< 綜 説 >

(受理: 平成 17 年 5 月 2 日)

接着剤－VOC 規制と環境影響評価 Adhesives－VOC Regulations and Life Cycle Assessment

浅井 大二郎^{*}
Daijiro ASAI

1. はじめに

接着剤は、あらゆる製造業で利用され国内生産は年約 100 万 ton で図 1 のようにホルムアルデヒド系、水性形、溶剤形、反応形、ホットメルト形に大別できる。2 年前シックハウス対策の改正建築基準法が施行され懸案のホルムアルデヒド問題は対策終了した。一方「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づく「住宅性能表示制度」の室内空気としてトルエン、キシレン、スチレン、エチルベンゼン濃度が任意選択されている。また、シックスクール対策として文部科学省の学校環境衛生の基準は一学年一回、ホルムアルデヒドとトルエンは測定し、特に必要と認める場合はキシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレンの測定も行い判定基準は厚生労働省室内濃度指針としている。昨年、大気汚染防止法が改正され特定 6 施設の揮発性有機化学物質（以下 VOC）の排出口濃度が平成 18 年から規制される。これ

ら VOC 削減要求も有り図 1 のように、ここ数年ホルムアルデヒド系と溶剤形接着剤は漸減している。

2. 住宅用接着剤の VOC 規制と今後

シックハウス症候群は省エネの高気密・高断熱化に加え建材に使用される化学物質が原因とされ、標準的一戸建で平均 200kg 以上使用される接着剤もその一つと指摘された。省庁合同で平成 12 年に実施された、4,482 戸の化学物質全国実態調査で 27.3% の住宅が厚生労働省のホルムアルデヒド指針値 0.08ppm を越え、トルエン 0.07ppm、キシレン 0.20ppm の指針値を越える住宅も各々 12.3%、0.13% の結果であった。その後も、調査が継続され建材メーカーの低減努力と推定されるが、指針値を越える住宅比率は漸減したものの平成 15 年からホルムアルデヒド放散等級表示と面積制限、有機リン系防蟻剤クロロピリホスの使用禁止、24 時間連続換気装置の設置を骨子とした改正建築基準法が施行された。F☆☆☆☆は面積制限を受けないが、F☆☆☆☆以下は制限受け F☆☆や表示のない製品は内装仕上材として使用が禁止された。

3. JIS 改正と日本接着剤工業会のノンホルムアルデヒド接着剤製品登録制度

日本接着剤工業会が接着剤からのホルムアルデヒド放

図 1 国内接着剤の種類別生産推移¹⁾

^{*} アイカ工業(株) 第一 R&D センター 機能性樹脂開発グループ長
愛知県海部郡甚目寺上菅津深見 24 番地
AICA KOGYO CO., LTD.
24, Fukami, Kami-Kayazu, Jimokuji-cho, Ama-gun,
Aichi, 490-1112 Japan

浅井 大二郎

略歴: 1980 年 名古屋工業大学修士
課程修了
同年アイカ工業株式会社入社
接着剤の研究・製品開発に従
事。
専門分野: 接着剤製品開発、VOC 対
策、LCA 評価。
趣味: サッカー観戦、映画鑑賞、旅
行。

図. 住宅内部に使用されている接着剤の種類

図2 住宅に使用されている接着剤の種類²⁾

表1 小形チャンバー法による接着剤のホルムアルデヒド放散試験標準条件

チャンバー	20 l ステンレス容器
塗布量	300g/m ² , (2.4g/8,000mm ²)
塗布基材と試験片面積	ガラス板で塗布面積は 8,000mm ²
試料負荷率	0.4m ² /m ³
塗布後チャンバー入れまでの時間	60 分 (23±2℃)
試験温湿度	28℃, 50%RH
ホルムアルデヒド採取時間	標準は 24 時間後、最大で 72 時間後でも良い。
換気回数	0.5 回/時間
試験片数	試験片は一枚
サンプリング回数	DNPH カートリッジ 2 個を用い連続した時間に 2 回採取

散をデシケータ法と小形チャンバー法で比較試験した結果、チャンバー法はデシケータ法と比較すると装置が高額であるが 1) 多くの接着剤で合理的と考えられる結果が得られ、2) VOC についても測定できることから適当と判断された。表1に標準条件を示すが、欧州規格案 ENV-13999³⁾や床仕上げ材料に関するドイツ接着剤工業会自主基準 GEV EMICODE⁴⁾が試料負荷係数について 0.4 m²/m³を採用しているので、これらに習った。

表2 建築基準法改正に伴い 2003 年 3 月 20 日付け告示で改正された JIS と新規 JIS

JIS No.	JIS 名
A 5536	床仕上げ材用接着剤
A 5537	木れんが用接着剤
A 5538	壁・天井ボード用接着剤
A 5547	発泡プラスチック保温板用接着剤
A 5548	陶磁器質タイル用接着剤
A 5549 (新規)	造作用接着剤
A 5550 (新規)	床根太用接着剤
K6804	酢酸ビニル樹脂エマルジョン木材接着剤
K6806	水性高分子-イソシアネート系木材接着剤

表2に合成接着剤に係わる JIS を示すが JIS A 5549 と A 5550 を新規登録し全ての建築用接着剤等級分けが可能となった。接着剤の F☆☆☆☆表示は a) JIS 認定工場となるか b) 国土交通大臣認定を取得するの 2 方法があるが行政指導もあり他の建材生産団体と同様にノンホルムアルデヒド製品登録制度を平成 15 年 3 月から開始している。これは「ユリア樹脂、メラミン樹脂、フェノール樹脂、レゾルシノール樹脂、ホルムアルデヒド系防腐剤、N-メチロール基含有モノマーおよびロンガリット系触媒のいずれをも使用していない」事を工業会に誓約

表3 日本接着剤工業会でノンホルムアルデヒド登録可能な接着剤の種類

酢酸ビニル樹脂系エマルジョン形
ビニル共重合樹脂系エマルジョン形
アクリル樹脂系エマルジョン形
合成ゴム系ラテックス形
エポキシ変性合成ゴム系ラテックス
水性高分子-イソシアネート系
α -オレフィン樹脂系
エポキシ樹脂系
ウレタン樹脂系
変成シリコン樹脂系
シリル化ウレタン樹脂系
ホットメルト形

する事で自己責任により製品、カタログ、説明書、MSDSに工業会制度によるJAIA F☆☆☆☆を表示できる制度である。表3に日本接着剤工業会でノンホルムアルデヒド登録可能な種類を示した。平成17年3月末時点で会員・非会員合計60社以上の6,600以上の製品がJAIA F☆☆☆☆表示でJIS表示と同等に扱われている。表3には、酢酸ビニル樹脂系溶剤形、ゴム系溶剤形、ビニル共重合樹脂系溶剤形、再生ゴム系溶剤形接着剤が含まれていない。これらは測定で放散が認められるものが多い結果で、原料誓約だけでは判断が出来ないためである。これら4種類について住宅内装仕上げ材に使用する場合a) JIS認定工場となるか あるいはb) 接着剤製品について国土交通大臣認定取得のどちらかの認定で等級表示ができる。

住宅に使用される接着剤は現在ほぼ全てF☆☆☆☆となりホルムアルデヒド対策は終了した。建材メーカーの努力もあり他のVOCも実態調査結果は、ほぼ厚生労働指針値以下で建築基準法に他のVOCが規制化される事はなさそうとの意見が多勢である。

4. 改正大気汚染防止法のVOC規制

昨年5月29日にVOCを新たに規制対象とする改正大気汚染防止法が公布され大気へのVOC排出は法規制される事になった。今年、政・省令が発令され平成18年から施行される。VOCは浮遊状粒子状物質(SPM)や光化学オキシダントの原因とされSPMが1日平均で0.1 mg/m³以下、光化学オキシダントは0.06ppmの環境基準が定められているが、1,537ヶ所の一般環境大気測定局、359ヶ所の自動車排出ガス測定局の基準達成率は低迷している。メタンとフロン類はSPMや光化学オキシダント

の原因にならないと除外され、非メタン炭化水素が対象になる³⁾。気候変動枠組条約で日本政府が報告したVOC排出量は2000年に185万tonで人為的固定発生源(工場などからの排出ガス)、移動発生源(主に自動車排ガス)、自然界由来(森林や田畑など)に分かれ自然界由来は規制不可、移動発生源は既に自動車排ガス規制で対策中のため、未規制の固定発生源のVOCが対象とされる。環境省のVOC削減目標は排出実態に十分配慮し、「法規制と自主的取組のベストミックス」との基本理念の下「平成22年度までに平成12年度比3割減」としている。規制対象施設はVOC排出量の多い主要施設のみに限定すべきとされ、

[1] 塗装施設および塗装後の乾燥・焼付施設 [2] 化学製品製造における乾燥施設 [3] 工業用洗浄施設および洗浄後の乾燥施設 [4] 印刷施設および印刷後の乾燥・焼付施設 [5] VOCの貯蔵施設 [6] 接着剤使用施設および使用後の乾燥・焼付施設
の6施設の排出口濃度規制がなされる。接着剤使用および使用後の乾燥・焼付施設が規制対象とされることで溶剤形接着剤の需要家である事業者、工場に対し接着剤製造業者は今まで以上に溶剤含有量の低減提案や無溶剤形への変更提案が求められている。

5. 接着剤のライフサイクルアセスメントLCA(環境影響評価)

非メタン炭化水素が大気中で窒素酸化物と太陽光UV照射されるとオゾン主体の光化学オキシダントが生成するとされ、呼吸器系への人間健康へ影響が指摘される。溶剤形接着剤は非メタン炭化水素を使用するが、回収せず大気放散してしまう時の環境影響評価の目的もあり、当社の愛知県内の工場で生産する接着剤5種類のLCA計算を実施し、インベントリ分析データから社会コスト、環境被害額を算定する手段の一つで独立行政法人産業技術総合研究所LCA研究所が提案している被害算定型製

システム境界(接着剤製品)

図3 工業用接着剤のインベントリ分析システム境界

品環境影響手法 LIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)⁶⁾ が環境配慮型接着剤開発手法に利用できるか評価した⁷⁾。

6. 工業用接着剤 5 種類の LCA

6.1 対象製品：対象製品はアイカ工業株式会社製工業用合成接着剤 5 種類

- ① 水性形接着剤酢酸ビニル樹脂エマルジョン形接着剤 A-1400 (以下 PVAc と略)
- ② 水系形接着剤充填剤入りアクリル系エマルジョン RA-212 (以下 RA と略)
- ③ 無溶剤反応形一液変性シリコン接着剤 SE-1 (以下 SE と略)
- ④ 無溶剤反応形一液湿気硬化ウレタン接着剤 JW-410 (以下 PU と略)
- ⑤ 溶剤形接着剤合成ゴム系溶剤形 RC-GT (以下 PCR と略)

評価する単位は各接着剤 1kg 当たりの原料採取、素材、製造、物流、使用、廃棄。

6.2 インベントリー分析のシナリオ

(1) システム境界を図 3 に示す。

(2) シナリオ

1) 製品の構成原料

単位は接着剤 1kg の素材、製造、使用、廃棄まで。

主原料は原油由来ナフサや石灰石由来の炭酸カルシウムなど。原油採掘→輸入→石油コンビナートクラッキング→モノマー、オリゴマー、改質剤、添加剤→アイカ工業甚目寺工場に仕入れプレポリマー、ポリマー化。石灰石→電力、軽油→炭酸カルシウムパウダー→甚目寺工場へ仕入、配合→接着剤製品。

2) 接着剤製品製造

甚目寺工場の重合反応装置、混合攪拌装置を用い電力、重油、蒸気、冷却水を使用し上記原料や水性形は水も原料で使用し、収率も考慮し 1kg のインベントリ計算をした。

3) 物流

製品輸送は 10t トラックで積載率 80%，工場から全国平均距離約 300km 輸送とした。

4) 使用

電力やエネルギー消費：この 5 種類は常温使用で加熱や乾燥エネルギーは消費しないとした。単純化のため溶剤形接着剤は使用時に溶剤を全て大気放散するとした。

5) 廃棄・リサイクル

運搬：処理場までの運搬は 4t トラック、積載率 80%，距離 35km 運搬とした。

処理：水性形接着剤の 2 種類は木材接着のため木質チップ化リサイクルやサーマルリサイクルで産廃に

表 4 水性形酢酸ビニル樹脂エマルジョン系接着剤 PVAc のインベントリ分析結果

	No	名 前	単位	全体	素材製造	組立	製品輸送	使用	廃製品輸送	処分	公海上
raw	1	coal for elect. reserves	kg	0.0173	0.0123	0.0049	7.50E-07				
	2	LNG reserves kg	kg	0.0263	0.0209	0.0053	1.12E-04				
	3	oil reserves	kg	0.5536	0.5297	0.0167	0.0072				
	4	u reserves	kg	1.44E-06	1.17E-06	2.63E-07	3.98E-11				
	5	water hydro	kg	0.004	0.004						
air	1	CH ₄	kg	4.03E-06	2.89E-04	1.14E-06	1.73E-10				
	2	CO ₂	kg	0.9345	0.7907	0.0826	0.0232				0.038
	3	N ₂ O	kg	1.57E-04	1.46E-04	8.51E-06	4.19E-07				2.38E-06
	4	NO _x	kg	0.0024	0.0019	1.00E-04	3.57E-04				3.64E-05
	5	SO ₂	kg	9.11E-04	4.16E-04	4.80E-05	2.86E-05				4.18E-04
	6	C _x H _y	kg	9.13E-05	7.54E-05	4.19E-06	7.20E-06				4.53E-06
	7	dust	kg	2.62E-04	2.01E-04	1.13E-05	2.85E-05				2.08E-05
	8	NM VOC	kg	8.26E-06	6.08E-06	2.18E-06	3.31E-10				
	9	As	kg	6.76E-06	4.86E-10	1.90E-10	2.88E-14				
	10	Cd	kg	3.38E-11	2.43E-11	9.49E-12	1.44E-15				
	11	CO	kg	3.86E-04	2.29E-04	1.00E-05	1.42E-04				4.55E-06
	12	Cr	kg	9.00E-10	8.05E-10	9.49E-11	1.44E-14				
	13	Hg	kg	6.76E-10	4.86E-10	1.90E-10	2.88E-14				
	14	Ni	kg	3.64E-08	2.69E-08	9.49E-09	1.44E-12				
	15	Pb	kg	1.98E-09	1.41E-09	5.70E-10	8.63E-14				
	16	V	kg	2.03E-08	1.46E-08	5.70E-09	8.63E-13				
	17	Zn	kg	3.27E-09	2.32E-09	9.49E-10	1.44E-13				

表5 溶剤形合成ゴム系接着剤 PCR のインベントリ分析結果

	No	名 前	単位	全体	素材製造	組立	製品輸送	使用	廃製品輸送	処分	公海上
raw	1	coal for coke reserves	kg	2.08E-08	2.08E-08						
	2	coal for elect. reserves	kg	0.0395	0.0344	0.0051	7.50E-07				
	3	LNG reserves kg	kg	0.0467	0.0438	0.0027	1.12E-04				
	4	Mo reserves	kg	0.0018	0.0018						
	5	oil reserves	kg	1.2233	1.1983	0.0178	0.0072				
	6	U reserves	kg	2.67E-06	2.32E-06	3.44E-07	3.98E-11				
	7	water hydro	kg	0.0106	0.0106						
air	1	CH ₄	kg	7.14E-06	6.22E-06	9.21E-07	1.73E-10				
	2	CO ₂	kg	1.5423	1.3457	0.0788	0.0232				0.0946
	3	N ₂ O	kg	2.64E-04	2.52E-04	8.47E-06	4.19E-07				2.58E-06
	4	NO _x	kg	0.0034	0.0028	1.09E-04	3.57E-04				8.97E-05
	5	SO ₂	kg	0.0019	6.93E-04	4.81E-05	2.86E-05				0.0011
	6	acetone	kg	0.115				0.115			
	7	C _x H _y	kg	0.1921	1.24E-04	4.19E-06	7.20E-06	0.192			1.08E-05
	8	C _x H _y aliphatic	kg	0.217				0.217			
	9	dust	kg	3.85E-04	2.91E-04	1.15E-05	2.85E-05				5.37E-05
	10	NM VOC	kg	1.40E-05	1.22E-05	1.80E-06	3.31E-10				
	11	non methane VOC	kg	0.302				0.302			
	12	As	kg	1.47E-09	1.28E-09	1.90E-10	2.88E-14				
	13	Cd	kg	7.36E-11	6.41E-11	9.49E-12	1.44E-15				
	14	CO	kg	5.24E-04	3.61E-04	9.14E-06	1.42E-04				1.15E-05
	15	Cr	kg	1.47E-09	1.28E-09	1.90E-10	1.44E-14				
	16	Hg	kg	1.47E-09	1.28E-09	1.90E-10	2.88E-14				
	17	Ni	kg	6.62E-08	5.77E-08	8.54E-09	1.44E-12				
	18	Pb	kg	4.41E-09	3.84E-09	5.70E-10	8.63E-14				
	19	V	kg	3.68E-08	3.20E-08	4.75E-09	8.63E-13				
	20	Zn	kg	7.36E-09	6.41E-09	9.49E-10	1.44E-13				
solid	1	埋め立て重量 kg	kg	0.2						0.2	

ならないとした。反応形の2種類と溶剤形 PCR は金属やプラスチック等の異種材料接着で解体容易ではないため接着剤も一定割合が産廃になるとした。

(3) インベントリ分析

表4に水性形系接着剤 PVAc, 表5に溶剤形合成ゴム系接着剤 PCR のインベントリ分析結果を示す。他の3種類接着剤は紙数により割愛した。接着剤種類別のインベントリごとの社会コスト計算結果を図4に示す。

6.3 工業用接着剤の LIME による LCIA 結果

5種類接着剤の LCIA を比較し次の定量結果を得た。

- 溶剤形を使用時に大気へ非メタン炭化水素を放散してしまうと光化学オキシダント生成で人間健康、一次生産、社会資産へ被害が懸念され一般的な溶剤形ゴム系接着剤 PCR の場合、社会コストは1kg当たり約140円の予想となる。低溶剤化、無溶剤化の推進、あるいは溶剤回収装置の設置で回収率を高める事は環境負荷を大きく低減ができる。
- 溶剤形以外は原料素材生産時の社会コストがほと

んどで10円程度以下/kgといずれも小さい。重金属等の有害物質を含まないので接着剤そのものの社会コストは小さいと言える。

- これらの知見で社会コストの小さい接着剤開発は環境配慮型と主張し得ると期待できる。

参 考 文 献

- 日本接着剤工業会実態調査資料から接着剤種類ごとを大別
- D. Asai, et al, 2nd Asian Regional Adhesives Conference Preprint (Guangzhou) 2003
- Association for the Control of Emissions in Products for Flooring Installation (GEV: Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe) EMICODE GEV-Specifications and Classification Criteria, March 1999
- CEN EUROPEAN PRESTANDATD ENV 13999-1, May 2001 "Adhesives-Short term method for measuring the emission properties of low-solvent or solvent-free adhesives after application-Part 1: General procedure"
- 原野崇, 環境管理, Vol. 40, No. 11, p 1073-1079 (2004)
- Norihiro Itsubo and Atsushi Inaba, Int J LCA 8(5) 305 (2003)
- 浅井大二郎, 日経 BP 社 LCIA 特別研究会報告書, 2004年5月17日

図4 接着剤種類と環境負荷原因物質ごとの社会コスト