

航空機用 C/C コンポジットブレーキ

(1971年～現在)

Key-words: 航空機用ディスクブレーキ, カーボン/カーボンコンポジット, 複合材, 軽量, 熱的特性

注1 複数の素材を組み合わせて作った材

注2 (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 強化繊維に炭素繊維, マトリックス材料にエポキシ樹脂を用いた炭素繊維複合材料でゴルフシャフトやテニスラケットなどスポーツ分野, 飛行機の一次構造部材にも広く使用されている

カーボン/カーボンコンポジット (以下, C/C コンポジット) は, 炭素繊維で強化され, マトリックス部が炭素からなる複合材^{注1}である。密度は鉄の約 1/4 と軽量で, 大きな比熱と熱伝導, 高い耐熱性など優れた熱的特性を有している。

C/C コンポジットブレーキは, 1971 年に軽量化や高性能化の要求が厳しい戦闘機用ブレーキにおいて, はじめてブレーキディスクに使用され, 軽量で大きな運動エネルギーを短時間で吸収できる高性能な航空機用ブレーキとして, 実用化された。

スチールブレーキに比べ, 40～50%の軽量化が可能で, 寿命は2～3倍と長く, とくに軽量化や高性能化が重要な戦闘機や, 軽量化による燃料費の低減や長寿命による整備費用の低減の観点から民間航空機において, 今日まで, 広く使用されている。

1. 製品適用分野

航空機及び車両用ディスクブレーキ

2. 適用分野の背景

軽量化が常に目標とされる航空宇宙分野で, CFRP^{注2}などの合材の発展にはめざましいものがあり, 1960年頃, 炭素繊維で強化し, マトリックス部

が炭素のC/Cコンポジットが開発された。1971年には, 高性能な戦闘機のブレーキに使用され, C/Cコンポジットブレーキとして実用化された。

その後, 超音速機コンコルドを始め, 次々と民間航空機や軍用機において使用され, 既に40年近く経つが, 今日まで, 航空機用ブレーキとして数多く採用されている。

3. 製品の特徴と仕様

航空機用 C/C コンポジットブレーキは, 摩擦材部が C/C コンポジットで構成され, 油圧により作動する多板式のディスクブレーキである。

軽量化では, スチールブレーキに比べ, ブレーキ全体で 40～50%の重量低減が可能で, 大型航空機 B747-400 機では, 約 900kg の重量低減となる。

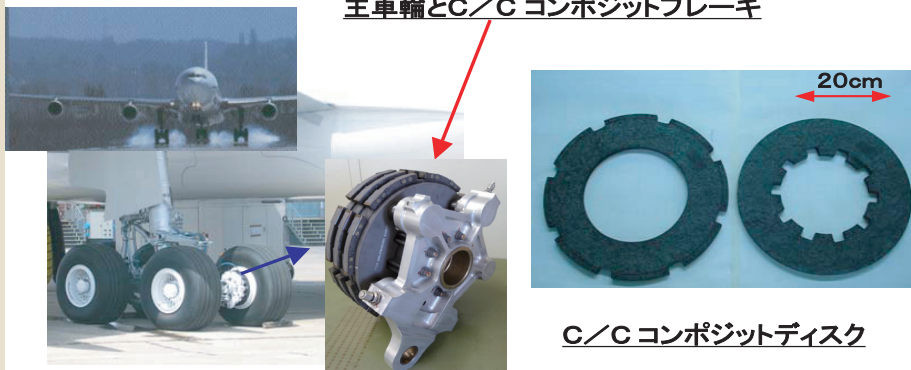
ブレーキ制動に必要な摩擦係数は, 0.15～0.30 とスチールブレーキの場合に比べ若干低い。

摩耗量は, スチールブレーキに比べ 1/2～1/3 と少なく, ブレーキの寿命は 2～3 倍長くなる。

表3に代表的なブレーキ摩擦材の特性を示す。

C/C コンポジットは, 自動車や鉄道車両用に使用されている摩擦材に比べ, 軽量で優れた熱的特性を発揮するよう, 制動時の上昇温度は高く, 600～800℃で使用される。しかし, 500℃

主車輪とC/C コンポジットブレーキ



C/C コンポジットディスク

図1 飛行機の各主車輪に取り付いた C/C コンポジットブレーキ

C/C コンポジットは, 軽量で大きな熱容量特性と長い摩耗寿命性能を有し, ブレーキ・ディスク (摩擦材) に使用されている。

表1 C/C コンポジットブレーキが使用されている主要飛行機

C/C コンポジットブレーキを使用することで航空機の軽量化, 高エネルギー吸収容量や長寿命が可能となり, 今日まで, 高性能戦闘機はもとより, 民間飛行機など多くの航空機に使用され続けている。

民間航空機			軍用機	
CONCORDE	MD-11	CL604	F-14	JSF-35
A319	MD-90	Saab 340	F-15	C-17
A320	B747-400	Saab 2000	F-16	B-1B
A321	B757	Fokker100	F/A-18	Rafail
A330	B767-300	Gulfstream IV	B-2	Rafail D&M
A340	B777	Gulfstream V	F-22	Mirage2000
A340-5/600	B787	EMB 170/175	F-117	Saab JAS-39
A380	CL600	EMB 190/195	X-37	

・その他, TGVなど車両やF-1にも使用されている

表2 C/C コンポジットブレーキの適用による重量軽減

C/Cを使用することで航空機の軽量化が可能となり、たくさんのブレーキのある大型飛行機では、最大で約900kgの軽減となる。

機種名	ブレーキ数/飛行機	重量軽減量/飛行機 kgf
B747-400	16	820
A310	8	590
B767	8	400
A320	4	300
B757	8	160
F-15	2	55

表3 代表的ブレーキ摩擦材とC/C コンポジットの特性

摩擦材に必要な物理的・化学的・機械的・熱的・電気的・磁気的・放射線特性を他の摩擦材と比較、C/Cコンポジットは密度が小さく、大きな比熱・熱伝導率や高い熔融温度など熱的特性に優れている。

項目	単位	C/C	Steel	Copper
密度	g/cm ³	1.6~1.8	7.85	8.96
引張強さ	Mpa	70~100	670	210
曲げ強さ	Mpa	100~150	—	—
アイゾット衝撃強さ	J/m	300	—	—
線膨張係数	×10 ⁻⁶ /°C	1~8	14	16
比熱	J/(g・°C)	1.4	0.47	0.38
熱伝導率(厚さ方向) (径方向)	J/(m・s・°C)	10~15	43	385
		20~30		
熔融温度	°C	3500	1535	1083

以上での繰り返し使用では、酸化により徐々に強度が低下するため、内外周側面にはSiCなどのセラミックスや燐系化合物のコーティングが耐酸化処理として行われている。

また、制動時に高温となるため、熱伝導や輻射熱の影響で、軽量で高強度のアルミ合金の強度が低下しないよう、車輪やブレーキの各部で種々断熱対策が行われている。

C/Cコンポジットブレーキの価格は、購入時はスチールブレーキに比べ、1.8~3.8倍と高いが、寿命が長いことから交換に要する整備費用が少なく、軽量化による燃費節約も可能なことから、ライフサイクルコスト^{注3)}で比較すると、スチールブレーキとほぼ同等になると言われている¹⁾。

4. 製法

C/Cコンポジット・ディスクの一般的な製造方法を図2に示す。炭素繊維のクロスに樹脂を含浸したものを積層し、又、短繊維に樹脂を混ぜてプレス成形し、成形体を作られる。成形体は不活性ガス中、約1000°Cの温度でマトリックス部の樹脂が炭素化され

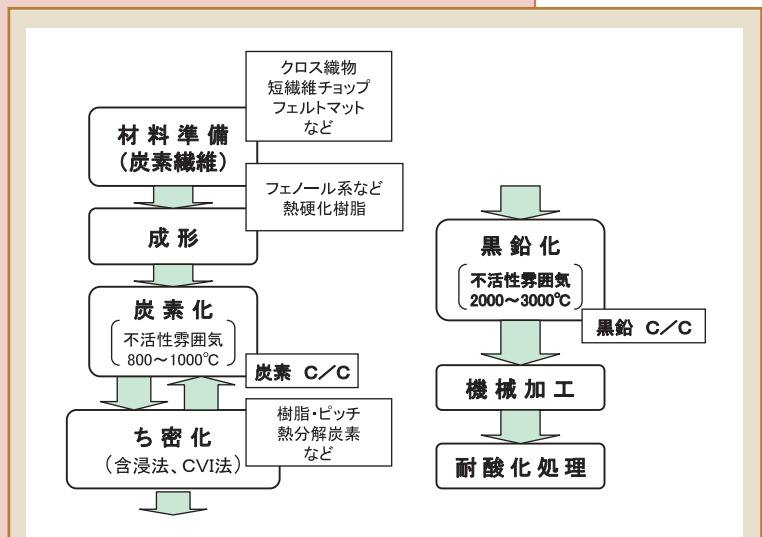


図2 C/Cコンポジット・ディスクの一般的な製造方法

炭素繊維のクロスに樹脂を含浸し積層し成形体を作る。加熱・炭素化後、ピッチなどの再含浸と炭素化が繰り返され、緻密化される。黒鉛化後、機械加工され耐酸化処理し、製品となる。

るが、この段階では空隙が多く強度が低いいため、ひき続き、樹脂やピッチの含浸・炭化やCVI^{注4)}が何回か繰り返され、緻密化される。これにより、空隙が少な

注3 (Life Cycle Cost) : 開発当初から設計、試作、生産、運用の各段階を経て有効寿命の終わるまでのコスト要素を累積して集計される総費用、略してLCCとも呼ばれる。

注4 (Chemical Vapor Infiltration) : メタンやプロパンなどの炭化水素ガスを予め加熱した炭素繊維の成形体に透過させ、熱分解し生成する炭素を沈積していき、緻密化していく製造方法

くなり密度が増し、強度が向上する。

最後に、2000℃以上の高温で黒鉛化され、摩擦材としての摩擦特性や物理特性が改善される。

通常、これら製造工程には数ヶ月もの長期間を要する。

5. 将来展望

C/C コンポジットブレーキは軽量化、高性能化や長寿命の観点から、航空機用ブレーキに幅広く使用されている。今後、製造方法の改善による品質安定化や更なるコストダウンが行われることで、航空機用ブレーキにとどまらず、車両用ブレーキ等においても、広く使用されることが期待される。

文 献

1) 辻 克彦, 第 33 回飛行機シンポジウム講演集 33rd, 31-34 (1995)

[連絡先] 岡本 隆行
KYB(株)
ハイドロリックコンポーネント事業本部
航空技術部
〒 229-0828 相模原市麻溝台 1-12-1