

「高機能建材による室内空気質  
改善の環境影響評価」

報告書

2008年7月

トステム株式会社 環境室

## 1 一般的事項

### 1.1 評価実施者

所属機関:トステム株式会社 環境室企画推進G

名 前:大場 寛之

連絡先:kankyoushitsu@exc.tostem.co.jp

### 1.2 報告書作成日

2008/07/31

## 2 調査実施の目的

### 2.1 調査実施の背景と理由

近年、シックハウス問題は住宅に関わる環境問題のひとつとして重要視されるようになり、建材からのホルムアルデヒド発散量の低減や、高気密住宅における換気システムの高性能化などの対策がなされてきた。また、新たな対策の方向性のひとつとして、壁材やその装飾としての壁紙に室内空気質汚染物質の吸着および分解の機能を持たせるものがある。

(財)住宅リフォーム・紛争処理センターの調査によると、「シックハウスに関する相談件数」は2003年度をピークとして減少の一途をたどっているが、2008年4月に(財)建材試験センターより「建材からのVOC放散速度基準」が業界自主基準として制定されたことから考えても、社会におけるシックハウス対策への注目度が低下したのではなく、むしろ社会に浸透・定着してきていることが読み取れる。

本調査ではまず、室内空気質汚染物質の吸着・分解機能をもつ内装材「モイス」のライフサイクルを通じた環境影響をLCAにより評価し、その環境特性を把握した上で、モイスによるホルムアルデヒド吸着・分解効果を、分解によるCO<sub>2</sub>排出を含めて評価する。また、天然素材を主成分としているモイスのリサイクル効果を評価し、その可能性を検証する。

### 2.2 調査結果の用途

モイスの環境性能を把握すると共に、環境影響の低減に重要なプロセスを明確にし、設計における改善のための情報提供を行う。また、LIME2による環境影響評価結果を用いた商品訴求や事業活動指標の利用価値を検証する。

## 3 調査範囲

### 3.1 調査対象とその仕様

日本国内で製造、使用、廃棄される内装材「モイス」ならびに比較対象としての一般壁(石膏ボードクロス貼り)を調査対象とする。モイス、石膏ボードともに厚さ9.5mm品とする。

モイスの特長として、①土壁や木のような調湿機能と消臭機能、②主成分バーミキュライトによる有害物質の吸着・分解、③クロス貼り仕上げ不要のため接着レス、④天然素材を主成分としリサイクル可能、が挙げられる。



### 3.2 機能および機能単位

部屋の壁面1面として施工され、モイス 910mm×1820mm 板 6枚, 約 10.0 m<sup>2</sup> (重量: 9.4kg × 6枚), および一般壁同約 10.0 m<sup>2</sup> (重量: 10.8kg × 6枚) のライフサイクル全体とする。8年間使用, 同8年間におけるホルムアルデヒド暴露量を室内空気質汚染項目とする。

### 3.3 システム境界

原料の調達から製造, 物流, 使用, 廃棄段階まで (図 3.3-1, 図 3.3-2)。使用段階を対象外とし, 製品固有プロセスに限った評価を ver.1, 使用段階 (ホルムアルデヒドに関わる影響評価) を含めた評価を ver.2 とする。

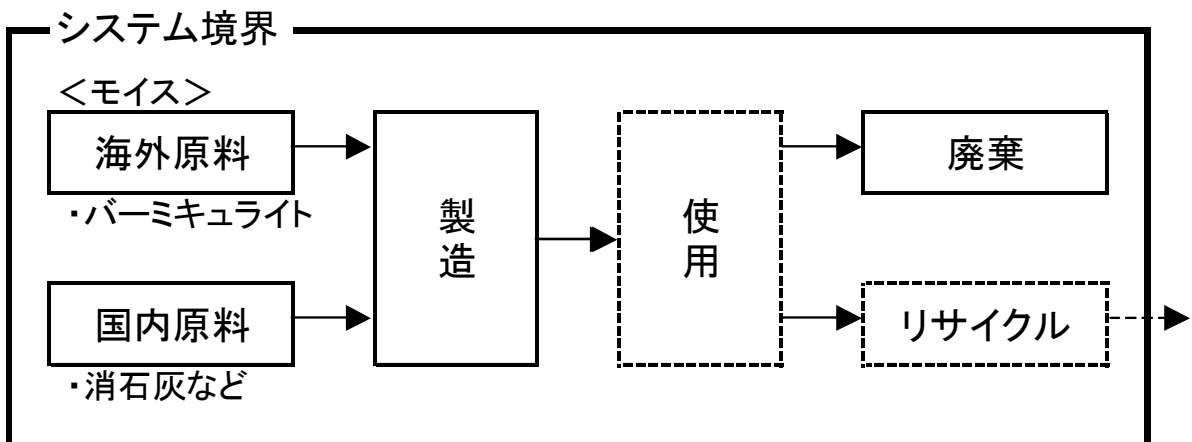


図 3.3-1 モイスのシステム境界

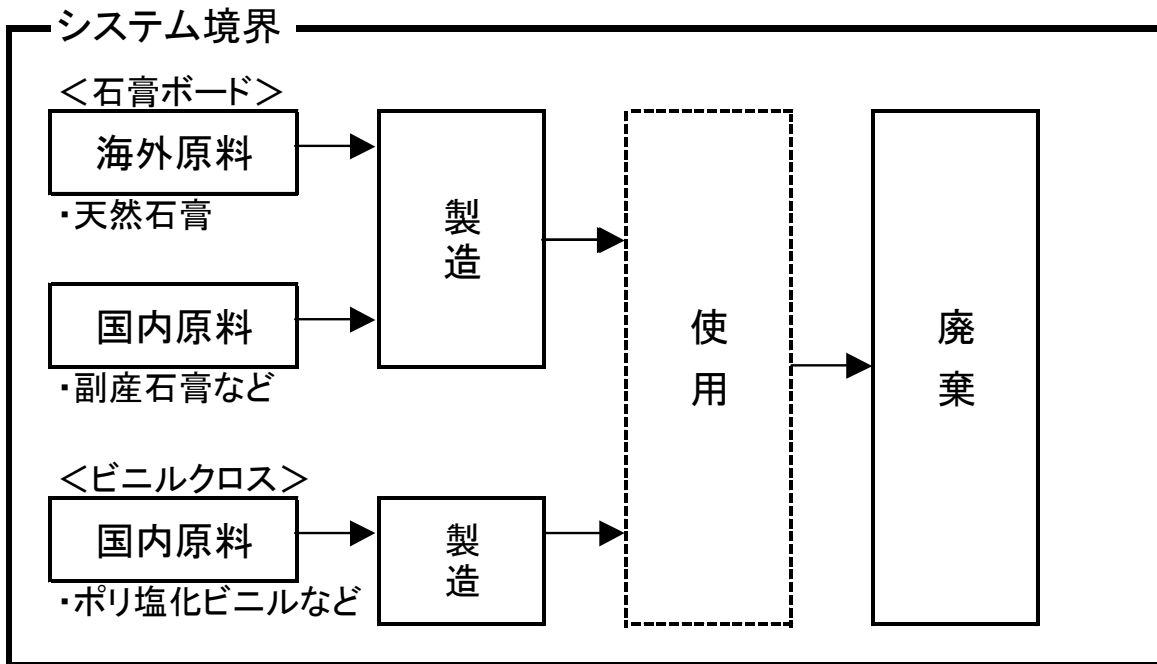


図 3.3-2 一般壁のシステム境界

### 3.4 特記事項（除外したプロセス・項目等について）

副産（排煙脱硫）石膏の精製プロセスは、副産物のため副産石膏へアロケーションしないこととする。製品製造に関わる工場・機械の建設・維持・廃棄、および住宅の施工・解体は調査対象外とする。

また、モイスのホルムアルデヒド吸着・分解能力は性能試験値<sup>1)</sup>より換算したもの。内装材の廃棄物について現在リサイクルモデルの整備が検討されているが、現状を反映させ、モイス、一般壁ともにすべて産業廃棄物（がれき類）としている。モイスは安定型産業廃棄物、石膏ボードは管理型産業廃棄物とされるが、その別は考慮しない。

## 4 インベントリ分析

### 4.1 フォアグラウンドデータ

モイスの製造に関する原料・資源・エネルギーの投入量データは、製造元の三菱マテリアル建材株式会社の協力により収集した2004年度のデータを採用し、石膏ボードならびにビニルクロスの投入量データは（社）産業環境管理協会<sup>2)</sup>のJLCA-LCAデータベース2007年度第3版より引用した。使用段階については金子ら<sup>3)</sup>の調査結果およびその参考文献<sup>4)</sup>に準じて算出し、また廃棄段階の現状については、製造元へのヒアリングならびに、廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討会<sup>5)</sup>の調査結果を参考にした。

## 4.2 バックグラウンドデータ

モイスの原料調達については、総販売元の三菱商事建材株式会社へのヒアリングにより、バーミキュライトを南アフリカから輸入、その他の原料を国内調達とした。石膏ボードの原料調達については、(社)石膏ボード工業会<sup>6)</sup>の統計ならびに、廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討会<sup>5)</sup>の調査結果をもとにし、天然石膏をタイおよびオーストラリアから輸入、副産石膏ならびにその他原料を国内調達とした。それ以外のデータについては(社)産業環境管理協会<sup>7)</sup>のJEMAI-LCA Proのデータベースを利用した。

## 4.3 インベントリ分析対象項目と分析結果一覧表

表 4.3-1、表 4.3-2 にモイスおよび一般壁のインベントリ分析の対象とした項目と分析結果の一覧を示す。

表 4.3-1 モイスの LCI 分析結果 (単位 (kg/f. u.))

		素材	製造	物流	使用	廃棄	
消費 負荷	枯渇資源	石炭	3.76E-01	1.56E+00	7.25E-05		
		原油 (燃料)	1.53E+00	5.51E+00	4.49E-03		
		天然ガス	2.53E-01	1.07E+00	8.59E-05		
		ウラン	3.87E-05	1.66E-04	2.33E-09		
		砂	1.81E+01				
		石灰石	2.84E+01				
	長石	1.35E+01					
	再生可能 資源	木材					
	水	-	-	-	-	-	
環境排 出負荷	屋外大気	CO <sub>2</sub>	1.85E+01	3.50E+01	6.61E+00	(2.80E-02)	
		SO <sub>x</sub>	3.83E-04	6.87E-03	2.39E-03		
		NO <sub>x</sub>	2.30E-03	1.45E-02	3.77E-04		
		N <sub>2</sub> O	1.67E-04	6.40E-04	1.90E-05		
		CH <sub>4</sub>	1.70E-04	5.68E-04	7.27E-05		
		NMVOC	7.84E-05	3.37E-04			
		PM10	1.99E-04	3.89E-04	1.14E-04		
		PM10 (線源)	1.43E-05	8.99E-05	7.86E-04		
		NO <sub>x</sub> (線源)	1.96E-04	1.23E-03	2.46E-02		
	SO <sub>2</sub>	3.45E-04	3.84E-04	8.28E-06			
	屋内大気	HCHO				(2.58E-03)	
土壌	産業廃棄物					56.64	

表 4.3-2 一般壁の LCI 分析結果 (単位 (kg/f. u.))

		素材	製造	物流	使用	廃棄	
消費 負荷	枯渇資源	石炭	7.57E-01	5.37E-01	5.48E-05		
		原油 (燃料)	8.55E-01	7.75E+00	3.12E-03		
		天然ガス	5.23E-01	4.69E-01	6.01E-05		
		ウラン	5.68E-05	5.70E-05	1.76E-09		
		原油 (原料)	2.27E+00				
		石灰石	2.00E+01				
	再生可能 資源	木材					
		水	-	-	-	-	-
環境排 出負荷	屋外大気	CO <sub>2</sub>	7.18E+00	2.73E+01	4.14E+00		
		SO <sub>x</sub>	1.36E-03	9.80E-03	1.62E-03		
		NO <sub>x</sub>	3.44E-03	1.46E-02	2.85E-04		
		N <sub>2</sub> O	3.51E-04	5.33E-04	1.44E-05		
		CH <sub>4</sub>	3.75E-04	7.37E-04	5.49E-05		
		NM VOC	1.15E-04	1.15E-04			
		PM <sub>10</sub>	7.02E-04	5.50E-03	8.61E-05		
		PM <sub>10</sub> (線源)	1.08E-04	2.11E-05	4.79E-04		
		NO <sub>x</sub> (線源)	1.47E-03	2.88E-04	1.50E-02		
		SO <sub>2</sub>	3.52E-03	1.88E-02	6.24E-06		
	屋内大気	HCHO				(2.18E-02)	
	土壌	産業廃棄物					65.1

## 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影響評価手法 LIME2 を利用し、特性化、被害評価、統合化の 3 ステップについて評価を実施した。各ステップにおいて評価対象とした影響領域について表 5.1-1 に示す。

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
資源消費（エネルギー）	○	○	○
資源消費（鉱物）	○	○	○
地球温暖化	○	○	○
都市域大気汚染	—	○	○
オゾン層破壊	—	○	○
酸性化	○	○	○
富栄養化	—	○	○
光化学オキシダント	—	○	○
人間毒性	—	○	○
生態毒性	—	○	○
室内空気質	○	○	○
騒音	—		
廃棄物	○	○	○
土地利用			

## 5.2 インパクト評価結果

### 5.2.1 特性化

モイス、一般壁の特性化結果として、資源（エネルギー）消費と地球温暖化に関する結果を図 5.2-1、図 5.2-2 に示す。ともに ver.1 と表記されているものが使用段階（室内空気質汚染）を対象外とした評価であり、ver.2 は使用段階を含めた評価（以降、被害評価、統合化結果も同様）である。資源（エネルギー）消費においてはモイスの方がわずかに影響が小さい一方で、地球温暖化においては CO<sub>2</sub> の影響が大きくなった。これはエネルギー種の違いに由来していると考えられる。その他の影響領域も含めると、エネルギー消費や酸性化、廃棄物ではモイスの方が優位となり、鉱物資源消費、地球温暖化では一般壁の方が優位であった。

またここで注目したいのは、地球温暖化において、モイス ver.1 とモイス ver.2 の CO<sub>2</sub> の影響がほぼ同等である点で、ホルムアルデヒドの分解に伴い排出された CO<sub>2</sub> の影響が全体から見れば小さいことが確認できた。

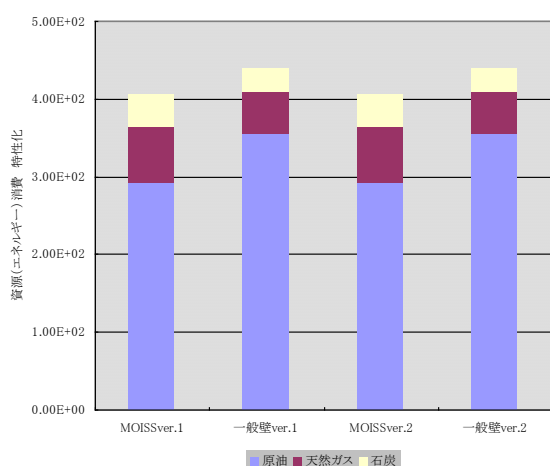


図 5.2-1 特性化結果(エネルギー消費)

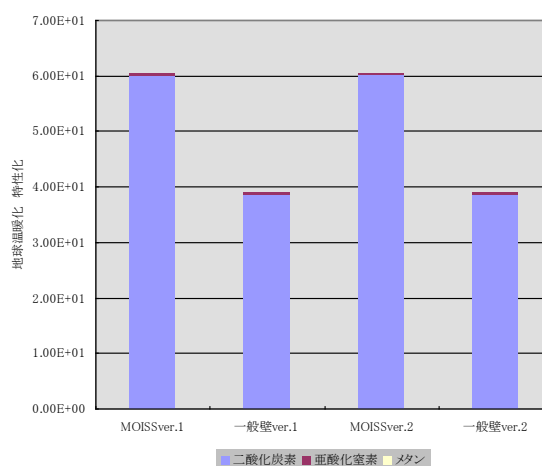


図 5.2-2 特性化結果(地球温暖化)



### 5.2.2 被害評価

図 5.2-3～図 5.2-6 に 4 つの保護対象に対する被害評価結果（物質別内訳）を示す。社会資産，生物多様性に対する影響はモイスの方がわずかに小さく，逆に一次生産では一般壁の方がわずかに小さい。社会資産，一次生産，生物多様性において廃棄物の影響が最も大きいことが確認できる。

人間健康においては，ver.2 の結果から，ホルムアルデヒドの影響が全体に寄与する影響が大きく，その吸着・分解の効果も大きいことがうかがえる。そのほか CO<sub>2</sub> および SO<sub>x</sub> の排出の影響が比較的大きい。

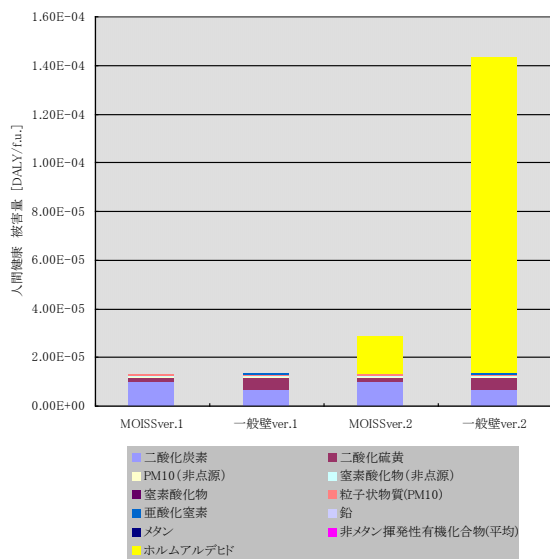


図 5.2-3 被害評価結果(人間健康)

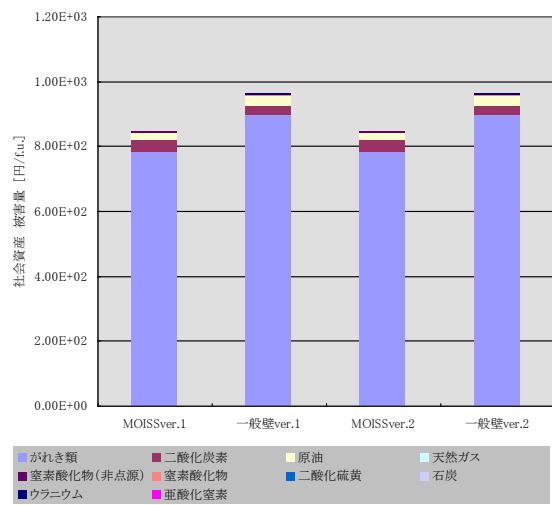


図 5.2-4 被害評価結果(社会資産)

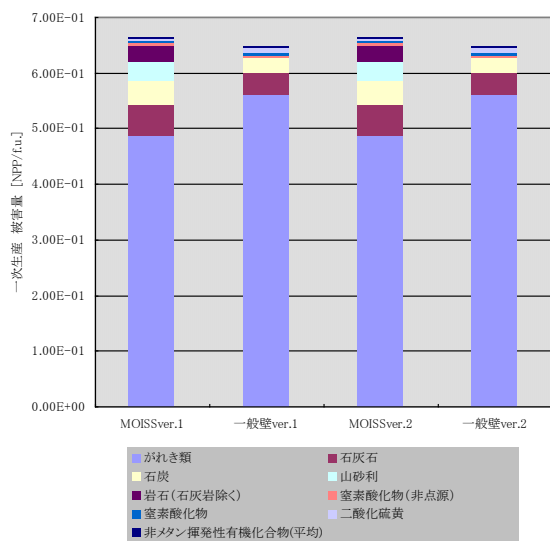


図 5.2-5 被害評価結果(一次生産)

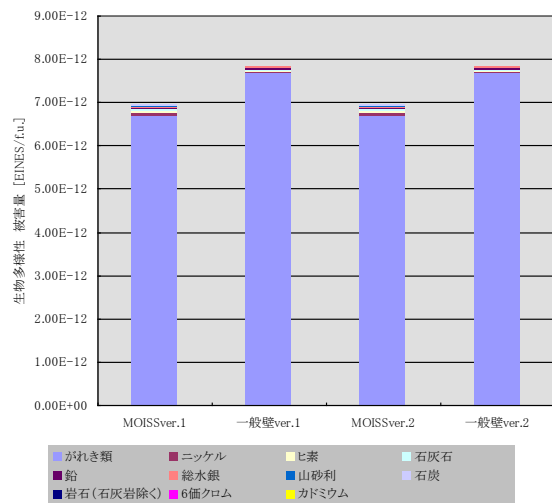


図 5.2-6 被害評価結果(生物多様性)

モイスと一般壁においてプロセス構成の差異がみられる一次生産被害量について、プロセス別の内訳を図 5.2-7 に示す。一般壁の主原料となる副産石膏は、発電事業などにおける排煙脱硫石膏を利用しているため素材負荷をアロケーションしておらず、一般壁の方が素材段階の被害量が小さくなっていることが確認できる。モイスの主原料となるバーミキュライトもまた、他鉱物あるいは上位品質のバーミキュライトの採掘により副次的に採掘されるものであるが、この場合は素材負荷をアロケーションする方が妥当と判断し、重量ベースで素材負荷を計上している。ただし、品位の違いが反映される価格など、重量以外のアロケーション手法も今後検討する価値がある。

また、モイス、一般壁ともに廃棄段階の比率が大きく、モイス ver.1 では全体の 73% を占めていた。

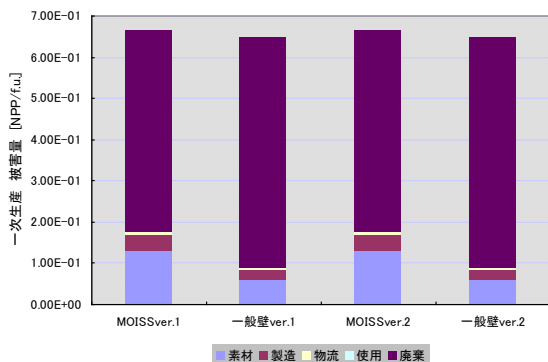


図 5.2-7 プロセス別一次生産被害

### 5.2.3 統合化

図 5.2-8 にモイス、一般壁の統合化結果（物質別）を示す。ともに ver1.では、がれき類（産業廃棄物）、CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub> の排出および原油の消費の影響が大きい。また使用段階を含めた場合（ver.2）はホルムアルデヒドの影響が加わり、モイスが約 1,500 円/f.u.、一般壁が約 3,200 円/f.u. という結果になった。

また、図 5.2-9 にプロセス別の内訳を、図 5.2-10 に影響領域別の内訳を示す。プロセス別ではモイス一般壁共に、製造、（使用）、廃棄段階が大部分を占めている。影響領域別に見ると、使用段階を含めた場合（一般壁 ver.2）では室内空気質改善の効果が他項目の合計と同程度にもなることが確認できる。ほかに廃棄物、地球温暖化、都市域大気汚染の影響が顕著である。

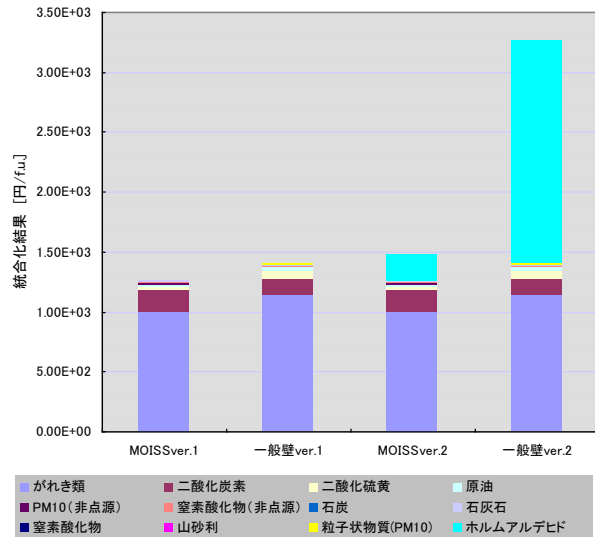


図 5.2-8 統合化結果(物質別)

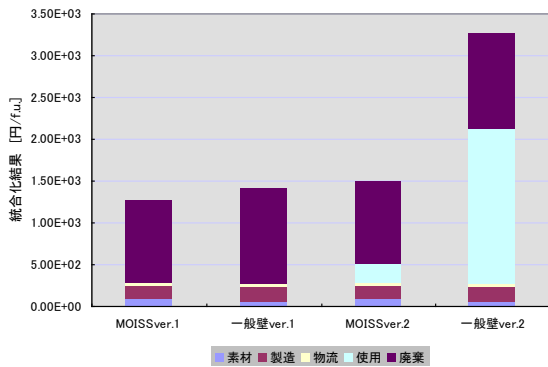


図 5.2-9 統合化結果(プロセス別)

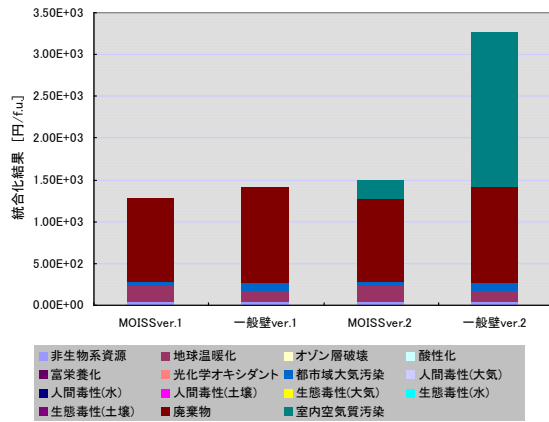


図 5.2-10 統合化結果(影響領域別)

### 5.2.4 モイスのプロセス構成

図 5.2-11 にモイス (ver.1) のみプロセス別の統合化結果を示す。廃棄段階の影響が最も大きく全体の 78%、そのほか、素材 6%、製造 12%、物流 4%となっている。バーミキュライトは南アフリカ (輸送距離約 15,000km) から輸入しており、その影響が大きいと想定していたものの、バルク運搬船利用のため、全体から見ればその影響は小さいことが判明した。

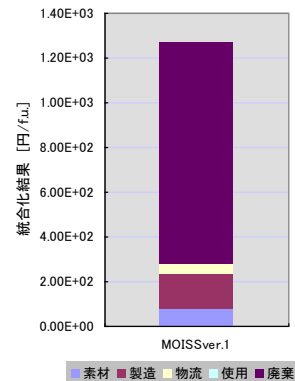


図 5.2-11 統合化結果(プロセス別)

### 5.2.5 リサイクル効果

図 5.2-12 に、モイスに関してリサイクル効果を試算した結果を示す。使用段階を対象外とし、すべて産業廃棄物 (がれき類) として処分されるシナリオ (ver.1) と比較して、住宅解体後に処分場に運ばれた総量の 25%を処分場覆土として利用し、残りは産業廃棄物とした場合を ver.3、住宅解体後その 25%を回収し生産拠点にて破碎・原料リサイクルし、残りは処分場へ運搬され産業廃棄物となる場合を ver.4 とした。ここで 25%とは他建築材料のリサイクル材投入率から簡易的に設定した数値である。

覆土利用した場合も処分場に廃棄されることには変わらないため、結果にあまり影響はなかったが、破碎・原料リサイクルした場合はその効果が確認できた。もともと希少性の高い鉍物を消費しているわけではないので、原料リサイクルの効果は素材段階よりも廃棄段階において顕著である。

石膏ボードを含め、住宅解体現場からの廃材リサイクルモデルの整備が進んでいる。<sup>8)</sup> また、モイスは製造段階で接着剤等を用いず、その主成分がすべて天然素材のため、現場からの回収システムを構築できれば容易に原料リサイクルできる可能性が高い。

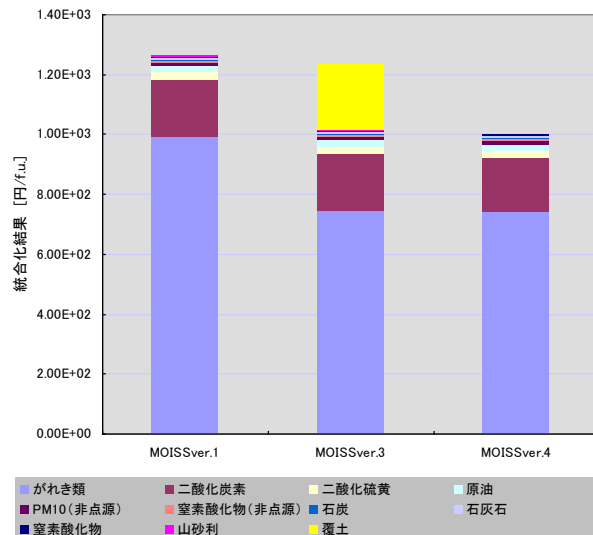


図 5.2-12 統合化結果(物質別)

## 6 結論

### 6.1 調査結果のまとめ

モイス、一般壁（石膏ボードクロス貼り）を対象としてライフサイクル（素材、製造、物流、使用（8年、ホルムアルデヒドを対象）、廃棄およびリサイクル）全体での環境影響の評価を行った。使用段階を対象外とした場合、環境影響は社会コストとしてともに1200~1300円と算出され、使用段階を含めた場合はモイスが約1,500円、一般壁が約3,200円と算出された。

どちらの内装材についても廃棄段階の影響が大半を占め、素材や物流と比べれば製造の方が影響が大きいことが確認された。また廃棄物以外ではCO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>の排出および原油の消費による影響が比較的大きな結果となった。また使用段階を含めた場合、室内空気質汚染の影響が大きく、ホルムアルデヒドの吸着・分解は、分解により発生するCO<sub>2</sub>の影響を考慮しても大きな効果があることが確認できた。

また、モイスを原料リサイクルした場合の効果を確認できた。

### 6.2 限界と今後の課題

今回の製品評価で対象としたプロセス（素材、製造、物流、使用、廃棄）の網羅性については、重要なプロセスをカバーしており、結果の妥当性が担保できていると考えられる。一方、使用段階の評価対象物質となるホルムアルデヒドの吸着・分解量は性能試験値より換算したものであり、既往研究に基づいたものの、実住宅での使用時暴露量と差異がある可能性がある。またモイスには、ホルムアルデヒド以外のVOC吸着性能や調湿性能があり、これらの性能の効果についても評価していくことが今後の課題として挙げられる。

LIME から LIME2 のバージョンアップにおいて室内空気質汚染の影響評価が追加されたことにより、評価の幅が広がった。また評価の質についても、LIME2 ではさらに高いものとなっているため、今後は LIME2 による評価結果を用いた訴求や事業活動指標への展開を引き続き検討していきたいと考える。

## 謝辞

今回のワーキングにおいて、様々な相談に乗っていただきご指導いただきました独立行政法人産業技術総合研究所の伊坪様、本下様、事務局として運営していただいた社団法人産業環境管理協会の皆様、インベントリデータの収集などについて相談に乗っていただいた三菱マテリアル建材株式会社の小倉様、三菱商事建材株式会社の正田様、またワーキングにおいて貴重なご意見いただいたワーキング参画企業の方々、ならびに弊社協力者、ここにおきまして皆様に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 三菱マテリアル建材株式会社 (2003) : Moiss のホルムアルデヒド吸着性試験報告書
- 2) (社) 産業環境管理協会 : JLCA-LCA データベース 2007 年度第 3 版
- 3) 金子ほか (2006) : シックハウス症候群の影響を考慮した VOC 吸着壁材の健康影響評価
- 4) 都立衛生研究所 (2001) : 居住環境の安全性に関する研究
- 5) 廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討会 (2002) : 廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討調査報告書
- 6) (社) 石膏ボード工業会 (2007) : (社) 石膏ボード工業会ホームページ原料統計
- 7) (社) 産業環境管理協会 : JEMAI-LCA Pro ver.2.1.1
- 8) 環境新聞社 : 環境新聞 1927 号 (2008 年 3 月 5 日), (1)