

未使用 PM 捕集フィルタの 相対湿度に対する重量変化について

大橋 厚人*

Weight Change of Unused PM Collection Filter with Respect to Relative Humidity

by

OHASHI Atsuto

Abstract

In JIS B 8008-1: 2009, which describes a measurement method for particulate matter (PM) emitted from marine diesel engines, the specified temperature and relative humidity when weighing the filter for PM collection are $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $45\% \pm 8\%$, respectively. The JIS specifies the weight difference of a blank filter before and after PM weighing to monitor the contamination from the weighing environment. However, the weight gap of the filter caused by humidity under this weighing condition has yet to be studied. In this report, we investigated the weight gap of the TX40HI20-WW filter with a diameter of 70 mm used for PM collection when the relative humidity increased from 37 % to 53 % at 22 °C. The results showed that the filter weight increased proportionally with relative humidity, and this weight increase was comparable to the minimum allowable weight difference as specified by the JIS when using the filter. Even if this value is exceeded, the JIS weighing criteria does not need to be modified because it is possible to avoid exceeding the value by increasing the amount of PM collected.

* 環境・動力系

原稿受付 令和4年10月17日

審査日 令和4年11月22日

目 次

1. まえがき	44
2. 実験装置および実験方法	45
3. 実験結果および考察	46
4. まとめ	47
References	47

1. まえがき

熱効率が高いディーゼル機関は、安価な重質油を使用できることから、船舶で多く用いられている。しかし、その排気には、窒素酸化物、硫黄酸化物、粒子状物質（以下 PM と略す）等の大気汚染物質が含まれている。大気汚染物質の中で著者は PM に着目し、これまで船用ディーゼル機関から排出される PM の排出特性について研究を行ってきた¹⁾²⁾。船用ディーゼル機関から排出される粒子状物質の計測方法は、JIS B 8008-1: 2009（以下 JIS と略す）に記述されている。PM は JIS に則ってフィルタに捕集され、PM 捕集量は捕集前後のフィルタの重量差から求められる。実際に捕集される PM は微量であるため、ほこりなどによる秤量環境の汚染を監視するため“標準フィルタ”を設定し、捕集前後に標準フィルタの重量差が、0.010 mg と PM 捕集量の 5%との合計（0.040 mg を上限とする）を超える場合は、再計測することとなっている。この指標は、非常に微量であるため、フィルタ自体の重量変化の要因について、知見を得る必要がある。

所外の計測先機関において PM 計測する場合、事前に当所でフィルタを秤量し、PM 捕集後にフィルタを持ち帰り秤量することで PM 捕集量を求めている。この時、フィルタ運搬の不慎によるデータ損失を防ぐため、計測先機関においても、秤量するようにしてきた。しかし、当所で事前に得た未使用の PM 捕集フィルタの重量と、計測先機関で秤量した重量との間に無視できない差が確認された。当所では、22 °C で相対湿度 45 % に設定した恒温恒湿槽内にマイクロ天秤を設置し、フィルタを秤量している。一方、JIS では、22 °C ± 3 °C、相対湿度 45 % ± 8 % に管理された秤量室で秤量するよう定めており、温度と湿度に変動幅が許容されている。そのため、計測先機関では恒温恒湿槽が使われていた例がなく、秤量室が使われていた。人が出入りする秤量室では、呼吸や体表面からの水蒸気により、秤量環境の相対湿度が高くなる。したがって、フィルタ重量の違いの原因として、PM 捕集フィルタの相対湿度に対する影響に着目した。

PM 捕集に使用されるフッ素樹脂バインダーガラス繊維フィルタ（東京ダイレック株式会社製 TX40HI20-WW、以下 TX フィルタと略す）について、中島ら³⁾は、PM を捕集した TX フィルタと未使用の TX フィルタの水分量をカールフィッシャー法により求め、両者の差から PM 中の水分量を求めた。この中で、未使用の TX フィルタを相対湿度 35 % から 70 % の範囲で調湿して水分量を求めた結果、10 % の相対湿度の増加により、フィルタ重量の約 0.015 % の水分が増加すると予想した。この結果と TX フィルタの仕様⁴⁾ 5.0 mg/cm² から求めた、当所で使用している直径 70 mm の TX フィルタの重量より、相対湿度が PM 秤量条件の下限から上限まで 16 % 変化した時、およそ 0.046 mg の水分増加が見込まれる。したがって、JIS で決められた範囲内であっても捕集前後の秤量時に湿度の違いがあれば、再計測に関係する指標の上限 0.040 mg でさえも超える可能性があることが分かった。しかし、中島らの報告は、フィルタを秤量した結果ではなくフィルタ中の水分量から予測した値であることや、相対湿度の範囲が PM 秤量条件より広いという問題があり、相対湿度が PM 秤量条件の下限から上限まで変化した時にどの程度重量変化するかを確認する必要があると考えた。さらに、仮に指標を超えることが確認できた場合には、相対湿度に関する秤量条件を狭める必要があると考えた。

本報告では、当所の恒温恒湿槽の温度を 22 °C に固定し、相対湿度を PM 秤量条件の下限 37 % から上限 53 % へ変化させ、TX フィルタの重量変化を調べ、以下に報告する。

2. 実験装置および実験方法

PMの秤量に使用する恒温恒湿槽には、東京ダイレック株式会社製 PWS-80NF を使用した。本装置は、恒温恒湿槽部と温湿度コントロール部からなり、写真1に恒温恒湿槽部を示す。秤量は、槽内の防振台上に設置したマイクロ天秤（メトラー・トレド株式会社製 XP6V、フィルタ測定キット含む）により行った。この天秤は、分解能 0.001 mg、繰り返し性 0.0004 mg（標準偏差）の性能を有している。マイクロ天秤の操作やフィルタの秤量は、通常、写真1の左に示した操作孔から手を入れて、ピンセット等を使い行う。この時、手の表面からの水蒸気や槽外の空気が入るため、本実験では、操作孔にグローブ（ダイヤゴム株式会社製 ダイグローブ H203-60-L）を取り付ける改造をおこない、手の表面からの水蒸気や槽外の空気が入ることを防いだ。槽内の空気は、槽内の上部に取り付けられた温湿度センサーを指標として温湿度制御部にて設定温湿度に調整され、HEPA フィルタでろ過され、槽内を上から下に流れ、循環させている。温湿度制御部では、温湿度の調整のため、冷凍機、加湿ヒーター、加温ヒーターを制御している。天秤を装置内分銅で校正するとともに、フィルタ重量と同程度である 200 mg の標準分銅（株式会社島津製作所製、JCSS 付）により応答を確認した後、TX フィルタを秤量した。秤量時に除電器（株式会社島津製作所製 STABLO-EX）を使用した。未使用の直径 70 mm の TX フィルタ 5 枚を実験に使用し、写真1の右に示す通り 1 枚ずつガラス製のシャーレに入れ実験した。なお、実験に使用するフィルタの枚数は、ダスト捕集用フィルタの性能試験方法⁵⁾で使用されているフィルタ枚数を参考とした。実験は、槽内の温度を 22℃ に保ち、通常の秤量条件である相対湿度 45% で調湿後、秤量条件の下限の相対湿度 37% へ変更して秤量し、次に、相対湿度を 45% へ変更して秤量し、最後に上限の相対湿度 53% へ変更して秤量した。JIS では、PM 捕集後に、フィルタを秤量室に戻して少なくとも 1 時間その状態を保ち、その後秤量することとなっている。そのため、相対湿度を変更後、1 時間調湿した後に秤量した。



写真1 恒温恒湿槽部

左：槽部（内寸法：幅 796 mm，奥行き 796 mm，高さ 1000 mm），右：マイクロ天秤等を拡大

3. 実験結果および考察

恒温恒湿槽内の温度を 22 °C に保ち、相対湿度を 37 %、45 %、53 % に変更し、TX フィルタの重量変化を調査した結果を図 1 と表 1 に示す。秤量は各条件で 3 回行い、表 1 に相対湿度 45 % の計量結果と標準偏差を示し、これを基準として相対湿度 37 % と 53 % の増減を示し、最後に相対湿度 37 % から 53 % への変化量を示した。図 1 は、横軸に相対湿度をとり、縦軸に相対湿度 45 % からの増減を示した。図 1 より、相対湿度に対してフィルタの重量変化はおおむね比例関係があり、相対湿度 45 % からマイナス側にもプラス側にも同程度の変化が観測された。表 1 より相対湿度 37 % から 53 % への変化量については、中島らの予想から求めた値の半分程度となり、平均で 0.022 mg となった。軽いフィルタ（フィルタ番号 2 と 3）は変化量が少ない傾向があった。TX フィルタの仕様⁴⁾ 5.0 mg/cm² から求めた直径 70 mm の TX フィルタの重量は、およそ 192 mg となる。使用したフィルタは均一ではなく、重量の平均値はおよそ 199 mg を示した。

図 2 には、2020 年以降に PM 捕集に使用した 135 枚の直径 70 mm TX フィルタの重量分布を示す。22 °C 相対湿度 45 % において秤量した結果を、5 mg 幅で枚数を集計し、横軸にフィルタ重量、縦軸にフィルタ枚数を示した。135 枚の平均値は 199 mg、中央値は 201 mg、最小値は 182 mg、最大値は 209 mg であり、今回使用した 5 枚のフィルタ重量と同程度の平均値を示したため、変化量が今回の結果から大きく外れることは無いと考える。

JIS では、フィルタの大きさの例として、表 2 に示す 47 mm、70 mm、90 mm、110 mm の 4 種の直径が示され、それぞれの PM の最小捕集量が示されている。直径 70 mm の TX フィルタの最小捕集量は 0.25 mg であり、この時、1 章で示した再計測に関する指標を求めると $0.0225 \text{ mg} (0.010 + 0.05 \times 0.25)$ となる。今回求めた変化量はこれと同程度の値となった。しかし、PM 捕集量を増やすことにより、仮に相対湿度の変化が大きくてもこの指標を超えないようにすることが可能と考える。これに対し、直径 90 mm や 110 mm では、直径の 2 乗に比例してフィルタ重量がそれぞれおよそ 1.7 倍と 2.5 倍に増えることから、相対湿度に対する重量変化が同様に大きくなる。もしこれらのフィルタを使用するのであれば、指標対策として当所で使用している様な恒温恒湿槽により、相対湿度を管理する必要があると考える。しかし、現在、船用分野で PM 捕集に使用されているフィルタの直径は、47 mm と 70 mm であるため、相対湿度に関する秤量条件を狭める必要はないと考える。

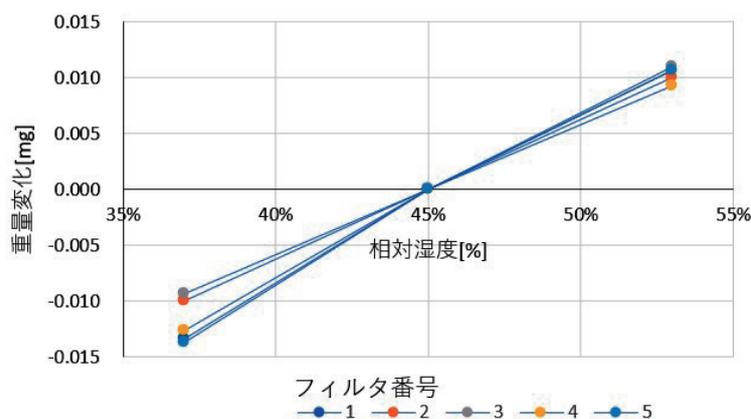


図 1 相対湿度に対する計量値変化

表 1 フィルタ計量結果 (mg)

フィルタ番号	相対湿度 45 %	σn	相対湿度 37 %	相対湿度 53 %	変化量
1	205.134	0.001	-0.013	0.011	0.024
2	186.494	0.000	-0.010	0.010	0.020
3	185.319	0.001	-0.009	0.011	0.020
4	207.911	0.001	-0.013	0.009	0.022
5	208.238	0.000	-0.014	0.011	0.024
平均	198.619		-0.012	0.010	0.022

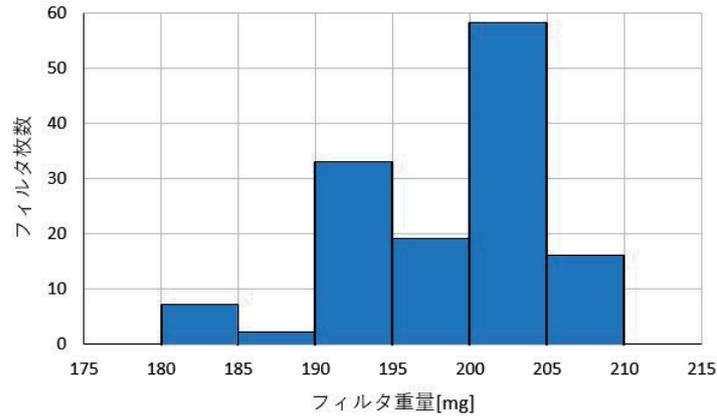


図2 フィルタ重量分布

表2 フィルタ直径と最小捕集量 (JIS B 8008-1 : 2009 より)

フィルタの直径 (mm)	最小捕集量 (mg)
47	0.11
70	0.25
90	0.41
110	0.62

4. まとめ

恒温恒湿槽の温度を 22 °C に固定し、相対湿度を PM 秤量条件の下限 37 % から上限 53 % へ変化させ、直径 70 mm の TX フィルタの重量変化を調べた。その結果、相対湿度に対してフィルタの重量変化はおおむね比例関係があり、相対湿度 37 % から 53 % へ変化させたとき平均で 0.022 mg の増加となった。この変化量は、最小捕集量のときの再計測に関する指標値と同程度であり、PM 捕集量を増やすことで指標を超えることを回避できるため、JIS の相対湿度に関する秤量条件を狭める必要はないと考える。

References

- 1) A. OHASHI, H. SHIROTA, M. NAKAMURA, A. MASUDA: Component Analysis of Particulate Matter Emitted from Marine Diesel Engines -Application to Air Quality Simulation, J. JIME, Vol.52 No.6(2017), pp.778-787.
- 2) M. NAKAMURA, A. OHASHI, Y. ICHIKAWA, A. MASUDA: Composition of Particulate Matter Emitted from Lean Burn Gas Engine with Pre-chamber Spark-plug Ignition System and Comparing Emissions with Those from Diesel Engines, J. JIME, Vol.57 No.2(2022), pp.246-251.
- 3) T. NAKAJIMA, S. SASAKI, K. ONODERA and S. KOBAYASHI: Measurement of Water Content of Diesel Particulates, JARI Research Journal, Vol.12 No.7(1990), pp.259-262.
- 4) <https://www.t-dylec.net/service/tx40hi20-wwfilter/>
- 5) JIS K 0901-1991, Form, size and performance testing methods of filtration media for collecting airborne particulate matters.