



## 化学物質の自主管理におけるリスクアセスメントとリスクコミュニケーションの実際 有機溶剤による健康障害とその予防—皮膚吸収の寄与

分担研究者 野見山 哲生 信州大学医学部社会予防医学講座 助教授

**要旨** 産業現場において有機溶剤は、塗料の薄め液として、また、樹脂等の溶媒として広く用いられている。しかし使用するヒトは、揮発性が高く、脂質に溶けやすい、という有機溶剤の化学的性質を考えると注意を払う必要がある。また、化学物質毎に生体影響や化学的性質も異なるため、有機溶剤一般に必要とされる注意と化学物質に応じた注意も怠ってはならない。今回、有機溶剤使用にあたり、産業保健従事者として注意しなくてはならない点について概説する。

### 曝露濃度

職場で使用される有機溶剤の曝露濃度は、

1. 有機溶剤の種類
2. 作業場所の条件
3. 作業者の条件

の3つにより決まってくる。

有機溶剤は物質により沸点、飽和蒸気圧が異なるが、これらにより揮発し易いかどうかが決まってくる。作業場所については、その気積、気流により曝露した有機溶剤の拡散による濃度変化に左右するのと同時に、全体及び局所排気装置が設置されているか否かも大きく影響する。そして作業者毎の作業方法、作業位置などの作業内容、また、作業時間が影響する。

有機溶剤を使用する上で、自分がどの程度の曝露があるかを正しく知ることが、有機溶剤の生体影響から身を守る第1歩である。現在法的には、有機溶剤中毒予防規則第28条により、有機溶剤（第1種有機溶剤または第2種有機溶剤）を製造し、または取扱う業務を行う屋内作業場の有機溶剤濃度の測定を6月以内毎に1回行うことが義務づけられている。また有機溶剤のうち、特定化学物質等（第1類物質または第2類物質）に属するものは、特定化学物質等障害予防規則第36条により、同様の測定が義務

づけられている。これらの記録の保存は原則3年（特定化学物質は30年）である。曝露濃度の測定は、作業環境測定とも言い、測定の専門知識を有する作業環境測定士によって行われなければならない。測定は自前の測定士により行われることが望ましいが、測定の精度管理を行っており、測定の信頼性の高い専門の機関に委託しても良い。法規による作業環境測定は、個々の作業者の曝露でなく、通常作業が行われている「場」の濃度を測定する。測定は、作業場の平均的な濃度を把握するためのA測定と、気中濃度が最大になると考えられる場所と時間帯で曝露を把握するためのB測定を行う。作業場の気中濃度を第1、2管理水準と比較し、作業場毎に管理区分を決定し、その結果により作業場の曝露状況を把握し、作業環境改善、作業改善の元とする。

以上のような曝露濃度の「場」の管理の他、個々の作業者の曝露を捉える方法がある。個人曝露濃度測定と生物学的モニタリングである。作業者毎に同じ作業環境にいても、作業場所の条件、作業者の条件により、実際の曝露濃度が異なってくる場合があり、実際の個人の曝露状況を把握するのに有効である。個人曝露濃度は、図1にあるようなパッシブサンプラーを呼吸域

である胸に作業時間中取り付けておき、捕集剤である活性炭、水に当該有機溶剤を取り込み、それを測定することにより曝露を調べる方法である。また、生物学的モニタリングは有機溶剤予防規則により（平成10年3月22日、労働省労働基準局長通達 基発122号通達）有機溶剤の健康診断項目にも取り入れられているが、尿、血液などの生体試料中にある曝露有機溶剤またはその代謝物の濃度を測定することで、実際に体内に取り込まれた有機溶剤の量を推定することを可能にする方法である。これは防毒マスク、保護手袋等による防護対策を施行している場合に特に有効である。法規で定められていたり、使用量の多い有機溶剤は個人曝露濃度測定、生物学的モニタリングも可能であるが、法規に記載されず、使用量の少ない有機溶剤に関しては、自社による測定が困難な場合、地域の測定機関もしくは大学等の研究機関に問い合わせをし、測定可能かどうか確認が必要になる。

### 吸収経路と曝露防止

有機溶剤は主として呼吸器から体内に取り込まれることが多い。しかし物質によっては皮膚からの吸収が多いものもある。呼吸器から取り込まれることが主である有機溶剤は、曝露濃度が高い場合、曝露濃度を下げるときの作業環境改善と作業改善を行うことが主となるが、曝露濃度が直ぐに改善しない場合呼吸保護具（防毒マスク）により曝露を防ぐことが可能である。有機溶剤用の防毒マスクは着脱式の活性炭が含まれているカートリッジを吸気が通過することにより、有機溶剤の呼吸器からの取り込みを防ぐことが可能であるが、活性炭は有機溶剤をその表面に保持、吸着、する量が一定量を越えると吸着できなくなる（破過）ため、一定曝露濃度の有機溶剤に一定期間以上曝露した場合、カートリッジを交換しないと、マスクの効果が全く無く、使用している作業者が曝露してしまうことになるので注意を要する。破過する

タイミングは、有機溶剤の種類により違う（図2）ので、予め曝露濃度を把握し、管理する必要がある。皮膚からの吸収は、使用量の多いものでは有機溶剤中毒予防規則にも記載されているジメチルホルムアミド（DMF）、記載されていないものではジメチルアセトアミド（DMAC）が有名である。これらの有機溶剤は経皮吸収寄与が40%にも及ぶ（図3）為、曝露濃度が改善しない場合に防毒マスクの使用では40%の曝露は防げないことになる。これらの経皮吸収寄与結果は環境も乾燥（約30%程度）し、皮膚も乾燥している条件下で行ったが、より湿潤な環境で、また湿った皮膚の場合には更に吸収寄与があがると考えられる。本邦の環境を考えるとこれらの有機溶剤には呼吸保護具だけでは曝露防止に結びつかない。このような場合保護手袋、保護衣によって曝露を抑えることが可能であるが、経皮吸収寄与の高いDMF、DMAC等は、天然ゴムやビニール素材の防護手袋では、見た目に傷がついていなくても、化学的に通り抜けてしまう「透過」という現象を、比較的短時間の使用で生じることになる。そのため、作業者は透過した防護手袋をした場合、湿潤した手袋の中に透過した有機溶剤が手掌表面から吸収し、体内に取り込まれることになる。

これらのことから、使用する有機溶剤の体内への取り込み経路を把握することが重要になる。そして、物質毎の破過時間と透過のない素材の調査、検討を行い、適切な保護対策を講じる必要がある。

### 健康影響

有機溶剤は一般的に脂溶性である。そのため、経気道、経皮的に体内に取り込まれると、血液循環によって脳血管関門（Blood Brain Barrier）を通過し、脂質に富む（リン脂質）脳や神経に到達することになる。そのために中枢神経系（いわゆる脳）、末梢神経系（例えば運動、感覚神経）への影響が生じることがある。

また、血液循環にのった有機溶剤は、肝臓、腎臓等の主要臓器にも到達し、障害を与えることがある。影響を受ける臓器は有機溶剤によって異なる（表 1）ので、使用する有機溶剤を確認した上で影響を調べておく必要がある。また、それらの有機溶剤の与える健康影響は、曝露濃度によって異なってくる。曝露濃度が高く、曝露時間、曝露期間が長いことが健康障害を起こすリスクを高めるが、物質によってその濃度も時間、期間も異なるので調べておく必要がある。その上で有機溶剤中毒予防規則、特定化学物質等障害予防規則に記載される有機溶剤に曝露する作業者には、6月以内毎に1回、法定の健康診断を行い、健康管理を行う。この際物質毎に検査事項が異なることもあるので、使用する有機溶剤の及ぼす健康影響を把握し、曝露状況と比較した上で健康診断結果を判定していかなくてはならない。法規に記載されない有機溶剤であっても、事前に健康影響に関し調べておき、健康診断を行う際に注意することが可能である。この際健康影響に関して学術論文等の資料が少ない場合もある。健康影響を及ぼす、という資料が少ないことは、全体の資料が不足している場合には健康影響を及ぼさないこととは別であり、導入、使用には慎重であるべきだ。しかし健診項目、生体影響についての資料収集や資料の評価に関しては専門的な知識も必要とすることも事実である。嘱託産業医、専属産業医のいる企業は、まず産業医に相談することを勧める。また、社外の健康診断実施機関に健康診断を委託している場合は、当該機関に相談するのも一法である。それでも健診項目、方法について分からない場合は、長野産業保健推進センターに相談頂くか、筆者に相談頂くことも可能である。

（本原稿の骨子は、長野産業保健推進センターの情報誌に掲載予定である）

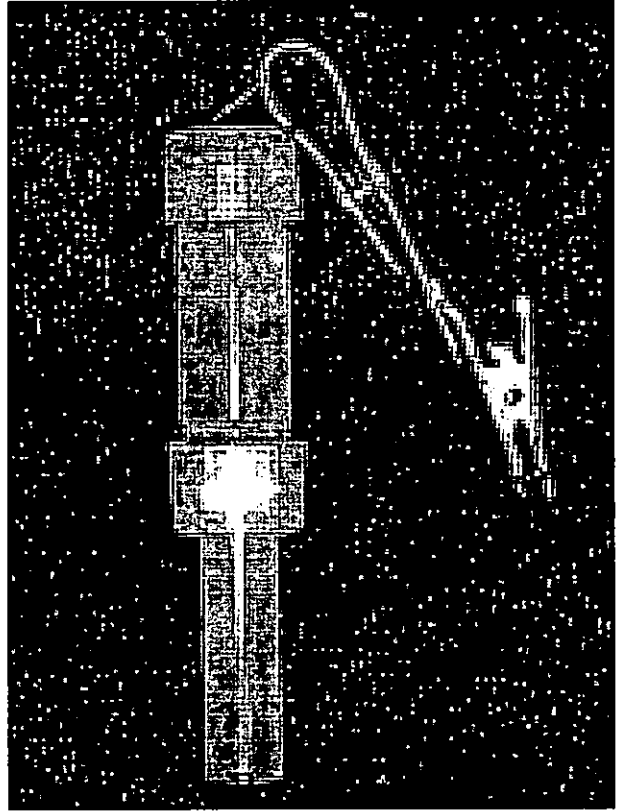
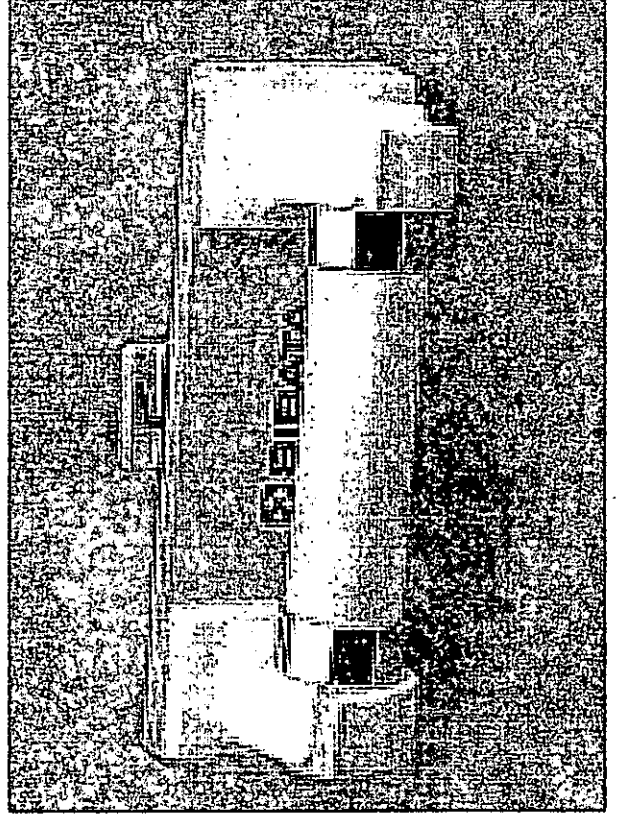
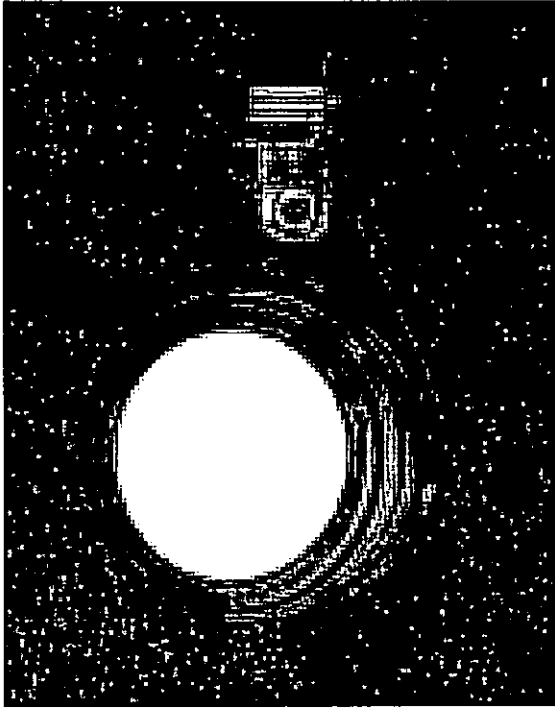


图1

図2

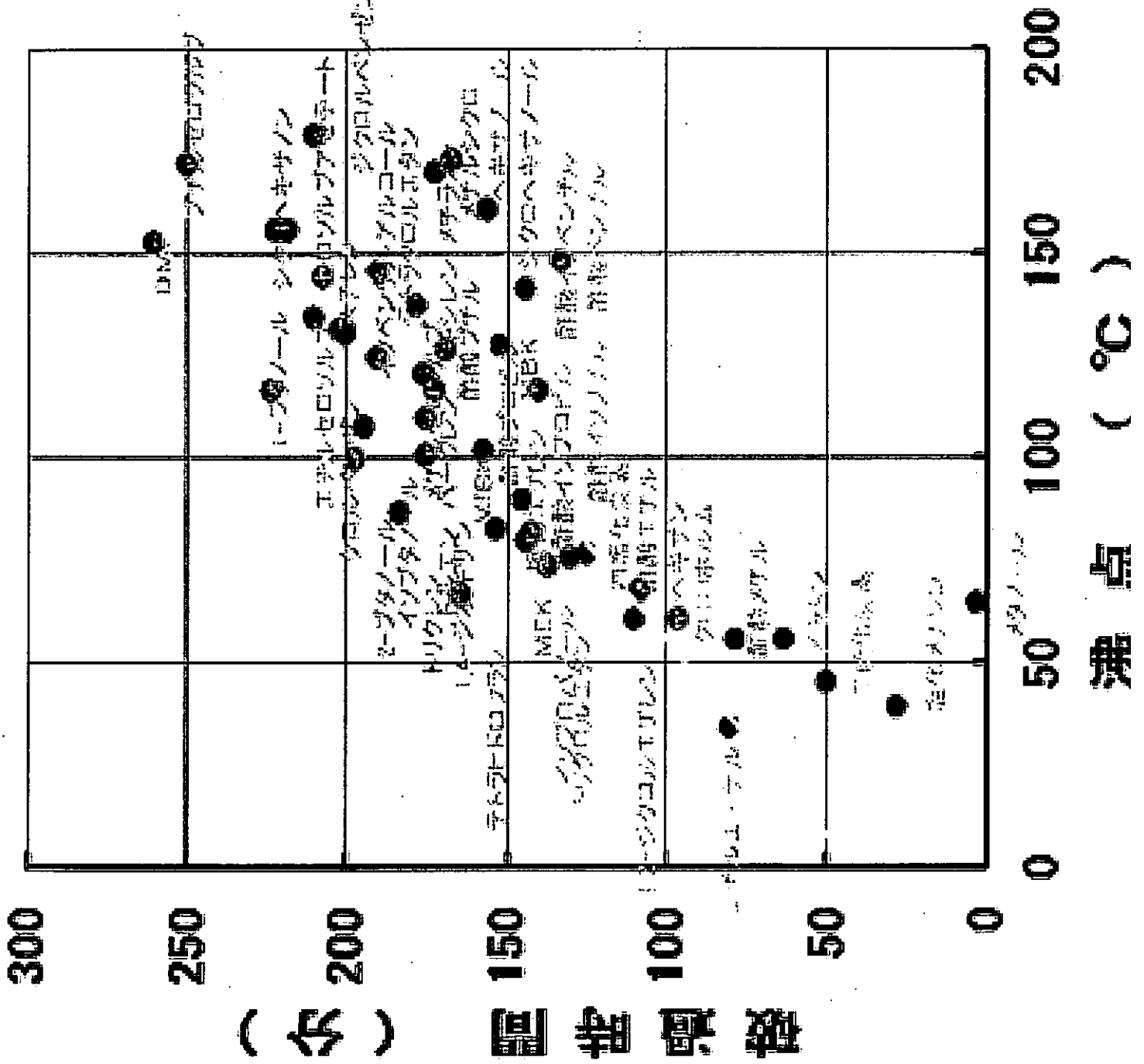
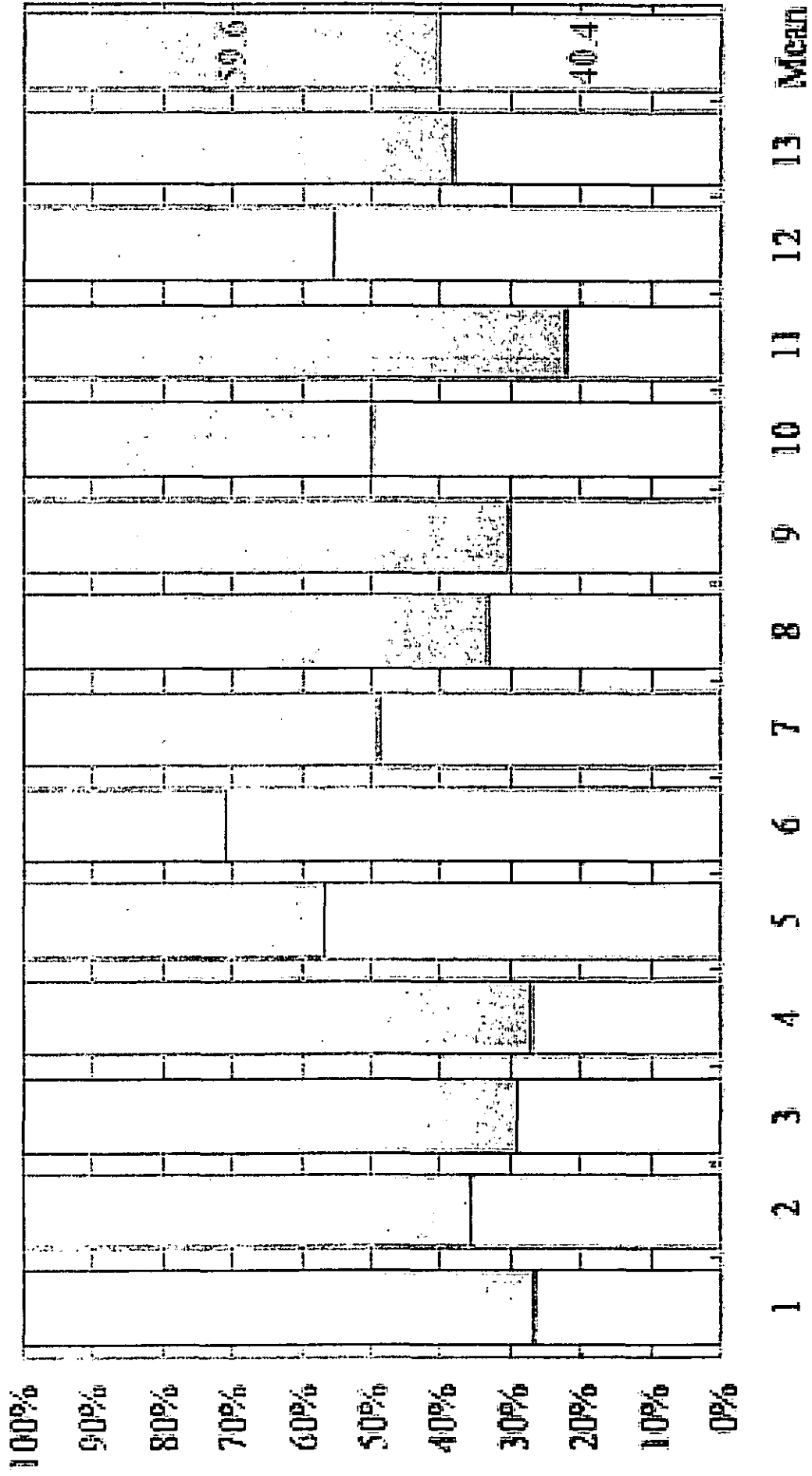


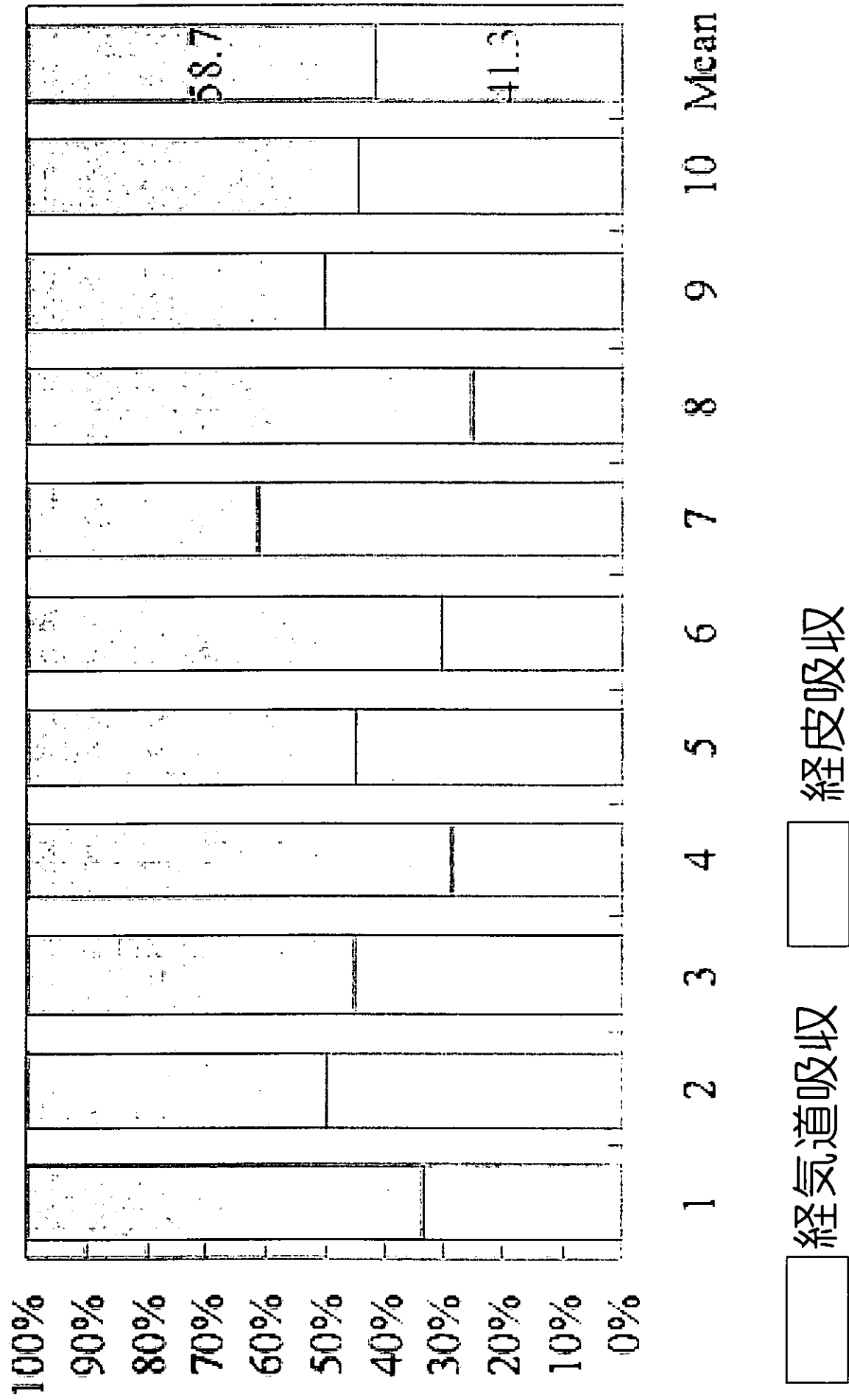
図3 (a)



経気道吸収       経皮吸収



図3 (b)



化学物質自主管理を推進する支援システム・支援ツールの開発  
労働衛生保護具の有効性評価

分担研究者 田中 茂 十文字学園女子大学人間生活学部 教授

要旨 化学物質を取り扱っている多くの事業場では、呼吸用保護具や化学防護服等の労働衛生保護具（以下、保護具と略す）を使用している。しかし、それらの事業場では、作業者に保護具を支給するだけで、保護具の装着、管理等に関する教育を行っていないために、十分に保護具の性能が発揮されていない事例を見受けられる。今年度は、作業現場で使用されている有機溶剤に対する防毒マスク用吸収缶の破過検知について検討を行うとともに、化学防護手袋と化学防護長靴の透過をふまえた選定について説明するとともに、新しい透過試験方法を解発したので報告する。

1 有機ガス用吸収缶の破過の検知について

吸収缶は何時までも使えるものではなく、ある時間使用すると、捕集しきれなくなり、吸収缶から漏洩してくる。そのような状態を破過といい、破過が起きる前に吸収缶を交換する必要がある。破過のメカニズムを図1に示す。とりわけ、作業現場で多く使用されている有機溶剤は、使用する有機溶剤の種類、環境の温度や湿度によって、破過時間が異なる。

有機溶剤46種類を対象に、同一条件（濃度300ppm 温度20℃ 相対湿度50% 流量30L/分 破過濃度5ppm）で有機ガス用吸収缶の破過時間を測定した結果を、有機溶剤の沸点に対する破過時間の関係として図2に示す。これより、46種類の有機溶剤の沸点（D:℃）と破過時間（T:分）の関係を求めた結果、 $T=1.12D+36.65$ （相

関係数:0.771）と高い相関が認められ、沸点が低い有機溶剤は破過時間が短い結果であった。そして、シクロヘキサンの破過時間より短い有機溶剤はメタノール、ジクロルメタン、二硫化炭素、アセトン、酢酸メチル、エチルエーテル、クロロホルム、1,2-ジクロルエチレン、n-ヘキサン、酢酸エチルの10種類の有機溶剤であり、破過時間が短いことを知って吸収缶を使用することが大切である。

作業現場で有機ガス用吸収缶を使用した際、破過を予知して、吸収缶の交換をする必要があるが、現場での交換時期の判断が難しい。

ここでは、作業現場における有機ガス用吸収缶の破過を予知する方法について提案する。

（1）吸収缶の質量増加により破過を推

## 定する方法

有機溶剤を吸収缶内の活性炭に吸着されて捕集されると、吸収缶の質量が増加することを利用して、作業現場での吸収缶の質量を測定し、ある基準を超えたら交換する試験を行う方法である。作業現場での実例を紹介する。

a 臭化メチルを用いた植物検疫くん蒸作業者は隔離式全面面体を装備した防毒マスクを装着して作業を行っている。このとき、使用する吸収缶は有機ガス用吸収缶を使用していたが、臭化メチルの沸点が4℃と低いため、吸収缶内の活性炭に吸着しても、吸着力が弱いため、臭化メチルが活性炭内を拡散移動し、出口側に検出されやすいことを確認した。そのため、吸着で捕集するのではなく、反応で捕集するため、活性炭に薬剤(トリエチレンジアミン)を添着させた処理炭を用いる臭化メチル専用の吸収缶を用いることにした。そして、臭化メチル濃度、温度、相対湿度を変化させたときの破過時間を測定するとともに、破過時の吸収缶の質量増加を確認し、初期の吸収缶質量に対して7%の増加の範囲であれば、破過を生じない結果を得た。基礎実験のデータを踏まえて、臭化メチルを用いた植物検疫くん蒸作業者の吸収缶の交換時期の目安として、初期の吸収缶質量の7%増加の以内で交換することを指導してきた。

b トルエンを主成分とする塗料製造工場を対象に有機ガス用吸収缶の質量増加から破過を推定する方法についての実験的検討を行った。吸収缶の質量増加と脱着酢酸エチル濃度の関係では、質量増加が4gを越えるとほとんどの吸収缶で脱着

が確認された。更に、吸収缶の質量増加と使用した吸収缶の残存する能力、余命試験による破過時間の関係から、吸収缶の破過の推定が吸収缶の質量増加により可能であることが示唆された。

対象の化学物質によって、破過時間が違うことより、吸収缶の質量増加は異なるなり、化学物質の破過時間を踏まえて、増加質量を決める必要がある。

## (2) 相対破過比を活用する方法

有機ガス用吸収缶を購入すると、図3に示すようなシクロヘキサンの破過曲線図が添付されているので、その図を活用することを考えた。図4に示す有機溶剤の破過時間とシクロヘキサンの破過時間を求め、シクロヘキサンの破過時間に対する各有機溶剤の破過時間の比を相対破過比(Relative Breakthrough Time)として求め、公表する。その一例として、田中が試験した結果を表1に示す。

ユーザーは作業現場で使用している有機溶剤を確認し、その有機溶剤の相対破過比を、使用している有機ガス用吸収缶のシクロヘキサンの破過時間に乗じて、吸収缶の交換時期とする。その時間に達する前に交換するように、作業者に指導する事が必要である。

使い方は

a メーカーは各物質の相対破過比、シクロヘキサンに対する破過曲線図、および相対湿度による破過時間の関係を提示する。

b ユーザーは対象物質を確認する。混合溶剤のときは破過時間の早い物質が対象となる。その相対破過比を確認する

(A)。

c 作業者の曝露濃度を推定する。混合溶剤のときは、各有機溶剤濃度を合計した濃度 (B) を求める。

d シクロヘキサンの破過曲線図から、濃度 (B) より破過時間を求め、それに相対破過比 (A) を掛けて推定破過時間 (吸収缶の使用時間) を求める。

### (3) 検知管を活用する方法

作業現場で簡便に破過を確認する方法として、検知管で脱着してくる有機溶剤蒸気を測定する方法を検討した。方法は図5に示すように、吸収缶の出口側にあうゴム栓を用意し、その中央に検知管が差し込める穴をあけるだけである。作業現場で使用した吸収缶を休憩室などで、この方法で測定し、検知管の色が変わったら吸収缶を交換する。毎回、検知管で測定することは大変なので、通常は、吸収缶の使用時間を決めて交換するように作業者に指導することが望ましい。

実例として、ビスコースレーヨン工場における二硫化炭素曝露防護のために使用している有機ガス用吸収缶を対象に試験し、その結果を図6に示す。作業現場で使用している4つの吸収缶を対象に、現地で実施した検知管による脱着透過濃度(左図)を測定し、すぐ大学に持ち帰って調べた残存能力試験(右図)を示した。検知管測定で、二硫化炭素の高い脱着が認められた吸収缶は残存試験でも最初から高い濃度を示し、残存使用時間(5ppmになるまでの時間)が短い結果であった。図7は、作業現場で使用した吸収缶を対象に現場で検知管により測定し

た二硫化炭素の脱着濃度と残存使用時間の関係を示した。その結果、脱着濃度が4ppmを超えた吸収缶は残存使用時間はゼロであった。このことから、作業現場での検知管での脱着濃度測定が吸収缶の交換時期の目安になることを示唆した。

## 2 化学防護手袋 (以下、手袋と略す)

化学物質を取り扱っている事業場あるいは研究室において、必ず使用されている。しかし、その手袋の素材の選定に問題があり、作業者が化学物質に曝露する事例をよく見かける。現在、多くの手袋の素材が市販されており、使用者は取り扱う化学物質に対して適した手袋を選定することが重要である。

### (1) 事業場での手袋の使用例

事業場で見かけた手袋の使用例を紹介する。

a ポリウレタンを用いた加工作業においてジメチルホルムアミド (DMF) を使用していた作業場:

ノズルの洗浄のために1日10分程度、DMF溶液の中で手袋をして作業を行っていた。定期的にも実施していた特殊健康診断では、DMFの代謝産物である尿中N-メチルホルムアミド (NMF) 濃度において、20名の作業者のうち2、3名が毎回高い結果であった。作業環境測定結果においては、いつも第一管理区分であり、どうして作業者が曝露されているのか産業医は疑問に思っていた。その当時使用していたのが、生ゴムの手袋であり、穴があくまで使用していた。そこで、透過しにくい素材への変更と、作業性をふまえた

環境改善を実施したことにより、尿中 NMF が低値を示した。DMF が手袋を透過して内側に侵入し、経皮吸収により曝露していた事例である。

b フィルム製造作業において塩化メチレンを使用していた作業場：

衛生管理者から塩化ビニールの手袋を支給されてロールの洗浄を行っていた作業者は、手がヒリヒリするのはあたりまえ、しょうがないと思って使用していた。

c フィルム製造作業においてメチルエチルケトン (MEK) を使用していた事業場：

製品への指紋等の付着を防ぐために使い捨ての手袋（ポリエチレン製）を装着してロールの洗浄を行っていた作業員から、手指の刺激、傷があると痛い、皮膚が白っぽくなってきたというような訴えがあった。

d レンズ加工作業において洗浄剤として N-メチルピロリドンを使用していた事業場：

レンズの洗浄剤に用いるトリクロロエチレンの代替物質として N-メチルピロリドンを使用し始めたが、トリクロロエチレンを使用していた時と同じ手袋を装着していた結果、作業員がかぶれを生じた。

このように、化学物質に対する重症な中毒の発症はないが、手袋の選定が不十分のために、手袋から化学物質が透過して経皮吸収を介して作業員が曝露する事例がある。

## (2) JIS 規格改正に伴う透過試験の導入

手袋の日本工業 (JIS) 規格が 1998 年 6 月に改正された。それまでの化学物質に

対する性能試験は不浸透性試験であったが、今回新たに透過試験が加わった。不浸透性試験とは、主に手袋の完成品について、浸漬を繰り返した時の膨張、収縮、硬化などの変化、引っ張り強度あるいは膨張率などを調べて評価する方法である。試験結果は表示され、ユーザーはそれを踏まえて手袋を選定してきた。一方、透過試験とは、手袋の材料の表面に化学物質が接触吸収され、材料内部に分子レベルで拡散を起こし、材料の裏面から離脱する現象を調べるのである。

この改正は、国際規格 (ISO) とアメリカの規格 (ASTM) との整合性を持たせる形で、透過試験が導入され、手袋の JIS 規格もやっと国際規格並みになったといえる。今回、JIS 規格で採用された透過試験装置を図 8 に示す。一方のセルに試験化学物質を入れ、試験開始後、材料の内部を透過して反対側のセルに、化学物質が分子の状態で見られる。そのセルには新鮮空気を通気して、流路の出口側にその対象物質が高感度で分析できる装置を取り付けて、対象の化学物質濃度を経時的に測定するものである。

有機溶剤を対象にした透過試験の試験流路を図 9 に示す。透過のメカニズムは温度に起因するため、透過試験装置を 20℃ の恒温槽に入れる。透過側のセルにはコンプレッサーから除湿器等を介した新鮮空気を送り込み、分析にはオートサンプラーを装備したガスクロマトグラフで分析するシステムで試験を行った。

## (3) アセトンによる透過試験結果

試験結果の一例として、アセトンに対

象とした9種類の材質の異なる市販の手袋における経過時間に対するアセトン蒸気濃度から換算した透過速度の結果を図10に示す。不透過性を示した手袋はNo.6と8の2種類だけであり、多くの手袋は試験開始とともに透過がおこった。

#### (4) 透過と浸漬試験結果

改正されたJIS規格では、透過速度 $0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ が得られるまでの時間を透過時間（あるいは破過時間）として求めるようになってきている。14種類の有機溶剤に対して、メーカーが表示している浸漬試験による今までの基準の試験結果と、その新しいJIS規格に基づいた透過試験の結果を表2に示す。浸漬試験で「使用不可×」が表示されているものは、透過試験でも短い傾向があった。一方、「使用可◎」の表示のものは、透過試験で $>480$ 分の良好な結果が多く得られた。しかし、浸漬試験で◎でも短い透過時間の結果が得られたものがあった。

浸漬試験で3段階の評価に対する透過時間の関係を表3に示した。「使用不可×」がついていて30分未満で透過したのは90% (77%+13%)であり、×のものは透過試験でも悪い結果であった。一方、「使用可◎と○」でありながら、30分未満に透過してしまったものが37% (29%+8%)みられ、これが問題である。

#### (5) 作業現場でチェック：簡易透過試験装置

現在、多くの事業場で化学物質管理の見直しが行われている。その際に、表4に示すごとく、透過を踏まえた手袋の選

定が重要となる。しかし、公表されている透過試験結果は、作業現場で使用している多くの化学物質に対してまだまだ少ないのが実情である。そこで、ユーザーが試験を行うことができる簡易透過試験装置を作成し、概略図を図11に示す。原理はJIS規格の透過試験と同じである。分析は検知管あるいは作業現場で品質管理等に使用している分析機器で行う。手袋の選定の基礎資料として、透過試験のモニターという意味合いでやってみることを提案したい。

#### (6) 作業現場でチェック：検知管による手袋内の測定

現場で使用している手袋の透過の有無を調べる簡易法として、手袋の内側に検知管を差し込んでチェックする方法がある。その様子を図12に示す。作業者に“透過”ということを理解してもらう、あるいは手袋の選定をする際に参考になると考える。

#### (7) 非破壊手袋透過試験装置の開発

JIS規格による化学防護手袋の透過性能は手袋の素材の一部を切断して図8の試験装置を用いる。すなわち、JIS規格は素材の性能評価のみであり、作業現場では、手袋の接合部から透過するのではと危惧されていた。そこで、手袋全体で透過試験を行うことができる装置を試作することにより、問題点を解決することができると考えた。更に、その装置を用いることにより、手袋の再利用が可能かどうかの試験も可能である。

非破壊手袋透過試験装置の開発を行う

に当たり、厚さの異なる手袋でも試験ができるように工夫したこと、また、5本の指からの透過が反映するように、フィンガーパイプを挿入して空間部を設けたこと、ようにした。試験は図13に示すパイプセパレーターの穴にフィンガーパイプをいれ、試験手袋を装着させ、図14の試験装置の内部にセットする。容量約2リットルの試験物質を供給口から空気抜き口から溢れ出るまで注入し、試験空気供給口より1リットル/分の通気速度で新鮮空気を供給し、ガス採取口から経時的に一定量の試料空気を採取して、ガスクロマトグラフにより分析する方法である。実際の試験装置の写真を図15に示す。

試験方法として、試験手袋は図16のAnsell社製Barrier, North社製Silver Shield、ダイヤゴム社製ダイローブ T-1の3種類を、試験物質はトルエン、塩化メチレン、メタノールの3種類を使用した。そして、破過濃度として $0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ が得られるまでの時間を透過時間として求めた。メーカーが表示したJIS規格での材料試験結果と本試験の結果を表に示す。

トルエンでは、全て480分以上の結果が得られた。メタノールでの透過時間がJIS規格と異なる結果であった。バリアーとしての素材はAとBは類似しているので、Bに関してはメーカーの表示が間違いであることが示唆された。それ以外では、メーカー表示の結果との比較において、ほぼ同様な傾向を示した。しかし、透過時間が短い溶剤では、本試験でより短い透過時間を示した。このことは、接合部

からの透過が影響しているものと考えられた。透過時間の短いメタノールを対象に手袋AとBで、透過した手袋(1日目：新品)を放置して再度試験をした。表6より放置日数を長くすると、新品の透過時間に近づく結果であった。しかし、一度透過した手袋内側の試料空気中のメタノール濃度を経時的に測定すると、なかなか減衰しない結果を示し、再使用するには1日以上以上の放置時間が必要であった。

実際の作業に伴って手袋を使用すると、手袋表面にキズやヒビが入り、それが透過性能を悪くすることが予想される。それ故、今回の実験室における繰り返しの透過試験では、放置日数を置くことにより透過性能は回復したが、作業現場での使用は使い捨ての考えが望ましいと考える。

### 3 非破壊長靴透過試験装置の開発

上記の化学防護手袋でJIS規格による試験と手袋全体を用いた透過試験では異なる結果を得たことより、化学防護長靴においても、長靴の底と筒部との接合部から透過する可能性が危惧された。そこで、長靴を切断等で破壊することなく、長靴全体で透過性能を評価できる装置を試作し、試験を行った。開発した非破壊長靴透過試験装置は長靴の外側を試験薬品に浸漬し、長靴の内側に薬品がガスとして透過する時間とガスの透過量を測定することを目的とした。長靴全体の透過が反映するように、つま先部にまで空間を設けた(図17)。図18の長靴本体をアウターリングとインナーリングで挟み、試験容器本体にセット後、図19の恒温

装置内に入れた。恒温装置は温度制御部と恒温槽からなり、温度制御部は APISTE 製の PAU UNIT を用い、温度センサーにより内部温度を試験条件である 20℃に保つようにコントロールした。また恒温槽部は漏洩ガスによる濃度上昇を考慮し、温度制御部からの温度調節空気を循環させず、一定方向へ給排気させる構造とした。試験中の内部温度は A&D 社の THERMO RECORDER TR-72S にて記録した。実験開始時、長靴全体を浸漬させるため、容量約 12 リットルの試験物質を供給口から注入した。そして、恒温槽に接続されている試験空気供給口より 1 リットル/分の通気速度で新鮮空気を供給し、ガス採取口から経時的に一定量の試料空気を採取し、透過してきた試験物質濃度をガスクロマトグラフにより分析した。

試験の対象とした化学防護長靴は、材質がポリ塩化ビニール(PVC)である製品 A と B、天然ゴムと合成ゴムよりなる製品 C と D の 4 種類とした。トルエン、ジクロロメタンとアセトンを試験物質として行い、破過濃度として  $0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$  が得られるまでの時間を透過時間として求めた。

試験結果は全て JIS 規格による素材試験結果より短い透過時間であった。特にトルエンに対して長靴 C と D が、ジクロロメタンに対して長靴 A と C が 2 倍以上の差が認められた。とりわけジクロロメタンに対する長靴 A の全体試験結果は素材試験結果より 3 倍以上短い時間であった。これらの違いの主たる原因は長靴 A と B がポリ塩化ビニール製であるのに対して C と D が天然ゴム・合成ゴム製であ

るという材質の違いや、厚みの差、長靴の底部と筒部との接合部による影響が考えられた。

現在、化学防護長靴は JIS の T8117 にて耐透過性試験について規定されているが、この試験は使用されている素材について行うものであり、長靴本体の貼り合わせ部分や、本体と靴底との接合部からの透過なども考慮した製品全体の透過性能試験ではない。本装置は、これらの影響も反映するように作られたものであり、今後は多くの化学防護長靴について物質ごとに透過試験を実施していく必要があると考えられた。

#### 4 まとめ

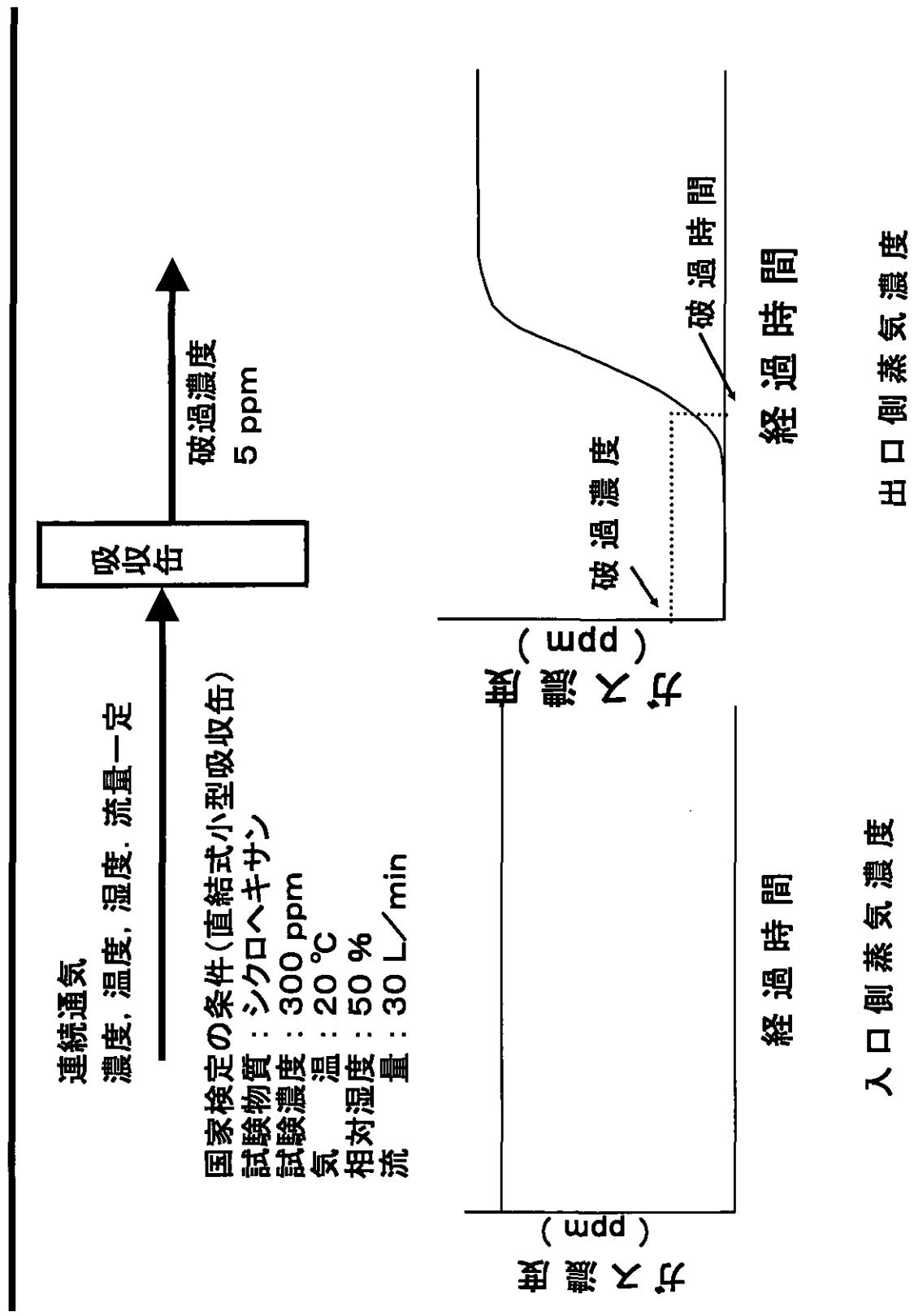
保護具は作業者の化学物質暴露の最期の砦である。その使用状況を間違えると、作業車は化学物質に曝露され、健康影響を起す危険がある。その意味で、保護具の適正使用、すなわち、作業者に保護具の正しい選定、使用、そして管理について教育することが重要となる。

#### 【研究発表】

- 1 宮内博幸、野見山哲生、西村繁、田中茂 化学防護手袋完成品による透過試験装置の開発 第76回日本産業衛生学会 2003.4 (山口)
- 2 宮内博幸、野見山哲生、田中茂 非破壊長靴透過試験装置の開発 第43回日本労働衛生工学会 2003.10 (札幌)
- 3 中災防発行: 正しく使って守ろう健康 CD-ROM(2003年版).



# 図1 有機ガス用吸収缶の破過の模式図



# 図2 有機溶剤46物質の同一条件での破過時間

(試験条件: 300ppm 20°C 50% 30L/分)

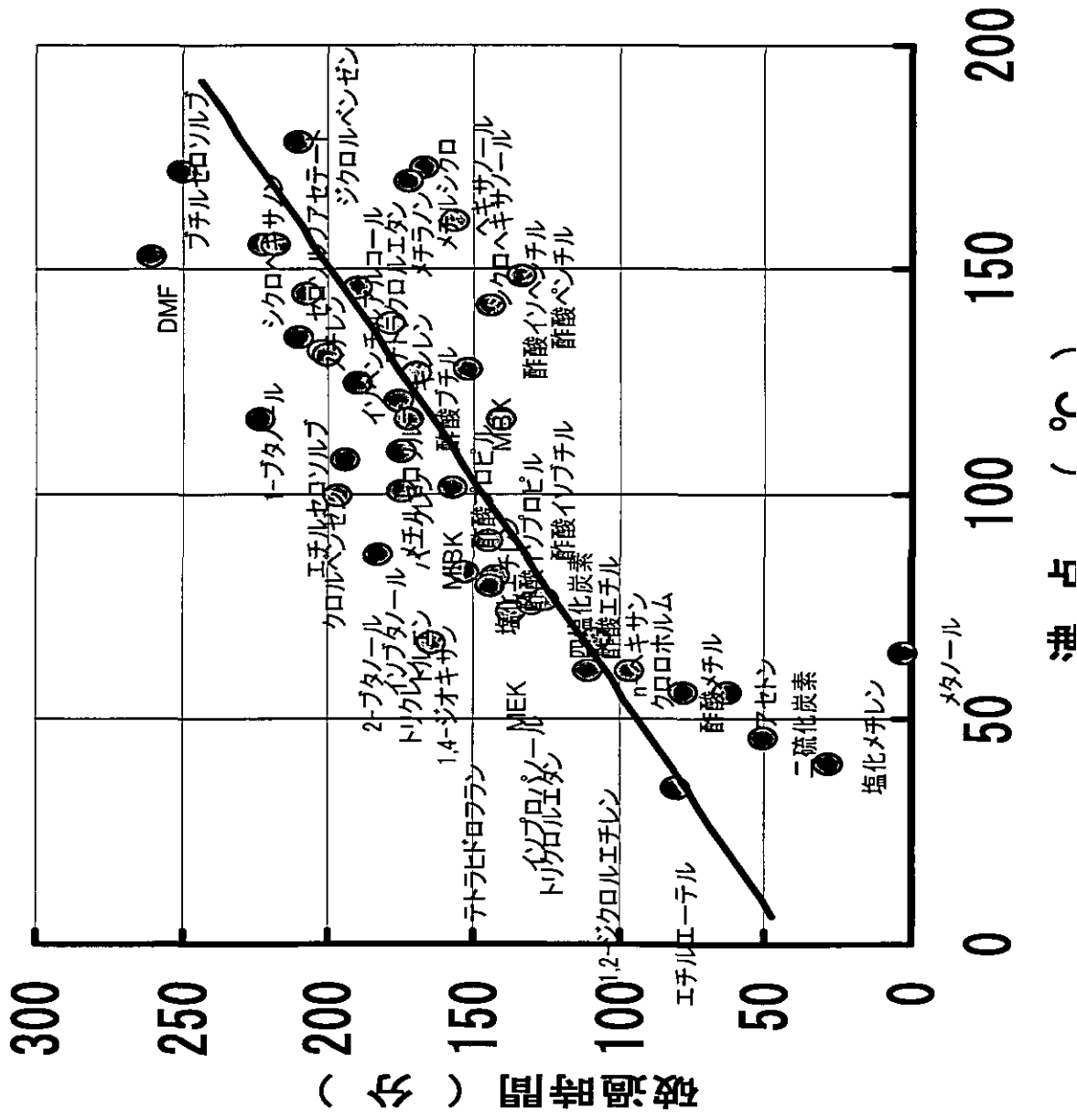
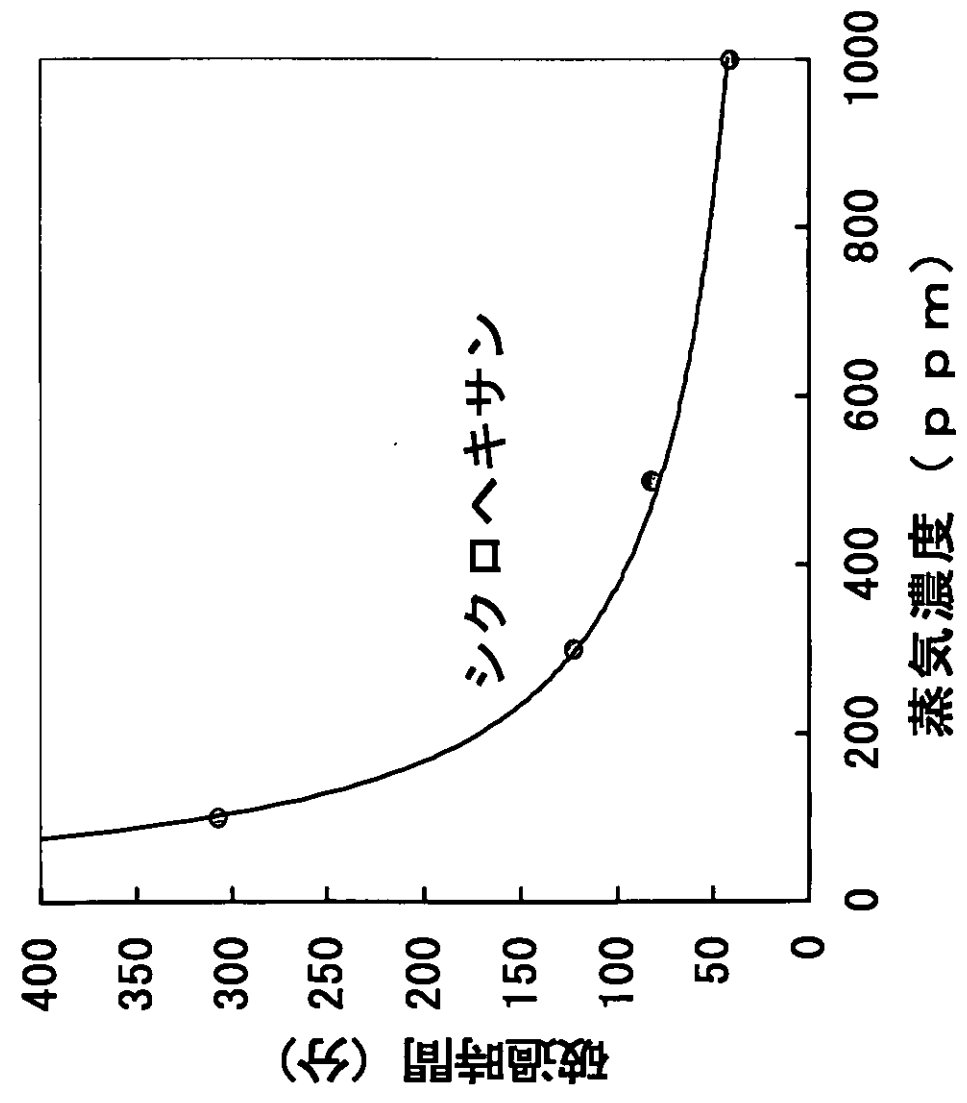


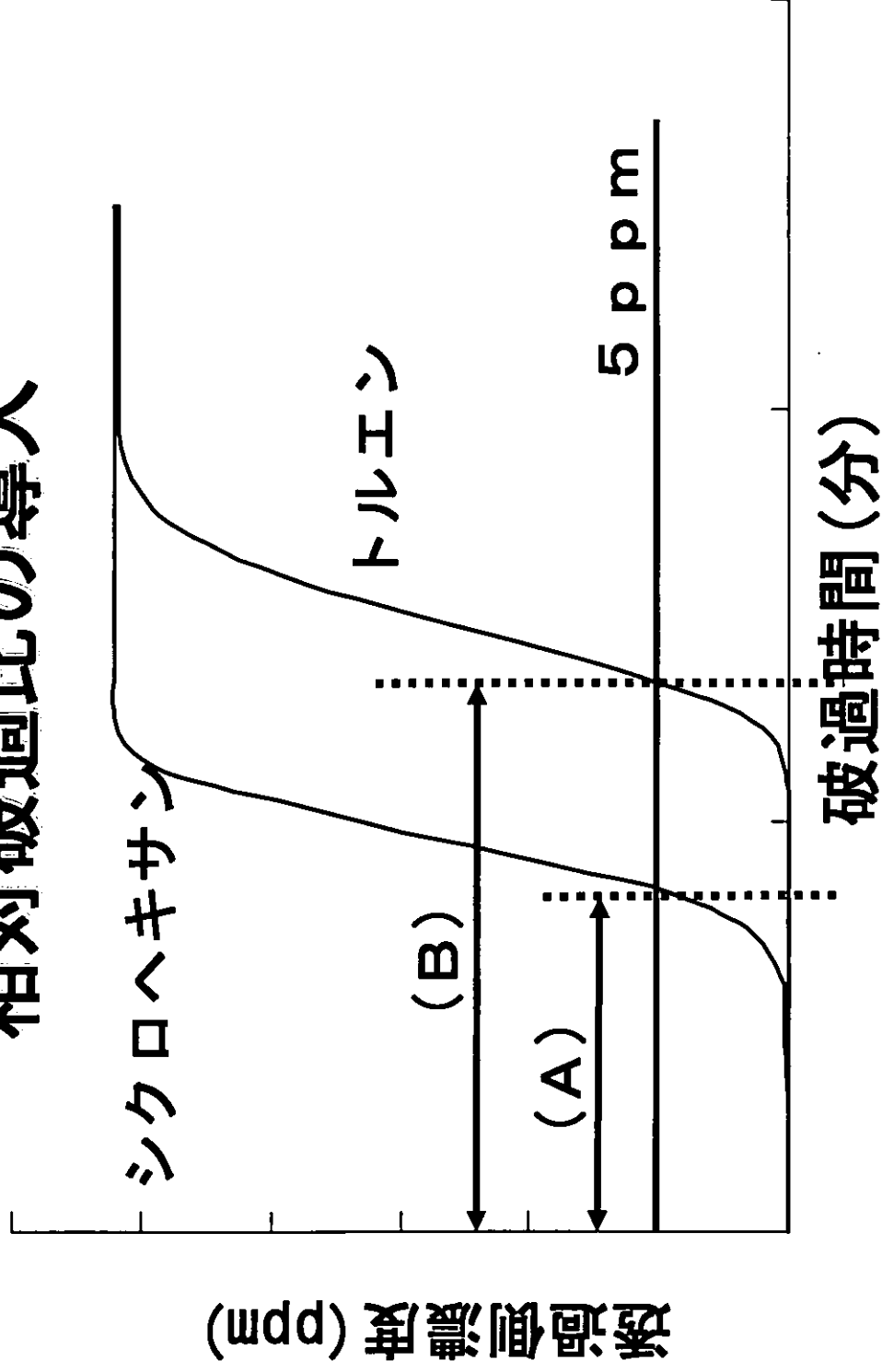
図3 シクロヘキサンに対する破過田線図

(直結小型有機ガス用吸収缶)



# 図4 シクロヘキサンの破過曲線図を利用する方法

## 相対破過比の導入



各有機溶剤の破過時間 (B)

$$\text{相対破過比} = \frac{\text{各有機溶剤の破過時間 (B)}}{\text{シクロヘキサンの破過時間 (A)}}$$