

ナノメートルサイズのボールペ어링球形の微粒子カーボンオニオン(注1)の生成法を確立し固体潤滑材としての優れた特性を持つことを明らかにした

(注1) 直径5~10ナノメートル程度の炭素原子のみで構成される球状でナノカーボン閉構造体(炭素原子の直径: 0.2nm) 同種のナノカーボン閉構造体であるフラーレンは球状の中空構造であるが、カーボンオニオン球の内部にも炭素原子が詰まっており球状構造体の最外層にダングリングボンド(未結合手)が無く、分子間結合力が極めて小さいのが特徴

「カーボンオニオン」は、直径5~10ナノメートルの炭素原子(原子直径: 0.2nm)からなる球状の微粒子。カーボンオニオンが大気中・真空中を問わず、常温から数百℃の高温まで幅広い環境で優れた潤滑特性を持つことを明らかにし、固体潤滑材としての可能性を広く問いかける研究。



▲カーボンオニオンを生成する高周波誘導加熱炉。ダイヤモンドナノ粒子またはカーボンブラックを不活性雰囲気中で高速加熱(最高加熱温度: 約2,500°C)することにより生成する

- カーボンオニオンは、グリースをはじめとする潤滑油の使えない宇宙・航空機器、半導体関連製造装置などの現場で、黒鉛グラファイトなど従来の固体潤滑剤に替わる、新しい固体潤滑材として期待されます。
- 既存の固体潤滑材と同等またはより優れた潤滑特性を示します。
- 一般の機械においても潤滑油を使わない“オイルフリー”を目指す技術です。

競合技術への強み

	摩擦係数(真空中)	摩擦係数(空气中)	潤滑性能	材料の入手しやすさ	コスト
(1) 黒鉛グラファイト(従来品)	△ 0.5以上	○ 0.1	△	◎ 容易	◎ 二硫化モリブデンの1/2~1/10
(2) 二硫化モリブデン(従来品)	○ 0.04	△ 高湿度の空气中で性能劣化	○	△ モリブデンはレアメタルであり今後資源枯渇や価格高騰が懸念される	△ モリブデン価格は¥5500/kg程度
(3) 本研究で試作のカーボンオニオン(研究試作品)	◎ 0.02~0.03(高温真空中) ○ 0.04~0.13(常温真空中)	△ 0.2(高温空气中) ◎ 0.05~0.08(常温空气中)	◎	◎ 資源的に供給の問題の無い、安価な原料を元にしており材料入手は容易である	○ 原料のカーボンブラックは¥500/kg以下、ダイヤモンドナノ粒子は¥5000/g(左記の最高スペックはダイヤモンドナノ粒子のものであり、カーボンブラックによるものは少し性能が劣るが、今後、さらに研究を進め、カーボンブラックでも実現できる見込み)

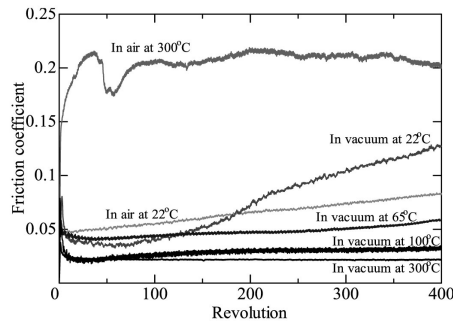
▲固体潤滑剤に関する従来品と研究試作品(本技術)の比較表

- ①過酷環境対応: 常温~数百℃の高温環境下の真空中でも、固体潤滑材として摩擦係数0.02~0.03という優れた潤滑特性を示します。
- ②機械の固体潤滑材としても有望: オイルによる液体潤滑が困難で、圧力や温度の変化が激しい環境下で使用される機械システムの潤滑材として期待されます。
- ③環境に優しい: 従来から広く利用されている固体潤滑材の二硫化モリブデン、二硫化タングステン、環境に有害とされる硫黄の化合物。カーボンオニオンの構成元素は無害な炭素です。
- ④レアメタルの使用を低減: 二硫化モリブデン、二硫化タングstenはレアメタルとされるモリブデン、タングstenを含みます。カーボンオニオンを用いれば、これらの使用を低減できます。

ここがポイント

潤滑剤という機械自動車のエンジンオイルに代表されるように、液体の潤滑剤を用いるのが普通です。しかし、宇宙・航空機器、半導体関連製造装置などで液体潤滑剤が使えない場合は、固体潤滑剤が求められます。また、オイルによる液体潤滑は、廃油の処理など環境面でも大きな問題を抱えています。カーボンオニオンは、黒鉛(グラファイト)がタマネギのように層になって重なった直径5~10ナノメートルの球状の微粒子で、球殻構造をしているため大気中・真空中に関わらず極めて低い摩擦係数を示します。液体潤滑の摩擦係数約0.001に対して、私たちが作ったカーボンオニオンは約0.02と一桁劣りますが、現在、気相合成反応容器内でのウエハ搬送装置に用いられている歯車等で使われている固体潤滑剤の約0.1と比較すると大変優れていることがわかります。

本研究では、ダイヤモンド微粒子とカーボンブラッ

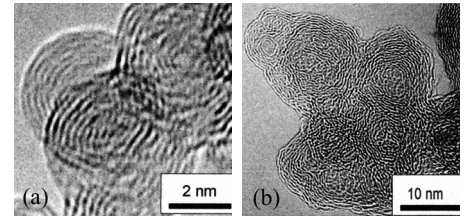


▲温度を変化させたときの空気中、真空中における摩擦特性。横軸にほぼ平行した下の2本のグラフは、高温の真空中でカーボンオニオンの摩擦係数が0.02~0.03と安定していることを示している(縦軸は温度、横軸はしゅう動試験の回転数)

ク(工業的に生産される炭素の微粒子)からカーボンオニオンを安定的に生産する方法を確立し、空気中や真空中で温度等の条件を変えて実験を行い、カーボンオニオンの潤滑材としての特性を明らかにしました。

ブレイクスルーへの道のり

- 1998年: ダイヤモンドナノ粒子を原料としたカーボンオニオンの多量生成技術の開発に着手。このすぐ後、カーボンオニオンが潤滑特性に優れていることを示唆するデータを得て、これをオイルや既存の固体潤滑剤に替わる新規の固体潤滑材として開発できれば世界に貢献できると考え、研究テーマに据えた。
- 2000年: カーボンオニオンの基礎的なトライボロジー(摩擦・摩耗・潤滑のメカニズムなどを扱う科学技術)特性を把握。科学研究費補助金を獲得。
- 2001年: ダイヤモンド微粒子からカーボンオニオンを生成。
- 2002年: カーボンオニオンと同様のトライボロジー特性をもつカーボンナノチューブコーティングを形成。
- 2003年: 触媒を利用したカーボンオニオンの低温合成。科学研究費補助金を獲得。
- 2004年: カーボンオニオン潤滑層の長寿命化を自己組織化単分子膜上で確認。
- 2005年: NEDO平成17年第1回産業技術研究助成に採択。潤滑特性のさらに優れるカーボンオニオンおよびカーボンナノチューブの生成に関する研究開発を開始。カーボンオニオンの生成と基本的な特性の解明まではスムーズに研究が進化した。
- 2006年: カーボンオニオンを研究開発の主対象とし、固体潤滑材としての機能を高度化。カーボンオニオン添加複合材の作製に着手。最終製品を見据えて、どのように実用化させていくか、周辺技術の開発も含めてここが難しく、2008年の現在もその困難は続いている。
- 2007年: 潤滑システムの観点から温度、しゅう動(すべて動くこと)部材の表面形状などしゅう動条件の検討を開始。



▲ダイヤモンドナノ粒子から生成したカーボンオニオン(a)及びカーボンブラックから生成したカーボンオニオン(b)の電子顕微鏡写真

■サクセス・キー

本研究で得られた成果は、一緒に研究を進めてくれた学生の努力の賜物と思っています。彼らとの協働により研究開発の結果に繰り返しの精査を加え、着実に目標を達成してきました。一部の学生は卒業後も関連の産業分野に進み、本研究のよき支援者となりました。ニューダイヤモンドフォーラムにおいて、他の様々な分野の研究者からナノカーボンを含めた高機能カーボン材料関連の最新の研究成果について情報が得られたことも、研究を推進する強力なエンジンとなりました。また、装置の製作、生成物の分析などの際に、大学の設備を効果的に利用することができ、技能の高い技術職員の協力が得られたことも書き落とせません。

■ネクスト・ストーリー

基盤的な要素技術の確立を目指した本研究は、その目標をほぼ達成しました。本研究の技術を幅広く受け入れてもらうには、安定した潤滑層を形成するための表面加工技術の開発が重要です。その中で、本研究の初期に最終目標とした摩擦係数0.01(達成値は0.02)の実現を追求していきます。さらに次のステップとして、どこにカーボンオニオンの固体潤滑を応用するか、具体的なアプリケーションの提案を行わなければなりません。これにより、どのような周辺技術の開発が必要か明らかになります。長期的には、環境への負荷が大きいオイルによる液体潤滑を、炭素を材料とした固体潤滑に置き換える一すなわち、オイルフリー社会の実現をゴールに掲げて研究を推進していきたいと思えます。



プロジェクトID・研究テーマ名・年度
05A26011c 「ナノカーボン閉構造体による固体潤滑表面システムの創出」(平成17年度第1回公募)
代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名
平田 敦 東京工業大学・大学院理工学研究科機械物理学専攻・准教授