



基安化発第 0927001 号
平成 17 年 9 月 27 日

都道府県労働局労働基準部
労働衛生主務課長 殿

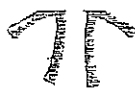
厚生労働省労働基準局
安全衛生部化学物質対策課長

「燻蒸作業における化学物質管理マニュアル」
の送付について

燻蒸作業については、特定化学物質等障害予防規則第 38 条の 14 の規定に基づき従前より指導しているところであるが、文化財燻蒸の燻蒸剤として主に用いられてきた臭化メチルが、モントリオール議定書の中でオゾン層破壊物質に指定され、平成 17 年 1 月よりその製造が原則禁止されたことからその代替品である酸化プロピレン等の使用が増加する状況が予想される。

今般、文化財燻蒸を対象とした標記マニュアルを作成したところであるので、当該業種への指導等において活用されたい。

なお、酸化プロピレン（プロピレンオキシド）の生殖毒性及び危険有害性等の表示等については、平成 17 年 6 月 6 日付け基安化発第 0606003 号「酸化プロピレンの生殖毒性に係る有害性調査の結果及び危険有害性等の表示等について」により本職から通知していることを申し添える。



基安化発第 0927002 号
平成 17 年 9 月 27 日

財団法人文化財虫害研究所理事長 殿

厚生労働省労働基準局
安全衛生部化学物質対策課長

「燻蒸作業における化学物質管理マニュアル」
の送付について

日頃から、労働安全衛生対策の推進に格段の御理解、御協力を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、燻蒸作業については、人の健康等に有害な燻蒸剤を高濃度で取り扱うことから重篤な労働災害が発生する可能性があるため、特定化学物質等障害予防規則第 38 条の 14 の規定に基づき従前より燻蒸作業にかかる措置を定めているところですが、文化財燻蒸の燻蒸剤として主に使用されてきた臭化メチルが、モントリオール議定書の中でオゾン層破壊物質に指定され、平成 17 年 1 月よりその製造が原則禁止されたことからその代替品である酸化プロピレン等の使用が増加する状況が予想されるところです。

このことから、厚生労働省におきましては、燻蒸作業に伴う労働災害の防止を図るため、中央労働災害防止協会に委託し、安全に文化財燻蒸作業を行うための作業標準を主な内容とする「燻蒸作業における化学物質管理マニュアル」を別添のとおり作成いたしました。

つきましては、貴団体におかれましては、本マニュアルの周知を図られるとともに、本マニュアルを活用した燻蒸作業における化学物質管理対策の推進が適正に行われるようお願い申し上げます。

なお、酸化プロピレン（プロピレンオキシド）に係る労働衛生対策については、平成 17 年 6 月 6 日付け基安化発第 0606002 号「酸化プロピレンの生殖毒性に係る有害性調査の結果及び危険有害性等の表示等について」により通知していることを申し添えます。

燻蒸作業における化学物質管理マニュアル
ー文化財の燻蒸による中毒の防止を中心にー
(平成16年度)

平成17年3月

中央労働災害防止協会

はじめに

わが国には世界最古の木造建造物法隆寺や、最大の木造建造物東大寺などが保存されており、これらの貴重な文化財は、定期的な虫干しと虫除け香料の使用などにより、あるいは校倉造や土蔵といった収蔵庫内に保存することでうまく温湿度の調節がとられたために長期間良好な状態で保存されてきた。多少の虫害や菌害は免れなかったものの、千年近い長期にわたって文化財が保存されてきた。

これらの文化財の保存のために、1940年代より化学物質を用いた燻蒸が始まった。燻蒸剤は人の健康等に有害な化学物質で、文化財の燻蒸剤としては、従来は臭化メチルが多用されてきた。一方地球環境保護の観点から1992年に策定されたモントリオール議定書の中で、臭化メチルがオゾン層破壊物質に指定されたことを受け、わが国においても2005年4月から、植物検疫用燻蒸剤としての一部の用途を除き製造が禁止となった。そのため、いくつかの臭化メチル代替薬剤が開発され、すでに使用されるようになってきた。これらの薬剤についても、臭化メチルを用いた燻蒸と同様な作業方法で実施されるが、有害性、物理的および化学的性状が異なるため、保護具の選択等について異なる対応が必要となる。しかし、そのような対応について、必ずしも周知されているとはいえない状況にあり、同様の中毒事故が発生することが危惧される。

このため、中央労働災害防止協会においては厚生労働省からの委託を受けて、平成15年度に、特定の業種における化学物質管理マニュアル作成の一環として、「燻蒸作業における化学物質管理マニュアルー文化財の燻蒸による中毒の防止を中心にー」の原案を作成した。本年度は、新たに専門家、実務者等からなるWGを設置し、文化財の燻蒸作業におけるばく露実態調査を行い、平成15年度に作成した原案に、その調査結果を追加するとともに、多角的検討を行い、完成させた。

業種別の化学物質管理マニュアル作成（燻蒸作業）WG

（五十音順 ○は委員長）

奥谷 禎一 （財）文化財虫害研究所 理事長

重松 開三郎 （株）重松製作所 会長

清水 洋志 関東港業（株）代表取締役

○田中 茂 十文字学園女子大学 人間生活学部
食物栄養学科 教授

目 次

第1章	燻蒸剤としての臭化メチルの挙動	1
1	臭化メチルの使用と動向	1
2	モントリオール議定書締約国会議による臭化メチルの動向	2
第2章	文化財燻蒸	4
1	文化財虫菌害防除作業主任者	4
2	文化財燻蒸の作業方法	4
3	文化財燻蒸剤の特徴について	5
第3章	文化財燻蒸における職業性疾病障害	7
1	職業性疾病発生事例	7
(1)	主な職業性疾病発生事例（「労働衛生のしおり」より）	7
(2)	平成14年度の文化財燻蒸による災害事例	9
(3)	職業性疾病発生事例（検疫、文化財、土壌燻蒸、その他）まとめ	9
2	東京女子医科大学資料による臭化メチル中毒事故事例	10
3	植物検疫燻蒸におけるばく露防止の対応	10
4	なぜ、燻蒸で中毒事故が多発するのか	11
第4章	文化財燻蒸におけるばく露防護	13
1	作業者のばく露量の削減	13
2	労働衛生保護具の選定、設置及び使用教育	13
3	ばく露防止対策	23
4	各燻蒸剤における作業標準	24
(1)	臭化メチル（メチルブロマイド）	24
(2)	フッ化スルフリル（スルフリル フルオライド）	30
(3)	プロピレンオキシド製剤	37
(4)	エチレンオキシド製剤	42
(5)	ヨウ化メチル	48
第5章	まとめ	59
1	対象作業	59
2	ばく露防止対策	59
(1)	燻蒸前	59
(2)	燻蒸中	60

(3) 開放作業時	60
(4) 開放作業後	61
3 労働衛生教育	61
4 健康管理等	61
5 安全衛生管理体制等	62

添付資料

臭化メチル代替燻蒸剤による作業者のばく露状況調査結果	63
----------------------------------	----

第1章 燻蒸剤としての臭化メチルの挙動

1 臭化メチルの使用と動向

臭化メチルは沸点約4℃で、クロロホルム様の匂い（普通は無臭）で、常温常圧で気体である。臭化メチルの爆発限界は、空気中では下限10Vol%および上限16Vol%で、難燃性の物質で、通常では燃焼を抑える作用がある。そして、水にはわずかししか溶けず、多くの有機溶剤には良く溶ける。

ヨーロッパ、アメリカでは1900年から1930年にかけて臭化メチルを消火剤として使用していた。これは臭化メチルのコストが安いこと、速効性があること、従来、使用されていた四塩化炭素に比べてホスゲンが形成されないこと等の理由であった。しかし、四塩化炭素より毒性ははるかに強く、消火剤として使用したことによる中毒事例が多く報告された。日本で臭化メチルを消火剤として使用したかどうかはわからない。

1932年、フランスの昆虫学者Le Goupilsが臭化メチルに優れた殺虫効果を見出し、更に、数名のフランスの昆虫学者により燻蒸剤として有効であることが確認された。その後、臭化メチルがアメリカ、ヨーロッパで採用され、日本でも1950年（昭和25年）から輸入穀物に対する殺虫燻蒸剤（植物検疫燻蒸剤）として使用されるようになった。その後、1968年（昭和43年）土壌中の線虫などの病害虫の防除としてビニールハウスの全面燻蒸法（土壌燻蒸剤）が開発された。そして、1979年（昭和54年）に臭化メチル86%、エチレンオキシド14%含有の商品名エキボンが開発され、木材、書籍、仏像、建屋、衣類などの虫害防除（文化財燻蒸剤）の使用が開始された。

図1-1に臭化メチルの生産量の推移を示した。燻蒸とは病害虫等を殺虫、殺菌するために、常温で気体あるいは気化させた薬剤で、被燻蒸物を密閉状態や覆いをかけた状態で使用する。臭化メチルは①薬剤としての効果がある ②気体のため、隅々まで拡散しやすい ③ガス抜きがしやすい ④土壌燻蒸では、病害虫のみならず、雑草対策にも効果があるなどの利点により、使用量が年々増加していった。2003年当時、臭化メチルの生産量に対して、土壌燻蒸に77%、検疫燻蒸に12%、文化財燻蒸に5%、化学物質中間体として6%程度が利用されていた。

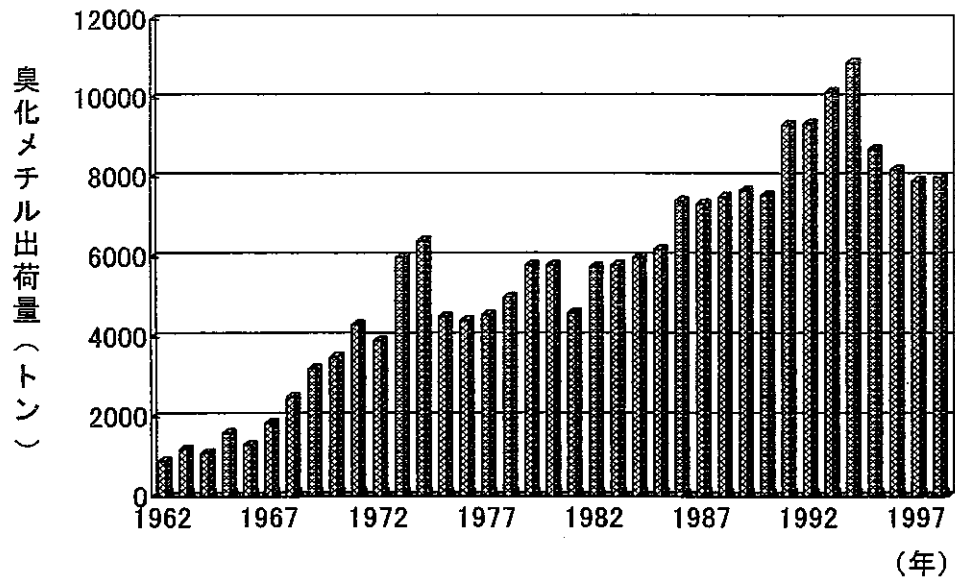


図1-1 臭化メチルの出荷量の経年変化（メチプロ工業会よりデータ提供）

2 モントリオール議定書締約国会議による臭化メチルの動向

モントリオール議定書とは「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が正式名称で、「オゾン層保護に関するウィーン条約」に基づくものである。1987年に採択され、90・92・95・97年に規制強化等を内容とした改正が行われた。我が国においても、同議定書を受けて、1988年に制定されたオゾン層保護法に基づき、オゾン層破壊物質の生産等の規制を行ってきた。

大気中に放出されたフロン（炭化水素の水素をフッ素、塩素などのハロゲンで置換した化合物）は、対流圏では分解されずに化学的に安定であるが、成層圏（高度15km～30km）では太陽からの強い紫外線を受けて分解され生じた塩素等とオゾンが反応することにより、オゾン層を破壊する。オゾン層破壊物質として、クロロフルオロカーボン（CFC）、ハロン、四塩化炭素、1,1,1-トリクロロエタン、ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）そして、今回、臭化メチル等が取り上げられた。臭化メチルのオゾン破壊能力(ODP:Ozone Depletion Potential)の現時点での見積りは0.7である。大気における臭化メチルの量とODPについては大きな不確定性があり、特に海洋と陸地表面での除去プロセス、成層圏での非反応性臭素の生成率の定量は確立されていない。モデル算定においては、燻蒸消毒の実施に用いられた臭化メチルの人為的排出は、1990年当時観察されている地球のオゾン喪失量4～6%のうちの約20分の1ないし10分の1に責任があり、もし臭化メチルの排出が当時の年率5～6%で増え続ければ、その寄与率は2000年までにはオゾン予測喪失量の約6分の1にまで増加することを示唆していた。このような試算をもとに、臭化メチルの生産、使用を制限することとなった。

締約国会議における臭化メチルに対する対応状況を以下に示す。

- (1) 1992 年(第 4 回)オゾン層破壊物質として指定
 - (2) 1995 年(第 7 回)土壌燻蒸 (文化財燻蒸を含む) に関し 2010 年全廃
 - (3) 1997 年(第 9 回)土壌燻蒸 (文化財燻蒸を含む) に関し 5 年の前倒しで 2005 年全廃
- 1997 年度の削減計画を図 1-2 に示す。土壌燻蒸と文化財燻蒸では代替物質が開発されていることが認められ、2005 年に使用が禁止となった。なお、植物検疫燻蒸では、代替物質が開発されていないことを背景に 2005 年以降も使用されていくこととなっている。

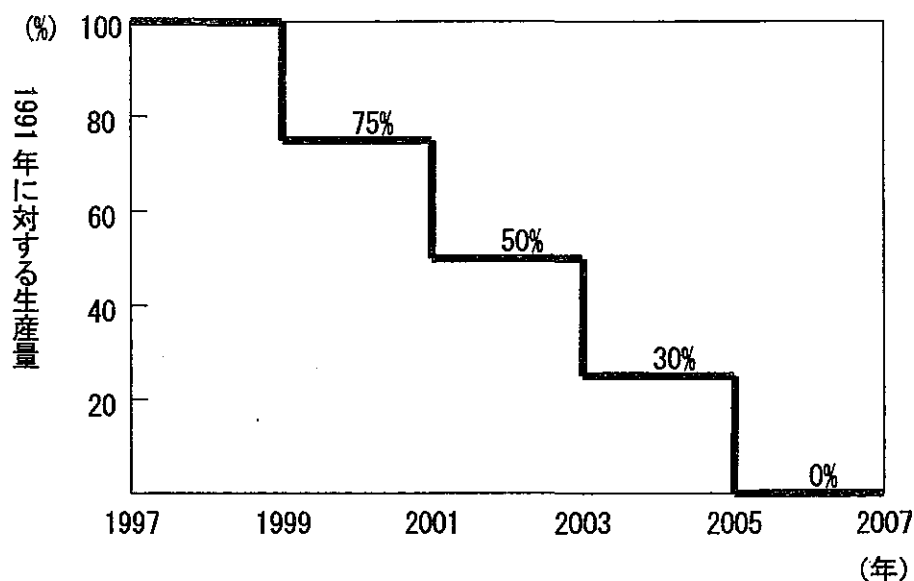


図 1-2 土壌・文化財燻蒸での臭化メチルの削減計画
(モントリオール議定書締約国会議 1997 年)

第2章 文化財燻蒸

1 文化財虫菌害防除作業主任者

燻蒸作業者は、文化財虫害研究所所定の文化財虫菌害防除作業主任者の研修と能力認定の講習会に出席し、能力認定試験に合格した作業主任者の責任管理のもとに作業を行う。作業主任者は燻蒸作業内容を確認し、作業記録を残す。また、エチレンオキシド及びヨウ化メチルを使用する際には、特定化学物質等作業主任者の資格を有する者の指揮下で行う。

2005年3月15日現在、文化財燻蒸会社は56社で、文化財虫菌害防除作業主任者の資格取得者は768名である

2 文化財燻蒸の作業方法

文化財の燻蒸方法は常圧燻蒸法と減圧燻蒸法に大別でき、前者は常圧、1気圧のもとで燻蒸するもので、さらに被覆燻蒸法、密閉燻蒸法、燻蒸庫（室）燻蒸法、包み込み燻蒸法に分けられる。後者は減圧装置（Vacuum chamber）を利用して空気を所定の圧力まで減圧してから燻蒸ガスを導入する方法である。

（1）常圧燻蒸法

ア 被覆燻蒸法

燻蒸対象物をシートで覆って燻蒸する方法で、文化財の建造物全体を外側から被覆するか、あるいは多くの小型の文化財を展示室や収蔵庫の中の1か所に集めて、被覆シートで覆って燻蒸剤を導入して燻蒸する。

イ 密閉燻蒸法

密閉燻蒸法は鉄筋コンクリート造建物など比較的気密性が高く、ガス漏れ部分の少ない建造物の全体または一部において扉や窓、換気口、その他のガス漏れ部分を目貼りして燻蒸する方法である。目貼りは粘着テープを用いるか、ガス遮断性クラフト紙を接着して行う。最近ではほとんど広幅の粘着テープ（ガムテープ）が使用されている。目貼りの困難な箇所ではプラスチック粘土、油粘土、パテなどを用いてガス漏れがないようにする。

一般に、密閉燻蒸は被覆燻蒸より気密性が高いので追加投薬、ひいては薬剤の総使用量も少なくすむ。ガス漏れや吸着量が多かったり、低温の場合など各燻蒸剤の所定薬量に応じて増量するか燻蒸時間を延長する。

ウ 燻蒸庫（室）燻蒸法

燻蒸庫（燻蒸室）燻蒸は密閉燻蒸法的一种と考えられ、建物の内外に特別に設置された専用の燻蒸庫（室）を使用して燻蒸する方法である。燻蒸庫（室）は通常、扉

だけ閉めれば完全に密閉できるようになっており、気密性がよく、ガス漏れは原則として起こりにくい。

エ 包み込み燻蒸法

包み込み燻蒸法は絵画・掛軸などの美術工芸品や書籍、古文書など、小型文化財で少量の場合に、合成樹脂シートで包み込んで密閉して燻蒸する方法である。燻蒸対象物が入る程度よりやや大き目に合成樹脂フィルムで二、三重の袋をつくり、その中に対象文化財を入れて密封するが、その際、ガス導入管と濃度測定用パイプを挿入しておく。

上述のいずれの燻蒸法の場合も、一定時間ごとに保有ガス量をガス濃度測定器で測定し、所定の空間均一ガス濃度を下回った場合は追加投薬する。なお、気温の低い場合は薬量を増加するか、燻蒸時間を延長する。

(2) 減圧燻蒸法

減圧燻蒸法は減圧装置に燻蒸対象文化財を入れて、空気をぬいて減圧状態にしてから燻蒸ガスを導入して燻蒸するもので、殺虫効力が最も大きく最も効果の高い方法である。書籍や木材の奥深く害虫が潜入しており、虫孔に虫糞などが詰め込まれている場合、常圧燻蒸ではガスの致死量が害虫の潜入している孔道の奥までなかなか到達せず、完全な殺虫効果があげられないこともある。また常圧燻蒸では通常1昼夜あるいはそれ以上の燻蒸時間を要し、文化財と燻蒸ガスとの接触時間がかなり長いため文化財の材質によっては薬害を及ぼすおそれも少なくない。その点、減圧燻蒸法は短時間で殺虫目的が達せられ、貴重な文化財を長く燻蒸ガスに接触させないですむうえに、拡散・浸透もよく、ガス漏れの心配がなく、ガスぬき、脱着も容易であるなど、多くの長所を有する。しかし、減圧装置が必要で、これに入る程度の大きさ以下のものでなければ実施できないことが欠点である。

減圧燻蒸が常圧燻蒸より昆虫に対して有効に作用するが、その殺虫機構を分析して致死要因をあげると、①燻蒸ガスの拡散・浸透作用の増加、②酸素の分圧低下による窒息死作用、③有毒ガス吸入量の増加、④乾燻致死作用、⑤細胞組織の機械的致死作用などが考えられる。

3 文化財燻蒸剤の特徴について

文化財に有効、適切な燻蒸剤としての条件は、

- ア 燻蒸対象の文化財に薬害をなるべく及ぼさない、
- イ 文化財に吸着される薬量が少ない、
- ウ 拡散性、浸透性がよい、
- エ 引火性・爆発性がほとんどない、
- オ 殺虫、殺菌力がある、

カ 人体や環境への影響ができるだけ少ない

ことなどである。

文化財燻蒸においては、殺虫・殺菌力が高いことはともかくも燻蒸対象の文化財に薬害を及ぼさないことが最重要の条件で、薬害の大きいものは使用できない。燻蒸中またはその直後に大した影響がなくとも、吸着量が多いと、燻蒸終了後に薬害を生ずることがあるので、燻蒸終了後には吸着している燻蒸剤を脱着する。文化財の内部に深く潜入している害虫を殺滅するためには拡散性・浸透性のよいことが必要条件となる。引火・爆発などのおそれのあるものはもとより避けねばならないし、安全に使用しなければならない。燻蒸剤は人体に有害なガスに属するため、虫や菌と同様、ヒトにも毒性が強い性格を有することから低毒性を期待することは無理であるが、リスク低減のためには、少しでも低毒性であることが望まれる。燻蒸剤は燻蒸施行時だけで、その後は毒性がほとんど残留しないので、一般の防虫防カビ剤のように残留毒性はないが、燻蒸終了後の排気にあたっては環境汚染を及ぼさないよう十分留意しなければならない。

現在、文化財燻蒸剤としては、平成 17 年 1 月以降使用が禁止された臭化メチルの代替薬剤としてエチレンオキシド、フッ化スルフリル、プロピレンオキシドとヨウ化メチルがあげられる。これらの薬剤のうち、エチレンオキシド及びヨウ化メチルは特定化学物質等障害予防規則の規制対象の第二類物質であるので、作業主任者の選任等同規則の規制内容に即して作業を行う必要がある。なお、各燻蒸剤の特徴については、第 4 章 4 各燻蒸剤における作業標準で後述する。

第3章 文化財燻蒸における職業性疾病災害

1 職業性疾病発生事例

(1) 主な職業性疾病発生事例（「労働衛生のしおり」より）

厚生労働省労働基準局監修で毎年発行される『労働衛生のしおり』より、昭和47年から平成14年¹⁾までの職業性疾病発生事例の中から文化財燻蒸における災害事例を以下に示す。

- ・平成13年：文化財燻蒸：（被害）中毒1名 平成13年7月 静岡

発生状況：美術館の収蔵庫の害虫駆除のため、ビニールシートで収蔵庫を密閉し、臭化メチルを投薬し24時間燻蒸作業を行っていたが、漏えいした臭化メチルにより中毒症状を起こし、意識不明の重体となった。

発生原因：作業手順の不徹底、安全衛生教育未実施があげられた。

- ・平成12年：文化財燻蒸：（被害）中毒2名 平成12年6月 愛知

発生状況：害虫駆除のため、シート内に臭化メチルをいれ燻蒸作業を行った後、濃度を確認し呼吸用保護具を外して作業を行っていた2名が中毒症状を起した。

発生原因：呼吸用保護具未着用があげられた。

- ・平成12年：文化財燻蒸：（被害）死亡1名 平成12年12月 広島

発生状況：臭化メチル等を使用し燻蒸作業を行った文化財の包みを一時、少し開けた状態でワンボックスのバン型自動車の中においていたところ、その車内で仮眠を取っていた1名が、残存していた臭化メチル等により中毒を起こし死亡した。

発生原因：作業標準未作成があげられた。

- ・平成10年：文化財燻蒸：（被害）中毒3名

発生状況：美術品等の収蔵庫において、5名が燻蒸剤（臭化メチル86%、エチレンオキシド14%）で投薬作業を行った。ガスの漏えい箇所が発見されたため、3名でテープによる補修を実施したが、呼吸用保護具を使用していなかった。3名とも気分が悪くなったが、夜間に漏えいのチェックを行い、仮眠をとった。翌朝、窓を開放し、ガス吸着装置を設置し、燻蒸ガスの除去を行ったが、3名は再び気分が悪くなった。その際も呼吸用保護具を使用していなかった。次の日には排気ファンを用いた強制排気を開始したが、3名の気分が更に悪くなり、強制排気開始後2日目に1名が入院し、1名が言語障害が現れ、1名は体のふらつきを感じた。

発生原因：呼吸用保護具を着用して作業を行わなかった。特定化学物質等作業主任者が作業方法を明確に指示していなかったことや、呼吸用保護具の使用状況の監視が行われていなかった。労働衛生教育が不十分であった。目貼りが不十分であった。

災害の防止：呼吸用保護具を着用して作業を行うこと。作業主任者が明確な作業方法を決定し、関係作業者に周知するとともに、呼吸用保護具の着用状況を十分に監視すること。当該作業の危険有害性について必要な教育を行うこと。

- ・平成9年：文化財燻蒸：（被害）中毒3名 平成9年5月 兵庫

発生状況：公会堂の収蔵庫を燻蒸剤を使用して燻蒸していたところ、収蔵庫周辺が目貼りが不十分だったため漏えいし、漏えい箇所の補修工事に従事していた作業者が燻蒸剤を吸入し被災した。

発生原因：労働衛生教育の不十分、呼吸用保護具の不着用があげられた。

- ・平成5年：文化財燻蒸：（被害）中毒2名 平成5年9月 神奈川

発生状況：資料館内において、5名が燻蒸剤（臭化メチル 86%、エチレンオキシド 14%）で投薬作業を行った。翌朝未明に2名が嘔吐し、救急車で病院へ運送され、臭化メチルによる急性中毒と診断された。

発生原因：呼吸用保護具の保守の不備が原因としてあげられた。

- ・平成4年：文化財燻蒸：（被害）中毒1名 平成4年7月 山形

発生状況：博物館内の展示物の燻蒸作業を（臭化メチル、エチレンオキシド）の混合ガスを用いて行った後、目貼りを外す作業を行っていた作業者が十分な換気を行っていなかったため、漏れ出たガスを吸入し、被災した。

発生原因：作業手順の誤り、換気不十分、保護具使用せず、作業主任者の職務遂行せず、安全衛生教育不十分があげられた。

- ・平成2年：文化財燻蒸：（被害）中毒1名 皮膚炎1名 平成2年7月 北海道

発生状況：民家（文化財）全体をシートで覆い、燻蒸剤（臭化メチル+エチレンオキシド）200kgを投薬した。1時間後、ガスの漏えい箇所が発見されたため、シート内に入り補修作業を行うこととした。作業者Aは自給式呼吸器を着用して、容量150ℓでボンベ3本を交換し、約1時間作業した。作業者Bは防毒マスクを装着し、補助作業を担当したが、シートの中に入った時間はわずかであった。補修作業終了後、2名は休憩をとり、濃度測定作業を再開したが、Aは全身に火傷様の皮膚症状が出現し、Bは皮膚障害は生じなかったものの激しい頭痛と吐き気をもよおし、救急車で病院へ運ばれた。Aは腕、首などの皮膚火傷、Bは臭化メチルによる中毒と診断された。

発生原因：①高濃度の燻蒸剤が使用されているシート内に入ったこと。②Aは腕、首などが露出、発汗により臭化メチルが溶解し皮膚障害を生じたものと推定された。自給式呼吸用保護具を着用したために中毒症状は生じなかった。③Bは防毒マスクを着用していたが、高濃度の臭化メチルを吸入し、その効力が短時間で失われ中毒となった。

災害防止：①燻蒸中はシート内に作業者を入れない。②緊急時シート内に立ち入る場合、防毒マスクを使用すること。吸収缶の許容範囲を超える高濃度のガスにばく露されるおそれがある

る場合、空気呼吸器等の自給式呼吸器を使用すること。③防毒マスクの使用に際しては、燻蒸中のガス濃度、吸収缶の破過時間などの除毒能力を十分に検討し、適正な吸収缶の交換を行うこと。④身体の一部が露出しない保護衣などを着用させること。⑤緊急時に際しての作業標準を確立すること。

・昭和 61 年:文化財燻蒸(被害)中毒 1 名

発生状況:美術館収蔵の絵画を、臭化メチル等で燻蒸を行っていたとき、漏えいした臭化メチルを吸入して被災した。

発生原因:設備の不備があげられた。

・昭和 59 年:文化財燻蒸(被害)中毒 1 名

発生状況:美術館倉庫の燻蒸終了後、庫内薬剤の排気作業を行っていた際、排気用の蛇腹ダクトの接続部から薬剤が漏れ被災した。

発生原因:呼吸用保護具を使用していなかったことがあげられた。

(2) 平成 14 年度の文化財燻蒸による災害事例

平成 14 年の労働災害として「労働衛生のしおり」に記載されていなかったが、新聞報道により、労働災害の発生が確認された。

・災害発生日時:平成 14 年 12 月 29 日 14 時 20 分

・災害発生地:福岡県 資料館

・被災者:3 名

・災害概要

民俗資料館ガス燻蒸作業中、臭化メチルを含有するガスを吸入し、3名の作業者が意識不明となった。燻蒸対象外の部屋にボンベをセットし、燻蒸すべく投薬用配管及び対象部屋の目貼りを済ませた。ボンベのバルブを開け投薬を開始したところ、配管用チューブの接続(部)をガムテープで止めていたが、この接続部がはずれガスが漏れ出した。作業者はガスの漏洩に気がつかず、この漏洩が空調の配管を通じて、燻蒸対象の部屋ではなかった作業者の控え室とつながっていたため、燻蒸作業員 3 名が被災した。被災者 2 名は、重篤な状態となった。

(3) 職業性疾病発生事例(検疫、文化財、土壌燻蒸、その他)まとめ

昭和 47 年から平成 14 年の間に発生した文化財燻蒸と、その他臭化メチルによる労働災害事例数と発生原因を、「労働衛生のしおり」の災害事例の各年版から整理した。

・文化財燻蒸(10 件 死亡 1 名 中毒 15 名 皮膚炎 1 名)

発生原因:呼吸用保護具未着用 5 件 労働衛生教育不十分 5 件 燻蒸技術不十分 4 件

・植物検疫燻蒸(9 件 死亡 2 名 中毒 7 名 皮膚炎 2 名)

発生原因:呼吸用保護具未着用 6 件 労働衛生教育不十分 5 件 燻蒸技術不十分 3 件

・その他(製造、第三者など)(8 件 死亡 3 名 毒 7 名)

発生原因：呼吸用保護具未着用 5 件 労働衛生教育不十分 3 件 燻蒸技術不十分 2 件

・土壌燻蒸 (3 件 中毒 2 名 皮膚炎 1 名)

文化財燻蒸と同様に、植物検疫燻蒸でも臭化メチルによる中毒事例が多数発生していることがわかる。発生原因も呼吸用保護具が未着用であること、労働衛生教育が不十分なこと、また、燻蒸技術が不十分なことあげられていた。

2 東京女子医科大学資料による臭化メチル中毒事故事例

植物検疫燻蒸および土壌燻蒸の危害防止を指導している(社)日本くん蒸技術協会では、臭化メチル中毒が発生した際、東京女子医科大山野優子先生(現在、昭和大医学部へ異動)へ連絡し、血中臭素、尿中臭素を測定しながら、医師と連携を結んで治療を行うよう指導してきた。そこで、過去に報告された事故例を表 3-1 に示す。燻蒸における災害事例が毎年のごとく発生し、労働衛生の分野において注目されている化学物質であったことがわかる。

表 3-1 東京女子医大で確認したくん蒸別臭化メチル中毒者の推移(山野優子先生提供)

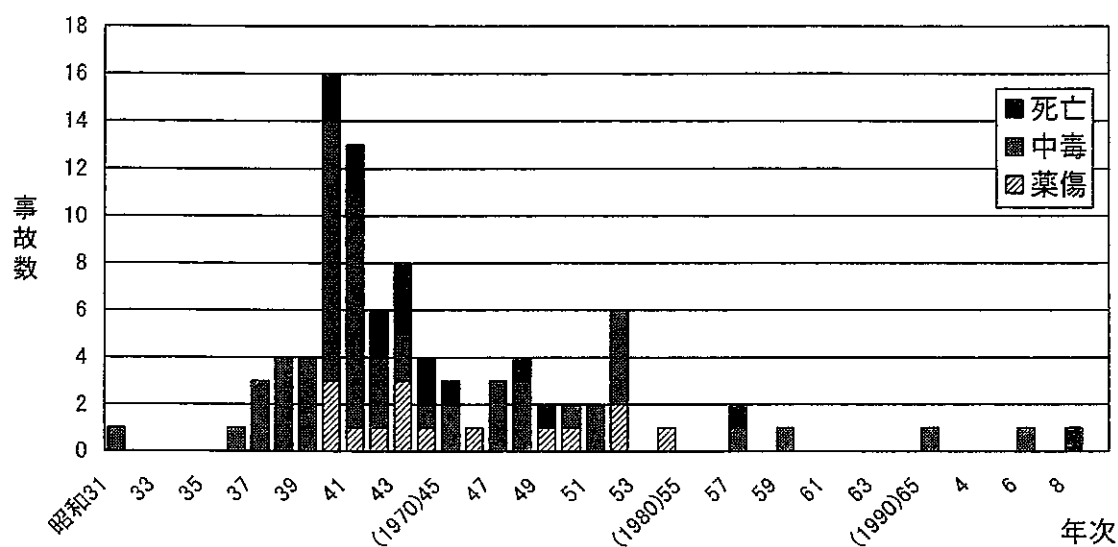
年 燻蒸	82 83	84 85	86 87	88 89	90 91	92 93	94 95	96 97	98 99	00 01	02 03	04	合計
検疫	0	1	0	0	1	4	2	4 (1)	1	2	2	0	17 (1)
文化財	1	1 (1)	4	0	0	6	3 (1)	1	5	6	3	0	30 (2)
土壌	0	1	16	1	3	0	1	4	6	7	4	3	46
その他	0	0	1	15	0	0	0	3 (3)	0	2	0	0	21 (3)

() 内は死亡者数を示す。総合計 114 名(6)

3 植物検疫燻蒸におけるばく露防止の対応

植物防疫所がまとめた植物検疫燻蒸における年次別臭化メチル災害事例を図 3-1 に示す。植物検疫燻蒸では 1950 年(昭和 25 年)から臭化メチルを使用し始め、その後、燻蒸場所、燻蒸件数、燻蒸量が増加した。1965 年(昭和 40 年)前後、臭化メチルによる中毒事故が多発したため、原因の究明を行い、それらの対策と責任の所在を明らかにした。そして、1968 年(昭和 43 年)に、農林水産省は植物検疫燻蒸における危害防止対策要綱を制定し、細かく作業標準を示すとともに、それらを徹底するために、作業者に対する危害防止の講習会を実施してきた。その後、1971 年(昭和 46 年)には特定化学物質等障害予防規則が制定され、臭化メチルが第 2 類物質に指定されたことにより同規則によるばく露防止規則を受けることとなった。1977 年(昭和 52 年)(社)日本くん蒸技術協会(日くん協)が設立され、1978 年(昭和 53 年)植物検疫燻蒸における労働衛生学的調査が開始され、作業者のばく露実態の把握を行った。併せて、燻蒸会社の責任者に相当する植物検疫総括責任者に対する危害防止に対す

る講習会が開催された。1980 年（昭和 55 年）植物検疫燻蒸作業主任者専門講習再講習を日くん協が実施することとなり、植物検疫燻蒸作業主任者は 3 年ごとに講習を受講することが義務付けられている。この講習では、労働衛生 3 管理の重要性、作業標準の徹底、呼吸用保護具の適正使用や危険予知訓練の導入などの教育が行われる。その成果が反映してか、臭化メチルによる中毒事故数が急激に減少していった。



*昭和 31 年から 39 年には死亡 2 名が含まれる。

図 3-1 植物検疫くん蒸における災害事例

（日本くん蒸技術協会発行平成 15 年度臭化メチル安全使用に係る講習会テキスト参照）

4 なぜ、燻蒸で中毒事故が多発するのか

図 3-2 より、植物検疫燻蒸および、文化財燻蒸とも、燻蒸中のガス濃度は 10000ppm (1%) を超える濃度を使用する。それに対してヒトへの健康影響が発生するのは 1ppm 前後（各燻蒸剤のばく露限界値；ACGIH の TLV-TWA あるいは日本産業衛生学会の許容濃度を参照、その意味については次頁の「ばく露限界値、許容ばく露限界、許容濃度について」を参照。）^{注)}であり、ここまで濃度を下げるための対策、対応が不十分なとき、中毒事故が発生する。それ故、中毒事故発生とは紙一重の作業環境で作業が行われていることとなる。

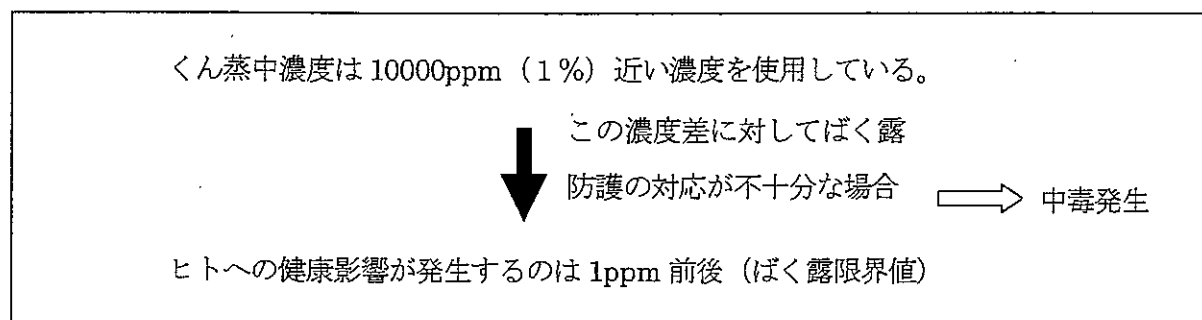


図 3-2 燻蒸作業で中毒が多発する原因

同じような燻蒸作業であるが、植物検疫燻蒸と文化財燻蒸の作業者ばく露における違いについて検討してみた。

- (1) 施設の気密度：植物検疫燻蒸で使用する倉庫は、植物防疫所でガス保有力を調べて、漏れの少ない施設を使用している。文化財燻蒸ではガス保有力をチェックすることが行われておらず、燻蒸剤の漏れが生じやすい。そのため、『目張り』を含めた燻蒸技術が重要となるが、燻蒸会社、燻蒸作業者の経験の差により、大きく異なる。
- (2) ばく露防止に関する規則：臭化メチルについては特定化学物質等障害予防規則による規制があるほか、植物検疫燻蒸においては危害防止対策要綱があり、それに基づいてきめ細かく指導され、実践されている。それに対して文化財燻蒸は法規以外に上記要綱に類するものがない。
- (3) 作業者へのばく露防護のための教育：植物検疫作業主任者の再講習において、作業者の呼吸用保護具の適正使用、漏えい時の対応、万一、ばく露したときの対応等の作業者への危害防止に関する衛生教育が行われている。

一方、文化財燻蒸のばく露防護対策は、まだ、十分に確立されてされておらず、ばく露防護に対するシステムを改善、構築することが必要である。

第4章 文化財燻蒸におけるばく露防護

1 作業者のばく露量の削減

作業者のばく露量を計算式で表すと、

ばく露量 (mg/日) =

作業者ばく露濃度 (mg/m³) × 呼吸速度 (m³/時間) × ばく露時間 (時間/日)

左辺のばく露量を減少させるには、右辺の「作業者のばく露濃度の減少」、「呼吸速度を下げる」、「高濃度ばく露する可能性のある作業時間を少なくする」ことが必要である。

- (1) 作業者ばく露濃度：文化財燻蒸における作業者のばく露は投薬とガス抜きだけでなく、燻蒸中の周囲に漏えいした燻蒸剤によることが多い。投薬では代替燻蒸剤の物理化学的性質をふまえて、安全に投薬する方法を確立する必要がある。そして、作業者周囲へ漏えいした際に警報を発する連続測定器を装備することが重要である。安易に濃度が低いと思って保護具を着用しないで作業を行っていることが中毒を発生させている。ガス抜き作業では、燻蒸剤を捕集、除去した上で大気放出を行うことが必要である。
- (2) ばく露時間：高濃度ばく露が予想される作業、投薬やガス抜きの作業時間を短縮するのは有効な方法である。
- (3) 呼吸速度：呼吸速度を少なくすることは難しく、それに相当するのが呼吸用保護具の使用になると考える。実際の文化財燻蒸で作業者がばく露を防護するには、呼吸用保護具の使用が重要である。

2 労働衛生保護具の選定、設置及び使用教育

作業者のばく露防止のためには、呼吸用保護具を始めとする労働衛生保護具の選定、備え付け並びに使用教育が重要である。

労働衛生保護具には多くの種類があり、燻蒸作業には不適当なものもあるので、選定に際しては、十分に注意しなければならない。

(1) 呼吸用保護具

呼吸用保護具は、作業環境中に存在する有害物質が、そこで作業する人の健康を損なう恐れのある場合に用いられる。

教育により、作業者に保護具の特性、正しい装着方法を理解し身につけさせる必要がある。従って使用に際しては、不安なく、自信をもって作業に当たれるような状態を常時、維持しておかなければならない。これが満たされていないと思わぬ事故の原因となることが少なくない。特に、呼吸用保護具の面体と作業者の顔面との密着性（フィットネス）を高めるように装着することが

きわめて重要である。このため、正規の装着訓練を、少なくとも、1年に2回、実施することが望ましい。

ア 種類

呼吸用保護具は、その用途により、さまざまな種類がある。その概要は、図4-1の系統図に示すとおりである。

イ 種類別の特徴

燻蒸作業に適する呼吸用保護具の特徴、留意点を下記に示す。

(詳細及びその他の呼吸用保護具については、「保護具ハンドブック」参照)

(ア) 防毒マスク

作業環境中に存在する有毒ガスや蒸気を吸収缶内の薬剤で無毒化し、装着者が清浄化された空気を吸入できるようなマスクで、粒子状物質が混在する作業環境で利用できる防じん機能付きのものもある。

a 防毒マスクの種類

防毒マスクは、隔離式、直結式、直結式小型に大別されるが、燻蒸作業には、大型の吸収缶が付属する隔離式を選定すべきである。

吸収缶には、燻蒸剤別に適否があるので、選別には、以下に記載した留意が必要となる。

b 適合する吸収缶の種類

燻蒸剤に対する吸収缶は、一般に、有機ガス用が考えられているが、専用吸収缶のほうが、破過時間がはるかに長いので選定に際しては注意が必要である。

それぞれの燻蒸剤に適した吸収缶を表4-1に、それぞれの吸収缶の破過曲線図を、図4-2～図4-5に示す。

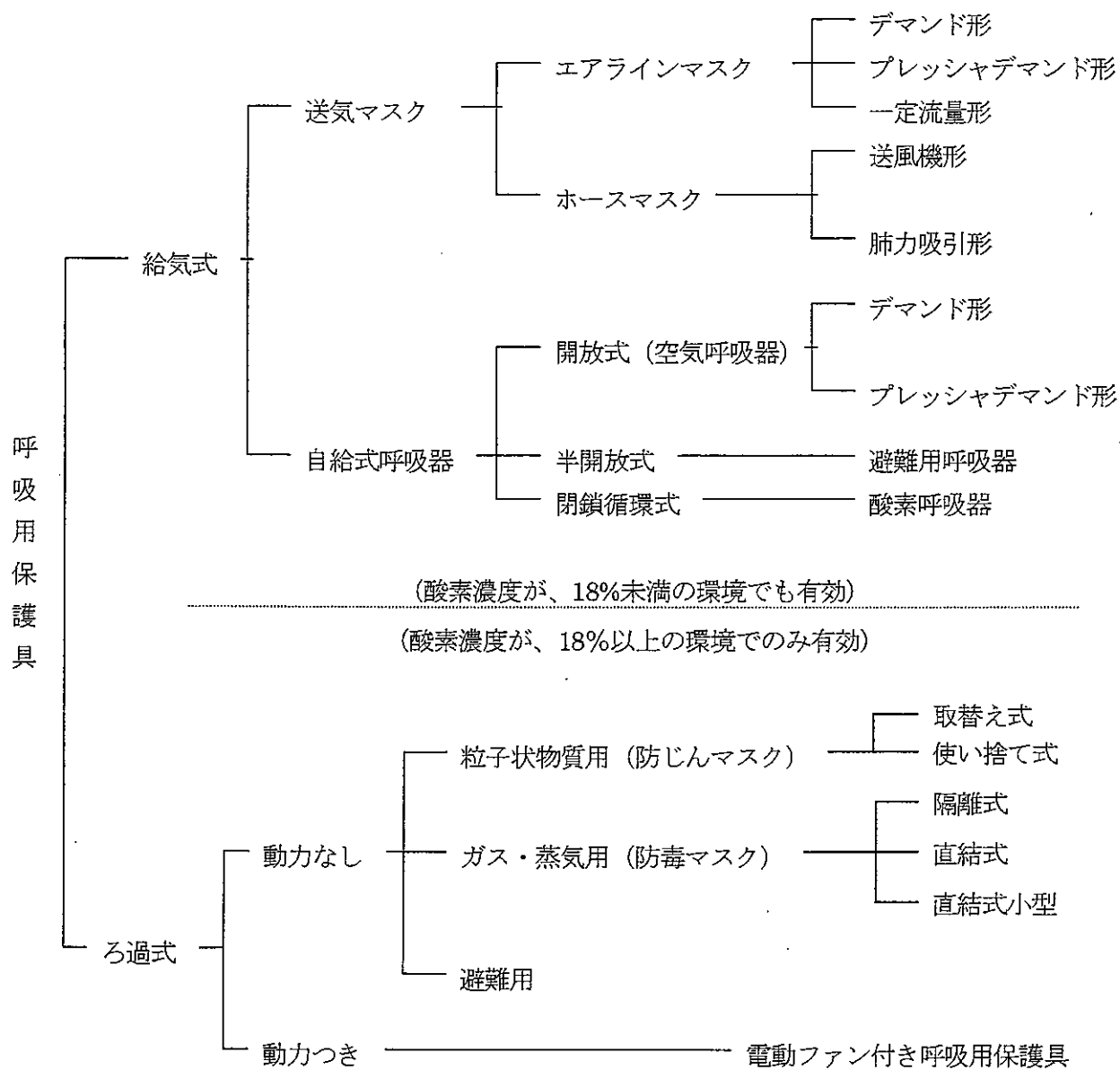
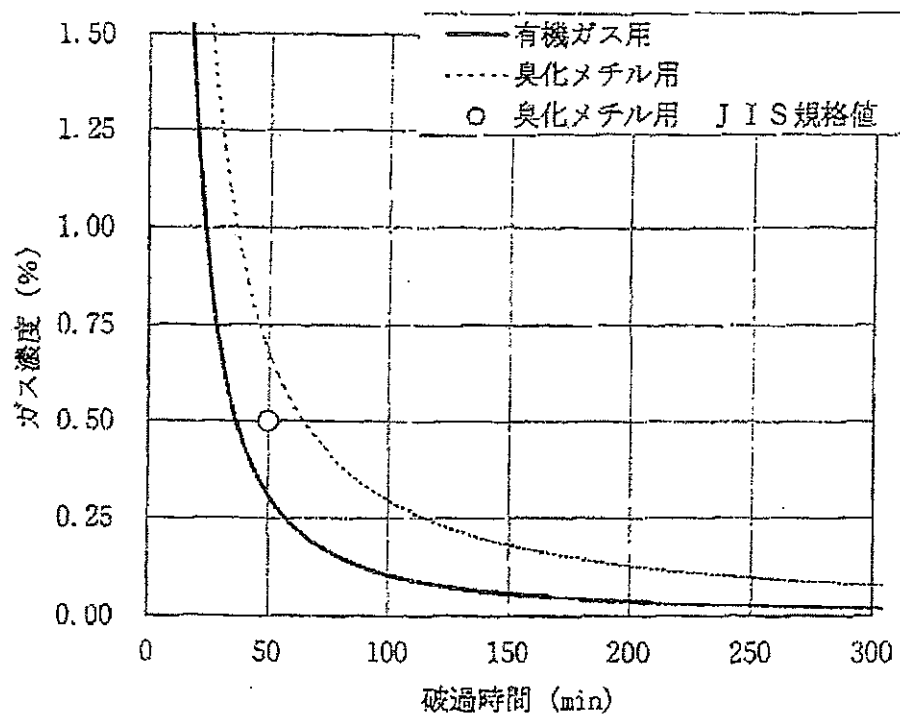


図4-1 呼吸用保護具系統図

表 4-1 それぞれの燻蒸剤に適した吸収缶

燻蒸剤の名称	適した吸収缶	備 考
臭化メチル	臭化メチル用	有機ガス用の破過時間は、約 1 / 2
エチレンオキシド	エチレンオキシド用	有機ガス用の破過時間は、約 1 / 8
プロピレンオキシド	プロピレンオキシド用	有機ガス用の破過時間は、約 1 / 2
ヨウ化メチル	ヨウ化メチル用	有機ガス用の破過時間は、約 1 / 2

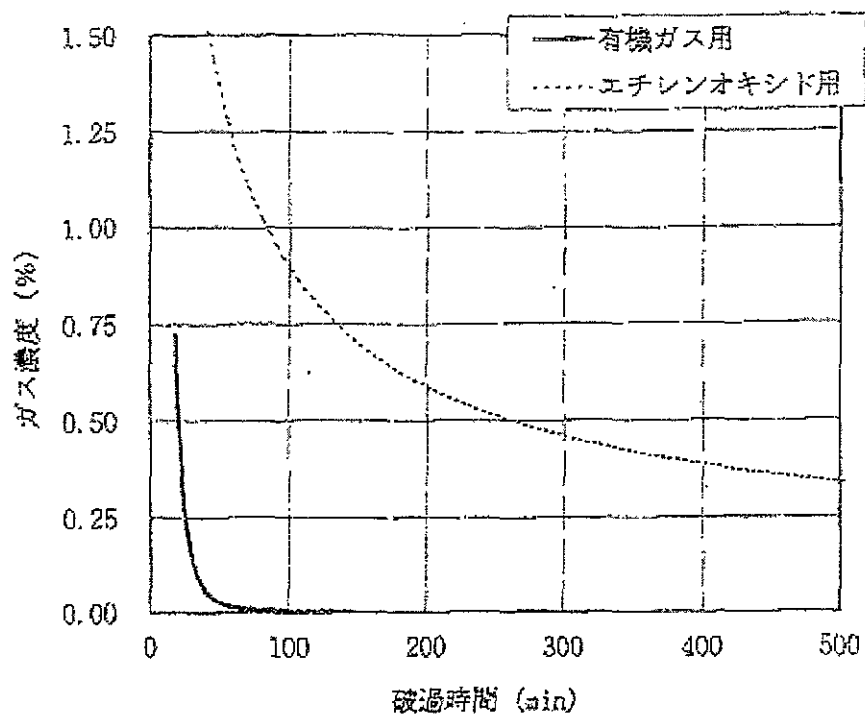
(注) フッ化スルフリルは、沸点が極端に低いので適応する吸収缶がなく、防毒マスクでは、対処できないので、フッ化スルフリルを使用する場合は、後述の給気式呼吸用保護具を使用する必要がある。



吸収缶	隔離式	
	有機ガス用及び臭化メチル用	
試験ガス	臭化メチル(CAS No.74-83-9)	
通気流量	30	L/min
最高許容透過濃度	5	ppm
通気温度	20±1	℃
通気湿度	50±2	%RH

図4-2

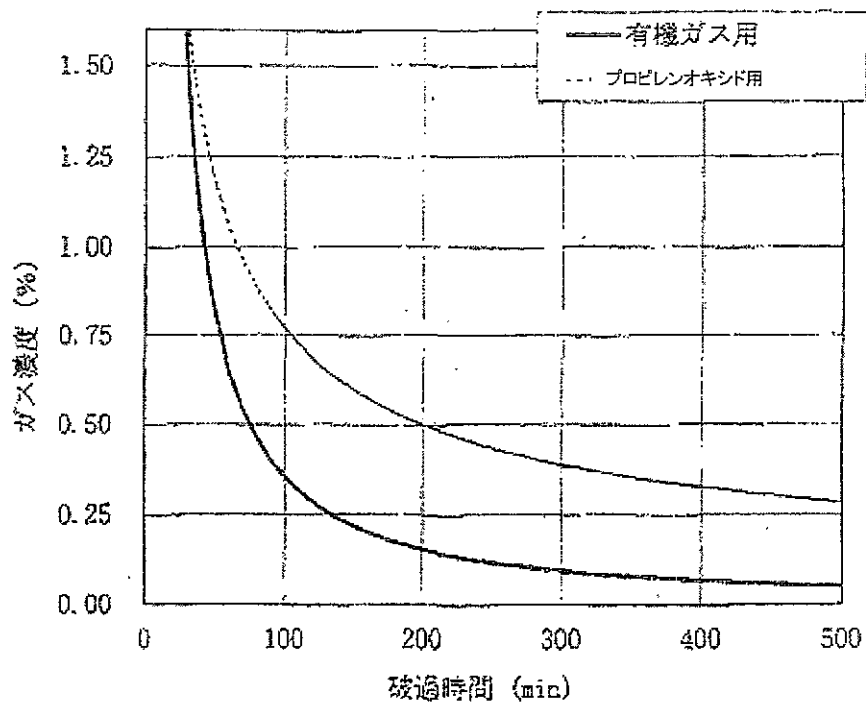
有機ガス用及び臭化メチル用吸収缶の臭化メチルに対する破過曲線
 (含安全率)



吸収缶	隔離式	
	有機ガス用及びエチレンオキシド用	
試験ガス	エチレンオキシド(CAS No.75-21-8)	
通気流量	30	L/min
最高許容透過濃度	1	ppm
通気温度	20±1	℃
通気湿度	50±2	%RH

図4-3

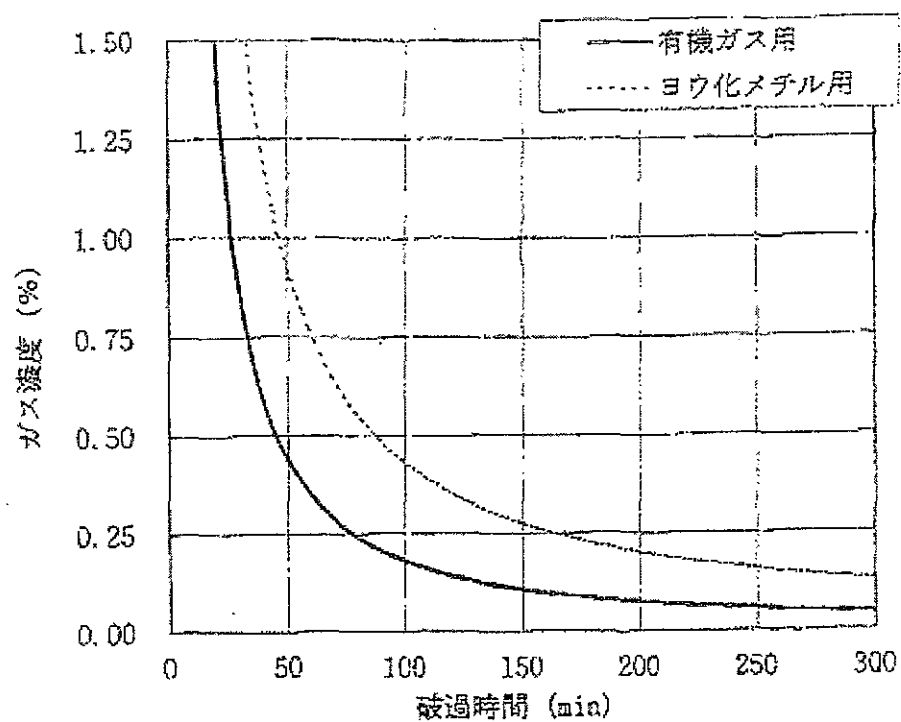
有機ガス用及びエチレンオキシド用吸収缶のエチレンオキシドに対する破過曲線
(含安全率)



吸収缶	隔離式	
	有機ガス用及びプロピレンオキシド用	
試験ガス	プロピレンオキシド(CAS No.75-56-9)	
通気流量	30	L/min
最高許容透過濃度	2	ppm
通気温度	20±1	℃
通気湿度	50±2	%RH

図4-4

有機ガス用及びプロピレンオキシド用吸収缶のプロピレンオキシドに対する破過曲線
(含安全率)



吸収缶	隔離式	
	有機ガス用及びヨウ化メチル用	
試験ガス	ヨウ化メチル(CAS No.74-88-4)	
通気流量	30	L/min
最高許容透過濃度	2	ppm
通気温度	20±1	℃
通気湿度	50±2	%RH

図4-5

有機ガス用及びヨウ化メチル用吸収缶のヨウ化メチルに対する破過曲線
(含安全率)

c 面体の種類

防毒マスクの主要構成部分の一つである面体には、全面形と半面形の2種類がある。

防毒マスクを使用する場合、面体と顔面との隙間からの漏れ込みは無視できない。防毒マスクは、陰圧型で、吸気した場合、面体内部が陰圧になるので、面体と顔面との隙間からガスが漏れ込んでくることは避けられない。漏れ込んでくる量は、以外と大きく、全面形面体でも、1%程度に達することは珍しくない。半面形面体は更に大きくなるから、比較的、濃度が高くなる燻蒸作業の場合は、全面形面体を使用すべきである。しかしながら、濃度が非常に高いことが予想される場合は、顔面と隙間からの漏えいが僅かであっても、作業者に有害な影響を与えることが懸念されるので、陽圧型（吸気の際でも、面体内が陽圧になる形式の給気式呼吸用保護具）を使用することが望ましい。

（イ）給気式呼吸用保護具

給気式呼吸用保護具とは、作業環境の空気とは別の空気又は酸素を呼吸する形式の呼吸用保護具である。面体については、防毒マスクに準ずるが、送気マスクであって、送風量が十分であり、内部の陽圧が維持できるのであれば、フード型を使用してもよい。ただし、作業環境中の状態が、人間の生命・健康に直ちに危険な場合には使用してはならない。

給気式呼吸用保護具は、陽圧型と陰圧型に大別でき、陰圧型は防毒マスク同様に顔面と隙間からの漏えいがある。燻蒸作業で使用されると思われる給気式呼吸用保護具の特徴は下記のとおりである。

a 空気呼吸器

高圧の空気を充填した容器（ボンベ）を背負い、その空気を減圧器、調整弁を通して呼吸するもの。充填する空気量（300～2,400L）により、使用時間（5～60分）が変わる。陽圧型（プレッシャデマンド形）と陰圧型（デマンド形）に大別される。いずれも、全面型面体を使用すべきであり、濃度が高いところでは、プレッシャデマンド形を使用することが望ましい。

b 送気マスク

空気源（コンプレッサー、送風機等）からの空気をホースを通して、作業者に送る形式の呼吸用保護具で、エアラインマスク、ホースマスクの2種に大別される。いずれも空気源が、作業環境に近いので、空気源に汚染空気が流れ込まないように特に留意する必要がある。

（a）エアラインマスク

エアコンプレッサー、高圧空気容器からの空気を高圧ホースを通して、送る形式のマスクで、一定流量形、プレッシャデマンド形、デマンド形の3種に分けられる。前の二者が陽圧型として使用できるから、濃度の高いところでは、これらを用いることが望ましい。作業環境中にあらかじめ、接続できるよう配

管をしておく、コンセントから電気を取るように、差込むだけで空気が取れるので便利なだけでなく、安全である。なお、エアラインマスクの場合は、高温下の作業用に冷風をフードや面体内に供給することのできるボルテックスチューブ付きもある。

(b) ホースマスク

送風機形と肺力吸引形がある。送風機形は陽圧型として使用することが可能であるが、肺力吸引形は陰圧型であるため、及びホースが短いため、作業環境の空気を吸い込む恐れがあるので、燻蒸作業には使用しないことが望ましい。

ウ 呼吸用保護具の使用上の留意点

(ア) 呼吸用保護具に関する教育

使用させる呼吸用保護具については、その原理、防御性能、一般的な注意事項を事前に教育すると共に、装着訓練を、少なくとも、1年に2回、実施し、作業者が常に正しく装着できるように指導しなければならない。

(イ) 管理、点検整備

呼吸用保護具を日常、正しく点検し整備しておくことは事故防止上、絶対に必要な事項である。

a 日常点検

日常点検（作業前点検）を励行させ、呼吸用保護具が良好な状態に保たれていることを常時、確認しておかなければならない。点検に際しては、作業前に使用する呼吸用保護具について、点検項目に従って、点検を行った後、装着及び使用方法について、十分に指導すると共に訓練をすること。作業中、使用すべき呼吸用保護具の着用状況の監視を行うこと。

b 定期点検整備

あらかじめ定めた日程に従って、定期的な点検整備を、少なくとも、1年に2回、実施する。

c 点検計画

定期点検及び日常点検（作業前点検）については、計画的に指導する必要がある。ただし、定期的な点検整備を外注する場合は、その部分の教育を省略してもよい。

(2) 化学防護服（旧 労働衛生保護服）

化学防護服は、皮膚から侵入する劇毒物から人体を保護するための服であり、手袋、長靴と共に用いる。化学防護服には、いくつかの種類があるが、いずれも換気が悪いので蒸し暑く、特に夏季の装着は苦難を伴う。この対策としては、作業時間の短縮、ボルテックスチューブによる個

人冷却、冷媒の利用等があるが、塩分の補給等、熱中症対策も忘れてはならない。各燻蒸剤に対する化学防護服の選定については、第5章4 各燻蒸剤における作業標準で後述する。

3 ばく露防止対策

(1) 目張り技術の習得

燻蒸施設の密閉度は低いことをふまえると、燻蒸効果およびばく露防護のためには、燻蒸前に行う「目張り技術」が重要である。そして、燻蒸会社および燻蒸作業者の燻蒸経験により、差が大きいと考えられる。この目張り技術を教育することが、ばく露軽減、中毒防止に結びつくと考えられる。

燻蒸施設からの漏えいを出来るだけ少なくする技術の習得、工夫が必要である（透過しにくい素材の使用、目張りの技術）

(2) ガス濃度測定

(漏えいする燻蒸剤の経時的なガス濃度の測定器および警報器を、作業者が滞在したり、見回ったりする場所に設置する。また、作業者が呼吸用保護具を外している休憩場所や監視場所（仮眠をとる場所）にも設置することが必要である。

また、燻蒸施設の周囲に立ち入る時（投薬からガス抜きまで）は、作業者にばく露濃度監視モニター（警報装置付き）を胸元に装着して作業を行うようにする。

(3) 呼吸用保護具の装着

使用する吸収缶は、対象燻蒸剤に対する破過時間の測定されているものを使用するようにする。通常は投薬時にのみ、呼吸用保護具を装着しているが、燻蒸中、燻蒸施設に立ち入るときは、燻蒸ガスが漏えいしているものと認識し、呼吸用保護具を装着するように指導する必要がある。

(4) 作業者のばく露濃度測定（NIOSH：Manual of analytical methods 等）

(作業者のばく露状況を把握するために、個人サンプラーによる測定方法を確立し、測定することが必要である。とりわけ、初めて代替物質による燻蒸作業を行うときは、ばく露調査を実施し、作業が安全に行われているか、チェックする。

(5) 特殊健康診断項目の作成と実施

臭化メチル代替物質において、ヨウ化メチル（特定化学物質障害予防規則第二類物質）を除き、その影響を把握するための健康診断項目（生物学的モニタリングを含む）を検討し、6か月ごとに健康診断を実施する。臭化メチル、ヨウ化メチルの健康診断は法規に基づいて実施するが、更に、生物学的モニタリング（尿中臭素および、尿中ヨウ素）を加えるようにする。

(6) 応急措置の対応

万一の高濃度ばく露における対応として、応急措置、治療法などを明確にし、指定病院を決め医師との連携を密にする。臭化メチル代替物質に対する応急措置、治療法については専門の医師と相談し、マニュアルを作成する。

(7) 労働衛生教育の徹底

病虫害を殺すために使用する燻蒸剤は、ヒトの健康にも影響を及ぼすことを作業者に認識させる必要がある。そのためには、各燻蒸剤の化学物質等安全データシート(MSDS)を活用した教育を行う。更に、作業標準に従った作業(4を参照)、漏えい時の対応、呼吸用保護具の適正使用などのばく露軽減策を教育する。

4 各燻蒸剤における作業標準

(1) 臭化メチル(メチルブロマイド)

ア 主な性状：

成 分：臭化メチル(メチルブロマイド) Methyl bromide

CAS No: 74-83-9

分 子 式： CH_3Br

分 子 量：94.94

沸 点： 4.5°C

外 観：無色の液体

臭 気：クロロホルムまたはエーテル様の弱い臭いがある(低濃度では臭いがなく、高濃度を吸入すると強いカビ臭がする)。

融 点： -9.3°C

比 重：液体 1.732 (0°C)

相対蒸気密度：3.3 (空気=1)

爆発限界：爆発性・引火性ほとんどない。10~16vol% (空气中)

潜 熱：61.52cal/g

溶 解 性：水に 1.75g/100g (20°C)、アルコール・エーテル・クロロホルム・二硫化炭素など有機溶剤によく溶解する。

蒸 気 圧：195.5 kPa (1466.8mmHg) (20°C)、87.84kPa(659mmHg)(0°C)

イ ばく露限界等

許容濃度： 1ppm (日本産業衛生学会)、TLV-TWA 1ppm(ACGIH)

管理濃度：5ppm

ウ 薬剤の特徴

・文化財に対する薬害が比較的少ない。ただし、硫黄(S)を含有する材料、すなわち、皮革・毛皮・毛織物・ゴム製品・写真材料・青焼きコピーなどにメルカプタン様臭気を生じることがある。特に含水量が多い場合や湿気の高い時にその傾向があり、乾燥状態ではほとんど起こらない。万一臭気がついても、しばらく放置しておくでぬけていく。急を

要するときは減圧装置で数回減圧すると速くぬける。また、活性炭による吸着除害も有効である。

- ・引火性・爆発性がほとんどない。むしろ消火性がある。
 - ・吸着性が割に少ない。
 - ・浸透性は比較的よい
 - ・沸点は 4.5℃で、低いほうであるから、気温の低い時期でも使用できる。燻蒸は高温時ほど有効であることは言うまでもないが、諸種の事情でどうしても低温時に実施しなければならないときがある。このような場合は暖房するか、燻蒸時間を延ばさねばならない。文化財の燻蒸では薬害のおそれがあるので、原則として気化器を使用するので、沸点はあまり問題にならない。
 - ・殺虫力・殺卵力も強い。
- (殺菌力は、標準使用量では期待できない。標準使用量の 10 倍以上でないとエチレンオキシドに及ばないので、殺菌をかねる場合には殺菌効力もある燻蒸剤を混合して用いる。
- ・人体に対する毒性もかなり強いので、慎重に実施しなければならない。

エ 標準投薬量

燻蒸方法	気温 (℃)	燻蒸時間 (hr)	標準投薬量 (g/m ³)
被覆燻蒸	25～30	24	35～50
密閉燻蒸	〃	〃	30～40
燻蒸庫燻蒸	〃	〃	25～30
包み込み燻蒸			25～30
減圧燻蒸 5.3～8.0kPa (40～60mmHg) 15 分減圧	25～30	3～4	20
20kPa(150mmHg) 15 分減圧	25～30	4～5	20

- ・いずれの場合も、空間均一ガス濃度を 20g/m³以上に保持する。
- ・冬季低温時には薬量を倍増するか、燻蒸時間を 2～3 倍に延長する。
- ・密閉・燻蒸庫・包み込み燻蒸でガス漏れがある場合や吸着量が多い場合は、薬量を増加して空間均一濃度を 20g/m³以上に保つ。

オ 燻蒸方法

本剤を用いた燻蒸方法は、常圧燻蒸法または減圧燻蒸法を適用する。常圧燻蒸法は①被覆燻蒸法、②密閉燻蒸法、③燻蒸庫燻蒸法、④包み込み燻蒸法の 4 種とする。

(ア) 常圧燻蒸法

a 被覆燻蒸法

本法は野外において大型文化財建造物や屋内において小形文化財を1か所に集めてシートで被覆して行う文化財害虫の駆除に適用する。

- (a) 被覆シートは厚さ 0.1mm 以上のガス透過性の少ないポリエチレンまたはポリ塩化ビニル製シート、ネオプレンびきナイロン、ビニールびきナイロン製シート、またはこれらと同等またはそれ以上の性能をもつものを用いる。ガスバリア性の優れているエチレン・ビニルアルコール (EVOH) 積層シート (バリヤクロスシート) もある。なお、薄手のシートは二重にして使用する。
- (b) 被覆シートの接合方法は、接着法と巻込み法があり、接着法は被覆シートの材質に適した接着剤ならびに接着法による。バリヤクロスシートのように熱溶着が可能なものは、ハンドシーラーを用いて溶着して接合する。建造物などを屋外で被覆燻蒸する場合は被覆シートの裾を土中に埋めたり、土砂をかぶせる方法のほか、ウォータースネークやサンドスネークなど配置して密着させガス漏れを防ぐ。屋内で移動できない文化財の場合は、被覆シートを床面にテープ等で確実に密着させる。
- (c) 文化財を損傷しないように、原則として足場や支柱で枠組みを行い、その上からシートで被覆する。被覆シートが破れるおそれのある箇所にはパッドをとりつけて破損を防止する。
- (d) 使用薬量は、燻蒸容積、燻蒸時間、気温、被覆性能、燻蒸対象物などを考慮して決定する。

b 密閉燻蒸

本法は、鉄筋コンクリート造 (コンクリートの厚さ 15 cm 以上) など比較的気密性の高い構造で、ガス漏れ部分の少ない建造物で行う方法で、建造物全体または建造物の一部に適用する場合がある。

- (a) 密閉方法は出入口や窓など開放部分や配管の貫通部などガス漏れ部分はフィルムシートや粘着テープを用いて目張りするか、コーキング剤などを使用してガス漏えいしないようにする。
- (b) 目張り材料は、できるだけガスバリア性の高い材料を使用し、接着部分はガス漏えいの少ない幅広粘着テープ (ガムテープ) を用い、ガス漏れのおそれのある場所では二、三重張りとする。
- (c) 投薬時にガス圧がかかり、ガス漏えいが多くなるので、投薬量に応じて、投薬口から離れた位置にガス抜き口を設けるか、バルーンを使用するなどして内圧を下げ、隣接する施設内にガス漏えいしないように配慮する。
- (d) 一般に被覆燻蒸よりガス漏えいは少ないが、使用薬量は燻蒸容積、燻蒸時間、気温、燻蒸対象物などを考慮して決定する。

c 燻蒸庫燻蒸法

施設内の内外に特別の専用燻蒸庫（室）が設置されているときに適用する。燻蒸庫（室）は原則としてガス漏えいは起こらないが、使用薬量は燻蒸対象物の容積、材質、燻蒸時間、温度などによって調節する。

d 包み込み燻蒸

美術工芸品など小型文化財で少量の場合に適用する。多くは室内で燻蒸するので、ガス漏えいしないように特に厳重に密封する。

(a) 包み込み方法は、燻蒸対象物の大きさに応じて、これが入る程度よりやや大き目にあらかじめガスバリア性の高いプラスチックフィルムで二、三重の袋をつくる。その袋に燻蒸対象物を入れて、さらにガス導入管と濃厚な導入ガスが燻蒸対象物に直接当たらないように、ぼろ布・ぼろ紙を詰めた小型段ボール箱を入れてガス導入管先端のノズルをこの中に固定する。燻蒸効果判定用のテストサンプルと濃度測定用のチューブを挿入し、ガムテープでガス漏れがないように入念に貼り合わせる。

(b) 使用薬量は前述の密閉燻蒸法に準じて行う。

(イ) 減圧燻蒸法

本法は、真空装置 Vacuum chamber に燻蒸対象物を入れ空気を抜いて減圧状態にして燻蒸する方法である。したがって、真空装置に入る程度の大きさで、減圧による影響の少ない文化財の燻蒸のみに適用する。

(a) 減圧の程度は燻蒸時間の短縮と関係するが、5.3～8.0kPa（40～60mmHg）が有効で、臭化メチル 20g/m³を導入し、減圧状態のまま約 15 分間保持した後、常圧にもどし、燻蒸時間 3～4 時間後に排気し常圧にもどしてから真空装置の扉を開く。減圧による影響が懸念される場合は減圧度を少なくする。19.9kPa(150mmHg)では 20g/m³で 4～5 時間を標準とする。

カ 燻蒸作業の注意事項

(ア) 燻蒸を行う施設は、十分な気密性を確保できる施設であるか事前によく調査し、漏えい防止措置が可能な施設のみ実施する。

(イ) 投薬の際は、必ず気化装置を使用する。気化装置は使用薬剤を十分、安全に気化する能力のあるものを使用する。薬剤を安全にガス状にして投薬しないと文化財を汚損することがあるので十分注意する。

(ウ) 薬剤容器は必ず立てて使用する。

(エ) 電源など着火源となるものは遮断して使用する。

(オ) 密閉作業完了後、投薬予定量の 1/10 以下の臭化メチルガスを予備導入し、ガス漏れを入念に検知器で調べる。ガス漏れ箇所が確認されたら直ちに補修する。

(カ) 投薬後は、ガス攪拌装置やガス循環装置などを用いて速やかにガスの均一化を図る。

- (キ) 燻蒸作業中は必ず呼吸用保護具・手袋等の労働衛生保護具を使用する。
- (ク) 燻蒸中は、燻蒸箇所のまわりに柵やロープを張り「燻蒸中、危険につき立入禁止」の表示板を少なくとも4面に各2か所以上、計8枚以上をかかげて関係者以外立ち入らないようにする。
- (ケ) 作業中は周囲での喫煙、飲食は厳禁し、ガス吸入しないよう注意する。
- (コ) 燻蒸処理施設や作業環境は、十分な通気・換気をはかり、作業環境をばく露限界濃度1ppm (ACGIH TLV-TWA) 以下に管理する。
- (サ) 燻蒸終了後は、残留ガス処理装置を用いて、ガス濃度を十分低減して屋外へ排気する。
- (シ) 燻蒸処理施設や燻蒸対象物によっては、残留ガスが徐々に放出されることがあるので処理後2、3日は十分換気を行う。
- (ス) 本剤は毒物および劇物取締法により劇物に指定されており人畜に対し毒性が強いので取扱いには十分注意する。

キ 燻蒸作業の適用機材

- (ア) 燻蒸剤：臭化メチル製剤は2004年で製造中止となり、現在は製造されていない。但し、農薬登録の有効期限より、2年間使用可能である。
- (イ) 被覆用シート：前述のように各種のプラスチックシートが市販されているが、厚さ0.1mm以上のガスバリア性の高いものを選び、薄手のものは二重にして使用する。
- (ウ) 防毒マスク：全面形面体に隔離式吸収缶を装備した防毒マスクを用い、吸収缶は臭化メチル専用を使用する。吸収缶はある薬剤がコーティングされた活性炭が主剤となっており、臭化メチルを吸収すると重量が増すが、表示重量（製造当時の総重量）の7%を超えた場合は新しい吸収缶と交換しなければならない。なお、各吸収缶に記載されている注意事項をよく読んで守らなければならない。
- (エ) 化学防護手袋 ゴム手袋（ネオプレン、ラテックス等）
- (オ) 気化機：燻蒸剤を完全に気化して導入しないと文化財に薬害が起こるので、文化財の燻蒸には必ず気化器を使用する。臭化メチル専用の気化器は熱源としては電熱式と灯油式が市販されている。
- (カ) 濃度測定器：投薬時に使用するガス濃度測定器としては、一般に干渉計型ガス検定器が多く使用されている。これはガスの屈折率と空気の屈折率と異なるのを利用したもので、干渉計型ガス検定器には18型と21型があり、前者は0～100mg/l、後者は0～30 mg/lの範囲のガスが測定できる。
- (キ) ガス漏れ検知器：ガス漏れ検知器は各種のものが市販されている。燻蒸中やガス排出中における室内・屋外環境の経過的測定用として臭化メチル漏えい検知モニターFP-250AGなどがある。

(ク) 検知管測定器：検知管測定器は、いずれも低濃度用で、ガス漏れ検知に使用される。臭化メチル用検知管としては、0.5～10ppm (157SC)、や 1.0～36ppm (136LA) などがある。

(ケ) ガス攪拌装置、ガス循環装置：投薬後のガスの速やかな拡散均一化を図るために、ガス攪拌装置または循環装置を使用しなければならない。攪拌装置は臭化メチルの場合、普通の扇風機でよいが、できれば軸流ファンがよい。循環装置は燻蒸空間内の上下層のガスを速やかに循環均一化させる装置で、直径 20～30 cm くらいのプラスチックフィルムで風道をつくり、扇風機や軸流ファンで人工的に送風するもので、それぞれの現場に適したものを工夫して能率的なものにするとよい。

(コ) 残留ガスの処理：残留ガス処理装置を使用するなどしてできるだけガス濃度の低下に努める。そして風向・風速・周囲の状況などを考慮して、ガスを放出しても危険のない方向の被覆シートの一部を開放し、残留ガスを徐々に大気中に放出するように心がける。

ク 中毒症状

臭化メチルによる中毒症状はガスの吸入量や吸入時間、患者の体力や体調などによっても差異があるが、一般的な中毒症状をまとめると、次の表のとおりである。

臭化メチルによる中毒症状

中毒の程度	症 状	備 考
ごく軽症	食欲不振、悪心、軽い頭痛 (発作はみられない)	ガスの吸入を止めれば症状は消える。
軽 症	いらいらする不快感、頭痛、眼の痛み、悪心	酒の飲みすぎや煙草の吸いすぎなどと誤解されやすい。
中等度	頭痛、おう吐、めまい、複視、四肢運動障害、歩行障害、チアノーゼ（血液が酸素の欠乏によって赤みを失い、皮膚が青黒くなる）、呼吸困難	数時間の潜伏期間の後に起こり、2 日ほど経過すれば、その後の回復は早く、後遺症は通常認められない。
重 症	肺浮腫を起こして 2～24 時間以内に死亡する。疲労感、頭痛、めまい、悪心、おう吐、聴力・視力障害、浮腫、チアノーゼ、呼吸困難などの症状を示す。	2～28 時間の潜伏期間がある。
慢性中毒	四肢の感覚障害や運動障害、全身けいれんなど	少量ずつでも長期間くり返し吸入すると慢性中毒を起こす。

ケ 応急措置（臭化メチルで中毒事故が発生した際の応急措置）

目に入った場合：直ちに流水で 15 分以上洗浄し、医師の手当てを受ける。

皮膚に付着した場合：直ちに汚染された衣服、靴などを脱ぎ、石鹸及び大量の水で洗浄する。

吸入した場合：直ちに新鮮な空気のところに運び医師の手当てを受ける。

コ 治療方法

中毒の原因となった薬剤名を医師に告げ、下記のような救急治療を行う。

急性期：できるだけ早期の人工透析の実施が有効。血漿交換療法やマンニトール、ラシックス等による強制利尿、グルタチオンによる解毒。肺水腫、おう吐、けいれんなどに対しての治療を行う。

慢性期：精神、神経症状（記憶障害、妄想、筋力低下、ミオクローヌス）などに対しての対症療法を行う。

サ 健康診断項目

労働安全衛生規則第 44 条に定める定期健康診断項目のほかに、特定化学物質等障害予防規則第 39 条（同規則別表第 3）による健康診断（6 か月ごと）を実施することとなっている。このとき生物学的モニタリング（尿中臭素）の測定を追加することが望ましい。

（ア）項 目

a 業務の経歴の調査

臭化メチルによる頭重、頭痛、めまい、流涙、鼻炎、咽喉痛、せき、食欲不振、悪心、嘔吐、腹痛、下痢、四肢のしびれ、視力低下、記憶力低下、発語障害、腱反射亢進、歩行困難等の他覚症状または自覚症状の既往歴の有無の検査

b 頭重、頭痛、めまい、食欲不振、四肢のしびれ、視力低下、記憶力低下、発語症状、腱反射亢進、歩行困難等の他覚症状の有無の検査

c 皮膚所見の有無の検査

シ 取扱い上の主な適用法規

（ア）労働安全衛生法

第 14 条、第 22 条

労働安全衛生法施行令

第 6 条、別表第 3 特定化学物質（第 2 類物質）

特定化学物質等障害予防規則

第 27 条、第 38 条の 14

（イ）毒物及び劇物取締法

第 2 条、別表第 2 劇物

（ウ）高圧ガス保安法

一般高圧ガス保安規則、容器保安規則等

（エ）消防法

第 9 条の 2

（オ）特定物質の規則等によるオゾン層の保護に関する法律 第 1 条、第 2 条、第 19 条、第 20 条

（２）フッ化スルフリル（スルフリル フルオライド）

ア 主な性状：

成分：フッ化スルフリル（スルフリル フルオライド）99%、不活性物質 1%

CAS No. : 2 6 9 9 - 7 9 - 8

分子式： SO_2F_2

分子量：102.07

沸点：-55.2 °C (101.3kPa)

外観：無色のガス

臭気：ほとんど無臭（わずかに硫黄臭）

融点：-136.7 °C

比重：4.172 g/l（ガスの密度）

相対蒸気密度：3.5(空気=1)

蒸発潜熱：2.78 cal/g

溶解性：水：0.075 g/100g (25 °C) 通常の有機溶剤および植物油に僅溶

蒸気圧：1791.8kPa(13442mmHg) (25 °C)

イ ばく露限界：許容濃度：勧告なし（日本産業衛生学会）

TLV-TWA : 5ppm TLV-STEL : 10ppm (ACGIH)

ウ 薬剤の特徴

(ア) 文化財に対して比較的薬害が少ない。臭化メチルが硫黄 (S) を含有する皮革・毛皮・毛織物・ゴム製品・写真材料などに悪臭を残す欠点があるが、本燻蒸剤にはこの欠点がない。

(イ) 木材、その他に対する浸透性がきわめて高い。

(ウ) 吸着性が少ないので、燻蒸終了後の残留ガス抜きが容易である。

(エ) 引火性・爆発性がない。

(オ) 沸点が-55.2°Cであるから、どの燻蒸剤よりも低く、いかなる低温時でも、沸騰気化するので、冬季に燻蒸するときには便利である。しかし、燻蒸効果は高温時のほうがはるかによいから、冬季の使用が可能であるといっても、やはり低温な冬季の燻蒸はなるべくさけるべきである。

(カ) 殺卵力が劣る欠点があるが、害虫の種類によって効力にかなり差があり、最低気温 12°C 以上で平均気温 18°C 程度、48 時間燻蒸であれば、コクゾウムシでは薬量 80 g/m³ (保持) で十分殺滅可能である。

(キ) 殺菌力には欠ける。

エ 標準投薬量

使用薬量は、基本的には燻蒸対象の密閉度（被覆シート、目張りのシール状態）、燻蒸容積、また、建造物燻蒸の場合は、風速、建物底部の土質（床下状態）、土壌またはスラブの温度、気温、燻蒸時間、対象害虫などを考慮して決定する。

標準薬量

気温 (°C)	燻蒸時間	標準薬量 燻蒸中、保持すべき濃度 (g/m³)
25～30	24	60
	48	40
20～25	24	80
	48	50
15～20	24	100
	48	60

フッ化スルフリルを投薬 1 時間後、空間ガス濃度が均一になった時に、Fumiscop を用い最初のフッ化スルフリル濃度を測定し、さらに 3～4 時間ごとにフッ化スルフリル濃度を測定し、標準薬量をもとに追加投薬を行う。ガス濃度の測定は Fumiscop を使用するほか、干渉計型ガス検定器(18 型)を用いて測定した数値の 2 倍の濃度をフッ化スルフリル濃度として算出し、必要があれば追加投薬する。

オ 燻蒸方法

(ア) 常圧燻蒸法

a 被覆燻蒸

本法は野外において大型文化財建造物や屋内において小形文化財を 1 か所に集めてシートで被覆して行う文化財害虫の駆除に適用する。

- (a) 被覆用シートは下記のものを用いる。ネオプレンでコーティングされたナイロン、PVC (ポリ塩化ビニル) でコーティングされたナイロン、ラミネート (数層) ポリエチレン、約 0.1mm(4mil)のポリエチレン (使い捨て) 厚さ：4～6mil (0.1mm～0.15mm)
- (b) 被覆シートの接合方法は、接着法と巻込み法があり、接着法は被覆シートの材質に適した接着剤ならびに接着法による。バリヤクロスシートのように熱溶着が可能なものは、ハンドシーラーを用いて溶着して接合する。建造物などを屋外で被覆燻蒸する場合は被覆シートの裾を土中に埋めたり、土砂をかぶせる方法のほか、ウォータースネークやサンドスネークなど配置して密着させガス漏れを防ぐ。屋内で移動できない文化財の場合は、被覆シートを床面にテープ等で確実に密着させる。
- (c) 文化財を損傷しないように、原則として足場や支柱で枠組みを行い、その上からシートで被覆する。被覆シートが破れるおそれのある箇所にはパッドをとりつけて破損を防止する。
- (d) 使用薬量は、燻蒸容積、燻蒸時間、気温、被覆性能、燻蒸対象物などを考慮して決定する。

b 密閉燻蒸法

本法は、鉄筋コンクリート造（コンクリートの厚さ 15 cm以上）など比較的気密性の高い構造で、ガス漏れ部分の少ない建造物で行う方法で、建造物全体または建造物の一部に適用する場合がある。

- (a) 密閉方法は出入口や窓など開放部分や配管の貫通部などガス漏れ部分はフィルムシートや粘着テープを用いて目張りするか、コーキング剤などを使用してガス漏えいしないようにする。
- (b) 目張り材料は、できるだけガスバリア性の高い材料を使用し、接着部分はガス漏えいの少ない幅広粘着テープ（ガムテープ）を用い、ガス漏れのおそれのある場所では二、三重貼りとする。
- (c) 投薬時にガス圧がかかり、ガス漏えいが多くなるので、投薬量に応じて、投薬口から離れた位置にガス抜き口を設けるか、バルーンを使用するなどして内圧を下げ、隣接する施設内にガス漏えいしないように配慮する。
- (d) 使用薬量は一般に被覆燻蒸よりガス漏えいは少ないが、燻蒸容積、燻蒸時間、気温、燻蒸対象物などを考慮して決定する。

c 燻蒸庫（室）燻蒸法

施設内の内外に特別の専用燻蒸庫（室）が設置されているときに適用する。燻蒸庫（室）は原則としてガス漏えいは起こらないが、使用薬量は燻蒸対象物の容積、材質、燻蒸時間、温度などによって調節する。

d 包み込み燻蒸法

美術工芸品など小型文化財で少量の場合に適用する。多くは室内で燻蒸するので、ガス漏れしないようにとくに厳重に密封する。包み込み方法は、燻蒸対象物の大きさに応じて、これが入る程度よりやや大き目にあらかじめガスバリア性の高いプラスチックフィルムで二、三重の袋をつくる。燻蒸対象物を入れて、さらにガス導入管と濃厚な導入ガスが燻蒸対象物に直接当たらないように、ぼろ布・ぼろ紙を詰めた小型段ボール箱を入れてガス導入管先端のノズルをこの中に固定する。燻蒸効果判定用のテストサンプルと濃度測定用のチューブを挿入し、ガムテープでガス漏れがないように入念に貼り合わせる。使用薬量は前述の密閉燻蒸法に準ずる。

(イ) 減圧燻蒸法

本法は、真空装置 Vacuum chamber に燻蒸対象物を入れ空気を抜いて減圧状態にして燻蒸する方法である。したがって、真空装置に入る程度の大きさで、減圧による影響の少ない文化財の燻蒸のみに適用する。圧力は、84.7～91.4kPa（635～686 mmHg）の減圧状態を用いる。

カ 燻蒸作業の注意事項

(ア) 一般事項

- a 放出する時以外は、安全キャップとボンネットはシリンダ（ガスボンベ）に付けておくこと。
- b シリンダを落とさないこと。
- c バルブをたたいたり、熱したりしないこと。
- d しっかりと直立させ、保管や輸送を行うこと。
- e 車輛後部に積載する場合には、衝突からシリンダを保護するための金属ガード等を取り付けること。
- f バルブで吊るしたり、持ち上げたりしないこと。
- g バルブの開け閉め時には、合ったスパナを使用すること。
- h 放出時、保護眼鏡または顔面保護具を着用すること。
- i すぐに使用できる呼吸用保護具〔JIS T 8155 空気呼吸器（SCBA：Self-contained breathing apparatus）または、JIS T 8153 送気マスク（Supplied-air）〕を用意すること。
- j フッ化スルフリルが 5ppm を超える処理区域には、上記保護具無しでは立ち入りを禁ずること。放出時、作業者はシリンダー（ガスボンベ）とチューブよりも風上にいること。作業は、文化財虫菌害防除作業主任者の責任管理下で行うこと。
- k 燻蒸完了後は少なくとも 1 時間以上の強制換気を行い、換気開始後 6 時間は燻蒸域への立ち入りを禁止すること。その後低濃度ガス検出器（Interscan）によりフッ化スルフリルが 5ppm 以下であることを確認すること。
- i 被覆シートが取り除かれても、換気が完了するまで、燻蒸域の全ての出入り口等に警告表示をすること。

（イ）安全対策

- a 正しい燻蒸装置（道具）を使用すること。シート、留め金、サンドスネーク、ウォーターズネーク、送風機、モニタリング装置（Fumiscop）、浄化確認装置（Interscan）、スパナなど。
- b 施工前に綿密な計画を立てること。特に、電線の包み方、梯子のかけ方、登り方、屋根上の歩行方法、シート、スネークやシリンダのような重いものの吊り上げ方法など。
- c 関係法律または条例等を調査しておくこと。

（ウ）シリンダ（薬剤ボンベ）の保管、輸送

- a 120℃以上の熱または発火物から離して保管すること。
- b 作業場や事務所から離れた換気（通気）の良い場所に保管すること。
- c すべてのシリンダはキャップをしっかりと閉じ、安全な場所に垂直にして保管すること。
- d 食物、飼料、薬品、衣類と一緒に保管しないこと。

- e シリンダはキャップをしっかりと閉じて、垂直に固定して輸送すること。
- f 横にすると、強い衝撃などでシリンダ内のチューブが破損するおそれがあるので、水平にして輸送してはならない。
- g シリンダは、燻蒸業者のトラックの後部または側部に固定して輸送し、乗物の運転者または同乗者と同じ呼吸域に積載してはならない。

(エ) その他の注意事項

- a シリンダが空になったら、バルブを閉じ、安全キャップとバルブ保護ボンネットを元に戻すこと。
- b シリンダの漏れの場所と原因を知る簡単な方法は、疑わしい場所（バルブとホースの連結部分のような箇所）に石けん水を塗って調べることである。
- c 漏れが確認されたら直ちに避難すること。フッ化スルフリルが 5ppm 以上になる場合は、その汚染域には呼吸用保護具無しでは入らないこと。
- d 漏れが止まらない場合は、故障しているシリンダは屋外の隔離された風下の場所に移すこと。
- e ガス状のフッ化スルフリルによる腐蝕および汚れの可能性はないが、液体の場合は腐蝕の可能性はある。収蔵物等に直接吹きかからない空間に、完全にガス化させて放出するとともに、冷えた物体上の結露水などの水分を避けて放出すること。

キ 燻蒸作業の適用機材

(ア) 被覆用シート：被覆材料ネオプレンでコーティングされたナイロン、PVC（ポリ塩化ビニル）でコーティングされたナイロン、・ラミネート（数層）ポリエチレン

(イ) 呼吸用保護具：JIS T 8155 空気呼吸器（SCBA：Self-contained breathing apparatus）または、JIS T 8153 送気マスク（Supplied-air）。防毒マスクの吸収缶では、このガスは除去されないため、全面形面体付の上記の呼吸用保護具しか使用できない。

(ウ) 化学防護手袋：防護手袋の着用は、液状のフッ化スルフリルが手袋素材に吸収されたり、手袋内に流れ込んで閉じ込められたりし、気化を遅らせて凍傷の原因となるおそれがあるので推奨できない。なお、フッ化スルフリルは、経皮毒性が低い上、容易に気化するため、皮膚接触によるばく露については特に問題とはならない。

(エ) 気化器：不要

(オ) 濃度測定器：18 型ガス検定器、フッ化スルフリルの濃度は、18 型検定器の読みの約 2 倍である。Fumiscopes（濃度測定器）フッ化スルフリルの濃度をデジタルで表示する。oz. per 1000 cu ft. で表示されるが、g/m³ にそのまま読み替えることができる（1 オンス＝28.3495 グラム、1000 立方フィート＝28.317 立方メートルであるので、1 オンス/1000-立方フィート＝1g/m³ と読み替えることが可能）。

(カ) ガス漏れ検知器：Interscan

(キ) ガス攪拌：ガス攪拌装置、循環装置：この薬剤は爆発性、引火性とも無いため、通常のファンを使用できる。

(ク) 残留ガスの処理（除毒方法および資源のリサイクル）：基本的に大気中へ放出する。

ク 中毒症状

中毒の程度	症 状
ごく軽症	食欲不振、悪心、軽い頭痛（発作はみられない）
軽 症	いらいらする不快感、頭痛、肺およびのどの痛み、悪心
中等度	頭痛、吐気、めまい、ふるえ、けいれん、ストリキニーネ様の筋肉硬直、四肢のしびれ、歩行障害、会話の低下、チアノーゼ、呼吸困難
重 症	肺浮腫、中枢神経の麻痺を起こして、3～12 時間以内に死亡する。頭痛、腹痛、悪心、吐き気、けいれん、ストリキニーネ様の筋肉硬直、チアノーゼ、腎臓の損傷、脳の損傷、呼吸困難など

中等度の濃度（500ppm 以上）のフッ化スルフリルは、中枢神経抑制剂的に作用する。高濃度（1000ppm 以上）の場合には、1 時間以内に震えや痙攣またはストリキニーネ様の筋肉硬直をもたらし、4 時間以上ばく露（吸入）すると、呼吸器が麻痺して致死する。1000ppm 以上の濃度にさらされた人間は、呼吸器系の麻痺、吐き気、腹痛、中枢神経の抑制運動、会話の低下、手足のしびれを生じる。高濃度ばく露の場合でも、短時間であれば、痙攣が続いていても生命にかかわることはない。低濃度の場合、かなり長時間のばく露でも生命にかかわることはないが、毎日長期間にわたって、フッ化スルフリルにばく露されると、比較的低濃度（100ppm 以上）でも、腎、脳、鼻の組織が損傷される。

ケ 応急措置

目に入った場合：目に対するフッ化スルフリルの害は、目の組織の冷却または凍死である。液体との接触により凍傷を起こすことがあるので、ただちに水で 5 分間洗い流した後、医師の診察を受ける。

皮膚に付着した場合：液体との接触により凍傷を起こすことがあるので、直ちに充分量の水をかけて患部を洗浄した後、医師の診察を受けること。

吸入した場合：フッ化スルフリルを吸入した人間で、呼吸困難、話し方が遅くなる、つじつまの合わないことを言う、動作がにぶくなる、感覚が鈍くなる等の症状が出たら、直ちに、清浄な空気のある場所に移す。更に、体を温めて、安静にする。呼吸が弱まるか、停止した時は、人工呼吸または、酸素吸入を行う。

コ 治療方法（医師への情報）

ばく露時間にもよるが、フッ化スルフリルにばく露された人間は、500 ppm 以上の高濃度でない場合、初め、中毒症状は殆ど示さない。初期の中毒症状は、中枢神経系に現れる。すなわち、中枢神経抑制の初期症状は、話し方がゆっくりになることと、足どりが重く、動作が鈍くなる等である。患者は、最低 24 時間以上安静にしておく。臨床検査は、肺、肝および腎機能について行う。フッ化スルフリルによる死亡者に共通して見られるのは、肺浮腫である。解毒剤は、未だ

判明していない。そこで、医師の臨床検査結果の判断と患者の反応（症状）に基づき治療する。

サ 健康診断項目

労働安全衛生規則（第44条）の定期健康診断項目に準じるが、そのうちの尿検査については、フッ化物の定量を行うことが望ましい。

シ 取扱上の主な適用法規

（ア）化審法 1-1152

（イ）高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則：毒性ガス

（ウ）毒物及び劇物取締法：毒物

（3）プロピレンオキシド製剤

アルゴンガスを希釈ガスとするプロピレンオキシド・アルゴン混合剤

（ア）主な性状

成分および組成：プロピレンオキシド Propylene oxide 60vol.%（または20vol.%）

アルゴン Argon 40vol.%（または80vol.%）

CAS No：プロピレンオキシド 75-56-9

アルゴン 7440-37-1

分子式：プロピレンオキシド (C_3H_6O)、アルゴン (Ar)

分子量：プロピレンオキシド 58.08

アルゴン 39.94

沸点：プロピレンオキシド 33.9℃

アルゴン -185.7℃

臭気：プロピレンオキシド エーテル臭

融点：プロピレンオキシド -104℃

アルゴン -189.2℃

比重：相対蒸気密度プロピレンオキシド 2.00（空気=1）

アルゴン 1.38（空気=1）

比重：液体 プロピレンオキシド 0.8304（20/20℃）

アルゴン 1.40（-185.7℃）

爆発限界：プロピレンオキシド 2.8vol%～37vol%（空気中）

蒸発潜熱：プロピレンオキシド 6.67Kcal/mol、115cal/g

アルゴン 38.4cal/g

溶解性：プロピレンオキシド 水にプロピレンオキシドが40.5g/100ml（20℃）溶解する。

アルゴン 3.37cm³gas/100gH₂O（20℃）

蒸 気 圧：プロピレンオキシド 59.3kPa (20°C)

イ ばく露限界：プロピレンオキシド

許容濃度 勧告なし (日本産業衛生学会)

TLV-TWA 2ppm (ACGIH)

ウ 薬剤の特徴

- (ア) エチレンオキシドより低毒性である。
- (イ) オゾン層破壊物質や温暖化物質でなく、環境負担が少ない。
- (ウ) 文化財に対する薬害が比較的少ない。
- (エ) 可燃性なので火気は厳禁とする。燻蒸にあたっては、専用のガス発生装置でアルゴンガスと混合して使用する。
- (オ) 殺菌力が優れている。
- (カ) 吸着性が割に少ない。
- (キ) 浸透性がやや劣るが、殺虫力・殺卵力もある。

エ 標準投薬量

殺菌・殺虫条件

濃度	プロピレンオキシド (PO) 2.0vol%を保持する。 (20°Cにおいて 48 g / m ³ に相当)	
湿度	45～70% R.H. (常時この範囲内であること)	
時間	通常の燻蒸	48 時間
	低温時 (10°C以下) の場合	72 時間
その他	燻蒸中は適時防爆軸流ファンで攪拌すること。	

※ 投薬量の目安は 70～100g/m³である。

オ 燻蒸方法

(ア) 常圧燻蒸法

a 被覆燻蒸法：被覆燻蒸法は野外において大型文化財建造物や、屋内において小型文化財集団をシートで被覆して行う文化財害虫や菌の駆除に適用する。

- (a) 被覆材料は、厚さ 0.1mm 以上のポリエチレンまたはポリ塩化ビニル製シート、ネオプレンびきナイロン、ビニールびきナイロン製シート、およびこれらと同等またはそれ以上の性能をもつもので、薄手のものは二重にして使用する。
- (b) シートの被覆方法は、文化財を直接被覆しないで、原則として建造物の場合は足場・支柱などで充分固定し、屋内で行う小型文化財集団の場合は枠組を行い、その上からシートで被覆する。
- (c) 屋外の被覆シートの裾は、ウォーターズネーク・サンドスネークなどを 2、3 本配して、下部よりのガス漏れを防ぐ。必要に応じ、シートの裾に直接土壌を載せたり、地面を掘ってシートの裾を土中に埋めることもある。屋内の場合は粘着テープで床に貼りつけるか、あらかじめ床にシートを敷き、これと被覆シートとを前

出の接合法によってガス漏れのないように接合する。

(d) 被覆シートの破れるおそれのある箇所（建造物の棟・軒先などの突出部、屋内の場合は木枠の角・戸棚の角など）にはパッドをとりつけて破損を防止する。

(e) 燻蒸条件はプロピレンオキシド濃度 2.0%を保持するので、濃度を確認しながら投薬する。使用薬量は燻蒸容積、燻蒸時間、気温等の条件で異なるが、およそ 70～100g/m³が目安となる。燻蒸時間は 48 時間保持を原則とする。低温時（10℃以下）は燻蒸時間を 72 時間とする。

b 密閉燻蒸法：密閉燻蒸法は鉄筋コンクリート造（コンクリートの厚さ 15cm 以上）など比較的気密性の高い構造で、ガス漏れ部分の少ない建造物の場合に行う方法で、建造物全体を行うときと、建造物の一部（1～数室）において行うときに適用する。

(a) 密閉方法は、扉・扉枠・窓・窓枠など開放部分の周辺、その他ガス漏れ部分に対する目張り法とするが、目張りの困難な場所では養生テープ使用後プラスチック粘土・油粘土・パテなども使用してガス漏れがないようにする。

(b) 目張り材料は、幅広粘着テープ（ガムテープ）を接着して行う（接着剤にアルギン酸ソーダを使用するときには 0.8～1%が適当である）。ガス漏れのおそれがある場所では二ないし三重貼りとする。

(c) 燻蒸条件はプロピレンオキシド濃度 2%を保持するので、濃度を確認しながら投薬する。使用薬量は燻蒸容積、燻蒸時間、気温等の条件で異なるが、およそ 70～100g/m³が目安となる。

c 燻蒸庫（室）燻蒸法：建物の内外に特別の専用燻蒸庫（室）が設置されているときに適用する。燻蒸庫（室）は原則としてガス漏れはおこらないはずであるが、前出 b に準じて行う。

(イ) 減圧燻蒸法

減圧燻蒸法は真空装置 Vacuum chamber に対象文化財を入れ、空気を抜いて減圧状態にして燻蒸する方法であるから、真空装置に入る程度の文化財の燻蒸にのみ適用する。

a 燻蒸条件はプロピレンオキシド濃度 2.0%を保持（48g/m³に相当）する。使用薬量は燻蒸対象物の質と量、燻蒸容積、燻蒸時間、気温、吸着の条件で異なるが、およそ 50～80g/m³を目安とし、燻蒸空間のプロピレンオキシド濃度が 2.0%以下とならないように留意する。燻蒸時間は 48 時間保持を原則とする。低温時（10℃以下）は燻蒸時間を 72 時間とする。

b 減圧の程度は 5.3～8.0kPa（40～60mmHg）が有効である。

カ 燻蒸作業の注意事項

(ア) 一般事項

a 燻蒸作業の規定及び各燻蒸方法の規定を遵守する。

- b 本薬剤の特性を充分理解し、文化財虫菌害防除作業主任者の責任管理のもとに行う。
- c 環境保全に努め、投薬時や排気時には必ず除毒しながら作業を行う。その他薬剤によるばく露・環境への影響に留意する。

(イ) 燻蒸作業

- a すべての投薬前確認を行う。後述する機材の確認をする。
- b 防爆型希釈機を起動する。
- c 被覆作業または密閉作業の完了後、ガス漏れの点検のために、燻蒸容積に応じて、投薬予定量の 1/10 以下の燻蒸ガスを予備導入し、ガス漏れを検知器で入念に調べる。
- d 燻蒸中のガス濃度測定は、1 時間ごとに行い(赤外線式濃度計、またはガス検知管)、プロピレンオキシド濃度 2.0%を保持する。
- e 所定の燻蒸時間経過後、供試虫(成虫)の生死により燻蒸効果を調べ、供試虫の 100% 致死をもって一応殺虫目的を達したとみなす。供試虫が生残しているときは施主と協議の上再燻蒸するかどうか決定する。殺カビの場合は、即座の判定はできない。また殺卵(蛹)効果判定は 30 日以上必要である。
- f 燻蒸終了後、残留ガスは吸着式除毒装置または触媒式除毒装置の使用によって環境への排出を極力防ぐ等ガス濃度の低減に努めて排出する。
- g シートまたは目張りシールの除去は、安全濃度に達したことを確認し風向き、風速、周囲の状況等を考慮して、安全を確認した上で行う。
- h 安全濃度に達したことを確認し被覆シートまたは目張りシールを取り除き、建造物各部について残留ガスの有無を調べ、残留ガスの排出に努める。
- i 建造物の各部にガスが吸着しているから、半日以上、できれば 1 日以上新鮮な空気と循環することが望ましい。
- j 建造物各部に残留ガスのないことを確認した上で、燻蒸作業の終了を宣言する。

キ 燻蒸作業の適用機材

- (ア) 燻蒸剤: アルゴン (Ar) ガスを希釈ガスとするプロピレンオキシド・アルゴン混合剤で、各々別の容器で流通する。所定の気化・混合方法によりプロピレンオキシド 20% (または 60%) とアルゴン 80% (または 40%) の混合ガスを発生させて使用する。
- (イ) 被覆用シート: わが国では天幕・テントなどと呼んでいるが、米国では、使い捨ての薄手(厚さ 0.1mm 程度)のものをフィルムといい、ポリ塩化ビニル製またはポリエチレン製で、広幅(6m 幅)のものがある。連続使用の厚手(0.3mm 程度以上)のものをタープ Tarps、ターポリン Tarpaulin などといい、ネオプレンびき・ゴムびき・ビニールびきナイロン製のものが使用されているが、米国で使われているものもわが国から輸出されている。日本製のものには、10m 角 12m 角などがあるが、長さは自由に発注できる。風呂敷型(正方形)・短冊形(矩形)のものを何枚か用意しておく

よい（一般住宅の燻蒸でも 10～15 枚くらいは必要である）。工場で接合した蚊張形のものもあるが、一定の形のものにしか使用できないので、不便である。中に布を入れた特に厚手のタープも市販されており、非常に丈夫である。ガスの保持力は厚手のタープが有利であるが、厚さが増すほど重くなるので、屋根の上に持ちあげるのが容易でない。薄手のフィルムを使用する場合には、二重に被覆すると、ガスの保持力が一段と向上する。

(ウ) 呼吸用保護具：防毒マスク：隔離式全面形面体付き JIS T 8152 吸収缶：有機ガス用吸収缶、空気呼吸器：JIS T 8155

(エ) 化学防護手袋の種類と交換時期：ポリエチレン/ナイロン多層：480 分以上 ポリビニルアルコール：35 分 フッ素ゴム（バイトン等）：1 分 ブチル：132 分 天然ゴム：6 分未満。それ故、フッ素ゴム、天然ゴムの手袋は使用不適である。

(オ) 気化器：

気化器	バブリングタイプ	2 機種（P 40 用）	52g/min. 200g/min.
	強制気化タイプ	2 機種（P 400 用）	D300Cu-PO 0.1kg/min. D500Cu-PO 1.0kg/min.

(カ) 濃度測定器：赤外線式濃度計 RI-415 または F1-21 0～10vol.%、ガス検知管 163 0.065-3.9%、163SA 0.05-5%

(キ) ガス漏れ検知器：半導体式ガス漏れ検知器（GM-200）、FID 式濃度計（GL-92A）0～1999ppm、ガス検知管 1～100ppm（163L エチレンオキシド用）、3～70ppm（122SC エチレンオキシド用）

(ク) ガス攪拌装置（防爆型希釈機）：風量 70m³/min、20m³/min

(ケ) ガス循環装置（防爆軸流ファン）：風量 70m³/min、20m³/min

(コ) 残留ガスの処理（除毒装置）：吸着式または触媒式を用いる。吸着式（積層セル交換型）、触媒式（PO アベーター）

ク 中毒症状

目に付着すると角膜炎、皮膚に付着すると薬傷を起こす。蒸気吸入において、低濃度の場合、初めは酩酊気分になり、さらに軽い頭痛、めまいがして平衡感覚喪失を起こす。しばらくして吐き気を催したり、おう吐を起こす。高濃度の蒸気は鼻、のど、気管支を強く刺激し肺水腫を起こす。

ケ 応急処置：

目に入った場合：清浄な水で最低 15 分以上目を洗浄したのち、直ちに眼科医の手当てを受けること。洗浄の際、まぶたを指でよく開いて、眼球、まぶたのすみずみまで水がよく行きわたるように洗浄する。すぐには痛みがなく視力に影響がなくても障害が遅れて現れることがあるので、必ず医師の診断を受けさせる。コンタクトレンズを使用している場合には、固着していない限り取り除いて洗浄を続ける。15 分が経過しても、救助隊員が到着するまでは

洗浄を続ける。眼をこすったり固く閉じさせてはならない。医師の指示なしで油類または軟膏を用いてはならない。

皮膚に付着した場合：汚染された衣類、靴などを速やかに脱ぎ捨てる。製品に触れた部分を水または微温水を流しながら洗浄する。石鹸を使ってよく落とす。外観に変化がみられたり、痛みが続く場合は、直ちに医療措置を受ける。水で洗浄した後に衣類が皮膚に貼りついている場合には、無理にはがしてはならない。シャワーを使用しながら、触れた部分の衣類を取り除く。救助者はゴム手袋とゴーグルなどの保護具を着用する。この製品は引火性なので、火気に注意して処置する。痛みのある場合は、その部分を冷水に浸すか冷湿布を行う。

吸入した場合：被災者を直ちに新鮮な空気のある場所に移動させ、医師の処置を受ける。呼吸が止まっている場合は、衣類をゆるめ呼吸気道を確保した上で人工呼吸を行う。呼吸していて嘔吐がある場合は頭を横向きにする。体を毛布などでおおい、保温して安静を保つ。水で口の中をよく洗浄する。人工呼吸を行う場合は被災者からのプロピレンオキシド蒸気に十分注意して行う。

飲み込んだ場合：直ちに吐かせ、医師の手当てを受ける。

コ 治療方法（医師への情報。応急処置のみ）：

- （ア）呼吸が停止している場合には直ちにマスターバッグにより人工呼吸を行い、呼吸が困難な場合には酸素吸入を行う。心臓が停止している場合には直ちに心臓マッサージを行う。
- （イ）プロピレンオキシドを飲み下した場合は直ちに吐かせ茶さじ1杯の食塩を溶かした微温湯などを飲ませる。次いで大さじ1杯の硫酸マグネシウムを溶かした水を1杯飲ませる。吸入による嘔吐には、フェノバルビタールの皮下注射をする。

サ 健康診断項目

労働安全衛生規則第44条に定める定期健康診断項目を実施する。現在、プロピレンオキシドを対象とした健康診断項目について文化財虫害研究所内に委員会を開催して検討中である。

シ 取り扱い上の主な適用法規

プロピレンオキシド

消 防 法：危険物第4類特殊引火物、引火性液体（指定数量50L）

貯蔵・消費・移動（アルゴン混載可）

労働安全衛生法：危険物（引火性の物）

変異原性が認められる48品目 2B

アルゴン

高圧ガス保安法：高圧ガス 貯蔵・消費・移動

（4）エチレンオキシド製剤

HFC 134a(1,1,1,2—テトラフルオロエタン)を希釈ガスとする

エチレンオキシド・1,1,1,2テトラフルオロエタン混合剤

ア 主な性状

成分および組成：エチレンオキシド Ethylene Oxide 約10～15wt%

テトラフルオロエタン(HFC134a) 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
約85～90wt%

C A S N o : エチレンオキシド 75-21-8

HFC134a 811-97-2

分 子 式 : エチレンオキシド $(CH_2)_2O$

HFC134a CH_2F-CF_3

分 子 量 : エチレンオキシド 44.05

HFC134a 102

沸 点 : エチレンオキシド 10.5℃

HFC134a -26.2℃

外 観 : 無色透明

臭 気 : エチレンオキシド 特徴のあるエーテル臭

融 点 : エチレンオキシド -112℃

HFC134a -101℃

比 重 : 気体 3.0 (空気=1) 液体 0.882d₄¹⁰

相対蒸気密度 : エチレンオキシド 1.52 (空気=1)

HFC134a 3.5 (空気=1)

蒸 発 潜 熱 : エチレンオキシド 531.7KJ/kg

HFC134a 217.7KJ/kg

溶 解 性 : エチレンオキシド 水、アルコール、エーテルに溶解する

HFC134a 水に0.15% (25℃、101.3kPa)

蒸 気 圧 : エチレンオキシド 146kPa (20℃)

HFC134a 630kPa(25℃)

イ ばく露限界：許容濃度 エチレンオキシド 1ppm (日本産業衛生学会)

TLV-TWA エチレンオキシド 1ppm (ACGIH)

WEEL-TWA HFC134a 1000ppm (AIHA)^{注)}

管理濃度 エチレンオキシド 1ppm

注) AIHA : American Industrial Hygiene Association

・・・米国産業衛生協会

WEEL : Workplace Environmental Exposure Limit

ウ 薬剤の特徴

- (ア) 可燃性・爆発性があるから、とくに慎重に取り扱わねばならない。この欠点を抑えるために必ず消火性のある二酸化炭素・臭化メチル・フロンガスなどと混合して使用される。たとえば、エチレンオキシド 14%に臭化メチル 86%を混合したもの、エチレンオキシド 10%に CO₂ 90%を混合したものなどがある。殺虫殺菌を目的とする場合は前者が使用される。
- (イ) 殺菌力が優れているので、文化財の殺カビにこれまで多く使用されている。
- (ウ) 文化財に対する薬害が比較的少ない。
- (エ) 殺虫力も強いが、水に無限大に溶解し、親水性が大きいので含水量の大きい木質材料の場合には表層部でガスが吸着され、害虫が内部深く食い入っている場合は致死薬量がなかなか内部まで到達しないためかなり増量しなければならない（文化財の燻蒸では薬害の危険があるから、混合燻蒸剤でも全量で 100g/m³以下にとどめる必要がある）。
- (オ) 発がん性があるので、取扱いには十分な注意を要す。

エ 標準投薬量

殺虫・殺菌処理

使用条件	気温 (°C)	燻蒸時間(hr)	標準投薬量(g/m ³)
密閉燻蒸	25～30 20～25	24 48	200
被覆燻蒸 包み込み燻蒸 燻蒸庫燻蒸	標準投薬量は密閉燻蒸に準ずるが、燻蒸物の収納量や材質等によってガス吸着が多いものもあるので、投薬量を調整する		

- 注) ・投薬は分割して行い、空間内のエチレンオキシドガス濃度を 1.0%以上に保つ。
- ・総投薬量は標準投薬量の 2 倍以内にする。
 - ・気温が 15 °C 以下や相対湿度が 40% 以下での燻蒸処理は十分な効力が得られない。

殺虫処理

使用条件	気温 (°C)	燻蒸時間(hr)	標準投薬量(g/m ³)
密閉燻蒸	20～30	24	60～100
被覆燻蒸 包み込み燻蒸	20～30	24	100～150
燻蒸庫燻蒸	20～30	24	100～150

注) 投薬は分割して行い、空間内のエチレンオキシドガス濃度を 0.5%以上に保つ。

オ 燻蒸方法

(ア) 常圧燻蒸法

- a 被覆及び包み込み燻蒸：被覆燻蒸は主に野外において大型文化財建造物や、屋内に

- において移動できない小型文化財集団をシートで被覆して行う。なお、極力移動できるものはシートで全体を包み込んで実施する包み込み燻蒸を行う。
- (a) 被覆および包み込みに使用するシートは厚さ 0.1mm 以上のポリ塩化ビニル、ポリエチレンおよびナイロン等のプラスチックシートを用いる。適性シートとしては、ガスバリア性に優れているエチレン・ビニルアルコール(EVOH)積層シートが良い。なお、薄手のシートを用いる場合は二重にして使用する。
 - (b) 被覆シートの接合方法は、接着法や巻き込み法が利用されるが、バリヤクロスシートは熱溶着が可能なので、ハンドシーラを用いて完全に溶着させることができる。
 - (c) 移動できない文化財の場合は、被覆シートを床面にテープ等で確実に密着させる。なお、建造物などを対象に屋外で被覆燻蒸する場合は、被覆シートを土中に埋める方法やウォータースネークやサンドスネークなどで密着させる方法で行う。
 - (d) 文化財の被覆および包み込みをする場合は、シートで文化財を痛めないように原則として支柱やパイプで枠組みを行い、その上からシートで被覆する方法で行う。
 - (e) 被覆シートが支柱や燻蒸物で破損しないように、事前に補強材で養生を行う。
 - (f) 使用薬量は基本的に燻蒸物の収納量、材質および被覆性能ならびに燻蒸目的(殺虫または殺菌)や燻蒸条件(燻蒸温度や燻蒸時間)によって調整する。
- b 密閉燻蒸：密閉燻蒸は、鉄筋コンクリート造(コンクリートの厚さ 15cm 以上)など比較的気密性の高い構造で、ガス漏れ部分の少ない施設に直接薬剤を投薬して燻蒸を行う。
- (a) 密閉方法は、扉、扉枠、窓、窓枠などの開放部分や空調などの各種配管の貫通部などガス漏れ箇所をフィルムシートやコーキング剤などを使用してガス漏れいしないように目張りを行う。
 - (b) 目張り材料に使用するシートは極力ガスバリア性能のあるものを使用し、接着部分はビニールテープなどのガス漏れいが少ないテープを用いる。
 - (c) ガス投薬時はガス圧がかかり、ガス漏れいが多くなるので、投薬量に応じたガス抜きを投薬口より離れた位置に設け、隣接する施設内にガス漏れいしないように配慮する。
 - (d) 使用薬量は基本的に燻蒸物の収納量、材質及び被覆性能ならびに燻蒸目的(殺虫または殺カビ)や燻蒸条件(燻蒸温度や燻蒸時間)によって調整する。
- c 燻蒸庫(室)燻蒸：施設の内外に本剤の使用が可能な専用燻蒸庫(室)が設置されているときに適用する。本剤を使用する燻蒸庫(室)は、基本

的にガス漏えいは起こらないが、使用薬量は燻蒸物の収納量、材質および被覆性能ならびに燻蒸目的（殺虫または殺カビ）や燻蒸条件（燻蒸温度や燻蒸時間）によって調整する。

（イ）減圧燻蒸法

減圧燻蒸法は、真空装置を備えた燻蒸装置に対象文化財を入れ、空気を抜いて減圧状態でガス投薬を行う方法で、減圧等によるダメージの少ない文化財燻蒸のみに適用する。

- a 使用薬量はガス漏れがないので、燻蒸物の収納量や材質および燻蒸目的が殺虫または殺菌か、また燻蒸温度等を考慮して燻蒸時間を調整する。
- b 20.0kPa(150mmHg)以下での減圧は殺虫処理の時間短縮に有効であることが知られているが、通常は減圧の程度に関わりなく、燻蒸庫燻蒸法による標準投薬量と同等に設定する。
- c 殺虫・殺菌を目的に実施する場合は、減圧して投薬後は速やかに空気を導入し、大気圧に戻して所定時間燻蒸する。

カ 燻蒸作業の注意事項

- （ア）本剤を投薬する施設は、十分な気密性が確保できる施設であることを事前調査し、漏えい防止措置が可能な施設のみ実施する。
- （イ）薬剤を投薬する際は、必ず気化装置を使用する。気化装置は薬剤を十分気化する能力のあるものを使用し、可燃性ガスを安全に使用できる気化装置を使用する。本剤を直接容器から投薬すると液状で放出され、文化財に染み等で汚染させたりする場合があるので注意する。なお、投薬作業は不浸透性の防護手袋を着用して行う。
- （ウ）容器は必ず立てて使用する。本剤はサイホン付容器に充てんされているので、倒したり、傾けたりして使用すると定められた割合のガスを投薬することができない。
- （エ）電源など着火源となるものは遮断して使用する。本剤は可燃性ガスなので、投薬施設内やガス漏えいする可能性のある場所は、着火源となるものは必ず遮断する。本剤は7～23%（249～817g/m³）の可燃性域を有するガスなので、投薬口付近など一時的に可燃性域を形成するので、投薬口付近の着火源は確実に遮断除去する。
- （オ）初期投薬量は処理容積から標準投薬量をもとに決定し、過剰投薬は避ける。なお、投薬後は防爆型攪拌ファンで速やかにガスの均一化を図る。殺虫・殺菌を目的とした投薬量は、初期投薬を200g/m³（エチレンオキシド濃度として1.6%相当量）程度とし、追加投薬量は標準投薬量の2倍以内とする。燻蒸中のエチレンオキシドのガス濃度は1%程度に保つ。燻蒸時の濃度管理は、検知管またはエチレンオキシド測定器で測定し、1.5%以上にならないように濃度管理を行いながら投薬作業を実施する。
- （カ）燻蒸作業中は必ず防毒マスク等の労働衛生保護具を使用する。なお、エチレンオキシドは吸収能力が低いので、吸収缶の交換頻度を多くする。

- (キ) 投薬に先立ち、「ガス燻蒸中につき、立入禁止」である旨を朱書した注意書きを扉及び周囲の見やすい場所に必ず掲示し、関係者以外立ち入らないように警告する。
- (ク) 作業中は周囲での喫煙、飲食は厳禁し、ガスを吸入しないように注意する。
- (ケ) 燻蒸処理施設や作業環境は、十分な通気・換気を図り、作業環境濃度を許容濃度〔エチレンオキシド 1ppm（日本産業衛生学会）〕以下に管理する。
- (コ) 燻蒸が終わったら十分な強制排気を行う。排気直後の高濃度のガスはできるだけ活性炭等により吸着除害して屋外に排気する。
- (サ) 燻蒸処理施設は、残留ガスが徐々に放出する場合があるので処理後 2,3 日は十分に換気を行う。
- (シ) 本剤は、労働安全衛生法の特定化学物質等障害予防規則の適用を受け、燻蒸作業は「特定化学物質等作業主任者」の資格者の責任管理の下に行う。
- (ス) 本剤は、毒劇物取締法により劇物に指定されており、人畜に対し毒性が強く、発がん性を有する化学物質にも指定されているので、取り扱う場合には十分に注意すること。また高圧ガス保安法の規制も受けているので、その他関係法令と併せ遵守し、取扱いには十分注意する。
- (セ) 燻蒸室内で使用する攪拌ファン等の機器は防爆構造の機器を使用する。
- (タ) その他燻蒸作業は、臭化メチルの燻蒸作業法に準じて実施する。

キ 燻蒸作業の適用機材

- (ア) 被覆用シート：厚さ 0.1mm 以上のガス透過性の少ないポリ塩化ビニル、ポリエチレンおよびナイロン等のプラスチックシートを用いるが、適性シートとしては、ガスバリア性に優れているエチレン・ビニルアルコール共重合体(EVOH)積層シートが良い。なお、薄手のシートを使用する場合は二重にして使用する。
- (イ) 呼吸用保護具：（防毒マスク）JIS T 8152 隔離式吸収缶 有機ガス用付き（空気呼吸器）JIS T 8155 空気呼吸器
- (ウ) 化学防護手袋：ゴム手袋（ネオプレン、ラテックス製）
- (エ) 気化器：EX-100 型 灯油式 気化能力 100kg/h、EX-5 型 ヒーター式 気化能力 5kg/1 回
- (オ) 濃度測定器：エチレンオキシド測定器(P-508-EOS 型)0～3%、エチレンオキシド検知管(122SC) 0.01～4%（エチレンオキシド検知管 163)0.05～3%
- (カ) ガス漏れ検知器：半導体センサー検知器 エキカガスチェッカー-BLACK 検知範囲 10～1000ppm、EOG セントリー(ED-2 型)検知濃度 1ppm 以上、スーパーセントリー(SD-10 型) 検知濃度 1ppm 以上
- (キ) 検知管：エチレンオキシド用検知管(122SC) 1～15ppm(122SD)0.1～12ppm (163L) 0.4～100ppm (163LL) 0.1～5ppm

(ク) ガス攪拌装置、ガス循環装置：標準防爆型（PFE-282Y）軽量防爆型（PFE-202Y）

(ケ) 残留ガスの処理：活性炭吸着および溶液吸収法による処理

ク 中毒症状

初期の中毒症状は酩酊気分になり軽い頭痛、めまい等を生じ、さらに頭痛、吐き気、嘔吐の症状が生じる。重症になると強い疲労感や筋力低下を起こし、呼吸困難、チアノーゼ、肺浮腫等の症状を呈する。

ケ 応急措置

皮膚にかかった場合：着衣・靴などが汚染された場合は、直ちに脱ぎ、付着箇所の皮膚は流水や石けんで十分洗う。軽度な場合は、局所麻酔でよいが、重い場合は擦らないで微温湯で加湿し、カーゼ等軽く包み医師の治療を受ける。

目に入った場合：直ちに流水で洗う。少なくとも 15 分以上洗い、医師の治療を受ける。

吸入した場合：ガスを吸入して呼吸困難、話し方が遅くなる、動作や感覚が鈍くなる等の症状がでたら直ちに清浄な空気のある場所に移し、体を温めて安静にする。呼吸が弱まるか、停止した場合は人工呼吸又は酸素吸入を行う。

コ 治療方法（医師への情報）

本剤による中毒に対しては、フェノバルビタールが有効である。

サ 健康診断項目

労働安全衛生規則第 44 条に定める定期健康診断項目

シ 取扱上の主な適用法規

(ア) 労働安全衛生法 第 14 条、 施行令第 6 条 別表第 3 特定化学物質（第 2 類物質）
特定化学物質等障害予防規則 27 条

(イ) 毒物及び劇物取締法 第 2 条（劇物）

(ウ) 高圧ガス保安法 一般高圧ガス保安規則、容器保安規則等

(エ) 特定化学物質等の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律
（化学物質管理促進法別名 PRTR 法）法第 2 条第 2 項（第 1 種指定化学物質）

(オ) 消防法 第 9 条の 2（貯蔵等の届出を要する物質）

(5) ヨウ化メチル

ア 主な性状

成 分：ヨウ化（沃化）メチル（Methyl iodide）

CAS No.：74-88-4

分 子 式：CH₃I

分 子 量：141.95（CH₃I）

沸 点：42.5℃

外 観：無色の透明液体、光で沃素を遊離し褐色がかかることがある。
 臭 気：わずかにエーテル臭
 融 点：-66.5℃
 比 重：2.28 (20/4℃)
 相対蒸気密度：4.9 (空気=1)
 潜 熱：47cal/g
 溶 解 性：水に微溶、アルコール、エーテルと混和する。
 蒸 気 圧：

ヨウ化メチルの温度と蒸気圧の関係

温度(℃)	蒸気圧(kPa,mmHg)	温度(℃)	蒸気圧(kPa,mmHg)
-20	4.9, 37 (4.9%)	20	44.0, 330 (43%)
-10	10.7, 80 (11%)	25	54.0, 405 (53%)
0	22.7, 170 (22%)	30	64.0, 480 (63%)
10	29.3, 220 (29%)	42.5	101.3, 760 (100%)

(カッコ内は各温度におけるヨウ化メチルの飽和ガス濃度)

イ ばく露限界：許容濃度 勧告なし (日本産業衛生学会)

TLV-TWA 2ppm (経皮吸収注意) (ACGIH)

管理濃度 2ppm

ウ 薬剤の特徴

- (ア) 引火性・爆発性がほとんどない。
- (イ) 浸透性がよい。
- (ウ) 殺虫・殺卵力および殺菌力がある。
- (エ) 文化財に対する薬害が比較的少ない。ただし、青焼コピーや皮革、卵白などに異臭を生じることがある。万一、臭気がついてもしばらく放置しておくで消失する。活性炭による吸着も有効である。またヨウ化メチルガスは紫外線あるいは300℃以上の熱源にさらされると分解し、微量のヨウ素を発生させることがあり、光で褐色化することがあるので、燻蒸雰囲気下では高温の熱源を置かず、日光、照明の点灯を避ける。
- (オ) 活性炭によく吸着する。
- (カ) オゾン層を破壊しない。
- (キ) 投入するガス容量が比較的少ない。

エ 標準投薬量

殺虫・殺菌処理と標準投薬量

使用条件	温度(℃)	燻蒸時間 (hr)	標準投薬量(g/m³)
被覆燻蒸法 密閉燻蒸法 燻蒸庫燻蒸法	20～30	72	120

温度が 15℃以下の時や相対湿度が 50%以下での燻蒸では十分な効果が得られない場合がある。

※ 空間均一ガス濃度を燻蒸時間 24 時間までは 100g/m³以上、24～48 時間では 95g/m³以上、48～72 時間では 90g/m³以上を保持すること。

殺虫処理と標準投薬量

使用条件	温度(℃)	燻蒸時間(hr)	標準投薬量(g/m ³)
被覆燻蒸法 密閉燻蒸法 燻蒸庫燻蒸法	15～30	24	40
温度が 10℃以下での燻蒸では十分な効果が得られない場合がある。			

※ 空間均一ガス濃度を 20g/m³以上保持すること。

オ 燻蒸方法：

(ア) 常圧燻蒸法

a 被覆および包み込み燻蒸法：本法は野外の大型文化財建造物や屋内で小型文化財集団をシートで被覆して行う文化財害虫や微生物の駆除に適用する。

(a) 被覆材料は、ネオプレンびきナイロン、ビニールびきナイロン、ポリエチレン・ナイロンラミネート、ポリエチレン（厚さ 0.3mm以上）、およびこれらと同等またはそれ以上の性能をもつシートを使用する。屋外など強い紫外線が当たる場所では色付、アルミ貼り処理等、紫外線遮断機能があるシートを使用する。

(b) 被覆材料の接合法は、接着法と巻込法とし、燻蒸対象物を完全に被覆するようにする。接着法は被覆材料の材質に適した接着剤ならびに接着法による。巻込法は、シート相互の重ね幅を約 30cm とし、これを巻き込んで適当な間隔ごと、後者は 1～1.5m ごととする。接着法および巻込法による接合部は、ガス漏れがないようにきつく接合する。

(c) シートの被覆方法は、文化財を直接被覆しないで、原則として建造物は足場・支柱などで十分養生し、屋内で行う小型文化財集団の場合は枠組を行い、その上からシートで固定する。被覆シートの固定は、綱・綱・ウォータースネーク・サンドスネーク・ゴルフボールの包み込み方法などによる。被覆シートの裾は、ウォータースネーク・サンドスネークなどを 2、3 本配して下部よりのガス漏れを防ぐ。必要に応じ、シートの裾に直接土壌を載せたり、地面を掘ってシートの裾を直接土中に埋めることもある。屋内の場合は粘着テープで床に貼りつけるか、あらかじめ床にシートを敷き、これと被覆シートとを前出 2)の接合法によってガス漏れのないように接合する。被覆シートの破れるおそれのある箇所（建造物の棟・軒先・けらばなどの突出部、屋内の場合では木枠の角・戸棚の角など）にはパッドをとりつけて破損を防止する。

- (d) 使用薬量は燻蒸容積、燻蒸時間、気温等を考慮して決定する。殺虫を目的とする場合、燻蒸時間 24 時間として薬量 40g/m^3 (燻蒸中の空間ガス濃度 20g/m^3 以上を保持すること) を標準とする。殺菌を目的とする場合、燻蒸時間 72 時間として薬量 $110\sim 130\text{g/m}^3$ (燻蒸中の空間ガス濃度を燻蒸 24 時間までは 100g/m^3 以上を、燻蒸 24~48 時間では 95g/m^3 以上を、さらに燻蒸 48~72 時間では 90g/m^3 以上を保持すること) を標準とする。ただし、薬害を受けやすい文化財に対しては減量しなければならない。

a 密閉燻蒸法：密閉燻蒸法は鉄筋コンクリート造（コンクリートの厚さ 15 cm 以上）など比較的気密性の高い構造で、ガス漏れ部分の少ない建造物の場合に行う方法で、建造物全体を行うときと、建造物の一部（1~数室）において行うときに適用する。

- (a) 密閉方法は、扉・扉枠・窓・窓枠など開放部分の周辺、その他ガス漏れ部分の目張り法とするが、目張りの困難な場所ではプラスチック粘土・油粘土・パテなども使用してガス漏れがないようにする。

- (b) 目張り材料は、幅広粘着テープ（ガムテープ）またはクラフト紙を接着して行う（接着剤にアルギン酸ソーダを使用する時には 0.8~1% が適当である）。ガス漏れのおそれがある場所では二、三重貼りとする。

- (c) 使用薬量は燻蒸容積、燻蒸時間、気温等を考慮して決定する。

- (d) 殺虫を目的とする場合、 40g/m^3 を標準とするが空間均一ガス濃度として 20g/m^3 以上を保持するものとする。

- (e) 殺菌を目的とする場合、燻蒸時間 72 時間として薬量 $110\sim 130\text{g/m}^3$ (燻蒸中の空間ガス濃度を燻蒸 24 時間までは 100g/m^3 以上を、燻蒸 24~48 時間では 95g/m^3 以上を、さらに燻蒸 48~72 時間では 90g/m^3 以上を保持すること) を標準とする。ただし、薬害を受けやすい文化財に対しては減量しなければならない。

a 燻蒸庫（室）燻蒸

建物の内外に特別の専用燻蒸庫（室）が設置されているときに適用する。燻蒸庫（室）はガス漏れが容易に起こることのない構造となっている。使用薬量は前出 b に準じて行う。

(イ) 減圧燻蒸法

減圧燻蒸法は、真空装置 Vacuum chamber に対象文化財を入れ、空気を抜いて減圧状態にして燻蒸する方法であるから、真空装置に入る程度の大きさの文化財の燻蒸のみに適用する。

- a 使用薬量は、ガス漏れがないので、殺虫を目的とする場合、最低の 20g/m^3 でよいが、燻蒸時間を短縮するためには増量しなければならない（燻蒸 1~2 時間では供試虫のコクゾウムシ成虫は脚を微動させているが、翌日には致死する。燻蒸当日において供試虫瀕死または死の状態にするには、薬量を 2~3 倍使用する）。

- b 減圧の程度は、燻蒸時間の短縮と関係するが、 5.3kPa (40mmHg) ~ 8.0kPa (60mmHg)

が有効である。この程度の減圧状態とし、所定の薬量（20～60g/m³）導入し、減圧状態のまま 15 分間保持した後、常圧（大気圧）に戻し、燻蒸時間 3～4 時間後に排気し、再び常圧に戻してから、真空装置の扉を開く。排気バルブ空気取り入れバルブの開閉は少しずつ慎重に行う（燻蒸時間はテストサンプルによる実験では 1～2 時間でよいが、実際には安全度をみて 3～4 時間とした）。

カ 燻蒸作業の注意事項

- （ア）燻蒸実施方法、ガスの特徴、中毒症状、緊急事故発生の際の処置、すなわち、応急手当、緊急医療機関への連絡など危害防止に必要な事項を作業員・関係者に十分説明する。
- （イ）燻蒸場所の周囲には「燻蒸中につき立ち入り禁止」の標識を目に付きやすい場所数か所に掲げ作業員以外の者がいないことを確認するとともに、作業員についても人数などを確認する。
- （ウ）投薬は、燻蒸空間の外部において気化器を介して行い、燻蒸する場所で投薬してはならない。
- （エ）ガス容器は、使用時以外はバルブを閉め、キャップを確実に取り付け、転倒することのないようにするなど、必ず安全に処理する。
- （オ）燻蒸中は作業員を常駐させ、巡回警備にあたる。
- （カ）被覆燻蒸法を採用した場合は、シートの被覆作業を、密閉燻蒸法を採用した場合は目張り作業を確実に行う。
- （キ）換気口・排気口・下水口などガス漏れのおそれのある箇所は、ガス漏れのないように被覆または密閉する。
- （ク）ガスの拡散均一化を促進するためにガス攪拌装置・ガス循環装置等を設置する。
- （ケ）動植物、家具（特にマットレスやクッション付きのベッド・椅子など）、その他の什器（特にすぐ使用する食器類）などは屋外に搬出するか、搬出できないものは、ガスが直接接触しないように合成樹脂フィルムで厳重に包み込む等の適当な保護措置をとる。
- （コ）被覆作業または密閉作業の完了後、ガス漏れ点検のために、燻蒸容積に応じて投薬予定量の 1/10 以下のヨウ化メチルガスを予備導入し、ガス漏れを検知器で入念に調べる（発煙筒を使用する方法もあるが、適量を越すと褐色汚染をおこすおそれがあるので、貴重な文化財の場合には使用しないほうがよい）。
- （サ）燻蒸中のガス濃度の測定は、1 時間ごとにガス検知器で行い、原則として空間の上中下層が均一化し空間ガス濃度が所定量に達したときを燻蒸の開始とする。その後は所定の濃度を維持するために薬剤の追加投薬を行うときもある。
- （シ）燻蒸中にガス濃度の急激な低下が起こった場合はガス漏れ検知器を用い、ガス漏れ箇所の探索に努め、確認できたら、直ちに補修する。
- （ス）補修後、再びガス濃度の測定を行い、補充量を算出して薬剤を追加導入するとともに、

燻蒸時間を 12 時間以上延長する。

- (セ) 所定時間経過後、供試虫（成虫）の生死により燻蒸効果を調べ、供試虫の 100%致死をもって一応、殺虫目的を達したとみなす。供試虫が生存しているときは、燻蒸時間を延長するために再び追加投薬を行い、供試虫の 100%致死を確認するまで燻蒸する（殺菌の場合、即座の判定はできない）。
- (ソ) 燻蒸終了後、残留ガスは環境への排出を極力防ぐため吸着装置、例えば、活性炭を用いた吸着槽などを使用して吸収させ、濃度の低減に努める。その後、風向・風速・周囲の状況などを考慮して排気を行う。
- (タ) 屋内や燻蒸空間内の残留ガス濃度が 2ppm 以下になるまで立入りは厳禁とする。
- (チ) シートまたは目張りシールの除去は、周囲の状況を考慮し安全を確認して行う。
- (ツ) 被覆シートまたは目張りシートを取り除き、扉・窓を開放し、建物各部について残留ガスの有無を調べ残留ガスの排出に努める。
- (テ) 建造物の各部にガスが吸着しているから、1 日以上は開放放置することが望ましい。
- (ト) 建造物各部に残留ガスのないことを確認した上で、燻蒸作業の終了を宣言する。

キ 燻蒸作業の適用機材

ヨウ化メチルによる燻蒸を行う場合の機材について説明する。なお、機材のうち臭化メチルあるいは臭化メチル・エチレンオキシド製剤と共通するものについては前出の説明に従い、ここでは、ヨウ化メチルによる燻蒸として必要な仕様について述べる。

- (ア) 燻蒸剤：アイオガード。ヨウ化メチルを成分とする燻蒸剤（アイオガード）は、現在、20kg 詰の容器（ボンベ充填）である。ボンベ内は 0.5MPa に加圧されていてヨウ化メチルは主に液体として存在している。サイホン管を装着していて投薬はボンベを立てたままバルブを開け、ヨウ化メチルは液体として供給される。管理上からボンベの使用期限は充填日から 6 か月であるから長期の買いだめはできない。

(イ) ヨウ化メチル入り容器の取扱上の注意事項

- a ボンベは直立した状態で保管または使用する。
- b ヨウ化メチル入りの容器は通気のよい暗所（40℃以下）で施錠のできる場所に保管する。
- c 直射日光、火気、その他の熱源や腐食性の強いものの近くにおいてはならない。
- d 一時的に野外に置く場合は容器の下に枕木を敷き、シートでカバーして冷涼な場所に置く。
- e ヨウ化メチル入りの容器を運搬する場合、引火・発火しやすいものや腐食性の強い薬品類と混載してはならない。
- f ヨウ化メチル入りの容器の取扱中、薬液がこぼれたり、ガスが漏えいした場合は直ちにその場所を離れ、安全対策をとる。

g 屋内で薬液がこぼれたり、ガスが漏えいした場合は、ドアや窓を開放してガスの拡散を図る。

h 使用済みのボンベはバルブを閉め、袋ナットをしてキャップをかぶせておく。

i 使用済みのボンベや使用期限切れのボンベは速やかにメーカーに返却する。

(ウ) 被覆用のシート

被覆材料は、ネオプレンびきナイロン、ビニールびきナイロン、ポリエチレン・ナイロンラミネート、ポリエチレン（厚さ 0.3mm 以上）、およびこれらと同等またはそれ以上の性能をもつシートであるが、ポリエチレン・ナイロンラミネートはヨウ化メチルガスのバリア性能に優れている点で好ましい。また、厚さはバリア性のみならず強度あるいは作業性から考慮されるべきものであり、いずれの場合でも厚さ 0.3mm 以上は確保したい。さらに、直射日光下では多量の紫外線照射がありえるのですべての場合で遮光処理（紫外線カット機能）が必要である。対応としては、上述材質の色付シート、アルミ貼りシートを使用することであるが、被覆シートそのものが透明であってもその上を遮光性シートなどで覆うことで対応可能である。遮光性については市販の UV-B 測定器（例えば、UV-340（株）カスタム）などを携帯し、燻蒸物が燻蒸ガス雰囲気下（ヨウ化メチル 1000ppm 以上）において紫外線 B 波強度が $1 \mu W/cm^2$ を超えず、積算照射時間においても 24 時間までにおさまるように管理する。

(エ) 呼吸用保護具：燻蒸作業中の燻蒸現場ではガス検知によりガスが存在しないことを確認した場所以外では防毒マスクを装着する。

防毒マスク：全面形面体・隔離式吸収缶を用い、自分の顔によく密着し、ガスの侵入がないことを作業ごとに十分点検する。

吸収缶：ヨウ化メチルが吸着できる吸収缶としては、有機ガス用、臭化メチル用、ヨウ化メチル専用などがあるが、吸着能力が高いヨウ化メチル専用を用いることが好ましい。使用にあたっては添付されている注意事項をよく読んで守る。

化学防護手袋の種類と交換時期：ポリエチレン／ナイロン多層：480 分以上、ポリビニルアルコール：360 分以上、シルバースールド：4 分、フッ素ゴム（バイトン等）：378 分、ブチル：55 分。それ故、シルバースールドは使用不適である。

(オ) 気化器：ヨウ化メチルのガス投薬においては、発生させたヨウ化メチル蒸気を速やかに希釈するための循環エアー系を必要とする。循環エアー系は燻蒸雰囲気下（例えば、燻蒸庫内）から空気の一部をポンプもしくはブロアーなどを介してヨウ化メチルが気化した濃い蒸気部分に導き希釈することでガスの早期安定化を図るものである。気化器としては従来から用いられてきた臭化メチル用、エキボン用の機器を一部改造・補器の取付けにより新たにヨウ化メチル仕様に改造して用いることができる。

(カ) 循環エアー系

前出「ヨウ化メチルの温度と蒸気圧の関係」から明らかなように、ヨウ化メチルガスの所定温

度での飽和気体濃度は、10℃においても 29%であり、現実の気温下では燻蒸に必要なガス濃度（3%程度）は十分安定に存在する。ところが、気化器出口・ガス配管中ではヨウ化メチル蒸気そのものが移動するわけであり、その際に気体温度が 10℃に下がれば 29%を上回る濃度分について液化が起こりえる。液化を防止するためには発生させたヨウ化メチル蒸気が配管を通過する際の温度における飽和気体濃度以下になるように蒸気が発生したその場に空気を導き希釈を行う必要がある。単位時間当たりの投薬量による希釈に必要な循環エアーの量は以下の式に従い算出する。

- (a) $V_{st} = S \div 142 \times 22.4 (1 + t \div 273)$
- (b) $V_{rt} = V_{st} (100 - Ct) \div Ct$
- (c) 単位時間当たりの投薬量 = $S(\text{g/min})$
- (d) ヨウ化メチル分子量 = 142
- (e) 配管温度 = $t \text{ (}^\circ\text{C)}$
- (f) 配管温度下における投薬ヨウ化メチルの気体容積 = $V_{st}(\text{L})$
- (g) 配管温度下におけるヨウ化メチルの飽和気体濃度 = $Ct(\%)$
- (h) 必要とする単位時間当たりの循環エアー量 = $V_{rt}(\text{l/min.})$

例えば、1 分間にヨウ化メチルの 100 g を気化する場合、発生したヨウ化メチルガスを液化させることなく 10℃の配管中を送るために必要な循環エアー量は 40.2(l/min.)以上である。

- (i) $V_{s10} = 100 \div 142 \times 22.4 \times 283 \div 273 \approx 16.4(\text{l/min.})$
- (j) $V_{r10} = 16.4 \times (100 - 29) \div 29 \approx 40.2(\text{l/min.})$

送風のためには能力相応のポンプもしくはブロアーを用いる。

(キ) 気化器：臭化メチル用、エキボン用の気化器では薬剤入りの加圧したボンベから送られてくる燻蒸剤（ほぼ液体として）をあらかじめ 80℃程度の温水中などに設置した金属製の蛇管に導き沸点以上に加温して比較的幅が狭くても気化器出口までの配管中で気化を促すタイプ、ある程度容積にゆとりを持つ加温した金属製の気化室（釜状）に薬液を送りその場所で蒸発させるタイプ、さらには蛇管に引き続き気化室を設けているタイプなどである。ヨウ化メチルの蒸発潜熱は 47cal/g、気化に必要な熱量の供給面においては、従来のタイプで対応可能であるが、通常では気温が沸点より低く臭化メチルなどのような瞬間的な沸騰は起こりづらい。そこで十分な熱交換を行うための、あるいは気化までの一時的な液溜としてのある程度の容積をもつ気化室が必要である。ヨウ化メチルを気化させる基本的な仕様としては気化室あるいは蛇管と気化室を併せてもっている気化器であり、その気化室内に前出の循環エアー系出口を導く改造が施せれば、蒸発が起こるその場で濃い発生ガスの安定化を図ることが可能で最も好ましい。一方、蛇管のみのタイプあるいは気化器の気化室への細工が難しい場合では気化器の出口側近くの配管部に循環エアーとの混合も兼ねた簡易型の気化室を接合する必要がある。

(ク) 簡易型の気化室の接合（補器）：気化器出口で濃いヨウ化メチル蒸気を循環エアで希釈するためのスペースを設ける。その基本構造としては釜状のポットに気化器から発生するヨウ化メチルガスの入口、循環エアの入口そして希釈されたヨウ化メチルガスの出口から成り、希釈されたヨウ化メチルガスは燻蒸庫等に投棄される。なお、ポット部は電気ヒーターなどで 60℃ 程度に加熱しておく。

(ケ) 濃度の測定器：18 型ヨウ化メチル用(0.5～150 g/m³)、FI-21(0～200 g/m³)

(コ) ガス漏れの探知器：コスモテクターXP-316 (0-500 p p m)、簡易ガスリークチェッカーGH202

(サ) 検知管：ヨウ化メチル検知管 2-40ppm (176S)

(シ) ガス攪拌装置、ガス循環装置：ガスの速やかな拡散均一化を図るために、ガス攪拌装置またはガス循環装置を設置しなければならない。

(ス) 残留ガスの処理（処理方法および資源のリサイクル）：

(セ) 残留ガスの処理：燻蒸を終了するために残留ガスを処理する。残留ガス処理装置を使用してガスを吸収、ガス濃度を低減させるもので、その後、風向・風速・周囲の状況などを考慮して排気を行い、さらに 2ppm 以下まで濃度の低減に努める。残留ガス処理装置は内部に充填した活性炭にヨウ化メチルを吸着吸収する。使用する活性炭はヨウ化メチルの吸収に優れるとともに再生処理が可能な造粒炭（商品名：アイオコール）を使用し、投棄薬剤重量の 2.5 倍を基準に用いる。

(ソ) 資源のリサイクル：ヨウ化メチル燻蒸においては、従来は産業廃棄物化していた残留ガスを吸収させた活性炭に再生処理を行うことでヨウ化メチル分は再生産用原料として、使用済み活性炭は賦活して再使用する資源のリサイクルを行う。使用済みアイオコールは運搬用容器に再充填後、空ボンベとともにメーカーに返却する。運搬用容器は密封性のある蓋付きポリエチレン製オープンドラム（3.5～5mm厚）が用いられていて、ヨウ化メチルガスが漏えいするおそれは少なくなっている。ただし、吸着直後の活性炭は熱をもっているのでそのまま容器に充填封印した場合、容器内では温度が下がるに従って陰圧が発生し、容器を歪め、密封性が損なわれるおそれがあるので活性炭が一旦常温になるまで待ってから充填あるいは充填済みのものにあっては容器の蓋をすること。

ク 中毒症状

ヨウ化メチルを用い燻蒸処理を実施する際に、作業員、近隣居住者の安全を図り、作業が適切に行われるために、特に重要な留意点を記述した。なお、中毒症状に関しては、症例数が少ないことから標準化した状況ではないが、現在得られる少ない事例からは臭化メチルに酷似していることが報告されており、治療に必要な知識においても臭化メチルでの対応が参照されることが多い。

(ア) 軽度：めまい、複視、悪心、ふらつき、会話の混乱

(イ) 中等度：嘔吐、下痢、四肢の脱力感、歩行困難、妄想

(ウ) 重篤な場合：震せん、躁状態、意識混濁、呼吸困難

皮膚に接触した場合では水泡、発赤が生じ、刺激症状を伴うことが多い。

ケ 応急処置

皮膚に付いた場合：直ちに汚染された衣服、靴などを脱ぎ、石鹸を用いて大量の水で洗浄する。

目に入った場合：直ちに流水で15分以上洗浄し、医師の手当てを受ける。

吸入した場合：直ちに新鮮な空気のところへ運び、医師の手当てを受ける。

コ 治療方法

(ア) 医師への情報

燻蒸の実施において異常をきたした者がでた場合には、直ちに医師の診断および処置を受けさせねばならない。緊急医療機関への連絡では異常がでた際の状況のみならず過去の状況、燻蒸作業の従事者においては以前の燻蒸の際の状況なども把握して情報提供することが必要である。

(イ) 治療方法に関する情報

臭化メチル中毒での場合に準じるが、酸素吸入等の呼吸管理のもとで、乏尿、無尿などの腎機能障害があるときには人工透析が有効である。以下、参考までに臭化メチル中毒における救急治療法を述べる。

急性期：できるだけ早期の人工透析が有効、血漿交換法やマンニトール、ラシックス等による強制利尿、グルタチオンによる解毒、肺水腫、嘔吐、痙攣などに対しての治療を行う。

慢性期：精神、神経症状（記憶障害、うつ状態、妄想、筋力低下、ミクローヌス）などに対しての対症療法を行う。

サ 健康診断項目

（特定化学物質等障害予防規則第39条（別表第三）による健康診断の実施。このとき生物学的モニタリング（尿中ヨウ素）の測定を追加することが望ましい。

期間：6か月

項目：（ア）業務の経歴の調査

（イ）ヨウ化メチルによる頭重、めまい、眠気、悪心、嘔吐、倦怠感、目のかすみ等の他覚症状または自覚症状の既往歴の有無の検査

（ウ）頭重、めまい、眠気、悪心、嘔吐、倦怠感、目のかすみ等の他覚症状または自覚症状の有無の検査

（エ）皮膚炎等の皮膚所見の有無の検査

シ 取扱上の主な適用法規

（ア）労働安全衛生法

第14条、第22条

労働安全衛生法施行令

第6条、別表第3特定化学物質（第2類物質）

特定化学物質等障害予防規則 第 27 条

(イ) 毒物及び劇物取締法

第 2 条、別表第 2 劇物

第5章 まとめ

1 対象作業

対象作業は、気体又は揮発性物質の燻蒸剤を用いて文化財の燻蒸を行う場合であること。

2 ばく露防止対策

気体又は揮発性物質の燻蒸剤を用いて文化財の燻蒸作業を行う場合には、労働者のばく露を防止するため、次の措置を講じること。なお、燻蒸剤として臭化メチルを1%を超えて含有するものを使用する場合は、特化則第38条の14(13)の規定が適用されること。また、燻蒸剤としてエチレンオキシド又はヨウ化メチルを1%を超えて含有するものを使用する場合は、この規定に準じた措置を講じることが望ましいこと。

(1) 燻蒸前

ア エチレンオキシドを1%を超えて含有する燻蒸剤を用いる燻蒸作業に従事させる場合は、特化則第38条の3に基づく特別管理物質に係る掲示を行うこと。

イ エチレンオキシドを1%を超えて含有する燻蒸剤を用いる燻蒸作業に従事させる場合は、特化則第38条の4に基づく特別管理物質に係る作業の記録及び当該記録の保存を行うこと。

ウ 燻蒸作業に関し、次の事項について作業規程を作成し、それにより作業を行うこと。

(ア) 燻蒸場所の目張りの方法

(イ) 燻蒸剤を投薬する際の気化器、バルブ、コック等の操作の方法

(ウ) 燻蒸中の燻蒸剤濃度の測定方法

(エ) 燻蒸中の燻蒸剤の漏えいの有無の点検方法

(オ) 燻蒸後の燻蒸剤の排出方法

(カ) 異常な事態が発生した場合における応急の措置

エ 燻蒸の実施方法、中毒症状、救急事態発生の際の措置（応急手当て、医師への連絡等）等、危害防止上必要な事項をあらかじめ燻蒸場所の管理者に十分説明しておくこと。

オ 燻蒸時刻、開放時刻及び燻蒸終了予定時刻の相互間の連絡方法について、あらかじめ燻蒸場所の管理者および作業主任者の間で協議すること。

カ 燻蒸機材、労働衛生保護具及び、救急機材の点検を行うこと。

キ 燻蒸場所の周囲に燻蒸実施者以外の者がいないことを確認すること。

ク 燻蒸中の場所には立入を禁止し、【燻蒸実施中・立入禁止】を見やすい箇所に少なくとも4箇所（4面）に行い、周囲になわ張りをする。

ケ 目張りを十分に行うこと。使用するシートは燻蒸剤に対して透過しにくい材質を選定する。

コ 燻蒸中のガス濃度は燻蒸施設の外部で測定できるように配管をすること。配管するチュ

ープは、燻蒸剤に対して吸着しにくく、耐腐食性の材質を使用する。

サ 投薬作業を開始する前に、目張りが確実に行われていること、及び、燻蒸しようとする場所から労働者が退避したことを確認すること。

(2) 燻蒸中

ア 燻蒸に従事する労働者は必ず呼吸用保護具などの労働衛生保護具を着用し、投薬前後の人数を確認すること。その際、使用する保護具は第5章4の各燻蒸剤による作業標準で推奨されるものを選定する。

イ 投薬（追加投薬も含む）は燻蒸施設の外部から行い、また投薬後のガス容器は、残存ガスの危険のないことを確認して必ず安全に処理すること。

ウ 投薬後、燻蒸施設内のガス濃度の測定、および漏えいの有無の点検を実施すること。空気中の燻蒸剤成分の濃度が、次に掲げる値を超えることが確認されたときは、当該燻蒸施設の周囲に立ち入る際には、労働衛生保護具を着用すること。できるだけ、燻蒸施設の周囲に立ち入る時（投薬からガス抜きまで）は、労働者にばく露濃度監視モニター（警報装置付き）を胸元に装着して、燻蒸剤濃度をモニターしながら作業を行うようにすることが望ましい。

臭化メチル:15ppm エチレンオキシド:1ppm プロピレンオキシド:2ppm

ヨウ化メチル:2ppm フッ化スルフルル:5ppm

注1) 上記の濃度値は、臭化メチルについては特化則第38条の14(13)の規定により定められている数値、臭化メチル以外の物質についてはACGIH TLV-TWAを参考としたものであること。

注2) 上記にない物質を使用する場合には、ACGIH TLV-TWA等を参考に労働者の立入を禁止する濃度値を設定することが望ましいこと。

エ 点検を行った場合において、ガスの漏えいなど、異常を認めたときは、直ちに目張りの補修その他必要な措置を講ずること。その際、労働者は労働衛生保護具を使用して作業を行うこと。いかなる場合にも、投薬された燻蒸施設内には立ち入らないこと。

オ 燻蒸場所に隣接する居室等において燻蒸作業に付随した作業、および退避（休憩）させるときは、当該場所の燻蒸剤濃度を測定すること。

カ 燻蒸剤の漏えいの有無を点検又は燻蒸剤濃度の測定は、検知管法又はこれと同等以上の性能を有する方法により行うこと。

キ 燻蒸中は燻蒸作業者を常駐させ、巡回警備に当てる。

(3) 開放作業時

ア 燻蒸後、可能な限り除毒装置を取り付けて排出すること。排出口は近隣住居者の安全を考慮すること。

イ 開放を行う燻蒸作業に従事する労働者は必ず呼吸用保護具などの労働衛生保護具を着用して実施すること。

(4) 開放作業後

ア 燻蒸施設内のガス濃度が(2)の(ウ)に示した濃度以下になったことを確認した後、燻蒸の終了とし、第3者の立入を許可すること。

イ「燻蒸実施中・立入禁止」の表示および「なわ張り」は、開放後、安全が確認され次第、撤去すること。

3 労働衛生教育

燻蒸に従事する労働者に対し、次の事項について労働衛生教育を行うこと。

- (1) 燻蒸剤の成分である化学物質の性状及び有害性
- (2) 燻蒸剤の成分である化学物質による健康障害、その予防方法及び応急措置
- (3) 燻蒸場所の目張りの方法及び燻蒸剤の投薬の方法
- (4) 保護具の種類、性能、使用方法及び保守管理、とりわけ、呼吸用保護具の正しい装着に関する実習
- (5) 燻蒸中の燻蒸剤濃度の測定方法
- (6) 燻蒸中の燻蒸剤の漏えいの有無の点検方法
- (7) 燻蒸後の燻蒸剤の排出方法
- (8) 関係法令

4 健康管理等

- (1) 常時、臭化メチル、ヨウ化メチルを1%を超えて含有する燻蒸剤を用いる燻蒸作業に従事する労働者に対して、臭化メチル、ヨウ化メチルに係る特定化学物質等健康診断を受診させること。その際、各燻蒸剤における生物学的モニタリング(尿中の臭素又はヨウ素の量)の測定を行うことが望ましい。
- (2) エチレンオキシドを1%を超えて含有する燻蒸剤を用いる燻蒸作業に従事する労働者に対して、6ヶ月以内ごとに1回、一般定期健康診断を受診させること。
- (3) (1)及び(2)のほか、燻蒸に従事する労働者に対して、一般定期健康診断を確実に実施するとともに、所見の認められた労働者については産業医等の意見を踏まえ、必要な就業上の措置を行うこと。
- (4) 特定化学物質等に該当する燻蒸剤が漏えいした場合において、労働者が当該物質により汚染され、又は吸入したときは、医師による診察等を受けさせること。また、特定化学物質等に該当しない燻蒸剤により汚染され、又は吸入した場合についても、同様の措置を講ずることが望ましいこと。
- (5) 臭化メチル、ヨウ化メチル、エチレンオキシド以外の燻蒸剤を取り扱う燻蒸作業に従事する労働者に対して、産業医と相談して健康診断項目を決め、6ヶ月以内ごとに1回、使用する燻蒸剤に

対する特殊健康診断を実施することが望ましいこと。

5 安全衛生管理体制等

- (1) 特定化学物質等に該当する燻蒸剤を用いて燻蒸作業を行う場合には、特定化学物質等作業主任者を選任し、作業の指揮、保護具の使用状況の監視等の職務を行わせること。
- (2) 特定化学物質等に該当しない燻蒸剤を用いて燻蒸作業を行う場合には、取り扱う化学物質の有害性、安全な作業の方法等について十分な知識を有する者のうちから作業指揮者を選任し、作業の指揮、保護具の使用状況の監視等の職務を行わせること。
- (3) 燻蒸剤の吸入等により中毒災害等が発生した場合に備え、専門の医療機関を把握するとともに、緊急連絡体制を整備すること。

添付資料

臭化メチル代替燻蒸剤による作業者のばく露状況調査

1 目的

臭化メチル代替物質による作業者のばく露状況を把握するために、ヨウ化メチル、プロピレンオキシド、フッ化スルフリルやエチレンオキシドを対象に、個人ばく露濃度の測定を実施し、その値を基準値（ばく露限界値）と比較、検討を行った。また、分析法が確立された燻蒸剤を対象に、尿中代謝産物の測定を行ったので、以下、物質ごとにまとめて報告する。

2 調査方法

(1) 個人ばく露濃度測定

（ヨウ化メチル

有機ガスモニター No.3520(3M 社製)を作業開始時に作業者の襟元に取り付け、作業終了時に回収して、作業者が作業中にばく露したヨウ化メチルを捕集した。回収した個人サンプラーは冷蔵保存で持ち帰り、1層・2層とも二硫化炭素(CS_2) 1.5ml で脱着し、GC-MS で分析した¹⁾(表 1)。なお、No.3520 によるヨウ化メチルのサンプリング速度として、メーカー表示の 36.7ml/分を用いて、作業者のばく露濃度を計算した。

表1 GC-MS分析条件

分析装置 G1800B GCD system (HP 社製)	
カラム	30m DB-WAX 内径 0.26mm 膜厚 0.5 μ m (J&W Scientific 社製)
検出器	MSD
注入口温度	250°C
トランスファーライン温度	250°C
オープン初期温度	40°C (4min)
昇温率	10°C/min
オープン最終温度	150°C
モニターイオン	142m/z
検出限界	0.1ppm

b: プロピレンオキシド

有機ガスモニター No.3520(3M 社製)を、作業開始時に作業者の襟元に取り付け、作業終了時に回収した。回収したモニターは、二硫化炭素(CS_2) 1.5ml で脱着してバイアル瓶に移して冷蔵保存した。分析には質

量分析計型検出器を装備したガスクロマトグラフ GC-MS による分析²⁾を行った(表2)。

No.3520 によるプロピレンオキシドのサンプリング速度として、メーカー表示の 37.7ml/分を用いて、作業者ばく露濃度を計算した。

表2 GC-MS分析条件

分析装置 G1800B GCD system (HP 社製)	
カラム	30m DB-WAX 内径 0.26mm 膜厚 0.5 μ m (J&W Scientific 社製)
検出器	MSD
注入口温度	250°C
トランスファーライン温度	250°C
オープン初期温度	40°C (4min)
昇温率	10°C/min
オープン最終温度	150°C
モニターイオン	43m/z
検出限界	0.1ppm

c:フッ化スルフル

作業者口元に活性炭管を装着し、腰につけたミニポンプにて (流量 0.1L/min)にて固体捕集し、イオンクロマトグラフによる分析³⁾を行った。活性炭管に 40mN の NaOH 水溶液 2ml を加え、超音波槽にて60分入れ脱着した。抽出液の 1ml をイオンクロマトグラフ (島津製作所製 CDD-6A)にてフッ素イオン濃度を分析した。カラムは IonPac-AS4A (DIONEX 製)内径 4mm 長さ 250mm オープン 40°C 溶離液 40mN の NaOH 水溶液 (3.2g の NaOH に精製水 2L を加える)、50 μ l 注入、流速 1.0ml/min で分析した。そして、 $SO_4F_2/F^- = 2.686$ なので、 $SO_4F_2 (mg/m^3) = F^- (mg/m^3) \times 2.686$ にて計算した。

d:エチレンオキシド

エチレンオキシドモニター No.3551 (3M 社製)を、作業開始時に作業者の襟元に取り付け、作業終了時に回収し、GC-ECD による分析⁴⁾を行った。回収したモニターはジクロロメタン 10% (V/V) のメチルアルコール溶液を調整したものを脱着溶媒とし、上記溶媒を 1.5ml 注入し、30 分間振盪と放置を繰り返し、脱着し、2-ブロモエタノールの量を GC-ECD にて分析した(表3)。定量した 2-ブロモエタノール量をエチレンオキシド量に換算し、エチレンオキシド量を求めた。

$$\text{エチレンオキシド量} = 2\text{-ブロモエタノール量} \times \frac{44.05}{124.98}$$

$$C = \frac{M}{r \times K \times t} \times 10^3$$

C:濃度 [mg/m³]

M:GCによって得られたエチレンオキサイド量 [μg]

r:脱着率(不明の場合は 1.0 を使用する)

K:サンプリング速度 [cm³/min](49.3 を使用した)

t:サンプリング時間 [min]

濃度を ppm で表すために、以下の式を使用した。

$$C' = C \times \frac{1}{44.05} \times \frac{298}{273} \times 22.4$$

C':濃度 ppm (温度 25℃)

表3 GC-MS分析条件

分析装置 5890 SERIES II (HP 社製)	
カラム	30m HP-WAX
	内径 0.25mm
	膜厚 0.25 μm
	(HP 社製)
検出器	ECD
注入口温度	250℃
トランスファーライン温度	250℃
オープン初期温度	40℃
保持時間	5min
昇温率	5℃/min
オープン最終温度	120℃
検出限界	0.002ppm

(2) リアルタイム測定

個人サンプラーを装着した作業者に、リアルタイムで濃度を測定することができる VM30 (RAE 社製) を取りつけ、作業者口元付近の燻蒸剤濃度の経時的変化を測定した。測定ログは 30 秒間隔で取った。そして、VM30 の測定値はイソブチレン換算値であるため、各個人ばく露測定により求めた濃度に以下の式よりファクターを求め、各測定値にファクターを乗じて燻蒸剤濃度に変換した。

ファクター＝個人ばく露測定による濃度／VM30 による平均値 (休憩時間除く)

また、タイムスタディーを実施して、実際の作業・行動について記録を行った。

3 結果及び考察

(1) ヨウ化メチル

ヨウ化メチルの個人サンプラー測定結果のまとめを図1に示す。投薬作業における個人サンプラー値の幾何平均値は1.82ppm、漏洩チェック&追加投薬で12.48ppm、ガス抜き作業で6.16ppmと、ヨウ化メチルの個人ばく露濃度の基準値⁵⁾(TLV-TWA)である2ppmに近いあるいは、それ以上である結果であった。

VM30によるリアルタイム測定より、投薬作業の結果を図5から図14に示す。投薬作業で一番高値(23.1ppm)が得られた図8の結果において、ボンベ交換時に瞬間的ではあるが、4000ppmを超える高濃度の発生が認められたことが注目された。図9から図11では、冬季で気化が上手くいかず、気化器で気化させたものの、燻蒸庫に導入された接続ホース内でヨウ化メチルの液化が認められ、その対応が行われた。ヨウ化メチルの沸点が42.5℃と他の燻蒸剤に比べ高いことより、気化しにくい欠点を有する。そのため、既存の気化器では、一旦気化するものの、途中で液化して、燻蒸がうまくいかなかったためである。気化器の調整を行うことにより、投薬時にばく露される要因となった。多くの施設で投薬中にも漏洩チェックが行われ、その際にも燻蒸庫からの漏洩に伴うばく露が認められた。また、最後の気化器の取り外し時もばく露が認められた(図13)。ボンベ交換時にばく露も認められていた。また、目張りが不十分で、投薬作業中に目張りを行っていた。すなわち、投薬作業では、気化器へのボンベ交換、気化器の取り外し時、そして、燻蒸庫からの漏洩によるばく露が認められた。

漏洩チェック及び追加投薬のリアルタイム測定結果を図15から図17に示す。これらの作業では、目張り不十分のため漏洩と追加投薬に伴うボンベ交換時にばく露していた。これらのリアルタイム測定から、図3の個人サンプラー値でばく露濃度が高いことも裏付ける結果であった。

ガス抜き作業のリアルタイム測定結果を図18から図24に示す。ヨウ化メチルでのガス抜き作業、活性炭への吸着を行うため、ある時間経過するとヨウ化メチルを吸着捕集した活性炭袋を取り出し、新しい活性炭袋に交換する作業を行っていた。この交換作業時に、作業者のヨウ化メチルのばく露が認められた。

ヨウ化メチルは沸点が高いこと、ガス抜き時、活性炭に吸着回収することが他の燻蒸剤と異なるといえる。それらを考慮した作業が行われており、そのとき、ばく露される可能性がある。

(2) プロピレンオキシド

プロピレンオキシドの個人サンプラー測定結果のまとめを図2に示す。投薬作業での個人サンプラー値の幾何平均値は0.52ppm 漏洩チェック&追加投薬が0.67ppmとTLV-TWA⁵⁾である2ppmを下回る結果であり、ガス抜きが2.39ppmと若干超える結果であった。

プロピレンオキシドの投薬作業におけるリアルタイム測定を図25から図29に示す。プロピレンオキシドは希釈ガスとしてアルゴンを使用し、そのバランスをチェックしながら投薬するために、専用の流量コントロールと気化器を用いて行われていた。この専用の気化器はボンベ交換も耐圧ホース内に残存するプロピレンオキシドをパージした上、交換が可能である構造を有した。そのため、リアルタイム測定においてボンベ交換時の瞬間的な濃度においても、1桁低い濃度である結果であった。目

張りにも十分な配慮がなされ、投薬後の燻蒸庫からの漏洩も少ないことより、投薬室には、ほとんどプロピレンオキシドガスが存在しない状況であった。それらが関与して、ボンベ交換時投薬時に低くばく露濃度が得られたものと思われた。

漏洩チェック及び追加投薬のリアルタイム測定結果を図 30 から図 33 に示す。これらの値も微量な漏洩を示す結果であり、それが個人サンプラー値に影響する結果であった。

ガス抜き時のリアルタイム測定結果を図 34 から図 39 に示す。ガス抜き時、作業者は 1000ppm を越える燻蒸庫内に顔を挿入して、排気用蛇管を取り出す際、瞬間的に高濃度のばく露に接触していた。また、そのとき、高濃度のガスが庫外に漏洩する。また、排気用ブロアーにスイッチをいれて、庫内の空気を蛇管に通気した後、漏洩チェックで見回るとき、ばく露が認められた。

(3) フッ化スルフリル

フッ化スルフリルの個人サンプラー測定結果のまとめを図 3 に示す。投薬時のばく露濃度の幾何平均値が 0.11ppm、漏洩チェックが 0.01ppm、ガス抜き時が 0.08ppm とフッ化スルフリルの TLV-TWA⁵⁾ の 5ppm を下回る結果であった。投薬、漏洩チェック、およびガス抜きは空気ボンベ、エアラインマスクを装着して作業が行われた。

リアルタイムの測定結果を図 40 から図 45 に示した。ボンベ 1 本を用いた投薬のため、ボンベ交換がなかったことと、追加投薬がなかった。24 時間燻蒸のため、翌日ガス抜きであった点が、72 時間燻蒸のヨウ化メチル、プロピレンオキシドと異なった。図 40 の投薬作業においてもボンベからの漏洩が認められず、庫内濃度チェックのとき、若干のばく露があった。図 43 のガス抜きでも庫内作業で微量のばく露が認められた。

(4) エチレンオキシド

エチレンオキシドの個人サンプラー測定結果のまとめを図 4 に示す。投薬時のばく露濃度の幾何平均値が 0.50ppm、漏洩チェックが 0.50ppm、ガス抜き時が 0.10ppm とエチレンオキシドの TLV-TWA⁵⁾ の 1ppm を下回る結果であった。

リアルタイムの測定結果を図 46 から図 52 に示した。投薬時や追加投薬時に瞬間的なピークが認められた。ガス抜き時にもガス回収時にばく露が認められたが、微量であり、それが反映してか、個人サンプラー値も低い値を示したものと思われた。

4 まとめ

臭化メチルの代替物質に対する文化財燻蒸作業者のばく露評価を中心に実施した。ヨウ化メチルにおける個人サンプラーによる測定（個人ばく露濃度測定）結果として、投薬（幾何平均値 1.82ppm、範囲 23.07～0.30ppm）漏洩チェック&追加投薬作業（同上 12.4ppm、33.90～0.40ppm）ガス抜き作業（6.16ppm、11.40～2.08ppm）と、多くのデータが基準値（TLV-TWA）2ppm を超える結果であった。プロピレンオキシドでは投薬（0.52ppm、2.78～0.19ppm）漏洩チェック&追加投薬作業（0.67ppm、1.30～0.39ppm）ガス抜き作業（2.39ppm、18.96～0.50ppm）と、ガス抜き以外では基準値（TLV-TWA）2ppm を下回る結果であった。フッ化スルフリルは全てのデータで基準値（TLV-TWA）5ppm を下回る結果で

あった。エチレンオキシドでも基準値（TLV-TWA、許容濃度）1ppm に対し、ガス抜き作業で1名のみ、1.28ppm を得たのみであった。

これら燻蒸剤によるばく露濃度の違いは、以下の点による。

- 1 燻蒸剤の沸点が異なり、沸点の高いヨウ化メチルが既存の気化器では気化しにくく、気化器の調整でばく露した。
- 2 燻蒸会社、燻蒸作業者により投薬前の目張り技術が大きく異なり、目張りが不十分な状態での燻蒸において、投薬後、燻蒸剤の漏洩が発生し、追加投薬が頻繁に行われたりした。
- 3 作業者のばく露防護のための労働衛生保護具の装着の徹底がなされていなかった。

これらの代替物質の使用に伴う作業者ばく露を軽減するためには、燻蒸剤ごとに作業標準の作成、労働衛生保護具の正しい選定と装着、作業環境測定、健康診断項目の実施が必要である。

参考文献

- 1) NIOSH: Manual of Analytical Methods No.1014, 1994.
- 2) NIOSH: Manual of Analytical Methods No.1612, 1994.
- 3) NIOSH: Manual of Analytical Methods No.6012, 1994.
- 4) 西原秀一：エチレンオキシドに対する作業環境測定Ⅲ（エチレンオキサイドモニター）セイフティダイジェスト 48(11), 30-32, 2002.
- 5) ACGIH: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical agents & Biological Exposure Indices, 2004.

図1 ヨウ化メチルの個人曝露濃度(まとめ)

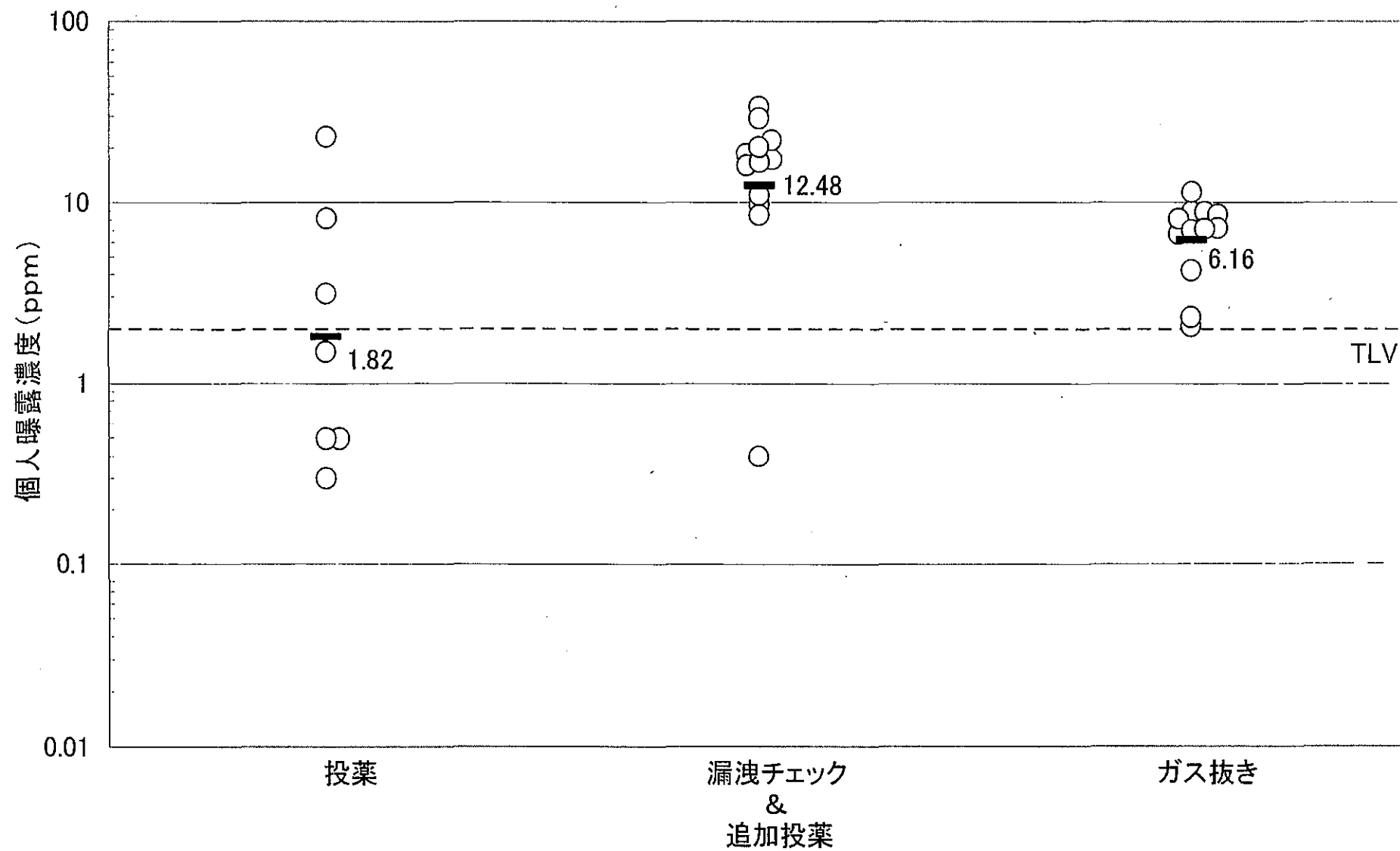


図2 プロピレンオキシドの個人曝露濃度(まとめ)

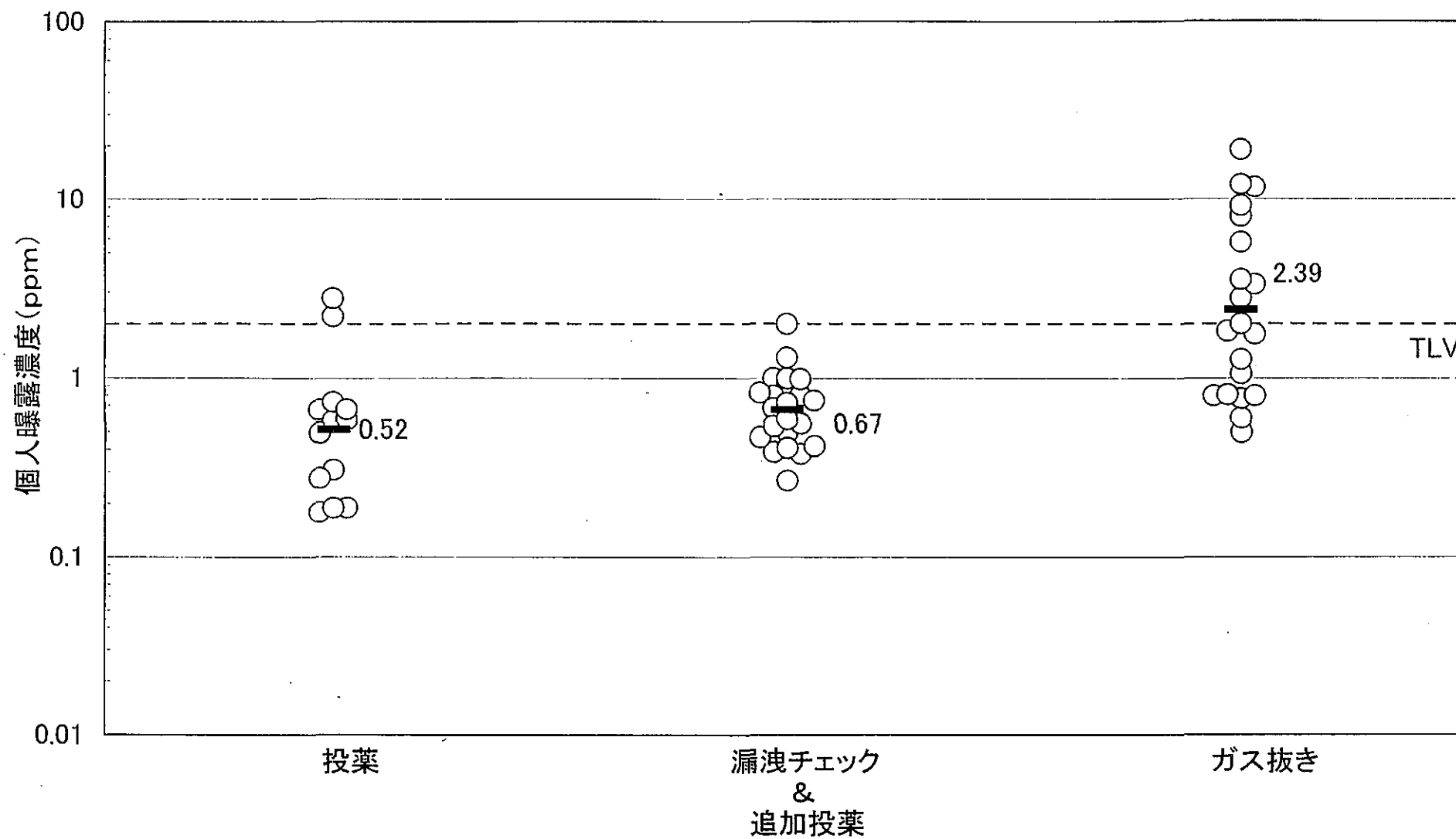


図3 フッ化スルフリルの個人曝露濃度(まとめ)

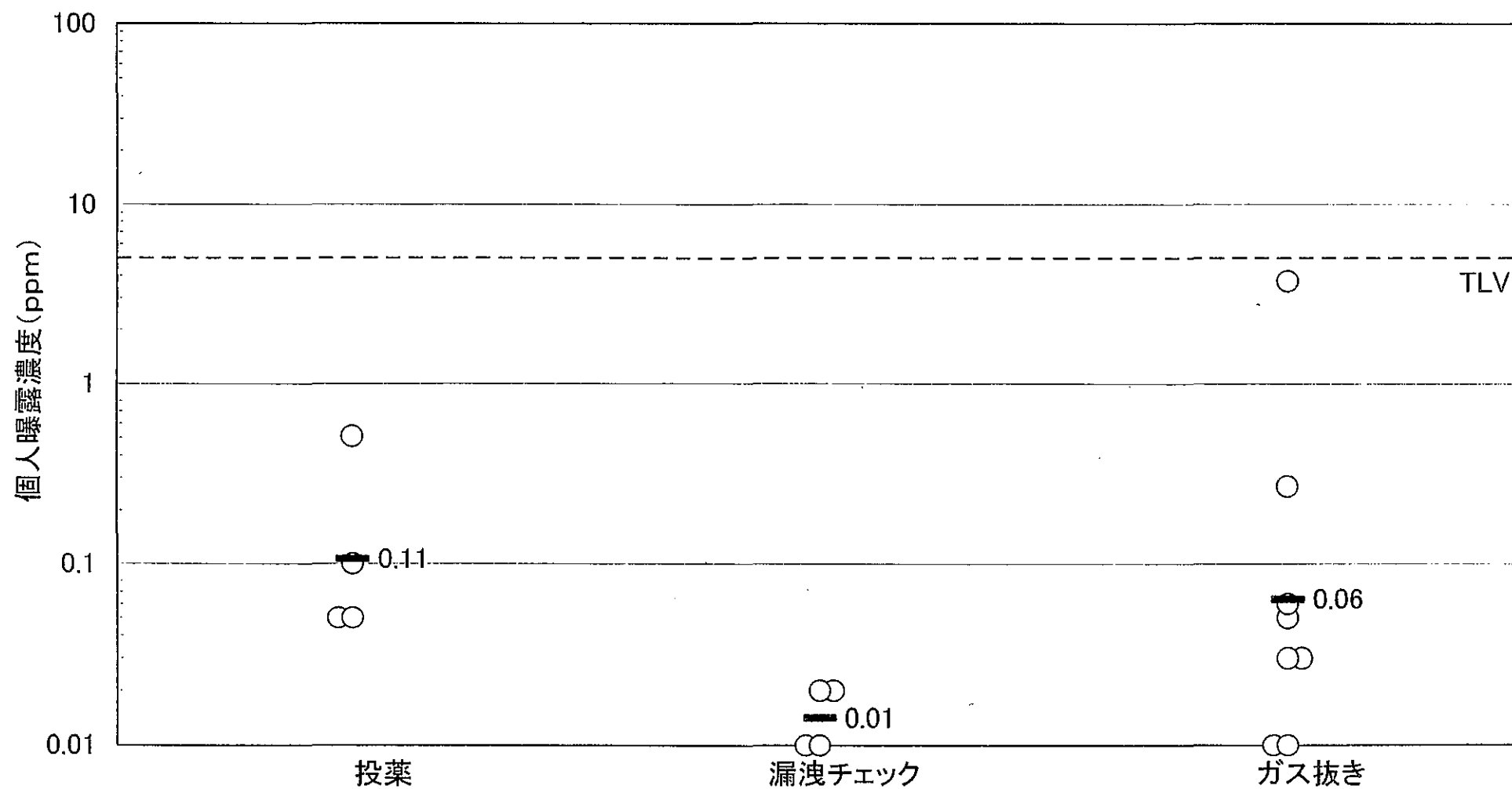


図4 エチレンオキシドの個人曝露濃度(まとめ)

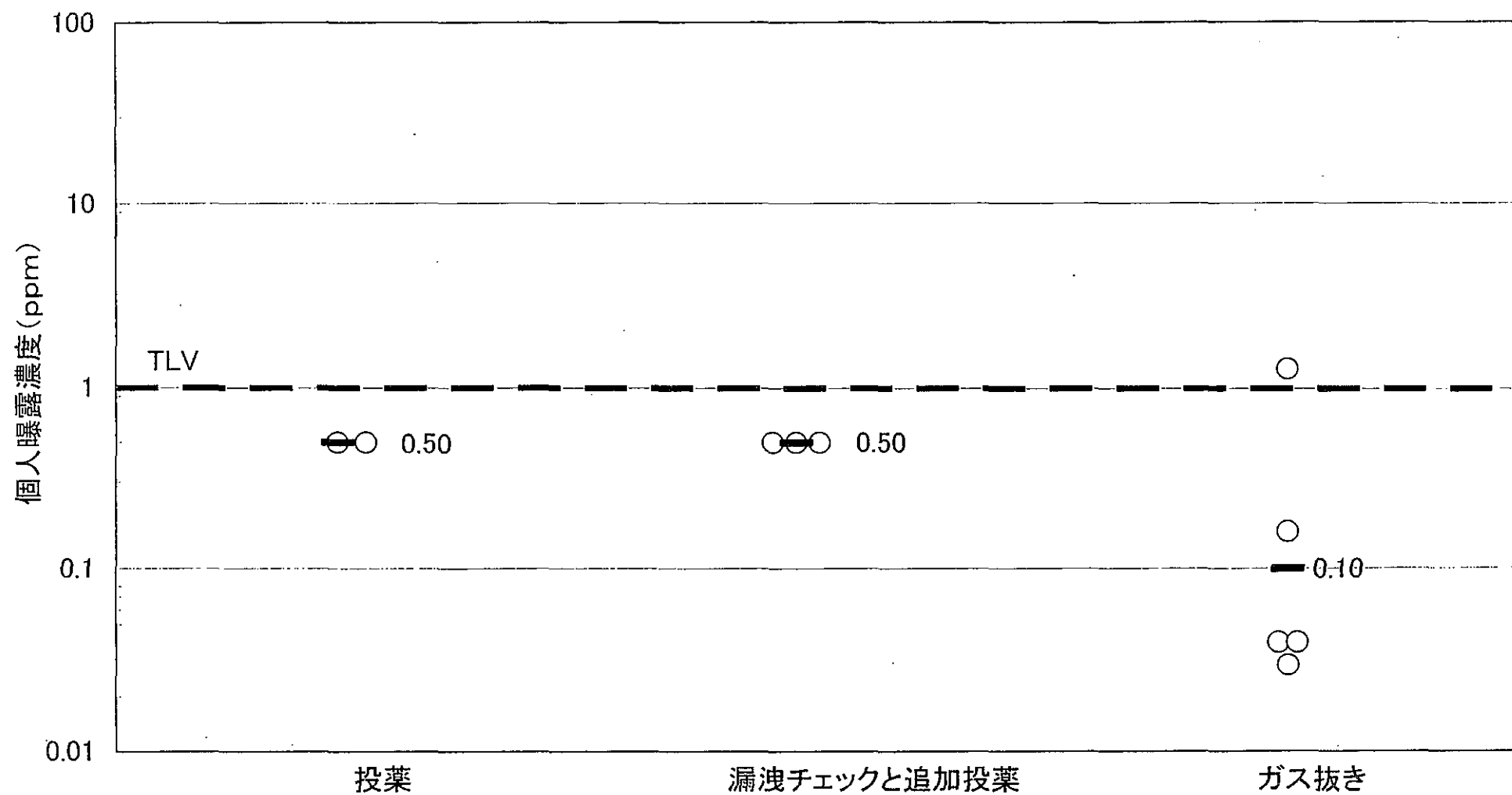


図5 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:1.5ppm

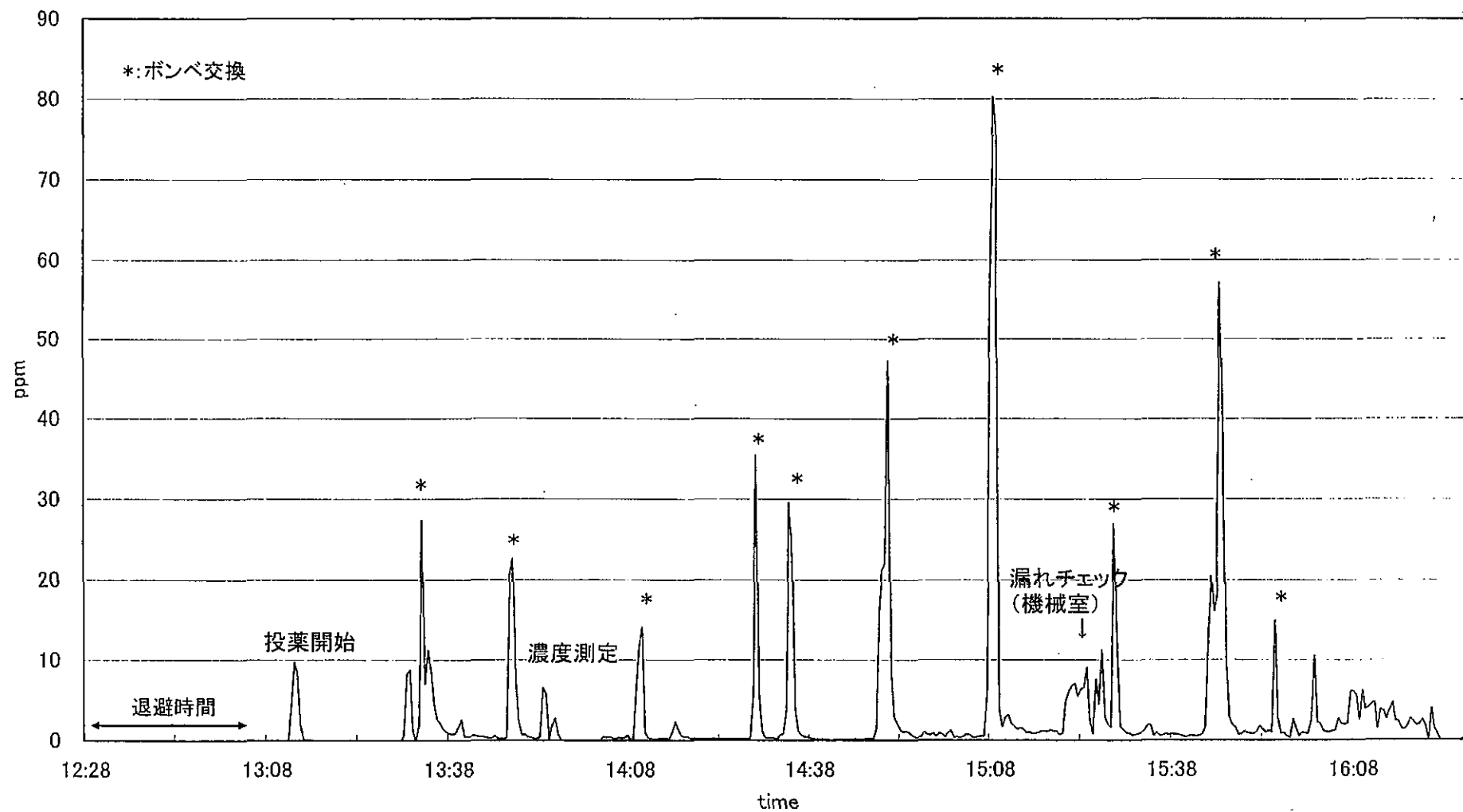


図6 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:8.1ppm

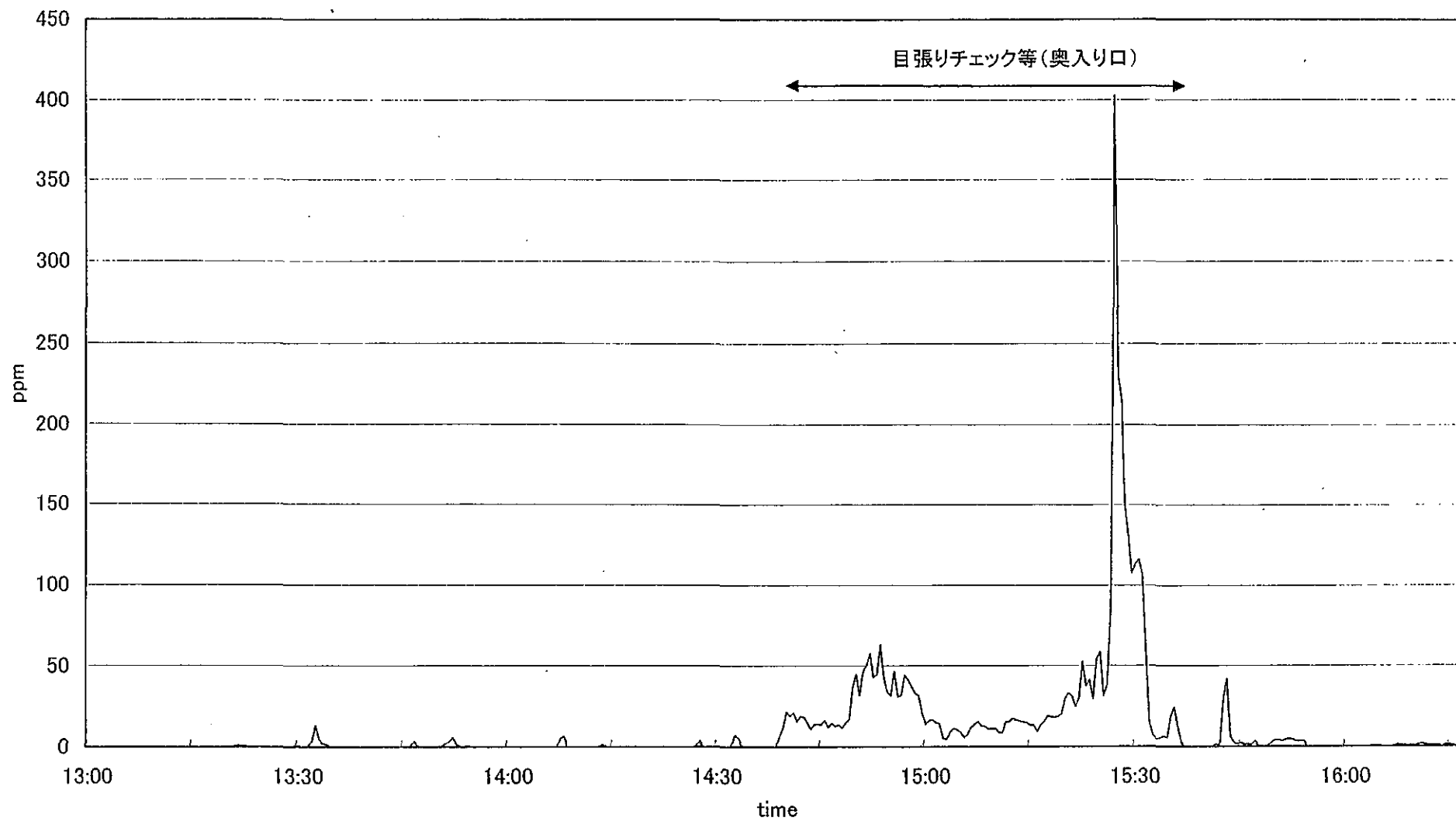


図7 ヨウ化メチル投薬作業 個人曝露濃度:3.1ppm

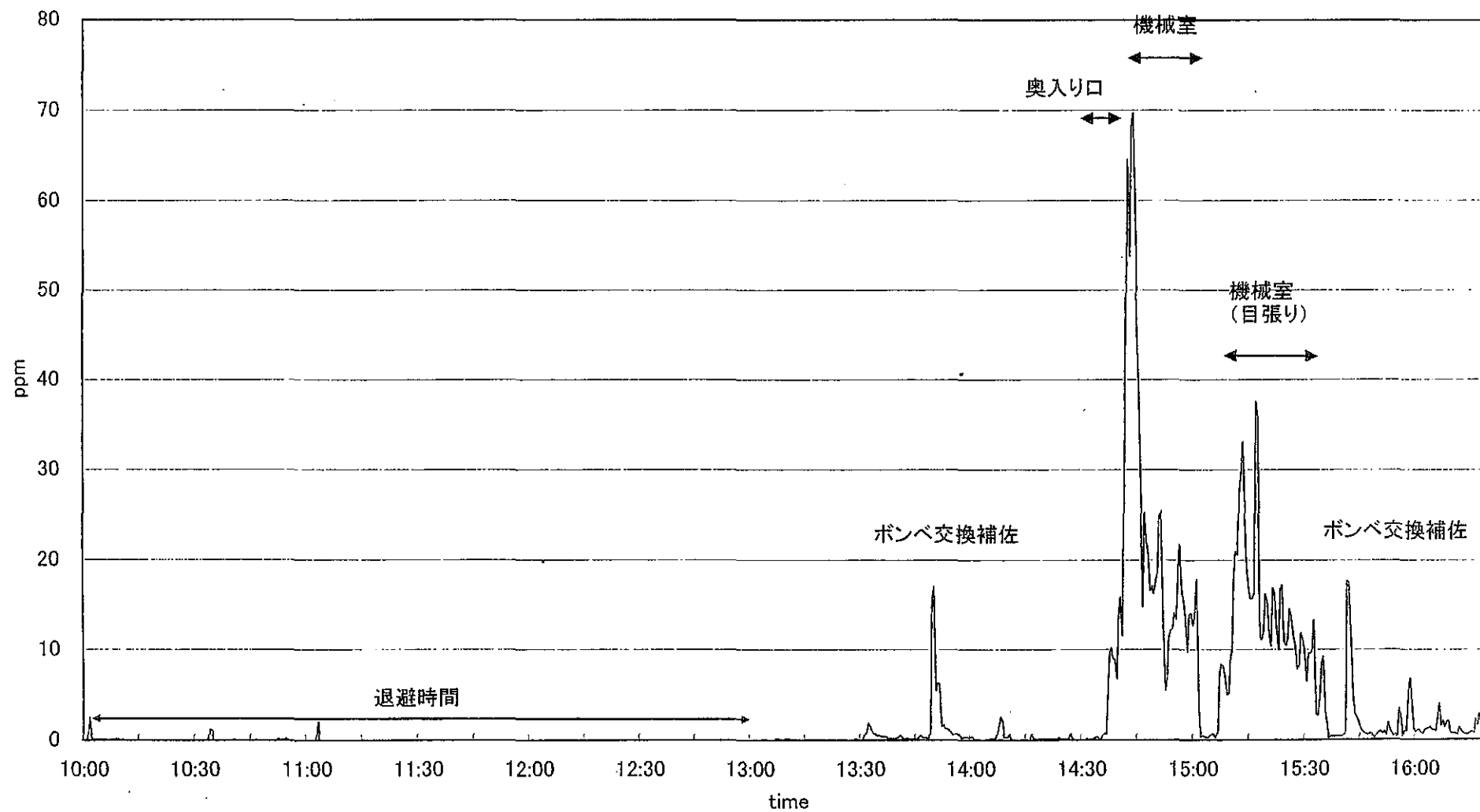


図8 ヨウ化メチル 投薬作業 個人サンプラー測定値:23.1ppm

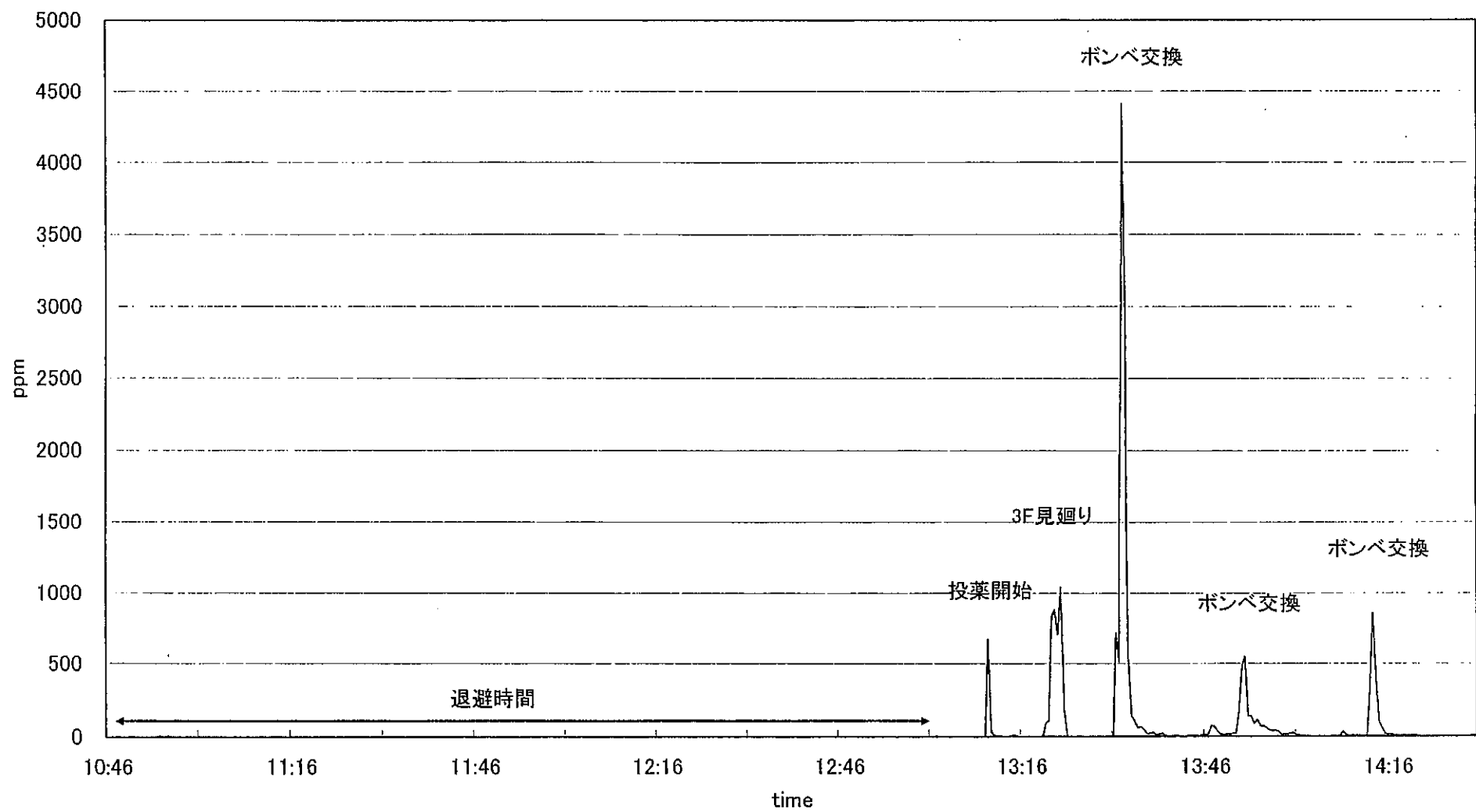


図9 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:0.3ppm

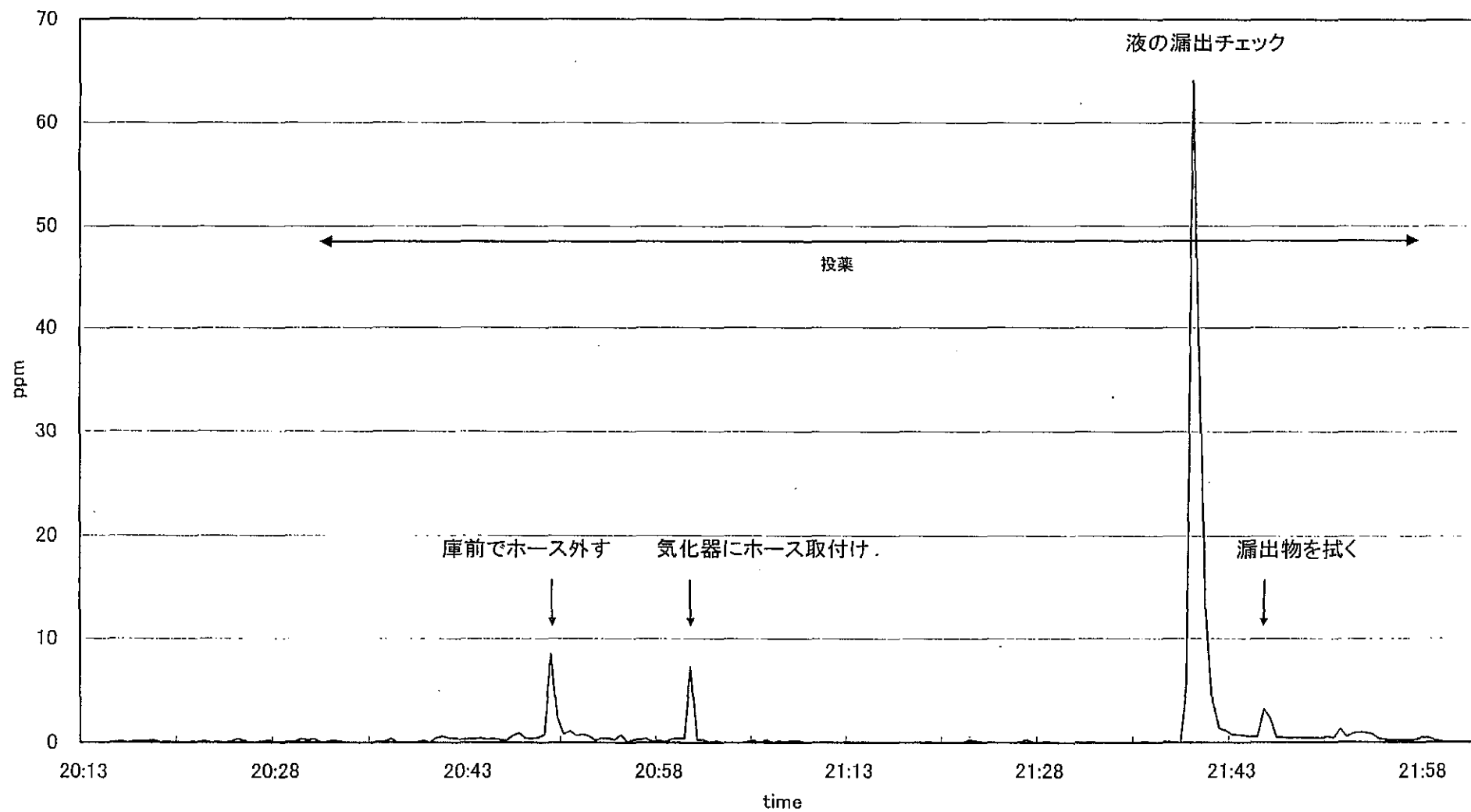


図10 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:0.5ppm

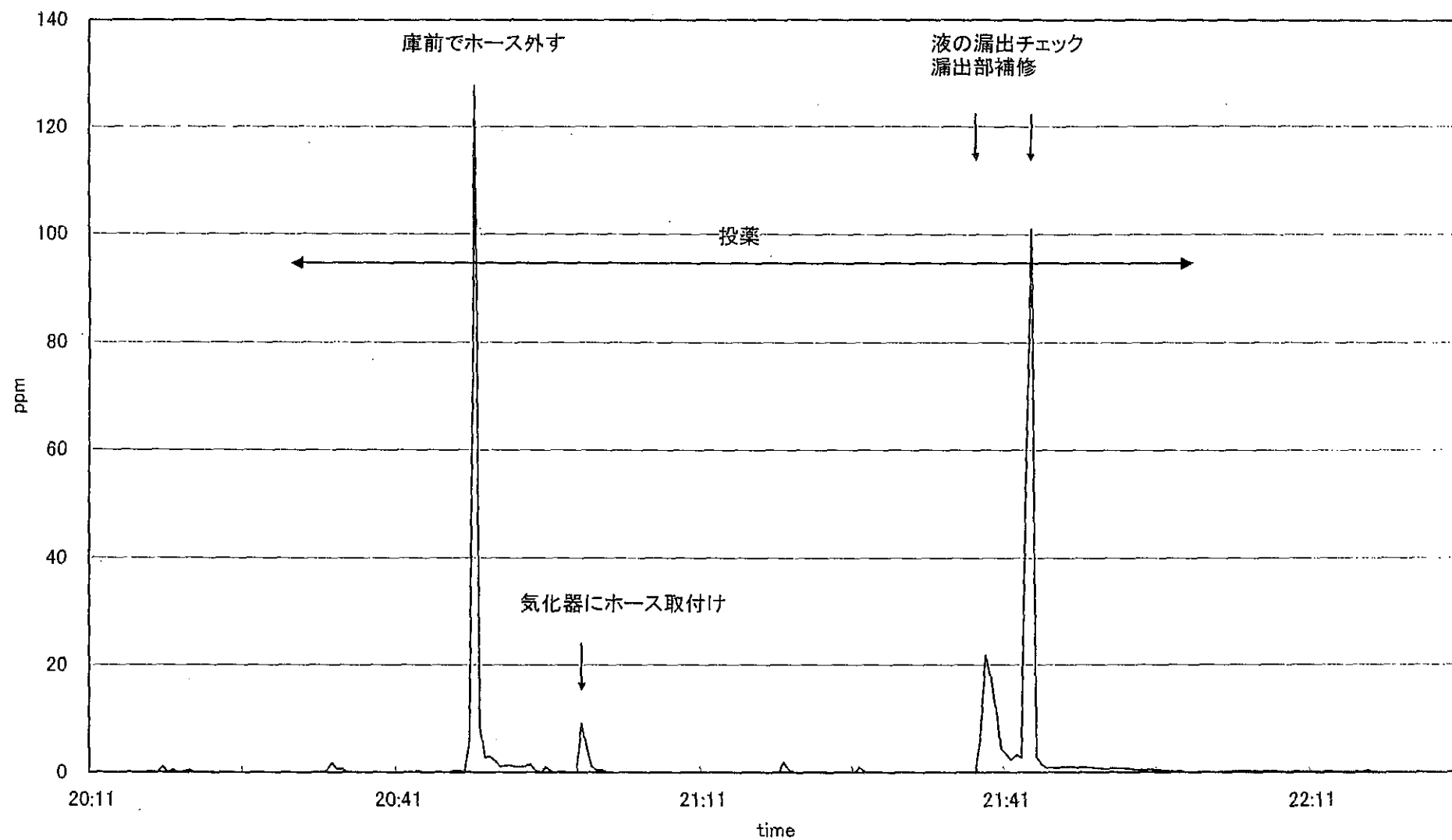


図11 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:0.5ppm

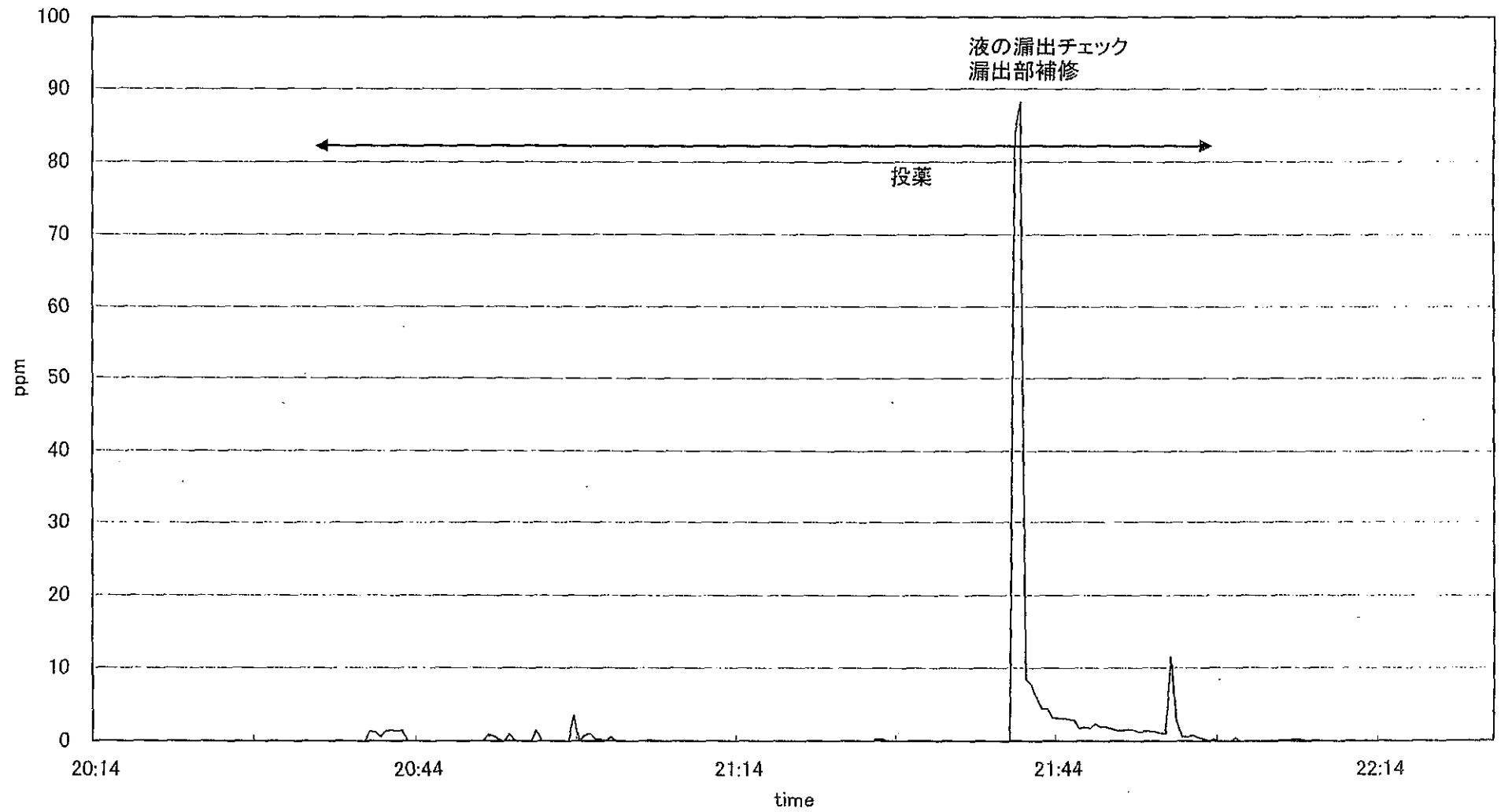


図12 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:11.0ppm

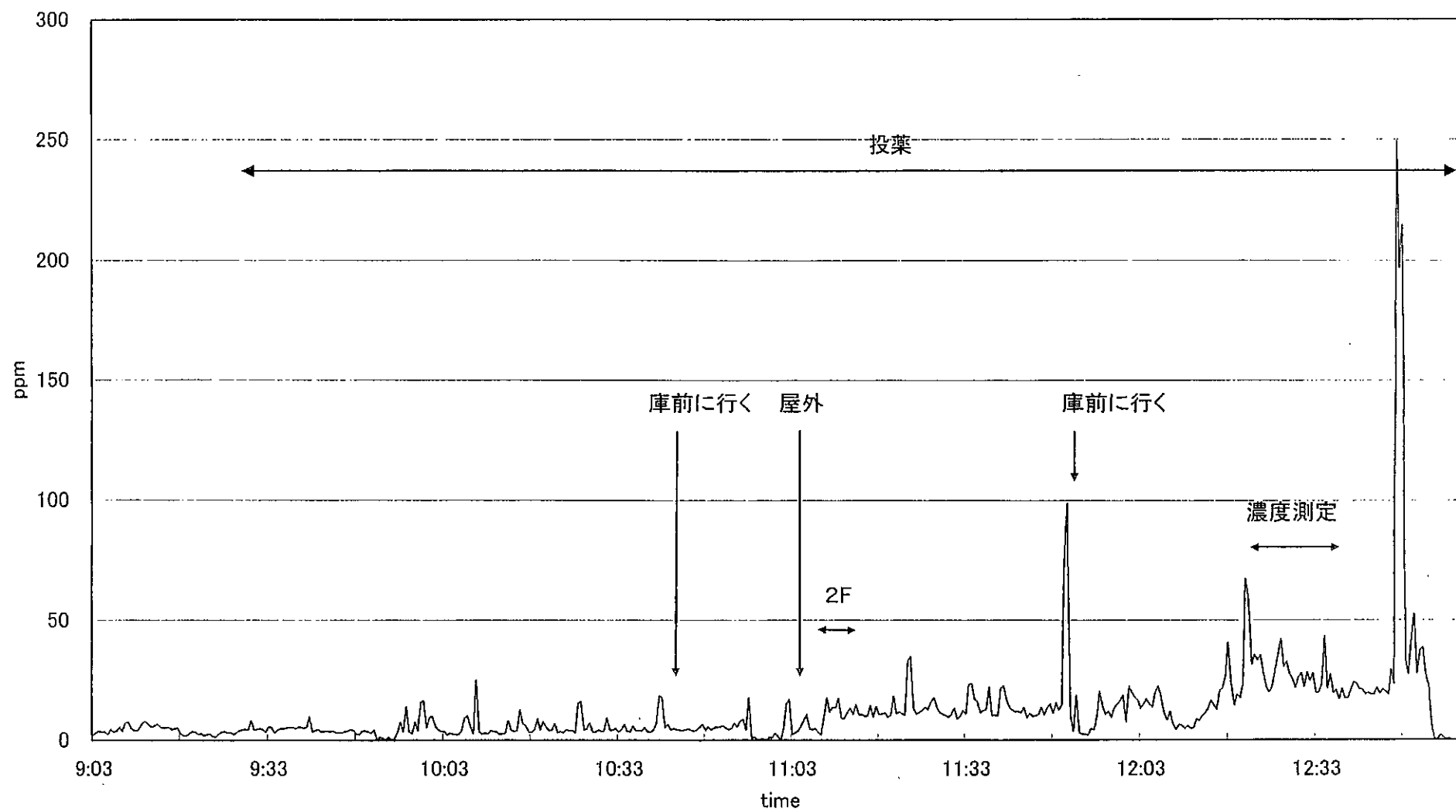


図13 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:8.5ppm

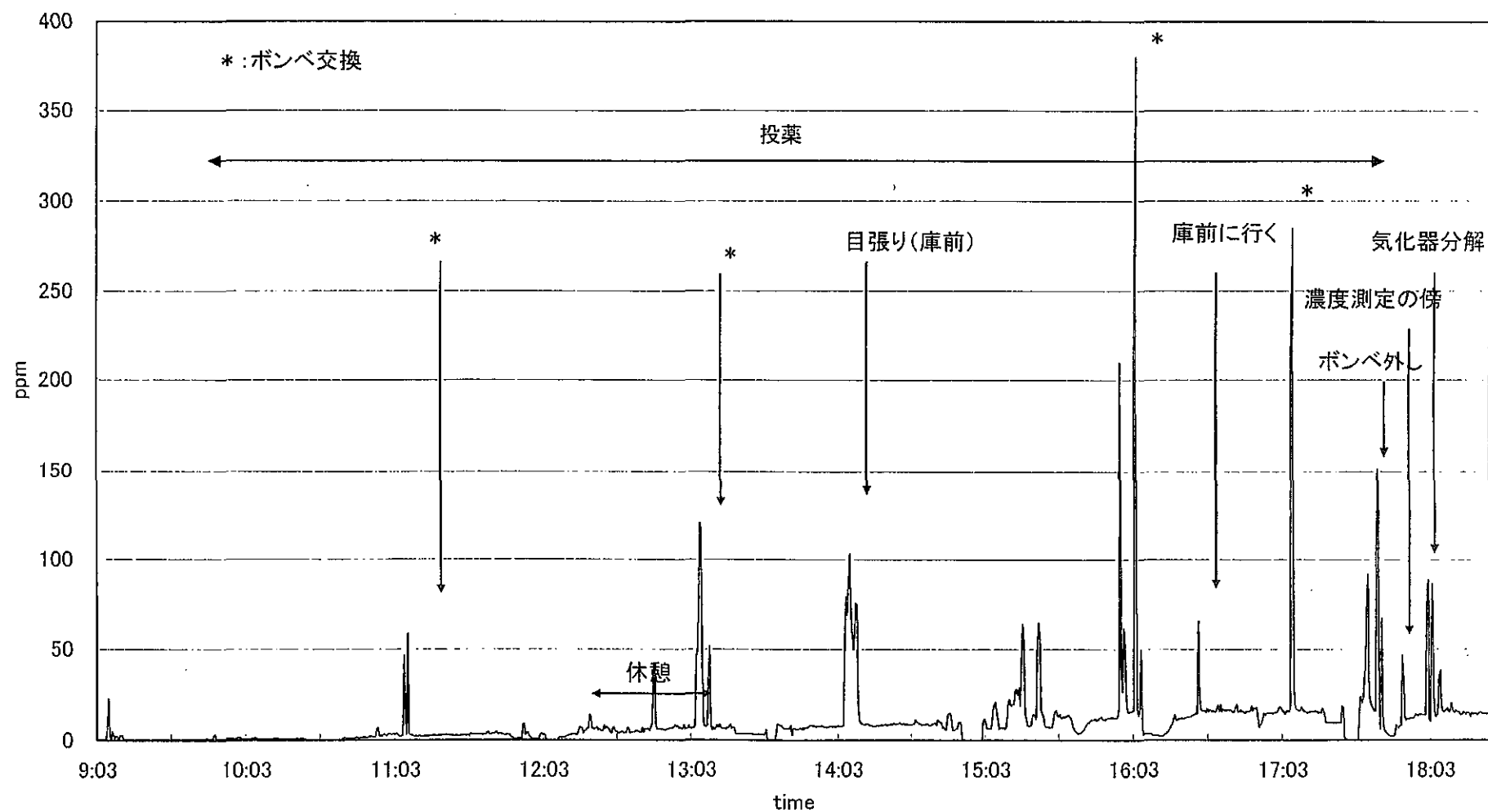


図14 ヨウ化メチル 投薬作業 個人曝露濃度:0.4ppm

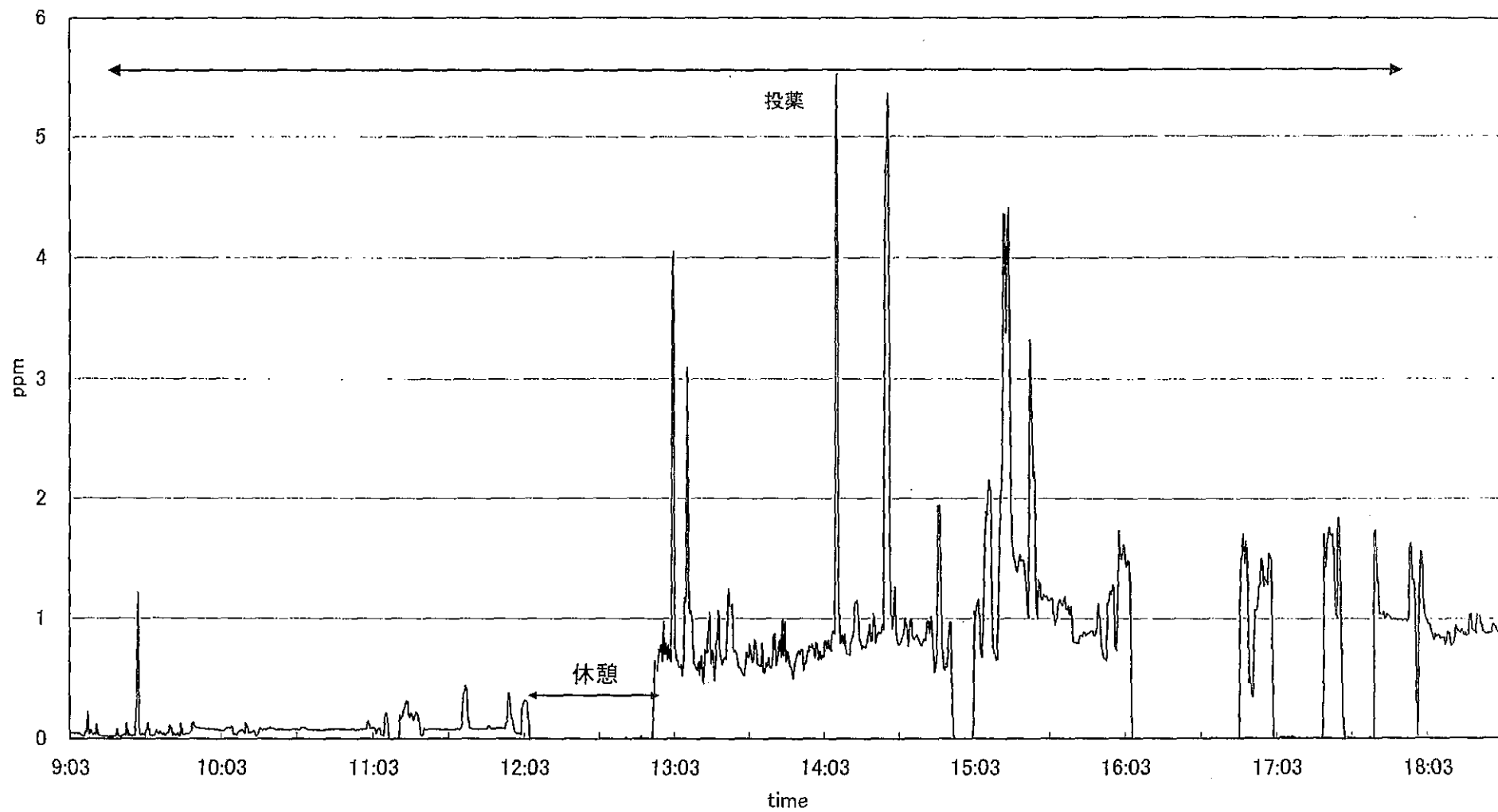


図16 ニプロ化メチル 漏洩チェック&追加投薬 個人曝露濃度:29.4ppm

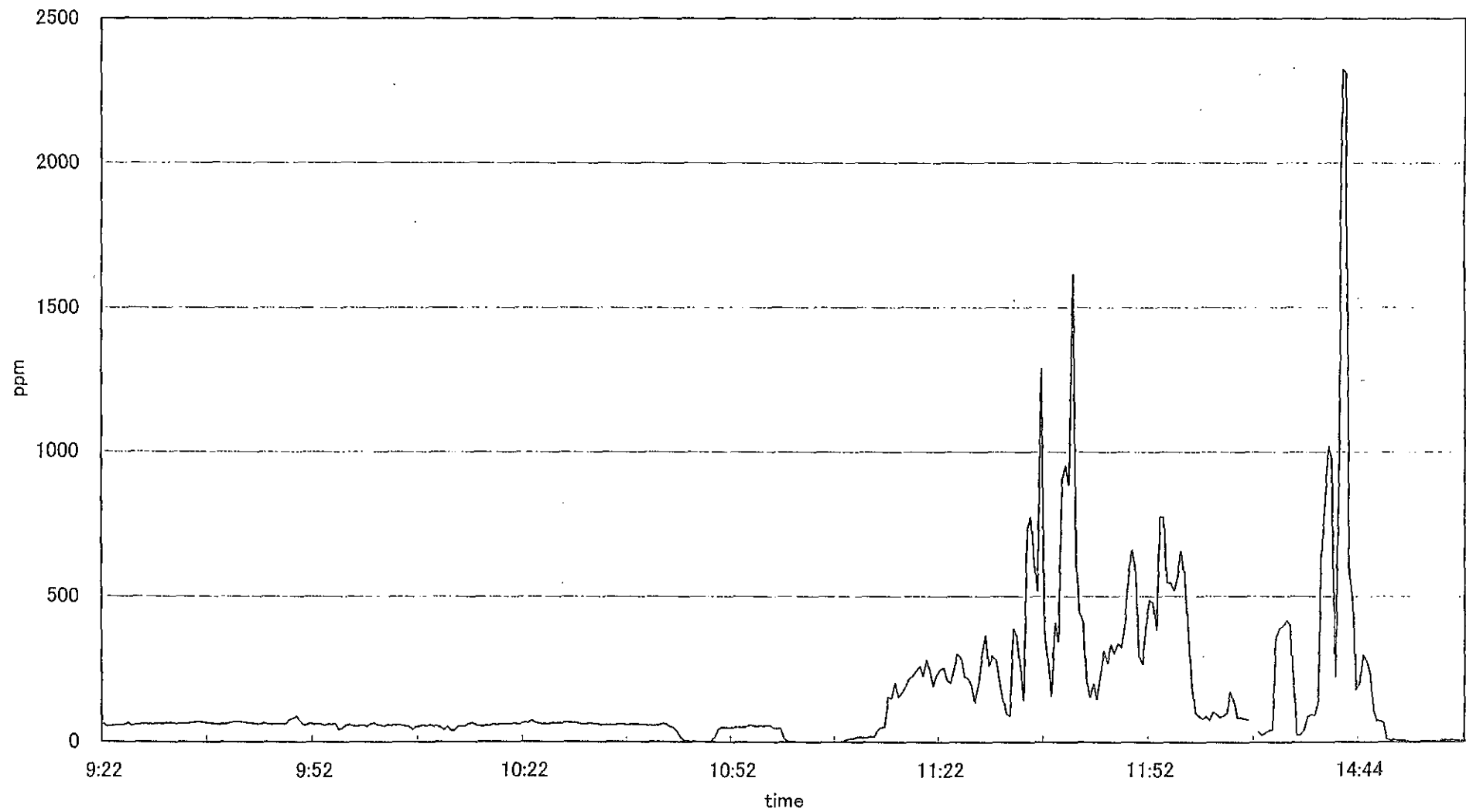


図16 ヨウ化メチル 追加投薬 個人曝露濃度:16.8ppm

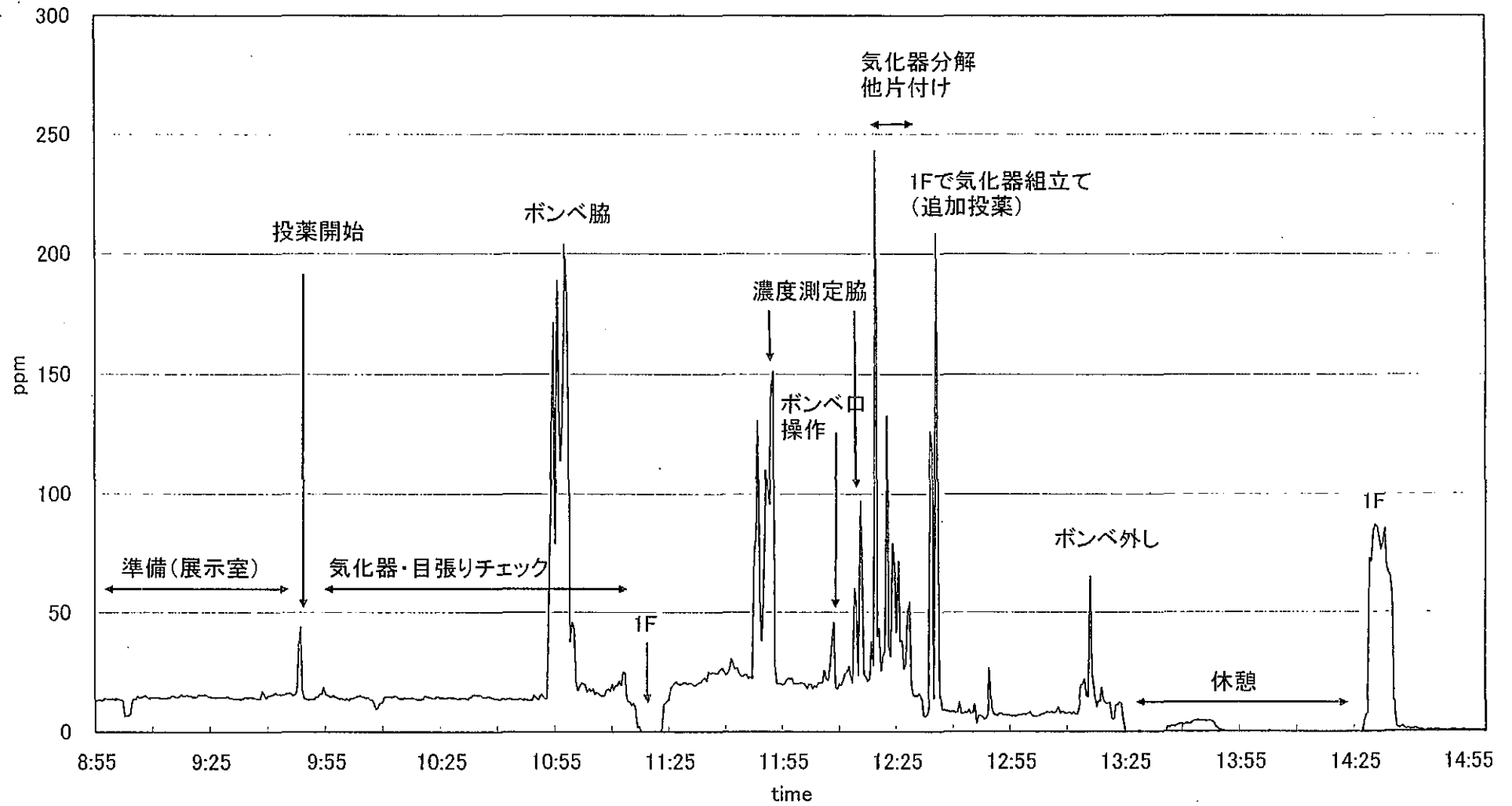


図17 ヨウ化メチル 追加投薬作業 個人曝露濃度:20.3ppm

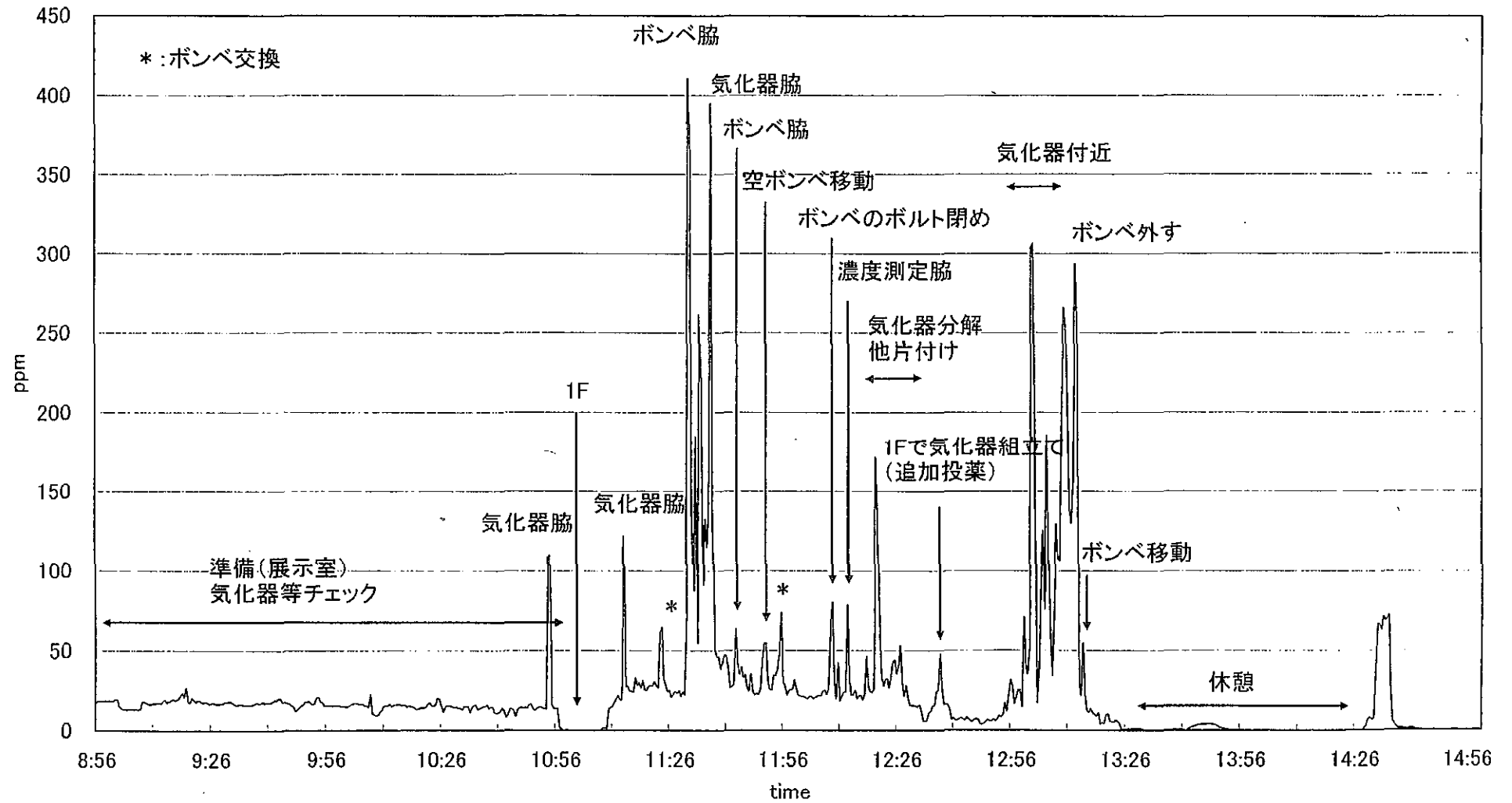


図18 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:8.6ppm

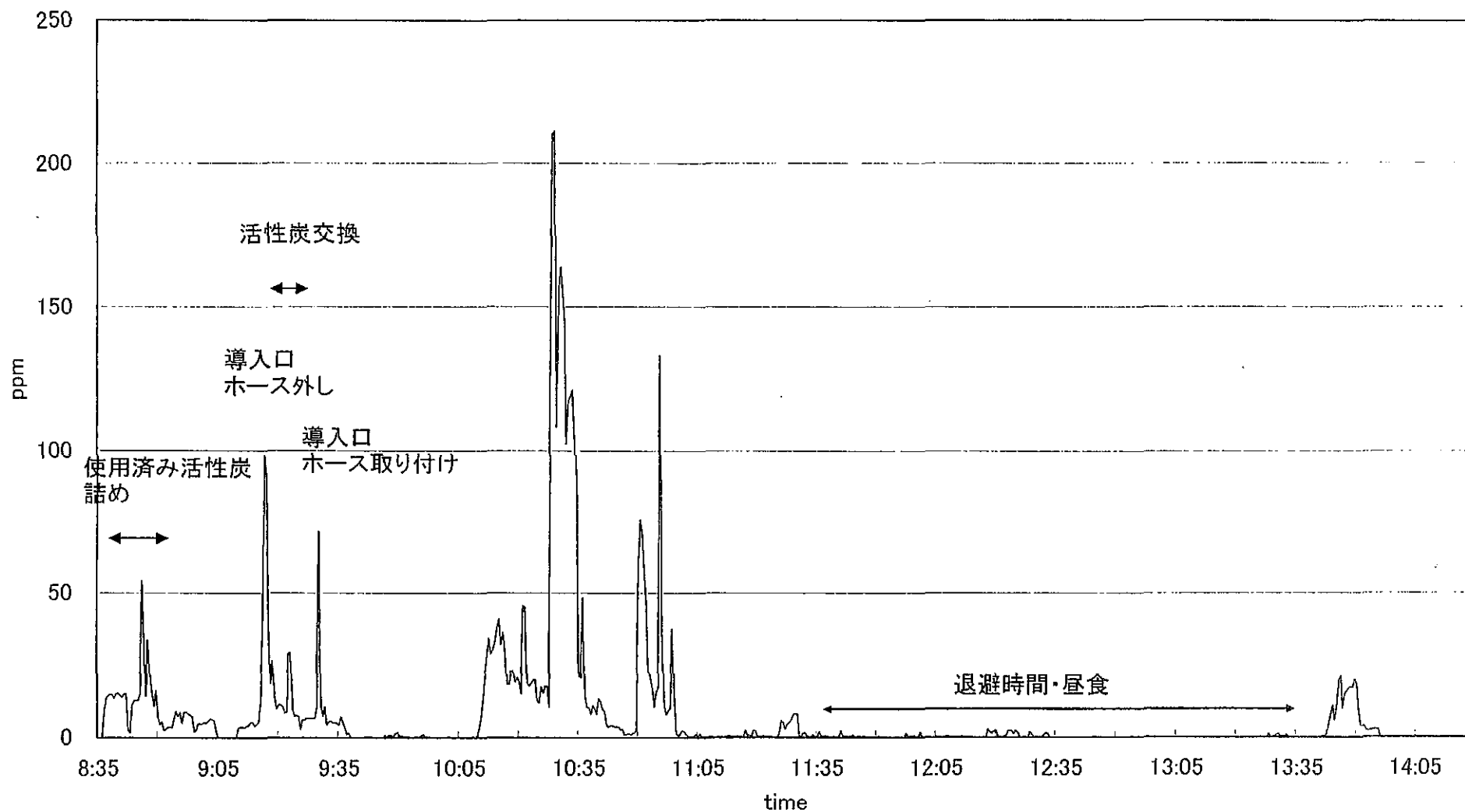


図19 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:6.7ppm

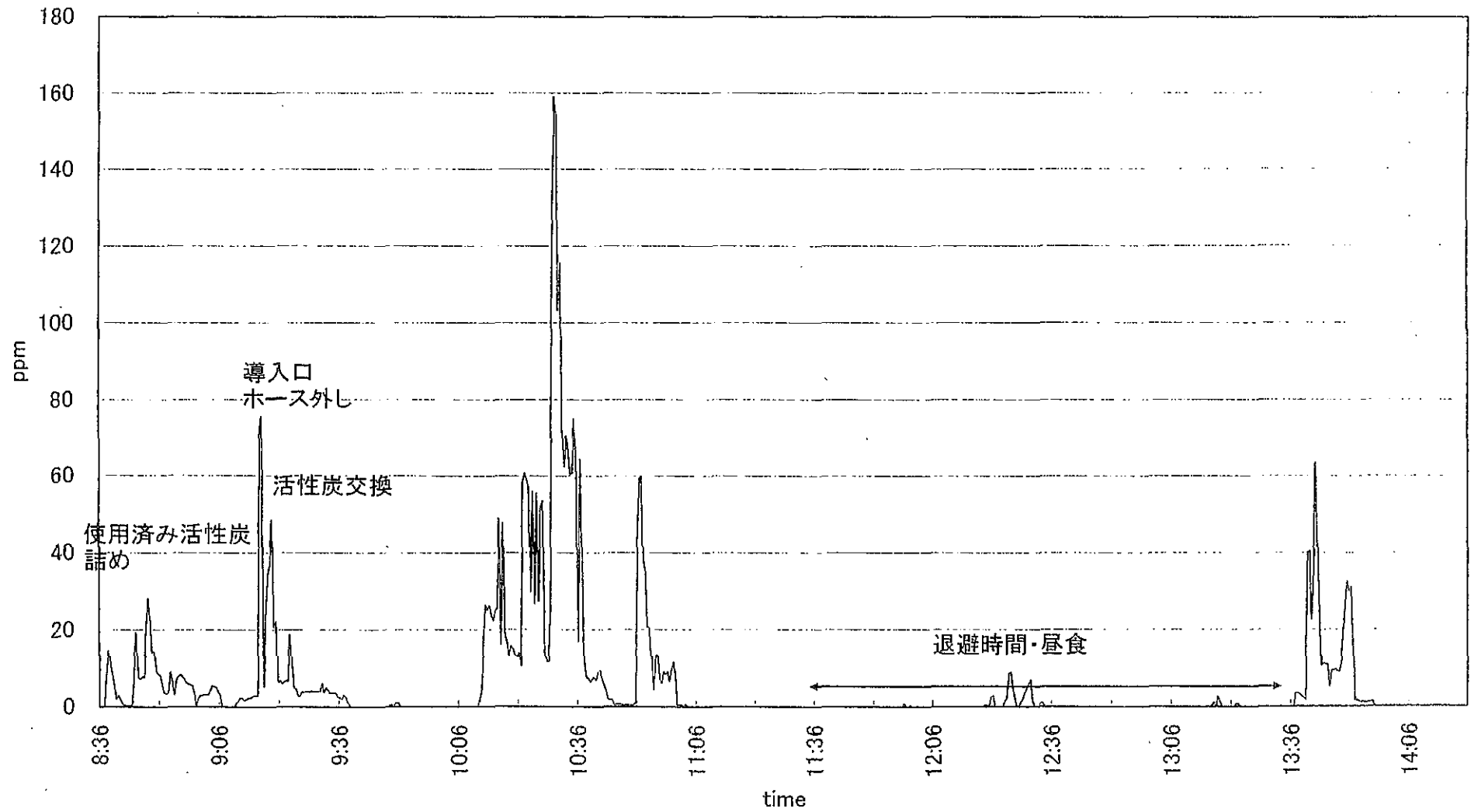


図20 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:2.1ppm

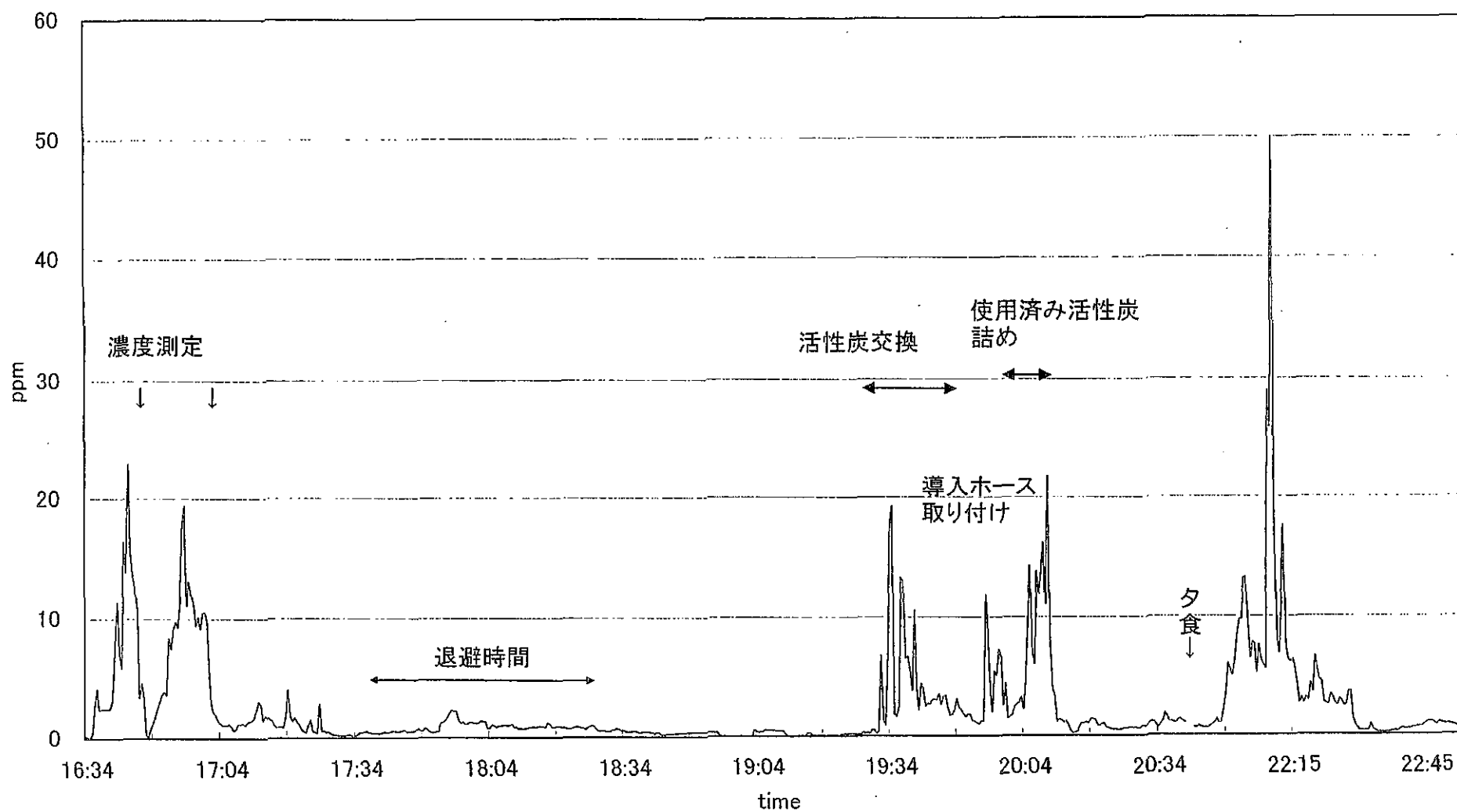


図21 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:2.3ppm

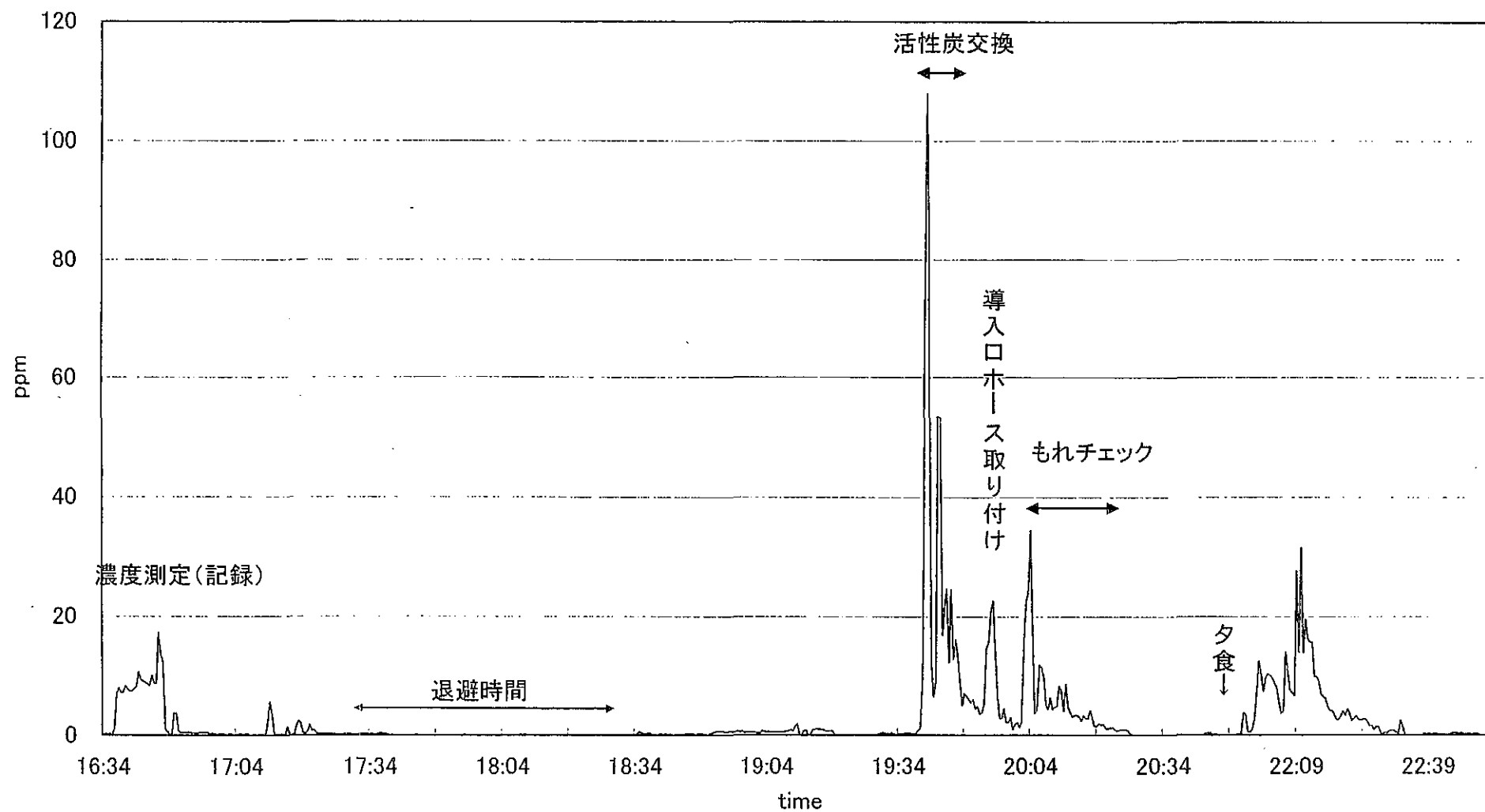


図22 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:11.4ppm

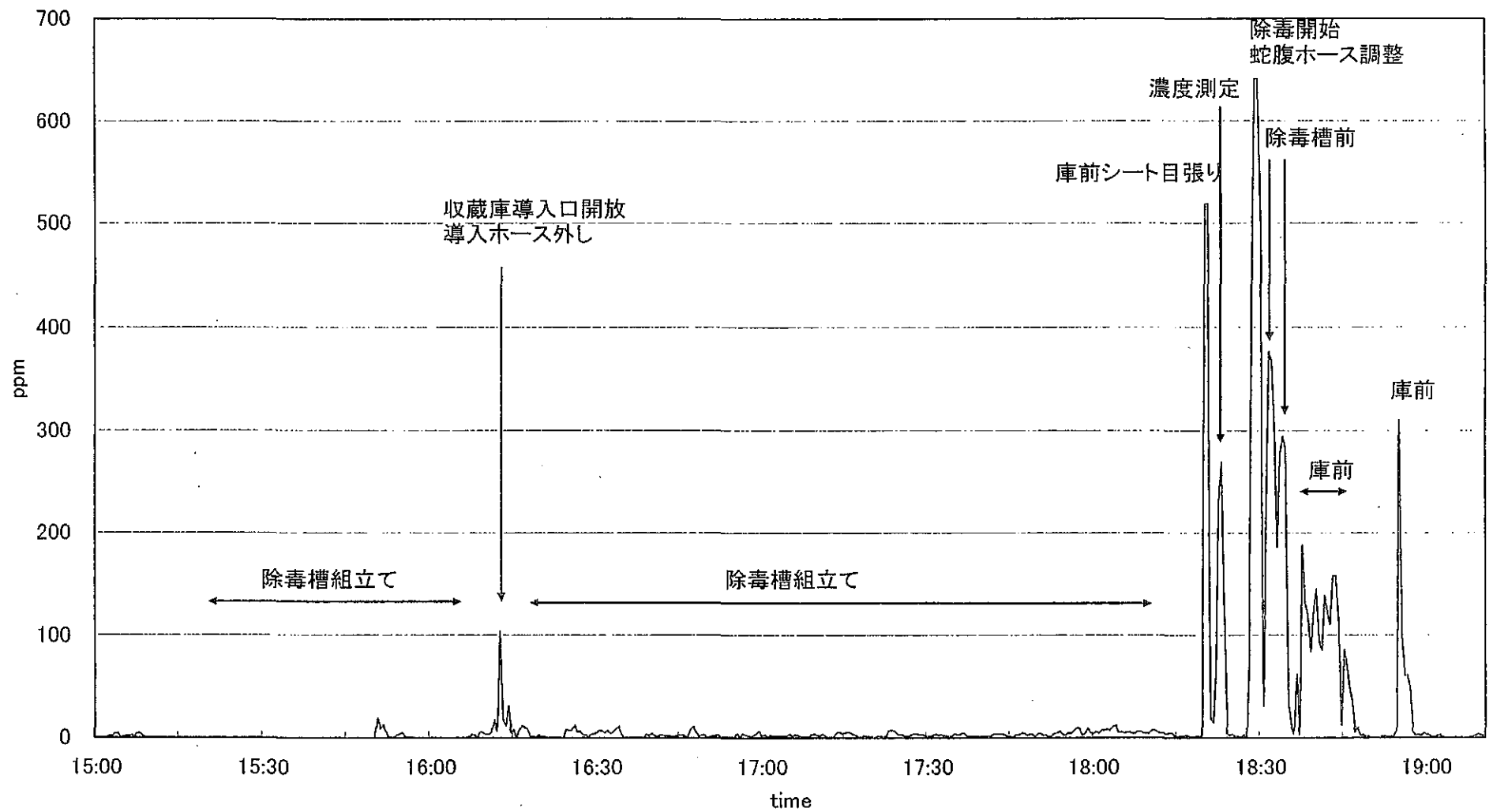


図23 ヨウ化メチル ガス抜き作業 個人曝露濃度:8.1ppm

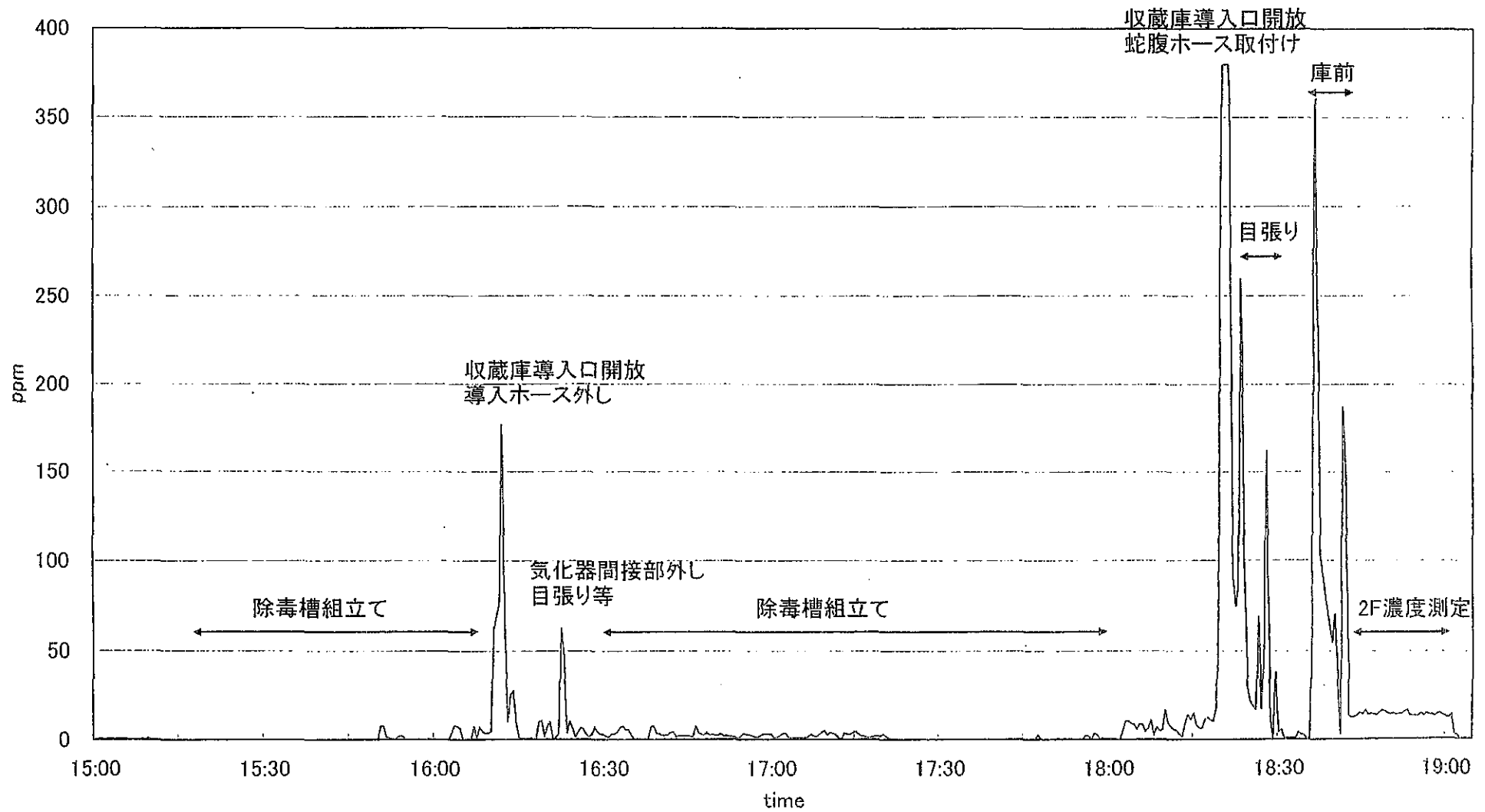


図24 ヨウ化メチル ガス抜作業 個人曝露濃度:7.0ppm

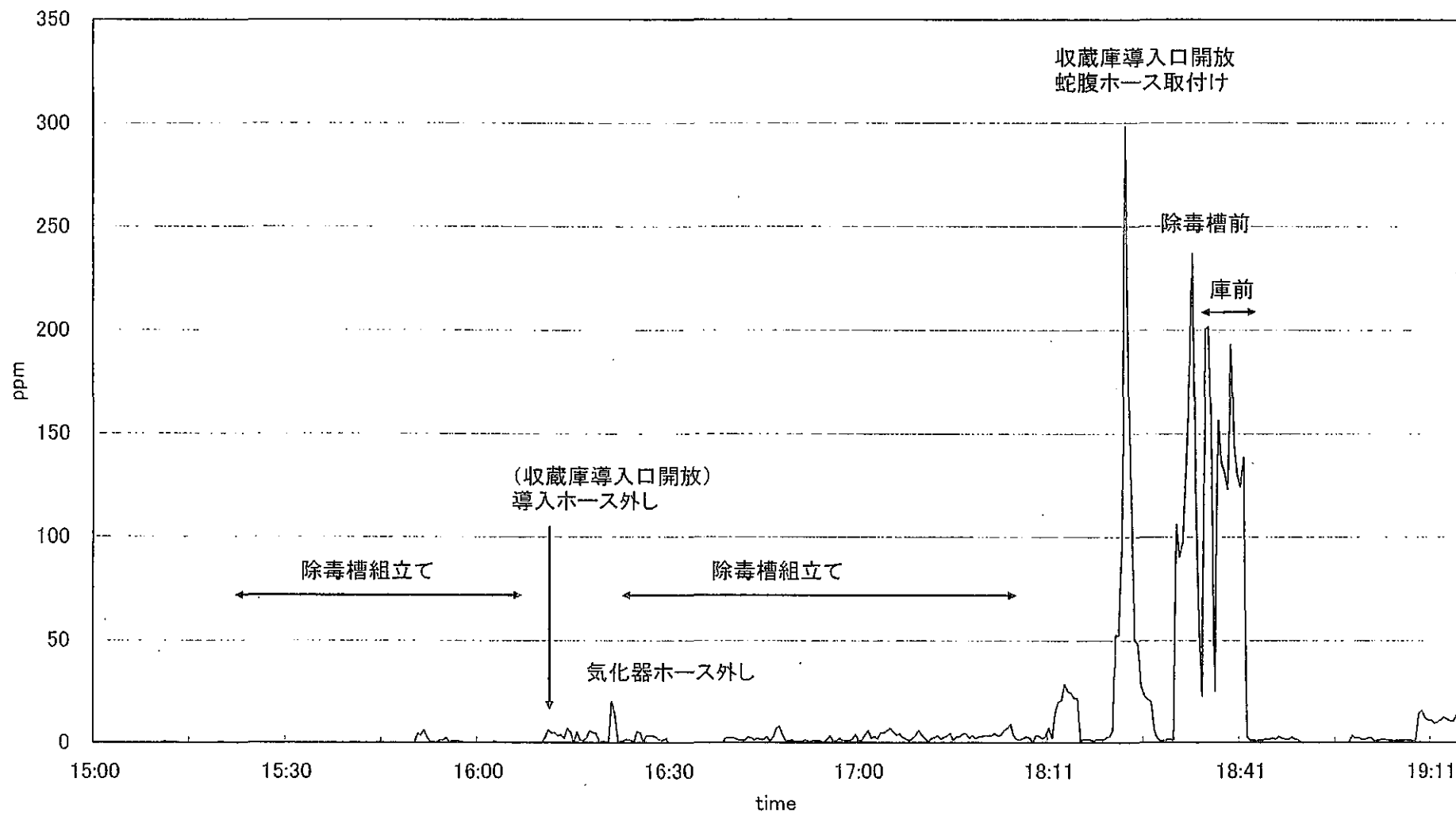


図20 プロピレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度 μ /ppm

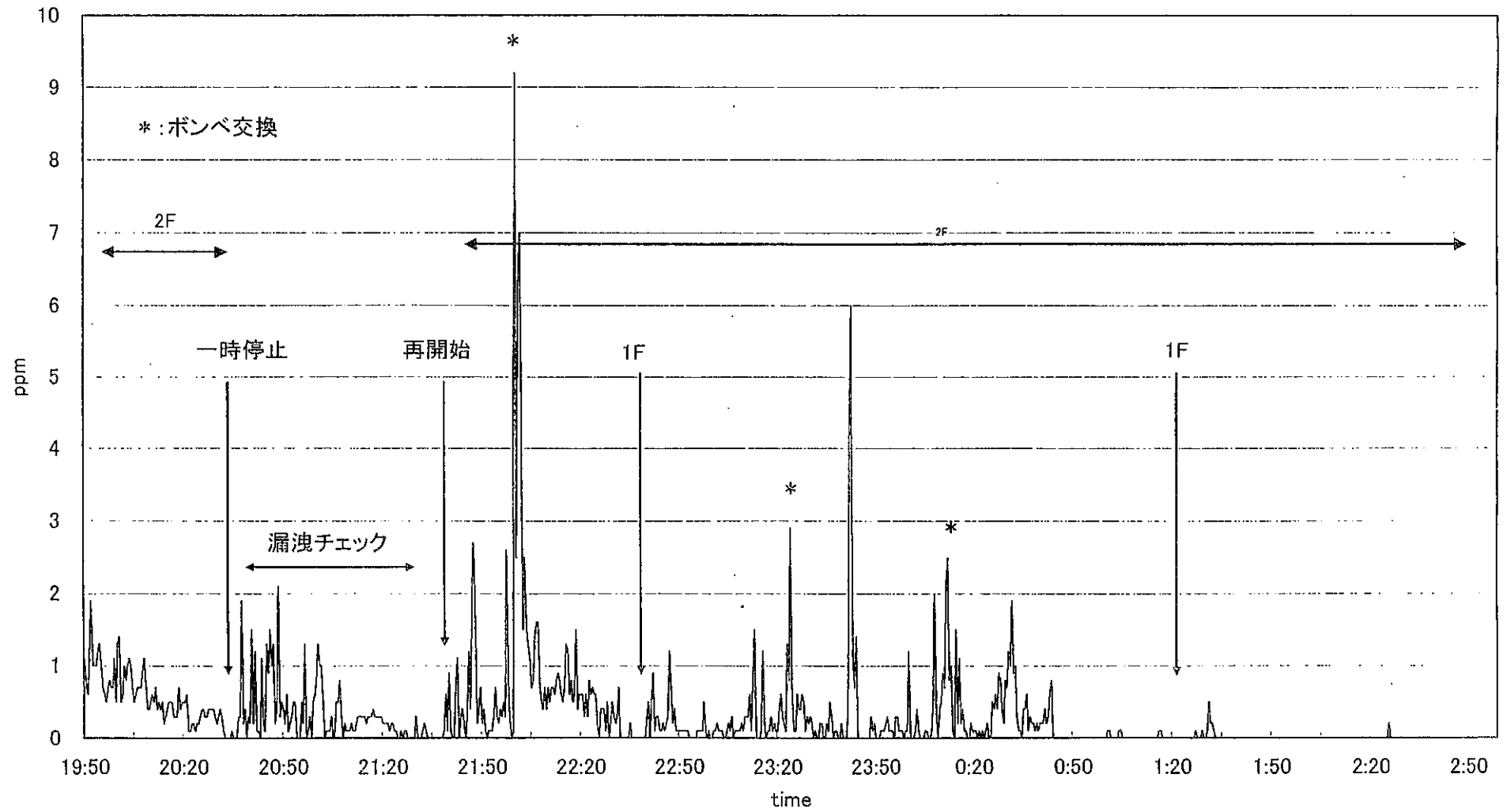


図26 プロピレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度:2.2pm

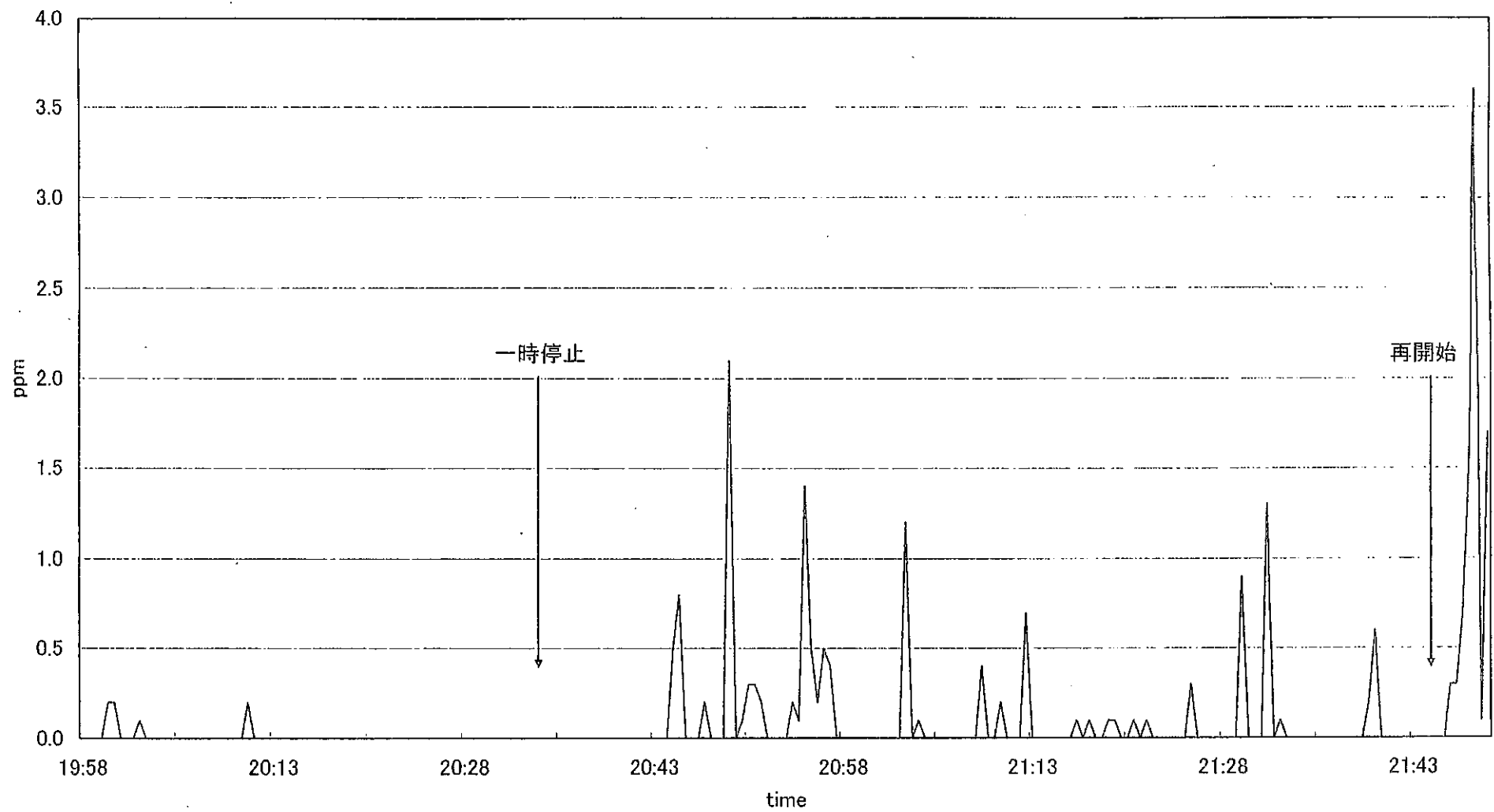


図27 プロピレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度:2.8ppm

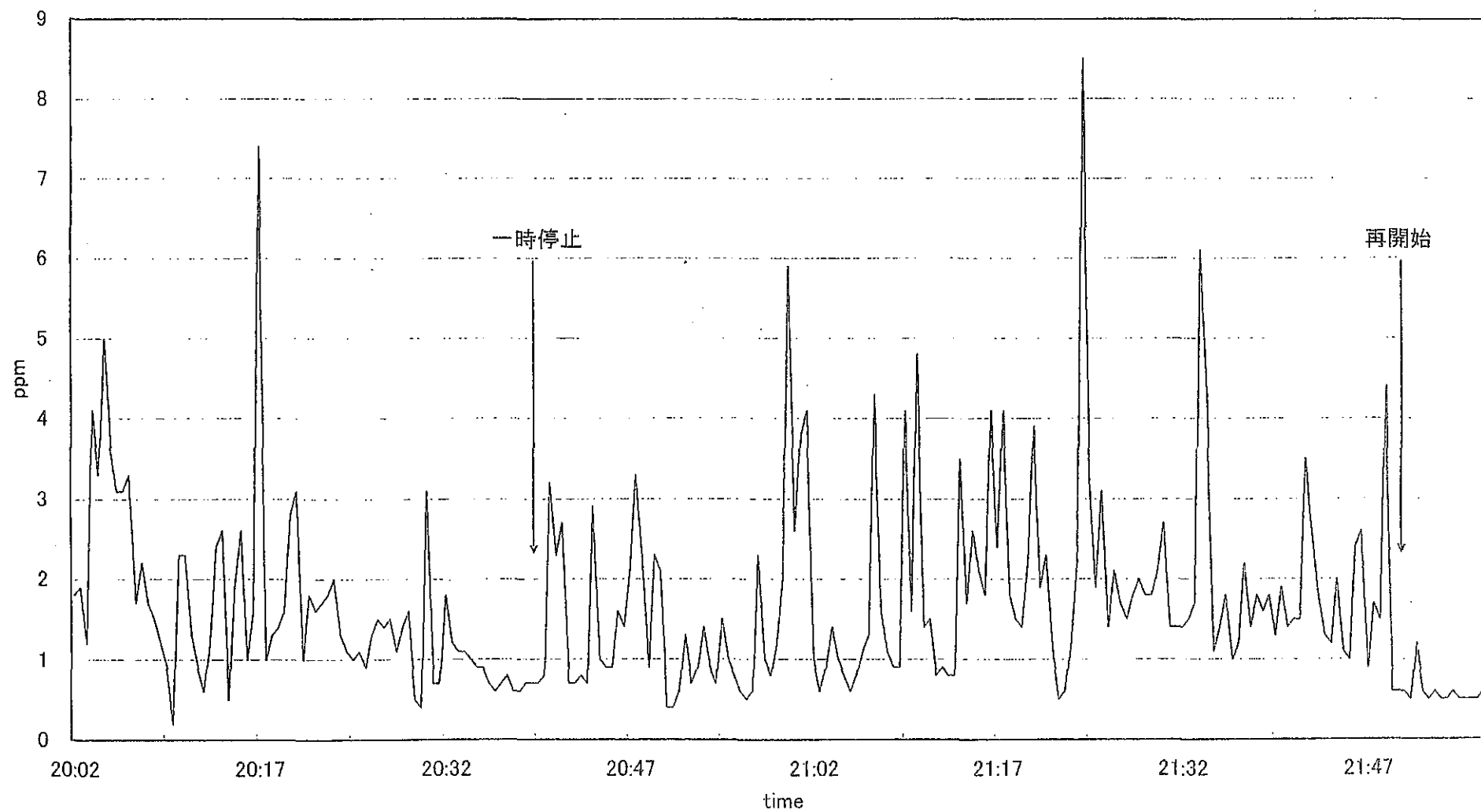


図28 プロピレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度:0.6ppm

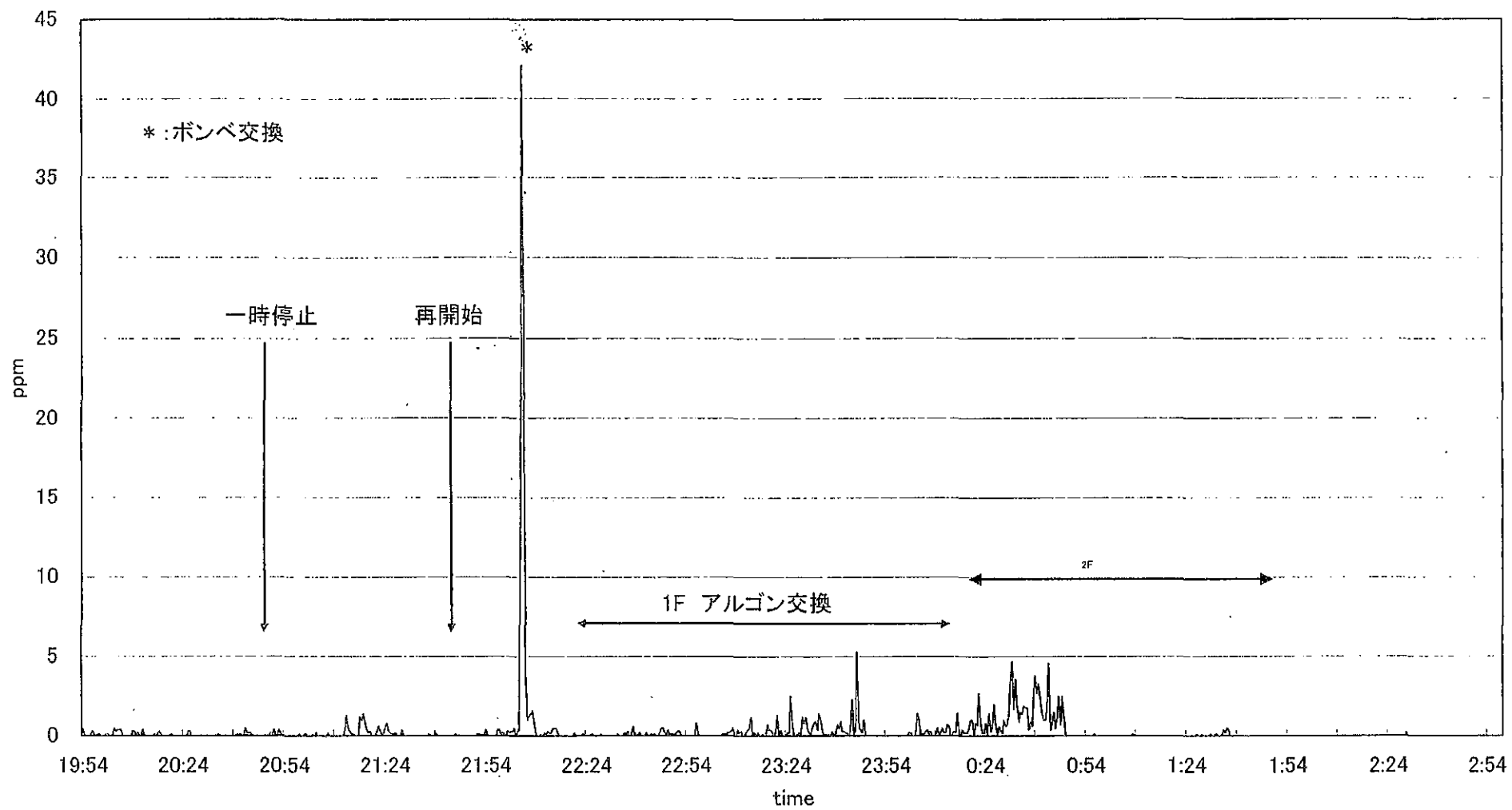


図29 プロピレンオキシド 投薬作業 個曝露濃度:0.4ppm

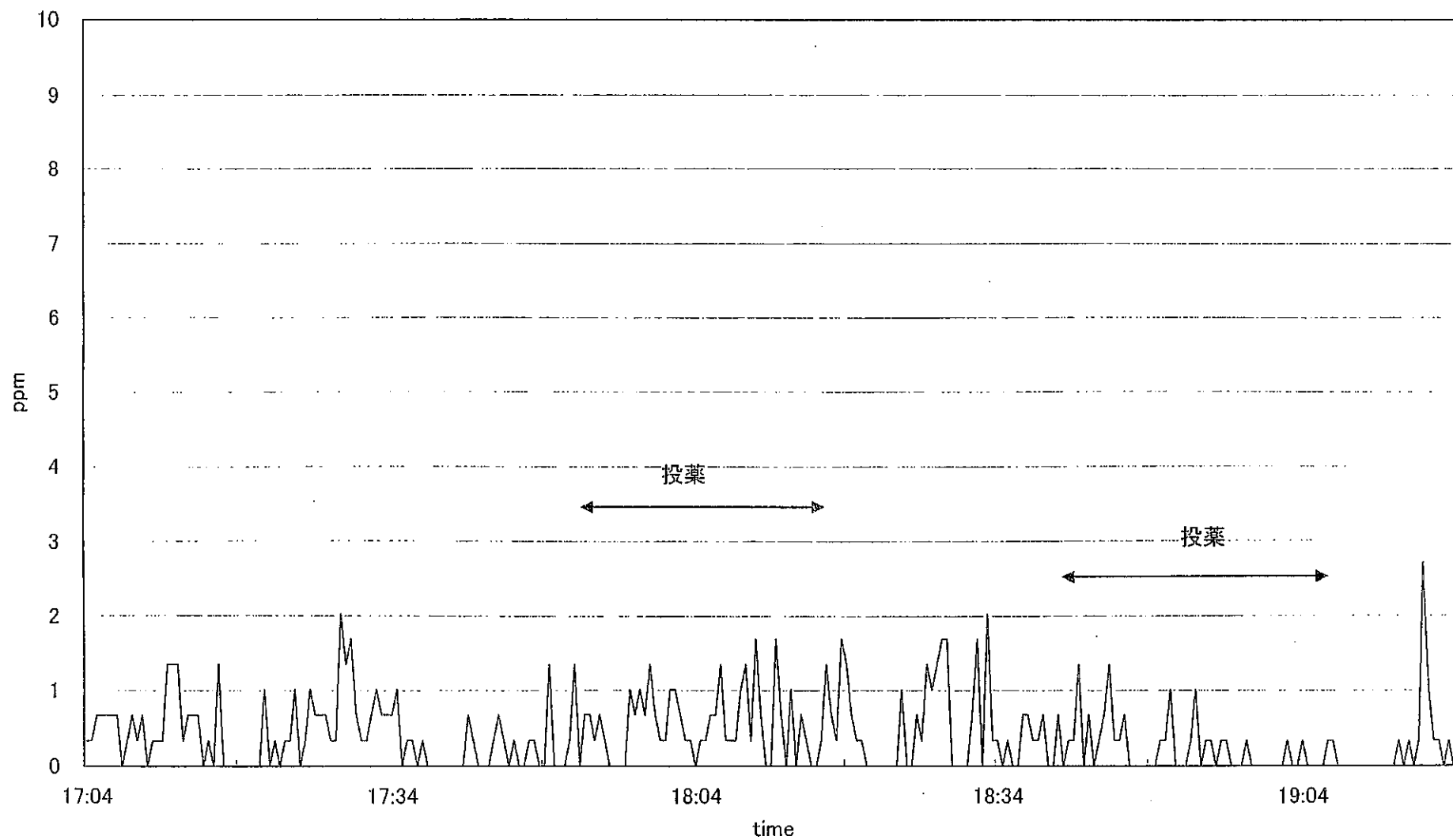


図30 プロピレンオキシド 追加投薬 個人曝露濃度:0.9ppm

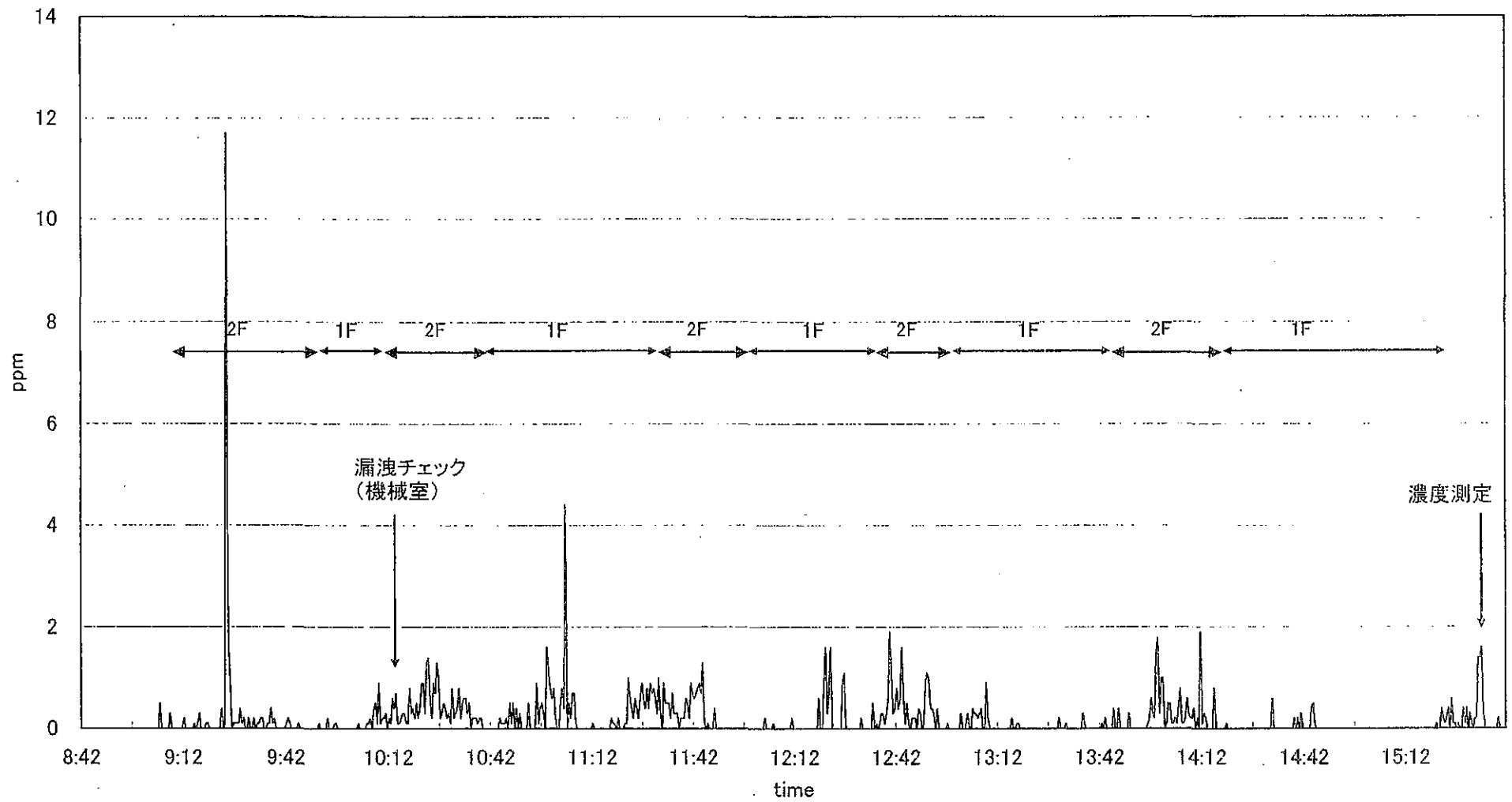


図31 プロピレンオキシド 追加投薬作業 個人曝露濃度:2.0ppm

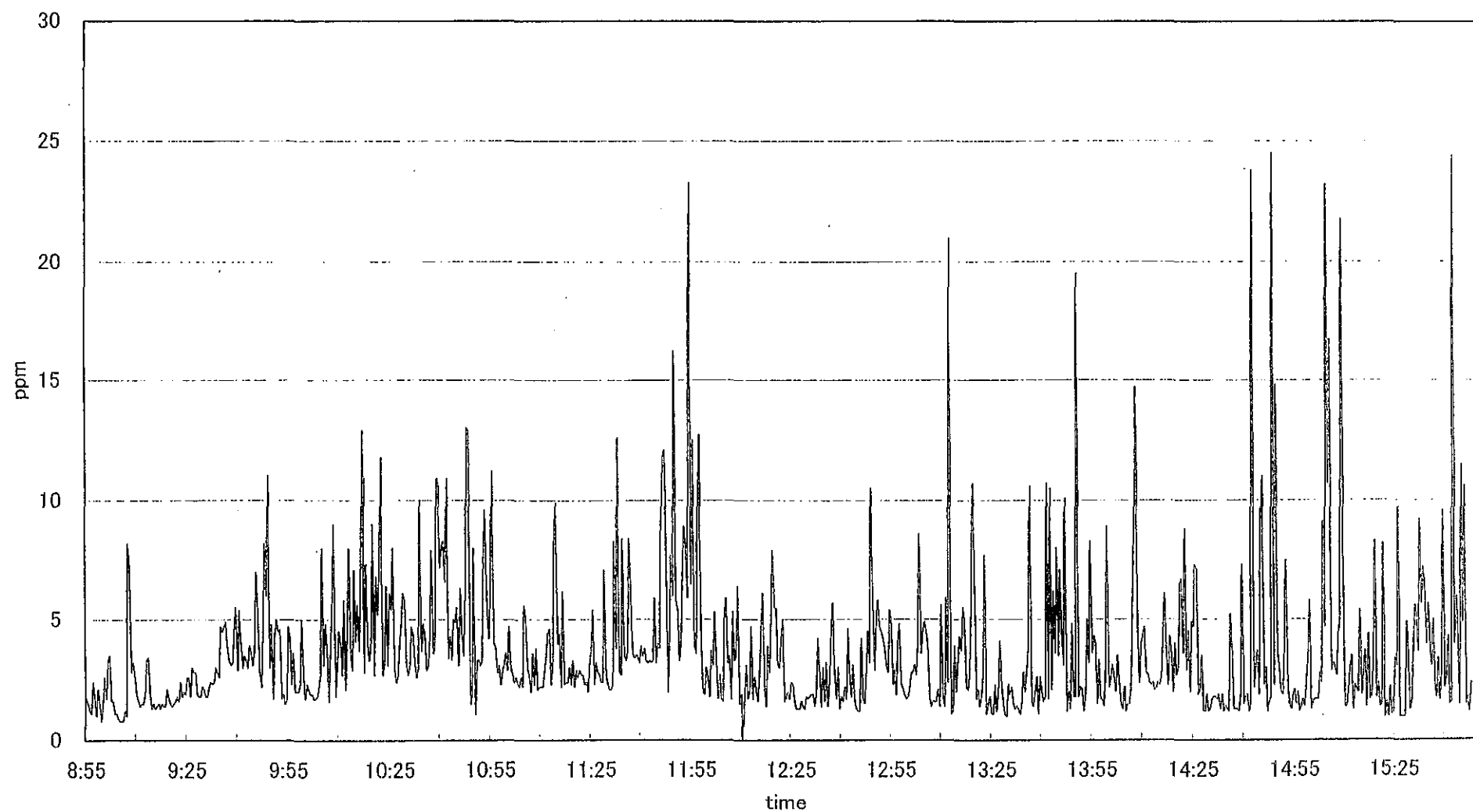


図32 プロピレンオキシド 漏洩チェック&追加投薬 個人曝露濃度:0.7ppm

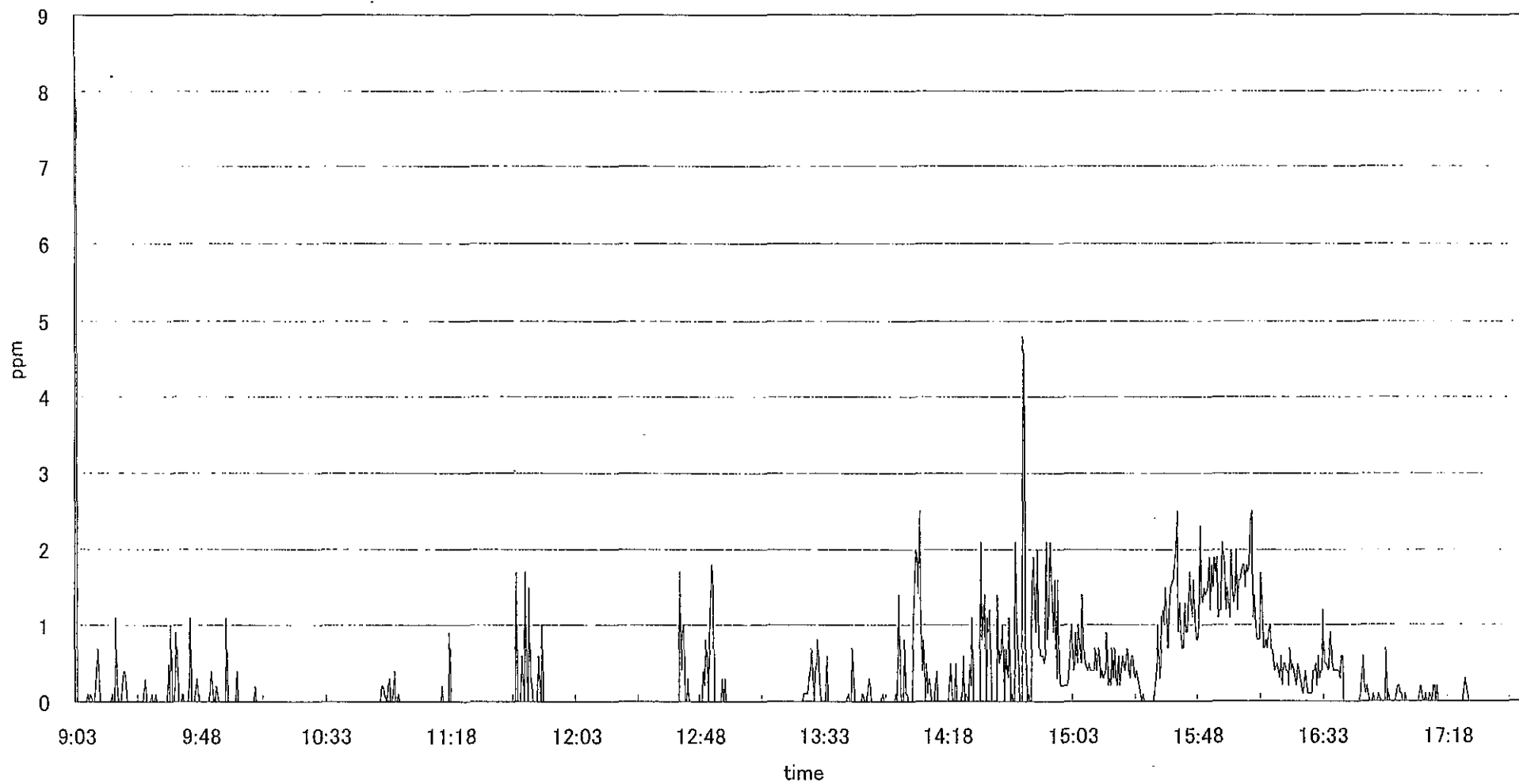


図33 プロピレンオキシド 漏洩チェック&追加投薬 個人曝露濃度:0.4ppm

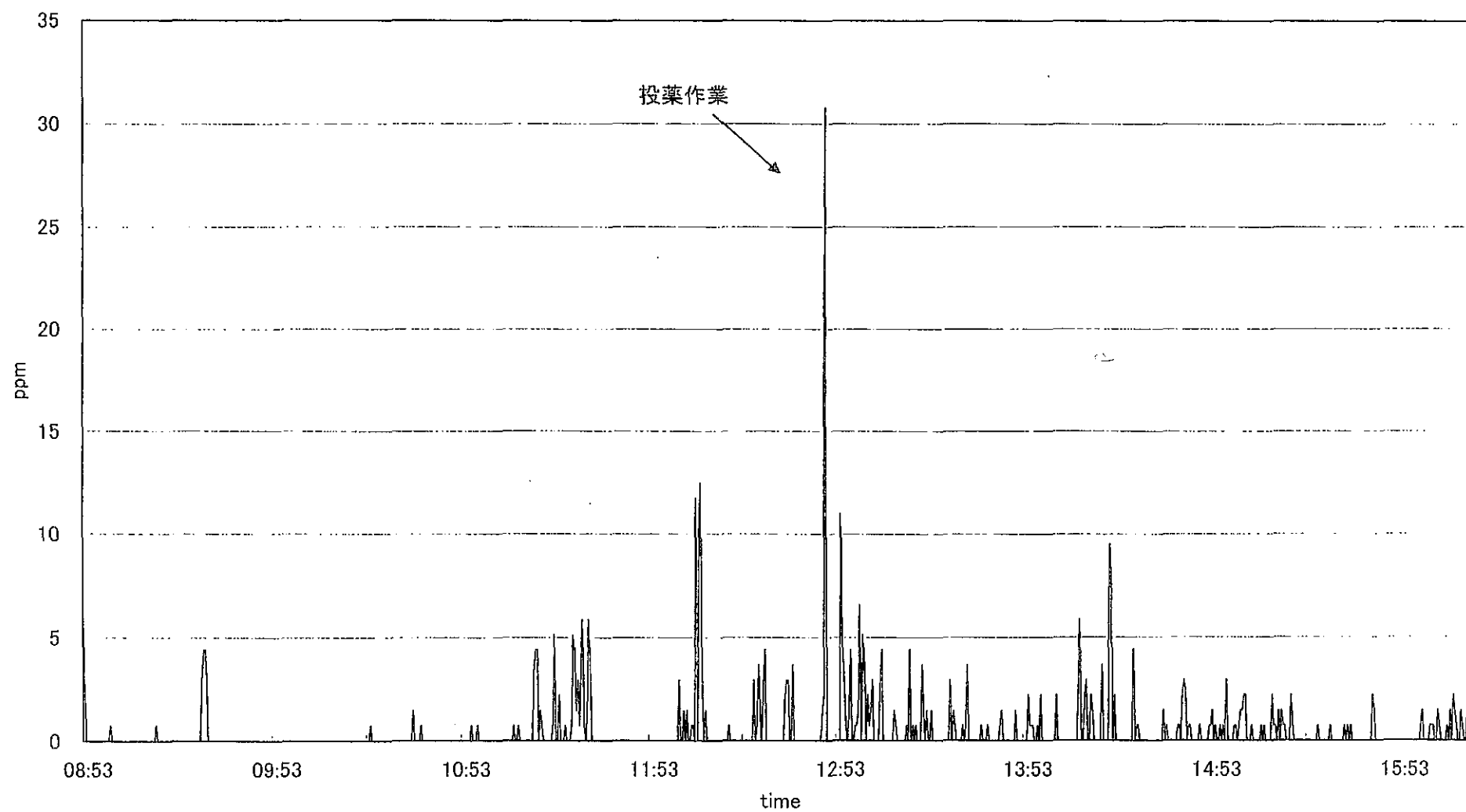


図34 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:9.2ppm

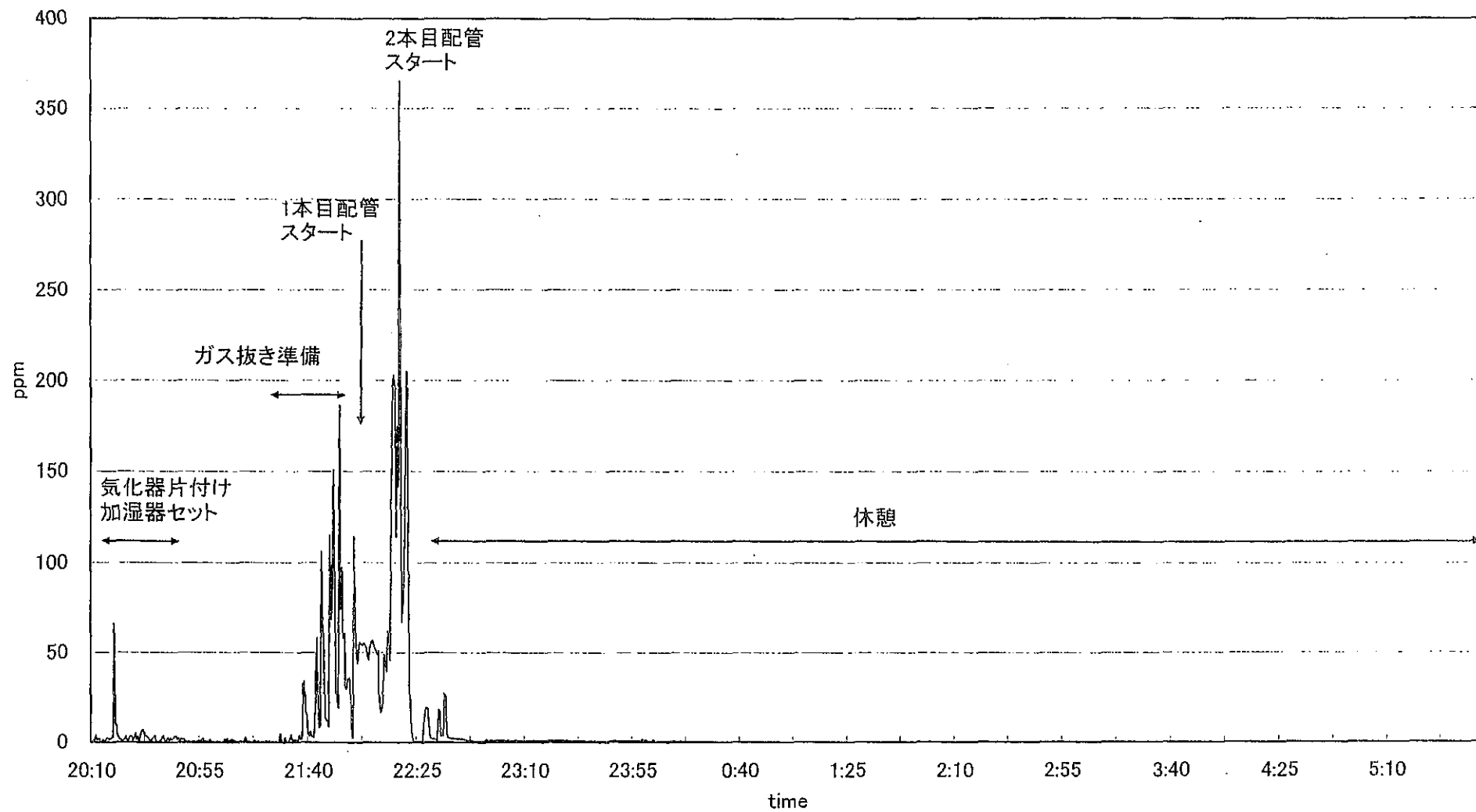


図35 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:11.7ppm

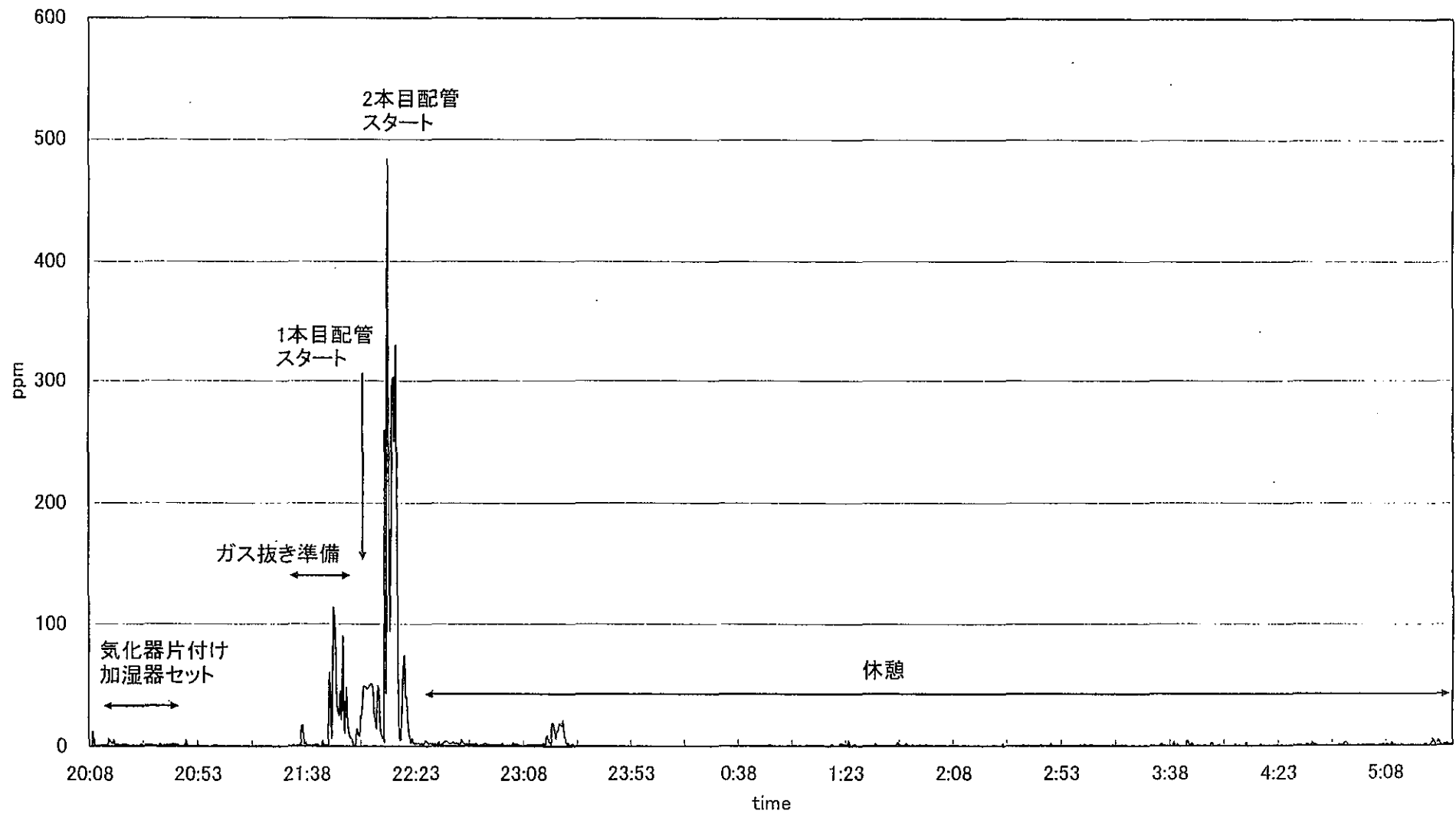


図36 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:9.5ppm

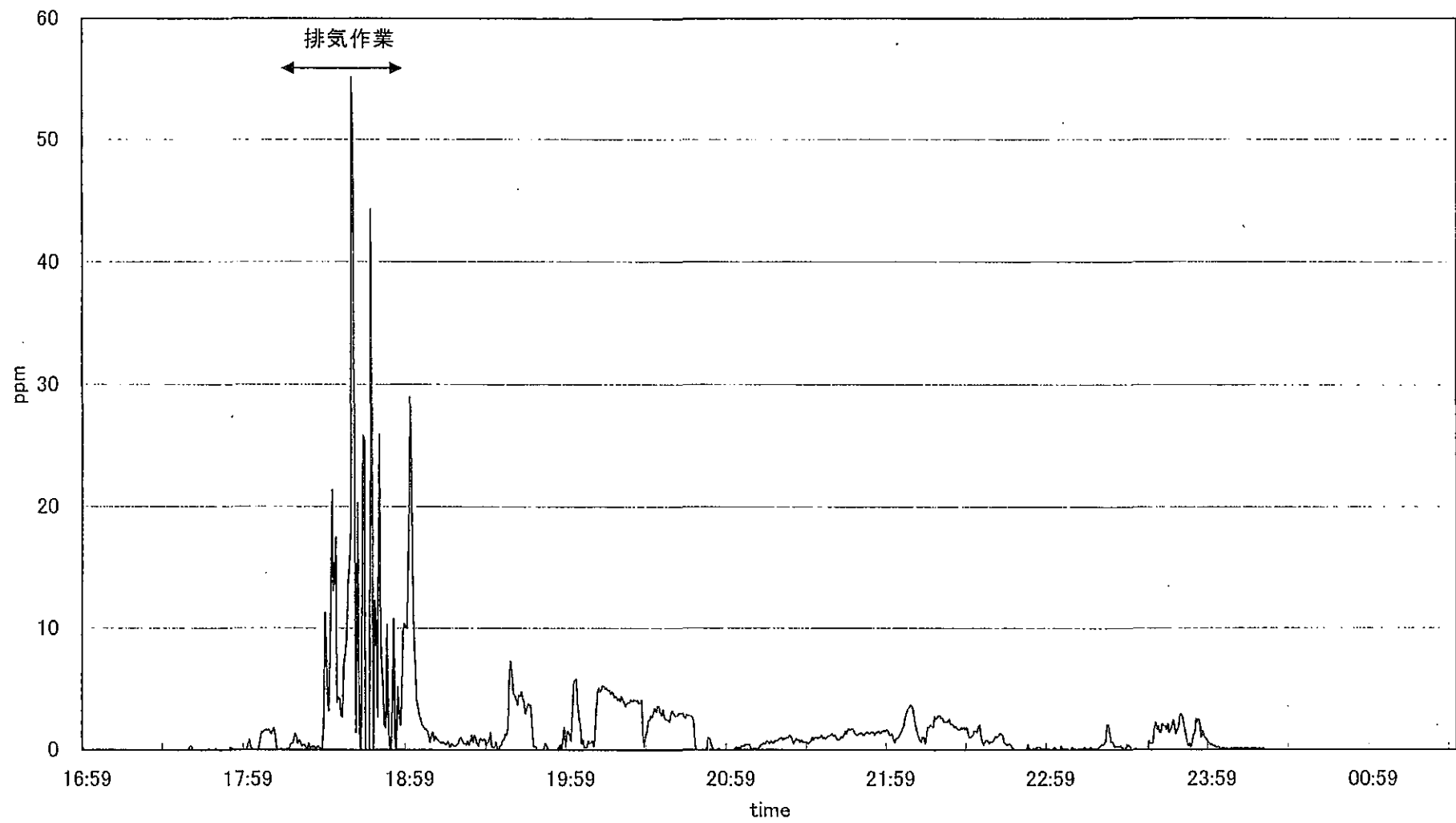


図37 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:1.0ppm

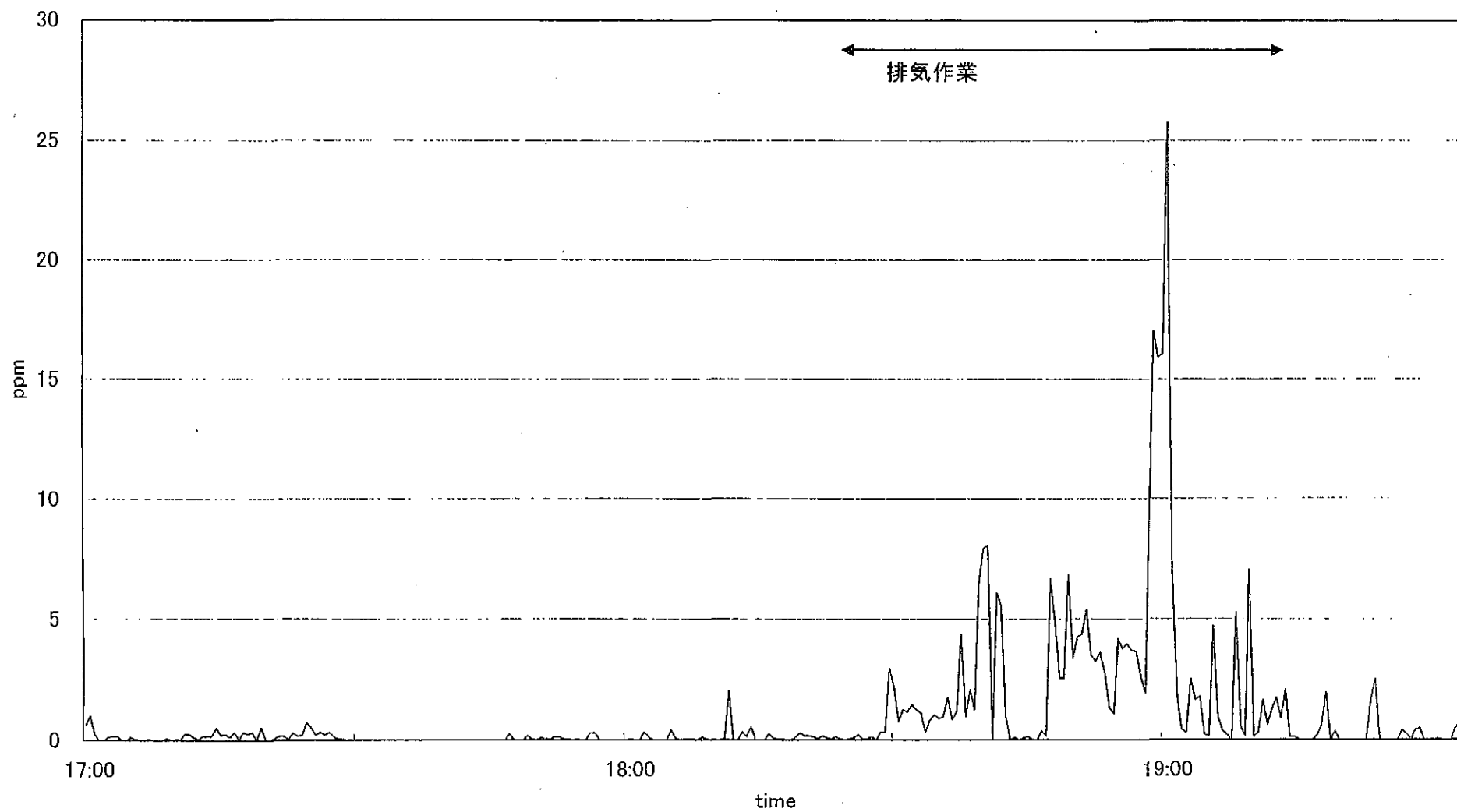


図38 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:12.1ppm

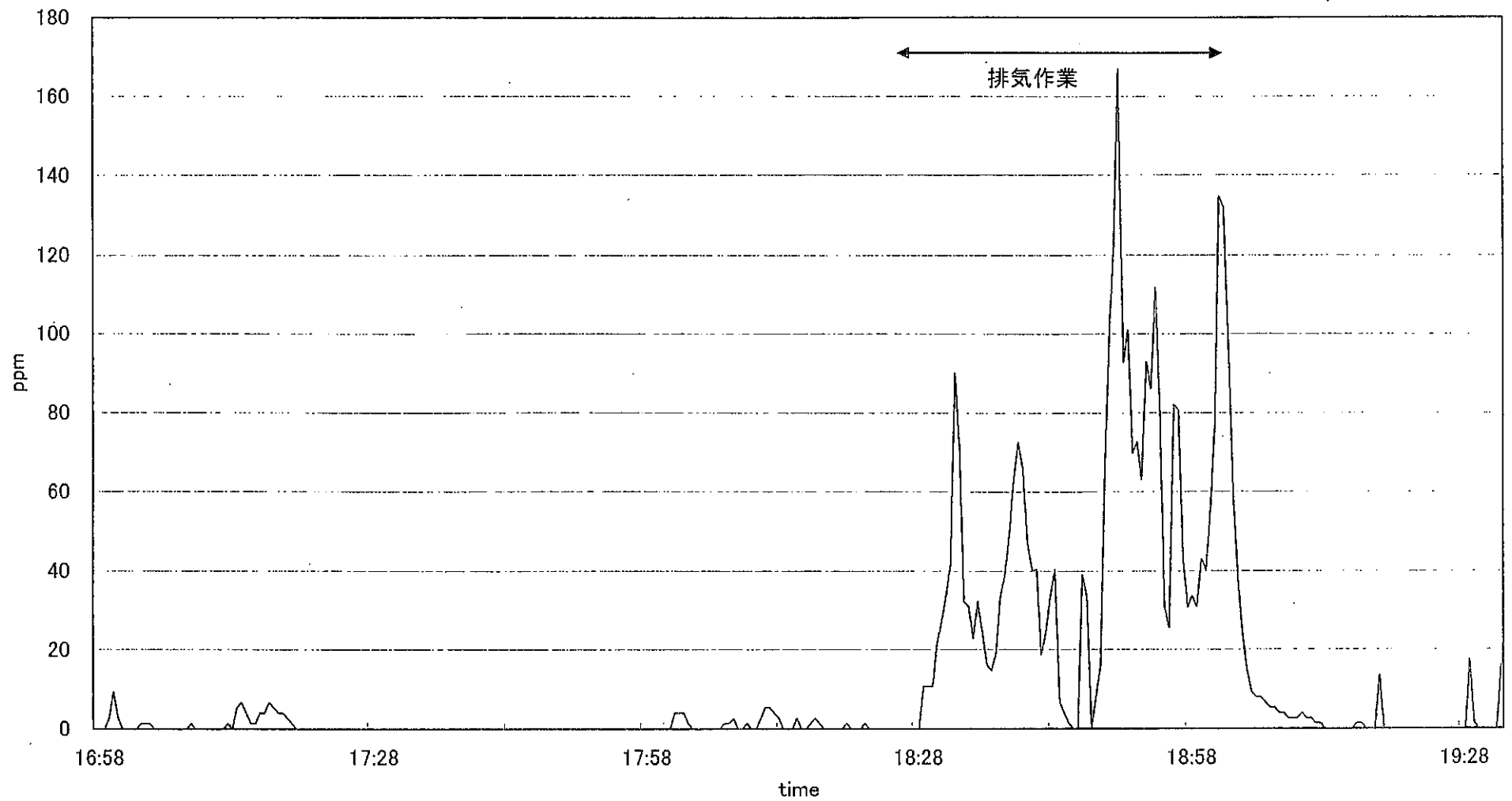


図39 プロピレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:10.5ppm

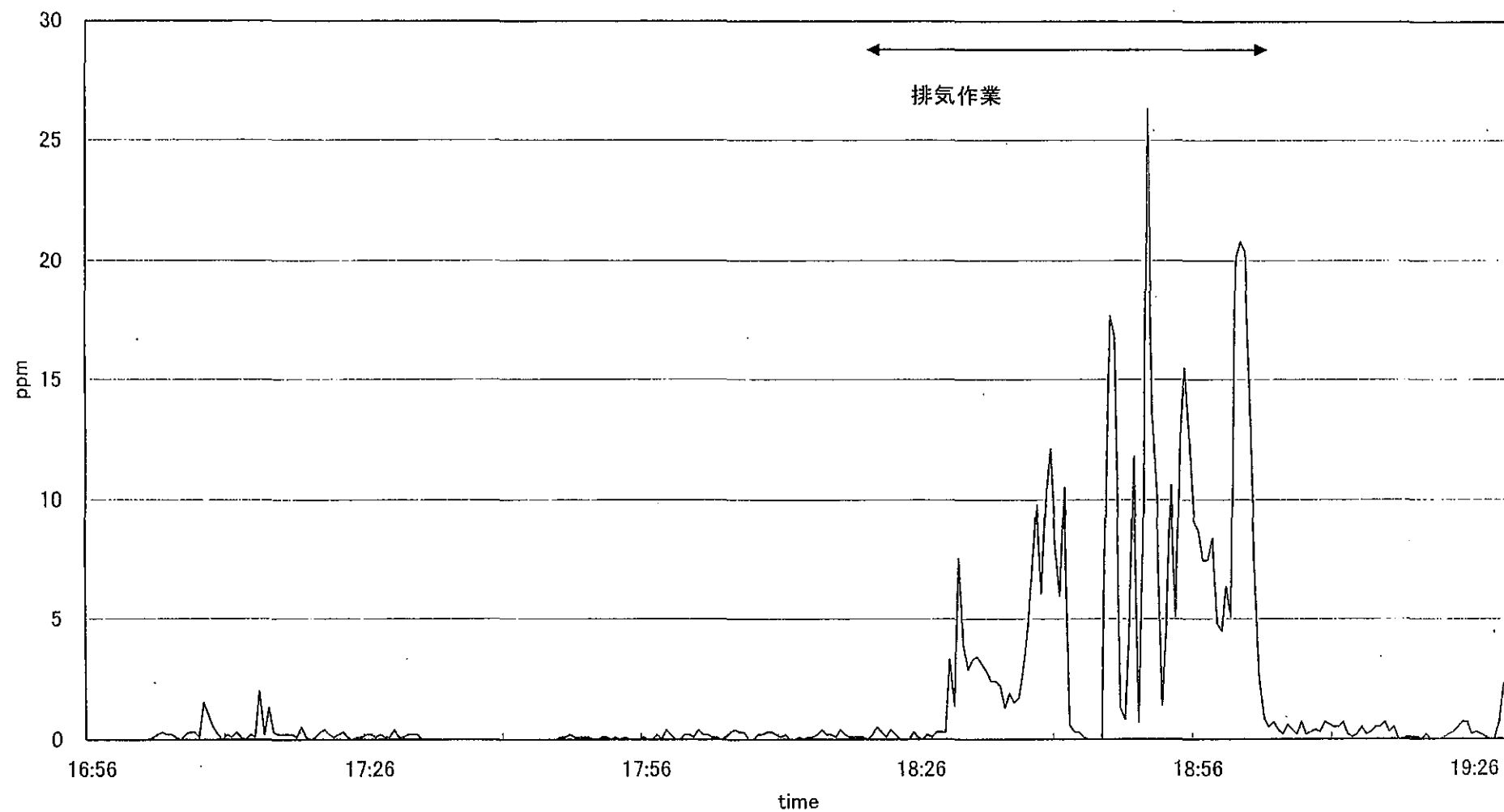


図40 フッ化スルフリル 投薬作業 個人曝露濃度:0.10ppm

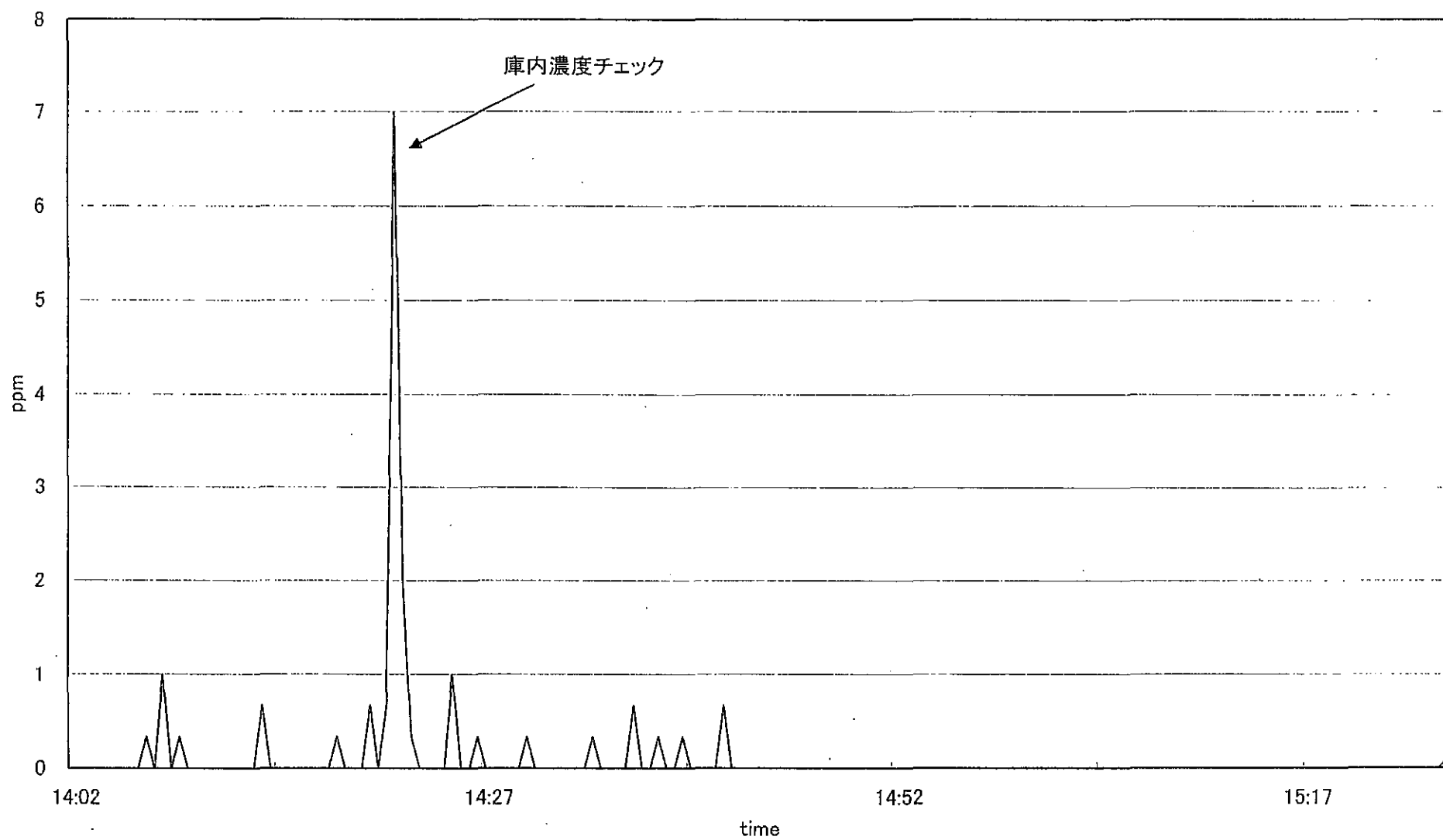


図41 フッ化スルフリル 投薬作業 個人曝露濃度:0.10ppm

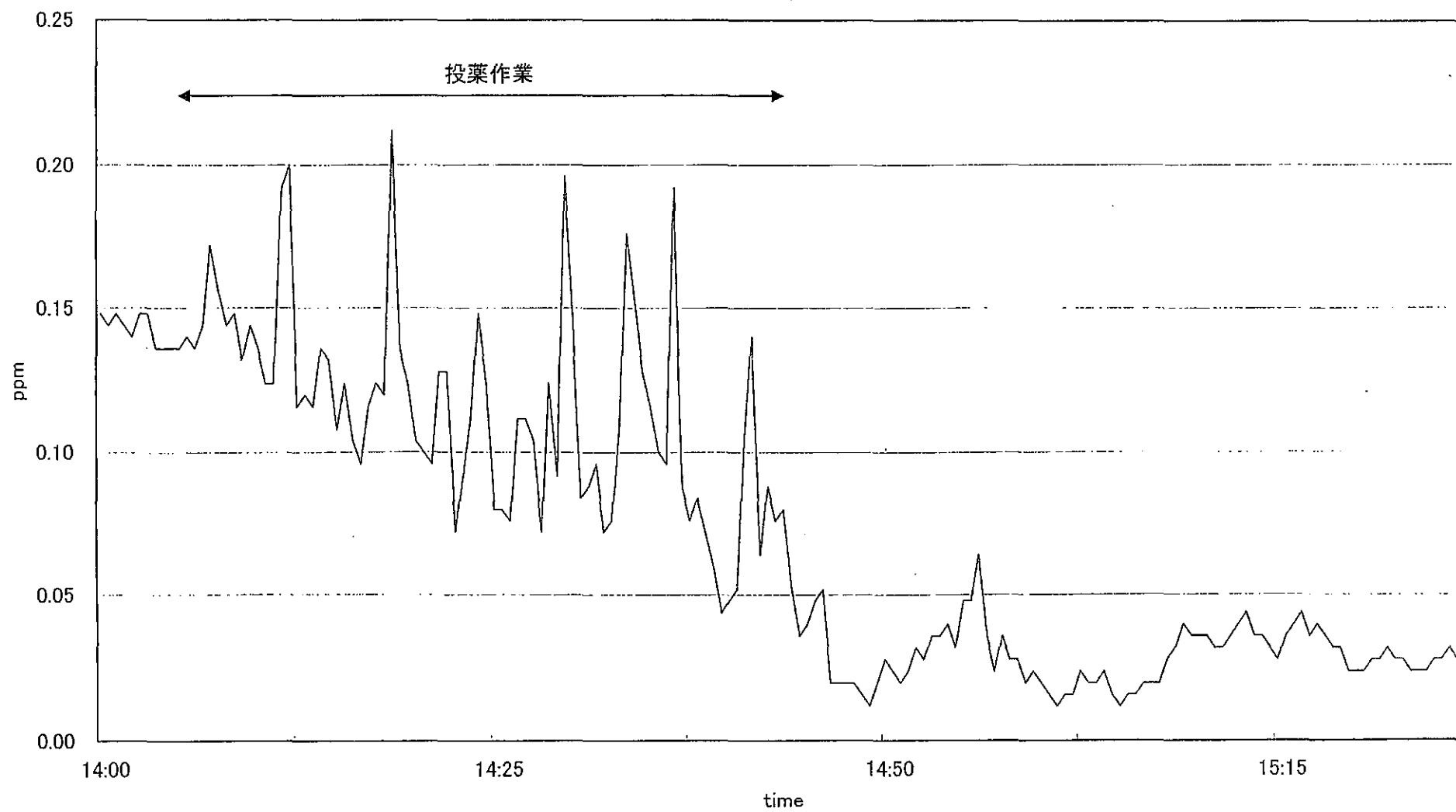


図42 フッ化スルフルル ガス抜き 個人曝露濃度:0.06ppm

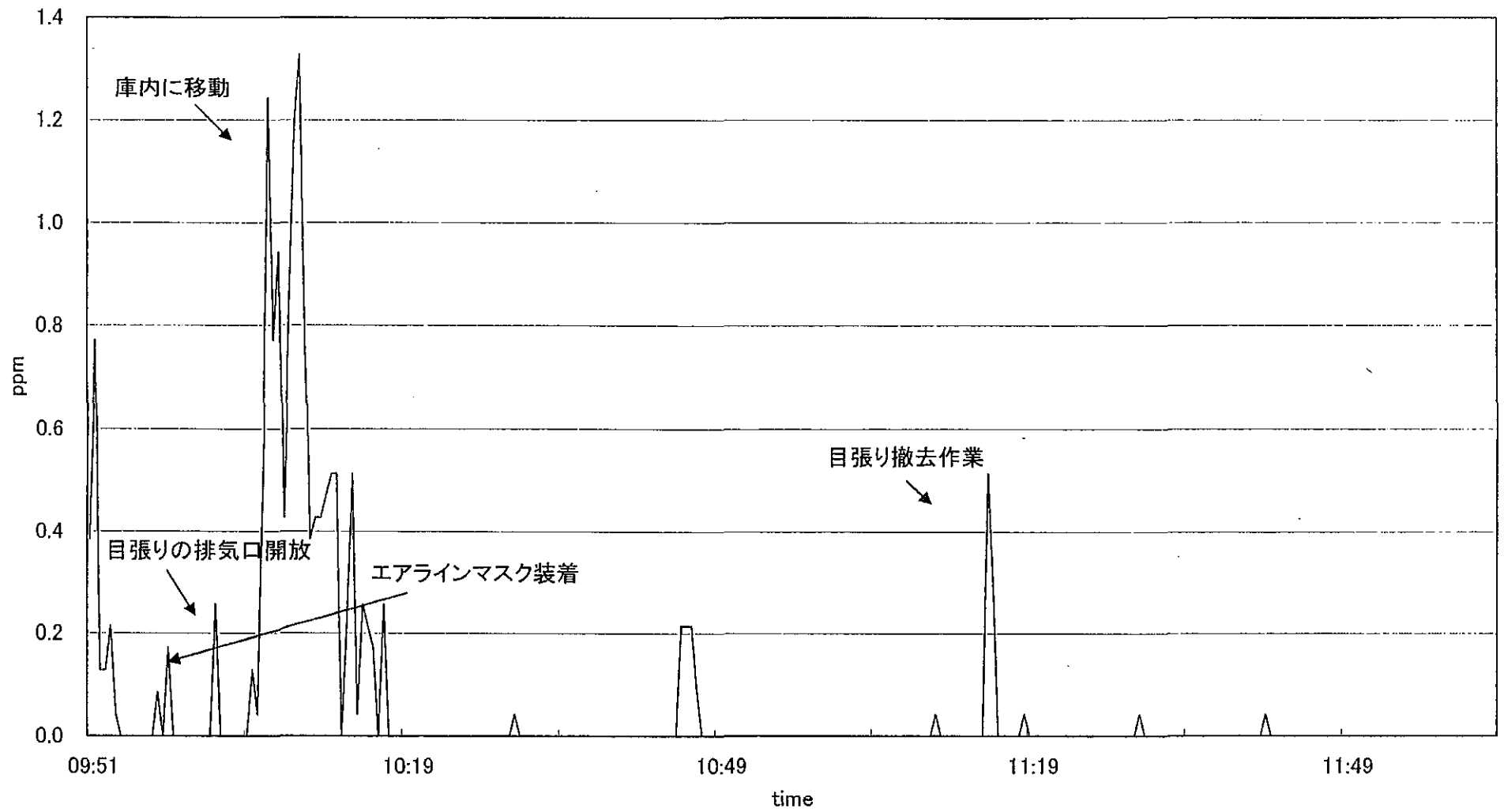


図43 フッ化スルフリル ガス抜き作業 個人曝露濃度:0.27ppm

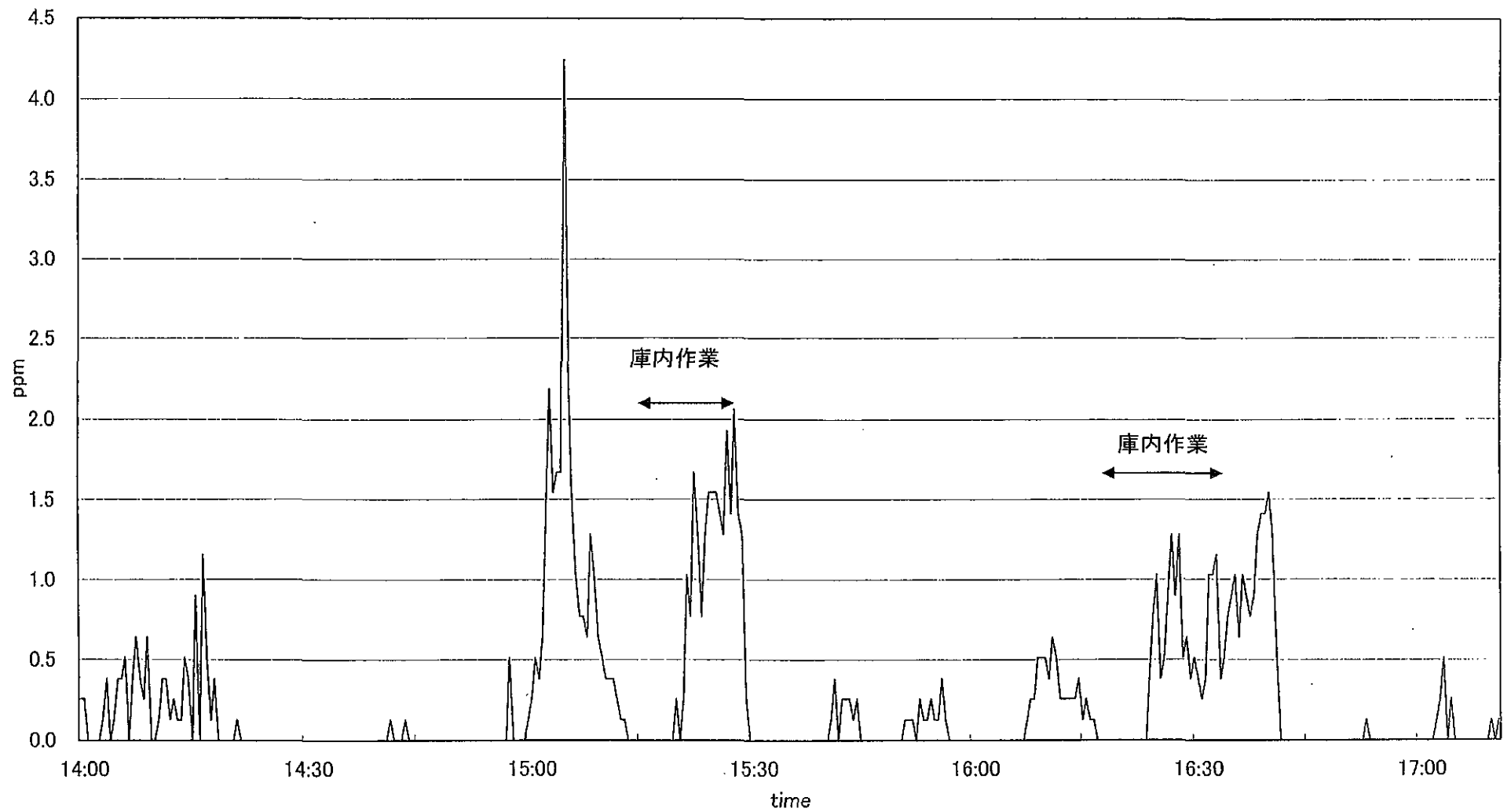


図44 フッ化スルフリル ガス抜き作業 個人曝露濃度:3.73ppm

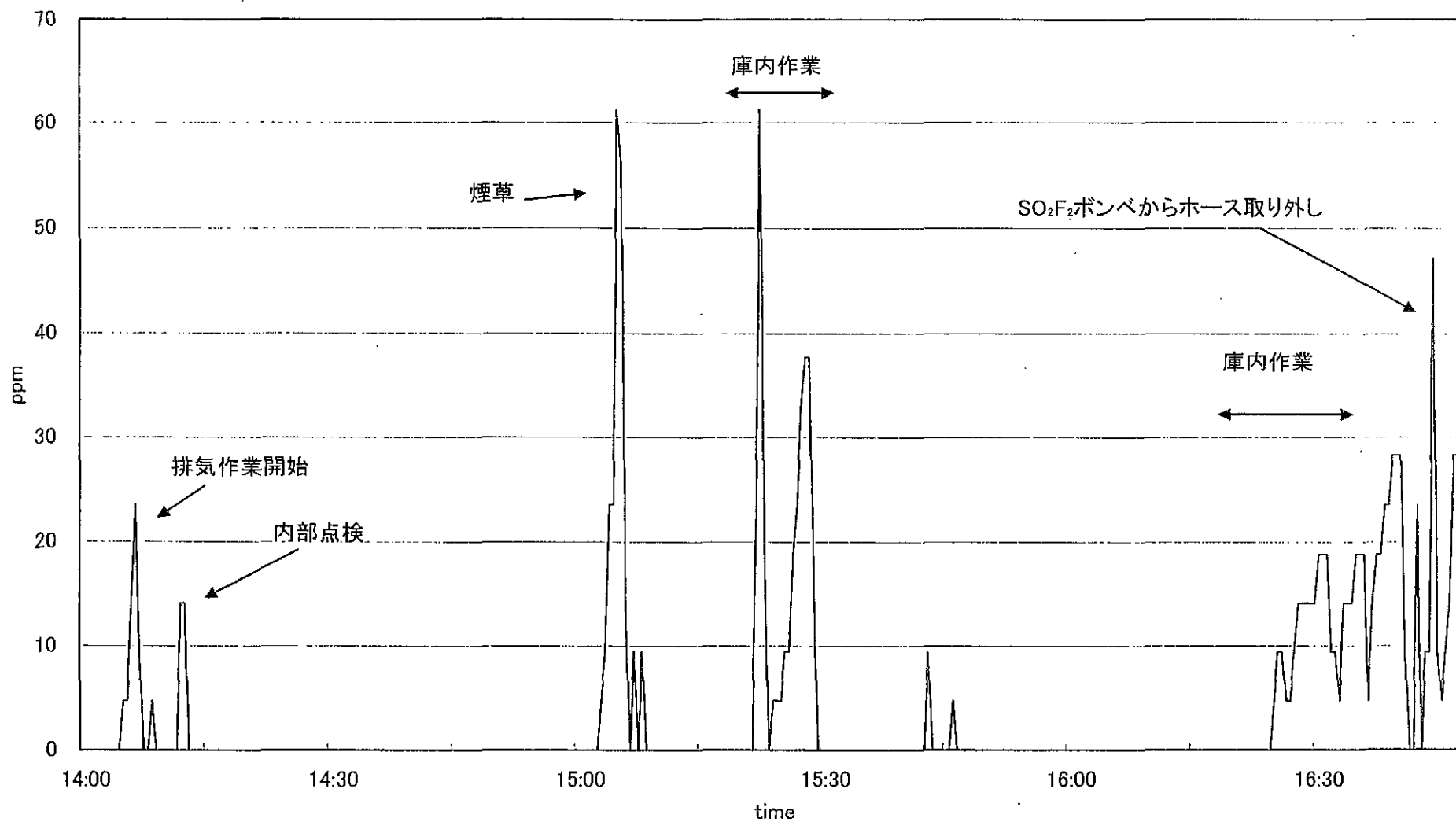


図45 フッ化スルフリル ガス抜き 個人曝露濃度:0.05ppm

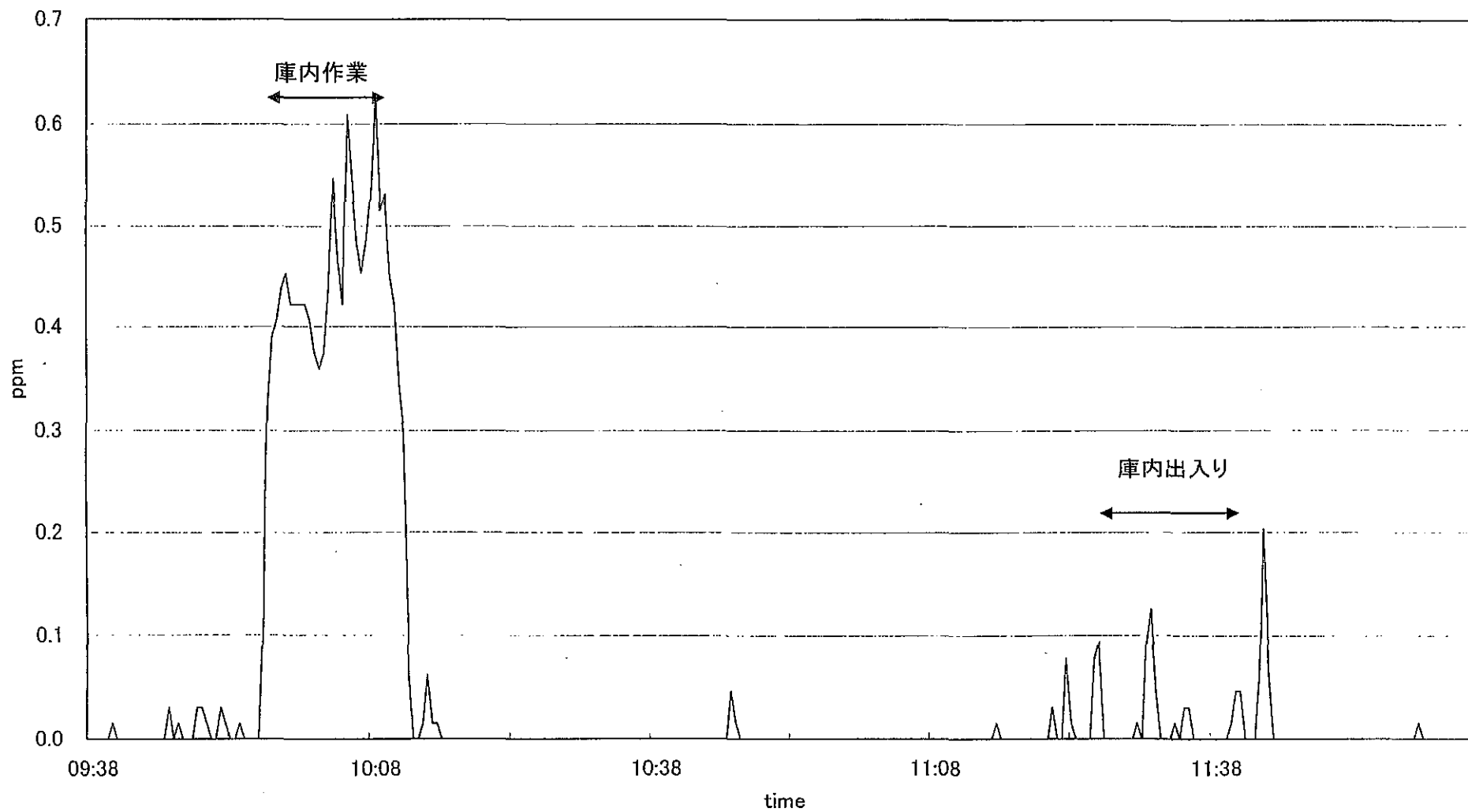


図46 エチレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度: 0.38ppm

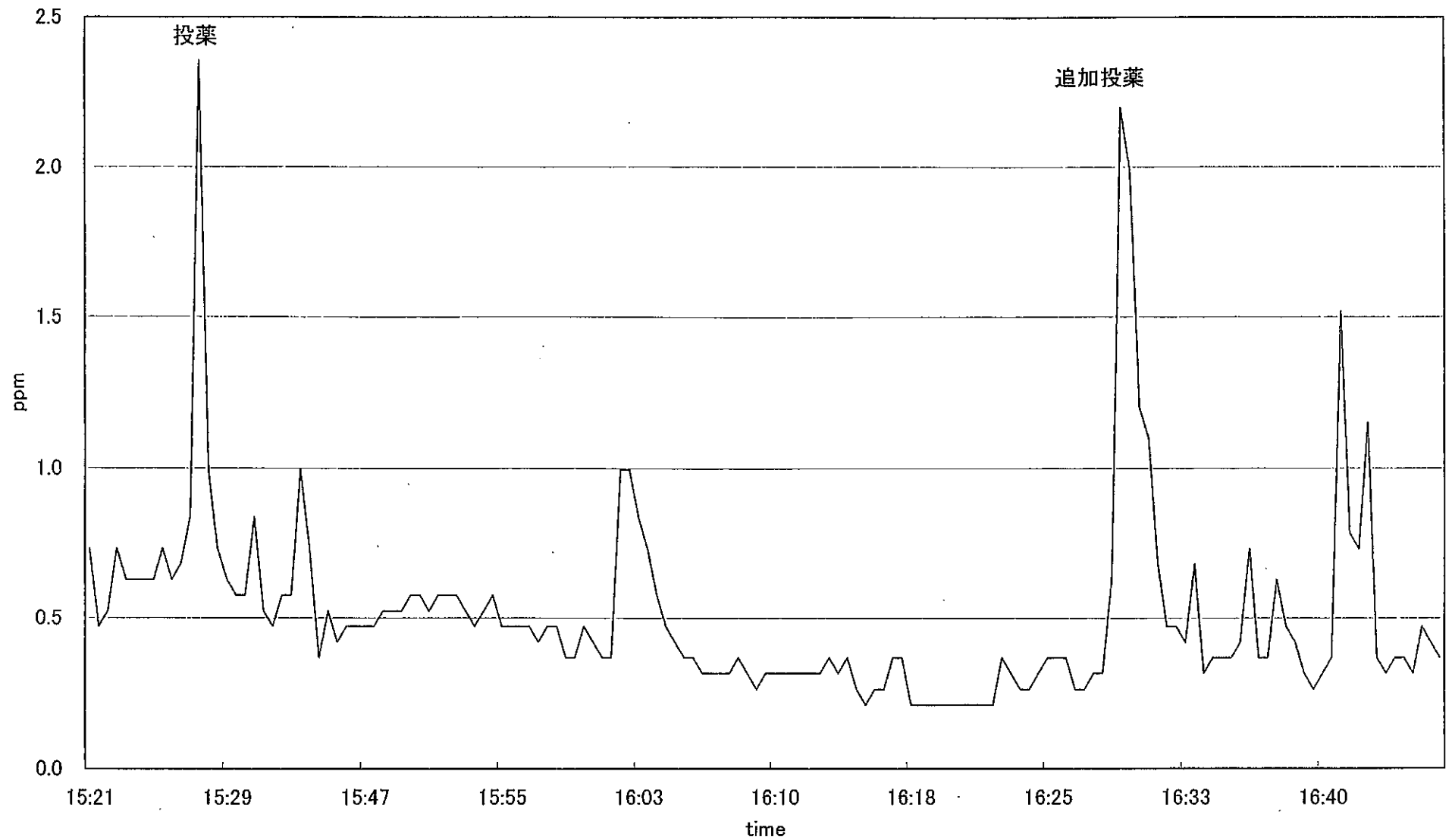


図47 エチレンオキシド 投薬作業 個人曝露濃度:0.26ppm

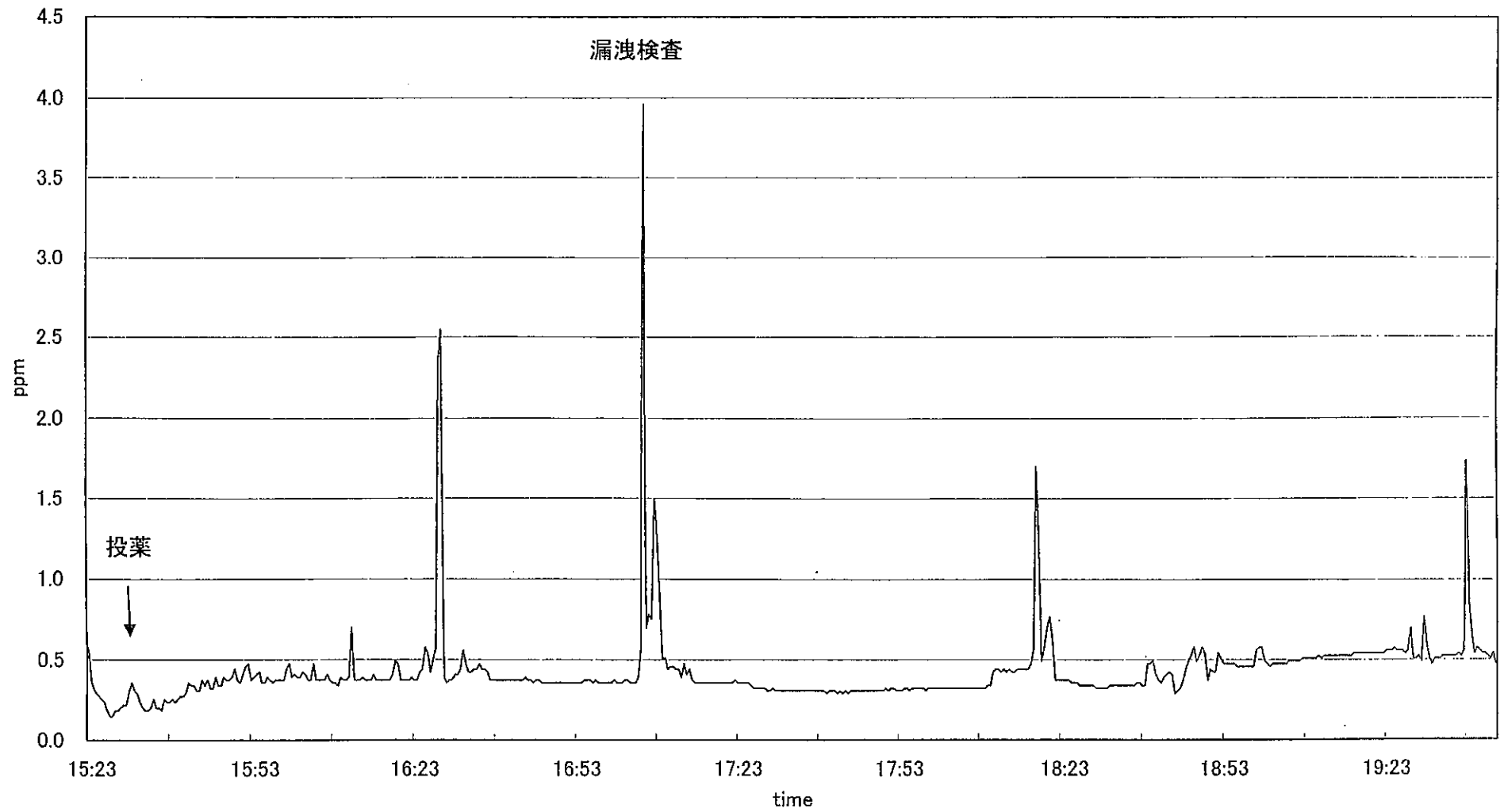


図48 エチレンオキシド 漏洩チェック&追加投薬 個人曝露濃度:0.11ppm

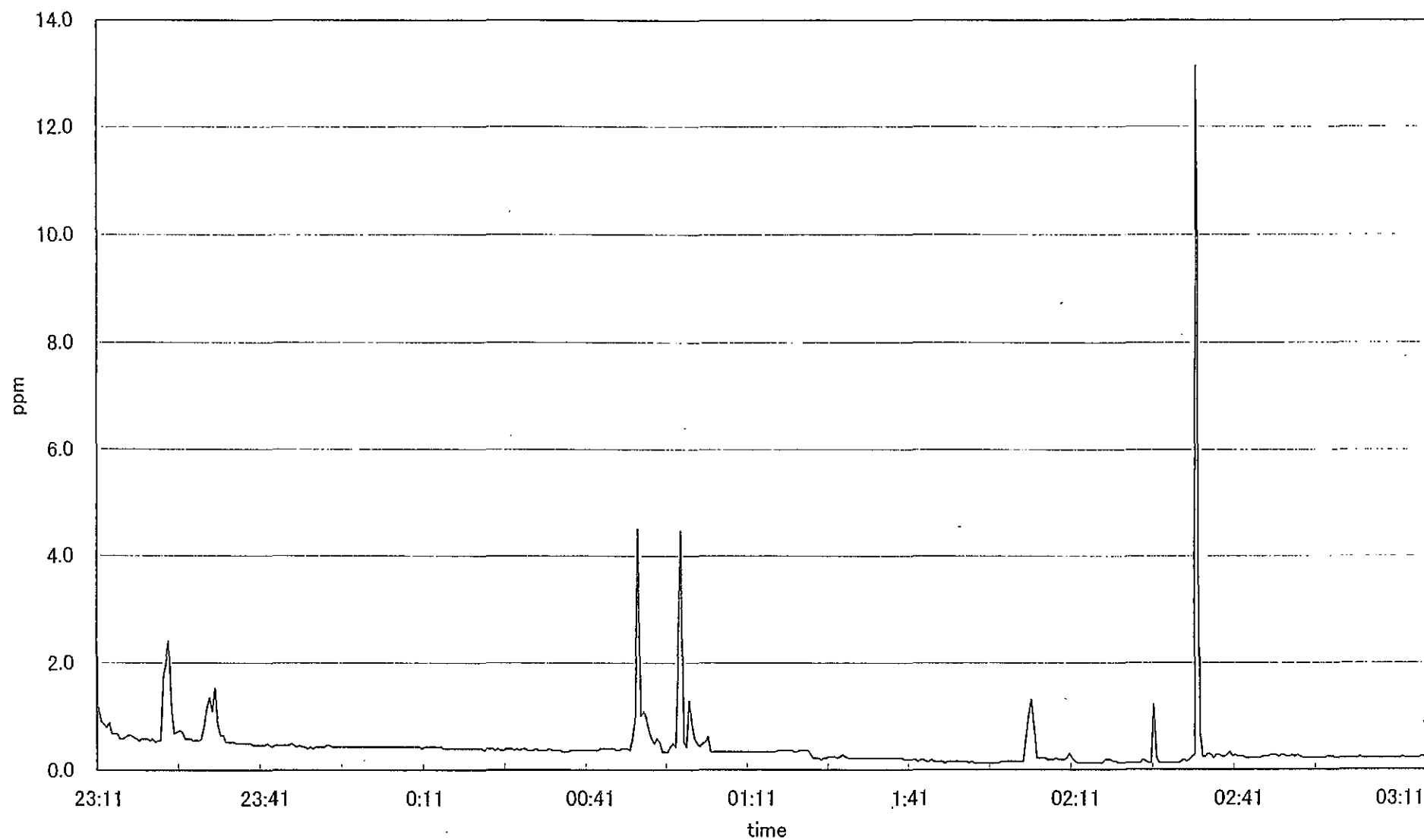


図49 エチエンオキシド 漏洩円チェック&追加投薬 個人曝露濃度:0.33ppm

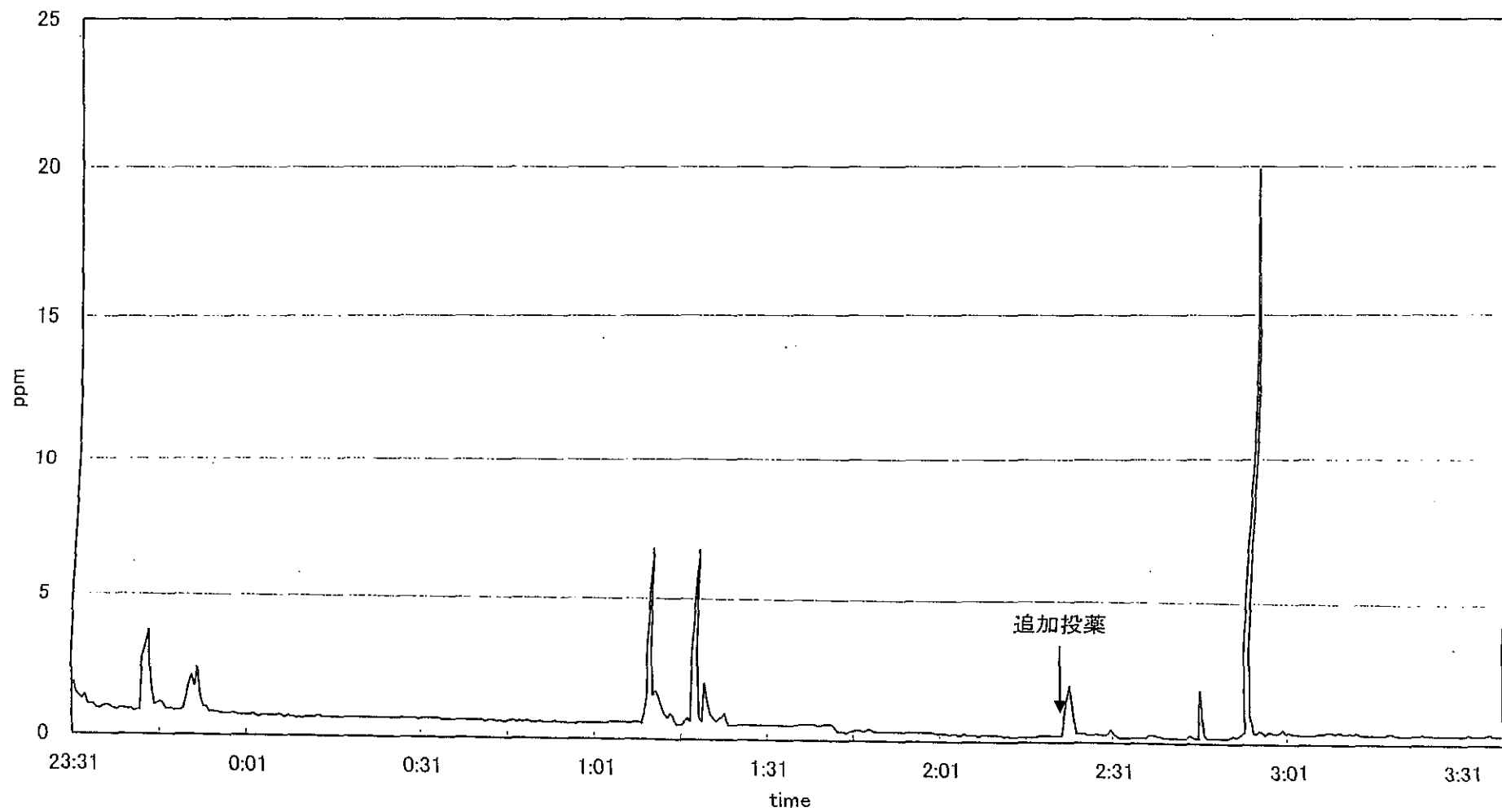


図50 エチレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:0.04ppm

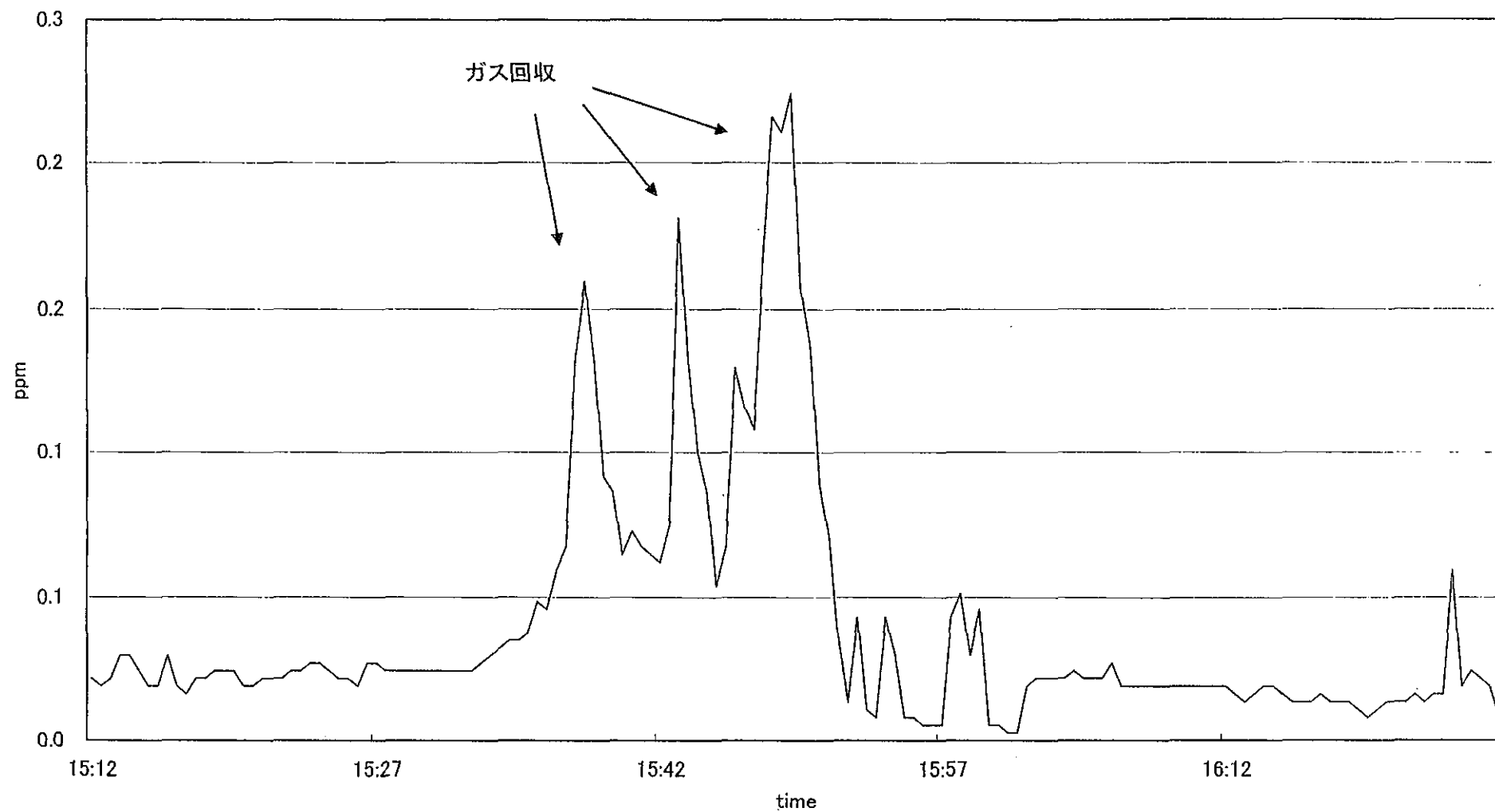


図51 エチレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:0.16ppm

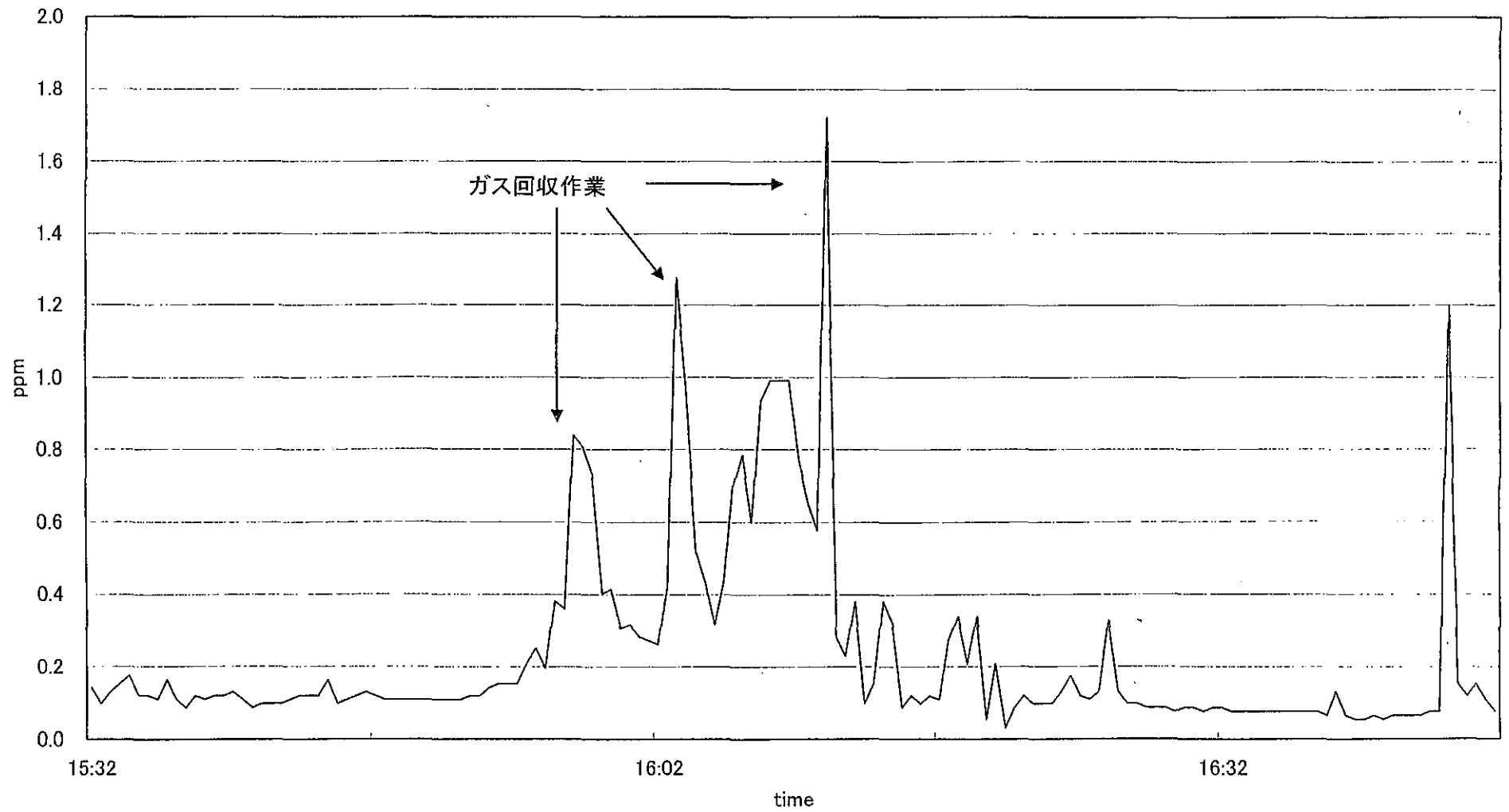


図52 エチレンオキシド ガス抜き作業 個人曝露濃度:0.03ppm

