

# **厚生労働科学研究費補助金**

## **労働安全総合研究事業**

### **粉じん作業等における粉じんばく露リスクの調査研究**

**平成27年度 総合研究報告書**

**主任研究者 名古屋俊士**

**平成28年(2016年)5月**

## 目 次

A . 研究目的 .....	1
B . 研究方法 .....	6
<b>1 . 屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露 リスクの調査研究</b>	
1.1 目的 .....	6
1.2 測定調査の概要 .....	6
1.3 作業における粉じんばく露濃度測定結果 .....	8
1.4 まとめ .....	22
1.5 結論 .....	24
<b>2 . 鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスクの調査研究</b>	
2.1 目的 .....	25
2.2 測定調査の概要 .....	25
2.3 砂型造形作業について .....	26
2.4 ばく露濃度測定結果の評価方法 .....	27
2.5 砂型造形作業における粉じんばく露濃度測定結果 .....	28
2.6 まとめ .....	76
<b>3 . 金属その他無機物を製錬し、又は熔融する工程において、土石又は 鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所 における作業における粉じんばく露リスクの調査研究</b>	
3.1 目的 .....	78
3.2 測定調査の概要 .....	78
3.3 土石又は鉱物を開放炉に投入する作業の測定結果 .....	79
3.4 まとめ .....	98
<b>4 . 屋外の鉱物等動力により破碎する作業における粉じん ばく露リスクの調査研究</b>	
4.1 目的 .....	100
4.2 調査対象現場の現状 .....	100
4.3 調査方法 .....	100
4.4 調査結果 .....	101
4.5 まとめ .....	106
<b>5 . 船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じん ばく露リスクの調査研究</b>	

5.1	目的	107
5.2	調査方法	107
5.3	粉じんばく露濃度調査結果	108
5.4	結論	117
<b>6</b>	<b>流量低下が慣性衝突型個人粉じん計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響</b>	
6.1	目的	119
6.2	相対濃度計 LD-5 及び LD-3K2 の器差確認実験	120
6.3	ダストチャンバー内における測定台上の濃度均一性確認実験	121
6.4	流量低下が慣性衝突式分粒装置の分粒特性に与える影響	124
6.5	正確な吸入性粉じん測定を行うための NWPS-254 型個人サンプラーの判断基準	128
6.6	まとめ	131
<b>7</b>	<b>局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究</b>	
7.1	目的	133
7.2	フランジ効果及びフィルターの圧力損失	135
7.3	ダクト付きフードを用いた制御風速等に関する実験	143
7.4	屋外排気型フードを用いた外乱気流の影響に関する実験	159
7.5	粉じん則一部改正のための現場検証調査	184
7.6	結論	218
7.7	粉じん則の一部改正への提言	220
<b>E</b>	<b>結論</b>	
1	屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究	221
2	鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスクの調査研究	223
3	金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業	224
4	屋外の鉱物等動力により破砕する作業における粉じんばく露リスクの調査研究	226
5	船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスクの調査研究	226
6	流量低下が慣性衝突型個人粉じん計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響	227
7	局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究	228

<b>F . 健康危機情報</b> .....	233
<b>G . 研究発表</b> .....	233
1 . 研究論文等 .....	233
2 . 研究発表 .....	235
<b>H . 知的財産の出願・登録状況</b> .....	237



**厚生労働科学研究費補助金（労働安全総合 研究事業）**  
**（総合） 研究報告書**

**粉じん作業等における粉じんばく露リスクの調査研究**

**研究者代表者 名古屋俊士 早稲田大学理工学術院 教授**

**研究要旨**

**A . 研究目的**

厚生労働省は、労働災害防止のための危害防止基準を確立するため、昭和 47 年に「労働安全衛生法」を施行した。さらに、粉じんの障害防止に特化した法律として、昭和 54 年に「粉じん障害防止規則」を制定した。粉じん則は第 1 条から第 27 条と附則と別表第 1、別表第 2、別表第 3 からなり、別表第 1 に掲げられている作業（以下、「粉じん作業」）、別表第 2 に掲げられている場所が粉じんの発生源であるような作業（特定粉じん作業）を行うには、全体換気装置や局所排気装置などの設備を設置するなどの措置をとる必要がある。また、別表第 3 に掲げられている作業を行う作業者には、呼吸用保護具の着用が義務付けられている。

粉じん則の制定以降、厚生労働省は、粉じん則の周知徹底及びじん肺法との一体的運用を図るため、昭和 56 年度の「第 1 次粉じん障害防止総合対策」から 5 年ごとに粉じん障害防止対策を推進してきた。そして、それぞれの時代の科学的知見や技術の状況に応じ、作業環境管理、作業管理、健康管理等の必要な対策が、逐次講じられてきた。その結果、昭和 55 年当時 6842 人であったじん肺新規有所見労働者が、平成 21 年には 233 人と大幅に減少し、着実に対策の成果がでてきている。しかし、近年では約 200 人で横ばいとなっており、この状態を更なる減少傾向に転じさせる必要性が指摘されている。そのため、じん肺が遅発性疾病であることを鑑みて、有所見者の発生を待たずに各作業の粉じんばく露リスクを改めて見直し、そのような高リスクの作業から優先的に新たな対策を実施する必要性に迫られている。

そこで、平成 25 年から 27 年の 3 年間ににおける本研究では、現行の粉じん障害防止規則において、「粉じん作業」として定められた作業の範囲及び事業主の責務として実施が義務づけられた粉じんばく露防止対策の有効性を調査するとともに、今後の省令改正等の必要性を検討する上での基礎となる資料を提供することを目的とする。また、今後新たに、粉じん障害防止規則第 27 条別表 3（呼吸保護具の使用）（以下、別表 3 という。）に追加すべき作業の有無について調査し、ある場合には、その作業における粉じんばく露リスクの調

査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討する。

### **1．屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究**

従来、屋外については、粉じん別表第 3 の作業に入らず呼吸用保護具の着用が義務づけられていなかった屋外での岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業について、24 年度厚生労働省の入札により受託した「じん肺症例に関する調査研究（屋外での研磨等作業における粉じんばく露の評価）」について、岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業の現場調査を実施しようとしたが、事業場の協力が得られず、やむなく、実験室での模擬作業での粉じんばく露濃度測定を行い、その成果を厚生労働省のじん肺班に報告した。しかし、現場に即した模擬研磨・ばり取り作業であったが、やはり現場の実態を正確に反映していない可能性が考えられることから、25 年度の研究では、事業場に再度協力をお願いして、岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業を行っている屋外作業場において、粉じんばく露濃度測定調査を実施し、作業者の健康被害を防止するための呼吸用保護具着用の必要性について検討を行った。

### **2．鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスクの調査研究**

現在「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業として、26 年度の研究として鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスク調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討を行った。

### **3．金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業（別表 1 の 17）における粉じんばく露リスクの調査研究**

現在、「粉じん作業」に指定されているが、今後新たに、別表 2 及び別表 3 のどちらに追加すべき作業として、27 年度の研究として金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業（別表 1 の 17）（以下、**土石又は鉱物の開放炉への投入作業**と略す）における粉じんばく露リスク調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討を行った。

### **4．屋外において鉱物等を動力により破砕する作業における粉じんばく露リスクの調査研究**

現在、「粉じん作業」に指定されているが、今後新たに、別表 2 及び別表 3 のどちらに追加すべき作業として、27 年度の研究として鉱物等、炭素原料又はアルミニウムはくを動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業（以下、**屋外において鉱物等を動力により破砕する作業**と略す）。ただし、水又は油の中で動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業を除く作業（第 3 号、第 15 号又は第 19 号に掲げる作業を除く。）のうち、屋外において鉱物等を動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業に該当する作業を屋外において手持ち削岩機等を用いて鉱物等を目的のサイズに加工するために小割りする作業を調査対象として、粉じんばく露リスク調査を行

い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討を行った。

## 5．船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスクの調査研究

現在、「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業の有無について調査し、ある場合には、その作業における粉じんばく露リスクの調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討する。具体的には、船倉内の荷役作業終了後の清掃作業である。25年及び26年と現場測定に関して、外国船籍の場合の治外法権、船主の了解、測定時の測定者の安全等の問題から作業の見学だけなら大丈夫との現場担当者からの連絡を受けたが、最終的には、荷主の許可が得られず見学することも出来なかった。27年度は、幸い本粉じん測定の主旨に賛同し、粉じん測定に理解を示してくださった事業場の協力を得て、船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスク調査を行った。さらに、この清掃作業の粉じんばく露リスクの調査の結果、粉じん作業に指定された場合、その後、呼吸用保護具を使用すべき作業である別表3の作業へ改正する必要があるかどうか併せて検討した。

## 6．流量低下が慣性衝突型個人粉じん計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響

作業環境測定を実施するにあたり、従来は作業環境測定基準に準じた測定法である A 測定及び B 測定により測定を行い、その結果に基づいて評価を行ってきた。A 測定は、単位作業場所の中に無作為に定めた 5 点以上の測定点における環境空気中の有害物質濃度を測定し、平均的な作業環境の状態を把握するための測定である。B 測定とは、単位作業場所の中で、発生源に近接する場所における作業が行われる場合に、作業が行われる時間のうち、作業者の曝露濃度が最も高くなると思われる時間に、作業が行われる位置において行われる測定である。そのため、溶接作業のように、作業者の周囲で局所的に粉じん濃度が高くなり、作業者が高濃度に曝露してしまっているような作業場において、A 測定及び B 測定は必ずしもその作業場の実態を反映しているとは言えない。そうした状況を踏まえて、平成 22 年 1 月に「職場における化学物質等の今後のあり方に関する検討会」が厚生労働省に設置され、危険有害性情報の伝達及び活用の促進、簡便なリスクアセスメント手法の導入、普及及び定着、作業環境測定の評価結果の労働者への周知、管理の促進、局所排気装置の要件の柔軟化、局所排気装置以外の発散抑制方法の導入及びリスクに基づく合理的な化学物質管理の促進等の検討事項と共に、個人サンプラーによる測定の導入に向けた検討も行った。そこで「個人サンプラーによる測定について、当面は、A 測定及び B 測定による測定では的確な評価が困難と思われる一部の作業を対象に A 測定及び B 測定に代わる測定として導入することについて検討する必要がある」との結論を受けて、厚生労働省は、中央労働災害防止協会に、作業環境における個人ばく露測定に関する実証的検証事業の「個人ばく露測定に関する検討委員会」を設置して、22年から25年度の4年間にわたり検討を行い、作業環境に個人ばく露濃度測定の導入が現実味を帯びる状況になってきた。そうした状況を受けて、個人サンプラーを用いた粉じん濃度測定について、その正確な運用を検討しておかなければならない状況が生じた。

そこで、26年度個人サンプラーを用いて粉じん濃度測定を行なうにあたり、まず現行では、個人ばく露粉じん濃度測定計NWPS-254(以下、NWPS-254と略す)が、使用されている。NWPS-254は、吸引流量2.5(L/min)で吸引することで吸入性粉じんを正確に測定できる粉じん計である。しかし、個人ばく露濃度測定のように8時間の連続測定を行う場合、通常の粉じん濃度測定よりフィルターに粉じんが多量に捕集される可能性があり、そのため、圧力損失が上がり吸引流量が2.5(L/min)以下で測定している可能性が考えられる。その場合は、正確な吸入性粉じん濃度測定しているとは言えないので、どこまで吸引流量が低下したら正確な吸入性粉じん濃度測定が出来なくなるかといった判断基準が提示されていないので、捕集量が増加することにより流量低下が起きた際に、吸入性粉じん濃度測定が正確に出来る基準となる吸引流量は、何(L/min)以上かを検証し、判断基準を作成し、提案する。

## 7. 局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究

次に、有害物質が発生する工場内の作業環境では、作業者の健康と安全を守るために、厚生労働省令において、主に局所排気装置の設置が義務付けられている。局所排気装置には、法令により構造要件や性能要件が定められており、特定化学物質(以下、特化物)、有機溶剤、鉛、粉じん及び石綿については制御風速方式が、鉛と一部の特化物には抑制濃度方式が定められている。しかし、実際に作業環境測定を行うと、制御風速を満たしているにも関わらず、作業環境が良くない場合がある。また、逆に、局所排気装置が制御風速を満たしていないにも関わらず、作業環境が良好な場合もある。これは、局所排気装置からの漏洩は制御風速だけでなく、局所排気装置が作業状況と適合しているか否かに大きく左右されるためである。そのため、制御風速は局所排気装置の設計の際には重要なパラメーターとなるが、出来上がった局所排気装置が作業場で有効に稼働しているかどうかは、作業環境測定で評価されるべきであると考えられる。そうした現状を受けて厚生労働省では、23年に「職場におけるリスクに基づく合理的な化学物質管理の促進のための検討会」を設置して、1)作業環境測定の評価結果の労働者への周知及び2)局所排気装置等以外の発散抑制方法の導入について検討を行った。その報告を受けて、平成24年4月「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令」により、局所排気装置の設置が義務付けられた作業場において、作業者の安全が確保され、作業場が良好とされる第1管理区分に区分され、かつ所轄労働基準監督署長からの許可を得た場合には、特例として局所排気装置以外の代替措置を取っても良いことになった。つまり、局所排気装置に規定された要件を満たさない装置であっても使用することができ、作業環境測定のみによって作業環境管理を行うことができる。作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。さらに従来の屋外排気を屋内排気することで、装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。しかし、このような特例は、粉じん障害防止規則においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん障害防止規則においても同様に、局所排気装置以外の粉じ

ん発散防止抑制装置の使用を可能にするため、制御風速と漏洩濃度の関係を求めるために27年度は、26年度に作製した小型局所排気装置をさらに改良して集じんフィルターを内蔵した屋内排気型側方吸引型外付け式フードを作製し、実験室を実際の作業場に想定し、粉じんの環境への漏洩の有無を調べることで、制御風速を下げても作業環境を良好に保つことができることを検証すべく実験を行った。また、併せて、外乱気流が作業現場に設置された局所排気装置の漏洩濃度にどのような影響を与えるかについても検証を行った。さらに、粉じんを取り扱う作業現場で、第1管理区分に成っている事業場において、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした状態で、局所排気装置からの粉じんの漏洩濃度、作業者のばく露濃度及び作業環境測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても第1管理区分が維持できるかどうかの検証を行った。

## B. 研究方法

### 1. 屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究

#### 1.1 目的

本研究の目的は、岩石及び鉱物を研磨・ばり取りする作業を屋外で行っている工場において、岩石及び鉱物を研磨・ばり取り作業時の作業者のばく露濃度測定を行い、有効な呼吸用保護具を着用することの必要な作業かどうかを判断するための情報を収集することである。なお、実験場では金属の研磨・ばり取り作業及び金属の裁断作業についても測定を実施したが、管理濃度を超える作業の割合が低かったため、本調査では現場作業の測定を実施しなかった。

#### 1.2 測定調査の概要

##### 1.2.1 岩石の研磨・ばり取り作業時の粉じんばく露濃度測定

測定対象とした作業は、主に墓石を製作する工程において花崗岩の表面を、手持式のグラインダーを用いて研ま・ばり取りする作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度と同時に環境濃度の測定を作業中に行った。ばく露濃度については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。なお今回用いた LD-6N は粉じんの相対濃度を連続測定するとともに、LD-6N デジタル粉じん計のヘッド部分に個人ばく露質量濃度粉じん計 NWPS-254 の分粒装置を取り付け、且つ、検出部に装着したフィルターに粉じんを捕集することにより吸入性粉じん質量濃度を測定することができるようにしてある。また、環境濃度については作業者の周囲 2m 付近の 1~2 箇所において、地上およそ 1m の高さに質量濃度粉じん計 NW-354 および LD-5 デジタル粉じん計を設置して測定した。石材に対する研ま・ばり取り作業の様子を図 1.1 に示す。

墓石等を製作する事業場では、使用目的に応じてある程度加工された花崗岩を使用するため、研磨・ばり取り作業というようにそれぞれの作業を個別に行うのではなく、同時に行う事例が多く見受けられ、本調査においても研磨・ばり取り作業を同時に行っていたので、個別の作業に分けずに測定を行った。



図 1.1 石材に対する研ま・ばり取り作業の様子

##### 1.2.2 鉱物の研磨・ばり取り作業時の粉じんばく露濃度測定

測定対象とした作業は、打設した型枠を外した後のコンクリート製品表面を、手持式の

グラインダーを用いて研磨・ばり取りする作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度と同時に環境濃度の測定を作業中に行った。ばく露濃度については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。また、環境濃度については作業者の周囲 2m 付近の 1～2 箇所において、地上およそ 1m の高さに質量濃度粉じん計 NW-354 および LD-5 デジタル粉じん計を設置して測定した。コンクリートに対する研磨・ばり取り作業とその測定の様子を図 1.2、図 1.3 および図 1.4 に示す。

コンクリート製品を製作する事業場では、出来るだけばりの出来ない製品を製造する努力を行っている。そのため、コンクリート製品でのばり取り作業は、製品にばりが見つかった時に行う作業になる傾向にある。本調査においても、研磨・ばり取り作業というようにそれぞれの作業を個別に行うのではなく、同時に行う事例がほとんどであったので、研磨・ばり取り作業と個別の作業に分けずに測定を行った。



図 1.2 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の様子



図.1.3 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の測定





図 1.4 コンクリートに対する研磨・ばり取り作業の測定

### 1.3 各作業における粉じんばく露濃度測定結果

#### 1.3.1 岩石の研磨・ばり取り作業

##### 1.3.1(a) 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目および作業 2 回目のばく露測定結果を表 1.1 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 1.5～図 1.8 にそれぞれ示す。

表 1.1 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	管理濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	6.15	0.06	
2 回目	8.92	0.06	

また、作業場で採取した粉じんを X 線回折基底標準吸収補正法を用いて粉じん中の遊離けい酸の定量を行った。その結果、粉じん中の遊離けい酸含有率は、41.2%であり、管理濃度は  $0.06 (\text{mg}/\text{m}^3)$  である。

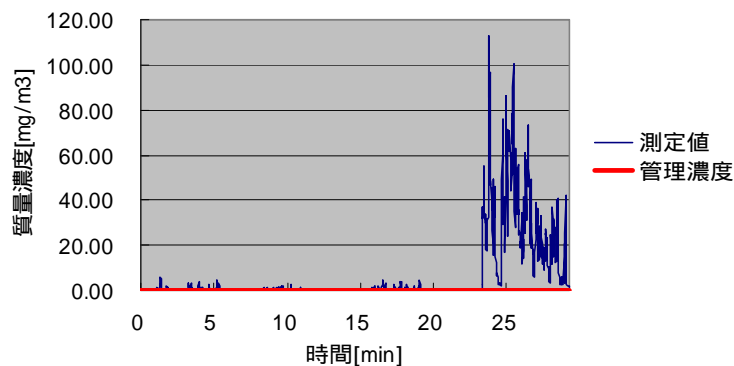




図 1.5 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動

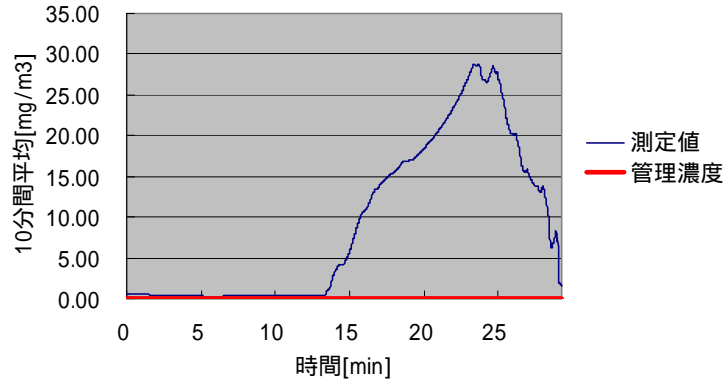


図 1.6 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均値)

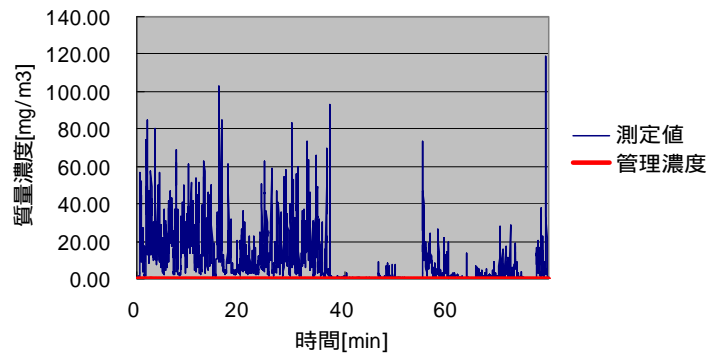


図 1.7 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動

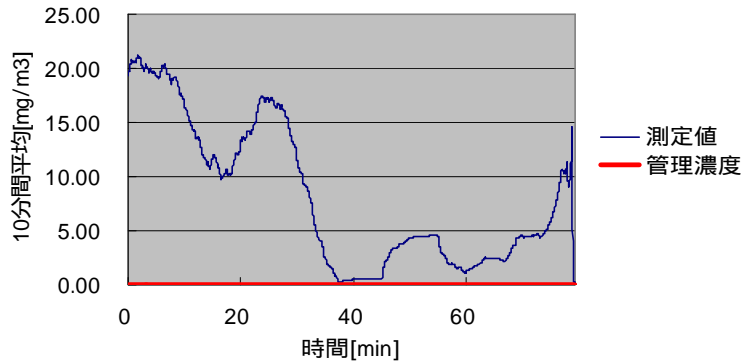


図 1.8 作業場 A における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均値)

### 1.3.1(b) 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目～作業 8 回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.2 に示す。また、ばく露濃度の変動状況及びその 10 分間移動平均を各作業ごとにそれぞれ図 1.9～図 1.24 に示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、30.6%であり、管理濃度は  $0.08(\text{mg}/\text{m}^3)$  である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.2 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	管理濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.98	0.08	
2 回目	2.97	0.08	
3 回目	2.35	0.08	
4 回目	2.95	0.08	
5 回目	1.60	0.08	
6 回目	1.11	0.08	
7 回目	3.34	0.08	
8 回目	1.64	0.08	

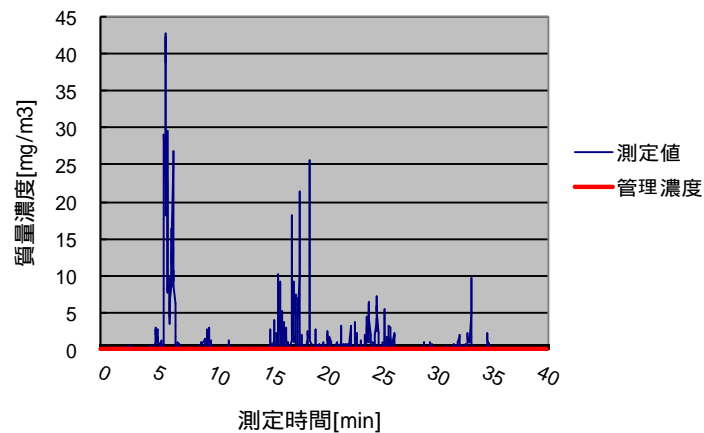


図 1.9 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動

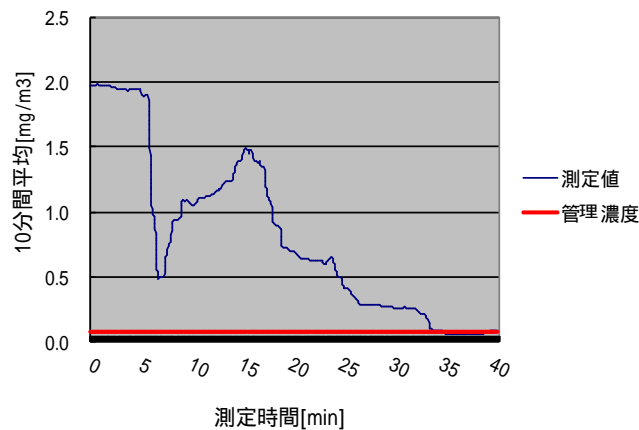


図 1.10 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

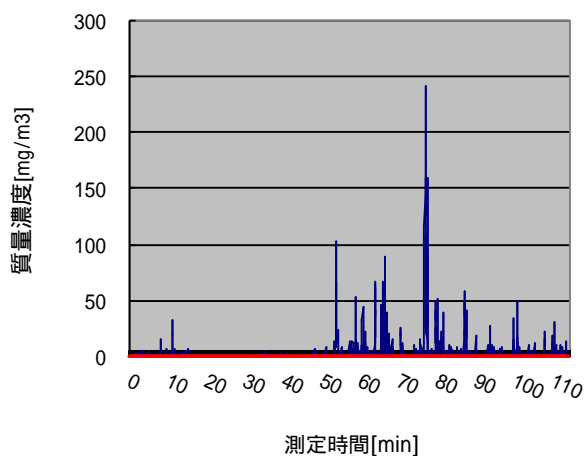


図 1.11 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動

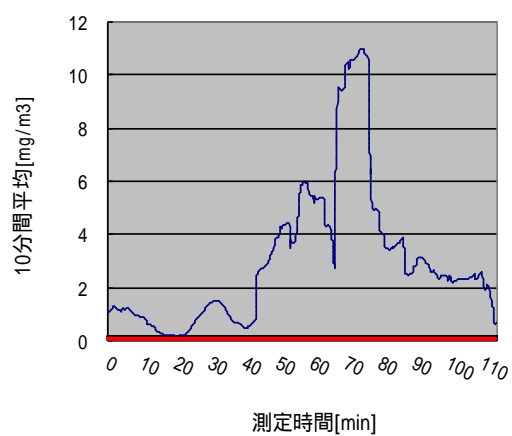


図 1.12 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均）

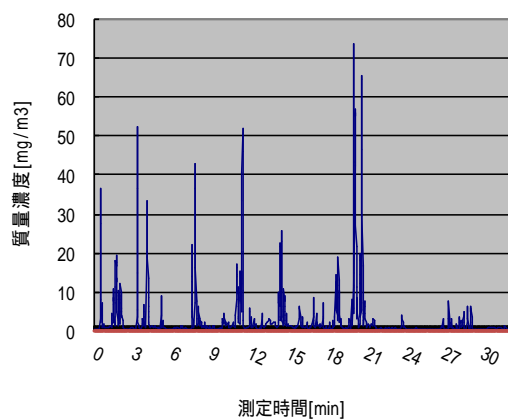


図 1.13 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 3 回目のばく露濃度の変動

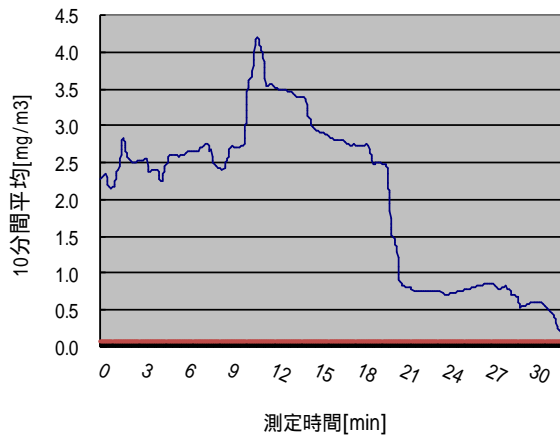


図 1.14 作業場Bにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業3回目のばく露濃度の変動（10分間移動平均）

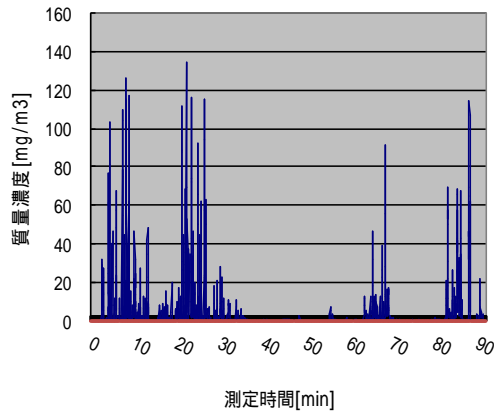


図 1.15 作業場Bにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業4回目のばく露濃度の変動

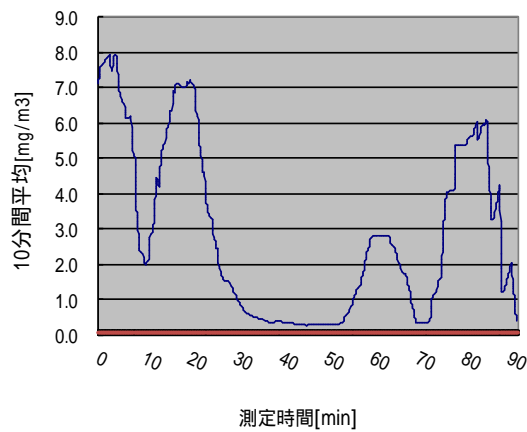


図 1.16 作業場Bにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業4回目のばく露濃度の変動（10分間移動平均）

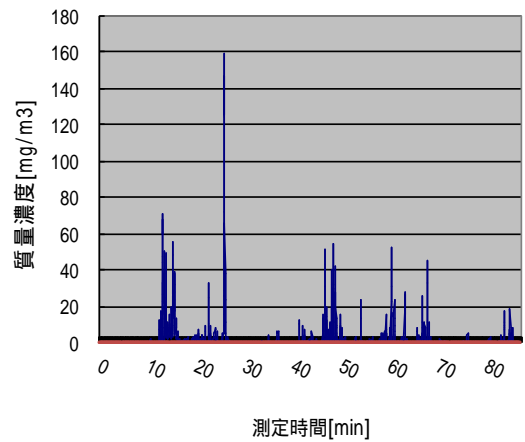


図 1.17 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 5 回目のばく露濃度の変動

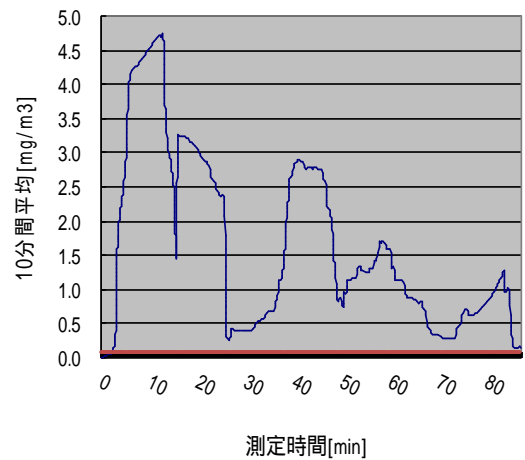


図 1.18 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 5 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

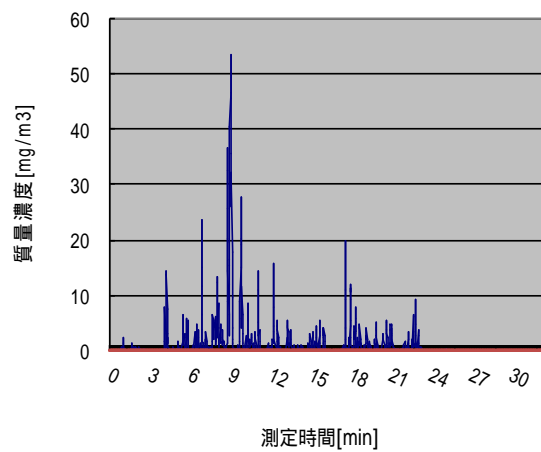


図 1.19 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 6 回目のばく露濃度の変動

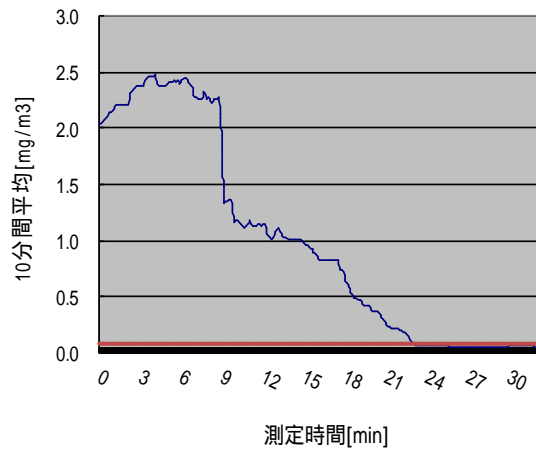


図 1.20 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 6 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

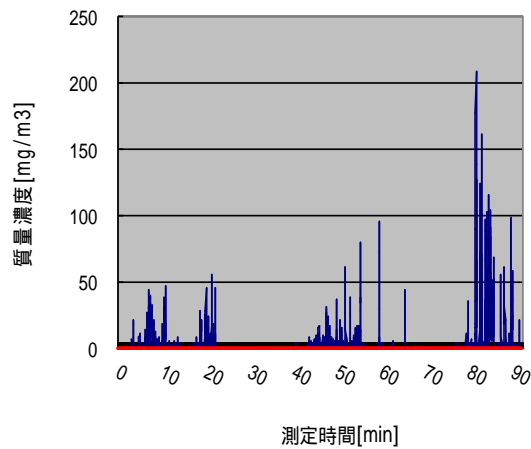


図 1.21 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 7 回目のばく露濃度の変動

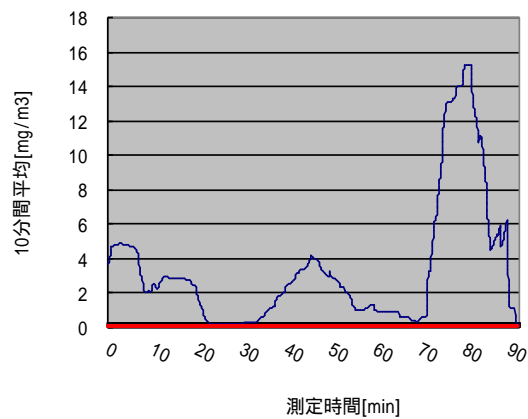


図 1.22 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 7 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

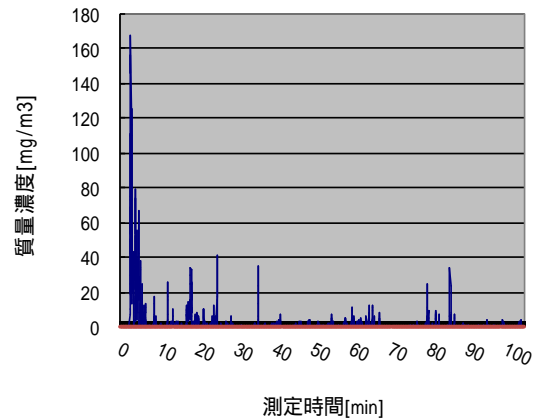


図 1.23 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 8 回目のばく露濃度の変動

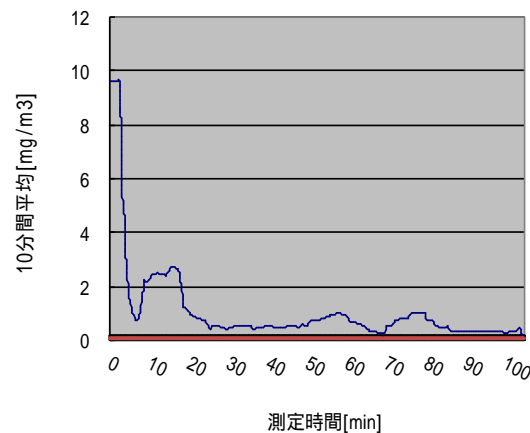


図 1.24 作業場 B における花崗岩の研磨・ばり取り作業 8 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均値)

### 1.3.1(c) 作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業

作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業 1 回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.3 に示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均をそれぞれ図 1.25 及び図 1.26 に示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、42.6%であり、管理濃度は  $0.058 \text{ (mg/m}^3\text{)}$  である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.3 作業場 C における花崗岩の研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 ( $\text{mg/m}^3$ )	管理濃度 ( $\text{mg/m}^3$ )	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	3.75	0.058	

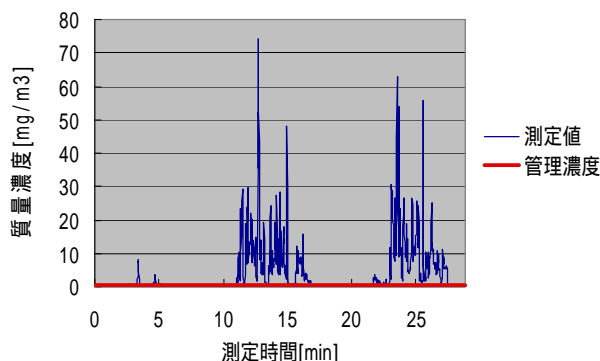


図 1.25 作業場Cにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業1回目のばく露濃度の変動

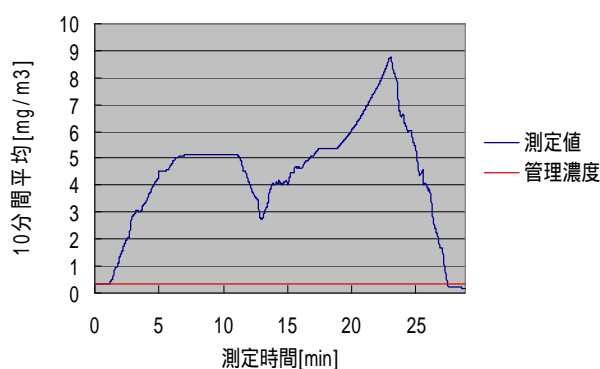


図 1.26 作業場Cにおける花崗岩の研磨・ばり取り作業1回目のばく露濃度の変動(10分間移動平均)

### 1.3.2 鉱物の研磨・ばり取り作業

#### 1.3.2(a) 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業

作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業1回目～作業3回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.4 に示す。また、ばく露濃度の時間的変動状況及び10分間移動平均値の図を図 1.27、図 1.28、図 1.29、図 1.30、図 1.31 及び図 1.32 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、7.0%であり、管理濃度は0.32 (mg/m<sup>3</sup>) である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.4 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度超え (超えれば)
1回目	2.89	0.32	
2回目	3.50	0.32	
3回目	7.06	0.32	



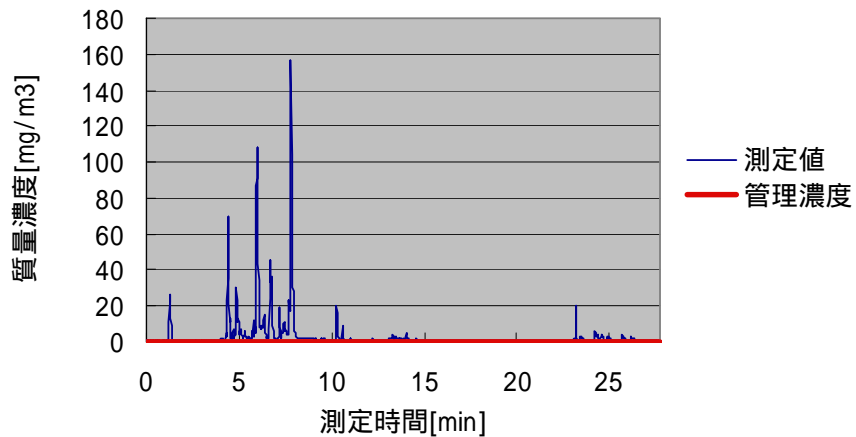


図 1.27 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目の曝露濃度の変動

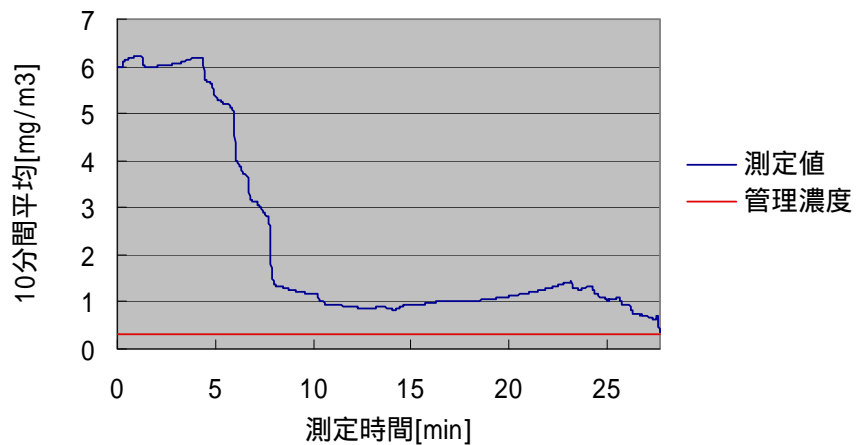


図 1.28 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均）

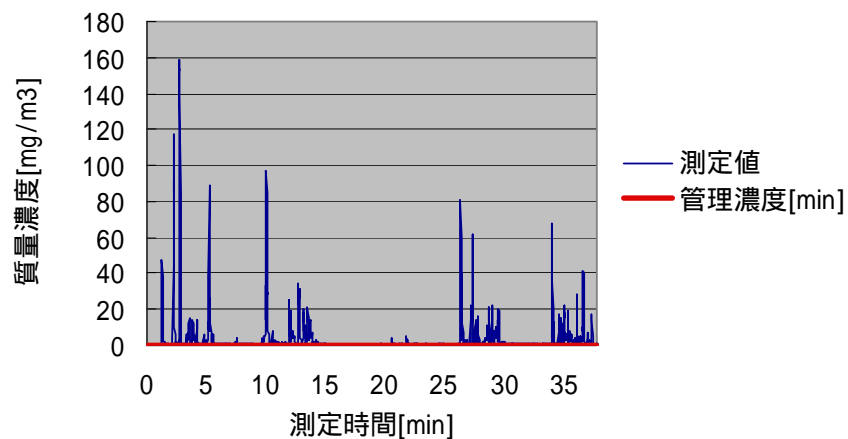


図 1.29 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業 2 回目の曝露濃度の変動

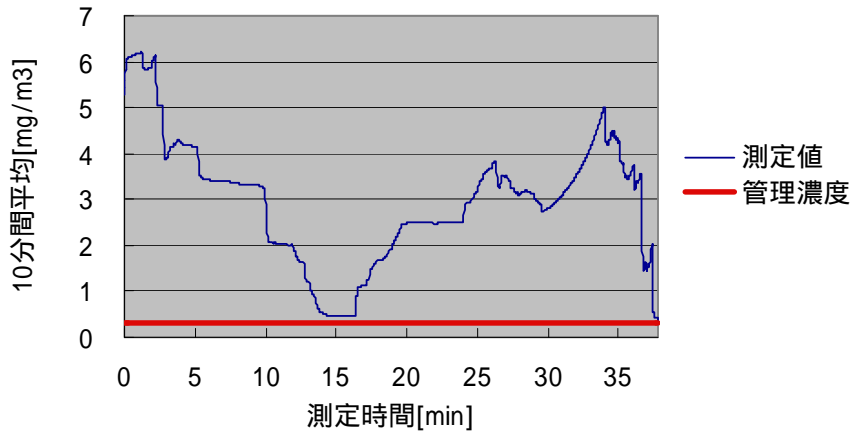


図 1.30 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業2回目のばく露濃度の変動(10分間移動平均)

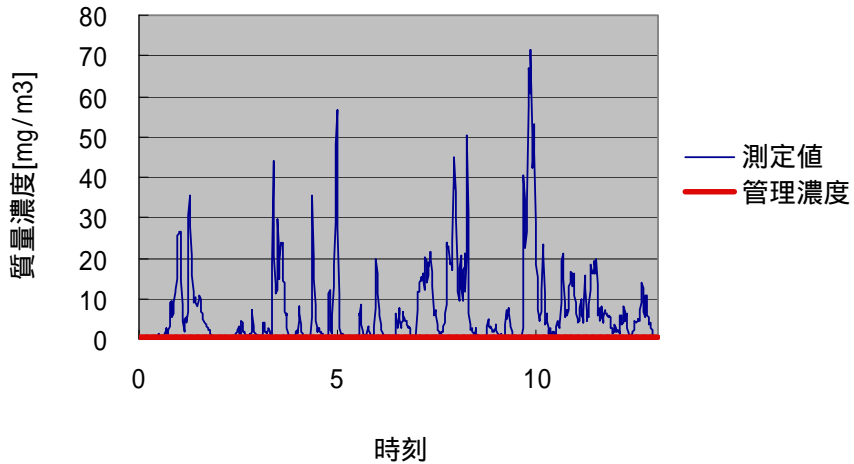


図 1.31 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業3回目のばく露濃度の変動

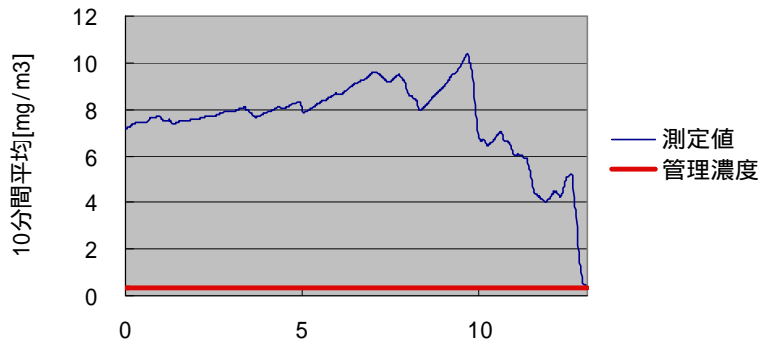


図 6.32 作業場Dにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業3回目のばく露濃度の変動(10分間移動平均)

### 1.3.2(b) 作業場Eにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業

コンクリート研磨・ばり取り作業1回目～作業3回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表 1.5 に示す。また、ばく露濃度の時間的変動状況及び10分間移動平

均値の図を図 1.33、図 1.34、図 1.35、図 1.36、図 1.37、及び図 1.38 にそれぞれ示す。

粉じん中の遊離けい酸含有率は、7.8%であり、管理濃度は 0.29 (mg/m<sup>3</sup>) である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.5 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	3.25	0.29	
2 回目	5.89	0.29	
3 回目	2.71	0.29	

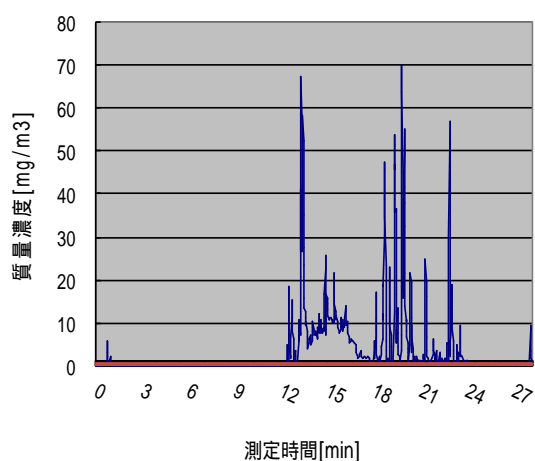


図 1.33 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動

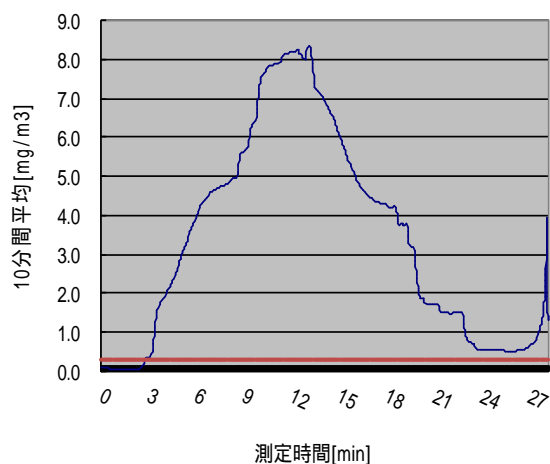


図 1.34 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

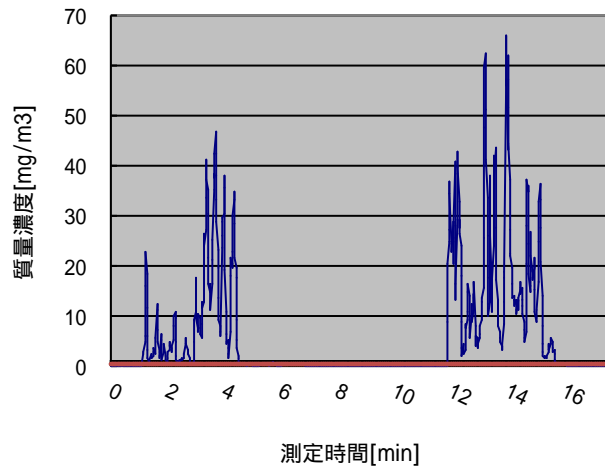


図 1.35 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 2 回目の曝露濃度の変動

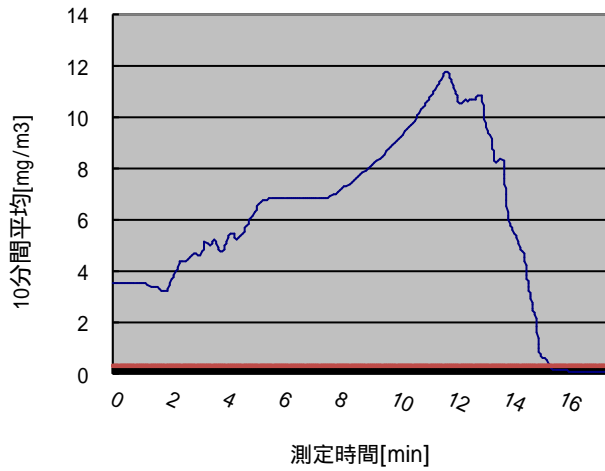


図 1.36 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 2 回目のばく露濃度の変動 (10 分間移動平均)

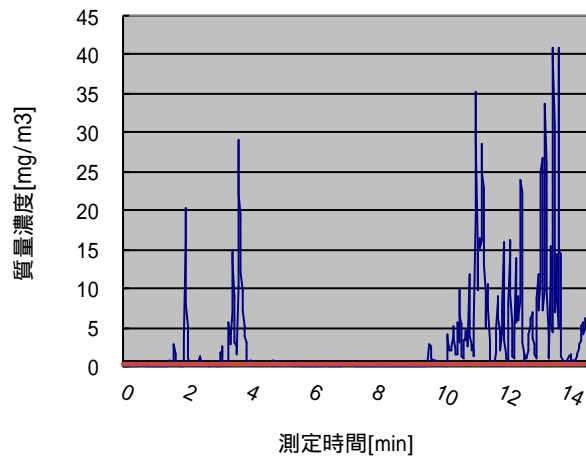


図 1.37 作業場 E におけるコンクリート研磨・ばり取り作業 3 回目のばく露濃度の変動

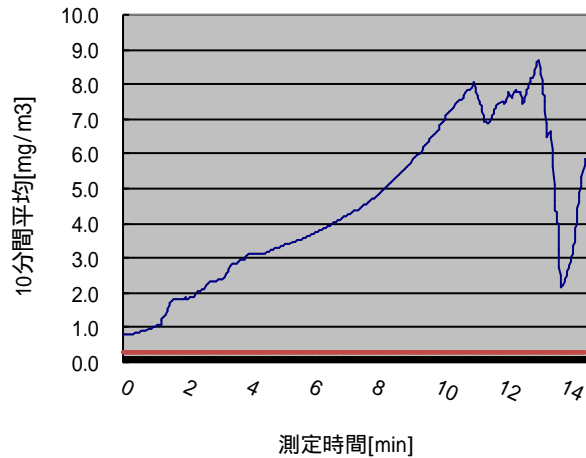


図 1.38 作業場Eにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業3回目のばく露濃度の変動(10分間移動平均)

1.3.2(c) 作業場Fにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業

作業場Fにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業1回目における、研磨・ばり取り作業時のばく露測定結果を表1.6に示す。ばく露濃度の時間的変動状況及び10分間移動平均値の図を図1.39及び図1.40にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は、8.2%であり、管理濃度は0.28(mg/m<sup>3</sup>)である。ただし、遊離けい酸の定量は、X線回折基底標準吸収補正法で求めた。

表 1.6 作業場Fにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果

作業	平均粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度超え (超えれば)
1回目	4.19	0.28	

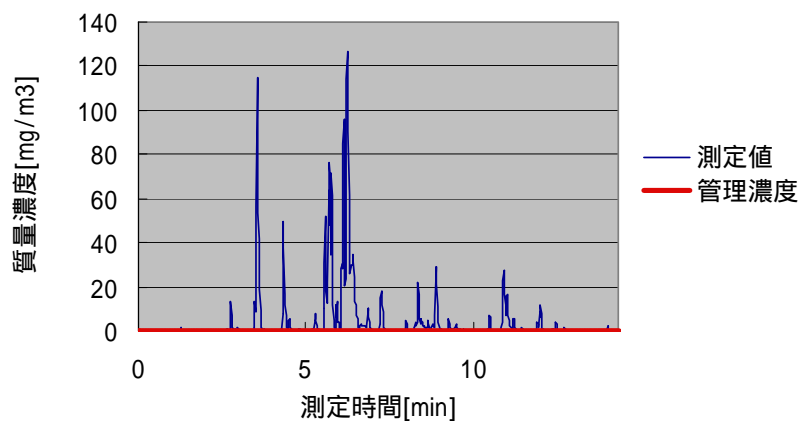


図 1.39 作業場Fにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業1回目のばく露濃度の変動

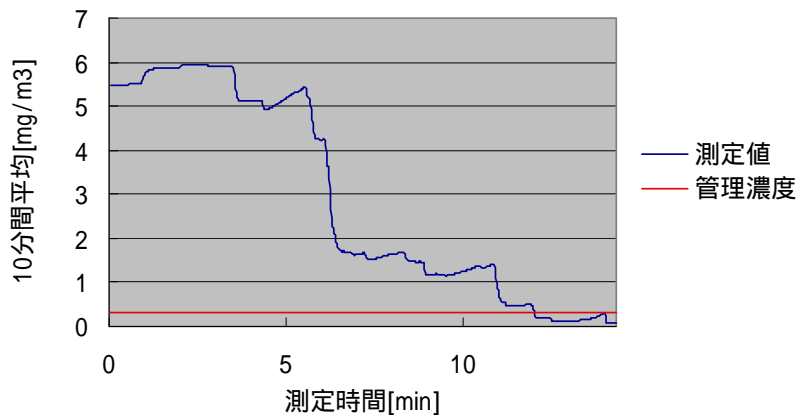


図 1.40 作業場Fにおけるコンクリート研磨・ばり取り作業 1 回目のばく露濃度の変動（10 分間移動平均）

#### 1.4 まとめ

本調査で行った各研磨・ばり取り作業時のばく露濃度測定結果をまとめて表 1.7 に示す。

表 1.7 各研磨・バリ取り作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業内容	幾何平均 (mg/m <sup>3</sup> ) (幾何標準偏差)	濃度範囲 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 超えの割合	
				100%	割合
岩石研磨・ ばり取り	2.62 (1.97)	8.92~0.98	0.08~0.058	100%	11 / 11
鉱物研磨・ ばり取り	3.97 (1.44)	7.06~2.71	0.32~0.28	100%	7 / 7

##### 1.4.1 岩石の研磨・ばり取り作業

岩石の研磨・ばり取り作業の評価は、作業時に発生する粉じん濃度と、岩石の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時に発生する粉じん濃度だけでは作業環境を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と平均粉じん濃度の比較だけでなく、10分間移動平均値の結果も併せて評価した。

本調査の岩石の研磨・ばり取り作業は、表 1.7 に示す様に 100%(11/11 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

##### 1.4.2 鉱物の研磨・ばり取り作業

本調査の鉱物の研磨・ばり取り作業は、表 1.7 に示すように 100%(7/7 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

### 1.4.3 24年度厚生労働省の受託調査報告の概要

24年度厚生労働省の受託調査「じん肺症例に関する調査研究（屋外での研磨等作業における粉じんばく露の評価）」で、実験室での模擬作業での粉じん曝露濃度測定を行い、表1.8に示すような成果を厚生労働省のじん肺班に報告した。

表 1.8 各種作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業内容	幾何平均 (mg/m <sup>3</sup> ) (幾何標準偏差)	濃度範囲 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	管理濃度 超え割合	
岩石研磨・ ばり取り	0.35 (3.86)	4.54 ~ 0.039	0.23 ~ 0.05	73%	29 / 40
鉱物研磨・ ばり取り	0.33 (6.09)	8.27 ~ 0.030	0.23 ~ 0.06	63%	27 / 43
金属研磨・ ばり取り	0.23 (3.15)	3.76 ~ 0.08	3.0	7.1%	2 / 28
金属の裁断	0.12 (1.45)	0.39 ~ 0.07	3.0	0.0%	0 / 21

表 1.8 より、各研磨・ばり取り作業等について

#### 1) 岩石の研磨・ばり取り作業

岩石の研磨・ばり取り作業の評価は、作業時に発生する粉じん濃度と、岩石の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時に発生する粉じん濃度だけでは作業環境を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と平均粉じん濃度の比較だけでなく、10分間移動平均値の結果も併せて評価した。

本調査の岩石の研磨・ばり取り作業は、73%(29 / 40 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

#### 2) 鉱物の研磨・ばり取り作業

本調査の鉱物の研磨・ばり取り作業は、63%(27 / 43 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

#### 3) 金属の研磨・ばり取り作業

本調査の鉱物の研磨・ばり取り作業においては、管理濃度を超える作業の割合は7.1%(2 / 28 作業)であることから、労働衛生工学的な対策は不要と考えられる。

#### 4) 金属の裁断作業

本調査の金属の裁断作業においては、21 作業のうち、管理濃度を超える作業を認めなかったため、労働衛生工学的な対策は不要と考えられる。

以上の結果より、「岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業における本実験の結果から、有効

な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられるという結論を導き出した。しかし、本実験は、あくまでも過去の現場測定で得られた知見を基にした模擬実験として行ったので、実際に同じ作業を行っている作業現場で粉じんばく露濃度測定を行い、その測定結果を本実験の結果と比較することで、本実験の正当性を評価した後、有効な呼吸用保護具を着用することの必要性について、最終的な結論を導く必要があると考える。」との報告を行った。

#### 1.5 結論

岩石の研磨・ばり取り作業は、その作業そのものが人件費の関係等から中国等アジアで行われる傾向が多くみられ、日本では減少傾向にある。また、セメント製品については、粉じん対策及び人件費等の関係を考慮して、出来るだけ研磨・ばり取り作業を行わないで済む様な工法、例えば湿式工法などに替える努力を多くの事業所で行っている。そのため、鉱物の研磨・ばり取り作業自体が減少傾向にある。しかし、作業自体は減少傾向にある作業ではあるが、現実には研磨・ばり取り作業は行われており、25年度の本調査及び24年度の委託事業の結果と併せた調査では、全ての作業において管理濃度を超える様な作業であったことを考えると、屋外における岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業は、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられるという結論が導き出された。

以上のことから、屋外作業場での岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業について粉じんばく露濃度測定結果、全ての作業において管理濃度を超える様な作業であったことを考えると、屋外における岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業は、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある粉じん作業との結論を第13回労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会（平成25年11月）に報告した。その報告結果をじん肺部会で審議した結果、粉じん障害予防規則の改正により、手持式または可搬式動力工具を使用した岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業を行う事業者は、平成26年7月31日からは、屋内・屋外を問わず、その作業に従事する労働者に、有効な呼吸用保護具（防じんマスク）を使用させなければならなくなった。



## 2. 鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスクの調査研究

### 2.1 目的

粉じん障害防止対策として、厚生労働省は粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）を制定している。粉じん則で対象としている作業は別表第一、別表第二、別表第三に示されており、別表第一に掲げられている作業（以下、「粉じん作業」）別表第二に掲げられている場所が粉じんの発生源であるような作業（以下、特定粉じん作業）を行うには、全体換気装置や同所排気装置などの設備を設置するなどの措置をとる必要がある。また、別表第三に掲げられている作業を行う作業には、呼吸用保護具の着用が義務付けられている。しかしながら、現在、じん肺の新規有所見者数は約 200 人で横ばいとなっており、この状態を更なる減少傾向に転じさせる必要性が指摘されている。そのため、各作業の粉じんばく露リスクを改めて見直す必要がある。そこで、現在は「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業として、鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスク調査を行い、じん肺法施行規則（以下、じん肺則）及び粉じん則改正のために必要な資料を厚生労働省の労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会（以下、じん肺部会）に提供することを目的とする。

### 2.2 測定調査の概要

#### 2.2.1 粉じん濃度測定法

測定対象とした作業は、鋳物製品の枠に砂をこめ、型をとる砂型造形作業である。作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度と同時に環境濃度の測定を作業中に行った。ばく露濃度については LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。その装着状況を図 2.1 に示す。



図 2.1 LD-6N デジタル粉じん計の装着状況

本測定で作業者のばく露濃度測定に用いた LD-6N 粉じん計（以下、LD-6N）は、図 2.2 に示すように、LD-6N（相対濃度計）の検出部のヘッド部分に PM4（ $4\mu\text{m}50\% \text{cut}$ ）の分粒が可能な NWPS-245 型個人ばく露粉じん計の分粒装置部分を装着し、吸引口部分については、フィ

ルターホルダー側にあるファンを取り外し、ろ紙ホルダーを取り付け、吸引ポンプを別にすることで一定した吸引流速（2.5L/min）が得られる様に改良してある。また、こうした改良を加えることで、LD-6Nは、1つの粉じん計で相対濃度と質量濃度の同時併行測定を行うことが可能となり、粉じん濃度測定を行いながら質量濃度換算係数（K値）を求めることが可能な粉じん計である。



図 2.2 LD-6N デジタル粉じん計の外觀

また、環境濃度については作業者の周囲 2m 付近の 1～2 箇所において、地上およそ 1m の高さに、質量濃度粉じん計 NW-354(以下、NW-354)およびデジタル粉じん計 LD-5 型(以下、LD-5)を設置して測定した。NW-354 は慣性衝突方式の分粒装置を装着し、ガラス板にグリスを塗布した衝突板と、吸入性粉じんを捕集するろ紙を用いる。なお、本測定では NW-354 に、ろ紙の直径を標準の 35mm から 25mm に変更するための異型アダプターを取り付けて使用した。なお、吸引流量は 20L/min である。LD-5 は光源に半導体レーザーを用いた粉じん計である。吸入口は側方から採気する構造で、周囲の光を遮り、風向・風速の影響を抑えかつ落下粉じんの侵入を防止している。吸入用ファンで吸引される試料空気の流れは、エアースリットで仕切られた光散乱部でレーザー光と直角に交差するようになっている。

### 2.3 砂型造型作業について

砂型造形作業は、人のみが行う場合、機械のみで行う場合、そして大まかな部分を機械が行い、細かな造型を人が行う場合がある。以下、人のみが行う場合の砂型造型作業を「手込め作業」、人と機械により砂型造型作業を行う作業を「半自動造型作業」、機械のみで行う造型作業を「自動造型作業」と記す。手込め作業風景を図 2.3～図 2.5 に、半自動造型作業風景を図 2.6、自動造型作業風景を図 3.5 にそれぞれ示す。なお、図 2.7 に示している作業場では、作業者が中子を鋳型に固定する作業のみを行っており、作業者は造型を行っていないと判断し、自動造型作業とした。



図 2.3 手込み作業風景



図 2.4 手込み作業風景



図 2.5 手込み作業風景



図 2.6 半自動造形作業風景



図 2.7 自動造形作業風景

## 2.4 ばく濃度測定結果の評価方法

### 2.4.1 鋳物砂中の遊離けい酸含有率

粉じん作業では、粉じん作業時に発生した吸入性粉じんをろ紙上に捕集した後、捕集された粉じんを X 線回折分析装置を用いた X 線基底標準吸収補正法で定量分析を行うことにより、粉じん中の遊離けい酸含有率 (Q) を求めた。その求めた遊離けい酸含有率を管理濃度の式に代入することで管理濃度 (E) を求める。管理濃度の式を式(1)に示す。

$$E = \frac{3}{1.19Q+1} \quad \dots\text{式}(1)$$

Q：遊離けい酸含有率

#### 2.4.2 評価方法

評価方法は、個人ばく露濃度の幾何平均値と管理濃度との比較で判断する。つまり、個人ばく露濃度の幾何平均値が管理濃度を超えていれば、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断し、管理濃度以下であれば、呼吸用保護具を着用する必要のない作業と判断する。ただし、複数の作業を測定した場合、じん肺部会の判断基準である「ばく露濃度測定をおこなった作業の総数で管理濃度を超えている作業の数を除した割合が 20%を超えた場合、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断する。」に従って判断した。さらに、作業時にばく露する粉じん濃度と、鋳物砂中の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時にばく露する粉じん濃度だけでは造形作業を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と幾何平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、作業時の幾何平均粉じんばく露濃度が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が、管理濃度を超えている場合も想定できるので、その事を考慮して、管理濃度と幾何平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、測定時に 10 分間移動平均値が管理濃度を超える時間帯があった場合は、管理濃度を超えていると評価することとした。ここで、10 分間移動平均値とは、測定開始時間から 10 分間測定して得られた累積粉じん濃度を測定時間の 10 分間で除して求めた平均値である。そのため、10 分間移動平均値を示した図の 1 測定点は、10 分間の平均濃度を示す。

### 2.5 砂型造形作業における粉じんばく露濃度測定結果

#### 2.5.1 手込め作業

##### 2.5.1(a) 作業場 A における砂型造形作業

作業場 A の概略図を図 2.8 に示す。また、作業場 A における砂型造形作業 1 回目～6 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.1 に、環境濃度の測定結果を表 2.2 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.9～図 2.20 にそれぞれ示す。

なお、5 回目の作業について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 16.8%であり、管理濃度は 0.14[mg/m<sup>3</sup>]である。

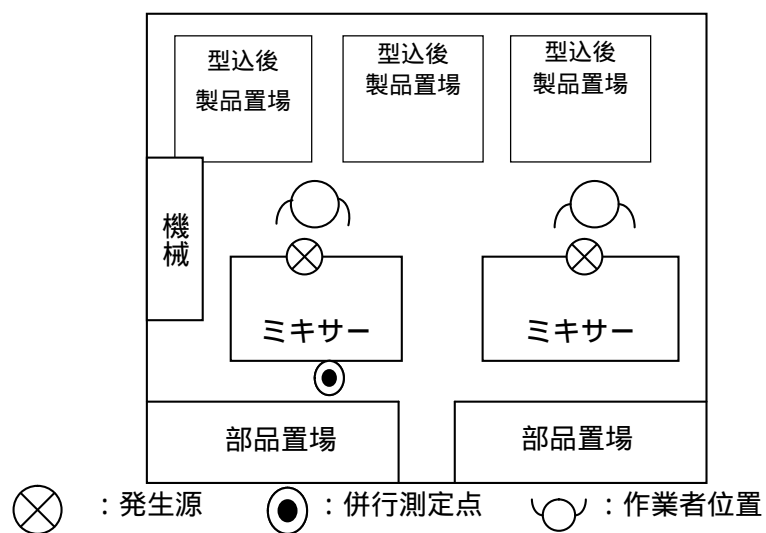


図 2.8 作業場 A の概略図

表 2.1 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
1 回目	0.21	0.14	
2 回目	0.15	0.14	
3 回目	0.12	0.14	×
4 回目	0.21	0.14	
5 回目	0.11	0.14	*
6 回目	0.08	0.14	×

注 \* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、  
管理濃度を超過していると判断した事例

表 2.2 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
295	0.92	0.16	29	0.0055



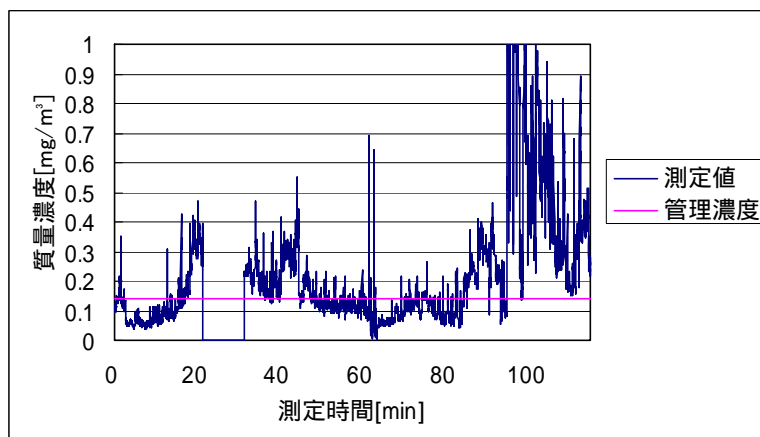


図 2.9 作業場 A における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

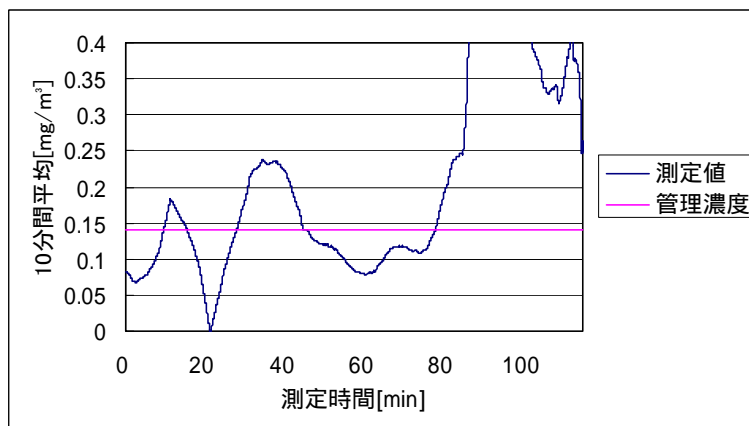


図 2.10 作業場 A における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

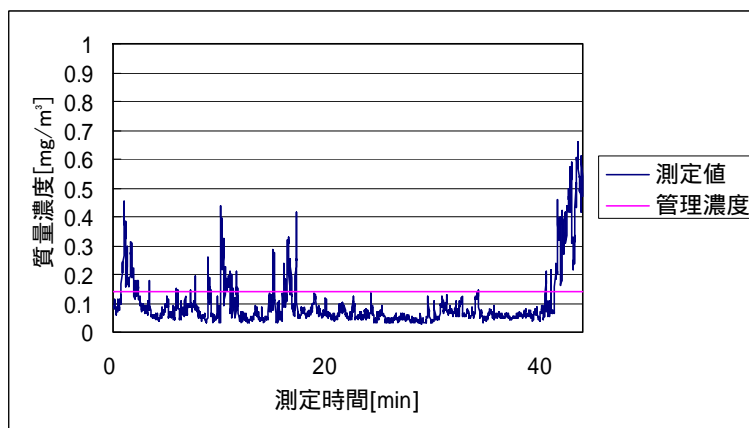


図 2.11 作業場 A における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

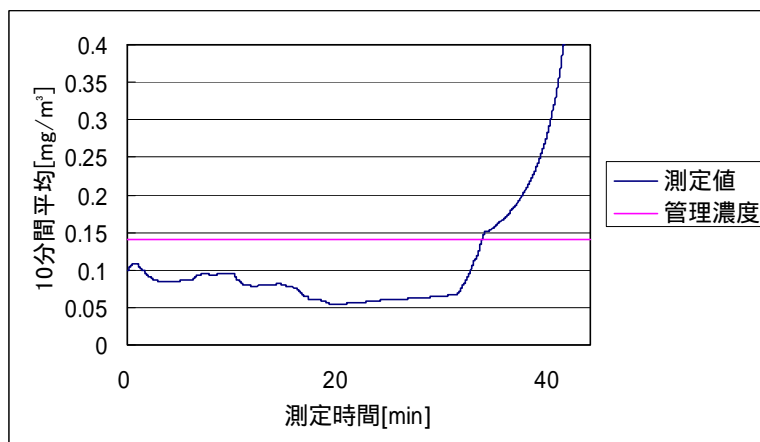


図 2.12 作業場 A における手だめ作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

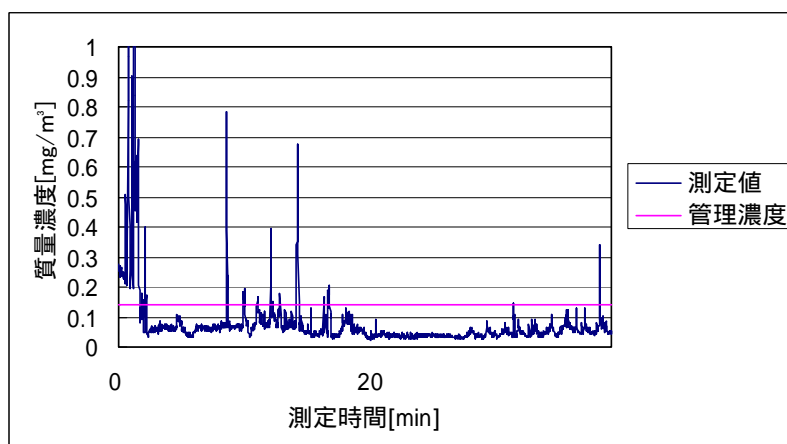


図 2.13 作業場 A における手だめ作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動

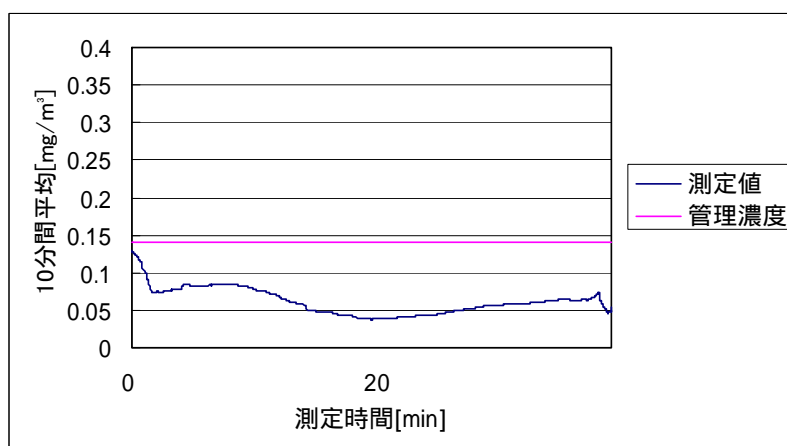


図 2.14 作業場 A における手だめ作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

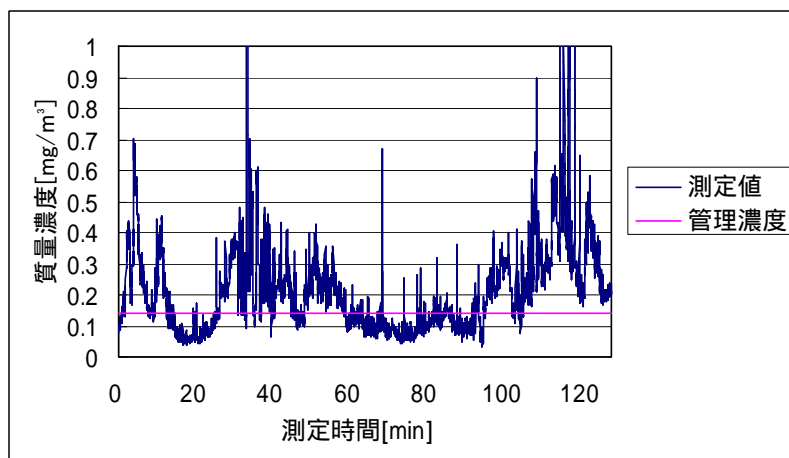


図 2.15 作業場 A における手込み作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動

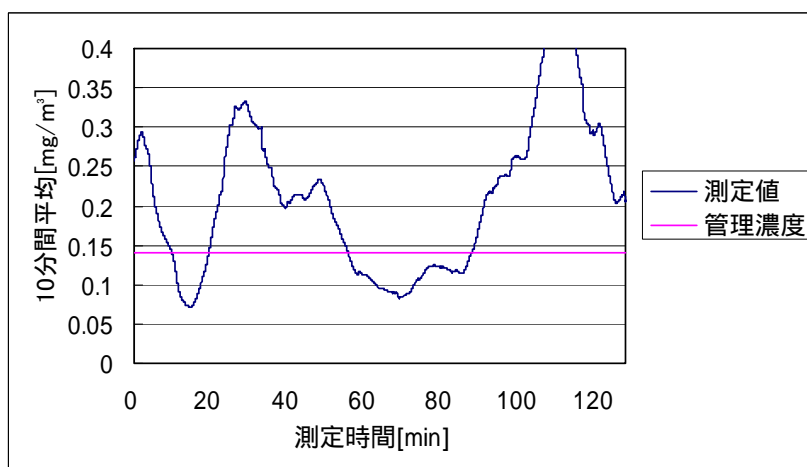


図 2.16 作業場 A における手込み作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

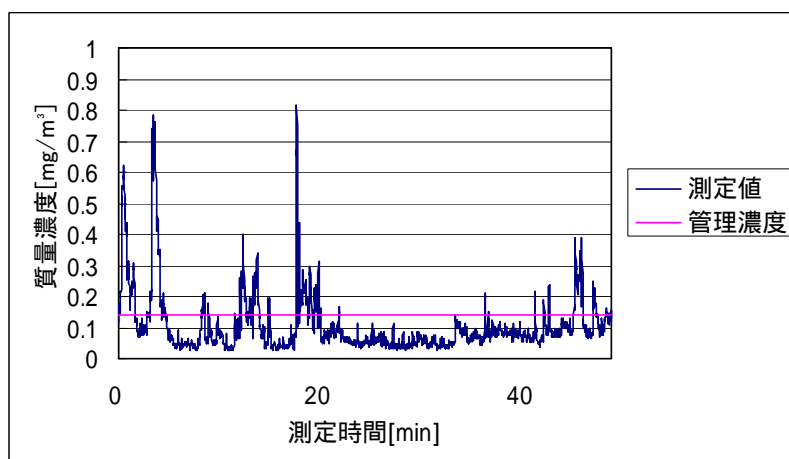


図 2.17 作業場 A における手込み作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動



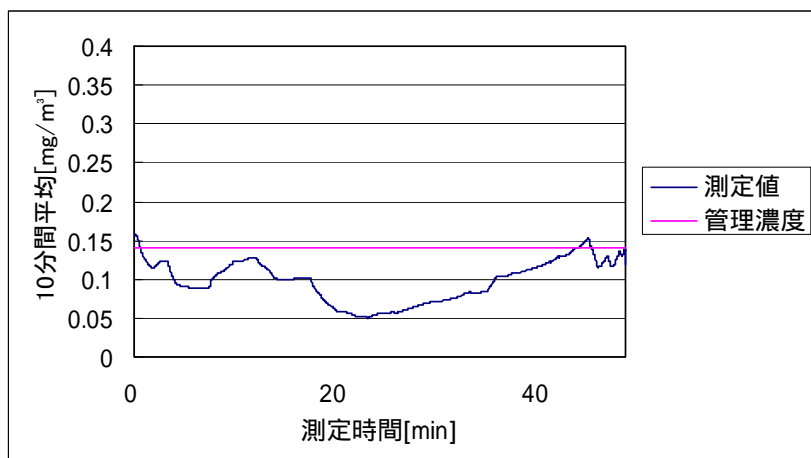


図 2.18 作業場 A における手詰め作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

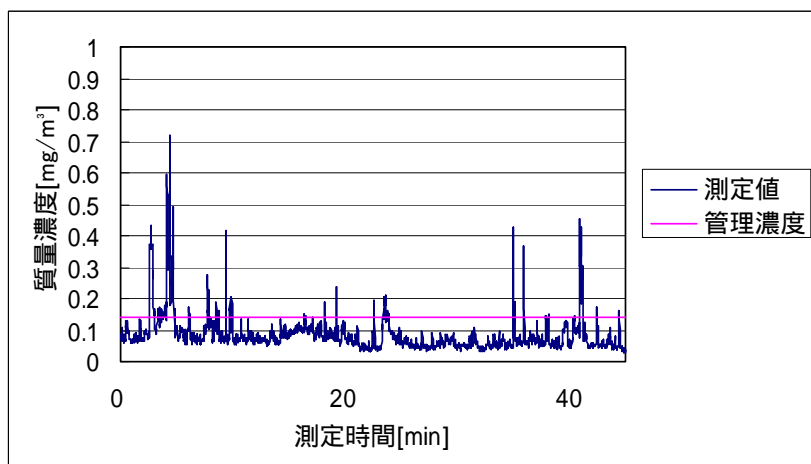


図 2.19 作業場 A における手詰め作業 6 回目の粉じんばく露濃度変動

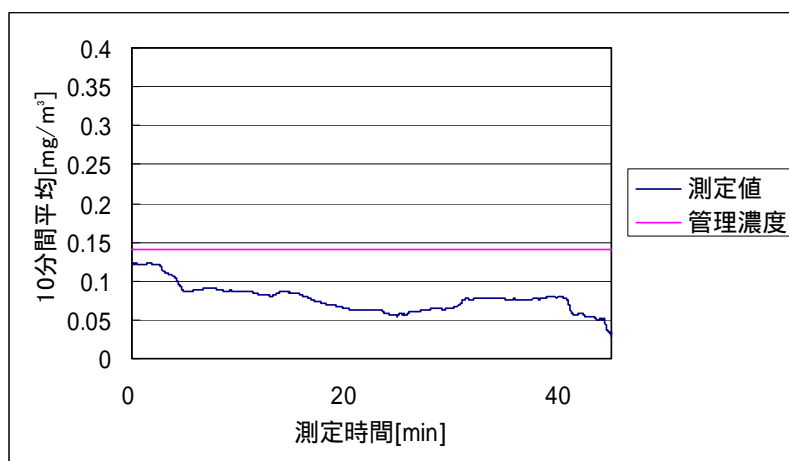


図 2.20 作業場 A における手詰め作業 6 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

2.5.1(b) 作業場 B における砂型造形作業

作業場 B の概略図を図 2.21 に示す。また、作業場 B における砂型造形作業 1 回目～5 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.3 に、環境濃度測定結果を表 2.4 に示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.22～図 2.31 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 13.2% であり、管理濃度は 0.18[mg/m<sup>3</sup>] である。

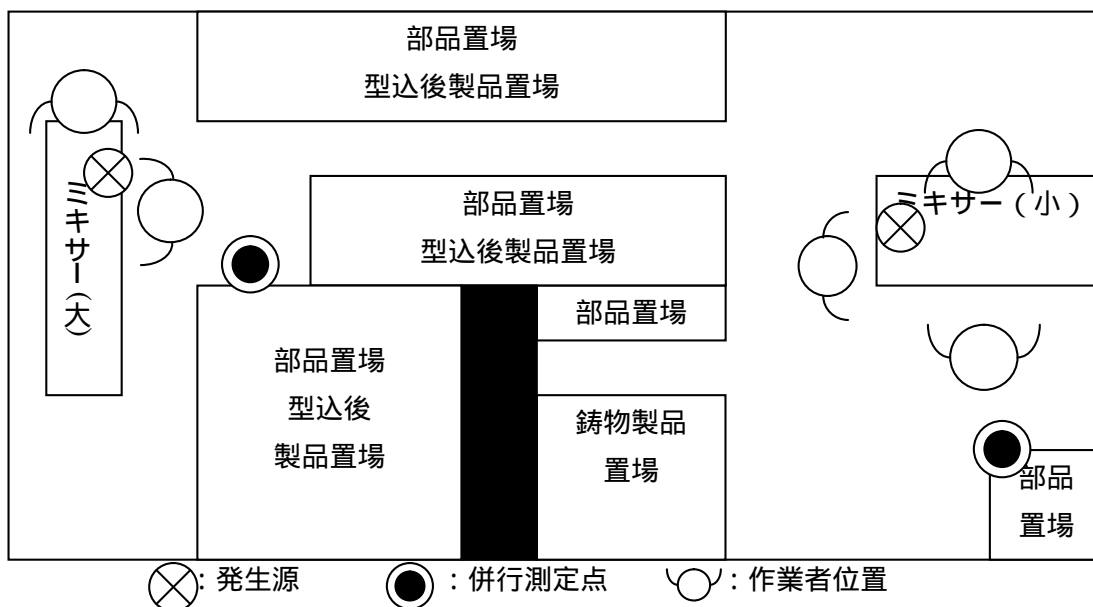


図 2.21 作業場 B での概略図

表 2.3 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.82	0.18	
2 回目	0.78	0.18	
3 回目	0.68	0.18	
4 回目	4.23	0.18	
5 回目	1.83	0.18	

表 2.4 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
105	0.85	0.40	258	0.0016

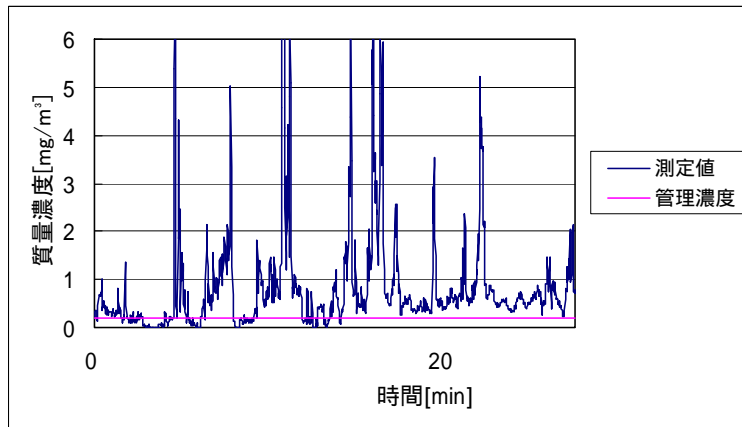


図 2.22 作業場 B における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

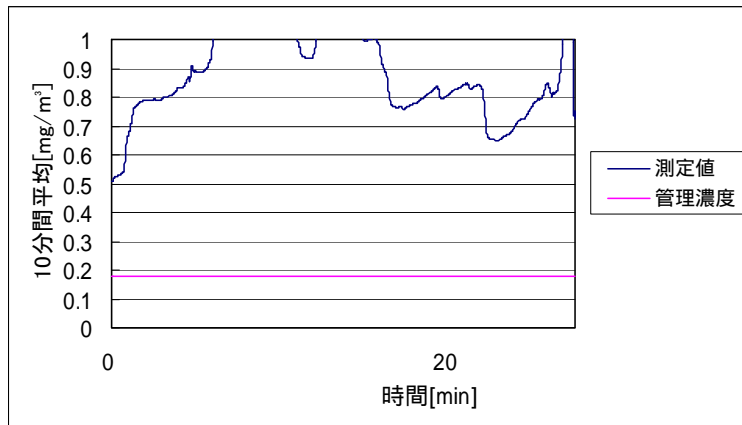


図 2.23 作業場 B における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

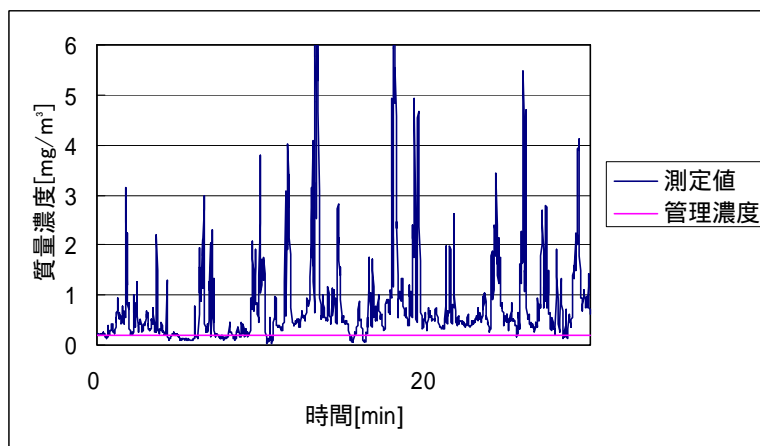


図 2.24 作業場 B における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

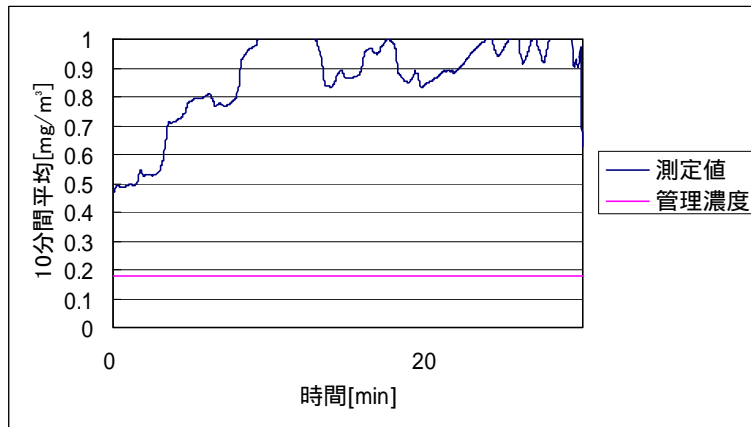


図 2.25 作業場 B における手込め作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

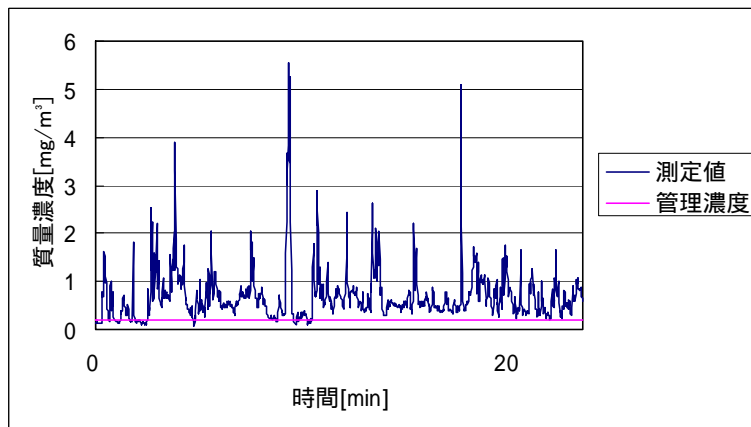


図 2.26 作業場 B における手込め作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動

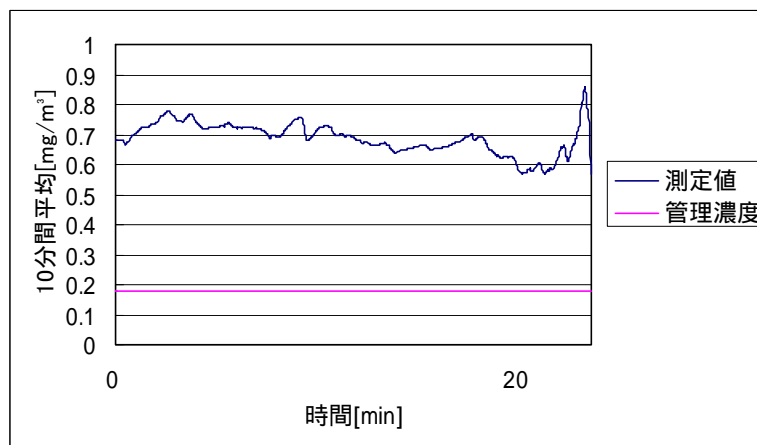


図 2.27 作業場 B における手込め作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

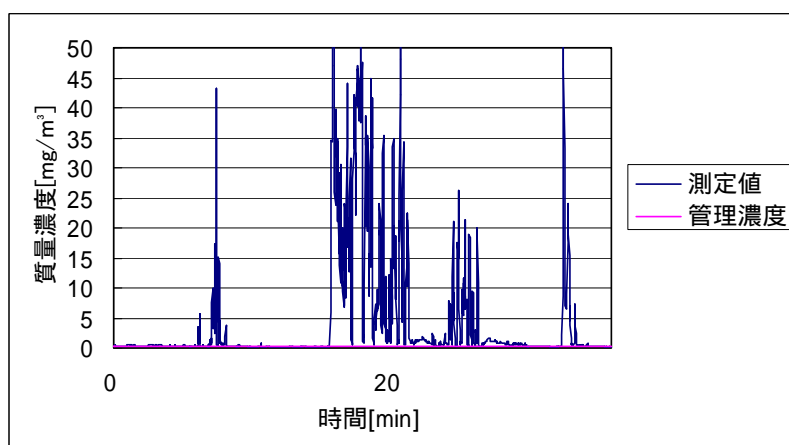


図 2.28 作業場 B における手込み作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動

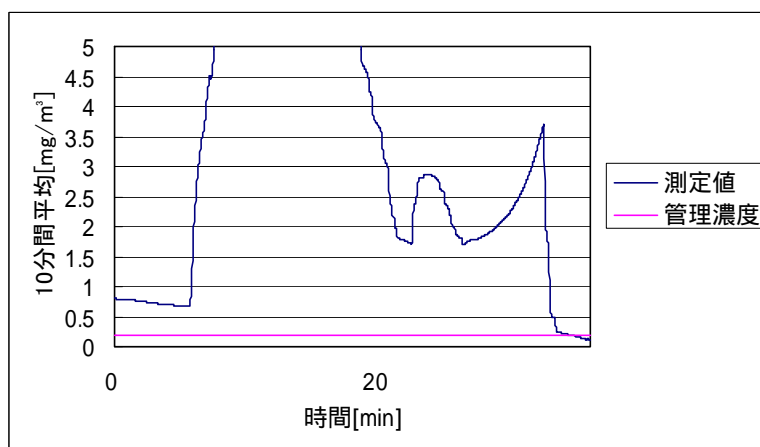


図 2.29 作業場 B における手込み作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

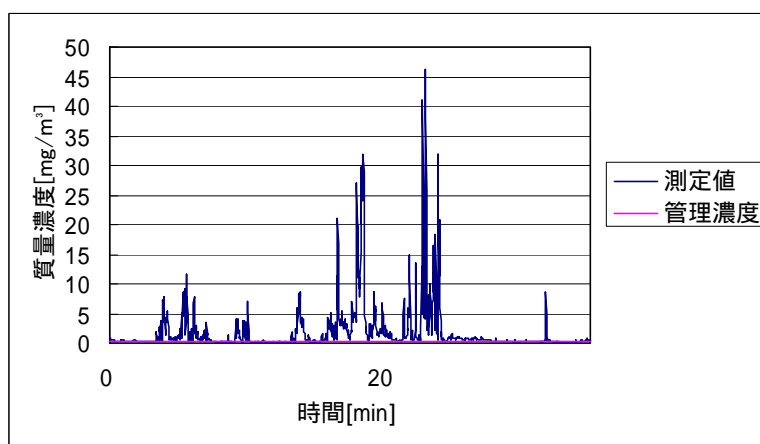


図 2.30 作業場 B における手込み作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動

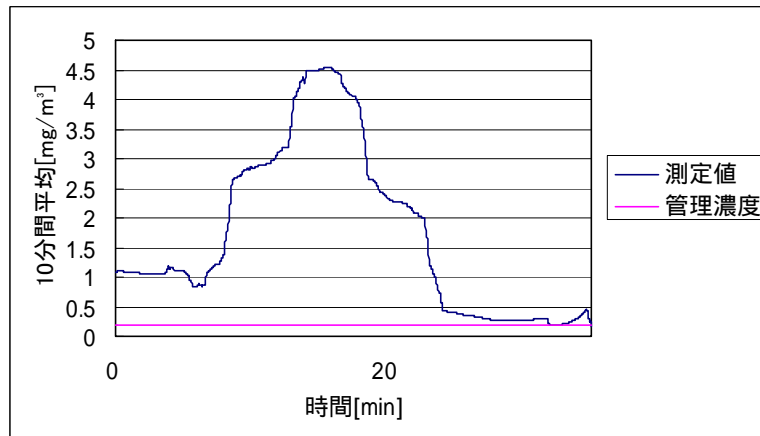


図 2.31 作業場 B における手始め作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

2.5.1(c) 作業場 C における砂型造形作業

作業場 C の概略図を図 2.32 に示す。なお、今回は作業者に LD-6N を装着することができなかつたので、測定者に作業者と似たような動きをしてもらうことで測定を行った。測定風景を図 2.33 に示す。また、作業場 C における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.5 に、環境濃度の測定結果を表 2.6 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.34 ~ 図 2.37 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 20.9% であり、管理濃度は  $0.12[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

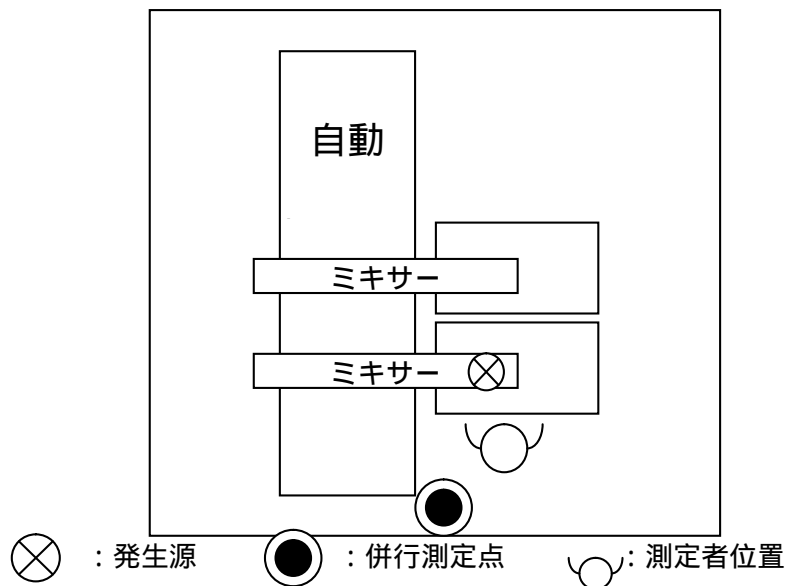


図 2.32 作業場 C の概略図

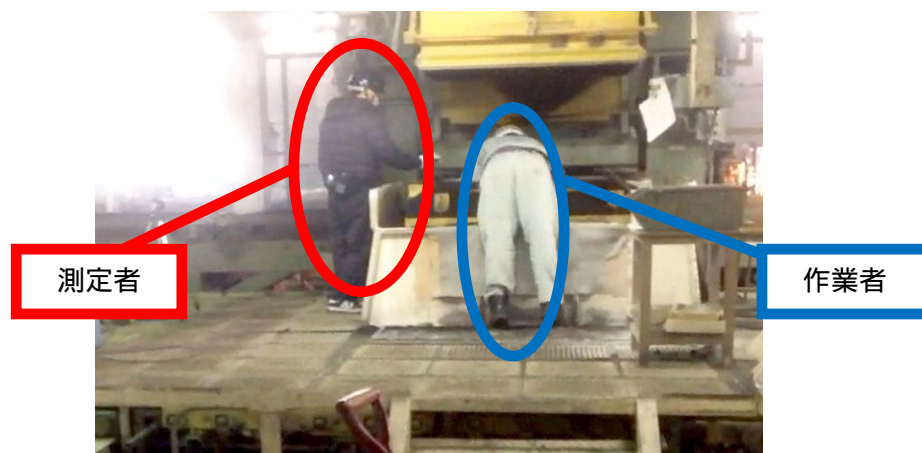


図 2.33 測定風景

表 2.5 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	0.81	0.12	
2回目	1.39	0.12	

表 2.6 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
51	0.64	0.63	451	0.0014

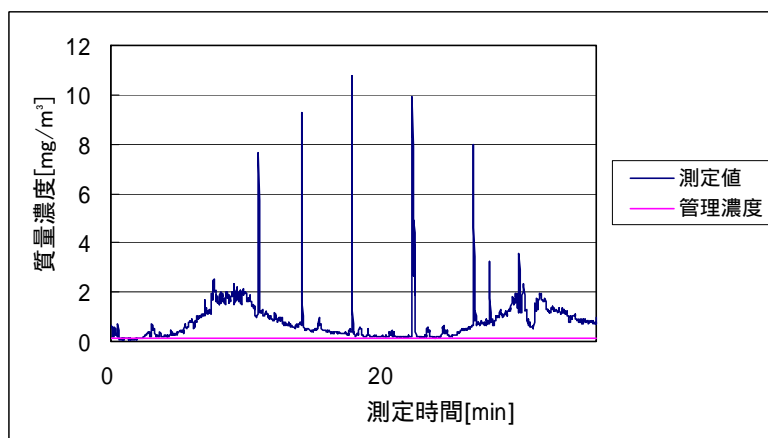


図 2.34 作業場 C における手だめ作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

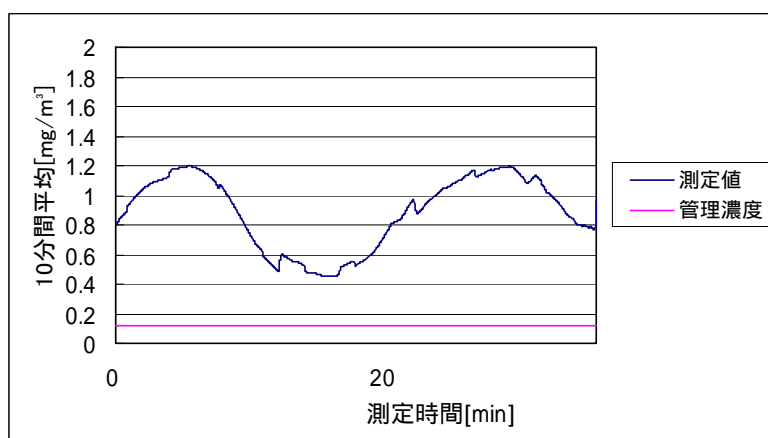


図 2.35 作業場 C における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

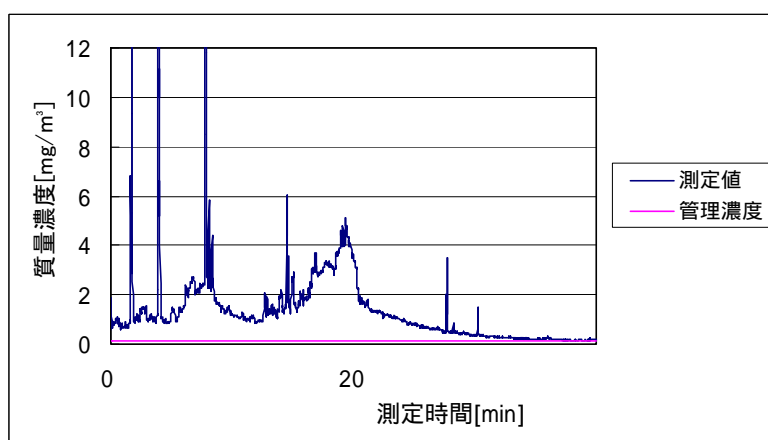


図 2.36 作業場 C における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

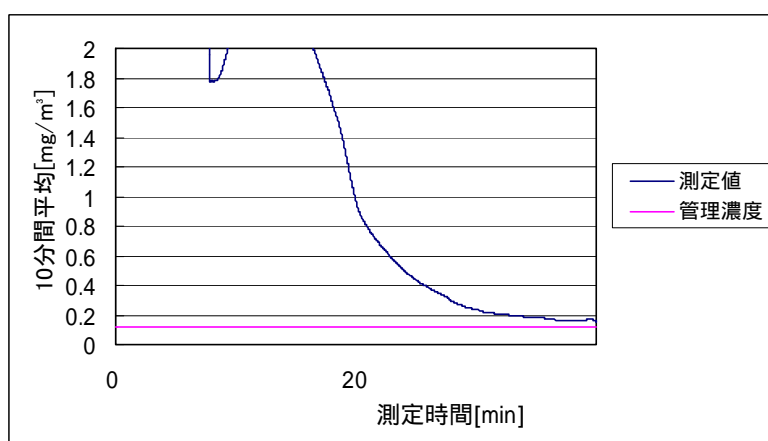


図 2.37 作業場 C における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

#### 2.5.1(d) 作業場 D における砂型造形作業

作業場 D の概略図を図 2.38 に示す。また、作業場 D における砂型造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.7 に、環境濃度の測定結果を表 2.8 に示す。またばく露濃度



の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.39、図 2.40 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.5%であり、管理濃度は 0.27[mg/m<sup>3</sup>]である。

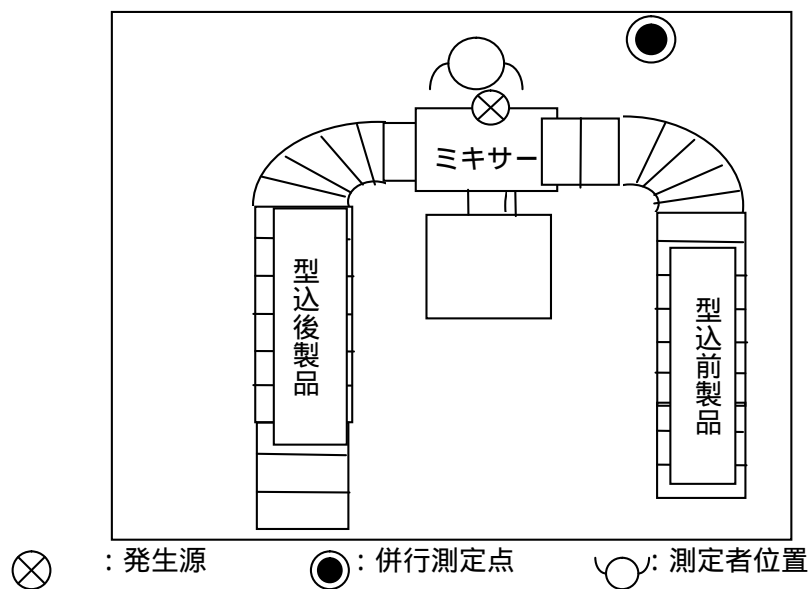


図 2.38 作業場 D の概略図

表 2.7 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.86	0.27	

表 2.8 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
135	2.36	0.87	496	0.0018

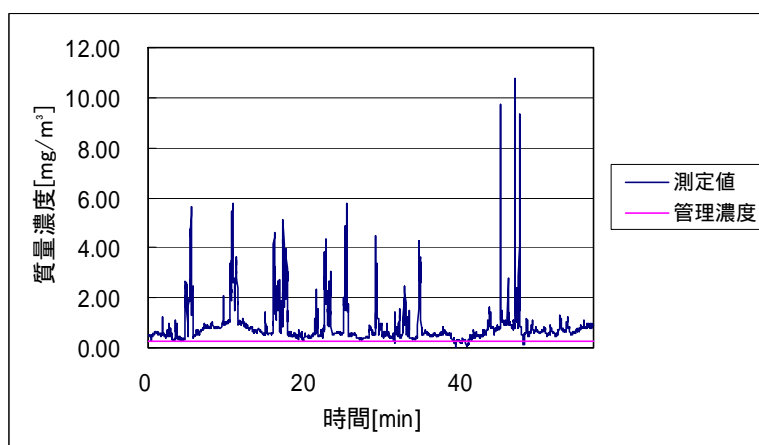


図 2.39 作業場 D における手込め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

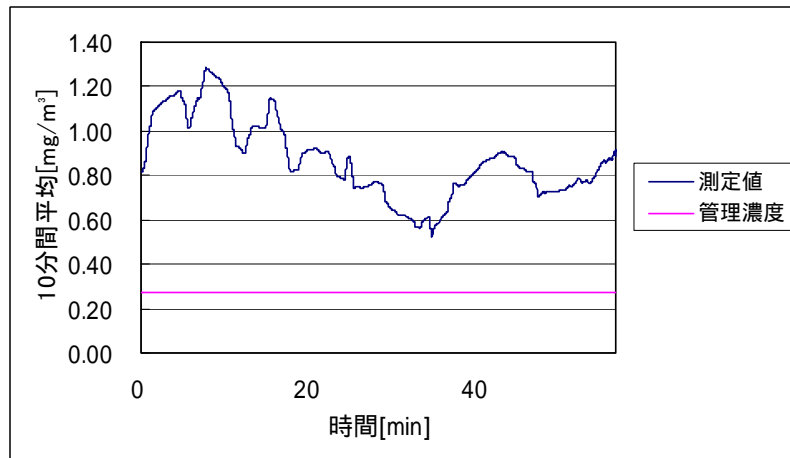


図 2.40 作業場 D における手込め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

2.5.1(e) 作業場 E における砂型造形作業

作業場 E の概略図を図 2.41 に示す。また、作業場 E における砂型造形作業 1 回目～3 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.9 に、環境濃度の測定結果を表 2.10 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.42～図 2.47 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 3.9% であり、管理濃度は  $0.53[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

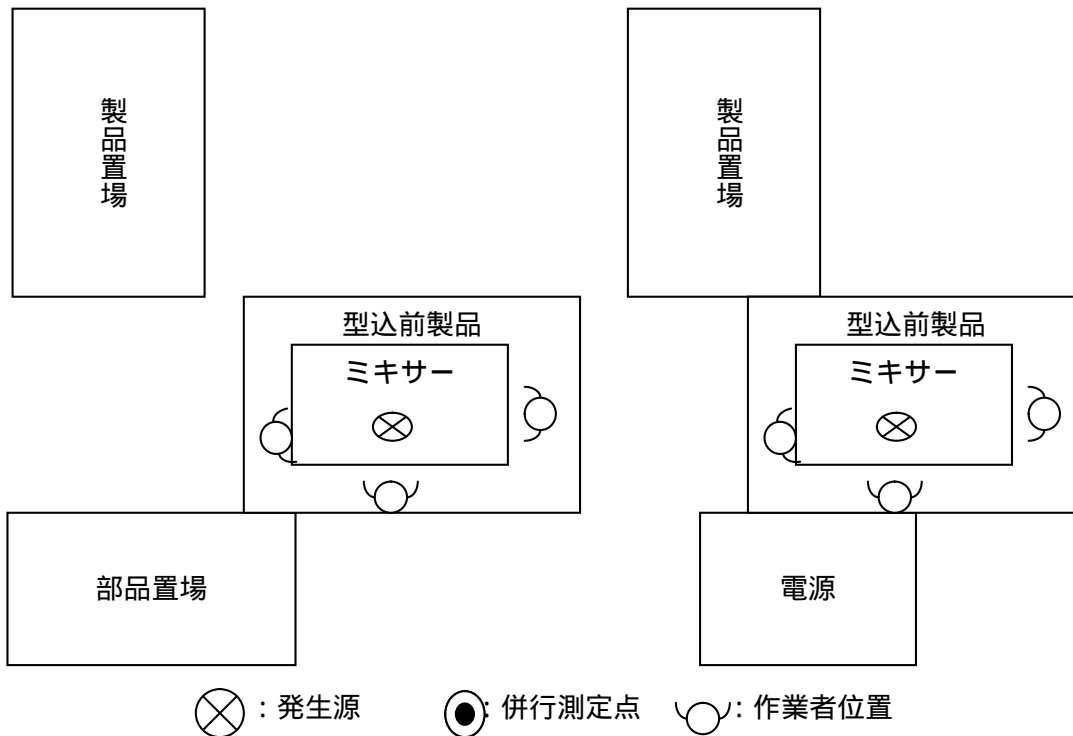


図 2.41 作業場 E の概略図

表 2.9 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.84	0.53	
2 回目	1.38	0.53	
3 回目	1.14	0.53	

表 2.10 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
105	0.83	0.40	191	0.0021

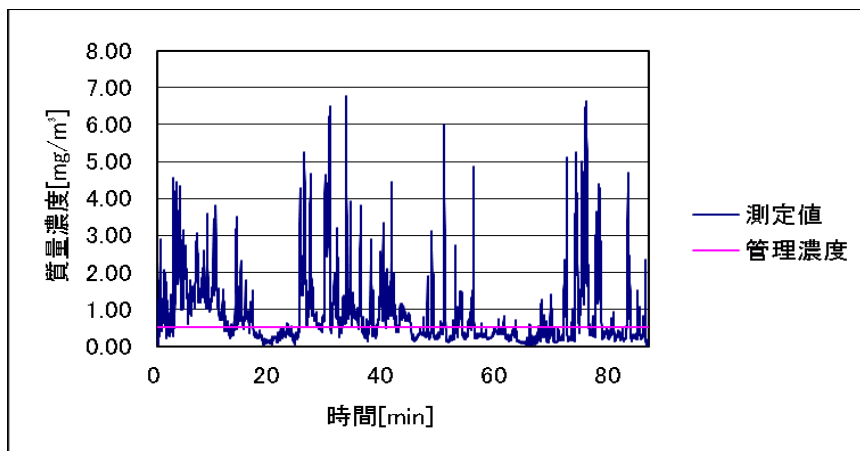


図 2.42 作業場 E における手始め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

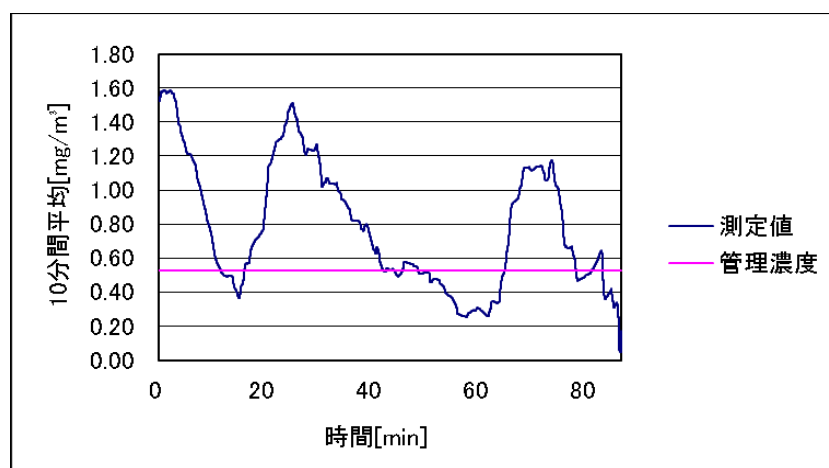


図 2.43 作業場 E における手始め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

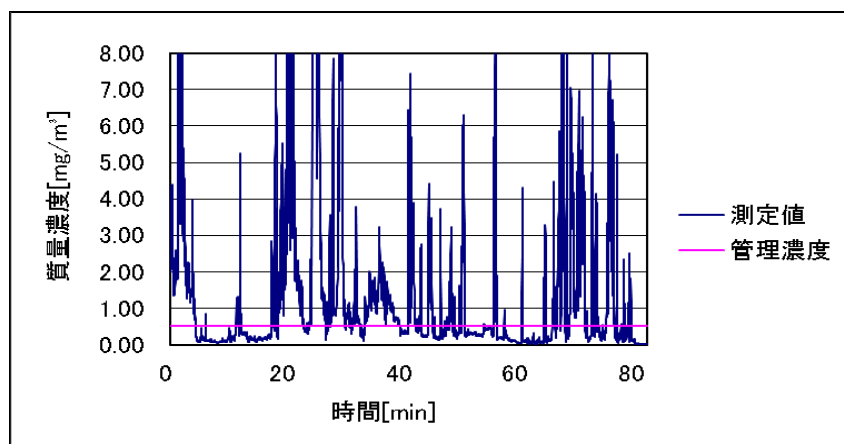


図 2.44 作業場 E における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

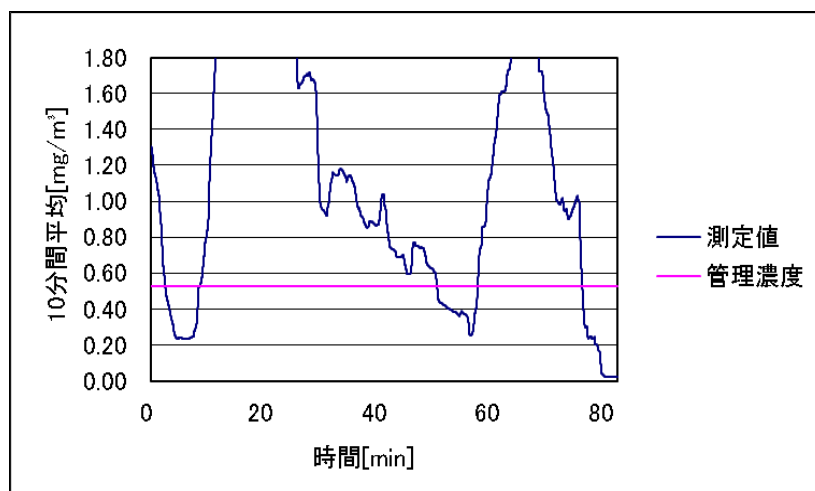


図 2.45 作業場 E における手込み作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10分間移動平均値)

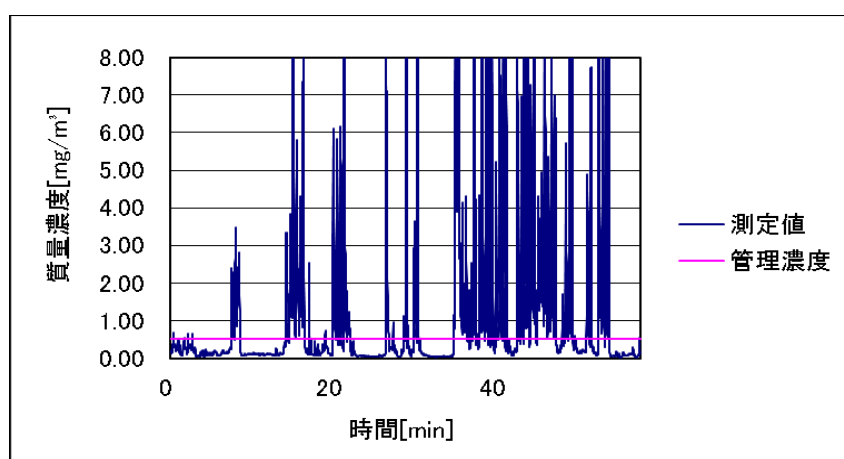


図 2.46 作業場 E における手込み作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動

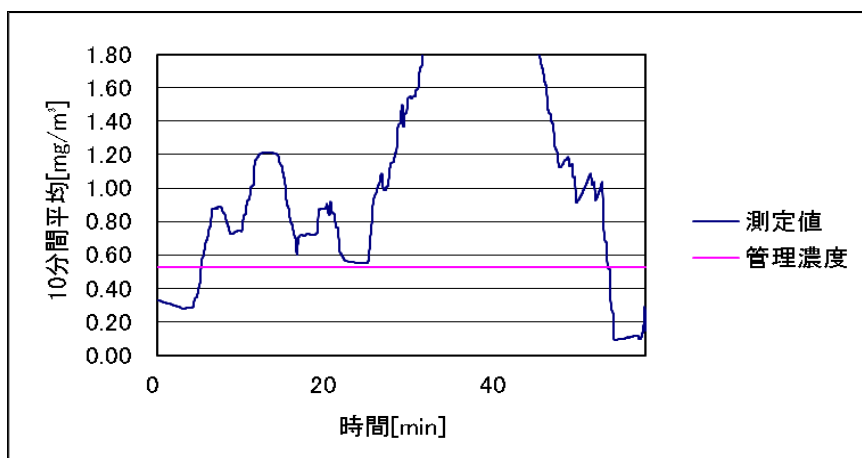


図 2.47 作業場 E における手込め作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.5.1(f) 作業場 F における砂型造形作業

作業場 F の概略図を図 2.48 に示す。また、作業場 F における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.11 に、環境濃度の測定結果を表 2.12 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.49～図 2.52 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0% であり、管理濃度は  $0.89[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

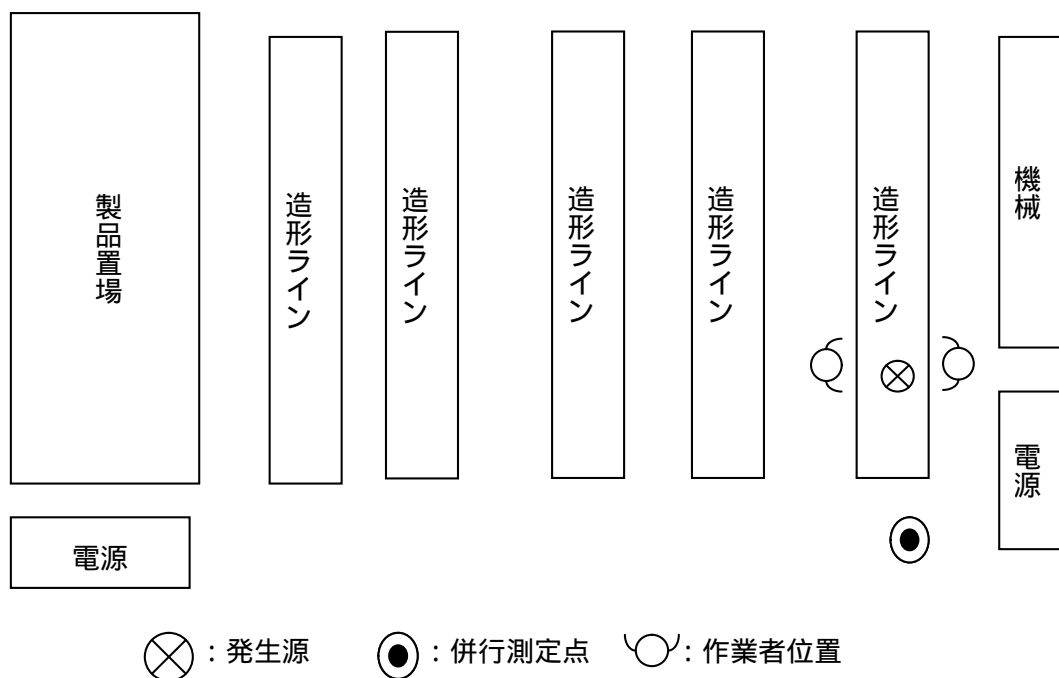


図 2.48 作業場 F の概略図

表 2.11 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	0.16	0.89	×
2回目	0.20	0.89	×

表 2.12 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
209	0.43	0.10	107	0.0010

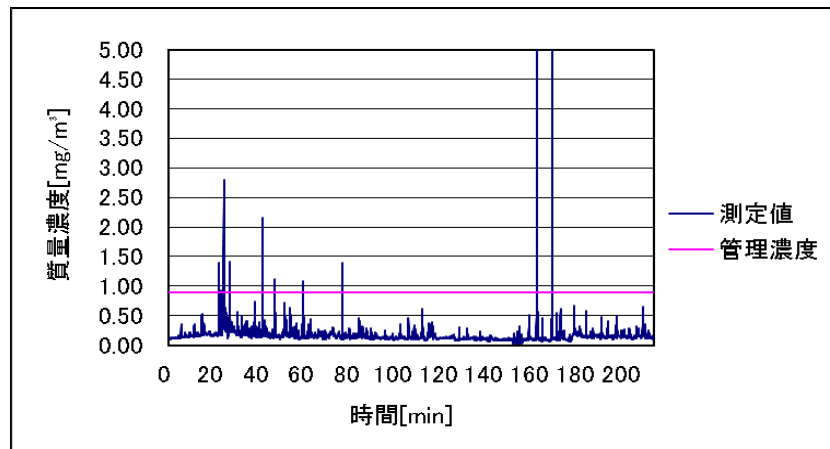


図 2.49 作業場 F における手始め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

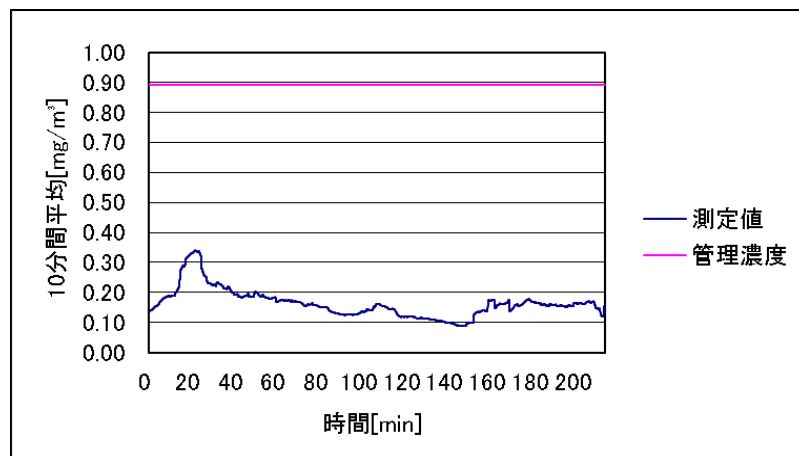


図 2.50 作業場 F における手始め作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10分間移動平均値)

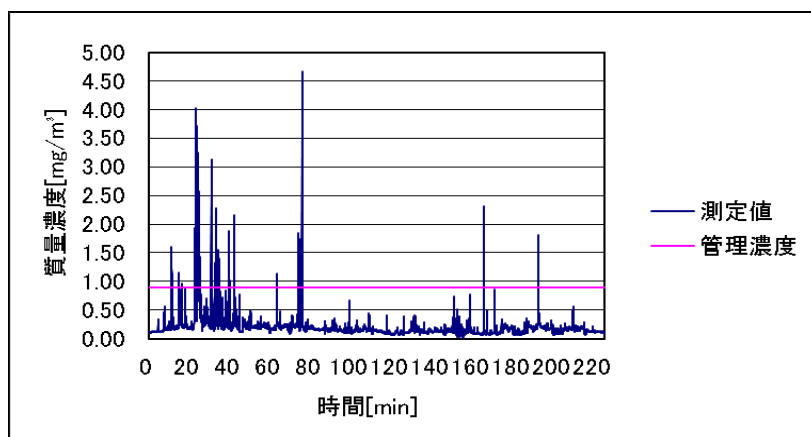


図 2.51 作業場 F における手込め作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

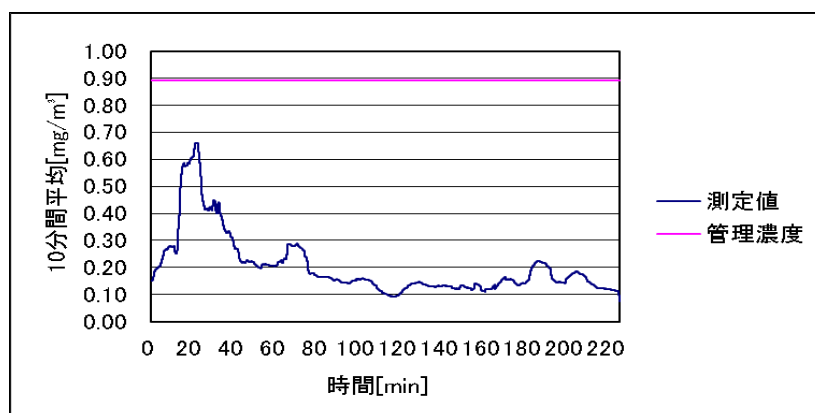


図 2.52 作業場 F における手込め作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

#### 2.5.1(g) 作業場 G における砂型造形作業

作業場 G の概略図を図 2.53 に示す。また、作業場 G における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.13 に、環境濃度の測定結果を表 2.14 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.54 ~ 図 2.57 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 15.5% であり、管理濃度は  $0.15[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

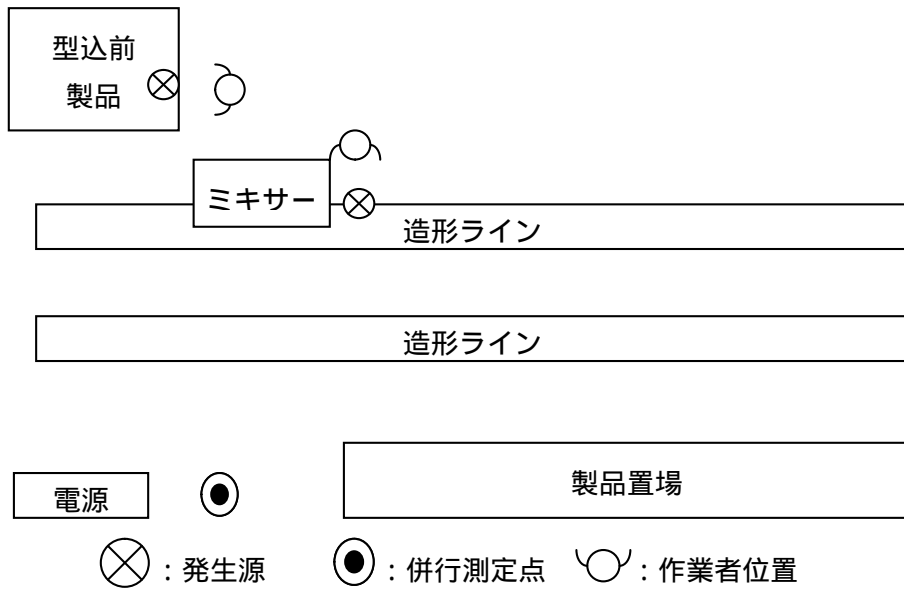


図 2.53 作業場 G の概略図

表 2.13 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	3.50	0.15	
2 回目	0.88	0.15	

表 2.14 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
60	1.54	1.29	639	0.0020

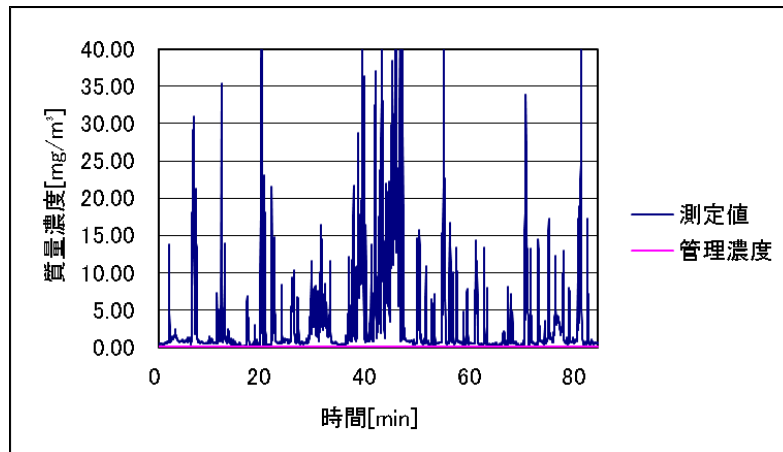


図 2.54 作業場 G における手込み作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動



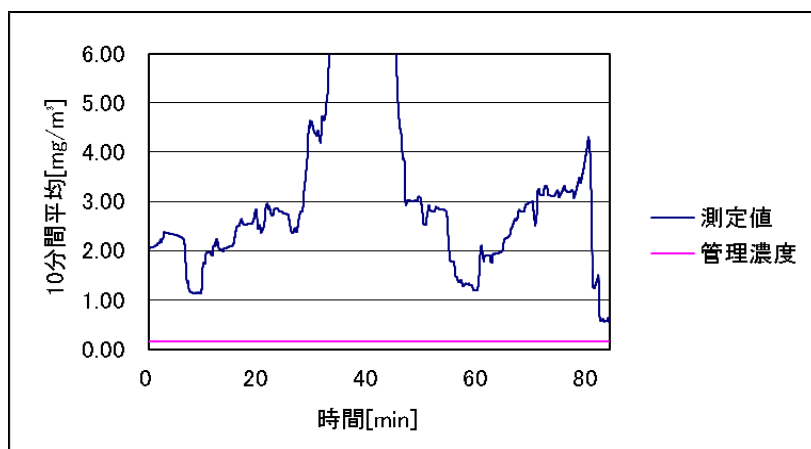


図 2.55 作業場 G における手始め作業 1 回目粉じんのばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

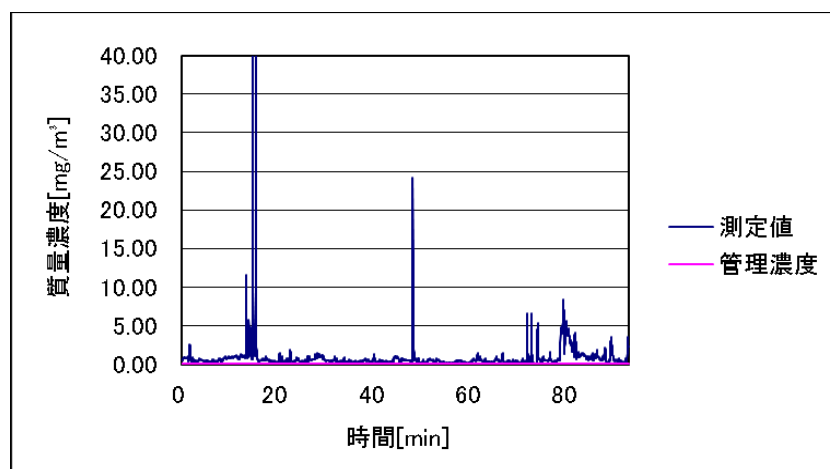


図 2.56 作業場 G における手始め作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

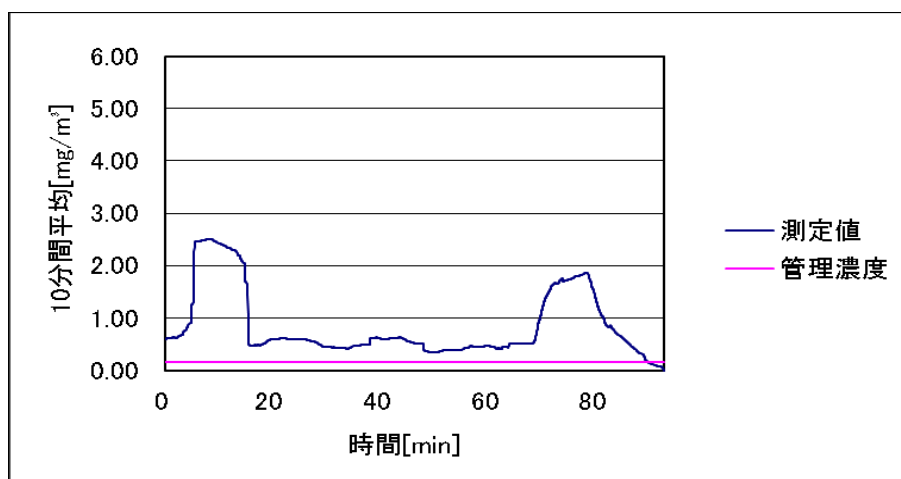


図 2.57 作業場 G における手始め作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

## 2.5.2 半自動造形作業

### 2.5.2(a) 作業場 H における砂型造形作業

作業場 H の概略図を図 2.58 に示す。また、作業場 H における砂型造形作業 1 回目～5 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.15 に、環境濃度の測定結果を表 2.16 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.59～図 2.68 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 11.0% であり、管理濃度は  $0.21[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

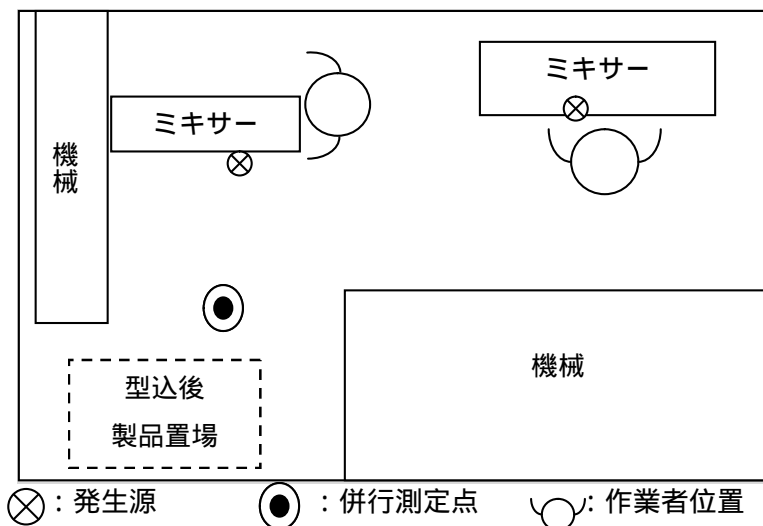


図 2.58 作業場 H の概略図

表 2.15 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	1.08	0.21	
2 回目	0.63	0.21	
3 回目	0.42	0.21	
4 回目	0.61	0.21	
5 回目	0.76	0.21	

表 2.16 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [ $\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$ ]
159	1.28	0.40	121	0.0033

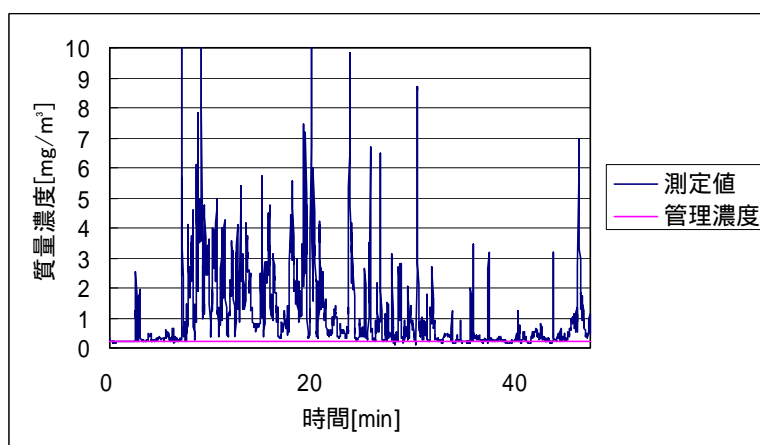


図 2.59 作業場 H における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

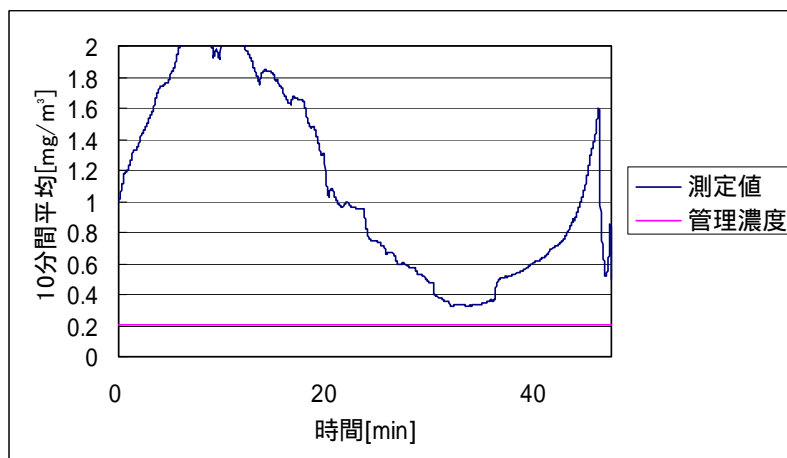


図 2.60 作業場 H における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

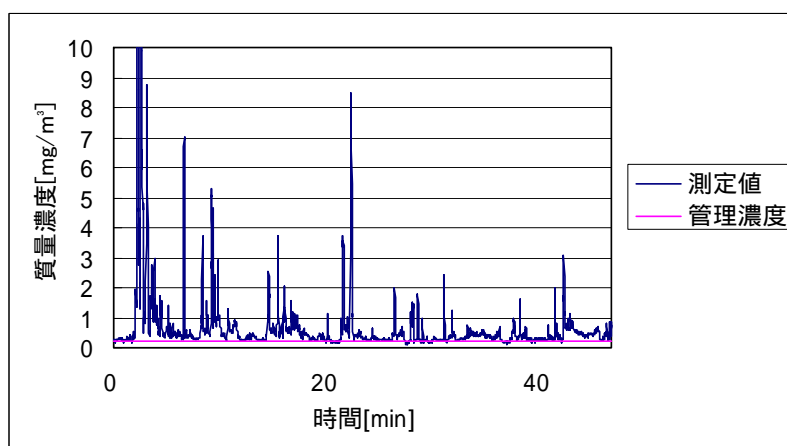


図 2.61 作業場 H における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

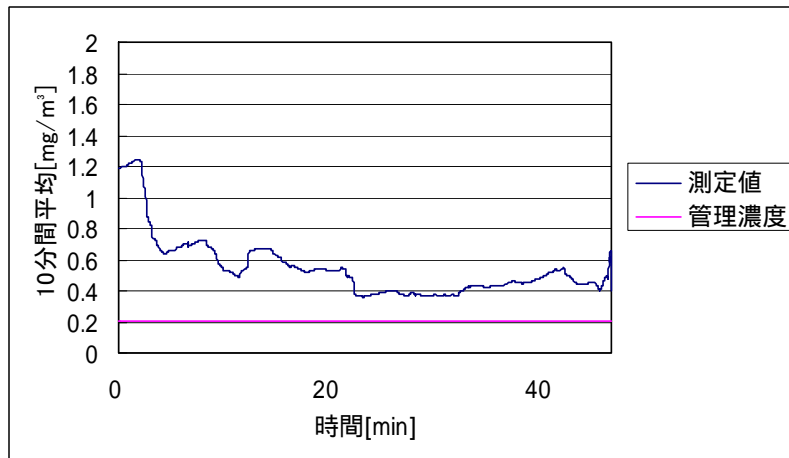


図 2.62 作業場 H における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

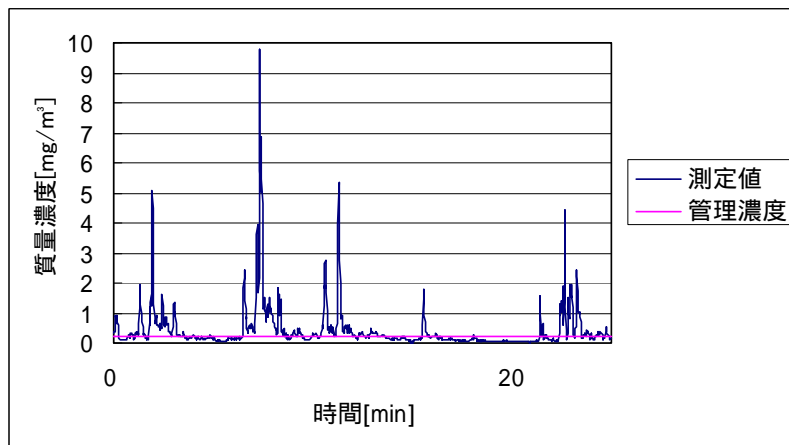


図 2.63 作業場 H における半自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動

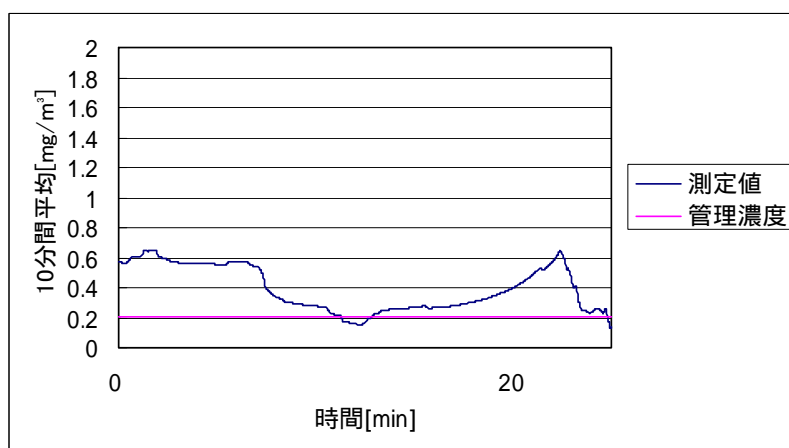


図 2.64 作業場 H における半自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

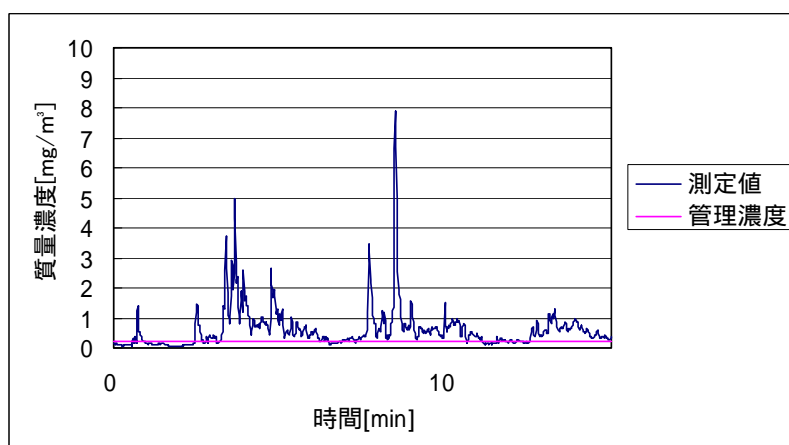


図 2.65 作業場 H における半自動造形作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動

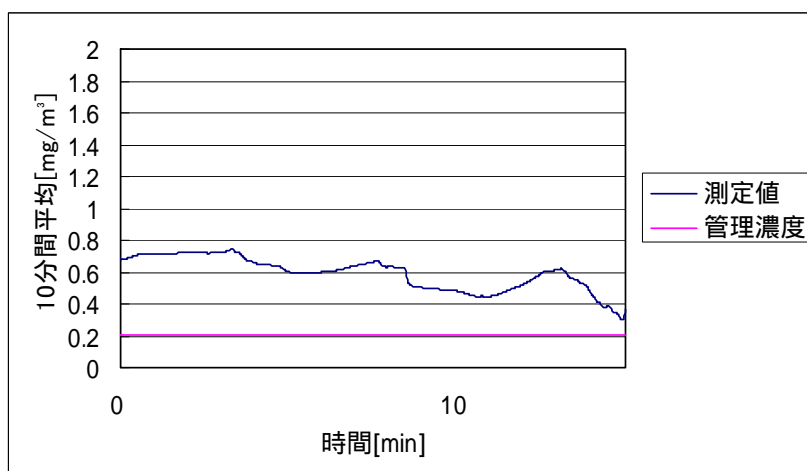


図 2.66 作業場 H における半自動造形作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

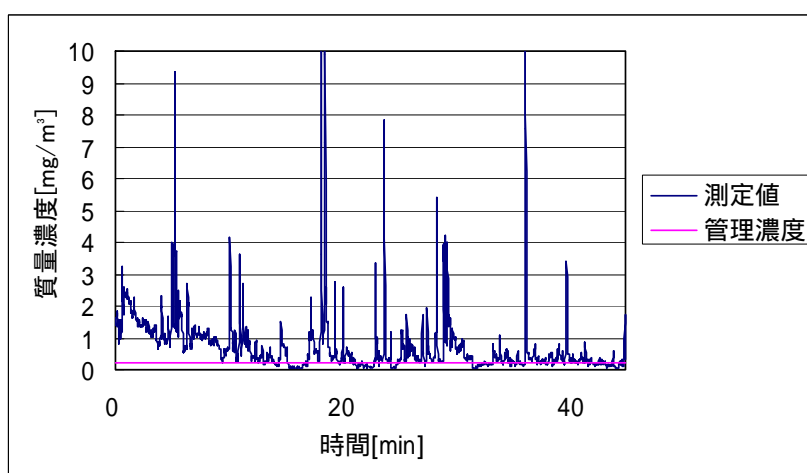


図 2.67 作業場 H における半自動造形作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動

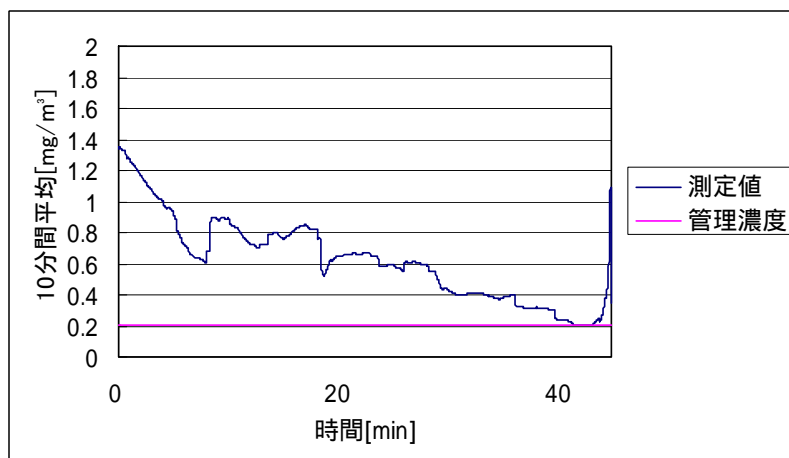


図 2.68 作業場 H における半自動造形作業 5 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.5.2(b) 作業場 I における砂型造形作業

作業場 I の概略図を図 2.69 に示す。また、作業場 I における砂型造形作業 1 回目～4 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.17 に、環境濃度の測定結果を表 2.18 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.70～図 2.77 にそれぞれ示す。

なお、2 回目の作業について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超過しているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.8%であり、管理濃度は  $0.14[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

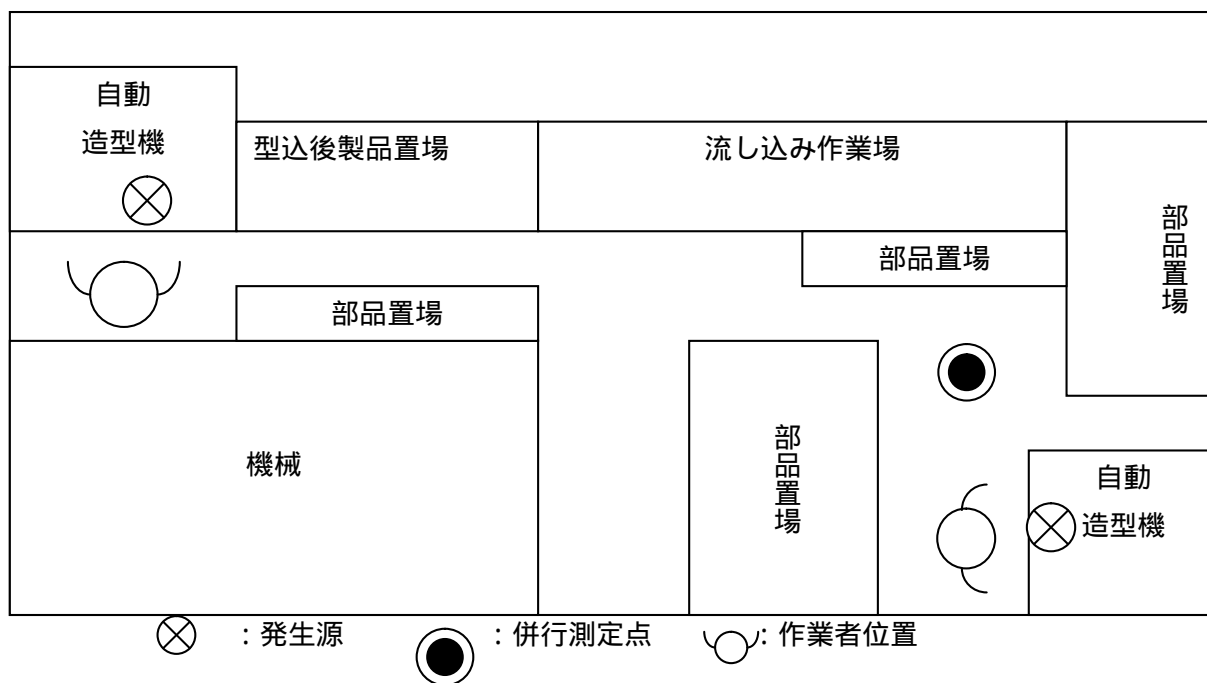


図 2.69 作業場 I の概略図

表 2.17 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	0.18	0.14	
2回目	0.13	0.14	*
3回目	0.66	0.14	
4回目	0.23	0.14	

注\*：10分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、  
管理濃度を超えていると判断した事例

表 2.18 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
131	0.55	0.21	156	0.0013

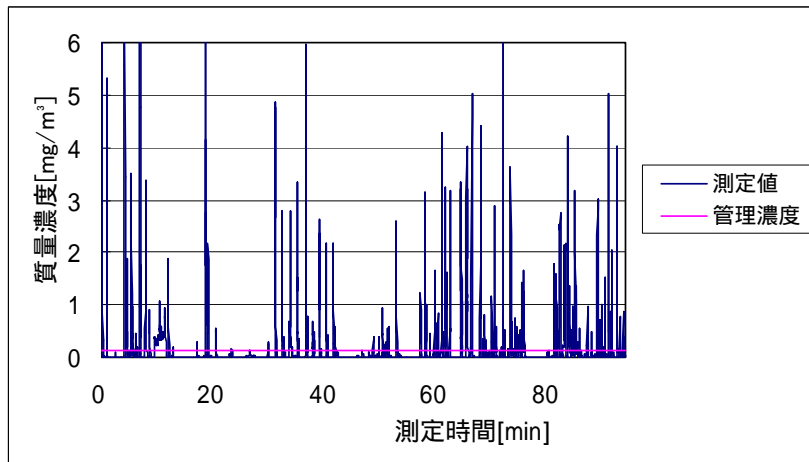


図 2.70 作業場 I における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

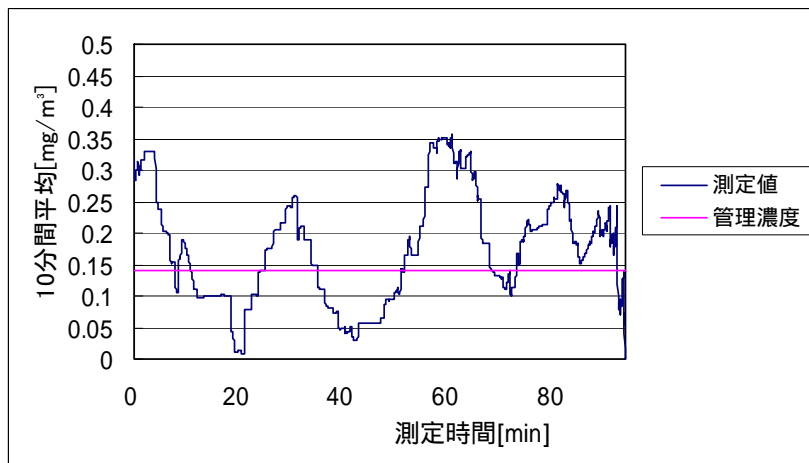


図 2.71 作業場 I における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10分間移動平均値)

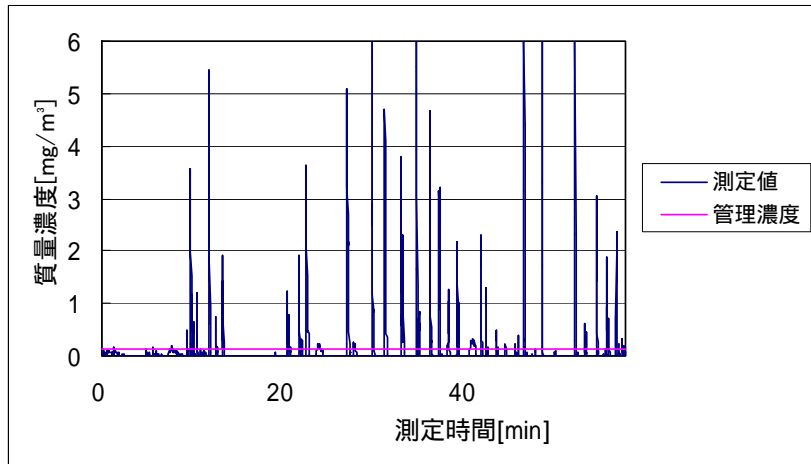


図 2.72 作業場 I における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

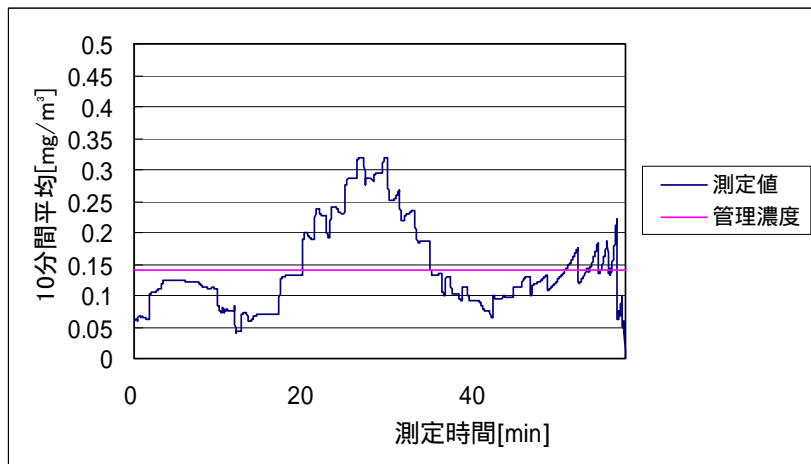


図 2.73 作業場 I における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

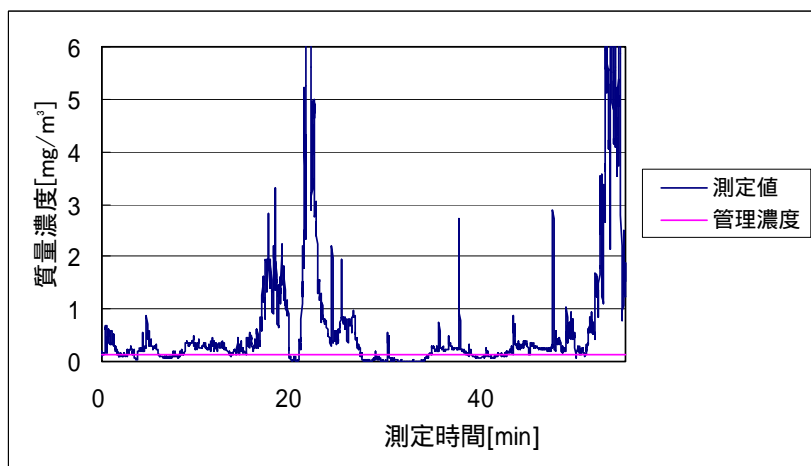


図 2.74 作業場 I における半自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動



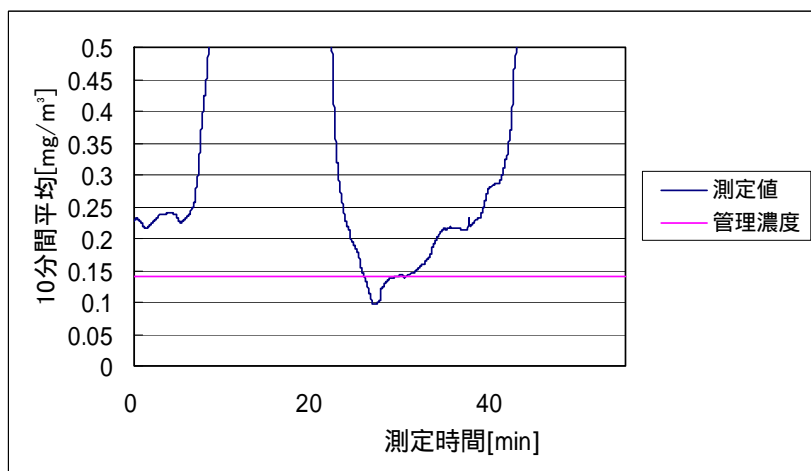


図 2.75 作業場 I における半自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

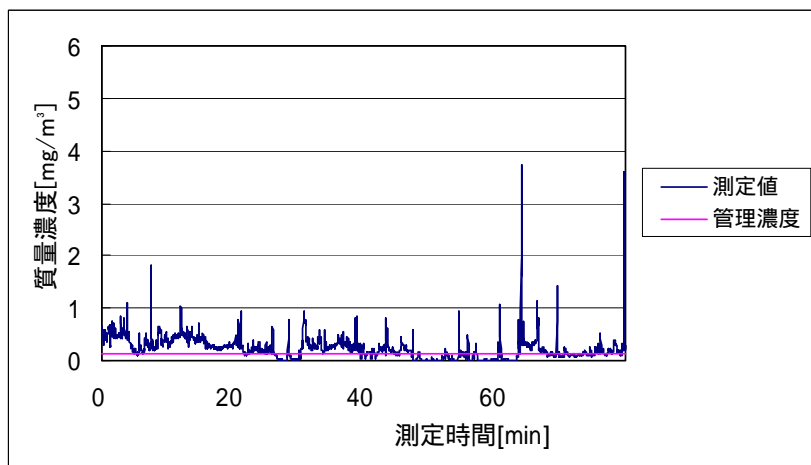


図 2.76 作業場 I における半自動造形作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動

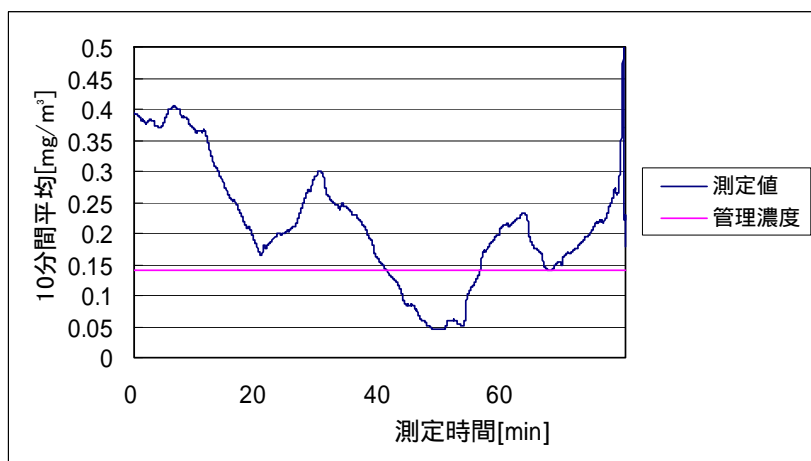


図 2.77 作業場 I における半自動造形作業 4 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

2.5.2(c) 作業場 J における砂型造形作業

作業場 J の概略図を図 2.78 に示す。また、作業場 J における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.19 に、環境濃度の測定結果を表 2.20 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.79 ~ 図 2.82 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.5% であり、管理濃度は 0.27 [mg/m<sup>3</sup>] である。

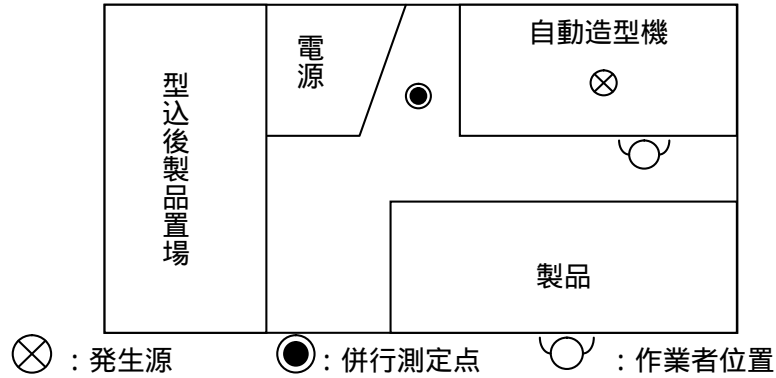


図 2.78 作業場 J の概略図

表 2.19 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.36	0.27	
2 回目	0.43	0.27	

表 2.20 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
76	0.40	0.26	208	0.0013

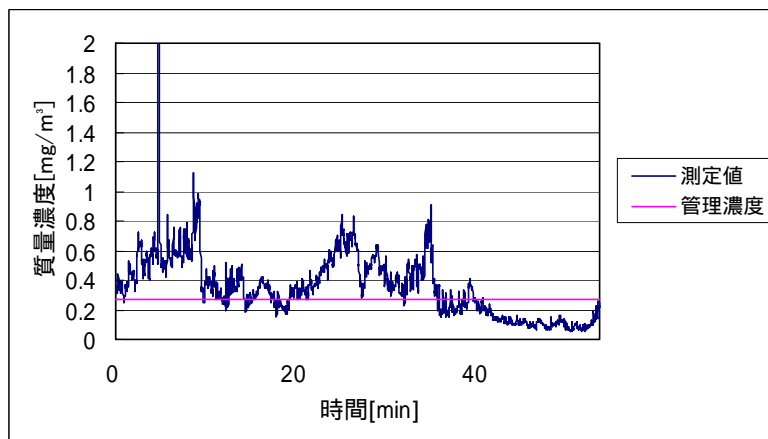


図 2.79 作業場 J における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

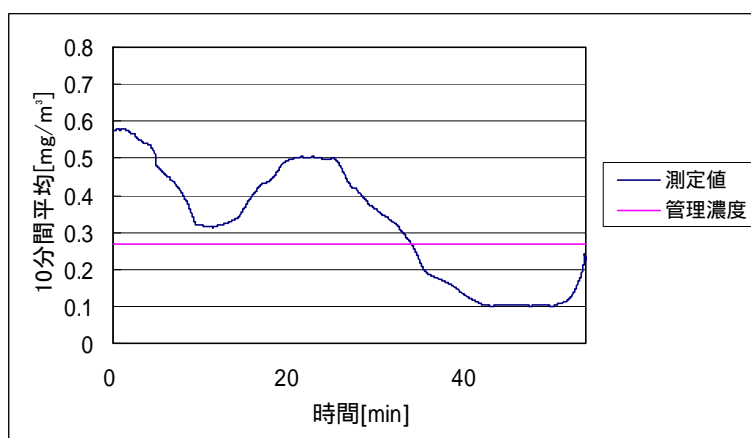


図 2.80 作業場 J における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

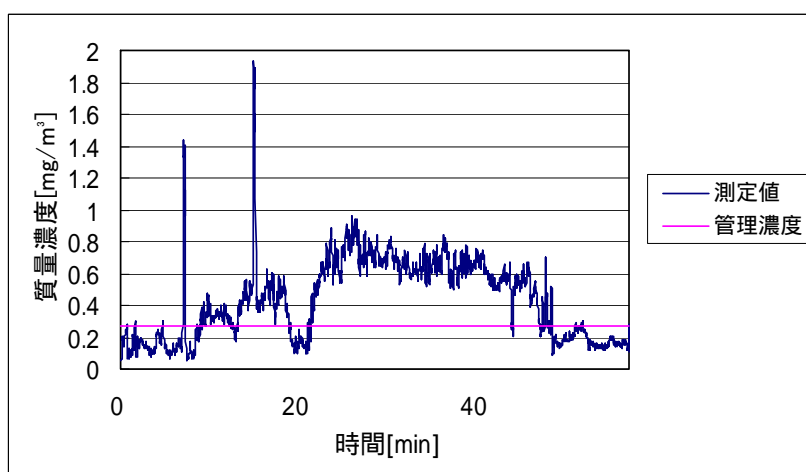


図 2.81 作業場 J における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

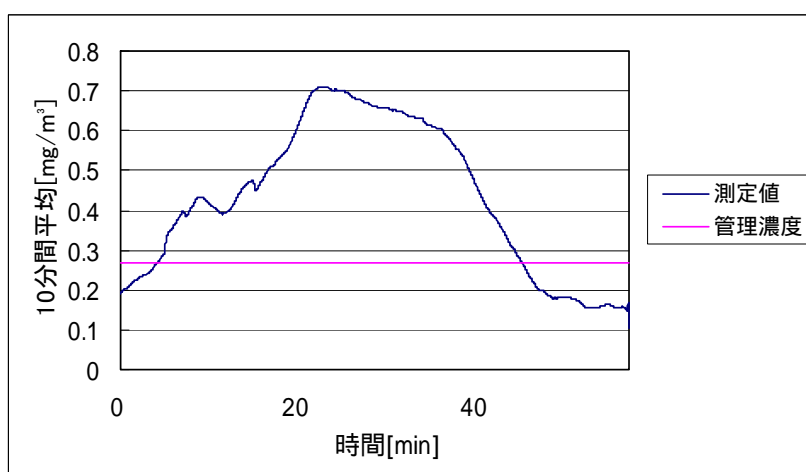


図 2.82 作業場 J における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

2.5.2(d) 作業場 K における砂型造形作業

作業場 K の概略図を図 2.83 に示す。また、作業場 K における砂型造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.21 に、環境濃度の測定結果を表 2.22 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.84、図 2.85 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.6% であり、管理濃度は  $0.14[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

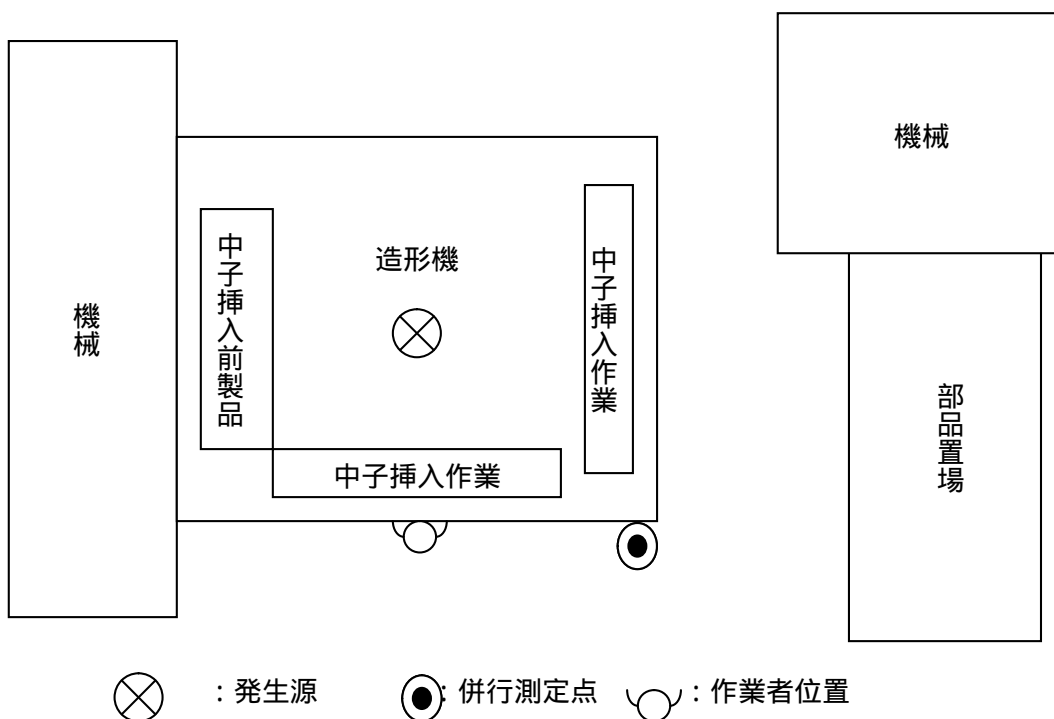


図 2.83 作業場 K の概略図

表 2.21 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.04	0.14	×

表 2.22 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [ $\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$ ]
110	0.09	0.04	3.0	0.0131

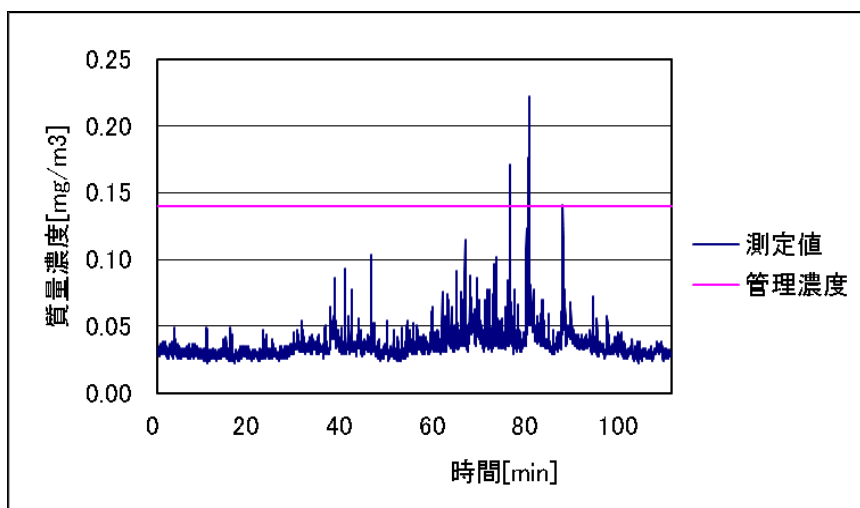


図 2.84 作業場 K における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

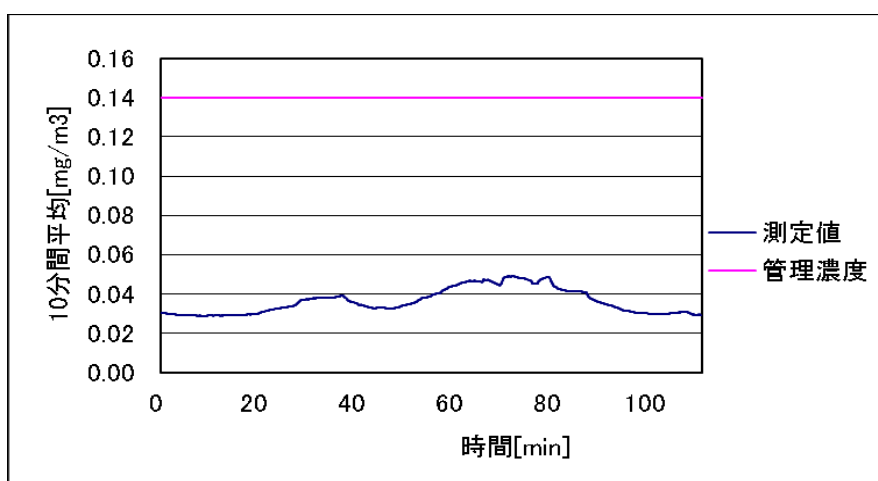


図 2.85 作業場 K における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

#### 2.5.2(e) 作業場 L における砂型造形作業

作業場 L の概略図を図 2.86 に示す。また、作業場 L における砂型造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.23 に、環境濃度の測定結果を表 2.24 に示す。ただし、測定中に LD-5 に不具合が生じたため、相対濃度及び K 値に関しては求めることができなかった。ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.87～図 2.90 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は  $0.90[\text{mg}/\text{m}^3]$ である。

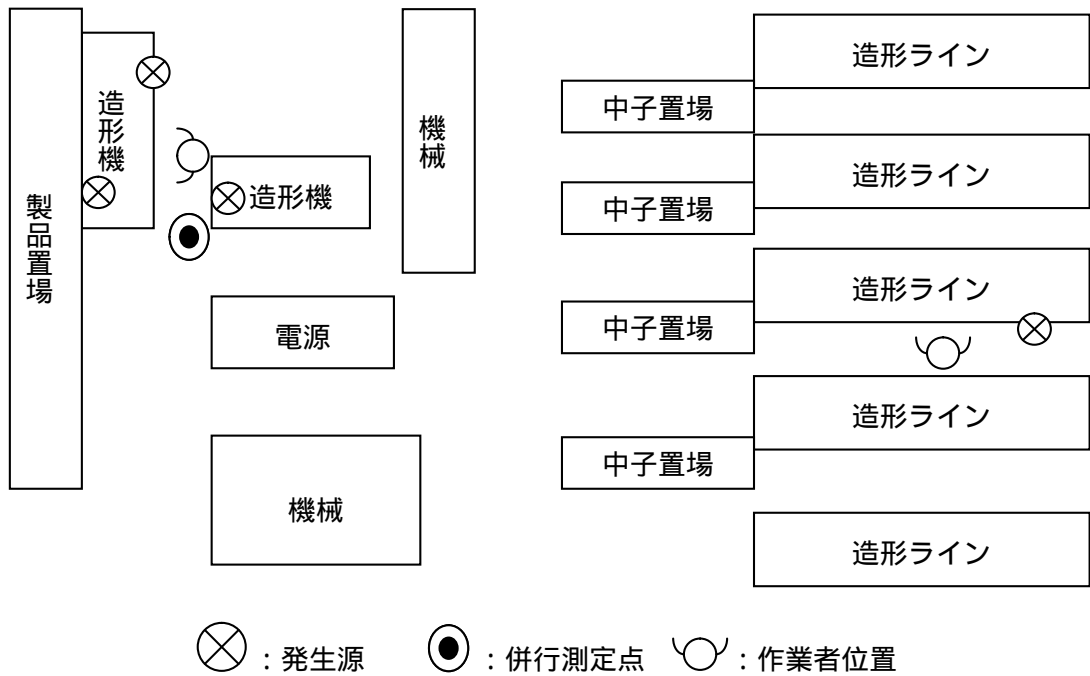


図 2.86 作業場Lの概略図

表 2.23 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	2.19	0.90	
2回目	2.33	0.90	

表 2.24 環境測濃度定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
111	1.81	0.82	N.D.	N.D.

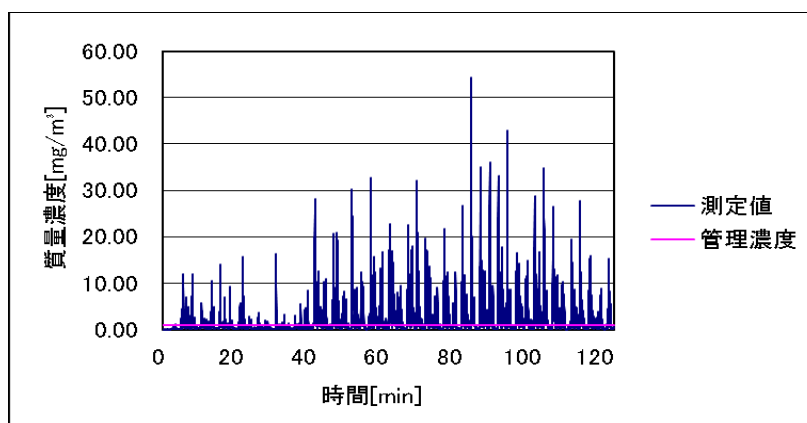


図 2.87 作業場Lにおける半自動造形作業1回目の粉じんばく露濃度変動

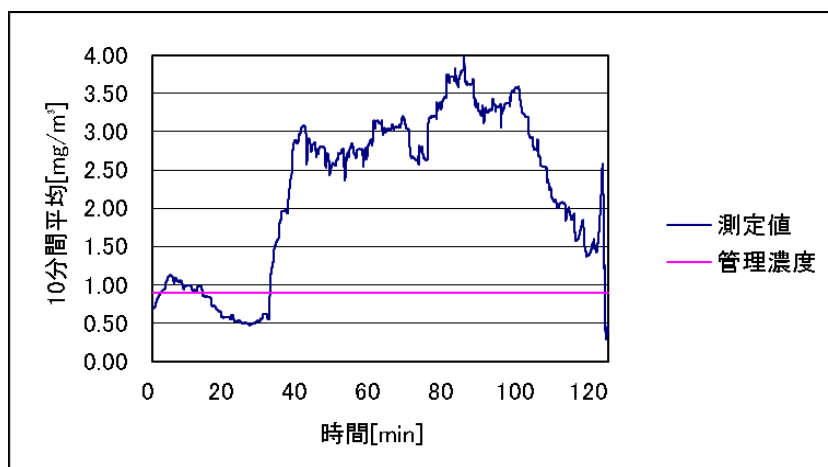


図 2.88 作業場 L における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

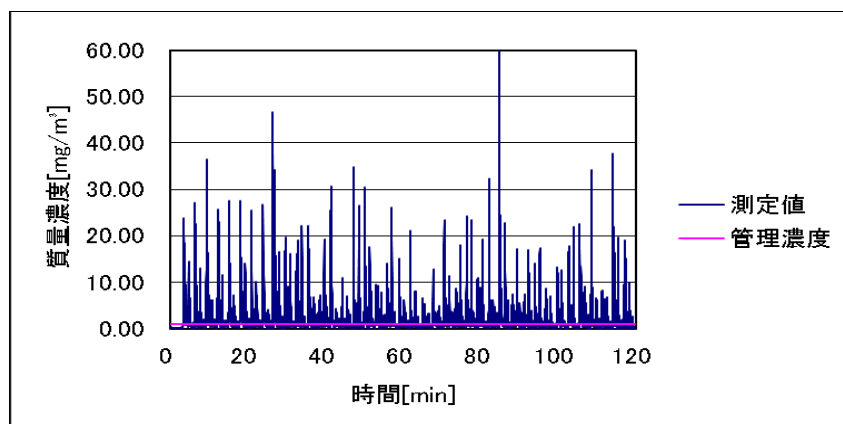


図 2.89 作業場 L における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

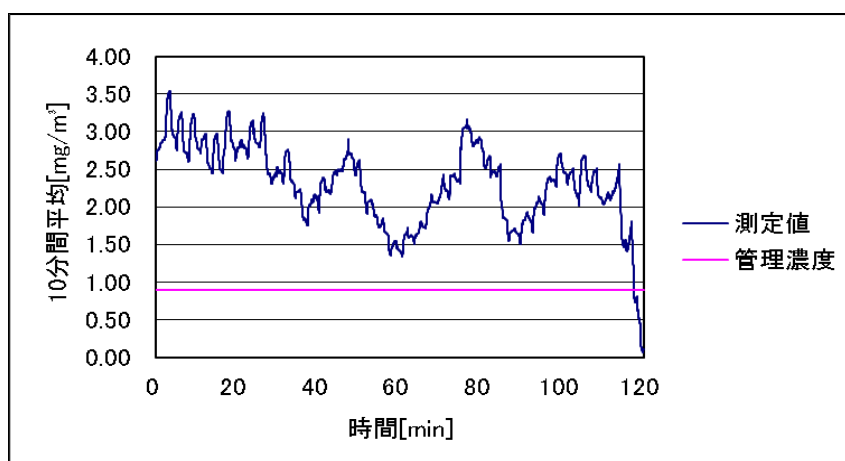


図 2.90 作業場 L における半自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

#### 2.5.2(f) 作業場 M における砂型造形作業

作業場 M の概略図を図 2.91 に示す。また、作業場 M における砂型造形作業の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.25 に示す。なお、今回は環境濃度測定が行えなかったため、ばく露

測定の結果のみ示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.92、図 2.93 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 7.7% であり、管理濃度は 0.30 [mg/m<sup>3</sup>] である。

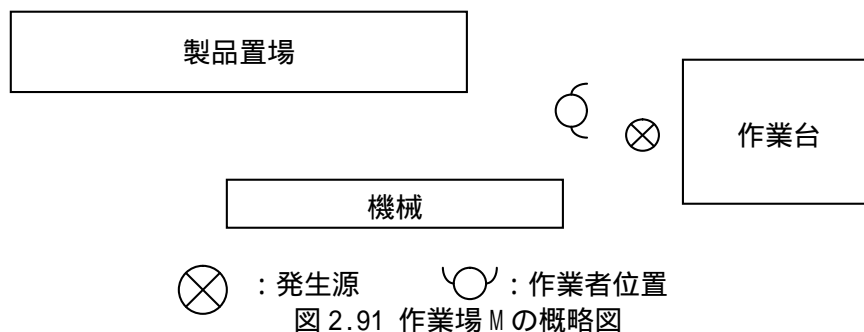


表 2.25 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.35	0.30	

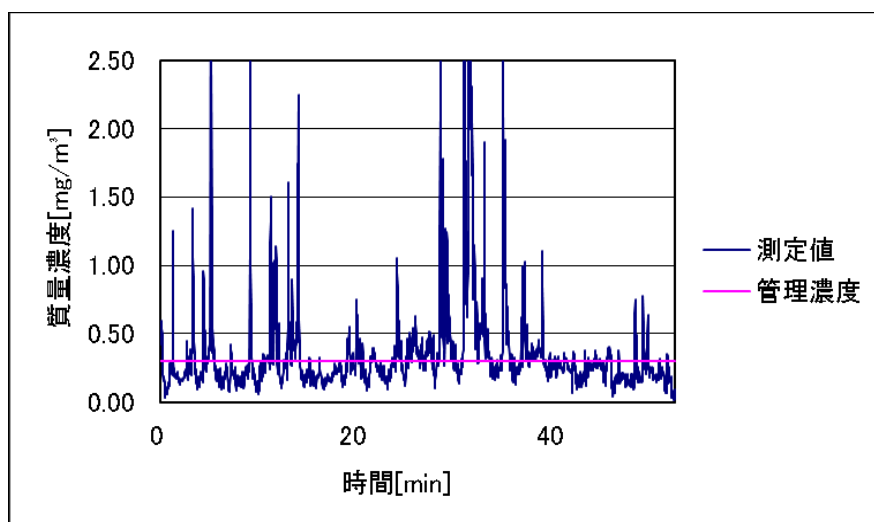


図 2.92 作業場 M における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動



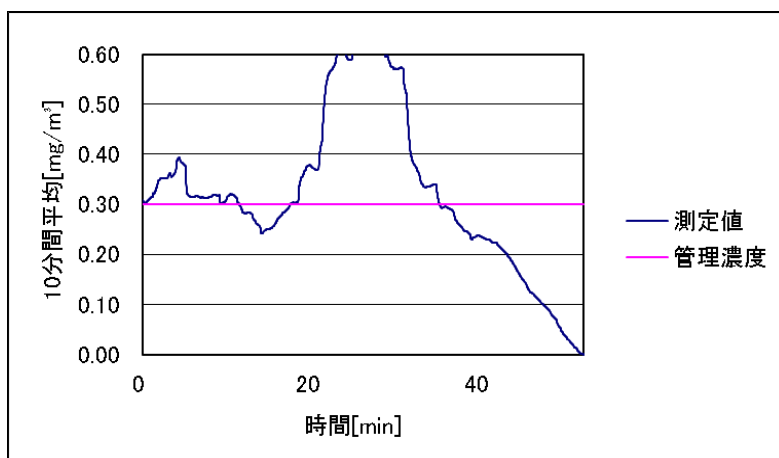


図 2.93 作業場 M における半自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.5.3 自動造型作業

#### 2.5.3(a) 作業場 N における砂型造形作業

作業場 N の概略図を図 2.94 に示す。また、作業場 N における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.26 に、環境濃度の測定結果を表 2.27 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.95～図 2.98 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 14.4%であり、管理濃度は 0.17[mg/m<sup>3</sup>]である。

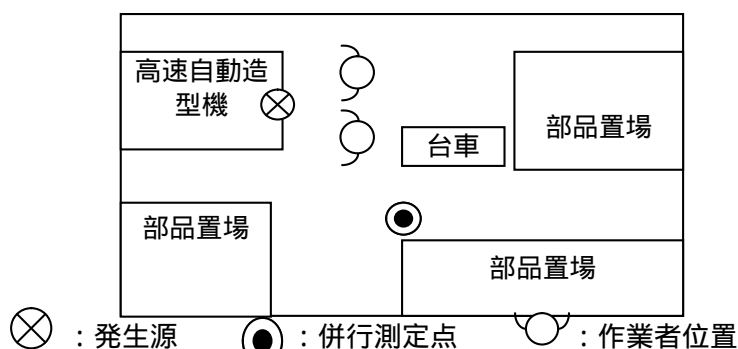


図 2.94 作業場 N の概略図

表 2.26 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.58	0.17	
2 回目	0.77	0.17	

表 2.27 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
191	1.08	0.28	59	0.0048

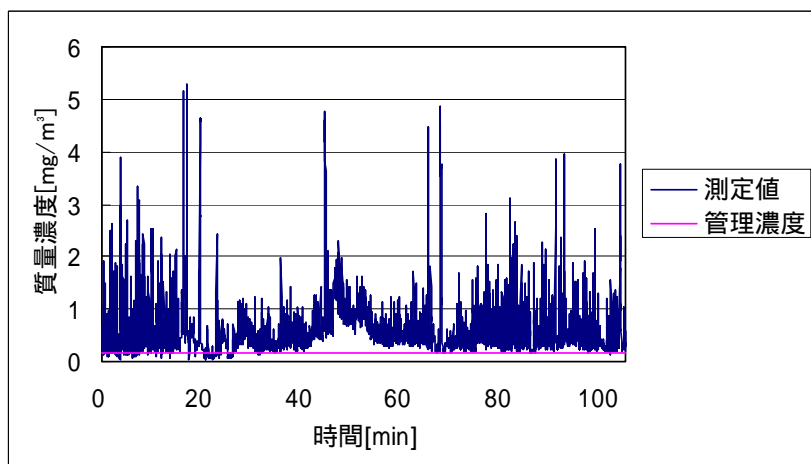


図 2.95 作業場 N における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

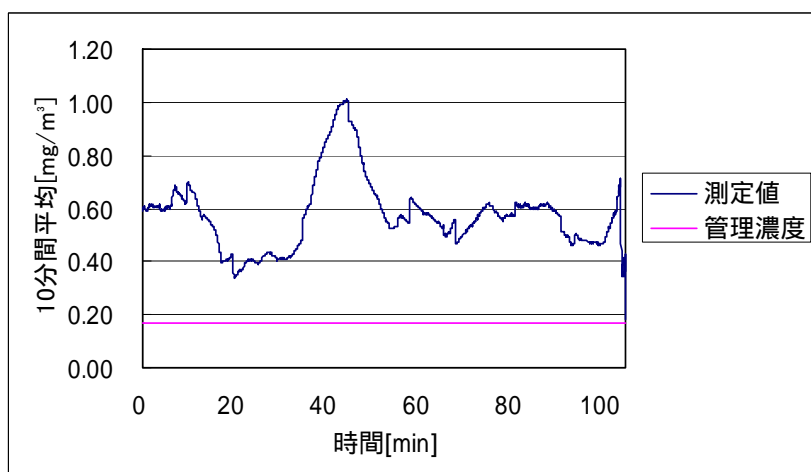


図 2.96 作業場 N における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

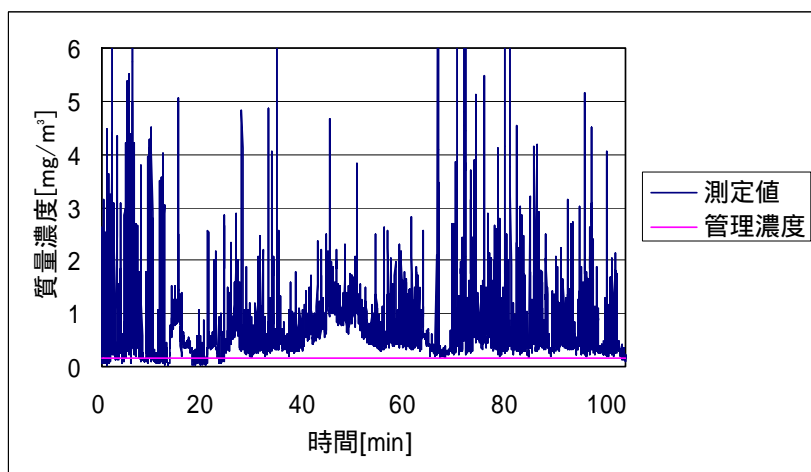


図 2.97 作業場 N における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

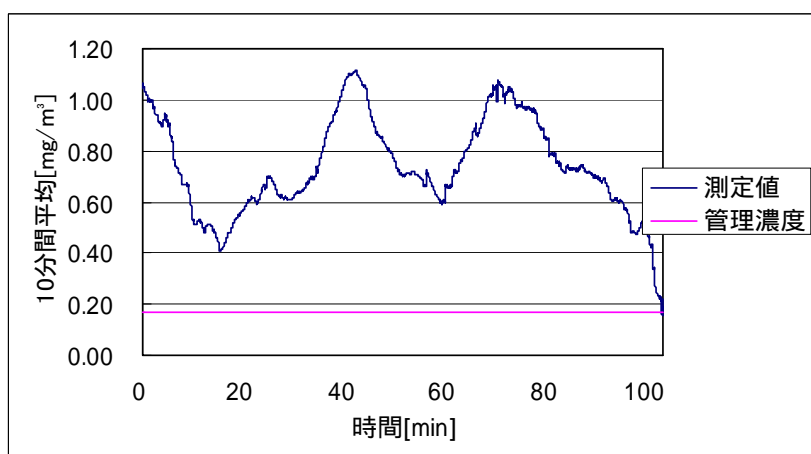


図 2.98 作業場 N における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.5.3(b) 作業場 0 における砂型造形作業

作業場 0 の概略図を図 2.99 に示す。また、作業場 0 における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.28 に、環境濃度の測定結果を表 2.29 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.100 ~ 図 2.105 にそれぞれ示す。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 9.4% であり、管理濃度は  $0.25[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。

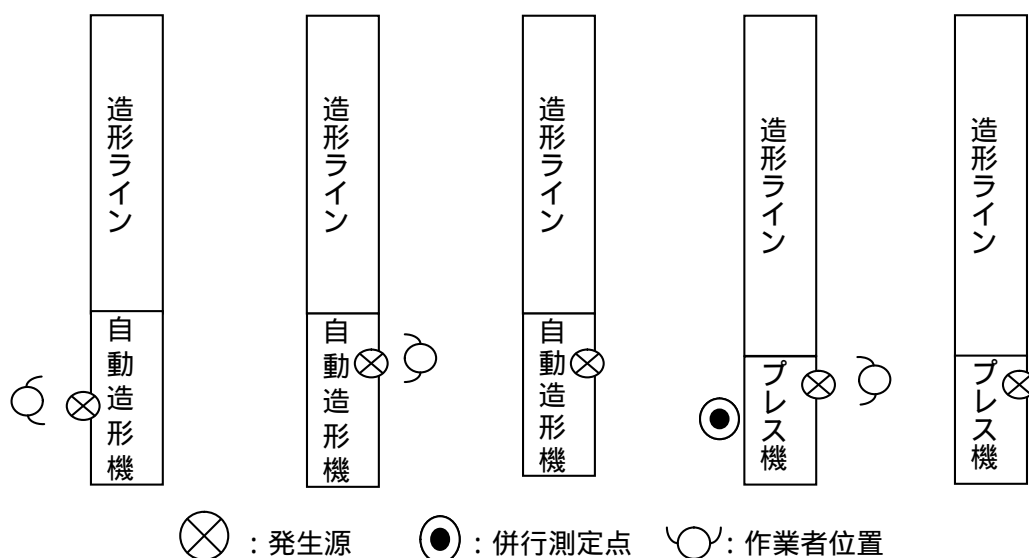


図 2.99 作業場 0 の概略図

表 2.28 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.28	0.25	
2 回目	0.10	0.25	×
3 回目	0.96	0.25	

表 2.29 環境測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
173	0.37	0.11	42	0.0025

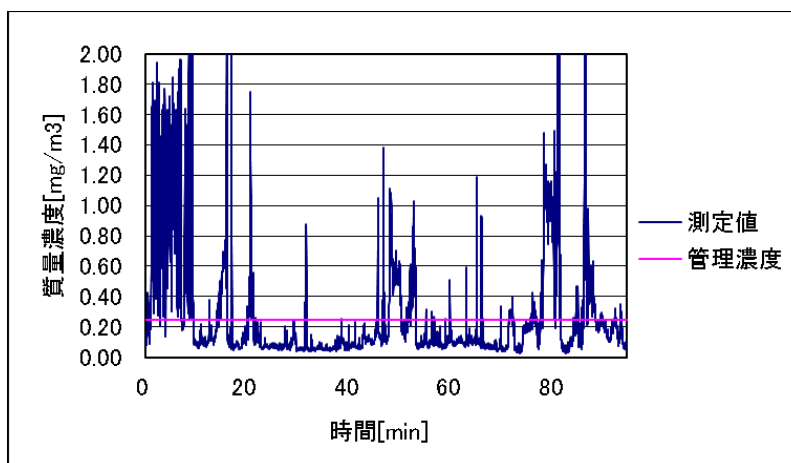


図 2.100 作業場 0 における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

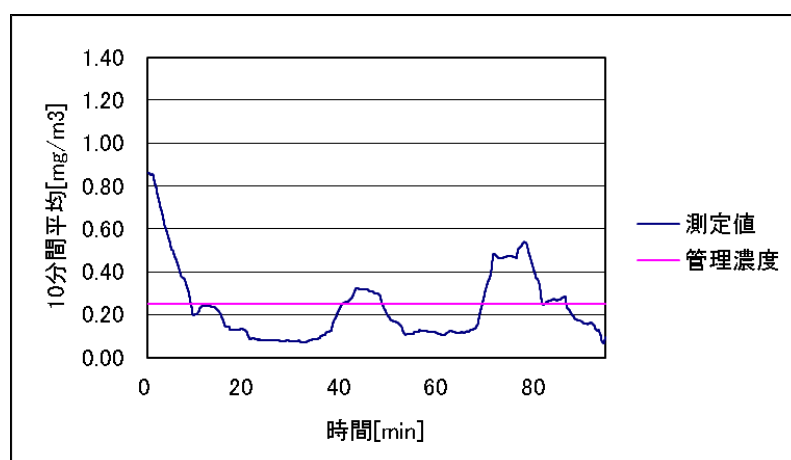


図 2.101 作業場 0 における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

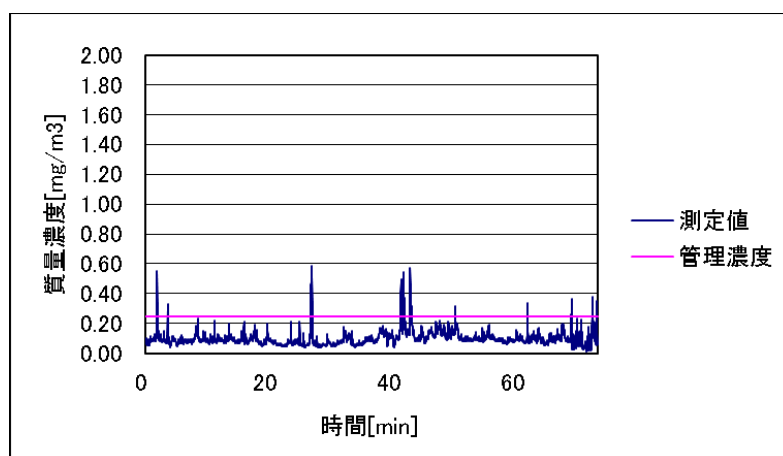


図 2.102 作業場 0 における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

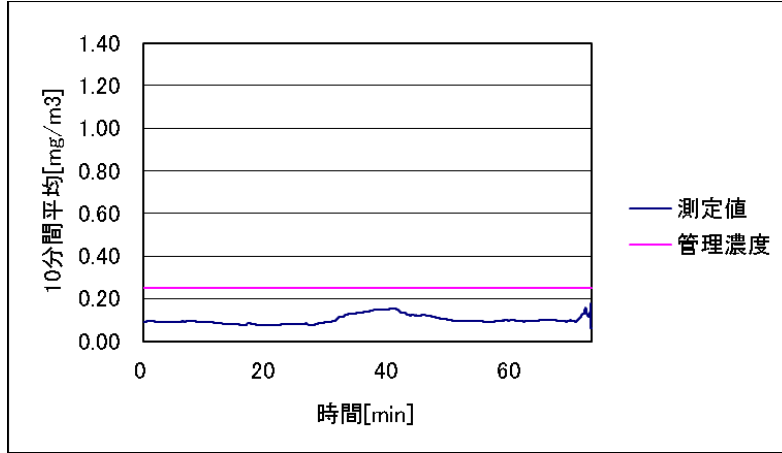


図 2.103 作業場 0 における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

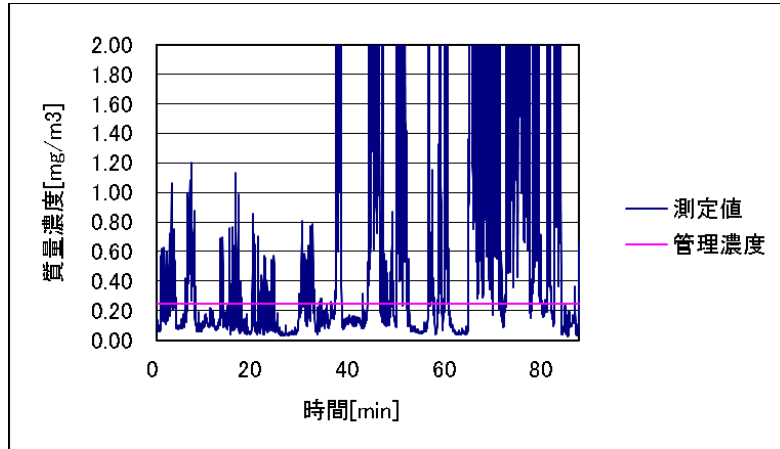


図 2.104 作業場 0 における自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動

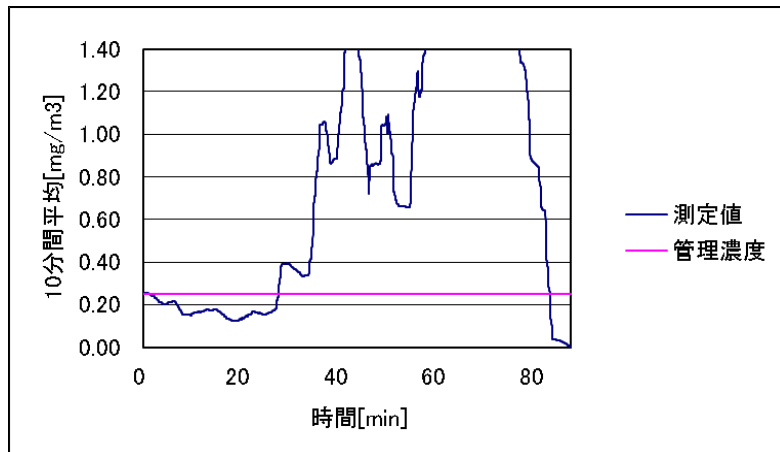


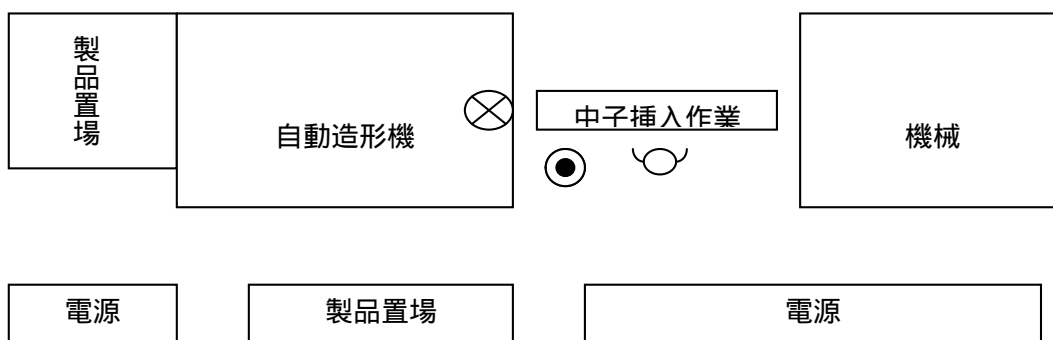
図 2.105 作業場 0 における自動造形作業 3 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

2.5.3(c) 作業場 P における砂型造形作業

作業場 P の概略図を図 2.106 に示す。また、作業場 P における砂型造形作業の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.30 に、環境濃度の測定結果を表 2.31 に示す。ただし、測定中に LD-5 に不具合が生じたため、相対濃度及び K 値に関しては求めることができなかった。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.107、図 2.108 にそれぞれ示す。

なお、今回の作業について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超えているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 17.3% であり、管理濃度は 0.14[mg/m<sup>3</sup>] である。



⊗ : 発生源      ⊙ : 併行測定点      ○ : 作業者位置

図 2.106 作業場 P の概略図

表 2.30 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
1 回目	0.12	0.14	*

注 \* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので管理濃度を超えていると判断した事例

表 2.31 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
122	0.66	0.27	N.D.	N.D.

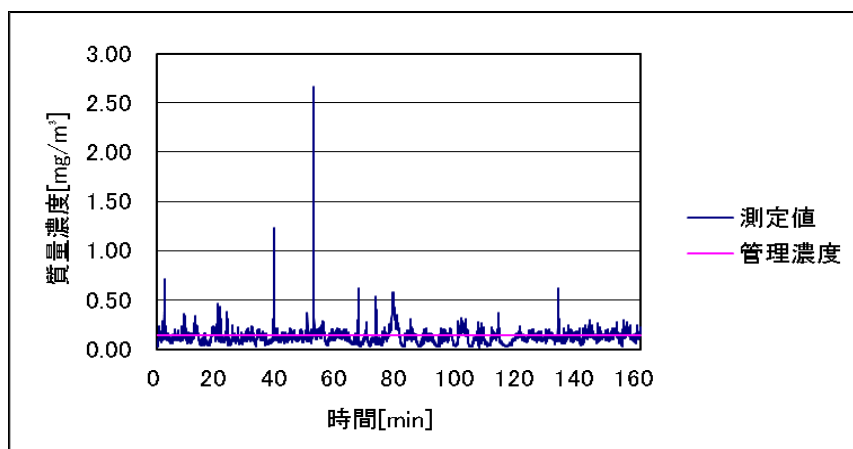


図 2.107 作業場 P における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

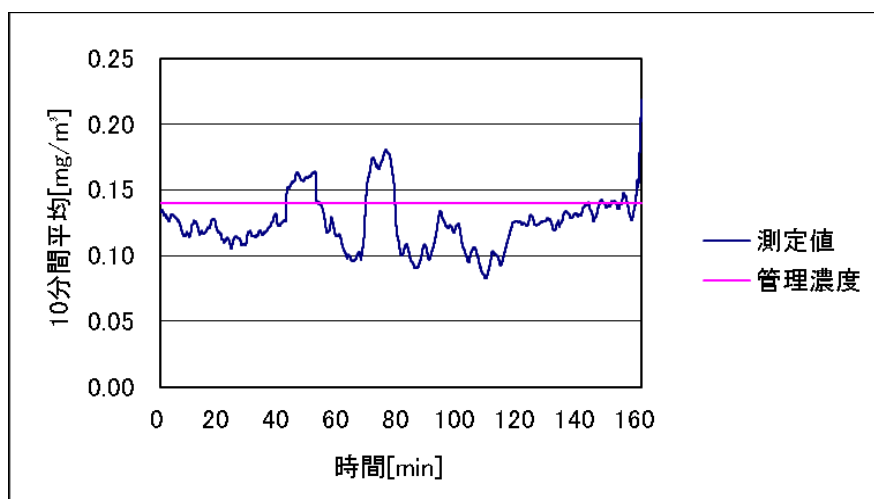
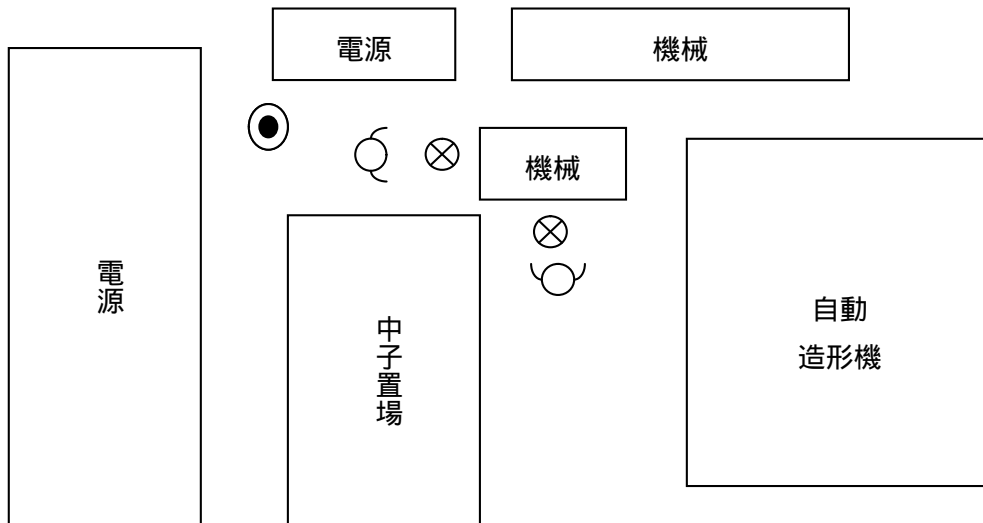


図 2.108 作業場 P における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

#### 2.5.3(d) 作業場 Q における砂型造形作業

作業場 Q の概略図を図 2.109 に示す。また、作業場 Q における砂型造形作業 1 回目、2 回目の粉じんばく露濃度測定結果を表 2.32 に、環境濃度の測定結果を表 2.33 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.110～図 2.113 にそれぞれ示す。なお、図 4.105、図 4.106 においては、1 秒ごとの測定値でなく 1 分間ごとの測定値を用いている。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 15.0%であり、管理濃度は  $0.16[\text{mg}/\text{m}^3]$  である。



⊗ : 発生源    ● : 併行測定点    ⊙ : 作業者位置  
 図 2.109 作業場 Q の概略図

表 2.32 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.05	0.16	×
2 回目	0.04	0.16	×

表 2.33 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
166	0.12	0.04	39	0.0009

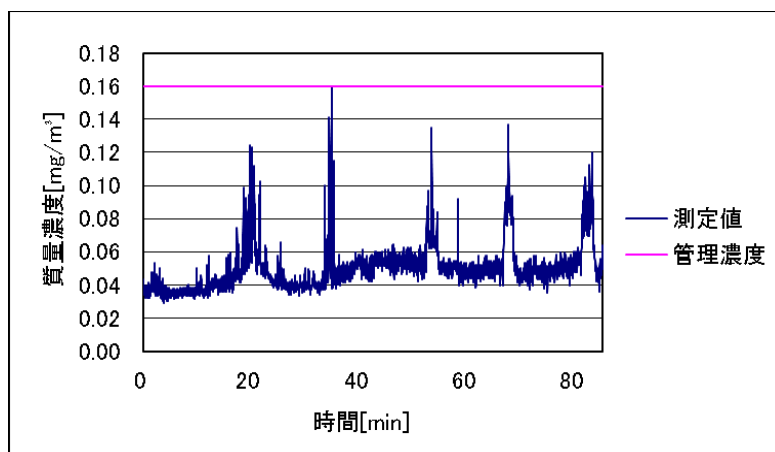


図 2.110 作業場 Q における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動



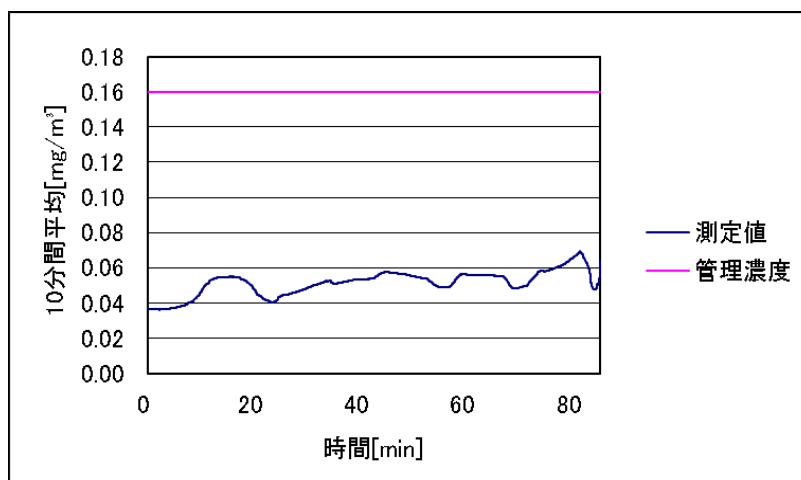


図 2.111 作業場 Q における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

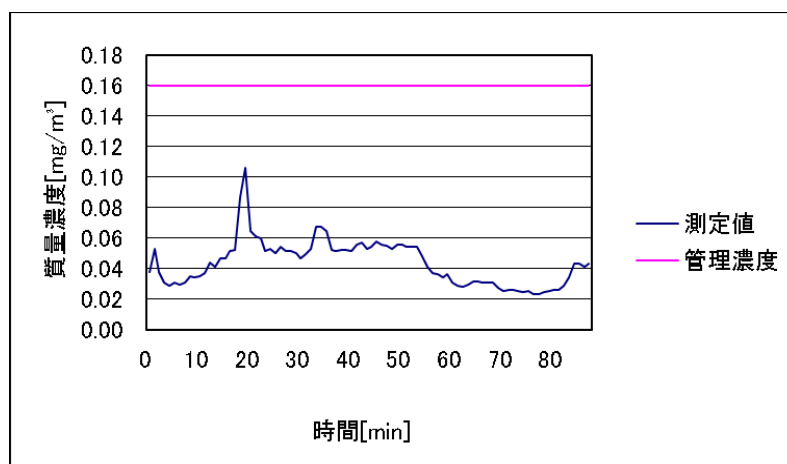


図 2.112 作業場 Q における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動

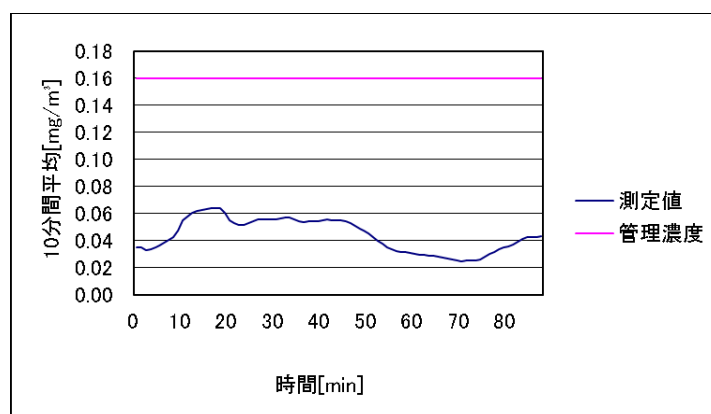


図 2.113 作業場 Q における自動造形作業 2 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.5.3(e) 作業場 R における砂型造形作業

作業場 R の概略図を図 2.114 に示す。また、作業場 R における砂型造形作業 1 回目の粉

じんばく露濃度測定結果を表 2.34 に、環境濃度の測定結果を表 2.35 に示す。また、ばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.115、図 2.116 にそれぞれ示す。

なお、今回の作業について、平均粉じん濃度は管理濃度以下であるが、10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っている値があるので、管理濃度を超過しているとした。

また、粉じん中の遊離けい酸含有率は 8.1%であり、管理濃度は 0.28[mg/m<sup>3</sup>]である。

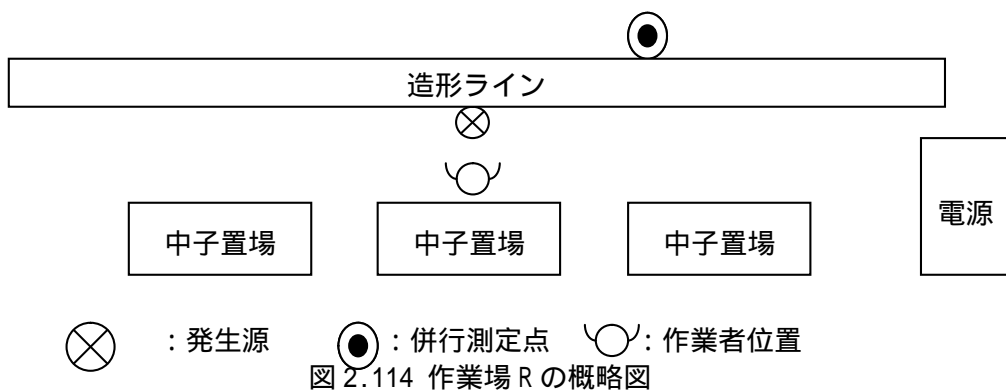


表 2.34 粉じんばく露濃度測定結果

	平均粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
1 回目	0.25	0.28	*

注 \* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っているので、管理濃度を超過していると判断した事例

表 2.35 環境濃度測定結果

測定時間 [min]	NW-354		LD-5	
	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
112	0.77	0.34	161	0.0021

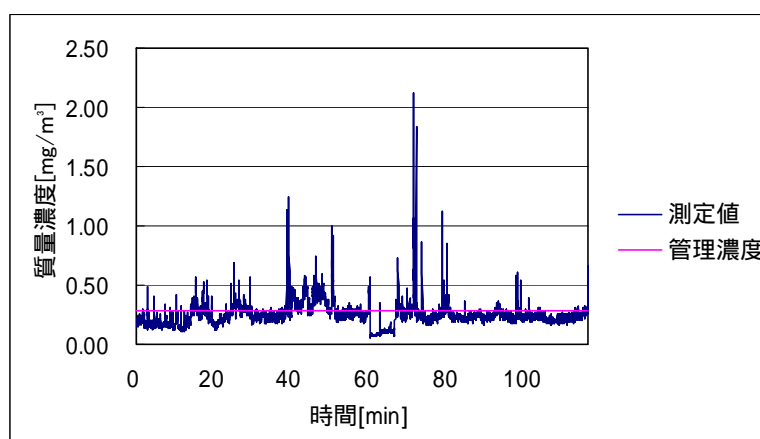


図 2.115 作業場 R における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動

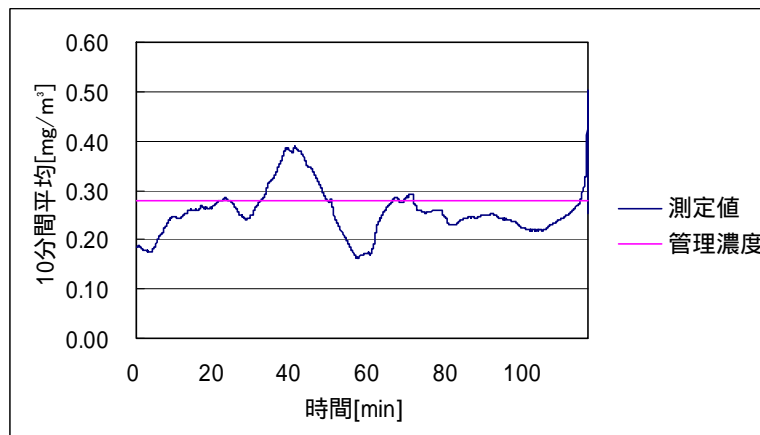


図 2.116 作業場 R における自動造形作業 1 回目の粉じんばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

#### 2.5.4 まとめ

本調査で行った砂型造形作業時のばく露濃度測定結果を表 2.36 に示す。

表 2.36 砂型造形作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業内容	幾何平均 [mg/m <sup>3</sup> ] (幾何標準偏差)	濃度範囲	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 超えの割合	
手込み作業	0.97 (1.09)	4.23~0.08	0.12~0.89	81%	17/21
半自動造形作業	0.69 (0.98)	2.33~0.04	0.14~0.90	93%	14/15
自動造形作業	0.36 (0.88)	0.96~0.04	0.14~0.28	67%	6/9

##### 1) 手込み作業

本研究での、手込み作業は、表 2.36 に示すように 81%(17/21 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、使用している鋳物砂が適度の水分を保水できる特殊な構造の鋳物砂のために環境中への飛散があまり認められなかった。この鋳物砂に関しては、特許等の関係で詳細を知ることは出来なかった。それ以外の作業場では、使用している鋳物砂の遊離けい酸含有率が低い鋳物砂を用いていた。これらの工夫により、作業者のばく露濃度を低く押さえることや管理濃度を高くすることは、有効な対策の一つと考えられる。

##### 2) 半自動造形作業

本研究での、半自動造形作業は、表 2.36 に示すように 93%(14/15 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、堆積粉じんの除去を定期的に行ったり、砂を扱う場所以外には砂が舞わないよう砂を扱う場所周辺を防じん板等で囲んだりしていた。これらの工夫により、作業者のばく露量は低くなっていることから、このような対策も有効であると考えら

れる。

### 3) 自動造型作業

本研究での、自動造形作業は、表 2.36 に示すように 67%(6/9 作業)の作業で管理濃度を超えており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超えなかった作業場では、堆積粉じんの除去を定期的に行い、堆積粉じんがほとんど見られなかった。また、鋳物砂の遊離けい酸含有率を低くすることで管理濃度を高くする対策が取られていた。遊離けい酸含有率の低い鋳物砂を使用すると、鋳物製品の不良を起こす要因の一つになることもあり、高度な技術が要求されるので、一般の鋳物工場ではなかなか実行できない対策である。

## 2.6 まとめ

砂型造形作業場として、手込め作業、半自動造形作業及び自動造型作業を行っている 18 事業場で 45 の造形作業の個人ばく露濃度測定を行った。作業によりばく露量の幾何平均値には差がみられるものの、作業方法によらずほとんどの作業でばく露濃度の 10 分間平均値が管理濃度を上回っていることが明らかとなった。

現在、鋳物工場における砂型造型作業は、粉じん則で粉じん作業に指定されていないが、本研究で現場調査を行い、新たに粉じん作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての砂型造型作業で管理濃度を超えていることが明らかになったので、粉じん則を改正し、「粉じん作業」とすることが適切な措置と考える。さらに、砂型造型作業は、手込め作業に代表される様に作業者の呼吸域上部の鋳物砂供給用落とし口から、鋳物砂を作業者の手元の鋳型枠に落とすため、作業者の呼吸域を鋳物砂が落下するので、粉じんに曝露する機会が多い作業である。しかし、砂型造型作業は、外付け式フード等の局所排気装置を用いた防じん対策が困難な作業と考えられるので、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置と考える。

以上のことから、砂型造形作業場において砂型を造形する作業は、粉じん作業とし、且つ、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置との結論を第 18 回労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会(平成 27 年 2 月)に報告した。その報告結果をじん肺部会で審議した結果、平成 27 年 10 月 1 日より、粉じん障害予防規則の改正により、鋳物を製造する工程において、砂型を造型する場所における作業及び砂型を造型する作業も、新たに以下の通りの措置が必要になった。

\* これまで粉じん障害防止規則及びじん肺法施行規則において粉じん作業として定められていなかった、鋳物工場の製造作業の工程のうち砂型を造型する場所における作業についても、粉じん作業として定めます。

\* 砂型を造型する作業について有効な呼吸用保護具の着用が必要となり、砂型を造型する場所における作業についてじん肺健康診断を行うことが必要となります。



### 3. 金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鑄込みする場所における作業における粉じんばく露リスクの調査研究

#### 3.1 目的

粉じん障害防止対策として、厚生労働省は粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）を制定している。粉じん則で対象としている作業は別表第1、別表第2及び別表第3に示されており、別表第1に掲げられている作業（以下、「粉じん作業」）別表第2に掲げられている場所が粉じんの発生源であるような作業（以下、「特定粉じん作業」）を行うには、全体換気装置や局所排気装置などの設備を設置するなどの措置をとる必要がある。また、別表第3に掲げられている作業を行う作業員には、呼吸用保護具の着用が義務付けられている。しかしながら、現在、じん肺の新規有所見者数は横ばい傾向となっており、この状態を更なる減少傾向に転じさせる必要性が指摘されている。そのため、各作業の粉じん曝露リスクを改めて見直す必要がある。

そこで、粉じん則の規制対象である、粉じん作業の中から、今後新たに別表第2及び別表第3に追加すべき可能性のある作業として、別表第1第17号「金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼結し、湯出しし、又は鑄込みする場所における作業。ただし、転炉から湯出しし、又は金型に鑄込みする場所における作業を除く。」（以下、土石又は鉱物等を開放炉に投入する作業等、と略す）について粉じん曝露リスクの調査を行い、別表第2の作業に該当するのか、あるいは別表第3の作業に該当するのかを判断するための必要な情報を得るため、粉じんばく露リスク調査を実施した。

#### 3.2 測定調査の概要

##### 3.2.1 調査対象の作業および事業場

測定対象とした作業は、土石又は鉱物等を開放炉に投入する作業等で、調査を行った事業場は、12事業場である。

##### 3.2.2 測定方法

対象作業によって発生する粉じんについて、作業員の粉じんばく露濃度を測定した。粉じんばく露濃度測定はLD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業員の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業員の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。測定時間は作業の進行に応じておよそ1～2時間程度を目安とした。その装着状況を図3.1に示す。



図 3.1 LD-6N デジタル粉じん計の装着状況

### 3.2.3 評価方法

評価方法は、ばく露濃度と管理濃度との比較で判断した。つまり、ばく露濃度が管理濃度を超えていれば、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断し、管理濃度以下であれば、呼吸用保護具を着用する必要のない作業と判断する。また、作業時の粉じんばく露濃度が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が管理濃度を超えている可能性も考えられる。そこで、幾何平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、測定時に 10 分間移動平均値が管理濃度を超える時間帯があった場合は、管理濃度を超えていると評価することとした。ここで、10 分間移動平均値とは、ある時刻の前 5 分、後 5 分の計 10 分間の平均濃度を瞬間ごとに求めた値である。10 分間移動平均値を示した図の 1 測定点は、10 分間の平均濃度を示す。

## 3.3 土石又は鉱物を開放炉に投入する作業の曝露濃度測定結果

### 3.3.1 A 社

A 社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.1 に、また粉じんばく露濃度変動のグラフを図 3.1 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.2 に、測定中の作業風景を図 3.3 に示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 9.4%であり、管理濃度は 0.25[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.1 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
1 回目	0.09	0.25	×

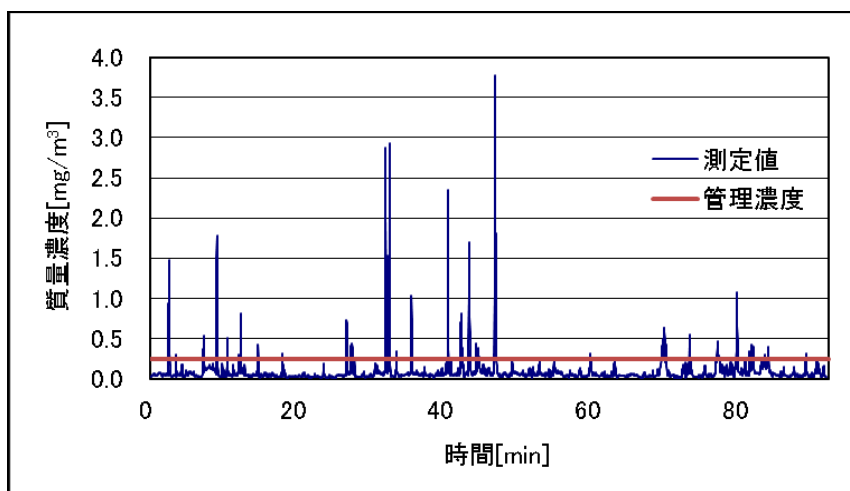


図 3.1 粉じんばく露濃度の変動状況

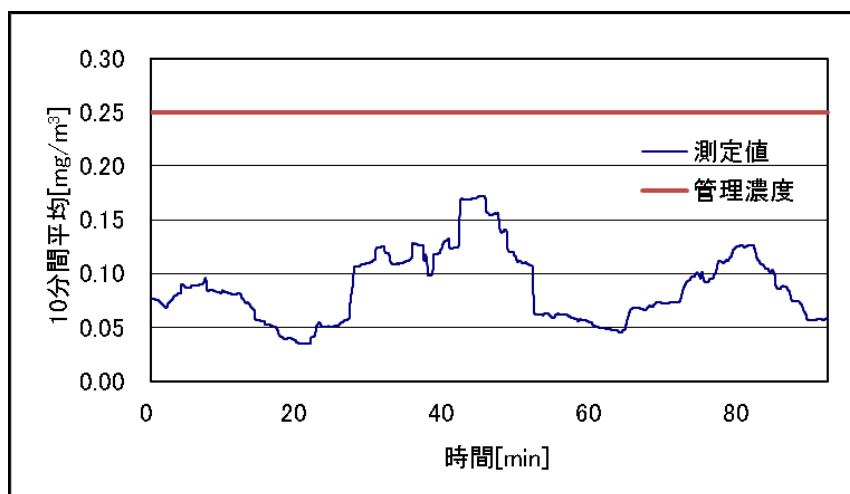


図 3.2 粉じんばく露濃度の変動状況 (10分間移動平均値)



図 3.3 作業状況



### 3.3.2 B社

B社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表3.2に、また粉じんばく露濃度変動のグラフを図3.4に、その10分間移動平均値の変動を図3.5に、測定中の作業状況を図3.6にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は17.3%であり、管理濃度は0.14[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表3.2 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	0.46	0.14	

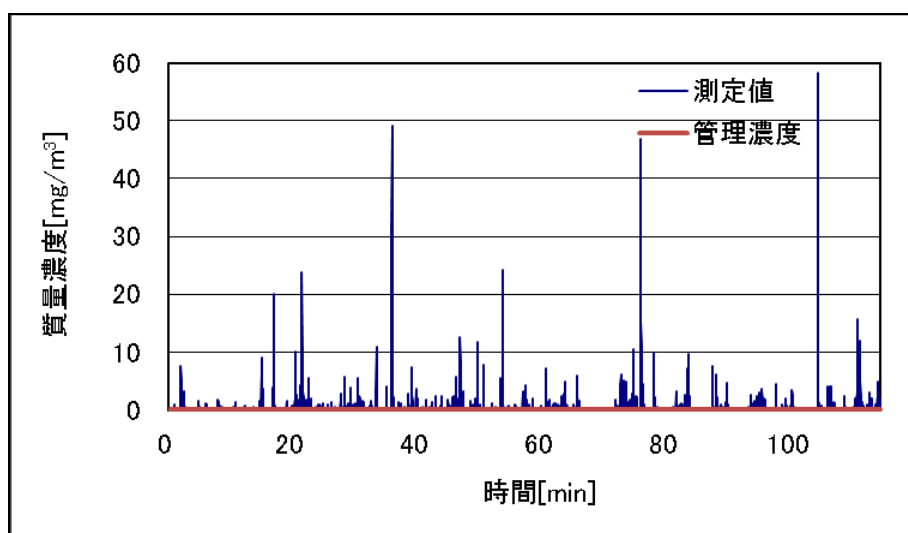


図3.4 粉じんばく露濃度の変動状況

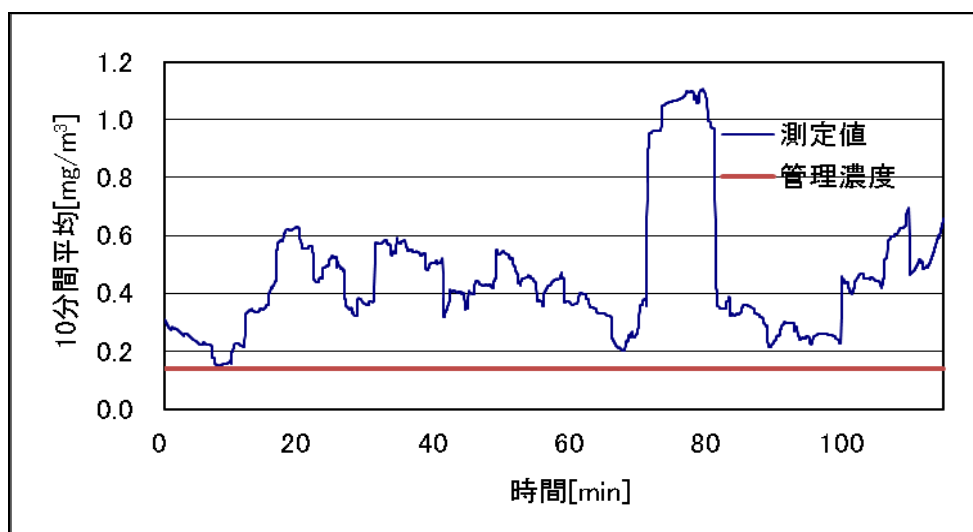


図3.5 粉じんばく露濃度の変動状況(10分間移動平均値)



図 3.6 作業状況

### 3.3.3 C社

C社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.3 に、また、粉じんばく露濃度変動のグラフを図 3.7 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.8 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は 0.90[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.3 粉じんばく露測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	1.00	0.90	

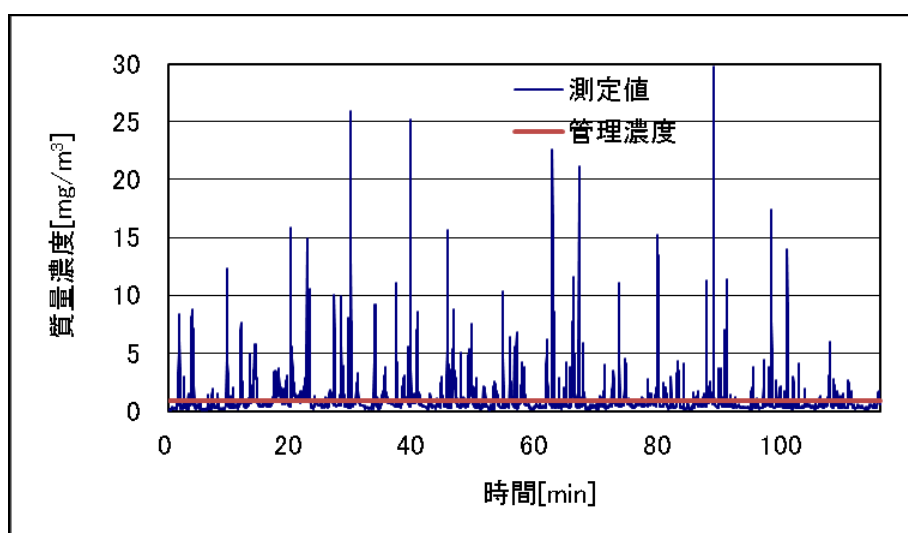


図 3.7 粉じんばく露濃度の変動状況

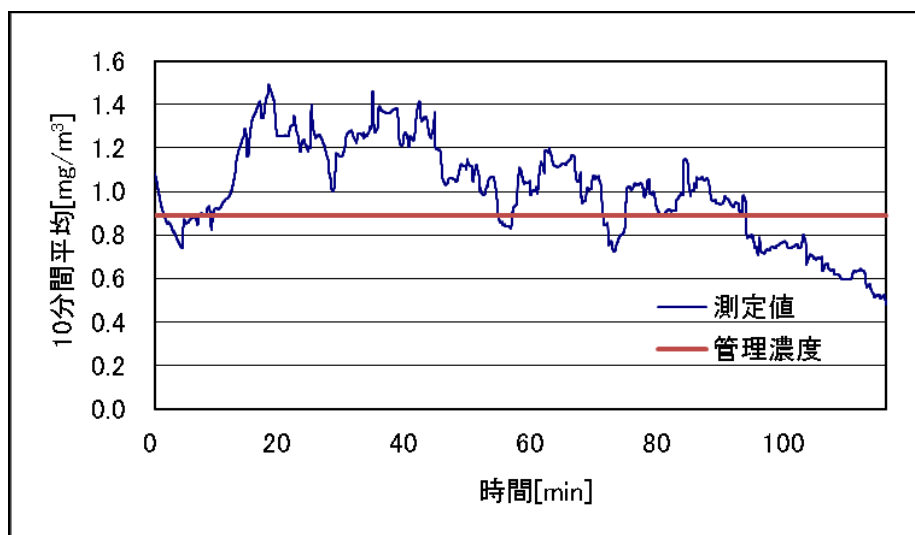


図 3.8 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）

### 3.3.4 D 社

D 社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.4 に、また、粉じんばく露濃度変動のグラフを図 3.9 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.10 に、測定中の作業風景を図 3.11 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は 0.89[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.4 粉じんばく露濃度結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.32	0.89	*

\* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、管理濃度を超えていると判断した

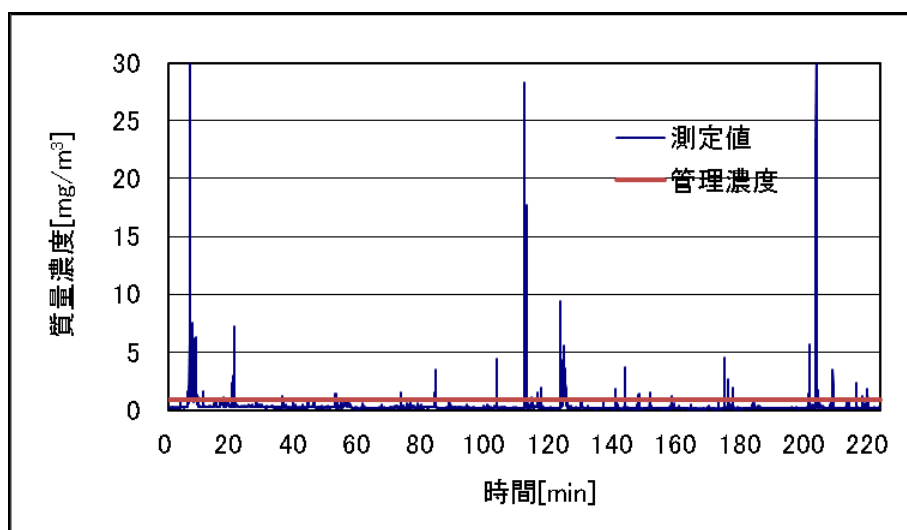


図 3.9 粉じんばく露濃度の変動状況

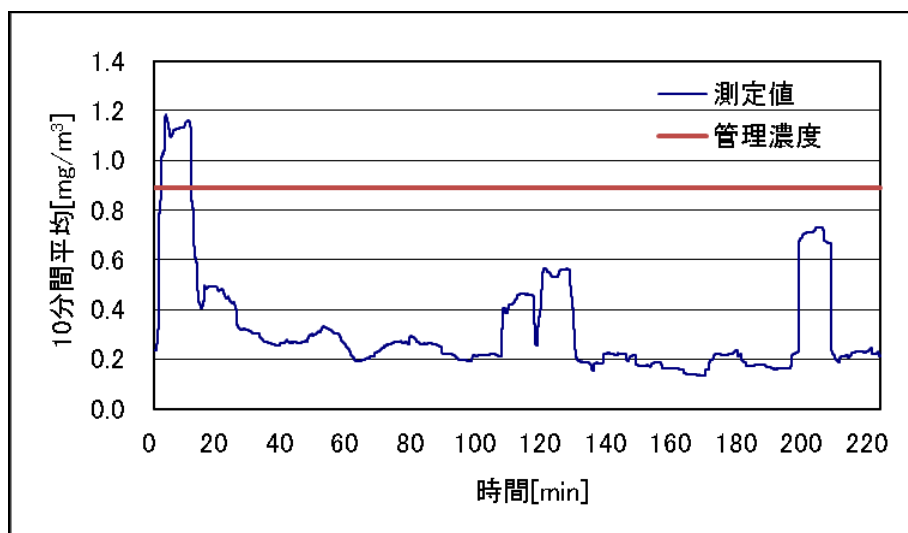


図 3.10 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）



図 3.11 作業状況

### 3.3.5 E 社

E 社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.5 に、また、粉じんばく露濃度変動のグラフを図 3.12 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.13 に、測定中の作業状況を図 3.14 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 3.9%であり、管理濃度は 0.53[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.5 粉じんばく露測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.03	0.53	×

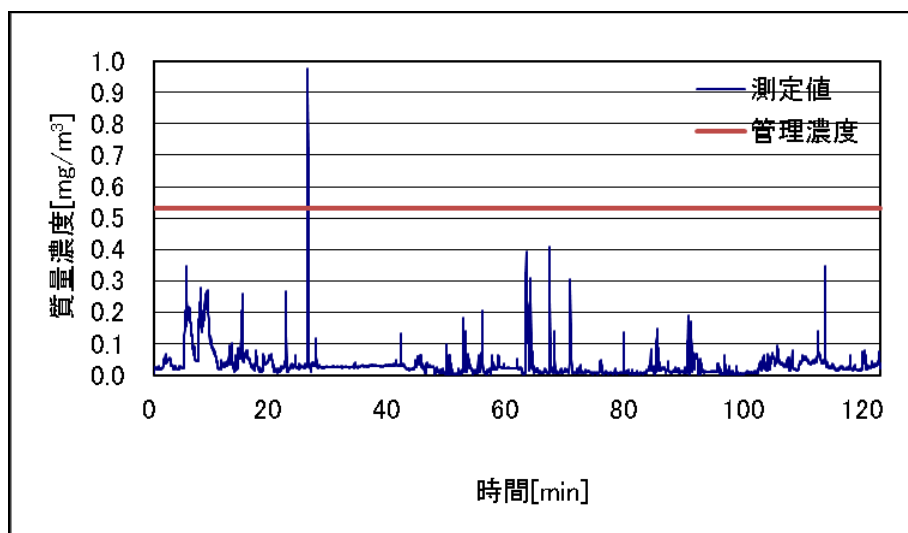


図 3.12 粉じんばく露濃度の変動状況

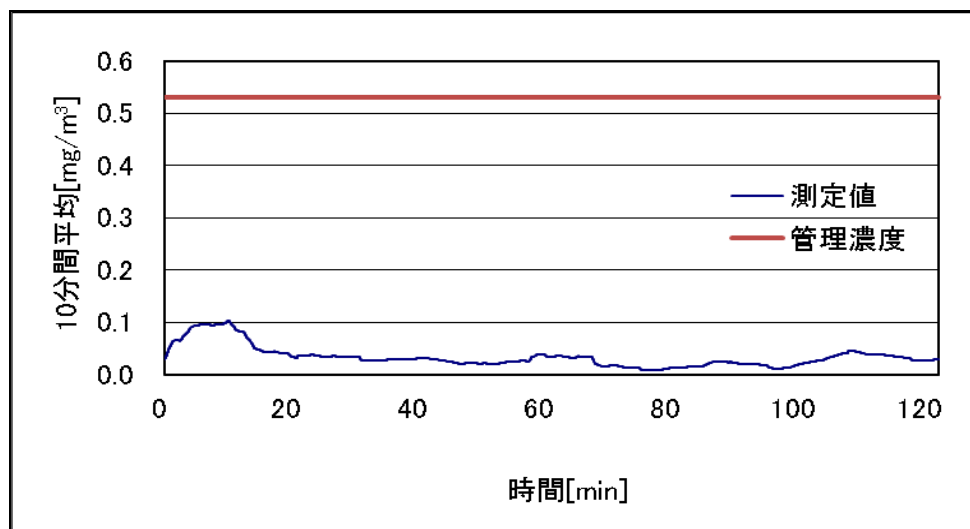


図 3.13 粉じんばく露濃度の変動状況（10分間移動平均値）



図 3.14 作業状況

### 3.3.6 F社

F社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表3.6に、また粉じんばく露濃度変動のグラフを図3.15に、そ10分間移動平均値の変動を図3.16に示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は17.6%であり、管理濃度は0.14[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表3.6 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1回目	0.18	0.14	

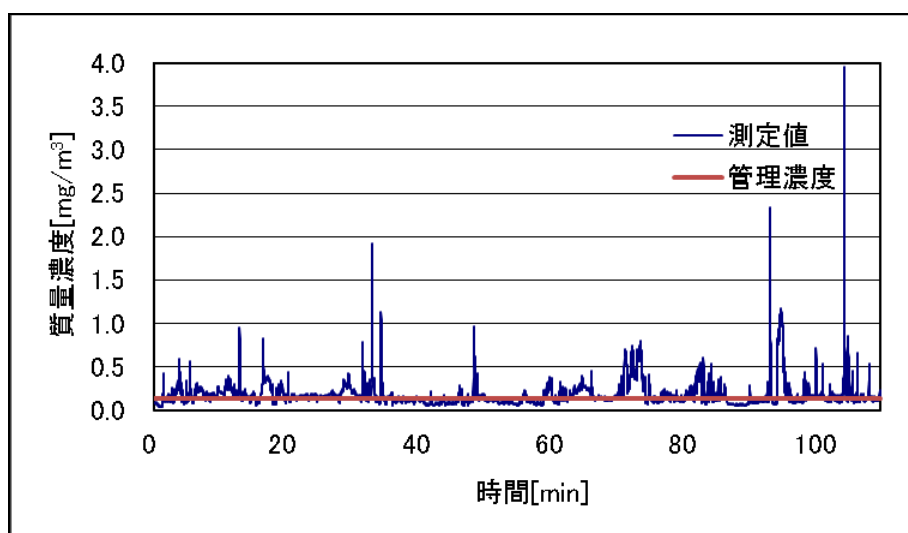


図3.15 粉じんばく露濃度の変動状況

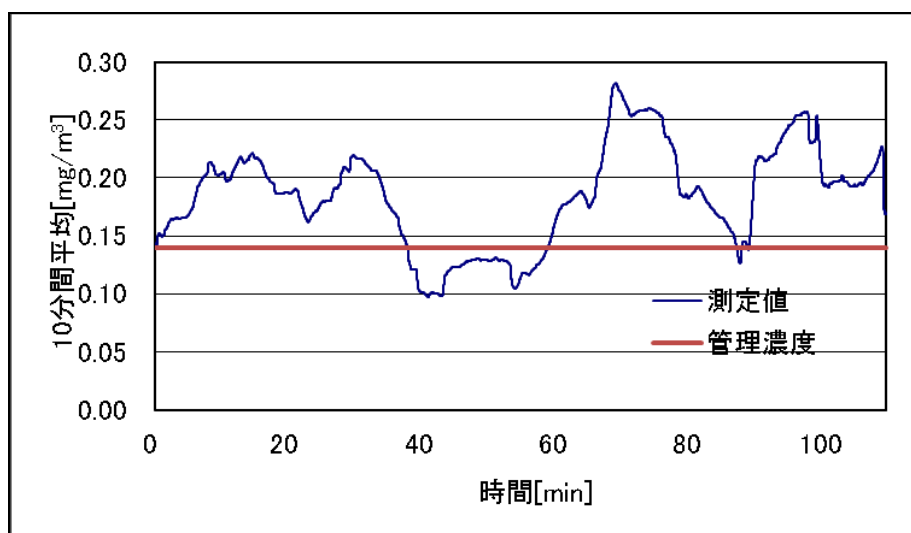


図3.16 粉じんばく露濃度の変動状況(10分間移動平均値)

### 3.3.7 G社

#### (a) 造形作業場

G社(造形作業場)における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表3.7に、また濃

度変動のグラフを図 3.17 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.18 に、測定中の作業状況を図 3.19 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 15.0%であり、管理濃度は 0.16[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.7 粉じんばく露濃度の測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	1.02	0.16	

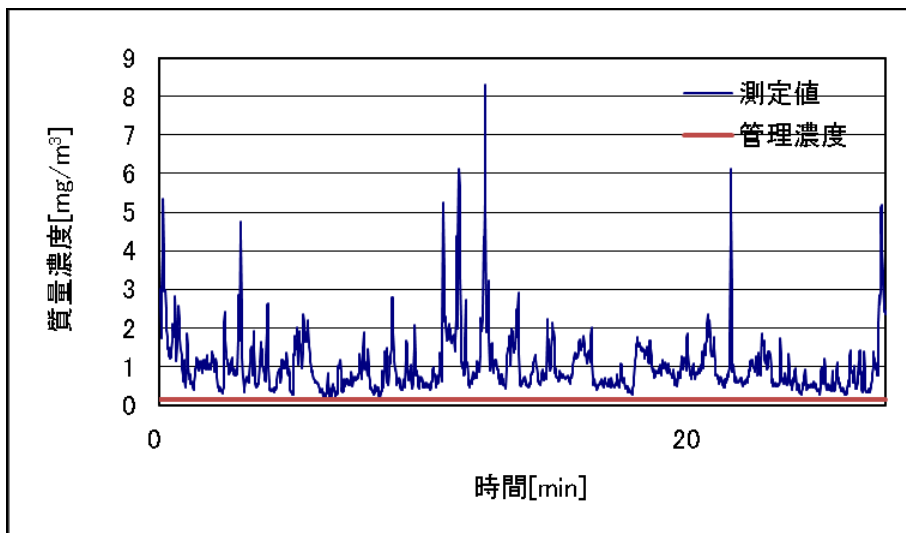


図 3.17 粉じんばく露濃度の変動状況

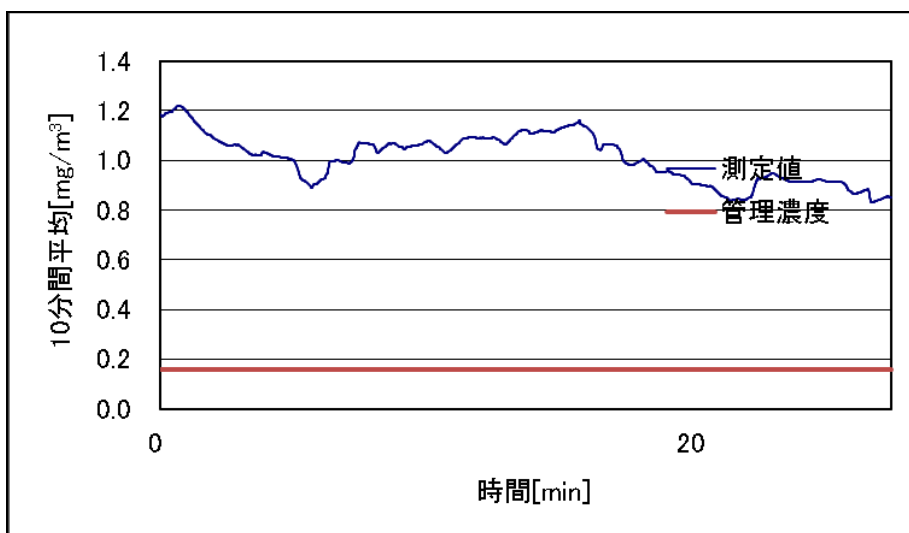


図 3.18 粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値)



図 3.19 作業状況

(b) 溶解作業場

G社（溶解作業場）における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.8 に、またばく露濃度変動のグラフを図 3.20 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.21 に、測定中の作業風景を図 3.22 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 0% であり、管理濃度は 3.0 [mg/m<sup>3</sup>] であった。

表 3.8 粉じんばく露濃度結果

	粉じんばく露濃度 [g/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.04	3.0	×

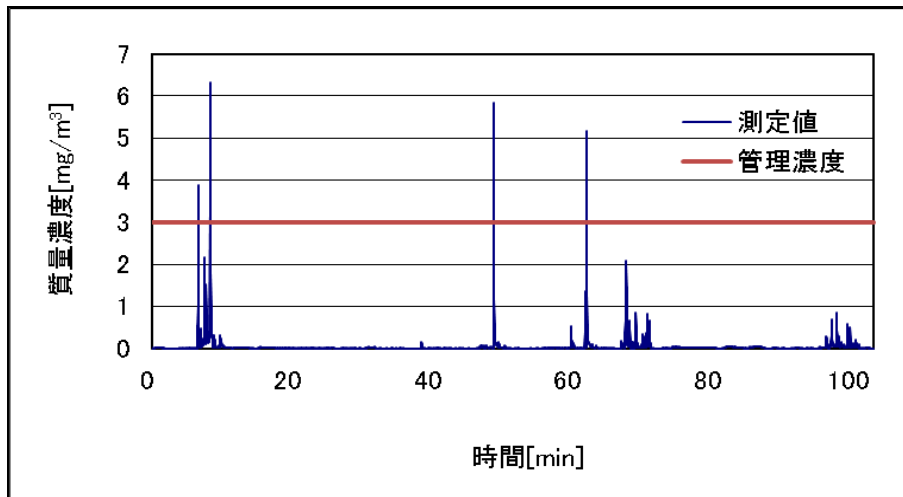


図 3.20 粉じんばく露濃度の変動状況



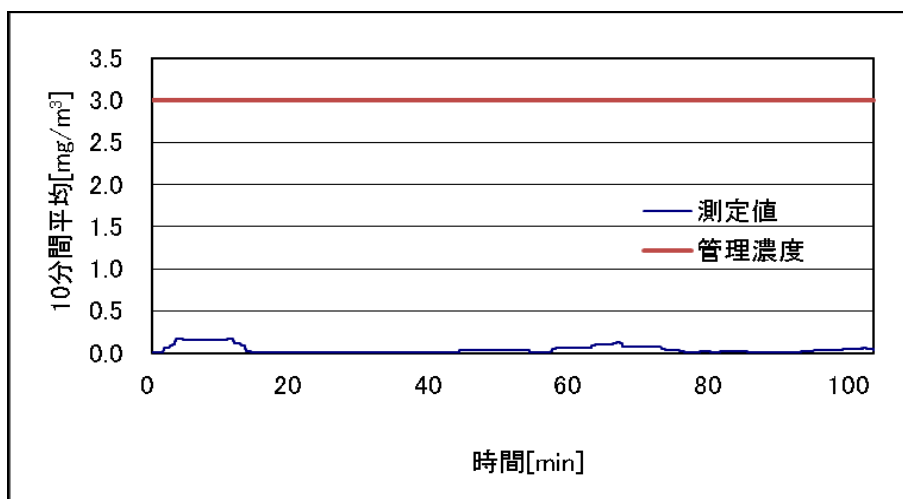


図 3.21 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）



図 3.22 作業状況

### 3.3.8 H社

H社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.9 に、また濃度変動のグラフを図 3.23 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.24 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 11.0%であり、管理濃度は 0.21[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.9 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	0.59	0.21	

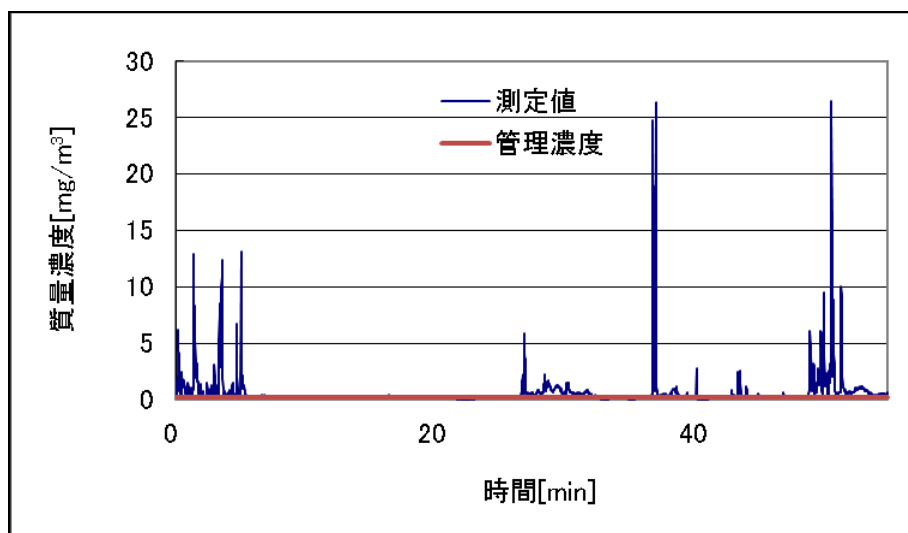


図 3.23 粉じんばく露濃度の変動状況

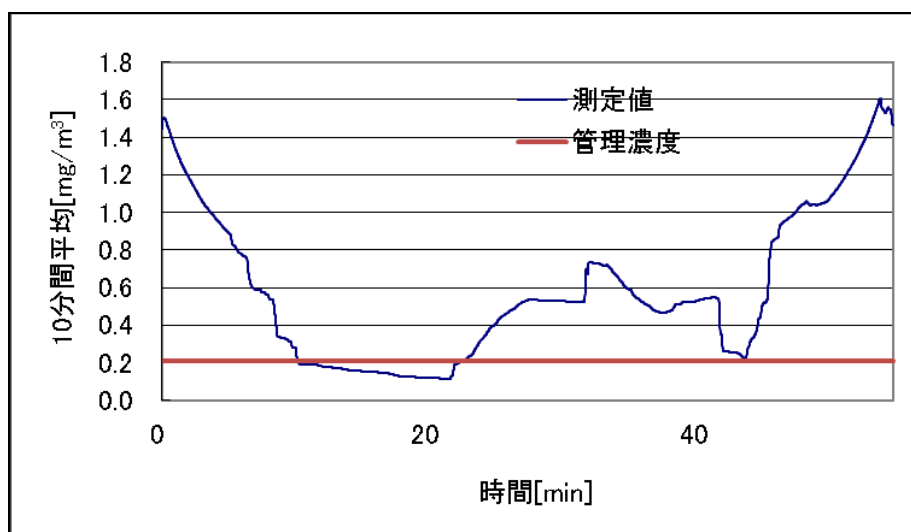


図 3.24 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）

### 3.3.9 I 社

I 社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.10 に、また粉じんばく露濃度変動のグラフを図 3.25 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.26 に、測定中の作業風景を図 3.27 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 14.4%であり、管理濃度は  $0.17[\text{mg}/\text{m}^3]$ であった。

表 3.10 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	1.29	0.17	

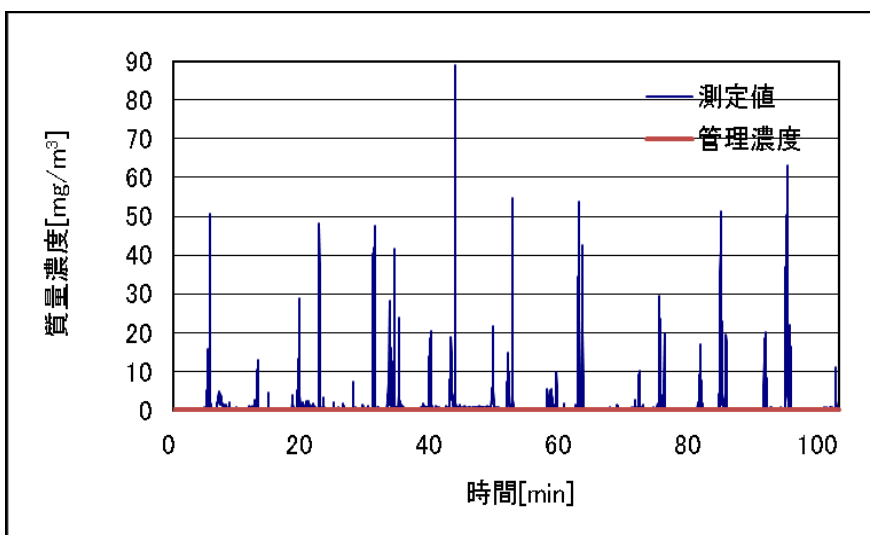


図 3.25 粉じんばく露濃度の変動状況

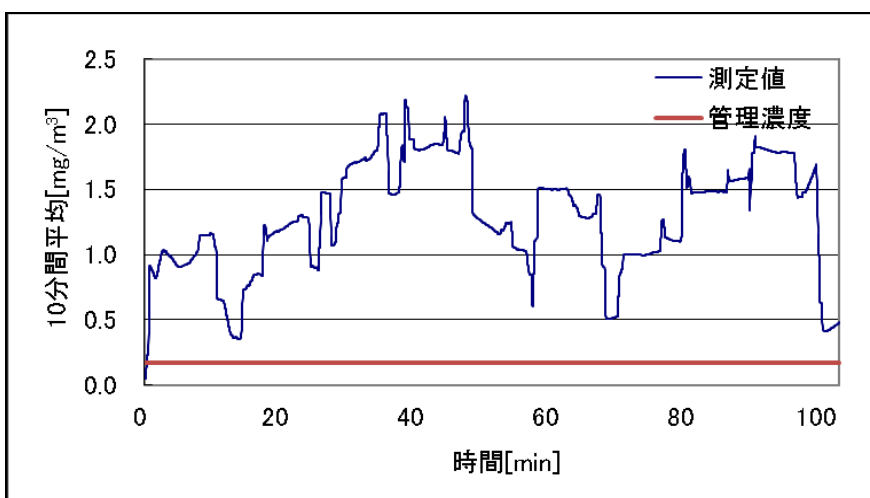


図 3.26 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）

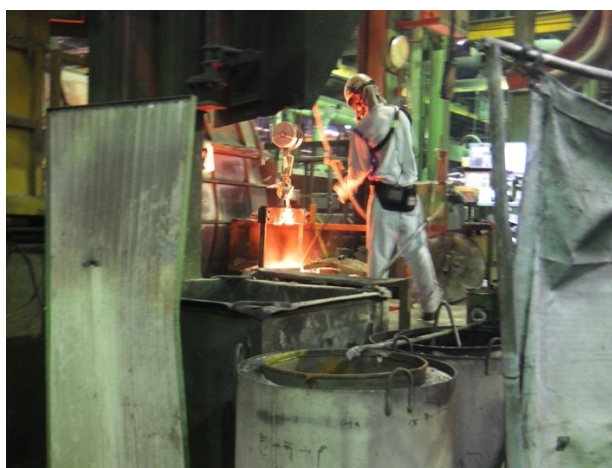


図 3.27 作業状況

### 3.3.10 J社

J社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 3.11 に、また濃度変動のグラフを図 3.28 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 3.29 に、測定中の作業風景を図 3.30 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 13.2%であり、管理濃度は 0.18[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.11 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1 回目	1.05	0.18	

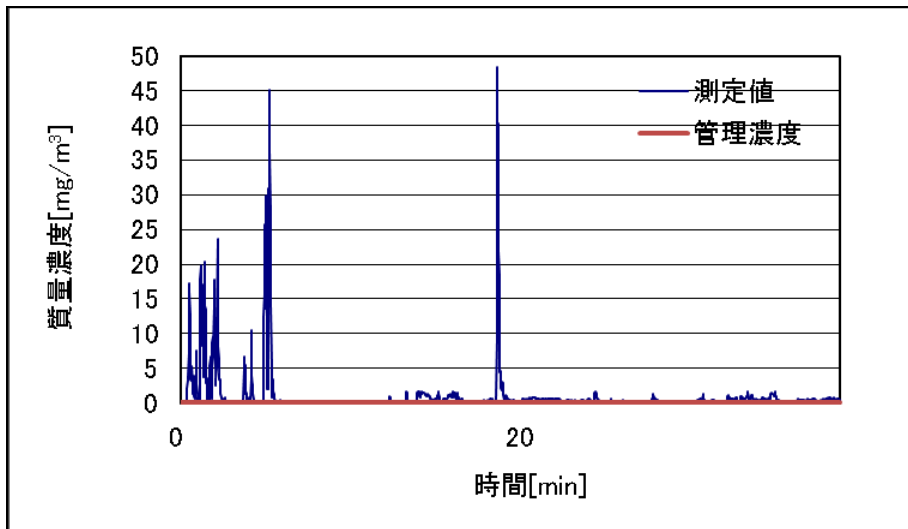


図 3.28 粉じんばく露濃度の変動状況

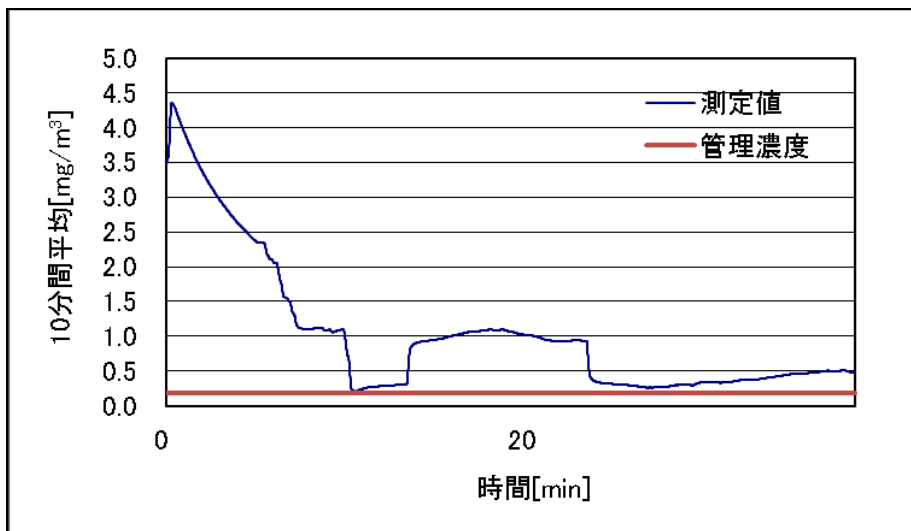


図 3.29 粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値)



図 3.30 作業状況

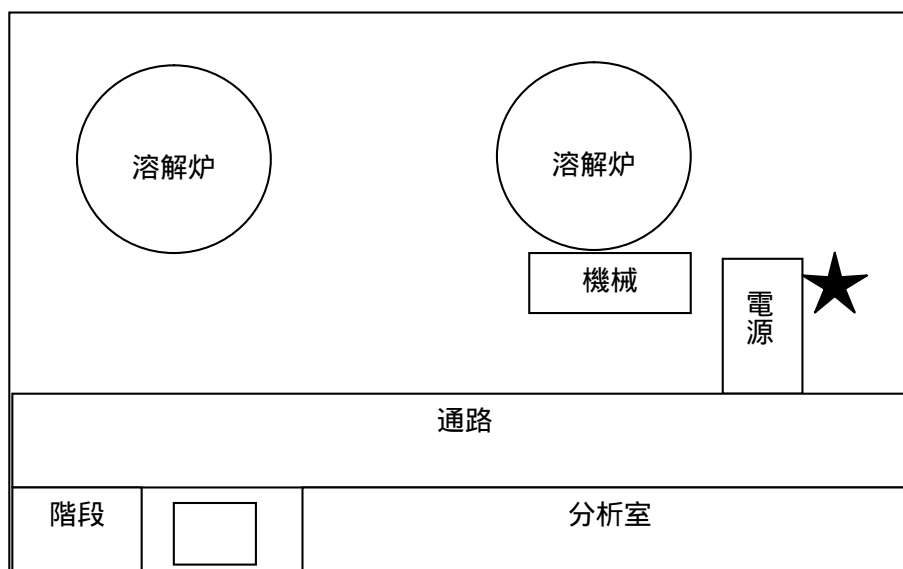
### 3.3.11 K 社

K 社における測定では、作業場周辺に、LD-6N（床からの高さ約 1.8m に設置）ならびに NW-354、LD-5（床からの高さ約 1.2m に設置）を設置し、環境測定も行った。それらの機器の設置場所も記した作業場の概略図を図 3.31 に示す。

作業者の粉じんばく露濃度の測定結果（AM 及び PM）を表 3.12 に、環境測定の結果を表 3.13 に、濃度変動のグラフ及び 10 分間移動平均値の変動を図 3.31～図 3.35 にそれぞれ示す。

また、測定中の作業状況を図 3.36 に示す。

なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 3.1%であり、管理濃度は  $0.64[\text{mg}/\text{m}^3]$ であった。



: LD-5、NW-354 併行測定点 ★ : LD-6N 測定点 : 作業者位置

図 3.31 測定作業場の概略図

表 3.12 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
AM	0.12	0.64	×
PM	0.03	0.64	×

表 3.13 作業環境の粉じん濃度測定結果

	測定時間 [min]	捕集量 [mg]	粉じん濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
AM (LD-6N)	92	0.04	0.17	54	0.0032
AM (NW-354、LD-5)	88	NW-354		LD-5	
		0.21	0.12	87	0.0014
PM (LD-6N)	121	0.04	0.13	57	0.0023
PM (NW-354、LD-5)	119	NW-354		LD-5	
		0.44	0.19	84	0.0022

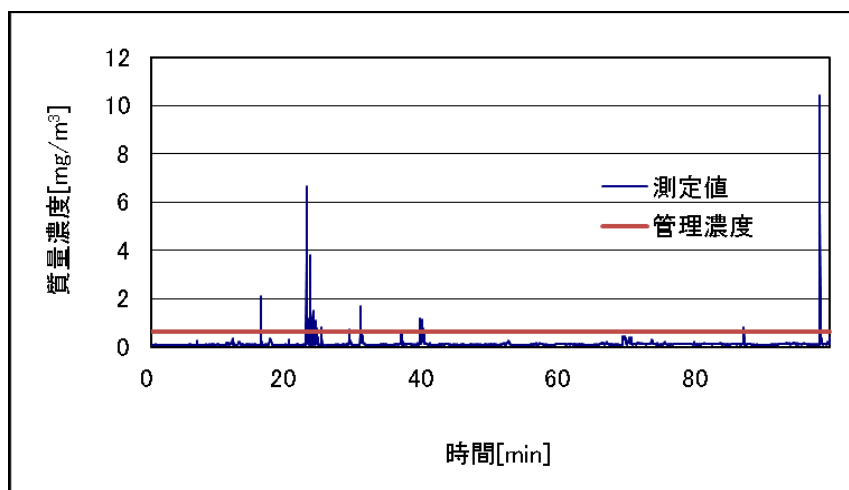


図 3.32 粉じんばく露濃度の変動状況 (AM)

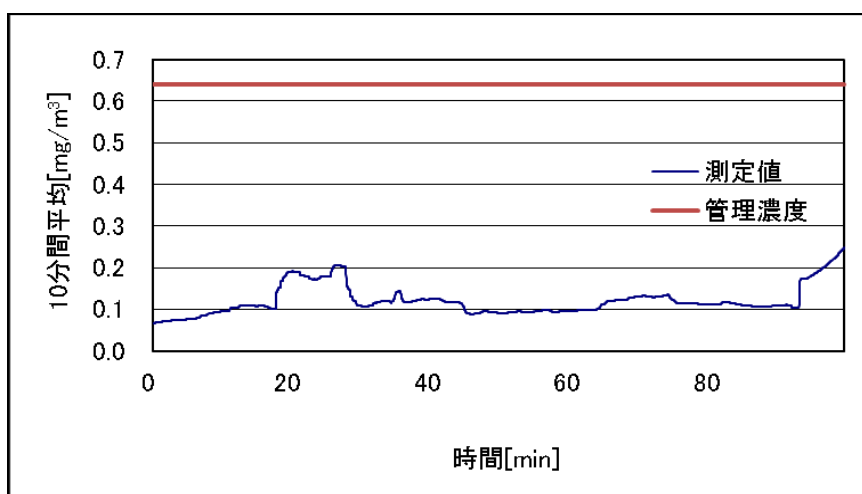


図 3.33 粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値-AM-)

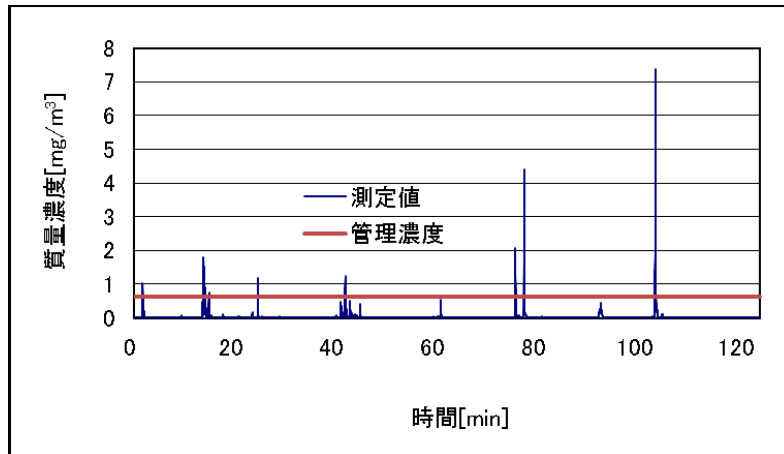


図 3.34 粉じんばく曝露濃度の変動状況 (PM)

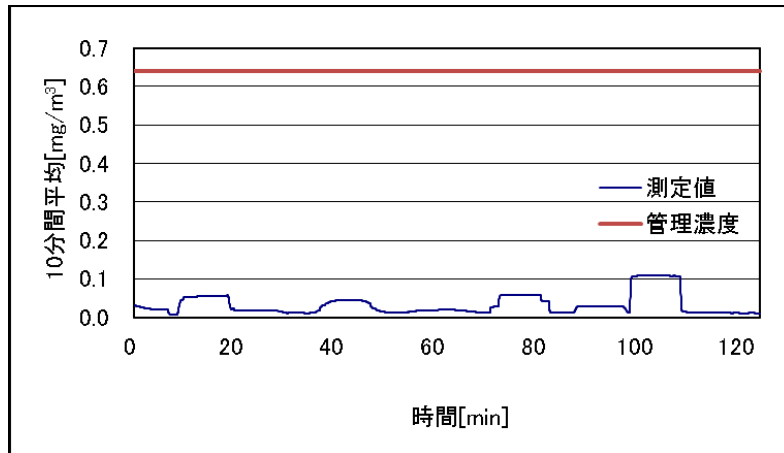


図 3.35 粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値-PM-)



図 3.36 作業風景

### 3.3.12 L 社

L 社における、作業者の粉じんばく露濃度の測定結果 (作業者 1 及び作業者 2) を表 3.14

に、濃度変動のグラフ及び 10 分間移動平均値の変動を図 3.37～図 3.40 にそれぞれ示す。また測定中の作業状況を図 3.41 に示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 2.0%であり、管理濃度は 0.89[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 3.14 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
作業者 1	0.51	0.89	*
作業者 2	1.05	0.89	

\* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、管理濃度を超過していると判断した

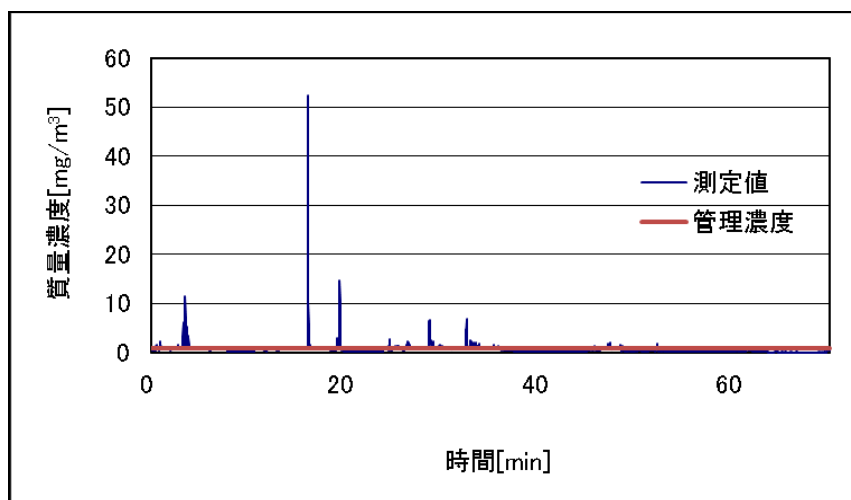


図 3.37 粉じんばく露濃度の変動状況 (作業者 1)

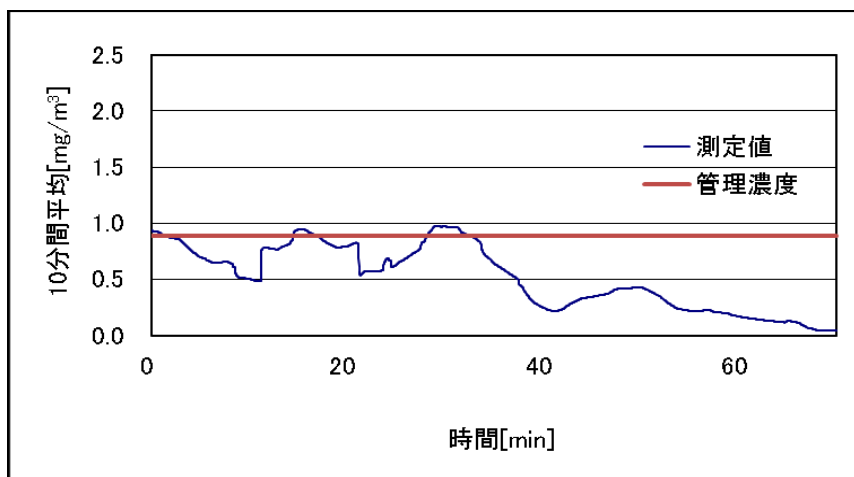


図 3.38 粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値-作業者 1-)



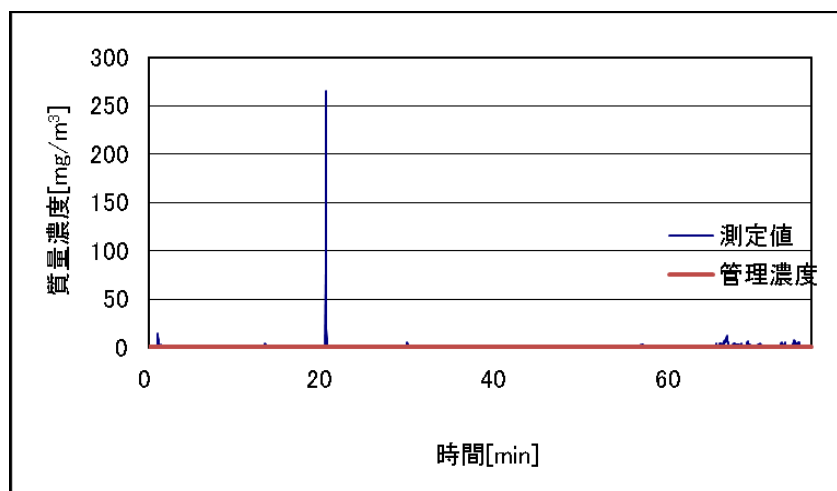


図 3.39 粉じんばく露濃度の変動状況（作業者 2）

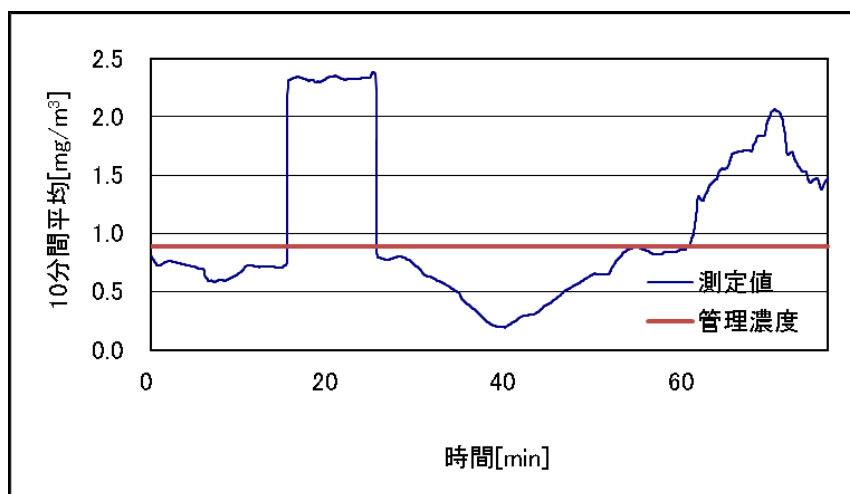


図 3.40 粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値-作業者 2-）



図 3.41 作業状況

### 3.4 まとめ

粉じん濃度測定を行った 12 社の作業場において、粉じんばく露濃度測定を行った 15 名の作業者について、土石又は鉱物等を開放炉に投入する作業等の作業時の粉じんばく露濃度測定結果をまとめて表 3.15 に示す。

表 3.15 粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

事業所		作業者	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
1	A 社	1	0.09	0.25	×
2	B 社	1	0.46	0.14	
3	C 社	1	1.00	0.90	
4	D 社	1	0.32	0.89	*
5	E 社	1	0.03	0.53	×
6	F 社	1	0.18	0.14	
7	G 社	1 (造形作業場)	1.02	0.16	
		1 (溶解作業場)	0.04	3.0	×
8	H 社	1	0.59	0.21	
9	I 社	1	1.29	0.17	
10	J 社	1	1.05	0.18	
11	K 社	1	0.12	0.64	×
		2	0.03	0.64	×
12	L 社	1	0.51	0.89	*
		2	1.05	0.89	

\* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回っているため、管理濃度を超過していると判断した

土石及び鉱物の開放炉への投入作業として、12 事業場で 15 名の作業者の粉じんばく露濃度測定を行った。作業者の作業により粉じんばく露濃度の幾何平均値には差がみられるものの、作業方法によらずほとんどの作業で、ばく濃度が管理濃度を上回った。また、粉じんばく露濃度が管理濃度を下回っていた作業者についても粉じんばく露濃度の 10 分間平均値が管理濃度を上回っている作業者が 2 名いたことが明らかとなった。また、表 3.15 の測定結果をまとめたものを表 3.16 に示す。

表 3.16 土石又は鉱物等を開放炉に投入する作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業内容	粉じんばく露濃度		管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超えの割合	
	幾何平均 [mg/m <sup>3</sup> ] (幾何標準偏差)	濃度範囲			
投入等作業	0.27 (3.76)	0.03~1.29	0.14~3.0	67%	10/15

表 3.16 に示すように 67% (10/15) の作業で管理濃度を超過していた。管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

現在、鋳物工場における別表第 1 第 17 号「金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工

程において、土石又は鉍物を開放炉に投げ入れ、焼結し、湯出しし、又は鑄込みする場所における作業。ただし、転炉から湯出しし、又は金型に鑄込みする場所における作業を除く。」作業は、粉じん則で粉じん作業（別表第1）に指定されているが、特定粉じん作業（別表第2）及び呼吸用保護具を使用する作業（別表第3）には指定されていない。そこで、本研究で現場調査を行い、新たに別表第2又は別表第3のどちらの作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての土石又は鉍石投入作業で管理濃度を超過していることが明らかになったので、粉じん則を改正し、いずれかの別表に指定し、種々の衛生工学的な対策を講じることが適切な措置と考える。

土石又は鉍物等を開放炉に投入する作業等は、金属溶解時に開放炉から金属ヒュームが発生するが、最も粉じんが発生するのは、土石又は鉍物を開放炉等に投げ入れる作業である。土石又は鉍物等を開放炉に投げ入れるのは、溶解金属面に浮いているノロが出湯時に鑄型に入ると鑄物製品の不良になるので、そのノロを出湯前に取り除くために行う作業で、溶融作業工程では約1回の短時間作業である。一般的に開放炉には、キャノピー式フード、上方型外付け式フード及びリングフード等が設置されていることが多いが、中小の鑄物工場で局所排気装置が設置されていない場合が多いと考える。土石又は鉍石投入等作業は、キャノピー式フード、上方型外付け式フード及びリングフード等の局所排気装置を用いた防じん対策が可能な作業と考えられるので、「作業工程、作業の態様、粉じん発生の態様などからみて一定の発生源対策を講ずる必要があり、かつ、有効な発生源対策を講じることができるもの」に該当する「特定粉じん発生源」である別表第2に該当することが適切な作業と考える。しかし、土石又は鉍物を開放炉に投入する作業等は作業工程における短時間作業であること、及び作業者の粉じん曝露濃度が高いこと等を総合的に判断すると、別表第3の呼吸用保護具を使用する作業とすることが適切と考える。

以上のことから、土石又は鉍物等を開放炉に投入する作業は、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第3の作業にすることが適切な措置との結論を平成28年5月に安全衛生部労働衛生課じん肺班に報告する。

## 4. 屋外の鉱物等を動力により破砕する作業における粉じんばく露リスクの調査研究

### 4.1 目的

本測定調査の目的は、別表第1に掲げられた作業（以下、粉じん作業と称す）の中から、今後新たに別表第2及び別表第3に追加すべき可能性のある作業について粉じんばく露リスク調査を行った。

具体的に測定対象とした作業は、別表第1第8号「鉱物等、炭素原料又はアルミニウムはくを動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業（第3号、第15号又は第19号に掲げる作業を除く。）。ただし、水又は油の中で動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業を除く。」（以下、鉱物等破砕作業と略す）の作業のうち、鉱物等を動力により破砕し、粉碎し、又はふるい分ける場所における作業に該当する作業を屋外において手持ち削岩機等を用いて鉱物等の小割りする作業を調査対象とした。

本現場調査ではこれらについて粉じんばく露リスクの調査を行い、呼吸用保護具を使用すべき作業へ改正する必要があるかどうかを検討した。

### 4.2 調査対象現場の現状

従来は砕石場等で大きな岩石を手持ちの破砕機で小さく砕いて、クラッシャー等に投入していたが、現在は大型重機の発展や大型クラッシャーの導入で、こうした作業が行われなくなってきたのが現状である。

こうした作業は、現在石材加工場などで、大きな鉱石（花崗岩）等を墓石や外壁等の目的に応じた小さな鉱石にするために小割り作業として残っているのが現状である。

ただ、小割り作業も海外からの鉱石等の輸入に伴い目的に合ったサイズに加工されて輸入されるため、一般に、鉱石の山を持ち、自前で小割するごく限られた石材場、例えば、高松の庵治地区、茨木の真壁地区等で行われている。

そのため測定可能環境が少なく、小割り作業を行う事業所も従業員3、4名の小規模事業場のためなかなか事業場からの測定の許可が得られにくい現状のため、やっと2事業所で測定行うことが出来た。

### 4.3 調査方法

#### 4.3.1 調査対象の作業および事業場

測定対象とした作業は、鉱物等破砕作業のうち、石材事業場の屋外における手持ち削岩機で岩石小割りして土木工事用の組石を作る作業と大きな石材を墓石のサイズに小割りする作業である。

調査は以下の2つの事業場において行った

A社（石材業）

B社（石材業）

#### 4.3.2 測定方法

対象作業によって発生する粉じんについて、作業者の曝露濃度を測定した。曝露濃度測定は LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。測定時間は作業の進行に応じておよそ 10 分～1 時間程度を目安とした。その装着状況を図 3.1 に示す。



図 3.1 LD-6N デジタル粉じん計の装着状況

#### 4.3.3 評価方法

評価方法は、ばく露濃度と管理濃度との比較で判断した。つまり、ばく露濃度が管理濃度を超えていれば、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断し、管理濃度以下であれば、呼吸用保護具を着用する必要のない作業と判断する。また、作業時の粉じんばく露濃度の幾何平均値が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が管理濃度を超えている可能性も考えられる。そこで、粉じんばく露濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、測定時に 10 分間移動平均値が管理濃度を超える時間帯があった場合は、管理濃度を超えていると評価することとした。ここで、10 分間移動平均値とは、ある時刻の前 5 分、後 5 分の計 10 分間の平均濃度を瞬間ごとに求めた値である。10 分間移動平均値を示した図の 1 測定点は、10 分間の平均濃度を示す。

### 4.4 調査結果

#### 4.4.1 A 社

作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 4.1 に、また作業者の粉じんばく露濃度変動状況を図 4.1 に、その 10 分間移動平均値の変動状況を図 4.2 に、作業者の粉じんばく露濃度変動状況を図 4.3 に、その 10 分間移動平均値の変動状況を図 4.4 にそれぞれ示す。測定中の小割り作業風景を図 4.5、図 4.6 及び図 4.7 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 11.8%であり、管理濃度は  $0.20\text{mg}/\text{m}^3$  であった。

表 4.1 A 社の粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
作業者	1.06	0.20	
作業者	0.62	0.20	

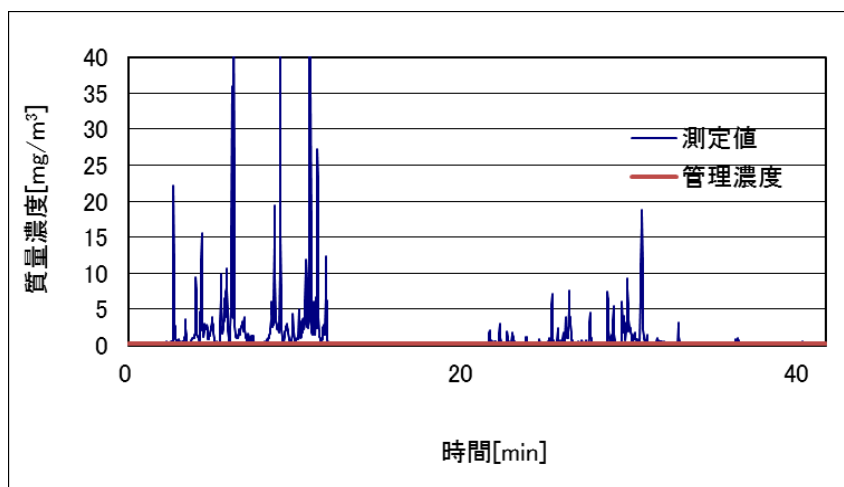


図 4.1 作業者のばく露濃度変動状況

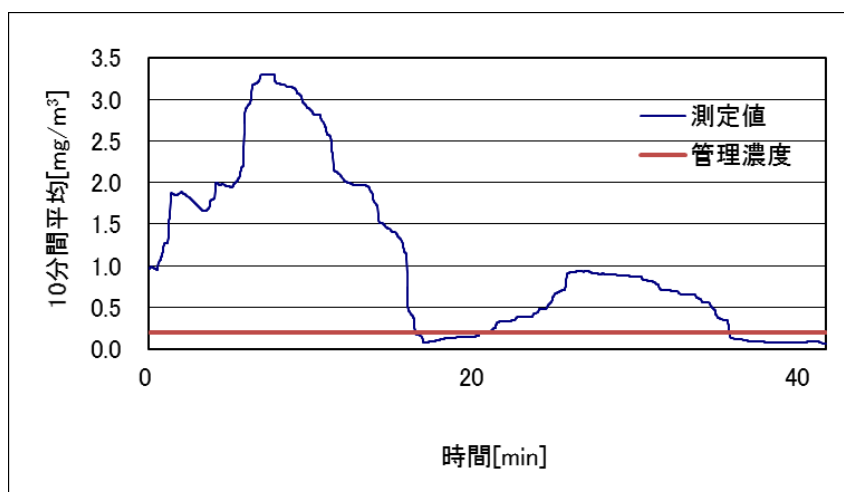


図 4.2 作業者のばく露濃度変動状況 (10 分間移動平均値)

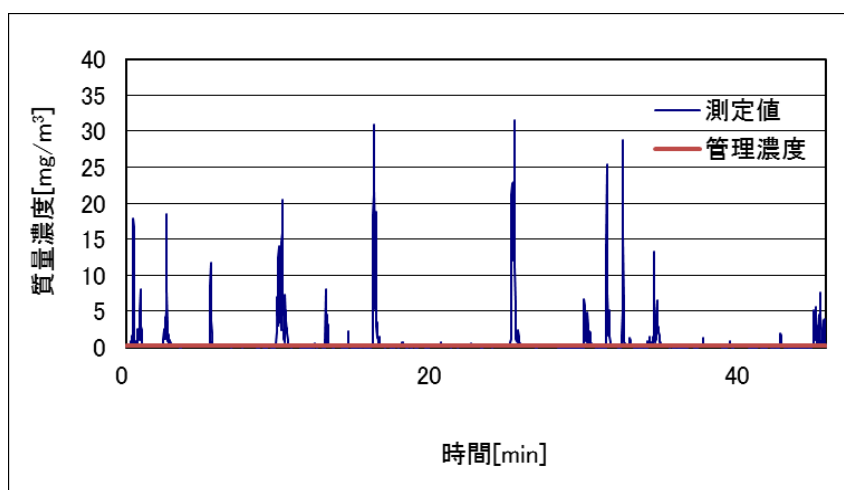


図 4.3 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

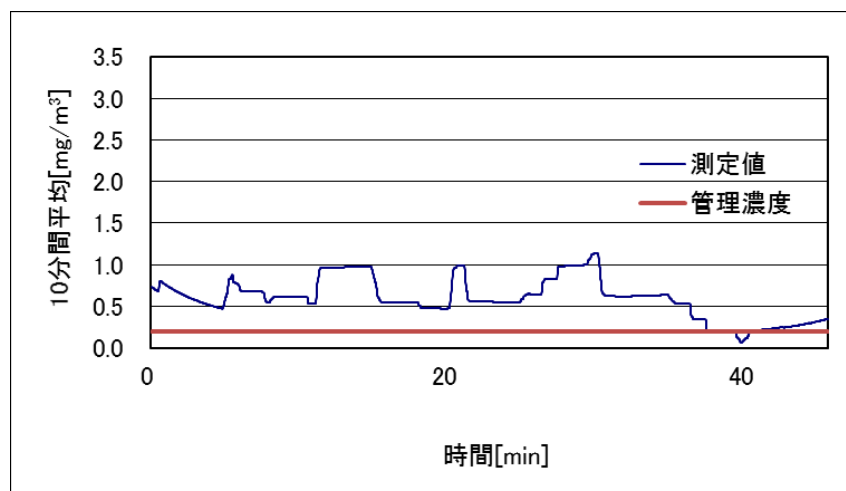


図 4.4 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）



図 4.5 小割り作業状況（その 1）



図 4.6 小割り作業状況（その 2）



図 4.7 作業場全体の作業風景（その 3）

表 4.1 から、作業者、作業者の測定とも、粉じんばく露濃度は管理濃度を超えていた。また図 4.2 及び図 4.4 から、10 分間移動平均値についても測定時間の大半において管理濃度の水準を超えていた。作業中の姿勢は立位が多いようであり作業者の呼吸域は発じん源から比較的離れており、風向きや風速によっては粉じん濃度を低減させる影響も考えられるが、それ以上に発じん量が多いため、粉じんばく露濃度が上昇していたと考えられる。

#### 4.4.2 B社

作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 4.2 に、また作業者の粉じんばく露濃度の濃度変動状況を図 4.8 に、その 10 分間移動平均値の変動状況を図 4.9 にそれぞれ示す。測定中の作業風景を図 4.10 及び図 4.11 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 33.2%であり、管理濃度は  $0.07\text{mg}/\text{m}^3$  であった。

表 4.2 B社の粉じんばく露測定結果

	粉じんばく露濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	管理濃度超え (超えれば)
作業者	5.59	0.07	

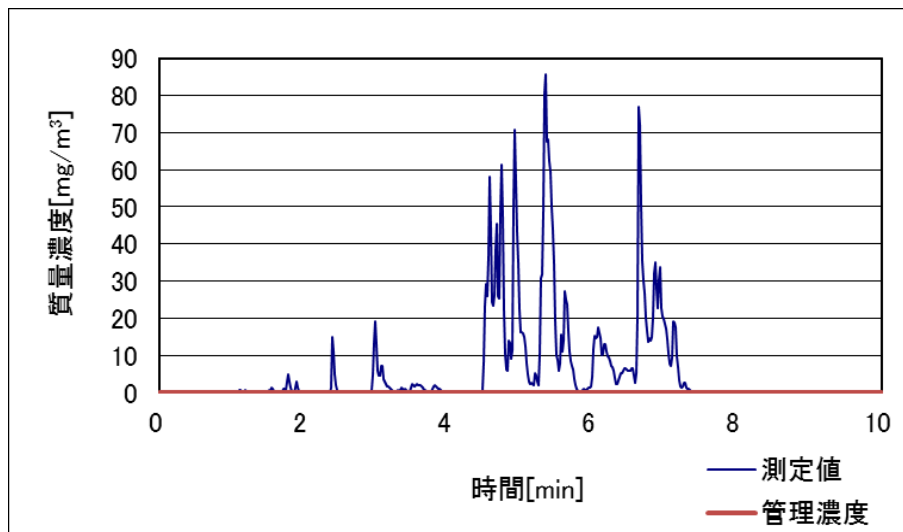


図 4.8 作業者の粉じんばく露濃度の変動状況

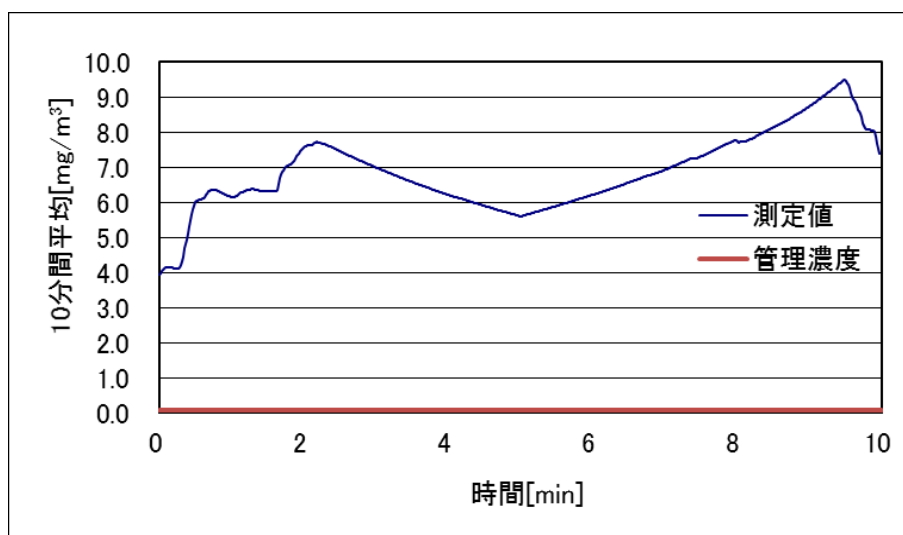


図 4.9 作業者の粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値)





図 4.10 小割り作業状況（その1）



図 4.11 小割り作業状況（その2）

表 4.2 から粉じんばく露濃度は管理濃度を超えていた。また図 4.8 および図 4.9 から、10 分間移動平均値についても測定時間の全てにおいて管理濃度の水準を超えていた。

破碎作業において開始当初は図 4.10 に見られるように写真に向かって右向きを向いて作業を行っていたが開始 4 分頃以降から向きを反転し図 4.11 に見られるように写真に向かって左向きで作業を行っていた。現場の風は作業時間中ずっと写真に向かって右から左に向かう形で吹いており、ドリルの向きから粉じんは常に作業者の後ろ向きに発生していた。

図 4.8 を見ると瞬間の粉じんばく露濃度にも開始 4 分以降に顕著な傾向が見られた。これは 4 分後以降作業者の立ち位置と風向の関係から発生した粉じんに多くばく露した為と考えられる。

#### 4.5 結論

2 作業場所の測定結果をまとめて表 4.3 に示す。また、鉱物等破砕作業の粉じんばく露濃度測定の結果をまとめて表 4.4 に示す。

表 4.3 鉱物等破砕作業の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業場所	作業者	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
A 社		1.06	0.20	
		0.62	0.20	
B 社		5.59	0.07	

表 4.4 鉱物等破砕作業の粉じんばく露濃度測定の結果

ばく露濃度		管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 超えの割合	
幾何平均 [mg/m <sup>3</sup> ] (幾何標準偏差)	濃度範囲		100%	3/3
1.54 (15.7)	0.62~5.59	0.07~0.20	100%	3/3

今後新たに粉じん則の別表第 2 及び別表第 3 のいずれかに追加すべき可能性のある作業として、別表第 1 第 8 号に定められた「鉱物等破砕作業のうち石材事業場において屋外で行われている手持ち削岩機を用いた鉱石の小割り作業」について、粉じんばく露濃度測定を行った。その結果、表 5.2 に示すように屋外の鉱物等破砕作業は、2 作業場 3 名の作業者の粉じんばく露濃度測定結果において、測定した全ての作業者のばく露濃度について管理濃度を超えていた。また外付け式フード等の局所排気装置を用いた防じん対策は容易ではないと考えられることから、呼吸用保護具を着用することを義務付けた粉じん則別表第 3 に列挙される作業にすることが適切な措置と考えられる。

本調査測定では、2 作業場 3 名の作業者と測定数は少ないが、こうした石材等の小割り作業は、日本においてもまだ存在し、現在でも小割り作業を行っている作業者が少なからず存在し、本調査と同じ様な粉じん曝露濃度にさらされている可能性はあると想像されるので、この屋外において鉱石を動力により破砕する作業は別表 3 に組み入れる粉じん則の改正が必要と考える。

以上のことから、屋外において手持ち削岩機等を用いて鉱物等の小割りする作業は、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置との結論を平成 28 年 5 月に安全衛生部労働衛生課じん肺班に報告する。

## 5 . 船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスクの調査研究

### 5.1 目的

現在、「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業の有無について調査し、ある場合には、その作業における粉じんばく露リスクの調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討する。具体的には、船倉内の荷役作業終了後の清掃作業である。

そこで、現在粉じん作業に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業として、船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスク調査を行った。

本章ではこの作業における粉じんばく露リスクの調査を行い、呼吸用保護具を使用すべき作業へ改正する必要があるかどうかを検討した。

### 5.2 調査方法

#### 5.2.1 調査対象の作業および事業場

測定対象とした作業は、岩石、鉍石専用運搬船の船底で岩石、鉍物をスコップ、箒によって掻き出し、掃き寄せる作業及び積荷として大豆粕を運搬してきた運搬船の船底で大豆粕をアンローダーで陸揚げした後、スコップや竹箒等で清掃する作業である。

調査は以下の4事業所で行った。

A社（積荷：岩石）

B社（積荷：岩石）

C社（積荷：鉄鉍石）

D社（積荷：大豆粕）

#### 5.2.2 測定方法

対象作業によって発生する粉じんについて、作業者のばく露濃度を測定した。ばく露濃度測定は LD-6N デジタル粉じん計の検出部を作業者の右肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。測定時間は作業の進行に応じておよそ10分～2時間程度を目安とした。その装着状況を図2.1に示す。



図 2.1 LD-6N デジタル粉じん計の装着状況

### 5.2.3 評価方法

評価方法は、ばく露濃度と管理濃度との比較で判断した。つまり、ばく露濃度が管理濃度を超えていれば、有効な呼吸用保護具を着用する必要がある作業と判断し、管理濃度以下であれば、呼吸用保護具を着用する必要のない作業と判断する。また、作業時の粉じんばく露濃度が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が管理濃度を超えている可能性も考えられる。そこで、粉じんばく露濃度と管理濃度との比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、測定時に 10 分間移動平均値が管理濃度を超える時間帯があった場合は、管理濃度を超えていると評価することとした。ここで、10 分間移動平均値とは、ある時刻の前 5 分、後 5 分の計 10 分間の平均濃度を瞬間ごとに求めた値である。10 分間移動平均値を示した図の 1 測定点は、10 分間の平均濃度を示す。

## 5.3 粉じんばく露濃度調査結果

### 5.3.1 A 社

測定対象の船は 1000t の砕石専用船で、積荷は砕石である。作業は 7~8m×5~6m、深さ 3~4m の船倉で行われ、作業員 1 人について測定を行った。作業員の粉じんばく露濃度の測定結果を表 5.1 に、また粉じん濃度変動状況を図 5.1 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 5.2 に、測定中の作業状況を図 5.3 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 33.8%であり、管理濃度は 0.07[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 5.1 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度[mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば )
作業員	0.80	0.07	

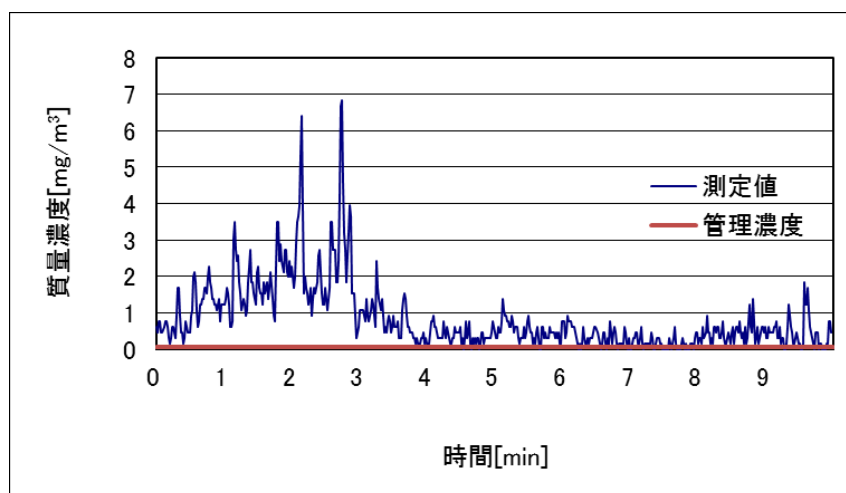


図 5.1 作業員の粉じんばく露濃度変動状況

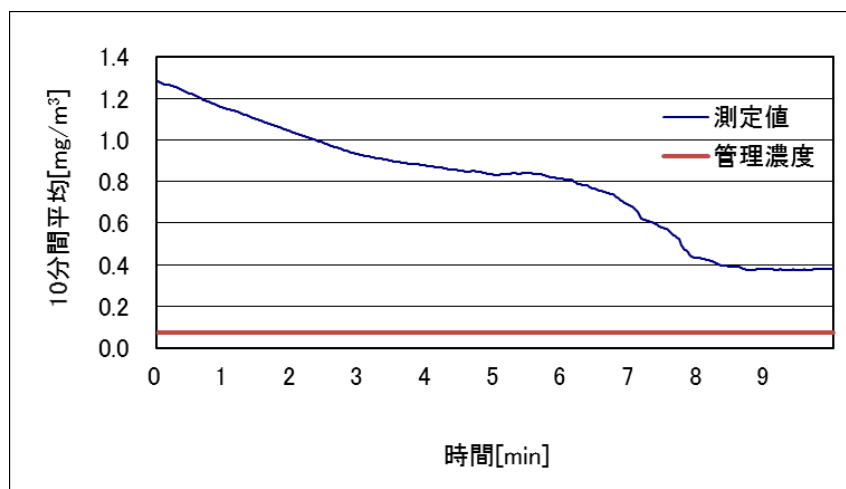


図 5.2 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）



図 5.3 船底での清掃作業状況

### 5.3.2 B 社

測定対象の船は 1000t の砕石専用船で、積荷は砕石である。作業は 3～4m×5～6m、深さ 5m の船倉で行われ、3 人の作業者について測定を行った。作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 5.2 に示す。また、作業者の粉じんばく露濃度の変動状況を図 5.4 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 5.5 に、作業者の粉じんばく露濃度の変動状況を図 5.6 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 5.7 に、作業者の粉じんばく露濃度の変動状況を図 5.8 に、その 10 分間移動平均値の変動を図 5.9 にそれぞれ示す。測定中の作業状況を図 5.10 及び図 5.11 にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は 33.8%であり、管理濃度は 0.07[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 5.2 粉じんばく露濃度測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度[mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
作業者	1.10	0.07	
作業者	0.32	0.07	
作業者	0.20	0.07	

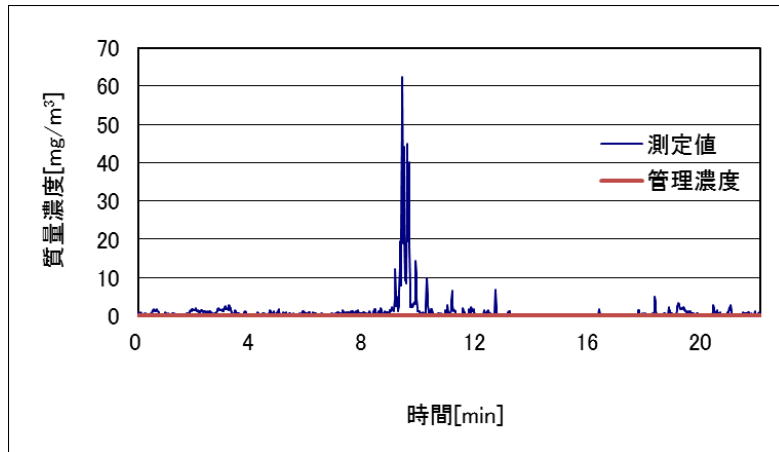


図 5.4 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

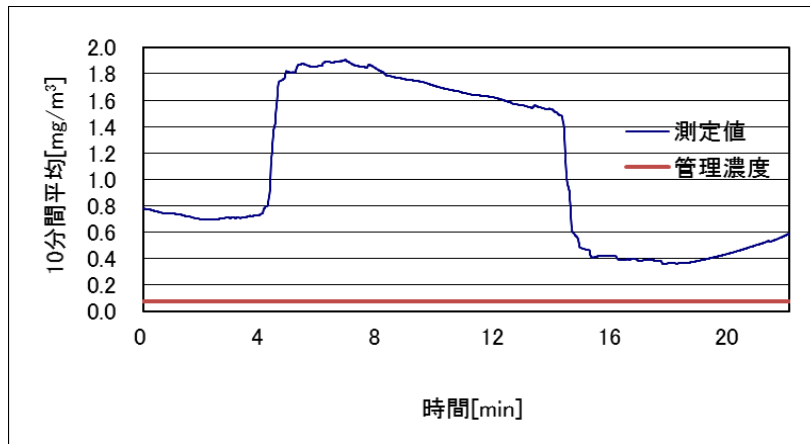


図 5.5 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10分間移動平均値）

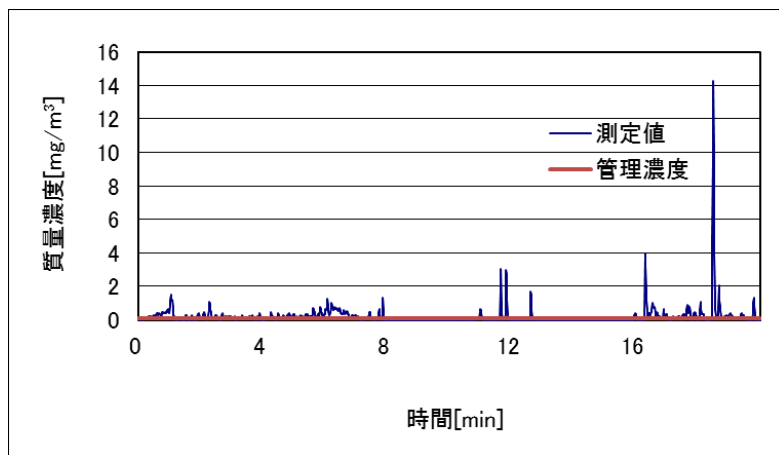


図 5.6 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

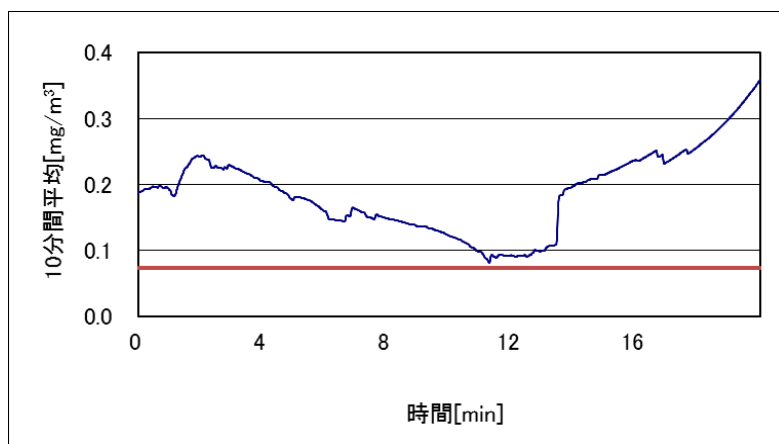


図 5.7 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）

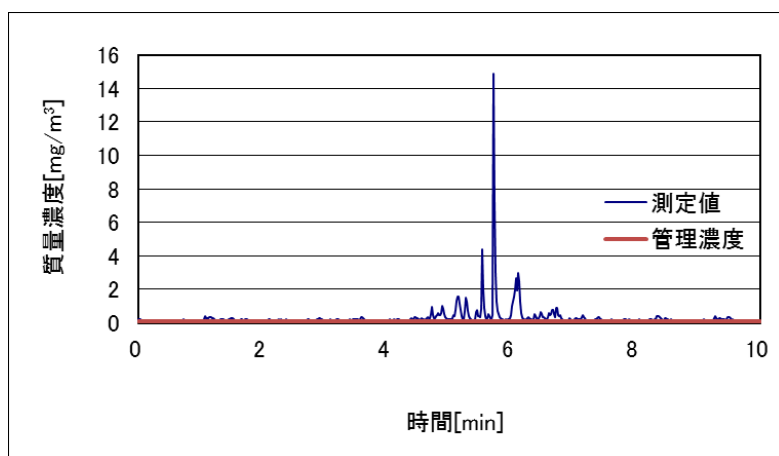


図 5.8 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

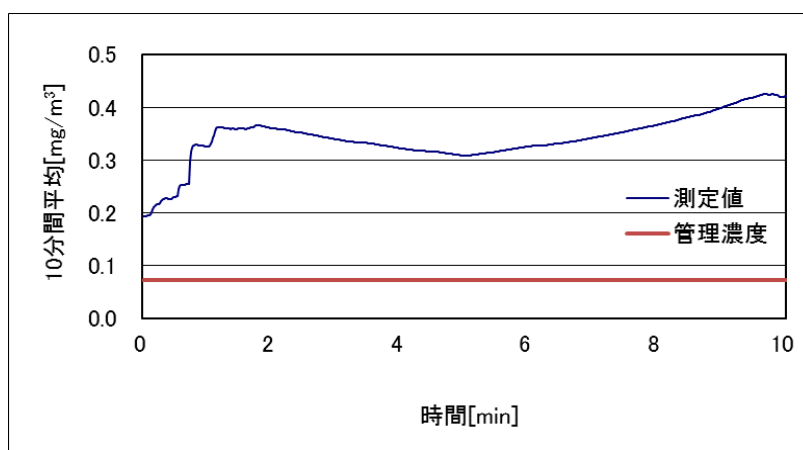


図 5.9 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）





図 5.10 船底での清掃作業状況（その1）



図 5.11 船底での清掃作業状況（その2）

### 5.3.3 C社

測定対象の船は20万tの鉱石運搬専用船で、積荷は鉄鋼原材料である。作業は15m×30m、深さ20mの船倉で行われ、5人の作業者について測定を行った。作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表5.3に示す。また粉じんばく露濃度変動状況及び粉じんばく露濃度変動状況の10分間移動平均値の変動状況を図5.12～図5.21にそれぞれ示す。測定中の作業者の清掃作業状況を図5.22及び図5.23にそれぞれ示す。なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は4.1%であり、管理濃度は0.51[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 5.3 粉じんばく露測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度[mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
作業者	0.31	0.51	*
作業者	0.66	0.51	
作業者	0.06	0.51	×
作業者	0.98	0.51	
作業者	0.39	0.51	*

\*：10分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、管理濃度を超えていると判断した。



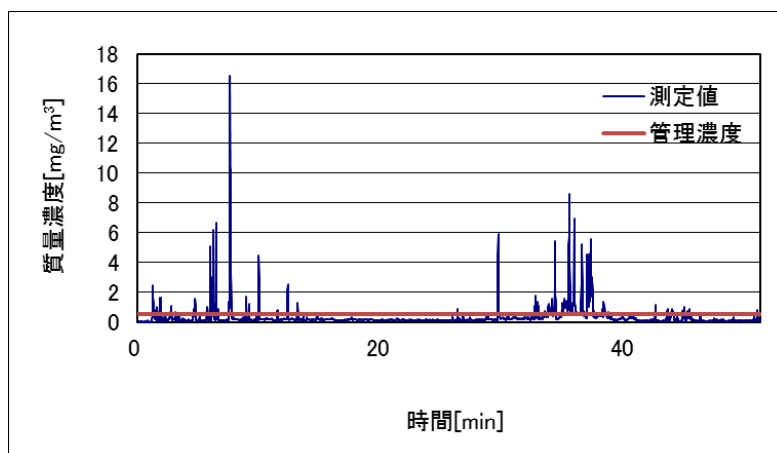


図 5.12 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

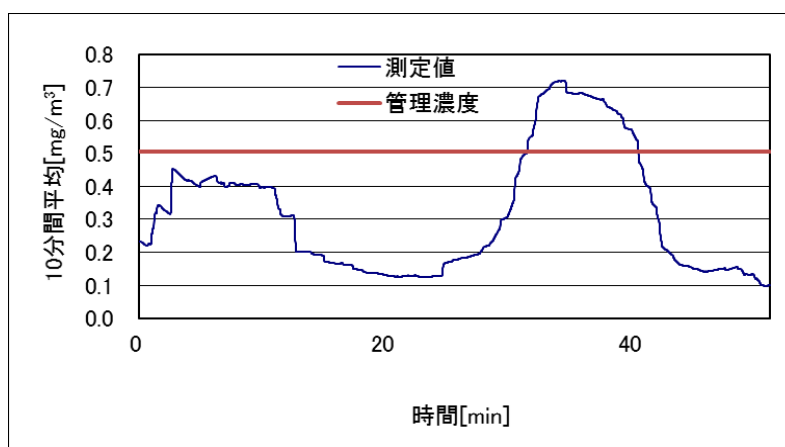


図 5.13 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）

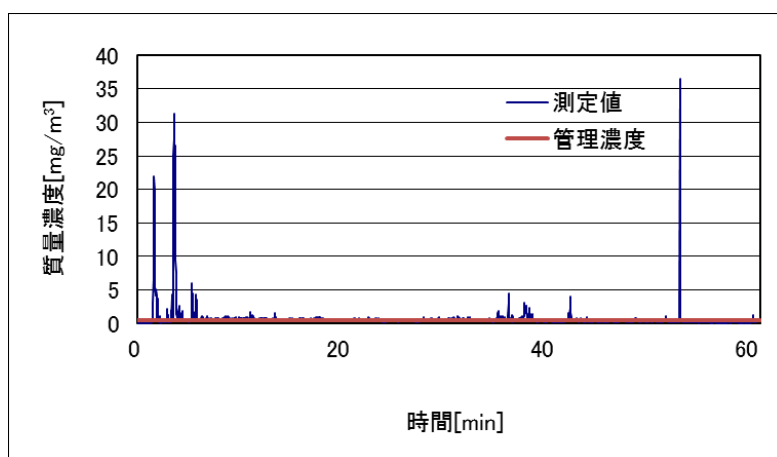


図 5.14 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

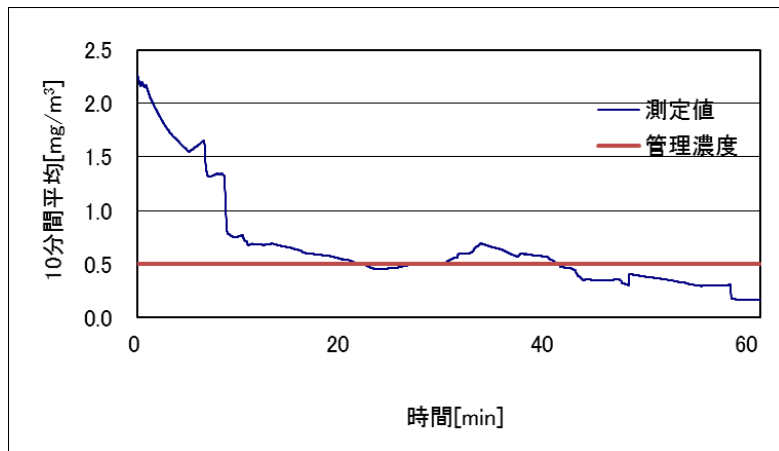


図 5.15 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）

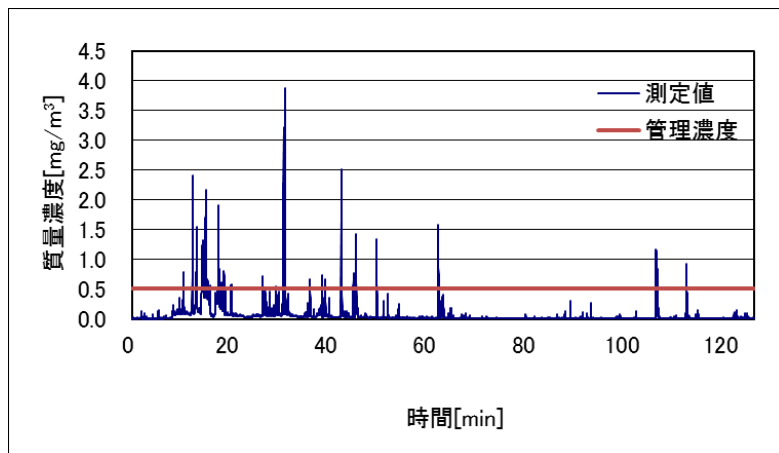


図 5.16 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

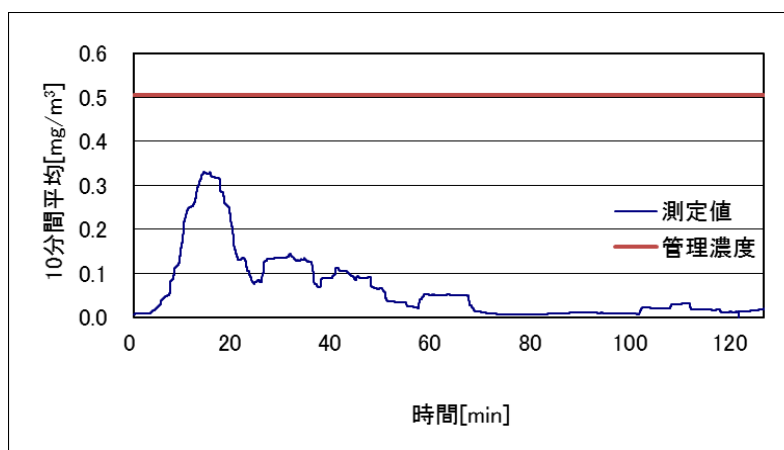


図 5.17 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）

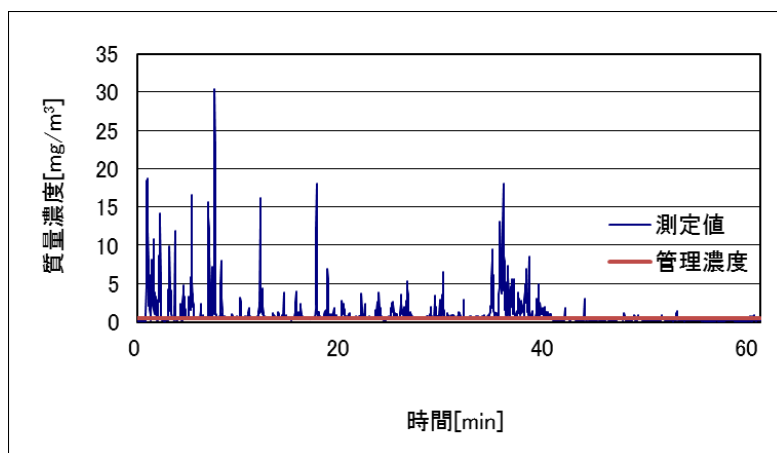


図 5.18 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

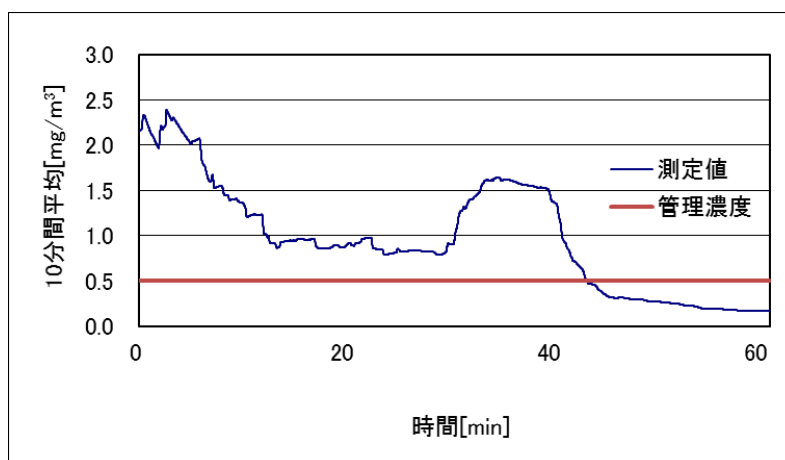


図 5.19 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10分間移動平均値）

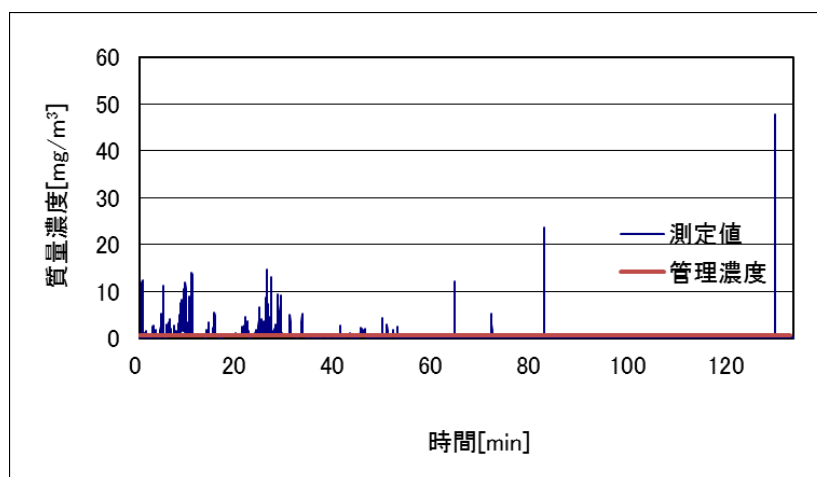


図 5.20 作業者の粉じんばく露濃度変動状況

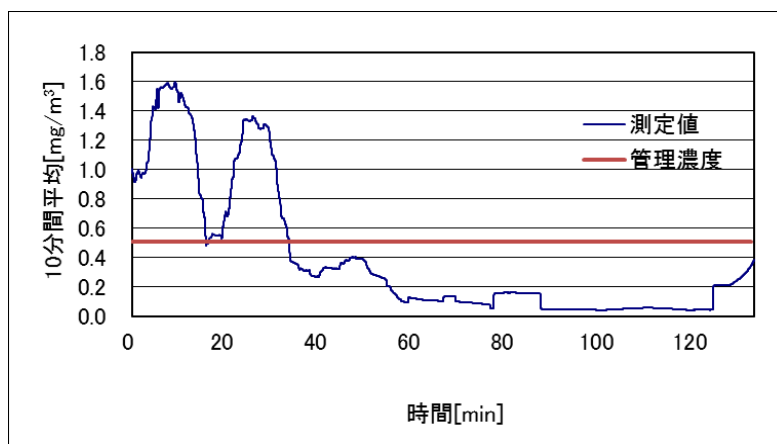


図 5.21 作業者の粉じんばく露濃度変動状況（10 分間移動平均値）



図 5.22 船底での清掃作業状況（その 1）

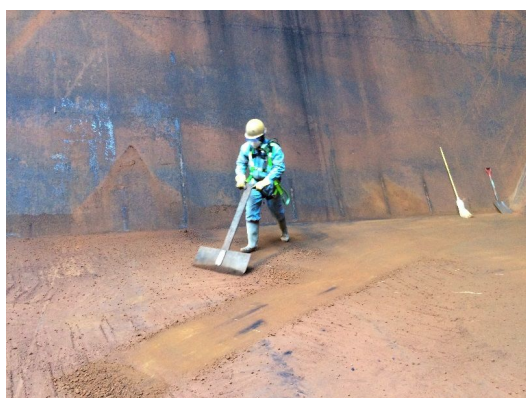


図 5.23 船底での清掃作業状況（その 2）

#### 5.3.4 D社

測定対象の船の積荷は大豆粕である。作業は、クレーンバケットで船倉内の床が見えるまで荷揚げをした後、作業者が船倉内に入り、スコップや竹箒で大豆粕を集め、集めた大豆粕をバケットで荷揚げする。バケットで荷揚げの後、清掃作業等を行う。測定は、船倉の作業者 2 人に対して実施した。作業者の粉じんばく露濃度の測定結果を表 5.4 に示す。本調査では、作業の関係で、NWPS-254 型個人ばく露粉じん計での測定のため、粉じんばく露濃度の変動状況の測定は行えなかった。測定中の作業状況を図 5.24 と図 5.25 に示す。

なお、粉じん中の遊離けい酸含有率は2.2%であり、管理濃度は0.72[mg/m<sup>3</sup>]であった。

表 5.4 粉じんばく露測定結果

	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度[mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
作業者	4.98	0.72	*
作業者	6.42	0.72	

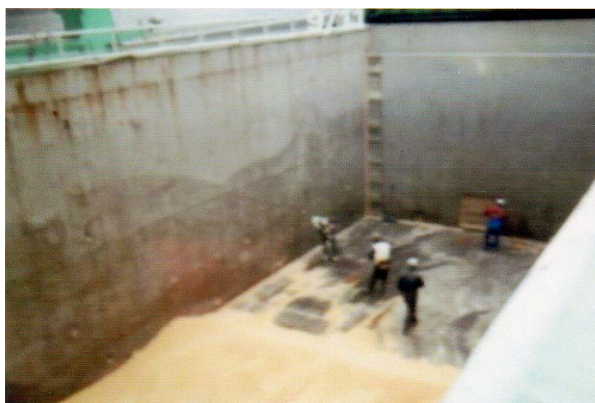


図 5.24 船底での清掃作業状況 (その1)



図 5.25 船底での清掃作業状況 (その2)

表 5.4 より、作業者の粉じんばく露濃度が、他の船底での清掃作業に比べて著しく高濃度なのは、積荷が大豆粕のため、乾燥しており、粉じんの発生しやすい状況にあった。また、大豆を畑から収穫するときに、畑の土が大豆に付着し、その土が大豆粕にする工程でも取りきれないまま、荷積みされたため、輸送中に偏石等により船底に少し溜まったため、大豆粕でありながら、2.2%の遊離けい酸含有率を示したと考えられる。以前小麦、トウモロコシ及びコウリヤンの船底清掃作業の測定をしたときに、同様な経験をした。

#### 5.4 結論

4事業場の11名の作業者の粉じんばく露濃度測定結果をまとめて表 5.1 に示す。また、船倉清掃作業時の全作業者の粉じんばく露濃度測定の集計結果を表 5.2 に示す。

表 5.1 船倉清掃作業時の粉じんばく露濃度測定結果のまとめ

作業場所	作業者	粉じんばく露濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度超え (超えれば)
A社		0.80	0.07	
B社		1.10	0.07	
		0.32	0.07	
		0.20	0.07	
C社		0.31	0.51	*
		0.66	0.51	
		0.06	0.51	×
		0.98	0.51	
		0.39	0.51	*
D社		4.98	0.72	*
		6.42	0.72	

\* : 10 分間移動平均の値が管理濃度を上回ったので、管理濃度を超えていると判断した。

表 5.2 船倉清掃作業時の粉じんばく露濃度測定の集計結果

粉じんばく露濃度		管理濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	管理濃度 超えの割合	
幾何平均 [mg/m <sup>3</sup> ] (幾何標準偏差)	濃度範囲			
0.64 (3.86)	0.06~6.42	0.07~0.72	91%	10/11

表 5.2 に示すように 91% (10 / 11) の作業で管理濃度を超えていた。このことより管理濃度以下に粉じんばく露濃度を低減することは困難であることが予想される。

現在「荷役作業後の清掃作業」作業は、粉じん則で粉じん作業に指定されていないが、本研究で現場調査を行い、新たに粉じん作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての清掃作業で管理濃度を超えていることが明らかになった。

よって粉じん則を改正し、「粉じん作業」とする必要があると考える。さらに、船倉清掃作業は外付け式フード等の局所排気装置を用いた粉じん対策が困難な作業と考えられるので、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置と考える。

以上のことから、荷役作業後の清掃作業は、粉じん作業とし、併せて、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置との結論を平成 28 年 5 月じん肺班に報告する。

船倉清掃作業は、25 年及び 26 年と測定を行うべく、船主協会、商社、船舶運用会社等各方面にお願いをしてきたが、外国船籍の場合の治外法権、船主の了解、測定時の測定者の安全等の問題から、荷主の許可が得られず、測定が難しかった。

幸い 27 年は、粉じん測定の主旨に賛同し、粉じん測定に理解を示してくださった事業場の協力を得て、4 事業場で 11 名の作業者について、粉じん濃度ばく露測定が出来たことは、奇跡に近く、測定を許可してくれた事業所に心から御礼申し上げます。

## 6. 流量低下が慣性衝突型個人粉じん計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響

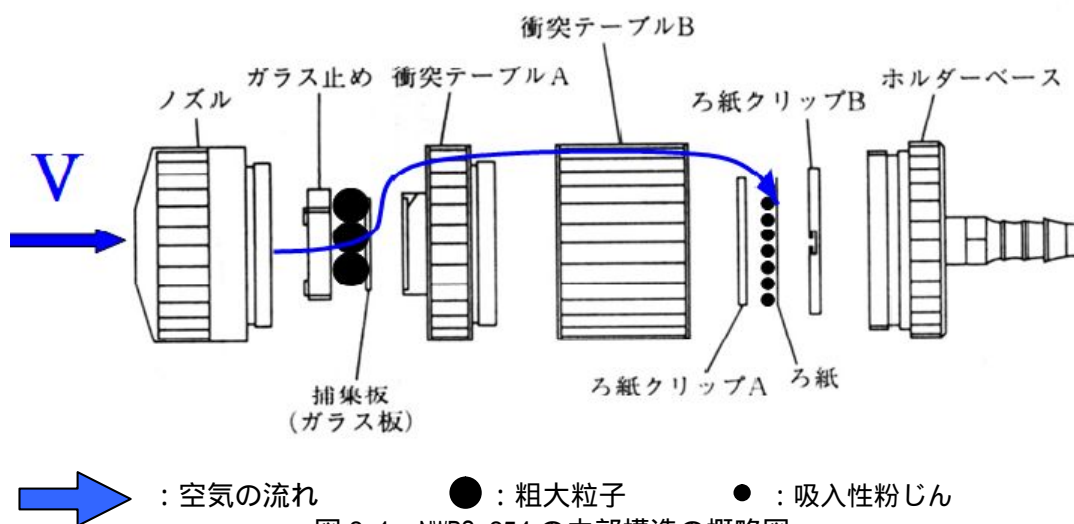
### 6.1 目的

作業環境測定や個人ばく露濃度測定を実施する際は、サンプラーを用いて吸入性粉じんの濃度を測定しなければならない。慣性衝突式分粒装置を用いたサンプラーにより測定を行なう場合は、ポンプの吸引流量を決められた一定の値に保つ必要がある。なぜなら、吸引流量が変化すると、粒子の持つ慣性力が変化し、慣性衝突式分粒装置の分粒特性が変わってしまうからである。そのため、作業環境測定でよく用いられる慣性衝突型粉じん計 NWPS-354 においては、面積流量計が付属したポンプを用い、吸引流量を視覚的に確認している。また吸引流量が変化しても、適宜修正することができる。

一方、個人ばく露濃度や作業者のばく露濃度に用いられる個人サンプラーのポンプには、面積流量計が付属しておらず、また作業者に取り付けってしまうため、作業中の吸引流量の修正が難しい。そのため、ろ紙上に大量の粉じんが捕集される測定を行なった場合、圧力損失の増加により吸引流量が低下し、吸入性粉じん濃度測定を正確に行うことができない危険性が考えられる。しかし、その正確性の判断基準に関しては何も提示されていないのが現状である。

そこで本研究では、現行の慣性衝突型個人ばく露濃度測定器 NWPS-254（以下、NWPS-254 と略す）において、吸引流量が低下した際の、流量低下と吸入性粉じん濃度測定結果の関係性の検証を行ない、どの程度の流量低下であれば吸入性粉じん濃度測定として許容できるかという判断基準を作成した。

NWPS-254 における慣性衝突式分粒装置等の内部構造の概略図を図 2.1 に示す。





## 6.2 相対濃度計 LD-5 及び LD-3K2 の器差確認実験

### 6.2.1 概要

主実験を行なう前に、実験装置であるダストチャンバー内の粉じん濃度が均一であることを確認するために使用する相対濃度計の器差を確認するための実験を行った。

### 6.2.2 実験方法

粉じんを発じんさせていない通常の部屋の中で、LD-5 を 2 台、LD-3K2 を 1 台用意し、図 2.2 に示すように横並びに配置した。これら 3 台を 30 分間並行測定し、カウント数を比較することで、器差の確認を行った。



図 2.2 器差確認実験の実験風景

### 6.2.3 実験結果

10 回分の実験結果を表 3.1 に示す。

表 3.1 器差確認実験の結果 [COUNT]

機器名	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
LD-5 No.1	1137	1464	1416	2763	2763
LD-5 No.2	943	1281	1315	2778	2714
LD-3K2	1032	1512	1483	2921	2947

機器名	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
LD-5 No.1	640	471	395	342	321
LD-5 No.2	655	499	409	353	331
LD-3K2	596	490	403	374	395

次に、"LD-5 No.2" を基準器として、各機器とのカウント比をとった結果を表 3.2 に示す。カウント比は式 4.1 により求めた。

$$\text{カウント比} = \text{LD-5No.1 及び LD-3K2 のカウント数} / \text{基準器のカウント数} \quad (\text{式 4.1})$$



表 3.2 基準器と各機器とのカウント比

機器名	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
LD-5 No.1	1.21	1.14	1.08	0.99	1.02
LD-3K2	1.09	1.18	1.13	1.05	1.09

機器名	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
LD-5 No.1	0.98	0.94	0.97	0.97	0.97
LD-3K2	0.91	0.98	0.99	1.06	1.19

表 3.2 の結果より、実験 10 回分のカウント比の平均値を求め、その逆数を取り補正係数を求めた。計算式は式 4.2 に、カウント比の平均値と補正係数の結果を表 3.3 に示す。

$$\text{補正係数} = 1 / \text{カウント比の平均値} \quad (\text{式 4.2})$$

表 5.3 カウント比の平均値と補正係数

機器名	カウント比の平均値	補正係数
LD-5 No.1	1.03	0.97
LD-3K2	1.07	0.94

### 6.3 ダストチャンバー内における測定台上の濃度均一性確認実験

#### 6.3.1 概要

本章の主実験では、ダストチャンバー内の測定台上で実験を行うため、発じんした粉じんが測定台上で均等に拡散しているかどうかを確認した。

#### 6.3.2 実験方法

ダストチャンバー内に設置した測定台上に LD-5 を 2 台、LD-3K2 を 1 台横並びに配置する。入口付近からチャンバー内に向かってインピンジャーにより粉じんを発じんさせて、3 台の相対濃度計を並行測定する。ダストチャンバー内の概略図を図 3.1 に、実験風景を図 3.2 に示す。

30 分間の測定結果のカウント数に、式 4.2 で求めた補正係数を乗じた補正後カウント数の値を比較する。各機器の補正後カウント数の基準器との誤差が  $\pm 10\%$  以内であれば、発じんした粉じんが測定台上に均等に拡散していると判断する。この実験を 10 回行ない、1 回の実験につき、3 台の相対濃度計の位置を 1 つずつ横にずらし、ローテーションした。

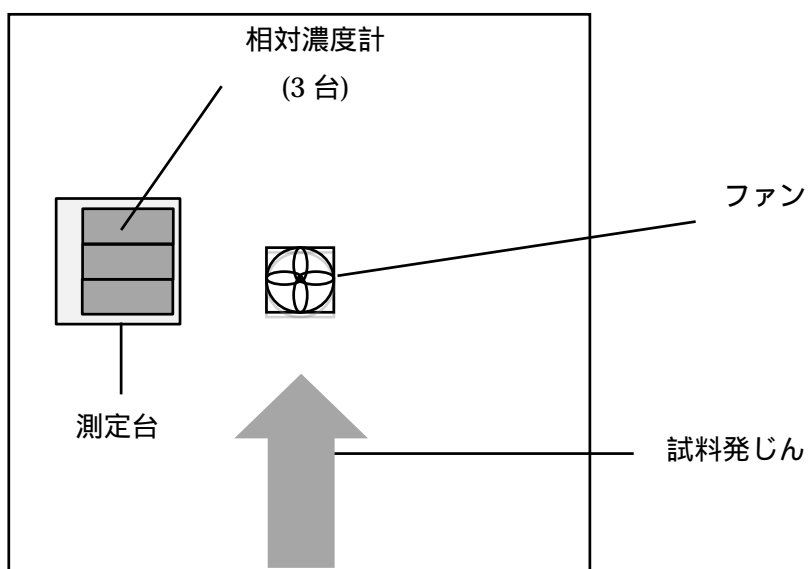


図 3.1 ダストチャンバー内の概略図(1.4[m] × 1.4[m] × 高さ 3.0[m])

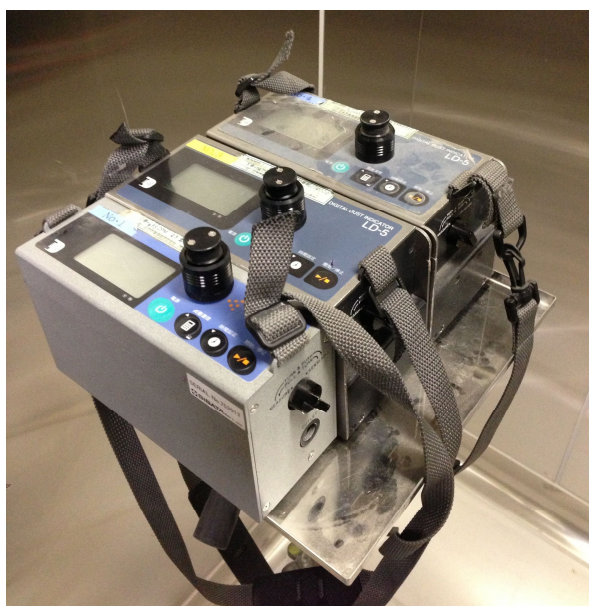


図 3.2 濃度均一性確認実験の実験風景

### 6.3.3 実験結果

10 回分のカウント数の測定結果を表 3.4 に示す。また、表 3.4 の測定結果に補正係数を乗じた値及びその相対標準偏差(以下、R.S.D.)を表 3.5 に示す。

表 3.4 10 回分の測定結果 [COUNT]

機器名	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
LD-5 No.1	31384	21269	25628	36558	55625
LD-5 No.2	31431	22304	25235	36594	55424
LD-3K2	32108	22875	25849	36824	55886

機器名	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
LD-5 No.1	28499	29673	37684	17545	54902
LD-5 No.2	28483	29627	37621	17238	55041
LD-3K2	29139	30316	38304	17373	55877

表 3.5 補正後カウント数の結果 [COUNT]

機器名	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
LD-5 No.1	32222	21837	26312	37534	57110
LD-5 No.2	31431	22304	25235	36594	55424
LD-3K2	34267	24413	27587	39300	59644
R.S.D. [%]	1.9	3.2	1.8	2.5	2.4

機器名	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
LD-5 No.1	29260	30465	38690	18013	56367
LD-5 No.2	28483	29627	37621	17238	55041
LD-3K2	31098	32354	40879	18541	59634
R.S.D. [%]	1.9	1.8	2.0	2.6	2.2

式 4.3 を用いて、表 3.5 の値から誤差を算出した結果を表 3.6 に示す。

誤差 (%)

$$= \frac{\text{補正後カウント数} - \text{基準器の補正後カウント数}}{\text{基準器の補正後カウント数}} \quad (\text{式 4.3})$$

表 3.6 誤差の算出結果 [%]

機器名	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
LD-5 No.1	3.1	7.4	1.4	3.0	2.6
LD-3K2	4.5	4.1	4.3	6.0	5.8

機器名	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
LD-5 No.1	2.9	2.8	2.8	1.2	3.2
LD-3K2	4.4	4.4	4.8	5.8	5.1

表 3.5 の結果より、3 台の相対濃度計の R.S.D. は 10 回分全てが 5 [%] 以下となった。また、表 3.6 の結果より、誤差の値は全て 10 [%] 以下となった。以上のことから、測定台上に粉じ

んは均一に拡散していると考えられる。

#### 6.4 流量低下が慣性衝突式分粒装置の分粒特性に与える影響

##### 6.4.1 流量低下時の粉じん濃度測定

###### 6.4.1(a) 概要

流量低下によって、吸入性粉じん濃度測定の結果にどのような影響を与えるかを検証した。

###### 6.4.1(b) 実験方法

図 3.3 に示すようなダストチャンバー内に測定台を設置し、その上に NWPS-254 とポンプ (MP- 3) を 3 台セットした。そして、各 NWPS-254 の吸引流量を 2.5[L/min]、2.4[L/min]、2.3[L/min] に (各 NWPS-254 は順に、No.1、No.2、No.3 と称する) 設定する。これは、NWPS-254 が吸引流量を 2.5[L/min] に調整することで、吸入性粉じん (4 $\mu$ m、50%cut) を捕集することができるようになっていたため、他の 2 台を 2.4[L/min] 及び 2.3[L/min] に設定することで、流量低下を再現したものである。

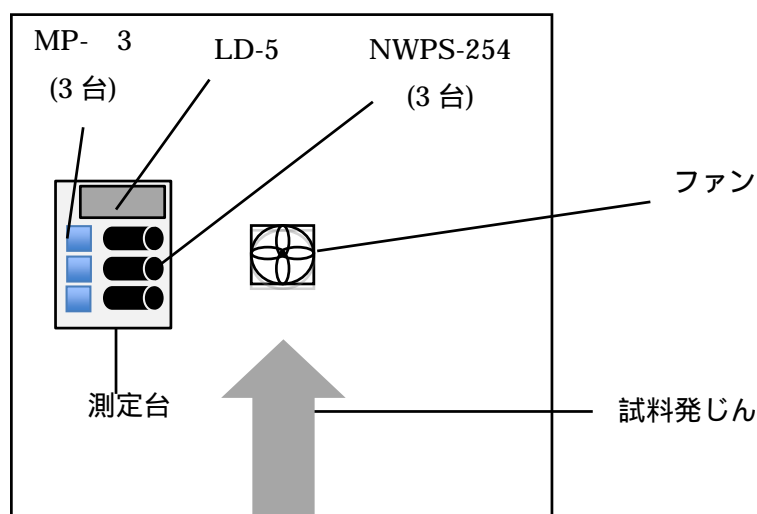


図 3.3 ダストチャンバー概略図

入口付近からチャンバー内に向かってインピンジャーにより粉じんを発じんさせ、3 台の NWPS-254 を 30 分間併行測定し、各機器の測定濃度の値を比較した。なお、本実験では粉じん試料として、タルクと碎石試料を用いた。碎石試料とは実際の碎石現場で発生した粉じんを集めた試料のことで、以降碎石試料と記載する。タルクと碎石試料の粒度分布測定結果を図 3.4 に示す。

また、吸入性粉じんの測定として許容できるか否かの判断基準として、国際規格の分粒装置に対する質量濃度等価試験に係る評価基準を用いた。そこには「回帰式の傾きが 0.9 から 1.1 の範囲内にあること」と記載されている。そのため本実験では、基準器となる No.1 の NWPS-254 の質量濃度測定結果に対する、No.2 及び No.3 の質量濃度測定結果の比が、それぞれ 0.9 から 1.1 の範囲内にあれば、吸入性粉じんの測定として許容できることとした。

なお、比を算出する際は式 4.4 を用いた。

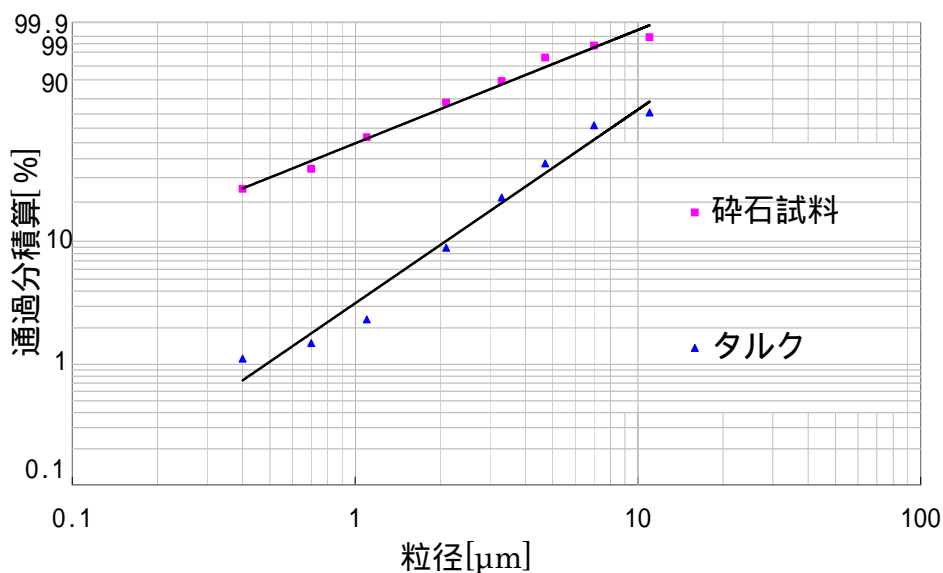


図 3.4 Rosin-Rammler 線図

$$\text{比} = \text{No.2、No.3 の質量濃度 (mg/m}^3\text{)} / \text{No.1 の質量濃度 (mg/m}^3\text{)} \quad (\text{式 4.4})$$

#### 6.4.1(c) 実験結果

10 回分のタルクの結果の 1 例として 1 回目の結果を表 3.7 に、砕石試料の 1 例として 1 回目の結果を表 3.8 にそれぞれ示す。

表 3.7 タルクの実験結果(1回目)

NWPS-254	捕集量 [mg]	質量濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	比
No.1(基準器)	0.39	5.2	1.00
No.2(2.4[L/min])	0.41	5.7	1.10
No.3(2.3[L/min])	0.41	5.9	1.14
LD-5	カウント数 [COUNT]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]
	43930	1464	0.0036

表 3.8 砕石試料の実験結果(1回目)

NWPS-254	捕集量 [mg]	質量濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]	比
No.1(基準器)	0.58	7.7	1.00
No.2(2.4[L/min])	0.60	8.3	1.08
No.3(2.3[L/min])	0.61	8.8	1.14
LD-5	カウント数 [COUNT]	相対濃度 [cpm]	K 値 [mg/m <sup>3</sup> /cpm]

	103244	3441	0.0022
--	--------	------	--------

タルク及び砕石試料の10回の測定結果をそれぞれまとめたグラフを図3.5と図3.6にそれぞれ示す。2本の赤線(比が0.9と1.1となる直線)の範囲内であれば吸入性粉じん濃度の測定として許容することができる。

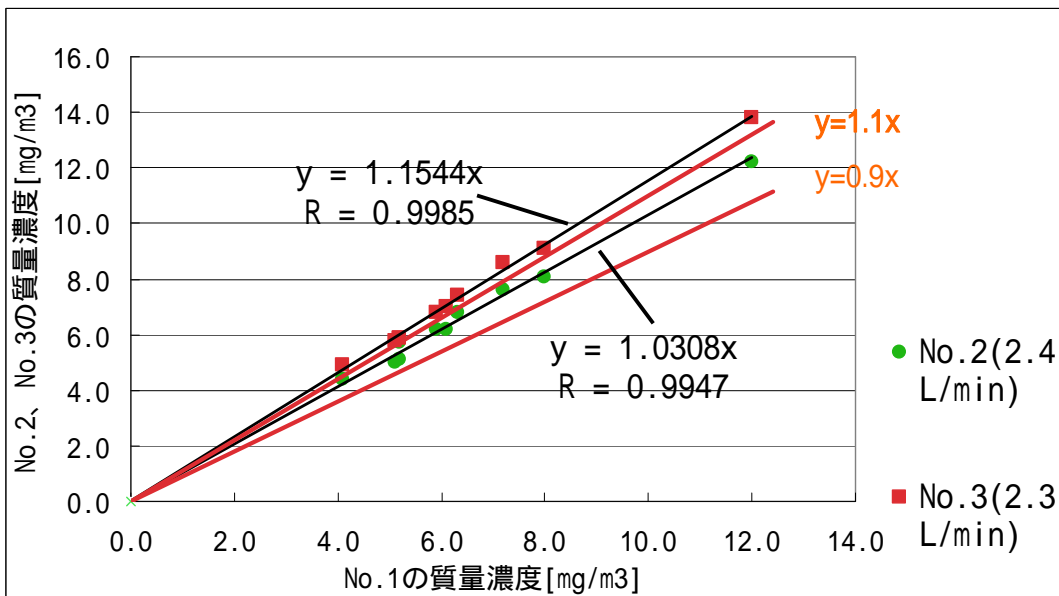


図 3.5 タルクの実験結果(10回分)

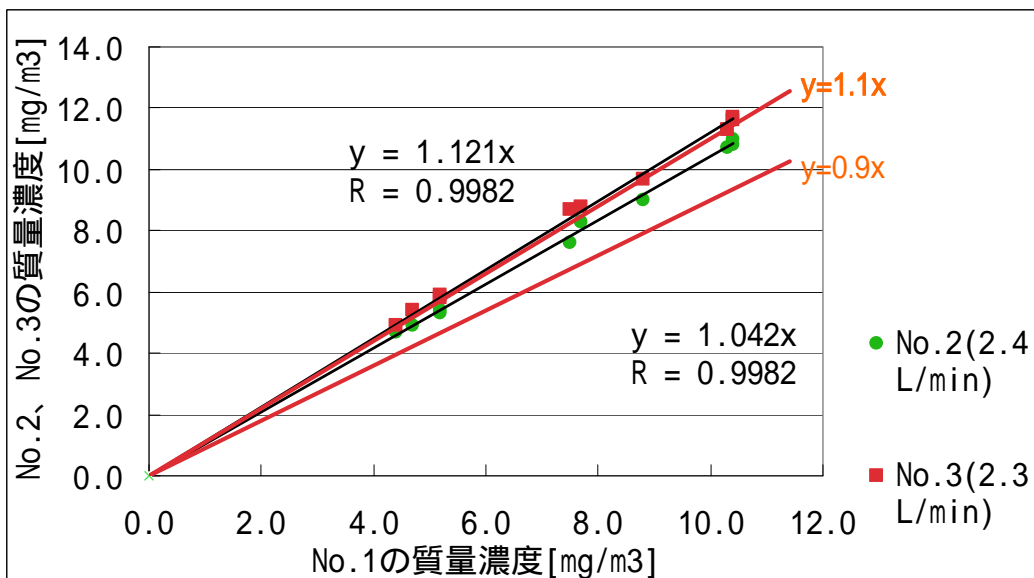


図 3.6 砕石試料の実験結果(10回分)

タルク、砕石試料の結果共に、吸引流量が2.4[L/min]であれば、比は0.9から1.1の範囲内であることが分かる。一方、吸引流量が2.3[L/min]にまで低下すると、比は0.9から1.1の範囲外になった。以上のことから、2.4[L/min]までの流量低下であれば、吸入性粉じん

ん濃度測定として許容できる結果となっていることが分かる。

また、流量が低下するにつれて、比の値が 1.0 から増えている結果となった。これは流量低下によって粒子の慣性力が弱まり、本来衝突板に捕集されるべき粒子が、衝突板を通過し、ろ紙に捕集されたためだと考えることができる。

2つの試料の比較をすると、タルクの結果より、碎石試料の比の値が1に近い値となっている。これは、図 3.3 の粒度分布測定結果より分かるように、碎石試料の方が細かい粒子が大きく、流量低下によって慣性力が低下する粒子の量が少なかったためだと考えられる。

#### 6.4.2 衝突板上に捕集された粉じん量の測定

##### 6.4.2(a) 概要

5.4.1より、2.5[L/min]から吸引流量が低下するにつれて、衝突板に捕集される粒子の量が減ったために、比の値が 1.0 から増えたと考察できる。この考察の正否を確認するために、衝突板に捕集された粒子の量を測定し、流量低下との関係性を検証した。

##### 6.4.2(b) 実験方法

5.4.1(b)と同じように実験を行なった。ただし、粉じん量を測る際には、ろ紙だけでなく衝突板の質量も計量し、ろ紙上の粉じん及び衝突板上の粉じん量を測定した。結果は、式 5.5 に示すような吸入性粉じん量比で表す。なお、実験は碎石試料を使用し、4 回行なった。

$$\text{吸入性粉じん量の割合} = \text{ろ紙上の粉じん量}(\text{mg}) / \text{ろ紙} + \text{衝突板上の粉じん量}(\text{mg})$$

..... (式 4.5)

##### 6.4.2(c) 実験結果

4 回分の実験結果を表 3.9～表 3.12 に示す。また、吸入性粉じん量割合をまとめた結果を図 3.7 に示す。

表 3.9 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(1回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.35	1.00	0.26
2.4	0.35	0.95	0.27
2.3	0.37	0.89	0.29

表 3.10 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(2回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.78	1.69	0.32
2.4	0.78	1.59	0.33
2.3	0.80	1.47	0.35

表 3.11 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(3回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.77	1.78	0.30
2.4	0.77	1.74	0.31

2.3	0.78	1.65	0.32
-----	------	------	------

表 3.12 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(4 回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.78	1.98	0.28
2.4	0.78	1.88	0.29
2.3	0.81	1.73	0.32

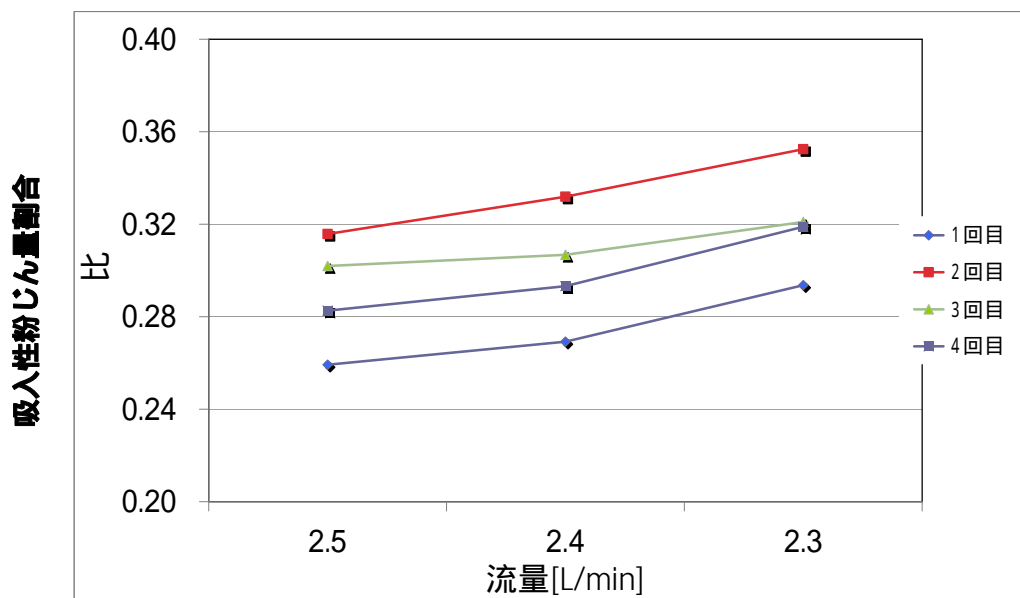


図 3.7 吸入性粉じん量割合の結果(4 回分)

表 3.9～表 3.12 及び図 3.7 より、流量の低下につれて、ろ紙上の粉じん量が増加し、衝突板上の粉じん量が減少していることが分かる。しかし、吸引流量が 2.4[L/min]の場合、ろ紙上に捕集された粉じん量は、2.5[L/min]の場合にろ紙上に捕集された粉じん量と同じであることから、総粉じん捕集量に占める吸入性粉じんの割合は増加しているが、流量低下により慣性力が低下し、吸引流量が 2.4[L/min]であれば、吸入性粉じんの濃度に影響したことが明らかとなった。

## 6.5 正確な吸入性粉じん測定を行うための NWPS-254 型個人サンプラーの判断基準

### 6.5.1 改良型 MP-3 型吸引ポンプ使用における実験

#### 6.5.1(a) 概要

25 年度は、個人ばく露濃度測定時に正確に吸入性粉じんを測定していると判断基準を「高濃度の粉じんを取り扱う作業場や長時間の測定においては、測定終了後に総吸引量を測定時間で割った吸引流量を確認し、その結果が 2.4[L/min]を下回っている場合は、測定結果を破棄するという基準を設けるべきである」と提案した。しかし 25 年度の提案だと図 4.10 に示す 2 事例のように測定終了後 2.4[L/min]を下回っていても、測定の途中 2.4[L/min]を下回っていることが考えられる。つまり、25 年度の提案では、2.4[L/min]を



下回っている場合は、「測定結果を破棄する」は、正しい判断基準ではあるが、逆に、最終流量が 2.4[L/min]を上回っていた場合、正確に吸入性粉じんを測定しているかという点、それは、図 3.8 で示したように正しい判断基準であるとは言えない。そこで、26 年度は、個人ばく露濃度測定中に 2.4[L/min]を下回った時に、NWPS-254 型個人サンプラー（以下、NWPS-254 と略す）の測定に用いる MP- 3 型吸引ポンプ（柴田科学社製）自体が停止する様な改良型 MP- 3 吸引ポンプをメーカーと共同で改良を行った。MP- 3 型吸引ポンプ改良のポイントは、MP- 3 型吸引ポンプを異常停止する流量誤差（設定流量と瞬間流量表示の誤差）の閾値を  $\pm 20\%$  以上から  $\pm 4\%$  以上と成るように改良した。また、流量誤差が閾値以上になり、MP- 3 型吸引ポンプが停止するまでの時間を 60 秒から 5 秒に改良した点である。

開発した改良型 PM- 3 吸引ポンプを用いて個人ばく露濃度測定を行えば、正確な吸入性粉じん濃度測定を行うことが可能となると考え、開発したポンプの評価を行うことを目的に実験した。改良型 3 吸引ポンプの外観図を図 3.9 に示す。

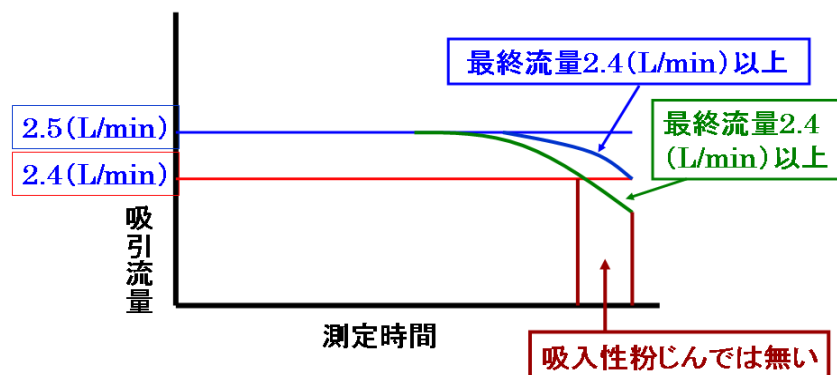


図 3.8 吸引流量と吸入性粉じんの関係



図 3.9 改良型 MP- 3 吸引ポンプの外観図

#### 6.5.1(b) 実験方法

実験方法に関しては 6.4.1(b)と変わらないが、今回は改良型 PM- 3 吸引ポンプ、

NWPS-254 それぞれ 1 台を使用して実験を行った。実験に使用した試料はアリゾナロードダスト、碎石試料の 2 種類である。

### 6.5.1(c) 実験結果

3 回分の実験結果を表 3.13 ~ 3.18 に示す。

表 3.13 改良型 MP- 3 吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(1 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.50	11.41	0.48	98

表 3.14 改良型 MP- 3 吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(2 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
11.14	14.69	0.43	119

表 3.15 改良型 MP- 3 吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(3 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.90	13.32	0.45	120

表 3.16 改良型 MP- 3 吸引ポンプによる碎石試料の測定結果(1 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.45	17.47	0.37	110

表 3.17 改良型 MP- 3 吸引ポンプによる碎石試料の測定結果(2 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.21	21.99	0.36	69

表 3.18 改良型 MP- 3 吸引ポンプによる碎石試料の測定結果(3 回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.47	15.46	0.40	147

25 年度アリゾナロードダストを用いてろ紙上の粉じん捕集量の増加が流量低下に与える影響について実験した結果のグラフを図 3.10 に示す。図 3.10 より、捕集量の増加に対して、流量は 2 次関数的に低下していくような結果となった。つまり、流量が 2.4[L/min]にまで低下するのは、ろ紙上の粉じん捕集量が 10[mg]程度にまで増加したときであることが分かっている。

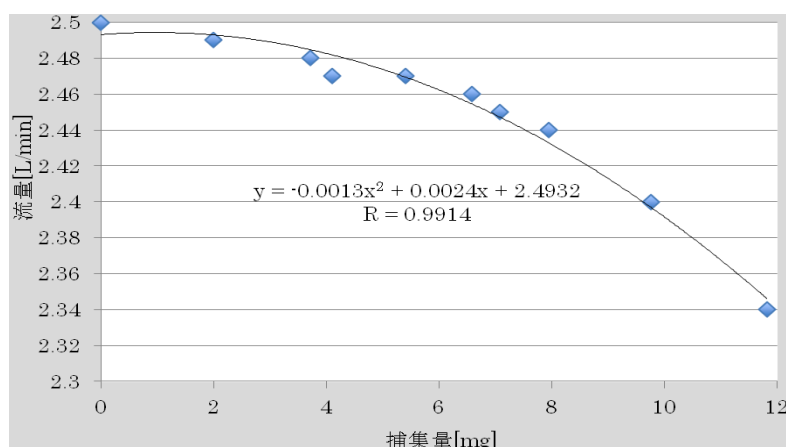


図 3.10 粉じん捕集量と通過前流量の関係

そこで、表 3.13 から表 3.18 より、改良型 PM- 3 吸引ポンプが、吸引流量 2.4[L/min] に流量低下して停止したときの時間は 69～147 分とバラバラであるが、ろ紙上の粉じん捕集量は、10.21～11.14mg で、10mg を超える程度で吸引を停止している。このことから、改良型 PM- 3 吸引ポンプは、吸引流量が 2.4[L/min] 低下になると停止することが明らかとなった。

## 6.6 まとめ

流量低下が吸入性粉じん濃度測定に与える影響に関して、25 年度及び 4.4.1 の結果より、アロゾナロードダスト、JIS 試験用粉体 1, 2 種、タルク及び砕石粉じんの 4 試料において NWPS-254 における流量低下は、2.4[L/min] までであれば吸入性粉じんの測定として許容することが確認できた。

捕集量と流量低下の関係に関して、4.5 の結果より、アロゾナロードダストと砕石試料で実験を行なった際は、捕集量が 10[mg] 程度にまで増加すると、吸引流量は 2.4[L/min] にまで低下する結果となった。ただし、粉じんの比重や粒度分布、飛散状況によって、この値は変動する可能性がある。そのため、捕集量と流量低下に関する関係は、参考程度に留めておく必要があると考えられる。また、直接的に吸入性粉じん濃度測定に影響を及ぼすのは吸引流量であるため、主眼を置くべきは吸引流量である。

そのため、ある程度の量の粉じんを捕集できる作業場では、吸引流量が 2.4[L/min] を下回る危険性があることに留意して測定を行なわなければならない。その事を考慮して、26 年度は、個人ばく露濃度測定中に 2.4[L/min] を下回った時に、NWPS-254 型個人サンプラー（以下、NWPS-254 と略す）の測定に用いる MP- 3 型吸引ポンプ（柴田科学社製）自体が停止する様な改良型 MP- 3 吸引ポンプをメーカーと共同で改良を行った。

そこで、NWPS-254 型個人サンプラーを用いて正確にばく露濃度測定を行うための判断基準は、下記の通りである。

1) 改良型 PM- 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

吸引流量が 2.4[L/min]以下になると 10 秒以内で自動的に吸引を停止するので、それまでの総吸引流量で採取粉じん量を割ることで、正確な吸入性粉じん濃度を測定することが可能である。

2) 通常の PM- 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

次の 2 種類の判断基準がある。

測定終了後、PM- 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は、正確な吸入性粉じん濃度測定が行われていないので、測定結果を破棄する。

測定終了後、PM- 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は、直ちに、PM- 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来たと判断する。逆に、PM- 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来ていないと判断する。

## 7. 局所排気装置等以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究

### 7.1 目的

有害物質が発生する工場内の作業環境では、作業者の健康と安全を守るために、厚生労働省令において、局所排気装置等（以下、局排等）の設置が義務付けられている。局所排気装置とは、作業工程で発生した有害物質を周囲に拡散する前に吸引除去し、屋外へ排出するシステムのことをいい、作業環境を良好に保つための有効な手段とされている。

局所排気装置には、法令により構造要件と性能要件が定められており、要件を満たさないと法的に局所排気装置と認められない。その性能要件は特定化学物質（以下、特化物）有機溶剤、鉛、粉じん及び石綿については制御風速方式が、鉛と一部の特化物には抑制濃度方式が定められている。制御風速とは、有害物質を吸引するために必要となる風速のことをいい、外付け式フードにおいては、フードの開口面から最も離れた作業位置の風速が制御風速を満たす必要がある。外付け式フードや囲い式フード等のフードの形状に応じて制御風速が定められていて、制御風速を守れば有害物質が作業環境中に漏洩しないとされている。

しかし、実際に作業環境測定を行うと、制御風速を満たしているにも関わらず、作業環境が良くない場合がある。また、逆に、局所排気装置が制御風速を満たしていないにも関わらず、作業環境が良好な場合もある。これは、局所排気装置からの漏洩は制御風速だけでなく、局所排気装置が作業状況と適合しているか否かに大きく左右されるためである。そのため、制御風速は装置の設計の際には重要なパラメーターとなるが、本来は装置の設計要件にとどめ、出来上がった装置が作業場で有効に稼働しているかどうかは、作業環境測定により作業場の粉じん濃度測定結果から評価されるべきであると考えられる。

近年、有機溶剤中毒予防規則（以下、有機則）特定化学物質障害予防規則（以下、特化則）鉛中毒予防規則においては、局所排気装置の設置が義務付けられた作業場において、作業者の安全が確保され、作業環境が良好とされる第一管理区分に区分され、かつ所轄労働基準監督署長からの許可を得た場合には、特例として局排等以外の代替措置を取っても良いことになった。つまり、局所排気装置に規定された性能要件を満たさない装置であっても所定の要件を満たせば使用を認められることが可能になり、作業環境測定のみによって作業環境管理を行う方法も可能になる。作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。さらに構造要件として屋外排気が規定されているが、屋内排気にすることで装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。

現在、有機則等の改正により、局排等以外の発散防止抑制装置の設置が認められている有機溶剤の場合、漏洩を監視するために必要な市販のモニター等の常時監視装置が有機溶剤の漏洩監視に対応できていないのが現状である。また、有機溶剤の捕集に有効な活性炭も現場の有機溶剤の濃度に対する捕集時間と活性炭の飽和吸着の関係に明確な答えを出すのが難しい状況であるため、その運用に苦慮しているのが現状と考える。そうした現状を

考えた時、粉じんの局排等以外の発散防止抑制装置は、有機溶剤と違い、粉じん捕集のためのフィルター（ろ過材）が存在し、その運用もバグフィルター等で明らかになっており、さらに、粉じん漏洩を常時監視するための粉じん計もデジタル粉じん計等リアルタイムモニターが市販されている。こうしたことから、粉じんに関する局排等以外の発散防止抑制装置が一番実現性・実用性が高いと考える。しかし、このような特例は、有機溶剤等の化学物質は化学物質対策課で、粉じんはじん肺班で取り扱うといった行政の所轄部署の違いにより、粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん則においても同様に、局排等以外の粉じん発散防止装置の使用を可能にするため、粉じん則改正に必要な下記の 4 要件で、本当に局排等以外の発散防止抑制装置として認められるかについて検証を行った。

#### 粉じん則改正に必要な 4 要件

(1) 制御風速を満たしていなくても粉じん作業の作業性が良く、発散防止抑制装置の開口面からの漏洩が無いこと。

(2) 発散防止抑制装置にろ過材等を取り付け、排出口からの排出粉じん濃度が管理濃度の 10 分の 1 以下になっていることを、排出口に設置したデジタル粉じん計等にて常時監視する。

(3) 発散防止抑制装置を設置した場所の作業環境が第 1 管理区分であること。

(4) 発散防止抑制装置を設置した状態で粉じん作業を行い、その時の作業者のばく露濃度および 10 分間移動平均値が管理濃度以下であること。

実験室系では、局排等以外の粉じん発散防止装置として実際に、屋内排気型フードを製作し、制御風速よりも遅い吸引風速で稼働した時に、環境への漏洩濃度および排気側の濃度測定をすることで、制御風速を下げて作業環境を良好に保つことができるかを検証した。また、現場検証では、現場の事業所の協力をいただき、現在現場に設置されている局所排気装置を用いて、吸引風速を通常より遅くする場合と吸引速度を制御風速より遅くした場合の吸引風速と漏洩濃度の関係等を求める模擬実験に近い測定を実施し、その時の作業環境測定及びばく露濃度測定を行い、局排等以外の発散防止抑制装置の実用性の検証を行った。

実験室系および現場検証で検討した結果から得られた知見を基に、4 要件を満たしていれば、局排等以外の発散防止抑制装置が特定粉じん発生源に係る装置として取り扱われることが妥当と考えられた場合には、所轄部署であるじん肺班に改めて粉じんに関する局排等以外の発散防止抑制装置の設置を特定粉じん発生源に係る措置として取り扱うために必要な要件を提案し、粉じん則が一部改正され、粉じん作業現場で局排等以外の発散防止抑制装置を使用できるようになることを最終目的にしている。

## 7.2 フランジ効果およびフィルターの圧力損失

### 7.2.1 フランジ効果

#### 7.2.1(a) 実験目的

J.M.Dalla Valle の実験結果<sup>1)</sup>によると、フード周囲にフランジを付けることで、図 7.1 の右図のようにフード後方から流れ込んでくる気流がなくなり、等速度面はフード前方に伸びることが分かっている。このため、同じ排风量であってもフランジを付けた方がフードに向かう吸引風速は大きくなる（以下、フランジ効果）と考えられている。つまり、フランジを付けることで排风量の削減ができ、エネルギーコストや CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待できる。しかし、B.FLETCHER の実験結果<sup>2)</sup>や久保田氏の実験結果<sup>3)</sup>によると、フード開口面近傍においては、フランジ効果は見られず、逆に吸引風速が小さくなってしまふことが指摘されている。そこで、本実験ではフランジが無い時と有る時のフード開口面前方の風速を測定し、フランジ効果について検証した。

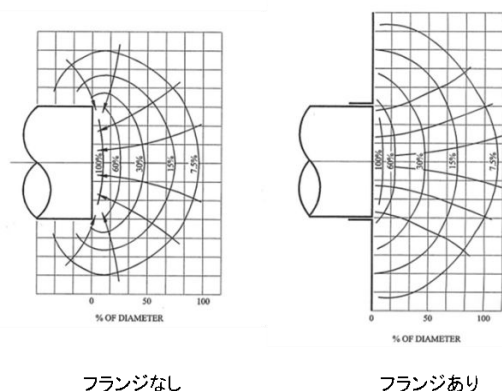


図 7.1 等速度面（左：フランジ無し、右：フランジ有り）

#### 7.2.1(b) 実験方法

フード（サイズ：縦 300mm × 横 300mm）をダクトと排気ファン（昭和電機株式会社製 EC-100T-R313）に接続し、フランジが無い時と有る時で、フード前方のフードに向かう吸引風速を測定した。実験の概略図を図 7.2 に示す。開口面風速は 0.8m/s、1.0m/s、1.2m/s、1.4m/s の 4 条件とした。開口面風速は左右対称であると確認した後、図 7.3 の青色の丸印で示すようにフード開口面の 6 点の 30 秒間の平均風速値が設定した開口面風速となっていることを事前に確認した。

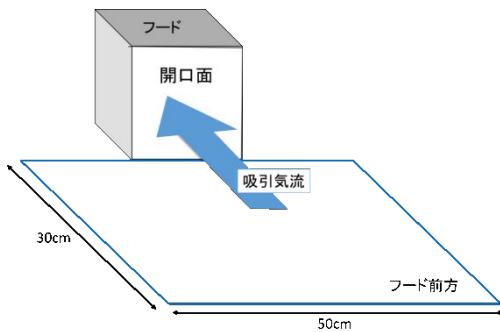


図 7.2 フード開口面の風速測定点

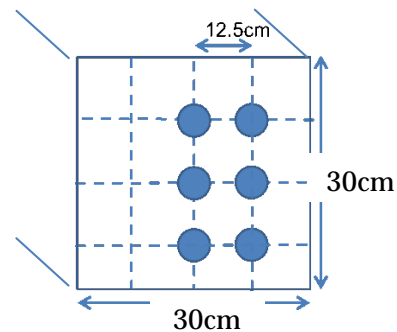


図 7.3 フード開口面の風速測定点

フランジを付けた時の様子を図 7.4 に示す。なお、フランジの幅は 10cm とした。

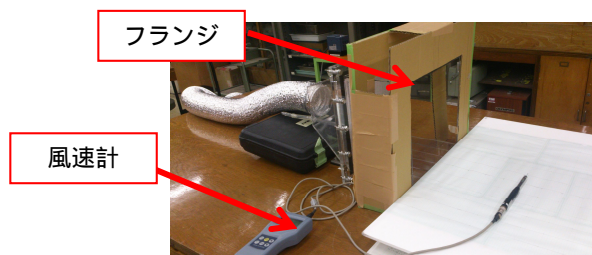


図 7.4 フランジを付けた時の外観

また、フード開口面前方における風速の測定点は、図 7.5 のピンク色の丸印で示すように横 2.5cm 間隔、縦 5cm 間隔の格子点上とし、フード中心から横に -25cm ~ +25cm、前方 30cm 以内の範囲とした。各点ごとの 30 秒の平均風速値の結果を、分布図を作成するソフト (Graph-R230) に入力し、フード前方の風速分布図を作成した。

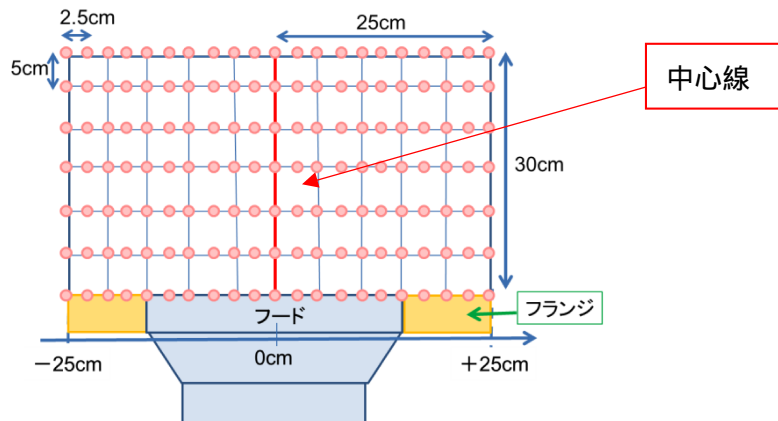


図 7.5 フード前方の風速測定点 (平面図)

### 7.2.1(c) 実験結果

開口面風速ごとにフード前方の風速分布図を図 7.6 ~ 図 7.9 に示す。



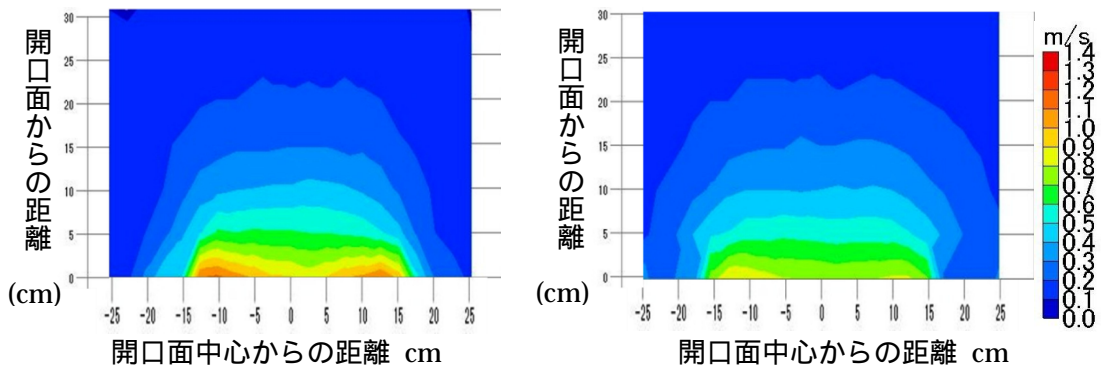


図 7.6 開口面風速が 0.8m/s の時 (左 : フランジ無し、右フランジ有り)

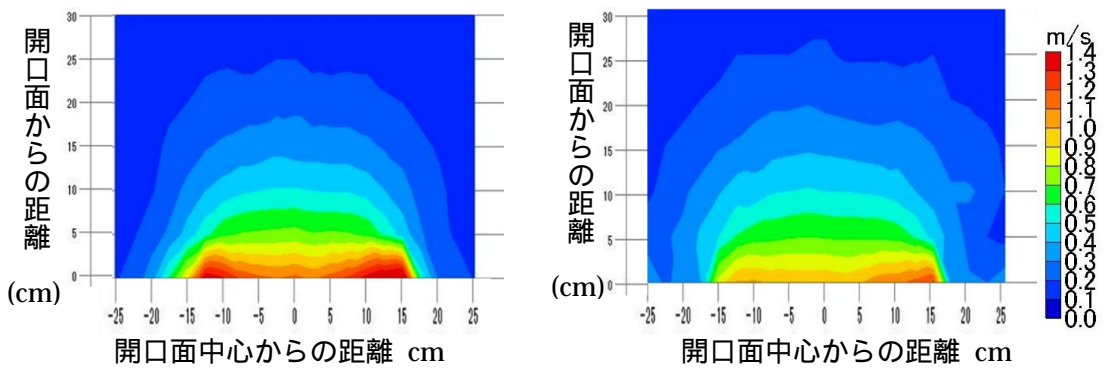


図 7.7 開口面風速が 1.0m/s の時 (左 : フランジ無し、右フランジ有り)

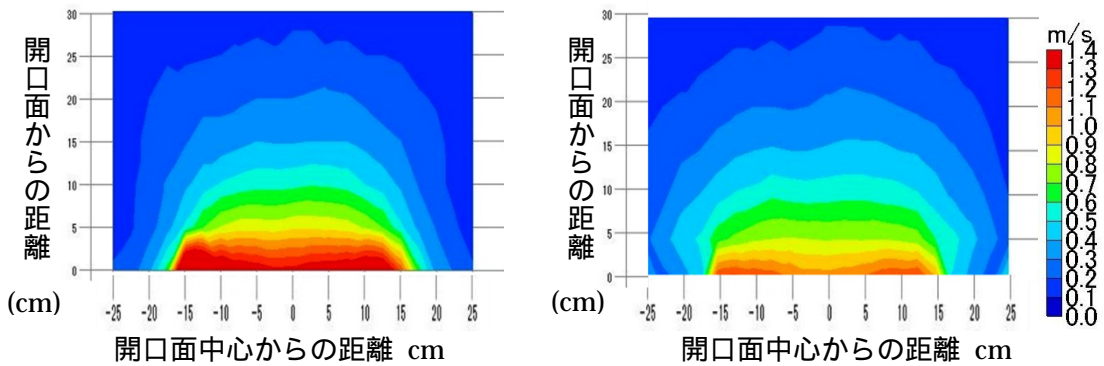


図 7.8 開口面風速が 1.2m/s の時 (左 : フランジ無し、右フランジ有り)

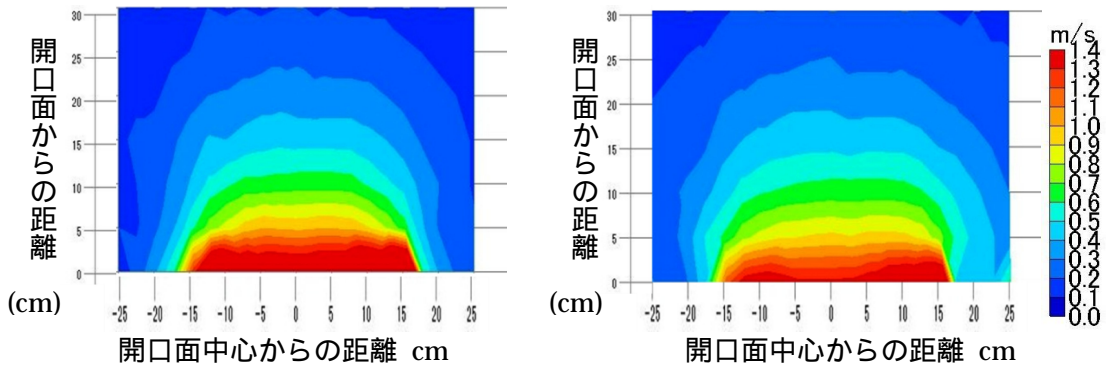


図 7.9 開口面風速が 1.4m/s の時 (左 : フランジ無し、右フランジ有り)

ここで、風速分布図 (図 7.6 ~ 図 7.9) の中心線上の点 (図 7.5 の横軸 0cm 上の点) の風

速結果を開口面風速ごとにフランジが無い時と有る時の場合で図 7.10～図 7.13 に示す。

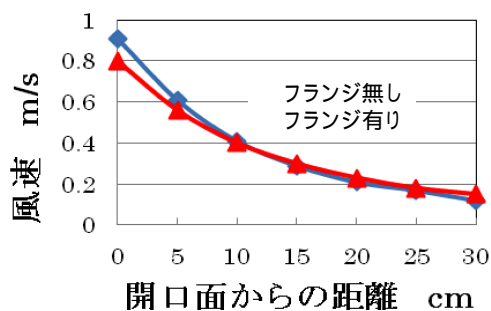


図 7.10 開口面風速 0.8m/s

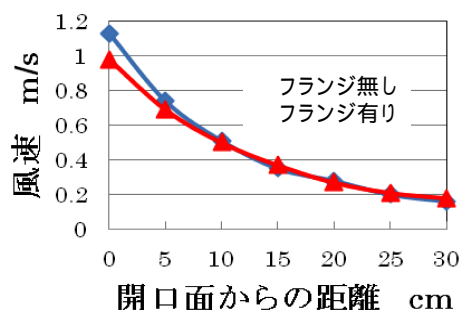


図 7.11 開口面風速 1.0m/s

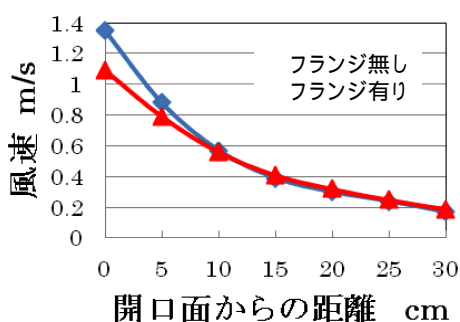


図 7.12 開口面風速 1.2m/s

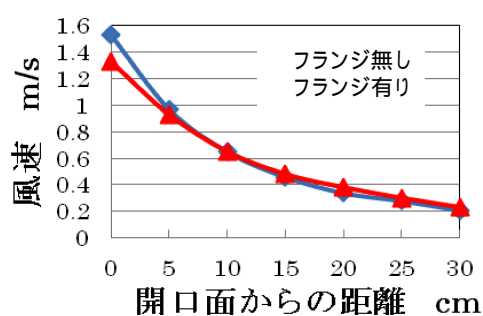


図 7.13 開口面風速 1.4m/s

図 7.10～図 7.13 より、開口面近傍では、フランジが無い方（青線）が有る時（赤線）よりも風速が速くなっていることが分かる。ただし、フード開口面からある程度離れるとフランジをつけた方が風速は若干速くなり、フランジ効果が見られた。

#### 7.2.1(d) 考察

フード開口面前方の風速分布図（図 7.6～図 7.9）より、フランジを付けることで等速度面は横に広がっていることが分かった。このため、有害物質を捕捉する上で同じ開口面風速であってもフランジを付ける方がより発散源を捕捉できる範囲が広まると考えられ、Dalla Valle によるフランジ効果は確認された。また、B.Flecher の実験結果 2) や久保田氏による実験結果 3) が示したようにフード開口面近傍では、図 7.10～図 7.13 よりフランジを付けることでフランジを付けていない時よりも吸引風速が小さくなることが確認できた。

この結果より、発散源の位置がフード開口面からどのくらい離れているかによってフランジを付けるべきか否かを考慮する必要があると考えられた。

### 7.2.2 フィルターの圧力損失

#### 7.2.2(a) 実験目的

屋内排気型フードを粉じん作業場で用いる場合、粉じんをフィルターで捕集する必要がある。その際にフィルターの圧力損失を把握することは重要であり、屋内排気型フードに内蔵するファンを選定するときにもフィルターの圧力損失を把握することは不可欠である。

そこで、フィルターの面速に対する圧力損失を測定した。

#### 7.2.2(b) 使用したフィルター

使用したフィルターを図 7.14 及び図 7.15 に示す。本研究では、プレフィルターに金属メッシュフィルター（布引製作所社製 sus304）を用い、その後ろにメインフィルターとして HEPA フィルター（Panasonic 社製）を用いた。



図 7.14 金属メッシュフィルター 図 7.15 HEPA フィルター

この金属メッシュフィルターはメインフィルターを保護するためのものである。例えば、溶接作業時に発生する熱を持った金属ヒュームを直接 HEPA フィルターで捕集すると表面が熱で焦げてしまうため、これを防止するために HEPA フィルターの前に金属メッシュフィルターが挿入されている。また、フードで捕集した粉じんの大部分を金属メッシュフィルターで捕集できるため（乾式  $1\mu\text{m}$  以上の粒子に対して 90%~99%の捕集効率）、HEPA フィルターに堆積する粉じんの量が減り、HEPA フィルターの寿命を伸ばし、交換頻度を下げる効果がある。さらに、網目が大きいため、圧力損失が極めて小さくて済み、さらにその材質・構造から強度も充分である。使い捨てではなく、パイプレーション、水洗い等により補集物の回収およびフィルターの洗浄が簡単に行える。

HEPA フィルターは、粒径  $0.3\mu\text{m}$  の粒子に対して 99.97%以上の捕集率をもつ、かなり高性能なフィルターであり、初期圧力損失は 245Pa 以下の性能を持つ。

#### 7.2.2(c) 実験方法

金属メッシュフィルターと HEPA フィルターの圧力損失を求めた。実験の外観を図 7.16 に示す。面速（フードの開口面風速）が 0.5m/s、0.6m/s、0.8m/s、1.0m/s、1.2m/s、1.4m/s の時のフィルター通過後の圧力を微差圧計で測定し、大気圧との圧力の差（圧力損失）を求めた。事前に設定面速にフード開口面積を乗じて算出した流量を排気できるよう、フードの排気側に接続した流量計で速度圧を確認しながらインバーターで排気ファンの排風量を調整した。

ここで、金属メッシュフィルターは通常 10 枚セットで用いられることが多いが、本実験では HEPA フィルターに金属メッシュフィルターを 0 枚、5 枚、6 枚、8 枚、10 枚と枚数を変えて重ねた時の圧力損失を測定した。

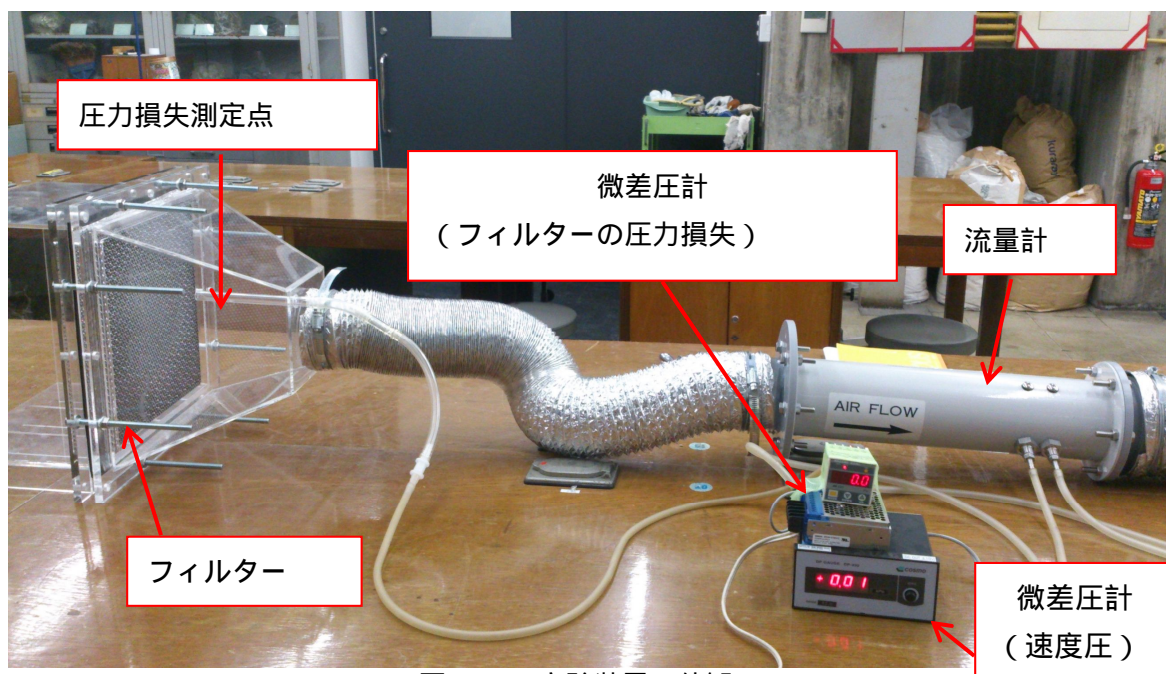


図 7.16 実験装置の外観

#### 7.2.2(d) 実験結果

圧力損失の測定結果を図 7.17 に示す。

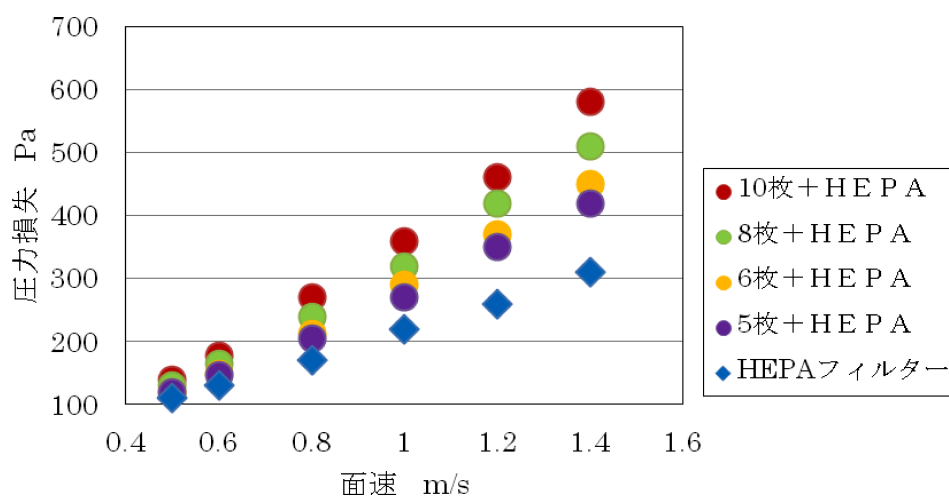


図 7.17 フィルターの圧力損失

面速を速くするほど圧力損失は上昇していた。この結果から、HEPA フィルターの圧力損失を差し引いた金属メッシュフィルターだけの圧力損失を枚数別に図 7.18 に示す。



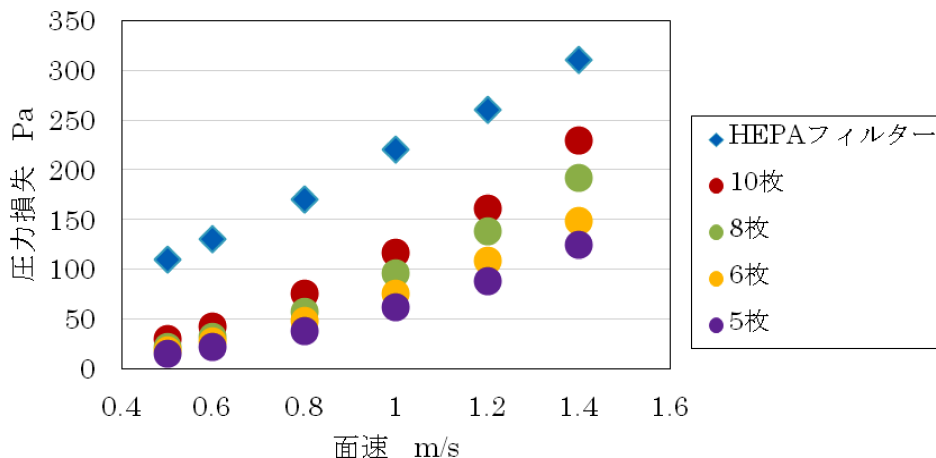


図 7.18 フィルターの圧力損失

図 7.18 より、面速に対して HEPA フィルターの方が圧力損失は大きいことが分かった。金属メッシュフィルターの圧力損失は HEPA フィルターよりも小さく、面速が速くなるごとに枚数による圧力損失の大きさに差が生じた。また、面速 0.5m/s ~ 1.4m/s の範囲では HEPA フィルターは直線を描くように上昇し、金属メッシュフィルターは放物線を描くように圧力損失が上昇していた。面速 1.0m/s の時の金属メッシュフィルターの圧力損失は 150Pa 以下であった。この値はフィルターの中でも極めて小さく、イニシャルコスト、ランニングコストともに非常に経済的なフィルターであると考えられる。

#### 7.2.2(e) 考察

屋内排気型フードに挿入するフィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは HEPA フィルターよりも圧力損失は小さく、ファンへの負荷も小さいと考えられた。HEPA フィルターはバグフィルター等の集塵フィルターの中では比較的圧力損失は大きいですが、粒径  $0.3\mu\text{m}$  の粒子を 99.97% 捕集でき、屋内排気には必要なフィルターである。屋内排気型フードには市販の金属メッシュフィルター 10 枚セットを使用することから、図 7.17 の 10 枚 + HEPA フィルターの面速に対する圧力損失の結果を参考にし、ファンを選定する。

#### 7.2.3 総括

フランジ効果について調べた。フランジを付けることでフード前方の等速度面が前方にも横にも広がり、発散源を捕捉できる範囲が広がることが確認できた。その一方、フード開口面近傍の吸引風速はフランジ効果が見られず、逆にフランジを付けることでフランジ近傍の風速は遅くなることが分かった。これらのことから、有害物質の発生状況や発散源とフード開口面の距離から、フランジを付けるか否かを考慮する必要があると考えられた。

屋内排気型フードを作製するにあたり、フィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは圧力損失が小さく、ファンへの負荷も低減できる有用なプレフィルターであると考えられた。また、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターを重ねた時の面速に対

する圧力損失を測定した結果から、この圧力損失に耐えうるファンを選定し、屋内排気型フードの作製を行う。

#### 参考文献

- 1) 沼野雄志：新やさしい局排設計教室、中央労働災害防止協会、2005、p90～p92
- 2) FLETCHER.B.(1978)：Effect of Flanges on The Velocity in front of Exhaust Ventilation Hoods. Ann.occup.Hyg.21,p265-p269
- 3) 久保田裕仁，岩崎毅，村田克，名古屋俊士：局所排気装置の外付け式フードに付けたフランジが開口面近傍の風速に与える影響と排気風量を求める計算式、作業環境 2015、35(4)、p57-p66

### 7.3 ダクト付きフードを用いた実験

#### 7.3.1 実験目的

屋内排気型フードに内蔵するファンを選定するため、これまで調べたフィルターの圧力損失に加え、発生した煙をフードで十分に捕捉するために必要となる排風量を求める必要がある。そこで、本実験では 2 種類のダクト付きフードを用いて、模擬的に発生させた煙を周囲に拡散せずフードで十分に捕集できる排風量を測定した。また、制御風速を満たさなくても発生した煙を捕捉できる場合があると考えられている<sup>1)</sup>。このため、各排風量時の捕捉点風速も同時に測定し、制御風速より遅い吸引風速であっても発生した煙を捕捉できるか否かを検証した。

さらに、制御風速は作業者がいない状態の捕捉点風速を表しているため、作業者がフード開口面に向かって作業をしている時の実際の状況とは異なる。このため、作業者がいない状態で制御風速を満たす場合であっても、作業者がフード前方で作業をする場合にはその制御風速が保たれない可能性がある。つまり、フード前方の作業者の有無で捕捉点風速の大きさに変化があると考えられる。そこで、本実験では発散源に発煙ノズルを用いた場合において、マネキンを作業者に見立て、フード前方にマネキンが無い時と有る時で捕捉点風速に変化があるかを併せて検証した。

#### 7.3.2 実験方法

本実験では縦 300mm × 横 500mm のフード（以下、フード 1）と縦 500mm × 横 500mm のフード（以下、フード 2）を用いた。実験の概観を図 7.19 に示す。



図 7.19 実験の概観

作業台上にフードと煙発散源（煙発生量：30L/min）作業者に見立てたマネキンを設置した。煙発生装置にホースでつなげた煙発散源から煙を発生し、30 秒後に作業台周囲の漏洩濃度およびばく露濃度の測定を 10 分間行った。

##### 7.3.2(a) 発煙方法

煙発生装置から 30L/min で煙を発生し、図 7.20 に示す 2 種類の発散源（発煙ノズル、発煙 BOX）から煙を発生させた。2 種類の発散源の寸法を表 7.1 に示す。

表 7.1 発散源の寸法

発散源の種類	発散源の寸法
発煙ノズル	高さ：130mm、内径：35mm
発煙 BOX	上面： 2.0mm × ピッチ 3.5mm のパンチング板 縦：200mm、横：300mm、高さ：100mm

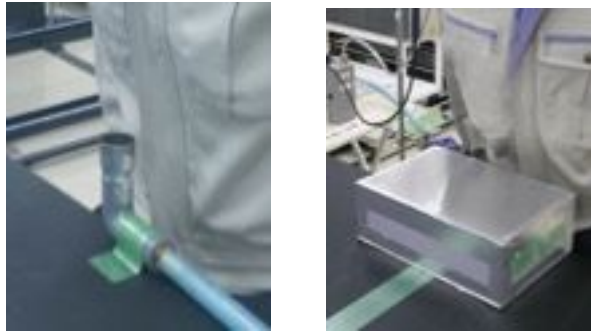


図 7.20 煙の発散源（左：発煙ノズル、右：発煙 BOX）

### 7.3.2(b) 発散源の位置

発煙ノズルは、フード開口面から中心線上(図 7.21 の A-Line 上)をフード高さの 1 倍、1.5 倍、2 倍離れた位置とその位置からフード端にずれた位置(B-Line 上)とした。ただし、フード 2 を用いた時にはファンの性能上限を超えたため、開口面からフード高さの 1 倍、1.5 倍離れた位置のみの測定とした。発煙ノズルの位置を図 7.21 に青色の丸印で示す。

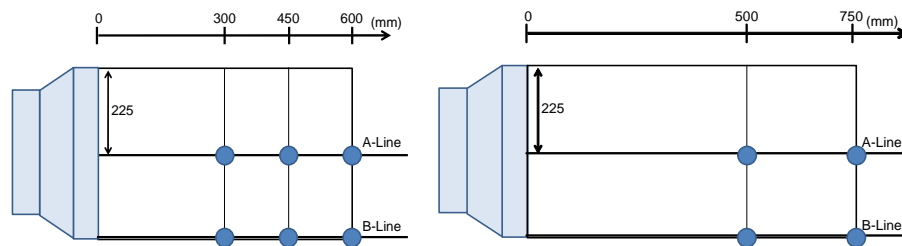


図 7.21 発散源の位置（左：フード 1、右：フード 2）

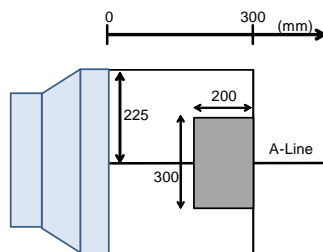


図 7.22 発煙 BOX の位置

発煙 BOX は図 7.21 の A-Line 上での測定とし、発煙 BOX のフード開口面から遠い方の縁の中心が、フード開口面からフード高さの 1 倍、1.5 倍、2 倍離れた A-Line 上の点にな



るよう設置した。フード 1 を用い、フード開口面から 300mm 離れた位置に設置した時の様子を図 7.22 に示す。

### 7.3.2(c) 捕捉点風速の測定

補足点風速は微風速計を用い、30 秒間の平均値を測定結果として用いた。なお、捕捉点の高さは発煙ノズル（高さ 13cm）の上部から高さ 2cm 離れた点とした。捕捉点風速の測定点を図 7.23 に示す。

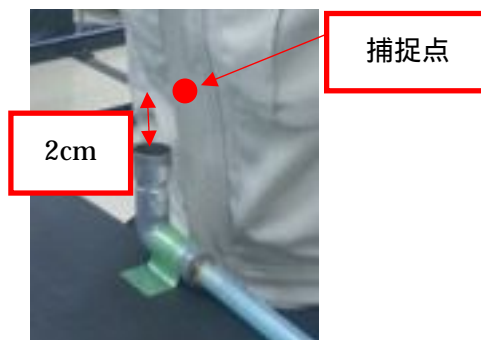


図 7.23 捕捉点風速の測定点

### 7.3.2(d) 漏洩およびばく露濃度の測定点

煙発生装置で煙を発生した時にフードで捕集しきれず周囲へ拡散した漏洩濃度およびマネキンの呼吸域にあたるばく露濃度の測定をした。濃度測定点を図 7.24 および図 7.25 にそれぞれ示す。フードからの漏洩濃度測定を目的としてデジタル粉じん計 LD-5 をフード周囲の 3 点（測定点 ~ ）に設置し、フードに吸引されずにマネキン周囲に漏洩した濃度測定を目的としてデジタル粉じん計 LD-6N を作業台横（測定点 ~ ）に 1 点、マネキンの腰の位置に左右 1 点ずつ（測定点 ~ ）、呼吸域（作業台上から高さ 500mm）に 1 点（測定点 ~ ）設置した。

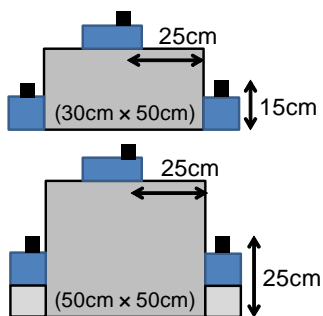


図 7.24 濃度測定点

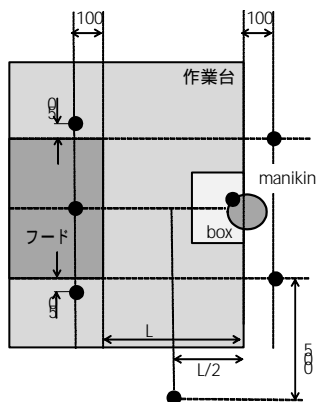


図 7.25 測定点の位置

なお、デジタル粉じん計で測定したカウント値を質量濃度に変換するための質量濃度変換係数(K 値)を事前に求めた結果、平均 (n=3) で  $1.64 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>/cpm であった。

#### 7.3.2(e) 漏えい濃度の判定基準値<sup>1)2)</sup>

作業環境管理では環境測定を行う際に管理濃度を基準として評価を行なっている。粉じんの管理濃度 E(mg/m<sup>3</sup>)は式(7.1)の算出式を用いて求める。ただし、Q は遊離ケイ酸含有率 (%)である。

$$\frac{3.0}{1.19Q + 1}$$

$$E(\text{mg/m}^3) = \quad (7.1)$$

本実験で用いた煙の遊離ケイ酸の含有率は 0%であるため、管理濃度は 3.0 mg/m<sup>3</sup>である。

ここで、管理濃度の 1/10 以下にまで濃度が薄まれば有害物質の作業員への健康影響は非常に少なくなると一般に言われており、本実験では管理濃度の 1/10 の濃度である 0.3 mg/m<sup>3</sup>以下に濃度を抑えればよいと考えられる。しかし、本実験においてはこの基準値よりも厳しい、0.15 mg/m<sup>3</sup>を漏えい判定の基準値とした。この値は、たばこの煙に対して定められた基準値であり、職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会の報告書<sup>2)</sup>において、喫煙場所における分煙効果の判定基準として、デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が 0.15 mg/m<sup>3</sup>以下に保たれていることが定められている。本実験ではこの基準値の濃度を超えていなければ、十分に発生した煙を捕捉できていると考えた。

#### 7.3.3 発煙ノズルを用いた時の実験結果

まず、各フードからの各排風量における捕捉点風速 (マネキンが無い時と有る時) の測定結果を表 7.2 (フード 1) 及び表 7.3 (フード 2) にそれぞれ示す。

ここで、理論値は Dalla Valle の式(7.2) に各測定時の排風量 1Q(m<sup>3</sup>/min)、発煙ノズルの開口面からの距離 X(m)、フードの開口面の面積 A(m<sup>2</sup>)を代入して算出した。

$$Q = 60 \times V \times (5X^2 + W \times L) \quad \text{式(7.2)}$$

Q:排風量(m<sup>3</sup>/min)、V:捕捉点風速(m/s)、X:開口面からの距離(m)

W:フード開口面の幅(m)、L:フード開口面の高さ(m)

表 7.2 捕捉点風速 (フード 1)

フード開口面からの距離 m	排风量 m <sup>3</sup> /min	理論値 m/s	風速 m/s (マネキン無し)	風速 m/s (マネキン有り)
0.30	1.0	0.03	0.03	0.01
	2.0	0.06	0.06	0.04
	3.2	0.09	0.21	0.04
0.45	7.0	0.10	0.13	0.05
	10	0.14	0.14	0.10
	15	0.21	0.24	0.11
0.60	10	0.09	0.13	0.04
	15	0.13	0.15	0.10
	20	0.17	0.20	0.17

表 7.3 捕捉点風速 (フード 2)

フード開口面からの距離 m	排风量 m <sup>3</sup> /min	理論値 m/s	風速 m/s (マネキン無し)	風速 m/s (マネキン有り)
0.50	10	0.11	0.07	0.13
	15	0.17	0.12	0.21
	20	0.22	0.18	0.28
0.75	25	0.14	0.13	0.16
	30	0.16	0.15	0.22
	35	0.19	0.20	0.28
	40	0.22	0.21	0.28

表 7.2 及び表 7.3 の結果を図 7.26 に示す。図 7.26 中の青線は実測値が理論値と一致する時を表す。図 7.26 の横軸は理論値を表し縦軸は実測値を表している。

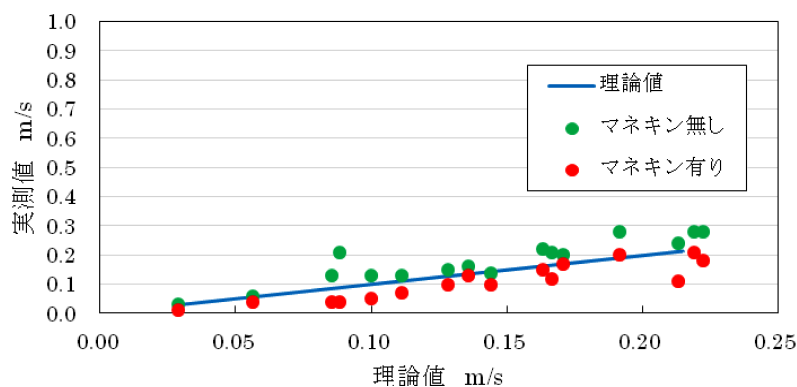


図 7.26 捕捉点風速の実測値と理論値

図 7.26 のように、マネキンが無い時には理論値よりも速くなる傾向があり、マネキンがある時は理論値よりも遅くなる傾向にあった。これは、マネキンがあることで、直接フードに向かっていったマネキン背後からの気流がマネキンの胴体に衝突し、胴体に沿ってフードに方向に向かう流れに変わったためと考えられる。

この結果から、制御風速を満たすようにファンを稼働しても、実際にフード前方で作業

者が作業をする時には捕捉点風速は制御風速より下がる傾向にあると考えられた。このため、作業場で制御風速を満たしているか否かを測定する際には、作業者がフード前方にいる状態の捕捉点風速も同時に測定することは重要である。

次に、発煙ノズルから煙を発生した時の漏洩濃度およびばく露濃度の結果を表 7.4 及び表 7.5 に示す。

表 7.4 質量濃度結果 (フード 1)

位置 m		排風量 (m <sup>3</sup> /min)	測定点						
0.3	A-Line	1.00	0.003	0.009	0.215	0.000	0.004	2.014	2.744
		2.00	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.388
		3.20	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.017
	B-Line	1.00	0.066	0.679	0.194	0.000	0.004	1.396	15.979
		2.00	0.002	0.165	0.002	0.000	0.004	0.003	4.716
		3.20	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.000
0.45	A-Line	6.96	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	6.958
		10.04	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.271
		14.88	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	B-Line	6.96	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.099
		10.04	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000
		14.88	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000
0.6	A-Line	9.69	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	18.159
		15.27	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	7.477
		20.04	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	0.003	0.128
	B-Line	9.69	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.256
		15.27	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
		20.04	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 7.5 質量濃度結果 (フード 2)

位置 m		排風量 (m <sup>3</sup> /min)	測定点						
0.5	A-Line	9.20	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	14.217
		14.09	0.002	0.002	0.002	0.004	0.003	0.002	4.463
		19.13	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.028
	B-Line	9.20	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.614
		14.09	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.336
		19.13	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001
0.75	A-Line	24.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	14.233
		30.02	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	16.006
		35.23	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	12.667
		40.24	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	3.173
	B-line	24.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.004
		30.02	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
		35.23	0.001	0.001	0.001	0.000	0.003	0.002	0.000
		40.24	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 7.4 及び表 7.5 より、A-Line 上で発煙ノズルから煙を発生した時にはフード周囲の漏洩は見られず、主にマネキンの呼吸域にあたる点(測定点)においてばく露がみられた。また、B-Line 上で発煙ノズルから煙を発生した時にも、フード 1、フード 2 とともに主にばく露濃度が高くなった。

フード 1 を用いて A-Line 上(フード開口面から 0.6m)で発煙ノズルから発煙させた時の様子を図 7.27～図 7.29 にそれぞれ示す。

発煙ノズルからは約 0.5m/s で煙を発生させており、排風量が小さい時には煙の発生方向(上方)への慣性力が優勢となり、図 7.27 のように煙はマネキンの呼吸域の高さまで達していた。排風量を徐々に大きくすると、煙粒子に働く上方への慣性力よりもフードで吸引する力が強くなり、煙がマネキンの呼吸域まで達することなくフードで捕集されたため、ばく露濃度が低くなった。



図 7.27 実験の様子(フード 1、排風量 10m<sup>3</sup>/min、位置 0.6m)

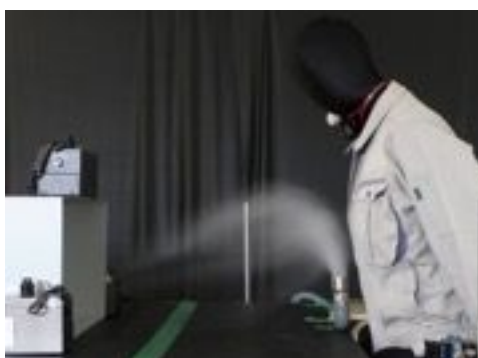


図 7.28 実験の様子(フード 1、排風量 15m<sup>3</sup>/min、位置 0.6m)

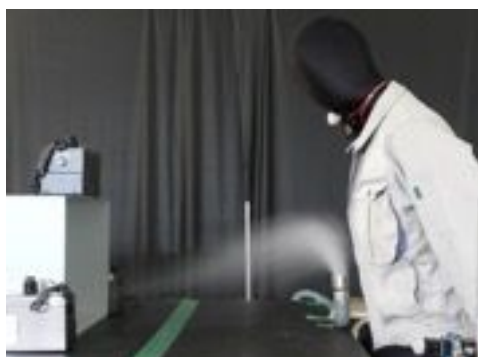


図 7.29 実験の様子(フード 1、排風量 20m<sup>3</sup>/min、位置 0.6m)

表 7.4 及び表 7.5 より、測定点 において主に漏洩が見られた。ここで、作業環境を良好に保つためには、フードで発生した粉じんを周囲に拡散することなく捕集する必要がある。そこで、本測定結果から、ばく露濃度が  $0 \text{ mg/m}^3$  になる時の捕捉点風速および排風量を求める。まず、捕捉点風速の実測値と測定点 で測定した質量濃度の関係を図 7.30 に示す。図 7.30 では、開口面からの距離ごとに結果のプロットを色分けし、それぞれの結果から最小二乗法により上に凸となる 2 次関数の近似式を算出した。

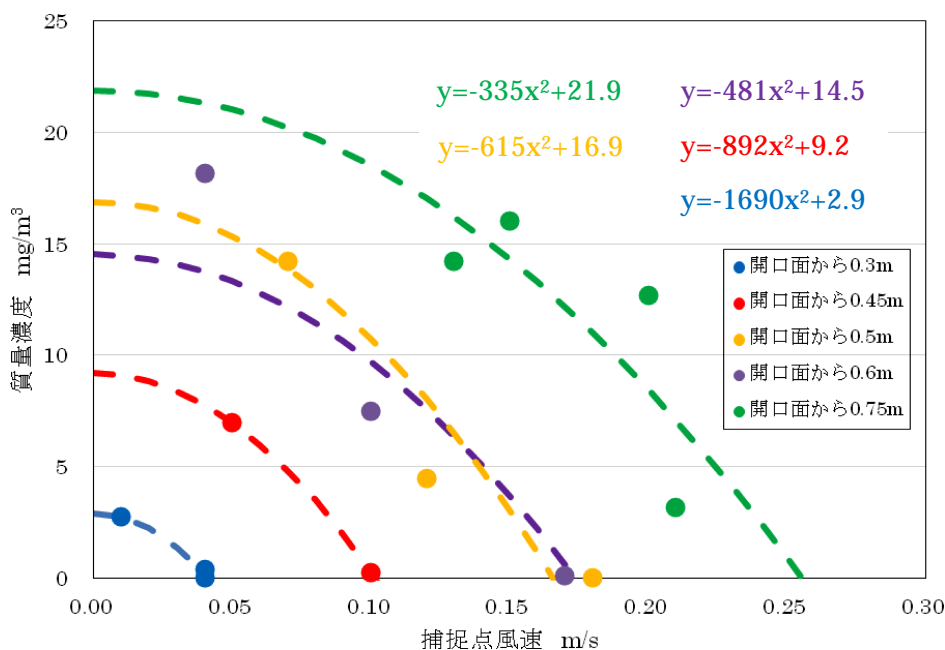


図 7.30 捕捉点風速と質量濃度の関係

図 7.30 のグラフの近似式より、ばく露濃度が  $0 \text{ mg/m}^3$  となる捕捉点風速（各グラフの x 軸との交点）と開口面からの距離との関係について図 7.31 に示す。

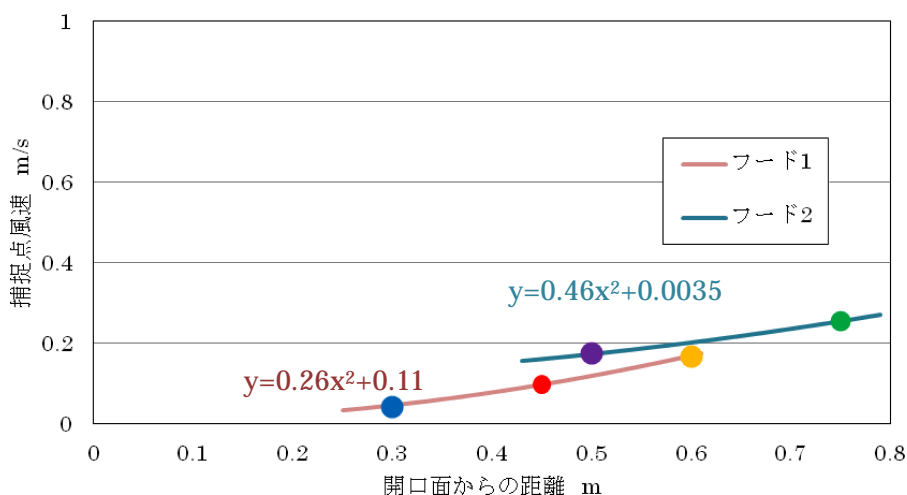


図 7.31 開口面からの距離と捕捉点風速との関係

本実験条件では、捕捉点風速は制御風速 1.0m/s より遅くしても、発生した煙を周囲に拡散することなくフードで十分捕集できることが分かった。

また、開口面からの距離 (x) と捕捉点風速 (y) との関係式はフード 1 の場合は  $y=0.26x^2-0.11$ 、フード 2 の場合は  $y=0.46x^2+0.0035$  と近似式で表された。これらの式から、フードの形状や発生源の距離によって捕捉点に必要となる吸引風速は異なり、制御風速という1つの値だけでフードの捕集性能を評価するのは妥当とは言えない。

次に、測定点 で測定した質量濃度とその時の排風量の関係を図 7.32 に示す。図 7.32 でも、フード開口面からの距離ごとに結果を色分けし、それぞれの結果から最小二乗法により上に凸となる 2 次関数の近似式を算出した。

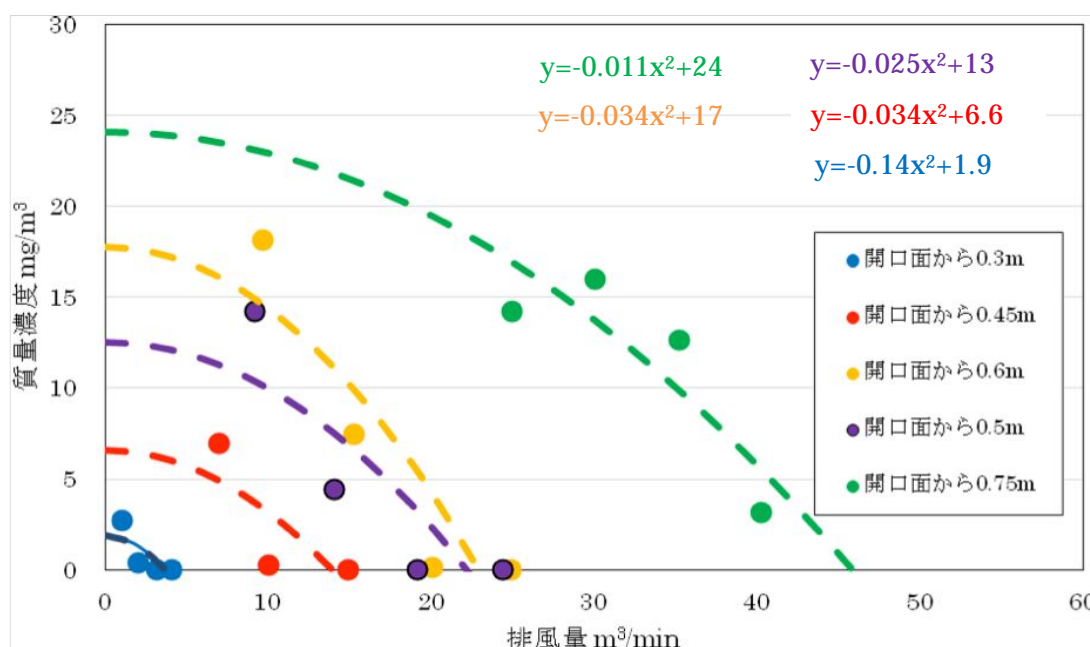


図 7.32 流量と周囲への漏洩濃度の関係

図 7.32 の各開口面からの距離ごとの近似式を用いて周囲に漏洩する煙の質量濃度が  $0(\text{mg}/\text{m}^3)$  となる時の排風量 (各グラフの x 軸との交点) を求め、開口面からの距離と必要排風量の関係を図 7.33 に示す。また、制御風速 (1.0m/s) を満たす時の開口面からの距離と必要排風量の関係式を Dalla Valle の式 (7.3) を用いて、フード 1 とフード 2 のそれぞれで求めると、式 (7.4) と式 (7.5) が得られる。得られた開口面からの距離と排風量の関係式を併せて図 7.33 に示す。

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.3 \times 0.5) =300 X^2+9 \quad \text{式(7.3)}$$

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.5 \times 0.5) =300 X^2+15 \quad \text{式(7.4)}$$



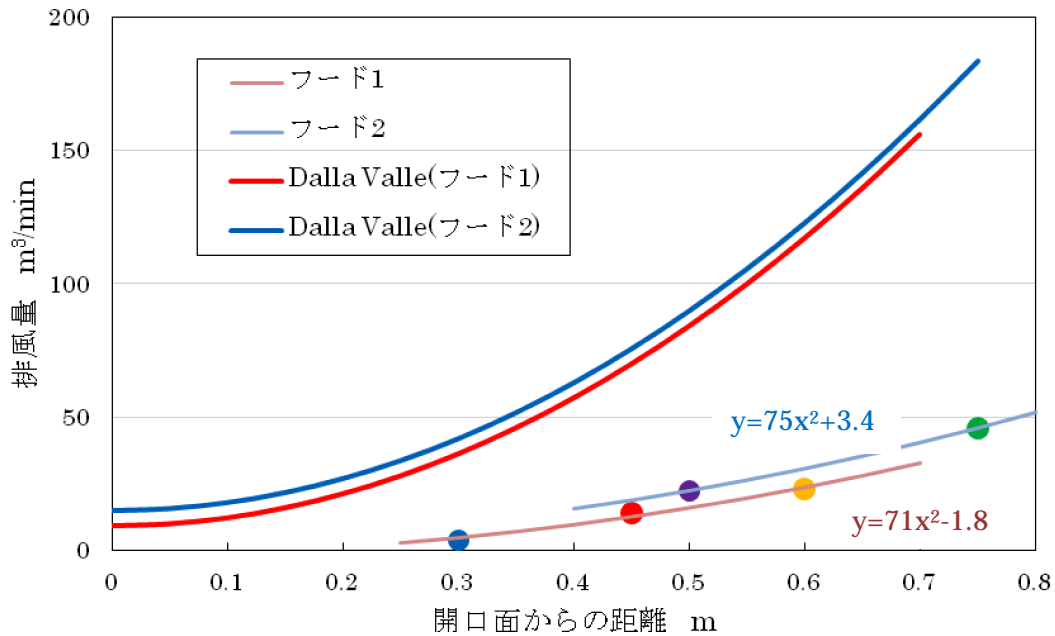


図 7.33 開口面からの距離と排風量の関係

図 7.33 より制御風速を満たす時の排風量は、本実験で必要となった排風量よりも極めて大きいことが分かる。これは図 7.31 で実験結果から求めた、捕捉点風速と制御風速(1.0m/s)との速さの差が排風量の大きさに影響しているためである。

例えば、捕捉点風速が1.0m/sの時と0.9m/sの時のフード1に必要となる排風量を式(7.5)を用いて算出してみる。発散源の位置が開口面から0.45mの場合には、式(7.6)及び式(7.7)のように必要排風量はそれぞれ70m³/min、63m³/minとなり、捕捉点風速を0.1m/s下げただけで約7m³/minの排風量を削減できることが分かる。

$$Q=60 \times 1.0 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 70 \quad \text{式(7.5)}$$

$$Q=60 \times 0.9 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 63 \quad \text{式(7.6)}$$

ここで、式(7.1)において発散源の開口面との距離を0.45mとし、フード1(L:0.3m、W:0.5m)を用いた時の排風量(Q m³/min)と捕捉点風速(V m/s)との関係式は式(7.7)のようになる。

$$Q = 60 \times V \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 69.75V \quad \text{式(7.7)}$$

ここで、捕捉点風速を制御風速(1.0 m/s)にした時には排風量は70 m³/min 必要となるが、制御風速から V だけ遅くした場合に削減される排風量(Q)は式(7.7)を用いて、式



(7.8)で表される。

$$Q = 69.75 \cdot V \quad \text{式(7.8)}$$

式(7.8)を図 7.34 に示す。

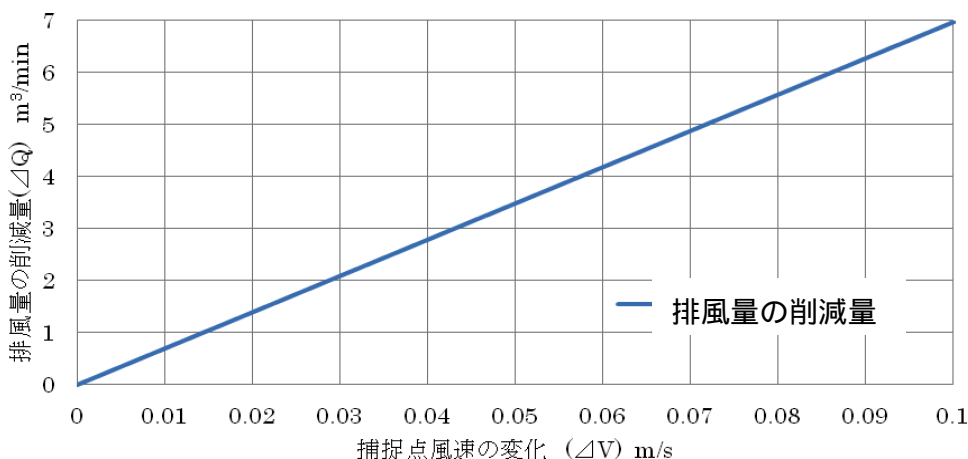


図 7.34 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の関係

Dalla Valle の式をもとにして考えると、上記の図のように捕捉点風速を 0.01m/s 遅くするごとに必要排風量は約 0.7m³/min ずつ削減できることが分かる。ここで、さらに一般的な場合について考える。フードの捕集できる有効範囲はフード高さ(L)の 1.5 倍以内であることから、 $X=1.5L$  の場合において考える。

捕捉点風速  $V$  を制御風速(1.0 m/s)から  $V$  だけ遅くした時に削減される排風量  $Q$  は式(7.9)で表される。

$$\begin{aligned} Q &= 60 \times V \times \{5 \times (1.5L)^2 + L \times W\} & \text{式(7.9)} \\ &= 60 \times V \times \{11.25L^2 + L \times W\} \end{aligned}$$

開口面からの距離： $X=1.5L$  (m)、フード高さ： $L$ (m)、フード幅： $W$ (m)

ここで、長方形型フードの場合、短辺は長辺の 0.2 倍より大きいことが定められているため、 $L$  は式(7.10)の範囲となる。

$$L > 0.2W \quad \text{式(7.10)}$$

さらに、一般的なフードは横長に設置することを考慮し、フードの高さ ( $L$ ) は幅の長さ ( $W$ ) よりも短い条件 ( $L < W$ ) を加えると  $L$  の範囲として式(7.11)が得られる。

$$W > L > 0.2W \quad \text{式(7.11)}$$

式(7.11)の  $L$  の範囲で排風量の削減量 ( $Q$ ) の範囲を求めると、その範囲は式(7.12)の

よくなる。

$$\begin{aligned}
 &60 \times V \times \{11.25W^2 + W \times W\} \\
 &Q > 60 \times V \times \{11.25 \times (0.2W)^2 + 0.2W^2\} \\
 &60 \times V \times 12.25W^2 \quad Q > 60 \times V \times 0.65W^2 \\
 &735W^2 \quad V \quad Q > 39W^2 \quad V \quad \text{式(7.12)}
 \end{aligned}$$

式(7.12)を用いて、 $W=0.5$ 、 $W=1.0$  の時に削減できる排風量の範囲は式(7.13)、式(7.14)となり、図 7.35 に示す。

$$184 \quad V \quad Q > 9.75 \quad V \quad \text{式(7.13)}$$

$$735 \quad V \quad Q > 39 \quad V \quad \text{式(7.14)}$$

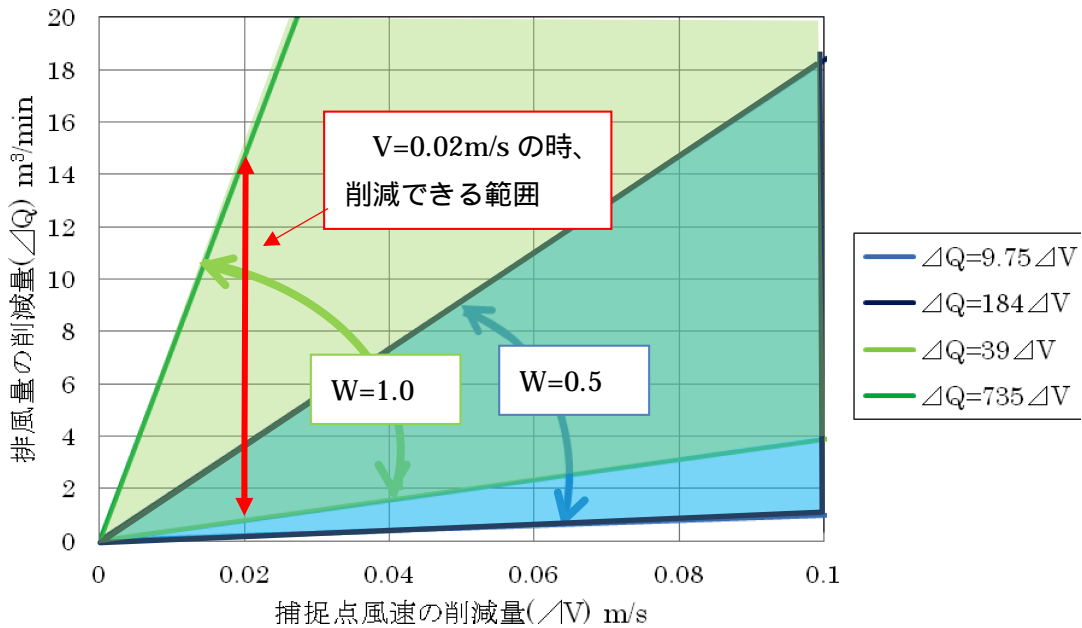


図 7.35 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の範囲

捕捉点風速が制御風速から  $V$  だけ遅くした時には図 7.35 のグラフの範囲で排風量を削減できることが分かる。

例えば、図 7.35 において、 $W=1.0$  の時、捕捉点風速を  $1.0 \text{ m/s}$  からわずか  $0.02 \text{ m/s}$  下げ、 $0.98 \text{ m/s}$  にするだけでも排風量はフード開口面の寸法にもよるが、緑色で色付けた範囲から、最小で  $0.78 \text{ m}^3/\text{min}$ 、最大で  $14.7 \text{ m}^3/\text{min}$  の削減ができることが分かる。

#### 7.3.4 発煙 BOX を用いた時の実験結果

発煙 BOX を設置した時の各濃度測定点での測定結果を表 7.6 及び表 7.7 に示す。

表 7.6 質量濃度結果 (フード 1)

位置 m	排風量 (m <sup>3</sup> /min)	測定点						
0.30	1.10	0.047	0.002	0.002	0.000	3.280	3.697	0.001
	2.00	0.002	0.002	0.002	0.000	0.005	0.003	0.001
0.45	3.15	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.687	0.000
	4.09	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	5.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	6.96	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
0.60	5.05	0.001	0.001	0.001	0.002	1.606	3.648	0.000
	6.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.017	1.625	0.000
	10.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.004	0.000
	14.88	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 7.7 質量濃度結果 (フード 2)

位置 m	排風量 (m <sup>3</sup> /min)	測定点						
0.50	4.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.402	3.170	0.002
	6.96	0.001	0.001	0.001	0.003	0.006	0.128	0.000
	9.63	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	14.90	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
0.75	6.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.010	5.052	0.000
	10.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	1.096	0.003
	14.90	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	1.632	0.000
	19.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
1.00	15.00	0.001	0.001	0.001	0.000	1.421	2.253	0.000
	19.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.033	0.481	0.000
	24.85	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.000
	30.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.000

表 7.6 及び表 7.7 より、発煙ノズルの場合に比べ緩やかに煙を発煙 BOX から発生した場合には測定点 1 ではなく露は見られず、マネキンの腰の部分にあたる位置 (測定点 2、3) において漏洩が見られた。目視では、発生した煙がフード方向への気流に乗りきれずマネキンの方 (測定点 4、5) に漏洩しているのが確認できた。また、フード周囲では漏洩は見られなかった。フード 1 を用いて、開口面から 450mm 離れた A-Line 上に発煙 BOX を設置して発煙した時の様子を図 7.36 に示す。



図 7.36 実験の様子（左：全体図、右：測定点 に漏洩している時の様子、フード 1、排風量  $3\text{m}^3/\text{min}$ 、位置  $450\text{mm}$ ）

ここで、表の結果から測定点 で主に漏洩が見られたため、測定点 で測定した質量濃度と排風量の関係を図 7.37 に示す。

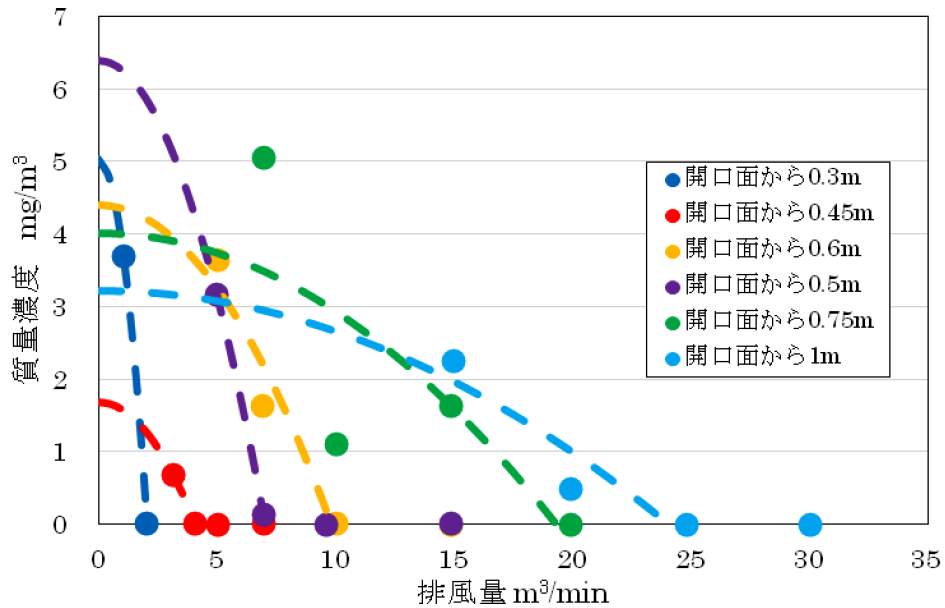


図 7.37 排風量と質量濃度の関係

図 7.37 の各開口面からの距離ごとの近似式に周囲に漏洩する煙の質量濃度が  $0\text{ mg}/\text{m}^3$  となる時の排風量を求め、開口面からの距離と必要排風量の関係を図 7.38 に示す。

また、式(7.3)と式(7.4)で得られたフード 1 とフード 2 の制御風速を満たす時の開口面からの距離と排風量の関係式を併せて図 7.38 に示す。

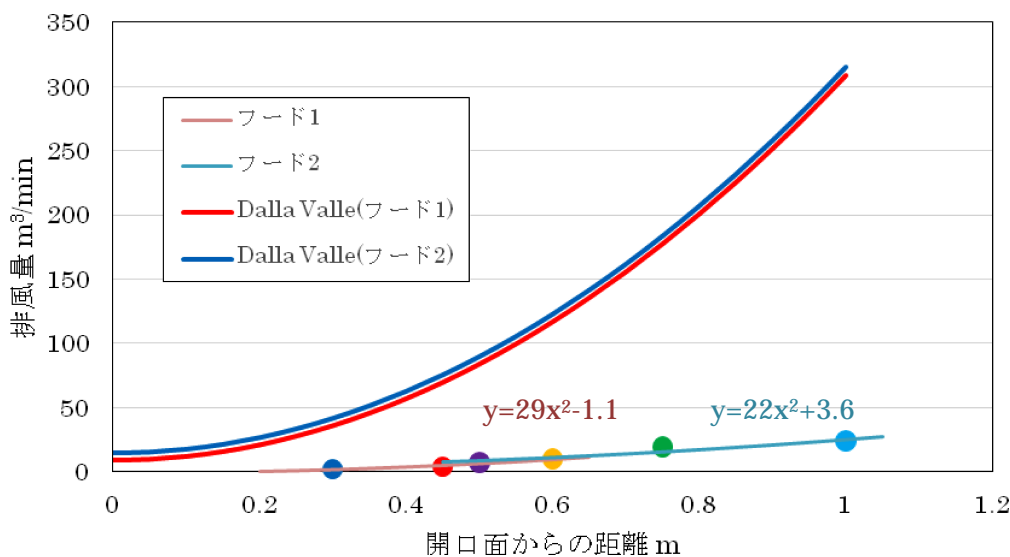


図 7.38 開口面からの距離とは必要排風量

図 7.38 より、発煙ノズルを用いた時と同様に制御風速から求めた排風量は本実験で求めた排風量よりも大きかった。また、発煙ノズルと比べて緩やかに煙を発生させた時には必要排風量は発煙ノズルの時より少なくても漏洩およびばく露を防げた。

### 7.3.5 総括

#### 7.3.5(a) マネキンの有無による捕捉点風速について

捕捉点風速はマネキンが無い時と有る時で差が生じ、マネキンがある方が捕捉点風速は遅くなった。また Dalla Valle の式により算出した理論値よりもマネキンが無い時は風速が速くなり、有る場合は風速が遅くなる傾向にあることが明らかになった。

この結果から、実際にフード前方で作業者が作業をする時には捕捉点風速は下がる傾向にあると考えられる。このため、作業場で制御風速を満たしているか否かを測定する際には、作業者がフード前方にいる状態の捕捉点風速も同時に測定することは重要であると考えた。

#### 7.3.5(b) 必要排風量について

発煙ノズルを用いた場合には、主にばく露濃度が高くなった。また、制御風速よりも遅い風速で発生した煙を捕集でき、開口面からの距離  $x$  (m) と必要排風量  $y$  (m³/min) の関係はフード 1 の場合は  $y=70x^2-1.8$ 、フード 2 の場合は  $y=75x^2+3.4$  と近似式で表された。

発煙 BOX を用いた場合には、発煙ノズルよりも発生速度が緩やかであったため、ばく露は見られず、作業者に見立てたマネキンの腰の部分の方で主に漏洩が見られた。また、フード周囲では漏洩は見られなかった。発煙ノズルの時と同様に、捕捉点風速は制御風速より遅い場合であっても発生した煙を十分に捕集でき、開口面からの距離  $x$  (m) と必要排風量

$y(\text{m}^3/\text{min})$ の関係式はフード1の場合は $y=29x^2-1.1$  フード2の場合は $y=22x^2+3.6$ と近似式で表された。

このように、フードの形状や煙の発生速度によって必要排風量は異なることが分かった。

#### 7.3.5(c) 制御風速について

本実験条件では、制御風速以下で発散源を捕捉できた。また、発散源の発生量、フードの開口面積、発散源のフード開口面からの距離によって、漏洩およびばく露を防ぐために必要となる捕捉点風速は異なることが分かった。これらのことから、現在はフードの吸引性能を制御風速(外付け式フードの場合は $1.0\text{ m/s}$ )で評価しているが、作業環境が良好で、発散源の発生量および発生速度が小さければ、制御風速より遅くても十分に発生した煙を捕捉できる。

さらに、捕捉点風速を $0.1\text{ m/s}$ 下げただけで排風量は大きく削減できることが Dalla Valle の式より明らかになった。これは、少ないエネルギーで発散源を速やかに捕捉することが作業環境を良好に保つ上で必要とされる中、制御風速より遅い風速であっても作業環境を良好に保つことができる作業場では、エネルギーコスト、 $\text{CO}_2$ 排出量の削減も期待できる。

#### 参考文献

- 1) 職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会の報告書
- 2) 社団法人 日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック 鉱物性粉じん関係、2005、p48～p61、p72

## 7.4 屋内排気型フードを用いた外乱気流の影響に関する実験

### 7.4.1 屋内排気型フード

屋内排気型フードを作製した。作製した屋内排気型フードの外観を図 7.39 に示す。開口面のサイズは高さ 300mm × 幅 500mm であり、遠心ファン(山洋電気株式会社製 SanAce C175)を 2 つ内蔵し、ファンの前には金属フィルター(布引製作所社製)と 0.3 μm を 99.97% 捕集できる HEPA フィルター(Panasonic 社製 AIR FILTER)を挿入した。排風量はファンコントローラーで調節が可能である。



図 7.39 屋内排気型フードの外観(左:全面、中央:側面、右:背面)

現場適応性を考慮し、より軽量で、かつ少ない排風量で排気できるよう、フード 2 の形状(サイズ:高さ 300mm × 幅 500mm)を採用した。ファンは 24V の直流電源により交流電源よりも消費電力が低く、薄型で軽量の遠心ファンを採用した。5 章の結果から、最大排風量は約 6m<sup>3</sup>/min 必要となり、この時の開口面風速は排風量をフード開口面積で除すると約 0.7m/s となる。2 章の圧力損失の測定結果より、面速 0.8m/s の時のフィルター全体(金属メッシュフィルター 10 枚と HEPA フィルターの合計)の圧力損失は約 200Pa であり、集じんした粉じんがフィルターに堆積し、圧力損失がそれ以上に高くなることを想定し、遠心ファン(山洋電気株式会社製)を 2 台内蔵した。

### 7.4.2 開口面からの距離と吸引風速の関係

#### 7.4.2(a) 実験目的

フード前方にマネキンが無い時と有る時で捕捉点風速に変化が生じていた。そこで、作製した屋内排気型フードについても同様にフード前方の風速を測定し、マネキンの有無で捕捉点風速に変化があるかを検証した。また、発散源の発煙 BOX が無い時と有る時についても同様に捕捉点風速に変化があるかどうかを検証した。

#### 7.4.2(b) 測定方法

フード開口面中央の線上 6 点(開口面から 5cm、15cm、22.5cm、25cm、35cm、45cm 離れた点)において、フード方向への吸引風速を多点風速計(日本カノマックス株式会社製 Model 1560)で測定した。測定条件を表 7.8 に、風速測定状況を図 7.40 に示す。

表 7.8 風速測定条件

フード前方の風速測定点 (開口面からの距離)	5 cm、15 cm、22.5 cm、25 cm、35 cm、45 cm
設置条件	マネキン無し、発煙BOX無し マネキン無し、発煙BOX有り マネキン有り、発煙BOX無し マネキン有り、発煙BOX有り
排风量	3 m <sup>3</sup> /min、4 m <sup>3</sup> /min、5 m <sup>3</sup> /min、6 m <sup>3</sup> /min
測定時間	3 min

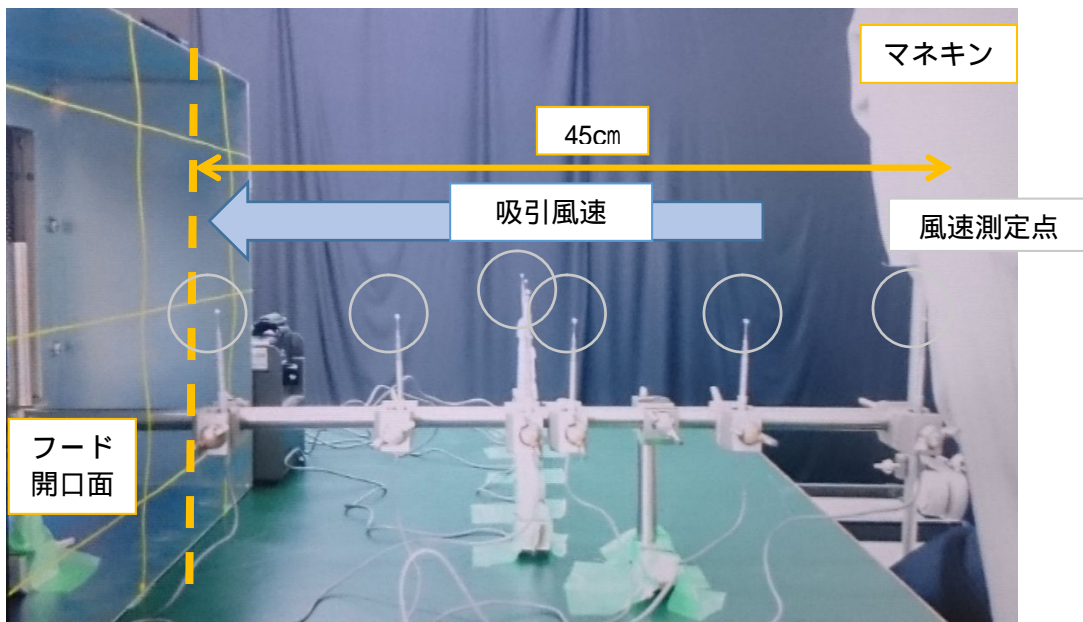


図 7.40 フード前方の風速測定点  
(マネキン有り、発煙BOX無しの状態)

7.4.2(c) 実験結果

排风量ごとに設置条件 ~ 設置条件 の風速測定結果を図7.41 ~ 図7.44 にそれぞれ示す。

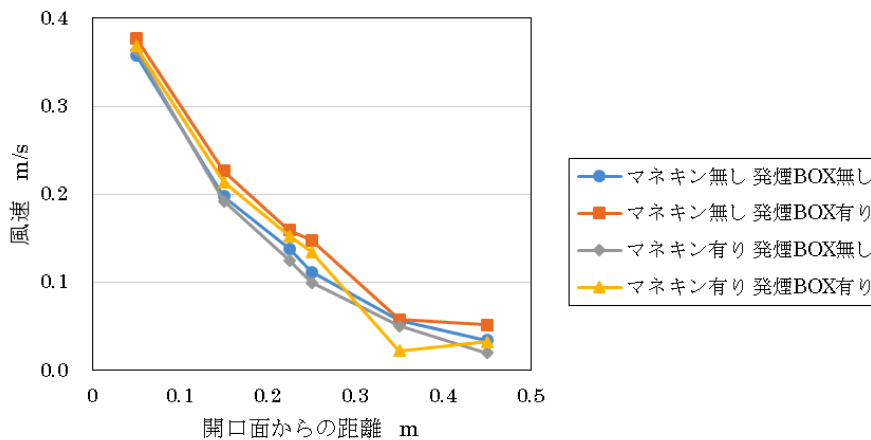


図 7.41 フード前方の風速 (排风量 3m<sup>3</sup>/min)



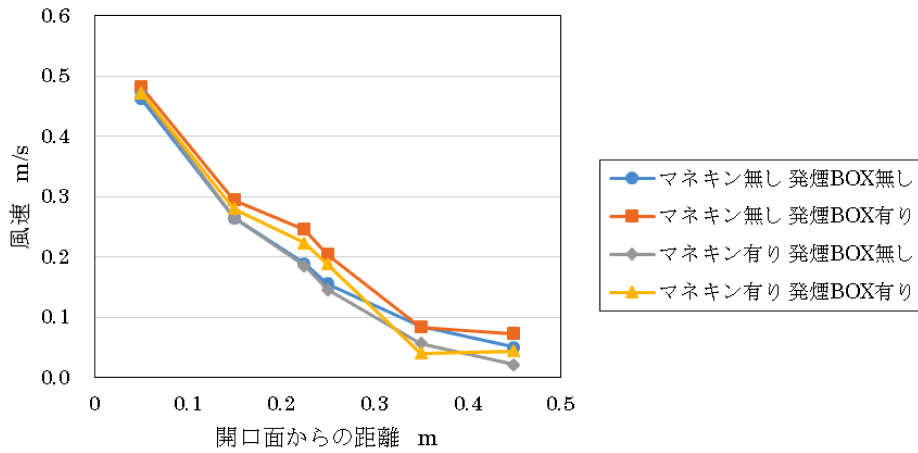


図 7.42 フード前方の風速 (排风量 4m<sup>3</sup>/min)

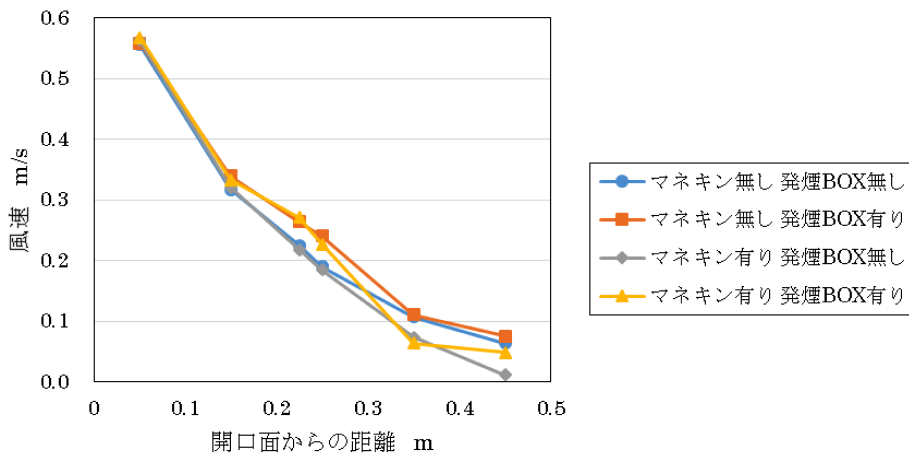


図 7.43 フード前方の風速 (排风量 5m<sup>3</sup>/min)

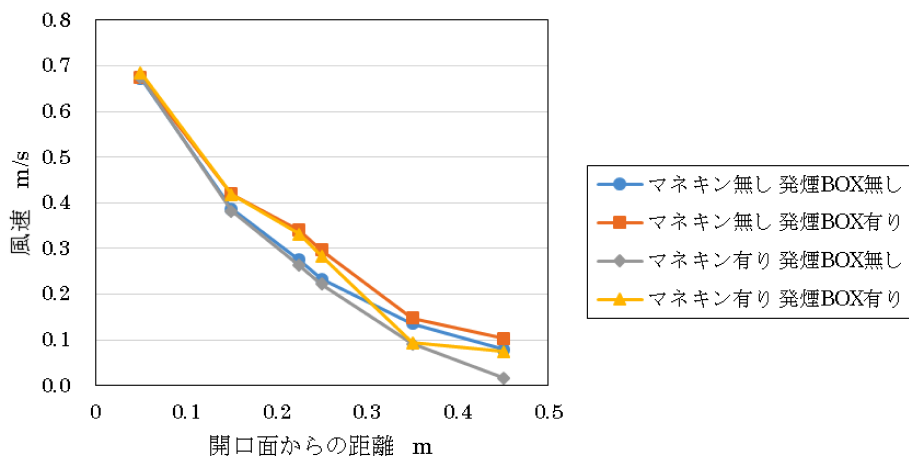


図 7.44 フード前方の風速 (排风量 6m<sup>3</sup>/min)

図 7.41～図 7.44 より排风量ごとに、フード開口面から離れるほど吸引風速は遅くなることが確認できた。ここで、図 7.41～図 7.44 の捕捉点風速について図 7.45 にまとめる。

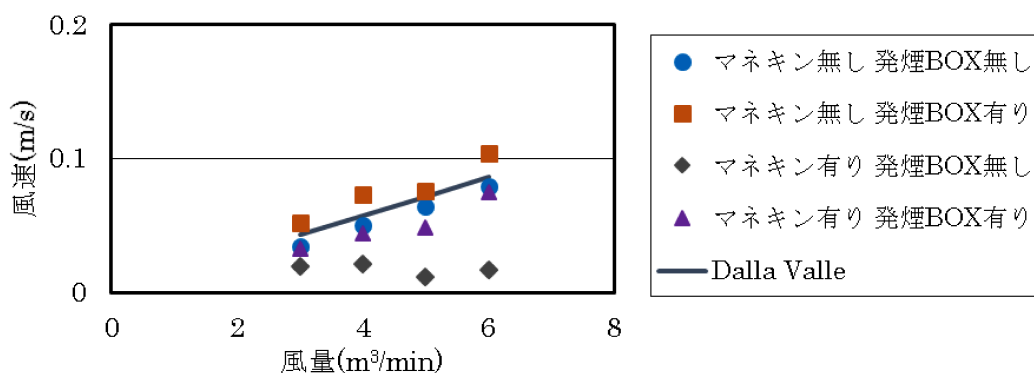


図 7.45 捕捉点風速

図 7.45 より、マネキンと発煙 BOX の有無によって捕捉点風速の大きさは異なった。測定状況（マネキン無し、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速は理論値よりも速くなり、測定状況（マネキン有り、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速は理論値よりも遅くなった。測定状況以外の捕捉点風速はほとんど同じ風速であった。

#### 7.4.2(d) 考察

外付け式フードの吸引風速は距離の二乗に反比例して急激に減衰と言われており、本実験結果からも図 7.41～図 7.44 よりフードへの吸引気流はフードから遠ざかると減衰していた。

マネキンが無い時と有る時では捕捉点風速が異なった。本実験結果においてもマネキンの有無で捕捉点風速は異なり、マネキンが無い時に比べ、有る時の方が捕捉点風速は遅くなる傾向にあった。また、マネキンが無く、発煙 BOX が有る場合は Dalla Valle の式により算出した理論値よりも速くなり、マネキンが有り、発煙 BOX が有る場合には理論値よりも遅くなった。これは、マネキンが有ることでフードに向かう吸引気流が乱されたためと考えられる。ただし、本測定範囲においては、測定状況以外の捕捉点風速はほとんど同じ風速であった。

実際の現場で必要となる捕捉点風速を想定し、今後の実験ではマネキン有り、発煙 BOX 有りの状態の捕捉点風速を制御風速と比べる。

#### 7.4.3 漏洩およびばく露濃度測定実験

##### 7.4.3(a) 実験目的

屋内排気型フードを実際に用いた時に、排気濃度は低濃度に抑えられるか、制御風速以下の吸引風速であっても発煙した煙を捕捉できるか、この 2 点を検証することを目的とする。なお、制御風速は外乱気流が有る状態を考慮して設定されていることから、本実験では外乱気流が無い場合と有る場合で測定を行った。

##### 7.4.3(b) 実験装置

作業台上に屋内排気型フードを設置し、作業者に見立てたマネキン(サイズ:肩幅 430mm、

身長 1800mm) の口元付近が作業台上から 500mm の高さになるように設置した。発生源には前項で用いた発煙 BOX( サイズ:縦 200mm×横 300mm×高さ 100mm)を、フード開口面から 450mm 離れた作業台上に置き、煙発生装置(日本カノマックス株式会社製 Model8304)からの煙を発煙 BOX 上面から 30L/min で発煙した。実験外観図を図 7.46 に示す。

事前に前項で得られた漏洩濃度実験結果を参考にし、本実験ではフードからの排風量を 3m<sup>3</sup>/min、4m<sup>3</sup>/min、5m<sup>3</sup>/min、6 m<sup>3</sup>/min の 4 条件とした。各排風量に対して、フードからの吸引風速が遅ければ、発煙 BOX から発生した煙は周囲に漏洩し、吸引気流が速ければ漏洩を防げると考えられる。

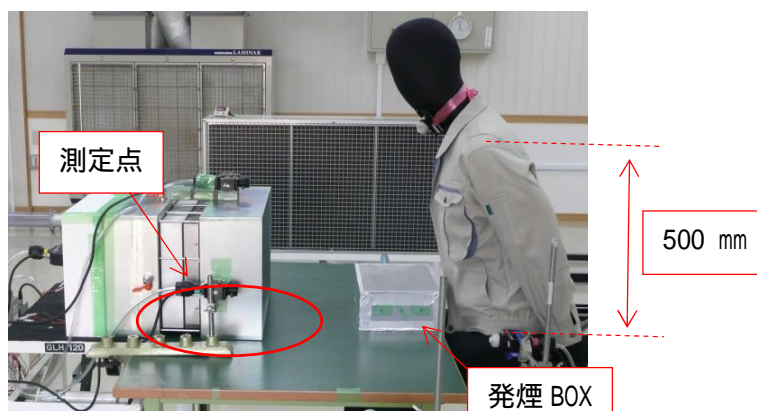
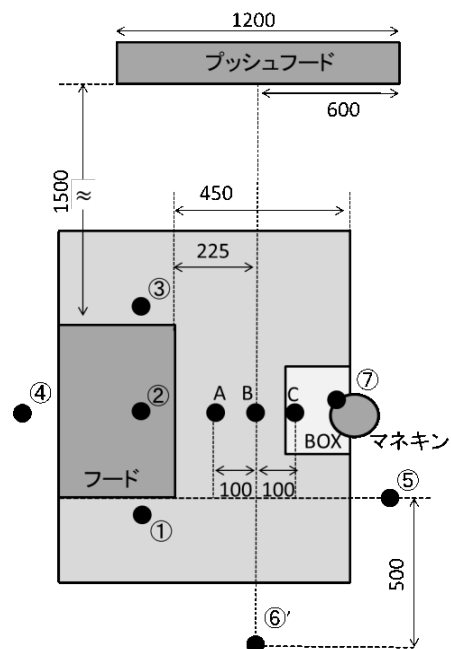


図 7.46 実験装置の外観図

#### 7.4.3(c) 漏洩およびばく露濃度の測定点

測定点の位置を図 7.47 に示す。漏洩濃度とばく露濃度の測定点は、フード開口面の周囲(測定点 ~ 測定点)、フィルター通過後(測定点)、作業者に見立てたマネキン周辺の漏洩濃度(測定点、測定点)および呼吸域のばく露濃度(測定点)とし、濃度測定にはデジタル粉じん計 LD-6N を用いた。ここで、漏洩濃度およびばく露濃度に対して、その判定基準値は前項と同様に 0.15mg/m<sup>3</sup>とした。

なお、予備実験として発生した煙粒子の質量濃度変換係数 K 値を求める実験を行った結果、平均(n=3)で質量濃度変換係数 K 値は 1.64×10<sup>-4</sup> mg/m<sup>3</sup>/cpm であった。

図 7.47 測定点の位置

#### 7.4.3(d) 外乱気流の影響について

##### (1) 気流条件

実際の作業場では、窓やドアが開いている場合に外から外乱気流が入ってくる。このため、本実験では気流をマネキンの周囲 5 方向(前方、斜め前方、横、斜め後方、後方)か

ら発生させ、それぞれの外乱気流が有る状況において、発生させた煙をフードで捕集できる捕捉点風速を測定した。なお外乱気流はプッシュフードを用いた。

外乱気流の大きさの目安は沼野によると、窓を閉めた時の屋内気流を 0.25m/s、ラジエーターやオープン炉などからの対流による気流を 0.15~0.40m/s としている<sup>1)</sup>。これらの値を参考にし、気流の風速は4通り(0.2m/s、0.3m/s、0.4m/s、0.5m/s)とした。

まず、マネキンの横から気流を発生させた時のプッシュフードの位置を図 7.48 に示す。事前に、プッシュフードだけを稼働した時に、微風速計を用いて図 7.49 に示した3点(点A、点B、点C)の3分間の風速平均値を測定し、設定風速になっていることを確認 図 7.48 した。

プッシュフードの設置位置

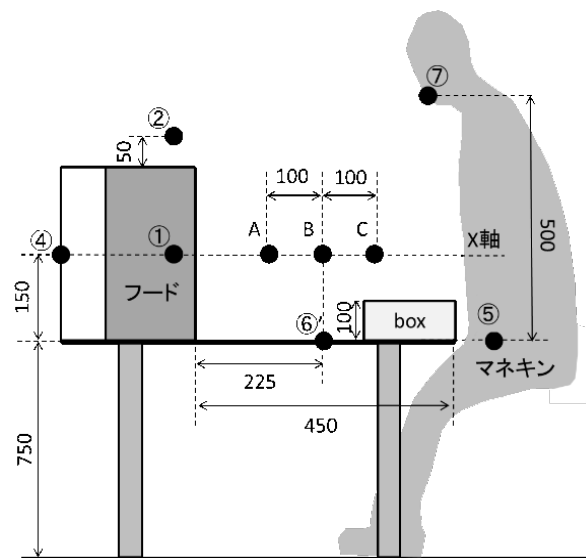
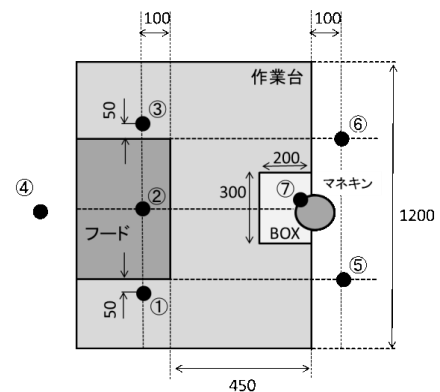


図 7.49 プッシュフードからの横風の風速測定点

また、マネキンの前方、斜め前方、斜め後方、後方から気流を発生させた時のプッシュフードの位置は横風を発生させた時の位置を基準に、フード開口面と発散源との中央の位置を中心点として、±45度、±90度ずらした位置とした。この時のプッシュフードの設置状況を図 7.50 に示す。なお、プッシュフードからの気流の大きさは 0.2m/s ~ 0.6m/s とした。



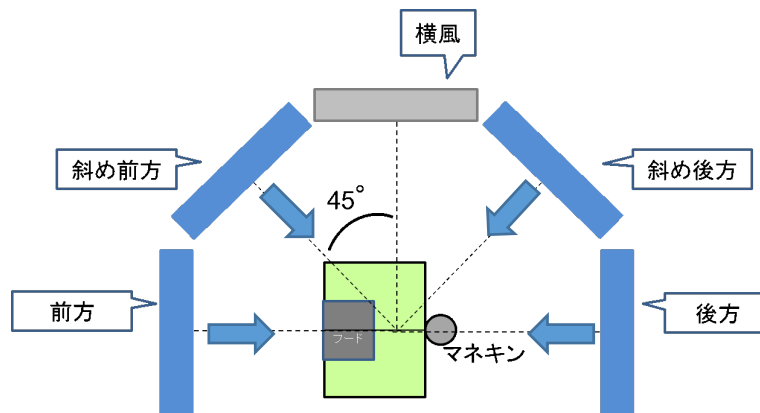


図 7.50 プッシュフードの位置

(2) 実験結果および考察

a) 外乱気流が無い場合

まず、各排风量でフードを稼働した時の捕捉点風速の測定結果を表 7.9 に示す。これは、多点風速計によって得られた値を用いている。

表 7.9 排风量ごとの捕捉点風速

排风量(m <sup>3</sup> /min)	3	4	5	6
捕捉点風速(m/s)	0.03	0.05	0.06	0.08

表 7.9 より、排风量 6m<sup>3</sup>/min 以下で漏洩およびばく露を防げれば、制御風速以下の吸引風速で発生した煙を捕捉できると考えられる。

外乱気流が無い場合の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.10 に示す。ただし、漏洩およびばく露濃度測定は煙発生 30 秒後から開始し、10 分間行った。漏洩判定基準値を超えた場合は色付けしている。

表 7.10 質量濃度測定結果 (外乱気流なし)

排风量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位 (mg/m <sup>3</sup> )
3	0.010	<0.001	0.402	<0.001	1.202	0.961	0.001
4	0.011	<0.001	0.006	<0.001	0.001	0.004	<0.001
5	0.011	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001
6	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.006	<0.001

表 7.10 より 3m<sup>3</sup>/min の時、フード周囲(測定点 )、マネキンの腰の位置(測定点 )において漏洩があった。4m<sup>3</sup>/min 以上で漏洩およびばく露を防げた。

b) 横風

横風を発生させた実験中は測定点 の測定器を横風の下流側(測定点 )に移動した。これは、目視により、発煙 BOX から発生した煙はプッシュフードからの横風によって横風の下流側に漏洩していることを確認したためである。

横風を発生した時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.11 に示す。

表 7.11 質量濃度測定結果 (横風)

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点					単位 (mg/m <sup>3</sup> )	
3	0.2	1.784	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.207	<0.001
	0.3	1.115	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.353	<0.001
	0.4	6.624	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.007	<0.001
4	0.2	0.089	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001
	0.3	0.563	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001
	0.4	0.599	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001
	0.5	1.904	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001
5	0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001
	0.3	0.016	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
	0.4	0.263	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.035	<0.001
	0.5	0.585	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
6	0.2	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001
	0.3	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
	0.4	0.222	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001
	0.5	0.320	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001

表 7.11 より横風が有る時には主にフード側面の横風の下流側（測定点 ）において漏洩が見られた。また、3m<sup>3</sup>/min の時には測定点 ' においても漏洩が見られた。これは、フードで吸引する力が弱かったことから、煙が横風に乗りやすくなり、作業台側方の測定点 ' において漏洩が見られたと考えられた。

横風が 0.3m/s 以下の時は、5m<sup>3</sup>/min で漏洩を防ぐことができ、その時の捕捉点風速は表 7.9 より 0.06m/s であった。横風が 0.4m/s 以上の時には、6 m<sup>3</sup>/min よりも大きい排風量が必要となるが、質量濃度測定結果から、0.4m/s、0.5m/s の横風に対しても制御風速 1.0m/s より遅い吸引風速で漏洩およびばく露は防げると考えられた。

測定点 で最も漏洩が見られたため、横風が発生する作業場では、横風の下流側のフード側面で漏洩濃度を監視することで、作業場に適した排風量を設定することができると考えられた。

#### c) 前方からの気流

前方からの気流が有る場合の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.12 に示す。

表 7.12 質量濃度測定結果（前方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点					単位 (mg/m <sup>3</sup> )	
3	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.130	0.500	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.013	0.079	<0.001
	0.4	<0.001	0.007	-	<0.001	0.190	0.009	0.003
	0.5	<0.001	0.092	-	<0.001	4.191	0.183	0.008
	0.6	<0.001	0.047	-	<0.001	1.137	0.075	0.003
4	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.139	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.032	0.042	<0.001
	0.4	<0.001	0.005	-	<0.001	0.004	0.012	0.002
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	3.598	1.494	0.001
	0.6	0.095	0.002	-	<0.001	2.734	0.986	0.001
5	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.034	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.001	0.160	<0.001
	0.4	<0.001	0.005	-	<0.001	0.004	0.046	0.001
	0.5	0.106	0.002	-	<0.001	4.140	6.228	0.003
	0.6	0.148	0.002	-	<0.001	2.387	2.223	0.001
6	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.034	<0.001
	0.3	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.002	0.087	<0.001
	0.4	<0.001	0.004	-	<0.001	0.002	0.062	<0.001
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	4.862	8.575	0.001
	0.6	0.084	0.002	-	<0.001	4.634	7.613	0.001

測定状況を図 7.51 に示す。



図 7.51 測定状況

スモークテスターにより気流の流れを確認したところ、屋内排気型フードから排気された気流はプッシュフードで跳ね返されているようであった。このイメージ図を図 7.52 に示す。

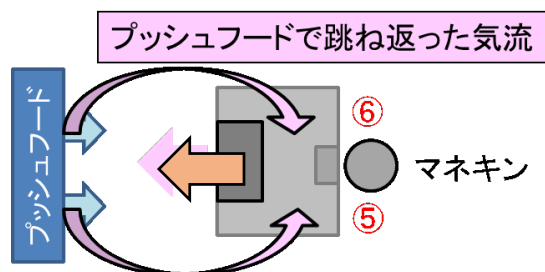


図 7.52 排気した気流の流れのイメージ図

表 7.12 より発生した煙はフード周囲やマネキンの呼吸域（測定点 ）ではなくマネキンの腰の方（測定点 、 ）へ漏洩した。これは、プッシュフードからの気流に加え、プッシュフードで跳ね返されて作業台の方へ戻ってきたフードからの排気が影響を及ぼしていると考えられる。

プッシュフードからの 0.4m/s 以下の気流に対しては、6m<sup>3</sup>/min で漏洩およびばく露を防げる結果となった。0.5m/s 以上の気流に対しては漏洩濃度が高くなったことから対策が必要と考えられる。また、屋内排気ならでの考慮すべき点として排気側に壁が有ることで壁に跳ね返った気流が発散源の漏洩に影響を与えることが考えられた。つまり、スモークテスターによる気流の確認や排気側を壁の近くに向けて設置しないよう注意する必要がある。

d) 斜め前方からの気流

斜め前方からの気流に対する漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.13 に示す。

表 7.13 質量濃度測定結果（斜め前方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点					単位 (mg/m <sup>3</sup> )		
3	0.2	1.217	0.002	<0.001	<0.001	5.528	0.056	0.001	
	0.3	4.730	0.002	<0.001	<0.001	0.767	0.003	0.001	
4	0.2	0.045	0.002	<0.001	<0.001	0.046	<0.001	0.001	
	0.3	0.571	0.002	<0.001	<0.001	0.325	0.004	<0.001	
5	0.2	0.092	0.002	<0.001	<0.001	0.644	0.001	0.001	
	0.3	1.739	0.002	<0.001	<0.001	0.274	<0.001	<0.001	
6	0.2	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.027	0.002	0.002	
	0.3	2.163	0.002	<0.001	<0.001	0.114	<0.001	<0.001	
	0.4	3.788	0.002	<0.001	<0.001	0.173	3.976	0.001	

測定状況を図 7.53 に示す。





図 7.53 測定状況（斜め前方）

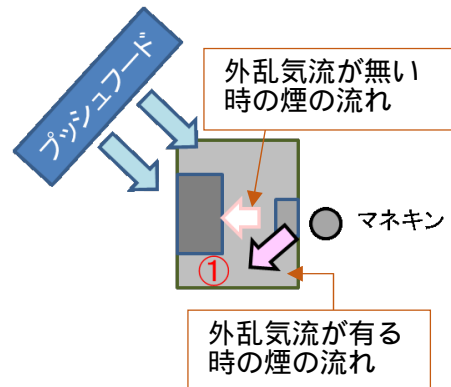


図 7.54 煙の流れのイメージ図

表 7.13 より、測定点 ① の漏洩濃度が高かった。

これは、斜め前方からの気流により、フードへ

向かう吸引気流が乱され図 7.54 に示すイメージ図のように発生した煙がフード側面（測定点 ①）へ漏洩したためと考えられる。プッシュフードからの気流 0.2m/s に対しては 6m<sup>3</sup>/min で漏洩およびばく露が防げると考えられた。しかし、0.3m/s 以上の場合にはさらに大きい排风量が必要であると考えられた。

e) 斜め後方からの気流

斜め後方からの気流がある場合の漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.14 に示す。

表 7.14 質量濃度測定結果（斜め後方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点				単位 (mg/m <sup>3</sup> )		
3	0.2	0.001	-	-	<0.001	0.277	0.005	0.005
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	2.076	0.003	0.008
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.226	0.002	0.002
	0.5	3.662	0.003	-	<0.001	0.264	-	0.002
	0.6	12.743	0.002	-	<0.001	0.003	-	0.002
4	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.126	0.004	0.004
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	1.276	0.003	0.010
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.262	0.002	0.002
	0.5	<0.001	0.003	-	<0.001	0.077	-	0.002
	0.6	0.092	0.002	-	<0.001	0.009	-	0.002
5	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.085	0.004	0.003
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	0.221	0.003	0.006
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.247	0.002	0.003
	0.5	0.106	0.002	-	<0.001	0.009	-	0.002
	0.6	0.914	0.001	-	<0.001	0.011	-	0.002
6	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.002	0.003	0.003
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	0.008	0.003	0.004
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.107	0.002	0.002
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	0.033	-	0.002
	0.6	<0.001	0.001	-	<0.001	0.007	-	0.002

測定状況を図 7.55 に示す。

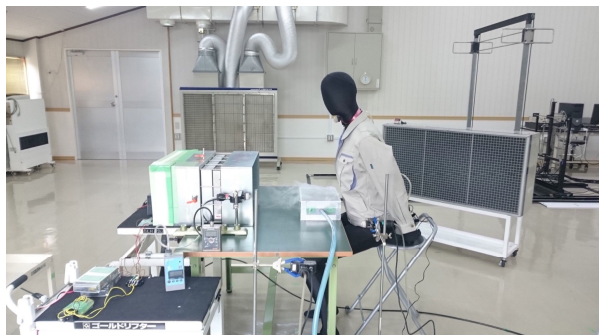


図 7.55 測定状況（斜め後方）

プッシュフードからの気流の下流側にある測定点、測定点において漏洩が主に見られた。しかし、ばく露は見られなかった。斜め前方や前方からの気流と比べ、斜め後方からの気流は発生した煙の漏洩への影響は小さかった。これは、斜め後方からの気流は発生した煙を後ろからフード方向へ押し出しており、フード近傍の吸引風速は速いことから、煙がプッシュフードからの気流で押し出されてもフードで捕捉できたためと考えられる。

6m<sup>3</sup>/min であればプッシュフードからの気流 0.2m/s～0.6m/s に対して漏洩およびばく露を防げる結果となった。

f) 後方からの気流

後方からの気流に対する、漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.15 に示す。

表 7.15 質量濃度測定結果（後方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点						単位 (mg/m <sup>3</sup> )	
3	0.2	<0.001	<0.001	0.439	<0.001	6.793	-	0.002	
	0.3	<0.001	<0.001	1.197	<0.001	5.685	-	0.003	
	0.4	2.468	0.256	0.850	<0.001	1.682	-	0.032	
	0.5	3.561	0.834	0.590	<0.001	0.377	-	0.081	
	0.6	2.054	1.147	0.490	<0.001	1.077	-	0.125	
4	0.2	<0.001	<0.001	0.281	<0.001	3.717	-	0.002	
	0.3	0.121	0.004	0.762	<0.001	0.516	-	0.003	
	0.4	0.445	0.256	0.445	<0.001	0.039	-	0.022	
	0.5	0.831	0.223	0.191	<0.001	0.038	-	0.035	
	0.6	0.184	0.520	0.213	<0.001	0.157	-	0.439	
5	0.2	<0.001	<0.001	0.151	<0.001	0.239	-	0.002	
	0.3	0.029	0.008	0.391	<0.001	0.147	-	0.003	
	0.4	0.078	0.014	0.221	<0.001	0.011	-	0.041	
	0.5	0.220	0.159	0.182	<0.001	0.006	-	0.054	
	0.6	0.060	0.171	0.146	<0.001	0.021	-	0.319	
6	0.2	<0.001	<0.001	0.108	<0.001	0.209	-	0.002	
	0.3	0.020	0.003	0.164	<0.001	0.008	-	0.003	
	0.4	0.009	0.008	0.021	<0.001	0.003	-	0.041	
	0.5	0.037	0.017	0.108	<0.001	0.004	-	0.015	
	0.6	0.006	0.018	0.073	<0.001	0.005	-	0.080	

測定状況を図 7.56 に示す。

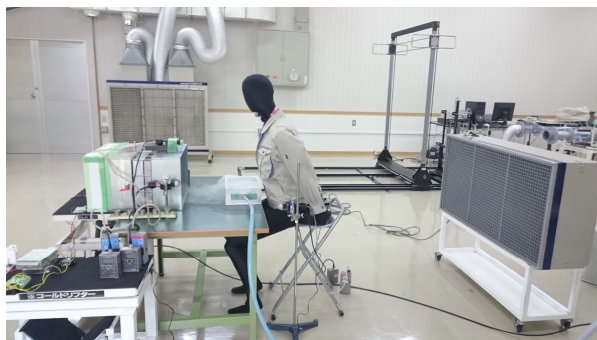


図 7.56 測定状況（後方）

表 7.15 の結果から、マネキンの後方からの気流は、ばく露濃度に影響があった。マネキン背後からの気流は、マネキンの前方で呼吸域の方へと上昇し、発生した煙の一部が測定点へ達したと考えられた。6m<sup>3</sup>/min の時にプッシュフードからの気流 0.2m/s で漏洩が見られたが、質量濃度測定結果から、制御風速以下で 0.2m/s ~ 0.6m/s の後方からの気流に対しては漏洩・ばく露を防げる結果となった。

ここで、プッシュフードにより外乱気流を発生させた時の結果を表 7.16 にまとめる。

表 7.16 結果のまとめ

外乱気流の種類	漏洩が見られた測定点	排风量 6m <sup>3</sup> /min で防げた外乱気流	測定点の位置
横風	測定点	0.2m/s ~ 0.3m/s	
前方	測定点 測定点	0.2m/s ~ 0.4m/s	
斜め前方	測定点 測定点	0.2m/s	
斜め後方	測定点 測定点	0.2 ~ 0.6m/s	
後方	測定点 ~ 測定点 測定点	0.2 ~ 0.6m/s	

斜め前方および前方からの気流が有る場合においては、特に漏洩濃度が高くなった。このような気流が有る場合には、フランジを付けることで外乱気流の影響を抑えることができる。

#### 7.4.3(e) 作業台周囲の人の移動による影響について

##### (1) 移動する位置

作業台周囲を人が移動することで突発的に発生する外乱気流に着目した。作業場周囲を実験者が移動する箇所を図 7.57 及び図 7.58 に示す。図 7.57 及び図 7.58 のように方角を設定し、マネキンの側方を移動する場合（東方向、西方向）作業台に向かい U ターンをす

る場合、マネキンの背後を移動する場合（南方向、北方向）の合計 6 通りとした。なお、東方向、西方向ではフード側方から 750mm、1000mm の 2 通り離れて移動した。移動距離はいずれの場合も 6000mm としている。

この実験者は事前に実験室内で 10m の距離を歩行し、その速さを測定した結果、10 回の測定で平均 1.63m/s、最大値 1.73m/s、最小値 1.54m/s、標準偏差 0.054 であった。1980 年の国際交通安全学会 112 プロジェクトチームの調査によると東京における平均歩行速度は 1.56m/s であるため<sup>2)</sup>、本実験の歩行速度は妥当であると考えられる。

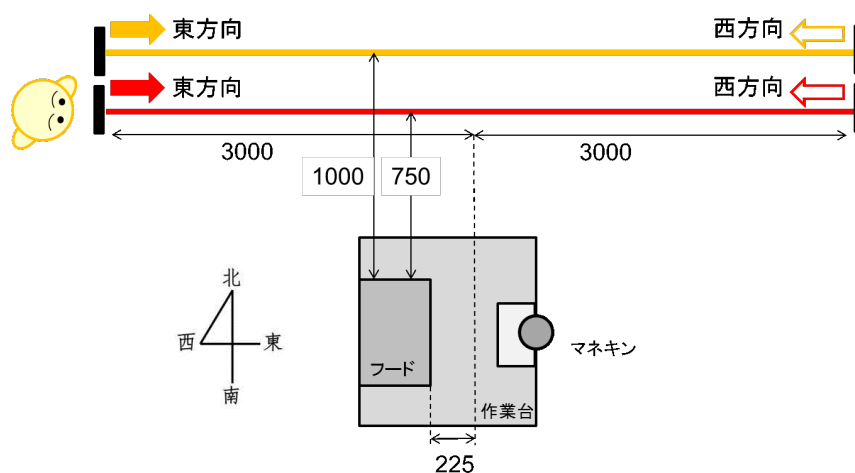


図 7.57 移動した位置

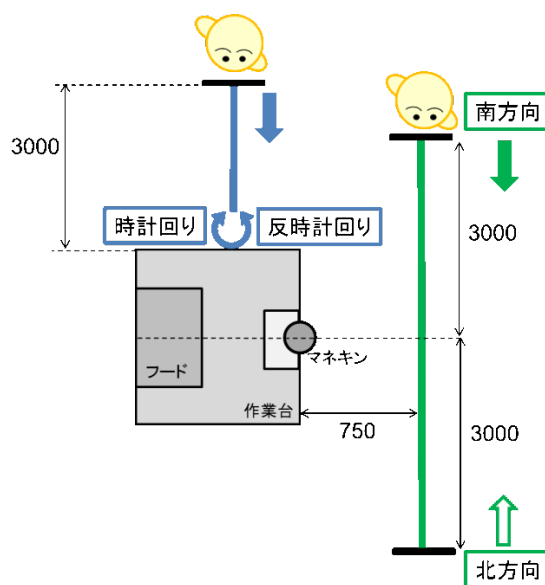


図 7.58 移動した位置

## (2) 気流の測定

ファンを稼働してない時（排风量  $0\text{m}^3/\text{min}$ ）に 6 通りの移動をした場合、作業台上の風速がどのように変化するかを多点風速計を用いて測定した。風速測定点は外付け式フード開

口面からの距離に応じて定め、具体的には図 7.59 の側面図に示した点 a (開口面からの距離  $x=50\text{mm}$ )、点 b ( $x=150\text{mm}$ )、点 c ( $x=250\text{mm}$ )、点 d ( $x=350\text{mm}$ )、点 e ( $x=450\text{mm}$ ) の 5 点とした。測定は 0.1 秒間隔で 1 分間の風速連続測定を 3 回ずつ繰り返した。なお、実験者の移動は風速測定開始 30 秒後に開始した。風速測定時は発煙せず、マネキン、発煙 BOX を設置している状態で行った。

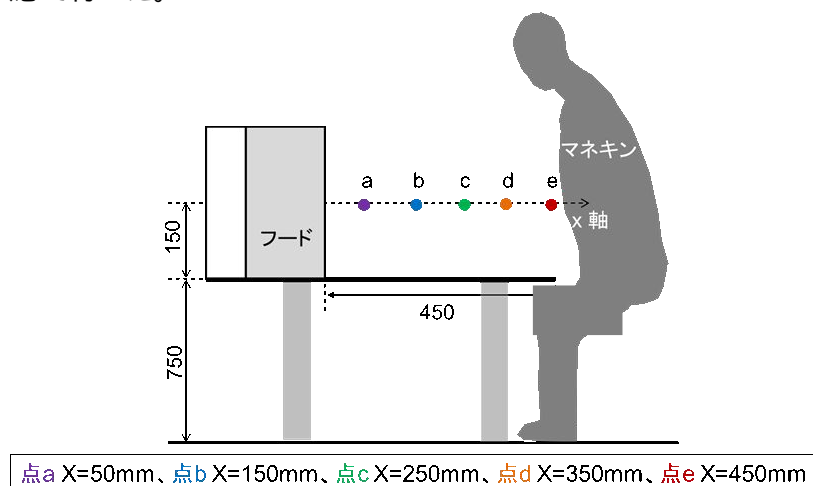


図 7.59 フード前方の風速測定点

### (3) 漏洩濃度およびばく露濃度の測定時間

発煙 BOX から発煙した時の煙の周囲への漏洩濃度およびばく露濃度の測定を行った。実験手順は図 7.60 に示した通り、外付け式フードを設定排风量で稼働し、煙発生 30 秒後にデジタル粉じん計で 3 分間測定した。デジタル粉じん計での測定開始 30 秒後に実験者は移動を開始し、移動開始 60 秒後 (測定開始 90 秒後) に 2 回目の移動を開始し、さらに 60 秒後 (測定開始 150 秒後) に 3 回目の移動を開始した。

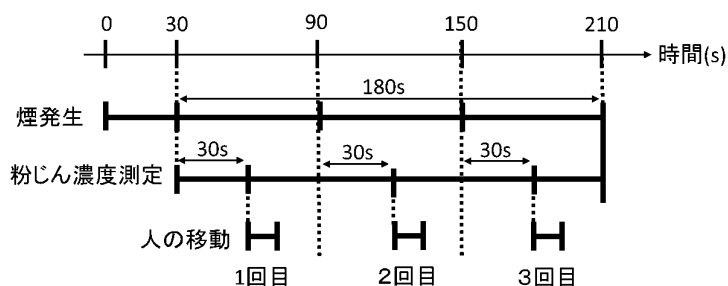


図 7.60 測定手順

### (4) 実験結果および考察

#### a) 東方向および西方向

フードのファンを稼働していない時に、フード側面から 750mm 離れて、東方向および西方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.61 及び図 7.62 に示す。

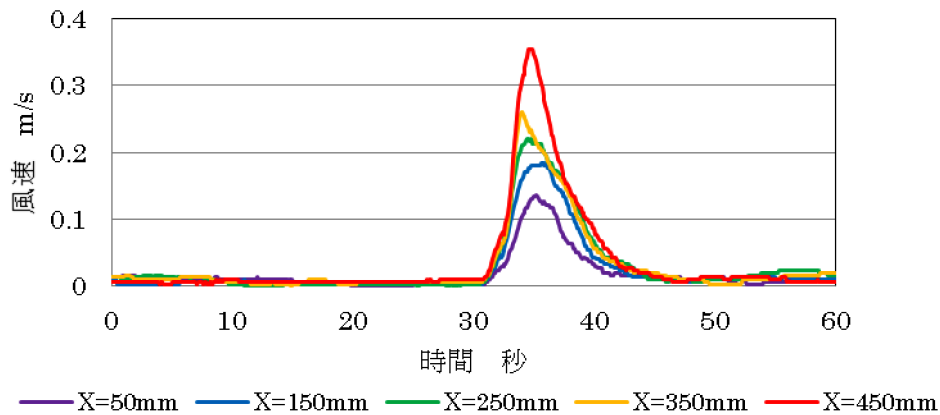


図 7.61 風速変動（東方向：フード側面から 750mm 離れた時）

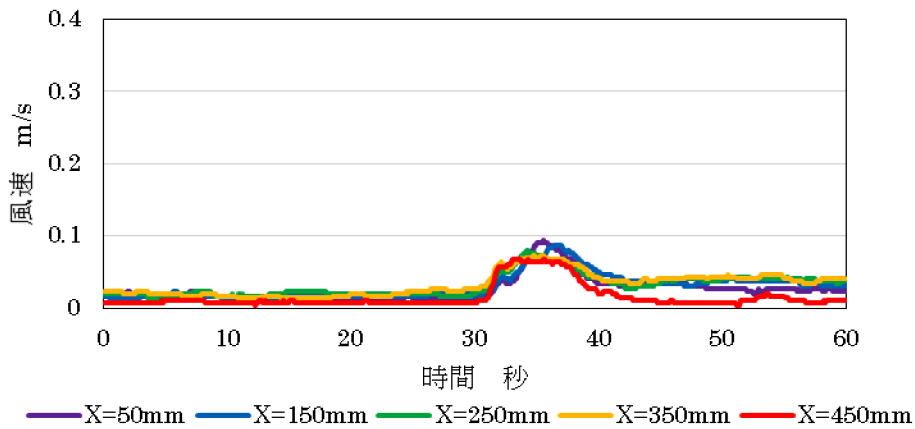


図 7.62 風速変動（西方向：フード側面から 750mm 離れた時）

東方向と西方向で作業台上の風速変化に違いが見られた。東方向に人が移動した場合の方が西方向よりも風速変化が大きくなり、特に捕捉点（ $x=450\text{mm}$ ）の風速上昇が大きくなった。東方向と西方向で風速の上昇値が異なる理由としては、東方向では実験者の移動で生じた気流は、作業台上の測定点で測定された一方、西方向ではマネキンの背後からフードの方へ移動するため実験者の移動により発生した気流はマネキンの背面が盾となりマネキン前方の作業台上での風速変化は東方向よりも小さくなったと考えられた。

次に、フードのファンを稼働していない時に、フード側面から 1000mm 離れて東方向、西方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.63 及び図 7.64 に示す。

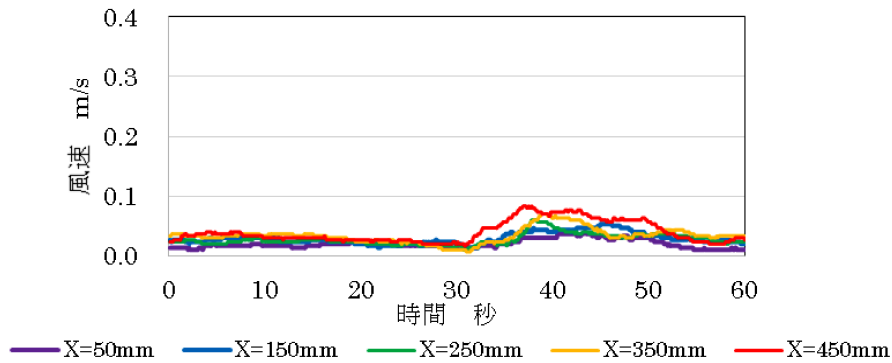


図 7.63 風速変動（東方向：フード側面から 1000 mm 離れた時）

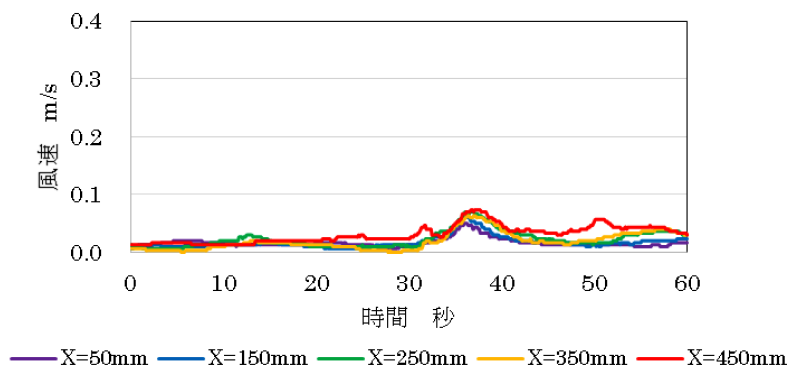


図 7.64 風速変動（西方向：フード側面から 1000 mm 離れた時）

外付け式フード端から 1000 mm 離れた時には図 7.63 及び図 7.64 より、風速の変動が見られなかった。つまり、外付け式フード端から 1000 mm 離れることで、外乱気流の影響を受けにくくなったと考えられる。

この時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.17 及び表 7.18 に示す。

表 7.17 質量濃度測定結果（フード側面から 750mm 離れた時）

移動	排风量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位(mg/m <sup>3</sup> )	
東方向	3	0.001	0.001	0.036	<0.001	0.003	0.955	<0.001	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.003	1.934	<0.001	
	5	0.003	0.003	0.003	<0.001	0.004	0.614	0.001	
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	<0.001	
西方向	3	0.001	0.001	0.045	<0.001	0.003	1.426	<0.001	
	4	0.001	0.001	0.034	<0.001	0.003	0.025	<0.001	
	5	<0.001	<0.001	0.029	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	6	<0.001	<0.001	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

表 7.18 質量濃度測定結果（フード側面から 1000mm 離れた時）

移動	排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点						
		単位 (mg/m <sup>3</sup> )						
東方向	5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
西方向	5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.040	<0.001

表 7.17 より、漏洩は主に測定点で見られた。これは、外付け式フードへの吸引気流の方向に逆らって人が移動したことから、人の移動により生じた気流が、発煙 BOX からの煙の一部を測定点（マネキンの腰の位置）の方へ拡散させたためと考えられる。また、測定点（移動していない側）の濃度は測定点（移動した側）の濃度よりも低かったことから、東方向に移動することによる外乱気流がマネキンを挟んで反対側（測定点）まで及ぶ影響は小さかったと考えられる。次に西方向において、排風量 4 m<sup>3</sup>/min~6 m<sup>3</sup>/min の時は測定点（移動した側のフード側面）で最も漏洩濃度が高くなった。これは、外付け式フードへの吸引気流と同じ方向に人が移動したことから、人の移動により生じた気流が外付け式フードに向かう煙の一部を測定点の方へ拡散させたためと考えられる。プッシュフードによりマネキンの斜め後方から発生した一様な外乱気流に比べ、東方向の移動で発生した気流は突発的かつ乱流であるため、より発生した煙を拡散させたと考えられた。逆に、西方向の移動では、プッシュフードによる斜め前方からの一様な外乱気流に比べ煙を漏洩させる影響は小さかった。

また、図 7.61 及び図 7.62 の風速変化からも東方向の方が西方向よりも作業台上の吸引風速に与える影響が大きかったと考えられた。以上から、東方向の方が西方向よりも漏洩に影響を与えやすいと考えられた。

これに対し、外付け式フード端から 1000mm 離れた東方向、西方向では表 7.18 より、測定点 ~ において濃度判定基準値を超えることはなかった。排風量 5m<sup>3</sup>/min においてフードから 750mm 離れた東方向では測定点で漏洩が見られたが、フードから 1000mm 離れた東方向では漏洩を防ぐことができた。このことから、人の移動する位置を外付け式フードから離すことで、人の移動による外乱気流の影響を小さくできることが確認された。

b) 時計回りおよび反時計回り

フードのファンを稼働していない時に、時計回りおよび反時計回りに人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.65 及び図 7.66 に示す。



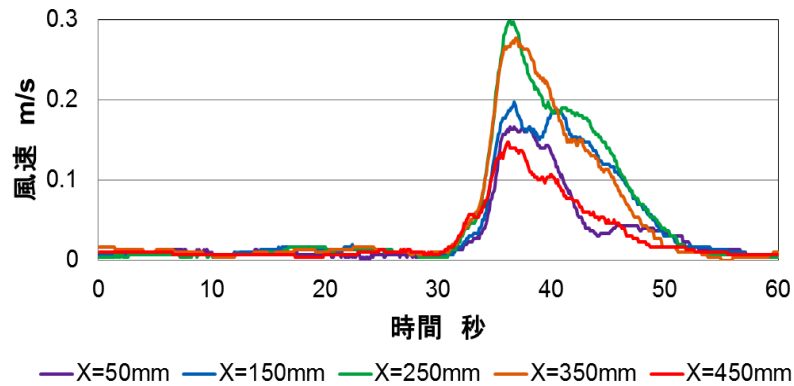


図 7.65 風速変動（時計回り）

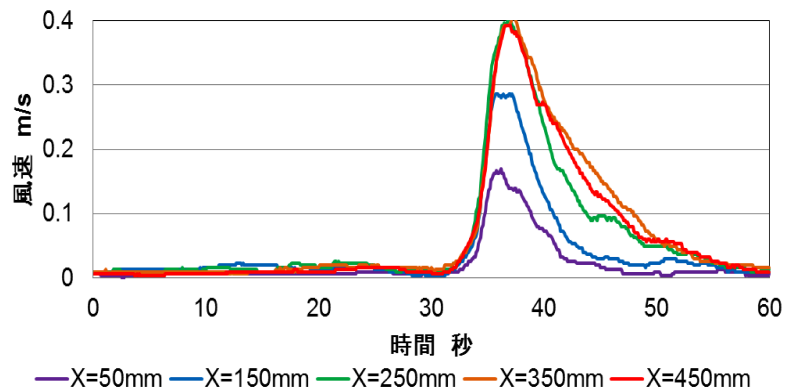


図 7.66 風速変動（反時計回り）

反時計回りの時は時計回りの時よりも、捕捉点風速が上昇した。時計回りでは、実験者にとってマネキン方向からフード方向への回転であり、反時計回りでは、時計回りとは逆で、実験者にとってフード方向からマネキン方向への回転であった。このことから、反時計回りの方が捕捉点風速の風速変化に影響を与えやすいと考えられる。

この時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.19 に示す。

表 7.19 質量濃度測定結果（時計回り、反時計回り）

移動	排风量 m <sup>3</sup> /min	測定点							単位(mg/m <sup>3</sup> )	
時計回り	3	0.126	0.015	0.001	<0.001	0.169	1.238	0.003		
	4	0.020	0.024	0.001	<0.001	0.006	0.001	0.000		
	5	0.052	0.002	0.000	<0.001	0.018	0.000	0.001		
	6	0.000	0.001	0.000	<0.001	0.000	0.000	0.000		
反時計回り	3	0.292	0.001	0.001	<0.001	0.055	0.001	0.203		
	4	0.125	0.001	0.001	<0.001	0.002	0.001	0.046		
	5	0.065	0.003	0.000	<0.001	0.006	0.000	0.005		
	6	0.017	0.001	0.000	<0.001	0.000	0.000	0.081		

時計回りと反時計回りの時には、4m<sup>3</sup>/minで漏洩およびばく露を防げた。

c) 南方向および北方向

フードのファンを稼働していない時に、南方向および北方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.67 及び図 7.68 に示す。

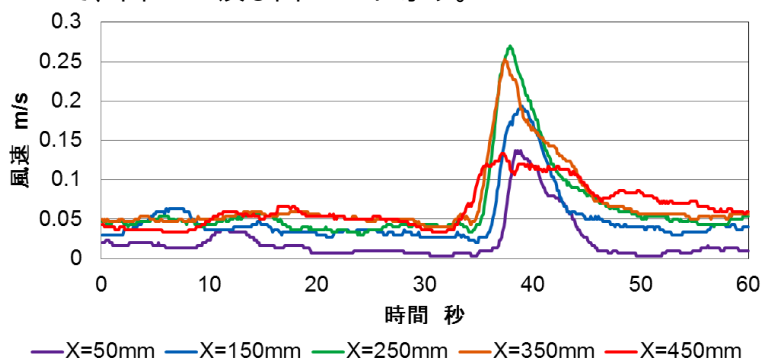


図 7.67 風速変動（南方向）

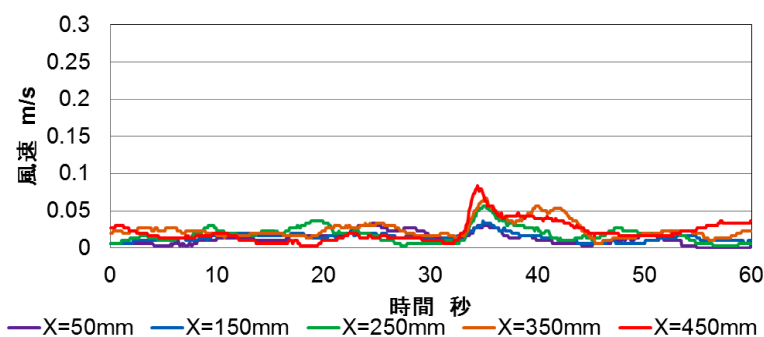


図 7.68 風速変動（北方向）

図 7.67 及び図 7.68 より、南方向と北方向で作業台上の風速変化に違いが見られた。南方に人が移動した場合の方が北方向よりも風速変化が大きくなった。この時の漏洩濃度及びばく露濃度の測定結果を表 7.20 に示す。

表 7.20 質量濃度測定結果（北方向、南方向）

移動	排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位(mg/m <sup>3</sup> )	
南方向	3	0.062	0.007	0.004	<0.001	2.389	0.168	0.000	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.420	0.001	0.000	
	5	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.630	0.000	0.000	
	6	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.229	0.000	0.000	
北方向	3	0.001	0.001	0.030	<0.001	0.855	2.571	0.000	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.181	0.563	0.000	
	5	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.445	0.252	0.000	
	6	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.014	0.000	0.000	

表 7.20 より、マネキンの腰の位置（測定点、測定点）において漏洩が見られた。風速変化の測定結果の通り、南方向の方が外乱気流による影響が大きかった。

#### 7.4.4 CO<sub>2</sub> 排出量の低減

本実験で屋内排気型フードを稼働した時の電流値 A、消費電力 W を表 7.21 に示し、そこから算出した 1 日(8 時間)の消費電力量 kWh、1 か月の消費電力量 kWh、1 か月の温室効果ガス排出量も併せて示す。電圧は 100V である。温室効果ガス排出量は東京電力株式会社の平成 26 年度温室効果ガス排出量係数 0.5kg-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>3</sup>)を用いた。

表 7.21 消費電力量および CO<sub>2</sub> 排出量の削減

排風量 m <sup>3</sup> /min	3	4	5	6
捕捉点風速 m/s	0.03	0.05	0.06	0.08
電流値 A	0.86	1.26	1.87	2.45
消費電力 W	86	126	187	245
1 日(8 時間)の消費電力量 kWh	0.7	1.0	1.5	2.0
1 か月(20 日間)の消費電力量 kWh	13.8	20.2	29.9	39.2
1 か月の CO <sub>2</sub> 排出量 kg	6.9	10.1	15.0	19.6

表 7.21 のように、6m<sup>3</sup>/min から 5m<sup>3</sup>/min に 1m<sup>3</sup>/min 排風量を少なくするだけでも約 10kWh の消費電力量の削減ならびに約 5kg の CO<sub>2</sub> の削減ができることが分かる。今回用いた屋内排気型フードを制御風速を満たすように稼働すると約 70m<sup>3</sup>/min 必要となることから、捕捉点風速を制御風速よりも遅くして排風量を少なくできれば、消費電力ならびに CO<sub>2</sub> 排出量を大きく削減できる。

#### 7.4.5 粉じんに対する屋内排気の検証実験

##### 7.4.5(a) 実験目的

煙粒子を、屋内排気型フードで吸引しても集じんフィルター通過後の濃度は非常に低濃度であった。そこで、煙粒子以外の粉じんに対しても同様に、屋内排気型フードで吸引し、フィルター通過後の濃度を測定することで、屋内排気型フードの屋内排気の有効性を検証した。

##### 7.4.5(b) 実験方法

屋内排気型フードの前方で粉じんを発生し、フードで吸引した時の集じんフィルター通過後の濃度をデジタル粉じん計 LD-5 で測定した。測定時間は 3 分間とした。フィルター通過後の濃度の測定状況を図 7.69 に示す。なお、屋内排気型フードには、プレフィルターとして金属メッシュフィルターが 10 枚と HEPA フィルターが内蔵されている。



図 7.69 フィルター通過後の濃度測定状況

#### 7.4.5(c) 発生粉じん

##### (1) マグネシウム

マグネシウムリボンを燃焼して粉じんを発生させた。図 7.70 のように、7cm に切り取ったマグネシウムリボンの先端をバーナーで点火し、酸化マグネシウム粉じんを発生させた。



図 7.70 マグネシウムリボン

##### (2) 砂岩

砂岩の表面を手持ち式グラインダーで研磨することにより、粉じんを発生させた。研磨した砂岩を図 7.71 に示し、研磨した時の外観を図 7.72 に示す。



図 7.71 研磨した砂岩

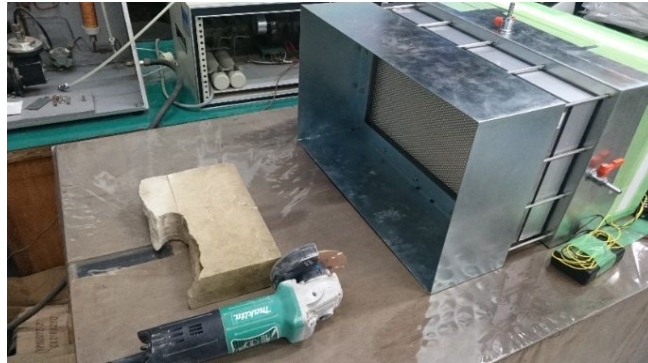


図 7.72 外観

#### 7.4.5(d) 実験結果

##### (1) マグネシウム

事前に、マグネシウムリボンを燃焼し、発生した粉じんの個数濃度による粒度分布をWPSで10分間測定した。測定結果を図7.73に示す。なお、WPSによる測定結果は、12chのそれぞれの測定結果の平均値をプロットしている。

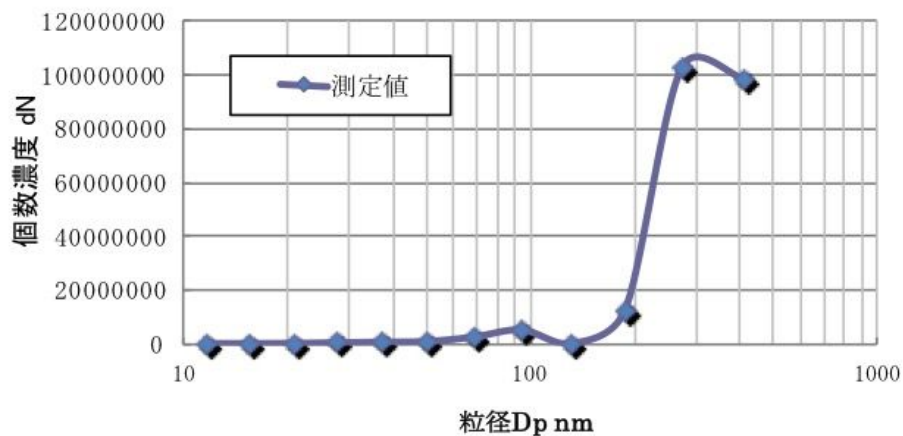


図 7.73 マグネシウムリボンを燃焼させたときに発生させた粉じんの個数濃度による粒度分布

図7.73より、マグネシウムリボンを燃焼したときに発生した粉じんは220.46 nm～326.12 nmの範囲にピークが見られた。また、この粉じんを屋内排気型フードで吸引した時のフィルター通過後の粉じん濃度測定結果を表7.22に示す。なお、K値は0.004 mg/m<sup>3</sup>/cpmであった。

表 7.22 フィルター通過後の濃度

	1回目	2回目	3回目	平均値
フィルター通過後の濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	0.003	0.001	0.001	0.002

##### (2) 砂岩

砂岩を手持ち式グラインダーで研磨し、発生させた粉じんを屋内排気型フードで吸引し

た時のフィルター通過後の粉じん濃度測定結果を表 7.23 に示す。なお、K 値は 0.003mg/m<sup>3</sup>/cpm であった。

表 7.23 フィルター通過後の濃度

	1 回目	2 回目	3 回目	平均値
フィルター通過後の濃度(mg/m <sup>3</sup> )	0.006	0.005	0.009	0.007

#### 7.4.5(e) 考察

##### (1) マグネシウムリボンを燃焼した時

表 7.22 より、屋内排気型フード前方でマグネシウムリボンの燃焼によって、発生した粉じんのフィルター通過後の濃度は非常に低い濃度であった。WPS により、今回発生させた粉じんの粒度分布は 220.46 nm ~ 326.12 nm の範囲でピークが見られた。また、金属メッシュフィルターは乾式 1 μm 以上の粉じん粒子に対して、90 ~ 99%以上の除じん効果を実証されており、金属メッシュフィルターの後ろに重ねた HEPA フィルターは 0.3 μm の粒子に対し 99.97%以上の捕集効率を実証されている。これらのことから、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターにより粉じんを十分に捕集できたと考えられる。

##### (2) 砂岩を研磨した時

表 7.23 より、屋内排気型フード前方で砂岩を研磨することによって発生させた粉じんのフィルター通過後の濃度は、非常に低い濃度であった。砂岩を研磨した時には、破片も飛び散っており、そういった比較的大きい粒子は金属メッシュフィルターで捕集されていた。フィルター通過後の濃度が非常に低い濃度であったことから、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターで粉じんを十分に捕集できた。

#### 7.4.6 総括

##### (1) 捕捉点風速

作製した屋内排気型フードを用いて、マネキン、発煙 BOX の有無によって捕捉点風速が変化するかを検証した。その結果、マネキンが有る時は無い時よりも捕捉点風速が遅くなった。ただし、測定状況（マネキン有り、発煙 BOX 無し）を除き、測定状況（マネキン無し、発煙 BOX 無し）、測定状況（マネキン無し、発煙 BOX 有り）、測定状況（マネキン有り、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速の大きさの差は微小であった。

##### (2) 外乱気流

プッシュフードを用いて一様な気流を発生させ、その時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。本実験において、制御風速よりも遅い吸引風速であっても漏洩およびばく露を防げた。ただし、斜め前方と前方からの 0.4m/s 以上の気流に対しては、ついたてを立てる等の対策をし、外乱気流の影響をなくすことが望ましいと考えられた。

##### (3) 人の移動による外乱気流

作業台周囲を人が歩行した時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。フード側面

に沿って移動した場合には移動する向きによって、作業台上に及ぼす影響は異なった。また、フード側面から 1000mm 離れて移動する時は、人の移動により発生する外乱気流が漏洩およびばく露に及ぼす影響はほとんどなかった。作業台に向かい、反時計回りをして U ターンをする移動では、ばく露濃度が高くなった。ただし、 $4\text{m}^3/\text{min}$  以上で漏洩およびばく露を防ぐことができた。マネキン背後を移動する時は、主にマネキンの腰の位置において漏洩が見られた。ただし、制御風速よりも遅い吸引風速で漏洩は防げると考えられた。

#### (4) 各種粉じんに対する屋内排気の検証

マグネシウムリボンを燃焼して発生した粉じんと、砂岩を研磨して発生した粉じんをそれぞれ屋内排気型フードで吸引し、集じんフィルター通過後の粉じん濃度を測定した。その結果、集じんフィルター通過後の粉じん濃度は非常に低濃度であり、屋内排気型フードに内蔵した集じんフィルターで粉じんは十分に捕集されていた。使用したフィルターはプレフィルターとして金属メッシュフィルターをメインフィルターとして HEPA フィルターを使用した。集塵効率の高いフィルターを用いれば、作業環境に影響を与えないくらいの粉じん濃度に抑えて屋内排気ができ、局所排気装置以外の屋内排気型フードの導入が可能になると考えられた。

#### 参考文献

- 1) 沼野雄志：新やさしい局排設計教室、中央労働災害防止協会、2005、p90～p92
- 2) 国際交通安全学会 112 プロジェクトチーム、地域文化特性と運転行動、1980
- 3) 東京電力株式会社、<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>

## 7.5 粉じん則一部改正のための現場検証調査

### 7.5.1 目的

これまでの結果から、作業環境が良好な場合には、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くして稼働しても、作業環境を良好に維持できることが示唆された。このため、実際に粉じんを取り扱い、第 1 管理区分を維持している作業場で、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした状態で局所排気装置からの粉じんの漏洩濃度、作業環境測定および作業者の粉じんばく露濃度測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速よりも遅くしても第 1 管理区分が維持できるかどうかの検証を行った。測定対象現場は、粉じん取扱い作業場で第 1 管理区分になっている事業場として、4 つの作業現場（金属研磨作業現場、衛生陶器研磨作業現場、プレート溶接作業現場、ベルト研磨・パフ研磨作業現場）を選定した。

### 7.5.2 測定方法

作業に発生する粉じんについて、作業環境測定および作業者の粉じんばく露濃度測定を作業中に行った。作業環境測定では、慣性衝突式ローボリュームエアサンプラーNW-354 とデジタル粉じん計 LD-5 を用いて、併行測定および各測定点における相対濃度測定を行った。粉じんばく露濃度測定では、デジタル粉じん計 LD-6N の検出部を作業者の肩に固定し、操作部および吸引ポンプを作業者の腰に装着し、作業中の連続測定を行った。

### 7.5.3 評価方法

作業環境測定基準に従った評価と個人粉じんばく露濃度と管理濃度との比較での評価を行った。さらに、管理濃度と粉じんばく露濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。つまり、作業時の粉じんばく露濃度が管理濃度を下回った場合でも、発生する粉じん濃度の時間的変動状況によっては、一時的に粉じんばく露濃度が管理濃度を超えている場合も想定できるので、このことを考慮し管理濃度と粉じんばく露濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。

### 7.5.4 金属研磨作業現場

#### 7.5.4(a) 測定対象作業現場の概要

油圧機器と精密機械加工、建機用部品と自動車用等を製作および加工する工場で、測定は工場内で金属加工に使用するドリル等の修理のために、両頭グラインダー、万能工具研磨機、研削盤、湿式研磨機により、ドリル等の切削工具を研磨する作業工程において、今回両頭グラインダーおよび研削盤において切削工具を研磨する作業が継続的に行われた。

作業場では、研磨作業に 2 名の作業者が従事していた。設置されている研磨機等には、局所排気装置が設置されており、連続稼働している。測定対象作業場の概略を図 7.1 に示す。また、研磨作業の状況を図 7.2 に示す。



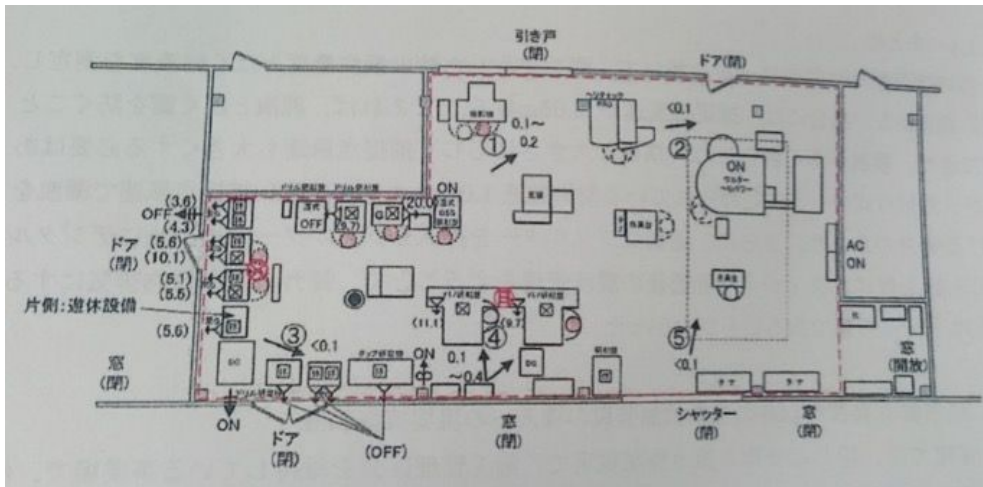


図 7.1 測定対象作業場の概略



図 7.2 研磨作業の作業状況

#### 7.5.4(b) 作業環境測定

測定対象作業場に、図 7.1 に示す 5 測定点 ( ~ ) を設定して、作業環境濃度を測定した。併行測定により求めた質量濃度変換係数  $K$  値は、 $0.0040 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$  である。また、粉じん中の遊離けい酸は 0 % であり、管理濃度は  $3.0 \text{ mg/m}^3$  である。

各測定点の測定結果および結果から算出した管理区分を表 5.1 に示す。

表 5.1 各測定点における粉じん濃度と管理区分

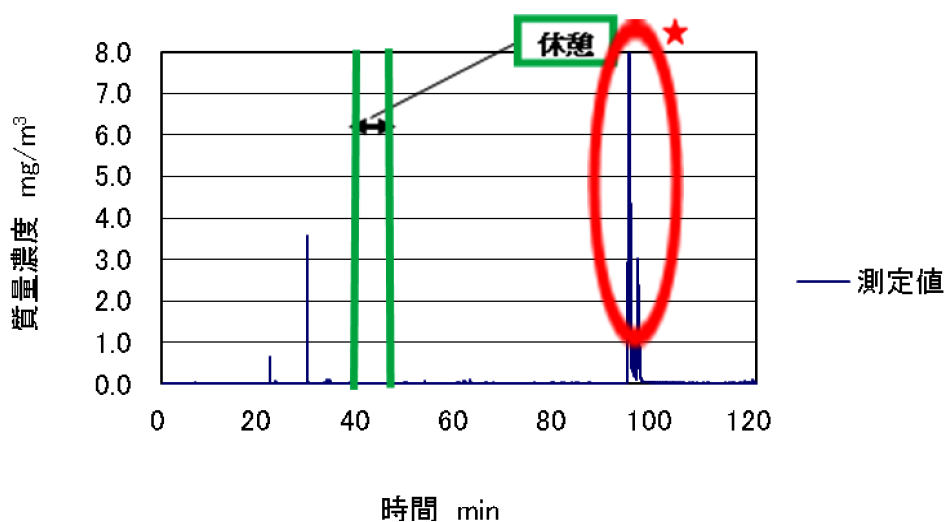
粉じん濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	測定点 1	0.07
	測定点 2	0.06
	測定点 3	0.06
	測定点 4	0.13
	測定点 5	0.04
幾何平均値 $M_1$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		0.07
幾何標準偏差 $\sigma_1$		1.53
幾何標準偏差		2.21
$E_{A1}$		0.25
$E_{A2}$		0.09
管理濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		3.0
管理区分		第 1 管理区分

表 5.1 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

#### 7.5.4(c) 研磨作業時の作業者の粉じんばく露濃度測定および漏洩濃度測定

##### 1) ドリル研削機による研磨作業

ドリル研削機による研磨作業を行っている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は  $0.058 \text{ mg}/\text{m}^3$  であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 7.3 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 7.4 に示す。



( は、意図的に排気装置の排風量を変更したことによる濃度の上昇を示す)  
図 7.3 ドリル研削機による研磨作業時の粉じんばく露濃度の変動状況

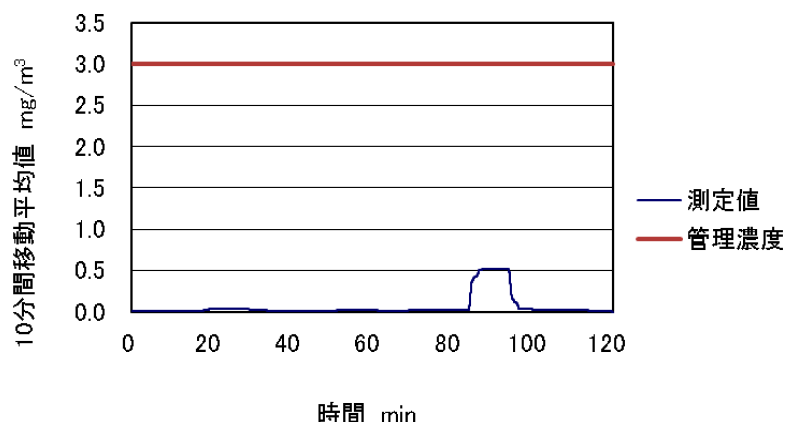


図 7.4 ドリル研削機による研磨作業時の粉じんばく露濃度の変動状況  
(10 分間移動平均値)

図 7.3 より短時間ではあるが著しく高濃度の粉じんにばく露されていた。しかし、図 7.4 の粉じんばく露濃度の 10 分間移動平均値の変動状況やばく露濃度が  $0.058 \text{ mg/m}^3$  であったこと、さらに、作業者が意図的に排気装置の排風量を変更したことによる濃度の上昇であったことを考慮すると、この作業は、ばく露濃度の低い作業と考えられる。

また、この作業場ではドリル研削機に取り付けられているキャノピー式フードにより、ドリル研磨作業時に発生した粉じんを吸引していた。そこで、研磨作業時にキャノピー式フードから漏洩して環境中に飛散する粉じんの濃度測定を行った。その時の漏洩粉じん濃度は、 $0.17 \text{ mg/m}^3$  であった。また、その時の漏洩粉じん濃度の時間的変動状況を図 7.5 に、10 分間移動平均値を図 7.6 に示す。

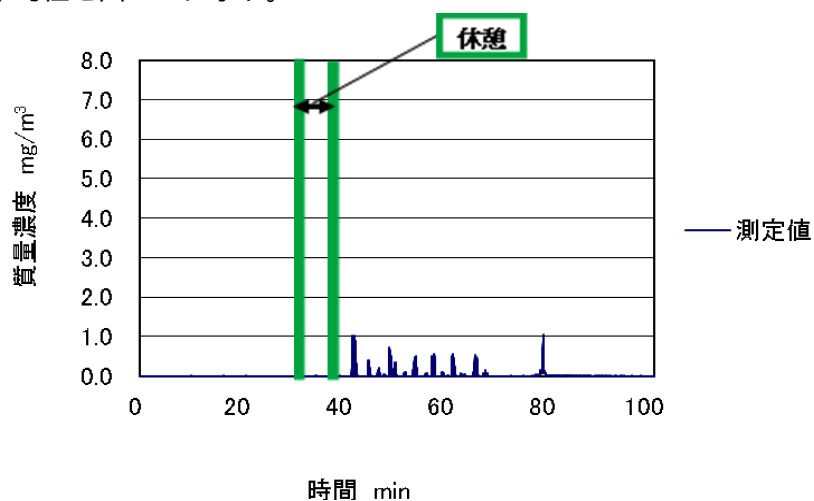


図 7.5 ドリル研削機による研磨作業時の漏洩粉じん濃度の変動状況

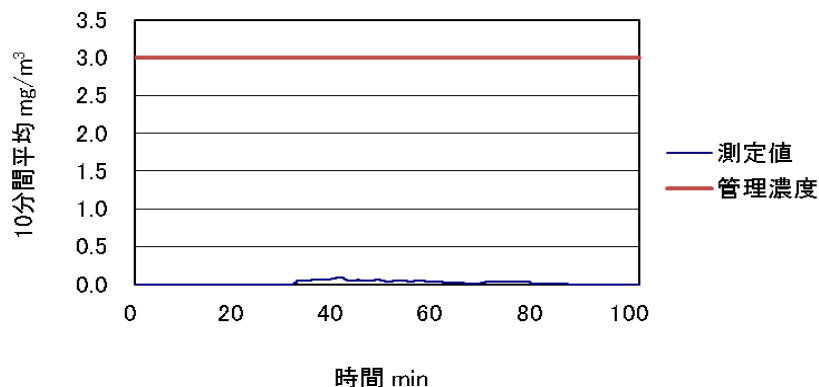
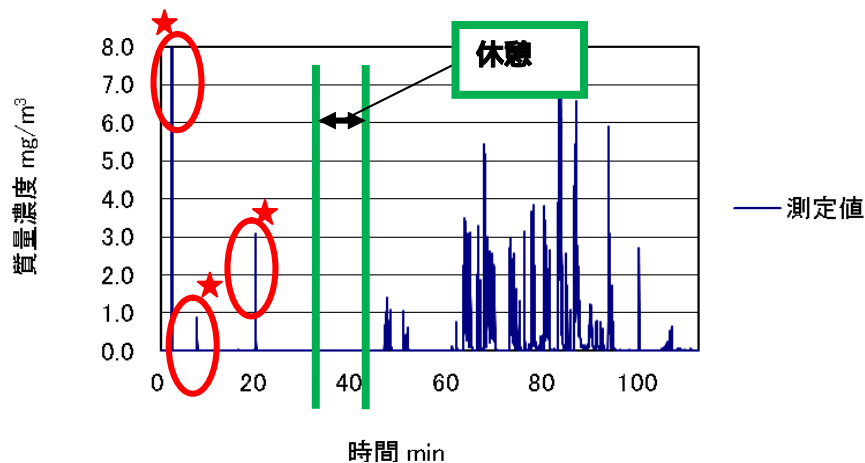


図 7.6 ドリル研削機による研磨作業時の漏洩粉じん濃度の変動状況  
(10分間移動平均値)

漏洩粉じん濃度が  $0.17 \text{ mg/m}^3$  であり、粉じん濃度の変動状況からも、切削用ドリルの刃を研ぐための作業であり、1本の切削用ドリルにかかる時間も短いため、作業時の漏洩濃度は著しく低濃度であった。

## 2) グラインダー研削機による研磨作業

作業場概略図(図 7.1 参照)の測定点 付近の研磨作業では、グラインダー研削機に取り付けられているフレキシブルダクトにより、研磨作業時に発生した粉じんを吸引していた。そこで、研磨作業時にフレキシブルダクトから漏洩して環境中に飛散する粉じんの濃度測定を行った。その時の漏洩粉じん濃度は、 $0.21 \text{ mg/m}^3$ であった。また、その時の漏洩粉じん濃度の時間的変動状況を図 7.7 に、10分間移動平均値を図 7.8 に示す。



( は作業によるものでなく、機器の付け替えにより、カウントが上昇したことを示す)

図 7.7 グラインダー研削機による研磨作業時の漏洩粉じん濃度の変動状況

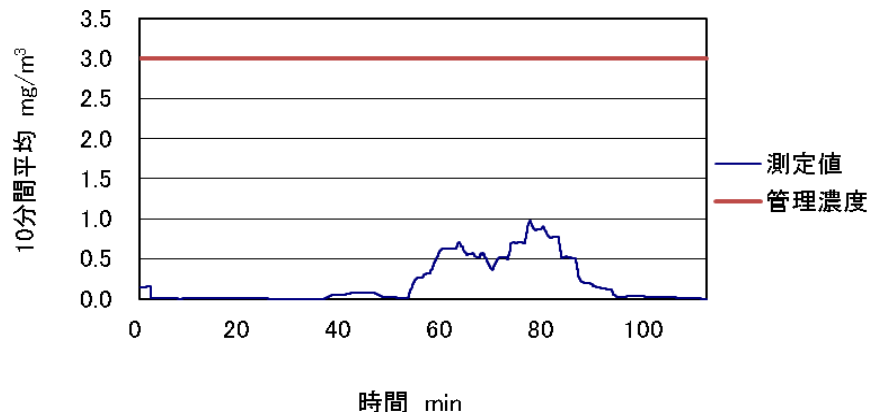


図 7.8 グラインダー研削機による研磨作業時の漏洩粉じん濃度の変動状況 (10 分間移動平均値)

図 7.7 より研磨作業を行っている時は、研磨機に取り付けられているフレキシブルダクトからの粉じんの漏洩が認められた。これは、研磨作業の飛散する粉じんの方向および飛散の広がり具合と飛散粉じんを吸引するフレキシブルダクトの開口面の位置関係があっ  
ていなかったことに関係していると考えられる。しかし、図 7.8 の粉じんの漏洩濃度の 10 分  
間移動平均値の変動状況や漏洩粉じん濃度が  $0.21 \text{ mg/m}^3$  であることから、作業環境を悪化  
させるような漏洩濃度ではないと考えられる。

### 3) キャノピー式フードの吸引風速と漏洩濃度の関係

グラインダーを用いて切削用ドリルの歯を研ぐための作業時に、キャノピー式フードの  
吸引風速を通常、半分および 0 にした際の、発散源付近の粉じん漏洩濃度の変動状況を測  
定した。その時の研磨作業状況を図 7.9 に示す。また、キャノピー式フード開口面におけ  
る吸引風速の測定状況を図 7.10 に示す。ただし、粉じん漏洩濃度はデジタル粉じん計 LD-5  
を用いて測定し、その時の質量濃度変換係数 K 値は  $0.0040 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$  である。



図 7.9 粉じん漏洩濃度測定時の研磨作業状況



図 7.10 キャノピー式フード開口面における吸引風速の測定状況

a) キャノピー式フードを通常の吸引風速で稼働した時

キャノピー式フードを通常の吸引風速で稼働した時のフード開口面左右の吸引風速を表 5.2 に示す。また、その時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況を図 7.11 に示す。

表 5.2 キャノピー式フードの吸引風速

測定位置	吸引風速(m/s)
右側	2.05
左側	1.71
平均値	1.88

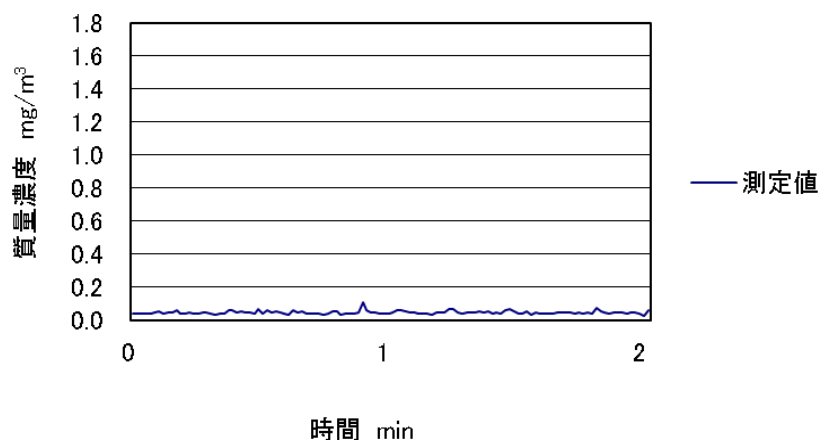


図 7.11 キャノピー式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況

図 7.11 より、キャノピー式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度は著

しく低濃度であった。

b) キャノピー式フードを通常の半分の吸引風速で稼働した時

キャノピー式フードを通常の半分の吸引風速で稼働した時のフード開口面左右の吸引風速を表 5.3 に示す。また、その時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況を図 7.12 に示す。

表 5.3 キャノピー式フードの吸引風速

測定位置	吸引風速 (m/s)
右側	1.51
左側	1.17
平均値	1.34

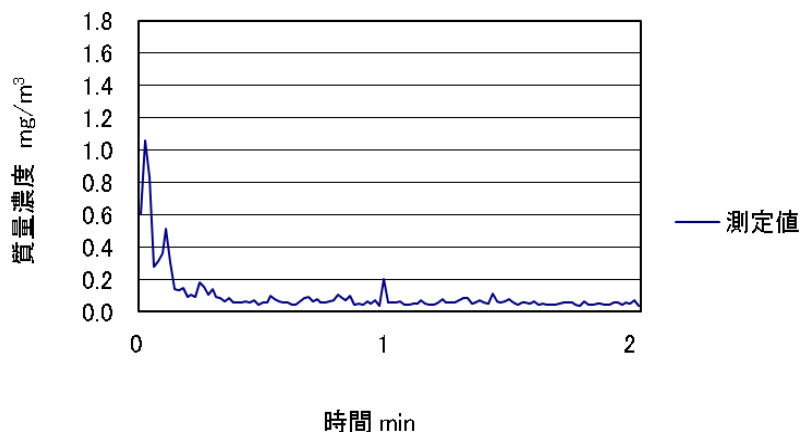


図 7.12 キャノピー式フードを通常の半分の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況

図 7.12 より、キャノピー式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度に比べて通常の半分の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度の方が高い濃度を示した。しかし、作業環境を著しく悪化させるような漏洩濃度ではないと考えられる。

c) キャノピー式フードをの吸引を停止した時

キャノピー式フードの吸引を停止した時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況を図 7.13 に示す。

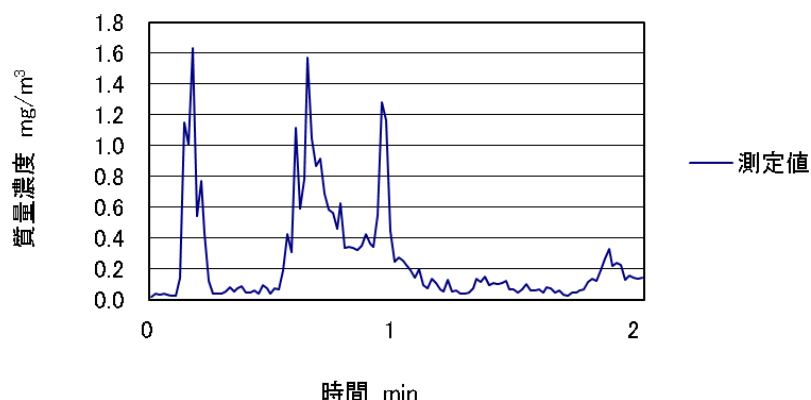


図 7.13 キャノピー式フードの吸引を停止した時の粉じん漏洩濃度の時間的変動状況

図 7.13 より、キャノピー式フードを通常の半分の吸引風速で稼働した時の粉じん漏洩濃度に比べて、当然のように吸引を停止した時の粉じん漏洩濃度の方が高い濃度を示した。

#### 7.5.4(d) まとめ

研削機による切削用ドリルの歯の研磨作業であったため、作業にともなう粉じんの発生が低濃度であったことと管理濃度が  $3.0 \text{ mg/m}^3$  であったことから、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩は認められなかった。

#### 7.5.5 衛生陶器研磨作業現場

##### 7.5.5(a) 測定対象作業現場の概要

衛生陶器を製造する工場で、測定は手持ち式グラインダーにより衛生陶器の表面を研磨する作業場で行った。作業場には 3 名の作業者が従事しており、囲い式フードが 3 台連続稼働していた。作業状況を図 7.14 に示し、測定対象作業場の概略を図 7.15 に示す。

作業時に、囲い式フード 3 台の吸引風速を通常の  $\frac{2}{3}$  および  $\frac{1}{3}$  にした際の、作業環境測定およびその時のフード 3 (図 7.15 参照) で従事していた作業者のばく露濃度を測定した。囲い式フードの吸引風速はフード開口面中央の点で測定した。





図 7.14 衛生陶器の研磨作業の作業状況

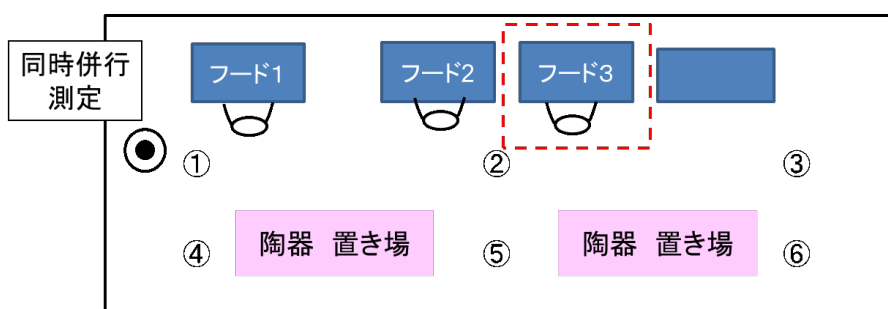


図 7.15 測定対象作業場の概略図

フード 1~3 の外観を図 7.16 に示に、寸法を表 5.4 に示す。

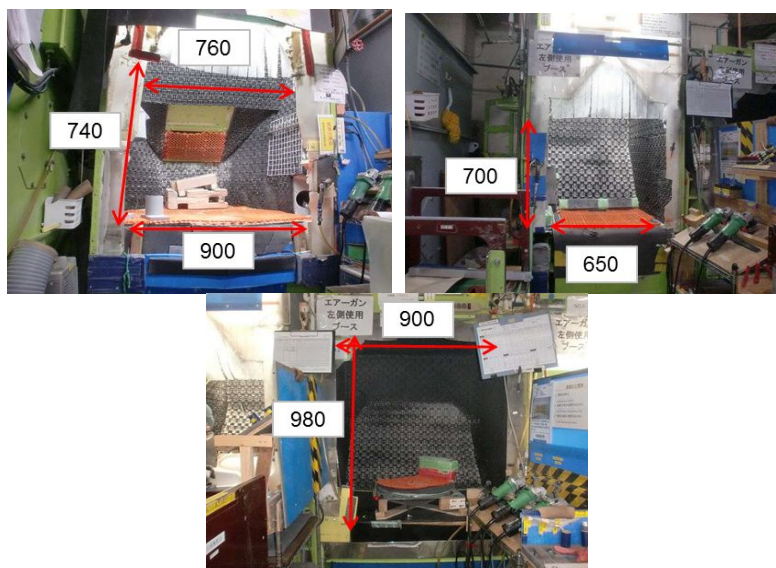


図 7.16 フードの外観（左：フード1、中央：フード2、右：フード3）

表 5.4 各フードの寸法

フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3
高さ (mm)	740	700	900
幅 (mm)	上底：760 下底：900	650	980

### 7.5.5(b) 研磨作業時の作業者の作業環境測定およびばく露濃度測定

#### a) 囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の 3 台のフード開口面中央の吸引風速は表 5.5 に示すとおりである。また、その時の作業場の作業環境測定の結果を表 5.6 に示す。作業環境測定では、測定対象作業場に図 7.15 に示す 6 測定点を設定して、測定を行った。併行測定により求めた質量濃度変換係数 K 値は  $0.0008\text{mg}/\text{m}^3$  である。また、粉じんの遊離けい酸含有率は 0.76 %であったため、管理濃度は  $1.58\text{mg}/\text{m}^3$  である。

表 5.5 フード開口面風速の測定結果

フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3
風速 (m/s)	1.2	1.8	1.6

表 5.6 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	測定点 1	0.07
	測定点 2	0.06
	測定点 3	0.06
	測定点 4	0.13
	測定点 5	0.04
	測定点 6	0.07
幾何平均値 $M_1$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		0.07
幾何標準偏差 $\sigma_1$		1.47
幾何標準偏差		2.16
$E_{A1}$		0.24
$E_{A2}$		0.09
管理濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		3.00
管理区分		第 1 管理区分

表 5.6 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

この時に、フード 3 で作業をしている作業者のばく露濃度測定結果は、 $0.045\text{mg}/\text{m}^3$  であった。作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 7.17 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 7.18 に示す。

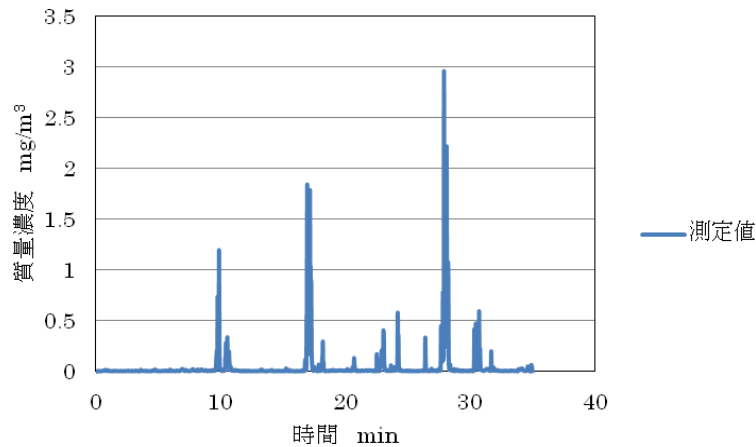


図 7.17 囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況

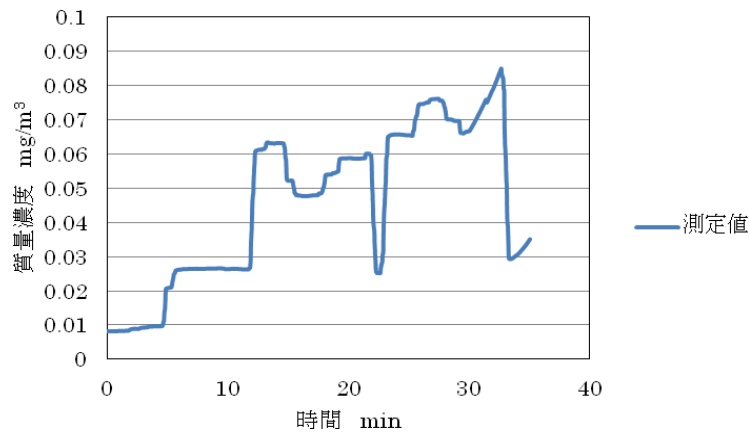


図 7.18 囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況（10 分間移動平均値）

粉じんばく露濃度は  $0.045 \text{ mg/m}^3$  であり、図 7.18 からもばく露濃度は低濃度であった。

b) 囲い式フードを通常の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時のフード開口面中央の吸引風速は表 5.7 に示す通りである。その時の作業場の作業環境測定の結果を表 5.8 に示す。

表 5.7 フード開口面風速の測定結果

フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3
風速 (m/s)	0.8	1.1	1.0

表 5.8 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 ( $\text{mg/m}^3$ )	測定点 1	0.02
	測定点 2	0.02
	測定点 3	0.01
	測定点 4	0.02

	測定点 5	0.03
	測定点 6	0.02
幾何平均値 $M_1$ (mg/m <sup>3</sup> )		0.02
幾何標準偏差 <sub>1</sub>		1.29
幾何標準偏差		2.04
$E_{A1}$		0.06
$E_{A2}$		0.03
管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )		1.58
管理区分		第 1 管理区分

表 5.8 より、囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の作業環境は第 1 管理区分であった。このことから、作業環境を著しく悪化させるような漏洩はなかったと考えられる。

この時、フード 3 で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、0.052 mg/m<sup>3</sup> であった。また、作業者のばく露濃度の時間的変動状況を図 7.19 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 7.20 に示す。

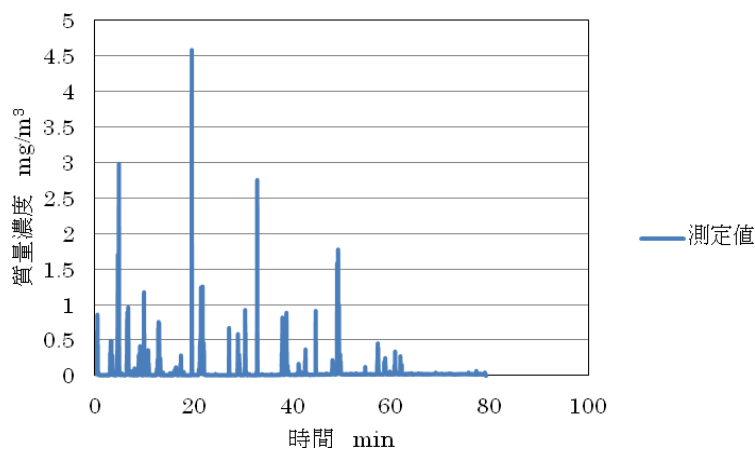


図 7.19 囲い式フードを通常の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況

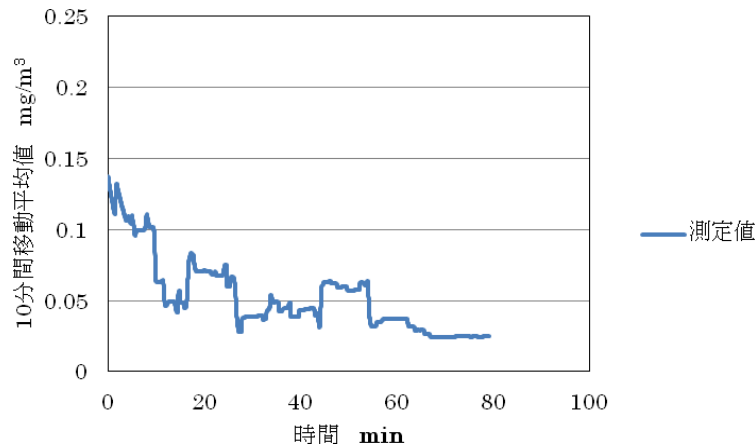


図 7.20 囲い式フードを通常の3分の2の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況（10分間移動平均値）

図 7.19 及び図 7.20 より、囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度に比べて、通常の3分の2の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の方が高い濃度を示した。しかし、管理濃度 1.58 mg/m<sup>3</sup>と比べると、今回のばく露濃度(0.052 mg/m<sup>3</sup>)は管理濃度よりも非常に低い濃度であった。

c) 囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時のフード開口面中央の吸引風速は表 5.9 に示す通りである。その時の作業場の作業環境測定の結果を表 5.10 に示す。

表 5.9 フード開口面風速の測定結果

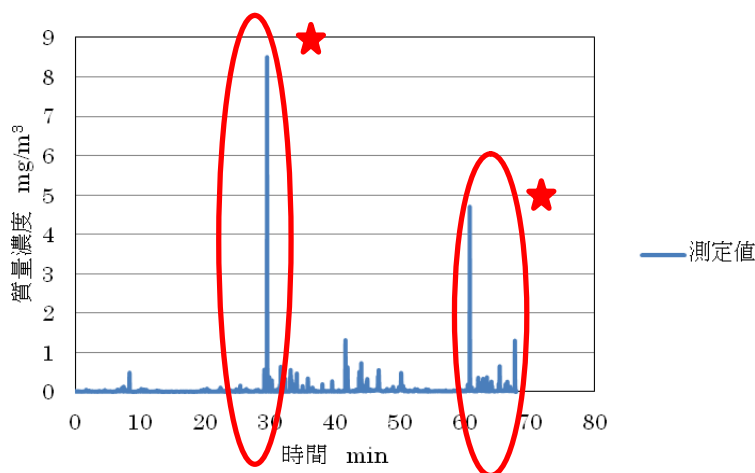
フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3
風速 (m/s)	0.4	0.5	0.6

表5.10 各測定点における粉じん濃度と管理区分

質量濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	測定点 1	0.03
	測定点 2	0.02
	測定点 3	0.03
	測定点 4	0.05
	測定点 5	0.04
	測定点 6	0.04
幾何平均値 M <sub>1</sub> (mg/m <sup>3</sup> )		0.03
幾何標準偏差 <sub>1</sub>		1.35
幾何標準偏差		2.08
E <sub>A1</sub>		0.11
E <sub>A2</sub>		0.04
管理濃度		1.58
管理区分		第 1 管理区分

表 5.10 より、囲い式フードを通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時の作業環境は第 1 管理区分であった。このことから、作業環境を著しく悪化させるような漏洩はなかったと考えられる。

フード3で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $0.048 \text{ mg/m}^3$ であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 7.21 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 7.22 に示す。



( は、図 7.5.1 のようにグラインダーで大きく研磨する作業による上昇であった。)

図 7.21 囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況

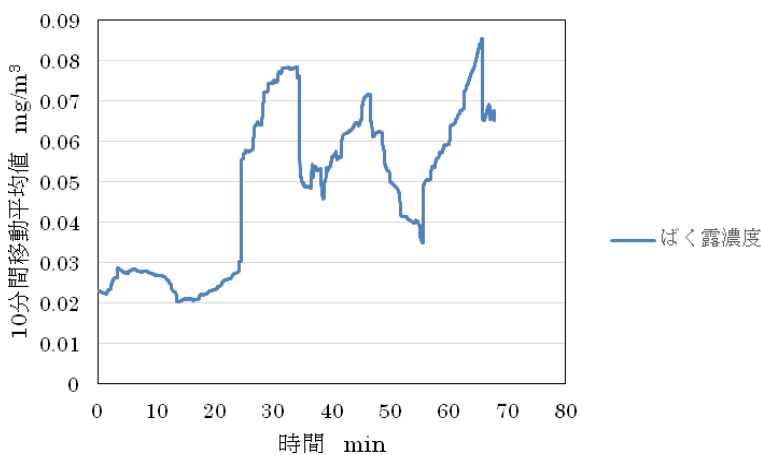


図 7.22 囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の変動状況 (10 分間移動平均値)

図 7.21 及び図 7.22 より、囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度に比べて、通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の方が低い濃度を示した。囲い式フードの吸引風速を遅くすれば、ばく露濃度は高くなると

考えられるが、通常の3分の1の吸引風速で稼働した時に研磨をする対象物質が、大きくグラインダーで研磨する作業(図7.14参照)から小さい穴の内壁を研磨する作業(図7.23参照)に変わり、発生する粉じん量が少なくなったため、吸引風速を遅くしてもばく露濃度が低くなったと考えられる。

通常の3分の1の吸引風速で稼働した時の作業状況を図7.23に示す。



図7.23 囲い式フードを通常時の3分の1の吸引風速にした時の作業状況

#### 7.5.5(c) まとめ

グラインダーにより衛生陶器の表面を研磨する作業であった。囲い式フードを通常の3分の2の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩は認められなかった。また、囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度に比べて、通常の3分の2の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の方が高い濃度を示した。しかし、管理濃度  $1.58 \text{ mg/m}^3$  と比べると、粉じんばく露濃度は管理濃度よりも非常に低い濃度であった。

囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時、作業環境は第一管理区分を維持しており、その時の作業者のばく露濃度は管理濃度より低い濃度であった。囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時には研磨の対象物質が変わり、粉じんの発生量が少なくなったため、粉じんばく露濃度は低濃度に留まったと考えられた。

### 7.5.6 プレート溶接作業現場

#### 7.5.6(a) 測定対象作業現場の概要

測定対象とした作業は、プレートを溶接する作業である。作業場には囲い式フードが4台設置されており、連続稼働していた。作業の様子、作業場の概略図を図7.24及び図7.25に示す。

作業時に、囲い式フードの吸引風速を通常の3分の2および3分の1にした際の、作業環境測定およびその時のフード2とフード3で従事していた作業者の粉じんばく露濃度を測定した。

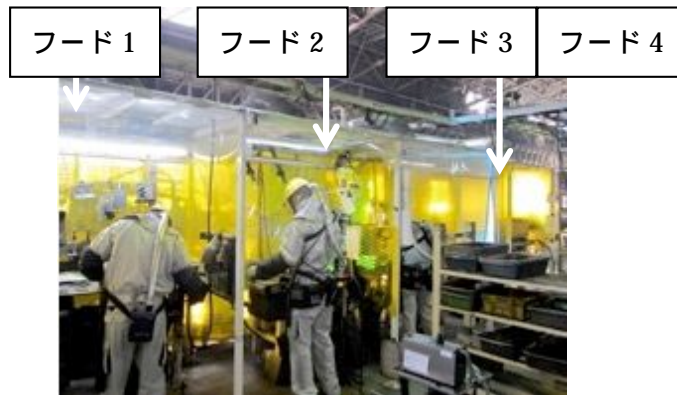


図 7.24 作業場の様子

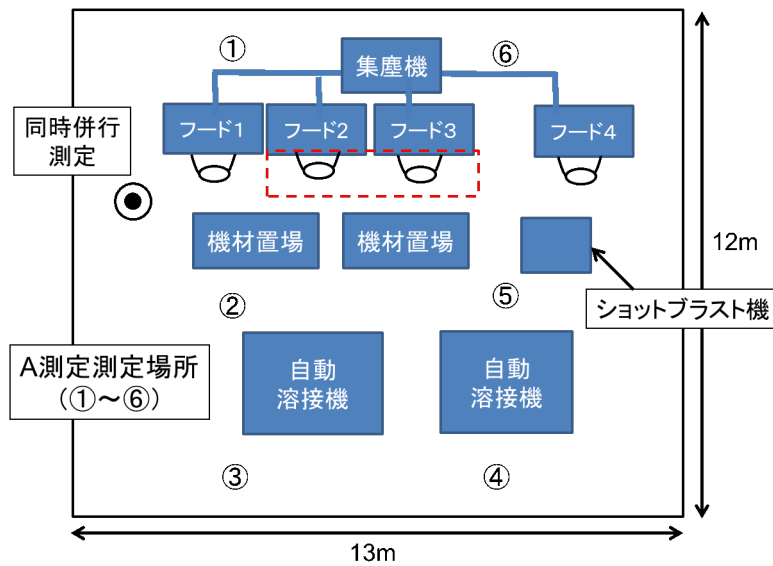


図 7.25 作業場の概略図

囲い式フードの吸引風速を通常の3分の2、3分の1となるよう、フード1～フード4と集塵機をつなげているダクトに付属されたダンパーで排風量を調節した。吸引風速の調節に使用したダンパーを図 7.26 に示す。



図 7.26 フード1～4の風量調整ダンパー（左：全体図、右：拡大図）

また、フードの外観を図 7/27 に示し、囲い式フード4台の寸法を表 5.11 に示す。



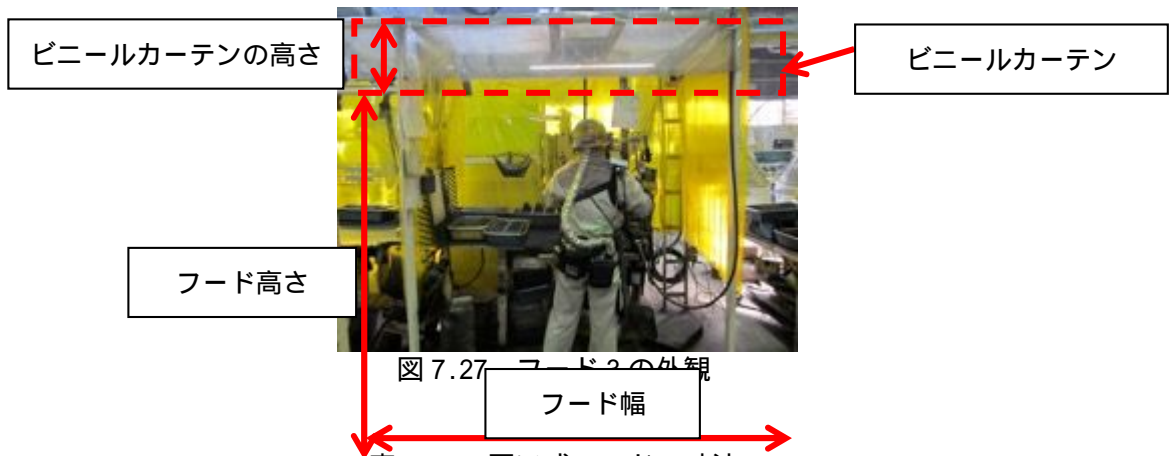


図 7.27 フード2の外観

表 5.11 囲い式フードの寸法

フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3	フード 4
ビニールカーテンの高さ (mm)	28	16	28	25
フード高さ (mm)	169	169	169	179
フード幅 (mm)	123	123	123	154

7.5.6(b) 溶接作業時の作業者の粉じんばく露濃度測定および作業環境測定

a) 囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時のフード開口面の風速の測定点 ( ~ ) を図 7.28 に示し、測定結果を表 5.12 に示す。

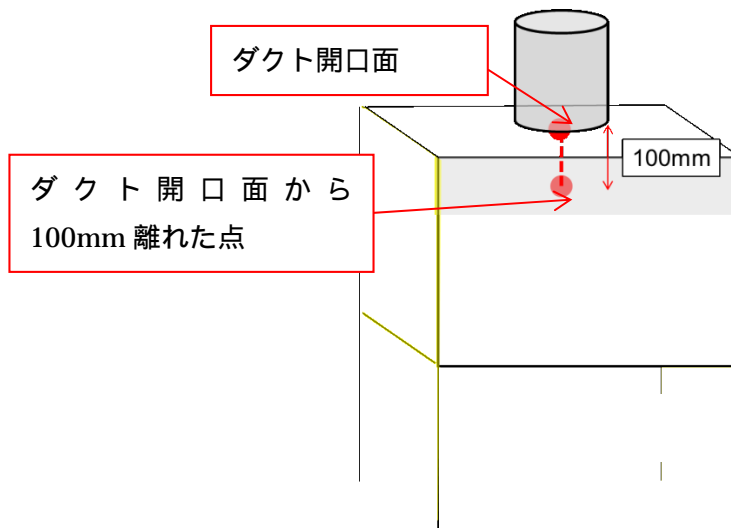


図 7.28 囲い式フードの開口面風速の測定点

表 5.12 開口面風速の測定結果 (m/s)

フードの種類	フード 1	フード 2	フード 3	フード 4
ダクト開口面	2.5	2.7	3.8	5.0 以上 (測定上限値 を超えた)
ダクト開口面から 100mm 離れた点	0.30	0.28	0.52	1.3
	0.16	0.13	0.14	0.27
	0.15	0.12	0.28	0.40
	0.12	0.16	0.27	0.29
	0.07	0.05	0.15	0.16
	0.15	0.15	0.26	0.22
	0.20	0.16	0.20	0.20
	0.11	0.14	0.13	0.15
	0.15	0.14	0.11	0.15
	0.11	0.13	0.11	0.18

測定対象作業場に、図 7.25 に示す 6 測定点を設定して、作業環境測定を行った。併行測定により求めた質量濃度変換係数 K 値は  $0.0028\text{mg}/\text{m}^3$  である。また、粉じんの遊離けい酸含有率は 0 % であるため、管理濃度は  $3.00\text{mg}/\text{m}^3$  である。作業場の作業環境測定の結果を表 5.13 に示す。

表 5.13 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	測定点 1	0.20
	測定点 2	0.21
	測定点 3	0.13
	測定点 4	0.20
	測定点 5	0.51
	測定点 6	0.28
幾何平均値 $M_1$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		0.23
幾何標準偏差 $\sigma_1$		1.58
幾何標準偏差		2.25
$E_{A1}$		0.88
$E_{A2}$		0.32
管理濃度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		3.00
管理区分		第1管理区分

表 5.13 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

この時、フード 2 で作業をしている作業者のばく露濃度測定結果は、 $23.6\text{mg}/\text{m}^3$  であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 7.29 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 7.30 に示す。

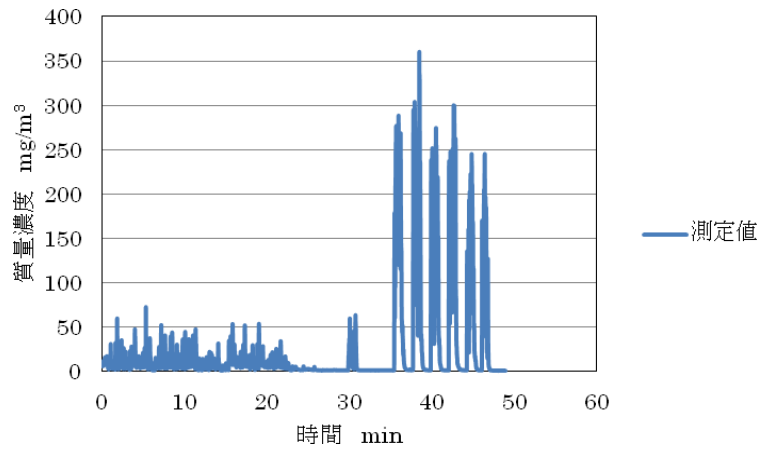


図 7.29 囲い式フードを通常時の吸引風速で稼働した時のフード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

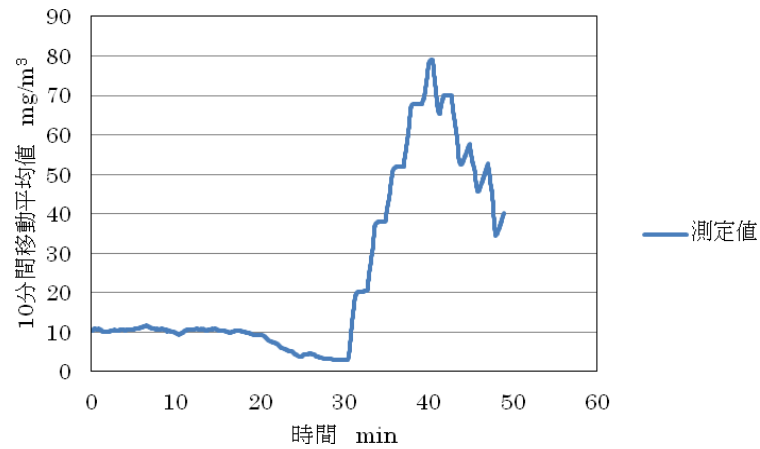


図 7.30 囲い式フードを通常時の吸引風速で稼働した時のフード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10分間移動平均値）

また、フード 3 で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $4.07 \text{ mg/m}^3$ であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 7.31 に示す。さらに、10分間移動平均値の結果を図 7.32 に示す。

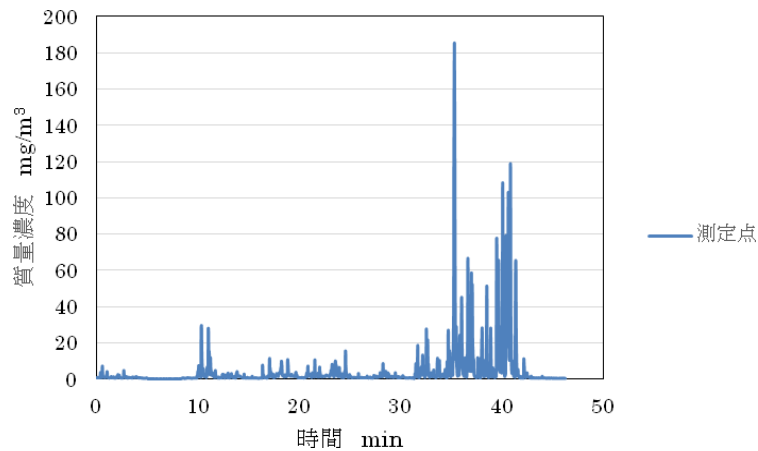


図 7.31 囲い式フードを通常時の吸引風速で稼働した時のフード3で  
従事していた作業者の粉じんばく露濃度

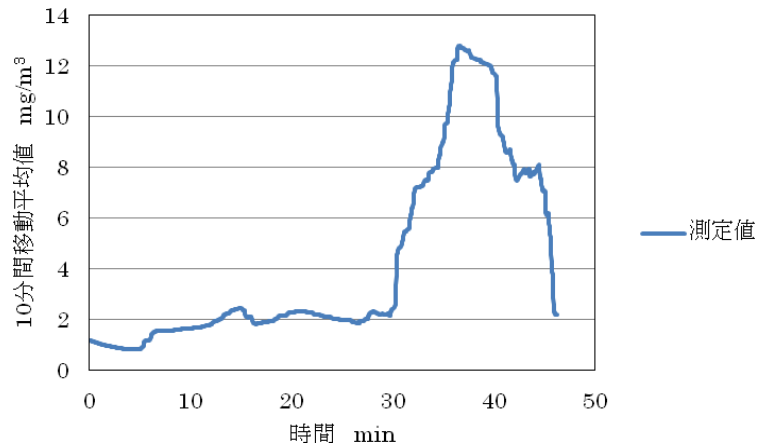


図 5.32 囲い式フードを通常時の吸引風速で稼働した時のフード3で  
従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10分間移動平均値）

囲い式フードの上部に集塵機のダクトが接続されていたため、フードへの吸引気流の中に作業者の呼吸域がある状態での作業であった。このため、粉じんばく露濃度は高濃度であった。しかし、溶接作業者は電動ファン付き呼吸用保護具（山本光学社製 MP 型ヘルメットタイプ）を着用しており、図 5.30 及び図 5.32 のような高濃度の粉じんを作業者はばく露していない。

b) 囲い式フードを通常の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時の開口面の中心の吸引風速を表 5.14 に、作業場の作業環境測定の結果を表 5.15 に示す。

表5.14 開口面風速の測定結果 (m/s)

フード種類	フード 1	フード 2	フード 3	フード 4
ダクト開口面	1.1	1.1	1.7	2.5
ダクト開口面から 100mm 離れた点	0.24	0.16	0.31	0.75
開口面中央	0.15	0.14	0.15	0.16

表 5.15 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	測定点 1	0.26
	測定点 2	0.30
	測定点 3	0.45
	測定点 4	0.55
	測定点 5	0.80
	測定点 6	0.51
幾何平均値 $M_1$ (mg/m <sup>3</sup> )		0.45
幾何標準偏差 $\sigma_1$		1.51
幾何標準偏差		2.19
$E_{A1}$		1.61
$E_{A2}$		0.60
管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )		3.00
管理区分		第1管理区分

表 5.15 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

この時、フード 2 で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、5.49 mg/m<sup>3</sup>であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.33 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 5.34 に示す。

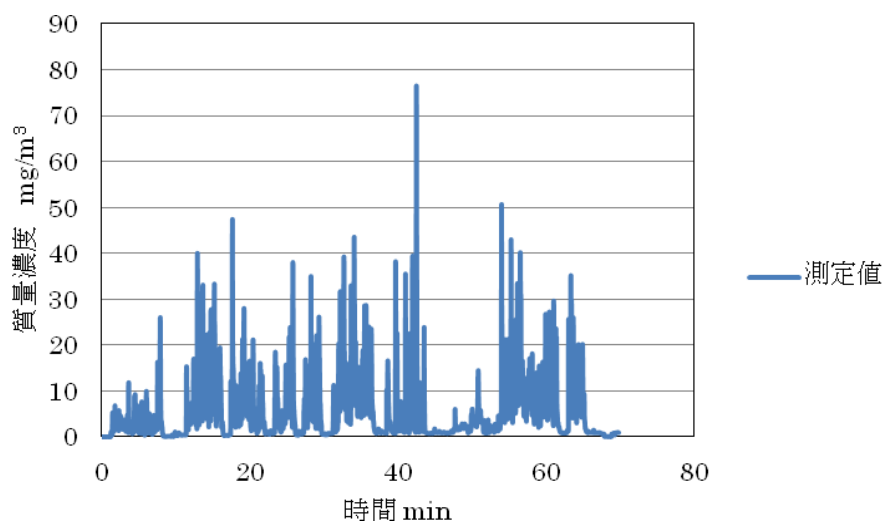


図 5.33 囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時のフード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

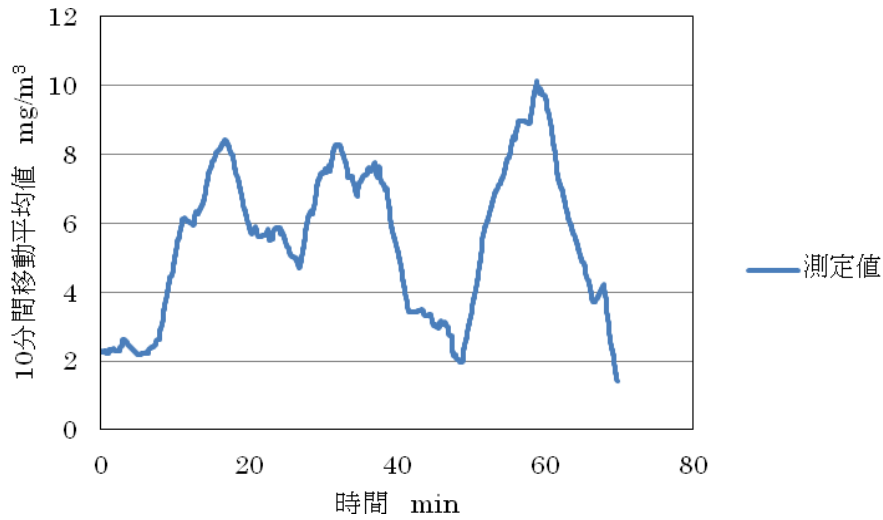


図 7.34 囲い式フードを通常時の3分の2の吸引風速で稼働した時のフード2で従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10分間移動平均値）

また、フード3で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $9.55 \text{ mg/m}^3$ であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.35 に示す。さらに、10分間移動平均値の結果を図 5.36 に示す。

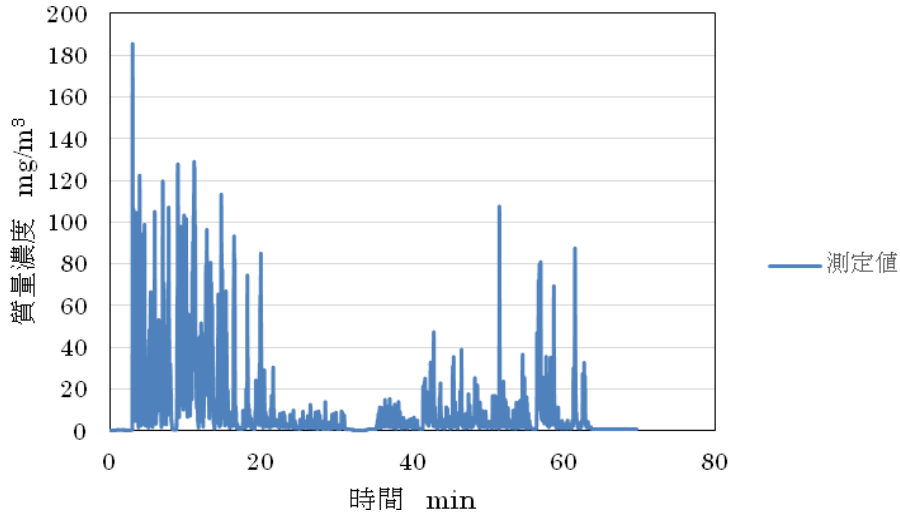


図 5.35 囲い式フードを通常時の3分の2の吸引風速で稼働した時のフード3で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

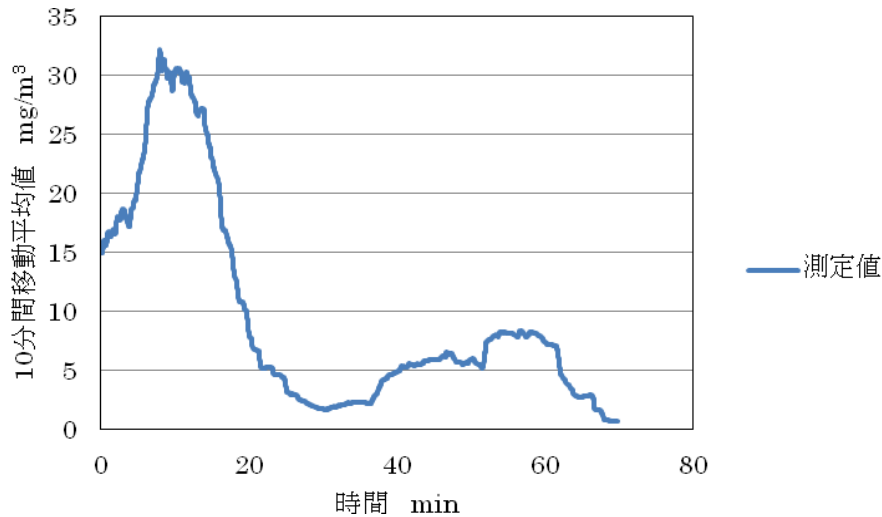


図 5.36 囲い式フードを通常時の 3 分の 2 の吸引風速で稼働した時のフード 3 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10 分間移動平均値）

粉じんばく露濃度は高濃度であったが、溶接作業者は電動ファン付き呼吸用保護具（山本光学社製 MP 型ヘルメットタイプ）を着用しており、図 5.34 及び図 5.35 のような高濃度の粉じんを作業者はばく露していない。

c) 囲い式フードを通常の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時

囲い式フードを通常の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時のフード開口面の中心の吸引風速を表 5.16 に、作業場の作業環境測定の結果を表 5.17 に示す。

表5.16 開口面風速の測定結果 (m/s)

フード種類	フード 1	フード 2	フード 3	フード 4
ダクト開口面	0.43	0.38	0.70	0.97
ダクト開口面から 100mm 離れた点	0.15	0.07	0.15	0.40
開口面中央	0.14	0.13	0.14	0.14

表5.17 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 (mg/m³)	測定点 1	0.38
	測定点 2	0.32
	測定点 3	0.40
	測定点 4	0.53
	測定点 5	0.64
	測定点 6	0.51
幾何平均値 $M_1$ (mg/m³)		0.45
幾何標準偏差 $\sigma_1$		1.29
幾何標準偏差		2.04
$E_{A1}$		1.46
$E_{A2}$		0.58

管理濃度(mg/m <sup>3</sup> )	3.00
管理区分	第1管理区分

表 5.17 よりこの作業環境は第1管理区分である。

この時、フード 2 で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、7.76 mg/m<sup>3</sup>であった。また、作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.37 に示す。さらに、10 分間移動平均値の結果を図 5.38 に示す。

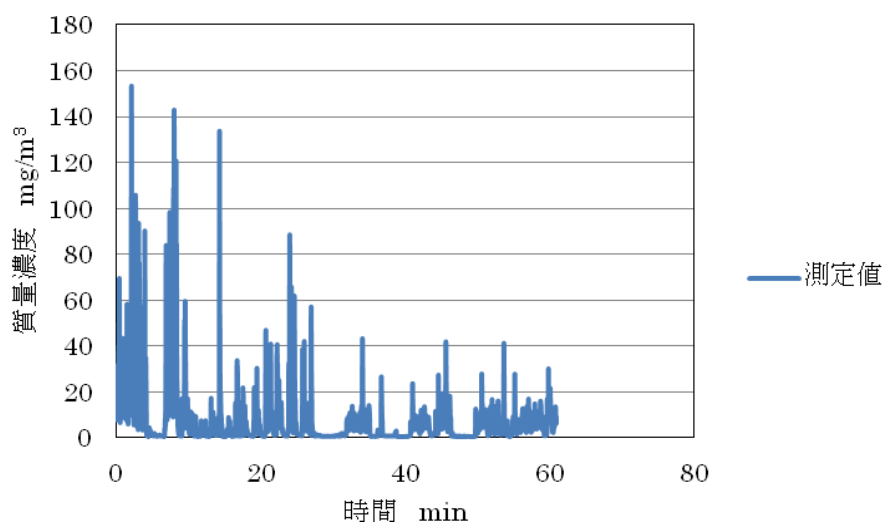


図 5.38 囲い式フードを通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時のフード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

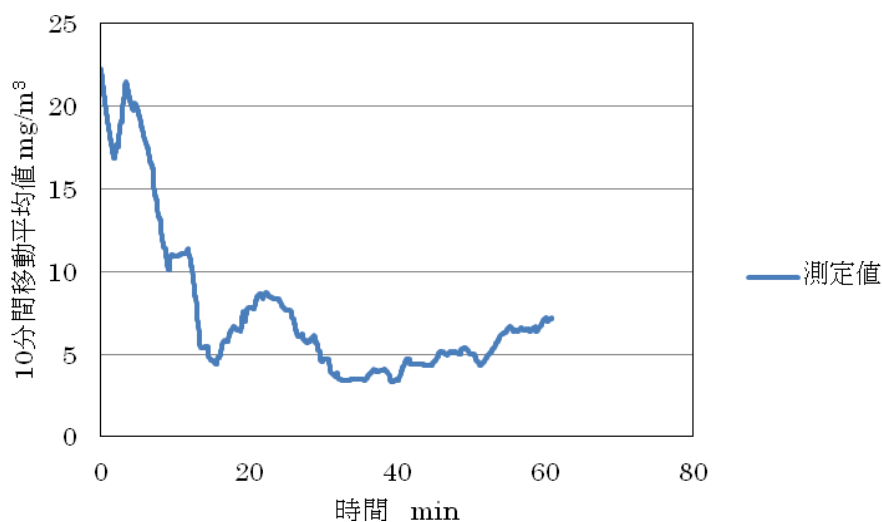


図 5.38 囲い式フードを通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時のフード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度 (10 分間移動平均値)

また、フード 3 で作業をしている作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、2.93 mg/m<sup>3</sup>であった。また、作業者のばく露濃度の時間的変動状況を図 7.39 に示す。さらに、10 分間移動



平均値の結果を図 7.40 に示す。

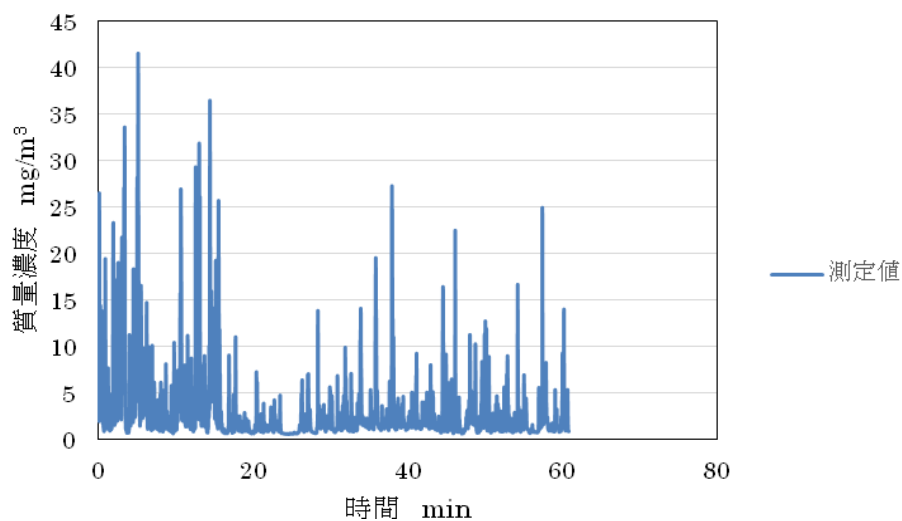


図 5.39 囲い式フードを通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時の  
フード 3 で従事していた作業者のばく露ばく露濃度 (10 分間移動平均値)

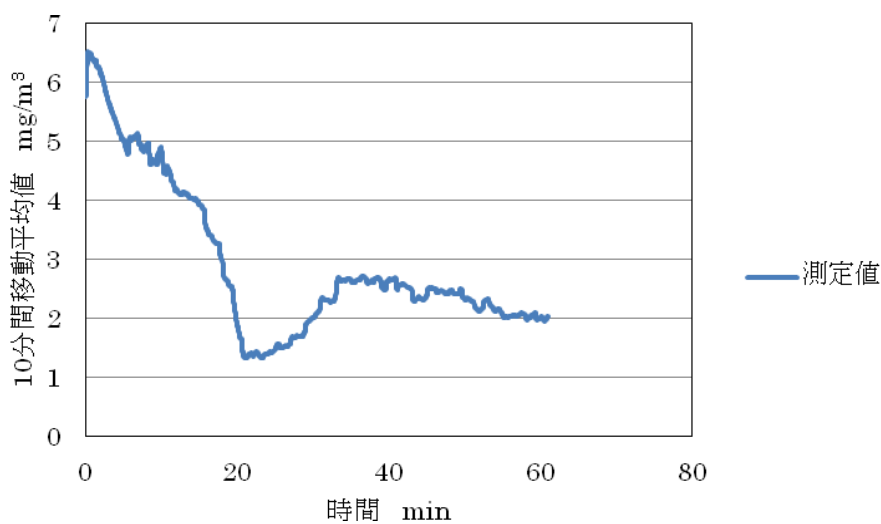


図 5.40 囲い式フードを通常時の 3 分の 1 の吸引風速で稼働した時の  
フード 3 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度 (10 分間移動平均値)

粉じんばく露濃度は高濃度であったが、溶接作業者は電動ファン付き呼吸用保護具 (山本光学社製 MP 型ヘルメットタイプ) を着用しており、図 5.39 及び図 5.40 のような高濃度の粉じんを作業者はばく露していない。

### 7.5.6(c) まとめ

プレート溶接をする作業であったため、高濃度の粉じんが発生する作業であった。囲い式フードを通常の3分の2、3分の1の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩はなかった。

作業者の肩に設置したデジタル粉じん計 LD-6N による粉じんばく露濃度は高濃度であったが、溶接作業者は電動ファン付き呼吸用保護具（山本光学社製 MP 型ヘルメットタイプ）を着用しており、実際に作業者が粉じんばく露している濃度は低濃度である。

### 7.5.7 ベルト研磨、バフ研磨作業現場

#### 7.5.7(a) 測定対象作業現場の概要

真鍮、銅合、アルミ、ステンレス、亜鉛、銅などの研磨工程、鏡面加工、仕上げ加工をする工場において、バフ兼ベルト研磨の単位作業場で測定を行った。研磨作業には46台のバフ兼ベルト研磨機が設置されており、約30名の作業者が従事していた。設置されているバフ兼ベルト研磨機には、局所排気装置が設置されており、連続稼働している。測定対象作業場の概略を図5.41に、研磨作業の状況を図5.42に示す。

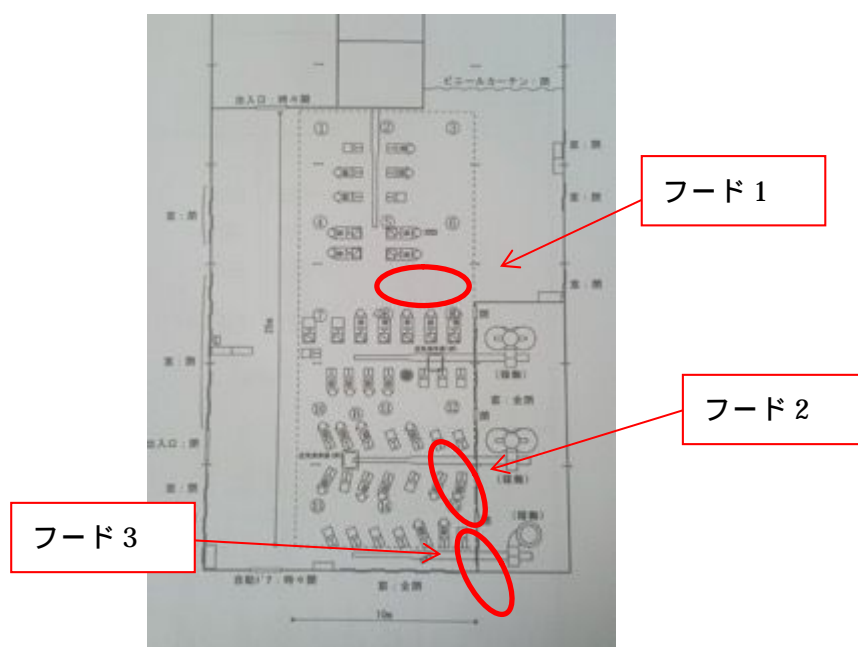


図 5.41 測定対象作業場の概略



図 5.42 研磨作業の作業状況

7.5.7(b) 研磨作業時の作業者の粉じんばくろ濃度測定および作業環境測定

a) レシーバー式フードの吸引風速を通常の吸引風速で稼働した時

測定対象作業場に、図 5.41 に示す 15 測定点 ( ~ ) を設定して、作業環境濃度を測定した。併行測定により求めた質量濃度変換係数 K 値は、 $0.0010 \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$  である。また、粉じん中の遊離けい酸は 0.80 % であり、管理濃度は  $1.54 \text{ mg/m}^3$  である。

各測定点の測定結果および結果から算出した管理区分を表 5.18 に示す。

表 5.18 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 ( $\text{mg/m}^3$ )	測定点 1	0.14
	測定点 2	0.22
	測定点 3	0.22
	測定点 4	0.16
	測定点 5	0.18
	測定点 6	0.17
	測定点 7	0.16
	測定点 8	0.16
	測定点 9	0.15
	測定点 1 0	0.15
	測定点 1 1	0.18
	測定点 1 2	0.22
	測定点 1 3	0.15
	測定点 1 4	0.16

	測定点 1 5	0.17
	幾何平均値 $M_1$ (mg/m <sup>3</sup> )	0.17
	幾何標準偏差 $\sigma_1$	1.16
	幾何標準偏差 $\sigma$	1.98
	$E_{A1}$	0.53
	$E_{A2}$	0.22
	管理濃度(mg/m <sup>3</sup> )	1.54
	管理区分	第 1 管理区分

表 5.18 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

フード開口面の測定点（点 a～点 b）を図 5.43 に示す。囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の開口面の吸引風速は、表 5.19 に示す通りである。なお、表 7.7.2 にはフード 1～フード 3 の吸引風速の結果を示している。

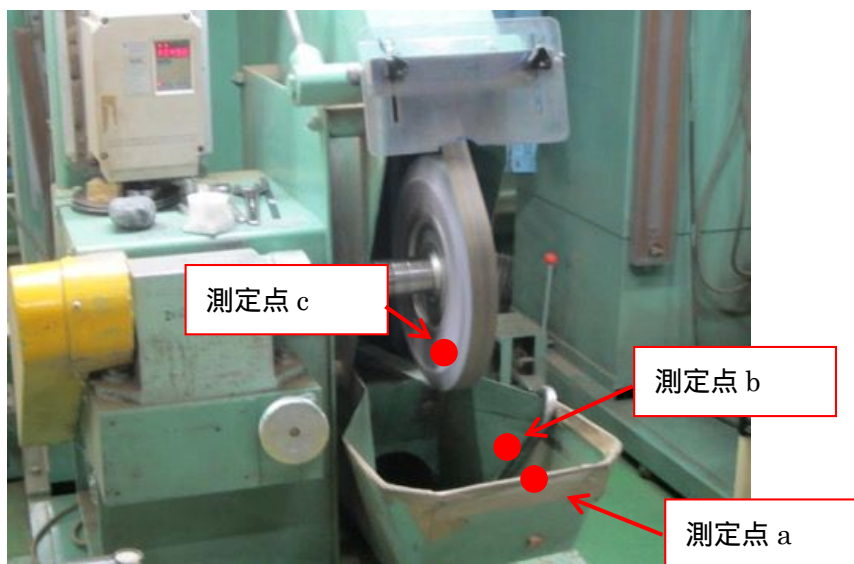


図 5.43 開口面風速の測定点

表 5.19 開口面風速の測定結果

フード 1 の吸引風速(m/s)	a	1.4
	b	1.6
	c	0.7
フード 2 の吸引風速(m/s)	a	1.3
	b	1.7
	c	0.7
フード 3 の吸引風速(m/s)	a	1.9
	b	2.3
	c	1.4

b) レシーバー式フードを通常の吸引風速よりも下げて稼働した時

作業時にレシーバー式フードの吸引風速を通常時よりも遅くした時の作業環境および図 7.7.1 に示したフード 1、フード 2、フード 3 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度を測定した。フード 1、フード 2 ではベルト研磨、フード 3 ではバフ研磨の作業をしていた。

各測定点の測定結果および結果から算出した管理区分を表 5.20 に示す。

表 5.20 各測定点における粉じん濃度と管理区分

粉じん濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	測定点 1	0.09
	測定点 2	0.08
	測定点 3	0.04
	測定点 4	0.36
	測定点 5	0.07
	測定点 6	0.06
	測定点 7	0.10
	測定点 8	0.10
	測定点 9	0.11
	測定点 1 0	0.11
	測定点 1 1	0.28
	測定点 1 2	0.38
	測定点 1 3	0.15
	測定点 1 4	0.22
	測定点 1 5	0.38
幾何平均値 $M_1$ (mg/m <sup>3</sup> )		0.13
幾何標準偏差 $\sigma_1$		2.04
幾何標準偏差		2.66
$E_{A1}$		0.66
$E_{A2}$		0.21
管理濃度 (mg/m <sup>3</sup> )		1.54
管理区分		第 1 管理区分

表 5.20 よりこの作業環境は第 1 管理区分である。

レシーバー式フードを通常の吸引風速より下げて稼働した時のフード開口面の吸引風速は、表 5.21 に示す通りである。

表 5.21 開口面風速の測定結果

フード 1 の吸引風速(m/s)	a	1.2
	b	0.8
	c	0.4
フード 2 の吸引風速(m/s)	a	1.0
	b	0.9
	c	0.7
フード 3 の吸引風速(m/s)	a	1.6
	b	1.4

	c	0.7
--	---	-----

レシーバー式フードを通常の吸引風速よりも下げて稼働した時にフード 1 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $0.10 \text{ mg/m}^3$ であった。作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.44 に示す。また、10 分間移動平均値の結果を図 5.45 に示す。

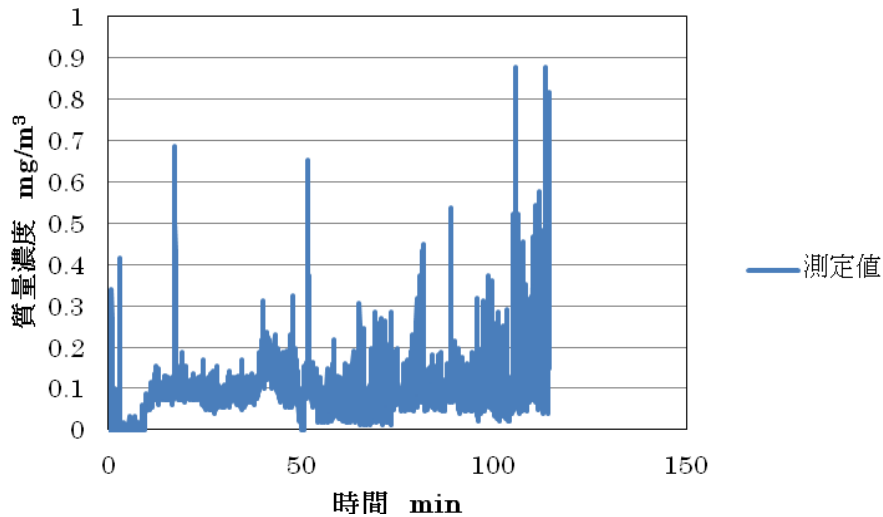


図 5.44 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げて稼働した時のフード 1 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

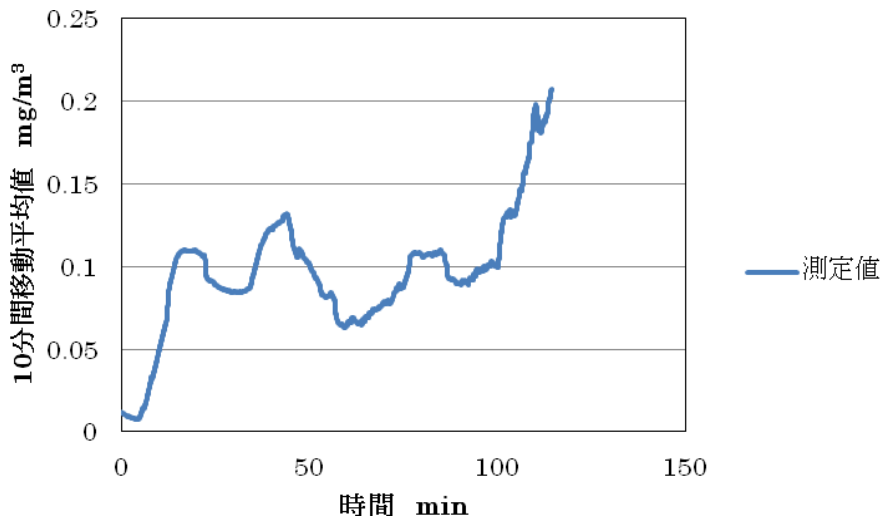


図 5.45 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げて稼働した時のフード 1 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10 分間移動平均値）

また、フード 2 で従事していた作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $0.27 \text{ mg/m}^3$ であった。作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.46 に示す。また、10 分間移動平均値の結果を図 5.47 に示す。

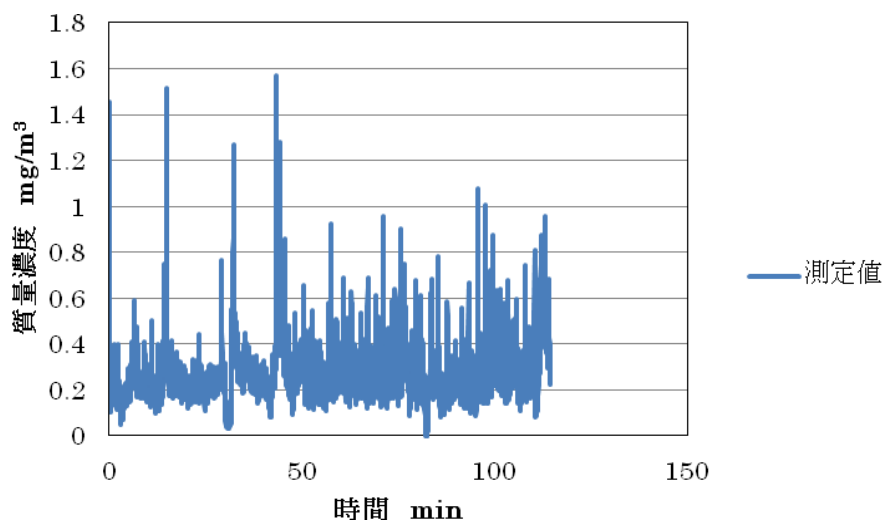


図 5.46 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げた稼働時のフード2で従事していた作業者の粉じんばく露濃度

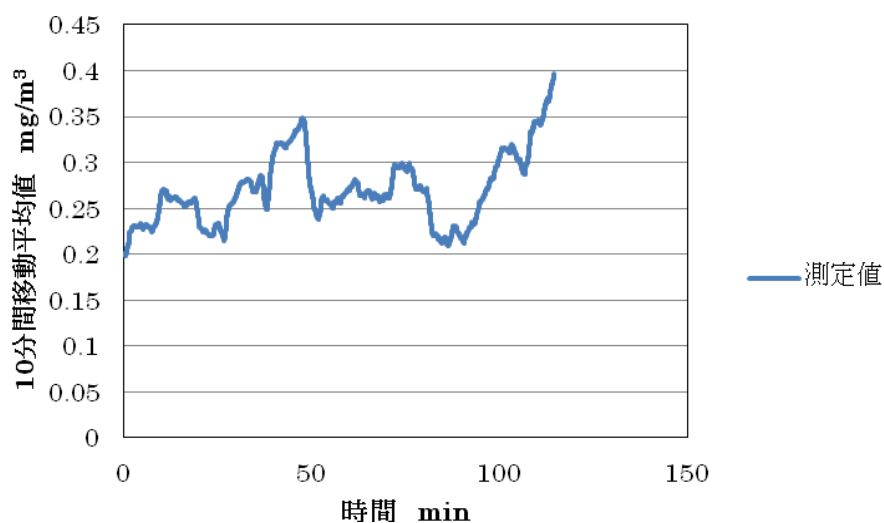


図 5.47 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げた稼働時のフード2で従事していた作業者の粉じんばく露濃度（10分間移動平均値）

さらに、フード3で従事していた作業者の粉じんばく露濃度測定結果は、 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ であった。作業者の粉じんばく露濃度の時間的変動状況を図 5.48 に示す。また、10分間移動平均値の結果を図 5.49 に示す。

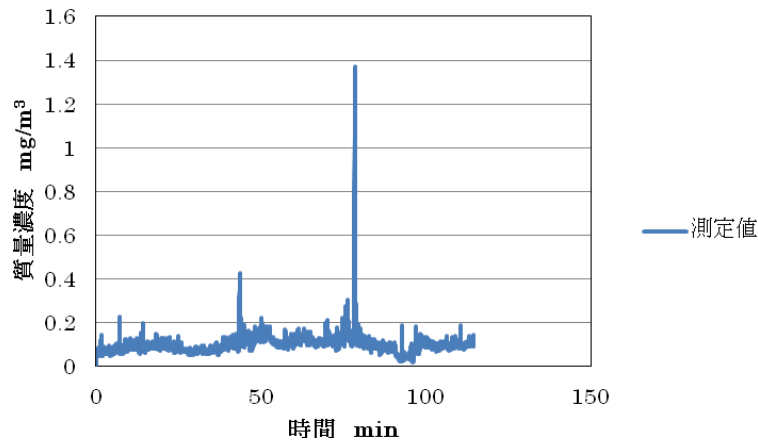


図 5.48 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げた稼働時のフード 3 で従事していた作業員の粉じんばく露濃度の変動状況

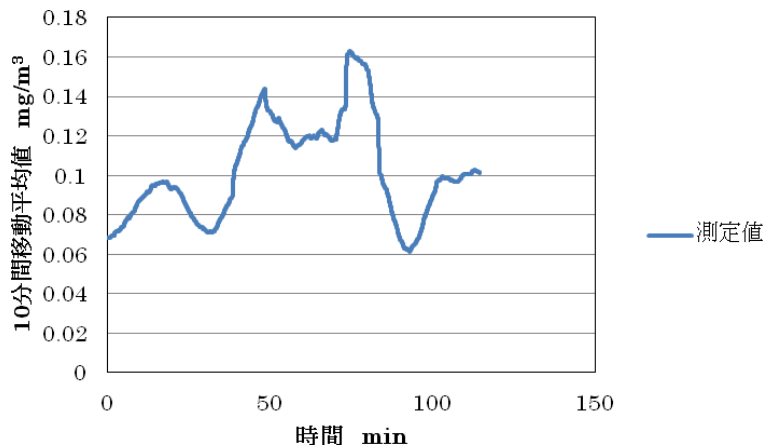


図 5.49 レシーバー式フードを通常よりも吸引風速を下げた稼働時のフード 3 で従事していた作業員の粉じんばく露濃度（10 分間移動平均値）

図 5.44、図 5.46 及び図 5.48 より、短時間ではあるが粉じんばく露濃度が高くなる時があった。しかし、粉じんばく露濃度の 10 分間移動平均値の変動状況や粉じんばく露濃度を考慮すると、今回の作業は、粉じんばく露濃度の低い作業と考えられる。

#### 7.5.7(c) まとめ

ベルト研磨・パフ研磨による研磨作業であったため、作業にともなう粉じんの発生は低濃度であった。このことから、レシーバー式フードを通常の 3 分の 2、3 分の 1 の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩はなかった。また、粉じんばく露濃度は管理濃度よりも低い濃度であった。



## 7.5.8 総括

### 7.5.8(a) 金属研磨作業現場

研削機による切削用ドリルの歯の研磨作業であったため、作業にともなう粉じんの発生が低濃度であったことと管理濃度が  $3.0 \text{ mg/m}^3$  であったことから、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩は認められなかった。

### 7.5.8(b) 衛生陶器の研磨作業現場

グラインダーにより衛生陶器の表面を研磨する作業であった。囲い式フードを通常の3分の2の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩は認められなかった。また、囲い式フードを通常の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度に比べて、通常の3分の2の吸引風速で稼働した時の粉じんばく露濃度の方が高い濃度を示した。しかし、管理濃度  $1.58 \text{ mg/m}^3$  と比べると、粉じんばく露濃度は管理濃度よりも非常に低い濃度であった。

囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時、作業環境は第一管理区分を維持しており、その時の作業者の粉じんばく露濃度は管理濃度より低い濃度であった。囲い式フードを通常の3分の1の吸引風速で稼働した時には研磨の対象物質が変わり、粉じんの発生量が少なくなったため、粉じんばく露濃度は低濃度に留まったと考えられた。

### 7.5.8(c) プレート溶接作業現場

プレート溶接をする作業であったため、高濃度の粉じんが発生する作業であった。囲い式フードを通常の3分の2、3分の1の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩はなかった。

作業者の肩に設置したデジタル粉じん計 LD-6N による粉じんばく露濃度は高濃度であったが、溶接作業者は電動ファン付き呼吸用保護具（山本光学社製 MP 型ヘルメットタイプ）を着用しており、実際に作業者がばく露している粉じん濃度は低濃度である。

### 7.5.8(d) ベルト研磨・バフ研磨作業現場

ベルト研磨・バフ研磨による研磨作業であったため、作業にともなう粉じんの発生は低濃度であった。このことから、レシーバー式フードを通常の3分の2、3分の1の吸引風速で稼働しても、作業環境は第一管理区分を維持しており、作業環境に影響を与えるような漏洩はなかった。また、粉じんばく露濃度は管理濃度よりも低い濃度であった。

### 7.5.8(e) 粉じん則一部改正への提言

本測定では、粉じんを取り扱い、第1管理区分を維持している事業場で、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした状態で、作業者のばく露濃度および作業環境測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても第1管理区分が維持できるかどうかの検証を行った。測定対象現場は粉じん取扱い作業場で第1管理区分になっている事業場として、金属研磨作業現場、衛生陶器研磨作業現場、プレート溶接作業現場、ベルト研磨・バフ研磨作業現場を選定した。検証を行った結果、局所排

気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても作業環境は第1管理区分を維持しており、作業環境に影響のある漏洩は見られなかった。

以上のことから、作業環境が良好とされる第1管理区分を満たしている作業場では、作業環境が第1管理区分を維持し、ばくろ濃度が管理濃度を下回る範囲内であれば、設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速よりも遅くして稼働することが可能であると考えられた。

## 7.6 結言

本研究では、厚生労働省令に定められている粉じん則において、局排等以外の粉じん発散防止装置の使用を可能にすることを目的としている。そのため、実際に局所排気装置の要件を満たさない屋内排気型フードを用いて、実際の作業場を想定し、有害物質の環境への漏洩の有無を調べた。また、実際の粉じん作業現場で既存の局所排気装置を制御風速以下で稼働した時の、周囲への漏洩濃度測定、作業環境測定および作業者のばく露濃度測定をした。

以下に本研究で得られた知見を述べる。

### 1 フランジ効果及びフィルターの圧量損失について

#### 1) フランジ効果

フランジを付けることでフード前方の等速度面が前方にも横にも広がり、発散源を捕捉できる範囲が広がることが確認できた。その一方、フード開口面近傍の吸引風速はフランジ効果が見られず、逆にフランジを付けることで風速は遅くなることが分かった。これらのことから、有害物質の発生状況や発散源とフード開口面の距離から、フランジを付けるか否かを考慮する必要があると考えられた。

#### 2) フィルターの圧力損失

屋内排気型フードを作製するにあたり、フィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは圧力損失が低く、ファンへの負荷も低減できる有用なプレフィルターであると考えられた。HEPA フィルターはバグフィルター等の集塵フィルターの中では比較的圧力損失は大きいですが、 $0.3\mu\text{m}$ の粒子を99.97%捕集でき、屋内排気には必要なフィルターであった。

### 2 ダクト付きフードを用いた制御風速等に関する実験

#### 1) マネキンの有無による捕捉点風速

捕捉点風速はマネキンが無い時と有る時で差が生じ、マネキンがある方が捕捉点風速は遅くなった。また、マネキンが無い時は Dalla Valle の式により算出した理論値よりも風速が速くなり、マネキンが有る場合は理論値より風速が遅くなる傾向にあることが明らかになった。

#### 2) 2種類の発散源と排风量

発煙ノズルを用いた場合には、ばく露濃度が高くなった。発煙BOXを用いた場合には、

発煙ノズルよりも発生速度が緩やかであったため、ばく露は見られず、作業者に見立てたマネキンの腰の部分の方で主に漏洩が見られた。また、フードの形状や煙の発生速度によって必要排風量は異なることが分かった。

### 3) 制御風速

本実験条件では、制御風速以下で発散源を捕捉できた。また、発散源の発生量、フードの開口面積、発散源のフード開口面からの距離によって、漏洩およびばく露を防ぐために必要となる捕捉点風速は異なることが分かった。これらのことから、現在はフードの吸引性能を制御風速(外付け式フードの場合は1.0 m/s)で評価しているが、作業環境が良好で、発散源の発生量および発生速度が遅ければ、捕捉点風速を制御風速より遅くしても十分に発生した煙を捕捉できると考えられた。

さらに、捕捉点風速を0.1m/s下げただけで排風量は大きく削減できることが Dalla Valle の式より明らかになった。これは、少ないエネルギーで発散源を速やかに捕捉することが必要とされる中、制御風速より遅い吸引風速であっても作業環境を良好に保つことができる作業場では、エネルギーコスト、CO<sub>2</sub>排出量の削減も期待できる。

## 3 屋内排気型フードを用いた外乱気流の影響に関する実験

### 1) 外乱気流の影響

一様な気流をフード周囲から発生し、その時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。制御風速よりも遅い捕捉点風速であっても漏洩およびばく露を防げると考えられた。ただし、斜め前方と前方からの0.4m/s以上の一様な気流に対しては、ついたてを立てる等の対策をし、外乱気流の影響を低減することが望ましいと考えられた。

### 2) 作業台周囲の人の移動による影響

作業台周囲を人が移動した時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。今回実験した3種類の移動(フード側面に沿って移動する時、作業台に向かいUターンをして戻る時、マネキンの背後を移動する時)においては、それぞれにおいて制御風速以下の捕捉点風速で漏洩およびばく露を防げると考えられた。

### 3) 屋内排気

マグネシウムリボンを燃焼して発生させた粉じんと、砂岩を研磨して発生させた粉じんをそれぞれ屋内排気型フードで吸引し、集じんフィルター通過後の粉じん濃度を測定した。

集じんフィルター通過後の粉じん濃度は非常に低濃度であり、屋内排気型フードに内蔵した集じんフィルターで粉じんは十分に捕集された。使用したフィルターはプレフィルターとして金属メッシュフィルターをメインフィルターとして HEPA フィルターを使用した。集塵効率の高いフィルターを用いれば、作業環境に影響を与えない程度の粉じん濃度に抑えて屋内排気ができ、局所排気装置以外の屋内排気型フードの導入が可能になることが明らかになった。

## 7.7 粉じん則一部改正のための現場検証調査

第 1 管理区分を維持している粉じん作業場で、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした時に、局所排気装置からの粉じんの漏洩濃度、作業環境測定および作業者のばく露濃度測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速よりも遅くしても第 1 管理区分を維持できるか否かの検証を行った。検証の結果、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても作業環境は第 1 管理区分を維持しており、作業環境に影響のある漏洩は見られなかった。そのため、制御風速を基に設計された局所排気装置であっても、作業環境が良好に保たれれば、制御風速以下で装置を運用することが可能である。

局排等以外の粉じん発散防止抑制装置を使用できるようになれば、作業場に適用した装置を導入することができる。具体的には、作業環境測定により作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。また、従来の屋外排気を屋内排気にすることで、装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。

### 5 粉じん則の一部改正への提言

現在、「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令(平成 24 年厚生労働省令第 71 号)」により、有機溶剤中毒予防規則第十三条の三の規定による発散防止抑制装置として設置する局所排気装置以外の発散防止抑制装置設置が認められている有機溶剤の場合、漏洩を監視するために必要な市販のモニター等の常時監視装置が有機溶剤の漏洩監視に対応出来ていないのが現状である。また、有機溶剤の捕集に有効な活性炭も現場の有機溶剤の濃度に対する捕集時間と活性炭の飽和吸着の関係に明確な答えを出すのが難しい状況であるため、その運用に苦慮しているのが現状と考える。

そうした現状を考えた時、粉じんの局所排気装置等以外の発散防止抑制装置は、有機溶剤と違い、粉じん捕集のためのフィルター(ろ過材)が存在し、その運用もバグフィルター等で明らかになっており、さらに、粉じん漏洩を常時監視するための粉じん計もデジタル粉じん計等リアルタイムモニターが市販されている。こうしたことから、粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置が、一番実現性・実用性が高いと考える。

そこで、今回製作した粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置が、以下の全ての要件を満たす場合は粉じん則を改正し、当該抑制装置も特定粉じん発生源に係る装置として取り扱うことが妥当と考える。

- (1) 制御風速を満たしていなくても粉じん作業の作業性が良く、発散防止抑制装置の開口面からの漏洩が無いこと。
- (2) 発散防止抑制装置にバグフィルター用のフィルター(ろ過材)等を取り付け、排出口からの排出粉じん濃度が管理濃度の 10 分の 1 以下になっている事を、排出口に設置したデジタル粉じん計等にて常時監視すること。
- (3) 発散防止抑制装置を設置した場所の作業環境が第 1 管理区分で有ること。

(4) 発散防止抑制装置を設置した状態で粉じん作業を行い、その時作業者のばく露濃度及び10分間移動平均値が管理濃度以下であること。

上記の粉じん則改正に必要な要件で、本当に局所排気装置等以外の発散防止抑制装置として認められるかについて検証するために、今後、大型発散防止抑制装置を作製し、粉じんを用いた模擬実験を行う事と並行して、現場の事業所の協力をいただき、現在現場に設置されている局所排気装置を用いて、吸引風速を制御風速より遅くした場合の吸引風速と漏洩濃度の関係等模擬実験に近い測定を実施し、局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の実用性の検証を行う。

その成果を踏まえて、改めて粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の設置を特定粉じん発生源に係る措置として取り扱うため必要な要件を提案するので、その折には、是非、粉じん則の一部を改正し、粉じん作業現場で局所排気装置等以外の発散防止抑制装置を使用できるようになることを切に希望する次第である。

## E . 結論

### 1 . 屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業における粉じんばく露リスクの調査研究

25年度は、岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業を行っている屋外作業場において粉じんばく露濃度測定調査を実施し、作業者の健康被害を防止するための呼吸用保護具着用の必要性について検討を行った。ただし、呼吸用保護具着用の必要性の評価は、岩石の研磨・ばり取り作業の評価は、作業時に発生する粉じん濃度と、岩石の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時に発生する粉じん濃度だけでは作業環境を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と平均粉じん濃度の比較だけでなく、10分間移動平均値の結果も併せて評価を行った。

#### 1.1 岩石の研磨・ばり取り作業

本調査の岩石の研磨・ばり取り作業は、11作業について個人ばく露濃度測定を実施した結果、11作業全てにおいて管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

#### 1.2 鉱物の研磨・ばり取り作業

本調査の鉱物の研磨・ばり取り作業は、7作業について個人ばく露濃度測定を実施した結果、7作業全てにおいて管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。

以上のことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

#### 1.3 24年度の実験室における模擬作業での粉じんばく露濃度測定

24年度厚生労働省の受託調査「じん肺症例に関する調査研究（屋外での研磨等作業における粉じんばく露の評価）」で、実験室での模擬作業での粉じん曝露濃度測定を行い、下

記のような成果を厚生労働省のじん肺班に報告した。

#### 1) 岩石の研磨・ばり取り作業

本調査の岩石の研磨・ばり取り作業は、73%(29 / 40 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想される。ことから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

#### 2) 鉱物の研磨・ばり取り作業

本調査の鉱物の研磨・ばり取り作業は、63%(27 / 43 作業)の作業で管理濃度を超えており、労働衛生工学的対策を導入した場合でも、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されることから、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられる。

以上の結果より、「岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業における本実験の結果から、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられるという結論を導き出した。しかし、本実験は、あくまでも過去の現場測定で得られた知見を基にした模擬実験として行ったので、実際に同じ作業を行っている作業現場で粉じんばく露濃度測定を行い、その測定結果を本実験の結果と比較することで、本実験の正当性を評価した後、有効な呼吸用保護具を着用することの必要性について、最終的な結論を導く必要があると考える。」との報告を行った。

### 1.4 結論

岩石の研磨・ばり取り作業は、その作業そのものが人件費の関係等から中国等アジアで行われる傾向が多くみられ、日本では減少傾向にある。また、セメント製品については、粉じん対策及び人件費等の関係を考慮して、出来るだけ研磨・ばり取り作業を行わないで済む様な工法、例えば湿式工法などに替える努力を多くの事業所で行っている。そのため、鉱物の研磨・ばり取り作業自体が減少傾向にある。しかし、作業自体は減少傾向にある作業ではあるが、現実には研磨・ばり取り作業は行われており、25年度の岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業の現場調査及び24年度の実験室における岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業の模擬作業での粉じんばく露濃度測定結果を総合的に判断して、全ての作業において管理濃度を超える様な作業であったことを考えると、屋外における岩石及び鉱物の研磨・ばり取り作業は、有効な呼吸用保護具を着用する必要があるものと考えられるという結論を導き出した。

24年の委託事業と25年の調査研究の2年間の成果を第13回労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会(平成25年11月22日)に「岩石の研磨・ばり取り作業は、管理濃度を超える作業の割合は屋外実験場で73%、屋外現場で100%であり、労働衛生工学的な対策を導入しても、粉じん濃度を管理濃度以下に低減することは容易でないと考えられる。また、鉱物の研磨・ばり取り作業は、管理濃度を超える作業の割合は屋外実験場で63%、屋外現場で100%であり、労働衛生工学的な対策を導入しても、粉じん濃度を管理濃度以下に低減

することは容易でないと考えられる。」と報告した。

その報告結果を労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会で審議した結果、粉じん障害予防規則の改正により、手持式または可搬式動力工具を使用した岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業を行う事業者は、平成 26 年 7 月 31 日からは、屋内・屋外を問わず、その作業に従事する労働者に、有効な呼吸用保護具（防じんマスク）を使用させなければならなくなった。

## 2 . 鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスクの調査研究

26 年度は、現在「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業として、鋳物工場での砂型造形作業における粉じんばく露リスク調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討した。

砂型造形作業に関しては、手込め作業、半自動造形作業及び自動造形作業の 3 つの作業に分けて評価を行った。また、作業の評価は、作業時に発生する粉じん濃度と、岩石の遊離けい酸含有率から算出した管理濃度を比較するため、作業時に発生する粉じん濃度だけでは作業環境を評価することはできない。そのため、本調査では、管理濃度と平均粉じん濃度の比較だけでなく、10 分間移動平均値の結果も併せて評価した。

### 1 ) 手込め作業

本研究での、手込め作業は、81%(17 / 21 作業)の作業で管理濃度を超過しており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超過なかった作業場では、使用している鋳物砂が適度の水分を保水できる特殊な構造の鋳物砂のために環境中への飛散があまり認められなかった。この鋳物砂に関しては、特許等の関係で詳細を知ることは出来なかった。それ以外の作業場では、使用している鋳物砂の遊離けい酸含有率が低い鋳物砂を用いていた。これらの工夫により、作業者のばく露濃度を低く押さえることや管理濃度を高くすることは、有効な対策の一つと考えられる。

### 2 ) 半自動造形作業

本研究での、半自動造形作業は、93%(14 / 15 作業)の作業で管理濃度を超過しており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超過なかった作業場では、堆積粉じんの除去を定期的に行ったり、砂を扱う場所以外には砂が舞わないよう砂を扱う場所周辺を防じん板等で囲んだりしていた。これらの工夫により、作業者のばく露量は低くなっていることから、このような対策も有効であると考えられる。

### 3 ) 自動造形作業

本研究での、自動造形作業は、67%(6 / 9 作業)の作業で管理濃度を超過しており、管理濃度以下に粉じん濃度を低減することは困難であることが予想されるため、有効な呼吸用保護具を着用する必要があると考えられる。このうち、管理濃度を超過なかった作業場では、

堆積粉じんの除去を定期的に行い、堆積粉じんがほとんど見られなかった。また、鋳物砂の遊離けい酸含有率を低くすることで管理濃度を高くする対策が取られていた。遊離けい酸含有率の低い鋳物砂を使用すると、鋳物製品の不良を起こす要因の一つになることもあり、高度な技術が要求されるので、一般の鋳物工場ではなかなか実行できない対策である。

#### 4) 結論

砂型造形作業場として、手込め作業、半自動造形作業及び自動造形作業を行っている 18 事業場で 45 の造形作業の個人ばく露濃度測定を行った。作業によりばく露量の幾何平均値には差がみられるものの、作業方法によらずほとんどの作業でばく露濃度の 10 分間平均値が管理濃度を上回っていることが明らかとなった。

現在、鋳物工場における砂型造形作業は、粉じん則で粉じん作業に指定されていないが、本研究で現場調査を行い、新たに粉じん作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての砂型造形作業で管理濃度を超えていることが明らかになったので、粉じん則を改正し、「粉じん作業」とすることが適切な措置と考える。さらに、砂型造形作業は、手込め作業に代表される様に作業者の呼吸域上部の鋳物砂供給用落とし口から、鋳物砂を作業者の手元の鋳型枠に落とすため、作業者の呼吸域を鋳物砂が落下するので、粉じんに曝露する機会が多い作業である。しかし、砂型造形作業は、外付け式フード等の局所排気装置を用いた防じん対策が困難な作業と考えられるので、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第三の作業にすることが適切な措置と考える。なを、この調査結果は、労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会に提出した。

その報告結果を労働政策審議会安全衛生分科会じん肺部会で審議した結果、平成 27 年 10 月 1 日より、粉じん障害予防規則の改正により、鋳物を製造する工程において、砂型を造型する場所における作業及び砂型を造型する作業も、新たに以下の通りの措置が必要になった。

\* これまで粉じん障害防止規則及びじん肺法施行規則において粉じん作業として定められていなかった、鋳物工場の製造作業の工程のうち砂型を造型する場所における作業についても、粉じん作業として定めます。

\* 砂型を造型する作業について有効な呼吸用保護具の着用が必要となり、砂型を造型する場所における作業についてじん肺健康診断を行うことが必要となります。

### **3 . 金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業における粉じんばく露リスクの調査研究**

今後新たに粉じん則の別表第 2 及び別表 3 のいずれかに追加すべき可能性のある作業として、別表第 1 第 17 号に定められた「金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業（以下、土石又は鉱物を開放炉に投入する作業、と略す）」作業は、金属を溶融し、



出湯する一連の作業の途中の工程で、出湯前に溶融面のノロが鋳込み先の製品に入らないように、事前にノロを取り除くために鋳物等を炉に投入する作業である。投入時は、溶湯の熱上昇気流によって、投入された鋳物等が粉じんとして作業環境中に飛散する。飛散した粉じんの影響を作業者が受けるが、そうした作業は、現在「粉じん作業」に指定されているが、(別表2)の作業に該当するのがあるいは、(別表3)の作業に該当するのかを判断するために、現場測定を実施した。

土石及び鋳物の開放炉への投入作業として、12事業場で15名の作業者のばく露濃度測定を行った。作業者の作業により粉じんばく露濃度の幾何平均値には差がみられるものの、作業方法によらずほとんどの作業で、ばく露濃度が管理濃度を上回った。また、ばく露濃度が管理濃度を下回っていた作業者についてもばく露濃度の10分間平均値が管理濃度を上回っている作業者が2名いたことが明らかとなった。

現在、鋳物工場における別表第1第17号土石又は鋳物を開放炉に投入する作業は、粉じん則で粉じん作業(別表第1)に指定されているが、特定粉じん作業(別表第2)及び呼吸用保護具を使用する作業(別表第3)には指定されていない。そこで、本研究で現場調査を行い、新たに土石又は鋳石投入作業を(別表第2)又は(別表第3)のどちらの作業に指定すべきか検証した結果、12作業場の内、15名の作業者が管理濃度を超過していることが明らかになったので、粉じん則を改正し、いずれかに指定し、種々の衛生工学的な対策を講じることが適切な措置と考える。

土石又は鋳石を投入等作業は、金属溶解時に解放炉から金属ヒュームが発生するが、最も粉じんが発生するのは、土石又は鋳物を開放炉に投げ入れる作業である。土石又は鋳物を開放炉に投げ入れるのは、溶解金属面に浮いているノロが出湯時に鋳型に入ると鋳物製品の不良になるので、そのノロを出湯前に取り除くために行う作業で、溶融作業工程では約1回の短時間作業である。一般的に開放炉には、キャノピーフード、上方型外付け式フード及びリングフード等が設置されていることが多いが、中小の鋳物工場で局所排気装置が設置されていない場合が多いと思う。鋳込み等作業は、キャノピーフード、上方型外付け式フード及びリングフード等の局所排気装置を用いた防じん対策が可能な作業と考えられるので、「作業工程、作業の態様、粉じん発生の様態などからみて一定の発生源対策を講ずる必要があり、かつ、有効な発生源対策を講じることができるもの」に該当する「特定粉じん発生源」である(別表第2)に該当することが適切な作業と考えるが、現実的には、土石又は鋳石投入等作業は作業工程における短時間作業であること、作業環境測定の実施が困難と判断させること及び作業者の粉じんばく露濃度が高いこと等を総合的に判断すると(別表第3)の呼吸用保護具を使用する作業とすることが適切と考える。

以上のことから、土石又は鋳物等を開放炉に投入する作業は、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第3の作業にすることが適切な措置との結論を平成28年5月に以上のことから、土石又は鋳物等を開放炉に投入する作業は、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第3の作業にすることが適切な措置との結論を平成28年5月に安全衛生部

労働衛生課じん肺班に報告する。

#### 4．屋外の鉱物等動力により破砕する作業における粉じんばく露リスクの調査研究

本年度は、粉じん則の別表第2及び別表3のいずれかに追加すべき可能性のある作業として、別表第1第8号に定められた鉱物等破砕作業のうち石材事業場等において屋外で行われている手持ち削岩機を用いた岩石等の小割り作業について、粉じん曝露濃度測定を行った。

その結果、屋外で手持ち削岩機を用いて鉱物等の破砕等を行う作業は、2作業場3名の作業員の粉じんばく露濃度測定結果において、測定した全ての作業員のばく露濃度について管理濃度を超えていた。また外付け式フード等の局所排気装置を用いた防じん対策は容易ではないと考えられることから、呼吸用保護具を着用することを義務付けた粉じん則別表第3に列挙される作業にすることが適切な措置と考えられる。

本調査測定では、2作業場3名の作業員と測定数は少ないが、こうした石材等の小割り作業は、日本においてもまだ存在し、現在でも小割り作業を行っている作業員が少なからず存在し、本調査と同じ様な粉じん曝露濃度にさらされている可能性はあると想像されるので、屋外において鉱石等を手持ち削岩機等の動力により破砕等する作業は別表3に組み入れる粉じん則の改正が必要と考える。

以上のことから、屋外において手持ち削岩機等を用いて鉱物等の小割りする作業は、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第3の作業にすることが適切な措置との結論を平成28年5月に安全衛生部労働衛生課じん肺班に報告する。

#### 5．船倉内の荷役作業終了後の清掃作業における粉じんばく露リスクの調査研究

現在、「粉じん作業」に指定されていないが、今後新たに指定すべきと考えられる作業の有無について調査し、ある場合には、その作業における粉じんばく露リスクの調査を行い、粉じんばく露防止対策の必要性について検討する。具体的には、船倉内の荷役作業終了後の清掃作業であるが、現場測定に関して、外国船籍の場合の治外法権、船主の了解、測定時の測定者の安全等の問題から作業の見学だけなら大丈夫との連絡も受けたのですが、最終的には、見学の許可も得られなかったが、幸い27年度は、事業場の協力により、測定を実施することが出来た。

4事業場で11名の作業員の粉じんばく露濃度を測定を行った結果、作業員11名の内、10名の作業員が管理濃度を超える、つまり、91%(10/11)の作業で管理濃度を超えていた。このことより船倉内の荷役作業終了後の清掃作業の粉じん濃度を管理濃度以下に低減することは困難であることが予想される。

現在「荷役作業後の清掃作業」作業は、粉じん則で粉じん作業に指定されていないが、本研究で現場調査を行い、新たに粉じん作業に指定すべきか検証した結果、ほとんど全ての清掃作業で管理濃度を超えていることが明らかになった。

よって粉じん則を改正し、「粉じん作業」とする必要性があると考える。

さらに、船倉清掃作業は外付け式フード等の局所排気装置を用いた粉じん対策が困難な作業と考えられるので、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置と考える。

以上のことから、荷役作業後の清掃作業は、粉じん作業とし、併せて、呼吸用保護具を着用することを義務付けた別表第 3 の作業にすることが適切な措置との結論を平成 28 年 5 月に安全衛生部労働衛生課じん肺班に報告する。

船倉清掃作業は、25 年及び 26 年と測定を行うべく、船主協会、商社、船舶運用会社等各方面にお願いをしてきたが、外国船籍の場合の治外法権、船主の了解、測定時の測定者の安全等の問題から、荷主の許可が得られず、測定が難しかった。

幸い 27 年は、粉じん測定の主旨に賛同し、粉じん測定に理解を示してくださった事業場の協力を得て、4 事業場で 11 名の作業者について、粉じん濃度ばく露測定が出来たことは、奇跡に近く、測定を許可してくれた事業所に心から御礼申し上げます。

本年は、4 事業場で 11 名の作業者について、粉じん濃度ばく露測定が出来たことは、奇跡に近く、測定を許可してくれた事業所に心から御礼申し上げます。

## **6 . 流量低下が慣性衝突型個人粉じん計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響**

厚生労働省は、中央労働災害防止協会に、作業環境における個人ばく露測定に関する実証的検証事業の「個人ばく露測定に関する検討委員会」を設置して、22 年から 25 年度の 4 年間にわたり検討を行い、作業環境に個人ばく露濃度測定の導入が現実味を帯びる状況になってきた。そうした状況を受けて、個人サンプラーを用いた粉じん濃度測定について、その正確な運用を検討しておかなければならない状況が生じた。

そこで、個人サンプラーを用いて粉じん濃度測定を行なう粉じん計として、現在、個人ばく露濃度粉じん計 NWPS-254 が、使用されている。個人ばく露濃度粉じん計 NWPS-254 は、吸引流量 2.5(L/min)で吸引することで吸入性粉じんを正確に測定できる粉じん計である。しかし、個人ばく露濃度測定のように 8 時間の連続測定を行う場合、通常の粉じん濃度測定よりフィルターに粉じんが多量に捕集される可能性があり、そのため、圧力損失が上がり吸引流量が 2.5(L/min)以下に低下した状況で測定している可能性が考えられる。その場合は、正確な吸入性粉じん濃度測定しているとは言えないので、どこまで吸引流量が低下したら正確な吸入性粉じん濃度測定が出来なくなるかと言った判断基準が提示されていないので、捕集量が増加することにより流量低下が起きた際に、吸入性粉じん濃度測定が正確に出来る基準となる吸引流量は、何(L/min)以上かを 25 年度に引き続き 26 年度も試験試料を増やして検証した。

流量低下が吸入性粉じん濃度測定に与える影響に関して、25 年度及び本年度(4.4.1)の結果より、アロゾナロードダスト、JIS 試験用粉体 1、2 種、タルク及び砕石粉じんの 4 試

料において NWPS-254 における流量低下は、2.4[L/min]までであれば吸入性粉じんの測定として許容することが確認できた。

捕集量と流量低下の関係に関しては、アゾナロードダストと碎石試料で実験を行なった際は、捕集量が 10[mg]程度にまで増加すると、吸引流量は 2.4[L/min]にまで低下する結果となった。ただし、粉じんの比重や粒度分布、飛散状況によって、この値は変動する可能性がある。そのため、捕集量と流量低下に関しては、参考程度に留めておく必要があると考えられる。また、直接的に吸入性粉じん濃度測定に影響を及ぼすのは吸引流量であるため、主眼を置くべきは吸引流量である。

そのため、ある程度の量の粉じんを捕集できる作業場では、吸引流量が 2.4[L/min]を下回る危険性があることに留意して測定を行なわなければならない。その事を考慮して、26 年度は、個人ばく露濃度測定中に 2.4[L/min]を下回った時に、個人ばく露濃度粉じん計 NWPS-254 の測定に用いる MP- 3 型吸引ポンプ（柴田科学社製）自体が停止する様な改良型 MP- 3 吸引ポンプをメーカーと共同で開発した。

そこで、個人ばく露濃度粉じん計 NWPS-254 を用いて正確にばく露濃度測定を行うための判断基準は、下記の通りである。

#### 1) 改良型 PM- 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

吸引流量が 2.4[L/min]以下になると 10 秒以内で自動的に吸引を停止するので、それまでの総吸引流量で採取粉じん量を割ることで、正確な吸入性粉じん濃度を測定することが可能である。

#### 2) 通常の PM- 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

次の 2 種類の判断基準がある。

測定終了後、PM- 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は、正確な吸入性粉じん濃度測定が行われていないので、測定結果を破棄する。

測定終了後、PM- 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は、直ちに、PM- 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来たと判断する。逆に、PM- 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来ていないと判断して、測定結果を破棄する。

## 7. 局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究

平成 24 年 4 月「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令」により、局所排気装置の設置が義務付けられた作業場において、作業者の安全が確保され、作業場が良好とされる第 1 管理区分に区分され、かつ所轄労働基準監督署長からの許可を得た場合には、特例

として局所排気装置以外の代替措置を取っても良いことになった。つまり、局所排気装置に規定された要件を満たさない装置であっても使用することができ、作業環境測定のみによって作業環境管理を行うことができる。作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。さらに従来の屋外排気を屋内排気にすることで、装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。しかし、このような特例は、粉じん障害防止規則においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん障害防止規則においても同様に、局所排気装置以外の粉じん発散防止抑制装置の使用を可能にするため、制御風速と漏洩濃度の関係を求めるために26年度と同様に集じんフィルターを内蔵した屋内排気型側方吸引型外付け式フードを作製し、実験室を実際の作業場に想定し、粉じんの環境への漏洩の有無を調べることで、制御風速を下げて作業環境を良好に保つことができることを検証すべく実験を行った。また、併せて、外乱気流が作業現場に設置された局所排気装置の漏洩濃度にどのような影響を与えるかについても検証を行った。さらに、粉じんを取り扱う作業現場で、第1管理区分に成っている事業場において、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした状態で、局所排気装置からの粉じんの漏洩濃度、作業者のばく露濃度及び作業環境測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても第1管理区分が維持できるかどうかの検証を行った。

本研究では、厚生労働省令に定められている粉じん則において、局排等以外の粉じん発散防止装置の使用を可能にすることを目的としている。そのため、実際に局所排気装置の要件を満たさない屋内排気型フードを用いて、実際の作業場を想定し、有害物質の環境への漏洩の有無を調べた。また、実際の粉じん作業現場で既存の局所排気装置を制御風速以下で稼働した時の、周囲への漏洩濃度測定、作業環境測定および作業者のばく露濃度測定をした。

以下に本研究で得られた知見を述べる。

## 7.1 フランジ効果及びフィルターの圧量損失について

### 1) フランジ効果

フランジを付けることでフード前方の等速度面が前方にも横にも広がり、発散源を捕捉できる範囲が広がることが確認できた。その一方、フード開口面近傍の吸引風速はフランジ効果が見られず、逆にフランジを付けることで風速は遅くなることが分かった。これらことから、有害物質の発生状況や発散源とフード開口面の距離から、フランジを付けるか否かを考慮する必要があると考えられた。

### 2) フィルターの圧力損失

屋内排気型フードを作製するにあたり、フィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは圧力損失が低く、ファンへの負荷も低減できる有用なプレフィルターであると考えられた。HEPA フィルターはバグフィルター等の集塵フィルターの中では比較的圧力

損失は大きい、 $0.3\mu\text{m}$ の粒子を99.97%捕集でき、屋内排気には必要なフィルターであった。

## 7.2 ダクト付きフードを用いた制御風速等に関する実験

### 1) マネキンの有無による捕捉点風速

捕捉点風速はマネキンが無い時と有る時で差が生じ、マネキンがある方が捕捉点風速は遅くなった。また、マネキンが無い時は Dalla Valle の式により算出した理論値よりも風速が速くなり、マネキンが有る場合は理論値より風速が遅くなる傾向にあることが明らかになった。

### 2) 2種類の発散源と排風量

発煙ノズルを用いた場合には、ばく露濃度が高くなった。発煙BOXを用いた場合には、発煙ノズルよりも発生速度が緩やかであったため、ばく露は見られず、作業者に見立てたマネキンの腰の部分の方で主に漏洩が見られた。また、フードの形状や煙の発生速度によって必要排風量は異なることが分かった。

### 3) 制御風速

本実験条件では、制御風速以下で発散源を捕捉できた。また、発散源の発生量、フードの開口面積、発散源のフード開口面からの距離によって、漏洩およびばく露を防ぐために必要となる捕捉点風速は異なることが分かった。これらのことから、現在はフードの吸引性能を制御風速(外付け式フードの場合は $1.0\text{m/s}$ )で評価しているが、作業環境が良好で、発散源の発生量および発生速度が遅ければ、捕捉点風速を制御風速より遅くしても十分に発生した煙を捕捉できると考えられた。

さらに、捕捉点風速を $0.1\text{m/s}$ 下げただけで排風量は大きく削減できることが Dalla Valle の式より明らかになった。これは、少ないエネルギーで発散源を速やかに捕捉することが必要とされる中、制御風速より遅い吸引風速であっても作業環境を良好に保つことができる作業場では、エネルギーコスト、 $\text{CO}_2$ 排出量の削減も期待できる。

## 7.3 屋内排気型フードを用いた外乱気流の影響に関する実験

### 1) 外乱気流の影響

一様な気流をフード周囲から発生し、その時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。制御風速よりも遅い捕捉点風速であっても漏洩およびばく露を防げると考えられた。ただし、斜め前方と前方からの $0.4\text{m/s}$ 以上の一様な気流に対しては、ついたてを立てる等の対策をし、外乱気流の影響を低減することが望ましいと考えられた。

### 2) 作業台周囲の人の移動による影響

作業台周囲を人が移動した時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。今回実験した3種類の移動(フード側面に沿って移動する時、作業台に向かいUターンをして戻る時、マネキンの背後を移動する時)においては、それぞれにおいて制御風速以下の捕捉点風速で漏洩およびばく露を防げると考えられた。

### 3) 屋内排気

マグネシウムリボンを燃焼して発生させた粉じんと、砂岩を研磨して発生させた粉じんをそれぞれ屋内排気型フードで吸引し、集じんフィルター通過後の粉じん濃度を測定した。

集じんフィルター通過後の粉じん濃度は非常に低濃度であり、屋内排気型フードに内蔵した集じんフィルターで粉じんは十分に捕集された。使用したフィルターはプレフィルターとして金属メッシュフィルターをメインフィルターとして HEPA フィルターを使用した。集塵効率の高いフィルターを用いれば、作業環境に影響を与えない程度の粉じん濃度に抑えて屋内排気ができ、局所排気装置以外の屋内排気型フードの導入が可能になることが明らかになった。

#### 7.4 粉じん則一部改正のための現場検証調査

第 1 管理区分を維持している粉じん作業場で、作業現場に設置されている局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くした時に、局所排気装置からの粉じんの漏洩濃度、作業環境測定および作業者のばく露濃度測定を行い、局所排気装置の吸引風速を制御風速よりも遅くしても第 1 管理区分を維持できるか否かの検証を行った。検証の結果、局所排気装置の吸引風速を制御風速より遅くしても作業環境は第 1 管理区分を維持しており、作業環境に影響のある漏洩は見られなかった。そのため、制御風速を基に設計された局所排気装置であっても、作業環境が良好に保たれば、制御風速以下で装置を運用することが可能である。

局排等以外の粉じん発散防止抑制装置を使用できるようになれば、作業場に適用した装置を導入することができる。具体的には、作業環境測定により作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。また、従来の屋外排気を屋内排気にすることで、装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。

#### 7.5 粉じん則の一部改正への提言

現在、「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令(平成 24 年厚生労働省令第 71 号)」により、有機溶剤中毒予防規則第十三条の三の規定による発散防止抑制装置として設置する局所排気装置以外の発散防止抑制装置設置が認められている有機溶剤の場合、漏洩を監視するために必要な市販のモニター等の常時監視装置が有機溶剤の漏洩監視に対応出来ていないのが現状である。また、有機溶剤の捕集に有効な活性炭も現場の有機溶剤の濃度に対する捕集時間と活性炭の飽和吸着の関係に明確な答えを出すのが難しい状況であるため、その運用に苦慮しているのが現状と考える。

そうした現状を考えた時、粉じんの局所排気装置等以外の発散防止抑制装置は、有機溶剤と違い、粉じん捕集のためのフィルター(ろ過材)が存在し、その運用もバグフィルター等で明らかになっており、さらに、粉じん漏洩を常時監視するための粉じん計もデジタル粉じん計等リアルタイムモニターが市販されている。こうしたことから、粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置が、一番実現性・実用性が高いと考える。

そこで、今回製作した粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置が、以下の全ての要件を満たす場合は粉じん則を改正し、当該抑制装置も特定粉じん発生源に係る装置として取り扱うことが妥当と考える。

(1) 制御風速を満たしていなくても粉じん作業の作業性が良く、発散防止抑制装置の開口面からの漏洩が無いこと。

(2) 発散防止抑制装置にバグフィルター用のフィルター(ろ過材)等を取り付け、排出口からの排出粉じん濃度が管理濃度の10分の1以下になっている事を、排出口に設置したデジタル粉じん計等にて常時監視すること。

(3) 発散防止抑制装置を設置した場所の作業環境が第1管理区分で有ること。

(4) 発散防止抑制装置を設置した状態で粉じん作業を行い、その時作業者のばく露濃度及び10分間移動平均値が管理濃度以下であること。

上記の粉じん則改正に必要な要件で、本当に局所排気装置等以外の発散防止抑制装置として認められるかについて検証するために、今後、大型発散防止抑制装置を作製し、粉じんを用いた模擬実験を行う事と並行して、現場の事業所の協力をいただき、現在現場に設置されている局所排気装置を用いて、吸引風速を制御風速より遅くした場合の吸引風速と漏洩濃度の関係等模擬実験に近い測定を実施し、局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の実用性の検証を行う。

その成果を踏まえて、改めて粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の設置を特定粉じん発生源に係る措置として取り扱うため必要な要件を提案するので、その折には、是非、粉じん則の一部を改正し、粉じん作業現場で局所排気装置等以外の発散防止抑制装置を使用できるようになることを切に希望する次第である。

## 8. 最後に

粉じん障害防止規則は、昭和54年に制定された以降、新しい粉じん作業を追加したり、粉じん作業でありながら、別表第2に掲げられている場所が粉じんの発生源であるような作業(特定粉じん作業)に該当するか、あるいは作業者には、呼吸用保護具の着用が義務付けられている別表第3に該当する作業かにつて、長きにわたり検討を行ってきたが、本厚生労働科学研究費補助金の「粉じん作業等における粉じんばく露リスク調査研究」により、「屋外での岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業」及び「鋳物工場での砂型造形作業」について、粉じん則の改正が行われた。最後の残った「金属その他無機物を製錬し、又は溶融する工程において、土石又は鉱物を開放炉に投げ入れ、焼成し、湯出しし、又は鋳込みする場所における作業」、「屋外の鉱物等動力により破砕する作業」及び「船倉内の荷役作業終了後の清掃作業」の3作業について粉じんばく露リスクの調査研究を実施、その成果を安全衛生部労働衛生課じん肺班に報告できたことで、現時点において、粉じん作業(別表第1)、特定粉じん発生源(別表第2)及び呼吸用保護具を使用する作業(別表第3)に関わる事項につて完成したことになる。



## F . 健康危機情報

局所排気装置等以外の発散抑制装置の研究など、実験室系の実験では呼吸用保護具を装着して実験を行っている。また、岩石・鉱物の研磨・ばり取り作業及び鋳物工場の砂型造形作業などの作業現場の測定に際して、測定者は、電動ファン付き呼吸用保護具を装着して測定を行っている。

## G . 研究発表

### 1 . 研究論文等

- 1) 久保田裕仁、村田克、名古屋俊士：屋内排気型外付け式フードの漏えい濃度およびばく露濃度に対する歩行による外乱気流の影響、Vol.37、No.2、p102～113、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 2) 金丸直子、久保田裕仁、村田克、名古屋俊士：屋内排気型外付け式フード側面に沿って人が移動した時に必要となる排风量について、Vol.37、No.2、p42～46、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 3) 王莉、村田克、名古屋俊士：オゾン分解法を用いた有機溶剤等の分解特性に関する研究、Vol.37、No.2、p47～50、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 4) 名古屋俊士：リフラクトリーセラミックファイバーの化学物質リスク評価検討会報告 NO.63、p28～30、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 5) 大貫正史、村田克、名古屋俊士：各種金属酸化物触媒を用いた有機溶剤分解時の性能評価に関する研究、Vol.37、No.1、p30～41、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 6) 深尾加奈子、村田克、名古屋俊士：ナノマテリアルとしてのカーボンブラック取り扱い作業環境におけるナノ粒子用粉じん計 LD-5N2 を用いた作業環境管理に関する基礎的研究、Vol.37、No.1、p47～50、作業環境、日本作業環境測定協会、2016
- 7) 名古屋俊士：粉じん及び粉じん測定の推移と現状、Vol.28、No.2、p95～114、産業医学レビュー、産業医学振興財団 産業医学情報室、2015
- 8) 金丸直子、久保田裕仁、名古屋俊士：屋内排気型外付け式フードの換気効果に関する基礎的研究、Vol.36、No.4、p38～41、作業環境、日本作業環境測定協会、2015
- 9) 名古屋俊士：繊維状物質の測定に係わる歴史と今後の課題、Vol.2、p16～21、繊維状物質研究、日本繊維状物質研究協会、2015
- 10) 久保田裕仁、金丸直子、村田克、名古屋俊士：漏えい濃度およびばく露濃度から求めた外付け式フードの必要排気風量、Vol.36、No.3、p48～55、作業環境、日本作業環境測定協会、2015
- 11) 大貫正史、村田克、名古屋俊士：金属酸化物触媒を用いたホルムアルデヒド等の分解処理に関する研究、Vol.36、No.3、p56～63、作業環境、

- 日本作業環境測定協会、2015
- 12) 渡辺雄飛、村田克、名古屋俊士：強制送風式パッシブサンプラー（セミアクティブサンプラー）の個人ばく露測定に向けた基礎検討について、Vol.36、No.3、p64～67、作業環境、日本作業環境測定協会、2015
  - 13) 橋本晴男、山田憲一、名古屋俊士、村田克他：化学物質の個人ばく露測定ガイドライン、Vol.57、No.2、p61～120、産業衛生学雑誌 日本産業衛生学会、2015
  - 14) 名古屋俊士：作業環境における個人ばく露測定に関する実証的検証事業、特別号 No.62、p10～26、作業環境、日本作業環境測定協会、2015
  - 15) 村田克、名古屋俊士他：ナノマテリアルを測定対象とした相対濃度計 LD-5N2 の開発に関する基礎的研究、Vol.36、No.1、p50～53、作業環境、日本作業環境測定協会、2015
  - 16) Kenichi Yamada, Shinji Kumagai, Toshio Nagoya, Ginji Endo: Chemical Exposure Levels in Printing Workers with Cholangiocarcinoma, Vol.56, p332-338, Journal of Occupational Health 2014
  - 17) 藤井由貴、村田克、明星敏彦、名古屋俊士他：ナノ粒子に対する呼吸用保護具の防護性能に関する研究、Vol.27、No.1、p2～16、呼吸保護、国際呼吸保護学会、2014
  - 18) 相沢洋子、名古屋俊士他：屋外作業場における粉じん取扱作業者の呼吸用保護具の使用状況に関する実態調査、Vol.56、No.6、p268～274、産業衛生学雑誌、日本産業衛生学会、2014
  - 19) 奥琢哉、村田克、名古屋俊士：吸引流量低下が個人サンプラーNWPS-254型の吸入性粉じん濃度測定に与える影響、Vol.35、No.6、p77～80、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
  - 20) 渡辺雄飛、名古屋俊士：有害化学物質の測定・分析法～N,N-ジメチルホルムアルデヒド、Vol.35、No.5、p51～54、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
  - 21) 久保田祐仁、村田克、名古屋俊士他：局所排気装置の外付け式フードに付けたフランジが開口面近傍の風速に与える影響と排気風量を求める計算式、Vol.35、No.4、p57～66、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
  - 22) 村田克、名古屋俊士：ナノ粒子を測定対象とした新型粉じん計 LD-5N2 の特性に関する研究、Vol.1、p13～16、繊維状物質研究、日本繊維状物質研究協会、2014
  - 23) 大貫正史、村田克、名古屋俊士：金属酸化物触媒を用いた有機溶剤の分離に関する基礎的研究、Vol.35、No.3、p66～70、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
  - 24) 篠崎勇太、村田克、名古屋俊士：切削油剤ミストのサンプリング法に関する研究 Vol.35、No.3、p71～75、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
  - 25) 村田克、名古屋俊士他：ダイヤモンド工具による切断、研磨作業時に発生する粉じん中のコバルト量、Vol.56、No.2、p57～60、産業衛生学雑誌、日本産業衛生学会、2014
  - 26) 中村憲司、村田克、名古屋俊士他：位相差・分散顕微鏡法の石綿繊維視認性の評価と

- 改善 Vol.35、No.2、p 77~82、作業環境、日本作業環境測定協会、2014
- 27) 名古屋俊士：溶接作業者に及ぼす粉じん、金属ヒューム等の影響とその留意点、Vol.52、No.2、p 50~54、軽金属溶接、軽金属溶接協会、2014
- 28) 名古屋俊士：溶接作業者に及ぼす粉じん、金属ヒューム等の影響とその留意点 軽金属溶接、Vol.52、No.2、p.10~14、軽金属溶接協会、2014
- 29) 山本修司、大河内博、名古屋俊士他：2012年夏季の富士山頂および富士山麓における大気中揮発性有機化合物の挙動、大気環境学会誌、Vol.49、No.1、p.34~42、大気環境学会、2014
- 30) 中村憲司、名古屋俊士他、位相差・分散顕微鏡法の石綿繊維視認性の評価と改善、作業環境、Vol.35、No.2、p.77~82、日本作業環境測定協会、2014
- 31) 渡辺雄飛、松尾亜弓、名古屋俊士：粒状活性炭 加熱脱着 GC/FID 法による作業環境中の特定化学物質測定法の確立に関する研究、作業環境、Vol.34、No.3、p.34-37、作業環境測定協会 2014
- 32) 長谷川彰、篠崎勇太、村田克、名古屋俊士：溶剤抽出-GC/FID 法による切削油剤ミスト濃度測定法に関する研究、作業環境、Vol.34、No.4、p.46~54、日本作業環境測定協会、2013
- 33) 渡辺雄飛、松尾亜弓、名古屋俊士：粒状活性炭 加熱脱着 GC/FID 法による作業環境中の特定化学物質測定法の確立に関する研究、作業環境、Vol.34、No.3、p.56~59、作業環境測定協会 2013
- 34) 名古屋俊士：PM2.5 を含む粒子状物質の環境基準と健康影響について、骨材資源、Vol.45、No.177、p 1~9、骨材資源工学会、2013

## 2. 研究発表

- 1) Saki Oishi、Masaru Murata、Toshio Nagoya：Observation of fine particles at the summit of Mt.Fuji、p2013~2015、Pacifichem (環太平洋国際化学会議) 2015
- 2) 深尾加奈子、村田 克、名古屋俊士：カーボンブラックに対する防じんマスクの捕集特性に関する基礎的研究、2015年度呼吸保護に関する研究発表会、2015
- 3) 金丸直子、名古屋俊士：溶接作業時の防じんマスクによる防じん効果(その2)、2015年度呼吸保護に関する研究発表会、2015
- 4) 村上弘亮、村田克、名古屋俊士：鋳物工場における砂型造形作業及び土石又は鉋物を開放炉に投入する作業における粉じんばく露リスクの調査研究、第55回日本労働衛生工学会、p26~27、2015
- 5) 深尾加奈子、村田克、名古屋俊士：ナノマテリアル取り扱い作業環境における新型粉じん計 LD-5N2 を用いた作業環境管理に関する研究、第55回日本労働衛生工学会、p26~27、2015
- 6) 久保田祐仁、村田克、名古屋俊士：漏洩濃度および曝露濃度から求めた外付け式フー

- ドの必要排気風量、第 55 回日本労働衛生工学会、p 56 ~ 57、2015
- 7) 金丸直子、村田克、名古屋俊士：屋内排気型外付け式フードの換気効果に関する基礎的研究、第 55 回日本労働衛生工学会、p 58 ~ 59、2015
  - 8) 村田克、名古屋俊士：強制送風式パッシブサンプラー（セミアクティブサンプラー）を用いた個人ばく露測定の検討、第 55 回日本労働衛生工学会、p 66 ~ 67、2015
  - 9) 王莉、村田克、名古屋俊士：オゾン分解法を用いた有機溶剤の分解に関する研究、第 55 回日本労働衛生工学会、p 102 ~ 103、2015
  - 10) 間野幸治、村田克、名古屋俊士：シリカゲル光触媒を用いた有機溶剤の分解に関する研究、第 55 回日本労働衛生工学会、p 104 ~ 105、2015
  - 11) 大石沙紀、村田克、名古屋俊士：都市大気環境中におけるナノ粒子の動向（2）、第 56 回大気環境学会年会、p419、2015
  - 12) 大石沙紀、村田克、名古屋俊士：富士山における微小粒子の観測、第 56 回大気環境学会年会、p420、2015
  - 13) 深尾加奈子、村田克、明星敏彦、名古屋俊士：ナノ粒子用デジタル粉じん計 LD-5N2 を用いた大気環境中のナノ粒子の測定法の研究、第 56 回大気環境学会年会、p441、2015  
大石、大気
  - 14) 名古屋俊士：JIS1481 規格郡の制定状況と今後の動向について、第 3 回日本繊維状物質研究学術集会 p 10 ~ 11、2015
  - 15) 村田克：マレーシアにおけるアスベスト対策の現状、第 3 回日本繊維状物質研究学術集会 p 74 ~ 75、2015
  - 16) 村田克、村上弘亮、名古屋俊士：屋外における岩石等の研磨・ばい取り作業等における粉じんばく露リスクに関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 92 ~ 93、2014
  - 17) 村田克、村上弘亮、名古屋俊士：鋳物工場での砂型造型作業における粉じんばく露リスクに関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 94 ~ 95、2014
  - 18) 皆川雄典、村田克、名古屋俊士：ナノマテリアル等に対するバグフィルターの捕集効率に関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 32 ~ 33、2014
  - 19) 大貫正史、村田克、名古屋俊士：金属酸化触媒を用いたホルムアルデヒド等の分解処理に関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 34 ~ 35、2014
  - 20) 福留悠斗、村田克、名古屋俊士：有機溶剤蒸気に対するシリカゲル光触媒を用いた循環式分解装置の開発に関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 36 ~ 37、2014
  - 21) 柏柳太郎、村田克、名古屋俊士：ファイバーモニター F-1K 型を用いたリフラクトリーセラミックファイバーの濃度測定に関する研究、第 54 回日本労働衛生工学会、p 38 ~ 39、2014
  - 22) 名古屋俊士：リフラクトリーセラミックファイバーの化学物質リスク評価検討会報

- 告、第 54 回日本労働衛生工学会、p152～153、2014
- 23) 久保田裕仁、村田克、名古屋俊士：局所排気装置の外付け式フードに付けたフランジが開口面近傍の風速に与える影響と排気風量を求める計算法、第 54 回日本労働衛生工学会、p118～119、2014
  - 24) 村田克、名古屋俊士他：様々なナノ粒子を対象にした新型粉じん計 LD-5 N2 の特性に関する研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p26～27、2013
  - 25) 渡辺雄飛、名古屋俊士他：強制送風式パッシブサンプラー（セミアクティブサンプラー）の個人曝露測定に向けた基礎検討について、第 52 回日本労働衛生工学会、p28～29、2013
  - 26) 流量低下が個人サンプラーNWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響に関する基礎的研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p30～31、2013
  - 27) 篠崎勇太、名古屋俊士他：金属加工現場で発生する切削油剤ミストの測定法に関する研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p108～109、2013
  - 28) 皆川雄典、名古屋俊士他、ナノ粒子に対するバグフィルターの捕集効率に関する基礎的研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p42～43、2013
  - 29) 藤井由貴、名古屋俊士他、ナノ粒子に対する防じんマスクの捕集効率に関する基礎的研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p44～45、2013
  - 30) 平田優美子、名古屋俊士他、吹付けパーミキュライト中のトレモライト含有判断の精度向上のための検討、第 52 回日本労働衛生工学会、p54～55、2013
  - 31) 柏柳太郎、名古屋俊士他：リフラクトセラミックファイバーに対するファイバーモニターF-1K 型の特性に関する基礎的研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p58～59、2013
  - 32) 奥野恵佳、名古屋俊士：シリカゲル光触媒を用いた有機溶剤の分解に関する研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p72～73、2013
  - 33) 大貫正史、名古屋俊士他：金属酸化物触媒を用いた有機溶剤の分解に関する基礎的研究、第 52 回日本労働衛生工学会、p74～75、2013
  - 34) 加山真一郎、名古屋俊士他：炭酸ガスシールド溶接における CO ガスばく露の低減対策、第 52 回日本労働衛生工学会、p88～89、2013
  - 35) 藤井由貴、名古屋俊士他：ナノマテリアルに対する防じんマスクのサジカルフィルターの捕集特性、25 年度 ISRP アジア支部研究発表予稿集、2013

## H . 知的財産の出願・登録状況

27 年度は、現場の調査研究が主体のため特許出願はありません。

著者	論文等タイトル	発表誌名	巻号	ページ	出版年
久保田裕仁、 村田克、名古屋 俊士	屋内排気型外付け式フードの漏えい 濃度およびばく露濃度に対する歩行 による外乱気流の影響	作業環 境	Vol.37、 No.2	p102 ~ 113	2016
金丸直子、久 保田裕仁、村 田克、名古屋 俊士	屋内排気型外付け式フード側面に沿 って人が移動した時に必要となる排 風量について	作業環 境	Vol.37、 No.2	p42 ~ 46	2016
王 莉、村 田 克、名古屋俊 士	オゾン分解法を用いた有機溶剤等の 分解特性に関する研究	作業環 境	Vol.37、 No.2	p47 ~ 50	、 2016
名古屋俊士	リフラクトリーセラミックファイバ ーの化学物質リスク評価検討会報告	作業環 境	No.63	p28 ~ 30	2016
大貫正史、村 田克、名古屋 俊士	各種金属酸化物触媒を用いた有機溶 剤分解時の性能評価に関する研究	作業環 境	Vol.37、 No.1	p30 ~ 41	2016
深尾加奈子、 村田克、名古屋 俊士	ナノマテリアルとしてのカーボンブ ラック取り扱い作業環境におけるナ ノ粒子用粉じん計 LD-5N2 を用いた 作業環境管理に関する基礎的研究	作業環 境	Vol.37、 No.1	p47 ~ 50	2016
名古屋俊士	粉じん及び粉じん測定の推移と現状	産業医 学レビ ュー	Vol.28、 No.2	p95 ~ 114	2015
金丸直子、久 保田裕仁、名 古屋俊士	屋内排気型外付け式フードの換気効 果に関する基礎的研究	作業環 境	Vol.36、 No.4	p38 ~ 41	2015
名古屋俊士	繊維状物質の測定に係わる歴史と今 後の課題	繊維状 物質研 究	Vol.2	p16 ~ 21	2015
久保田裕仁、 金丸直子、村 田克、名古屋 俊士	漏えい濃度およびばく露濃度から求 めた外付け式フードの必要排気風量	作業環 境	Vol.36、 No.3	p48 ~ 55	2015