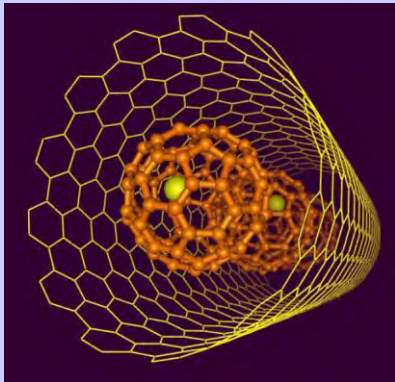


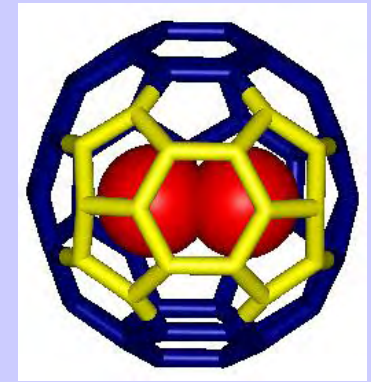
ナノサイエンスとナノテクノロジーの挑戦 ～ セレンディピティーから始まった世紀の研究開発～

名古屋大学大学院理学研究科
名古屋大学高等研究院
篠原 久典

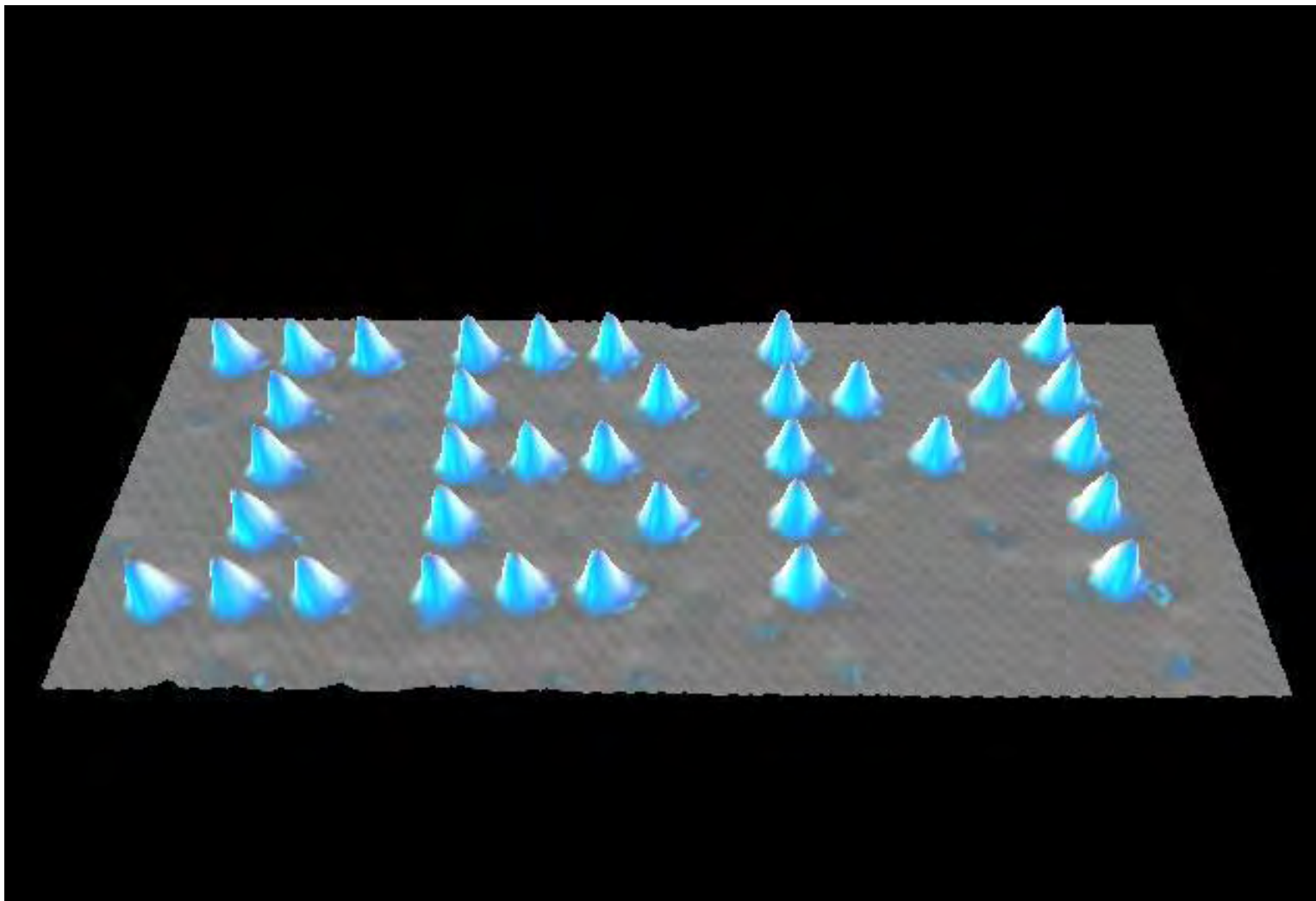


アウトライン

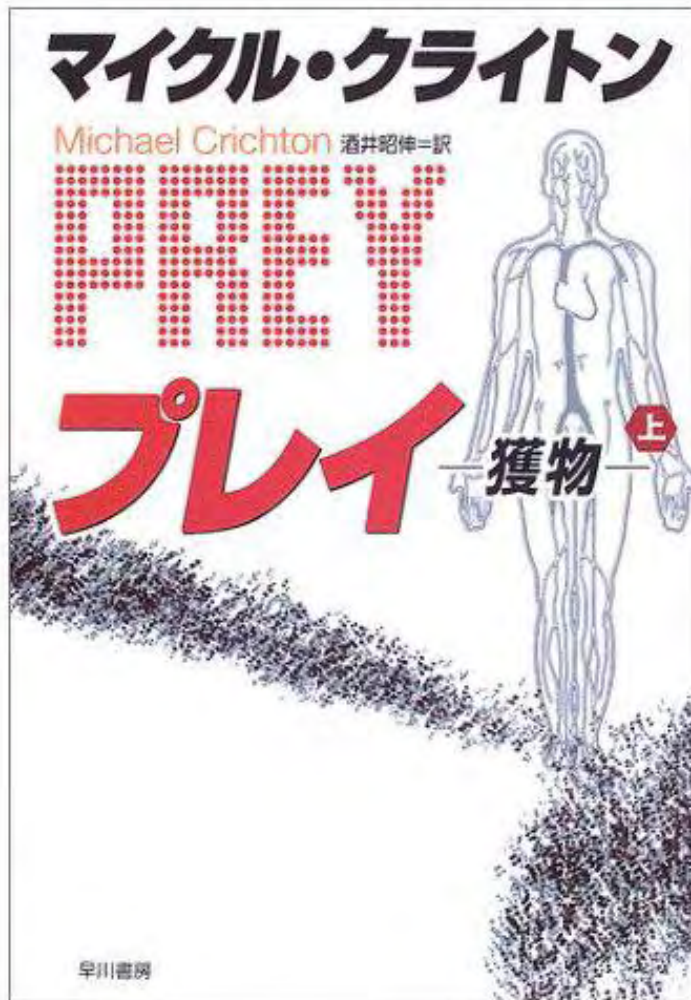
1. ナノテクノロジーとは？
2. フラーレンとカーボン
ナノチューブ
3. セレンディピティーと研究開発



原子を思い通りに、操作する



Xenon on Ni(110)



現代アメリカを代表
する社会派作家、
マイケル・クライトン
の小説の題材となっ
た「ナノテクノロジー」
Nanotechnology

マイケル・クライトンの代表作

「緊急の場合は」 A Case of Need (1968)

「アンドロメダ病原体」 The Andromeda Strain (1969)

「五人のカルテ」 Five Patients: The Hospital Explained (1970)

「ターミナル・マン」 The Terminal Man (1972)

「スフィア - 球体 -」 Sphere (1987)

「ジュラシック・パーク」 Jurassic Park (1990)

「ライジング・サン」 Rising Sun (1992)

「エアフレーム - 機体」 Airframe (1996)

「ツイスター」 Twister (1996)

「プレイ - 獲物」 Prey (2002)

ナノテク／ロジーの予言者

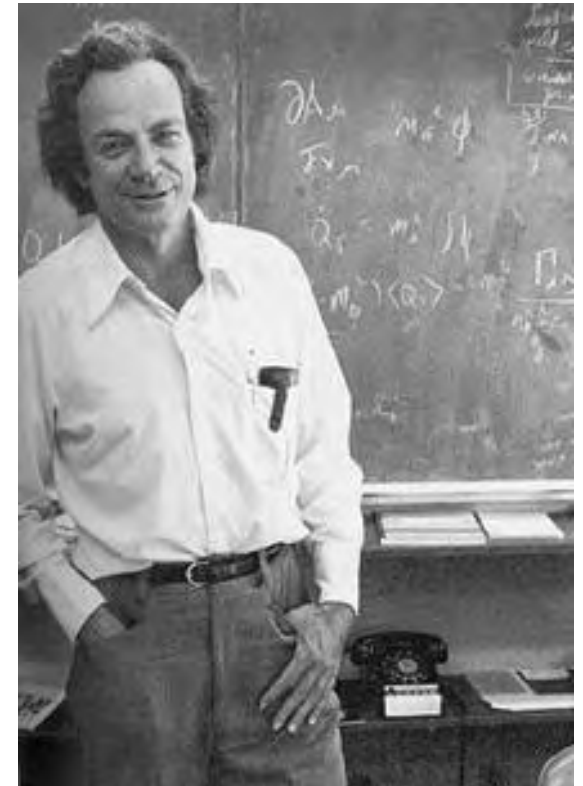
リチャード・ファインマン
(Richard Feynman)

“There’s Plenty of Room at the Bottom”

(1959年12月29日: カリフォルニア工科大学での講演)

「われわれの行く手には非常に大きな可能性を秘めた場所がある」

将来、電子ビームを用いた数個の原子幅のエッチングができるようになる、と予言している。





Challenger disaster in 1986





73 seconds after



Feynman as the chairman of the Challenger Committee (1986)

アメリカの国家戦略

クリントン政権の4つの重点領域
(January, 2000)

1. バイオ

2. IT

3. 環境

4. ナノテクノロジー

ナノテクノロジーの歴史(年表)

阪大「webで学ぶ ナノ工学入門講座」より

1959年 リチャード・ファインマン博士による
「**There's Plenty of Room at the Bottom**」講演

→ 1970年 大澤映二博士が理論的に**フラレン**の存在を予言

1974年 谷口紀男教授が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を使う

1981年 ゲラルド・ビニヒ博士とハインリッヒ・ローラー博士が
STM(走査トンネル顕微鏡)を発明

1985年 ハロルド・クロトー博士、リチャード・スモーリー博士
らが**フラレン**を発見

1986年 エリック・ドッレクスラー博士が「創造する機械
ナノテクノロジー」を出版

1991年 飯島澄男博士が**カーボンナノチューブ**を発見



超 芳 香 族

大 沢 映 二*

1. はじめに

最近数年間の非ベンゼン系芳香族化学の発展の速さと広がり大きさにはまことに目をみはるものがある。その原動力が Hückel の分子軌道法に基づく $(4n+2)\pi$ 則と、合成化学技術の近代化の二つであることについてはまず異論のないところであろう。とすると数ある目ざましい新芳香族化合物のうちでシクロプロベニウムとアンニュレンの発見は実に意義が深い¹⁾。しかし逆に考えると Hückel 則の合成化学的検討に関して、最も劇的な開拓期はすでに終わりを告げ、今後は理論、合成両面にわたる精密化²⁾と誘導体化学の時代であるとみることできるであろう。

今後の芳香族性に関する化学がさらに興味深い展開を示すであろうことは疑いないが、ここで Hückel 則を離れてまったく新しい芳香族性の出現する余地はないかどうかもう一度考えてみることにしよう。

一つの考え方として「次元の拡大」をあげることがで

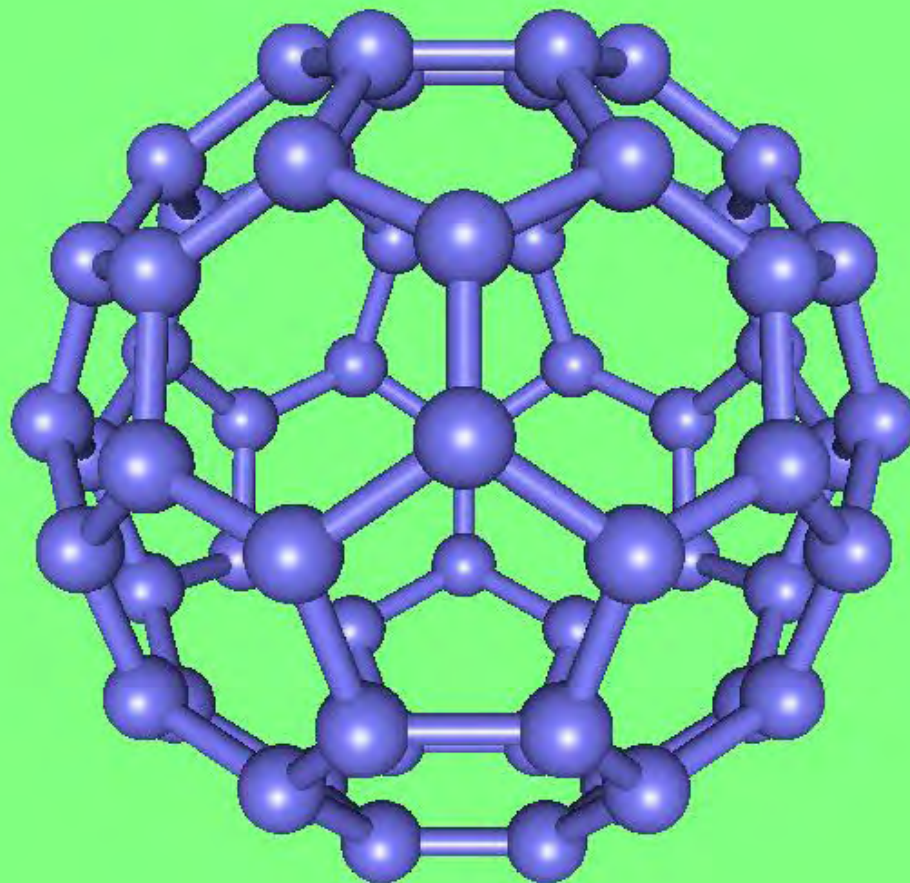
きよう。これまで芳香族性の発現は常に π 電子の2次元の広がりと表裏の関係にあった。されば π 電子を3次元的に非局在化することはできないだろうか？ たとえばいろいろな正多面体の頂点に sp^2 混成炭素を入れたような球状分子では π 電子が球面上を非局在化しないだろうか？ また炭素の $p\pi$ 電子にとらわれずに、炭素または炭素以外の元素の σ 型軌道が球状分子の骨格を形づくりつつ、かつ非局在化することはありえないだろうか？

このような概念を頭に置いて文献を調べてみると、炭素化合物に関しては「超芳香族」化合物はまだできていないが、炭素化合物以外ではここ10年間に目ざましい発展を遂げつつある“polyhedral borane”がまさにこれに相当する。ここではまず不飽和有機化合物のうち3次元共役の性格をもつものを気のつくままに二、三紹介して、ついで日本では研究がまったく行なわれていない*

* 塩野義製薬研究所で開始されたが不幸にも中断されているとのことである。

* OSAWA Eiji 北海道大学助教授(理学部) 工博

直径 **1.01** ナノメートル



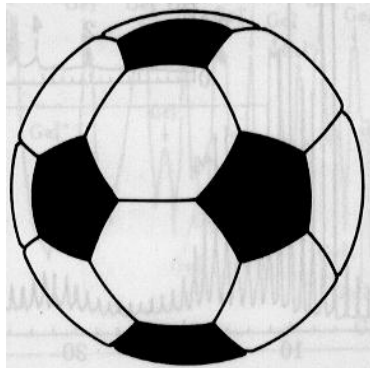
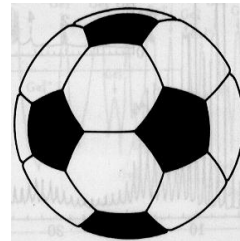
C₆₀

1ナノメートル

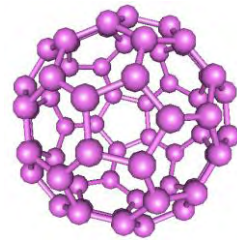
10億分の1メートル



:



:



C_{60}



1 nm

ナノテクノロジーの歴史(年表)

阪大「webで学ぶ ナノ工学入門講座」より

1959年 リチャード・ファインマン博士による
「**There's Plenty of Room at the Bottom**」講演

1970年 大澤映二博士が理論的に**フラレン**の存在を予言

1974年 谷口紀男教授が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を使う

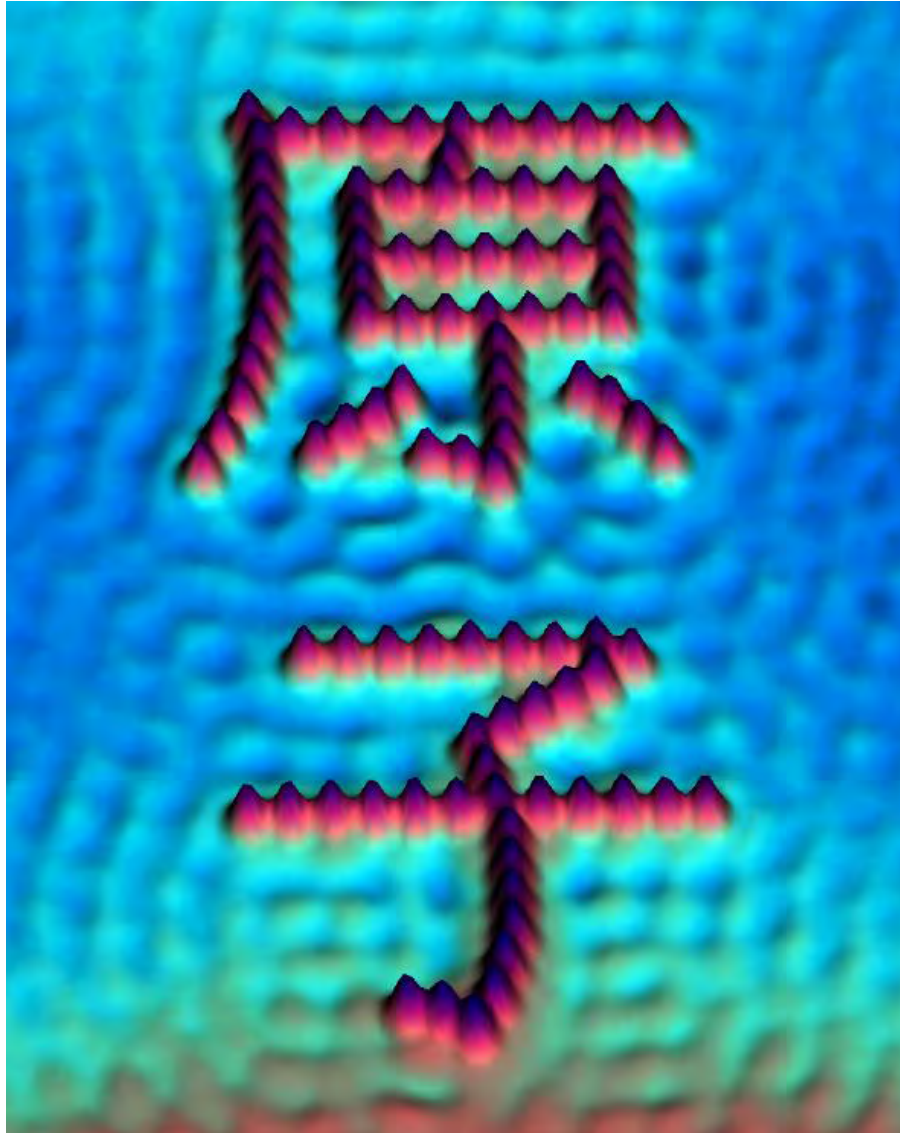
→ 1981年 ゲラルド・ビニッチ博士とハインリッヒ・ローラー博士が
STM(走査トンネル顕微鏡)を発明

1985年 ハロルド・クロトー博士、リチャード・スモーリー博士
らが**フラレン**を発見

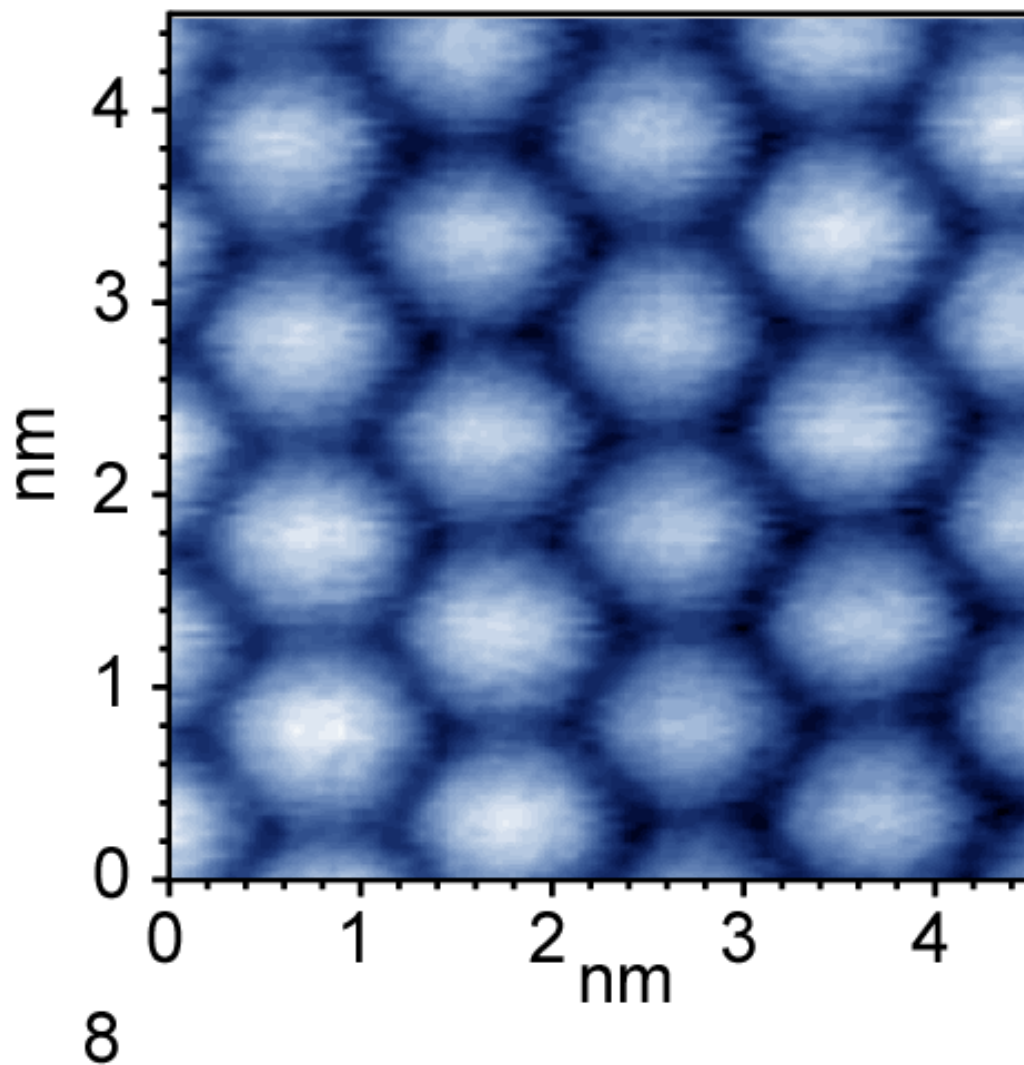
1986年 エリック・ドゥレクスラー博士が「創造する機械
ナノテクノロジー」を出版

1991年 飯島澄男博士が**カーボンナノチューブ**を発見

Iron on Cu(111)



走査型トンネル顕微鏡で見たC60



**T.Hashizume
et al.
(1991).**

$V_s = -2.5V$
 $I_t = 10pA$
 $T = 100K$

Dr. Heini Rohrer and Shinohara research team

(2002.11.13)



ナノテクノロジーの歴史(年表)

阪大「webで学ぶ ナノ工学入門講座」より

- 1959年 リチャード・ファインマン博士による
「**There's Plenty of Room at the Bottom**」講演
- 1970年 大澤映二博士が理論的に**フラレン**の存在を予告
- 1974年 谷口紀男教授が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を使う
- 1981年 ゲラルド・ビニヒ博士とハインリッヒ・ローラー博士が
STM(走査トンネル顕微鏡)を発明
- 1985年 ハロルド・クロトー博士、リチャード・スモーリー博士
らが**フラレン**を発見
- 1986年 エリック・ドゥレクスラー博士が「創造する機械
ナノテクノロジー」を出版
- 1991年 飯島澄男博士が**カーボンナノチューブ**を発見



日経ナノテク国際シンポジウム（東京ビックサイト）
2003年10月8日

ナノメートルの単位

ナノサイエンス・
ナノテクノロジー



猫
~ 0.3 m



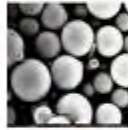
ミツバチ
~ 15 mm



500
μm



人間の髪の毛
~ 50 μm wide



灰
~ 10-20 μm



赤血球と白血球
~ 2-5 μm



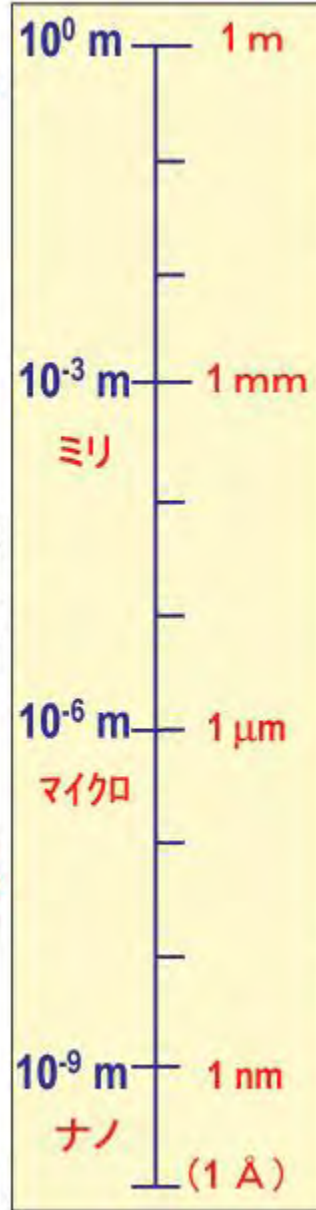
カーボンナノチューブ



DNA
~ 2 nm wide



シリコン原子
spacing ~ 1 nm



人工物質



金属やセラミックス
から作られた物



マイクロエレクトロニクス



マイクロマシン

花粉 赤血球



Si LSI

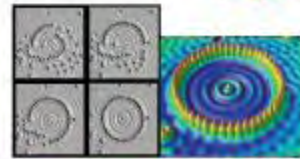
ドットサイズ
30 nm X 30 nm



量子ドット

フローティング
ソース ドット

単電子素子



STMで作成した量子柵

②

Getting Smaller and Smaller !!

10^{-1}	分
10^{-2}	厘
10^{-3}	毛
10^{-4}	糸
10^{-5}	忽
10^{-6}	微 (fine)
10^{-7}	纖 (fiber)
10^{-8}	沙 (sand)
10^{-9}	塵 (dust)
10^{-10}	埃 (grime)
10^{-11}	渺
10^{-12}	漠 (ambiguous, indefinable)
10^{-13}	模糊 (haze)
10^{-14}	逡巡 (hesitation)
⋮	
10^{-18}	刹那 (Immediate)
10^{-20}	虚空 (Void)
10^{-21}	清淨 (Clean, Pure)

インド・中国・韓国・
日本の思想

← Nano

ナノテクノロジーの歴史(年表)

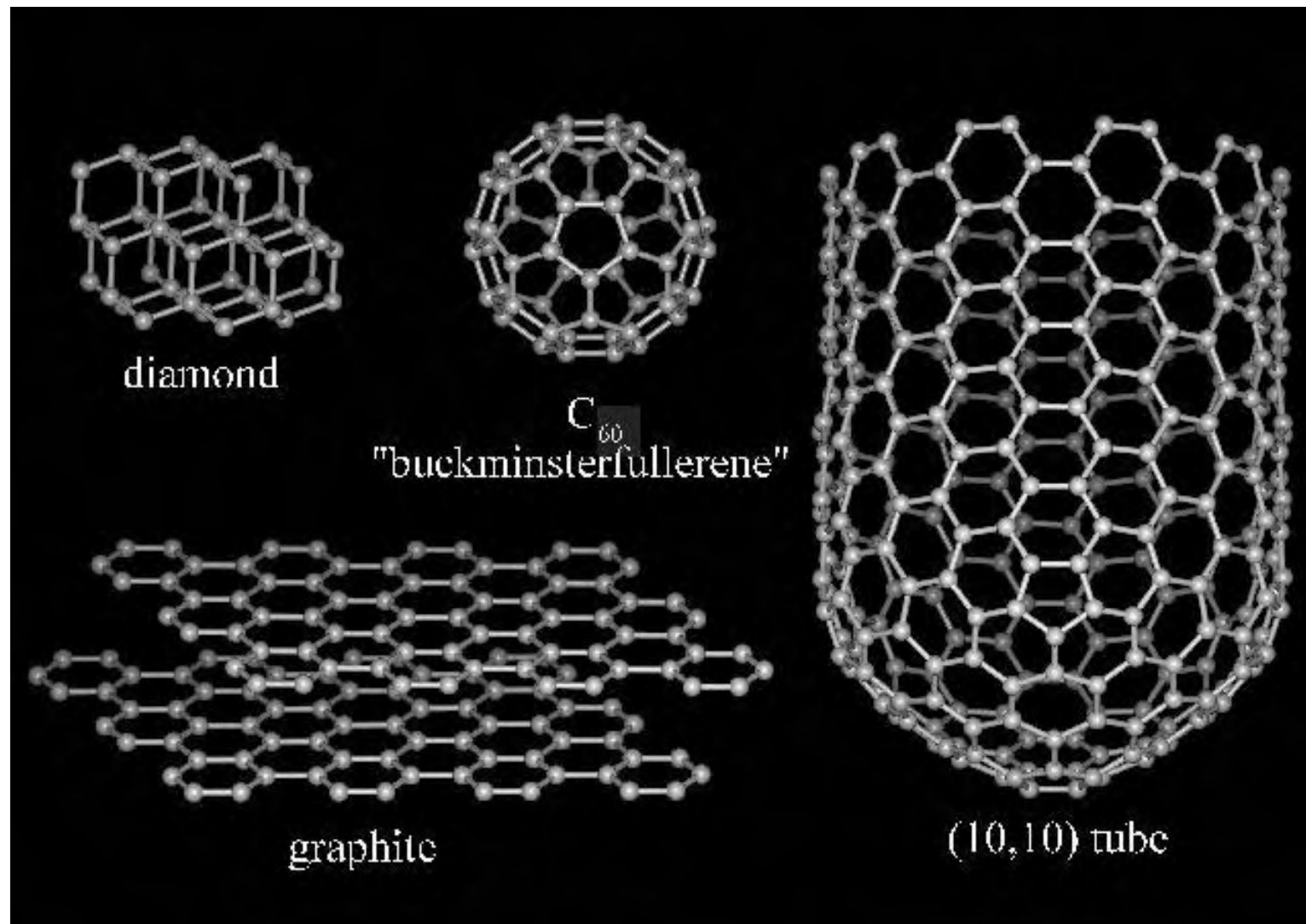
阪大「webで学ぶ ナノ工学入門講座」より

- 1959年 リチャード・ファインマン博士による
「**There's Plenty of Room at the Bottom**」講演
- 1970年 大澤映二博士が理論的に**フラレン**の存在を予言
- 1974年 谷口紀男教授が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を使う
- 1981年 ゲラルド・ビニヒ博士とハインリッヒ・ローラー博士が
STM(走査トンネル顕微鏡)を発明
- 1985年 ハロルド・クロトー博士、リチャード・スモーリー博士
らが**フラレン**を発見
- 1986年 エリック・ドゥレクスラー博士が「創造する機械
ナノテクノロジー」を出版
- 1991年 飯島澄男博士が**カーボンナノチューブ**を発見



ハロルド・クロトー 教授

炭素の同素体

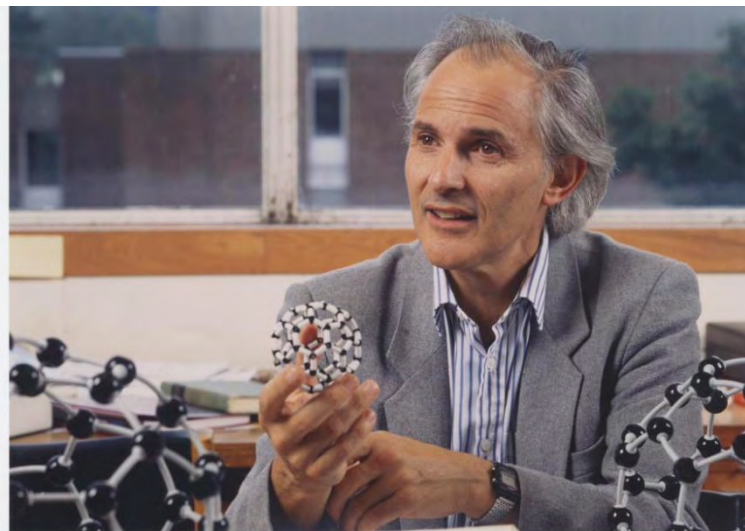


直径45m電波望遠鏡

(国立天文台 野辺山宇宙電波観測所)



直線状炭素分子(炭素クラスター)



1985年9月、ライス大学、Houston



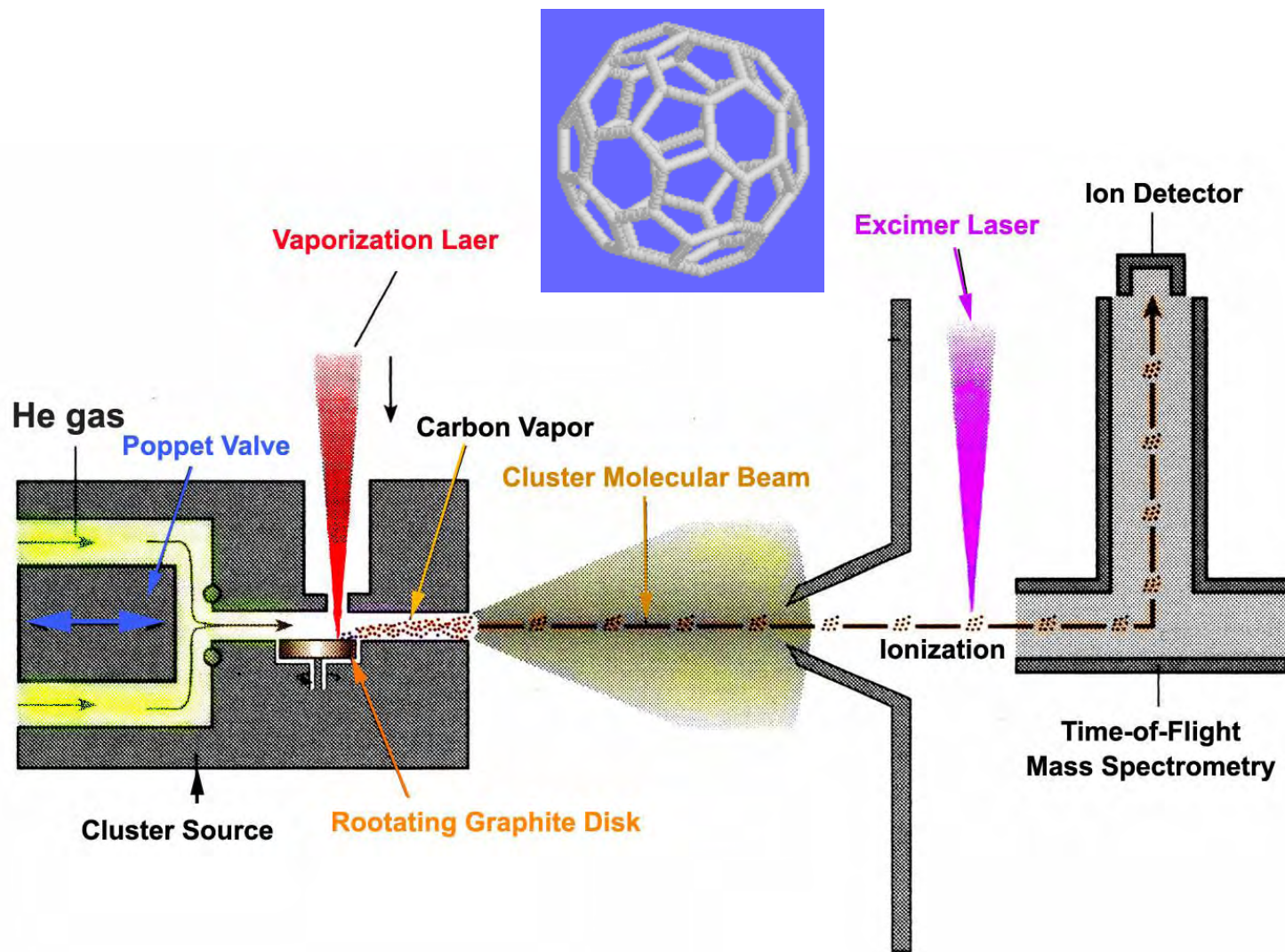
ハロルド・クロトー (サセックス大, イギリス)



ボブ・カール (ライス大, アメリカ)

リック・スモリー (ライス大, アメリカ)

レーザー蒸発クラスター分子線装置



レーザー蒸発クラスター分子線質量分析装置

炭素クラスターのTOF質量スペクトル

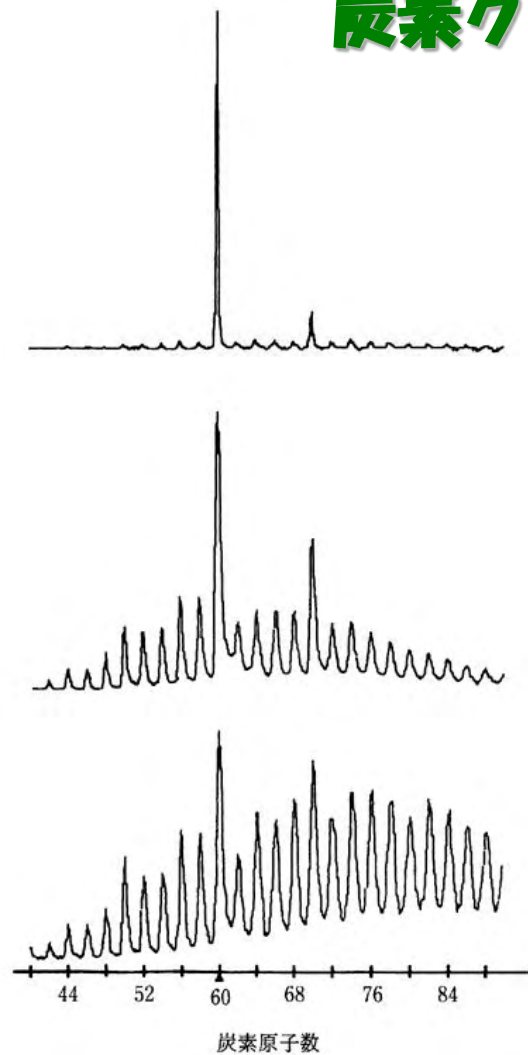
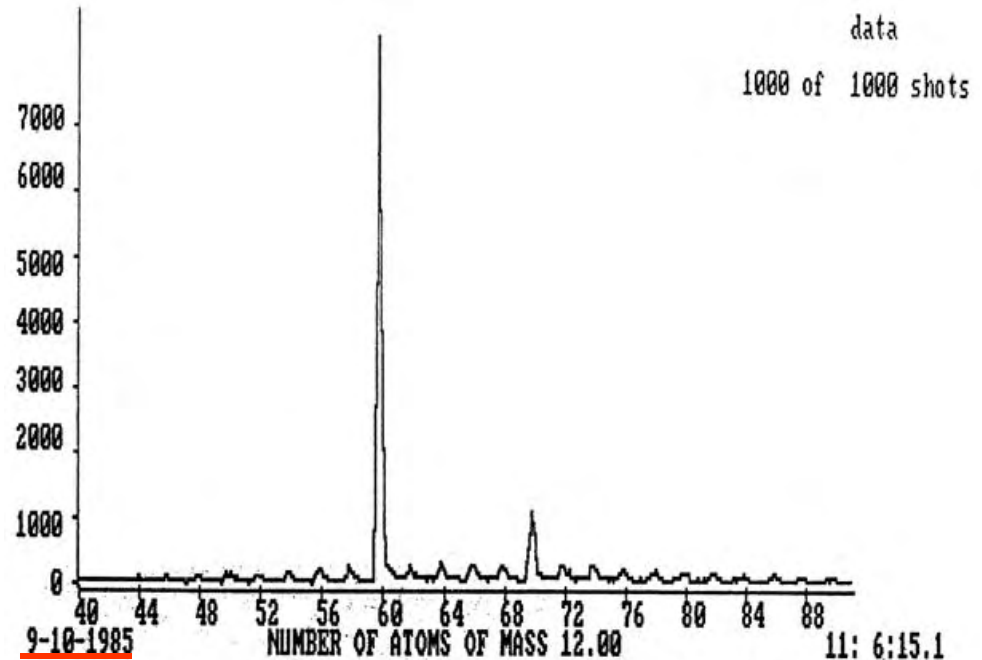


図 2.4 C_{60} の強い magic number 性が観測された、炭素クラスターの質量スペクトル。下の図と中の図はそれぞれヘリウムの圧力が 10 Torr と 760 Torr, 上の図はヘリウム圧が 760 Torr でノズルの先端にクラスター成長管をつけた場合⁷⁾。



9月10日火曜日に記録された「旗ざお」のスペクトル。蒸発レーザーのタイミングを調整し、クラスターゾーンを延長して、AP 2 内の条件をクラスター生成に最適に整えると、素晴らしい質量スペクトルが得られた。 C_{60} によるシグナルが一つだけ突き出ている。いつも忠実な C_{70} もやや目立っている。このスペクトルは4日水曜日の観測を確認した。 C_{60} は特別の構造をもっているに違いない。

Fuller's Geodesic Dome at Expo 1967 at Montreal



1967 Alegra Fuller Snyder, Courtesy, Buckminster Fuller Institute, Santa Barbara.

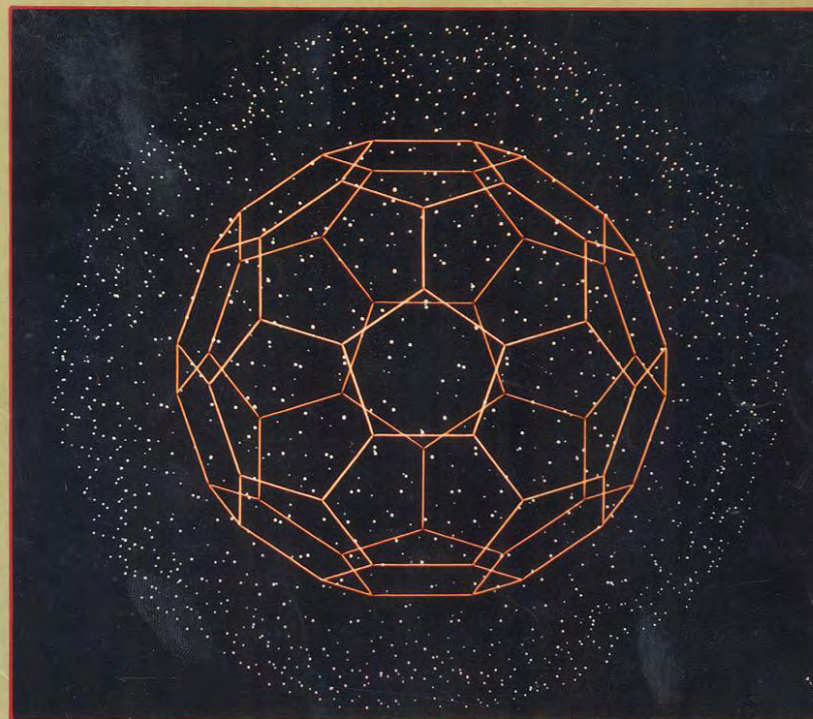


Buckminster Fuller's Dome in Montreal (May 1997)

nature

INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

Volume 318 No 6042 14-20 November 1985 £1.90



SIXTY-CARBON CLUSTER

AUTUMN BOOKS

Harvey Brooks
(transformation of MIT)

P. N. Johnson-Laird
(brain and mind)

Anthony W. Clare
(psychoanalysis as religion)

A. O. Lucas
(war on disease)

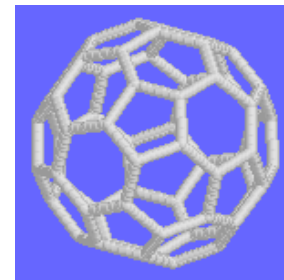
Hendrik B. G. Casimir
(physics and physicists)

Gordon Thompson
(dimensions of nuclear proliferation)

Jacques Ninio
(origins of life)

Edward Harrison
(steps through the cosmos)

ライス大学スモーリー研の前で記念撮影 1985年9月12日



マックス・プランク 研究所ハイテルベルグ

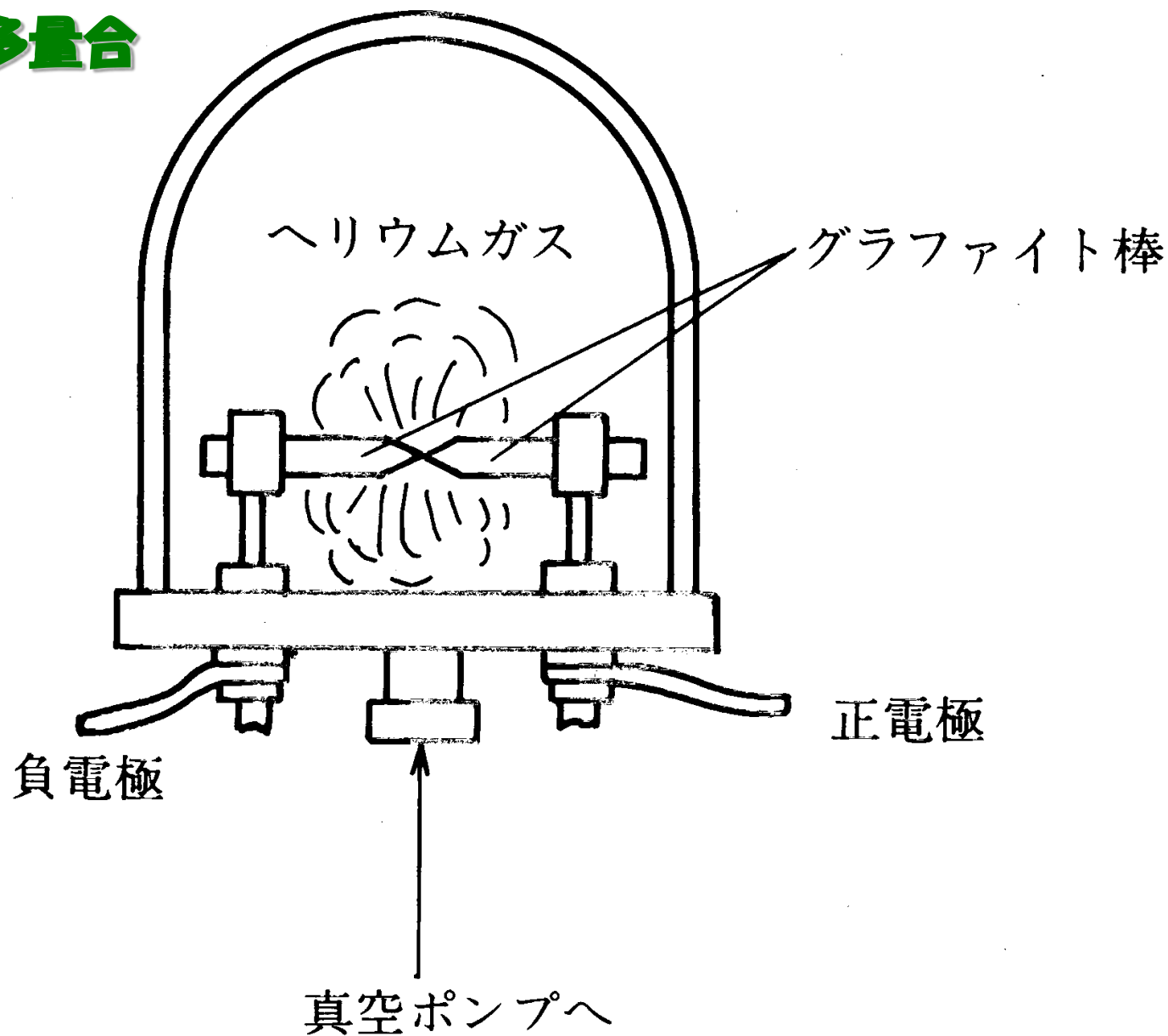
W. クレッチマー(マックス・プランク 研究所)

D. ハフマン (アイトナ 大学、物理学教室)



宇宙空間での **210 nm** の未同定の吸収線

フラーレン多量合成法





Kraetschmer, Shinohara, Dunsch

5th International Symposium
on
Small Particles and Inorganic Clusters



September 10 -14, 1990
University of Konstanz, Germany

Conference Abstracts

**第5回超微粒子と無機
クラスターに関する国際
シンポジウム**

**1990年9月10-14日
ドイツ・コンスタンツ**

「ホテル・ピラ」

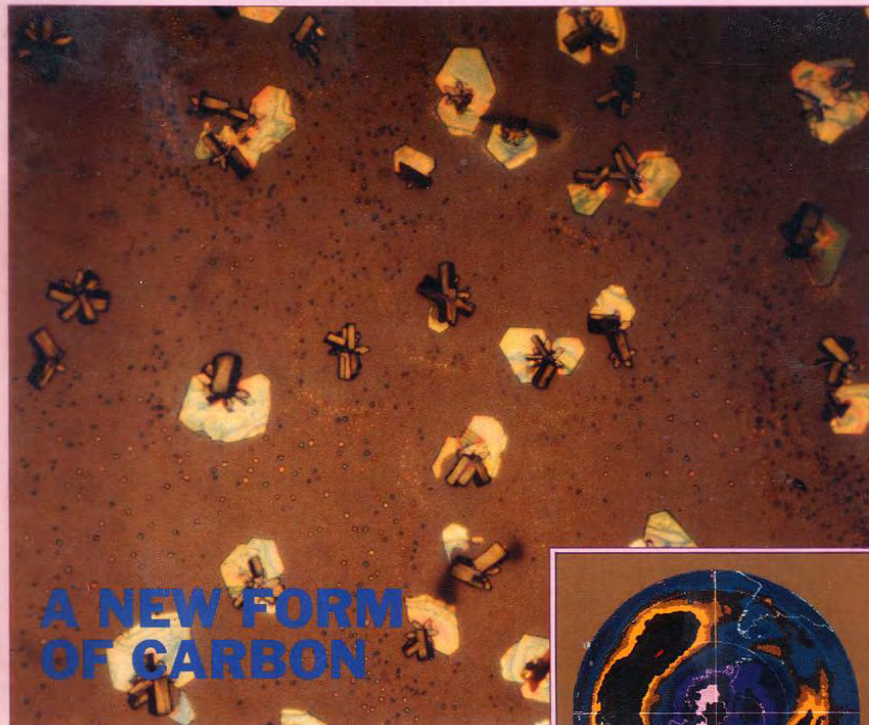
コンスタンツ



nature

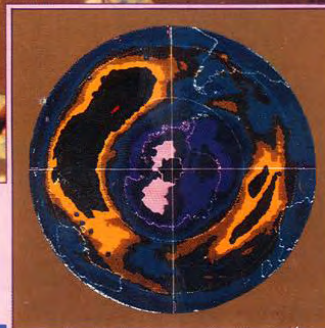
INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

Volume 347 No. 6291 27 September 1990 £2.50



**A NEW FORM
OF CARBON**

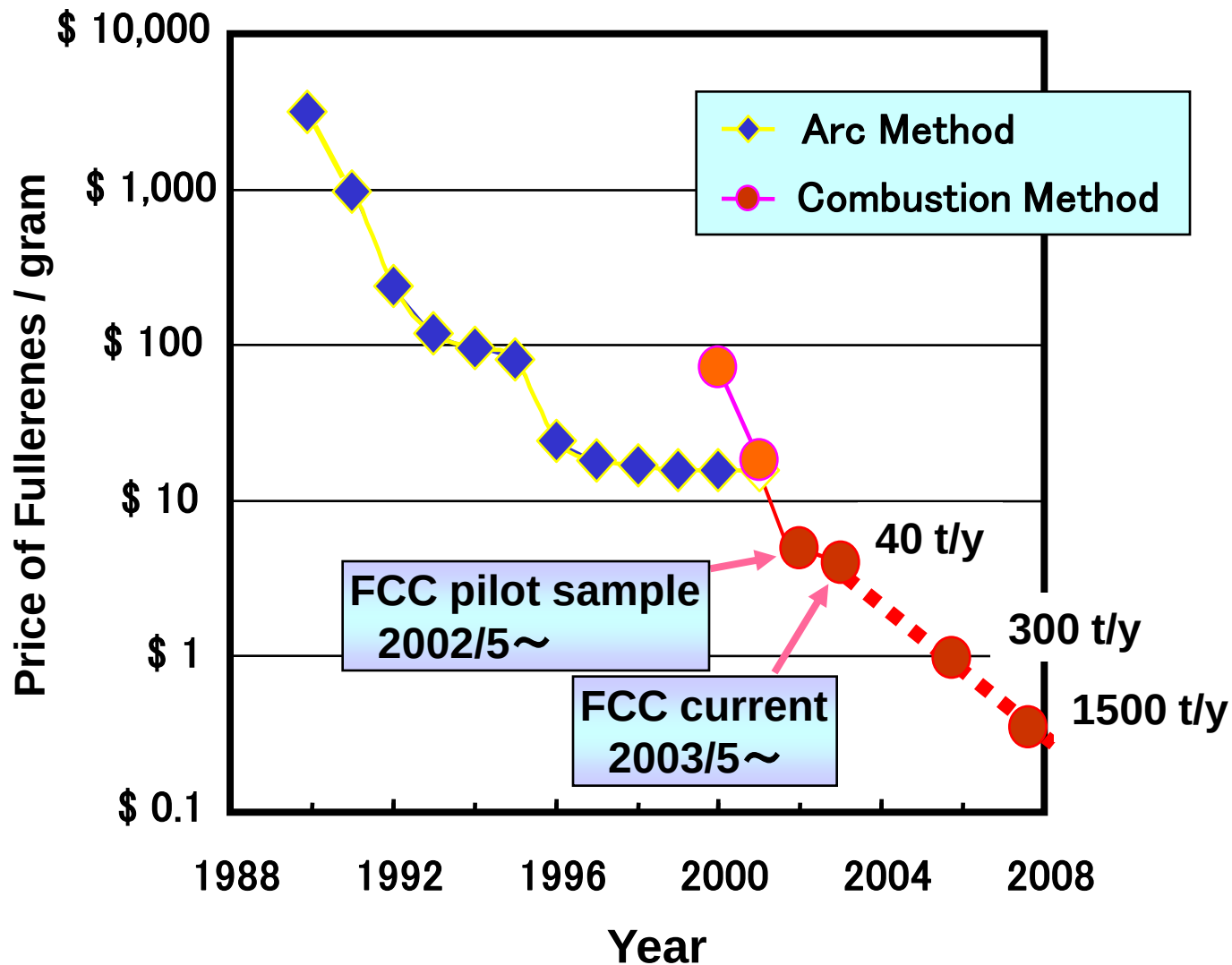
**UNDERSTANDING ANTARCTIC
OZONE DEPLETION**



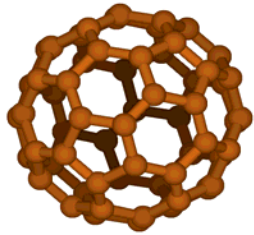
The cellular defect behind cystic fibrosis



フラーレンの値段は過去15年で1万分の1 !!!



市販されているフラーレン製品の例



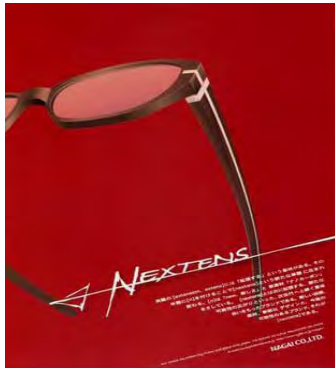
ホウリングボール
(日本エポナイト) ↑



ゴルフクラブ



マルマン: MAJESTY, EXIM NANO, Daiwa: GIII
セイコー: Exelight, YONEX: CYBERSTAR NANOV



めがねフレーム(長井)



フラーレン



化粧品 (VC60BR)



エンジンオイル & エアコン用オイル (Bahdahl)

「軽い、強い、高反発」。それはナノテクノロジーの力。
ハンチュウが求めたパワーとコントロール「NANO SPEED RQ」
2月下旬発売予定



バドミントン & テニスラケット (YONEX)
ガット "NANOCUBIC" (GOSEN)

ノーベル化学賞受賞の
「フラレン」配合美容液

モンビジュ
「RS-1」

1本だけで素肌美人

上質セシブ肌に
なれます

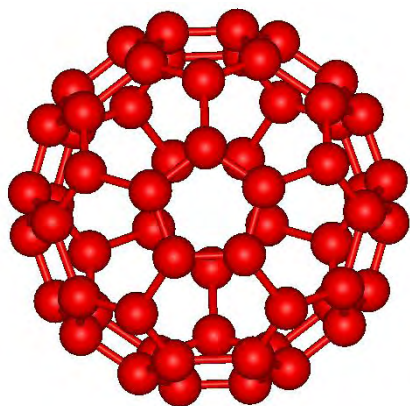


フラレン化粧品

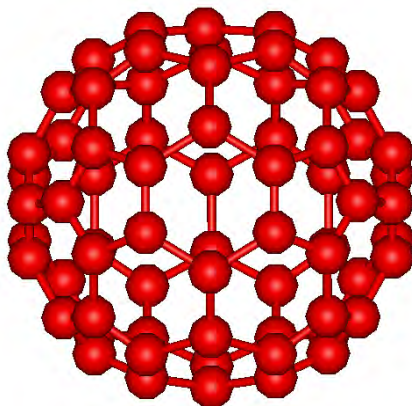


フラレン高配合の
イレイザーに触れたとき
あなたは本来の輝きを取り戻す。

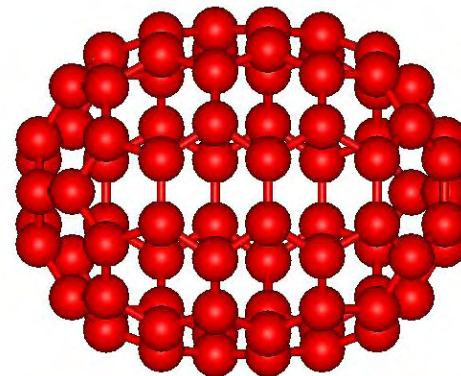
フラーレンのファミリー



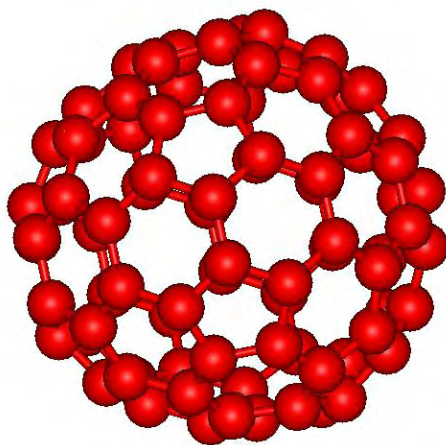
$C_{60} - I_h$



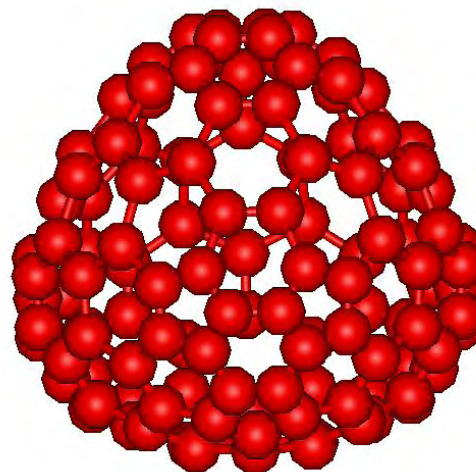
$C_{70} - D_{5h}$



$C_{80} - D_{5d}$

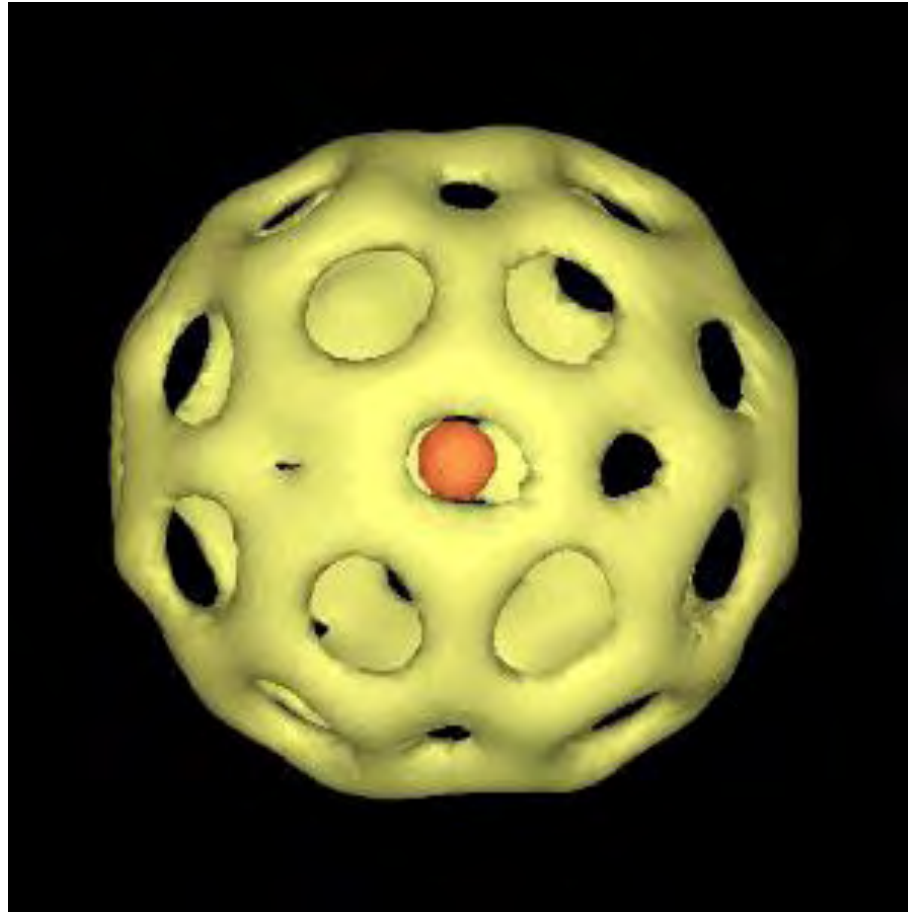


$C_{84} - D_{2d}$



$C_{120} - T_d$

金属内包フラーレン



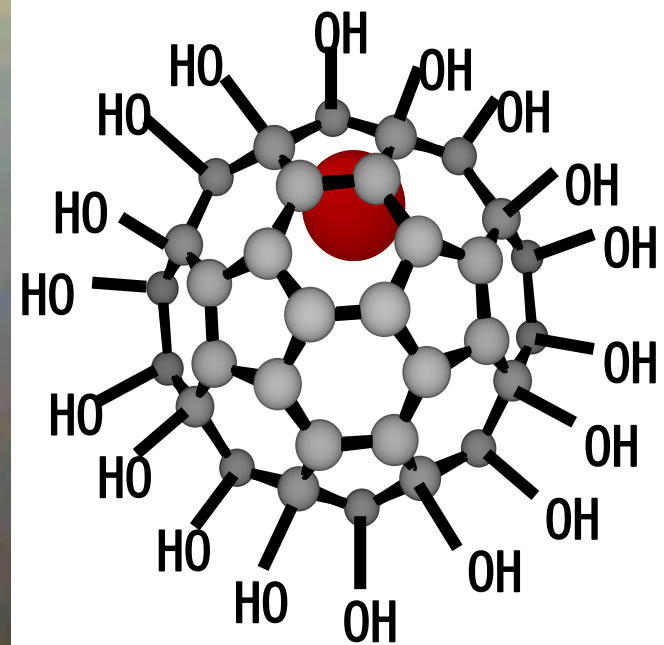
全電子密度

Takata et al. *Nature* (1995)



Kroto@C60

核磁気共鳴診断 (MRI) 用の造影剤



Mikawa et al.
Bioconjugate Chem.
(2001)

1996年度ノーベル化学賞 授賞式



'96ノーベル賞の受賞式。右からスモーリー、クロトー、カール。



セレンディピティ (思いがけぬ発見) と科学の進歩。この科学者は、パラダイムの枠内に限定された問題に心を奪われすぎているので、つまづいて転ぶまでパラダイムを転換する大発見に気がつかない。偶然が偏見をもたない科学者にパラダイムの境界を超える機会を与え、予期せぬ新しい方向へ科学の前線を押し出す。絵はピーター・シュランクによる。(Baggott, Jim, *New Scientist*, March 3, 1990.)

セレンディピティー

Serendipity

**The natural ability to make
interesting or valuable discoveries
by accident.**

(Longman Dictionary of contemporary English)

語源と意味

その昔、セレンディップの王国時代に3人の聡明な王子がいた。王子たちにはそれぞれ賢い家庭教師がついていた。家庭教師たちは教育の仕上げに、旅でいろいろ経験させたいと進言し、王子たちは王である父に、見聞を広めるために航海に出たいと申し出た。そこで王は国を悩ませていた龍を退治する方法を探すように命じる。父と相談しながら構想を練り、計画をたて準備万端ととのえた王子たちは意気揚々と船出するが、緻密な計画はすぐに頓挫する。周辺国を踏破し、非常に発見が困難とされる龍の珠などの宝物を持ち帰るように命じられているのだが、暴風雨に見舞われ、海賊に遭遇し、次々に思いがけないできごとが起こって、思いがけない冒険を強いられる。王子たちは果敢に立ち向かい、そのたびごとに成長していく。**船出する前には予想もしていなかった体験を積んで、さまざまな貴重な収穫を得たのであった。**王から頼まれた探し物は得られなかったが、立派に成長したことが何よりの宝物だと王は迎える。求めていたもの以外のものを手に入れることができたのである。めでたし、めでたし……。



セレンディピティ

運命というのは努力した人に
偶然という橋をかけてくれる

セレンディピティというのは
「偶然」を「必然」に変える能力である

科学の大発見とは？

タイプ1(天才タイプ)

考えて考えて考え抜いた果てに、**忽然とひらめいて**、発見に導かれる(数学、理論物理学)

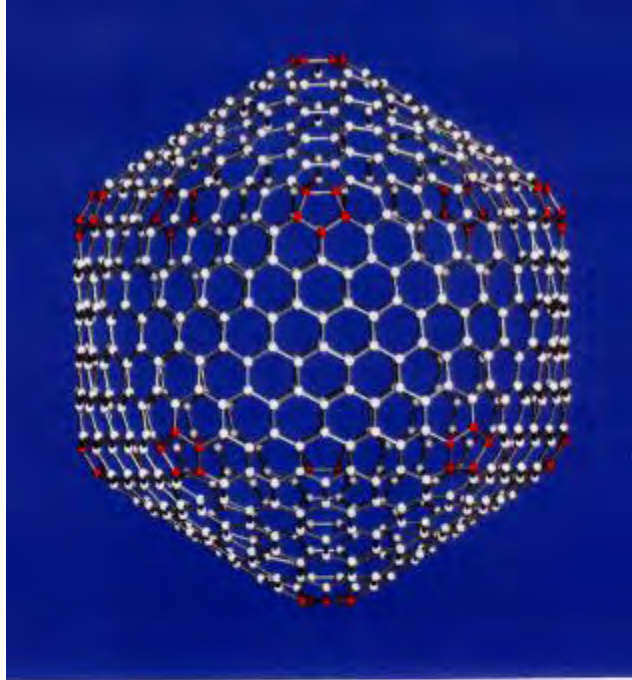
タイプ2(セレンディピティー・タイプ)

まっしぐらにテーマを研究している途上で、**偶然に、思わぬ**大発見をする(実験系の科学)

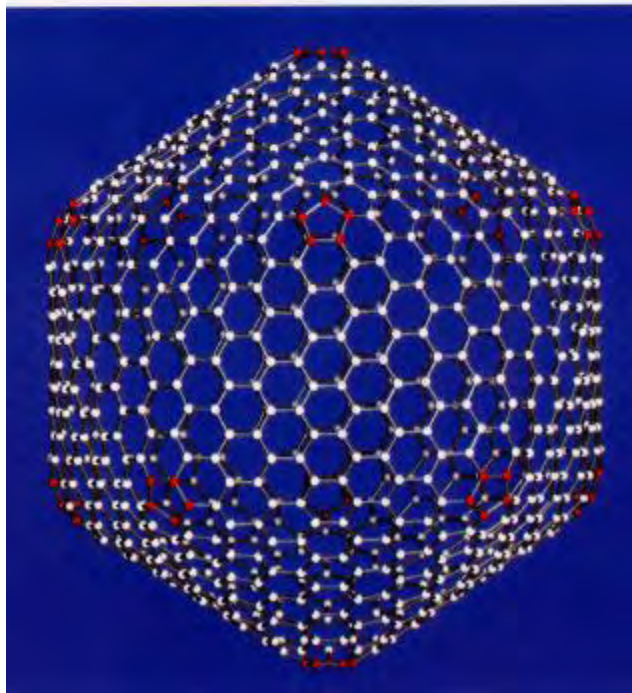
ナノテクノロジーの歴史(年表)

阪大「webで学ぶ ナノ工学入門講座」より

- 1959年 リチャード・ファインマン博士による
「**There's Plenty of Room at the Bottom**」講演
- 1970年 大澤映二博士が理論的に**フラレン**の存在を予言
- 1974年 谷口紀男教授が初めて「ナノテクノロジー」という言葉を使う
- 1981年 ゲラルド・ビニヒ博士とハインリッヒ・ローラー博士が
STM(走査トンネル顕微鏡)を発明
- 1985年 ハロルド・クロトー博士、リチャード・スモーリー博士
らが**フラレン**を発見
- 1986年 エリック・ドゥレクスラー博士が「創造する機械
ナノテクノロジー」を出版
- 1991年 飯島澄男博士が**カーボンナノチューブ**を発見



C₇₂₀

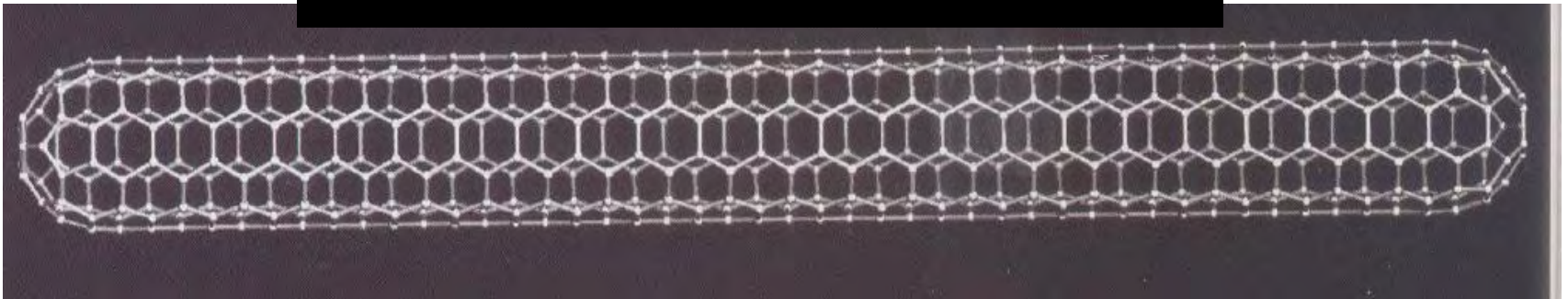
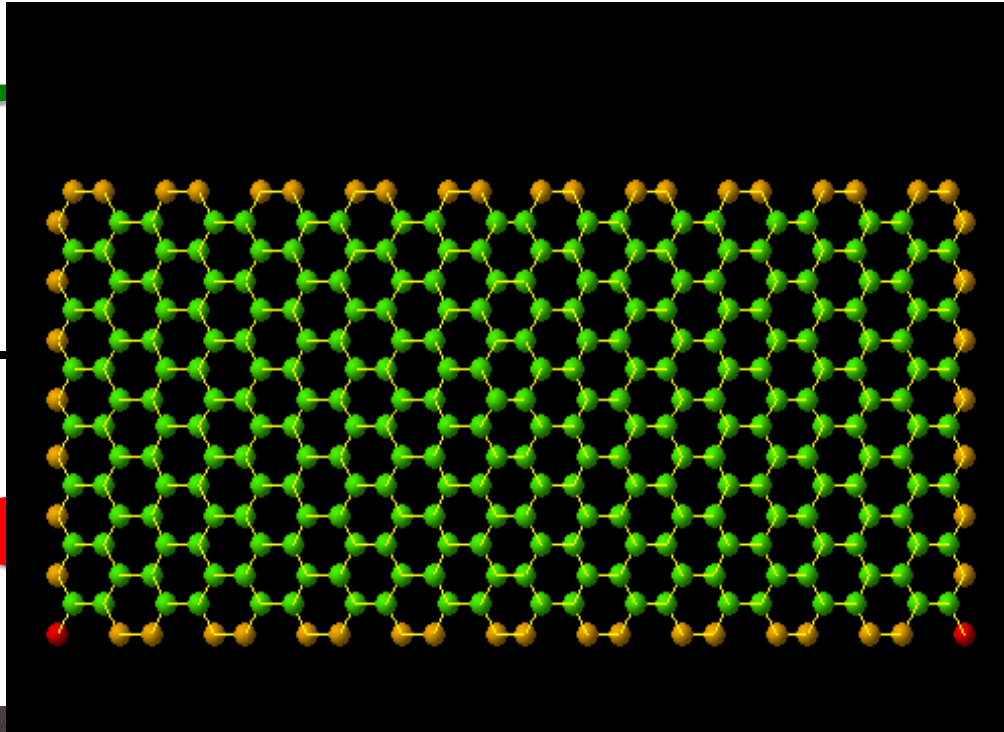


C₉₂₀

フラー

から?

C₆₀



C₅₀₀ : 直径 0.7 nm、長さ 6.1 nm

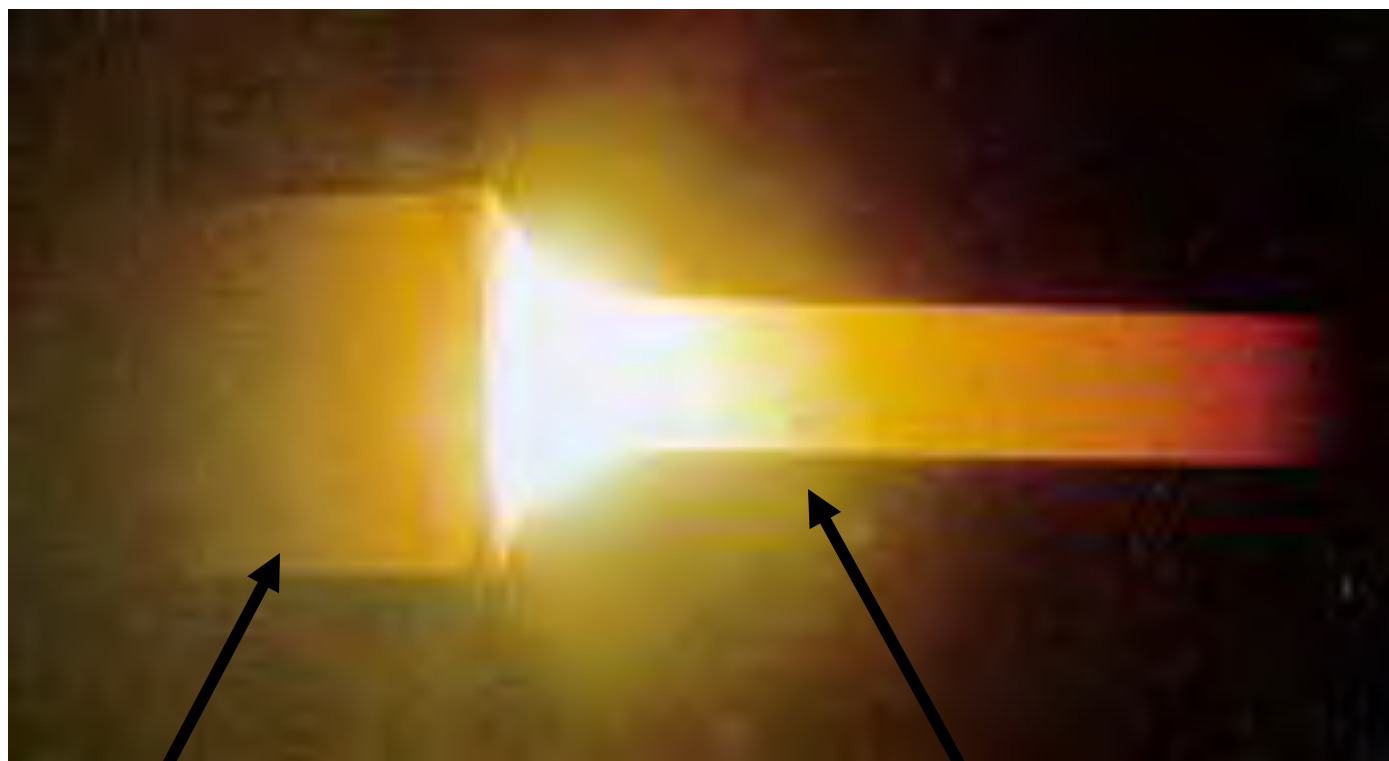
1991年6月、名城大学、名古屋

安藤 義則(名城大学理工学部)



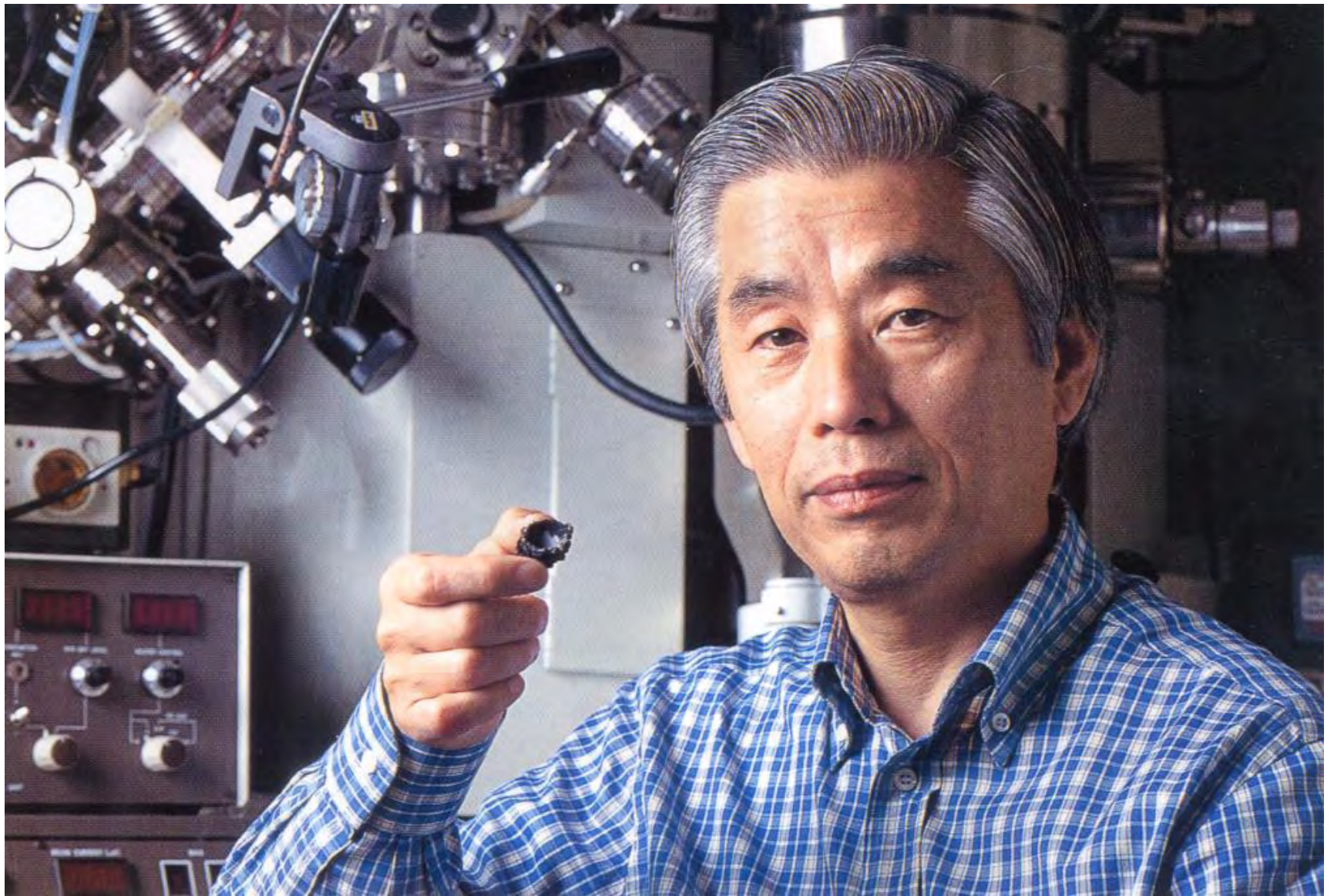
飯島 澄男(NEC基礎研究所)

直流アーク放電によるCNTの合成



負極

正極



Sumio Iijima (飯島澄男)

Helical microtubules of graphitic carbon

Sumio Iijima

NEC Corporation, Fundamental Research Laboratories,
34 Miyukigakka, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

THE synthesis of molecular carbon structures in the form of C_{60} and other fullerenes¹ has stimulated intense interest in the structures accessible to graphitic carbon sheets. Here I report the preparation of a new type of finite carbon structure consisting of needle-like tubes. Produced using an arc-discharge evaporation method similar to that used for fullerene synthesis, the needles grow at the negative end of the electrode used for the arc discharge. Electron microscopy reveals that each needle comprises coaxial tubes of graphitic sheets, ranging in number from 2 up to about 50. On each tube the carbon-atom hexagons are arranged in a helical fashion about the needle axis. The helical pitch varies from needle to needle and from tube to tube within a single needle. It appears that this helical structure may aid the growth process. The formation of these needles, ranging from a few to a few tens of nanometres in diameter, suggests that engineering of carbon structures should be possible on scales considerably greater than those relevant to the fullerenes.

Solids of elemental carbon in the sp^2 bonding state can form a variety of graphitic structures. Graphite filaments can be produced, for instance, when amorphous carbon filaments formed by thermal decomposition of hydrocarbon species are subsequently graphitized by heat treatment^{2,3}. Graphite filaments can also grow directly from the vapour-phase deposition of carbon^{4,5}, which also produces soot and other novel structures such as the C_{60} molecule⁶⁻⁸.

Graphitic carbon needles, ranging from 4 to 30 nm in diameter and up to 1 μm in length, were grown on the negative end of the carbon electrode used in the d.c. arc-discharge evaporation of carbon in an argon-filled vessel (100 torr). The gas pressure was much lower than that reported for the production of thicker

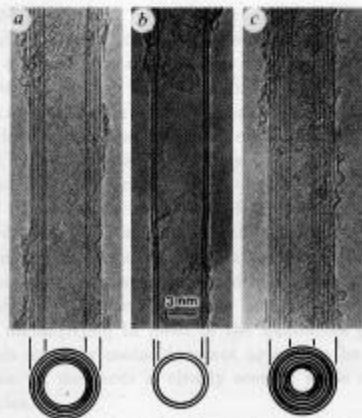


FIG. 1 Electron micrographs of microtubules of graphitic carbon. Parallel dark lines correspond to the (002) lattice images of graphite. A cross-section of each tube is illustrated. a, Tube consisting of five graphitic sheets, diameter 6.7 nm. b, Two-sheet tube, diameter 5.5 nm. c, Seven-sheet tube, diameter 6.5 nm, which has the smallest hollow diameter (2.2 nm).

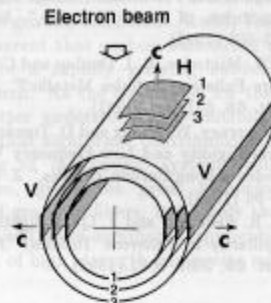


FIG. 2 Cinographic view of a possible structural model for a graphitic tube. Each cylinder represents a coaxial closed layer of carbon hexagons. The meaning of the labels V and H is explained in the text.

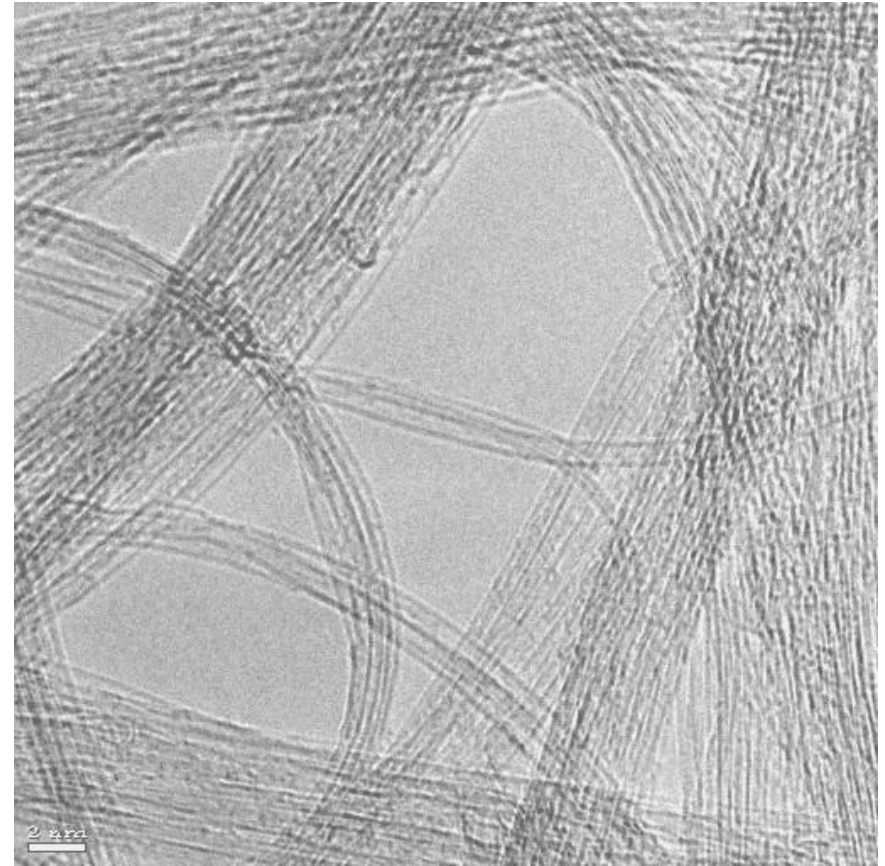
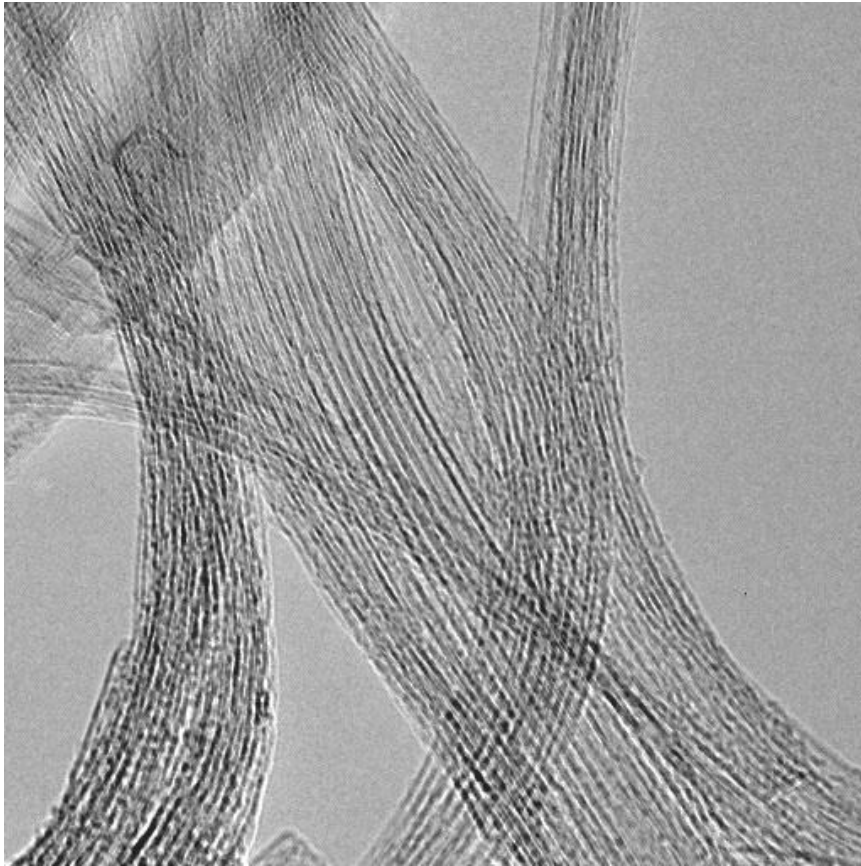
graphite filaments⁵. The apparatus is very similar to that used for mass production of C_{60} (ref. 9). The needles seem to grow plentifully on only certain regions of the electrode. The electrode on which carbon was deposited also contained polyhedral particles with spherical shell structures, which were 5-20 nm in diameter. The needle structures were examined by transmission electron microscopy (electron energies of 200 keV).

High-resolution electron micrographs of typical needles show {002} lattice images of the graphite structure along the needle axes (Fig. 1). The appearance of the same number of lattice fringes from both sides of a needle suggests that it has a seamless and tubular structure. The thinnest needle, consisting of only two carbon-hexagon sheets (Fig. 1b), has an outer and inner tube, separated by a distance of 0.34 nm, which are 5.5 nm and 4.8 nm in diameter. The separation matches that in bulk graphite. Wall thicknesses of the tubules range from 2 to 50 sheets, but thicker tubules tend to be polygonized. This low dimensionality and cylindrical structure are extremely uncommon features in inorganic crystals, although cylindrical crystals such as serpentine¹⁰ do exist naturally.

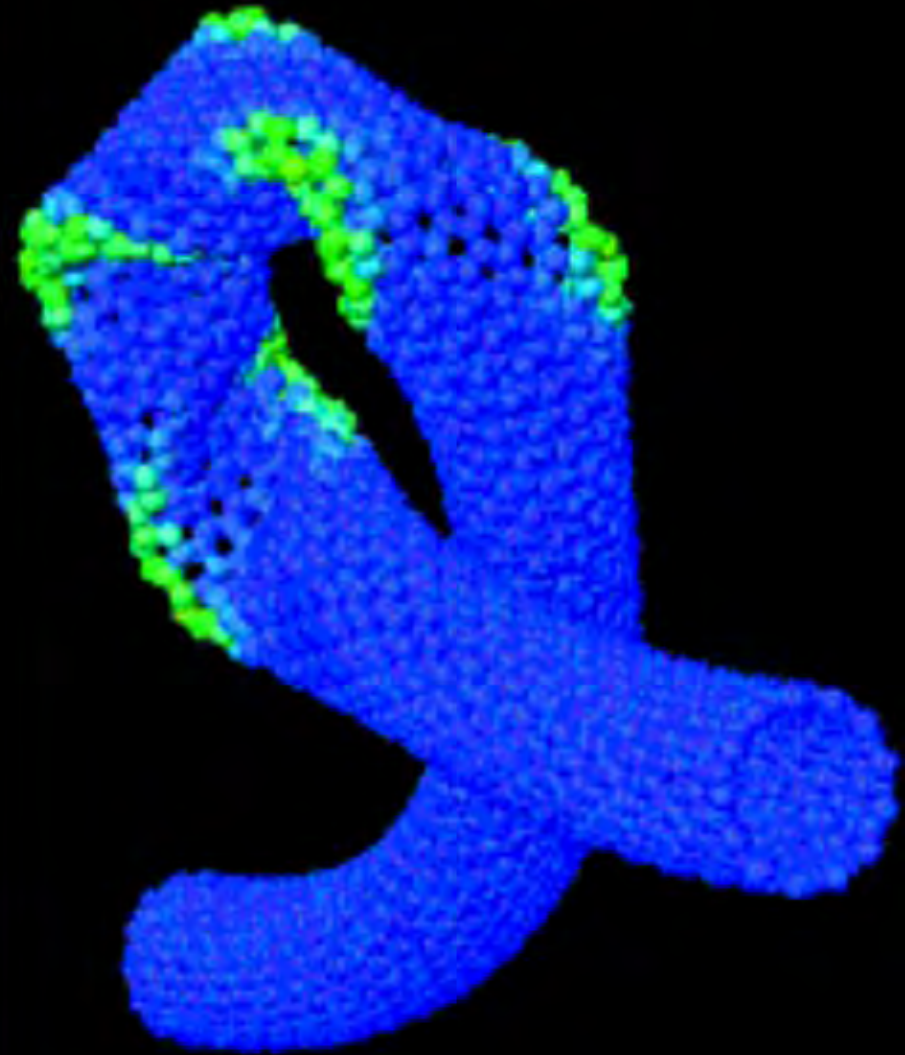
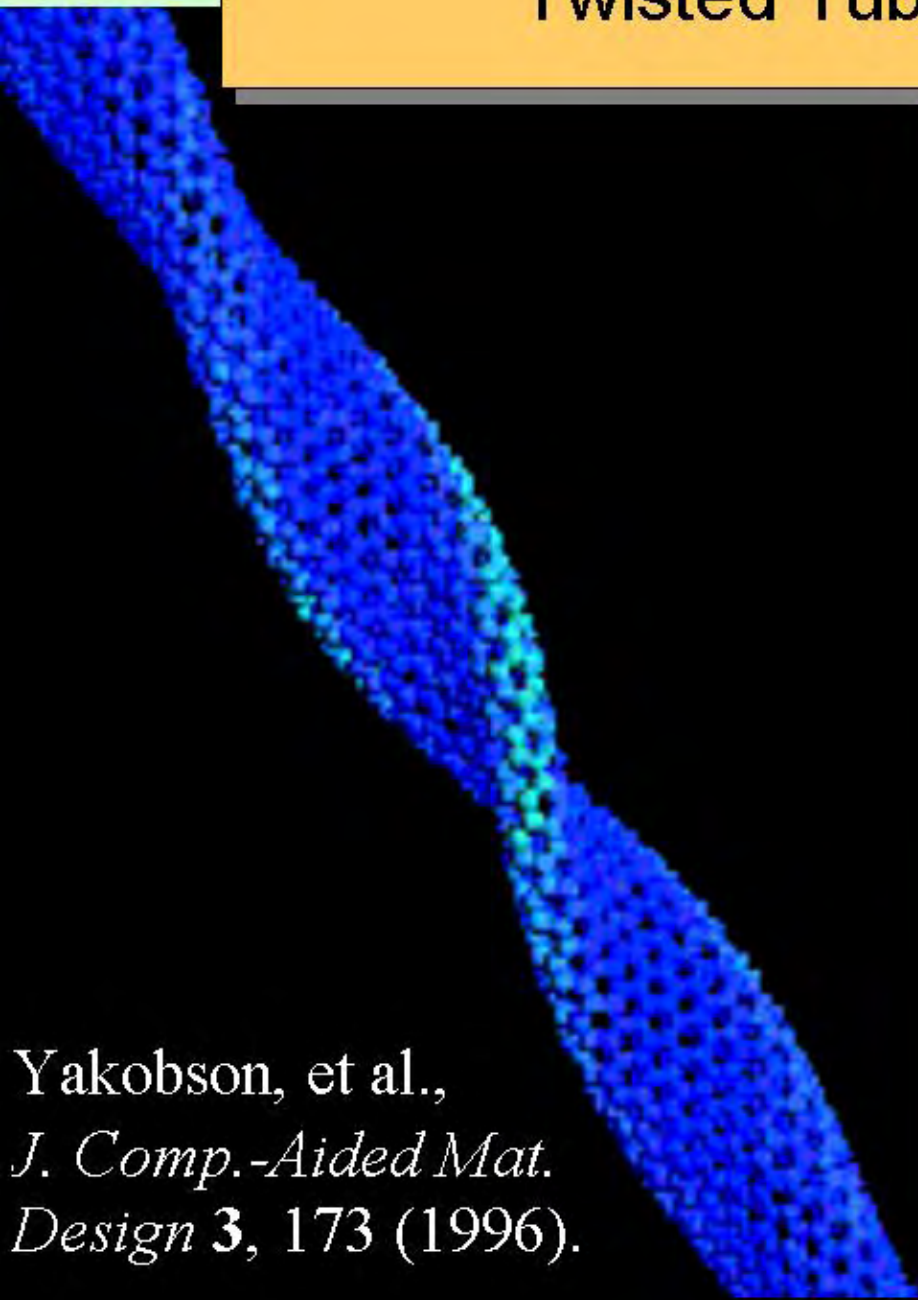
The smallest tube observed was 2.2 nm in diameter and was the innermost tube in one of the needles (Fig. 1c). The diameter corresponds roughly to a ring of 30 carbon hexagons; this small diameter imposes strain on the planar bonds of the hexagons and this causes two neighbouring hexagons on the ring to meet at an angle of $\sim 6^\circ$. For the C_{60} molecule, the bending angle is 42° , which is much larger than for these tubes. The C-C bond energy calculated for the C_{60} molecule is smaller than that of graphite¹¹, suggesting that bending the hexagons in C_{60} lowers the bond energy. A similar effect of the bending on bonding energies might apply here. One of the key questions about the tubular structure is how the ABAB hexagonal stacking sequence found in graphite is relaxed, as it is impossible to retain this ideal graphite structure for coaxial tubes. There should be a shortage of 8-9 hexagons in going from one circumference of a tube to that inside it. Disordered graphitic stacking is known as turbostratic stacking, but no detailed accounts of stacking patterns in such structures have been reported. The argument here is also applicable to the spherical graphitic particles mentioned earlier⁷.

All the electron diffraction patterns (Fig. 3) taken from individual carbon needles are indexed by the $\{h0l\}$ and $\{hk0\}$ spots for hexagonal symmetry. The patterns always show strong $\{00l\}$ spots when the needle axes are perpendicular to the $[001]$ axis, supporting the idea of a coaxial arrangement of graphitic tubes. As shown in Fig. 2, two side portions of each tube (indicated by shading and labelled 'V') will be oriented so that the

単層カーボンナノチューブの 電子顕微鏡像



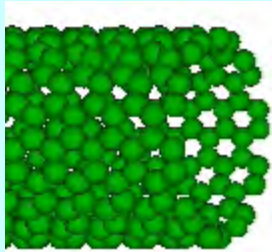
Twisted Tubes Don't Break



Yakobson, et al.,
*J. Comp.-Aided Mat.
Design* **3**, 173 (1996).

カーボンナノチューブはちぎれるか？

Stretching CNT... Armchair (10,10)



simulation : 2200 atoms, 13.3nm, 240 processor × 12hours



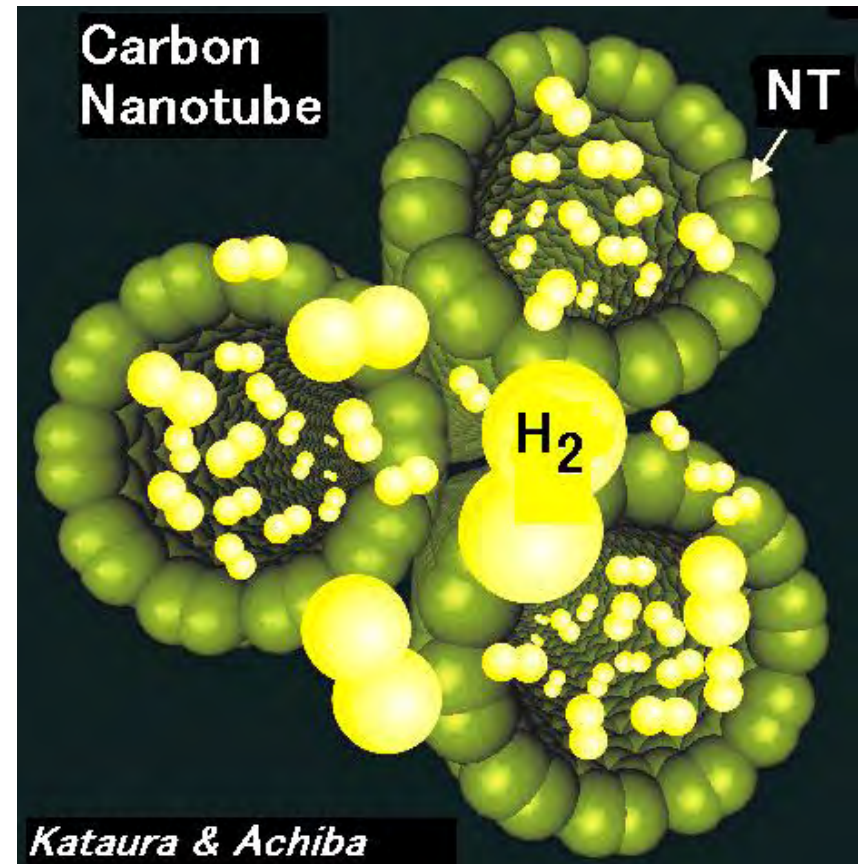
**地球シミュ
レーター**

水素吸蔵

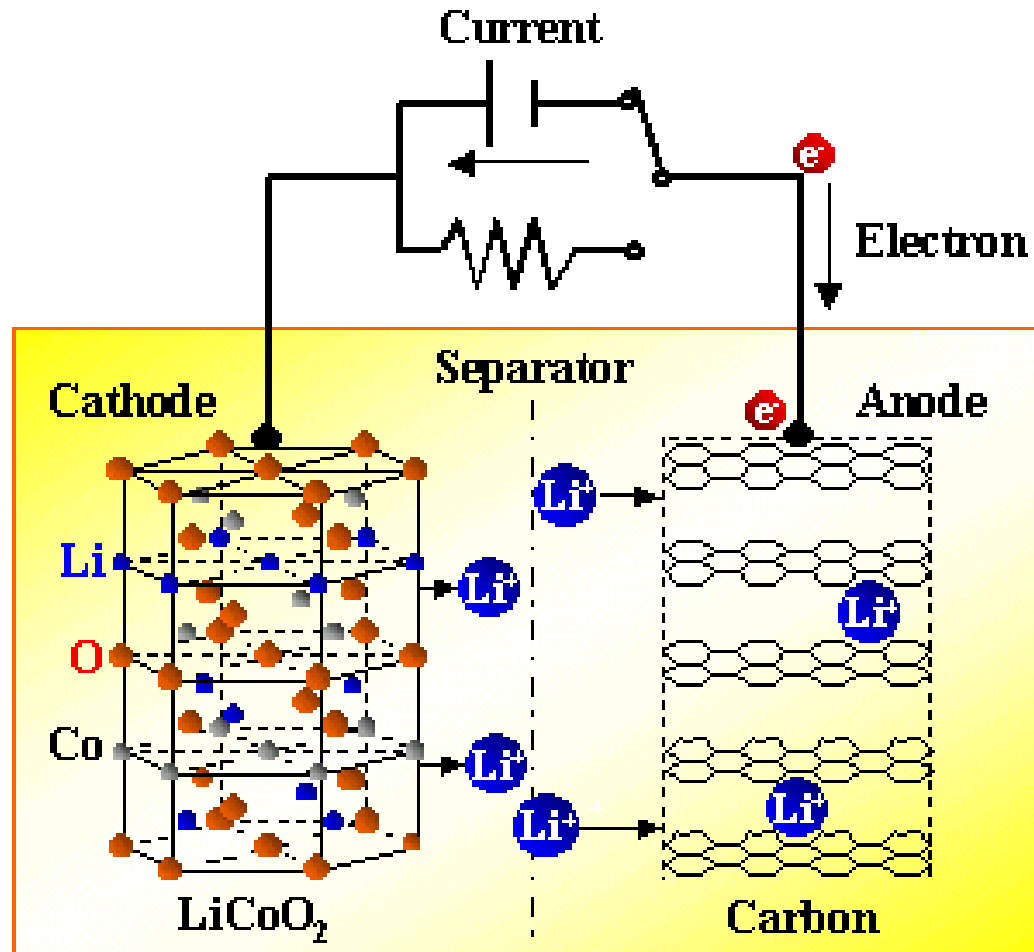
6.5w% 62kg H_2 /m³ desired.



HONDA FCX-V4
Pure H_2 Fuel Cell



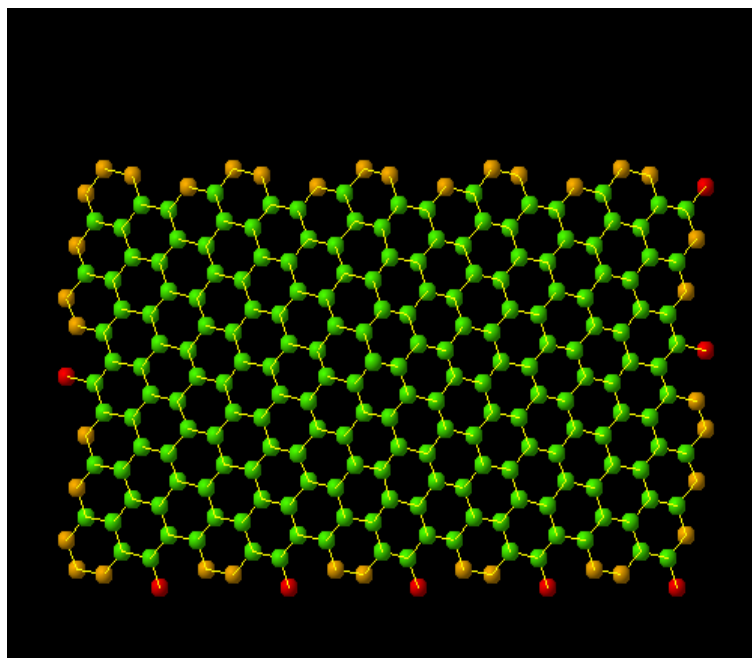
カーボンナノチューブ Li 2次イオン電池



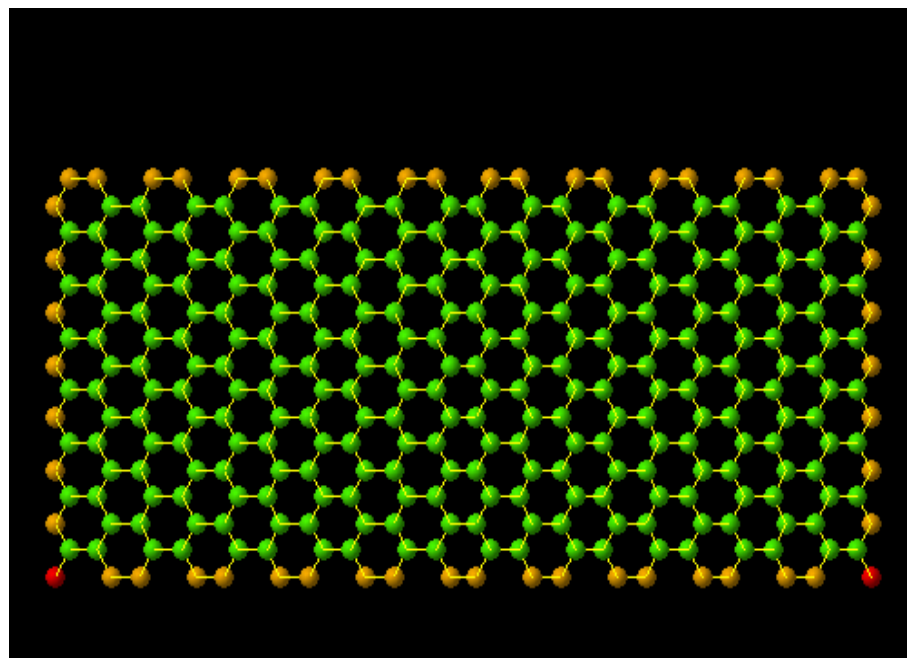
カーボンナノチューブを作ろう

S. Maruyama: Visualization Program for MD

<http://www.photon.t.u-tokyo.ac.jp/~maruyama/pvwin/pvwin-j.html>

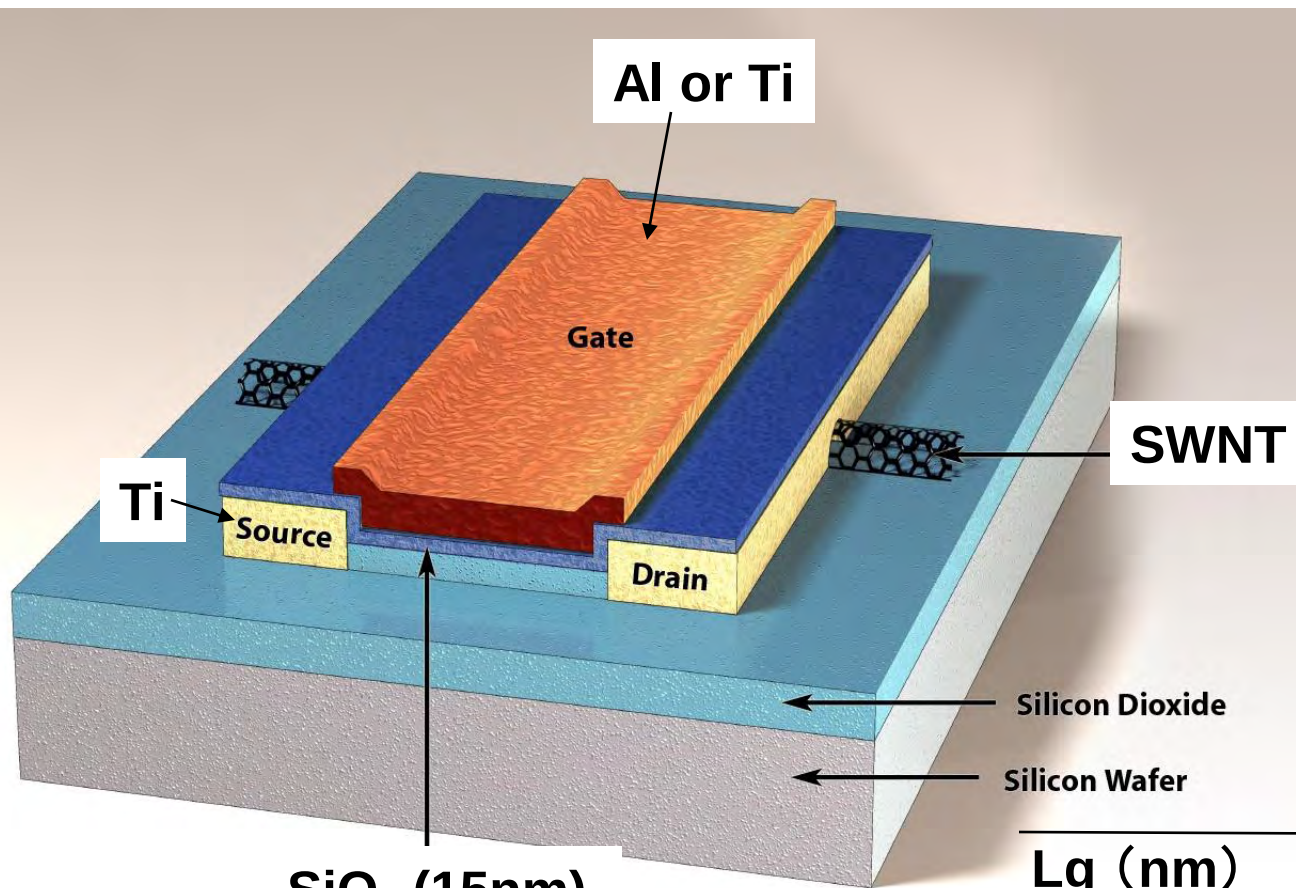


**(10,5) キラル型
ナノチューブ**



**(10,10) アームチェア型
ナノチューブ**

IBMのカーボンナノチューブ・トランジスタ



SiO₂ (15nm)

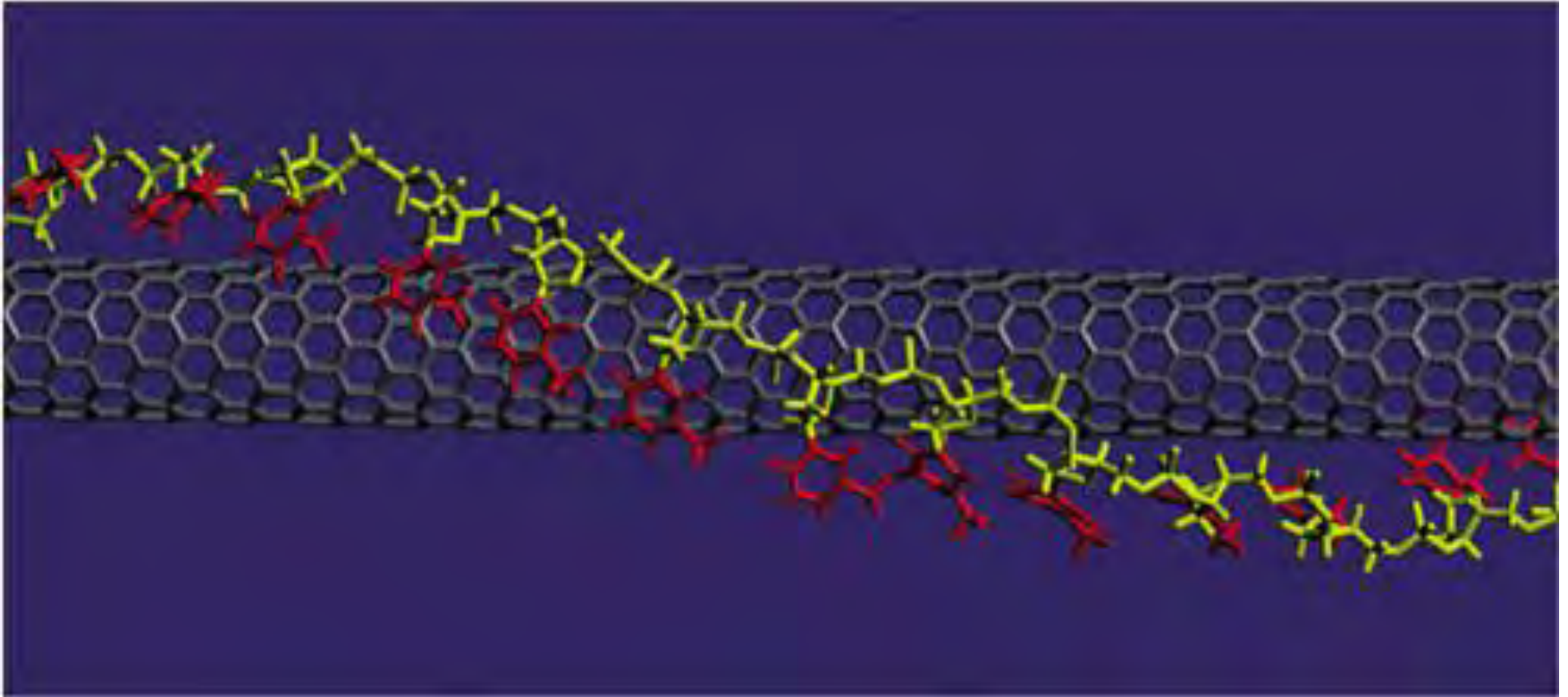
S. J. Wind, et al.,
APL 80(20), 3817 (2002)

SWNT

相互コンタクト抵抗が
Si-MOSFETの2倍以上

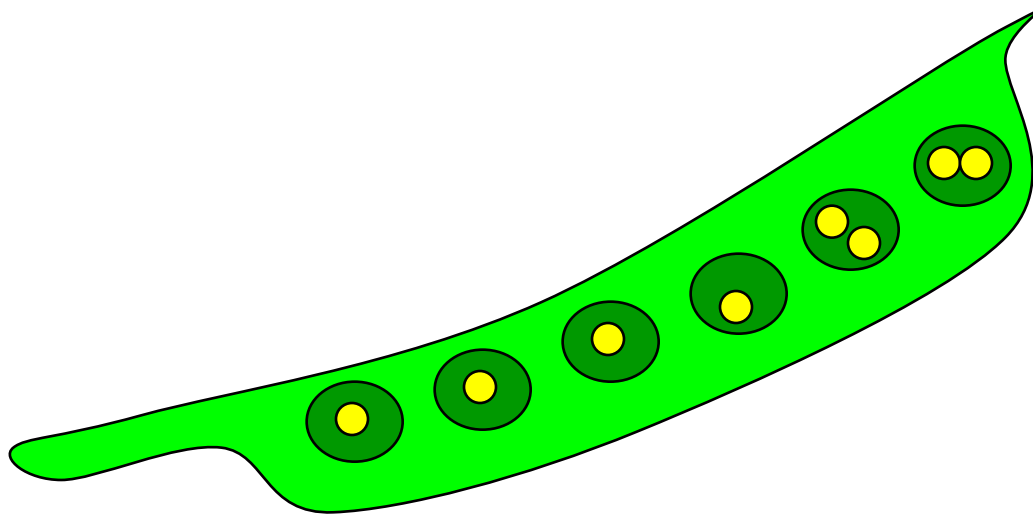
	CNT-FET	Si-pMOS
L _g (nm)	260	15
t _{ox} (nm)	15	1.4
V _{th} (V)	-0.5	-0.1
I _{on} (mA/mm)	2100	265
g _m (mS/mm)	2321	975

DNAが巻き付いた水溶性のカーボンナノチューブ



**M.Zheng et al. *Nature Materials*
(2003)**

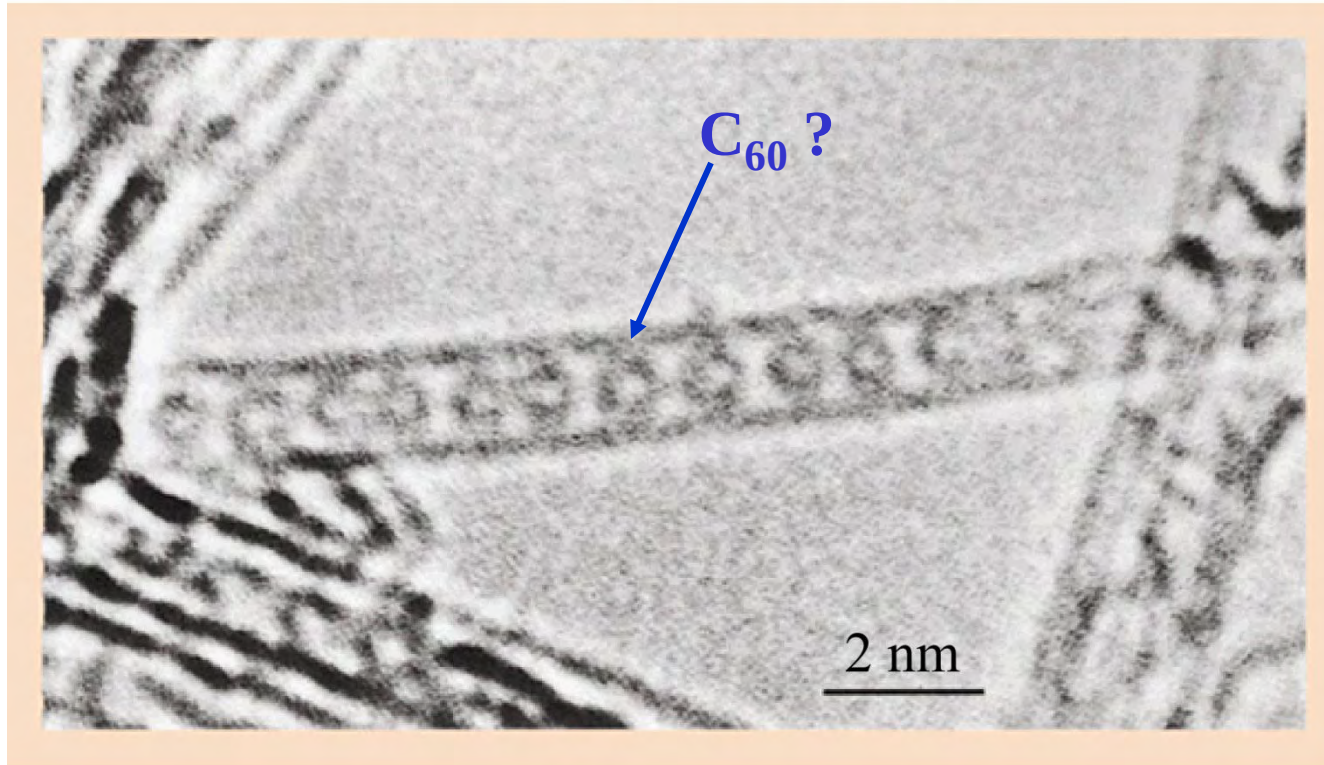
“Peapod” 構造



さやえんどう

フラーレンを内包したナノチューブ・ピーポッドの発見

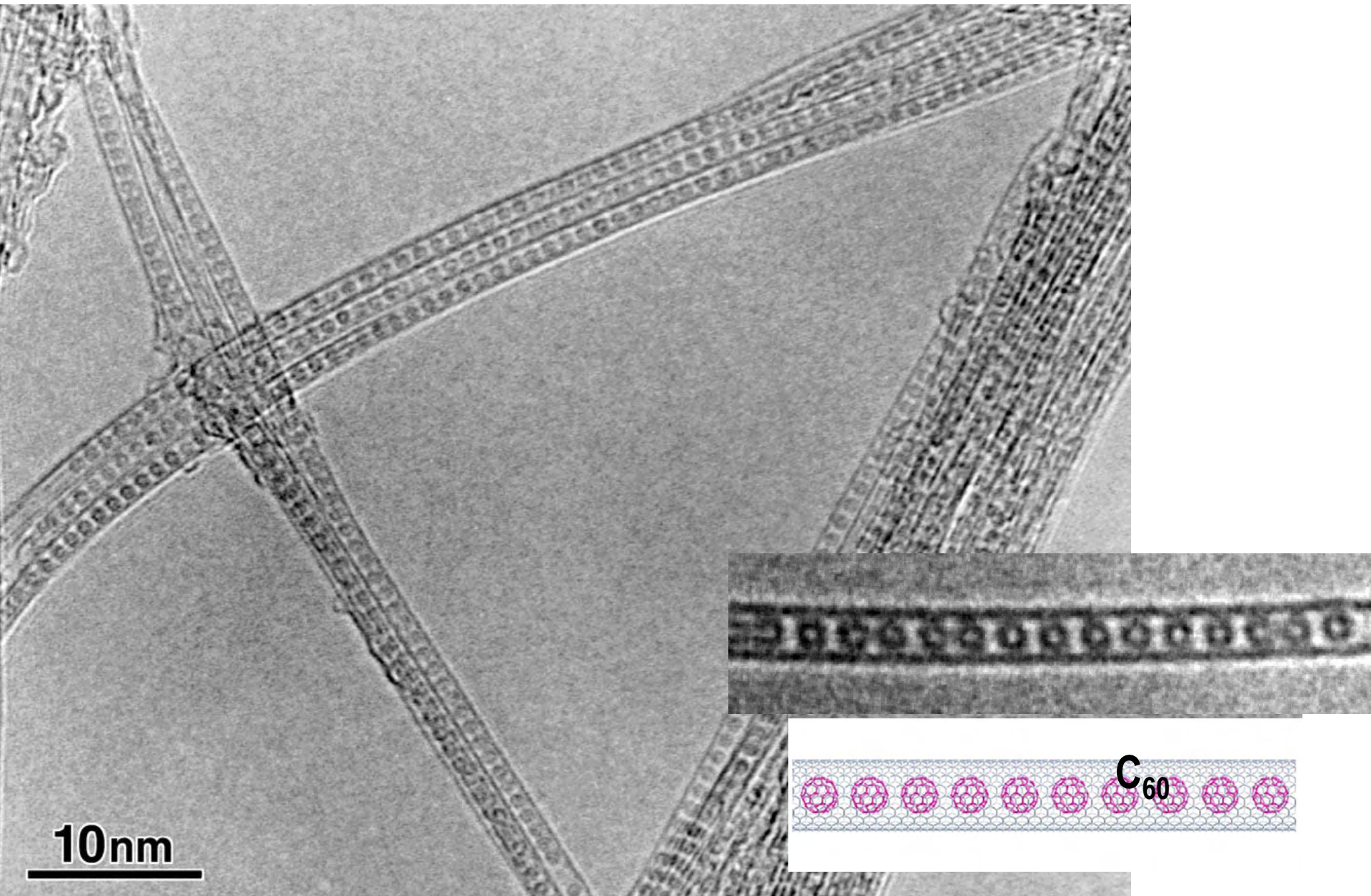
HRTEM image of $(C_{60})_n@SWNTs$

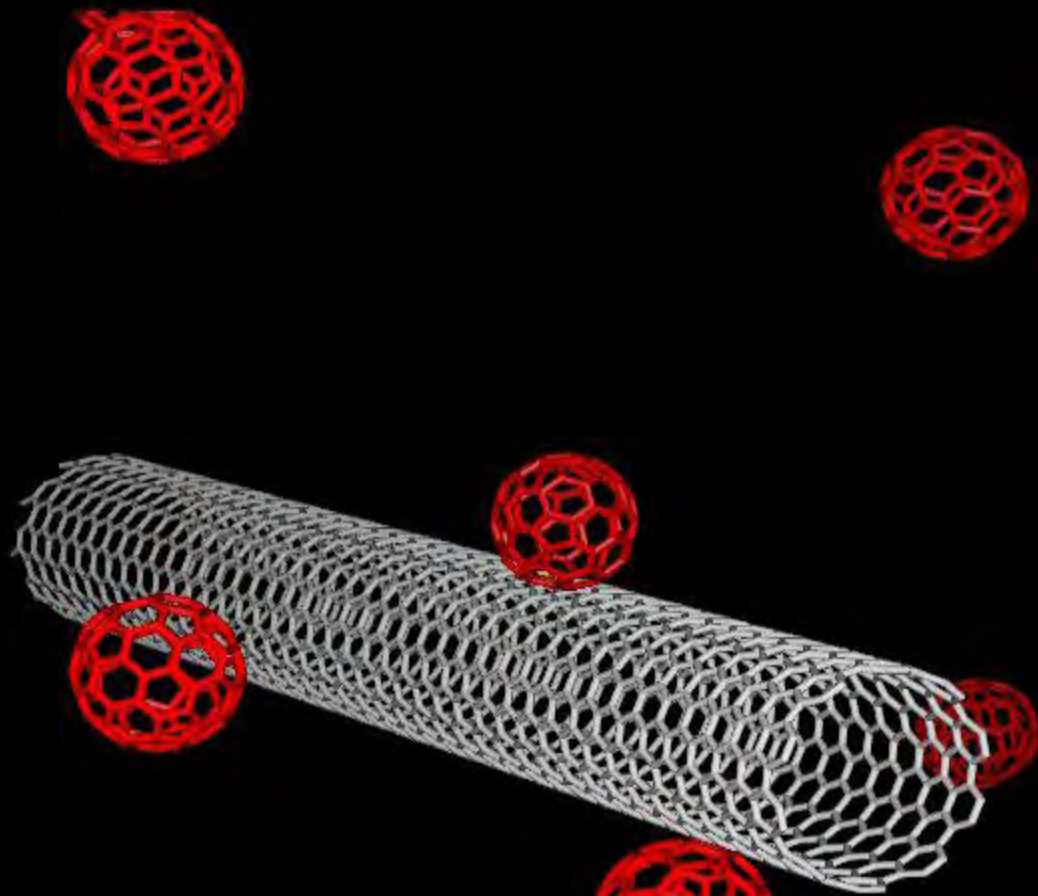


Smith et al., *Nature*, 396, 323 (1998).

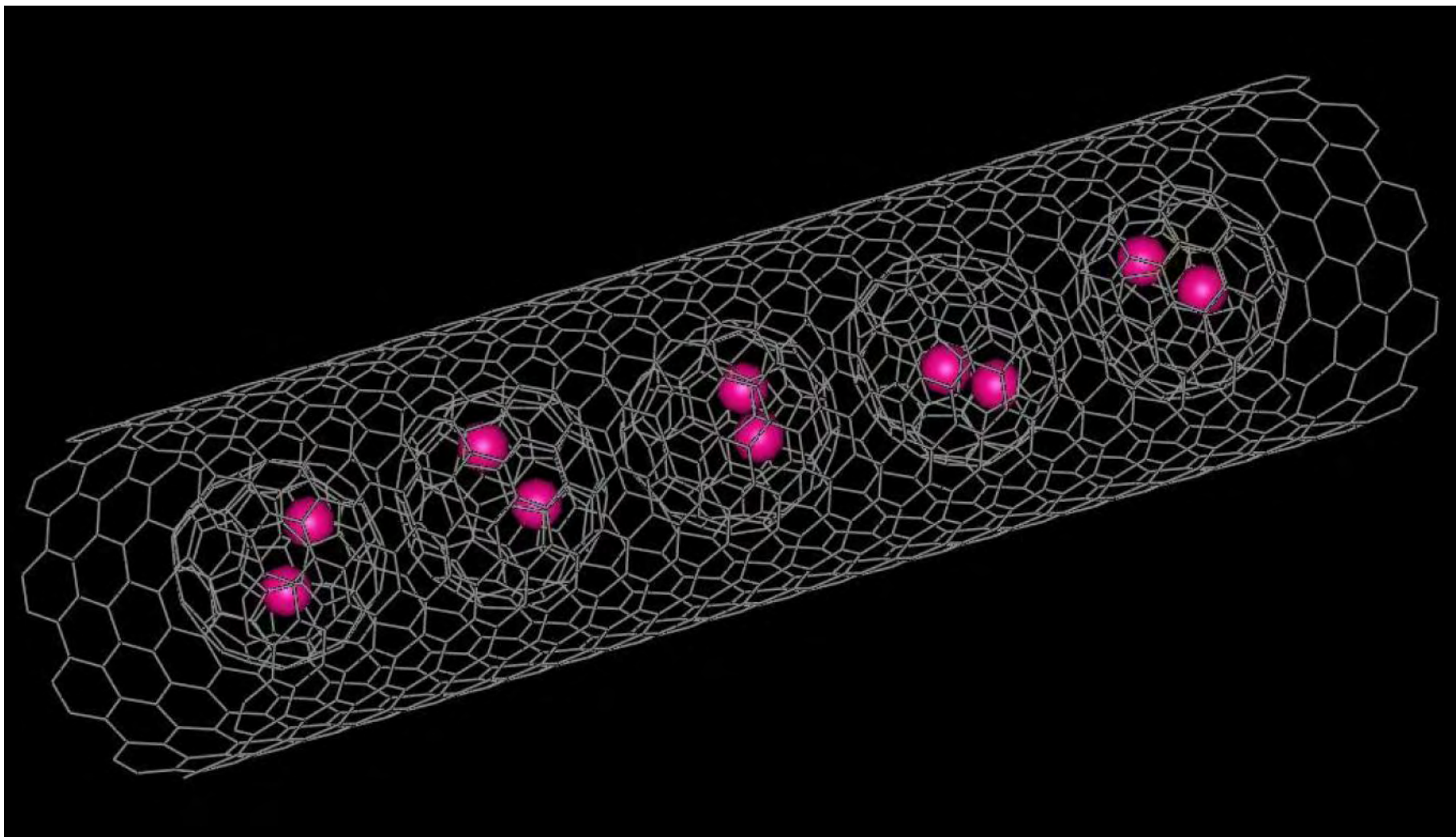
- ペンシルバニア大のルッジらが硝酸処理した単層ナノチューブをTEM観測中に偶然発見
- 都立大の片浦ら、名城大(坂東ら)による C_{60} ピーポッドの合成 (2000)
- 名大・篠原グループと名城大・飯島グループによる $Gd@C_{82}$ ピーポッドの合成 (2000)

C₆₀ がカーボンナノチューブに入った！！

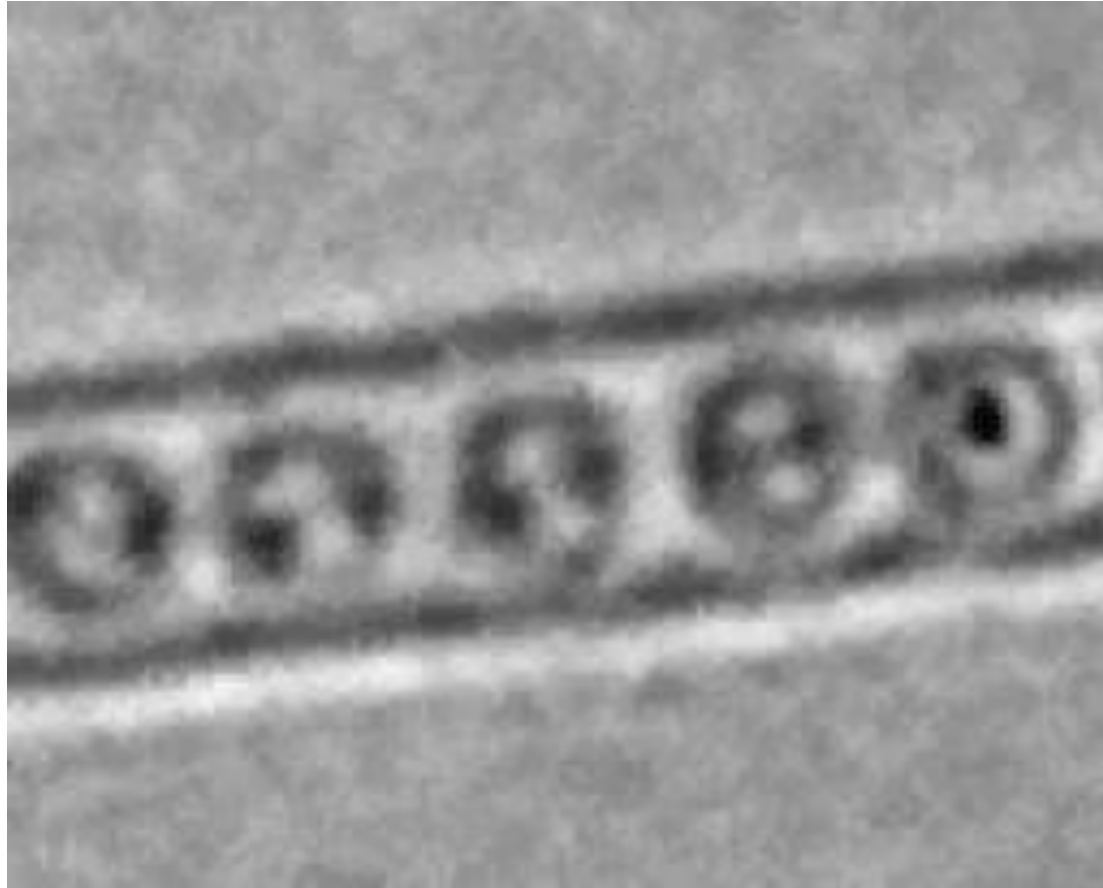




金属内包フラーレン・ピーポット: $(\text{Tb}_{12}\text{C}_{92})\text{@SWNT}$

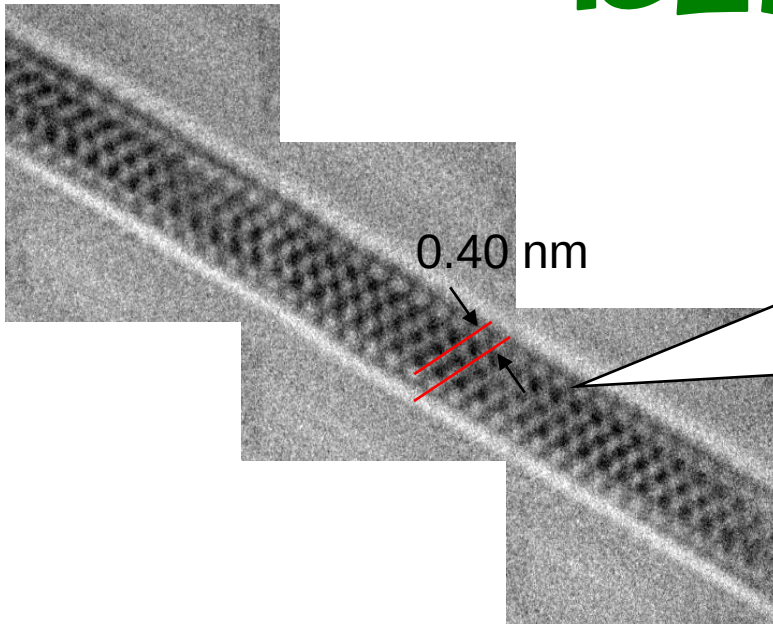


Tb 原子がフラーレンから飛び出す瞬間



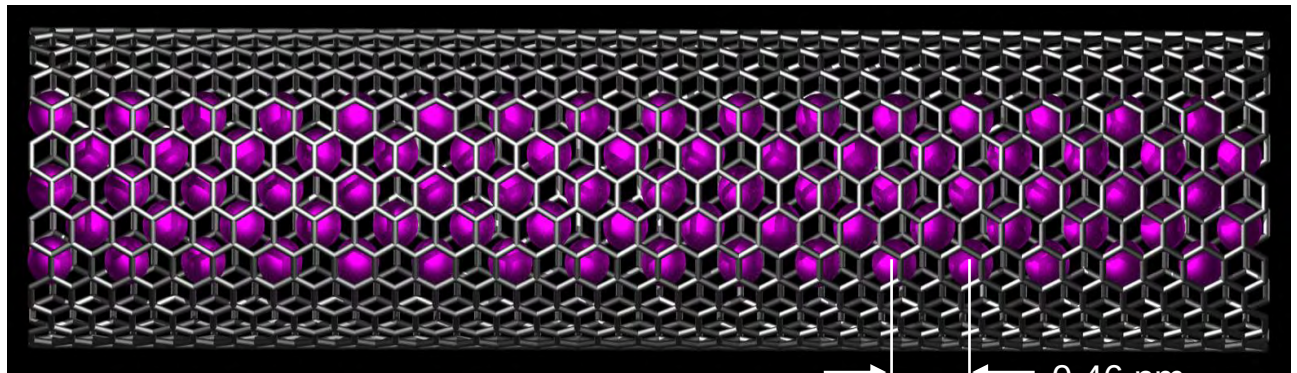
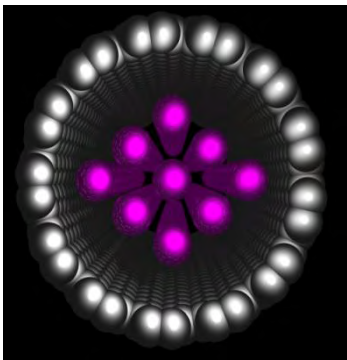
K.Suenaga et al. *Nano Letters* (2005).

金属原子ナノワイヤーをナノチューブ内に合成!!



- ◆CNT直径
1.7 nm
- ◆単位胞サイズ(軸方向)
0.46 nm
- ◆最近接原子間距離
0.40 nm

Simulated
Annealing法



アーサー・C・クラーク

伊藤典夫=訳

3001年 終局への旅



3001

THE FINAL ODYSSEY
ARTHUR C. CLARKE

早川書房

American Scientist

JULY-AUGUST 1997

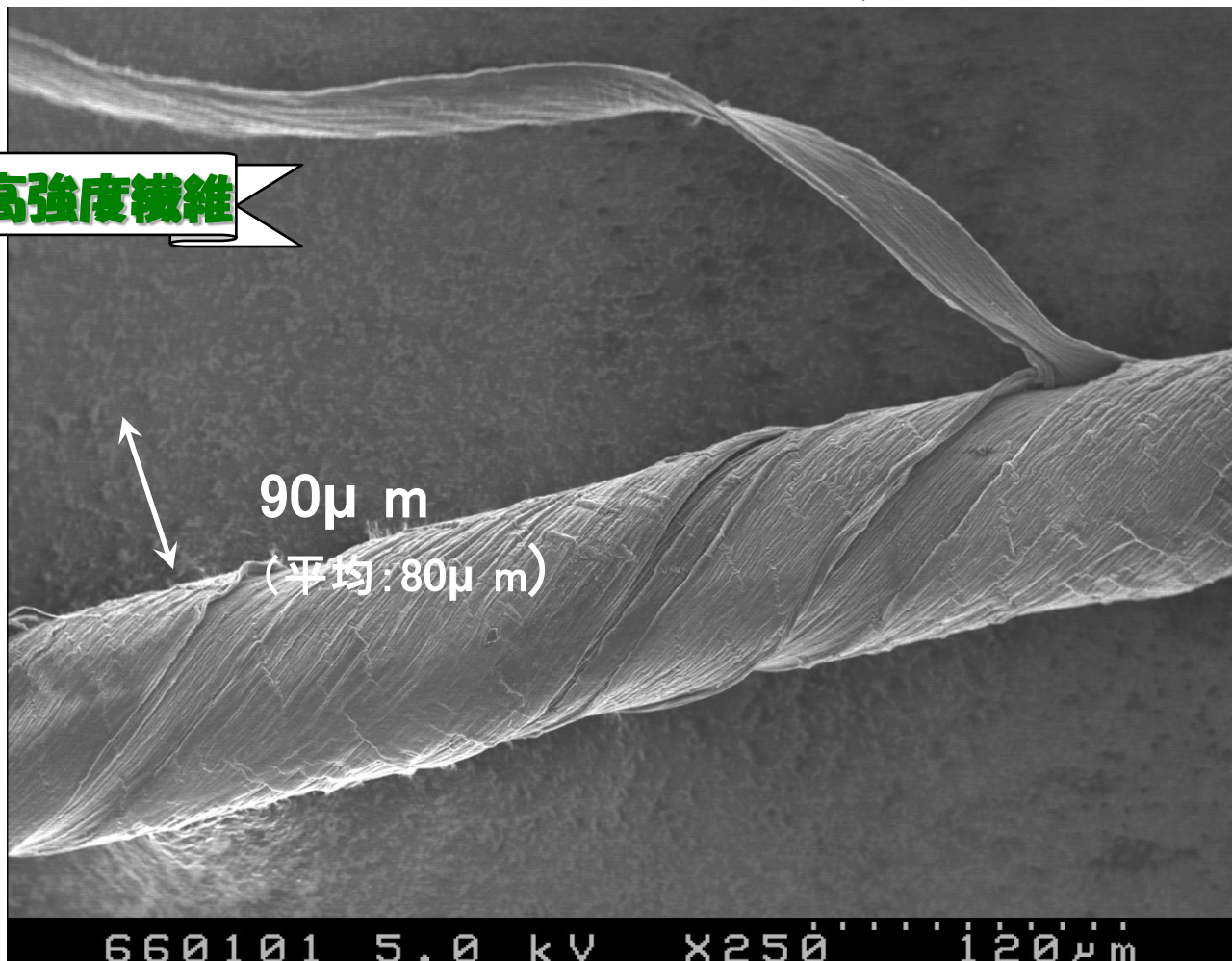
THE MAGAZINE OF SIGMA XI, THE SCIENTIFIC RESEARCH SOCIETY



NASA

カーボンナノチューブのロール

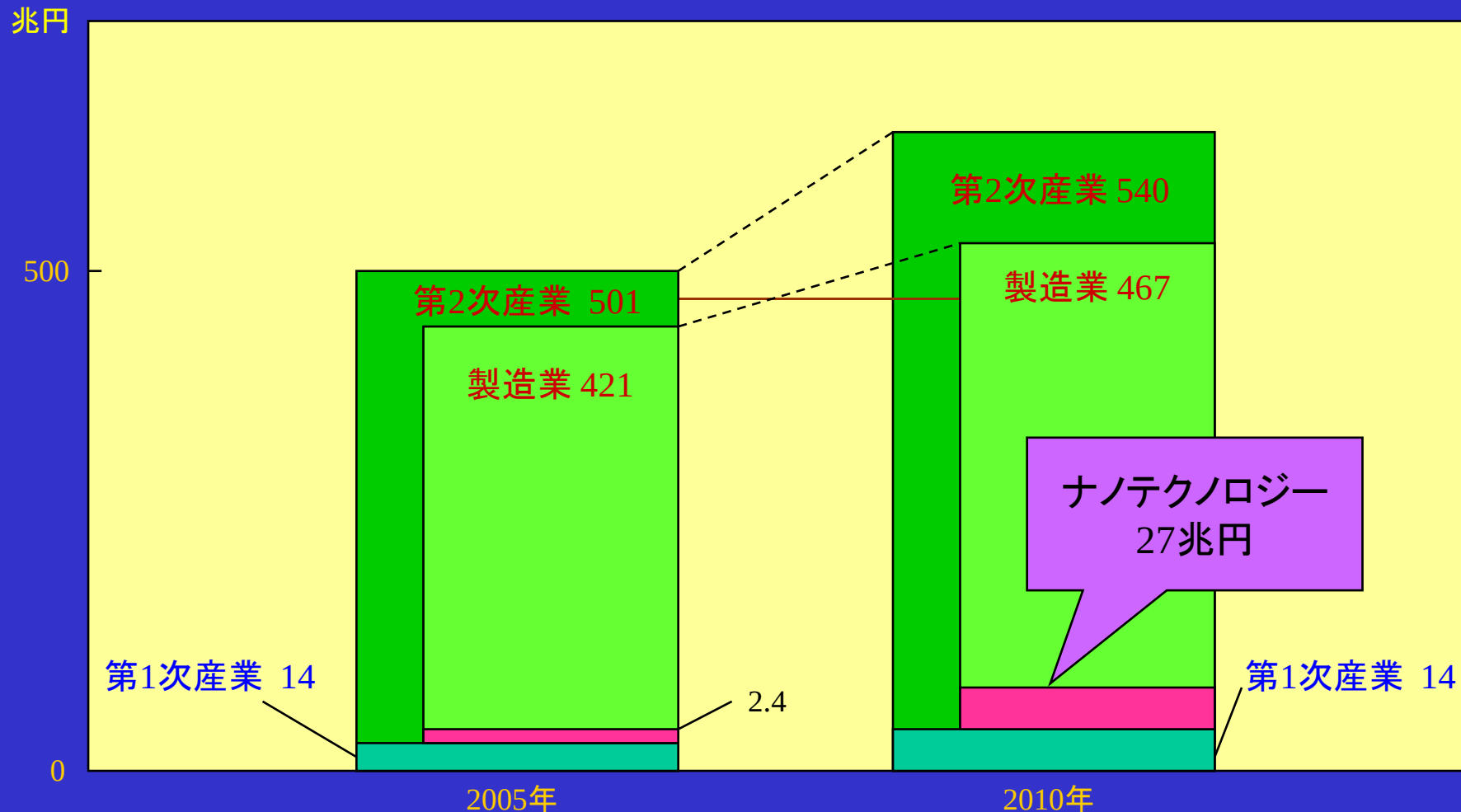
SWNT高強度繊維



産総研 斎藤・湯村・飯島グループ

わが国の産業構造の進化とナノテクノロジー

ナノテクノロジー関連産業は2010年に27兆円に成長、製造業の6%



新たな産業の創生

愛知県立岡崎高等学校 1年生



「SSH フログラム」

C₆₀ 分子模型と遊ぶ

日本発

ナノカーボン 革命

武末高裕

技術立国

ニッポンの逆襲が
ナノチューブで始まる

カーボン
21世紀は炭素の時代

ナノチューブとフラーレンの
研究最前線をドキュメント!!

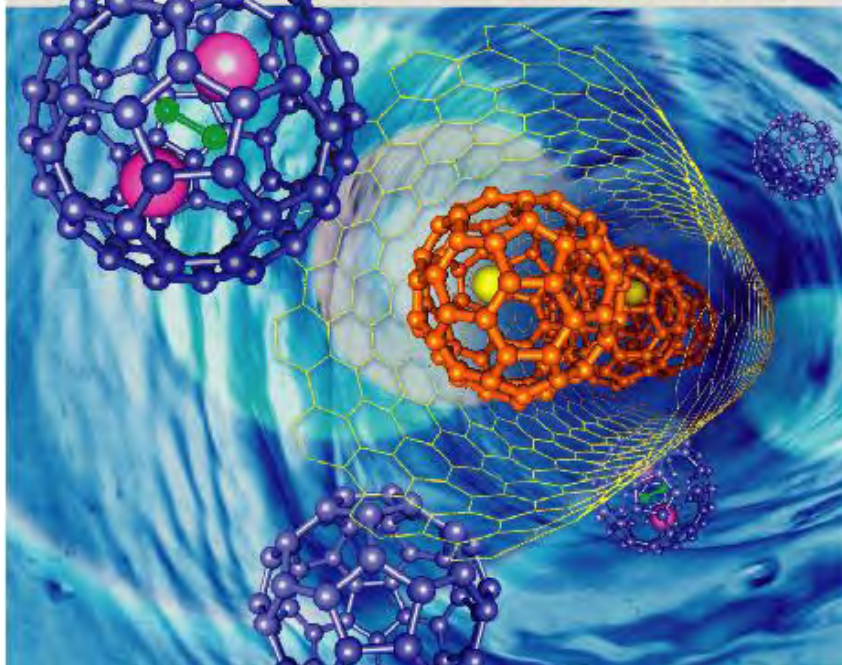
日本実業出版社 定価 本体 1500円(税別)

BLUE BACKS

ナノカーボンの 科学

セレンディピティーから始まった大発見の物語

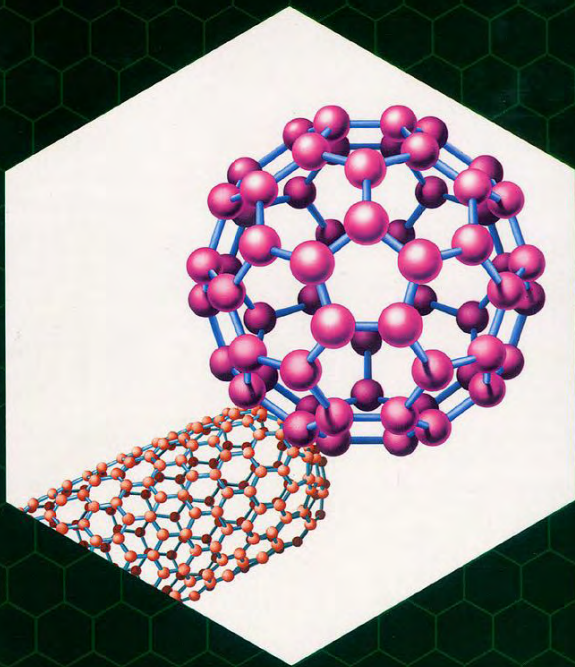
篠原久典



講談社
ブルーバックス

フラーレンの化学と物理

篠原久典・齋藤弥八 著

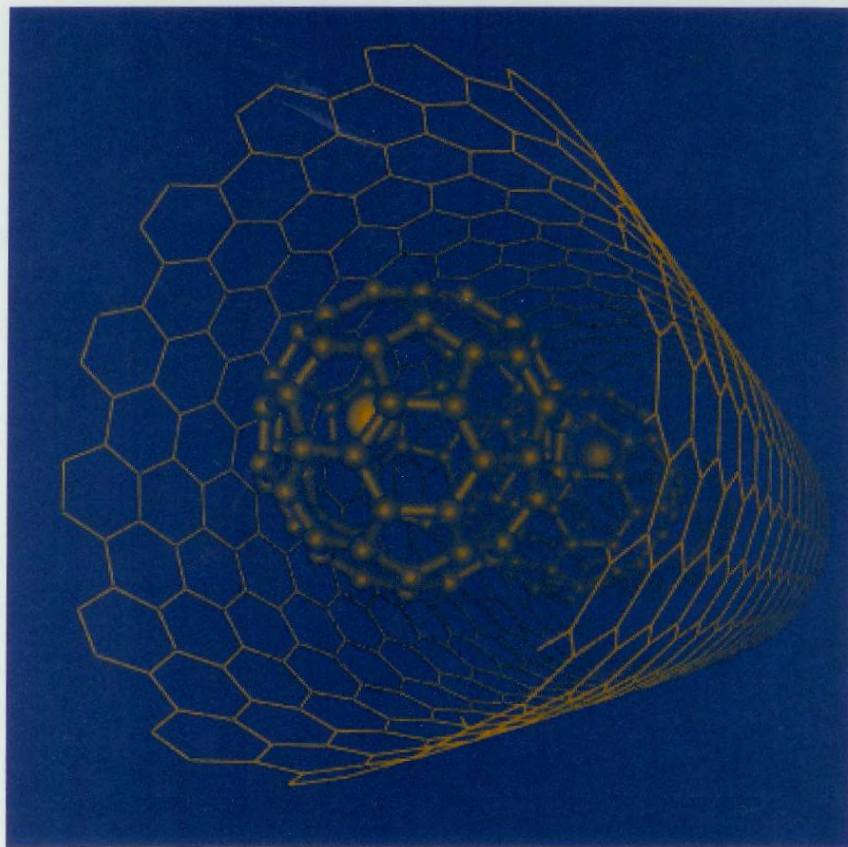


名古屋大学出版会

カーボンナノチューブの 基礎と応用

齋藤理一郎・篠原久典 [共編]

培風館



Kroto先生 & 飯島先生 in 名大

名古屋大学 レクチャー

「フラーレンとカーボンナノチューブの発見者、
大発見の喜びを語る」

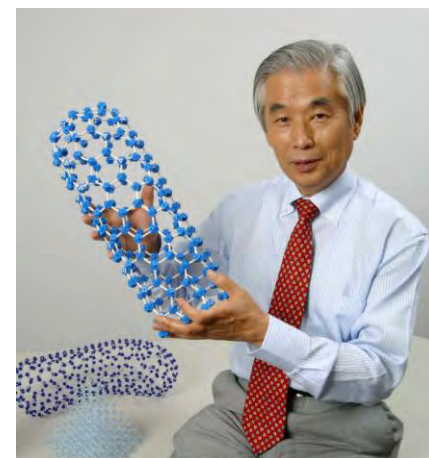
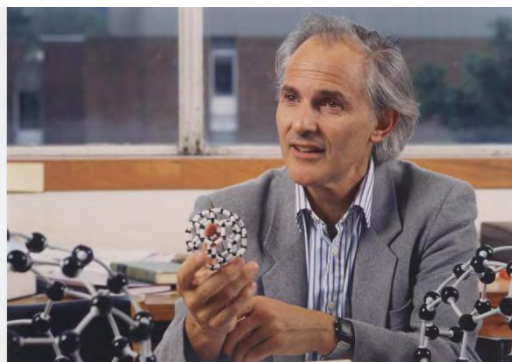
出演: ハロルド・クロトー

飯島 澄男

司会: 篠原 久典

2008年7月12日(土)

名古屋大学 豊田講堂



Thank you for your attention.

謝謝

