

# 塩化ビニル樹脂建材の再資源化技術開発に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-05-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山口, 晃平 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10291/18757">http://hdl.handle.net/10291/18757</a>

明治大学大学院理工学研究科

2015 年度

博士学位請求論文

塩化ビニル樹脂建材の再資源化技術開発に関する研究

Study on Development of Material-Recycling Method on

PVC Construction Wastes

学位請求者 建築学専攻

山 口 晃 平



# 塩化ビニル樹脂建材の再資源化技術開発に関する研究

## 【目次】

---

第1章	序論	
第1節	序	1 頁
第2節	廃棄物処理の現状について	2 頁
第1項	廃棄物の分類と種類	2 頁
第2項	各種廃棄物の排出量	6 頁
第3項	廃棄物処理に関する法律	11 頁
第4項	廃棄物処理に係る問題	13 頁
第3節	塩化ビニル樹脂建材について	16 頁
第1項	塩化ビニル樹脂建材の位置づけ	16 頁
第2項	塩化ビニル樹脂建材の物性と用途	17 頁
第3項	塩化ビニル樹脂建材におけるリサイクルの現状	21 頁
第4節	本研究の位置づけ	23 頁
第1項	本研究の目的	23 頁
第2項	叩解法	24 頁
第3項	本論文の構成	28 頁
第5節	参考文献	29 頁
第2章	塩化ビニル樹脂建材の排出実態調査	
第1節	序	31 頁
第2節	調査概要	32 頁
第1項	調査方法および項目	32 頁
第2項	分別方法および基準	35 頁
第3節	改修現場における塩ビ建材の排出実態	40 頁
第1項	改修現場における混合廃棄物および タイルカーペットの排出実態	40 頁
第2項	タイルカーペットのマテリアルリサイクル における不純物の影響	44 頁
第4節	解体現場における塩ビ建材の排出実態	50 頁
第1項	解体現場における廃プラおよび塩ビ管の排出実態	50 頁
第2項	解体現場における塩ビ管の分別解体作業時間	57 頁

第5節	まとめ	61	頁
第6節	参考文献	62	頁
第3章 再生塩ビ樹脂シートの機械的性質および評価手法			
第1節	序	63	頁
第2節	実験概要	64	頁
	第1項 使用材料	64	頁
	第2項 再生塩ビ樹脂シートの作製方法	67	頁
	第3項 試験体水準	68	頁
	第4項 試験項目および方法	69	頁
第3節	再生塩ビ樹脂シートの機械的性質	71	頁
	第1項 単一廃材配合再生樹脂シートの機械的性質	71	頁
	第2項 再生塩ビ樹脂シートにおける 機械的性質の確定因子	74	頁
	第3項 多種廃材配合再生塩ビ樹脂シートの機械的性質	83	頁
第4節	再生塩ビ樹脂シートの機械的性質予測	90	頁
	第1項 主組成原料割合による機械的性質の予測	90	頁
	第2項 多種廃材配合における機械的性質予測	94	頁
第5節	まとめ	99	頁
第6節	参考文献	100	頁
第4章 再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価			
第1節	序	101	頁
第2節	実験概要	102	頁
	第1項 使用材料および試験体水準	102	頁
	第2項 耐久性評価および試験方法	103	頁
第3節	再生塩ビ樹脂シートの基礎的な耐久性評価	104	頁
	第1項 耐熱性	104	頁
	第2項 耐アルカリ性	107	頁
	第3項 耐候性	110	頁
第4節	実環境を想定した再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価	113	頁
	第1項 実暴露による防水シートの劣化性状	113	頁
	第2項 経年劣化した防水シートのリサイクルへの適用性	124	頁

第3項	熱および水の劣化因子に着目した 複合劣化による耐久性評価	126 頁
第4項	長期耐久性評価	135 頁
第5節	再生塩ビ樹脂シートの複層化による耐久性向上効果	141 頁
第1項	実験目的	141 頁
第2項	実験概要	142 頁
第3項	複層再生塩ビ樹脂シートの機械的性質	147 頁
第4項	複層再生塩ビ樹脂シートの耐久性	153 頁
第6節	まとめ	167 頁
第7節	参考文献	168 頁
第5章	叩解法を用いたリサイクルにおける環境影響評価	
第1節	序	169 頁
第2節	調査概要	170 頁
第1項	想定条件	170 頁
第2項	対象範囲設定	171 頁
第3項	各種原単位および算定方法	173 頁
第3節	調査結果	176 頁
第1項	消費エネルギー量	176 頁
第2項	CO <sub>2</sub> 排出量	178 頁
第3項	再生塩ビ樹脂シートの製造における環境負荷	179 頁
第4節	まとめ	181 頁
第5節	参考文献	182 頁
第6章	総括	
第1節	序	183 頁
第2節	塩ビ建材の排出実態	184 頁
第3節	再生塩ビ樹脂シートの品質	185 頁
第1項	再生塩ビ樹脂シートの機械的性質	185 頁
第2項	再生塩ビ樹脂シートの耐久性	186 頁
第3節	本リサイクル手法の位置づけ	187 頁
第4節	結	188 頁
第5節	謝辞	189 頁



# 第1章

## 序論





## 第1節 序

地球上の資源を消費する我々にとって、廃棄物のリサイクルとは、現在および今後の地球環境を考えるうえで、避けては通れない大きな課題である。地球に存在する資源は無限ではなく、資源を自然が生産する速度よりも、人間が消費する速度の方がはるかに速い。さらに、世界のエネルギー消費量の統計をみると、その消費量は年々増加傾向にあり、1965年の38億 toe (tonne of oil equivalent) から2011年には123億 toe にまで増大しており、資源の消費速度は速くなる一方である<sup>1-1)</sup>。

また、資源を消費するということは、廃棄物を排出するということであり、この廃棄物の処理についても早急に解決しなければならない課題である。具体的には、最終処分場の残余量の逼迫や、廃棄物の不法投棄等である。近年、日本では、廃棄物の詳細な分別や不法投棄の監視体制等が強化されてきているが<sup>1-2)</sup>、廃棄物排出量は今後とも増加していくと予測されるなか<sup>1-3)</sup>、排出された廃棄物をどこに埋め立てるかの論争が絶えない。しかし、そもそも処分場を新たに確保するために山を切り崩すことが、果たして本当に地球環境を配慮した行為なのか疑問を感じる。

これらのことから、廃棄物のリサイクルとは、資源の消費量を抑え、かつ廃棄物の排出量も同時に抑えることが可能であり、廃棄物を資源として、もしくは資源の充填的役割として利用し、資源と廃棄物が循環する構図に寄与することが望ましい。以上を踏まえ、本研究では、資源および廃棄物の観点から重要な位置づけにある塩化ビニル樹脂建材を対象に、資源循環を目標とするリサイクル手法を提案する。

## 第2節 廃棄物処理の現状について

### 第1項 廃棄物の分類と種類

#### 1) 廃棄物の分類

廃棄物とは、生活において不要となったものであり、そのままの状態では有価で取引ができないものやそのまま利用できないものを指す。廃棄物の種類は膨大であり、その種類によって排出量も異なれば、処理方法も異なる。そこで、まず、廃棄物の種類を整理すると、日本の廃棄物の分類は、廃棄物処理法によると以下のように4つに区分される<sup>1-4)</sup>。また、世界各国の廃棄物の分類は各国で多少異なるが、基本的にはその廃棄物が有害であるかどうかで判断されており、無害とされる廃棄物はリサイクルの可能性があるとしている。

##### 【日本】

- 1) 産業廃棄物 : 事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃プラスチック類等の廃棄物
- 2) 特別管理型産業廃棄物 : 爆発物、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるもの
- 3) 一般廃棄物 : 産業廃棄物以外の廃棄物
- 4) 特別管理一般廃棄物 : 爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるもの

・産業廃棄物処理の事業者：排出事業者がその責任において自ら又は許可業者への委託により行う。処理業者は都道府県知事の許可制となっており、施設及び申請者の能力が基準に適合する場合等に許可される。

##### 【米国】

- 1) 有害廃棄物 : F・K・U・P リストに掲載されているもの、及び有害廃棄物の特性があるもの
- 2) 非有害廃棄物 : 都市廃棄物、下水汚泥、非有害産業廃棄物、建設廃棄物、農業廃棄物、鉱山廃棄物、等

・産業廃棄物処理の事業者：産業廃棄物の処理はすべて排出事業者責任であり、有害廃棄物の場合は、環境保護庁のID番号の取得、環境保護庁のID番号を取得している運搬者及び処理・保管・処分（TSD）施設を利用した処理、マニフェストシステムの遵守の義務を負う。

##### 【EU】

- 1) 一般廃棄物 : 生産または消費の残余物。リサイクル可能な残余物も含む。廃棄物カタログで849種類に分類されている。
- 2) 有害廃棄物 : 有害廃棄物のカテゴリーにあるもの、有害廃棄物の成分を有す

るもの、有害廃棄物の特性を有するもの。有害廃棄物リストで404種類に分類されている。

- ・産業廃棄物処理の事業者：汚染者負担の原則（PPPの原則）及び分担責任の原則（Shared responsibility）に従い、全ての経済主体、すなわち製造業者、輸入業者、流通業者、消費者は定められた責任を廃棄物の排出抑制、リサイクル、処分に関して分担しなければならない。

【ドイツ】

- 1) 家庭廃棄物：生産または消費の残余物。リサイクル可能な残余物も含む。廃棄物カタログで849種類に分類されている。
- 2) それ以外の廃棄物：有害廃棄物のカテゴリにあるもの、有害廃棄物の成分を有するもの、有害廃棄物の特性を有するもの。有害廃棄物リストで404種類に分類されている。

- ・産業廃棄物処理の事業者：汚染者負担の原則（PPPの原則）及び分担責任の原則（Shared responsibility）に従い、全ての経済主体、すなわち製造業者、輸入業者、流通業者、消費者は定められた責任を廃棄物の排出抑制、リサイクル、処分に関して分担しなければならない。

また、産業廃棄物とは、事業活動に伴って発生した廃棄物のうち、廃棄物処理法で定められた20種類を指す。図1-2-1に廃棄物の分類を示す。その中でも、建設工事に伴って生じる廃棄物、がれき類、汚泥、木くず、廃プラスチック、ガラスくず・コンクリートくず・陶磁器くず、金属くず、繊維くず、紙くず等が建設廃棄物である。

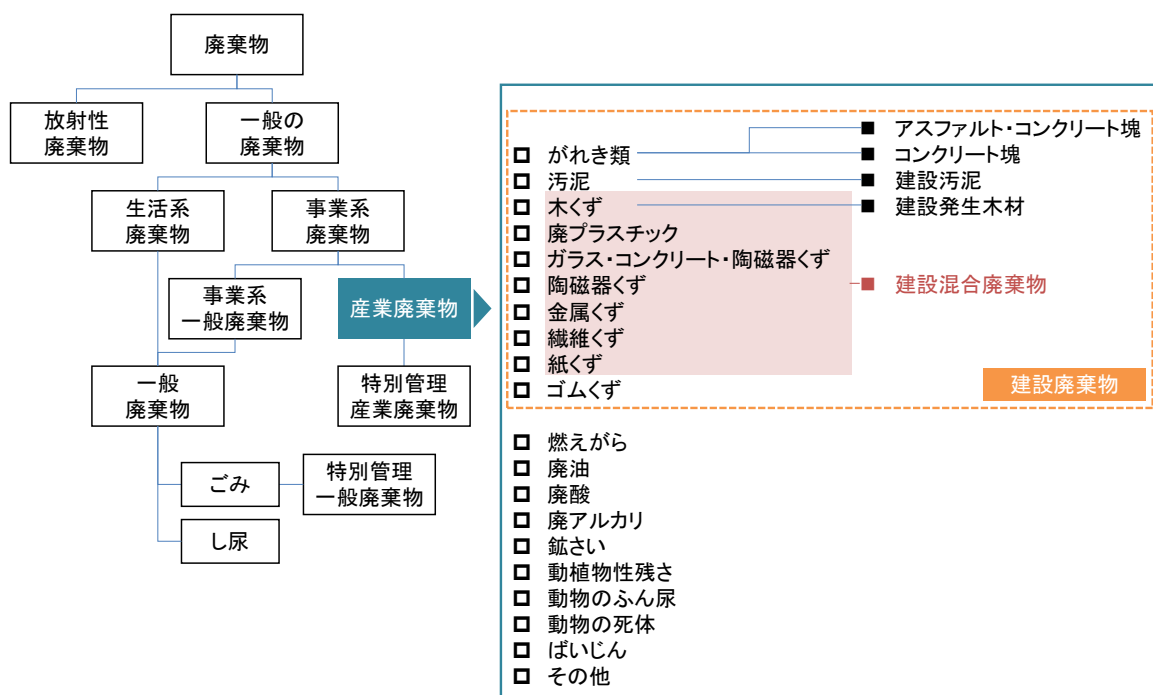


図 1-2-1 廃棄物の分類 1-5)

2) 建設廃棄物の種類

建設廃棄物は多種多様なものがあり、それぞれ処分方法が異なるため、分別して排出および処理する必要がある。建設工事等では、直接工事から排出される建設廃棄物以外に、作業員の弁当などの生ごみ、新聞、雑誌等も生じる場合があり、この場合、一般廃棄物に当たることから廃棄物が生じた区域の市区町村の指示に従う。特別管理産業廃棄物については、廃棄物処理法及び関係法令を遵守し、管理・処理を行う。図1-2-2に建設廃棄物の種類を示す。

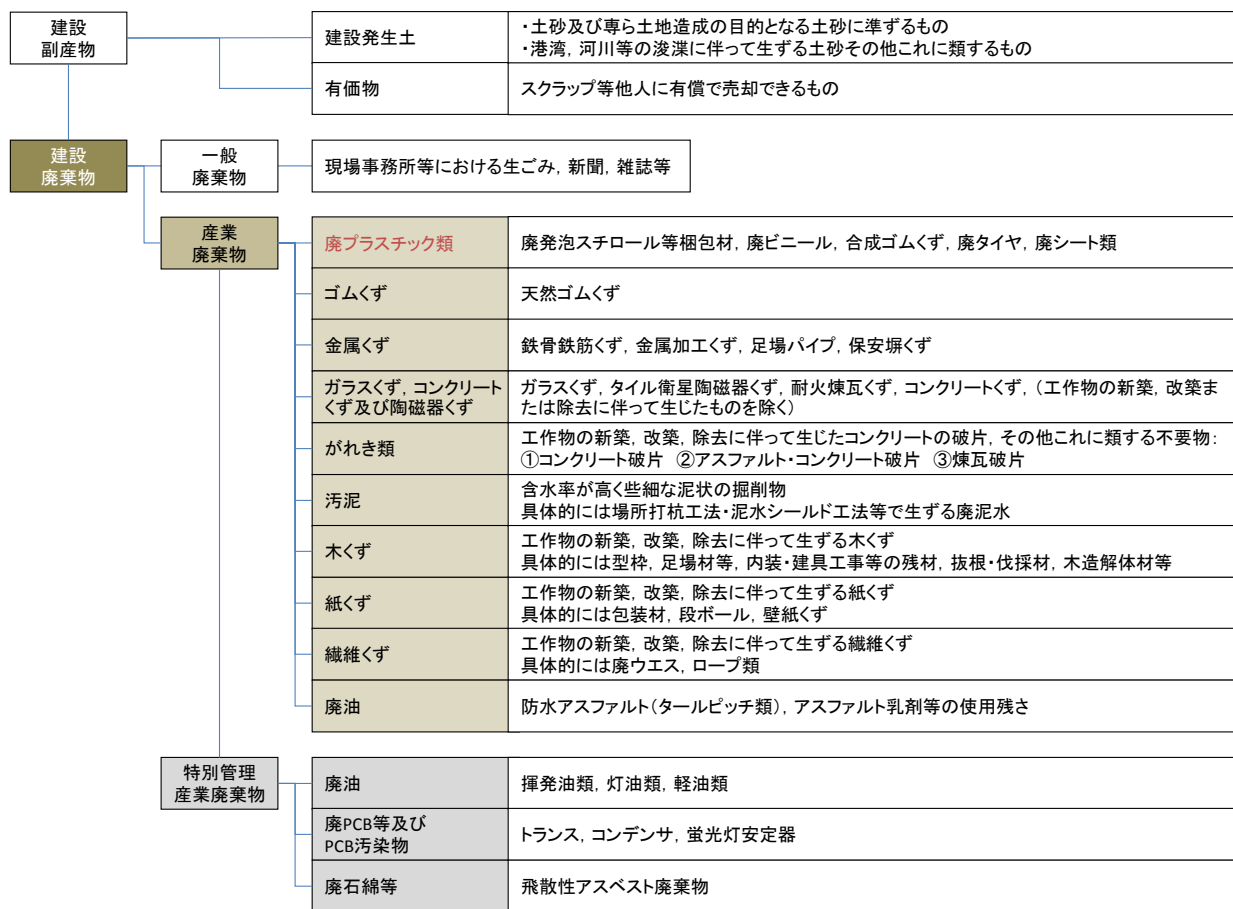


図1-2-2 建設廃棄物の種類<sup>1-5)</sup>

また、安定型産業廃棄物であっても、排出から処分までの間に安定型産業廃棄物以外の廃棄物と混在し、安定型産業廃棄物以外の廃棄物が混在または付着している恐れがあるものは、管理型産業廃棄物となる。ただし、建設工事等に伴って生じた安定型産業廃棄物については、次のいずれかの方法により、混入及び付着の防止措置を行えば安定型産業廃棄物として取り扱うことが可能である。

- 1) 安定型産業廃棄物とそれ以外の廃棄物とに分別して排出し、かつ、安定型産業廃棄物の埋立処分が行われるまでの間、安定型産業廃棄物にそれ以外の廃棄物が混入し、または付着することのないようにする。
  - 2) 手、ふるい、風力、電力、その他の方法により安定型産業廃棄物とそれ以外の廃棄物とに選別した結果、安定型産業廃棄物の熱しやく減量を5%以下とし、且つ、選別後の埋立処分が行われるまでの間、安定型産業廃棄物にそれ以外の廃棄物が混入し、または付着することのないようにする。
- 注) 熱しやく減量とは、対象物を強熱したときの重量減少率を表す値である。測定方法としては、試料を乾燥機等により  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  で十分乾燥させた後、電気炉を用いて  $600 \pm 25^{\circ}\text{C}$  で3時間強熱し、その際の重量減少率を測定する。

### 3) 建設廃棄物処理の流れ

建設廃棄物の排出から最終処分までの流れを図1-2-3に示す。建設廃棄物の種類によってそれぞれ中間処分と最終処分が異なるため、分別して排出及び処分する必要がある。

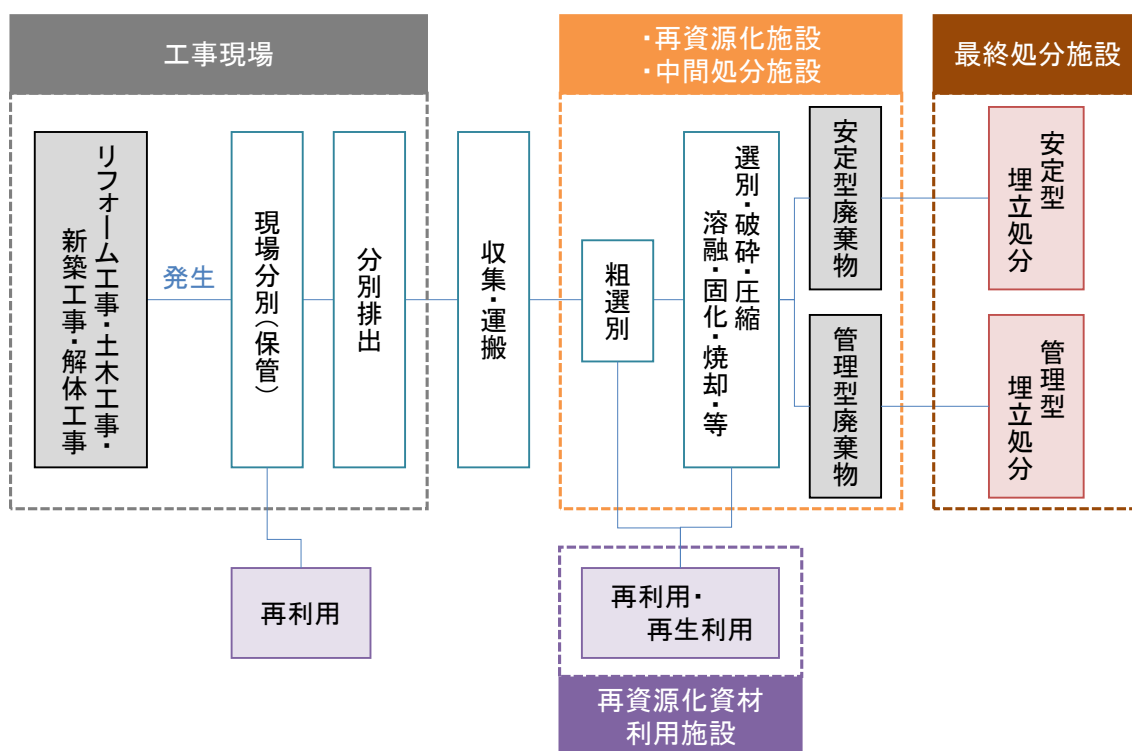


図1-2-3 建設廃棄物処理の流れ <sup>1-5)</sup>

## 第2項 各種廃棄物の排出量

### 1) 各国比較

環境省によると、各国の廃棄物発生量および建設廃棄物が占める割合は図1-2-4に示す通りである。なお、ここで用いられているデータは、各国によって調査年度が異なるが、1999年から2006年の間に調査されたデータである。また、廃棄物発生量が0の国に関して（アメリカ、ギリシャ、スペイン、等）は、統計データがないことを示している。図からもわかるように、世界的にみても廃棄物量に占める建設業の割合は高く、廃棄物処理の観点から建設廃棄物は重要な位置づけにあるといえる。今回の調査範囲においては、日本の廃棄物全体の発生量は1位、建設業では3位と世界の中でも非常に高い値を示しており、日本がどのように大量の廃棄物进行处理するのか、もしくは処理していくのか、他国に対して見本となる仕組みを形成することが理想である。また、清水らによると、途上国、新興国の廃棄物排出量は、2050年は2000年の2倍になると分析されており、その質も複雑化および多様化しつつあると報告している<sup>1-6-1-7)</sup>。この報告は当然一般廃棄物に起因するものではあるが、建設業より発生する廃棄物量も増加すると予想され、建築物に用いられる材料の種類についても、ここ数十年で大きく変化してきていることから、廃棄物の処理には積極的に、かつ柔軟に対応していかなければならない。

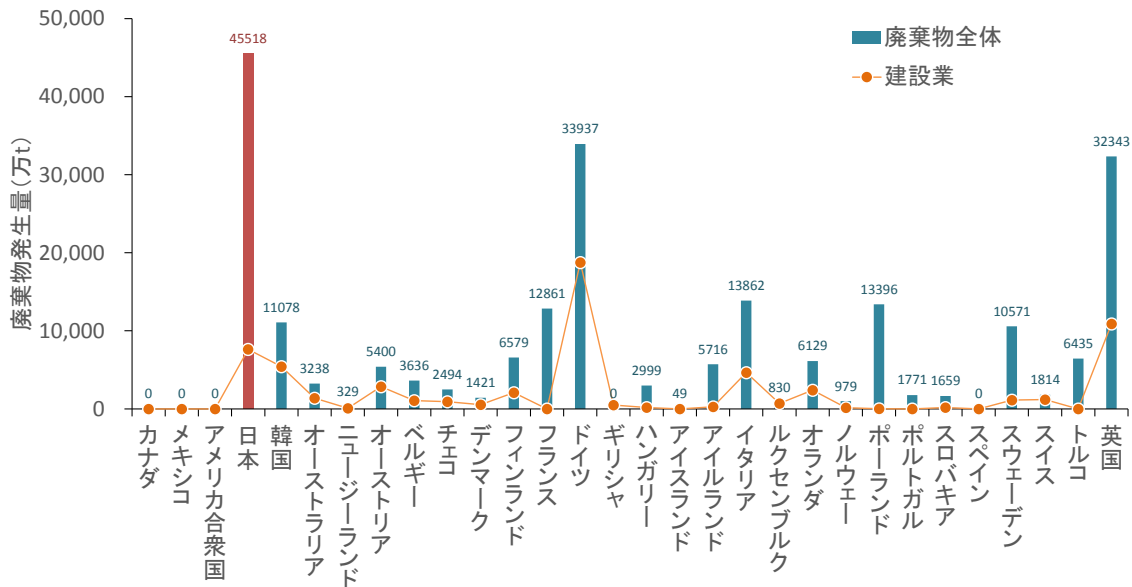


図1-2-4 各国の廃棄物発生量および建設廃棄物が占める割合

## 2) 業種比較

日本における産業廃棄物の業種別排出量を図1-2-5に示す。図より、農業および電気・ガス・熱供給業・水道業の廃棄物排出量は1975年から約2000年まで増大し、建設業は1975年から1995年まで増大し、その後一定の値に収束している。これは、高度経済成長期における産業の発展に加え、大量生産・大量消費の経済システムにより、廃棄物の排出量はどんどん膨れ上がり、バブル崩壊とともに廃棄物排出量は収束したが、根本的な絶対量は変化していないことを示している。

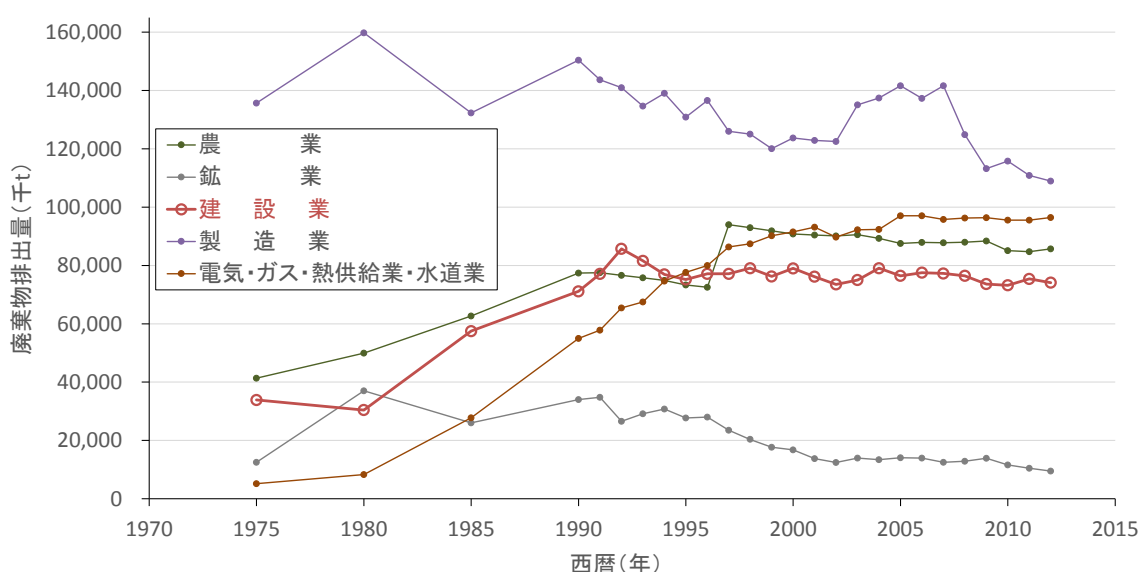


図1-2-5 産業廃棄物の業種別排出量

## 3) 建設廃棄物

図1-2-6に品目別建設廃棄物の排出量推移, 図1-2-7に品目別建設廃棄物の再資源化推移, 図1-2-8に品目別建設廃棄物の最終処分量推移を示す。2002年に持続的発展が可能な社会経済システムの構築に向けて建設リサイクル法が施行されて以来、建設分野において環境保全と資源循環に係わる法体系が整備され、企業や研究機関においてリサイクル製品に関する技術開発及び環境影響評価手法などの取り組みが活発になった<sup>1-8)</sup> 1-9) 1-10)。また、建設廃棄物において大きな割合を占めるコンクリート、コンクリートおよび鉄からなる建設資材、アスファルト、建設発生木材は特定建設資材に指定され、再資源化が義務付けられることにより、それらのリサイクルシステムはある程度確立され、再資源化率の向上および最終処分量は年々低下傾向を示している<sup>1-8)</sup>。

しかし、これら特定建設資材に指定されていない建設廃棄物の大半は、そのリサイクル



システムが確立されていない。その中でも建設混合廃棄物は、多種素材が混合し、分別や回収基準が不明瞭であることから、リサイクルが難しいとされ、最終処分量は他建材に比べ高い値を示している<sup>1-8)</sup>。

また、建設混合廃棄物の大半は、壁紙や石膏ボード、防水シートや断熱材等の建築仕上げ材料であり、これらの排出量は今後増大していくと予想される。その理由として、近年の人口の減少や、住宅ストック数の増加に伴い、一世帯当たりの住宅数も1を超える値を示しており、新築着工戸数は年々減少傾向にある<sup>1-11)</sup>。つまり、今後、解体工事や新築工事よりも既存の住宅のリフォーム事業が拡大していくことが予想され、それに伴い建設廃棄物の排出量においても、構造材料ではなく仕上げ材料の占める割合が増大していくからである。図1-2-9に住宅ストックと世帯数の推移、図1-2-10に新設住宅着工戸数の推移を示す。

これらのことより、建設廃棄物全体の最終処分量は低下傾向にあり、再資源化率も高い値を示しているが、今後のリフォーム事業の拡大に伴い、建設廃棄物の内訳は建築仕上げ材料が占める割合が増大すると予想され、建築仕上げ材料の再資源化は課題となってくる。

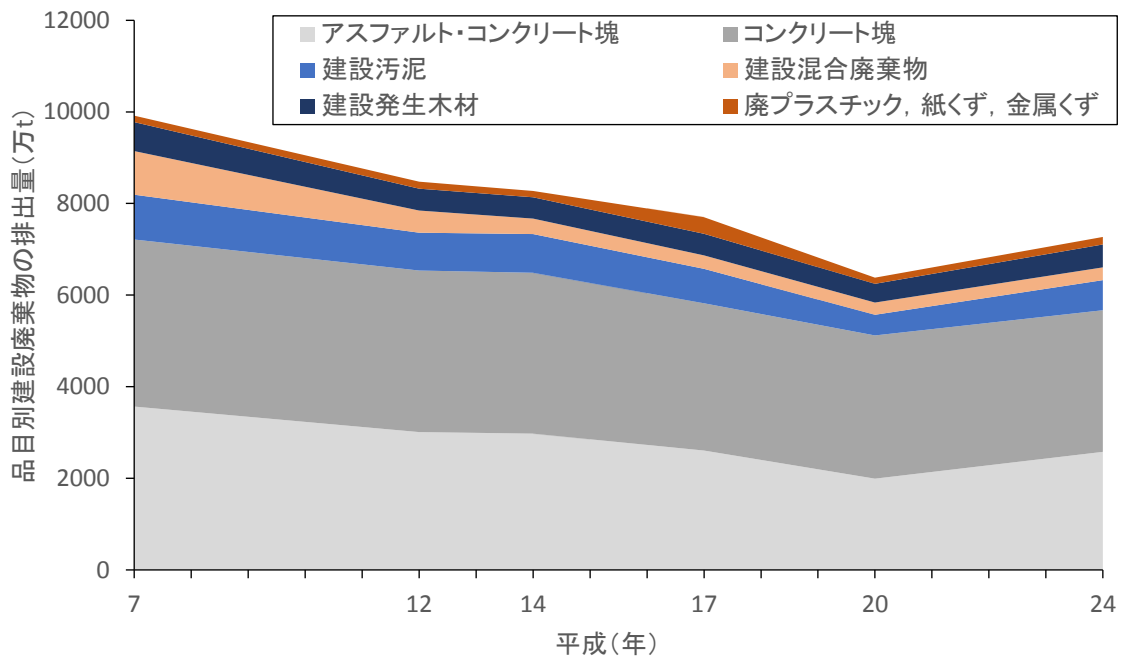


図1-2-6 品目別建設廃棄物の排出量推移

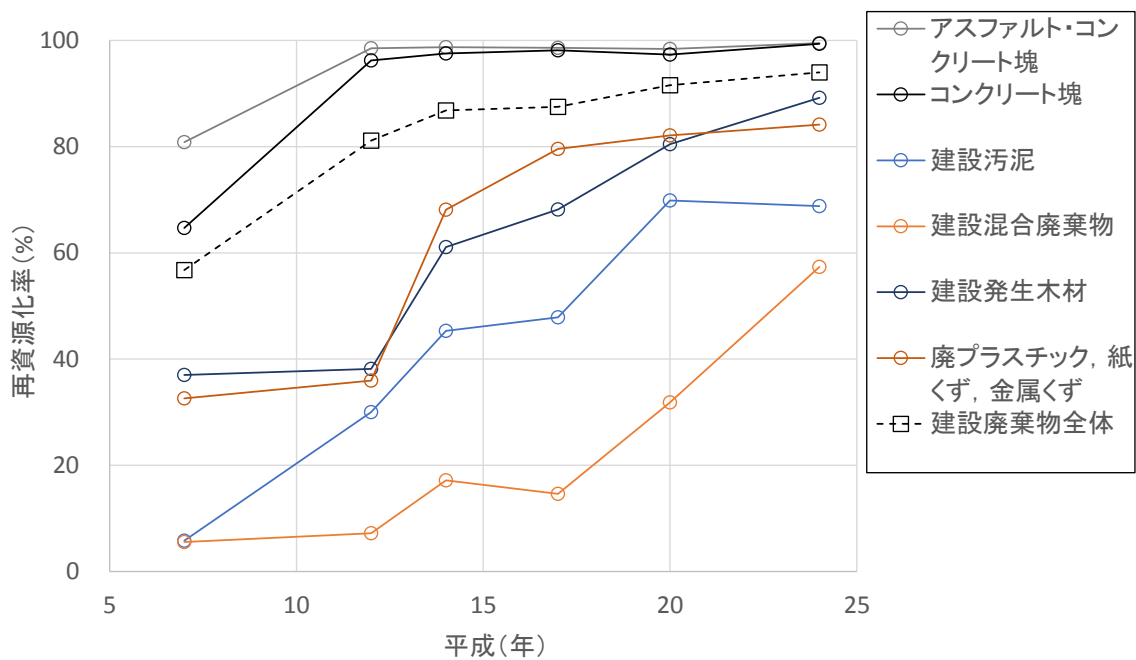


図 1-2-7 品目別建設廃棄物の再資源化率推移

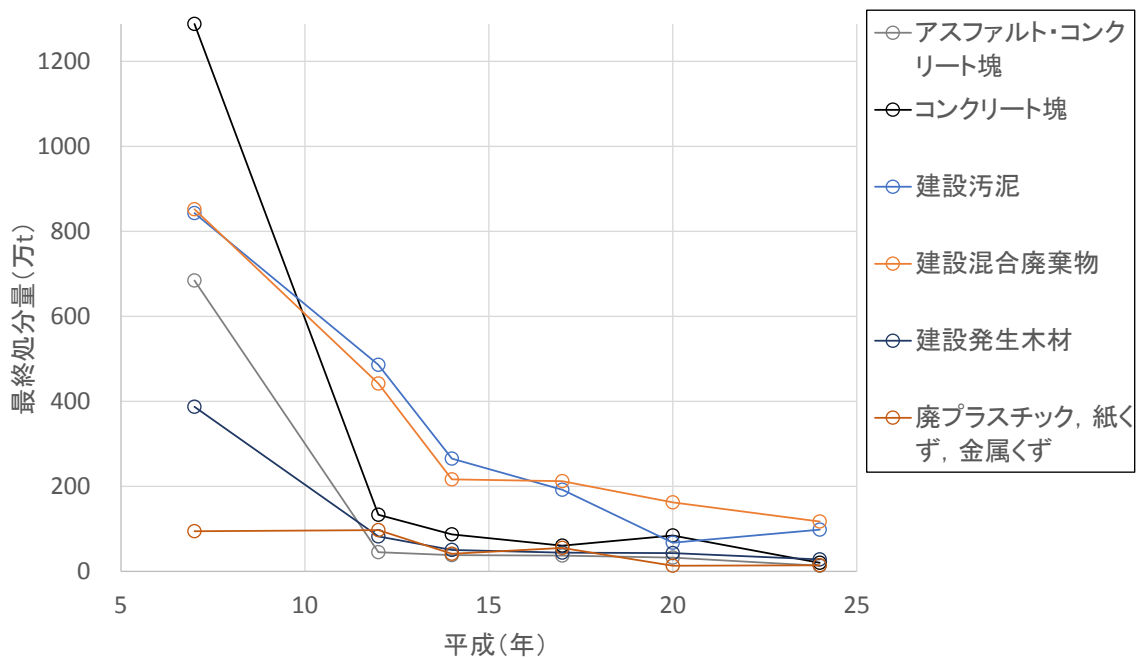


図 1-2-8 品目別建設廃棄物の最終処分量推移

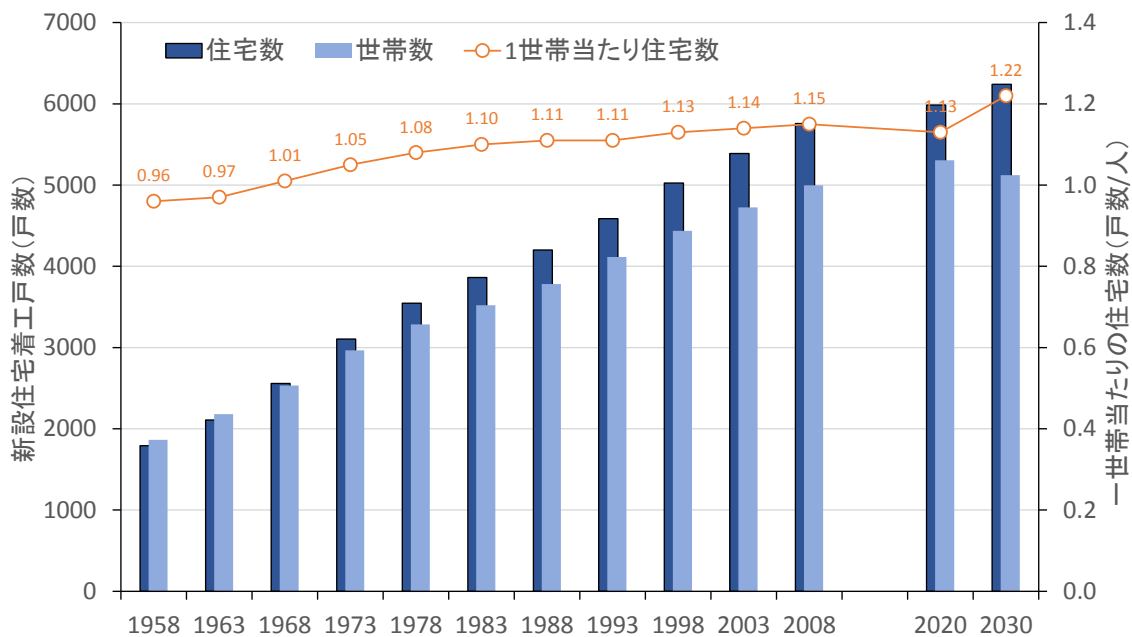


図 1-2-9 住宅ストックと世帯数の推移

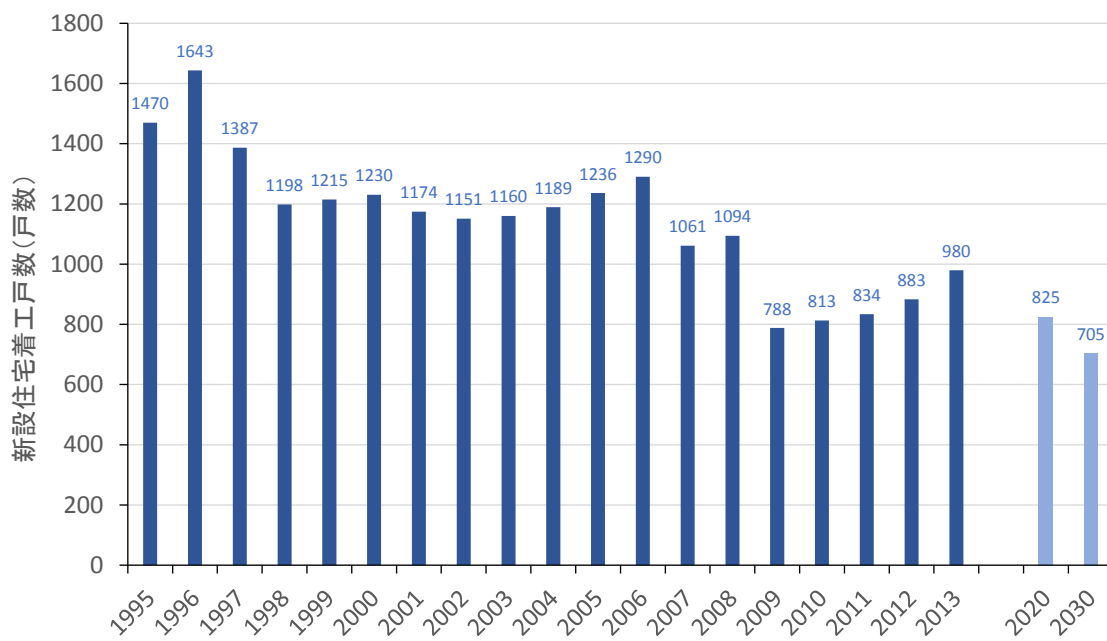


図 1-2-10 新設住宅着工戸数の推移

### 第3項 廃棄物処理に関する法律

2000年以降、建設廃棄物の再資源化率は急激に向上したが、これは地球環境への意識が高まったことに加え、具体的な法規制が配備されたことに起因している。以下に、建設廃棄物の処理に関する主要な法律の概要を示す。

#### 1) 気候変動に関する国際連合枠組条約<sup>1-12)</sup>

1992年に世界は、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極の目標とする「気候変動に関する国際連合枠組条約（United Nations Framework Convention on Climate Change）」を採択し、地球温暖化対策に世界全体で取り組んでいくことに合意した。同条約に基づき、1995年から毎年、気候変動枠組条約締約国会議（COP）が開催されている。また、1997年に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）では、先進国の拘束力のある削減目標（2008年～2012年の5年間で1990年に比べて日本-6%、米国-7%、EU-8%等）を明確に規定した「京都議定書」（Kyoto Protocol）に合意することに成功し、世界全体での温室効果ガス排出削減の大きな一歩を踏み出した。

この京都議定書では、地球温暖化の原因となる、温室効果ガスの一種である二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、ハイドロフルオロカーボン類（HFCs）、パーフルオロカーボン類（PFCs）、六フッ化硫黄（SF<sub>6</sub>）について、先進国における削減率を1990年の基準として各国別に定め、共同で約束期間内に目標値を達成することが定められた。ただし、京都議定書第3条第8項に基づき各締約国はHFCs、PFCs、六フッ化硫黄の基準年として1995年を選択できることとされている。日本国内では専ら京都議定書の基準年との比較による増減率が提示される。

更に今般、2015年にフランス・パリで開催された気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）において、気候変動に関する2020年以降の新たな国際枠組みである「パリ協定」（Paris Agreement）が採択された。パリ協定には、世界共通の長期目標として2℃目標の設定や、すべての国による削減目標の5年ごとの提出・更新、各国の適応計画プロセスと行動の実施、先進国が引き続き資金を提供することと並んで途上国も自主的に資金を提供すること、共通かつ柔軟な方法で各国の実施状況を報告・レビューを受けること、JCMを含む市場メカニズムの活用等が位置づけられている。

日本政府は、パリ協定を踏まえた今後の対策の取組方針を2015年12月22日に決定した（地球温暖化対策推進本部決定）。この中で、国内対策として、パリ協定の2℃目標等を踏まえ、我が国としても世界規模での排出削減に向けて長期的、戦略的に貢献すること、COP21に先立ち我が国が国際的に約束した目標（約束草案）の着実な実施に向けてこの春までに地球温暖化対策計画を策定することと政府実行計画を策定すること、政府が旗振り役となり国民運動を強化すること、更にパリ協定の署名・締結・実施に向けた取組を進めること等を決定した。

また、パリ協定の長期目標及び条約の究極目標を達成するには、あらゆる部門において

多大な努力が必要である。我が国は、環境保全を図りながら発展を実現してきた経験と、それを支えてきた技術、人材を活かし、先進国の一員として、率先して気候変動対策に貢献していく。

## 2) 資源の有効な利用の促進に関する法律（略称：資源有効利用促進法）<sup>1-13)</sup>

資源有効利用促進法とは、循環型社会を形成していくために必要な3R（リデュース・リユース・リサイクル）の取り組みを総合的に推進するための法律である。特に、事業者に対して3Rの取り組みが必要となる業種や製品を政令で指定し、自主的に取り組むべき具体的な内容を省令で定めることとしている。10業種・69品目を指定して、製品の製造段階における3R対策、設計段階における3Rの配慮、分別回収のための識別表示、事業者による自主回収・リサイクルシステムの構築などが規定されている。

## 3) 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（略称：建設リサイクル法）<sup>1-5)</sup>

建設リサイクル法では、特定建設資材（コンクリート（プレキャスト板等を含む。）、アスファルト・コンクリート、木材）を用いた建築物等に係る解体工事又はその施工に特定建設資材を使用する新築工事等であって一定規模以上の建設工事（対象建設工事）について、その受注者等に対し、分別解体等及び再資源化等を行うことを義務付ける。なお、分別解体等及び再資源化等の実施義務の対象となる建設工事の規模に関する基準については、1)建築物の解体工事では床面積80m<sup>2</sup>以上、2)建築物の新築又は増築の工事では床面積500m<sup>2</sup>以上、3)建築物の修繕・模様替え等の工事では請負代金が1億円以上、4)建築物以外の工作物の解体工事又は新築工事等では請負代金が500万円以上と定められている。

また、対象建設工事の実施に当たっては、工事着手の7日前までに発注者から都道府県知事に対して分別解体等の計画等を届け出ることを義務付けたほか、対象建設工事の請負契約の締結に当たっては、解体工事に要する費用や再資源化等に要する費用を明記することを義務付けるなどの手続関係も整備された。

この他に、建設廃棄物のリサイクルを促進するため、主務大臣が基本方針を定めることが本法に規定されている。これに基づき平成13年1月17日に基本方針が定められ、特定建設資材に係る分別解体等及び特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に当たっての基本理念、関係者の役割、基本的方向などを定めるとともに、特定建設資材廃棄物の平成22年度の再資源化等率を95%とし、国の直轄事業における特定建設資材廃棄物の最終処分量を平成17年度までにゼロとするなどの目標を掲げている。

#### 第4項 廃棄物処理に係る問題

近年、廃棄物の増大により、それに対する十分な処理が追いつかず、廃棄物に係る様々な問題が起きている。その中でも早急な対策が必要とされる問題が、最終処分場の残余容量の逼迫と不法投棄である。これらの問題について、具体的な説明を以下に示す。

##### 1) 最終処分場の残余容量

現在、廃棄物量の増大および蓄積により、それらを埋立処分する最終処分場の必要容量も増大してきている。図 1-2-11 に最終処分場残余容量の推移を示す<sup>1-14)</sup> <sup>1-15)</sup>。図中の残余容量は、各処分場の形態により残余容量は大きく異なるが、その推移は減少する度に処分場を新設することで補い、大まかに横ばいを保っている。また、廃棄物の最終処分量は年々減少傾向にあり、これは近年の焼却炉の高度化やリサイクルに関する技術の発展に起因するものだが、最終処分される廃棄物は埋め立てれることにより消失するわけではなく、地球上に蓄積されている。つまり、現在、最終処分場の残余容量が十分に確保できていても、いずれ逼迫することは必然であり、今後とも我々は最終処分場の残余容量をめぐる問題とは付き合い続けることになる。

これらのことより、廃棄物処理の理想のかたちは、廃棄物を最終処分にまわさないことであり、廃棄物を資源もしくは熱源に循環するリサイクルのかたちを早急に形成しなければならぬといえる。

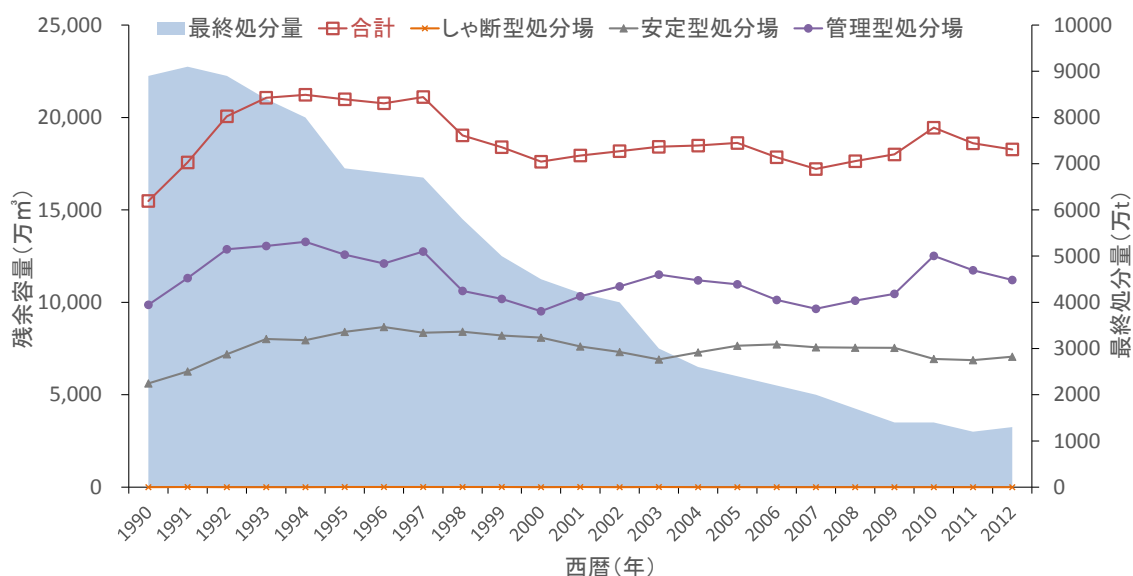


図 1-2-11 最終処分場残余容量の推移

## 2) 不法投棄

廃棄物を取り巻く問題の中で、最も厄介な問題が不法投棄および不適正処理である。上述したように、近年の最終処分場の逼迫が問題となっており、それに伴い廃棄物の処理費用が高騰してきていることに加え、非合法により生成された物質の処理等から、適正な処理を経ずに廃棄物を投棄する、不法投棄が問題となっている<sup>1-16)</sup>。

ここで、図 1-2-12 に不法投棄量の廃棄物種類内訳<sup>1-17)</sup>を示す。環境省によると、平成 25 年度における不法投棄量の合計は 28840t であり、うち 77.2% (22279t) が建設廃棄物であることを明らかにしている。また、最も高い割合を占めている廃棄物は建設混合廃棄物であり、全体の約 1/3 を占めている。建設混合廃棄物は、建設現場や改修現場、特に解体現場から排出される。現場での粗分別と中間処理場での詳細分別等を行っても、細かな端材やミンチ状の廃棄物は発生してしまうが、それ以前に、建設混合廃棄物の分別実態調査や研究報告は少なく、処理に必要な十分な費用が処理業者に支払われていないことも原因となっている。

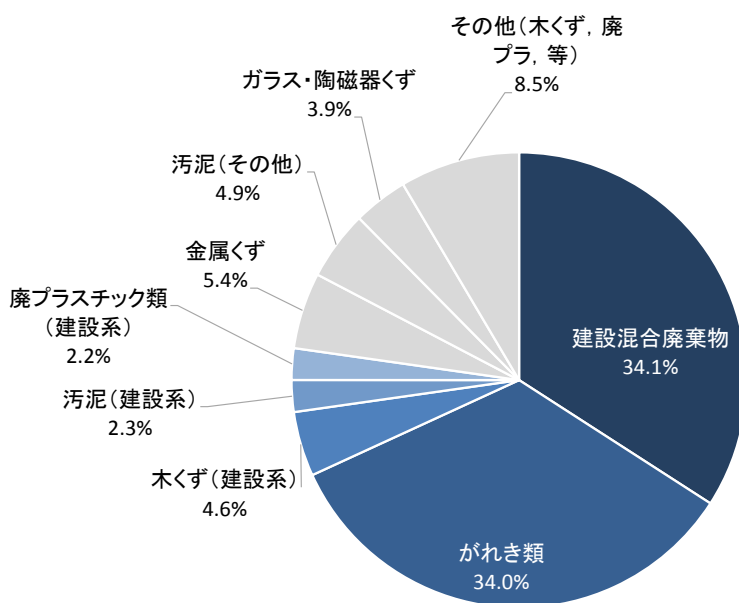


図 1-2-12 不法投棄量の廃棄物種類内訳 (環境省, 平成 25 年度)

ここで、図 1-2-13 に不法投棄量の推移を、図 1-2-14 に都道府県別産業廃棄物の不法投棄量を示す。近年、深刻化する不法投棄の問題に対して、監視体制等の強化<sup>1-2)</sup>から、不法投棄量は減少傾向にあるが、2000 年に報告された青森・岩手県境不法投棄事案 (合計約 150 万 t) 等のように、新たに発覚する大規模不法投棄を考慮すると、一概に好転しているとはいえない。また、不法投棄される場所は、当然人目に付きづらい郊外に集中しており、取り締まることが困難であることに加え、不法投棄は投棄現場周辺の環境汚染を引き起こすのみならず、近隣住民の不信感を誘発し、処分場の設置を阻むケースにもつながっている。



このように、不法投棄に関する問題は深刻であり、この問題を解決するためには、廃棄物そのものの発生を抑制する必要がある。しかし、その一方で、廃棄物量に関係なく、不法投棄や不適正処理は起こってしまうという報告<sup>1-18)</sup>もあり、単に廃棄物量を減少させるだけでは解決にはならない可能性がある。

以上をまとめると、不法投棄に関する問題の解決には、これまでのごみとして扱われてきた廃棄物の位置づけを変える必要がある。具体的には、廃棄物を有害なものとしてではなく、有価値な資源として利用できるようリサイクル手法の開発が必要であり、廃棄物を適正に処理することや、分別することに価値があることを認識づける必要がある。そのためには、廃棄物のリサイクル手法の開発に加え、現実的な分別フローや基準を把握および設ける必要がある。

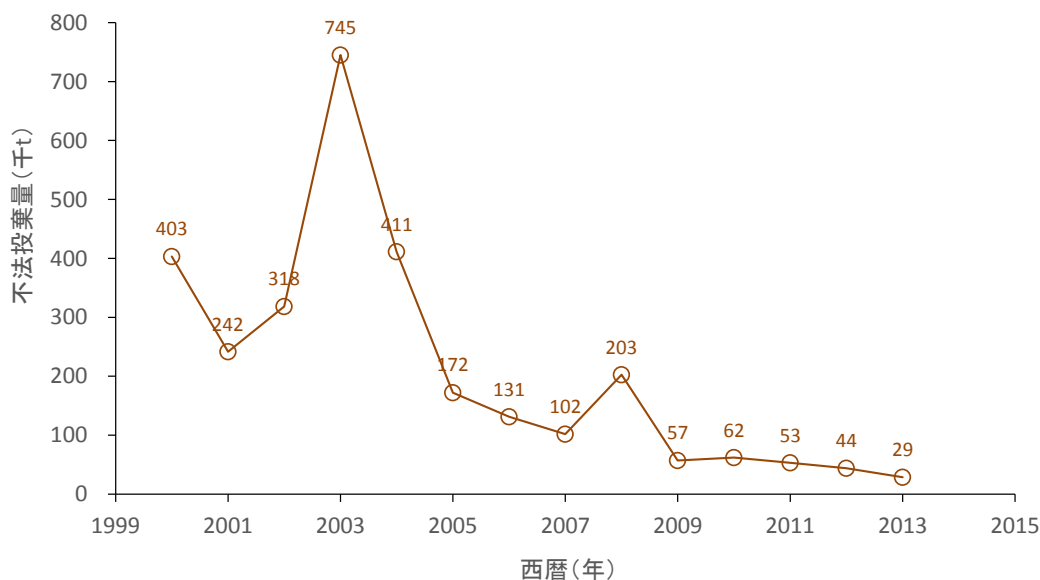


図 1-2-13 不法投棄量の推移

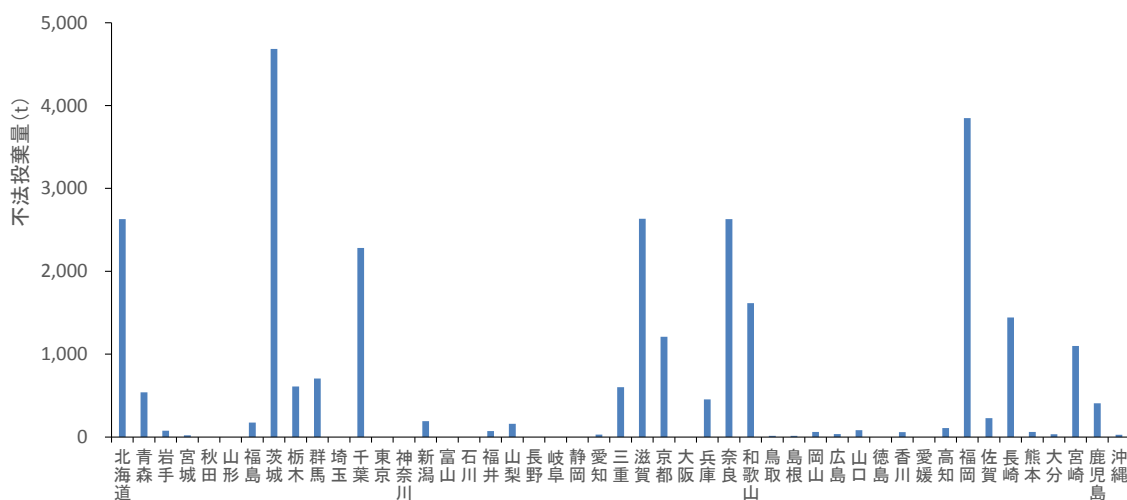


図 1-2-14 都道府県別産業廃棄物の不法投棄量



### 第3節 塩化ビニル樹脂建材について

#### 第1項 塩化ビニル樹脂建材の位置づけ

近年、建設リサイクル法の施行により、建設廃棄物の最終処分量は著しく低下し、特に特定建設資材に指定される廃棄物の再資源化率は9割以上と非常に高い値を示している<sup>1-8)</sup>。しかし、建設混合廃棄物の再資源化率は特定建設資材に比べ依然低く、建設系廃棄物における不法投棄量の内訳においても最も高い値を示している。これは、特定建設資材以外の建設廃棄物、特に建築仕上げ材料の効率的な再資源化方法が確立されていないことに起因している。また、建築物の長寿命化に伴い、新設着工戸数は緩やかに減少する一方で、リフォーム事業は着実に拡大してきており<sup>1-11)</sup>、今後、構造材料に用いられる建材の排出量は減少し、建築仕上げ材料の排出量が増加することが予想されることから、建築仕上げ材料の建設廃棄物全体に占める割合が増加することは明らかである。

このような背景より、建築仕上げ材料の再資源化方法の確立は、今後の環境配慮の面からも必要不可欠である。その中でも、塩化ビニル樹脂（以下、塩ビ）建材は、床材や壁紙等の内装材だけでなく、防水層等の外装材にも用いられ、建築物において多用途に用いられることから、廃棄物量に占める割合も大きく、今後の建築分野における廃棄物処理の観点からも重要な位置づけにある建材である。

## 第2項 廃塩化ビニル樹脂建材の物性と用途

塩ビ建材は、施工性、意匠性、経済性等に優れ、建設分野において多様に用いられている。具体的には、図1-3-1に示すように、室内用途として壁紙や床材等、屋外用途として防水シート等、耐油性や耐熱性にも優れていることから塩ビ管などにも使用されており、同一種類の塩ビ建材においても組成原料やその割合等によって細分化されている。また、塩ビ建材は耐久性にも優れており、長期間の使用壽命と改修の容易さを併せ持つ材料であることから、既存の建築物の耐久性を更新することが可能であり、建築物の長壽命化にも大きく貢献している。そもそも塩ビ建材とは、ポリ塩化ビニル樹脂を主体とし、単一または他素材と複合的に製造される建材であり、ポリ塩化ビニル樹脂に可塑剤や各種安定剤を添加することで、その物性だけでなく、柔らかさや光沢度等の意匠性も自由に変化させることが可能である<sup>1-19)</sup>。これらの塩ビ建材がもつ物性は、塩ビ建材が高分子素材であり、プラスチックであり、ポリ塩化ビニル樹脂を使用していることに起因していることから、以下にそれらについて詳細を述べる。



図1-3-1 各種塩ビ建材

## 1) 高分子素材

高分子とは、一般に一万以上の巨大な分子量をもった有機または無機材料であり、その構造や性質によってさまざまな種類がある。また、材料としてその使い方を大きく分類すると、構造材料と機能材料とに分けられる。構造材料とは物体の形を作るために必要な材料で、繊維やフィルムなどが挙げられる。機能材料とは高分子材料がもっている機能を利用するもので、外部から電気や刺激を与えると作業をする材料であり、薬品などが挙げられる。

高分子鎖 1 本の化学構造を一次構造、複数の高分子鎖が集まってできる構造を高次構造と呼び、高分子を材料として利用するには、一次構造に加えて高次構造も制御することがとても重要である。化学安定性や耐熱性に優れ補強材などへ用途が期待できる高性能高分子は、その特性ゆえに不溶不融性となり、溶融や溶解を伴う従来の成型加工方法では材料化が困難である。また、分子間結合の性質である結晶性を示さない非晶性高分子は、ガラス転移温度以上で分子鎖が巨視的に運動する。同一の高分子物質から成る二枚の板を転移温度以上で接触させた場合、各々の板に存在する分子鎖は境界面を超えて他方の板へ分子拡散する。その結果、境界面には分子鎖の絡み合い相互作用が働き、接着する。このような現象を自着と呼ぶ。自着は破断面の接着であるから、自己修復の一種とみなすことができる。ただし、転移温度を超えると、時間と共に巨視的な流動を生じてしまうため形状を維持できない。

高分子素材に光や熱、放射線、機械的な外力が加わると、高分子鎖の切断、プロトンの引き抜き、二重結合の解裂などが起き、アルキルラジカルなどが生成される。一般にアルキルラジカルは、不安定であり大気中であれば酸素分子と反応し、より安定なペルオキシラジカルとなる。ペルオキシラジカルは、他の高分子鎖からプロトンを引き抜き、新たにアルキルラジカルを生成する。このようにして高分子材料の自動酸化反応が進む。

## 2) プラスチック素材

そもそもプラスチックという言葉は可塑性という意味であり、粘土のようにいろいろな形に細工できるということを指している。合成高分子材料が熱を加えることによって、融ける、または柔らかくなることで、様々な形に容易に成形できることから、プラスチックという言葉が材料に対して用いられるようになり、それが定着したのである。合成高分子は人間が自らの手で作り出した材料であり、天然には存在しないことから、自然界の輪廻の中には組み込まれない材料である。生体を構成する天然高分子は、腐敗することによって地球の輪廻の中に組み込まれるのに対して、合成高分子は地球環境にとっていわば異質な材料である。

今日我々の周囲にあるプラスチック、および新規のプラスチックは、石油由来、バイオマス由来、生分解性なし、生分解性ありの 4 つに分類される。従来型プラスチックのほとんどが、石油由来で生分解性もないという枠に入る。よく知られているポリエチレン、塩

化ビニルといったものや、ポリプロピレン、ポリスチレン等の主要なものはここに属する。もともとプラスチックは、金属等より軽くて成型性がよく、また金属に匹敵する耐久性をもち、寿命の長い材料を作りたいという目的から登場したものである。

ゴムやプラスチックなどの高分子材料は粘土性体であって、外力と変形の関係が時間と無関係ではない。以前からゴム、プラスチックの変形において「物体の力学的挙動が、前に受けた力学的操作の影響を受ける現象を記憶現象という」として知られていた。一般に、変形を受けたプラスチックはゆっくりと元に戻ろうとする性質（歪み回復）がある。延伸した繊維やフィルムを加熱し、ある温度を過ぎると急に縮むことがある。この回復現象は、プラスチックの精密な成形を妨げる場合があることから、従来歪み回復や配合による加熱修復などは欠点とみなされることが多い。

また、プラスチックは熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に分けられる。熱可塑性樹脂は、鎖状の高分子物質で加熱すると柔らかくなり、外力によって変形、流動する性質をもつ。熱硬化樹脂は、加熱によって分子間に三次元的架橋構造を形成して硬化したもので、一度硬化したものは、再度加熱しても可塑性は現れない。熱可塑性樹脂に比べ、一般的に耐熱性や耐薬品性に優れている反面、加工性の自由度は少ない。また、プラスチックはその耐熱性を基準にして、汎用樹脂とエンジニアリングプラスチックに分けられる。汎用プラスチックは身の回りで日常的に使われるもので、70℃～100℃で、エンブラは150℃以上まで耐えられる。図1-3-2にプラスチック製品の例を示す。



図1-3-2 プラスチック製品の例<sup>1-20)</sup>

### 3) ポリ塩化ビニル樹脂

ポリ塩化ビニルは炭素，水素，塩素から構成される単純な構造の高分子物質である。その性状は，極めて柔軟なゴム状から，硬いプラスチックの領域をカバーしており，耐薬品性，耐候性などにも優れている。その一方で，大量の塩素を含む物質は，焼却によってダイオキシンを発生する可能性が高く，完全な回収再利用が確保されない限り，環境上使用が制限される可能性がある。さらに，ポリ塩化ビニルの柔軟性はフタル酸エステルなどの可塑剤に負うものである。これらの可塑剤は生理的作用が疑われて，食品や医療関係での使用については以前から注視されていた。

また，ポリ塩化ビニルは，白色の内部に空隙をもつ粉体状の樹脂であり，熱安定剤，滑剤，可塑剤，加工助剤，耐衝撃性改良剤，耐候性改良剤，充填剤などのさまざまな配合剤を加えて成型加工する。ポリ塩化ビニルの大きな特徴は，この配合によって製品物性や成型加工特性が多様に変化することである。また，成型加工方法も，他のプラスチックに比べて，押し出し成型，カレンダー成型，射出成型などの多種にわたっている。そのため，製品の分野はパイプや板のような硬質製品から，レザーやチューブのような軟質製品まで，製品形状も含めて多様な広がりを示している。

塩ビ製品を加工するには，安定剤を含む配合剤とのブレンド工程が必要であり，この工程で準備されるものをコンパウンドと称する。安定剤は加工時の熱劣化を防ぐために必須の配合剤であり，製品後劣化も防止する役割を果たしている。可塑剤は硬さを自由に変えられる配合剤で，30重量%以上で軟質製品になる。製品の特性は塩ビ自体の重合度と可塑剤の配合量に大きく依存する。重合度400～900を低重合度，1000～1500を中重合度，2000～3000を高重合度と称し，高重合度タイプは可塑剤を用いた軟質製品に用いる。重合度が高くなるほど機械的強度は大きくなるが，融解粘度が高くなるため成型加工が難しくなる。

また，塩ビの構造は極性の塩素を構成元素にもち，分子形態が非結晶性であることから他の汎用プラスチックと異なる特徴を持っている。塩素を56.7%含有することから，酸素指数が約45の自己消化性の樹脂で，着火温度も高く，燃焼による放熱量も極めて小さいことから，延焼しにくい特性を持っている。表1-3-1にポリ塩化ビニル樹脂の物性を示す。

表1-3-1 ポリ塩化ビニル樹脂の物性

特性項目	ASTM試験法	単位	硬質塩化ビニル	軟質塩化ビニル
比重	D792		1.4	1.24
引張破断強さ	D638	MPa	44.1	22.6
引張破断伸び	D638	%	150	360
引張弾性率	D638	MPa	2942	29.4
曲げ強さ	D790	MPa	107.9	
アイゾット衝撃強さ	D256	KJ/m <sup>2</sup>	4.9	破壊せず
熱変形温度	D648	°C	70	-22
体積固有抵抗	D257	Ω・cm	1.00E+16	1.00E+13
吸水率	D570	%	0.1	0.4
燃焼性(LOI)	D638	LOI	自消性LOI:23	徐燃性LOI:23



### 第3項 塩化ビニル樹脂建材におけるリサイクルの現状

塩ビは意匠性や耐久性等だけでなく、その相溶性の良さからリサイクルの面でも優れている。具体的には、使用済み製品から塩ビをマテリアルリサイクルする場合、多少の不純物が混入しても、相溶性が高いことから、不純物混入による物性の低下割合は少ない<sup>1-21)</sup>からである。

しかしながら、建築分野においては、塩ビ建材のマテリアルリサイクルの実績は少なく、特に、他素材と複合して製造される壁紙や床材、防水シート等は、塩ビ管などの塩ビ樹脂のみによる単一素材で組成されるような建材に比べ、その実績は非常に少ない。その大きな原因が、塩ビ建材の多様性と不純物混入である。塩ビ建材は多種多様にあり、同一の塩ビ建材であっても、用途が様々なため、その使用環境や使用期間は異なり、経年劣化等により廃塩ビ建材の品質は種類によって大きく変化してしまう。また、マテリアルリサイクルを想定した場合、図1-3-3に示すようにタイルカーペットであればナイロン繊維、壁紙であればパルプ等、塩ビ建材の種類によって不純物の種類は異なり、その混入率も異なるため、種類によってリサイクルレベルを変える必要が予想される。さらに、塩ビ建材は建築物に接着剤等で固定されるため、その付着物の混入や、塩ビ建材内での詳細な分別を行わずに廃プラスチックとして回収されてしまう等、リサイクルの妨げとなる原因は多々挙げられる。

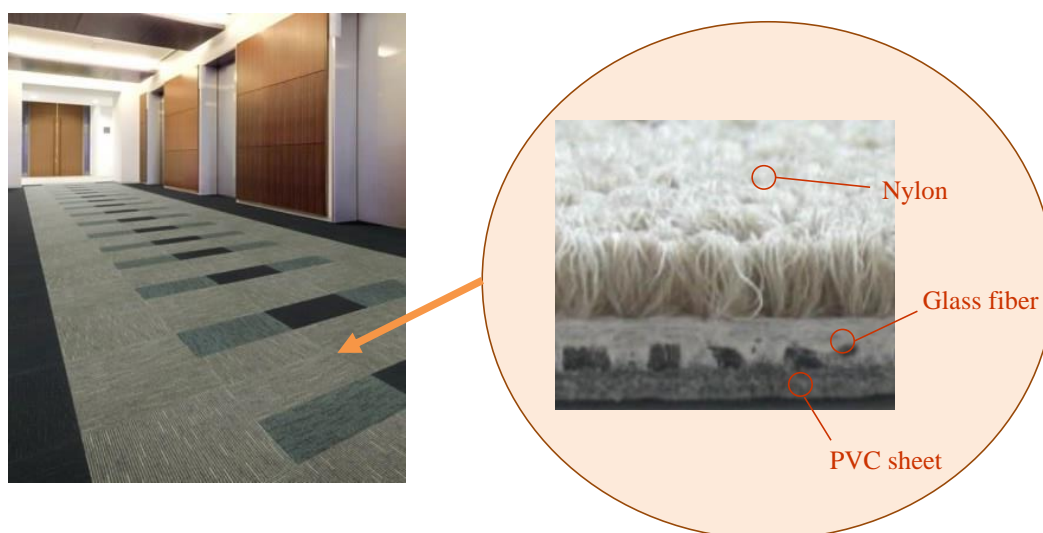


図1-3-3 タイルカーペットの構成材料の一例

## 第4節 本研究の位置づけ

### 第1項 本研究の目的

#### 1) 既往研究と課題

本章3節までに前述したように、建築分野における塩ビ建材の役割、および建設廃棄物における塩ビ建材のリサイクルは、現状の廃棄物問題および今後の資源循環の観点から重要な位置づけにあるといえる。しかしながら、その塩ビ建材のリサイクル率は、決して高いとはいえない。その原因となる課題はいくつかあるが、大別すると3つ分けられる。

まず一つ目の課題として、廃塩ビ建材排出実態の不明瞭が挙げられる。建設リサイクルにおける特定建設資材（コンクリート、コンクリートおよび鉄からなる建設資材、アスファルト、建設発生木材）は分別回収フローが明確であり、廃棄物排出時からリサイクルまでのフローが確立されている。しかし、塩ビ建材が含まれがちな建設混合廃棄物は、解体現場や新築現場の分別回収において他種廃材が混入し、分別や回収基準が不明瞭であることから、リサイクルが難しいとされる。これらを受け、金森らは内装材の分別解体における問題点を指摘および改善型モデルを提案している<sup>1-22)</sup>。また、建設廃棄物処理の実態について、大塚らはマニフェスト調査により、新築現場における建設廃棄物処理の調査<sup>1-23)</sup>を行っており、リサイクルの可能性を検討している。また、名知らは建設混合廃棄物について詳しく報告<sup>1-24)</sup>している。古賀らは各種建築仕上げ材料を調査し、新築廃材の段階ですでに再資源化率は低く、特にビニル系材料の再資源化率は非常に低いと報告している<sup>1-25)</sup>。しかし、これらはいずれも対象が限定的であり、実際の解体・改修工事現場から発生した一般的な廃棄物の処理実態に関する調査、あるいは廃プラスチックの分別状況を考慮したリサイクルの可能性の検証については、研究例が少ないのが現状である。

次に二つ目の課題として、塩ビ建材が他素材の複合建材であることが挙げられる。近年、主な塩ビ建材は、補強布や繊維等を中間位置に積層し、耐久性を向上させる複合構成となっているが、マテリアルリサイクルする際にはこれらが不純物となるため分離する必要がある。しかし、塩ビと他素材が物理的あるいは科学的に接着されているため、その分離は非常に困難である。鳩飼らは、経年劣化した防水シートを粉碎分離し、風力選別機を用いて繊維を除去した後、再生塩ビ粉体の抽出およびその粉体の防水シートへの利用の可能性を見出した。しかし、抽出した再生塩ビ粉体をシート状に成型する際、押出成型機に挿入する金網状のスクリーンに繊維が堆積し、詰まらせる原因となったことを報告している<sup>1-26)</sup>。

三つ目の課題として、廃塩ビ建材の多様性が挙げられる。塩ビ建材は種類により使用環境や使用期間が異なることで、廃棄物として排出されるとき、その品質は大きく異なっている。それに加え、同種の塩ビ建材であっても、組成原料および割合が異なるため、これらを詳細に分別するリサイクルは実用的に非効率である。これらを受け、榎本らは、プラ

スチック製バンドやビニルシート等の廃プラスチック類について詳細な分別基準を設けることの有用性を明らかにしているが、異なる製品を混合して利用するのではなく、製品種類ごとにそれぞれリサイクルすることを想定したものである<sup>1-27) 1-28) 1-29)</sup>。これらの報告は、建築仕上げ材料の分別回収方法に関する研究が多く、その多くが最終的なりサイクル方法をサーマルリサイクルとしている。一方、河辺らは廃塩ビ壁紙および床材を用いたリサイクルボードの提案をしているが<sup>1-30)</sup>、このような資源循環を配慮した効率的なマテリアルリサイクル手法に関する研究は非常に少ない。

## 2) 本研究の目的

以上のような状況から筆者らは、建築仕上げ材料の中でも排出量が多く、他素材と混合されて排出されることにより再資源化が難しいとされる塩ビ建材のマテリアルリサイクル手法開発に継続的に取り組んでいる。

本研究では、まず、廃塩ビ建材排出実態の不明瞭という課題に対して、改修工事現場を対象に、建設混合廃棄物の中でも比較的発生量が多く、他素材と混合されやすい塩ビタイルカーペットのリサイクルを取り上げ、その適用性について調査および実験を行う。さらに、解体現場から中間処理場における廃棄物の分別および排出時状態を把握するため、比較的分別回収がしやすいとされる塩ビ管および継手を中心に、廃プラスチック類の排出実態調査を行う。

次に、塩ビ建材が他素材の複合建材という課題に対しては、本研究の開発段階で、すでに「叩解法」という分離技術（この分離技術に関しては、次項において詳細な説明を記述する。）を開発し、新築現場から排出される廃材（以下、新築系廃材）から塩ビ粉体の抽出を可能としている。そこで本研究では、叩解法により得られた再生塩ビ粉体を用いて、再生塩ビ樹脂シートを作製し、その物性把握および配合設計手法の開発を行う。

そして、廃塩ビ建材の多様性という課題に対して、塩ビ建材全体の効率的なりサイクル手法の確立を目的に、塩ビ廃材種類を単一に限定せず、複数種類の廃材を混合利用した場合の再生塩ビ樹脂シートの機械的性質への影響および品質予測方法を検討する。また、再生塩ビ樹脂シートの用途として、屋内材（床材等）に限らず、屋外材（防水シート等）としての利用も想定した耐久性について検討を行う。なお、廃材には工場残材、新築系廃材および解体廃材があるが、本研究ではリサイクル技術の開発段階であることから、新築系廃材のみを対象としている。

最後に、再生塩ビ樹脂シートの耐久性向上および製品化を想定とした複層化を検討し、より効率的なりサイクルの提案を行うとともに、本リサイクル手法のLCA評価を行うことで、具体的な環境負荷低減効果を示す。

これらをまとめ、本研究は、塩ビ建材の効率的なりサイクル手法の確立を目指し、建築分野における資源循環の形成に資するものとする。



## 第2項 叩解法

### 1) 叩解法の定義

塩ビ樹脂は主に熱可塑性であるため、リサイクルの形態のなかでも最も望ましいとされているレベルリサイクルが可能な素材である。しかし、塩ビ建材、特に内装材に使用される塩ビ建材の多くは、繊維素材による補強や、他の素材と積層構造とされる等、異なる素材と複合して製造されているものが多い。よって、仮に建材中の塩ビ樹脂がリサイクル可能であっても、他の素材は異物となって混入してしまうため、これを除去する必要がある。

そこで本研究の開発段階において、従来の切削方式に変わる新たな方法として壁紙をはじめとした薄い塩ビ建材にも適用可能な廃棄物の切削技術開発を行った。この方法は、投入される廃棄物を“叩き”ながら“解す”ことを異種素材分離のメカニズムとしており、叩解法と呼ぶ。本節では叩解法の概要を示す。

### 2) 廃棄物分離方法

写真 1-4-1 に叩解機、図 1-4-1 に叩解機の内部構造を示す。また、図 1-4-2 に叩解法による廃棄物分離フローを示す。円筒状容器中で可撓性のある回転工具を、秒速 120m で高速回転させた円筒状容器内に、あらかじめ 10~30mm 程度に細片化した複合塩ビ樹脂廃材を投入する。投入された廃材は、本装置によって極めて短時間に 300 $\mu$ m 以下に微粉化される。叩解は、強力な遠心力ならびに回転気流を利用した被処理物および容器内壁面との摩擦等による。この際、微粉化される被処理物の相対的な密度差によって塩ビ分とパルプや繊維分が分離され、遠心力によって複合材のうち軽質分は、容器中心に集まる。さらに、容器に吸引手段を設け、叩解直後から繊維分を容器内から取り除くことによって効率的な叩解が促進され、安定した連続投入が可能となる。



図 1-4-1 叩解機の外観

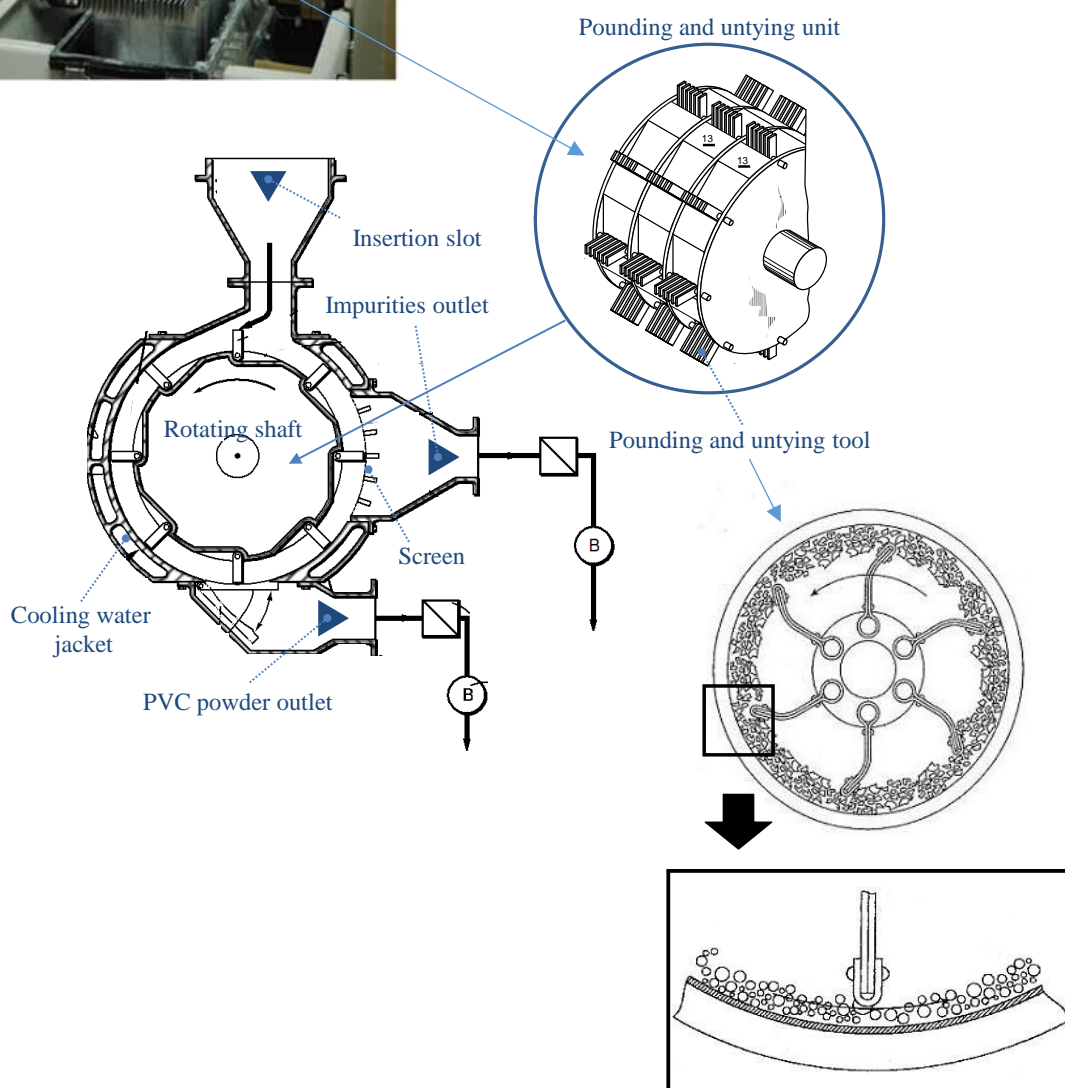
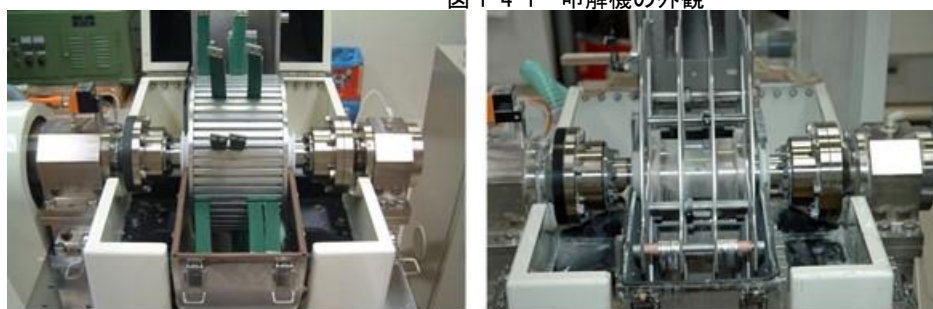


図 1-4-1 叩解機の内部構造

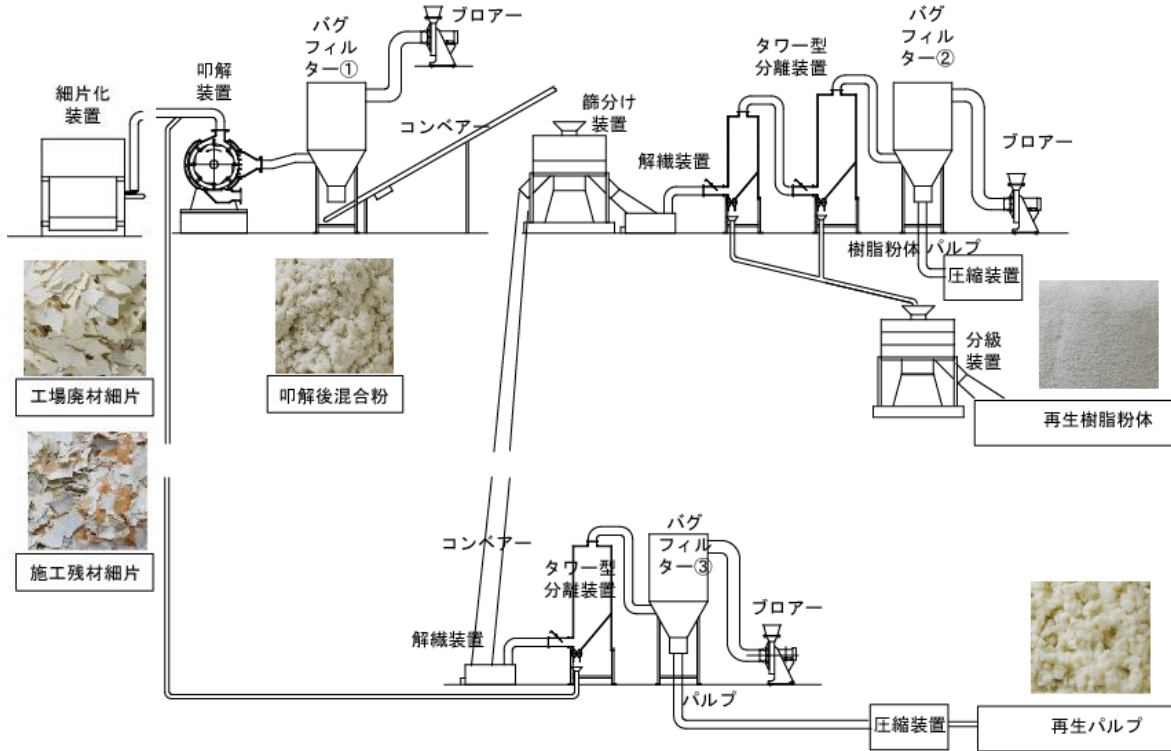


図 1-4-2 叩解法による分離フロー

### 3) 再生塩ビ粉体の品質

表 1-4-2 に廃塩ビ製品を叩解装置により破碎して得られた再生粉体の粒度分布を例として示す。これより、本装置によって非常に細かく粉碎化できることがわかる。また、図 1-4-3 に各種プラスチックシート系製品を叩解装置に適用した場合に得られる再生樹脂粉体の状況を示す。いずれの製品も塩ビをはじめとした樹脂と素材の異なる繊維によって複合されているが、叩解法により破碎した結果、再生樹脂粉体と繊維分とに分離することが可能となっている。なお、再生粉体については、繊維分を完全に除去できているわけではないが、再生粉体側に含まれる繊維分は、おおむね 1%未満であった。

表 1-4-2 叩解法より得られる再生塩ビ粉体の粒度

Peripheral velocity (m/s)	Grain size (μm)			
	110	130	150	170
300 < Gs	90	5	3	1
200 < Gs ≤ 300	5	30	20	10
100 < Gs ≤ 200	4	50	60	70
Gs ≤ 100	1	15	17	19

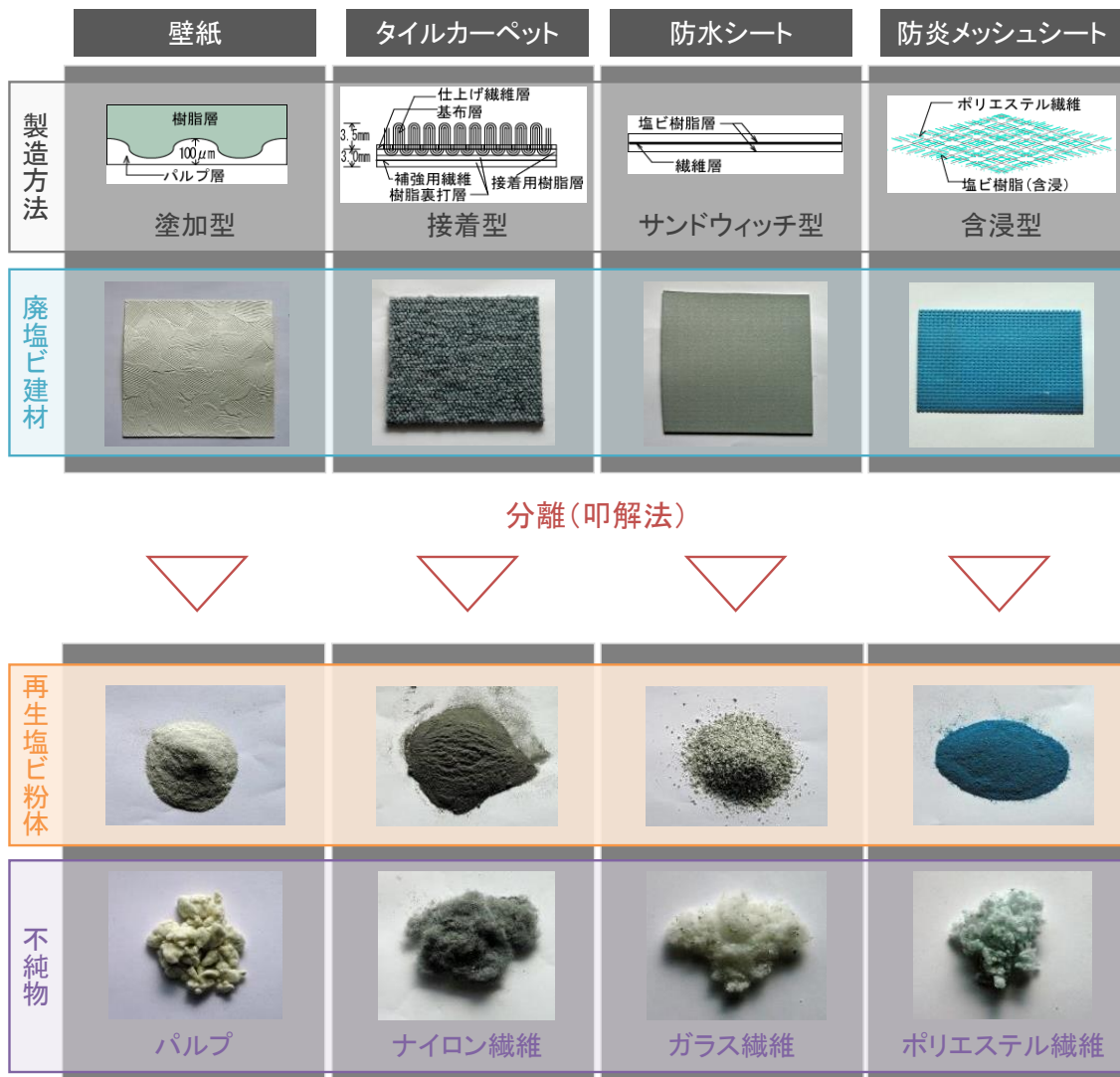


図 1-4-3 各種塩ビ廃材の叩解後の状態 (例)

### 第3項 本論文の構成

本研究の構成は、次のとおりである

第1章：序論

第2章：塩化ビニル樹脂建材の排出実態調査

第3章：再生塩ビ樹脂シートの機械的性質評価

第4章：再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価

第5章：叩解法を用いたリサイクルの環境影響評価

第6章：総括

これら各章における検討項目を図 1-4-4 に示す。

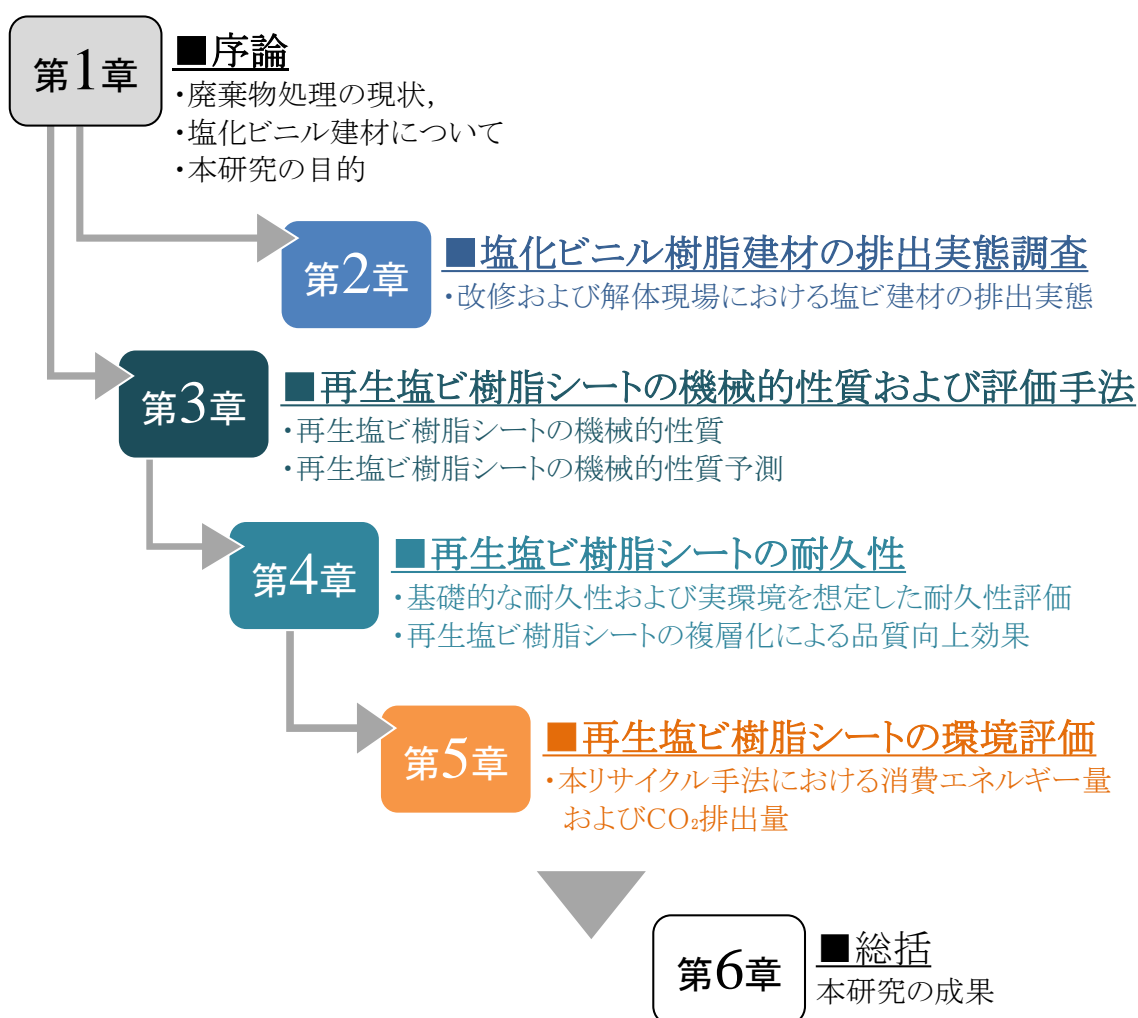


図 1-4-4 本論文の構成

## 第5節 参考文献

- 1-1) 経済産業省資源エネルギー庁：第2部 エネルギー動向 第2章 国際エネルギー動向 第1節 エネルギー需給の概要等，<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2013html/2-2-1.html>，2015.11 参照
- 1-2) 環境省：不法投棄等の監視・指導担当職員等，[https://www.env.go.jp/recycle/ill\\_dum/kanshi\\_kyoka/kanshi26.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/ill_dum/kanshi_kyoka/kanshi26.pdf)，2015.11 参照
- 1-3) 吉澤佐江子，田中勝，Ashok V. Shekdar：世界の廃棄物発生量の推定と将来予測に関する研究，<http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0310-04/ref02.pdf>，2015.11 参照
- 1-4) 日本産業廃棄物処理振興センター（JW センター）：廃棄物の分類と産業廃棄物の種類等，<http://www.jwnet.or.jp/waste/knowledge/bunrui.html>，2015.11 参照
- 1-5) 村上泰司：よくわかりすぐできる建設リサイクル法，第2章建設廃棄物処理の基本，pp.20-27
- 1-6) 清水研，吉田充夫：開発途上国のごみ問題における市民の環境意識と行動の事例分析，スリランカの2つの地方自治体での比較を通して，廃棄物資源循環学会論文誌，23(6)，279-290，2012-11-30
- 1-7) 堀田康彦：アジアにおける持続可能な資源循環へ向けた段階別アプローチ，3R イニシアティブの国際展開の経験に基づいて，廃棄物資源循環学会誌，22(2)，148-158，2011-03-31
- 1-8) 国土交通省：平成24年度建設副産物実態調査結果参考資料，<http://www.mlit.go.jp/common/001031803.pdf>，2015.11.17 参照
- 1-9) 小山明男ほか：廃プラスチック系床材の再資源化技術の開発，日本建築学会技術報告集，第22号，pp.73-80，2005.12
- 1-10) 小林謙介，田中秀樹，間宮尚，近田智也，井上隆：実態調査に基づく建築廃棄物に混入する異物が環境負荷に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1，材料施工，pp.1041-1042，2004.8
- 1-11) 国土交通省：住宅・リフォーム業界を巡る 現状と社会環境の変化，[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/reform/pdf/005\\_03\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seisan/reform/pdf/005_03_02.pdf)，2015.11.17 参照
- 1-12) 環境省：気候変動の国際交渉，<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>，2015.11 参照
- 1-13) 経済産業省：資源有効利用促進法，[http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin\\_info/law/02/index02.html](http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/admin_info/law/02/index02.html)，2015.11 参照
- 1-14) 国土交通省：建設リサイクルに関する取組，[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/genjo/171110\\_03.pdf](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/fukusanbutsu/genjo/171110_03.pdf)，2015.11.17 参照
- 1-15) 環境省：産業廃棄物処理施設の設置、産業廃棄物処理業の許可等に関する状況（平成24年度）<http://www.env.go.jp/press/files/jp/26659.pdf>，2015.12 参照
- 1-16) 忠政計志，井原縁，栗原考次：不法投棄の発生確率，日本計算機統計学会シンポジウム論文集(22)，15-18，2008-11-06
- 1-17) 環境省：産業廃棄物の不法投棄等の状況（平成25年度）について，<http://www.env.go.jp/press/files/jp/26601.pdf>，2015.12 参照
- 1-18) 依田浩敏：廃棄物の不法投棄・不適正処理防止のための支援システムの構築とその実証研究，日本建築学会技術報告集(23)，229-232，2006-06-20
- 1-19) 塩ビ工業・環境協会，塩化ビニル環境対策協議会：塩ビと建設材料，土木・設備から建築材料まで，株式会社広美，pp.7-16，2007（初版発行）
- 1-20) 株式会社松井製作所：身の周りのプラスチック製品，<http://matsui-mfg.co.jp/recruit/b-contents.html>，2015.12 参照
- 1-21) 牧野哲哉：環境と高分子 2.ポリ塩化ビニルと環境，社団法人日本材料学会，54(2)，221-227，2005-2



- 1-22) 金森道, 茂呂隆, 尾島俊雄: 集合住宅における内装材の分別解体・リサイクルに関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 620 号, pp.83-88, 2007.10
- 1-23) 大塚秀三, 竹村雅行, 中田善久, 毛見虎雄, 加藤博: 大規模な新築現場における建設系廃棄物の排出量と現場内分別の実態調査に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1, 材料施工, pp.913-914, 2002.8
- 1-24) 名知洋子, 宮崎隆昌: 建築生産プロセスにおける建設副産物の排出要因と混合廃棄物量に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 第 18 号, pp.325-328, 2003.12
- 1-25) 古賀純子, 清家剛, 名取発, 本橋健司: 建設仕上げ材の再資源化に関する現状調査, 日本建築学会技術報告集, 第 17 号, pp.61-66, 2003.6
- 1-26) 鳩飼道一, 井村恵一: 複合塩ビ防水シートの粉碎分離による再生化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, 83-84, 2000-07-31
- 1-27) 榎本伯一, ほか 6 名: 建設工事から発生するプラスチック類のマテリアルリサイクルに関する一元処理システム, その 1 建設工事における廃プラスチック類の発生量とそのマテリアルリサイクルの可能性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.491-492, 2007.7
- 1-28) 大島正明, ほか 6 名: 建設工事から発生するプラスチック類のマテリアルリサイクルに関する一元処理システム, その 2 低層住宅解体現場・新築現場・中間処分場における分別方法とその種類について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.493-494, 2007.7
- 1-29) 平田耕一, ほか 6 名: 建設工事から発生するプラスチック類のマテリアルリサイクルに関する一元処理システム, その 3 建設工事における廃プラスチックリサイクル製品の利用可能性とその流通経路における一元処理システムの提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.495-496, 2007.7
- 1-30) 河辺伸二, 築瀬健太: 塩化ビニルを含む建築仕上げ材料とガラス繊維を用いたリサイクルボードの研究, 日本建築学会技術報告集, 15, 31, pp.657-660, 2009.10

# 第2章

## 塩化ビニル樹脂建材

### の排出実態調査





## 第1節 序

本章では、廃塩ビ建材の排出実態が不明瞭という課題に対して、廃棄物排出現場や廃材の種類による違いを調査し、塩ビ建材の排出量および排出時状態を明確にすることを目的とした。

具体的には、まず、改修現場において、不明瞭になりがちな排出時における混合廃棄物の各種発生量内訳とリサイクルが可能な建材の状態の実態調査を現場で行い、改修工事における廃塩ビ建材の実態を明らかにした。また、その実態調査に際し、廃タイルカーペットの状態が再生業者に受け入れ可能かを検討し、その適用量を検証するとともに、廃タイルカーペットをリサイクルする際に、夾雑物が混入した場合の影響を実験的に明らかにし、どの程度までの詳細な分別が必要とされるかの検討を行った。図2-1-1に本節における調査概要を示す。

次に、解体現場において、塩ビ建材の中でも分別回収が容易である塩ビ管を対象に、排出量および排出時状態を詳細に調査するとともに、その分別解体および回収に必要な作業時間についても明らかにした。

### ■改修現場由来

- ・混合廃棄物の内訳
- ・タイルカーペットの排出量
- ・タイルカーペットの排出時状態

### ■解体現場由来

- ・廃プラスチック類の内訳
- ・塩ビ管の排出量
- ・塩ビ管の排出時状態

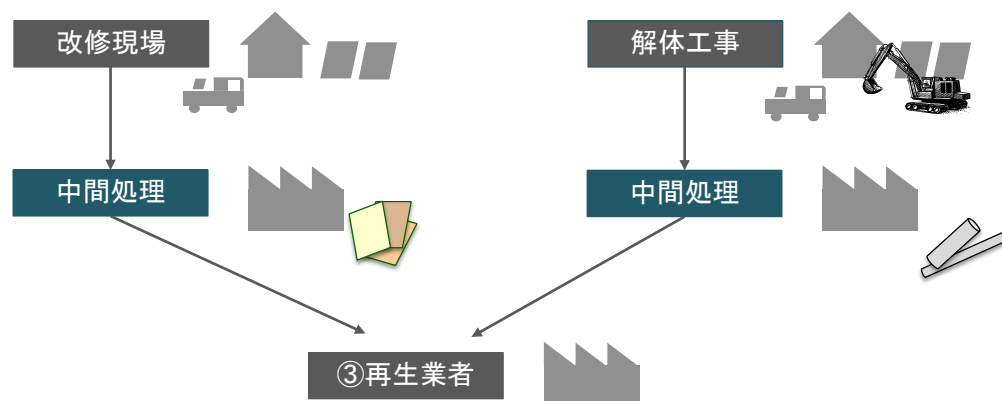


図2-1-1 塩化ビニル樹脂建材における排出実態調査の概要

## 第2節 調査概要

### 第1項 調査方法および項目

#### 1) 改修現場由来廃材における調査

実際に廃棄物処理を行っている中間処理業者2社（A社<sup>注1)</sup>及びB社<sup>注2)</sup>を対象に、混合廃棄物の受け入れ状況およびリサイクルに適する廃棄物の選別を調査・実験した。

本研究では改修現場より比較的多く排出される廃タイルカーペットを対象とし、混合廃棄物中から形状を問わずタイルカーペットと認められる物を全て回収し、収集した廃タイルカーペットは再生業者であるR社<sup>注3)</sup>に持ち込み、作業員によって切削加工に「適」する材料と「不適」な材料に分別した。なお、中間処理業者が一般的に処理している方法は、混合廃棄物から廃プラスチックを分別し、埋め立て処分に付すか、塩ビのみを取り除き、廃棄物固形燃料としてリサイクル業者に引き渡すことが多い。これに対して、本研究では廃プラスチックから、さらにタイルカーペットだけをリサイクルに供するために分別し、これらの状態と量の測定を行った。

#### 2) 解体現場由来廃材における調査

図2-2-1に調査フローを示す。本調査研究は、解体工事の事前調査から中間処理場に廃棄物が搬入されるまでにおいて調査を行った。廃塩ビ管の発生から処分までの各工程を大きく3つに分け、廃棄物発生量および発生状態、分別解体作業時間等の調査を行った。また、今回調査対象とした物件は、建物形態、築年数、床面積などが異なる住宅8軒とした。表2-2-1に調査対象物件の概要を示す。

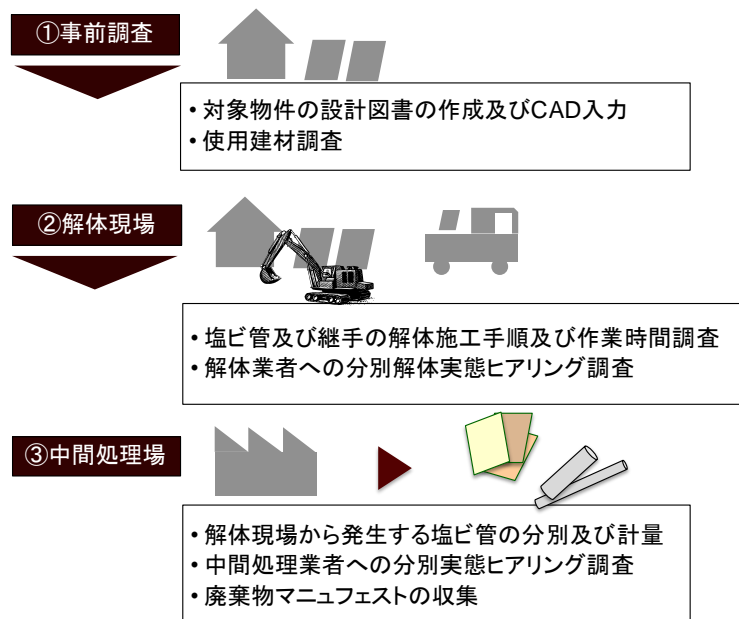


図2-2-1 解体現場由来廃材における調査方法フロー

表 2-2-1 解体現場由来廃材における調査対象物件情報

No.	現場名	建物形態	築年数 年	浄化槽 有無	2階 水回り 有無	床面積(㎡)			敷地面積 (㎡)
						1階	2階	合計	
1	a-1邸	戸建	26	×	○	84	64	148	222
2	b-1邸	共同	37	○	○	124	124	248	251
3	a-2邸	戸建	42	○	×	33	32	65	67
4	a-3邸	戸建	36	○	○	52	23	75	306
5	a-4邸	戸建	-	×	○	62	40	101	266
6	a-5邸	戸建	23	○	○	76	51	134	206
7	a-6邸	戸建	35	×	×	42	26	66	84
8	a-7邸	戸建	39	×	×	55	26	82	192

解体現場由来廃材の調査においては、事前調査、解体現場調査、中間処理調査に範囲を区分し、廃塩ビ管の量および状態について調査を行った。以下に、各調査の概要を示す。

①事前調査

調査対象となる物件において、解体工事が始まる前に建物形態、間取り、使用建材等を把握するため、設計図書の作成、CAD 入力および使用建材の調査を行った。また、これら事前調査に加え、建物謄本から築年数や延べ床面積などの情報を収集した。

②解体現場

図 2-2-2 に解体工事手順および調査対象箇所を示す。解体施工現場において、塩ビ管の取り外しや分別の際に現場に赴き、それらの状況の写真撮影および作業時間記録を行った。写真 2-2-1（次頁に示す）に a-1 邸の解体施工現場調査例を示す。



図 2-2-2 解体工事手順および調査対象箇所

### ③中間処理場

中間処理場において、調査対象とした解体現場から搬入される廃プラスチック類（以下、廃プラ）を分別し、計量を行った。その際に塩ビ管については、作業員により塩ビ管の状態（汚れ・付着物等）によって詳細に分別を行い、それぞれの状態を写真撮影および計量を行った（分別基準に関しては第2項分別基準に後述する）。なお、塩ビ管分別後、細かいものはフレキシブルコンテナバックに入れ、計量器を用いて計量した。写真 2-2-2 に中間処理場での分別作業の様子を示す。



写真 2-2-1 解体現場における調査の例  
(左：上屋塩ビ管，右：埋設塩ビ管)



写真 2-2-2 中間処理場における調査の例  
(左：中間処理場への搬入時廃プラ状態，右：分別作業の様子)



第2項 分別方法および基準

1) 改修現場由来廃材における調査

混合廃棄物から発生するタイルカーペットの実態調査を行うため、中間処理業者 A, B 社から収集した廃タイルカーペットの仕分けを図 2-2-2 の手順で行った。

A 社からの収集品は、4 トン車に満載された廃タイルカーペットを床面に荷下ろし、作業員 7 名で分別に 35 分を要して行った。

B 社からの収集品においては、大型ユニックでフレキシブルコンテナバック 13 袋を入荷し、順次作業場に移動させてフレキシブルコンテナバックから取り出し、分別を行った。基本的には A 社の試料と同様であったが、特殊床材がかなりの量混入していた。

	
<p>【作業内容】 大型ユニックでフレコンバックの荷卸し</p>	<p>【作業内容】 4t車からの廃棄物ダンプアウト</p>
	
<p>【作業内容】 作業員の手による分別作用</p>	<p>【作業内容】 作業員の手による「適」品の計量 この際に、重みで曲りが是正された</p>

図 2-2-2 改修現場由来廃材調査における分別作業工程

廃塩ビ建材の再生業者にて行われている受け入れ基準の限度は、次のように 4 つに大別される。

- ①裏面汚れ                      ②異物付着
- ③寸法不足                      ④製品品質等による不適または管理品目

今回の調査では一般の建築廃棄物中間処理業者からの荷受試行をおこない、その汚れ度合いの検討をおこなった。図 2-2-3 にリサイクル不適の例を示す。

<p>1) 裏面汚れ</p> 	<p>2) 異物付着</p> 
<p>【状態】 モルタルが接着剤と共に剥離</p>	<p>【状態】 ステープル・クリップなど金属の突き刺さりによる塩ビ層の破損</p>
<p>3) 寸法不足</p>	
	
<p>【状態】 壁際等に発生する端もの・異形サイズ</p>	<p>【状態】 端もの・斜めカットによる異形サイズ</p>
<p>4) 製品品質等による不適または管理品目</p>	
	
<p>【状態】 表面毛足が通常品よりも長い不適品</p>	<p>【状態】 塩ビパッカーが特殊名配合品</p>

図 2-2-3 改修現場由来廃材調査におけるリサイクル不適の廃材（例）

### ①裏面汚れ

裏面汚れのケースは主として床面の下地モルタルが接着剤と共に剥離した例である。この汚れ原因は、中間処理業者によるものではなく、新築施工時に利用された接着剤の選定がそのまま影響したものであり、解体・改修工事を受け持つ排出者（元請ゼネコンなど）や中間処理業者での作業で改善することが難しいと考えられる。

### ②異物付着

異物付着の大半は、金属製クリップなどの床上面のゴミや、改修および解体工事の際に取りはずされた壁天井の取り付けビスなどが、塩ビタイルカーペット上に落ち、踏みしめられ刺さりこみ、そのまま付着して現場より搬出されたものである。また、この写真のケースはタイルカーペットを剥がす際に塩ビバッカーが破損している症状も挙げられる。その他にも、塩ビタイルカーペットの床固定ビスや、OAフロア床材の配線マーキングピン、改修工事時にマークとして貼り付けられた接着テープなども異物として残存するケースがある。これら異物付着のケースは、分離さえすればリサイクルは可能であるが、金属の突き刺さりや粘着性の強いテープ類などの付着は、そもそも分離が非常に困難である。そこで、塩ビタイルカーペットを他の部位より先に撤去するなど、異物が付着すること自体を防止するような工程に工夫を行えば、改善は可能であると考えられる。

### ③寸法不足

廃タイルカーペットが排出される際に生じる寸法不足は、施工時に成形された壁際や柱回り等の異形サイズ、改修時のカットにより生じる。

### ④製品品質等による不適または管理品目

製品品質等による不適又は管理品目は、塩ビタイルカーペットの汚れや寸法ではなく、製品として不適品であると除外または管理されるものである。図 2-2-3 に示すケースは、毛足が長いことにより、再生業者でリサイクルする際の切除工程において、高さが妨害となるため【不適】品とされる。塩ビバッカーの性状が他の一般品と異なり黒色が強いものにおいても、不適品ではないものの一般品とは塩ビの品質（色や物性等）が異なるため、他の廃材とは混ぜずに管理してリサイクルするものである。

## 2) 解体現場由来廃材における調査

本調査研究における分別基準は、塩化ビニル管・継手協会が規定するリサイクル材受入基準事例集<sup>2-1)</sup>に準じた。また、解体現場から発生する廃塩ビ管をそのままリサイクル持込できないものに関しては、受入不適とされる部分の除去作業の難易度により二つに分類した。それら分別基準を以下に示す。

### ①リサイクル適材品

塩化ビニル管・継手協会が規定するリサイクル材受入基準を全て満たし、塩ビ管に泥が付着していても、その除去を行えばリサイクルできるものは「リサイクル適材品」とした。図 2-2-4 にリサイクル適材品に分類した例を示す。





図 2-2-4 解体現場由来廃材調査におけるリサイクル適材品に分類した例

②リサイクル適材品（要簡易処理）

塩化ビニル管・継手協会が規定するリサイクル材受入基準を満たしていないが、付着物の取り外しや受入不適とされる部分が非常に狭い範囲であり、比較的簡易な除去作業によりリサイクル受入可能となるものを「リサイクル適材品（要簡易処理）」とした。図 2-2-5 にリサイクル適材品（要簡易処理）に分類した事例を示す。



図 2-2-5 解体現場由来廃材調査におけるリサイクル適材品（要簡易処理）に分類した例

### ③リサイクル不適材品

塩化ビニル管・継手協会が規定するリサイクル材受入基準を満たしておらず、かつ受入不適とされる部分の除去作業が非常に困難であるものを、「リサイクル不適材品」とした。図 2-2-6 にリサイクル不適材品に分類した例を示す。これらに分類されるものに関しては、付着物の取り外しや受入不適とされる部分が広範囲であり、リサイクル材受入基準を満たすためには塩ビ管の大半を切り落とす必要がある。また、付着物を全て除去すればリサイクル可能であっても、その除去作業に多大な手間および時間を要するもの（被覆材付き等）は、一般に再生業者によってリサイクル不適と判断されるため、リサイクル不適材品と判断した。


12.詰り	13.被覆付	14.ペンキ付
		
<p>汚泥や糞尿、布等により生じる過度の詰まり</p>	<p>耐熱性や耐凍結性向上に用いられる布や断熱材等の被覆</p>	<p>屋外塩ビ管に美観及び耐紫外線性を高める際に塗られたペンキ</p>

図 2-2-6 解体現場由来廃材調査におけるリサイクル不適材品に分類した例

### 第3節 改修現場における塩ビ建材の排出実態

#### 第1項 改修現場における混合廃棄物およびタイルカーペットの排出実態

##### 1) 混合廃棄物処理実態と搬入形態

中間処理工場での20日間における処理実績を表2-3-1に示す。なお、時期や工事の種別によって大きく変動するが、タイルカーペットの搬入割合は、混合廃棄物全体での件数比は3%であった。なお、今回の調査結果では、プラスチックの組成までは調査していないが、加納らによる、木造住宅の分別解体から発生する廃プラスチックの種類と数量についての報告<sup>2-1)</sup>と同程度と推察される。

混合廃棄物全体でみると、量では廃プラと木くずが多く、廃プラ中にタイルカーペットは含まれる。タイルカーペット搬入は、単品だけで搬入される割合は26%と少なく、そのほとんどが混合廃棄物して搬入されることが明らかとなった。

また、工事種別の搬入形態をみると、新築工事の際は端材が圧倒的に多いことから、接着剤等が付着していることもほとんどなかった。その一方で、改修工事や解体工事の際に発生するタイルカーペットは、張り替え作業や撤去作業が大半を占めるため、裏面の接着剤、埃や細粒物および廃石膏ボードの粉などが付着してしまうケースが多くみられた。

廃材の搬入物の組成を表2-3-2に示す。分別後のタイルカーペットの搬入量は、混合廃棄物量が42.5m<sup>3</sup>のうち、9.5m<sup>3</sup>であった。また、タイルカーペットの搬入時における全体の廃棄物の組成は、圧倒的に廃プラスチック類や廃石膏ボード、及びダンボールが混入されてくるケースが多かった。具体的な品目としては、廃プラスチック類の中でも改修工事の際に使用した養生材や壁紙、パーテーションの配置替えに伴い張り替えた石膏ボード、資材時に使用されたプラスチック系の梱包材やダンボールが主要素を占めていた。

表2-3-1 混合廃棄物搬入時の組成分析

全体	総数量・比率	44,413 m <sup>3</sup>	100 %
	積載荷重	14,398 t	
	比重	0.32 t/m <sup>3</sup>	
がれき類	総数量・比率	5,210 m <sup>3</sup>	11.7 %
ガラ・陶	総数量・比率	7,334 m <sup>3</sup>	16.5 %
紙くず	総数量・比率	5,739 m <sup>3</sup>	12.9 %
繊維くず	総数量・比率	67 m <sup>3</sup>	0.2 %
廃プラ	総数量・比率	10,883 m <sup>3</sup>	24.5 %
金属くず	総数量・比率	3,631 m <sup>3</sup>	8.2 %
木くず	総数量・比率	11,549 m <sup>3</sup>	26.0 %
ゴムくず	総数量・比率	0 m <sup>3</sup>	0.0 %
タイルカーペット	数量	230 m <sup>3</sup>	
	全体件数比	3 %	
	混合搬入割合	74 %	
	単品搬入割合	26 %	

表 2-3-2 試験時に使用したタイルカーペットの搬入形態と混合形態

No.	搬入先	総数量 (㎡)	タイルカーペット (㎡)	工事 区分	状態	その他
1	建設会社A	6.5	0.5	改修	混合	石膏ボード, 廃プラ
2	リフォーム会社A	5.5	0.5	改修	混合	ダンボール, 廃プラ, 木くず
3	建設会社B	7.0	2.0	改修	混合	石膏ボード, 廃プラ, 金属くず
4	建設会社C	4.0	1.5	改修	混合	ダンボール, 廃プラ, 木くず
5	リフォーム会社B	1.5	1.5	改修	単品	
6	建設会社D	6.0	3.5	改修	単品	廃プラ
7	リフォーム会社C	6.0	2.0	改修	単品	石膏ボード, 廃プラ, 木くず
8	建設会社E	6.0	2.2	改修	混合	ダンボール, 廃プラ, 木くず
	計	42.5	13.7	32.2% (比率)		

## 2) 改修廃材における適材品の比率

R社での分別作業結果を表 2-3-3 (次頁に示す) に示す。混合廃棄物からのタイルカーペット品質は 70~80%適材品として受入が可能と非常に高い割合であることが判明した。中間処理業者 A 及び B 共に汚れのひどい物については、その殆どが裏面にモルタルが付着したものであり、接着剤による不適品は皆無であった。

従来から R社で引き取り経験のあったやや黒色の廃材については別扱いとして分別したが、「適」材品として分類した。R社では切削工程はタイルカーペットを 5 分割していることから、その際に切削工程に適さない端物が出るが、今回はその分も「適」材とした。また、不適と判断された中では特に汚れのひどいものが 8.3%、端尺物が 10.1%であった。つまり、労力をかけて混合廃棄物から選別したものが約 80%であり、混合廃棄物に含まれているタイルカーペットはリサイクル可能なものが多いといえる。ただし、現場での汚染防止や適切な分別がなされれば、さらに労力をかけずにリサイクルできる可能性を示している。

## 3) タイルカーペットのリサイクルモデル

一般的に排出事業場から搬入された廃棄物は、図 2-3-1 に示すようにまず検品ヤードにて危険混入物がないか、さらに破砕不適物の有無をチェックされる。その後、破砕・選別・圧縮工程を経て混合状態の廃棄物の単品化、素材の統一化を行い、各リサイクル施設や焼却処理、埋立処分場へ流れていく。タイルカーペットに関しても、上記と同様のフローで基本的には処理されていく。

今回の調査研究で得られた知見からは、タイルカーペットのリサイクルへの適用性は十分にあると判断できる。そして、今後 R社のような全量リサイクルできる工場処理施設が増えてくると、タイルカーペットに限れば図 2-3-2 に示すようなフローへの変動が予想され、作業工程の削減も期待できる。なお、中間処理工場での分別方法としては、人の目視、

手による作業が最も効果があり、分別作業効率としても極めて高いものとなる。ただし、機

表 2-3-3 タイルカーペット分別実証実験結果（新築工事由来）

	作業・選別内訳	備考	内訳								計			
			1回目		2回目		3回目		4回目		容積 m <sup>3</sup>	重量 kg	比率 %	
			容積 m <sup>3</sup>	重量 kg	容積 m <sup>3</sup>	重量 kg	容積 m <sup>3</sup>	重量 kg	容積 m <sup>3</sup>	重量 kg				
A 社 か ら の 持 込	仕分け作業(7人作業)													
	受入量		6.00											
	適材品		1.00	872	0.55	495	1.00	880	0.95	875	3.50	3,088	80.7	
	外国製													
	汚れのひどいもの		0.30	319							0.30	319	8.3	
	塩じ以外のもの													
	50cm角以上のもの													
	特別変な端尺材		0.34	386							0.34	386	10.1	
	濡れているもの													
	毛足の長いもの、厚いもの (裏面黒色品)													
(5分割時の端材)	適材品より除く		34								34	0.9		
〈合計〉			4.14	3,827						4.14	3,827	100.0		
B 社 か ら の 持 込	仕分け作業(7人作業)													
	受入量		13袋											
	適材品	黒色品含む	1.85	1600	1.00	806	0.50	428	0.50	429	3.85	3,263	73.3	
	外国製													
	汚れのひどいもの		0.50	359							0.50	359	8.1	
	塩じ以外のもの													
	50cm角以上のもの													
	特別変な端尺材		0.90	735							0.90	735	16.5	
	濡れているもの													
	毛足の長いもの、厚いもの (裏面黒色品)	適材品に含む	0.95	886							0.95	886	19.9	
(5分割時の端材)	適材品より除く		39								39	0.9		
〈合計〉			5.35	4,449						5.35	4,449	100.0		

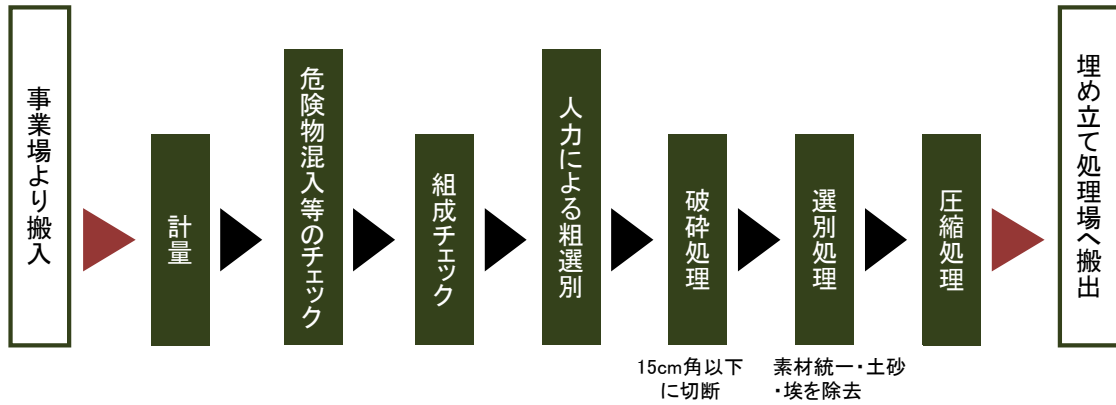
械選別ができない条件となるため、作業工期の問題や運搬効率を考えると他の品目と混合状態となって排出せざるを得ない。そのため、中間処理場での粗選別の際はできる限り付着物がつかないように工夫する必要がある。

具体的には、細粒物が付着しないよう集塵設備を設置すること、作業場所が常に乾燥状態になるよう屋内型の施設で取り扱うこと、他の廃棄物が混入しないよう保管場所を明確に定め、濡れぬよう屋根付きの施設条件等が求められる。また、改修工事から発生することが多いため、タイルカーペットを抜き出す際には養生材で使用した粘着テープや接着剤と絡み合わないようにすることも必要である。

これらの留意点を満たせば、効率的なリサイクルが可能であり、フロー図からもわかるように作業工程の削減、それによるコスト及び廃棄物量の削減など社会貢献度は非常に高



いものとなる。



【埋立処分場受け入れ条件】 15cm以下に切断し，無害化，安定化する。  
 【再資源化施設受け入れ条件】 基本的に一枚ものの状態とし，端材等，形状が異なってしまうものは基本原則受入不可。中間処理場での破碎も不可。

図 2-3-1 建設廃棄物における一般的な廃プラスチックの処理フロー

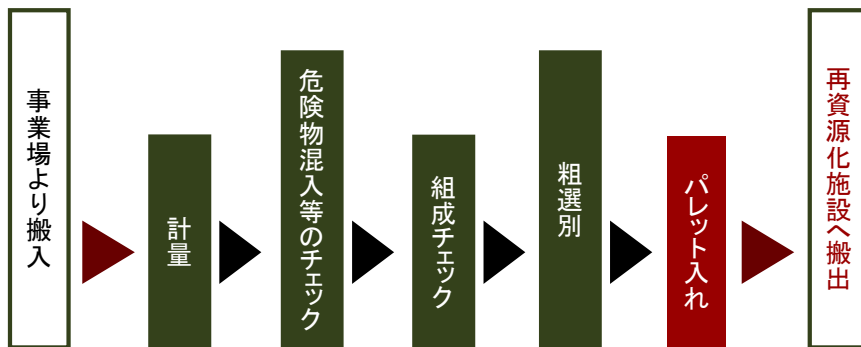


図 2-3-2 タイルカーペットの再生処理フロー

## 第2項 タイルカーペットのマテリアルリサイクルにおける不純物の影響

### 1) 実験方針

上記の実態調査結果より、「不適」材品の大半は汚れのひどいものと異形の端材で占められ、異形の端材に関しては、形状のみの課題であり、加工処理を行えばリサイクルへの適用性は高いと考えられる。そこで本実験では、汚れのひどいもの、その大半を占める裏面のモルタル付着について、リサイクルへの適用性を検討した。

具体的には塩ビ床タイルにモルタルを付着させ、剥がした際の付着量を測定する付着試験と、夾雑物が混入した場合のリサイクル品への影響を検討する強度試験を行った。なお、本実験ではモルタルのみの混入影響を把握するため、カーペット部の除去が必要なタイルカーペットではなく、対象は若干異なるがタイルカーペットと同程度の組成物質及び割合を有する塩ビ床タイルを用いて検討した。

### 2) 実験方法

#### ① 各種試験体水準

付着試験は、下地材に JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品に規定する舗装用平板 (300×300mm, 厚さ 60mm) を用いた。下地材に張りつけたタイルは、JIS A 5705 ビニル系床タイルに規定する未使用ホモジニアス床タイル (47.5×47.5mm, 厚さ 1.8mm) を、下地材の寸法に合わせて切り出したものとした。接着剤は床タイルメーカーの指定する酢酸ビニル系接着剤とした。

また、下地から剥がしたタイルカーペットを破砕して、リサイクルシートの作製を行った。その際に夾雑物として砂を 0, 1, 3% の 3 水準を混入し、その影響を強度試験で行った。

#### ② リサイクルシートに用いた床タイルの破砕方法

破砕機種シュレッダー方式グレード目開きを用いて、スクリーン設定 1 次破砕 30mm, 2 次破砕 3mm で破砕を行った。破砕物の粒度調整は、1.2mm のふるいに止まった破砕物をふるい分け、表 2-3-4 (次頁に示す) に示す 24 種類の配合に使用する際に同一の粒度分布となるよう調整した。調整した 1 次破砕後の廃タイルカーペット粒度分布を図 2-3-3 (次頁に示す) に示す。

#### ③ 各種試験体作製方法

付着試験用の試験体数は 30 体とした。作製は、下地のタイル張付け面に付着しているほこりや脆弱部分を乾いた布で除去し、楕目ゴテを用いて所要量塗布し、1 試験体あたり約 14kg に相当する載荷を 10 分間加えて圧着した。その後、20°C, RH60% の養生室に 1 週間静置した。

また、強度試験用試験体においては、各水準床タイルの粉砕物、夾雑物およびヴァージン樹脂の合計量を 2000g とし、よく攪拌した後 145°C に設定したミキシングロールに投入

して練混ぜた。

表 2-3-3 タイルカーペット分別実証実験結果（新築工事由来）

水準名	粉砕物の 粒径 %	夾雑物 混入率 %	ヴァージン 混入率 %	配合 (g)			
				粉砕物	夾雑物	ヴァージン	
S	-	-	100	-	-	2000	
A-0-0	1.2以上	0.0	0	2000	0	0	
A-0-10			10	1800	0	200	
A-0-30			30	1400	0	600	
A-0-50			50	1000	0	1000	
A-1-0		1.0	0	2000	20	0	
A-1-10			10	1800	18	200	
A-1-30			30	1400	14	600	
A-1-50		50	1000	10	1000		
A-3-0		3.0	0	2000	60	0	
A-3-10			10	1800	54	200	
A-3-30			30	1400	42	600	
A-3-50			50	1000	30	1000	
B-0-0		1.2未満	0.0	0	2000	0	0
B-1-0			1.0	10	1800	18	200
B-1-30				30	1400	14	600
B-1-50	50			1000	10	1000	
B-3-0	3.0		0	2000	54	0	
B-3-30			30	1400	42	600	
B-3-50			50	1000	30	1000	

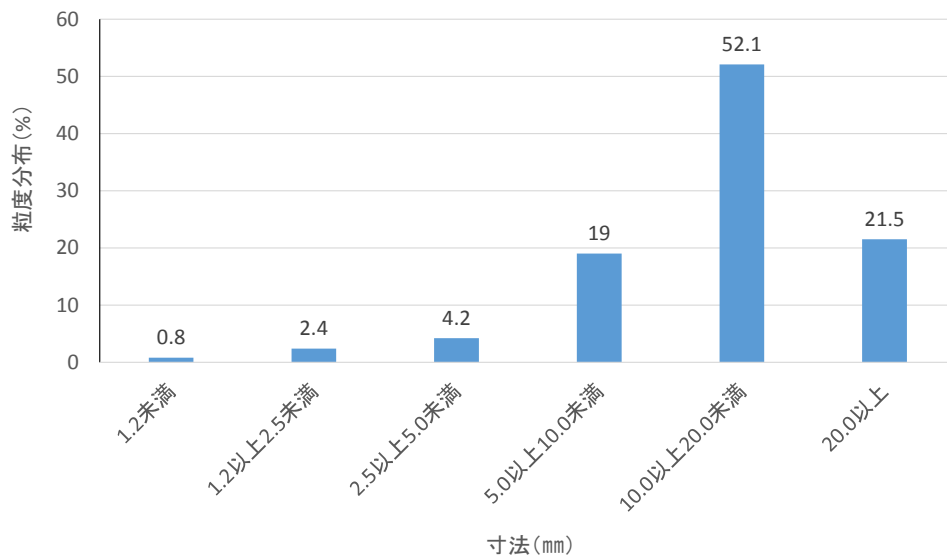


図 2-3-3 1次破碎後の粒度分布

#### ④ タイルカーペットの剥がし方

写真 2-3-1 に示すように厚さ 1~2mm, 幅 50~100mm 程度の鋼製プレート的一端を,



タイルと下地の間に挿入し、他端をプラスチック製ハンマーで軽叩しながら剥がした。



写真 2-3-1 タイルカーペットの剥がし状況

### ⑤ 付着面積算出方法

タイルカーペット剥がし時における、夾雑物の残留量を明らかにするため、剥がれたタイルカーペットと下地材をスキャナで読み取り、デジタル化することで、平面での付着面積の算出を行った。

剥がれたタイルの面積 ( $T_e$ ) は (1) 式により求めた。

$$T_e = T_s - T_r \quad \dots\dots (1) \text{式}$$

$T_e$  : 剥がれたタイルの面積 ( $\text{cm}^2$ )

$T_s$  : 張付け前のタイルの面積 ( $\text{cm}^2$ )

$T_r$  : 下地に付着したタイルの面積 ( $\text{cm}^2$ )

下地に付着したタイル部分を移し取り、その部分の面積を画像処理して求め、付着面積率 ( $S_r$ ) を、(2) 式により求めた。

$$S_r = T_r / T_s \quad \dots\dots (2) \text{式}$$

$S_r$  : 付着面積率 (%)

付着物の粒径特性は、タイル側に付着したモルタル等を乾いた布で軽くこすり、剥がれ落ちたモルタル等の質量を測定し付着物量とした。また、付着物をふるい分けし、粒度分布粒径等を測定した。

### ⑥ リサイクルシートの引張試験

JIS K 6251 (加硫ゴムの引張り試験方法) に規定するダンベル型 1 号試験片で試験した。

## 3) 実験結果

### ① 剥がれたタイルカーペットの面積

代表的な接着界面の状況を写真 2-3-2 に、タイルの剥がし時における接着界面の状況を表 2-3-4 に示す。なお、 $t_e$  は元のタイル ( $900 \text{ cm}^2$ ) に対して剥がれたタイルの割合、 $t_r$  は下地

に付着した割合である。前述の剥がし作業条件で、剥がれたタイルの面積割合は最小で約40%、最大値100%、平均約93%であり、変動の幅が極めて大きかった。



写真 2-3-2 接着界面状況の例

表 2-3-4 タイルカーペットの剥がし時における接着界面の状況

項目	剥がれたタイル		下地に付着したタイル		剥がれたタイル側への付着物	
	Te:cm <sup>2</sup>	te:%	Tr:cm <sup>2</sup>	tr:%	Im:g	im:g
最小値	364.8	40.5	0.0	0.0	0.2	0.2
最大値	900.0	100.0	535.2	59.5	6.7	8.2
平均値	838.7	93.2	61.4	6.8	2.5	2.7

## ② タイルカーペットに付着した付着物

図 2-3-4 に剥がれたタイルの面積率  $te$  と、剥がれたタイル側への付着物量  $Im$  を  $te$  で除した  $im$  との関係を示す。剥がれたタイル側の付着物量  $Im$  は、セメントペースト、モルタル、接着剤であり、その質量は、最小値 0.2g、最大値約 6.7g、平均値 2.5g であった。また、剥がれたタイルの質量 (1 枚当たり 330g) に対する付着物の質量比は、多くの場合で 2%以下、最大でも 3%以下となることが予測できる。

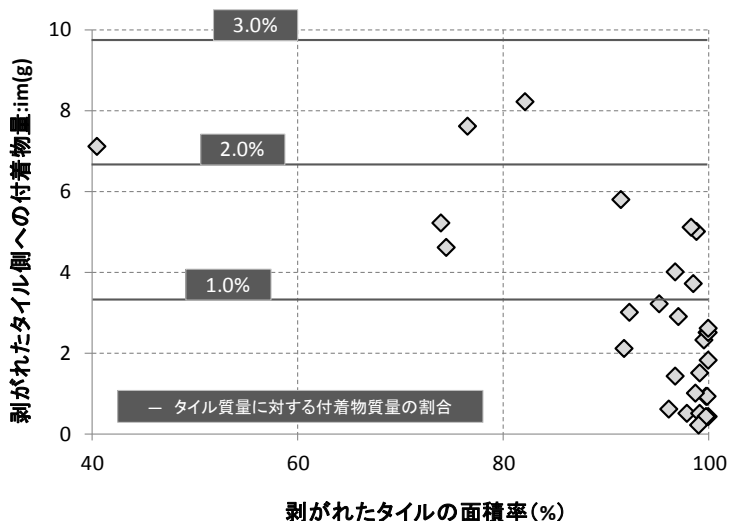


図 2-3-4 剥がれたタイルカーペットの面積率と付着物量の関係

## ③ 付着物の粒度分布

写真 2-3-3 にタイルに付着した付着物の外観を示す。表 2-3-5 にタイル側に付着した付着物の粒度分布を示す。写真より、左の写真で細長い形状をしたものが接着剤であり、右の写真に示す粉体状のものが、セメントペーストと細骨材である。表から分かるように、リサイクルする場合にタイルに付着した夾雑物で熱溶解しない固形分（モルタル粉）の粒径の大半は、1.2mm 以下と予測できる。

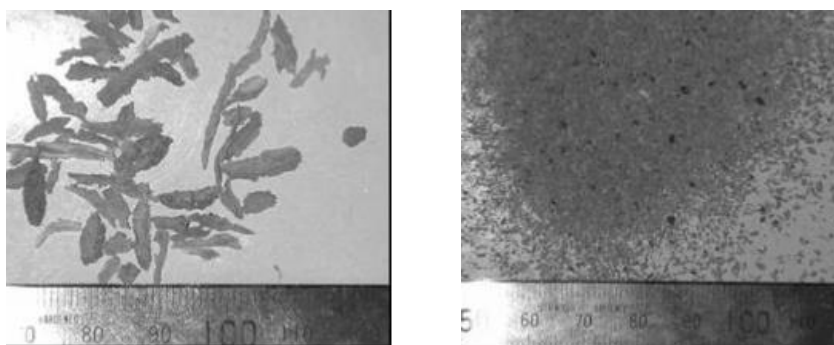


写真 2-3-3 タイルカーペット側に付着した不純物

左) 接着剤, 右) モルタル粉・接着剤

表 2-3-5 タイルカーペット側に付着した付着物の粒度

項目	付着物の粒度分布 (%)						備考
	~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15以下	
最小値	0.0	2.1	9.2	6.6	4.5	0.0	1.2mm以上は 写真6の接着剤 参照
最大値	69.0	30.8	45.3	29.8	14.9	10.7	
平均値	22.0	17.1	26.2	17.8	11.2	5.8	

## ④ 粉砕物の粒径の影響

各水準における引張強度試験結果を表 2-3-6 (次頁に示す) に示す。これより、引張強度については、概ね 1.2mm 未満の再生樹脂タイルを原料とし、再練りしたシートで強度低下が確認できた。

## ⑤ 不純物の混入量の影響

図 2-3-5 に夾雑物混入量と引張強度の関係を示す。図より、夾雑物混入率が増すと、引張強度は低下する傾向を示した。また、表 2-3-6 より、すべての水準においてヴァージン原料の混入により X・Y 方向の引張強度差が小さくなった。ヴァージン原料の混入率による引張強度増進を期待したが、A-3 以外の水準ではその効果はみられなかった。

以上のことより、ヴァージン原料混入による強度増進が見込まれても、モルタル混入による引張強度の低下は確実であり、その他性状にも大きく影響すると予想される。また、

リサイクル品の利用できる用途には限りがあり、今回検討したモルタルが付着した塩ビタイルカーペットのレベルリサイクルは難しいといえる。

表 2-3-5 各水準における引張強度の試験結果

水準名	粉砕物の 粒径 %	夾雑物 混入率 %	ヴァージン 混入率 %	引張強度(平均) N/m <sup>2</sup>		X・Y方向 差	X・Y方向 平均	S 強度比
				Y方向	X方向	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	%
S	-	-	100	6.26	5.74	0.52	6.00	100
A-0-0	1.2以上	0.0	0	8.21	6.37	1.84	7.29	121
A-0-10			10	7.55	5.98	1.57	6.77	113
A-0-30			30	7.11	6.05	1.06	6.58	110
A-0-50			50	7.32	6.12	1.20	6.72	112
A-1-0		1.0	0	7.11	5.85	1.26	6.48	108
A-1-10			10	7.32	5.85	1.47	6.59	110
A-1-30			30	6.90	5.91	0.99	6.41	107
A-1-50			50	6.53	5.52	1.01	6.03	100
A-3-0		3.0	0	6.61	4.93	1.68	5.77	96
A-3-10			10	6.50	5.37	1.13	5.94	99
A-3-30			30	6.55	5.37	1.18	5.96	99
A-3-50			50	6.80	6.19	0.61	6.50	108
B-0-0	1.2未満	0.0	0	7.35	5.54	1.81	6.45	107
B-1-0			1.0	10	6.83	5.24	1.59	6.04
B-1-30		30		6.61	5.32	1.29	5.97	99
B-1-50		50		5.87	4.96	0.91	5.42	90
B-3-0		3.0		0	6.48	4.67	1.81	5.58
B-3-30			30	6.31	4.99	1.32	5.65	94
B-3-50			50	5.61	4.77	0.84	5.19	86

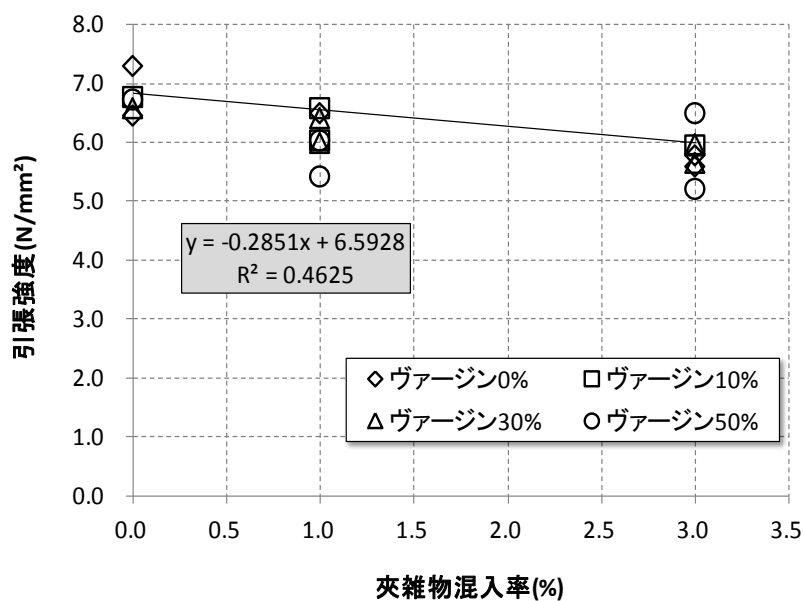


図 2-3-5 夾雑物混入率と引張強度の関係

## 第4節 解体現場における塩ビ建材の排出実態

### 第1項 解体現場における廃プラおよび塩ビ管の排出実態

#### 1) 廃プラおよび廃塩ビ管の排出量

各解体物件から排出される廃プラスチック類および廃塩ビ管の単位床面積当たりの排出量を図2-4-1に示す。図より、廃プラおよび廃塩ビ管ともに、各物件での単位床面積当たりの排出量にばらつきがみられた。これは、廃プラおよび廃塩ビ管排出量は、建物の延べ床面積以外にも建物形態、浄化槽の有無および2階水回りの有無等の因子が影響しているためと考えられる。なお、今回の調査において、解体現場より排出された塩ビ管以外の廃プラスチック類に分類される廃棄物は、雨樋や断熱材、浄化槽等が多くみられた。写真2-4-1に、塩ビ管以外の廃プラスチック類に分類される廃棄物の一例を示す。

次に、廃プラおよび廃塩ビ管排出量の建物上屋と埋設の比較を図2-4-2に示す。廃プラの排出量においては、建物上屋部由来が全体の約2/3を占めた。これは、アスファルト防水やバス・トイレ等は建物の上屋部に使われているため、埋設に比べて上屋の排出量の方が大きくなったと考えられる。対して塩ビ管排出量においては、約7割と大半が埋設由来であった。これは2階水回り無しの建物では、上屋の廃塩ビ管排出量は相当量減少するためと考えられる。

廃プラ中に含まれる廃塩ビ管排出量割合を図2-4-3に示す。上屋埋設合計では、廃プラ中の2割が塩ビ管であった。なお、上屋の廃プラ排出量では1割が塩ビ管であり、埋設では4割が塩ビ管であった。これは前述したように、上屋では、廃塩ビ管以外の廃プラの割合が多く、埋設では廃塩ビ管の排出量が多くなるのが理由といえる。

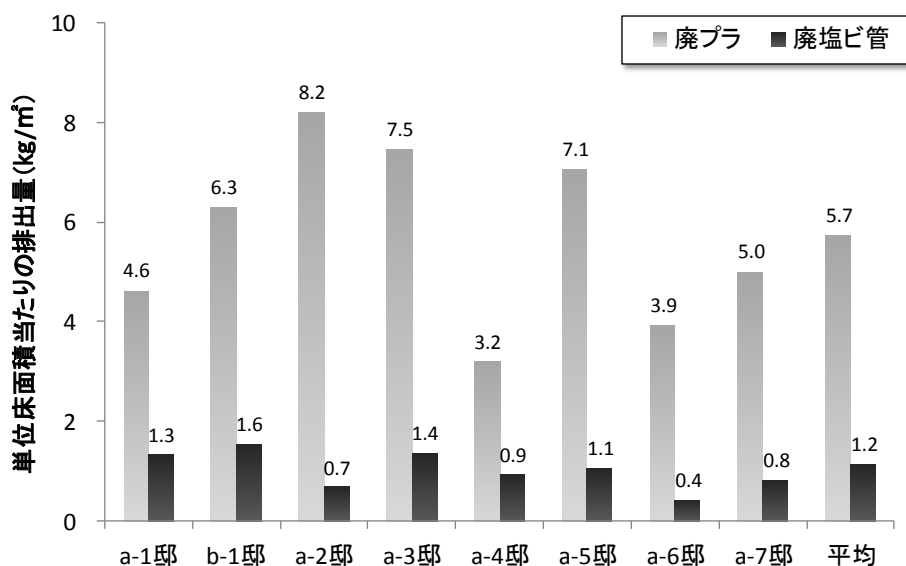


図 2-4-1 廃プラおよび廃塩ビ管の単位延べ床面積当たり排出量（各物件比較）



写真 2-4-1 塩ビ管以外の廃プラスチック類（例）

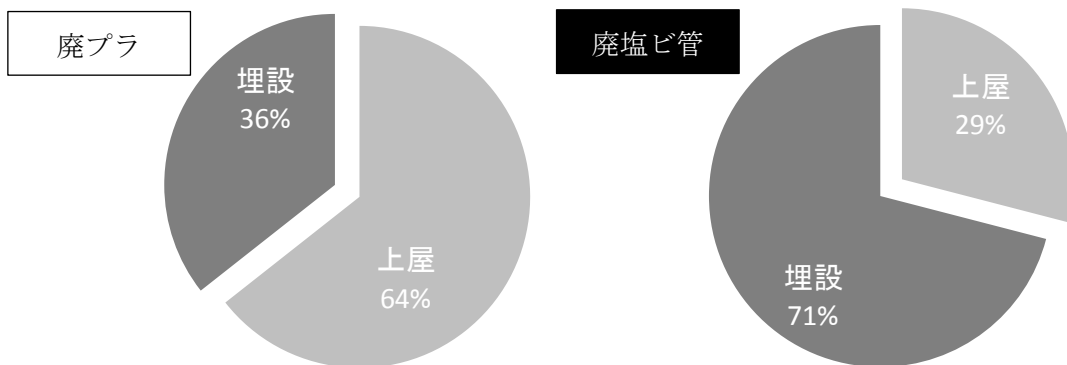


図 2-4-2 上屋・埋設由来における排出量割合

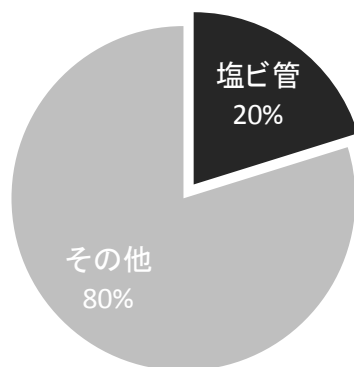


図 2-4-3 廃プラ中に含まれる塩ビ管排出量割合

## 2) 物件条件比較

今回行った廃プラおよび廃塩ビ管排出量調査結果を、対象物件の建物形態（戸建・共同）、浄化槽の有無、2階水回りの有無について比較検討を行った。単位床面積当たりの廃プラおよび廃塩ビ管排出量を物件条件比較した結果を図2-4-4に示す。なお、図2-4-4中の浄化槽の有無および2階水回り有無の調査結果では、戸建て住宅のみで比較している。

建物形態で比較した場合、廃プラおよび廃塩ビ管排出量ともに戸建よりも共同住宅の方が排出量は多くなり、塩ビ管排出量においては共同住宅が戸建の約1.5倍となった。これは、バス・トイレ等の水回りの数が共同住宅の方が多くなり、その分給排水管の量も多くなったためと考えられる。

浄化槽の有無で比較した場合、浄化槽が有る場合の方が廃プラの排出量は多くなり、廃塩ビ管の排出量においてはあまり変化がみられなかった。これは、単に浄化槽の重量分だけ廃プラ排出量に加算されたためである。

2階水回りの有無で比較した場合、廃プラでは2階の水回り無しの方が若干排出量は多く、廃塩ビ管では2階水回り有りの方が無い場合に比べ1.7倍多くなった。廃塩ビ管においては2階の水回りが有る分だけ給排水管量が増え、それに伴い廃塩ビ管全体での排出量も増えたと考えられる。

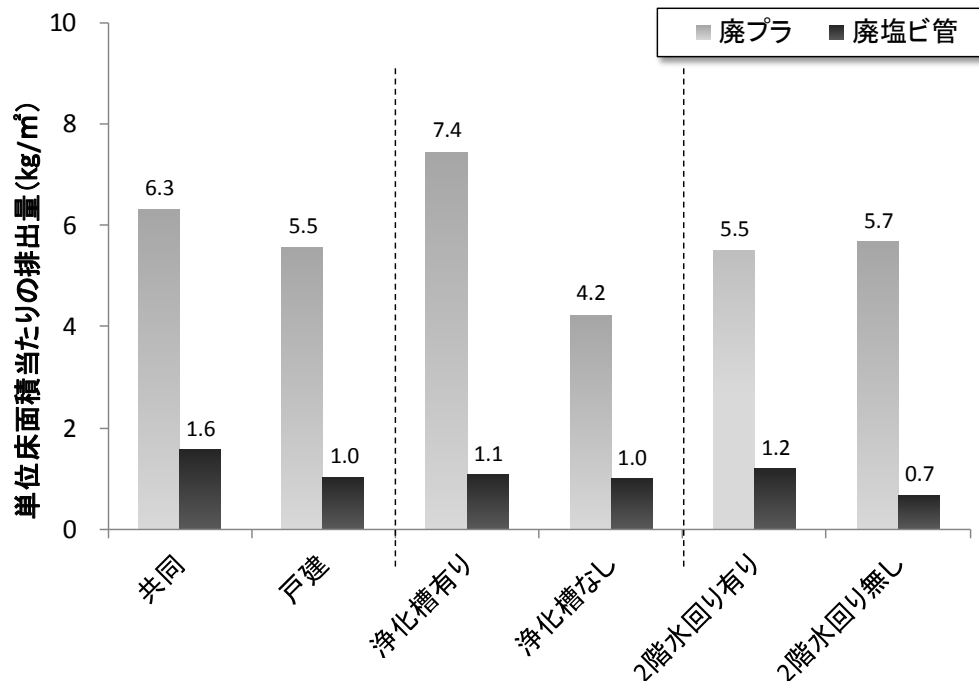


図2-4-4 廃プラおよび廃塩ビ管の単位延べ床面積当たり排出量（各物件条件比較）



ここで、建物延べ床面積と廃プラおよび廃塩ビ管排出量について検討を行った。延べ床面積と廃プラおよび廃塩ビ管排出量の関係を図 2-4-5 に示す。廃プラおよび廃塩ビ管排出量ともに、建物の延べ床面積に対し比例的に増加し、その相関性は非常に高く、延べ床面積から廃プラおよび廃塩ビ管排出量の予測が可能といえる。表 2-4-1 に本調査研究より得られた廃プラおよび廃塩ビ管の排出量原単位を示す。

また、廃プラの排出量原単位については、既往研究<sup>2-2)</sup>において、2.6 kg/m<sup>2</sup>と報告があるが、今回の調査対象物件では、廃プラの排出量原単位は 5.5 kg/m<sup>2</sup>と約 2 倍の値を示した。

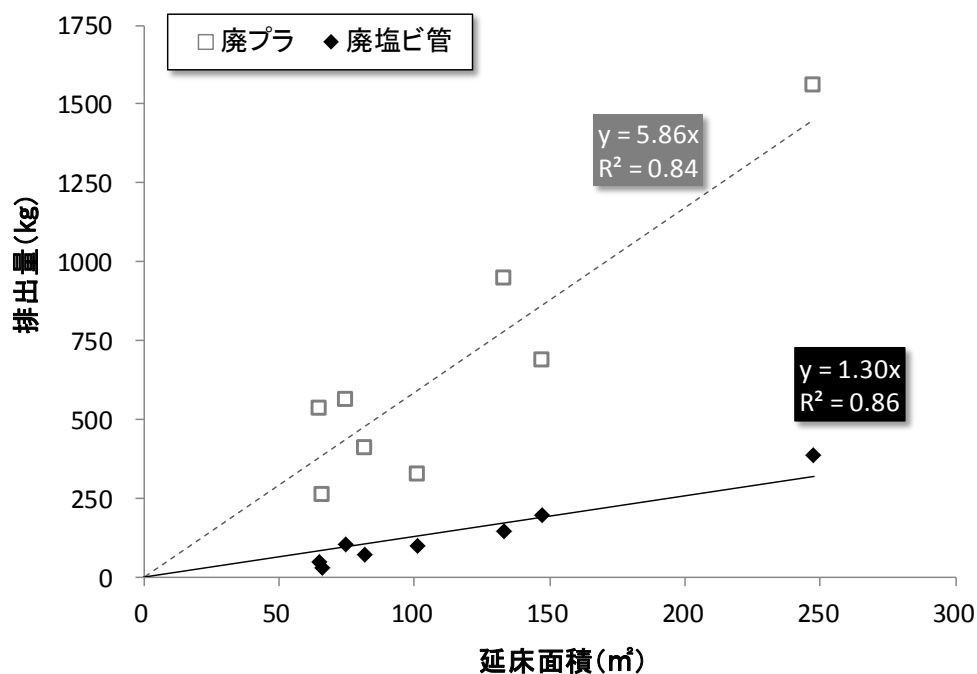


図 2-4-5 廃プラおよび廃塩ビ管排出量と延べ床面積の関係

表 2-4-1 廃プラおよび廃塩ビ管の排出量原単位

廃棄物種類	原単位 (kg/m <sup>2</sup> )			
	廃プラスチック類		塩化ビニル管・継手	
	戸建	共同	戸建	共同
上屋	3.53	4.18	0.22	0.67
埋設	2.02	2.12	0.80	0.89
合計	5.55	6.30	1.01	1.56



3) リサイクル適材品の分別結果

解体物件8軒から排出される廃塩ビ管を、塩ビ管分別基準<sup>2・3)</sup>に準じて分別を行った。分別後廃塩ビ管の排出量割合（上屋埋設比較）を図2-4-6に示す。

物件ごとに廃塩ビ管排出量は大きく異なるが、これら調査結果より、上屋の廃塩ビ管は半分が簡易処理すればリサイクル適材品となるものであり、埋設部では約8割がリサイクル適材品であった。上屋廃塩ビ管の簡易処理割合が高い理由としては、屋外で使用される塩ビ管は金具などにより建物に固定されることが大半であることや、安全性および意匠性向上などの理由からペンキや被覆材等の処理が行われることなどが挙げられる。しかしこれらの廃塩ビ管は、リサイクル不適とされる部分が狭い範囲のものが多く、比較的除去が容易であり、十分リサイクル可能である。埋設廃塩ビ管においては、上屋廃塩ビ管のような特別な処理が施されることはなく、大半が地中の泥が多少付着しても簡易的に除去が可能であり、リサイクル適材品の割合が多かった。また、建物全体（上屋埋設合計）では、6割以上がリサイクル適材品であり、簡易処理を行えば排出される塩ビ管の9割以上がリサイクル可能となる。このことから、解体業者や中間処理業者に廃塩ビ管の分別回収の有益性を周知すれば、さらにリサイクル率を向上することが可能となる。

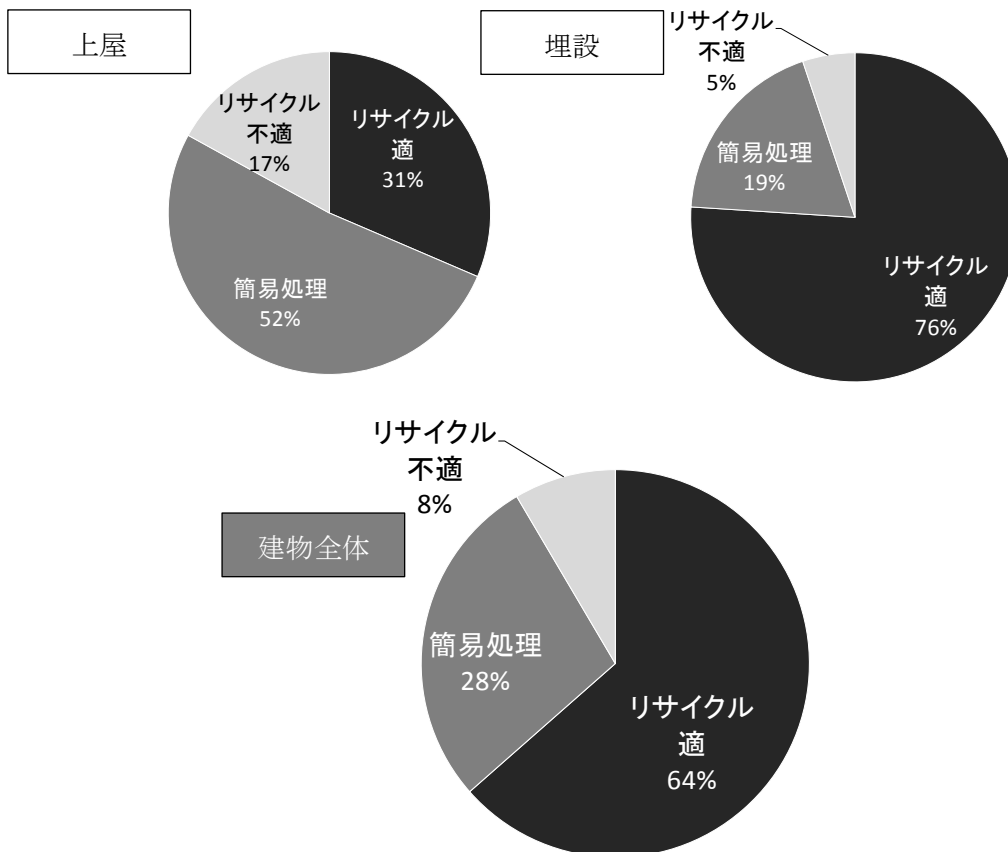


図 2-4-5 分別後廃塩ビ管の排出量割合

4) 住宅の築年数による比較

築年数と廃塩ビ管排出量について検討を行った。図 2-4-6 に廃塩ビ管排出量と築年数の関係を示す。ばらつきはみられたが、廃塩ビ管排出量は築年数が古いほど少なくなり、リサイクル不適材品についても同様に少なくなる傾向を示した。これは、塩ビ管が時代とともに少しずつ住宅に使用されるようになり、塩ビ管全体の使用量も時代と共に増えていったためと考えられる。なお、日本で塩ビ管の量産が始まったのは 1952 年である<sup>2-4)</sup>。

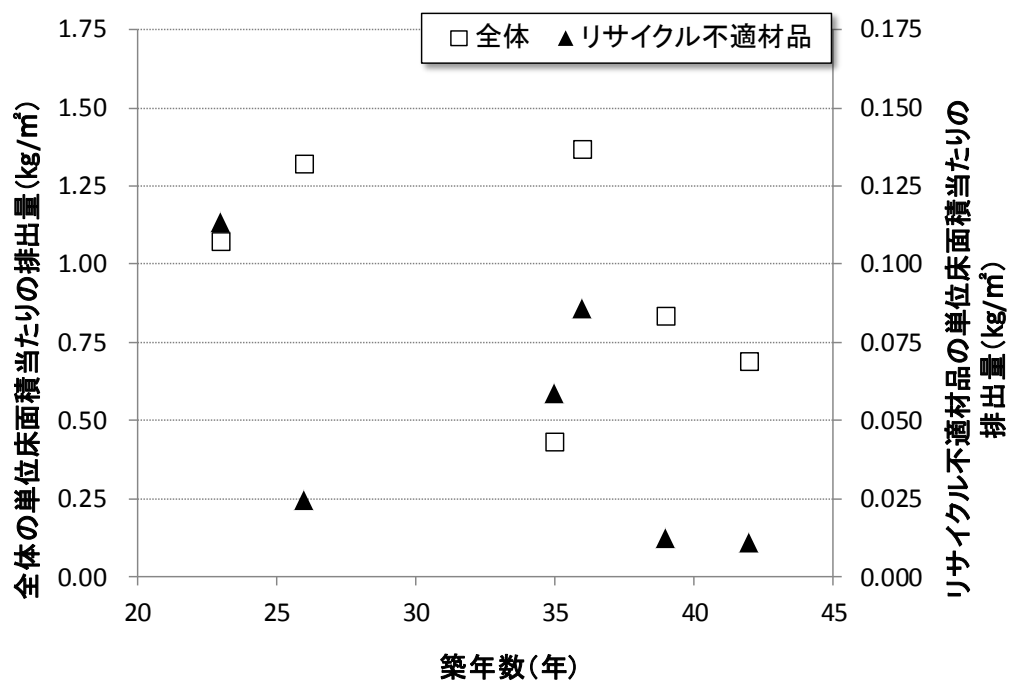


図 2-4-6 廃塩ビ管排出量と築年数の関係

### 5) 各種塩ビ管排出量

排出時状態種別ごとの廃塩ビ管排出量割合を図2-4-7に示す。これら調査結果より、廃塩ビ管排出量を詳細に比較すると、約7割が特別な処理を行わずにリサイクル可能な廃塩ビ管および耐熱性塩ビ管であった。その他はどれも排出量が低く、排出量が最も高いものでも被覆材付き塩ビ管の8%であった。また、今回の調査結果により、「2.1 リサイクル適材品分別」で述べた解体工事から発生する廃塩ビ管に簡易処理を行えば約9割がリサイクル可能と高い値を示している。さらに、残りの約1割を占める詰り・被覆材付き・ペンキ付き塩ビ管を、新築施工時にその他リサイクルが可能なものに代替する（例えば、被覆材付きやペンキ付きを、耐熱性塩ビ管や耐候性塩ビ管に代替するなど）ことができれば、限りなく100%に近いリサイクルが可能となる。

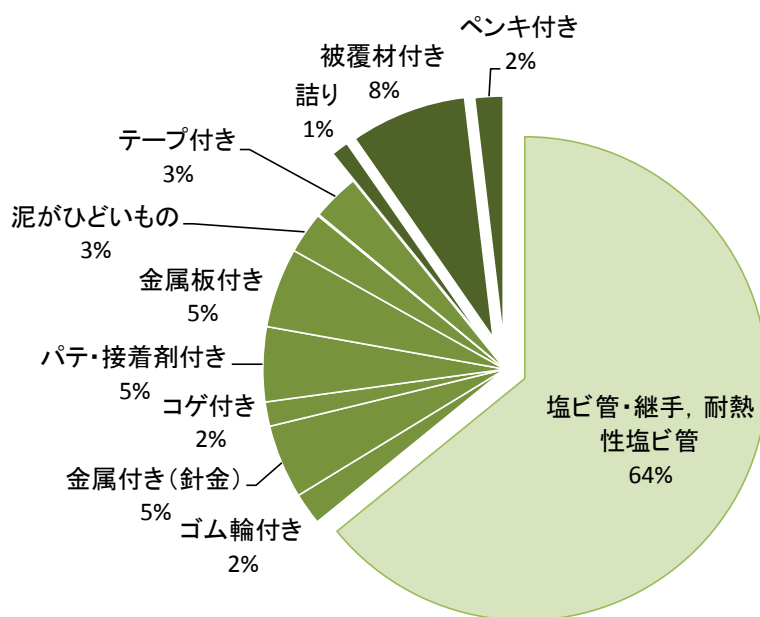


図2-4-7 廃プラおよび廃塩ビ管排出量と延べ床面積の関係

## 第2項 解体現場における塩ビ管の分別解体作業時間

### 1) 解体現場における塩ビ管撤去方法

今回の調査において、解体現場における塩ビ管撤去は、建物の躯体材撤去時に上屋塩ビ管、残渣物撤去・基礎撤去・付帯工事時に埋設塩ビ管の撤去を行っていた。写真 2-4-1 に塩ビ管撤去作業風景を示す。

また、塩ビ管撤去方法としては、上屋および埋設ともに、まず油圧シャベルを用いて塩ビ管周辺の建物躯体もしくは基礎を解体し、塩ビ管を取り出す。その際に、細かく割れた塩ビ管は人の手により収集されている。なお、本調査における塩ビ管撤去作業時間は、塩ビ管およびその周辺の撤去時間に加え、塩ビ管の回収時間も含めて算出した。



写真 2-4-1 塩ビ管撤去作業風景

(左：上屋塩ビ管撤去，右：埋設塩ビ管撤去)

### 2) 塩ビ管撤去作業時間

各物件における単位延べ床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間を図 2-4-8 に示す。図より、単位延床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間は物件ごとに大きくばらつき、上屋と埋設で比較しても明確な傾向はみられなかった。その原因として、塩ビ管の撤去にどの程度機械を使うかは、各解体工事現場でその状況に応じて施工監督により決定されていることが挙げられる。具体的には、隣接する建物との距離が近い場合機械による撤去をなるべく避ける、撤去しやすい位置にある塩ビ管であっても、長いものであれば機械による切断および撤去が行われる等である。また、塩ビ管撤去は躯体や基礎撤去と同時に行われることがあり、今回の調査で a-5・a-6 邸の塩ビ管撤去作業時間が極めて大きい値を示したのは、これらの解体工事現場では基礎撤去に時間が掛かったためである。

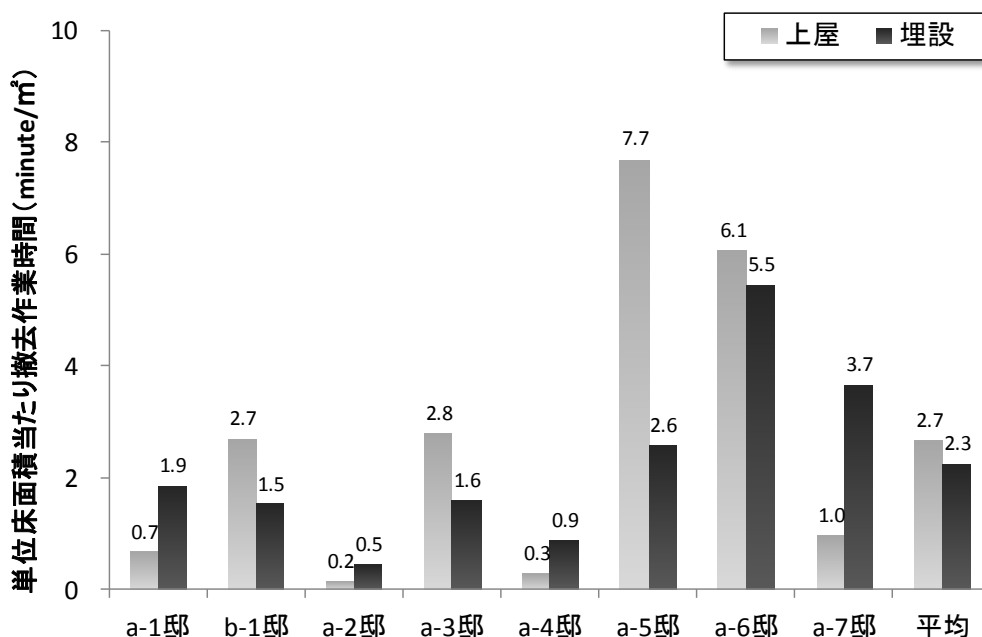


図 2-4-8 塩ビ管の単位延べ床面積当たり撤去作業時間

### 3) 物件条件比較

建物種類で比較した単位延べ床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間を図 2-4-9 に示す。なお、図 2-4-9 中の浄化槽の有無および 2 階水回り有無の調査結果では、戸建て住宅のみで比較している。

共同および戸建住宅を比較すると、共同住宅よりも戸建て住宅の方が単位延べ床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間は多い。その理由として、図 2-4-10 に戸建および共同住宅の平面図を示すように、共同住宅は給排水管の取り付けられている位置が一カ所に集まっており、戸建てに比べて撤去が集中的に行えることが挙げられる。また、戸建て住宅は隣接する建物との距離が狭いことが多く、機械による撤去が難しいことも理由の一つと考えられる。

2 階水回りの有無で比較すると、2 階水回り無しの方が単位延べ床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間は多くなった。その理由として、2 階水回りが有る物件では、2 階には居間や寝室などのスペースが大部分を占めており、2 階に水回りが有ったとしても、その水回りは一カ所に集まっていることが大半であることから、その撤去は容易であったことが影響したと考えられる。

浄化槽の有無での比較においては、浄化槽の有無による単位延べ床面積当たりの塩ビ管撤去作業時間にあまり変化はみられなかった。

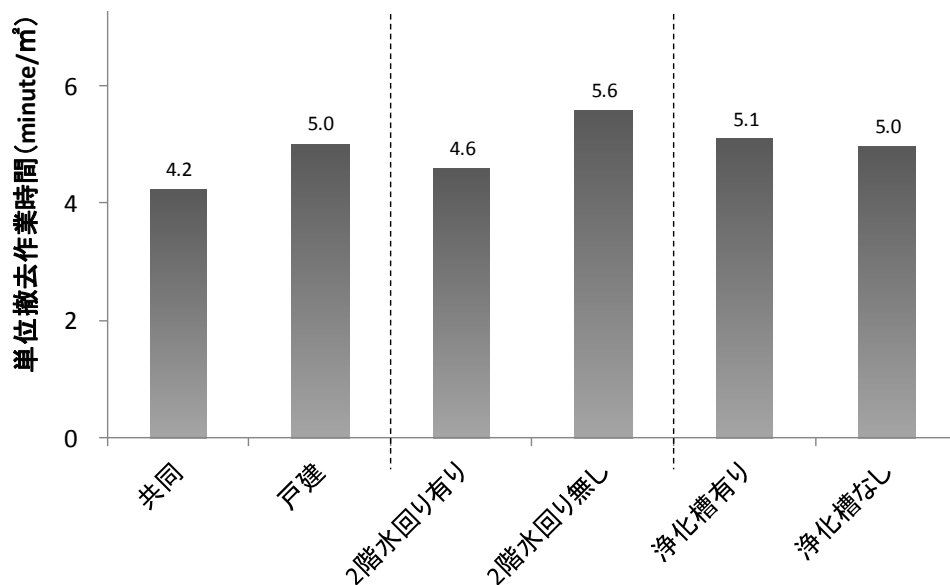


図 2-4-9 塩ビ管の単位床面積当たり撤去作業時間（各物件条件比較）

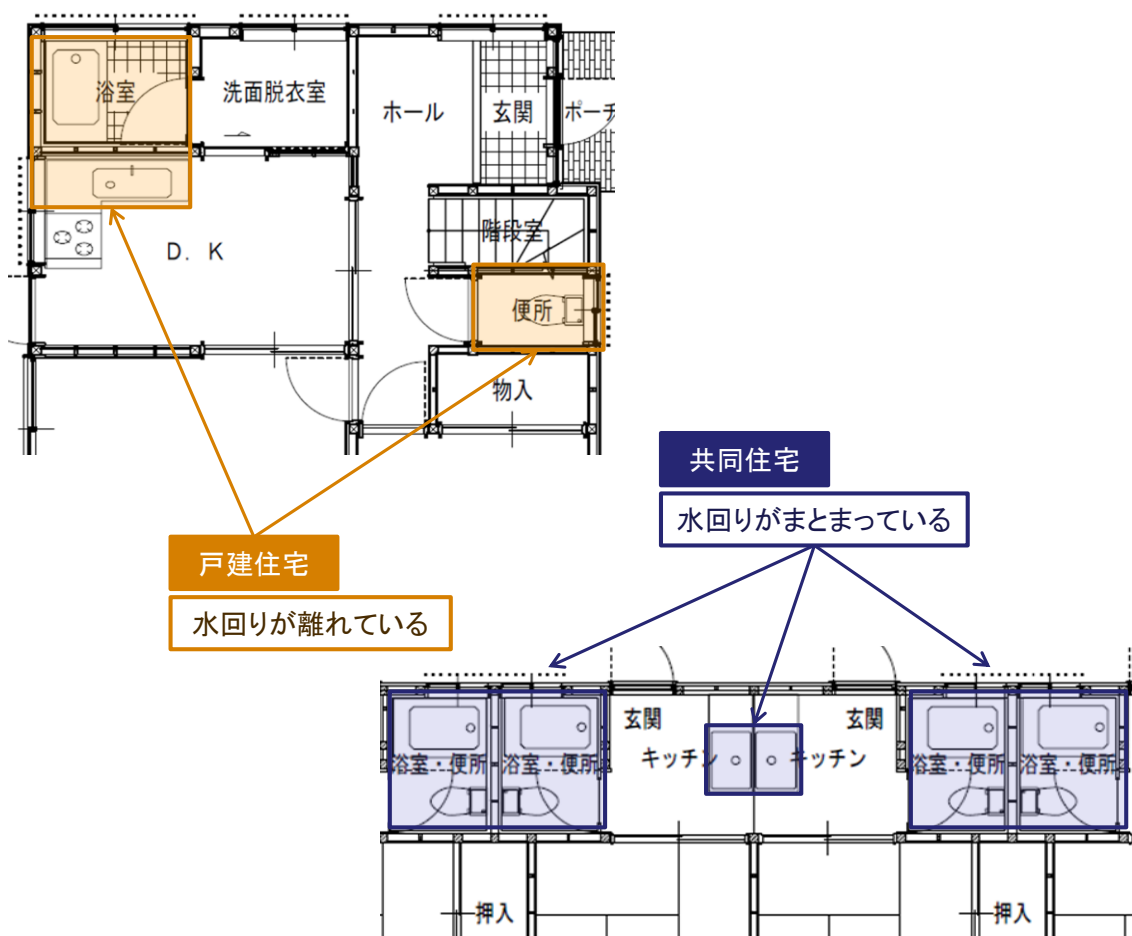


図 2-4-10 戸建および共同住宅の水回り配置図（例）

#### 4) 解体工事における塩ビ管撤去作業時間の割合

木造住宅における塩ビ管撤去作業時間が、解体工事全体に占める割合について検討する。まず、木造戸建住宅の解体工事作業時間を既往研究<sup>2-2)</sup>における(2-4-1)式を用いて算出した。

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots(2-4-1)式$$

y : 人工数 (人×日), x : 延べ床面積 (m<sup>2</sup>), a, b : 実験定数

今回調査した物件の平均延べ床面積が 115m<sup>2</sup>であったことから、1 日一人当たりの平均作業時間を 8 時間とし、解体工事全体の作業時間を算出した。その結果、解体工事全体の作業時間は 506 時間となった。

次に、今回の調査結果より、塩ビ管撤去平均作業時間は約 9.5 時間であったことから、塩ビ管撤去作業時間が解体工事全体に占める割合は 1.8%と極めて低い値となった。よって、解体工事における塩ビ管撤去、つまり分別は手間および時間の両面からも、それほど負担なく行うことが可能であるといえる。

## 第5節 まとめ

本調査で得られた結果は、大要以下の通りである。

### 1) 改修現場由来廃材における調査

- ① 新築由来の廃タイルカーペットは、異物の混入が少なく、ほぼ100%の割合でリサイクルが可能である。
- ② 解体や改修由来の廃タイルカーペットでも、適切な分別を行えば70～80%の割合でリサイクルが可能である。
- ③ タイルカーペットを剥がした場合に付着する夾雑物の量は、タイルカーペットの質量の3%以下で、粒径は概ね1.2mm以下である。
- ④ 接着剤などの夾雑物混入はリサイクルしても問題ないが、モルタルの混入はリサイクルには不適である。
- ⑤ 今回の結果はタイルカーペットに限ったものであるため、建設廃棄物全般へ削減効果は小さい。混合廃棄物の削減のためには、リサイクル可能な品目を増やす必要がある。

### 2) 解体現場由来廃材における調査

- ① 廃プラの排出量は、建物上屋由来が全体の2/3を占めるが、廃プラ排出量中の2割を占める廃塩ビ管においては、約7割が埋設由来である。
- ② 廃プラおよび廃塩ビ管排出量は、建物延べ床面積により比例的に増加し、その相関性は極めて高い。
- ③ 廃プラおよび廃塩ビ管について、延べ床面積当たりの排出量原単位を示したが、廃塩ビ管の排出量原単位は共同住宅が戸建の約1.5倍となる。
- ④ 廃塩ビ管排出量の約2/3がリサイクル適材品であり、簡易処理を行えば9割以上がリサイクル可能である。
- ⑤ 解体工事全体中の塩ビ管撤去に要する時間は、3.3%と極めて低く、分別を徹底できればリサイクルに繋がる。

以上のことより、廃塩ビ建材の種類は多様にあることを考慮すると、今回の調査では対象が限定的ではあるが、新築由来廃材であればリサイクルが可能であり、改修および解体由来であれば詳細な分別が必要となる。また、改修および解体由来廃材を想定した場合、詳細な分別を行えば、そのリサイクル率は非常に高い値が期待でき、さらに、分別に要する手間はそれほど負担なく行える。ただし、屋内用途の壁紙や屋外用途の防水シート等のような建物に直接接着あるいは固定されている薄くて柔らかい材料は想定されておらず、今後これらの分別回収実態を把握する必要がある。



## 第6節 参考文献

- 1-31) 加納芳明, 古賀純子, 浅野精一, 槌本敬大, 澤石直史: 構成資材の再資源化を企図した木造住宅の分別解体実験: その4 木造住宅解体時発生する廃プラスチックの種類と数量の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集.A-1, 材料施工, pp.1063-1064, 2003.8
- 1-32) 小山明男ほか: 木造戸建て住宅の解体工事に伴う解体工事費および二酸化炭素排出量の概算システム構築に関する技術開発-その5 解体工事費の算出システム-, 日本建築学術講演梗概集. A-1, 材料施工 2010, 237-238
- 1-33) 塩化ビニル管・継手協会: 硬質塩ビ管・継手リサイクル持込要領 (オンライン), <http://www.ppfa.gr.jp/05/date09/27.pdf>, 2015.4 参照
- 1-34) 塩化ビニル管・継手協会: 60年のあゆみ, 塩化ビニル管・継手協会, 2014.9

### 注

- 注1) がれき類, 木くず, ガラス・コンクリート・陶磁器くず, 廃プラスチック, 金属くず, 紙くず, 繊維くず, ゴムくず及び鋳さいを受け入れ品目とする廃棄物処理業者。年間受け入れ量は約 20 万 t。
- 注2) 廃プラ, 紙くず, 木くず, 繊維くず, 金属くず, ガラ陶及びがれき類を受け入れ品目とする廃棄物処理業者。年間受け入れ量は約 30 万 t。
- 注3) 新築およびリフォーム現場より排出される塩ビ建材を, 再生塩ビフレックの抽出により再資源化する専門会社で, 日量約 50 t の処理能力を有する。

# 第3章

## 再生塩ビ樹脂シートの

## 機械的性質および評価手法



## 第1節 序

本章では、叩解法より得られた再生塩ビ粉体を用いて、シート状に成型したものを「再生塩ビ樹脂シート」とし、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質を把握することで、床材や防水シート等の塩ビ建材利用を想定とした実用性を検討する。

また、従来の大半の研究報告では、限定された塩ビ建材から限定された塩ビ建材へのマテリアルリサイクル（例えば、塩ビ床材から塩ビ床材の最下層へのマテリアルリサイクル等）が想定されていたが、本研究では、複数種類の塩ビ建材（壁紙、床材、防水シート等）を混合利用したマテリアルリサイクル、「多種廃材配合」を実験的に検討し、多種廃材配合再生塩ビ樹脂シートにおける配合設計を確立することで、効率的な資源循環の形成を目的とする。

## 第2節 実験概要

### 第1項 使用材料

#### 1) 再生塩ビ粉体

本研究で用いた廃材は、塩ビ製品の中でも出荷量が多く<sup>3-1)</sup>、再資源化した際の効果が大きいものを対象とし、新築現場から排出されたタイルカーペット、壁紙、防水シート、長尺シートおよび塩ビ管・継手を回収し、再生原料として用いた。なお、これらの廃材は、それぞれ同一の現場から発生した特定の製品である。また、各塩ビ粉体の略称、組成割合および混入される不純物種類を表3-2-1に示す。なお、表3-2-1中の組成割合や混入される不純物種類等は、MSDSを基にした数値である。これらの廃材原料を叩解法<sup>3-2)</sup>で300 $\mu$ m以下に微粉化し、再生塩ビ粉体として使用した。なお、再生塩ビ粉体については、不純物を完全に除去できているわけではないが、再生塩ビ粉体中に含まれる不純物（他素材の繊維分）は、おおむね1%未満であった。図3-2-1（次頁に示す）に各種塩ビ廃材の叩解後の状態を示す。なお、本研究では、品質が安定的でありながら再資源化率が低いとされている新築系廃材<sup>3-3)</sup>のみを対象に研究を行った。経年劣化等により品質が不安定である解体および改修廃材については今後の課題とした。

表3-2-1 各塩ビ粉体の組成割合と混入される不純物

塩ビ粉体種類	略称	主な組成割合重量比 (%)			混入される不純物種類	主な混合剤の種類
		PVC	可塑剤	炭酸カルシウム		
ヴァージン原料	V	55.6	33.3	11.1	なし	なし
タイルカーペット	T	17.9	15.5	66.7	ナイロン繊維	バリウム系、亜鉛系、等
壁紙	W	39.9	20.9	39.2	パルプ	バリウム系、亜鉛系、ナトリウム系等
防水シート	P	47.8	27.3	24.9	ガラス繊維	バリウム系、亜鉛系、マグネシウム系等
長尺シート	F	31.0	19.5	49.6	織布	バリウム系、亜鉛系、等
塩ビ管・継手	H	97.5	0.0	2.5	特になし	カルシウム系、亜鉛系、鉛系、等

#### 2) ヴァージン原料

ポリ塩化ビニル樹脂、可塑剤（および炭酸カルシウムを重量比5:3:1の割合で配合し、本実験における塩化ビニル樹脂のヴァージン原料として使用した。

使用したポリ塩化ビニルについては、大洋塩ビ株式会社の「大洋 PVC TH-1300」を使用した。表3-2-2に使用したポリ塩化ビニル樹脂の粉体特性を示す。

使用した可塑剤については、大八化学工業株式会社の「DIDP（フタル酸ジイソデシル）」



図 3-2-1 各種塩ビ廃材の叩解後の状態（例）

を使用した。DIDP と同様に一般的に使用されることが多い DOP の化学名や分子量等を物性比較として表 3-2-3 に示す。また、DIDP と DOP の一般的性質を表 3-2-4 に、軟質 DIDP および DOP の性能を表 3-2-5 に示す。

表 3-2-3 DIDP および DOP の化学名や分子量等

化学式	フタル酸ジイソデシル	フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)
構造式	 <chem>COOC10H21</chem> <chem>COOC10H21</chem>	 <chem>COOCH2CH(C2H5)C4H9</chem> <chem>COOCH2CH(C2H5)C4H9</chem>
分子式	$C_{28}H_{46}O_4$	$C_{24}H_{38}O_4$
分子量	447	391

表 3-2-4 DIDP および DOP の一般的性質

項目	規定値	
	DIDP	DOP
外観・臭い等	殆ど無臭の透明な液体	殆ど無臭の透明な液体
沸点(°C、101.3kPa)	420	386
融点(°C)	-50	-55
比重(20/20°C)	0.968	0.986
蒸気密度(空気=1)	15.4	13.5
屈折率(25°C)	1.484	1.485
蒸気圧(Pa、200°C)	53	6.7×10 <sup>-3</sup> ・160(200°C)
粘度(mPa・S、20°C)	121	80
表面張力(N/m、25°C)	測定値なし	31.9×10 <sup>-3</sup>
比熱(J/g°C、20°C)	測定値なし	2.4
蒸発熱(kJ、mol)	測定値なし	123
膨張係数(°C当たり)	測定値なし	0.00076
溶解度(ppm,inH <sub>2</sub> O,20°C)	0.2	0.5以下
引火点(°C、解放)	234	218
発火点(°C)	386	400
爆発範囲(vol%)	測定値なし	0.1~測定値なし

表 3-2-5 軟質 DIDP および DOP の性能

		可塑化効率	1.12	
			DIDP	DOP
引張試験				
抗張力	(Mpa)	25.1	23.1	
伸び	(%)	393	353	
100%M	(Mpa)	13.2	11.3	
硬度				
		93	90	
揮発減量				
87°C*1日	(%)	0.5	3.6	
87°C*6日	(%)	3	18	
低温柔軟温度	Clash-Berg(°C)	-23	-24	
抽出試験				
ケロシン 23°C*1日	吸油率(%)	▲11	4.4	
	可塑剤損失(%)	42	16	
洗剤(1%) 50°C*4日	吸水率(%)	0.9	▲0.3	
	可塑剤損失(%)	▲0.7	2.9	
耐熱老化性試験				
<120°C*5日>				
抗張力残率	(%)	102	97	
伸び残率	(%)	89	75	
100%M	(Mpa)	16	18.4	
重量変化率	(%)	3.6	7.8	



## 第2項 再生塩ビ樹脂シートの作製方法

再生塩ビ樹脂シートの作製方法は、ヴァージン原料と再生塩ビ粉体を所定の配合で混合し、その後、混合された塩ビ粉体を、温度  $160 \pm 5^\circ\text{C}$  に設定したミキシングロールに投入して練り混ぜ、厚さ  $0.5\text{mm}$  に成形した。写真 3-2-1 にミキシングロールによる練り混ぜの様子を示す。

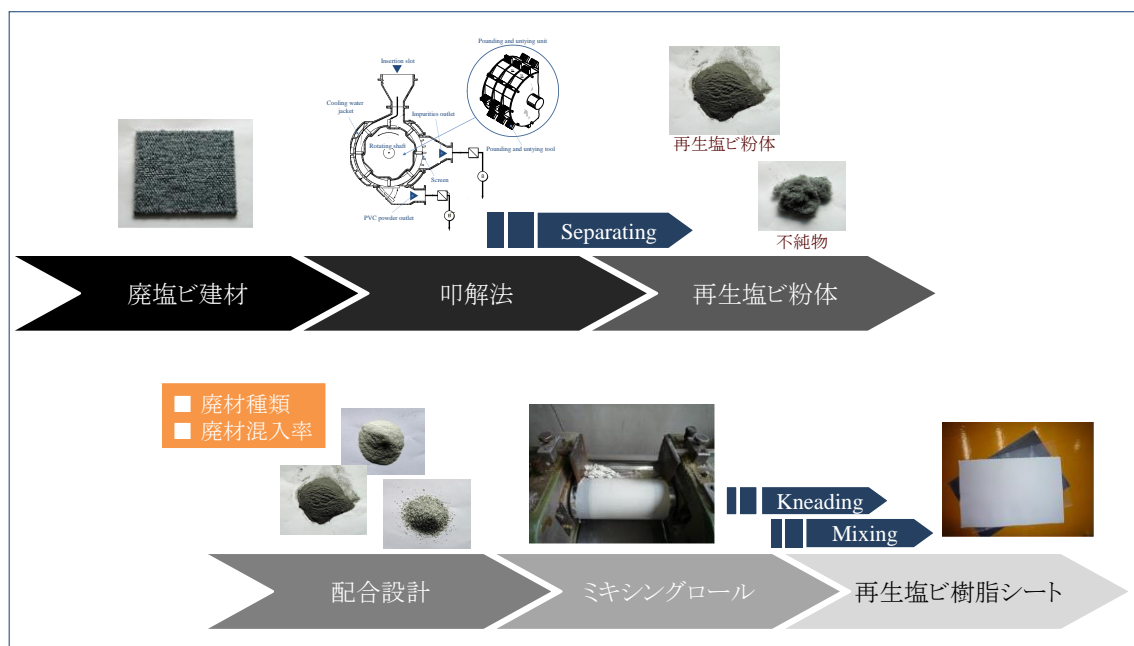


写真 3-2-1 ミキシングロールによる練り混ぜの様子

## 第3項 試験体水準

再生塩ビ樹脂シートの配合設計は、2つに大別して行った。シリーズ1では1種類のみ再生塩ビ粉体とヴァージン原料を配合（以下、単一廃材配合とする）し、シリーズ2では2種類または3種類の再生塩ビ粉体とヴァージン原料を配合（以下、多種廃材配合とする）して実験を行った。表3-2-2に本研究における配合表を示す。

表3-2-2 再生塩ビ樹脂シートの配合表

	No.	水準名	R率 (%)	配合割合 (%)				備考
				V	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
シリーズ1	1	V100	0	100				・シリーズ1では、塩ビ廃材種類が1種類のみ混入 <廃材の種類> R <sub>1</sub> = 防水シート(P),長尺シート(F), タイルカーペット(T), 壁紙(W), または、塩ビ管(H)
	2	R <sub>1</sub> 20	20	80	20			
	3	R <sub>1</sub> 40	40	60	40			
	4	R <sub>1</sub> 60	60	40	60			
	5	R <sub>1</sub> 80	80	20	80			
	6	R <sub>1</sub> 100	100	0	100			
シリーズ2	7	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:3(20)	20	80	5	15	・シリーズ2では、塩ビ廃材種類が2種類以上混入 ・No.7～No.21における水準は、塩ビ廃材種類が2種類混入 <廃材の組み合わせ> 【R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> 】 = 【タイルカーペット(T),壁紙(W)】, 【壁紙(W), 防水シート(P)】, または 【防水シート(P), タイルカーペット(T)】	
	8	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:1(20)	20	80	10	10		
	9	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =3:1(20)	20	80	15	5		
	10	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:3(40)	40	60	10	30		
	11	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:1(40)	40	60	20	20		
	12	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =3:1(40)	40	60	30	10		
	13	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:3(60)	60	40	15	45		
	14	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:1(60)	60	40	30	30		
	15	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =3:1(60)	60	40	45	15		
	16	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:3(80)	80	20	20	60		
	17	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:1(80)	80	20	40	40		
	18	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =3:1(80)	80	20	60	20		
	19	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:3(100)	100	0	25	75		
	20	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =1:1(100)	100	0	50	50		
	21	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> =3:1(100)	100	0	75	25		
シリーズ2	22	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:1:1(30)	30	70	10	10	・No.22～No.35における水準は、塩ビ廃材種類が3種類混入 <廃材の組み合わせ> R <sub>1</sub> = タイルカーペット(T) R <sub>2</sub> = 壁紙(W) R <sub>3</sub> = 防水シート(P)	
	23	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:1:4(30)	30	70	5	5		
	24	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:4:1(30)	30	70	5	20		
	25	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =4:1:1(30)	30	70	20	5		
	26	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:1:1(60)	60	40	20	20		
	27	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:1:4(60)	60	40	10	40		
	28	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:4:1(60)	60	40	10	40		
	29	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =4:1:1(60)	60	40	40	10		
	30	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:2:2(100)	100	0	20	40		
	31	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =2:1:2(100)	100	0	40	20		
	32	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =2:2:1(100)	100	0	40	40		
	33	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:1:8(100)	100	0	10	10		
	34	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =1:8:1(100)	100	0	10	80		
	35	R <sub>1</sub> :R <sub>2</sub> :R <sub>3</sub> =8:1:1(100)	100	0	80	10		

#### 第4項 試験項目および方法

再生塩ビ樹脂シートの用途としては、防水シートや床材への適用を目指しており、再生塩ビ樹脂シートの基礎物性を把握するため、JIS A 6008（合成高分子ルーフィングシート）に規定される基本的性能について試験した。表 3-2-3 に試験項目および試験体寸法を示す。また、

表 3-2-3 試験項目および試験体寸法

項目			均質シートの品質(以上)	
			機械的固定工法	その他
引張性能	引張強さ	N/cm <sup>2</sup>	1800	1000
	伸び率	%	250	200
引裂性能	引裂強さ	N/cm	400	400

##### 1) 引張性能試験

引張性能試験は、JIS K 6251 の 4.（加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—引張特性の求め方）を参考に行い、試験片の形状は、JIS K 6251 に規定するダンベル状 3 号形を用いた。図 3-2-2（次頁に示す）にダンベル 3 号形の形状および寸法を示す。

試験方法は、試験片を、つかみ間距離 60mm で引張試験機に取りつける。次いで、200mm/min の速度で試験片が破断するまで引っ張る。1 水準につき、練り混ぜ方向の垂直方向および水平方向について、3 回引張性能試験を行い、その平均値を試験結果として用いた。試験片の引張強さは、最大荷重を読み取り、(3-2-1)式によって算出した。また、伸び率については、破断時のつかみ間距離を読み取り、(3-2-2)式によって算出した。

$$T_s = \frac{F_M}{t \times W} \quad \dots\dots\dots (3-2-1) \text{式}$$

ここで、 $T_s$ ：引張強さ (N/cm<sup>2</sup>)，  
 $F_M$ ：最大荷重 (N)， $t$ ：試験片の実測した厚さ (mm)，  
 $W$ ：試験片の実測した幅 (mm)

$$E_b = \frac{L_b - L_0}{L_0} \quad \dots\dots\dots (3-2-2) \text{式}$$

ここで、 $E_b$ ：伸び率 (%)，  
 $L_b$ ：破断時のつかみ間距離 (mm)，  
 $L_0$ ：初期のつかみ間距離 (mm)

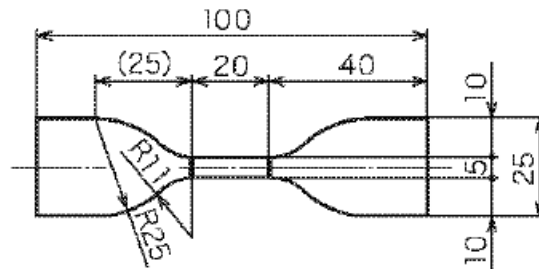


図 3-2-2 ダンベル 3 号形試験片の形状および寸法

2) 引裂性能試験

引裂性能試験は、JIS K 6252-1「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム—引裂強さの求め方—第1部：トラウザ形、アングル形及びクレセント形試験片を用いる方法」に準じて行い、試験片の種類は、切込みなしアングル形試験片の打抜き型で打ち抜いた試験片とする。図 3-2-3 に切込みなしアングル形試験片の形状および寸法を示す。

試験方法は、引張性能試験と同様に行う。

試験片は切り込みなしアングル形を使用し、試験は1水準につきY方向（練り混ぜ方向）、X方向（練り混ぜ方向に対して垂直方向）の2方向について、それぞれ3回行い、引裂強さはその平均値とした。

試験片の引裂強さは、最大荷重を読み取り、(3-2-3)式によって算出する。

$$T_T = \frac{P_T}{t} \quad \dots\dots\dots (3-2-3)式$$

ここで、 $T_T$ ：引裂強さ (N/cm)，  
 $P_T$ ：最大荷重 (N)，  
 $t$ ：試験片の実測した厚さ (cm)

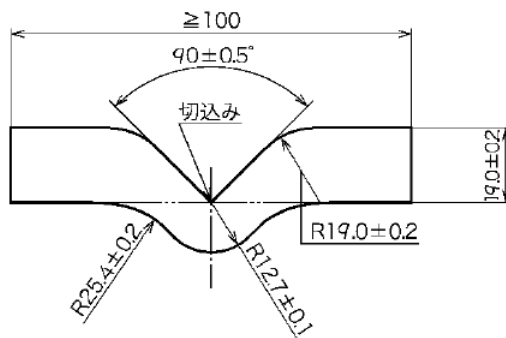


図 3-2-3 切込みなしアングル形試験片の形状および寸法

### 第3節 再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

#### 第1項 単一廃材配合再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

図 3-3-1 にシリーズ 1 の X 軸方向（ミキシングロールに対して短手方向）における引張強さ，図 3-3-2 に伸び率，図 3-3-3 に引裂強さを示す。図 3-3-4 に Y 軸方向（ミキシングロールに対して長手方向）における引張強さ，図 3-3-5 に伸び率，図 3-3-6 に引裂強さを示す。

各種再生塩ビ粉体ともに，リサイクル率（略称：R 率）の増加に伴い，引張強さ，伸び率および引裂強さともに減少傾向を示した。塩ビ管を用いた再生塩ビ樹脂シートにおいては，リサイクル率の増加に伴い引張強さに増大傾向を示したが，これは塩ビ管の原料が硬質系 PVC であり，基本的に可塑剤が添加されておらず伸び率に乏しいことが原因である。今回用いたヴァージン原料および塩ビ廃材は，塩ビ管以外すべて軟質系 PVC で構成されており，これらを用いたリサイクル率 100%の再生塩ビ樹脂シートは 150%以上の伸び率を示したが，塩ビ管を用いたものは，他に比べ極端に伸び率が低い値を示した。また，シートを練り混ぜる際にも硬く，十分な柔軟性を示さなかった。これらのことから，シートとしての利用を想定した場合，軟質系に限定して利用することが望ましい。ただし，硬質系 PVC で構成される廃材の利用には可塑剤の再添加等による伸び率の向上も期待できる。

次に，再生塩ビ樹脂シートにおける X 軸方向と Y 軸方向を比較すると，Y 軸方向の方が X 軸方向よりも引張強さ，伸び率および引裂強さのすべてにおいて高い傾向を示した。このことから，本項以降の品質評価において，Y 軸方向よりも品質の劣る X 軸方向を基準として実験を行うこととした。

また，図 3-3-1~3-3-6 中の破線は JIS 規格値（JIS A 6008）を示したもので，本研究の範囲では，タイルカーペットではリサイクル率 20%以下，防水シートではリサイクル率 60%以下，壁紙ではリサイクル率 40%以下，長尺シートはリサイクル率 0%以下まで JIS 規格値を満たした。表 3-3-1 に本研究の範囲において JIS 規格値を満たした再生塩ビ樹脂シートにおける各種廃材原料の廃材混入率を示す。

表 3-3-1 JIS 規格値を満たす廃材混入率

廃材種類	JIS規格値を満たす廃材混入率(%以下)						総合
	引張強さ		伸び率		引裂強さ		
	X軸方向	Y軸方向	X軸方向	Y軸方向	X軸方向	Y軸方向	
タイルカーペット	20	20	80	100	20	20	20
防水シート	100	100	100	100	60	60	60
長尺シート	60	80	100	100	0	80	0
壁紙	40	60	60	60	40	60	40
塩ビ管	100	-	75	-	-	-	-

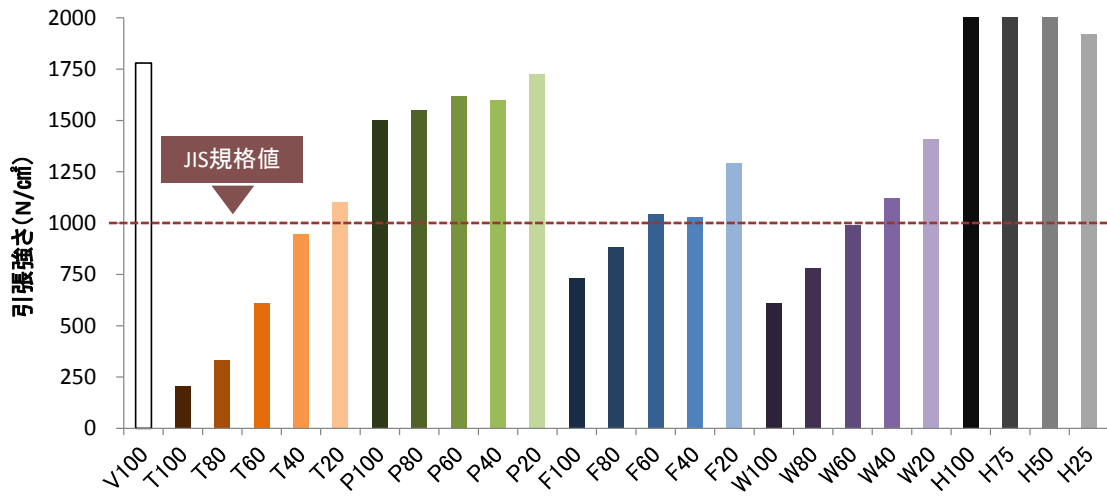


図 3-3-1 各水準の引張強さ (シリーズ1: X軸方向)

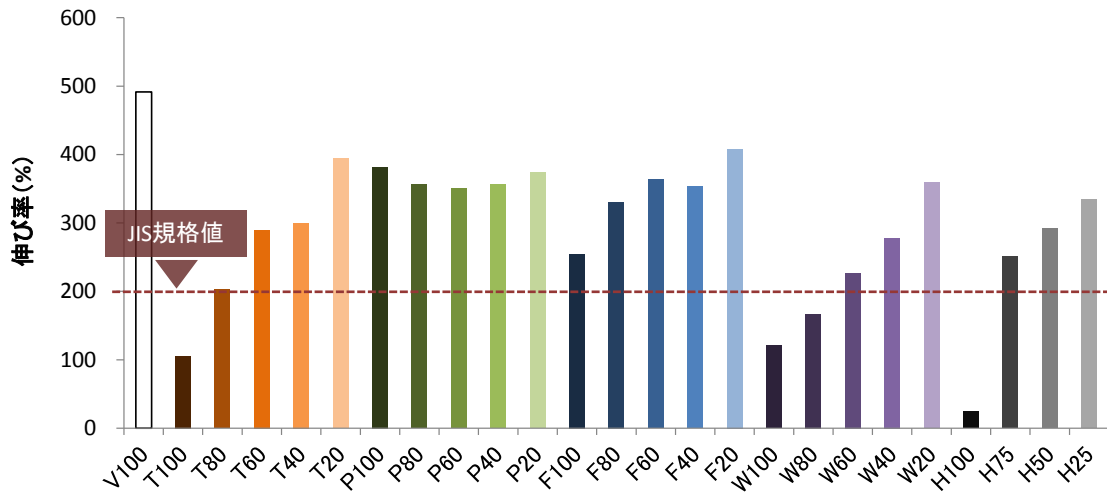


図 3-3-2 各水準の伸び率 (シリーズ1: X軸方向)

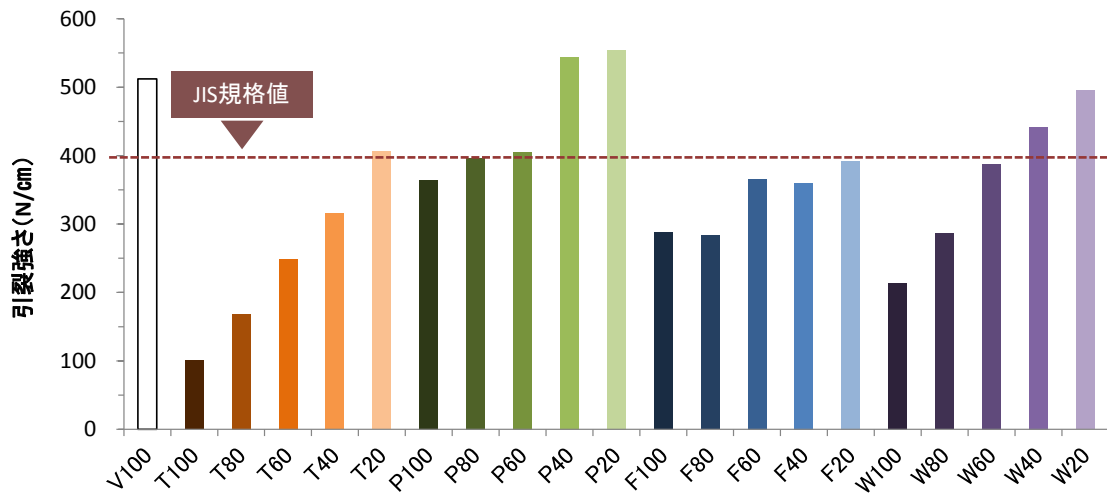


図 3-3-3 各水準の引裂強さ (シリーズ1: X軸方向)

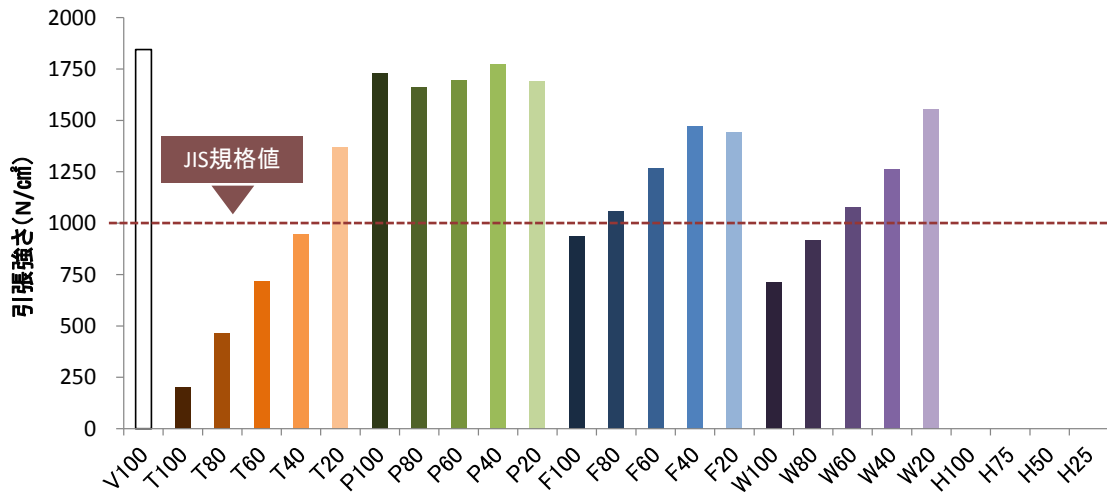


図 3-3-4 各水準の引張強さ (シリーズ1: Y軸方向)

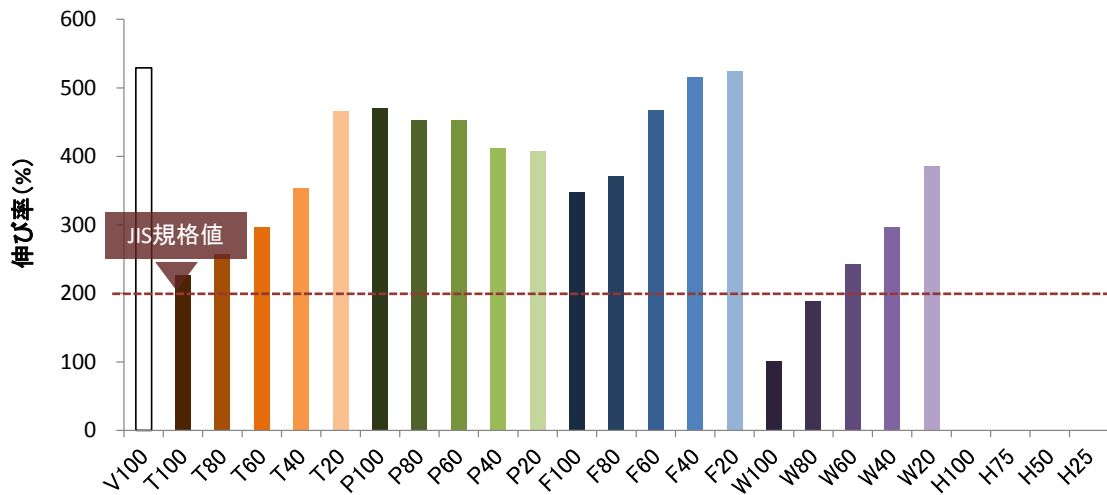


図 3-3-5 各水準の伸び率 (シリーズ1: Y軸方向)

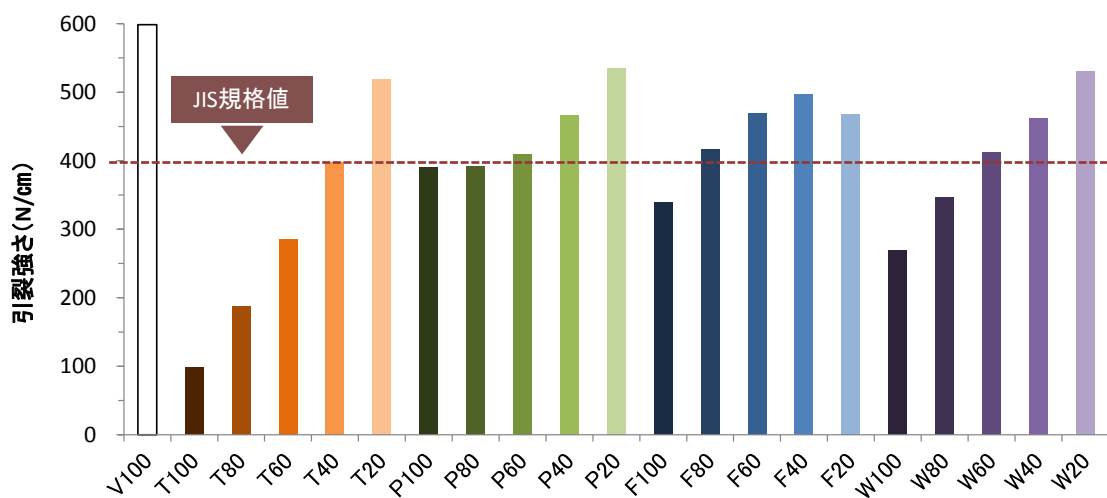


図 3-3-6 各水準の引裂強さ (シリーズ1: Y軸方向)



## 第2項 再生塩ビ樹脂シートにおける機械的性質の確定因子

### 1) 再生塩ビ樹脂シートにおける応力とひずみの関係

図3-3-7に各水準における応力とひずみの関係を示す。なお、ここで用いる応力は、引張応力、ひずみは引張ひずみを表している。また、引張応力が働いているときの断面積は、実際にはその原断面積よりも減少しており、破壊時に局部的に著しく小さくなっているが、本実験での応力の値としては、外力をかける前の原断面積をそのまま使って計算されている（原断面積を用いた応力を“見掛けの応力”と一般的に呼ぶ<sup>3-3)</sup>）。

図3-3-4より、再生塩ビ樹脂シートにおける応力とひずみの関係は、ひずみにおける初期の段階では応力が增大し、降伏点を迎えると応力の増大が緩やかになる一方でひずみが増大、最大応力を迎えた後、破断するという傾向を示した。そもそも再生塩ビ樹脂シートの原料である軟質塩ビ樹脂は、柔らかくて粘り強く、降伏点が低く応力ひずみ曲線のカーブは平坦であることが特徴であり、再生塩ビ樹脂シートにおいても同様の傾向を示した。

また、再生塩ビ樹脂シートの応力ひずみ曲線は、その廃材原料種類および混入率によって変化する。具体的には、タイルカーペットを使用したものの応力ひずみ曲線は、ひずみは高い値を示しているが、応力は極端に低い。壁紙においては、応力は高い値を示しているが、ひずみは極端に低い。これらは、廃材原料に使用されている塩ビ樹脂の重合度や不純物の混入、組成割合の違いによるものと考えられる。

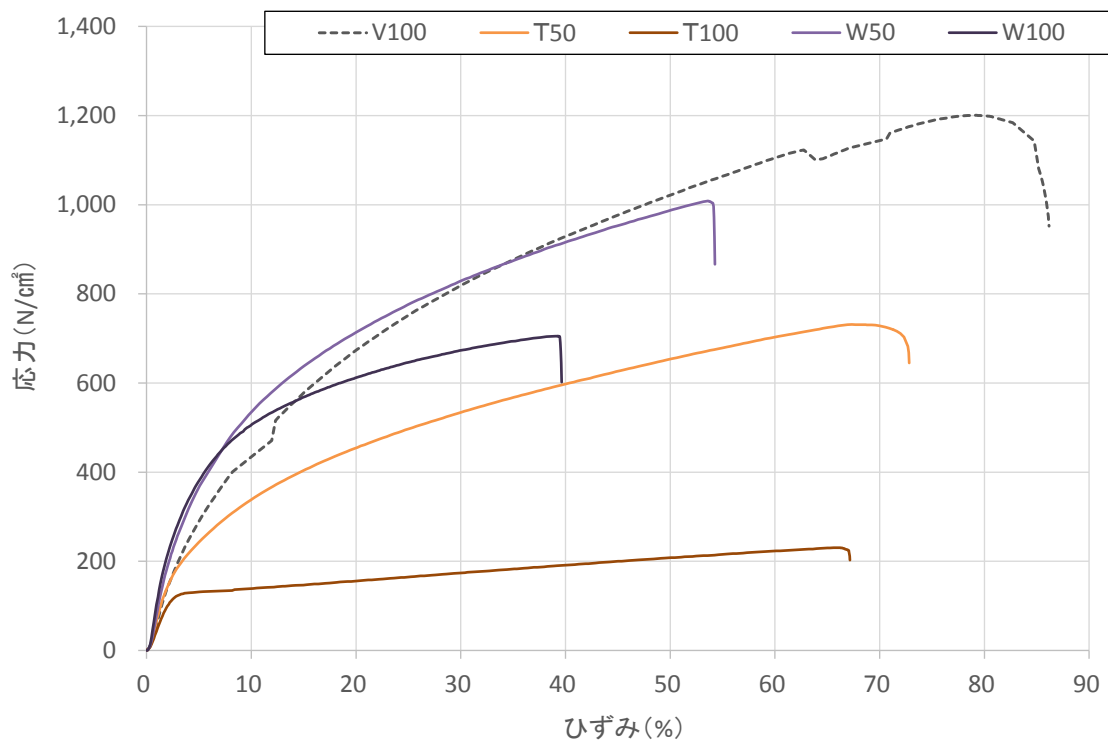


図3-3-7 各水準における応力とひずみの関係

## 2) 再生塩ビ樹脂シートにおける機械的性質の変動因子

### ① 実験目的

再生塩ビ樹脂シートの機械的性質は、廃材原料中の塩ビ樹脂の重合度や不純物の混入、組成割合の違いによるものと考えられる。そこで、混入される塩ビ樹脂の重合度および組成割合の変動による再生塩ビ樹脂シートの機械的性質への影響を明らかにするため、ヴァージンシートにおいて塩ビ樹脂の重合度および組成割合を変動させ、その影響を検討する。

### ② 実験方法

ヴァージンシートの配合における変動因子として、可塑剤および塩ビ樹脂の含有率、さらに塩ビ樹脂の重合度、不純物混入率の影響について検討を行った。表 3-3-2 にヴァージンシートの配合表を示す。

可塑剤の含有率については、塩ビ樹脂の組成割合を固定し、可塑剤の組成割合を 40, 30, 20, 10 として検討を行った。塩ビ樹脂の含有率については、可塑剤の組成割合を固定し、塩ビ樹脂の組成割合を 56, 45, 35, 25 とした。また、塩ビ樹脂の重合度について、組成割合を固定し、塩ビ樹脂の重合度を 1000, 1300, 1700 として検討を行った。さらに、不純物の混入率については、タイルカーペットを叩解法により分離した際に生じる不純物のナイロン繊維、壁紙を分離した際に生じる不純物のパルプをそれぞれ混入し、混入率を 0.2, 0.5, 1.0%として検討した。なお、配合設計について、炭酸カルシウムはヴァージンシートにおいて充填剤として用いられているため、ヴァージンシートの機械的性質には直接的に影響しないと仮定し、塩ビ樹脂および可塑剤の含有率から逆算して組成割合を設定した。

ヴァージンシートの作製方法は本章第2節第2項と同様に行い、評価方法は第3章-第2節-第4項の引張性能試験を使用した。

表 3-3-2 ヴァージンシートの配合表

水準名	ヴァージンシートの配合						不純物の混入率	
	PVC(重合度)				可塑剤	炭酸カルシウム	ナイロン繊維	パルプ
	1000	1300	1700	%	%	%	%	
D10%		●		55.6	10.0	34.4		
D20%		●			20.0	24.4		
D30%		●			30.0	14.4		
D40%		●			40.0	4.4		
P35%		●		35.0	33.3	31.7		
P45%		●		45.0		21.7		
P56% / PVC1300		●		55.6	33.3	11.1		
PVC1000	●							
PVC1700			●					
Im0.2%(T)		●		55.6	33.3	11.1	0.2	
Im0.5%(T)		●					0.5	
Im1.0%(T)		●					1.0	
Im0.2%(W)		●						0.2
Im0.5%(W)		●						0.5

### ③ 実験結果

図 3-3-8 にヴァージンシートにおける可塑剤の配合率と応力ひずみ曲線の関係を示す。なお、D10%の水準に関しては、混入される可塑剤量が少ないことにより硬く、シート状に成型することが困難であることから水準から除外した。図より、可塑剤配合率の増加に伴い、応力には大きな変化はないが、ひずみは増大した。このことより、塩ビ樹脂シートの伸びは、可塑剤の混入率に強く依存するといえる。また、応力ひずみ曲線で比較すると、可塑剤 20%の水準には明確な降伏点が確認できたが、可塑剤の増加に伴い、最大応力までの傾きが平坦になる傾向を示した。

図 3-3-9 にヴァージンシートにおける塩ビ樹脂の配合率と応力ひずみ曲線の関係を示す。応力ひずみ曲線を比較すると、塩ビ樹脂の増加に伴い、応力およびひずみともに増大する傾向を示し、特に応力の変化量は顕著にあらわれた。このことより、塩ビ樹脂シートの引張強さは、塩ビ樹脂の混入率に強く依存するといえる。

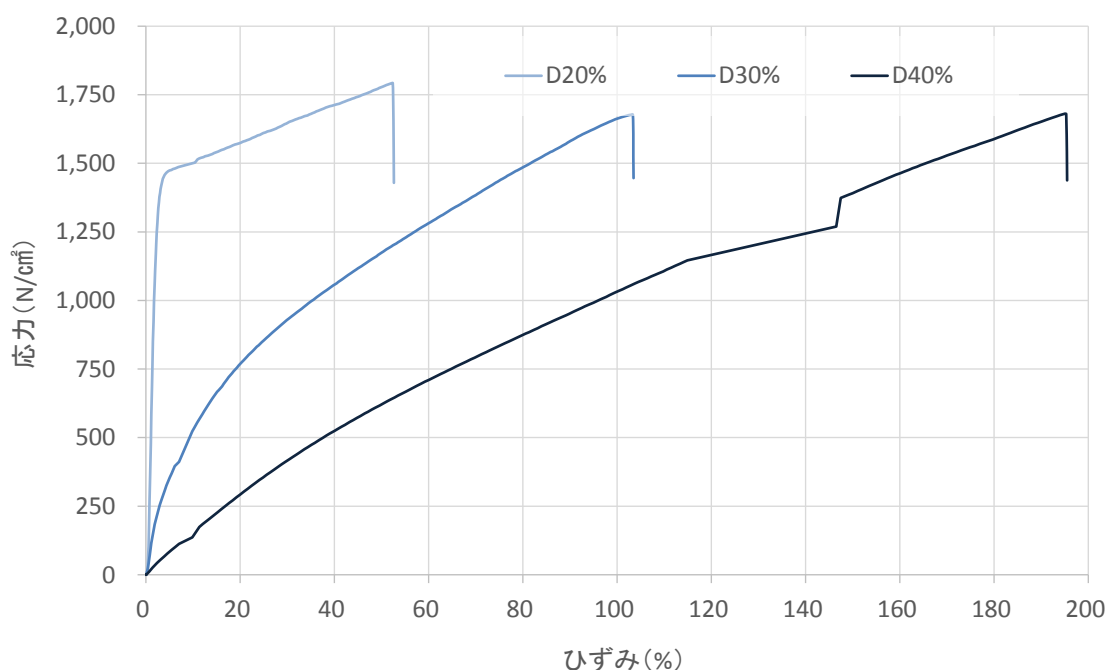


図 3-3-8 可塑剤の配合率と応力ひずみ曲線の関係

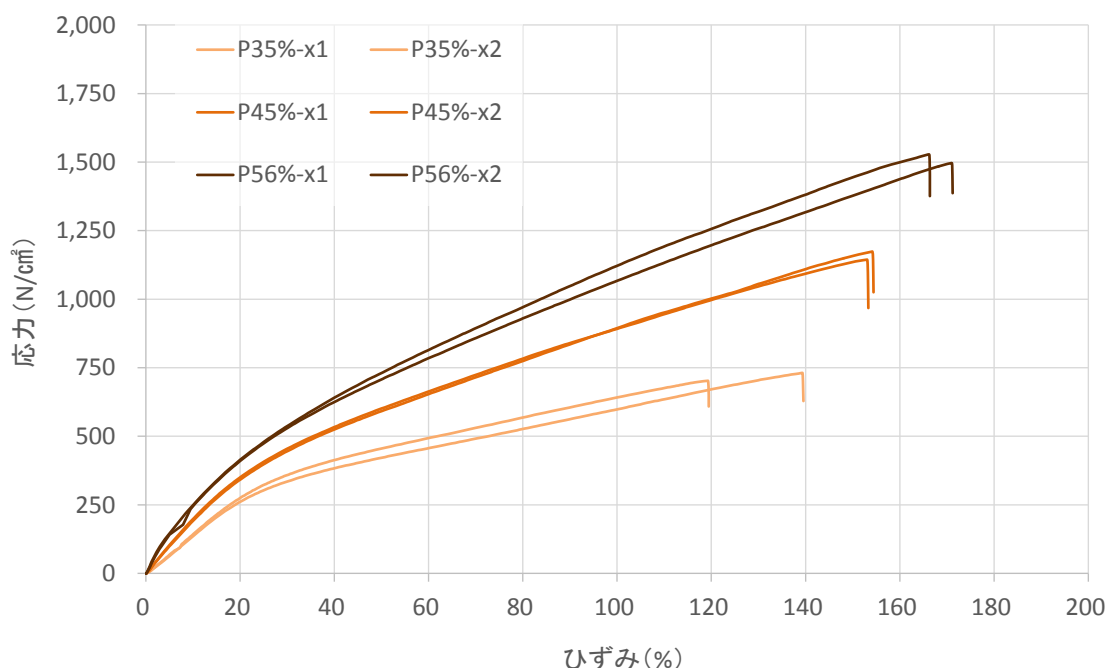


図 3-3-9 塩ビ樹脂の配合率と応力ひずみ曲線の関係

図 3-3-10 にヴァージンシートにおける塩ビ樹脂の重合度と応力ひずみ曲線の関係を示す。図より、ヴァージンシートにおいて、使用される塩ビ樹脂の重合度により応力ひずみ曲線は若干のばらつきがみられたが、明確な傾向はみられなかった。一般に、プラスチック材料において、分子量が大きいほど粘性が高く、引張強さ等の材料強度も高くなるとされており、塩ビ樹脂もこれに属する。つまり、重合度が高くなるほど、分子量の増大および分子鎖の増長が生じ、結果として分子鎖同士の絡み合いが増すことで、引張強さも高くなる。ただし、分子間で結びついている力は、分子間の距離によっても変化し、距離が長くなるほど力も弱くなることから、一概に重合度と引張性能は比例関係にあるとはいえない<sup>3-4)</sup>。このことから、本実験の範囲で重合度と応力ひずみ曲線に明確な傾向がみられなかった原因として、分子間の距離が規則的ではなかったことに加え、重合度 1000~1700 の範囲ではあまり差が現れなかったこと等が考えられる。ここで、図 3-3-11 に、塩ビ樹脂の重合度と加熱処理後 (80℃, 168 時間) の応力ひずみ曲線の関係を示す。塩ビ樹脂の重合度は、主に耐熱性との相関性があり、重合度の増大に伴い、耐熱性は向上したことから、再生塩ビ樹脂シートの耐久性は廃材原料に使用される塩ビ樹脂の重合度に起因すると考えられる。

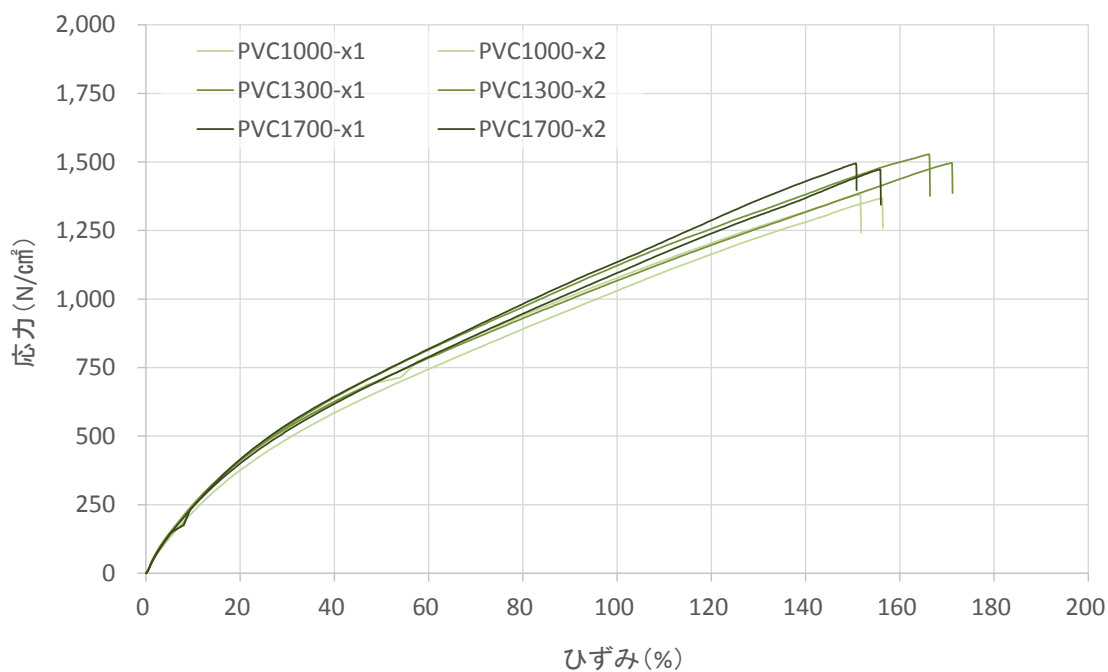


図 3-3-10 塩ビ樹脂の重合度と応力ひずみ曲線の関係

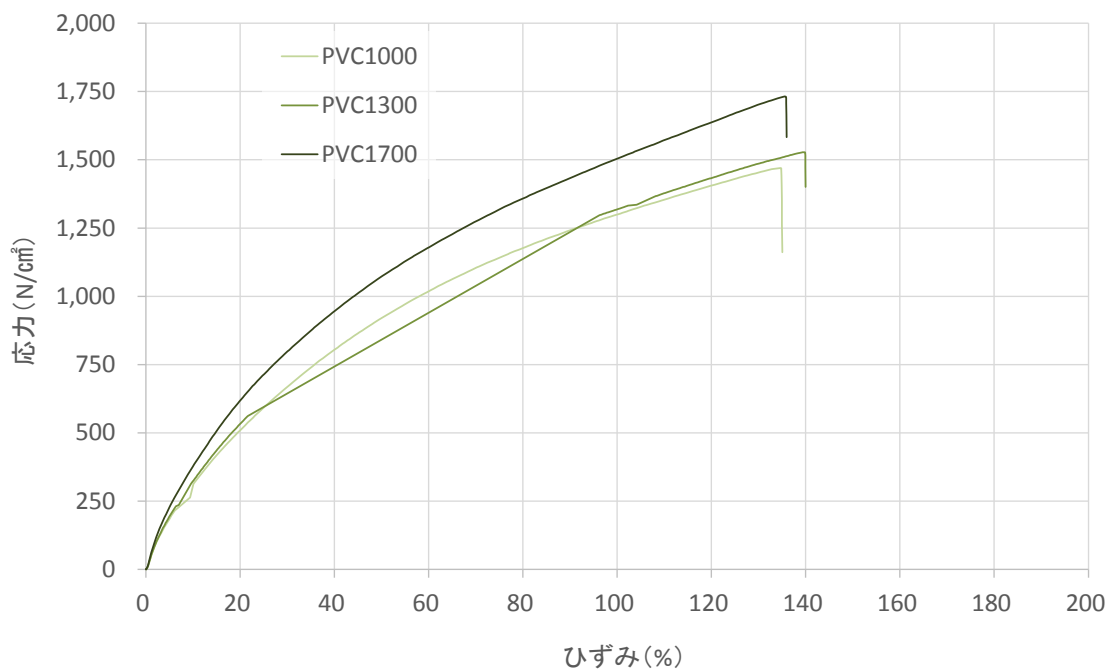


図 3-3-11 塩ビ樹脂の重合度と加熱処理後の応力ひずみ曲線の関係

図 3-3-12 にヴァージンシートにおける練り混ぜ方向と応力ひずみ曲線の関係を示す。ヴァージンシートにおいて、X 軸方向と Y 軸方向では応力ひずみ曲線の傾きは変わらないが、Y 軸方向の方が応力およびひずみともに高い値を示した。

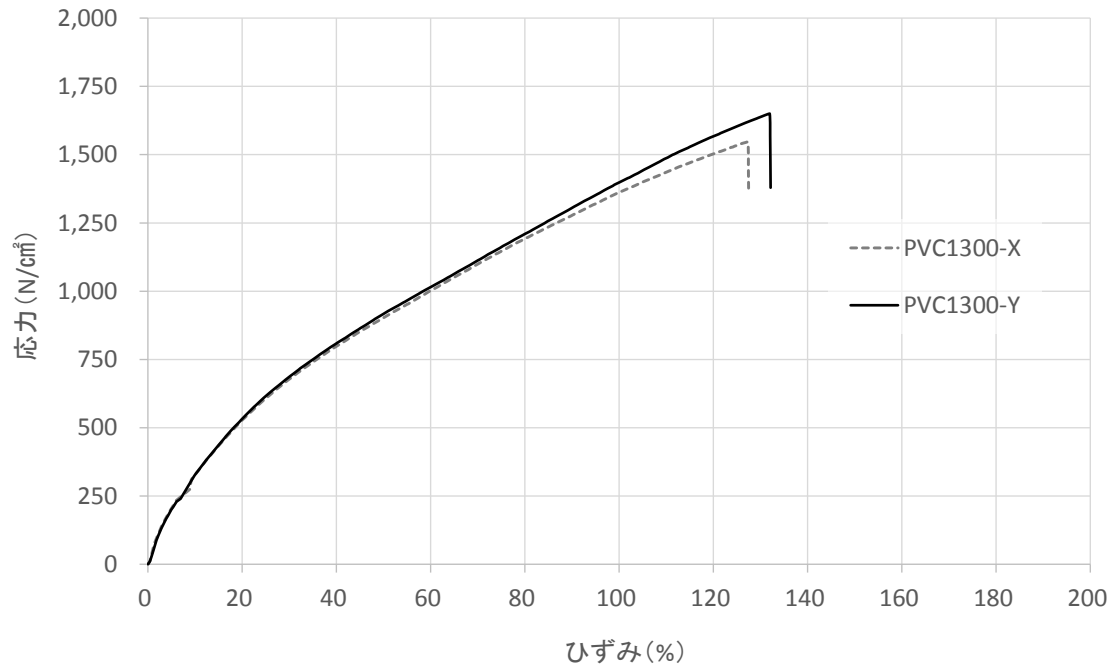


図 3-3-12 練り混ぜ方向と応力ひずみ曲線の関係

図 3-3-13 にヴァージンシートにおける不純物種類および混入率と応力ひずみ曲線の関係を示す。図より、不純物混入率の増大に伴い、応力ひずみ曲線の傾きは変化しないが、最大応力およびひずみともに低下傾向を示した。また、不純物種類により、その低下率は異なり、不純物の種類によって、塩ビ樹脂シートの品質への影響は異なる結果となった。

次に、図 3-3-14 に不純物混入時における練り混ぜ方向と応力ひずみ曲線の関係を示す。図より、練り混ぜ方向によって応力ひずみ曲線の傾きは変化しないが、Y 軸方向の方が最大応力およびひずみともに高い傾向を示した。また、不純物が無混入時 (図 3-3-12) の結果と比較すると、練り混ぜ方向による最大応力およびひずみの差は、不純物が混入した際の方が大きかった。これらのことより、不純物は練り混ぜ方向により、繊維 (不純物) 方向も一定となり、塩ビ樹脂シートに対する断面欠損率は Y 軸方向よりも、X 軸方向の方が大きくなるといえる。

以上のことより、再生塩ビ樹脂シートにおいて、廃材原料種類による品質影響は、特に廃材原料中の塩ビ樹脂および可塑剤の組成割合に依存し、若干ではあるが塩ビ樹脂の重合度によっても影響する。ただし、廃材原料種類によって、混入される不純物や安定剤の種類および量も異なり、これらが影響することも想定される。

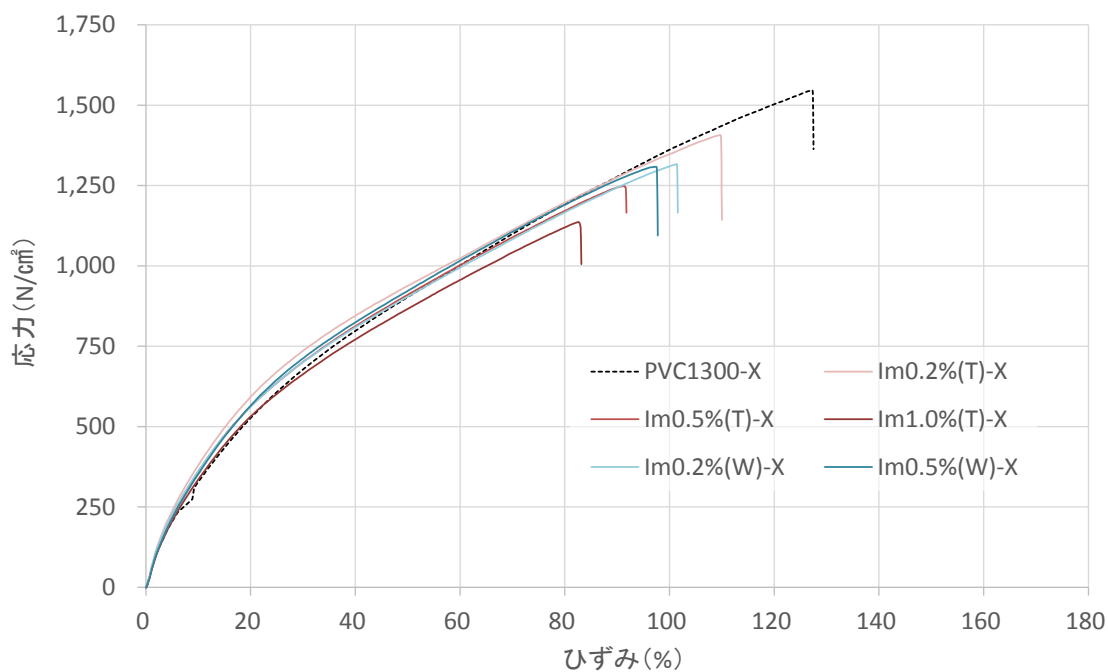


図 3-3-13 不純物種類および混入率と応力ひずみ曲線の関係

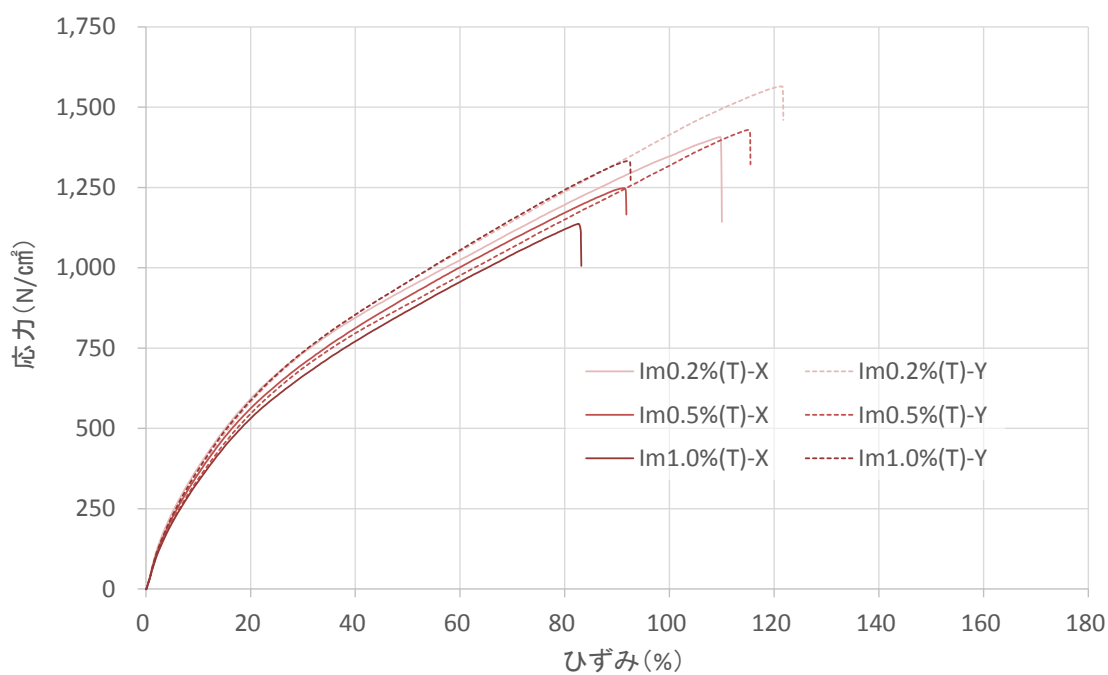


図 3-3-14 不純物混入時における練り混ぜ方向と応力ひずみ曲線の関係



### 3) 各変動因子による機械的性質の予測

以上の実験結果より、再生塩ビ樹脂シートの応力ひずみ曲線は、ヴァージンシートと比較して、以下の因子によって変動すると予想される。図 3-3-15（次頁に示す）に、再生塩ビ樹脂シートの応力ひずみ曲線における変動因子の概説を示す。

#### ① ひずみのみ低下した場合

再生塩ビ樹脂シートの機械的性質が、ヴァージンシートに比べ、応力は同等、かつ、ひずみのみ劣る場合、廃材原料中の可塑剤の混入率がヴァージン原料に比べ低いと予想される。

#### ② 応力のみ低下した場合

再生塩ビ樹脂シートの機械的性質が、ヴァージンシートに比べ、ひずみは同等、かつ、応力のみ劣る場合、廃材原料中の塩ビ樹脂の混入率がヴァージン原料に比べ低いと予想される。

#### ③ 応力ひずみ曲線の傾きは変わらず、最大応力およびひずみが低下した場合

再生塩ビ樹脂シートの応力ひずみ曲線が、ヴァージンシートに比べ、傾きは同等であり、かつ、最大応力およびひずみが劣る場合、叩解時に含まれる廃材原料中の不純物の影響、もしくは、塩ビ樹脂の重合度が低いと予想される。なお、塩ビ樹脂および可塑剤の混入率が低い場合（上記①②が同時に影響した場合）にも、この結果は起こりうる。

以上のことより、再生塩ビ樹脂シートにおける機械的性質は、廃材原料の塩ビ樹脂および可塑剤の組成割合に強く依存し、再生塩ビ粉体中の不純物の混入により品質が低下する。つまり、塩ビ建材は多種あり、同用途であっても各製品によって異なる品質を有することから、すべての塩ビ建材を対象とした調査および実験検討することは難しいが、その大まかなカテゴリーの中において（例えば、用途によって要求品質は設定されているため、まずは用途によるカテゴライズを行う、等）、再生塩ビ粉体の組成割合および不純物の影響を把握すれば、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質を予測することは可能であるといえる。

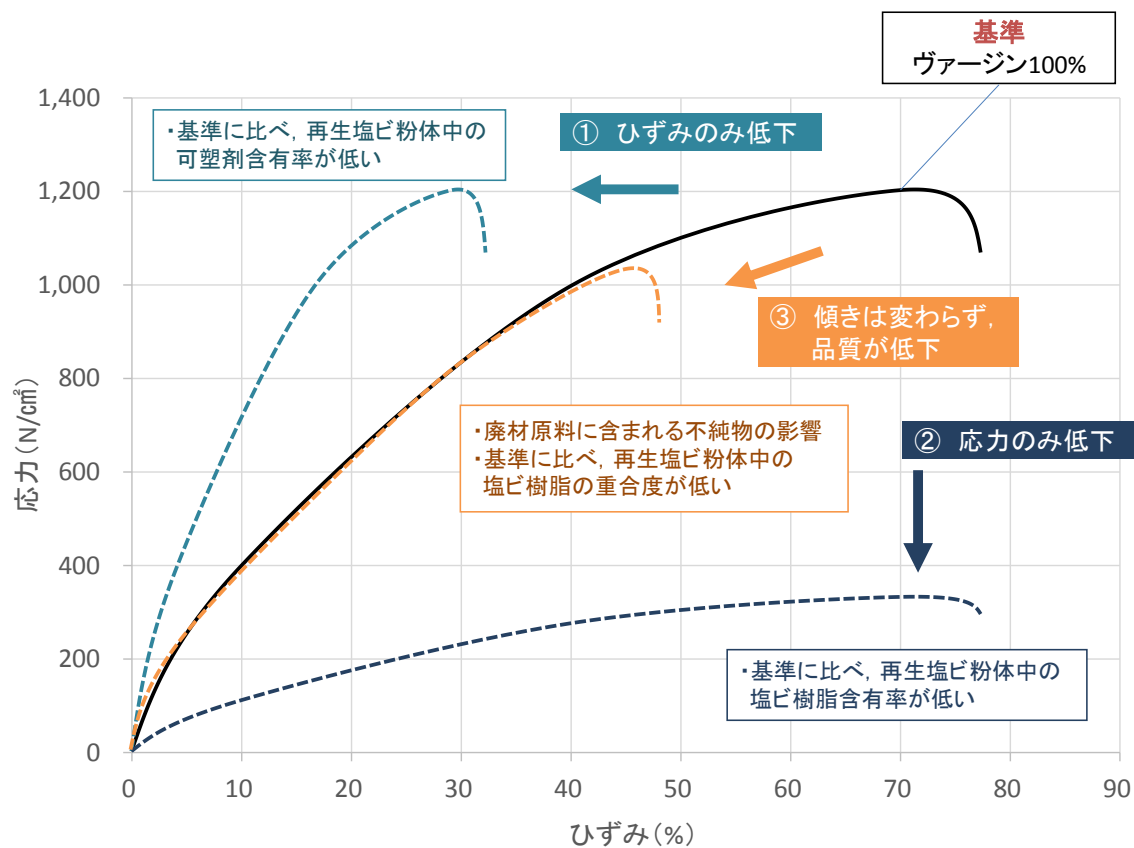


図 3-3-15 再生塩ビ樹脂シートの応力ひずみ曲線における変動因子 (例)

### 第3項 多種廃材配合再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

#### 1) 2種類廃材配合

図 3-3-16 にタイルカーペットと防水シートの再生塩ビ粉体を混合した場合の再生塩ビ樹脂シートの引張強さ, 図 3-3-17 に伸び率, 図 3-3-18 に引裂強さの試験結果を示す。図 3-3-19 に防水シートと壁紙を混合した場合の引張強さ, 図 3-3-20 に伸び率, 図 3-3-21 に引裂強さを示す。図 3-3-22 に壁紙とタイルカーペットを混合した場合の引張強さ, 図 3-3-23 に伸び率, 図 3-3-24 に引裂強さを示す。

引張強さ, 伸び率および引裂強さともに, 品質にばらつきはみられたが, 複数種類の再生塩ビ粉体を混合することによる極端な品質低下はみられず, 再生塩ビ樹脂シートの品質は, 混入された2種類の再生塩ビ原料の品質の中間に値することがわかった。また, 2種類の再生塩ビ粉体のうち一つを多く混入した場合, 再生塩ビ樹脂シートの品質は多く混入される再生塩ビ粉体の品質に近づいた。

表 3-3-3 に2種類廃材配合における JIS 規格値を満たした廃材混入率を示す。タイルカーペット単体で再生塩ビ樹脂シートを作製すると, リサイクル率は 20%であったが, タイルカーペットと防水シートの組み合わせ, およびタイルカーペットと壁紙の組み合わせではリサイクル率 40%まで JIS 規格値を満たした。このことより, 品質の低い廃材原料であっても, 廃材種類の組み合わせおよび配合率を調整することで, リサイクル率の向上が可能である。

表 3-3-3 JIS 規格値を満たす廃材混入率 (多種配合)

廃材の組み合わせ	JIS規格値を満たす廃材混入率(%以下)			
	引張強さ	伸び率	引裂強さ	総合
タイルカーペット 防水シート	40	80	40	40
防水シート 壁紙	40	60	40	40
壁紙 タイルカーペット	40	80	40	40

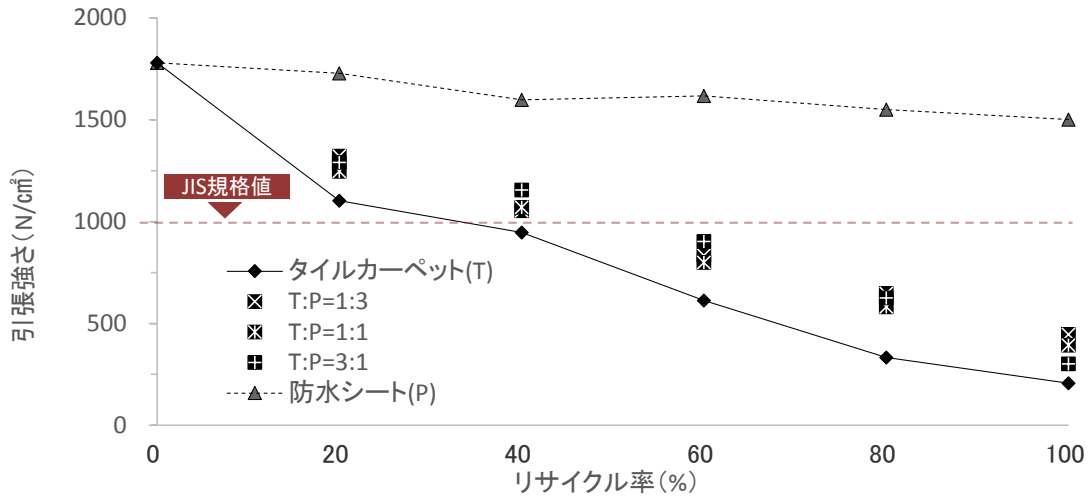


図 3-3-16 リサイクル率と引張強さの関係 (タイルカーペットと防水シート)

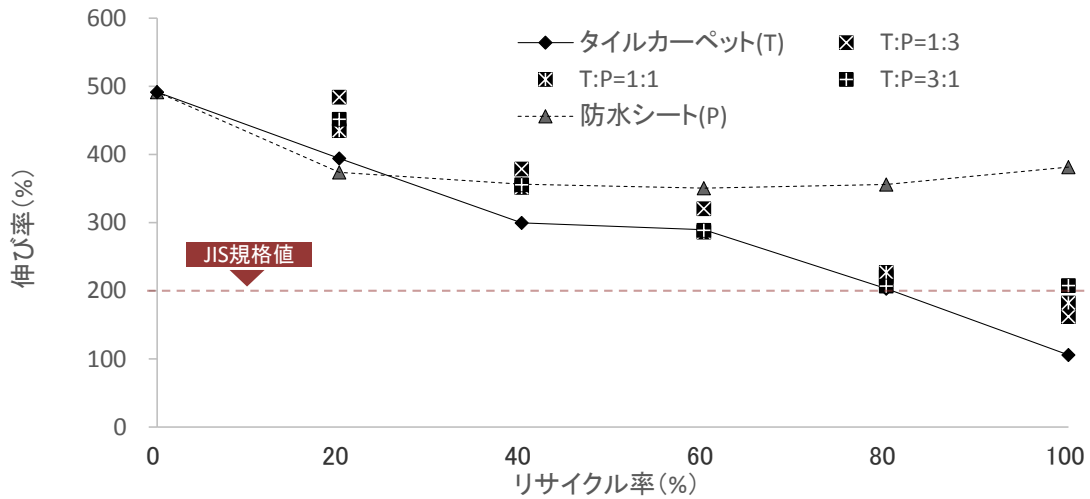


図 3-3-17 リサイクル率と伸び率の関係 (タイルカーペットと防水シート)

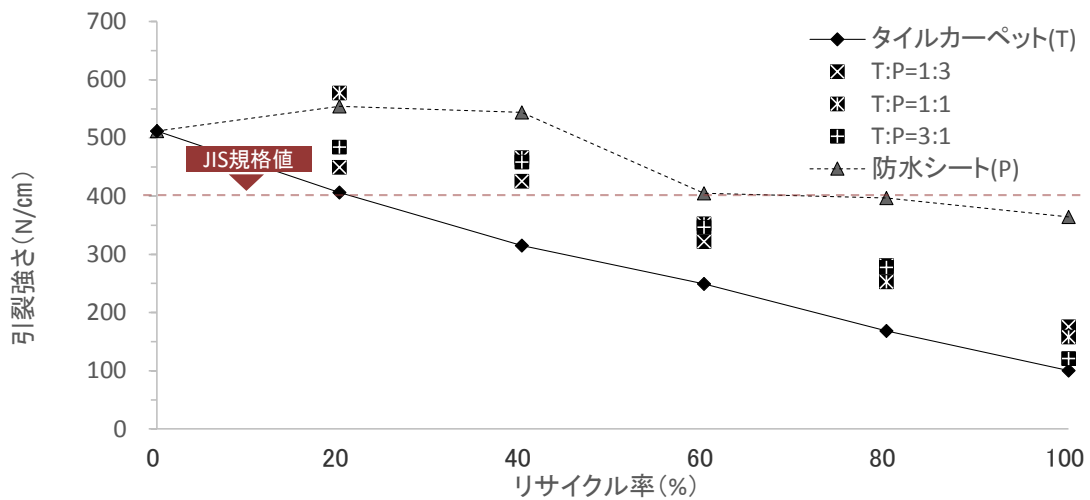


図 3-3-18 リサイクル率と引裂強さの関係 (タイルカーペットと防水シート)

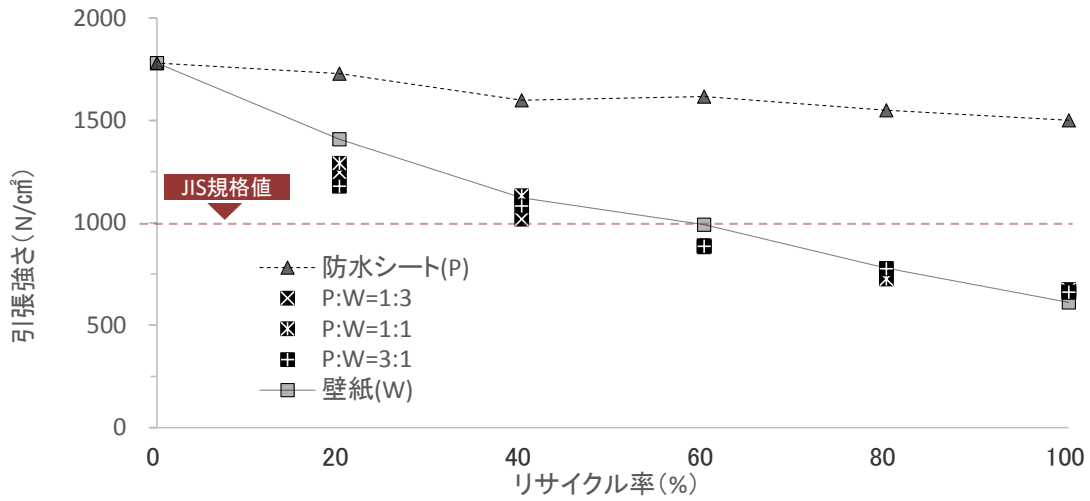


図 3-3-19 リサイクル率と引張強さの関係（防水シートと壁紙）

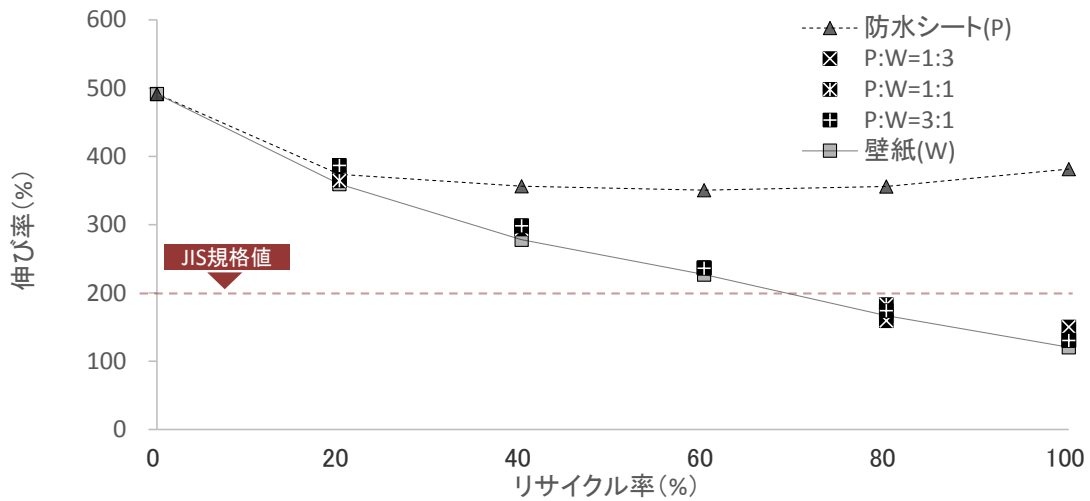


図 3-3-20 リサイクル率と伸び率の関係（防水シートと壁紙）

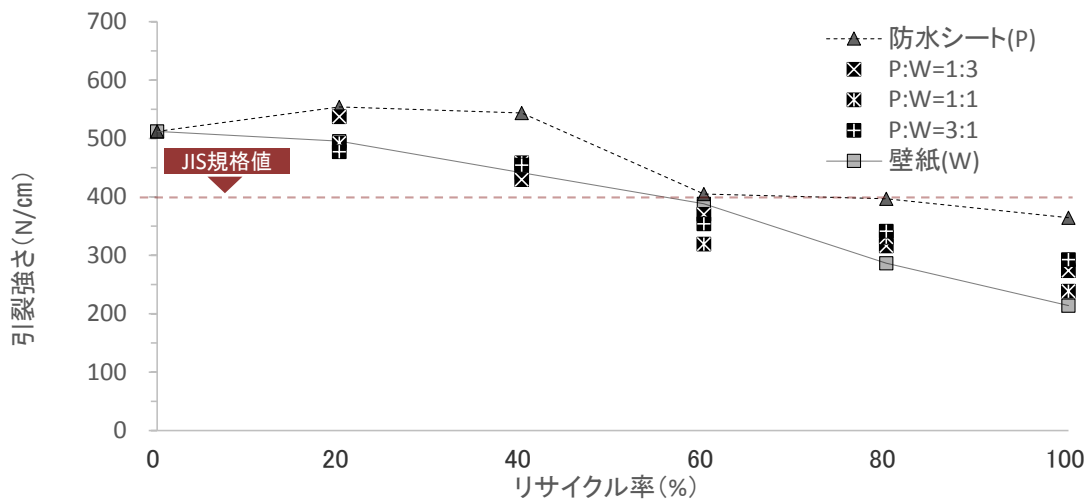


図 3-3-21 リサイクル率と引裂強さの関係（防水シートと壁紙）

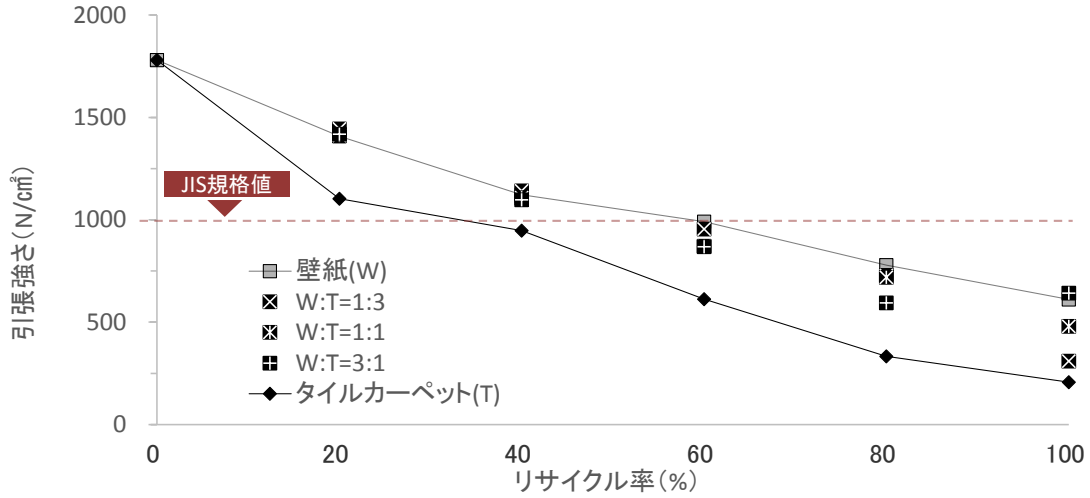


図 3-3-22 リサイクル率と引張強さの関係（壁紙とタイルカーペット）

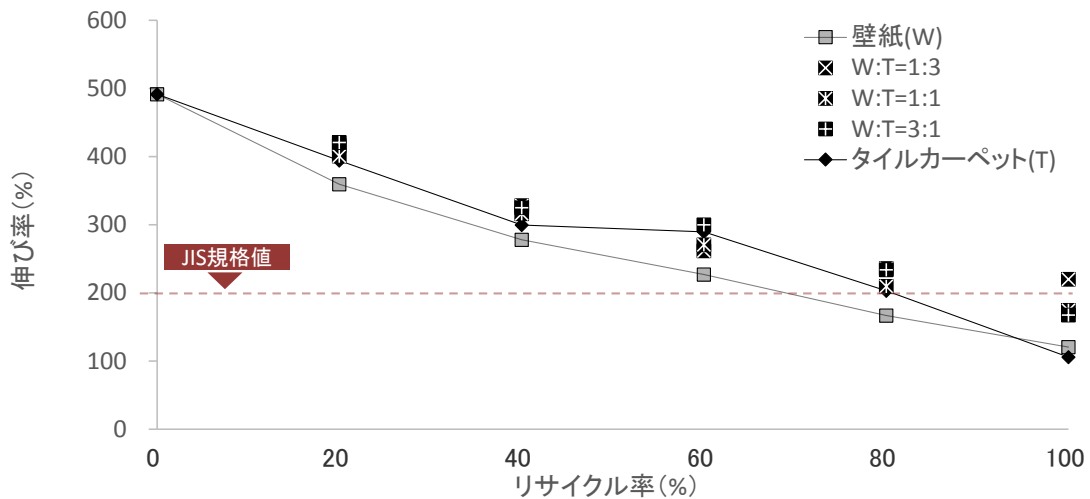


図 3-3-23 リサイクル率と伸び率の関係（壁紙とタイルカーペット）

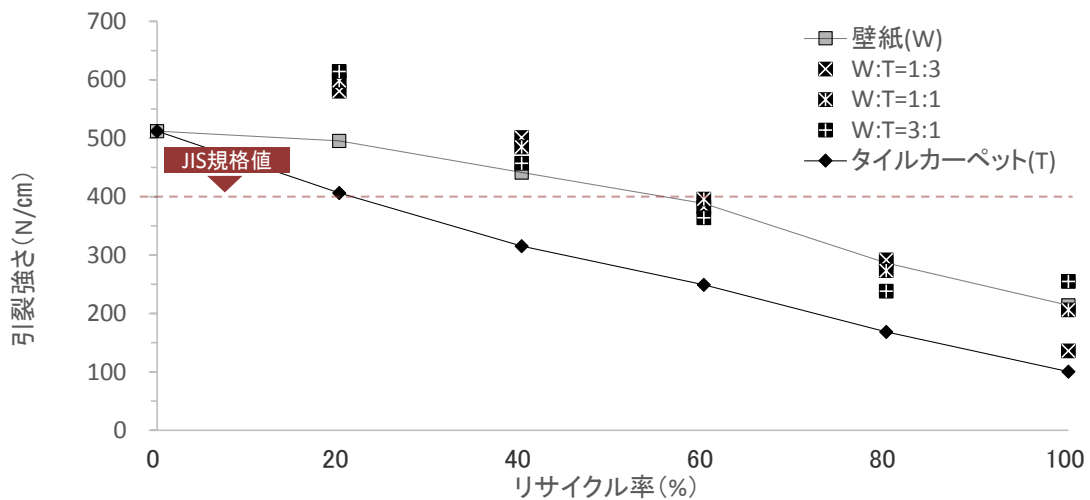


図 3-3-24 リサイクル率と引裂強さの関係（壁紙とタイルカーペット）

2) 3 種類廃材配合

図 3-3-25 にタイルカーペットと壁紙，および防水シートの再生塩ビ粉体を混合した場合の齊瀬塩ビ樹脂シートの引張強さ，図 3-3-26 に伸び率，図 3-3-27 に引裂強さの試験結果を示す。2 種廃材配合と同様に，引張強さ，伸び率および引裂強さともに，品質にばらつきはみられたが，複数種類の再生塩ビ粉体を混合することによる極端な品質低下はみられず，再生塩ビ樹脂シートの品質は，混入された 3 種類の再生塩ビ原料の品質の平均した値に収束することがわかった。

これらのことから，本リサイクル手法を用いることにより，軟質塩ビ建材に限れば，複数種類を組み合わせたリサイクルを行っても，一定の品質を確保できることがわかった。さらに，複数の廃材種類を組み合わせることによって，多様な要求品質に応じることが可能である。また，マテリアルリサイクルを行ううえで，廃材の安定供給が行われないと，経済的に成立しない可能性がある。これに対し，軟質塩ビ建材に限れば，図 3-3-28 に示すように，複数利用により，単一の廃材原料が不足した場合でも，他の軟質塩ビ建材から補うことでマテリアルリサイクルが成立しやすくなるといえる。しかし，藤井らは，プラスチックのマテリアルリサイクルには，廃棄物利用に加え，エネルギー消費の観点も兼ね合わせて評価しなければ効率的な資源循環とはいえないとしており<sup>3-5)</sup>，本リサイクル手法における LCA の検討も必要である。

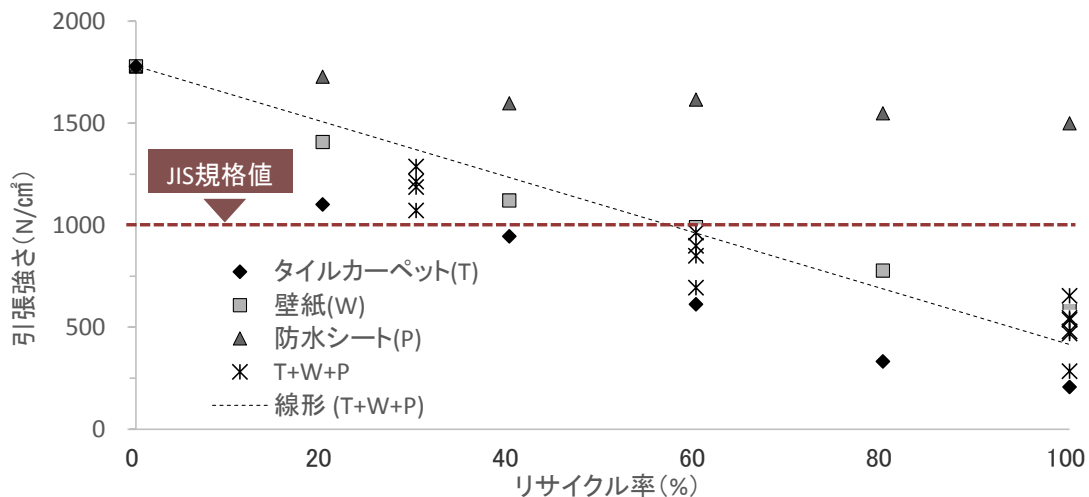


図 3-3-25 リサイクル率と引裂強さの関係  
(タイルカーペットと壁紙と防水シート)



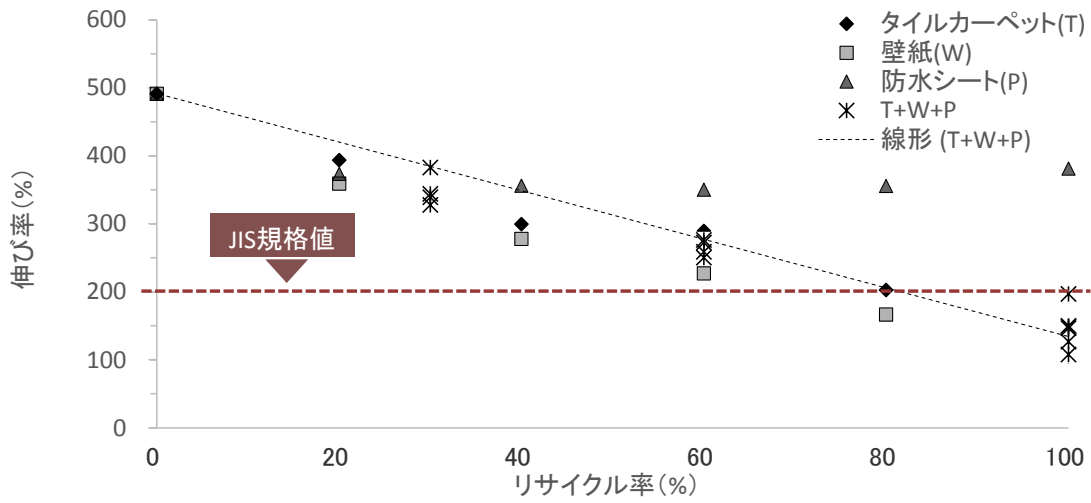


図 3-3-26 リサイクル率と引裂強さの関係  
(タイルカーペットと壁紙と防水シート)

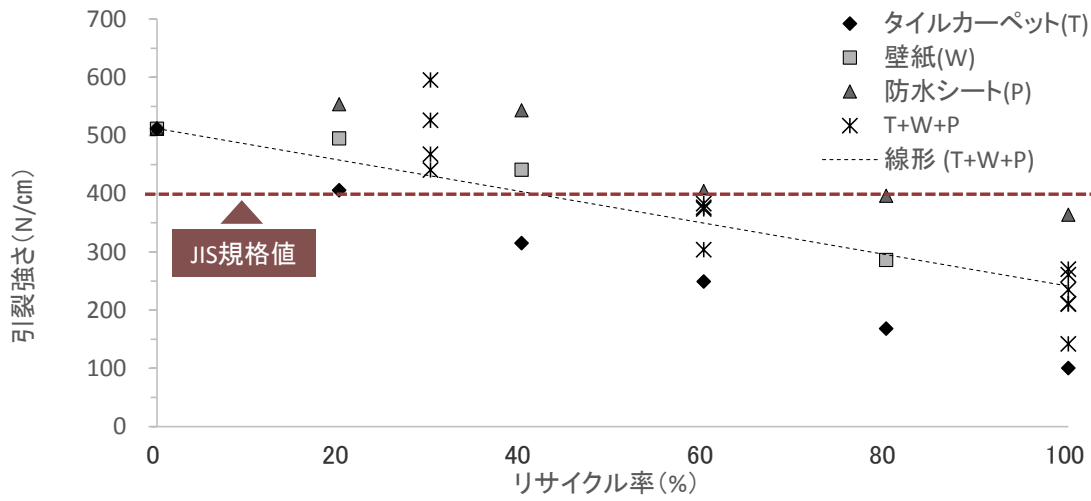
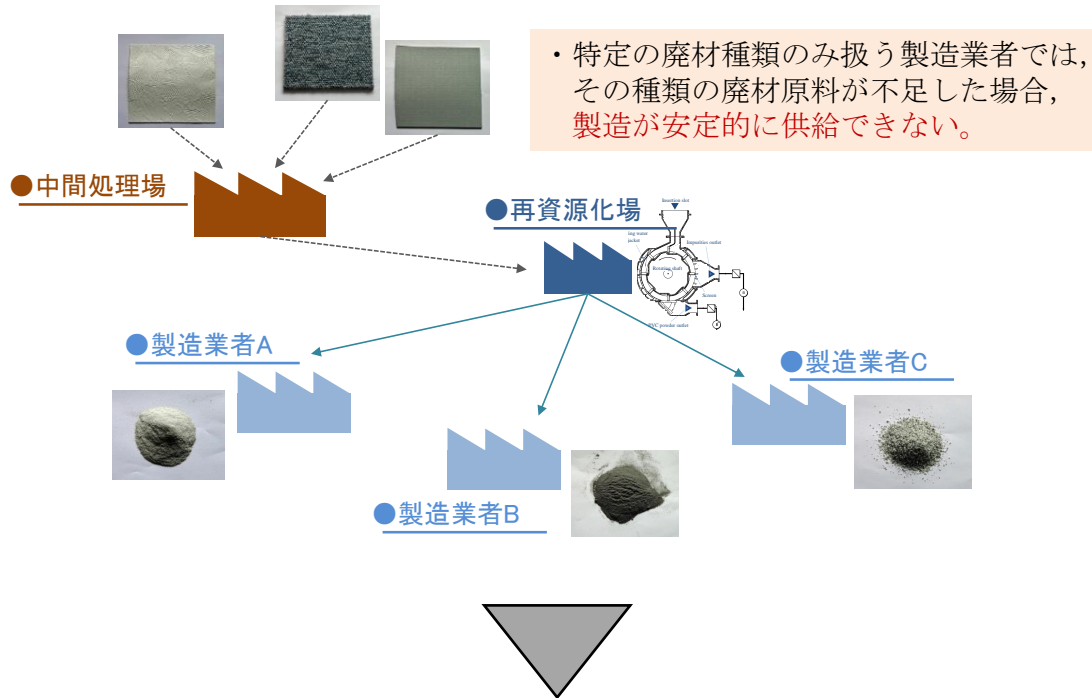


図 3-3-27 リサイクル率と引裂強さの関係  
(タイルカーペットと壁紙と防水シート)

【単一廃材配合によるリサイクルフロー】



【多種廃材配合によるリサイクルフロー】

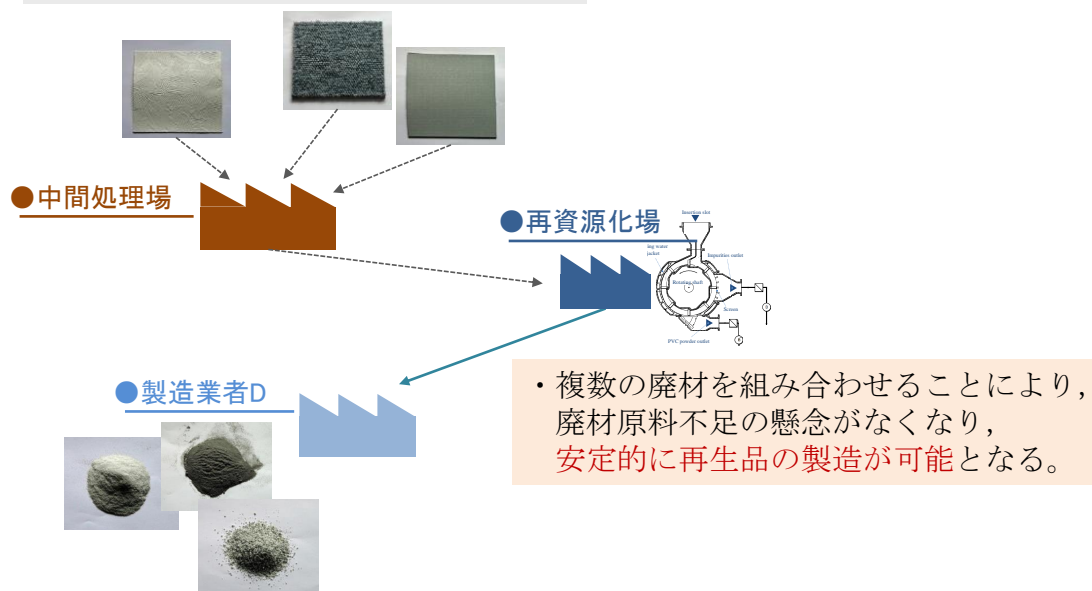


図 3-3-28 多種廃材配合におけるメリット

## 第4節 再生塩ビ樹脂シートの機械的性質予測

### 第1項 主組成原料割合による機械的性質の予測

著者らは既報<sup>3-6)</sup>において、軟質塩ビ建材に限定した廃材種類が単一の場合における再生塩ビ樹脂シートの品質予測式をすでに提案している。この品質予測式は、再生塩ビ樹脂シートの主組成物質である塩ビ樹脂、可塑剤、炭酸カルシウムの組成割合によって評価される(3-4-1)式と、廃材ごとの不純物等による影響を考慮した補正式(3-4-2)式で構成されている。なお、再生塩ビ樹脂シートの品質は、不純物等の影響によりヴァージン原料よりも低下し、その比率を「廃材係数」として設定することで品質予測を行う。図3-4-1に応力ひずみ曲線を用いた廃材係数の定義を示す。

$$Q_v = A + \alpha \times P + \beta \times D + \gamma \times C \quad \dots\dots\dots (3-4-1)式$$

ここで、 $Q_v$  : P,D および C の組成割合による品質予測値  
 $A$  : 品質特性定数,  $\alpha$  : PVC 定数,  $P$  : PVC 原料組成割合(%),  
 $\beta$  : 可塑剤定数,  $D$  : 可塑剤原料組成割合(%),  
 $\gamma$  : 炭酸カルシウム定数,  $C$  : 炭酸カルシウム原料組成割合(%)  
 各定数は既往研究<sup>11)</sup>で求められているが、表3-4-1の通りである。

$$Q_R = K_R \times Q_v \quad \dots\dots\dots (3-4-2)式$$

ここで、 $Q_R$  : 再生塩ビ樹脂シートの品質,  $K_R$  : 廃材係数

表3-4-1 (3-4-1)式に用いる定数一覧

定数	引張強さ	伸び率	引裂強さ
A	799.1	526.2	222.0
$\alpha$	35.9	-7.8	14.0
$\beta$	-27.7	13.3	-13.3
$\gamma$	-8.2	-5.4	-0.7

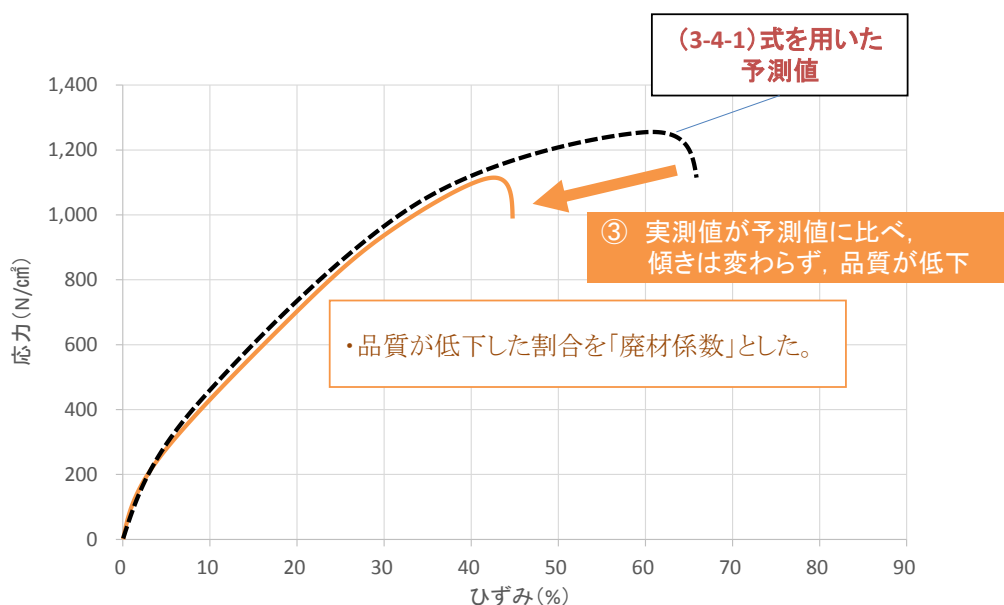


図 3-4-1 「廃材係数」の定義

再生塩ビ樹脂シートの品質予測手順は以下のとおりである。

- 1) 再生塩ビ樹脂シートに混入されるヴァージン原料および再生塩ビ粉体の配合割合により、各種塩ビ粉体中の PVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合（第3章-第2節-第1項の表 3-2-1 より）を加重平均し、再生塩ビ樹脂シート全体中の PVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合を算出する。
- 2) 算出した全体中の組成割合を(3-4-1)式に代入し、PVC,可塑剤及び炭酸カルシウムの組成割合によって推定される再生塩ビ樹脂シートの機械的性質の予測値( $Q_V$ )を算出する。
- 3) 廃材混入率を 20,40,60,80 及び 100%の時の実測値  $Q_R$  と、それぞれの PVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合より推定される品質予測値  $Q_V$  との比較値を廃材係数( $K_R$ )とする。

また、廃材係数( $K_R$ )の設定方法は、廃材混入率を 20,40,60,80 および 100%とした時の実験実測値( $Q_R$ )と、それぞれの水準における PVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合より推定される品質予測値( $Q_V$ )との比較値より設定する。なお、廃材係数は、廃材に使用される PVC の重合度や不純物の種類および混入率によって変動すると考えられる。

ここで、図 3-4-2 に引張強さ、図 3-4-3 に伸び率、図 3-4-4 に引裂強さにおける(3-4-1)式および(3-4-2)式を用いた予測値と実測値の関係を示す。これらの図より、精度よく品質を予測できるが、廃材混入率が高い範囲（つまり、品質が低い範囲）では、若干のばらつきがみられた。

表 3-5-2 に各年度の実験より算出した廃材係数を示す。過去（2010 年度）に製造した再生塩ビ粉体の廃材係数に比べ、2015 年度に製造した再生塩ビ粉体の方が全体的に高い値となった。これは、2015 年度に用いた分離装置（叩解法）は実機であり、既報<sup>3-5)</sup>の試作機

の段階では、叩解後ふるい分けのみで不純物を除去したが、実機ではバグフィルターを3段階設置したことにより、不純物の除去性能が向上したためと考えられる。また、特に壁紙における廃材係数が大きく向上した理由として、ナイロンやガラス繊維等が混入するタイルカーペットや防水シートに比べ、強度の低いパルプが混入する壁紙の方が、不純物による品質低下の影響が大きいと推察される。今回算出した廃材係数は、特定の製品を用いて算出したサンプル値であり、同一区分の建材での若干の組成割合の差やロットごとのばらつきは必ず生じてしまい、今回の比較結果にも少なからず影響していると考えられる。実用上は、同一区分の建材種類やロットの違いに伴う廃材係数のばらつきは、継続の実験によりデータを蓄積し、安全側の値として設定することとなる。

表 3-4-2 各年度の実験より算出した廃材係数

廃材種類	引張強さ		伸び率		引裂強さ	
	2010年	2015年	2010年	2015年	2010年	2015年
タイルカーペット	0.85	0.79	0.83	0.88	0.82	0.80
防水シート	0.78	0.98	0.78	0.90	0.66	0.87
長尺シート	0.81	0.83	0.86	0.99	0.85	0.81
壁紙	0.58	0.73	0.53	0.76	0.61	0.77

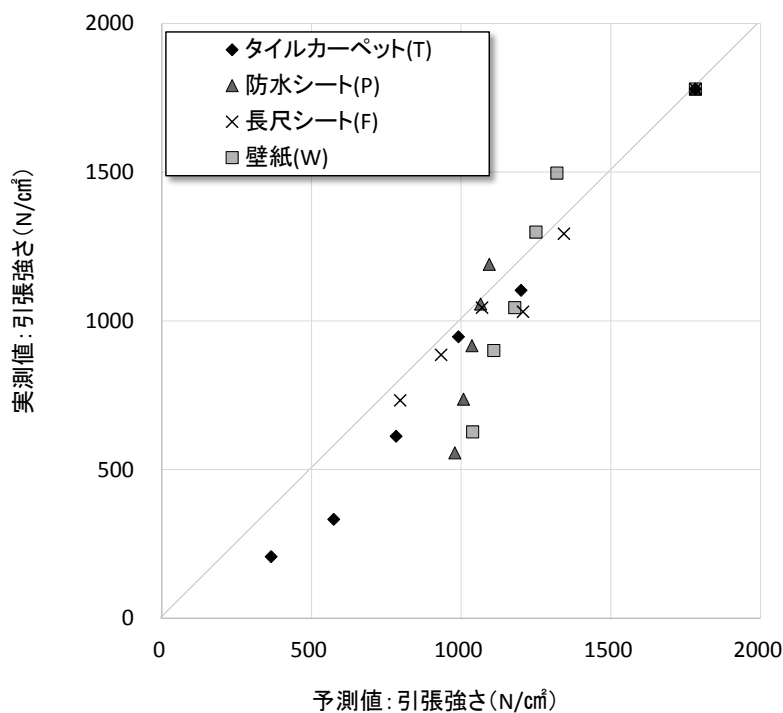


図 3-4-2 予測値と実測値の関係  
(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

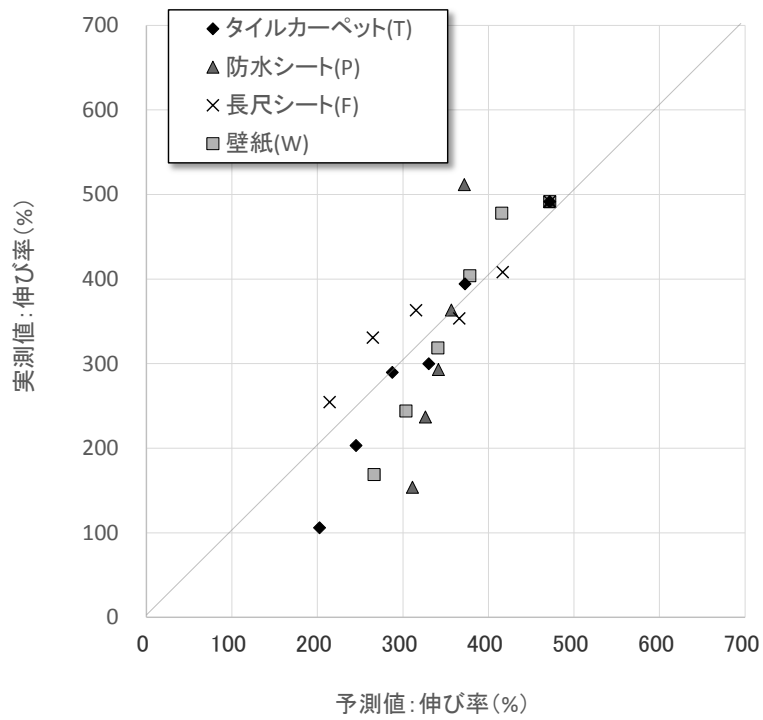


図 3-4-3 予測値と実測値の関係  
(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

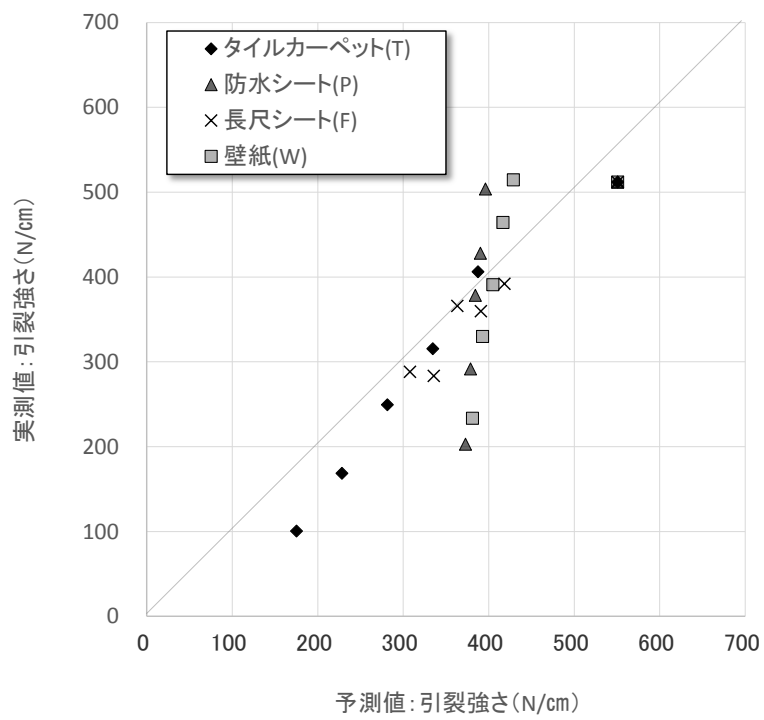


図 3-4-4 予測値と実測値の関係  
(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

第2項 多種廃材配合における機械的性質予測

単一廃材配合再生塩ビ樹脂シートにおける品質予測の結果を、多種廃材配合に応用するため、次の手順によって多種廃材配合の場合の品質予測を試みた。図3-4-5に品質予測手順の一例を示す。

- 1) 再生塩ビ樹脂シートに混入される各種塩ビ粉体の配合割合によって、各種塩ビ粉体中のPVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合(表3-2-1)を加重平均し、再生塩ビ樹脂シート全体中のPVC・可塑剤・炭酸カルシウムの組成割合を算出する。
- 2) 算出した全体中の組成割合を(3-4-1)式に代入し、PVC,可塑剤及び炭酸カルシウムの組成割合によって推定される再生塩ビ樹脂シートの機械的性質の予測値(Q<sub>v</sub>)を算出する。
- 3) ここで、(3-4-2)式中の廃材係数は、多種類の廃材が混入する場合、その混入率によって変動することから、廃材係数を加重平均により推定する(3-4-3)式を設定した。
- 4) (3-4-1)式より算出したQ<sub>v</sub>と(3-4-3)式より算出したK<sub>R</sub>を、(3-4-2)式に代入し、多種廃材配合再生塩ビ樹脂シートの品質予測値を算出する。

$$K_R = \sum_{k=1}^n (X_k \times R_k) \quad \dots\dots\dots (3-4-3)式$$

ここで、K<sub>R</sub>：多種廃材配合係数、

X<sub>k</sub>：廃材kの混入率(%)、R<sub>k</sub>：廃材kの廃材係数

手順	Ex) T:W=1:3(40)の引張強さ予測値(Q <sub>R</sub> )を算出する。 なお、Tはタイルカーペット、Wは壁紙、Vはヴァージンである。
1)	T:W=1:3(40)の配合割合は、 Tを10%、Wを30%、Vを60%を配合し、計100%となる。
2)	T:W=1:3(40)における各塩ビ粉体の組成割合は、 10% × T【PVC(17.9)：可塑剤(15.5)：炭酸カルシウム(66.7)】 30% × W【PVC(39.9)：可塑剤(20.9)：炭酸カルシウム(39.2)】 60% × V【PVC(55.6)：可塑剤(33.3)：炭酸カルシウム(11.1)】 よって、T:W=1:3(40)の組成割合は、 【PVC(47.1)：可塑剤(27.8)：炭酸カルシウム(25.1)】となる。
3)	(1)式にT:W=1:3(40)の組成割合を代入する。 Q <sub>v</sub> = 799.1+(35.9×47.1)+(-27.7×27.8)+(-8.2×25.1) = <u>1514.1</u>
4)	(3)式にT:W=1:3(40)の配合割合および廃材係数を代入する。 K <sub>R</sub> = (10%×T廃材係数)+(30%×W廃材係数)+(60%×V係数) = (0.1×0.84)+(0.3×0.78)+(0.6×1.00) = <u>0.92</u>
5)	(2)式に手順3) 4)より求めたQ <sub>v</sub> およびK <sub>R</sub> を代入し、T:W=1:3(40)の引張強さ予測値(Q <sub>R</sub> )を算出すると、 Q <sub>R</sub> = 0.92×1514.1 = <u>1281.5</u> となる。

図3-4-5 多種廃材配合における品質予測手順(例)

(3-4-3)式を用いた多種廃材配合再生塩ビ樹脂シートにおける品質予測値と実測値の関係について、引張強さを図3-4-6に、伸び率を図3-4-7に、引裂強さを図3-4-8に示す。これらの図より、廃材係数を再生塩ビ粉体の混入率に応じて設定することにより、複数種類の廃材が混入した再生塩ビ樹脂シートであっても、品質を予測することは可能であり、その精度は極めて高いことを示した。

また、(3-4-3)式を用いた単一廃材配合再生塩ビ樹脂シートにおける品質予測値と実測値の関係について、引張強さを図3-4-9に、伸び率を図3-4-10に、引裂強さを図3-4-11に示す。(3-4-3)式を用いることで、図3-4-2~3-4-4でみられた廃材混入率の高い範囲での品質のばらつきを補正することができ、品質予測精度がより向上した。

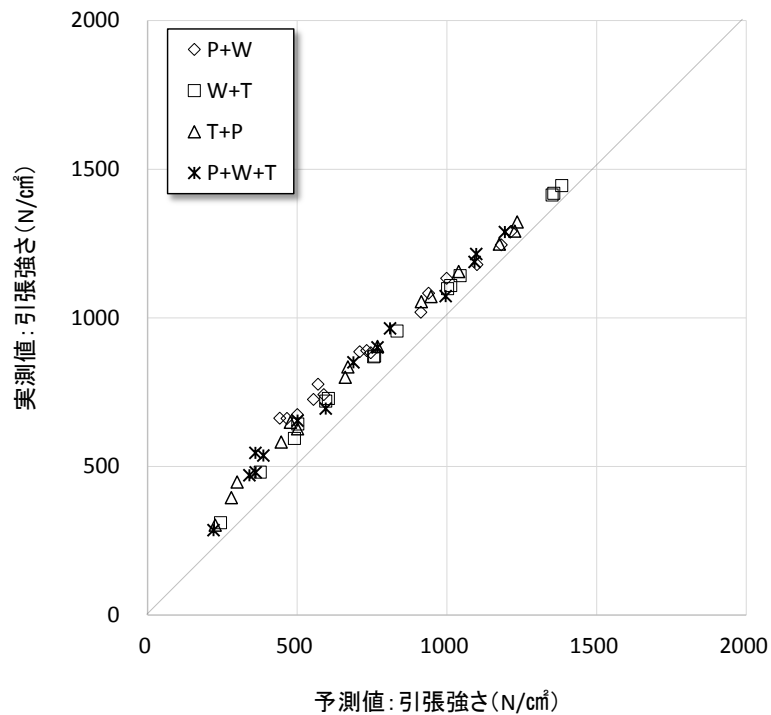


図3-4-6 品質予測値と実測値の関係  
(引張強さ: シリーズ2)



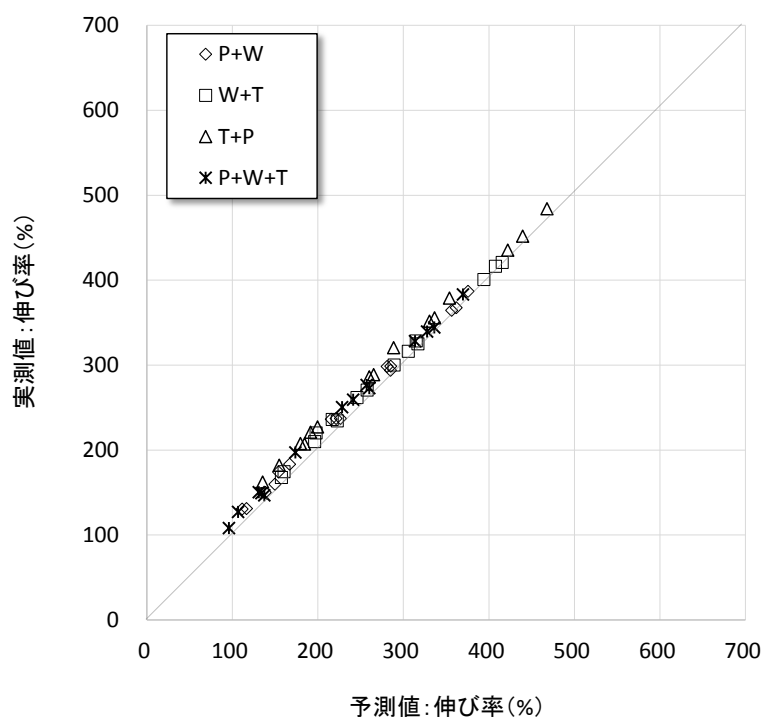


図 3-4-7 品質予測値と実測値の関係  
(伸び率 : シリーズ 2)

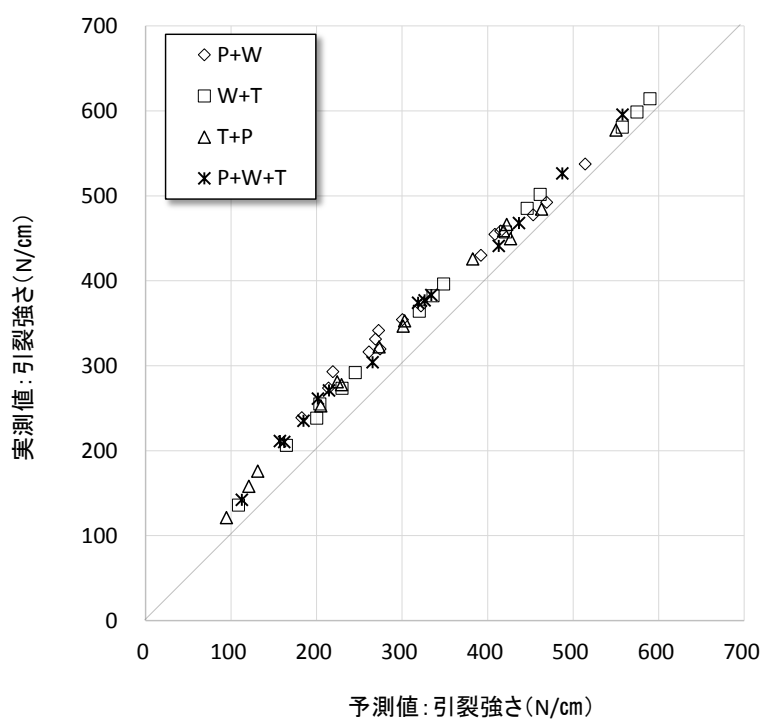


図 3-4-8 品質予測値と実測値の関係  
(引裂強さ : シリーズ 2)

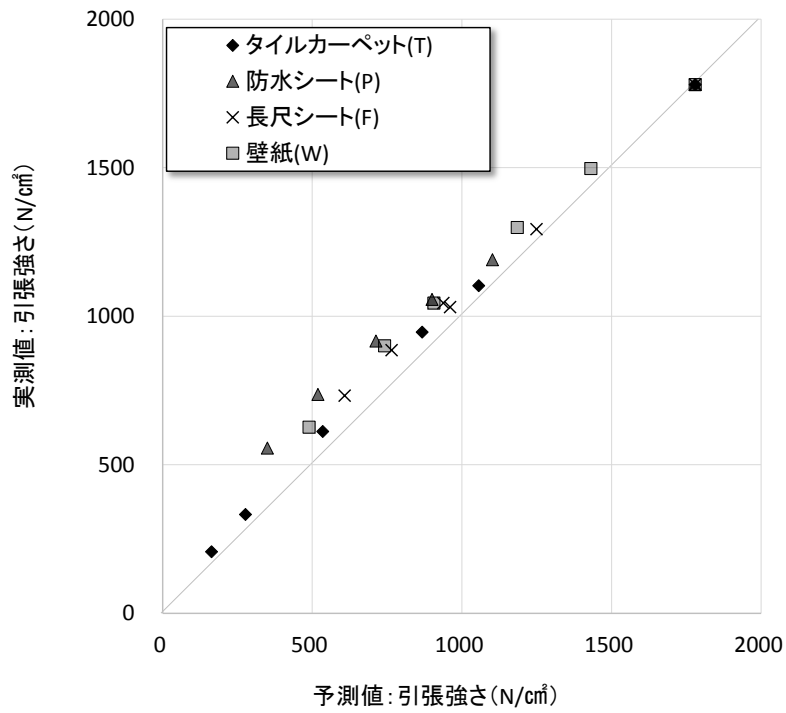


図 3-4-9 予測値と実測値の関係  
(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

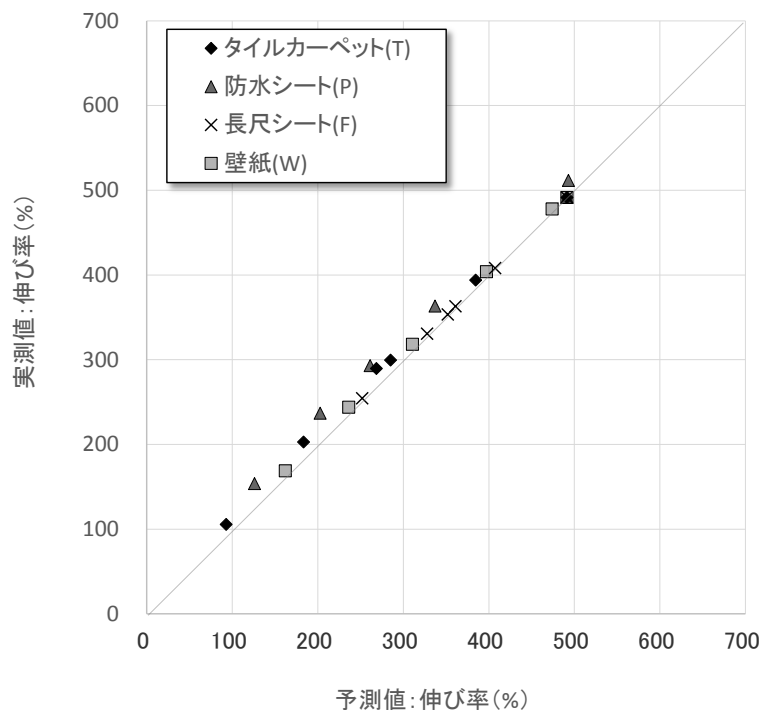


図 3-4-10 予測値と実測値の関係  
(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

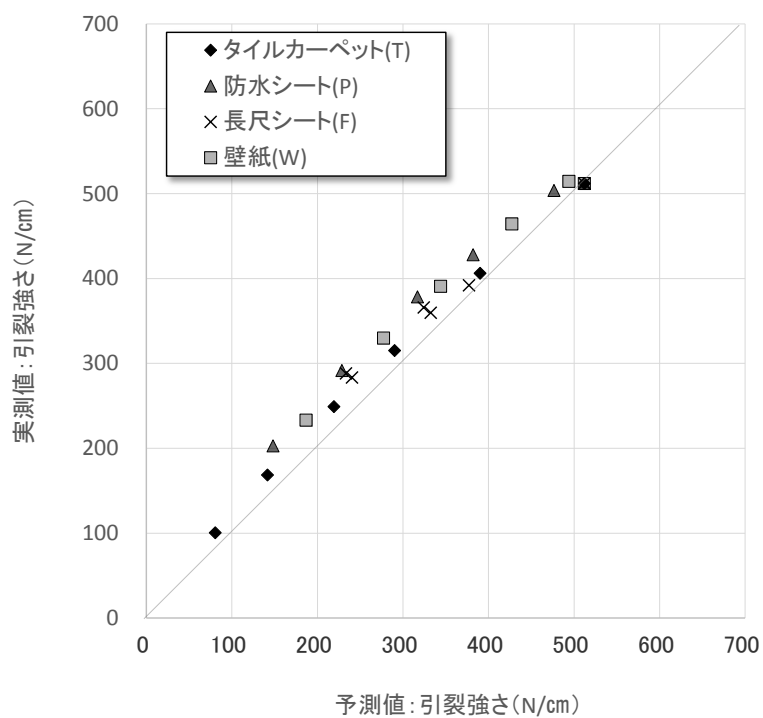


図 3-4-11 予測値と実測値の関係

(引張強さ : (3-4-1), (3-4-2) 式使用)

## 第5節 まとめ

本研究をまとめると、大要して以下のことがいえる。

- 1) 叩解法により廃塩ビ建材より再生塩ビ粉体を抽出することで、廃塩ビ建材はマテリアルリサイクルが可能である。
- 2) 新築現場から排出された軟質塩ビ建材であれば、複数種類の廃材を組み合わせたリサイクルを行っても、一定の品質を確保した建材の製造が可能である。
- 3) 再生塩ビ樹脂シートの品質は、用いる廃材原料の品質および混入割合に依存し、様々な種類の廃材を組み合わせることにより、多様な要求品質に応じることが可能である。
- 4) 再生塩ビ樹脂シートにおける機械的性質は、廃材原料中の塩ビ樹脂配合率によって応力のみ変動し、可塑剤の配合率によってひずみのみ変動する。さらに、廃材原料中の不純物の混入により、応力ひずみ曲線の傾きは変わらないが、最大応力およびひずみともに低下する。
- 5) 多種類の廃材を用いた再生塩ビ樹脂シートの場合でも、各種廃材の混入率を考慮した廃材係数の設定により、精度よく品質の予測が可能である。ただし、廃材係数はロットの違いや経年劣化等によりばらつきが生じると予想され、今後の検討課題である。

## 第6節 参考文献

- 1-35) 塩ビ工業・環境協会：資料室，統計集塩化ビニル樹脂，  
[http://www.vec.gr.jp/lib/lib2\\_1.html](http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_1.html)，2015.11.17 参照
- 1-36) 小山明男，水本直紀，西下孝夫，菊池雅史：叩解法を用いた塩化ビニル系建設廃棄物の再資源化技術開発，日本建築学会技術報告集，14，28， pp.399-404，2008.10
- 1-37) 安田武夫：プラスチック材料の各動特性の試験法と評価結果（6），プラスチック，Vol.51，No.7，  
pp.104-111
- 1-38) 安楽照男：高分子技術レポート既刊，Vol.1，歯科材料モノマーの重合ーラジカル重合の基礎，2009.10
- 1-39) 藤井実，橋本征二，南斉規介，村上進亮ほか3人：マテリアルリサイクルの評価方法の整理と評価事例，Vol.4 No.1 2008.1
- 1-40) 小山明男，水本直紀，菊池雅史：再生塩ビ樹脂シートの機械的性質の推定に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.649，pp.505-510，2010.3

# 第4章

## 再生塩ビ樹脂シートの

## 耐久性評価



## 第1節 序

再生塩ビ樹脂シートの用途は、床材等の屋内材に限らず、防水シート等の屋外材としての利用も想定しており、用途によって使用環境が異なることから求められる耐久性も幅広い。そこで本章では、再生塩ビ樹脂シートの耐久性を把握するため、基礎的な耐久性評価を行うとともに、塩化ビニル樹脂そのものに対する劣化因子である熱、水、および紫外線に着目した耐久性評価についても検討する。また、再生塩ビ樹脂シートの実環境を想定すると、複数の劣化因子が同時に影響する（例えば、用途として防水シートを想定した場合、雨や雨水の堆積と太陽光やそれに伴う建材の熱の蓄積による水と熱の複合劣化、等）ことが予想される。よって、実環境を想定した複合耐久性試験を行い、かつ、塩ビ建材の使用期間が長期（防水シートでは使用期間15～20年）であることから、長期劣化挙動についても検討する。



## 第2節 実験概要

### 第1項 使用材料および試験体水準

#### 1) 使用材料

本章で使用する材料は、タイルカーペット、壁紙、防水シートを叩解法により再生塩ビ粉体として用いた。なお、廃材原料については発生起源の異なるものを使用した。

ヴァージン原料としては、ポリ塩化ビニル樹脂、可塑剤（および炭酸カルシウムを重量比5:3:1の割合で配合し、使用した。使用したポリ塩化ビニルについては、T社の「PVC TH-1300」を使用し、可塑剤については、O社の「DIDP（フタル酸ジイソデシル）」を使用した。

#### 2) 試験体水準

再生塩ビ樹脂シートの配合設計は、本論文の第3章第2節第3項におけるシリーズ1と同様に、単一廃材配合について実験を行った。表4-2-1に本章における配合表を示す。

表4-2-1 再生塩ビ樹脂シートの配合表

	No.	水準名	R率 (%)	配合割合 (%)				備考
				V	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	
シリーズ1	1	V100	0	100				・シリーズ1では、塩ビ廃材種類が1種類のみ混入 <廃材の種類> R <sub>1</sub> = 防水シート(P), タイルカーペット(T), 壁紙(W)
	2	R <sub>1</sub> 20	20	80	20			
	3	R <sub>1</sub> 40	40	60	40			
	4	R <sub>1</sub> 60	60	40	60			
	5	R <sub>1</sub> 80	80	20	80			
	6	R <sub>1</sub> 100	100	0	100			

## 第2項 耐久性評価および試験方法

再生塩ビ樹脂シートの用途として、内装に使用する床材だけではなく、屋外に使用する防水シートについても想定している。そこで、再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価として、再生塩ビ樹脂シートより型抜きした試験片に対して、以下に示す各劣化処理試験を行った。表 4-2-2 に各耐久性試験における品質規格値を示す。

### 1) 加熱試験

JIS K 6257 の 4 (空気加熱老化試験) に準じて加熱処理を行う。試験片を  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$  に調節した加熱恒温器に 168 時間水平に置く。次いで、試験片を取り出し、標準状態に 4 時間以上静置した後、引張性能試験 (第 3 章と同様) を行った。

### 2) アルカリ処理試験

JIS A 6008 (合成高分子ルーフィング) に準じてアルカリ処理を行う。 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  の水酸化カルシウム (JIS K 8575 に規定する特級品) の飽和水溶液に試験片を 168 時間浸漬する。浸漬後の試験片は、十分に水洗いし、乾いた布でふいた後、標準状態に 24 時間つるして乾燥させる。乾燥後の試験片は、標準状態に 4 時間以上静置した後、引張性能試験を行った。

### 3) 耐候性試験

JIS A 1415 の 6.3 項に準じて促進暴露処理を行う。試験片を、指示温度  $63\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、スプレーサイクル 120 分中 18 分のウェザリング試験機に入れ、250 時間 (10 日間+10 時間) 置く。また、試験片に影響を与えない非粘着処理した長さ約 150mm、幅 70mm、厚さ約 1mm のアルミニウム合金製の支持板に、試験片の上下端をアルミテープで貼り付け固定した。試験片を取り付けた支持板を試料ホルダ固定し、促進暴露を行う。暴露後の試験片は標準状態に 4 時間以上静置した後、引張性能試験を行った。

表 4-2-2 均質シートの品質規格 (JIS A 6008:2002 年)

劣化処理	項目		均質シートの品質 %以上	伸び時の劣化性状
	試験時間	品質		
加熱処理	168時間	引張強さ比	80	いずれの試験片にも、 ひび割れがあってはならない。
		伸び率比	70	
アルカリ処理	168時間	引張強さ比	80	いずれの試験片にも、 ひび割れがあってはならない。
		伸び率比	90	
促進暴露処理	250時間	引張強さ比	80	いずれの試験片にも、 ひび割れがあってはならない。
		伸び率比	70	

### 第3節 再生塩ビ樹脂シートの基礎的な耐久性評価

#### 第1項 耐熱性

各水準における加熱処理後の再生塩ビ樹脂シートの引張強さ比について、X軸方向（短手方向）の試験結果を図4-3-1、Y軸方向（長手方向）の試験結果を図4-3-2に示す。また、加熱処理後の伸び率比について、X軸方向の試験結果を図4-3-3、Y軸方向の試験結果を図4-3-4に示す。

廃材原料種類を比較すると、加熱処理後における引張強さ比については、タイルカーペットおよび長尺シートの廃材混入率100%においてのみJIS規格値を下回ったが、廃材種類の違いによる明確な傾向はみられなかった。伸び率比については、タイルカーペットに大きな低下傾向がみられ、その他の廃材原料はすべてJIS規格値を満たした。また、本研究の範囲では、防水シートが最も耐熱性に優れた。これは、屋外で使用される防水シートは、屋内で使用されるタイルカーペットや長尺シートに比べ、耐久性が高く配合設計されていることに起因する。具体的には、他に比べ、防水シートに使用される塩ビ樹脂の重合度が高いことや添加剤の種類および混入率が高い等が推察される。

次に廃材混入率を比較すると、加熱処理後の引張強さ比および伸び率比は、廃材種類にもよるが、廃材原料よりもヴァージン原料を用いた方が低下する傾向を示した。これは、廃材原料には、製造時に熱安定剤や自動酸化防止剤等の安定剤が添加されており、廃材として排出された後でもその効果が残存していると考えられ、本研究で用いたヴァージン原料にはそれら安定剤が添加されていないことに起因していると考えられる。

また、耐熱性における再生塩ビ樹脂シートのX軸方向およびY軸方向の違いは、あまりないことを確認した。

これらのことより、再生塩ビ樹脂シートの耐熱性は、廃材原料種類、特に廃材原料に添加される安定剤に起因し、屋外用途で使用される廃材を用いると耐熱性は高くなることを明らかにした。

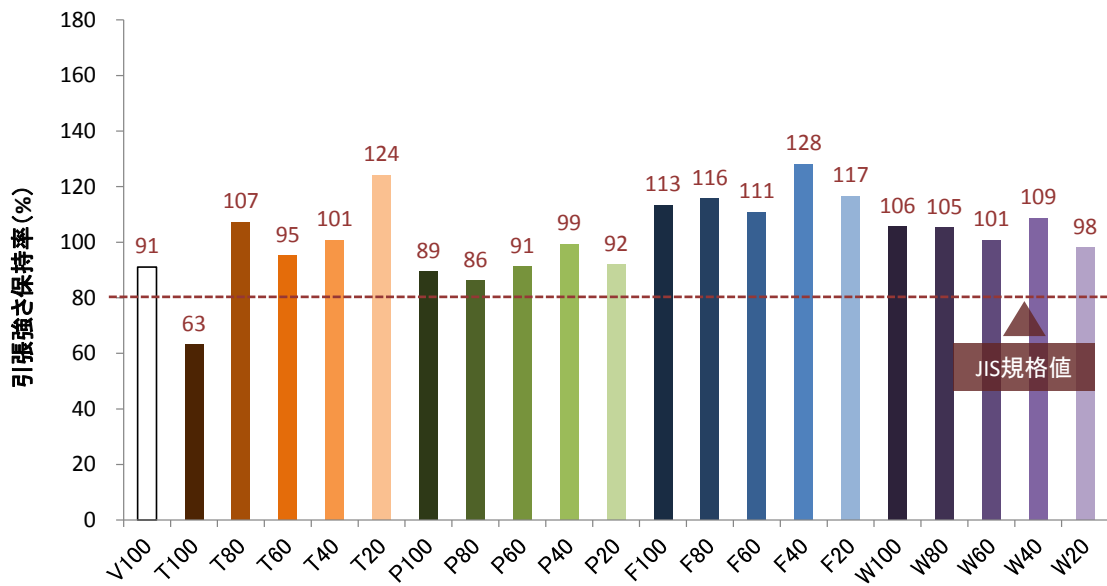


図 4-3-1 各水準における引張強さ比  
(加熱処理：X軸方向)

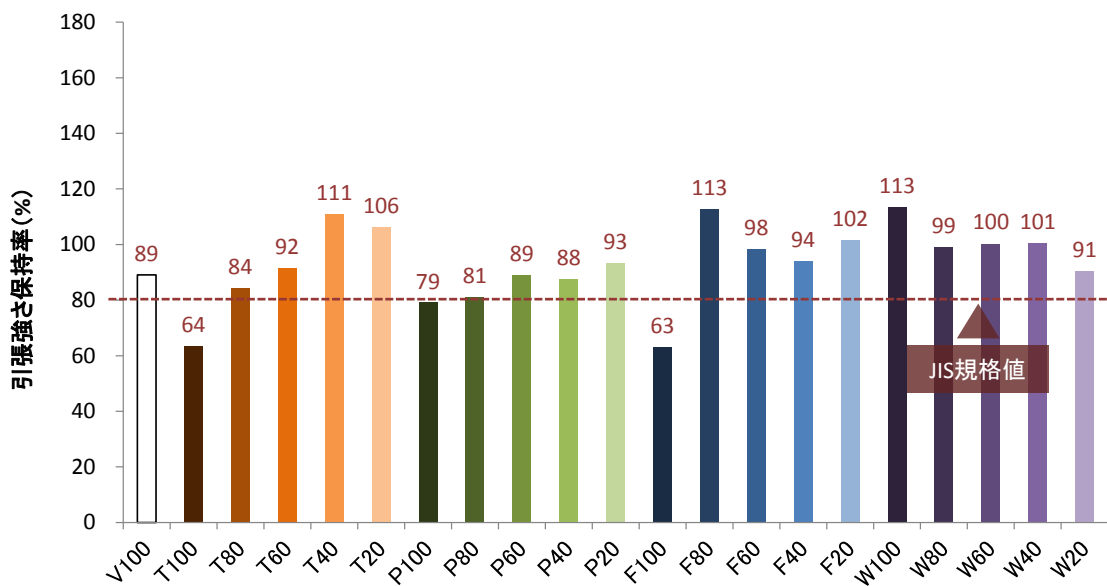


図 4-3-2 各水準における引張強さ比  
(加熱処理：Y軸方向)

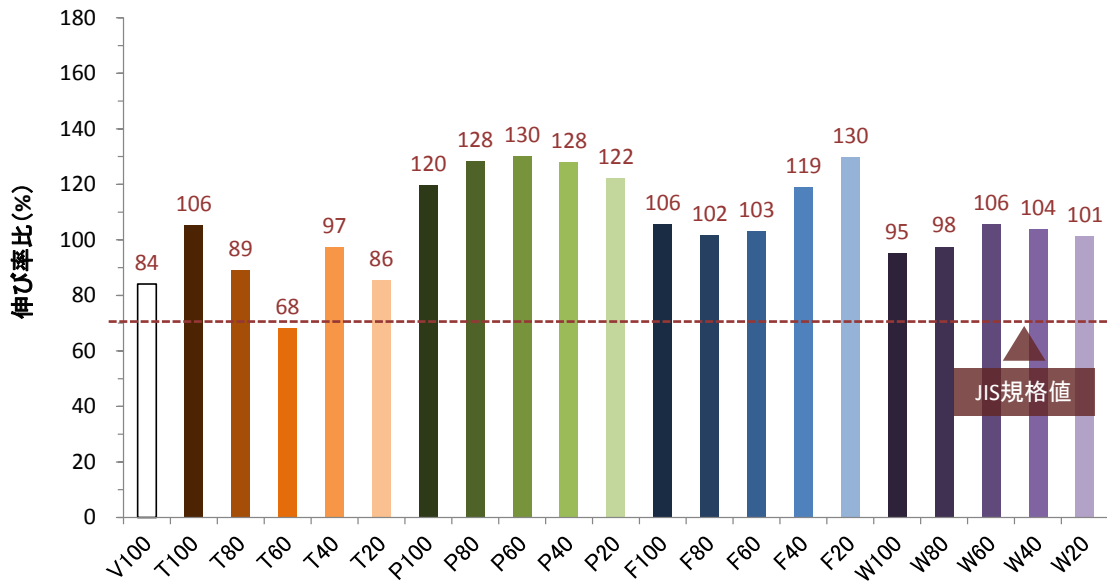


図 4-3-3 各水準における伸び率比  
(加熱処理：X 軸方向)

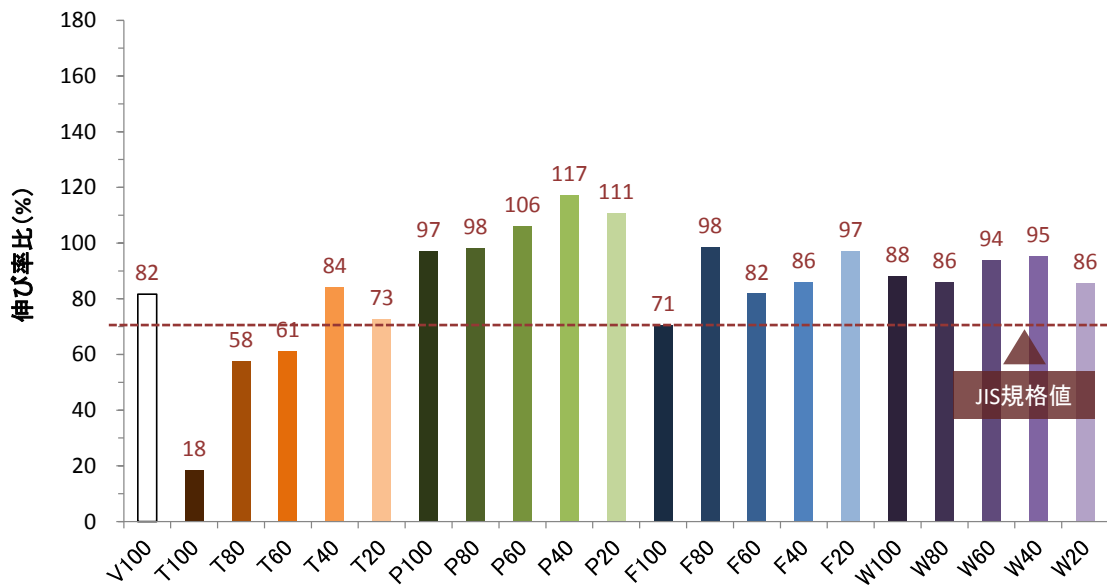


図 4-3-4 各水準における伸び率比  
(加熱処理：Y 軸方向)

## 第2項 耐アルカリ性

各水準におけるアルカリ処理後の再生塩ビ樹脂シートの引張強さ比について、X軸方向の試験結果を図4-3-5、Y軸方向の試験結果を図4-3-6に示す。また、アルカリ処理後の伸び率比について、X軸方向の試験結果を図4-3-7、Y軸方向の試験結果を図4-3-8に示す。

廃材原料種類を比較すると、アルカリ処理後における引張強さ比については、タイルカーペットのY軸方向のみ、廃材混入率80%以上においてのみJIS規格値を下回ったが、その他の水準はすべて満たした。伸び率比については、タイルカーペットに大きな低下傾向がみられ、その他の廃材原料は概ねすべての水準でJIS規格値を満たした。なお、本研究の範囲では、アルカリ処理により、タイルカーペットのみ極端な低下傾向を確認したが、その他の廃材原料種類による明確な傾向はみられなかった。

次に廃材混入率を比較すると、アルカリ処理後の引張強さ比および伸び率比は、タイルカーペットのみ廃材混入率の増加に伴い、品質に低下傾向がみられたが、その他の廃材原料種類には明確な傾向がみられなかった。

また、耐アルカリ性における再生塩ビ樹脂シートのX軸方向およびY軸方向の違いは、あまりないことを確認した。

これらのことより、再生塩ビ樹脂シートの耐アルカリ性は、廃材原料種類に起因し、タイルカーペットを用いると極端に低下するが、その他の廃材原料種類ではおおよそ同等の品質を示す。

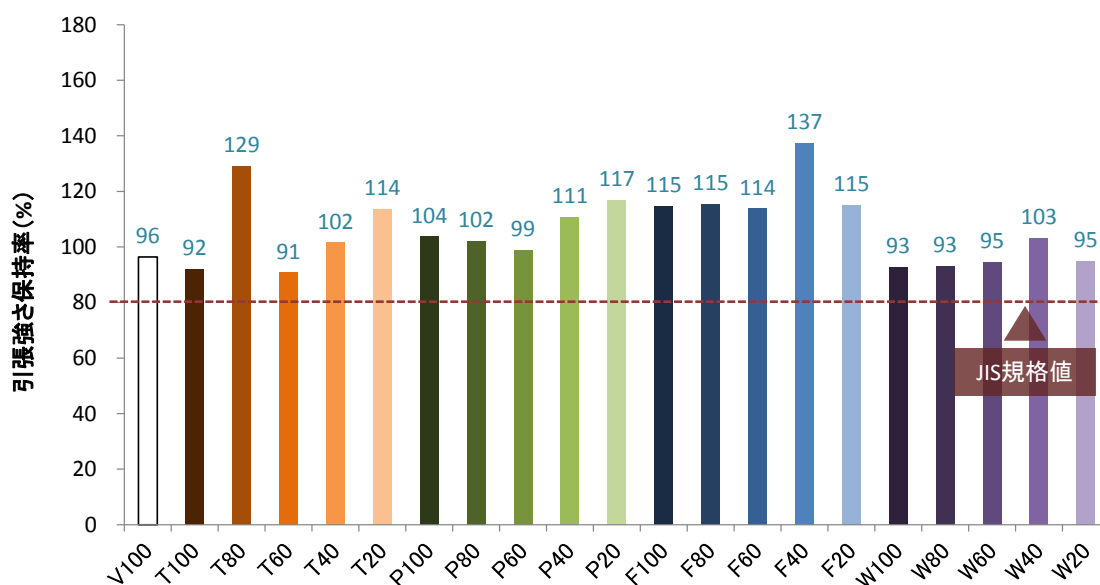


図 4-3-5 各水準における引張強さ比  
(アルカリ処理：X 軸方向)

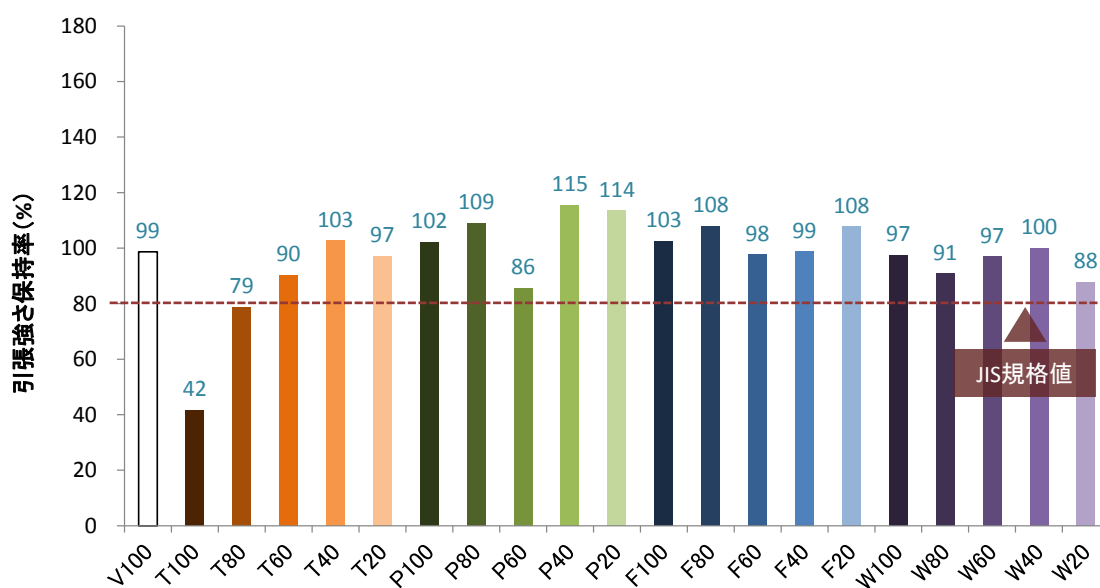


図 4-3-6 各水準における引張強さ比  
(アルカリ処理：Y 軸方向)

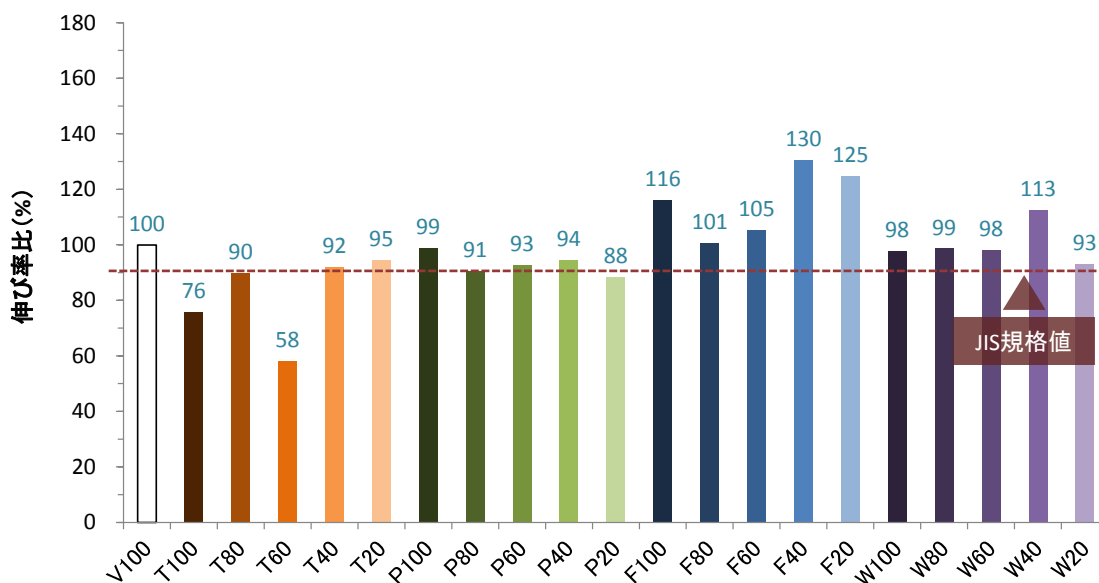


図 4-3-7 各水準における伸び率比  
(アルカリ処理：X 軸方向)

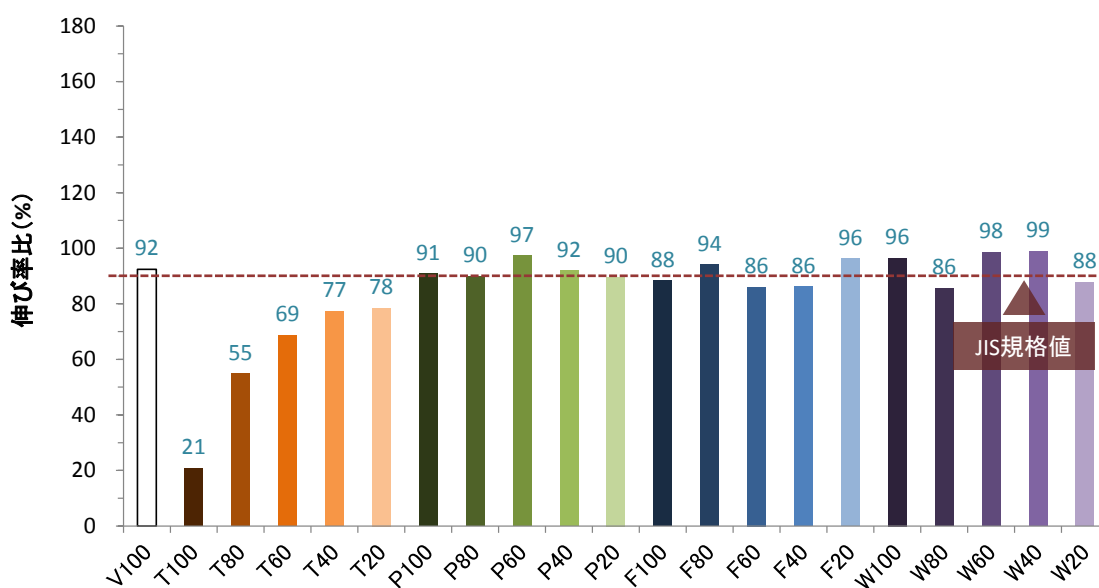


図 4-3-8 各水準における伸び率比  
(アルカリ処理：Y 軸方向)



### 第3項 耐候性

各水準における促進暴露処理後の再生塩ビ樹脂シートの引張強さ比について、X軸方向の試験結果を図4-3-9、Y軸方向の試験結果を図4-3-10に示す。また、促進暴露処理後の伸び率比について、X軸方向の試験結果を図4-3-11、Y軸方向の試験結果を図4-3-12に示す。

促進暴露処理後の引張強さ比と伸び率比を比較すると、伸び率比は伸び率比に比べ低下傾向が著しくあらわれた。これは、促進暴露処理、特に紫外線により、塩ビ樹脂中の分子鎖が断裂し、機械的性質が低下したことに加え、可塑剤自身の劣化および熱による蒸発によって伸び率が著しく低下したと考えられる。

第一に、廃材原料種類を比較すると、促進暴露処理後における引張強さ比については、すべての水準においてJIS規格値を満たした。伸び率比については、他の廃材原料はすべてJIS規格値を満たしたが、タイルカーペットのみ著しい低下傾向がみられた。また、本研究の範囲では、防水シートが最も耐候性に優れた。これは、耐熱性と同様に、屋外で使用される防水シートは、屋内で使用される塩ビ建材に比べ、耐候性が高く配合設計されていることに起因すると推察される。

第二に、廃材混入率を比較すると、促進暴露処理後の引張強さ比および伸び率比は、廃材種類にもよるが、廃材原料よりもヴァージン原料を用いた方が低下する傾向を示した。これについても耐熱性と同様に、本研究で用いたヴァージン原料には耐候性を高める安定剤が添加されていないことに起因していると考えられる。

また、耐候性における再生塩ビ樹脂シートのX軸方向およびY軸方向の違いは、あまりないことを確認した。

これらのことより、再生塩ビ樹脂シートの耐候性は、引張強さよりも伸び率に顕著な低下傾向がみられ、屋外用途で使用される廃材を用いると耐候性は高くなった。

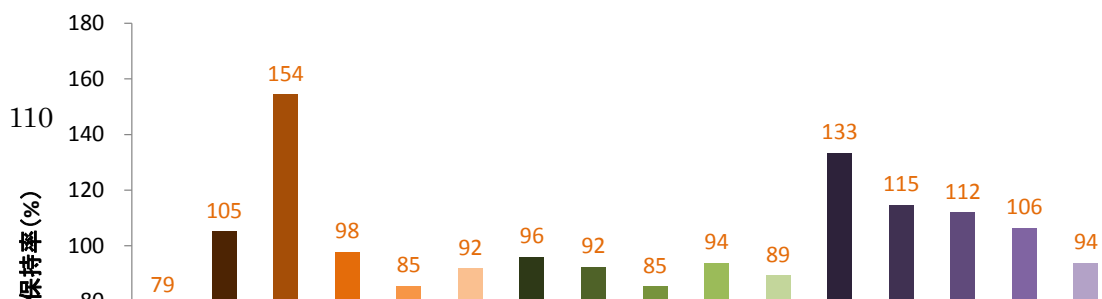


図 4-3-9 各水準における引張強さ比  
(促進暴露処理：X軸方向)

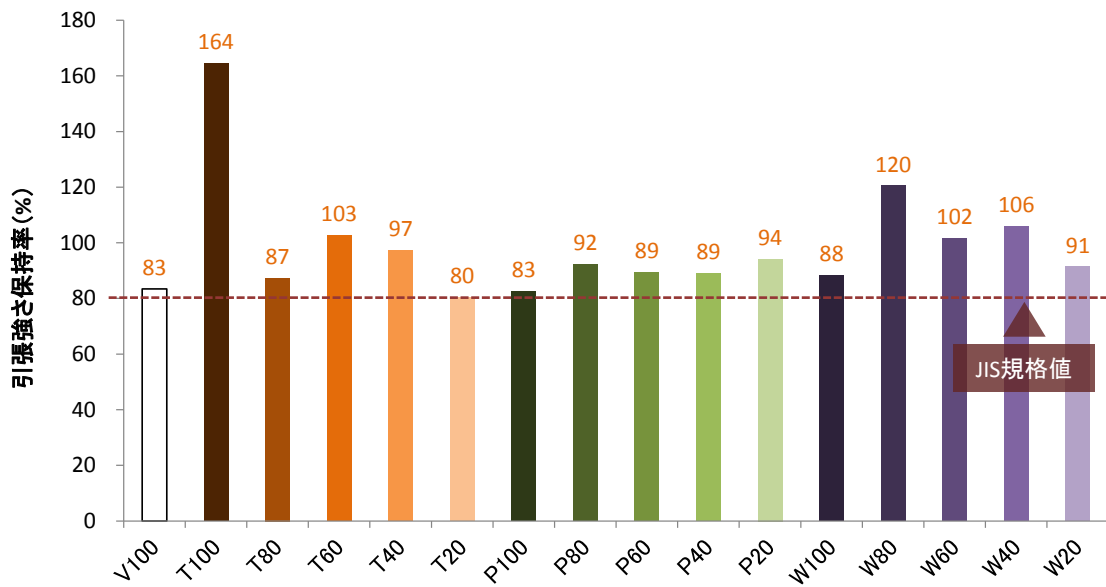


図 4-3-10 各水準における引張強さ比  
(促進暴露処理：Y軸方向)

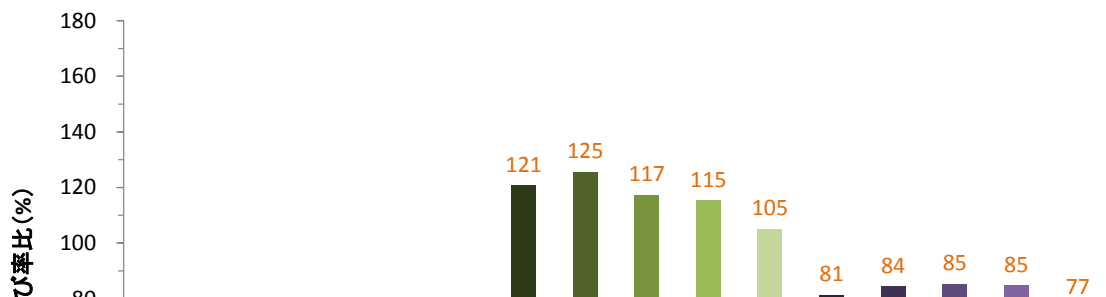


図4-3-11 各水準における伸び率比  
(促進暴露処理：X軸方向)

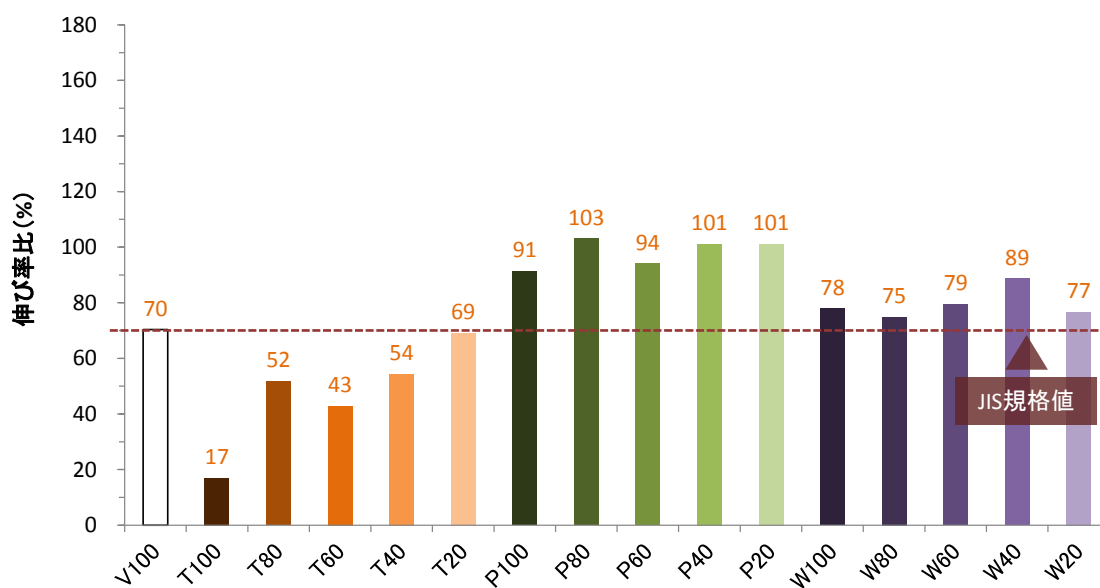


図4-3-12 各水準における伸び率比  
(促進暴露処理：Y軸方向)

## 第4節 実環境を想定した再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価

### 第1項 実暴露における防水シートの劣化性状

#### 1) 実験目的

再生塩ビ樹脂シートの最終的な用途として、屋内で使用される床材だけでなく、屋外で使用される防水シートについても想定している。本章第3節では、再生塩ビ樹脂シートにおいて、JIS A 6008「合成高分子系ルーフィングシート」に規定される防水シートの基礎的な耐久性評価を行った。しかし、防水シートの使用環境である屋外では、様々な劣化因子が複合的に作用することに加え、長期間使用されることから、JIS規格に規定される基礎的な耐久性評価だけでは、その長期的劣化挙動を把握することは難しい。

そこで本節では、まず、実環境下での防水シート（再生品ではなく、新品の防水シート）の長期的な劣化性状を把握する。また、再生塩ビ樹脂シートにおいて、塩ビ樹脂の劣化因子である熱、水、紫外線についてそれぞれ詳細な耐久性試験を行うとともに、それらを組み合わせた複合耐久性評価についても検討する。以上をまとめ、再生塩ビ樹脂シートの実環境を想定した耐久性評価を検討する。

#### 2) 実験概要

##### ① 試験体概要

本実験における試験体は、同環境下（暴露地：埼玉県鶴ヶ島市）で0、4、7、10、11年実暴露された断熱機械固定工法による塩ビ防水シートを、500 mm×500 mmの寸法で採取し、これを1試験体とした。写真4-4-1に、実暴露された防水シートの採取状況を示す。



写真4-4-1 実暴露された防水シートの採取状況

## ② 試験項目

試験体寸法を図4-4-1に示す。1試験体に対し25分割した各箇所に対して、ダンベル3号型に試験体を形取り，引張性能試験（JIS K 6251）を行った。また，25分割した試験体に対してさらに25分割した4か所（図1中の①～④）について厚さ測定および表面劣化性状評価（この評価方法の概要は，次頁より示す。）を行い，1試験体に対し，全100か所の厚さ測定および表面劣化性状評価を行った。

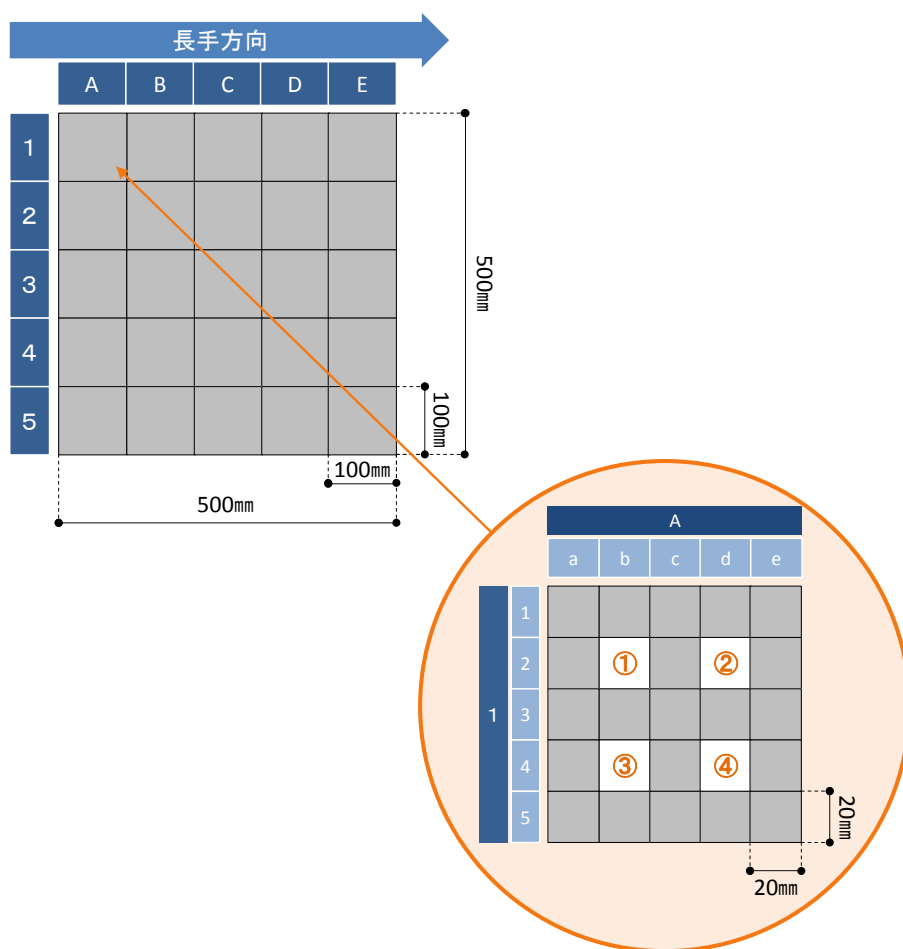


図4-4-1 試験体寸法

### ③ 防水シートの表面劣化性状

防水シートに限らず、高分子材料の屋外暴露における劣化挙動は、主に自動酸化反応に起因するものであり、これは光酸化劣化においても大筋は変わらない。図 4-4-2 に高分子材料における自動酸化の基本的なプロセスを示す。高分子材料の自動酸化は、熱や光の介入によりそのプロセスが多少異なるが、分子鎖断裂による低分子量化と、ラジカル再結合による高分子量化が並行して進行するため、その物性を正確に予測することが非常に難しいとされている<sup>4-1) 4-2)</sup>。

そのため、耐候性の評価として、対象材料の表面劣化性状、具体的には変色や光沢、微細な凹凸などの変動に着目した評価方法が各分野で提案されている。Jack A. Ladson らは、対象材料表面の光沢に着目し、それを色の見方の一つの基準として、光の反射率で劣化を評価する方法を提案している。これは、対象材料の単純な光沢の低下だけでなく、劣化に伴い、表面の粗さが増大し、光の反射率を下げ、暗くみえるようになることによる光沢の低下も考慮しており、総合的な耐久性評価を可能としている<sup>4-3)</sup>。

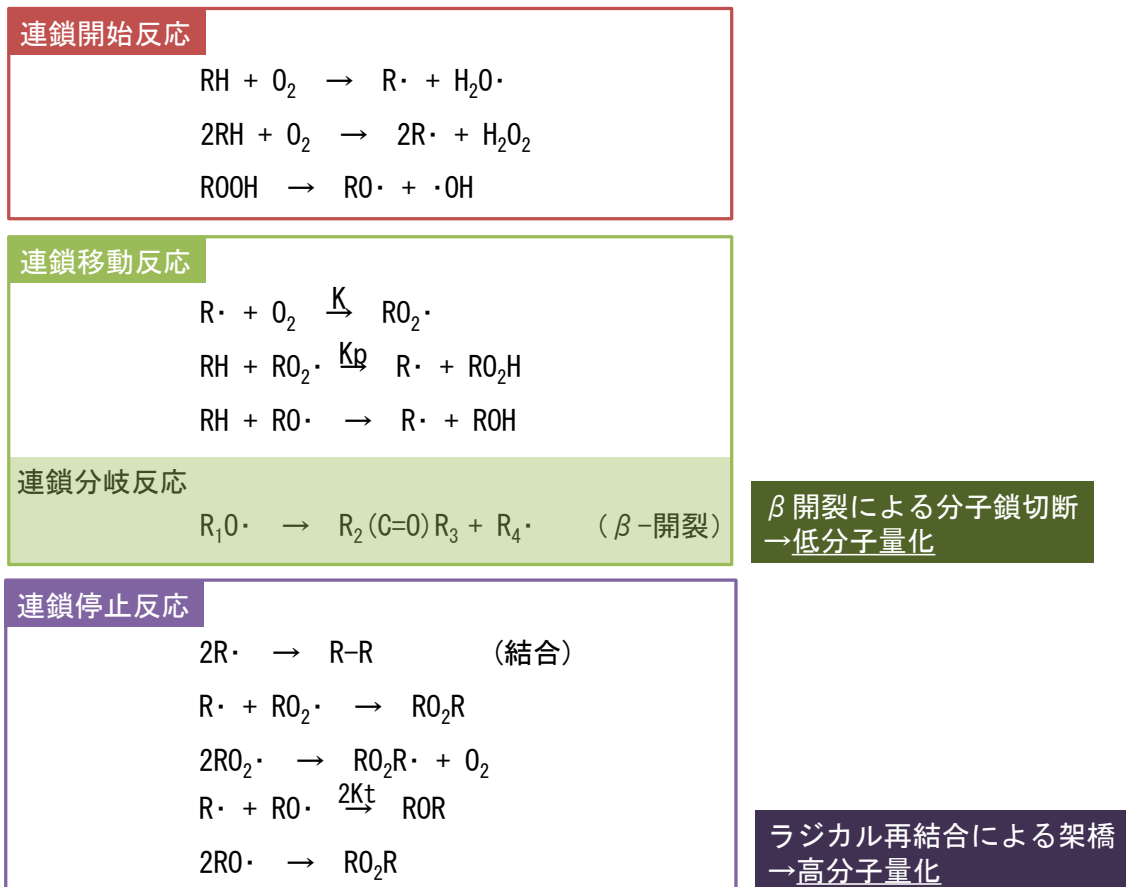


図 4-4-2 高分子材料の自動酸化反応

また、自動酸化反応のような化学的劣化ではなく、引張などによる物理的な劣化によっても、塩ビ材料は変色する。具体的には、外的荷重によるクレーズおよびボイドの発生によって、白色にみえる等が挙げられる。図4-4-3にプラスチック材料におけるクレーズの発生メカニズムを示す。このように、塩ビ建材の屋外暴露における劣化挙動は、表面劣化性状に必ずその変動がみられることから、評価の参考になりえるといえる。

ここで、写真4-4-2に200倍率で撮影した防水シートの表面性状を示す。塩ビ防水シートの表面性状は、経年劣化により表面の変色および微細な凹凸があらわれ、経年数とともにその凹凸が大きくなっていく。これは塩ビ樹脂そのものの分子鎖断裂に加え、防水シート表面のエンボス（文字や絵柄などを浮き彫りにする加工）上の溝に、飛来物や水等が堆積し、紫外線と化学反応を起こして劣化および摩耗した等が推察される。

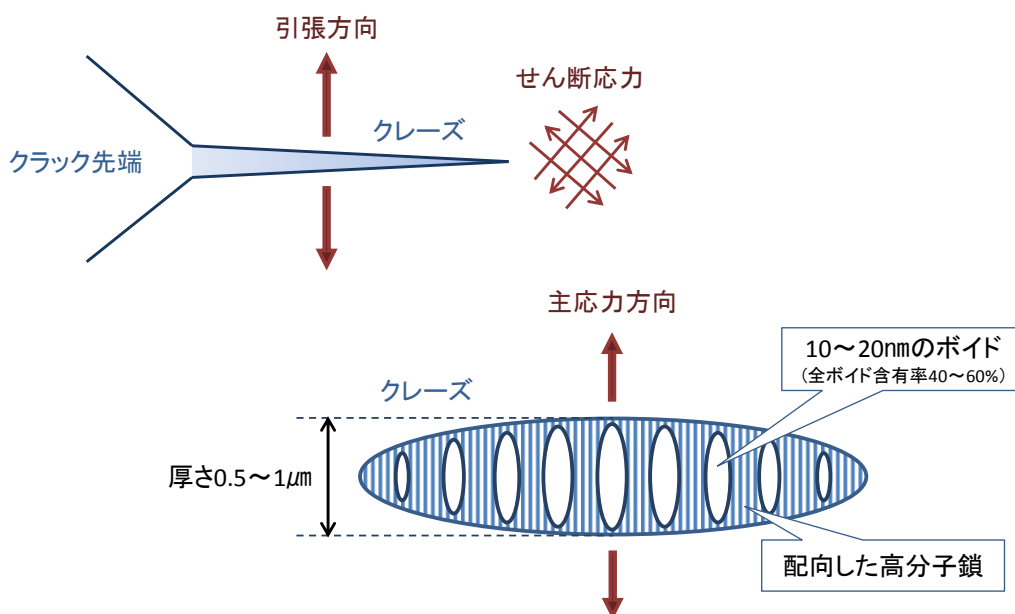


図4-4-3 プラスチック材料におけるクレーズの発生メカニズム

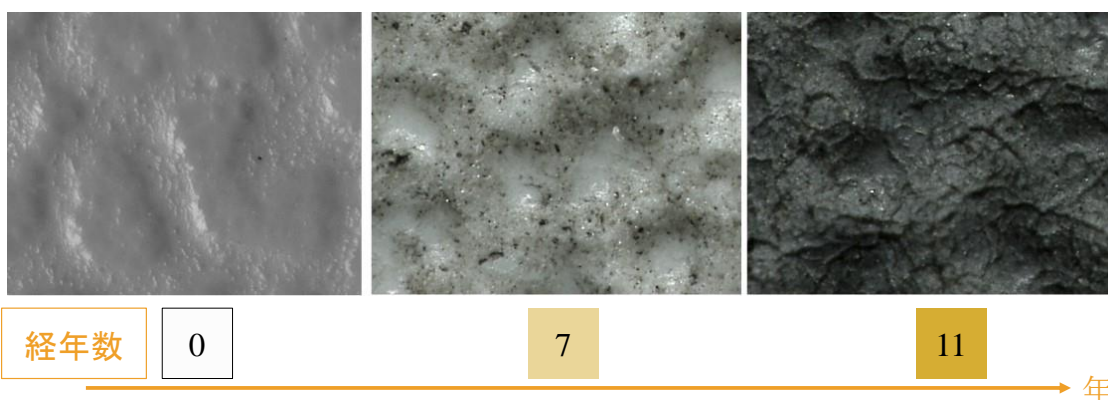


写真4-4-2 防水シート表面写真（200倍率）

このように、実環境における防水シートの劣化性状は、埃や砂などの飛来物の堆積もあり、変色から評価することは難しいが、経年数とともに防水シート表面の凹凸に顕著な変化があらわれることから、劣化診断の基準となっている。ここで、防水シートの劣化診断方法の一例を図4-4-4に示す。建築物における防水層の劣化診断方法は、1次診断（目視観察）→2次診断（目視・指触観察）→3次診断（資料による試験）に分類でき、この手順で実施することが効率的であるとされている<sup>4-4)</sup>。また、防水層表面の目視・指触観察により、その防水層の劣化度を3段階に設定することで、適切な改修時期および方法を決定している<sup>4-5)</sup>。



### 劣化度Ⅰ

劣化箇所により補修が必要



### 劣化度Ⅱ

部分補修または大規模改修が必要



### 劣化度Ⅲ

大規模改修が必要

図4-4-4 塩ビ系防水シート「非破壊」劣化度診断システム<sup>4-2)</sup>

(ロンシール工業株式会社参照)



そこで本項では、実暴露による防水シートの耐久性評価について、引張性能や厚さなどの機械的性質だけでなく、表面の劣化性状についても検討した。防水シートにおける表面劣化性状の評価方法としては、竹本らの建築用シーリング材におけるひび割れによる表面損傷度の定量分析<sup>4)6)</sup>を参考に、以下の手順で行う。図4-4-5に実暴露による防水シート表面の凹凸イメージを示す。

- 1) 光学顕微鏡を用いて、防水シート表面上の凹凸における最も高い山の頂点に焦点を合わせ、焦点距離を「0」とする。
- 2) 次に、その凹凸における谷の底点に焦点を合わせる。
- 3) 山の頂点と谷の底点の差の焦点距離を「谷深さ」とする。
- 4) 測定箇所は、厚さ測定と同様に1試験体に対し、全100か所を測定した。

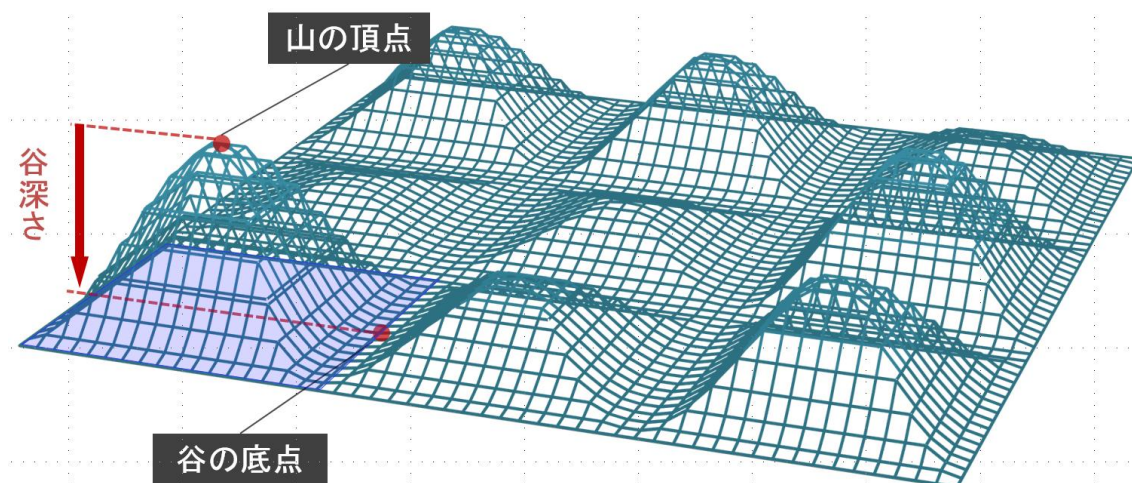


図4-4-5 防水シート表面の凹凸イメージ

### 3) 実験結果

表 4-4-1 に試験結果一覧を示す。また、各試験項目における検討について、以下に示す。

表 4-4-1 試験結果一覧

水準名	経年数 year	厚さ			引張強さ			伸び率			表面劣化性状 (谷深さ)		
		保持率 %	平均 N/cm <sup>2</sup>	標準 偏差 σ	保持率 %	平均 %	標準 偏差 σ	保持率 %	平均 μm	標準 偏差 σ	保持率 %		
P100-0y-in	0	100.0	885	15.1	100	174	14.4	100	24	9.8	100		
P100-4y-in	4	106.3	918	-	104	162	-	93	55	-	233		
P100-7y-in	7	95.2	996	12.8	113	149	6.2	86	98	9.5	415		
P100-10y-in	10	100.5	963	36.1	109	110	9.2	63	108	9.7	459		
P100-11y-in	11	98.7	975	31.9	110	113	5.3	65	122	7.2	518		

#### ① 厚さ

図 4-4-6 に防水シートにおける経年数 11 年の厚さを示す。実暴露された防水シートの厚さは、経年数 11 年で厚さ保持率 98.7%と極めて小さい変化率であり、摩耗により減少傾向を示すと推定されたが、本実験の範囲では規則性を確認することはできなかった。

また、試験体中の測定箇所によって厚さの変化率が異なることから、実環境下における防水シートは、同一の防水シートであっても、局部的に劣化速度が異なるといえる。これは、砂などの飛来物や、水の堆積度合い、日航のあたり加減等によって、これらの複合的劣化因子が、1 枚の防水シートであっても各箇所によって異なることが原因であると考えられる。さらに、機械的固定箇所の上部、もしくは付近では、その他箇所に比べ、常時および風邪などの外的荷重等における応力のかかり具合が異なり、これらも影響していると考えられる。

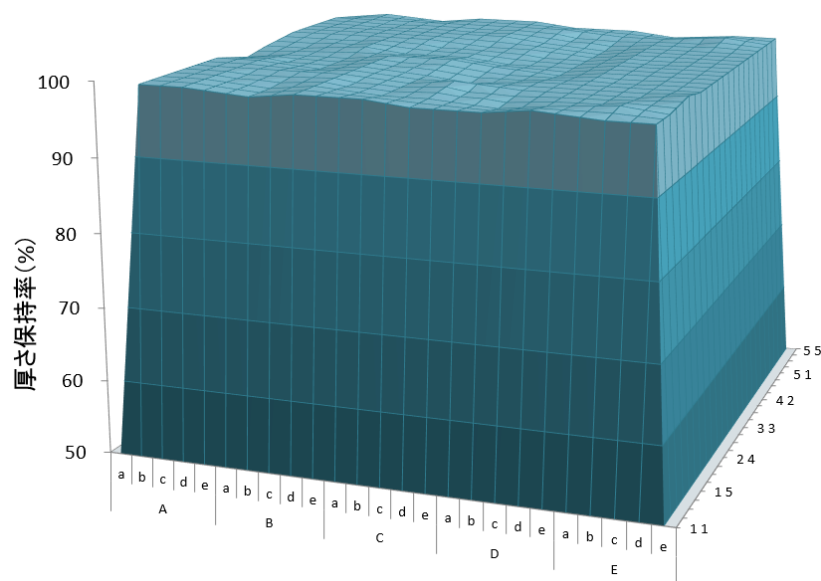


図 4-4-6 防水シートの厚さ測定結果（経年数 11 年）

② 引張性能

図 4-4-7（次頁に示す）に経年数変化における引張強さおよび伸び率の関係を示す。引張強さにおいては、経年数の増加に伴う変化があまりみられなかった。その一方で、伸び率においては、経年数の増加に伴い比例的に低下し、その相関性は極めて高い値を示した。これは、高分子素材である塩ビ防水シートが、熱や水、紫外線等の複数の劣化因子が複合的に作用し、分子鎖切断やラジカル再結合、さらに可塑剤の蒸発等の複数の因子の影響により、防水シートの可塑性が失われたためと考えられる。つまり、引張強さにおいては、ラジカル再結合や可塑剤の蒸発等により防水シートが硬化する一方で、分子鎖断裂等による機械的性質の低下も同時に起こっていることから、規則的な低下傾向を示さないが、伸び率においては、これら劣化因子が伸び率の低下側に作用するため、規則的な低下傾向を示したと推察される。

また、引張強さおよび伸び率において、標準偏差を比較すると、引張強さにおいては、経年劣化が進行するにつれて測定箇所によるばらつきが大きくなり、伸び率においては、経年数との相関性はみられなかったが、全体的に測定箇所によりばらついた。このことから、防水シートは同じ環境下で暴露されていても、外的要因に加え、固定具による拘束応力等の因子により、部分的に劣化進行が異なると推察される。

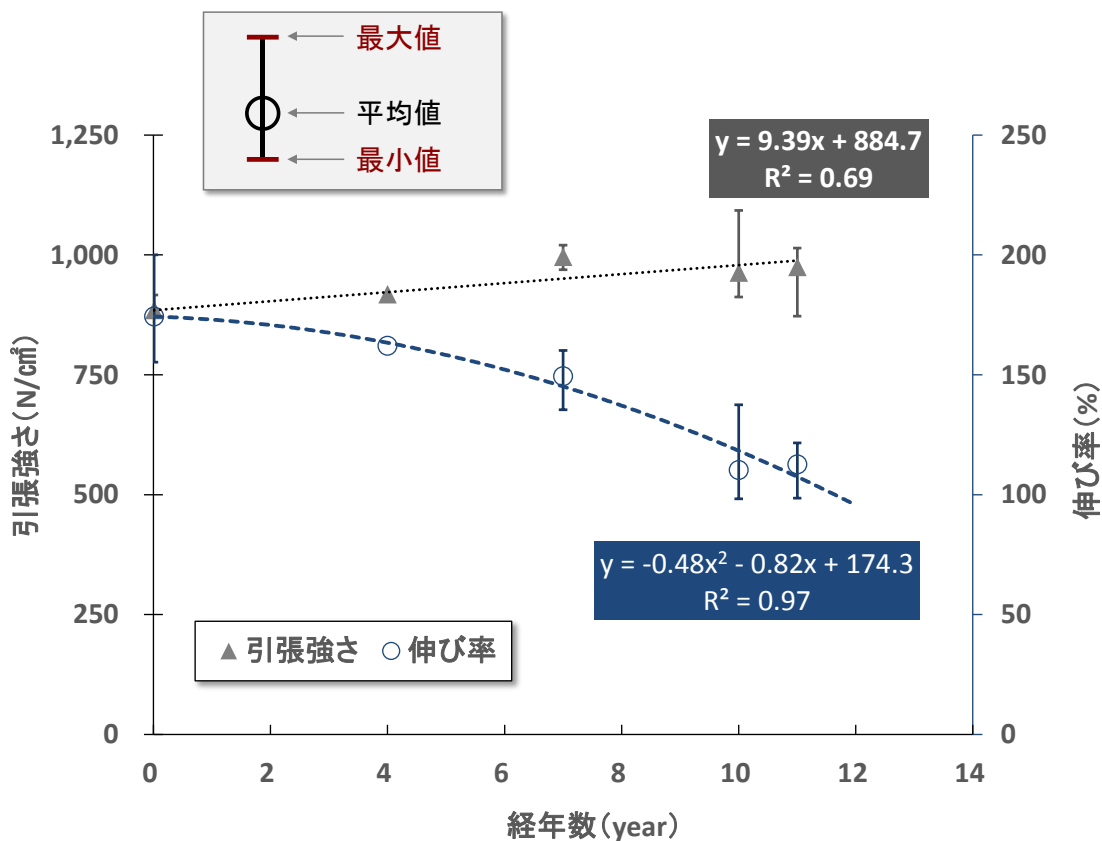


図4-4-7 経年数と引張性能の関係

③ 表面劣化性状

写真4-4-3に防水シートの表面性状と経年劣化の関係を示す。また、図4-4-8に経年数変化における谷深さの関係を示す。谷深さは、経年数の増加に伴い比例的に増加し、その相関性は極めて高い値を示した。但し、引張性能と同様にばらつきもみられた。

また、図4-4-9に谷深さ保持率と伸び保持率の関係を示す。図より、谷深さの増加に伴い、伸び率は比例的に低下し、その相関性は高い値を示した。以上のことより、防水シート表面の谷深さを測定することによる耐久性評価は、定量的にその劣化度を把握し、機械的性質の劣化影響を予測することが可能である。

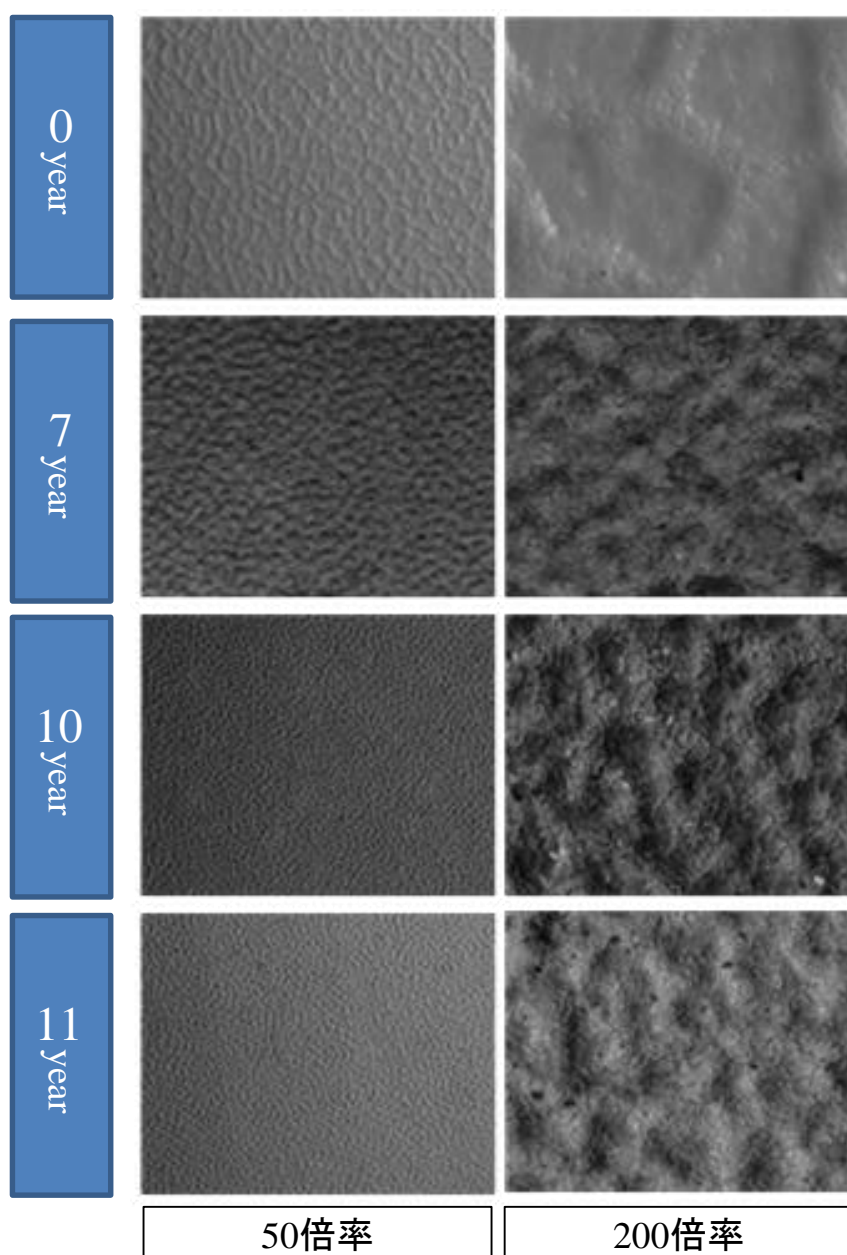


写真 4-4-3 経年数と表面性状の関係

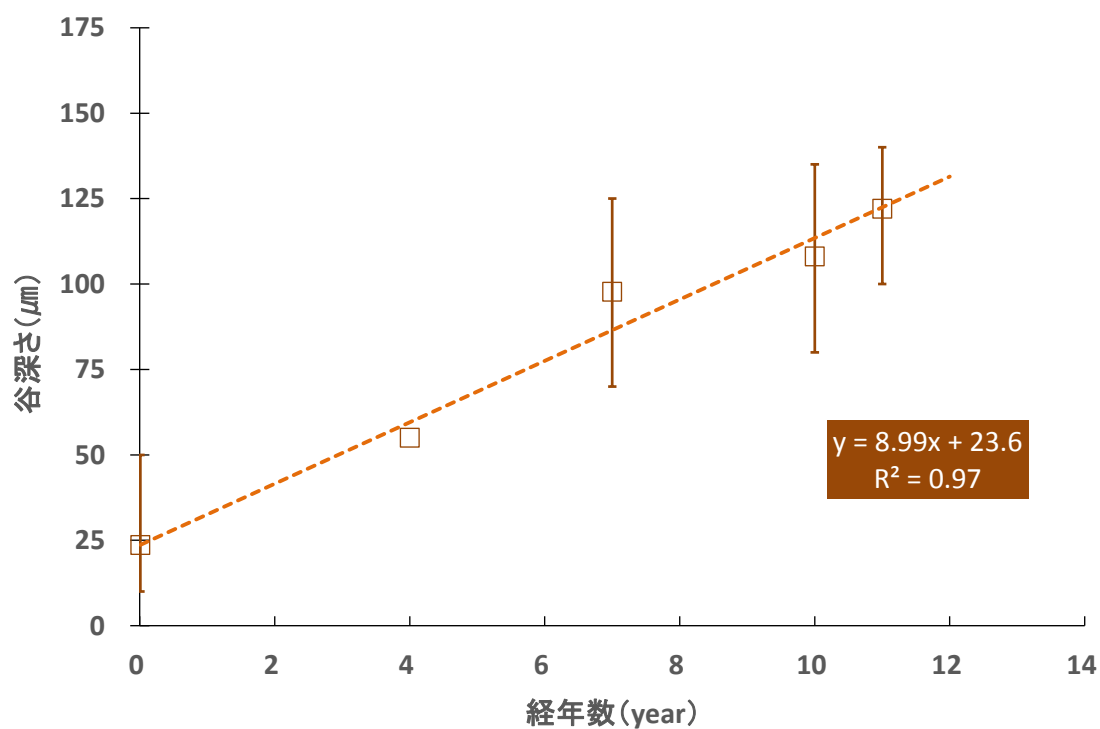


図 4-4-8 経年数と谷深さの関係

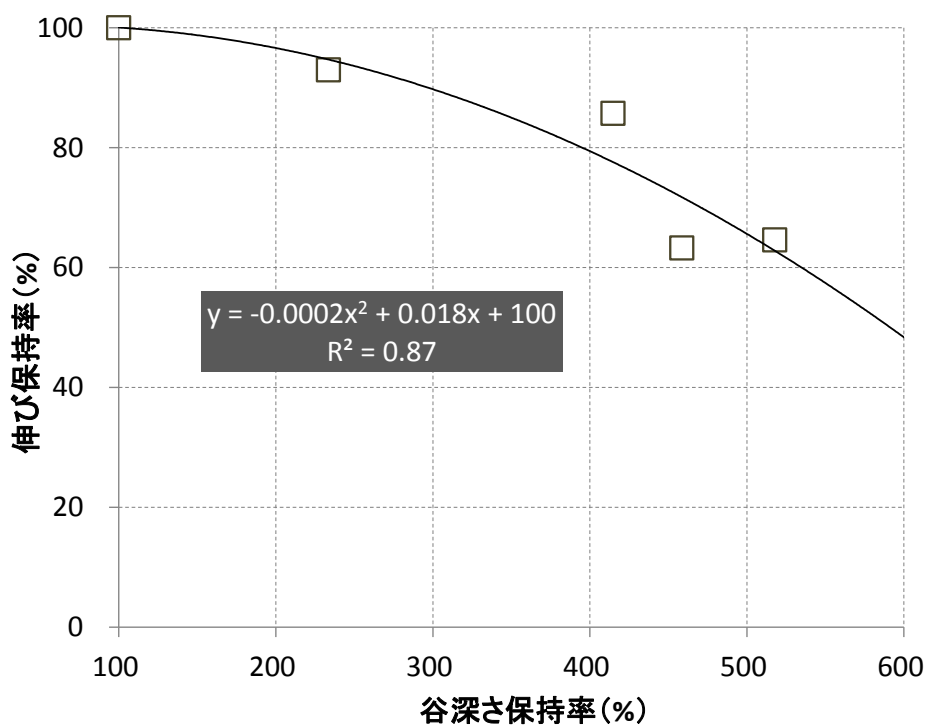


図 4-4-9 谷深さ保持率と伸び保持率の関係

4) 実環境下における防水シートの耐久性評価

実験結果より、実暴露された防水シートの劣化挙動は、基本的には塩ビ樹脂の主要劣化因子である熱、水、紫外線に起因するものだが、これら劣化因子が複合的に作用することにより、劣化因子単体での影響よりも劣化速度および性状が異なる可能性がある。複数の劣化因子が同時に作用することにより、引張強さは規則的な劣化傾向を確認できなかったが、伸び率においては顕著な低下傾向が確認されたことから、防水シートの耐久性評価は伸び率を基準として評価することが望ましく、再生塩ビ樹脂シートにおいても参考とする。また、その劣化傾向は、実暴露における初期の段階では緩やかな低下傾向を示すが、ある一定の時期を超えると急激な低下傾向を示した。このことから、防水シートの耐久性は長期的に評価すべきであり、特に再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価においては、廃材を利用していることから長期的な耐久性を把握する必要がある。

さらに、防水シート表面の微細な凹凸の変化に着目すると、経年数の増加に伴い凹凸の谷深さが大きくなる傾向を示したことから、表面の劣化性状についても検討することにより詳細な耐久性評価を行うことが可能である。ただし、今回検討した結果はあくまで、1社が製造する1種類の塩ビ防水シートにのみ検討したことから、他品質の塩ビ防水シートや、経年数の変化量を延ばす等についても検討する必要がある。

## 第2項 経年劣化した防水シートのリサイクルへの適用性

### 1) 使用材料および配合設計

#### ①ヴァージン原料

ポリ塩化ビニル樹脂、可塑剤および炭酸カルシウムを重量比 4 : 3 : 3 の割合で配合し、本実験における塩化ビニル樹脂のヴァージン原料として使用した。

#### ②廃材原料

0, 7, 10, 11 年屋外暴露された防水シートを、3mm 角のチップ状に粉砕したものを再生塩ビ粉体として用いた。本実験における試料シートは、ヴァージン原料を基本として、0, 7, 10, 11 年屋外暴露された防水シートを使用した。

#### ③配合設計

経年劣化の検討における試料シートは、ヴァージン原料と廃材各種をリサイクル率 0, 30, 60, 100%に設定し配合した。表 4-4-2 に配合表を示す。

### 2) リサイクルシートの作製方法

試料シート作製においては、150℃に加熱したミキシングロールに、所定の水準に配合されたコンパウンドを投入して練り混ぜ、厚さ 0.7mm に成型した。

### 3) 試験概要

品質評価としては、JIS K 6251「加硫ゴムの引張試験方法」に準じて引張性能試験を行った。

表 4-4-2 試験体配合表（経年劣化した防水シートのリサイクルへの適用性における）

水準名	廃材 混入率 %	経年品配合率				ヴァージン 混入率 %
		0年 %	7年 %	10年 %	11年 %	
V100	0					100
deg0y-30	30	30				70
deg0y-60	60	60				40
deg0y-100	100	100				0
deg7y-30	30		30			70
deg7y-60	60		60			40
deg7y-100	100		100			
deg10y-30	30			30		70
deg10y-60	60			60		40
deg10y-100	100			100		0
deg11y-30	30				30	70
deg11y-60	60				60	40
deg11y-100	100				100	



#### 4) 実験結果

図 4-4-10 に各水準における引張性能を、図 4-4-11 にリサイクルシートにおける経年数と引張性能の関係を示す。廃材混入率で比較すると、廃材を用いた全水準において、ヴァージンよりも高い引張強さおよび伸び率を示した。これは、ヴァージンには、品質を向上させる安定剤が配合されていないのに対して、廃材は製品製造の段階で安定剤が配合されており、その影響によるものと考えられる。

次に、廃材混入率 100%における廃材経年数で比較すると、廃材の経年数に伴い、引張強さは向上、伸び率は低下する傾向を示した。これは、廃材の経年劣化に伴い、熱硬化が進行していたことによるものと考えられる。

これらの結果より、廃材の使用経年数は、その原料を用いた際のリサイクルシートに強く影響を及ぼすが、廃材そのものの物性、つまり廃材の組成割合に強く依存するといえる。

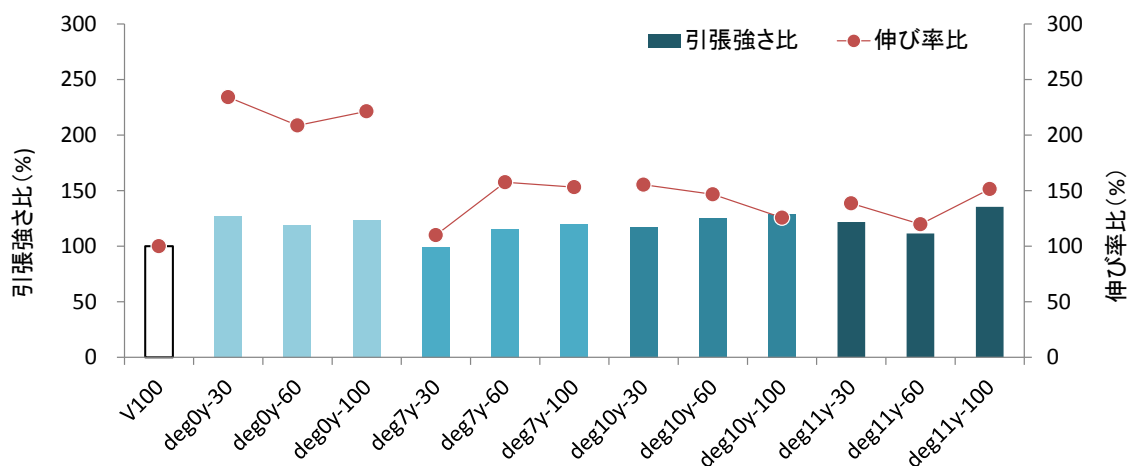


図 4-4-10 各水準における引張性能

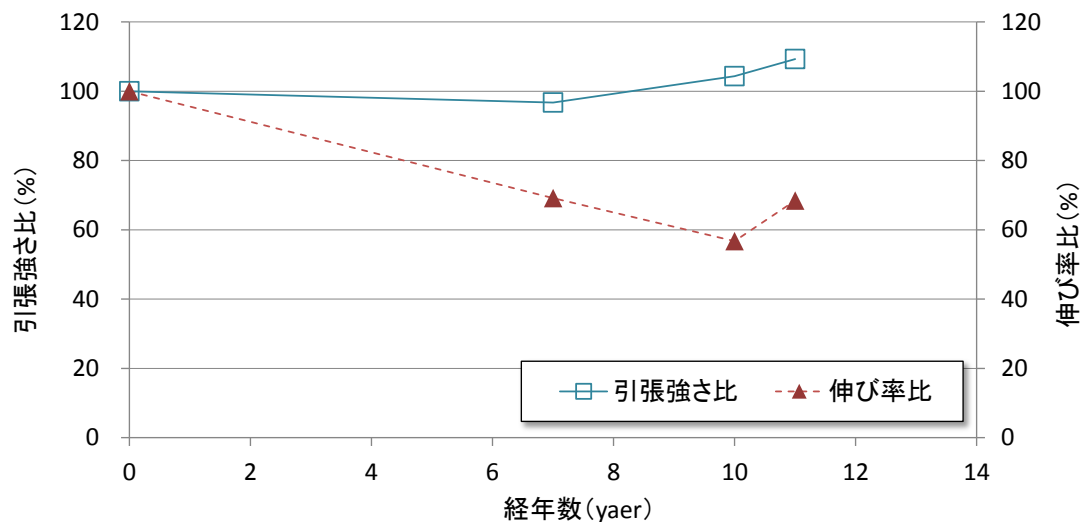




図 4-4-11 リサイクルシートにおける経年数と引張性能の関係

第3項 熱および水の劣化因子に着目した複合劣化による耐久性評価

1) 実験目的

前述したように、防水シートの実環境下における劣化挙動は、劣化因子が複合的に作用することによりその予測が難しい。そこで本項では、まず熱および水の劣化因子に着目し、温度の違いによる劣化影響を詳細に検討し、さらに熱と水の複合的な劣化による相乗効果について検討する。これらの検討は、再生塩ビ樹脂シートの使用用途である防水シートを想定したものであり、基礎的な耐久性評価だけでなく、寒冷地や降雨量が多い地域等での劣化挙動の把握を目的としている。

2) 実験概要

本項における劣化処理は、主に劣化因子の観点から 2 つに大別される。それぞれの実験概要を以下に示す。表 4-4-3 に各劣化処理における劣化因子および試験時間を示す。

①温度変化試験

JIS A 6008 の規定にかかわらず、試験体の加熱処理を温度 60、80℃と設定し、168、504、1008、1680 時間行い、低温処理を温度-25、-40℃と設定し、168、336、672 時間行う。その後、各種物性評価を行った。

②温水浸漬試験

JIS K 6258「加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-耐液性の求め方」を参考に試験を行う。再生塩ビ樹脂シートから切り出した試験片を標準状態に 24 時間以上静置し、温水 60±2℃または 20±2℃の水槽内に浸漬し、サイクル毎（168、504、1008、1680 時間）に試験片を取り出して水気を拭き取った後、標準状態に 1 日以上静置した後、各種物性評価を行った。

表 4-4-3 劣化処理における劣化因子および試験時間

耐久性試験名	劣化因子							試験時間 (hour)					備考
	温度(°C)					水	紫外線	①	②	③	④	⑤	
	-40	-25	20	60	80								
初期物性			○										無処理
温度変化試験				●				168	504	1008	1680	-	
					●			168	504	1008	1680	-	
		●						168	336	672	-	-	
	●							168	336	672	-	-	
温水浸漬試験			●			浸漬		168	504	1008	1680	-	
				●		浸漬		168	504	1008	1680	-	
長期加熱試験					●			168	336	672	1344	2688	廃材原料の発生期限が異なる
長期耐候性試験				○		噴霧	○	250	500	1000	2500	-	

劣化処理後の再生塩ビ樹脂シートにおける物性評価方法としては、引張性能試験、重量変化測定、および寸法変化試験を行った。なお、寸法変化試験については、JIS A 1415「加熱による長さおよび幅変化試験」を参考に以下の手順で行った。図 4-4-12 に寸法変化試験の測定方法を示す。

- 1) 試験体の寸法は 120mm×180mm の積（面積 A : 21600mm<sup>2</sup>）に加工し、0.5mm 単位で測定し、基長とする。試験体 1 枚における測定箇所は X 方向（練り混ぜ方向）3 か所、Y 方向 3 か所の計 6 か所とした。
- 2) 各種劣化処理試験を行った。
- 3) 劣化処理後、試験体を標準状態に（温度 20℃，湿度 60%）1 時間以上静置後、試験体の基長時と同一箇所 6 か所を測定した。
- 4) 試験体の寸法保持率の算出方法としては、X 方向について 3 か所の平均値と Y 方向 3 か所の平均値の積である面積(A')を求め、基長時の面積(A)に対する寸法保持率 R<sub>A</sub>(%) を算出した。

$$R_A = \frac{A'}{A} \quad \dots\dots\dots (4-4-1)式$$

ここで、R<sub>A</sub>：寸法保持率（%）

A：基長時（初期）の試験片面積（mm<sup>2</sup>）

A'：劣化処理後の試験片面積（mm<sup>2</sup>）

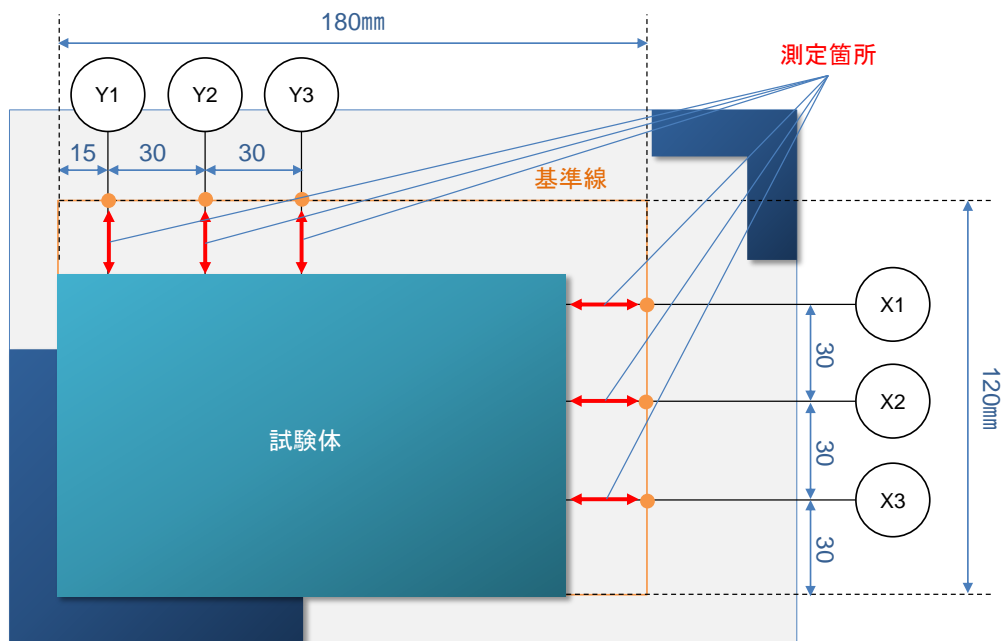


図4-4-12 寸法変化試験の測定方法

3) 実験結果

① 温度変化試験

図4-4-13に温度変化試験後における重量保持率を示す。処理温度で比較すると、低温(-25および-40℃)での重量変化は特にみられず、高温(60および80℃)では温度が高い方が重量変化は大きくなった。高温化における再生塩ビ樹脂シートの重量減少は、シート中の可塑剤の蒸発によるものであるが、本研究の範囲における低温下では、重量減少は特にみられなかった。廃材原料種類を比較すると、ヴァージンよりも廃材を用いた場合の方が、重量変化は大きく、廃材の中でもタイルカーペットを用いた方が、重量変化は大きくなった。

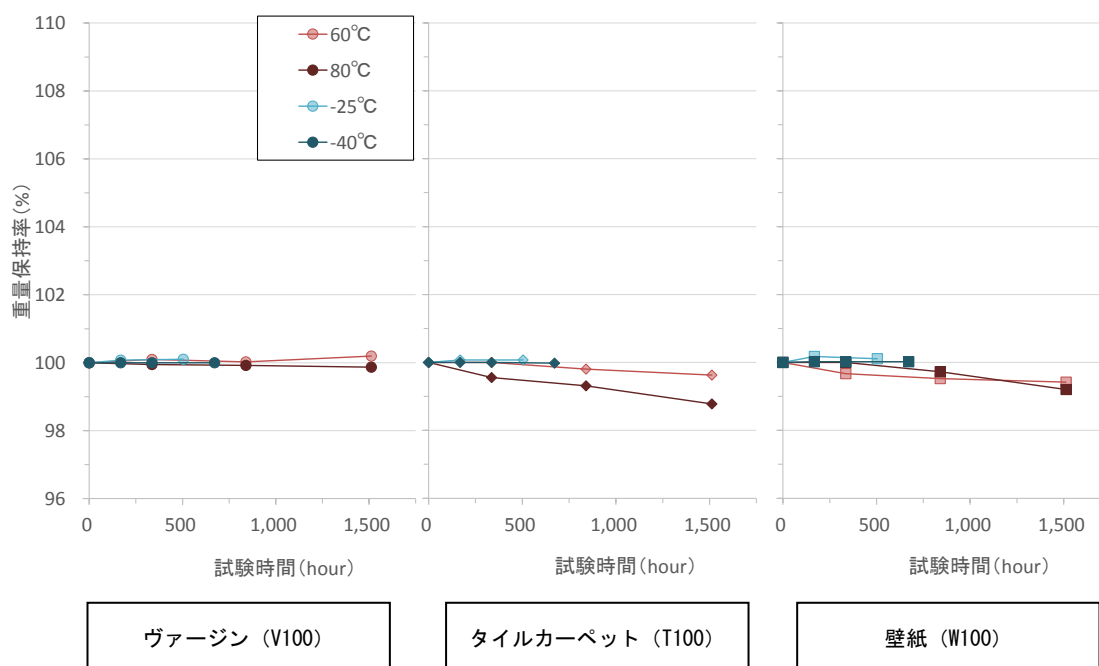


図4-4-13 温度変化試験後における重量保持率

次に、図4-4-14に温度変化試験後における寸法保持率を示す。処理温度で比較すると、低温よりも高温下の方が寸法変化は大きく、温度の増大に伴いその変化率は大きくなった。このことより、再生塩ビ樹脂シートの寸法変化は、重量変化に起因すると考えられる。廃材原料種類を比較すると、重量変化と同様にヴァージンよりも廃材を用いた場合の方が、寸法変化は大きくなったが、廃材同士で比較すると、若干ではあるが壁紙を用いた方が寸法変化は大きくなった。

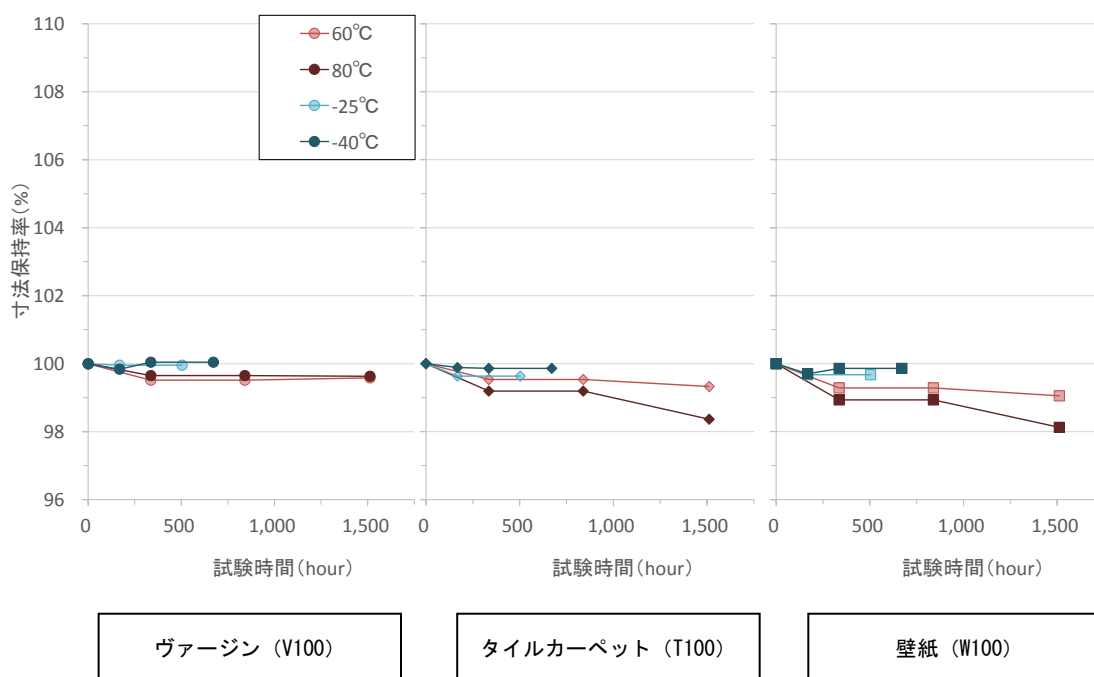


図 4-4-14 温度変化試験後における寸法保持率

図 4-4-15 に温度変化試験後における引張強さ保持率を、図 4-4-16 に温度変化試験後における伸び率保持率を示す。温度変化試験後の引張強さ比において、処理温度で比較すると、廃材種類により傾向にばらつきはみられたが、処理温度が高くなると、引張強さ比は増大する傾向を示した。ただし、ヴァージン原料においては、低温において極端な引張強さ比の向上傾向を示した。廃材原料種類で比較すると、明確な傾向をみられなかったが、低温下において、ヴァージン原料は引張強さ比が向上傾向を示したのに対して、再生塩ビ粉体では低下傾向を示した。

次に、温度変化試験後の伸び率比において、品質に大きなばらつきはみられたが、処理温度で比較すると、処理温度が高くなると、伸び率比は減少する傾向を示した。また、低温下において、全体的に伸び率比は向上する傾向を示した。廃材原料種類で比較すると、明確な傾向をみられなかったが、壁紙には低下傾向がみられず、低温下におけるヴァージン原料は極端に伸び率比が向上した。ヴァージン原料においては、低温処理により引張強さ比および伸び率比ともに向上したことから、塩ビ樹脂そのものが低温処理により結晶化したことにより機械的性質が向上したと推察される。

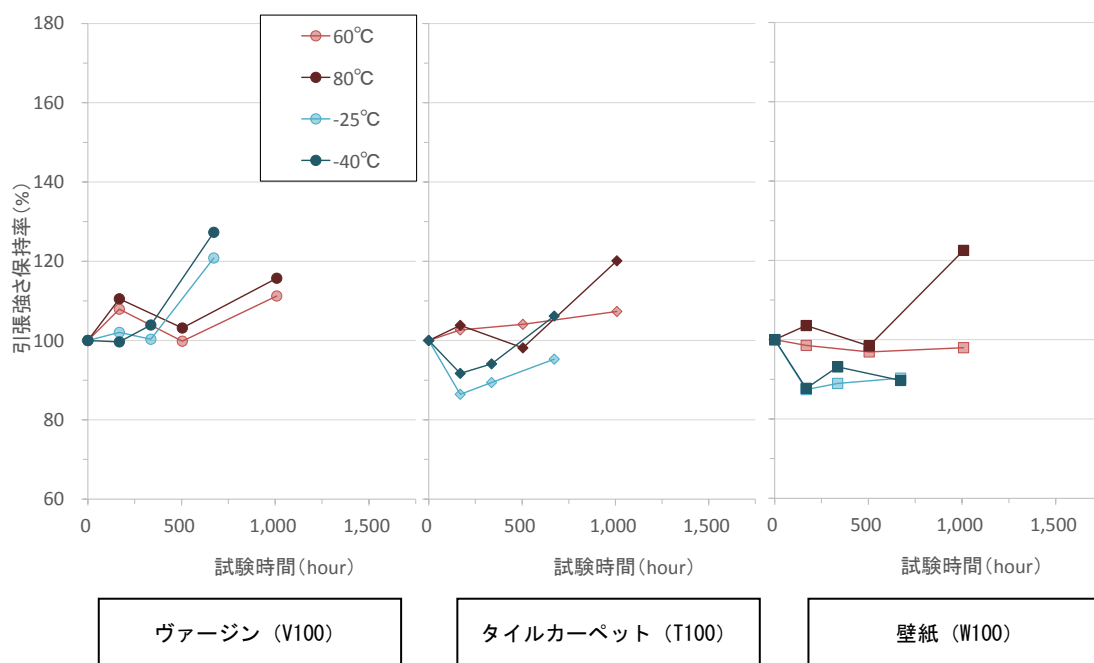


図 4-4-15 温度変化試験後における引張強さ保持率

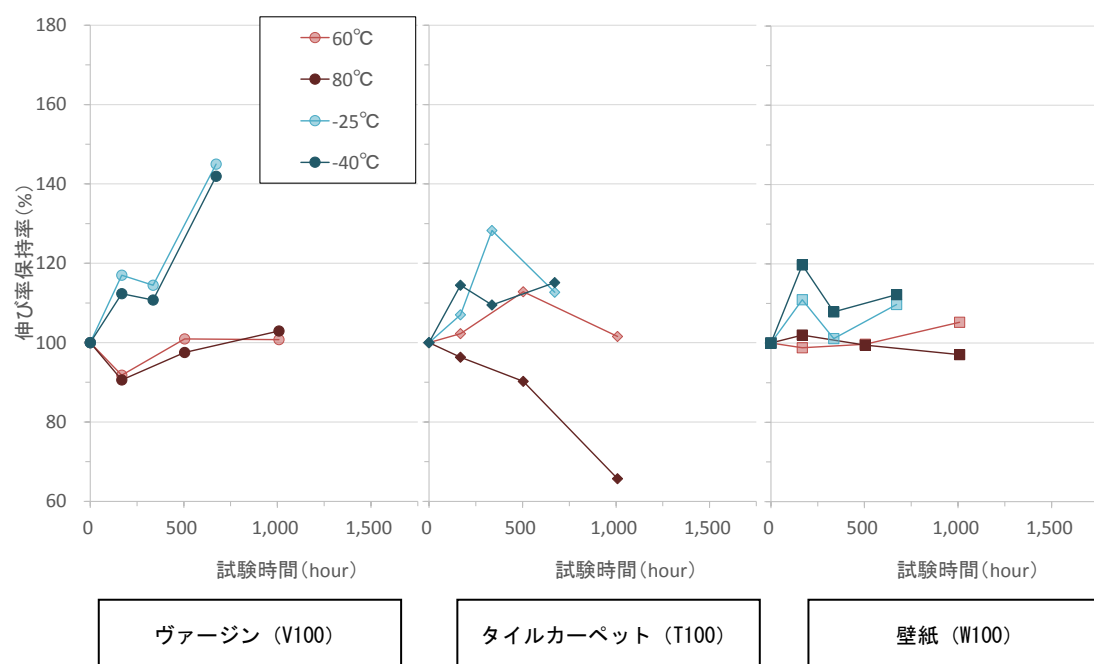


図 4-4-16 温度変化試験後における伸び率保持率

## ② 温水浸漬試験

図 4-4-17 に温水浸漬試験後における重量保持率を示す。水因子の有無で比較すると、単純な加熱試験では重量に若干の減少傾向がみられたが、温水浸漬（20 および 60℃）では重量が極端に増大し、特に温度が高い（60℃）方が増大した。このことより、再生塩ビ樹脂シートの吸水率は、温度によって相乗的に加速すると考えられる。また、廃材原料種類で比較すると、ヴァージン原料よりも再生塩ビ粉体の方が重量の増大傾向は顕著であり、再生塩ビ粉体のなかでも、壁紙の方がより増大した。これらの結果より、塩ビ樹脂は若干ではあるが吸水する物質であるため、吸水により重量が増大したことに加え、再生塩ビ粉体には不純物が含まれており、その不純物の種類によって再生塩ビ樹脂シートの吸水率も異なると推察される（例えば、タイルカーペットより得られる再生塩ビ粉体中の不純物であるナイロン繊維よりも、壁紙中のパルプの方が吸水率は高い）。

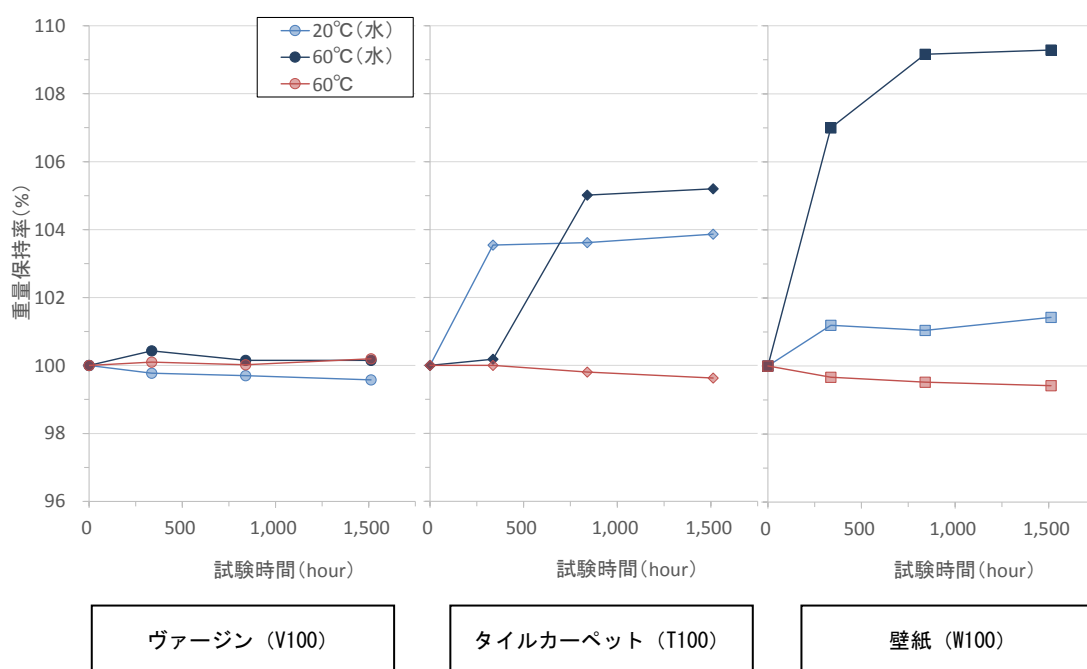


図 4-4-17 温水浸漬試験後における重量保持率

次に、図 4-4-18 に温水浸漬試験後における寸法保持率を示す。水因子の有無で比較すると、重量保持率と同様に、単純な加熱試験では寸法に若干の減少傾向がみられたが、温水浸漬では寸法が増大し、特に温度が高い方が増大した。これらのことより、吸水による膨張は、重量変化と同様に、再生塩ビ粉体中の不純物に大きく起因すると考えられる。

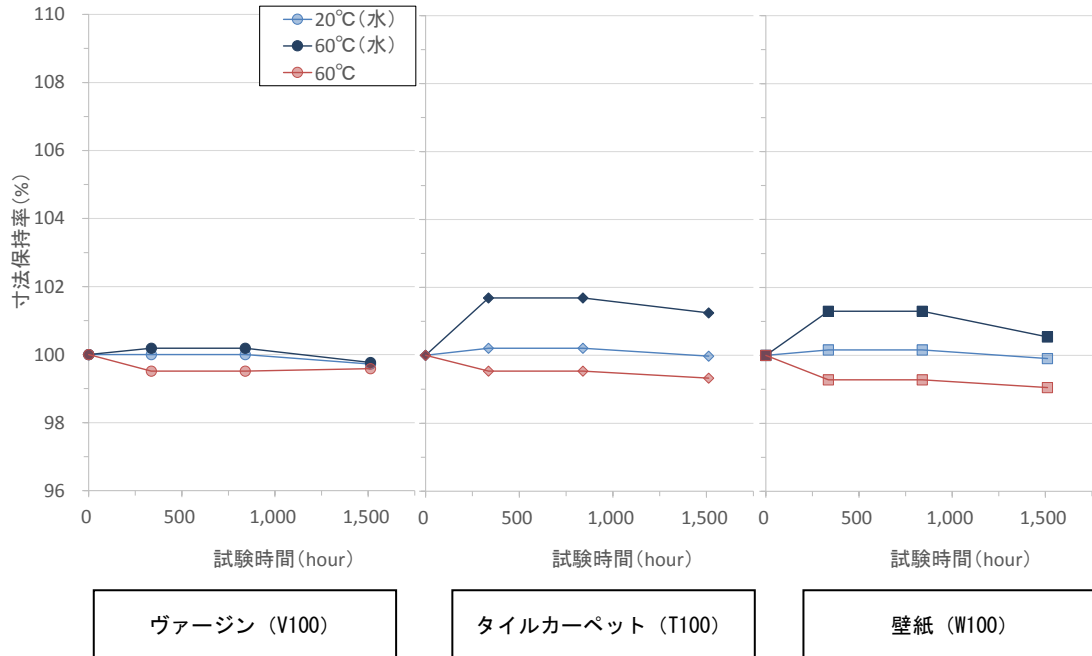


図 4-4-18 温水浸漬試験後における寸法保持率

図 4-4-19 に温水浸漬試験後における引張強さ保持率を、図 4-4-20 に温水浸漬試験後における伸び率保持率を示す。温水浸漬試験後の引張強さ保持率において、水因子の有無で比較すると、品質にばらつきはみられたが、単純な加熱試験では引張強さ保持率に向上傾向がみられたが、温水浸漬では引張強さ保持率が低下し、特に温度が高い方がより低下した。これは、塩ビ樹脂の加水分解により、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質が低下したと考えられる。また、廃材原料種類で比較すると、ヴァージン原料よりも再生塩ビ粉体の方が引張強さ保持率の低下傾向は顕著であり、再生塩ビ粉体のなかでも、壁紙の方がより低下した。

次に温水浸漬試験後の伸び率保持率について、品質に大きなばらつきがみられ、明確な傾向の把握には至らなかった。

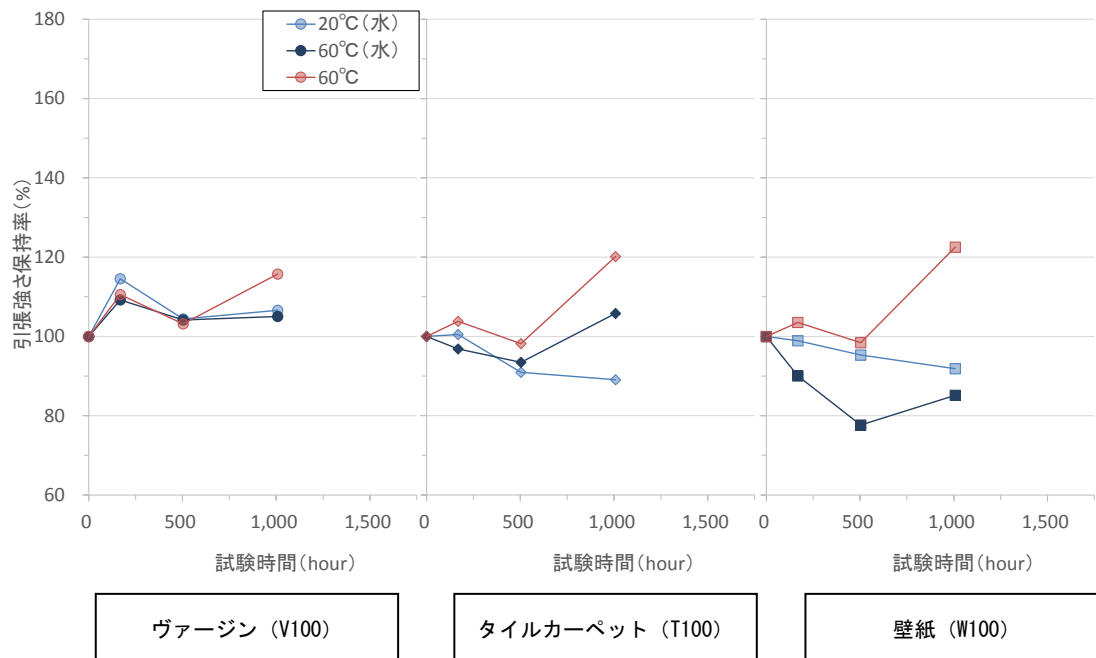


図 4-4-19 温水浸漬試験後における引張強さ保持率

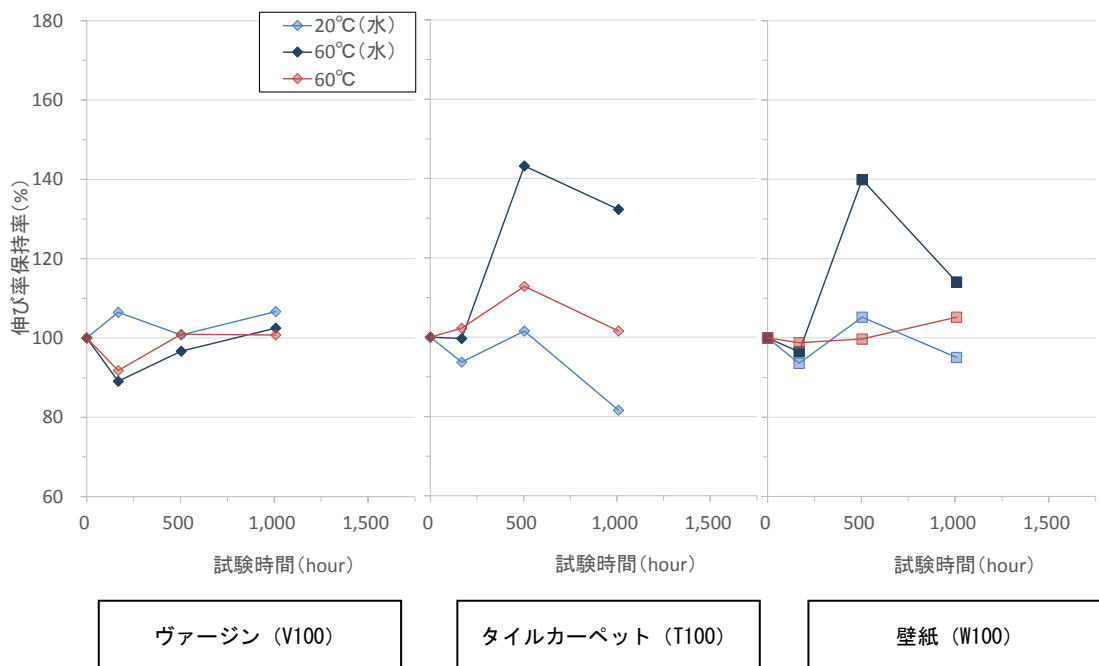




図 4-4-20 温水浸漬試験後における伸び率保持率

図 4-4-21 に温度変化試験後のヴァージン原料 (V100) における引張強さ保持率と伸び率保持率の関係を、図 4-4-22 に温水浸漬試験後のヴァージン原料 (V100) における引張強さ保持率と伸び率保持率の関係を示す。これらの図より、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質は、水の因子により多少影響は受けるものの、熱因子による影響の方がより強く依存する。また、水と熱因子が相乗的に作用することにより、再生塩ビ樹脂シート中の不純物はより吸水膨張し、再生塩ビ樹脂シートの重量および寸法の変化はより影響を受ける。つまり、再生塩ビ樹脂シートを屋外で使用する場合、熱および水が複合的に作用する環境であるため、寸法の安定性を特に留意しなければならない。

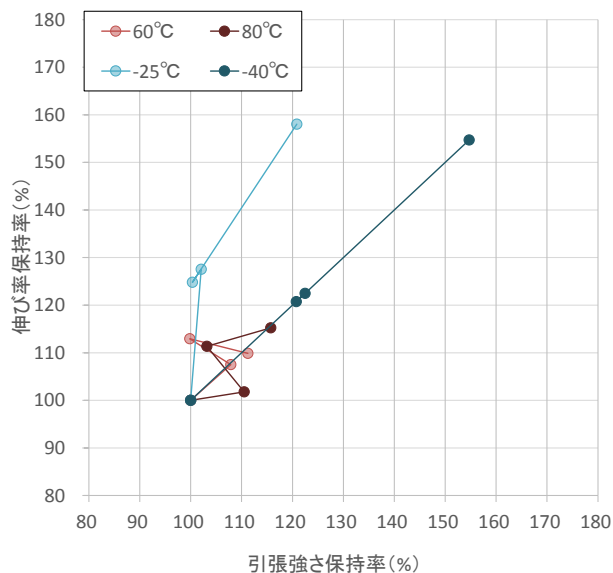


図 4-4-21 温度変化試験後における引張強さ保持率と伸び率保持率の関係 (V100)

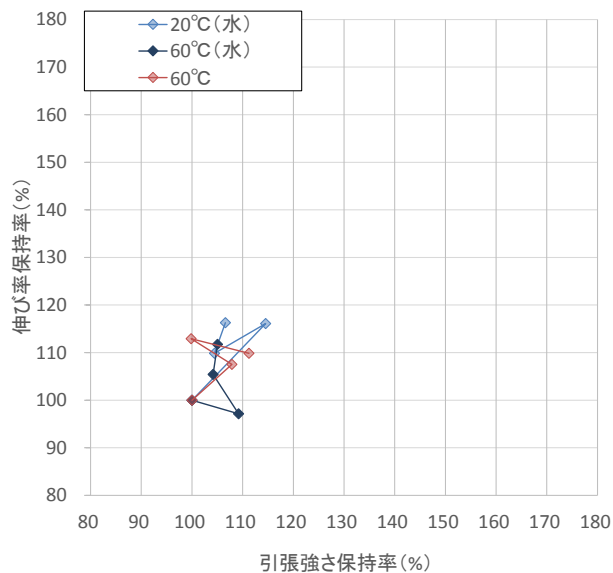


図 4-4-22 温水浸漬試験後における引張強さ保持率と伸び率保持率の関係 (V100)

#### 第4項 長期耐久性評価

##### 1) 実験目的

再生塩ビ樹脂シートの最終的な用途として、屋内で使用される床材だけでなく、屋外で使用される防水シートについても想定している。防水シートは一般的に 10~20 年使用されることから、長期耐久性が求められる。そこで本項では、JIS A 6008 の規定にかかわらず、長期間劣化処理を行い、再生塩ビ樹脂シートの長期耐久性を検討した。

##### 2) 実験概要

本項における劣化処理は、JIS A 6008 に規定される加熱処理および促進暴露処理について行う。各試験の概要を以下に示す。

###### ① 長期加熱試験

JIS K 6257 の 4 (空気加熱老化試験) に準じて加熱処理を行う。ただし、試験片を  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$  に調節した加熱恒温器に 168, 336, 672, 1344, 2688 時間と長期間行い、その後引張性能試験および質量測定を行った。

###### ② 長期耐候性試験

JIS A 1415 の 6.3 項に準じて促進暴露処理を行う。ただし、促進暴露処理の試験時間を 250, 500, 1000, 2500 時間と長期間行い、その後引張性能試験を行った。

### 3) 実験結果

#### ① 長期耐熱性評価

加熱時間と引張性能試験結果について図 4-4-23 に引張強さ保持率を、図 4-4-24 に伸び保持率を示す。加熱時間の増加に伴い、引張強さにおいては、ヴァージンおよび防水シートは低下、タイルカーペットおよび壁紙は向上した。伸び率においては、防水シート以外の水準はすべて低下した。また、図 4-4-23、4-4-24 中の破線は防水シートを想定した JIS 規格値であり、本研究の範囲では、タイルカーペット以外の全水準において、JIS 規格値を満たした。ただし、ヴァージン材や他種廃材と組み合わせることで機械的性質が向上した結果から考えると、タイルカーペット廃材であっても、用いる原料や配合の工夫により、耐熱性の向上が期待できる。

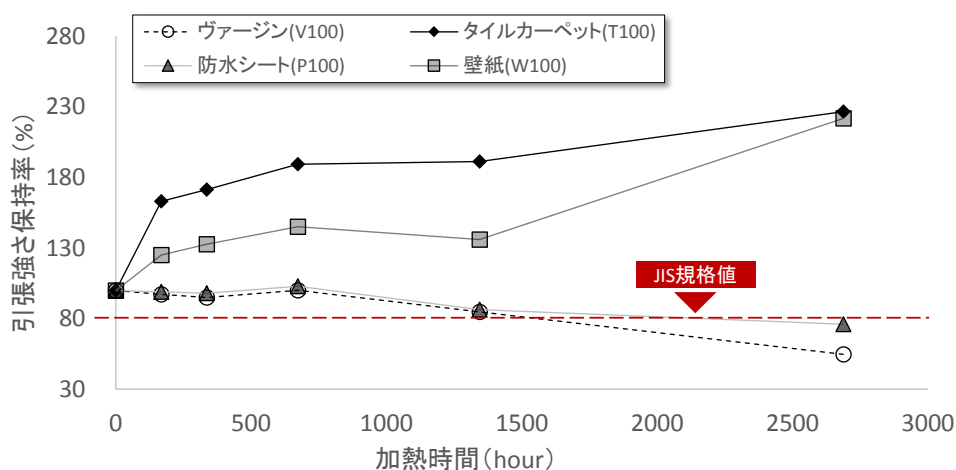


図 4-4-23 加熱時間と引張強さ保持率の関係 (加熱処理)

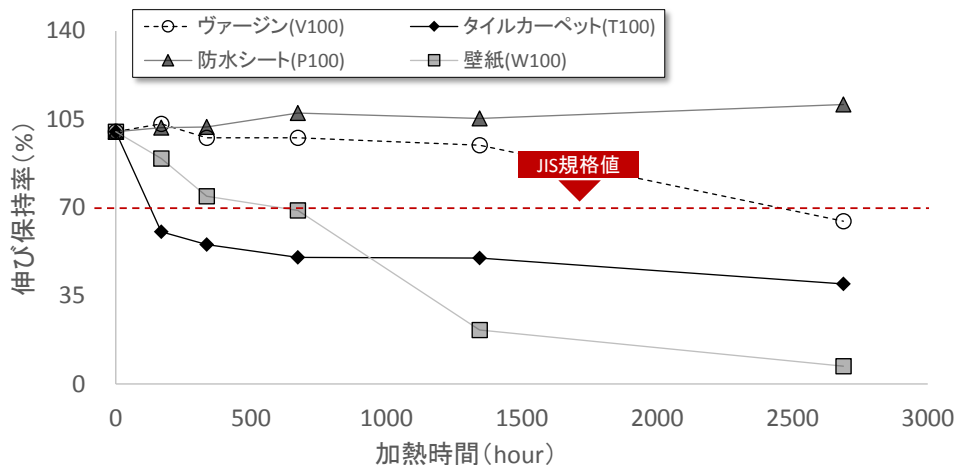


図 4-4-24 加熱時間と伸び保持率の関係（加熱処理）

次に、図 4-4-25 に加熱時間と質量保持率の関係を示す。加熱時間の増加に伴い、すべての水準において質量は減少した。これは加熱により再生塩ビ樹脂シート中の可塑剤が減少<sup>4-7) 4-8)</sup>したためである。廃材種類で比較すると、ヴァージンおよび防水シートに比べ、タイルカーペットおよび壁紙の方が質量保持率は減少した。これは、塩ビ建材の種類によって、使用される可塑剤の種類が異なることが原因である。ここで、各種可塑剤の性能比較の一例を表 4-4-4 に示す。一般的な可塑剤の種類として、屋外用途の防水材には揮発減量の小さい DIDP が用いられ、屋内を主な用途としたタイルカーペットや壁紙等には DIDP に比べ揮発減量が多い DOP 等が使用される。そのため、DIDP が使用されているヴァージン材および防水シートは、DOP が使用されているタイルカーペットおよび壁紙に比べ、質量保持率が高い値となったと推察される。

ここで、図 4-4-26 に加熱試験における質量保持率と引張強さ保持率および伸び保持率の関係を示す。これらの図より、質量の減少に伴い、引張強さは増大、伸び率は低下し、比例関係であった。

以上のことより、熱による再生塩ビ樹脂シートの劣化傾向は、再生原料に使用される可塑剤に強く起因し、可塑剤が減少することで再生塩ビ樹脂シートが硬化していくと考えられる。また、塩ビ材料は熱による可塑剤の蒸発に加え、酸化反応等も同時に促進される<sup>4-9) 4-10)</sup>ことから、劣化傾向がばらついたと考えられる。

表 4-4-4 各種可塑剤の性能（例） ※製造業者のカタログ値

可塑剤種類	性能		耐熱老化性試験	
	試験条件	揮発減量	試験条件	重量変化率
DOP	87°C × 1日	3.6%	100°C × 5日	7.8%
	87°C × 6日	18.0%		
DIDP	87°C × 1日	0.5%	120°C × 5日	3.6%
	87°C × 6日	3.0%		

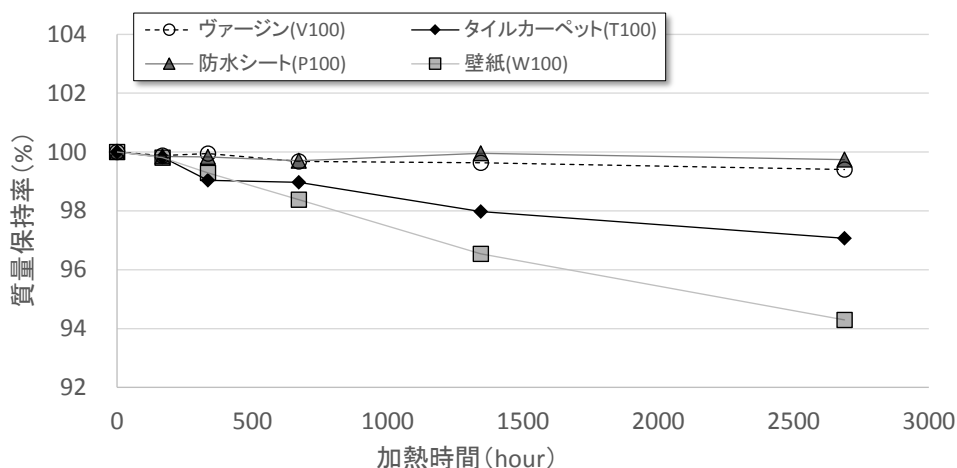


図4-4-25 加熱時間と質量保持率の関係（加熱処理）

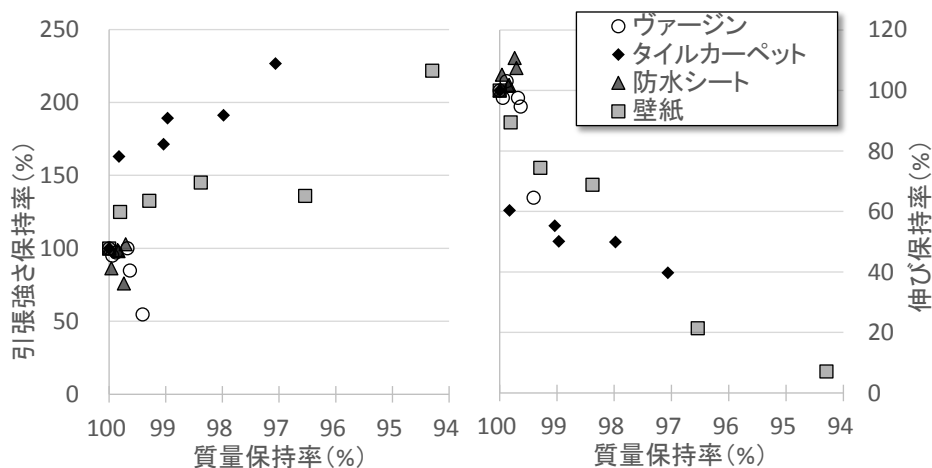


図4-4-26 質量保持率と引張性能の関係（加熱処理）

左：引張強さ保持率，右：伸び保持率

## ② 長期耐候性評価

促進暴露処理後の引張性能試験結果について図4-4-27に引張強さ保持率を、図4-4-28に伸び保持率を示す。図4-4-27, 4-4-28中の破線は防水シートを想定したJIS規格値であり、本研究の範囲では、タイルカーペット以外の全水準において、JIS規格値を満たした。ただし、加熱処理結果と同様に、ヴァージン原料の混入や多種廃材配合により、耐久性の向上効果が期待でき、今後検討していく。

また、試験時間の増加に伴い、引張強さにおいては、ヴァージンおよび防水シートは低下、タイルカーペットおよび壁紙は増大した。一方、伸び率においては、すべての水準で低下した。加熱処理と比較すると、促進暴露処理による劣化傾向は類似しているが、その低下率は促進暴露処理によるものの方が大きく、特に伸び率においては極端な低下傾向を示した。これらは、促進暴露処理が実環境による劣化を想定しているため、熱に加え、紫外線および水も劣化因子に含まれることが原因である<sup>4-11)</sup>。紫外線による劣化は、塩ビ樹脂の分子鎖を断裂することにより低分子量化を引き起こし、水による劣化は、塩ビ樹脂の加水分解に加え、可塑剤の溶出を促進させる。実環境下では、これらの劣化因子が複合的に絡み合い、劣化傾向を把握することは難しいが、今回の試験結果では伸び率に顕著な低下がみられた。吉岡らは<sup>4-12)</sup>防水シートの耐久性評価において、伸び率を基準とすることが望ましいことを実暴露試験結果より明らかにしている。本研究における再生塩ビ樹脂シー

トの耐久性に関する実験においても、伸び率に明確な傾向を示したことから、評価としては、伸び率を基準にすることが望ましいといえる。

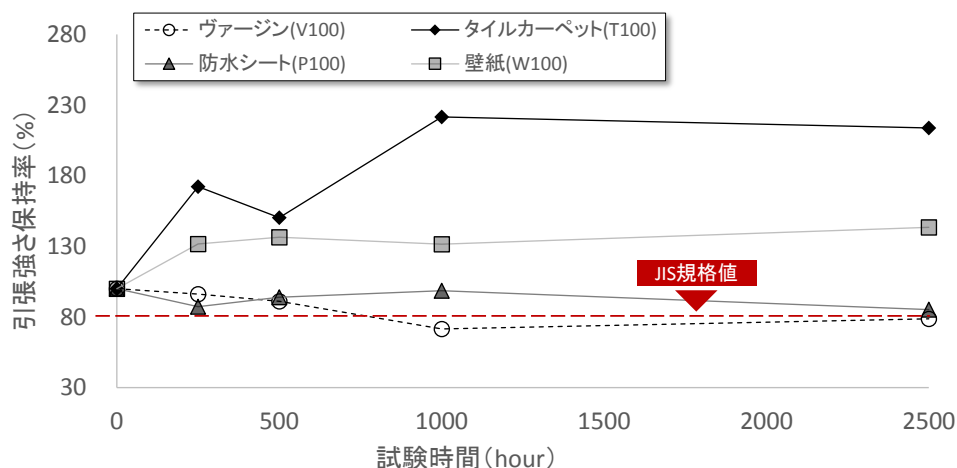


図 4-4-27 試験時間と引張強さ保持率の関係（促進暴露処理）

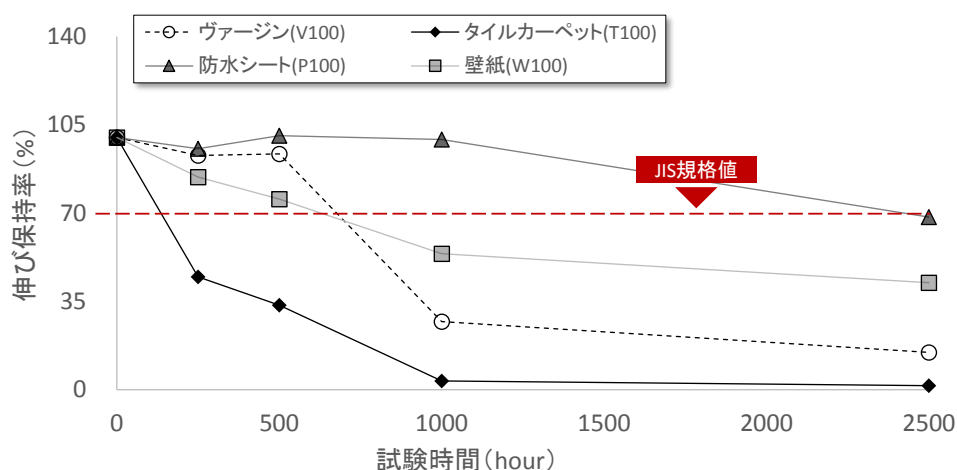


図 4-4-28 試験時間と伸び率保持率の関係（促進暴露処理）

ここで、図 4-4-29 に加熱処理および促進暴露処理における引張強さ保持率と伸び保持率の関係を示す。これら図を比較すると、引張強さと伸び率の関係は加熱処理よりも促進暴露処理による方がばらついた。特に、ヴァージン原料においては、促進暴露処理により引張強さおよび伸び率ともに極端な低下傾向を示した。この原因として、廃材原料と違いヴァージン原料には混合剤（主に安定剤）を使用しなかったためと考えられる。ただし、廃材の種類ごとに混合剤種類の違いによる影響があると推察される。

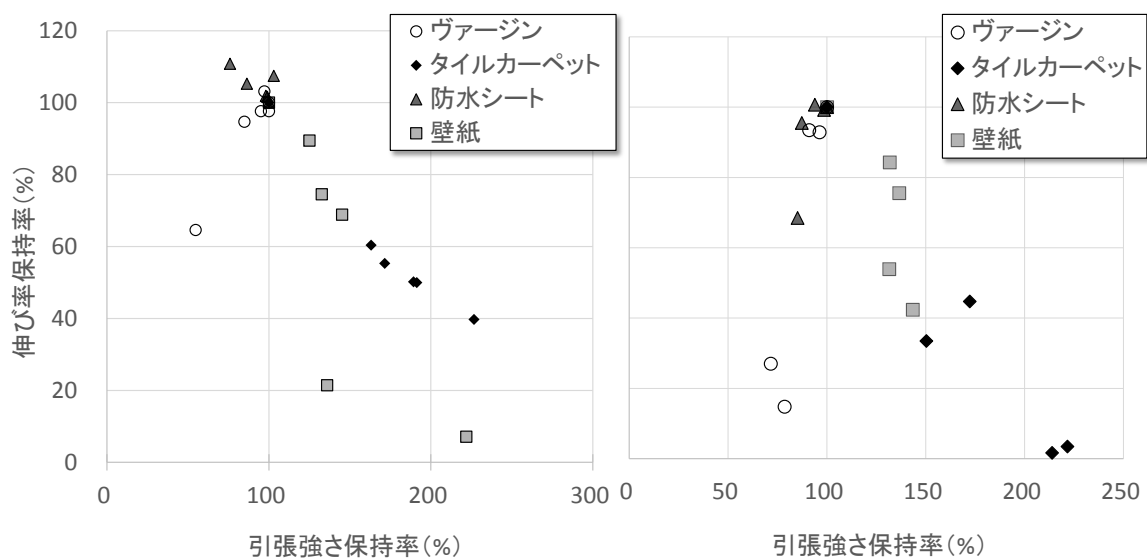


図 4-4-29 引張強さ保持率と伸び保持率の関係

左：加熱処理，右：促進暴露処理

## 第5節 再生塩ビ樹脂シートの複層化による耐久性向上効果

### 第1項 実験目的

再生塩ビ樹脂シートの品質は、廃材混入率の増加に伴い、品質は低下し、特に耐久性の低下傾向は大きく、再生塩ビ樹脂シートの用途として防水シートを想定する場合、大きな課題となる。また、再生塩ビ樹脂シート中のヴァージン原料の配合率を高めることで、機械的性質を高めることは可能だが、再生塩ビ樹脂シートを単体で利用することは難しく、耐久性を高める安定剤をヴァージン原料に比べ、より多く添加する必要がある。しかし、本研究の目的である効率的なリサイクルを実現するためには、環境面およびおコスト面からも極力ヴァージン原料の配合率や安定剤の添加率を抑えなければならない。

そこで本章では、塩ビ樹脂シートのリサイクルを目的に、再生塩ビ樹脂シートの複層化による品質改善の検討を行った。具体的には、表層に品質の高いヴァージンシート（耐久性を高める安定剤を添加したもの）、下層に品質の低い再生塩ビ樹脂シートを使用し、再生塩ビ樹脂シートを複層構造にすることで、複層化再生塩ビ樹脂シート全体での品質向上、つまりリサイクル率向上を検討する。検討項目としては、複層再生塩ビ樹脂シートに使用する再生塩ビ樹脂シートの配合廃材種類および混入率、複層枚数等の変動についてである。さらに、複層化再生塩ビ樹脂シートは表層に品質の高いヴァージンシートを用いることから、耐久性向上効果も期待でき、特に屋外用途を想定した場合の耐候性の向上も目的の一つである。写真4-5-1に、実際に床材メーカーで行われているリサイクルシートの一例を示す。

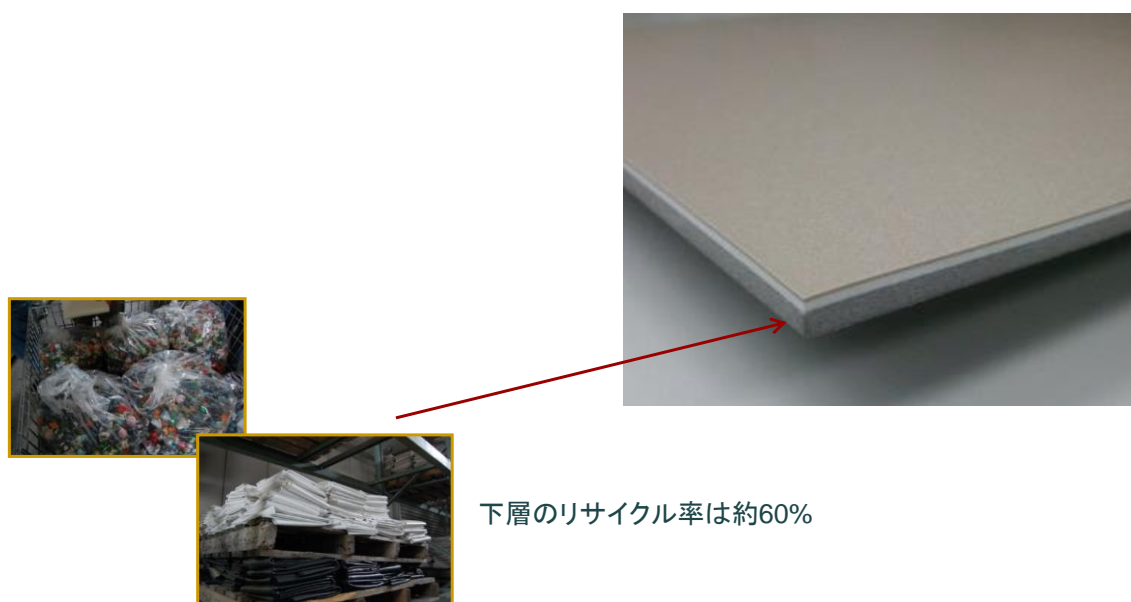


写真 4-5-1 床材を用途とした複層化リサイクルシート（例）



## 第2項 実験概要

### 1) 複層化再生塩ビ樹脂シートの作製方法

複層化再生塩ビ樹脂シートは以下の手順で作製する。図4-5-1に複層化再生塩ビ樹脂シートの作製フローを示す。

- 1) 再生塩ビ粉体、ヴァージン原料および種々の安定剤を配合し、ミキシングロールを用いて練り混ぜ、シート状に成型する。
- 2) ミキシングロールより取り出した再生塩ビ樹脂シートを、カレンダー機械により、厚さ5mmに成型し、5cm×5cmに切り出す。
- 3) 各層に使用する塩ビシートを水準に合わせて複層し、最下層（バックer）とその前の層の間にガラス繊維を挟む。その際、各層のシートはX軸方向とY軸方向を交互に入れ替え、互い違いに向きを変えて配置することで、寸法安定性を高める。
- 4) 加熱プレス機の温度を $180\pm 5^{\circ}\text{C}$ に設定し、複層に重ねた塩ビシートに3分間50Nで圧力を加える。
- 5) 加熱プレス後、圧力を加えた状態で4分間クーリングし、その際の冷却温度は約 $20^{\circ}\text{C}$ の水道水によるものとする。
- 6) プレス機から複層化再生塩ビ樹脂シートを取り出し、1時間常温に静置後、接着力に斑がある複層化再生塩ビ樹脂シートの外周を幅1cm切り落とし、試験体として用いる。



図4-5-1 複層化再生塩ビ樹脂シートの作製フロー

## 2) 再生塩ビ樹脂シートの配合

複層化再生塩ビ樹脂シートに用いる再生塩ビ樹脂シートの配合は、表 4-5-1 に示す通りである。なお、ここで用いたヴァージン原料は、耐久性を高めるため、塩ビ樹脂の重合度を1700とした。また、加熱プレス温度が180℃と高温なため、再生塩ビ樹脂シートの熱劣化を防止するため、安定剤（熱安定剤、自動酸化防止剤）を使用した。

図 4-5-2 に本節で用いた再生塩ビ樹脂シートの機械的性質を示す。

表 4-5-1 複層化姿勢塩ビ樹脂シートに用いる再生塩ビ樹脂シートの配合表

sample name	Whole						each compounding rate		
	recycle rate	PVC	DIDP		CaCO <sub>2</sub>		virgin	wall-paper	tile-carpet
	%	%	%	phr	%	phr	%	%	%
V100	0	56	33	60	11	20	100	0	0
W100	100	40	21	52	39	98		100	
W60	60	46	26	56	28	61	40	60	
W50	50	48	27	57	25	53	50	50	
W30	30	51	30	58	20	38	70	30	
T100	100	18	15	87	67	373			100
T50	50	37	24	66	39	106	50		50

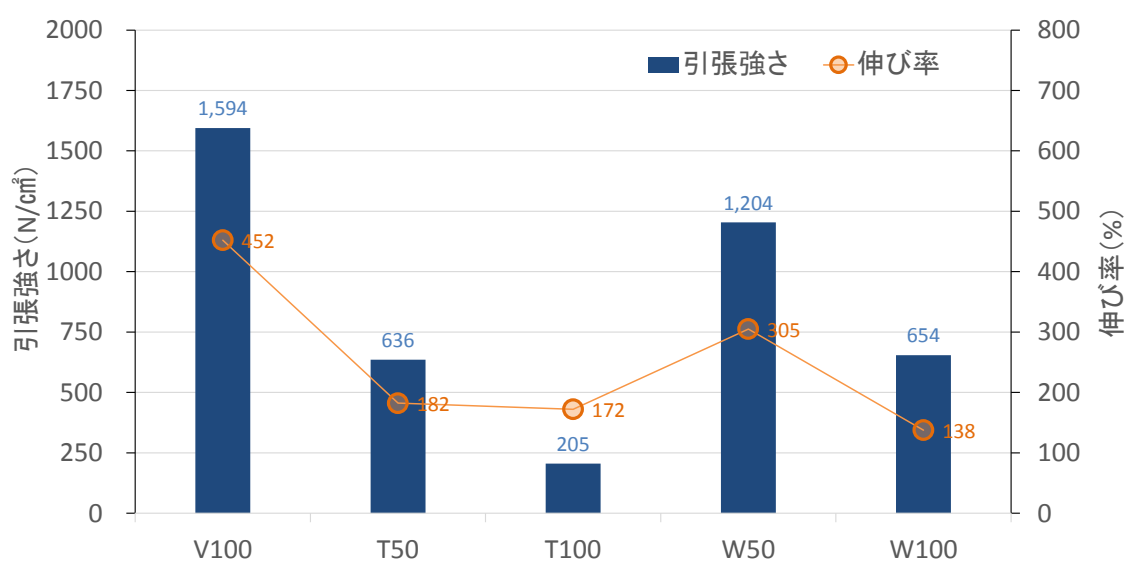


図 4-5-2 再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

### 3) 複層化再生塩ビ樹脂シートの層構成

表 4-5-2 に複層化再生塩ビ樹脂シートの層構成を、図 4-5-3 に水準名の解説を示す。複層化再生塩ビ樹脂シートの層構成は、その複層枚数、リサイクル率および廃材原料の違い等を変動因子としている。以下に、複層化再生塩ビ樹脂シートにおける検討項目を示す。

- ①複層枚数
- ②3 枚構成における最下層のみのリサイクル率
- ③3 枚構成における中間層のみのリサイクル率
- ④4 枚構成におけるリサイクル率

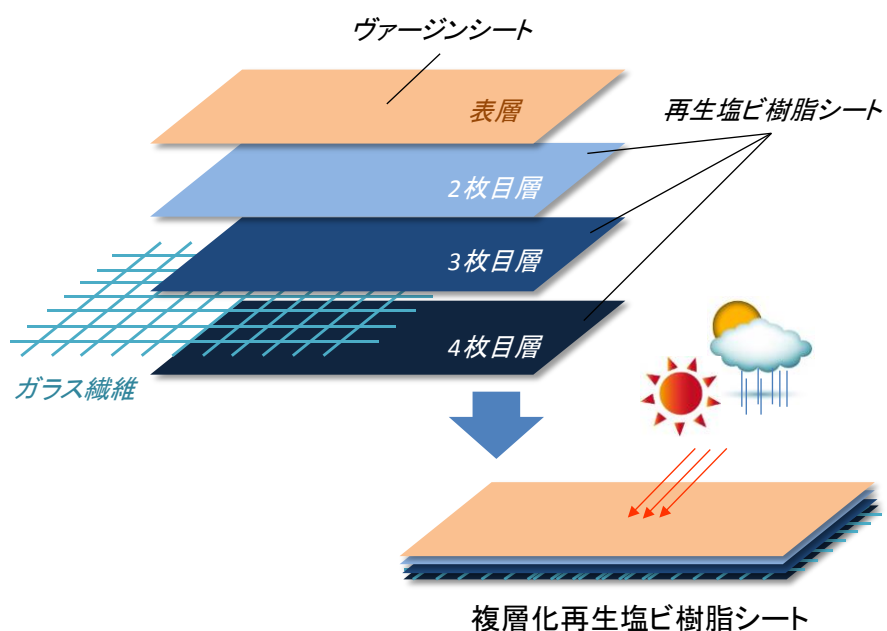


図 4-5-3 水準名の解説

表 4-5-2 複層化再生塩ビ樹脂シートの層構成

水準名	全体		表層 R率 %	2枚目層				3枚目層				4枚目層			
	R率 %	枚数 枚		R率 %	V %	W %	T %	R率 %	V %	W %	T %	R率 %	V %	W %	T %
V100	0	1	0												
Pi3(Rm-V100-V100)	0	3		0	100	0		0	100	0					
Pi4(Rm-V100-V100-V100)	0	4		0	100	0		0	100	0		0	100	0	
Pi3(Rm-V100-W30)	10	3		0	100	0		30	70	30					
Pi3(Rm-V100-W60)	20	3		0	100	0		60	40	60					
Pi3(Rm-V100-W100)	33	3		0	100	0		100	0	100					
Pi3(Rm-W30-W100)	43	3		30	70	30		100	0	100					
Pi3(Rm-W60-W100)	53	3		60	40	60		100	0	100					
Pi3(Rm-W100-W100)	67	3		100	0	100		100	0	100					
Pi4(Rm-V100-V100-W100)	25	4		0	100	0		0	100	0		100	0	100	
Pi4(Rm-V100-W50-W100)	38	4		0	100	0		50	50	50		100	0	100	
Pi4(Rm-V100-W100-W100)	50	4		0	100	0		100	0	100		100	0	100	
Pi4(Rm-W50-W100-W100)	63	4		50	50	50		100	0	100		100	0	100	
Pi4(Rm-W100-W100-W100)	75	4		100	0	100		100	0	100		100	0	100	
Pi3(Rm-V100-T30)	17	3		0	100		0	50	50		50				
Pi3(Rm-V100-T100)	33	3		0	100		0	100	0		100				
Pi3(Rm-T30-T100)	50	3		50	50		50	100	0		100				
Pi3(Rm-T100-T100)	67	3		100	0		100	100	0		100				
Pi4(Rm-V100-T50-T100)	38	4		0	100		0	50	50		50	100	0		100
Pi4(Rm-T100-T100-T100)	75	4		100	0		100	100	0		100	100	0		100

4) 評価方法および試験項目

複層化再生塩ビ樹脂シートの評価方法は、本論文第3章と同様に、JIS A 6008 に準じて引張性能試験および引裂性能試験を行い、それらに加え、表面劣化性状の観察も行った。なお、引張強さおよび引裂強さの算出方法は、均質シートと複層化シートでは異なり、複層化シートの引張強さは(4-5-1)式によって算出し、引裂強さは荷重(N)のみ読み取った。

$$T_B = \frac{P_B}{W} \quad \dots\dots\dots (4-5-1)式$$

ここで、 $T_B$ ：引張強さ (N/cm)，  
 $P_B$ ：最大荷重 (N)，  
 $W$ ：試験片の実測した幅 (mm)

また、耐久性評価について、JIS 規格値に規定される基礎的な耐久性評価に加え、長期的な耐久性についても検討するため、耐熱性評価として JIS K 6257 の4(空気加熱老化試験)に準じて加熱処理を168時間行い、耐候性評価として JIS A 1415 の6.3項に準じて促進暴露処理を250、および1500時間行った。表4-5-3に防水シートを想定した複合塩ビシート(JIS A 6008)における品質規格値を示す。

表4-5-3 JIS A 6008 に準ずる防水シートを想定した複合塩ビシートの品質規格値

項目	均質シートの品質(以上)		複合シートの品質(以上)	
	機械的固定工法	その他	一般複合タイプ	補強複合タイプ
引張性能	引張強さ N/cm	1800【N/cm <sup>2</sup> 】	1000【N/cm <sup>2</sup> 】	100* 240
	伸び率 %	250	200	150 15
引裂性能	引裂強さ N	400【N/cm】		50*
加熱処理	劣化後引張強さ比 %	80		80
	劣化後伸び率比 %	70		70
促進暴露処理	劣化後引張強さ比 %	80		80
	劣化後伸び率比 %	70		80

※引張強さおよび引裂強さは、均質シートと複合シートではその算出方法が異なる。

### 第3項 複層化再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

#### 1) 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける JIS 規格値との比較

図 4-5-4 に複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さを, 図 4-5-5 に伸び率を, 図 4-5-6 に引裂強さを示す。なお, 図 4-5-4~4-5-6 における破線は JIS 規格値である。引張強さにおいては, Pi3(Rm-T100-T100)以外のすべての水準において JIS 規格値を満たした。伸び率においては, 壁紙を再生原料とした廃材混入率が高い水準においては JIS 規格値を満たさなかったが, それ以外の水準, 特にタイルカーペットを再生原料としたすべての水準で JIS 規格値を満たした。引裂強さにおいては, Pi3(Rm-T100-T100)以外のすべての水準において JIS 規格値を満たした。

表 4-5-4 に複層化再生塩ビ樹脂シートにおける JIS 規格値 (JIS A 6008) を満たす廃材混入率を示す。本研究の範囲では, 壁紙で廃材混入率 20%, タイルカーペットで 33%以下まで JIS 規格値を満たした。なお, ここで比較している JIS 規格値は, 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける JIS 規格値と, 単層シートにおける規格値では, その算出方法が異なることから, 再生塩ビ樹脂シートを複層化することによって品質が向上したわけではない。また, 今回作製した複層化再生塩ビ樹脂シートは, 試作の段階のため, 品質にばらつきがみられ, ばらついた値により JIS 規格値を下回る結果となったが, 各シートの厚さを精密に均一にすることや, 加熱プレス温度, 圧力および時間の最適な範囲等, 今後これらを調整することで品質の向上が望め, 今回の実験結果よりも廃材混入率の高い水準で JIS 規格値を上回ることが期待できる。

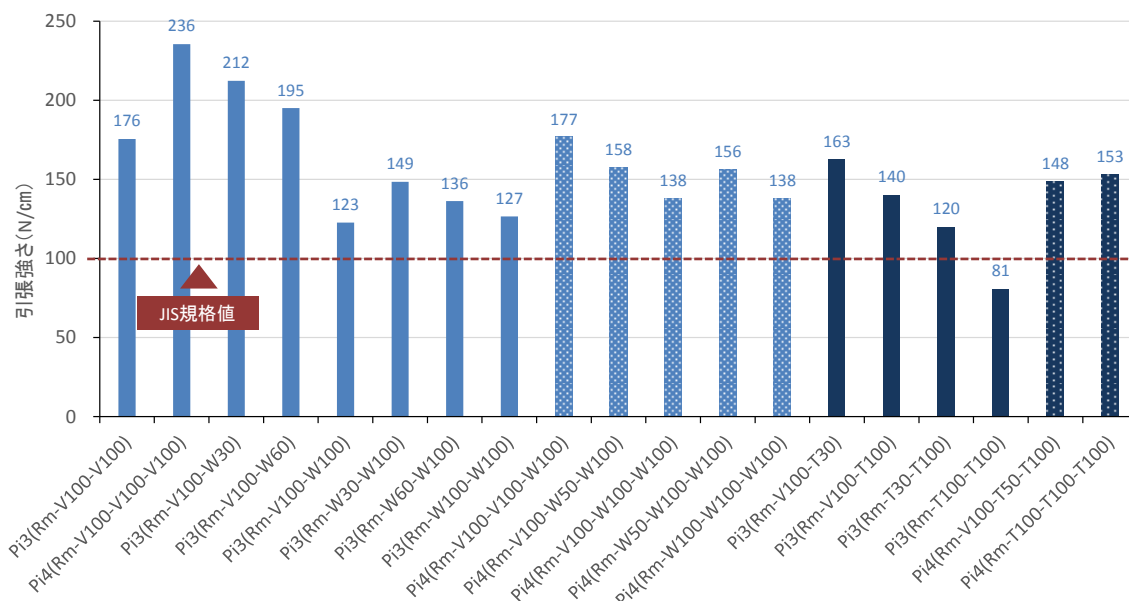


図 4-5-4 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さ

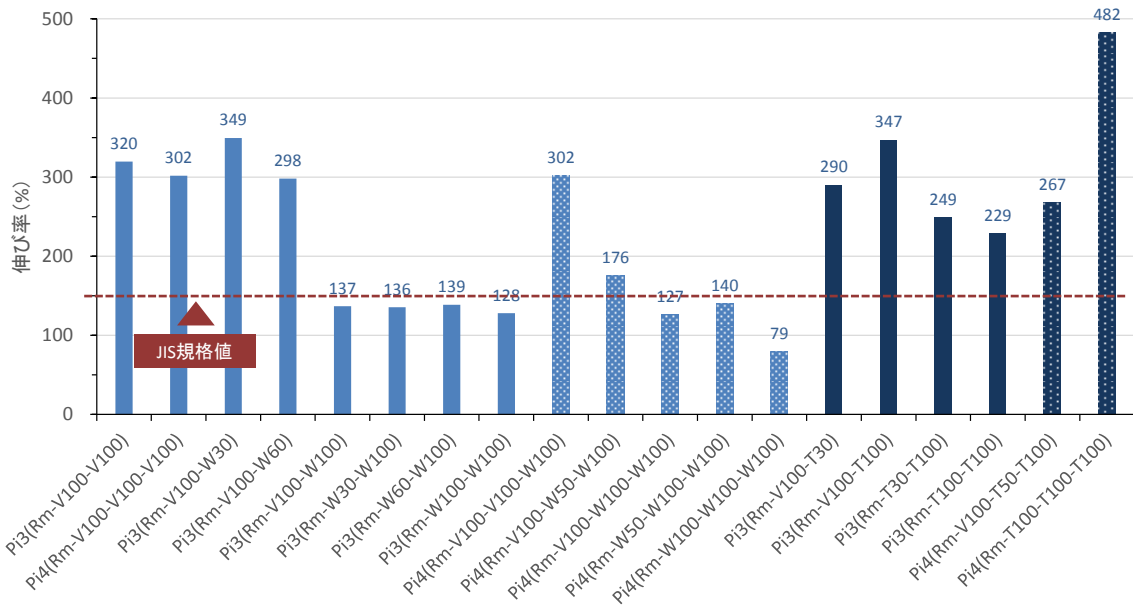


図 4-5-5 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける伸び率

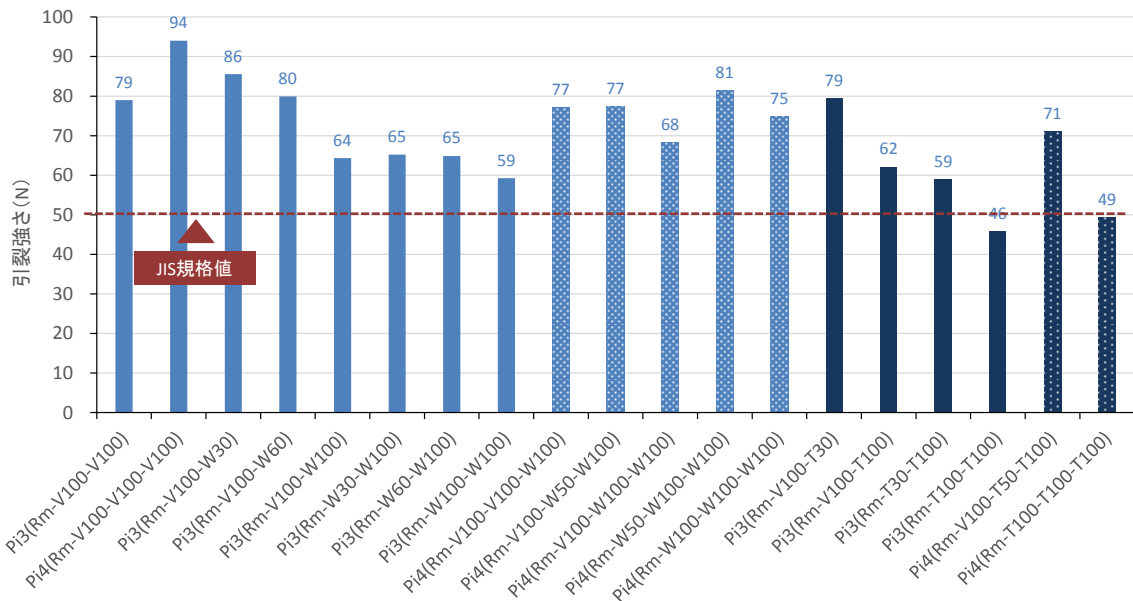


図 4-5-6 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引裂強さ

表 4-5-4 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける JIS 規格値を満たす廃材混入率

廃材原料種類	JIS規格値を満たす廃材混入率(%以下)			
	引張強さ	伸び率	引裂強さ	総合
壁紙	100	20	100	20
タイルカーペット	33	100	33	33

## 2) 複層枚数と引張性能の関係

図 4-5-7 に複層化塩ビ樹脂シートにおける複層枚数と引張性能の関係を示す。なお、図 4-5-7 中の複層化塩ビ樹脂シートにおける引張強さは、単層と比較するため、単層と同様の (3-2-1) 式を用いて算出した。図より、複層化塩ビ樹脂シートの引張強さおよび伸び率は、単層シートに比べ低い値を示した。これは、シート同士を熱融着によって接着している複層化シートにおいて、最大引張荷重および破断伸びに達する前にシート間の剥離が起きたためと考えられる。つまり、複層化シートは完全にシート同士が一体となっているわけではなく、単層と複層化シートの引張性能の差は、シート間の接着力に起因するといえる。

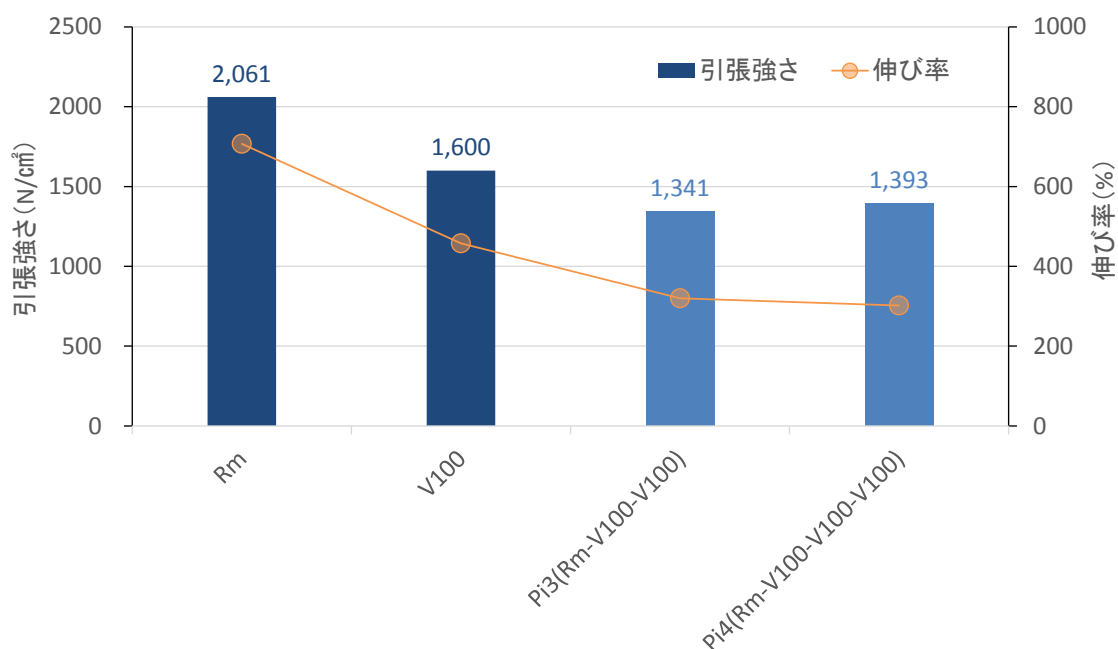


図 4-5-7 複層化塩ビ樹脂シートにおける複層枚数と引張性能の関係



### 3) リサイクル率と引張性能の関係

図 4-5-8 に壁紙を再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と引張強さの関係を、図 4-5-9 に伸び率の関係を示す。なお、図 4-5-8 中の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さは、単層と同様の(3-2-1)式を用いて算出した。図より、複層化再生塩ビ樹脂シートの引張強さおよび伸び率は、リサイクル率の増加に伴い、比例的に減少し、その傾きは単層シートにおける傾きとほぼ同一であった。つまり、複層化再生塩ビ樹脂シートの引張性能は、そのリサイクル率に限らず、単層シートと同様の傾向を示し、図中の引張性能における切片分がシート間の接着力による低下量といえる。また、引張強さと伸び率を比較すると、リサイクル率に対する傾向は、引張強さの方が相関性は高く、伸び率の方がシート間の接着力に依存すると推察される。

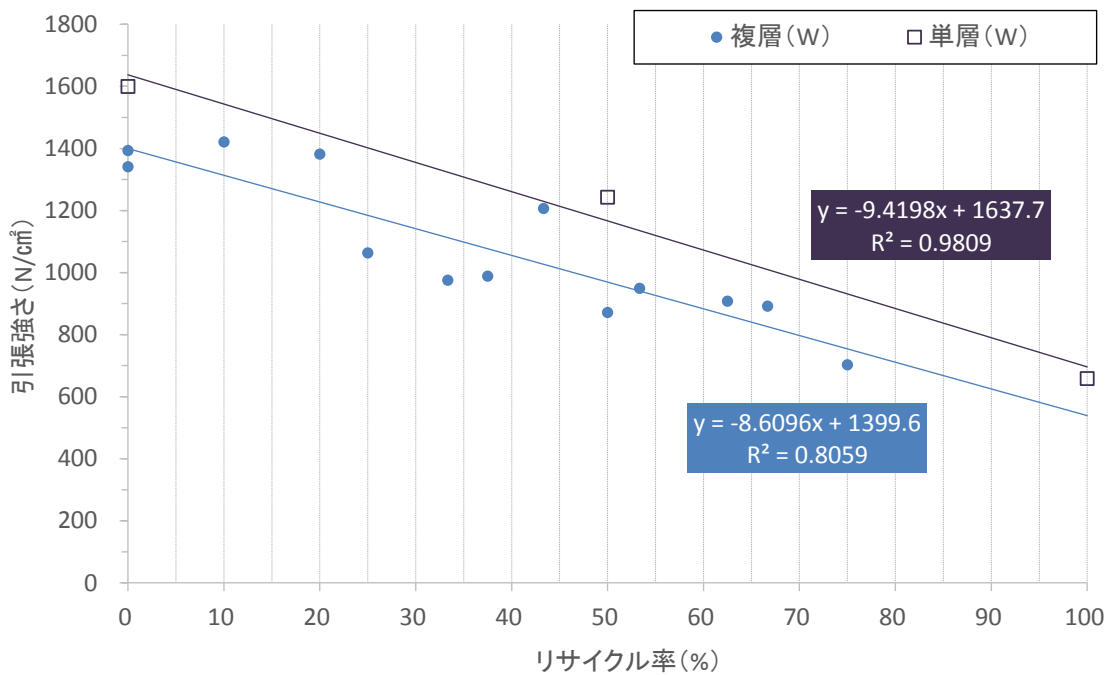


図 4-5-8 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と引張強さの関係  
(再生原料種類：床材)

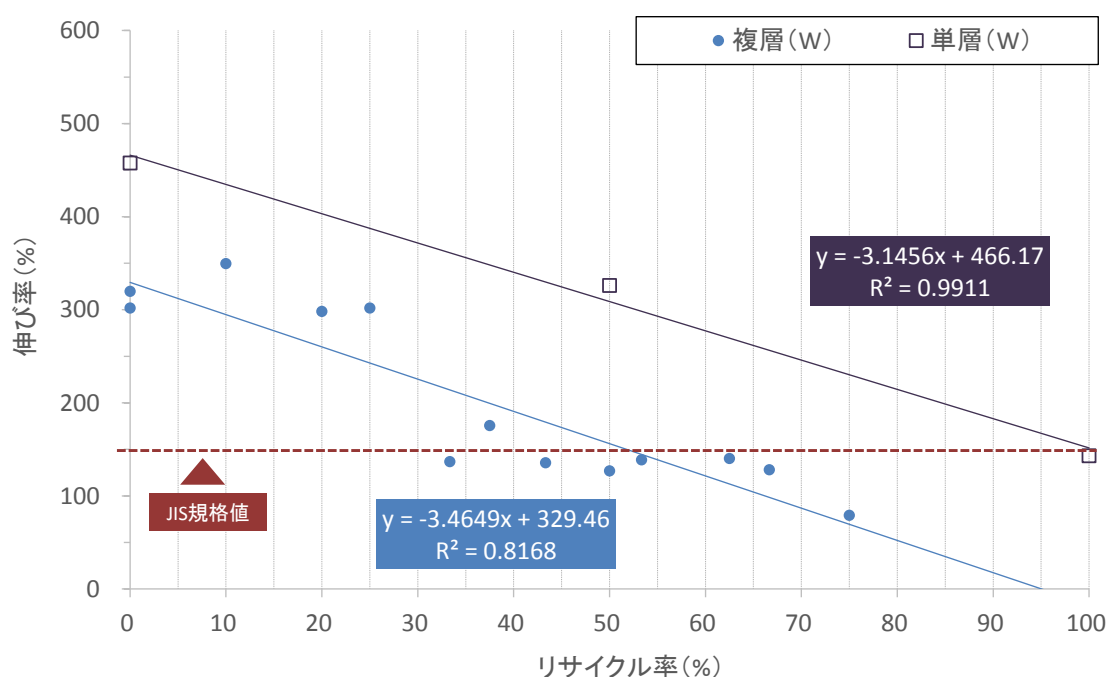


図 4-5-9 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と伸び率の関係  
(再生原料種類：床材)

次に、図 4-5-10 にタイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と引張強さの関係を示す。なお、図 4-5-10 中の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さは、単層と同様の(3-2-1)式を用いて算出した。図より、タイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートの引張強さおよび伸び率は、引張強さにおいては、リサイクル率の増加に伴い、比例的に減少し、その傾きは単層シートにおける傾きとほぼ同一であったが、伸び率は大きくばらついた。壁紙を用いた場合の傾向と大きく異なった理由として、タイルカーペットを用いた場合の方が、複層シート間の接着力にばらつきが大きく、そのため、特に伸び率においてその影響が顕著にあらわれたと推察される。そもそもタイルカーペットに使用される塩ビ樹脂は、壁紙に比べ重合度が低く、耐熱性が低いため、複層化シート作製時の加熱プレスの際に局部的に熱劣化したと考えられる。

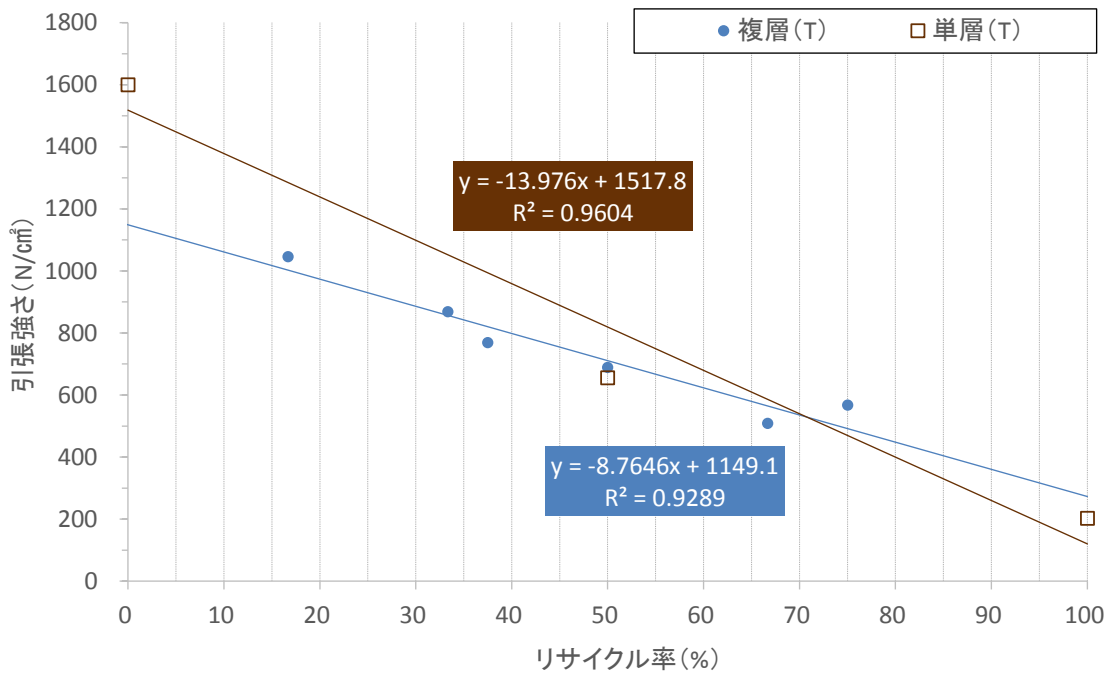


図 4-5-10 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と引張強さの関係  
(再生原料種類：タイルカーペット)

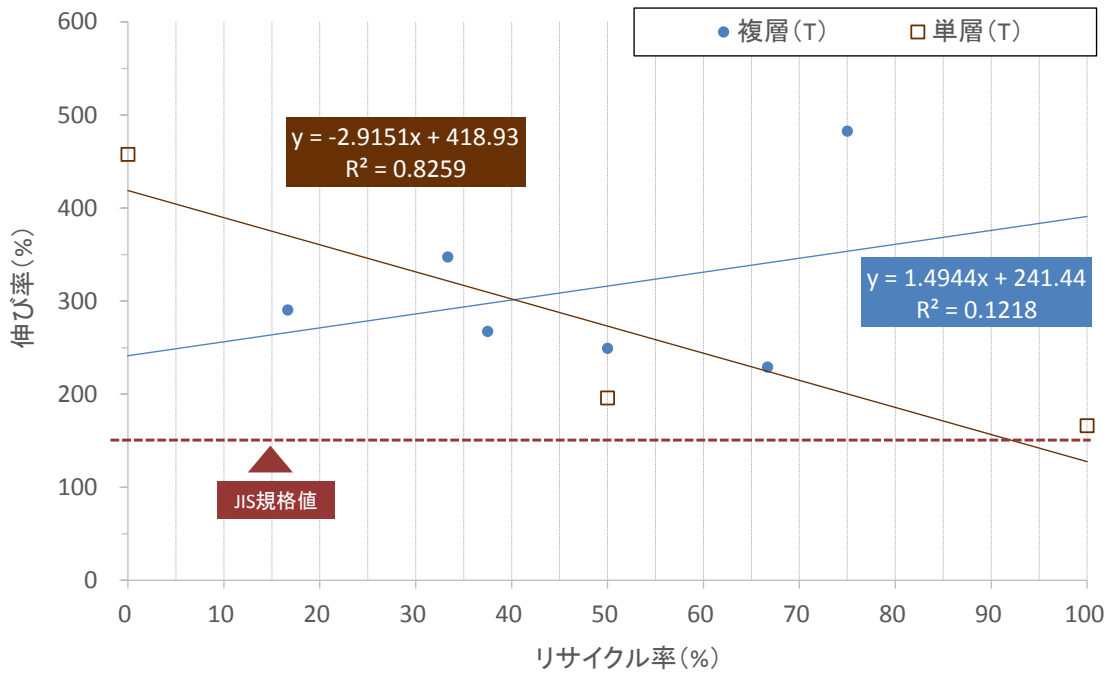


図 4-5-11 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と伸び率の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット)

#### 第4項 複層化再生塩ビ樹脂シートの耐久性

##### 1) 複層化再生塩ビ樹脂シートの耐熱性

図4-5-12に複層化再生塩ビ樹脂シートにおける加熱処理(168時間)後の引張強さ比を、図4-5-13に伸び率比を示す。加熱処理後の引張強さ比においては、Pi4(Rm-T100-T100-T100)以外のすべての水準においてJIS規格値を満たした。加熱処理後の伸び率比においては、すべての水準でJIS規格値を満たした。

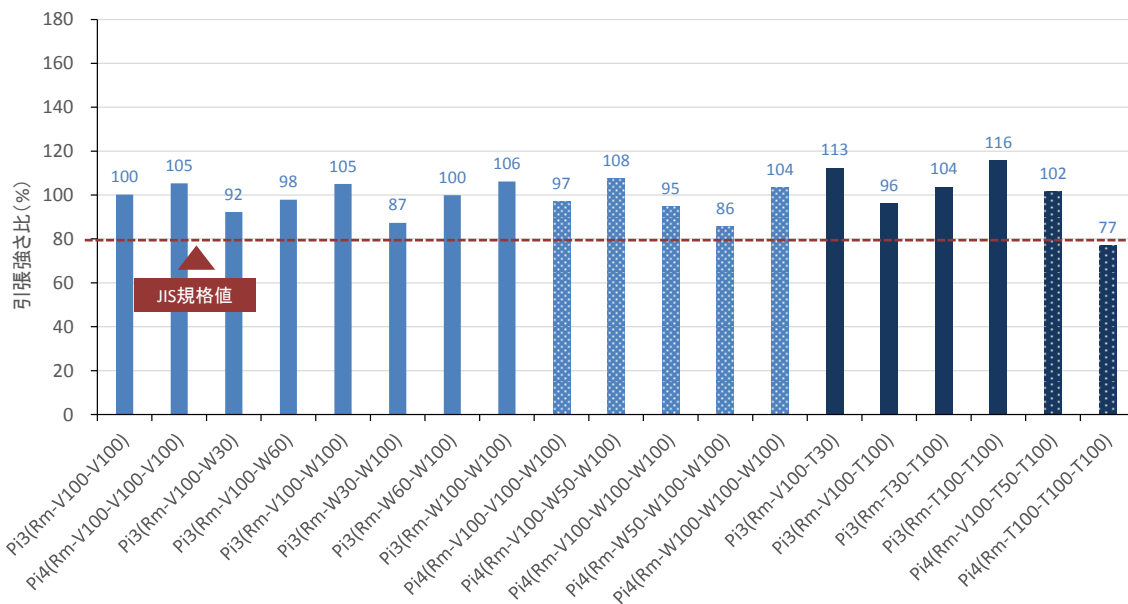


図4-5-12 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける加熱処理(168時間)後の引張強さ比

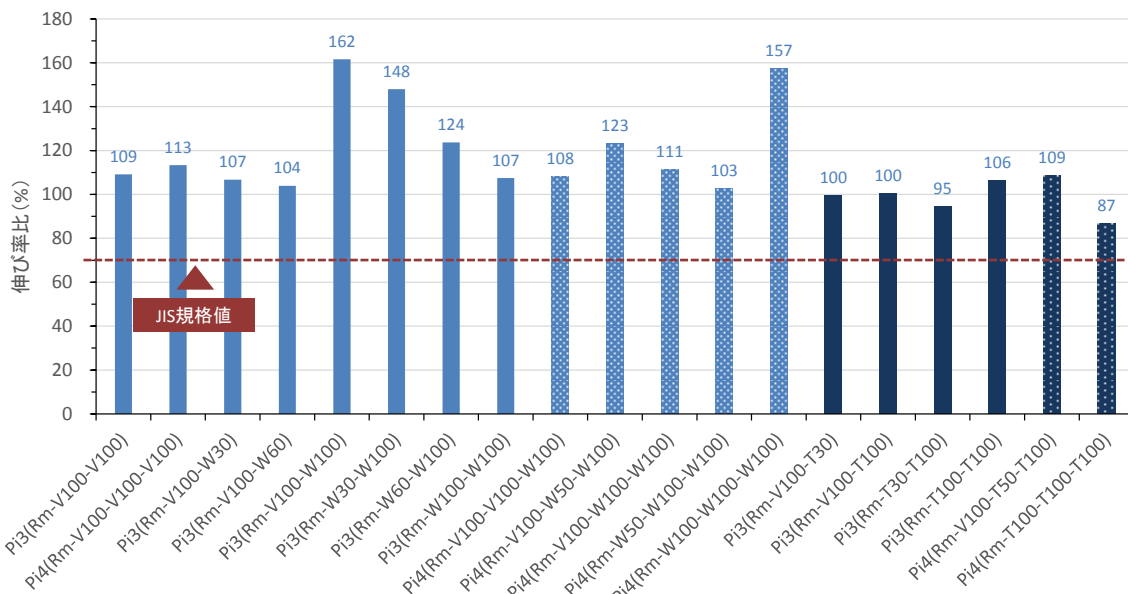


図4-5-13 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける加熱処理後(168時間)の伸び率比

次に、複層化再生塩ビ樹脂シートの廃材混入率と耐熱性の関係について、図 4-5-14 に壁紙を再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の引張強さ比の関係を、図 4-5-15 に加熱処理後の伸び率比の関係を示す。また、図 4-5-16 にタイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の引張強さ比の関係を、図 4-5-17 に加熱処理後の伸び率比の関係を示す。なお、図 4-5-14, 16 中の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さは、単層との比較のため、単層と同様の(3-2-1)式を用いて算出した。図より、壁紙およびタイルカーペットともに、再生塩ビ樹脂シートの加熱処理後における引張強さ比および伸び率比には、リサイクル率との相関性は特にみられず、大半の水準が JIS 規格値を満たした。これは、再生塩ビ樹脂シートを複層化しても、熱による劣化はシート全体に影響するためである。具体的には、表層のみ耐熱性が高いシートを用いても、複層化シートの耐熱性は向上しないといえる。また、再生塩ビ粉体の種類による傾向は特にみられなかった。

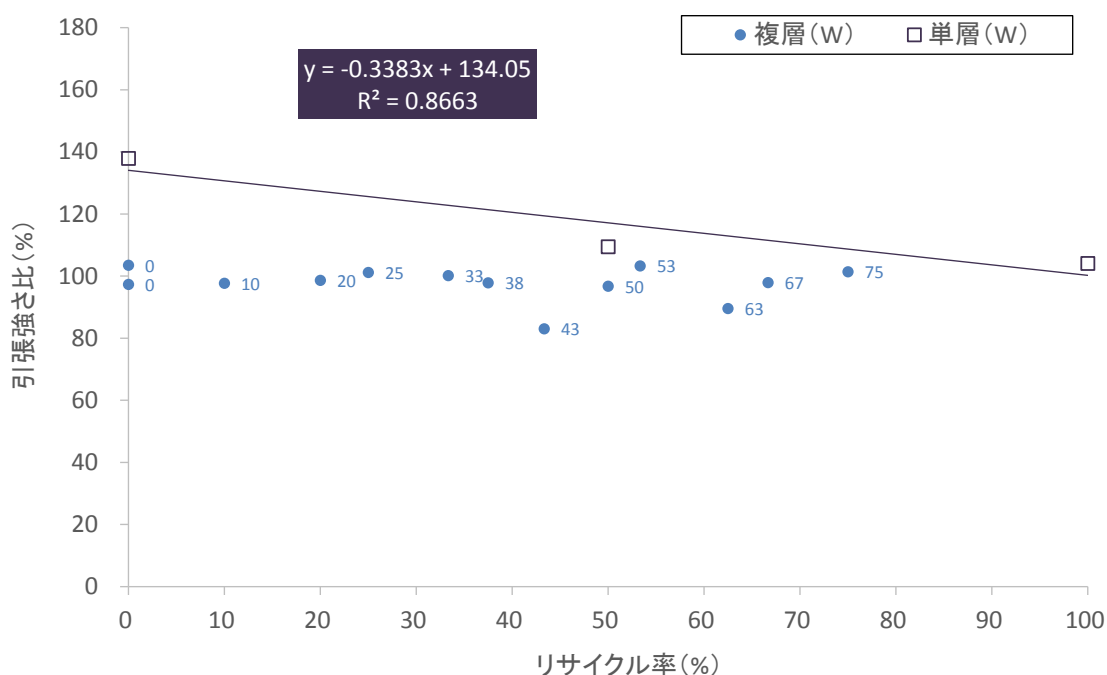


図 4-5-14 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：壁紙，加熱処理：168 時間)

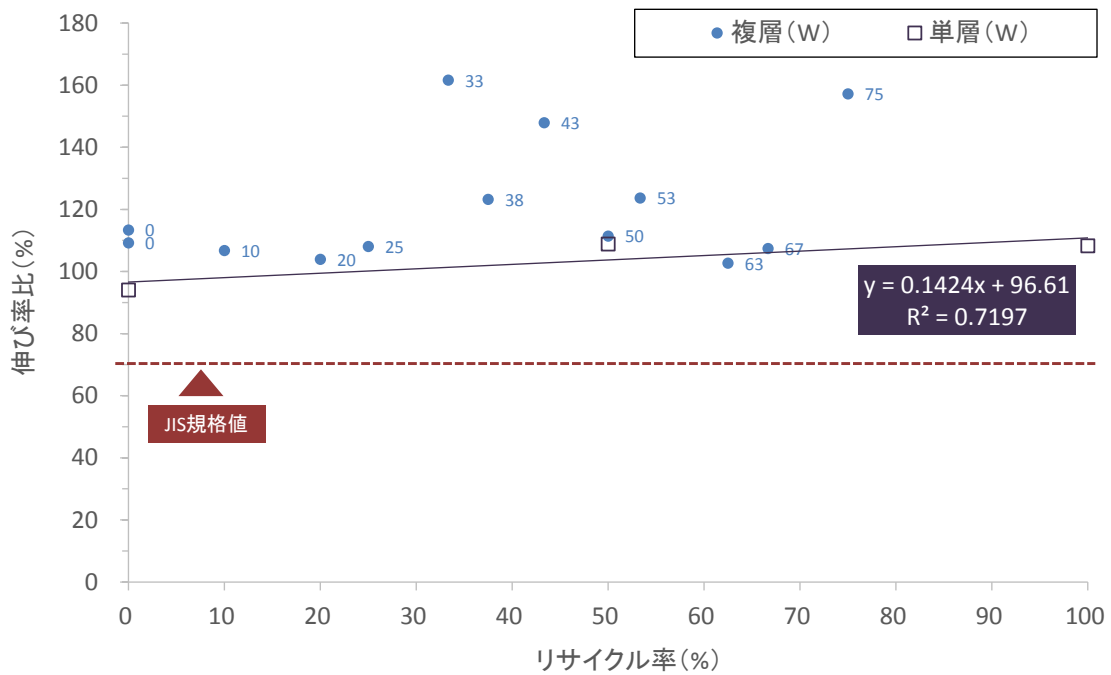


図 4-5-15 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：壁紙，加熱処理：168 時間)

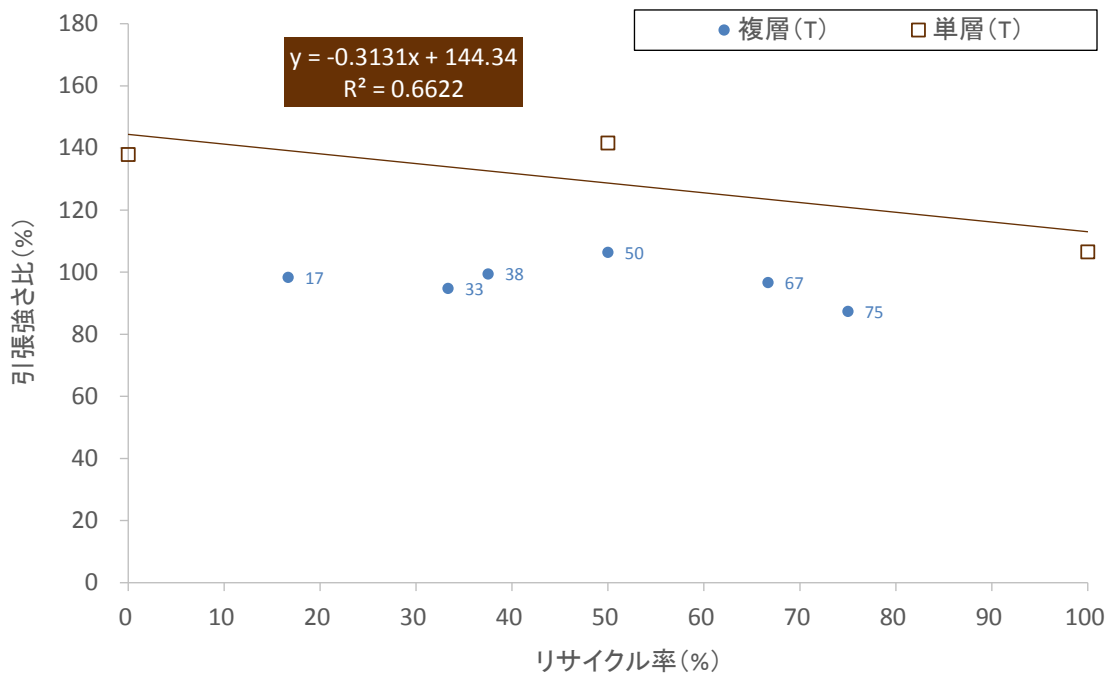


図 4-5-16 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，加熱処理：168 時間)

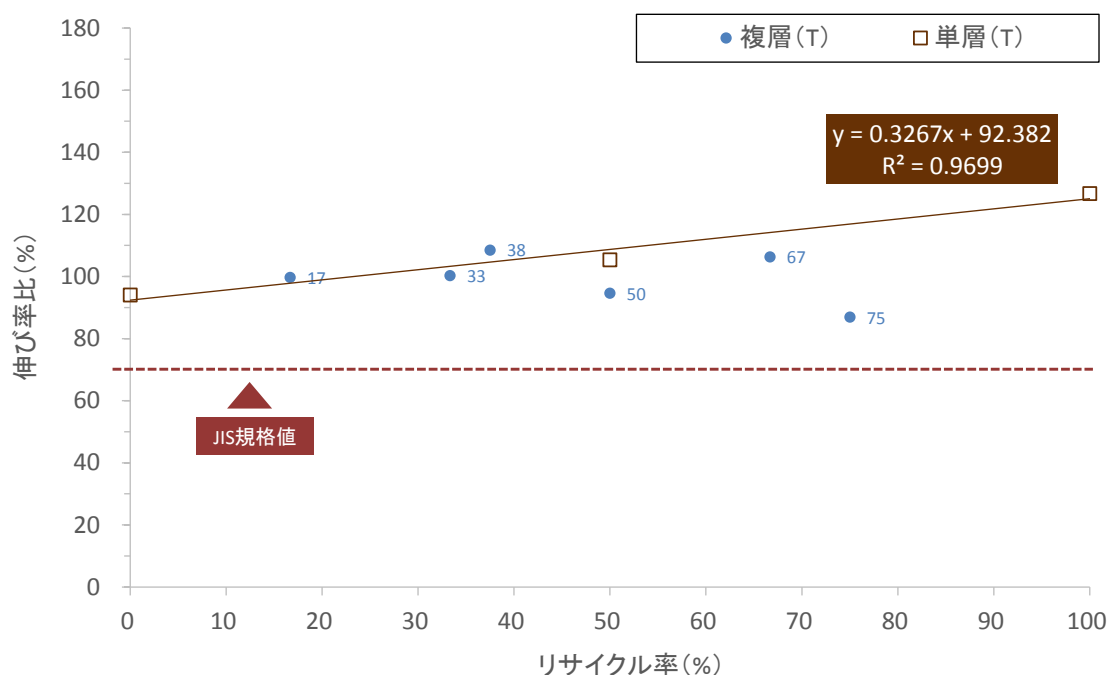


図 4-5-17 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と加熱処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，加熱処理：168 時間)

## 2) 複層化再生塩ビ樹脂シートの耐候性

図 4-5-18 に複層化再生塩ビ樹脂シートにおける促進暴露処理（250 時間）後の引張強さ比を，図 4-5-19 に伸び率比を示す。促進暴露処理後の引張強さ比においては，大きなばらつきがみられたが，タイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおいては，Pi4(Rm-V100-V100-V100)以外のすべての水準で JIS 規格値を満たした。ただし，再生塩ビ粉体を用いていない水準（Pi4(Rm-V100-V100-V100)）においても JIS 規格値を満たさなかったことから，明確な傾向の把握には至らず，複層化シートの作製方法等の検討が必要である。一方，促進暴露処理後の伸び率比においては，ばらつきも少なく，大半の水準において JIS 規格値を満たした。

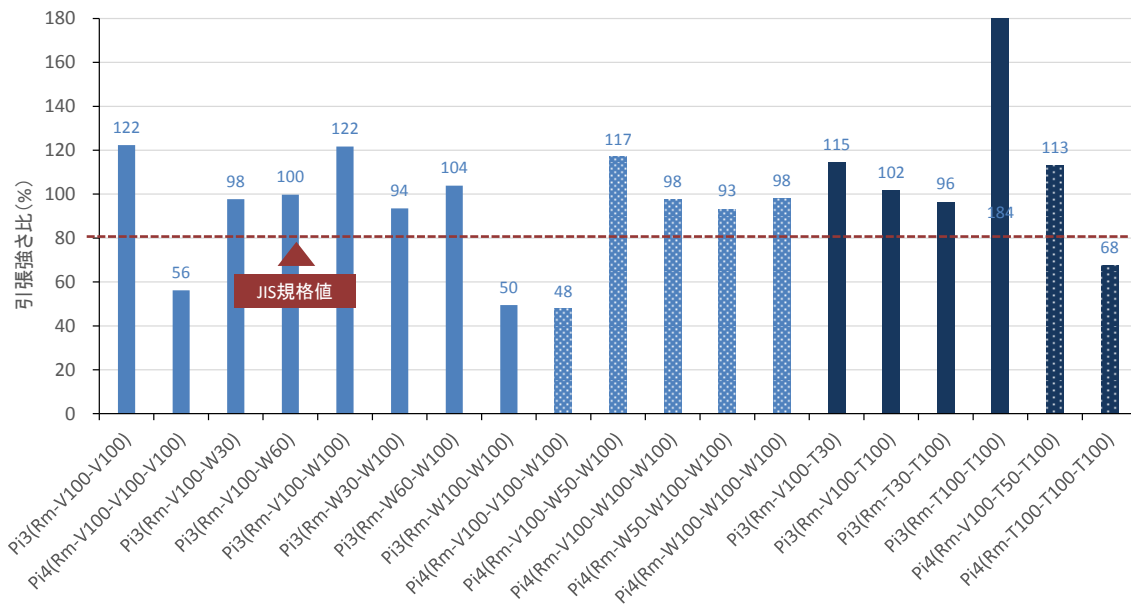


図 4-5-18 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける促進暴露処理（250 時間）後の引張強さ比

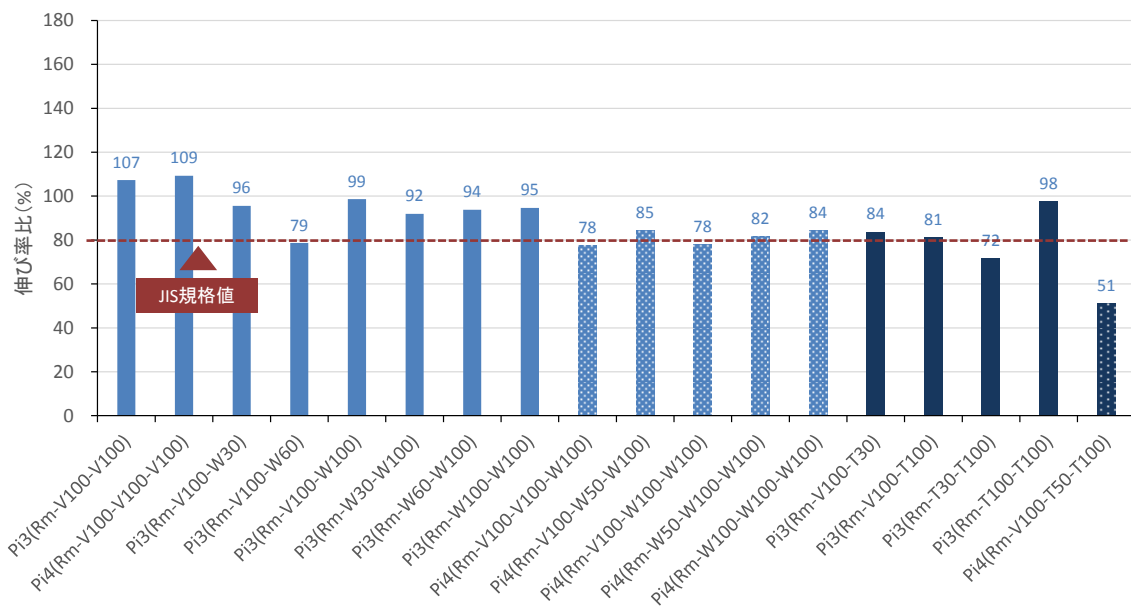


図 4-5-19 複層化再生塩ビ樹脂シートにおける促進暴露処理（250 時間）後の伸び率比



図 4-5-20 に壁紙を再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理（250 時間）後の引張強さ比の関係を、図 4-5-21 に促進暴露処理後の伸び率比の関係を示す。また、図 4-5-22 にタイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理後の引張強さ比の関係を、図 4-5-23 に促進暴露処理後の伸び率比の関係を示す。なお、図 4-5-20, 22 中の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さは、単層との比較のため、単層と同様の(3-2-1)式を用いて算出した。図より、複層化再生塩ビ樹脂シートにおける促進暴露処理後の引張強さ比および伸び率比は、ばらつきはみられるものの、大半の水準が JIS 規格値を満たした。また、複層化再生塩ビ樹脂シートと単層シートを比較すると、促進暴露処理 250 時間の範囲では、表層に耐久性が高いシートを用いる複層化による明確な耐候性向上効果はみられなかった。その理由として、JIS に規定される促進暴露処理 250 時間の範囲では、再生塩ビ樹脂シートがあまり劣化しなかったことに加え、促進暴露処理における紫外線以外の劣化因子である熱および水は、表層から徐々に劣化していくわけではなく、シート全体に影響した等が考えられる。

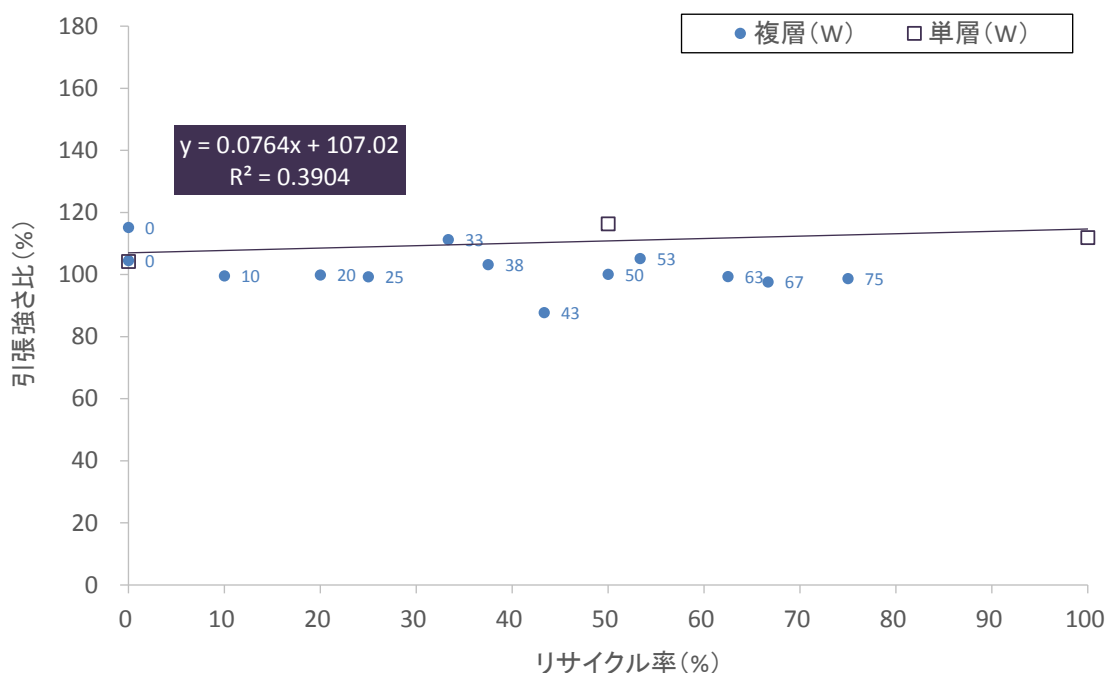


図 4-5-20 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：壁紙，促進暴露処理：250 時間)

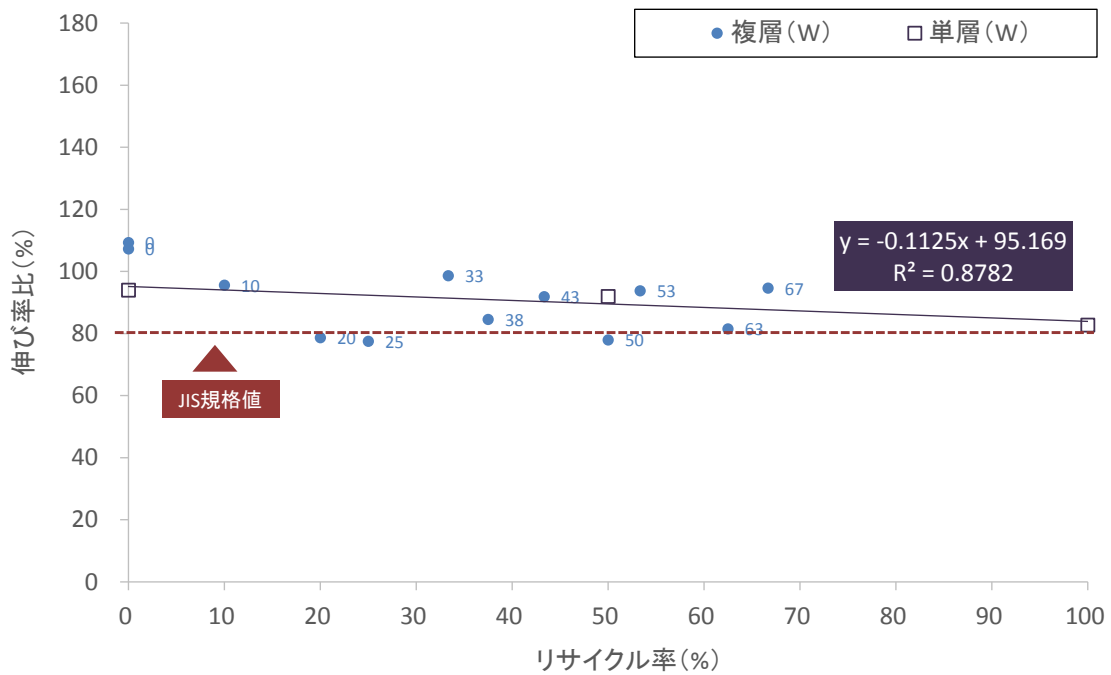


図 4-5-21 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：壁紙，促進暴露処理：250 時間)

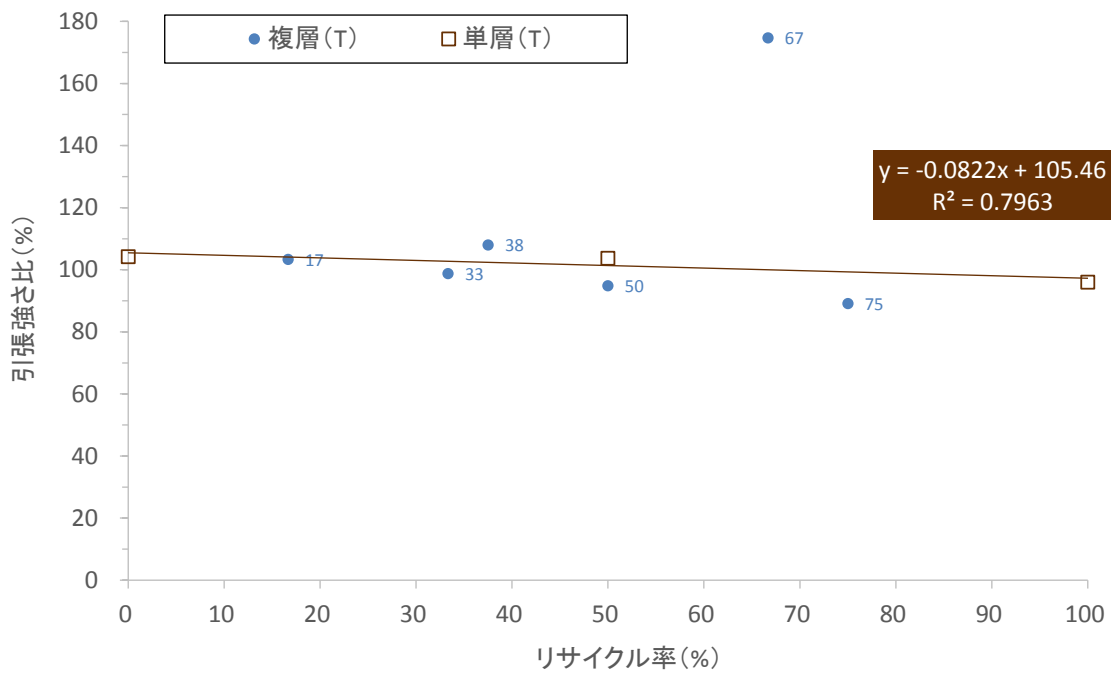


図 4-5-22 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，促進暴露処理：250 時間)

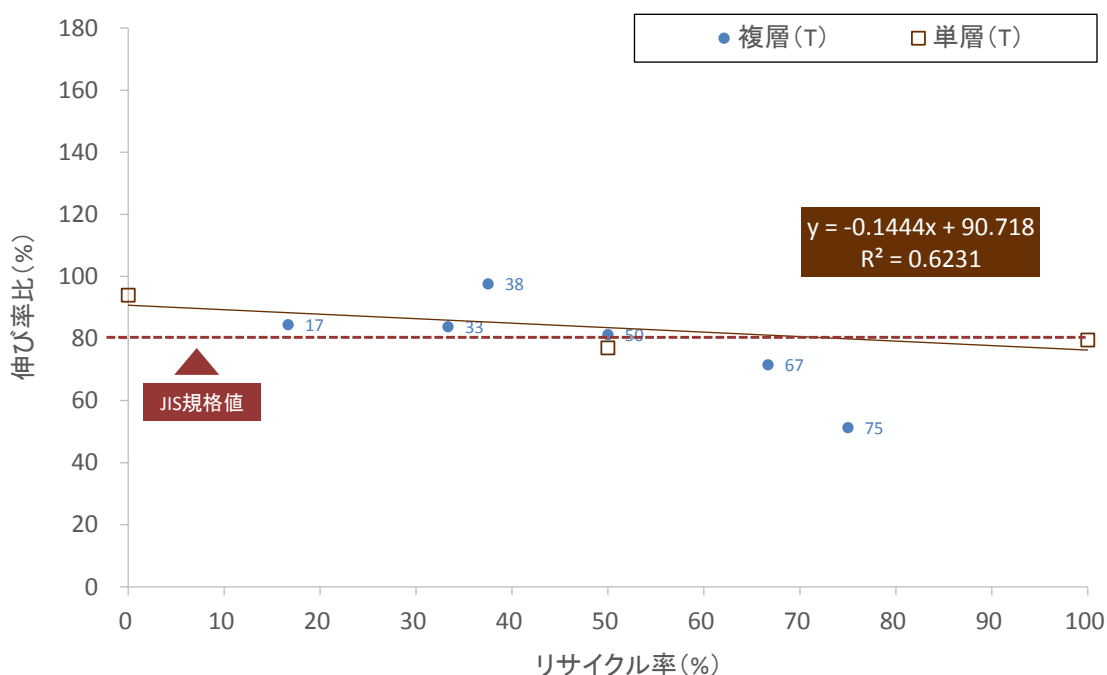


図 4-5-23 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と促進暴露処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，促進暴露処理：250 時間)

### 3) 複層化再生塩ビ樹脂シートの長期耐候性

図 4-5-24 に壁紙を再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理（1500 時間）後の引張強さ比の関係を，図 4-5-25 に長期促進暴露処理後の伸び率比の関係を示す。また，図 4-5-26 にタイルカーペットを再生原料とした複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理後の引張強さ比の関係を，図 4-5-27 に長期促進暴露処理後の伸び率比の関係を示す。なお，図 4-5-24，26 中の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける引張強さは，単層との比較のため，単層と同様の(3-2-1)式を用いて算出した。図より，複層化再生塩ビ樹脂シートにおける長期促進暴露処理後の引張強さ比は，廃材混入率が約 40%以下までは単層シートよりも高い値を示し，伸び率比においては，ほぼすべての水準で単層よりも高い値を示した。また，これらの傾向は，複層化再生塩ビ樹脂シートの廃材種類に限らず，本研究で使用した壁紙およびタイルカーペットともに，同様の傾向がみられた。

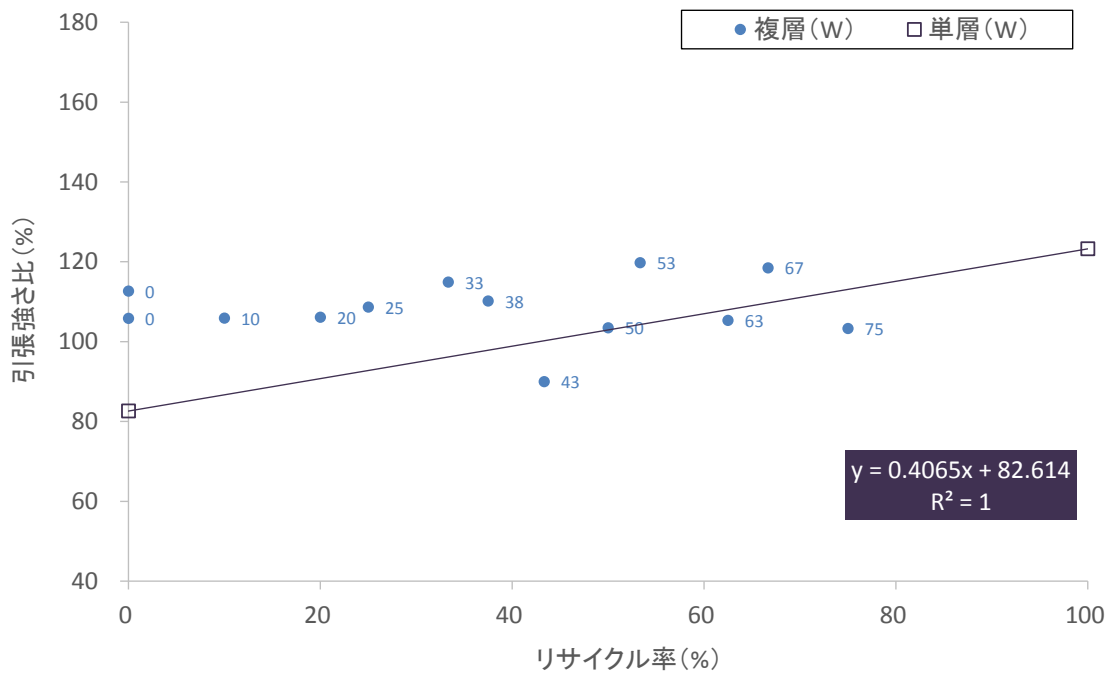


図 4-5-24 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：壁紙，促進暴露処理：1500 時間)

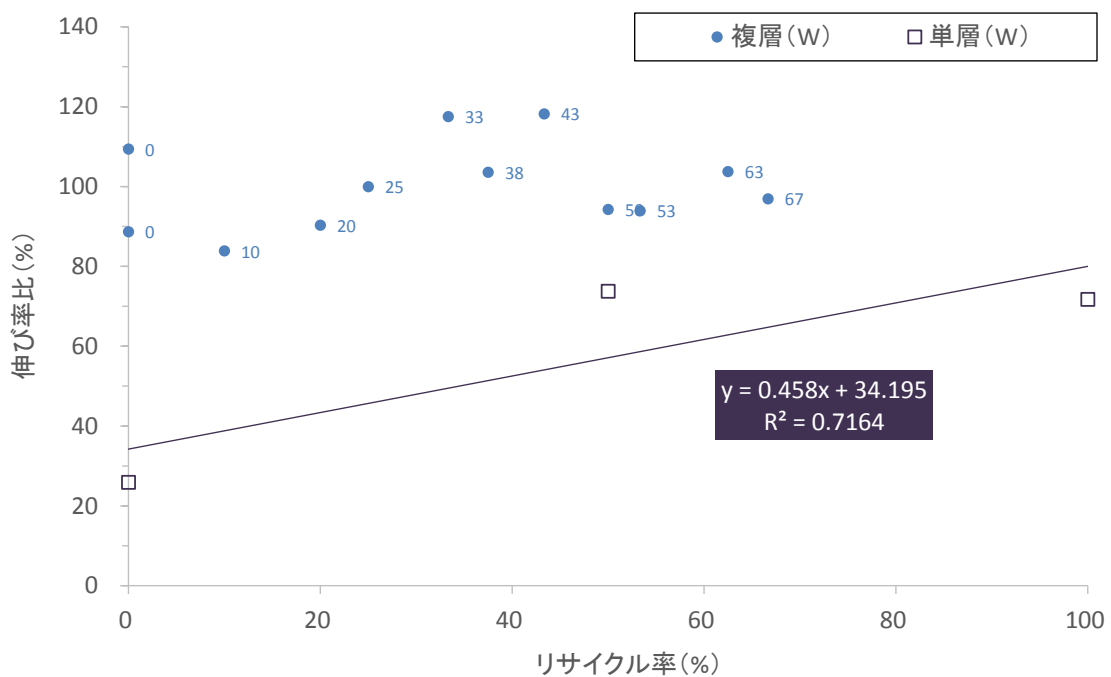


図 4-5-25 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：壁紙，促進暴露処理：1500 時間)

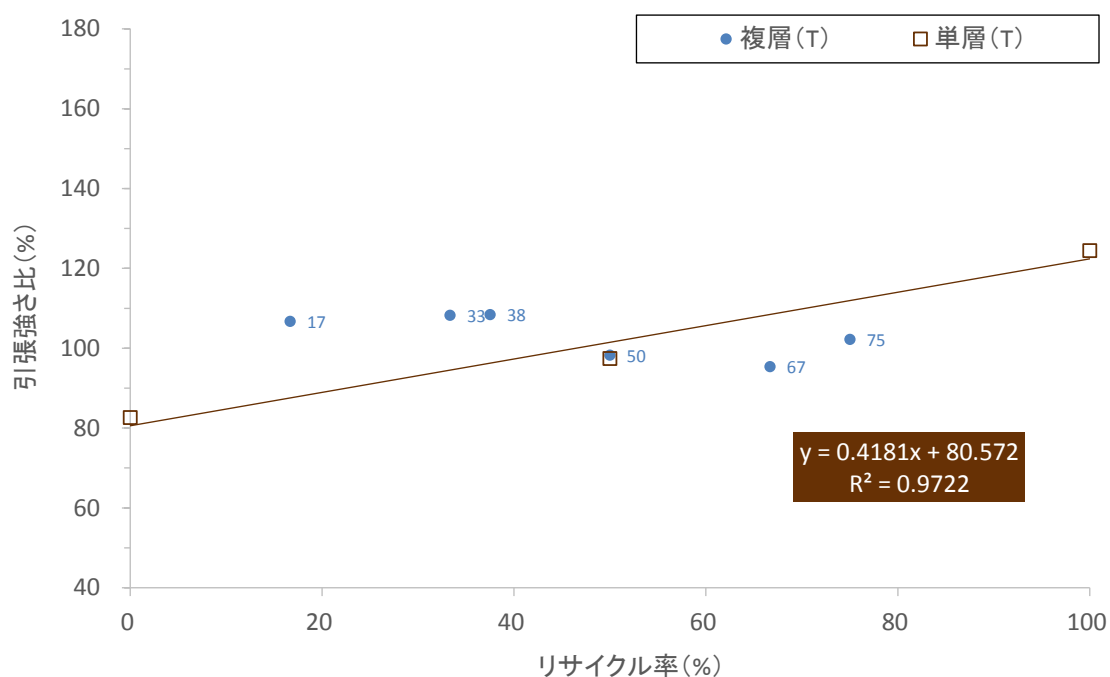


図 4-5-26 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理後の引張強さ比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，促進暴露処理：1500時間)

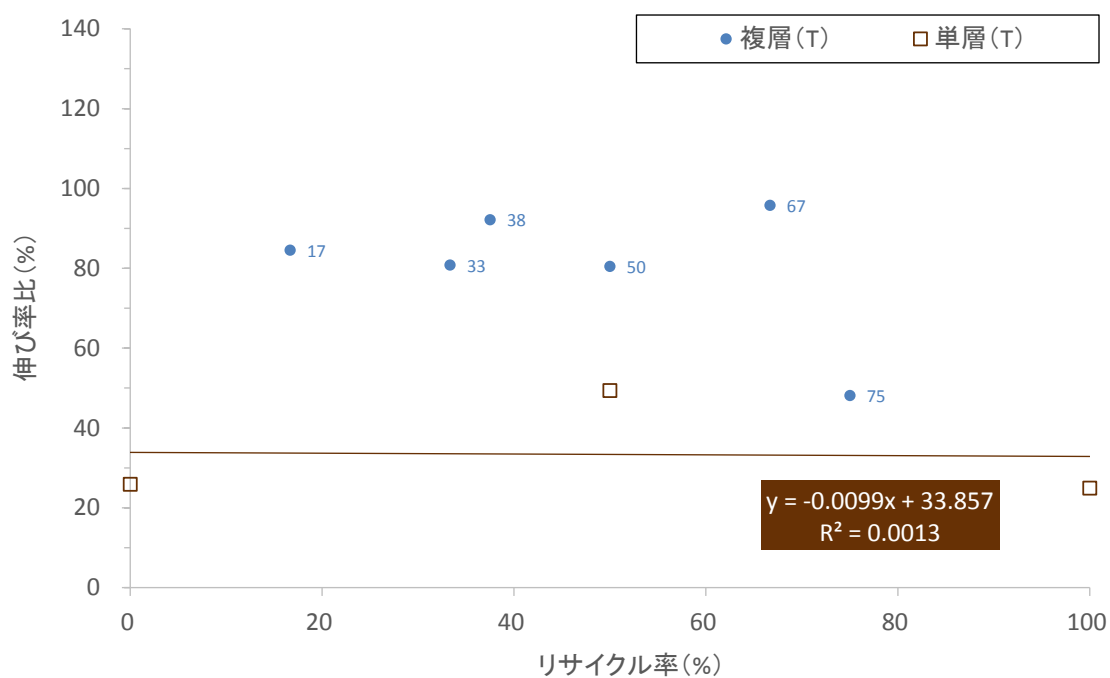


図 4-5-27 複層化再生塩ビ樹脂シートにおけるリサイクル率と長期促進暴露処理後の伸び率比の関係  
(再生原料種類：タイルカーペット，促進暴露処理：1500時間)

次に、図 4-5-28 に複層化再生塩ビ樹脂シートおよび単層シート（廃材混入率：50%）の促進暴露処理 250 時間および 1500 時間における引張強さ比および伸び率比の比較結果を示す。図より、引張強さ比においては、促進暴露処理 250 時間では単層シートの方が高い値を示したが、促進暴露処理時間の増加に伴い、単層シートと複層化シートの差は縮まった。また、伸び率比においては、特にその傾向が顕著にあらわれ、複層シートが単層シートの伸び率比を上回る結果となった。

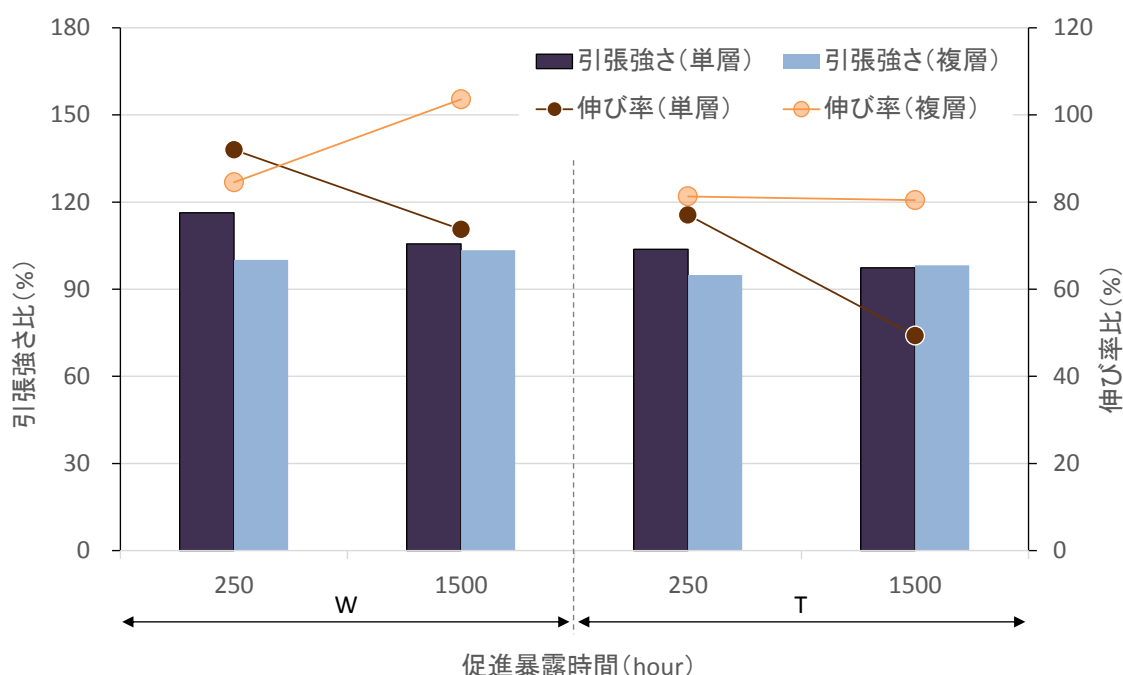


図 4-5-28 促進暴露処理 250 時間および 1500 時間後の引張強さ比と伸び率比における単層・複層比較結果（廃材混入率：50%）

#### 4) 複層化再生塩ビ樹脂シートの表面劣化性状

表 4-5-5 に促進暴露処理 1500 時間後の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける表面劣化性状を、表 4-5-6 に単層再生塩ビ樹脂シートにおける表面劣化性状を示す。また、表 4-5-7 に促進暴露処理 1500 時間後の複層化再生塩ビ樹脂シートにおける裏面劣化性状を、表 4-5-8 に単層再生塩ビ樹脂シートにおける裏面劣化性状を示す。

表面劣化性状をみると、単層再生塩ビ樹脂シートにおいては、促進暴露処理時間に伴い、表面の変色および白亜化が進行しており、特にタイルカーペットを用いた再生塩ビ樹脂シートでは顕著にあらわれた。それに対し、複層化再生塩ビ樹脂シートでは、特に変色はみられなかった。また、裏面劣化性状をみると、単層再生塩ビ樹脂シートにおいては、促進暴露処理時間に伴い、表面の変色が進行している。それに対し、複層化再生塩ビ樹脂シートでは、特に変色はみられなかった。

第 4 章

再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価

表 4-5-5 促進暴露処理 1500 時間後の複層シートにおける表面劣化性状（表面，200 倍率）

水準名	全体		試験時間			
	R率 %	枚数枚	0 hour	250 hour	750 hour	1500 hour
Pi3 (Rm-V100-W100)	33	3				
Pi4 (Rm-V100-W100-W100)	50	4				
Pi3 (Rm-V100-T100)	33	3				
Pi4 (Rm-V100-T50-T100)	38	4				

表 4-5-6 促進暴露処理 1500 時間後の単層シートにおける表面劣化性状（表面，200 倍率）

水準名	全体		試験時間			
	R率 %	枚数枚	0 hour	250 hour	750 hour	1500 hour
V100	0	1				
T100	100	1				
W100	100	1				



表 4-5-7 促進暴露処理 1500 時間後の複層化シートにおける表面劣化性状（裏面，200 倍率）

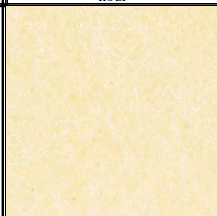


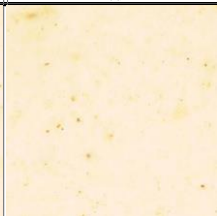
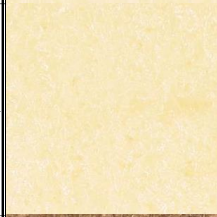



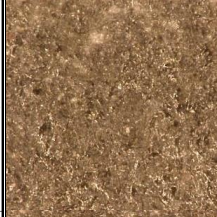
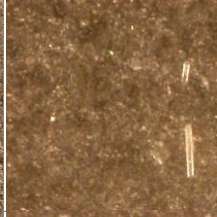
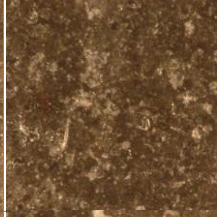
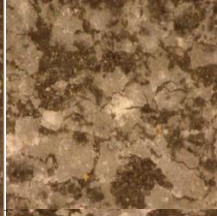
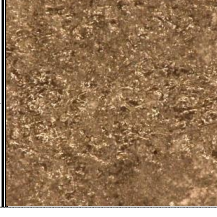
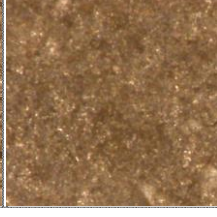
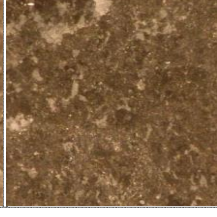
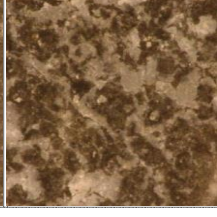
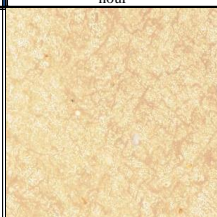
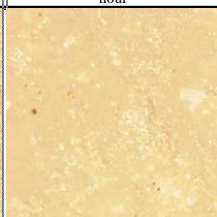
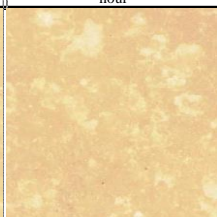
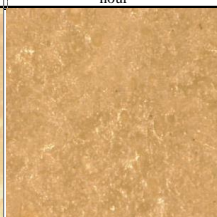
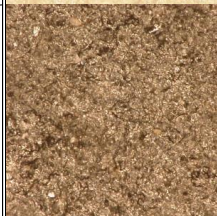
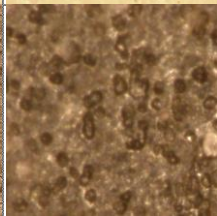
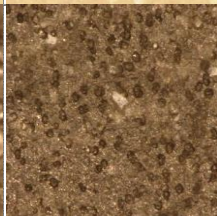

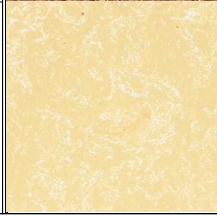
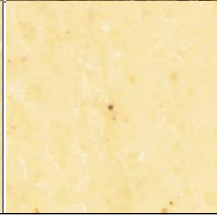
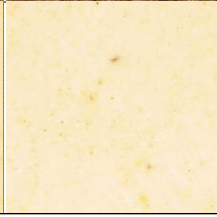

水準名	全体		試験時間			
	R率 %	枚数枚	0 hour	250 hour	750 hour	1500 hour
Pi3 (Rm-V100-W100)	33	3				
Pi4 (Rm-V100-W100-W100)	50	4				
Pi3 (Rm-V100-T100)	33	3				
Pi4 (Rm-V100-T50-T100)	38	4				

表 4-5-8 促進暴露処理 1500 時間後の単層シートにおける表面劣化性状（裏面，200 倍率）

水準名	全体		試験時間			
	R率 %	枚数枚	0 hour	250 hour	750 hour	1500 hour
V100	0	1				
T100	100	1				
W100	100	1				



#### 5) 複層化再生塩ビ樹脂シート製造における留意点

以上のことより、再生塩ビ樹脂シートを表層に耐久性が高いシートを用いる複層構造にすることで、複層化再生塩ビ樹脂シートの長期的な耐久性は向上するといえる。

ただし、複層化再生塩ビ樹脂シートを製造するうえで、その耐久性向上効果を得られるためには、以下の留意点が挙げられる。

##### ①複層枚数

複層リサイクルシートは単層に比べ、引張性能値は低く、複層化による層間接着力が影響したといえる

##### ②3枚構成における最下層のみのリサイクル率

複層枚数が3枚構成の複層リサイクルシートの最下層はリサイクル率30%以下でJIS規格値を満たすため、最下層に用いるリサイクルシートのリサイクル率は30%以下が望ましい。

##### ③3枚構成における中間層のみのリサイクル率

すべての水準でJIS規格値を満たさなかったため、中間層でリサイクルシートを用いないことが望ましい。

##### ④4枚構成におけるリサイクル率

4枚構成のリサイクルシートの下層、最下層にリサイクル率の高いリサイクルシートを用いる場合、中間層にはV100を用いることが望ましい。

また、複層リサイクルシートは3枚構成において、最下層にリサイクル率の高いリサイクルシートを用いることができないため、4枚構成が望ましいといえる。

## 第6節 まとめ

本研究をまとめると、大要して以下のことがいえる。

- 6) 再生塩ビ樹脂シートにおける耐久性は、耐熱性、耐アルカリ性、耐候性ともに、廃材混入率が高くなると低下し、廃材原料種類によってその傾向は異なる。
- 7) 再生塩ビ樹脂シートにおける耐久性は、廃材原料に含まれる熱安定剤や酸化防止剤等の添加剤に依存し、特に屋外で使用される防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐久性は高くなる。
- 8) 実環境下における防水シートの劣化挙動は、暴露初期の段階ではあまり変化がみられないが、ある一定の範囲を超えると急激に劣化する。また、実暴露において、防水シートは複数の劣化因子から同時に影響を受けることから、引張強さは不規則な劣化挙動を示すが、伸び率は規則的に低下する。これらのことから、再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価として、長期的、かつ、複合的な劣化試験を行い、伸び率に着目して評価を行うべきである。
- 9) 廃材の使用経年数は、その原料を用いた際のリサイクルシートに強く影響を及ぼすが、廃材そのものの物性、つまり廃材の組成割合に強く依存する。
- 10) 再生塩ビ樹脂シートの長期的な耐久性において、耐熱性は廃材原料中の可塑剤の種類および含有量に強く起因し、防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐熱性は高くなる。一方、耐候性においても、防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐候性は高くなるが、これは廃材原料中の耐久性を高める添加剤に起因している。
- 11) 再生塩ビ樹脂シートの長期的な耐久性は、表層に耐久性の高いヴァージンシートを用いた複層構造にすることで、JIS規格値を満たす耐久性を保ちながら、複層化再生塩ビ樹脂シート全体でのリサイクル率を高めることが可能である。

## 第7節 参考文献

- 1-41) 高分子の劣化機構と安定化技術, CMC 出版, pp.3-18 and pp.33-48, 1997
- 1-42) Holmstrom, A. And Sorvik, E. M., J. Polim. Sci Polim. Chem. Ed., 1978, 16, 2555-2586.
- 1-43) Jack A. Ladson : 色と色の見え方と耐候性について, スガウエザリング学術講演会, 第 57 回東京, 2013.10
- 1-44) 佐藤紀男 : 建物の防水にかかわる調査診断技術,  
[http://www.ntt-fsoken.co.jp/research/pdf/2001\\_sato-2.pdf](http://www.ntt-fsoken.co.jp/research/pdf/2001_sato-2.pdf), 2015.4 確認
- 1-45) UBE 防水工業会 : 改修工事における既存防水層診断マニュアル,  
[http://www.ube-bousui.com/diagnosis/documents/bousui\\_shindan.pdf](http://www.ube-bousui.com/diagnosis/documents/bousui_shindan.pdf), 2015.4 確認
- 1-46) 竹本喜昭ほか 4 名 : 建築用シーリング材に発生したひび割れによる表面損傷度の定量化, 日本建築学会構造系論文集 (606), 51-56, 2006-08-30
- 1-47) 奥村美紀, 大羽伸和, 辻本吉寛, 須藤哲也 : ポリ塩化ビニル系シート防水材料の耐久性に関する検討, その 1: ガスクロマトグラフによる可塑剤の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, 材料施工, 防火, 海洋, 情報システム技術, pp.593-594, 1993.7
- 1-48) 須藤哲也, 大羽伸和, 辻本吉寛, 奥村美紀 : ポリ塩化ビニル系シート防水材料の耐久性に関する検討, その 3: 可塑剤と引張特性の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A, 材料施工, 防火, 海洋, 情報システム技術, pp.597-598, 1993.7
- 1-49) 葎原法 : 酸化防止剤と熱安定剤, 連載 樹脂用添加剤・配合剤ガイドブック,  
[http://www.tenkazai.com/monthly\\_Polyfile11.pdf](http://www.tenkazai.com/monthly_Polyfile11.pdf), 2015.11.17 参照
- 1-50) 小野塚満男 : ポリ塩化ビニルの劣化, 高分子学会, Vol.13, 1964, No.8, pp. 620-640
- 1-51) 本間精一 : プラスチックの実用強さと耐久性(8), プラスチックス 55, 5, pp.85-94, 2004.5
- 1-52) 吉岡孝治, 中野五郎, 清水市郎 : メンブレン防水層(シート防水材)の屋外暴露後の性能評価試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.11-12, 2011.7

# 第5章

叩解法を用いたリサイクル

における環境影響評価



## 第1節 序

廃棄物の効率的なリサイクルの実現のためには、リサイクル品の品質を担保するとともに、リサイクルによる環境負荷の低減効果についても配慮する必要がある。仮に、良質なリサイクル製品の製造が可能であっても、それに要するエネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量が膨大であれば、廃棄物を埋め立て処分もしくは新品を製造することの方が環境負荷は低い場合があり、これらを定量的に分析することはリサイクルを行ううえで重要である。

そこで本章では、本リサイクル手法の実用による環境影響を定量的に分析し、さらに、再生塩ビ樹脂シートの配合設計と環境影響の兼ね合いを明らかにすることで、環境面にも配慮したリサイクル手法を検討する。

## 第2節 調査概要

### 第1項 想定条件

ライフサイクルの製造段階の一部である原料製造段階を対象に、叩解法による再生塩ビ粉体の製造におけるインベントリ分析を行い、環境影響について評価した。対象とする廃材は、叩解法を用いた場合に最も不純物が混入してしまう壁紙とした。また、比較対象として、塩ビ建材の中でも生産量が多く、使用年数も他の塩ビ建材に比べ比較的短いタイルカーペットに対し、従来の切削技術<sup>5-1)</sup>を用いた場合における環境影響についても検討した。

さらに、防水シートを最終的な用途として想定した場合の JIS 規格値を満たす配合設計を考慮し、ヴァージン原料および再生塩ビ粉体の配合率と環境影響の兼ね合いについて検討した。以下に、再生塩ビ粉体とヴァージン原料の製造における想定条件を示す。

#### 1) 再生塩ビ粉体を用いた場合

再生塩ビ粉体のインベントリ分析として、新築現場より発生する塩ビ建材より、叩解法もしくは切削法（単純な破碎によるため、不純物は混入する）を用いて再生塩ビ粉体 1000t を抽出し、これを防水シートに利用した場合を想定する。

#### ■壁紙（叩解法）

壁紙より得られる再生塩ビ粉体について、本論文の第3章-第3節-第1項より、再生塩ビ樹脂シートの廃材混入率は 40%まで JIS 規格値を満たしたことから、廃壁紙より得られる再生塩ビ粉体 40%とヴァージン原料 60%を配合した再生塩ビ樹脂シートの製造についても検討する。なお、この際の再生塩ビ樹脂シートに用いられるヴァージン原料の配合は、本研究の第3章で用いた配合（ポリ塩化ビニル樹脂：可塑剤：炭酸カルシウム＝5：3：1）と同様のものとする。

#### 2) ヴァージン原料を用いた場合

ヴァージン原料のインベントリ分析として、ヴァージン原料の主組成原料であるポリ塩化ビニル樹脂、可塑剤および炭酸カルシウムの配合割合を、防水シートを用途とした場合の配合割合に設定（本論文の第3章-第2節で調査した MSDS を基にした一般値）し、ヴァージン原料 1000t を製造した場合を想定する。なお、ヴァージン原料の防水シートを想定した場合の主組成割合は、第3章-第2節-第1項における表 3-2-1 より、重量比ポリ塩化ビニル樹脂：可塑剤：炭酸カルシウム＝47.8：27.3：24.9 とした。

## 第2項 対象範囲設定

### 1) 再生塩ビ粉体を用いた場合

図5-2-1に再生塩ビ粉体の製造におけるインベントリ分析範囲を示す。再生塩ビ粉体のインベントリ分析範囲は、新築現場より廃棄物が発生し、中間処理場を経由、再資源化場までにおける運搬および処理による環境影響とした。各条件の概要を以下に示す。

#### ① 運搬条件

廃棄物発生地点から中間処理場まで4t車（積載量2t）で走行距離100km（運送1）、中間処理場から再資源化場まで4t車（積載量2t）で走行距離50km（運送1）と設定した。なお、運搬条件に関しては、廃材原料種類（壁紙およびタイルカーペット）によって違いはなく、同一の条件で算出を行った。

#### ② 粉砕および分離条件

##### ■壁紙（叩解法）

叩解機の実測結果から歩留まりを60%と設定し、廃壁紙1000kg回収に対して600kgの再生塩ビ樹脂が製造されたこととした。

再生塩ビ粉体の製造工程における破砕機および叩解機の合計電力消費量は、装置の実測値により、処理能力87.7kg/hourの施設における電力消費量が45.0kWhであったことから、1t当たりの電力消費量513.0kWhと設定した。

##### ■タイルカーペット（従来の切削法）

切削機の実測結果から歩留まりを50%と設定し、廃タイルカーペット1000kg回収に対して500kgの再生塩ビ樹脂が製造されたこととした。

再生塩ビ粉体の製造工程における破砕機および切削機の合計電力消費量は、装置の実測値をより、処理能力1300kg/hourの施設における電力消費量は74.4kWhであったことから、1t当たりの電力消費量57.2kWhと設定した。

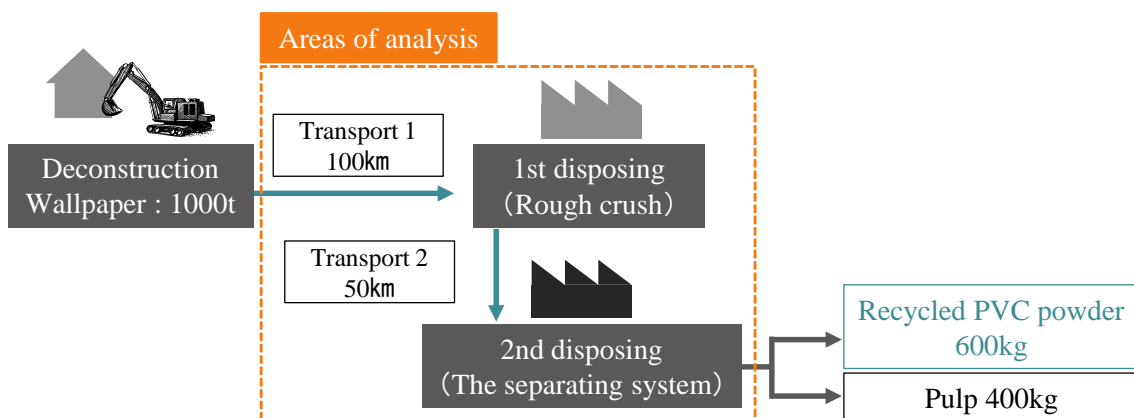


図5-2-1 再生塩ビ粉体の製造におけるインベントリ分析範囲（壁紙の例）



## 2) ヴァージン原料を用いた場合

図 5-2-2 にヴァージン原料の製造におけるインベントリ分析範囲を示す。ヴァージン原料の組成比を、防水シートの用途とした配合と仮定し、重量比ポリ塩化ビニル樹脂：可塑剤：炭酸カルシウム＝47.8：27.3：24.9 とし、これを 1000kg 製造することを想定した。

なお、ヴァージン原料および再生塩ビ粉体ともに、原料製造後のシート製造工場への運搬は考慮しないものとした。

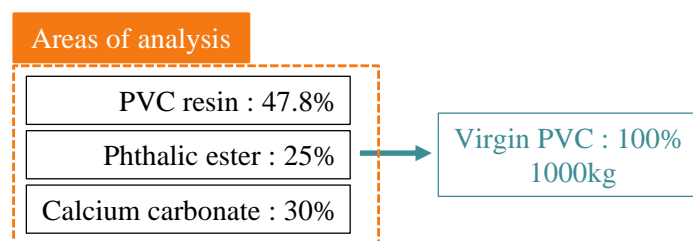


図 5-2-2 ヴァージン原料の製造におけるインベントリ分析範囲

### 第3項 各種原単位および算定方法

#### 1) 再生塩ビ粉体を用いた場合

##### ① 原単位

表 5-2-1 に再生塩ビ粉体における積算に用いた原単位<sup>5-2)</sup><sup>5-3)</sup>を示す。なお、運搬における環境負荷の算出においては、4t 車の積載率を 50% (2t) と設定した。

##### ② 算定方法

壁紙より再生塩ビ粉体 1t を製造する際のエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果を表 5-2-2 に、タイルカーペットより再生塩ビ粉体 1t を製造する際のエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果を表 5-2-3 示す。

表 5-2-1 再生塩ビ粉体における使用原単位一覧

原料種類		エネルギー消費量	CO <sub>2</sub> 排出量	引用元
対象	備考			
電力	実排出係数	9.8 MJ/kWh	0.561 t-CO <sub>2</sub> /kWh	5-2)
	調整後排出係数	9.8 MJ/kWh	0.561 kg-CO <sub>2</sub> /kWh	5-2)
軽油		37.7 MJ/ℓ	2.586 kg-CO <sub>2</sub> /ℓ	5-2)
4tトラック	軽油	5.5 km/ℓ		5-3)
叩解法	壁紙の場合	513.0 kWh/t		実測値
切削法	タイルカーペットの場合	57.2 kWh/t		実測値

表 5-2-2 再生塩ビ粉体 600kg 製造当たりのエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量 (壁紙)

作業工程		使用機器種類	種類	消費エネルギー			エネルギー消費量 MJ/t	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> /t
作業名	詳細情報			作業能力 【】	作業量 【】	合計 【】		
一次処理及び二次処理	粗粉碎, 叩解法	粉碎機	電力	513.1 Kwh/t	1 t	513.1 Kwh	5008	288
一次輸送	建設現場→中間処理場	4tトラック	軽油	5.5 km/ℓ	100 km	18.2 ℓ	685	47
二次輸送	中間処理場→再資源化場	4tトラック	軽油	5.5 km/ℓ	50 km	9.1 ℓ	343	24
合計							6036	358

表 5-2-3 再生塩ビ粉体 500 kg製造当たりのエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量 (タイルカーペット)

作業工程		使用 機器 種類	消費エネルギー				エネルギー 消費量 MJ/t	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> /t
作業名	詳細情報		種類	作業 能力 【】	作業量 【】	合計 【】		
一次処理及び 二次処理	粗粉碎, 切削機	粉碎機	電力	57.2 Kwh/t	1 t	57.2 Kwh	558	32
一次輸送	建設現場→ 中間処理場	4t トラック	軽油	5.5 km/ℓ	100 km	18.2 ℓ	685	47
二次輸送	中間処理場→ 再資源化場	4t トラック	軽油	5.5 km/ℓ	50 km	9.1 ℓ	343	24
合計							1586	103

2) ヴァージン原料を用いた場合

① 原単位

表 5-2-4 にヴァージン原料における積算に用いた原単位<sup>5-4) 5-5) 5-6)</sup>を示す。

② 算定方法

ヴァージン原料 1t を製造する際のエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果を表 5-2-5 に示す。なお、ヴァージン原料において、再生塩ビ粉体との比較の際は防水シートを想定した組成割合を使用するが、齊瀬塩ビ樹脂シート製造 (再生塩ビ粉体との配合) の際は表 5-2-5 中のヴァージン原料 (実験用) を使用する。

表 5-2-4 ヴァージン原料における使用原単位一覧

原料種類		エネルギー 消費量		CO <sub>2</sub> 排出量
組成原料	詳細情報	Mcal/t	MJ/t	kg-CO <sub>2</sub> /t
ポリ塩化ビニル樹脂	重合度:1300	5882	24622	1430
可塑剤	DIDP	5457	22843	1375
フィラー	炭酸カルシウム	22	92	0.005

表 5-2-5 ヴァージン原料 1t 製造当たりのエネルギー消費量および CO<sub>2</sub> 排出量

組成原料	ヴァージン(実験用)			防水シート		
	組成割合 %	消費エネルギー量 MJ/t	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> /t	組成割合 %	消費エネルギー量 MJ/t	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> /t
ポリ塩化ビニル樹脂	55.6	13679	794	47.8	11769	684
可塑剤	33.3	7614	458	27.3	6236	375
炭酸カルシウム	11.1	10	0	24.9	23	0
合計	100.0	21304	1253	100.0	18029	1059

### 第3節 調査結果

#### 第1項 消費エネルギー量

図5-3-1に各塩ビ粉体の製造1t当たりにおけるエネルギー消費量を示す。ヴァージン原料に比べ、叩解法により壁紙から再生塩ビ粉体を製造するとエネルギー消費量は約1/2に減少した。また、従来の切削法によりタイルカーペットから再生塩ビ粉体を製造すると、叩解法によるものに比べ、エネルギー消費量は約1/3に減少した。このことから、叩解法を必要としない塩ビ建材、例えば、塩ビ管のような塩ビ樹脂単一で構成される塩ビ建材には、叩解法を用いずに従来の切削法を用いることが望ましいといえる。

さらに、今回対象とした塩ビ建材は壁紙のみであったが、叩解法を用いた場合、廃材原料種類によって、エネルギー消費量は異なると予想され、廃材原料である各塩ビ建材の製造方法に起因すると推察される。ここで、図5-3-2に壁紙およびタイルカーペットの製造方法を示す。タイルカーペットは繊維と塩ビ樹脂が接着用樹脂層を介して複合されているため、塩ビ樹脂と繊維の接着面が小さく、叩解法による分離の際に比較的容易に分離が可能である。それに対し、壁紙はそもそも薄い材料である（一度に叩解機に投入できる量が少ない）ことに加え、塩ビ樹脂とパルプの接着面が大きく、分離に多くの時間を擁すること等から、他の塩ビ建材よりもエネルギー消費量が高くなると予想され、今後、対象塩ビ建材の種類を増やし、検討していく。

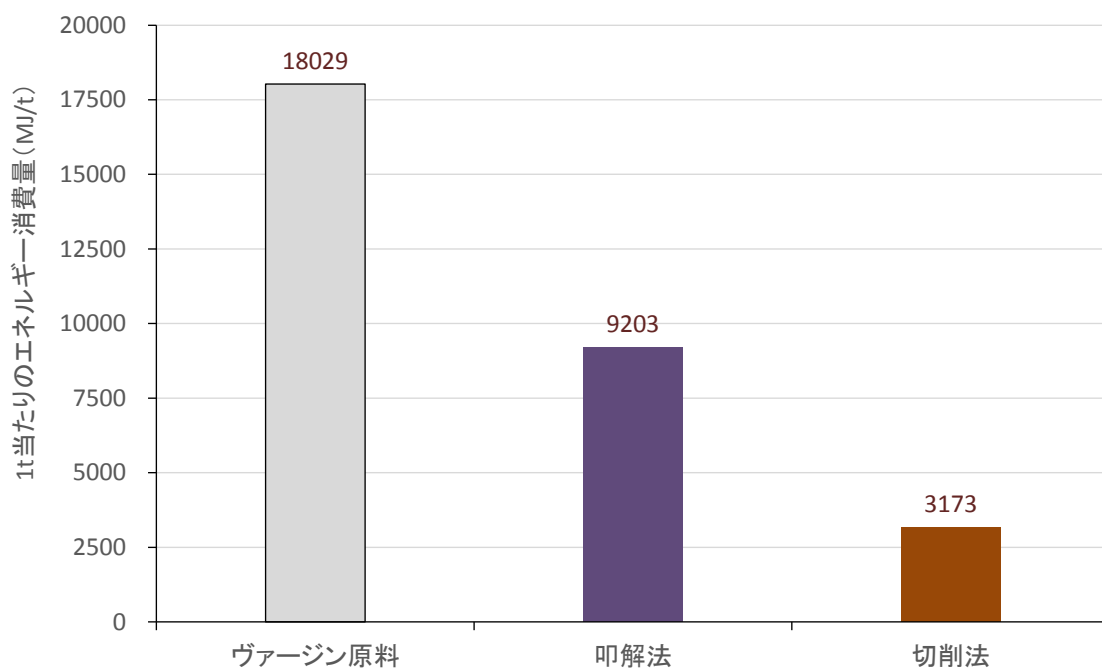


図5-3-1 塩ビ粉体製造1t当たりのエネルギー消費量

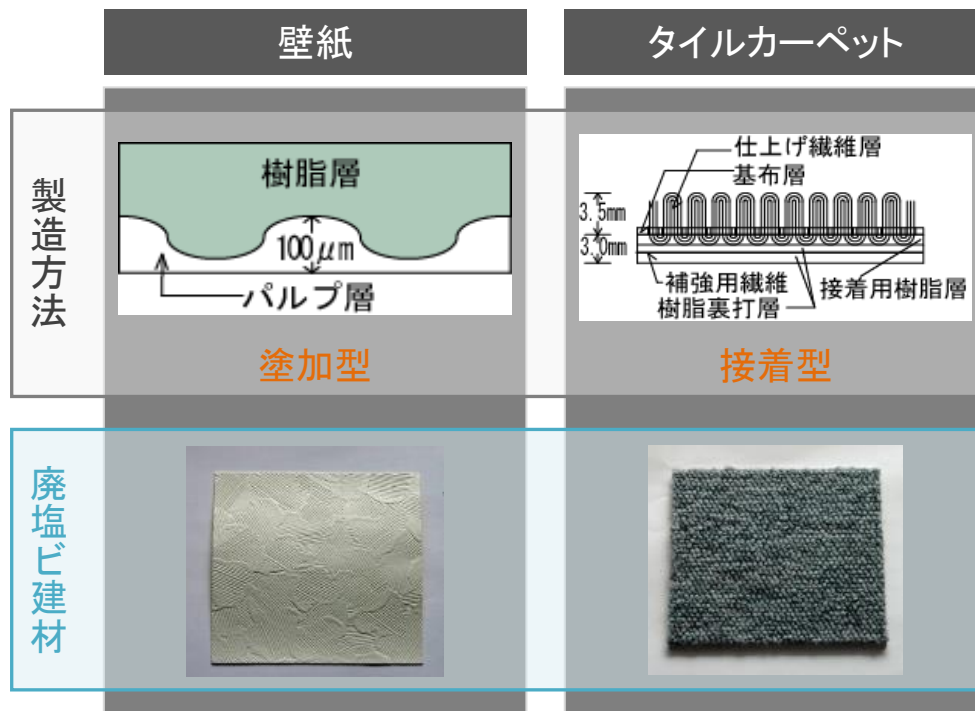


図 5-3-2 各塩ビ建材の製造方法

## 第2項 CO<sub>2</sub> 排出量

図 5-3-3 に各塩ビ粉体の製造 1t 当たりにおける CO<sub>2</sub> 排出量を示す。ヴァージン原料に比べ、叩解法により壁紙から再生塩ビ粉体を製造すると CO<sub>2</sub> 排出量は約 1/2 に減少した。また、従来の切削法によりタイルカーペットから再生塩ビ粉体を製造すると、叩解法によるものに比べ、CO<sub>2</sub> 排出量は約 1/2.5 に減少した。以上のことから、叩解法による再生塩ビ粉体の製造は、新品の製造に比べ、環境負荷が約 1/2 になることが明らかになった。

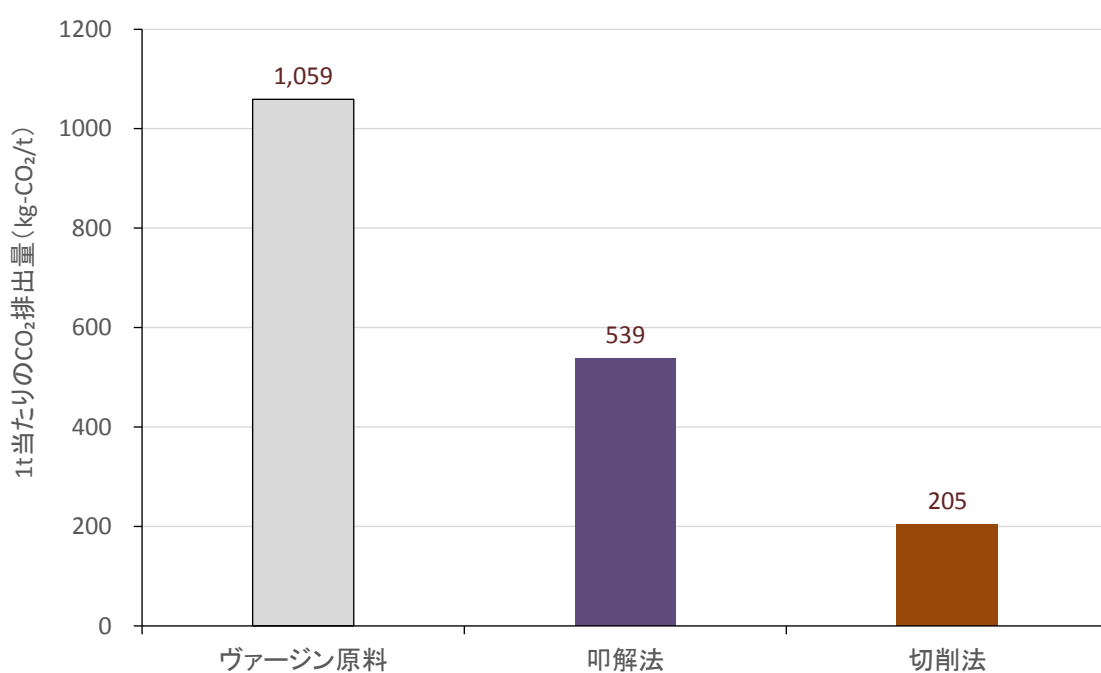


図 5-3-3 塩ビ粉体製造 1t 当たりの CO<sub>2</sub> 排出量

### 第3項 再生塩ビ樹脂シートの製造における環境負荷

図 5-3-4 に叩解法による壁紙を廃材原料とした再生塩ビ樹脂シートの製造 1t 当たりにおけるエネルギー消費量を、図 5-3-5 に CO<sub>2</sub> 排出量を示す。なお、図 5-3-4 および 5-3-5 における破線はヴァージン原料を用いた場合の値である。

エネルギー消費量において、ヴァージン原料に比べ、壁紙由来の再生塩ビ樹脂シートを製造すると、廃材混入率約 25%以上において、低減効果がみられた。同様に、CO<sub>2</sub> 排出量においても、ヴァージン原料に比べ、壁紙由来の再生塩ビ樹脂シートを製造すると、廃材混入率約 25%以上において、低減効果がみられた。

以上のことから、本リサイクル手法を用いると、リサイクル率 25%以上より環境負荷低減効果があらわれるといえる。これは、壁紙由来の再生塩ビ樹脂シートにおける機械的性質はリサイクル率 40%以下で JIS 規格値を満たす（本論文第3章より）ことから、本リサイクル手法による環境負荷低減は、現段階ですでに可能であるといえる。さらに、今後、叩解機を改良し、不純物の混入率を下げることや、再生塩ビ樹脂シートの複層化などにより、再生塩ビ樹脂シートの品質を向上していき、より本リサイクル手法による環境負荷の低減を目指していく。

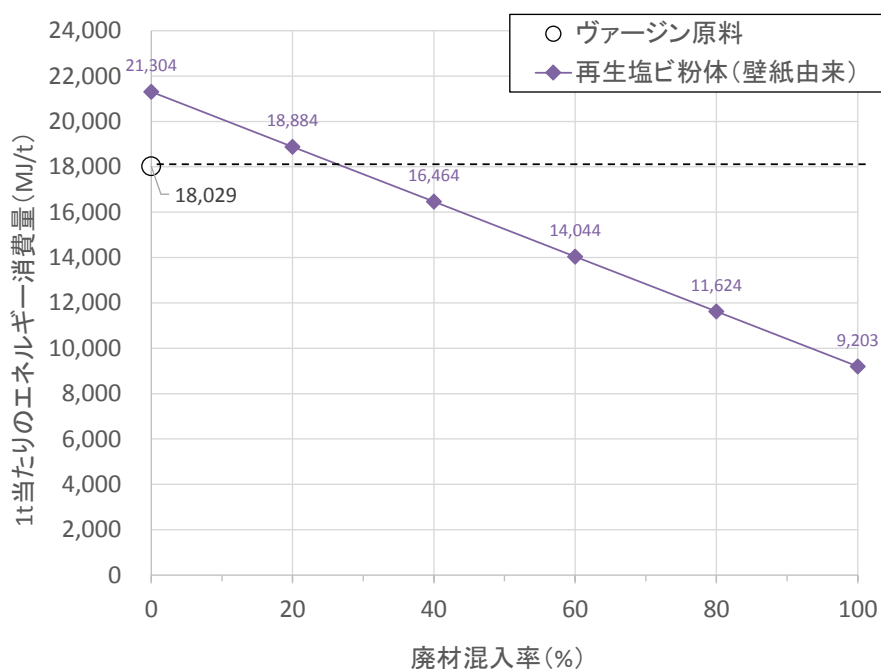


図 5-3-4 再生塩ビ樹脂シートの製造 1t 当たりにおけるエネルギー消費量



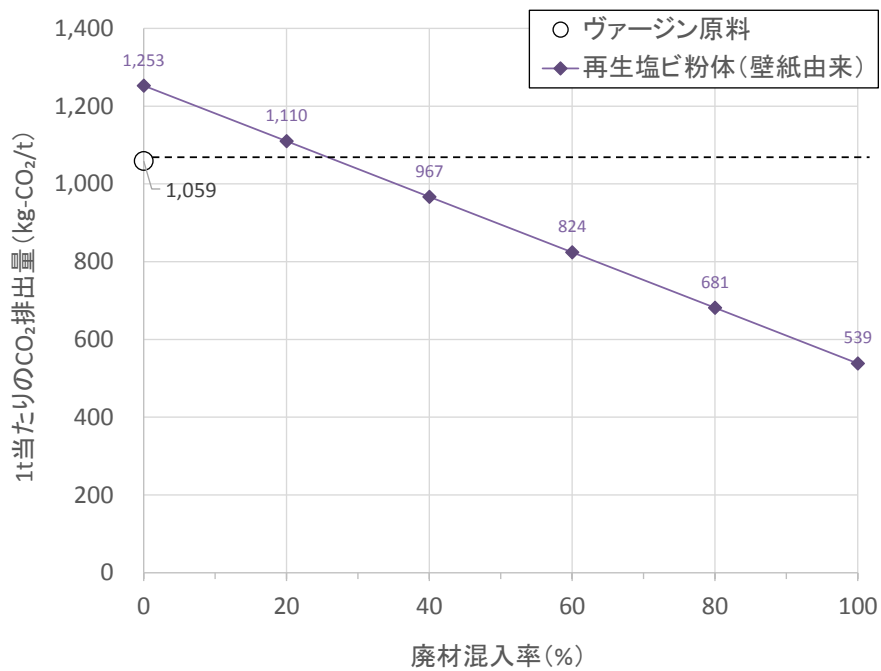


図 5-3-5 再生塩ビ樹脂シートの製造 1t 当たりにおける CO<sub>2</sub> 排出量

#### 第4節 まとめ

本研究をまとめると、大要して以下のことがいえる。

- 12) 叩解法を用いた再生塩ビ粉体の製造において、壁紙より製造した場合、ヴァージン原料に比べ、消費エネルギー量およびCO<sub>2</sub>排出量ともに約1/2に減少した。このことから、叩解法による再生塩ビ粉体の製造は、新品の製造に比べ、環境負荷は減少する。
- 13) 本リサイクル手法による再生塩ビ樹脂シートの製造において、リサイクル率25%以上から環境負荷低減効果がみられた。

## 第5節 参考文献

- 1-53) 塩ビ工業・環境協会：塩ビ建材の回収とリサイクル，  
<http://jsmcwm.or.jp/recycle-group/files/2012/04/Sakauchi.pdf>， 2015.4.
- 1-54) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会：建築物エネルギー消費量調査報告， 2015.4，  
[http://www.bema.or.jp/\\_src/4631/bema\\_digest\\_37.pdf](http://www.bema.or.jp/_src/4631/bema_digest_37.pdf)， 2015.12 参照
- 1-55) 環境省：地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び事業に係る実行計画  
策定マニュアル及び温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン，  
[https://www.env.go.jp/policy/local\\_keikaku/jimu/data/manual.pdf](https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/jimu/data/manual.pdf)， 2015.12 参照
- 1-56) 日本建築学会：建物の LCA 指針， 2003
- 1-57) 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， 1999
- 1-58) 環境情報センター編：ライフサイクルインベントリ分析の手引き， 1998

# 第6章

## 結論



## 第1節 序

本研究ではこれまで、塩ビ建材の効率的なリサイクル手法の開発を目的に実験および検討を行ってきた。塩ビ建材において、リサイクルの妨げとなっている大きな要因は、塩ビ建材の排出実態が不明瞭であることや、廃塩ビ建材は他素材と複合的に排出されること、マテリアルリサイクルの実例が少ないこと等である。これらに対し、解体および改修現場の実態調査を行い、塩ビ建材の分別回収実態および排出時の状態を明らかにした。また、塩ビ建材の分離技術を開発し、廃材より再生塩ビ樹脂シートを製造するマテリアルリサイクル手法を提案した。さらに、再生塩ビ樹脂シートの使用用途を、リサイクル品の使用事例が少ない防水シートとし、詳細な物性評価および耐久性評価を行った結果、配合設計や層構成を調整することで十分な品質を担保できることを証明し、環境負荷の面からも本リサイクル手法は有益であることを証明した。

以上を踏まえ、本章では、これまでの研究成果を整理し、本リサイクル手法の位置づけを定義する。

## 第2節 塩ビ建材の排出実態

建設リサイクル法における特定建設資材は、分別回収フローが明確であり、廃棄物の排出からリサイクルまでのフローが確立されている。しかし、塩ビ建材が含まれる建設混合廃棄物は、解体現場や新築現場の分別回収において他種廃材が混入することにより、リサイクルが難しいとされている。これらを受け、実際の解体・改修工事現場から発生した廃プラスチック（本調査ではタイルカーペットおよび塩ビ管を対象とした）の分別状況を調査し、さらに、廃塩ビ建材の排出時の状態をリサイクルの観点からグレード別けすることで、塩ビ建材の排出実態を明らかにした。

その結果、タイルカーペットの調査において、新築由来の廃タイルカーペットは、異物の混入が少なく、ほぼ100%の割合でリサイクルが可能であり、解体や改修由来の廃タイルカーペットでも、適切な分別を行えば70～80%の割合でリサイクルが可能であった。また、タイルカーペットを下地より剥がした場合に付着する夾雑物において、接着剤などの夾雑物混入はリサイクルしても問題ないが、モルタルの混入はリサイクルには不適であった。

解体現場由来の塩ビ管調査において、廃プラおよび廃塩ビ管排出量は、建物延べ床面積により比例的に増加し、その相関性は極めて高い傾向を示した。また、廃塩ビ管排出量の約2/3がリサイクル適材品であり、簡易処理を行えば9割以上がリサイクル可能であり、さらに、解体工事全体中の塩ビ管撤去に要する時間は、3.3%と極めて低く、リサイクルを視野に入れた分別行為の容易さを証明した。

以上のことより、廃塩ビ建材の種類は多様にあることを考慮すると、今回の調査では対象が限定的ではあるが、新築由来廃材であればほぼ100%のリサイクルは可能である。また、改修および解体由来廃材を想定した場合、詳細な分別基準を設ける必要はあるが、非常に高いリサイクル率が期待でき、さらに、分別に要する手間はそれほど負担なく行えることを明らかにした。

### 第3節 再生塩ビ樹脂シートの品質

#### 第1項 再生塩ビ樹脂シートの機械的性質

塩ビ建材の分別回収方法に関する研究は多く、その大半が最終的なリサイクル方法をサーマルリサイクルとしているが、資源循環を配慮した効率的なマテリアルリサイクル手法に関する研究は非常に少ない。これは、塩ビ建材が他素材と複合的な廃棄物として排出されることにより、その分離が困難であることに起因している。さらに、塩ビ建材はその種類により使用環境や使用期間が異なり、廃棄物として排出される際には品質が大きく変化し、同種の塩ビ建材であっても、組成原料および割合が異なり、これらを詳細に分別するリサイクルは実用的に非効率である。このような課題を受け、本研究では塩ビ建材の効率的なマテリアルリサイクルを目的に、塩ビ建材の分離技術の開発を行い、塩ビ建材より不純物を除去したほぼ100%の塩ビ樹脂の抽出を可能とした。さらに、この塩ビ粉体を用いて再生塩ビ樹脂シートを作製し、床材や防水シートへの利用を想定した機械的性質の評価を行った。

その結果、新築現場から排出された軟質塩ビ建材であれば、複数種類の廃材を組み合わせたりリサイクルを行っても、一定の機械的性質を確保した建材の製造が可能であった。また、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質は、用いる廃材原料の品質および混入割合に依存し、様々な種類の廃材を組み合わせることにより、多様な要求品質に応じることが可能であった。さらに、再生塩ビ樹脂シートにおける応力ひずみ曲線は、廃材原料中の塩ビ樹脂配合率によって応力のみ影響を受け、可塑剤の配合率によってひずみのみ影響を受ける。また、廃材原料中の不純物の混入により、応力ひずみ曲線の傾きは変わらないが、最大応力およびひずみともに低下することから、これらの結果を基に、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質の予測を行った。その結果、単一に加え、多種類の廃材を用いた再生塩ビ樹脂シートの場合であっても、各種廃材の混入率を考慮した廃材係数の設定により、精度よく品質の予測が可能であった。



## 第2項 再生塩ビ樹脂シートの耐久性

本リサイクル手法で得られる再生塩ビ樹脂シートの最終的な用途は、屋内材に限らず、屋外材としての利用も想定している。しかし、塩ビ建材のマテリアルリサイクルに関する従来の研究では、屋内で使用される床材のバッカーへの利用が大半であり、防水シート等のように屋外で使用される建材への利用は少ない。これは、防水シートは使用環境も屋内材に比べ厳しく、再生品を用いた場合の耐久性が懸念されるからである。それに加え、防水シートの劣化挙動は、複数の劣化因子から同時に影響を受け、長期的な劣化挙動を予測することが難しいことも原因のひとつである。そこで、再生塩ビ樹脂シートの基礎的な耐久性評価に加え、防水シートの実暴露における劣化挙動を調査し、実環境を想定した長期的、かつ、複合的な劣化試験を行い、再生塩ビ樹脂シートの防水シートへの利用を検討した。

その結果、再生塩ビ樹脂シートにおける基礎的な耐久性は、耐熱性、耐アルカリ性、耐候性ともに、廃材混入率が高くなると低下し、廃材原料種類によってその傾向は異なり、廃材原料に含まれる添加剤に依存し、特に屋外で使用される防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐久性は高くなった。また、実環境下における防水シートの劣化挙動は、暴露初期の段階ではあまり変化がみられないが、ある一定の範囲を超えると急激に劣化し、引張強さは不規則な劣化挙動を示すが、伸び率は規則的に低下した。これらのことから、再生塩ビ樹脂シートの耐久性評価として、長期的、かつ、複合的な劣化試験を行い、伸び率に着目して評価を行った。その結果、再生塩ビ樹脂シートの長期的な耐久性において、耐熱性は廃材原料中の可塑剤の種類および含有量に強く起因し、防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐熱性は高くなった。一方、耐候性においても、防水シートを廃材原料として使用した場合、その耐候性は高くなるが、これは廃材原料中の耐久性を高める添加剤に起因している。また、再生塩ビ樹脂シートの長期的な耐久性は、表層に耐久性の高いヴァージンシートを用いた複層構造にすることで、JIS規格値を満たす耐久性を保ちながら、複層化再生塩ビ樹脂シート全体でのリサイクル率を高めることが可能であった。

## 第4節 本リサイクル手法の位置づけ

本リサイクル手法は、対象が軟質塩ビ建材であればその種類を限定せず、大半の塩ビ建材に適用でき、叩解法により再生塩ビ粉体を抽出し、再生塩ビ樹脂シートの作製が可能である。また、再生塩ビ樹脂シートの機械的性質は、廃材原料種類および混入率から、床材や防水シートなど用途に合わせた配合設計が可能であり、多種ある塩ビ建材であっても、複数種類の廃材を組み合わせることでリサイクルすることが可能である。また、再生塩ビ樹脂シートの耐久性は、シートを複層構造にすることで、屋外で使用する防水シートへの利用も可能であり、長期的な耐久性についても担保できる。さらに、再生塩ビ樹脂シートの利用は、環境負荷の面でも優れており、再生塩ビ樹脂シートのリサイクル率が20%以上であれば、消費エネルギー量およびCO<sub>2</sub>排出量ともに低減効果がある。図6-4-1に本研究で提案する塩ビ建材のマテリアルリサイクルフローを示す。なお、図6-4-1中の赤枠内は今後の課題である。

以上を踏まえ、本研究で提案したリサイクル手法は、塩ビ建材の資源循環を想定したマテリアルリサイクル手法であり、今後、対象廃材を増やし、リサイクル品の製造方法を検討していくことで、塩ビ建材における資源循環の形成に資するものとしていきたい。

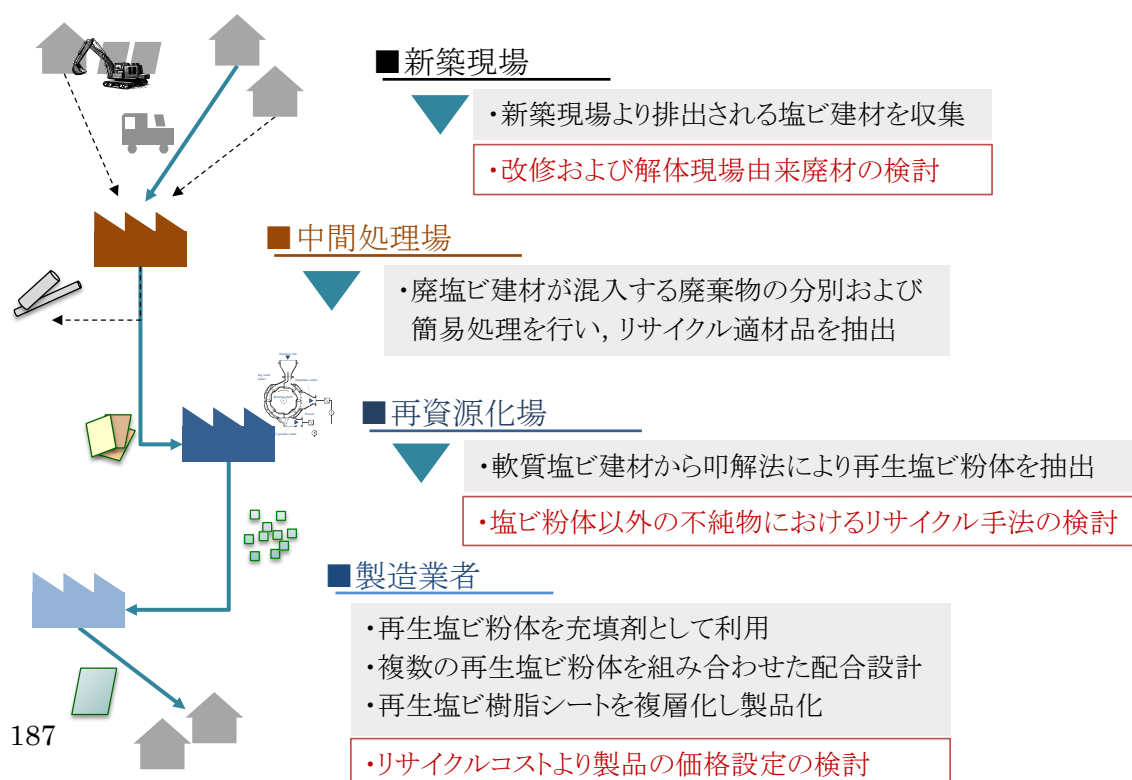


図6-4-1 塩ビ建材のマテリアルリサイクルフロー

## 第5節 結

廃棄物のリサイクルとは、資源の消費量および廃棄物の排出量を抑えることが可能であり、廃棄物を資源として、もしくは資源の充填的役割として利用し、資源と廃棄物が循環するかたちを形成することが理想です。本研究では、近年の不法投棄や最終処分場の逼迫等の問題に加え、建築業界の時代の流れとともに、今後、排出量が増大していくと予想される塩ビ建材のマテリアルリサイクル手法を提案しました。しかし、ここで提案したリサイクル手法は、廃棄物の分別回収方法やリサイクル品の品質、リサイクルすることによる環境面への有益性等であり、実際に塩ビ建材をリサイクルするためには、廃棄物処理業者や製造業者等の協力が必要です。また、本研究では塩ビ建材を対象としましたが、資源利用や廃棄物処理の観点からも、他の廃材におけるリサイクル手法の開発は必要不可欠です。今後、塩ビ建材のみならず、他の廃材におけるリサイクル手法の開発に資するように、より研究を進め、資源循環型社会の構築に貢献できることを願います。

## 第 6 節 謝辞

本研究は、私が建築材料研究室に在籍して以来、現在までの 6 年間に行ってきた研究を取りまとめたものです。

実験および調査に際しましては、田島ルーフィング株式会社、株式会社イオリナ、塩化ビニル管・継手協会、有限会社コイデ解体、株式会社ウチダ、並びに当研究室に所属の修士生および学部生、修了生および卒業生の皆様に御協力を賜りました。

本論文は、上記の数多くの方々の多大な御協力により、博士論文として結ぶに至りました。誠にありがとうございました。

そして最後に、貴重な御助言とたくさんの世間話、そして研究の楽しみ方を御教授頂きました菊池雅史元教授、極めて熱心なご指導と数え切れないほどの楽しい飲み会、そしてこれからの目標を示して下さいました小山明男教授、並びに私を博士課程修了まで支えてくれた両親に、深く感謝の意を示し、本論文を結びます。

2016 年 2 月  
山口 晃平