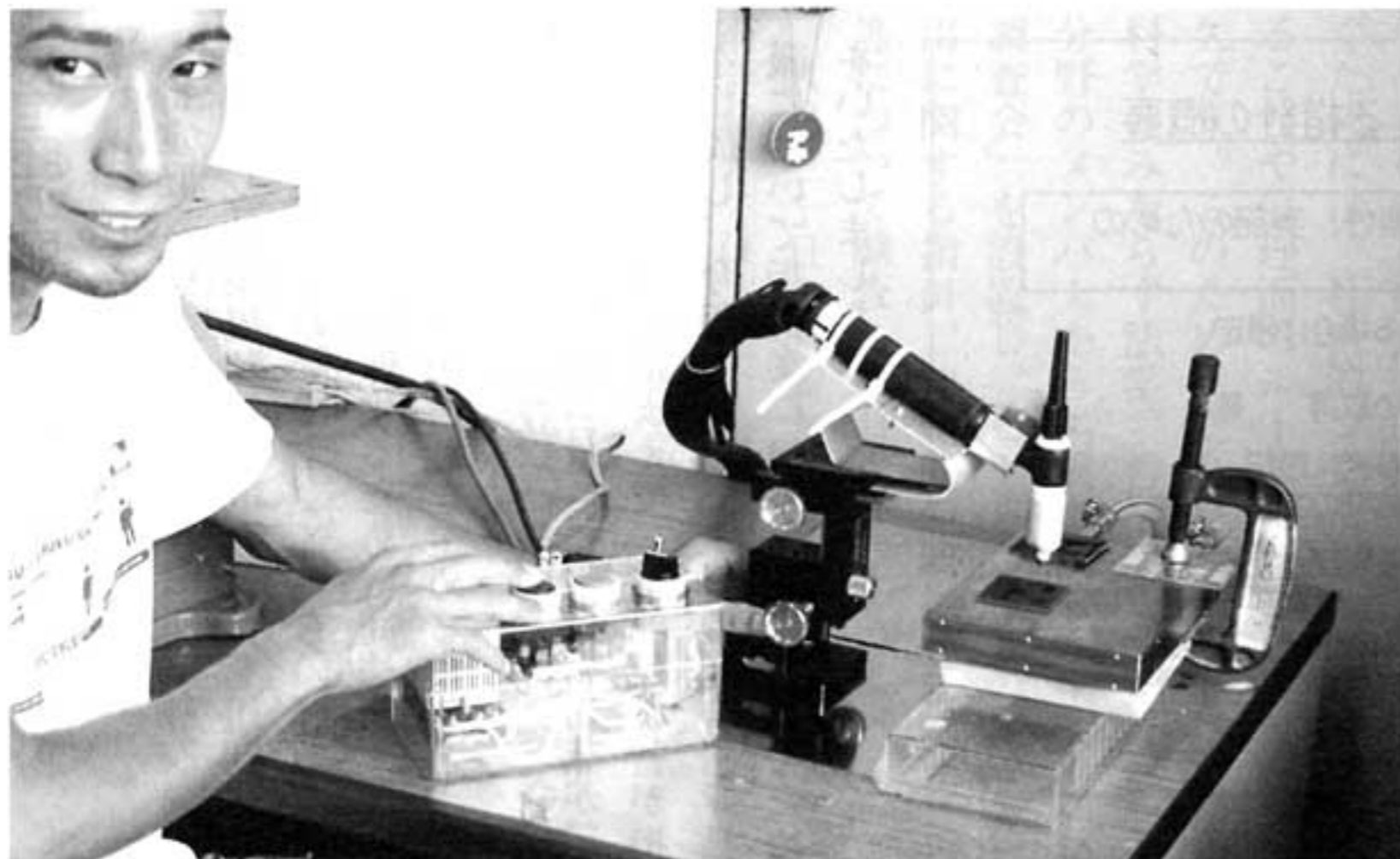


# ナノチューブの 量産化に挑戦



町工場にあるようなアーク放電発生装置。説明役の学生さんもちょうと照れくさそう

## アーク放電法で合成

サッカーボール型炭素分子「フラーレン」の管タイプであるナノチューブの発見から十年が経過し、その用途に関して、さまざまなアイデアが提案されているが、問題は生産コスト。低価格で供給出来なければ、応用開発も進まない。豊橋技術科学大学電気・電子工学系の滝川研究室（滝川浩史助教授）たきかわ・ひろふみ）は、ナノチューブの量産技術の研究開発に取り組む研究室である。最近、アーク放電技術を応用して、大気中で簡単に合成する技術を開発した。

管壁が一枚のグラファイト（黒鉛）シートからなる単層タイプで、直径は約一・二ナノメートル（百万分の一・二メートル）。同助教授は、次世代ディスプレイの電子放出源や燃料電池の水素吸蔵用の材料として期待する。「企業からポツポツ実用化の相談が舞い込んできます。量産技術が確立しなければ工業化は成り立ちません。用途別にさまざまな合成方法があつてよいのでは」と話す。

## ノーベル賞受賞者のもとで研究

滝川助教授が本格的にナノチューブの研究を開始するきっかけは、三年ほど前、文部省（当時）の在外研究員として、ノーベル化学賞受賞

者である英サセックス大学のH・W・クロトール教授のもとで、学んだことであつた。

ナノチューブの作り方には、主にアーク放電法、レーザー蒸発法、CVD（化学気相成長）法の三つがあり、このうち、古くからあるのがアーク放電法だ。フラーレンの合成にも使われている。従来のアーク放電法は、真空チャンバーに不活性ガスを入れ、黒鉛の丸棒を電極としてアーク放電を発生させる。両極から発生する放電プラズマは、一万度Cにも達し、陽極が激しく蒸発。その蒸発物がプラズマ中を通過して陰極に堆積し、その中にナノチューブができる。これが当時のナノチューブ生成プロセスに関する一般的な解釈で、クロトール研究室で一緒に学んだ若い研究者達も、皆この見方をしていた。

しかし、滝川助教授は、これに疑問を持ち、帰国後証明実験に着手する。実験では、電極に黒鉛とモリブデンを使い、四つのパターンで合成を試みた。すなわち、モリブデンを陽極、黒鉛を陰極、それをそれぞれ逆にした場合、さらに電流の流れを逆転させた場合の四通りである。結果は、黒鉛を陰極にした場合のみ、ナノチューブが発生した。

このことから、陽極から黒鉛の微粒子が発生し、陰極の表面にナノチューブが生成するといふ従来説の考え方は、基本的なプロセスではな



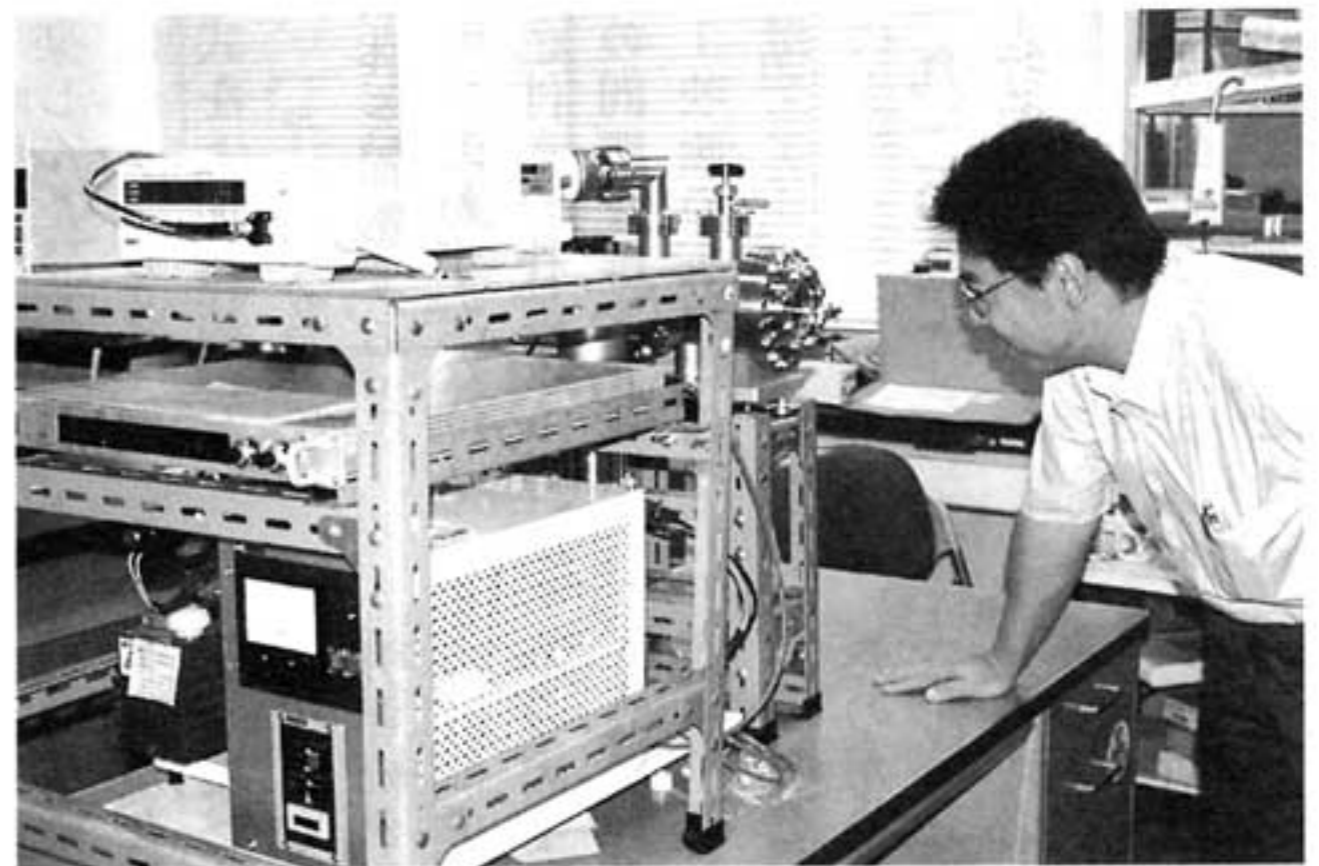
く、黒鉛の表面の陰極点（プラズマ電流を維持するための電子の放出点）によって生成されることが基本的要素であることを突き止めた。これを真空チャンバーに陰極だけを入れて、チャンバー自体を陽極とする方法で再現した。「重要なことは、陰極の黒鉛が陰極点によって蒸発し、ナノチューブが生成されることで、陽極は単にプラズマの受け皿としての機能しか果たしていないことも立証出来ました」。

## 多量の合成に成功

ナノチューブは、多層タイプと単層タイプの二つに分けることが出来る。単層は多層に比べて、しなやかで曲げやすい特徴があるが、その合成には触媒がいる。新たな実験では、ニッケルとイットリウムを用いた。するとどうであろう。陽極の表面に、触媒を入れないときには発生しなかった多層ナノチューブが多量に生成していた。これも滝川助教授がはじめて明らかにしたものだ。

このとき、電気溶接用のトーチアーク放電を使えば大気中でも合成できるのではないかとひらめいた。そのひらめきには伏線がある。そこに至るまでに、ヘリウム、水素、窒素、酸素など、アーク放電のガス種について模索しており、酸素も条件次第で使えることを確かめていた。

さらに、電気溶接の母材が陽極であることを知っていたことも成功要因の一つとなった。「ナノチューブが陰極にしかできないのなら、トーチアークの利用は思いつかなかったでしょ



合成した試料のデータ分析装置

う。なぜならトーチアークの陰極であるトーチ電極にナノチューブができたとしても少量でしかないからです。昔、溶接アークについて勉強したことが役立ちました。その後、直流、交流の両方使えることも分かりました」。

## 装置は簡単、単層・多層を作り分け

実験で使ったアーク放電発生装置は、町工場にあるような簡単なもの。装置の配置を変えるだけで、多層、単層を作り分けることができる。多層の場合は、黒鉛基板に対して、トーチアークを垂直の向きに当てる。一方、単層はトーチアークを寝かして基板のエッジ部分に当てる。

触媒のニッケルやイットリウムは、黒鉛より融点が低い。そのため、周りの黒鉛を爆発的に吹き飛ばし、基板を乗り越えて堆積する。この堆積物の中にナノチューブが含まれている。こうした現象が起きることが単層ナノチューブのできる鍵だ。

ナノチューブを大気中で合成できれば、真空チャンバーなど複雑な装置が不要になり、設計の自由度が増し、低コストで生産設備を作れる。ただ、炭素中のナノチューブの生成量は、今のところ三〇%程度で残りはスス。これに添加する触媒の量を加えると、さらにウェイトが下がる。この点について滝川助教授は「条件を考慮して合成すれば収量は改善できる。触媒が残っても差し支えないという使い方ができるかも知れない」として、こう語る。「付加価値が高いので少量でもかまわない、という応用の仕方なら高くついてもCVD法やレーザー法。大量に必要というのであれば簡単な方法に魅力を感じてほしい」。

(ライター・佐々木 弘)



「まだ手作業ですから自動化が課題。自動化によって生産量を確保しないと用途開発も進みません」と滝川助教授