

## (2) CAPs 曝露システムの製作

### (2. 1) CAPs 曝露システムとは

CAPs (Concentrated Air Particles) 曝露システムとは、ハーバード大学の School of public Health において開発されたもので、サンプリングされた大気中の微小粒子 (PM<sub>2.5</sub>) をバーチャルインパクトによって粒径 0.1 μm 以下と 0.1 μm~2.5 μm の粒子に分粒し、これを繰り返すことにより PM<sub>2.5</sub> を濃縮し高濃度にするシステムで、吸入曝露研究などのために用いられる。この装置はバーチャルインパクトを使用することにより、PM<sub>2.5</sub> の粒径分布及びその物理化学的性状を大きく変化させることなく濃縮できることが特徴とされている。

### (2. 2) CAPs 曝露システム導入の経緯

#### ○平成 11~12 年度

ハーバード大学で開発された CAPs 曝露システムの概要を確認するとともに、CAPs 曝露システムの導入に際しての設計製作上の問題点等を把握するため、実際に稼働している米国等の 4 施設における訪問調査を実施した。この調査に基づき、①曝露実験時にチャンバー内が減圧状態となるので動物への影響の有無を確認する必要があること、②濃縮段数により濃縮倍率や供給流量が異なり、供試動物数の制限等があること、③システム稼働時の騒音、④インパクトスリットの目詰まりを考慮した連続実験時間の設定、⑤各装置及びチャンバー内の温度制御、⑥車載型にした場合の課題、等の検討が必要であることが確認された。

#### ○平成 13 年度

製作する CAPs 曝露システムの設計等の検討の結果、当初計画した車載型では実験スペースが限られること等から、CAPs 曝露システムは固定型に変更された。また、予定した 2 段濃縮では十分な濃縮率が得られない可能性が指摘され、3 段濃縮 (理論上 125 倍) で最終流量 40L/min、曝露チャンバー容積を 250L とすることになった。これらの仕様に基づき、CAPs 曝露システムを国道 16 号線に隣接する横浜市磯子区滝頭の横浜市管理施設 (滝頭会館) 内駐車場に設置することになり、ハーバード大への製作発注を行った。

#### ○平成 14 年度

CAPs 曝露システムは 5 月からハーバード大にて製作が開始され、10 月末に日本に到着した。設置、完成後 11 月に試運転、性能確認、最終検査、操作研修等を行った。その後、週 2 回の試運転、操作トレーニング、問題点の抽出と改修、関連測定機器等の設置等を行い、3 月に曝露室及び前室の消毒、予備実験のための動物導入等を行った (CAPs 曝露システムの構成及び性能試験の概要は (2. 4) 及び (2. 5) 参照)。

#### ○平成 15~18 年度

CAPs 曝露システムを本格的に稼働させ、各種の CAPs 吸入曝露実験等を行った。

### (2. 3) CAPs 曝露システム設置場所の状況等

#### (2. 3. 1) 設置場所

CAPs 曝露システムは、磯子区滝頭自動車排出ガス測定局 (以下「滝頭測定局」という。) に隣接 (同一敷地内) して設置されている。測定場所の立地に関する情報は以下に示すとおりである。

##### 1. 設置場所

磯子区滝頭自動車排出ガス測定局隣

##### 2. 施設周辺の状況

本施設は横浜市たきがしら会館内駐車場に設置されている。施設東側は国道 16 号線に隣接しており、立地条件は道路沿道となる。施設南・北側は集合住宅、西側はたきがしら会館、東側は国道に沿って掘割川が流れている。

### 3. 周辺の発生源

施設の南東側 1.4km に石油精製工場、南側 2.2km に火力発電所など、南～東西側の沿岸は京浜工業地帯が広がっている。

#### (2. 3. 2) 曝露システム設置場所及び曝露実験期間における粒子状物質濃度レベルの特徴

##### 1. 曝露システム設置場所の SPM 濃度レベル

滝頭測定局の平均的な SPM 濃度レベルを把握するため、滝頭測定局の SPM ( $\beta$ 線) 濃度 (年平均値) を、同測定局設置行政区域 (横浜市 (8局)・神奈川県 (31局)) 及び全国 (409局) の自排局平均 SPM 濃度並びに曝露評価 WG 調査対象自排局 (12局) の平均 SPM 濃度と比較を行った (図 3.2.3-1)。

滝頭測定局の SPM 濃度は平成 15 年度  $0.035\text{mg}/\text{m}^3$ 、平成 16 年度  $0.032\text{mg}/\text{m}^3$ 、平成 17 年度  $0.034\text{mg}/\text{m}^3$  であり、横浜市及び神奈川県の平均 SPM 濃度と比べると各年度とも同程度かやや低め、全国の平均 SPM 濃度と比較するとやや高めの値を示している。また、曝露評価 WG 調査対象自排局の平均 SPM 濃度と比較すると、各年度ともやや低い値を示している。

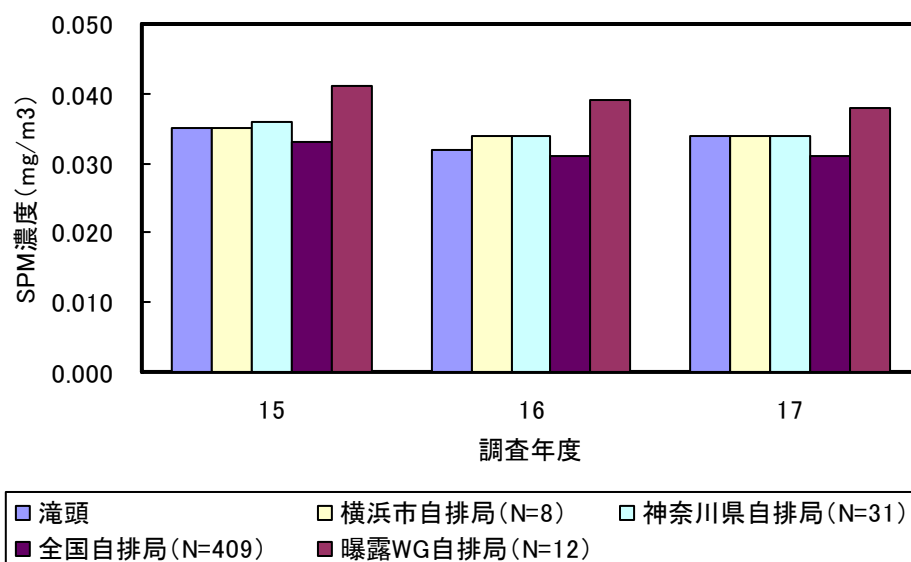


図 3.2.3-1 滝頭測定局と各自排局の SPM 濃度比較

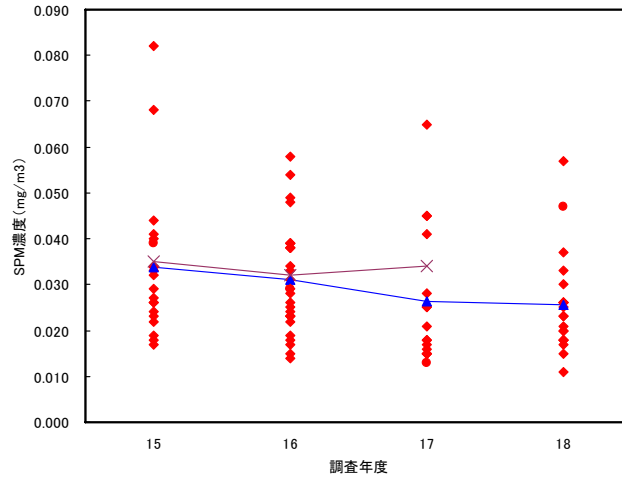
##### 2. CAPs 曝露実験期間の SPM と $\text{PM}_{2.5}$ 濃度レベル

###### 2.1 SPM

CAPs 曝露実験を実施した日の SPM 濃度レベルが滝頭測定局の年平均レベルと比較してどの程度なのかを把握するため、図 3.2.3-2 に同局の CAPs 曝露各実験日の SPM 濃度データを年度別にプロットしたものと、それらのデータを年度ごとに平均した値 (CAPs 曝露実験日平均 SPM 濃度)、同局の SPM 濃度通年平均値を示す。

CAPs 曝露実験日平均 SPM 濃度は、平成 15 年度 (20 日)  $0.034\text{mg}/\text{m}^3$ 、平成 16 年度 (28 日)  $0.031\text{mg}/\text{m}^3$ 、平成 17 年度 (16 日)  $0.026\text{mg}/\text{m}^3$ 、平成 18 年度 (20 日)  $0.026\text{mg}/\text{m}^3$  で、曝露実験実施日の濃度は全体として年々減少傾向にあった。

また、同局の SPM 濃度 (通年平均値) と比較すると、平成 15～16 年度は両者とも同じ濃度レベルであるが、平成 17 年度は CAPs 曝露実験日平均 SPM 濃度が減少している一方、同局 SPM 濃度 (通年平均値) は前年度比で微増であった。このことから、平成 17 年度の CAPs 曝露実験は総じて SPM 濃度が低い日に実施されたといえる。



凡例：◆各実験日平均値、▲各実験日の年度平均値、×滝頭測定局の各年度平均値

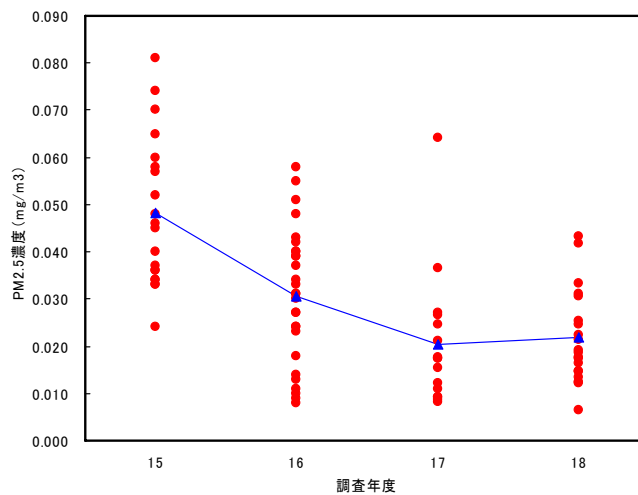
図 3.2.3-2 滝頭測定局における CAPs 曝露各実験日の SPM 濃度及び  
各年度平均 SPM 濃度並びに同局における SPM 濃度（通年平均値）

## 2.2 PM<sub>2.5</sub>

CAPs 曝露各実験日の SPM 濃度と PM<sub>2.5</sub> 質量濃度を比較するため、PM<sub>2.5</sub> 質量濃度（フィルタ値）について図 3.2.3-2 と同様の図を図 3.2.3-3 に示す。

CAPs 曝露実験日の PM<sub>2.5</sub> 質量濃度（年平均値）は平成 15 年度 0.048mg/m<sup>3</sup>、平成 16 年度 0.031mg/m<sup>3</sup>、平成 17 年度 0.020mg/m<sup>3</sup>、平成 18 年度 0.022mg/m<sup>3</sup>であり、SPM と同様に平成 17 年度、平成 18 年度は減少傾向にあった。

なお、図 3.2.3-2 は実験日の 24 時間平均値、図 3.2.3-3 は実験日の実験時間帯（3～5 時間）平均値であり、両者のサンプリング時間が異なることに注意を要する。



凡例：●各実験日平均値、▲各実験日の年度平均値

図 3.2.3-3 CAPs 曝露各実験日における PM<sub>2.5</sub> 濃度

## 2.3 成分濃度

通常、CAPs 曝露実験時には外気中の PM<sub>2.5</sub> 成分濃度測定を行っていない。ここでは、参考として平成 15 年度の夏季と冬季にパイロット的に実施した成分濃度測定結果（2.5.3）1.濃縮性能試験 参照）を表 3.2.3-1 に示す。併せて、前述の曝露評価 WG にて調査した自排局（5 局）の同年度 PM<sub>2.5</sub> 成分濃度（年平均値）も同表に示す。

CAPs 曝露実験時の PM<sub>2.5</sub> 成分濃度と曝露評価 WG にて調査した自排局の PM<sub>2.5</sub> 成分濃度を濃度比（2季平均）で比較すると、元素状炭素はほぼ同程度であるが、有機炭素、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は CAPs 曝露実験時データの割合が低かった。

なお、CAPs 曝露実験時の測定結果は 2 日 ×（4～4.5 時間）× 2 季（夏・冬）の平均値であるが、曝露評価WGの測定結果は 14 日 × 24 時間 × 4 季の平均値であり、両者のサンプリング期間が異なることに注意を要す。

表 3.2.3-1 PM<sub>2.5</sub> 成分濃度の比較

成分	局区分	平成15年度								
		夏季		冬季		2季平均		4季平均		
		濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	濃度比	濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	濃度比	濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	濃度比	濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	濃度比	
質量濃度	CAPs PM <sub>2.5</sub>	66		40		53				
	自排局(N=5)	25		27		26		29		
炭素成分	元素状炭素	CAPs PM <sub>2.5</sub>	22	0.33	20	0.50	21	0.40		
		自排局(N=5)	9.1	0.36	7.5	0.28	8.3	0.32	8.8	0.31
	有機炭素	CAPs PM <sub>2.5</sub>	—	—	3.0	0.075	1.5	0.028		
		自排局(N=5)	2.9	0.11	5.4	0.20	4.1	0.16	4.5	0.16
イオン成分	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CAPs PM <sub>2.5</sub>	2.7	0.041	6.6	0.17	4.7	0.089		
		自排局(N=5)	2.6	0.10	4.2	0.16	3.4	0.13	4.0	0.14
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CAPs PM <sub>2.5</sub>	5.1	0.077	5.4	0.14	5.3	0.10		
		自排局(N=5)	5.1	0.20	4.1	0.15	4.6	0.18	4.5	0.16

滝頭: 5.(3)①濃縮性能試験で実施した成分測定の結果

自排局: 曝露評価WGにて全国5地点で実施しているPM<sub>2.5</sub>成分測定の結果

平均: 2季平均(夏, 冬), 4季平均(春, 夏, 秋, 冬)

濃度比: 質量濃度に対する成分濃度の割合

## (2.4) CAPs 曝露システムの構成

### (2.4.1) 全体構成

CAPs 曝露システムは図 3.2.4-1 に示すように大気濃縮装置と動物曝露チャンバーより構成されている。

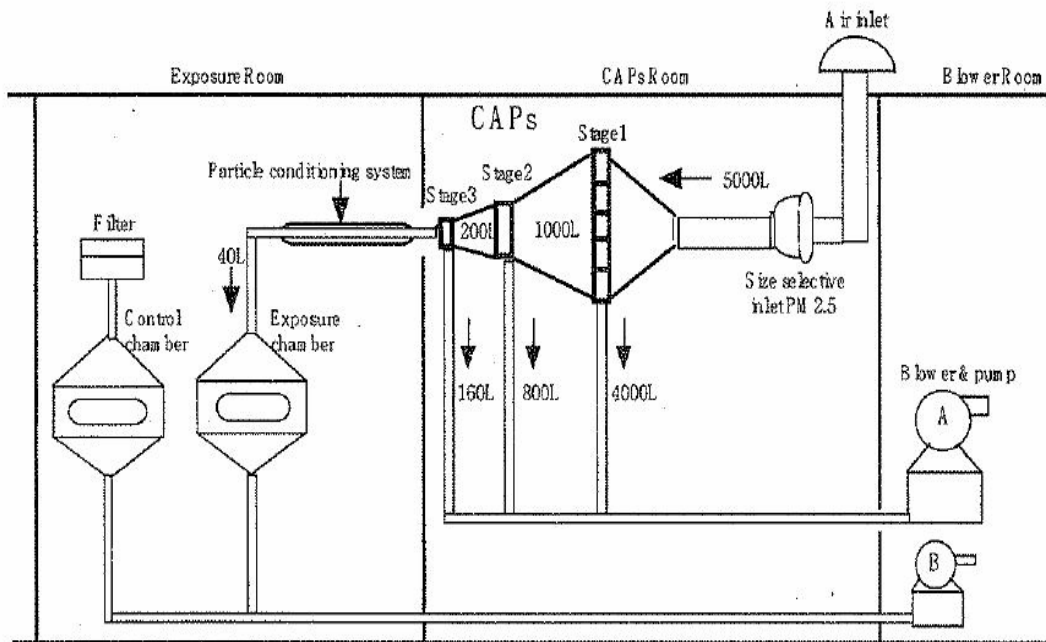


図 3.2.4-1 CAPs 曝露システムの構成

## (2.4.2) 大気濃縮装置

大気濃縮プロセスの概要を図 3.2.4-2 に示すが、装置は主に以下の三つの要素から成り立つ。大気のサンプリング流量は 5,000L/min である。

- 2.5  $\mu$  m カットオフサイズの通常の High Volume Impactor
- 0.1  $\mu$  m カットオフサイズの三連の Virtual Impactor (濃縮ステージ 1, 2, 3)
- 温度コントロール装置

大気のサンプリング流量は 5,000L/min である。PM<sub>2.5</sub> Inlet Inertial Impactor は Sierra-Anderson HV PM10 Inlet を改造し、PM10 Impactor のパラメータを変えずに、Inlet の Jet 流速を増加させることで Impactor の cut point を PM<sub>2.5</sub> とした。5,000L/min で運転したときの Inlet の効果的な cut point はおよそ 2.8  $\mu$  m である。

PM<sub>2.5</sub>Inlet からの大気粒子は Stage 1 の Virtual Impactor に入るまではステンレス製ダクトを通じて吸引される。ダクトは内径 30cm で粒子のロスをもっと少なく、そして減圧に耐えるものである。

Stage 1 の Virtual Impactor には 5 個の Slit-nozzle Virtual Impactor が並行に並べられており、各 Impactor には 1,000L/min が流れる (全部で 5,000L/min)。各 Impactor の Minor/Total 流量比は 0.2 なので濃縮流量は 200L/min である。Stage 1 の各 Impactor の Minor Flow は Total されて Stage 2 に流れる。

Stage 2 は Stage 1 と同じ Slit-nozzle Virtual Impactor が 1 個で 1,000L/min を流す。Stage 2 からの流れは Major Flow に 800L/min、そして Minor Flow に 200L/min である。Stage 3 の Minor/Total 流量比 0.2 をわずかに下回るため、最終ステージでの濃縮エアロゾルは約 45L/min である。

Stage 3 で濃縮された大気粒子は、温度コントロール装置を通過して動物曝露チャンバーに入る。温度コントロール装置は温水循環装置と Minor Flow 管の外側を覆ったコンディショニングチューブを組み合わせたもので、目標温度に制御される温水、あるいは冷水をチューブ内で循環させることにより、濃縮大気粒子の温度を制御する。

図 3.2.4-3 に CAPs に用いられる Slit-nozzle Virtual Impactor デザインを示す。

PM<sub>2.5</sub>を含むジェットは Acceleration jet nozzle に入るように加速される。Collection jet nozzle は Acceleration jet nozzle より直径がやや大きい。微小粒子 (粒径 0.1~2.5  $\mu$  m) は空気の流線を横切るのに十分な運動量を持っているので Collection jet nozzle に入る。Collection probe で ultra-fine 粒子 (ここでは 0.1  $\mu$  m 以下と定義) とガスは、Collection probe を回る流線にそって行く。Collection probe で浮遊する微小粒子を保持するために Collection jet nozzle に流れるのは全量の 10~20%で、Minor Flow と呼ぶ。Minor Flow での微小粒子濃度は大気中よりも濃く、濃縮率  $Q_{tot}/Q_{min}$  (ここで  $Q_{tot}$  は Virtual Impactor に入った全流量、 $Q_{min}$  は Minor Flow 量) で表される。

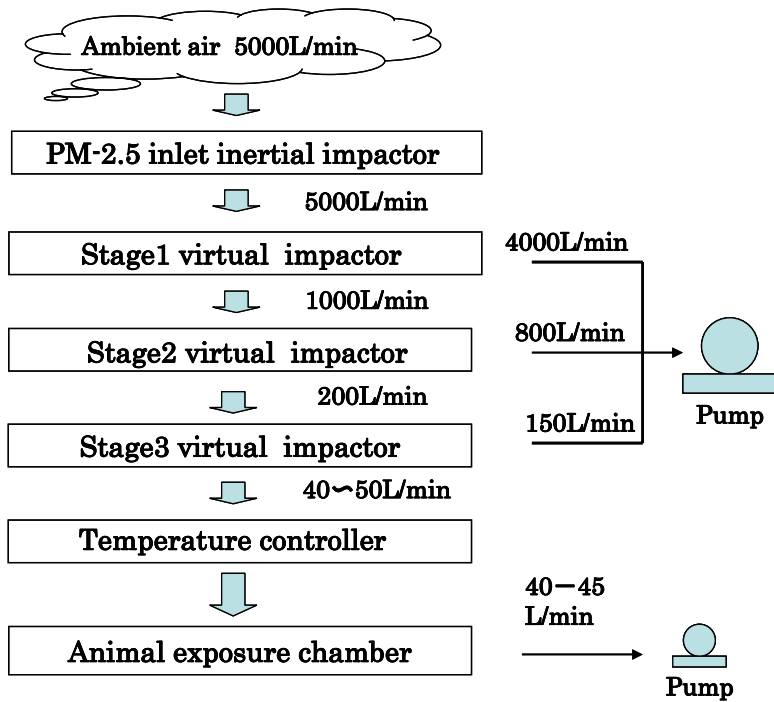


図 3. 2. 4-2 大気濃縮プロセスの概要

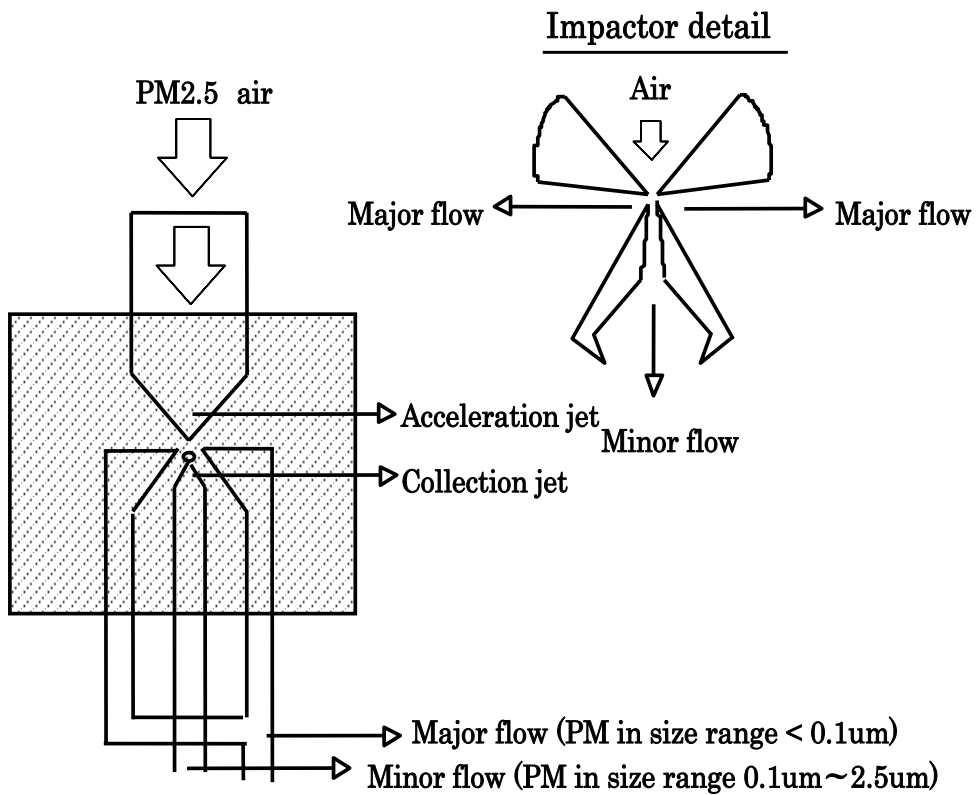


図 3. 2. 4-3 大気濃縮装置に用いられている Slit-nozzle Virtual Impactor デザイン

### (2. 4. 3) 動物曝露チャンバー

動物曝露チャンバーは縦角錐型（700×700×1,600mm）でステンレス製、内容積 250L の全身曝露タイプが CAPs 曝露用と除粒子対照用の 2 台ある。特徴は CAPs により曝露チャンバー内が減圧になるため、最大 2,500Pa に耐える構造とした。

除粒子対照チャンバーには、室内の清浄空気(外気を除塵し温度制御したもの)をさらに HEPA フィルタに通して供給する。

### (2. 5) CAPs 曝露システムの粒子濃縮・計測性能

#### (2. 5. 1) 質量濃度

##### 1. 性能試験 (H14 年度実施)

###### 1.1 試験概要

CAPs 曝露システムの設置完成後に性能試験を行い、外気及び曝露チャンバー内の粒子質量濃度を測定した。サンプリング位置は PM<sub>2.5</sub> 分粒装置後及び CAPs 曝露チャンバー内の 2 ヶ所であり、それぞれの結果を比較することで濃縮率を算出した。

###### 1.2 試験結果

以下の条件でサンプリングを行った。

- ・ロウボリウムエアサンプラ（流量 20L/分、捕集時間 60 分）
- ・LD-3（柴田科学社製、デジタル粉じん計）[流量 3L/分、測定時間 60 分]
- ・GT-331(X3267)（柴田科学社製、パーティクルカウンター）[流量 0.263L/分、測定時間 1～11 分]

濃縮率は次のような結果となった。

ロウボリウムエアサンプラ及び LD-3 は同時測定を 2 回ずつ行った。濃縮率はロウボリウムエアサンプラで平均 60 倍（1 回目 59 倍、2 回目 62 倍）、LD-3 で平均 58 倍（1 回目 56 倍、2 回目 60 倍）であり、ほぼ同じであったことから LD-3 を使用してチャンバー内のモニターに対応できることが判った。

GT-331 の測定では粒径 0.5 μm～2.5 μm の範囲での濃縮率が平均 51 倍と前述の濃縮率よりもやや低かった。この一因として曝露チャンバー内の個数濃度が高すぎてサチレーションによる影響を受けたと考えられる。なお、GT-331 は外気の測定も実施したが、粒径 7.0 μm～10 μm の範囲では外気と PM<sub>2.5</sub> の間に分粒装置の効果と見られる 64% の減少が見られた。

##### 2. 曝露実験結果に基づく計測性能の確認 (H15～18 年度)

平成 15～18 年度に行った CAPs 曝露実験における曝露チャンバー内の流量及び圧力、曝露時間 (CAPs 曝露システム稼働時間)、濃縮率等は表 3.2.5-1 に示すとおりである。

表 3.2.5-1 CAPs 曝露システム稼働状況

項目	単位	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度
曝露チャンバー流量	L/min	40	40	40	40
曝露チャンバー内圧力	mmH <sub>2</sub> O	-210～-220	-210～-220	-210～-220	-210～-220
サンプリング時間	時間	4～5	2.15～4.5	4～5	4～5
濃縮率	倍	14～42	15～64	15～195	12～58

#### (2. 5. 2) 粒径別個数濃度及び質量濃度

##### 1. 捕集・濃縮性能試験 (H14 年度実施)

###### 1.1 試験概要

CAPs 曝露システム設置後に性能試験を行い、外気及び曝露チャンバー内の粒子個数濃度を測定し、チャンバー内の粒径分布の確認や濃縮率の検討を行った。測定に用いた方法は、電子顕微鏡で

の観察による方法、SMPS (TSI 社製, モビリティパーティクルサイザー)・ELPI (Dekati 社, エレクトロカルロウプレッシャーインパクター) による個数濃度測定、LPI (ロウプレッシャーインパクター) による重量濃度測定である。

## 1.2 試験結果

### 1.2.1 電子顕微鏡による CAPs 曝露チャンバー内の粒径分布 (図 3.2.5-2)

CAPs 曝露チャンバー内の粒子を電子顕微鏡にて観察した。観察結果は液滴と思われる粒子が多く見られ、自動車排ガス中の粒子ではないかと考えられた。また、個数濃度による粒径分布は  $0.3 \mu\text{m}$  に最も個数が多く、 $3.0 \mu\text{m}$  までの粒径のうち、 $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$  までに 8 割以上存在していた。

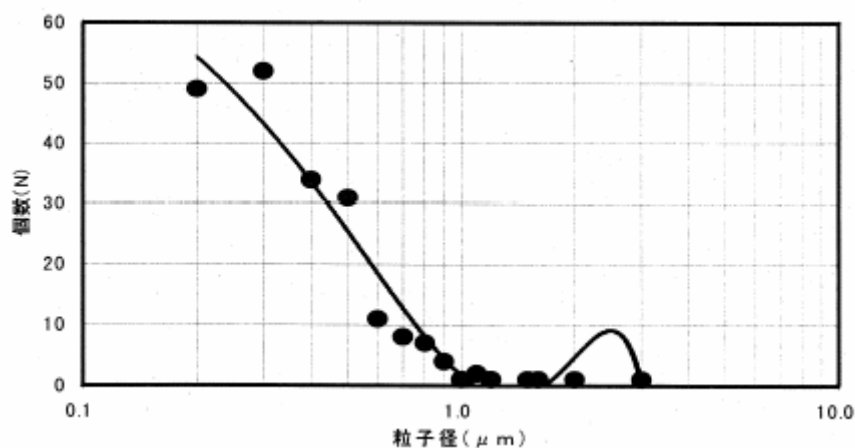


図 3.2.5-2 曝露チャンバー内粒子の粒径分布

### 1.2.2 濃縮前後での粒径別及び全体の個数濃度変化 (図 3.2.5-3~4)

SMPS で粒径約  $10 \sim 400 \text{nm}$  の粒子について外気、 $\text{PM}_{2.5}$  分粒装置後、CAPs 曝露チャンバー内の測定を行った。外気とチャンバー内の測定結果から、概ね CAPs 曝露チャンバー内では粒径  $60 \text{nm}$  以上の粒子の濃度増加 (濃縮) が見られたが、それより微小な粒子ではほとんど濃縮されていないと考えられる。また、ELPI で外気と CAPs 曝露チャンバー内の濃度が安定したときの粒径分布でも、曝露チャンバー内の  $60 \text{nm} \sim 1 \mu\text{m}$  程度の粒子に濃度増加が見られた。



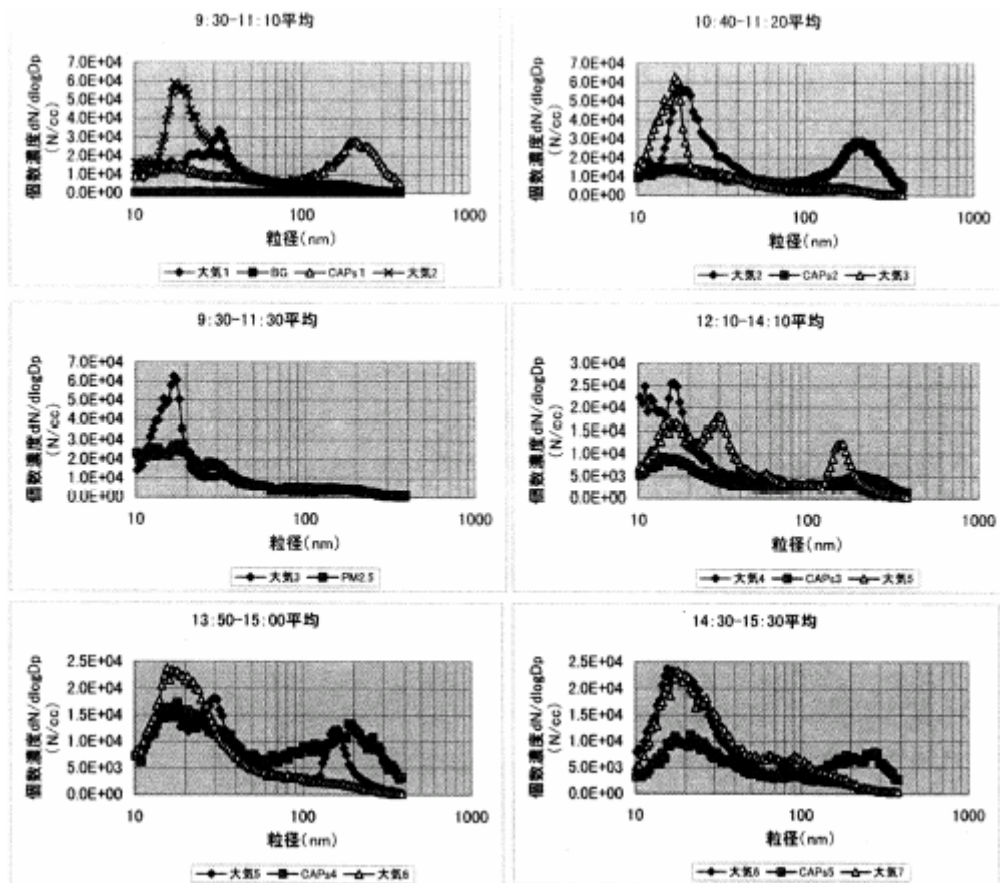


図 3.2.5-3 SMPS による外気と CAPs 曝露チャンバー内の粒子個数濃度

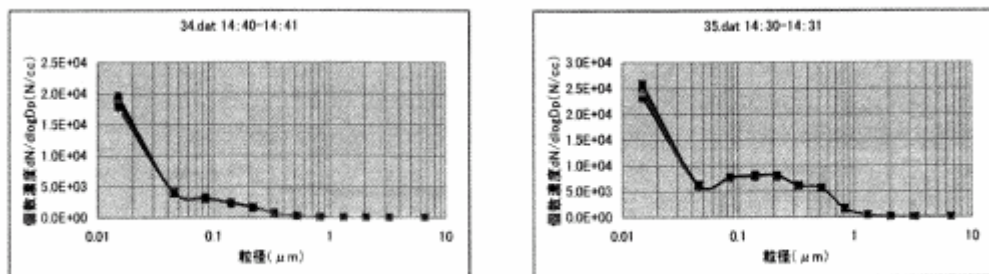


図 3.2.5-4 ELPI による外気と CAPs 曝露チャンバー内の個数濃度分布 (左: 外気、右: CAPs 曝露チャンバー)

### 1.2.3 CAPs 曝露チャンバー内濃度安定時間 (図 3.2.5-5)

ELPI で CAPs 曝露システムの始動から停止までの個数濃度を測定した。始動後 10 分程度で一定の値を示し、停止後の濃度減衰も同じ程度の傾きであった。従って、CAPs 曝露チャンバーの濃度安定には 10 分間程度必要であることがわかった。

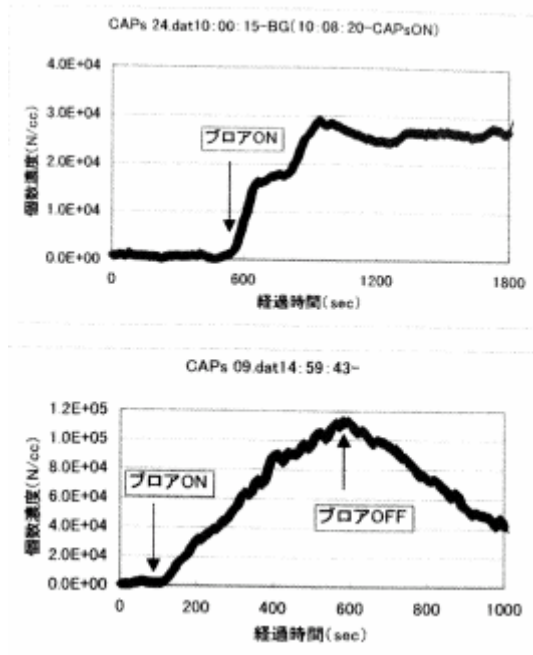


図 3.2.5-5 CAPs 曝露システム始動、停止後の CAPs 曝露チャンバー内粒子個数濃度の変化

#### 1.2.4 濃縮前後での粒径別の個数濃度及び質量濃度変化・濃縮率 (図 3.2.5-6~7)

ELPI による外気と CAPs 曝露チャンバー内の測定結果から濃縮率を求めると、粒径  $1 \mu\text{m}$  で極大となり約 35 倍を示し、粒径が小さくなるにつれて低下する。 $1 \mu\text{m}$  より大きい粒子では  $\text{PM}_{2.5}$  分粒装置を設けてあることにより、濃縮倍率が低下する。

同様に LPI での測定では粒径  $2 \mu\text{m}$  以下で濃度増加が見られ、粒径  $0.3 \sim 2 \mu\text{m}$  の範囲で濃縮倍率はおおよそ 10 倍程度もしくはそれ以上あり、 $1 \mu\text{m}$  付近で約 35 倍の濃縮倍率であった。

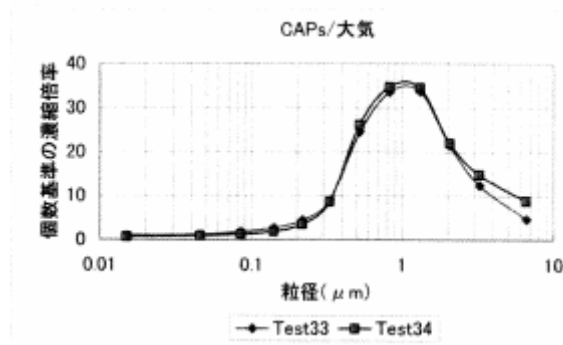


図 3.2.5-6 ELPI による CAPs 曝露チャンバー内の濃縮倍率

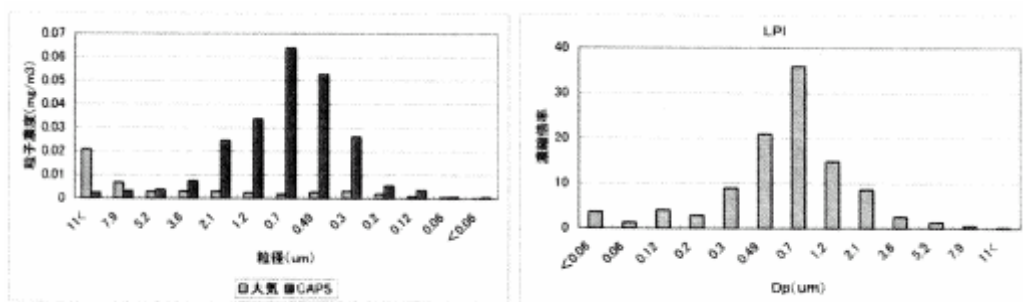


図 3.2.5-7 LPI による CAPs 曝露チャンバー内の粒径別の粒子濃度 (左) 及び濃縮倍率 (右)

## (2.5.3) 成分別濃度

### 1. 濃縮性能試験 (H15 年度実施)

#### 1.1 試験概要

CAPs 曝露システムにおける濃縮性能を把握するため、外気、PM<sub>2.5</sub>分粒装置後及び CAPs 曝露チャンバー内の成分濃度を夏季（7月）ならびに冬季（2月）に分けて測定した。各位置でのサンプリングはロウポリウムエアサンプラで行い、条件は次のとおりである。

- ・外気（流量 20L/分、捕集時間 5.5 時間）
- ・PM<sub>2.5</sub>分粒装置後（流量 17L/分、捕集時間 4.5 時間）
- ・CAPs 曝露チャンバー内（流量 2L/分、捕集時間 2 時間）

粒子状物質の成分濃度の項目及び測定条件は表 3.2.5-2 に示すとおりである。

表 3.2.5-2 成分測定項目及び測定条件

項目	前処理法	分析法
炭素成分 元素状炭素 有機炭素	熱分離 He 中 450℃ 10%O <sub>2</sub> 中 950℃	熱伝導度
イオン成分	水抽出	イオンクロマトグラフ法
金属成分(As, Se 以外)	酸分解	ICP 発光分光法
金属成分(As, Se)	酸分解	水素化物発生原子吸光法

#### 1.2 試験結果

試験結果は下記及び表 3.2.5-3～6 に示すとおりである。

##### 1.2.1 炭素成分

PM<sub>2.5</sub>分粒装置後と CAPs 曝露チャンバーでの測定結果を比較すると、元素状炭素の濃縮倍率は冬季が平均 23 倍（1 回目 22 倍、2 回目 24 倍）、夏季が平均 22 倍（1 回目 25 倍、2 回目 18 倍）であった。有機炭素ではブランクろ紙の含有量が捕集後のろ紙の含有量を上回ってしまい、濃度の算出ができなかった（粒子の捕集量が少なかったため）。

##### 1.2.2 イオン成分

CAPs 曝露チャンバー内の濃縮粒子に占める主要成分（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、EC）濃度の割合は冬期 65～70%、夏期 40～50%であった。

PM<sub>2.5</sub>分粒装置後と CAPs 曝露チャンバーでの測定結果を比較すると、硫酸イオンの濃縮率は冬季が平均 56 倍（1 回目 75 倍、2 回目 37 倍）、夏季が平均 56 倍（1 回目 55 倍、2 回目 57 倍）であった。この時の質量濃度濃縮率は冬季で平均 37 倍（1 回目 42 倍、2 回目 32 倍）、夏季で平均 29 倍（1 回目 35 倍、2 回目 22 倍）であり、硫酸イオン濃縮率は冬季、夏季ともに質量濃度の濃縮率を大きく上回った。なお硝酸イオンの濃縮倍率は冬季で平均 38 倍（1 回目 48 倍、2 回目 28 倍）、夏季で平均 37 倍（1 回目 60 倍、2 回目 13 倍）と、質量濃度の濃縮率と同程度であった。

##### 1.2.3 金属成分

CAPs 濃縮後に Fe、Mn、Pb、V が高濃度になることを確認したが、それ以外の成分を正確に検出することはできなかった。

表 3.2.5-3 分析 (PM<sub>2.5</sub>濃度、イオン成分、炭素成分) 結果のまとめ [冬季]

採取場所	採取日時	吸引量 (L)	粒子重量及び成分含有量				粒子濃度及び成分濃度						
			質量濃度 (mg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μg)	元素状炭素 (μg)	有機炭素 (μg)	質量濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μg/m <sup>3</sup> )	元素状炭素 (μg/m <sup>3</sup> )	有機炭素 (μg/m <sup>3</sup> )	
			—	0.00	0.00	0.0	48.8	—	—	—	—		
			—	1.24	0.00	0.0	32.0	—	—	—	—		
			—	1.44	0.00	0.0	52.0	—	—	—	—		
			—	0.89	0.00	0.0	44.3	—	—	—	—		
外気①	2月17日	9:23~14:56	6755	0.584	46.52	45.32	124.0	71.2	0.086	6.8	6.7	18	4.0
PM2.5分級②		9:30~13:30	4800	0.201	34.12	29.36	96.0	29.6	0.042	6.9	6.1	20	
CAPs③		9:35~11:35	240	0.470	101.80	124.64	111.2	38.4	2.0	420	520	460	
CAPs③		11:38~13:33	230	0.346	61.12	89.00	96.0	52.0	1.5	260	390	420	32
外気①	2月19日	9:50~13:50	4386	0.502	50.88	35.44	135.2	46.4	0.11	11	8.1	31	
PM2.5分級②		9:40~13:40	4800	0.184	31.28	22.76	93.6	74.4	0.038	6.3	4.7	20	6.0
CAPs③		9:30~11:30	240	0.354	52.44	47.72	137.6	39.2	1.5	210	200	570	
CAPs③		11:34~13:34	240	0.216	34.20	35.86	85.6	31.2	0.90	140	150	360	

※①②③はFig.11に示す位置  
※空欄:ブランク値の方が高い

表 3.2.5-4 金属成分の分析結果 (1) [冬季]

採取場所	採取日時	吸引量 (L)	粒子重量及び成分含有量						粒子濃度及び成分濃度						
			Al (μg)	As (μg)	Cr (μg)	Fe (μg)	Mn (μg)	Ni (μg)	Al (μg/m <sup>3</sup> )	As (μg/m <sup>3</sup> )	Cr (μg/m <sup>3</sup> )	Fe (μg/m <sup>3</sup> )	Mn (μg/m <sup>3</sup> )	Ni (μg/m <sup>3</sup> )	
			—	0.00	0.09	0.40	9.32	0.20	0.17	—	—	—	—	—	—
			—	0.00	0.13	0.93	6.56	0.18	0.19	—	—	—	—	—	—
			—	0.00	0.03	2.30	15.70	0.27	0.65	—	—	—	—	—	—
			—	0.00	0.08	1.21	10.53	0.22	0.34	—	—	—	—	—	—
外気①	2月17日	9:23~14:56	6755	0.00	0.08	1.73	28.67	0.88	3.40	—	—	0.08	2.7	0.1	0.5
PM2.5分級②		9:30~13:30	4800	0.00	0.11	0.47	12.58	0.24	0.29	—	0.06	—	0.4	0.01	—
CAPs③		9:35~11:35	240	0.00	0.09	0.71	19.58	0.50	0.33	—	0.04	—	38	1.12	—
CAPs③		11:38~13:33	230	0.00	0.05	0.72	13.40	0.51	0.39	—	—	—	13	1.16	0.12
外気①	2月19日	9:50~13:50	4386	0.00	0.06	0.51	26.95	0.61	0.59	—	—	—	3.7	0.08	0.05
PM2.5分級②		9:40~13:40	4800	0.00	0.01	1.18	32.73	0.77	0.26	—	—	—	4.6	0.11	—
CAPs③		9:30~11:30	240	0.00	0.23	2.42	18.56	0.96	0.45	—	0.6	4.8	33	2.95	0.44
CAPs③		11:34~13:34	240	0.00	0.12	0.39	12.24	0.43	0.25	—	0.16	—	7.1	0.84	—

※①②③はFig.11に示す位置  
※空欄:ブランク値の方が高い

表 3.2.5-5 金属成分の分析結果 (2) [冬季]

採取場所	採取日時	吸引量 (L)	粒子重量及び成分含有量					粒子濃度及び成分濃度					
			Pb (μg)	Se (μg)	Ti (μg)	V (μg)	Cd (μg)	Pb (μg/m <sup>3</sup> )	Se (μg/m <sup>3</sup> )	Ti (μg/m <sup>3</sup> )	V (μg/m <sup>3</sup> )	Cd (μg/m <sup>3</sup> )	
			—	0.11	0.00	18.96	0.46	0.01	—	—	—	—	—
			—	0.11	0.00	1.94	0.43	0.01	—	—	—	—	—
			—	0.10	0.00	20.34	0.66	0.01	—	—	—	—	—
			—	0.11	0.00	13.75	0.52	0.01	—	—	—	—	—
外気①	2月17日	9:23~14:56	6755	0.30	0.00	3.16	1.21	0.00	0.33	—	—	—	0.1
PM2.5分級②		9:30~13:30	4800	0.23	0.00	1.44	0.46	0.01	0.03	—	—	—	—
CAPs③		9:35~11:35	240	0.48	0.00	10.03	0.56	0.02	1.48	—	—	—	0.16
CAPs③		11:38~13:33	230	0.48	0.00	1.44	0.67	0.01	1.48	—	—	—	0.6
外気①	2月19日	9:50~13:50	4386	0.31	0.00	1.87	0.78	0.02	0.05	—	—	—	0.06
PM2.5分級②		9:40~13:40	4800	0.20	0.00	2.53	0.80	0.00	0.03	—	—	—	0.06
CAPs③		9:30~11:30	240	0.63	0.10	0.82	0.70	0.01	2.08	—	—	—	0.72
CAPs③		11:34~13:34	240	0.30	0.01	0.99	0.49	0.01	0.76	—	—	—	—

※①②③はFig.11に示す位置  
※空欄:ブランク値の方が高い

表 3.2.5-6 分析 (PM<sub>2.5</sub>濃度、イオン成分、炭素成分) 結果のまとめ [夏季]

採取場所	採取日時	吸引量 (L)	粒子重量及び成分含有量				粒子濃度及び成分濃度					
			質量濃度 (mg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μg)	元素状炭素 (μg)	有機炭素 (μg)	質量濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μg/m <sup>3</sup> )	元素状炭素 (μg/m <sup>3</sup> )	有機炭素 (μg/m <sup>3</sup> )
			—	3.52	5.24	14.8	34.8	—	—	—	—	
			—	2.36	4.88	1.2	40.8	—	—	—	—	
			—	1.68	5.68	2.4	41.6	—	—	—	—	
			—	2.52	5.27	6.1	39.1	—	—	—	—	
PM2.5分級②	7月23日	11:05~15:30	5300	0.391	28.64	42.52	120.4	38.4	0.074	4.9	7.0	23
CAPs③		11:00~12:15	150	0.416	51.84	59.44	90.0	12.8	2.8	330	360	600
CAPs③		12:20~13:35	150	0.435	60.20	69.20	106.4	12.0	2.9	380	430	710
CAPs③		13:45~15:15	180	0.384	34.80	71.96	84.8	8.0	2.1	180	370	470
PM2.5分級②	7月30日	10:58~14:58	4800	0.278	5.00	20.60	102.4	16.4	0.058	0.52	3.2	21
CAPs③		10:45~12:45	240	0.320	7.24	41.88	99.2	10.4	1.3	20	150	410
CAPs③		12:50~14:50	240	0.294	3.88	50.16	82.4	1.2	1.2	5.7	190	340

※①②③はFig.11に示す位置  
※空欄:ブランク値の方が高い

## 2. ガス状成分

### 2.1 オゾン (H16 年度実施)

#### 2.1.1 試験概要

CAPs 曝露システムにおけるガス状成分の変化を把握するため、外気及び CAPs 曝露チャンバー内のオゾン濃度を測定した。各位置のオゾン濃度測定はオゾンモニター (Monitor LABS INC, ML9811 Analyzer) を用いて行った。

#### 2.1.2 試験結果

測定結果は表 3.2.5-7 示すとおりである。

外気のオゾン平均濃度 0.024ppm に対して CAPs 曝露チャンバー内平均濃度 0.005ppm となり、粒子濃縮過程で減少することが認められた。

表 3.2.5-7 オゾン測定結果

調査月日	調査回数	外気		CAPs曝露チャンバー内	
		時間	オゾン濃度 (ppm)	時間	オゾン濃度 (ppm)
9月14日	1回目	13:43	0.013	13:17	0.003
		13:48	0.020	13:27	0.004
		13:55	0.018	13:31	0.007
		—	—	13:35	0.008
	平均		0.017		0.006
	2回目	14:28	0.021	14:03	0.004
		14:31	0.026	14:08	0.004
		14:38	0.034	14:13	0.003
		14:40	0.037	14:18	0.003
	平均		0.030		0.004
全体平均		0.024		0.005	

## 2.2 窒素酸化物

### 2.2.1 概要

CAPs 曝露実験時には PM<sub>2.5</sub> 分粒装置後及び CAPs 曝露チャンバー内での窒素酸化物濃度 (NO、NO<sub>2</sub>) を常時モニタリングしている。

### 2.2.2 結果

各年度における CAPs 曝露実験時にモニタリングしている窒素酸化物濃度の平均値は表 3.2.5-8 に示すとおりであり、粉じん濃縮過程で 3~13% (平均 8%) の減少が認められた。

表 3.2.5-8 窒素酸化物測定結果

調査年度	NO濃度 (ppb)		NO <sub>2</sub> 濃度 (ppb)	
	外気	CAPs曝露 チャンバー内	外気	CAPs曝露 チャンバー内
15	90	83	45	41
16	75	66	44	37
17	72	70	43	41
18	57	55	31	26

### (2.5.4) 曝露チャンバーと除粒子対照チャンバーの比較試験 (H18 年度実施)

#### 1. 濃縮性能試験

CAPs 曝露調査時における曝露チャンバーと除粒子対照チャンバーでの曝露条件の違いを比較するため、CAPs 運転時の各チャンバー内の粉じん粒子数及び成分濃度を測定した。

#### 1.1 試験方法

曝露チャンバー内及び除粒子対照チャンバー内について、ロウボリウムエアサンプラで試料採取

するとともにデジタル粉じん計で粉じん粒子数測定を行った。サンプリング条件・成分分析項目は下記のとおりである。なお、各成分分析方法は（2. 6）に記載した。

- ・ロウポリウムエアサンプラでの試料条件
  - (1)曝露チャンバー内：3L/min、4時間
  - (2)除粒子対照チャンバー内：3L/min、4時間
- ・成分分析項目
  - (1)炭素成分（有機炭素、元素状炭素）
  - (2)イオン成分（Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>）
  - (3)金属成分（V、Cr、Mn、Ni、As、Cd、Pb、Al、Ti、Fe、Se）

## 1.2 試験結果

測定結果は表 3.2.5-9～10 示すとおりである。

各チャンバーの粉じん粒子数（曝露時間平均値）は曝露チャンバー内 780count/min、除粒子対照チャンバー内 0count/min であり、除粒子対照チャンバー内は粒子数を検出出来なかった。

除粒子対照チャンバーの各成分濃度は有機炭素、ほとんどの金属成分及びイオン成分が定量下限値未満もしくは検出下限値未満であった。

表 3.2.5-9 粉じん粒子数測定結果

測定場所	粉じん粒子数 (count/min) [曝露時間平均値]
曝露チャンバー内	780
除粒子対照チャンバー内	0

表 3.2.5-10 成分濃度測定結果

測定場所	炭素濃度(μg/m <sup>3</sup> )		重金属濃度(ng/m <sup>3</sup> )										
	有機炭素	元素状炭素	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	As	Se	Cd	Pb
曝露チャンバー	420	150	<6000	880	83	<200	1300	18000	(470)	90	(92)	63	1100
除粒子対照チャンバー	<21	<5	<6000	(66)	<5	<200	<50	(4000)	(230)	<6	<60	<10	<100

測定場所	イオン濃度(μg/m <sup>3</sup> )							
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
曝露チャンバー	39	270	190	5.7	150	11	1.2	7.3
除粒子対照チャンバー	(0.37)	(4.3)	1.6	<0.09	(0.66)	0.53	0.15	<0.3

※：定量下限値未満は( )表示、検出下限値未満は<表示

## 2. 照度測定

曝露チャンバー内と除粒子対照チャンバー内の明るさを比較するため、内部の照度測定を行った。

### 2.1 測定方法

曝露チャンバー及び除粒子対照チャンバーを設置している動物曝露室の照明を使用した際の各チャンバー内部照度を測定した。調査地点は動物を入れる各チャンバーゲージ床の中心、4隅及び4辺の中間点の計9点である（図 3.2.5-8）。各地点について照度計（メーカー：東芝、型式：IM-1）を用いて照度（単位：lx）を測定した。

### 2.2 測定結果

測定結果は表 3.2.5-11 に示すとおりである。

各チャンバーとも中心部の照度は 10lx であり、他の調査地点もほぼ同値であった。

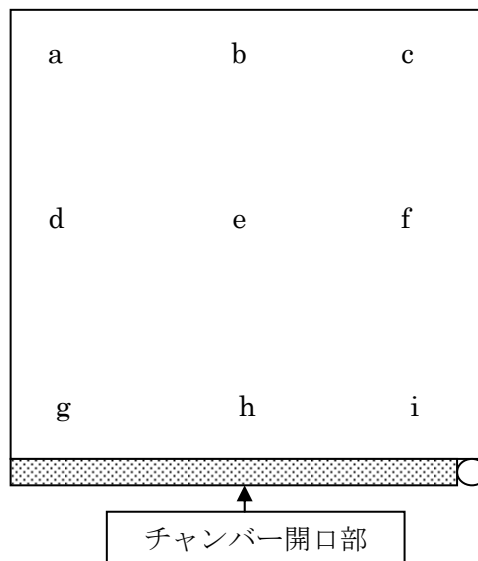


図 3.2.5-8 チャンバー内照度調査地点

表 3.2.5-11 チャンバー内照度測定結果

単位:lx

調査地点	曝露チャンバー	除粒子対照チャンバー
a	5	5
b	5	5
c	5	5
d	10	10
e	10	10
f	10	10
g	20	20
h	40	40
i	20	40

### (2.5.5) 装置騒音レベル

平成 15 年の CAPs 曝露実験時 (チャンバー換気流量 40L/min、チャンバー内圧力 $\cdot$ 210 $\sim$ -220mmH<sub>2</sub>O) の CAPs 曝露チャンバー内の騒音レベルは 75 $\sim$ 80dB であった。また、換気流量と圧力をほぼ同一条件に設定した除粒子対照チャンバーにおける騒音は 70 $\sim$ 75dB であった。

### (2.5.6) 性能まとめ

#### 1. 質量濃度

平成 14 年度に実施したロウボリウムエアサンプラによる PM<sub>2.5</sub>分粒装置後と CAPs 曝露チャンバー内の測定結果から求めた質量濃度濃縮率は 60 倍であった。また、光散乱法 (LD-3) による測定でも 58 倍と同程度の値を示しており、光散乱計がモニター器機として対応可能なことが分かった。

平成 15 年度 $\sim$ 18 年度の CAPs 曝露実験時における濃縮率は、特異的な 1 例を除いて 12 $\sim$ 64 倍 (15 年度平均 48 倍、16 年度平均 38 倍、17 年度平均 30 倍、18 年度平均 30 倍) と、性能確認時の濃縮倍率より低いケースが多かった。

#### 2. 粒径別個数濃度及び質量濃度

電子顕微鏡観察による CAPs 曝露チャンバー内の粒径別個数濃度の測定結果では、粒径 0.3 $\mu$ m 付近で最も多く、0.2 $\sim$ 0.6 $\mu$ m の範囲で全体の 8 割以上を占めた。

SMPS を用いた濃縮前後での個数濃度測定では、粒径  $0.06\ \mu\text{m}$  以上の粒子で濃縮が見られたが、 $0.06\ \mu\text{m}$  より小さい粒子ではほとんど濃縮がされていないと考えられた。

ELPI による外気と CAPs 曝露チャンバー内の濃縮率では、粒径  $1\ \mu\text{m}$  で極大の 35 倍を示し、粒径が小さくなるにつれて濃縮倍率は低下した。LPI による同様の測定でも粒径  $0.3\sim 2\ \mu\text{m}$  の範囲でおよそ 10 倍の濃縮率を示し、粒径  $1\ \mu\text{m}$  付近での濃縮率は 35 倍であった。

また、CAPs 曝露チャンバー内の粒子濃度の安定には、始動後 10 分程度必要であることが分かった。

このように、CAPs 曝露システムによる濃縮粒子は粒径により濃縮率に差があり、 $1\ \mu\text{m}$  以下の粒子では粒径が小さいほど濃縮率が減少するため、外気とは粒径分布が異なることが想定される。

### 3. 成分別濃度

炭素成分では、元素状炭素の濃縮率が冬季で平均 23 倍、夏季で 22 倍であったが、有機炭素は粒子の捕集量が少なく定量出来なかった。

イオン成分では、硫酸イオンの濃縮率が冬季・夏季ともに平均 56 倍、硝酸イオンは冬季で平均 38 倍、夏季で平均 37 倍であった。この時の質量濃度濃縮率は冬季平均 37 倍、夏季 29 倍であり、この値と比較すると硫酸イオンは大きく上回り、硝酸イオンは同程度であった。

金属成分では、鉄、マンガン、鉛、バナジウム等が濃縮後高濃度になることを確認したが、他の金属は有機炭素と同様に捕集量が少なく定量出来なかった。

### 4. ガス状成分

CAPs 曝露実験では、特に  $\text{PM}_{2.5}$  と共存する  $\text{NO}_2$  やオゾンの影響が懸念されるが、質量濃度の大幅な増加に対してガス状成分は減少傾向(大気濃度に比べ)にあった。また、実際の動物曝露時間が 1 日 5 時間以内と短いことから、共存ガス成分の影響は相対的に低いものと考えられる。

### 5. 各チャンバーによる曝露条件

曝露チャンバー内と除粒子対照チャンバー内の粉じん粒子数及び各成分濃度の違いから、除粒子対照チャンバー中の粒子濃度は、曝露チャンバーに対して十分低いことが認められた。

また、曝露チャンバー内と除粒子対照チャンバー内の照度は同程度であった。

### 6. 装置騒音レベル

CAPs 曝露システム稼働時の CAPs 曝露チャンバー内の騒音は  $75\sim 80\text{dB}$  であった。また、換気量、圧力などを CAPs 曝露チャンバーと同一条件にした場合の除粒子対照チャンバー内の騒音は  $70\sim 75\text{dB}$  であった。

## (2. 6) CAPs 曝露実験での曝露データ測定・分析方法

### (2. 6. 1) CAPs 曝露システムに関する仕様

#### 1. CAPs 曝露システムの運転状況等に関するデータ測定項目

CAPs 曝露実験中は以下の項目について 30 分毎に記録。

##### 1.1 $\text{PM}_{2.5}$ 分粒装置直後

圧力 (単位:  $\text{inch H}_2\text{O}$ ) を差圧計にて点検・記録。

##### 1.2 大気濃縮装置

1st ステージ～3rd ステージの Major Flow 及び Minor Flow (単位:  $\text{inch H}_2\text{O}$ ) を差圧計にて点検・記録。

##### 1.3 CAPs 曝露チャンバー

CAPs 曝露チャンバー内の圧力 (KPa) を差圧計にて点検・記録。

また、CAPs 曝露チャンバー内の換気流量 ( $\text{L}/\text{min}$ ) を点検・記録。

#### 2. CAPs 曝露システム内外の大気汚染物質濃度測定項目

CAPs 曝露実験中は以下の項目について、測定又は分析を行った。



## 2.1 外気

- ・粉じん粒子数

## 2.2 PM<sub>2.5</sub>分粒装置直後（大気濃縮装置前）

- ・PM<sub>2.5</sub>質量濃度（機器測定値、フィルタ秤量値）
- ・NO、NO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>濃度

## 2.3 CAPs 曝露チャンバー内（大気濃縮装置後）

- ・粉じん粒子数
- ・粉じん質量濃度（フィルタ秤量値）
- ・粉じん成分濃度
  - (1)炭素成分（有機炭素、元素状炭素）
  - (2)イオン成分（Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>）
  - (3)金属成分（V、Cr、Mn、Ni、As、Cd、Pb、Al、Ti、Fe、Se）
- ・NO、NO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>濃度

### （2.6.2）測定・採取のための機器仕様

#### 1. 粉じん粒子数測定

- ・測定方法  
外気及びCAPs 曝露チャンバー内の粉じん粒子数を1時間毎に粉じん計にて測定した。
- ・機器仕様  
粉じん計の機器概要は表 3.2.6-1 に示すとおりである。

表 3.2.6-1 粉じん計機器概要

機器名	形式	メーカー	機器概要	
デジタル粉じん計	LD-3型	柴田科学	測定原理 光源 測定範囲	光散乱方式 レーザーダイオード 0.001~10mg/m <sup>3</sup>

#### 2. 粉じん質量濃度連続測定

- ・測定方法  
粉じん質量濃度はPM<sub>2.5</sub>分粒装置直後に連続測定器を設置して、1時間値を測定した。
- ・機器仕様  
粉じん測定機器概要は表 3.2.6-2 に示すとおりである。

表 3.2.6-2 粉じん測定機器概要

機器名	形式	メーカー	機器概要	
浮遊粒子状物質濃度測定装置	APDA-360	堀場製作所	測定原理 吸引流量 測定範囲 分解能 β線源 捕集方式 ろ紙	β線吸収方式 16.7L/m <sup>3</sup> 0~5mg/m <sup>3</sup> ±0.01mg/m <sup>3</sup> 14C ろ過捕集 ガラス繊維ろ紙

#### 3. NO、NO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>濃度

- ・測定方法  
連続測定器によりPM<sub>2.5</sub>分粒装置直後及びCAPs 曝露チャンバー内の2ヶ所のNO、NO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>濃度を1時間ごとに測定した。
- ・機器仕様  
窒素酸化物測定機器概要は表 3.2.6-3 に示すとおりである。

表 3.2.6-3 窒素酸化物測定機器概要

機器名	形式	メーカー	機器概要	
窒素酸化物濃度測定装置	APNA-360	堀場製作所	測定原理	クロスモデュレーション方式 セミ減圧化学発光法
			吸引流量	0.8L/m <sup>3</sup>
			測定範囲	0~1ppm
			最小検出感度	0.5ppb
			再現性	±1.0%FS
			直線性	±1.0%FS

(2.6.3) 粉じん質量濃度及び成分別濃度分析

1. 採取方法

PM<sub>2.5</sub>分粒装置直後及びCAPs曝露チャンバーにサンプリング孔を設置し、それぞれポンプで試料吸引して粉じんのフィルタ捕集を行った。

試料流量はPM<sub>2.5</sub>分粒装置捕集直後が約20L/min、CAPs曝露チャンバー内が2L/minである。

2. 分析方法等

フィルタ秤量及び成分分析方法は表3.2.6-4に示すとおりである。

表 3.2.6-4 フィルタ秤量及び成分分析方法

採取場所	フィルタ	分析項目	分析方法
PM <sub>2.5</sub> 分粒装置直後	テフロン	質量濃度	秤量を行う。秤量にあたっては、温度22°C、相対湿度55%以下の条件下で1μgの感量を有する天秤を使用した。
CAPs曝露チャンバー内	石英 (800°C、 1hr焼成)	質量濃度	秤量を行う。秤量にあたっては、温度22°C、相対湿度55%以下の条件下で1μgの感量を有する天秤を使用した。
		イオン成分	イオン成分(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> )について、イオンクロマトグラフを用いて分析を行った。
		炭素成分	炭素成分(有機炭素、元素状炭素)について、IMPROVE法を用いて分析を行った。

参考1 フィルタ種類及びメーカー

・テフロン: Whatman PP Ring Supported for PM<sub>2.5</sub> 46.2mmφ

・石英: PALLFLEX 2500QAT-UP 47mmφ

参考2 炭素成分分析条件(IMPROVE法)

○昇温条件

・有機性炭素1(OC1): He雰囲気で常温から120°C

・有機性炭素2(OC2): He雰囲気で120°Cから250°C

・有機性炭素3(OC3): He雰囲気で250°Cから450°C

・有機性炭素4(OC4): He雰囲気で450°Cから550°C

・元素状炭素1(EC1): 2% O<sub>2</sub> 98% He 雰囲気550°Cを保持し補正量を引いたもの

・元素状炭素2(EC2): 2% O<sub>2</sub> 98% He 雰囲気550°Cから700°Cで補正量を引いたもの

・元素状炭素3(EC3): 2% O<sub>2</sub> 98% He 雰囲気700°Cから800°Cで補正量を引いたもの

○炭素成分の補正方法

・He-Neレーザーを照射し、反射率を測定。測定開始時と反射率が戻るまでの炭素成分を有機性炭素として補正する。

○炭素成分の算出

・有機性炭素(OC) = OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + 補正值

・元素状炭素(EC) = EC1 + EC2 + EC3 - 補正值

(2. 6. 4) CAPs 曝露実験結果

1. 運転状況

平成 15～18 年度における CAPs 曝露実験時の運転状況は表 3.2.6-5 に示すとおりである。

表 3.2.6-5 CAPs 曝露実験時の運転状況

年度	委員	第1回調査				第2回調査				
		月日	測定時間		運転状況	月日	測定時間		運転状況	
平成15年度	石原委員	10月13日	9:30~13:30	4	連続	2月8日	9:30~13:30	4	連続	
		10月14日	9:30~13:30	4	連続					
		10月15日	9:30~13:30	4	連続					
		10月20日	9:30~13:30	4	連続					
		10月21日	9:30~13:30	4	連続					
		10月22日	9:30~13:30	4	流量調整1回					
	高野委員	7月23日	10:30~15:30	5	連続	7月30日	10:12~15:02	4:50	連続	
	局委員	1月24日	10:30~14:30	4	連続					
		1月26日	10:00~14:00	4	流量調整2回					
		1月27日	10:00~14:00	4	流量調整5回					
		1月28日	10:00~14:00	4	流量調整6回					
		1月29日	10:00~14:00	4	流量調整7回					
	丸山委員	11月5日	10:20~15:20	5	流量調整5回	11月18日	10:15~15:15	5	流量調整3回	
		11月7日	10:20~16:40	5	メンテ1回、流量調整4回	11月21日	10:50~15:50	5	連続	
	平成16年度	石原委員	9月27日	8:50~12:50	4	連続	10月25日	9:00~13:00	4	流量調整3回
9月28日			8:50~12:35	3:45	2nd振り切れ曝露終了	10月26日	9:00~13:00	4	連続	
9月29日			8:50~12:50	4	連続	10月27日	9:00~13:00	4	連続	
7月22日			10:15~15:30	4:03	メンテ1回、一時停止1回	8月19日	10:00~15:00	5	連続	
高野委員		11月2日	11:05~15:30	2:11	メンテ2回	12月14日	11:15~15:15	4	連続	
		11月3日	10:30~13:30	4:25	メンテ1回	12月15日	10:30~14:30	4	連続	
		11月4日	10:30~15:30	5	連続	12月16日	10:30~14:30	4	連続	
		11月5日	10:55~15:00	4:05	連続	12月17日	11:10~15:10	4	連続	
丸山委員		11月16日	11:25~16:25	5	連続	1月18日	11:10~16:10	5	連続	
		11月18日	10:20~15:20	5	流量調整2回	1月20日	11:15~16:15	5	連続	
伊藤委員		5月24日	9:15~15:10	4.5	メンテ1回	11月29日	9:30~14:00	4:30	流量調整2回	
		5月25日	9:15~15:13	4.5	メンテ1回	11月30日	9:30~14:00	4:30	流量調整4回	
		5月26日	10:45~15:15	4.5	連続	12月1日	9:30~14:00	4:30	流量調整5回	
		5月27日	10:00~14:15	2.15	メンテ2回	12月2日	9:30~14:00	4:30	流量調整1回	
平成17年度		石原委員	2月27日	9:00~13:00	4	連続	3月13日	9:00~13:00	4	連続
	2月28日		9:00~13:00	4	連続	3月14日	9:00~13:00	4	連続	
	3月1日		9:00~13:00	4	連続	3月15日	9:00~13:00	4	連続	
	8月18日		9:15~17:07	3:50	メンテ3回、一時停止2回 流量調整2回	12月26日	10:25~15:25	5	連続	
	高野委員	11月21日	11:05~15:05	4	流量調整3回					
		11月22日	9:05~13:05	4	流量調整1回					
		11月23日	9:20~13:20	4	流量調整1回					
		11月24日	10:37~15:05	4	メンテ1回、流量調整3回					
	丸山委員	12月13日	11:20~16:20	5	流量調整1回	1月24日	10:45~15:45	5	連続	
		12月15日	10:50~15:50	5	連続	1月26日	10:50~15:50	5	連続	
	平成18年度	石原委員	9月18日	9:00~13:00	4	連続	9月25日	9:00~13:00	4	連続
			9月19日	9:00~13:00	4	連続	9月26日	9:00~13:00	4	連続
			9月20日	9:00~13:00	4	連続	9月27日	9:00~13:00	4	連続
			5月16日	9:25~16:29	4:13	メンテ4回、一時停止4回 流量調整4回	8月24日	9:40~15:05	4	メンテ2回、一時停止1回 流量調整1回
		高野委員	5月22日	11:15~15:15	4	連続	11月13日	11:00~15:00	4	連続
5月23日			9:00~13:00	4	連続	11月14日	10:00~14:00	4	連続	
5月24日			9:00~13:00	4	流量調整1回	11月15日	10:00~14:00	4	連続	
5月25日			9:00~13:00	4	流量調整1回					
11月16日			11:10~15:10	4	連続					
丸山委員		11月28日	10:40~15:40	5	連続	12月12日	10:30~15:30	5	流量調整1回	
		11月30日	10:20~15:45	5	流量調整2回	12月14日	10:40~16:10	5	流量調整3回	

2. 分析結果

2.1 質量濃度

平成 15～18 年度における CAPs 曝露実験時の質量濃度測定結果は表 3.2.6-6 に、PM<sub>2.5</sub> 濃度と CAPs 濃度の散布図は図 3.2.6-1 に示すとおりである。

CAPs 曝露チャンバー内の粉じん質量濃度の年度平均値（最低濃度～最高濃度）は、平成 15 年度 1,170 μg/m<sup>3</sup> (313~3,388 μg/m<sup>3</sup>)、平成 16 年度 1,183 μg/m<sup>3</sup> (204~2,343 μg/m<sup>3</sup>)、平成 17 年度 878 μg/m<sup>3</sup> (128~4,103 μg/m<sup>3</sup>)、平成 18 年度 870 μg/m<sup>3</sup> (221~2,134 μg/m<sup>3</sup>) であった。

また、散布図より CAPs 濃度は曝露実験時の PM<sub>2.5</sub> 濃度が高いほど増加する傾向がみられた。なお、年度ごとに実験回数及び調査時期が違うことに注意を要する。

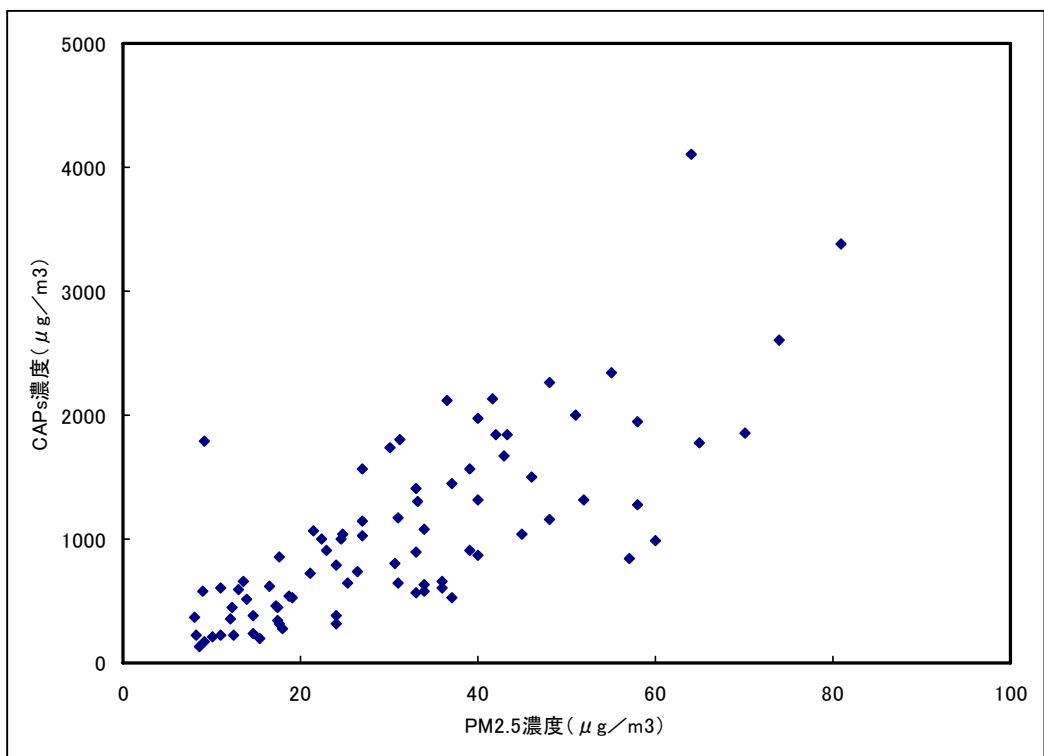


図 3. 2. 6-1 PM<sub>2.5</sub> 濃度と CAPs 濃度の散布図

表 3.2.6-6 CAPs 曝露実験時の質量濃度測定結果

年度	委員	月日	PM2.5 質量濃度 μg/m <sup>3</sup>	CAPs 質量濃度 μg/m <sup>3</sup>	濃縮率 倍	NO濃度		NO <sub>2</sub> 濃度		
						CAPs 曝露 チャンバー ppb	外気 ppb	CAPs 曝露 チャンバー ppb	外気 ppb	
15	石原委員	10月13日	40	871	22	34	32	9	12	
		10月14日	45	1039	23	66	58	36	40	
		10月15日	65	1780	27	99	103	42	48	
		10月20日	48	1160	24	52	62	36	35	
		10月21日	70	1853	26	67	89	52	57	
		10月22日	52	1321	25	45	56	39	43	
	高野委員	2月8日	36	601	17	15	30	29	29	
		2月9日	57	847	15	103	148	47	55	
		2月10日	34	577	17	50	59	36	33	
		7月23日	74	2602	35	121	134	25	43	
		7月30日	58	1279	22	61	58	1	10	
	局委員	1月24日	34	633	19	107	120	49	58	
		1月26日	37	524	14	96	105	48	52	
		1月27日	60	986	16	144	139	57	64	
		1月28日	24	313	13	46	53	40	40	
		1月29日	33	569	17	77	83	46	47	
	丸山委員	11月5日	46	1495	33	110	118	64	65	
		11月7日	81	3388	42	138	132	63	64	
		11月18日	36	661	18	136	135	57	59	
		11月21日	33	893	27	85	94	49	49	
	平均		48	1170	23	83	90	41	45	
	16	石原委員	9月27日	24	376	16	51	56	23	33
			9月28日	39	914	23	98	93	33	42
			9月29日	31	650	21	76	70	33	44
10月25日			58	1950	34	132	128	53	59	
10月26日			39	1572	40	128	118	45	51	
10月27日			14	517	37	53	47	40	37	
高野委員		7月22日	42	1840	44	13	23	30	47	
		8月19日	18	277	15	37	37	3	9	
局委員		11月2日	55	2343	43	113	135	50	63	
		11月3日	30	1733	58	35	45	40	43	
		11月4日	27	1567	58	56	63	53	56	
		11月5日	40	1979	49	83	84	49	54	
		12月14日	11	600	55	35	47	29	29	
		12月15日	48	2269	47	126	146	36	45	
		12月16日	23	905	39	62	81	36	42	
		12月17日	9	574	64	49	58	35	35	
丸山委員		11月16日	24	784	33	76	72	40	47	
		11月18日	34	1081	32	90	114	32	45	
		1月18日	10	204	20	-	-	-	-	
		1月20日	8	372	47	37	52	32	29	
伊藤委員		5月24日	43	1675	39	61	69	49	54	
		5月25日	37	1447	39	25	31	52	60	
		5月26日	40	1312	33	17	39	31	51	
		5月27日	51	2006	39	37	27	39	50	
		11月29日	27	1027	38	91	115	37	41	
		11月30日	31	1165	38	69	87	32	36	
		12月1日	33	1408	43	96	136	40	46	
		12月2日	13	588	45	36	52	29	34	
平均			31	1183	39	66	75	37	44	
17		石原委員	2月27日	11	227	21	42	47	33	30
			2月28日	21	726	34	82	80	37	45
			3月1日	8	227	28	36	40	31	36
			3月13日	9	170	19	55	52	36	33
			3月14日	18	339	19	66	63	40	33
	3月15日		27	731	28	91	98	44	48	
	高野委員	8月18日	27	1149	43	36	32	20	23	
		12月26日	12	352	29	65	70	35	38	
	局委員	11月21日	25	1038	42	79	80	39	44	
		11月22日	37	2117	58	100	117	53	58	
		11月23日	9	1790	195	53	57	41	42	
		11月24日	64	4103	64	142	145	75	87	
	丸山委員	12月13日	9	128	15	45	58	33	36	
		12月15日	18	316	18	59	75	41	42	
		1月24日	16	192	12	76	68	46	47	
		1月26日	18	444	25	93	65	45	41	
	平均		20	878	41	70	72	41	43	
	18	石原委員	9月18日	12	221	18	39	43	5	11
9月19日			19	529	28	33	32	15	16	
9月20日			17	461	27	30	33	27	27	
9月25日			19	546	29	37	40	31	26	
9月26日			25	1005	41	44	45	23	29	
9月27日			15	231	16	48	52	16	22	
高野委員		5月16日	42	2134	51	56	85	37	55	
		8月24日	43	1839	42	38	48	18	35	
局委員		5月22日	31	802	26	23	33	34	36	
		5月23日	25	645	25	23	40	31	31	
		5月24日	31	1808	58	48	47	47	47	
		5月25日	18	855	48	23	24	38	30	
		11月13日	15	384	26	66	63	30	33	
		11月14日	14	652	48	-	-	-	-	
		11月15日	6	-	-	35	44	31	28	
丸山委員		11月16日	16	614	37	40	41	35	32	
		11月28日	12	453	37	70	76	19	32	
		11月30日	21	1065	50	90	108	17	24	
		12月12日	22	995	44	74	72	24	33	
		12月14日	33	1298	39	139	149	18	42	
平均			22	870	36	50	57	26	31	
全体平均		31	1050	35	67	74	36	41		

-:欠測

## 2.2 成分濃度

平成 16～18 年度における CAPs 曝露実験時の成分濃度測定結果は表 3.2.6-7～9 に示すとおりである。

質量濃度に対する各成分濃度の平均割合（定量下限値・検出下限値は算出に含めない）は、有機炭素が平成 16 年度 0.19（0.10～0.41）、平成 17 年度 0.16（0.12～0.22）、平成 18 年度 0.20（0.08～0.40）、無機炭素が平成 16 年度 0.16（0.06～0.32）、平成 17 年度 0.15（0.05～0.29）、平成 18 年度 0.11（0.04～0.28）、硝酸イオンが平成 16 年度 0.14（0.04～0.28）、平成 17 年度 0.18（0.02～0.39）、平成 18 年度 0.12（0.03～0.27）、硫酸イオンが平成 16 年度 0.14（0.05～0.37）、平成 17 年度 0.19（0.10～0.50）、平成 18 年度 0.20（0.06～0.36）である。

なお、年度ごとに実験回数及び調査時期が違うことに注意を要する。



表 3.2.6-9 成分分析結果 (平成 18 年度)

委員	実験日	CAPs 質量濃度 μg/m <sup>3</sup>	炭素濃度(μg/m <sup>3</sup> )		重金属濃度(ng/m <sup>3</sup> )														イオン濃度(μg/m <sup>3</sup> )							
			有機炭素	元素状炭素	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	As	Se	Cd	Pb	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
高野	2006/5/16	2134	300	110	<20000	<1000	130	370	(350)	1000	(14000)	(380)	84	<200	<20	970	49	390	6.5	300	5.9	1.2	5.5			
	2006/8/24	1839	140	140	<10000	<500	370	<80	<80	380	(4400)	470	25	<200	(15)	450	4.3	670	5.9	270	4.8	1.2	3			
石原	2006/9/18	221	(49)	62	<10000	<500	57	<70	<70	800	(5400)	(110)	12	<200	<7	(120)	13	61	14	14	1.3	1.6	1.3			
	2006/9/19	529	82	70	<10000	<500	53	<70	<70	<50	<2000	(130)	17	<200	<7	(150)	5.6	160	18	47	1.2	2.3	2.3			
	2006/9/20	461	120	58	<10000	<500	90	<70	<70	700	(5400)	240	26	<200	(17)	590	2.1	120	5.1	41	3.6	0.93	3.7			
	2006/9/25	546	140	56	<10000	<500	74	<70	<70	410	(4200)	<50	19	<200	(8.4)	280	2.7	98	8.7	36	3	1.1	4.1			
局	2006/9/26	1005	220	77	<10000	<500	38	<70	<70	780	(6200)	(59)	43	<200	29	600	10	230	13	81	9.4	2.1	5.2			
	2006/9/27	231	93	65	<10000	<500	<10	<70	<70	360	(2500)	(78)	<2	<200	(15)	220	4	27	2.1	12	1.5	0.36	2.2			
	2006/5/22	802	180	68	(13000)	(890)	47	<70	<70	330	9100	<50	67	<70	<7	250	8	190	9.8	70	4.2	1.6	5			
	2006/5/23	645	130	56	(14000)	(590)	52	<70	<70	(160)	(6300)	(73)	21	<70	<7	(150)	20	40	24	41	4.6	3.3	4.2			
	2006/5/24	1808	280	120	(16000)	(800)	180	(94)	1100	15000	(170)	62	<70	<70	(19)	1600	9.7	380	6.9	230	8.4	1.5	5.8			
丸山	2006/5/25	855	190	81	<10000	<500	100	<70	<70	670	(7000)	220	44	<70	(16)	430	6.1	200	3	110	5.1	1	3.8			
	2006/11/13	384	(63)	67	<10000	500	230	<200	<200	1200	17000	(350)	(12)	<100	(22)	(220)	3	56	4.6	32	3.9	1	4			
	2006/11/14	652	(86)	27	<9000	330	66	<200	<200	380	(9000)	<200	46	<90	74	530	4.9	170	11	51	15	2.5	6.9			
	2006/11/15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	2006/11/16	614	(63)	48	<10000	450	140	<200	<200	910	16000	<200	33	<100	(41)	620	2.9	130	5.8	75	6.8	0.88	3.5			
丸山	2006/11/28	453	(49)	53	<8000	390	75	<200	<200	1500	16000	(260)	57	<80	(42)	(380)	7.9	69	9.6	25	5.3	1.4	6.6			
	2006/11/30	1065	130	81	<8000	780	160	(240)	1400	15000	(450)	96	<80	59	950	44	180	8.1	110	9.5	1.3	4.4				
	2006/12/12	995	200	85	<7000	780	31	(190)	790	12000	(260)	45	<70	(52)	680	100	57	4	91	7.8	0.51	3.7				
	2006/12/14	1298	150	110	(10000)	1000	310	(360)	2100	31000	(470)	68	(90)	(52)	1000	21	190	6.3	140	11	1.1	6.2				

※:2006/11/15は測定ミスにより成分分析データなし  
 ※:定量下限値未滿は( )表示、検出下限値未滿は<表示