

表面分解法で生成した CNT 膜の摩擦部材への応用

1. はじめに

1991年にその存在が明らかにされたカーボンナノチューブ (Carbon Nano Tube: CNT) は、その後により研究によって従来材料にはない特性を有することが確認されている。機械特性に関しては、軸方向に非常に高い強度と剛性を有することが明らかにされており、機械構造材料としても応用が期待される新素材の一つである。

CNTの機械構造材料としての応用方法は、二つの手法が挙げられる。一つはFRP (繊維強化複合樹脂材料) の強化素材のように母材 (マトリックス) 中に分散させ強度の向上を狙う場合や、潤滑油中に配合し固体潤滑剤としての機能を期待するものである。すでにCNTを潤滑油中に配合することによって、鋼同士の摩擦係数が大幅に低減することが確認されている。他はCNTをコーティングする手法である。この場合、熱伝導や摩擦摩耗特性といった表面特性の制御を期待するものであり、CNTと界面の密着性が特性に大きく影響する。

CNTの成膜に関してCVD法 (化学蒸着法) 等の種々の手法が試みられているが、中でも1997年に開発された炭化ケイ素の表面分解法⁽¹⁾は、硬質な基板上にCNTを膜状 (CNTs/SiC膜) に高密度かつ高配向の状態、中間層を用いることなく生成できることから、密着性に優れた新しい炭素系被膜として適用できる可能性がある。

本稿では、このCNTs/SiC膜に関してこれまでに報告された成果を基に、摩擦摩耗材料としての同材料の可能性を紹介する。

2. CNTs/SiC膜

CNTはSiCを微小な酸素分圧下で加熱することで、SiCの酸化に伴うシリコン (Si) の離脱と炭素 (C) の表面拡散 (表面分解) によって生成する。このため、CNTは基板上に生成するのではなく、その内部方向に成長していくので、CNTs膜の表面の形状は基のSiC基板の状態を反映する。図1はCNTs/SiC膜の表面および断面の

TEM (透過型電子顕微鏡) 像である。CNTs/SiC膜は絨毯のような構造を有し、同図の場合、直径5nm、長さ210nmのCNTから構成され、膜厚がCNTの長さに対応し、生成密度はおよそ 4.1×10^{11} 本/mm²と非常に密である。図中の高分解TEM像より、CNTとSiC界面には中間物質が存在しないことが確認できる。加熱温度や時間を制御することで、CNTの長さや直径が制御可能であるだけでなく、基板にマスキングを適用することによって選択的な成長も可能である。以上のように、熱処理のみでCNTを生成可能であることから、予め他材料にSiCをCVD (化学蒸着法) によって成膜した面にも適用でき、基材の大きさや表面形状の制約は小さく、大面積化が容易なことも特徴である。

3. CNT膜の諸特性

CNTs/SiC膜の機械的性質に関してこれまでに明らかにされていることは、①摩擦係数の非線形な変化⁽²⁾、②粒子衝突 (エロージョン) に対する優れた損傷許容性 (耐摩耗特性)⁽³⁾である。AFM (原子間力顕微鏡) によるCNTs/SiC膜の摩擦力の測定結果 (図2) では、垂直荷重が極めて小さい場合と大きい場合には摩擦力の垂直荷重に対するこう配が小さい、すなわち低い摩擦係数を示すが、両者の中間的な荷重条件では大きな摩擦係数を示す。同図には、非晶質炭素膜の結果も併記されているが、一般の材料では摩擦係数は一定であり、摩擦力は垂直荷重に対して線形的に変化する。このようなCNTs/SiC膜の摩擦力の非線形な変化は図3のようなCNTのたわみに起因するモデルによって説明されている。すなわち、中間的な接触荷重では隣接するCNTの間で新しいエネルギー散逸経路が形成され摩擦力の増大を生ずるのであるが、これは、密着強度が高くCNTの高強度な特性が発現した結果とも解釈できる。特定の条件で発現するエロージョンによる高い耐摩耗性も同様なメカニズムによって粒子の衝突エネルギーを緩和するためと考えら

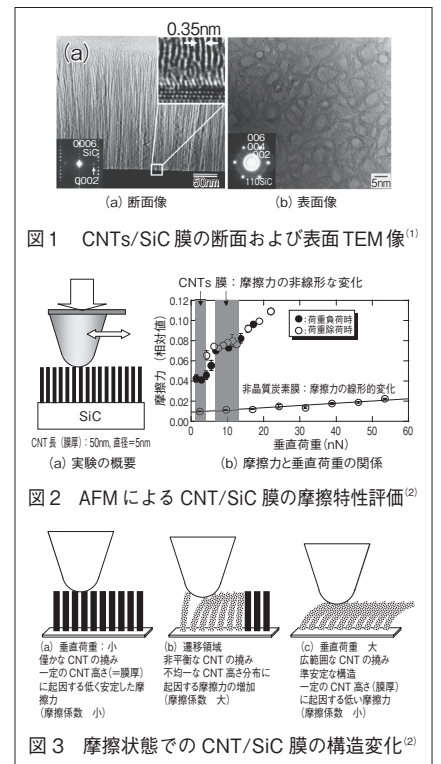


図1 CNTs/SiC膜の断面および表面TEM像⁽¹⁾

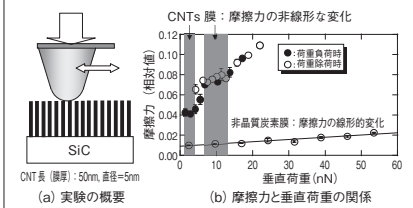


図2 AFMによるCNT/SiC膜の摩擦特性評価⁽²⁾

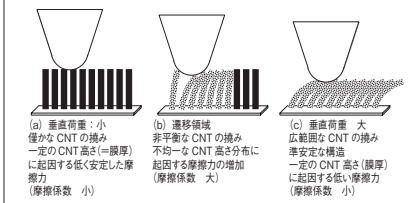


図3 摩擦状態でのCNT/SiC膜の構造変化⁽²⁾

れる。したがって、CNTs/SiC膜は、CNTの高強度に起因する高い変形許容性を有するといえる。

4. 今後の展望

表面分解法でSiC基板上に形成されたCNT膜 (CNTs/SiC膜) はナノレベルでの絨毯のような構造を有し、CNTの可撓性によって高い変形許容特性を有することが微小荷重の領域で明らかにされている。今後、より大きな荷重条件で同様なメカニズムが検証されれば、新しいコーティング部材としての実用化が期待できる素材の一つである。

(原稿受付 2008年10月1日)

[宇佐美初彦 名城大学]

●文献

- (1) Kusunoki, M., ほか, Epitaxial Carbon Nanotube Film Self-organized by Sublimation Decomposition of Silicon Carbide, *Appl. Phys. Lett.*, **71**, (1997), 2620-2622.
- (2) Miyake, K. ほか, Tribological Properties of Densely Packed Vertically Aligned Carbon Nanotube Film on SiC formed by Surface Decomposition, *Nano Letter*, **7-11** (2007), 3285-3289.
- (3) Kusunoki, M. ほか, Closed-packed and well-aligned carbon nanotube on SiC, *Journal of physics, D: Applied physics*, **40** (2007), 6278-6286.