

## 車両走行による効果的な TRWP 捕集方法

Methodology for effective TRWP collection using a vehicle

Bridgestone Europe NV/SA (非) 庄田 靖宏 ブリヂストン (正) \*梶木 亮 (非) 若尾 泰通

(非) 神藏 貴久 (非) 黒岩 智佳子 (非) 杉本 俊和

Yasuhiro Shoda\*, Ryo Kajiki\*\*, Yasumichi Wakao\*\*, Takahisa Kamikura\*\*, Chikako Kuroiwa\*\*, Toshikazu Sugimoto\*\*

\*Bridgestone Europe NV/SA, \*\*Bridgestone Corporation

### 1. はじめに

TRWP (Tire and Road Wear Particles) はタイヤが安心・安全な移動を支えるために必要な、路面と摩擦することによって発生する粉じんで、タイヤの表面であるトレッドと道路舗装材の混合物である[1]。WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) の傘下であるタイヤ産業プロジェクト (以下、TIP : Tire Industry Project) では、TRWP の物理的・化学的特性とその影響の研究に取り組んできた。TRWP を正しく理解するために、本報告では TRWP の生成過程に注目し、捕集法の開発を目的とする。

本研究では、TRWP の生成と粒子の特徴をよりよく理解するために、十分な量の TRWP を得るために効果的なプロセスに焦点を当てた。TRWP の捕集方法に関しては様々な手法にて検討が行われている[2]。屋外の方法では、実環境に近い条件で TRWP を生成・収集できるが、時にはほこりや砂などの混入が問題となる。一方、屋内の方法では十分な量の TRWP を捕集しやすいが、環境条件にどの程度近づけるかが課題となる。本研究では、屋外で車両を使用した効果的な TRWP 捕集の方法論を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 TRWP 飛散範囲の可視化

TRWP の捕集システムを設計するにあたり、テストコース上でレーザー光と高速カメラを用いてタイヤ周辺の粒子拡散を可視化したところ、粒子はタイヤの後ろだけでなく走行中の車両の側面でも観察された。したがって、可能な限り多くの TRWP を捕集するためタイヤ全体を覆った捕集システムを設計することとした。

#### 2.2 捕集車両の設計

TRWP 捕集システムは、電気自動車、導電性透明 PET フィルムによるカバー、TRWP を捕集するための吸引装置（掃除機）で構成され、車両の自動運転により走行条件を安定させている。

タイヤ周辺のスペースを導電性透明 PET フィルムとシーリングフィルムで覆い、走行の支障とならないようにフレームの高さを最適化した。タイヤハウス内部は、ステアリングシャフトや駆動シャフトと導電性フィルム類の干渉を抑え、可能な限り隙間なく密閉した。車両の形状に合わせて、接続部品を設計、製作した。トランクルームには TRWP 捕集用の掃除機及びバッテリーを各々 2 台設置した。各タイヤからの吸引流量は約 90 立方メートルとした。車両の走行はアクセルロボットとステアリングロボットを用いた自動運転することで、捕集条件の再現性を確保した。

#### 2.3 捕集試験手順

TRWP 捕集システムを搭載した車両を直径 100m の一定速円旋回にて走行させ捕集試験を実施した。走行前に、走行車線の全域を掃除機で清掃し、自動運転により車両を走行させ TRWP を捕集した。車両走行中は車載の捕集システムで TRWP を捕集し、走行後にも路面上に残った TRWP を捕集するため、走行車線の全域を掃除機で捕集した。この手順によりバックグラウンド由来のコンタミネーションをできるだけ除き、収集率を向上させることができる。

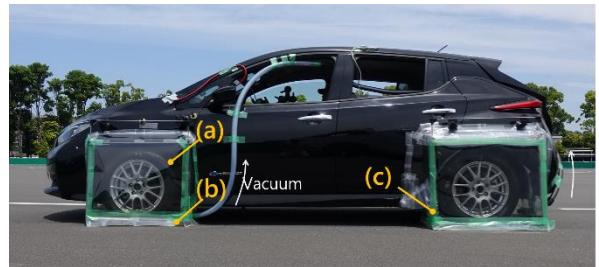
### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 TRWP 捕集試験の結果

製作した捕集システムを用いて実施した捕集試験の結果として、気温、湿度、風速、路面温度などの環境測定値とともにタイヤの摩耗量及び摩耗速度を Table 1 に示す。一定条件となる円旋回走行に加えて自動運転を適用することで、再現性のある TRWP 生成及び捕集を達成できた。

#### 3.2 捕集率の計算

掃除機のフィルターから粒子を回収し、 $500 \mu\text{m}$  のふるいに通した。捕集率を計算するために、TGA (熱重量分析) を



(a) Conductive PET film, (b) Sealing with film, (c) Optimized frame height

Fig. 1 TRWP generation & collection method design

用いて収集した粒子のゴム比率測定し計算したところ、車載掃除機による捕集物にはタイヤの摩耗量の 25.4%分のゴム量が検出された。また、路面上に残った粒子を収集するために捕集試験後に走行車線を清掃した掃除機からは追加で、タイヤの摩耗量の 35.2%分のゴム量が検出された。よって、車載の収集システムと路上清掃の組み合わせにより、タイヤ摩耗重量に対して 60%の収集率が達成された。この捕集は先行研究よりも高い水準である。

### 3.3 形態観察結果

捕集した粒子の形態観察結果を Fig. 2 に示す。光学顕微鏡観察では、黒色粒子と白色粒子が確認された。さらに  $125\text{ }\mu\text{m}$  でふるい分けを行ったところ、光学顕微鏡で黒色粒子が主体となる様子を確認した。その後、SEM（走査型電子顕微鏡）と EDX（エネルギー分散型 X 線分析）を用いて、粒子がゴム成分かどうかを確認したところ、黒色粒子がゴムを含む複合粒子の混合物であることが分かった。

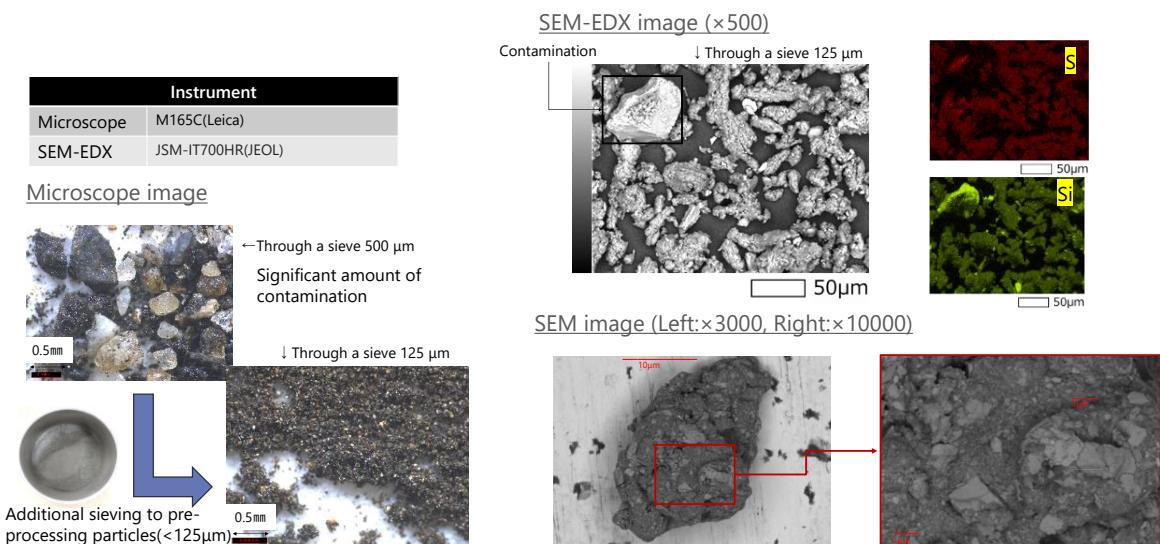


Fig. 2 Microscopic observation of TRWP

### 3.4 収集粒子のサイズ分布

Fig. 3 に捕集した粒子サイズの分布を示す。今回の捕集試験では二成分の粒度分布が見られ、大きな粒子は主に砂のような無機物で構成されている。一方で  $10\text{ }\mu\text{m}$  から  $100\text{ }\mu\text{m}$  の間の粒子は、有機成分と無機成分が 50 対 50 で構成されており、TRWP であると考えられる。

### 4. おわりに

TRWP の生成過程と特性をより良く理解するために、車両上で TRWP 収集方法を設計し効果的に収集する捕集試験法を開発し、タイヤの摩耗量の 60%を捕集することができた。光学顕微鏡および SEM 画像により、収集された粒子から TRWP の存在を確認した。さらに TRWP および混入物のサイズ分布を測定した。本研究の成果が今後の TRWP の物理的・化学的特性とその影響の研究の発展に寄与することを期待する。

### 文献

- 1) B. Baensch-Baltruschat et al.: Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment, *Science of the Total Environment*, 733 (2020) 137823.
- 2) Stefan Schläfle et al.: Influence of Vertical Load, Inflation Pressure, and Driving Speed on the Emission of Tire-Road Particulate Matter and Its Size Distribution, *Atmosphere*, 15 (2024) 502.

Table 1 TRWP generation & collection test result

	1st trial	2nd trial
Ambient temperature on circuit	32.4°C	38.9°C
Humidity	0.405	0.286
Wind speed	1.5 m/s	0.9 m/s
Road surface temperature	35.1°C	47.0 °C
Distance	114.3km	104.6km
Mass loss (/2 tires)	76.1 g	66.6 g
Wear rate (/tire)	*332.9 mg/km	*318.4 mg/km

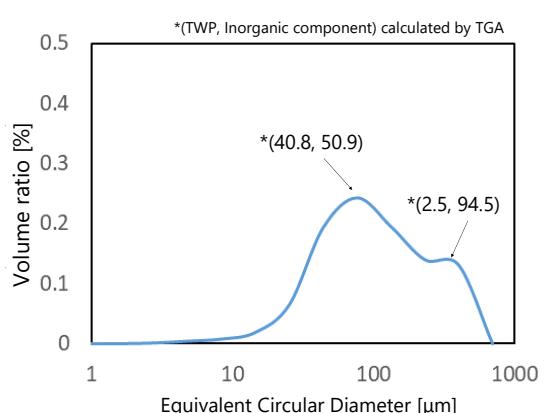


Fig. 1 Particle size distribution