

## 世界を止める俺たちのブレーキパッド

システム科学技術学部 機械工学科

1年 中村 仁

1年 岩山 智哉

1年 矢久保 弘汰

1年 山本 光希

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

助教 藤井 達也

教授 鈴木 庸久

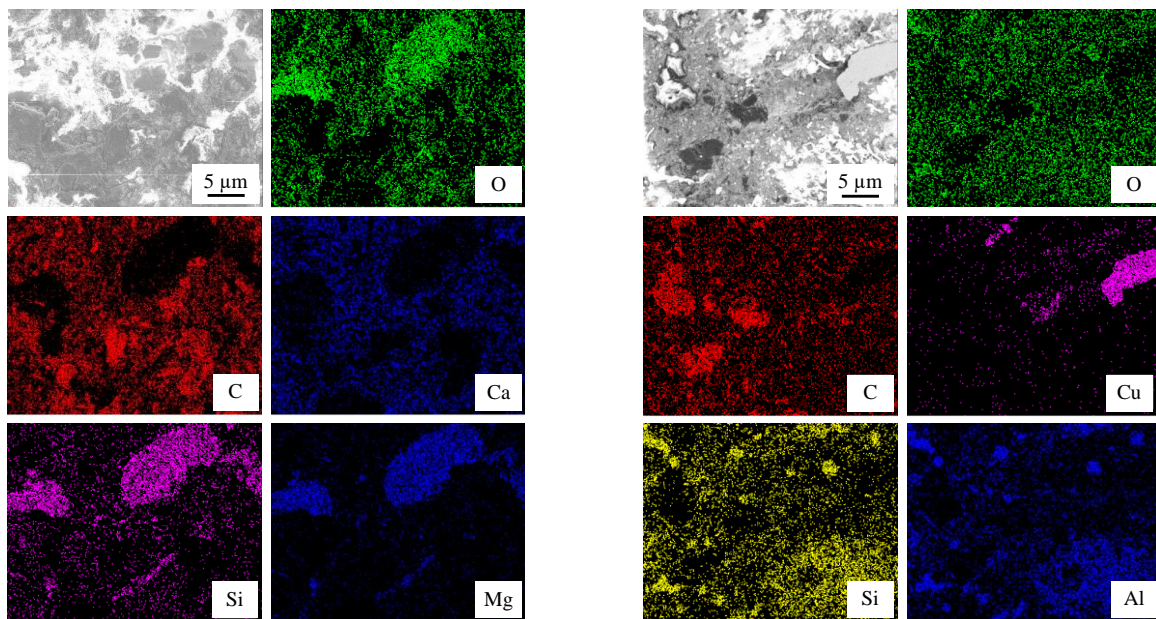
### 1. はじめに

我々は、自動車を構成する機械部品には、それぞれに適した材料があることに着目した。特に、安全性の観点からブレーキパッドの組成に興味を抱き、ブレーキパッドはどのような材料でできているのか、どのような特性を持っているのかを調べたいと考えた。さらに、非常に強度が高いカーボンナノチューブ (CNT) に興味があり、CNT を複合化したブレーキパッドを新たに試作し、黒鉛を用いたブレーキパッドと比較することで、どのように特性が変化するのかを調べたいと考えた。本研究では、ブレーキパッドに求められる重要な性能である「耐摩耗性」を評価する。

### 2. ブレーキパッドの組成

#### 2.1 市販のブレーキパッドの元素分析

本研究では、走査型電子顕微鏡 (SEM) に搭載されたエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) を用いて軽乗用車用のブレーキパッド H と普通乗用車用のブレーキパッド T の元素分析を行った。図 1 (a), (b)に各ブレーキパッドの SEM 像と EDS 元素マッピング結果、表 1 (a), (b)に各ブレーキパッドの EDS 定量分析結果をそれぞれ示す。



(a) ブレーキパッド H (軽乗用車)

(b) ブレーキパッド T (普通乗用車)

図 1 市販のブレーキパッドの SEM 像と EDS 元素マッピング結果

表 1 市販のブレーキパッドの EDS 定量分析結果

(a) ブレーキパッド H (軽乗用車)

| 元素 | wt%  | at%  |
|----|------|------|
| C  | 49.9 | 65.4 |
| O  | 26.0 | 25.5 |
| Mg | 3.3  | 2.1  |
| Al | 1.1  | 0.7  |
| Si | 3.9  | 2.2  |
| Zr | 2.1  | 0.4  |
| S  | 1.8  | 0.9  |
| K  | 1.0  | 0.4  |
| Ca | 4.4  | 1.7  |
| Ba | 6.5  | 0.7  |

(b) ブレーキパッド T (普通乗用車)

| 元素 | wt%  | at%  |
|----|------|------|
| C  | 28.3 | 57.9 |
| O  | 12.3 | 18.9 |
| Al | 5.3  | 4.8  |
| Si | 5.3  | 4.7  |
| Mo | 1.0  | 0.3  |
| S  | 1.6  | 1.2  |
| K  | 3.0  | 1.9  |
| Ca | 1.3  | 0.8  |
| Ba | 32.3 | 5.8  |
| Fe | 4.6  | 2.0  |
| Cu | 5.1  | 2.0  |

分析結果より、ブレーキパッドは、フェノール樹脂等の結合材、アラミド繊維等の有機繊維、ガラス繊維等の無機繊維、カシューダスト等の有機摩擦調整材、炭酸カルシウム、硫酸バリウム、金属粒子、セラミックス粒子や黒鉛等の無機摩擦調整材から構成されていることが分かった。普通乗用車用のブレーキパッド T には、スチール繊維や銅繊維等の金属繊維が混合されていた。

## 2.2 試作サンプルの組成

ブレーキパッドの元素分析結果をもとに本研究で試作するブレーキパッドの原材料を選定した。普通乗用車の純正ブレーキパッドの多くがノンスチール材である<sup>1)</sup>ことから、スチール繊維や銅繊維を混合せず、結合材としてフェノール樹脂（アイカ工業（株）製、BRP-5417）、補強材としてアラミド繊維（東レ・デュポン（株）製、Kevlar® Dry Pulp, 1F53）、摩擦調整材としてカシューダスト（東北化工（株）製、FF-1500）と黒鉛（伊藤黒鉛工業（株）製、GE-1）を用いてサンプルを試作することに決定した。さらに、黒鉛は同じ炭素元素からなるカーボンナノチューブ（CNT）と代替できると考え、摩擦調整剤としてCNT（Nanocyl社製MWCNT, NC7000）を用いたサンプルを試作し、2つのサンプルの性能を比較することにした。以降、黒鉛を混合したサンプルをサンプル A、CNTを混合したサンプルをサンプル B と呼称する。表2に文献値<sup>2)</sup>を参考に決定した各原材料の体積比と質量をそれぞれ示す。試作サンプルの形状は直径30 mm×高さ3 mmの円板状とし、混合した原材料を黒鉛型に入れ、ホットプレス機を用いた熱成形によりサンプルを作製する。

表 2 試作サンプルの原材料の体積比と質量

|         | サンプルA      |        | サンプルB      |        |
|---------|------------|--------|------------|--------|
|         | 体積比 (vol%) | 質量 (g) | 体積比 (vol%) | 質量 (g) |
| フェノール樹脂 | 20         | 0.53   | 20         | 0.53   |
| アラミド繊維  | 10         | 0.31   | 10         | 0.31   |
| カシューダスト | 65         | 1.52   | 65         | 1.52   |
| 黒鉛      | 5          | 0.24   |            |        |
| CNT     |            |        | 5          | 0.22   |
| 合計      | 100        | 2.59   | 100        | 2.57   |

### 3. ブレーキパッドの製造

#### 3.1 複合粉末の作製

図2にブレーキパッドを製造するための複合粉末の作製工程を示す。フェノール樹脂、カシューダスト、アラミド繊維、黒鉛またはCNTを表3に示す配合になるように計量し、乳鉢を用いてヘキサンを加えながら混合・乾燥することにより、複合粉末を作製した。

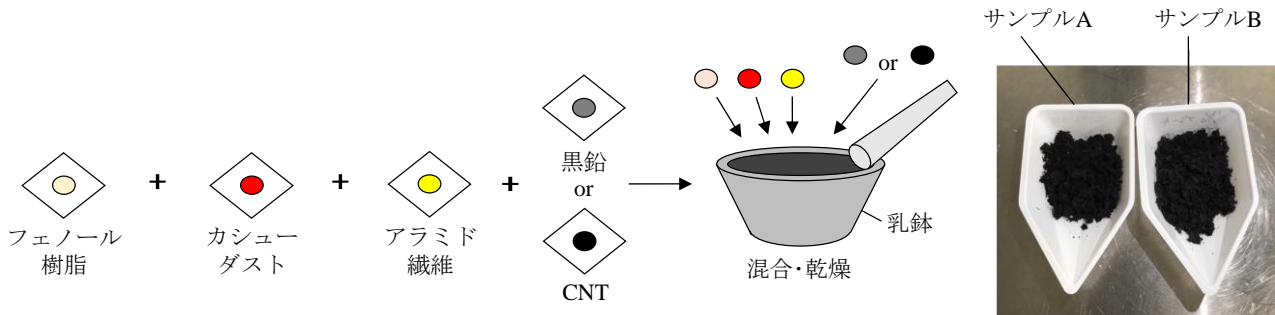


図2 複合粉末の作製工程 (サンプルA: 黒鉛, サンプルB: CNT)

#### 3.2 ホットプレス機による複合粉末の熱成形

3.1で作製した複合粉末を黒鉛型に充填し、ホットプレス機 (アズワン (株) 製, AH-2003) を用いて熱成形した。図3に熱成形の模式図, 表3に複合粉末の熱成形条件, 図4 (a), (b)に熱成形後のサンプルA, Bの外観写真をそれぞれ示す。複合粉末を用いた熱成形により、円板状サンプルを作製できた。

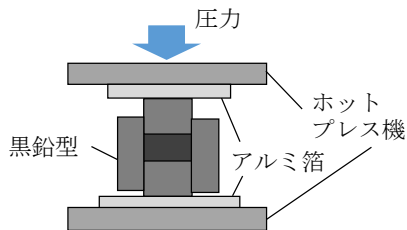


図3 熱成形の模式図

表3 複合粉末の熱成形条件

|          | サンプルA | サンプルB |
|----------|-------|-------|
| 温度 (°C)  | 180   | 180   |
| 圧力 (MPa) | 69.3  | 69.3  |
| 加熱時間 (h) | 1     | 1     |



(a) サンプルA (黒鉛)



(b) サンプルB (CNT)

図4 ホットプレス機を用いて熱成形したブレーキパッド

### 4. 研磨機を用いたブレーキパッドの耐摩耗性評価

試料研磨機 (IMT (株) 製, SP-L1) を用いて熱成形したサンプルAとサンプルBの耐摩耗性を評価した。成形体を直径 30 mm×高さ 20 mmの円柱状ジュラルミン材に接着して研磨した。本研究では、1,000番のサンドペーパーを用いて成形体を研磨することにより、2種類のサンプルの耐摩耗性を評価した。表4に試作サンプルの研磨条件を示す。成形体とサンドペーパー (研磨円板)

の回転数をそれぞれ 50 rpm とし、10 N の一定荷重で成形体を押し付けながら研磨した。1 分間の研磨ごとにマイクロメータを用いて成形体の厚さを測定し、研磨量を算出した。図 5 に研磨実験の結果を示す。同図より、サンプル B の研磨量がサンプル A のそれと比較して大きく、CNT の複合化により耐摩耗性が低下したことが分かる。

表 4 試作サンプルの研磨条件

|                 | サンプルA  | サンプルB  |
|-----------------|--------|--------|
| 研磨時間 (min)      | 1      | 1      |
| 研磨回数 (回)        | 20     | 20     |
| 荷重 (N)          | 10     | 10     |
| サンドペーパーの番手      | #1,000 | #1,000 |
| 回転数：研磨円板 (rpm)  | 50     | 50     |
| 回転数：試料ホルダ (rpm) | 50     | 50     |

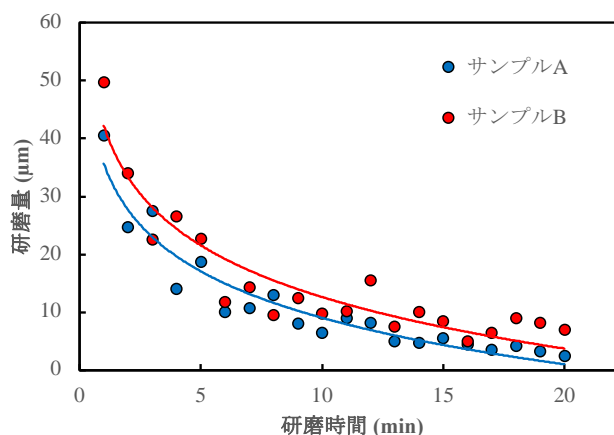


図 5 研磨機による耐摩耗性の評価結果

## 5. 考察・まとめ

本研究では、市販のブレーキパッドの EDS 元素分析と文献調査をもとに、試作するブレーキパッドの組成を決定した。黒鉛を摩擦調整材として使用する一般的なブレーキパッド (サンプル A) に加え、黒鉛の代替材料として CNT を混合したブレーキパッド (サンプル B) を試作した。各サンプルに対し、研磨機を用いて耐摩耗性を評価した。実験の結果、サンプル A に比べてサンプル B の研磨量が大きく、耐摩耗性が劣ることが分かった。この要因として、黒鉛と CNT の粒径に注目した。本研究で使用した黒鉛は粒径が大きく (平均粒径 2.68  $\mu\text{m}$ )、CNT に比べて分散性が低いことが予想される。凝集した黒鉛が研磨されることにより、成形体から脱離した黒鉛がサンドペーパーとサンプルの接触面に堆積する。堆積した黒鉛が潤滑剤としての役割を果たすことにより、研磨量が小さくなったと考えられる。一方、CNT は粒径が極めて小さく (平均直径 9.5 nm, 平均長さ 1.5  $\mu\text{m}$ )、分散性が高いため、黒鉛で見られた潤滑作用が低下したと考えられる。

今回は黒鉛を CNT に置き換えてブレーキパッドを試作したが、実験より CNT 単体では耐摩耗性が向上しないことが分かった。CNT は黒鉛に比べて分散性が高く、フェノール樹脂の機械的特性を向上させることが期待できるため、例えば、黒鉛と CNT の両方を混合したブレーキパッドを作製することにより、耐摩耗性の高いブレーキパッドが実現できるのではないかと想定される。今後、追加実験を行う機会があれば是非とも実施したい。

## 6. 参考文献

- 1) WINMAX Q&A, WINMAX 製品で使用されている摩擦材について教えてください、  
<https://www.winmax.jp/faq/compound>, 2022.02.25
- 2) 佐々木要助, 高木康夫, 技術資料：ブレーキ用摩擦材の開発—現状と問題点—  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/materia1994/44/10/44\\_10\\_832/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/materia1994/44/10/44_10_832/pdf), 2022.02.25