

交流コーナー

カーボンマイクロコイル (CMC) の開発とその実用化

(財)豊田理化学研究所フェロー
元島 栖二 (D40,D院42)

カーボンマイクロコイル (CMC) は、コイル径が μm オーダーで3D-ヘリカル／らせん構造を示し、非晶質であるという既存素材・材料には見られない特異的構造を持ち、マイクロ波領域の電磁波吸収材、マイクロ波発熱材、触覚・近接センサ素子、鎮痛材、ガン治療薬、癒し材など、幅広い応用が期待されている革新的新素材である。本稿では、CMCの合成法、モルフォロジー、微細構造、特性、応用及びその実用化の現状を簡単に紹介する。



1. CMCの合成法・モルフォロジー・微細構造

1.1 合成法：CMCは、微量のイオウ不純物を含むアセチレンを、Ni微粉末などの金属触媒存在下、700-800℃で熱分解することにより合成できる。CMCは原料ガス導入方向に向かって基板上にほぼ垂直に、約60rpmの速度で回転してコイル形状を作りながら成長する。

1.2 モルフォロジー・微細構造：図1に、代表的なCMCのSEM写真を示す。CMCは、一般に2本のカーボンファイバーが一定のコイル径とコイルピッチで規則的に同じ方向に巻いており、DNAと同様な二重らせん構造をしている。

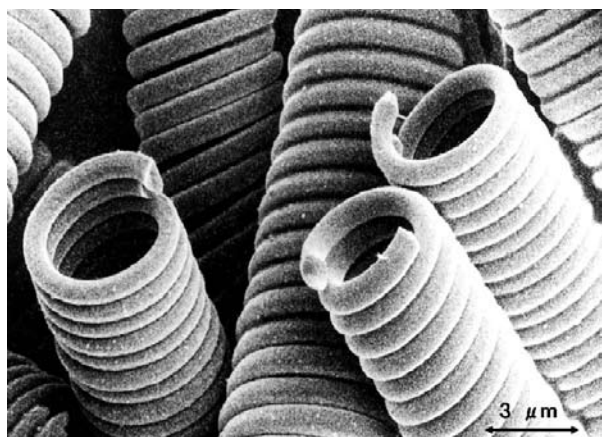


図1. 代表的なCMCのSEM写真

る。1本のコイル中では、ファイバー径、コイル径及びコイルピッチはほぼ一定であり、又巻き方向は途中で変化せず一定（右巻きあるいは左巻き）である。右巻きCMCと左巻きCMCの本数は、触媒の種類や反応条件に依存せずほぼ同数である。一般に、CMCのコイル径は1～10 μm 、コイルを形成しているカーボンファイバーの径は0.1～1 μm 、コイル長さは反応時間に依存して0.1～10mmである。コイルは弾力性に優れており、その伸び率は通常のCMCでは1.5～3倍、コイル径が大きな超弾力性CMCでは10～15倍に達し、また完全弾性的な伸縮が可能である。さらにmgオーダーの微小荷重でも容易に伸長し、荷重と伸びとの間にはほぼ直線関係が認められる。As-grown CMCは、ほとんど非晶質であるが、2500℃以上に加熱するとグラファイト化が進行してヘリングボーン構造（ニシンの骨状）を示す。

2. 物性・特性

CMCの特長は、その特異的な3D-ヘリカル／らせん構造はもちろんであるが、ファイバー

の中心部にはナノチューブのような空洞は存在せず、中心部まで微細な炭素粒で完全に詰まっている点である。また、非晶質で比表面積が大きい(100～140 m²/g)点も大きな特徴である。As-grown CMCのバルク(粉末)電気抵抗値は、かさ密度が0.2g/cm³では10Ωcm、1g/cm³では0.1Ωcm以下である。CMCは電氣的なソレノイド状構造をしているので、ファラデーの電磁誘導の法則に従い効率良く電磁波を吸収し、誘導起電力を発生する。誘導起電力は、周波数が高いほど、又コイルが長いほど大きい。この誘導起電力の発生に伴うヘリカル状誘導電流よりコイル端には微弱な磁場が発生する。

3. 応用

As-grown CMCのコイル長さは0.1～10mmくらいであり、凝集している。これを高速粉砕機で粉砕後分級すると、コイル長さ50～1000μmの粉末状CMCが得られるが、このままでは取り扱いが不便であるので一般に樹脂中に複合化させて用いる。

3.1) 強化材：CMCはコイル状をしているので弾力性があり、弾力性樹脂中に複合化させると、樹脂と一緒に伸縮して引き抜けが起こりにくく繊維強化材として有効である。例えば、ヤング率が1.2MPaのエポキシ樹脂中にCMCを3wt%添加した複合材では、ヤング率はマトリックス樹脂の約1.8倍に、又引っ張り強度は約2.3倍向上する。

3.2) 電磁波吸収¹⁾：図2にコイル長さが1mm以上のCMCの電磁波吸収特性を示す。12～18GHzの幅広い領域で-15dB以上の吸収を示している。種々のコイル長さのCMCを種々の割合(添加量)で添加したCMC/PMMAビーズ(直径：0.2～1mm)について、電磁波吸収率を自由空間法で測定した。1～2wt%添加したサンプルでは、特定周波数領域で-20dB(吸収率99%)以上の値を示し、添加量がこれ

より少なくても多すぎても吸収率は低下した。CMC/PMMAシート(単層及び2層、全厚さ：13～26mm)の場合、単層サンプルではあまり電磁波を吸収しないが、二層サンプルでは、50～110GHzの幅広い周波数領域にわたって、-20dB(99%)以上の優れた吸収特性を示した。

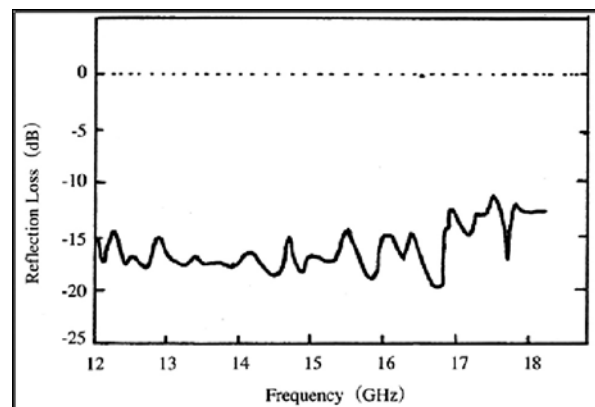


図2. 長尺CMCの電磁波吸収特性

3.3) マイクロ波発熱：CMCにより吸収された電磁波のエネルギーは、誘導電流によるジュール熱を発生し、最終的に熱エネルギーとして消費される。例えば、CMCを電子レンジ中に入れると、短時間で赤熱・酸化・燃焼・消失する。シリコンオイル中に1wt%添加したサンプルの温度上昇率は、CMCの場合、水、炭素粉末、炭素繊維などの場合より3～5倍高く、15秒加熱では120～150℃となり、エネルギー変換効率も60～70%に達する。また、CMCをセラミックス中に添加した磁器製ルツボは、電子レンジ中で10分間加熱すると800～1000℃まで温度上昇する。

3.4) 電波の可視化²⁾：電波は目に見えないため、どこから発生しそれがどの程度の強度であるのかがわからないので、電波の可視化技術の開発が求められている。CMCはマイクロ波を効率よく吸収しこれを熱に変換するので、この熱を赤外線サーモグラフで読み取れば、電波を可視化できる。例えば、CMCビーズを充填した可視化板を電子レンジ中央部に垂直に入れて5秒間加熱した後の赤外線サーモグラフでは6cmお

きに縦縞の昇温部分が認められ、従って電子レンジ中のマイクロ波の様子が容易に目視できる。

3.5) 触覚・近接センサ素子³⁾：CMCを弾力性樹脂中に添加・複合化させたCMCセンサ素子は、種々の刺激を高感度で識別・検出できる優れた触覚センサ特性を示す。微小な応力により伸縮しその際電気抵抗 (R) などのさまざまな電気パラメータが変化する。図3に、CMCを弾力性シリコン樹脂中に1wt%添加したセンサ素子に、微小荷重を印加した際のL (インダクタンス) 成分の変化を示す。

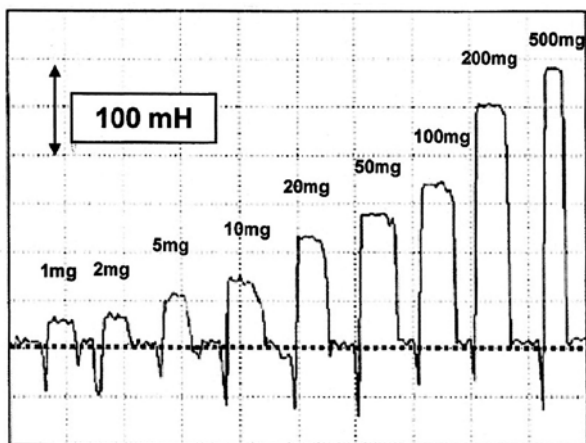


図3. 加重下でのCMC／ポリシリコン素子のL成分変化。L：インダクタンス、CMC添加量：1wt%，コイル長：<300 μ m，素子厚：100 μ m

1mgfの荷重でも明らかな変化が認められる。この値は圧力換算で1 Paに相当し人間の皮膚よりも高感度である。図4に、CMCセンサ

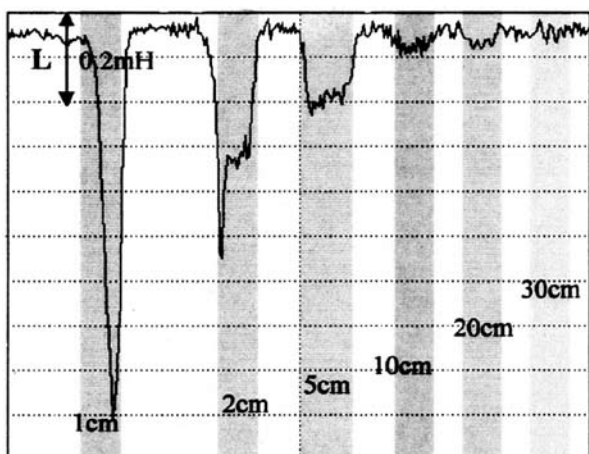


図4. CMCセンサ素子に手を近づけた際のL成分変化

素子に手を近づけた際のL成分の変化を示す。CMCセンサ素子に手を30cm以下に近づけるとL成分の変化が観察され始め、近づくにつれて急激に大きくなり (近接信号)、手がセンサ素子に接触すると極めて大きな変化 (触覚信号) が観察される。すなわち、CMCセンサ素子は、高感度の触覚センサとしてばかりでなく近接センサとしても応用できる。例えば、CMC触覚・近接センサー素子は、全身が人間感覚を持つロボットや、エレベータドアなどへの応用が期待される。

3.6) 細胞増殖・抑制：小川⁴⁾ は、表皮細胞にCMCを加えて培養すると、細胞数が60%増加し、表皮の新陳代謝が活性化されることを見出した (図5)。これらの活性化効果を利用して、CMCを添加した化粧品が実用化されている。一方、ケロイドの原因となる繊維芽細胞やガン細胞に対しては著しい増殖抑制効果を示す。例えば、図6にヒト子宮頸部ガン細胞の増殖に及ぼすCMCの添加効果を示す。7日間培養後のがん細胞数は、CMCを添加すると添加しない場合の19%、CMCを完全に粉砕してコイル形状をなくしたものでは76%である。一方、活性炭では逆に増加する。CMCは多くの付着性ガン細胞増殖を著しく抑制する効果がある。CMCの

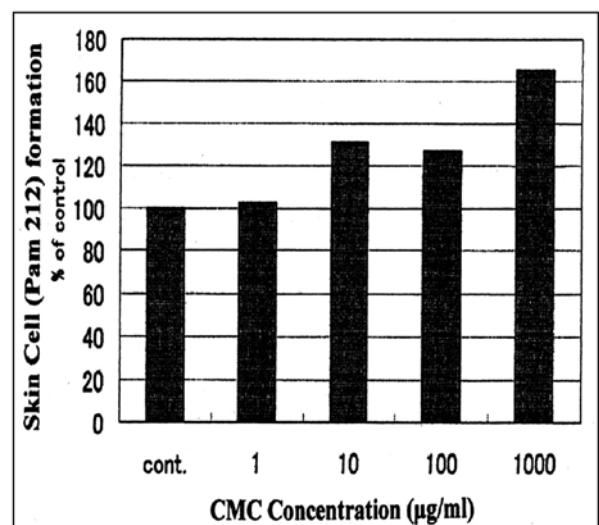


図5. 表皮細胞 (Pam212) の増殖に及ぼすCMCの添加効果

このような細胞の種類（正常細胞、異常細胞）に依存した特異効果の理由は、現在のところ明らかではない。粉末状CMCでは抑止効果が小さいので、CMCのがん細胞増殖抑制効果は、CMCの炭素質そのものもたらす効果というより、CMCのマイクロコイル状という特異形態のもたらす効果であると考えられる。

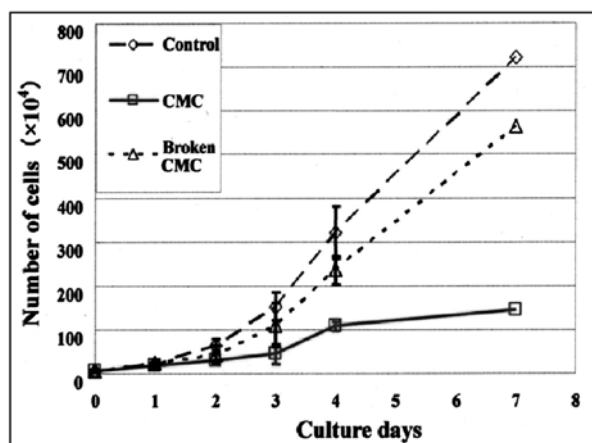


図6. 子宮頸部ガン細胞(Hela細胞)の増殖に及ぼす

3.7) 消炎・鎮痛材：CMC層と磁性材層とから複合シート材では、肩コリ、筋肉痛など幅広い痛みを効果的に緩和する効果があることが見出された。この効果を用いて、薬剤を用いない新規の消炎・鎮痛材として実用化を進めている。

3.8) その他：以上のほか、癒し効果、植物成長促進効果など多くの優れた特性がある。

4. CMCの事業化

幅広い応用の可能性を秘めたCMC技術を事業化して社会に役立つため、当初大手企業での事業化を目指したが種々の問題から実現できず、1990年に全国の大学の先生に呼びかけて共同出資による大学発ベンチャー企業を立ち上げた。しかし1年後に経営権を失い、またCMC技術の独占支配的経営が行なわれたため発展せず、2009年に自ら第2ベンチャー企業ともいえる(株)CMC総合研究所を立ち上げてCMC技術の幅広い実用化を目指している。また、CMCの情報発信のため、従来のCMC研究会（平成

9-22年）の発展的学会として、本年4月に、日本ヘリカルサイエンス学会 (JHSS) を設立した。

5. むすび

カーボンマイクロコイル (CMC) は、コイル径がマイクロン～ナノオーダーで、森羅万象の基本構造とも言える3D-ヘリカル／らせん構造をしており、さらに非結晶～結晶質の微細構造を持ち、既存材料には得られないような多くの優れた特性を有している。したがって、新規高度機能性材料として、電磁波吸収材（特にGHz領域）、触覚・近接センサ、生物活性化触媒、エミッター、キャパシターなど、幅広い応用が期待できる。詳しくは最近の総説を参照されたい⁵⁻⁹⁾。

(文献)

- 1) 元島 栖二、“次世代電磁波吸収体の技術と応用展開”（シーエムシー出版、2003）pp.166-188,
- 2) 窪寺 俊也、河辺 憲次、元島 栖二、検査技術 11(10) (2006) 55-58.
- 3) 元島 栖二、陳秀琴、“超5感センサの最前線”（エヌ・ティー・エス、2005）、pp. 299-309.
- 4) 小川 雅久、Fragrance J. 1 (2004) 58.
- 5) S. Motojima, Y. Hishikawa, and H. Iwanaga, “Recent Res. Develop. Mater. Sci.”, 2(2002)、pp.633-662.
- 6) Motojima and X. Chen, “Encyclopedia of Nanosci. & Nanotech.”, (ed. by H.S. Nalwa, 2004). 6, pp.775-794.
- 7) 陳 秀 琴、元 島 栖 二、炭 素、230、338-344(2007).
- 8) 元島 栖二、“驚異のヘリカル炭素”（シーエムシー技術開発、2007）、pp.1-132.
- 9) 元島 栖二、マテリアルインテグレーション 21(8)、9-19(2008).

社団法人 「日本ヘリカルサイエンス学会(JHSS)」 概要

(Japan Helical Science Society)

設立：平成23年4月1日

目的：本学会は、ヘリカル、スパイラル、らせん、渦巻、波動などをキーワードとし、小宇宙から大宇宙まで普遍的に存在するこれらのヘリカル構造・現象を考究し、これらから発現される機能を高度化・進化させ、さらに科学技術と芸術・宗教・哲学などとの融和を図り、もって人類の未来に貢献することを目的とします。そのため、素粒子、原子、分子、生命体、自然、人間生活・文化、電磁波・波動、芸術、哲学、宇宙など、幅広い分野の研究者・技術者、芸術家等の研究発表、相互の情報交換・交流の場を提供します。

役員：名誉会長：小宮山 宏(東京大学総長顧問、三菱総合研究所理事長)

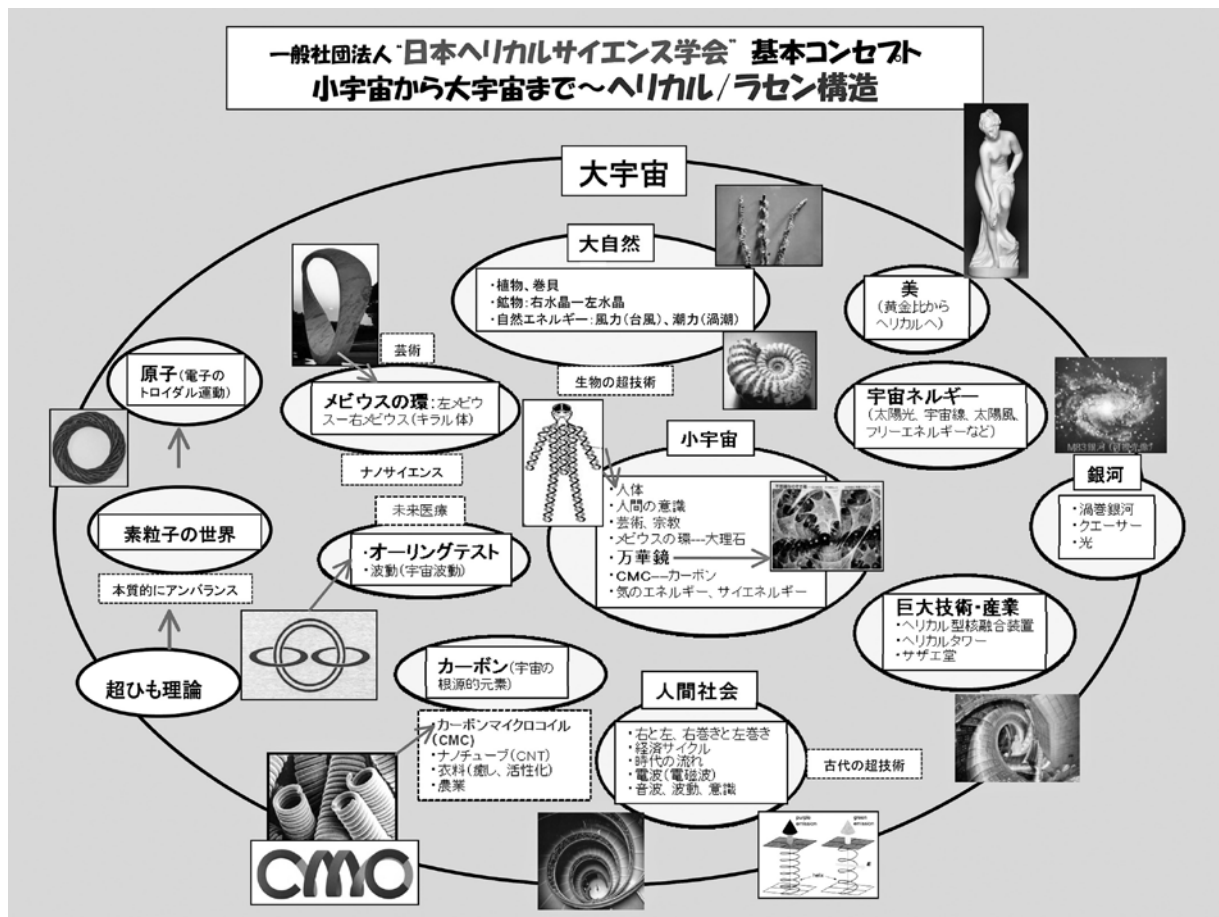
会長：元島栖二(財)豊田理化学研究所フェロー、D40, D院42)

理事：約90名

分科会：本学会は分野が多岐にわたるので、下記のような分科会(部会)の設置を予定しています。

- | | | |
|-------------|---------------|---------------------|
| ① 素粒子部会 | ⑥ 人間社会・文化部会 | ⑩ 黄金比部会 |
| ② 宇宙エネルギー部会 | ⑦ 科学技術部会 | ⑪ オーリングテスト(BDORT)部会 |
| ③ 波動・気の科学部会 | ⑧ カーボンマイクロコイル | ⑫ メビウス部会 |
| ④ 生命科学部会 | (CMC)部会 | ⑬ 万華鏡部会 |
| ⑤ 自然科学部会 | ⑨ 芸術・美の部会 | ⑭ 宇宙部会 |

事務局：〒502-0813 岐阜市福光東1-23-23, (株)CMC総合研究所本社内
(E-mail: smotojima.cmcard@salsa.ocn.ne.jp)



一般社団法人 日本ヘリカルサイエンス学会 (JHSS) 設立趣旨

この世の中には様々な形のヘリカル/らせん/スパイラル/ソレノイド/うずまき/メビウスの環等、連続的に変化する形状の物質や現象があり、その形状特有の高度機能を発現しております。例えば、ヘリカル形状物質 (DNA、タンパク質、生体高分子、巻貝、カーボンマイクロコイル (CMC) など)、建造物 (ラセン階段、らせん柱、ヘリカルタワーなど)、固体内現象 (らせん転位など)、流体现象 (渦巻、竜巻など)、波動現象 (電磁波、共鳴・共振現象、バイオレゾナンス、オーリングテスト、意識など)、宇宙 (渦巻銀河、クエーサー、光など)、メビウスの環 (循環、キラルなど)、らせん形状 (ベネチアンレースグラスなど)、素粒子・原子の動き/世界 (トロイダル運動など)、宇宙エネルギー (太陽光、宇宙線、太陽風、フリーエネルギー、気のエネルギーなど)、人間社会現象 (右と左、右巻きと左巻き、経済サイクル、時代の流れなど) など、様々な物質、現象があります。さらに、カーボンによる心の癒し・生体活性化効果 (CMC、備長炭、炭塗料、農業など) 現象、心の世界、美の世界、万華鏡の世界 (小宇宙)、宗教や芸術の世界などもヘリカル的です。すなわち、森羅万象の基本構造・現象・機能などはヘリカル的ともいえます。

現代科学は、形のあるもの、目に見えるもの、検証できるもの、証明できるもの、再現性のあるものなどを対象とし、それ以外のものや現象は無視あるいは否定する傾向があります。しかし、生命、意識、波動など、目に見えない、あるいは現代科学では説明できない現象も多く、これが決定的な作用をしている場合が多いものです。そのような現象はヘリカル的であるともいえます。したがって、これにスポットを当てることが、次世代のサイエンスには求められております。

しかしながら、これまで、個々の分野でのヘリカル構造・物質・現象に関する研究発表や情報交換は個々の学会などで断片的に行われ、ヘリカル構造をキーワードとした幅広い分野の研究者、市民などを一堂に集めた横断的な情報交換の場はありませんでした。異なる分野の研究者を一堂に会して情報交換することにより、ヘリカル構造から発現される機能はさらに高度化・進化されるものと期待出来ます。そこで、広義のヘリカルをキーワードとし、これらに関する研究発表、情報交換の場として、日本ヘリカルサイエンス学会を設立致します。