

## 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、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（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、各作業の粉じん曝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じん肺部会に提供とすることを目的とする。

### 2.2 測定調査の概要

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、作業員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。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、かつ、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員の周囲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。

なお、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形作業を「手込め作業」、人と機械により砂型造形作業を行う作業を「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2.1~図2.3に、半自動造型作業風景を図2.4、自動造型作業風

景を図 2.5 にそれぞれ示す。なお、図 2.5 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 2.1 手込め作業風景



図 2.2 手込め作業風景



図 2.3 手込め作業風景



図 2.4 半自動造形作業風景



図 2.5 自動造形作業風景

## 2.3 砂型造形作業における粉じんばく露濃度測定結果

### 2.3.1 手込め作業

#### 2.3.1(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 2.6 に示す。また、作業場 A における砂型造形作業 1 回目～6 回目のばく露測定結果を表 5.1 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 2.7～図 2.19 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、管理濃度を超過しているとした。

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。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。

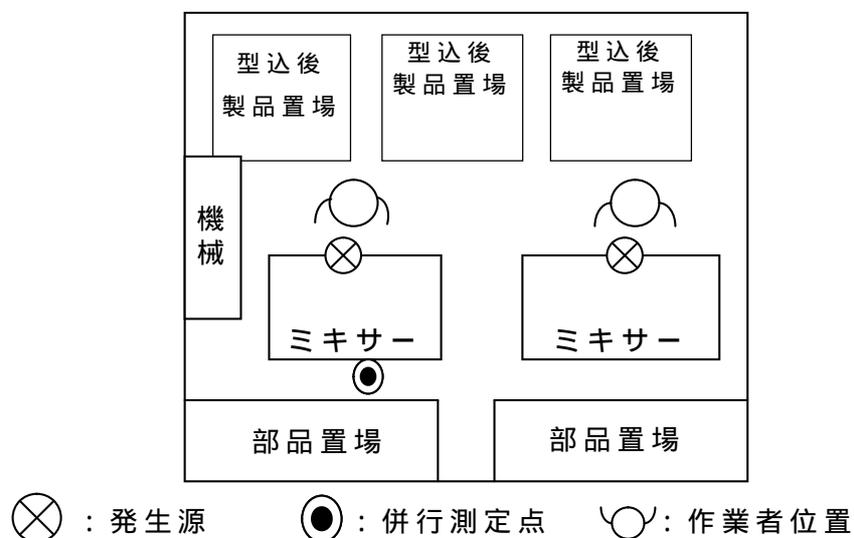


図 2.7 作業場 A の概略図

表 2.1 ばく露測定結果

	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	×

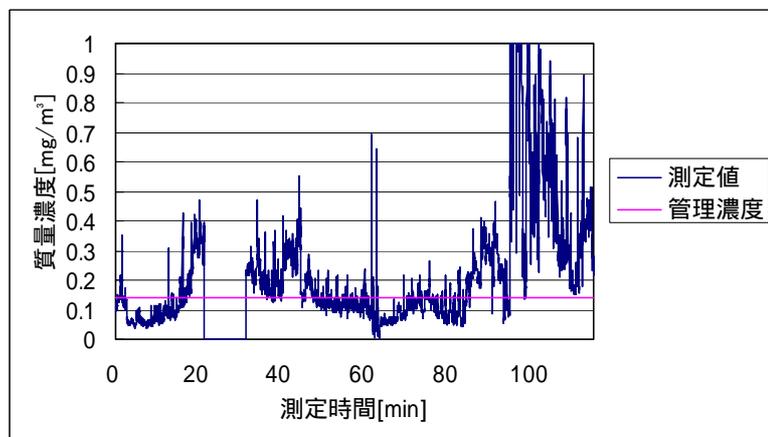


図 2.7 作業場 A における手込み作業 1 回目のばく露濃度変動

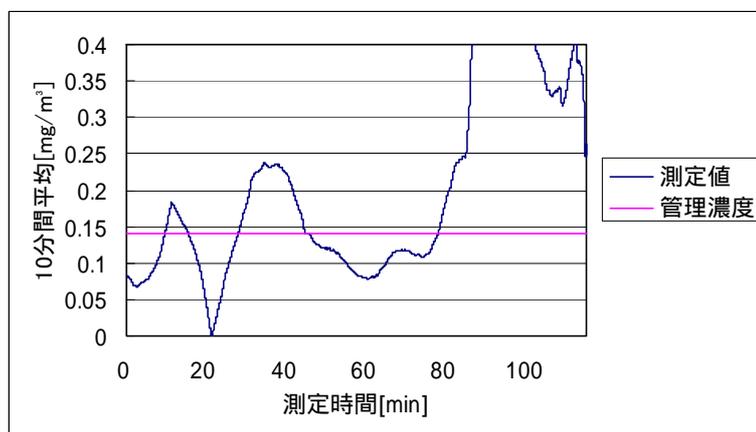


図 2.8 作業場 A における手込み作業 1 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

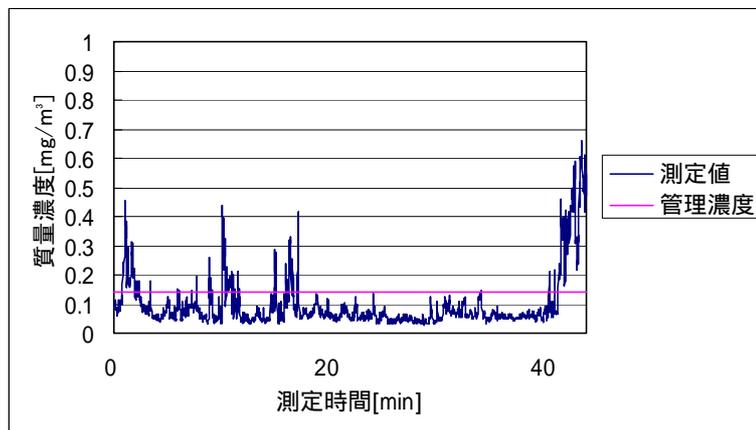


図 2.9 作業場 A における手込み作業 2 回目のばく露濃度変動

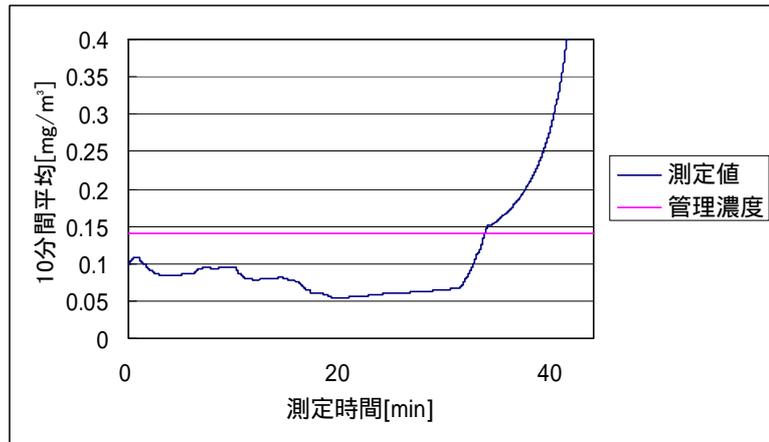


図 2.10 作業場 A における手始め作業 2 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

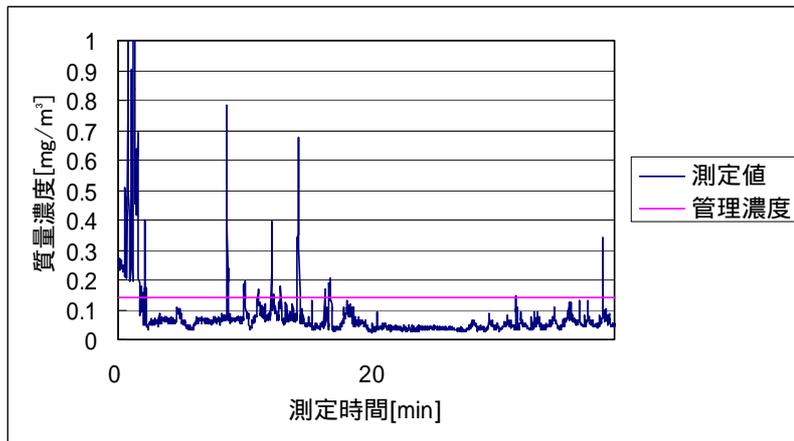


図 2.11 作業場 A における手始め作業 3 回目のばく露濃度変動

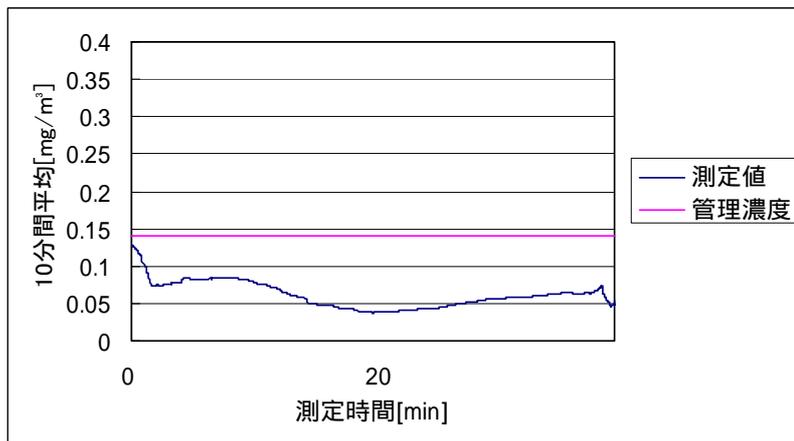


図 2.12 作業場 A における手始め作業 3 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

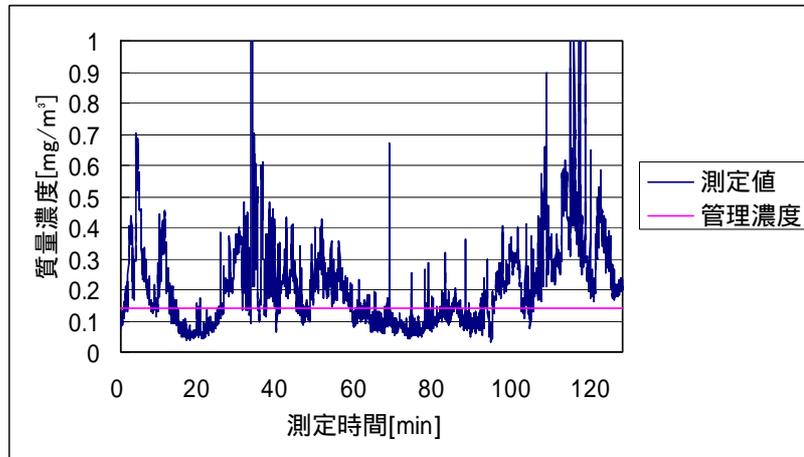


図 2.13 作業場 A における手込み作業 4 回目のばく露濃度変動

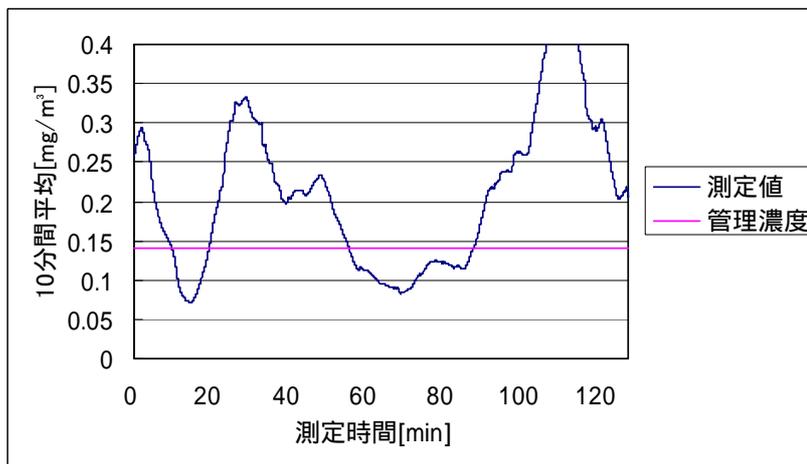


図 2.14 作業場 A における手込み作業 4 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

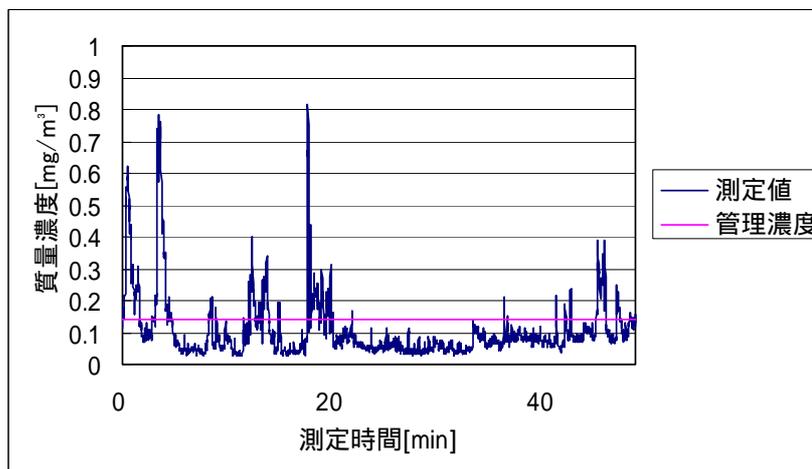


図 2.15 作業場 A における手込み作業 5 回目のばく露濃度変動

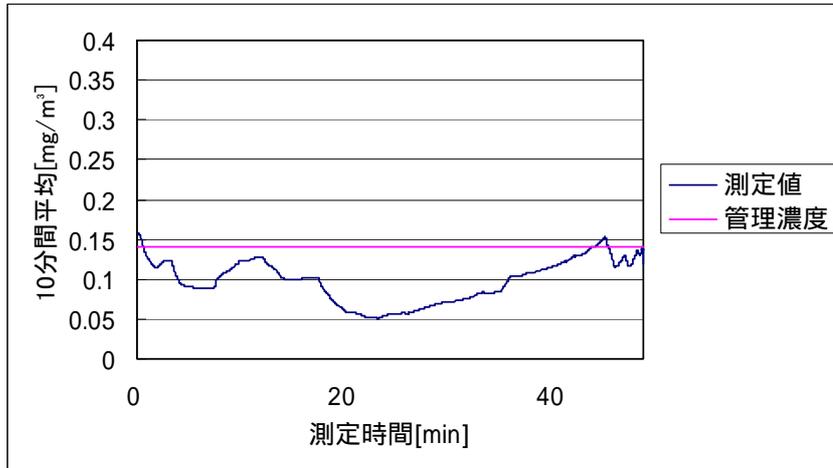


図 2.16 作業場 A における手始め作業 5 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

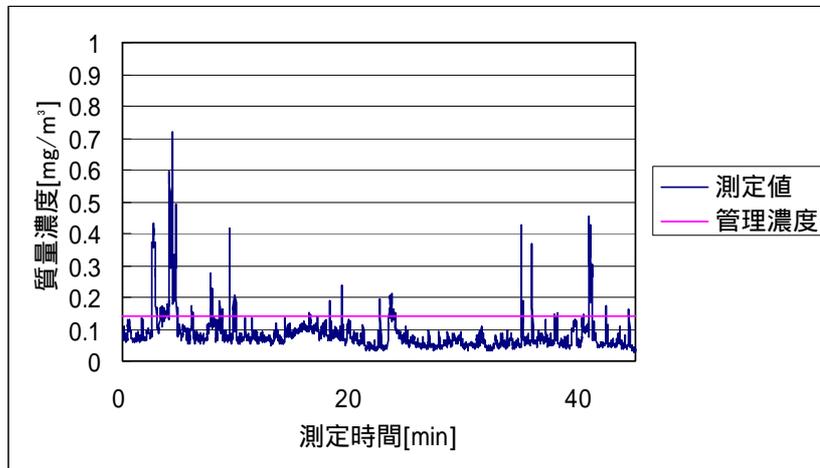


図 2.17 作業場 A における手始め作業 6 回目のばく露濃度変動

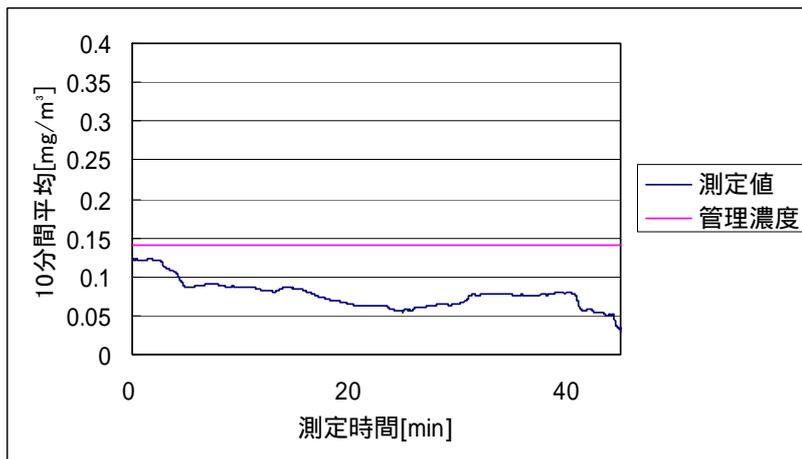
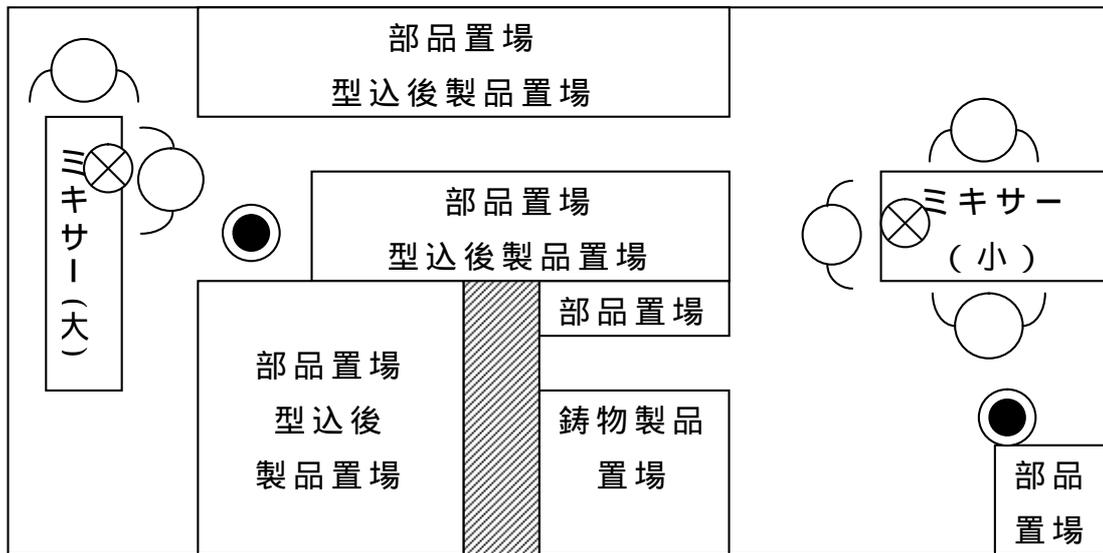


図 2.18 作業場 A における手始め作業 6 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

2.3.1(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 2.19 に示す。また、作業場 B における砂型造形作業 1 回目～5 回目のばく露測定結果を表 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 2.20～図 2.29 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。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。



⊗ : 発生源    ● : 併行測定点    ⊙ : 作業者位置

図 2.19 作業場 B での概略図

表 2.2 ばく露測定結果

	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	

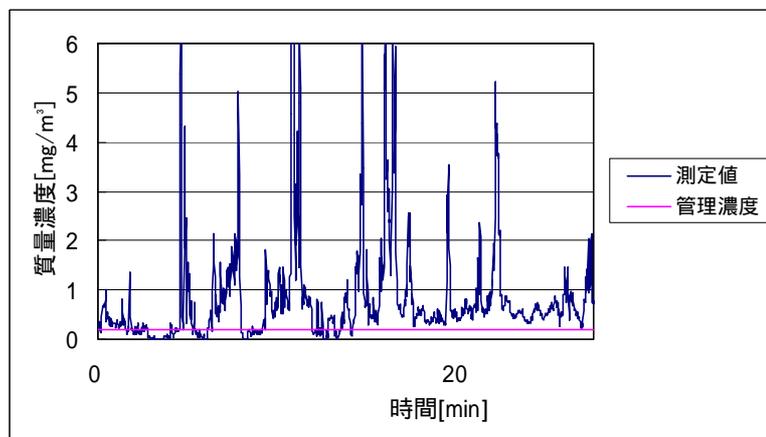


図 2.20 作業場 B における手込み作業 1 回目のばく露濃度変動

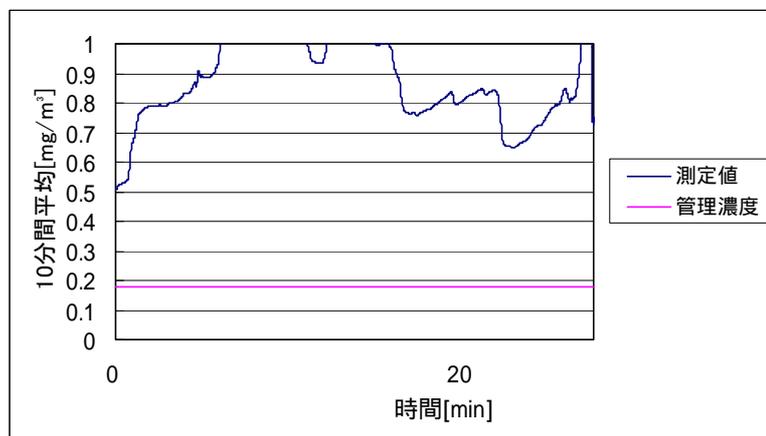


図 2.21 作業場 B における手込み作業 1 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

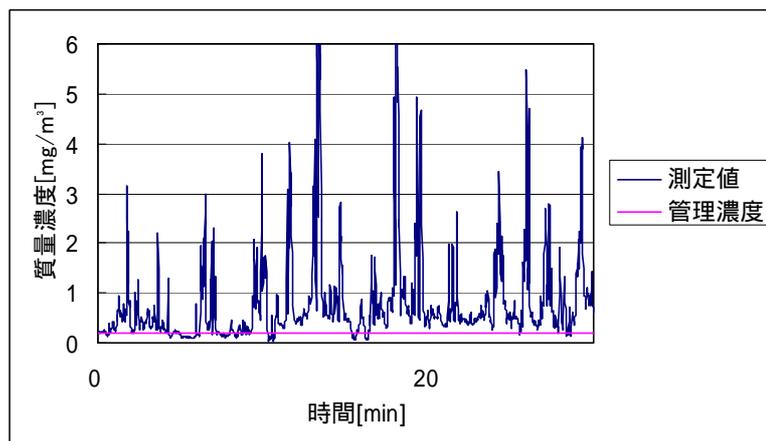


図 2.22 作業場 B における手込み作業 2 回目のばく露濃度変動

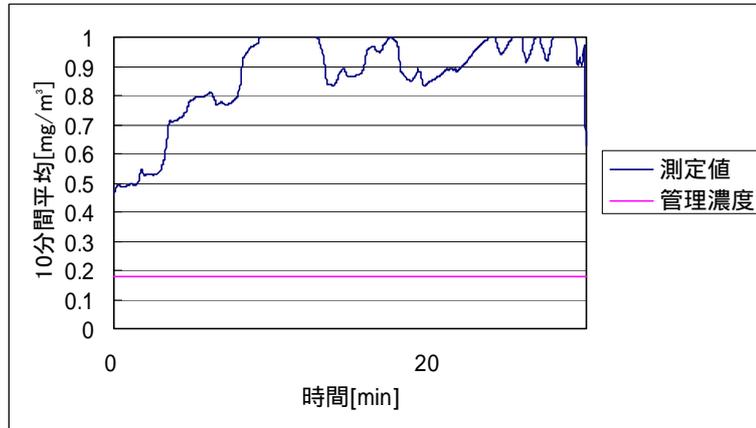


図 2.23 作業場 B における手始め作業 2 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

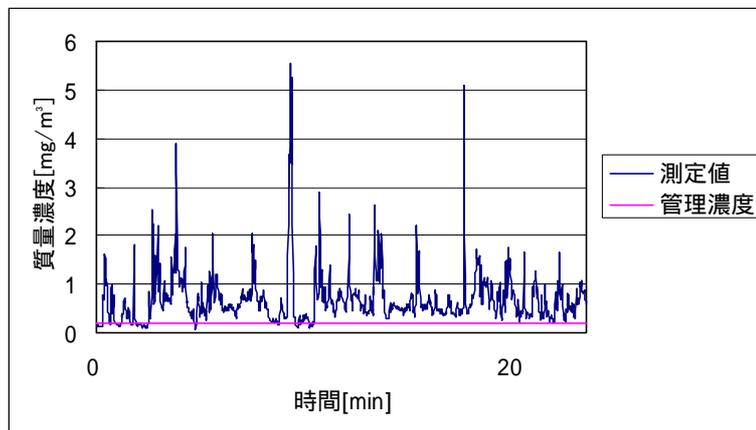


図 2.24 作業場 B における手始め作業 3 回目のばく露濃度変動

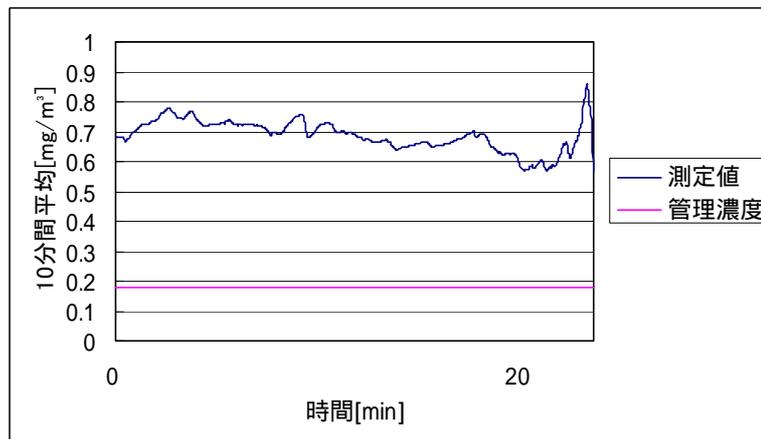


図 2.25 作業場 B における手始め作業 3 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

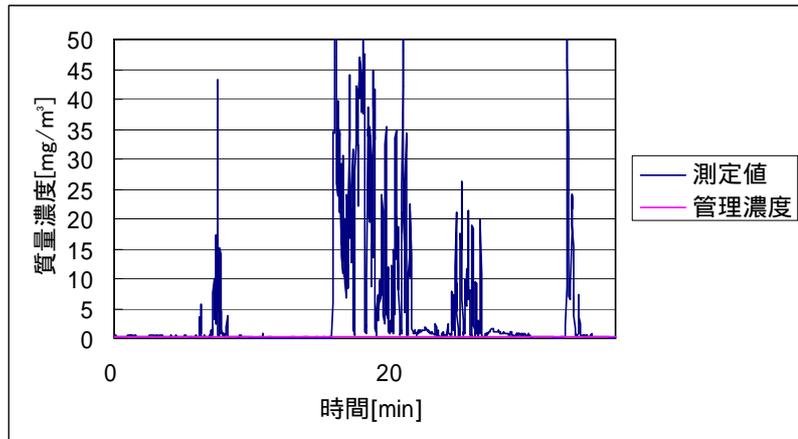


図 2.26 作業場 B における手込み作業 4 回目のばく露濃度変動

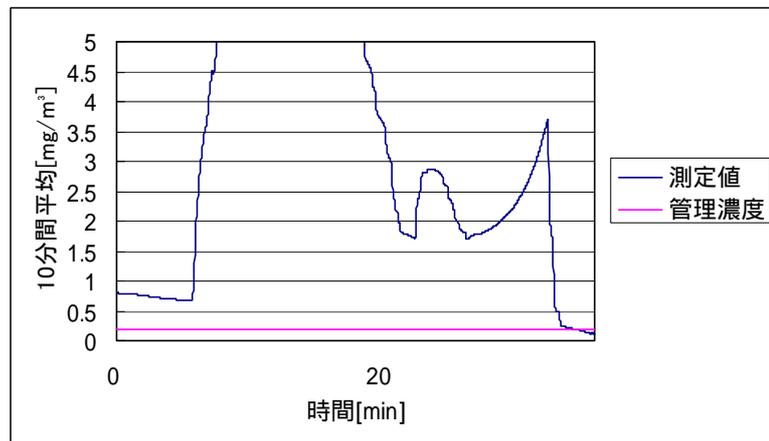


図 2.27 作業場 B における手込み作業 4 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

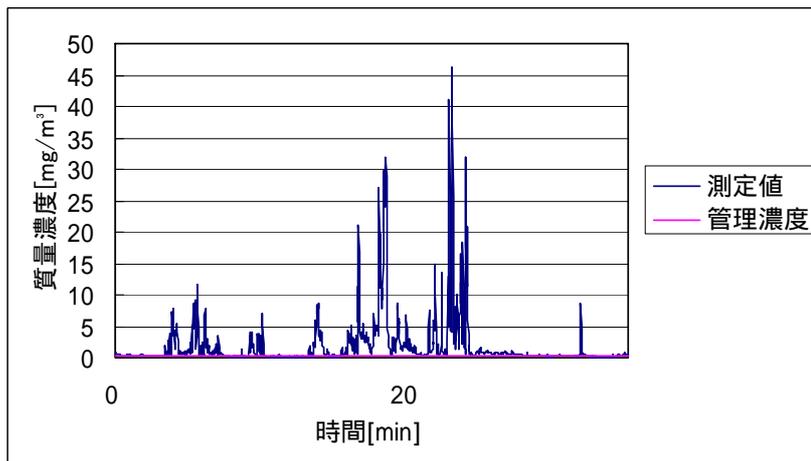


図 2.28 作業場 B における手込み作業 5 回目のばく露濃度変動

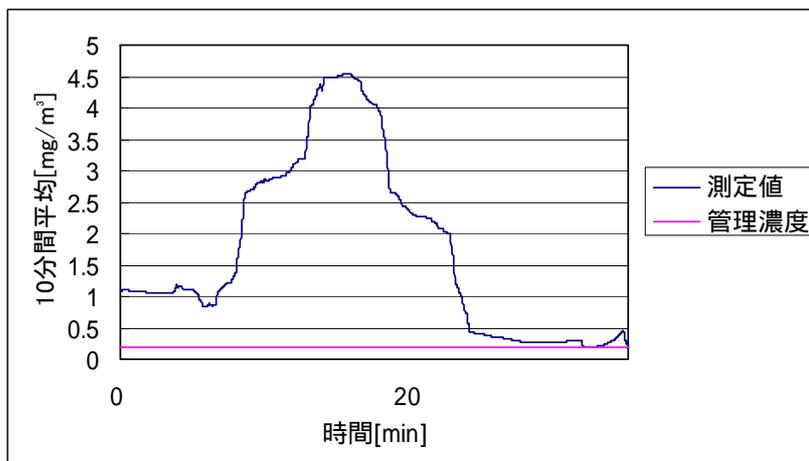


図 2.29 作業場 B における手詰め作業 5 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

### 2.3.1(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 2.30 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 2.31 に示す。また、作業場 C における砂型造形作業 1 回目、2 回目のばく露測定結果を表 2.3 に示す。またばく露濃度の変動及びその 10 分間移動平均を図 2.32 ~ 図 2.35 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。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。

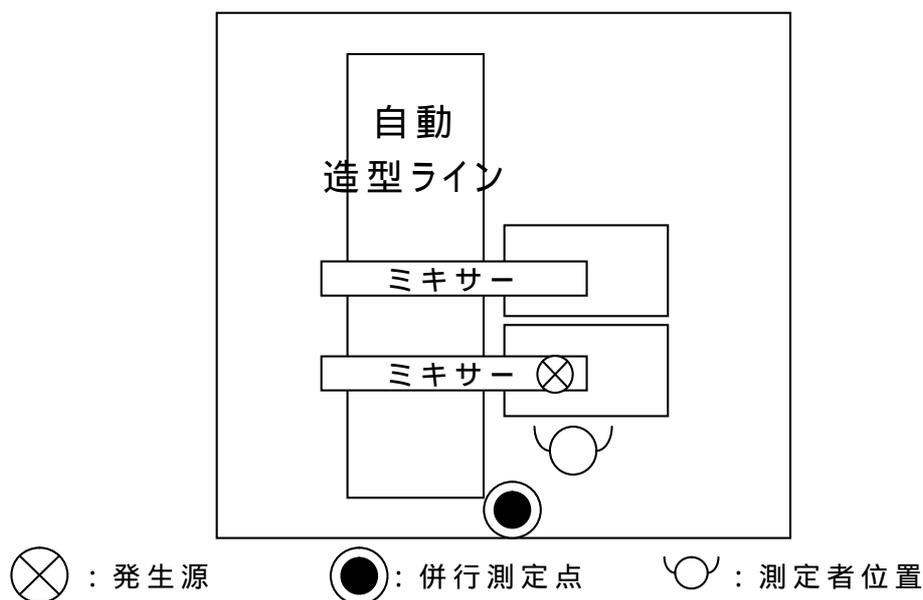


図 2.30 作業場 C の概略図



図 2.31 測定風景

表 2.3 ばく露測定結果

	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	

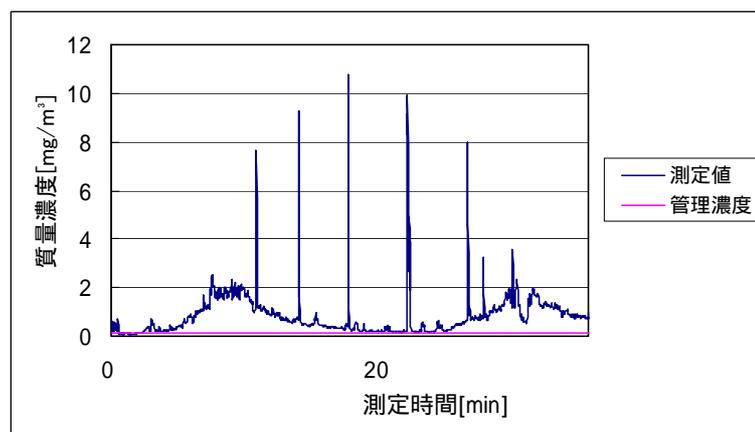


図 2.32 作業場 C における手込め作業 1 回目のばく露濃度変動

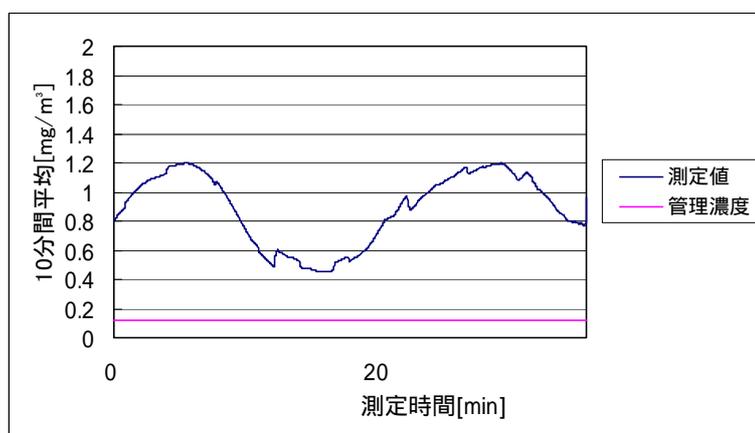


図 2.33 作業場 C における手始め作業 1 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

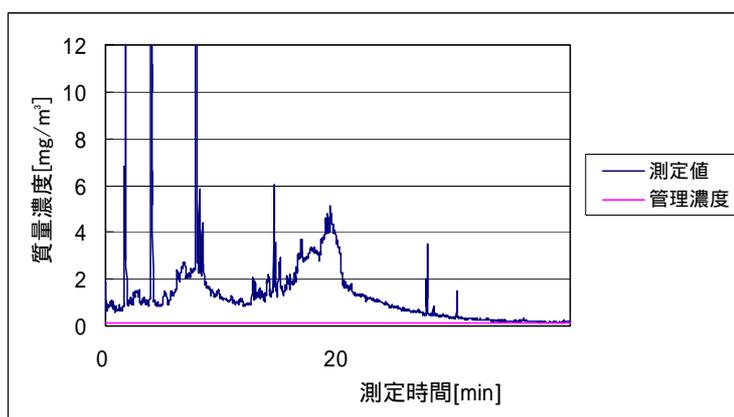


図 2.34 作業場 C における手始め作業 2 回目のばく露濃度変動

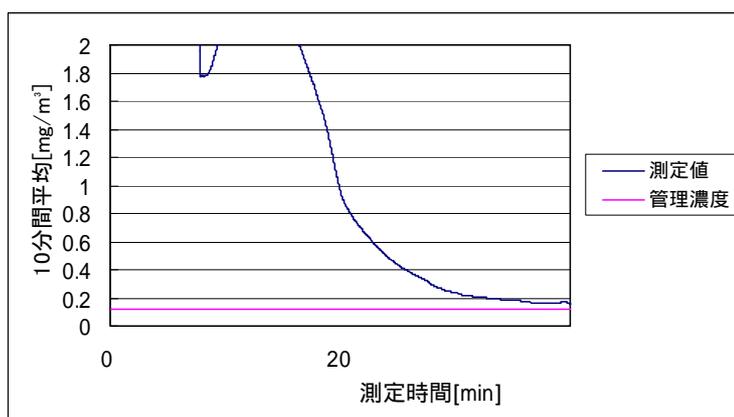


図 2.35 作業場 C における手始め作業 2 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

### 2.3.1(d) 作業場 D における砂型造形作業

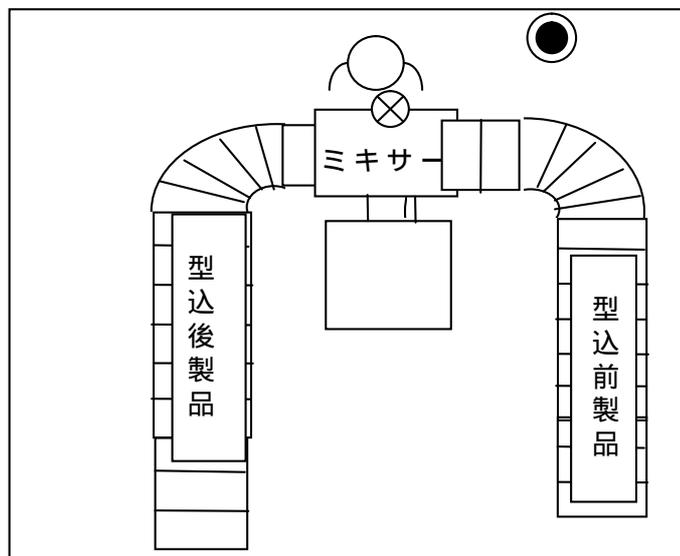
作業場 D の概略図を図 2.36 に示す。また、作業場 D における砂型造形作業 1

回目のばく露測定結果を表 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 2.37、図 2.38 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。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 2.4 ばく露測定結果

	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	



⊗ : 発生源      ● : 併行測定点      ○● : 測定者位置

図 2.36 作業場 D の概略図

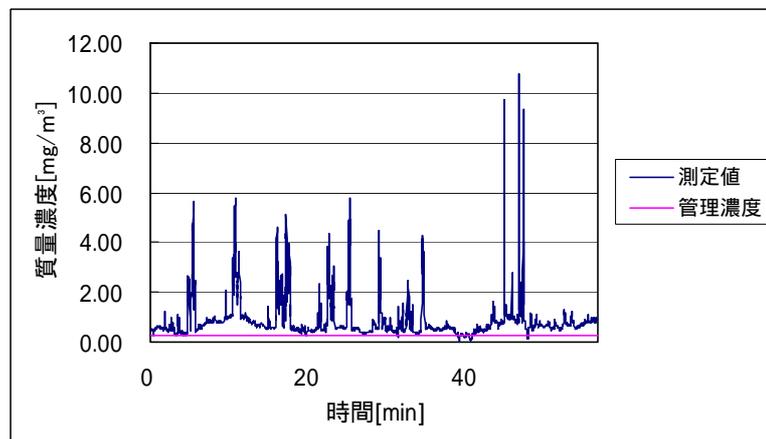


図 2.37 作業場 D における手込め作業 1 回目のばく露濃度変動

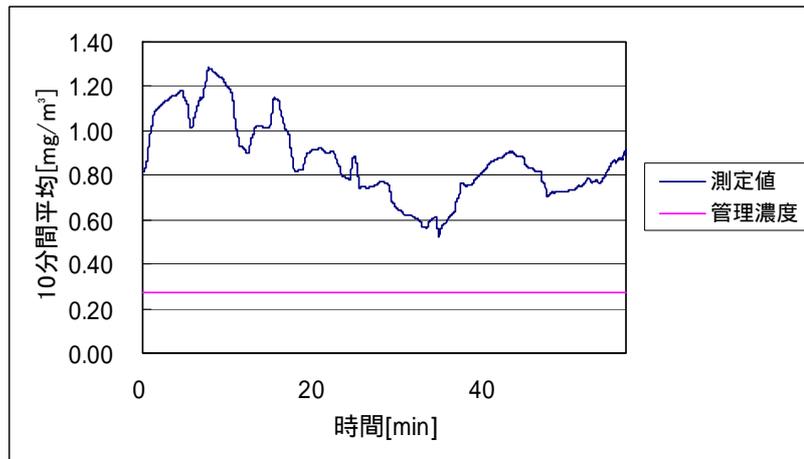


図 2.38 作業場 D における手締め作業 1 回目のばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

### 2.3.2 半自動造形作業

#### 5.3.2(a) 作業場 E における砂型造形作業

作業場 E の概略図を図 2.39 に示す。また、作業場 E における砂型造形作業 1 回目～5 回目のばく露測定結果を表 2.5 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 2.40～図 2.49 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。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

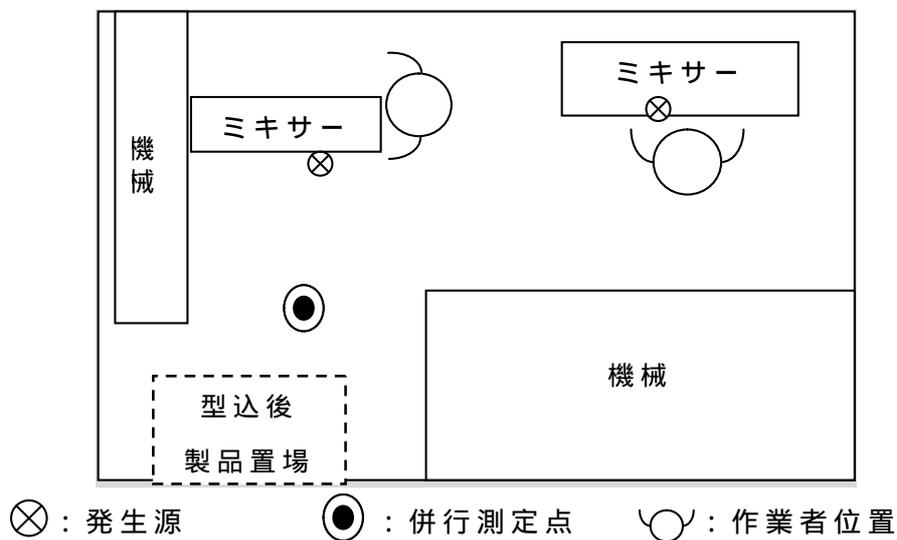


図 2.39 作業場概略図

表 2.5 ばく露測定結果

	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	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	

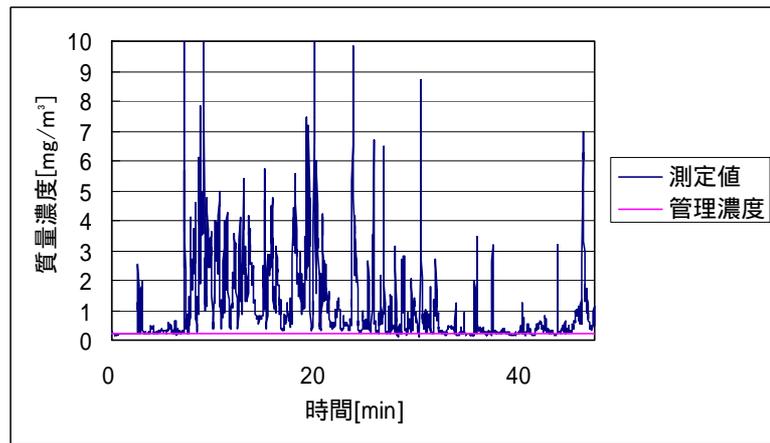


図 2.40 作業場 E における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動

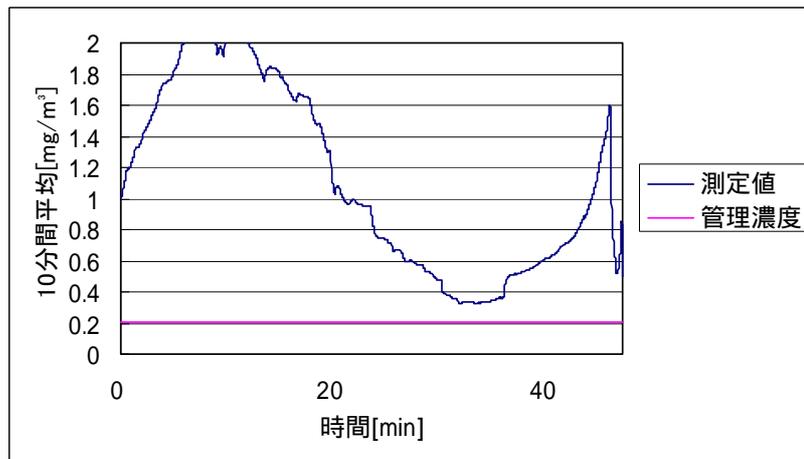


図 2.41 作業場 E における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

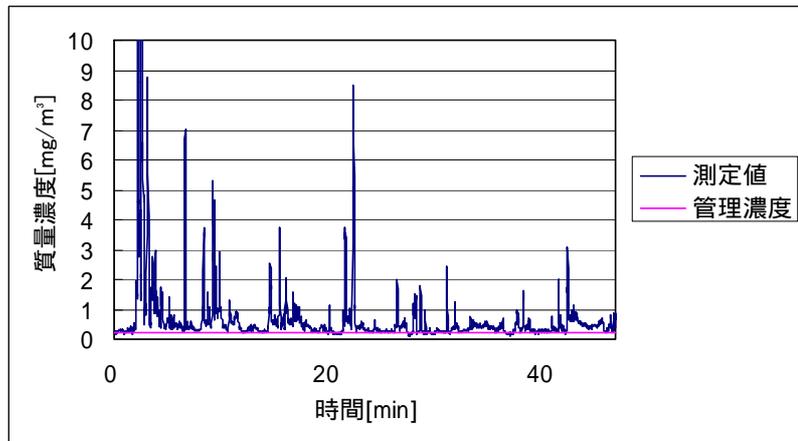


図 2.42 作業場 E における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動

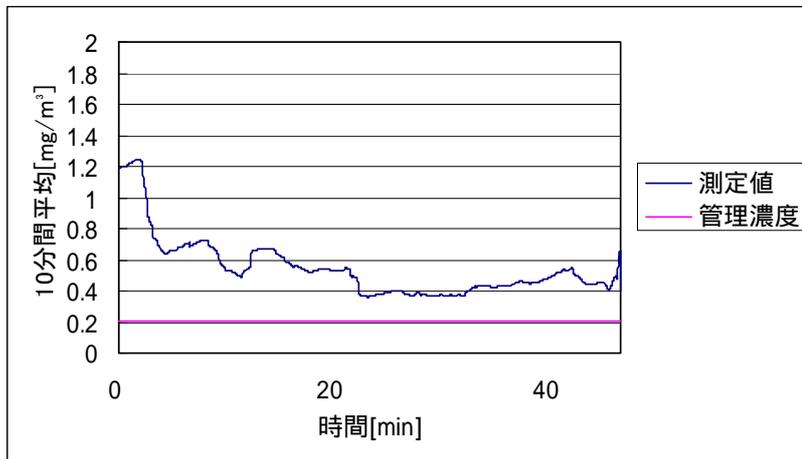


図 2.43 作業場 E における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

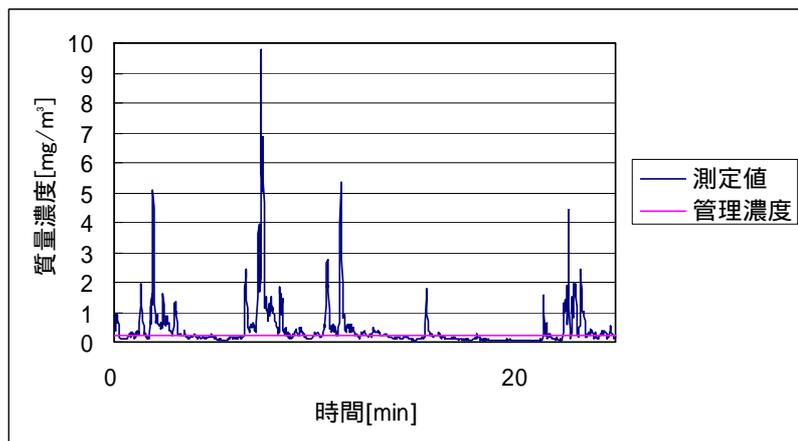


図 2.44 作業場 E における半自動造形作業 3 回目のばく露濃度変動

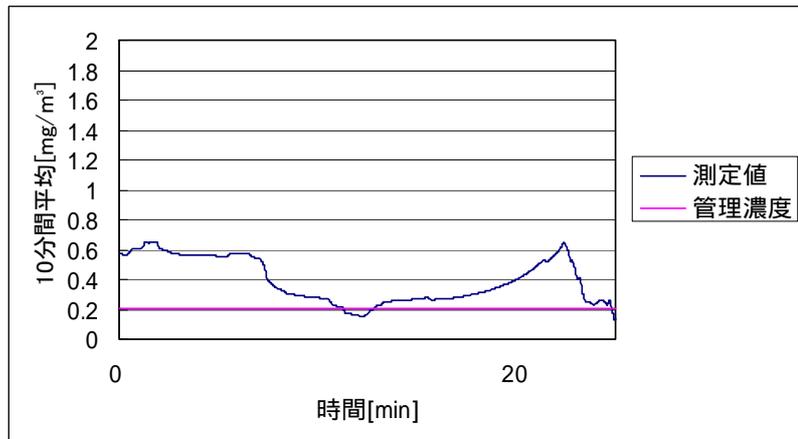


図 2.45 作業場 E における半自動造形作業 3 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

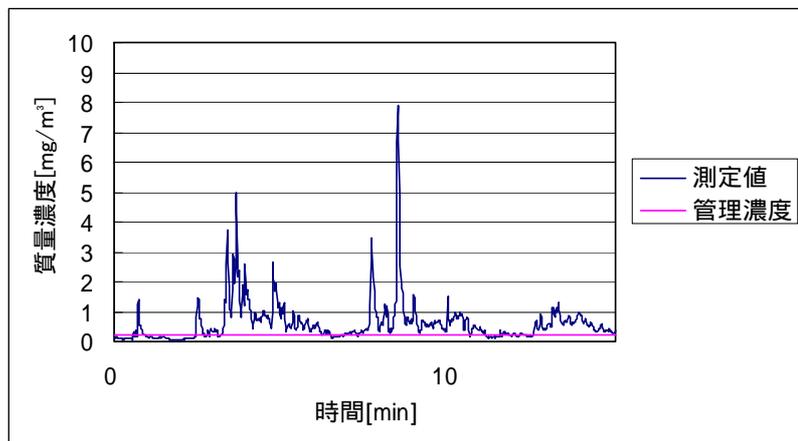


図 2.46 作業場 E における半自動造形作業 4 回目のばく露濃度変動

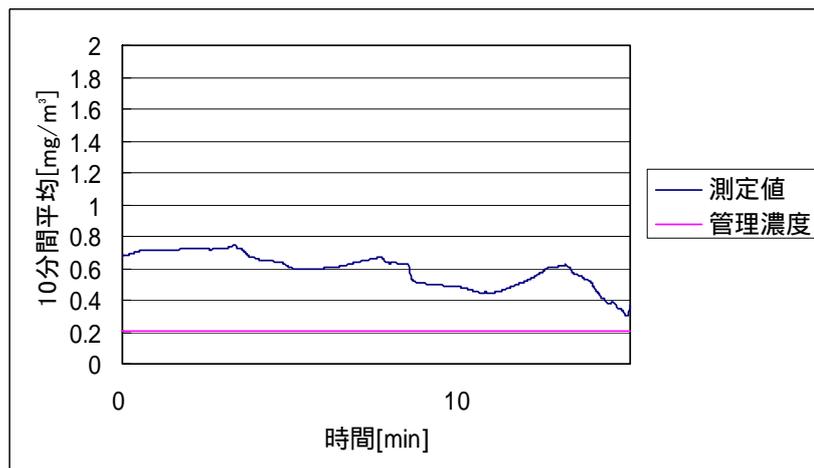


図 2.47 作業場 E における半自動造形作業 4 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

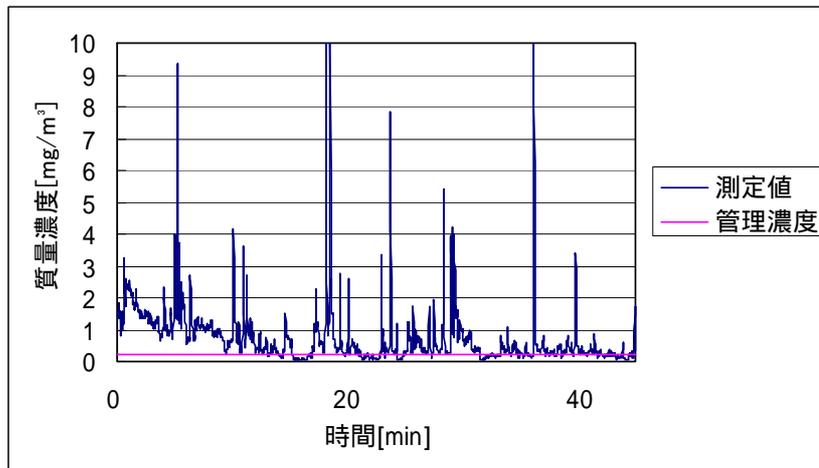


図 2.48 作業場 E における半自動造形作業 5 回目のばく露濃度変動

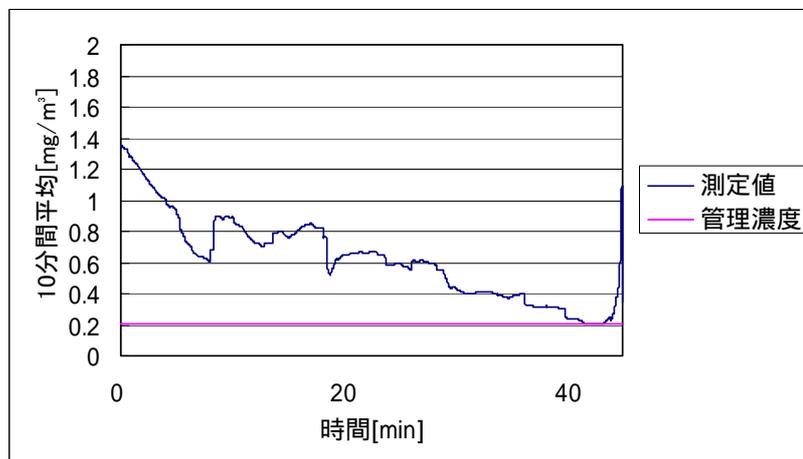


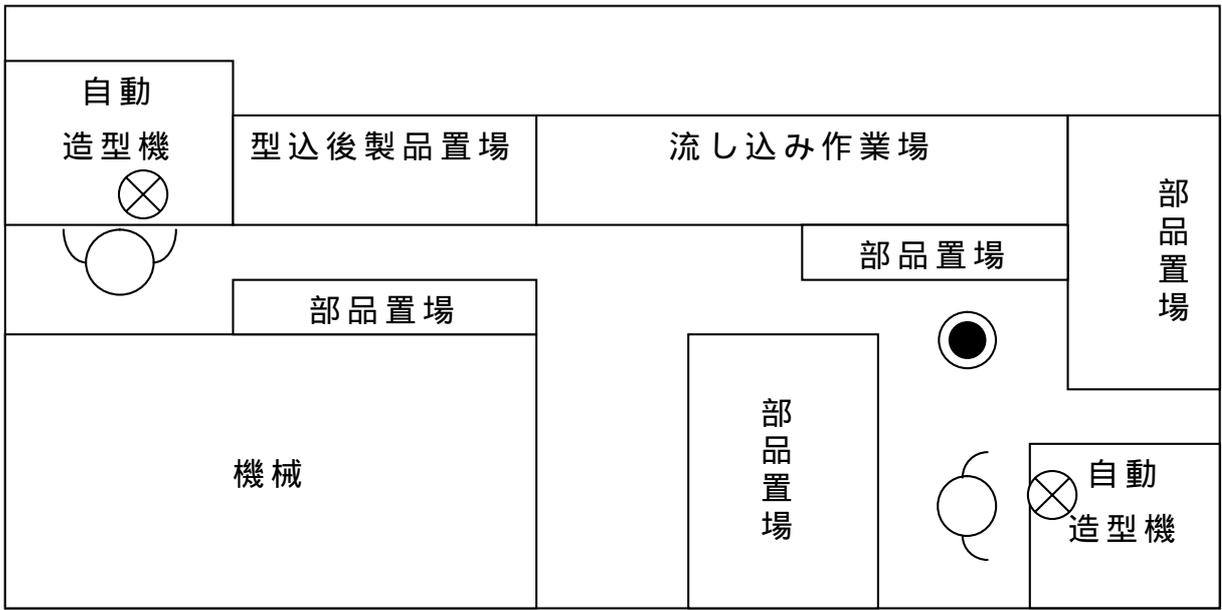
図 2.49 作業場 E における半自動造形作業 5 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

### 2.3.2(b) 作業場 F における砂型造形作業

作業場 F の概略図を図 2.50 に示す。また、作業場 F における砂型造形作業 1 回目～4 回目のばく露測定結果を表 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 2.51～図 2.58 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[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。



⊗ : 発生源      ● : 併行測定点      👁 : 作業者位置

図 2.50 作業場 F の概略図

表 2.6 ばく露測定結果

	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	

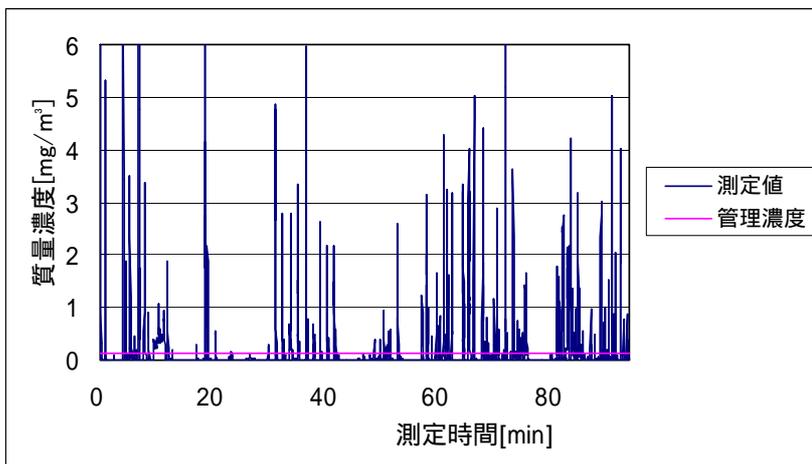


図 2.51 作業場 F における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動

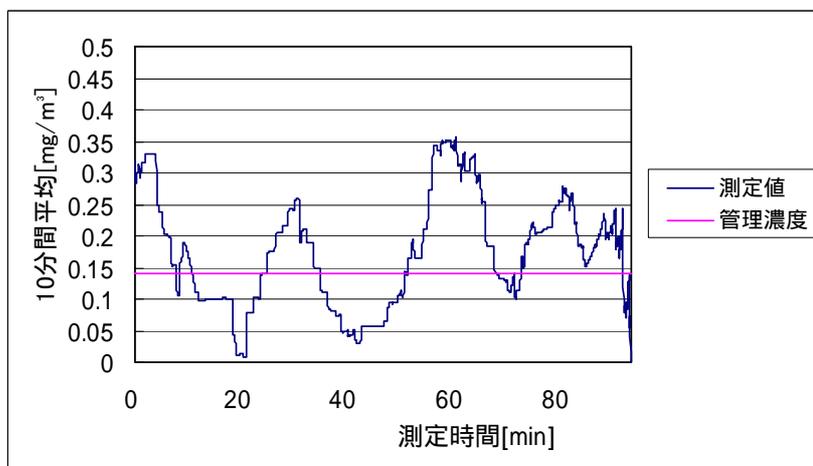


図 2.52 作業場 F における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

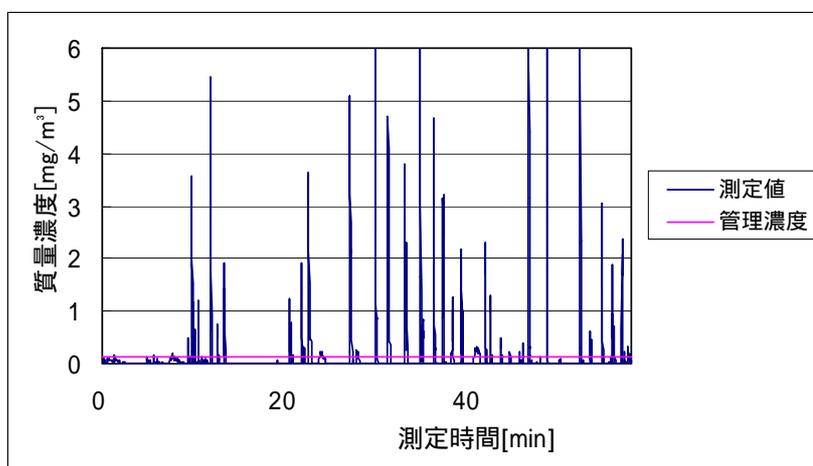


図 2.53 作業場 F における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動

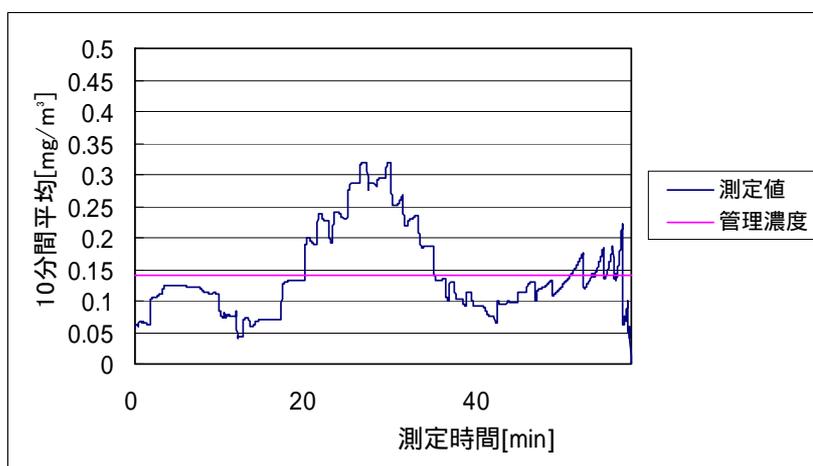


図 2.54 作業場 F における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

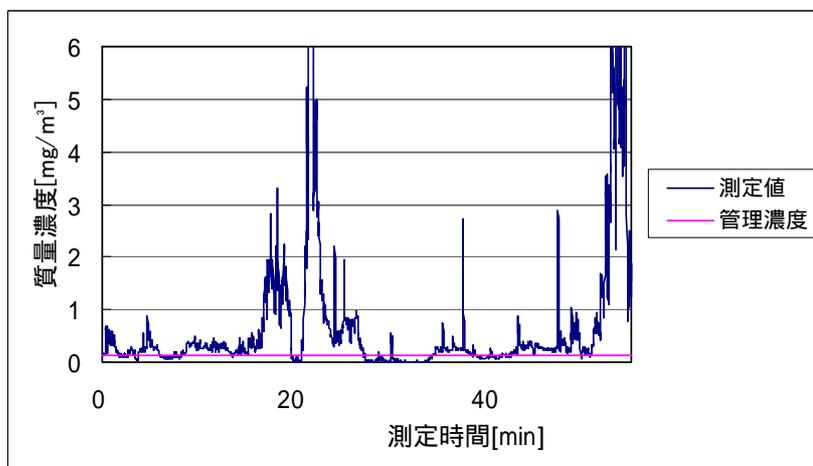


図 2.55 作業場 F における半自動造形作業 3 回目のばく露濃度変動

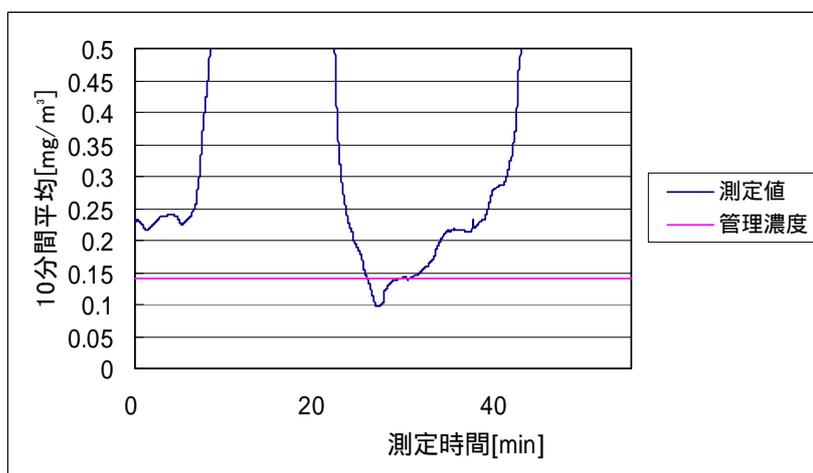


図 2.56 作業場 F における半自動造形作業 3 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

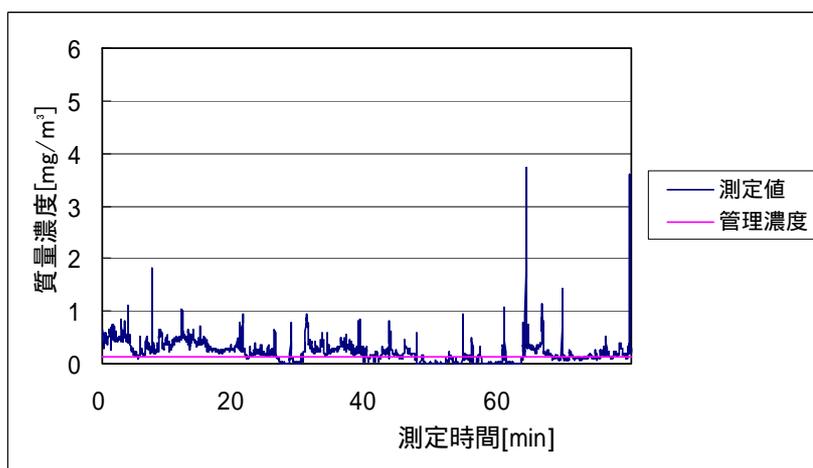


図 2.57 作業場 F における半自動造形作業 4 回目のばく露濃度変動

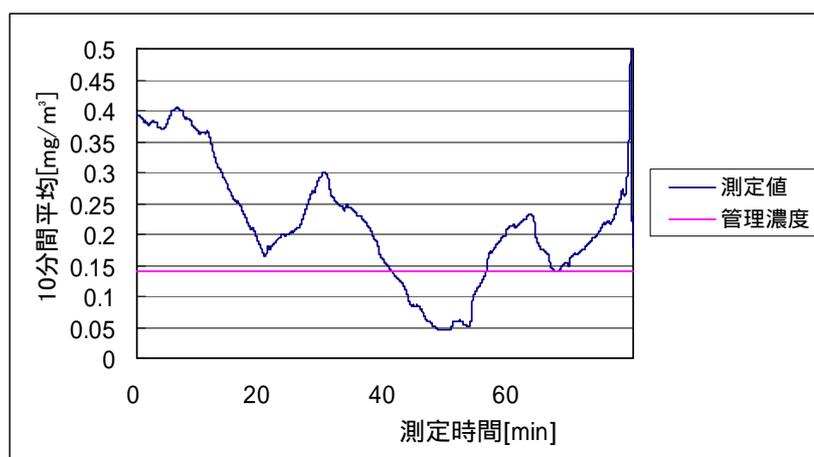


図 2.58 作業場 F における半自動造形作業 4 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

### 2.3.2(c) 作業場 G における砂型造形作業

作業場 G の概略図を図 2.59 に示す。また、作業場 G における砂型造形作業 1 回目、2 回目のばく露測定結果を表 2.7 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 2.60～図 2.63 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。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 2.7 ばく露測定結果

	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	

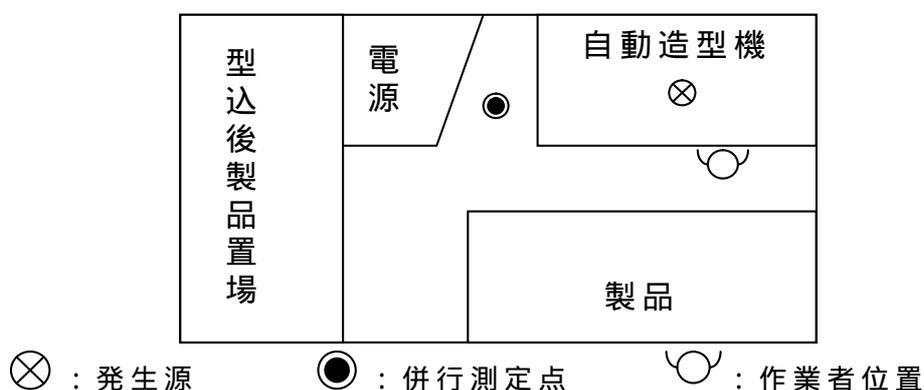


図 2.59 作業場 G の概略図

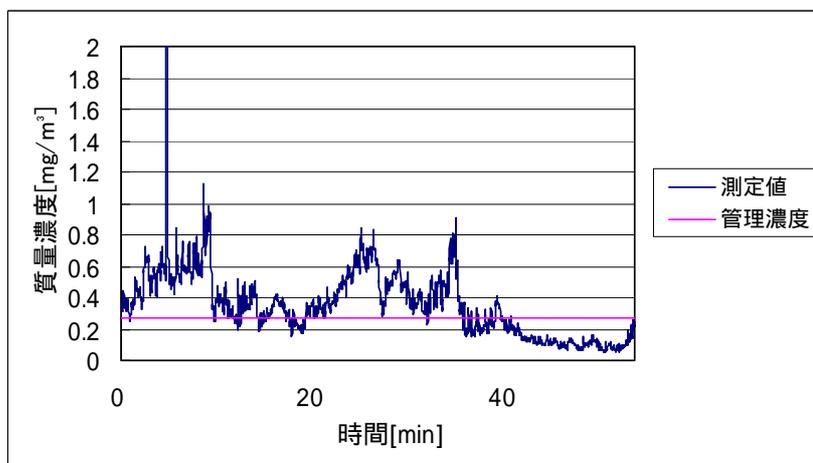


図 2.60 作業場 G における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動

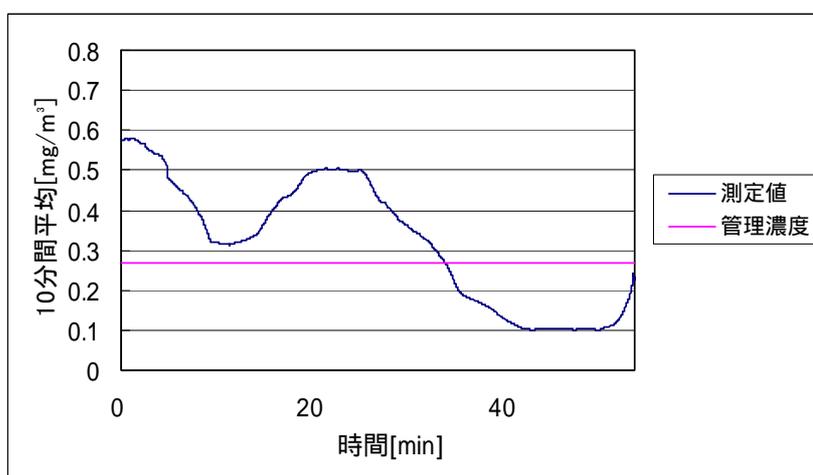


図 2.61 作業場 G における半自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

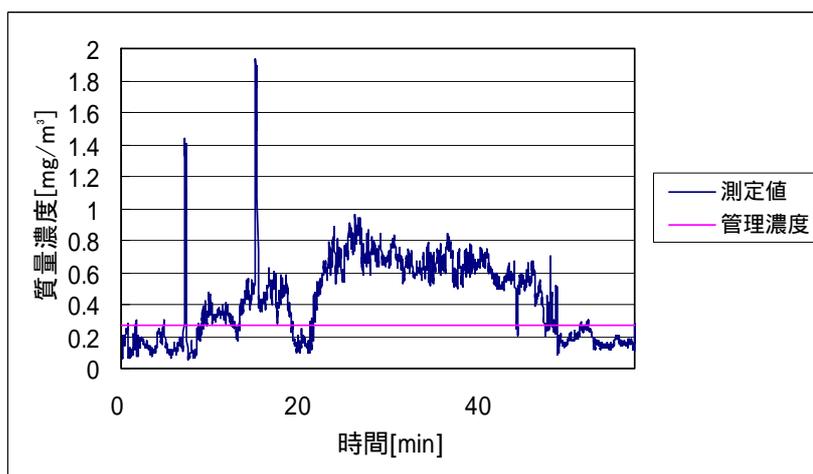


図 2.62 作業場 G における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動

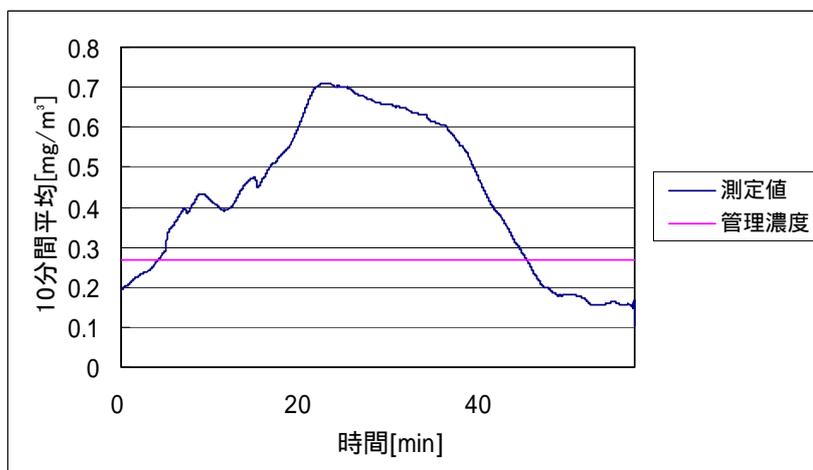


図 2.63 作業場 G における半自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動  
(10 分間移動平均値)

### 2.3.3 自動造型作業

#### 2.3.3(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 2.64 に示す。また、作業場 H における砂型造形作業 1 回目、2 回目のばく露測定結果を表 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 2.65 ~ 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 14.4% であり、管理濃度は 0.17 [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。

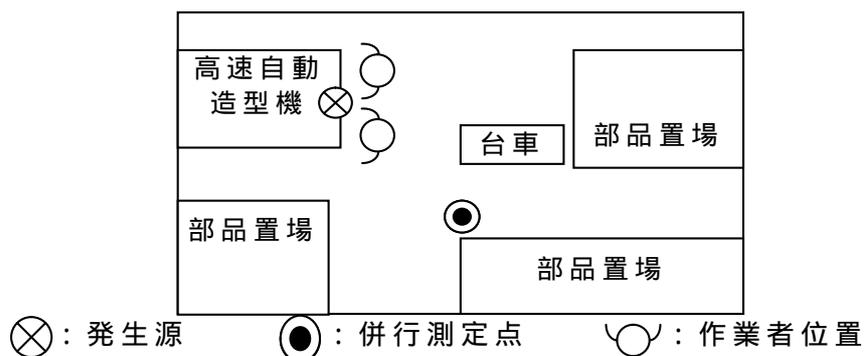


図 2.64 作業場 H の概略図

表 2.8 ばく露測定結果

	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	

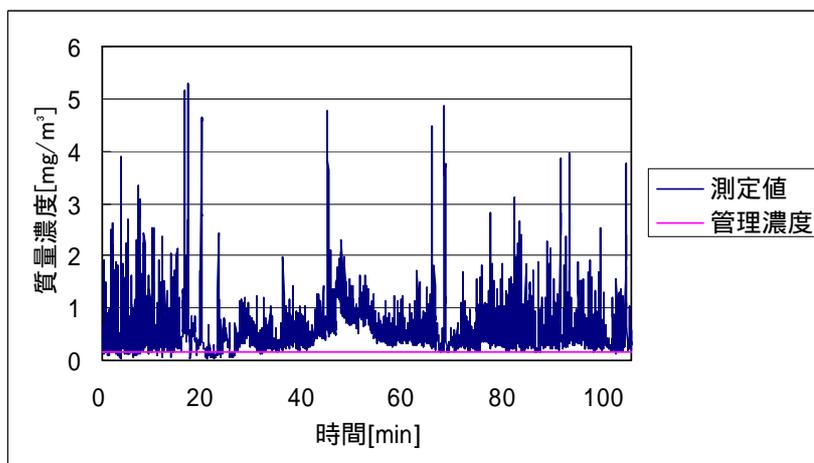


図 2.65 作業場 H における自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動

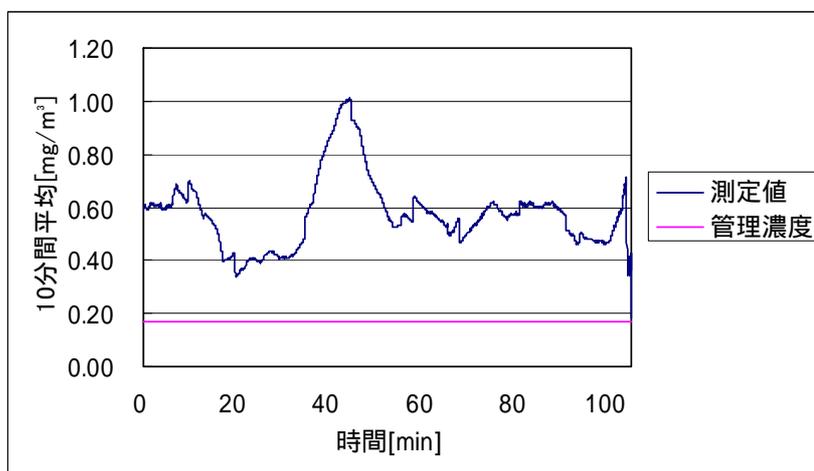


図 2.66 作業場 H における自動造形作業 1 回目のばく露濃度変動  
( 10 分間移動平均値 )

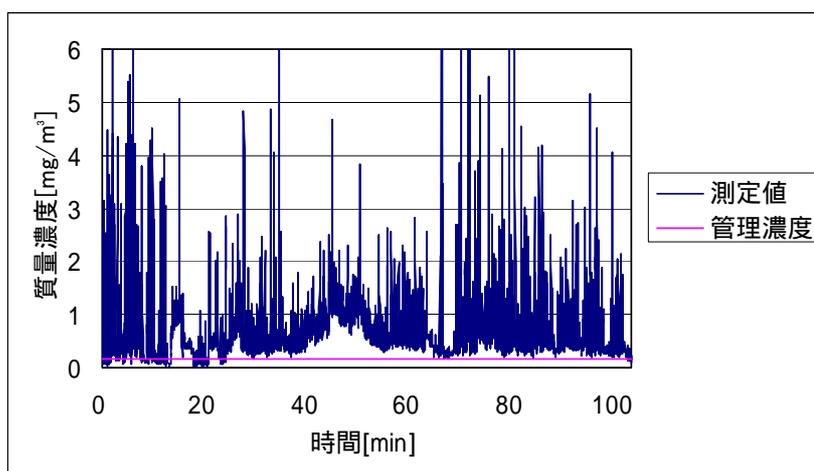


図 2.67 作業場 H における自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動

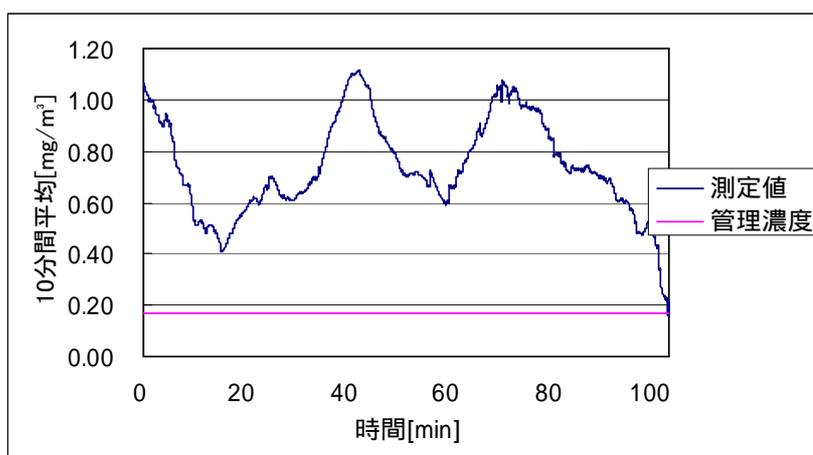


図 2.68 作業場 H における自動造形作業 2 回目のばく露濃度変動 (10 分間移動平均値)

## 2.4 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 2.9 に示す。

表 2.9 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	0.87 (1.21)	4.23~0.08	0.12~0.27	86%	12/14
半自動造形作業	0.50 (0.54)	1.08~0.13	0.14~0.27	100%	11/11
自動造型作業	0.68 (0.14)	0.77~0.58	0.17	100%	2/2

### 2.4.1 手込み作業

本研究での、手込み作業は、表 2.9 に示すように 86%(12/14 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用いられている砂は空気中にあまり舞わないように工夫されており、作業者のばく露量の低減に大きな効果を示しており、このような対策も有効であると考えられる。

### 2.4.2 半自動造形作業

本研究での、半自動造形作業は、表 2.9 に示すように 100%(11/11 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。

#### 2.4.3 自動造型作業

本研究での、自動造型作業は、表 2.9 に示すように 100%(2/2 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。

#### 2.5 結論

25 年度は、砂型造型作業場として、手込め作業、半自動造型作業及び自動造型作業を行っている 8 事業場で 27 の造型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 3 の作業にすることが適切な措置と考える。ただ、鋳物を扱う事業場は、日本に多数存在し、現在も盛んに砂型造型作業が行われている現状を考慮して、26 年度はさらに砂型造型作業の個人ばく露濃度測定を増やして、より実態の作業状況を反映した測定結果に基づいた判断を行うことにする。