

図 5-12 のグレーは運転時間帯を示し、濃いグレーは **B** 測定を実施した炉を示す。
2、3、4、7、8 号炉は旧型、9、10 号炉は新型炉であった。

1.3.1.3 測定機器の設置場所

B 測定の実施に伴って観測器 (FMPS と OPS) を作業中に計測炉付近へ移動させた。
粉じん計による測定では、作業場の面積をおおよそ均等に割り振り、3 機を火葬炉
の手前と奥に移動させることによって 6 点観測を行った。

1.3.2 C 調査地

1.3.2.1 見取図と調査エリアの状況

C 調査地の見取図と測定機器の配置場所を図 5-13、5-15 に示す。C 調査地は 2 年連続で調査を行った。また、調査地の状況や作業環境に関する情報を下に記す。

- a 炉は 40 年近く稼働しており、前室の無い構造のみ。
- b 灯油によるバーナーで燃焼し、燃焼条件などは作業員の経験から判断。
- c 遺族不在時でも、マスクなどの保護具の着用は無い。
- d 炉の前の部屋は、換気などの装置は無い。
- e **A** 測定は炉の前の部屋での燃焼前、燃焼時、整骨、清掃時を対象とした。
- f **B** 測定は全て作業を通じて最も高い濃度を示した値を用いた。

1.3.2.2 調査スケジュールと状況

測定内容と炉の運転スケジュールを図 5-14、5-16 に示す。その他の運転に関する情報を下に記す。

- a 炉の運転は昼を挟んだ 2 回であった。
- b 燃焼中の炉裏は、目視で確認ができる程度の煙濃度であった。
- c 燃焼直後の冷却開始時と、清掃時の灰をスコップで集める作業時にも、煙濃度が高い。

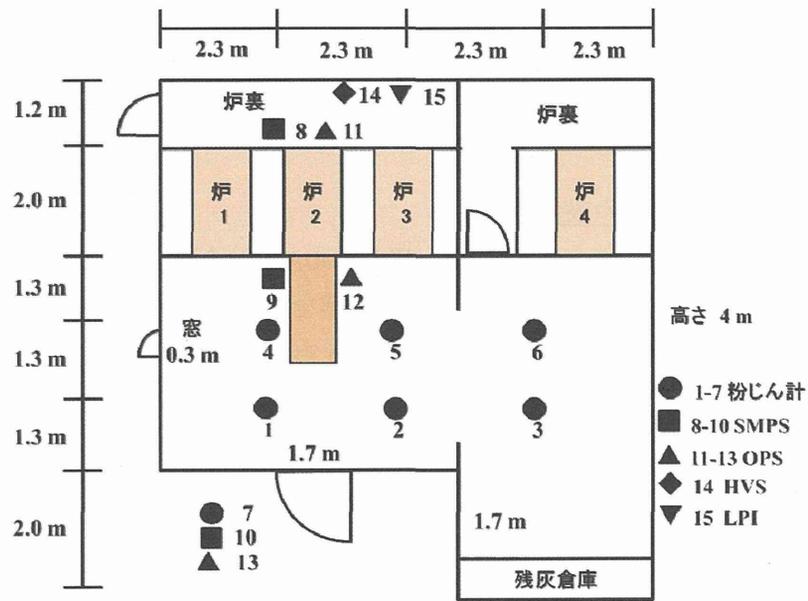


図 5-13 C調査地の見取図と測定機器の配置場所(2014年度)

| Time | Operation | 粉じん計 | OPS | SMPS | HVS | LPI |
|-------|-----------|--------------------|-----|------|-----|-----|
| 11:25 | | Measurement points | ↑11 | ↑8 | | ↑15 |
| 11:35 | 炉稼働前 | ↑1, 2, 3 | ↑12 | ↑9 | ↑14 | ↑15 |
| 11:50 | | ↓4, 5, 6 | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| 14:30 | 炉稼働中 | | | | | |
| 14:40 | | | ↑12 | ↑9 | | |
| 14:50 | 整骨 | ↑1, 2, 3 | ↑12 | ↑9 | | |
| 15:10 | | ↓4, 5, 6 | ↓ | ↓ | | |
| 15:20 | 清掃 | ↑1, 2, 3 | ↑12 | ↑9 | | |
| 15:30 | | ↓4, 5, 6 | ↓12 | ↓9 | | |
| 15:40 | | ↓7 | ↓13 | ↓10 | | |

図 5-14 2014年度の測定内容と炉の運転スケジュール

時の高さに相当する 120～150 cm に設定した。

1.3.3 D 調査地

1.3.3.1 見取図と調査エリアの状況

D 調査地の見取図と測定機器の配置場所を図 5-17 に示す。また、調査地の状況や作業環境に関する情報を下に記す。

- a 炉は、タイプの異なる 2 系統が 7 炉設置。
- b 収骨は燃焼後冷却したのちの状態でそのまま行う。清掃は翌日に全ての炉を一括して行う。
- c 炉を格納している対象作業場は換気システムが整備された室内。
- d 作業の際、マスクの着用がなされていた。

1.3.3.2 調査スケジュールと状況

測定内容と炉の運転スケジュールを図 5-18 に示す。HVS は測定の始めから終わりまで図 5-17 の位置に固定した。粉じん計は作業工程を踏まえた上で 10 分間の測定を炉の奥と手前とで前後に移動させて行なった。その設置高さは、人の呼吸時の高さに相当する 120～150 cm に設定した。

また、SMPS と OPS は発生源近くで測定（B 測定）を行うため、単位作業場へ移動させ、燃焼中の炉の前、清掃作業時の台座近傍における飛散粒子を測定した。清掃作業時には、マグネットによる金属の回収、ステージの回収、骨などの回収が行なわれ、掃除機をかけた後、台座に保護材を撒いていた。

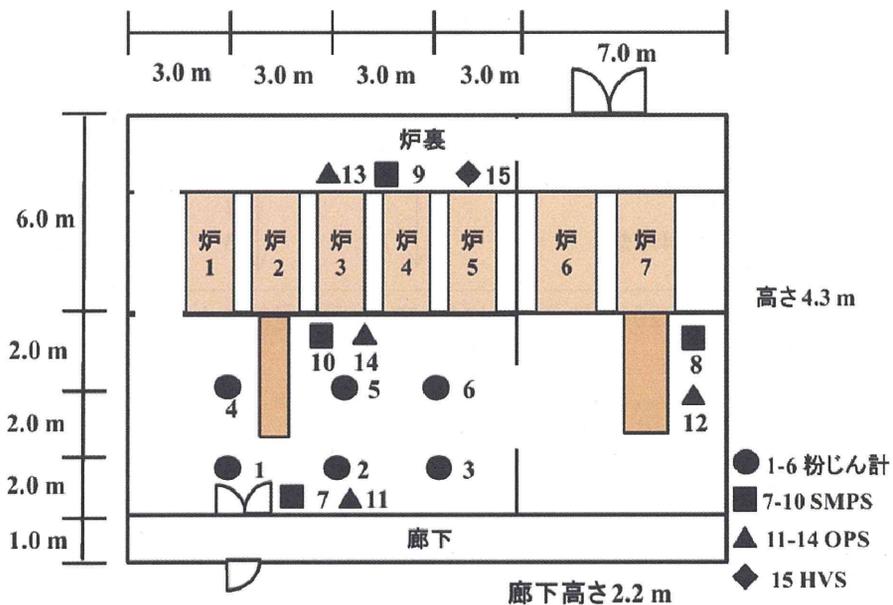


図 5-17 D 調査地の見取図と測定機器の配置場所

| Time | Operation | 粉じん計 | OPS | SMPS | HVS |
|-------|-------------|--------------------|------|------|------|
| 9:00 | | Measurement points | | | |
| 9:10 | ↑ 清掃(2号炉) | ↑ 1, 3 | ↑ 11 | ↑ 7 | ↑ |
| 9:20 | ↑ 清掃(7号炉) | ↑ 4, 5, 6 | ↑ 12 | ↑ 8 | |
| 9:30 | | | | | |
| 9:40 | ↓ | ↓ 13 | ↓ 9 | | |
| 9:50 | | | | | |
| 12:30 | ↓ | | | | ↑ 15 |
| 12:40 | ↑ 炉稼働中(3号炉) | ↑ 1, 2, 3 | ↑ 14 | ↑ 10 | |
| 12:50 | ↑ | ↓ 4, 5, 6 | ↓ 13 | ↓ 9 | |
| 13:00 | ↓ | | | | |
| 15:00 | ↑ | ↑ 1, 2, 3 | ↑ 14 | ↑ 10 | |
| 15:10 | ↑ 収骨後(3号炉) | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ |
| 15:20 | ↓ | ↓ 4, 5, 6 | ↓ | ↓ | |

図 5-18 測定内容と炉の運転スケジュール

1.3.3.3 測定機器の設置場所

B 測定の実施に伴って観測器（SMPS と OPS）を稼働中の炉付近へ移動させた。粉じん計による測定では、作業場の面積をおおよそ均等に割り振り、3 台の機器を火葬炉の手前と奥に移動させることによって 6 点観測を行った。

1.4 粉じん計による作業環境測定

1.4.1 A 測定評価方法

1.4.1.1 粉じん計による管理濃度導出

粉じん作業場において、相対濃度計を用いて測定して得られた相対濃度（粉じん計では 1 分間の当たりのカウント数（cpm））から質量濃度を求めるには相対濃度値に質量濃度変換係数 K 値を乗じて質量濃度を算出する。

$$K = C / (R_D - D) \quad (1-1)$$

C : 質量濃度 [mg/m³]

R_D : 粉じん計によるカウント数 [cpm]

D : バックグラウンド値

測定現場から得られた値を使用して K 値を計算した。 K 値を用いて粉じん計の測定結果を質量濃度に変換し、作業環境評価を行った。

作業環境評価は、第一評価値 EA_1 （5 %相当の推定濃度）と第二評価値 EA_2 （平均濃度からの推定濃度）を算出することで、これらを境界とした 1~3 の管理区分として

評価する。なお、各区分の解釈は、第1管理区分（作業環境管理が適切であると判断される状態）、第2管理区分（作業環境管理になお改善の余地があると判断される状態）、第3管理区分（作業環境管理が適切でないと判断される状態、再測定と改善措置が必要）となっている。作業環境測定における管理区分は表 5-10 の通りである。

表 5-10 作業環境測定における管理区分表

| | | A測定 | | |
|-------------|--------------------|------------|------------------|------------|
| | | 第1評価値<管理濃度 | 第2評価値≤管理濃度≤第1評価値 | 第2評価値>管理濃度 |
| B 測 定 | B測定値<管理濃度 | 第1管理区分 | 第2管理区分 | 第3管理区分 |
| | 管理濃度≤B測定値≤管理濃度×1.5 | 第2管理区分 | 第2管理区分 | 第3管理区分 |
| | B測定値>管理濃度×1.5 | 第3管理区分 | 第3管理区分 | 第3管理区分 |

各サンプル点の測定値に対する幾何平均を次の式により求める。

$$\log M = (\sum \log C_i) / n \quad (1-2)$$

また幾何標準偏差 σ は、

$$\log \sigma = \{ \sum (\log C_i)^2 - n(\log M)^2 \} / (n-1) \quad (1-3)$$

求める EA_1 は、次の式で求めた。

$$\log M_{A1} = \log M + 1.645 \log \sigma \quad (1-4)$$

粉じんの管理濃度の式は、

$$E = 3.0 / (1.19 Q + 1) \quad (1-5)$$

E : 管理濃度 [mg/m³]

Q : 遊離けい酸含有率 [%]

粉じんの管理濃度値は、粉じんの遊離珪酸が 100 % 含まれたとすると 0.025 mg/m³、0 % とすると 3 mg/m³ となる。

1.4.1.2 遊離けい酸含有率計測

施設内に設置した HVS を用いて、フィルター上に捕集した浮遊粉じんに対する遊離けい酸含有率（石英、トリジマイト、クリストバライト）を、X線回折分析により求めた。計測に用いた機器は、XRD-6100（島津製作所製）を使用した。定量分析では、標準資料石英、トリジマイト、クリストバライトの検量線を作製し、検量線の定量下限値（検量線勾配と 10 σ の積）を設定した。

表 5-11 X線回折測定器による分析条件

| 測定法 | 定性分析 | 定量分析 |
|------|----------------------------|---|
| X線源 | CuK α 40 kV-30 mA | |
| モノクロ | 湾曲グラファイトモノクロメータ使用 | |
| 走査条件 | 連続走査 2°/min | ステップ走査 0.02° 毎 4秒積分 0.02° 毎 0.6秒積分 |
| 走査範囲 | 20:5 - 70° | 石英: 26.6°; 26 - 27° トリジマイト: 20.6°; 20 - 21.2° クリストバライト: 22.1°; 21 - 22.5° |
| スリット | DS: 1°, SS: 1°, RS: 0.3 mm | |

1.4.2 B測定評価方法（発生源に対する作業環境測定評価方法）

評価は、質量濃度で行うため、粉じん計で計測した全ての作業を通じ、最も高い値を示した作業近傍での濃度を評価値とした。また、SMPS と OPS を用いて、発生源近傍で作業における粒径ごとの個数濃度の測定、作業に対する継時変化の分析を行った。

1.4.3 建築物環境衛生管理基準との比較

建築物衛生法に規定される管理基準値（浮遊粉じん）と本調査場での粉じん計測による結果を比較し、空気環境の評価を行った。浮遊粉じんに対する建築物環境衛生管理基準値は、0.15 mg/m³以下と定められている。

1.5 電子顕微鏡による観察と元素分析

作業環境中に発生した粉じんに対し、HVS による全粒径に対する捕集と、LPI による粒径別捕集を行った。また粉じん捕集に用いたガラス繊維フィルターに対して、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope; SEM, JEOL JSM-5600T）を用いて、捕集した粉じんの形態を観測した。同時に、未使用のフィルターをブランクフィルターとして比較することで、フィルター表面に堆積した粉じんに対し、元素の定性分析と簡易的な定量分析を行った。元素の同定には蛍光 X 線を使用した。

1.6 誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）による粉じん中に含有する総クロムと六価クロムの定量分析

1.6.1 ICP-MS による総クロムの定量

HVS を使用し、浮遊粉じんの捕集に用いた石英繊維フィルターを 8 等分割し、そのうち 3 片に酸を加え、マイクロウェーブ分解装置にて分解し、検液を調整した後、ICP-MS（Thermo Scientific X series 2）による定量分析を行った。以下にその詳細を示す。ICP 分析試料液作製の前処理は、濃硝酸（60%）、超純水、過酸化水素（30%）をそれぞれ 3 : 3 : 2 の比で調合し、その溶液 10 ml を当該フィルターに混合した。その混合溶液をマイクロウェーブ分解装置（Mars OneTouch Technology, CEM）を用いて分解を行なった。

分解条件は 180～200 °Cにおいて 3 段階に温度を上昇させ、約 1 時間半かけて加熱分解した。その後、超純水を加えて硝酸の濃度を 1 N に調整した。また内標準液はイットリウム (Y) を使用した。希釈標準系列を測定することで検量線を作成し、検出下限値はブランクフィルターに対する定量標準偏差 σ の $+3\sigma$ 、定量下限値を $+10\sigma$ とした。ブランクフィルターは、異なる 3 枚のフィルターを同様に前処理し、ICP-MS を用いて定量し、平均を求めた。

検液から検出した捕集粉じん中の ^{52}Cr の重量濃度を求め、フィルター 1 枚分に捕集したクロム質量に換算した。この値に対し、HVS の稼働時間分を積算した吸入量で除することで大気流量中に対する濃度に換算した。

1.6.2 ICP-MS による六価クロムの定量

六価クロムは土壌の溶出試験 (JIS K0102:65.2) に従って溶出させた。8等分割したフィルター試料 2 片に対し、溶媒液 (超純水に炭酸ナトリウム 0.005 mol 及び炭酸水素ナトリウム 0.01 mol を溶解させ 1 L に調整) に、重量体積比 3 % の割合で混合した。その試料液を室温 (25 °C)、常圧 (1 気圧) で振とう機 (毎分 200 回、振とう幅 4 cm 以上 5 cm 以下) を用いて、2 時間連続して振とうさせた。振とう容器は、ポリエチレン製容器を用いた。十分攪拌分離した後、孔径 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過してろ液を採り、これを検液とした。この検液を ICP-MS (Thermo Scientific X series 2) を用いて定量分析を行った。

1.7 六価クロムに対するヒト健康リスク評価

1.7.1 非発がん性の有害影響リスク評価

クロム化合物を取り扱う作業員で吸入曝露に伴う影響として、非発がん性の有害影響と発がん影響が見られるが、六価クロム化合物による非発がん性の影響は、呼吸器系では鼻出血、鼻中隔潰瘍、鼻粘膜萎縮などが見られ、それぞれに閾値が存在する。非発がん性に対する有害影響は、吸入参照濃度 (RfC) で示され、この値は当該物質を生涯にわたり、吸入してもヒトの健康に影響がない大気濃度とされる。呼吸器系における最小毒性レベル ($LOAEL$)、または、無毒性レベル ($NOAEL$) のいずれかを用い、不確定係数 (UF) で除すことで、 RfC は算出される (式 1-6)。

$$RfC = LOAEL/UF \quad (1-6)$$

六価クロムの非発がん性に対する有害影響の $LOAEL$ は $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。本調査施設において、作業員の曝露時間が 8 時間/日、5 日/週であることを考慮して連続曝露時の値に補正すると、式 1-7 より、 $LOAEL$ の値は $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となる。

$$LOAEL = 2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \frac{8 \text{ 時間}}{24 \text{ 時間}} \times \frac{5 \text{ 日}}{7 \text{ 日}} = 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad (1-7)$$

UF は、 $LOAEL$ から $NOAEL$ の外挿と影響の感受性の個人差に安全側のデフォルト値である 10 をそれぞれ用い、積の 100 を設定した。

これらの値を代入することで、リスク評価の吸入参照濃度である RfC の値 5 ng/m^3 を得た。

1.7.2 発がん性リスク評価

発がん影響については、閾値は存在しないが、ユニットリスク（基準量の発がん性物質が含まれる空気を生涯吸引した際の発がん確率：単位 $(\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ ）の値は存在する。

吸入に伴って罹患する肺がんによる死亡に対するユニットリスク (UR) は、 P_0 を人口における推定肺がん死亡率、 RR をコホートの肺がんによる死亡の相対リスク、 d を作業者の曝露量とすると式 1-8 により表される。

$$UR = P_0 \times \frac{RR-1}{d} \quad (1-8)$$

Mancuso の疫学研究によると P_0 は 0.036、 RR は 7.2、 d は $15.5 \mu\text{g/m}^3$ であった。上式に代入して計算するとユニットリスクの値は $1.4 \times 10^{-2} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ となる。本調査においてこの疫学調査の値を用いた。求めたユニットリスクの値に対し、 10^{-5} のリスクレベルに相当する濃度を求めると 0.71 ng/m^3 となる。

2. 結果及び考察

2.1 X線回折分析による各調査場に対する遊離けい酸含有率

各調査地で捕集したフィルター上の粉じんに対し、それぞれ XRD による定性評価を行った。結果を図 5-19 に示す。それぞれの調査場から採取した遊離粉じんは、どちらも石英、トリジマイト、クリストバライトを示すピークは検出されなかった。

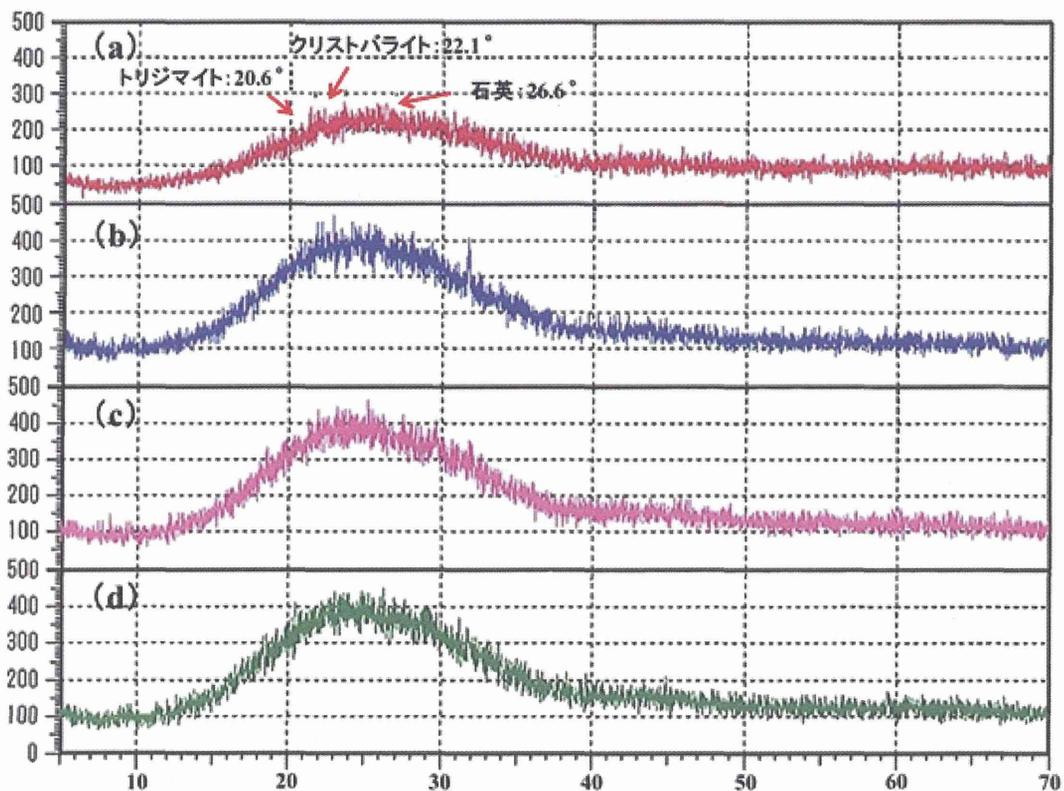


図 5-19 X線回折による定性分析結果（縦軸：吸光強度、横軸： $\theta-2\theta$ 度）
 (a) : A 調査地、(b) : D 調査地、(c) : C 調査地（2014 年度）、(d) : C 調査地（2015 年度）

次に、同じ捕集サンプルに対し、検量線を作製し、定量分析を行った結果を表 5-12 に示す。

いずれのサンプルにおいても三種類標準試料による遊離けい酸の定量値は下限値以下であった。よって、本調査による管理濃度は、どちらも遊離けい酸含有率は 0 % として計算し、 3 mg/m^3 となる。

表 5-12 X線回折分析による標準試料を用いた定量分析結果

| Sample | 定量値 (μg) | | | 検量線の定量下限値 (μg) | | |
|--------|-----------------------|----------|-----|-----------------------------|----------|------|
| | トリジマイト | クリストバライト | 石英 | トリジマイト | クリストバライト | 石英 |
| (a) | 4.8 | 0.8 | 1.1 | | | |
| (b) | 5.1 | 1.3 | 2.9 | | | |
| (c) | 4.3 | 1.2 | 1.4 | 24.2 | 7.8 | 10.2 |
| (d) | 3.9 | 1.0 | 1.2 | | | |

2.2 A 調査地における結果

2.2.1 粉じん計による作業環境測定

(i) A 測定

粉じん計により 6 箇所でのサンプリング測定を行い、それぞれ 15 分ずつ 7 回の測定

を行なった。K 値は、HVS と並立させた粉じん計の値から 0.0027 を得た。またこの値は文献の値 0.001 (mg/m³/cpm) に比べるとやや高く、文献値との比較も考慮し、両値を使用して同様に計算した。この K 値を用いて粉じん計の測定結果を質量濃度に変換し、作業環境評価を行った。

$$EA1 = 0.1362 \text{ mg/m}^3$$

$$EA2 = 0.0540 \text{ mg/m}^3$$

遊離珪酸が気中に 0 %なので、管理濃度が 3 mg/m³となる。この値を求めた評価地を超えないので、第一評価基準であった。

(ii) B 測定

調査地の作業別空間サンプリング結果を表 5-13 に示す。

表 5-13 粉じん計による作業別質量濃度計測結果 (μg/m³)

| Operation | Point1 | Point2 | Point3 | Point4 | Point5 | Point6 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3号炉運転、整骨 | 21.0 | 12.6 | 18.1 | 16.6 | 12.8 | 16.8 |
| 7,9号炉運転中 | 15.5 | 15.6 | 14.3 | 11.5 | 16.9 | 14.9 |
| 7,9号炉整骨 | 6.7 | 21.1 | 16.9 | - | - | - |
| 10号炉運転、3号炉整骨(2回目) | - | - | - | 18.3 | 13.0 | 13.7 |
| 10号炉整骨 | 16.7 | 15.6 | 25.8 | - | - | - |

最も濃度の高かった 10号炉整骨作業の際の、25.8 μg/m³を B 測定の評価値とした。この結果、B 測定に関しては十分に管理濃度より低い値であったため、A、B 測定の結果から、第 1 管理区分に相当するとの結果が得られた。

(iii) 建築物衛生法に規定される管理基準値との比較

建築物衛生法では、浮遊粉じんに対する建築物環境衛生管理基準値を 0.15 mg/m³以下と定めている。本年度の調査では、すべての観測ポイントで管理基準濃度を下回った。

2.2.2 FMPS、OPS による粒度分布

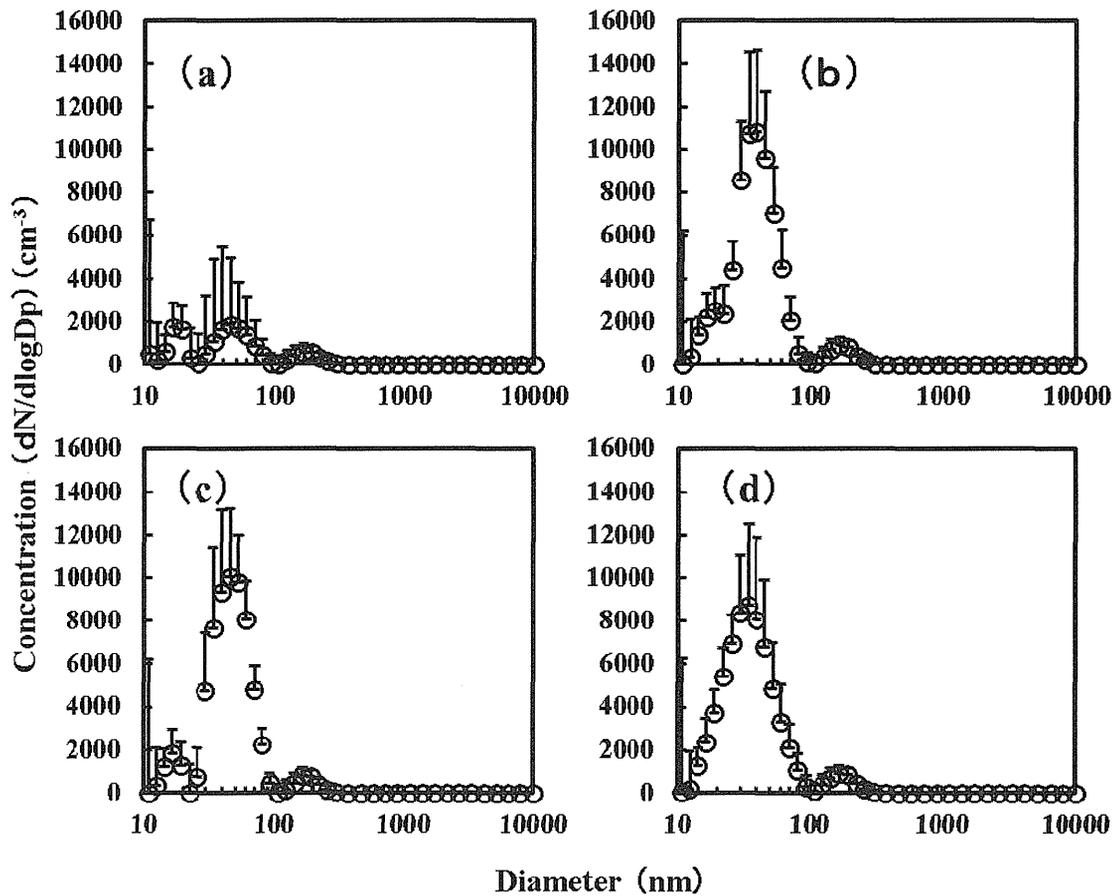


図5-20 各炉・作業における10 nm~10 μm 粒子の平均個数濃度とその信頼区間
 (a) : 非作業時 (N=19)、(b) : 旧型8号炉の整骨と清掃作業 (N=92)
 (c) : 新型10号炉の整骨作業 (N=13)、(d) : 新型9号炉の整骨と清掃作業 (N=127)

各炉による整骨と清掃作業によって100 nm以下の粒径の粒子がピーク粒径において平均 10^5 (個/cm³) 前後を示した。施設内で作業が行われていない時の平均個数濃度 (a) と比べると5~6倍の個数濃度増加を認めた。また粒径分布は概ね、どの炉の作業においても40~50 nm付近においてピークを示した。さらに新旧の炉の違いを、新型の9号炉と旧型の8号炉とを比較したが、SMPS・OPSによる新旧の差異はほとんど見られなかった。

2.2.3 作業種毎の濃度変動

台座の冷却および整骨作業と、収骨後の清掃作業において粒子濃度が増加していたため、これら単位作業中における濃度変動を図5-21~図5-24に示す。

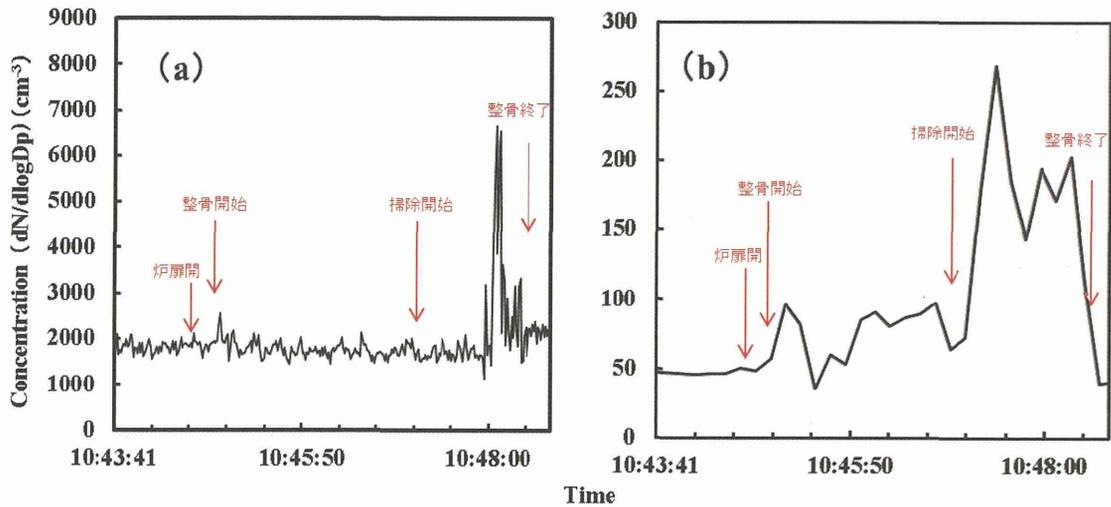


図 5 - 2 1 3号炉で整骨作業を行った際の個数濃度変化
(a) : FMPS、(b) : OPS

FMPS (図 5-21a) と OPS (図 5-21b) による測定では、各測定器で検出できる各粒径幅における個数濃度の累計 (総個数濃度) の変動を示している。掃除作業を行うことによって 3~4 倍ほど個数濃度が増加したことが観測された。また作業が終了すると共に個数濃度も作業前の状態に収束した。

以降の図 5-22、図 5-23、図 5-24 においても、同様に総個数濃度としてグラフを示す。

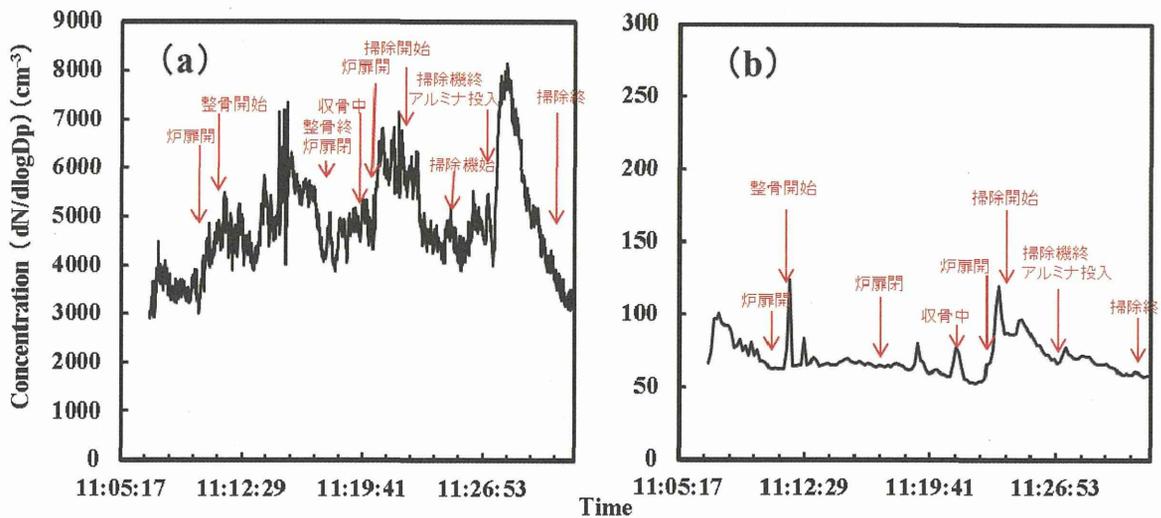


図 5 - 2 2 9号炉で整骨と清掃作業を行った際の個数濃度変化
(a) : FMPS、(b) : OPS

新型の 9 号炉においては整骨作業と清掃作業を連続して計測を行なった。左図の FMPS による計測では、炉の扉が開いてから個数濃度が増加し、整骨が終了して扉を閉め、収骨段階に入ると再び個数濃度が減少した。その後、清掃作業のため、扉を開くと個数濃度が再び増加し、アルミナを使用すると作業中の最大ピークを観測した。個数にして作業開始から最大の差は 2 倍程度であった。

また、300 nm 以上の粒径粒子測定に使用した OPS (図 5-22b) においても同様に整骨作業、清掃作業の開始とともに粒子が増加し、作業が終了すると減少することが確認できた。

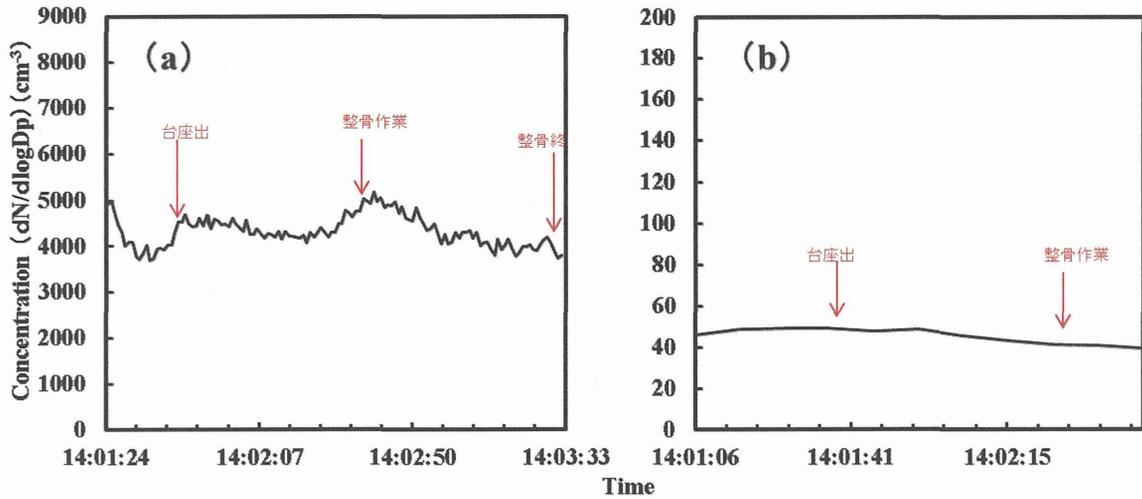


図 5-23 10号炉で整骨作業を行った際の個数濃度変化
(a) : FMPS、(b) : OPS

10号炉では整骨作業に対して計測を行った。左図から整骨作業が開始されたことによりやや個数濃度が増加したことがわかる。OPS (図 5-23b) に関しては急激な濃度の変化は観測されなかったものの、作業終了後の減少傾向が観測された。

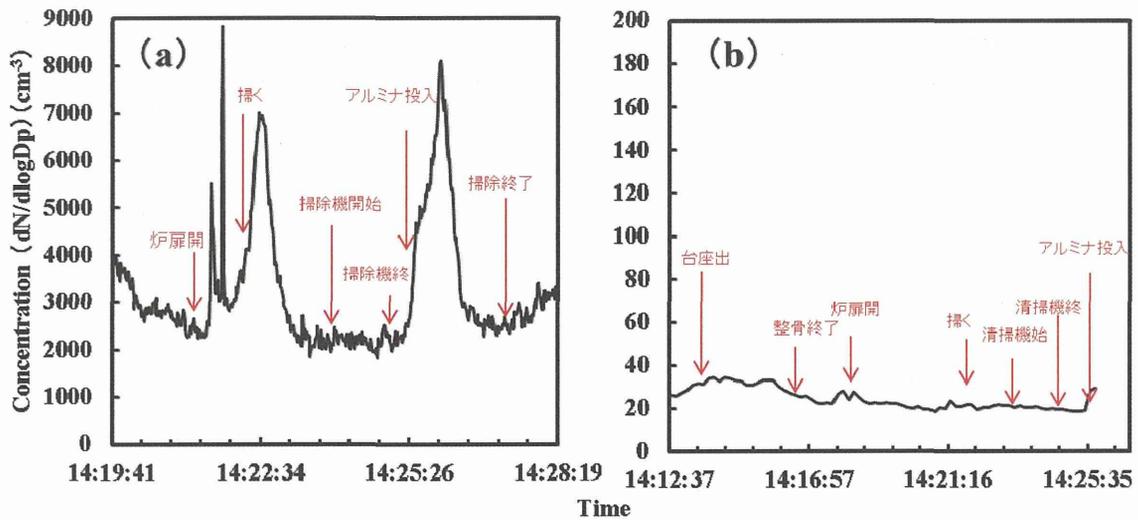


図 5-24 8号炉で整骨と清掃作業を行った際の個数濃度変化
(a) : FMPS、(b) : OPS

10 nm から 300 nm の粒径幅で計測を行う FMPS を用いた時間変動を図 5-24 に示す。炉の扉を開けると共に個数濃度が 2 倍程度となり、掃き作業によって、さらに 2 倍程

度の個数濃度を示した。その後、掃除機による作業によって個数濃度が減少したが、掃除機の使用を終了し、アルミナを投入したことにより気中の個数濃度が 2.5 倍程度の値を示した。また作業の終了とともにふたたび個数が減少することが確認できた。300 nm から 10 μm の個数濃度を測定する OPS は右図のような値を示した(図 5-24b)。整骨作業時に 1.5 倍程度の値を示した個数濃度は、作業の終了とともに再び元の値に戻り、清掃作業によってアルミナを投入することでふたたび増加を示す傾向にあった。

2.2.4 電子顕微鏡によるフィルターの観察と元素分析

HVS による捕集フィルターに対して定性分析と簡易的な定量分析を行った。その結果を表 5-14 に示し、観察結果を図 5-25 に示す。

表 5-14 フィルター簡易質量測定結果

| Element | Collection (%) | Filterblank (%) |
|---------|----------------|-----------------|
| C | 14.09 | 2.81 |
| O | 38.53 | 42.74 |
| Na | 7.3 | 7.82 |
| Mg | 0.98 | 1.05 |
| Al | 1.23 | 1.51 |
| Si | 28.32 | 33.65 |
| Cl | 1.01 | 0.06 |
| K | 1.73 | 1.93 |
| Ca | 6.79 | 8.42 |

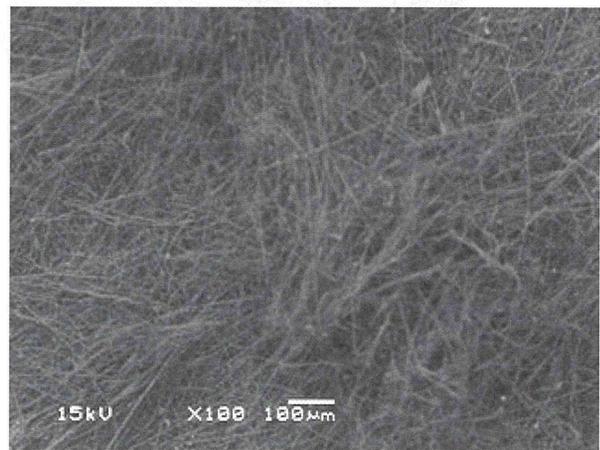


図 5-25 HVS による捕集フィルターの電子顕微鏡画像

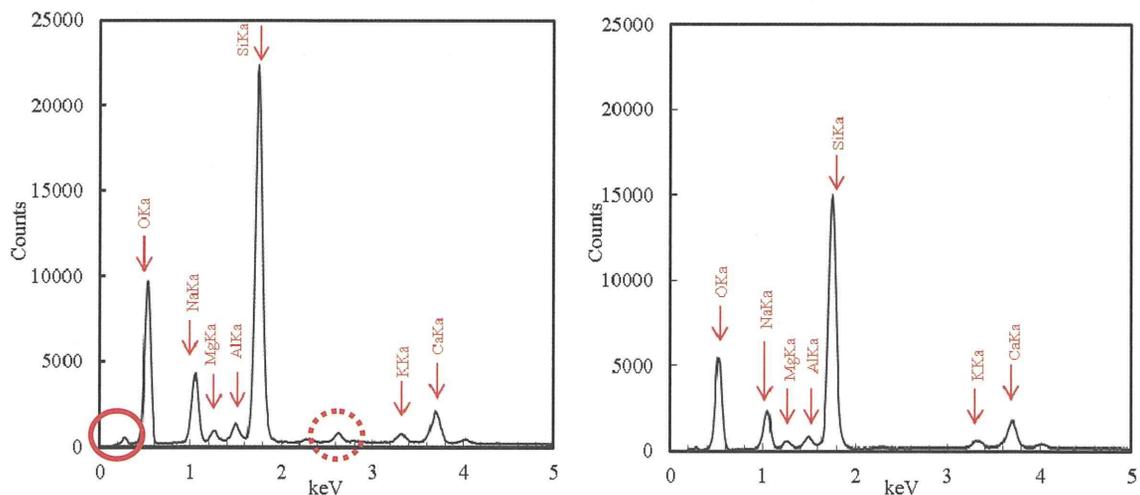


図 5-26 蛍光 X 線分析によるスペクトルの比較

左図：捕集したフィルター、右図：ブランクフィルター、赤丸：C（炭素）のK α

表 5-14 の結果より、炭素の割合が増加していることを認めた。図 5-26 左中の赤丸が炭素のピークを示している。捕集後のフィルターからは炭素に関するピークが観測された。また図 5-26 左中の赤点線部分は塩素を示している。次に、フィルターに捕集した粉じんの形態観測の画像を図 5-27 に示す。

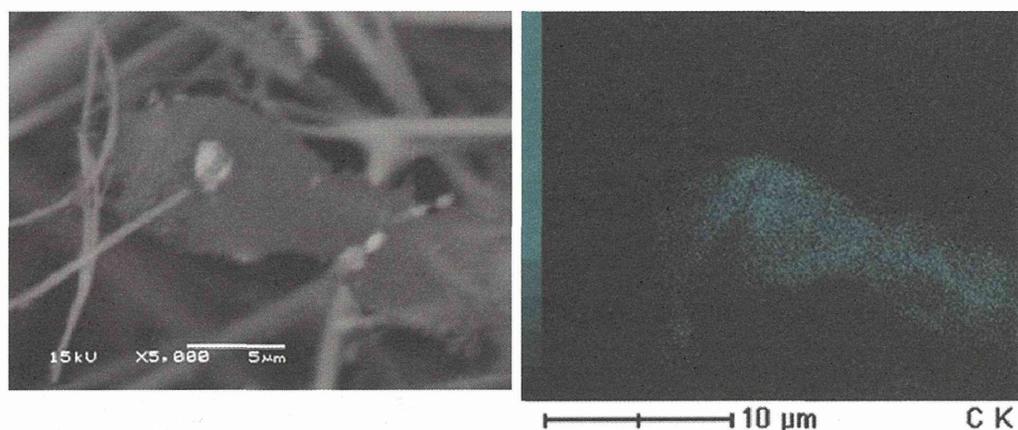


図 5-27 捕集フィルターの観察と炭素のマッピング像 (5,000 倍)

電子顕微鏡による拡大画像において、視野内に観測されたダストが確認できた (図 5-27)。サイズ約 10 μm のダストが認められ、元素マッピングの結果から特徴的な金属元素は検出されず、炭素が主成分として検出された。また、これらの粗大ダストは細かい粒子の凝集や堆積ではなく、10 μm 以上の固体がそのまま観測されたと考える。

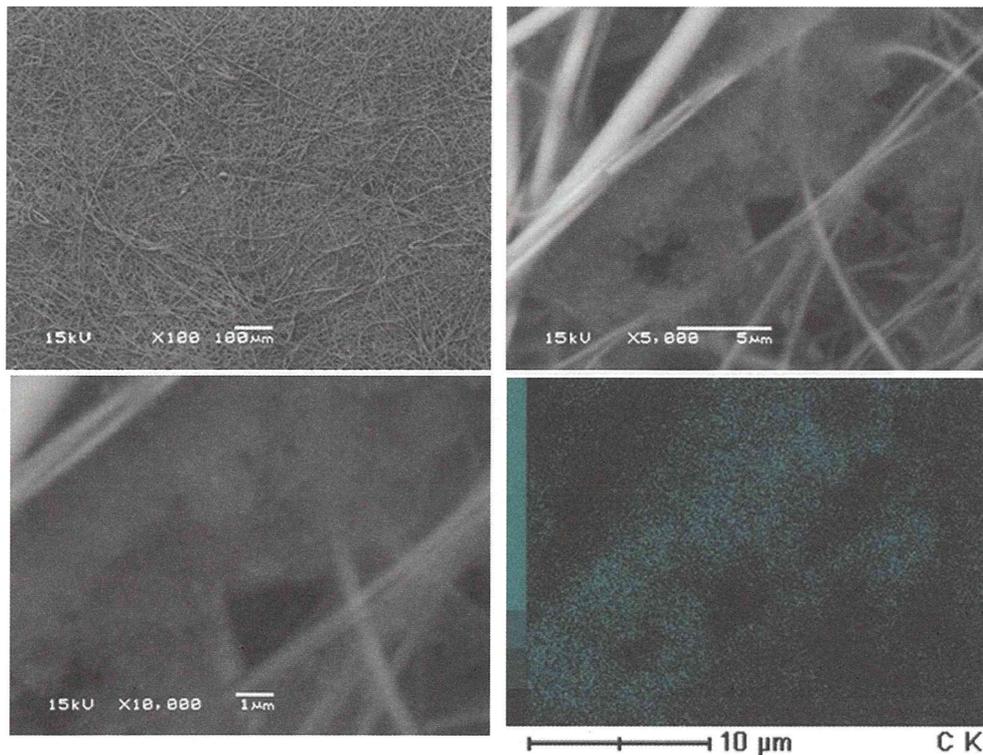


図5-28 顕微鏡による観察像および元素マッピング像

左上：100倍観測像、右上：左上図と同エリアの5000倍像

左下：左上図と同エリアの10000倍像、右下：左下図の炭素元素マッピング像

図5-28のSEMによる観察では、捕集粒径(130~220nm)のフィルターにおいて顕微鏡で確認できる大きさの極微小粒子が凝集か堆積している像を得た。これらの堆積物は約数10µmサイズのものが多数存在した。その領域で蛍光X分析を行ったところ、主要な金属が検出されず、炭素が主成分であることが示唆される。

2.2.4 ICP-MSによる定量分析

ICP-MSによる各種フィルターに対する選定元素の定量結果を以下(表5-15)に示す。

表5-15 ICP-MSによる定量結果 単位(µg/m³)

| | Cr | Ni | Cu | Pb | Co | Cd |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HV filter | 0.125 | 0.115 | N.D.* | N.D.* | N.D.* | N.D.* |
| LPI filter (<60nm) | N.D.* | N.D.* | N.D.* | N.D.* | N.D.* | N.D.* |

* N. D. ; Not Detected、定量限界である0.018ppb以下の濃度を示す。

労働安全衛生法に基づく作業環境測定基準で定める管理濃度は、クロム、カドミウム、鉛50µg/m³、ニッケル100µg/m³、コバルト20µg/m³、カドミウムであり、本調査において得られたこれらの値は、管理濃度以下を示した。環境省のモニタリング調査

と比較すると、全てのこれらの調査値よりも低い値であった。

2.2.5 ICP-MSによる粉じん中の総クロム、六価クロムに対する定量分析

フィルター上に捕集した粉じん中の総クロム量と六価クロム溶出処理を行った後のクロム量（六価クロム）をICP-MSを用いて定量した結果を表5-16に示す。

表 5-16 A調査地における作業時間平均濃度

| | 総クロム濃度 | 六価クロム濃度 | 六価クロムの割合 |
|--------|--------|---------|----------|
| 捕集総粉じん | N.D.* | N.D.* | - |

* N.D. ; Not Detected、定量限界である0.095 ppb以下の濃度を示す。

当該調査地において六価クロムは定量下限値以下であった。

2.2.6 六価クロムに対するリスクアセスメント

当該調査地では、六価クロム濃度が定量下限値以下であったことから、非発がん、発がんともにリスクはないとの結果を得た。

2.3 C調査地における結果

2.3.1 粉じん計による作業環境測定

(i) A測定

前述した計算に基づいて算出した。本施設においてK値は0.0062を得た。第一評価値EA₁と第二評価値EA₂は下の通りとなった。

$$EA_1 = 0.20 \text{ mg/m}^3$$

$$EA_2 = 0.08 \text{ mg/m}^3$$

粉じんの遊離けい酸率は本調査地において0%であった。この割合から管理濃度は3 mg/m³と求まり、第一評価値は、管理濃度以下となった。

2014年度（昨年度）の同施設における調査結果は、遊離けい酸含有率は0%であり管理濃度は、本年度同様3 mg/m³であった。K値は0.004、EA₁ = 1.20 mg/m³、EA₂ = 0.32 mg/m³であり、管理濃度以下との結果を得ている。2015年（本年度）は昨年度比べ、評価値は低い値を示した。

(ii) B測定

粉じん計による作業別質量濃度計測結果を表5-17に示す。

表 5-17 2015 年度の粉じん計による作業別質量濃度計測結果 (mg/m³)

| Operation | Point1 | Point2 | Point3 | Point4 | Point5 | Point6 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 炉運転前 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 炉運転中 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| 整骨 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| 清掃 | 0.16 | 0.12 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.07 |

B 測定値は、表 5-17 において最も高い重量濃度である Point 1 の清掃時 0.16 mg/m³ を用いた。この値と管理濃度を比較すると、管理濃度を越えない値であった。

A、B 測定の結果から、本調査地での粉じんに対する管理区分は、第 1 管理区分であることが認められた。

昨年度の粉じん計による作業別質量濃度計測結果を表 5-18 に示す。

表 5-18 2014 年度の粉じん計による作業別質量濃度計測結果 (mg/m³)

| Operation | Point1 | Point2 | Point3 | Point4 | Point5 | Point6 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 炉運転前 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 整骨 | 0.19 | 0.11 | 0.02 | 0.16 | 0.11 | 0.02 |
| 清掃 | 0.10 | 0.11 | 0.02 | 0.07 | 0.06 | 0.02 |

最も高い重量濃度は、Point 1 の整骨時 0.19 mg/m³ であった。昨年度との比較では、昨年度は、燃焼前はほとんど粉じんが計測されず、整骨時に際し、急激に濃度が高まったが、本年度は、作業前からある程度粉じんが漂っており、清掃作業によって粉じん濃度が急激に上がった。昨年度は、炉の燃焼が終了し、整骨作業に移る段階で扉が開く瞬間に作業全体を通じて最大の個数が検出されたが、本年度は、扉の開く瞬間の計測が困難であり、扉の開いた直後から計測が行われたため、昨年度に比べ、濃度が低めに計測されたことが想定される。また、HVS の設置場所が前年度より炉裏の入り口に近い位置に設置したため、捕集したダスト量は 10 分の 1 程度の量となった。フィルターでの捕集量が少なかったため、K 値の誤差も大きいことが想定される。2014 年度も 2015 年度同様、第 1 管理区分であった。

(iii) 建築物衛生法に規定される管理基準値との比較

建築物衛生法では、浮遊粉じんに対する建築物環境衛生管理基準値を 0.15 mg/m³ 以下と定めている。本年度の調査では、清掃時に Point 1 において基準値を上回った。また、昨年度も清掃時に Point 1,4 において基準値を上回った。

2.3.2 SMPS、OPS による粒度分布

両粒子計数器は 1 分毎にデータを取得できるように設定し、10 分間の計測を実施した。その時の個数濃度の平均値と信頼区間 (3σ) のグラフを図 5-29 に示す。

2015年度は2014年度と比べ、平均で大幅に個数濃度が下回った。最も高い個数濃度を示した作業は、2014年度、2015年度ともに整骨作業であった。2015年度は2014年度と比べ、清掃作業を除いてほぼ当程度の個数濃度を記録した。2015年度の清掃作業時の総個数濃度は、炉の運転前の1.5倍ほどしか増加せず、炉の運転時に比べ5分の1、整骨作業に比べ7分の1の値であった。また、2014年度の整骨時のピーク粒径は、平均で25000個/cm³（瞬間の最大値は、14万個/cm³）計測した。周辺外気（図5-30）と比較し、著しく増加していた。2015年度の清掃時の計測の値については、計測器を抱えて記録したため、吸入部が塞がって正常な計測が行われなかった可能性が疑われる。また、2015年度と2014年度において特徴的な違いは、粒度分布であった。2014年度は、36.5 nm から65 nm を中心にピークが計測されたが、2015年度は、15 nm 付近の粒子が最も高い値を示した。ただし、このサイズ付近の粒子成分には、揮発成分も含まれるとの報告があり、実際に15 nmの粒子が固体として浮遊しているかどうかは、さらなる検証が必要である。2015年度は2014年度と比べ、炉の燃焼中に炉の2重扉の外扉を開けたままであったため、このような揮発成分由来の粒子が計測され、粒度分布に違いが生じたと想定される。

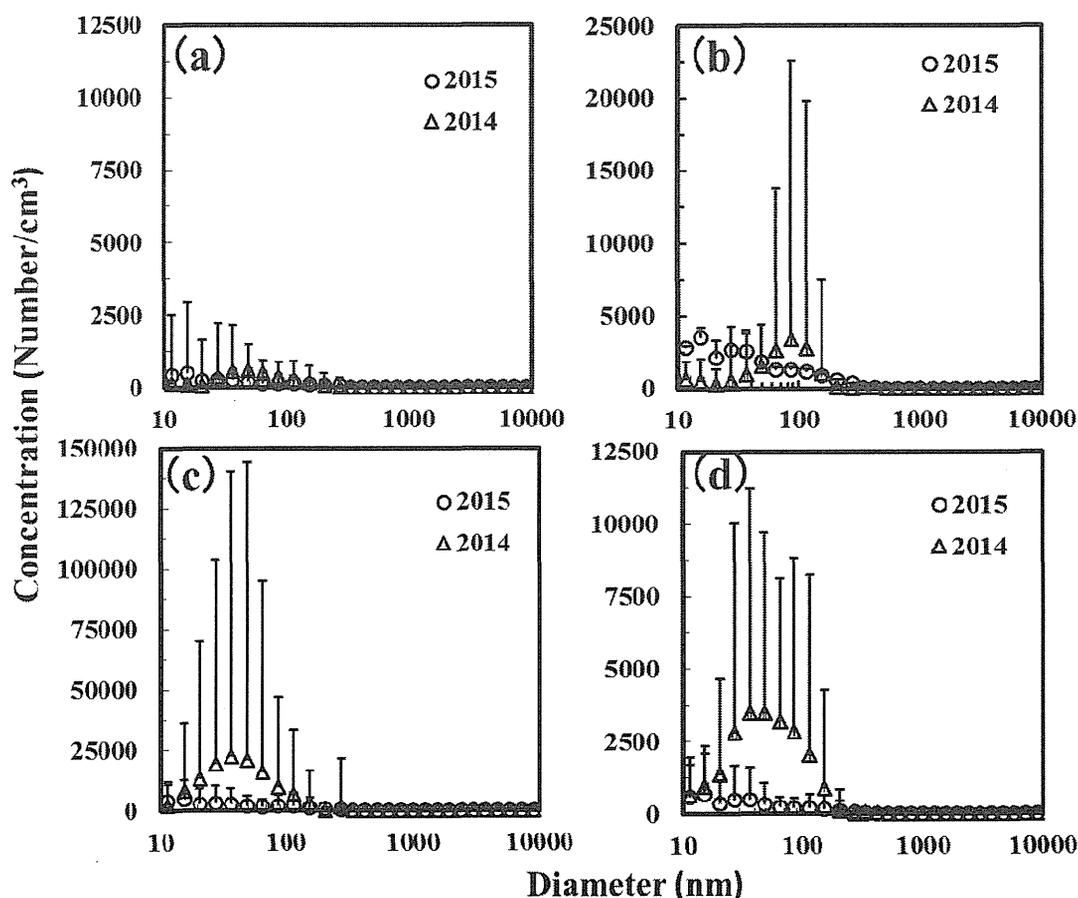


図 5-29 各種作業における 10 nm~10 μm 粒子の平均個数濃度とその信頼区間
 (a) : 炉運転前 (N=24 (2015), N=13 (2014)), (b) : 炉運転中 (N=17, N=9)