

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

2016 年度
修士論文

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

Study on the Possibility of Establishing the PVC Windows Recycling System in Japan

2017 年 1 月 23 日提出
指導教員 清家 剛 准教授

原田 優作
Harada, Yusaku

目次

1.序論	5
1-1.研究の背景と目的	5
1-2.用語の定義と解説	7
1-3.既往研究の整理と本研究の位置づけ	9
1-4.研究の方法と構成	11
2.国内における樹脂サッシのライフサイクルの実態	15
2-1.製造者における樹脂サッシの製造と販売	16
2-1-1.調査の概要	16
2-1-2.樹脂サッシ普及の経緯	16
2-1-3.樹脂サッシ製造の実態	21
2-1-4.樹脂サッシの製造段階におけるリサイクルの課題	25
2-1-5.小結	27
2-2.中間処理業者における樹脂サッシの処理と再資源化	29
2-2-1.調査の概要	29
2-2-2.中間処理における北海道の地域性	29
2-2-3.樹脂サッシの処理の実態	32
2-2-4.その他建材の処理の実態	36
2-2-5.小結	39
2-3.まとめ	41
3.類似した建材における再資源化システムの実態と成立要件	43
3-1.国内におけるアルミサッシの再資源化システム	44
3-1-1.調査の概要	44
3-1-2.アルミニウム業界の概況	44
3-1-2.アルミサッシのライフサイクルの実態	47
3-1-3.小結	53
3-2.EUにおける樹脂窓の再資源化システム	55
3-2-1.調査の概要	55
3-2-2.ベルギーにおける資源ごみ収集システムの一例	57
3-2-3.オランダを中心とした板ガラス再資源化システムの実態	59
3-2-4.ドイツを中心とした樹脂サッシ再資源化システムの実態	64
3-2-5.小結	74

3-3.中国における PVC 建材の再資源化システム.....	76
3-3-1.調査の概要.....	76
3-3-2.中国におけるプラスチックリサイクル産業の概況.....	78
3-3-3.中国における樹脂サッシを含む PVC 製品リサイクルの実態.....	80
3-3-4.小結.....	82
3-4.まとめ.....	83
4.樹脂サッシ再資源化システムのケーススタディに基づく定量的評価.....	89
4-1.定量的評価のための条件およびデータの整理.....	90
4-1-1.処理モデルの構築.....	90
4-1-2.排出量の設定.....	96
4-1-3.輸送距離の算出.....	98
4-1-4.環境負荷に関わるデータの整理.....	107
4-2.拠点の配置と再資源化の方向性によるシナリオ評価.....	111
4-2-1.リサイクル材料の調達に関わるシナリオの構築とインベントリ作成.....	111
4-2-2.樹脂サッシ製造シナリオの設定と環境負荷インパクトの評価.....	120
4-3.リサイクルを行う地域の設定によるシナリオ評価.....	130
4-3-1.回収地域の設定によるシナリオの構築と環境負荷削減効果の計算.....	130
4-3-2.中間処理業者およびリサイクル業者における経済性の評価.....	137
4-4.まとめ.....	146
5.結論.....	149
5-1.考察.....	149
5-2.本研究の成果と今後の課題.....	151
参考文献一覧.....	153
謝辞.....	155

1.序論

1-1.研究の背景と目的

日本では住宅需要の大きかった高度経済成長期にアルミ押し出し材が登場し、大量生産が行われるようになった。アルミサッシはその経済性や高い耐候性から、住宅の開口部用部材として一般的に用いられるようになり、日本全国で高い普及率を擁するようになった¹。

一方、寒冷地ではアルミサッシを二重窓として利用していたように、アルミサッシは断熱性が低いという欠点があった。特に気温の低い北海道では、建築物の断熱性能を確保することが必須ともいえるため、1980年代よりその断熱性や気密性に注目が集まり、塩化ビニル樹脂によって構成された「樹脂サッシ」が広く普及してきた。現在、北海道における樹脂サッシの普及率は非常に高く、新築戸建住宅の99%以上は樹脂サッシを採用しているというデータもある²。

樹脂サッシはもともとドイツで発明された建材であり、特に日本より緯度の高いヨーロッパや韓国などにおいては普及率も高く、広く利用されている。ただし日本においては、北海道や東北北三県など、寒冷地に限って使用されていたため、その他の地域ではアルミサッシの採用がほとんどであった。

しかし近年では、ZEB (Zero Energy Building) の実現や2020年における建築物の省エネ基準適合義務化など、建築物におけるエネルギー消費が広く問題視されている。これらの問題に対応するため、開口部にも高い断熱性能が求められるようになっており、樹脂サッシやアルミ樹脂複合サッシなど、塩化ビニル樹脂を利用した窓が東北以南の地域でも多く採用され始めている。

今後、樹脂サッシをはじめとした断熱窓の需要は拡大し、一般的に建築物に使用されるようになる可能性がある。その場合、将来的には東北以南の地域でも、建築物の解体や改修工事に伴って、窓に使用された塩化ビニル樹脂が多く排出されることが予想される。

それに先立って、2016年現在では樹脂サッシの普及からおおよそ30年が経過しているため、北海道では近い将来に樹脂サッシの排出が本格化すると考えられる。4

一方、これまで本州以南の地域で一般的に普及してきたアルミサッシと異なり、樹脂サッシの国内における再資源化の流れは確立されておらず、最終処分や海外への輸出によって処理されているのが現状である。省エネルギー化を期待して樹脂サッシを使用しても、最終処分によって処理を行っては、省エネルギー・省CO₂という当初の目的に矛盾が生じ、なおかつ最終処分場の逼迫を招く恐れもある。また海外への輸出は、国内のみでリサイクル

¹日経BP社：窓まわりのディテール,1998.4

²一般社団法人日本サッシ協会：住宅用建材使用状況調査,2016.3

ル材を使用するよりも需要は拡大するが、相手国の法律や市場の動きによって影響を受けやすいため、需要が安定しているとはいえない。

そのため、樹脂サッシが建設業界で一般的に使用されるようになるのであれば、国内において適正な処理方法が確立され、安定した再資源化システムが構築されている必要があるといえる。

そこで、本研究における目的を以下のように設定する。

まず、樹脂サッシメーカーや建設廃棄物の処理を行う中間処理業者にヒアリングを行うことで、国内における樹脂サッシのライフサイクルの実態について把握し、リサイクルの実現に向けた課題を整理する。

その上で、国内における他建材や海外における樹脂サッシの再資源化システムなど、実際に経営が成立している再資源化システムと比較を行うことで、樹脂サッシの再資源化システムにおける成立要件の整理を行う。

一方、海外における再資源化システムをそのまま北海道に適用しても、排出量や地理条件等の違いから、うまく機能しない可能性がある。そのため、調査によって把握された実態を前提として、北海道で樹脂サッシのリサイクルが行われた場合を仮定し、環境負荷削減効果や経済性について LCA 手法を用いて評価を行うことで、再資源化システムの構築可能性について考察を行う。

1-2.用語の定義と解説

再資源化システム

リサイクルを行う主体となる中間処理業者やリサイクル業者だけでなく、本論文では、樹脂サッシの場合に排出事業者となる解体業者や、リサイクル材を使用する製品製造業者、再資源化システムの管理を行う業界団体など、樹脂サッシのリサイクルを成立させるために関与する主体によって構成される仕組みのことを指すとする。

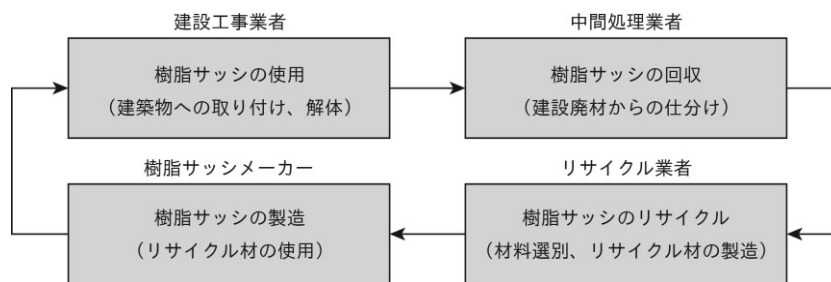


図 1-1 想定される樹脂サッシの再資源化システム

塩化ビニル樹脂 (Polyvinyl-Chloride) / 硬質 PVC 樹脂 / 軟質 PVC 樹脂³

塩化ビニル樹脂は汎用プラスチックと呼ばれ広く利用されているプラスチックの一つである。他の汎用プラスチックが原料としてほぼ石油のみを使用するのと異なり、塩化ビニル樹脂は塩素を多量に含むため、難燃性を持ち、省資源であるとされている。

また、通常の塩化ビニル樹脂は硬質であるが、可塑剤を加えることによって軟質に加工することができる。硬質のものと軟質のもので物性が大きく異なるため、それぞれ硬質 PVC 樹脂、軟質 PVC 樹脂と呼称される。

樹脂サッシ形材 / 樹脂サッシ / 樹脂窓

樹脂サッシは複合材料であるため、一口に樹脂サッシといっても、どの状態のものを指すのかが分かりにくい。そのため本論文では、以下のように定義する。

硬質 PVC 樹脂からなる形材を樹脂サッシ形材、金属等を含めて組み立てられたものを樹脂サッシ、樹脂サッシにガラスがはめ込まれたものを樹脂窓と呼称する。

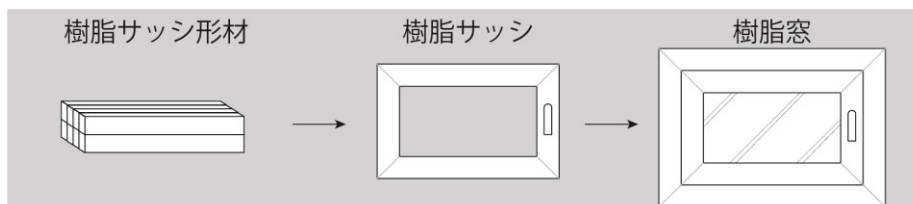


図 1-2 樹脂サッシの製造の流れ

³ 塩ビ工業・環境協会：塩ビの性質と特性 (http://www.vec.gr.jp/) (参照：2017.1.17)

マテリアルリサイクル／サーマルリサイクル

マテリアルリサイクルとは、選別・洗浄・ペレット化等の工程を行うことで、廃材を原料として再利用することである。一方、焼却によって熱エネルギーを取り出し、発電等に利用することをサーマルリサイクルという。

ただし、特にプラスチックに関しては、科学的反応によって油化・ガス化し、熱利用や再製品化を行うケミカルリサイクルが行われる場合もあるが、国内における塩ビ樹脂のリサイクルにあたっては一般的ではないので、本研究では取り扱わないこととする。

PVC樹脂は難燃性であり、燃焼時の温度によっては塩化水素ガスやダイオキシンを発生する可能性があるため、焼却が行いにくい。そのため、PVC樹脂は一般的に、マテリアルリサイクルが行われることが多い。

水平リサイクル／カスケードリサイクル

マテリアルリサイクルのうち、リサイクル材を元と同じ製品にリサイクルすることを水平リサイクル、異なる製品にリサイクルすることをカスケードリサイクルという。なお、カスケードリサイクルは、色や品質の問題から、ランクを落としてリサイクルされる場合がほとんどである。

例えば PVC 製品では、ビニールハウスに使用される農業用ビニルがタイルカーペットの裏地にカスケードリサイクルされているが、これは透明性を確保することが難しいために消費者の目に見えない箇所に利用されているといえる。

マテリアルリサイクルにあたっては水平リサイクルが理想ではあるが、安定した需要を確保するために、カスケードリサイクルを行うことも有効である。

1-3. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

樹脂サッシに関する既往研究は数が少ないが、その中でも樹脂サッシの性能に着目した、開口部の断熱性能や防露性能に関するものは比較的多い

例えば、「室内温湿度シミュレーションと2次元伝熱計算を用いた開口部(窓)の防露性能に関する研究⁴⁾」では、サッシやガラスの種類によって開口部の仕様を変えながら、冬期における室内温度環境や開口部の結露状況について調査が行われており、樹脂サッシの高い防露性能を示す研究結果となっている。

一方、樹脂サッシのリサイクルに関する既往研究として、以下が挙げられる。

「樹脂サッシの再資源化システム構築に向けた機械分離技術の開発⁵⁾」では、樹脂サッシにおける材料分離の方法として、振動機械による硬質 PVC 樹脂と軟質 PVC 樹脂の選別の研究を行っている。樹脂サッシに使用されている硬質 PVC 樹脂と軟質 PVC 樹脂は、材料としての使用感が大きく異なるために、手作業による選別は行いやすいものの、密度等に大きな違いがないため、機械による効率的な分別は課題となっている。

「樹脂窓の再資源化システム構築に関する研究 北海道における廃棄された樹脂窓の実態調査及び排出量予測⁶⁾」では、北海道における中間処理業者へのヒアリングを行い排出の実態について把握したうえで、統計調査を用いて樹脂サッシの市町村別排出量の推計を行っている。

なお、本論文の4章では、「樹脂窓の再資源化システム構築に関する研究」における排出量の推計を引用し、利用している。

また、樹脂サッシを含む PVC 建材の再資源化システムを研究したものとして、「東アジアを含めた PVC 建材の再資源化システム構築に関する研究 -国際資源循環を考慮した評価および検証-⁷⁾」がある。他のプラスチックと異なり、PVC 樹脂は難燃性を持つために、火災への安全性が求められる建材として利用されることが多い一方、焼却して熱利用を行うサーマルリサイクルが行いにくいために、マテリアルリサイクルを行うことが必要となる。その際、日本国内では人件費などの問題からリサイクルが行いにくい場合は、海外へ輸出されて再資源化が行われることも多い。この研究では、中国・台湾・韓国といった東アジア地域における PVC 建材のマテリアルフローを整理し、その環境影響等の定量的評価を行っている。

⁴⁾中村明史、坂本雄三ほか：建築学会学術講演梗概集 p.473-476, 2004.7

⁵⁾村上敦亮、幸谷栄治ほか：建築学会学術講演梗概集 2015 (材料施工) p.609-610, 2015.9

⁶⁾磯部孝行、清家剛ほか：建築学会学術講演梗概集 2014(材料施工)p.1381-1382, 2014.9

⁷⁾磯部孝行：東京大学大学院新領域創成科学研究科 2015 年度博士論文, 2015

以上のように、樹脂サッシの既往研究としては、古くは断熱性能や防露性能など、樹脂サッシ事態の性能に着目したものが多かった。また近年では、樹脂サッシの排出量増加への懸念から、樹脂サッシのリサイクルに着目した研究も行われており、選別技術の研究や排出状況の把握が行われている。

また、PVC 建材という大きなくくりで樹脂サッシを捉え、排出実態やリサイクル状況などの定性的な把握から、PVC 建材の環境負荷や経済性等についての定量的評価まで、包括して行った研究も存在する。

以上の研究の延長となる部分もあるものの、本研究では樹脂サッシの製造から排出・処理までのライフサイクル全体を定性的に把握したうえで、実際に樹脂サッシの排出が本格化する北海道における処理モデルを仮定し、環境負荷や経済性等の定量的評価を行うことを目的としている点で、独自の研究であるといえる。

1-4.研究の方法と構成

まず、リサイクルフローやリサイクルに向けた課題等の把握は、業界団体や企業へのヒアリングを中心とした実態調査を中心に行う。

以下に、実態調査を行う軸となる 5 項目を挙げる。

2-1.製造者における樹脂サッシの製造と販売

北海道を中心として普及してきた樹脂サッシだが、2020 年に施行が予定されている建築物省エネルギー基準適合義務化に向けて、本州以南でも樹脂サッシやアルミ樹脂複合サッシといった断熱窓の普及の促進に向けて、建材メーカーが対策を行っている。また、工場端材のリサイクルなど、限定的ではあるが再資源化を行っている建材メーカーも存在する。

そこで、樹脂サッシの製造者に対してヒアリング調査を行うことで、今後の普及や再資源化における現状を把握する。

2-2.中間処理業者における樹脂サッシの処理の再資源化

樹脂サッシが普及してきた北海道は、積雪の期間が長いこと、広域分散型の都市配置であることなど、本州以南と比較しても相違点の多い地域である。樹脂サッシの再資源化においても、地域に特有の再資源化システムの構築が期待される。

そこで、樹脂サッシの処理にかかわる解体業者・中間処理業者にヒアリング調査を行うことで、地域の特性やリサイクルに向けた課題を把握・整理する。

3-1.国内におけるアルミサッシの再資源化システム

東北以南において一般に普及してきたアルミサッシは、その物性や構造から、樹脂サッシとは異なる解体や分別処理の方法が確立されている。

そこで、再資源化に関わる業者にヒアリング調査を行うことで、アルミサッシの再資源化システムの実態を把握し、樹脂サッシとの相違点や共通点を整理する。

3-2.EU における樹脂窓の再資源化システム

EU では環境団体から PVC に対する圧力が高まったこともあり、現在では樹脂サッシをはじめとした PVC 建材の再資源化システムが発展している。

そこで、EU における先進的な PVC 建材の再資源化システムを調査することで、日本の再資源化システム構築に向けた参考とする。

3-3.中国における PVC 建材の再資源化システム

日本で発生した PVC 廃材は、その多くがより人件費の安い東アジアや東南アジアへ輸出され、現地でリサイクルされている。その中でも特に市場規模が大きい中国について、PVC 建材の利用とその再資源化について整理することで、東アジアまで含めた PVC 建材の再資源化システムの全体像を構想することが可能となると考えられる。

そこで、中国のプラスチック協会を中心としたヒアリング調査について整理することで、国内における再資源化とは異なった実態を把握する。

実態調査では、国内では15社と2つの業界団体、EUでは5社と6つの業界団体、中国では2社と1つの業界団体及び意見交換会で、ヒアリングを中心として実態調査を行った。

表 1-1 ヒアリング対象一覧

国内					
業界	団体名	業種	実施日		
樹脂サッシ 産業	樹脂サッシメーカーA社	樹脂サッシメーカー	2016/5/10		
	樹脂サッシメーカーB社	樹脂サッシメーカー	2016/5/26		
	樹脂サッシメーカーC社	樹脂サッシメーカー	2016/7/14		
	樹脂サッシメーカーD社	樹脂サッシメーカー	2016/7/7		
北海道 産業廃棄物処理	北海道産業廃棄物協会	業界団体	2016/7/26		
	中間処理業者E社	中間処理業	2016/7/26		
	中間処理業者F社	中間処理業	2016/7/27		
	中間処理業者G社	中間処理業	2016/10/17		
	中間処理業者H社	中間処理業	2016/10/17		
	中間処理業者I社	中間処理業	2016/10/20		
	中間処理業者J社	中間処理業	2016/10/20		
	中間処理業者K社	中間処理業	2016/10/21		
解体工事	解体業者L社	中間処理業	2016/10/21		
	解体業者M社	解体業	2016/10/24		
関東 産業廃棄物処理	産業廃棄物処理業者N社	産業廃棄物処理業	2016/10/11		
アルミ リサイクル	日本アルミニウム協会	アルミニウム業界団体	2016/3/28		
	アルミリサイクル業者O社	アルミニウム再生業	2016/10/4		

EU					
業界	団体名・社名	属性	対象地	所在地	実施日
ごみ収集	IVAREM	資源ごみ集積所管理団体	ベルギー北部	ベルギー	2016/9/15
板ガラス リサイクル	VRN	板ガラスリサイクル協会	オランダ	オランダ	2016/9/14
	MG社	板ガラスリサイクル業者	オランダ	ベルギー	2016/9/14
	AG社	板ガラスメーカー	欧州	ベルギー	2016/9/16
	VinylPlus	欧州PVC業界団体	欧州	ベルギー	2016/9/16
樹脂サッシ リサイクル	Recovinyl	PVCリサイクル促進団体	欧州	ベルギー	2016/9/16
	AGPU	ドイツPVCリサイクル団体	ドイツ	ドイツ	2016/9/19
	HF社	窓製造業者	ドイツ	ドイツ	2016/9/19
	PG社	樹脂サッシ型材製造業者	ドイツ	ドイツ	2016/9/20
	VU社	樹脂窓リサイクル業者	欧州	ドイツ	2016/9/22
	Rewindo	ドイツ樹脂窓リサイクル団体	ドイツ	ドイツ	2016/9/22

中国				
業界	団体名・社名	属性	所在地	実施日
PVC産業	中日PVC建材再生資源化 発展合作交流会	意見交換会	青島	2015/6/29
	青島SY社	PVC板材製造機械生産業者	青島	2015/6/29
	威海SD社	PVC発泡板製造会社	青島	2015/6/29
	中国塑料加工工業協会	プラスチック業界団体	北京	2015/7/1

次に、実態調査で得られた知見やヒアリング先からの提供資料をもとにしながら、リサイクルフローの数量的な整理や環境影響の算出等を、統計資料や既往研究を中心に行う。

以下に、その構成を挙げる。

4-1. 定量的評価のための条件およびデータの整理

北海道で樹脂サッシのリサイクルを行うにあたって、どの主体がどのようにリサイクルに関わるのかを、ヒアリングにより得られた知見や提供資料を参考としながら整理することで、処理モデルの構築を行う。

また、処理の各段階でどれだけの環境負荷が発生するのかを一律にまとめ、後の計算を行いやすくするために、インベントリデータの整理を行う。

4-2. 拠点の配置と再資源化の方向性によるシナリオ評価

北海道は広域分散型の土地利用がなされているため、廃棄物のリサイクルを行う施設の配置によって、リサイクルの行いやすさや環境負荷の発生に影響が生じる可能性が高い。一方、廃樹脂サッシの発生量が樹脂サッシの供給量を上回る可能性があるため、リサイクル材のサッシ以外の利用先についても検討する必要がある。

そのため、リサイクル施設の配置とリサイクル先によってシナリオを設定し、それぞれの環境負荷について計算を行う。

4-3. リサイクルを行う地域の設定によるシナリオ評価

北海道は広域分散型の都市配置がなされているため、都市圏とそれ以外によって樹脂サッシの排出量に大きな差が生じることが予想される。

そのため本節では、排出量が多い地域に注力してリサイクルを行うとしてシナリオを構築した場合の、環境負荷削減効果や経済性について計算を行うことで、北海道に適した再資源化システムの在り方について検討を行う。

以上から、本研究の構成を述べる。本研究は、5章で構成されている。

まず本章となる1章では、研究の背景と目的を述べるとともに、既往研究の整理を行うことによって、本研究の位置づけを明らかにする。また、各章や節における調査方法と目的についてまとめ、本研究の構成を整理する。

2章では、樹脂サッシメーカーへのヒアリング調査と、北海道の中間処理業者および業界団体へのヒアリング調査によって、樹脂サッシの製造から排出・処理までの実態を把握するとともに、樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題を整理する。

3章では、国内における樹脂サッシ再資源化システム構築の参考とするため、樹脂サッシと用途や状況が類似しており、再資源化システムが既に機能している他建材について整理し、国内における樹脂サッシリサイクルの課題について比較を行う。具体的には、国内におけるアルミサッシとEU及び中国における樹脂サッシに関連した建材について整理を行う。

4章では、樹脂サッシのリサイクルモデルを北海道に仮定したうえで、リサイクル工場の配置やリサイクルを行う地域等についてシナリオを構築し、シナリオごとの環境負荷や県財政について算出することで、樹脂サッシの再資源化システムについての定量的評価を行い、リサイクルの適切な在り方について考察を行う。

5章では、研究のまとめとして本研究による成果を整理したうえで、今後の研究の課題について述べ、研究の総括を行う。

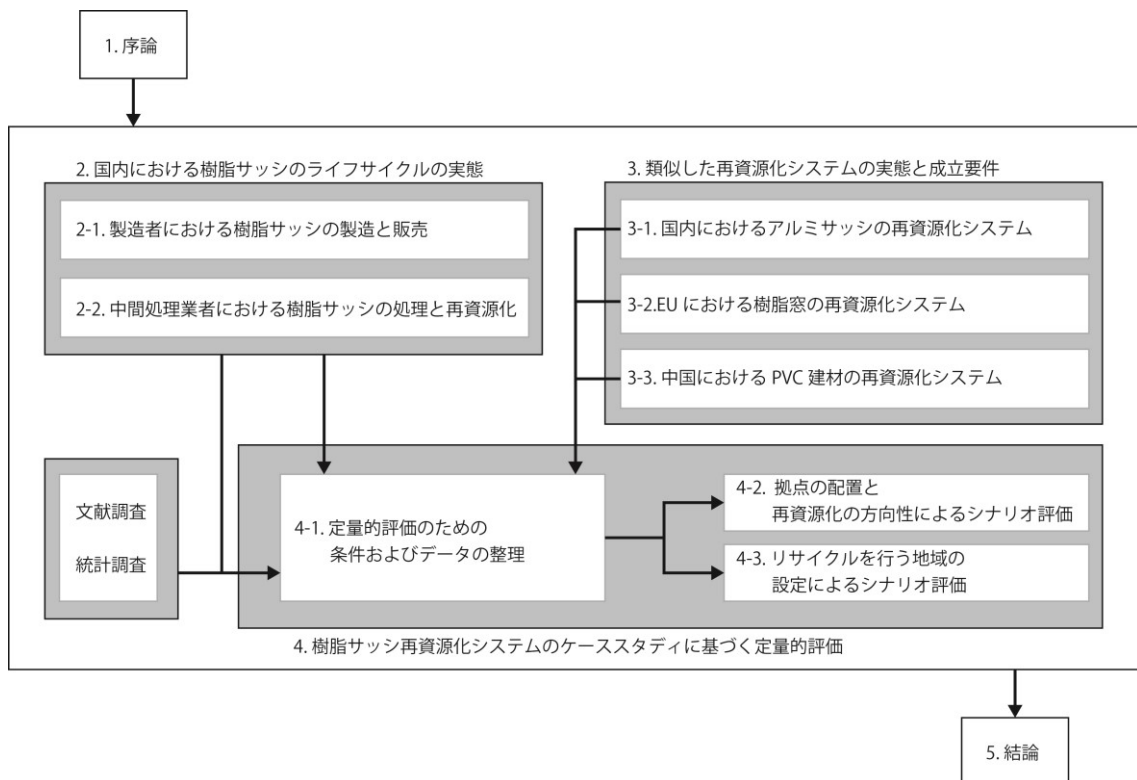


図 1-3 本研究の構成

2.国内における樹脂サッシのライフサイクルの実態

北海道を中心に普及してきた樹脂サッシは、2016年現在において発売開始からおよそ35年が経過しており、今後排出が本格化してゆくと推測される。その一方、排出は未だ本格化していないことから、産業廃棄物としての樹脂サッシの実態についての既往研究は少ない。このことから、樹脂サッシの再資源化システムを考慮するためには、まず、北海道の産業廃棄物処理業者における、樹脂サッシの排出状況及び処理状況を把握する必要がある。

加えて、再資源化を考えるにあたっては、リサイクル材の使用を考える必要があるため、樹脂サッシの製造工程について理解することで、リサイクルに向けた課題の把握が必要となる。また生産の過程で生じる加工端材のリサイクルについて把握することで、建設廃材のリサイクルとの共通点や相違点についても知ることができる。

以上を踏まえて本章では、ヒアリングを中心とした実態調査によって、国内における樹脂サッシのライフサイクルを把握することを目的とする。

まず1節で樹脂サッシメーカーへの実態調査によって、樹脂サッシ普及の経緯やその特性についての知見を得るとともに、製造の実態や加工端材の利用についてヒアリングを行うことで、製造段階における樹脂サッシリサイクルの課題についてまとめる。

次に2節では、北海道の中間処理業者およびその業界団体への実態調査から、北海道の地域性について把握するとともに、中間処理段階における樹脂サッシの処理状況とリサイクルの課題についてまとめる。

以上の調査から、3節では、樹脂サッシのライフサイクルおよびリサイクルの課題について整理する。

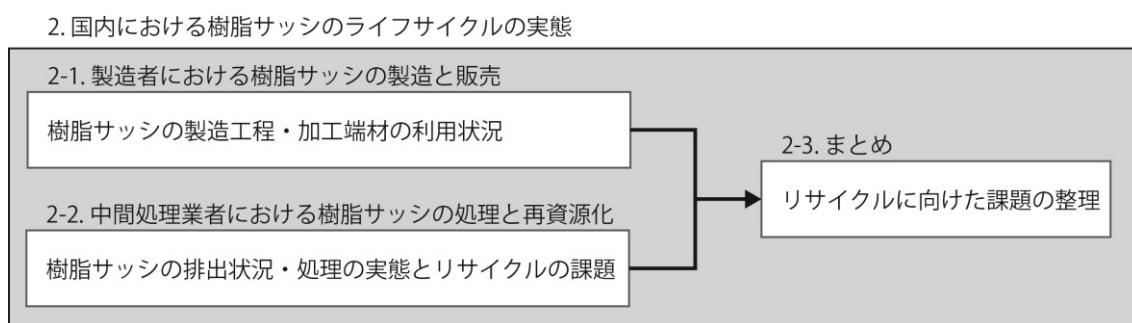


図 2-1 2章の構成

2-1.製造者における樹脂サッシの製造と販売

2-1-1.調査の概要

樹脂サッシの再資源化に関する調査のはじめとして、国内で樹脂サッシを製造・販売している建材メーカー4社に対して、樹脂サッシの製造や普及、また工場端材の再利用状況等について、ヒアリング調査を行った。

表 2-1 におけるヒアリング先の一覧

団体名	業種	実施日
樹脂サッシメーカーA社	樹脂サッシメーカー	2016/5/10
樹脂サッシメーカーB社	樹脂サッシメーカー	2016/5/26
樹脂サッシメーカーC社	樹脂サッシメーカー	2016/7/14
樹脂サッシメーカーD社	樹脂サッシメーカー	2016/7/7

本節では、ヒアリング調査の結果と文献調査の内容を併せてまとめながら、まず樹脂サッシの使用状況を把握したのち、製造段階における樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題について整理する。

2-1-2.樹脂サッシ普及の経緯

普及の経緯

樹脂サッシは1955年にヘキスト社（ドイツ）によって開発された⁸。その後、ドイツを中心として、主に日本より緯度の高いEU諸国に広まっていった。

国内においては、樹脂サッシメーカーA社の関連会社によって、1976年にて樹脂サッシが生産されたとされる。当時は防音性能を長所として市場へと売り出されていたが、思うように売れなかったため、1980年から断熱性能に着目して寒冷地である北海道で販売が開始された。その反響が大きかったため、北海道に工場を作り、本格的な生産が開始された。

その後、同様にドイツの樹脂サッシ産業を参考として、80年代前半には化学会社や建材メーカーが北海道の市場に参入した。これらの企業により、北海道では80年代後半から90年代前半にかけて急速に樹脂サッシが普及し、その普及率は80%を超えたと推測される。

一方、普及が急速に進んだことで、北海道の市場では需要が少なくなっていき、各社で事業の統廃合や合併が相次いだ。その結果、樹脂サッシの供給者は一時期に比べ大きく減少し、現在のような大企業が中心の構成となった。実際に、今回ヒアリングを行った4社で、国内における樹脂サッシの9割以上を供給している。

⁸日本政策投資銀行：循環型社会における塩化ビニル樹脂の可能性，2004.9

各社ともに、発売当初から断熱性能は大きく向上している一方、水密性・気密性など、開口部として求められる基本性能は、初期の開発段階で作りこまれており、昔から大きく変わっていない。

また、断熱性能に関しても、特に大きく変わっているのはガラス部分である。開口部全体として断熱性能を向上させるためには、面積の大きいガラス部分の改良が効果的であった。現在は複層ガラスが主流となり、アルゴンガスやクリプトンガスを封入しているため、サッシ部分と比較してもガラス部分の熱貫流率が小さくなっている。そのため、サッシ部分をスリムにして、ガラスの見附面積を大きくすることで、断熱性およびデザイン性の向上が図られている。

サッシ部分は仕切りを増やすことによって、空気層を多く設けて断熱性を高めるとともに強度を増し、スリム化を図っている。また、内部に金属を使用することで強度を確保する場合もある。なお、日本の住宅の壁厚は欧州のそれよりも小さいため、サッシの断面も小さい傾向にある。

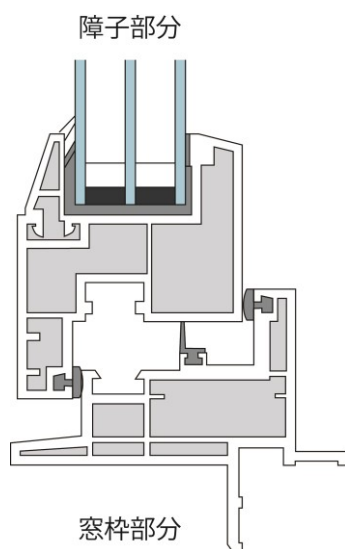


図 2-2 樹脂サッシの断面図

樹脂サッシとアルミサッシの比較

アルミサッシと比較した際の樹脂サッシの長所は、材料の熱伝導率と溶着による生産工程から発揮される高い断熱性能である。またこれに付随して、気密性や水密性、遮音性も高い。このことから、特に寒冷地において多く使用されているほか、飛行場など遮音性能が必要な施設でも使用されている。

一方、樹脂サッシの短所として、アルミサッシと比較して強度が低いことが挙げられる。このため、耐風圧性能が求められる高層ビル用樹脂サッシは今後の課題となっている。また、窓枠を細くしにくいことから、アルミサッシに比べて採光性とデザイン性が劣るとされている。加えて、生産効率がアルミサッシより低いことから、比較的高価である。

こうしたアルミサッシとの特性の違いから、樹脂サッシは北海道や東北北3県といった寒冷地以外では需要が少なく、あまり普及してこなかった。そのため図2-3に示すように、樹脂サッシ出荷量の大部分が、日本の人口の20分の1程度（2016年現在）の北海道に集中していた。

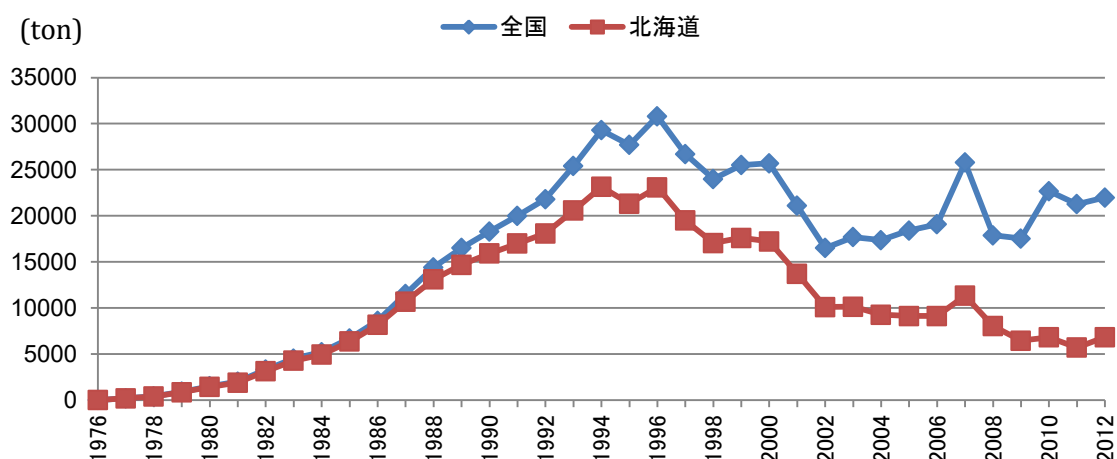


図2-3 樹脂サッシ形材の推定出荷量⁹

現在、出荷されているサッシ全量のうち、1割程度が樹脂サッシであるが、近年では建築物への省エネ意識の高まりから、北海道や東北北三県以外の地域であっても、樹脂サッシの普及率は徐々に伸びてきているとみられる。

地域別にみると、北海道、東北、北関東、九州……の順に普及率が高いと予想される。寒冷地における普及率が順当に高い一方、温暖な九州における普及率は例外的に高く、15%程度とみられているが、これは夏期における冷房負荷を軽減させるため、地域のビルダーが積極的に採用を行っているためではないかとのことであった。

なお、高い断熱性能を中心とした樹脂サッシのメリットは大きいですが、これまでアルミサッシが普及してきた比較的温暖な地域に関しては、アルミ樹脂複合サッシのほうが受け入れられやすい、との声も聞かれた。図2-4に示すように、新築住宅に対しては、アルミ樹脂複合サッシは35%程度出荷されている。

今回ヒアリングを行ったメーカーでは、樹脂窓を専業としている1社を除いて、3社ではアルミ樹脂複合窓が製造されている。アルミ樹脂複合窓は、室内側に樹脂を、室外側にアルミを使用しており、断熱性と耐久性を両立している。

現在、主に流通しているアルミ樹脂複合サッシはアルミ部分と樹脂部分を嵌合させたものであり、基本的にはアルミサッシと同様の組立方法となっている。そのため、流通形態

⁹ (一社)日本サッシ協会ほか:塩ビサッシリサイクル合同WG「2002~2012年 活動・調査報告書」, 2013.3より引用

についてもアルミサッシとほぼ同じであり、これまでアルミサッシが主流として用いられてきた本州でも受け入れられやすいと考えられる。

一方で、樹脂サッシほどの断熱性能はないため、北海道には少量しか出荷されていない。ただし、北海道でも高層ビルでは耐風圧性能等が必要とされるため、アルミサッシやアルミ樹脂複合サッシが選択されることも多い。

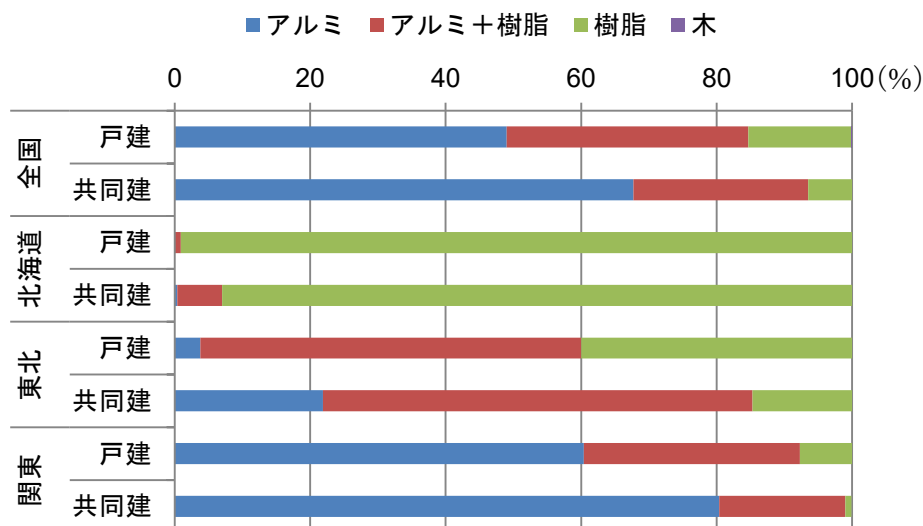


図 2-4 新築住宅における窓の材質別構成比 (2015 年)¹⁰

行政の施策による影響

樹脂サッシの普及にあたっては、行政による施策による影響も大きかったとみられる。

北海道では、1953年に施行された「北海道防寒住宅建設等促進法（寒住法）」により、高气密・高断熱住宅の建設にあたって割り増し融資を受けられるようになった。これは道庁が主導した制度であり、北海道において樹脂サッシの普及が促進される大きな要因となったと考えられる。

最近では、平成 21 年から 22 年にかけて樹脂サッシ内窓の需要が 232.5%増と急増したが、これは国交省が行った、省エネ改修等についてポイントが付与されるエコポイント制度によって、断熱改修の件数が飛躍的に伸びたからだとみられる。一方、省エネ改修補助金の影響による外窓の出荷量は微増に留まっている。これは、補助金が出るといっても額が制限されているため、外壁の改修まで関係する外窓の改修は、ユーザーにとってハードルが高かったためであると考えられる。

また将来的には、2020 年までに新築建築物における省エネ基準適合義務化が予定されており、建物規模に応じて段階的に実施される予定となっている。これによって、2020 年に

¹⁰ 日本サッシ協会：住宅用建材使用状況調査，2016.3 より筆者作成

は小規模な住宅でも省エネ基準に適合するように、一定の断熱性能の確保とエネルギー消費量の低減が求められることとなる。

適合義務化により、断熱性能の低いアルミサッシの採用が難しくなり、断熱性の高い樹脂サッシの普及も加速すると考えられる。一方、基準に達する断熱性能を確保するだけでなく、壁の断熱性能の向上や、アルミ樹脂複合サッシの採用による解決も考えられるので、必ずしも樹脂サッシを採用する必要はない、とする向きもある。

樹脂サッシ普及の課題

以上に樹脂サッシ普及の経緯を整理した。一方、本州以南の地域における樹脂サッシ普及における課題として、以下の二点が考えられる。

①価格が高いこと

樹脂サッシはアルミサッシと比較して高価であることが、樹脂サッシの普及を妨げる一因となっている。樹脂自体は安価である一方、溶着など特殊設備による加工コストの高さ、人件費に対する生産スピードの遅さゆえに価格がアルミサッシと比較して高くなっている。

一方、日本と対照的に特に欧州では、アルミサッシよりも樹脂サッシのほうが安価であるという話も聞かれた。日本では、住宅が大量に必要とされた高度経済成長の時期に、住宅用アルミサッシの大量生産、低層住宅に合わせて肉厚を薄くするなどの合理化が行われてきた経緯があるため、日本の住宅用アルミサッシは非常に安いというのが現状である。

なお、断熱性能で見ると樹脂サッシのコストパフォーマンスは高いが、ユーザーがサッシに求める性能ごとの重要度は地域によって異なるため、樹脂サッシは断熱性能が高くても高価だと思われる場合もある。ただし、北海道では断熱性能が低いと住環境が決定的に悪くなるため、樹脂サッシのニーズが非常に高くなったとのことであった。

また、東京に限ると、23区内のほとんどが防火地域であることも、樹脂サッシ導入のコスト上昇に拍車をかけている。

②アルミサッシへの信頼感

本州以南で、特に比較的温暖な地域では、これまでアルミサッシが中心として普及してきた経緯もあって、アルミサッシが標準として捉えられているため、樹脂サッシに抵抗感がある消費者も多いのではないかという話が聞かれた。

エンドユーザーである消費者に、どのように樹脂サッシの長所である断熱性能の重要性を呼び掛けていくかが樹脂サッシのPRにおけるテーマとなっており、各社で消費者に樹脂サッシの断熱性能を体感してもらうため、ショールーム等に工夫を行っていた。

また、アルミサッシと樹脂サッシの中間の性能を持つ製品としてアルミ樹脂複合サッシを普及させることで、断熱性能に対する消費者の意識が変化することに期待して、段階的に樹脂サッシの普及を進めていこうとする向きもあった。

2-1-3.樹脂サッシ製造の実態

樹脂サッシの種類

樹脂サッシの種類は形状と色によって規定される。さらに樹脂窓は、窓の形状や開き方、外観色と内観色、ガラスの種類によって窓の仕様が決定され、オーダーメイド的に製作される。そのため、基本的には各社とも、注文を受けてから製作を行っている。

樹脂サッシの形状は、各社ともユーザーのニーズに応えるため、非常に多くのラインナップが用意されている。実際、樹脂サッシメーカーA社では、発売当初はFIX窓と開き窓しか発売していなかったというが、現在は数十種の窓形状を備えている。



図 2-5 樹脂サッシの種類決定要因

樹脂サッシの色は、各社ともホワイトが基準であり、最も多く出荷されている。会社によっては出荷量の半分程度がホワイトであるという。これは、樹脂サッシのイメージが白色であること、洋風の住宅に白色が合わせやすいことが理由であると考えられる。

外観色は、金属調であることが多い。日本では、窓の部材としてアルミサッシを中心に普及してきたため、周辺の建具や仕上げもアルミサッシと合わせることを想定してデザインされていることが多く、金属調の樹脂サッシは他建材とコーディネートが行いやすい。自社でアルミサッシも製造している会社では、アルミサッシの色と樹脂サッシの色を合わせているなど、工夫も見られる。

また、内観色として木目調のデザインを用意している会社も数社あった。木粉を混入する、わざと着色にムラを出すなどして木目の再現が行われている。日本には木造住宅が多く、和室にも合わせやすいことから、一定の人気があると考えられる。

また、4社中3社で、アクリル層の共押出による着色が行われている。なお、残る1社ではASA層が用いられている。これは、硬質PVC樹脂よりも発色性や耐候性に優れているためである。

共押出とは、押出の過程でサブ押し出し機から、着色のためのアクリル樹脂等を硬質PVC樹脂に積層させて、図2-6のように、一体化する技術である。なお、純粋なアクリルは融点が300℃と、PVC樹脂の加工温度と比較しても高いためほかの樹脂を配合することで融点を下げている。なお、木目調の表現とするために、わざとムラを出す、木粉を混ぜるなど、各社工夫を行っていた。

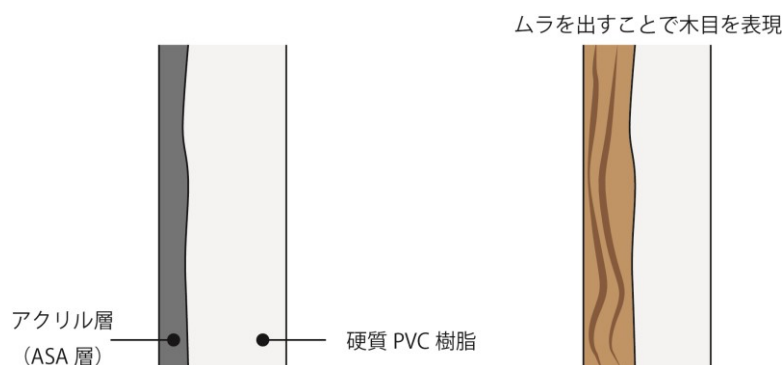


図 2-6 共押出による樹脂サッシの着色

一方、製造者がユーザーのニーズに応えるために、複数種類の色や形状を用意することは、製造者側の負担ともなっている。技術的な問題は少ないが、生産ラインや開発コストの問題から、内観色を限定している会社もあった。

樹脂サッシの形状および障子か窓枠かによって、さらにホワイトのサッシとアクリル層で着色されるサッシ、木目調のサッシで金型が異なるため、一つの製品シリーズにつき 100 種類以上の金型が必要であるという話もあった。

このため、樹脂サッシはアルミサッシに比べ、新製品が開発されるスパンが比較的長い。これは、ドレーキップ窓がほとんどの海外と異なり、日本では一般に使われている窓の種類が多く、それだけ金型を用意しなくてはならないことに加えて、樹脂サッシは PVC 樹脂層と着色層の共押出を行っていること、冷却金型が必要であることから、金型の値段がアルミサッシと比較して高くなってしまふことが理由として挙げられる。

樹脂サッシの生産システム

日本で生産されている樹脂サッシはドイツの樹脂サッシ産業を参考に開発されているが、その生産体制は異なる。

日本の生産体制に特徴的な点として、建材メーカーによる工場生産が行われていることが挙げられる。日本で供給されている樹脂サッシは、工場で枠の組立・溶着に加え、場合によってはガラスのはめ込みまで行われ、ほぼ完成品の状態となってから、建設現場へ輸送されてそのまま取り付けられる。

一方、EU の樹脂サッシ生産では、型材を製造するプロファイラーと、窓を組み立てるファブリーケーターに分業がなされている。また、日本でもアルミサッシは一般的に、枠材が建材メーカーによって工場生産されたのち、工務店や窓屋によって組み立てられ、建築物に取り付けられる。

このような違いは、樹脂サッシの構造によって生じている。ビス止めによって組み立てが行われるアルミサッシと異なり、樹脂サッシは角部を溶着することによって断熱性・気密性等を担保しているため、専用の溶着機械が必要となる。樹脂サッシ専用の溶着機械は、

アルミサッシが中心として普及してきた日本においては、建材メーカー以外に所持している事業者が少ないため、建材メーカーの工場において組立・溶着を行う必要がある。

このように各メーカーにおいて工場生産を行っていることは、製品の信頼性の確保に有用であると捉えられており、ブランドとして保証を付けている例もあった

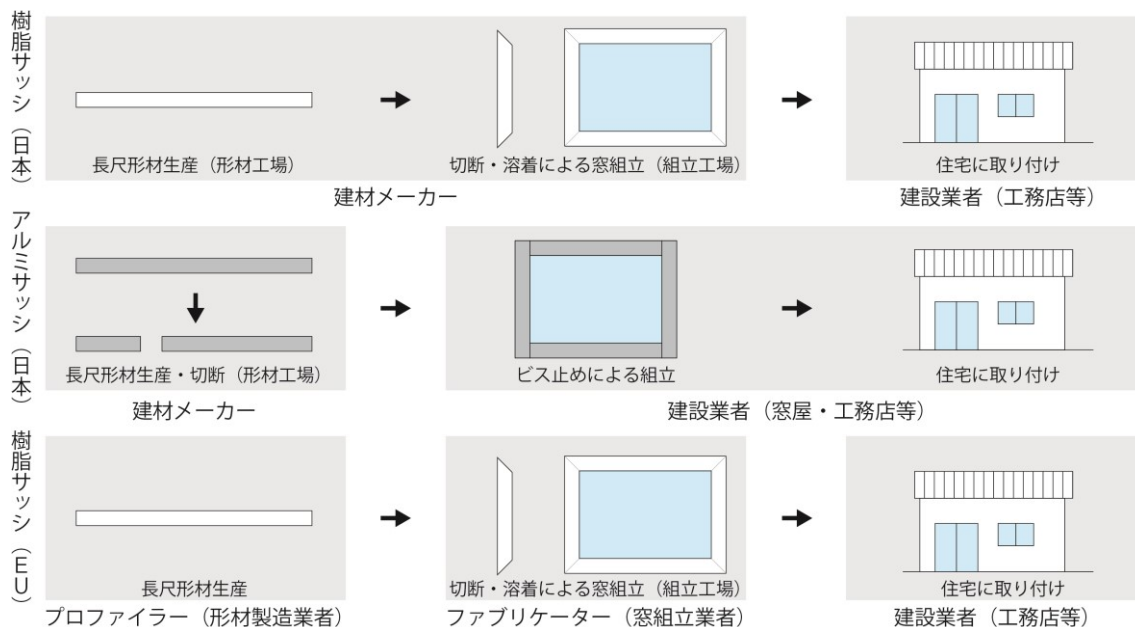


図 2-7 サッシの生産システムの違い

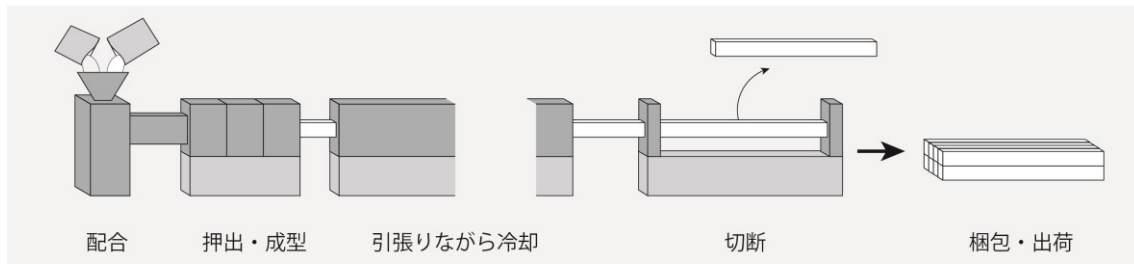
ただし、日本の樹脂サッシ産業でも、型材の製造工程と窓の組立工程は、基本的に別の工場で行われている。これは、完成品は輸送効率が悪くなり、輸送中に破損する可能性も大きくなるため、需要の大きい地域の近くで組み立てを行うためである。また、押出の工程を一か所に集約し、24 時間稼働で製造を行うことで効率の良い生産が行えることも、理由として挙げられる。

一方、窓の組立工場は、全国各地に配置されており、いずれも消費地に近い。また、型材の製造工場も効率的な輸送を行うため、需要の大きい地域に配置される場合が多く、東北に工場が配置される場合が多い。

樹脂サッシの製造工程

日本の樹脂サッシ産業は、欧州の樹脂サッシ産業とは生産システムに違いがある一方、製造工程はほぼ同一である。図 2-8 に一般的な生産の流れを示す。

型材製造工場



窓組立工場

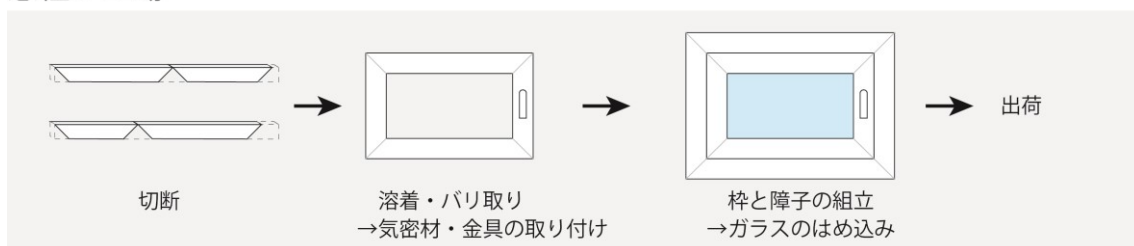


図 2-8 樹脂サッシの製造工程

型材製造工程における加工温度は 190℃程度であり、PVC 樹脂の分解開始温度以上であるため、安定剤を加えている。以前は鉛系の安定剤が主に用いられていたが、安全性に疑問が生じたため、現在はスズ系の安定剤が使用されることが多いとのことであった。

アルミサッシと比較して、樹脂サッシは急冷が行えないため、無理に押出を行うと変形など不良の原因になるほか、残留応力によって後々に瑕疵が起きる可能性が生まれる。それを回避するために、樹脂サッシの押出を行う際には、ゆっくりと引っ張りながら冷却を行っている。このため、樹脂サッシはアルミサッシと比較して生産速度が遅い。

また、組み立て工程では溶着を行っている。この工程によって、窓枠および障子がそれぞれシームレスにつながるため、断熱性や気密性を確保することができる。

2-1-4.樹脂サッシの製造段階におけるリサイクルの課題

加工端材のリサイクルの課題

ヒアリングの結果では、4社中3社において、自社内で加工端材のリサイクルが行われていた。ただし、品質や輸送コストの問題から全量を自社でリサイクルすることは難しく、中間処理業者に売却しているケースも見られた。残る1社では、関連会社から型材や部品を購入してアSEMBルする、という形式をとっていたため、自社内でのリサイクルは不可能であるが、メーカーに戻すことでリサイクルを検討していた。

樹脂サッシメーカーにおいてリサイクルされなかった端材は、中間処理業者に売却されたのち、海外の市場を含む他産業で使用されているとみられるため、環境負荷の発生自体は自社でリサイクルを行った場合とほとんど変わらないと考えられる。そのため、現状の問題としては、加工端材のリサイクルが行われない状況では、外部からのリサイクル材を樹脂サッシメーカーで使用することが難しく、樹脂サッシメーカーを含めた再資源化システムが構築されにくいことが挙げられる。

樹脂サッシメーカーにおいて加工端材のリサイクルが行われない理由として、以下の2つが挙げられる。

①輸送コストがかかること

樹脂サッシの端材は、型材工場でも不良品や切断材として発生するが、切断・加工の行われる組立工場からの発生が中心である。一方、型材工場と組み立て工場は離れている場合が多く、その場合は加工端材のリサイクルを行うために、輸送コストをかけて型材工場へ運搬する必要がある。

樹脂サッシメーカーにおけるリサイクルのメリットの一つとしてコスト削減が挙げられるが、リサイクルの過程でかかる輸送コストが、リサイクルによるコスト削減額を上回ると、樹脂サッシメーカーにとってはリサイクルのメリットが失われるため、自社でリサイクルを行わずに中間処理業者で売却、もしくは処理委託する、という選択がとられやすくなる。

②着色層の分離が難しいこと

樹脂サッシは着色のため、表面層としてアクリル樹脂もしくはASA樹脂を採用している。これらは樹脂サッシの本体材料であるPVC樹脂と一体化しているため、分離することが困難である。

1社では後述するVU社と同様の技術を用いて、アクリル層と樹脂層を分離しているということであった。2社では、アクリル層ごと硬質PVC樹脂を粉砕して、バージン材と混ぜて使用していた。アクリルが硬質PVC樹脂に混ざることになるが、工場内で加工端材のリサイクルを行うにあたっては、バージン材との配合によって硬質PVC樹脂の割合を調整で

きるために、製品に瑕疵が生まれないように対策が取られているとみられる。ただし、繰り返しリサイクルが行われた場合に、形材におけるアクリルの割合が蓄積して大きくなることが懸念される。

なお、白色のものはそのまま使用する場合もあるが、このようにして利用される加工端材は、基本的にユーザーから見えない内部の構造に使用されていた。

外部リサイクル材使用への課題

ヒアリングの結果では、基本的に外部から受け入れるリサイクル材は、樹脂サッシ製造には使用されていなかった。この理由として、以下の二つが挙げられた。

①需給バランスによる値段の変動があること

自社で加工端材由来のリサイクル材を使っている限りでは、品質がはっきりしており使いやすい、量もある程度出るためにコスト削減のメリットは大きい。その一方で、外部からのリサイクル材は需給バランスで値段が変動することから、コスト削減におけるメリットは薄いということが聞かれた。

取引量の多い企業だと、安定使用をするという契約で、バージン材料を樹脂メーカーから安価に購入しているため、市場によって価格が変動しやすいリサイクル材より、バージン材のほうが安くなることもあり得るとのことであった。

②組成が不明であること

加工端材は組成が把握できるが、外部リサイクル材、特に建設廃材から製造されたリサイクル材は組成が分からないため、配合が行いにくいことが課題となっている。特に PVC 建材は他のプラスチック製品に比べて寿命が長いと、古いものが排出される場合が多く、組成についての把握が行いにくいという事情がある。

また、過去の建材から製造されたリサイクル材には鉛系安定剤が使用されている場合が多いが、金属としての鉛に毒性があるという懸念から、脱鉛化に取り組んでいる企業も存在する。そうした企業としては、鉛系安定剤が使用されている可能性のあるリサイクル材は、製品製造に使用することが難しいという話も聞かれた。

2-1-5.小結

本節では、樹脂サッシメーカーへのヒアリング調査を行うことで、樹脂サッシの製造・販売における実態を把握した。樹脂サッシはその高い断熱性能から、これまでは主に寒冷地で普及してきたが、今後は省エネ基準適合義務化などの影響により、より高い省エネ性能が求められているため、比較的温暖な地域でも普及する可能性があることが分かった。

一方、これまで普及してきたアルミサッシとは大きく性質が異なるため、これまでアルミサッシを使用してきたユーザーの理解を得ることが普及の課題として挙げられる。また、アルミサッシと樹脂サッシの中間の性能を持つ窓としてアルミ樹脂複合サッシが開発されており、本州以南ではこちらの方が受け入れられやすいだろうという話も聞かれた。

樹脂サッシメーカーの今後の戦略は、各社異なる点が多くみられたが、その一方で共通していたのが、断熱性能に関する認識であった。

樹脂サッシが日本で製造されるようになってからは、開発の主なテーマは断熱性能の向上であった。そのため現在では、通常の住宅に使用される樹脂サッシの断熱性能は非常に高くなっており、その性能は頭打ちになってきている。一方で 5 層ガラスとした樹脂サッシやフレーム部分にウレタンを充填させた樹脂サッシなど、超高断熱とした樹脂サッシが発表されているものの、これらの製品はあくまでも実験的な製品であるとの認識が強い。

このように、断熱性能には限界があり、現時点で高い性能を実現できているため、これからは断熱性能以外の付加価値を求めて開発が行われていくと考えられる。

具体的には、以下のような方向性が挙げられた。

- ・環境の変化に応じてユーザーが操作できる機能性の高い設計
- ・本州の市場にも受け入れられる多様性やコストダウン
- ・リフォームの行いやすい樹脂窓の開発

これまで樹脂サッシが一般的でなかった地域のユーザーに受け入れられるような設計となるように、各社で開発が進められていることが分かった。

また、樹脂サッシの再資源化に関する課題も多く挙げられた。ヒアリング調査から判明した課題を表 2-2 に整理する。

表 2-2 製造段階における樹脂サッシリサイクルに向けた課題

工場内の 加工端材	現状	自社工場でのリサイクルも行われているが、全量はリサイクルされておらず、中間処理業者への処理委託も行われている
	課題	①輸送コストがかかること →加工工場が発生した端材を型材工場まで輸送するコストを考えると、バージン材を使う方が効率的 ②着色層の分離が困難であること →表面層にアクリル層等を共押出しているため、分離が困難である
外部の リサイクル 材料	現状	基本的に使用されていない
	課題	①需給バランスによる値段の変動があること →安定供給の契約を結んでいるバージン材料より、高くなることもあり得る ②組成が不明であること →配合が分からないと使用しにくい。また、建設廃材には鉛系安定剤が使用されている可能性もある

樹脂サッシ製造の現場からは、樹脂サッシの再資源化に対して、以上のような課題が存在することが分かった。

特に現在は、組立工場内で発生する比較的品質の良い加工端材も、型材工場で全量がリサイクルされるわけではなく、中間処理業者に処理委託されていることがある状況のため、異物の混入なども多いとみられる建設廃材を外部から購入して利用することは難しいと考えられる。

なお、中間処理業者に売却された端材は、海外へ輸出されることが多いとみられるが、主原料が PVC でありサーマルリサイクルに適さないため、ほぼ全量がマテリアルリサイクルされているとみられる。このことから、メーカーが自社で再資源化する場合と比較して、環境負荷に大きな違いはないと考えられる。

2-2.中間処理業者における樹脂サッシの処理と再資源化

2-2-1.調査の概要

中間処理業者における樹脂サッシの処理の実態を把握するため、特に樹脂サッシの普及率が高い北海道における産業廃棄物処理の業界団体と中間処理業者 8 社にヒアリング調査を行った。

なお、7月の調査では、北海道産業廃棄物協会に加え、札幌近郊を商圏としている中間処理業者 2 社にヒアリング調査を行った。10月の調査では、北海道産業廃棄物協会にご紹介いただいた、札幌から離れた地域における比較的規模の大きい中間処理業者 6 社に対して、ヒアリング調査を行った。

表 2-3 2-2 における調査先の一覧

社名・団体名	業種	所在地	実施日
北海道産業廃棄物協会	業界団体	札幌市	2016/7/26
中間処理業者 E 社	中間処理業者	江別市	2016/7/26
中間処理業者 F 社		北広島市	2016/7/27
中間処理業者 G 社		苫小牧市	2016/10/17
中間処理業者 H 社		白老町	2016/10/17
中間処理業者 I 社		留萌市	2016/10/20
中間処理業者 J 社		富良野市	2016/10/20
中間処理業者 K 社		帯広市	2016/10/21
中間処理業者 L 社		釧路市	2016/10/21

本節では、まず業界団体及び中間処理業者へのヒアリングから判明した北海道の地域性について整理を行う。その上で、中間処理業者における樹脂サッシをはじめとした産業廃棄物の処理の実態について整理を行い、樹脂サッシの再資源化に向けた中間処理段階における課題を把握する。

2-2-2.中間処理における北海道の地域性

本項では、業界団体および中間処理業者へのヒアリングを中心とした実態調査から把握された、北海道の特性について整理を行う。

北海道は気候や土地利用の状況など、本州との相違点が多いため、中間処理業務にあっても特殊な事情が多いことが確認された。

北海道産業廃棄物協会（ヒアリング調査より）

北海道産業廃棄物協会は産業廃棄物処理業者による業界団体である。北海道で産業廃棄物の許可を受けている業者は収集運搬で 4736 社、中間処理・処分で 750 社あり、他に政令市（札幌市、旭川市、函館市）の許可がある。これらは重複して取得している業者もいるので合算はできないが、そのうちの 560 社程度が参加している。協会員は産業廃棄物処理業者だけでなく、大手排出事業者なども賛助会員として含まれている。

主な活動内容は「業者と行政の橋渡し」「業者からの相談対応」「マニフェスト制度の普及活動」「人材の育成」である。特に会員が最も期待しているのは行政との橋渡しであり、主に道庁や政令市庁（札幌、旭川、函館）との調整にあたり、廃棄物関連法案の解釈や運用に対する見解を確認することが多い。一方、処理技術に関する指導は基本的に行っていない。

北海道は土地が広大で都市機能が分散しているため、一つの地方でありながら地域差が大きいことが特徴となる。

道央に人口や各種産業が集積しているため、それに伴って廃棄物処理業者も多い。また、沿岸地域など工業が盛んな土地や、農業が盛んな地域にも廃棄物処理業者が多い傾向にある。そうした偏りが存在するため、廃棄物処理の需要と処理能力の供給のバランスが取れていない地域も存在するとみられる。

そのため、道央など施設や設備が充実している地域では、その地域内で廃棄物の処理を行うことができるが、特に道北部など施設数が少ない地域では、廃棄物の処理を行うために長距離を輸送する必要が生じる。

また、北海道に特有な事情として、季節による建設工事量の変動が大きいことが挙げられる。冬季になり積雪すると建設工事はほとんど行われなくなるが、その直前には工事量が一時的に増えるなど、季節による変動が大きい。一方、冬季には稼働しない破碎施設もあるが、一定量の廃棄物は発生するため保管量は増えていき、許可されているストック量を超えてしまう場合もある。

運搬時だと、吹雪の時などにトラックが立ち往生することもある。また、処理施設が限られている廃棄物を運搬する場合、北海道は広大なので受け入れ時間内にたどり着けないこともあり、積み置きせざるを得ない場合もある。本来、廃棄物は決められた場所に決められた量しか保管できないが、天候などの影響で上のような事態となると、違法となる恐れがあるため、協会として法律の改正を要望している。

また、北海道は土地が広大で都市機能が分散しているため、地域に一か所は最終処分場を設けてしまった方が経済的であり、そのことがリサイクルの促進を阻害しているという一面もあるとのことであった。

このように、積雪寒冷・広域分散という日本でも特殊な地域状況である北海道において、

それぞれの事業者に対し廃棄物関連のサポートを行うことで、地域産業の発展を促し、活性化していくことが協会の役割の一つである。北海道の都市間の距離を考えると大きな施設に集中させることは難しいため、廃棄物を含めた地域資源を活用していくことが必要になる。適正処理の推進や業界の発展に生かすためにも、地域内における循環的利用、地域産業の維持、災害時における安全安心の提供のため、実効性のある廃棄物処理の在り方について、考える必要があるとのことであった。

中間処理業者 8 社へのヒアリング調査より

中間処理業者へのヒアリング調査から、北海道における地域性について、数点が指摘された。

まず、季節による廃棄物の排出量の変動が大きいことが挙げられた。冬季になると解体工事や土木工事の件数が減少するため、廃棄物の取扱量が少なくなり、特に 1～2 月には廃棄物はほとんど搬入されない。一方、冬季に入る前の 9～11 月には駆け込み需要である土木工事件数に加えて、収穫時期となる農家のからの農業用廃プラスチックが多くなるため、廃棄物の取扱量が増加するということが聞かれた。

また、中間処理業者にとっても、冬季は散水などの粉塵対策を行うことができなくなるため、おおむね 12～3 月は粉塵対策を行う必要がない前処理のみを実施することになり、ほとんど休業状態になることも多いとのことであった。

一方、本州と異なる点として、最終処分場に余裕があることが挙げられた。最終処分場の数に比べて産業廃棄物の排出量が小さいことが、本州と比べて選別技術の発達が遅いこと、設備投資しても費用が見合わないことの要因になっているという意見があった。

また、最終処分場の受け入れ費用は札幌付近のほうが高めに設定されている一方、中間処理の受け入れ額は地域によって異なるため一概には言えないが、需要と供給によって推移するため、地方のほうが高い場合が多いのではないかとのことであった。

2-2-3.樹脂サッシの処理の実態

本項では、北海道の中間処理業者における樹脂サッシ処理の実態として、ヒアリング調査から得られた事実を中心に述べる。

解体段階における樹脂サッシの取り扱い

ヒアリング調査を行った北海道の中間処理業者8社のうち、5社が解体業務も行っていた。以下では、E社の建築物解体時における、樹脂サッシの取り扱いについて述べる。

E社は中間処理業務を主に行っているが、顧客の要望に応じて解体業務も行っており、樹脂サッシを扱った実績があった。現状ではアルミサッシの排出量のほうが大きいものの、古い住宅の増設箇所など、建設された時代の新しい部分に樹脂サッシが使用されていることがあり、E社ではこれらを取り扱ったことがあった。

これら樹脂サッシは、窓の種類によっては障子と窓枠を取り外すことが難しいため、構造物と同時に解体することもある。その一方で、障子のみ取り外すことができた樹脂サッシは、ガラスが他建材と混合することを避けるため、現場ではガラスを割らないようにして、E社の中間処理場へ持ち込んでから樹脂とガラスに分別するようにしているとのことであった。

なお、アルミサッシは解体業者によって現場でガラスと分別され、リサイクル業者や中間処理業者へ有価で売却される場合が多いが、樹脂サッシはガラスと一緒に中間処理業者へ処理委託されているとのことであった。

樹脂サッシの排出状況

樹脂サッシの排出形態として、メーカーから排出される工場端材と、建設工事によって排出される建設廃材の二通りが考えられる。工場端材は廃プラスチックの処理を専門としている中間処理業者など、メーカーと提携している特定の業者によって回収されると考えられる。一方、建設廃材として排出される樹脂サッシは、アルミサッシと違い専門としているリサイクル業者への売却が難しいことから、建設廃棄物を取り扱っている中間処理業者によって取り扱われることになると思われされる。

建設廃材としての樹脂サッシは、住宅を中心とした建築物の解体や、窓の取り換えによって排出される。しかし、今回のヒアリング調査では、ほとんどの業者で樹脂サッシよりアルミサッシの取扱量が大きかったことから、2016年現在、解体される建築物の多くは、北海道において樹脂サッシが普及する以前に建設されたものであると予想される。これは、樹脂サッシを使用した住宅はそうでない住宅と比較して性能が高く、長期にわたって使用されていることが理由と考えられる。

また、E社では2013年ごろ、一時的に樹脂サッシの取り扱いが増え、手解体を行っていた時期もあった、という話も聞かれた。E社ではその後、樹脂サッシの排出量がまた減少し

たため、2016年現在では樹脂サッシの手解体は行われていなかった。

これは、2014年の消費税増税を受け、その直前に建築物の建て替えが盛んに行われたことで、比較的年代の新しい建築物の解体が増えたために、樹脂サッシの排出量が一時的に増えたと考えられる。

樹脂サッシの再資源化処理状況

2016年現在、樹脂サッシの再資源化を行っている中間処理業者は、F社のみであった。

F社では樹脂サッシ解体材として、夏季は7ton/月、冬季は3ton/月程度を受け入れていた。これらの樹脂サッシは、工務店による窓交換を中心として発生しており、廃プラスチック類として、他のプラスチック建材と混じった状態で排出されていた。F社ではそれに加えて、メーカーから工場端材として、最大で40ton/月の受け入れを行っているとのことであった。

これらの廃樹脂サッシは、破碎処理を行った後、硬質PVCと軟質PVCが分離されていない状態で、ベトナムや台湾などに輸出されていた。なお、輸出先の一つであるベトナムでは、硬軟PVCを分離せずに塩ビ管の材料として再利用されているとみられる。それら塩ビ管の強度などは不明である。また、軟質素材である配線カバーの原料としても再利用されているとみられる。

ただし、F社はそれら樹脂サッシを国内の商社へ売却しており、その商社によって輸出が行われている。そのため、破碎品の品質によって商流が異なるかどうかは、商社によって決定されており、詳細は不明である。

F社で樹脂サッシの再資源化が行われていたのは、F社が廃プラスチック類の再資源化を得意としていたため、処理についてのノウハウがあり、また解体材や工場端材が集まりやすいためであると考えられる。ただし、F社であっても硬質PVCと軟質PVCを分離するのはコストに見合わないことから、硬軟PVCは分離せずにまとめて輸出されていた。

樹脂サッシの最終処分状況

8社中7社で、樹脂サッシは再資源化されず、埋め立て処分が行われていた。また、一部の会社では、樹脂サッシの処理委託費を高く設定することで、受け入れ量の抑制を図っていた。これは、解体サッシは不純物が多く、再生原料としての取り扱いが難しいためであると考えられる。

なお、これらの中間処理業者に搬入された樹脂サッシは、中間処理施設で埋め立て処分に適した大きさに破碎され、安定型最終処分場に搬送されたのち、埋め立て処分がされる。ただし、樹脂サッシはほかの廃プラスチック類と比較して硬いため、破碎設備にかけず、最終処分場において重機で破碎しながら埋め立てるといった業者もあった。



図 2-9 中間処理業者 K 社における樹脂サッシの処理状況

なお、解体業を中心として行っている K 社において、解体現場から排出された樹脂サッシの障子部分がストックされていた（左）。これらは破砕機（中央）にかけてのち、フレック状の破砕品（右）となって、安定型最終処分場に埋め立てられるとのことであった。

K 社でストックされていたのは障子部分のみであったが、この理由として、E 社で聞かれたように、窓枠部分は構造材と同時に解体されることが多いためであることが考えられる。なお、窓枠部分に関しては、解体後にピックアップされ廃プラスチック類となる場合と、分別されず混合廃棄物として処理される場合とが考えられる。

以上のように、現在は国内において樹脂サッシの安定した再資源化システムは構築されていないといえる。現在リサイクルが行われていない理由について、中間処理業者としての立場から、大きく三つの意見があることが分かった。

・再資源化処理にかかるコスト

中間処理業者においては、再資源化処理におけるコストとそれによって得られる利益が見合わなければ、リサイクルを行うことは難しい。ここでいうコストには、中間処理場における分別処理にかかるコストと、輸送にかかるコストが挙げられる。

前者については、効率的な分別を行おうとすると設備投資等の初期費用がかかることが課題として挙げられた。特に樹脂サッシは、現状の中間処理業者それぞれの持つ処理システムに適していないために、各社におけるリサイクルが難しい。

一方、一般的な中間処理業者で再資源化が難しい建材であっても、その処理に特化した施設があれば、集中して回収することで再資源化の採算が合うようになるため、フットワークを軽くすることが重要である、という意見も得られた。

また、後者については、リサイクルを行うよりも、現地で埋め立て処理を行った方が、コストが安くなる場合がある、という意見が得られた。これは、北海道は本州に比べて都市間の距離が大きく、また最終処分場が多く存在するためであると考えられる。

・リサイクル材の用途の確保

多くの中間処理業者において、リサイクル材の売却先、ひいてはリサイクル材の用途がないことが課題として挙げられた。中間処理業者として樹脂サッシの分別等の再資源化処理を行っても、リサイクル材の売却先がないと、事業として成立しないためである。

樹脂サッシの分別を行っている F 社においても、東南アジアに位置するベトナムへの輸出を行っていたように、国内や東アジアなど近隣諸国に用途先がないことが、樹脂サッシの再資源化における課題となっていると考えられる。

また、ヒアリングで指摘があったが、2016 年現在はシェールオイルの台頭等によって石油価格が安くなっており、それに伴いバージン材料の価格も抑えられている。そのため、リサイクルを行っても再資源化原料が高く売れないので、以前よりもプラスチックのリサイクルへの意欲は薄れているという話であった（2012 年の原油価格は約 110 ドル／バレルであったが、2016 年 11 月現在は約 45 ドル／バレル）。

今後、原油価格の変動によっては、リサイクル材の価値が向上し、リサイクルが行われるようになる可能性も考えられる。

・リサイクルを促進する制度

現場における分別方針や罰則など、行政が詳細な規則を設けたほうが、分別が進みそれに伴ってリサイクルが促進されるのではないかと、という意見が得られた。

また、補助金によってリサイクルが促進されることは好ましくなく、市場原理によって再資源化システムが構築されることが理想的である、という意見もあった。これは過去に、補助金を受けてリサイクルを進めてきた会社が倒産し、業界内に補助金ありきの価格設定だけが残るといったケースがあったためである。

2-2-4.その他建材の処理の実態

本項では、樹脂サッシと使用箇所が同様であるアルミサッシと、処理方法が近いと考えられる廃プラスチック類および塩ビ管等の PVC 建材について、ヒアリング調査から得られた処理方法の実態を述べる。

アルミサッシ

樹脂サッシが普及するまでは、北海道でもアルミサッシが用いられていた。ただし、本州と異なり、寒冷地である北海道では、開口部としての断熱性能を向上させるため、内窓と外窓で構成される二重窓として用いられる場合が多い。また、札幌など市街地においては、防火の観点からアルミサッシが選択されることも多かったようだ。

このように、アルミサッシの普及した 1965 年ごろから、北海道において樹脂サッシが一般的となった 1990 年ごろまでは、北海道においてもアルミサッシが使用されることが多かった。そのため現在、建設廃棄物として排出されているサッシの多くはアルミ製である。

建設廃棄物としてのアルミサッシの取り扱いは本州と同様であり、解体業者によってアルミリサイクル業者に有価で売却される場合が多い。なお、アルミサッシの取り扱いの詳細は、3 章 1 節で述べる。

廃プラスチック類

ヒアリングを行ったすべての業者で廃プラスチック類の取り扱いがあった。特に北海道においては農業が盛んであるため、建設系廃棄物だけでなく、農業系廃棄物としての廃プラスチック類を取り扱っている会社も多くみられた。

F 社は家電や建材など、取扱品目が多岐にわたっているが、特に廃プラスチックと金属の分別に特化しており、受け入れ量の 93%（重量比）をマテリアルリサイクルしている。プラスチックは ABS・PS・重比重プラスチックに選別され、純度の高い 30ton/月は国内に卸され、純度が低い、あるいは国内での売却価格ではコストが見合わない 150ton/月は海外に輸出されていた。

一方、E 社と G 社では、廃プラスチック類から塩ビ管などの焼却に適さない硬質プラスチック類を取り除き、主に RPF の原料として用いることで、サーマルリサイクルを行っていた。特に G 社では、RPF の主な原材料として農業用の廃プラスチックを使用しており、道内で排出される 2 万 ton/年の農業用廃プラスチックのうち、現在は 4 千 ton を処理していた。その一方で、塩ビ製の農業用ビニルは選別して、別の中間処理業者に処理委託していた。

これは、塩ビ製の農業用ビニルでも RPF は製造できるものの、使用者側がダイオキシンの発生を防止するために塩素濃度の規定（製紙会社では 0.3%以下）を設けており、この規

定をクリアできないために結局は売却ができなくなるためである。

なお、H 社および J 社からは廃プラスチックの輸出が行われていたが、これらも農業系廃棄物が多く、建設系廃棄物は埋め立て処分を行う場合が多いとのことであった。

また、K 社および L 社では、農業系産業廃棄物の取り扱いは少なく、建設系産業廃棄物としての廃プラスチック類は、ほとんどが埋め立て処分されているとのことであった。

以上のように、農業系廃プラスチック類と異なり、建設系の廃プラスチック類は、破碎後埋め立て処理がされているケースが多くみられた。これは、単一素材である農業用廃プラスチックと比較して、建材用廃プラスチックは複合材料が多いこと、接着剤など異物の付着が多いことから、再利用が難しいことが理由であると考えられる。

PVC 建材

建設系廃プラスチック類の中でも、樹脂サッシを含む PVC 建材はサーマルリサイクルに適さないため、マテリアルリサイクルもしくは埋め立て処分をされる場合が多い。

例えば F 社には比較的高度な選別設備があるため、樹脂サッシを含め、硬質の PVC 建材は基本的に分別され、マテリアルリサイクルが行われていた。一方、塩ビ建材はサーマルリサイクルが難しいため、異物が付着していると最終処分となる。特にタイルカーペット等の軟質 PVC 建材はその傾向が強く、接着剤やほこりなどの付着があり、再資源化が難しいとのことであった。

また、G 社では塩ビ管を回収し、道内の専門業者に売却を行っていた。

H 社および I 社では、塩ビ管は商社を通じて輸出されていた。特に H 社では、以前は中国に輸出していたが、原油価格の下落やバージン材の供給増加から、リサイクル材の需要が小さくなったため、現在はベトナムへの輸出を行っていた。国内への売却は、接着剤など異物が混入していると受け入れられないなど品質基準が厳しいのに比べ、ベトナムへの輸出では電線被覆材など軟質塩ビが混じっていても買い取ってくれるなど、要求品質水準が比較的低いため、現在は輸出を行っているととのことであった。

一方、H 社・I 社ともに、塩ビ管の取扱量はさほど多くないため、中間処理場内における塩ビ管のストックに苦慮していた。これは、輸送および輸出を行うためには、ある程度の量が必要であることが理由である。H 社では、輸出の最低単位となるコンテナ一個分 (25ton) を貯めるために 3-4 年がかかったこともあり、人件費をかけて異物除去を行ってもコストが見合うのであれば、国内でリサイクルを行うのが理想である、とのことであった。I 社では、塩ビ管の収集は行っているが、量がなかなか集まらず、2-3 年しないと塩ビ管だけで出荷できる量にならないため、フレコン詰めをしたのち、運搬業者に他のプラスチックと積み合わせをして運んでもらっていた。

ここまで得られた廃棄物処理の実態を、表 2-4 に整理した。

表 2-4 中間処理業者における廃棄物処理実態の整理

社名	A社	B社	C社	D社
所在地	江別市	北広島市	苫小牧市	白老町
商圈	札幌圏	札幌を含む100km圏内	道内全域 (特に農プラ)	苫小牧など周辺地域が中心だが、十勝や帯広まで実績あり
最終処分場	安定型、管理型	なし	なし	安定型
主な中間処理内容	コンクリートがらの破砕 木くずの破砕 RPFの製造	家電・建材など、特に廃プラスチックの処理に特化	木くずの処理 RPFの製造	砕石・再生砕石の生産 木くず・廃プラの処理 船の解体廃棄処分
その他の業務	解体業	なし	下水や工場の維持保全	解体業
樹脂サッシ	以前は分別を行っていたが、現在は行っていない	解体材、工場端材ともに取り扱いあり	受け入れていない	埋め立て処分
塩ビ管の取り扱い	売却したこともあるが埋め立てが多い	分別して状態によって国内外に売却	道内の専門業者へ売却	ベトナムへ輸出
主な廃プラスチックの種類	建設系産業廃棄物 一般廃棄物	産業廃棄物全般 (建材、機械類が多い)	農業系産業廃棄物 (道内の2割を処理)	建設系産業廃棄物 農業系産業廃棄物
再資源化方法	RPF製造	分別後、国内外に出荷	RPF製造	農業系は分別後、海外へ出荷

社名	E社	F社	G社	H社
所在地	留萌市	富良野市	帯広市	釧路市
商圈	留萌市周辺(住民3万人程度) うち2-3割の産業廃棄物を受け入れ	富良野市周辺(住民5万人程度) 特に農プラをほとんど処理	十勝総合振興局管内	釧路総合振興局管内
最終処分場	安定型	安定型	なし	安定型、管理型
主な中間処理内容	木くず、がれき、石膏ボードなど、建設廃材の売り上げが3分の2を占める	木くず、農プラ	がれき	木くず、コンクリートがらなど
その他の業務	なし	解体業	解体業	解体業
樹脂サッシ	埋め立て処分	埋め立て処分	埋め立て処分	埋立
塩ビ管の取り扱い	輸出	埋め立て処分	埋め立て処分	焼却減量して埋立
主な廃プラスチックの種類	建設系産業廃棄物	農業系産業廃棄物 一般廃棄物	建設系産業廃棄物	建設系産業廃棄物
再資源化方法	分別後、海外へ出荷	農業系は分別後、海外へ出荷	ほとんどを埋立処分	ほとんどを埋立処分

2-2-5.小結

今回、ヒアリング調査を行った中間処理業者 8 社のうち、樹脂サッシの再資源化を行っているのは1社のみであり、残る7社では基本的に埋め立てによる処分を行っていた。

再資源化が行われていない理由として、以下が考えられる。

①現在の樹脂サッシの排出量が少なく対応するメリットが小さいこと

解体業も営んでいる中間処理業者へのヒアリング調査から、現在の解体工事では、アルミサッシが使用されている建築物が中心となっていることが分かった。北海道で樹脂サッシが広く普及したのが1990年ごろのことであるから、現在解体されている建物はそれ以前に竣工したものであり、最低でも築30年以上は経過している建築物であるとみられる。

また、樹脂サッシを使用している住宅は、寒住法による割り増し融資の対象となっているため、比較的性能の高い住宅である場合が多いとみられる。そのため、アルミサッシの二重窓を使用しているその他の住宅よりも、寿命が長くなっていることも考えられる。

加えて、昨今の空き家問題にみられるように、古い建築物が取り壊されず、放置されたままになっているということも考えられる。

これらの理由から、北海道における樹脂サッシの排出量はいまだ少なく、それぞれの中間処理業者で対応に踏み切るには至っていない状況である。

②樹脂サッシは複合建材であり分別が難しいこと

樹脂サッシは硬質PVCを中心に、複数の金属やプラスチックが複合した建材である。また、気密材となる軟質PVCと硬質PVCが接着されている場合がある、表面層となるアクリル層と硬質PVCが一体となっているなど、分別を行って単一素材を取り出すことが、他の建材よりも比較的難しい。一方、正確な選別を期して手選別を行うと人件費がかかる。このように、選別コストと利益の兼ね合いから、破碎処理のみ行って最終処分が行われる場合が多いと考えられる。

③樹脂サッシの分別を行っても売却先がないこと

②にも関連するが、2014年以降の石油価格の急落や、海外でのプラスチック生産体制の確立などが原因となって、東アジアにおけるプラスチック系リサイクル原料の需要が低下していることも、樹脂サッシの分別が行われない原因となっているとみられる。

これまで、韓国や中国、台湾などの東アジア諸国にむけ、日本から樹脂サッシを含む、多くのPVCくずが輸出されていた。しかし、2013年からこれらの国への輸出量は減少傾向となっており、先述した理由が原因と考えられる。一方、東南アジアへのPVCくずの輸出は緩やかではあるが増加傾向にあり、特にベトナムへの輸出は急増している。全体としては、2013年から2016年にかけて、PVCくず輸出量は年18000ton程度減少している。

このように、これまでの商流ではPVCくずの輸出が難しくなっているため、樹脂サッシも同様に輸出が減少しているのではないかと予想される。

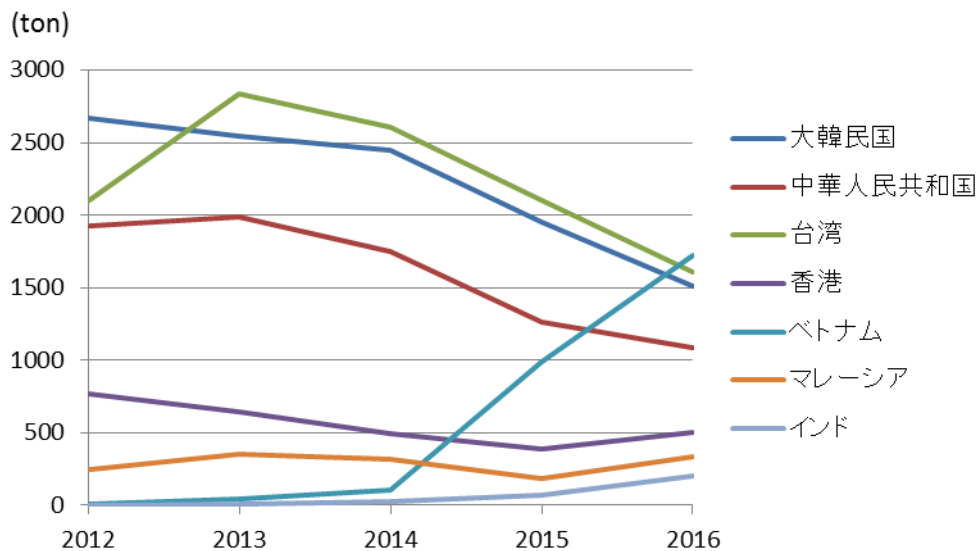


図 2-11 PVC くずの月あたり国別輸出量の推移¹¹

樹脂サッシの輸出先として、現在はベトナムを中心とした東南アジアが伸びを見せているため、しばらくは樹脂サッシのリサイクル先として東南アジアが考慮することができる。しかし、いずれは東アジア諸国と同様に、建設需要の低下や工業的な発展によって、PVCくずの需要が減少していくことが考えられる。

その一方、樹脂サッシは将来的に排出量の増加が予想されるため、リサイクル先として海外の市場を中心として考えてよいのかには疑問が残る。PVCくずの海外への供給が過剰となり、国内で処理を行う必要が生じた場合、海外の市場に依存していると対応できなくなり、大量の廃棄物が生じるなどの問題が起こる可能性があるためである。

以上のように、安定した再資源化システムを構築するためには、状況の把握が行いやすく、コントロールが可能な国内の市場を中心とするのが理想である。一方、現在は市場原理から海外への輸出が行われていることも事実であり、国内の樹脂サッシの処理の現状からみると、海外へリサイクル先を求めるのが最も負担の少ない方策であるともいえる。

そのため、継続して調査を行うことで海外の状況を把握しながら、国内における樹脂サッシの再資源化を実現するために対策を進めることが重要であると考えられる。

¹¹ 財務省：貿易統計〈<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>〉より作成（参照：2016.12.16）
（2016年において月平均100ton以上が輸出されている国を対象としている）

2-3.まとめ

2章のまとめ

2章では、樹脂サッシメーカーおよび中間処理業者へのヒアリング調査から、樹脂サッシのライフサイクルを通じた実態について把握することができた。

樹脂サッシメーカーへの実態調査からは、樹脂サッシが日本の寒冷地に普及するに至った経緯や、樹脂サッシの製造工程等について把握することができた。

北海道の中間処理業者への実態調査からは、本州と北海道の廃棄物処理に関する相違点や、産業廃棄物処理の実態等について把握することができた。

樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題の整理

製造段階および中間処理段階における、樹脂サッシの再資源化システムの実現に向けた課題が整理された。これを表 2-5 に示す。

表 2-5 樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題

製造段階	加工端材の利用に伴う課題
	①輸送コストがかかること ②着色層の分離が困難であること
	外部リサイクル材の利用に伴う課題
	③需給バランスによる値段の変動があること ④組成が不明であること
中間処理段階	廃樹脂サッシの再資源化に伴う課題
	⑤排出量が少なく対応するメリットが小さいこと ⑥複合建材であり分別が難しいこと ⑦分別を行っても売却先がないこと

これらの課題の中には、時間の経過とともに解決される可能性がある⑤や、各社の技術発展によって解決される可能性のある②や⑥などもあるが、基本的には各社がそれぞれ対応することには多くのコストがかかる課題や、解決の難しい課題も存在する。

一方、例えば中間処理業者が樹脂サッシメーカーに対し、リサイクル材の安定供給を行うことで、⑦や③が同時に解決される可能性もある。

そのため、これらの課題を解決するには、各社もしくは各業界がそれぞれ対策を行うのではなく、業界団体等の働きによって各業界が互恵関係を築き、リサイクルが安定して行われる環境を構築することが望ましいと考えられる。

また、樹脂サッシ自体は日本に独特の建材ではなく、また樹脂サッシと共通点の多い建材も存在していることから、これらの課題は他建材のリサイクルや他国の樹脂サッシリサイクルにおいても存在している可能性がある。

そのため、3章では国内の他建材や海外における再資源化システムについてまとめながら、これらの課題はそれらの再資源化システムでも生じているのか、またどのような対応を取っているのかについて考察する。

3.類似した建材における再資源化システムの実態と成立要件

2章では、樹脂サッシのライフサイクルの実態を把握するとともに、再資源化システムの構築に向けた課題の整理を行った。

これを受けて3章では、日本における樹脂サッシと共通点の多いとみられる建材について、ヒアリング調査を中心に行いその実態を把握することで、その建材の再資源化システムがどのようにして成り立っているかを把握する。また、樹脂サッシリサイクルにおける課題と同様の課題が各産業においても存在するのを確認し、存在していた場合はどのように解決が図られているのかを明らかにする。

取り上げる再資源化システムとして、日本におけるアルミサッシと、EUおよび中国における樹脂サッシに関連した再資源化システムを選定した。

まず、日本におけるアルミサッシは、寒冷地においてのみ普及してきた樹脂サッシと異なり、本州以南では古くから一般的に普及してきた建材であるため、他のアルミニウム製品と同様に再資源化が行われている。材料が異なるものの、樹脂サッシと用途が同じであり、市場や処理方法などに共通点があるとみられるため、アルミサッシの再資源化の実態を把握することは有効であると思われる。

また、EUと中国では日本より樹脂サッシが一般的であることから普及率や排出量も多く、リサイクルも行われている。細かな仕様は異なる点もあるが、製造工程や構造などはほぼ同じであるため、再資源化において日本の樹脂サッシの抱える課題と同様の課題が生じている可能性がある。

以上から、1節で日本国内におけるアルミサッシのリサイクルを、2節でEUにおける樹脂窓のリサイクルを、3節で中国におけるPVC建材のリサイクルを取り上げ、それぞれの実態を整理する。

その上で、4節で樹脂サッシリサイクルにおける課題とそれに対する各再資源化システムでの方策について整理するとともに、各再資源化システムの比較を行う。

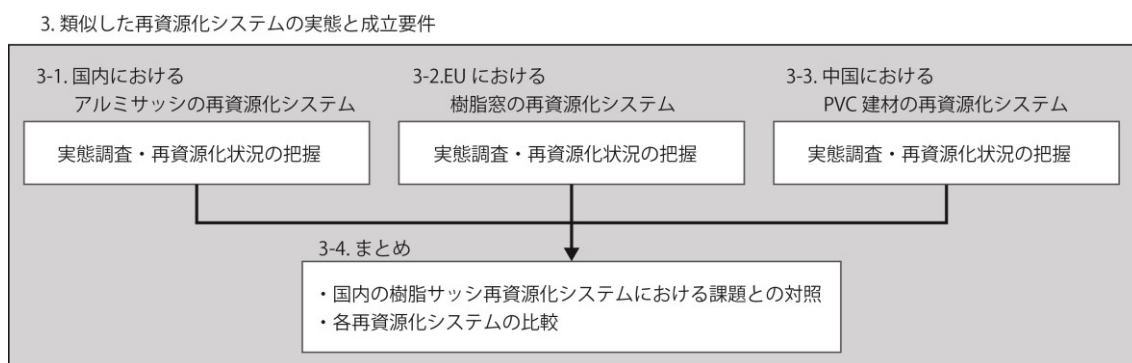


図 3-1 3章の構成

3-1.国内におけるアルミサッシの再資源化システム

3-1-1.調査の概要

アルミサッシは北海道以外の地域で広く普及しており、古くから利用されていることから、樹脂サッシと異なりアルミサッシの再資源化システムは確立されている。本節では、解体から再生原料化まで、アルミサッシの再資源化に関わる一連の流れを追うことによって、その実態を明らかにすることを目的とする。

本節では、まず業界団体へのヒアリング調査から、アルミニウム業界におけるアルミサッシリサイクルの概要を整理した後、解体段階から中間処理段階、リサイクル段階を通してアルミサッシの処理を追うことで、ライフサイクルを通してアルミサッシ処理の実態を把握する。

そのため、業界団体に加えて、解体業者・産業廃棄物処理業者・リサイクル業者にヒアリング調査を行った。

表 3-1 3-1 におけるヒアリング先一覧

業界	団体名	業種	実施日
解体工事	解体業者M社	解体業	2016/10/24
関東産業廃棄物処理	産業廃棄物処理業者N社	産業廃棄物処理業	2016/10/11
アルミリサイクル	日本アルミニウム協会	アルミニウム業界団体	2016/3/28
	アルミリサイクル業者O社	アルミニウム再生業	2016/10/4

3-1-2.アルミニウム業界の概況

アルミサッシリサイクルの全体像を把握するため、業界団体である日本アルミニウム協会にヒアリング調査を行った。本項ではその概要と文献調査から、アルミサッシリサイクルの概況について述べる。

日本アルミニウム協会（ヒアリング調査より）

日本アルミニウム協会は、精錬事業者の業界団体であったアルミニウム連盟と、圧延・押出を主に行う加工業者の業界団体であった軽金属協会が合併し、平成 11 年に設立された¹²。現在は、アルミニウム関係の情報発信や、行政・自治体との折衝、他業界への業界紹介等を行っている。

¹² 日本アルミニウム協会：Website 〈<http://www.aluminum.or.jp/index.html>〉 参照：2017.1.18

アルミニウム製錬の業界は、バージン材製造に関わる会社とリサイクル事業に関わる会社におおよそ分かれている。

バージン材については、以前はアルミニウム地金の精錬は国内でも行われていたが、現在は国内で精錬は行われておらず、海外で精錬を行い輸入が行われている。

アルミニウムのリサイクル事業は、自然発生的に生まれたため、起源を特定することは難しく、またリサイクルを行う企業も中小企業が多い。そのため、アルミニウム協会がこれら中小企業と大企業の結びつきの一つとして機能している。

アルミリサイクルのメリットは、バージン材を製造するよりも工程が少なく、また低い温度で溶融させられるため、エネルギーの節約ができることである。リサイクル材を製錬するエネルギーは、バージン材を製錬する際の3%程度となる。

リサイクル事業の一環として、アルミサッシのリサイクルも行われている。廃アルミサッシはAサッシとBサッシに分けられる。Aサッシは純サッシであり、Bサッシはサッシに付属する金属部品であるビスやクレセントが混ざったものとなる。Aサッシに対してBサッシは2/3ほどの値段となるため、廃サッシからビスやクレセント等がない部分を切断して、それをAサッシとして分別されることが一般的である。ただし、切断などに手間がかかるために、まとめてBサッシとして扱われる場合も多く、廃サッシの10%がAサッシ、90%がBサッシとなっているのが現状である。

表 3-2 AサッシとBサッシの比較

	Aサッシ	Bサッシ
状態	サッシ本体のみ	ビスやクレセント等が付着
主な用途	アルミサッシ	自動車エンジン用ダイカスト
割合	10%	90%
価格	-	Aサッシの2/3程度

Aサッシは100%サッシに再利用ができる。アルミサッシのリサイクルに関する調査では、原料に対する再生原料の割合となる再生資源利用率は29.4%と試算されており、比較的高いリサイクル率であるとされている¹³。

一方、Bサッシは自動車エンジン用のダイカスト（鋳物）に利用されている。ダイカストは機械部品として使用されるため、強度と物性さえ確保できればよく、不純物への許容度

¹³ (社) 日本アルミニウム協会：3Rシステム化可能性調査事業-アルミニウム転身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-，2007.3

がほかのアルミニウム製品と比べて高い。そのため、展伸材として使用されたアルミがダイカストにカスケードリサイクルされることが多い。

その一方で、A サッシのほうが B サッシよりも不純物が少なく、素材としての価値が高くなること、自動車産業で電気自動車が主流になると B サッシのリサイクル先が縮小してしまうことから、サッシからサッシへの水平リサイクルを目指した技術開発が行われている。具体的には X 線によるアルミの選別技術の開発に成功しており、固体選別への展望は開けている。

なお、アルミサッシは解体時に回収されることが多く、混合廃棄物に混入してもアルミサッシは売却できるため、選別されてリサイクルが行われる。そのため、最終処分されることはほとんどないと考えられる。

3-1-2.アルミサッシのライフサイクルの実態

本項では、アルミサッシのリサイクルに関わる各段階において、アルミサッシがどのように処理されているかを把握するため、解体業者、産業廃棄物処理業者、リサイクル業者に対して行った、ヒアリング調査の結果をまとめる。

アルミサッシはアルミニウム純度の高さから価値が高いため、工場端材はほとんど全量が自社工場内で再利用されているとみられる。そのため、アルミニウム業者や金属問屋によって取り扱われているアルミサッシは、そのほとんどが建築物の解体によって発生した市中スクラップであると考えられる。

まず、解体段階におけるアルミサッシを中心とした窓の取り扱いについて、解体工事および中間処理を主な業務として行っている解体業者 M 社にヒアリングを行った。以下では、ヒアリング調査の結果についてまとめる。

解体業者 M 社（ヒアリング調査より）

会社の概要

解体業者 M 社は、埼玉県に所在しており、解体工事を中心に中間処理業も行っている。従業員数は 80 名程度で、本社事務所以外に、2 か所の中間処理工場と、1 か所の安定型最終処分場を保有している。

解体業者 M 社が行う解体工事 4 件のうち 3 件は木造住宅の解体である。コンクリートガラ、木材、石膏ボード、瓦が中心に排出される。件数では木造住宅が多いものの、RC 造や鉄骨造など、住宅から大規模施設まで実績がある。

解体処理においては、発生量の大きいものの処理がうまくいくかが重要であるとのことであった。木造住宅でも重量比では 6 割がコンクリートとなるため、それらをどのように処理するかによって処理費に大きな違いが生じる。

解体工事と窓の取り扱いの詳細

以下に、解体業者 M 社における解体工事の大まかな手順を示す。

- ①安全確保およびほこりの飛散防止のため、仮囲いを設置する。この仮囲いは足場も兼ねている。
- ②畳や建具、設備の撤去を行う。ただし、システムキッチン等、躯体と一体化している設備に関しては壁を壊さないと撤去が不可能であるため、⑥で解体を行う。
- ③内装の撤去を行う。
- ④障子の撤去を行う。障子はほこりの飛散防止のため、屋内作業である内装の撤去まで終えてから取り外す
- ⑤屋根材の撤去を行う。
- ⑥構造の解体を行う。外装や窓枠もこの段階で同時に壊して、後に分離する。

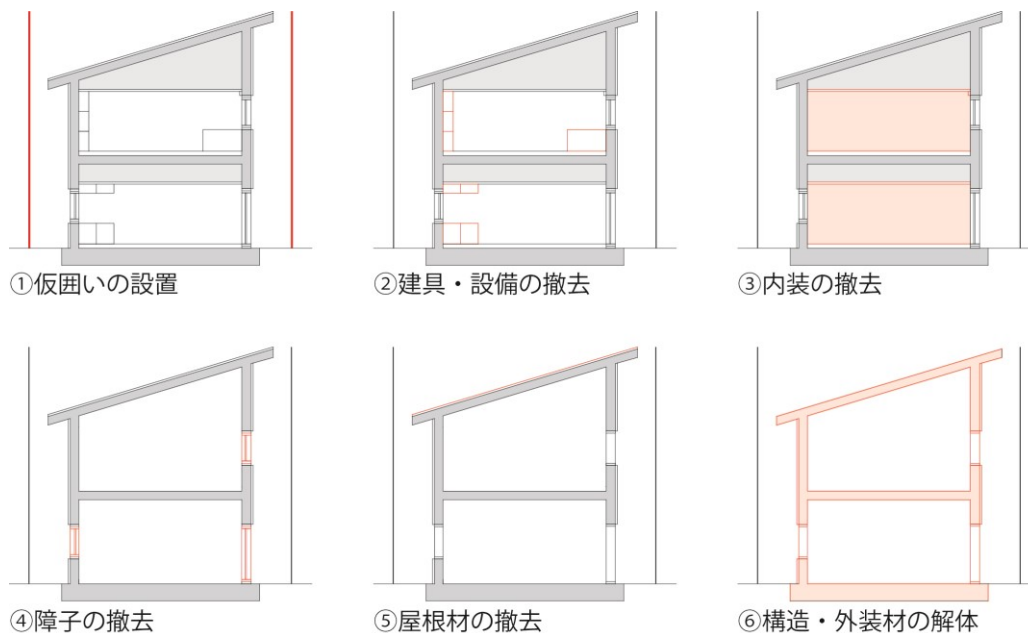


図 3-2 解体業者 M 社における解体の手順

窓の解体の手順

まず、一般的に行われている窓の解体手順として、M 社では以下のように把握していた。

最初に障子だけ外してガラスを砕く。窓ガラスによる死亡事故も報告されているため、割る際はガムテープを張るように指導がある。予算と敷地に余裕があれば、ガラスのみを回収するコンテナを設置して、その中で処理を行う。

その後、窓枠を取り外す。木造住宅であれば取り外しやすいが、RC 造など躯体が頑丈で取り外しにくい場合は、構造解体の際に同時に撤去する。

次に、解体業者 A 社で行われている窓の解体処理を説明する。

障子にガラスがはまったまま運搬をして、自社のストックヤードで重機破砕を行っている。ガラスを破砕したのちにサッシは回収してリサイクル、ガラスはそのまま最終処分場に搬入する。このように処理をすることで、現場での手作業による危険を減らしている。ただし、マニフェスト上では単品で運ぶこととなっており、合積みは推奨されていないように、法律との齟齬が起きている。

窓枠は基本的に外装及び構造と同時に重機で壊し、後でピックアップしている。

10 年ほど前にはアルミの値段が高かったため、アルミ窓の手解体をして、ビスなどを除いたうえで A サッシとして売却していた。現在は人件費の高騰や、職人の高齢化と作業の機械化のためにほとんど行わなくなったが、機械が入らない狭所での作業の場合は手解体を行うこともある。

以上のように、解体業者 M 社へのヒアリングから、障子はガラスを除くことによる安全確保と有価で売却できることを理由として、事前に取り外されるために、そのままアルミリサイクル業者に売却されることが多いことが分かった。一方、窓枠は躯体と同時に解体され、その後取り除かれることもあり、混合廃棄物として産業廃棄物処理業者へ処理委託されていることも考えられる。

そのため、中間処理段階におけるアルミサッシを中心とした窓の取り扱いについて、産業廃棄物の中間処理を主な業務として行っている産業廃棄物処理業者 B 社にヒアリングを行った。以下では、ヒアリング調査の結果についてまとめる。

産業廃棄物処理業者 N 社（ヒアリング調査より）

会社の概要

産業廃棄物処理業者 N 社は産業廃棄物収集運搬と処理を行っている産業廃棄物処理業者である。現在も本社の位置する埼玉県にて創業し、現在は東京・千葉・埼玉の中間処理工場を中心として業務を行っている。

従業員は全体で正社員が 143 名、専属のドライバーなど契約社員を含めると全体で 300 名程度となる。

今回の調査で訪問したのは東京中間処理工場である。東京都心から近く、24 時間 365 日の稼働が可能なプラントとして、都内を中心に首都圏から産業廃棄物を受け入れている。

現在は 1 日に 130-150 台くらいのトラックが工場に廃棄物を搬入している。およそ 600 m³が 1 日に運び込まれる。

産業廃棄物の処理

東京工場では産業廃棄物の受け入れを行っているが、液体やアスベスト含有建材、医療系廃棄物など、特別に許可が必要である有害な産業廃棄物は処理を行っていない。ただし、アスベスト含有建材については積み替え保管を行っている。

分別をうまくしていない会社には、窓口の対応だけでなく、指導を行うことがある。また、過積載など法律違反をしているドライバーなどにも指導を行っている。

産業廃棄物の引き取り時に受け取る処理委託費が、会社としての収入となる。工場で分別された金属や紙は再生業者に売却している。一方、再利用の困難な廃棄物は処理委託費を払い最終処分を行っている。

また、2015 年の実績によると、マテリアルリサイクルとしての再生利用率は 80.0%、サーマルリサイクルとしての熱回収率は 11.5%で、合わせて 91.4%（四捨五入の関係で合計値と異なる）が再資源化されている。一方、3.9%が安定型、4.6%が管理型として埋め立て処理されており、最終処分率は 8.6%となる。

中間処理の手順

①配車

産業廃棄物処理業者 B 社のドライバーが回収を行う場合、排出者は配車センターに連絡して収集の手配をする。

②積み込み

車両が現場に赴き、廃棄物の積み込みをする

③搬入

東京工場では三つのトラックスケールで計量を行っている。また、目視で検品するだけでなく、カメラで車両のナンバーや廃棄物の様子などをチェックする。

④分別

重機による選別	→重機を使用して大まかな種類に分ける。
残渣分別	→土砂やコンクリートなどを粒径別に分ける。
磁力選別	→鉄を含む材料を磁石で選別する
手選別	→産業廃棄物をラインに流し、RPFの原料となる可燃物や金属など有価物を手作業でピックアップする。
破碎・圧縮	→それぞれの材料ごとに適切な大きさに破碎し、圧縮する

⑤出荷

顧客に合わせて粒度などを調節した再生原料を売却、再生処理が困難なものを最終処分として出荷する。出荷先は北海道から九州まで全国に存在する。

窓の受け入れについて

アルミサッシが搬入されることもあるが、量は少ない。これは、現場で分別が可能であり、状態によっては有価で引き取られるアルミサッシは、現場で回収され、再生処理を行っている業者に直接搬入されることが多いからであると考えられる。実際に、混合廃棄物の中にアルミサッシが一窓だけ紛れていることもある。

基本的に窓は解体・新築の工事から排出されるが、まれにメーカーから不良品が入ってくる場合もある。また、板ガラスだけの引き取りを行うこともあるが、ガラスが大量に入った再生砕石は歓迎されないため、委託処理費は大きくとっている。アルミサッシはリサイクル業者に売却している。

建設廃材として排出されたアルミサッシは、そのほとんどが回収されて、アルミリサイクル業者によって再資源化処理が行われる。

アルミリサイクルにおける実態と課題を把握するため、金属全般の小さやとして、アルミリサイクル事業も行っている、アルミリサイクル業者 C 社にヒアリングを行った。以下ではヒアリングから把握された実態についてまとめる。

アルミリサイクル業者 O 社（ヒアリング調査より）

会社の概要

アルミリサイクル業者 O 社は、1909 年に創業し、もとは長野県を中心として鋼材・金属等の販売回収業を行っていた。その後、流通業を中心としていたが、金属を回収し卸す過程で、軽くてかさばるアルミを効率よく卸すことを目的に、1981 年にはアルミニウム工場を新築し、溶解を行い合金として再資源化を始めた。現在は海外でも回収・流通を中心として業務を行っており、海外で集めた金属くずは中国や日本に輸出している。

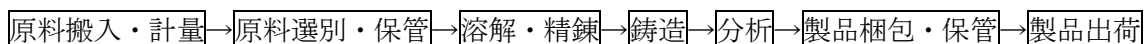
アルミリサイクル工場の従業員数は 32 名である。スクラップ量は約 2000ton/月を回収し、約 1800ton/月（歩留 90%）の二次地金を生産している。成分の違いで分けられる製品規格数は 223 あり、取り扱っているアルミスクラップも写真のように多岐にわたる。



図 3-3 アルミスクラップの例

アルミリサイクルの工程

簡単な工程を以下に示す。



原料選別・保管と溶解・精錬の段階でも適宜成分分析を行っている。分析は電極分光器を用い、26 元素の割合を調べる。

県内 50%、隣接県を含めて 90%。運搬コストを考慮して、長野県を中心に埼玉県、静岡県などで回収を行っている。スクラップ回収業者が持ち込むこともあるが、製品輸送の帰りに、自社で回収を行うことが多い。

アルミサッシのリサイクルについて

アルミニウムをリサイクルするメリットは、アルミがほかの金属に比べ融点が低いためエネルギーコストを大幅に削減できることができることである。アルミ 1ton を生産する場合、原材料から作ると 132,000MJ、スクラップから作ると 4,400MJ のエネルギーが必要であるとされている。

一方、デメリットは、アルミ合金は他の合金に比べ規格種類が非常に多く、スクラップ内の含有元素が不明確であるため、高純度品の生産ができないことや、材料選別の困難さである。

O 社における廃アルミサッシの受け入れ量を以下に示す。

A サッシ（63S、不純物がほとんどないもの）	約 10,000kg/月
B サッシ（鉄付 63SP、不純物がついているもの）	約 17,000kg/月
廃アルミサッシの受入量	約 27,000kg/月

B サッシは、溶融すると付着しているビスなどの鉄が混ざるため、鉄含有量に制限のある合金には使えない。一方、A サッシはアルミニウムの純度が高いため、様々な合金に使える。異物の有無や汚れを見ただ目で判断して、価格が決定される。B サッシは A サッシに比べ、2/3 程度の価格になる。

混入する異物は、鉄や樹脂が多い。溶解の際に異臭や煙が発生するので、樹脂が混入しているものの中でも、樹脂の割合が非常に低いもの（パッキン、戸車程度）しか受け入れていない。

廃アルミサッシから作られる二次地金の用途は、自動車用ダイカスト 76%、軽圧（押し出し）11%、産業機械 12%、建材 1%である。合金地金の用途が自動車業界に依存している状態なので、自動車業界での出来事に影響されやすいといえる。

今後の課題

平成 2 年に策定された「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」によって、PVC 樹脂が多量についているものの受入が難しくなった。異臭や煙が多量に発生すると工場の操業自体ができなくなってしまうので、営業段階でにおいや煙が出そうなものは断っている。

そのため、アルミ樹脂複合サッシなど、アルミと PVC 樹脂の複合材料については、現時点ではこの工場でのリサイクルは難しい。樹脂を取り除くとアルミの歩留まりが低いため、コストパフォーマンスが低くなってしまう。特に古いアルミ樹脂複合サッシは、リサイクルのことを考えて作られていないため、分解が難しく処理が行いにくい。

今後はこうした複合材料の排出量が増えていくと考えられるため、こうした複合建材への対応が今後の課題であるといえる。

3-1-3.小結

以上のヒアリング調査から、アルミサッシのライフサイクルについて、図 3-4 のようなマテリアルフローが構築される。

メーカーによって製造され、建設業者によって組み立てられたアルミサッシは、建築としてストックされる。その後、建築物の解体や窓の取り換えに伴い排出されるが、ほとんどの場合は現場で回収され、リサイクル業者に有価で売却される。リサイクル業者によって回収されたアルミサッシはその多くが B サッシであるため、製造された二次地金（再生原料）はアルミサッシ製造に用いることが難しく、主に自動車エンジンのダイカスト用の素材として使用されている。

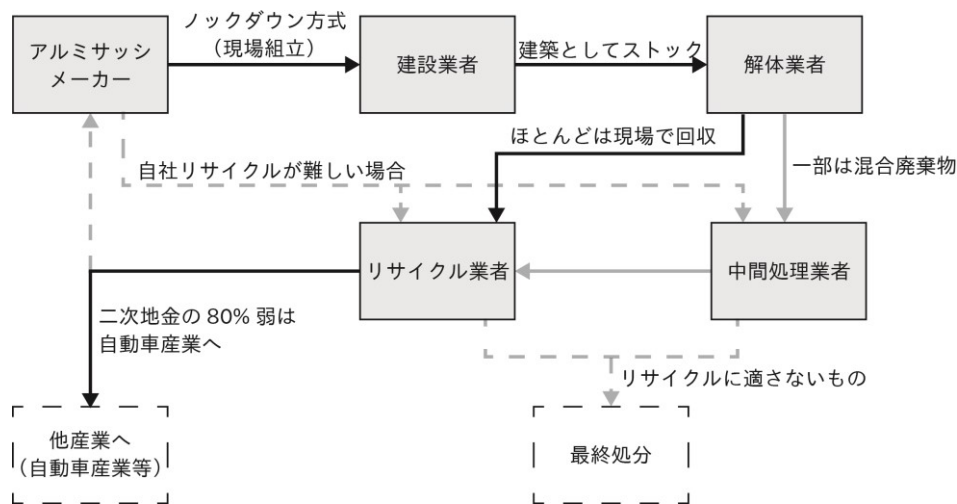


図 3-4 アルミサッシのマテリアルフロー

アルミサッシはボーキサイトからアルミニウムへの精製に非常に大きいエネルギーを要するため、リサイクル材の使用によって大きくコストが削減できることから、在野の金属商社や中間処理業者によって再資源化システムが確立されてきた。リサイクル材の価値が高いため、経済原理によってリサイクル市場が形成されている例であるといえる。

一方、再資源化システムを形成している各事業者には、それぞれアルミサッシリサイクルに関わる課題があることも確認された。

表 3-3 アルミサッシリサイクルの課題

解体業者	・アルミサッシ処理時のガラスに対する安全確保
アルミリサイクル業者	・アルミサッシ由来二次地金の自動車産業への依存 ・アルミ樹脂複合サッシへの対応の難しさ

特にアルミリサイクル業者においては、これから排出量が大きくなると予想されるアルミ樹脂複合サッシへの対応が難しいことが課題となっている。

アルミ樹脂複合サッシには PVC 樹脂が使用されており、他のプラスチックと異なり塩素を含有していることから、償却によってダイオキシンが発生しやすく、ダイオキシン規制法に抵触してしまう。高温で焼却すればダイオキシンの発生は抑えられるものの、アルミニウム溶融はダイオキシンが発生する温度であるおよそ 700℃程度で行われている。

一方、アルミリサイクル業者はこれまで少々の異物はそのまま溶融炉に投入し、アルミニウム廃材の投入割合などによって調整を行ってきたため、アルミリサイクル工場内において選別や異物の除去作業はあまり行われていない。そのため、アルミ樹脂複合サッシがそのまま搬入されてきても、現状の体制ではアルミリサイクル業者が分別処理を行うことは難しいと思われる。

そのため、今後アルミ樹脂複合サッシをリサイクルしようとする、解体・中間処理・アルミリサイクルのいずれかの段階において、アルミと PVC 樹脂の分離を行うことが必要になる。現在発売されているアルミ樹脂複合サッシは、アルミ部分と樹脂部分が嵌合されており分解が比較的容易である一方、過去に発売されたアルミ樹脂複合サッシはアルミ部分と樹脂部分がビス止めされている場合があり、分解に手間がかかることから、機械による破碎・分別処理など、効率的な分別方法を検討する必要がある。

3-2.EU における樹脂窓の再資源化システム

3-2-1.調査の概要

2 章においては日本国内における樹脂サッシの再資源化に関する実態と課題を明らかにした。それにより、2016 年現在、特に樹脂サッシ解体材は再資源化がほとんど行われていないことが分かった。

その一方で、欧州では樹脂サッシから樹脂サッシへの再資源化が行われているなど、日本と比較して先進的な再資源化システムが構築されているとみられる。このように先進的な再資源化システムの構築や発展の変遷、また再資源化システムの成立に関わる要件を明らかにするため、欧州の樹脂窓のリサイクルに関わる団体や企業に対して、ヒアリング調査を行った。調査の概要を以下に示す。

表 3-4 EU 調査の概要

調査日程	2016/9/14~9/22
調査対象	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物の収集システム ・ 板ガラスの再資源化システム ・ 樹脂サッシの再資源化システム

ヒアリング調査及び工場視察は、ごみ収集・板ガラスリサイクル・樹脂サッシリサイクルに関わる以下の 6 団体及び 5 業者に対して行った。

表 3-5 3-2 における調査先の一覧

業界	団体名・社名	属性	対象国	所在地	実施日
ごみ収集	IVAREM	資源ごみ集積所管理団体	ベルギー北部	ベルギー	2016/9/15
板ガラスリサイクル	VRN	板ガラスリサイクル協会	オランダ	オランダ	2016/9/14
	MG社	板ガラスリサイクル業者	オランダ	ベルギー	2016/9/14
	AG社	板ガラスメーカー	欧州	ベルギー	2016/9/16
樹脂サッシリサイクル	VinylPlus	欧州PVC業界団体	欧州	ベルギー	2016/9/16
	Recovinyl	PVCリサイクル促進団体	欧州	ベルギー	2016/9/16
	AGPU	ドイツPVCリサイクル団体	ドイツ	ドイツ	2016/9/19
	HF社	窓製造業者	ドイツ	ドイツ	2016/9/19
	PG社	樹脂サッシ型材製造業者	ドイツ	ドイツ	2016/9/20
	VU社	樹脂窓リサイクル業者	欧州	ドイツ	2016/9/22
	Rewindo	ドイツ樹脂窓リサイクル団体	ドイツ	ドイツ	2016/9/22

以下に、今回行った調査において、複数の主体がそれぞれの属性に応じて、どのような関係性で活動を行っているのか、その全体像を示す。

樹脂サッシおよび板ガラスはファブリケーター（窓組立業者）によって樹脂窓として組み立てが行われ、建築物に取り付けられるようになるため、そのマテリアルフローには共通している部分が多い。建築物としてストックされた樹脂窓は、窓の取り換えや建築物の解体に伴って解体される。その際に解体業者や収集業者によって分別されるため、そこからは異なるマテリアルフローをたどることとなる。

回収された樹脂サッシと板ガラスは、それぞれリサイクル工場に輸送されて再資源化原料となり、製品メーカーによって使用される。なお、以前から同製品へのリサイクルが行われている樹脂サッシと異なり、板ガラスはびんなどにカスケードリサイクルされることも多い。

こうしたマテリアルフローを管理・支援しているのが、それぞれの製品メーカーを中心として組織された業界団体である。業界団体は情報発信によるリサイクルの認知度向上や補助金の支給によって、製造から使用、リサイクルまでの製品の流れを管理している。

以下の項では、ごみ収集、板ガラス、樹脂サッシのそれぞれのヒアリング結果をまとめることで、再資源化システムの実態について把握する。

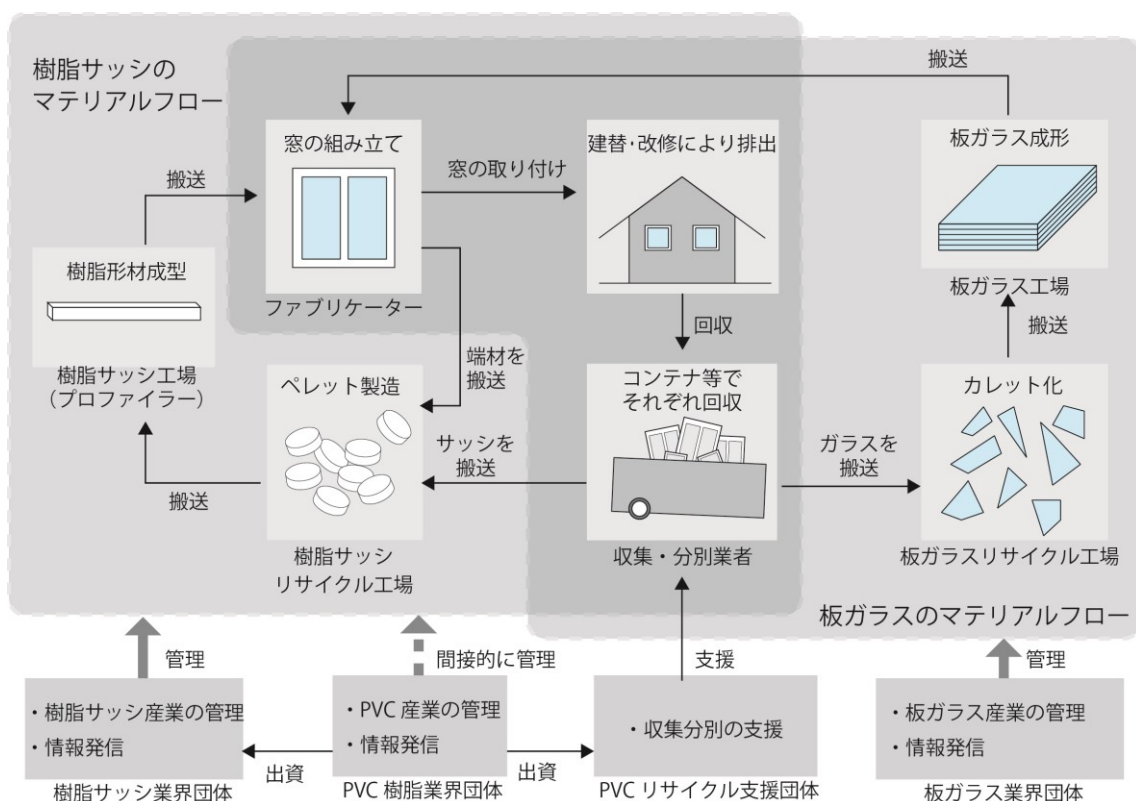


図 3-5 EU における樹脂窓リサイクルの全体像

3-2-2.ベルギーにおける資源ごみ収集システムの一例

メッヘレンを中心としたベルギー北部の 11 地域を対象として、一般廃棄物の総合管理を行っている IVAREM に対してヒアリング調査を行った。IVAREM は自治体等からの委託金やごみ袋への課金、分別した再資源化原料の売却等によって資金を得ているが、政府と民間の中間に位置する非営利団体である。設立は 2003 年であり、1973 年から存在する Igemo という団体から派生している。

IVAREM は主な活動として、一般消費者にも排出者責任は存在するというスタンスのもと、ごみの分別が各家庭において行われるために、消費者に対してごみの分別を行うように啓蒙活動を行い、ごみの発生抑制とリユースの促進に取り組んでいる。また、一般廃棄物の処理を一括して行っているが、その中で、日本と比較して特徴的なシステムとして、資源ごみ集積所の管理を行っている。



図 3-6 資源ごみ集積所の写真（左：場内の様子、右：板ガラスコンテナの様子）

IVAREM の管理する地域の住民には ID カードが交付され、それによって集積所への出入りや廃棄が管理される。

板ガラスを含む 8 種類の廃棄物は有料となるが、他は無料で廃棄が可能である。また、一般の人々が DIY 的に行った解体工事でも、小規模であれば集積所でも受け入れていた。

最大の規模であるメッヘレン地域の集積所では、管理人 4-5 名で全体の管理を行っていた。特に一般の人々では、建材などに使用されている素材が分からないため、排出種別が細分化されている集積所では、指示を与える管理者の存在が不可欠であるとのことであった。

また、PVC のコンテナでは、実際の PVC 製品をコンテナのそばに張り出すことによって、一般の人々に廃棄可能なものの種類を周知していた。



図 3-7 PVC コンテナの写真（左：コンテナ内部、右：製品例の掲示）

以上のように、IVAREM が一般廃棄物の処理を管理している地域では、消費者による分別が行われており、その対象には建材も含まれていた。

欧州は日本に比べて DIY が盛んであるため、一般の人々からも比較的多くの建設廃材が排出される。それらの建設廃材を分別された状態で回収し、資源として再利用するシステムが構築されていることが確認できた。

ただし、写真からもわかるように汚れの付着や異物の混入があり、また多種類の建材が混在した状態で回収されるため、品質を落として再製品化するカスケードリサイクルや、熱エネルギーを取り出すサーマルリサイクルが中心として行われていると考えられる。

また、日本では消費者から直接建設廃材が排出されることは少ないため、消費者を対象とした集積所のニーズは欧州と比較して小さいと考えられる。一方で、北海道のような広域分散型の都市配置がされている地域では、中間処理業者が排出量の小さい建設廃材をそれぞれストックしておくことは難しいため、IVAREM のような収集システムは参考にする意味があると考えられる。

3-2-3.オランダを中心とした板ガラス再資源化システムの実態

オランダでは板ガラスメーカーの業界団体が自発的に板ガラスの再資源化システムを構築し、大量の板ガラスのリサイクルを行っている。オランダには再資源化システムが構築されるまでは廃棄された板ガラスはほとんどが埋め立て処理されていたが、現在は解体材を含む相当量がリサイクルされている。このことを鑑みるに、業界団体が主導で再資源化システムを構築した成功例として、資金の流れや管理体制など、日本における樹脂サッシの再資源化システムの構築にあたって、参考にできることは多いと思われる。

そのため、再資源化システムの実態について把握することを目的として、業界団体および板ガラスメーカー、板ガラスリサイクル業者にヒアリング調査を行った。以下では過去に研究室として行った同様の視察調査¹⁴も参考として、その結果をまとめ、分析を行う。

再資源化システム構築に至る経緯

オランダでは板ガラスメーカーが2002年に業界団体であるVRNを設立し、板ガラスの再資源化に取り組んでいる。

VRNの活動は板ガラス業界として自発的に取り組んだものであり、その目的は環境負荷の削減や製造者責任を果たすこと、リサイクル材の使用によるコスト削減が挙げられる。中でも板ガラスメーカーのメリットとなるコスト削減の効果は大きいため、業界団体として再資源化システムを構築した動機となっていると考えられる。

また欧州では板ガラスの用途が日本と比較して広く、リサイクルに適した板ガラスが多く排出されることも、再資源化システムの成立に寄与しているとみられる。特に農業用の温室は、日本では軟質プラスチックが使用されることが多いが、オランダでは板ガラスが使われているために、農業から大量の板ガラスが排出されている。これらは単板ガラスであり、ガラス以外の異物の混入が少ないため、リサイクルに適していると考えられる。

一方、オランダにはもともと板ガラスの工場が少なかったため、民間の板ガラスリサイクル業者が存在せず、再資源化システムが未発達であったようだ。そのため、例えば窓ガラスに関しては、工事現場から廃棄された窓枠ごと板ガラスも埋め立てられていた状況であった。

このように、再資源化システムが構築されるまでは廃板ガラスの処理によって利益を得ている主体が存在しない状況であったため、板ガラスメーカーの業界団体であるVRNが主導で再資源化システムをした際にも、地場の中間処理業者からの反発等は少なかったと考えられる。

¹⁴清家剛: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, 2010.4

各関係主体の主な活動と経済的な仕組み

オランダにおける板ガラスの再資源化システムの全体像を以下に示す。

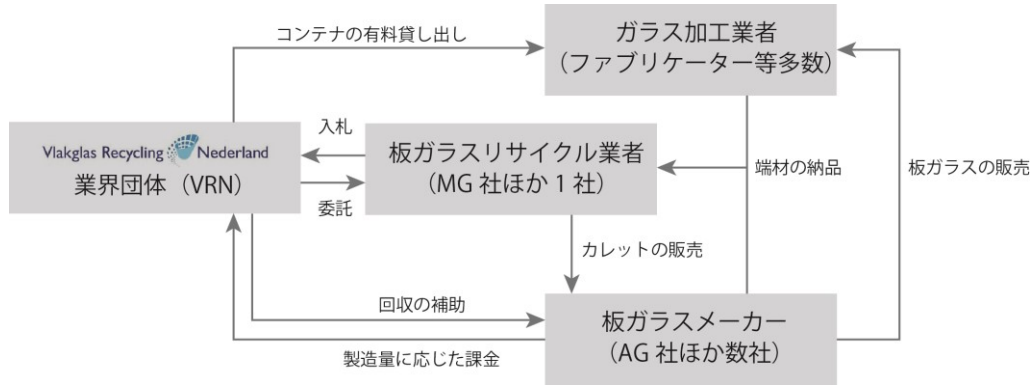


図 3-8 オランダにおける板ガラス再資源化システム

業界団体である VRN がこの再資源化システムを構築した目的は、環境配慮や排出者責任を果たすという目的もあるが、最大の動機はリサイクル材の使用によるコスト削減である。

リサイクル材であるガラスカレットの利用に関するメリットは二つあり、一つは再資源化システムの効率化によって CO₂ 排出量が抑えられることであり、もう一つがガラスの製造時に熔融温度を下げる点である。このようなメリットが動機となって、板ガラス産業の上流に位置する板ガラスメーカーが積極的に再資源化システムの構築に寄与することとなったと考えられる。

以下に、各関係主体の役割を述べる。

・業界団体

VRN の主な活動は、板ガラス回収システムの運営である。板ガラスメーカーや中間処理業者によって管理される集積所で板ガラスを無料で回収することで、排出事業者にとってコスト削減となるほか、ガラス加工会社や建設業者への回収コンテナの貸し出し等によって、板ガラスの廃棄が行いやすい環境を作ることで、リサイクルの促進を図っている。ファブリケーター（窓組立業者）に設置されている回収コンテナを以下に示す。



図 3-9 貸出用コンテナの様子

また、VRN のシステム内で回収された廃板ガラスは、VRN によって、板ガラスリサイクル業者に処理委託されている。次年度のガラス回収量を予測したうえで、ガラスリサイクル業者からの入札を受け、処理委託の契約を締結するのも、VRN の役割となる。

これら大きく二つの活動を行うための資金として、前述したコンテナのレンタル料以外に、VRN は板ガラスメーカーを中心とした 277 社に対して、オランダ国内におけるそれぞれの製造量や輸入量に応じた課金を行うことで、活動資金の調達を行っている。この課金制度は政府からの指導という形式で行われており、準法的な強制力がある。VRN はこの課金制度によって徴収した資金を用いて、再資源化システムの管理・運営と、板ガラスリサイクル業者への処理委託を行っている。

なお、断熱ガラスに対する課金額を例とすると、2015 年までは 0.5 ユーロ/m²であったが、2016 年から 0.4 ユーロ/m²に減額されていることから、再資源化システムの管理・運営が経済的にうまく機能していることがうかがえる。

・板ガラスメーカー

前述したように、板ガラスメーカーはオランダ国内における製造量や輸入量に応じて VRN に運営費を支払うことによって、再資源化システムを支えている。運営費を支払うことによって、板ガラスメーカーは、輸送中に破損した板ガラスの無料回収やガラスカレットの安定供給などの恩恵を受けることになる。

特にガラスはバージン原料から製造する際に非常に大きなエネルギーを必要とするため、再資源化原料を使用することによって、消費エネルギーの節減を図ることができる。板ガラス製造では成形に伴って多くの端材が発生するため、例えば AG 社における板ガラス製造では原料の 30%に加工端材と 70%のバージン原料が使用されてきた。加工端材の割合はそのままに、ガラスカレットの使用率を高めていくことを目標として、技術開発が行われているとのことであった。

・板ガラスリサイクル業者

板ガラスリサイクル業者 MG 社は、VRN からの委託を受け、主に板ガラスを原料として、ガラスカレットの製造を行っている。なお、コンテナや集積所で回収された板ガラスの MG 社までの輸送は、VRN から MG 社の親会社である輸送会社に委託されている。

製造したガラスカレットは異物の混入や着色によって、板ガラスの原料の使用に適さない場合もあり、2016 年現在ではその多くがビンに使用されていた。MG 社では搬入段階での選別や機械処理によって、異物の混入を 1%以下に抑えるなど品質の向上を図っており、技術者からはより精度の高い選別を求めていきたいという考えを聞くことができた。

また、板ガラスリサイクルにおいては CO₂ 排出を抑えることが重要と考えられており、輸送会社と協力して、水運の採用など輸送の効率化が進められていた。

廃板ガラスの回収量の推移と再資源化の用途

板ガラスの回収量は、団体設立当初の 2003 年時点で 3.5 万 ton 程度だったが、一時期は 8 万 ton 台まで増加した。その後落ち着き、2016 年現在はおよそ 7 万 ton 弱で安定している。

なお、オランダにおける板ガラスの排出量は 10 万 ton 程度であると推計されていた。VRN のシステム内における回収量が 7 万 ton 程度であるが、そのほか 2 万 ton が廃棄、1 万 ton はそのままガラスメーカーが引き取っているとみられるとのことであった。

VRN のシステム内における板ガラスの回収量の内訳を以下に示す。内訳として混合ガラスが最も多くなっているが、これは様々な種類のガラスが混ざった状態を指している。建設現場や回収拠点では、複数種類のガラスを一つのコンテナによって回収することになるが、少しでも複数種類の板ガラスが混ざった可能性があれば、コンテナごと混合ガラスとして扱うほかなくなるという。

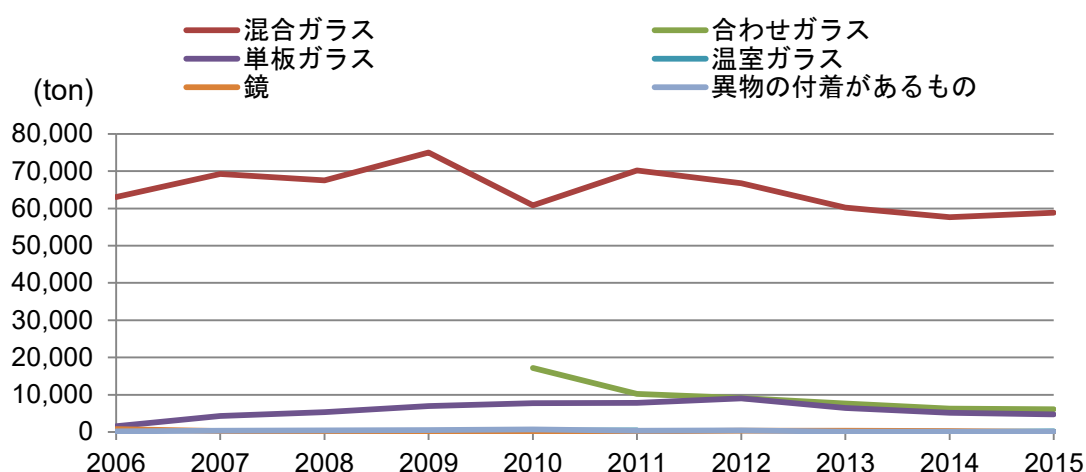


図 3-10 VRN における板ガラス回収量の推移¹⁵

また、2015 年の板ガラスカレットの用途先は、板ガラス 5%、ガラスウール 13%、びん 79%、その他（路面反射材など）3%であった。

ガラスカレットの色を抜くことはできないため、ガラスカレットの色によって用途先が決定されることが多い。無色透明のガラスは板ガラスに再利用が可能だが、自動車用ガラスなど緑に着色されているものは、ガラスウールに使用されることが多いとのことであった。

¹⁵ VRN 提供資料より作成

ガラスカレットの品質向上や板ガラス製造における再利用技術の発展によって、板ガラスへのリサイクルは技術的には可能となっている。そのため、VRNによって、板ガラスへの使用を数年のうちに5%から20%まで引き上げる計画が立てられていた。

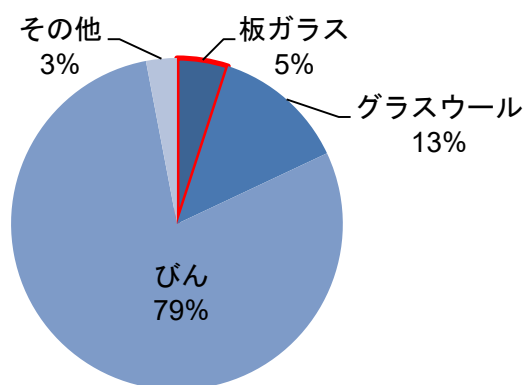


図 3-11 VRN におけるガラスカレットのリサイクル先¹⁶

まとめ

オランダにおける板ガラスのリサイクルについて、1 団体と 2 業者に対し、再資源化システムの実態についてヒアリング調査を行った。

板ガラスメーカーの業界団体によって再資源化システムの構築に成功した例であり、板ガラスメーカーが資金の負担を行っているものの、環境配慮だけでなく経済的メリットも確保できていることが、このシステムの特徴といえる。

さらに、板ガラスの回収システムが整うことによって、加工業者は板ガラスの廃棄が行いやすくなり、リサイクル業者は廃板ガラスの安定供給が得られるようになるなど、それぞれの関係主体に利益が生まれるような、経済的に持続性の強い再資源化システムとなっていることが分かった。

一方、課題として、ガラスカレットの板ガラスへの再利用量がまだ小さいことが挙げられる。これはガラスリサイクル業者における異物除去の高度化も重要であるが、板ガラスメーカーによるリサイクル材の使用技術も進められている。また、ガラスの種類増加や複合化が進むことによって、従来のシステムでは対応しきれない例も出てきており、検討が進められていた。

¹⁶ VRN 提供資料より作成

3-2-4. ドイツを中心とした樹脂サッシ再資源化システムの実態

樹脂サッシが開発されたドイツでは、古くから樹脂サッシが使用されてきたため、1990年代にはすでに樹脂サッシの再資源化が行われていた。20年以上にわたって樹脂サッシのリサイクルが行われているため、再資源化システムが成熟しており、ノウハウの蓄積も多いと考えられる。また、ドイツは人件費が高いこと、工業国であることなど、日本の状況とも共通点が多いため、人件費を削減するために機械設備による大量処理が行われている点など、参考にできる事例が多いと考えられる。

以上を前提として、再資源化システムの実態について把握するため、樹脂サッシの業界団体およびメーカー、リサイクル業者にヒアリング調査を行った。また、欧州全域を対象としてリサイクル促進活動を行っている、PVC製品の業界団体にもヒアリング調査を行った。以下ではその結果をまとめ、分析を行う。

欧州における PVC リサイクル

欧州における PVC レジンや樹脂、製品など PVC 産業に関わる業界団体や環境 NGO によって作られる大きな枠組みとして、欧州 PVC 協会である VinylPlus が存在する。1990 年ごろに、環境団体による PVC 産業へのバッシングが強くなったため、組織の前身である Vinyl2000 が設立され、PVC が環境に対して有害ではないことを主張し、また PVC 産業の環境負荷削減に努めてきた。最近では VinylPlus の枠組みの中で、カドミウムや鉛系安定剤の使用禁止を達成した。

VinylPlus の活動の一環として、PVC 製品の再資源化の研究や、再資源化システムの管理が行われている。VinylPlus の枠組みには、後述する Rewindo や AGPU のほか、屋根材のリサイクルに取り組む ROOFCOLLECT や床材のリサイクルに取り組む EPFloor など、複数の PVC 製品リサイクル団体が存在し、それぞれが VinylPlus からの出資を受けて活動を行っている。なお、VinylPlus の活動資金は PVC 産業界によって賄われており、2000 年からおよそ 1 億ユーロが投資されている。



図 3-12 VinylPlus を中心とした PVC リサイクルの枠組み

また、民間のリサイクル業者を刺激し、リサイクルを促進する仕組みである Recovynyl にも出資を行っている。

Recovynyl は一般廃棄物となる廃 PVC 製品のリサイクル市場を刺激することを目的としており、現在は 170 のリサイクル業者への支援を行っている。ウェブサイトにて情報を集約することによって、各国への派遣スタッフを含めた 10 人強で運営を行っている。

具体的な活動として、Recovynyl のシステム内における PVC のリサイクル量に応じて、回収業者に補助金を支払うことで、リサイクルの促進を行っている。Recovynyl の構築したウェブサイトに回収業者とリサイクル業者が登録し、リサイクル業者がリサイクル量や回収業者などのデータを、コンバーターが再生原料の使用量を入力すると、それに応じた補助金が回収業者に振り込まれる仕組みになっている。この仕組みでは、データを入力する業者と利益を受ける業者が異なっているために不正が起きにくいという特徴がある。

Recovynyl は経済的な側面に特化しているため、技術開発等の活動は行われておらず、また製品へのリサイクル材の使用割合なども把握していない。それら技術的な側面は、Rewindo をはじめとしたそれぞれの PVC 製品リサイクル団体が担っている。

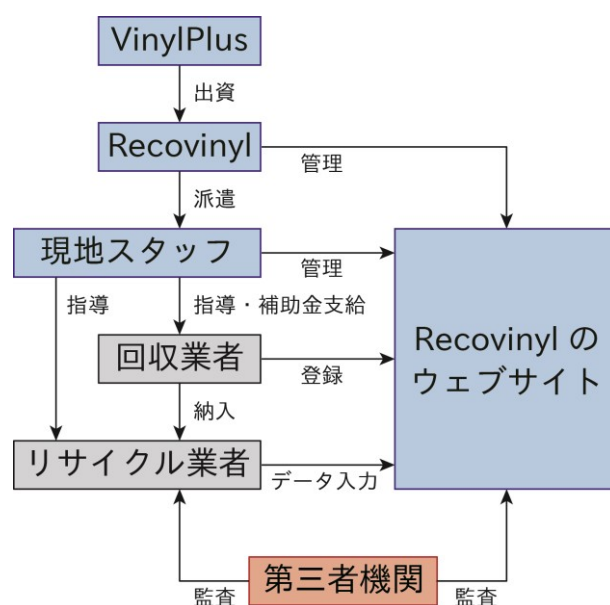


図 3-13 Recovynyl システム図

また、以下に VinylPlus における 2015 年のリサイクル量の内訳と推移を示す。これらは Recovynyl のシステム内でリサイクルされたものがほとんどである。なお、Recovynyl のリサイクル量は EU 内で回収・リサイクルされ、再び製品に戻されたものだけを計上しているため、EU 以外の他国への輸出はリサイクル量に含まれない。

リサイクル量は集計の開始から 10 年以上が経過した現在でも順調な伸びを見せている。特に 2004 年から VinylPlus と協働を開始した Recovynyl の活動が寄与しているとみられる。

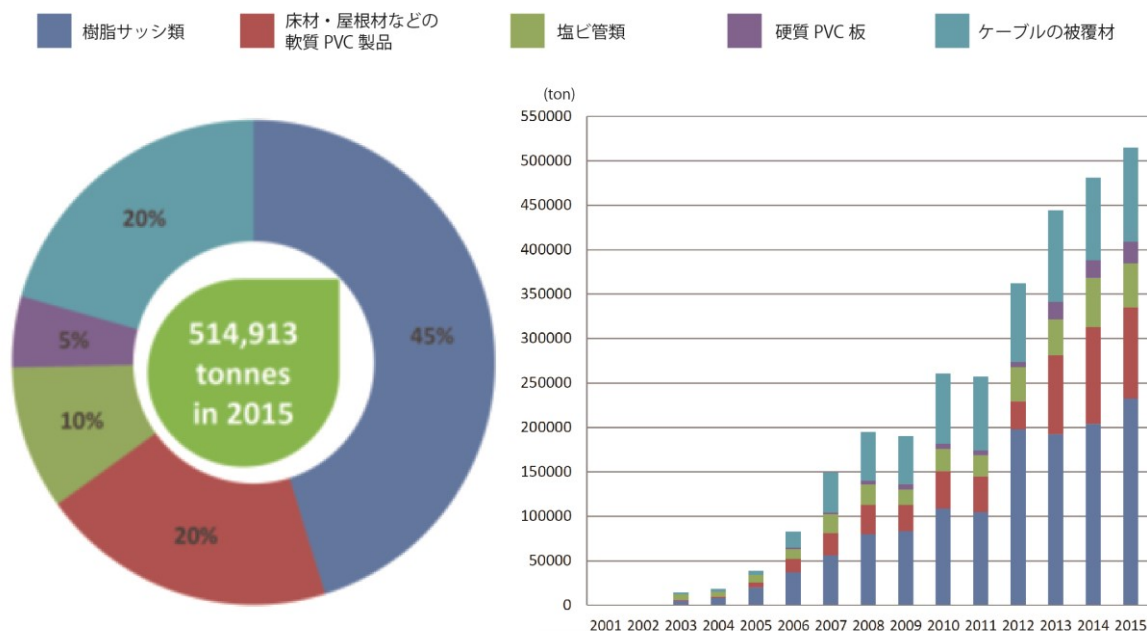


図 3-14 VinylPlus における PVC 製品リサイクルの内訳と推移¹⁷

また、リサイクルされている製品の内訳として、樹脂サッシやその付属品の割合が最も高く、2015年の実績では全体の45%を占めている。また、リサイクル量のおよそ30%にあたる16万ton程度の再生原料がドイツで利用されている。これは、ドイツでは以前から再資源化システムが構築されていることに加え、2005年にドイツで施行されたPVCを含む可燃物の埋め立て禁止の法律が影響しているとみられる。同様に、可燃物等の埋め立て禁止の法律が施行されている国は数か国あり、リサイクル量の増加に寄与しているとみられる。

以上のように、欧州ではPVC製品の再資源化に向けて、業界団体が様々な取り組みを行っており、リサイクル量の順調な増加という成果をあげている。以下では、ドイツにおける樹脂サッシの再資源化に焦点をあて、より具体的な活動や背景について述べる。

¹⁷ VinylPlus 資料を筆者加工

ドイツにおける樹脂サッシ再資源化システムの構築に至る経緯

ドイツでは 1990 年代に環境問題を中心として活動している緑の党が躍進し、特に PVC 製品に対する批判が高まっていた。樹脂サッシについても同様であり、州によっては木製サッシ以外の利用が禁止される条例が発布されるほどであったという。

それを受けて、樹脂サッシ産業が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材料であるということをアピールするため、ドイツの PVC 製品のリサイクルに取り組む AGPU や、ドイツの樹脂サッシのリサイクルに取り組む Rewindo といった組織が設立された。

一方、実際にドイツで樹脂サッシのリサイクルを実際に行っている VU 社は、親会社である樹脂サッシメーカーの出資によって、業界団体とは独立して設立されている。VU 社は、初期は単独でリサイクルを行っていたが、2002 年に Rewindo が設立されてからは共同体制をとっている。

現在、樹脂サッシ由来のリサイクル材は、樹脂サッシ型材の内部構造材として利用されており、リサイクル材を使用している製品とバージン材のみ使用している製品の区別がつかない状況である。このように樹脂サッシへのリサイクル材の使用が一般的になっているため、ユーザーはリサイクル材の仕様に抵抗感がないとのことであった。また、現在はドイツの樹脂サッシに使用される PVC 樹脂のうち 16% がリサイクル材であるとのことであったが、これを 40% まで高めることが今後の目標とされていた。

ドイツと日本の PVC 製品市場の比較

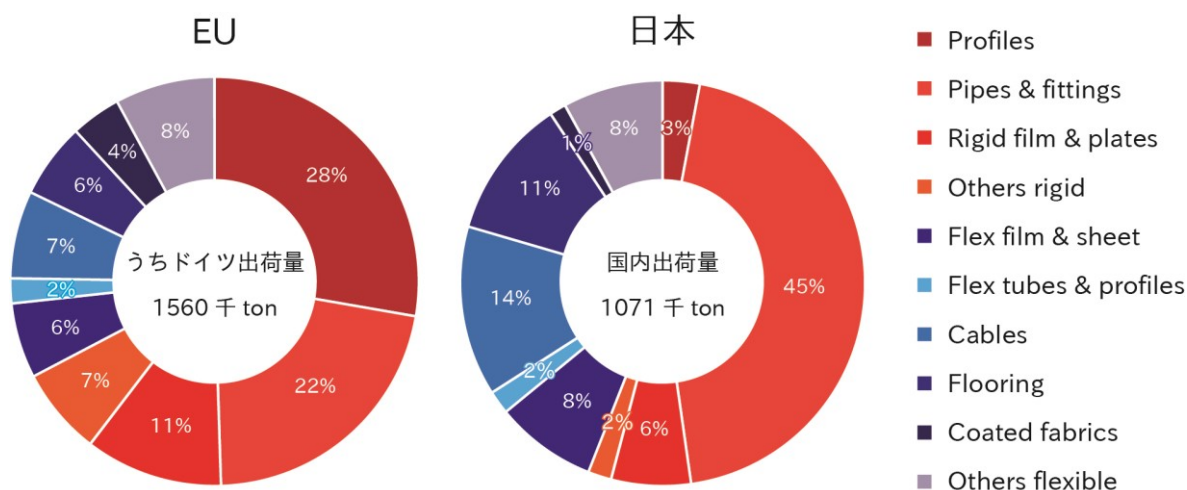


図 3-15 PVC 樹脂の用途別出荷割合 (2013 年)¹⁸

¹⁸ ドイツ - ECVM : Website より筆者作成 (http://www.pvc.org/en/p/how-is-pvc-used) 参照 : 2017/1/6
 日本 - 塩ビ工業・環境協会 : Website より筆者作成 (http://vec.gr.jp/lib/lib2_1.html) 参照 : 2017/1/6

EU と日本における PVC 樹脂の用途別出荷割合を図 3-15 に示す。双方とも硬質 PVC の市場が大きく、型材 (Profiles) と塩ビ管 (Pipe & fittings) でおよそ 50%を占めていることが共通であるが、その内訳は大きく異なる。特に樹脂サッシ型材を意味する Profiles は、日本の 3%に対して、ドイツでは 28%と最大の割合となっている。

また、国内出荷量については、2013 年においてドイツは 1560 千 ton、日本は 1071 千 ton であり、ドイツは日本に比べておよそ 1.5 倍大きい市場を持っていることとなる。

このことから、ドイツにおける樹脂サッシの市場は、単純計算で日本の 15 倍程度の市場となっていることとみられる。それに伴い廃材の排出量も多いため、樹脂サッシ型材のリサイクルへの要求は、日本と比べても高いと考えられる。

日本の 2/3 程度の人口を擁するドイツで、より多くの PVC 製品が用いられているのは、PVC 製品はリサイクル可能であることに加えて長寿命であるという、業界団体の広報によって、世論に受け入れられているためであると考えられる。

また、ドイツでは PVC 製品が年におよそ 650 千 ton 廃棄されており、うち 38% (243 千 ton) がマテリアルリサイクル、61% (396 千 ton) がサーマルリサイクル、1% (9 千 ton) が最終処分されているとのことであった。

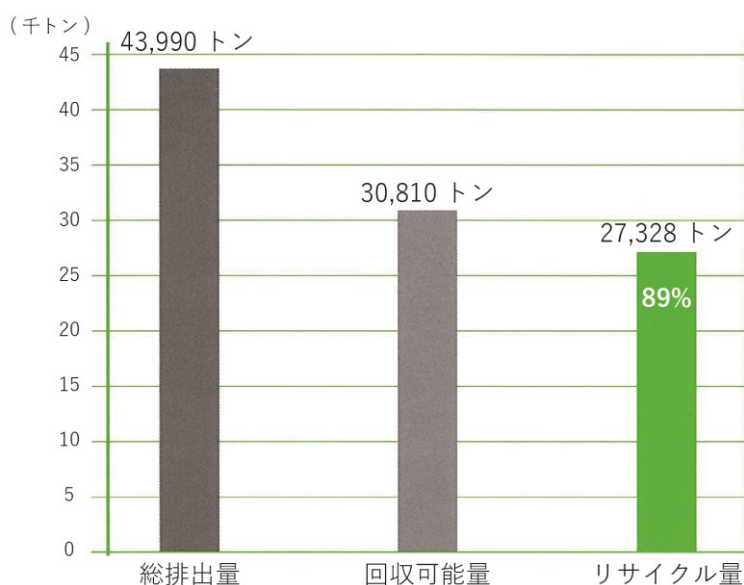


図 3-16 Rewindo の算出した樹脂サッシのリサイクル量 (2015 年)¹⁹

また、2015 年のドイツ国内における樹脂サッシのリサイクル量は、Rewindo によるとおよそ 40 千 ton (ガラス、金物含む) であり、再資源化されたペレットの製造量は 27 千 ton である。なお、上図では PVC 樹脂のみ考慮されている。

Rewindo では、総排出量から回収困難品を除いた回収可能量をあらかじめ試算して、そ

¹⁹ Rewindo 資料を筆者加工

れに対するリサイクル率を算出していることもあり、リサイクル率は 89%と高くなっている。また、このリサイクル率には、建設廃材として排出された樹脂サッシだけでなく、ファブリケーター等から排出された加工端材も含まれていることに留意が必要である。例えば、PVC 樹脂の樹脂サッシへの出荷量から、生産工程および加工工程で 5%のロスが出ると仮定すると、総排出量のおよそ半分にあたる 21.8 千 ton が端材として排出されている計算となる。

このように、ドイツの樹脂サッシの再資源化システムにおいては、加工端材のリサイクルもシステムの成立要件となっているとみられる。

各関係主体の主な活動と経済的な仕組み

現在は、AGPU が主に広報を担当し、Rewindo が建設業界や自治体など他団体との交渉や、再資源化システムの管理を行っている。そして VU 社をはじめとしたリサイクル業者が再資源化を行っている。主にプロファイラーが再資源化システムの資金の提供を行っており、ファブリケーターの資金面での負担はない。これは他の PVC 建材のリサイクルでも共通で、材料の製造会社が負担をして、加工会社にコンテナを貸し出して端材等を回収して、リサイクルを行っているとの話であった。

樹脂サッシでは、プロファイラーの型材製造量に応じて、リサイクル材の購入を業界内で義務付けることによって、再資源化システムを成立させている。また、リサイクル業者がプロファイラーの子会社であるため、価格などのコントロールが可能となっているとみられる。

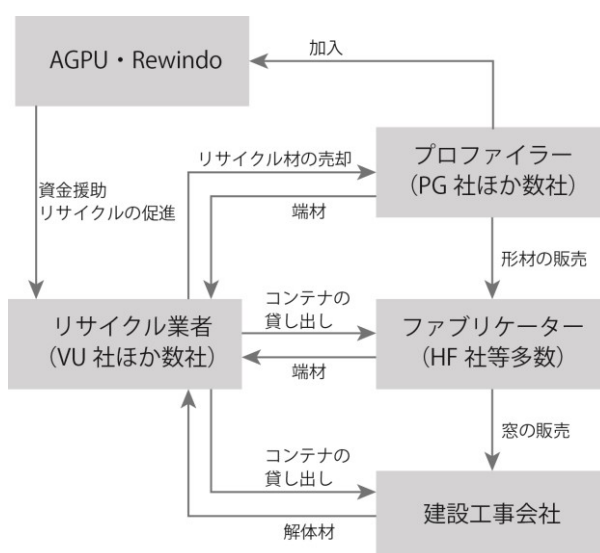


図 3-17 ドイツにおける樹脂サッシの再資源化システム

樹脂サッシ再資源化の工程

・プロファイラー（型材製造業者）

PG 社は樹脂サッシ型材を製造するプロファイラー（型材製造業者）である。特に PG 社では工場内で発生した端材や不良品、近隣のファブリケーターで発生した端材を回収し、自社で PVC ペレットへリサイクルを行っている。

なお、樹脂サッシ型材の製造工程は 2-1 で解説した日本の場合とほとんど同じであるため、ここでは端材のリサイクル工程を中心として述べる。

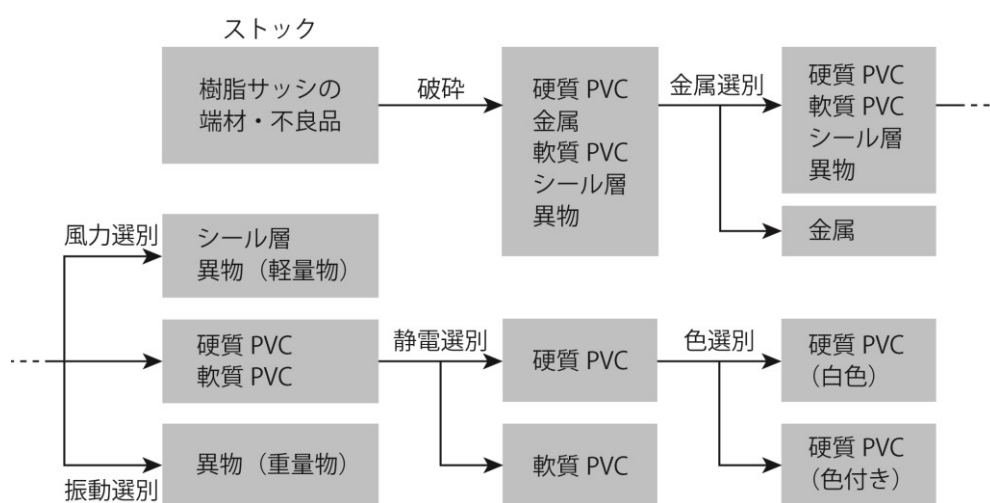


図 3-18 PG 社における端材のリサイクルフロー

PG 社におけるリサイクルの工程を上図に示す。金属を除いた後、振動テーブルによって、はじかれた軽い材料を風力で回収し、同時に重量物を落下させることで硬質 PVC と軟質 PVC のみとする。その後、硬質 PVC と軟質 PVC は静電選別によって分離し、色選別によって硬質 PVC は白色と色付きに分けられる。なお、上図には反映していないが、色選別は 3 段階行われており、まず硬質 PVC から異物を除去して、その後に白色とそれ以外に分けられている。最終的に回収される再資源化原料は、2mm 程度のフレークとなる。

また、後述する VU 社と異なり、異物の付着が比較的多く、リサイクルに手間のかかる解体材の受け入れは行っていない。そのため、ペレット化工程が存在しないなど、端材のリサイクルのために工程が最適されている。

なお、PG 社で製造された硬質 PVC の再資源化原料は、90%が工場内で再利用され、10%が塩ビ管等を製造する他の製造会社に売却されている。また、訪問した工場では、以上のようにしてリサイクル材を自社で生産しているため、VU 社等のリサイクル工場から再資源化原料を購入していないが、PG 社のほかの工場では端材のリサイクルを VU 社に委託しているとのことであった。

・ファブリケーター（窓組立業者）

HF 社では、PVC 窓をはじめとしたさまざまな窓の組立を行うファブリケーター（窓組立業者）である。PVC 窓は以下の工程で組立が行われる。なお、型材として PG 社の製品を主に使用している。

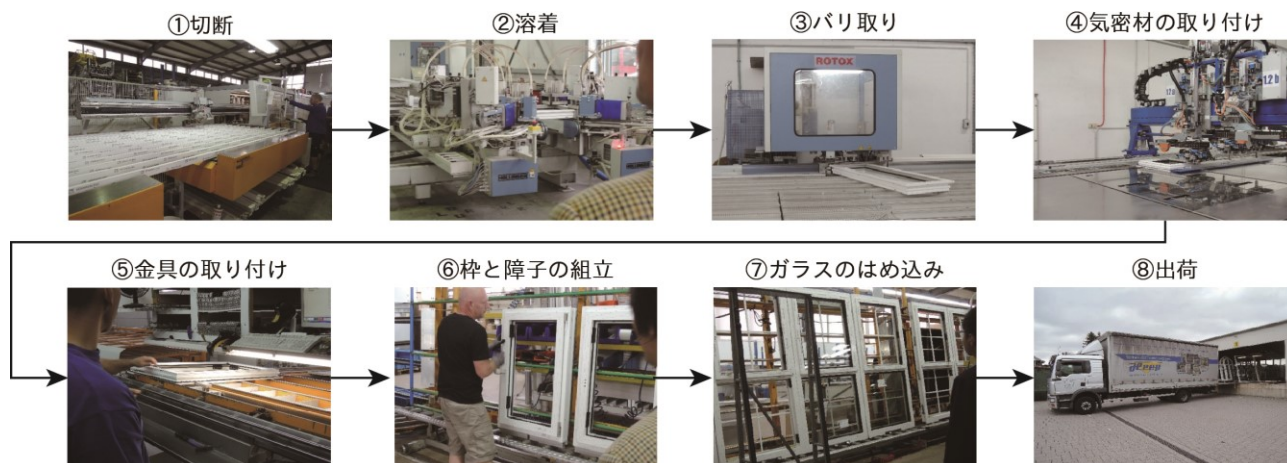


図 3-19 HF 社における PVC 窓の製造工程

上記のうち、切断工程で端材が排出される。端材はおよそ月に 40 m³程度排出されるが、これらは VU 社から貸し出されたコンテナに回収されていた。コンテナに貯まったら VU 社に電話を掛け、無償で回収してもらうとのことであった。

以前は金具等を取り外す必要があったため、工場内で作業をしたのち回収をしてもらっていたが、リサイクル工場の設備性能が向上したため、現在では端材はそのまま回収されている。



図 3-20 回収コンテナと加工端材

・リサイクル業者

VU 社はドイツで最も早く樹脂サッシの専門的なリサイクルを始めており、1993 年に親外資の出資によって設立された。ドイツ国内から廃樹脂サッシを効率的に回収するため、ドイツの地理的な中心部に工場が配置されている。

今回の調査で訪問したドイツ工場では、ドイツのみならずスイス・オーストリアなど、近隣諸国から廃樹脂サッシを回収して、リサイクルを行っている。地域によっては輸送するよりもその地域で最終処分した方が、環境負荷が小さくなる場合もあるため、輸送コストや PVC が焼却可能であるかなどの要件から判断している。なお、ここ数年でフランスとイギリスにドイツ工場より規模な工場を設立している。

VU 社では人件費削減のため、重機の操作や搬入時の判別作業など一部を除いて、ほとんどの工程を機械化している。これにより大量の樹脂サッシのリサイクルが可能となっており、現在は年に 5 万 ton 程度の再資源化原料を製造している。ここで得られた再資源化原料は、基本的に樹脂サッシの内部に使用されている。



図 3-21 VU 社におけるリサイクル材の製造フロー²⁰

ドイツにおよそ 6500 社のファブリーケーターが存在するが、VU 社は海外の会社も含めて 1500 社以上のファブリーケーターと提携している。廃樹脂サッシの回収は、VU 社のコンテナを貸し出すことによって行われる。先述したように、それらのファブリーケーターに貸し出しているほか、廃棄物運搬業者や解体業者に貸し出すこともある。また、ガラスの選別は行っておらず、リサイクル工程では異物として扱われるため、輸送効率を向上させるためにも、できるだけ排出源でガラスを取り除いた状態で搬送するように指導している。

²⁰写真は VU 社資料より

搬入された廃樹脂サッシは、重機で色や状態別に大まかに分けられる。その後、時間あたり 10ton 程度の廃樹脂サッシが投入されて、機械選別かけられる。

それ以降の工程は、先述した PG 社のリサイクル工程に類似している。相違点として、ペレット化工程が存在している。これは、PG 社と異なり、VU 社では建設廃材のリサイクルも行っているためである。ペレット化の工程では、リサイクル材として扱いやすい適切な大きさにするとともに、ペレット押し出し機の内部にあるフィルターで細かい異物を除去することで、硬質 PVC の純度を可能な限り高めることを目的としている。なお、この工程で使用されるフィルターは 15 分に一度と頻繁に交換されている。

こうして製造されたペレットは、VU 社内で押出成形をして物性や異物の混入を検査するほか、成分分析することで組成を確認している。

樹脂サッシの再資源化システムは、2010 年ごろにはすでに現在とあまり変わらない形で構築されている²¹。その一方で、リサイクルの工程は更新が続けられており、より高い精度と処理能力が求められていた。リサイクルに用いられている技術自体は他産業でも使用されており、それらを組み合わせて効率的なリサイクルを実施しているとのことであった。

²¹清家剛：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，2010.4

3-2-5.小結

EU では日本よりも環境に対する世論の圧力が大きいため、環境的に有利な建材であることを世論に対して主張することを目的として、業界団体が自発的にリサイクルを行っていた。

特にドイツの樹脂サッシ再資源化システムは、樹脂サッシ型材製造業者の業界団体が自発的に構築したものであり、製品もやや構造が異なるもののほとんど同様のものであるため、日本における樹脂サッシの再資源化システム構築に向けて、参考とできる知見も多く蓄積されているとみられる。

また、Rewindo 等、ドイツの樹脂サッシの業界団体においては、目標とするリサイクル率などを自主的に定めていた。このように、業界団体が主導権を執ることで、回収が困難な地域から排出される樹脂サッシや、汚れの付着などによってリサイクルが困難である樹脂サッシを除いたリサイクル可能量を推定して、そこからリサイクル率を算出していた。

また、EU における樹脂サッシのリサイクル率には、日本で一般的にリサイクル率が考慮される場合と異なり、建設廃材だけでなく端材のリサイクルについても含まれているため、高いリサイクル率を安定して達成することに成功していた。

以上のように、業界団体が自発的にルールを設定して一定の負担を負うことによって、無理のない再資源化システムが構築されているとみられる。

ドイツと日本の樹脂サッシ産業には、その生産システムに違いがある。日本では樹脂サッシ型材の製造業者が窓組立も行う場合が一般的であるのに対して、ドイツではこの二つが分離している。

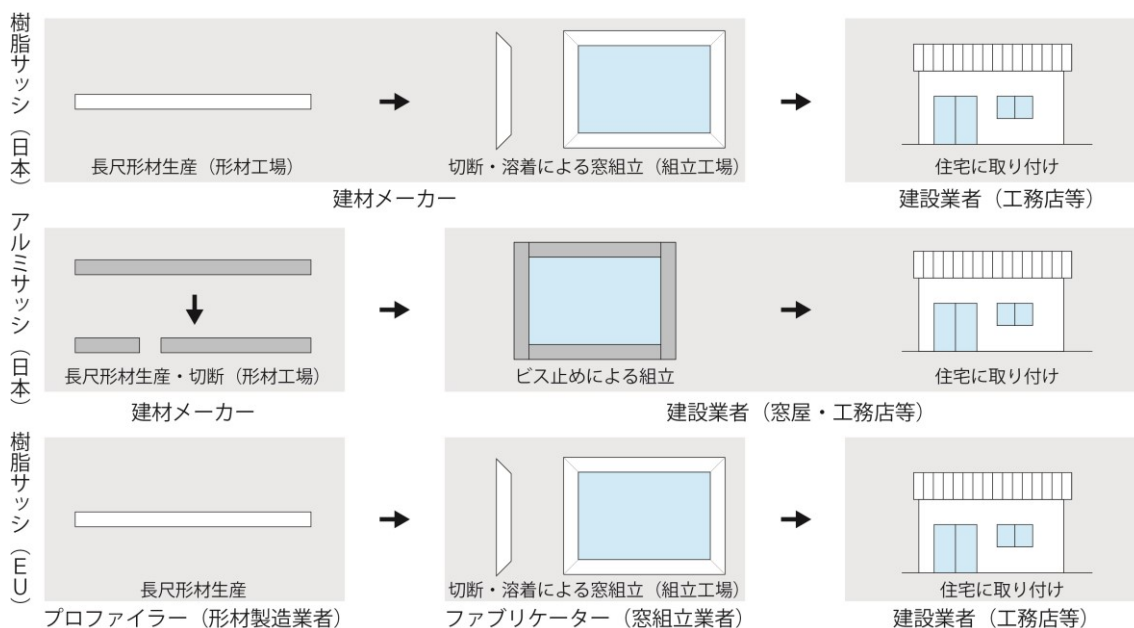


図 3-22 サッシの生産システムの違い (図 2-7 を再掲)

これは、経済成長期にドイツでは樹脂サッシが一般的に利用されてきたのに対し、日本ではアルミサッシが普及していたため、日本の窓業者に樹脂サッシを溶着・製造する設備が普及しなかったからだと考えられる。

また、プロファイラーとファブリーケーターが分離している理由を HF 社に質問したところ、組立業者の市場原理による競争によって、より安く品質の高い窓をユーザーに届けることが目的であるという話が聞かれた。一方、日本の生産システムには、樹脂サッシを自社工場内で加工・組み立てを行うことで、製品の信頼性を高めることができるというメリットがあるため、生産の主体が異なるだけで、生産システム自体に優劣はないといえるだろう。

一方、生産システムの違いは、再資源化システムには大きな影響を与えると予想される。ドイツでは型材の製造工程をプロファイラー、型材の切断・組立工程をファブリーケーターという別の業者が担当しているため、切断工程で発生した加工端材をプロファイラーが利用しにくい環境であるといえる。そのため、廃棄処分されていた端材が多く存在したことが、環境団体からの圧力の原因の一つになったのではないかと推測される。現在、特にドイツでは、業界団体の努力によって、加工端材や建設廃材から製造された再生原料の購入と使用をプロファイラーに課す協定ができているため、リサイクルが回っている状況である。

それに対して、日本の窓生産においては、樹脂・アルミの双方において、サッシの切断工程までを建材メーカーが行う場合が多いため、加工端材が建材メーカーの工場において発生する。そのため、加工端材の工場内での再利用が比較的行いやすい環境であるといえる。

その中で、型材工場と組み立て工場の距離が離れている場合や、加工端材が大量に発生し工場内での消費が追いつかない場合などに、加工端材は中間処理業者に売却されているなど、建設廃材よりも品質の良い加工端材がサッシの生産に再生利用できていない状況であるため、現状では建設廃材のサッシへの利用は困難であると考えられる。

ただし、現在は各社が個別にリサイクルを行っているため不透明な状況であるが、ドイツの業界団体が行っているように、回収困難品を除き、端材を含めたリサイクル率を算出すると、ある程度のリサイクル率が達成できているのではないかと考えられる。また PVC 窓の組立工場は、需要地の近くに配置されている場合が多いため、それらを考慮してリサイクル工場を配置することで、効率的な回収システムを構築できる可能性もある。

以上のように、樹脂サッシのリサイクルを行うにあたっては、建設廃材よりも異物の混入が少なく、リサイクルの行きやすい加工端材から、段階的にリサイクルを進めていくことが有効ではないかと思われる。

3-3.中国における PVC 建材の再資源化システム

3-3-1.調査の概要

2-2 でふれたように、樹脂サッシや塩ビ管などの PVC 建材は、破碎された状態の PVC くずとして、海外へ輸出される場合がある。それら PVC くずは、貿易統計から、近隣の東アジア諸国や東南アジア諸国を中心として輸出されていることが分かっている。

近年では、ベトナムをはじめとした東南アジア諸国への輸出も増えており、中国をはじめとした東アジア諸国への輸出量は減少傾向にあるが、2015年時点で PVC くずのうち 80% 以上が、東アジア諸国へ輸出されている。このように、日本における PVC 建材の再資源化システムを理解するためには、PVC くずの輸出先である東アジア、東南アジアも含めて把握する必要があるといえる。

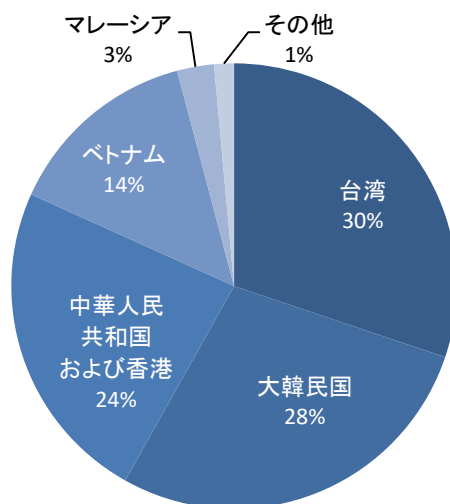


図 3-23 2015 年における PVC くずの国別輸出割合²²

中国は端材や建設廃材などの PVC くずを他国から輸入している。これは、中国では建設工事など、PVC 製品の需要が大きいため、PVC 製品の原料としてバージン材だけでなく、他国から輸入した PVC くずを再資源化したリサイクル材を原料として、建材などの PVC 製品を製造しているためだとみられる。

今回の調査では、韓国に次いで日本からの PVC くずの輸出量が多い中国について、PVC 建材リサイクルの実態を把握するため、業界団体へのヒアリングや工場の実態調査を行い、中国における再生 PVC 原料の利用実態の把握を試みた。

²² 財務省貿易統計より筆者作成 (http://www.customs.go.jp/toukei/info/) (参照：2016.12.16)

以下に、今回の調査の概要を示す。

表 3-6 中国調査の概要

調査日程	2015/6/29～7/1
調査対象	・ PVC 建材の再資源化システム ・ リサイクル材の使用状況

まず複数の業界団体や行政委員会の出席していた意見交換会に参加し、中国におけるプラスチックリサイクルの概況についてお話を伺った。また、PVC 発泡板の生産システムと再資源化原料の使用状況について 2 社の工場を見学した。その後、PVC リサイクルの状況について、業界団体にヒアリング調査を行った。

表 3-7 3-3 における調査先の一覧

団体名・社名	属性	所在地	実施日
中日 PVC 建材再生資源化 発展合作交流会	意見交換会	青島	2015/6/29
青島 SY 社	PVC 板材製造機械生産業者	青島	2015/6/29
威海 SD 社	PVC 発泡板製造会社	威海	2015/6/30
中国塑料加工工業協会	プラスチック業界団体	北京	2015/7/1

3-3-2.中国におけるプラスチックリサイクル産業の概況

意見交換会では、社団法人である中国循環経済協会と中国塑料加工工業協会によって、中国におけるプラスチックリサイクルの概況が示された。なお、上記の二つの社団法人は、政府と企業の連携を目的として活動を行っている。

また、青島 SY 社の中間処理施設の見学も行った。以下では、これらを総合して述べる。

中国におけるプラスチックリサイクル

中国では、資源の有効活用や低コストでの製品製造を目的として、リサイクルが活発に行われている。特に PVC 廃材は入手しやすく、また処理にかかる人件費も中国では比較的安いことから、経済的に有利である。これらの理由から、中国では行政や業界団体によるリサイクルの促進がなくとも、経済原理によって市場が成立するという、リサイクルに有利な環境であるといえる。

また、政府によってもリサイクルが奨励されており、新規参入企業に対する税金の軽減や、技術開発の支援などが行われている。特に、工業分野の行政機関である工信部の「十二五」計画によって、資源再利用に関する技術開発が行われるとともに、モデル化した事業を複数のエリアで行うことで検証が行われている。

以上のようにリサイクルが積極的に行われているのは、製品需要が大きいためである。政府によって輸入規制政策がとられた 2013 年を除いて、プラスチック加工会社は増加傾向にあり、2014 年には販売収入が 2000 万元以上となるプラスチック加工会社は 1 万 3 千社を超えているとのことであった。このことから、リサイクル材についても安定して大きな需要が見込める状況であったため、中国国内にはリサイクル業者も多く存在しているとのことであった。特に建設業界では、建設ラッシュによってプラスチック建材の需要が大きくなっているため、バージン材だけでなくリサイクル材を使用することで、中国国内にプラスチックを安定供給できると考えられていた。

中国における廃プラスチックリサイクルの課題

廃プラスチックリサイクル業界の主な課題として、以下の三つが挙げられた。また、課題に対する方策も示す。

一つめは、中小企業が多く、その実態が把握されていないことである。中塑協によると、中国には廃プラスチックのリサイクル業者が 1 万社以上存在するとみられるが、統計に把握できているのは一定以上の売り上げのある大企業のみであり、中小企業については実態調査を行ったうえで、推計を行うことで補完しているとのことであった。

なお、大企業はリサイクル材製造量の 40%以上を担っており、沿岸部に位置して輸入したプラスチックくずの加工を行っている企業が多いとみられる。一方、中小企業は、内陸部に位置して中国国内から排出された廃棄物の回収と加工を行うケースが多いとのことである。

あった。また、中国国内でも地域によって、対象とされるプラスチックの種類や量の内訳は異なっていることから、地域に適したリサイクル業者が存在しているとみられる。

次に、技術的応用力の不足が指摘されていた。これに対して、塑木製品と称されるプラスチックと木粉の複合材料など、複合材料化による用途の拡大が研究されていた。これらの複合材料は、強度と加工性に優れることから、廃プラスチックのリサイクル先として期待がされていた。

最後に、リサイクルを繰り返すことによる品質劣化が問題だとされていた。リサイクル材の物性による影響の少ないケミカルリサイクルや、リサイクルの工程を伴わないリユースを行うことで、品質劣化への対応が進められていた。

表 3-8 中国における廃プラスチックリサイクルの課題とその対応策

課題	方策
①中小企業が多く、実態が把握されていない	ヒアリング調査等を行い、実態を推測
②技術的応用力が不足している	木材や金属との複合材料化
③リサイクルを繰り返すことで品質が劣化する	ケミカルリサイクル・リユースの研究

中間処理工場におけるリサイクルの実例

青島 SY 社では後述する PVC 発泡板の製造機械を製作しているが、同時にリサイクルも行っていたため、中間処理工場の視察を行った。



図 3-24 中間処理工場の様子（左）と破碎品の状態（右）

中間処理工場に搬入される産業廃棄物は、日本と同じく建設現場からの持ち込みもあるが、個人で収集してきたものを会社が引き取るケースも多いとのことであった。これら収集された廃棄物は、場内でおおよその種類別においてストックされる。下図にもあるように、樹脂サッシも多くストックされていることが分かる。

これら建設廃材は、破碎処理されてフレーク状にしたのちに出荷される。粉末状やペレット状まで加工すると、組成や何が混じっているのかがわからなくなるため、フレーク状のほうが顧客に安心されるとのことであった。

3-3-3.中国における樹脂サッシを含む PVC 製品リサイクルの実態

PVC のリサイクルに関する具体的な統計は存在しないとのことであったため、ヒアリングの結果から把握された資源の流れと、統計調査によって把握された物流量をもとに推計を行い、中国における PVC 製品のマテリアルフローを構築した。

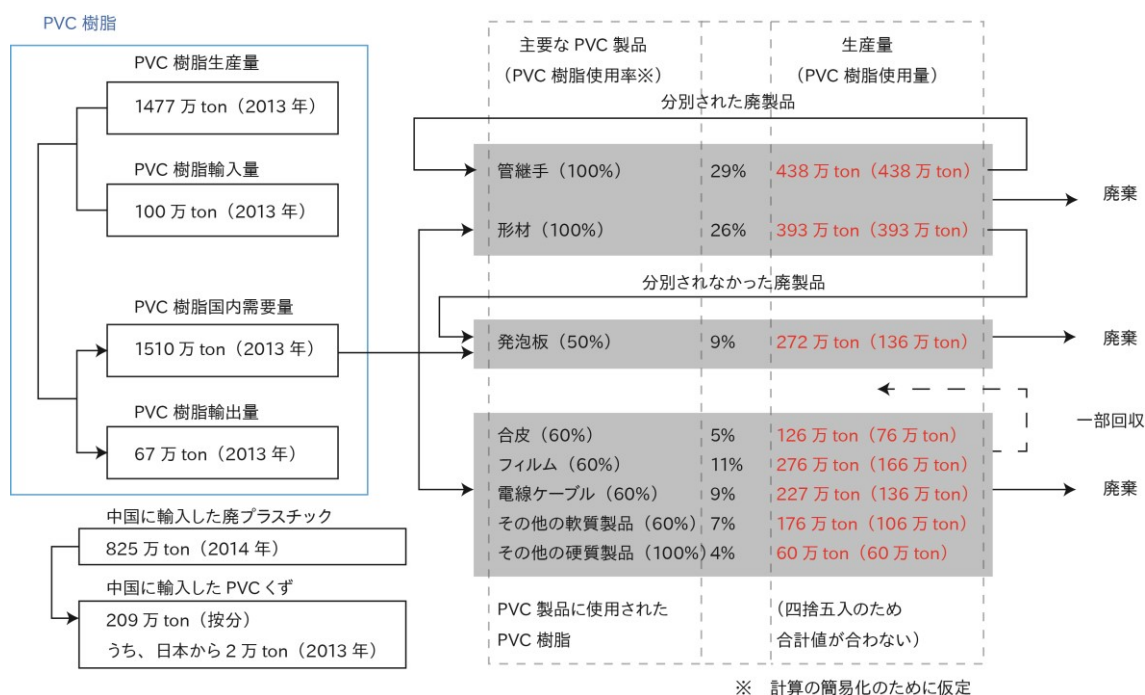


図 3-25 中国における PVC 製品のマテリアルフロー²³

中国塑料加工工業協会によると、PVC 製品は他のプラスチック製品と比較して寿命が長いこと、その排出量、ひいてはリサイクル量を把握することは困難であるとのことであったが、大まかな材料の流れは把握されていた。以下では、ヒアリングから得られたリサイクルの流れについて記す。

管材（塩ビ管等）や型材（樹脂サッシ等）などの建材は、まとまって排出され、改修しやすいためにリサイクルが行われやすい。これらは回収時に分別できている場合、管材から管材に、型材から型材に水平リサイクルが行われる。一方、分別ができていない場合は、添加剤を加えて、PVC 発泡板にカスケードリサイクルされる。

その他の PVC 製品は、他の材料と混じって廃棄されることが多く、また排出量も比較的少ないために、リサイクルはあまり行われていないとのことであった。

²³中国塑料加工工業協会：中国塑料工業年鑑，2013 より、PVC 樹脂の需要量等や、用途の内訳について把握した。なお、財務省貿易統計から、日本から中国へ輸出した PVC くずの量を引用した。

また、管材や形材のリサイクル材として挙げられた PVC 発泡板とは、日本ではほとんど使用されていないものの、中国では一般的な建材であり、内装材やコンクリートパネル等に広く利用されているとのことであった。

工場見学を行った青島 SY 社では PVC 発泡板の製造機械を作成しており、威海 SD 社では PVC 発泡板を製造している。PVC 発泡板は生産しやすい形状と物性をしており、安価に製造できるため、多岐にわたって利用されていた。表面にプリントを施す、凹凸で模様を成形する等の技術によって内装材として使われるほか、色付きのリサイクル材など内装に適さない材料を使用する場合には、コンクリート打設用の型枠として使用されることも多いとのことであった。

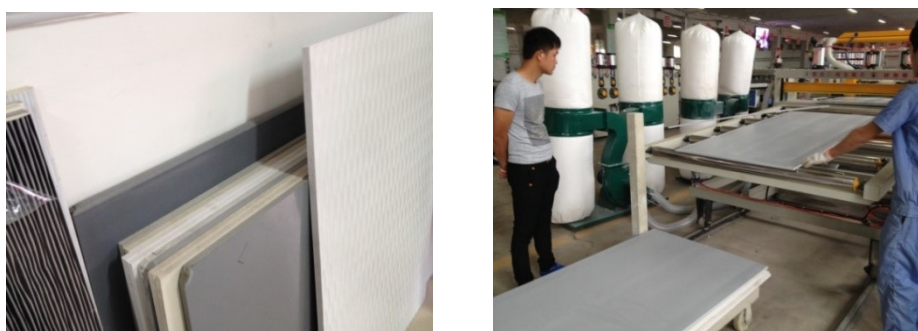


図 3-26 青島 SY 社における PVC 発泡板の製造工程

また、威海 SD 社では日本から輸入したリサイクル材料を使用していた。輸入したリサイクル材を使用するのは、中国国内でバージン材を調達するよりも安価出ることが理由とのことであった。

下図のような比較的状态が良い工場端材から、廃棄物の粗破砕品まで、幅広い状態のリサイクル材が使用されていた。また、PVC 発泡板の成型時に発生する工場端材も、粗破砕したのち工場内で使用しているとのことであった。このように、様々なリサイクル材が使用されていたが、この工場で生産するのは主にコンクリートパネル用の PVC 発泡板であるため、その製品特性上、問題はないとのことであった。



図 3-27 威海 SD 社におけるリサイクル材の状態（左）と加工端材の様子（右）

3-3-4.小結

本章では、中国における PVC 建材のリサイクル状況について整理を行った。

中国では建材の需要が非常に大きいため、バージン材だけでは材料が不足してしまうため、リサイクル材が広く利用されていた。また、中国では添加剤などが比較的高価であるため、はじめから安定剤などの添加剤がバランスよく配合されているリサイクル材のほうが、使用しやすい場面もあるという。

統計調査から、2014 年には樹脂サッシを含む型材は 400 万 ton が生産されていたことが分かる。それに付随した廃材の排出量も多いと推測されるため、樹脂サッシから樹脂サッシへのリサイクルも一定量が行われていると考えられる。管材（塩ビ管等）や型材（樹脂サッシ等）は建設廃材であるために一度の排出量が比較的大きいため回収しやすく、また硬質 PVC の割合も大きいことから、他の PVC 材料と比べてリサイクルされる場合が多いとのことであった。

しかし、それ以上に興味深いこととして、PVC 発泡板の存在が挙げられる。管材や型材は分別された場合は水平リサイクルが行われるが、分別が不十分であった場合は PVC 発泡板へとカスケードリサイクルされていることから、水平リサイクルが困難な廃材の受け皿として機能しているとみられる。PVC 発泡板は用途が広いことから、リサイクル材の状態によってリサイクル先の製品を変更するなど、柔軟な対応が可能となっている。

特にコンクリートパネルへの利用においては、強度さえ確保されていれば色や異物の混入が問題となりにくいことも、リサイクルにおいて有利となっている。また、コンクリートパネルとして使用されていることから、木材が調達しにくい地域において、特に重宝されているのではないかと思われる。

一方、製造過程で発生する端材は工場内で再利用されていたが、製造工程で大量の添加剤や発泡剤を加えていたため、市場に出たもののリサイクルは難しいと思われる。

以上より、中国においては PVC 建材のリサイクルは、PVC 発泡板という安定した需要が存在することによって、樹脂サッシを含めた大量の PVC 建材のリサイクルが安定して行われている状況であるとみられる。その一方、管材や型材から PVC 発泡板へのリサイクルは、カスケードの程度が大きいことから、持続性の高い資源利用には課題があると考えられる。

今回の調査では、中国におけるプラスチックリサイクルの概況について把握できたほか、日本から輸出された PVC くずが中国においてどのように利用されているかを確認できた。

経済的な理由等から、日本で再資源化が困難であると判断されたリサイクル材の多くは、人件費が安く、受け入れ基準の比較的低い東アジアや東南アジアなどに輸出され、リサイクルされている。そのため、日本の樹脂サッシの再資源化については、東アジアや東南アジアも含めて再利用の方向性について考える必要がある。

3-4.まとめ

3章のまとめ

3章では、アルミサッシや欧州と中国の樹脂サッシなど、国内の樹脂サッシと共通点の多い建材の再資源化システムを取り上げ、それぞれの現状について整理を行った。それぞれの再資源化システムには課題もあるが、各国内で安定的に再資源化が行われており、再資源化システムの構築に成功した例といえる。

一方、国内の樹脂サッシ再資源化は、2章で整理したような課題から、現在はリサイクルが行われないことも多く、リサイクルを行っている業者も基本的に輸出を行っているのが現状である。

以下では、3章で取り上げたそれぞれの再資源化システムを整理して、国内の樹脂サッシの再資源化の課題と比較を行うことで、課題解決に向けた方策を探る。

表 3-9 樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題（表 2-5 を再掲）

製造段階	加工端材の利用に伴う課題
	①輸送コストがかかること ②着色層の分離が困難であること
	外部リサイクル材の利用に伴う課題
	③需給バランスによる値段の変動があること ④組成が不明であること
中間処理段階	廃樹脂サッシの再資源化に伴う課題
	⑤排出量が少なく対応するメリットが小さいこと ⑥複合建材であり分別が難しいこと ⑦分別を行っても売却先がないこと

国内における樹脂サッシ再資源化の課題と他再資源化システムの比較

・国内のアルミサッシ再資源化システムとの比較

まず樹脂サッシとアルミサッシの違いとして、中心となる素材の違いが挙げられる。アルミは重量当たりの価値が PVC 樹脂より高いため、再資源化に伴うコストが相対的に低くなるので、①や③のような問題は起きにくいと考えられる。

またアルミリサイクルでは、マテリアルリサイクルを行う際の熔融工程の温度が、硬質 PVC の場合と比べて非常に高いために、着色層や金具などの不純物も熔融もしくは蒸発するため、最終的にアルミニウムの二次地金として単一素材にできる。このため、アルミサッシも樹脂サッシと同様に複合建材であるものの、B サッシとしてそのままリサイクル業者に売却した場合は、鉄含有量が多くなるためサッシには利用できないものの、自動車用のダイカストとして安定したリサイクル先が確保されているといえる（②・⑥・⑦）。

またこのようなリサイクル方法のため、リサイクル業者では二次地金の成分について非常に注意をしており、リサイクル時にリサイクル材料の投入量によって調整を行うほか、

二次地金のスペクトル分析を行うことによって組成を把握していた (④)。

最後に、アルミサッシは本州以南で広く普及した建材であり、アルミの資源的価値も高い。そのため、業界団体や行政の援助を受けることなく、自然発生的にアルミのリサイクルが行われるようになったように、排出量は安定して多いとみられる (⑤)。

・ EU の樹脂サッシ再資源化システムとの比較

特にドイツでは樹脂サッシが古くから使用されており、また普及率も高いため、現在では安定して多くの廃樹脂サッシが発生している。これは現在、樹脂サッシの業界団体がリサイクルに自発的に取り組む動機ともなっている。EU では業界団体がリサイクルを主導することで、業界内で調整を行い、リサイクル先の確保や安定的な供給に努めている。このようにして、③や⑤、⑦の解消に努めている。

また、VU 社の運営するリサイクル工場はドイツで最大の規模を持つが、都市からは比較的距離のある場所に配置されている。この場所はドイツの地理的な中心に近いので、輸送距離が偏らず、輸送コストの軽減に寄与していると考えられる (①)。また工場では手作業を可能な限り少なくして、機械選別のラインとすることで人件費を軽減し、大量のリサイクル材料を生産している (⑥)。

また、樹脂サッシの構造として日本と大きく異なるのが着色層である。ドイツでは基本となる白色の樹脂サッシの製造量が最も多いが、表面に着色をする際には、日本のような共押出でなく、シールとしている。これにより、接着強度などは落ちるが、破碎して風力選別を行うことで、比較的容易に分離を行うことができるようになっている (②)。

最後に、EU では有害物質に対する規制が日本より厳しく、鉛系安定剤やフタル酸系可塑剤等は、樹脂サッシの製造に使用できないとされている。一方、特に鉛系安定剤は過去に出荷された廃樹脂サッシに含まれており、分離することができないため、リサイクルの当初は問題視されていた。しかし、樹脂サッシに用いる限り健康への害はないという研究結果を受け、樹脂サッシ産業内で廃材を回収して再利用することで、玩具や包装材などに使用される可能性を低減できると判明したため、現在は有害物質の被害を抑えるという方針でより積極的なサッシからサッシへのリサイクルが進められている (④)。

・ 中国の樹脂サッシ再資源化システムとの比較

調査を行った 2015 年 6 月時点では、中国では建設工事が非常に多く行われていたため、樹脂サッシをはじめとした PVC 建材の需要が非常に高かった。また、リサイクル材にはあらかじめ安定剤が適量配合されているため、バージン材より使用しやすいという意見もあり、日本をはじめとして多くの PVC くずが輸入されていた。このように、現在では日本から中国への PVC くずの輸出は減少しているものの、PVC くずの価値は中国では相対的に高かったため、輸送コストや値段の変動などのリスクの影響が小さかったと考えられる。また、中国国内での PVC 使用量も非常に大きいため、需要と供給は安定して確保されていた

と考えられる (①・③・⑤)。

また、中国ではPVC建材の一つとして、PVC発泡板が内装材やコンクリートパネルとして広く利用されていた。特にコンクリートパネルとして利用される場合、色は問題にならず、ある程度の強度さえ確保されていれば使用できるため、品質をあまり問題にしなくてよいと考えられる (②・④・⑥)。また、コンクリートパネルは建設工事の必需品であるため、需要も安定しているとみられる (⑦)。

以上のように、3つの再資源化システムに関して、国内の樹脂サッシの再資源化における課題との比較を行った。それぞれの再資源化システムにおける対応について、以下の表にまとめた。

表 3-10 樹脂サッシ再資源化の課題に対応した各再資源化システムにおける方策

樹脂サッシ再資源化の課題	樹脂サッシメーカー			
	加工端材の利用に伴う課題		外部リサイクル材の利用に伴う課題	
	①輸送コスト	②着色層の分離	③値段の変動	④組成が不明
国内のアルミサッシ	素材の価値が高いため、影響が相対的に小さくなる	高温で溶融することで影響を小さくしている	素材の価値が高いため、影響が相対的に小さくなる	投入量の調整と、二次地金の組成分析で対応
EUの樹脂サッシ	ドイツの地理的な中心にリサイクル工場を配置し、輸送コストを軽減している	シール層であるため、分離が比較的容易	樹脂サッシ業界内で調整を行うことで対応	産業内で材料を使用することで、有害物質の影響を小さくする
中国の樹脂サッシ	小規模な業者が分散して存在しており、素材の価値も比較的高い	異物が多い場合は他の建材へリサイクルを行う	バージン材の価格が高いため、影響が小さい	PVC発泡板はコンパネ等に利用される場合、強度さえ確保されればよい

樹脂サッシ再資源化の課題	中間処理業者		
	廃樹脂サッシの再資源化に伴う課題		
	⑤排出量の少なさ	⑥複合建材であること	⑦売却先がないこと
国内のアルミサッシ	早い時期に広く普及したために排出量も多い	高温で溶融することで影響を小さくしている	自動車産業に安定したリサイクル先を求める
EUの樹脂サッシ	早い時期に広く普及したために排出量も多い	高度な機械選別を行い、単一素材を取り出すことに成功している	製造量に対する使用量を規定して、安定した需要を確保している
中国の樹脂サッシ	樹脂サッシを含む型材は製造量が非常に多い	異物が多い場合は他の建材へリサイクルを行う	PVC発泡板はコンパネとして利用されるため、需要が安定している

それぞれの再資源化システムに特徴があるため、国内における樹脂サッシの再資源化の課題とは必ずしもかみ合わない部分もあるが、それぞれ対応が行われていたといえる。まずアルミサッシは主材料が金属であるため、高温で溶融することによって異物の影響を小さくしていた。EUの樹脂サッシ業界では、業界が主導でリサイクルを行い、一定の負担を負うことで、樹脂サッシの再資源化システムのコントロールを行っていた。また、中国の

PVC 産業では、PVC 発泡板へのカスケードリサイクルによって、異物や品質への対応と安定した需要の確保がなされていた。

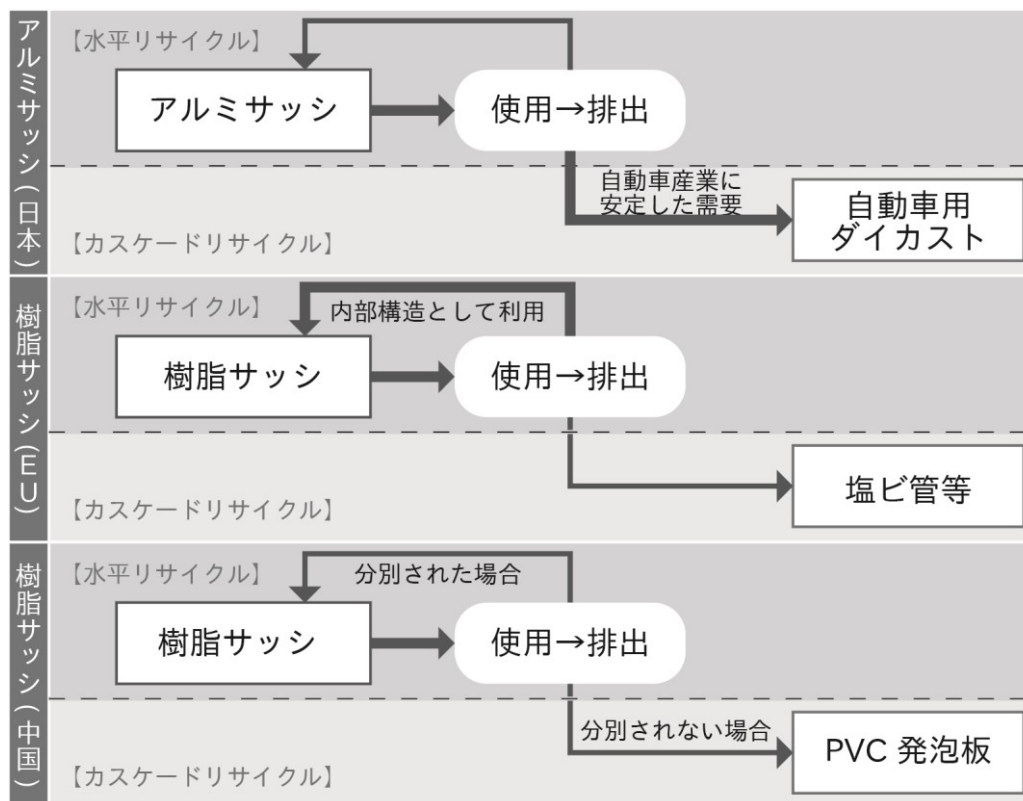


図 3-28 各再資源化システムの比較

各再資源化システムの特徴

このような各再資源化システムの特徴を図 3-28 に整理し、比較を行った。

アルミサッシおよび中国の樹脂サッシの再資源化システムは自然発生的に成立したとみられるが、アルミサッシではバージン材の製造にコストがかかるために、中国の樹脂サッシではバージン材の供給量が不足するために、それぞれリサイクル材の価値が高かったことが要因として挙げられる。ただし、これらの再資源化システムにおいては、水平リサイクルは特に品質の良いものなど限定的にしか行われておらず、カスケードリサイクル先の他製品の需要が安定しているために成立しているといえる。

一方、EU の樹脂サッシの再資源化システムは、業界団体が自発的に構築したものであり、リサイクルを行わなくてはならないために成立している。この再資源化システムでは水平リサイクルが主に行われているが、業界団体によって、樹脂サッシメーカーによるリサイクル材の使用が義務付けられているために、安定したリサイクル先が確保されている。

エンドユーザー（消費者）にとってのリサイクル製品

各再資源化システムにおいて、バージン製品と比較した際のリサイクル製品の取り扱いは異なっていることが、ヒアリング調査から整理された。

例えば、国内におけるアルミサッシと EU における樹脂サッシの再資源化システムにおいて、リサイクル材が使用されている製品は、バージン材のみ使用されている製品と見分けがつかず、表示やマーク等もつけられていない。これは、アルミサッシでは品質の高いリサイクル材だけをサッシにリサイクルすることで、EU の樹脂サッシではリサイクル材を内部に使用することで、リサイクル製品であることが見た目には表れないためである。さらに、リサイクル製品とバージン材の価格に違いがないため、消費者は一般的に、リサイクル材が使用されていることを意識しないこととなる。

その一方で、中国の廃プラスチックリサイクルでは、大企業はリサイクル材を使用していることを表示して、環境貢献を PR することが多いのに対し、中小企業はリサイクル材を使用していると品質に疑いをもたれることから、リサイクル製品であると表示しないことが多いという話が聞かれた。このことから、消費者がリサイクル製品であるかどうか強く意識を向けていることを窺うことができる。

以上のように、再資源化システムによってリサイクル製品の取り扱いが異なっていることが分かる。国内の樹脂サッシ再資源化においても、最終的にはリサイクル材の使用が一般化し、リサイクル製品とバージン材のみ使用した製品の違いがなくなることが理想であると考えられる。

ただし、再資源化システムの構築を進めていくにあたっては、リサイクル製品であることを表示することで、環境貢献を社会に対してアピールする、グリーン購入法等のリサイクル促進制度と連携を図る、等の戦略をとることも考えられる。

再資源化システムの成立要件

以上から、それぞれの再資源化システムが成立するための要件として、図 3-29 に示した 4 つが考えられる。

技術 リサイクルの容易性	需要 リサイクルの必要性
環境 リサイクルの優位性	経済 リサイクルの事業性

図 3-29 再資源化システムの成立要件

技術的な要件として、リサイクルが可能か、またどれくらいの手間がかかるかという、リサイクルの容易性が挙げられる。アルミサッシと中国の樹脂サッシにおいてはカスケードリサイクルが大きな選択肢として挙げられるため、詳細な選別が必ずしも重要ではないことが、リサイクルを行いやすくしている一因といえる。一方、EUの樹脂サッシ再資源化システムでは、高度な選別機械を導入することで、リサイクルの手間を軽減している。

需要における要件として、リサイクル材が市場に必要とされているかという、リサイクルの必要性が挙げられる。アルミサッシと中国の樹脂サッシの再資源化システムにおいては、カスケードリサイクル先に安定した需要が存在するが、EUの樹脂サッシ再資源化システムでは、業界団体の取り決めによって、型材製造業者にリサイクル材の使用を促し、需要を確保していた。

経済的な要件として、リサイクル業者をはじめとしたリサイクルに取り組む主体における事業性が挙げられる。アルミサッシと中国の樹脂サッシの再資源化システムでは、バージン材の価値が高いためにそれに比例してリサイクル材の価値も高く、個社がそれぞれ対応している状況であった。一方、EUの樹脂サッシ再資源化システムでは、樹脂サッシリサイクル事業を数社に集中させることで、スケールメリットによる高い事業性を確保していた。

本研究で調査を行った再資源化システムのうち、環境面における要件から構築されたのは、EUの樹脂サッシ再資源化システムだけである。EUでは環境団体からの圧力が動機となって、リサイクルが行われるようになった経緯がある。一方、環境的なメリットを目的として構築されてはいないとはいえ、アルミサッシと中国の樹脂サッシのリサイクルによる環境負荷削減効果は大きいとみられるため、直接的な動機ではないにしろリサイクルのメリットの一つとして考えられる。

以上のように、経済原理から自然に成立したアルミサッシと中国の樹脂サッシの再資源化システムと、業界団体が自発的な働きによって構築したEUにおける樹脂サッシの再資源化システムでは、再資源化システム構築の動機や経済的な仕組み等に多くの違いがあるものの、それぞれ異なる形で図3-29に挙げた再資源化システムの成立要件をクリアしているといえる。

特にEUの樹脂サッシリサイクルでは、業界団体が再資源化システムの仕組みや経済的な取り決め等を調整することで、上に挙げた成立要件を満たすように活動を行っているため、再資源化システムが成立しているといえる。

このように、再資源化システムの成立要件に対し、それを満たすような仕組みづくりを行うことで、国内において樹脂サッシ再資源化システムを構築することは十分に可能であると思われる。

4.樹脂サッシ再資源化システムのケーススタディに基づく定量的評価

3章までは、ヒアリングを中心とした実態調査から、国内における樹脂サッシ再資源化システムの実現に向けた課題を明らかにした上で、他の再資源化システムにおける状況について整理して、比較分析を行った。これにより、樹脂サッシの再資源化システムが成立するための要件についても考察を行うことができた。

その一方、実際に日本において樹脂サッシの再資源化システムが構築された際に、具体的にどのような環境や経済への影響があるのかは、定性的には明らかとなった部分もあるが、定量的に見えてこない。

そのため4章では、実際に樹脂サッシの普及率が高い北海道をケーススタディとして、樹脂サッシの再資源化を行った際の環境負荷削減効果や経済性について、文献調査を中心として分析を行う。

1節では、定量的評価を行うにあたって必要となる処理モデルの構築や、インベントリデータの整理等を行う。2節では、リサイクル工場の配置およびリサイクル先によって環境負荷がどのように変わるかを算出し、シナリオ評価を行う。3節では、注力してリサイクルを行う地域を設定し、その環境負荷削減効果と経済性についてのシナリオ評価を行う。

以上から4節では、樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性を考察する。

4. 樹脂サッシ再資源化システムのケーススタディに基づく定量的評価

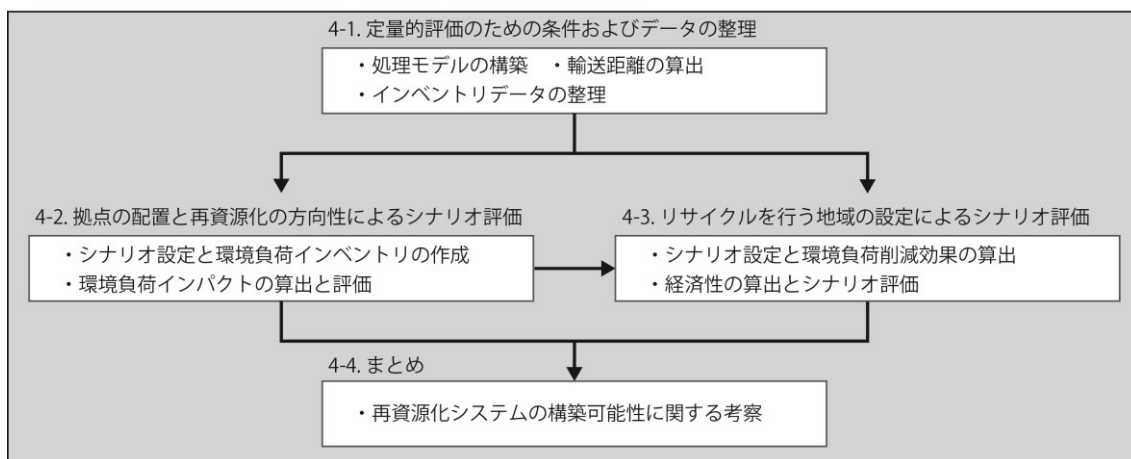


図 4-1 4章の構成

なお、4章で用いるモデルとして、3章で分析および整理を行ったEUの樹脂サッシの再資源化システムを参考とした。これは3章で取り上げた再資源化システムのうち、安定したサッシからサッシへの再資源化システムを構築することに成功しているためである。

4-1.定量的評価のための条件およびデータの整理

本章の定量的評価では、LCA 手法によって各段階における環境負荷影響を積み上げることで、CO₂ 排出量を中心とした環境負荷を算出し、さらにリサイクルを行う主体における経済性を算出する。

そのため本節では、まず樹脂サッシのリサイクルを行う処理モデルをこれまでの調査から得られた知見から設定する。

その後、既往研究から樹脂サッシ排出量を設定する。

また、北海道の地域性を反映させるために、輸送工程における環境負荷を算出するために、輸送距離の推計を行う。

その上で、LCA 手法による環境影響・経済性の計算を行うために、樹脂サッシの再資源化の各段階における作業工程や環境負荷インベントリデータの整理を行う。

4-1-1.処理モデルの構築

LCA による評価を行うにあたって、リサイクル材料を使用した製品とバージン材のみを用いて製造した製品との間には、耐用年数や断熱性能など性能的な違いはないと仮定した。また、リサイクル材料を用いるにあたって考えられる製造不良などのリスク、またリサイクル材料の色や物性劣化の問題は無視してある。

これらのことから、製品自体に違いはないとして、「製品製造に使用する硬質 PVC 樹脂 1ton を調達するために必要とされる環境負荷」について、バージン材料とリサイクル材料について評価を行うと設定した。

つまり、バージン材であれば、以下のような工程についての環境負荷を算出する。

バージン材の環境負荷計算に関わる工程
・原料を調達 →化学工場で PVC 樹脂を製造 →バージン材料として樹脂サッシ型材工場へ搬入 (→樹脂サッシ型材工場で樹脂サッシを製造)

一方、リサイクル材料であれば、代表的には以下のような工程についての環境負荷を算出する。

リサイクル材の環境負荷計算に関わる工程
<ul style="list-style-type: none"> ・ 排出された廃樹脂サッシを回収 → 中間処理施設へ輸送して破碎処理 → リサイクル工場へ輸送してペレット化 → リサイクル材料として樹脂サッシ製造工場へ搬入 → 樹脂サッシ型材工場で樹脂サッシを製造

このように、使用段階を含まない樹脂サッシのライフサイクルについて環境負荷を算出する。

一方、樹脂サッシの処理モデルとして、ドイツにおける樹脂サッシの再資源化システムと同様に、機械処理による処理工程を想定した。これは、北海道の中間処理業者に対するヒアリングの結果から、個々の中間処理業者で手間のかかる樹脂サッシの再資源化を行うことは難しいと考えられるためである。

樹脂サッシの機械選別システムとして、ドイツの事例に加えて、中間処理業者 F 社において行われているプラスチック素材の選別工程を参考として、処理フローを以下のように想定した。



図 4-2 仮定した処理モデル

その上で、リサイクル工場の配置や再資源化の方向性の設定を変更することで、複数のシナリオを構築し、それぞれの環境負荷について算出する。

具体的には、表に示すように、以下のような設定とした。

バージン材の調達にかかる環境負荷をケース⑩として設定した。また、樹脂サッシ廃材を輸出する場合をケース⑦に、最終処分する場合をケース⑧としてある。

そのほか、ケース①～⑥は樹脂サッシの再資源化を国内で行う設定である。ケース①～③は東北のサッシ型材工場で、サッシへの再利用を行う場合である。一方、ケース④～⑥は北海道内の工業地帯で、他 PVC 製品への再利用を行う場合である。

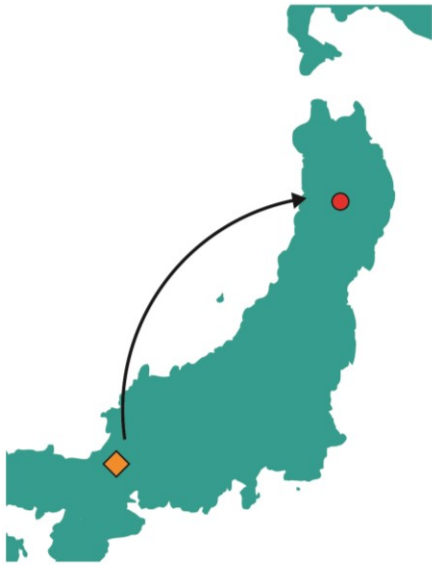
また、再資源化処理をどこで行うかによってそれぞれのケースを設定している。ケース①と④では、最大の需要地である札幌にリサイクル工場を配置する。ケース②と⑤では、道央・道南・道北・道東にそれぞれ一か所ずつリサイクル工場を配置する。ケース③と⑥では、再製品化を行う工場にリサイクル工場を併設し、再資源化を行う。

表 4-1 LCA 手法による計算を行うケースの設定

	廃材の処理方法	処理工程	再資源化の実施	その他
ケース①(バージン材)	-	-	-	バージン材の調達について評価を行う
ケース②(再資源化)	サッシtoサッシ (東北のサッシ工場 で再製品化)	破碎 →分別 →再資源化(ペレット化)	札幌に1か所の 工場を実施	-
ケース③(再資源化)			道央・道南・道北・道東の 4か所の工場を実施	-
ケース④(再資源化)			東北のサッシ工場 で実施	-
ケース⑤(再資源化)	サッシから他製品へ (苫小牧の工業地帯で 再製品化)		札幌に1か所の 工場を実施	-
ケース⑥(再資源化)			道央・道南・道北・道東の 4か所の工場を実施	-
ケース⑦(再資源化)			岩見沢の 製品工場 で実施	-
ケース⑧(輸出)	ベトナムへ輸出	破碎のみ	-	苫小牧港から ホーチミン港へ輸送
ケース⑨(最終処分)	最終処分		-	最寄りの 最終処分場で埋立

また、これら想定されたケースにおけるフローを、以降の図に示している。

なお、具体的な場所の設定や処理工程に関わる環境負荷等は、後述する 4-1-4 で整理している。

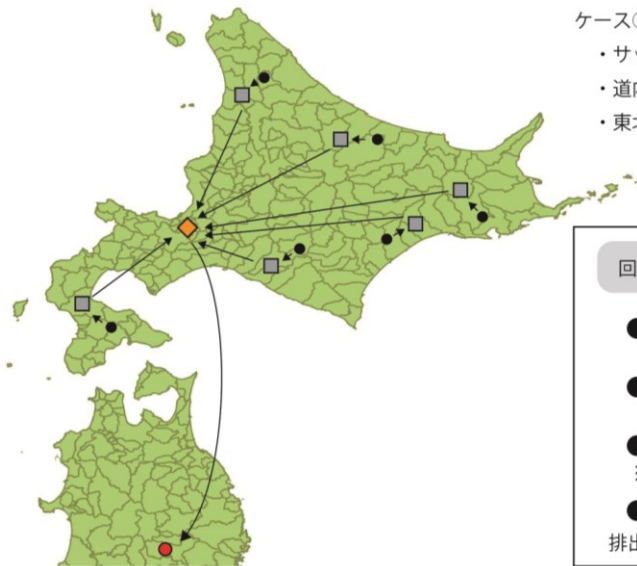
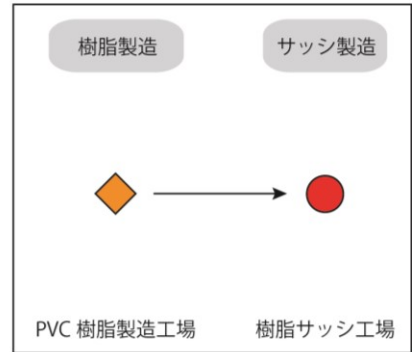


ケース①

- ・樹脂サッシのバージン材を製造する際の環境負荷を求める

処理手順

- ①PVC樹脂の原料調達から製造
- ②PVC樹脂を樹脂サッシ工場へ輸送

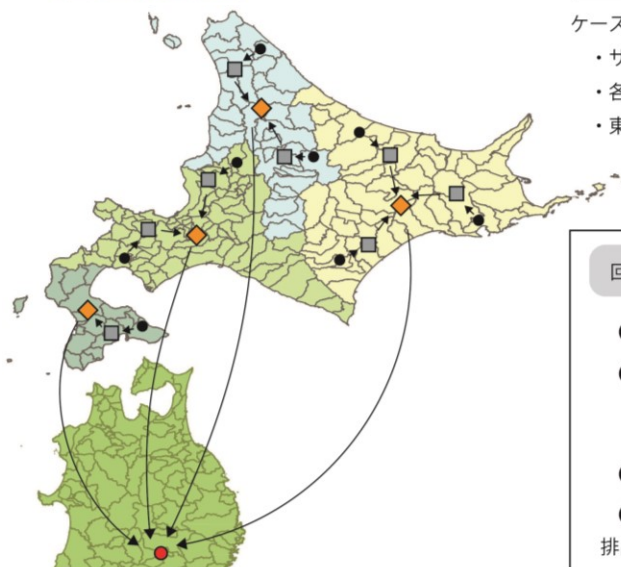
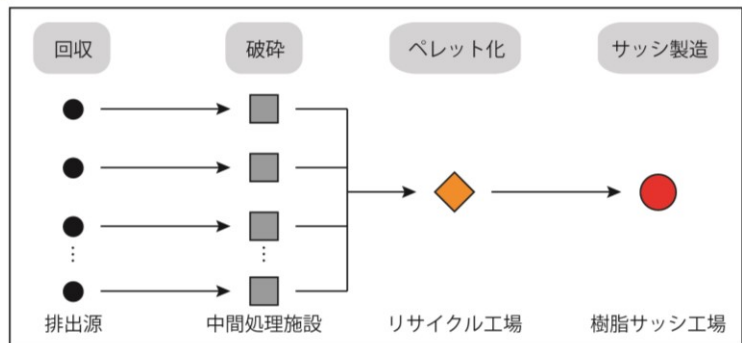


ケース①

- ・サッシからサッシへのリサイクル
- ・道内に1か所のリサイクル工場
- ・東北の樹脂サッシ工場で製品化

処理手順

- ①排出源から中間処理施設へ輸送
- ②中間処理施設で破砕処理
- ③リサイクル工場へ輸送
- ④リサイクル工場で再資源化
- ⑤東北の樹脂サッシ工場へ輸送



ケース②

- ・サッシからサッシへのリサイクル
- ・各地域にリサイクル工場を配置
- ・東北の樹脂サッシ工場で製品化

処理手順

- ①排出源から中間処理施設へ輸送
- ②中間処理施設で破砕処理
- ③リサイクル工場へ輸送
- ④リサイクル工場で再資源化
- ⑤東北の樹脂サッシ工場へ輸送

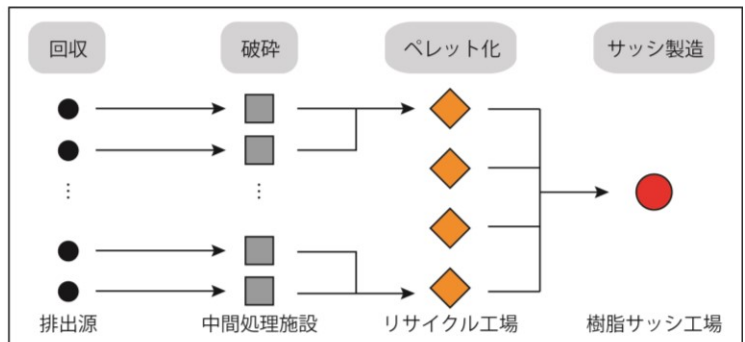


図 4-3-1 ケース①～②における処理フロー

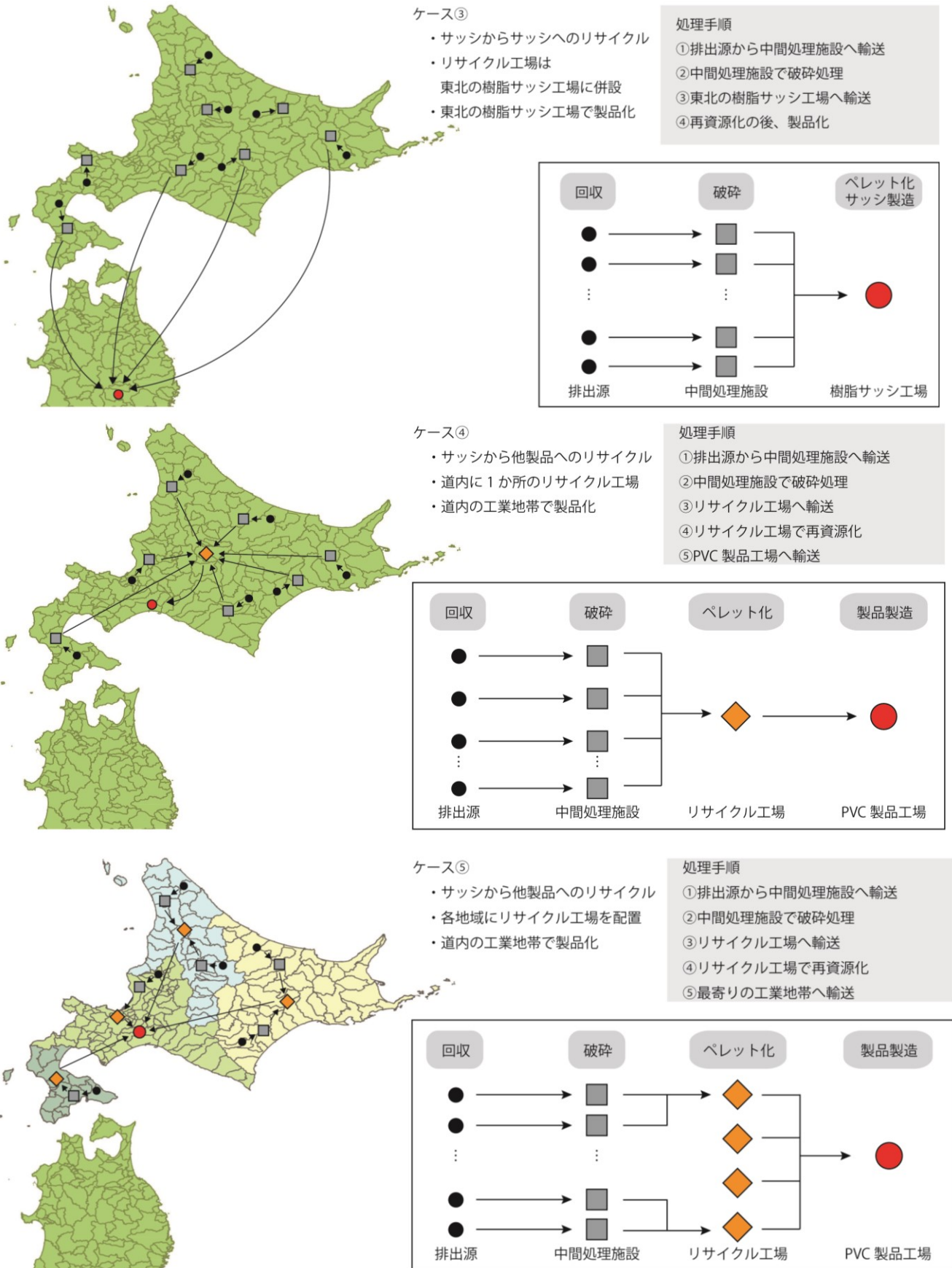
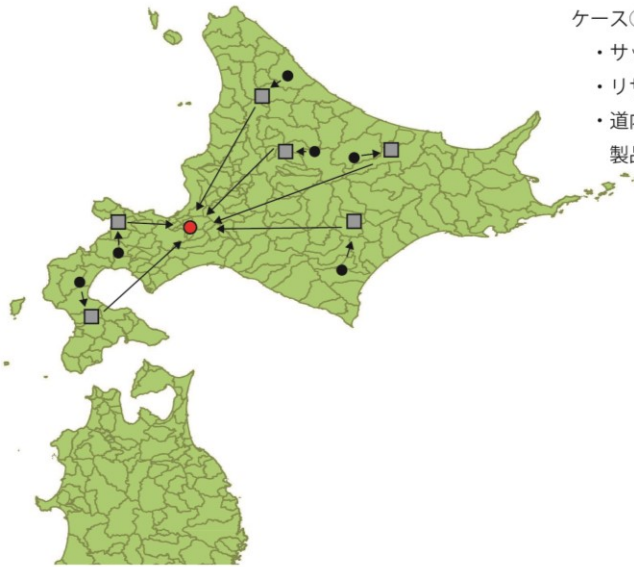


図 4-3-2 ケース③～⑤における処理フロー

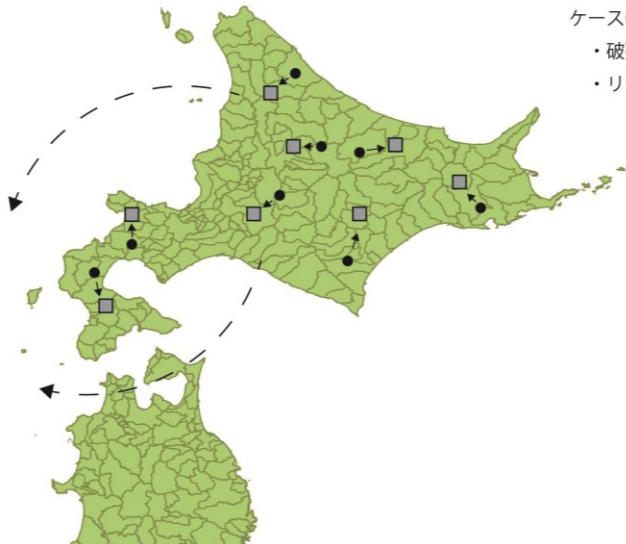
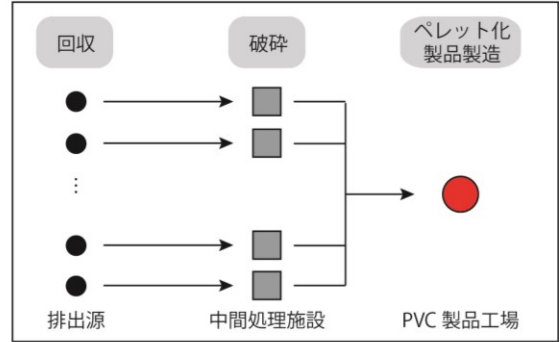


ケース⑥

- ・サッシから他製品へのリサイクル
- ・リサイクル工場を経由しない
- ・道内の工業地帯で再資源化の後、製品化を行う

処理手順

- ① 排出源から中間処理施設へ輸送
- ② 中間処理施設で破碎処理
- ③ 最寄りの工業地帯へ輸送

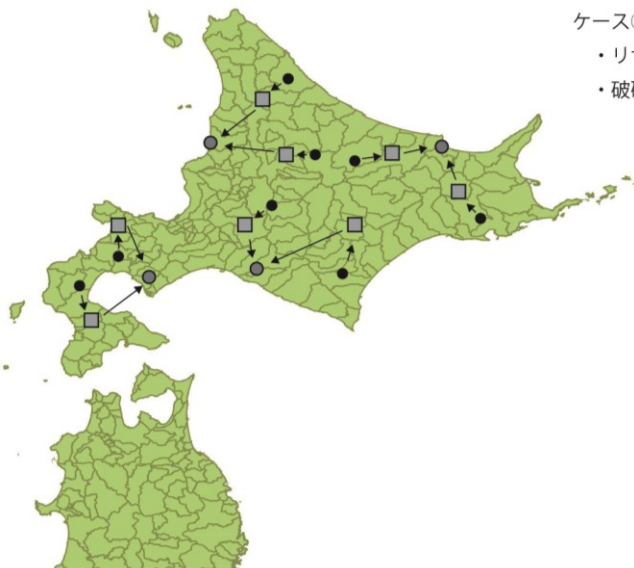
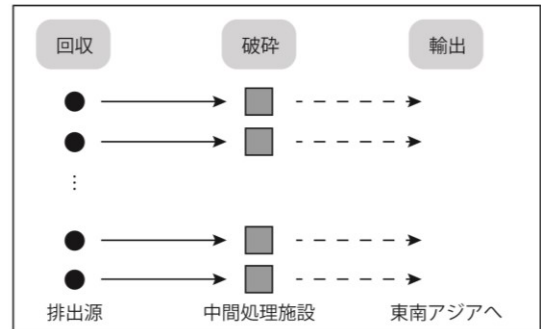


ケース⑦

- ・破碎処理ののち輸出
- ・リサイクル工場を経由しない

処理手順

- ① 排出源から中間処理施設へ輸送
- ② 中間処理施設で破碎処理
- ③ 各中間処理施設から輸出



ケース⑧

- ・リサイクルは行わない
- ・破碎処理の後、埋め立て処分

処理手順

- ① 排出源から中間処理施設へ輸送
- ② 中間処理施設で破碎処理
- ③ 最寄りの最終処分場で埋立処分

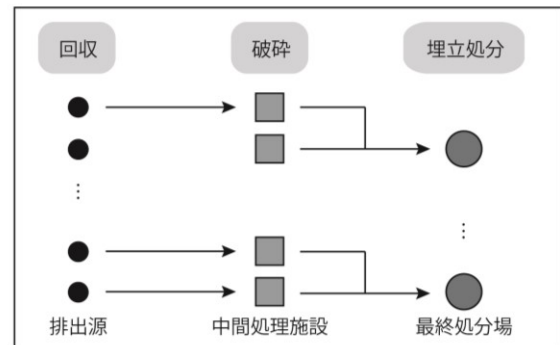


図 4-3-3 ケース⑥～⑧における処理フロー

4-1-2.排出量の設定

樹脂サッシの排出量に関する推計は磯部らの先行研究によって既に行われている。磯部らの論文では、樹脂サッシの出荷量をもとに、排出量の推計を行っている。本研究では、磯部らの論文における各市町村からの排出量を引用して、輸送における環境負荷の算出を行う。

なお、これより議論する樹脂サッシ出荷量は、型材の出荷量であるため、その構成材料はほとんどが硬質 PVC 樹脂であるとみられる。このため、樹脂サッシ排出量についても型材のみの推計となっているが、実際の樹脂窓は硬質 PVC 樹脂だけでなく、金属や他プラスチック類も使用された複合建材であるため、輸送や破砕処理等の工程では、それらも含めて考慮する必要がある。

先行研究による排出量推計の概要

本研究では、磯部らの論文における樹脂サッシ型材排出量の推移から、樹脂サッシの排出がピークを迎えると推測される 2041 年における市町村ごとの樹脂サッシ型材排出量を引用して、以降の計算を行うこととする。

樹脂窓の再資源化システム構築に関する研究

-北海道における廃棄された樹脂窓の実態調査及び排出量予測²⁴

磯部らの論文では、業界団体による樹脂窓の生産量の統計資料²⁵によって、北海道への樹脂サッシ型材出荷量を設定している。2012 年までは実績値を用いており、それ以降は 2012 年の時点での北海道への出荷量である 6835ton が一定して出荷されると仮定している。

その出荷量に対して、総務省の公表している住宅・土地統計調査および北海道庁の公表している住民基本台帳人口・世帯数から、各市町村への投入量を按分によって算出している。

一方、住宅・土地統計調査から、各市町村における建物の残存曲線を計算し、樹脂サッシの残存曲線を推計している

それら各市町村への投入量と残存曲線から、各年における樹脂サッシ型材の排出量を予測している。図 4-4 に樹脂サッシ型材の排出量推計を引用する。なお、データの修正があったため、建築学会梗概集における排出量予測とは、やや推測排出量が異なっている。

また、樹脂サッシ型材の排出量がピークを迎えると推測される 2041 年における、樹脂サッシ型材の市町村別の排出量を表 4-2 に引用する。2041 年における排出量は 8461ton となる。

この推定排出量を前提として、以降の計算を行うこととする。

²⁴ 磯部孝行、清家剛、金容善：建築学会学術講演梗概集 2014(材料施工), p.1381-1382, 2014.9

²⁵ (一社)日本サッシ協会、樹脂サッシ工業会、塩ビ工業・環境協会、塩ビサッシリサイクル合同 WG2002～2012 年活動・調査報告書, 2013.03

4-1-3. 輸送距離の算出

2-2 のヒアリングで整理したように、北海道の地域性として、面積が広く、地域分散型の都市構造となっているため、都市間の距離が本州の他地域と比べて大きいことが挙げられる。また、今回の処理モデルにおけるリサイクル工場ではある程度高度な機械選別を行う必要があるため、多くのリサイクル工場を設置するのはイニシャルコストが大きくなり、現実的ではないと思われる。

これらの理由から、樹脂サッシの排出源とリサイクル工場との距離が本州における再資源化システムと比較しても大きくなると考えられるため、廃樹脂サッシを輸送するために、大きな環境負荷が生じると予測される。

そこで、今回の計算では、前項で引用した都市ごとの排出量と、各都市からリサイクル工場までの距離を使用することで、より北海道の地域性に則した環境負荷の算出を行う。

輸送における直線距離の計算

緯度経度から二地点間の直線距離を計算する方法として、国土地理院が Web 上で公開している、「距離と方位角の計算」における計算式²⁸を使用した。なお、この計算式は B. R. Bowring による「Total inverse solutions for the Geodesic and Great Elliptic」²⁹を参考として作成されている。

また、今回の処理モデルでは、以下のようなフローを想定しているが、排出源や中間処理施設など、それぞれの地点における緯度経度を利用して、直線距離を算出した。

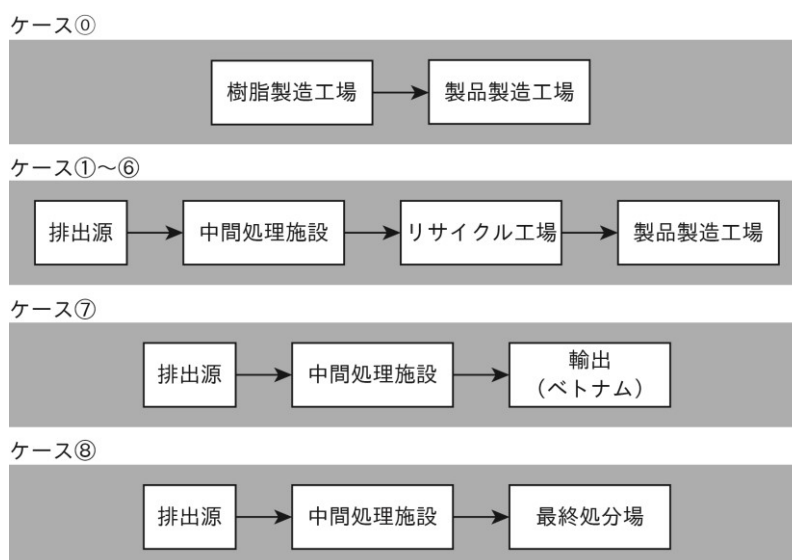


図 4-5 各処理モデルにおける輸送フロー

²⁸ 〈<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>〉 参照 : 2016.11.21

²⁹ Survey Review, 33, 261, 1996.7

各地点の位置情報の設定

それぞれの地点について設定した、緯度経度の情報を以下に示す。

排出源	総務省統計局、我が国の人口重心—平成 22 年国勢調査結果から— (http://www.stat.go.jp/data/kokusei/topics/topi61.htm) 参照 2016.10.28
樹脂サッシは住宅用途に供される場合が多いため、市街地の中心部や市町村の地理的な重心よりも、住宅街を中心としてストックされていると考えられる。そのため、排出源は各市町村の人口の重心とした。	

中間処理施設	国土交通省国土政策局国土情報課、国土数値情報ダウンロードサービス (http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/) 参照 2016.10.28
ヒアリングの結果から、樹脂サッシは廃プラスチック類として、産業廃棄物処理業者によって回収される場合がほとんどであると考えられたため、排出源で排出された樹脂サッシは全量が中間処理施設へ搬入されるとした。	
中間処理施設の位置情報から、取扱品目として廃プラスチック類を取り扱っている産業廃棄物処理施設（発泡スチロールのみ、など品目が指定されているものを除く）のデータを取り出して、解析に利用した。また、最終処分場へ直接搬入されることはないと考えられるため、最終処分場のデータは除外してある。	
今回は排出源から最も近い中間処理施設に廃樹脂サッシが搬入されるとしたが、実際に中間処理施設に廃樹脂サッシをストックすることを考えると、排出源（＝人口の重心）から最も近い中間処理施設は、人口の集中している街中にあるため、比較的小規模である可能性が高い。そのため、必ずしも実態に則していないことに注意する必要がある。	

製品製造工場	ヒアリング等の情報をもとに任意に設定
樹脂サッシ形材工場	
樹脂サッシメーカー A 社の形材工場に設定した。A 社では、形材工場から窓組立工場への輸送経路として、形材の製造を東北に所在する工場で行った後、八戸港から苫小牧港まで海上輸送し、北海道の窓工場を組み立てを行って出荷している。今回のリサイクル材の環境負荷計算では、この経路を参考として、苫小牧港→八戸港経由でサッシ工場までリサイクル材を運ぶシナリオとしている。	
なお、A 社以外の樹脂サッシメーカーでも、東北に形材工場を配置している会社は複数存在する。	
その他 PVC 製品製造工場	
札幌近郊の工業地帯である岩見沢に設定した。最大需要地である札幌に近いこと、北海道でも有数の硬質 PVC 製品の押出製造設備を備えていることから、大量のリサイクル材を受容できると考えられるためである。	
なお、再製品化先の用途としては、塩ビ管や巾木など、樹脂サッシ形材と同様に硬質 PVC 樹脂を主材料として使用する製品を想定している。これらの PVC 製品は、開口部に使用されるために高い強度と外観の必要とされる樹脂サッシ形材と比較して、より品質の低い硬質 PVC 樹脂を受容できると考えられるためである。	

リサイクル工場	ヒアリング等の情報をもとに任意に設定													
<p>リサイクル工場については既存の施設が存在しないため、ヒアリング調査や排出量のデータを考慮して設定した。</p>														
<p>①北海道内にリサイクル拠点を1か所のみ配置する場合</p> <p>リサイクル拠点は札幌に配置するとして、GIS ソフトから北海道の地理的な重心を算出し、使用している。これは、対象年において札幌市から排出される樹脂サッシは、北海道全体から排出される樹脂サッシの45%を占めており、それらの輸送距離を短距離で済ませることが環境負荷・コスト両面の節減になると考えられるためである。</p>														
<p>②北海道内にリサイクル拠点を複数配置する場合</p> <p>このケースでは、北海道の道央・道北・道東・道南に一か所ずつリサイクル拠点を配置する設定としている。なお、道央・道南・道北・道東のそれぞれの地域は以下の振興局が統括している地域とした。</p>														
<table border="1"> <tr> <td>道央</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・道央総合振興局 ・石狩振興局 ・後志総合振興局 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・日胆総合振興局 ・日高振興局 </td> </tr> <tr> <td>道南</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・道南総合振興局 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・檜山振興局 </td> </tr> <tr> <td>道北</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・道北総合振興局 ・留萌振興局 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・宗谷総合振興局 </td> </tr> <tr> <td>道東</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・オホーツク総合振興局 ・十勝総合振興局 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ・根室振興局 ・道東総合振興局 </td> </tr> </table>	道央	<ul style="list-style-type: none"> ・道央総合振興局 ・石狩振興局 ・後志総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・日胆総合振興局 ・日高振興局 	道南	<ul style="list-style-type: none"> ・道南総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・檜山振興局 	道北	<ul style="list-style-type: none"> ・道北総合振興局 ・留萌振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・宗谷総合振興局 	道東	<ul style="list-style-type: none"> ・オホーツク総合振興局 ・十勝総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・根室振興局 ・道東総合振興局 		
道央	<ul style="list-style-type: none"> ・道央総合振興局 ・石狩振興局 ・後志総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・日胆総合振興局 ・日高振興局 												
道南	<ul style="list-style-type: none"> ・道南総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・檜山振興局 												
道北	<ul style="list-style-type: none"> ・道北総合振興局 ・留萌振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・宗谷総合振興局 												
道東	<ul style="list-style-type: none"> ・オホーツク総合振興局 ・十勝総合振興局 	<ul style="list-style-type: none"> ・根室振興局 ・道東総合振興局 												
<p>また、それぞれのリサイクル拠点は4地域においてそれぞれ最も排出量が多い市町村である、札幌市（道央）、旭川市（道央）、函館市（道南）、釧路市（道東）の、地理的な重心とした。</p>														

樹脂製造工場	経済産業省、我が国の主要石油化学製品生産能力調査 〈 http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/downloadfiles/teikihapyouyosiryou/140410seisannouryokutyousa.pdf 〉 参照 2016.12.20
<p>経済産業省製造産業局化学課によって行われている「我が国の主要石油化学製品生産能力調査」より、公表されている樹脂製造業者の塩化ビニル樹脂の生産能力を参照し、この表の各社の生産能力によって按分して、それぞれの会社の工場の所在地から、重心地点を求めた。</p> <p>なお、各社の工場の所在地は、最も規模の大きい各社の工場としている。また、各地点の緯度経度は、Google マップから求めた。</p>	

輸出先 ヒアリング等の情報をもとに任意に設定

これまで PVC くずは韓国、中国、台湾など東アジアを中心に輸出されてきたが、規制の強化や PVC 樹脂の品質及び生産能力の向上などと推察される要因から、東アジアへの PVC くずの輸出量は減少傾向にある。

一方、ベトナムへの輸出量は 2014 年から激増し、2016 年の輸出量（1 月－9 月）は東アジア諸国を押さえトップとなっている。ヒアリング先でも、以前は東アジアへ輸出していたが現在はベトナムへシフトしたという話が聞かれたように、今後の主な輸出先は東南アジアへシフトしていくとみられる。

このことから、輸出距離については苫小牧港からベトナムのホーチミン港の区間で設定した。なお、航路と直線距離の差は小さいと考えられるため、直線距離で計算を行っている。

2011 年から 2016 年 9 月現在まで、年別累計取引量から年ごとに月あたりの平均取引量を算出した。その結果、2016 年時点で取引量が月あたり 100ton を超えている国を抜き出してグラフ化した。

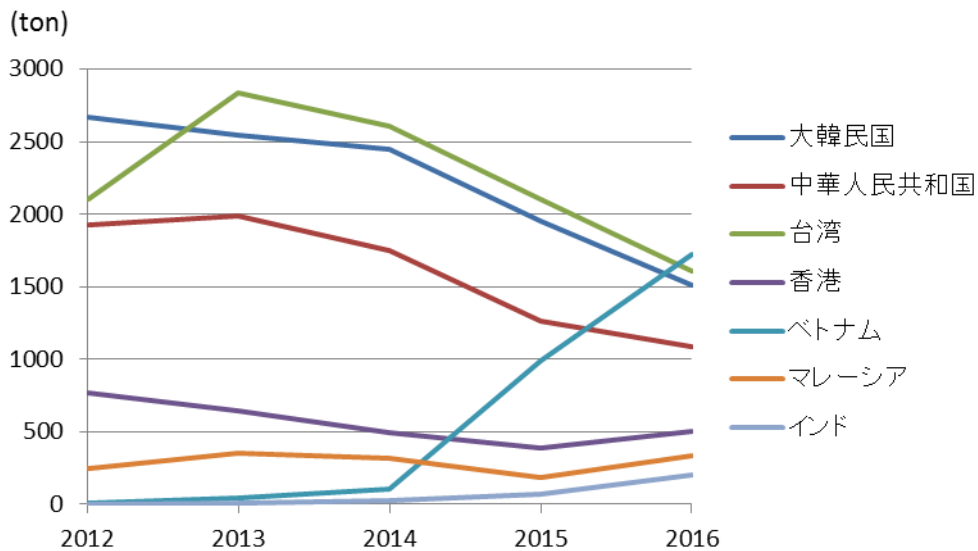


図 4-6 PVC くずの月あたり国別輸出量の推移³⁰ (図 2-11 を再掲)

最終処分場 国土交通省国土政策局国土情報課、国土数値情報ダウンロードサービス
 〈<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>〉 参照 2016.10.28

中間処理施設と同様、国交省の国土数値情報ダウンロードサービスから、最終処分場の位置情報を取得し、各中間処理施設から最寄りの、廃プラスチックが受け入れ品目にある最終処分場が選定される設定とした。

³⁰ 財務省：貿易統計 〈<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>〉 より作成 (参照：2016.12.16)

直線距離の道路距離への補正

次に、ここまでで算出した直線距離に対して、既往研究を参考に設定した道直比を掛け合わせることによって、疑似的な移動距離を算出した。道直比とは、実際の都市における直線距離と道路距離の比であり、直線距離にこれを掛け合わせることによって、大まかな2点間の移動距離を算出することができる。

道路距離と直線距離の関係については、過去にいくつもの研究がある。以下ではそれらをいくつか参照し、今回の計算で用いる道直比を決定する。

なお、海上輸送に関しては直線距離をそのまま移動距離として使用している。

用語 ・直線距離 D ……2地点間の直線距離
・道路距離 R ……与えられた道路網における2地点間の最短距離
・道直比 C ……直線距離に対する道路距離の比

①道路距離と直線距離³¹

都市内では格子状の道路パターンが多く、都市間では放射状の道路パターンが多いことから、それぞれを別に議論して道直比を求めている。

①都市内—格子状道路パターン

一律の長方形格子となっている道路パターンでは、理論的に道直比を求めることが可能となり、長方形の縦横比によって違いは出るが、おおよそ道直比 $C=1.28$ となる。なお、実際に都内の3区について1kmごとに格子点を打ち、それらの道直比を実証的に検討したところ、理論と大きな違いが出ないことが分かった。

以上の議論から、都市内においてはおおよそ $R=1.3D$ となると結論付けられている。

②都市間—放射状道路パターン

都市間の移動においては、都市と都市をつなぐ道路は最短経路を取りやすいため、都市内での移動よりも道直比が小さくなると考えられる。このことから、茨城県の18市町村役場間での移動を例として、実証的な検証を行っている。

その結果、与えられた道路網によって違いが出ることが分かった。

1.国道のみ	$R=1.25D$ ($r^2=0.93$)
2.国道と地方主要道	$R=1.18D$ ($r^2=0.99$)
3.国道・地方主要道・県道	$R=1.14D$ ($r^2=0.99$)

ただし、 r は相関係数である。上記の三つはいずれも高い相関を示している。

³¹腰塚武志、小林純一：都市計画別冊(18), p43-48, 1983.11より引用

②道路距離と直線距離による道路網の利便性評価³²

上の先行研究に対して、九州・四国・中国地方について検討を行うことで、地域性による道直比の違いが存在することを示し、実際にその道直比がどのような要因で生じているかについて、峠や谷などの地形の道直比を示して分析を行っている。

	国道網	主要地方道網	県道網
中国地方	1.365	1.326	1.282
四国地方	1.395	1.364	1.342
九州地方	1.532	1.473	1.436

なお、国道網、主要地方道網、県道網は上の研究と対応している。

③資源循環における輸送距離に対する東京と北海道のGISによる比較³³

コンクリート製造時のLCCO₂を算出するために、東京と北海道における、生コン工場—砕石工場間の直線距離と道路距離、道直比をArcGIS Network Analystにより求めている。なお、国道のみのデータを使用しているとみられる。

北海道	R=1.37D (r2=0.927)
東京都	R=1.21D (r2=0.988)

道路網がより密に発達している東京都のほうが、道直比が小さく、相関係数が大きくなっているが、生コン工場と砕石工場が離れている場合が大きいため、輸送時のCO₂排出量は北海道の1.5倍ほどと高くなっていることが示された。

一方、北海道においては比較的ばらつきが大きく、相関係数が比較的小さい値となっているが、高い相関があるといえる値である。

④日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究³⁴

人口が20万人以上である日本の主要都市112市について、1kmメッシュによって起点を設定し、道直比を求めた実証的な研究である。北海道の都市については以下となる。

	道直比	決定係数
札幌市	1.4052	0.9474
函館市	1.5421	0.9527
旭川市	1.2326	0.9905
平均	1.3933	0.963533

また、道路網密度と道直比の関係についても検討されており、道路網密度が市の全体にわたって高いほど、道直比が小さくなることが示されている。北海道の主要都市では、中心部以外の道路網密度が比較的小さいため、道直比は大きくなっている。

³²西沢明：地域学研究 18, p.145-164, 1987 より引用

³³北垣亮馬、岩田彩子ほか：日本LCA学会研究発表会講演要旨集, p.64, 2007 より引用

³⁴森田匡俊、鈴木克哉、奥貫圭一：GIS-理論と応用 22(1), p.1-7, 2014.06 より引用

直線距離と道路距離に関する先行研究はほかにも存在するが、今回は理論的なものよりも実証的な研究を選出し、これらを参考に検討した。

その結果として、いくつかの知見が得られた。このことから、道直比を設定する。

- ・北海道の市街地は格子状パターンが多い。また、排出点（市町村役場）→中間処理施設の移動経路はほとんど市街地を通る都市内移動となると考えられる。

→先行研究①より、排出点—中間処理施設では道直比 **1.3** と設定する。

- ・中間処理施設→リサイクル拠点の移動経路は都市間移動となる。また、北海道は道路網の疎密が大きく、道直比が比較的大きい地域であると考えられる。

→先行研究③と④より、中間処理施設→リサイクル拠点における道直比は、平均値より一回り大きくとって、**1.5** と設定する。

輸送条件

陸上輸送はすべてトラックで行うと仮定した。中間処理業者 F 社から、北海道では 20ton 以上の物量の移動は 100km 圏内の比較的近距离であっても、20ton トレーラーを使用することが多いとの情報を得たため、以降の計算で輸送車両の仮定が必要となった際には、輸送物量が 20ton 以下であっても、合い積みが行われると考えて、20ton トレーラーを仮定するようにしている。

また、海外への輸出やリサイクル工場から樹脂サッシ型材工場への輸送などでは、海上輸送を含む輸送経路としている。

なお、すべての計算は片道の輸送のみ考慮して行っている。

これら陸上輸送及び海上輸送における環境負荷として、CO₂ 排出量を以下のように設定した。ただし、海上輸送は内航船舶の値としているため、輸出にあたっては実態と異なる数値を使用していることに留意する必要がある。また、平成 19 年の報告書であるため、現在策定されている燃費基準よりも大幅に燃費が悪いことにも注意が必要である。

表 4-3 燃費の設定³⁵

内航船舶	39 g-CO ₂ /t-km
営業用普通車 ※積載量三トン以上	173 g-CO ₂ /t-km

最後に、各市町村の排出源から中間処理施設までの距離など、データが複数にわたるものについては、それぞれの経路における輸送距離と輸送距離を掛け合わせ、按分することによって平均距離を算出した。

具体的には、例えば排出源から中間処理施設までの輸送に関しては下表の計算を行った。直選距離を排出量で按分することで、排出源から中間処理施設までの平均直線距離を 3.70km と算出している。環境負荷の計算では、これに道直比である 1.3 を掛けることで、平均輸送距離を 4.81 と算出する。

同様に、複数の地点から一か所に輸送を行う場合、それぞれの輸送量を使用して按分を行うことによって、平均距離を算出している。

³⁵経済産業省・国土交通省：ロジスティクス分野における CO₂ 排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.0、2007.3

表 4-4 排出源から中間処理施設への平均直線距離の算出

距離(km)	3.00	2.59	0.29	1.38	0.17	2.12	1.39	1.87	6.40	1.44	1.41	0.39	3.90	0.27	6.70	3.20	3.01	3.09
排出量 (ton)	3763.89	449.95	165.35	498.55	145.69	278.24	308.93	117.31	7.44	82.28	65.18	31.35	312.32	62.41	33.36	13.51	192.03	26.37
排出割合	44.49%	5.32%	1.95%	5.89%	1.72%	3.29%	3.65%	1.39%	0.09%	0.97%	0.77%	0.37%	3.69%	0.74%	0.39%	0.16%	2.27%	0.31%
按分された距離(km)	1.33	0.14	0.01	0.08	0.00	0.07	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.14	0.00	0.03	0.01	0.07	0.01

紋別市	士別市	名寄市	三笠市	根室市	千歳市	滝川市	砂川市	歌志内市	深川市	富良野市	登別市	恵庭市	伊達市	北広島市	石狩市	北斗市	当別町
3.62	1.34	1.45	6.56	38.83	3.21	4.28	0.42	6.72	0.39	1.76	1.89	2.52	0.76	2.30	1.63	3.17	5.86
38.16	20.49	54.81	6.87	33.36	139.03	61.63	18.34	4.56	28.91	42.09	38.99	127.40	62.27	109.02	100.93	71.22	15.45
0.45%	0.24%	0.65%	0.08%	0.39%	1.64%	0.73%	0.22%	0.05%	0.34%	0.50%	0.46%	1.51%	0.74%	1.29%	1.19%	0.84%	0.18%
0.02	0.00	0.01	0.01	0.15	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01

新篠津村	松前町	福島町	知内町	木古内町	七飯町	鹿部町	森町	八雲町	長万部町	江差町	上ノ国町	厚沢部町	乙部町	奥尻町	今金町	せたな町	島牧村
11.60	51.75	48.70	31.22	21.29	6.51	16.19	1.89	3.49	29.76	8.91	18.18	2.76	2.00	57.00	27.60	35.65	31.09
3.02	8.99	4.79	4.17	5.16	24.68	3.64	15.52	17.29	6.27	9.17	5.36	4.13	4.03	3.30	5.25	9.26	1.87
0.04%	0.11%	0.06%	0.05%	0.06%	0.29%	0.04%	0.18%	0.20%	0.07%	0.11%	0.06%	0.05%	0.05%	0.04%	0.06%	0.11%	0.02%
0.00	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.01

寿都町	黒松内町	蘭越町	二七町	真狩村	留寿都村	喜茂別町	京極町	倶知安町	共和町	岩内町	泊村	神恵内村	積丹町	古平町	仁木町	余市町	赤井川村
13.46	23.82	14.47	12.24	19.60	25.15	25.03	16.89	5.14	2.81	2.42	8.06	20.27	32.61	23.11	13.87	9.15	13.38
3.70	3.15	4.80	4.24	1.85	1.77	2.48	2.96	14.64	5.81	14.91	1.98	1.04	2.60	3.94	3.55	20.30	1.13
0.04%	0.04%	0.06%	0.05%	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.17%	0.07%	0.18%	0.02%	0.01%	0.03%	0.05%	0.04%	0.24%	0.01%
0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00

南幌町	奈井江町	上砂川町	由仁町	長沼町	栗山町	月形町	浦臼町	新十津川町	妹背牛町	秩父別町	雨竜町	北竜町	沼田町	鷹栖町	東神楽町	当麻町	比布町
3.31	4.68	5.60	14.80	9.99	10.94	15.67	8.17	3.23	8.40	4.47	6.55	4.87	5.46	5.18	4.24	4.93	7.64
6.76	6.07	4.50	5.06	9.92	12.11	3.53	2.00	5.99	3.10	2.34	2.57	1.78	3.28	6.04	7.04	6.09	3.66
0.08%	0.07%	0.05%	0.06%	0.12%	0.14%	0.04%	0.02%	0.07%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.04%	0.07%	0.08%	0.07%	0.04%
0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

愛別町	上川町	東川町	美瑛町	上富良野町	中富良野町	南富良野町	占冠村	和寒町	剣淵町	下川町	美深町	音威子府村	中川町	幌加内町	増毛町	小平町	苫前町
14.98	25.30	2.29	3.36	3.17	6.96	21.10	33.04	16.43	8.14	14.87	0.81	26.71	36.11	23.82	13.84	11.66	35.80
2.99	4.48	6.34	9.41	10.61	4.27	2.94	1.23	3.56	3.66	4.82	0.94	1.82	1.71	5.11	3.54	3.35	
0.04%	0.05%	0.07%	0.11%	0.13%	0.05%	0.03%	0.01%	0.04%	0.04%	0.04%	0.06%	0.01%	0.02%	0.02%	0.06%	0.04%	0.04%
0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01

羽幌町	初山別村	遠別町	天塩町	猿払村	浜頓別町	中頓別町	枝幸町	豊富町	礼文町	利尻町	利尻富士町	幌延町	美幌町	津別町	斜里町	清里町	小清水町
46.01	44.32	39.76	21.84	32.88	42.89	39.27	48.58	5.71	50.70	48.13	40.06	9.18	0.87	15.05	3.28	11.87	16.96
7.87	1.22	2.78	3.25	2.25	3.93	1.88	8.15	4.08	2.82	2.46	2.74	2.54	19.60	5.20	10.66	3.79	4.35
0.09%	0.01%	0.03%	0.04%	0.03%	0.05%	0.02%	0.10%	0.05%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.23%	0.06%	0.13%	0.04%	0.05%
0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01

訓子府町	置戸町	佐呂間町	遠軽町	湧別町	滝上町	興部町	西興部村	雄武町	大空町	豊浦町	杜町	白老町	厚真町	洞爺湖町	安平町	むかわ町	日高町
10.36	22.71	21.59	1.08	4.53	26.48	16.35	30.31	36.50	4.42	19.78	9.59	3.21	10.35	12.32	2.57	11.42	9.03
4.24	3.17	4.99	21.64	8.37	3.26	3.73	1.32	4.30	6.31	4.69	2.76	19.56	4.01	10.43	8.44	8.96	13.33
0.05%	0.04%	0.06%	0.26%	0.10%	0.04%	0.04%	0.02%	0.05%	0.07%	0.06%	0.03%	0.23%	0.05%	0.12%	0.10%	0.11%	0.16%
0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01

平取町	新冠町	浦河町	様似町	えりも町	新ひだか町	音更町	士幌町	上士幌町	鹿追町	新得町	清水町	芽室町	中札内村	更別村	大樹町	広尾町	幕別町
18.54	8.53	0.76	15.46	39.43	3.70	1.05	0.38	2.18	18.61	24.87	16.39	6.64	1.06	8.18	1.72	22.52	6.14
5.25	5.20	14.09	4.64	4.38	24.59	37.03	5.13	4.62	4.81	6.70	9.00	14.81	3.49	2.47	5.27	6.93	22.56
0.06%	0.06%	0.17%	0.05%	0.05%	0.29%	0.44%	0.06%	0.05%	0.06%	0.08%	0.11%	0.18%	0.04%	0.03%	0.06%	0.08%	0.27%
0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02

池田町	豊頃町	本別町	足寄町	陸別町	浦幌町	釧路町	厚岸町	浜中町	標茶町	弟子屈町	鶴居村	白糠町	別海町	中標津町	標津町	羅臼町	合計
14.94	3.00	15.88	6.45	31.71	8.91	0.91	2.29	22.17	1.90	24.53	18.62	11.76	6.59	2.84	13.44	40.66	-
7.11	2.97	7.75	7.26	2.74	4.96	18.26	8.83	4.85	7.22	8.01	2.05	8.91	12.32	20.65	4.70	4.33	8460.97
0.08%	0.04%	0.09%	0.09%	0.03%	0.06%	0.22%	0.10%	0.06%	0.09%	0.09%	0.02%	0.11%	0.15%	0.24%	0.06%	0.05%	100.00%
0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	3.70

4-1-4.環境負荷に関わるデータの整理

・処理モデルの各工程における環境負荷原単位の整理

構築した処理モデルにおいて、破砕処理等の各工程で生じる環境負荷は、表のように設定している。

なお、ペレット化工程については、樹脂サッシ由来である硬質 PVC 樹脂のペレット化の事例は、国内で見つけられなかったため、塩ビ管のペレット化工程における環境負荷のデータを使用している。

表 4-5 環境負荷原単位の整理

工場	工程	環境負荷原単位	備考	参考
樹脂製造工場	樹脂製造	1449 kg-CO ₂	1ton の PVC 樹脂製造にかかる環境負荷原単位	石油化学製品の LCI データ調査報告書 ³⁶
中間処理施設	破砕処理	23 kg-CO ₂	1ton の廃樹脂サッシ処理にかかる環境負荷原単位	プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書 ³⁷
リサイクル工場	分別処理	117 kg-CO ₂		中間処理業者 F 社提供資料より
	ペレット化	106 kg-CO ₂	1ton のペレット製造にかかる環境負荷原単位	ポリ塩化ビニル製品のライフサイクルにおける環境負荷分析 ³⁸
製品製造工場	樹脂サッシ製造	714 kg-CO ₂	1ton の樹脂サッシ製造にかかる環境負荷原単位	樹脂サッシメーカー D 社提供資料より
最終処分場	埋立処分	5.5 kg-CO ₂	1ton の廃棄物の埋め立てにかかる環境負荷原単位	プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書 ³⁹

これらは備考にあるように、環境負荷原単位が異なっているため、実際の計算ではこれらの数値を単純に並列して比較することはできない。例えば、1ton の廃樹脂サッシ処理を行っても、廃樹脂サッシは複合建材であるため、1ton の硬質 PVC は得られない。その一方で、樹脂製造に関わる環境負荷原単位が非常に大きいことが分かる。

³⁶ プラスチック処理促進協会、石油化学製品の LCI データ調査報告書、2009.3

³⁷ プラスチック処理促進協会、プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書、2001.3

³⁸ 中澤 克仁ほか：ポリ塩化ビニル製品のライフサイクルにおける環境負荷分析、日本エネルギー学会誌 86(5), p.339-345, 2007.5

³⁹ 37 と同様

なお、これら環境負荷の算出にあたって、提供資料や参考資料には環境負荷原単位となる CO₂ 排出量でなく、使用エネルギーによる起債も多くあったため、以下の資料を参考として、電力使用や燃料使用等による環境負荷（CO₂ 排出量）を算出している。

表 4-6 エネルギー別の環境負荷原単位

エネルギー	環境負荷原単位	参考
電力	0.676 kg-CO ₂ /kWh	北海道電力 2015 年度 CO ₂ 排出原単位 ⁴⁰
軽油	2.624 kg-CO ₂ /L	事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン ⁴¹
液化石油ガス (LPG)	3.002 kg-CO ₂ /kg	

なお、今回の評価では、環境負荷の指標として CO₂ 排出量を使用している。ほかの指標として、製造エネルギーや SO_x、NO_x が挙げられる。

SO_x、NO_x は脱硫設備等によって環境負荷の軽減が可能である一方、工場の規模によって導入されている設備が大幅に異なることが予測されたため、今回の評価では指標として用いていない。

また、エネルギーに関しては、次節における 1ton の硬質 PVC 樹脂を調達する際の環境負荷インベントリのみ、計算を行った。これは、硬質 PVC 樹脂はサーマルリサイクルが行いにくいいためである。

特にプラスチック樹脂の製造においては、原料として使用される石油自体の資源エネルギーが大きいため、エネルギーを指標とするとリサイクルによる環境負荷の軽減効果が非常に大きくなる。ただし、硬質 PVC 樹脂は多量の塩素を含んでいるためにほかの代表的なプラスチックと異なり、自己消火性を持つなど燃焼効率は低い。また、塩化水素やダイオキシンの発生を防ぐため、燃焼可能な設備が限られているという事情から、他のプラスチックと異なり FRP などとして、サーマルリサイクルを行うことができない。

このように、硬質 PVC 樹脂はサーマルリサイクルによる資源エネルギーの利用が難しい。樹脂の製造には石油が使用されているため、エネルギーを指標として環境負荷影響を評価することは妥当ではあるが、環境負荷軽減効果を過大に評価してしまう可能性もあるため、エネルギーの計算は最低限にとどめることとした。

⁴⁰北海道電力：2015 年度 CO₂ 排出原単位

〈<http://www.hepco.co.jp/corporate/environment/environment.html>〉 参照：2016.11.24

⁴¹環境省地球環境局：事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案 ver1.6），2003.7 より引用

樹脂サッシの処理に関わる環境負荷

樹脂サッシは多種の材料から成り立っている複合建材であり、硬質 PVC 樹脂以外にも金属や異種プラスチック、軟質 PVC などが含まれている。廃材の場合はそれに加えて、ガラスやコンクリートなどの開口部周りの建材が付着することも懸念される。

本研究における LCA 手法による計算では、モデルの簡略化のため、樹脂サッシの組成と材料別の処理方法について、以下のように設定している。なお、組成は中間処理業者 F 社の提供資料による。

表 4-7 樹脂サッシの組成⁴²

サッシ内計 (ton)	2.353	
硬質 PVC	1.000	シナリオによって リサイクル・輸出等を行う
鉄	0.955	中間処理施設で選別された 後は考慮しない
ステンレス	0.106	
アルミ	0.212	
軟質 PVC	0.035	
異種プラダスト	0.045	

樹脂サッシに使用されている金属の再資源化に関わる環境負荷や、軟質 PVC と異種プラダストの最終処分に関わる環境負荷については算出していない。金属についてはリサイクルされる場合が多いと推測されるが、軟質 PVC や異種プラスチックについては中間処理業者によってリサイクル・埋め立て処分など対応が異なると考えられ、全体として推測が難しいためである。

樹脂サッシの処理フローにおける量的関係

樹脂サッシは表のように、複数の材料が使用された複合建材であるため、硬質 PVC 樹脂で構成された樹脂サッシ型材 1ton につき、樹脂サッシは 2.353ton が発生することに留意する必要がある。

一方、リサイクル工場におけるペレット化の工程では、残渣が発生する。先述した先行研究では、およそ 1.8%の残渣が発生するとなっているが、計算の簡単のため、今回の計算では残渣の発生を無視している。

これらのことから、樹脂サッシの処理モデルにおける各段階での、樹脂サッシや破砕品等の量的関係を整理した。これを下図に示す。

以下のように、複合建材である樹脂サッシから、硬質 PVC ペレット 1ton を製造する際の量的関係が整理される。次節からはリサイクル材料である硬質 PVC ペレット 1ton を製

⁴² 中間処理業者 F 社提供資料より

造する際の環境負荷を算出するが、ペレット化工程以前における輸送や破碎処理等によって生じる環境負荷は、それぞれの工程における樹脂サッシ破碎品や硬質 PVC 樹脂等、廃樹脂サッシ由来の材料の重量を考慮する必要がある。

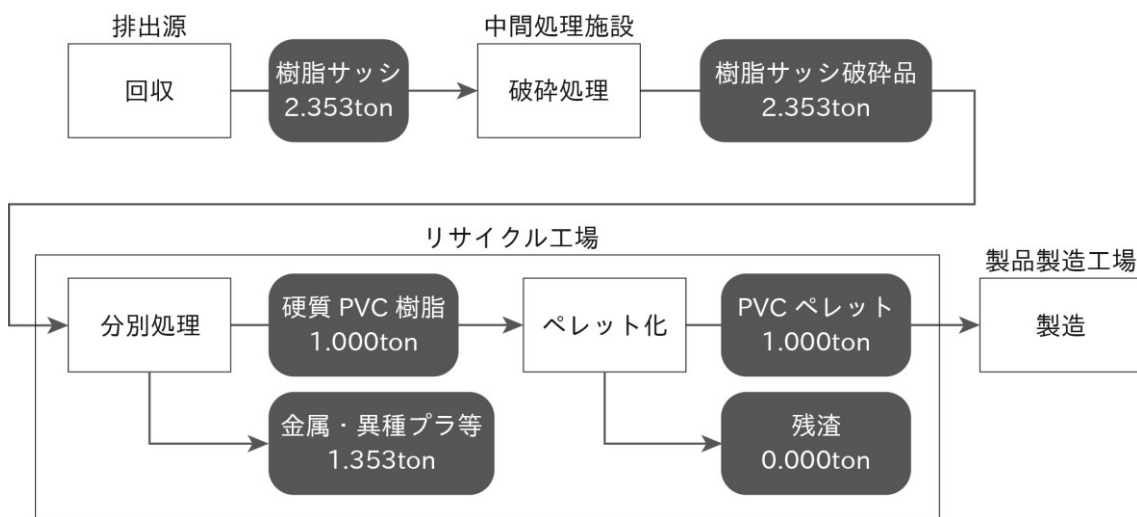


図 4-7 リサイクルの各段階における量的関係

4-2.拠点の配置と再資源化の方向性によるシナリオ評価

4-2-1.リサイクル材料の調達に関わるシナリオの構築とインベントリ作成

前節では、リサイクル材料の回収・処理方法や、再資源化処理後の用途によって、以下の9つのケースを想定した。

本節では、この設定をもととして、樹脂サッシのリサイクルによる環境影響を定量的にとらえるために、実際にLCA手法による環境負荷の計算を行う。

今回の分析で対象としたのは、エネルギー消費量及びCO₂排出量という環境負荷である。なお、SO_x・NO_x排出量については、脱硫設備の有無など諸条件によって大きく影響を受けることが予想されたため、分析の対象からは外してある。

表 4-8 シナリオ設定とインベントリデータの内容

	シナリオ設定	再資源化の実施	インベントリデータの内容
ケース①(バージン材)	バージン材の調達について評価を行う	-	バージン原料となる硬質PVC樹脂1トンを製品工場に調達するまでの環境負荷インベントリ
ケース②(再資源化)	サッシtoサッシ (東北のサッシ工場 再製品化)	札幌に1か所の工場 で実施	リサイクル原料となる硬質PVC樹脂1トン を製品工場に調達するまでの環境負荷インベントリ
ケース③(再資源化)		道央・道南・道北・道東の 4か所の工場 で実施	
ケース④(再資源化)		東北のサッシ工場 で実施	
ケース⑤(再資源化)	サッシから他製品へ (苫小牧の工業地帯 再製品化)	札幌に1か所の工場 で実施	
ケース⑥(再資源化)		道央・道南・道北・道東の 4か所の工場 で実施	
ケース⑦(再資源化)		岩見沢の 製品工場 で実施	
ケース⑧(最終処分)	ベトナムへ輸出	-	硬質PVC樹脂1トンを含む樹脂サッシ破砕品を ホーチミン港へ輸送するまでの環境負荷インベントリ
ケース⑨(最終処分)	最終処分	-	硬質PVC樹脂1トンを含む樹脂サッシ破砕品を 埋立処分するまでの環境負荷インベントリ

まず、それぞれのケースについて、環境負荷インベントリの作成を行った。具体的には、ケース①～⑥では、製品工場へ硬質PVC樹脂1tonを調達するまでの再資源化処理や輸送等の工程にかかる、環境負荷インベントリを作成した。また、ケース⑦では硬質PVC樹脂1tonを含む樹脂サッシ破砕品をホーチミン港へ輸出するまで、ケース⑧では埋立処分するまでの環境負荷インベントリを作成した。

実際にはリサイクル材料使用率100%で製品製造を行うことはできないため、バージン材料の環境負荷と掛け合わせながら評価を行う必要がある。また、前節での考察から、リサイクル材料が多く発生した場合、樹脂サッシ産業のみでリサイクル材を使用することは困難であり、余剰分を他でリサイクルする等の対応が必要となる。これらは次節で説明する。

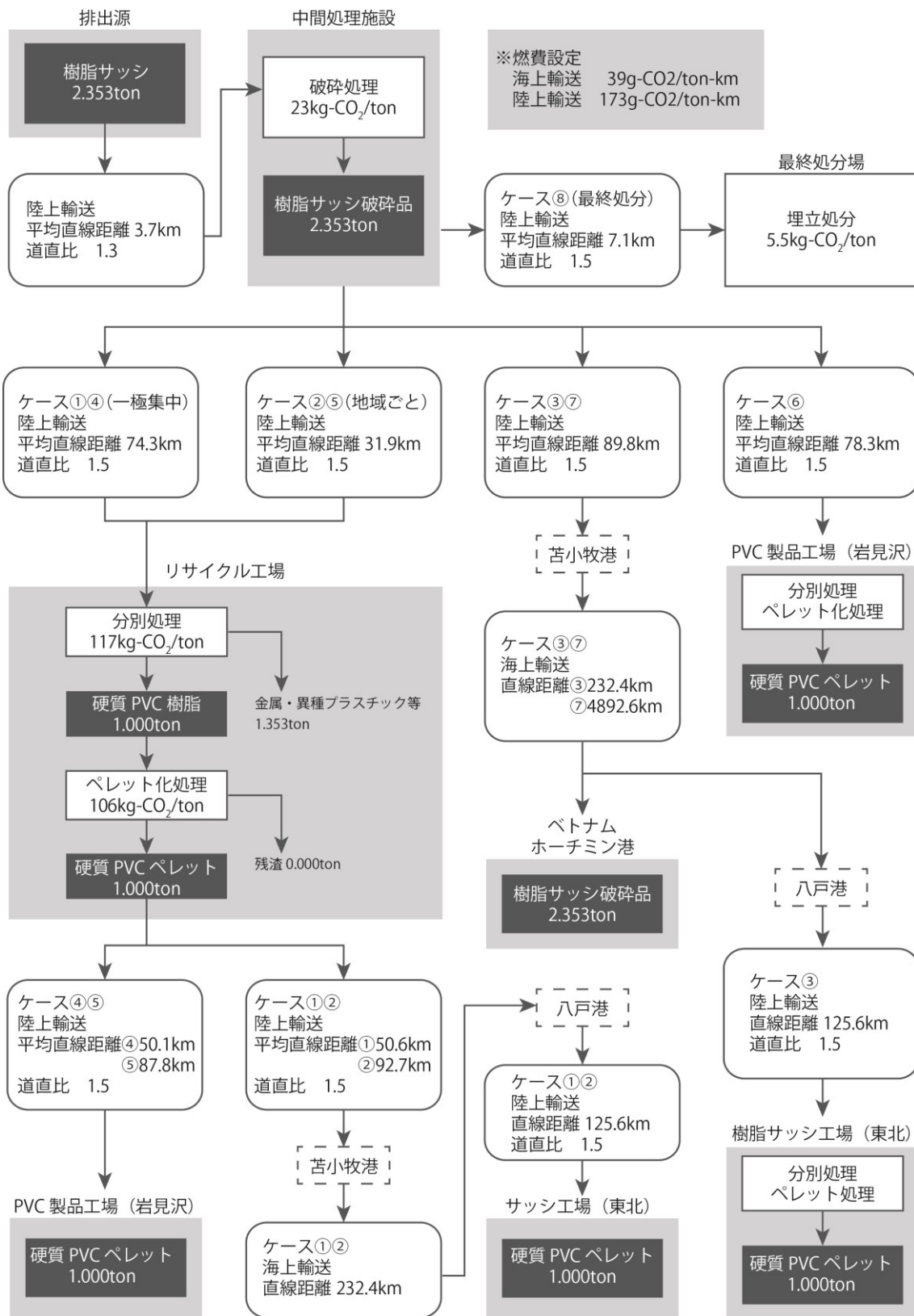


図 4-8 ケース①～⑧の処理フロー図

ケース①～⑧の処理フローを前頁の図に示した。

排出源や中間処理施設は、一括りにして図にしているが、排出源は市町村数である 179 か所、中間処理施設もそれに対応するだけの数が存在する（各排出源から最寄りの中間処理施設を選定しているため、中間処理施設が少ない地域では、複数の排出源からの受け入れを行う中間処理施設が存在する可能性がある）。

このように処理モデルにおいて輸送経路が複数ある場合には、平均直線距離を算出することで、モデルを簡略化している。平均直線距離は、4-1-3 で行ったように、施設から施設までの距離を、樹脂サッシの輸送量によって按分することで、各段階における平均直線距離を算出している。これに道直比を掛けることで、平均輸送距離が算出され、ここから環境負荷が算出される。

ケース②と⑤を例にすると、これらのケースではリサイクル工場が北海道に 4 か所設定されているため、それぞれの中間処理工場から最寄りのリサイクル工場が選定されるように設定している。そのため、4つのリサイクル工場への平均直線距離や回収量はそれぞれ異なっており、下図のようになる。

ここで、中間処理施設からそれぞれのリサイクル工場への平均直線距離と回収率を掛け合わせて合計することによって、平均直線距離 31.9km を算出して、前頁の図のように簡略化している。

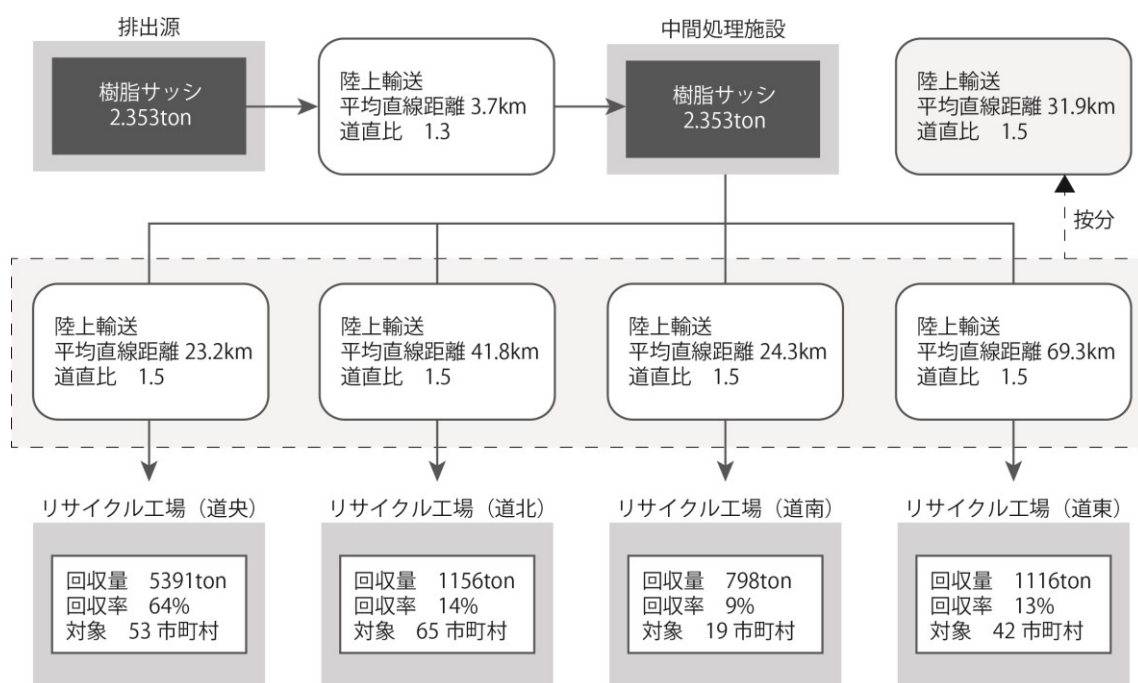


図 4-9 ケース②および⑤における各リサイクル工場への輸送の詳細

なお、図のように、リサイクル工場は 4 か所設定されているが、それぞれの向上における処理量は大きく異なる。特に道北と道東は、対象となる市町村数に対して回収量が少なく、また輸送距離も大きくなるため、回収効率が悪くなる。道南に関しては、回収効率は道北や道南より良くなることが予想されるが、回収量が非常に少ないため、リサイクル工場の初期投資に対して、継続的に得られる利益が見合うだけのものとなるかには疑問が残る。

道央は回収効率が最も高くなると予想され、なおかつ回収量も全体の 2/3 程度を占めるため、最もリサイクルが行いやすい地域といえるだろう。

また、ケース①については以下の処理フローとなる。

硬質 PVC 樹脂の輸送手段を、陸上輸送としているため、輸送工程における環境負荷排出量が多く見積もられている可能性があることに留意する必要がある。ただし、樹脂製造工程における環境負荷が非常に大きいため、輸送工程の環境負荷の割合は比較的小さくなる。

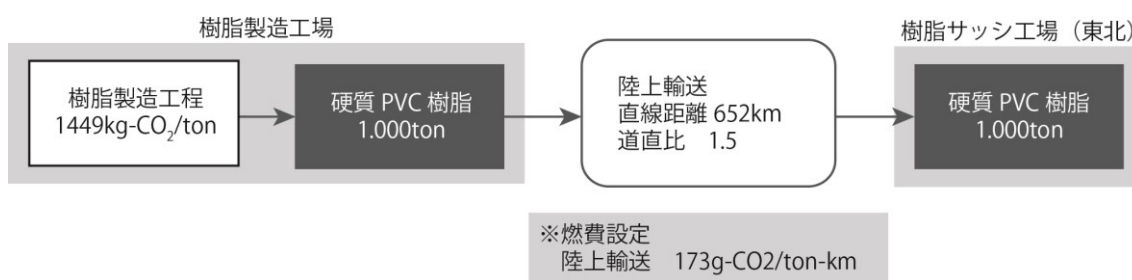


図 4-10 ケース①における処理フロー図

以上から、硬質 PVC 樹脂の調達、もしくは処理にかかる環境負荷インベントリを作成した。まず、CO₂排出量についての計算結果を図に示す。

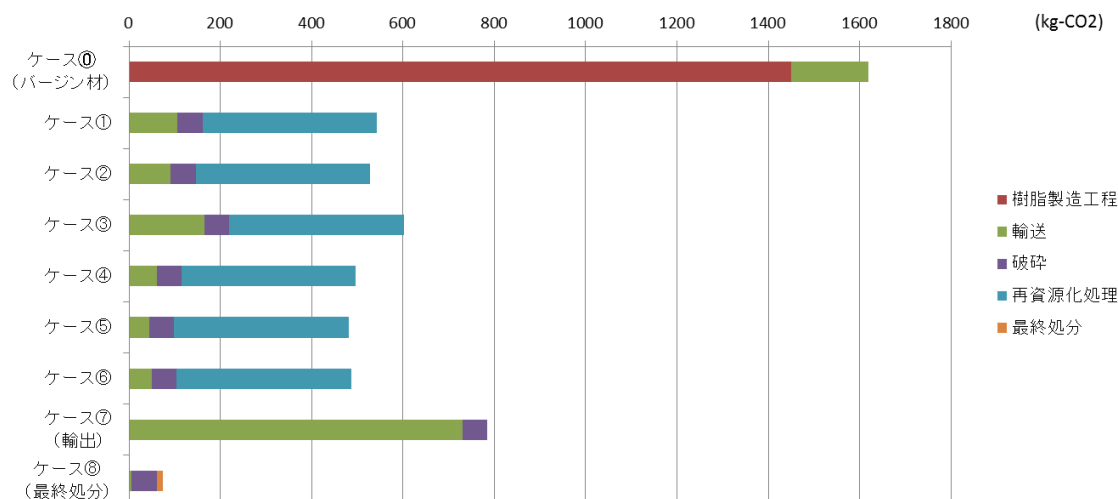


図 4-11 CO₂ 排出インベントリ

グラフから分かるように、ケース⑩におけるバージン材料調達においては、樹脂製造工程にかかる環境負荷が非常に大きい。そのため、ケース①～⑥のようにリサイクルを行い、バージン材の代替としてリサイクル材を使用することによって、大幅に環境負荷の低減や石油資源の節約が可能となる。最も環境負荷の小さいケース⑤と比較すると、およそ 1138kg の CO₂ 削減効果が見込まれることとなる。また、国内においてリサイクル材を使用せずにバージン材のみで製品製造を行う場合は、廃材の処理に伴ってケース⑦や⑧の環境負荷も考慮に含める必要があるため、環境負荷はより大きくなることが分かる。

また、より詳細な比較のため、各工程にかかる CO₂ 排出量のデータを次頁の表に示している。特にケース①～⑥については、基本的に破碎、再資源化処理にかかる環境負荷は同一であり、輸送工程のみに違いが生じる。

サッシからサッシへのリサイクルを行うとしたケース①～③では、ケース③の輸送にかかる環境負荷が突出して大きくなっている。これは、分別を行わずに破碎したサッシを東北まで輸送しているため、硬質 PVC1ton あたりの輸送効率が落ちているためである。このように、北海道以外でリサイクル材を使用する場合は、北海道内でリサイクル材を製造して輸送効率を上げることで、輸送にかかる環境負荷が軽減されることが示された。

また、実際にケース③のような輸送を行う場合は、都道府県を移動することになるため、廃掃法によって廃棄物として輸送することができず、有価物としての搬送となることに注意が必要である。

表 4-9 CO₂ 排出インベントリデータの作成

(kg-CO ₂ /ton)	樹脂製造工程	輸送	破碎	再資源化处理	最終処分	合計
ケース① (バージン材)	1449.34	169.15	0.00	0.00	0.00	1618.49
ケース①	0.00	106.66	54.12	382.26	0.00	543.04
ケース②	0.00	91.70	54.12	382.26	0.00	528.08
ケース③	0.00	165.52	54.12	382.26	0.00	601.90
ケース④	0.00	60.35	54.12	382.26	0.00	496.73
ケース⑤	0.00	44.22	54.12	382.26	0.00	480.60
ケース⑥	0.00	49.74	54.12	382.26	0.00	486.12
ケース⑦ (輸出)	0.00	730.29	54.12	0.00	0.00	784.41
ケース⑧ (最終処分)	0.00	6.32	54.12	0.00	12.91	73.35

一方、ケース④～⑤では北海道内でリサイクル材を使用する設定としている。現在、北海道で樹脂サッシ型材の製造は限定的であるとみられる一方で、その他 PVC 製品の生産は安定して行われているため、ここでは札幌近郊の工業地帯である岩見沢で、サッシから他製品へのリサイクルを行うと想定している。ケース⑥もケース③と同様に、破碎したサッシを分別せずに製品工場まで輸送しているが、道央のリサイクル工場に近い北海道内の工場への輸送であるため、移動にかかる環境負荷はあまり大きくない。むしろ、リサイクル工場から製品工場への輸送が必要となるケース④のほうが、輸送にかかる環境負荷は大きくなっている。このように、樹脂サッシの最大需要地である札幌の近くに所在する工場でリサイクル材を使用する場合は、製品工場にリサイクル工場を併設することが、環境負荷を削減するには最適となる可能性がある。

また、以上のようにリサイクルを行う場合は、リサイクル工場を地域ごとに配置するケース②および⑤における環境負荷が、①～③および④～⑥のうちではそれぞれ最も小さくなっているが、リサイクル工場を4か所設置する必要があるため、単純計算するとケース①および④の4倍の初期投資がかかることとなる。それに見合うだけの環境負荷軽減効果があるかどうかには疑問が残るため、ケース①や④のように、最大需要地の近くにリサイクル工場を配置することは、妥当な方策であると思われる。

なお、ケース⑦の輸送に関しては、海上輸送にかかるトン-キロ当たりの環境負荷は陸上輸送を行う場合と比較して小さいものの、東南アジアのベトナムまでの距離が非常に大きいため、それに比例して環境負荷も大きくなっている。ただし、輸出された廃樹脂サッシがリサイクル材として使用されることで、地球全体で見た環境負荷は抑えられているといえる。

ケース⑧は最終処分を行う場合であるが、最終処分手態にかかる環境負荷はあまり大きくない。最終処分を行うことによって、リサイクル材が使用されずバージン材が使用されるようになることに、環境的な問題が生じる。

以上から、それぞれのケースに対する概観を、表に整理した。

表 4-10 再資源化を行うケースに対する評価

	リサイクルの方向性	リサイクル工場の配置	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /ton)	評価
ケース①	サッシからサッシ (東北で製品化)	札幌	543.04	EUにおけるVU社の再資源化システムと近い設定としており、最も標準的なケースである。
ケース②		道央・道南・道北・道東	528.08	CO ₂ 排出量は低く抑えられるが、リサイクル工場を複数配置するため、ケース①の4倍程度のイニシャルコストが必要となると考えられる。
ケース③		東北のサッシ工場	601.90	リサイクルを北海道外で行うため、輸送効率が悪く、環境負荷が大きい。また、廃掃法により輸送が行いにくいと予想される。
ケース④	サッシから他製品 (道内で製品化)	札幌	496.73	製品工場が苫小牧など札幌から少し離れた地域にある場合、環境負荷が相対的に小さくなることが予想される。
ケース⑤		道央・道南・道北・道東	480.60	ケース②と同様に、イニシャルコストにみあうだけの環境負荷削減効果はないと思われる。
ケース⑥		岩見沢の製品工場	486.12	製品工場が札幌近郊にある場合、それに併設してリサイクル工場を併設することで、輸送と環境負荷削減を効率化が可能であることが分かる。

また、以降の環境負荷に関する評価は、基本的に CO₂ 排出量を指標として行っているが、ここでは参考として、エネルギー使用量のインベントリデータも掲載する。

樹脂製造に石油が原料として使用されるため、樹脂製造にかかる工程エネルギーに加えて、石油の資源エネルギーがエネルギー使用量として加算されている。そのため、CO₂ 排出量と比較しても、リサイクルを行うケースと比べて環境負荷が突出して大きくなっている。

その他の傾向は、CO₂ 排出量のインベントリデータと同様である。

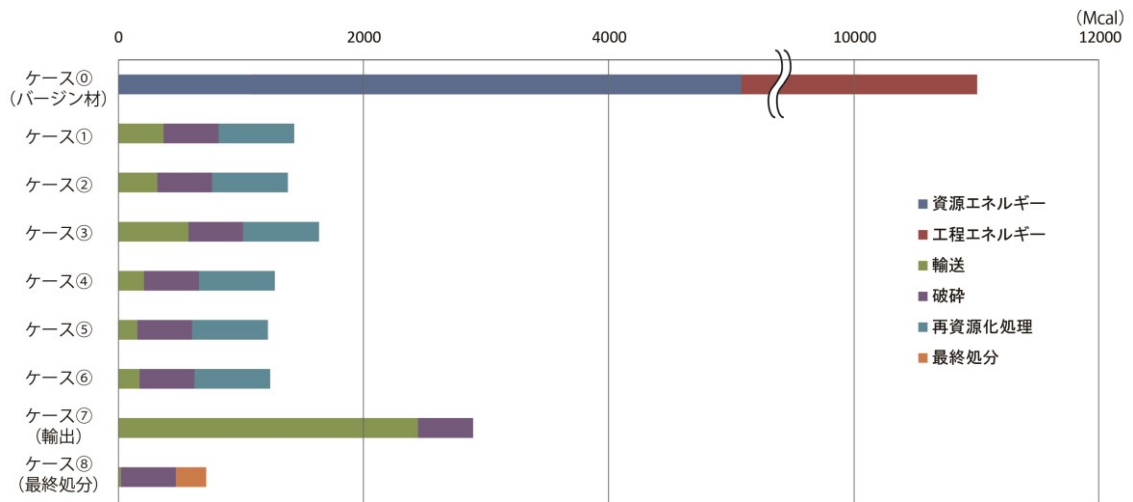


図 4-12 エネルギー使用インベントリ

表 4-11 エネルギー使用インベントリデータの作成

(Mcal/ton)	資源エネルギー	工程エネルギー	輸送	破碎	再資源化処理	最終処分	合計
ケース① (バージン材)	5084	5925	0	0	0	0	11009
ケース②	0	0	369	448	618	0	1435
ケース③	0	0	317	448	618	0	1383
ケース④	0	0	571	448	618	0	1637
ケース⑤	0	0	210	448	618	0	1276
ケース⑥	0	0	154	448	618	0	1220
ケース⑦ (輸出)	0	0	173	448	618	0	1239
ケース⑧ (輸出)	0	0	2446	448	0	0	2894
ケース⑨ (最終処分)	0	0	22	448	0	247	717

なお、本節の計算では、人件費や機械の導入コストなど、金銭的な部分は評価に含まれていないが、ケース①④のようにリサイクル工場を1か所配置する場合、ケース②⑤のようにリサイクル工場を複数箇所配置する場合、ケース③⑥のように製品工場に併設する場合で、イニシャルコストが大きく異なることが予想されるため、実際に再資源化システムの構築にあたっては、イニシャルコストとランニングコスト、環境負荷削減効果のバランスを考える必要がある。

4-2-2.樹脂サッシ製造シナリオの設定と環境負荷インパクトの評価

本稿では、これまでに作成したケースごとの硬質 PVC 樹脂の調達、もしくは処理のインベントリデータを用いて、樹脂サッシ排出量がピークに達する 2041 年時点における環境インパクトを算出する。

これまでに 1ton あたりの材料調達、もしくは処理にかかる環境負荷を計算してきたが、特にサッシの場合は、リサイクル材を 100%使用して製品を製造することは、意匠および強度の観点から難しい。そのため、欧州および国内の一部のサッシメーカーでは、リサイクル材は共押出によってサッシの内部に使用されている。

AGPU へのヒアリングでは、各社それぞれリサイクル材の使用率は異なるが、理論的なリサイクル材使用率は内部のみに使用すると 40%、表面層のみバージン材とすると 75%となることであった。

そこで、今回の計算では、リサイクル材の使用率を 40%、バージン材の使用率を 60%として樹脂サッシ製造を行った場合の環境負荷と、バージン材のみ使用して樹脂サッシ製造を行った場合の環境負荷と比較して、リサイクル材の使用による環境負荷削減効果を算出する。

なお、樹脂サッシの排出がピークを迎える 2041 年においては、樹脂サッシの排出量が出荷量を上回ると予想されるため、樹脂サッシ産業で使用できないリサイクル材が発生する。これについては、輸出、最終処分、他製品産業で利用の、それぞれのケースを想定して、評価を行った。

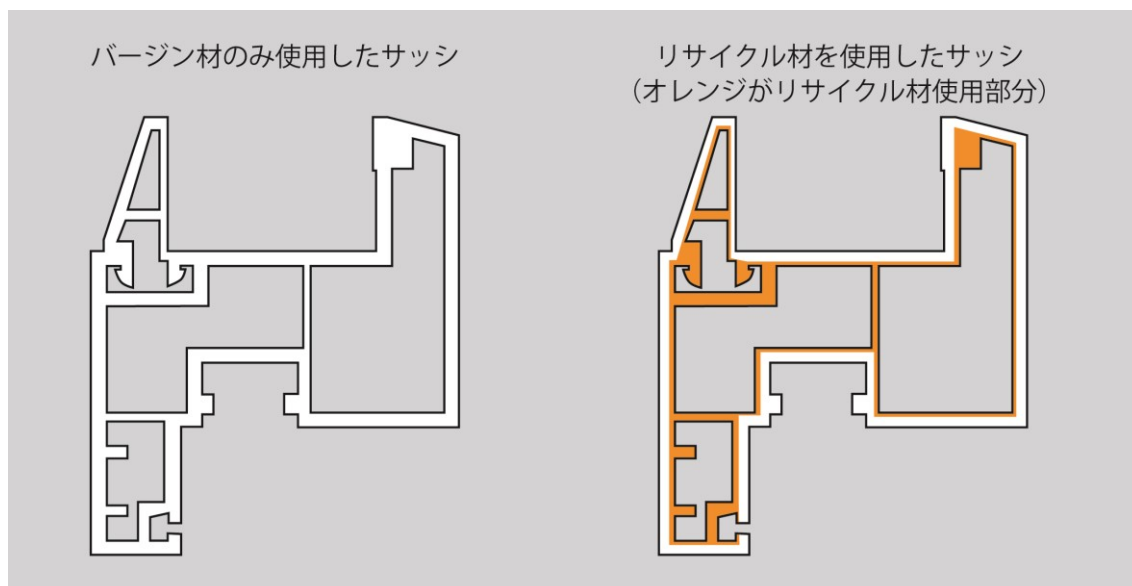


図 4-13 リサイクル材を使用したサッシの構造

リサイクル材を使用した樹脂サッシ製造のシナリオ設定

以下では、樹脂サッシの製造にリサイクル材を使用する場合の、シナリオを構築する。

まず、樹脂サッシの排出量やその回収量等については、以下のような考察から、仮定を行った。

樹脂サッシ排出量がピークとなる 2041 年において、樹脂サッシ型材の排出量は 8461ton であり、出荷量に設定する 6835ton を超過している。排出量のすべてを再資源化すると供給過多となるため、回収した樹脂サッシの全量を樹脂サッシに再利用することは難しいのではないかと予測される。

そのため、以下では排出量と出荷量から、実際に建設廃材の回収可能な割合やリサイクル材の使用可能率を試算することで、その対応策について考察する。

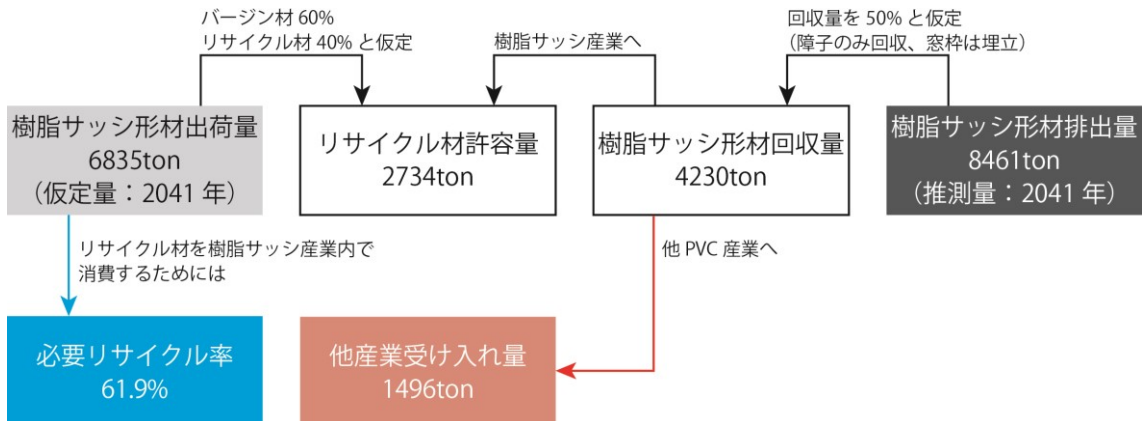


図 4-14 ピーク時における出荷量と排出量の関係

①出荷量

2041 年の樹脂サッシ型材出荷量は、設定に従うと 6835ton である。これは 2012 年の実績値と同じであるため、現在予想されている将来的な人口減や住宅の供給過剰などの原因から、実際にはより出荷量は少なくなる可能性もある。

この出荷量はほぼ硬質 PVC 樹脂から構成されているため、ここでは 100%が硬質 PVC 樹脂であると仮定する。

これら出荷される樹脂サッシ型材におけるリサイクル材使用率を、内部のみの使用とするとして、EU におけるヒアリングから聞かれた理論的な限界である 40%と仮定すると、樹脂サッシ産業におけるリサイクル材の使用可能量は 2734ton となる。

②排出量

2041 年の樹脂サッシ型材排出量は、8461ton と推計されている。このうち、障子のみ回収を行い、窓枠は埋立とすると、概算で 50%が回収されることとなり、回収量は 4230ton となる。つまり、4230ton の硬質 PVC リサイクル材が発生することとなる。

③リサイクル量

上記の設定だと、図のように、樹脂サッシ産業におけるリサイクル材の許容量を、リサイクル材の発生量が上回ることになる。

そのため、他の PVC 産業がリサイクル材を受け入れるか、樹脂サッシの表面層近くまでリサイクル材を使用することによってリサイクル材使用率を引き上げる必要が生じる。

前者の場合、少なくとも 1496ton のリサイクル材を他の PVC 産業で使用する必要が生じるため、他産業と連携をとることが必須となる。樹脂サッシは外装材であるため、塩ビ管等と比較して排出状態が良いと考えられるため、樹脂サッシ由来のリサイクル材は他産業においても使用しやすいと考えられる。特に、高いリサイクル材使用率を可能としている塩ビ管産業は出口の大きな候補となる。

一方後者の場合、樹脂サッシ産業内だけでリサイクル材を消費しようとする、61.9%までリサイクル材使用率を向上させる必要が生じる。そのため、樹脂サッシ製造時に表面層近くまでリサイクル材を使用するための技術開発として、強度や共押出精度の向上などが必要になると考えられる。

このように、リサイクル材を樹脂サッシ産業内のみで使用することは困難であるため、他の PVC 産業での使用や、海外へ輸出してリサイクルを行うことは現実的な対応策であると思われる。

また、樹脂サッシの回収量を 50%と仮定しているが、より多くが最終処分されることも考えられる。特にリサイクル工場から離れている地域では、輸送の手間がかかるために最終処分という選択がとられる可能性も高い。

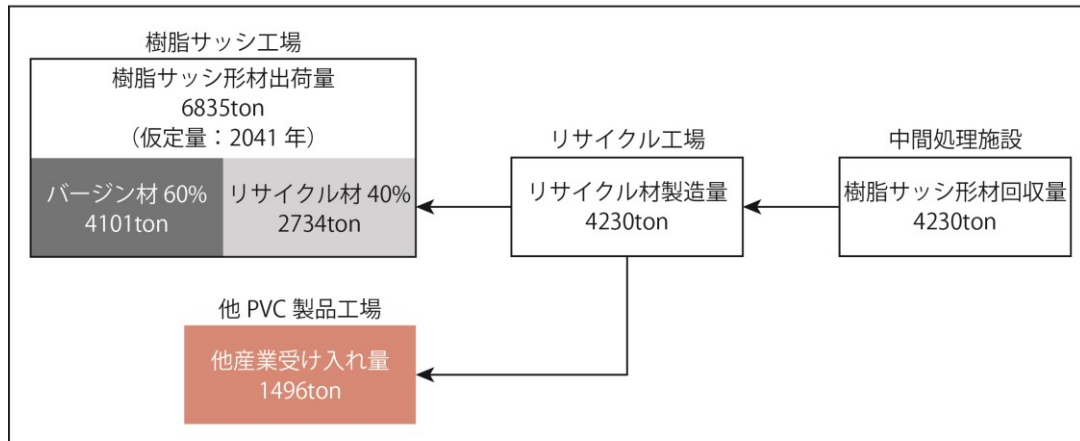
以上の事柄から、以下のようにシナリオを設定した。

基本的に、リサイクル材は樹脂サッシ産業へ使用するとした。その上で、樹脂サッシ産業で利用できない余剰となる樹脂サッシについて、以下の三つのシナリオに分け、それぞれの使用先や処理方法によって、分析を行う。

なお、対照して比較するため、それぞれのシナリオにおいて、バージン材のみを使用し、リサイクル材を使用しなかった場合も計算することで、相対的な環境負荷削減効果を示す。この場合、後述する輸出シナリオでは回収した樹脂サッシを全量輸出、他のシナリオでは回収した樹脂サッシを全量最終処分するとして比較を行っている。

ただし、中間処理施設に回収されなかった樹脂サッシは、どのシナリオにおいても同じ量が混合廃棄物等として最終処分されると考えられるが、これらについては考慮しない。リサイクル材を使用した場合とバージン材を使用した場合の環境負荷の違いには、直接影響しないためである。

余剰となる樹脂サッシを他製品へ使用する場合（他製品パターン）



余剰となる樹脂サッシを輸出もしくは最終処分使用する場合（輸出パターン・最終処分パターン）

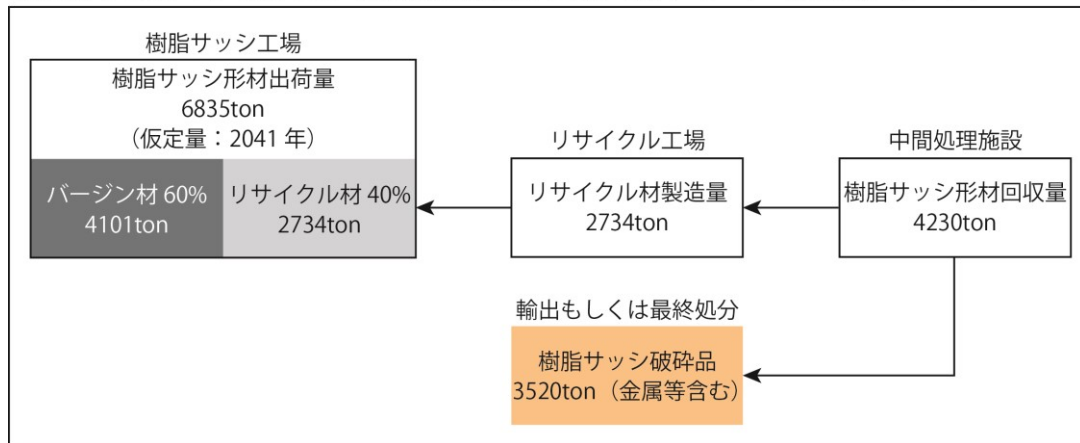


図 4-15 余剰樹脂サッシの処理方法によるパターン分け

シナリオ設定を上図に示す。余剰樹脂サッシの処理方法についてパターンを3つに分け、それぞれについてシナリオ評価を行う。

前項で、バージン材の調達（ケース①）やリサイクル材の調達（ケース②～⑥）、廃樹脂サッシの輸出（ケース⑦）と最終処分（ケース⑧）について、それぞれインベントリの作成を行ったので、それらを組み合わせて計算を行う。

【他製品パターン】

余剰となるリサイクル材を、他産業で使用するシナリオである。リサイクル工場で製造されたリサイクル材料のうち、樹脂サッシ産業で使用できなかったリサイクル材を、他のPVC製品工場で使用している。

なお、バージン材のみ使用し、廃樹脂サッシは全量埋め立て処分する場合と比較対照を行うが、リサイクル材を他産業で使用することで、他産業におけるバージン材の使用量が削減できるため、その分の環境負荷削減効果も見込んで計算を行う。

【輸出シナリオ】

樹脂サッシ産業において余剰となる廃樹脂サッシを、中間処理段階で仕分けることで、中間処理施設から海外へ輸出を行う設定である。比較的状态の良い樹脂サッシを国内で再資源化し、再資源化に手間のかかる樹脂サッシを人件費の低い海外でリサイクルすることができる。

なお、対照として、樹脂サッシの製造にはバージン材のみを使用し、回収された廃樹脂サッシは全量輸出するとして、比較を行う。

【最終処分シナリオ】

輸出シナリオと同様に、余剰となる廃樹脂サッシを中間処理段階で仕分け、最終処分を行う設定である。比較的状态のよい樹脂サッシに限って国内でリサイクルを行うとする。

対照として、バージン材のみ使用し、廃樹脂サッシは全量埋め立て処分する場合についても計算を行う。

以上の三つのシナリオに対して、それぞれさらにシナリオ①～④を設定する。

シナリオ①では、前項におけるインベントリデータのケース①と④を使用し、札幌近郊のリサイクル工場でリサイクル材を製造する設定とする。同様にシナリオ②では地域ごとに4か所のリサイクル工場でリサイクル材を製造し（ケース②と⑤）、シナリオ③では製品工場に併設されたリサイクル工場でリサイクル材を製造する（ケース③と⑥）。

なお、シナリオ④は比較のために、バージン材のみ使用するとしたシナリオとする。

環境負荷インパクトの計算と評価

【他製品パターン】

表 4-12 他製品パターンにおけるシナリオ設定

	バージン材 使用率	リサイクル材 使用率	余剰となる リサイクル材	リサイクル材の 調達モデル
シナリオ①	60%	40%	他製品工場で 使用	札幌のリサイクル工場で再資源化 (ケース①・④)
シナリオ②	60%	40%		地域ごと4か所のリサイクル工場で再資源化 (ケース②・⑤)
シナリオ③	60%	40%		製品工場で再資源化 (ケース③・⑥)
シナリオ④	100%	-	埋立	札幌のリサイクル工場で再資源化

このパターンでは、樹脂サッシ産業にとって余剰となるリサイクル材を、他の PVC 製品に使用すると設定している。そのうえで、他産業で使用されるリサイクル材の量だけ、硬質 PVC のバージン材が節減できるとしているため、シナリオ④の樹脂製造工程における環境負荷には、他産業で使用される硬質 PVC 樹脂 1496ton の環境負荷も含まれていることに注意する必要がある。

なお、シナリオ④に対するシナリオ①における環境負荷削減効果は、年間に 5240ton-CO₂ となる。

表 4-13 他製品パターンにおける環境負荷インパクト

(ton-CO ₂)	樹脂 製造工程	輸送	破碎	再資源化 処理	最終処分	サッシ 製造工程	合計
シナリオ①	5944	1076	229	1617	0	4883	13748
シナリオ②	5944	1011	229	1617	0	4883	13683
シナリオ③	5944	1221	229	1617	0	4883	13893
シナリオ④	12075	1436	229	0	55	4883	18678

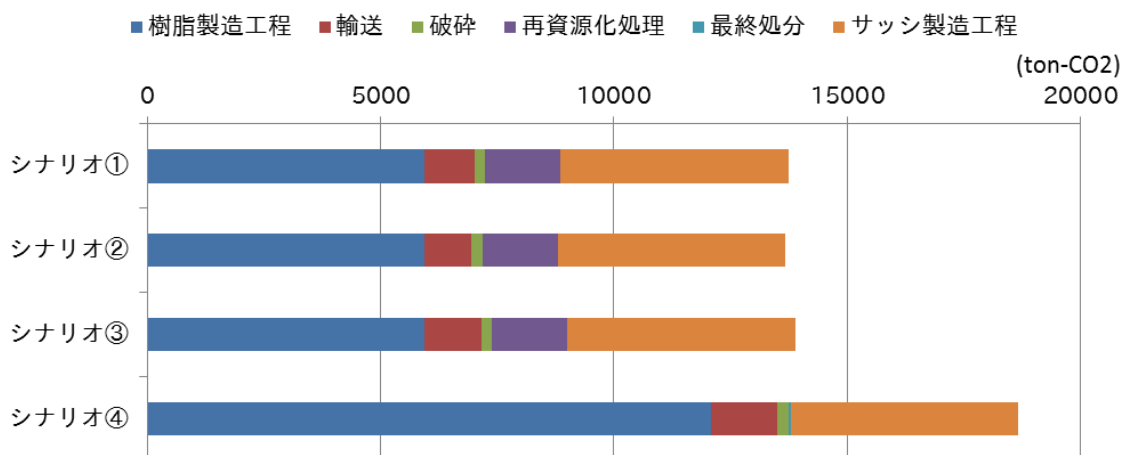


図 4-16 他製品パターンにおける環境負荷インパクト

【輸出パターン】

表 4-14 輸出パターンにおけるシナリオ設定

	バージン材 使用率	リサイクル材 使用率	余剰となる リサイクル材	リサイクル材の 調達モデル
シナリオ①	60%	40%	輸出	札幌のリサイクル工場で再資源化 (ケース①)
シナリオ②	60%	40%		地域ごと4か所のリサイクル工場で再資源化 (ケース②)
シナリオ③	60%	40%		製品工場で再資源化 (ケース③)
シナリオ④	100%	-		札幌のリサイクル工場で再資源化

このパターンでは、樹脂サッシ産業にとって余剰となるリサイクル材はベトナムへ輸出すると設定している。輸出を行う場合、輸送時の環境負荷が大きくなるため、国内でリサイクルを行う場合の環境負荷削減効果は、比較的大きくなる。一方、環境負荷自体は、三つのシナリオの中で、最も大きくなる。

なお、シナリオ④に対するシナリオ①における環境負荷削減効果は、年間に 5085ton-CO₂ となる。

表 4-15 輸出パターンにおける環境負荷インパクト

(ton-CO ₂)	樹脂 製造工程	輸送	破碎	再資源化 処理	最終処分	サッシ 製造工程	合計
シナリオ①	5944	2078	229	1045	0	4883	14179
シナリオ②	5944	2037	229	1045	0	4883	14138
シナリオ③	5944	2239	229	1045	0	4883	14340
シナリオ④	9906	4246	229	0	0	4883	19264

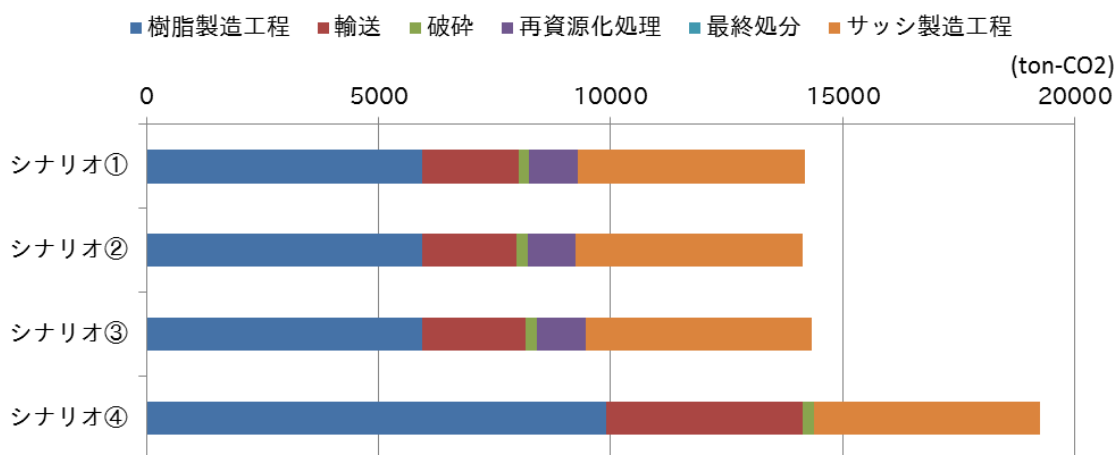


図 4-17 輸出パターンにおける環境負荷インパクト

【最終処分パターン】

表 4-16 最終処分パターンにおけるシナリオ設定

	バージン材 使用率	リサイクル材 使用率	余剰となる リサイクル材	リサイクル材の 調達モデル
シナリオ①	60%	40%	最終処分	札幌のリサイクル工場で再資源化 (ケース①)
シナリオ②	60%	40%		地域ごと4か所のリサイクル工場で再資源化 (ケース②)
シナリオ③	60%	40%		製品工場で再資源化 (ケース③)
シナリオ④	100%	-		札幌のリサイクル工場で再資源化

このパターンでは、樹脂サッシ産業にとって余剰となるリサイクル材は中間処理段階で選別され、最終処分されると設定している。最終処分自体の環境負荷は比較的小さいため、環境負荷削減効果および環境負荷は比較的小さくなる。

なお、シナリオ④に対するシナリオ①における環境負荷削減効果は、年間に 3141ton-CO₂ となる。

表 4-17 最終処分パターンにおける環境負荷インパクト

(ton-CO ₂)	樹脂 製造工程	輸送	破碎	再資源化 処理	最終処分	サッシ 製造工程	合計
シナリオ①	5944	995	229	1045	19	4883	13115
シナリオ②	5944	954	229	1045	19	4883	13074
シナリオ③	5944	1156	229	1045	19	4883	13276
シナリオ④	9906	1183	229	0	55	4883	16256

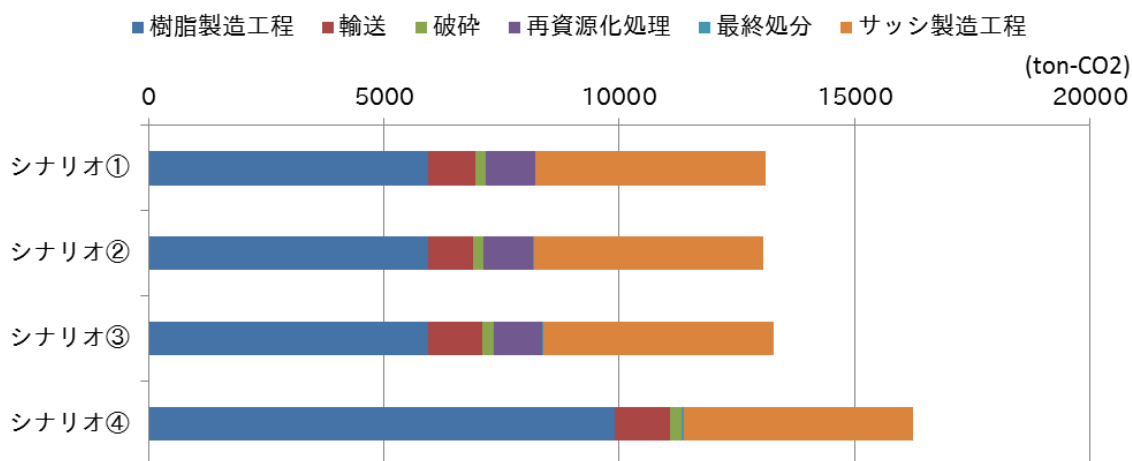


図 4-18 最終処分パターンにおける環境負荷インパクト

以上のように、樹脂サッシ産業にとって余剰となる廃樹脂サッシを、どのように使用するかによって、3つのパターンに分類してシナリオを構築し、環境負荷インパクトの算出を行った。

初期投資、環境負荷削減効果の観点から、最も現実的であると考えられるシナリオ①について、3つのパターンから抜き出し、以下に比較する。なお、表の環境負荷削減効果は、それぞれのパターンにおいて、シナリオ④に対するシナリオ①の環境負荷の差を示している。

表 4-18 各パターンにおけるシナリオ①の比較

(ton-CO2)	樹脂 製造工程	輸送	破碎	再資源化 処理	最終処分	サッシ 製造工程	合計	環境負荷 削減効果
他製品	5944	1076	229	1617	0	4883	13748	5240
輸出	5944	2078	229	1045	0	4883	14179	5085
最終処分	5944	995	229	1045	19	4883	13115	3141

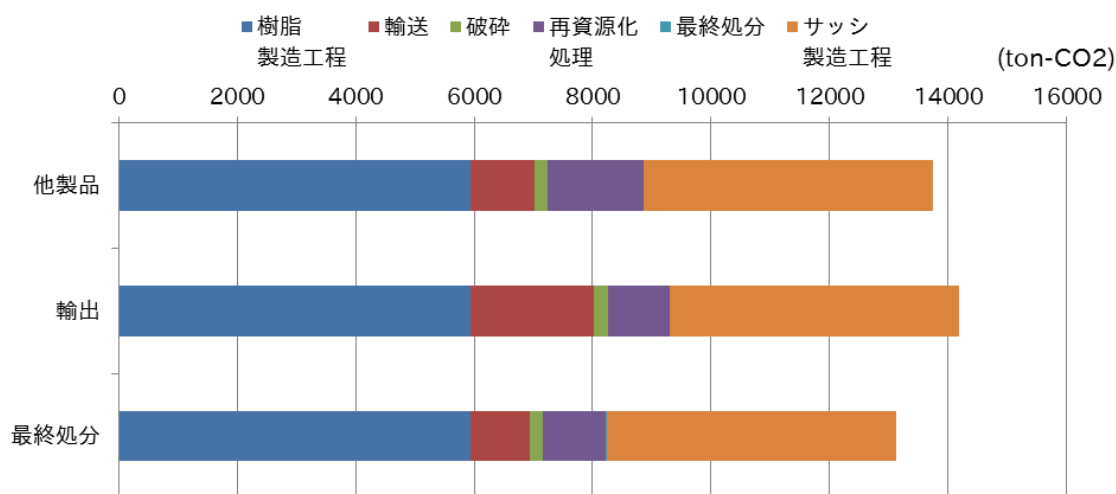


図 4-19 各パターンにおけるシナリオ①の比較

他製品パターンは、国内における環境負荷削減効果が最も小さくなり、なおかつ国内で安定的にリサイクルを行うことができるため、理想的なパターンである。ただし、樹脂サッシの状態によらず再資源化を行う必要があるため、技術的な問題は他のパターンより生じやすいと予想される。

輸出パターンでは、長距離を輸送することにより、環境負荷自体は最も大きくなるものの、国内における環境負荷削減工は比較的大きい。また、海外におけるバージン材の使用量が削減される可能性があるため、海外を含めた環境負荷削減効果は最も大きくなるとみられる。また、コストの問題から国内で再資源化が行いにくい廃材であっても、海外では受け入れられる可能性があることから、技術的な問題は生じにくいとみられる。

最終処分パターンは、環境負荷が最も小さいことから、コスト的には最も行いやすい対策ではないかと思われる。状態の良い樹脂サッシに限って利用することで、技術的な問題も起こりにくいと予想される。ただし、得られるリサイクル材の量が小さいため、国内における産業負荷削減効果は最も小さい。

以上に挙げた3つのパターンは、実際に樹脂サッシの再資源化システムが構築された場合に、リサイクル材の樹脂サッシ産業以外への用途の候補として可能性が高い。特に他産業でリサイクル材を使用した場合や、余剰となる樹脂サッシを輸出した場合においては、環境負荷削減効果が大きくなることが示されたため、他産業や海外と連携をとることで、効率的な再資源化システムを構築できる可能性があると考えられる。

4-3. リサイクルを行う地域の設定によるシナリオ評価

4-3-1. 回収地域の設定によるシナリオの構築と環境負荷削減効果の計算

北海道の中間処理業者を対象としたヒアリングで、業務対象としている地域の塩ビ管の排出量が小さいために、回収を行っても量が集まらず、定期的に売却することができていない、という話が聞かれた。樹脂サッシも同様に、北海道における各中間処理業者がそれぞれ処理方法の調整などを行っている状況である。

一方、EUのリサイクル業界では、中間処理業者単独ではリサイクルの難しい建設廃材を回収して再資源化の流れに戻すために、排出事業者や中間処理業者にコンテナを貸し出し、業界団体が運搬費用を負担するなどして、改修に際しての中間処理業者の負担を小さくしていた。

また、AGPU では推測される樹脂サッシの排出量から、リサイクル可能量を団体内で設定し、それに対する現在のリサイクル率を算出していた。これは、欧州の樹脂サッシ業界が樹脂サッシリサイクルを行政による義務的なものとせず、あくまでもボランタリー（自発的）なものとして位置付けているためにとれるスタンスである。

このように、様々な材料が複合しているなどの理由から、再資源化の難しい建設廃材については、リサイクルを義務付けてしまうと中間処理業者や業界団体の負担が大きくなる懸念される。特に面積が多く人口密度の低い北海道では、すべての地域から建設廃材を回収するのではなく、人口の密集している都市部にのみターゲットを絞ることで、コストや労力を押さえたうえでの、効率的な再資源化システムを実現できる可能性がある。

実際、2041年において、札幌市における樹脂サッシの排出量は北海道全体の排出量の45%を占めているため、札幌圏を中心とした再資源化システムが構築されれば、北海道において排出される樹脂サッシの大半をリサイクルできることになる。

以上を踏まえて、樹脂サッシの排出量が小さいと推測される地域を除外して、樹脂サッシのリサイクルを行った場合、環境インパクトにどのような影響が出るのかを算出し、考察する。

シナリオ構築の際の前提として、これまでに使用した条件を整理する。樹脂サッシの排出量が小さい地域については、最終処分を行うとし、ケース⑧のインベントリデータを使用する。また、樹脂サッシの排出量大きい地域では、リサイクル工場を札幌市に配置し、サッシへのリサイクルを行うとして、ケース①のインベントリデータを使用する。

また、樹脂サッシのリサイクルによって得られたリサイクル材を使用することで、バージン材の使用が抑制されるとして、ケース⑩のインベントリデータを用いて環境負荷削減効果について計算を行う。

表 4-19 設定の整理

	廃材の処理方法	リサイクル工場	使用する インベントリデータ	回収率
シナリオ設定	サッシtoサッシ	札幌に設置	ケース⑩・①・⑧	100%

また、4-2-2 では樹脂サッシの排出量が出荷量を上回るため、リサイクル材の全量を樹脂サッシ産業で使用することは難しいとして、余剰となる樹脂サッシの用途について考察したが、本節では計算の簡単のため、全量を樹脂サッシ産業で利用とするとして、回収率も100%に設定した。

これらの前提条件を上表に示す。

その上でシナリオとして、年に一定以上の樹脂サッシの排出がある地域に限定してリサイクルを行う場合を考える。また、リサイクル工場は札幌に配置しており、札幌市に隣接している市町村には樹脂サッシの排出量が多い地域が多いため、リサイクル工場から近い地域に限定してリサイクルを行う場合についても計算を行うとした。

これらのことから、以下の4シナリオを構築した。

表 4-20 回収地域の限定によるシナリオ分類

	回収対象とする 地域の条件	地域数	リサイクル量 (ton)	リサイクル率	最終処分量 (ton)
シナリオA	全市町村	179	19909	100.0%	0
シナリオB	排出量が年20トン以上	64	18779	94.3%	1130
シナリオC	排出量が年200トン以上	14	15785	79.3%	4123
シナリオD	札幌周辺かつ 排出量が年200トン以上	8	11553	58.0%	8355

ただし、上表のリサイクル量および最終処分量は、樹脂サッシ型材となる硬質 PVC 樹脂に加え、金属や異種プラスチックを含んだ重量である。リサイクル率は、総排出量に対するリサイクル量の割合である。

樹脂サッシ排出量（サッシ型材に加え金属等を含む）の条件として、輸送を 20ton トレーラーと仮定して、1 台にあたる 20ton、10 台にあたる 200ton を条件としてシナリオ B・C を設定した。なお、このようにするとシナリオ B ではリサイクル率がおよそ 95% となり、シナリオ C ではリサイクル率がおよそ 80% となる。

また、シナリオ C の条件に加えて、回収対象の地域を札幌市に隣接する市町村に限定した場合をシナリオ D とした。具体的には、札幌市、小樽市、苫小牧市、江別市、千歳市、恵庭市、北広島市、石狩市である。

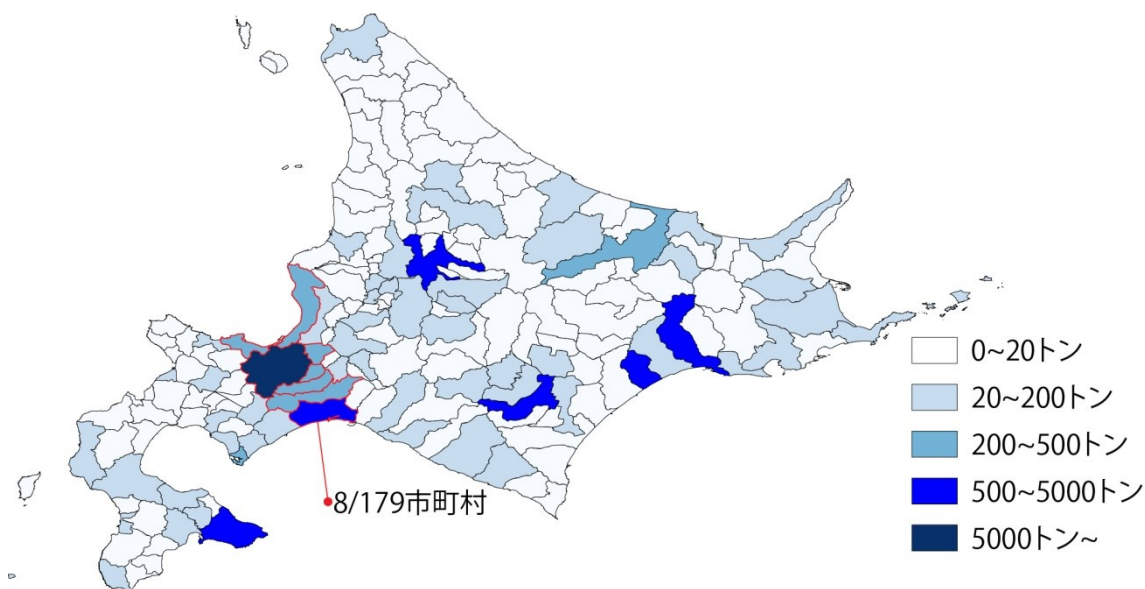


図 4-20 地域別の樹脂サッシ排出量 (2041 年)

2041 年における市町村ごとの排出量を表したものが上図となる。札幌市の樹脂サッシの排出量が突出して多く 8856ton であり、大きく差が開いて旭川市が 1173ton で続く。排出量が 500ton 以上となるのは、上の 2 市に加えて函館市、苫小牧市、帯広市、釧路市である。

帯広市と釧路市の中間処理業者に行ったヒアリングでは、排出量が少なくリサイクルは行っていないという話が聞かれたが、将来的には排出量が増える見込みがある。

また、全体の分布として、道北に排出量の少ない地域が集中していることが挙げられる。平地の少ない内陸部でも排出量が少ない地域が多い傾向がある。こうした地域は札幌からの直線距離が大きかったり、高速道路が通ってなかったりするため、輸送距離や輸送時間が大きくなりリサイクルを行う手間が増えると予想される。

また、次頁にシナリオ B における処理フロー図を示す。樹脂サッシのリサイクルを行う地域と最終処分を行う地域に分類し、それぞれの輸送距離を算出することによって、4-2 で作成したケース①と⑧の環境負荷インベントリデータに対して、若干の修正を行いながら計算を行っている。

シナリオ B
樹脂サッシを年 20 トン以上排出する地域 (64/179)

20 トン以下の地域 (115/179)

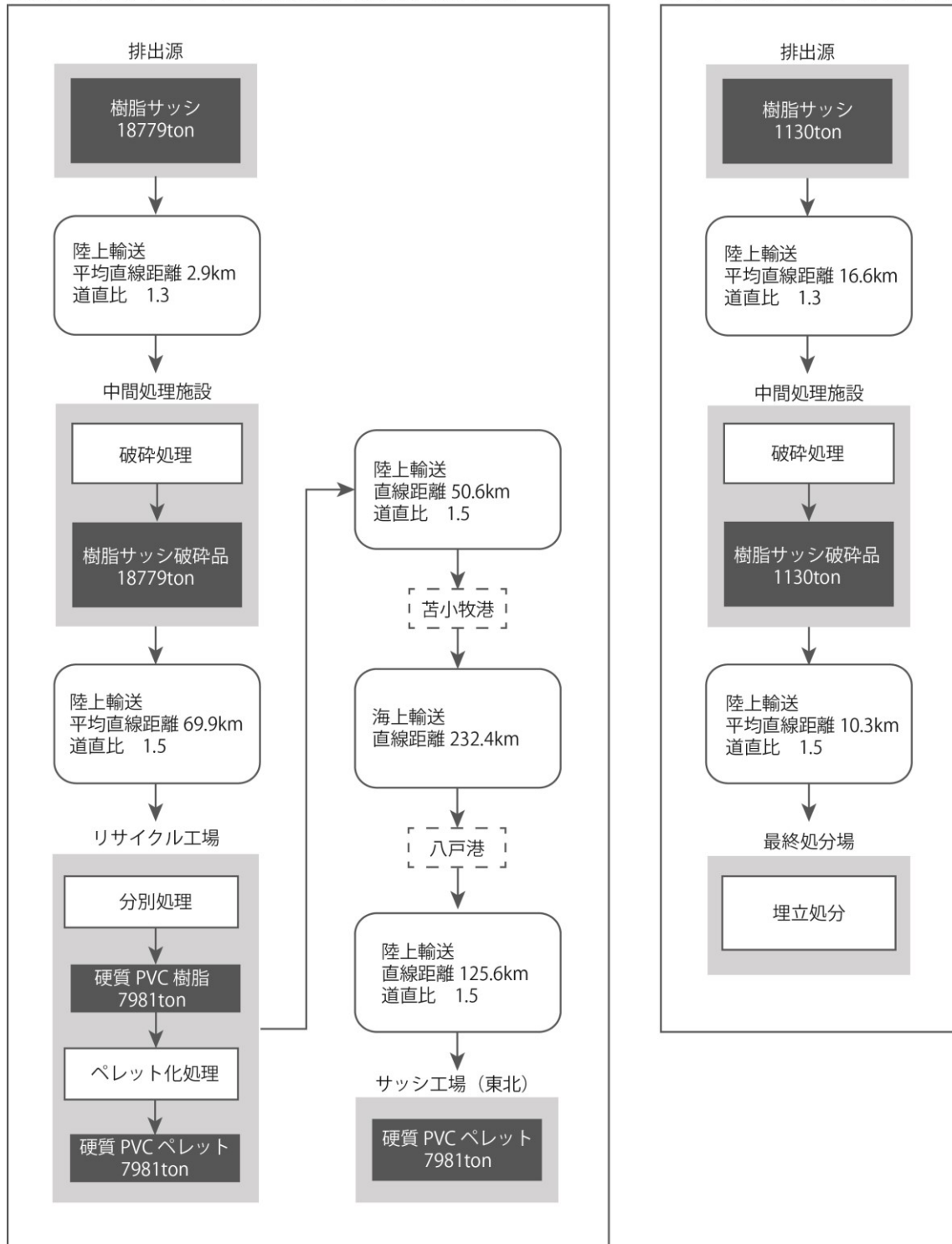


図 4-21 シナリオ B における処理フロー

表 4-21 各シナリオにおける平均直線距離

	リサイクルを行う地域			最終処分を行う地域		
	リサイクル量 (ton)	平均直線距離(km)		最終処分量 (ton)	平均直線距離(km)	
		排出源 →中間処理施設	中間処理施設 →リサイクル工場		排出源 →中間処理施設	中間処理施設 →最終処分場
シナリオA	19909	3.70	74.32	-	-	-
シナリオB	18779	2.93	69.86	1130	16.59	10.29
シナリオC	15785	2.60	56.19	4123	7.93	7.14
シナリオD	11553	2.92	19.26	8355	4.79	6.38

上表に各シナリオにおけるリサイクル量と平均直線距離の関係を示す。これまでの前提と同じく、排出源から最寄りの中間処理施設が選定されているため、シナリオ B～Dにおいても、平均直線距離をリサイクル量および最終処分量で按分すると、シナリオ A の値と一致する結果となる。また、樹脂サッシ排出量は人口におおよそ比例するが、樹脂サッシ排出量の大きい地域ほど中間処理施設への距離が近くなっていることが分かる。

以上の条件から、シナリオごとに環境負荷の算出を行った。今回の計算では、リサイクル材の使用による環境負荷削減効果を算出した。樹脂サッシの再資源化システムが構築された場合の、北海道における環境負荷削減効果を下図に示す。また、それぞれの工程における詳細な環境負荷のデータを次頁の表に示している。

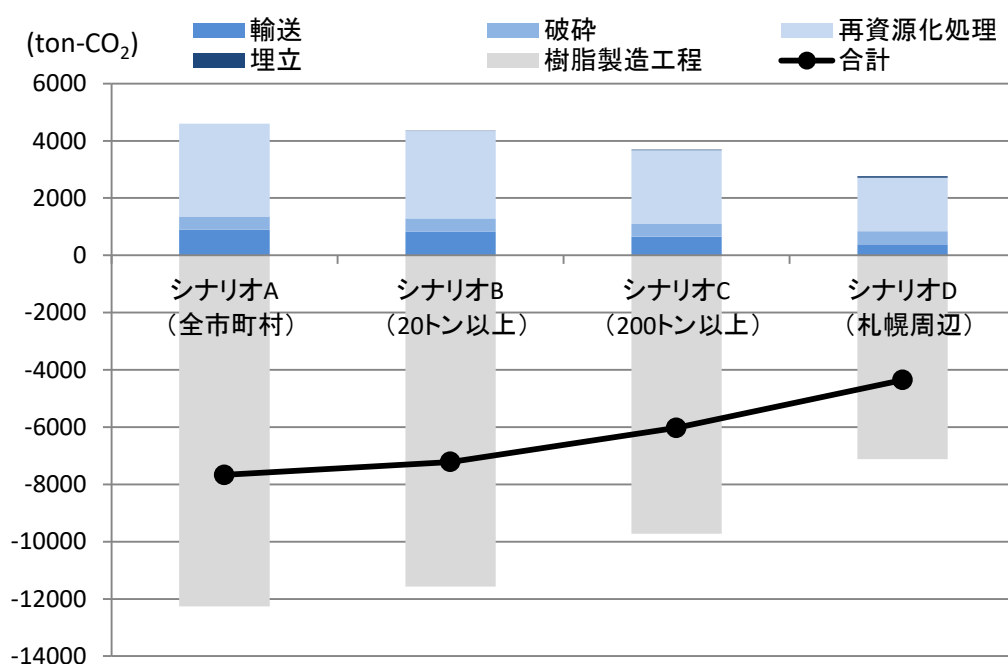


図 4-22 各シナリオにおける環境負荷削減効果

表 4-22 各シナリオにおける工程別環境負荷の算出

(ton-CO ₂)	リサイクルを行う地域				最終処分を行う地域			合計	削減率
	輸送	破碎処理	再資源化処理	樹脂製造工程	輸送	破碎処理	最終処分		
シナリオA (全市町村)	902	458	3234	-12263	0	0	0	-7668	100.0%
シナリオB (20トン以上)	830	432	3051	-11567	4	26	6	-7219	94.1%
シナリオC (200トン以上)	641	363	2564	-9723	11	95	23	-6026	78.6%
シナリオD (札幌周辺)	359	266	1877	-7116	21	192	46	-4356	56.8%

リサイクルを行うことで、樹脂製造工程における環境負荷が削減されている。この環境負荷削減効果は、シナリオ B 以降のようにリサイクルを行う地域を限定すると、リサイクル量が減少するため、削減効果も小さくなっていることが分かる。

また、シナリオ A の環境負荷削減効果を 100%とした際の、各シナリオにおける環境負荷削減効果の割合を、削減率として示している。この削減率は、前表におけるリサイクル率よりやや小さくなるため、北海道全体の環境負荷を考えると、全市町村においてリサイクルを行うシナリオ A の効率が最も良いと読み取ることができる。

これは、リサイクルを行うことによる環境負荷よりも、リサイクル材の使用によって得られる環境負荷削減効果の方が大きいため、どのような場合においてもリサイクルを行うことにメリットがあると計算されるためである。例えば、リサイクル工場に最も近い札幌市と、最も遠い根室市の場合を考えると、根室市からリサイクル工場への距離が大きくなるために輸送にかかる環境負荷は大きくなるが、樹脂製造工程にかかる環境負荷に対する割合は小さいため、全体としてみると環境負荷削減効果に大きな違いは無くなる。

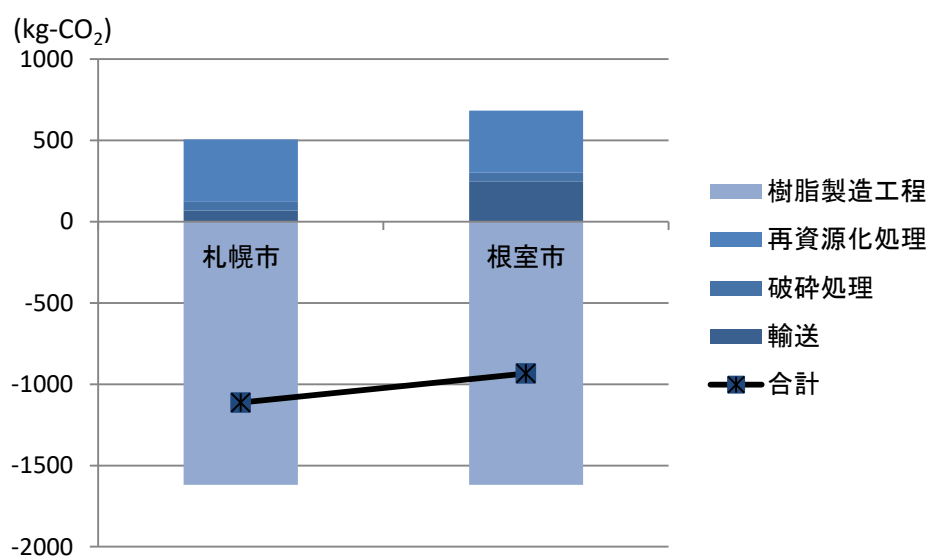


図 4-23 樹脂サッシ 1ton をリサイクルした場合の市町村による環境負荷削減効果の比較

ただし、実際にリサイクルを行う主体となる中間処理業者やリサイクル業者から見ると、最終処分を行う地域における環境負荷まで含めて計算する必要は必ずしもないといえる。リサイクルを行う主体が、北海道全体の環境負荷を捉える必要はなく、あくまで自社でリサイクルを行った分だけ計算を行えばいいためである。そのように、最終処分を行う地域を除き、リサイクルを行う地域に限って合計・削減率を計算すると、例えばシナリオ D では合計が -4615ton-CO_2 となり、削減率は 60.2%となる。これは、リサイクルを行う主体にとっては、シナリオ D のように排出量の多い地域に限定してリサイクルを行った方が、効率がよいことを示しているといえる。

このように、実際にリサイクルを行う主体の視点と、北海道全体の環境負荷を考える視点では、事情が異なってくる。次節では、実際にリサイクルを行う主体として考えられる、中間処理業者とリサイクル業者の経済性について、同様にシナリオ設定に基づいて計算を行う。

4-3-2.中間処理業者およびリサイクル業者における経済性の評価

特定の再資源化システムが成立するためには、実際にリサイクルを行う中間処理業者、リサイクル業者にとって、そのリサイクル事業の採算性が良く、ある程度の利益を上げられることが重要となる。

本項では中間処理業者およびリサイクル業者の事業性について着目し、その収入と支出について概算することで、樹脂サッシのリサイクルに関わる経済的な評価を行うとともに、再資源化システムの成立に必要な経済的な条件について考察する。

なお、以下で行う計算は、前項までで構築した、シナリオ A~D を想定している。また、中間処理業者とリサイクル業者が一つの系であるとして計算を行うこととする。これは、樹脂サッシリサイクルの採算性によって、中間処理業者からリサイクル業者に樹脂サッシ破砕品を受け渡す際に、処理委託となるか有価品として売却となるかが異なることが予想されるためである。つまり、リサイクル事業の採算性が良好であれば、樹脂サッシ破砕品は有価物として中間処理業者からリサイクル業者へ売却されるが、事業の採算性が悪ければ、リサイクル業者は中間処理業者から処理委託費を受け取ることが考えられる。このように、中間処理業者とリサイクル業者間におけるやり取りは不確実であるため、二者を一つの系として考えることとした。

また、特に樹脂サッシの回収が比較的容易な札幌に近い地域では、破砕を行う業者と選別を行う業者が同一であるケースは十分に考えられる。この場合も、二社は一つの系であるとみることができる。

中間処理業者およびリサイクル業者の収入と支出

廃樹脂サッシの処理フローとして以下を想定した。

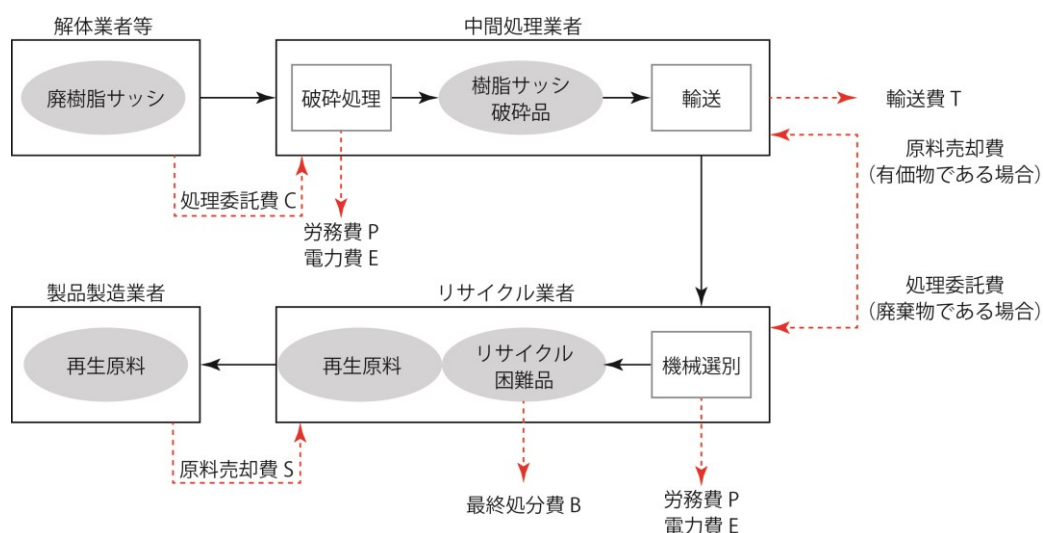


図 4-24 リサイクルを行う主体における収支の関係

この工程に関わる支出と収入を以下に示す。

なお、今回は計算の簡単のため、支出は輸送費 T・労務費 P・電力費 E・最終処分費 B を、収入は処理委託費 C・原料売却費 S を対象として計算を行う。

表 4-23 中間処理業者における支出と収入

工程	支出	収入
受け入れ		処理委託費 C
破碎	労務費 P 電力費 E	
輸送	輸送費 T	
引き渡し	処理委託費	素材売却費

表 4-24 リサイクル業者における支出と収入

工程	支出	収入
受け入れ	素材購入費	処理委託費
選別	労務費 P 電力費 E	
原料の売却		原料売却費 S
最終処分	最終処分費 B	

このとき

$$[\text{収入の合計}(=T+P+E+B)] - [\text{支出の合計}(=C+S)] = \text{系における利益}$$

となる。

以下では、樹脂サッシから再資源化原料となる硬質 PVC1ton を処理する際を想定して、実際の計算を行う。

支出となる要素

①輸送費 T

特に北海道の地域性として、広域分散型の都市配置であることが挙げられる。このため、輸送距離と関連してコストが変動する輸送費は、北海道における再資源化システム構築を考えるにあたって、重要なファクターになると予想される。

今回の輸送費の計算にあたっては、「貨物運賃と各種料金表」⁴³より、貸切運賃料金（課税事業者用）の一例、距離制運賃率表、北海道運輸局のデータを引用した。

このデータには、運輸料金の上限値と下限値が記載されているため、中央値も算出して使用した。また、前述したように、輸送費が北海道の地域性を考えるにあたって重要な要素となると考えられたため、上限値、下限値、中央値の3ケースを採用し、評価を行った。

なお、データは200kmまでは10kmごとに値段が指定され、それ以降は一定距離を増すごとに料金が積み増しされる。下図のように段階的に変化するため、前項までのように平均距離を用いた計算を当てはめると、わずかな距離の変化で大きな違いが生じてしまうなど、距離の変化を評価することが難しくなる。

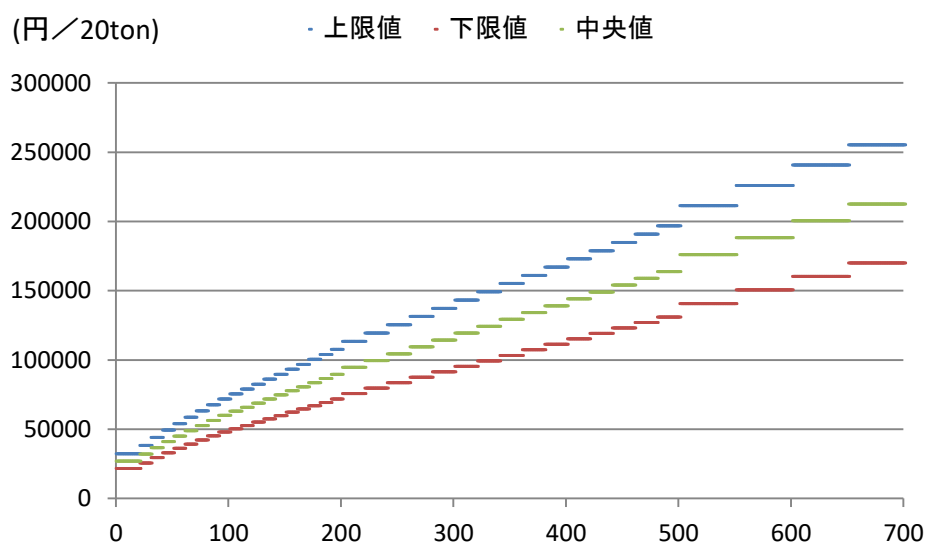


図 4-25 輸送費の推移

そこで、以下のように近似をして、計算を行うこととした。

走行距離が 0～10km の範囲では、それぞれの最低料金に合わせる。10～100km、100～200km のそれぞれの範囲では、10km・100km・200km の料金に合わせた一次関数とする。200～500km、500km～の範囲では、積み増し料金を考慮した一次関数とする。

⁴³ 交通日本社：貨物運賃と各種運賃表，2010

表 4-25 20ton トラックによる輸送費の近似

走行距離 x(km)	上限値 (円)	下限値 (円)	中央値 (円)
$0 \leq x \leq 20$	32150	21430	26790
$10 < x \leq 100$	$493.625x + 22277.5$	$329.375x + 14842.5$	$411.5x + 18560$
$100 < x \leq 200$	$356.7x + 35970$	$237.5x + 24030$	$297.1x + 30000$
$200 < x \leq 500$	$297.5x + 47810$	$197.5x + 32030$	$247.5x + 39920$
$500 < x$	$292.4x + 50360$	$195.2x + 33180$	$243.8x + 41770$

走行距離 700km までの輸送費の推移を以下に示す。走行距離が大きくなるにつれて、輸送費の差も大きくなる傾向にあることが分かる。

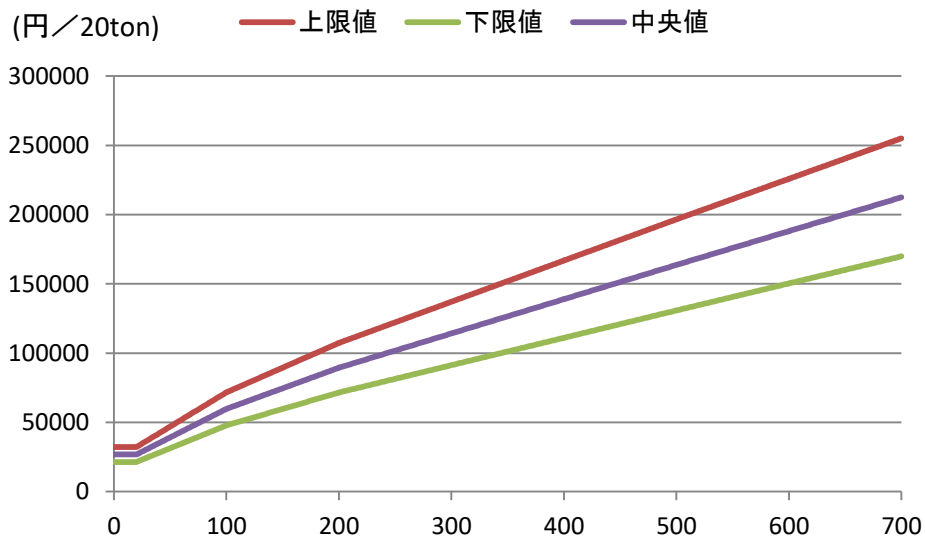


図 4-26 輸送費の近似

表 4-26 各シナリオにおける輸送距離と輸送費

	輸送距離 (km)	上限値 (円/ton)	中央値 (円/ton)	下限値 (円/ton)
シナリオ A	111.48	3541	2951	2362
シナリオ B	104.79	3514	2929	2344
シナリオ C	84.285	3396	2830	2265
シナリオ D	28.89	1824	1520	1216

前項で整理した各シナリオにおける平均直線距離（表 4-21）から、リサイクルを行う地域における中間処理施設からリサイクル工場への平均直線距離を用いて、道直比 1.5 を掛けることで輸送距離を算出した。ここから、上限値、中央値、下限値における輸送費を算出した

②労務費 P

中間処理業者 F 社による提供資料より、機械選別にかかる人工数は 4 人であり、機械選別の作業効率 は 1.6ton/時間であった。ここから、樹脂サッシ 1ton を処理するためにかかる人工数を、2.5 人・時間/ton とした。

一方、都道府県別現金給与額⁴⁴を参考として、北海道における時給の平均を 1614 円と算出した（実労働時間数の合計を現金給与額で除算した。なお、年間賞与等は省いている）。

これらから、樹脂サッシ 1ton の処理にかかる労務費は、4035 円/ton となる。

③電力費 E

機械選別にかかる消費電力は 405.9kwh/ton であり、電気料金単価は 18.12 円/kwh⁴⁵であることから、電力費は 7355 円/ton となる。

④最終処分費 B

樹脂サッシの分別によって選別される素材のうち、軟質 PVC 樹脂と異種プラダストに関しては、現在は再利用が難しいため、埋め立て処理が行われると想定される。そのため、最終処分費 B については、硬質 PVC1ton を得るために処理される樹脂サッシ 2.353ton のうちから、80kg が排出される軟質 PVC 樹脂と異種プラダストについての埋め立て処理費を計上することにした。

北海道における単位重量あたりの最終処分費は、小樽市産業廃棄物最終処分場の料金表⁴⁶を参考とした。廃プラスチック類は 20kg あたり 460.08 円で、別途北海道循環資源利用促進税が 1ton あたり 1000 円かかる。

ここから、樹脂サッシ 1ton あたりの残渣にかかる最終処分費は、816.1 円/ton と計算された。

⁴⁴労働調査会：最新賃金データブック：賃金が見えてくる統計資料を網羅：実務必携. 2017 年版 上, 2016.11（データの出所は厚生労働省：平成 27 年賃金構造基本統計調査による）

⁴⁵北海道電力の電気料金単価より引用（参照：2017.1.18）
(http://www.hepco.co.jp/business/price/ratemenu/pdf/office_basic_menu.pdf)

⁴⁶小樽市 HP より（参照：2017.1.14）

(https://www.city.otaru.lg.jp/jigyo/gomi_kankyo/jigyogomi/gomi2_sanpai.html)

収入となる要素

①処理委託費 C

中間処理業者 F 社では廃樹脂サッシを廃プラスチック類として受け入れていたため、「積算資料」⁴⁷を参考として、関東地域協議会調べの 8 都県の廃プラスチック類受け入れ価格の平均値を算出し、11500 円/ton と値段を仮定した。

②原料売却費 S

樹脂サッシの機械選別によって得られる再生原料として、硬質 PVC・鉄・ステンレス・アルミは売却されるとして、それぞれについて原料売却費を計上した。なお、単位重量当たりの原料売却費は、貿易統計を参考として、2016 年 1～11 月における輸出額を利用した。これらから、樹脂サッシの原料売却費を 34458.6 円/ton と設定した。

表 4-27 樹脂サッシ型材 1ton あたりの原料売却費の設定⁴⁸

	内訳 (kg)	輸出額 (円/kg)	原料売却費 (円)	参照
硬質 PVC 樹脂	1000	28.913	28913	プラスチックのくず - 塩化ビニルの重合体のもの
鉄	955	22.114	21119	鉄鋼のくず及び鉄鋼の再溶解用のインゴット - その他のもの - シュレッダーくず
ステンレス	106	75.276	7979	鉄鋼のくず及び鉄鋼の再溶解用のインゴット - ステンレス鋼のもの
アルミ	212	108.822	23070	アルミニウムのくず - その他のもの

以上から、樹脂サッシの支出と収入にかかる金額を整理した。

表 4-28 収入と支出に関わる費用の整理

支出	価格
輸送費 T	表を参照 (シナリオ A・中央値で 2951 円/ton)
労務費 P	4035.1 円/ton
電力費 E	7354.9 円/ton
最終処分費 B	816.1 円/ton
収入	価格
処理委託費 C	11500 円/ton
原料売却費 S	34458.6 円/ton

⁴⁷ 経済調査会：積算資料，2016.7

⁴⁸ 財務省：貿易統計（<http://www.customs.go.jp/toukei/index.htm>）より、2016 年における品目別輸出額から作成（参照：2016.1.14）

計算結果

以上のデータを用いて積み上げ計算を行った。なお、条件を以下に示す。

表 4-29 各シナリオにおける計算条件

	対象とする市町村	再資源化工場の所在	回収量 (ton)	輸送距離 (km)
シナリオ A	全市町村	札幌市	19908.7	111.48
シナリオ B	排出量 20ton 以上		18778.8	104.79
シナリオ C	排出量 200ton 以上		15785.4	84.29
シナリオ D	札幌周辺かつ 排出量 200ton 以上		11553.2	28.89

これらから、樹脂サッシのリサイクルを行った際の収入と支出について、下図に示す。計算には設備投資や土地代など、特にイニシャルコストにかかる経費は含めていないこと、支出となるランニングコストのうち、代表的なものを積み上げた結果であることに留意する必要がある。

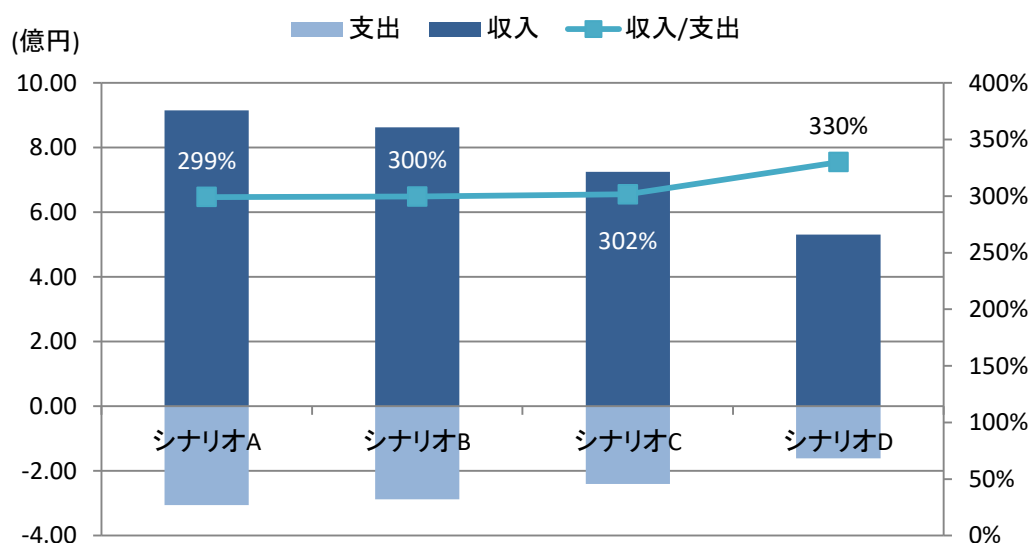


図 4-27 収入と支出（輸送費は中央値）

シナリオ A～D のうち、設定として異なるのは樹脂サッシの回収量と輸送距離である。シナリオ A に対し、シナリオ D では樹脂サッシの回収量は 58%程度となるため、収入も同程度に目減りすることになる。一方、シナリオ D では札幌周辺からのみ樹脂サッシを回収するため、輸送費が比較的小さくなることから、支出に対する収入の割合が大きくなる。そのため、ランニングコストのみを考えると、シナリオ D が最も効率的に再資源化システムが機能していると考えられる。

ただし、実際に再資源化システムを構築すると想定した時、シナリオ A~D の処理方法に違いはないため、それぞれのイニシャルコスト（設備購入費、設置費、土地購入費等）もほぼ同様となると考えられる。そのため、イニシャルコストの値によっては、効率が低くなるとしても、シナリオ A~C のように比較的広い範囲を対象として回収を行うことで、収入の絶対値を増やすことも必要となる。

また、今回の計算では再資源化工場を札幌に近郊に配置しているが、輸送距離が最も小さくなる札幌市（22.2km）と、最も大きくなる根室市（476.1km）について、樹脂サッシ 1ton を処理するためにかかる支出の比較を行った。なお、この二つのケースにおいて、輸送工程以外に違いはないとしている。

下図のように、札幌市の場合では輸送費が抑えられ、相対的に電力費の割合が最も大きくなるのに対して、根室市の場合では輸送費が非常に大きくなり、最も大きい割合を占める（39%）ことになる。

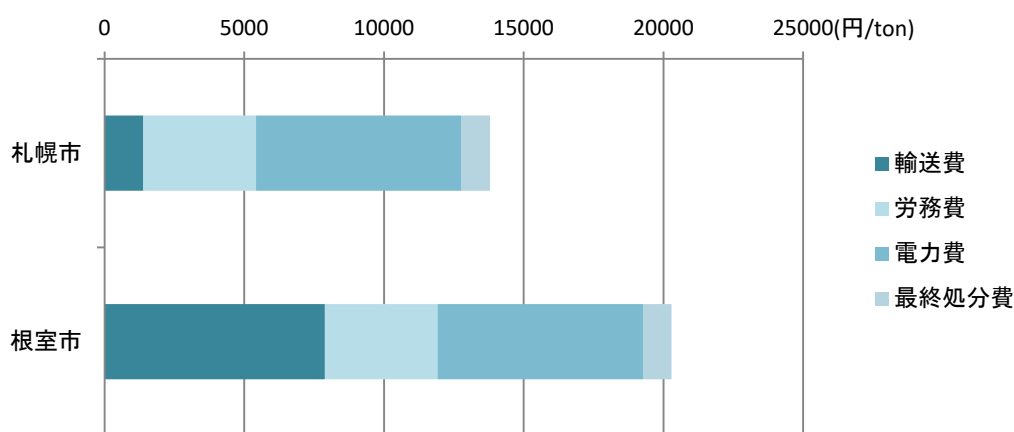


図 4-28 排出源による樹脂サッシ 1ton の再資源化にかかる支出の違い

環境負荷の計算においては、樹脂製造工程と製品製造工程にかかる環境負荷が非常に大きかったため、輸送にかかる環境負荷が相対的に小さかったのに対し、経済性においては輸送にかかるコストが大きくなりやすく、全体に与える影響も大きい。

そのため、樹脂サッシのリサイクルを実際に行う主体にとって、事業性を向上させるためには、技術開発等の企業努力によって労務費・電力費を削減することも挙げられるが、回収システムを工夫することによって輸送費を削減するのが、最も簡便で即効性のある方策であると考えられる。

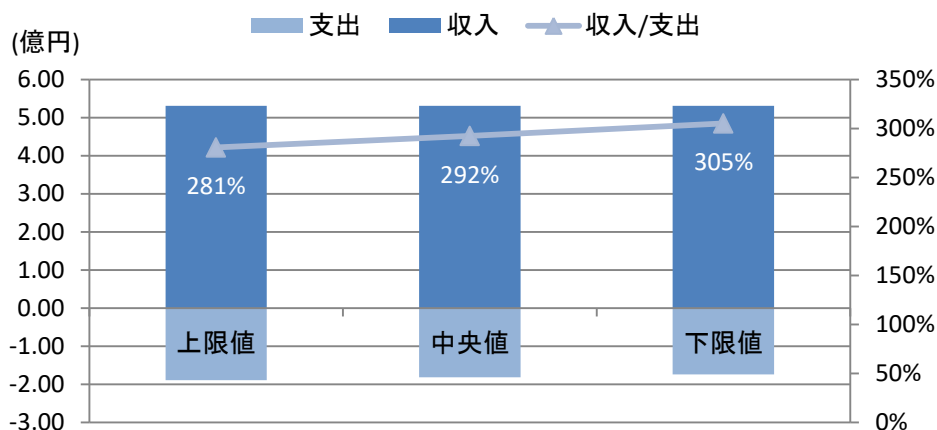


図 4-29 シナリオ D における輸送費の影響

また、図のように輸送距離の小さいシナリオ D においても、輸送価格の変動によって採算性に大きな違いが出ていることが分かる。

以上のように、樹脂サッシの再資源化にあたっては、再資源化工場の近隣地域からのみ回収を行うことで、ランニングコストを大きく抑制できることが示された。一方、樹脂サッシのリサイクルを、機械選別を含む工程で行う場合、設備投資など大きなイニシャルコストが必要となる。

そのため、樹脂サッシの再資源化システムを構築した場合、樹脂サッシのリサイクルを行う中間処理業者やリサイクル業者がどれだけの設備をあらかじめ備えていたかによって、経営にあたって取りうる戦略は異なることが予想される。具体的には、すでに必要な設備を備えた業者が参画する場合（＝イニシャルコストが小さい場合）、樹脂サッシの排出量が大きい地域を対象とすることで、効率的なリサイクルを行うことができる可能性がある。

反対に、リサイクル工場を新設する場合（＝イニシャルコストが大きい場合）、効率は落ちても広範囲から樹脂サッシを回収することで、大きな収入を得て投資を回収することが必要となると考えられる。

4-4.まとめ

本章のまとめ

本章では、北海道に樹脂サッシの再資源化システムを仮定したうえで、複数のシナリオについて、実際にリサイクルを行うことによる環境的および経済的影響を試算した。

環境面については 2 節で計算を行い、バージン材のみ使用しているケースから一定量のリサイクル材を使用するケースへ移行した際の CO₂ 削減量を算出し、樹脂サッシのリサイクルを行うことによる環境負荷軽減効果を算出した。

また、経済面については 3 節で計算を行い、樹脂サッシリサイクルのランニングコストについて計算を行うことで、リサイクル工場からの距離によって採算性が大きく変動する可能性があることを明らかにした。

以上の評価を行うことによって、3 章までで樹脂サッシの再資源化に関わる課題や他再資源化システムの特徴について定性的に評価してきた内容について、その影響を定量化して評価を行うことができた。

処理モデルとリサイクル量

本章で構築した再資源化システムのモデルは、ドイツにおける樹脂サッシの再資源化システムを参考として構築している。ドイツでは業界団体がリサイクル困難品を省いたリサイクル可能量を試算し、それに対して高いリサイクル率を達成していた。

一方、日本における特定建設資材のように、リサイクルが義務付けられると、それらリサイクルが困難な廃材も含めてリサイクルを行う必要が生じる。それらを含めてリサイクル率が算出されるため、一定のリサイクル率を達成するのは、先述のドイツの例と比べてより困難となる。現在の樹脂サッシのように、排出量が少なく再資源化が比較的難しい建材について、リサイクルが義務化されることは考えにくい。樹脂サッシが日本国内で継続的に利用され、将来的に安定して大きい排出量となるとリサイクルへの要求も高まっていくと予想されるため、排出量の少ないうちから調査・研究を行う必要がある。

3 節で算出したように、リサイクルにかかる経費はリサイクル工場からの距離によって大きく変動することが分かった。再資源化システムの構築にあたっては、義務化した場合のように全量のリサイクルを目指すのではなく、あらかじめリサイクルの限界を規定しておくことで、より少ないランニングコストで一定量のリサイクルを行う、という選択も考えられる。

回収システムの在り方

樹脂サッシはプラスチックと金属で構成されており、素材自体の価値がコンクリート等と比べて高く、バージン材を製造する際の環境負荷が大きい。そのため、リサイクルのプロセスにかかる環境負荷よりも、バージン材の利用量削減により減少する環境負荷のほう

が大きくなるため、リサイクルを行うことで一定の環境負荷削減効果を見込むことができる。これはリサイクルが環境面で効果的であることを示す一方で、どのようなシナリオにおいても、リサイクルが最適解としてとらえられてしまう危うさもはらんでいる。

これに対して、ヒアリング調査等によって把握した樹脂サッシ処理の実態からは、樹脂サッシのリサイクルの難しさも捉えられている。特に中間処理業者にとっては、リサイクルを行うために遠方の処理施設へ輸送するよりも、近場の最終処分場に埋め立ててしまった方が、経済的に有利となるケースも考えられる。特にリサイクル施設から遠方に所在する中間処理業者において、その傾向が顕著となるため、樹脂サッシの再資源化を義務付けると、中間処理業者の立地によって不平等が生じてしまい、負担となる可能性がある。

EU の事例では、回収業務にかかる経費を樹脂サッシの業界団体が負担することで、この問題をクリアしていた。広域から樹脂サッシを回収する場合は、リサイクル施設の処理能力も課題となるが、回収の仕組みの在り方が、中間処理業者にとっては最大の課題となると考えられる。

各主体における適切な再資源化システムの在り方

再資源化システムは、市場原理に基づいて、地場の中間処理業者等の働きによって構築されることが理想的である。その一方、樹脂サッシのように排出量が比較的小さく、再資源化の難しい建材については、業界団体や行政からの補助がないと成立しにくい。特に樹脂サッシリサイクルによる売り上げが最大で年間 9 億円程度と、市場規模が小さいため、複数の業者が参入すると、市場が小さくなった際に事業が立ち行かなくなる可能性がある。

そのため、再資源化システムの実現に向けては、業界団体や行政など、リサイクルを行うことによる環境影響の恩恵を受けることができる組織が主導して、ある程度市場をコントロールできるようにしておくことが必要だと考える。

ただし、ドイツにおける VU 社と同様の再資源化システムとして、加工端材と建設廃材を同じリサイクル工場でリサイクルする場合は、リサイクルの容易な材料が建設廃材と別にリサイクル工場へ搬入されることで、より市場が大きくなることも考えられる。現在、型材の生産工場と窓の加工工場が離れていることにより、輸送コストの問題から加工端材のリサイクルが難しくなっているが、リサイクル工場を加工工場の近隣地域に配置し、分別を早い段階で行うことで、これらの課題がクリアされる可能性もある。

また、本章で計算した環境負荷削減効果は、樹脂サッシ製造における社会的責任を意識している樹脂サッシメーカーにとって有益な情報となる一方で、リサイクル事業における経済性は、樹脂サッシのリサイクルによって実際に収入を得る中間処理業者・リサイクル業者にとって有益な情報となると考えられる。

また、樹脂サッシメーカーにとってのリサイクルの動機として、安定したリサイクル材

の供給源の確保によって、樹脂サッシ製造コストを削減することも目的の一つになると考えられるが、それ以上に、環境負荷を削減することで自社の社会的責任を果たし、樹脂サッシがより社会に受け入れられやすい建材となることが期待されているとみられる。この場合、リサイクル量を大きくすることで環境負荷削減効果がより大きくなった方が、樹脂サッシメーカーにとっては有利となる。

一方、実際にリサイクルを行う中間処理業者・リサイクル業者にとっては、事業性が第一となるため、大きな経費をかけてリサイクル量を増やすよりも、シナリオ D のように樹脂サッシ排出量の大きい地域に注力して事業を展開した方が、効率よく収入を得ることができるようになる可能性がある。

これについて、表 4-30 に整理を行ったように、リサイクルに関わる主体によって、リサイクルを行う動機は少しずつ異なるため、それぞれの主体にとって理想的な再資源化システムの在り方も異なってくると考えられる。

そのため、例えば業界団体が中立の視点に立って再資源化システムを管理することにより、動機の異なる複数の主体にとっての、適切な再資源化システムの在り方を考慮する必要がある。

表 4-30 リサイクルに関わる主体におけるリサイクルの動機と適切な在り方

	樹脂サッシメーカー	中間処理業者・リサイクル業者
リサイクルを行う主な動機	リサイクルを行うことによって環境負荷を削減し、企業の社会的責任を果たす	リサイクル事業を行うことによって、収入を得る
適切な再資源化システム	リサイクル量を増やすことで、環境負荷削減効果を大きくする	環境負荷削減よりも、自社の収益性が重要視される

4章におけるケーススタディの位置づけ

今回は樹脂サッシリサイクルのケーススタディとして、普及率の高い北海道を取り上げた。今後、樹脂サッシやアルミ樹脂複合サッシの本州以南における普及に伴って、将来的には全国で PVC 樹脂を利用したサッシが排出されるようになる可能性がある。今回の研究で行った仮定を応用して、それらをリサイクルした場合における環境負荷や経済性の算出は可能であると思われる。

ただし、本州以南は北海道と異なり、都市間の距離が比較的短く、また大都市の近くには専門的なリサイクルを行っている業者も多く存在しているなど、相違点も複数挙げられる。また、本州は細長い形状であるため、リサイクル拠点が一か所であった場合、輸送距離による不均衡は北海道よりも起こりやすいことに留意する必要があると思われる。

5.結論

5-1.考察

本節では、2章及び3章で把握された再資源化システムの成立条件、4章で把握された樹脂サッシリサイクルに関わる定量的評価から、国内における樹脂サッシ再資源化システムの適切な在り方とその構築可能性について、考察を行う。

まず、4章のまとめで考察を行ったように、リサイクルに関わる主体によって、それぞれに適切な再資源化システムの在り方は異なる可能性がある。その上で、リサイクル事業への動機が異なると考えられる各主体において、相互に利益が保証されるように、業界団体など再資源化システムの管理を行う主体にあっては、中立の視点を確保することが重要であると思われる。

また、3章では、2章で把握された樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題を取り上げ、他再資源化システムにおける状況と比較を行った。その結果として整理を行った、再資源化システムの成立要件と、国内の樹脂サッシの状況を対応させ、再資源化システムの実現に向けた、具体的な方策について考える。

表 5-1 国内における樹脂サッシ再資源化システムの成立要件

	現状	今後
技術 (リサイクルの容易性)	EUで樹脂サッシからサッシへのリサイクルが実現しているように、リサイクルのための技術は存在している	効率的で正確なだけでなく、より安価な選別技術が必要である
経済 (リサイクルの事業性)	4章で明らかにしたように、ランニングコストの軽減によって事業性を高めることは可能である	他産業との連携等により、事業性を高める方策を探る必要がある
需要 (リサイクルの必要性)	リサイクル材の需要は国内にないため、輸出が多く行われている	業界団体等の働きによって、需要を創出する必要がある
環境 (リサイクルの優位性)	4章の定量的評価で算出したように、リサイクルを行うことによる環境負荷削減効果は確実に見込まれる	環境貢献は企業の社会的信頼につながるため、リサイクルに向けた取り組みが適切に評価されることが必要となる

国内において樹脂サッシの再資源化システムが成り立つための条件として、リサイクルが行われていない現状から、今後どのような方策を採るべきかについて、表 5-1 に示したような考察を行った。

技術（リサイクルの容易性）

技術面では、3章の調査で明らかにしたように、樹脂サッシのリサイクルを実現させるための技術は存在しており、ドイツを中心として実際に稼働していることが分かっている。これらの技術や選別機械は日本でも、家電リサイクルの現場などで使用されており、日本においても樹脂サッシのリサイクルは技術的には可能である。

一方、大規模なリサイクル工場に集中させるならこれらの技術を参考に再資源化を行えばよいものの、個々の中間処理事業者・リサイクル事業者にとって、それらの設備を導入することは、コスト的に難しいと考えられる。個々の事業者がリサイクルを行えるようにするためには、効率や精度が良いだけでなく、イニシャルコストやランニングコストが抑えられる技術を検討することが求められると思われる。

経済（リサイクルの事業性）

4章でリサイクルの経済性について定量的評価を行ったように、樹脂サッシリサイクルの市場規模は決して大きくない一方で、再資源化の仕組みを工夫することで、事業性を高めることができると考えられる。また、出荷量と排出量の関係から、樹脂サッシからサッシへのリサイクルを行っても、一定の余剰が発生すると考えられる。

そのため、事業性の向上のためには、他産業との連携が必要であると考えられる。リサイクル工場で製造したリサイクル材を他産業で使用するだけでなく、リサイクル工程を他材料に応用することができれば、リサイクル工場における収益向上の可能性がある。

需要（リサイクルの必要性）

現在は、廃樹脂サッシはリサイクルが難しいことから、最終処分されるか、要求品質の比較的低い海外に輸出されている状況である。これは、手間をかけてリサイクル材を製造するよりも、バージン材を使用した方が、PVC製品の企業にとっては有利になるためである。こうした状況では、たとえ樹脂サッシのリサイクルが国内で行われるようになったとしても、そのリサイクル材を国内で使用することは難しいと考えられる。

そのため、再資源化システムの構築にあたっては、国内におけるリサイクル材の需要創出が必須となる。PVC樹脂は石油化学製品であるため、石油価格の変動によってはリサイクル材の価値が上がり、一時的に需要が生まれることも考えられるが、安定した需要とは言えない。ドイツにおいて、業界団体が加入している企業にリサイクル材の使用を義務付けることで安定した需要が確保されていたように、国内においても、行政や業界団体等による需要の創出がなければ、安定した再資源化システムは構築されないと思われる。

環境（リサイクルの優位性）

4章における環境影響の定量的評価から明らかにしたように、バージン材の使用抑制による環境負荷軽減効果が非常に大きいため、どのようなシナリオにおいても、リサイクルを

行うことによる環境負荷の軽減は確実に見込まれるとみられる。一方、環境負荷の削減効果は、リサイクル事業自体の経済的利益と比較して、リサイクルを行う動機にはなりにくいと思われる。

EUのPVC業界団体が主導するリサイクル活動でも、リサイクルによる環境貢献が目的にはなっているが、直接の動機は環境団体からのプレッシャーに対応するための、社会的信頼の確保であった。日本では欧州ほど環境的な世論は強くないものの、リサイクルによる環境貢献がより直接的に企業の社会的信頼につながるように、リサイクルを行う企業を適切に評価する仕組みが必要であると思われる。

以上の考察から、国内における安定した樹脂サッシ再資源化システムは、アルミサッシや中国の樹脂サッシの事例のように、個々の業者の経済原理による活動から構築されることは難しいと思われる。そのため、再資源化システムの実現に向けては、行政や業界団体が再資源化システムに対して、一定のコントロールをすることが必要であると思われる。

具体的には、業界団体等の取り決めによるリサイクル材料の需要創出や、リサイクル技術の開発、他産業の連携等が、リサイクルを行うにあたって必要となると考えられる。

また、そうした特定の産業界におけるリサイクルへの取り組みが活発に行われるよう、行政の制度によるリサイクル事業への支援やエンドユーザーである消費者の評価が、より直接的・具体的に行われるべきだと思われる。

こうした課題を一つずつ解消することによって、国内において樹脂サッシ再資源化システムを構築することは、十分に可能であると思われる。今後の展開に期待したい。

5-2.本研究の成果と今後の課題

本研究の成果を以下に整理する。

2章では、国内における樹脂サッシメーカー、北海道の業界団体と中間処理業者を対象として、ヒアリング調査を行い、樹脂サッシの製造工程や排出・処理状況など、樹脂サッシのライフサイクルに沿った実態について把握した。その結果として、加工端材のリサイクル状況や、樹脂サッシ普及率の高い北海道における地域性等、樹脂サッシのリサイクルに向けた課題と現状について整理を行った。

3章では、2章で明らかにした国内における樹脂サッシの状況と比較対照を行うために、国内のアルミサッシと、EUと中国における樹脂サッシの再資源化システムについて、ヒアリングを中心とした実態調査を行い、リサイクル状況の把握を行った。その上で、樹脂サッシ再資源化の課題に対応した、各再資源化システムにおける方策を整理することで、再資源化システムの成立要件について考察を行った。

4章では、北海道において樹脂サッシの再資源化システムを仮定し、LCA手法を用いて計算を行い、樹脂サッシ再資源化システムの環境影響や経済性を定量的に把握した。また、その結果から、樹脂サッシの再資源化に関わる各主体における利点について整理を行った。

以上のように、本研究では、業界団体や企業を対象としてヒアリングを中心とした実態調査を行い、国内における樹脂サッシリサイクルの実現に向けた課題とそれに対応した他再資源化システムにおける状況を整理した。その上で、樹脂サッシ再資源化を実行した際の環境影響や経済性について定量的評価を行い、樹脂サッシ再資源化システムの構築可能性について考察を行った。

なお、本研究は国内の樹脂サッシを中心として行ったが、再資源化システムの成立要件など、複数の再資源化システムへの調査から整理した考察や、地理的条件による再資源化システムのシナリオ評価など、他の建材の再資源化についても共通点がある、もしくは応用して捉えられる箇所は多いと思われる。

また、樹脂サッシのリサイクルは、樹脂サッシメーカーを中心として社会的課題として捉えられており、実現に向けた活動は行われているものの、現時点では検討段階であり、今後の展開には不確定な部分も多い。

本研究によって得られた知見が、今後の研究へと役立てられることに期待したい。

参考文献一覧

(本文で参考とした順。引用箇所は本文中に記載)

- ・日経 BP 社：窓まわりのディテール,1998.4
- ・一般社団法人日本サッシ協会：住宅用建材使用状況調査,2016.3
- ・塩ビ工業・環境協会：塩ビの性質と特性 〈<http://www.vec.gr.jp/>〉
- ・中村明史、坂本雄三ほか：室内温湿度シミュレーションと 2 次元伝熱計算を用いた開口部(窓)の防露性能に関する研究，建築学会学術講演梗概集 p.473-476, 2004.7
- ・村上敦亮、幸谷栄治ほか：樹脂サッシの再資源化システム構築に向けた機械分離技術の開発，建築学会学術講演梗概集 2015 (材料施工) p.609-610, 2015.9
- ・磯部孝行、清家剛、金容善：樹脂窓の再資源化システム構築に関する研究 -北海道における廃棄された樹脂窓の実態調査及び排出量予測，建築学会学術講演梗概集 2014(材料施工), p.1381-1382, 2014.9
- ・日本政策投資銀行：循環型社会における塩化ビニル樹脂の可能性， 2004.9
- ・(一社)日本サッシ協会ほか:塩ビサッシリサイクル合同 WG「2002~2012 年 活動・調査報告書」, 2013.3
- ・財務省：貿易統計 〈<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>〉
- ・日本アルミニウム協会：Website 〈<http://www.aluminum.or.jp/index.html>〉
- ・(社)日本アルミニウム協会：3R システム化可能性調査事業-アルミニウム転身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-, 2007.3
- ・清家剛：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， 2010.4
- ・ECVM：Website 〈<http://www.pvc.org/en/p/how-is-pvc-used>〉
- ・塩ビ工業・環境協会：統計集 〈http://vec.gr.jp/lib/lib2_1.html〉
- ・中国塑料加工工業協会：中国塑料工業年鑑， 2013
- ・国土地理院：距離と方位角の計算
〈<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>〉
- ・B. R. Bowring：Total inverse solutions for the Geodesic and Great Elliptic， Survey Review, 33, 261, 1996.7
- ・総務省統計局、我が国の人口重心—平成 22 年国勢調査結果から—
〈<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/topics/topi61.htm>〉

- ・国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報ダウンロードサービス 〈<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>〉
- ・経済産業省、我が国の主要石油化学製品生産能力調査
〈http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/chemistry/downloadfiles/teikihapyouyousiryou/140410seisannouryokutyousa.pdf〉
- ・腰塚武志、小林純一：道路距離と直線距離，都市計画別冊(18), p43-48, 1983.11
- ・西沢明：道路距離と直線距離による道路網の利便性評価，地域学研究 18, p.145-164, 1987
- ・北垣亮馬、岩田彩子ほか：資源循環における輸送距離に対する東京と北海道の GIS による比較，日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, p.64, 2007
- ・森田匡俊、鈴木克哉、奥貫圭一：日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究，GIS-理論と応用 22(1), p.1-7, 2014.06
- ・経済産業省・国土交通省：ロジスティクス分野における CO₂ 排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.0、2007.3
- ・プラスチック処理促進協会：石油化学製品の LCI データ調査報告書、2009.3
- ・プラスチック処理促進協会：プラスチック廃棄物の処理・処分に関する LCA 調査研究報告書、2001.3
- ・中澤 克仁ほか：ポリ塩化ビニル製品のライフサイクルにおける環境負荷分析、日本エネルギー学会誌 86(5), p.339-345, 2007.5
- ・北海道電力：2015 年度 CO₂ 排出原単位
〈<http://www.hepco.co.jp/corporate/environment/environment.html>〉
- ・環境省地球環境局：事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン（試案 ver1.6），2003.7
- ・交通日本社：貨物運賃と各種運賃表，2010
- ・労働調査会：最新賃金データブック：賃金が見えてくる統計資料を網羅：実務必携. 2017 年版 上., 2016.11（データの出所は厚生労働省：平成 27 年賃金構造基本統計調査による）
- ・北海道電力の電気料金単価
〈http://www.hepco.co.jp/business/price/ratemenu/pdf/office_basic_menu.pdf〉
- ・小樽市：産業廃棄物の分け方・出し方
〈https://www.city.otaru.lg.jp/jigyo/gomi_kankyo/jigyogomi/gomi2_sanpai.html〉
- ・経済調査会：積算資料，2016.7

謝辞

本研究を行うにあたって、多くの方々のご助力をいただきました。

まず、調査を進めるにあたってご協力をいただいた業界団体や企業の方々に、厚くお礼を申し上げたいと思います。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いたことで、この研究をまとめることができました。

特に、(株)エクセルシャノンの大木さま・下山さま、(株)LIXILの小森さま、YKKAP(株)の木川さま、大信工業(株)の村上さまには、塩ビサッシリサイクルWGを通じて、研究の示唆を与えてくれたのみならず、調査にもご協力いただきました。

北海道における調査にあたっては、北海道産業廃棄物協会の松永さま・岡垣さまから、調査にご協力いただいたのみならず、中間処理業者さまへのヒアリング調査について、ご支援いただきました。

日本資源技術(株)の宮本さまからは、技術面・経済面における詳細についてご助力いただき、実態に則した定量的評価を行うことができました。

また、語学に不安のある私でしたが、EUでは一級建築士事務所エネクスレインの小室さまに通訳・案内をしていただき、滞りなく調査を行うことができました。非常に楽しい旅路であったことを懐かしく思います。

中国の調査では、研究室の博士課程である趙さんに通訳をしていただくとともに、帰国後の文献調査等でもお手伝いをしていただきました。

また、論文の執筆にあたって、学内の先生や先輩方など、多くの方々からご指導をいただきましたことに、感謝の意をお伝えしたいと思います。

副指導の佐藤弘泰先生は、論文を執筆する中で狭くなっていた私の視野を広げてくださいました。構法系研究室の藤田香織先生からは、KKを通してご助言をいただきました。

また、清家研究室の先輩にあたる武蔵野大学助教の磯部さんからは、研究の節々での確なご指導をいただきました。同じく先輩の伊藤さんには、多くの調査にご同行させていただき、研究を始めるにあたって多くの示唆をいただくことができました。

研究員の金さんには、多くの調査にご同行いただきました。おかげさまで、楽しみながら研究を進めることができました。

そして、清家先生からは、私が研究に行き詰ったとき、悩んでいるとき、いつもの確なご指導をいただきました。また、研究を行うにあたっての責任や、社会におけるふるまい方について学ばせていただきました。

最後に、学生生活を支えてくださった家族、加えてともに研究に取り組んだ研究室や専攻の同期や先輩・後輩に感謝の意を表して、締めくくりにしたいと思います。本当にありがとうございました。