

# 「2020年の材料科学」

～エレクトロニクス志向の有機材料とナノテクノロジー～

平成16年度基礎セミナー 石田尚行

e-mail: ishi@pc.uec.ac.jp

<http://tff.pc.uec.ac.jp/www.page/Ishida.html>

( 資料のpdf版が置いてあります )

物質科学の目指すものは？  
ゴールは？  
大学で身につけた学問は  
どのように役立つか？

を意識して

motivation  
を高く持て。

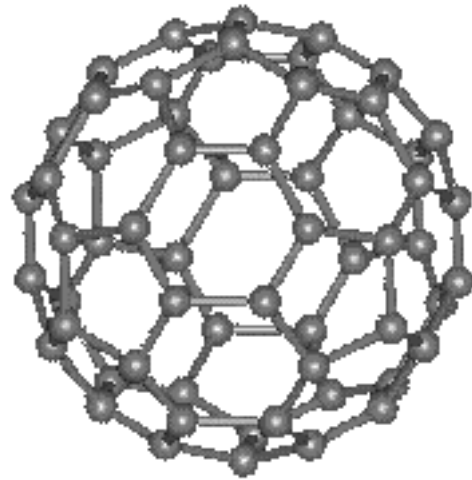
# 目次

- 1 ) 有機化学の授業
  - i) 結合とは
  - ii) 電子系の面白いところ
  
- 2 ) 役に立つ有機分子の例
  - i) CD-R 記録材料
  - ii) カラーコピー
  
- 3 ) 物質科学の未来像のひとつ
  - i) 2020年の集積度
  - ii) 分子素子

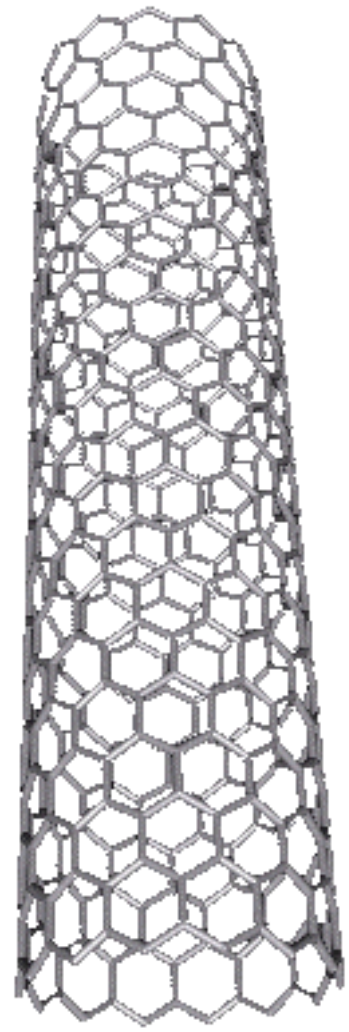
## 21世紀は分子の時代

# 役に立つ有機分子の例

かもしれない



フラーレン



ナノチューブ

## 飯島特別主席研究員 略歴

### 氏名

飯島 澄男 (いいじま すみお)

### 生年月日

1939年5月2日

### 現職

- ・ NEC 特別主席研究員
- ・ 名城大学 理工学部 材料機能工学科教授
- ・ 独立行政法人 産業技術総合研究所  
新炭素系材料開発研究センター長
- ・ 独立行政法人 科学技術振興機構(旧 科学技術振興事業団)  
戦略的創造研究推進事業 発展継続研究  
CNTプロジェクト(飯島チーム)研究代表者

### 学歴

- 1963 電気通信大学通信学科卒業
- 1965 東北大学理学部物理学科修士課程修了
- 1968 東北大学理学部物理学科博士課程修了

### 職歴

- 1968- 東北大学科学計測研究所助手
- 1970- 米国アリゾナ州立大学研究員
- (1979) 英国ケンブリッジ大学客員研究員
- 1982- 新技術事業団  
(現 独立行政法人 科学技術振興機構)  
創造科学推進事業 林超微粒子プロジェクト  
基礎物性グループ グループリーダー
- 1987- NEC入社 基礎研究所探索研究部主管研究員



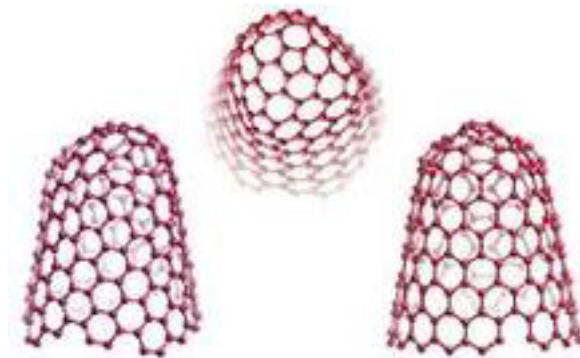
Empowered by Innovation

2001年8月30日

## NECなど、カーボンナノチューブ電極採用の携帯機器向け燃料電池を開発

日本電気(株)、科学技術振興事業団、(財)産業創造研究所は30日、カーボンナノチューブの一種である“カーボンナノホーン”を電極に採用した携帯機器向けの小型燃料電池を開発したと発表した。

燃料電池は、水素などの燃料と酸素とを電気化学的に反応させて化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換するもので、エネルギー密度がリチウム2次電池の10倍など、高効率な次世代エネルギーとして注目されている。今回開発した燃料電池は、電池の出力が従来より約2割向上することを確認しており、将来的にはノートパソコンの数日間の連続使用などが可能になるという。



カーボンナノホーン

せっかくの機会だから、

ここで~~少し~~勉強しましょう。

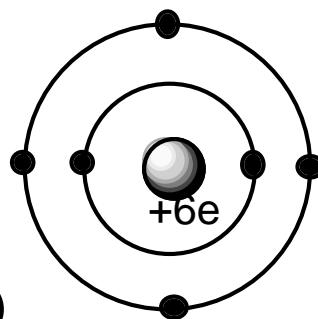
しっかり

# 【 1 】 結合とは？

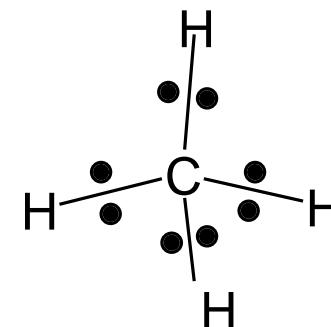
エレクトロニクス関連分野で役立つ . . . 電子系有機化合物  
有機化合物 . . . 含炭素化合物

## 炭素原子の成り立ち

6番元素 K殻 電子2個  
L殻 電子4個



最外殻電子（価電子）

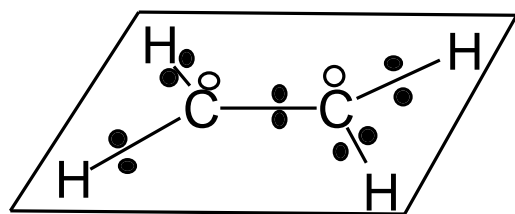


## 有機化合物の成り立ち

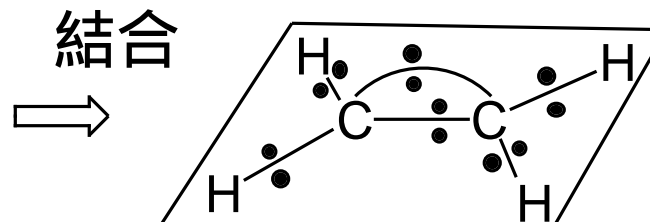
メタン、エタンなどの場合

炭素原子が「**オクテット**」則を満たすように他の4つの原子（例えば、メタンなら4つの水素原子）と結合する。互いに遠ざけるように配置するので（**価電子対反発**）、四面体構造となる。

エチレン、ベンゼンなどの場合  
炭素原子が他の3つの原子と結合した場合、  
平面三角構造となる。



まだオクテットを満たしていない



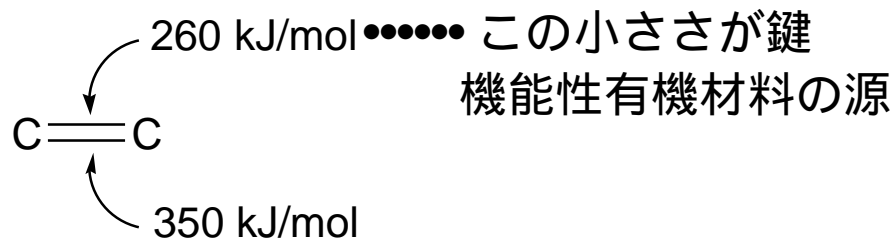
オクテットを満たす二重結合化合物

重要なこと：

$H_2C=CH_2$  と書くとき、二重線の一方は 結合、他方は 結合。  
結合は原子間を直線状に繋ぐ。 結合は原子間をコの字型に  
繋ぐ（弱い）。

平均結合エネルギー

C-H	420 kJ/mol
C-C	350 kJ/mol
C=C	610 kJ/mol

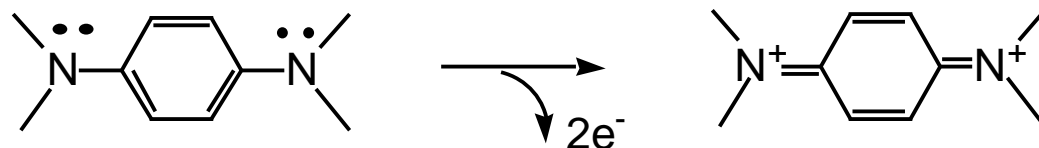




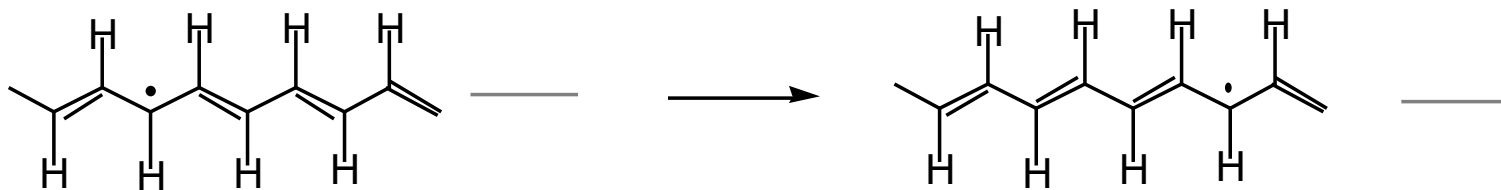
## 【2】 電子系の面白いところ

電子系は、いろいろな機能に役立つ。特に、共役する（一つおきに連なる）ともっと面白い。例えば、

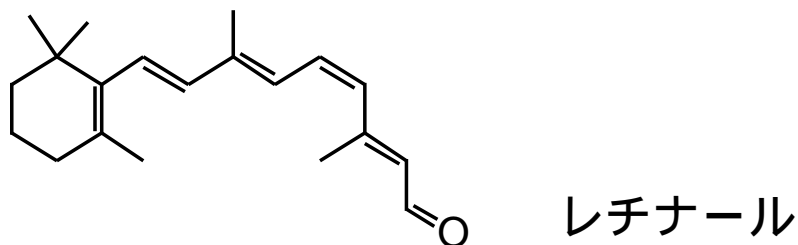
1) 電子の出し入れに順応する。



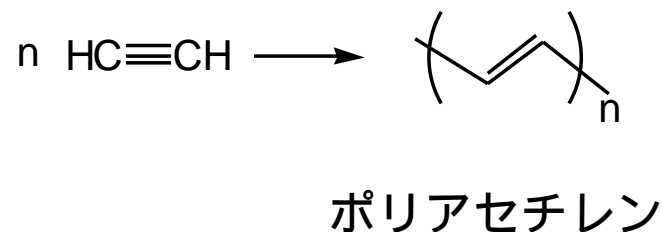
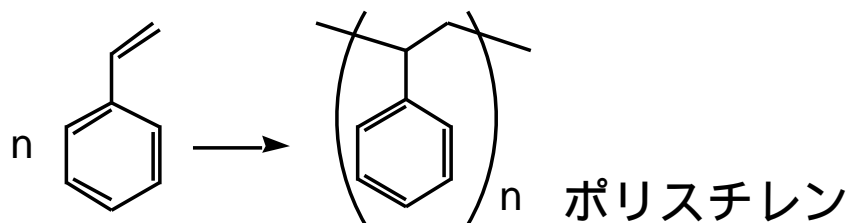
2) 系のひずみに順応する。



3) 光（ほどよい波長の電磁波）を吸収/放出する。

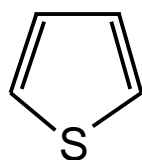


4) 反応する。

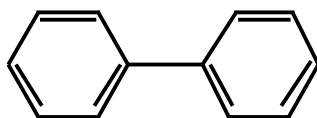


5) 芳香族という特別に安定な化合物群がある。

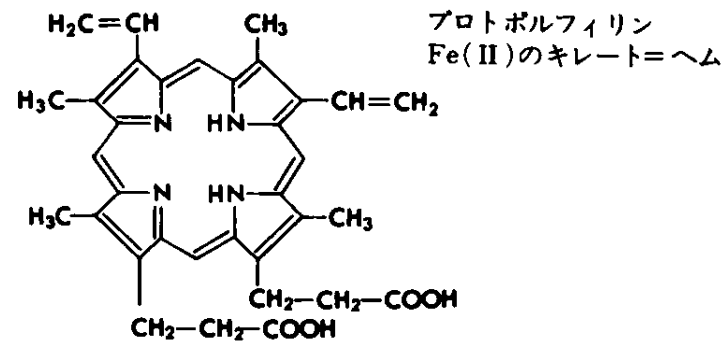
Hückel 則 環状  $(4n+2)$  電子系は安定



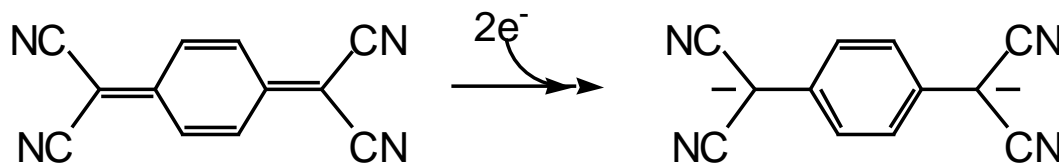
チオフェン



ビフェニル

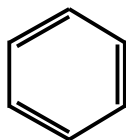


6) 共役系の長さや周辺原子により性質を変えられる。

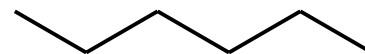


- # 1 炭素の手の足りない表現に出会ったら、オクテットを満たすように水素を補って考えて下さい(ただし、カチオン、ラジカルはこの限りではない)。

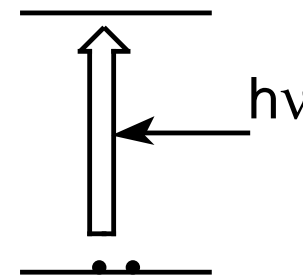
例) ベンゼン



n-ヘキサン



- # 2 光と物質との相互作用  
紫外光 ~ 可視光 (380 nm 紫端、780 nm 赤端) は、電子を下の軌道から上の軌道へ持ち上げるのにぴったり。



- # 3 関連する授業科目  
化学構造論 (1年前期)、有機化学 (2年後期)、  
量子化学 (3年前期)、分子分光学 (3年後期)、  
基礎科学実験 B (1年前期)、  
物質生命系実験 (3年前・後期)

# 目次

- 1 ) 有機化学の授業
  - i) 結合とは
  - ii) 電子系の面白いところ

現在の身近な話題：

- 2 ) 役に立つ有機分子の例
  - i) CD-R 記録材料
  - ii) カラーコピー

**夢のある**将来の話題：

- 3 ) 物質科学の未来像のひとつ
  - i) 2020年の集積度
  - ii) 分子素子

## たとえば、ノートパソコン



- 1 . 液晶ディスプレイ（有機EL、フィルタ）
  - 2 . バッテリー（ポリアニリン、ラジカル）
  - 3 . CD-R、DVD-R、Blue-Ray（光反応性色素）
  - 4 . スピーカ（平面振動板）
  - 5 . 外殻、骨組（エンジニアリングプラスチック）
  - 6 . 回路基板、フレキシブル基板
  - 7 . LSI・IC ケース、放熱機構
  - 8 . リソグラフィ技術（フォトレジスト）
- etc.



# CD-Rってなに？

**RICOH**  
Image Communication

## ●書き込みができるCD

CD-Rは、『コンパクトディスクレコーダブル』の略で、データの書き込みができるCDです。

## ●データ保管に有利

レーザー光線で色素を変化させて化学的に記録する方式。ディスク上に一度書いたデータは消したり、書き直したりできないので、データの保護は万全です。

## ●650MBまで追記可能

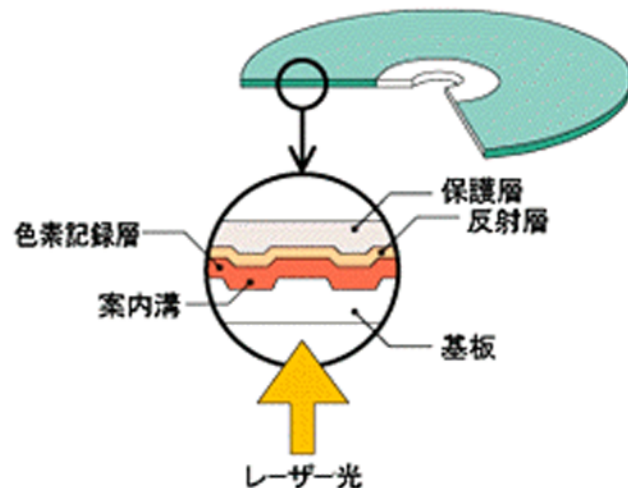
ディスクの容量は約650MB。A4文書で、なんと6千～1万枚分。容量がいっぱいになるまで何回でも追記できるマルチセッション規格です。

## ●寿命が抜群に長い

100年を超えるといわれる安定性、耐久性を持っています。

## ●公認の記録メディアに

これらの性質が評価され、欧米では、政府の公式文書や国立研究機関の資料などをCD-Rで保管する法律が整えられつつあります。また、国内でも帳簿書類を公的書類としてCD-Rで保存することが、法律上認められつつあります。



**記録時**…基板側から照射されたレーザー光が、色素の熱変化を起こし、記録ビットを形成します。

**再生時**…レーザー光が、記録ビットの有無による反射率の変化をデジタル信号として読み取ります。

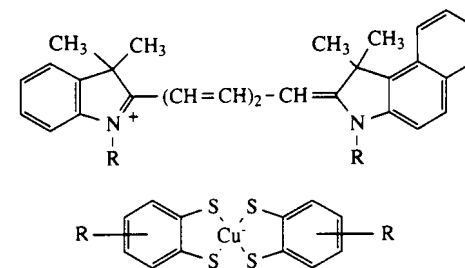
## こんなことに使われています

- 電子プレゼンテーション用
- 電子データの配布、保存
- マイクロフィルムの代わりに
- デジタルカメラで撮影した映像を電子アルバムに
- 設計事務所の図面管理
- 法律分野の判例集管理

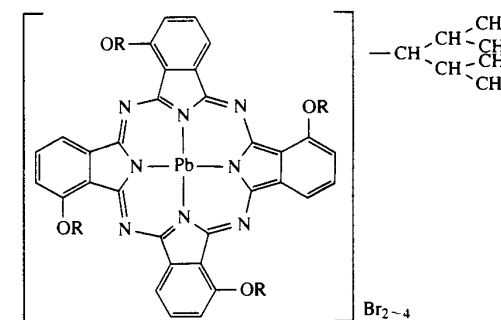
# CD-Rに使用される代表的な色素

メーカー名	商品名	記録色素	反射膜	OEMメーカー
太陽誘電 (That's)	CDR-74/670P	シアニン系	青緑色	自社生産
	CDR-74TY	シアニン系	青緑色	自社生産
	CDR-74/670Z	シアニン系	青緑色	自社生産
	CDR-74TY	シアニン系	青緑色	自社生産
TDK	CD-R74N	シアニン系	青緑色	自社生産
IMATION	CD-R NC	シアニン系	青緑色	自社生産
松下電器産業	LK-R74S	シアニン系	青緑色	太陽誘電製
ソニー	CDQ-74BN	シアニン系	青緑色	太陽誘電製
	CDQ-74A	シアニン系	青緑色	
リコー	CD-T Type74	フタロシアニン系	金色	自社製品
富士写真フィルム	CD-R74A	シアニン系	青緑色	TDK製
	CD-R74B	シアニン系	青緑色	TDK製
三菱化学	CD-R R74SS1P	アゾ系	銀色	自社生産
三井化学	MTCDR-74	フタロシアニン系	金色	自社生産
	MTCDR-74P	フタロシアニン系	金色	自社生産
バイオニアビデオ	CDM-V74S	シアニン系	銀色	自社生産
マクセル	CD-R74S	シアニン系	青緑色	自社生産
	CD-R74XL	シアニン系	金色	自社生産
花王	CD-R74F	フタロシアニン系	金色	リコー製
帝人	CD-R74	フタロシアニン系	金色	三井化学製
3M	CDR74D-JB	シアニン系	青緑色	太陽誘電製
Kodac	WritableCD	フタロシアニン系	金色	自社生産

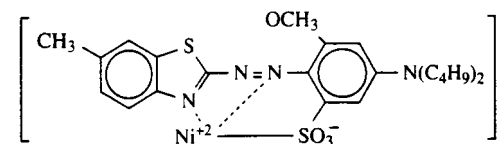
## シアニン色素



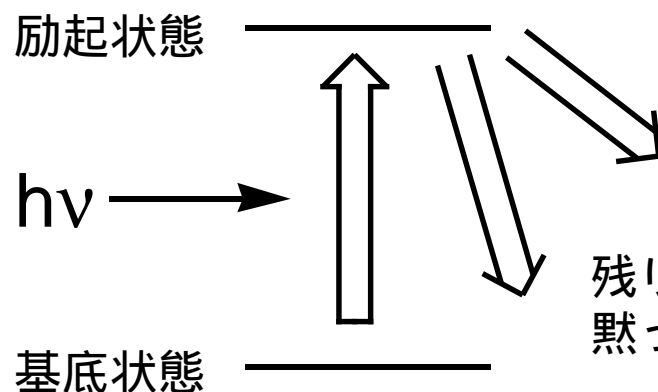
## フタロシアニン色素



## 含金属アゾ色素



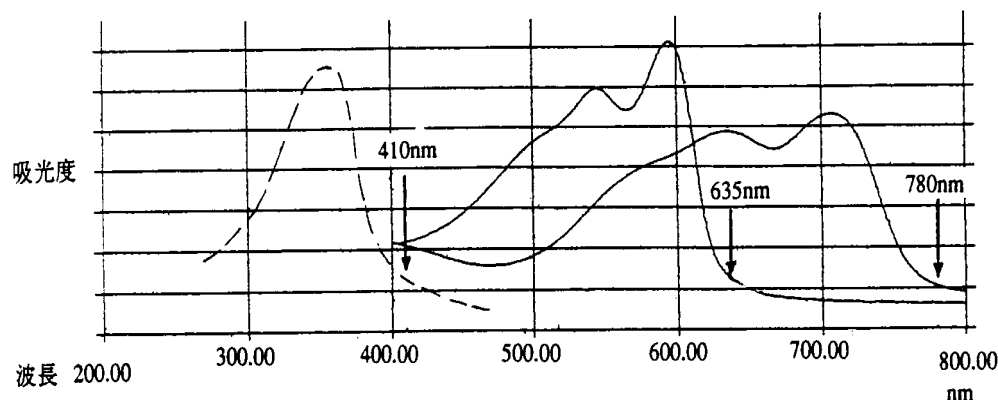
光吸収端が、書き込みレーザー波長に届いていること。  
量子収率（吸収された光子に対する反応分子の割合）が高いこと。  
読み取りの際には、もう化学変化を起こさないこと。



一部は化学反応を起こす  
(これを利用)。

残りはもう少し低い励起状態へ落ちたり、  
黙ってもとの状態にもどったりする。

現在要求されていること：  
**短波長化**による  
記録密度の増大  
**高速**書き込み



410nmLD (青色レーザー)  
18GB (片面)

635nmLD  
DVD-R 3.9GB

780nmLD  
CD-R 650MB





# CD-RにWがつくと...

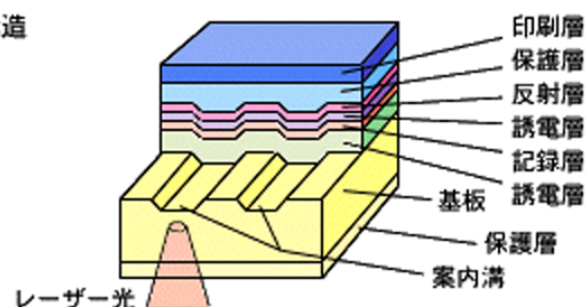
**RICOH**  
Image Communication

リコー独自の技術が、高い消去性能と記録感度を実現！  
ついに、CDの書き換えが気軽にできる時代へ！

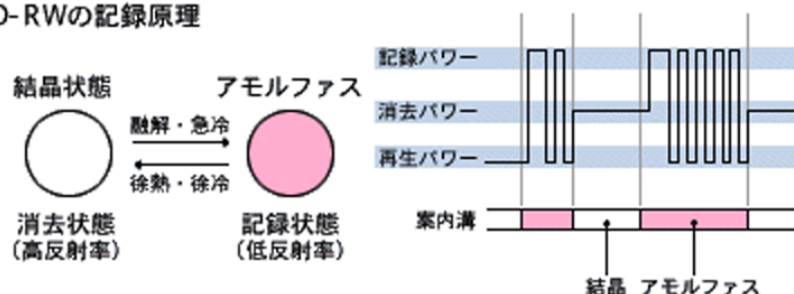
## ●CD-RWとは・・・

リコーは独自のAg-In-Sb-Te4元系相変化記録材料を採用し、世界初の書き換え型CD、CD-RWディスクを開発。従来の相変化記録材料をCDに採用した場合に生じるデータの消去性能と記録感度の低さを解消しました。記録原理は、レーザー光の照射で消去状態(結晶相)と記録状態(アモルファス相)を切り替え、その反射率の違いによってデータを記録するというもの。これにより、1,000回以上繰り返しデータを書き換えることができます。

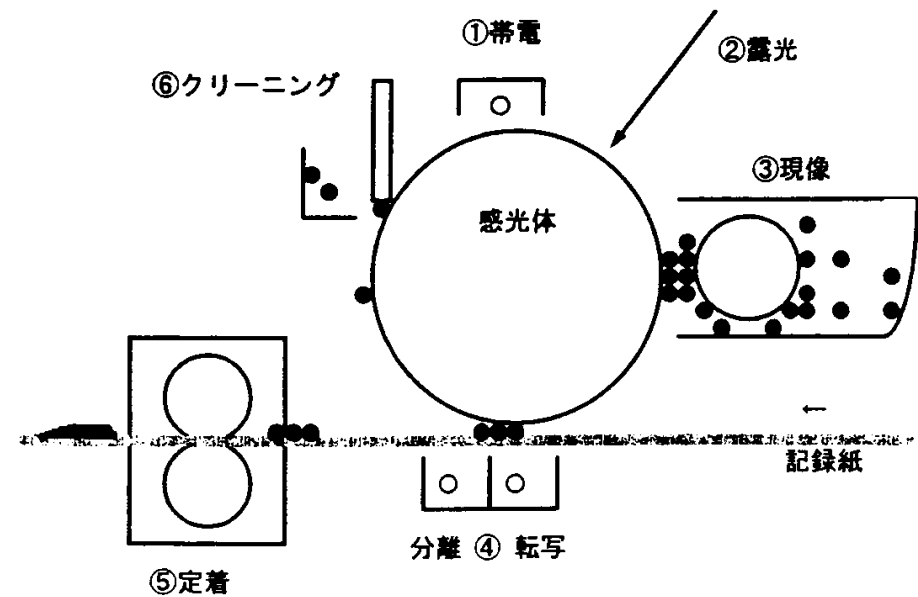
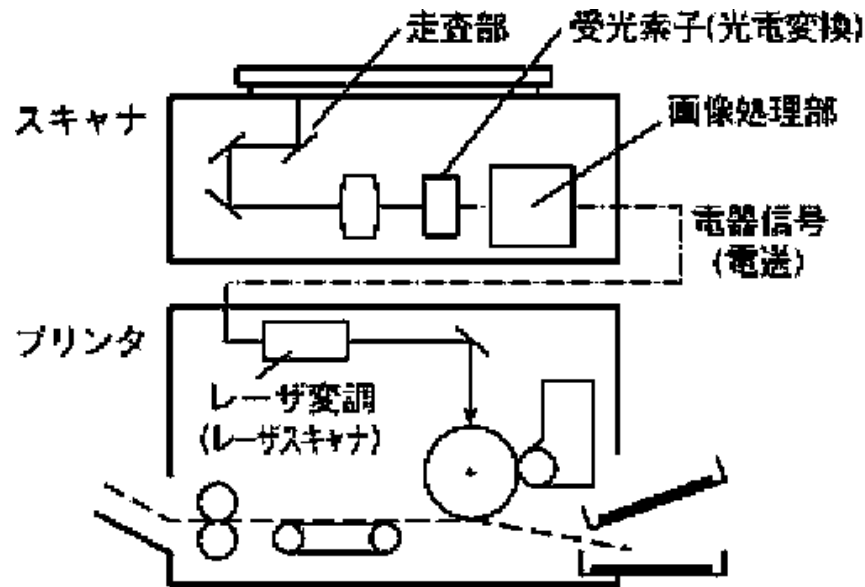
CD-RWの構造



CD-RWの記録原理



# デジタルコピー機・レーザープリンタの原理

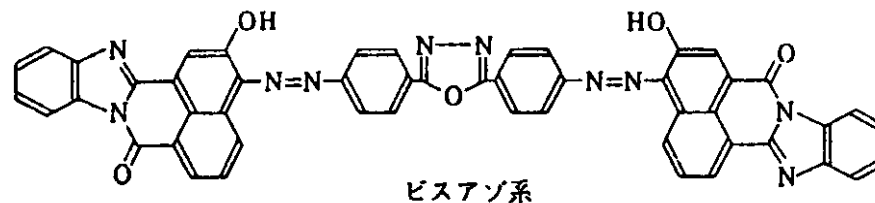


電子写真プロセス概念図

黒いところ	露光されない	静電気残る
白いところ	露光される	静電気失う

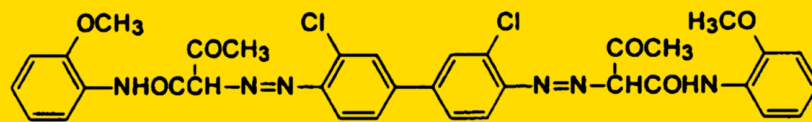
## 有機化合物の活躍するステージ:

- 1) 感光体 : OPC (Organic Photo-Conductor)  
有機化合物は静電気を帯びる性質をもつが、OPC は光が当たると導通し、静電気を失う。かつての Se 化合物を駆逐した。キャリア生成材、キャリア輸送材、電荷制御材、バインダはすべて有機化合物である。

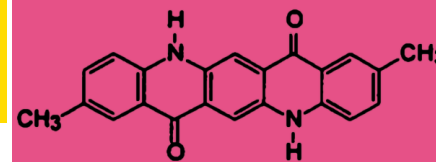


## 2) カラートナー Y M C K

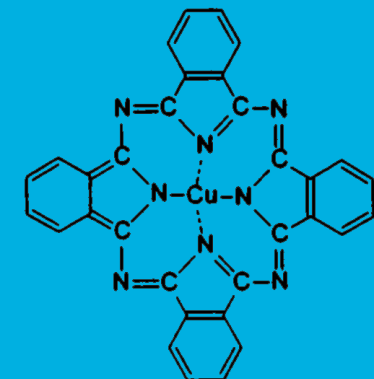
C.I.Pigment Yellow 17



C.I.Pigment Red 122



C.I.Pigment Blue 15:3



# 目次

- 1 ) 有機化学の授業
  - i) 結合とは
  - ii) 電子系の面白いところ
  
- 2 ) 役に立つ有機分子の例
  - i) CD-R 記録材料
  - ii) カラーコピー

## **夢のある**将来の話題：

- 3 ) 物質科学の未来像のひとつ
  - i) 2020年の集積度
  - ii) 分子素子

## ウェアラブルコンピュータ

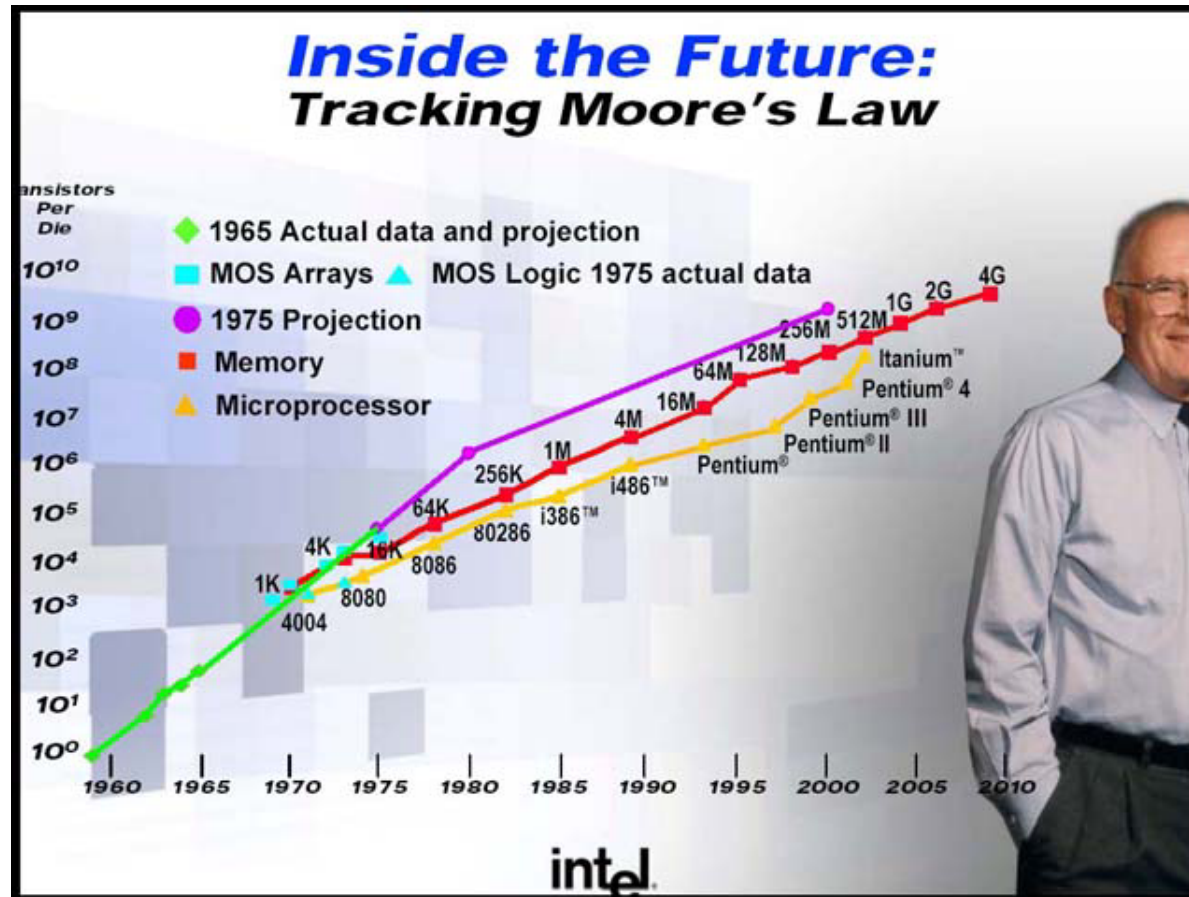


デートで行く映画館だって  
腕に付けたウェアラブルコ  
ンピュータで検索できてし  
まうのだ

<http://www.pc.mycom.co.jp/pcfan/news/1998/11/25/05.html>

## CPU の集積度

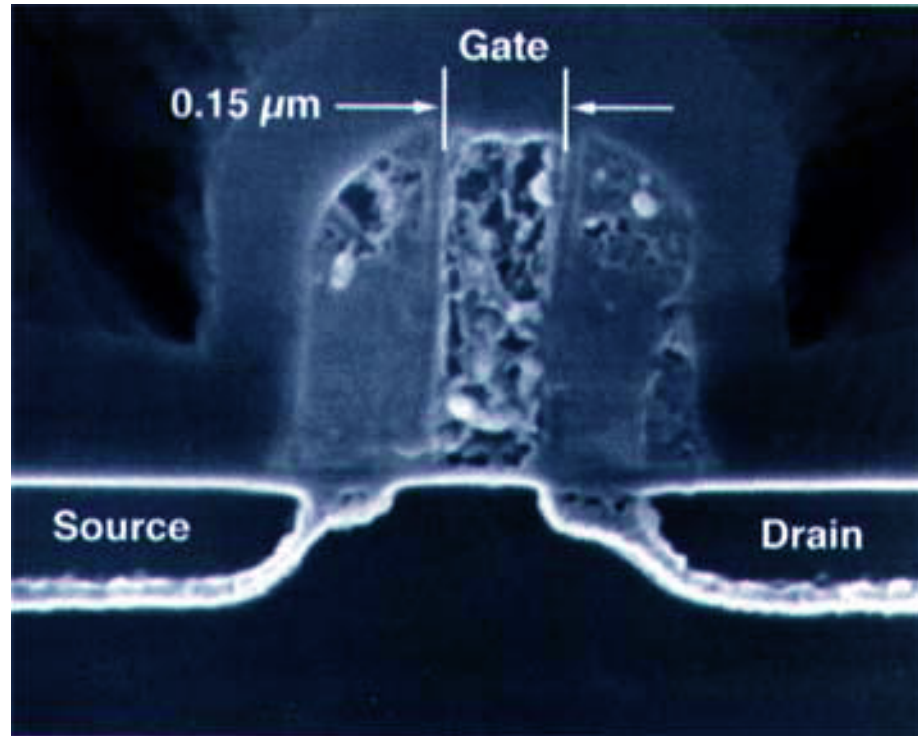
1年半で約2倍の割合で向上してきた（ムーアの法則）。



(Intel 社)

2020年の集積度は、2000年のそのの 10000倍  
すなわち**微細加工技術で、100倍が要求される??**

0.15  $\mu\text{m}$ ゲート電極を持った  
電界効果トランジスタの電子顕  
微鏡写真（1G DRAM相当）。



1970 年当時の LSI デザインルールは 10  $\mu\text{m}$ 程度  
(1  $\mu\text{m}$  は 1 / 1000 mm)

2000 年当時の ULSI デザインルールは 0.18 ~ 0.15  $\mu\text{m}$  程度  
256M DRAM 出荷

2004 年 2 月 IBM 0.09  $\mu\text{m}$  デザインルールの CPU 量産開始  
1G DRAM 出荷

MYCOM  
**PCWEB**

## 米IBM、90ナノ世代のPowerPC「970FX」の 量産を開始 - Xserve G5にも搭載へ

2004/2/16

米IBMは、SOI・歪みSi・銅配線という3つの技術  
を組み合わせることができるプロセッサ製造技術  
を開発、同社の300mmウエハ生産拠点において、  
**90nm**プロセスを採用した64ビットプロセッサ  
「PowerPC 970FX」の量産を開始した。



「PowerPC 970FX」



## 記録メディアの「密度」

FD	1.4 MB / 3.5 inch	400 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
MO	230 MB / 3.5 inch	10 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
	1.3 GB / 3.5 inch	1 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
CD	650 MB / 12 cm	20 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
DVD	4.7 GB / 12 cm	1 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$
HD	9 GB / 3.5 inch	0.2 $\mu\text{m}^2/\text{bit}$

サブマイクロメートルの加工

DVD で、0.4  $\mu\text{m}$  程度

HD で、0.1  $\mu\text{m}$  程度

**加工精度は、LSI と同程度**

## ステッパー



縮小投影型露光装置 NSR-S307E (2003年7月発表)

ニコン製



キヤノン製

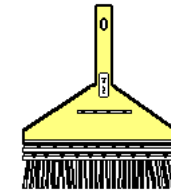
回路パターンの原版に光をあて、そのパターンを投影レンズで縮小。ICの基板となるシリコンなどの薄板(ウェハ)を載せたステージを移動させながら、ウェハ全面に回路パターンを露光転写する。

液晶ディスプレイや、ハードディスク磁気ヘッドの製造にも使用される。

投影レンズの表面精度の誤差は、直径 20 cm で 10 nm 以下。東京ドームのグラウンドにたとえると、わずか 0.006 mm (= 6  $\mu$ m) の凹凸しかない。

回路パターンは「ミクロの絵」

「ミクロの絵」を描く絵筆は細かいほどよい。



露光装置（リソグラフィ：写真の原理）

高圧水銀ランプの光 0.25  $\mu\text{m}$

フッ化クリプトン（KrF）エキシマレーザー 0.22  $\mu\text{m}$

フッ化アルゴン（ArF）エキシマレーザー 0.18  $\mu\text{m}$

X線

シンクロトロン放射光

これより微細加工するには

電子線 --- > 0.01  $\mu\text{m}$  NTT基礎研究所

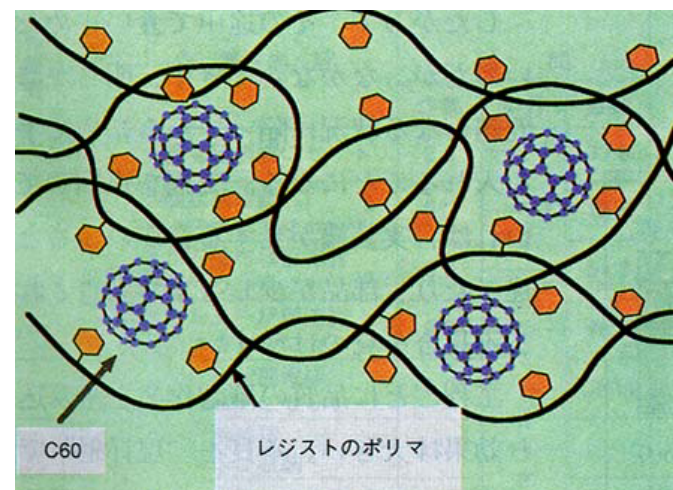
ただし電子ビーム露光は「一筆描き」

光学露光装置と比べて処理速度が遅い。

## C60でLSIの微細加工限界向上

玉村敏昭 NTT光エレクトロニクス研究所  
光素子研究部主席研究員

NTT光エレクトロニクス研究所は、炭素の新材料として注目されているC60をLSI製造用のレジスト材料に添加すると、露光パターンの解像度が約40%高まり、加工精度が向上することを見い出した。SOR（シンクロトロン放射）リソグラフィを用いる、線幅 $0.15\mu\text{m}$ 以下の次世代のULSIの製造に適用できる有望技術として熱い視線を浴びている。



直径が $0.7\text{nm}$ と微細なC60がレジストのポリマの間に均一に分散している模式図

< 100 nm ルールも可能になったが、今後...

リソグラフィの限界か  
はたして安定に作動するのか  
リーク、量子効果、消費電力 etc.

 CNET Japan

NEWS

## 「ムーアの法則」に壁--米インテル研究者が認める

2003/12/02 23:12

最近発表された研究論文によると、今日チップメーカー各社が一般的に「ムーアの法則」と呼んでいるチップの性能の伸びが、まもなく壁に突き当たるといふ。むろん、壁に突き当たるといっても、それは20年ほど先の話である。トランジスタサイズの縮小は、小型で強力かつ安価なチップをつくり出す方法である。

研究者がトランジスタのサイズ縮小の限界を理論付けるのは、特に目新しいことではない。しかしこれが、Intelの研究者の発言だというのは珍しく、そのことがチップ設計者が現在直面している問題をなおさら浮き彫りにしているといえるだろう。

# 「ナノ」は次世代技術の合い言葉

$10^3$  キロ(k)

$10^6$  メガ(M)

$10^9$  ギガ(G)

$10^{12}$  テラ(T)

$10^{-3}$  ミリ(m)

$10^{-6}$  マイクロ( $\mu$ )

$10^{-9}$  ナノ(n)

$10^{-12}$  ピコ(p)

## 2020 年のナノテクノロジー

### 計算速度と集積度の関係

$$\text{パフォーマンス} = \text{素子数} \times \text{クロック}$$

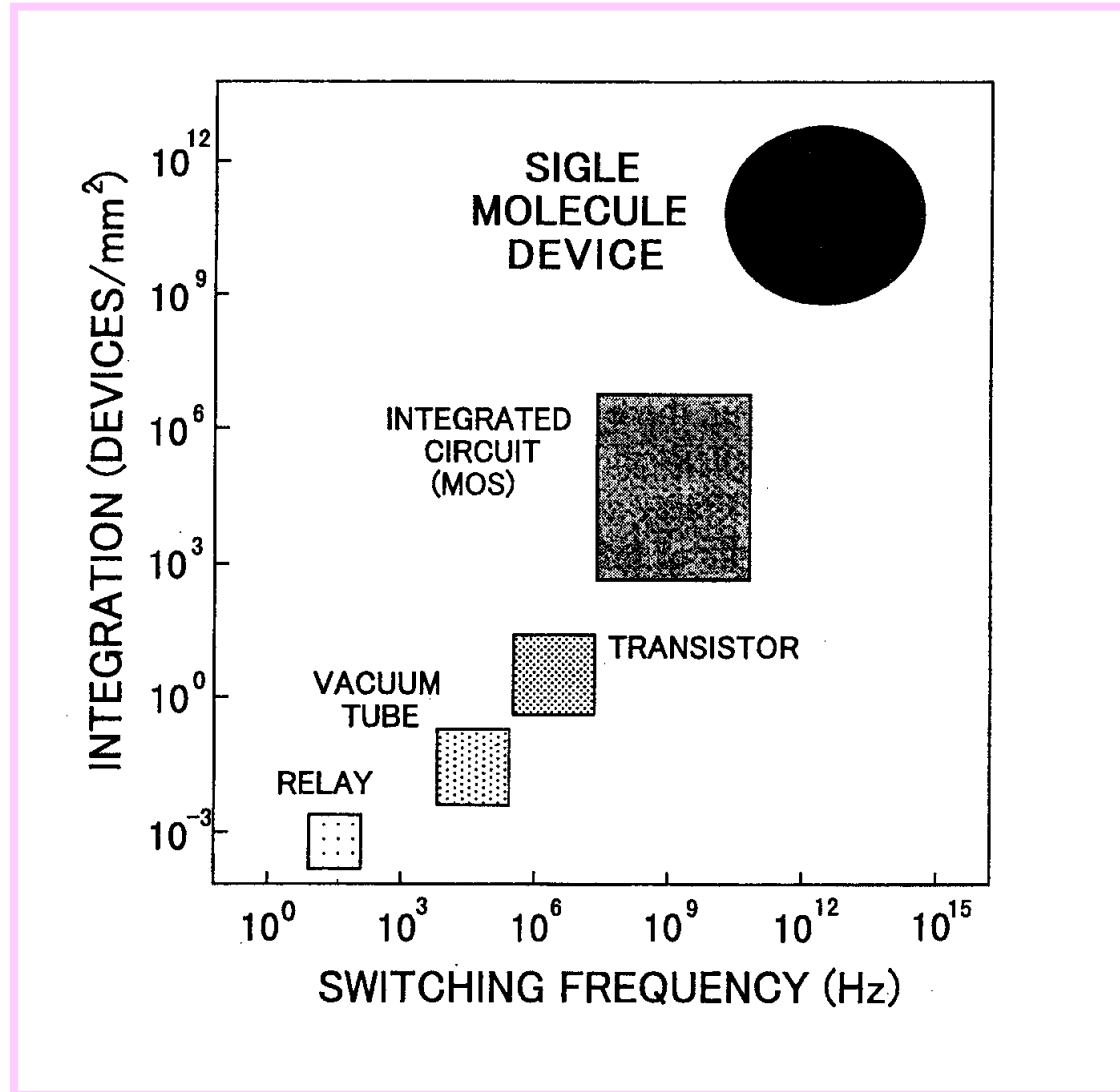
### 高速応答の要求：

1 THz 作動	光速	0.3 mm/psec
$10^{10}$ devices /chip		2 nm <sup>2</sup> /device

現在、LSI の一つのトランジスターは 3 0 0 0 ~ 5 0 0 0 の電子が移動することにより動作している。

今後、集積度を 3 0 0 0 ~ 5 0 0 0 倍に高めたいのであれば、**1 電子で動作する単分子素子**を利用することで解決できる。

# 単分子デバイスのパフォーマンス





## 2020 年のナノテクノロジー

100 nm は、分子の大きさに迫っている！

導線	分子ワイヤー
論理回路	分子素子、分子コンピュータ
記録素子	分子磁石
情報伝送	分子光コネクタ
表示材	分子LED
操作	AFM, STM, SNOM, MFM

“ Personal Molecular Computer ”

## 2020 年のナノテクノロジー

分子は、ヒトが操作できる大きさなのか？

Yes

分子一つに配線したり、アドレスすることはできるのか？

Yes

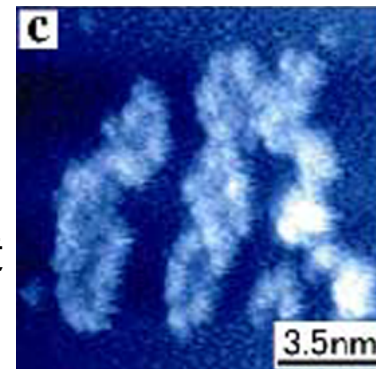
現在解決すべき問題：

電極から有機分子への電子移動の効率  
有機絶縁体の電子ホッピングの効率



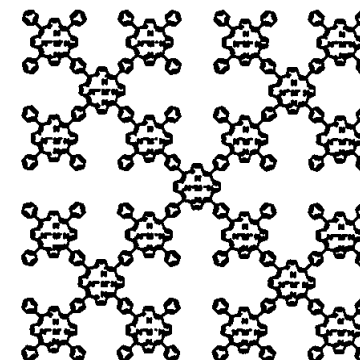
$$3.4(\pm 0.2) \text{ nm} \times 25 = 90 \text{ nm}$$

DNA 二重らせん構造  
のSTM観察



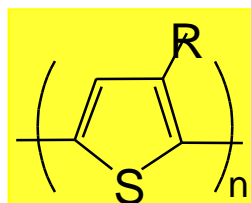
$$10 \text{ nm} \times 9 = 90 \text{ nm}$$

一辺 6.5 nm (65 Å) の  
ポルフィリン21量体



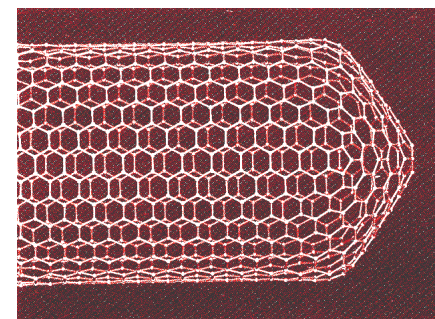
$$0.38 \text{ nm} \times 128 = \sim 50 \text{ nm}$$

$$0.38 \text{ nm} \times 256 = \sim 100 \text{ nm}$$



ポリチオフェン

数ナノメートルの直径をもつ、  
カーボンナノチューブ、長さはいくらでも。



*Nature*, 382, 54 (1996).

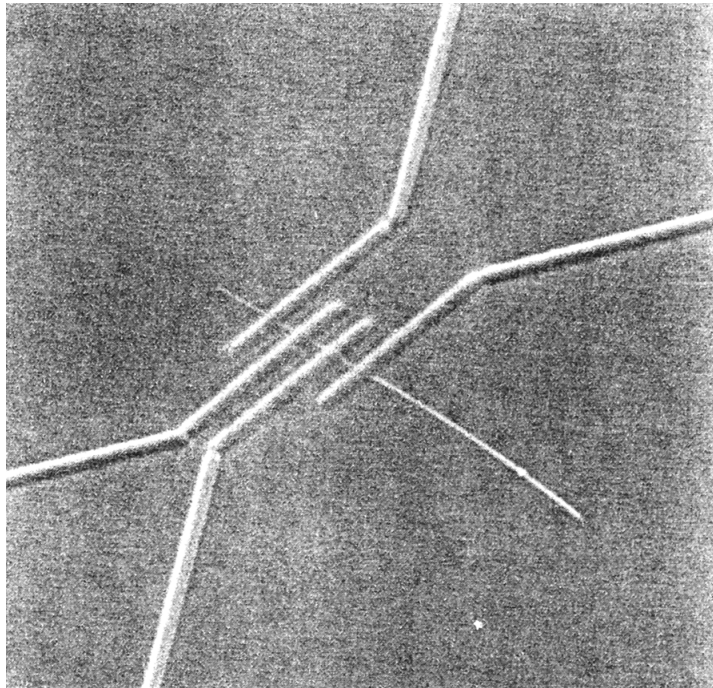
## Electrical conductivity of individual carbon nanotubes

T. W. Ebbesen\*, H. J. Lezec†, H. Hiura‡, J. W. Bennett\*,  
H. F. Ghaemi\* & T. Thio\*

\* NEC Research Institute, 4 Independence Way, Princeton,  
New Jersey 08540, USA

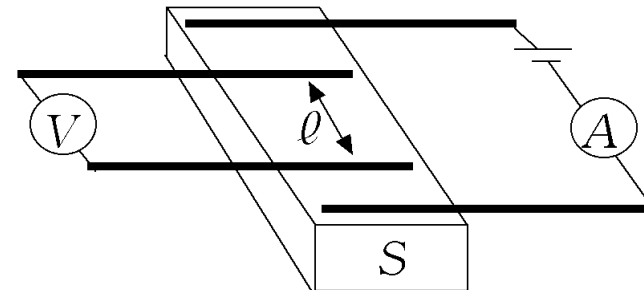
† Micrion Europe GmbH, Garmischer Strasse 4/V, 80339 München,  
Germany

‡ Fundamental Research Laboratories, NEC, 34 Miyukigaoka,  
Tsukuba 305, Japan



ナノチューブ一本の伝導度を測定した！

構造（太さ、ラセンのピッチ）に依存して、金属的電導体や半導体がある。



$$V = RI$$

$$R = \rho (\ell / S)$$

$\rho$  : 比抵抗

(物質に関わる定数)

# DNA に電気が流れるの？

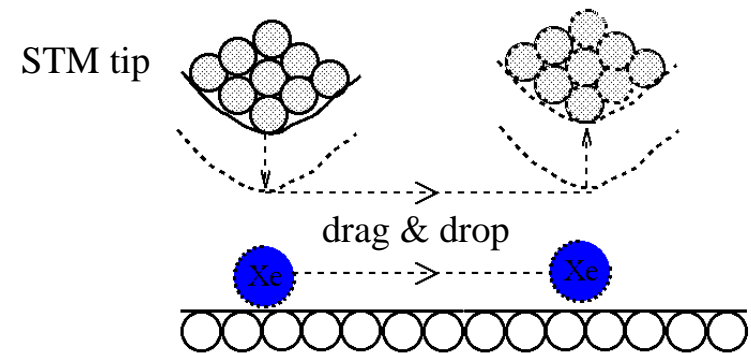
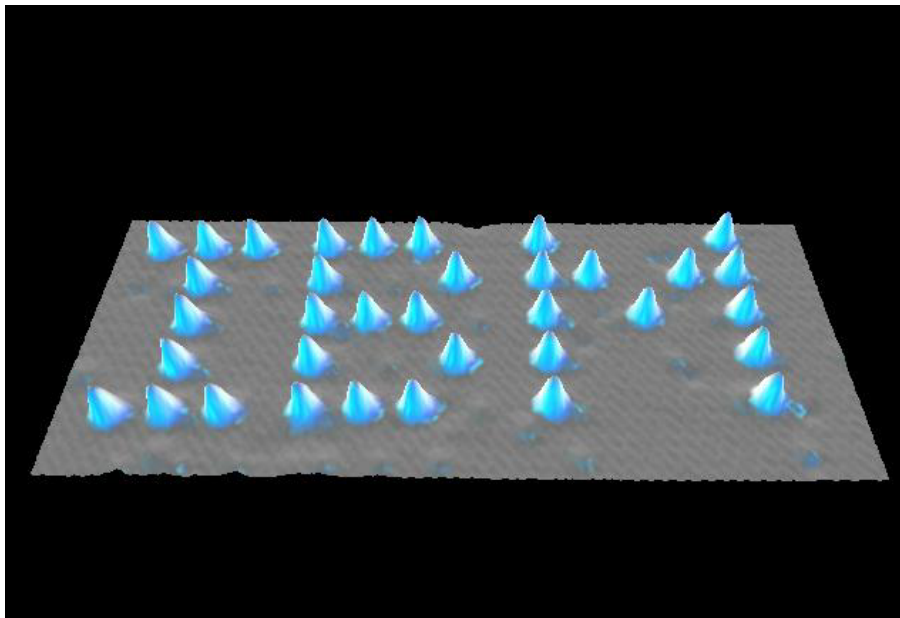


表 1. DNAの電気伝導特性

	研究者	出典	備考
流れる	(1) J.K.Barton	Science 262 (1993) 1025	$\beta = 0.1 \sim 0.4$
	(2) "	Nature 382 (1996) 731	
	(3) Y.Okahata	J.Ame.Chem.Soc. 118 (1996) 10679 120 (1998) 6165	$2.5 \times 10^5 \Omega \text{ cm}$
	(4) Lewis	Science 277 (1997) 673	$\beta = 0.64$
	(5) Barton	Science 283 (1999) 375	$\beta = 0.1 \sim 1.0$
	(6) C.Schonenberger	Nature 398 (1999) 407	$1 \text{ m} \Omega \text{ cm}$
	(7) P.Tran	Phys.Rev.Lett. 85 (2000) 1564	$1 \sim 10 \Omega \text{ cm}$
流れない	(1) A.Harriman	J.Ame.Chem.Soc. 114 (1992) 3656	$\beta = 0.88$ タンパク 0.91-1.49
	(2) D.N.Beratan	J.Phys.Chem. 100 (1996) 17678	Theory $\beta = 1.2 \sim 1.6$
	(3) K.Tanaka	Angew.Chem.Int.Ed. 37 (1998) 158	$\beta = 1.4$
	(4) Y.Eichen	Nature 391 (1998) 775	$\beta = \infty \Omega \text{ cm}$
	(5) D.Porath	Nature 403 (2000) 635	
他	R.Wasielewsk.	Nature 396 (1998) 60	準位の整合性

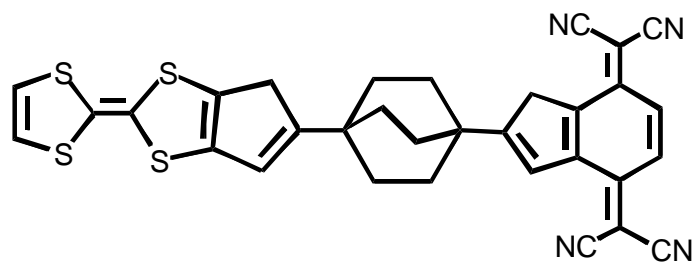
D.M. Eigler and E.K. Schweizer, *Nature*, **344**, 524 (1990).

Nickel(110) 表面に、3 5 個のキセノン原子で字を書いた。



STM (Scanning Tunneling Microscope) の技術を使うと、原子レベルの観察のみならず、個々の原子を動かしたり並べたりできる。

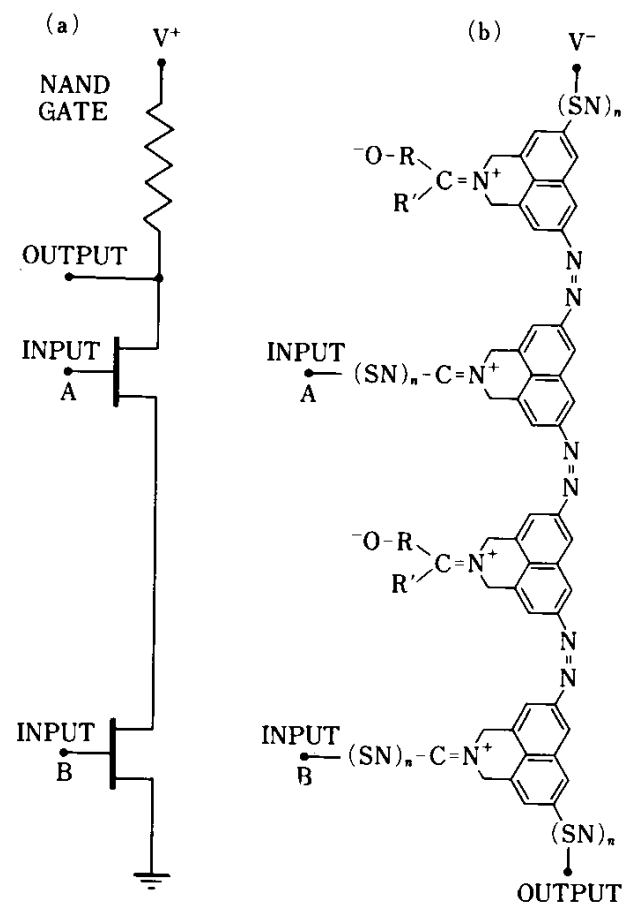
# "Molecular Electronic Devices" "Molelectronics"



分子整流器

## F. カーターの提案した分子デバイスの例

F. L. Carter, "Molecular Electronic Devices,"  
Marcel Dekker, Inc., New York, 1982.

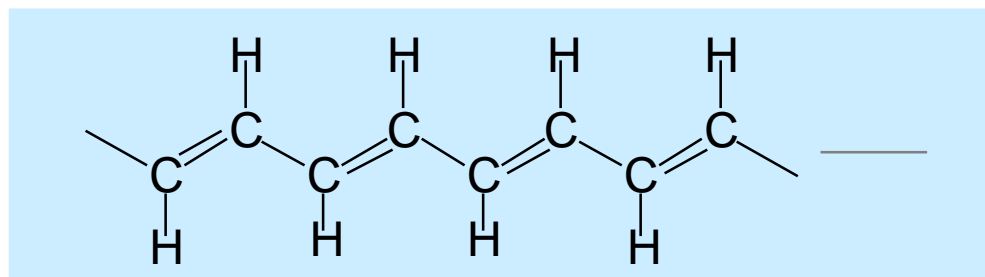


分子論理回路



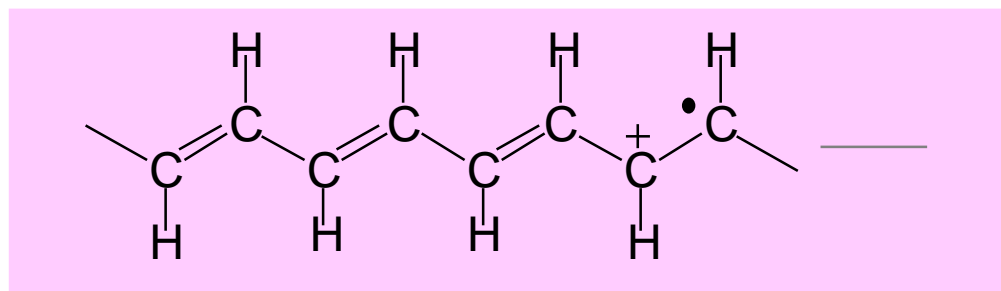
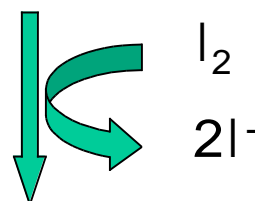
# ポリアセチレンはドーピングしなければ絶縁体

(白川英樹)



絶縁体

例えば酸化

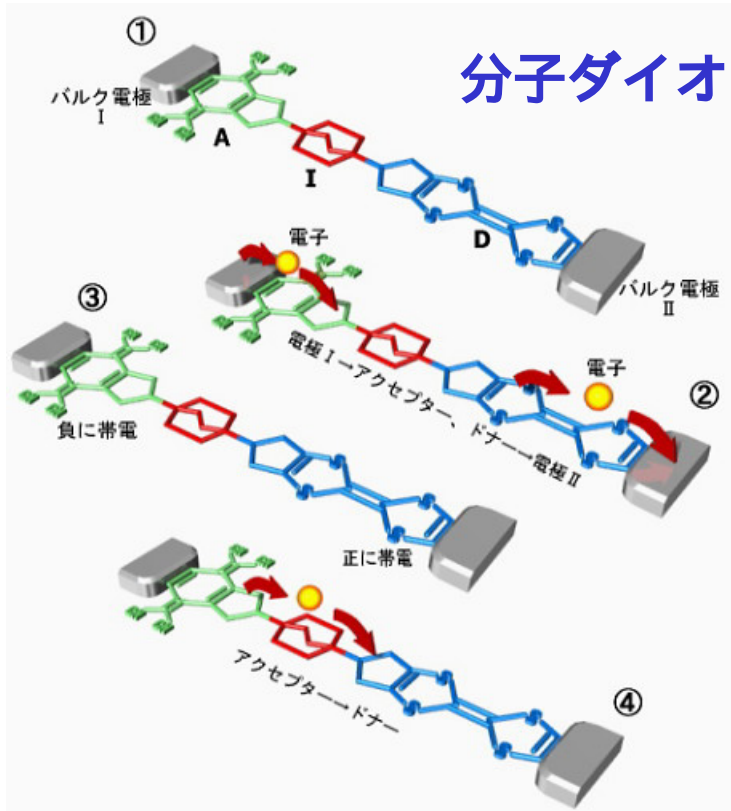


電導体

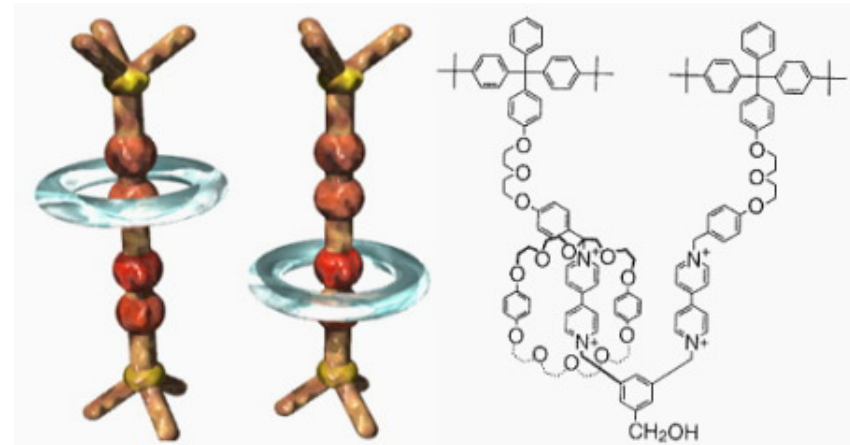
ラジカルカチオンにすると、電子が移ることのエネルギーは少なくて済む。  
満員の映画館では席替えができないが、空席があれば移ることができる。



## 分子ダイオード



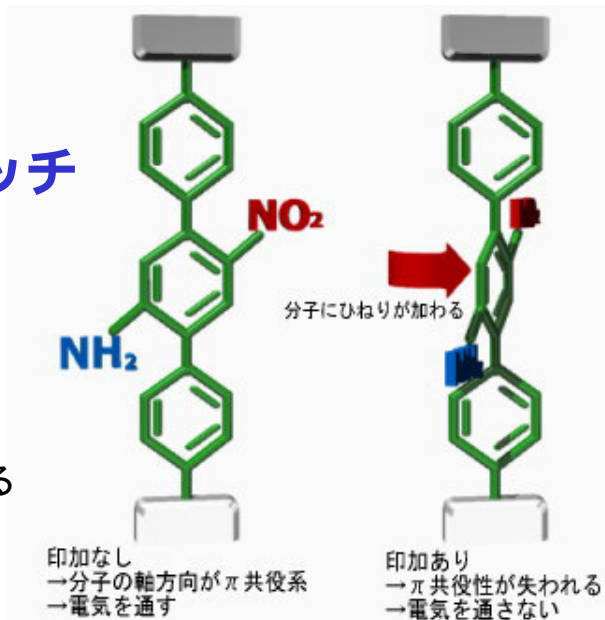
## 記憶素子



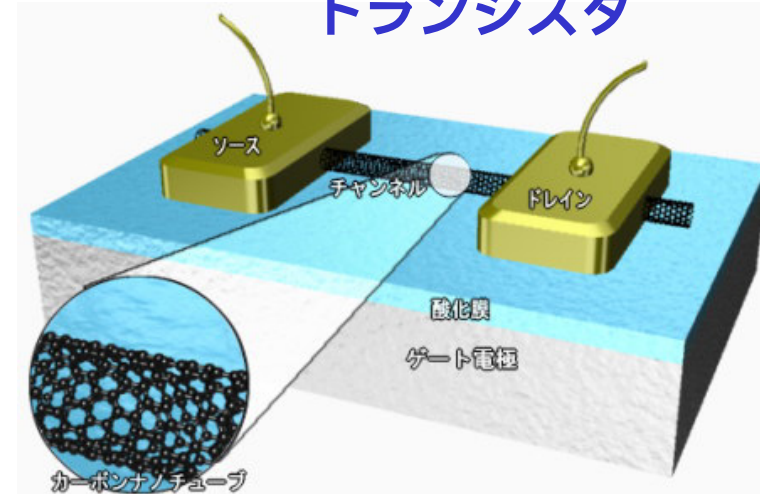
リングが二つの安定な位置に行ったり来たりすることで分子の軸方向の導電性が変化する。二つの準安定状態を0と1に対応させ、導電性を検出すれば、1bitの記憶素子として利用することができる。

## 分子スイッチ

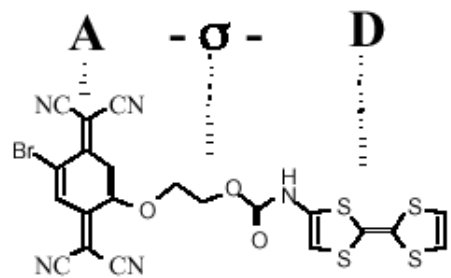
電場によってひねりを加える



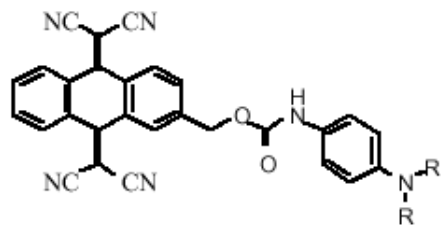
## トランジスタ



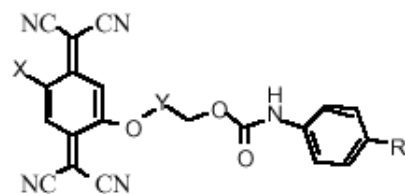
カーボンナノチューブをチャンネルに利用したCNT FET (Carbon NanoTube Field Effect Transistor)



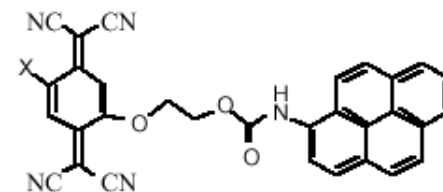
2: TTF-C-BHTCNQ



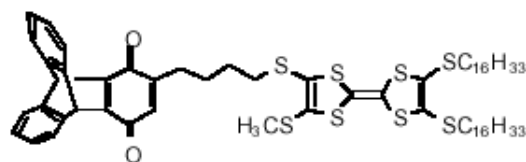
5a: R=n-C<sub>6</sub>H<sub>13</sub> :BHAP-C-HMTCAQ  
5b: R=n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> :BDDAP-C-HMTCAQ



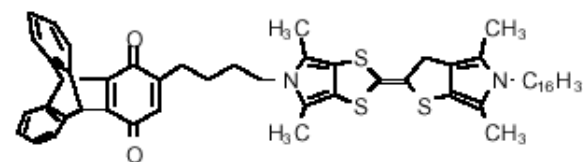
3a: R=O-(n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>), X=Br, Y=CH<sub>2</sub> :DDOP-C-BHTCNQ  
3b: R=N-(n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>)<sub>2</sub>, X=Br, Y=CH<sub>2</sub> :BDDAP-C-BHTCNQ  
3c: R=N-(n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>)<sub>2</sub>, X=H, Y=CH<sub>2</sub> :BDDAP-C-HETCNQ  
3d: R=N-(n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>)<sub>2</sub>, X=H, Y=C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> :BDDAP-C-HPTCNQ  
3e: R=N-(n-C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>)<sub>2</sub>, X=H, Y=C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> :BDDAP-C-HBTCNQ



4a: X=Br: Py-C-BHTCNQ  
4b: X=H: Py-C-HETCNQ

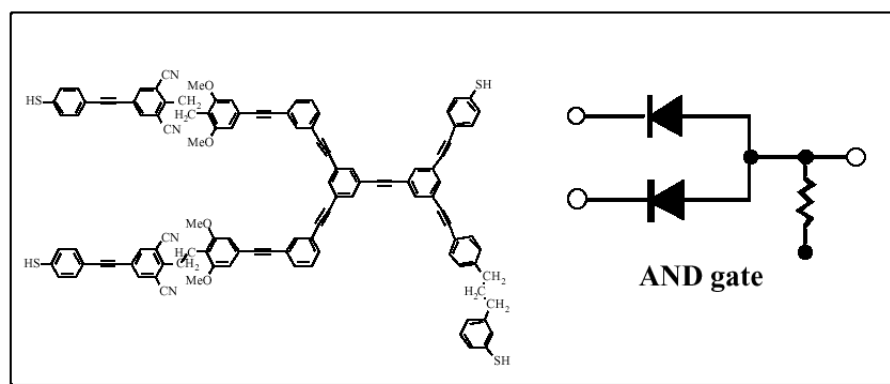


6: BHD-S4-TTF-C4-TrpQ

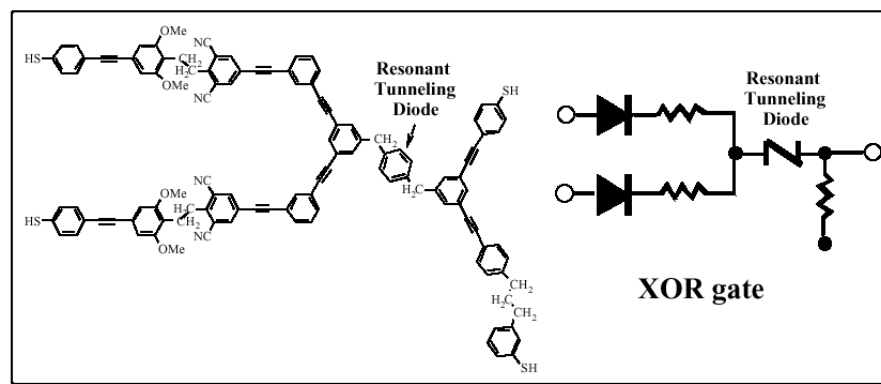


7: HDPyr-TTF-Pyr-C4-TrpQ

### A-σ-D 型 単一分子整流器候補分子の合成例



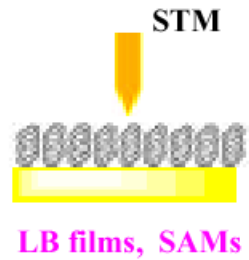
AND gate



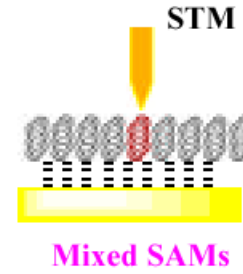
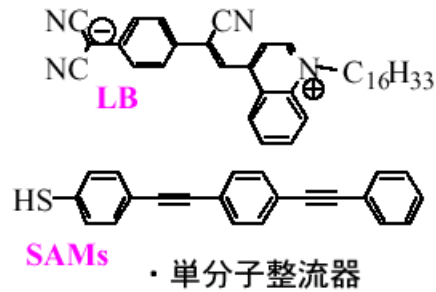
XOR gate

### 分子論理回路の設計例

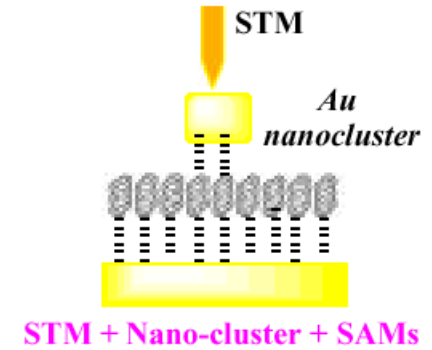
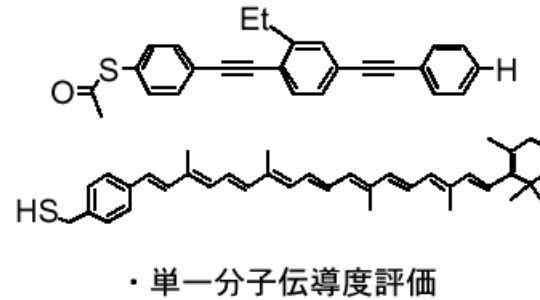
# 単一分子伝導度計測方法



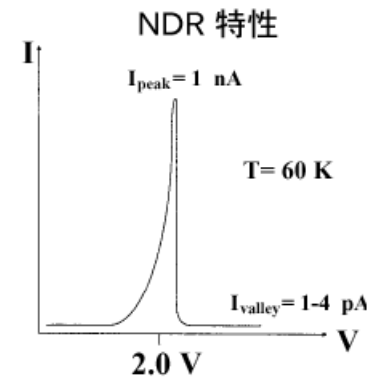
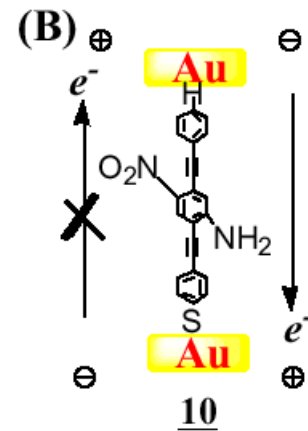
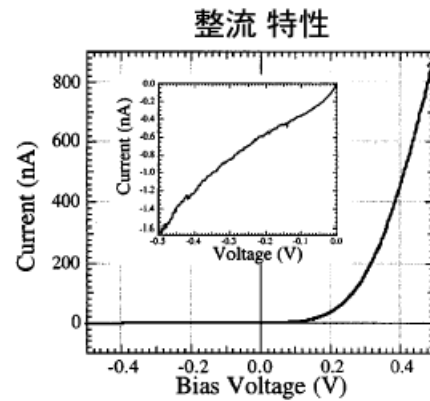
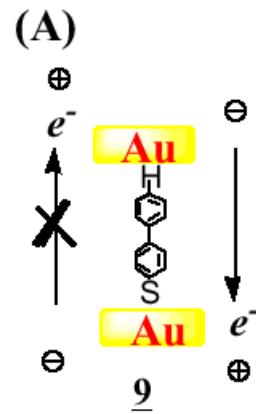
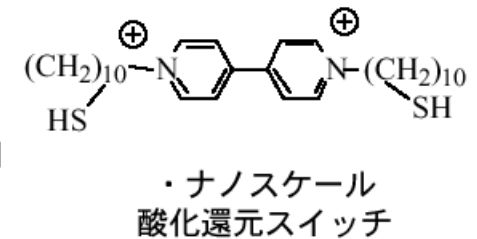
被計測分子例



被計測分子例

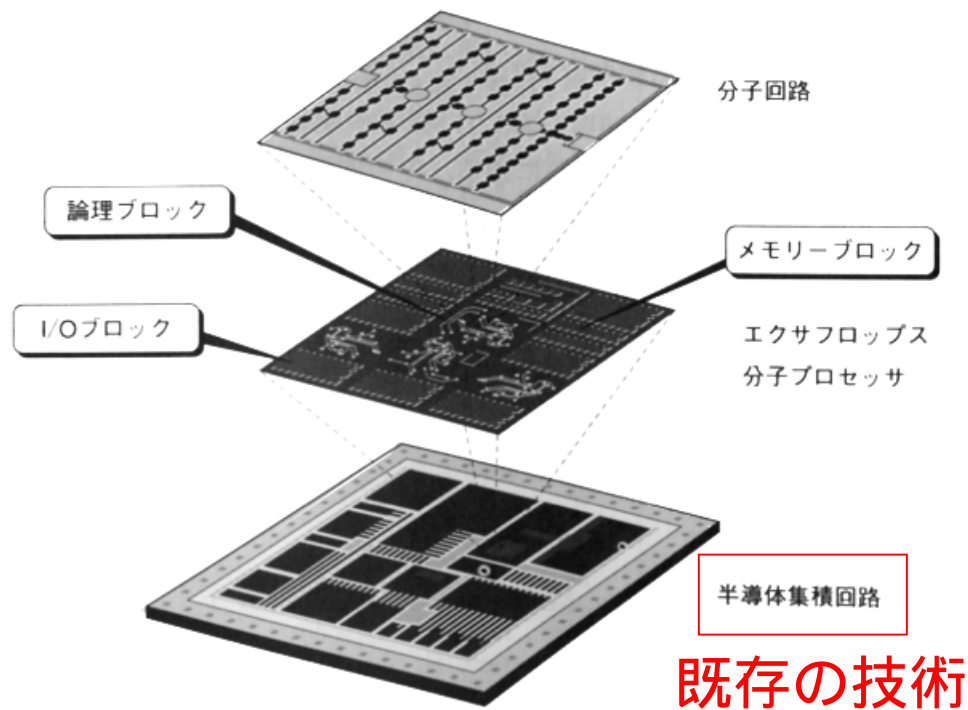


被計測分子例



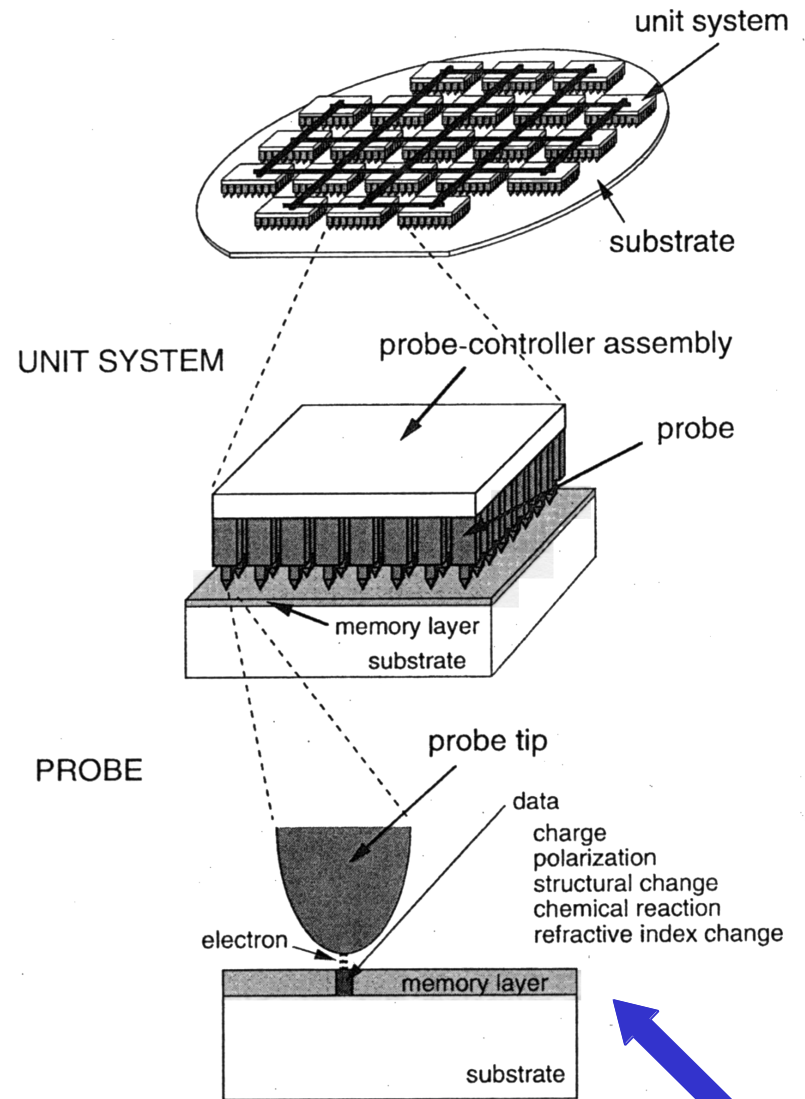
ナノポア法による計測例

# 日立の提案する 機器構成の設計例



単一分子デバイスからなる分子集積回路の概念図

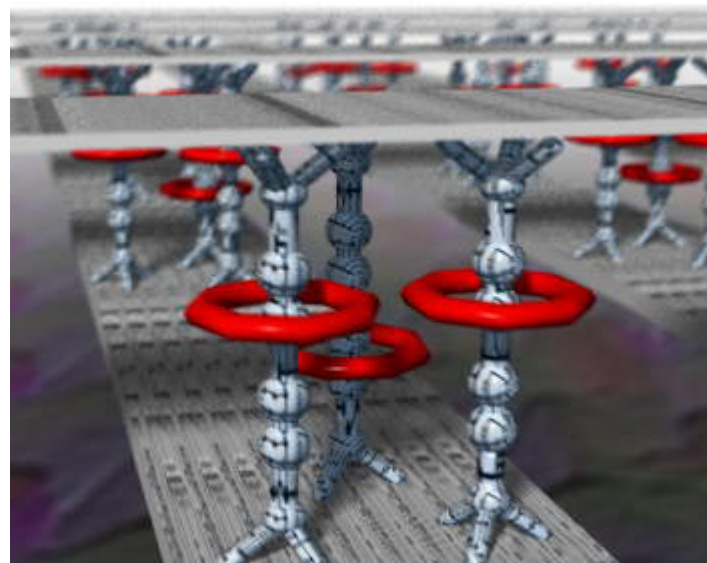
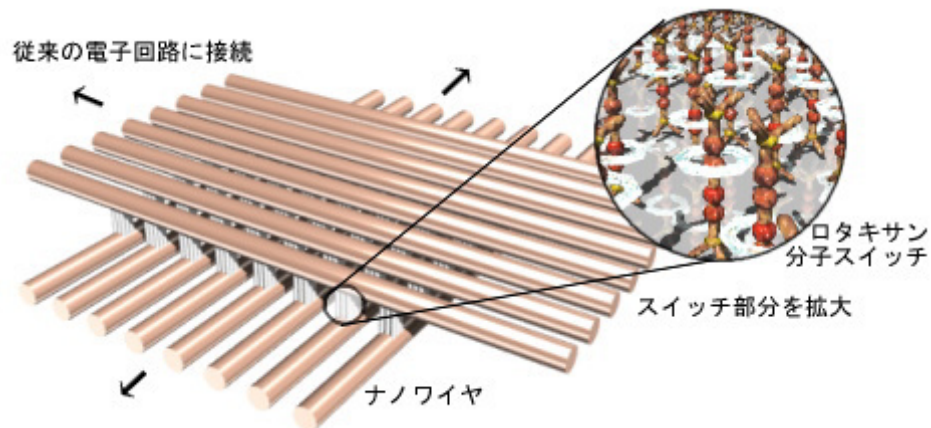
既存の技術



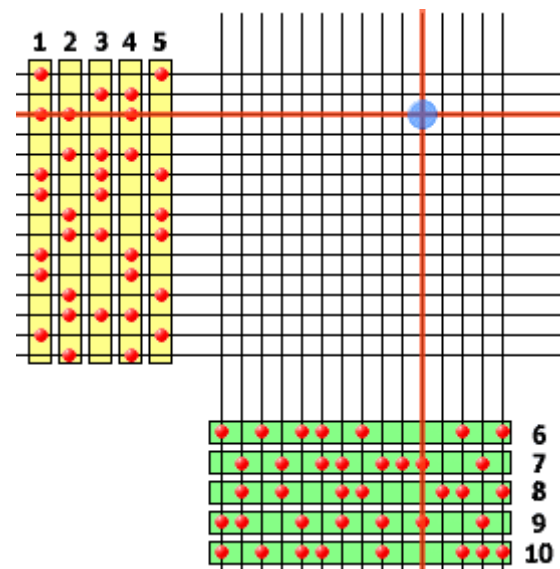
STM, AFM技術

(化学フロンティア「分子ナノテクノロジー」化学同人)

# ヒューレットパッカー社の示した 分子コンピュータへのロードマップ



棒にリングが絡まった形をした分子はロタキサン(rotaxane)。ワイヤになっているのは、自己集合によって成長した希土類元素。



## メモリユニットを「外の世界」とつなぐ方法

まずは図のように、ナノワイヤ(細い黒線)からなるメモリユニットとバルクワイヤ(黄、緑の線)を配置する。そして金の微粒子(赤点)を、ナノワイヤとバルクワイヤの接する部分にランダムに散らす。金の微粒子がナノワイヤとバルクワイヤの両方にくっつけば電気を通す。

例えば、図のように金の微粒子を散らしたとしよう。この分子スイッチに接しているナノワイヤは二つあわせて、1,2,4,7,9のバルクワイヤに接合していて、3,5,6,8,10のバルクワイヤには接合していない。そこで接合した状態を1,接合していない状態を0とすると、この分子スイッチのバイナリナンバーは1101001010ということになる。分子スイッチをアドレス化する方法になるわけだ。

<http://www.nanoelectronics.jp/>

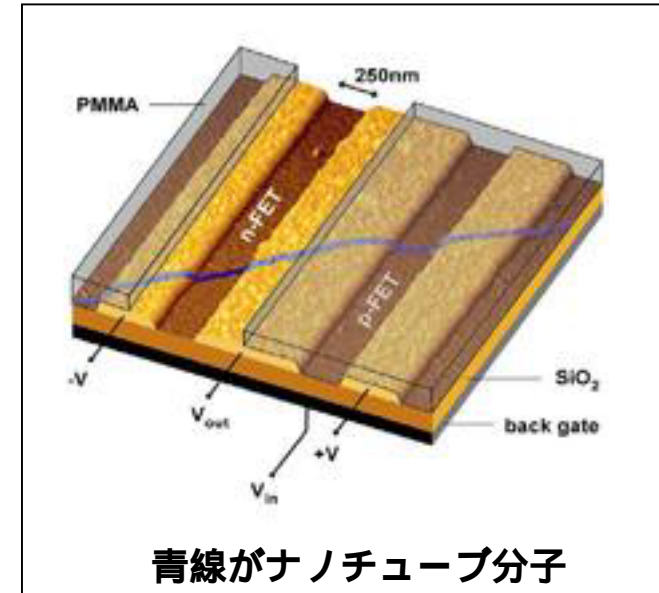


## IBM のナノチューブ戦略

### 単一分子による論理回路を開発 カーボンナノチューブで実用化

2001年8月27日

カーボンナノチューブを利用して“電圧インバーター (voltage inverter) 回路” (NOTゲート) を作成したものの。同社によれば**世界で初めて単一分子の論理回路**を形成したという。

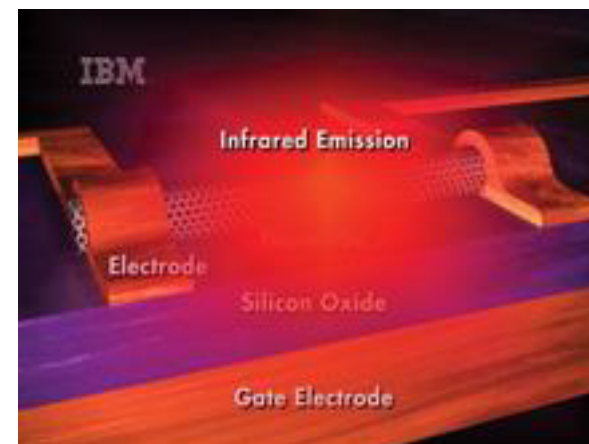
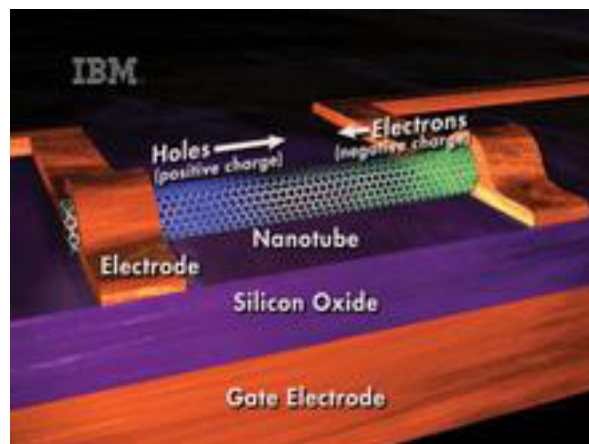


### ナノチューブ・トランジスターを開発 ... シリコンを超える性能を実証

2002年5月21日

### カーボン・ナノチューブで世界最小の固体発光素子を開発と発表

2003年5月2日



**講演抄**

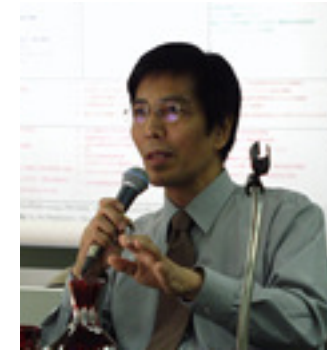
**ナノテクノロジーの最前線**

—産業応用の可能性—

川合 知二

大阪大学産業科学研究所教授

**国家戦略とナノテクノロジー**



“政府の総合科学技術会議が制定した2001年度からの新科学技術基本計画の中で、推進すべき研究開発の重点分野として、「ライフサイエンス」「情報通信」「環境」「ナノテクノロジー・材料」の四つの分野が挙げられました。5年間でおよそ24兆円という大きなお金が投資されるわけですが、中でもナノテクノロジーは、ほかの三つの分野を支え、しかも進展させる基幹的な科学技術と位置付けられています。

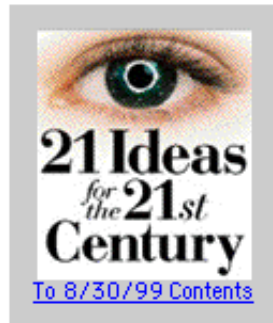
アメリカでは、数年間にわたる調査の末、2000年、クリントン前大統領がナショナル・ナノテクノロジー・イニシアティブ (NNI) という科学政策を発動しました。このイニシアティブができた背景には、**アメリカはバイオや情報ではまず日本には負けないが、ただ一つ拮抗している分野として物質材料デバイス分野がある。**それでもリードをとりたいという、製造業に対するアメリカの非常に強い意思の現れであると考えるといいと思います。(以下略)”

表1：ナノテクノロジーの市場予測（単位：億円）

	2005年	2010年
<b>分子エレクトロニクス材料</b>	<b>26</b>	<b>2,214</b>
量子デバイス	380	1,380
高密度記憶用磁気材料	27,075	95,812
光メモリ用材料	10,312	17,062
次世代超メモリー	5,051	16,309
薄膜製造装置	1,885	1,885
半導体製造装置	24,450	31,950
超精密加工装置	2,036	2,986
ナノメートル水準の検査機器	137	367
マイクロマシン	5,019	7,723
フラーレン、ナノチューブ	145	291
インテリジェント材料	1,038	1,175
高選択性・高性能触媒材料	576	667
光触媒材料	576	1,810
分子設計タンパク質	150	177
バイオリアクター	609	1,380
遺伝子治療薬	4,346	4,510
遺伝子診断	350	1,071
医療用マイクロマシン	211	1,200
バイオセンサー	438	1,190
<b>合計</b>	<b>84,810</b>	<b>191,159</b>

出所：  
三菱総合研究所と  
日本経済新聞社の  
共同調査





- [CONTENTS](#)
- [INTRO](#)
- 1 [ENERGY](#)
- 2 [NATIONALISM](#)
- 3 [MANAGEMENT](#)
- 4 [NANOTECH](#)
- 5 [TIME](#)
- 6 [RELIGION](#)
- 7 [HUMANITY](#)
- 8 [ENVIRONMENT](#)
- 9 [COMMUNICATIONS](#)
  
- 10 [CITIES](#)
- 11 [BIOLOGY](#)
- 12 [ARTIFICIAL INTELLIGENCE](#)
- 13 [HEALTH](#)
- 14 [INTERNET](#)
- 15 [MONEY](#)
- 16 [DEMOGRAPHICS](#)
- 17 [POLITICS](#)
- 18 [EDUCATION](#)
- 19 [GENES](#)
- 20 [LIFESTYLE](#)
- 21 [QUANTUM COMPUTERS](#)
- [A PERSONAL VIEW](#)
  
- [A SCI-FI GUIDE](#)
- [ONLINE ORIGINALS](#)

ビジネスウィーク,  
1999年8月30日号  
21 Ideas for the  
21st Century, #4.



**In the 2020s, you may be able to buy a "recipe" for a PC over the net, insert plastic and conductive molecules into your "nanobox," and have it spit out a computer**

Matter will become software. That's not a misprint: Matter will become software. As a result, we'll be able to use the Internet to download not just software but hardware, too. So predicts James C. Ellenbogen, the nanotechnology honcho at Mitre Corp., a Pentagon-funded research center in McLean, Va.

Nanotechnology is the craft of constructing things smaller than a few hundred nanometers, or billionths of a meter. That's the span of a few scores of atoms strung together. Move automated assembly down to such scales, and the implications for manufacturing are pretty clear: Whole sectors of production could get clobbered. It could start with semiconductors in the 2010s, then spread to other small products, like cellular phones. (以下略)

## 2 1 世紀は分子の時代

