

フェイスガード内装塗料（フェイスガードⅠ，Ⅲ）

はじめに（フェイスガード内装塗料のコンセプト）

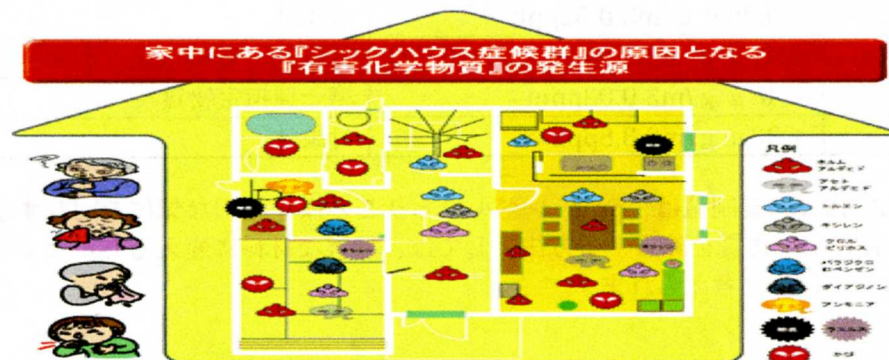
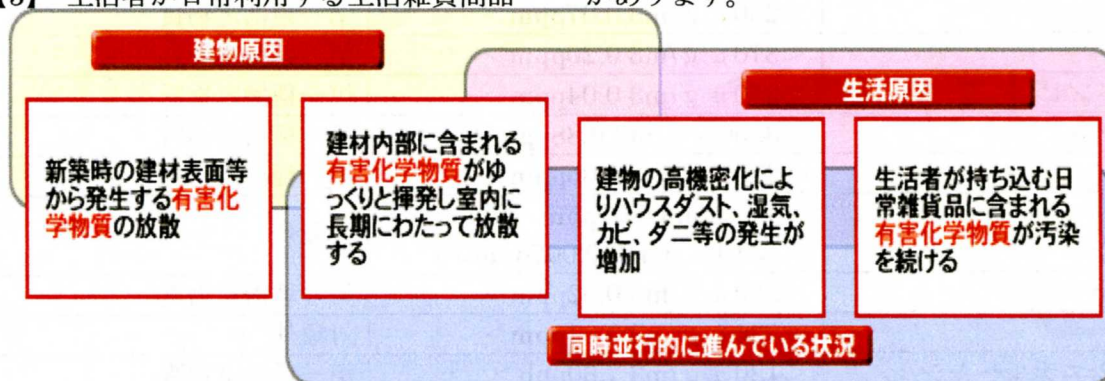
建築物の技術の発達により昔の住宅より現在のそれは高气密化されており、その意味では非常に暮らしやすい一方、建物に使用した機材中に含まれる有害化学物質が人体に悪影響を及ぼすことが言われています。いわゆる“シックハウス症候群”や“シックスクール症候群”です。この原因は、機材中に含まれる有害化学物質と言っていますがこの回収方法は非常に希釈なため現在見つかりません。そこで光触媒を使用し分解して除去することが近年考えられてきましたが、同時に問題点もクリアになってきています。問題点とは、例えば塗料化をして光触媒を利用する場合、有機バイндаを使用するとバイндаそのものを分解してしまうため一般的な有機バイндаは使用できないことです。他方、塗料のバイндаには無機を使用することをありますが、室内の基材は殆ど有機材料であるため、できれば有機の光触媒塗料が適切です。

このような観点から、光触媒材料としてフッ素化アパタイト被覆二酸化チタンを用いることにより、塗布対象基材や、有機バイндаを傷めることなく、有機系の塗料化が実現しました。塗料化のコンセプトや注意点は、いかに有害化学物質と光触媒原料が接触するかを考えました。具体的な検討項目としては、1) 塗料原料に対して光触媒原料の比率を最大限多くすること、2) 有機バイндаとしては樹脂タイプよりもエマルジョンタイプにすること、3) 塗料中の光触媒原料が分散状態であること、4) 塗料の造膜温度を最適化することで塗膜が連続よりむしろ不連続として接触面積を多くとることに留意しました。

シックハウス症候群及び有害化学物質に関して

■『シックハウス症候群』の原因となる『有害化学物質』の発生源。

- 【1】 建物に使われる新建材
- 【2】 建物に組み込まれたり生活者が持ち込む家具類
- 【3】 生活者が日常利用する生活雑貨商品 があります。



室内におけるシックハウス症候群の原因は、有害化学物質が原因とされています。ここで厚生労働省が人体に悪影響を及ぼす有害化学物質に関して14物質を指定しその発散量を規制しています。以下に有害化学物質の物性とその規制値を列挙します。

沸点と温度	問題有害化学物質
●沸点が高い物質ほど常温での放散は時間がかかる	390℃ フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(390) 340℃ フタル酸ジ-n-ブチル(340) クロルピリホス
●この沸点の範囲のVOC類(揮発性化学物質は徐々に放散する。)	180℃ p-ジクロロベンゼン(186) 140℃ キシレン(140) 136℃ エチルベンゼン(136) 110℃ トルエン(110)
(例) 水は常温でも少しずつ蒸発する洗濯ものは温度が上がり、風が吹けば早く乾く	100℃ 水(100) 83℃ ダイアジノン(83-84) 20℃ アセトアルデヒド(20) 0℃ -20℃ ホルムアルデヒド(-21) -30.6℃ スチレン(-30.6)

白蟻駆除剤 2003.7月使用禁止 建築基準法改正

白蟻駆除剤として床下に散布された駆除剤に含まれるクロルピリホスはゆっくり揮発し、床にあがります。

パラソールが代表的なものであるがタンス等の中に入れて使用する防虫剤であるパラソールはゆっくり蒸発します。

塗料の溶剤としてのトルエンは蒸散支配型の放散をして表面からぬけるまで放散するが接着剤の原料等に使用された場合、建材の中にあるものは沸点の高さもあり、抜けるまでに相当の時間がかかります。

揮発性有害化学物質は沸点が400℃までの中途半端な沸点をもっているため建材から急には放散されず水が常温でも蒸発するように建物に設置された後にじわじわ空気中に放散されていきます。これが長期のシックハウス原因となる有害化学物質の性質です。

厚生労働省より指針値のでた有害化学物質	指針値	化学物質管理・促進法対象物質
ホルムアルデヒド	< 100 μg/m ³ 0.08ppm >	第一種指定物質
トルエン	< 260 μg/m ³ 0.07ppm >	第一種指定物質
キシレン	< 870 μg/m ³ 0.20ppm >	第一種指定物質
p-ジクロロベンゼン	< 240 μg/m ³ 0.04ppm >	第一種指定物質
エチルベンゼン	< 3800 μg/m ³ 0.88ppm >	第一種指定物質
スチレン	< 220 μg/m ³ 0.05ppm >	第一種指定物質
クロルピリホス (小児の場合)	< 1 μg/m ³ 0.07ppm > (< 0.1 μg/m ³ 0.007ppm >)	対象外
フタル酸ジ-n-ブチル	< 220 μg/m ³ 0.02ppm >	第一種指定物質
テトラデカン	< 330 μg/m ³ 0.04ppm >	対象外
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	< 120 μg/m ³ 7.60ppb >	第一種指定物質
ダイアジノン	< 0.29 μg/m ³ 0.02ppb >	対象外
ノナナール	< 41 μg/m ³ 7.0ppb >	対象外
アセトアルデヒド	< 48 μg/m ³ 0.03ppm >	第一種指定物質
フェノブカルブ	< 33 μg/m ³ 3.8ppb >	対象外

この表からも判る様に有害化学物質の規制値は、ppm レベルでありこのような希釈な気体を回収する方法は、ありません。従って、有害化学物質を除去する方法としては、無害な材料に変えるしかなくその意味でも光触媒内装塗料は適していると考えられます。

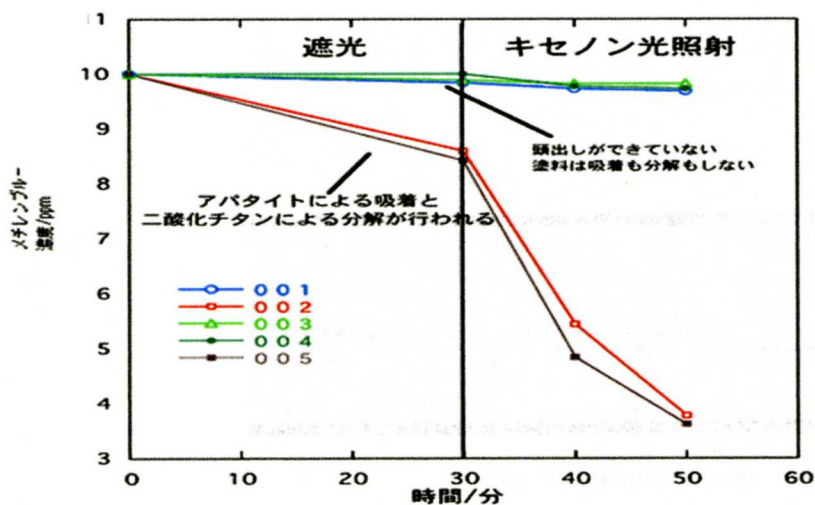
光触媒塗料“フェイスガード”が活性化するための必要条件

光触媒原料の含有量は、光触媒塗料の性能に影響を与える非常に重要な因子です。しかし、その含有量を決定することは非常に難しいことも事実です。例えば、塗料の因子としては、バインダの種類や量、溶媒の種類、添加剤の種類や量、乾燥時間等があり、そのそれぞれが異なっても光触媒原料の含有量に影響すると考えられます。バインダと光触媒原料の比率が大きいと効果があると考えられますが多すぎるとチョーキングをおこします。また、溶媒として水性である場合、アルコールを添加すると塗膜の平坦性が増加することから塗膜表面に光触媒原料は多く存在すると考えられますがアルコールを添加することにより塗膜が軟らかくなります。このことから光触媒原料の含有量は、塗料（塗膜）の性能を確保した上で最大にする必要があります。ここで最も重要な因子としては光触媒原料が塗膜表面に存在する“頭だし”が必要です。

光触媒原料の頭出しについて

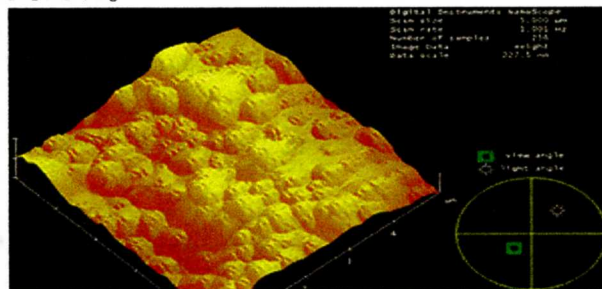
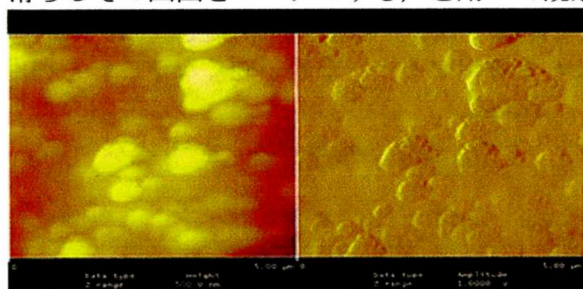
光触媒塗料の性能に影響を与える因子としては塗膜表面に光触媒原料が存在するいわゆる“頭だし”ができていない必要があります。光触媒塗料の性能評価の1つにメチレンブルーの脱色試験がありますが各種塗料を評価すると明らかな差がでます。下図に5種類の塗料のメチレンブルーを評価した結果を示しますが効果のあった塗料（脱色される）の表面を観察すると頭だしがされています（塗膜表面を右図SEM観察しています。メチレンブルーが脱色されている塗膜表面は凸凹であることが判ります。）逆に言えば、光触媒原料の含有量が多くても頭だしが出来ていなければ光触媒塗料としての効果がないと考えられます。

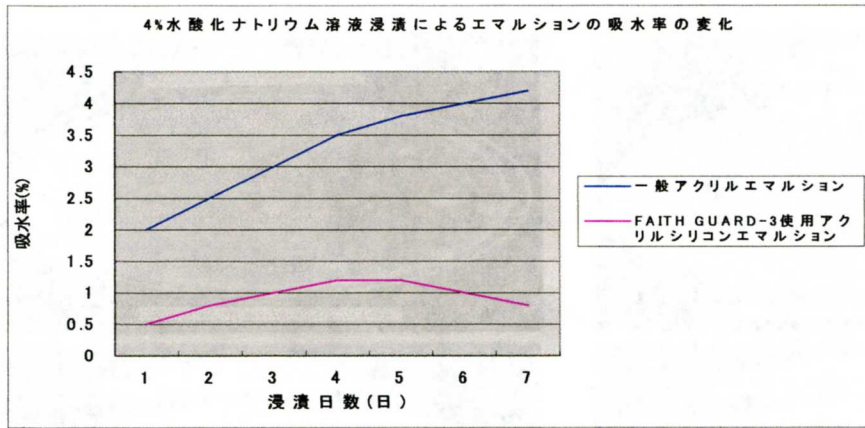
光活性アパタイト被覆二酸化チタンによる吸着効果



フェイスガード塗料の頭だしの確認 (その1)

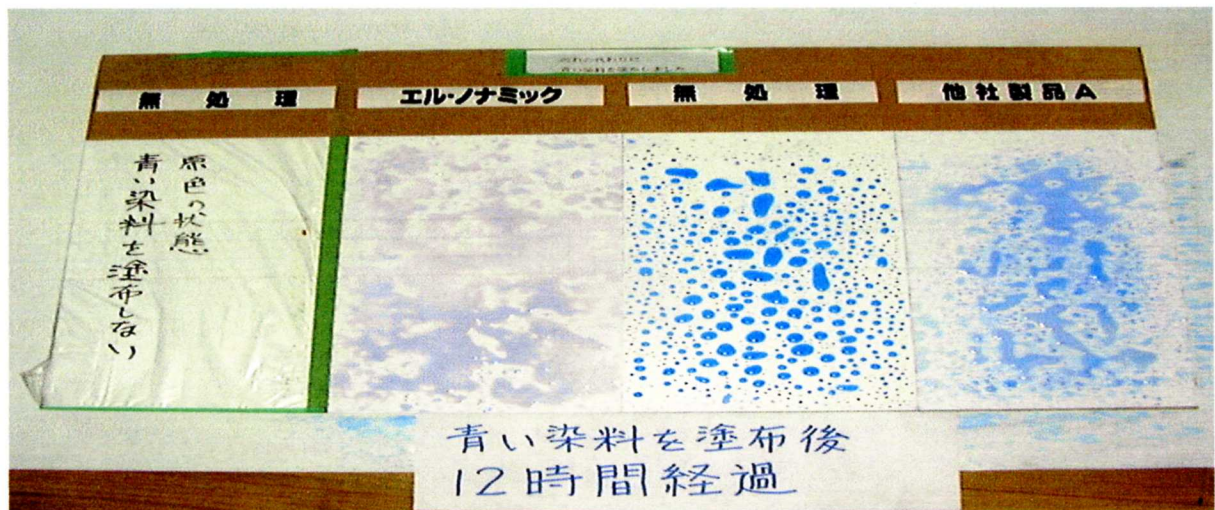
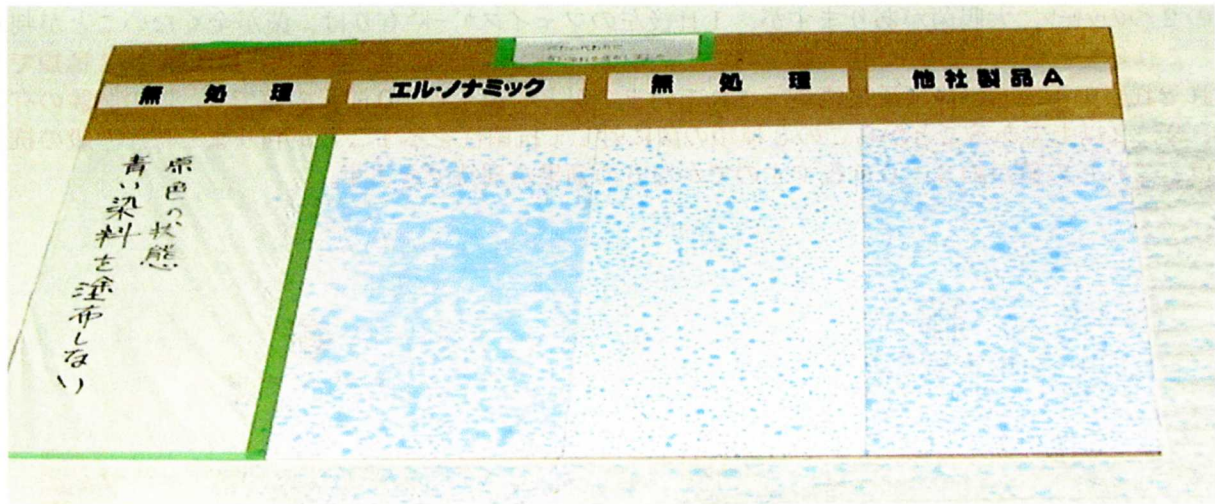
光触媒塗料の効果は、この“頭だし”ができていないかに左右されると考えられます。そこで、フェイスガード塗膜表面を実際に近い状態で観察する目的で原子間力顕微鏡（試料表面を針で滑らしその凸凹をモニターする）を用いて観察しました。

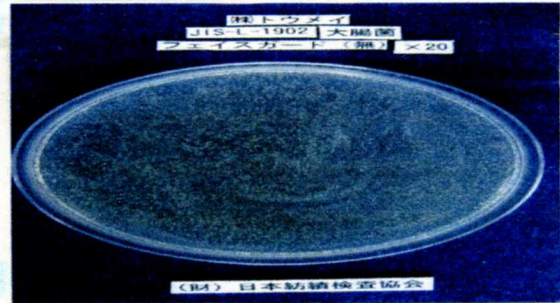
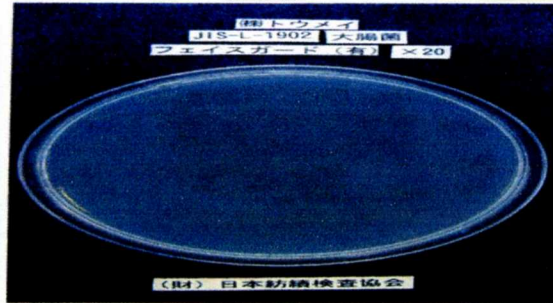
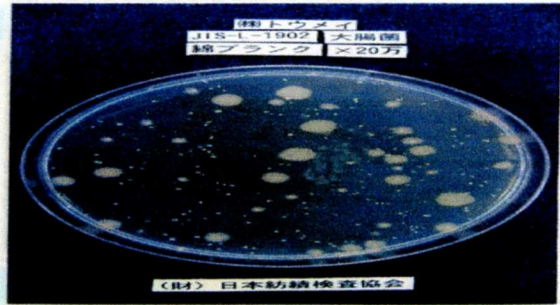
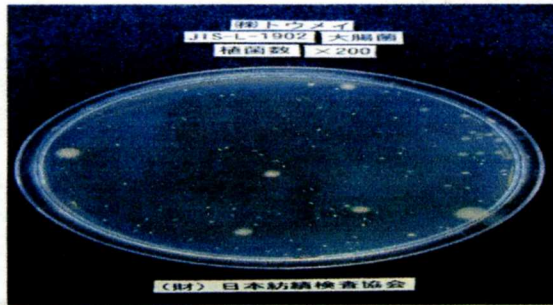




フェイスガード塗料の効果確認 (メチレンブルー)

塗料の分解能を確認する目的でフェイスガード[®] (エル・ナミックと表示) 塗膜表面にメチレンブルーを塗布し室内で12時間後の脱色変化を観察しました。光触媒が未処理の面は、色の変化がありませんがフェイスガードを塗布した面は、明らかに脱色されていることが判ります。従って、光触媒効果が暫定的にはあると考えられます。





これは、大腸菌の抗菌試験を観察した図です。右がフェイスガード無し、左がフェイスガード有りです。上の2つのシャーレに大腸菌がありますが、1日後左のフェイスガード有りは、菌が全くないことが判ります。これらを数値化したものが下図です。対象菌は、大腸菌、黄色ブドウ球菌、MRSAの3種類です。それぞれ表の下段右に静菌活性値が示されていますがどの菌も6.0前後の値です。この試験の有効値は、2.2以上であることからこの3種類の菌に対して抗菌性を示すことが判りました。一般の抗菌商品は、これらの値が約3.0前後ですのでかなりの効果が期待できます。

試験証明書

種トウメイ 監 2003年6月27日
 ご提出の試料に対する試験結果は下記の通りです。 東京都中央区1-10-10
 受付月日 2003年6月10日 財団法人 日本紡績検査協会
 品名・品番 N-1 近畿事業所
 数量 2 TEL 大阪 06(6722) 5333 FAX 大阪 06(6722) 5334

〔試験項目〕
 抗菌性試験
 〔試験菌株〕
 黄色ぶどう球菌 *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P
 〔試験方法〕
 JIS L 1902 定量試験(統一試験方法)による。
 〔試験結果〕

植菌数 [A]	2.3 × 10 ⁷	log A	4.4
無加工布菌数 [B]	1.4 × 10 ⁷	log B	7.1

(無加工布は標準織布を使用)
 $\log B - \log A = 2.7 > 1.5$ ……試験は有効
 殺菌活性値 = $\log A - \log C$
 静菌活性値 = $\log B - \log C$

試料	菌数 log C	殺菌活性値	静菌活性値
光触媒	1.3	3.1	5.8
ブランク	6.2	-1.8	0.9

試験番号 611069-2

本試験結果はご提出の試料に対するものであって、荷目を代表するものではありません。

試験証明書

種トウメイ 監 2003年6月27日
 ご提出の試料に対する試験結果は下記の通りです。 東京都中央区1-10-10
 受付月日 2003年6月10日 財団法人 日本紡績検査協会
 品名・品番 N-1 近畿事業所
 数量 2 TEL 大阪 06(6722) 5333 FAX 大阪 06(6722) 5334

〔試験項目〕
 抗菌性試験
 〔試験菌株〕
 黄色ぶどう球菌 *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P
 〔試験方法〕
 JIS L 1902 定量試験(統一試験方法)による。
 〔試験結果〕

植菌数 [A]	2.3 × 10 ⁷	log A	4.4
無加工布菌数 [B]	1.4 × 10 ⁷	log B	7.1

(無加工布は標準織布を使用)
 $\log B - \log A = 2.7 > 1.5$ ……試験は有効
 殺菌活性値 = $\log A - \log C$
 静菌活性値 = $\log B - \log C$

試料	菌数 log C	殺菌活性値	静菌活性値
光触媒	1.3	3.1	5.8
ブランク	6.2	-1.8	0.9

試験番号 611069-2

本試験結果はご提出の試料に対するものであって、荷目を代表するものではありません。

試験証明書

提出者 **フェイスメイ** 2003年6月27日
 ご提出の試料に対する試験結果は下記の通りです。 東京都 大田区 中野区 1-1-1
 受付月日 2003年6月10日 財団法人 **日本紡績検査協会**
 品名・品番 N-1 検査事務所
 数量 2 検査室

(試験項目) 抗菌性試験
 (試験菌株) M R S A Methicillin resistant *Staphylococcus aureus* IID 1677
 (試験方法) JIS 1.1902 定量試験 (統一試験方法) による。
 (試験結果)

検菌数 [A]	2.4×10^4	log A	4.4
無加工布菌数 [B]	1.3×10^7	log B	7.1

(無加工布は標準綿布を使用)

$\log B - \log A = 2.7 > 1.5$ ……試験は有効
 殺菌活性値 = $\log A - \log C$
 静菌活性値 = $\log B - \log C$

試料	菌数	log C	殺菌活性値	静菌活性値
光触媒	1.3		3.1	5.8
フランク	6.1		-1.7	1.0

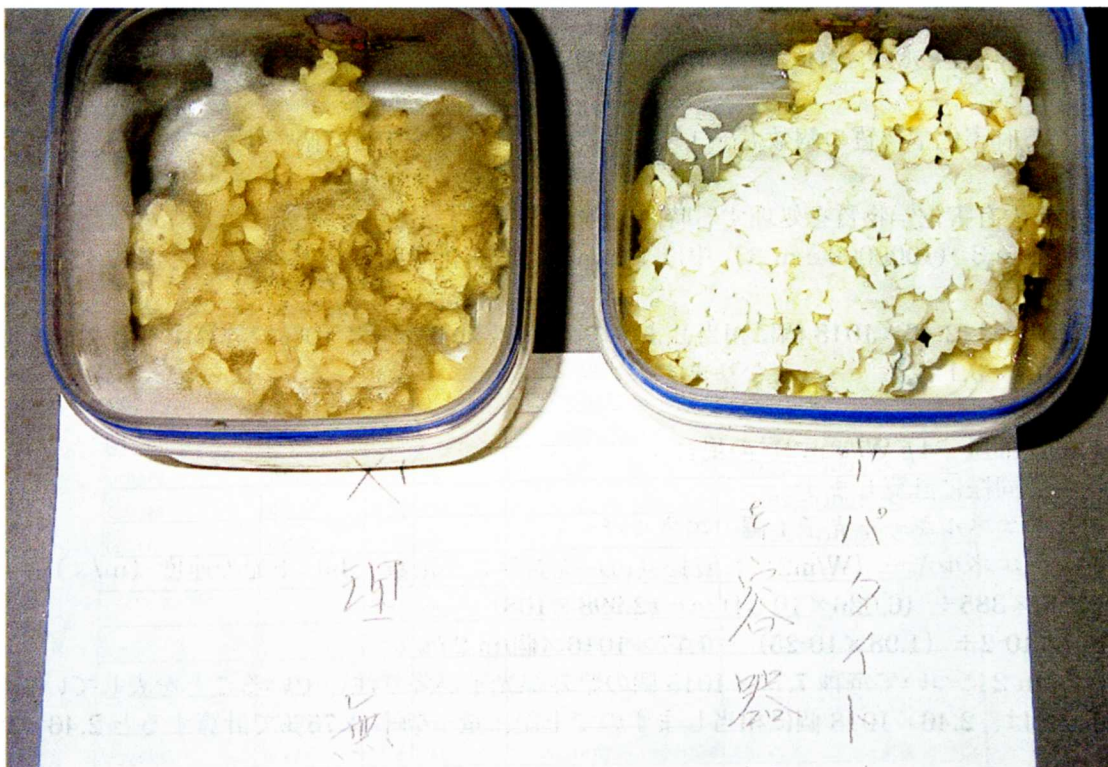
試験番号 611069-4

本試験結果はご提出の試料に対するものであり、商標を代表するものではありません。

フェイスガード塗料の効果確認 (抗かび試験)

フェイスガードイン1を容器の内側に塗布しその中に“ごはん”をいれた状態で数日間静置後、かびの発生を観察しました (下図)。その結果として光が透過する場所においてはかびの発生が観察されませんでした。これは、フッ素化アパタイトのかび菌の吸着とそれに伴う光触媒の分解でかびの発生が抑制されたと考えられます。

公的機関によるかびの発生も14日後一であり効果を実証しています。



フェイスガード塗料の効果確認（反応処理時間及び必要光量）

屋外及び屋内の光量（紫外線量）は、以下の通りです。

屋外（実測値）	
夏の日中	2500～4000 μ W/cm ²
冬の曇り	80～150 μ W/cm ²
屋内（実測値）	
蛍光灯 暗い部屋	0.1～1 μ W/cm ²
一般的な部屋	4 μ W/cm ²
明るい部屋	6～8 μ W/cm ² となります。

以下に計算による光量と室内有害化学物質の除去時間を行ってみます。ここで注意しなければならない事項に量子効率があります。これは、例えば夏の日中の光量は、2500～4000 μ W/cm² ですがこの量がすべて二酸化チタンと反応し、有害物質を除去するわけではありません。大きい光量の場合は、量子効率は大体10%とされていることからこの2500～4000 μ W/cm²の10%である250～400 μ W/cm²が反応に使用されるわけです。

この量子効率は、光量が少ない程高くなっています。

夏の日中	10%
冬の曇り	40%
蛍光灯 一般的な部屋	75% と言われています。

そこで1個の有害化学物質と1個の光子（光の粒）が反応して1個の有害化学物質が除去されると考えた場合、どれぐらいの時間がかかるのでしょうか
まず光量を光子（光の粒）としてその個数を考えてみます。

夏の日中（4000 μ W/cm²）の場合

$$\begin{aligned} \text{光子数} &= \text{入射光のエネルギー} \div \text{光子1個のエネルギー} \\ &= \text{入射光のエネルギー (W/m}^2) \times \text{波長 (m)} \div \text{プランク定数 (Js)} \div \text{光の速度 (m/s)} \\ &= 40 \times 10^{-9} \times 385 \div (6.626 \times 10^{-34}) \div (2.998 \times 10^8) \\ &= 1.54 \times 10^{-5} \div (1.98 \times 10^{-25}) = 7.77 \times 10^{19} \text{ (個/m}^2/\text{s)} \end{aligned}$$

これは、屋外で1m²について毎秒7.77×10¹⁹個の紫外線光子が降り注いでいることを表しています。

一方、処理される有害化学物質の個数も、1モル中の分子数は6×10²³個ですのでこれもかなり大きいことが判ります。

例えば、0.1ppmの有害化学物質を処理する時間を考えてみます。

1ppmは、空気1m³（1000000cm³）中に1cm³の有害化学物質が入っていて、均一に混ざっている状態を指します。

0.1ppmの分子数は、2.46×10¹⁸個に相当しますので上記、量子効率は10%で計算すると2.46×10¹⁸÷7.77×10¹⁹×0.1=3.1秒 となります。

蛍光灯（一般的な部屋 4 μ W/cm²）の場合

夏の日中の場合と同様に計算します。

$$\begin{aligned} \text{光子数} &= \text{入射光のエネルギー} \div \text{光子1個のエネルギー} \\ &= \text{入射光のエネルギー (W/m}^2) \times \text{波長 (m)} \div \text{プランク定数 (Js)} \div \text{光の速度 (m/s)} \\ &= 4 \times 10^{-6} \times 385 \div (6.626 \times 10^{-34}) \div (2.998 \times 10^8) \\ &= 0.154 \times 10^{-2} \div (1.98 \times 10^{-25}) = 7.77 \times 10^{16} \text{ (個/m}^2/\text{s)} \end{aligned}$$

これは、屋外で1m²について毎秒7.77×10¹⁶個の紫外線光子が降り注いでいることを表しています。

0.1ppmの分子数は、2.46×10¹⁸個に相当しますので上記、量子効率は75%で計算すると2.46×10¹⁸

÷ (7.77×10¹⁵) ×0.75=0.237×10³ 秒 =230 秒 となります。

以上の計算から **0.1ppm** の有害化学物質を処理する時間は、夏の日中 (4000 μW/cm²) の場合、**3 秒**、**蛍光灯 (一般的な部屋 4μW/cm²) の場合、3.8 分**となります。

もう少し正確に述べると、この時間は、光の粒と有害化学物質が反応を開始する時間であることが判ってきました。

反応が終了する時間が必要ですが、この部分は非常に難しく議論が別れています。そこで、最終物質として、二酸化炭素と水になることを前提にすると約50分ぐらいかかると言われています。

以上の様に計算上は、いくらかの光量があれば反応が進むこととなります。しかしこれは **0.1ppm** の有害化学物質のみを処理すると減少することを前提としています。しかし実際は、有害化学物質が放散されています。そこで屋内での実際の状況を加えて状態を考えてみます。

例えば、☆☆☆の合板からは、**E=0.02mg/m²・h**の放散速度があると言われています。これを個数に換算します。ホルムアルデヒドの発散と考えると、1モルが30gで有ることから放散量は、**92μg/cm³**となり約**0.074ppm**の放散といえます。つまり、1時間当たり約**0.074ppm**が屋内に溜ることと考えることができます。

つまり、放散濃度の分解がおおよそ10分で行われたい(反応終了まで50分かかると考えると60分・50分)と、放散濃度の方が大きくなりその場所は処理できないと考えることができます。上記でも示した様に蛍光灯が**4μW/cm²**の場合、**3.8分**かかっていました。この**3.8分**が10分になるには、どれぐらいの光量かを計算します。(ここで量子効率、75%で固定。)それを計算すると、**1.5μW/cm²以上が必要となります。**

各種有害化学物質の除去

実際の有害化学物質の除去効果を確認しました。試験方法は、以下に示す条件で実施しました。今回の試験は、光量を**20μW/m²**と室内に近い状態とし開始から**60分**までは暗室で吸着の減少を確認した後、光を照射し、その減少度合いを検証致しました。

その結果、どの有害化学物質とも光を照射することにより減少しますが有害物質の種類により減少に差があることが判ります。つまり、直鎖で且つ分子量の小さい有害化学物質は、減少が速く、環状で分子量の大きいそれは遅いことが判ります。

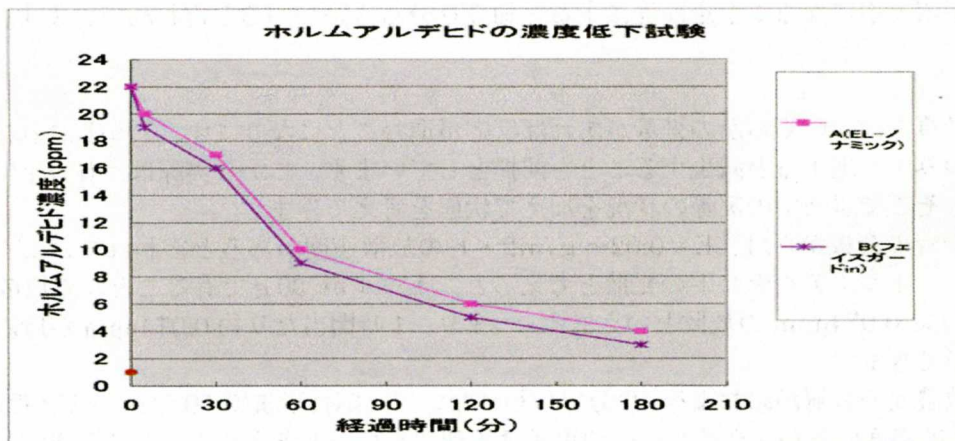
試験検査結果報告書	
株式会社 トウメイ 殿	K160131 平成16年9月30日
	株式会社 アイエンス 分析センター 環境計量士 早野 敏 春
報告書 平素は格別のご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。ご依頼頂きました事項に対して、下記のように結果をご報告申し上げます。	
記	
1. ご依頼事項 フェイスガード、Eレーゾナミッケー①使用によるホルムアルデヒド吸着、濃度低下試験。 ガラス板寸法 約15cm×15cm、厚さ 約3mm	
2. 試験方法 ホルムアルデヒドのガスを調整(3リットル)。 3袋のテトラバックを準備し、その袋に調整したガスで充填、吸引を繰り返して、飽和させる。 フェイスガード、Eレーゾナミッケー①をテトラバックの中に入れ、粘着テープを用いて密封。 ホルムアルデヒドの調整ガス3リットルをテトラバックの中に充填。 1つの袋については、対象として調整ガスのみ充填する。 経過時間(0、5、30、60、120、180分)ごとにホルムアルデヒド濃度測定。 最初から1時間は暗室に放置、その後紫外線照射。 紫外線 ブラックライト ナショナル殺菌灯GL-10を使用。	
3. 分析方法 ガス検知管法	
4. 試験結果 別紙(試験結果)の通り。	
	以上

光触媒によるホルムアルデヒドの濃度低下試験

サンプル	経過時間(分)	0	5	30	60	120	180
A(EL-ノナミック)		22	20	17	10	6	4
B(フェイスガードin)		22	19	16	9	5	3

0~60分までは暗室放置、以後紫外線照射

単位 ppm



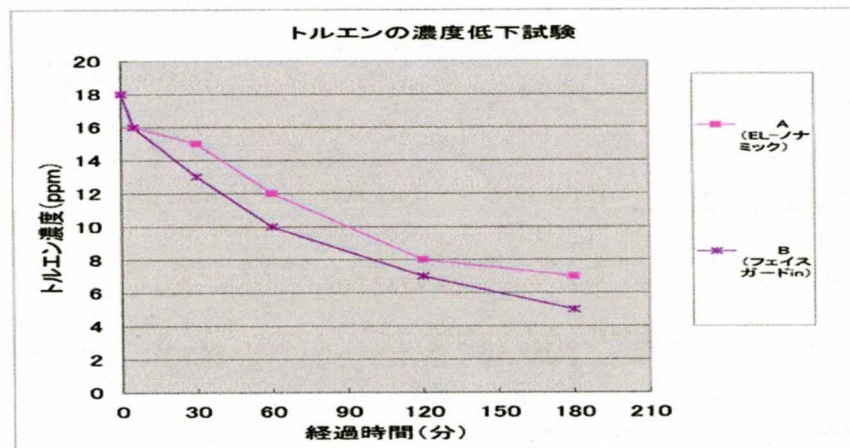
Aience

光触媒によるトルエンの濃度低下試験

サンプル	経過時間(分)	0	5	30	60	120	180
A(EL-ノナミック)		18	16	15	12	8	7
B(フェイスガードin)		18	16	13	10	7	5

0~60分までは暗室放置、以後紫外線照射

単位 ppm



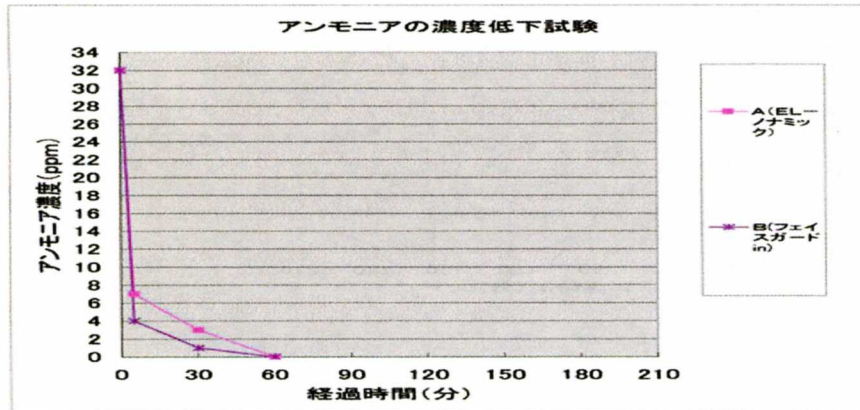
Aience

光触媒によるアンモニアの濃度低下試験

サンプル	経過時間(分)	0	5	30	60	120	180
A(EL-ノナミック)		32	7	3	未検出		
B(フェイスガードin)		32	4	1	未検出		

0～60分までは暗室放置、以後紫外線照射

単位 ppm



Alence

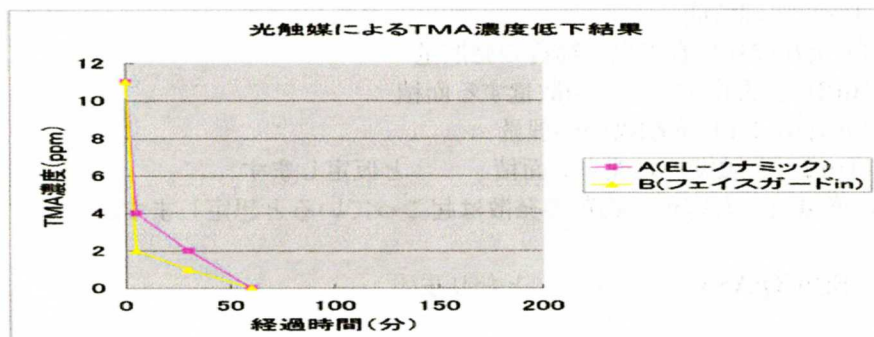
光触媒によるトリメチルアミンの濃度低下試験

No. K152106

サンプル	経過時間(分)	0	5	30	60	120	180
A(EL-ノナミック)		11	4	2	1未満		
B(フェイスガードin)		11	2	1	1未満		

0～60分までは暗室放置、以後紫外線照射

単位 ppm



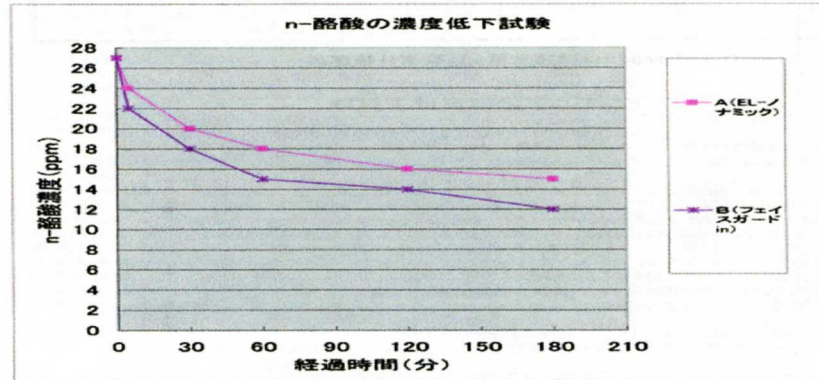
光触媒によるn-酪酸の濃度低下試験

経過時間(分)	0	5	30	60	120	180
サンプル						
A(EL-ノナミック)	27	24	20	18	16	15
B(フェイスガードin)	27	22	18	15	14	12

0～60分までは暗室放置、以後紫外線照射

3ppm未満は参考値

単位 ppm



Aience

光触媒塗料に対する室内有害化学物質の濃度変化及び光触媒塗料の能力について (概算計算)

光触媒塗料の室内有害化学物質を減少させる能力を把握する一環として、計算上、既知の数値を用いてシミュレーションを行い、例えばガスバック法のような密封系での光触媒塗料を使用した評価である程度、実際の屋内で効果があるかの検討を実施しました。

以下に計算法及び考察を書きます。

実際の部屋を想定した場合

- 初期条件； C ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 室内濃度
 Q (m^3/h) 換気量
 V (m^3) 室内容積
 t (h) 処理時間
 E ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) 有害化学物質の発散量
 S (m^2) 有害化学物質の発散量する面積
 A ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) 光触媒の処理量
 Sa (m^2) 光触媒の処理する面積 と仮定します。

そこで図のように換気及び有害化学物質の発散は起こっていると想定します。

$$V \frac{dc}{dt} = ES - CQ - ASa \quad (1) \quad \text{となります。}$$

このイメージは、有害化学物質の全体発散量から換気による減少(第2項)と光触媒の処理量(第3項)を引いた値が室内容積の濃度になることを意味しています。

ここで $E = m \cdot \alpha C$ (α ; 定数一般的には 1.0 を使用)

発散速度は室内と発散元の濃度勾配に比例すると言うモデルとすると、 $C=0$ の時の、有害化学物質の発散速度、すなわち発散速度の最大値に対応します。

$A = m_2 \times C$ (m_2 ; 光触媒塗料の処理能力、この値を求める。)

これらを(1)に代入すると、

$$V \times d c / d t = (m_1 - \alpha C) S - C Q - m_2 C S a$$

$$V \times d c / d t = m_1 S - (\alpha S + Q + m_2 S a) C$$

$$d c / d t = m_1 S - (\alpha S + Q + m_2 S a) C / V$$

この微分方程式を解く。

$$C = [- A \exp\{ (\alpha S + Q + m_2 S a) t / V \} + m_1 S] / (\alpha S + Q + m_2 S a) \quad (2)$$

$t=0$ のとき

$$C_0 = (- A + m_1 S) / (\alpha S + Q + m_2 S a)$$

$A = -C_0 (\alpha S + Q + m_2 S a) + m_1 S$ を(2)に代入し

$$C = [\{ C_0 (\alpha S + Q + m_2 S a) - m_1 S \} \exp\{ (\alpha S + Q + m_2 S a) t / V \} + m_1 S] / (\alpha S + Q + m_2 S a) \quad (3)$$

となります

この(3)式に各数値を代入します。

6畳の部屋に天井、壁を塗布した場合

α ; 定数一般的には 1.0、 V ; $10 \times 2.5 = 25 \text{ m}^3$ 、 $S a = 1/2 S$ であり、建材として☆☆☆を使用したとすると、 $E=20$ 、 $m_1=20$ であり、☆☆☆の建材は、床面積の2倍までと制限され、家具が3倍までと制限されていることから $S=10 \times 5 = 50 \text{ m}^2$ となります。換気回数を $N (=0.5)$ とすると $Q = N V$ です。

ここで(3)の右辺の第1項の $t \rightarrow \infty$ とすると右辺の第1項は1となることから結局、

$$C_{\infty} = m_1 S / (\alpha S + Q + m_2 S a)$$

$$= 20 \times 50 / (50 + 0.5 \times 25 + m_2 \times 50 \times 0.5) \quad \text{となります。}$$

ここでポイントは、 $t \rightarrow \infty$ の場合、室内の有害化学物質の濃度は初期濃度に依存せず、発生量と、換気および触媒反応による消失のバランスのみで定まる平衡値に達するという事です。

たとえば $m_2 = 1 [\text{m/hr}]$ とすると、

$$C_{\infty} = 20 \times 50 / (50 + 0.5 \times 25 + 50 \times 0.5) = 11.4 [\mu \text{ g/m}^3] \quad \text{となります。}$$

この式の $m_2 [\text{m/hr}]$ に数字を代入すると、

具体的には

$$m_2 = 0.1 \text{ の場合} \quad 15.4 [\mu \text{ g/m}^3]$$

$$m_2 = 0.5 \text{ の場合} \quad 13.3 [\mu \text{ g/m}^3]$$

$$m_2 = 1.0 \text{ の場合} \quad 11.4 [\mu \text{ g/m}^3]$$

$$m_2 = 2.0 \text{ の場合} \quad 8.8 [\mu \text{ g/m}^3]$$

$$m_2 = 3.0 \text{ の場合} \quad 7.3 [\mu \text{ g/m}^3]$$

となります。

ホルムアルデヒドの濃度を減少させるためには m_2 が大きくなる必要があります。

ガスバック (密封系) を想定した場合

同様に密封系では

$$V \times d c / d t = -m_2 C S a$$

$$d c / d t = - (m_2 S a) C / V$$

$$C = - A \exp\{ (m_2 S a) t / V \} / m_2 S a \quad (2)$$

$t=0$ のとき

$$C_0 = - A / m_2 S a$$

$A = -C_0 (m_2 S a)$ を(2)に代入し

$$C = C_0 \exp\{- (m^2 Sa)t/V\} \quad (3)$$

$t \rightarrow \infty$ の場合、室内の有害化学物質の濃度は、発生量がないわけですから、必ず0に漸近します。ちなみに、 $C=1/2C_0$ となる時間（半減期）を定義すると、

$1/2C_0 = C_0 \exp\{- (m^2 Sa)t/V\}$ より上記の数値を代入して

$$\begin{aligned} t &= -\ln 0.5 \times V / (m^2 Sa) \\ &= 0.69314 \times 25 / (m^2 \times 25) \\ &= 0.69314 / m^2 \end{aligned}$$

たとえば $m^2 = 1$ [m/hr] とすると、 $t = 0.69314$ 、約40分後に半減するということになります。上記と同様に半減期を計算すると

具体的には

$m^2 = 0.1$ の場合	414 分
$m^2 = 0.5$ の場合	83 分
$m^2 = 1.0$ の場合	41 分
$m^2 = 2.0$ の場合	20 分
$m^2 = 3.0$ の場合	14 分 となる。

さらに 1/5 まで減少することを計算すると

$t = 1.6/m^2$ となることから	
$m^2 = 0.1$ の場合	960 分
$m^2 = 0.5$ の場合	192 分
$m^2 = 1.0$ の場合	96 分
$m^2 = 2.0$ の場合	48 分
$m^2 = 3.0$ の場合	32 分

となる。

これが実際の室内を模擬した場合、時間が無限大有害化学物質の濃度は約 1/10 となることから 1/10 を計算すると

$t = 2.3/m^2$ となることから	
$m^2 = 0.1$ の場合	1380 分
$m^2 = 0.5$ の場合	276 分
$m^2 = 1.0$ の場合	138 分
$m^2 = 2.0$ の場合	69 分

となる。

以上の結果を考察すると、いままでの計算で、以下の事項が明らかになりました。

- 1) 実際の部屋のシュミレーションでは初期濃度は計算上、時間が経過するとある程度一定の数字となる。言い換えれば、有害化学物質の初期濃度は、あまり関係がない。
- 2) 時間を無制限にとると、6畳の部屋に天井、壁を塗布した場合、ホルムアルデヒド 0.08ppm が約 0.01ppm に減少することができる。
- 3) 2) における時間無制限をラフな計算からは8年～10年位と推定させる。
- 4) 光触媒塗料に対する室内有害化学物質の濃度変化に対しては、計算上も m^2 が大きい（光触媒の処理能力）ほど、室内有害化学物質の濃度減少に対し時間短縮できる。
- 5) 計算では、実際の部屋の室内有害化学物質の濃度減少に対し、時間を推定することは非常に難しいと考えられる。
- 6) 例えば光触媒の処理能力 (m^2) がフェイスガードで約 0.02 とすると濃度がほぼ一定になるのに5日～10日時間がかかることが推定される。

現場施工における有害化学物質の減少に対する統計的考察

2003年7月から国土交通省の建築基準法改正が行われ、室内の有害化学物質であるホルムアルデヒドが基準値以下であることが義務づけられました。

他方、室内の有害化学物質であるホルムアルデヒドを減少する方法として光触媒を利用した塗料が近年発売されています。しかし、インターネット等で実験室レベルでは、減少したと書いてありますが実際の現場での状態やその効果については、記述されていないのが現状です。そこで、フェイスガードインでは室内のホルムアルデヒドを対象にした現場において測定結果を基に統計的考察を行いました。

測定条件

ガステック(株)製検知管を用いて施工前後を同一場所で測定。

測定位置は、部屋のほぼ中央。

施工後約1ヶ月で測定。

測定場所は、20カ所。

測定結果について

n = 20での考察

	全体 (%)	施工前が0.08ppm以上 (%)	施工前が0.08ppm以下 (%)
ホルムアルデヒド 減少率の平均 (%)	62.4	69.4	53.9
標準偏差 (σ)	3.95	3.97	5.60
3 σ	11.85	11.91	16.80
平均値-3 σ	50.55	57.49	37.1

(平均値-3 σ は、統計上90%以上の確率でこの値以上になる)

実際の現場におけるホルムアルデヒド減少率の平均は、60%~65%位であります。さらに施工前のホルムアルデヒドが0.08ppmを越えている現場に対しては、約70%減少することが確認できました。また統計上、平均値-3 σ の値を計算すると、約 %位であります。つまり、安全側(下限値)で考えると**施工前のホルムアルデヒドの数値が0.140ppm以内であれば統計上90%以上の確率で0.08ppm以内になることが確認できました。**