

## 研究課題別中間評価結果

### 1. 研究課題名: カーボンナノチューブの特異な吸着現象

水素吸蔵とバイオテクノロジーへの応用

### 2. 研究代表者名: 飯島 澄男 (名城大学 理工学部材料機能工学科 教授)

### 3. 研究概要:

本プロジェクトでは、カーボンナノチューブ状物質の特異な吸着現象に着目し、その水素吸蔵とバイオテクノロジーへの応用を目指した研究を進めている。

当初、カーボンナノチューブ(CNT)として、単層カーボンナノチューブと単層カーボンナノホーン(CNH)を用いて研究を進めていた。しかし、単層カーボンナノチューブは、金属触媒を不純物として含み、かつ、その完全な除去が困難であるため、単層カーボンナノチューブを用いた実験からは信頼性ある実験結果が得られないと判断し、本プロジェクトの主な研究は金属触媒を使わずに生成可能な、従って、金属触媒を不純物として含まないナノホーンを用いて行った。

ナノホーンによる水素吸着については、ナノホーンのグラファイト壁と水素との相互作用が弱いために、吸着量を実用化に適するほど上げることができないことがわかった。そこで、方針を変更し、ナノホーンに大量に吸着するメタンに着目し、メタン吸着量をいっそう増加させる方法と、メタンを分解し水素を取り出す方法を検討した。メタンの大量吸着が可能であることは前プロジェクトで既に明らかにした。本プロジェクトで検討を進めた結果、ナノホーンに金属を微量担持することにより、メタン吸着量をさらに増加させることができた。また、金属担持ナノホーンを用いてメタンを分解し水素を発生させることにも成功した。その水素発生は、300 という低温で可能であり、この温度で、実用に適する発生量、15%、を実現した。(300 は、すでに実用化されているものより 500 程度低い。)現時点では、低温で大量に水素発生するメカニズムをまだ完全には解明できていないので、今後、この点を解明するとともに、新たな触媒担持ナノホーンを開発する予定である。

ナノホーンのバイオテクノロジーへの応用に関しては、ナノホーンがドラッグキャリアーとして有用かどうかを検討した。現在、ドラッグデリバリーシステム構築においては、ドラッグ機能を担う分子と搬送・標的作用を担う分子とを、両者の効果を損なうことなく一体化することが困難であるという課題を抱えている。このような課題は、ナノホーンを用いて、その内部にドラッグ分子を内包させ、外壁に搬送・標的作用を持つ分子を吸着・付加させることで克服できると考えられる。また、ナノホーン壁に開けた孔の淵にある官能基に、物理的・化学的環境あるいは外力に応答する分子を付加することで、ドラッグの閉じ込めや放出を制御し、さらに、ドラッグの標的中率を上げることも可能であろう。ナノホーンがドラッグキャリアーとして実際に応用可能かどうか見極めるために、本プロジェクトではナノホーン内部へ分子を入れるためのエントリーポートの作成法(壁の孔明け)、物質の内包と放出の制御法、水溶液への分散法、およびそれらの評価法などを確立した。生体内での使用に向けて、ナノホーンの水溶液中分散、ナノホーン集合体の微小化なども検討した。このような基盤研究を基に、プロジェクト1年経過前後より、ナノホーンを用いたドラッグデリバリーシステム構

築に向けて、抗炎症剤や抗がん剤の内包、その放出と放出医薬分子の薬理作用の in-vitro 試験による有効性、MRI によるナノホーンの体内動態観察可能性、ナノホーンの無毒性などの確認を行った。

#### 4. 中間評価結果

##### 4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

カーボンナノチューブ状物質として、カーボンナノホーン(CNH)に特化し、これによるガス吸着、ドラッグデリバリーの研究を進めた。ガス吸着については当初の水素吸蔵材としての計画は不調に終わったのは残念であるが、それを早期に見極め、メタン吸着とメタン分解による水素発生に方針転換して、新しい展望を拓いたことは、高く評価できる。特に、CNH に金属を担持することによって、従来に比べて著しい低温(約 300 )でのメタン水蒸気改質による効率の良い水素製造を可能にした成果は、産業応用と環境問題の観点から、高く評価できる。今後、このメカニズムを解明して、更に成果を発展させることが望まれる。

ドラッグデリバリーの研究は、未知への挑戦であり、in-vitro 試験での有効性を確認し、応用に向けた第一歩を踏み出した段階と言える。今後、CNH 集合体のサイズ制御と微細化を達成すること、また、CNH 特異的ペプチド配列の発見や、CNH 構造特異的な DDS 挙動などが確立されれば高い成果が期待出来る。DDS や遺伝子デリバリーの分野はここ数年で急速な発展を遂げており、in vivo 疾患モデル動物を用いての効果判定が不可欠である。この点を見据えて研究を進捗させる必要がある。また、MRI 造影剤としての機能も大いに期待されるが、Gd の場合には毒性との関係で Gd-DTPA 錯体以外の形で臨床承認を取ることは極めてハードルが高いものと考えられる。その点、鉄系に注目することは良い選択であると思われる。

##### 4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

CNH のガス吸蔵材料としての成果は、メタンガスの吸着の改善が行われ、さらに CNH に合金粒子を担持させてメタンガスを分解して水素を生成する触媒反応が高い活性を示すことを見出し、燃料電池などエネルギー関連技術の応用へ重要な発展が期待される。

DDS などバイオ分野へ研究成果は、基礎的な段階では可能性が十分に示されている。今後、CNH の体内移動、体外排出の研究を進めるために、CNH 集合体のサイズ制御技術の確立が重要である。また、この分野は、有機超分子構造体やリポソームなど異なる素材やアプローチが多く存在しており、その中には独創性や機能性の点で特筆すべきものも数多く認められる。今後の応用への展開では、これらの系と比較して、CNH システムの構造的・機能的優位性を明らかにしていくことが求められる。これは本システムが最終的に実用に結びつくかどうかを見極める上でも重要な視点となる。

##### 4 - 3. 総合的評価

総合的にみて極めて高い独創技術に基づいて計画されている研究であり、今後の進展が大い

に期待される。カーボンナノチューブ(CNT)に関する研究は国内外において、多くの研究例があるが、カーボンナノホーン(CNH)に関する類似研究は皆無に近く、独創性においてきわめて高く評価されると同時に、その内容的レベルはメタン吸蔵や金属触媒による水素発生の例でも分かるように、類似の研究と比較して非常に高く、重要度も大きい。ただし、バイオ応用展開に関しては、様々な材料やシステムからのアプローチが世界中で熾烈な競争のもとに展開されており、既に疾患動物での機能検定や臨床展開に至っているものも数多く存在する。これらの系と比較しての本系の機能的優位性について、より深くかつ的確に示していくことが望まれる。毒性についても短期毒性のみならず動物を用いた長期毒性についても留意が必要であろう。

研究代表者は、CNT、CNHの発見者であり、我が国発のオリジナル材料として、是非、我が国でインパクトの大きい応用化への実現を果たすことを期待する。