

セラミックス複合材料の研究開発の 動向と展望

東京工科大学 赤津 隆*¹ Akatsu Takashi 東京工業大学 吉田 克己*² Yoshida Katsumi

はじめに

複合材料は、「2種以上の素材を組合せてつくられる材料で、各素材の長所を活かし、または短所を補うように設計され、単独の素材では得られない優れた性質と機能を有する材料」と定義できる。ここでいう「性質」や「機能」とは必ずしも構造材料としての性質や機能、たとえば強度や破壊靱性、信頼性など、を指すとは限らないが、紙面の都合上、本稿では構造材料としてのセラミックス複合材料に限定して、その研究開発の動向を紹介する。

1990年代まで、構造材料としてのセラミックス複合材料の研究・開発においては、粒子(ウィスカー、プレートレットなどを含む)分散セラミックス複合材料とC/C(残炭率の高い樹脂を炭素化・黒鉛化したマトリックスに炭素繊維が囲まれた組織をもつ炭素繊維強化炭素複合材料)をはじめとする炭素繊維強化セラミックス複合材料が主流であった¹⁾。なかでも、セラミックナノ粒子がセラミックマトリックス中に分散したナノコンポジットにおいて1GPaを超える高強度材料が開発されたことが特筆できる²⁾。一方、C/CやC/SiC(詳細は後述)はすでに材料開発の段階を脱し、実用化(宇宙・航空分野、プレーキ材料など)の段階に入っていた。それ以降、現在に至るまで、SiC系連続繊維を強化繊維とするセラミックス複合材料

の研究・開発がその座を取って代わった。その主な理由として、SiC系連続繊維の耐熱性が大幅に向上し(ハイニカロン・Type SやチラノSA)、高温を伴うセラミックス複合材料の製造プロセスで繊維が劣化しにくくなったこと³⁾、炭素繊維には酸化損耗という致命的な弱点があること、繊維/マトリックス界面の組織制御によりカラストロフィックな破壊を回避することが可能となったこと⁴⁾、などが挙げられる。

上述のように、セラミック連続繊維強化セラミックス複合材料が現状、研究・開発の主流であり、それらは総称してCMC(Ceramic Matrix Composite)と呼ばれている。SiC/SiC(詳細は後述する)を中心としたCMCにおける研究・開発の動向については、別稿(香川 豊他、「最近の国際会議における発表内容や議論からみた主要国別CMC研究開発のトレンドと今後の展望」)に詳細が紹介されているので、本稿ではCMCを含めたセラミックス複合材料をいくつかピックアップし、それぞれ個別に研究・開発の現状を紹介する。

ウィスカー強化セラミックス複合材料

SiCウィスカー(ひげ状単結晶)がセラミックマトリックスの強化材として主に用いられ、CMCのような高い損傷許容性は発揮できないものの、ウィスカーの亀裂架橋により破壊靱性が向上し⁵⁾、モノリシックセラミックスよりも破壊に対する信頼性が高い。さらに、SiCは高硬度で高熱伝導性であるため、ウィスカー強化セラミックス複合材料は硬く、耐摩耗性、耐熱衝撃性⁶⁾に優れる。SiCウィスカー添加はセラミックマトリックスの焼結性を阻害するため、通常、ウィスカー強化セラミックス複合材料は加圧焼結で作製さ

* 1 片柳研究所 所長 教授

〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

☎ 042-637-6060

* 2 科学技術創成研究院 セロカーボンエネルギー研究所 准教授

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 N1-28

☎ 03-5734-2960

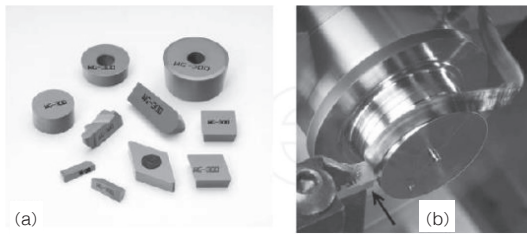


図 1 (a) SiC whisker強化 Al_2O_3 複合材料製切削工具、(b) 焼き入れた工具鋼が切削される様子 (矢印がSiC whisker強化 Al_2O_3 複合材料製切削工具)

(出所: B. Bertram and R. Gerhardt (2011). Properties and Applications of Ceramic Composites Containing Silicon Carbide Whiskers, Properties and Applications of Silicon Carbide, Prof. R. Gerhardt (Ed.), ISBN: 978-953-307-201-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/properties-and-applications-of-siliconcarbide/properties-and-applications-of-ceramic-composites-containing-silicon-carbide-whiskers>)

れ、複雑形状の部材には適さない。主に高速加工用切削工具(図1、スローアウェイチップ)として実用化されている。



C/SiCは炭素繊維チョップドファイバーがSiCマトリックスに分散した複合材料であるが、損傷許容性はCMCほど高くないものの、軽量であり、熱伝導性が高く、特に高温での耐摩耗特性としゅう動特性を兼ね備えていることから、自動車用ブレーキローター(図2)をはじめ、高速車両のブレーキなど、過酷環境用の耐摩耗材料として実用化されている⁷⁾。炭素繊維の低い耐酸化損耗が弱点であるが、軽量であることから、超高温にさらされる時間が短時間で済むような宇宙関連用途へ

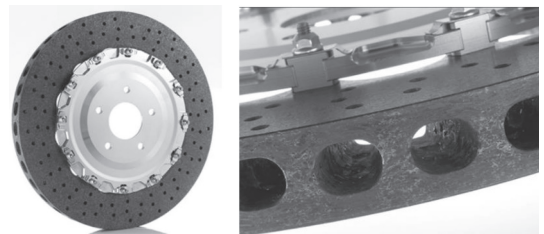


図 2 C/SiC製自動車用ブレーキローター

(出所: https://www.endless-sport.co.jp/products/brake_rotor/index_Racing_CMC.html)

の応用も検討されている⁴⁾。



Ox/Oxは酸化物セラミックスに比較的耐熱性の高い Al_2O_3 繊維やムライト繊維を複合化した材料であり、3M社やニチビ(株)製の繊維が用いられることが多い。Ox/Oxは繊維もマトリックスも酸化物セラミックスであるため、高温にさらされると焼結により互いが強く結合し、CMC特有の高い損傷許容性が発現できなくなる。そのため、繊維表面をモナザイトなど数種類の物質でコーティングすることにより⁸⁾、繊維/マトリックス界面が組織制御される。Ox/Oxは耐用温度が1000℃程度の自動車や航空機エンジン部品(図3)、熱交換器用部材としての応用が検討されている。Ox/Oxの問題は高温での酸化物セラミックスの結晶粒成長や気孔形成による繊維強度劣化であり、繊維の耐熱性向上が期待される⁴⁾。

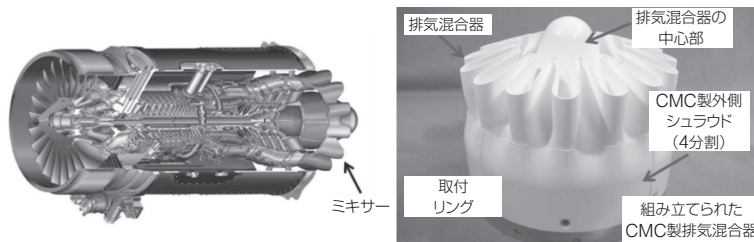


図 3 航空機用ジェットエンジンのExhaust Mixer に応用される Ox/Ox

(出所: J.D. Kiser, et. al., Oxide/Oxide Ceramic Matrix Composite (CMC) Exhaust Mixer Development in the NASA Environmentally Responsible Aviation (ERA) Project, ASME Turbo Expo 2015: Turbine Technical Conference and Exposition, Volume 6: Ceramics; Controls, Diagnostics and Instrumentation; Education; Manufacturing Materials and Metallurgy; Honors and Awards, ISBN: 978-0-7918-5675-8, ASME and Rolls-Royce Corporation, Available from: <https://asmedigitalcollection.asme.org/GT/proceedings-abstract/GT2015/56758/V006T02A002/237584>)