

空気調和機の不具合の原因分析に関する研究

Causal Analysis Research on the Malfunction of Air Conditioning Machine

J04082-2 奈良 知幸

神奈川県にある某生産工場に設置されている、空気調和機のエアフィルタと熱交換器が詰まるという不具合が発生している。本研究では、現場での調査から得られたデータより、不具合を起こす原因分析を行った。その結果、外気に存在する多量の粉じんと、空気調和機内での粉じんの動向を確認できた。このことより、火力発電所などから排出された多量の粉じんが、空気調和機に侵入しエアフィルタを詰まらせていることがわかった。

The fault which the air filter and heat exchange machine clogged in a certain production plant has occurred in Kanagawa Prefecture. This research is analyzed the cause of the fault according to the data from survey on the spot.

Consequently, the confirmation is the movement of a large number of fine particles which exist outside the air and inside the air conditioning machine. From this analyses, the air filter clogged up with a large number of fine particles were discharged from the thermal power plant which break into the air conditioning machine.

1. 背景と目的

空気調和とは、室内の人間あるいは機器・物品に対して、温度・湿度・気流などの熱的環境のほか、浮遊微粒子・汚染ガス・浮遊微生物など空気質環境においても、これらを良好な状態に保つための設備である。すなわち、空調の目的は対象空間の空気状態を温度・湿度・気流・空気清浄度の4項目について適切な状態を保つことである。これらの空気調和には人間の快適環境を対象とする保健空調と、機器・物品の適正環境を対象とする産業空調に大別される。産業空調は工場の生産工程や物品の貯蔵などのための空調であり、それぞれの目標値や必要な精度は対象により異なり、多様である。

このような高い条件を満たすために空気調和機があり、これを構成する部位のひとつにエアフィルタがある。エアフィルタは、空気中の微粒子をフィルタで濾過する装置で、集じん装置の一種であり、空気清浄を目的として使用される。したがって、エアフィルタが対象とする粒子濃度は低く、粒径も $10\mu\text{m}$ 以下からとサブミクロン粒子までが対象となる。もし、エアフィルタが詰まると、正常な空気調和が行えず、高い条件の空間を維持することが困難になるであろう。こうした事態が起こった場合には、ただちにエアフィルタを交換するなどの、改善策が必要となる。

神奈川県にある某生産工場に設置されている空気調和設備では、それを構成する空気調和機のエアフィルタと熱交換器が詰まるという不具合が発生している。

本研究では、現場での調査から得られたデータを分析し、不具合を起こす原因を解明することを目的とする。

2. 調査概要

2. 1 測定概要

測定は、2007年8月3～9日に行われた。測定の概要（測定場所、測定日、測定時刻、測定方法）については、表1に示すとおりである。

測定対象は、パーティクルカウンタを用いて、吸い込み流量 $28.3\text{L}/\text{min}$ で浮遊粉じんの粒径別個数濃度の連続測定を行った。また、フィルタ捕集法で採取した粉じんを電子マイクロアナライザで元素分析を行った。

2. 2 測定現場

工場は平地で川端にあり、周囲を公道で囲まれている。また、不具合を起こす原因である粉じんを排出していると予想される火力発電所は北に数 km の場所に位置している。工場敷地内の状況は、フォークリフトが多数稼動しており、北側にはトラックも頻繁に出入りしている。

測定対象である工場の空気調和機の構成図を図1に示す。測定箇所は、プレフィルタの前後と HEPA フィルタの前である。粉じんが詰まり不具合を起こす箇所は、中性能フィルタ、冷却コイル、加熱コイルで、ファン、加湿器は詰まることなく正常に稼動している。

表1 測定概要

| 測定場所 | 測定日 | 測定時刻 | 測定方法 |
|---------------------|------------|-------------|-----------|
| 北側2F外気ガラリ(地上7m) | 2007/8/3~9 | 終日 | 276回、30分毎 |
| 南側1F外気入口(地上2m) | 2007/8/3~9 | 終日 | 276回、30分毎 |
| 北側6F外気ガラリ | 2007/8/3 | 11:30~13:12 | 13回、1分毎 |
| 北側2F外調機(プレフィルタ前) | 2007/8/3 | 10:36~11:08 | 11回、2分毎 |
| 北側2F外調機(中性能フィルタ出口) | 2007/8/3 | 10:23~10:54 | 11回、2分毎 |
| 北側2F外調機(HEPAフィルタ入口) | 2007/8/3 | 10:45~15:29 | 39回、10分毎 |

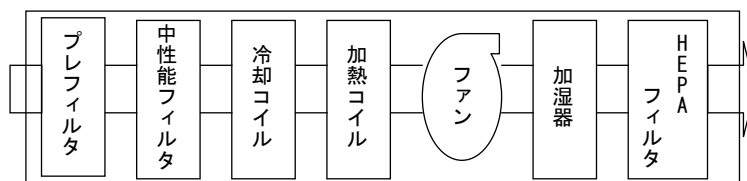


図1 空気調和機の構成

3. 測定結果とその検討

3. 1 外気

北側、南側外気の粒径別個数濃度測定結果を図2に示す。北側、南側の違いが大きく表れた。双方の全測定値の平均を出してみると、北側は南側の2.26倍も高い数値を示している。粒径別では、特に粒径0.1 μm 以上の細かい粉じんの濃度が高いことがわかる。また、1日に1回程度（一定の時間）極端に高い数値を示していることがわかる。詳細な時刻を示すと、8/4は11:05、8/5は20:35、8/6は10:35、8/7は09:35、8/8は15:05前後である。これらの時刻に傾向はみられない。しかし、1日に1回という点での傾向がみられる為、偶然ではないと考えられる。

個数濃度と質量濃度とは、エアロゾルの密度が既知であれば換算することが可能であり、一般的に粒子密度を $1 \times 10^9 \text{ mg/m}^3$ と仮定することで変換できる。このことより、環境基準値（浮遊粒子状物質について「1時間値の1日平均値が 0.10 mg/m^3 以下」）と比較する為に個数濃度を質量濃度に換算した。そして、1日平均値（一日の1時から24時までの24時間分の1時間値の算術平均値）を図2に示す。しかし、本来、この環境基準は、工業専用地域、車道その他一般公衆が通常生活していない地域または場所については、適用しない事となっている。その為、参考としての比較とする。

図3より北、南側とも8/4、8/5、8/6が比較的高い数値を示している。特に北側でこの傾向が強い。これらの日、南側は、1日平均値が基準値の 0.10 mg/m^3 を微量超過しているのに対し、北側は、基準値の2倍以上の数値を示しており、大きく超過している。

これらの結果から南側はほぼ正常な空気環境にあり、北側は多量の粉じんが浮遊している、異常な空気環境になっていることがわかった。

これらの双方での大きな違いは、現場から北に数 km 離れた所にある火力発電所、また運送関係車両（トラック、フォークリフト）の出入りや現場工場などが、粉じんの発生源として考えられ、これらの稼動状態などの要因が考えられる。しかし、トラックが排出するディーゼル排気微粒子（Diesel Exhaust Particles ; DEP）は粒径 $2.0 \mu\text{m}$ 程度とされているが、今回の測定ではこの粒径は双方であまり違いが見られなかった為、不具合の根本的な原因が運送関係車両であるとは、考えられない。また、同じ工場内での双方のこれだけの数値の差は考えにくいことから、外部の火力発電所が排出する煤じんの影響が大きいことが考えられる。

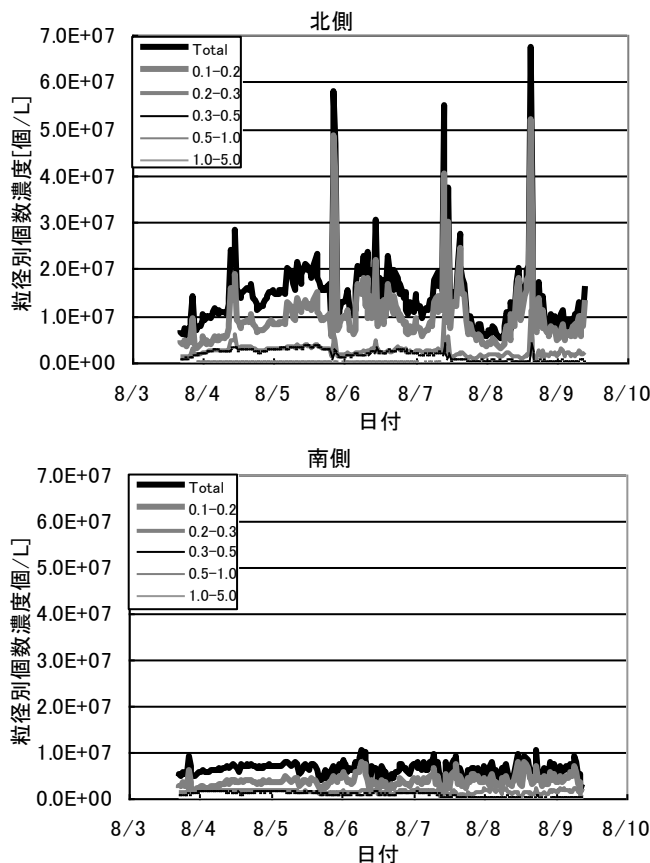


図2 外気の粒径別個数濃度

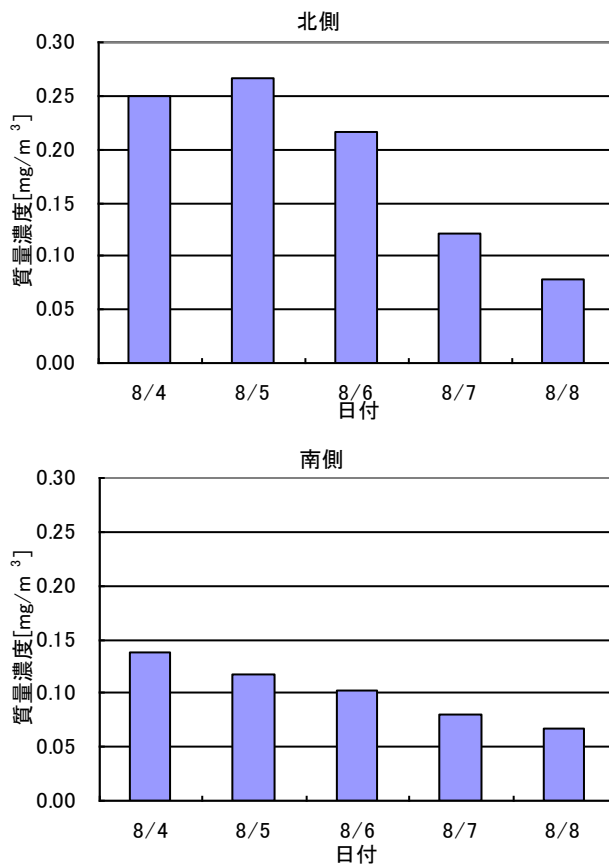


図3 質量濃度の1日平均値

3. 2 高低差

2F と 6F の粒経別個数濃度測定結果を図 4 に示す。全体的に 2F より 6F の方が高い数値を示し、変化が激しいことがわかる。特に $0.1\mu\text{m}$ 以上の粒径で違いが見られた。しかし、 $0.2\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 以上の粒径は 2F の方が高い数値を示す。これより、6F は粒径の小さい軽い粉じんの濃度が高く、2F は粒径の大きな重い粉じんの濃度が高いと言える。この結果から粉じんの発生源が、測定地付近ではなく離れた所にあり、風に乗りより粒径の小さい軽い粉じんが発生源から飛散してきたと考えられる。もしくは現場で排出された粉じんの中の粒径の小さい軽い粉じんが、上昇したとも考えられる。また、粒径の大きな重い粉じんは、測定値付近が発生源であると考えられる。なお、同じ日のデータが無いことや、6F の測定時間が短いため安易に比較はできないが、おそらく終日このような傾向にあることが予想される。

3. 3 空気調和機内

空気調和機内の粒経別個数濃度測定結果を図 5 に示す。外気とプレフィルタ前では、総量の変化は外気よりプレフィルタ前の方が濃度は高いことがわかる。

これらの結果は、ガラリから同フィルタ前までのダクト内に、粉じんが滞留していることを示している。粒径の小さい軽い粉じんは浮遊していて、粒径の大きい重い粉じんは沈着し、再飛散していることが考えられる。再飛散は、集じん効率の低下につながり、また、再飛散した粉じんの一部は、最沈着を経て壁面の汚染の新たな原因となる。更に、付着した粉じん同士が凝集体を成して飛散することが考えられる。

プレフィルタ前から中性能フィルタ後では、総量の変化から、フィルタを通過するにしたがって、数値が減少していき粉じんが捕集されているのがわかる。粒径別では、やはり $1.0\mu\text{m}$ 以上の粒径は、プレフィルタ前と中性能フィルタ後の数値に、全粒径の中で一番大きな変化が見られる。よって、確実にフィルタにより捕集されているのだろう。他の粒径も 1/3 以下に減少している為、双方のフィルタにより捕集されていることがわかる。

中性能フィルタ後から HEPA フィルタ前では、総量では減少している。粒径別では、 $0.2\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒径はほとんど変化が見られないが、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ 以上の粒径は 1/2 程度に減少している。この間にフィルタは存在せず、粉じんが詰まり不具合を起こす、冷却コイル、加熱コイルが設置されている。このことから粒径 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ 以上の粒径の粉じんが影響を与えていると考えられる。しかし、これらの粒径は大きさがあまりにも異なっていることには疑問が残る。

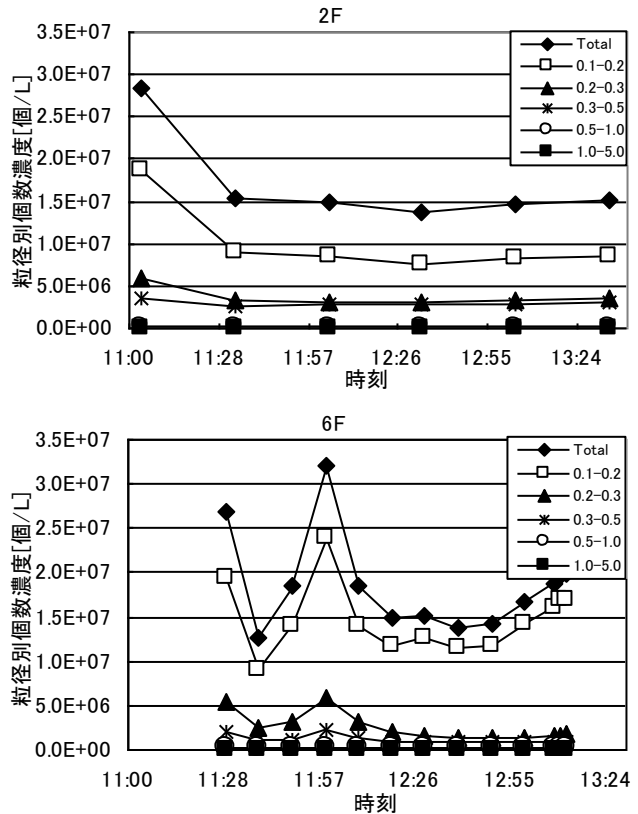


図 4 2F と 6F の粒経別個数濃度

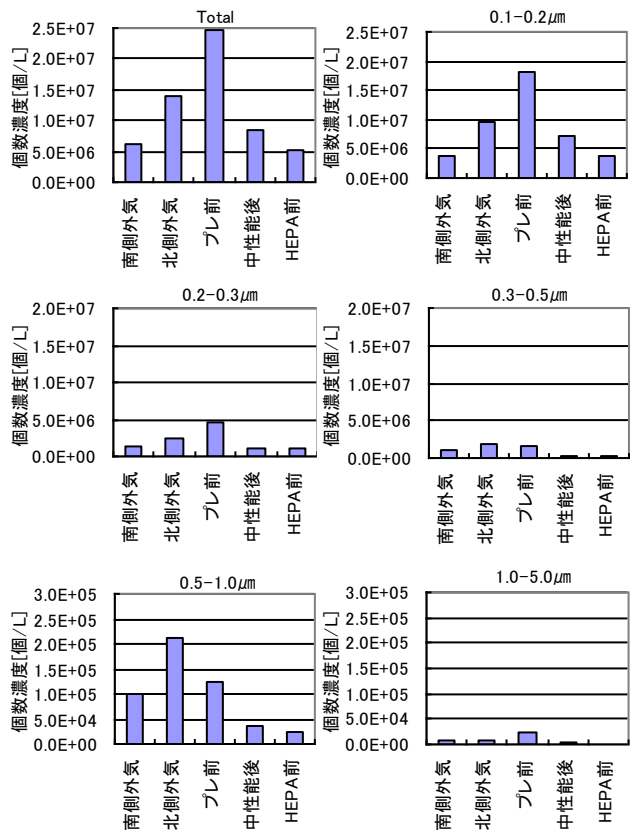


図 5 空気調和機内の粒経別個数濃度

3. 4 元素分析

北側、南側外気と HEPA フィルタの元素分析結果を図 6 に示す。北側、南側の結果の重量比率を図 7 に示した。これは、個数濃度で北側は南側の 2.26 倍よりこの数値を北側の半定量結果に乗じた。

北側、南側外気を比較すると、質量比率ではすべての元素において北側の方が高い数値を示している。半定量結果から、双方とも C (炭素) の数値が最も高い。南側は C (炭素) 80.6% と割合が高いが、北側は C (炭素) 58.7% にとどまり、他の元素の割合が南側と比較して高い。特に、S (硫黄) は、南側は 0.9% に対し北側は 4.7% と、最も違いが表れた。この結果は、火力発電所やトラックから排出される硫酸化物 (SO_x) の影響があるのではないかと考えられる。また、火力発電所からは、窒素酸化物 (NO_x)、二酸化炭素 (CO₂) ことから、酸素 (O) の割合も高くなったと考えられる。

HEPA フィルタでは、外気では検出されなかったカルシウム (Ca)、鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn) など金属元素が検出されている。これらは外気では検出されなかったことから工場ダクト内で、排出されていると考えられる。これらの金属元素から成る金属化合物が、無機灰分となり粉じんと混じり合って中性能フィルタ、冷却コイル、加熱コイルに堆積して目詰まりなどの影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

4. 研究の成果と今後の課題

北側外気では異常な量の粉じんが浮遊していることを確認した。特に北側 6F の粒径 0.1μm 位の濃度が高く、発生地が測定地から離れていると考えられる。また、元素分析の結果と併せて、火力発電所などから排出された多量の粉じんが、空気調和機に侵入しフィルタを詰まらせているのだろう。また、空気調和機内で沈着と再飛散を繰り返していることが考えられる。

今回の調査では粒径別個数濃度のみの測定しか行っておらず、断定は出来ない。今後、気温、湿度、風速なども測定したり、長時間の測定を行うなど、より詳細なデータを収集し分析する必要がある。また、空気調和機や工場の稼働状態の把握も必要だと考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本エアロゾル学会：エアロゾル用語集，初版，京都大学学術出版会，2004
- 2) 環境工学教科書研究会：環境工学教科書，第 2 版，彰国社，2004
- 3) 建築物の環境衛生管理編集委員会：建築物の環境衛生管理，第 2 版，財団法人ビル管理教育センター，2006
- 4) 図解 空気調和・給排水の大事典：空気調和・衛生工学会，初版，オーム社，1998

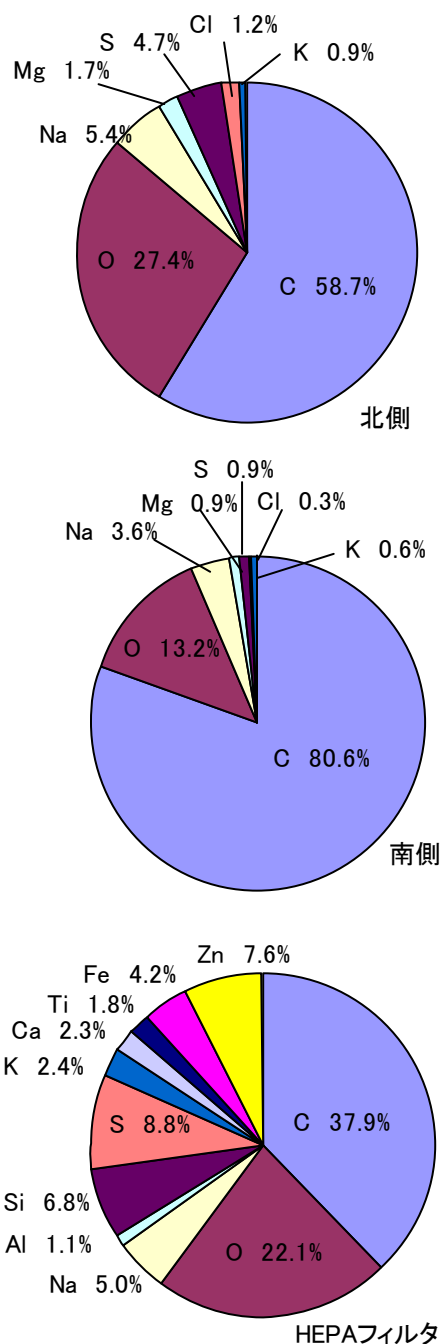


図 6 元素分析 半定量結果

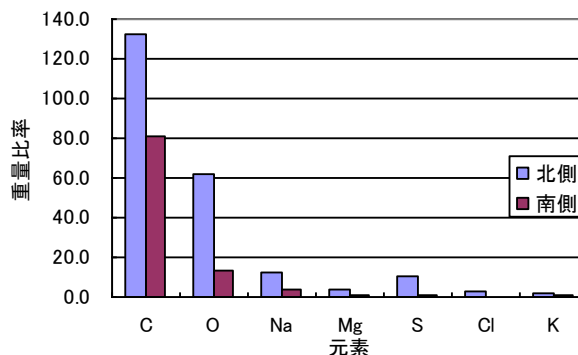


図 7 北側と南側の質量比率

