

機械工学に新風を吹き込む ナノテクの革命児

[カーボンナノチューブ合成技術開発]

空前のナノテク・ブームの今、特に注目度の高いカーボンナノチューブ(CNT)の合成技術を開発したのが丸山茂夫教授。「ナノテクの革命児」とも言われる丸山だが、専門は機械工学。エンジニアリングの視点を持っていたからこそ、ナノテクの革命は起こったのだ。

今、大学・研究機関、民間企業などが最も期待を寄せるナノテクノロジー。最近では、日用雑貨でも「ナノテク」を宣伝文句にしているほどだが、実際にはそれほど単純ではない。ナノだからといって、10億分の1ミリという超微細素材であればいいのではなく、新機能特性、特定形状、構造を有する素材だけを「ナノテクノロジー」と呼ぶことができる。

なかでも、日本が世界に先駆けて研究を進めているのがカーボンナノチューブだ。

カーボンナノチューブとは、網目状に結びついた炭素原子がストローのような筒状になっているナノ素材で、合成方法によって金属になったり半導体になったりと、普通の炭素素材とは異なる様々な特性を持つ。

例えば、真空中で電圧をかけると先端から電子が飛び出す特性は、FED(電界放出型ディスプレイ)や蛍光表示管の

材料に。また、通常は光を吸収するのに強い光が当たると光を通すようになるという特性も、次世代トランジスタ素子などへ応用することが期待されている。

とはいえ、純度の高いカーボンナノチューブを大量に合成することさえ難しく、チューブの長さを見通りに揃えるなどの加工もできない現状では、まだまだ「期待されている」「段階にすぎない」。

しかし、丸山茂夫は実用化への道を、新たな合成技術を開発することで大きく前進させた。それも、化学や物理ではなく、機械工学を専門とする丸山が、である。

高専から東大へ、理学か工学か

丸山の経歴はユニークだ。1960年、栃木県生まれ。小学校、中学校と公立校で学び、次に進んだのは高等専門学校。ロボコンの常連として知られる小山高等専門学校の機械工学科に進学した。父親が機械工場を営んでいる丸山にとって、子どもの頃から接してきた機械は

それならば理学系の学部に進学すればよかったのだが、その年は理学部の編入受け入れがなかった。それでも「より深く学ぶこと」を求めて、東大工学部2年に編入。ときには「やはり理学を選べばよかった」と思うこともあったが、4年になって研究を始めると、丸山はこの選択が決して間違っていないかと確信する。

「大学院に進学する直前まで、工学に進むべきか理学に進むべきか、かなり悩みました。ところが、研究をしてみると機械や工学というものが、思いのほか幅広い学問だとわかった。理学のように原理原則を突き詰めたいと思えばいくらでもできるし、しかもその理論が人の役立つモノという形になる。そう思ったら、とたんに工学が面白くなってきたんです」

卒論のテーマを「乱流」にしたことも功を奏した。乱流というのは、水や空気などの流体がたくさん渦を巻いて不規則に変化する流れのこと。気象、航空、機械、建築など幅広い分野で研究が進められている。丸山の場合は、あらゆる乱流の形を測定・計算し、時々刻々と変化する熱の伝わり方を調べていた。もともと様々な分野との結びつきが深い乱流では、ミクロな世界に対してもオープン。しかも、大きなモノばかり扱っ



炭素分子が網目状に結びつき、チューブ状を形成。直径は数ナノメートル

とても身近な存在だった。「国語が苦手な理科が好きで自分は理系に違いない」といつ考えもあり、あまり悩むことなく機械工学科を選んだ。そして、高専を5年間で卒業した後、東大工学部船舶機械学科(現在は機械情報学科)に編入した。

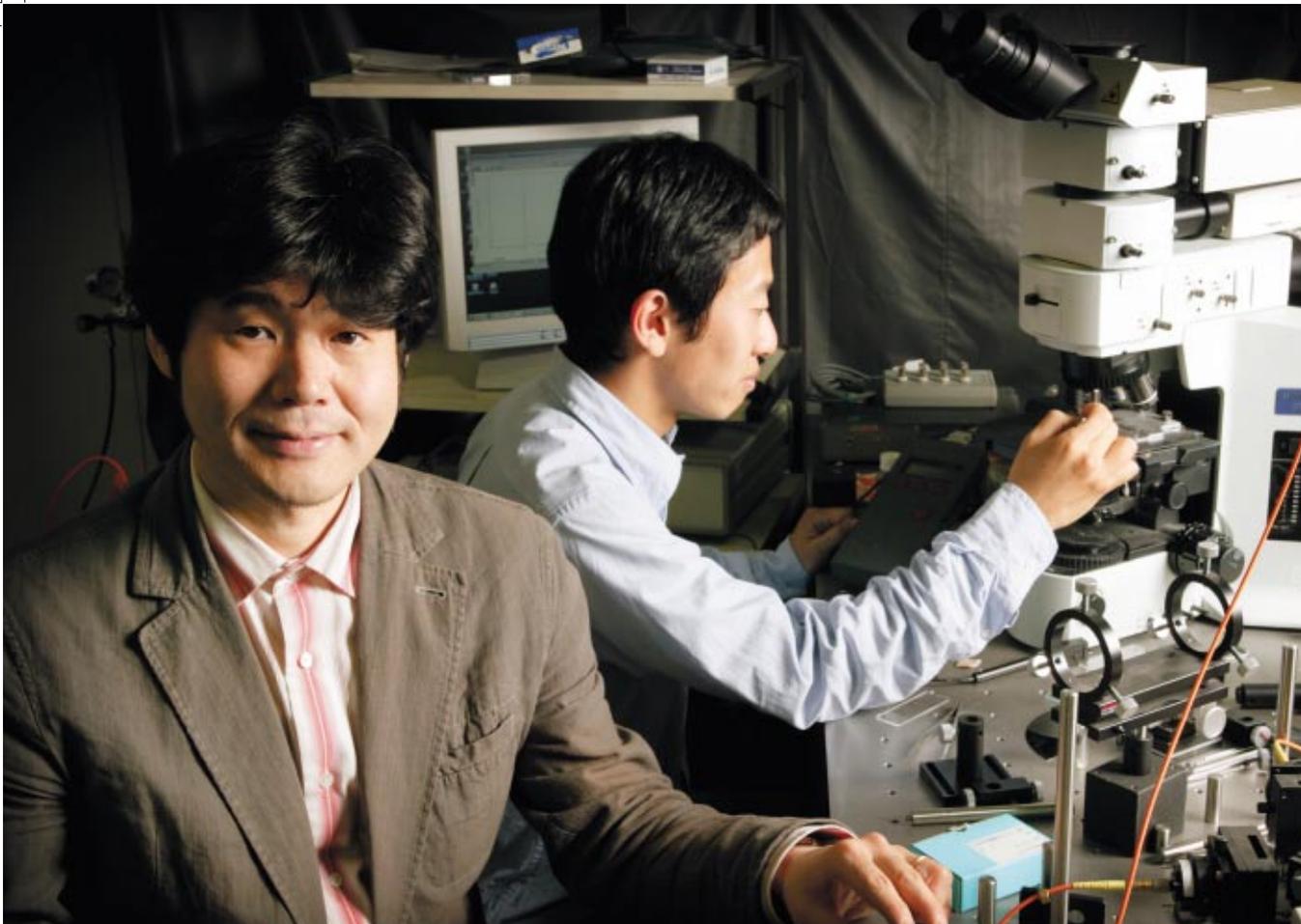
しかし、入学してすぐに「この選択は失敗だったかもしれない」と思ったという。実は高専時代から薄々感じていたことなのだが、勉強を始めてみると、ものづくり的な工学よりもサイエンスや原理原則に近いことの方が好きだと気づいてしまったのだ。

米国でブームの渦中に

決定的な出会いは、博士課程修了後、米国ライス大学に客員研究員として滞在した2年間に起こった。「せっかく助手になるんだから、何か新しいことを」と考えた丸山は、担当教授の薦めもあって、後にノーベル化学賞を受賞するリチャード・スモリー教授の研究室を訪れる。携わったことはあるといっても、専門領域ではない。それでも「実験をするのなら、わからなくても大丈夫だろ」と、好奇心だけで渡米した。

この研究室では、60個以上の炭素原子が球状に結びついた「フラーレン」を研究。丸山が訪れた89年当時は、フラーレンの存在そのものは認められていたものの、実際に作り出せるレベルにはなかった。

ところが、ミリグラムレベルで大量のフラーレンを合成できるようになると、



生成されたカーボンナノチューブを計測する丸山。製造段階から利用段階へとフェーズが移行している



研究者プロフィール

丸山茂雄

東京大学教授(工学系研究科機械工学専攻/機械工学科)
1988年3月東京大学博士課程修了。88年4月工学部機械工学科助手、89年テキサス州ライス大学客員研究員、91年東京大学講師、93年助教授、2004年教授

「面白そうだから」という基準で選んだに過ぎない。しかし、それぞれの研究室で、多くのものを学んできた結果がカーボンナノチューブでの成功に結びついたといえる。

そして、カーボンナノチューブは次のフェーズへ。これまでの「どうやって作

る」という段階から「一歩進んで、どうやって使おう」というところまで視野に入ってきた。これこそ、工学が本領発揮すべき段階だ。

すでに、丸山の研究によって多くのことが可能になった。まず、チューブの長さを均一に制御する技術。光センサーでチューブの長さをチェックしながら合成し、ちょうど良い長さでストップさせるのだ。

次に、たくさんチューブを並べて立てる技術。細いナノチューブは非常に柔らかく、まっすぐ立たせることなど無理だと言われてきた。丸山の研究は絨毯の毛のように、基板上で密に合成することで自然に立つてしまったに過ぎない。丸山の研究はこの技術の確立により、大量のカーボンナノチューブを大規模集積回路用配線や光センサーなどへの活用ができる道が開けた。

もちろん、クリアすべき課題も山のようにある。そもそも、混ざりものがなく理想通りの形をしたカーボンナノチューブを大量合成することは今のところ不可能。チューブを一本だけ手に入れようと思っても、かなり困難なのが現状だ。しかも、金属を作ったり半導体を作ったり

と、特性ごとに作り分けることもできていない。長さだけでなく、直径もコントロールしていかねばならない。

実をいえば、「カーボンナノチューブを作る」ということに関しても、まだまだ思い通りにはいかないのだ。ところがあまりにも世間の注目度が高すぎて、期待が現実を追い越してしまっている。先行しているのは、こんなカーボンナノチューブがあれば、こんなことができる」という夢物語ばかりだ。

ときには、こんなブームを鬱陶(うつとつ)とついついと感じることもある。しかし、一方でやりがいも感じている。「ちょっとした実験の結果でもリアクションしてもらえたりするのは楽しいです。地道に論文を書いて誰も読んでくれないというよりは、荒っぽい実験でも大騒ぎしてくれるというのは楽しいですから」と、社会の反応も素直に喜ぶ。

カーボンナノチューブが持つ可能性への期待なら、誰より、丸山のほうが大きいのだ。「今後10年は十分楽しませてもらえるでしょう」と、山積する課題を一つ一つ解いていくことを楽しんでいる様子が見える。

カーボンナノチューブの未来は、この丸山の笑顔にかかっているのかもしれない。

(文中敬称略、取材・文：牛島美苗 写真：佐藤久)

と云っているのでデータを見てみると、なぜか純度の高いカーボンナノチューブができあがっている。慌てて調べてみると、触媒を溶かすために使ったアルコールが溶け残り、炭素源になっていると分かった。

そこから先は、米国でのフラーレン体験と同じようにスピーディーだ。ガラリーとテーマを変えて、アルコールで作ってみると、純度が高く形状も安定したものがどんどん作れる。これなら徹底的にやるつと、いろいろな条件を出してきては

研究していった。

そして今や、アルコールCVD法はスタンダードな製法として定着。振り返って考えてみれば、原理としても考えついで当然のものだった。ただし、最初に試したのは丸山だ。

「自分が最初に見つけたということが嬉しい。米国でのフラーレン体験のように、ものすごく興奮しました」と、未だにそのときの興奮を思い出すと、つい声が上がる。

それは、このときだけではない。丸山は研究のことを話すと、本当に嬉しそうに話す。

大学4年のときに初めて経験した研究では、いろんな乱流の形を見ることが楽しくて仕方なかった。修士、博士課程では、研究を通して「理学的知識を満足させてくれる工学の奥深さ」を知った。

そして、米国で体験したエキサイティングな研究現場。実は、どの研究現場も積極的に選んだものではなく、なんとなく、「面白そうだから」という基準で選んだに過ぎない。しかし、それぞれの研究室で、多くのものを学んできた結果がカーボンナノチューブでの成功に結びついたといえる。

「面白い」と感じることもある。しかし、一方でやりがいも感じている。「ちょっとした実験の結果でもリアクションしてもらえたりするのは楽しいです。地道に論文を書いて誰も読んでくれないというよりは、荒っぽい実験でも大騒ぎしてくれるというのは楽しいですから」と、社会の反応も素直に喜ぶ。

カーボンナノチューブが持つ可能性への期待なら、誰より、丸山のほうが大きいのだ。「今後10年は十分楽しませてもらえるでしょう」と、山積する課題を一つ一つ解いていくことを楽しんでいる様子が見える。

カーボンナノチューブの未来は、この丸山の笑顔にかかっているのかもしれない。

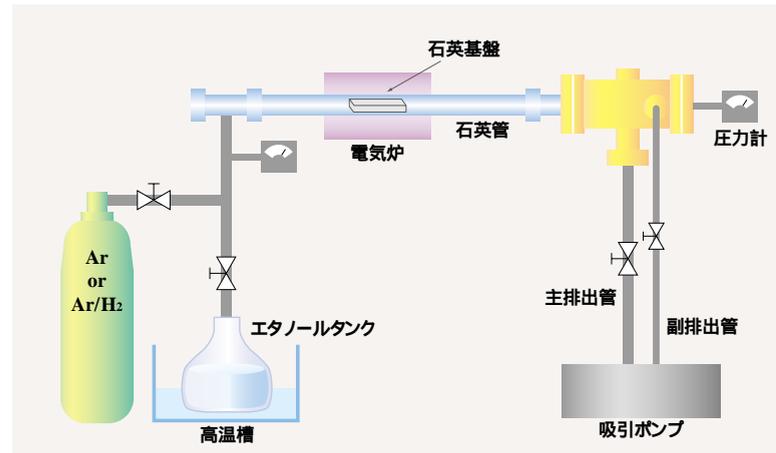
研究は一気に加速。それまでは間接的な実験データしか取れなかったが、サンプルができた瞬間、あらゆる角度からの計測することが可能になる。そして、計測実験を重ねるにつれて、次々と新たな性質や可能性が明らかになった。

同時期、日本でもNECの飯島澄男主席研究員がカーボンナノチューブを発見している。こうなると、学术界同様に産業界も盛り上がりを見せ、世界中があつという間にナノテックブームに巻き込まれた。

これだけの急激な進化が、丸山の滞在中のわずか2年間に起こったのだ。結果的には、この成果によってフラーレン教授もノーベル化学賞を受賞するのである。その当時のことを振り返り、「身の毛もよだつほどだった」と興奮気味に話すのもつなずける。

ライス大学でのダイナミックでエキサイティングな出会いにより、丸山の興味もナノテクノロジーの世界へと傾いていく。ただし、帰国したばかりの頃は渡米前の研究を続けた。確かに、カーボンナノチューブは魅力的な素材ではあるが、あまりにブームが先行しているのが気になったのだ。

しかし、結局は恩師スモリー教授の薦めもあって、90年代半ばからカーボン



ACCVD 実験装置
工学系研究科機械工学専攻の丸山茂夫研究室では、フラーレンやカーボンナノチューブの研究を進めている。「アルコール・触媒CVD法による単層ナノチューブの生成」を可能にしたレーザーオープンSWNT生成装置は、丸山と学生たちによる自作装置



アルコール触媒を利用し低温での合成が可能になったため、生成装置も省スペース化できた

「この方法の発見は、偶然的な産物だった。初めのうちは、フラーレンの球体の一部をキユースと伸ばしてチューブ状にしようと考えていたのだが、どうもうまくいかない。フラーレンの球をなす組織の巻き方を制御する必要があるのだ。すでに安定した形だけに扱いが難しいのだ。ところが、ある日学生が「おかしい」

ナノチューブの研究を始める。研究設備は、機械工学科で培った知識・経験と機械工場の息子としてのDNAによって自作。普通に買えば数千円する検査装置を、半値以下で作り上げてしまった。

アルコールによる偶然的な産物が

そして、2002年、ついに画期的な合成方法を開発した。それがアルコールによるカーボンナノチューブ合成技術「アルコールCVD法」だ。

通常、カーボンナノチューブを合成するときには、金属を触媒に800℃以上の高温で炭化水素を反応させるCVD(触媒化学気相成長)法を用いる。しかし02年、丸山はアルコールから合成する技術を開発。エタノールなどのアルコールを使用するので、従来よりも低温でできることに加え、かなり純度の高いカーボンナノチューブを作り出すことを可能にした。