

平成13年度産業保健調査研究報告書

**FRP事業場におけるスチレンの  
環境濃度と個人曝露に関する研究**

平成14年3月

労働福祉事業団

岡山産業保健推進センター

# 目 次

1	研究の目的	1
2	対象と方法	2
3	結果と考察	4
3.1	作業場巡視	4
3.2	気中濃度、個人曝露濃度および尿中マンデル酸濃度	6
3.3	気中濃度と個人曝露濃度	9
3.4	個人曝露濃度と尿中マンデル酸濃度	10
3.5	マスクの効果	11
3.6	防毒マスクの活性炭フィルター中のスチレン	12
4	まとめ	14
	付録 事業場別データ	17

## 調査研究員名簿

内田玄桂	研究代表者	岡山産業保健推進センター	所長
吉良尚平	研究者	岡山産業保健推進センター	産業保健相談員
岸本卓巳	研究者	岡山産業保健推進センター	産業保健相談員
西出忠司	研究者	岡山産業保健推進センター	衛生工学相談員
小川 溥	研究者	岡山産業保健推進センター	副所長
曾我部博正	研究者	岡山産業保健推進センター	業務課長
中山祥嗣	研究協力者	岡山大学大学院医歯学総合研究科 公衆衛生学分野	
宇佐神雅樹	研究協力者	岡山大学大学院医歯学総合研究科 公衆衛生学分野	

# 1 研究の目的

スチレンモノマー含有樹脂はガラスファイバー強化プラスチック (FRP) やポリエステル強化プラスチックとして、多様な製品の原料に用いられている。主な製品としては、船舶、貯水タンク、浄化槽、ユニットバス、システムキッチン天板、配電管等が挙げられる。平成10年の我が国でのスチレンモノマー生産量は約280万トンで、有機溶剤健診が行われている8種類の有機溶剤の中では、キシレンに次いで多い。

スチレンに曝露している作業員の健康被害として、中枢神経障害、末梢神経障害に加えて、皮膚障害、肝障害、腎障害、気道刺激性、粘膜刺激性などが報告されている。

また、スチレンは変異原性や発ガン性が指摘されており、IARC (International Agency for Research on Cancer) で、グループ2Bに分類され、「ヒトに対しておそらく発ガン性がある物質」とされている。

岡山産業保健推進センターが平成10年度に行った調査研究「有機溶剤健康診断における尿中代謝物検査の実施状況に関するアンケート調査 [1]」では、岡山県はスチレンの尿中代謝物検査を実施した作業員の割合が、全国調査 [2] に比べて高いことが報告された。また尿中代謝物検査の結果が分布3である作業員の割合は全国調査 [2-5] の結果と同様、尿中代謝物検査が行われている8種類の有機溶剤の中でもっとも高かった。加えて分布2および3の作業員のいる事業場は全体の半数以上に上ることが示された (図1)。また環境測定の結果が第2管理区分である事業場が約4割あることも示された。

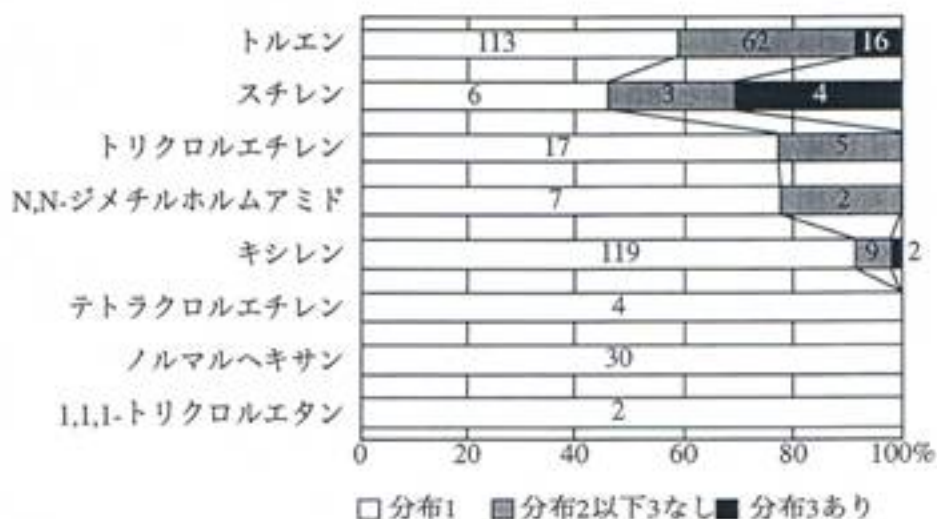


図1: 有機溶剤健診における尿中代謝物分布 (文献 [1] より改変)



一方近年、25–50 ppm 程度の比較的低濃度の曝露でも神経行動テストに異常が認められる例があることや、30–50 ppm で後天性の色覚障害が起こる例も報告されている [6]。これらを受けて日本産業衛生学会は 1999 年の許容濃度等に関する委員会での検討から、スチレンの許容濃度の変更を勧告し、従来の 50 ppm から 20 ppm に引き下げた [7]。これにともない作業環境評価基準 (管理濃度) の見直しも行われる見通しである。

そこで本研究では作業場での曝露の現状とマスクの使用状況を調査し、20 ppm という新しい許容濃度や見直しが検討されている管理濃度に、実際の現場で対応できるかどうかを検討した。

また、環境測定に加えて、個人曝露濃度の測定および尿中代謝物による生物学的モニタリングを行い、この結果を解析することでマスクの効果を調べ、マスクの適正な使用法を検討した。その結果をもとに、マスク着用時に外気中のスチレン濃度がどのくらいまでなら、吸入するスチレンを 20 ppm 以下に抑えることができるかという、曝露上限値の推定を行った。

## 2 対象と方法

**研究対象** 岡山県下でスチレンを取り扱っている事業場のうち、協力の得られた 5 社の作業者と作業場を調査対象とした。これらの事業場では FRP (fiberglass reinforced plastics) あるいはポリエステル強化プラスチックを用いた船舶やタンク、プラスチック製品などの製造を行っている。各事業場および対象作業者の特性を表 1 に示す。

表 1: 研究対象の特性

	対象人数	平均年齢 ±SD (歳)	主な製品
A	14	44.9±6.2	貯水タンク、ユニットバス
B	6	42.2±15.7	浄化槽、タンク
C	3	54.3±11.9	強化プラスチック製品
D	11	43.2±13.1	船舶
E	5	42.8±13.6	強化プラスチック製品
計	39	44.5±11.3	

**作業場の巡視** この研究の開始に当たり、実際の曝露の状況を調べるために作業場の巡視を行い、作業形態、作業環境、マスクの種類と着用方法およびフィルターの交換頻度などの予備調査を行った。

**気中濃度** 作業環境の A 測定、B 測定を行い、スチレンの気中濃度を測定した。測定地点は作業者の行動範囲や作業内容に基づいて決定した。柴田科学製 2MP ポンプでテドラバッグに 5 L 採気し、ガスクロマトグラフィー (日立 163 型 GC、日立 G-3500 型 GC) で測定した。

**個人曝露濃度** 作業者の襟元に着けたパッシブサンプラー (3500 型有機ガスモニター、3M 社) でスチレンを補集し、8 時間の時間加重平均値 (8 h-TWA) を求めた。補集されたスチレンは二硫化炭素を用いて脱着し、ガスクロマトグラフィー (同上) で測定した。

**生物学的モニタリング** 有機溶剤健診での対象尿中代謝物である尿中マンデル酸濃度の測定を行った。採尿は当日の作業終了後に行った。分析は田口らの方法 [8] で、HPLC を用いて行い、マンデル酸濃度とクレアチニン濃度を同時に測定した。以降の解析にはマンデル酸濃度のクレアチニン補正值を用いた。

**マスクの効率** 尿中マンデル酸濃度をもとに、防毒マスクを通して実際に吸入されたスチレン濃度 (吸入濃度) を推定し、個人曝露濃度との比較からマスクのスチレン除去効率を推定した。

表 2 に示すように曝露濃度と尿中マンデル酸濃度の回帰直線が種々報告されている [9-14] が、本研究では ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) の勧告における TLV-TWA (Threshold Limited Value、日本産業衛生学会の許容濃度に相当する) 50 ppm に対応する尿中マンデル酸の BEI (Biological Exposure Indices、生物学的曝露指標) 800 mg/gCr に基づいて比例計算を行った。すなわち、計算式

$$y = \frac{50}{800}x = 0.0625x \quad (y \text{ は推定曝露量、} x \text{ は作業終了時の尿中マンデル酸濃度)}$$

を用いた。この方法によれば、スチレン濃度 20 ppm に対応するマンデル酸濃度は 320 mg/gCr となる。なおこの方法にもっとも近い回帰を与える式は Ikeda ら [11] によるものであった。

**マスク活性炭フィルター中のスチレン** さらに本研究では調査当日の作業開始前に作業者に配付した防毒マスクの活性炭フィルターを、その日の作業終了後に回収し、活性炭に吸着された

表 2: 曝露濃度と尿中マンデル酸濃度の回帰直線

回帰直線*	対象数	相関係数	文献
$\ln y = 0.896 + 1.106 \ln x$	52	0.96	[9]
$y = 72.39 + 2.174x$	88	0.75	[10]
$y = 55 + 15.4x$	118	0.86	[11]
$\ln y = 4.721 + 0.307 \ln x$	603	—	[12]
$y = 7.182 + 2.492x$	19	0.96	[13]
$y = 39 + 11x$	75	0.85	[14]
$y = 14 + 10x$	66	0.81	[14]

\* y: 尿中マンデル酸濃度 (mg/gCr) x: 曝露濃度 (ppm)

スチレン量を測定して、個人曝露濃度との対応を調べた。フィルターはもとの包装に入れて密封し、クーラボックス中に保存して持ち帰った。実験室で活性炭フィルターを分解し、取り出した活性炭 (平均重量 45.3 g) に二硫化炭素を 120 ml 加えスチレンを脱着し、その内 1  $\mu$ l をガスクロマトグラフィーに打ち込んで測定した。

## 3 結果と考察

### 3.1 作業場巡視

使用していたマスクの種類は作業場ごとに異なり、防毒マスク、活性炭入り簡易マスク、防塵マスク (図 2) のいずれかであった。

現場で行った聞き取り調査ではマスクを着用していない時があると答えた作業者がいた。また製品の仕上げ成形作業などでは、同一事業場内でも防塵マスクのみを用いている作業者もいた。マスクの支給は事業主が行っており、どのマスクを着用するかは事業場ごとに決まっていた。支給されたマスクをつけるかどうかやマスクのつけ方は、作業者の裁量によるところが大きく、暑いからつけない、息苦しいからつけない等の理由で、着けていない作業者もいた。

装着の仕方については、フェイスピースの位置がずれていたり、顔との間にガーゼを挟んでいたりする正しくない着用方法がみられた (図 3)。マスクのフィルターの交換頻度は事業場 D



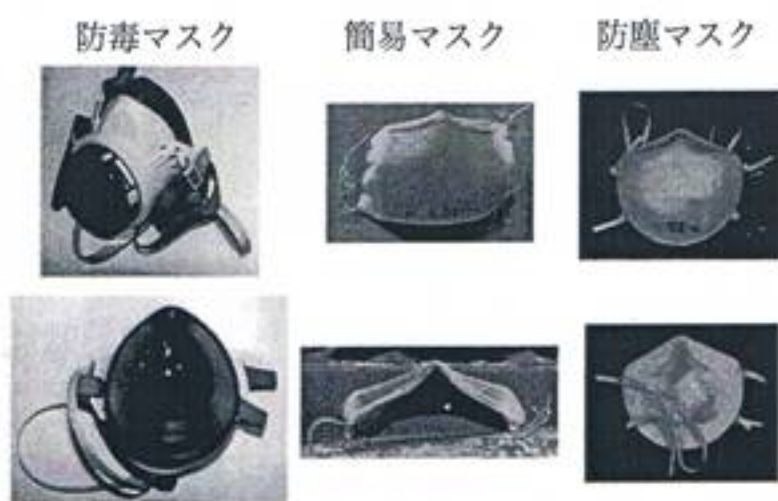


図2: マスクの種類

では半日に一回であったが、他の事業場では1ヶ月に一回程度であり、大きな差があった。



図3: マスクの着け方

船舶などの大型の製品を製造している作業場もタンクなどの比較的小型の製品を製造している作業場も、基本的にはプッシュプル換気が行われているのみで、局所排気装置は導入されていない。事業場Aでは、スチレン樹脂吹き付けを、換気ブースの中で行っていたが、排気気流の風下側に簡易マスクをした作業者が回り込んで、作業をする様子も見受けられた。



### 3.2 気中濃度、個人曝露濃度および尿中マンデル酸濃度

気中濃度、個人曝露濃度およびマンデル酸の測定結果を表3に示す。

表3: 測定結果

	N	気中濃度* (範囲) mean±SD (ppm)	個人曝露** (範囲) mean±SD (ppm)	マンデル酸† (範囲) mean±SD (g/gCr)
A	14	2.2±2.0 (0.5-5.3)	17.0±12.5 (0.7-43.5)	191±136 (24-483)
B	6	9.7±2.2 (5.2-10.6)	26.4±9.1 (10.2-37.4)	421±267 (153-809)
C	3	未測定	55.7±15.9 (40.5-72.2)	849±661 (391-1606)
D	11	33.3±19.8 (7.5-67.4)	130.0±111.1 (8.0-318.8)	312±291 (40-960)
E	5	11.6±10.6 (2.1-27.5)	16.9±13.3 (1.9-32.7)	58±44 (10-130)
計	39	15.0±17.7 (0.5-67.4)	55.3±78.4 (0.7-318.8)	294±315 (10-1606)

\*: A 測定    \*\*: 8 h-TWA    †: クレアチニン補正值

A 測定での気中濃度、個人曝露濃度ともに FRP ボート製造の D 社がもっとも高かった。D 社では気中濃度が 50 ppm を超えた点が一点あった。事業場 B と C では気中濃度は事業場 D よりも低かったが、尿中マンデル酸濃度は高い値を示し、マスクの着用方法が適切でない可能性が示唆された。

FRP 作業はゲルコート (表面塗装・離型剤) 吹きつけ、グラスファイバー樹脂の吹きつけまたは積層、含浸・脱泡、硬化、離型、成形の順に行われる。これらの作業工程では、瞬間的に高濃度になる可能性が高いので、事業場 D では有機ガスメーター (COSMOTECTOR、新コスモス電機) を持参して、各作業のある時点におけるスチレン濃度の瞬間値 (天井値に相当) を測定した。その結果、気中濃度は最大 2000 ppm に達し、作業内容によって大きく変わることが分かった (表 4、図 4、5)。

ゲルコート吹きつけ作業はスプレーガンから、スチレン含有度 40-50% のゲルコート剤を吹きつける作業で、もっとも気中濃度が高くなる作業である。次に高い気中濃度を示す作業は、グラスファイバー樹脂 (スチレン含有度 30-40%) 吹きつけ作業であった。積層・脱泡作業時は中等度の気中濃度であったが、この作業に従事する時間がもっとも長く、個人曝露濃度は主にこの作業時の曝露を反映していると考えられる。また FRP 作業は船舶やタンクなどの凸型の製

表 4: 事業場 D における作業内容別気中濃度の天井値\*

ゲルコート、グラスファイバー樹脂吹きつけ	200-2000 ppm
船内脱泡	100 ppm
脱泡作業者の鼻先	100-200 ppm
製品付近	300-500 ppm
構内	10-25 ppm

\*ただしスチレン単体曝露と仮定して有機ガスマーターで測定した

品はその内側の凹部分に積層し、ユニットバスなどの凹型の製品はその外側の凸部分に積層するため、積層・脱泡作業時は気中濃度、曝露濃度ともに、凹型の製品より凸型の製品のほうが高かった。

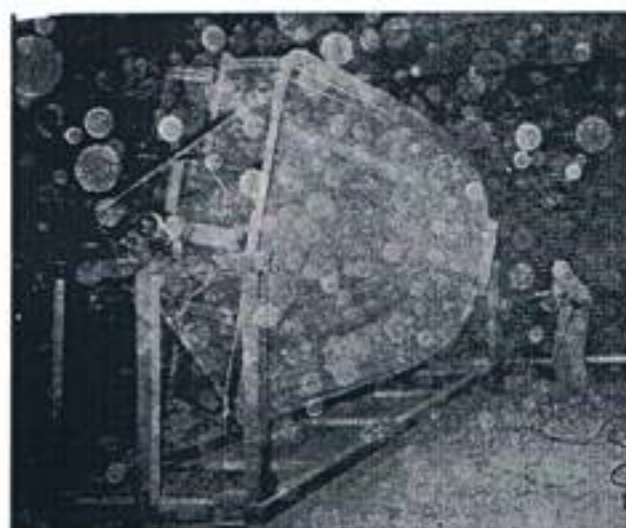


図 4: ゲルコート吹き付け作業



図 5: グラスファイバー樹脂吹き付け作業、有機ガスマーターによる瞬間値の計測

気中濃度は加工中の製品から離れると急速に低下した。作業者のごく近くで 2000 ppm 前後を示したゲルコート吹き付け作業時でも、2-3 m 離れたところでは 100-200 ppm を示し、それ以上離れたところでは、管理濃度以下の 50 ppm 前後を示した。

ゲルコート吹きつけ作業時は気中濃度が非常に高くなるが、この作業は一日のうち 10-15 分間だけの作業であり、全体の個人曝露には大きく影響していないと考えられる。しかし急性曝露の状況を速やかに把握し、作業者に注意を喚起するためにも、瞬間値を知ることでできる有



機ガスメーターは有用であった。またこの方法は作業内容ごとの気中濃度の天井値に近似した値を把握できるので便利である。

船舶などの大型の製品を製造している作業場は小学校の体育館程度の広さがあり、全体換気により作業環境中のスチレン濃度は測定地点による差が大きかった。一方、貯水タンクや浄化槽を製造している作業場は、比較的小さな建物の中で、たくさんの製品を並べて同時進行で作業をするため、気中濃度は均一に高い値を示した。これらの作業では、フレキシブルホースなどを用いた局所排気装置の有用性が池田ら [11] によって示されている。また事業場 B では、頻度は少ないが、サイロなどの製造を行っており、その際は、ほぼ密閉状態の製品の内部で積層作業を行うこともあり、非常に高濃度の曝露が予想される。この場合は、局所排気装置とともに、吸排気型の防毒マスクの着用などが望ましいと考えられる。

強化プラスチック成形作業はスチレン含有樹脂を混ぜ込んだブロック状 (BMC) あるいはシート状 (SMC) の材料をプレスして成形する作業である。この作業でもっとも気中濃度の高い作業は、材料をカットして、秤量する作業であった。プレス作業の行われる作業場自体は非常に大きな建物で、全体換気も行われているため、気中濃度はほぼ 10 ppm 以内であったが、材料を秤量する場所は異物の混入を防ぐためにビニールシートで四方がしきられていたため、気中濃度、個人曝露濃度ともに高い値を示した。

今回の調査では、すべての事業場で、環境測定結果から判定した管理区分 (管理濃度 50 ppm) は区分 1 であったが、気中濃度が 20 ppm を超えた点が 27 地点中 6 地点 (22.2%) あった。また個人曝露濃度では 20 ppm を超えた作業者が 39 人中 22 人 (55.0%) あり、将来管理濃度が 20 ppm に引き下げられた場合、対応を迫られる事業場が少なくないことが分かった。

図 6 に示すように、防毒マスクを着用している作業者 (防毒マスク着用群) のほうが、簡易マスクおよび防塵マスクを着用している作業者 (簡易マスク着用群) より、個人曝露濃度が高かつ

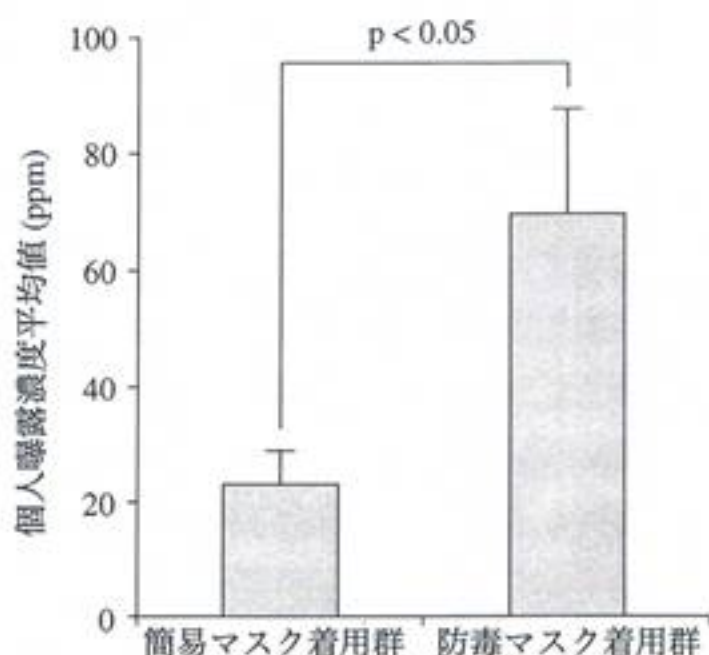


図 6: マスクの種類別個人曝露濃度 (エラーバーは平均 + 標準誤差)

た ( $p < 0.05$ )。このことは高濃度曝露が予想される事業場では、作業者がスチレンの有害性がある程度認識していて、意識的に防毒マスクをつけているというインタビューの結果とも符合している。

今回調査した事業場の中には、従業員が50人未満で、産業医を選任しておらず作業環境測定も行っていない事業場があり、厚生労働省が推奨する産業医の共同選任等を利用した労働衛生対策が望まれる。一方、産業医が選任されているにもかかわらず環境測定を行っていない事業場があった。この点については、産業医に対する研修等を通じて教育を行うことが必要であると思われた。

### 3.3 気中濃度と個人曝露濃度

図7に示すように、気中濃度と個人曝露濃度はよく相関した ( $R = 0.652$ )。気中濃度より個人曝露濃度のほうが、実際の曝露をよく反映すると考えられることから、今回の解析には主に個人曝露濃度を用いた。

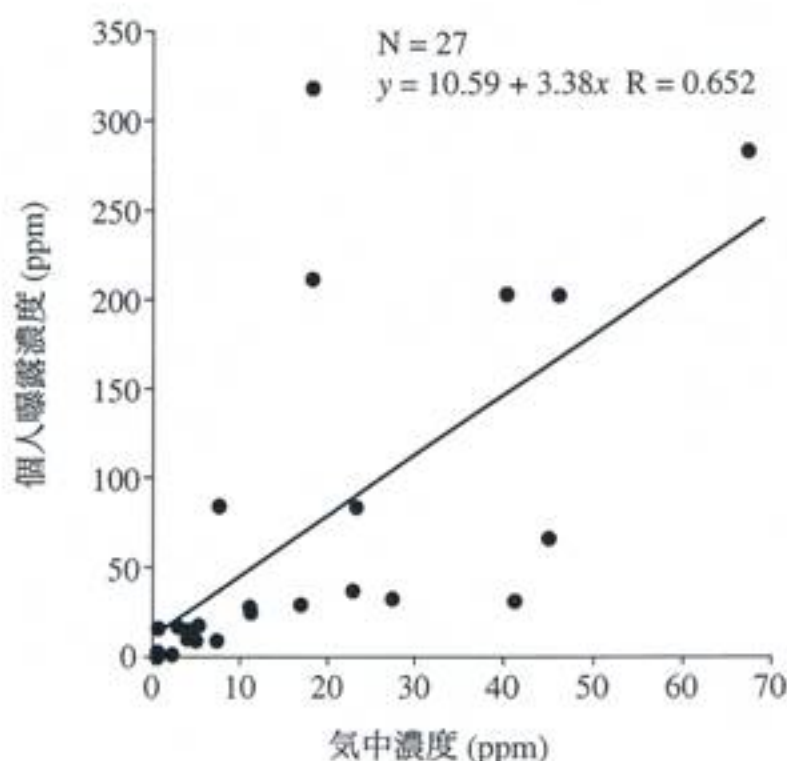


図7: 気中濃度と個人曝露濃度の相関

一方、図7の回帰直線の傾きが3.38であることから、個人曝露濃度は気中濃度よりも高い値を



示すと考えられる。そこで気中濃度と個人曝露濃度の対応がとれた27人について、表5のような分割表を用いて検定すると、個人曝露のほうが有意に高い分布を示すことが分かった ( $p = 0.013$ )。

表 5: 気中濃度と個人曝露濃度についての分割表

		個人曝露濃度			計
		< 20 ppm	20–50 ppm	> 50 ppm	
気中濃度	< 20 ppm	12	4	3	19
	20–50 ppm	0	3	4	7
	> 50 ppm	0	0	1	1
	計	12	7	8	27

単位: 人

またこの表から、気中濃度も個人曝露濃度も 20 ppm 以下であったのは、27人中12人(44.4%)と半数以下であることが分かった。

### 3.4 個人曝露濃度と尿中マンデル酸濃度

使用しているマスクの種類別に、横軸に個人曝露濃度、縦軸に尿中マンデル酸濃度をプロットすると、図8のようになった。

簡易活性炭マスクと防塵マスクを合わせた簡易マスク着用群の相関係数は0.900で、防毒マスク着用群の相関係数は0.469であった。簡易マスク着用群の相関係数が大きく曝露と代謝物濃度が非常によく相関することから、簡易活性炭マスクおよび防塵マスクでは、スチレンはほとんどマスクを素通りしていて、マスクの効果が小さいと推測できる。この結果はInaokaら[14]の結果とも符合する。一方、防毒マスク着用群の相関は比較的弱く、マスクの効果にはばらつきがあると考えられる。

また簡易マスク着用群と防毒マスク着用群の回帰直線の傾きはそれぞれ17.8と1.28であり、防毒マスク着用群のほうが簡易マスク着用群より明らかに小さかった。簡易マスク着用群の回帰直線から、個人曝露濃度が50 ppmである時の尿中マンデル酸濃度を計算すると、821 mg/gCrとなり、本研究でマスクの効率の推定の際に根拠としたACGIHのBEIに近い値であった(表2

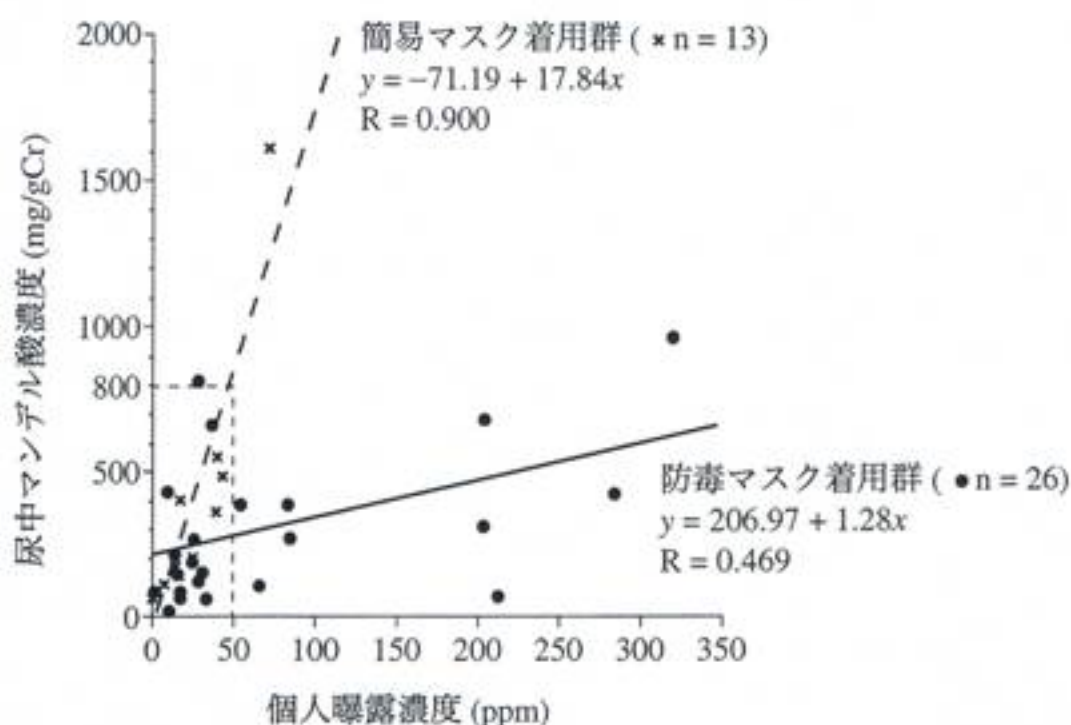


図 8: 個人曝露濃度と尿中マンデル酸濃度

の回帰直線から Inaoka らは BEI より 26-36%低い値が導かれたとしている [14]。また Ikeda らの式によると 825 mg/gCr になる)。これらのことから防毒マスクには曝露防御効果が認められ、簡易マスクはマスクの効果がないか小さいと考えられる。

### 3.5 マスクの効果

前項では図 8 の相関係数や回帰直線の傾きから、防毒マスクには曝露の防御作用が認められるが、簡易マスクにはほとんど効果がないと考察した。ここではさらに、防毒マスク着用群と簡易マスク着用群の間で尿中マンデル酸濃度に有意な差があるかどうか解析した。ところが、図 6 に示すように、防毒マスク着用群のほうが簡易マスク着用群より個人曝露濃度が高いため、曝露の影響を共変量として調整すると、マンデル酸濃度は防毒マスク着用群のほうが簡易マスク着用群より、有意に低いことが分かった ( $p < 0.05$ 、図 9)。

図 8 に示したように防毒マスク着用群では相関係数が低く、防毒マスクの効果にばらつきがあると考えられたので、マスクの活性炭フィルターの交換頻度別に、マスクの効率を解析した。その結果、マスクの効率の平均値は一ヶ月に一度の交換群で 30.2%、半日に一度の交換群では 84.0%であり、マスクの効率はフィルターの交換頻度により明らかに差があることが分かつ

た ( $p = 0.001$ 、図 10)。

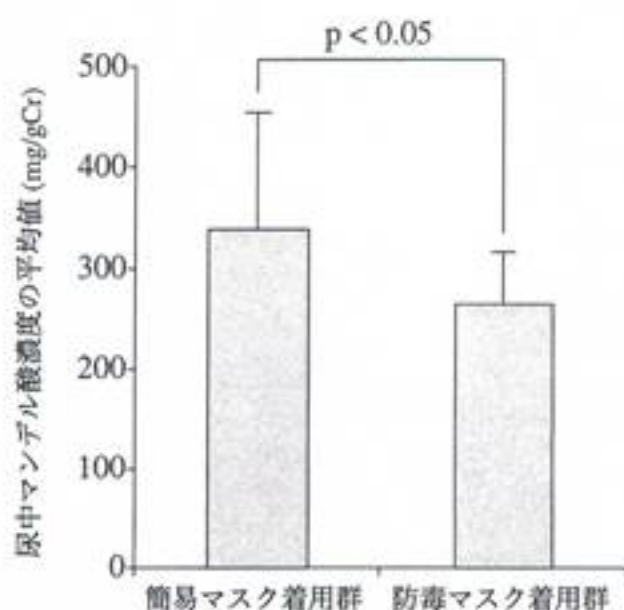


図 9: マスクの種類別尿中マンデル酸濃度 (共分散分析)(エラーバーは平均 + 標準誤差)

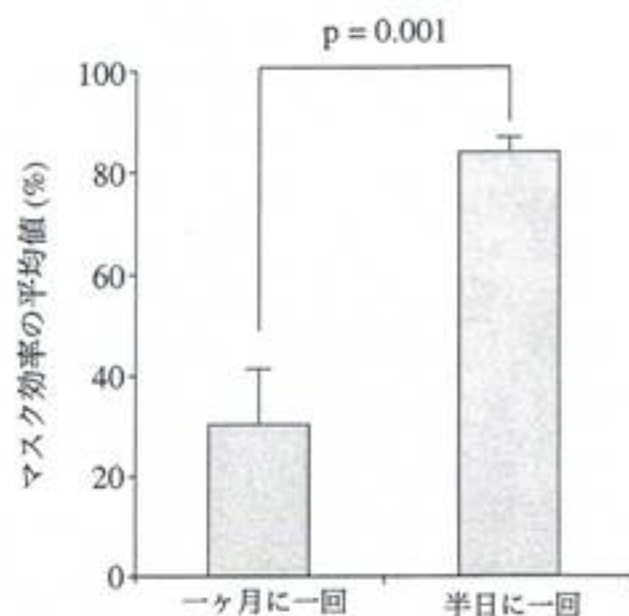


図 10: フィルター交換頻度とマスクの効率(エラーバーは平均 + 標準誤差)

月に一度のフィルター交換ではマスクの効率が0%で、ほとんど除去できていない作業もあった。この理由としてはマスクが破過している可能性やフィルターの目詰まり等が考えられる。実際に、フィルターが樹脂やガラスファイバーで目詰まりしたために息苦しくなり、マスクをずらして着用している作業もあった。フィルターは作業状況や曝露濃度により、適切な時期に交換しなければならないことが分かった。

一方、半日に一度フィルターを交換している場合のマスク効率の平均値 84.0%から計算すると、マスクを通過したスチレン濃度が 20 ppm であるとする、外気中の濃度は 125 ppm になる。したがって、防毒マスクを着用した場合に、スチレンの吸入濃度を 20 ppm 以下に抑えるためには、フィルターを半日ごとに交換するとともに、マスクの外の環境中のスチレン濃度を 125 ppm 以下にしなければならないことが分かった。

### 3.6 防毒マスクの活性炭フィルター中のスチレン

今回の調査では、防毒マスクの活性炭フィルター中のスチレンの量を測定することで、曝露量を推定できるかどうか検討した。



作業開始前に配付・交換したフィルターを作業終了後に回収し、活性炭中のスチレン量を分析した。図 11 はその結果を、横軸に対応する個人曝露濃度、縦軸にフィルター中のスチレン量をプロットしたものである。このようにフィルター中の活性炭に吸着されたスチレンの量は、個人曝露濃度と非常によく相関した。このことから、作業現場で使用されているマスクのフィルターを回収して、活性炭中のスチレンの量を測定し、換算式を用いて個人曝露濃度を推定するという、新しい曝露モニタリングの可能性が示された。ただし、実際の作業現場に応用する場合には、何時間の使用でどのくらいの量のスチレンが吸着されるかやフィルターの破過時間、フィルターの回収・運搬方法など更なる検討が必要である。また、呼気中のスチレンについての検討も必要であると考えられる。今後検体数を増やし、検討を重ねる予定である。

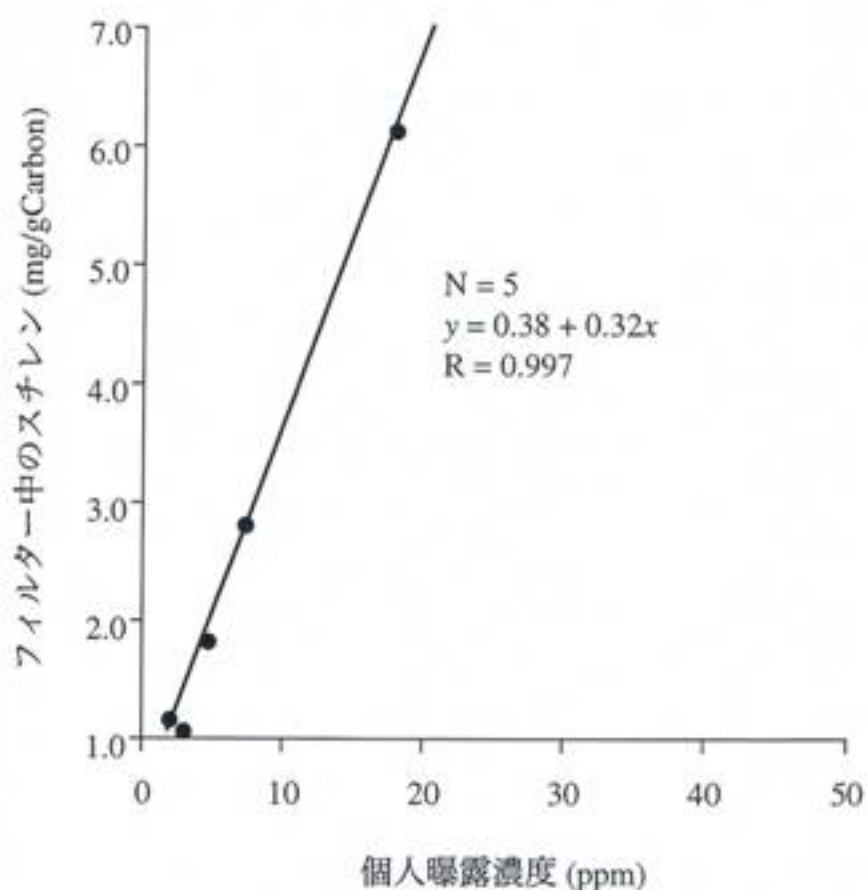


図 11: 個人曝露濃度と活性炭吸着スチレンの相関



## 4 まとめ

気中濃度あるいは個人曝露濃度が20 ppmを超えている例が半数以上あった。このことから局所排気装置の導入やブースの適切な利用が求められる。しかし、一般にスチレン取り扱い事業場は規模が小さく、スプレーによる樹脂の吹きつけや大型製品が多いという、作業や製品の特徴上、局所排気装置の導入が困難である場合が少なくない。したがって、スチレン取り扱い作業場では防毒マスクの果たす役割が大きいと考えられる。

作業人や事業主は適切なマスクの種類や着用方法、フィルターの交換時期等の知識に乏しく、マスクの効果が十分でない場合が多かった。また、作業環境中のスチレン濃度が125 ppmを超えると、防毒マスクをして半日に一度フィルターを交換しても、許容濃度20 ppmを超えるスチレンを吸入する可能性があることが分かった。

今回の結果から、スチレン取り扱い事業場では、従来の環境測定だけでは新しい許容濃度に対応できないことが分かった。尿中代謝物検査結果や事業場巡視などを組み合わせて、総合的に曝露の評価を行ない、局所排気装置の導入や防毒マスク着用などの対策を取ることが必要であると考えられる。

その際、産業医、産業保健師および労働衛生コンサルタントなど、産業保健の専門家が重要な役割を果たさなければならないと考えられる。

さらに、近年FRP製品の製造を含むさまざまな製造業が、アジア諸国など海外に移転しつつあるが、その際には、移転先の労働者の健康保持のために、設備や製造技術だけでなく、労働衛生技術の輸出および労働衛生専門家の派遣が必要不可欠であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 岡山産業保健推進センター. 有機溶剤健康診断における尿中代謝物検査の実施状況に関するアンケート調査, 1999. 平成 10 年度産業保健調査研究報告書.
- [2] 河野慶三. 健康診断サービス機関における血中鉛、尿中デルタアミノレブリン酸、有機溶剤尿中代謝物検査の実態. 産業医学, Vol. 36, pp. 124-130, 1994.
- [3] 労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課. 平成 4 年度健康診断結果について. 労働衛生管理, Vol. 4, No. 4, pp. 4-8, 1993.
- [4] 労働衛生検査精度向上研究会. 労働衛生検査精度向上研究会の活動報告—その 3—. 労働衛生管理, Vol. 3, No. 4, pp. 37-39, 1992.
- [5] 労働衛生検査精度向上研究会. 労働衛生検査精度向上研究会の活動報告—その 4—. 労働衛生管理, Vol. 4, No. 4, pp. 64-66, 1993.
- [6] Kishi R, Tozaki S, and Gong YY. Impairment of neurobehavioral function and color vision loss among workers exposed to low concentration of styrene—A review of literatures. *Industrial Health*, Vol. 38, No. 2, pp. 120-126, 2000.
- [7] 日本産業衛生学会許容濃度等に関する委員会. 許容濃度の暫定値 (1999) の提案理由—スチレン. 産業衛生学会誌, Vol. 41, No. 4, pp. 130-138, 1999.
- [8] Ogata M and Taguchi T. Simultaneous determination of urinary creatinine and metabolites of aromatic organic solvents by automated high performance liquid chromatography. *Industrial Health*, Vol. 25, No. 4, pp. 225-228, 1987.
- [9] Elia VJ, Anderson LA, MacDonald TJ, et al. Determination of urinary mandelic and phenylglyoxylic acids in styrene exposed workers and a control population. *Am Ind Hyg Assoc J*, Vol. 41, No. 12, pp. 922-926, 1980.
- [10] Guillemin MP, Bauer D, Martin B, and Marazzi A. Human exposure to styrene IV. Industrial hygiene investigations and biological monitoring in the polyester industry. *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 11, No. 2, pp. 139-150, 1982.

- [11] Ikeda M, Koizumi A, Miyasaka M, and Watanabe T. Styrene exposure and biologic monitoring in FRP boat plants. *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 49, No. 2, pp. 120–126, 1982.
- [12] Galassi C, Kogevinas M, Ferro G, and Biocca M. Biological monitoring of styrene in the reinforced plastics industry in Emilia Romagna, Italy. *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 65, No. 2, pp. 89–95, 1993.
- [13] Marhuenda D, Prieto MJ, Periago JF, et al. Biological monitoring of styrene exposure and possible interference of acetone co-exposure. *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 69, No. 6, pp. 455–460, 1997.
- [14] Inaoka T, Nagano M, Kitano T, et al. Biological monitoring of styrene in FRP-making small industries in kumamoto, japan—winter-summer difference and effect of protective masks in practical working conditions—. *J Occup Health*, Vol. 44, No. 2, pp. 83–88, 2002.