

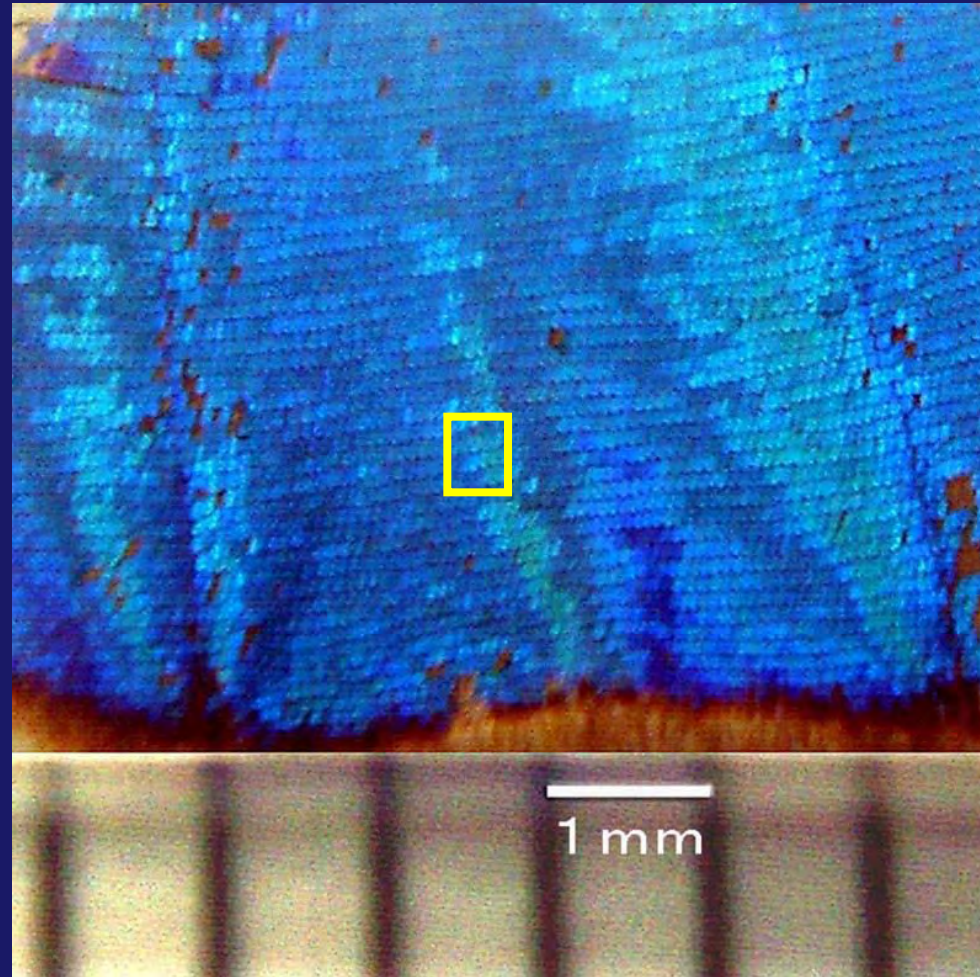
名古屋大学高等研究院全学初年度教育プログラム
「学問の面白さを知る」(第1單元「地球、環境と科学」)
経済学部カンファレンスホール 2008-4-15

科学は視ることから始まる

飯 島 澄 男

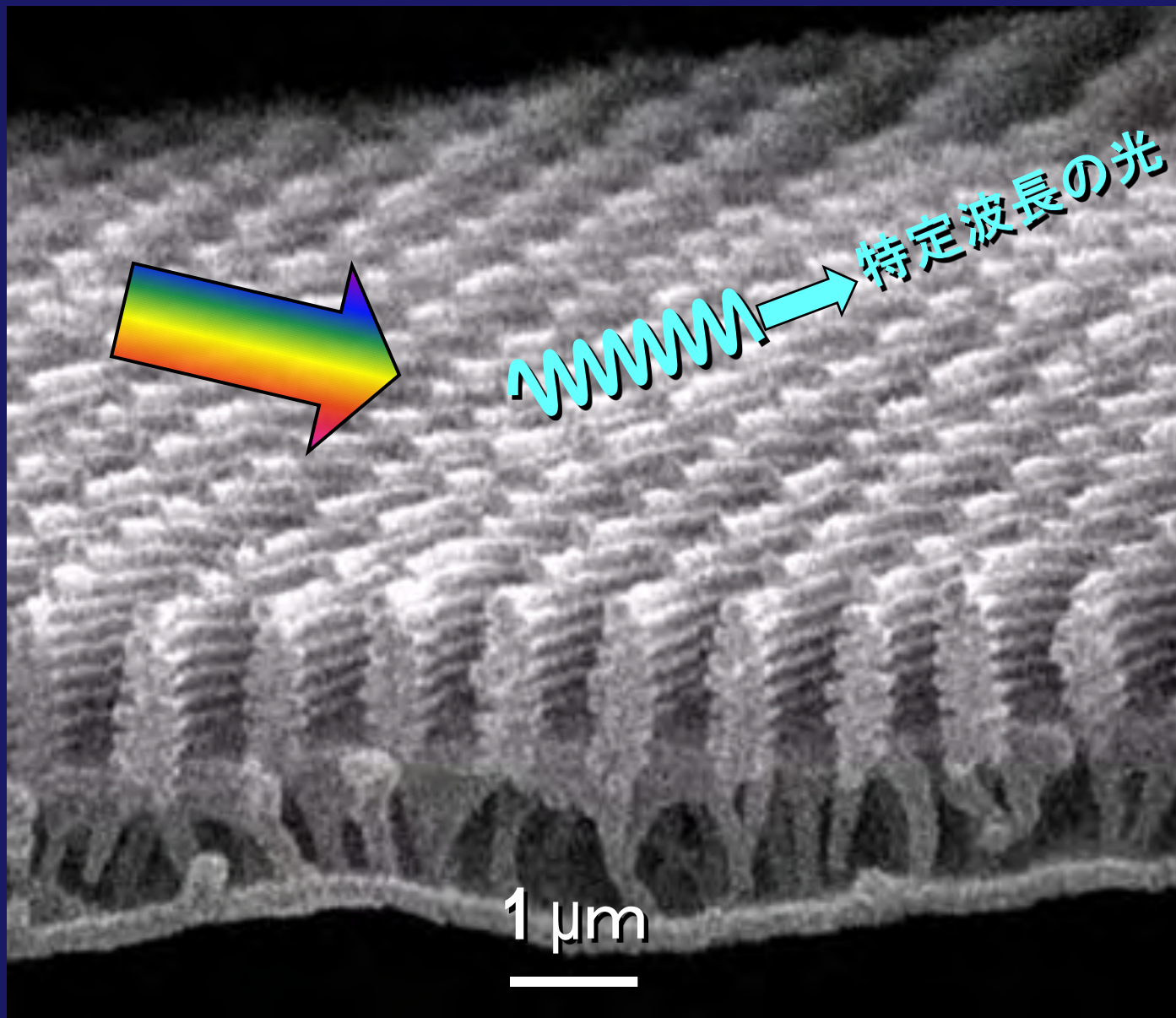
名古屋大学特別招聘教授
産総研・ナノチューブ研究センター長
NEC 特別主席研究員
名城大学理工学研究科教授

モルフォ蝶の秘密

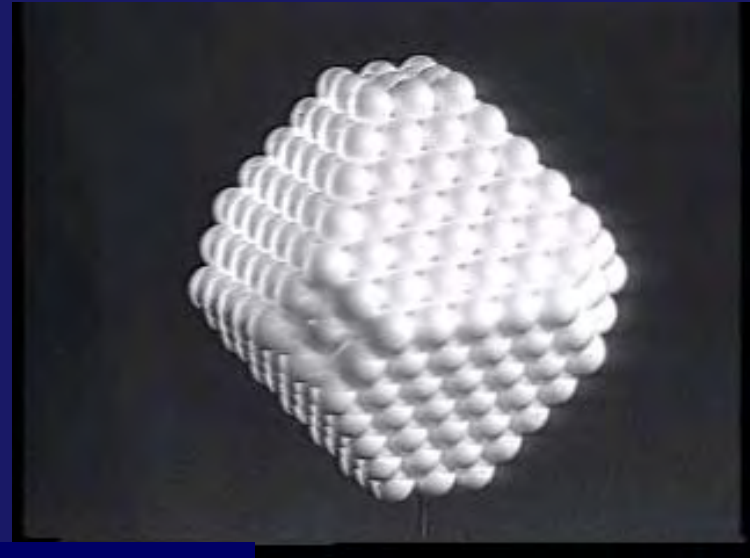
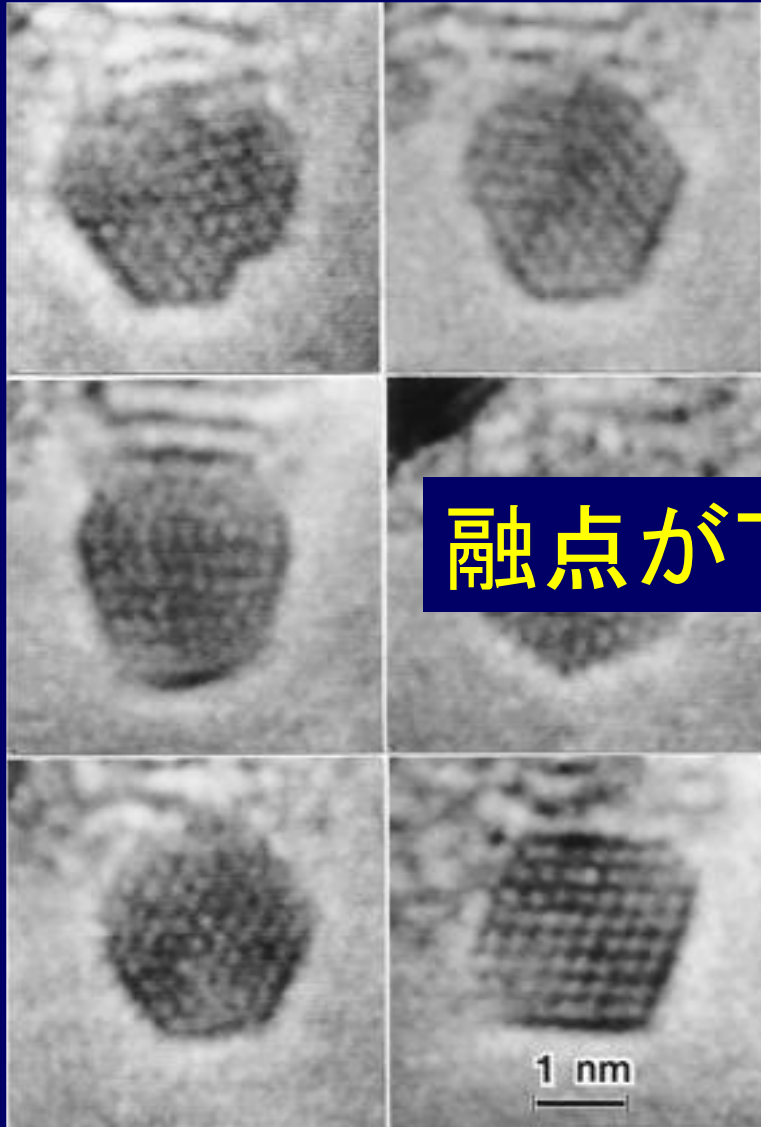


(永田文男氏提供)

鱗粉の断面を調べる

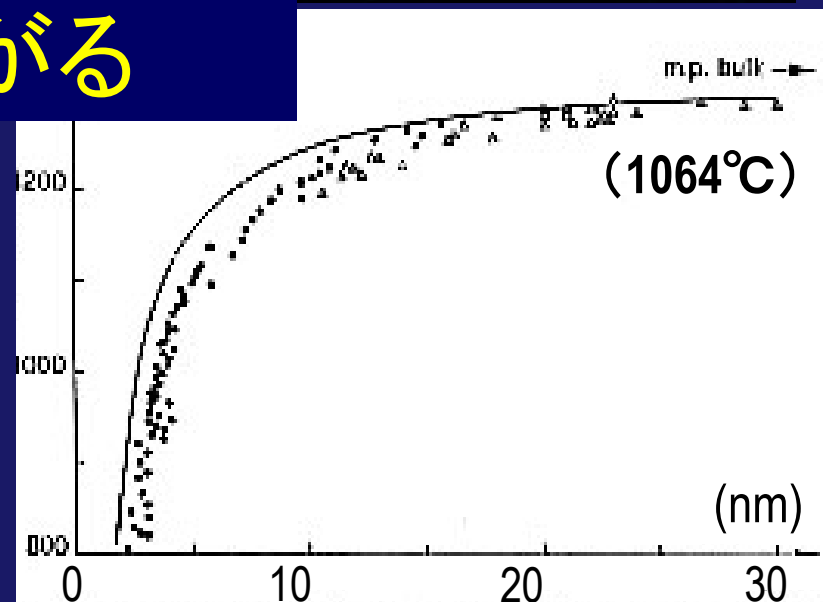


生きている金微粒子(不安定構造)



融点が下がる

融点



粒子直径

世界初の結晶の原子像 1971

Iijima, J. Appl. Phys. 1971

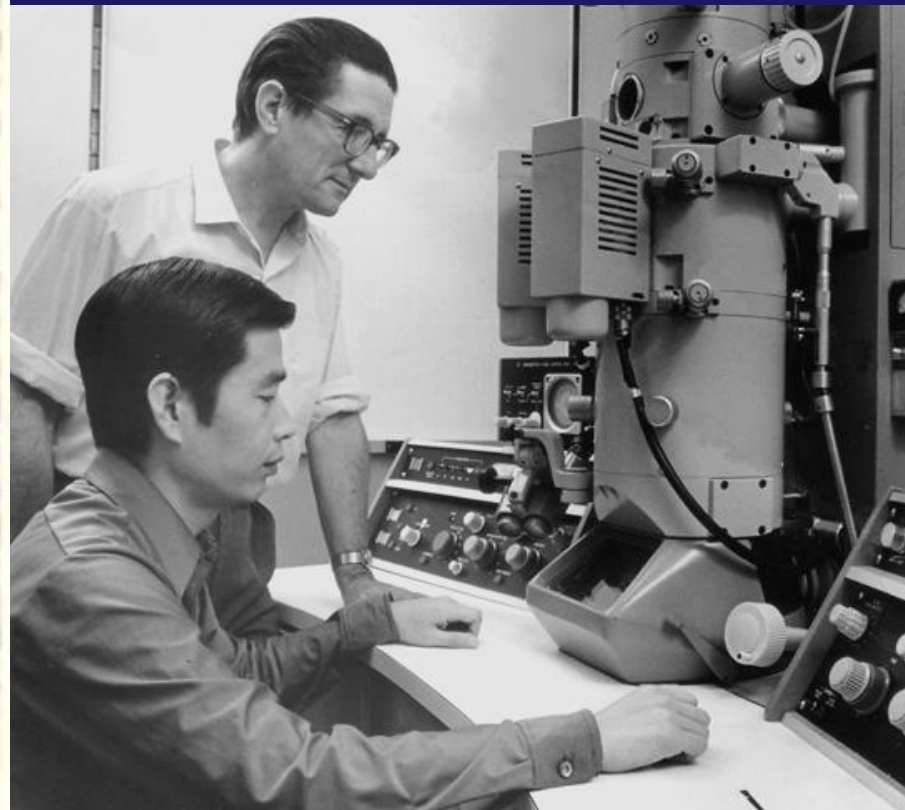
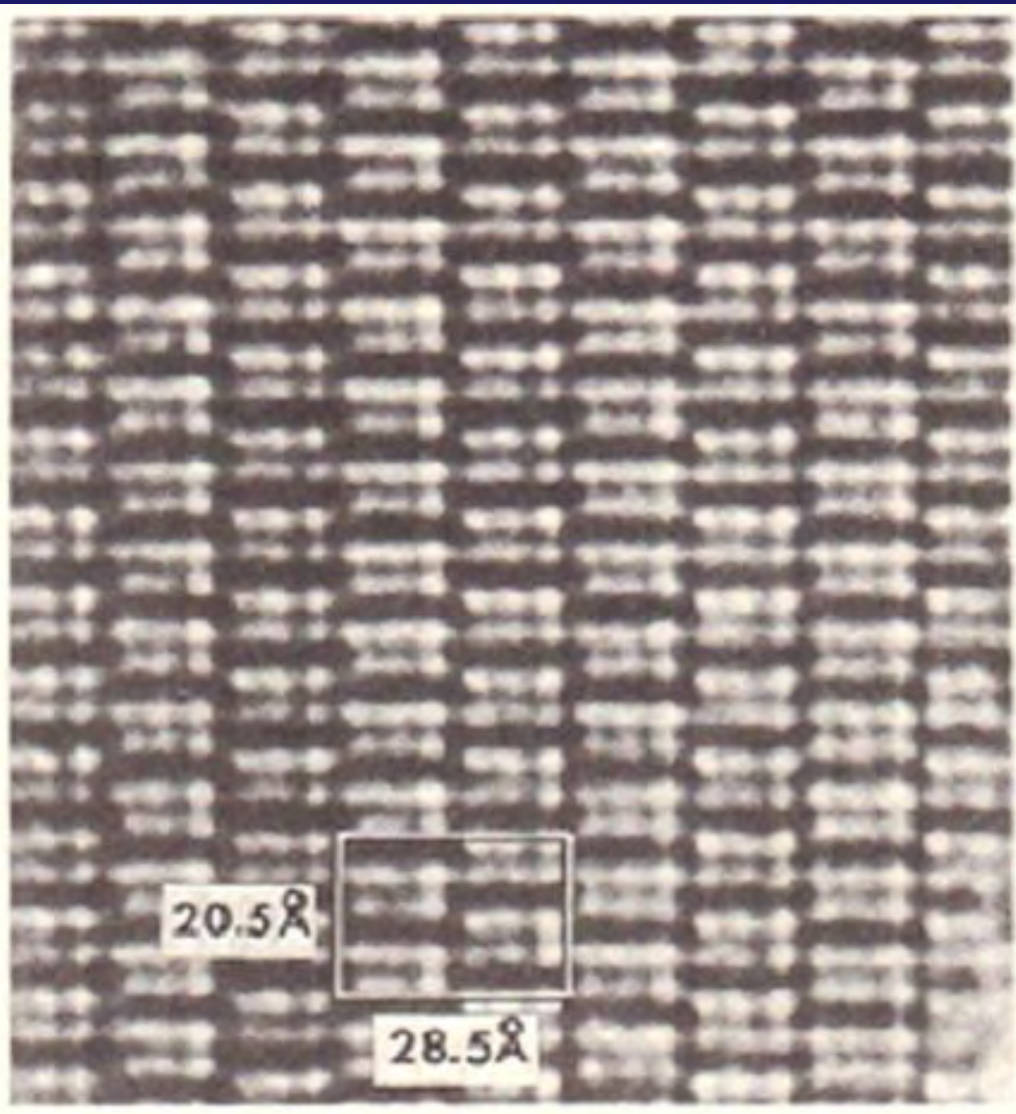


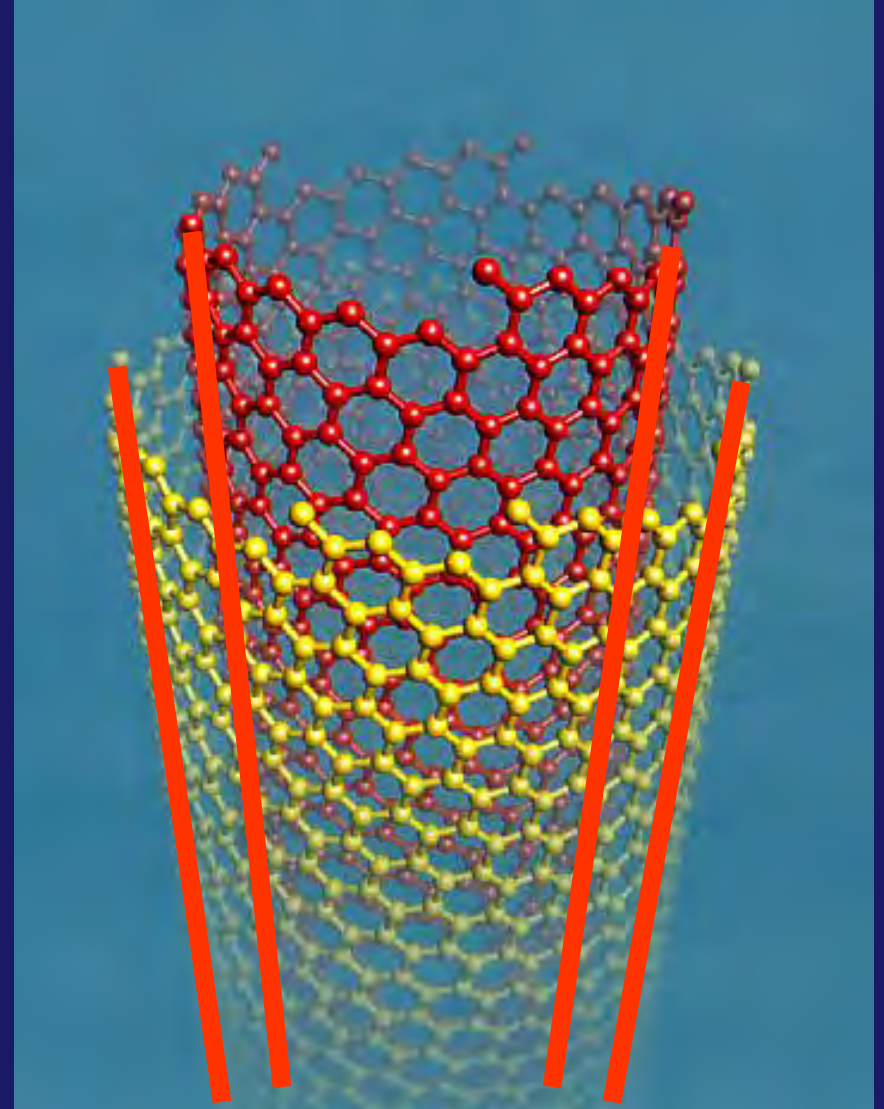
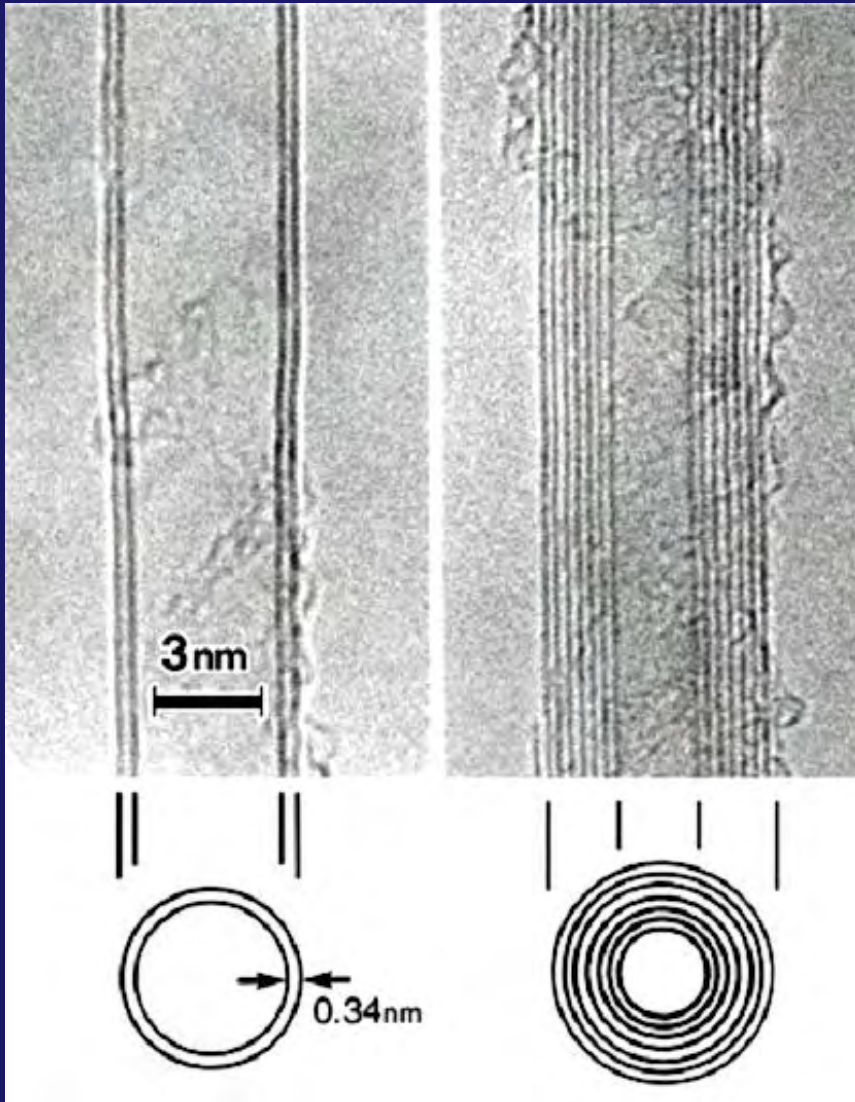
FIG. 1. Two-dimensional lattice image of orthorhombic $\text{Ti}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{29}$ obtained with electron beam incident parallel to the b axis. The unit cell projection is shown by white lines ($a=28.5 \text{ \AA}$, $c=20.5 \text{ \AA}$).

$\text{Ti}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{29}$

原子を直接見る夢

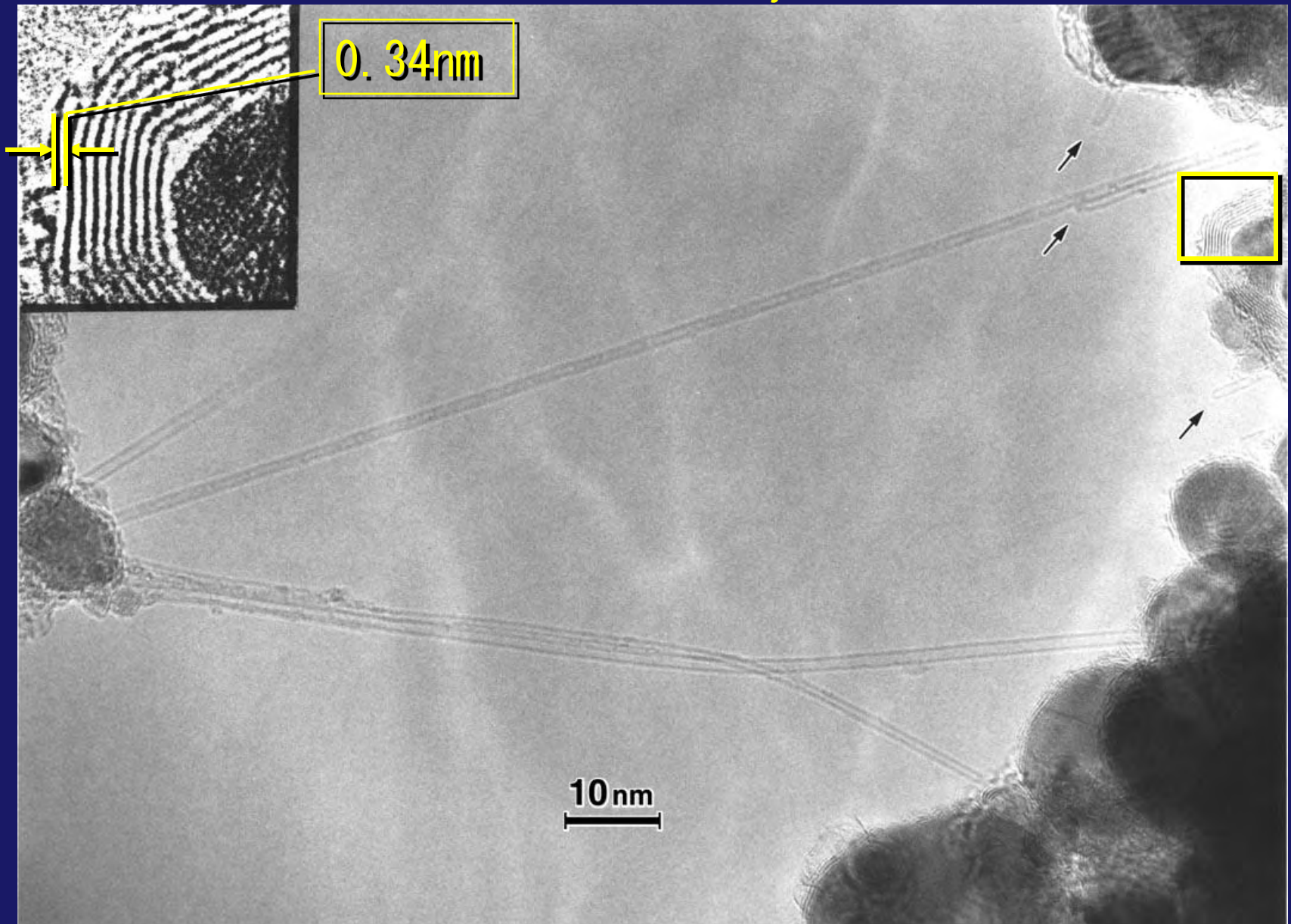
多層カーボンナノチューブの発見 1991

Iijima, Nature 1991



単層カーボンナノチューブの発見

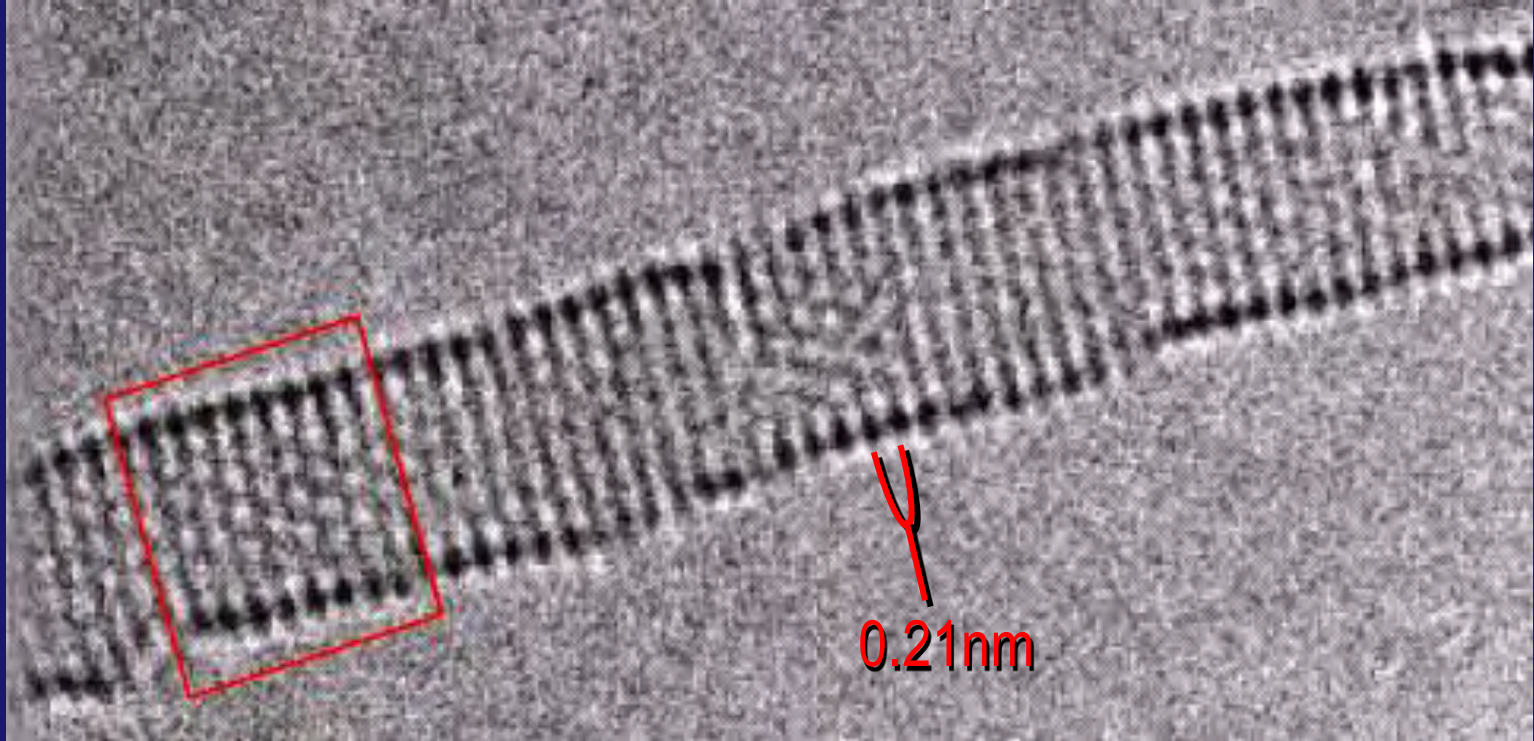
Iijima et al. Nature **1993**



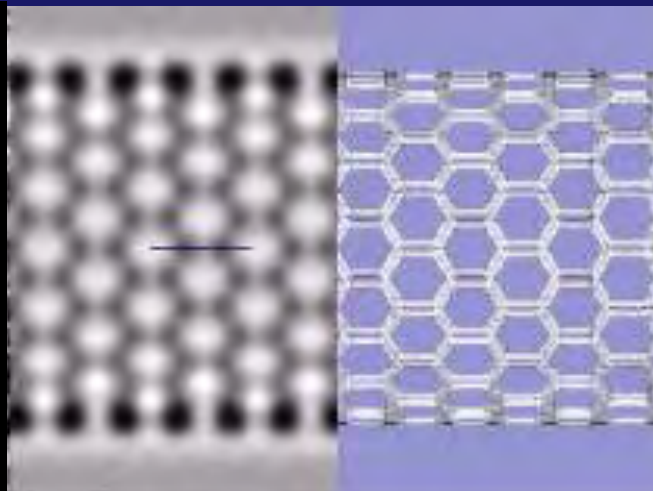
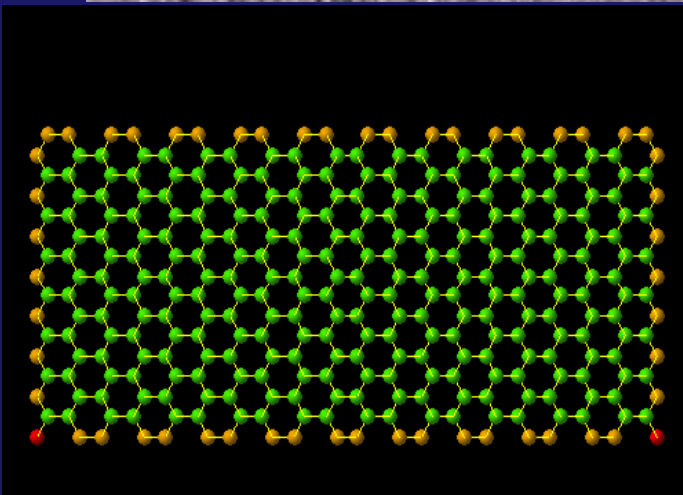
電子顕微鏡の威力

単層カーボンナノチューブの最新電顕写真

Suenaga, et al. Nature Nanotech. 2007



by S. Maruyama

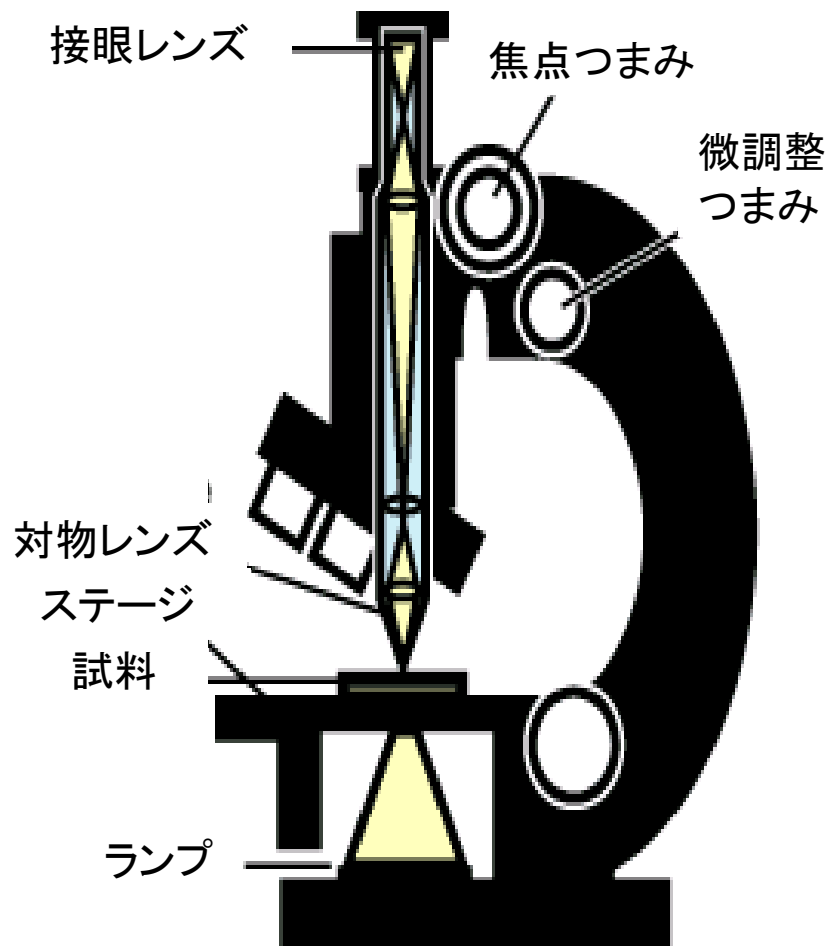


C-C bond (0.14nm)
resolution

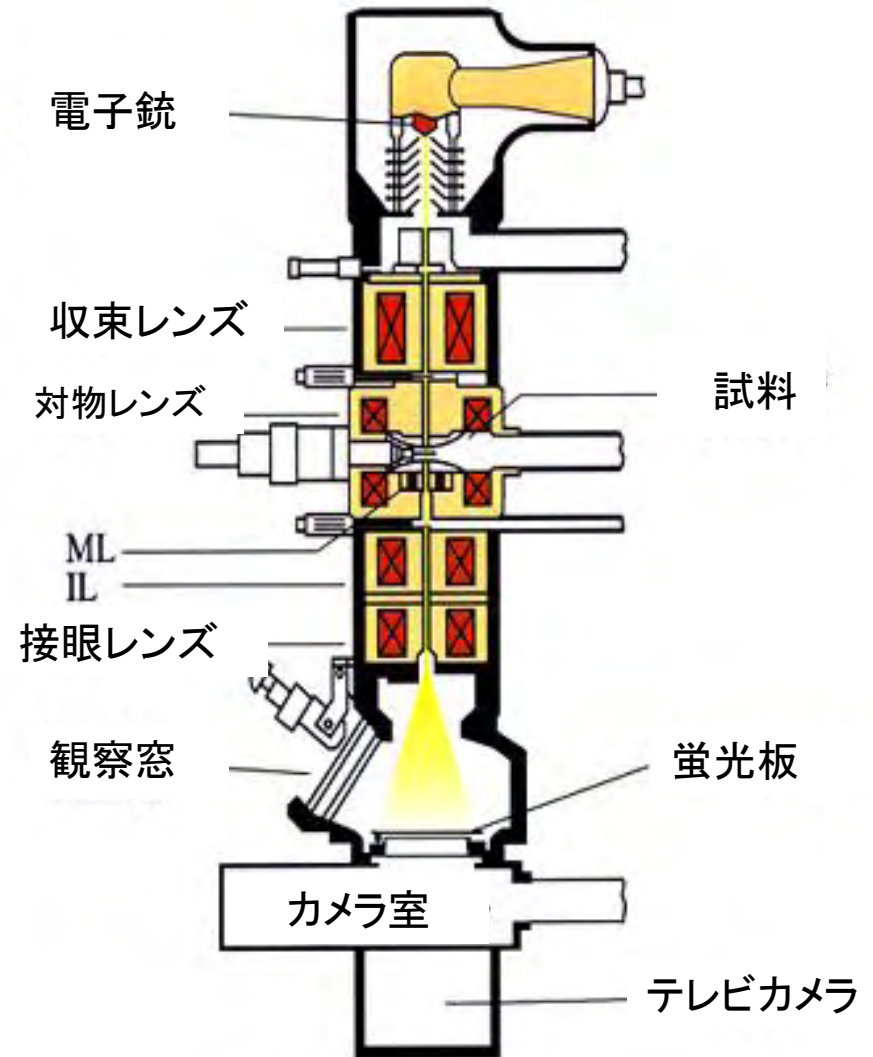
SWNT (18, 0)

電子顕微鏡と光学顕微鏡

光波

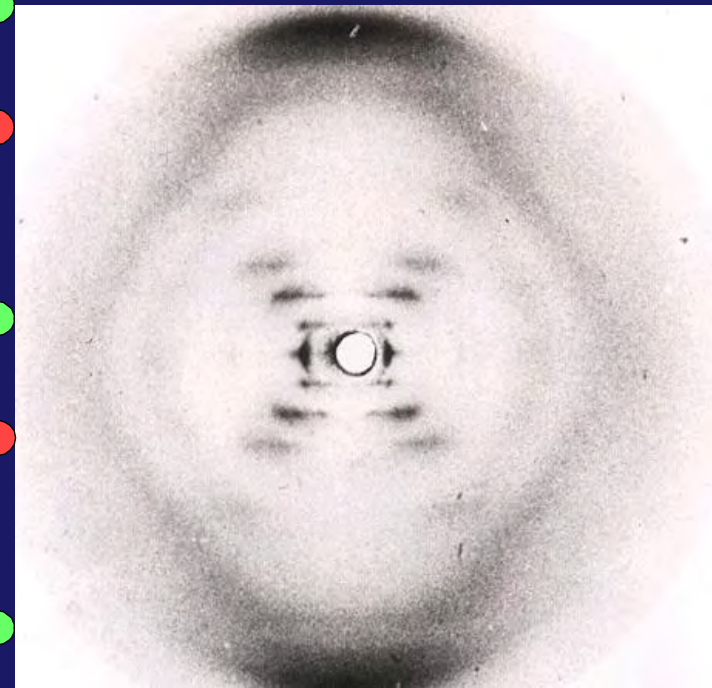
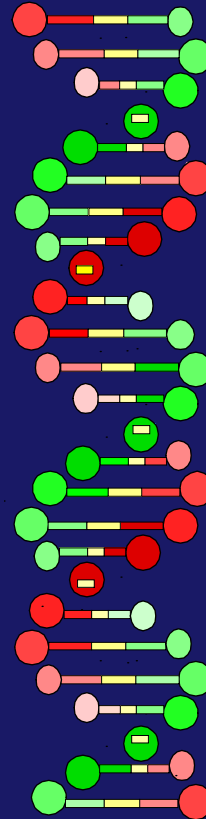
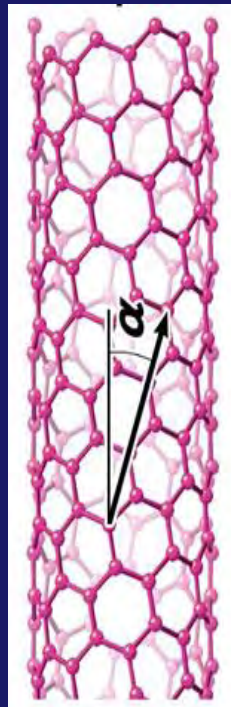
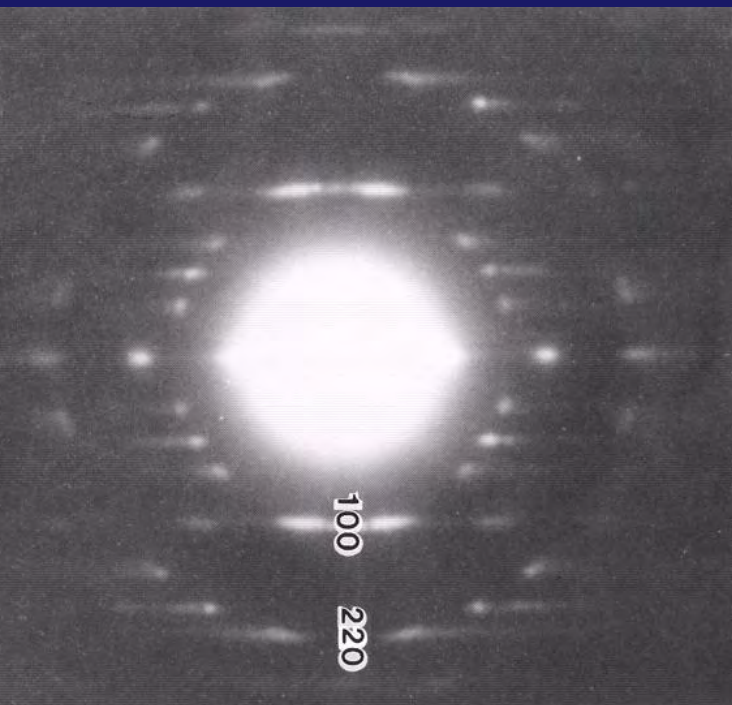


電子波



カーボンナノチューブとDNAの回折図形

2mm symmetry → chirality



R. Franklin, 1952

(by Lucas)

光(光波)の回折現象

フーリエ変換、コンボリューション積分

磁場中の電子波の振舞い

電磁気学、電子光学

物質中の波の伝搬

電子波(粒子線)の散乱、結晶学

新しい炭素材料開発

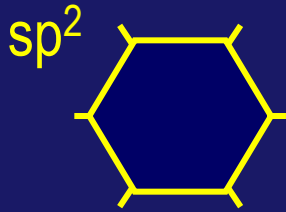
グラフェン

メソポア・カーボン

ナノホーン

カーボンナノチューブ

C₆₀(フラーレン)



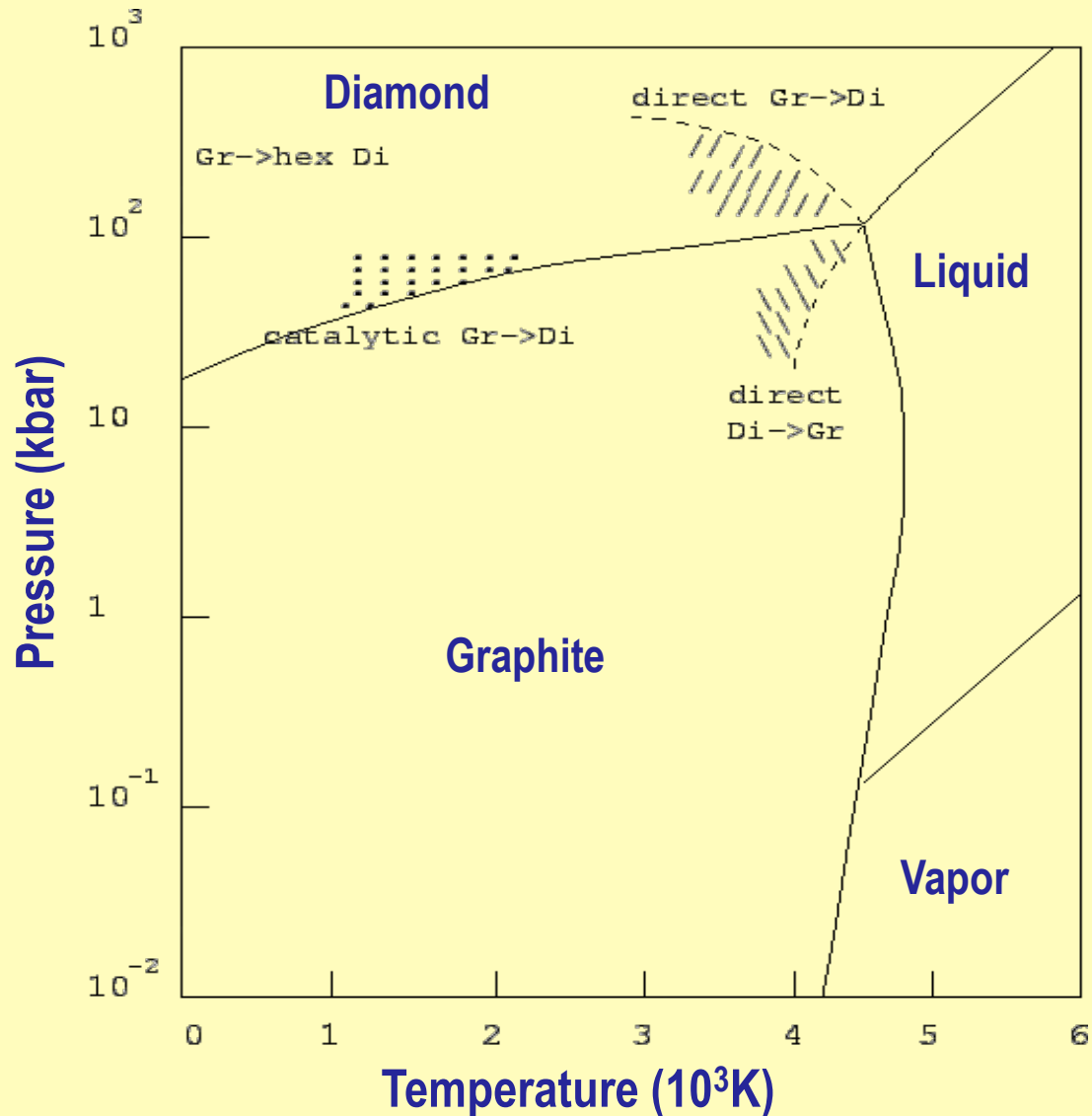
炭素繊維

ダイヤモンド (“ナノ”ダイヤモンド)

グラファイト (黒鉛)

炭(活性炭 アモルファス)

Phase diagram of carbon



1985

Reprinted with permission from Nature
Vol. 318, No. 6042, pp. 162-163, 14 November 1985
© 1985 Macmillan Magazines Limited

C_{60} : Buckminsterfullerene

H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl
& R. E. Smalley

Rice Quantum Chemistry Department of Chemistry and Electrical
Engineering, Rice University, Houston, Texas 77251, USA

During experiments designed to understand the mechanisms by
which long-chain carbon molecules are formed in interstellar space
and circumstellar shells, carbon was vaporized by laser
irradiation, producing a cluster consisting of
60 carbon atoms. This is the first time that kind of 60-
carbon atom structure has been observed. It is a new species, we
suggest, a truncated icosahedron.

Fig. 1 A football (in the
United States, a soccerball)
on Texas grass. The C_{60}
molecule featured in this
letter is suggested to have
the truncated icosahedral
structure formed by
replacing each vertex on the
seams of such a ball by a
carbon atom.



graphite fused six-membered ring structure. We believe that the
distribution in Fig. 3c is fairly representative of the nascent

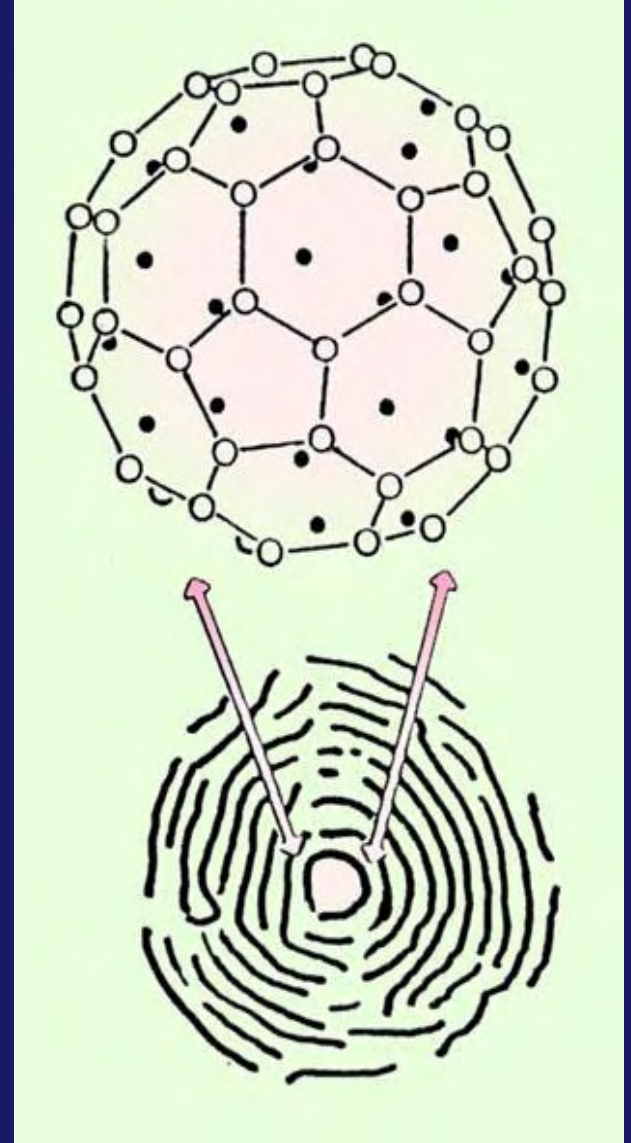
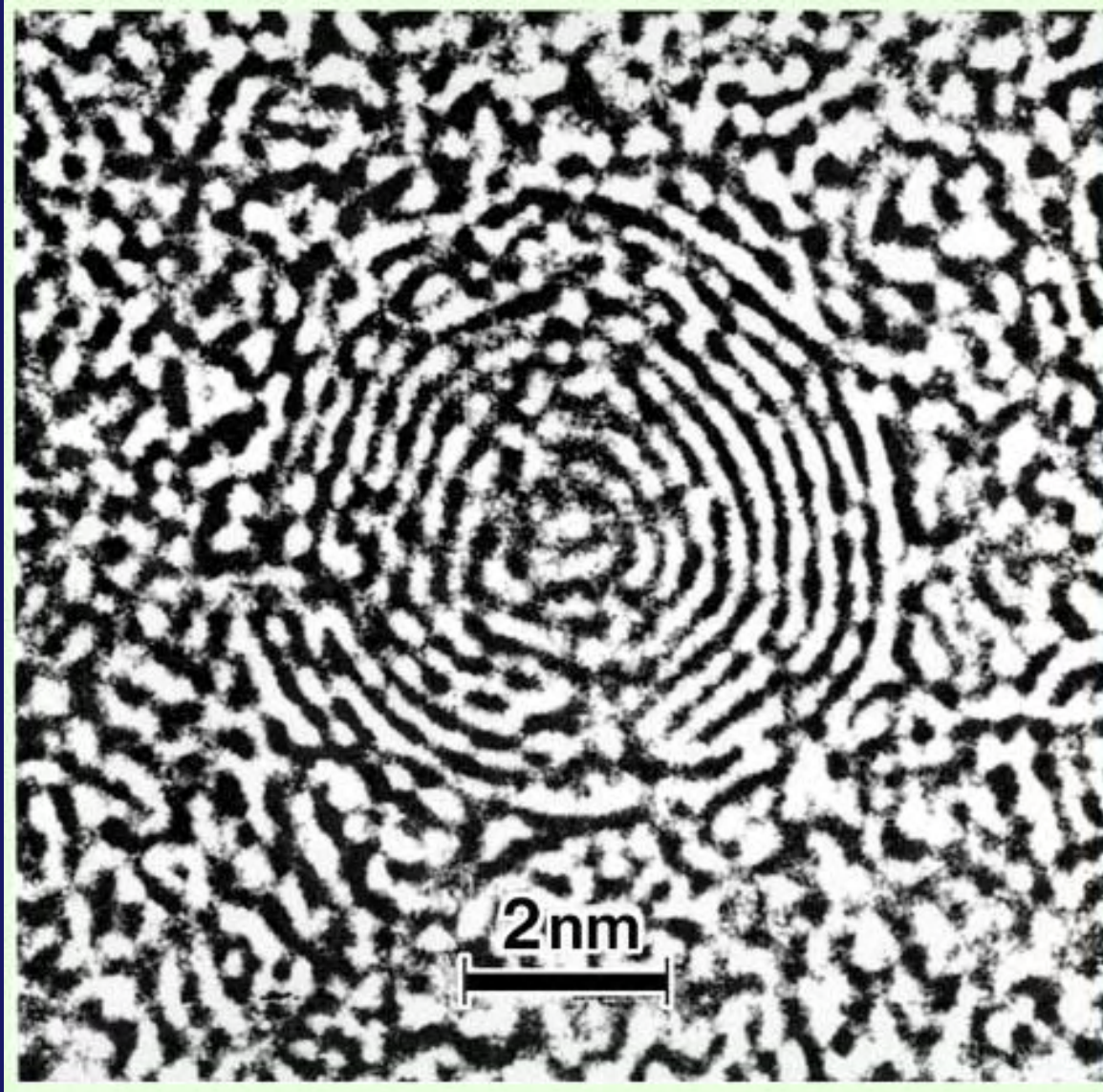
C_{60} ・バックミンスターフラーレン

The technique used to produce and detect this unusual
molecule involves the vaporization of carbon species from the
surface of a solid disk of graphite into a high-density helium
flow, using a focused pulsed laser. The vaporization laser was
the second harmonic of Q-switched Nd:YAG producing pulse
energies of ~ 30 mJ. The resulting carbon clusters were expanded
in a supersonic molecular beam, photoionized using an excimer
laser, and detected by time-of-flight mass spectrometry. The
vaporization chamber is shown in Fig. 2. In the experiment the
pulsed valve was opened first and then the vaporization laser
was fired after a precisely controlled delay. Carbon species were
vaporized into the helium stream, cooled and partially equi-
librated in the expansion, and travelled in the resulting molecular
beam to the ionization region. The clusters were ionized by
direct one-photon excitation with a carefully synchronized
excimer laser pulse. The apparatus has been fully described

with unsatisfied valences at the edges that would naturally arise
from a graphite fragmentation, this result seems impossible:
there is not much to choose between such isomers in terms of
stability. If one tries to shift to a tetrahedral diamond structure,
the entire surface of the cluster will be covered with unsatisfied
valences. Thus a search was made for some other plausible
structure which would satisfy all sp^2 valences. Only a spheroidal
structure appears likely to satisfy this criterion, and thus Buck-
minster Fuller's studies were consulted (see, for example, ref.
7). An unusually beautiful (and probably unique) choice is the
truncated icosahedron depicted in Fig. 1. As mentioned above,
all valences are satisfied with this structure, and the molecule
appears to be aromatic. The structure has the symmetry of the
icosahedral group. The inner and outer surfaces are covered
with a sea of π electrons. The diameter of this C_{60} molecule is
 ~ 7 Å, providing an inner cavity which appears to be capable
of holding a variety of atoms⁸.

C_{60} フラーレンは既に捉えられていた！

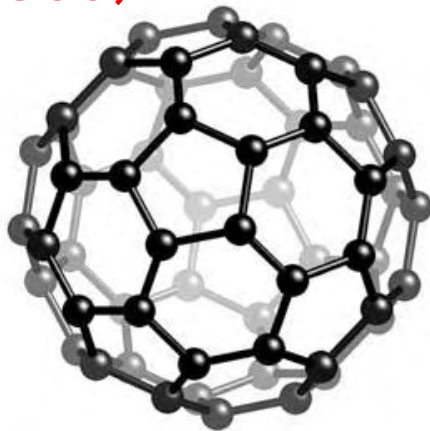
Iijima, J. Cryst. Growth 1980



フラーレンからカーボンナノチューブへ

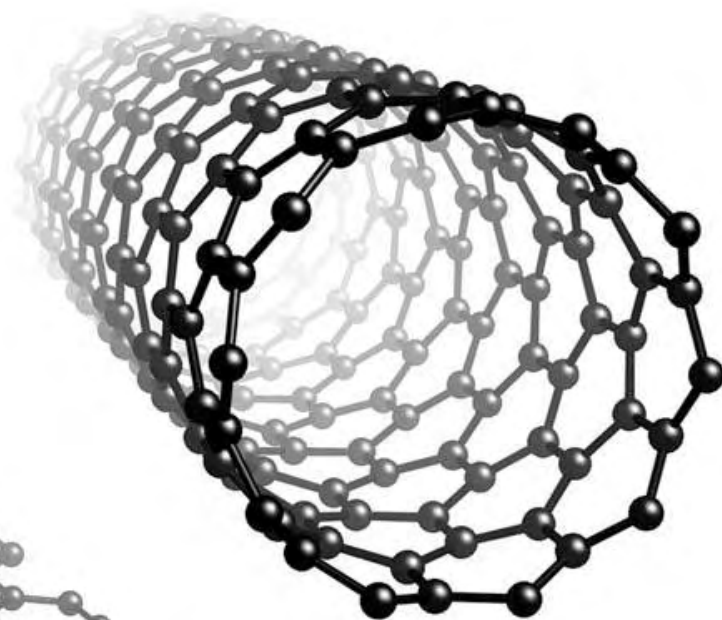
フラーレン(C60)

0次元



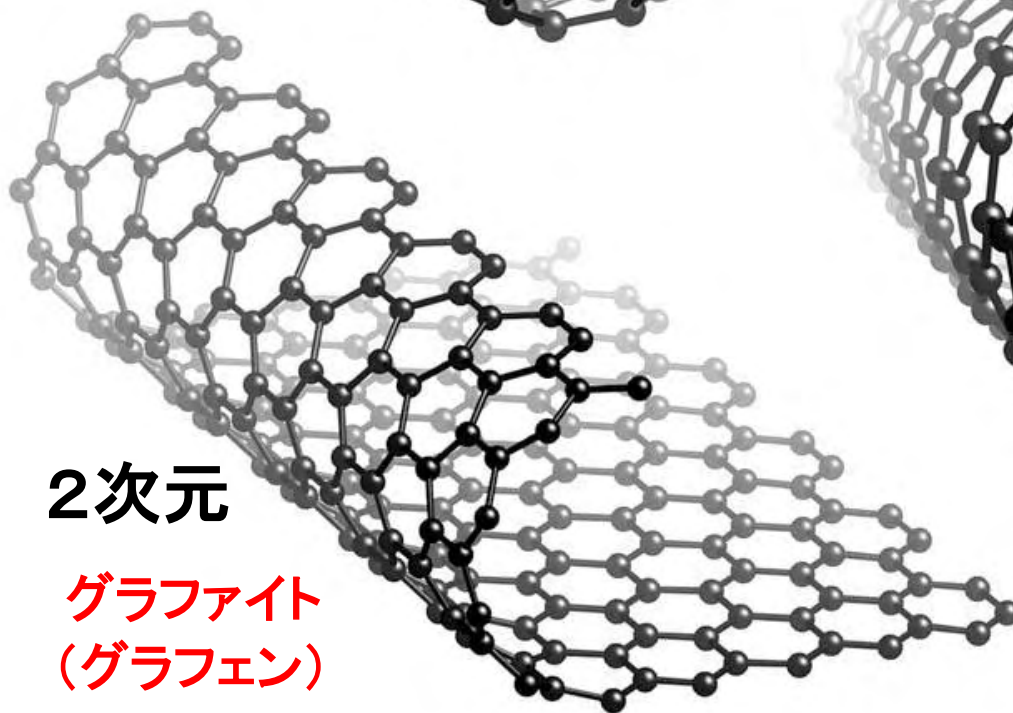
1次元

単層カーボンナノチューブ

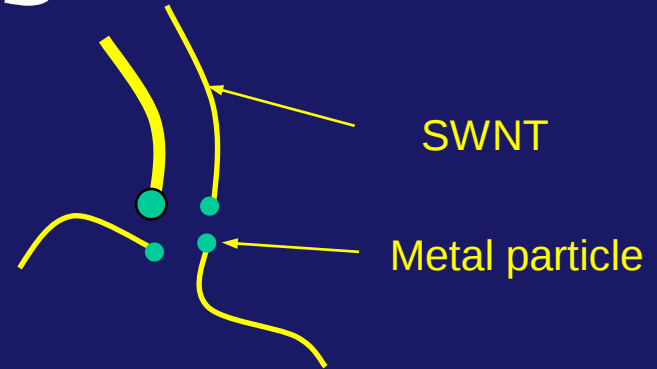
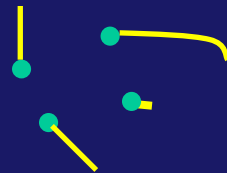
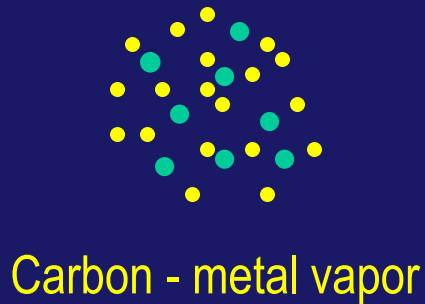


2次元

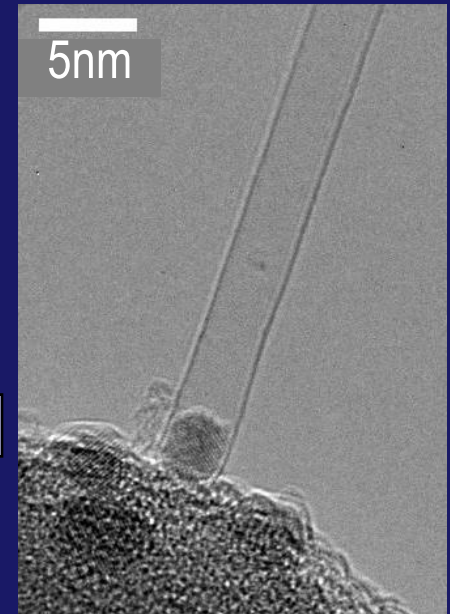
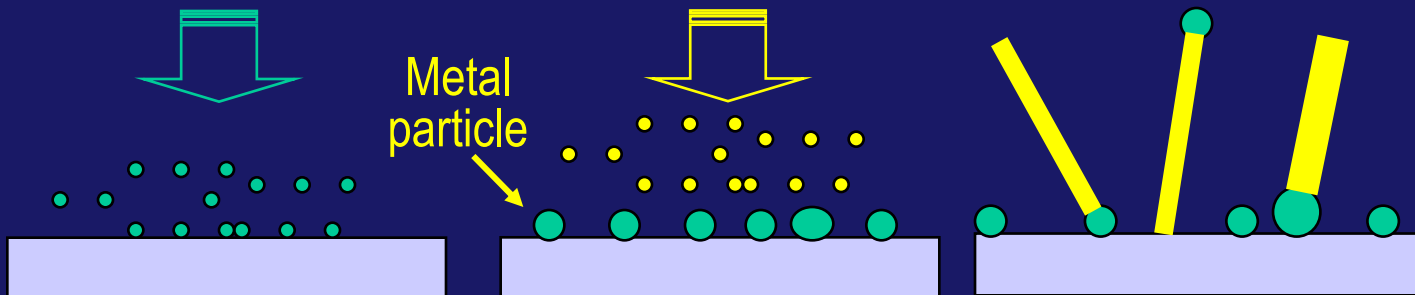
グラファイト
(グラフェン)



Catalyst assisted CVD Growth of CNTs

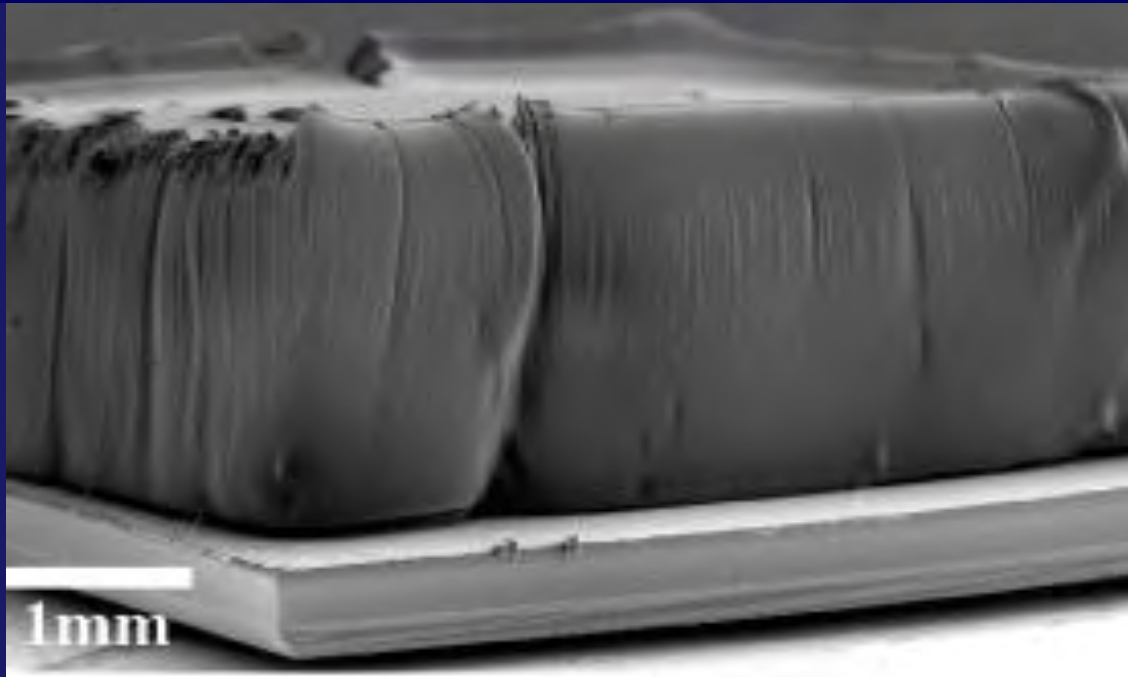


Hongwei et al. *Small*, 2005

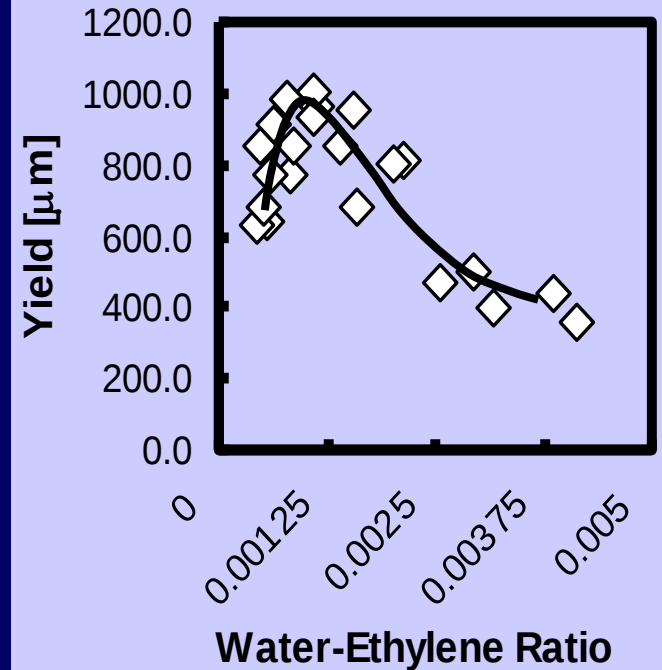


Two-years progress in Super-Growth SWCNT technology

Hata et al. Science 2004



Futaba et al., PRL 2005



**Substantial cost down
and efficiency!**

Size: 2 x 2cm → A4

Substrate: Si → stainless steel foil

Carrier gas: He + H₂ → N₂ + H₂

カーボンナノチューブ

1 μm
マイクロ・メートル
(ミクロン)



$\frac{1}{1000}$



$\frac{1}{1000}$



$\frac{1}{1000}$

メートル

ミリ・メートル

マイクロ・メートル

ナノ・メートル

竹かごから学ぶ



結晶成長学

ダイヤモンド、 シリコン、 蛋白質

熱力学、表面科学(物理、化学、触媒学)

カーボンナノチューブ と ナノテクノロジー

科学



ナノサイエンス



技術



ナノテクノロジー



”Scientific knowledge used in practical ways
in industry”

(from Oxford dictionary)

ナノ・サイエンス

ナノ・ワールドは
単に小さいだけではない
新しい物理がある！



これを積極的に利用する



ナノテクノロジー

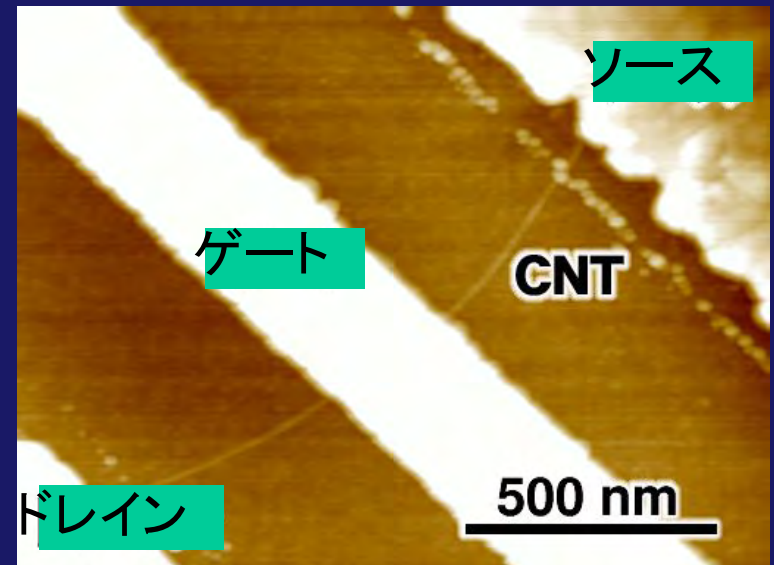
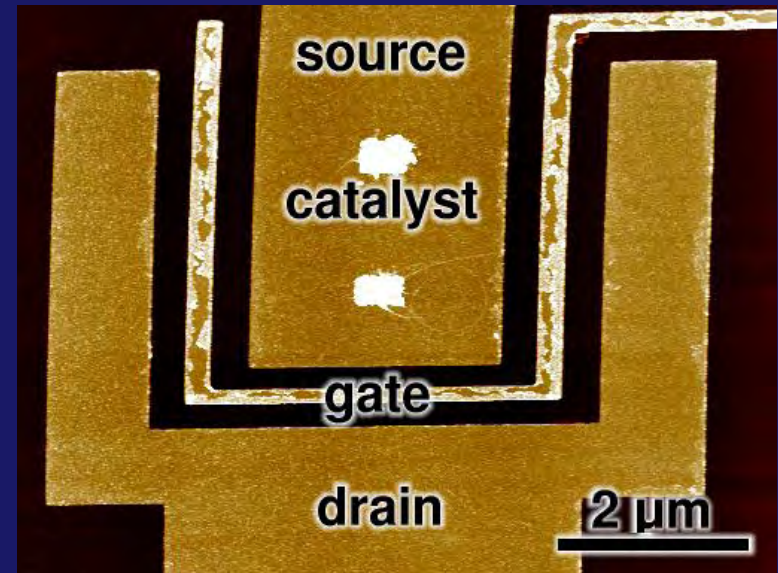
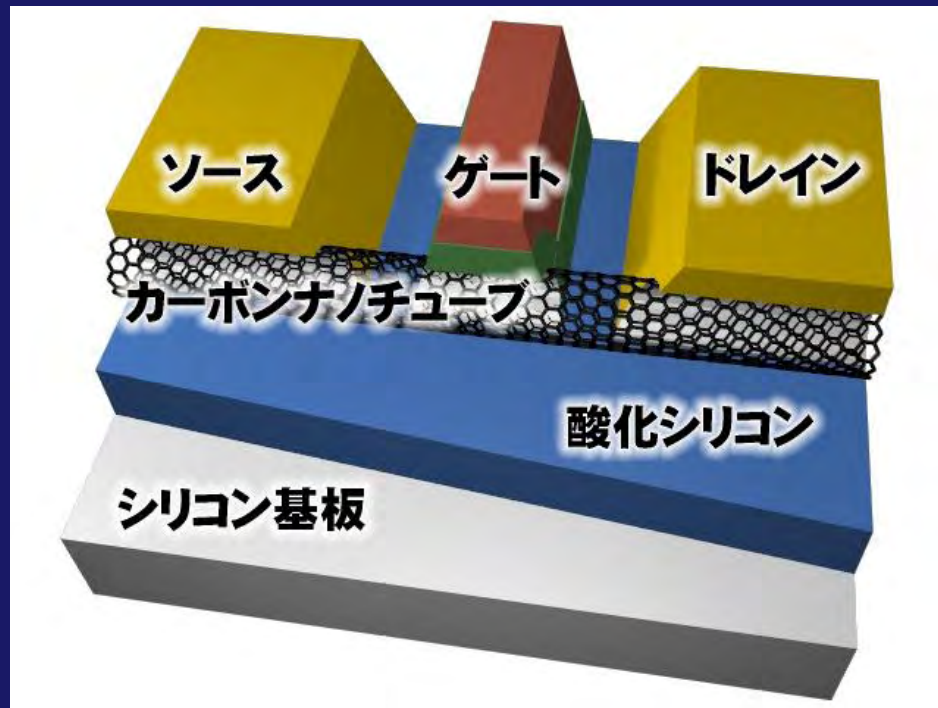


代表例が
カーボンナノチューブだ

カーボンナノチューブの特長と応用

特長	応用分野
電氣的半導体	MEMS*
電氣的導体	FETトランジスタ
大きさ・太さ	LSI垂直配線
軽い	FED(平面表示画面)*
大比表面積	スーパーキャパシタ*
高引っ張り強度	薬剤搬送(DDS)(?)
柔軟	特殊糸・布・フィルター(?)
電界電子放出	導電性透明プラスチック膜*
高熱伝導体	ガス吸蔵材
耐性	SPM針

CNT-FET transistor



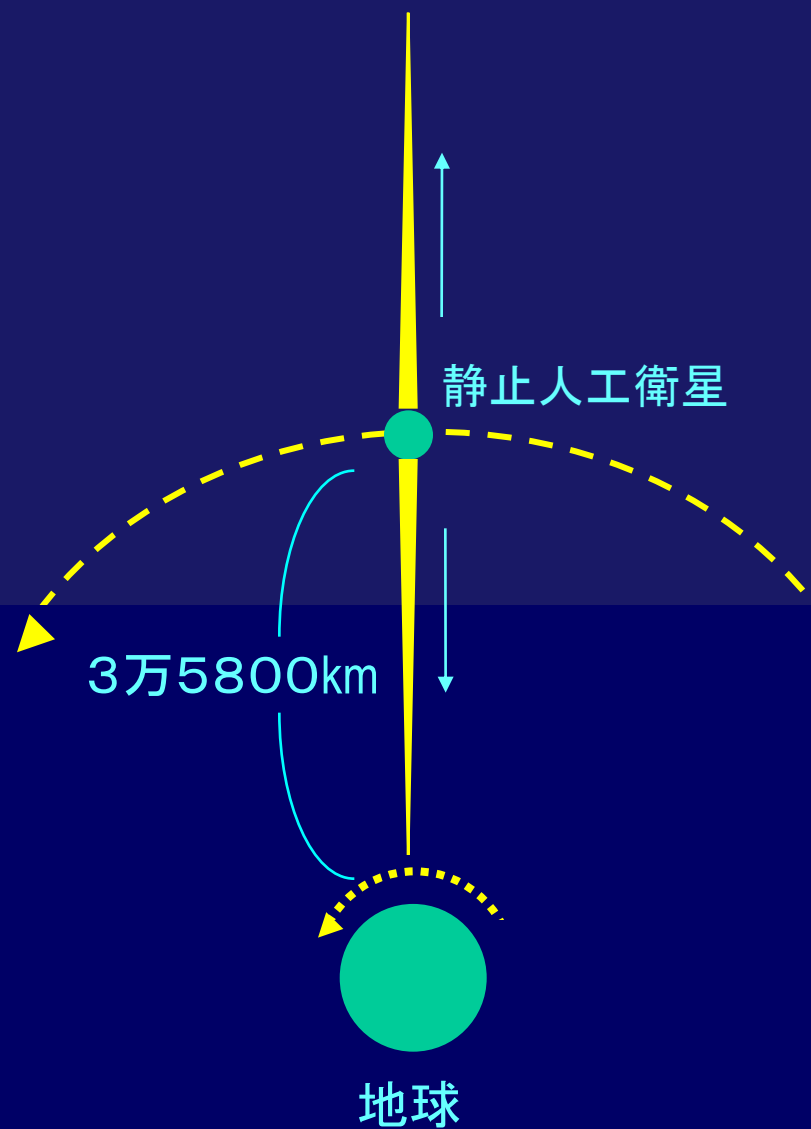
二瓶ら(NEC) 2003

分光学

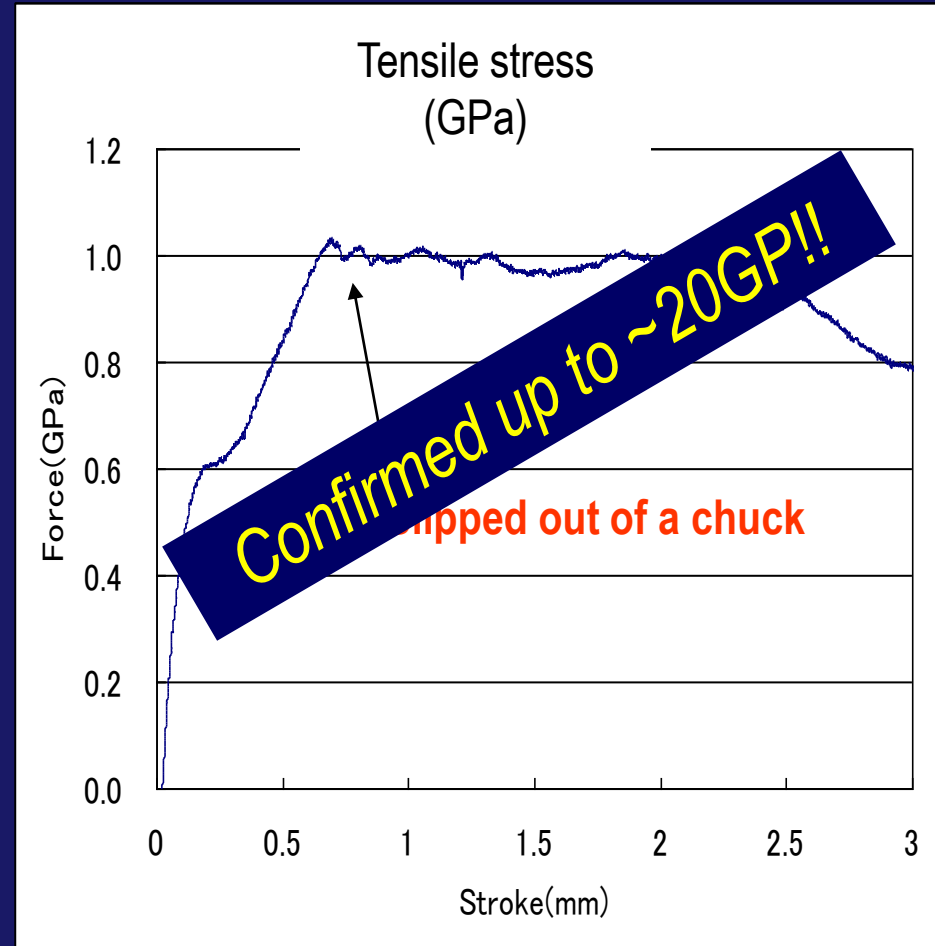
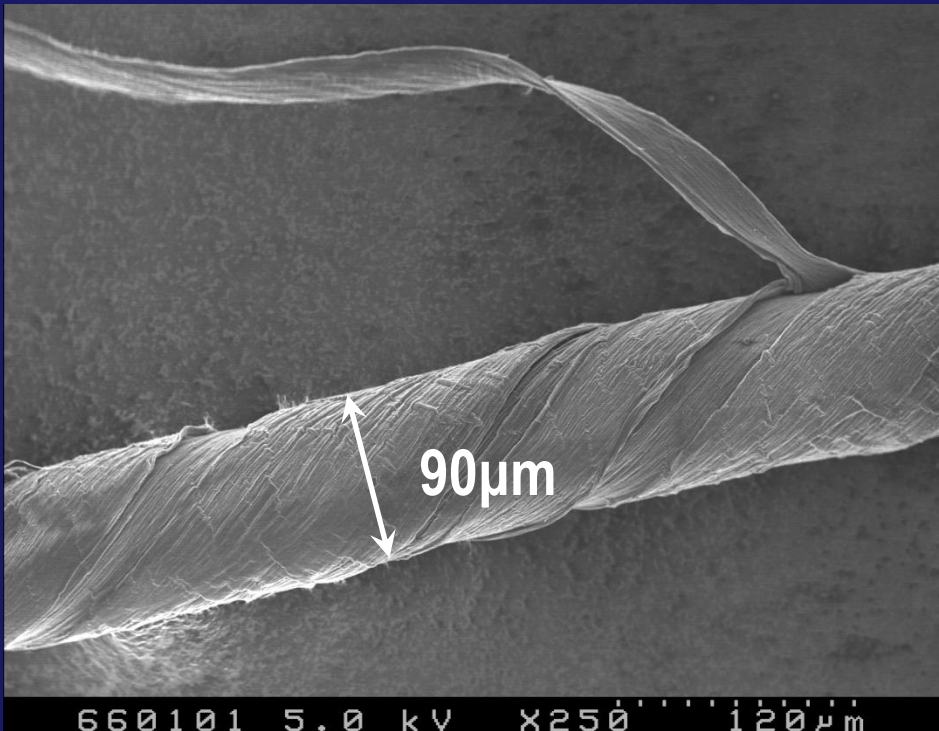
ラマン分光
光学吸収
蛍光発光

凝縮系物理学

アーサー・クラークの宇宙エレベーター



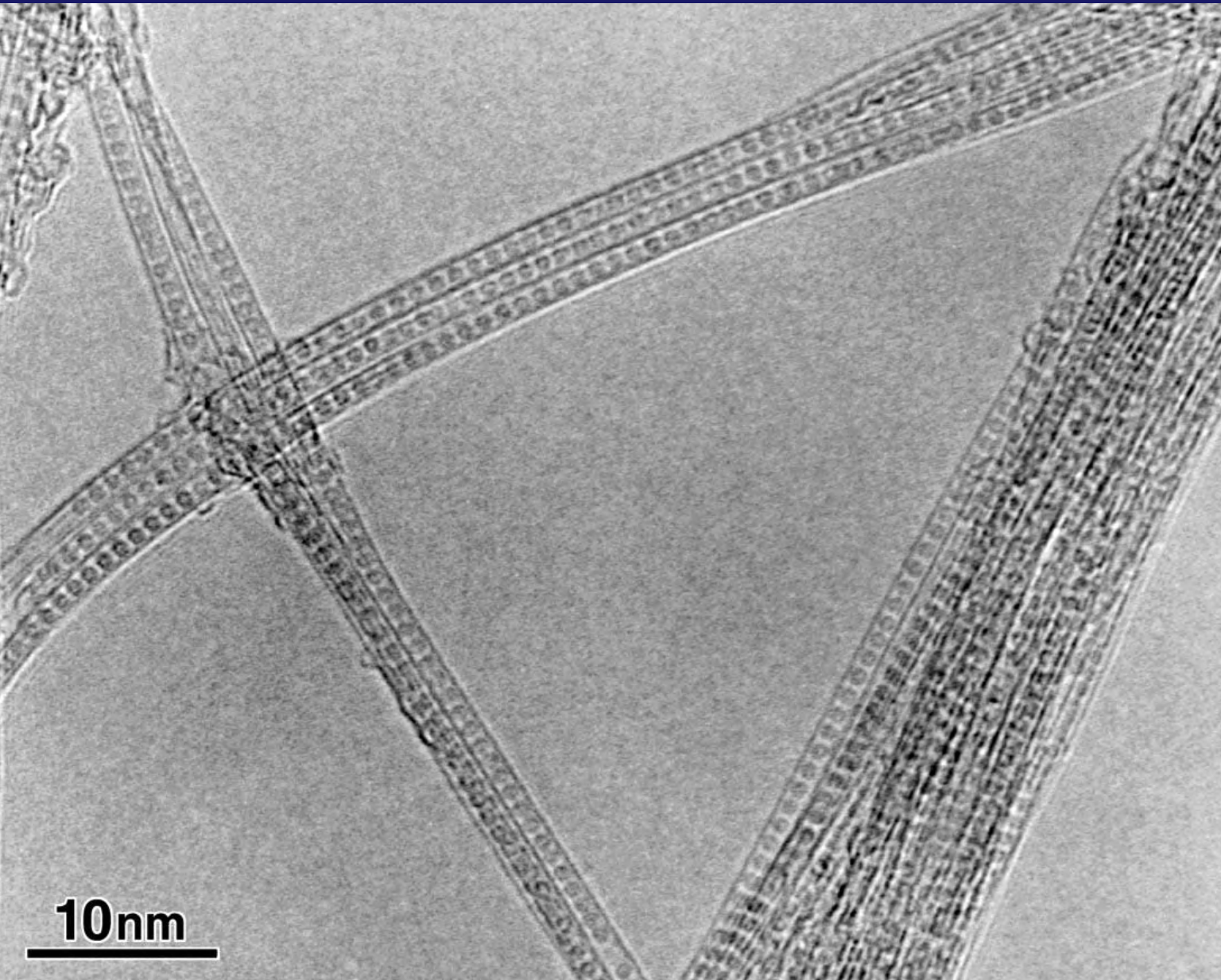
カーボンナノチューブロープの引張り強度



cf. Tensile stress: 1GPa... $\doteq 102\text{kgf/mm}^2$

cf. MWCNT: 460MPa, 850MPa after embedding in polymer

C_{60} を単層カーボンナノチューブに詰める



I

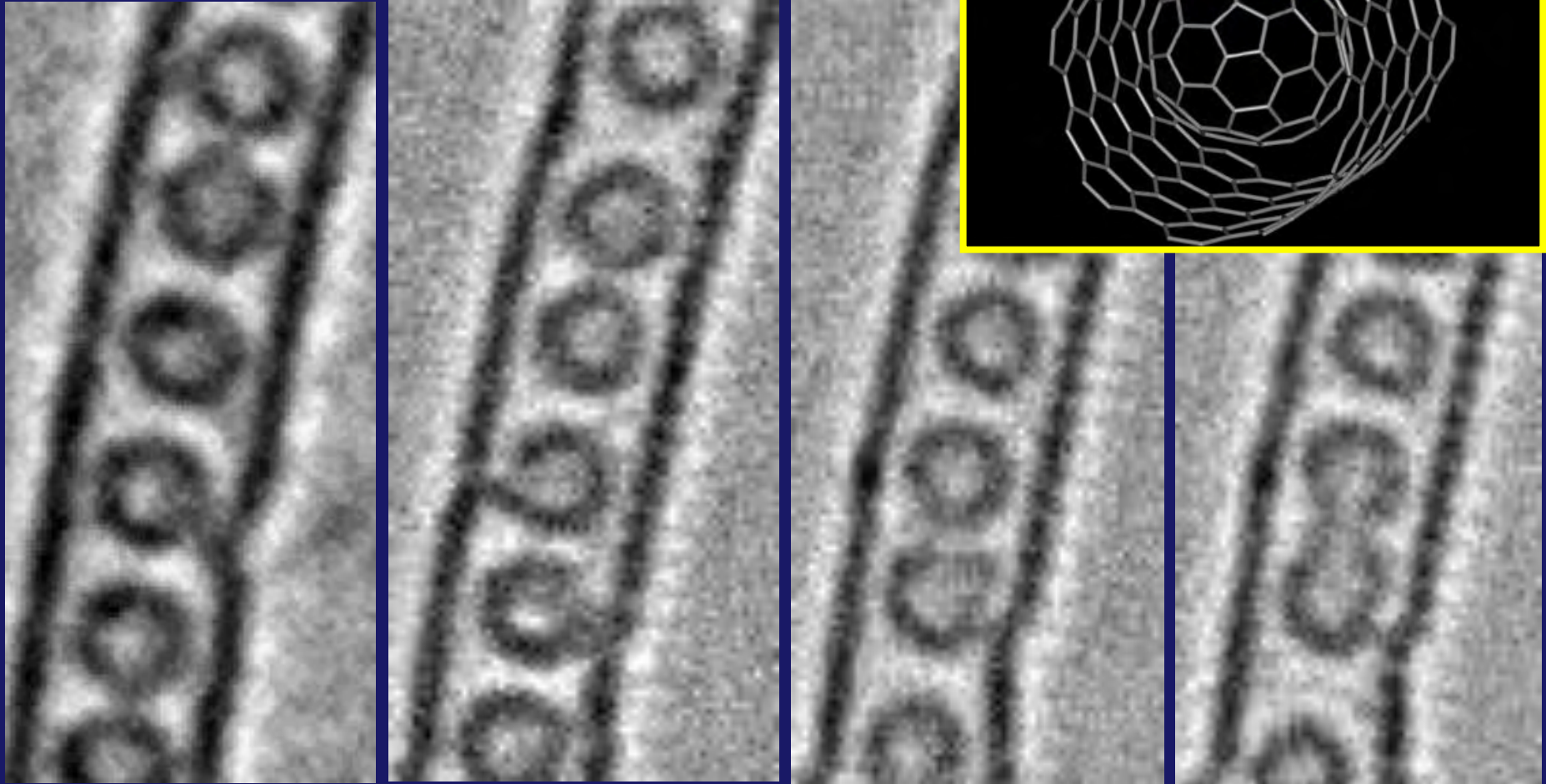
Smith, Luzzi

1998

Hirahara, et al.

2000

Atomic Defects Induced by Inter-layer Coupling

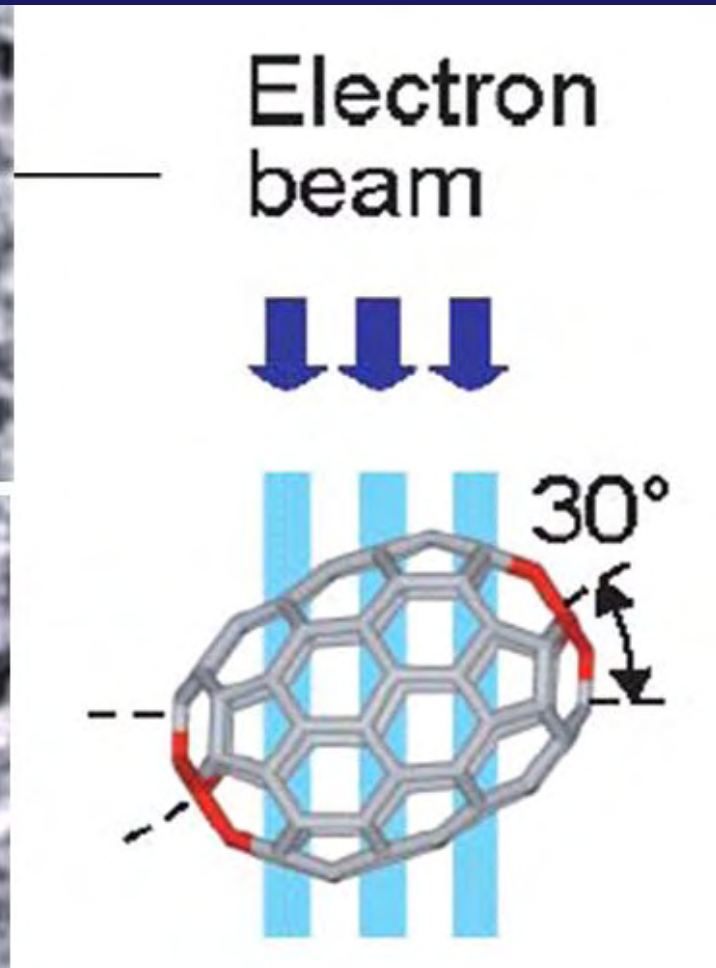
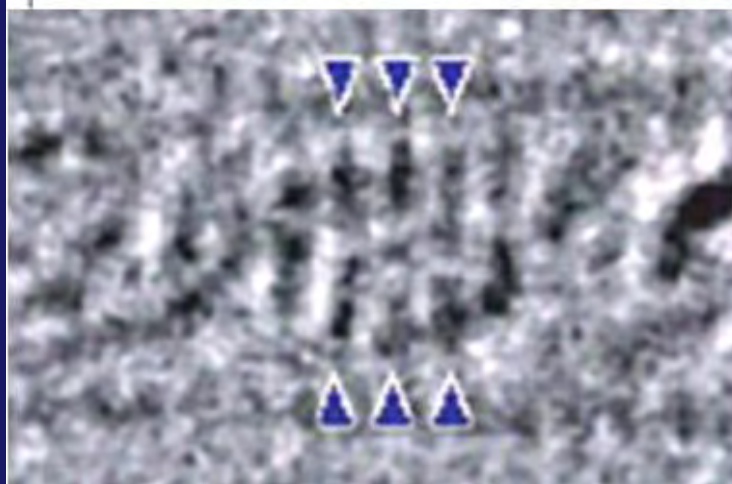
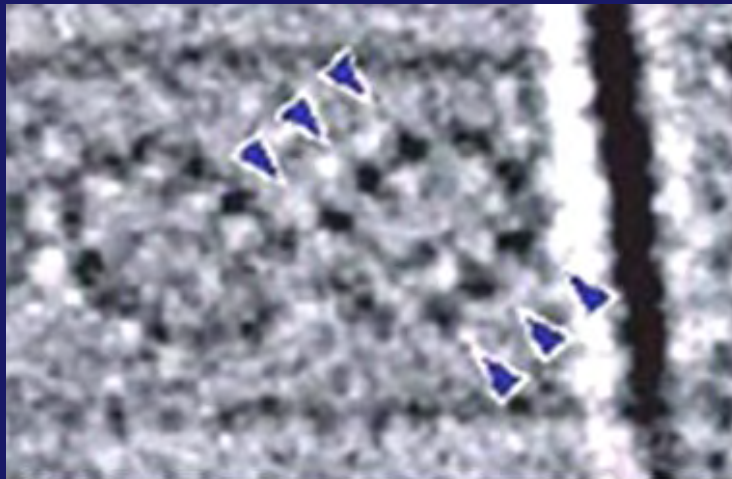


Structure analysis of individual molecules

D5d-C80

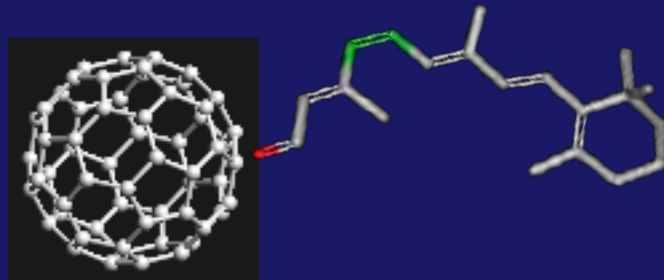
Z. Liu, et al. Nature Nanotech. 2007

Y. Sato, et al. Nano Lett. 2007

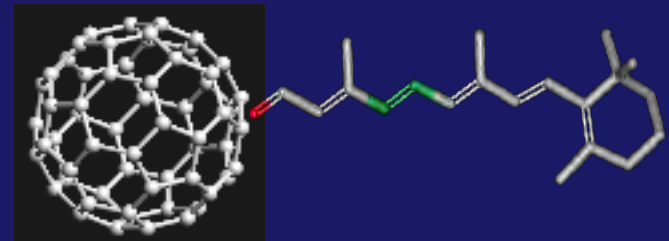
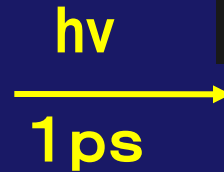


バイオ分子・レチナール(シス/トランス)の 電子顕微鏡観察に成功

Liu, et al. Nature Nanotechnology, 1 July 2007



シス型



トランス型



ものが見える仕組み（人の光センサー）

- ◆ ロドプシン（眼の網膜に存在する）
- ◆ ロドプシン＝オプシン（たんぱく質）＋レチナール
- ◆ 光を吸収しレチナール分子の構造が変わる
- ◆ ロドプシンから脳に電気信号が送られる

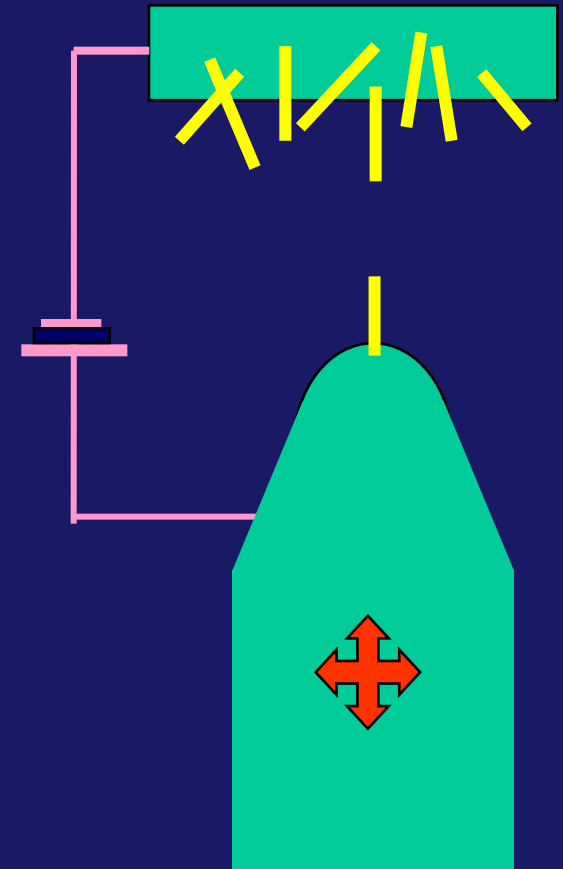
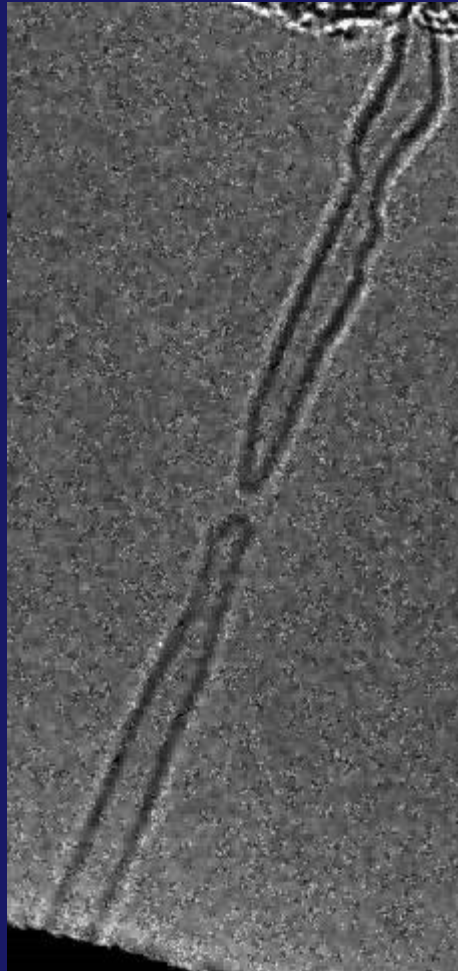
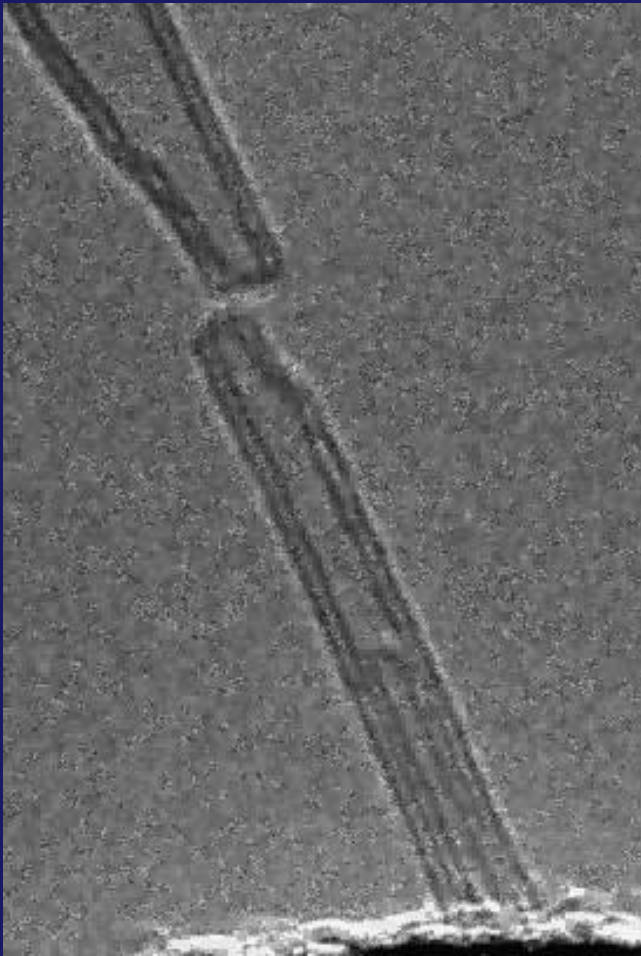
.....

レチナールはビタミンAと似ている　－　眼によい！

同類の分子がステルス爆撃機の機体表面に塗られている！

カーボンナノチューブの接合

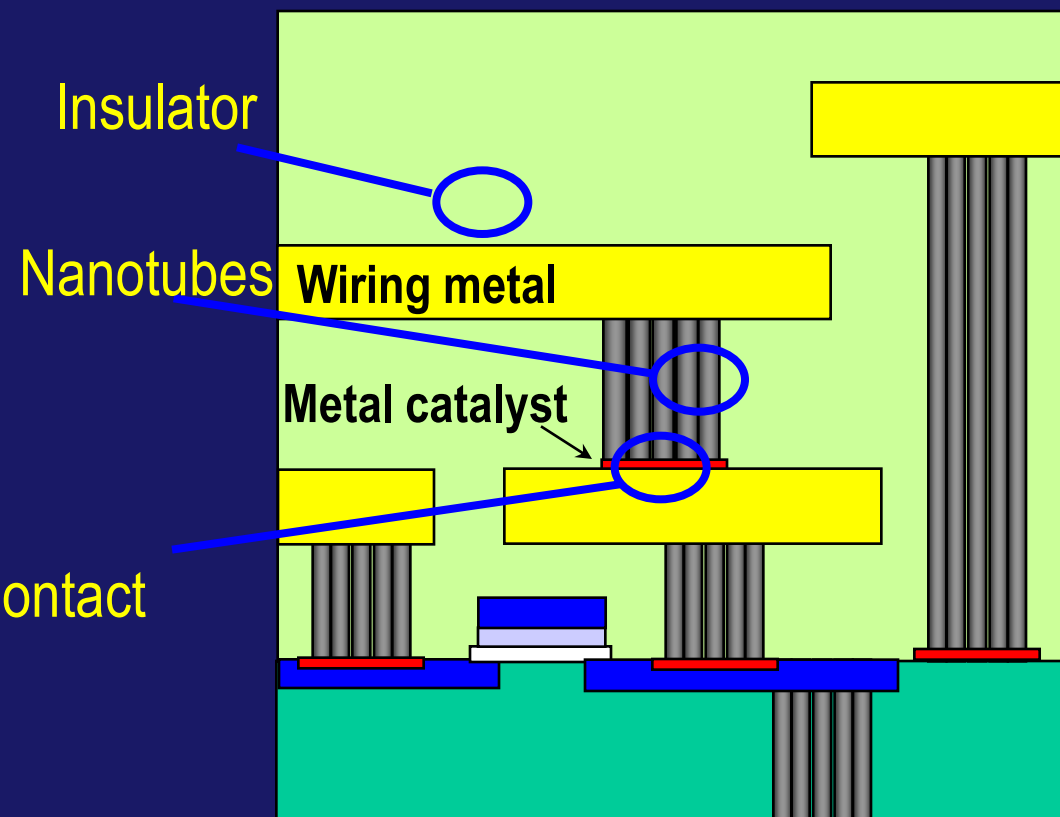
Chuanhong Jin et al, 2007



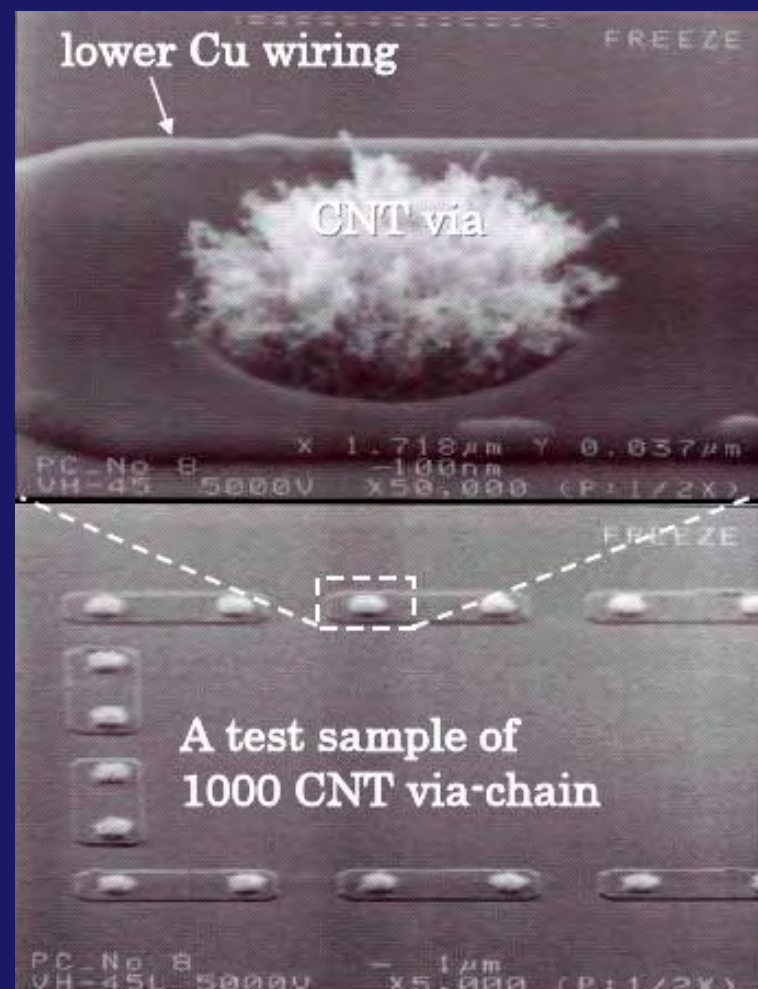
ナノチューブによるLSIの垂直配線

Awano (Selete)

Metallic CNT: *hi-conductance, Hi-current density, Hi-Young modulus*



- Low resistivity CNT with high density
 - Low resistive & ohmic contact tube growth
- Metal catalyst / Low ohmic electrode materials



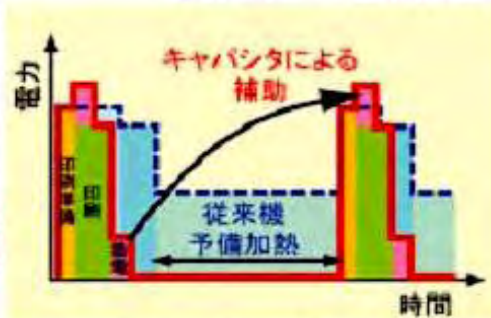
スーパーキャパシタの将来展望

既に実用化されているもの

● コピー機



提供：リコー、日本ケミコン



キャパシタの電力で急速起動。従来機5分の起動が30秒で可能に。約60%の消費電力削減。

● 風力発電

提供：富士電機システムズ



風の強弱によって変動する電力をキャパシタに蓄えて、安定した電力を供給する。風力発電事業所で稼働中。

将来の利用が期待されているもの

● 燃料電池自動車



提供：本田技研工業

● ロボット



燃料電池 + キャパシターで長時間連続して、瞬発力のある動きが可能

実環境で働く人間型
ロボットの試作機HRP-3P
(HRP-3プロトタイプ)

ナノホーン集合体粒子

Application To

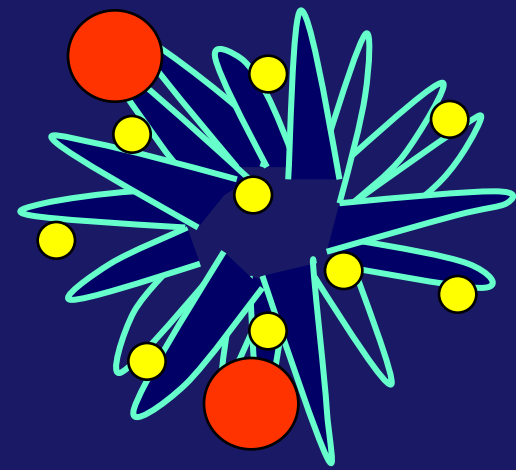
- * Gas storage for F2 etc.
- * Biological recognition
- * Drug delivery systems

100nm

100nm

ナノ・バイオへの応用(DDS)

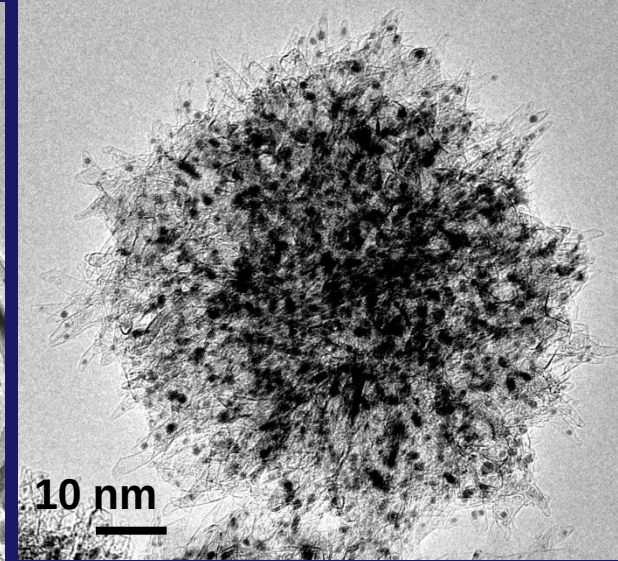
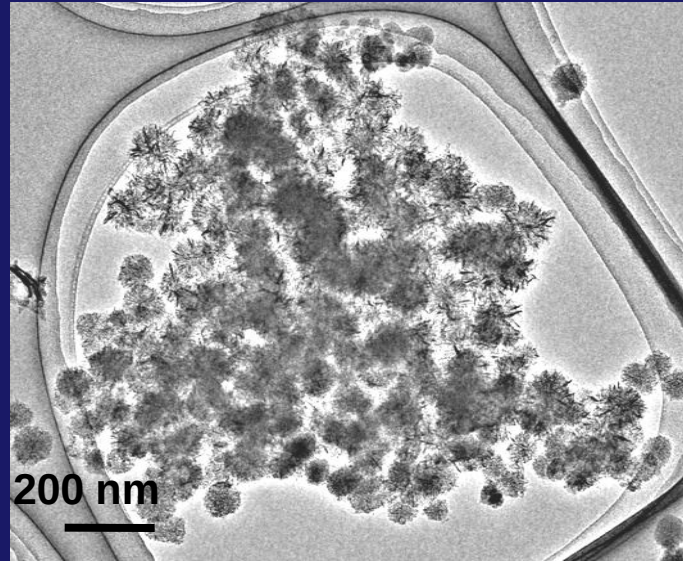
Ajima et al. *Molecular Pharmaceutics* 2005



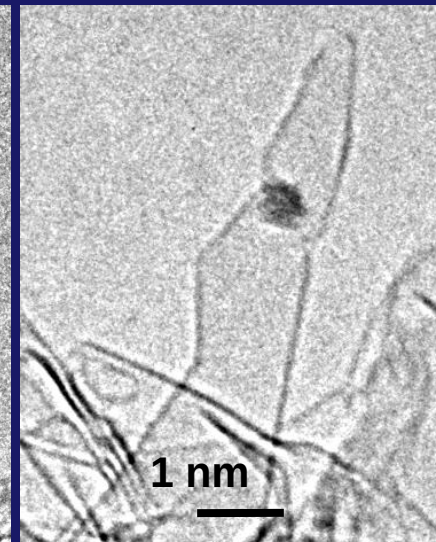
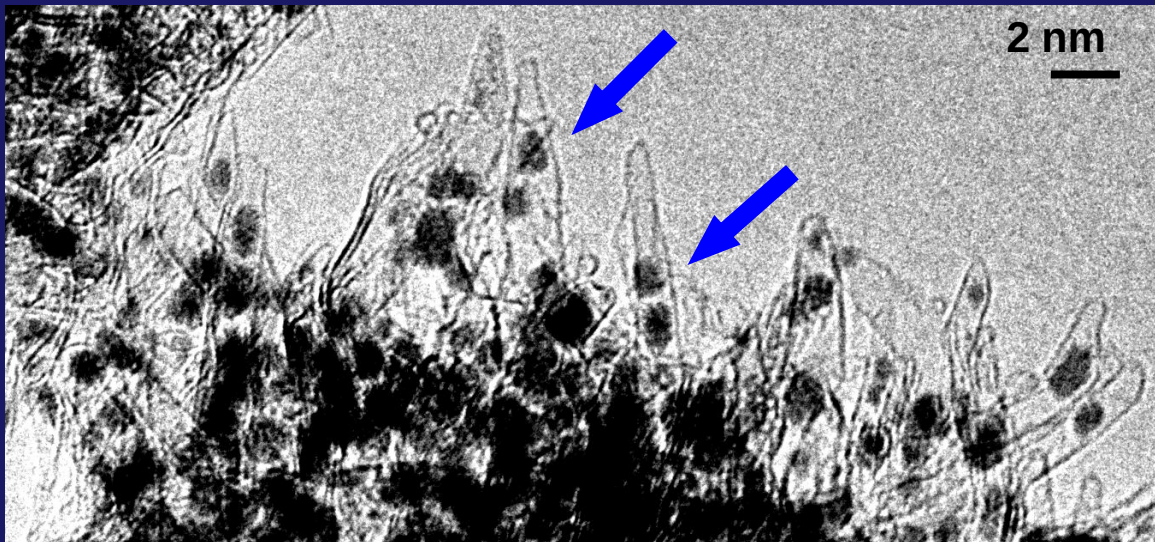
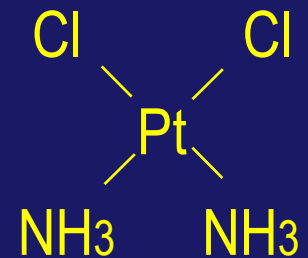
- **Drug:** Cisplatin,
Dexamethasone
(anti-inflammatory agent)

● **Targeting material**

★ **Drug carrier**

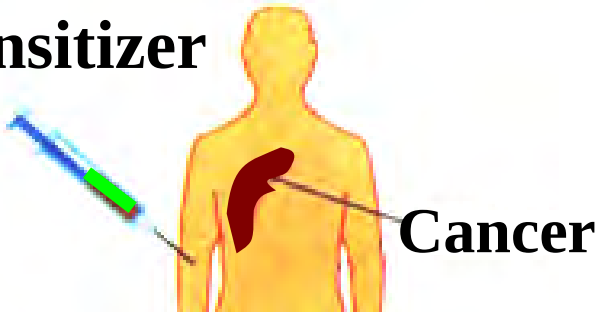


CDDS

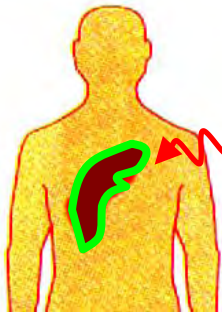


Photodynamic Therapy (PDT)

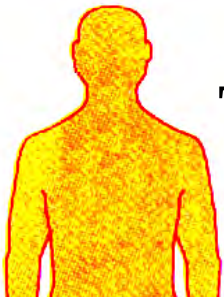
Photosensitizer
(PS)



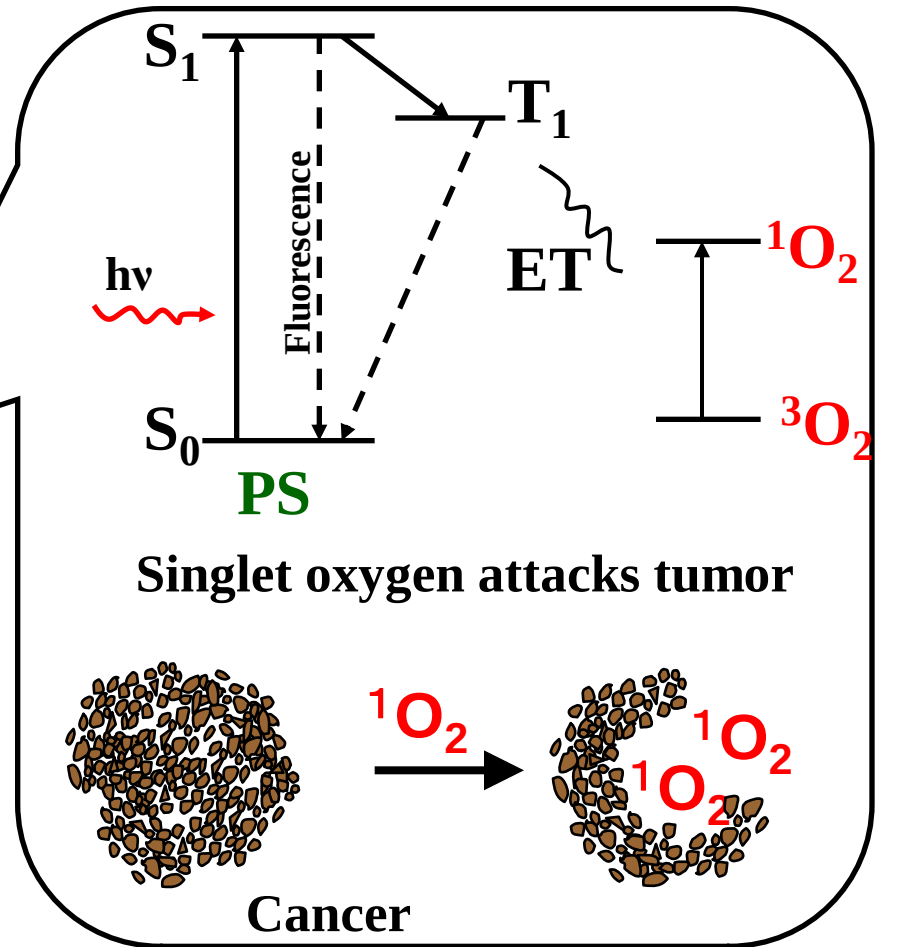
Cancer



Light 600-800 nm
(Therapy window)



Tumor is destroyed.



ZnPc: Possible PS for PDT, but water insoluble.

ZnPc@Liposome or Polymer: Liposome or polymer is biodegraded.

ZnPc@NHox-modified (hydrophilic)

FQ $\Rightarrow$ How?

偶然

(セレンディピティー)



必然

好奇心

感性、創造性、挑戦

知識

学習、文献、体験

発見

機会

時代背景、運

観測手段

訓練、根気、器用さ

観察

洞察力、目利き、判断力

観察から科学は始まる

ダイナマイト

X線

放射線

酒石酸

偶然はよく準備した人に微笑む

ペーシリン

テフロン

高温超伝導酸化物

フラーレン

伝導性ポリマー

蛋白分子の質量分析法

ニュートリノの発見

.....