

講演 1

ナノスケール物質科学と未来のエネルギー

宮内 雄平 (エネルギー理工学研究所 教授)



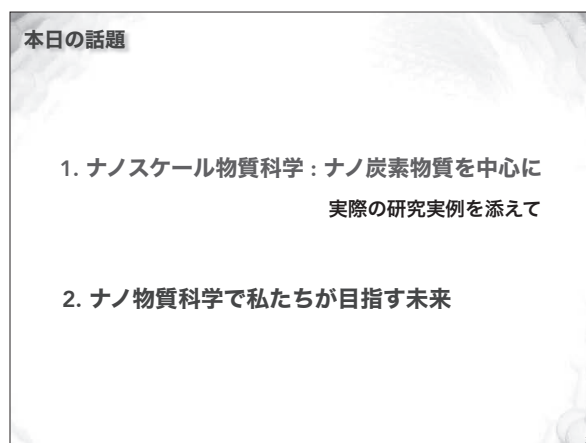
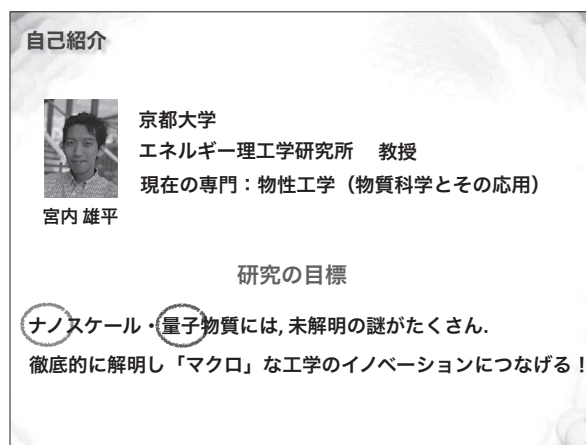
エネルギー理工学研究所の宮内といいます。今日は「ナノスケール物質科学と未来のエネルギー」というタイトルで、お話しさせていただこうと思います。よろしくお願いします。

まず最初にちょっとだけ、自己紹介をさせていただこうと思います。現在の専門は物性工学と紹介いただきました。これは物質の科学とその応用と捉えていただければいいと思います。

研究の目標ですけれども、このナノスケール・量子物質は、何だか分からないですよ。分からないと思うんですけれども、とにかくすごい物質があると。そこには未解明の謎がたくさんあります。これを徹底的に解明して、いつの日かマクロな工学のイノベーションにつなげていくと、そういうところを目指しながら、一步一步進んでいるというのが現状ですけれども、それが研究の大目標です。

今日は高校生の皆さんがたくさん聞いているということなので、非常に分かりやすく、ナノとか量子とか、分からないですよ。だからそういうのを一つひとつ、紹介していこうと思います。

今日、用意させていただいた話題は、この二つになりますけれども、ナノスケール物質科学、特にナノ炭素物質を中心に、炭素に関するナノスケール物質の話をさせていただきます。ただ、ここで例えば写真とか、数式とかを見てもあまり面白くないと思いますので、実際の研究事例の動画なんかも用意したりして、レストラン風に「添えて」とか書



いてありますけれども、ちょっと楽しみにしてください。

最後に、ナノ物質科学で私たちがどういう未来を目指しているのか、そういったことについて触れて、終わりたいと思っています。

最初のトピックですけれども、まず分からない単語、「ナノ」とありますね。ナノというのは、10億分の1というのを意味する言葉ですけれども、皆さんはもしかしたら、例えばiPhoneのSIMカードを入れるときに、nano-SIMと書いてあって、microSIMよりちょっと小さいですよ。そういうのを見たことがあると思うんですけれども、あれは間違っていますよね。ナノって10億分の1です。nano-SIMって10億分の1ぐらいの大きさではなかったです。

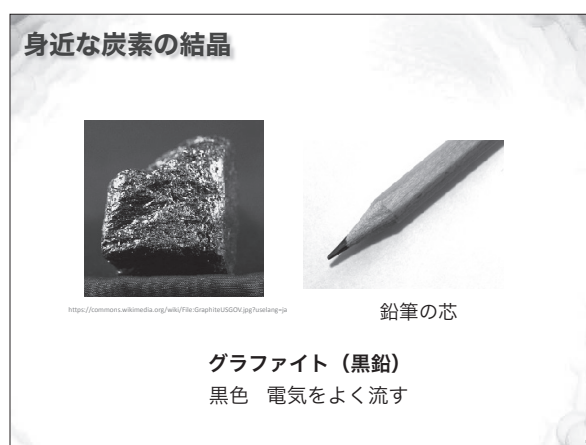
10億分の1はどのぐらいかという、例えば地球の直径が1.3万キロメートルぐらいですけれども、これに対して10億分の1すると、角砂糖ぐらいになるんですね。そんなにSIMカードは小さくなっていないです。だからnanoSIMという、あそこのnanoというのは、あくまで「小さい」という意味を感覚的に表しているだけなんですけど、本当はこんなにスケールが違う。

だからナノメートルとって、1メートルはこのぐらいですけれども、これを10億分の1したら、ちょっと表せないぐらい、とてつもなく微小な世界なわけですね。この世界のお話をしようということです。

炭素の話ということなので、炭素のこともちょっと触れておきましょう。身近な炭素の結晶は、高校生とかでしたら、毎日、使っている鉛筆。これは見たくないですという人もいるかもしれないし、この匂いが好きで、勉強をいっぱいしていますという人もいるかもしれませんが、鉛筆の中にはグラファイト、黒鉛というものがたくさん含まれていて、これは皆さんご存じのとおり、黒い物質ですね。

これは電気を流してみると分かるんですけど、電気をよく通します。

それよりももっと、実はこっちが身近ですという方も結構いらっしゃるのかもしれないですけれども、ダイヤモンド。愛媛県ですと、入船徹男先生が人工ダイヤモンドで非常に有名ですけれども、そういったこともあります。または大富豪の方がいらっしゃるって、家にはダイヤモンドがたくさんあるので、こっちのほうが身近ですという方もいるかもしれません



ど、こっちは皆さんご存じのとおり透明で、電気を全然通さない。硬い材料です。

普通はこうやって同じ炭素でできているのに性質が違ふときは、原子の並び方が違ふ。それは化学で習いますよね。普通はそうなんです。例えばグラファイトというのは、左側にあるように六角形に並んだ炭素のシート、これが積み重なった形をしています。ちょっとカーソルを出しますけど、こんな感じです。一方で、ダイヤモンドというのは炭素が立体的に組み上がった形をしていて、めちゃくちゃ硬いんですね。

鉛筆のほうは層が重なっているんで、よく滑って、剥がれてくる。だから紙に鉛筆で書けるわけですね。もし鉛筆がダイヤモンドみたいなやつだったら、書けないわけですけども、そうやっていろいろと違いがあつて、性質の違いが出ています。これは普通のことなんですけど、左側にあつた、六角形のほうに注目したいです。

六角形って、これを組み合わせるといろいろな形が出来ますよね。例えば左のやつ、一番左は六角タイルで、これは普通ですけども、六角形の形を丸めたような、竹籠みたいなのを見たことがあると思います。また、六角形の間に五角形を入れたら、サッカーボールみたいです。

察しのいい方なら分かつたかもしれません。炭素でも同じことができちゃいます。このグラファイトを、ぺりっと1個、剥がすと、グラフェンという、たった原子1層分の厚みしかない材料ができます。これはナノスケール物質の代表的なものの一つです。サッカーボールの形にしても、これはフラーレンと呼ばれる、これも聞いたことがある人が多いん

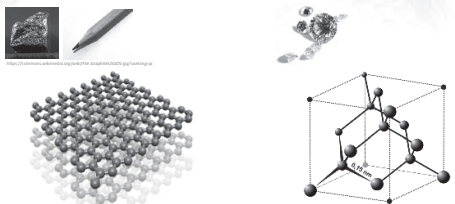
身近な炭素の結晶



Mario Sarto, CC BY-SA 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>, via Wikimedia Commons

ダイヤモンド
透明 電気を通さない

原子の並び方で物質の性質が変わる



Anton, CC BY-SA 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>, via Wikimedia Commons

グラファイト **ダイヤモンド**

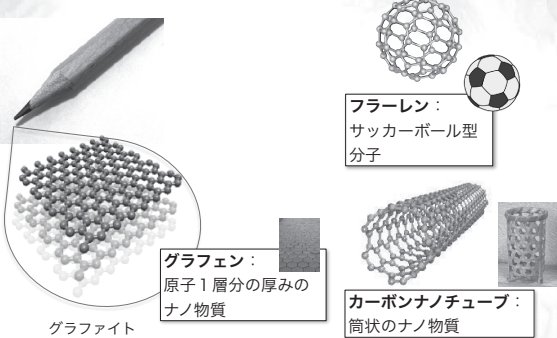
六角形に並んだ炭素のシートが積み重なった形 炭素が立体的に組み上がったような形

六角形を組み合わせると様々な形が作れる



六角タイル 六つ目竹籠 サッカーボール

炭素のナノスケール物質



グラファイト

グラフェン：
原子1層分の厚みの
ナノ物質

フラーレン：
サッカーボール型
分子

カーボンナノチューブ：
筒状のナノ物質

炭素のユニークさ：六角形の組み合わせで作れる形が原理的にはなんでも作れる！

じゃないでしょうかね。化粧品に入っていたりもすることがありますけれども。それからカーボンナノチューブという材料。今度は竹籠みたいにくるっと、円筒のように丸めた材料です。

こんなものも実際に実在するんですね。炭素ってすごくユニークなんです。六角形の組み合わせでつくれる形は、原理的に何でもつくれる。それを実際につくれるかどうかはまだ分からないですけれども、つくれるものに関してはつくれる。そういうことになっています。

さっき、化学で原子の並び方が違ったら、性質が変わりますよね、という話をしました。べつに原子の並び方が変わっているわけではないんですね。六角形の形になっているだけで、くるっと丸まっていたりする。だったら同じ性質なんですかということ、そうではないから面白い。ナノスケールなんですね。ナノスケールに、例えば丸めていたりしているんですけれども、そうするとナノの世界、すごく微小な世界では何が起こるかということ、これは量子力学の法則が支配する世界になります。

「何ですか、それは」と。私たちの日常世界での経験と違って実は、例えば「ピッチャー、ボール、投げました」「バッター、打ちました」「ボール、飛びました」みたいに、そういうボールの弾道とかは、ニュートン力学というので計算することができるんですけれども、要はそういう私たちの日常経験は、ニュートン力学に基づいた経験なんですね。

ところが、ものすごく小さな世界に行くと、法則が違うんです。それは私たちの日常経験からは理解できない。直感的には分からないですね。不思議な現象が当たり前にかかる世界です。

例えば粒子だと思っていた電子が、波のように振る舞ったりします。電子は高校で習うように、導線の中を通過して電子が動いていくと、電流が流れるんですけれども、粒々のような気がしていますよね。その粒々が流れているんだと思っていたら、これが波だと言い出すわけです。

ナノの世界だと、電子の波としての性質というのが、非常にあらわになってきます。それを理解して使いこなすための科学と技術、これがナノサイエンスとかナノテクノロジーといわれるものだと言っても、過言ではありません。いろんな定義の仕方はあると思いますけれども、私はある一側面でいうと、そういう定義がいいんじゃないかと考えています。

というわけで、今日はナノサイエンスとか、ナノテクノロジーの話をしたいですけれども、じゃあ今日、話題にする物質に登場してもらいましょう。クイズ「このカラフルな物質は何？」ということで、クイズをつくってみました。

とはいっても、今日、出てきた物質の中のどれかだろうということは分かると思うんですね。だから三択にしました。これは炭素だけでできているんですけど、カラフルですよ。1

「ナノスケール」だと何がかわるのか？

微小な世界：「量子力学」が支配する世界

↓

私たちの日常経験からは理解できない
不思議な現象が当たり前にかかる世界

• 粒子だと思っていた電子が波のように振る舞う
• ナノの世界では電子の波としての性質が顕になる

それを理解して使いこなすための科学と技術

➡ ナノサイエンス・ナノテクノロジー

番はフラーレン、2番がグラフェン、3番はカーボンナノチューブ。

これはクイズにして、私も会場の方とか、オンラインの方とかがどれぐらい、どれが正しいかと思っているか、聞いてみたいので、手を挙げていただこうと思います。じゃあフラーレンだと思う人は、どのぐらいいらっしゃいますか。あまりいない。じゃあグラフェン。結構いらっしゃいますね。グラフェンかもし

れないですよ。じゃあカーボンナノチューブという方は、どのぐらいいらっしゃいますか。グラフェンとカーボンナノチューブは結構同じぐらいです。

答えは、これはカーボンナノチューブという材料です。さっき見た、これです。炭素のシート、グラフェンを丸めた形で、実はグラフェンは色が無いんですけども、カーボンナノチューブは色が付いている。

これは炭素でできたナノスケールの円筒なんです。だから直径は大体1ナノメートルとか、2ナノメートルとか、そのぐらいのオーダーなんですけど、六角形の炭素の並びは同じでも、黒くないですよ。グラファイトと全く同じ形です。局所的に見たら、六角形に並んでいるだけなんですけども、まさにこれがナノサイズに巻かれたことによる量子効果、さっき言った、電子が波としての性質があらわになった、そのために起こっている現象なんです。

ものすごく分かりやすく、誤解を恐れずに言うと、炭素でできたナノスケールの糸の断面を、こんなふうに表示しました。この上に波が存在するとしたら、どんなふうになるでしょう。こんな感じに1周して、波のつじつまが合わないと、波が立たないですよ。そういうことが電子にも起こって、グラフェンとか、グラファイトの上にいる電子とは、状況が異なってしまう。

特に電子の波長が決まってくると、それは今度、エネルギーが決まってくる、カーボンナノチューブの中では電子のエネルギーが、いくつかの特定の値しか持てないということが起きてきます。そうすると、それが巡り巡って光に関する性質に関わってきて、色が違って見える。なんで色が違うかという、この円筒の巻き方がちょっと違う。それだけで色が違う。

このナノチューブを発見されたのは、日本人の飯島澄男先生です。飯島先生は、かれこれ30年以上前ですけども、フラーレンをつくる装置があって、そこにすすがいっぱいできるんですけども、フラーレンがあんまり入っていないほうのすすを、興味によって電子顕微鏡で観測されたときに、ある種、偶然にナノチューブというのを見つけたと。それでその構造を電子顕微鏡で決めたんですね。そういう業績で非常に有名な先生です。

ナノチューブは、普通の物質にはない、特別な性質をたくさん持っていて、これまで研究が盛んにされてきています。じゃあどんな性質を持っているか。

クイズ：このカラフルな物質は何？
注：炭素だけでできています

1. フラーレン
2. グラフェン
3. **カーボンナノチューブ**

炭素でできた
ナノスケールの円筒

断面

六角形の炭素の並びは同じでも、グラファイトとは全く違う色
ナノサイズに巻かれたことによる量子効果

ものすごくたくさんあるんですね。なので、ほんの一例だけ、ご紹介しようと思うんですけども、例えば巻き方。六角形のグラフェンのシートで円筒をつくろうと思ったら、いろんな巻き方が可能ですけど、その巻き方によって光、例えば色とかが変わってきているのが分かると思うんですけど、光に関わる性質。

それから電子的性質。これは電流が流れるとか流れないとか、半導体ぐらい、ちょっと流れるとか、そういう性質を変えることができる。だから炭素だけでLSIの中に入っているトランジスタをつくったり、光通信に使う発光体をつくったり、それはバイオにも使えとか、そういった様々な応用が、これまで炭素でできなかったことができるようになってくるとか。

それからこれも非常に有名な話ですけども、軽いのにとっても引っ張りに強い。どのぐらい強いかというと、原理的には宇宙エレベーターといって、地球上から宇宙まで10万キロぐらい、ケーブルを張って、それを使って宇宙に行けば、ロケットを使うよりもエネルギー消費が小さいですよ。そういう壮大な計画もあるんですけども、それを可能にする唯一の材料と考えられています。

それに従来の物質ではあり得ない、すごく高い温度、例えば1000℃とか、それを超えるような温度でも、量子力学的な効果が表れてきて、それを使うことができます。すごく高い温度って、やっぱりエネルギーの応用とかには必要になってくるんですけども、そういったところでは普通は、こういう量子効果ってなかなか使えないんですね。ところがそれができるといのが結構、特徴的です。

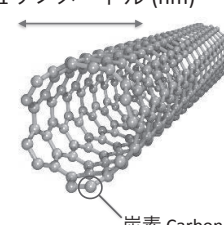
そんなこんなで、もしも人類がカーボンナノチューブを自在に使いこなせるようになれば、私が今、そう言っているということは、まだ自在に使いこなせていないということなんですけれども、従来の炭素材料ではできないこと、プラスチックのどんな材料でもできないことも、できるようになる可能性がある。だからみんな頑張っている。

皆さんにここで、じゃあこの物質はどうやってつくるのかなと思ったかもしれないので、それをご紹介します。

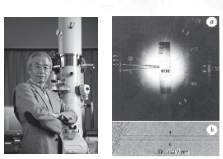
現在、いろんな作り方が提案されているんですけども、今日は一つだけ、最も簡単な作り方を紹介しようと思います。高校生でも道具さえあればできる。この最も簡単な方法

カーボンナノチューブ (CNT)

~1 ナノメートル (nm)



炭素 Carbon



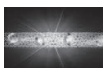


飯島澄男 博士
1991年、アーク放電煤の観察で発見
Benjamin Franklin Medal in Physics 2002

普通の物質にはない特別な性質を持つ

カーボンナノチューブの特徴 (一例)

- ・巻き方により光・電子的性質が大きく変わる (トランジスタ・光通信・バイオ応用)
- ・軽いに極めて高い引張強度 (宇宙エレベータを可能にする材料)
- ・従来の物質ではありえない高温でも量子効果が現れる (従来にないエネルギー機能)

もしも人類がカーボンナノチューブを自在に使いこなせるようになれば...

従来の炭素材料ではできないこと + 他どの材料でもできないこと → できるようになる!

はアルコール、つまりお酒の成分からつくる方法です。高校生は飲んだことがないと思えますけれども、大人の方々はアルコールが大好きだと思いますけど、まさかこれがカーボンナノチューブになるとは思っていなかったかもしれません。

つくり方は結構簡単です。絵に描く分には簡単です。まずここにナノ微粒子を載せた基板というのがあります。これは金属の小さな超微粒子を、あるレシピに従ってつくとつくれるんですけども、そこにアルコールのガスを流してやります。ただ、温度は600℃から1000℃ぐらいの非常に高い温度が必要になるんですけども、それでナノチューブが合成される。

カーボンナノチューブ (CNT) : どうやって作るのか?
 現在では、色々な作り方が提案されていますが...
最も簡単な方法: アルコール (お酒の成分) から作れる!

アルコールのガス (エタノールなど) → ナノ微粒子をのせた基板 → 600~1000°C程度の高温炉 → 合成されたナノチューブの電子顕微鏡写真

20年前、この方法を大学の卒業研究で発見 ➔ **研究に“のめり込む”きっかけ**

S. Maruyama, R. Kojima, Y. Miyasuchi, S. Chisashi, M. Kohno, Chem. Phys. Lett. 360, 229 (2002).

自分にもできそうですね。でも実際にこの方法はすごくちゃんとしたナノチューブがつかれるいい方法で、これは私がずっと昔に撮った、ナノチューブの電子顕微鏡の写真ですけど、実際に1ナノメートルより細いナノチューブがあるなというのが分かる。

この方法を紹介した理由は、20年前に実は私はこの方法を大学の卒業研究で発見したんですね。まさにそれが研究の世界にのめり込むきっかけになりました。高校生の方とかもいらっしゃると思うので、こういう話は面白いかなと思って用意したんですけども、この新しい合成法を見つけた経緯にちょっと触れたいと思います。結構面白いです。

約20年前、壁が1層のカーボンナノチューブだけをつくる方法を、我々は模索していました。壁が1層のものは、単層カーボンナノチューブと呼ばれています。カーボンナノチューブは、いっぱい書くのが大変なので、CNTと書かせてください。

単層のやつは、最もカーボンナノチューブらしさが表れてくる、最も素晴らしい性能を持つナノチューブですけども、なかなか1層のものだけつくるのは難しい。2層、3層、10層とか、太いのになってしまうと、

だんだんカーボンファイバーっぽくなってきてしまいます。

当時、試していた方法は非常にシンプルで、ナノ微粒子とフラーレン、さっき出てきましたね、これを交ぜてカプセルに閉じ込めて、加熱してやったら、ナノチューブが生えてくるんじゃないかと思って、何度も何度も実験しました。結果はどうなったと思いますか。できるのは、すずばかりでございました。全く何もできない。

実験もうまくいかないまま、数カ月たちまして、私も卒業研究だったので、もうこれは卒

新しい合成法を見つけた経緯

約20年前
壁が1層のカーボンナノチューブだけを作る方法を模索

↓

単層カーボンナノチューブ (CNT)

↑

当時試していた方法: ナノ微粒子とフラーレンを混ぜてカプセルに閉じ込めて加熱 ⇔ ✕ 出来るのは煤ばかり...

実験もうまくいかないまま数ヶ月たったある日...

過去の実験ノートと電子顕微鏡写真を見返していたら、ある日の実験だけ、CNTのようなものが写っているのを発見

どうして、この日だけ、他の日と違うものができたんだろう?

業論文が、すすの写真ばかりがある論文になって、最後にうまくいきませんでしたと報告しないといけないなと思って、がっかりだったんですけども、それでもやっぱり諦めたくない。過去の実験ノートと、電子顕微鏡写真をいっぱい撮っていたので、見返していたんですね。何かヒントがないかなと。

そうしたら、ある日の実験だけ、その当時
はあんまり気付いていなかったんですけど、
CNT、カーボンナノチューブのようなものが、
あまり質のいいものではなかったんですけど、
写っていたんですね。その日だけ、いっぱい
写っているんですよ。どうしてこの日だけ、ほ
かの日と違うものができたのか。すごく不思議
に思って、一緒に研究していた先輩とかと
議論したら、驚くべき事実が判明しました。

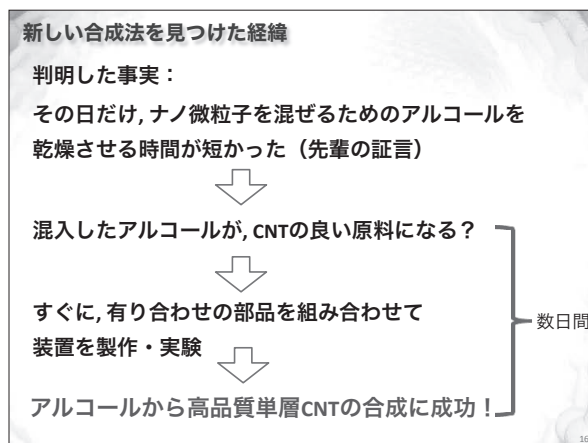
なんとその日だけ、ナノ微粒子を交ぜるためのアルコールを乾燥させる時間が短かったとい
う、先輩の証言なんです。

というのは、先輩がここの部分の担当だったんですね。「宮内、ごめん」と言われて、「あ
のときさ、後に予定が詰まっていたから、待ちきれなくて、カプセルに入れちゃったんだ
よ」って、そういうことを仰いまして、「先輩、それじゃあ混入したアルコール、もしかした
らカーボンナノチューブのいい原料になるんじゃないですか」って話で、我々は早速、先輩
は修士論文が懸かっていたんですね、それですぐに有り合わせの部品を組み合わせて装置を
製作、実験して、うまいことアルコールから品質のいいカーボンナノチューブが、単層のや
つだけができる方法というのを見つけた。ここわずか数日間です。数カ月、全く何もできな
くて、もう駄目かと思ったときにできて、非常に嬉しかったんですけど。

これは一つのビギナーズラックだったんですけど、ここからこの論文が世に出て、それで
学会とかでも発表して、しばらくたつと、みんなが私たちのこの研究を足場にして、また別
の研究をやっていくというのを目にしたんですね。これがものすごく広がっていくんです。そ
れで私たちには想像もつかないような、いろんなことが分かってくる。これというのが、科
学ってものすごく面白いなと、私は思ったんですね。

一人ひとりができることというのは、本当に石垣に小さな石ころとか、レンガのブロック
みたいなのを一個ずつ載せていく作業なんですけど、ほかの人も隣に石を載せたりして、ま
た別の人がそこに石を載せたりして、いつの間にか科学は発展して、すごく高いところまで
行くわけです。私たちがやっているのは、その一つの石垣をはめ込むという作業なんですね。

というわけで、そこから20年間、今ではカーボンナノチューブ以外にもたくさんやっている
んですけど、いろんな物質系を扱っていますけれども、CNTに関してもたくさん、いろいろ
とやりましたというスライドで、読む必要は全くないんですけども、今日はそういういろ



んなやった話の中でも最近のお話で、20年前にはこんなことができるなんて思いも寄らなかったけど、今はできるということを、動画とかでご紹介しようと思います。そういう実験の実例です。

今日、ご紹介したいのは、1本のカーボンナノチューブを光で観測するということですが、動画を撮っています。

我々はカーボンナノチューブを、我々の研究室で合成しています。この方法はさっき言った、アルコールからつくる方法ですね。20年たっても使われているので、実際にいい方法だったということですが、今、ここに900℃ぐらいに加熱した炉の中にアルコールを流しています。3分クッキングで、すぐできますけど、ここのチップの上にカーボンナノチューブが合成されています。我々のカーボンナノチューブの合成法は、スリットがチップ

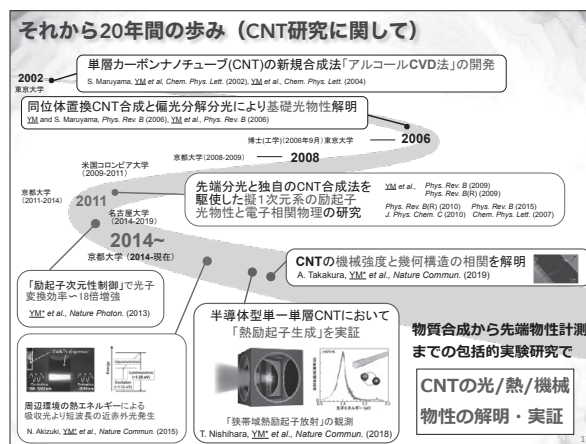
の上に開いていて、それを今度は一本一本、そのスリットに橋渡しするように合成しています。

これは顕微鏡の中でナノチューブを探しているところです。これは自作の光学顕微鏡ですけど、真空中でナノチューブを発見できる顕微鏡で、今、ここのスリットの間に光を当てているんですね。今、カーボンナノチューブにあてた光が跳ね返っているんです。それを今度は分光という方法で、白い光を当てて、跳ね返ってくる光の波長を見ているんですけども、そうするとある特定の波長の光だけが跳ね返ってきていることが、このスペクトルというものになります。

これは見にくいんですけども、大体緑色ぐらいの光が今、跳ね返ってきているというのが分かっていて、これがカーボンナノチューブの指紋のようになっていて、このスペクトルから今度、我々はこのナノチューブの構造を知ることができます。この光学スペクトル自身も量子効果によって、こういう非常に鋭い光学応答、光に対する応答が見られるんですけども、こうやって構造の決まったカーボンナノチューブを用意して、それでいろんな物質の性質を調べるということを、今度はやります。

例えばこれは3年ぐらい前に、いろんな分野の研究者が技術を持ち寄って、寄ってたかってみんなが持ち寄って、ようやく達成した研究ですけども、巻き方の分かった、構造が決まったカーボンナノチューブを、実際に引っ張ってみるという試験をやりました。

左上に巻き方が、いろんな巻き方があるよという絵が描いてあるんですけど、どんな構造



のナノチューブが強いのか。実は実験的にやれた人がいなかったんですね。我々は非常に興味を持っていて、巻き方の分かったカーボンナノチューブの引張り試験を電子顕微鏡の中でやる、そういうことを世界で初めてできました。

ここで分かったことは、細かいデータなんかはいいんですけども、巻き方と強度に相関があるというのが分かってきたんですね。どんな構造が強かったかという、これは「Armchair」と書いてある、ナノチューブの断面が肘掛け椅子みたいになっている、これがすごく強かったんですね。

どの構造が最も強いのが判明したということは、非常に基礎的に重要で、これは史上

最強の材料をこれからつくっていくための、基礎になるわけです。なぜかという、この構造をたくさん合成して、それでロープを作っていけば、現状は宇宙エレベーターにも耐え得るような、すごく強い材料が作れるようになるはずだからです。

ただ、できないことはいっぱいあります。例えばこのアームチェアという形の構造だけを大量につくることが、そもそもできない。そういうところも含めて、こういうナノ炭素の研究者というのは、今も頑張っています。

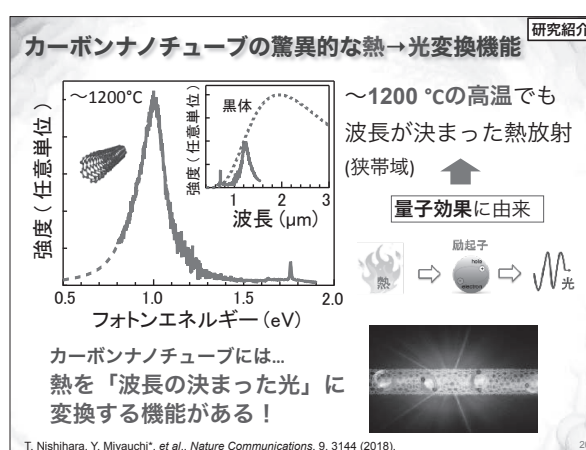
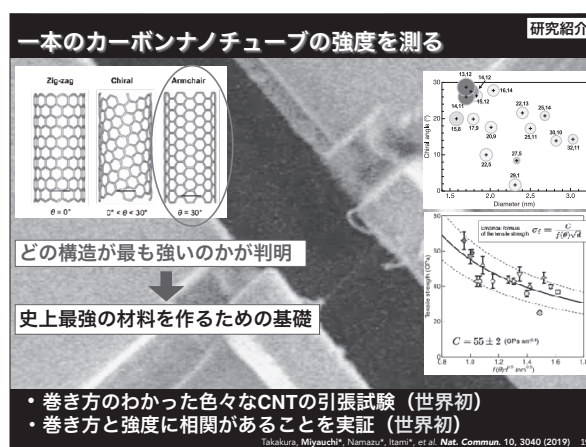
また、もう一つ別の例を紹介したいんですけども、今度は、これも身近な話に近いんですけど、カーボンナノチューブの熱放射というのを、私たちは調べています。熱放射は、物を温めると、オレンジ色に光ったりしますよね。あのオレンジ色の光の中には、いろんな波長の光が混ざっているんです。ところがカーボンナノチューブは違うんです。

これはカーボンナノチューブを1200℃に加熱したときの、熱放射のスペクトルで、とってもピークが立っていますよね。波長の関数として強度が描いてあって、ここを見ると、ある波長のところの光しか出ていない。つまり1200℃の高温でも、波長が決まった熱放射が出てくるわけです。

こういうのを「狭帯域の放射」なんて言いますが、こんな熱放射が出るというの

は、カーボンナノチューブの量子力学的な性質を反映しているんですね。だから1200℃でも、カーボンナノチューブは量子力学の性質があらわになっているということなんです。

難しいことはいいんですけども、カーボンナノチューブにはこのように熱を、波長が決まった光に変換する機能がある、ということが分かったということなんです。



そこで私たちは最近、この機能を使って、太陽光とか熱エネルギー、いろんな波長の光、いろんなエネルギーが混ざっているエネルギーを入力したら、一つの波長の光、一つのエネルギーに変換してくれる、そういう素子を作ろうとしています。

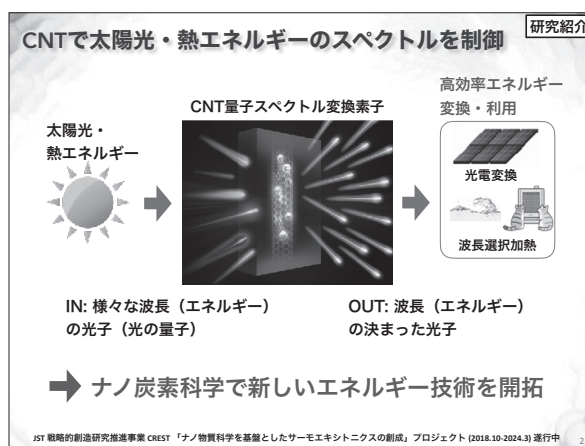
なんでそんなことをしようとしているのかというと、太陽電池なんかには実は一つの、一番変換する効率がいい波長とか、光のエネルギーがあるんですね。そこに合わせて変換することで、エネルギーの変換効率を飛躍的に高めることができる可能性があるからです。これは一例ですけれども、ナノ炭素科学ですね。このように新しいエネルギー技術の開拓を始めるというところまで、ようやく私たちもたどり着いてきているということになります。

最後に、ナノ物質科学で私たちが目指す未来について、手短かにお話しさせていただいて、話を終わろうと思います。

非常に最近よく聞く言葉で、「脱炭素」ってあると思います。脱炭素って、今、炭素材料の話をしていて、脱炭素で、もうナノチューブをやめようという話ではなくて、実は「脱炭素」という炭素は二酸化炭素のことですけど、二酸化炭素は地球温暖化に関連する温室効果ガスとして非常に有名ですね。

CO₂は人間がいろんな活動をするときに出てくるわけですが、これをそのまま出し続けると、地球がどんどん暖まってしまっていて、やがては人が住めない場所とかがたくさんできてきてしまったりするから、そうならないように頑張らなくてはいけないということで、人類が出すCO₂を抑えて、森林が吸収するCO₂と人為起源のCO₂をちゃんとバランスさせると。これはカーボンニュートラルとして知られている考えで、我々はこれに向けてやっていかないといけない。

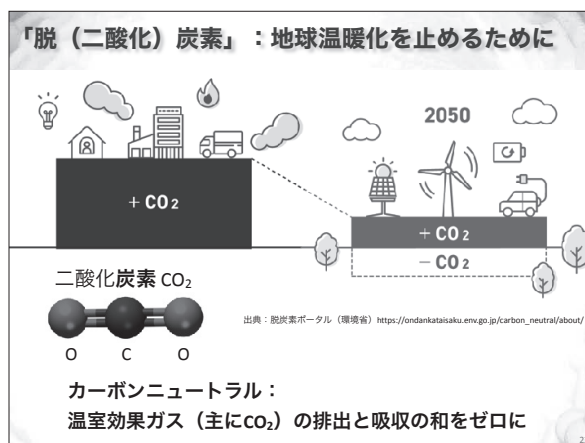
じゃあ私たちがナノ物質科学の観点から、これに対してどういうふうに貢献していけるかなと考えているか、というところですが、私たちはCO₂の中に、やはり炭素があるというのが非常に重要だと思っています。



本日の話題

1. ナノスケール物質科学：ナノ炭素物質を中心に
実際の研究実例を添えて
2. ナノ物質科学で私たちが目指す未来

22



というのは、CO₂は炭素からできて、炭素が入っていますので、これは適切ないくつかの方法、太陽エネルギーとか、ほかの再生可能エネルギーとか、将来的には核融合のような方法で、CO₂を出さないエネルギーを使って、CO₂をもう一度、エネルギー資源に変換することができます。

例えばアルコールなんかに変換して、それを燃やしても、もともとCO₂からつくったものなので、大気中のCO₂は増えませんよね。こういうゼロエミッションという考え方がありますがけれども、ほかにも化学製品に変換する、ポリカーボネートなんかにして使っているとか、そういうことが盛んに研究されています。

私たちはこれにさらに利用価値の高い炭素材料、今日、紹介したカーボンナノチューブとか、グラフェンとかもそうですけれども、そうしたものに交換する。これもまた原子が同じなので、原理的にできるんですけれども、これをやりたい。なぜなら、そういう利用価値の高い炭素材料の中には、太陽エネルギーをもっと効率良く使うことができるための技術革新につながる、そういう材料があるんですね。

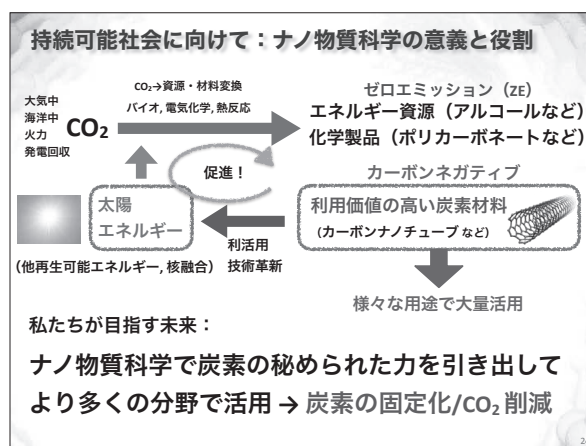
よって、このループをどんどん促進して回していくことになれば、たくさんのカーボンナノチューブとか、いろんな高付加価値の炭素材料をつかって、これを様々な用途で大量に活用することができるようになるはずですよ。そうすれば私たちは、CO₂をどんどん大気中から減らしていくサイクルに入れるのではないかなと。

このようなナノ物質科学で、炭素の秘められた力を引き出して、より多くの分野で活用していく。それによって炭素を固定化していこうと。そういう考えの下に、歩み始めています。

というわけで、本日のお話をまとめさせていただきます。最初の部分、ナノスケール物質科学、ナノ炭素物質を中心に、ということで、ナノの世界についてお話して、研究の実例としてナノチューブを使った光学実験とか、引っ張り試験とか、熱放射の話とかをさせていただきました。

2番目のトピックとして、私たちがどういう未来を目指しているのか。炭素の利用価値をより高めて、脱炭素社会につなげていきたい、そういうふうを考えているということをお話しさせていただきました。

それでは時間になりますので、お話は以上とさせていただきます。ご清聴ありがとうございました。



まとめ

- 1. ナノスケール物質科学：ナノ炭素物質を中心に**
ナノの世界：量子効果が顕になる世界
研究実例紹介：1本のカーボンナノチューブを使った光学実験
ナノチューブ引張り試験 狭帯域熱放射の発生
- 2. ナノ物質科学で私たちが目指す未来**
炭素の利用価値をより高めて、脱(二酸化)炭素社会へ

最新の成果等はHPで：<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/functional/index.html>