

C / C コンポジットを基材とする超軽量金属複合新素材の研究開発

永野正明* 井上裕之* 山本 誠* 中川隆夫**¹ 辻井一男**² 加藤光男**²
飯沼 歩**³ 杉山和夫***¹ 東江真一***²

Research and development of ultra-lightweight metal composite new material which based on the C/C composite

NAGANO Masaaki* , INOUE Hiroyuki* , YAMAMOTO Makoto*

NAKAGAWA Takao**¹ , TSUJII Kazuo**² , KATO Mitsuo**² , IINUMA Ayumu**³

SUGIYAMA Kazuo***¹ , TOUE Shinichi***²

抄録

軽量で耐熱、摺動性にも優れる C / C コンポジットを基材に、金属シリコンやその合金等を、基材中に分散して存在する気孔に含浸させた。その結果、鉄の 1 / 3 以下の超軽量カーボン・金属複合新素材 (C / C M C) の開発に成功し、その基本的物性を評価した上で自動車用ブレーキなどの構造材として応用した。

キーワード : C / C コンポジット , C / C M C , 超軽量金属複合新素材

1 . はじめに

現代は電算機、通信、自動車、ロボット、産業機械など、多くの分野で、小型・省資源・高効率化が急速に進展し、これらを支える素材技術にも軽量性や強度など、機能の飛躍的な向上が求められている。従来、カーボンと金属を複合する技術として、炭素繊維で金属を補強した C F R M (炭素繊維強化金属)があるが、この方法では、金属中に含有できる炭素繊維量に制約があって、金属の割合が高く、複合化による特性改良性が限られるため、金属の欠点(重いことや、熱膨張が大きいなど)が露出し易いと言う弱点がある。

本研究では、軽量で耐熱、摺動性にも優れる C / C コンポジットを基材に、金属シリコンやその合金等を、基材中に分散して存在する気孔に含浸することで、鉄の 1 / 3 以下の超軽量カーボン・金属複合新素材 (C / C M C) を開発し、自動車用ブレーキなどの構造材として応用することを目指した。

2 . ブレーキ用素材の開発

ブレーキ用途への適用においては、基材の厚さが30mm以上でなければならないが、シリコンがこの肉厚の C / C コンポジット基材の内部まで十分に含浸されることが必須である。その条件を満たすような基材を製造するにあたり、基材製造時の繊維の配向や基材の密度がシリコン含浸性および機械的性質に及ぼす影響を検討した。

その結果、基材の繊維配向とシリコンの含浸性の関係は、含浸限界厚さで比較すると長繊維二方向材が20mm、短繊維ランダム材が40mmということ

* 材料技術部

**¹ (株)アクロス

**² (株)辻井製作所

**³ 旭合金鑄造(株)

***¹ 埼玉大学

***² ものつくり大学

から短繊維ランダム材が優れていることが分かった。

次に基材の密度を 1.4 g/cm^3 、 1.5 g/cm^3 、 1.6 g/cm^3 、 1.7 g/cm^3 に変化させてシリコンの含浸性を目視で評価したところ 1.4 g/cm^3 、 1.5 g/cm^3 の基材の含浸性は良好だった。しかし、 1.6 g/cm^3 、 1.7 g/cm^3 でのものはほとんど含浸されなかった。密度が 1.4 g/cm^3 、 1.5 g/cm^3 の基材の機械的性質を表1に示す。

表1 シリコン含浸後の物性の比較

基材密度 (g/cm^3)	含浸後密度 (g/cm^3)	曲げ強度 (MPa)	弾性率 (GPa)
1.4	2.44	122	120
1.5	2.37	102	57

以上の結果から基材密度 1.4 g/cm^3 のものがシリコン含浸後に曲げ強度、弾性率ともに優れていることが判明した。

3. ブレーキ用素材の耐酸化性、耐食性の評価

3.1 大気雰囲気炉による耐酸化性評価

ブレーキ用素材は、車の走行時に大気において加熱、冷却が繰り返される。本研究で開発しているC/CMCは、炭素及び炭素繊維が含まれているために加熱されるとその炭素が空気中の酸素と反応してガス化すると考えられる。ここでは、C/CMCのブレーキ用素材としての耐久性をC/Cと比較するためにその耐酸化性を評価した。耐酸化性の評価方法としては、加熱後の重量変化を測定することでいった。

実験方法は、(株)アクロスで製造したC/CとC/CMCを大気雰囲気炉(炉内の大気を攪拌しながら加熱)を用いて600 に加熱し、2時間保持した後に、空气中で常温まで冷却してその重量を測定した。以上のことを供試材の重量が初期の重量の80%に減少するまで繰り返した。実験材の初期重量を表2に示す。

表2 初期重量(g)

C/CMC 1	C/CMC 2	C/C 1	C/C 2
64.84	54.37	40.50	33.95

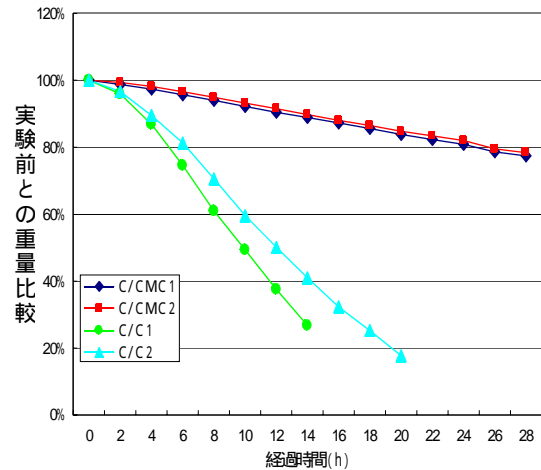


図1 重量変化割合の比較

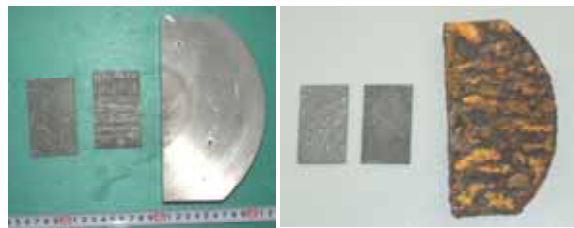
実験結果を図1に示す。同図は、Y軸に実験中の供試材の重量を初期の重量に対する割合を、X軸に経過時間を表している。図に示すとおり従来のC/C材は6時間程度で重量が80%まで減少したがC/CMC材は、重量が80%まで減少するまでに24時間の時間を要した。これらの結果からC/CMC材は、C/C材と比較して耐酸化性がかなり向上していることがわかった。

3.2 キャス試験による耐腐食性評価

ここでは供試材の耐腐食性を評価するためにキャス試験を行ない供試材の変化を観察した。また比較のために鋳鉄(FCD450相当)のキャス試験も同様に行った。

キャス試験の結果は、FCD450は、24時間後に全面的に腐食したがC/CMCおよびC/Cは、図2に示すようにキャス試験648時間経過後も行ってもまったく腐食が見られない。

従って本研究におけるC/CMCは、FCDと比較して耐腐食性が優れていることが分かった。



左からC/CMC、C/C、FCD450 (キャス試験前) (キャス試験648時間後)

図2 腐食の比較

4. 素材の構造解析及び機能評価

4.1 C/C、C/CMCの基本物性測定

C/C、C/CMCの基本物性測定をするために焼成温度1500、2000、2500のC/CとC/CMCの細孔径分布を水銀圧入法によって測定した。

C/CとC/CMCの細孔径分布を図3、図4に示す。

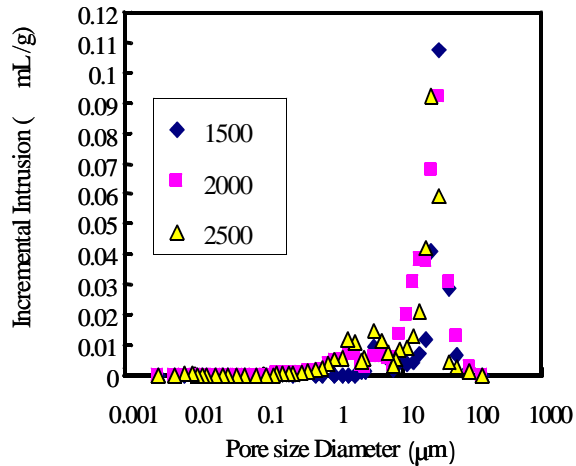


図3 C/Cの細孔径分布

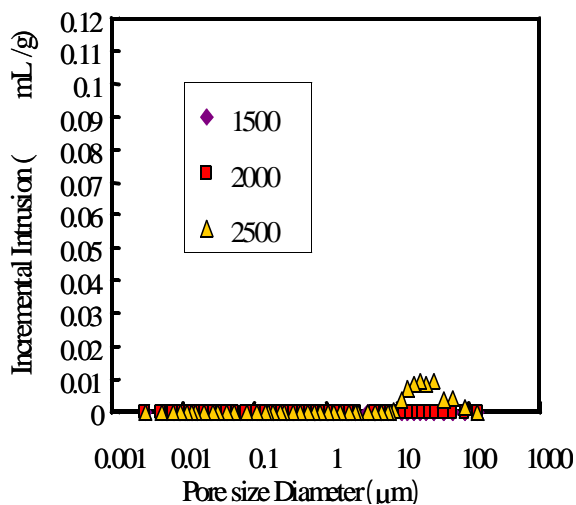


図4 C/CMCの細孔径分布

図3から分かるように各焼成温度によるC/Cは、いずれも直径30 μm付近にピークを示している。したがって、C/Cは直径約30 μmの細孔を有することが分かった。しかし、図4から分かるようにC/CMCで見られた直径30 μm付近のピークが消滅している。これは、C/CMCに存在した細孔

にシリコンが含浸されたためと考えられる。ただし、2500 で焼成C/Cは、シリコンの含浸の不良が見られた。

4.2 C/CMCの表面解析

C/CMC中のカーボンと含浸したシリコンの分布状態をEPMAで観察した結果を図5、図6に示す。

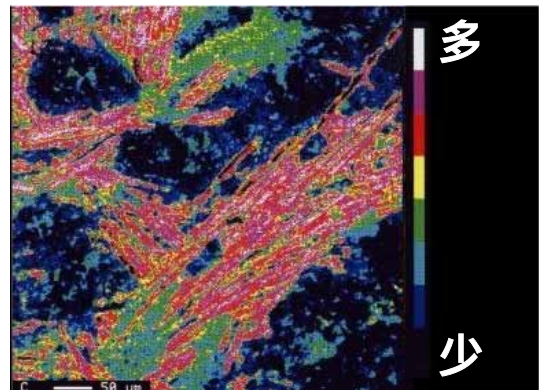


図5 C/CMCのカーボンの分布

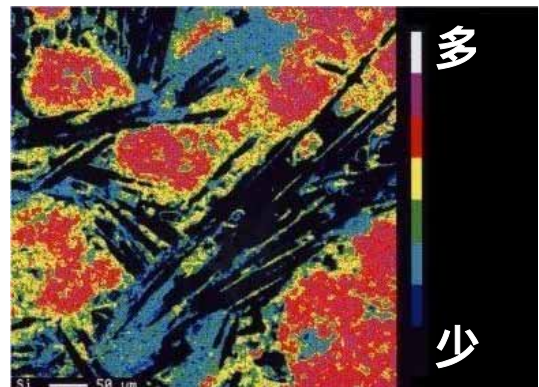


図6 C/CMCのシリコンの分布

カーボンの分布が少ない場所(図5の黒い部分)にシリコンが多く分布(図6の灰色の部分)していることが分かる。このことからC/Cに存在した細孔にシリコンが含浸されたことが分かる。

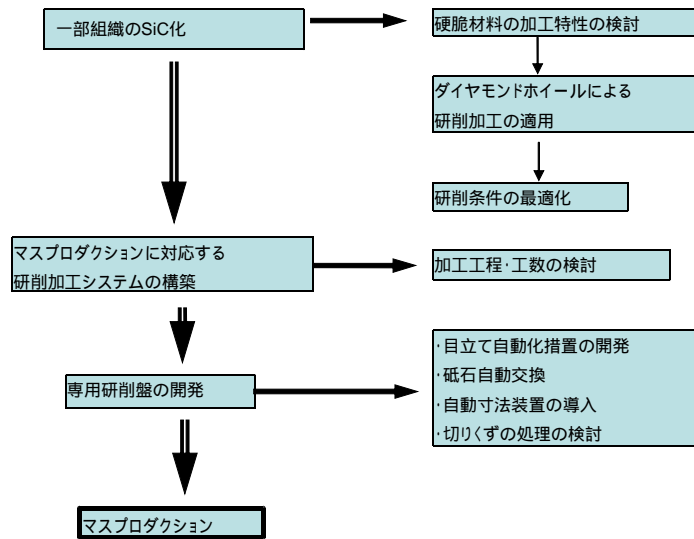


図7 C/CMC材加工方法の検討

5. C/CMCの加工方法の検討

C/CMC材の一部はCとSiが反応してSiC化し、粒子状となって観察される。SiCは、通常の物質として最も硬度を有するものであり、SiCを砥粒とする研削砥石が存在するくらいである。そのためにSiC粒子を含む複合材に対して最適な加工手段を講じる必要がある。また、主成分であるカーボンには耐熱性があり、放電加工における電極として使われている材料であるため、熱的な手段による加工は困難であると考えられる。以上のことから、SiC粒子を含むC/CMC材の加工手段として、SiCより4倍以上の硬度を有するダイヤモンド砥粒からなる砥石による研削加工が最も適合するといえる。そこで、図7に示すようにダイヤモンドホイールによる最適な研削条件および生産システムを検討した。

図7による検討の結果、以下の結果を得た。

Siを含有したC/CMC材の加工には、ダイヤモンドホイールを用いた研削加工が有効である。

粗研削では、メタルボンドダイヤモンドホイールによる乾式研削が適用でき、砥石の消耗は非常に少ない。

仕上げ研削では、レジノイドボンドダイヤモ

ンドホイールによる湿式研削が適用できる。

6. まとめ

C/Cコンポジットを基盤とし、シリコン含浸に最適な基材の製造方法ならびに含浸条件の確立、含浸材料の開発、更にはC/CMCの量産性のある切削加工技術についての検討を行ったところ、以下に示す知見を得た。

- (1) C/Cコンポジットにシリコンを含浸したC/CMCの開発に成功し、その表面に撥水性を付与することに成功した。
- (2) シリコンを含浸したC/CMCは耐酸化性が向上した。
- (3) C/Cコンポジットにシリコンを含浸することにより、一部がSiC化し難削材化するが、ダイヤモンドによる研磨を用いた量産加工モデルの可能性が明らかとなった。
- (4) 上記C/CMCを用いて作製したブレーキディスクは従来の金属製(鋳鉄)ブレーキディスクと比較し、重量がシステム全体として1/2以下と超軽量化を実現した。
- (5) 含浸材料の組成をさらに検討することにより、より高強度のC/CMCの開発の可能性が見出された。