

テーマ2「最前線の研究報告（学生、若手研究者による）」

⑥

放射性同位体を内包したフラーレンの 赤外線レーザーによる生成実験

京都大学 複合原子力科学研究所

特定助教 稲垣 誠

炭素原子がサッカーボール状に結合した分子であるフラーレンは、その内部に他の原子を閉じ込める（内包する）ことができる。本研究では、赤外線レーザーを用い、小さな密閉容器内でフラーレンを生成する装置の開発を行った。また、開発した装置を用い、放射性の原子を内包したフラーレンの生成を試みる実験を行った。このようなフラーレンは、放射性の原子を用いた治療や診断への応用が期待される。

放射性同位体を内包したフラーレンの赤外線レーザーによる生成実験

京都大学複合原子力科学研究所

稲垣 誠

1. はじめに

近年、放射性同位体は医学的診断や治療に広く用いられ、悪性腫瘍などの早期診断や治療に成果を上げている。放射性同位体を診断や治療に用いるにあたり、正常組織の被ばく低減などの観点から、体内で放射性同位体を運搬し患部に集積させる技術（ドラッグデリバリーシステム）が求められている。ドラッグデリバリーシステムの放射性同位体への適用を実現するためには、放射性同位体とその構造内に保持できるような分子が必要であり、かつその分子が患部に集積する機能を持つ必要がある。

放射性同位体を保持する構造を持つ分子には様々なものがあるが、その一つとして、炭素原子がサッカーボール状に結合した分子であるフラーレンがある（図1）。フラーレンはそのかご状構造内に金属原子などを内包できることが報告されており[1]、また、フラーレンの炭素原子に官能基を結合させる（化学修飾する）ことが可能であることが知られている[2]。したがって、フラーレンを化学修飾し、患部に集積するような機能を持たせることができれば、フラーレンはドラッグデリバリーシステムにおいて放射性同位体を運搬する分子となることが期待される。放射性同位体への応用ではないものの、実際に、ガドリニウム原子を内包したフラーレンをヒドロキシ基で修飾したもの（ $Gd@C_{82}(OH)_n$ ）が従来のMRI造影剤であるGd-DTPAよりも高い造影効果を示すことが知られているなど[3]、フラーレンの医療分野における応用研究が進んでいる。

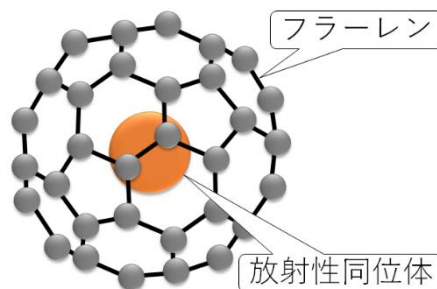


図1. 放射性同位体を内包したフラーレンの模式図

本研究では、放射性同位体に適用可能なドラッグデリバリーシステムへの応用に向けた基礎研究として、放射性同位体を内包したフラーレンの簡便な生成法の開発を目指すこととした。放射性同位体を内包したフラーレンの生成そのものは既に報告されているが[4]、従来の方法は比較的大規模な装置を必要とするため、放射性同位体によって装置内部が広く汚染されることを考慮する必要があり、取り扱いが難しい。そこで本研究では、研究目的で少量の製造が必要な場合を想定し、小さく、構造が単純で、汚染が局所的にとどまるような装置の開発を行った。放射性同位体内包フラーレンをより簡便に作成することができれば、放射性同位体内包フラーレンを用いた研究の発展に寄与することが期待される。

2. フラーレン生成実験

グラファイト粉末に近赤外線レーザーを照射することによりフラーレンの生成を試みる実験を行った。実験装置の概略図を図2に示す。直径10 mm、長さ75 mmの小型石英試験管にグラファイト粉末を約60 mg入れたのち、固体の出入りが起こらないよう開放部に中空糸膜フィルターを

取り付けた (図 3)。その石英試験管を小型のチャンバーの中に入れ、チャンバーを真空に引いたのち、チャンバーに一定圧力までアルゴンガスを導入した (圧力 20~80 kPa の条件で実施)。中空糸膜フィルターは気体を通すため、石英試験管内部もチャンバー内と同じ圧力のアルゴンガスで満たされる。その後、石英試験管内のグラファイト粉末に対し、チャンバーに設けたガラス窓および石英試験管側面を通して、チャンバー外からレーザーを 20 秒間照射した。用いたレーザーは波長 1080 nm、出力 300 W の連続波ファイバーレーザーである。レーザー照射後、容器内の試料にオルトジクロロベンゼンを 2.0 mL 加え、超音波洗浄器にかけ可溶成分を抽出した。抽出した溶液および固形分をメンブレンフィルター (PTFE、孔径 0.50 μm) でろ過し、ろ液を高速液体クロマトグラフィー (HPLC、GL Sciences GL7700 series) により分析した。用いたカラムは COSMOSIL 5PBB、移動相はオルトジクロロベンゼン、検出は UV 350 nm である。

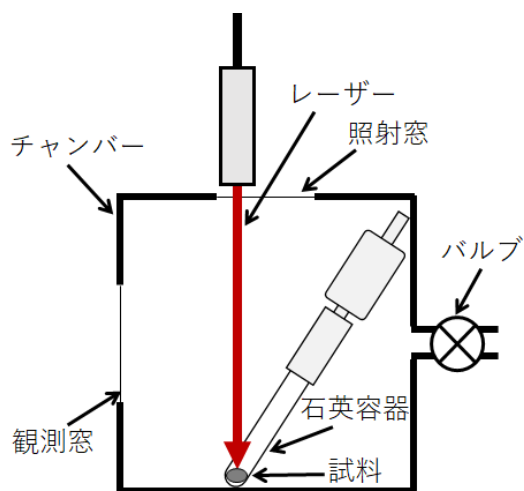


図 2. 実験装置の概略図



図 3. フィルターを取り付けた石英試験管

3. 結果と考察

フラーレン生成実験において、アルゴンガス 50 kPa の条件で得られた溶液の HPLC によるクロマトグラムを代表して図 4 に示す。C₆₀ フラーレンおよび C₇₀ フラーレンピークが明確に観測された。すなわち、今回の手法によってフラーレンを生成することに成功した。

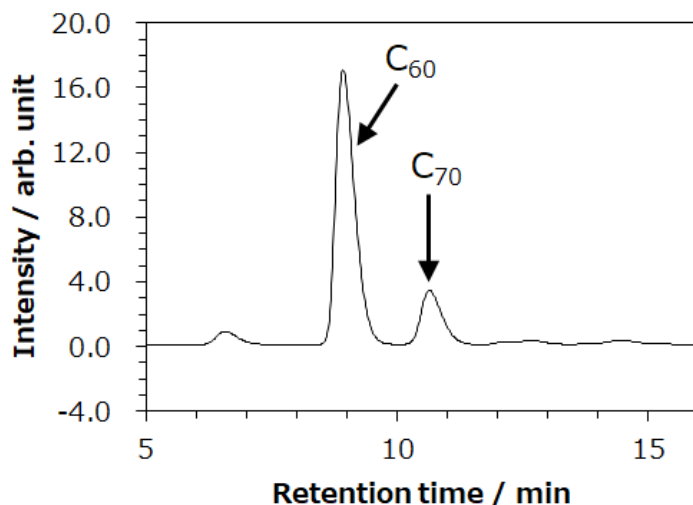


図 4. アルゴンガス 50 kPa の条件で得られた溶液の HPLC 結果

アルゴンガス圧力 20~80 kPa の各条件における C₆₀ フラーレンの収量を図 5 に示す。C₆₀ フラーレンの収量は、アルゴンガス 50~70 kPa の範囲で高くなり、50 kPa で最も高くなった。すなわち、本装置を用いてアルゴンガス雰囲気中でフラーレンを生成する場合、アルゴンガス 50 kPa の条件が最も適していることが分かった。

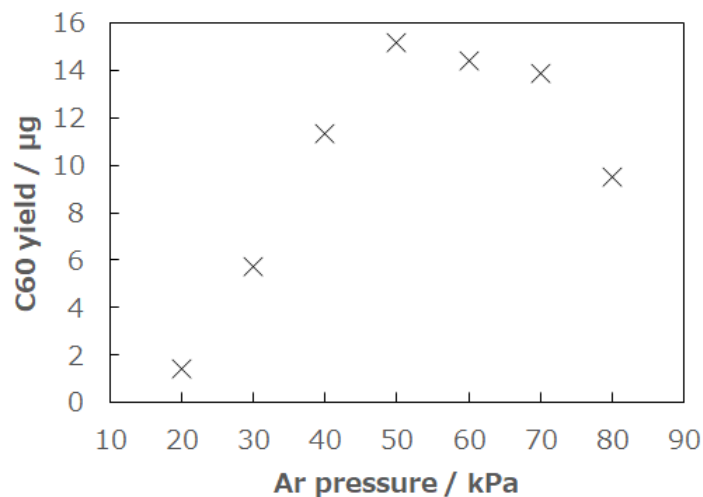


図 5. C₆₀ フラーレンの収量のアルゴンガス圧力依存性

4. まとめ

近赤外線連続波ファイバーレーザーと小型の石英容器を用いることにより、グラファイト粉末からフラーレンを生成する装置を開発した。C₆₀ フラーレン生成量の雰囲気ガス圧力依存性を調べた結果、アルゴンガス 50 kPa の条件で最もよく C₆₀ フラーレンが生成することが分かった。今後、グラファイト粉末に放射性同位体を混合させてフラーレンを生成することにより、放射性同位体を内包したフラーレンの生成を目指す。

参考文献

- [1] Y Chai *et al.*, J. Phys. Chem., **95** (1991) 7564-7568.
- [2] T. Akasaka *et al.*, Nature, **374** (1995) 600-601.
- [3] M. Mikawa *et al.*, Bioconjugate Chem., **12** (2001) 510-514.
- [4] K. Akiyama *et al.*, J. Nucl. Radiochem. Sci., **3** (2002) 151-154.

講演者略歴



稲垣 誠 (いながき まこと)

所 属 京都大学複合原子力科学研究所 特定助教

住 所 〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西 2-1010

連 絡 先 TEL : 072-451-2613、E-mail: inagaki.makoto.2r@kyoto-u.ac.jp

学 職 歴 2009年 名古屋大学 工学部 化学・生物工学科卒業

2011年 名古屋大学 大学院工学研究科 博士前期課程修了

2011年 エスペック株式会社 (～2012年9月)

2018年 大阪大学 大学院理学研究科 博士後期課程修了

2018年 博士(理学)(大阪大学)「炭化水素分子系のミュオン転移過程によるミュオン原子形成における化学効果」

2018年 大阪大学 大学院理学研究科 特任研究員

2019年 京都大学複合原子力科学研究所 特定研究員

2022年 京都大学複合原子力科学研究所 特定助教 現在に至る

研究・活動 分野など これまで、極低温の固体水素に放射線を当てた際に起こる反応や、素粒子の一種であるミュオンを物質に当てた際に生じるミュオン原子、福島第一原発事故で放出された放射性微粒子に関する研究などを行ってきた。現在は、新たな試験研究用原子炉の設置に向けた業務を行う傍ら、医療用RIに関する研究やミュオンによる元素分析に関する研究を行っている。