

## ハイブリッドセラミックス製ブレーキディスク

(2017年～現在<sup>注1)</sup>)

Key-words：炭素繊維、複合材料、炭化珪素、繊維強化

注1 現在とは2021年8月時点の情報

注2 炭素短繊維は炭素長繊維をミリ単位でカットした短い繊維を示します。一般的にはチョップドファイバーと呼ばれます。開発した複合材料は炭素短繊維を使用しています。

注3 「Electric Vehicle」の略で電気自動車を示します。車載バッテリーに充電しモーターを動力として走行します。燃焼エンジンを使用しないため走行時に二酸化炭素を排出しません。他のシステムに比べ環境性能が高く近年急激に注目を浴びています。

炭素短繊維<sup>注2)</sup>とSiCセラミックスの複合材料を開発した。セラミックスの持つ「脆い」という欠点を繊維で補い、擬延性的破壊挙動を有する「割れを制御するセラミックス」を実現した。この材料の密度は鉄の半分以下で非常に軽量で且つ1000℃の熱衝撃を受けても割れない特徴を持つ。

この特徴を生かし自動車用ブレーキディスクを開発した。従来材と比較し60%の軽量化を実現できた。軽量化のほか、温度変化に対する摩擦係数の安定性から安心・安全の提供、バネ下荷重低減による運動性能の向上、耐摩耗性向上による環境負荷への低減を図ることが期待できる。

### 1. 製品適用分野

自動車用ブレーキディスクを始めとする輸送・交通システムの制動部品など

### 2. 適用分野の背景

自動車は近年、ガソリンの高騰、および脱炭素化の観点からEV<sup>注3)</sup>化が加速的に進められている。電費や燃費を向上させるために車体の軽量化が進みCFRPの適用範囲が大幅に広がりつつある。一方走行系ではブレーキディスクを始めとする構成部品は従来の鉄系が多く使用され車体に比べ軽量化は余り進んでいない。筆者らは鉄系からセラミックス系へブレーキディスクを置き換えることで60%程度の軽量化を達成できると考えた。このことにより軽量化のほか、温度変化に対する摩擦係数の安定性から安心・安全の提供、バネ下荷重低減による運動性能の向上、耐摩耗性向上による環境負荷への低減を図ることが期待できる。

### 3. セラミックスの特徴

強度と靱性（損傷許容性）を両立させた炭素繊維とセラミックスの複合材料であり、且つ異なる特徴

表1 ハイブリッドセラミックスの特性例（基材）

ハイブリッドセラミックスの密度は鉄の半分以下で軽量であることが分かる

項目	ハイブリッドセラミックス 代表例（基材）	比較例 （鋳鉄・鍛鉄）
材料組成	炭素繊維, SiC, (Si)	Fe
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.6	7.8
弾性率 (GPa)	150	200
強度 (MPa)	150	780
熱伝導率 (W/m・K)	35~70	40
熱膨張係数 (×10 <sup>-6</sup> /°C)	2.5~4.3	12
摩擦係数 (μ)	0.3~0.4	0.4
耐熱性 (°C)	1000↑	600

を持つ別々の複合材料をひとつに合わせて部品化するという発想を元に生まれた。このハイブリッドセラミックスは割れにくく、特性の制御が可能等、これまででない特徴を持つセラミックス材料である。基材の材料特性および比較として鋳鉄・鍛鉄の特性を表1に示した。密度は2.6 g/cm<sup>3</sup>であり、鋳鉄に対し60%程度の軽量化を達成できた。

### 4. 製品

一般的なブレーキディスクは鋳鉄製でその密度は7.8 g/cm<sup>3</sup>である。一方レース環境においては密度が1.8 g/cm<sup>3</sup>程度の軽量のC/Cコンポジットが採用されている。しかし、低温における摩擦係数が低いことおよび多孔質であることから摩耗しやすい等の課題があり、一般自動車向けの鋳鉄からの置換りは難しかった。ハイブリッドセラミックスはこれらの課題を克服した材料である。SiCを主成分としたマトリックスにしたことで耐摩耗性が大幅に改善された。

ディスク設計は制動時のトルクによる負荷や熱負荷を考慮し科学計算により最適化を行った。これにより材料の特性を生かしたハイパフォーマンスなブレーキディスクを提供することができた。同様に鋳鉄とはディスクの物理特性が異なるため締結用金具等も新たに設計した。

### 5. 製法

原料である炭素短繊維、SiC粉末およびバインダーを混練後、一軸プレスにより成形した。成形体を焼成した後、熔融Siを含浸することでセラミックスを得ることができる。成形体は炭素短繊維とSiC粉末がフィラーとなりバインダーで固められたCFRPである。焼成によりバインダーは気化しその部分が空隙となる。



図1 ベンチレーテッドタイプ  
ブレーキディスク

内部に放熱フィンが配置され制動時の熱を逃がす構造になっている

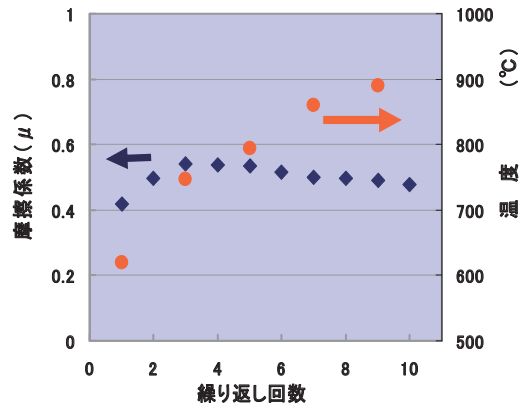


図2 制動試験

温度変化に対し摩擦係数が安定している

SiC粒子はマトリックスとして分散している。焼成体の空隙をSiで充填し緻密体を得ると同時に、Siは焼成体中のカーボンと反応しSiCになる。ブレーキディスクとしてハイブリッドセラミックスの適用を考慮したとき、摺動面には耐摩耗性および耐熱性が必要になる。そのため摺動面には基材に比べSiCがリッチな組成層を形成している。

## 6. 製品性能・スペック

試作したハイブリッドセラミックス製ブレーキディスクの外観を図1に示した。ベンチレーテッドタイプと呼ばれ摺動面間に放熱フィンを設けている。このディスクを用いてブレーキ特性の評価を行った。ブレーキ特性の評価は制動を繰り返し、そのときの温度上昇、および摩擦係数の変化を計測した。評価結果を図2に示す。制動摩擦により生じた熱は蓄積され最終的に900℃に達した。600℃から900℃において、安定した摩擦係数(0.4~0.5)が得られた。この摩擦係数はブレーキ材として満足できる値でありハイブリッドセラミックスの有効性を確認した。本評価から高温における摩擦係数は安定し、安心・安全を提供できる材料であることが理解できた。さらに評価後のディスク摺動面にはクラック等の欠陥は認められず耐熱衝撃性の高い材料であることを証明した。

## 7. 現在・将来展望

ハイブリッドセラミックスは摺動・耐摩耗材として有望であり、一般産業用途としてメカニカルシールや軸受け等への展開も期待できる。さらに自動車用途以外に高速鉄道や航空機への適用も考えられる。この他、軽量・耐熱衝撃性の優位性を生かし高温域で使用される宇宙・航空産業用の耐熱構造材等も適用範囲である。

EVのモータは車載からインホイール方式への展開が予測されている。タイヤを直接駆動できるためアクセル操作に対する反応の良さや、左右の車輪を独立に制御することでハンドル操作に対する旋回性向上等自由度が大幅に広がる。しかしモータ近傍に配置されるブレーキディスクは鋳鉄製の場合、軽量化に寄与しないばかりか磁気シールドなどの構造体を組み込む必要があり、構造が複雑化しさらに重量増加の要因になる。軽量且つ非磁性体であるハイブリッドセラミックへの置き換えにより部品の簡素化および軽量化に寄与できる。今後の市場拡大を期待する。

[連絡先] 青沼伸一郎 (あおぬま しんいちろう)  
〒257-8566 神奈川県秦野市曾屋30  
クアーズテック(株) 研究開発部