

## 大規模固定煙源調査

2018 年 12 月 17 日

東京都環境局環境改善部

## 1. 背景と本調査の目的

大規模固定煙源からの PM<sub>2.5</sub> 等の排出実態を把握するためには、煙源ごとの排出ガス中の粒子状物質の発生源情報が必要となる。現状の大規模固定煙源に係る排出インベントリでは、「大気汚染物質排出量総合調査（環境省）」のばいじん濃度に PM<sub>2.5</sub>/TSP 比を乗じて業種・燃原料別に PM<sub>2.5</sub> 排出量を算出しているものが多い。しかし、算出に用いる PM<sub>2.5</sub>/TSP 比は、1985 年の文献値から求めており、必ずしも現状を反映しきれていない可能性がある。

また、凝縮性粒子（燃焼直後は高温のため気体であるが、放出された大気中で冷却され粒子となる物質）については、煙源からの排出量が多いとされているが、排出インベントリには組み込まれていない。

これまでも一部の自治体や研究所等の関係機関で煙源調査は実施されているが、調査結果を取りまとめた事例は少ない。発生源調査により煙源の実態を把握するためには、測定調査を実施するとともに、既存の調査結果を組み合わせることで解析を行うことが望ましい。

そこで本調査では、大規模固定煙源の排出ガス中のばいじん、PM<sub>2.5</sub> 及び凝縮性粒子の濃度を測定し、既存調査結果と共に結果を整理することで、固定発生源の PM<sub>2.5</sub> 等の排出実態を把握し、PM<sub>2.5</sub> 対策を検討するための基礎資料とすることを目的とした。

## 2. 調査方法

## 2.1. 発生源調査

## (1) 調査期間

2018 年 1 月から 3 月

## (2) 調査対象

都内における大気汚染防止法に定めるばい煙発生施設（廃棄物焼却炉）2 施設

## (3) 調査項目

表 1 のとおり（採取イメージを図 1 に示す）

表 1 調査項目と測定方法

項目	測定方法
ばいじん	JISZ 8808 フィルタ捕集-重量法
PM <sub>2.5</sub>	JISZ 7152 バーチャルインパクト法
PM <sub>2.5-10</sub>	
PM <sub>10</sub> 以上	
凝縮性粒子	空気希釈法 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> 清浄な空気です約 20 倍に希釈・冷却し、滞留時間を 10 秒程度とりフィルタに採取する方法。

#### (4) 分析方法

原則として、「大気中微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) 成分測定マニュアル (環境省)」に準拠して分析を実施した (表 2 のとおり)

表 2 発生源調査の分析成分と分析方法

成分	分析方法	項目数	分析項目
質量濃度	秤量	1	
イオン成分	イオンクロマトグラフ法	8	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 、Na <sup>+</sup> 、K <sup>+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
金属成分	ICP-MS 法	31	Na、Al、K、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Rb、Mo、Cd、Sb、Cs、Ba、La、Ce、Sm、Hf、Ta、W、Pb、Th、Si
炭素成分	サーマルオプテカル・リフレクタンス法	2	元素状炭素 (EC)、有機炭素 (OC) 及び炭素フラクション

## 2.2. 発生源調査結果の取りまとめ

2.1 「発生源調査」の結果と併せて、既存の発生源調査結果を基に、PM<sub>2.5</sub> の発生源調査結果を業種別、施設別、燃原料別等に整理した。

既存の発生源調査結果の収集に当たっては、国、地方自治体等の関係機関に対し提供を依頼した。ここで整理、集計したデータは各機関の承諾を得たものである。

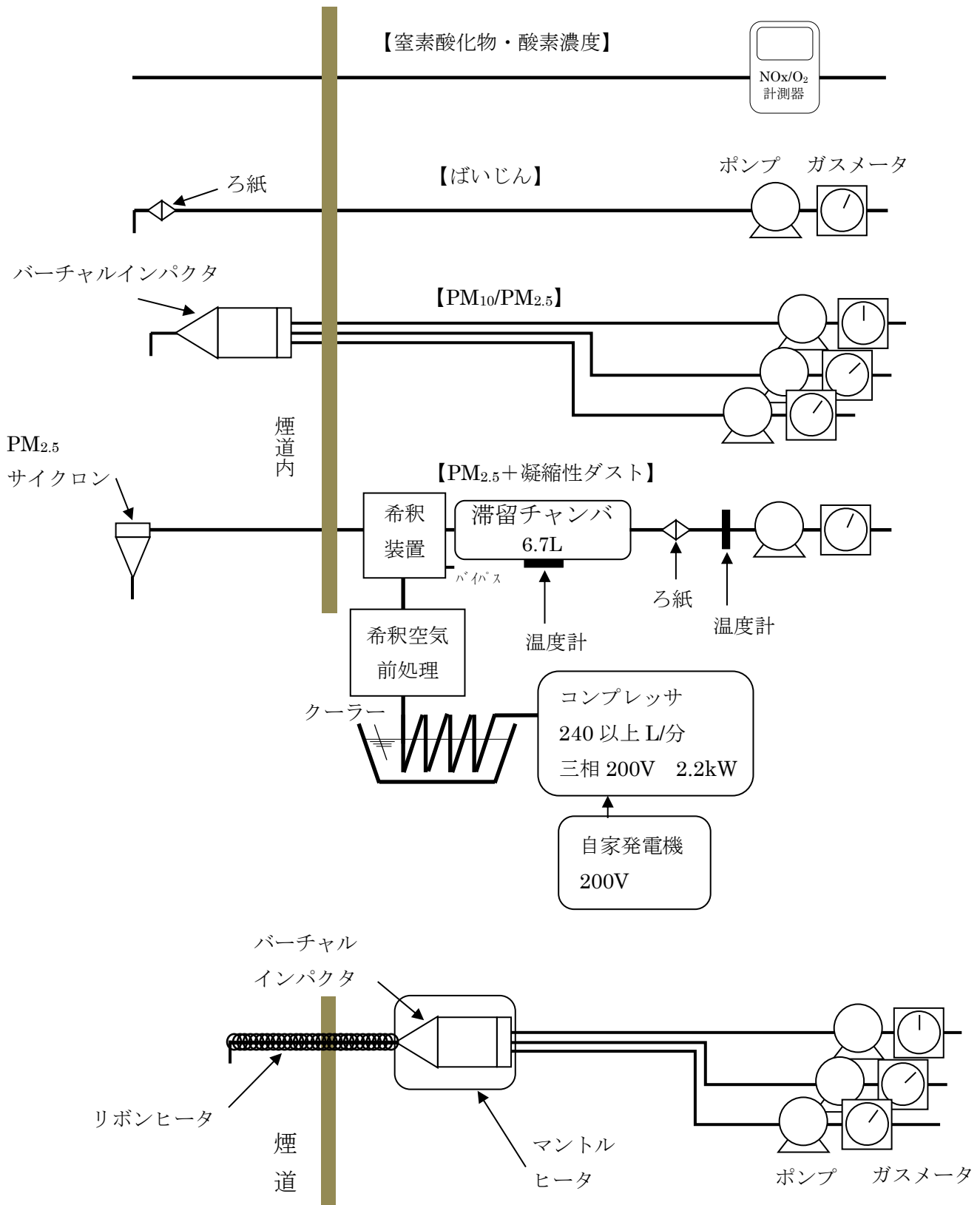


図 1 発生源調査 採取方法イメージ  
 上図：1形、下図：2形（高温の場合）

### 3. 結果及び考察

調査方法で示した測定結果と既存の発生源調査結果を合わせて集計した結果を示す。

#### 3.1. 発生源調査結果取りまとめ状況

本調査で収集した調査結果を分類するに当たり、環境省の「大気汚染物質排出量総合調査（以下、MAP 調査という）」の割り当てを参考に業種、施設及び燃原料別に整理した。整理した結果を表 3 に示す。なお、ディーゼル機関では発電機と船舶が混在するが、排ガス濃度のレベルが異なると想定されたため、ここでは分けて修正を行った。

表 3 MAP 調査による業種、施設、燃原料の分類と本調査による整理結果

業種	施設	燃原料
飲食店、宿泊業、医療業、教育学術研究機関、浴場業、洗濯業、廃棄物処理業、農業、林業、漁業、鉱業、建設業、電気業、ガス業、熱供給業、ビル暖房、その他事業場、食料品製造業、繊維工業、木材・木製品製造業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油製品・石炭製品製造業、ゴム製品・皮製品製造業、窯業・土石製品製造業、鉄鋼業、非鉄金属製造業、金属製品製造業、機械器具等製造業、その他の製造業、運輸・通信業、不明	ボイラ、ガス発生炉、ガス加熱炉、金属精錬、無機化学工業品製造用焙焼炉等、金属精錬用溶鉱炉・転炉・平炉、金属精錬・鋳造用溶解、金属加熱炉、石油加熱炉、触媒再生塔、燃焼炉、窯業製品製造用焼成炉等、反応炉直火炉、乾燥炉、電気炉、廃棄物焼却炉、銅・鉛・亜鉛精錬用焙焼炉等、乾燥施設、塩素急速冷却施設、溶解槽、活性炭製造用反応炉、塩素反応施設等、アルミ精錬用電解炉、複合肥料等製造用反応施設等、弗酸製造用凝縮・吸収・蒸留施設、トリポリリン酸ナトリウム製造用施設等、鉛精錬用溶解炉、鉛蓄電池製造用溶解炉、鉛系顔料製造用溶解、硝酸製造用吸収・漂白・濃縮施設、コークス炉、ガスタービン、ディーゼル機関、ガス機関、ガソリン機関、不明	A 重油, B 重油, C 重油, 軽油, 灯油, 原油, ナフサ, その他の液体燃料, 一般炭, コークス, 木材, 木炭, その他の個体燃料, 都市ガス, コークス炉ガス, 高炉ガス, LNG, LPG, 転炉ガス, オフガス, その他の気体燃料, 鉄・鉄鉱石, 硫化鉱, 非鉄金属鉱石, 原料炭, 原料コークス, その他の原料, パルプ廃液, 一般廃棄物, 産業廃棄物, その他の廃棄物, 電気

\*ゴシック体は収集した調査結果に該当する項目。

\*収集に当たっては、関係機関から提供可能なデータについてご提供いただいた。また、環境省研究総合推進費「5-1506」「燃焼発生源における希釈法による凝縮性一次粒子揮発性特性の評価法の確立（平成 27 年度から平成 29 年度）研究代表者：藤谷雄二（国立環境研究所）」の研究成果についても活用している。

### 3.2. 集計結果

発生源調査におけるばいじん、PM<sub>2.5</sub>、凝縮性粒子の集計結果を図 2 から図 4 に示す。なお、この集計結果については、以下の事項に留意する必要がある。

- ・ ばいじんについては、調査事例が比較的多く確認されたが、過去の都調査結果も集計対象に加えたため、比較的古い結果も多く含まれる。
- ・ PM<sub>2.5</sub> については、カスケードインパクト（以下、CI という）及びバーチャルインパクト（以下、VI という）による異なる測定方法があるが、発生源情報が少ないことから、ここでは両結果を合わせて集計を実施したため、必ずしも同じ手法による PM<sub>2.5</sub> 濃度ではない<sup>2</sup>。
- ・ 凝縮性粒子については、過去に多く実施されている空気希釈法による測定結果を主に集計している。

集計の結果、ばいじんでは、業種別では廃棄物処理業、施設別ではボイラ及び廃棄物焼却炉、燃原料別では A 重油、一般廃棄物及び産業廃棄物のデータが多い結果となった。業種別による廃棄物処理業の分類だけではバラつきが大きく、燃原料である一般廃棄物と産業廃棄物による濃度差が確認された。調査事例は比較的多く確認されるが、過去の古い結果も含まれており、バラツキも多く確認された。

PM<sub>2.5</sub> 及び凝縮性粒子でも、ばいじんと同様の傾向が確認され、各業種や施設を網羅しているが、調査事例が数事例であったり、業種、施設、燃原料で調査未実施の事例も多く確認された。

---

<sup>2</sup> PM<sub>2.5</sub> 濃度では、CI の測定機器内の捕集板で捕集した粒子が反発や再飛散等の影響を受けることで、VI よりも排出ガス濃度が高い値を示すことがある。

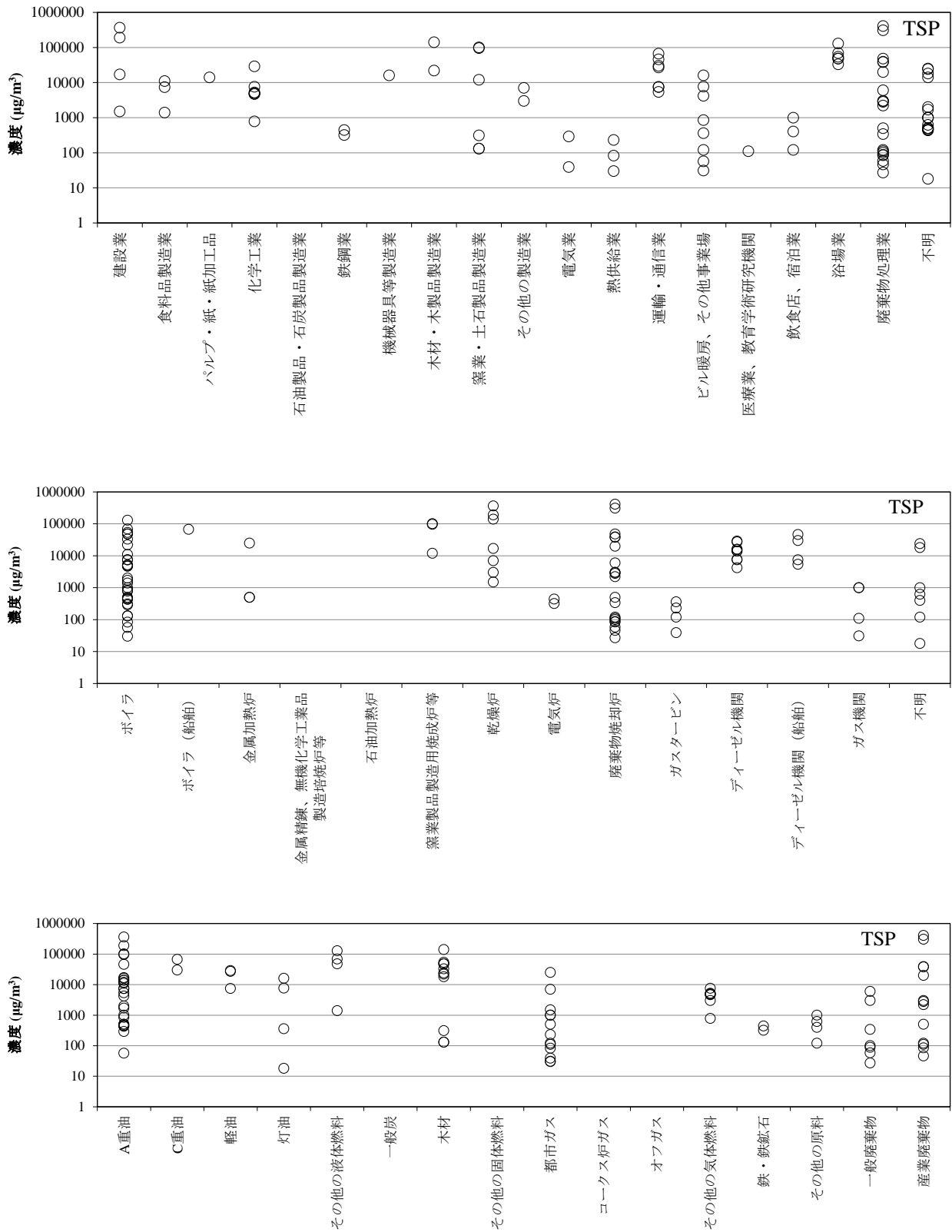


図 2 既存調査を含めた発生源調査結果によるばいじんの集計結果

上図：業種別、中図：施設別、下図：燃原料別

\* 濃度は対数目盛で示した。

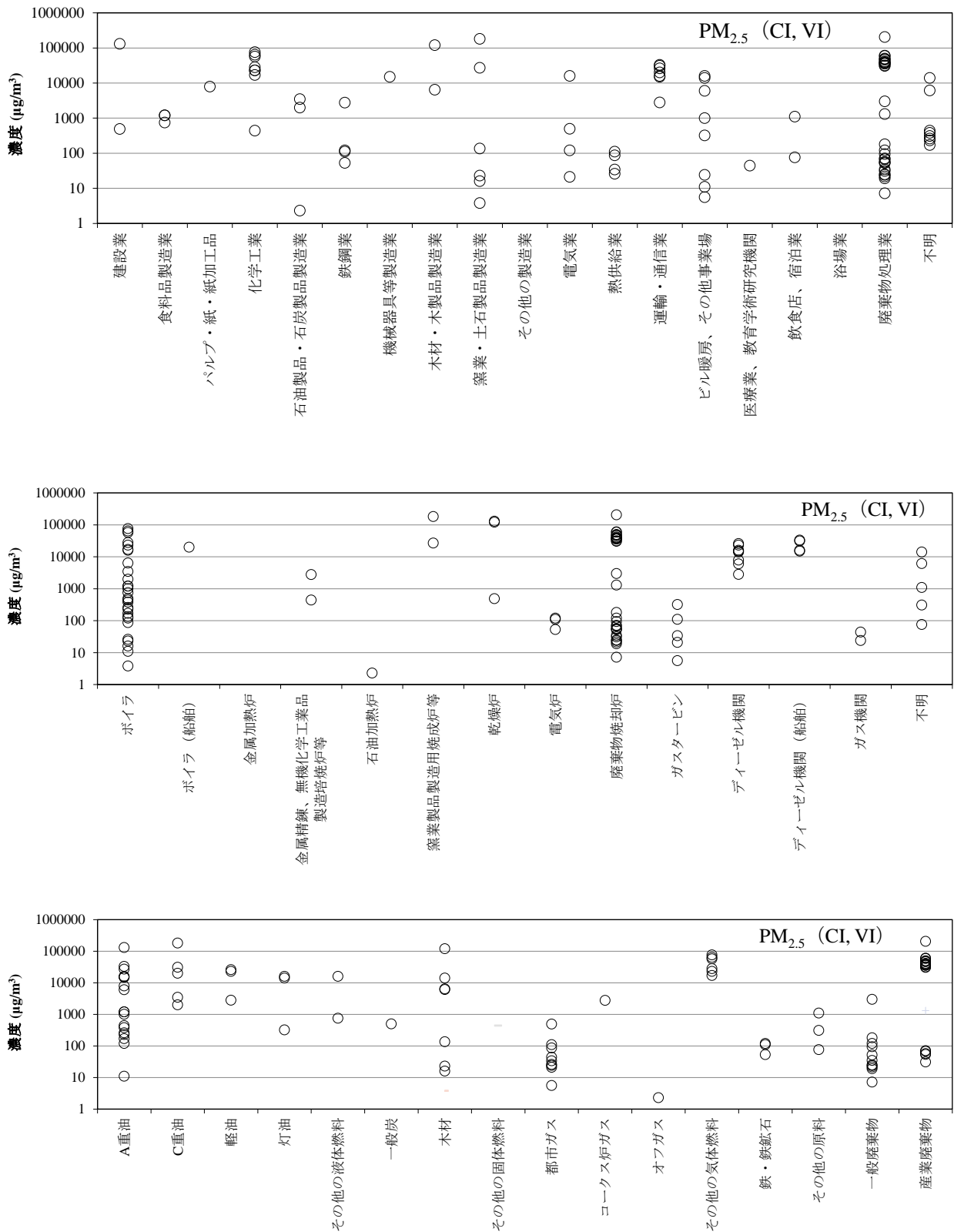


図 3 既存調査を含めた発生源調査結果による PM<sub>2.5</sub> の集計結果

上図：業種別、中図：施設別、下図：燃原料別

\* 発生源情報が少ないことから CI 及び VI の異なる測定方法の両結果を合わせて集計を実施したため、必ずしも同手法による PM<sub>2.5</sub> 濃度ではないことに注意が必要である。濃度は対数目盛で示した。

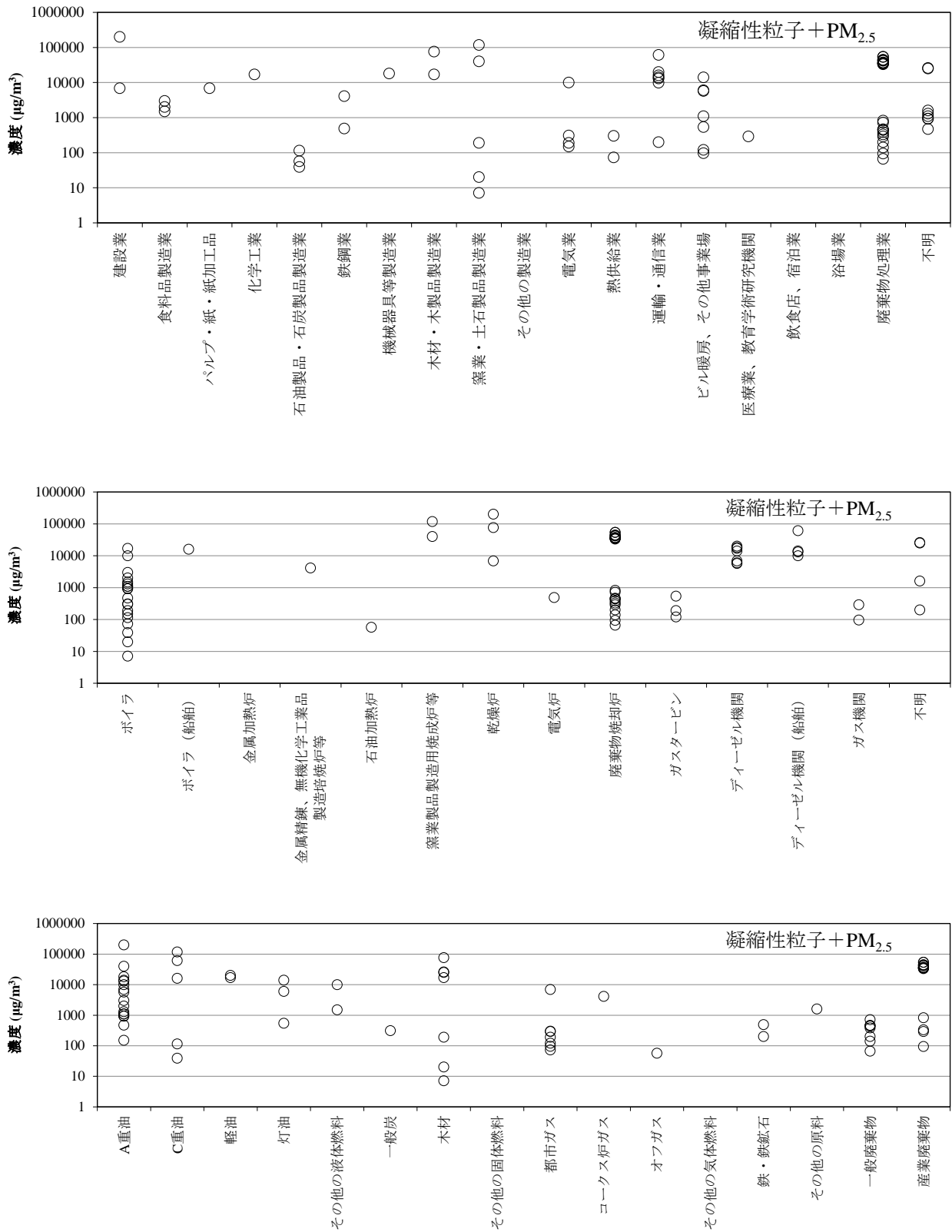


図 4 既存調査を含めた発生源調査結果による凝縮性粒子の集計結果

上図：業種別、中図：施設別、下図：燃原料別

\* 濃度は対数目盛で示した。



### 3.3. 既存のプロファイルとの比較 (PM<sub>2.5</sub>/TSP 比)

シミュレーション解析調査でも用いている環境省インベントリでは、MAP 調査によるばいじん濃度 (以下、TSP という<sup>3</sup>) から PM<sub>2.5</sub> 排出量を算出する際、排出係数である業種・燃原料別の PM<sub>2.5</sub>/TSP 比は文献値により設定している。しかし、前述のとおり算出に用いる文献値は 1985 年の報告書<sup>4</sup>から用いたものが多く、必ずしも現状の実態を反映しきれていない可能性がある。そこで、本調査結果を基に PM<sub>2.5</sub>/TSP 比を算出し、現行のインベントリで用いられている PM<sub>2.5</sub>/TSP 比の値との比較を行った。

算出に当たっては、現行のインベントリで用いられている業種・燃原料別に結果を分類した。3.2 と同様に PM<sub>2.5</sub> については、CI と VI の結果を同じ PM<sub>2.5</sub> として統合し、同一施設において両測定方法が確認される場合には、VI の結果を用いた。また、TSP の結果がない施設については、VI で捕集された総粉じん量を TSP と仮定し、同一施設において両測定方法が確認された場合は、TSP の結果を優先した。本来、PM<sub>2.5</sub> よりも TSP の方が濃度が高いはずであることから、算出した値において、PM<sub>2.5</sub> 濃度が TSP 濃度を大きく上回った結果については本算出からは除外した (ここでは、PM<sub>2.5</sub>/TSP が 2 以上とした)。

上記を踏まえて算出した本調査結果による PM<sub>2.5</sub>/TSP 比と現行の PM<sub>2.5</sub>/TSP 比の結果を図 5 に示す。本調査集計値の平均と現行値は、一部乖離している業種もあるものの、概ね一致している傾向が確認された。ただし、1 事例の業種も多く、また事例が多い業種では、平均値は現行値に近いものの、最大最小幅は大きい結果となった。

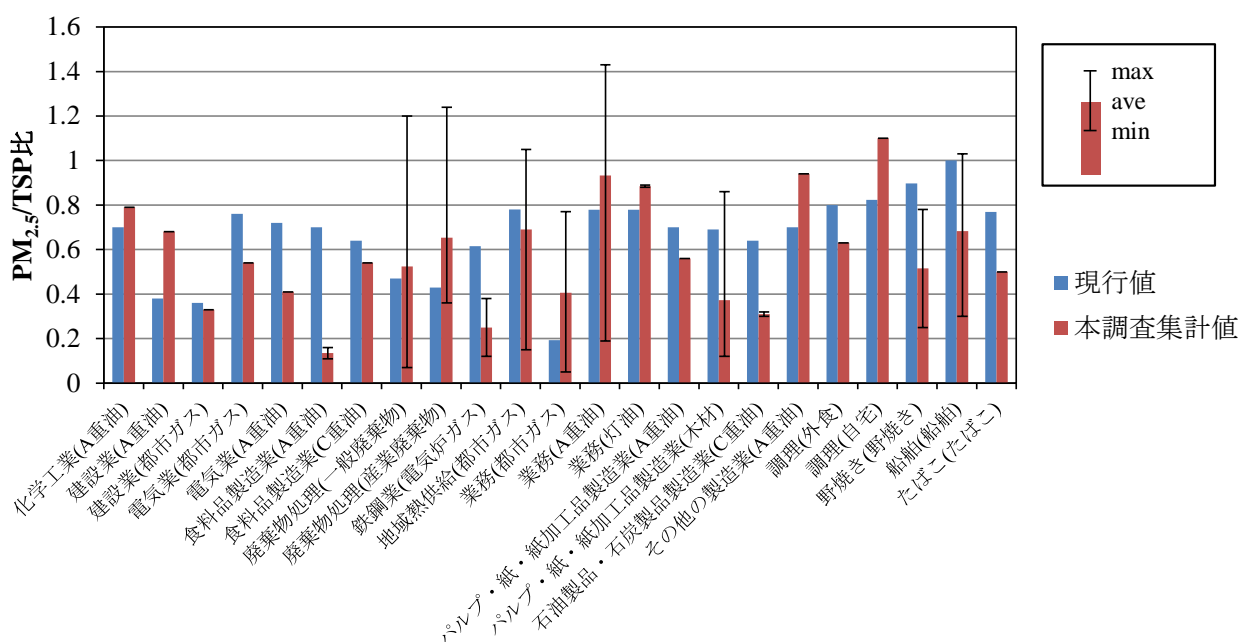


図 5 本調査結果から集計した PM<sub>2.5</sub>/TSP 比と現行のインベントリで用いる PM<sub>2.5</sub>/TSP 比

- \* 本調査集計値のエラーバーは最大値と最小値を示す。
- \* 同一施設について TSP、PM<sub>2.5</sub>(CI)、PM<sub>2.5</sub>(VI)、総粉じん(VI)がある場合には、優先順位を付けて集計した (PM<sub>2.5</sub>(VI)/TSP > PM<sub>2.5</sub>(VI)/TOTAL > PM<sub>2.5</sub>(CI)/TSP)。

<sup>3</sup> TSP : Total Suspended Particles

<sup>4</sup> 粒子状物質の挙動に関する調査研究 拡散シミュレーション (産業公害防止協会、昭和 60 年 3 月)

### 3.4. 一次排出による PM<sub>2.5</sub> と凝縮性粒子

凝縮性粒子は、高温のため気体だが、放出された大気中で冷却され粒子となる物質であり、排出量が多いとされているが、現状のインベントリでは考慮されていない。

そこで、凝縮性粒子の課題を整理するため、本調査結果で集計した PM<sub>2.5</sub> と凝縮性粒子の比較を行った。集計した PM<sub>2.5</sub> と凝縮性粒子の調査結果の業種別・燃原料別の比率を図 6 に示す。ここでも 3.2 と同様に PM<sub>2.5</sub> については、CI と VI の結果を合わせて集計した。

集計結果では、重油や廃棄物焼却等、比率が倍以上の燃原料が確認された。また、一般的に排出濃度が少ないとされる都市ガス燃料でも、PM<sub>2.5</sub> と比べ、比較的多くの凝縮性粒子が確認される結果となった。

ただし、この結果も同様に事例が少ないものが多く、バラツキも大きく確認されることから、今後もデータの拡充が求められる。

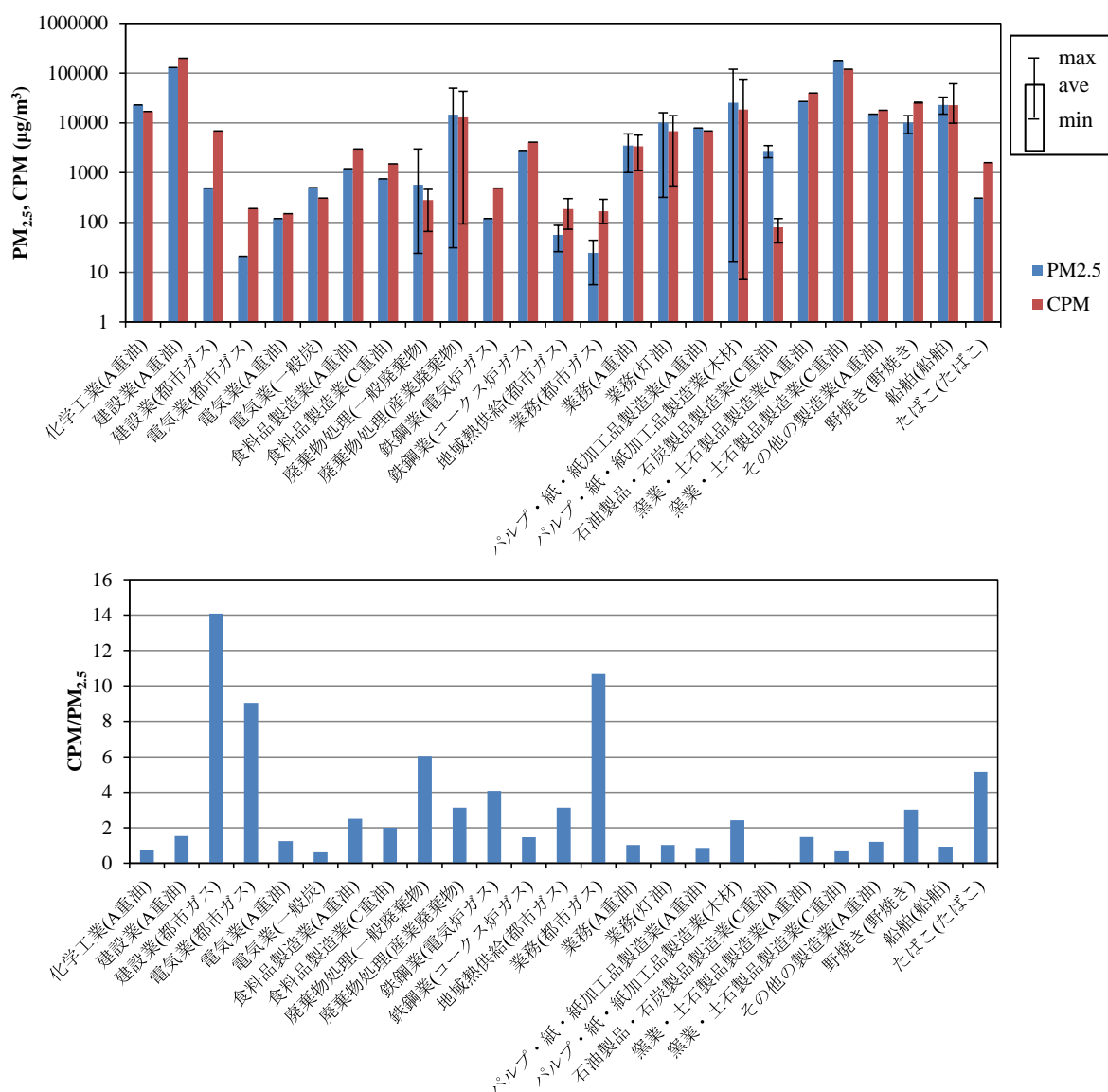


図 6 本調査で集計した CPM と PM<sub>2.5</sub> (上図 : CPM・PM<sub>2.5</sub> 濃度、下図 : CPM/PM<sub>2.5</sub> 比)

- \* 凝縮性粒子を CPM (Condensable Particulate Matter) とした。
- \* PM<sub>2.5</sub> については、CI と VI の結果を合わせて集計している。
- \* 上図の濃度は対数目盛で示した。

### 3.5. 測定結果の不確実性の整理

本調査による集計結果において、PM<sub>2.5</sub>/TSP 比や PM<sub>2.5</sub> と凝縮性粒子の比較を実施したが、発生源情報が少ないことや図 2 から図 4 に示すように、業種、施設、燃原料によってバラツキが多く確認された。本来、既存調査結果を類型化するには、施設の規模や集塵装置の種類等も含めて集計することが望ましい。しかし、本調査結果では、発生源情報が限られており、施設規模や後処理装置等に起因するバラツキの大きさを検討することは困難であることから、なるべく同じ分類で多くの事例を確保し、濃度分類が可能な業種、施設及び燃原料で類型化することとした。

凝縮性粒子については、測定事例として確認された空気希釈法では、低濃度の排出ガス試料の場合、希釈倍率によって測定を正確に実施することが困難であるという課題がある。現在、測定時の温度やガス成分の濃度の影響を受けずに凝縮性粒子の排出実態を把握する手法として、有機物の揮発性分布を測定する研究が進められ、研究レベルではあるが、新たな測定方法も提案された<sup>5</sup>。今後、発生源情報を充実させるにはそういった新たな測定方法による排出源の実態把握が望まれる。

このように現状の測定データ等の発生源情報は必ずしも十分であるとは言えず、引き続きより多くの施設における測定結果の情報収集やデータの拡充が必要であることに留意する必要がある。

## 4. まとめ

大規模固定煙源調査の結果を以下に示す。

- 本調査で収集した発生源調査結果について、業種別、施設別、燃原料別で集計したところ、業種・施設別だけではバラつきが大きく、燃原料で濃度差がある分野が確認された。一方、調査事例が少なく、業種、施設、燃原料のそれぞれの分野で調査未実施の事例も多く確認された。
- PM<sub>2.5</sub>/TSP 比について、現行のインベントリで用いられる数値と本調査結果集計値を比較したところ、概ね一致している傾向が確認できたが、最大最小幅は大きい業種や一部乖離している業種も確認された。
- 凝縮性粒子と PM<sub>2.5</sub> では、重油や廃棄物焼却等、比率が倍近くの濃度差が確認され、排出濃度の小さい都市ガス燃料でも PM<sub>2.5</sub> よりも比較的多くの凝縮性粒子が確認された。
- 本調査は、限られた発生源情報を基に取りまとめた結果であり、業種、施設、燃原料によってバラつきが多く確認されたことから、現状の発生源情報は必ずしも十分であるとは言えず、引き続きより多くの施設における測定結果の情報収集やデータの拡充が求められることを踏まえた上での考察であることに留意する必要がある。

<sup>5</sup> 環境省研究総合推進費「5-1506」「燃焼発生源における希釈法による凝縮性一次粒子揮発性特性の評価法の確立（平成 27 年度から平成 29 年度）研究代表者：藤谷雄二（国立環境研究所）」