



【事例7 詳細報告】

塩ビ系壁紙の地球温暖化と
室内空気質汚染の人間健康影響一般社団法人日本壁装協会
東京都市大学 環境情報学部 伊坪研究室

1 一般的事項

1.1 評価実施者

所属機関：一般社団法人日本壁装協会 業務部

名前：松井 隆博

所属機関：東京都市大学 環境情報学部 伊坪研究室

名前：山口 博司

1.2 報告書作成日

2012/09/26

2 調査実施の目的

2.1 調査実施の理由

壁紙の種類は大きく6種類に分類されるが、このうち塩ビ系壁紙は1970年代にシェアトップとなり今日では出荷量の9割以上を占める製品となっている。これに注目し、日本壁装協会では2007年11月からLCA手法を採用し塩ビ系壁紙のCO₂排出量について、調査・研究を始めた。2008年および2009年と塩ビ系壁紙製造企業からデータ収集を行い、CO₂排出量の業界代表値を算出した。2010年にはライフサイクルCO₂排出量の算出を行った。

壁紙の化学物質(ホルムアルデヒド)に対する取り組みは、1996年国会で取り上げられて以降社会的な関心となった。これを踏まえ、厚生労働省では13種類の化学物質について室内濃度指針値を定めた。また国土交通省では1996年に「健康住宅研究会」を設置、2000年には「室内空気対策研究会」を設置して、各種の調査・研究が行われた。また、民間においても「健康に配慮した内装材の選定等に関する指針」(社団法人住宅生産者団体連合会、1999年)をとりまとめるなど、さまざまな取り組みが進められてきた。官および民の取り組みにより一定の改善傾向は見られた。しかし、新築住宅等の中には化学物質の室内濃度指針値を超えるものが依然として多数存在していた。この状況を抜本的に改善するため建築基準法の一部改正(2003年7月)が施行された。

建築基準法が改正されたことにより壁紙は、第一種ホルムアルデヒド発散建築材料として告示されJIS認証および国土交通大臣の認定を取得し、ホルムアルデヒド発散等級を表示する義務が必要となった。これに対応するため、日本壁装協会では「壁紙品質情報管理システム」を構築し、壁紙の製造、流通、施工までの品質情報管理を一貫して実施しており、シックハウス対策に努めている。

本調査は、塩ビ系壁紙を対象として CO₂ による地球温暖化およびホルムアルデヒドによる室内空気質汚染の人間健康（DALY）への被害評価により評価することを目的とする。

2.2 調査結果の用途

塩ビ系壁紙のライフサイクルに伴い発生する CO₂ およびホルムアルデヒド放散について把握をする。得られた結果は日本壁装協会会員企業へ情報提供を行い、業界全体で環境問題に取り組んでいくための材料とする。また、個別企業の環境活動やコスト削減に活用することで壁装業界発展のために役立てるものとする。

3 調査範囲

3.1 調査対象とその仕様

1 m²あたり 300g の標準的な塩ビ系壁紙とする。原反の製造方法は一般的に多く採用されているコーティング法（塩ビペーストゾルを裏打ち紙の上に塗工し、熱風乾燥することでゲル化させる製造法）とし、印刷はグラビア印刷方式で発泡エンボス加工を施したものとする。（図 3.1-1）

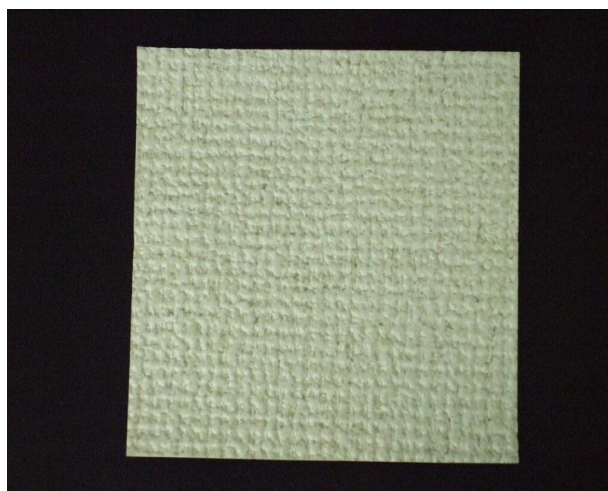


図 3.1-1 標準的な塩ビ系壁紙

3.2 機能および機能単位

1 m² (300g) の塩ビ系壁紙を壁に装飾する。（壁紙製造および施工時のロスを含む）

3.3 システム境界

素材、製造、輸送（流通段階のみ）、施工、使用（ホルムアルデヒドのみ）、焼却までとする。図 3.3-1 にシステム境界を示す。

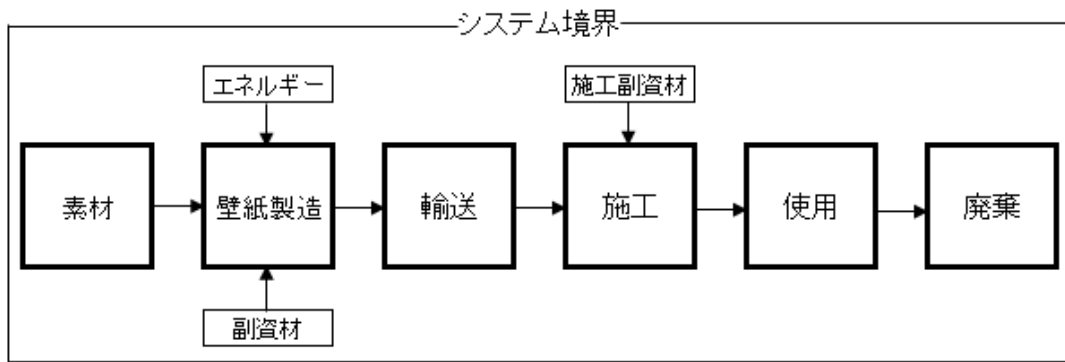


図 3.3-1 塩ビ系壁紙のシステム境界

3.4 特記事項（除外したプロセス・項目等について）

輸送プロセスは、製品流通のみ（製造工場→流通企業保管倉庫、流通企業保管倉庫→配達先）を対象としており、原材料輸送等（素材、副資材、施工副資材）の輸送は評価に含めていない。また、使用プロセスはホルムアルデヒドのみとし、CO₂ は発生しないものとした。

使用後の廃壁紙は現状、焼却処理が主であることから廃棄プロセスは、焼却を想定して評価を実施し、原料由来のCO₂ を計上した。なお、リサイクルは評価に含めていない。

4 インベントリ分析

4.1 フォアグラウンドデータ

素材、製造（エネルギー・副資材）については、塩ビ系壁紙製造企業 6 社からデータ収集（2011 年データ）を行った。輸送については最大手の流通企業からデータ収集を行い、関東地区をモデルケースとした。施工は接着剤、シーラー、糊付け機とした。ホルムアルデヒド（使用プロセス）についてはホルムアルデヒド放散量試験を実施した。廃棄は原料由来から発生するCO₂ を燃焼反応より求めた。

4.2 バックグラウンドデータ

各プロセスの原単位については LCA 日本フォーラムのデータベース¹⁾、JEMAI-LCAPro²⁾ 産業関連表³⁾（3EID）を利用した。

4.3 CO₂ のインベントリ分析

4.3.1 素材および製造（エネルギー・副資材）データ

素材および製造（エネルギー・副資材）のデータについては、図 4.3-1 の「CO₂ 排出量算定シート」を作成し、塩ビ系壁紙製造企業 6 社からデータの収集を行った。なお、データ収集した企業 6 社で塩ビ系壁紙の国産生産量シェア約 48%を占める。（2010 年度）また、統計的手法（95%信頼区間）を用いて業界代表値を求めた。

CO2排出量算定シート
 発泡エンボス（工程LOSS=重量計算）

セル内に数値を入力してください | 固定数値 | 製品1m²(300g/m²)生産当たり変動数値が出力されます | 赤字:演算数値が出力されます

原材料				生産工程											
原材料				生産											
材料名	単位	1m ² (300g/m ²)当り重量	製品1m ² 当り重量	混合		コーター		印刷		エンボス		仕上		製品	
グラビオン	g														
樹脂	g														
可塑剤	g														
充填剤	g														
顔料	g														
発泡剤	g														
安定剤	g														
裏打紙	g/m ²														
小計	g	0.0													
(副資材)															
希釈剤	g														
巻き芯	g														
原材料合計	g/m ²														
製造エネルギー															
種類	1m ² (300g)当たり使用量			総使用量											
電気	kw-h/m														kw-h/kg
都市ガス	m ³ /m														m ³ /kg
LPG	m ³ /m														L/kg
A重油	L/m														m ³ /kg
工業用水	L/m														L/kg
軽油	L/m														L/kg
製品仕様															
製品幅	970.0	mm													
コート幅	960.0	mm													
有効幅	920.0	mm													
重量/m ²	300.0	g/m ²													

図 4.3-1 製造工程 CO2 排出量算定シート

4.3.2 輸送データ

壁紙業界最大手の流通企業からデータ収集を行った。データ収集については、壁紙製造工場から流通企業保管倉庫（納入）と、流通企業保管倉庫から配達先（配達）のデータ収集を行い、関東地区をモデルケースとして燃費法により排出量を求めた。

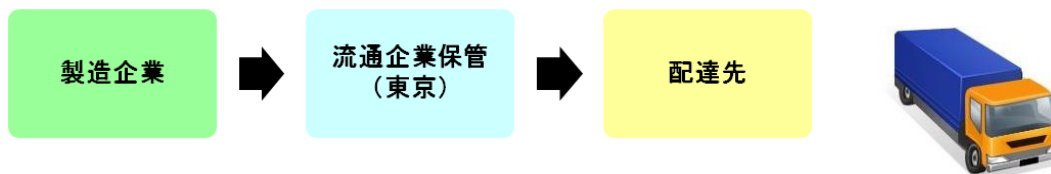


図 4.3-2 輸送モデルケース（関東地区）

4.3.3 施工データ

施工については接着剤、シーラー、糊付け機を対象とした。なお、施工時のロス（端材）については、使用量の 15%と設定した。これについては戸建住宅およびマンションの実測によるデータを用いたが、下記の施工条件で施工した場合のロス率となっている。

- 壁紙の柄は無地を使用し、天井および壁を同じ壁紙とした。
- 全てを一人の施工者で実施し、無駄のないように施工した。

施工時ロスについては理想に基づいた施工条件で施工した場合のロス割合であり、施工条件等によってはこの限りではない。



図 4.3-3 施工時の風景（参考）

4.3.4 廃棄（焼却）データ

塩ビ系壁紙の原材料から焼却時の燃焼反応を作成した。但し、充填剤（ CaCO_3 ）については燃焼ではなく、熱分解による CO_2 発生反応を扱った。これより CO_2 排出係数を求め、 CO_2 排出量を求めた。表 4.3-1 に塩ビ系壁紙原料由来の CO_2 排出係数を示す。なお、裏打紙はカーボンニュートラルのため CO_2 の発生は考慮しないこととする。

表 4.3-1 塩ビ系壁紙原料由来の CO_2 排出係数

素材	モノマー分子式	モノマー分子量 式量	素材1モルから生成 する CO_2 モル数	生成 CO_2 重量(g)	CO_2 排出係数 (g- CO_2 /g)
グラビインキ	$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	100	5	220	2.20
塩化ビニル樹脂	$\text{CH}_2=\text{CHCl}$	62.5	2.5	110	1.76
可塑剤	$\text{C}_{24}\text{H}_{28}\text{O}_4$	390.56	24	1056	2.70
充填剤	CaCO_3	100.09	1	44	0.44
顔料	TiO_2	79.88	0	0	0.00
発泡剤	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{N}_4$	116.08	2	88	0.76
安定剤	$\text{Zn}[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}]_2$	632.34	36	1584	2.50

4.4 ホルムアルデヒドのインベントリ分析

4.4.1 塩ビ系壁紙から放散されるホルムアルデヒド放散量

公定法の JIS 法（JIS A 6921）に則り、塩ビ系壁紙のホルムアルデヒド放散量を確認した。分析条件を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 JIS A 6921 分析条件

試験体	容器	捕集物質	検出器
塩ビ系壁紙 (F☆☆☆☆)	デシケーター	水	吸光光度計

結果、ホルムアルデヒド放散量は検出限界以下（検出限界 0.1mg/L）であったことから定量が出来なかった。

4.4.2 ホルムアルデヒド放散量測定法の検討

JIS法（JIS A 6921）ではホルムアルデヒド放散量が定量出来なかったことから、室内空気質の測定で実際に使用されている、パッシブサンプラーを使って測定する方法を検討した。

4.4.3 パッシブサンプラーによるホルムアルデヒド放散量測定

デシケーター内にパッシブサンプラーを吊るし、ホルムアルデヒドを24時間捕集する。捕集後、高速液体クロマトグラフにかけて放散量測定を行う。



図 4.4-1 パッシブサンプラー

4.4.4 パッシブサンプラーによるホルムアルデヒド放散量測定結果

4.4.3の測定方法で測定した結果、ごく微量ではあるがホルムアルデヒドを定量することができた。なお、得られた結果は国土交通省の告示「規制対象外の放散速度（F☆☆☆☆ 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ 以下）」を下回っている。

表 4.4-2 パッシブサンプラーによるホルムアルデヒド放散速度経時変化

経過日数	ホルムアルデヒド 放散速度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)	減衰割合 (%)
1日後	0.08	100
3日後	0.07	84
5日後	0.04	45
10日後	0.03	39
23日後	0.03	36

4.4.5 塩ビ系壁紙のホルムアルデヒド放散量インベントリ

表 4.4-2の結果を基に、図 4.4-2の回帰式 ($y=0.0806x^{-0.364}$) を求めた。回帰式より※30年間のホルムアルデヒド総排出量を求めた。よって、塩ビ系壁紙 1 m^2 あたり30年間のホルムアルデヒド総排出量は $1.12\text{E}-06$ ($\text{kg}/\text{m}^2/30$ 年) となった。

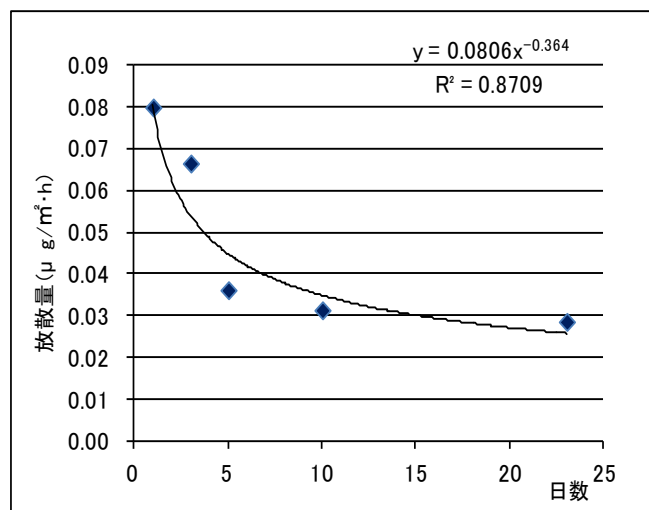


図 4.4-2 ホルムアルデヒド放散量の回帰式

※【設定理由】

業界紙（壁装新聞 2011 年 2 月 1 日 371 号）によるアンケート調査によれば、壁紙の張替えは推定で 20 年間という結果が公表されている。本計算においてはホルムアルデヒド排出による環境影響を安全側の視点に立って評価するという観点で、30 年間という想定で計算を行った。

4.5 インベントリ分析対象項目と分析結果一覧表

塩ビ系壁紙 1 m²あたりの CO₂ およびホルムアルデヒドのインベントリ分析結果を表 4.5-1 に示す。

表 4.5-1 塩ビ系壁紙の LCI 分析結果（単位：kg/m²）

	単位	素材	製造		輸送	施工	使用	廃棄	
			ユーティリティ	副資材					
環境排出負荷	kg	CO ₂	3.91E-01	1.15E-01	2.42E-02	8.52E-03	2.49E-03	-	3.37E-01
		HCHO	-	-	-	-	-	1.12E-06	-

5 インパクト評価

5.1 対象とした評価ステップと影響領域

インパクト評価は日本版被害算定型環境影響評価手法（LIME2）を利用し、地球温暖化と室内空気質汚染の人間健康（DALY）への被害評価を実施した。なお、今回は地球温暖化については CO₂ のみ、室内空気質汚染についてはホルムアルデヒドのみを取り扱ったため特性化評価は行わない。また保護対象として人間健康への被害評価で地球温暖化と室内空気質汚染の評価が可能であるため、統合化評価は行わない。

表 5.1-1 評価対象とした環境影響領域と評価ステップ

	特性化	被害評価	統合化
地球温暖化	—	○	—
室内空気質汚染	—	○	—

5.2 インパクト評価結果

5.2.1 被害評価（人間健康被害量）

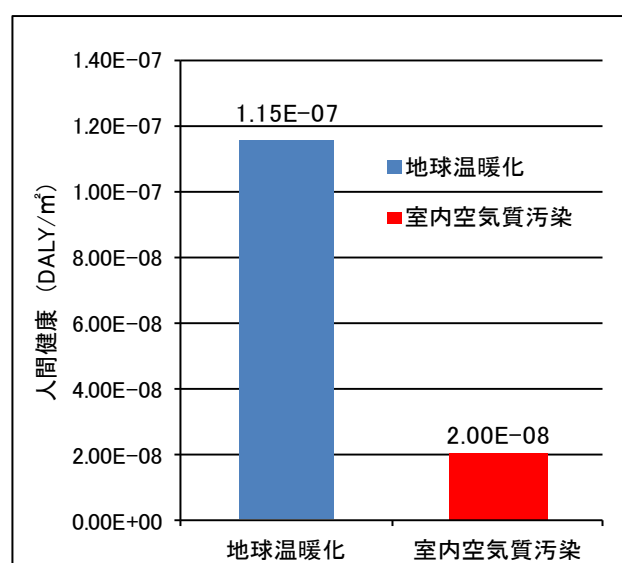
塩ビ系壁紙 1 m²あたりの CO₂ による地球温暖化とホルムアルデヒドによる室内空気質汚染の人間健康（DALY）への被害評価を比較した。ホルムアルデヒドによる人間健康への影響は少ないことがわかった。影響が大きいのは CO₂ による地球温暖化であった。表 5.2-1 に CO₂ による地球温暖化の人間健康被害量、表 5.2-2 にホルムアルデヒドによる室内空気質汚染の人間健康被害量、図 5.2-1 にそれらをグラフにて比較したものを示す。

表 5.2-1 地球温暖化（CO₂）の人間健康被害量

CO ₂ のインベントリ (kg/m ²)	CO ₂ の人間健康被害係数 (DALY/kg)	地球温暖化の人間健康被害量 (DALY/m ²)
8.79E-01	1.31E-07	1.15E-07

表 5.2-2 室内空気質汚染（ホルムアルデヒド）の人間健康被害量

ホルムアルデヒドのインベントリ (kg/m ³ /30年)	ホルムアルデヒドの人間健康被害係数（戸建・居住） (DALY/kg)	室内空気質汚染の人間健康被害量 (DALY/m ² /30年)
1.12E-06	1.78E-02	2.00E-08

図 5.2-1 塩ビ系壁紙 1 m²あたりの人間健康被害量

6 参考

6.1 JIS 規格値から推計したホルムアルデヒドによる人間健康被害量の推移（参考）

JIS A 6921 のホルムアルデヒド放散量規格値 (mg/L) より、最大放散した場合を想定して過去のホルムアルデヒド放散速度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{h}$) を推計、ホルムアルデヒドによる室内空気汚染を人間健康への被害評価で評価を行った。なお、数値については参考値であり当時の結果を表したものではない。(図 6.1-1)

表 6.1-1 JIS A 6921 ホルムアルデヒド放散量規格値

年	ホルムアルデヒド 放散量規格値 (mg/L)
1976 (JIS 制定時)	2.0
1995	2.0
1998	1.0
2001	0.5
2003 (至現在)	0.2

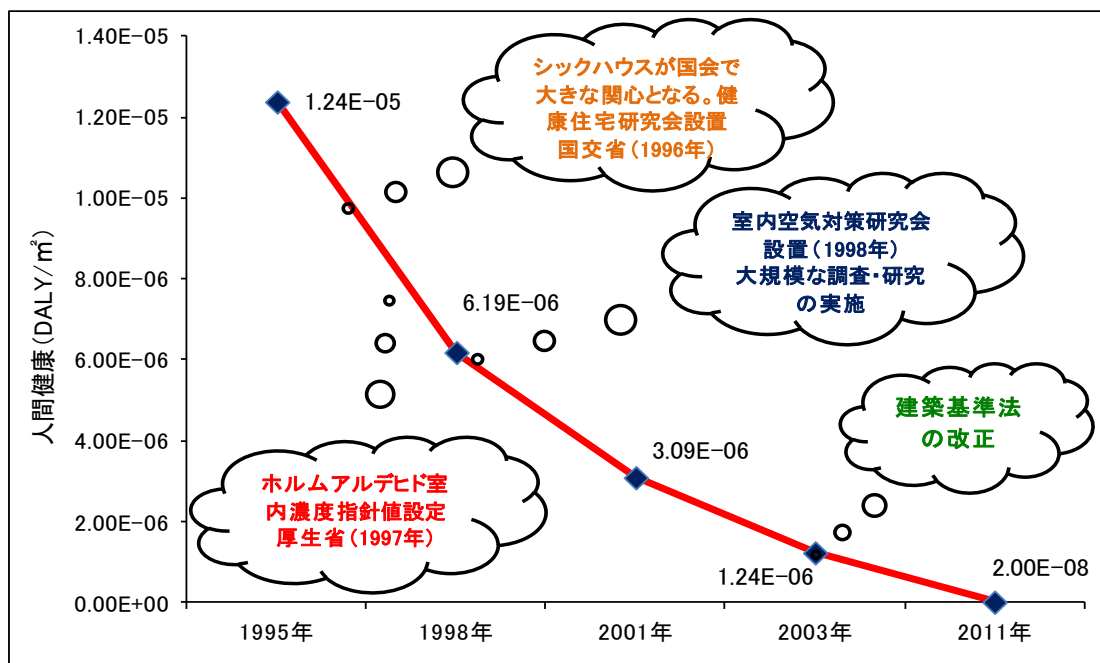


図 6.1-1 JIS 放散量規格値から推計したホルムアルデヒド人間健康被害量の推移
(数値は参考値)

ホルムアルデヒド放散量が低減してきた理由は主に、接着剤、裏打紙、換気によるものと思われる。表 6.1-2 にホルムアルデヒド低減理由を示す。

表 6.1-2 ホルムアルデヒド低減理由

項目	改善前	改善後
接着剤	防腐剤としてホルマリン（ホルムアルデヒド）を使用	安息香酸ナトリウム（食品添加物（保存料））に変更
裏打紙	難燃剤 （メラミンホルムアルデヒド樹脂等）の添加義務あり	難燃剤の添加義務がなくなったことにより、裏打紙が難燃紙から普通紙へ移行※
	紙力増強剤 （尿素ホルムアルデヒド樹脂等）を添加	アクリルアミド系へ変更
換気	施工時、仕上げ後等の換気が不十分	換気の励行

※現在でも裏打紙として難燃紙（但し、ホルムアルデヒドを含まない難燃薬剤）は存在している。

接着剤（でんぷん糊）の劣化を防ぐため、防腐剤として以前はホルマリン（ホルムアルデヒド）を使用していた。現在は安息香酸ナトリウム（食品添加物（保存料））に変更されており、ホルマリン（ホルムアルデヒド）は使用されていない。

裏打ち紙は当時の防火壁装材料の規則で難燃剤の添加義務があった。現在では難燃剤の添加義務はなくなった。これにより裏打紙が難燃紙から普通紙へ移行してきた。なお、現在でも裏打紙として難燃紙（但し、ホルムアルデヒドを含まない難燃薬剤を使用）は存在している。また、引張強度や引裂き強度を強化するため紙力増強剤を添加していた。これについては、アクリルアミド系薬剤へ変更された。

換気については健康住宅研究会（1996年）での実験・研究結果により、換気が有効であることが明確になり施工時および仕上げ後等での換気励行が実施されるようになった。これらによってホルムアルデヒドは大幅に低減され、現在へと至っている。

6.2 活性炭へリサイクル（将来シナリオ）した場合のリサイクル効果試算

リサイクルの将来シナリオとして、活性炭へリサイクルした場合のリサイクル効果を試算した。試算にあたっては株式会社クレハ環境（本社：福島県いわき市）で研究開発中の活性炭化技術を用いて試算した。活性炭を図 6.2-1、リサイクルフローを図 6.2-2 に示す。

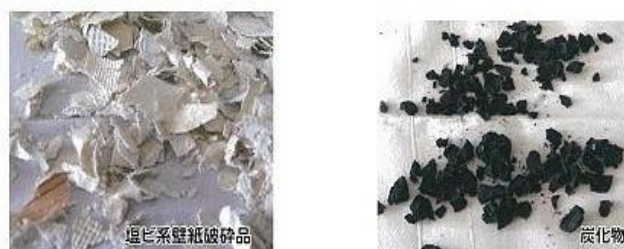


図 6.2-1 廃塩ビ壁紙と活性炭

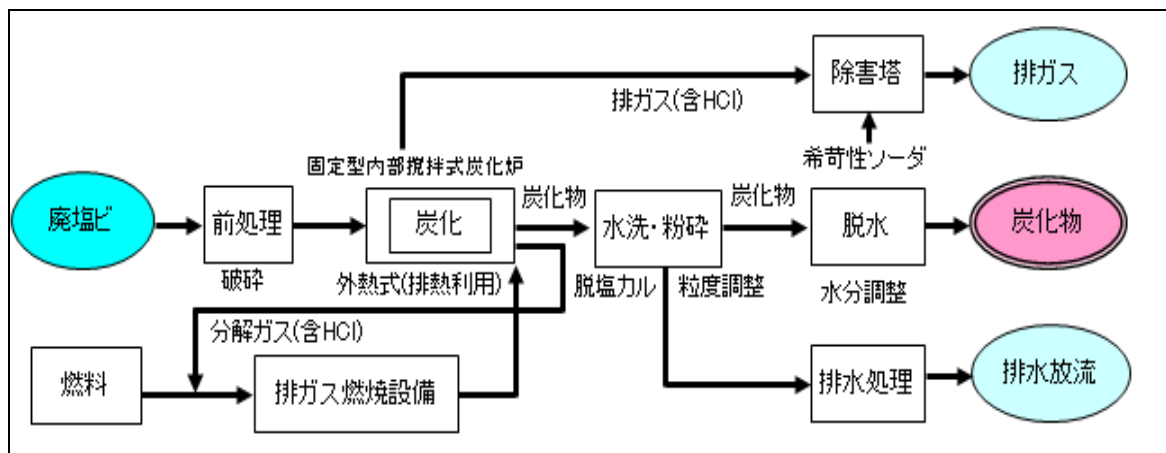


図 6.2-2 活性炭へのリサイクルフロー図

6.2.1 リサイクルフロー図から発生するCO2 排出量

図 6.2-2 のリサイクルフロー図から発生するCO2 排出量は 31.7 (g/m³) であった。表 6.2-1 にその内訳を示す。

表 6.2-1 リサイクルフローから発生するCO2 排出量

原料/エネルギー	使用量	単位	CO2 排出量 (g/m ³)
電力	5.79E-02	Kwh/ m ³	2.46E+01
A重油	2.14E-03	L/m ³	6.25E+00
工業用水	3.21E+00	L/m ³	2.57E-01
窒素	5.36E+00	g/m ³	5.51E-01
苛性ソーダ (25%)	6.64E-02	g/m ³	9.14E-03

6.2.2 リサイクルによる活性炭（バージン）製造時のCO2 削減効果

リサイクルによって得られた活性炭と活性炭（バージン）について、よう素吸着性能で物性を比較した。リサイクルによって得られた活性炭は活性炭（バージン）の約 4 分の 1 であることがわかった。

表 6.2-2 リサイクルによって得られた活性炭の物性

項目	リサイクルによって得られた活性炭	活性炭（バージン） （水蒸気賦活法）
よう素吸着性能 (mg/g)	243	900~1000

※よう素吸着性能：活性炭の吸着性能指標

リサイクルによって得られた活性炭の収率は 26%、塩ビ系廃壁紙 300g から得られる活性炭は 78g となる。表 6.2-2 より、活性炭（バージン）の 19.5g 分に相当する。

6.2.3 活性炭（バージン）19.5gあたりのCO₂ 排出量

活性炭（バージン）製造については、JLCA-LCA データベース「活性炭水蒸気賦活法」（日本無機薬品協会）⁴⁾のデータを引用した。図 6.2-3 に活性炭（バージン）製造フローを示す。表 6.2-3 に活性炭（バージン）製造時の原料 CO₂ 排出量を示す。なお、原料（ヤシ）の炭化はデータが得られないため調査対象外とした。

システム境界で排出される CO₂ は 5.0 (kg/kg)（エネルギー含む）である。但し、植物由来の活性炭は、原料の炭素から由来する CO₂（この場合は 3.5 (kg/kg)）を差し引くことができる。これは原料植物が大気中の CO₂ を固定化しているためであり、これより 1.5 (kg/kg) となる。これに 19.5g を乗じて 29.3 (g) となる。そのほか、原料等から発生する CO₂ 排出量 (0.5g) を加え 29.8 (g) となり、これが活性炭（バージン）製造時の CO₂ 排出量およびリサイクルによる活性炭（バージン）の CO₂ 削減効果となる。

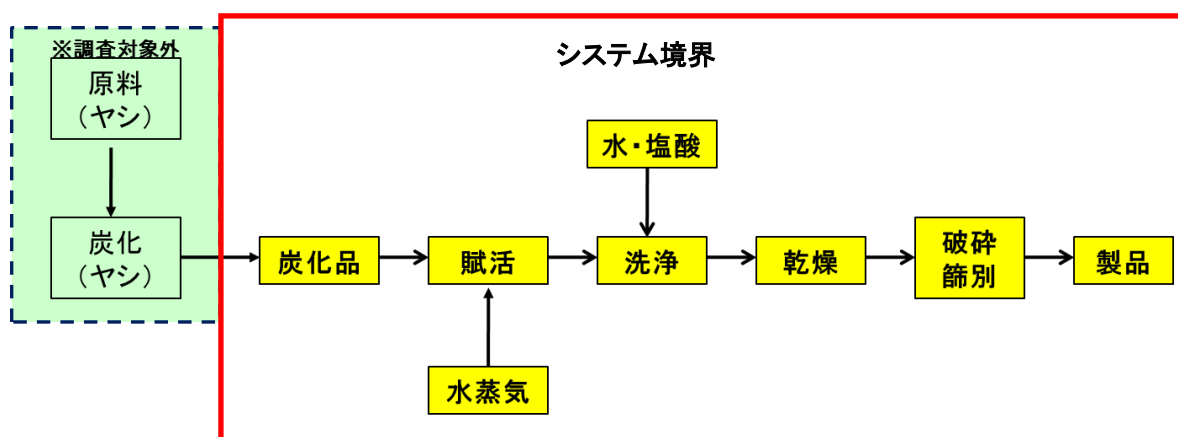


図 6.2-3 活性炭（バージン）製造フロー（水蒸気賦活法）

表 6.2-3 活性炭（バージン）製造時の原料 CO₂ 排出量

原料	使用量	単位	CO ₂ 排出量 (g)
塩酸	4.29E-01	g/g	1.69E-01
苛性ソーダ	3.90E-02	g/g	2.14E-02
ポリ塩化アルミニウム	1.76E-01	g/g	6.35E-02
水	1.25E+03	g/g	2.39E-01

6.2.4 CO₂ 削減効果を考慮したライフサイクル CO₂ 排出量

塩ビ系廃壁紙を焼却した場合と活性炭ヘリサイクルした場合のライフサイクル CO₂ 排出量を図 6.2-4 に示す。焼却した場合のライフサイクル CO₂ 排出量は 8.79E+02 (g/m²)、活性炭ヘリサイクルした場合のライフサイクル CO₂ 排出量は 5.44E+02 (g/m²) であった。よって、焼却に比べてリサイクルすることにより CO₂ 排出量を抑制できることがわかった。

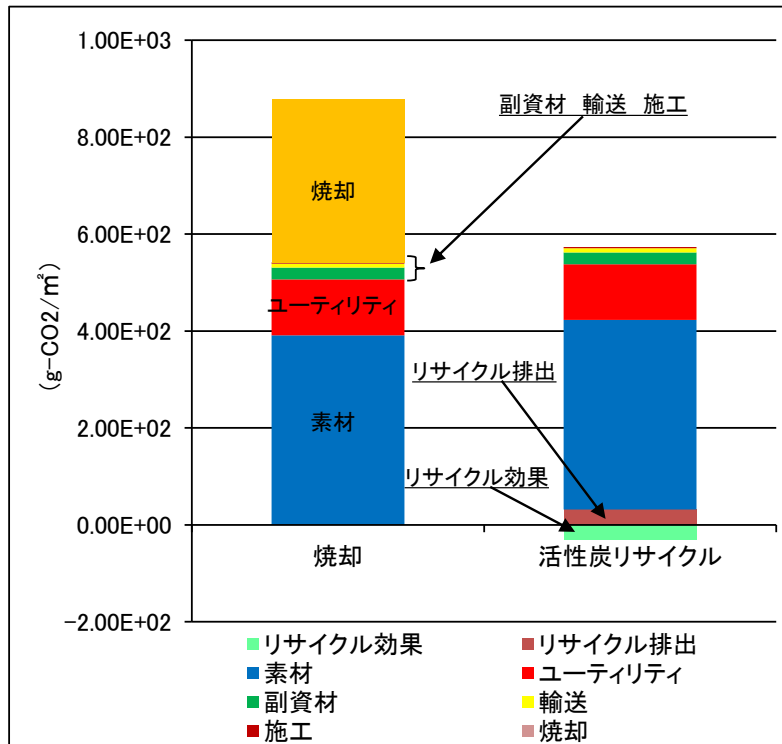


図 6.2-4 焼却とリサイクル（活性炭）のCO₂ 排出量

7. 結論

7.1 調査結果のまとめ

業界代表値による塩ビ系壁紙 1 m²のライフサイクルにおけるCO₂ 排出量を求めた。また、パンプサンプラー法による塩ビ系壁紙のホルムアルデヒド放散量実測値から 30 年間の放散量を求めた。これより LIME2 の被害係数を用いて CO₂ による地球温暖化およびホルムアルデヒドによる室内空気質汚染の人間健康へ及ぼす被害量を求めて比較した。塩ビ系壁紙 1 m²あたりの CO₂ による地球温暖化の人間健康への被害量は 1.15E-07 (DALY/m²) となった。

塩ビ系壁紙の張替期間を 30 年と設定した場合、塩ビ壁紙 1 m²あたりのホルムアルデヒド総排出量は 1.12E-06 (kg/m²/30 年) となり、これによる室内空気質汚染の人間健康への被害量は 2.00E-08 (DALY/m²) となった。これより人間健康への被害量は CO₂ 排出による地球温暖化によるものがホルムアルデヒドによる室内空気質汚染によるものの約 6 倍と大きいことがわかった。

7.2 限界と今後の課題

CO₂ 排出による地球温暖化の影響を削減するために、今後はリサイクルに重点をおいた取り組みが必要と思われる。活性炭へのリサイクル以外にも、ペット用排泄物処理剤（猫砂）や塩ビ樹脂とパルプを分離する方法が挙げられ、幅広くリサイクル技術とその評価を進める必要がある。

さらに塩ビ系壁紙の LIME2 による影響評価領域として、今後はより広く都市域大気汚染 (NO_x, SO₂)、資源消費 (エネルギー資源、鉱物資源、森林資源)、廃棄物等の影響評価を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) LCA 日本フォーラム (2008 年度 2 版) JLCA-LCA データベース
- 2) 社団法人産業環境管理協会 JEMAI-LCAPro
- 3) 南齋規介, 森口祐一: 独立行政法人国立環境研究所 (1995) 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)
- 4) 日本無機薬品協会 活性炭部会 (2006): 活性炭の LCA データ算定概要説明書
- 5) 有限会社企画編集社: 壁装新聞 (2011 年 2 月 1 日 371 号)