

10億分の1にかける情熱



著 者

小久保 研*

Passion for the one billionth

Key Words : Fullerene, Nanotechnology, Collaboration of industry and university

はじめに

ドイツワールドカップに世界中が熱狂した2006年、筆者は別のサッカーボールを追いかけていた。いわゆるサッカーボール型炭素分子、フラーレンだ。フラーレンとはダイヤモンド、グラファイトに続く第三の炭素同素体であり、最も代表的なC₆₀は、分子直径がおよそ1nm(ナノメートル=10億分の1メートル)のサッカーボールと同じ構造(12個の五角形、20個の六角形から成る)をしている¹⁾。最初の出会いはまだ学生の頃、1996年のDr. Smalley, Dr. Kroto, Dr. Karlらのフラーレン発見に対するノーベル賞受賞のニュースの折であったろう。当時、その最先端の化合物を実験に使用したい旨を指導教官の三浦雅博先生(現阪大教授)に申し入れたところ、1gあたり10万円という価格に一蹴された記憶がある。ところがそれから10年経った今、工業グレードのフラーレン(C₆₀およびC₇₀、高次フラーレンの混合物)は1gあたり500円にまで価格が下がっている。本稿では、フラーレンの商業化最前線について、筆者の視点から述べる。

“R & D + C”戦略から産学融合へ

フラーレンと筆者の2回目の出会いは、2002年秋のことだった。学生時代の恩師、野村正勝先生(阪大名誉教授、日本薬科大学教授)の取り計らい

にて同門の先輩、松林賢司氏(三菱商事株式会社)と知り合う。折しも国立大学は独立法人化を目前に控え、産学連携が追い風となっており、一方でフラーレンの物質特許を保有する三菱商事は、事業化に向けた“R(Research)&D(Development)+C(Commerce)”戦略を掲げていた。これは大学-企業間の共同研究開発に商社が加わることで、そのバックボーンを最大限活用して研究推進を加速しようという戦略だ。そこで、現在筆者の所属する研究室の大島巧教授にお伺いを立て、2003年春から三菱商事株式会社と本荘ケミカル株式会社との合資ベンチャーであるプロトンC60パワー株式会社との共同研究として、フラーレンの応用研究を全くのゼロからスタートさせた。これまでに全く触れたことのない炭素材料、全く縁のなかった燃料電池という分野、しかも有機合成で常用するNMRなどの分析手法が全く役に立たない炭素分子の分析には多くの苦難があったが、大島先生のご指導のもと新しいテーマ(光化学、分子軌道論、反応速度論、超分子化学、ルイス酸触媒etc)にでも臆せず柔軟に挑戦した経験と、野村先生の石炭構造解析研究の難しさ・おもしろさを真横で見っていた経験から、意外にすんなりと“黒モノ”フラーレンを受け入れることができた。色んな経験を積んでいると、思わぬところで役に立つ、それが実感できた。この初めての企業との共同研究からは、実に多くのことを学んだ。企業のスピードと大学の精密さの両方を満足させるのは必ずしも簡単ではなく、産学連携ではダメだ、産学融合を目指さなければ・・・という思いが徐々に強くなっていった。

フラーレン商業化時代の幕開け

冒頭にフラーレンの価格低下について触れたが、その一躍を大きく担ったのがフロンティアカーボン



* Ken KOKUBO
1972年3月生
1998年大阪大学大学院工学研究科分子化学専攻博士後期課程修了
現在、大阪大学大学院応用化学専攻・大島研究室、講師、博士(工学)、有機化学
TEL 06-6879-4592
FAX 06-6879-4593
E-mail: kokubo@chem.eng.osaka-u.ac.jp

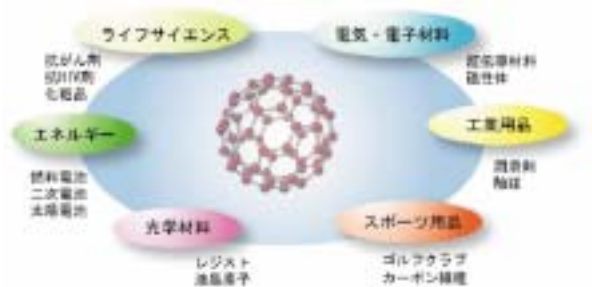


図1 フラーレンC₆₀と期待される応用分野

株式会社(三菱化学株式会社系)である²⁾。フラーレンの特異な化学的性質から、その1985年の発見以来、情報技術やエネルギー、バイオ、医療、環境、素材などの広い産業分野で大きな技術革新を起こすと期待されていたものの、高価格と限られた供給量が実用化への大きな障害となっていた。そこで同社は、2002年5月には年産400kgの製造能力を有するパイロットプラントを北九州市黒崎に設置し、従来の約10分の1の価格でサンプル提供を開始した。さらに、2003年5月には、年産40tの能力を持った大型プラントの稼働を開始した。同社は、年産1500tクラスになれば、1gあたり数10円程度での供給も可能であると見積もっている。

このような企業努力と研究開発によって、すでに2007年現在では多くのフラーレン製品が上市されていることを、みなさんをご存知でしょうか?世界で初めての商品化は、フラーレンの形にちなんだのかそれとも偶然か、おもしろいことにボウリングボールであった。表面のウレタン樹脂にフラーレンを添加することによって、よく曲がるようになったとのこと。その後、マルマン株式会社からヘッドのチタン合金にフラーレンを配合したゴルフクラブ³⁾や、ヨネックス株式会社からシャフトのカーボンフ



図2 工業用フラーレンとその量産プラント

アイバーにフラーレンを配合したバドミントンとテニスのラケット⁴⁾など、まずはスポーツ分野において従来製品よりも優れた性能を持つ製品が、次々と商品化されている。また、エンジンオイルやカーエアコン用オイル、スキーワックスなどにも、フラーレンの機械的特性がすでに活かされている。

新たな用途を探索して

より革新的な製品としては、ドクターズコスメと呼ばれる高機能性化粧品が挙げられる。これは、フラーレンのラジカル種との高い反応性に着目した、ラジカル種である活性酸素を消去する有効成分としての利用である。ビタミンC60バイオリサーチ株式会社(三菱商事系)によって開発された“Radical Sponge[®]”⁵⁾というフラーレン新規化粧品成分が、すでに国内外60社以上から販売され、国内400以上の皮膚科・美容クリニックにて取扱われている。ナノ物質による有毒性(ナノリスク)が懸念される中、外用塗布剤としては、厚生労働省のGLPに従った医薬部外品レベルでの安全性試験10項目をクリアしている。もちろん文部科学省を中心とした最近のナノリスク研究班の報告においても、フラーレンに特に著しい毒性は見られていない⁶⁾。

先に述べた我々のフラーレン応用研究は、燃料電池材料開発で培ったノウハウを活かし、同社と共に次世代化粧品開発へと展開した。もともと高価なフラーレンだけに、安価に合成できないと実用化はあり得ないということを基本コンセプトとして、容易に水に溶けるフラーレン誘導体を探索したところ、非常に簡便に多数の水酸基を有する新規水溶性水酸化フラーレンの合成に成功し⁷⁾、また水溶性フラーレンのラジカル消去能をβ-カロテン退色法により評価する手法も確立した⁸⁾。

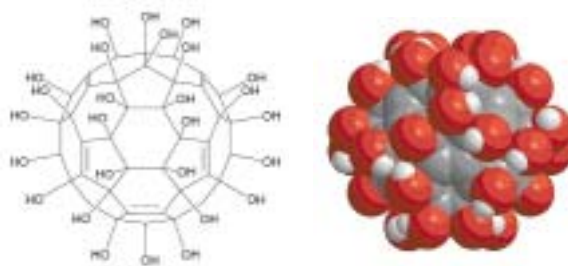


図3 新規水溶性水酸化フラーレン(左:平均推定構造,右:分子軌道計算された3Dモデル)

さらに、この水酸化フラーレンを半導体研磨プロセスであるCMP研磨スラリー成分として用いたところ、現行の研磨スラリーを上回る1~2nmレベルでの研磨特性を示すことも見出した⁹⁾。CMPとは化学的機械的研磨(Chemical Mechanical Polishing)の略で、ULSI製造工程において配線を積層化する際に、表面をできるだけ平坦に加工することにより、多層化を実現して集積密度を高める技術である。この発見は、実は同じ工学研究科内の機械工学専攻三好隆志教授からの依頼に応じて無償サンプル提供をした結果であった。もちろん同じ研究科内での異分野交流というめずらしい学内共同研究へと発展し、現在もNEDOのサポートのもと、同専攻高谷裕浩教授、林照剛助手らと共にCMP研磨スラリーへの応用研究は続いている。同時に、この10億分の1メートルの水溶性粒子をもっと様々な分野でも応用していただけるよう、今後も様々な要望に対し無償サンプル提供を続けていきたい。

おわりに — 展望にかえて

以上、一若手研究者の目から見たフラーレンの応用研究と商業化の最前線について紹介した。もちろんここに触れた研究以外にも、医薬品を始めMRIの造影剤への応用や、樹脂の劣化防止剤への応用など、その開発は多岐に渡っている。1985年の発見以来、この約20年間で論文数は3万報以上、特許数も2千報以上となった。もう一つのナノカーボンであるナノチューブとともに、さらなる商業化の波が今後益々押し寄せてくると予想する。

筆者が企業との共同研究を通じて感じた大切なことは、いかに息の合うパートナーを持つかということである。大学側には学問を追及し、学生を教育するという使命があり、なかなか企業寄りの応用研究に没頭することは難しい。企業側も「実」というよりは間接的なメリットも含めて共同研究を行っている場合も多いのではなかろうか。しかし、大学には

幅広い分野にまたがって充実した研究設備が整っており、共同研究先を通じて利用することが可能である。ぜひ、中小企業にこそ利用して欲しい。まずは目先の「実」にとらわれ過ぎずに、息の合うパートナーを探すことが重要であり、そのためにもできれば現場レベルで大学若手教員と企業の若手研究員が積極的に協働することが好ましいように思われる。今、筆者は10億分の1の世界に情熱をかけられる、そんな多くのパートナー達と10億分の1の夢とサッカーボールを追い続けている。

謝 辞

本稿で述べたフラーレン研究をサポートしていただいた諸先生方、多くの関係先企業の方々、共同研究者の学生諸氏に対し、この場をお借りして心より感謝申し上げます。また、このような執筆の機会を与えていただきました大阪大学大学院工学研究科の今中信人教授、「生産と技術」の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 総説本：炭素第三の同素体「フラーレンの化学」(学会出版センター)、ナノカーボンの新展開(化学同人)など
- 2) <http://www.f-carbon.com>
- 3) http://www.maruman-golf.jp/brand/exim_mens.html
- 4) <http://www.yonex.co.jp/tennis/feature/nano/index.html>
- 5) <http://www.vc60.com>
- 6) <http://www.nanonet.go.jp/japanese/info/report.html>
- 7) 小久保研, 大島巧他, 特願2004-264664
- 8) K. Kokubo, T. Oshima *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **2006**, *70*, 3088.
- 9) 小久保研, 大島巧他, 特願2005-236163