

【熱測定応用研究のページ】

マスクの熱分析
～接触冷感と高機能フィルタ～

細井 宜伸, 有井 忠

株式会社リガク

Thermal Analysis on Face Masks
— Cool Touch Fabric and
Air Filters for High Efficiency —

Yoshinobu Hosoi and Tadashi Arai

Rigaku Corporation

1. はじめに

2019 年末より始まった新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のパンデミックにより, 公衆におけるマスク着用がウイルスの伝搬を減らす目的で使用され, 2022 年 7 月時点においても外出時は常時マスクを着用する生活スタイルが続いている。このようにマスクが日常生活において欠かすことの出来ないものとなり, その結果, 従来の抗菌性, 花粉対策等の基本的な機能に加えて, スポーツなど激しい運動にも対応できるマスク, 肌に優しくファッション性に富んだマスクなど様々な要望が生まれた。

ウイルスの遮断などの一般的なマスクの性能評価は JIS 等で定められており,¹⁾ 主に微小粒子やウイルス・バクテリアを含むエアロゾルの捕集性能が評価対象である。それらに加えて上記のような新たな要望に応えるため, 今までマスクの研究開発で余り利用されなかった分析手法にも注目が集まっている。今回は接触冷感と高機能フィルタの 2 点に焦点を当てた分析事例を紹介する。

2. 接触冷感

新型コロナウイルスの感染防止対策の基本となるマスクの着用が引き続き求められている。ただし, 夏の暑さ

Table 1 Constituent materials of masks used for thermal conductivity measurement.

マスクの 種別	構成素材	備考
A	表生地: ポリエステル, ポリウレタン, キュプラ 裏生地: ナイロン, キュプラ, ポリウレタン フィルター: ポリプロピ レン	測定面は裏 地。理由は 肌に接触す る部分の 為。
B	生地: ポリエステル, ポリウレタン	裏表は同一
C	生地: ポリエステル	裏表は同一
D	生地: 綿	裏表は同一



Fig.1 Modified Transient Plane Source (MTPS) of TRIDENT system, and compression test accessory (CTA).

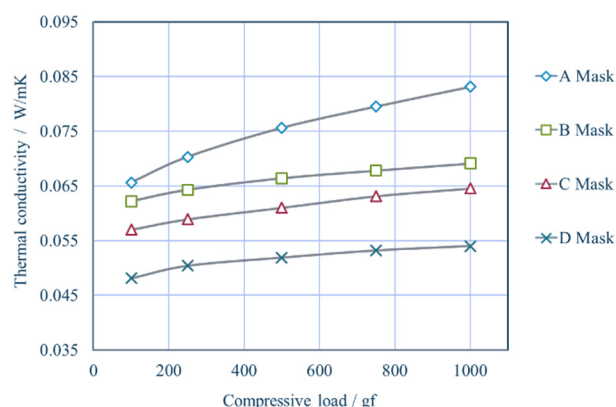


Fig.2 Comparison of thermal conductivities of different types of masks and evaluation of their compression load dependencies.

の中マスクを着用するのには不快感が大きく伴う。そこで, 暑い時期にマスクを付ける時に少しでも快適に過ごせるように, 冷感マスクなど付け心地をよくする工夫がされてきている。冷感という観点では, 最大熱流速や熱伝導率といった値で評価することも一つの方法である。²⁾ 今回, 熱伝導率を指標として, 各種マスクの性能について比較してみた。測定対象は, 洗濯をしても繰り返し使用できる **Table 1** に記載した市販マスクの 4 種類を選定した。

熱伝導率測定には, TRIDENT システムの改良平面熱源法 (MTPS) センサーならびに, 圧縮試験アクセサリ (CTA) を用い, マスクに 1,000 gf までの荷重を印加変化させたときの熱伝導率の差異を比較した。

Fig.2 には, 各マスクの熱伝導率の比較と CTA による圧縮荷重の依存性を示している。何れのマスクも圧縮荷重の増加に伴って見かけの熱伝導率は上昇する。マスクの熱伝導率の序列は, A マスク > B マスク > C マスク > D マスクの順位となった。

A マスクは, 熱伝導率の値が最も高い。特徴としてキュプラを使用しており, 吸湿・吸水性が良い繊維と言われ, 蒸れにくいという特徴を併せ持つ。複数の繊維を織り込んでおり, よく工夫されている。裏地の素材は, 一般的に使用されている女性用インナーシャツと同じ素材合繊である。B マスクと C マスクの違いは, 0.005 W m K^{-1} 程度であった。D マスクは最も熱伝導率が低く, 圧縮荷重の依存性も少ない傾向をもつ。マスク本来の目的が, 細菌や花粉などをカットするために, 不織布という独特の編み方をしている。綿マスクの編み方は不明であるが, おそらく空気層が増えてしまい, その影響で, 値が低くなってしまうと考えられる。

本法の熱伝導率の比較評価を通じて、マスクの一つの冷感特性として、見かけの熱伝導率の評価が指標となるものと考えられる。マスクの熱伝導率は、繊維素材そのものを評価しているのではなく、素材と空気層、そして生地編み方にも測定値が大きく依存すると考えられる。

3. 高性能フィルタ

新型コロナウイルス感染防止対策の一環としてマスク等に利用する不織布フィルタの使用が活発となり、捕集効率向上のためにより高性能なフィルタのニーズが高まっている。その一つに不織布にエレクトレットを形成することで静電気力により捕集効率の向上させたエレクトレットフィルタがある。³⁾ このフィルタの性能を左右するのは不織布中に形成された電荷トラップの性質であり、材料中のトラップの挙動を高感度に評価できる熱刺激電流 (Thermally Stimulated Current, TSC) 測定が注目されている。⁴⁾

TSC 測定は昇温過程で短絡した試料を流れる電流を観測する手法で、電流を温度の関数として表す熱分析の一種である。⁵⁾ 一般的に TSC 測定ではあらかじめ何らかの方法で分極した試料を昇温してその分極を減少させて発生する電流を計測する。この試料を分極するという操作はエレクトレット形成に他ならず、TSC 測定はエレクトレットフィルタから電荷トラップの除去、または双極子分極が緩和する過程をトレースしていることになるため、帯電している電荷量やその安定性を議論する方法として最適である。**Fig.3** にエレクトレットの TSC 測定時に実施されることが多いコロナ荷電による試料の荷電方法及び荷電した試料の TSC 測定の模式図を示す。ニードル電極に高電圧を印加してコロナ荷電を実施し、その後 TSC 装置にて電荷トラップを評価する。TSC 測定は上下の電極が一定距離の air-gap を設けた開回路 TSC にて行うことが多い。これは一般的な閉回路 TSC ではトラップから解放された電荷は試料内部電界の分布により両側の電極に流れ込む可能性があるため、電流値は両電極に流れ込む電流の差を観

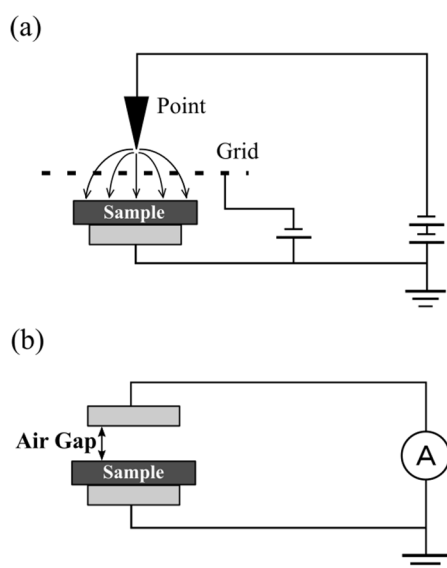


Fig.3 Schematic diagrams of (a) Corona charging and (b) TSC measurement with air gap.

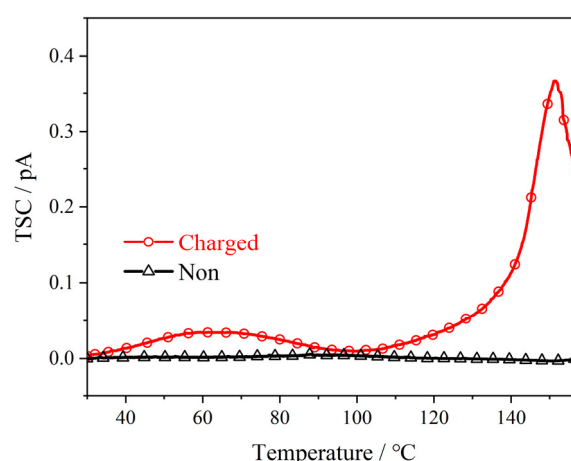


Fig.4 Open TSC for charged and non-charged polypropylene nonwoven fabric.

測することになり、TSC の物理的意味が曖昧になる。そこで air-gap を挿入して開回路 TSC とすることで内部に発生する平均電界を活用して電荷を一方方向へと運ぶ過程の TSC 測定が可能となる。⁶⁾

マスク等で使用されるポリプロピレン不織布をコロナ荷電によって負帯電し、昇温速度 $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ にて開回路 TSC を測定した結果を **Fig.4** に示す。脱トラップ温度は高分子の分子運動との相関があり、PP の結晶緩和が観測される温度域 ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及び $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近) での TSC の増加が確認された。⁷⁾ この脱トラップ温度はエレクトレットフィルタの熱安定性の指標として有効であり、本試料では脱トラップの大部分が $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上であるため、室温付近での利用においては安定であることが示された。

4. おわりに

COVID-19 によって生活スタイルが変化し、それに伴う様々な課題が生じている。こういった課題に分析技術で貢献するのが我々の役割の一つである。今回はマスクの一部の機能に対する熱分析の応用を解説したが、今後もこのような社会生活の課題解決に熱分析を応用できるよう努めていきたい。

文 献

- 1) JIS T 9001 : 2021 : 医療用マスク及び一般用マスクの性能要件及び試験法.
- 2) 杉山儀, 池上大輔, 藤田浩文, 「接触冷感向上に関する要因解析」, あいち産業科学技術総合センター 研究報告, 100-103 (2014).
- 3) 石垣陽, 静電気学会誌 **46** (2), 65-69 (2022).
- 4) 細井宜伸, 静電気学会誌 **46** (2), 75-79 (2022).
- 5) 岩本光正, 田口大, 「熱刺激電流による電気電子材料評価 基礎と応用」, コロナ社 (2014).
- 6) 池崎和男, 日本画像学会誌 **44** (6), 458-466 (2005).
- 7) 安藤勝敏, 近藤五郎, 高分子論文集 **51** (12), 795-800 (1994).

