給が行われることで、事業性を維持することができる。既存の広域認定制度を利用した回収や、業界全体での回収システムを構築することで、それに対応できるといえる。

③競合品との差別化

路盤材に関しても、競合品が多く存在する。それらとの差別化を図るためには、②と同様に回収システムの整備による価格的な優位性を創出することが考えられる。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-42 に整理した。

表 4-40 シナリオ C における不燃化粧壁材生産システムの具体的方策

課題		具体的方策
セメント原料	①	シーリングが問題と ならない技術改良
	②	事業性の創出
路盤材	③	競合品との差別化

シナリオ T/G における具体的方策

前節で述べた通り、不燃化粧壁材においては、シナリオ T/G を分析の対象外としている。

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-41 のようになる。

表 4-41 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ		具体的方策	難易度
L	窯業系サイディング	・水溶性の結合剤の開発	高
		・スラリー状にしない製造法の基材への変更	高
		・乾式工法の開発	高
C	セメント原料	・乾式目地材の使用	低
		・既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
	路盤材	既存の広域認定制度による回収、あるいは業界全体での回収システムの構築	中
		・有害物質の不使用をアピールする表示	低

以上から、不燃化粧壁材の資源循環性の向上可能性は、図 4-18 のようにまとめられる。

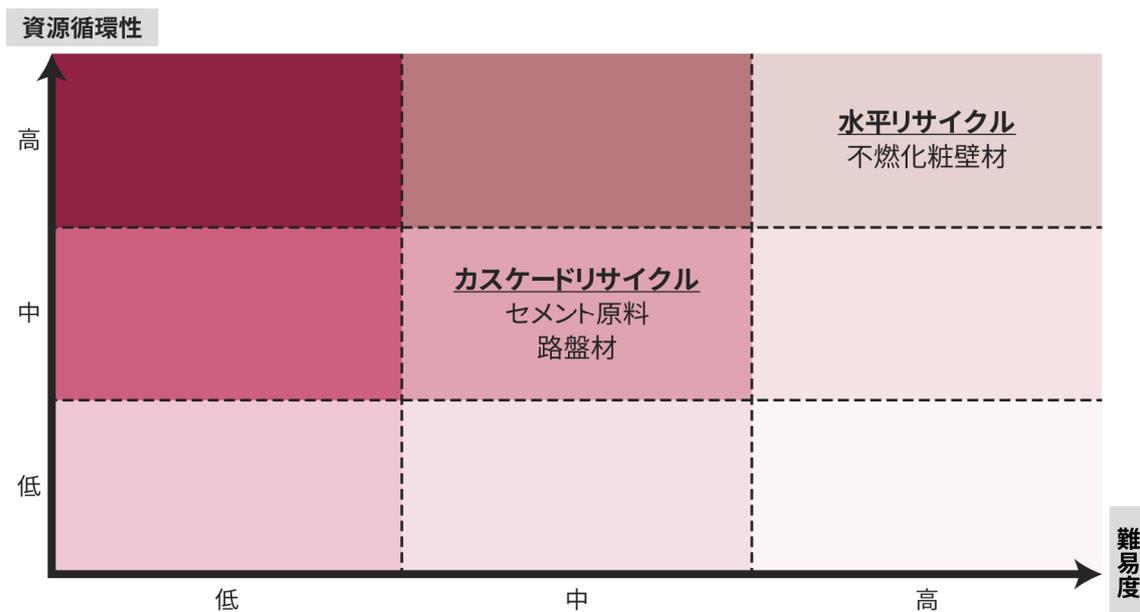


図 4-18 不燃化粧壁材における資源循環性の向上可能性

4.2.8. アルミ樹脂複合サッシ

シナリオLにおける具体的方策

シナリオLでは、アルミサッシ、アルミ樹脂複合サッシ、樹脂サッシへの水平リサイクルが考えられる。

アルミサッシへの再利用では、①アルミのカスケード利用の需要を上回るような市場の拡大が、アルミ樹脂複合サッシへの再利用では、①に加えて、②事業性の創出が、樹脂サッシへの再利用では、②が課題になる。

①アルミのカスケード利用の需要を上回るような市場の拡大

①に関しては、異物、特に硬質PVC 形材が容易に除去することができるということを周知するような表示をすることが、まずは必要であると考えられる。そうすることで、アルミ形材の水平リサイクルを促すことができるといえる。加えて、先進的事例（樹脂サッシの生産システム）のように、再生地金や市中スクラップの利用を義務化することで、カスケード利用を上回る需要を創出し、より持続的な水平リサイクルが実現できると考えられる。

②事業性の創出

②に関しては、硬質PVC 形材の異物選別における採算性が問題になっていることから、広域認定制度を新規に利用した回収や、樹脂サッシ業界と共同した回収システムを整備することで、スケールメリットによる事業性を創り出すことができるといえる。また、そうして回収し、再資源化をした再生ペレットの利用を義務化することで、より持続的な水平リサイクルが確立されると考えられる。

以上、シナリオLにおける生産システムの具体的方策を表 4-42 に整理した。

表 4-42 シナリオLにおけるアルミ樹脂複合サッシ生産システムの具体的方策

課題		具体的方策	
アルミサッシ	①	アルミのカスケード利用の需要を上回るような市場の拡大	<ul style="list-style-type: none"> ・硬質PVC 形材の分離方法を明示 ・再生地金や市中スクラップの利用を義務化
アルミ樹脂複合サッシ			
アルミ樹脂複合サッシ	②	事業性の創出	<ul style="list-style-type: none"> ・広域認定制度を取得して回収 ・樹脂サッシ業界との共同による回収システムの整備 ・再生ペレットの利用を義務化
樹脂サッシ			

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、ダイカスト合金、及び他樹脂製品へのカスケードリサイクルが考えられる。

ダイカスト合金への再利用では、①既存のカスケードリサイクルの事業性の安定化が、他樹脂製品への再利用は、②既存の塩ビ流通システムへの適合、及び③事業性の創出それぞれ課題になる。

①既存のカスケードリサイクルの事業性の安定化

①では、廃材の資源的価値を高めて、よりカスケードリサイクルを促すことが必要になると考えられる。廃材の資源的価値を向上させる具体的方策としては、部材当たりのアルミ型材の重量割合を最大化することが挙げられる。これによって、一部材当たりの売却価格を上げることができ、カスケードリサイクルを推進することができるであろう。

②既存の塩ビ流通システムへの適合

②では、異物の除去を行わなければ、既存の塩ビ流通システムに乗せることはできないため、流通システムへの適合を阻害するような材料を洗い出し、硬質 PVC 部材と複合しないようにすることが必要になるといえる。

③事業性の創出

②のような既存の流通システムへの適合を技術的な面から図ることに加えて、回収システムを整備することによって、経済的な面から適合を図ることも、カスケードリサイクルを持続的なものにすることができるといえる。

以上、シナリオ C における生産システムの具体的方策を表 4-43 に整理した。

表 4-43 シナリオ C におけるアルミ樹脂複合サッシ生産システムの具体的方策

課題		具体的方策
ダイカスト合金	①	既存のカスケードリサイクルの事業性の安定化 ・部材当たりのアルミ型材の重量割合を最大化
他樹脂製品	②	既存の塩ビ流通システムへの適合 ・適合不可材料と硬質 PVC 型材とを複合させない
	③	事業性の創出 ・回収システムの整備

シナリオ T/G における具体的方策

ガス化溶融処理を実現するためには、受け入れ基準への適合が課題になる。

ガス化溶融処理では、硬質 PVC の塩素分が問題となることから、塩素を含まないプラスチックと硬質 PVC 型材とを複合させることで、型材当たりの塩素割合を減少させることが考えられる。こうすることで、全体としての濃度低下が期待でき、ガス化溶融処理施設での受け入れ基準へ適合させることができるといえる。

以上、シナリオ T/G における生産システムの具体的方策を表 4-44 に整理した。

表 4-44 シナリオ T/G におけるアルミ樹脂複合サッシ生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
受け入れ基準への適合	・塩素を含まないプラスチックと硬質 PVC 型材を複合させる

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-45 のようになる。

表 4-45 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度	
L	アルミサッシ	・硬質 PVC 型材の分離方法を明示	低
		・再生地金や市中スクラップの利用を義務化	中
	アルミ樹脂複合サッシ	・硬質 PVC 型材の分離方法を明示	低
		・再生地金や市中スクラップの利用を義務化	中
		・広域認定制度を取得して回収	中
		・樹脂サッシ業界との共同による回収システムの整備	中
		・再生ペレットの利用を義務化	中
	樹脂サッシ	・広域認定制度を取得して回収	中
		・樹脂サッシ業界との共同による回収システムの整備	中
・再生ペレットの利用を義務化		中	
C	ダイカスト合金	・部材当たりのアルミ型材の重量割合を最大化	低
	他樹脂製品	・適合不可材料と硬質 PVC 型材とを複合させない	低
		・回収システムの整備	中
T/G	ガス化溶融処理	・塩素を含まないプラスチックと硬質 PVC 型材を複合させる	低

以上から、アルミ樹脂複合サッシの資源循環性の向上可能性は、図 4-19 のように可視化される。

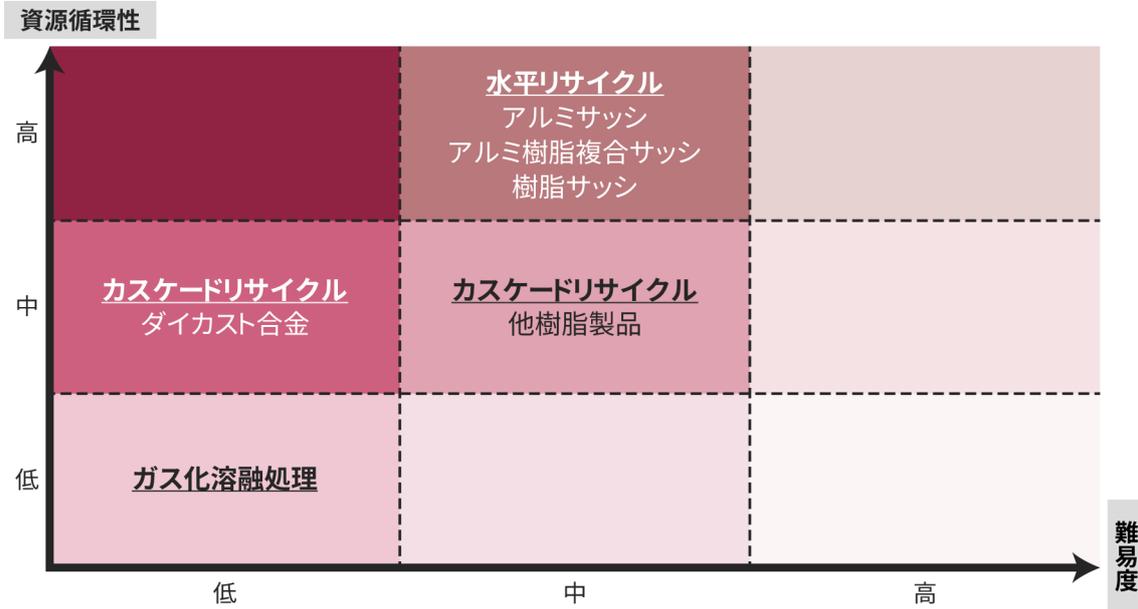


図 4-19 アルミ樹脂複合サッシにおける資源循環性の向上可能性

4.2.9. 複層ガラス・合わせガラス

シナリオ L における具体的方策

シナリオ L では、フロート板ガラス、及び型板ガラスへの水平リサイクルが考えられる。

フロート板ガラスへの再利用では、①ガラスのみをきれいに分離できるような改良が、型板ガラスへの再利用では、②型板ガラスの市場拡大が、それぞれ課題になる。

①ガラスのみをきれいに分離できるような改良

現状では、複層ガラスにおけるアルミスペーサーとガラスとのシール材は、分離が非常に困難なものを使用している。また、合わせガラスでは、粘着性のある中間膜を使用しているため、こちらに関しても分離は非常に困難である。いずれも密閉性や一体性のためには必要なものであるため、そういった性能を確保しつつ、分離がしやすい、かつガラスにシール材や中間膜が付着しない素材を開発することが必要である。

②型板ガラスの市場拡大

異物がある程度許容される型板ガラスは、水平リサイクル先としては非常に有望であるが、国内需要は減少傾向である。そのため、型板ガラスを使用した新たな製品開発が必要になってくるであろう。

以上、シナリオ L における生産システムの具体的方策を表 4-46 に整理した。

表 4-46 シナリオ L における複層ガラス・合わせガラス生産システムの具体的方策

課題		具体的方策
フロート板ガラス	①	ガラスのみをきれいに分離できるような改良 ・分離がしやすく、かつガラスにシール材や中間膜が付着しない素材の開発
型板ガラス	②	型板ガラスの市場拡大 ・型板ガラスを使用した新製品の開発

シナリオ C における具体的方策

シナリオ C では、ビン、及びグラスウールへの水平リサイクルが考えられる。

いずれの場合も、①ガラスのみを分離できるような改良、②既存のカレット流通システムへの適合、及び③事業性の創出が課題になる。

①ガラスのみを分離できるような改良

シナリオ L における課題①と同様な開発が必要であるが、シナリオ C では、シール材や

中間膜の付着はある程度許容できるため、それに即した開発が必要であるといえる。

②既存のカレット流通システムへの適合

上記のようなシール材・中間膜の開発によって、カレット流通システムへの適合を図ることができると考えられる。

③事業性の創出

ビンもグラスウールも、競合品が存在する。それらの競合品に対して価格的な優位性を持たせることで、事業性を創り出すことができるといえる。具体的には、メーカーによる広域認定制度を新規に利用した回収や、業界全体による回収システムの整備によって、スケールメリットによるカレットの低価格化を実現できると考えられる。

以上、シナリオCにおける生産システムの具体的方策を表 4-47 に整理した。

表 4-47 シナリオCにおける複層ガラス・合わせガラス生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
① ガラスのみを分離できるような改良	・分離がしやすいシール材、中間膜の開発
② 既存のカレット流通システムへの適合	
③ 事業性の創出	・メーカーによる広域認定制度を新規に利用した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備

シナリオ T/G における具体的方策

ガス化溶融処理の実現では、事業性の創出とその維持が課題になる。

ガス化溶融処理施設では、安定的な廃材の搬入量が確保できることで、事業性が維持できるため、排出者側としては、安定的な廃材量を確保する必要がある。これは、メーカーによる広域認定回収や、業界全体での回収システムの整備を行うことで、実現が可能であろう。

以上、シナリオ T/G における生産システムの具体的方策を表 4-48 に整理した。

表 4-48 シナリオ T/G における複層ガラス・合わせガラス生産システムの具体的方策

課題	具体的方策
事業性の創出とその維持	・メーカーによる広域認定制度を新規に利用した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備

資源循環性の向上可能性

以上の具体的方策について、設定した難易度をそれぞれ付与すると、表 4-49 のようになる。

表 4-49 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ	具体的方策	難易度	
L	フロート板ガラス	・分離がしやすく、かつガラスにシール材や中間膜が付着しない素材の開発	高
	型板ガラス	・型板ガラスを使用した新製品の開発	高
C	ビン	・分離がしやすいシール材、中間膜の開発	高
	グラスウール	・メーカーによる広域認定制度を新規に利用した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備	中
T/G	ガス化溶融処理	・メーカーによる広域認定制度を新規に利用した回収、あるいは業界全体による回収システムの整備	中

以上から、複層ガラス・合わせガラスの資源循環性の向上可能性は、図 4-20 のようにまとめられる。

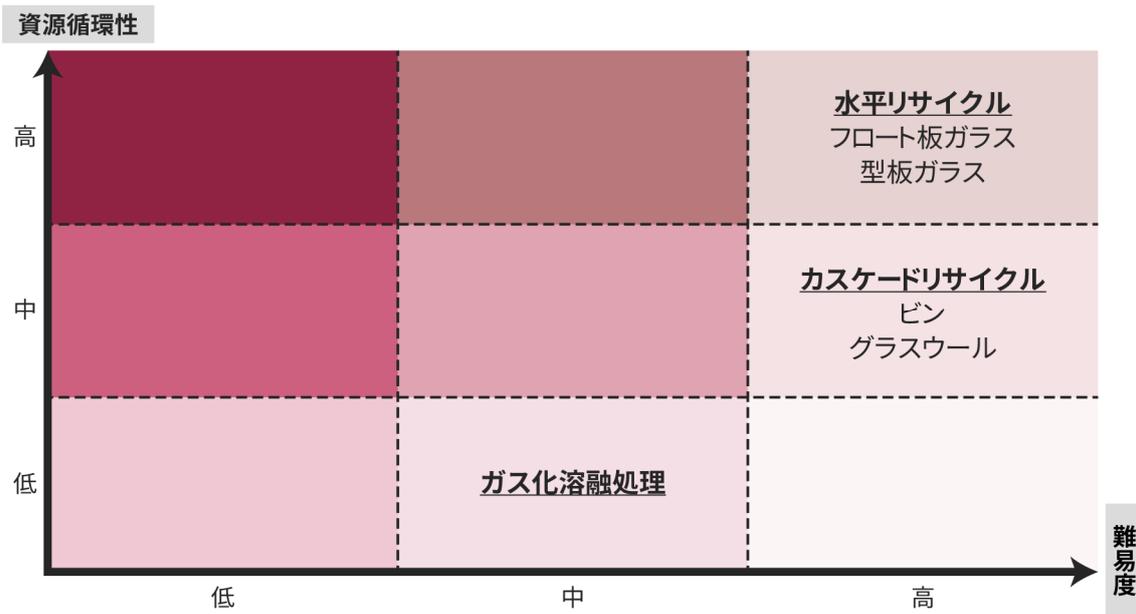


図 4-20 複層ガラス・合わせガラスにおける資源循環性の向上可能性

4.2.10. フラッシュドア

前述の通り、フラッシュドアは、その構成材料が複合フローリングと似ていること、木質系建材であり、再資源化が義務付けられる特定建設資材に指定されているため、フラッシュドアの各シナリオにおける処理実態と、それに対する課題については、複合フローリングと同じであるといえる。

よって、資源循環シナリオにおける具体的方策と、資源循環性の向上可能性は、複合フローリングを踏襲してまとめることができる（表 4-50、及び図 4-21）。

表 4-50 資源循環シナリオにおける具体的方策とその難易度

資源循環シナリオ		具体的方策	難易度
L	フラッシュドア	・ 水平リサイクルが品質的に可能な素材で代替	高
C	パーティクルボード	・ MDF と分離が可能で、かつ分離する際に合板に MDF が可能な限り付着しない接着剤の開発	高
	敷料	・ 品質を勘案した接着剤、化粧シートの使用	低
	水分調整剤 培養土	・ メーカーによる回収、あるいは業界全体での回収システムを整備	中
T/G	燃料用チップ	・ 無機系物質の不使用の徹底管理	低

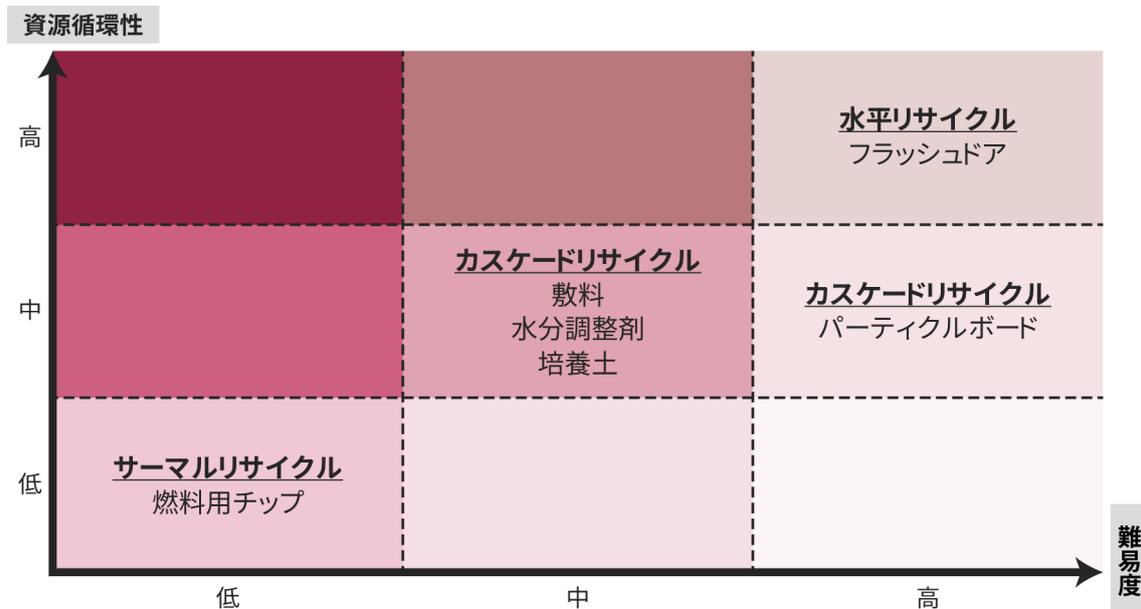


図 4-21 フラッシュドアにおける資源循環性の向上可能性

4.3. 小結

4章のまとめ

本章では、資源循環シナリオを設定することで、各複合建材の処理実態と課題、それに対する具体的方策を、将来的な視点をもって考察することができた。また、その具体的方策について、生産システム側の取り組みの範囲に基づいた難易度を設定することで、各複合建材における資源循環性の向上可能性を定性的に評価し、かつ判別が容易になるような可視化を行うことができた。

資源循環性の向上可能性に影響を与える要素

上記の分析を通して、複合建材の資源循環性の向上可能性に影響を与える要素としては、以下のようなものが挙げられると考えられる。

リサイクルに適した構成材料の有無

マテリアルリサイクルを想定する場合、使用や中間処理によって品質の低下が伴ってしまうといったような、性質が不可逆的な材料は、そもそもマテリアルリサイクルに適さないといえる（複合フローリングやフラッシュドアの合板、MDF など）。特に、水平リサイクルを目指す際には、こうした性質が不可逆的な材料の使用を避けなければ、水平リサイクルの実現は限りなく不可能になってしまう。こうした現状に対して、性質的な可逆性を持つ代替品が存在するかどうか、資源循環性の向上可能性に影響を与えていた。

このような材料の不可逆性に加えて、製造上の不可逆性が問題になっている複合建材も見られた。不燃化粧壁材は、スラリー状にする工程があるにもかかわらず、結合剤として非水溶性の接着剤等を使用していることで、水平リサイクルが大きく妨げられている。また、金属サイディング・金属屋根材も、芯材の発泡による自己接着性によって一体化するが、一度発泡してしまうと、液状には戻らないため、水平リサイクルには適していない。このような状況に対して、改善の余地があるかどうか、資源循環性の向上可能性を左右していた。

リサイクル先に即した複合方法の有無

複合方法に着目した場合、基本的には分離をしなければ、資源循環性の向上には寄与できない。一方で、複合フローリングやフラッシュドアの敷料等へのカスケードリサイクルや、燃料用チップとしてのサーマルリサイクル、あるいは、アルミ樹脂複合サッシのダイカスト合金へのカスケードリサイクルといったようなシナリオから、資源循環性の水準を適切に選択することで、分離をしなくてもリサイクルが可能な再利用先を選定することができることが示唆された。

資源循環性の向上の最終的な目標としては、水平リサイクルではあるが、分離が非常に困難であるといったような技術的な問題や、あるいは再利用先の市場が小さいといったよう

な経済的な問題を考慮したうえで、最も事業性が見込める再利用先を選定することも、資源循環性の向上可能性を高めることにつながるであろう。

廃材流通体制の有無

以上2つの要素を備えていても、廃棄物が循環する枠組みが存在していないと、資源循環性の向上は見込めない。複層ガラス・合わせガラスにおけるカレットの流通システムや、金属サイディング・金属屋根材におけるスクラップの流通システムといったように、廃材の流通体制が整備されている場合は、技術的な方策（適合不可材料を複合させない等）や、経済的な方策（廃材量の確保等）によって、そのシステムに適合させられるかどうか、資源循環性の向上可能性を左右する。

一方で、そういった流通体制がない場合は、メーカーレベルの広域認定制度を利用した回収が選択肢としてあり、現状でその制度を利用しているかどうか、資源循環性の向上可能性に大きく影響を与えていた。また、広域認定制度の利用が困難な場合には、業界全体での回収システムの整備があり得る。ただし、この場合には、同業他社との協調が必要であるため、実現には大きなハードルが存在すると考えられる。先進的事例（樹脂サッシや板ガラスの生産システム）のように、社会的な要請が高まったり、業界内における再資源化への意識が高まったりする等の諸条件が整うかどうか、資源循環性の向上に大きく寄与すると思われる。

加えて、こうした回収体制は、事業性の創出にも大きく寄与することが、先進的事例から明らかになっているため、資源循環性を経済的な面から支える重要な役割を果たすことが期待できる。

以上の3要素をどの程度備えているか、あるいはどの程度備えることができるか、といった条件によって、複合建材の資源循環性の向上可能性が決定付けられる（図 4-22）。

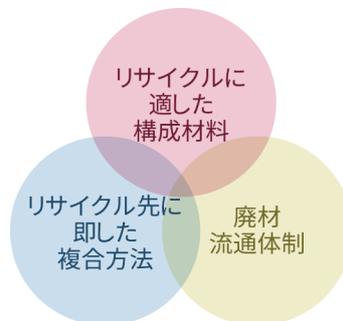


図 4-22 資源循環性の向上可能性を決定する3要素

石膏ボードの場合、廃材を原料として再利用する際には、通常混合制限があるが、それを解決する技術が確立されており（リサイクルに適した構成材料）、破碎をすれば石膏を分離

4章 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

することが可能で（リサイクル先に即した複合方法）、広域認定制度を利用した回収体制が整っている（廃材流通体制）。このような理由から、石膏ボードの資源循環性、特に水平リサイクルの実現可能性は高くなっている（図 2-43）。

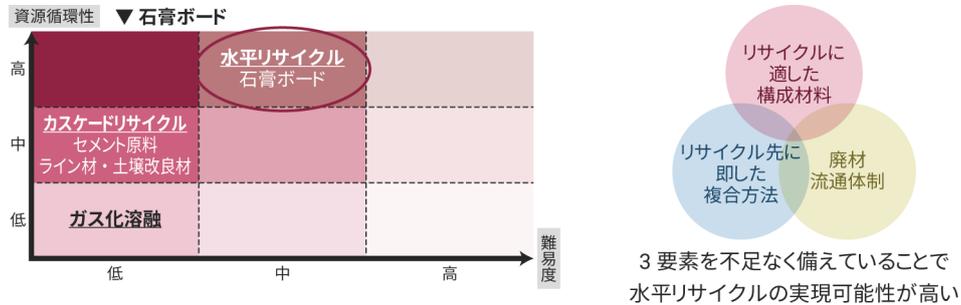


図 4-23 3要素から見た石膏ボードの資源循環性の向上可能性

ALC パネルや窯業系サイディング・化粧スレートは、破碎すれば分離が容易、あるいは分離をしなくても再利用が可能で（リサイクル先に即した複合方法）、広域認定による回収システムが確立されている（廃材流通体制）が、廃材を原料として再利用する際の混合上限を解決する必要があり、特に水平リサイクルを考える際には、実現可能性が低くなっている（図 4-24）。

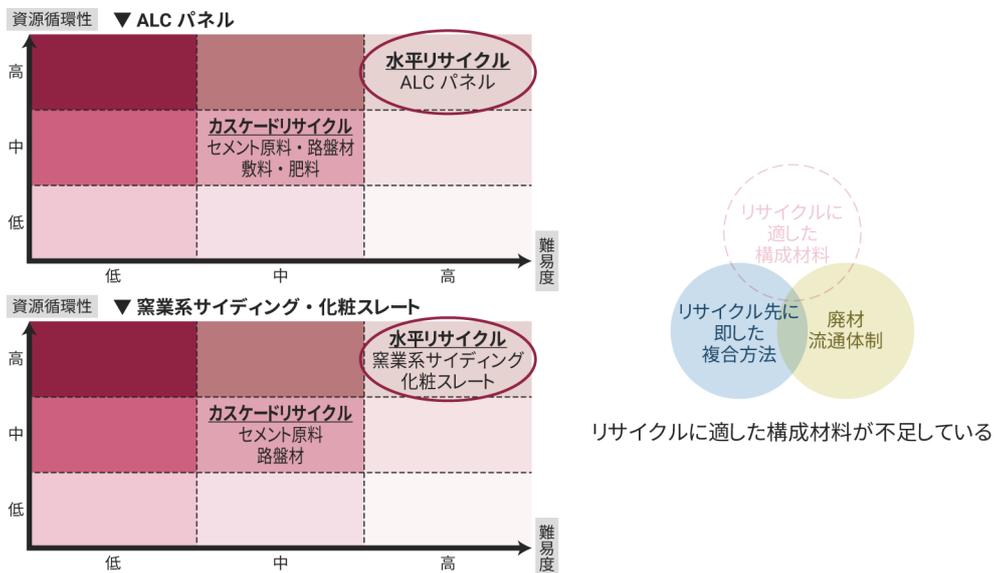


図 4-24 3要素から見た ALC パネル・窯業系サイディング・化粧スレートの資源循環性の向上可能性

金属サイディング・金属屋根材とアルミ樹脂複合サッシは、同じ金属を有する複合建材であり、両者とも分離をすることが可能で（リサイクル先に即した複合方法）、かつ金属の流通体制が整備されている（廃材流通体制）。しかし、金属サイディング・金属屋根材の構成

材料であるカラー鋼板が材料的に不可逆であり、ポリイソシアヌレートフォームが製造的に不可逆であるため、特に水平リサイクルに関する実現可能性が低くなっている。一般的に再利用性が高いといえる金属を有する複合建材であり、その他の要素が似通っていても、リサイクル（特に水平リサイクル）に適した構成材料であるかどうか、資源循環性の向上可能性を左右する（図 4-25）。

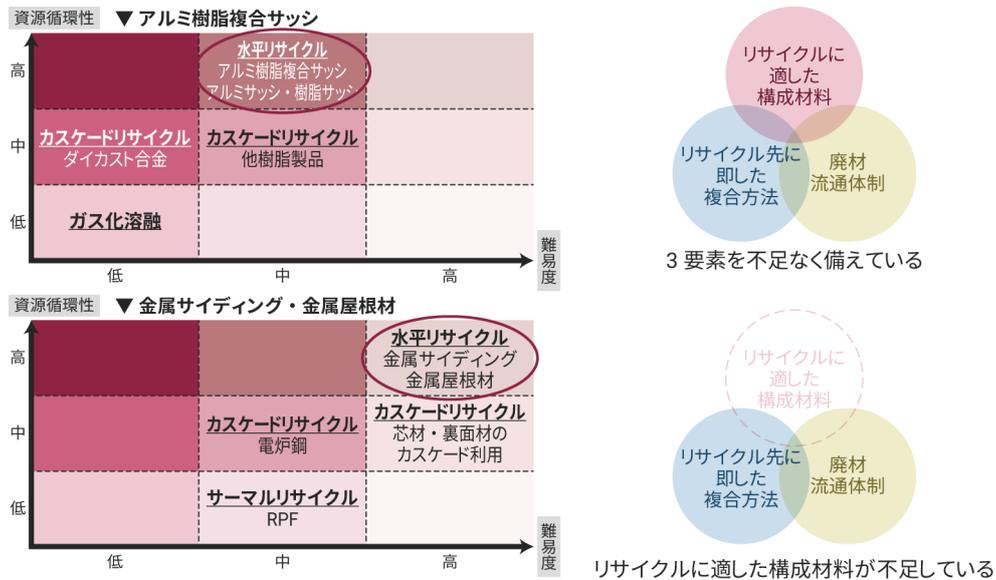


図 4-25 3要素から見たアルミ樹脂複合サッシと金属サイディング・金属屋根材との資源循環性の向上可能性の違い

以上のことから、ここに挙げた3要素を不足なく備えることができれば、資源循環性の向上が期待できることが示唆された。

5章 結論

5.1. 本研究の総括	231
5.2. 本研究の成果と今後の課題	232

5.1. 本研究の総括

2章 複合建材のライフサイクルの実態

複合建材の多くは、種類が多岐にわたることや、建築系廃棄物に占める割合が小さいことなどから、その資源循環性を取り上げた調査や研究はあまり行われていない。そのため、2章では、各複合建材の製造業者、及び産業廃棄物処理業者へのヒアリング調査を行い、ライフサイクルを通じた資源循環性の実態を把握することができた。

ライフサイクル動脈側の資源循環性は、構成材料と再生原料の使用状況、複合方法とその分離性、工場端材等の利用状況から、その実態を整理することができた。ライフサイクル静脈側の資源循環性は、一般的な処理水準と高度な処理水準による再資源化方法から、その実態と可能性を整理することができた。

3章 資源循環性を考慮した先進的な生産システムの実態

3章では、資源循環性を考慮した先進的事例として、国内の環境配慮設計に基づいた家電の生産システム、EU諸国のCradle to Cradleに基づいた建材の生産システム、ドイツを中心とした樹脂サッシの生産システム、オランダを中心とした板ガラスの生産システムを取り上げ、製造業者や業界団体、再資源化業者へのヒアリング調査を行い、生産システムにおける取り組みの実態を把握することができた。

先進的事例における取り組みから、資源循環性を考慮した生産システムの成立要因として、資源循環に適した製品設計（再利用性）と、資源を循環させる経済的仕組み（事業性）が挙げられた。

4章 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

4章では、資源循環シナリオを設定することで、2章で把握した複合建材のライフサイクルにおける資源循環性の実態から、資源循環性の水準に基づいた処理実態とその可能性、それに対する課題を分析した。また、3章で整理した資源循環性を考慮した生産システムの成立要因に基づいて、その課題に対する複合建材の生産システムにおける具体的方策を考察した。さらに、その具体的方策に関して、生産システム側の取り組みの範囲に基づいた難易度を設定することで、生産システムに着目した各複合建材の資源循環性の向上可能性を定性的な評価を行った。加えて、資源循環性の水準と具体的方策の難易度に基づいて可視化を図ることによって、水平リサイクルの容易性や、実現性が最も高い資源循環性の水準を明らかにすることができた。

以上のような分析を通して、資源循環性の向上可能性に影響を与える生産システムの要素として、リサイクルに適した構成材料の有無、リサイクル先に即した複合方法の有無、廃材流通体制の有無が挙げられた。

5.2. 本研究の成果と今後の課題

本研究の成果

本研究の成果としては、研究目的と対応させると、以下のようになる。

① 現状からの観点（複合建材のライフサイクルを通じた資源循環性の実態）

総括でも述べた通り、複合建材の資源循環性に関する調査や研究はあまり行われていなかった。一方で、循環型の建築業界の形成には、こうした複合建材の再資源化等は無視できず、今後大きな課題になると考えられるということは、研究背景で述べた通りである。

本研究では、そうした複合建材について、大きくライフサイクルの動脈／静脈に分類を行い、資源循環性の実態を整理した。動脈側では、構成材料と再生原料の使用状況との関連性、複合方法と分離性との関連性、工場端材等の利用状況からみた構成材料・複合方法の再利用性を、静脈側では、処理水準による再資源化方法を、それぞれ項目とすることで、資源循環性の現状を体系的に整理することができた。

本研究における体系的な資源循環性の現状が、複合建材の再資源化等の研究における基礎データとして役立てられることを期待したい。

② 将来からの観点（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）

②については、資源循環性の水準と、生産システムにおける具体的方策の実現性にに基づいた難易度によって、生産システムから見た複合建材の資源循環性の向上可能性を定性的に評価し、可視化することができた。これによって、資源循環性の最終的な目標である水平リサイクルの実現可能性を明確化することが可能となった（図 5-1）。また、複合建材の資源循環性を向上させるために、生産システム側（≒建材製造業者）が難易度を鑑みて、第一歩として目指すべき水準を検討することが可能となった（図 5-2）。

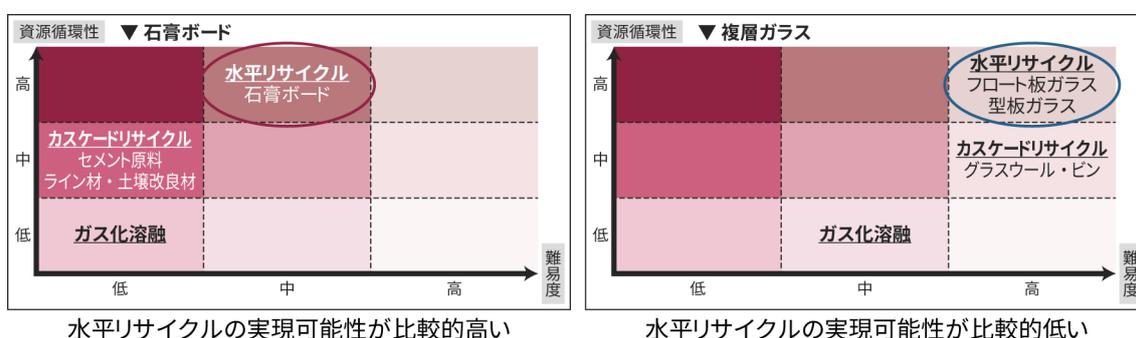


図 5-1 水平リサイクルの実現可能性の明確化

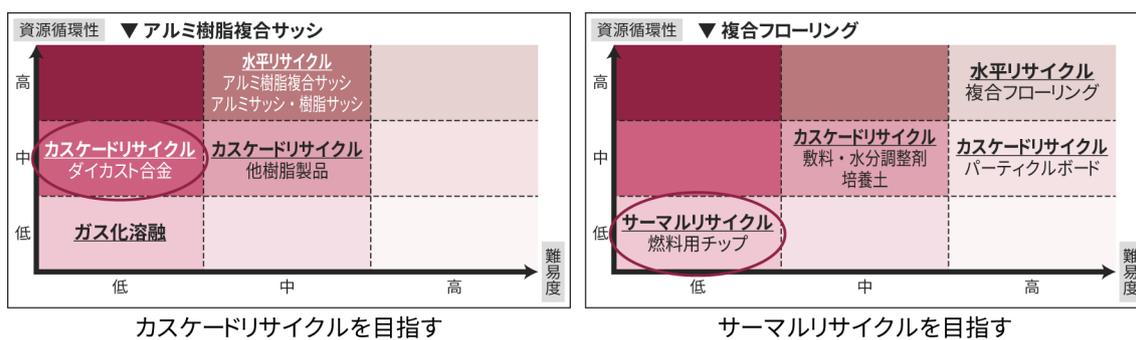


図 5-2 生産システムが第一歩として目指すべき資源循環性の水準

本研究における、生産システムに着目した複合建材の資源循環性の向上可能性の定性的評価と可視化が、資源循環性を考慮した複合建材生産システムの構築に向けた検討材料としての役割を果たすことを期待したい。

今後の課題

本研究では、生産システムに着目した複合建材の資源循環性の向上可能性の評価は、定性的なものに留まっている。検討材料から、さらに具体的な方策を議論するデータとするためには、資源循環性の向上可能性を定量的に評価する仕組みが必要であるといえる。定量化を図ることで、生産システムの中心的存在である製造業者において、資源循環性の向上による費用対効果や、その実現可能性を定量的に議論することができる。これによって、企業活動として取り組みがしやすくなり、ひいては業界全体の資源循環性向上を図ることが期待されると考えられる。

参考文献

- [1] 国土交通省, “平成 24 年度建設副産物実態調査結果,” 2013.
- [2] 国土交通省, “平成 20 年度建設副産物実態調査結果,” 2010.
- [3] 国土交通省, “平成 17 年度建設副産物実態調査結果,” 2006.
- [4] 佐藤正章, 荒井良延, 伊香賀俊治, 近田智也, 間宮尚, 加藤正宏, “資源循環性の評価機能を持つ LCA ツールの概要: 建物の資源循環性評価手法の開発その 1,” *日本建築学会技術報告集*, 第 24 号, pp. 341-346, 12 2005.
- [5] 佐藤正章, 荒井良延, 伊香賀俊治, 近田智也, 間宮尚, 加藤正宏, “資源循環性のケーススタディ: 建物の資源循環性評価手法の開発その 2,” *日本建築学会技術報告集*, 第 24 号, pp. 255-260, 2006.
- [6] 村上達也, 林徹夫, 野村幸司, “トータルエネルギーシミュレータの開発: その 8 住宅および都市における資源循環性の評価・予測,” *日本建築学会研究報告九州支部 2 環境系*, 第 48 号, pp. 489-492, 2009.
- [7] 千田光, 清家剛, 西村康一, 伊藤充洋, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究その 1 研究概要および三事例の解体工法,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1059-1060, 2008.
- [8] 西村康一, 清家剛, 伊藤充洋, 千田光, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究その 2 事例 J の解体施工の実態把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1061-1062, 2008.
- [9] 伊藤充洋, 清家剛, 西村康一, 千田光, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究その 3 事例 J の再資源化等の実態把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国)*, pp. 1063-1064, 2008.
- [10] 伊藤充洋, 清家剛, 千田光, 西村康一, “超高層鋼構造建築物の解体に関する調査研究その 4 解体事例の環境負荷影響把握,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 1193-1194, 2009.
- [11] 田村雅紀, 野口貴文, 友澤史紀, “リサイクル設計を包含するコンクリート構造物のライフサイクル設計手法,” *コンクリート工学年次論文集*, 第 25 巻, 第 1 号, pp. 1457-1462, 2003.
- [12] 原田優作, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 伊藤篤司, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル建材の再資源化システム構築に関する研究: その 1 日本国内における実態調査,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 611-612, 2015.
- [13] 伊藤篤司, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 原田優作, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル

- 建材の再資源化システム構築に関する研究：その 2 韓国、台湾における実態調査,”
日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 613-614, 2015.
- [14] 磯部孝行, 清家剛, 金容善, 伊藤篤司, 原田優作, “東アジアを含めた硬質塩化ビニル
建材の再資源化システム構築に関する研究：その 3 東アジアを含めたマテリアルフ
ローの作成,” 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 615-616, 2015.
- [15] 原田優作, 清家剛, 金容善, 磯部孝行, 志村真人, “LCA 手法による樹脂サッシ再資源
化システムの構築可能性に関する研究 その 1 研究概要と処理モデルの設定,” 日本
建築学会大会学術講演梗概集, pp. 681-682, 2017.
- [16] 志村真人, 清家剛, 金容善, 原田優作, 磯部孝行, “LCA 手法による樹脂サッシ再資源
化システムの構築可能性に関する研究 その 2 シナリオ設定と分析,” 日本建築学会
大会学術講演梗概集, pp. 683-684, 2017.
- [17] 谷川壮太, 上田亮平, 中島裕輔, “建築系廃棄物における複合建材の処理実態と再資
源化に関する研究,” 日本建築学会関東支部研究報告集 I, 第 77 号, pp. 533-536, 2007.
- [18] 一般社団法人 ALC 協会, “入門 ALC パネル,” 2018. [オンライン]. Available:
http://www.alc.gr.jp/pdf/alc_introduction.pdf. [アクセス日: 10 12 2018].
- [19] 一般社団法人 日本サッシ協会, 住宅用建材使用状況調査, 2018.
- [20] 一般社団法人 日本建材・住宅設備産業協会, 2007 年版 建材・住宅設備統計要覧, 2007.
- [21] 一般社団法人 日本建材・住宅設備産業協会, 2016/2017 年版 建材・住宅設備統計要覧,
2016.
- [22] 日本金属サイディング工業会, “金属サイディングの特徴,” [オンライン]. Available:
<http://www.jmsia.jp/siding/>. [アクセス日: 30 12 2018].
- [23] 矢野経済研究所, 外壁材市場白書 (2016 年度版), 2017.
- [24] 一般社団法人 日本金属屋根協会, “屋根材の統計,” [オンライン]. Available:
<http://www.kinzoku-yane.or.jp/statistics/index.html>. [アクセス日: 17 01 2019].
- [25] 日本窯業外装材協会, “窯業系サイディングとは,” [オンライン]. Available:
<http://www.nyg.gr.jp/toha/index.html>. [アクセス日: 30 12 2018].
- [26] 一般社団法人 石膏ボード工業会, 石膏ボードハンドブック, 2016.
- [27] 国土交通省, “建築着工統計調査 住宅着工統計 時系列表,” 2018.
- [28] 板硝子協会, “日本の板ガラス,” 2014.
- [29] 一般社団法人 日本サッシ協会, 住宅用建材使用状況の変遷 <<平成 5 年調査～平成 28
年調査>>, 2017.
- [30] 経済産業省経済産業政策局調査統計部, 平成 13 年 窯業・建材統計年報, 財団法人 経
済産業調査会, 2002.

- [31] 畠中伸敏, 環境配慮設計 エコが征す商品開発, 株式会社日科技連出版社, 2012.
- [32] 一般社団法人家電製品協会, “環境配慮型製品を目指して -家電業界の製品アセスメントの取り組み-,” [オンライン]. Available: <https://www.aeha.or.jp/assessment/>. [アクセス日: 10 01 2019].
- [33] 国立環境研究所, “環境配慮設計 -環境技術解説 | 環境展望台 : 国立環境研究所 環境情報メディア,” [オンライン]. Available: <http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=59>. [アクセス日: 10 01 2019].
- [34] 一般社団法人 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 (Web版) -, ” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/assessment_manual/doc/PAM5S/PAM5S_ALL.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].
- [35] 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクル法制定の背景と目的,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_01.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].
- [36] 一般社団法人 家電製品協会, “関係者に求められる役割,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_03.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].
- [37] 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクル制度を支える仕組み,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/01_04.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].
- [38] 一般社団法人 家電製品協会, “家電リサイクルシステムの流れ,” [オンライン]. Available: https://www.aeha.or.jp/recycling_report/pdf/ref02.pdf. [アクセス日: 10 01 2019].
- [39] EPEA, “The Cradle to Cradle® design concept,” [オンライン]. Available: <https://braungart-epea.com/cradle-to-cradle/>. [アクセス日: 06 01 2019].
- [40] Cradle to Cradle Products Innovation Institute, “C2C Product Certification Overview,” [オンライン]. Available: <https://www.c2ccertified.org/get-certified/product-certification>. [アクセス日: 06 01 2019].
- [41] 原田優作, “国内における樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性に関する研究,” 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 修士論文, 2017.
- [42] 清家剛, “平成 21 年度循環型社会形成推進科学研究費補助金 総合研究報告書 「他産業を含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究」 (K1902、K2043、K2186) ,” 2010.
- [43] ALC 協会 リサイクル委員会, “環境問題への取り組み,” 29 02 2008. [オンライン]. Available: http://www.alc.gr.jp/pdf/alc_eco2008.pdf. [アクセス日: 12 01 2019].
- [44] 日本ウレタン工業協会, “ポリウレタンのリサイクル -日本ウレタン工業協会,” [オンライン]. Available: http://www.urethane-jp.org/shiritai/shiritai_04.html. [アクセス日: 12 01 2019].

- [45] NPO 法人 全国木材資源リサイクル協会連合会, “木質リサイクルチップの品質規格について,” 2010. [オンライン]. Available: <http://www.woodrecycle.gr.jp/pdf/hinshitukikaku.pdf>. [アクセス日: 06 12 2018].
- [46] 社団法人 日本アルミニウム協会, “平成 18 年度経済産業省委託調査 3R システム化可能性調査事業 -アルミニウム展伸材スクラップから展伸材へのリサイクルの可能性調査事業- 調査研究報告書,” 2007.
- [47] 志村真人, 清家剛, 金容善, “再資源化用途に着目したアルミ樹脂複合サッシの再資源化システム構築に関する研究,” *日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 491-492, 2018.
- [48] 工藤透, “板ガラスのリサイクル,” *AGC Research Report*, 第 58 号, pp. 7-15, 2008.
- [49] 清家剛, 磯部孝行, “他産業も含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究,” *日本建築学会構造系論文集*, 第 78 号, 第 683 号, pp. 17-26, 2013.
- [50] 硝子繊維協会, “環境性 | 省エネ・温暖化防止・リサイクルに貢献するグラスウール断熱材 硝子繊維協会,” [オンライン]. Available: https://www.glass-fiber.net/glasswool_short_kankyo.html. [アクセス日: 07 12 2018].

謝辞

本研究を進めるにあたっては、実にさまざまな方々にご協力を賜りました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

卒業論文の配属から3年間、清家剛准教授には多大なるご指導を賜りました。研究テーマの方向性に始まり、ヒアリング調査の依頼やミーティング・打ち合わせでの的確なご助言など、様々な面で研究をサポートしていただきました。特に、すぐに一般化をしてしまう癖のある私に対して、その都度アドバイスをしてくださらなければ、この修士論文を完成させることはできませんでした。また、3年間のうちに何十回も飛行機に乗り、日本各地、さらには中国・ヨーロッパまで調査に行かせていただいたことは、生来出不精だった私にとっては何物にも代え難い貴重な経験となりました。これからも、自分の足で行き、自分の目で見えることを大切にしていきたいと思います。本当にありがとうございました。

清家研究室の金容善研究員には、ほとんどのヒアリング調査にご同行いただきました。調査で行き詰った際には、場をつないでいただきとても助かりました。遠方の調査では、その土地の美味しいものをご馳走になり、とても楽しい思い出になりました。本当にありがとうございました。

副指導を引き受けてくださった佐藤弘泰准教授には、視野が狭くなっていた私に対して、新たな視点でのアドバイスをしていただきました。また、佐久間哲哉准教授には、以前お世話になりながらも、快く副査を引き受けていただきました。さらに、構法系研究室の松村秀一特任教授、藤田香織准教授、佐藤淳准教授、権藤智之特任准教授には、KKを通して様々なご助言をいただきました。心より感謝いたします。

企業の方々には、お忙しい中、急にご連絡を差し上げたにもかかわらず、快く調査にご協力いただきました。皆様のご協力があったからこそ、この研究をまとめることができました。また、一級建築士事務所エネクスレイン代表の小室大輔氏には、2回にわたるEU調査における調整や通訳等をしていただきました。語学力が皆無の私でしたが、おかげさまで滞りなく調査を行うことができました。深く感謝申し上げます。

清家研究室の先輩であり、リサイクル研究の先輩でもある武蔵野大学の磯部孝行助教、原田優作さんには、リサイクル研究の心構えや、論文の組み立て方を教わりました。お二方の研究に対する姿勢を参考にしながら、この修士論文を完成させることができました。本当にありがとうございました。

同じく、研究室の後輩のみなさんには、調査にあたって様々なお手伝いをしていただきました。中でも、EU 調査の際には、(同期ですが) 魚見佑香さん、高柳佳織さん、八木尚太郎君に作成していただいた議事録が、研究を進めていくにあたり大変助かりました。特に、八木君には、EU 調査のみならず、国内調査にも同行してもらい、くだらない話に付き合ってくれました。本当にありがとうございました。

ともに修士論文を執筆した清家研究室の川崎光克さん、河合竜希君、関野夏菜さん、構法系研究室の川嶋浩太君、Diego Ponce 君、朝原真知子さん、河村京介君とは、ミーティングやKKの合間に他愛のない話をしたり、ご飯を食べたりしたことが、私の大学院生活において心の支えとなりました。みなさんの今後のさらなる活躍を祈っています。本当にありがとうございました。

最後に、予定より長い学生生活になってしまっても、また、実家が近いにもかかわらずほとんど帰省しなくても、何も言わず支えてくれた家族に感謝の意を表して、締めくくりにしたいと思います。

2019年1月21日

院生室にて

志村真人

資料編

ヒアリングシート

建材製造業者（MA社～MG社）

- 1 貴社で取り扱っている【複合建材名】の実態について
 - 1.1 取り扱っている【複合建材名】の種類、生産量、シェアについて教えてください。
 - 1.2 取り扱い始めたきっかけや展開などの歴史について教えてください。
 - 1.3 製造工程について教えてください。
 - 1.4 構成材料、材料同士の接合方法、躯体への取り付け方法について教えてください。

- 2 貴社で取り扱っている【複合建材名】のリサイクル性の現状について
 - 2.1 リサイクルの観点から見た際に、構成材料についてどうお考えですか。
例) ・リサイクル価値の高い材料が含まれている
・リサイクルが容易にできる材料が含まれている
・再生原料を使用している
・有害物質を含んでいない など
 - 2.2 リサイクルの観点から見た際に、材料同士の接合方法についてどうお考えですか。
例) ・分離が容易にできる など
 - 2.3 リサイクルの観点から見た際に、躯体への取り付け方法についてどうお考えですか。
例) ・躯体から取り外しが容易にできる
・取り外す際に異物が付着しにくい など

- 3 貴社で取り扱っている【複合建材名】の今後について
 - 3.1 取り扱っている建材に対してリサイクルの社会的要請が高まった場合、どのような対策が考えられますか。
 - 3.2 取り扱っている建材のリサイクル需要が高まった場合、どのような対応が考えられますか。
 - 3.3 取り扱っている建材のリサイクルをさらに推進するためには、どのような取り組みが考えられますか。

産業廃棄物処理業者（WA社）

1 建設廃棄物の全般について

- 1.1 貴社で受け入れている建設廃棄物の種類・受入量について教えてください。
- 1.2 受け入れている建設廃棄物の処理フローについて教えてください。

2 個々の建設廃棄物の再資源化について

下記の建材廃棄物について、ご意見をお聞かせください。

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、ロックウール化粧吸音板
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

- 2.1 受け入れ時点における廃棄物の状態（異物の混入状況 など）について教えてください。
- 2.2 処理方法と処理後の行き先（再資源化先、最終処分場 など）について教えてください。
- 2.3 建材を構成する材料について、中間処理を行う上での問題点はありますか。
- 2.4 建材を構成する材料同士の接合について、中間処理を行う上での問題点はありますか。
- 2.5 建設廃棄物の再資源化を進めるために、上記建材を製造するメーカーに対する要望はありますか。

例) 組成を明示してほしい、簡単に分別できるようにしてほしい など

産業廃棄物処理業者（WB社）

下記建材の廃棄物について、中間処理状況・再資源化状況についてお伺いしたいと考えております。以下に詳細な質問項目を記載致しました。

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、ロックウール化粧吸音板
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

- 1 WB社における取り組みについて
 - 1.1 施工現場からWB社までの廃棄物のフローについて教えてください。
 - 1.2 新築施工現場・リフォーム施工現場・WB社における分別品目の種類と基準について教えてください。
 - 1.3 WB社における主な分別方法を教えてください。
 - 1.4 自社内で再資源化する廃棄物と他社に再資源化を委託する廃棄物の分類と、その判断基準について教えてください。

- 2 上記建材廃棄物の中間処理・再資源化の現状について
 - 2.1 上記建材のうちWB社で受け入れている建材と、その受入品目を教えてください。
 - 2.2 受け入れ廃棄物の発生源（新築施工現場／リフォーム施工現場）の内訳を教えてください。
 - 2.3 廃棄物の状態に関して、発生源における違いがあれば教えてください。
 - 2.4 各廃棄物の処理フローの詳細と、発生源ごとの処理フローに違いがあれば教えてください。
 - 2.5 処理を行った各廃棄物のリサイクル委託先・リサイクル用途先について教えてください。

- 3 上記建材のリサイクル性について
 - 3.1 上記建材の分別について、容易な点・困難な点があれば教えてください。
 - 3.2 上記建材の分別後の再資源化について、容易な点・困難な点があれば教えてください。
 - 3.3 上記建材の再資源化をより推進するうえで、建材メーカーへの要望があれば教えてください。

産業廃棄物処理業者（WC 社）

- 1 廃石膏ボードの再資源化の現状について
 - 1.1 廃石膏ボードの受け入れ基準について教えてください。
 - 1.2 受け入れている廃石膏ボードの発生源（新築現場・解体現場など）について教えてください。
 - 1.3 廃石膏ボードの発生源ごとの廃材の状態（異物付着状況など）を教えてください。
 - 1.4 廃石膏ボードの処理フローの詳細について教えてください。
 - 1.5 解体材を再資源化するための、処理フローにおける工夫があれば教えてください。
 - 1.6 処理を行った廃石膏ボードのリサイクル先について教えてください。
 - 1.7 廃石膏ボード（特に解体材）を再資源化する際の優れている点、問題点を教えてください。

- 2 今後の石膏ボードの資源循環性について
 - 2.1 廃石膏ボードの状態に関して、最も再資源化に影響する要素について教えてください。
例）異物の付着、廃材の大きさ など
 - 2.2 再資源化後の製品に関して、最も再資源化に影響する要素について教えてください。
例）リサイクル材とバージン材との価格差、リサイクル材の需要 など
 - 2.3 より再資源化を進めるうえで、石膏ボードメーカーに対する要望はありますか。
例）組成を明示してほしい、簡単に分離できるようにしてほしい など
 - 2.4 より再資源化を進めるうえで、排出事業者に対する要望はありますか。
例）現場での分別を進めてほしい など
 - 2.5 より再資源化を進めるうえで、リサイクル製品を購入する業者への要望はありますか。
例）品質基準をリサイクル材に適したものにしてほしい など

C2C ー建材製造業者 (CA 社・CB 社)

- 1 Outline of your company
 - 1.1 What is the main business in your company?
 - 1.2 Could you tell us about your company's history?
 - 1.3 How many people work in your company?
 - 1.4 Where are the production bases and sales areas?

- 2 Outline of your products
 - 2.1 What kind of products do you manufacture?
 - 2.2 Could you tell us about your manufacturing process of your products?
 - 2.3 Could you tell us about the production volume and market share of your products?

- 3 About "Cradle to Cradle" in your company
 - 3.1 Why did your company decide to work on the "Cradle to Cradle"?
 - 3.2 Could you tell us about the works of your company that are related to "Cradle to Cradle"?
 - 3.3 Please tell us about the advantage of acquiring "Cradle to Cradle" Certification, and if there is any, problems that need to be solved concerning with the "Cradle to Cradle".

- 4 About Cradle to Cradle Certified products of your company
 - 4.1 How do your company design Cradle to Cradle Certified products?
 - 4.2 Could you tell us about the difference between designing Cradle to Cradle Certified products and designing products that are not Cradle to Cradle Certified?
 - 4.3 How do your company manufacture Cradle to Cradle certified products?
 - 4.4 Could you tell us about the difference between the manufacture of Cradle to Cradle Certified products and the manufacture of products that are not Cradle to Cradle Certified?
 - 4.5 How easily can your Cradle to Cradle Certified products be recycled?
 - 4.6 Could you tell us about the advantage of Cradle to Cradle Certified products besides their easiness in recycling?

- 5 Promotion of recycling of building materials
 - 5.1 Could you tell us if there are issues to be addressed by building material manufacturers in promoting the recycling of building materials more?
 - 5.2 Could you tell us if there are issues to be addressed by contractors and recycling companies in promoting the recycling of building materials more?

樹脂サッシ ー建材製造業者 (PA 社)

- 1 Outline of your company
 - 1.1 What is the main business in your company?
 - 1.2 Could you tell us about your company's history?
 - 1.3 How many people work in your company?
 - 1.4 Where are the production bases and sales areas?

- 2 Outline of your products
 - 2.1 What kind of products do you manufacture?
 - 2.2 Could you tell us about your manufacturing process of your products?
 - 2.3 Could you tell us about the production volume and market share of your products?

- 3 About recyclability of your products
 - 3.1 How do your company process the factory waste generated in the manufacturing process?
 - 3.2 Does your company use any recycled materials manufactured in 【PC 社】 ? If so, please tell us about the advantages and disadvantages of using recycled materials.
 - 3.3 Please tell us if there were any changes in product design before and after the foundation of 【PC 社】 .
 - 3.4 Please tell us if there were any changes in product manufacturing process before and after the foundation of 【PC 社】 .
 - 3.5 How easily can your products be recycled?

- 4 Promotion of recycling of building materials
 - 4.1 Could you tell us if there are issues to be addressed by building material manufacturers in promoting the recycling of building materials more?
 - 4.2 Could you tell us if there are issues to be addressed by contractors and recycling companies in promoting the recycling of building materials more?

板ガラス ー業界団体 (VRN)

- 1 Outline of your association and the flat glass recycling system
 - 1.1 What is the main task in your association?
 - 1.2 Would you tell us about your association's history?
 - 1.3 Would you tell us about the result of recycling flat glass as of now?
 - 1.4 Would you tell us about the details of the system of recycling flat glass as of 2018?
 - 1.5 How do you recycle flat glass as of 2018?
 - 1.6 How is the recycled flat glass used?
 - 1.7 Have there been any changes in your tasks and recycling results after 2016?

- 2 About your approach to the members
 - 2.1 Why did you reduce the OVA that you charged the manufacturers in 2016?
 - 2.2 Have there been any changes in manufacturer's efforts towards recycling as the result of making OVA cheaper in 2016?
 - 2.3 What in the work of VRN motivates the manufactures to promote recycling flat grass?
 - 2.4 What in the work of VRN motivates the recycling companies to promote recycling flat glass?
 - 2.5 Please tell us if there are plans for the future to promote recycling of flat glass.

- 3 Promotion of recycling of flat glass
 - 3.1 Would you tell us if there are issues to be addressed by building material manufacturers in promoting the recycling of flat glass more?
 - 3.2 Would you tell us if there are issues to be addressed by contractors and recycling companies in promoting the recycling of flat glass more?

板ガラス ー建材製造業者（GA社）

- 1 Outline of your company
 - 1.1 What is the main business in your company?
 - 1.2 Would you tell us about your company's history?
 - 1.3 Would you tell me the number of people working in your company?
 - 1.4 Where are the production bases and sales areas?

- 2 Outline of your products
 - 2.1 What kind of products do you manufacture?
 - 2.2 Would you tell us about your manufacturing process of your products?
 - 2.3 Would you tell us about the production volume and market share of your products?

- 3 About "Cradle to Cradle" in your company
 - 3.1 Why did your company decide to work on the "Cradle to Cradle"?
 - 3.2 Would you tell us about the works of your company that are related to "Cradle to Cradle"?
 - 3.3 Please tell us about the advantage of acquiring "Cradle to Cradle" Certification, and if there is any, problems that need to be solved concerning with the "Cradle to Cradle".

- 4 About Cradle to Cradle Certified products of your company
 - 4.1 How does your company design Cradle to Cradle Certified products?
 - 4.2 Would you tell us about the difference between designing Cradle to Cradle Certified products and designing products that are not Cradle to Cradle Certified?
 - 4.3 How do your company manufacture Cradle to Cradle certified products?
 - 4.4 Would you tell us about the difference between the manufacture of Cradle to Cradle Certified products and the manufacture of products that are not Cradle to Cradle Certified?
 - 4.5 How easily can your Cradle to Cradle Certified products be recycled?
 - 4.6 Would you tell us about the advantage of Cradle to Cradle Certified products besides their easiness in recycling?

- 5 Influence on the design of your products by flat glass recycling system
 - 5.1 Were there any changes in the method of designing or manufacturing your products before and after the establishment of VRN?
 - 5.2 Have there been changes in the development design of flat glasses due to the lower operating costs of VRN?

- 5.3 Would you tell us the advantages and disadvantages of recycling system lead by manufacturers?

- 6 Promotion of recycling of building materials
 - 6.1 Would you tell us if there are issues to be addressed by building material manufacturers in promoting the recycling of building materials more?
 - 6.2 Would you tell us if there are issues to be addressed by contractors and recycling companies in promoting the recycling of building materials more?

板ガラス ー再資源化業者（GB 社）

- 1 Outline of your company
 - 1.1 What is the main business in your company?
 - 1.2 Would you tell us about your company's history?
 - 1.3 Would you tell me the number of people working in your company?
 - 1.4 Where are the recycling facilities located, and from which areas are the wasted flat glass collected?
 - 1.5 Would you tell us about the result of recycling flat glass as of now?

- 2 Details of your methods for recycling flat glass
 - 2.1 Would you tell us about the process of recycling flat glass in your factory?
 - 2.2 Are there any grades or rules when you accept wasted flat glass?
 - 2.3 What kind of wasted glass do you accept in your factory? (ex. multiple glass waste, laminated glass waste, etc.)
 - 2.4 Would you tell us about the use and required quality of the recycled cullet?
 - 2.5 What is the difficult when you recycle wasted flat glass into flat glass?

- 3 Changes in recycling flat glass
 - 3.1 Have there been any changes in the conditions of the wasted glass since you undertook the recycling business of VRN?
 - 3.2 Have there been any changes in the process of recycling flat glass since you undertook the recycling business of VRN?
 - 3.3 Have there been any changes in the use and required quality of the recycled cullet since you undertook the recycling business of VRN?

- 4 Promotion of recycling of flat glass
 - 4.1 Would you tell us if there are issues to be addressed by building material manufacturers in promoting the recycling of flat glass more?
 - 4.2 Would you tell us if there are any requests to building material manufacturers in promoting the horizontal recycling of flat glass?
 - 4.3 Would you tell us if there are issues to be addressed by contractors and recycling companies in promoting the recycling of flat glass more?