



**原料不足・価格高騰が前提**となる時代にあってエレクトロニクス産業における化学メーカーの**サステナビリティ**を考える

—特にバイオ由来化学物質の応用や、  
既知物質の新機能開拓について—

# 化学で未来を変えていく7大領域



- PART1 サステナビリティ
- PART2 カーボンナノなんとか
- PART3 発電・蓄電・光合成
- PART4 ディ스플레이・記録メディア
- PART5 生分解性樹脂
- PART6 フォトニクス
- PART7 触媒
- PART8 未知なる可能性 宇宙？

# PART1



## サステナビリティ





## 化学メーカーのサステナビリティとは？

アジア圏の人口急増、特に中国とインドの人口増加は日本のメーカーにとっても単なる人口問題、食糧問題として傍観できない世界的な変化です。

1900年の世界人口は16億人だったといわれています。第二次世界大戦後「人口爆発」とも表現される人口急増によって、現在の地球人口は70億人を突破し、2050年には90億人を突破することが予測されています。アジア地域の人口急増はまもなく収まるとは言われていますが、中国やインドでの人口増加は贅沢の増加を伴う点において、中東やアフリカの貧困国における人口増加とは大きく意味合いを異にする点です。

お金がある人が増えれば皆贅沢をしたいと思います。肉を食べたいでしょうし、最先端のIT機器を購入する人も増えるはずです。既存のレガシーな電子機器を大量に作ってビジネスを成立させようとすれば資源を持っている国が勝つに決まっています。日本には頭脳と器用な手先はあるけど、ものも資源もない。これまでは、それはお金を出せば日本にみんなが売ってくれていました。そんな考え方が幻想となった時代にあって、日本の化学メーカーが生き残っていくには、資源を持っている国と同じ土俵で戦わないことは重要です。ものづくりの原点に立ち返って、地道に、愚直に研究・開発に取り組み、身近にある入手可能な資源から無限の先端化学を生み出すことしか生き残る道はありません。

化学メーカーのサステナビリティとはこれまでの化学反応の延長から道を踏み外し、あらたな化学反応で新たな価値観を創造すること、可能であれば無からでさえ、新たな何かを生み出すこと、それを意味しています。

# サステナビリティとは？



「持続可能性」・・・？

CSRの問題ではありませんね？

# サステナビリティとは？



経営者/技術者がサステナビリティを

- CSRの問題
- 総務の問題
- 広報部の問題

と考えると出遅れます・・・。

# 今回のお話の根底にあるもの



材料・原料が(日本に)ない  
ユーティリティが(日本に)ない  
人が(日本に)いない  
電気・燃料が(日本に)ない  
水が(世界に)ない  
食べ物が(世界に)ない

そんな

「ないない時代」の物作りができますか？

# PART2 カーボンナノなんか



提供：NASA





カーボンナノなんかとは？

表題の背景は「軌道エレベーター」です。

「宇宙は未知なるフロンティア」とは使い古された言葉ですが、地球には活動できる面積にも埋蔵された資源にも限界があります。そんな地球を飛び出して活動しなければならない時代が来ることは明らかです。ですが、現在のテクノロジーで大量の燃料を使ってわずかな物資を年に何回かのわずかな頻度で運び上げるような方法では宇宙を平和利用するのは不可能なことです。

今、科学者が真剣に考えているのが軌道エレベーターです。地上から宇宙空間までケーブルを渡し、そのケーブルをタイヤなどでつかんで走行することによって昇降するまさにエレベーターです。エネルギーはわずかしか必要とせず、大気圏脱出速度まで加速する必要も無ければ、帰還時に大量の熱に襲われることもありません。強靱な肉体を持たない一般人や大量の物資を宇宙に運びあげるための、現在の人類の知識で考える唯一の選択肢です。

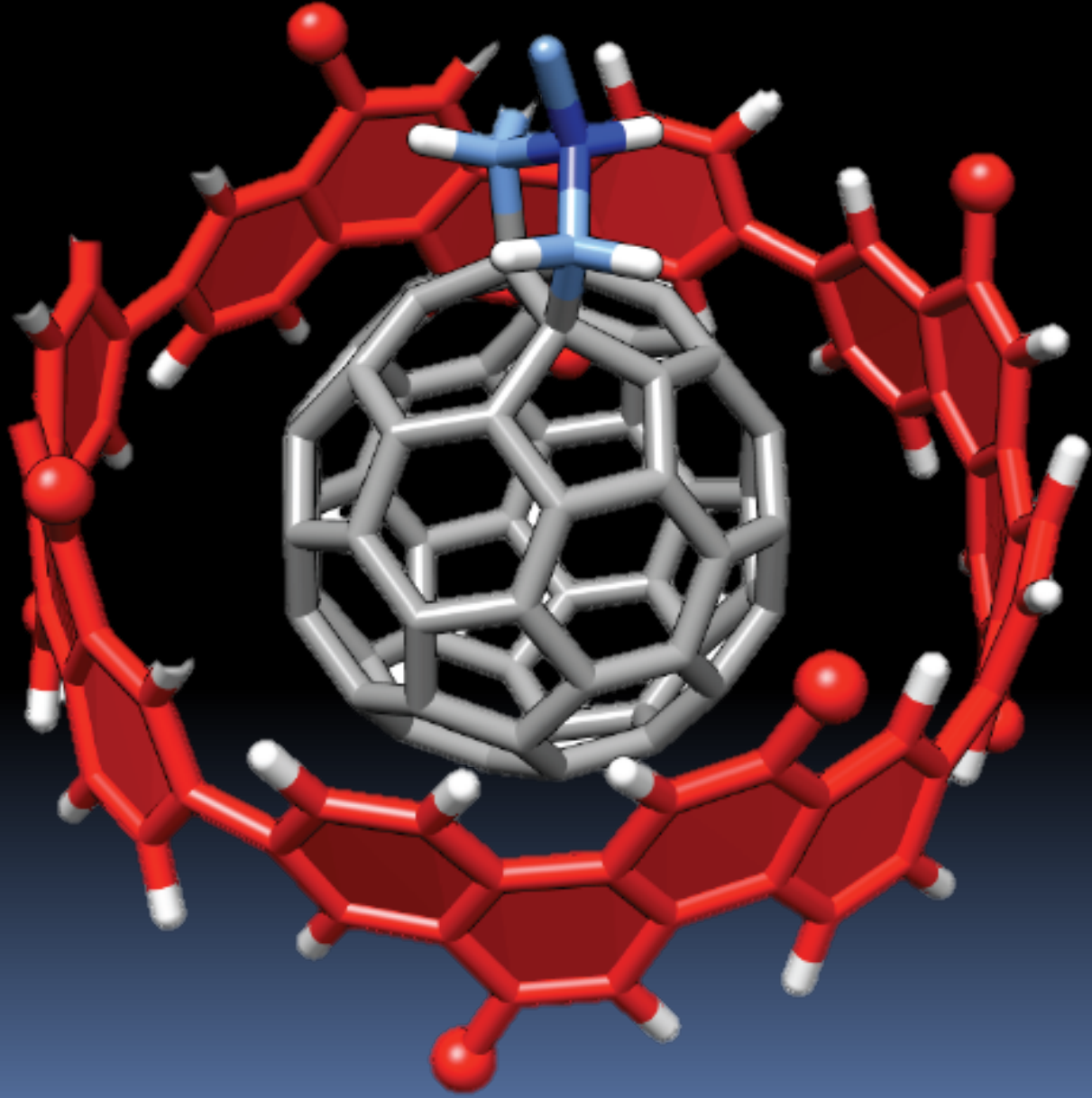
イラストはNASAが公開している軌道エレベーターの想像図で、これをみると軌道エレベーターなんてSFの世界のもの、実現するとしても何世紀も先のこと・・・とってしまうかもしれません。ですが、古くから軌道エレベーターの実現可能性は真剣に議論され、「ある部材」が開発できれば軌道エレベーターは実現可能だといわれていました。そのある部材とは、地表から宇宙まで届くケーブルです。この無理難題が近年、解決しました。それは日本人が生み出した炭素材料です。ここでは日本人が生み出したアイデアを、日本人が実用化まで持っていくことの重要性についてもあわせて考えてみたいと思います。



# 代表的なナノカーボン材料

	形状		特性
フラーレン (1985)	C6 C5	サッカー ボール	電子吸引性 電子材料として開発
カーボンナ ノチューブ (1991)	C6	単層or多 層の円 筒	導電性、高強度、耐 熱性。半導体や燃料 電池、補強材
カーボンナ ノホーン (1998)		円錐	燃料電池、医薬品 (DDS)
グラフェン (2004)		平面	電気抵抗極小、電子 材料

# 量産型カーボンナノチューブベアリング



- 有限長カーボンナノチューブ + 化学修飾したフラーレン = 世界最小のカーボンナノチューブベアリング
- 回転子は自発的にはめ込まれはずれない
- 分子1023 個の量産型の成功
- 回転子が軸回転をしていることも証明
- 1023 個が同程度の速度で回転
- 回転速度は温度で制御可能



量産型ナノテクノロジー



## 物理学者リチャード・ファインマン

### ■ 超高密度記録デバイス

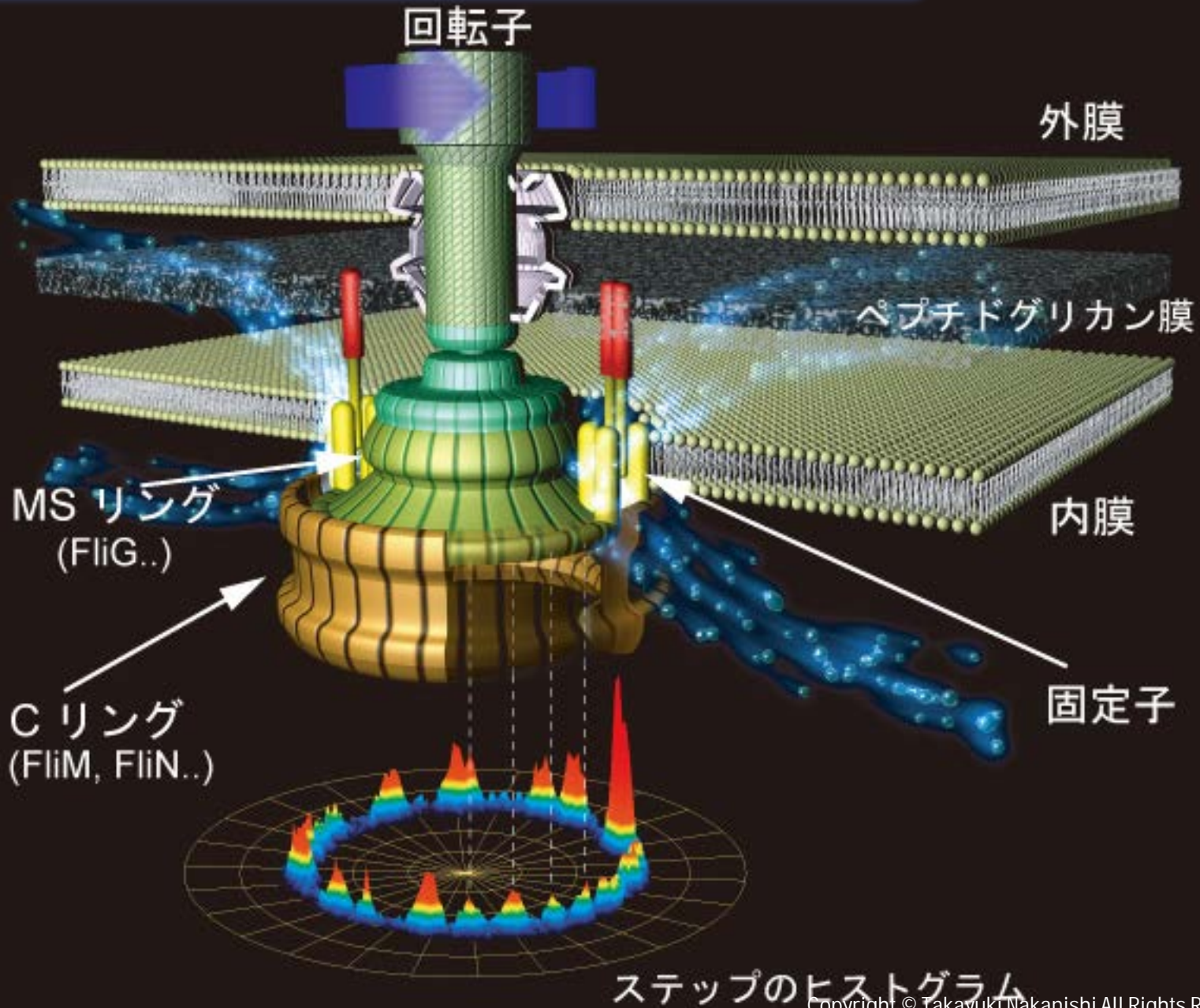
米国議会図書館全蔵書  
を角砂糖サイズに記録

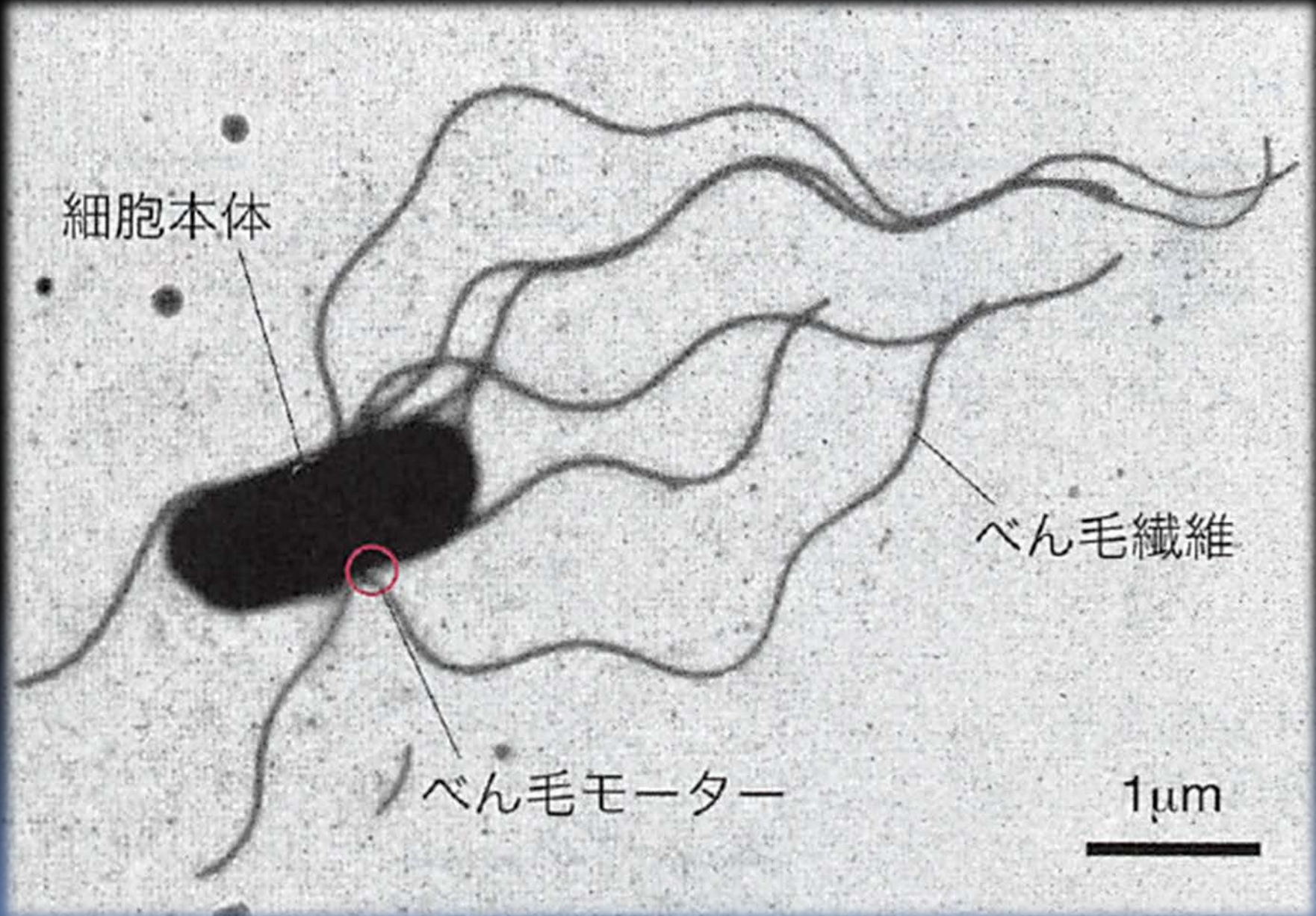
### ■ 無摩擦ベアリング

エネルギー問題のブ  
レイクスルー

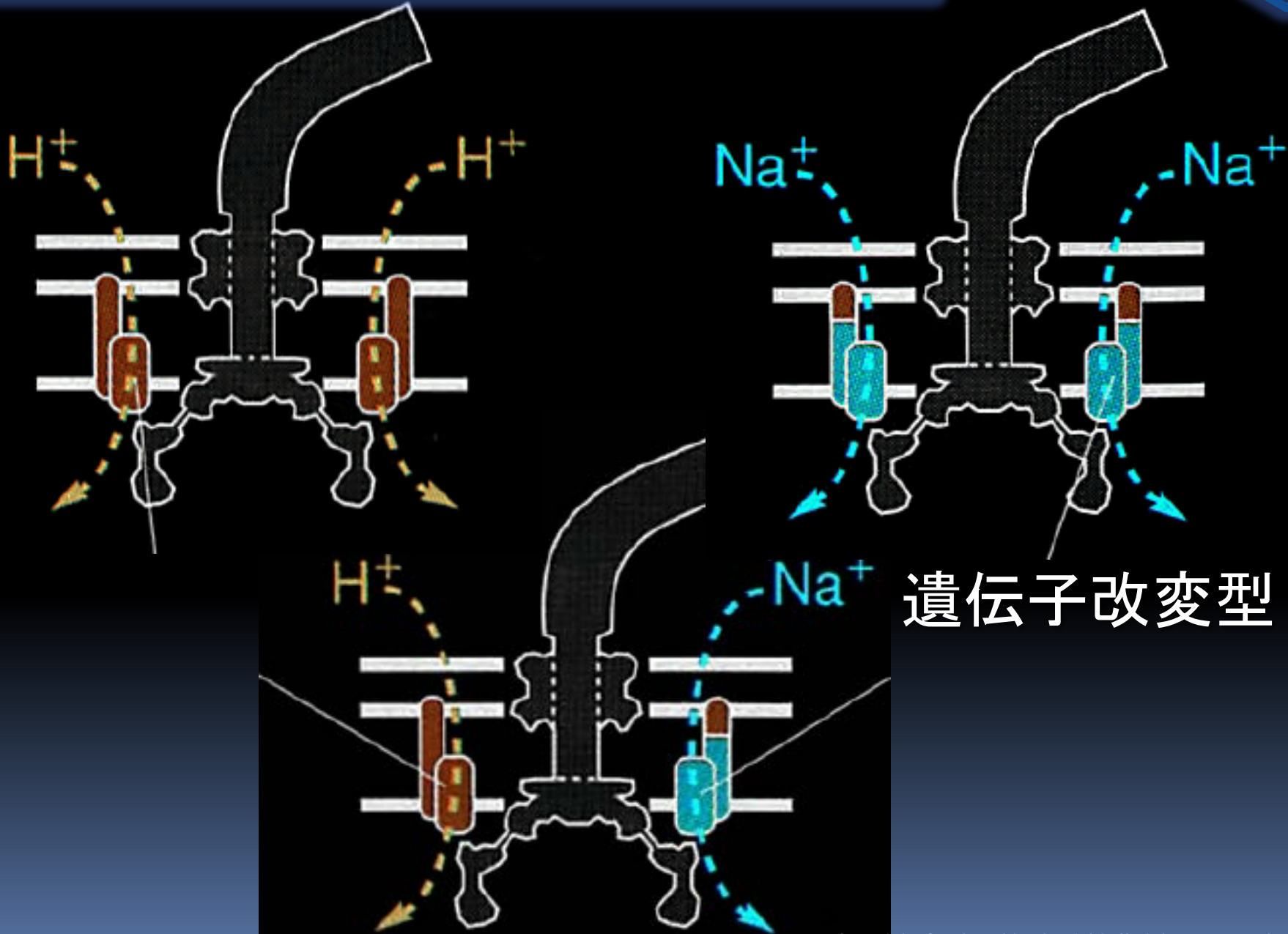


# バイオナノモーターのメカニズム解明





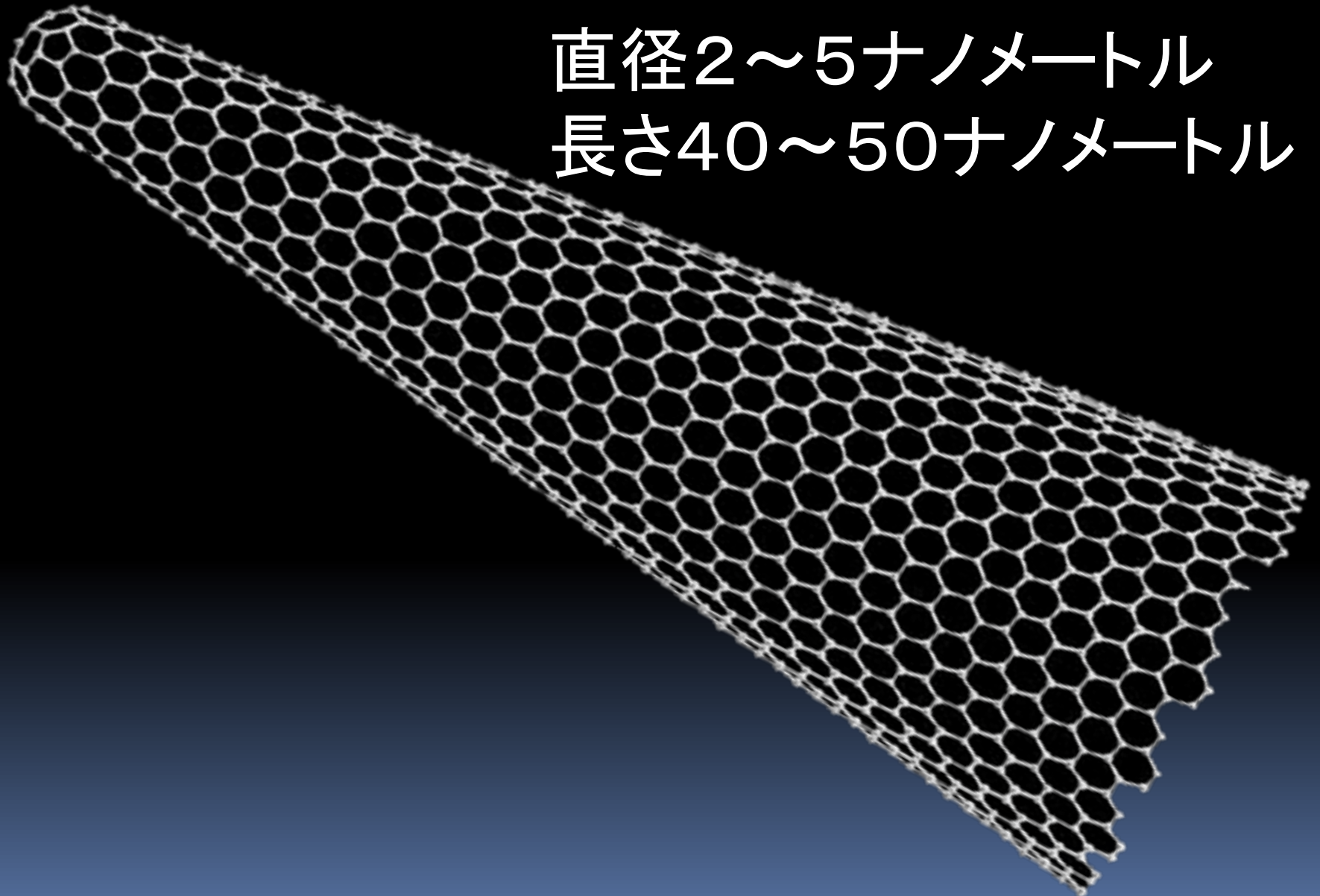
# 固定子と回転子のメカニズムの解明



遺伝子改変型

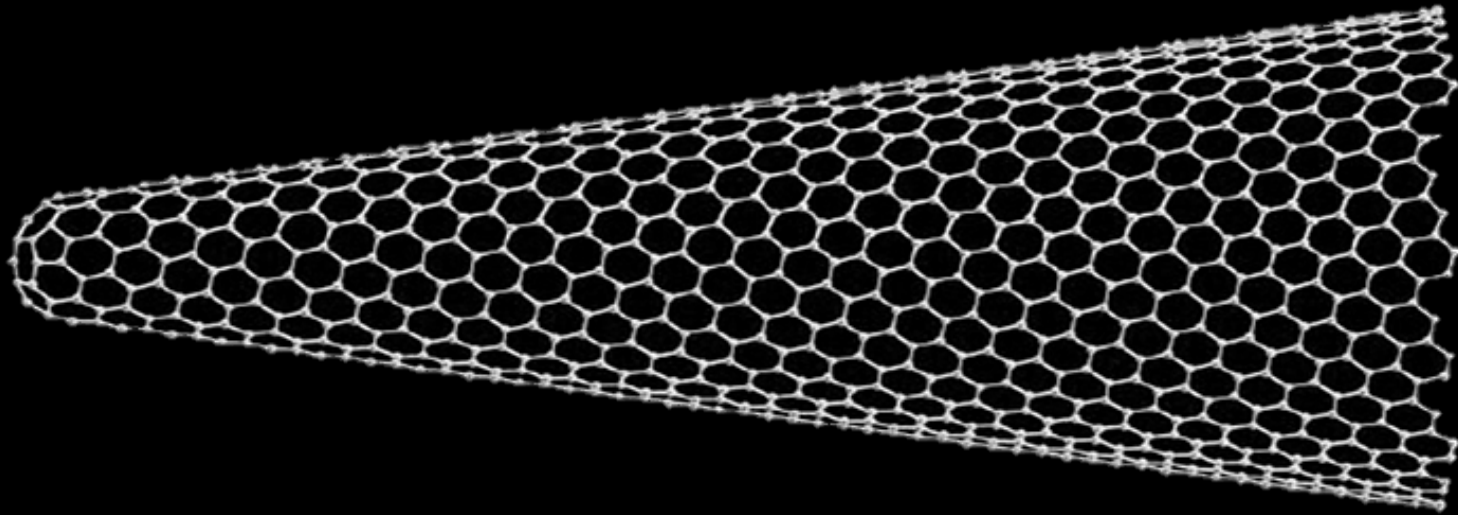


# カーボンナノホーンの量産



直径2~5ナノメートル  
長さ40~50ナノメートル

# カーボンナノホーンの量産

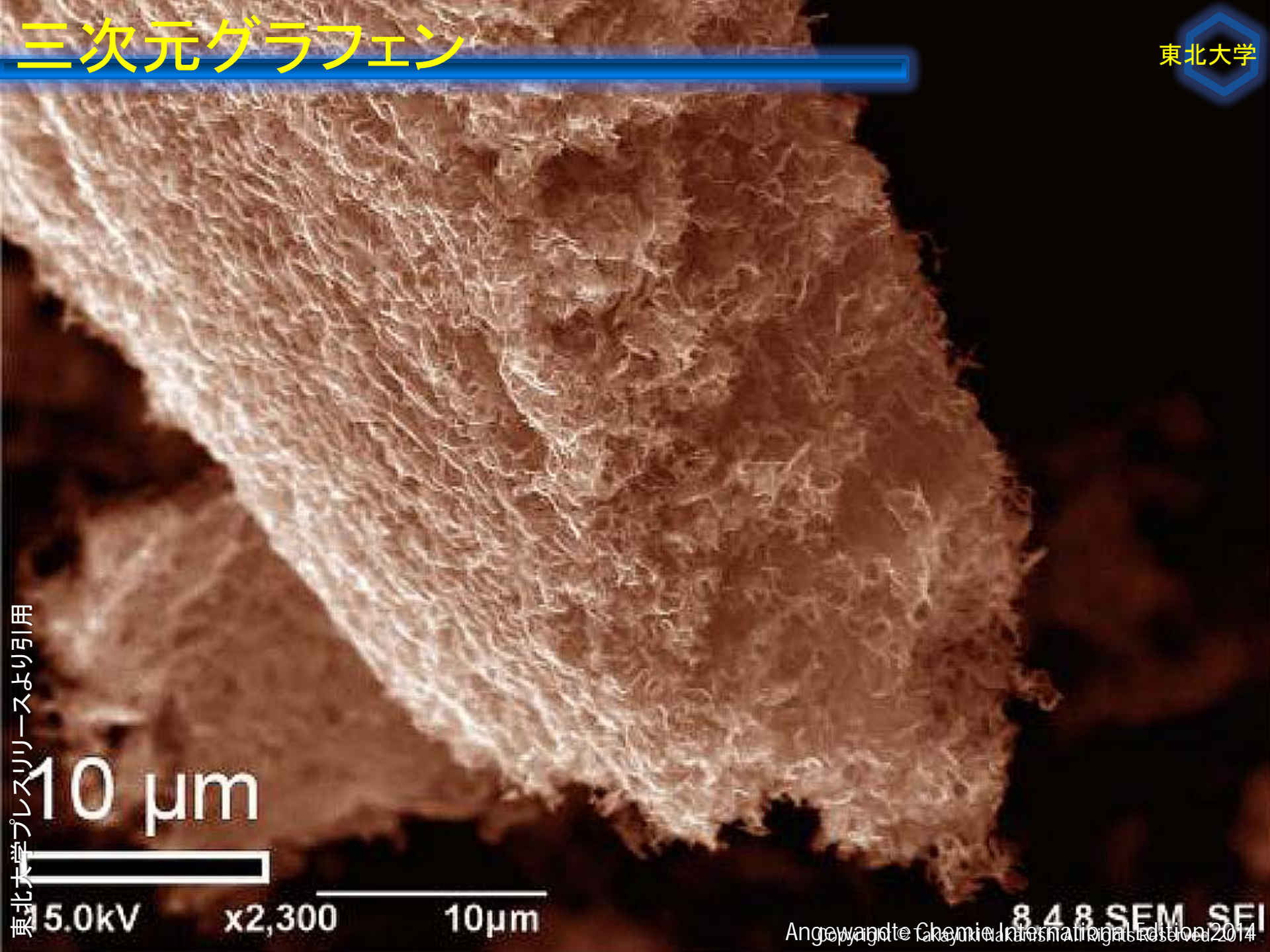


同じ重さならばカーボンナノチューブやフ  
ラーレンと比べても表面積が大きい  
燃料電池の活性炭の代わりに使うと、取り  
出せる電気の量を2~3割増やせる

## シリコンに代わる新たなデバイスを

- 新規材料「3次元ナノ多孔質グラフェン」の開発に成功。
- 3次元炭素材料は非結晶性不連続体（粉状）のため電気をほとんど通さなかった
- 結晶性の高い1枚の繋がった3次元グラフェンシートを作成する技術の開発に成功し、高い電気移動度を達成

# 三次元グラフェン



東北大学プレスリリースより引用

10  $\mu\text{m}$

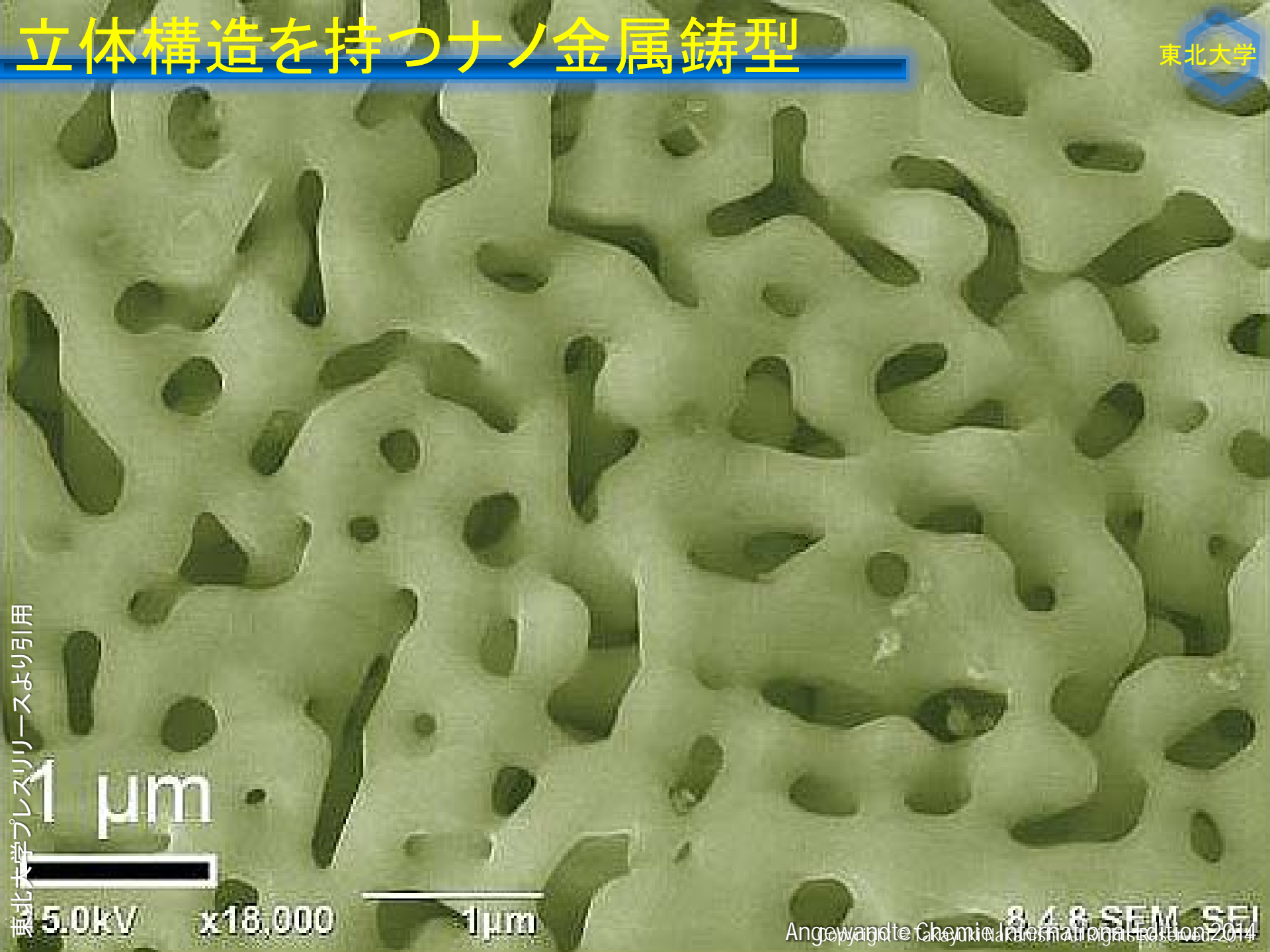
15.0kV

x2,300

10 $\mu\text{m}$

# 立体構造を持つナノ金属鑄型

東北大学プレスリリースより引用



1  $\mu\text{m}$

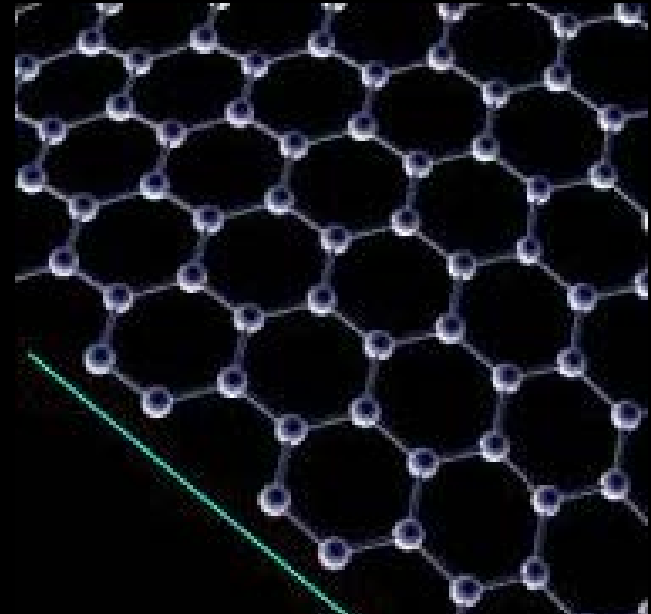
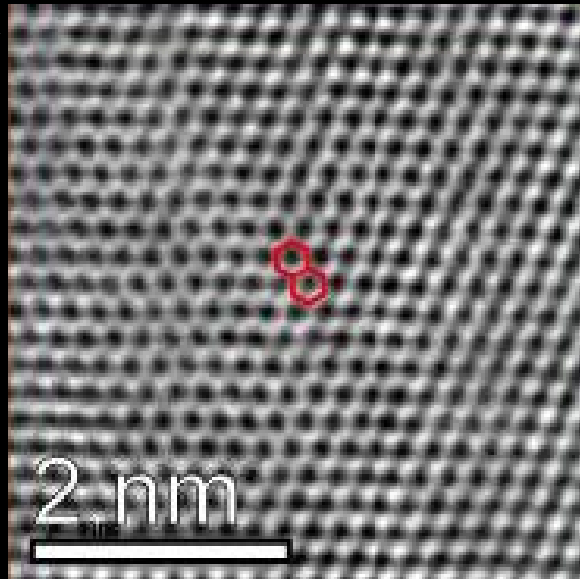
5.0kV

x18,000

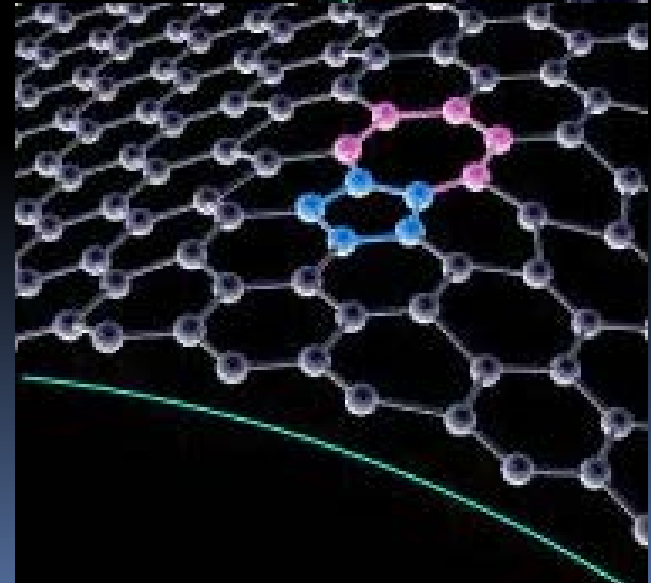
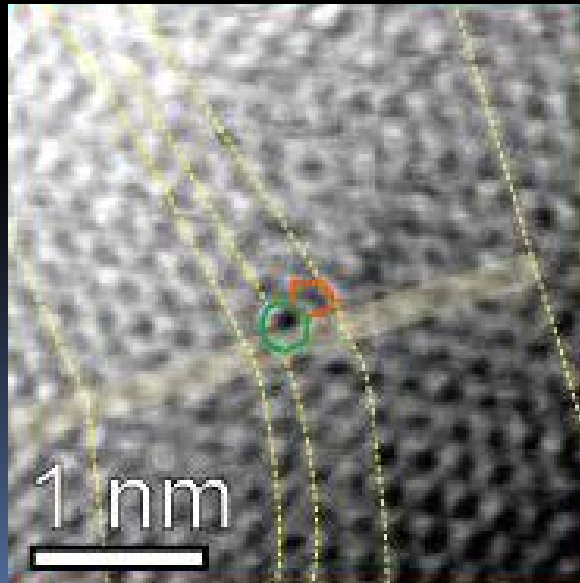
1  $\mu\text{m}$

# 六員環、五員環、七員環の混在

平面部分



曲面部分



## カーボンナノチューブを使った高速メモリ

書換速度 = 20ナノ秒

必要電流 = 20マイクロアンペア以下

次世代メモリMRAMの半分以下の省電力  
微細化でさらに省電力が可能

電源を切っても状態を保持

NRAMはナノチューブを固めた層を2枚の電極で挟んだ構造  
電圧がかかるとナノチューブ同士が引き合って抵抗が下がる  
電流を流すと熱の振動でナノチューブ同士が離れて抵抗が  
上がる

抵抗の違いでデータを記憶する



カーボンナノチューブを使った安価な触媒

白金触媒を代替

カーボンナノチューブの側面に微小な穴を開けると触媒活性が向上

硝酸コバルト粒子＋ナノチューブ

酸素20%＋アルゴン80%、1気圧、250度で1時間処理

硝酸コバルトが酸化コバルトに変化する時ナノチューブがダメージを受けて穴が開く



# 日本人の発明を日本の産業力向上に



カーボンナノチューブは20年以上前に日本人が発見したけれど、日本が研究開発ばかりしている間に、中国や台湾がタッチパネルへの応用などで実用化を先行。

基礎研究ではメシは食えない

異分野との組み合わせや

コスト競争力の強化

大学の先端成果を企業が生かす方策を



# グラフェンを使って大型フルカラーLED

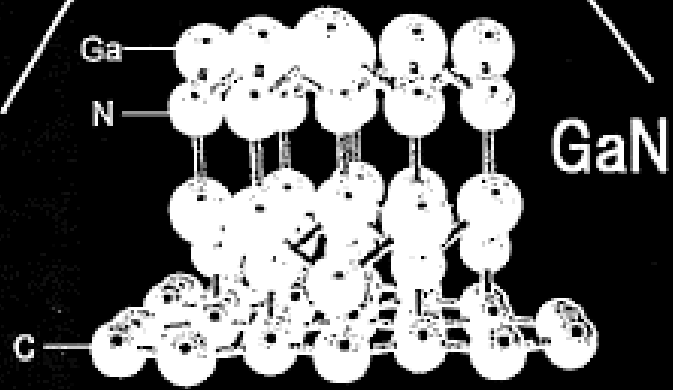
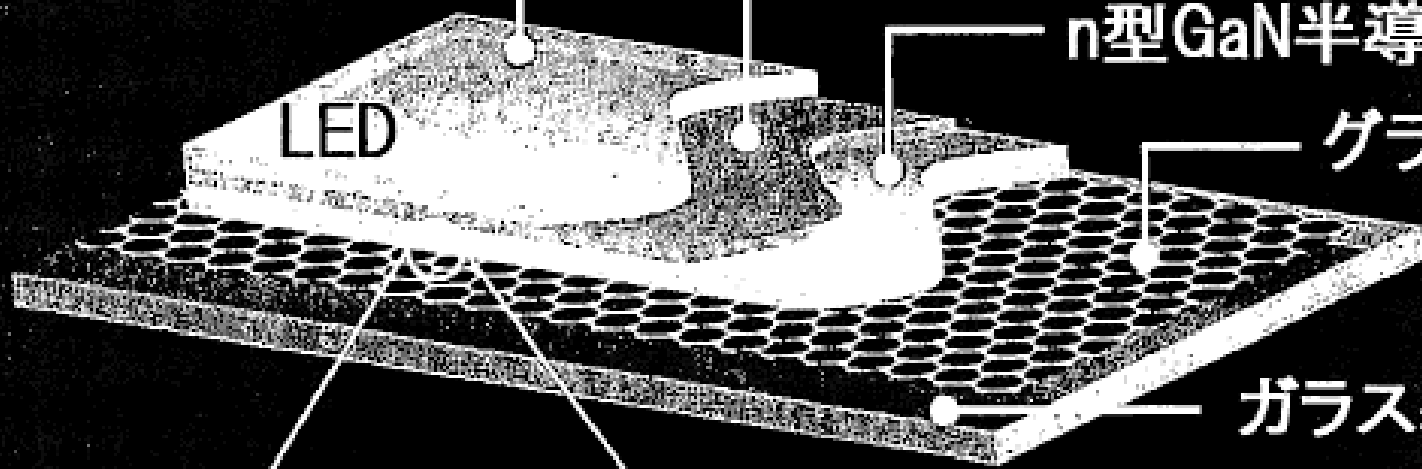
p型GaN半導体層

量子井戸構造(発光層)

n型GaN半導体層

グラフェン層

ガラス基板



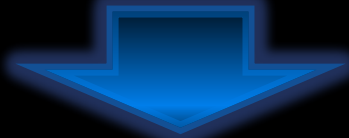
グラフェン

ガラス基板+グラフェン界面層 (非晶質)

東京大学プレスリリースより引用

## 実用化の問題点

極薄なので機能を発揮させるための3次元構造体を作ることが困難



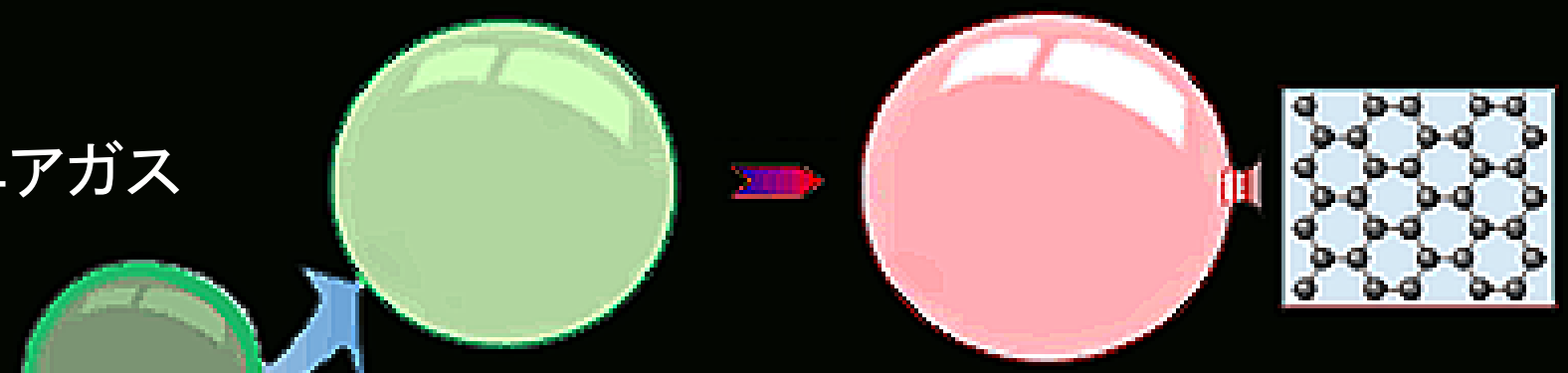
独立行政法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点の研究グループが「ケミカル風船法」で超極薄のグラフェンを、張り子ののように3次元的な骨格に貼り付けた構造体を創製することに世界で始めて成功。



# ケミカル風船法

1350° Cの高温で加熱することで、  
張り子の皮に相当する部分をグラ  
フェンに変化

アンモニアガス



構造体は構造的に安定な細い骨  
格にグラフェンを貼り付けた提灯  
や張り子を思わせる構造

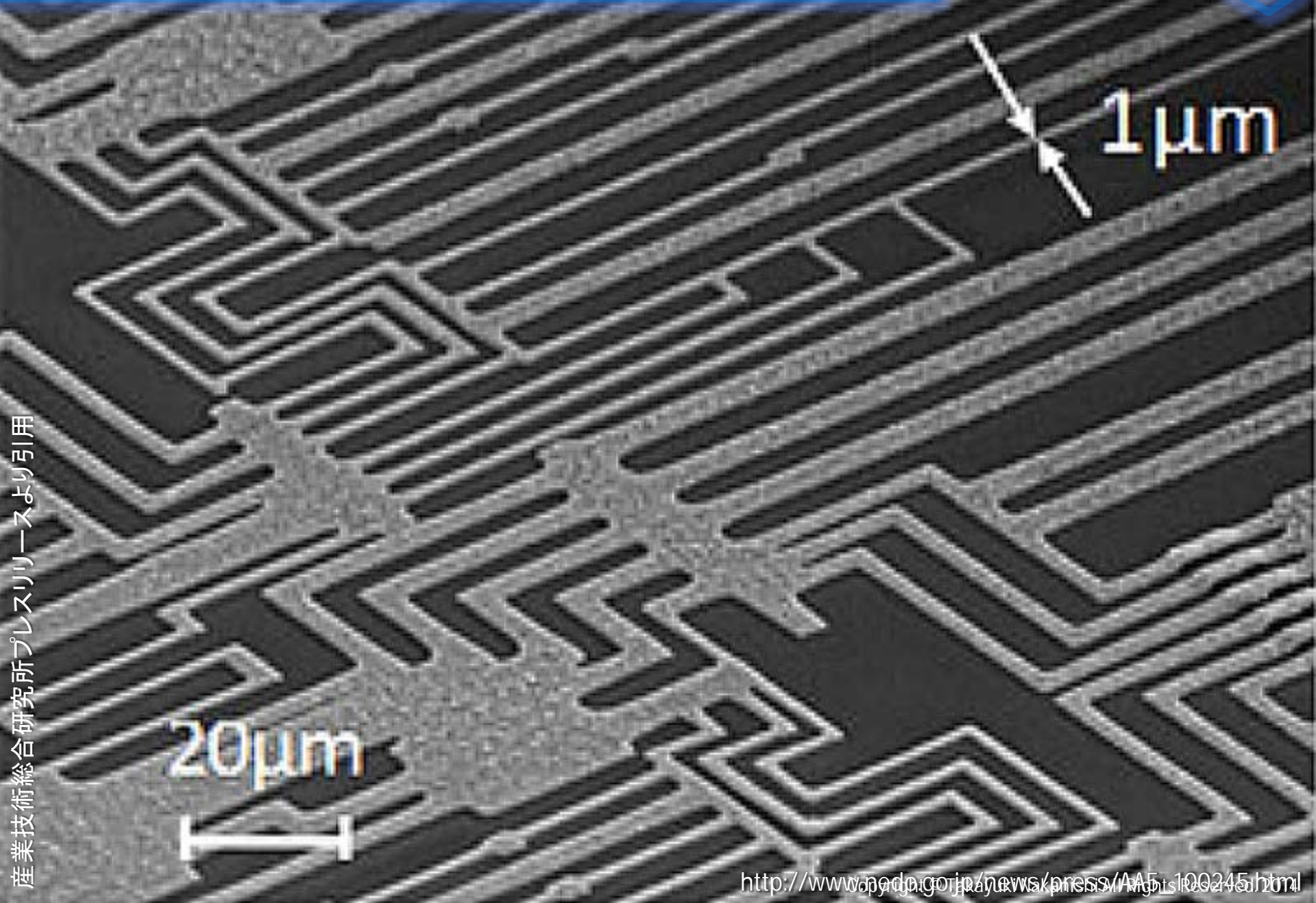
グルコース(砂糖)と塩化アンモニ  
ウムを混ぜ、約250° Cで加熱する  
と溶融したグルコースポリマー

独立行政法人 物質・材料研究機構 プレスリリースより引用

単層カーボンナノチューブと銅の複合材料を用いて、銅の100倍の電流を流すことが可能な微細配線を基板上に作製する技術を開発

複雑な配線パターンが1  $\mu\text{m}$ 以下の加工が可能に  
熱による断線が起きづらい

# 単層カーボンナノチューブで微細配線加工

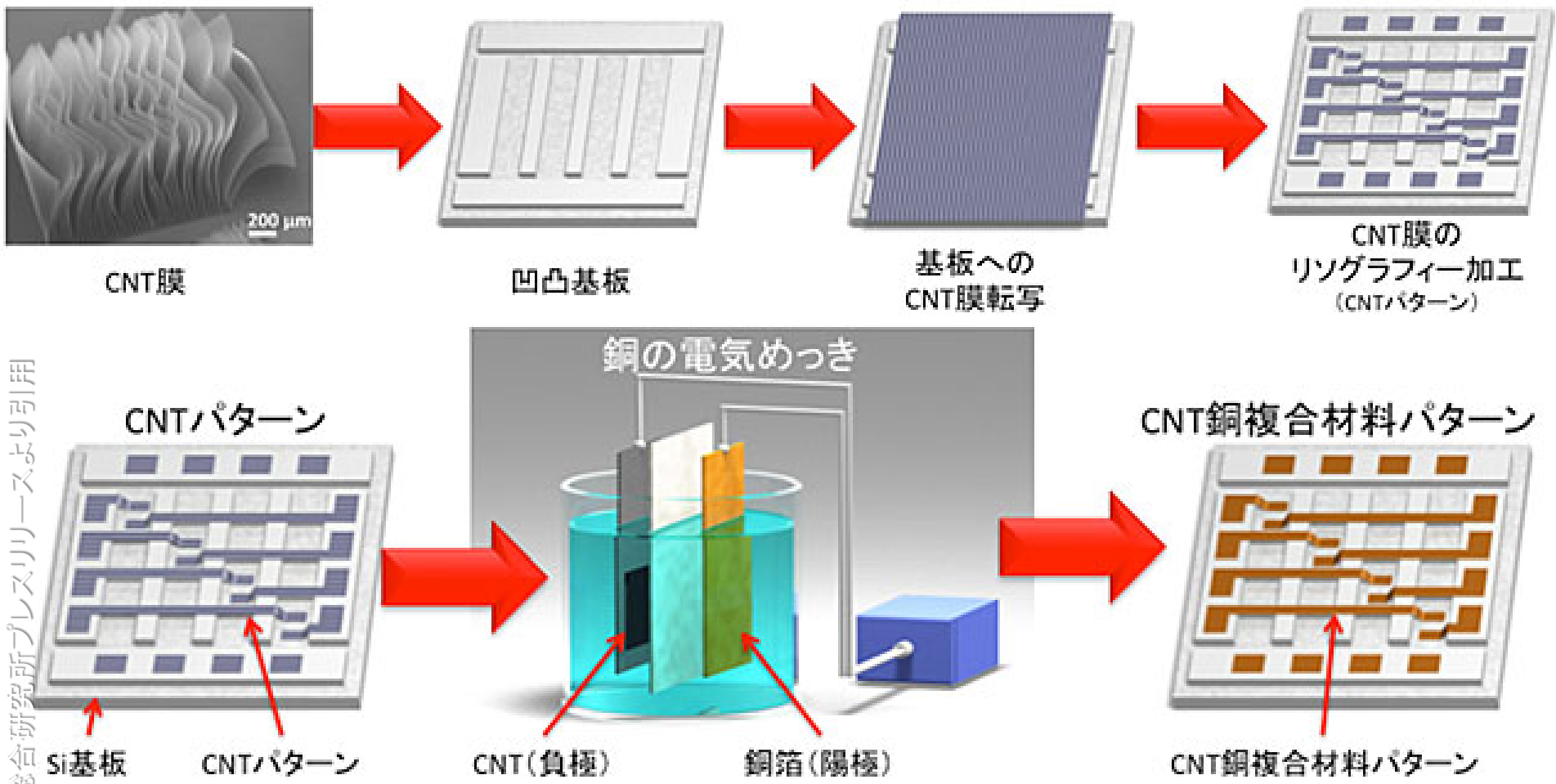


1  $\mu\text{m}$

20  $\mu\text{m}$

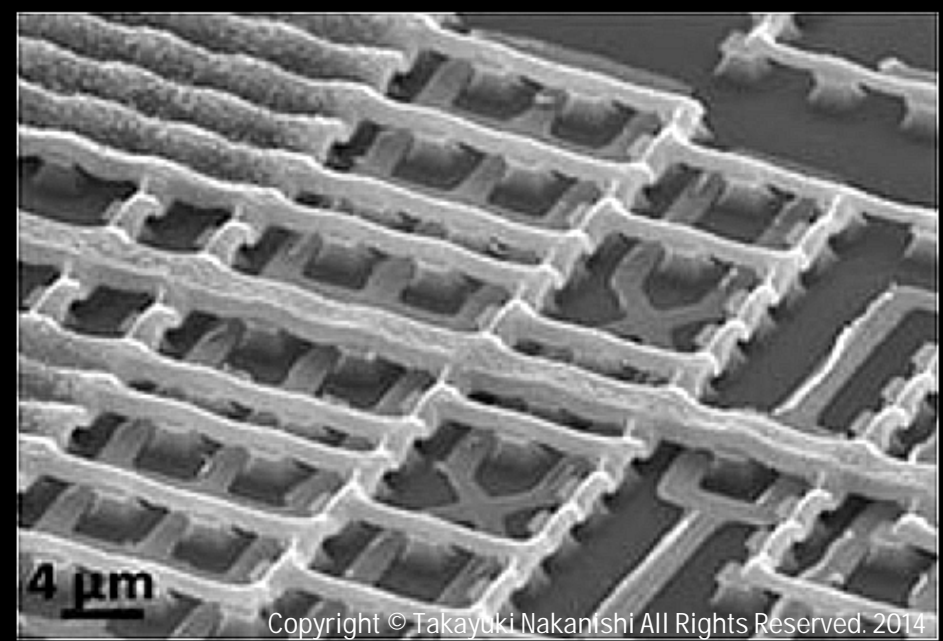
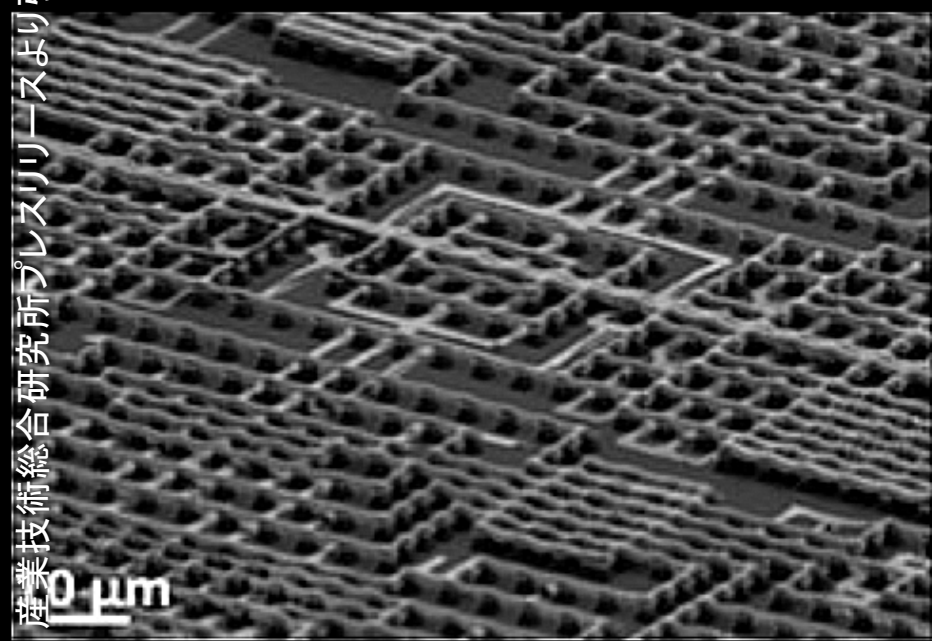
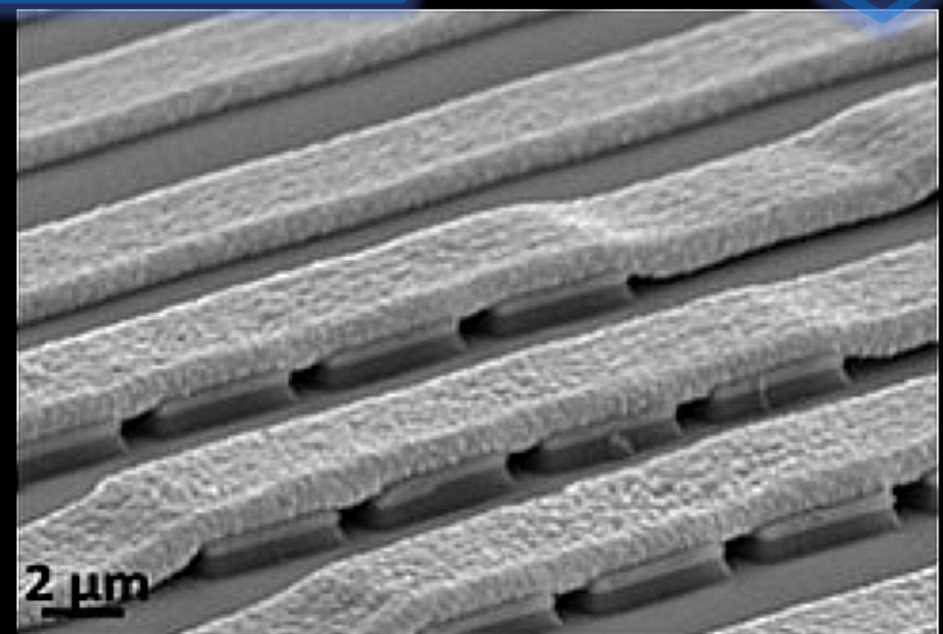
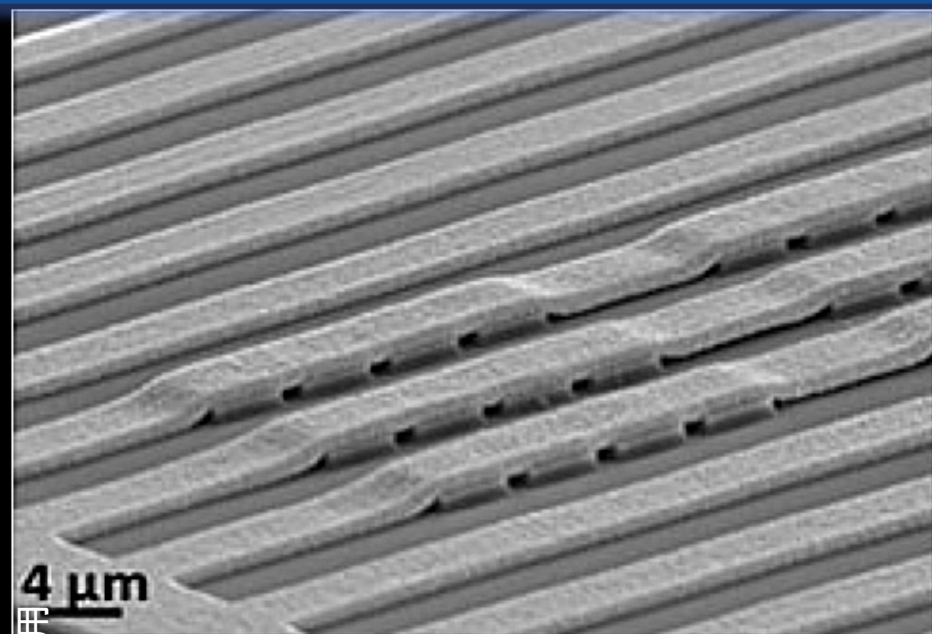
産業技術総合研究所プレスリリースより引用

# 単層カーボンナノチューブで微細配線加工



産業技術総合研究所プレスリリースより引用

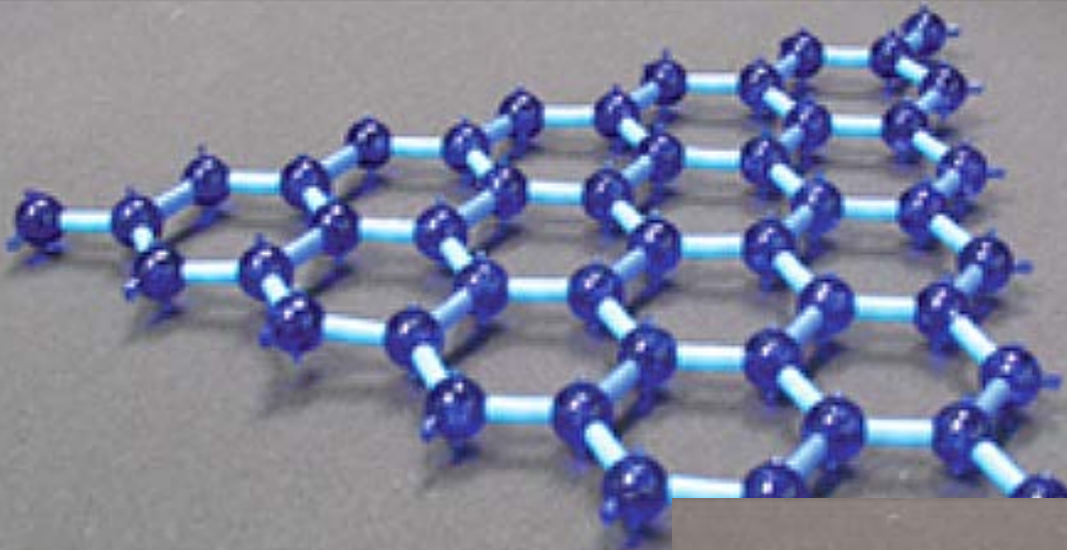
# 単層カーボンナノチューブで微細配線加工



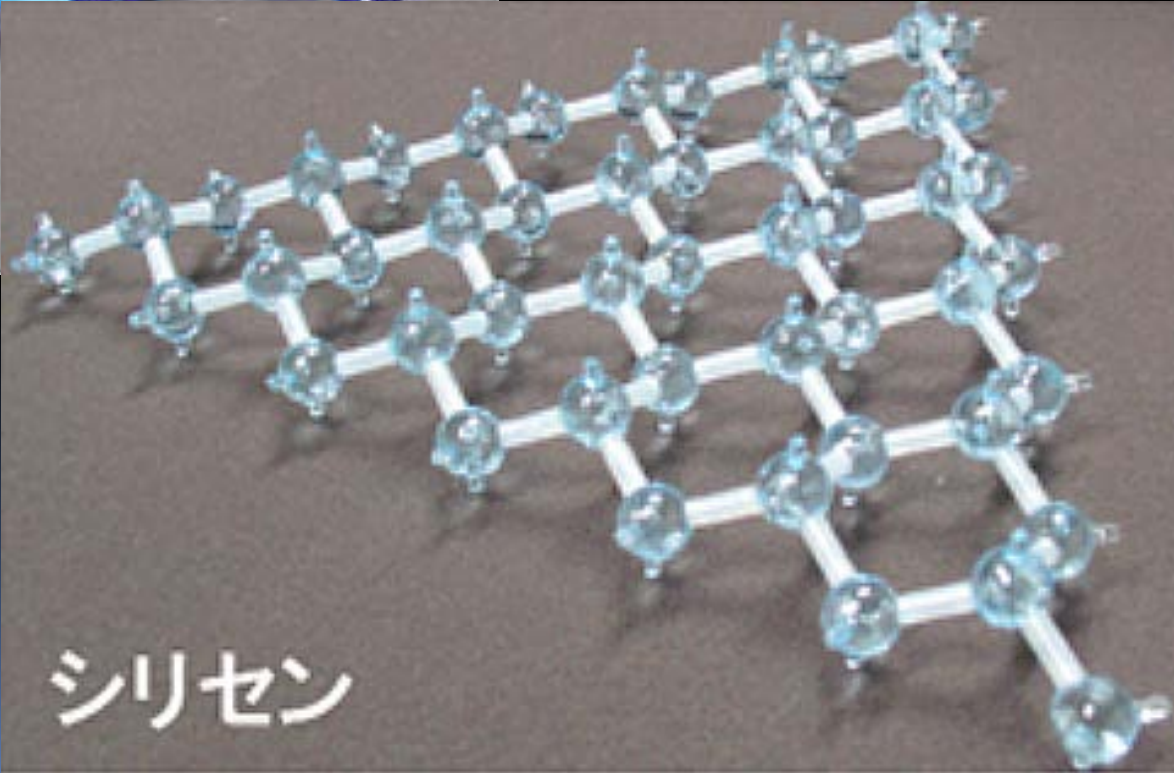
産業技術総合研究所プレスリリースより引用



# シリセン



グラフェン

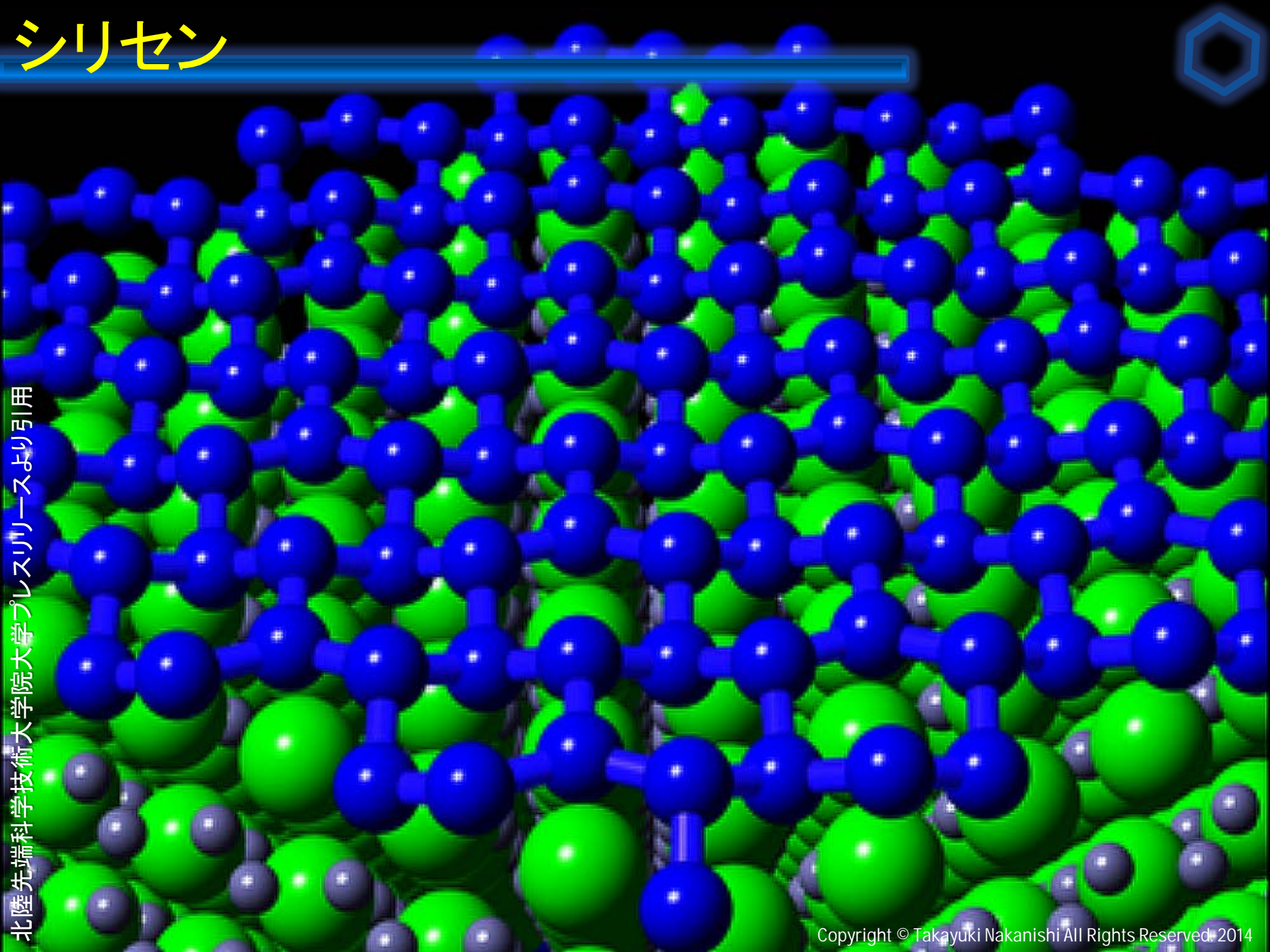


シリセン

# シリセン



北陸先端科学技術大学院大学プレスリリースより引用





1994年 安定構造解明

2012年 シリコン上に大面積で合成成功

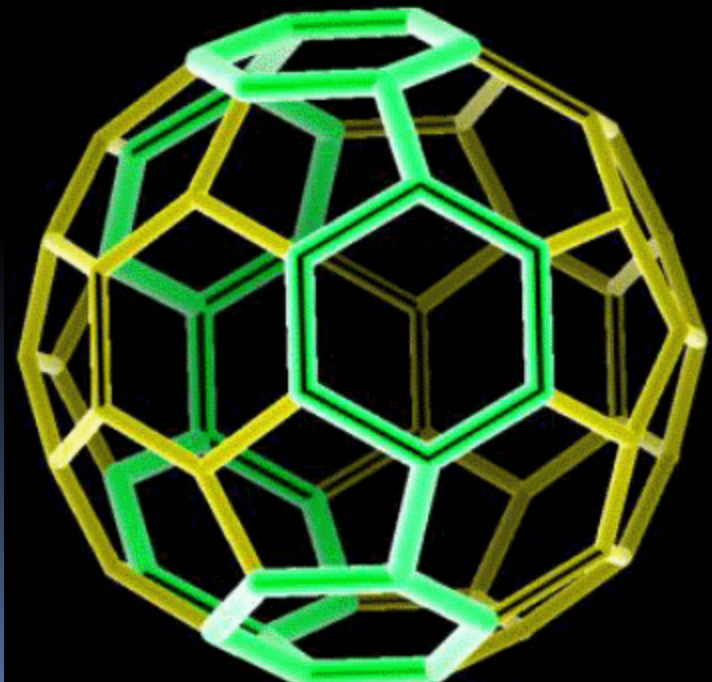
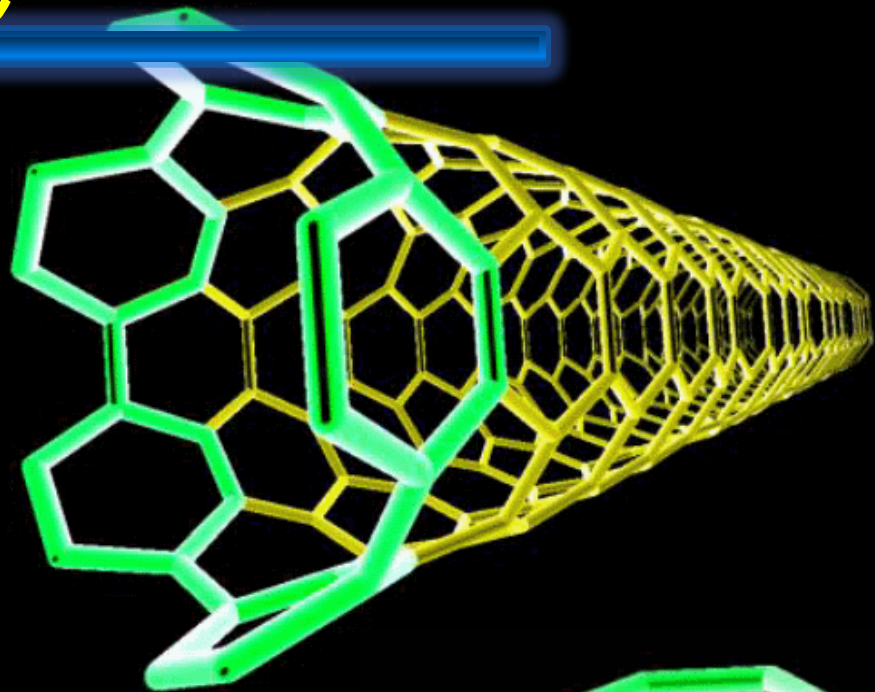
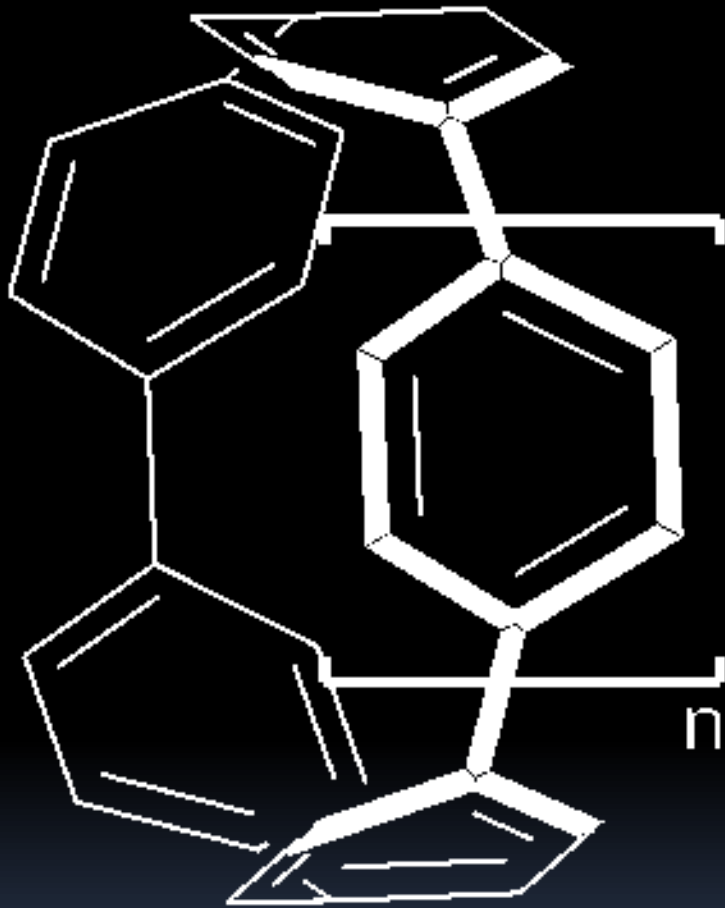
シリセン原子の折れ曲がり構造を利用したバンドギャップの形成

半導体から半金属まで性質を制御

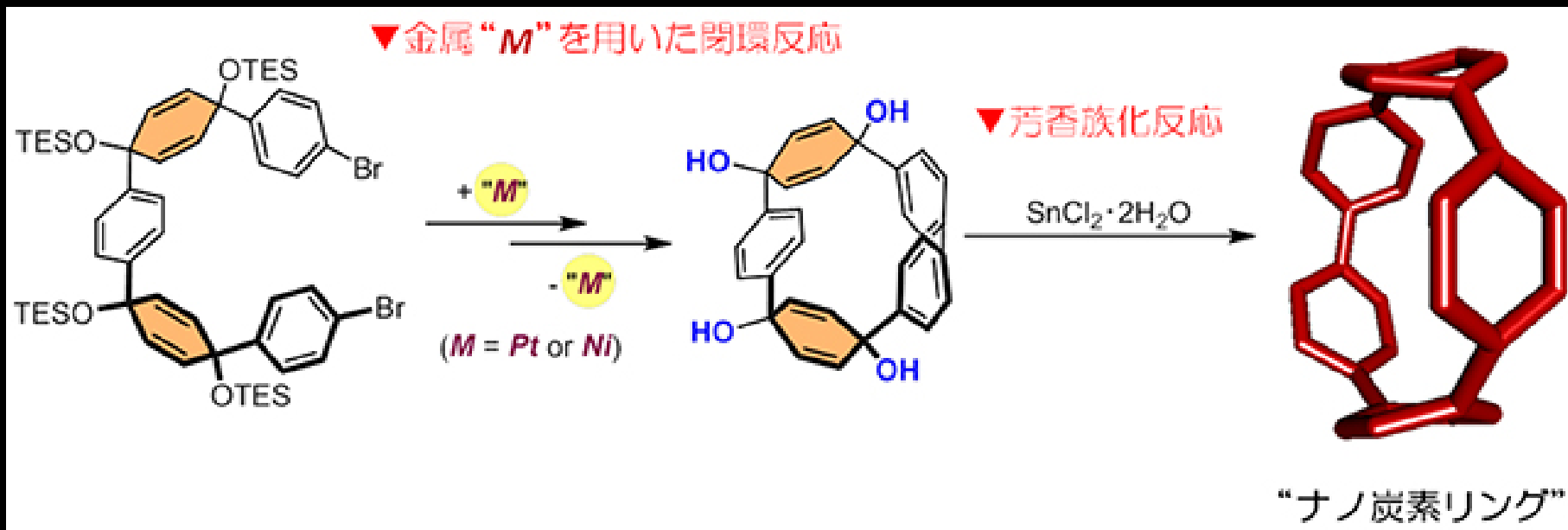
究極の薄膜材料

誰か、絶縁体上で合成に成功して！

# シクロパラフェニレン



# シクロパラフェニレン



CNTは原子を封入して新機能を発揮  
CPFは高分子を貫通させて新機能を発揮？

# PART3



発電・蓄電・光合成



## 発電・蓄電・光合成

電気の重要性についていまさら語る必要はないでしょう。

ですが、電気の作り方や蓄え方については、これから語っていかなければなりません。電気をどうやって生み出すか。日本が電力を自給することを可能にする唯一の選択肢として考えられてきた原子力発電の信頼は地に落ちたままです。

日本では次点で有望とされている地熱発電も最近やっと法律の改正によって十分な発電量を得られる体制の目処が立ったばかり。実際の建設にはこれから長い年月を要します。潮力など豊富な海洋資源を活用した発電も鋭意研究されていますが、電力供給量としてはいささか頼りない状況です。

風力については事故や振動の被害が大きいことが次第に明らかになり、もともと敷地も風量も大してない日本ではきびしい状況となって、洋上風力発電に軸足を移しつつありますが、近年やっと深海での浮体上に風車を設置する試験的発電が行われる段階になったところ。太陽光発電は設置が簡単で買い取り価格がオイシイので建設が盛んですが、ただでさえ平地の少ない日本の貴重な平地で食糧を生産することなく、太陽光パネルを並べても良いのか、という疑念があります。洋上太陽光パネルについては最近やっと実用的な発電所が建設され始めたところです。

これから解決していかなければならない問題や、新たに生み出さなければならない問題が山積みの電力周辺の問題について、化学メーカーによるアプローチの方策を考えてみたいと思います。

# ウェアラブルデバイスの電源

配管やホースなどの曲面にぴったりと実装でき、排熱の温度差により発電する高性能の熱電発電シート



工業プラントの配管や複雑な形状をもつラップトップコンピューター等の排熱を利用して電力を再生する方法や、体温を利用した健康モニター用電源





消費されるエネルギーのうち約3分の2  
は未利用のまま環境中に放出  
排熱の80%以上は200度以下  
持ち運びする排熱環境での使用が多い



従来の大規模設備での再利用は不可能



- 軽くて丈夫なカーボンナノチューブに着目
- 熱電発電特性について研究
- 通常はp型（低温側がプラスに帯電）を示すカーボンナノチューブを安定なn型（低温側がマイナスに帯電）に変える化学物質（ドーピング材料）を発見
- 非常に困難とされていたフレキシブルなn型熱電変換材料の開発に成功



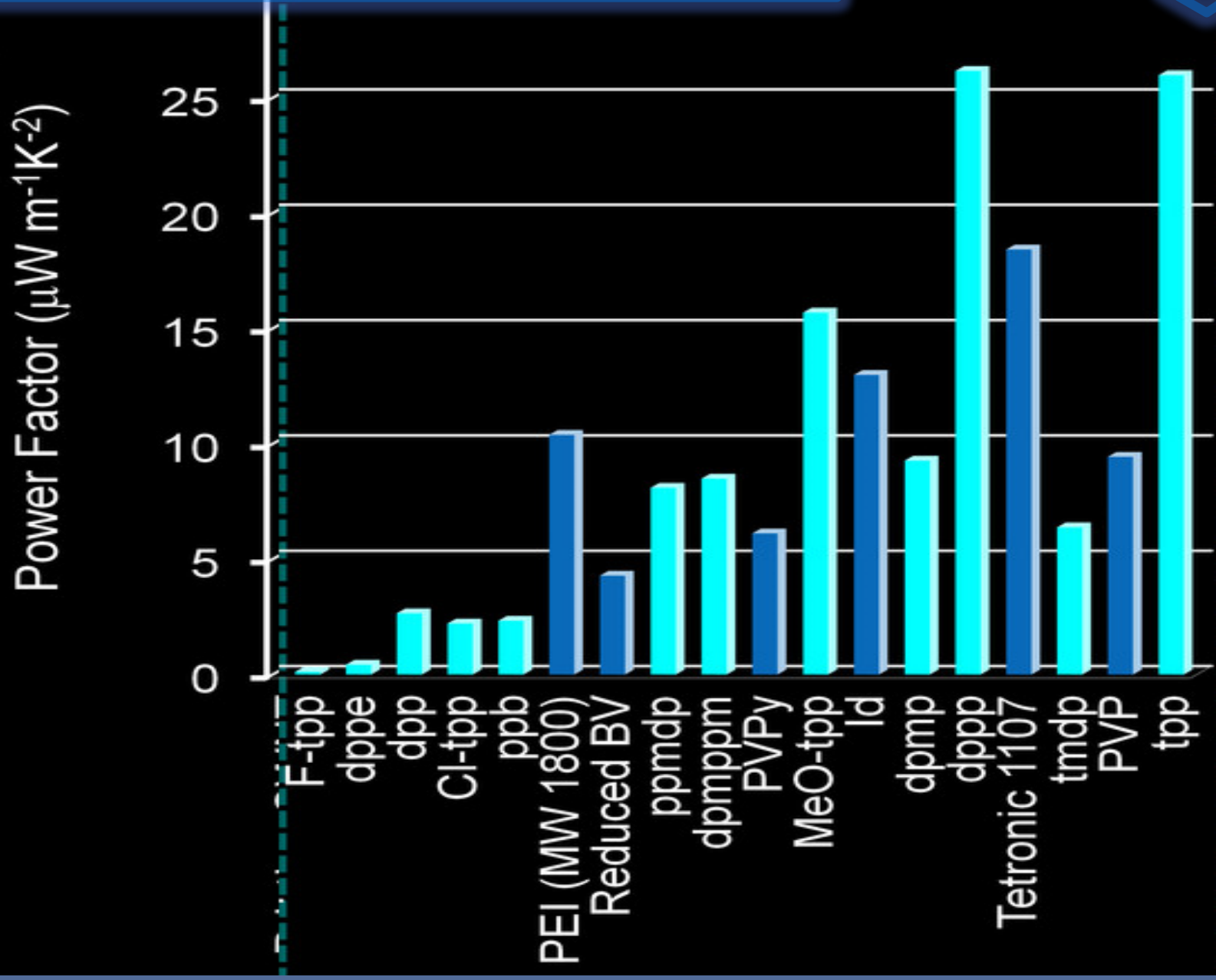
- 熱電変換材料の多くは、鉛、ビスマス、テルルなどの希少金属を主な原料として作製
- 素子材料の低コスト化や大量普及が困難
- 金属や半導体であるため、柔軟性に乏しく、曲面に密着させることが困難
- 大半の廃熱・放熱源に設置することは難しい
- 安定性や耐熱性を活かした高温の熱源での使用に限定



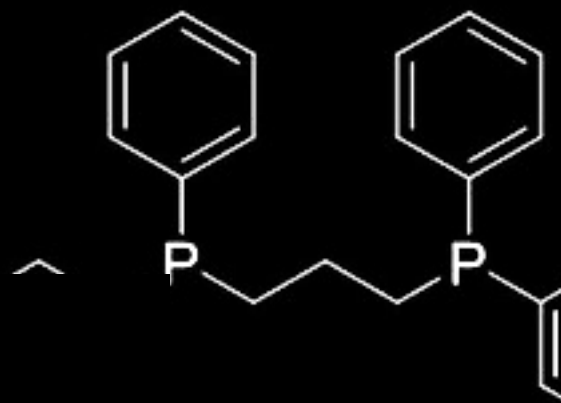
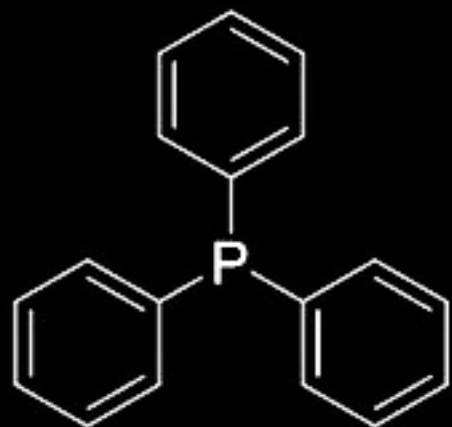
リン化合物誘導体を含む18種類のドーパ材をカーボンナノチューブと組み合わせた場合に、カーボンナノチューブがマイナス型(n型)に変化することを発見しました。n型熱電変換材料としての熱電変換特性を示す条件を最適化して調べたところ、単位温度差あたりの発電電力に相当するパワーファクターは約30 ( $\mu\text{W}/\text{K}^2\text{m}$ )と見積もられました。これは1mm当たり100度の温度差があるときに、1 $\text{cm}^2$ の面積でおよそ30mWの電力を生み出すことに相当します。

# 単位温度差あたりの 発電電力に相当

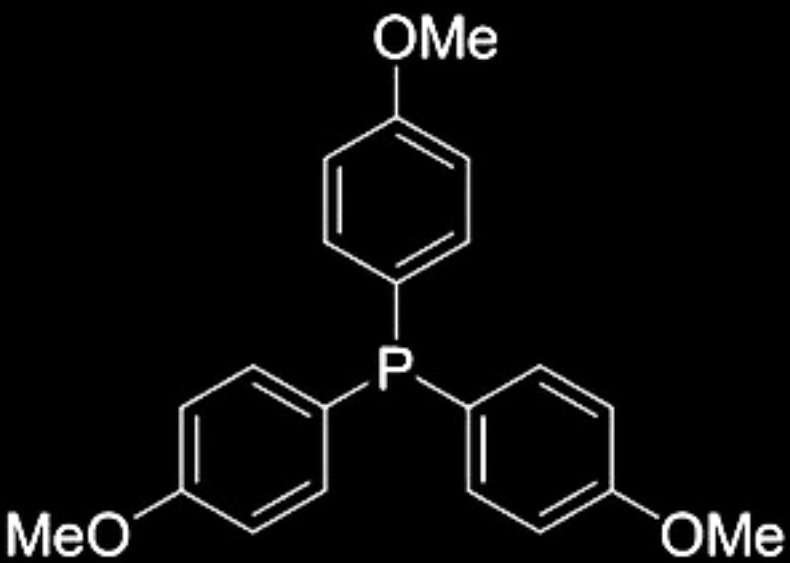
## 温度差あたりの発電性能



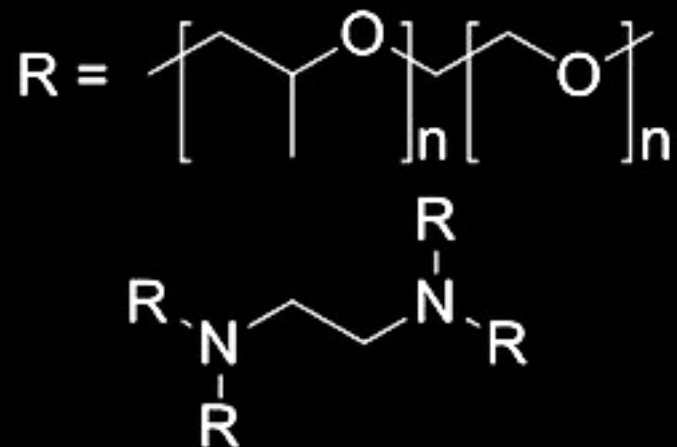
# 温度差あたりの発電性能



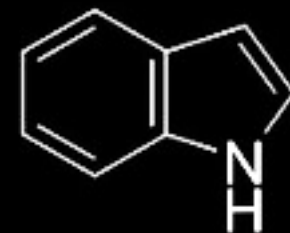
dppp



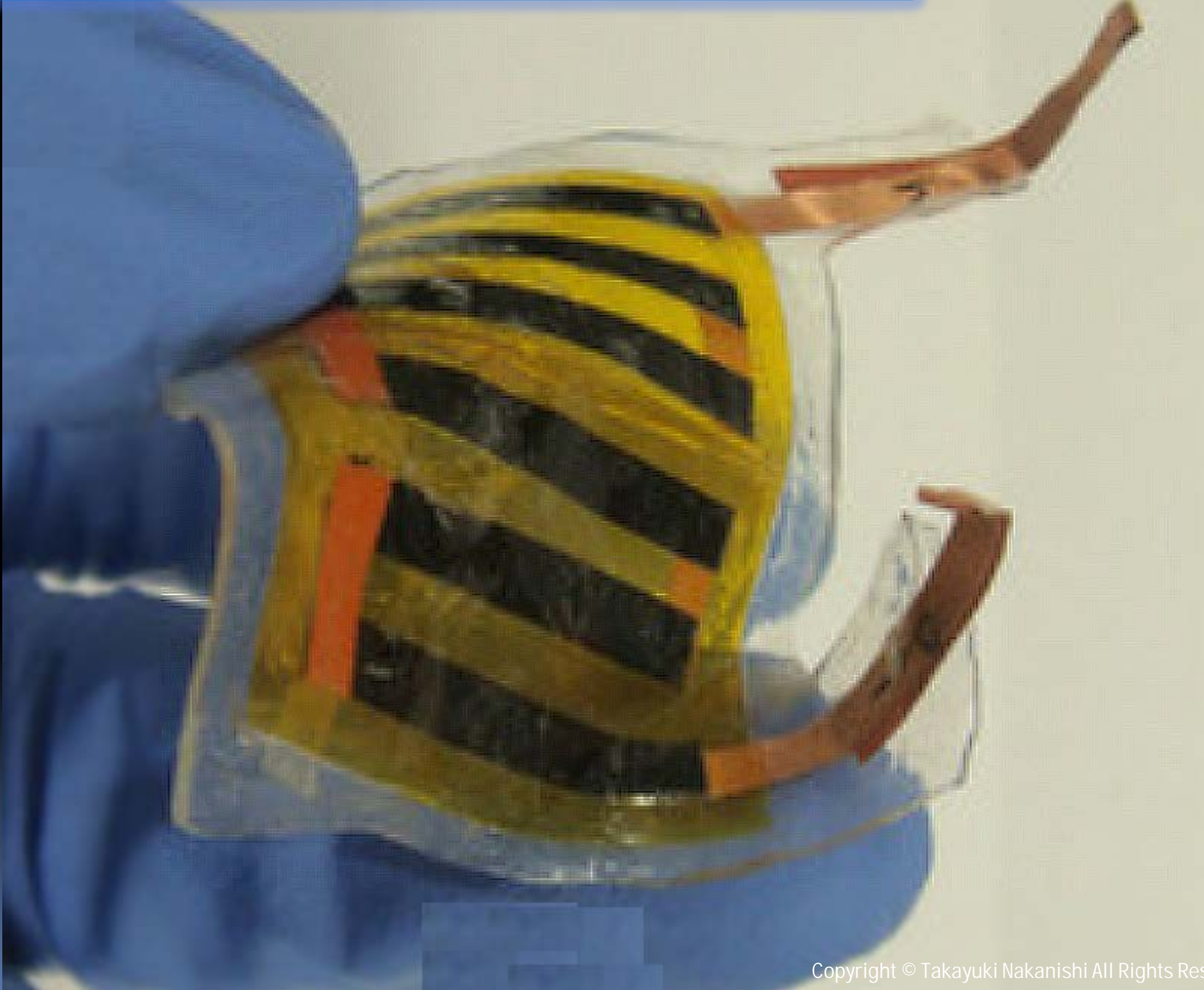
MeO-tpp

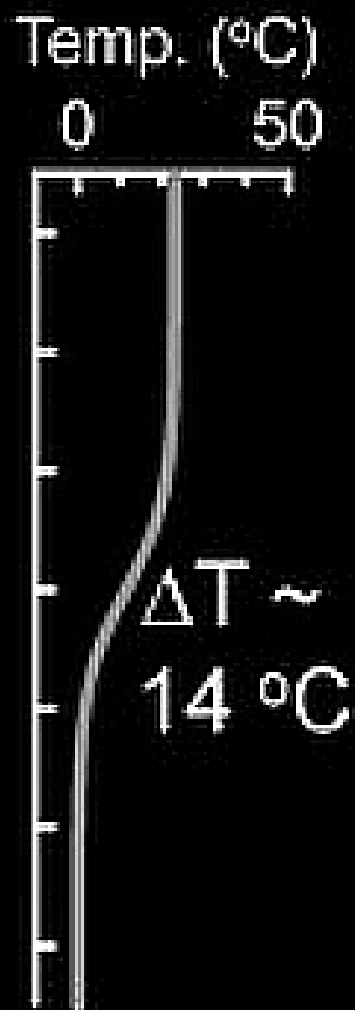


Tetronic 1107

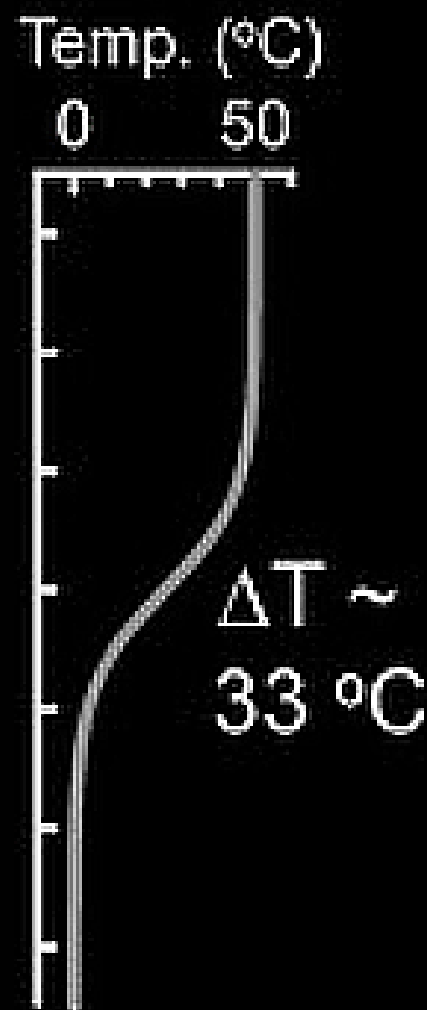


Id





0.0030 W



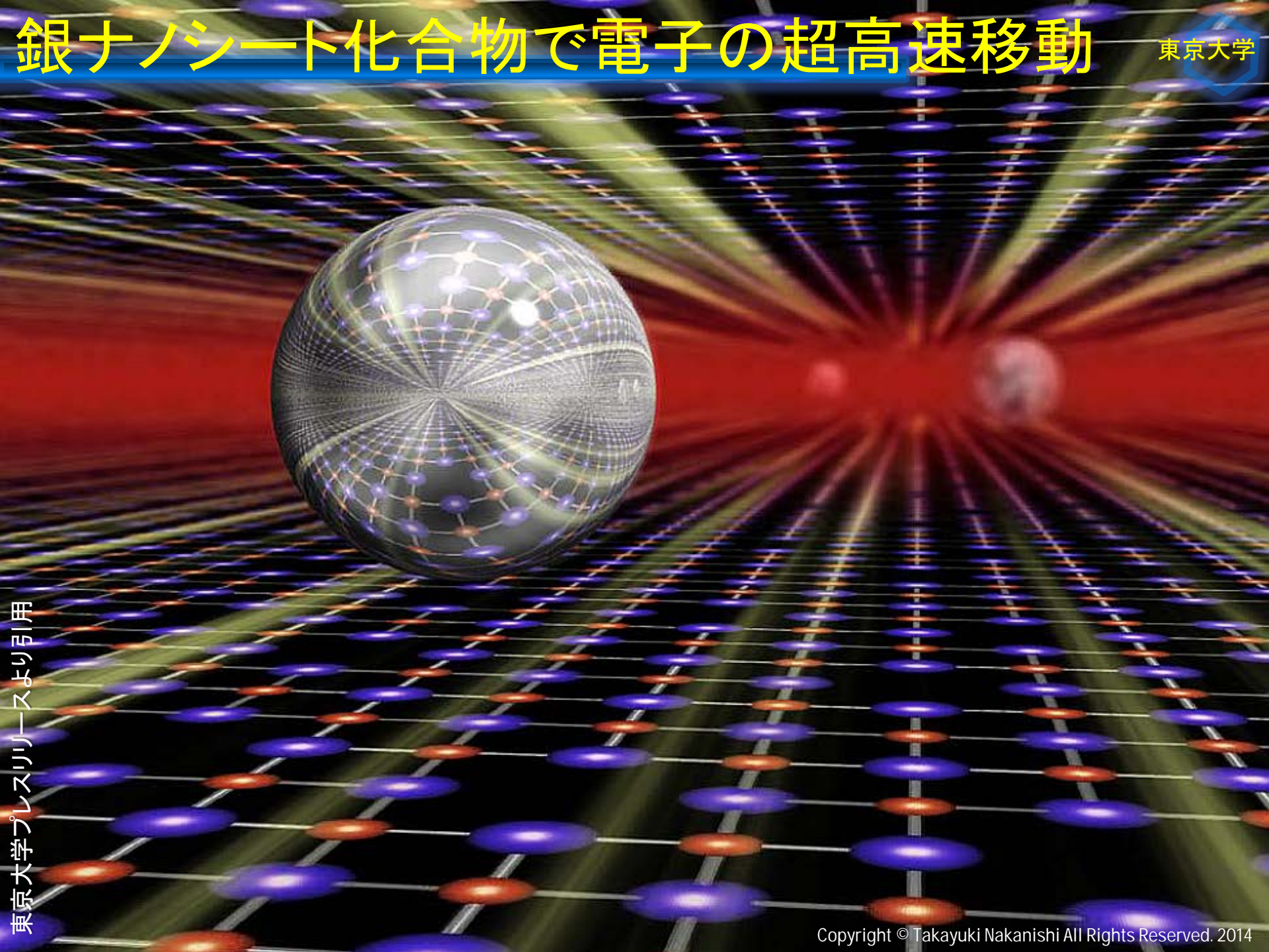
0.0095 W



# 銀ナノシート化合物で電子の超高速移動

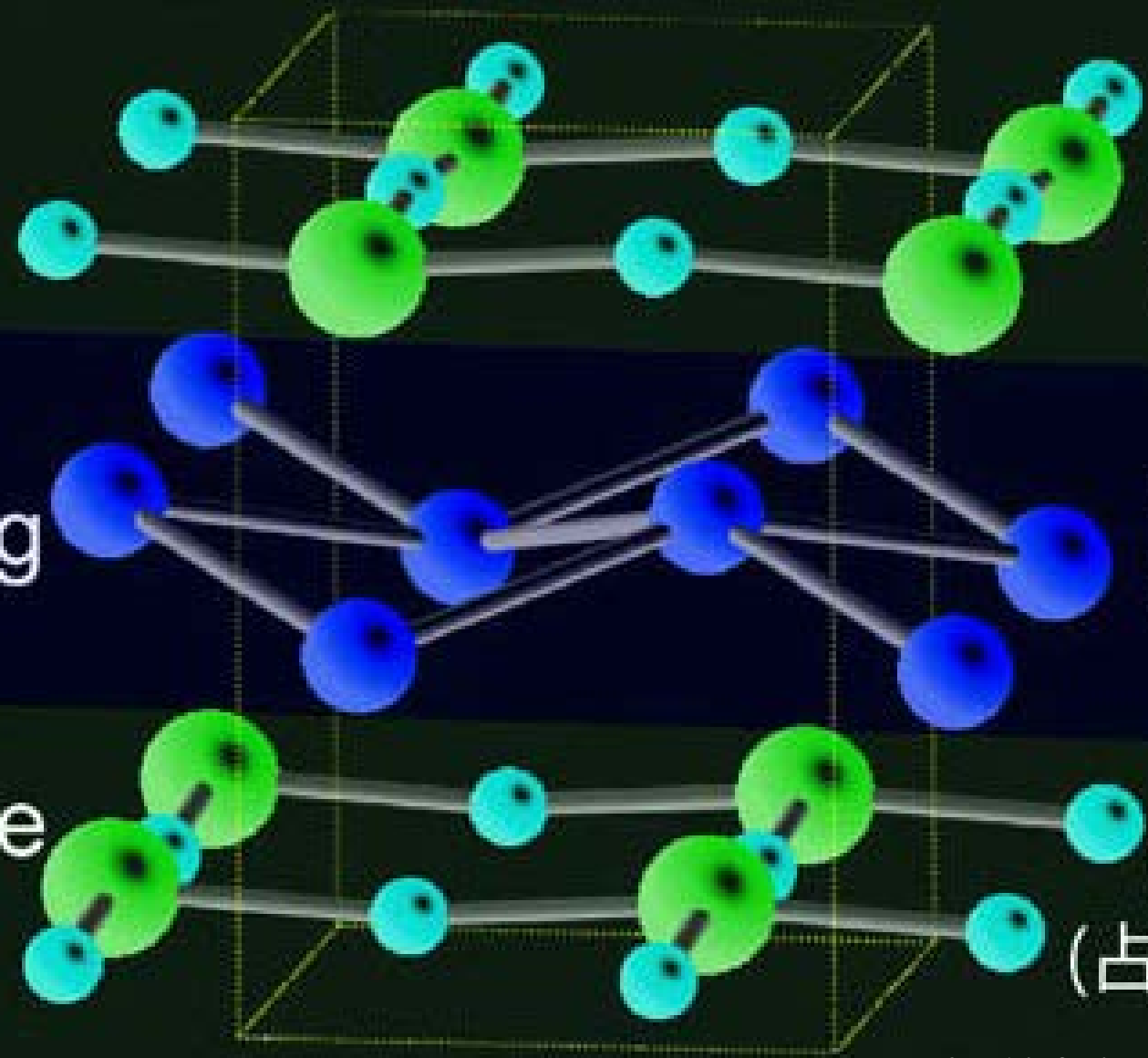


室温以下で動作する  
新しい熱電変換素子を開発したい



# 銀ナノシート化合物で電子の超高速移動

# 銀ナノシート化合物で電子の超高速移動



低移動度の  
乱れた層

Ag

高移動度の  
伝導層

Se

Cu

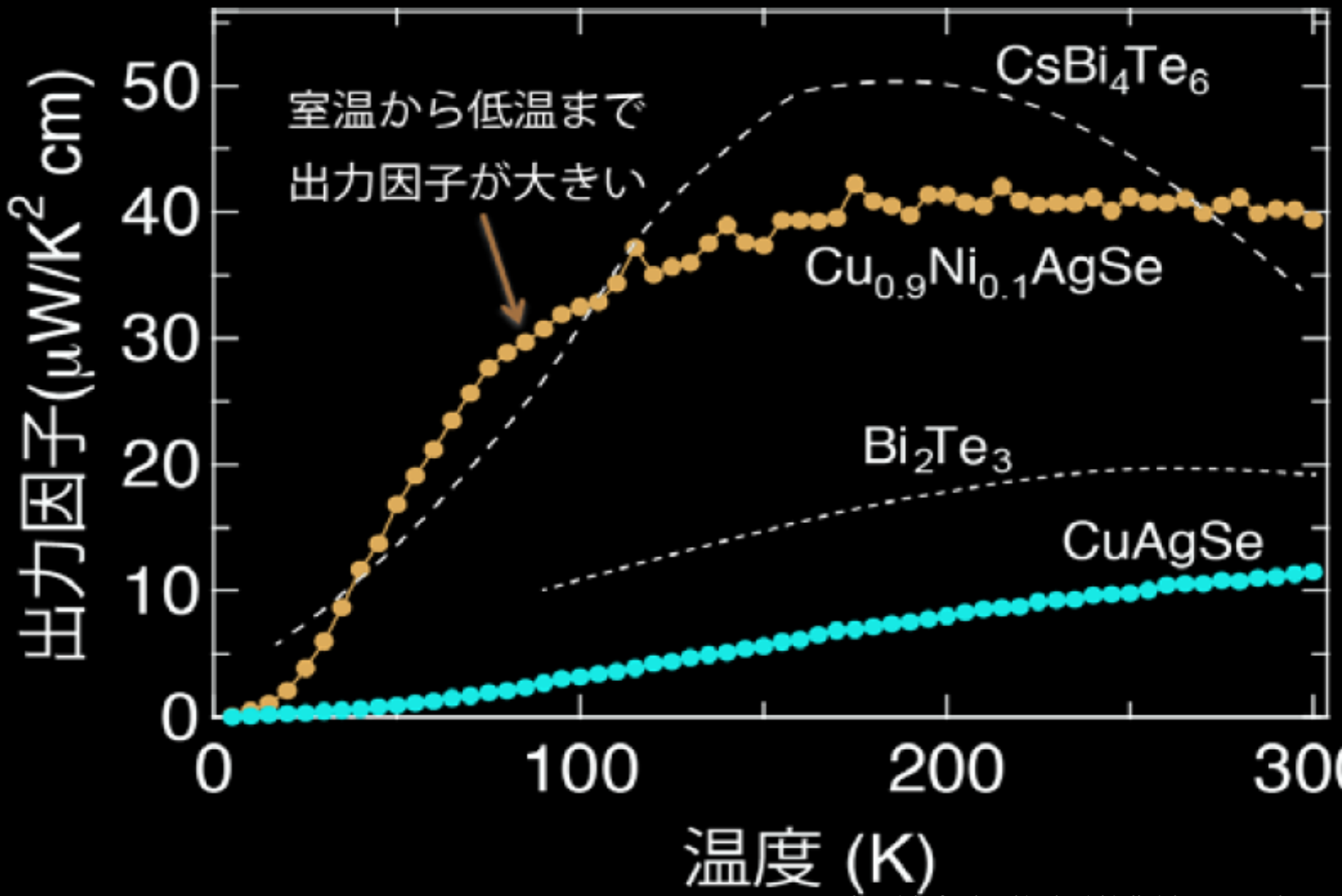
(占有率 50%)

室温以下で動作する  
新しい熱電変換素子を開発したい

- 銀のナノシートを有する層状化合物 $\beta$ -CuAgSeが、室温程度の熱で動作する新たな高性能熱電変換材料として有望であることを発見
- 結晶格子に乱れを導入しても、高純度のSi半導体単結晶に匹敵する高い電子移動度を示すことを確認
- 冷却能力の高いペルチエ式クーラーのための新しい熱電材料の開発に道



# 銀ナノシート化合物で電子の超高速移動



東京大学プレスリリースより引用

## 植物の光合成に匹敵する 人工光合成を実現したい

27億年前、ストロマトライトを形成した光合成微生物から今に至る光合成のメカニズムを有機化学でシミュレーションする。

# ストロマトライト



Photograph taken by C. Eeckhout.

## 植物の光合成に匹敵する 人工光合成を実現したい

- 植物の光合成と同様、2段階のエネルギー移動で光を捕集
- 単位面積当たりの光量が少ない太陽光を安価な有機分子で集光し、人工光合成の反応中心へ効率よく光エネルギーを集約
- 高価で稀少な人工光合成用の光触媒の使用量を大幅に減らせる



# 光のエネルギーを集める有機化合物

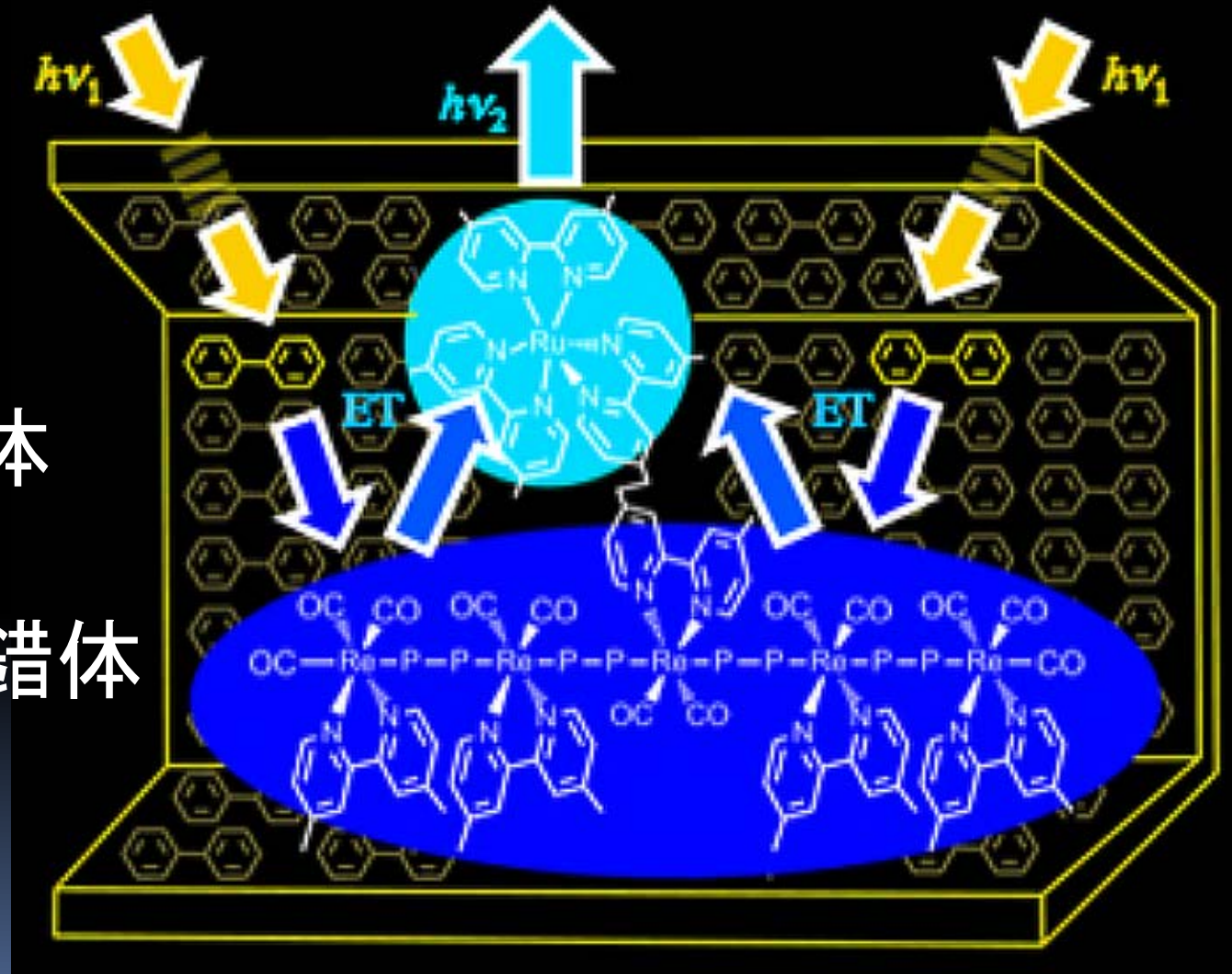
有機分子



ルテニウム錯体



ルテニウム錯体



# PART4



## ディスプレイ・記録メディア





## ディスプレイ・記録メディア

現代社会においては、日々激的に増え続けるあらゆる情報は電子データとしてアーカイブされています。アーカイブするのは当然ながらそれを解析、参照するためです。そこでクローズアップされているのが、さまざまな視聴環境において、必要な情報を適切な方法で、情報を必要としている人にタイムリーに提示する技術です。

近年、タブレットやPCのディスプレイは劇的な進化を遂げていますが、基本的な部分では、電源をつないで四角い板に電氣的に映像を表示させるという言い方をする限り、ブラウン管の発見から一步も進歩していません。紙の発明があり、ブラウン管の発明があり、その次の発明はまだ来ていないのです。

ここに化学反応をベースにしたディスプレイという考え方が芽生えてきました。電力をほとんど使わず、装置の形状を選ばず、室内や屋外でも必要十分な情報を表示することができる、あらたなデバイスの誕生に化学メーカーは今まさに立ち会っているといえます。

現代社会は毎日エクサバイトのデータを生み出しています。汎用されている磁気記録や光学的記録も進化を遂げていますが、激的に増加し続けるデータを確実に、求められる年月において安定して保持できる装置はまだ開発されていません。国会図書館では保存用記録媒体にブルーレイディスクが選ばれていますが、そもそもが未来永劫に有効な媒体であるはずもなく、ディスクを無限枚数保存することは不可能ですし、検索効率もデータの増加にあわせて低下していきます。ここにおいても、化学反応をデータの保存に使うという考え方が登場してきています。

# 構造色ディスプレイの可能性



# 構造色ディスプレイの可能性

生息地：北アメリカ南部から南アメリカの森林地帯

寿命：成虫になって1ヶ月

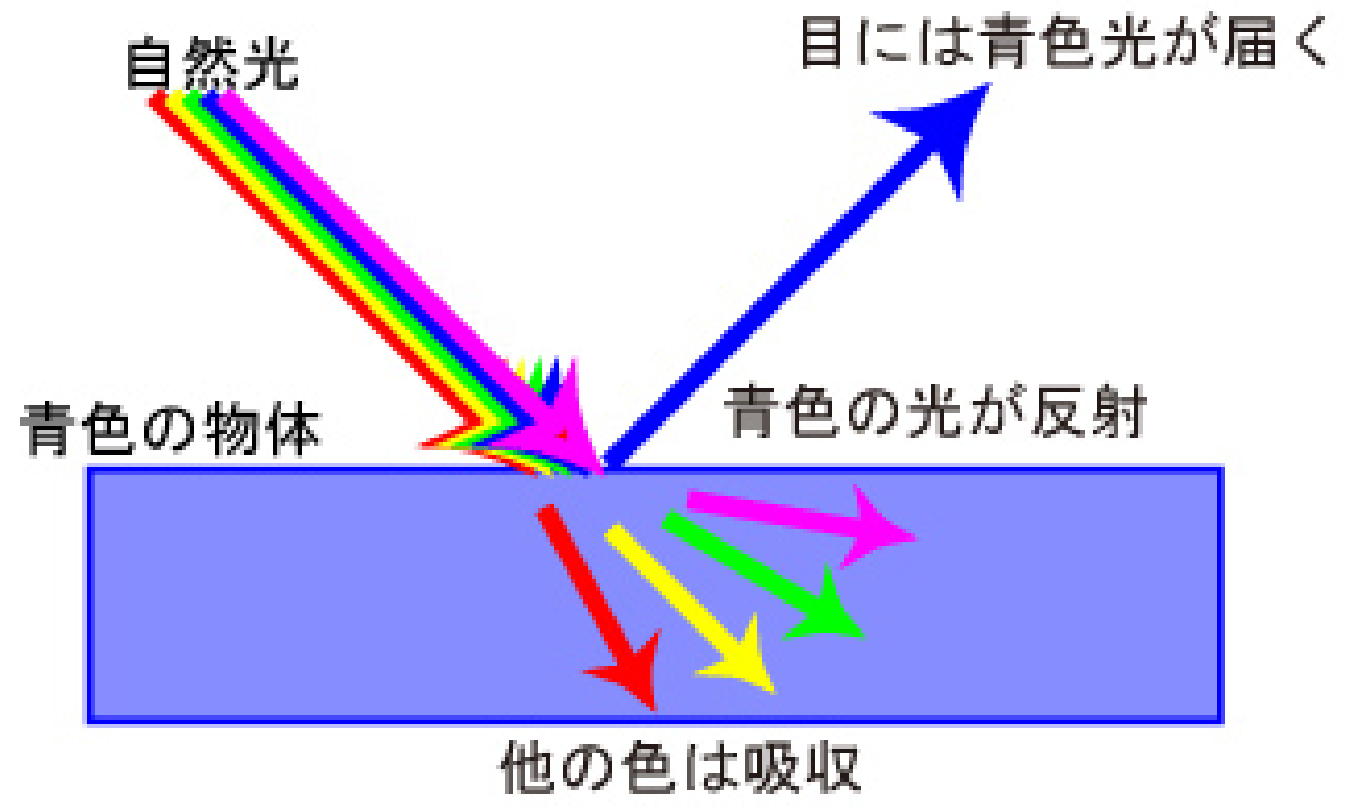
Morpho：ギリシャ語で「美しい」

特徴：体にくらべて羽が非常に大きい。羽の表側に青色の金属光沢をもつ。飛行速度が速い。鮮やかな羽の色を持つのは雄。雌は茶色か薄い青。羽の裏側には目玉模様（眼状紋）がある。毒がある。成虫は花の蜜よりも腐った果実、動物の死骸、キノコなどを好む。

発色のメカニズム：羽の表面にある楕形の鱗粉で光の干渉が起きるため（構造色）。

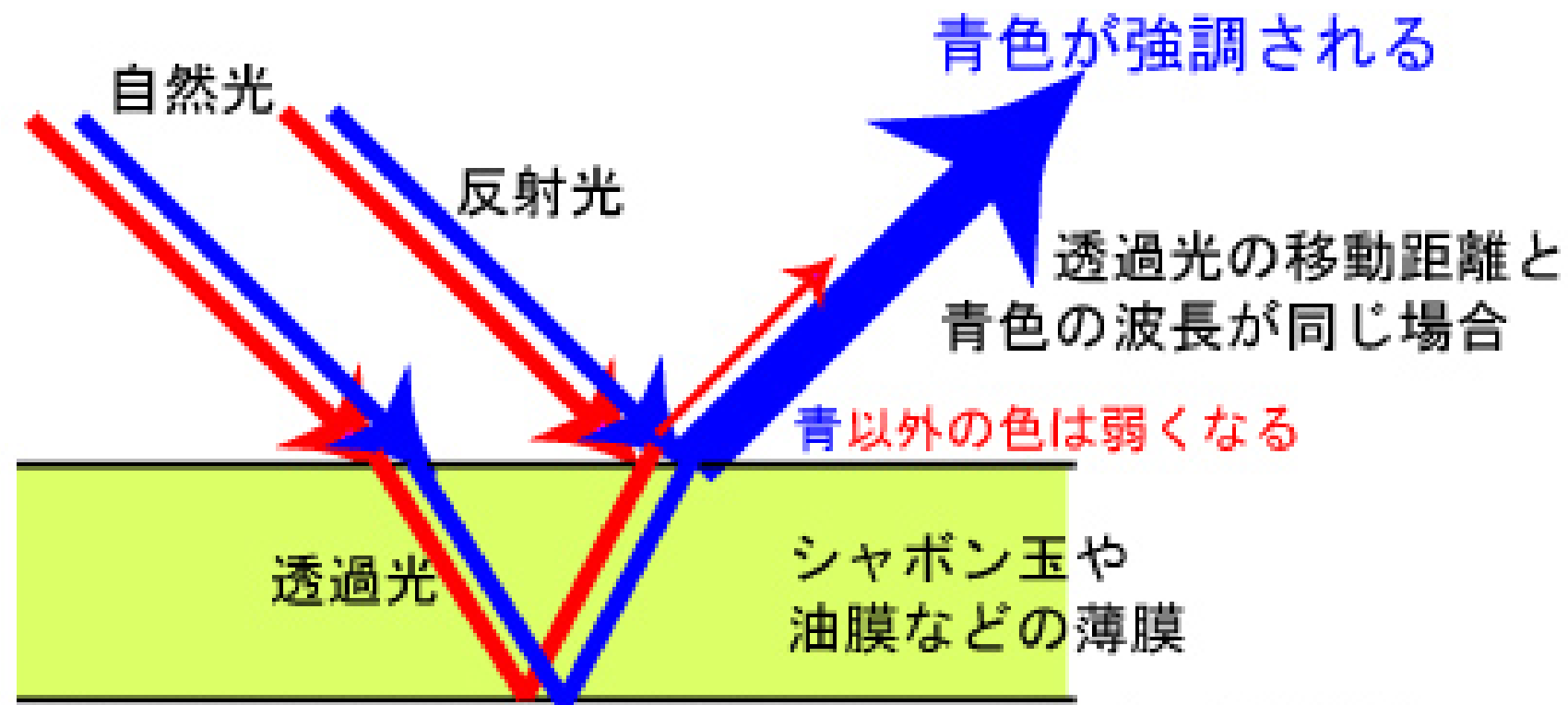


## 普通の色の見え方










## 構造色（干渉）の見える方



表面の反射光と薄膜を通る透過光が、強めあったり打ち消しあったりしたすることで起こる。それぞれの色の波長の違いが影響する。

# ハイエンド液晶を凌駕する構造色方式

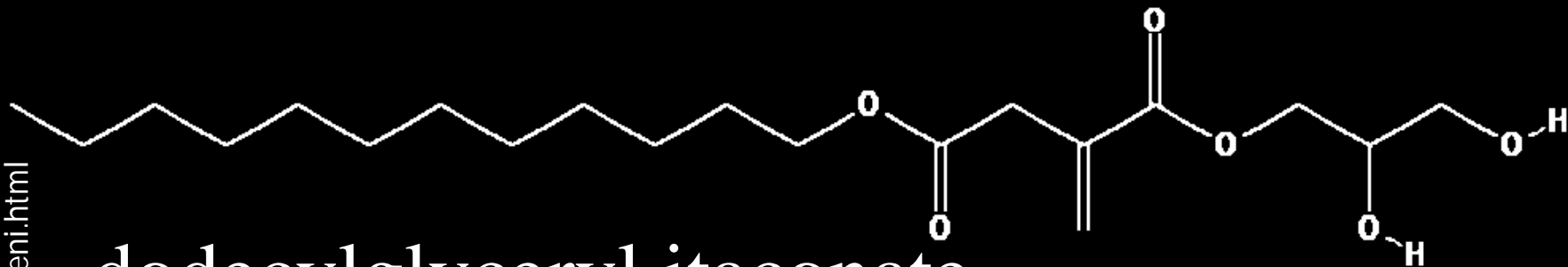


-  非常に鮮やかな発色
-  バックライト不要
-  明るい場所ほど鮮やかに発色
-  応答速度は1ミリ秒
-  色の空間分解能は0.01mm



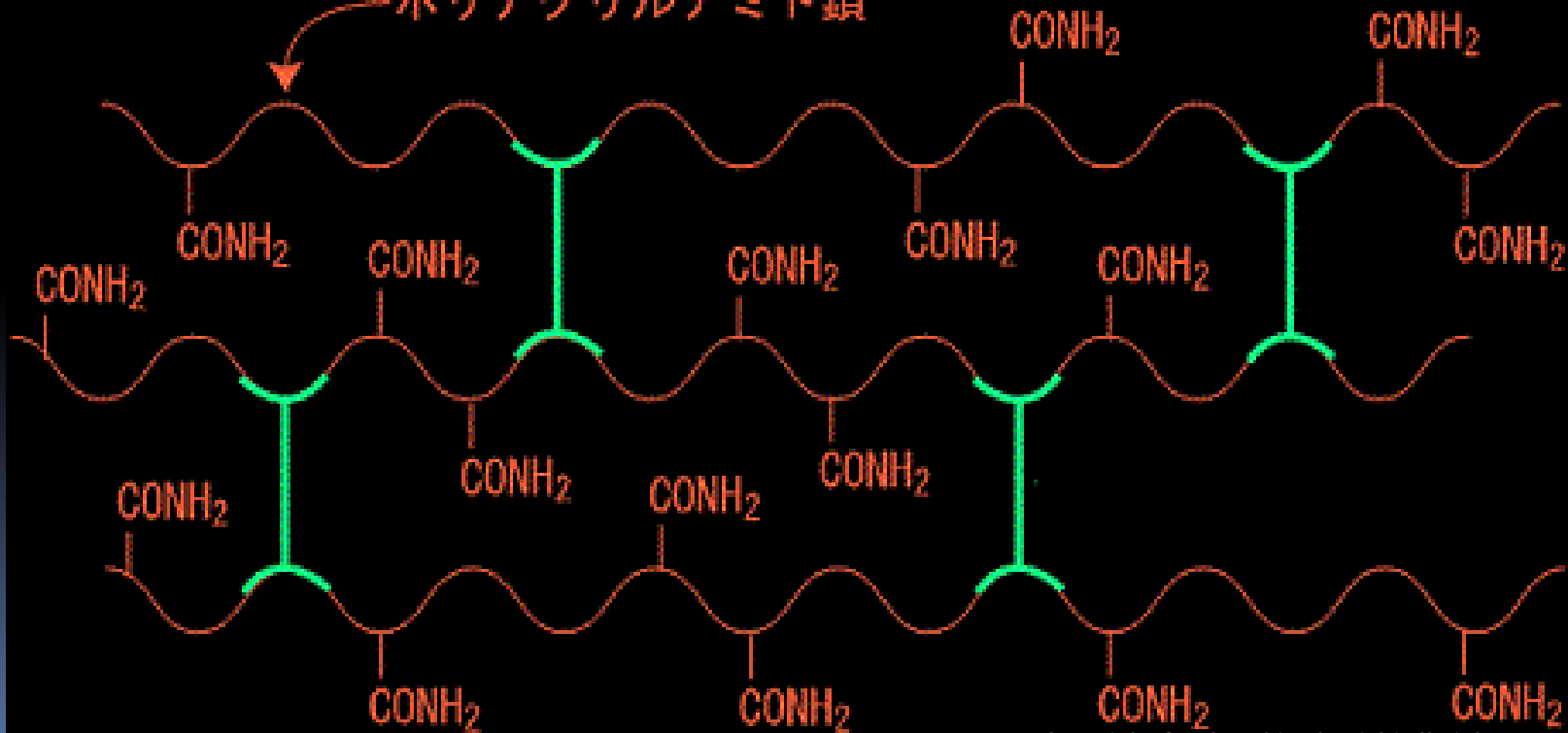


# ポリドデシルグリセリルイタコネート



dodecylglyceryl itaconate

ポリアクリルアミド鎖



# 構造色ディスプレイ



京都府織物・機械金属振興センター  
[http://www.silk.pref.kyoto.jp/oriki/index-d/d0611/kouzou\\_seni.html](http://www.silk.pref.kyoto.jp/oriki/index-d/d0611/kouzou_seni.html)



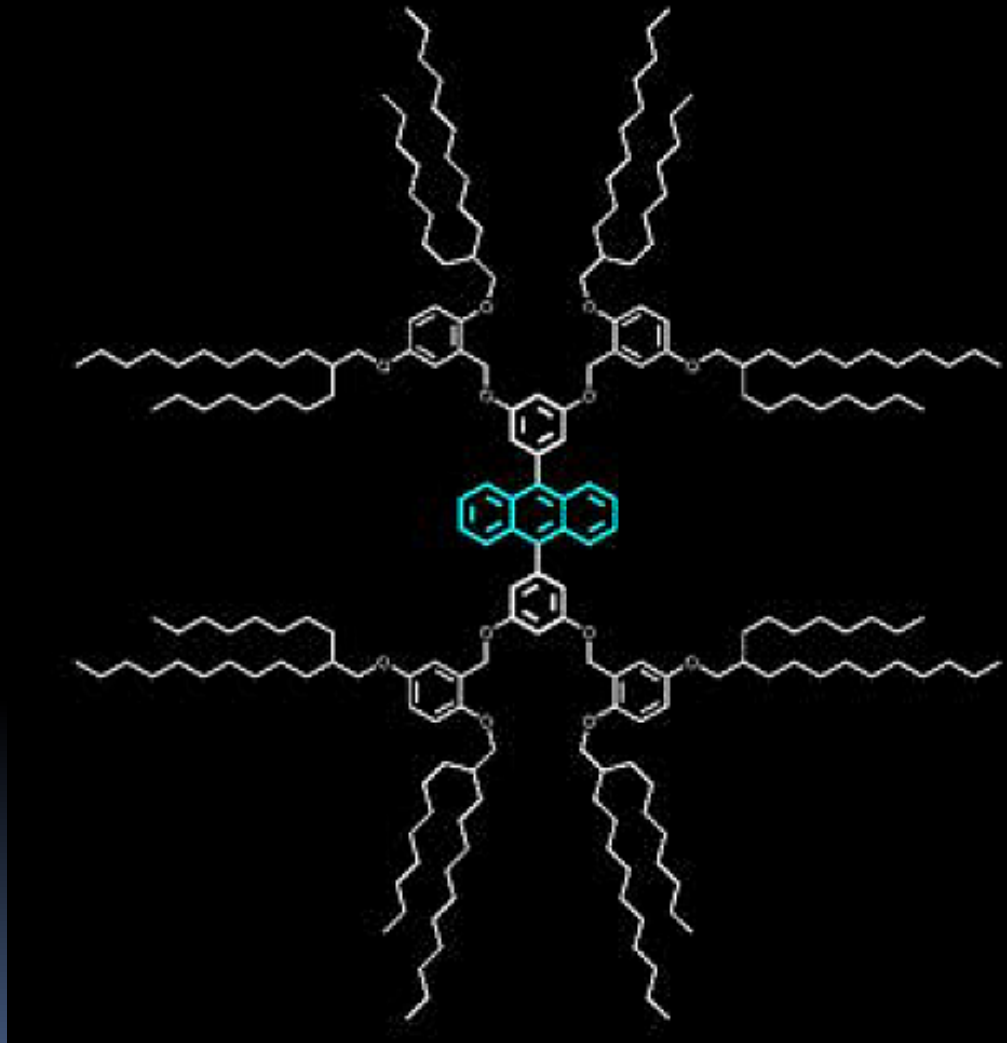
2.フルカラー表示のモニタや携帯デバイスなどエレクトロニクス素子の開発において、軽量、フレキシブル、印刷加工が可能(プリンタブル)などの利点から、有機分子や高分子系材料の重要性が増している。しかし、これまで開発されてきた発光性の有機分子材料は、ほとんどの場合光安定性(光照射に対して、変色や脱色しない耐久性)が低く、塗布操作の過程において分子同士が凝集してしまうなどの理由で、本来の発光性能を十分に発揮できない問題点があった。また、フレキシブルデバイス加工の観点からは、過度な折り曲げ時にも連続する発光活性層の劣化が生じない材料であることが望ましい。一方、様々な発光色を示す有機分子材料を個別に合成する場合と比較して、簡便且つ安価にフルカラー発光を調製可能な有機分子材料の開発が望まれる。

3.中西らは、蛍光を示す汎用色素分子であるアントラセンの周りに枝分かれした柔軟性の高いアルキル鎖を結合することで、アントラセン部位間の凝集がなく、融点が約 $-60^{\circ}\text{C}$ 、約 $300^{\circ}\text{C}$ までの熱安定性、および青色蛍光を示す液状物質を開発した。この物質は、室温で粘度が約 $0.3\text{ Pa}\cdot\text{s}$ の低粘性の液体であり、絶対蛍光量子収率が約55%、市販のアントラセン色素に比べ5倍以上の光安定性をもつ青色発光液体である。さらにこの液体内に他の粉末状発光色素を均一に混和することができ、単色(365 nm)の光励起から96%に達する色素間の蛍光共鳴エネルギー転移(FRET)を経て、発光色をフルカラー制御できることを見出した。

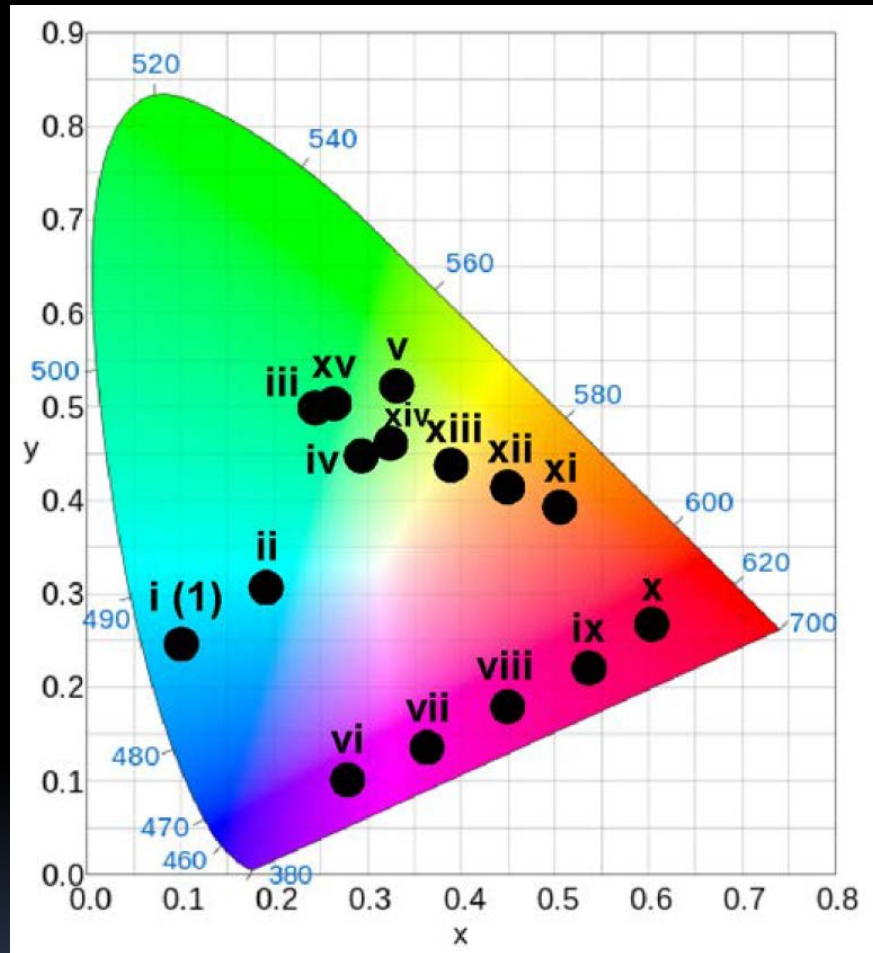
4.本研究では、優れた光安定性のアントラセン青色発光液体を合成した。この液体内に他の色素を混和する簡便な操作のみで、高精度に発光色を調整でき、良質なフルカラー発光を示す液体材料の開発に至った。ここで開発した不揮発性液体材料は、様々な形状の基材表面に塗布でき、単色光励起の安定な有機マルチカラーデバイスの創製が期待できる。また、液体材料は折り曲げても断裂、破断せず連続活性層を保持できるため、折りたたみ可能(フォールダブル)なフレキシブル素子の開発に好都合である。

# 新規フルカラー発光アントラセン

物質・材料研究機構



# 新規フルカラー発光アントラセン

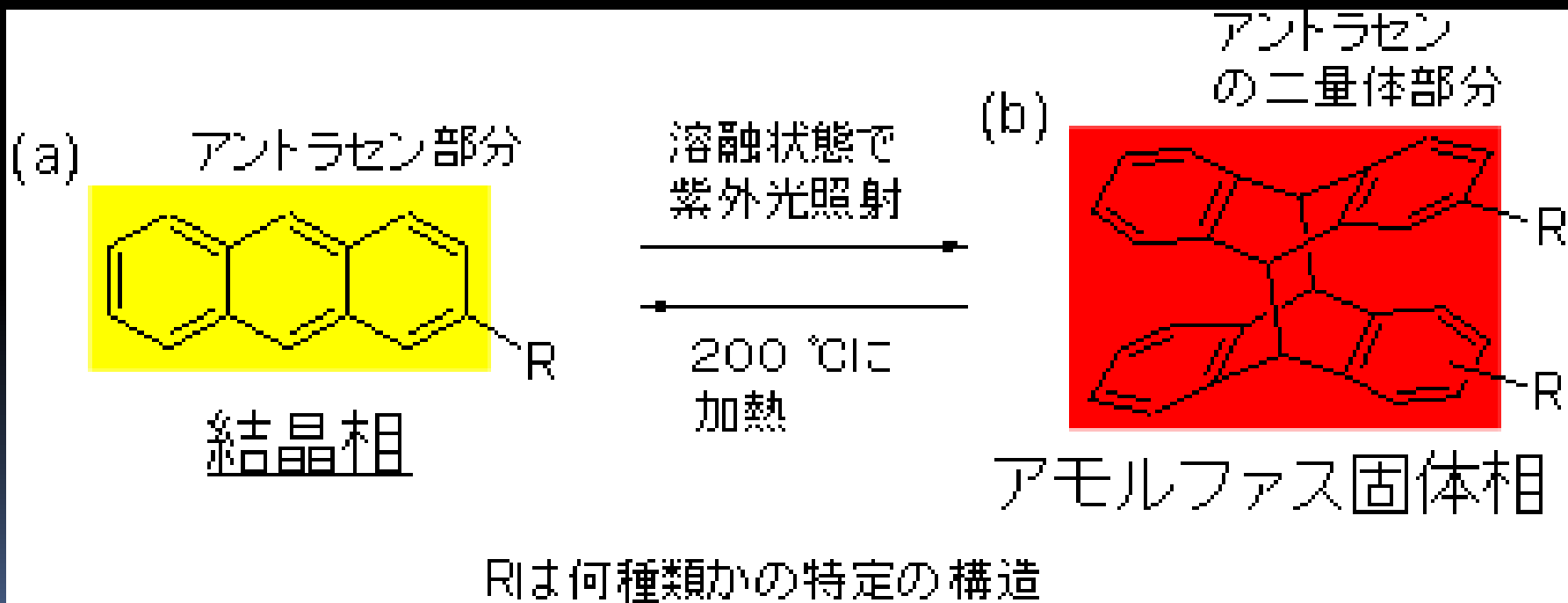


アントラセン液体(1)に、緑色(ドーパント-D1)および赤色(ドーパント-D2)発光の色素を混和することにより調整されたフルカラー発光。

光と熱の作用により選択的かつ可逆的に相変化する有機化合物

# 新しい相変化型の光記録材料

試薬として入手可能な出発物質から2段階の簡単な反応で合成でき、得られた材料は室温で結晶相



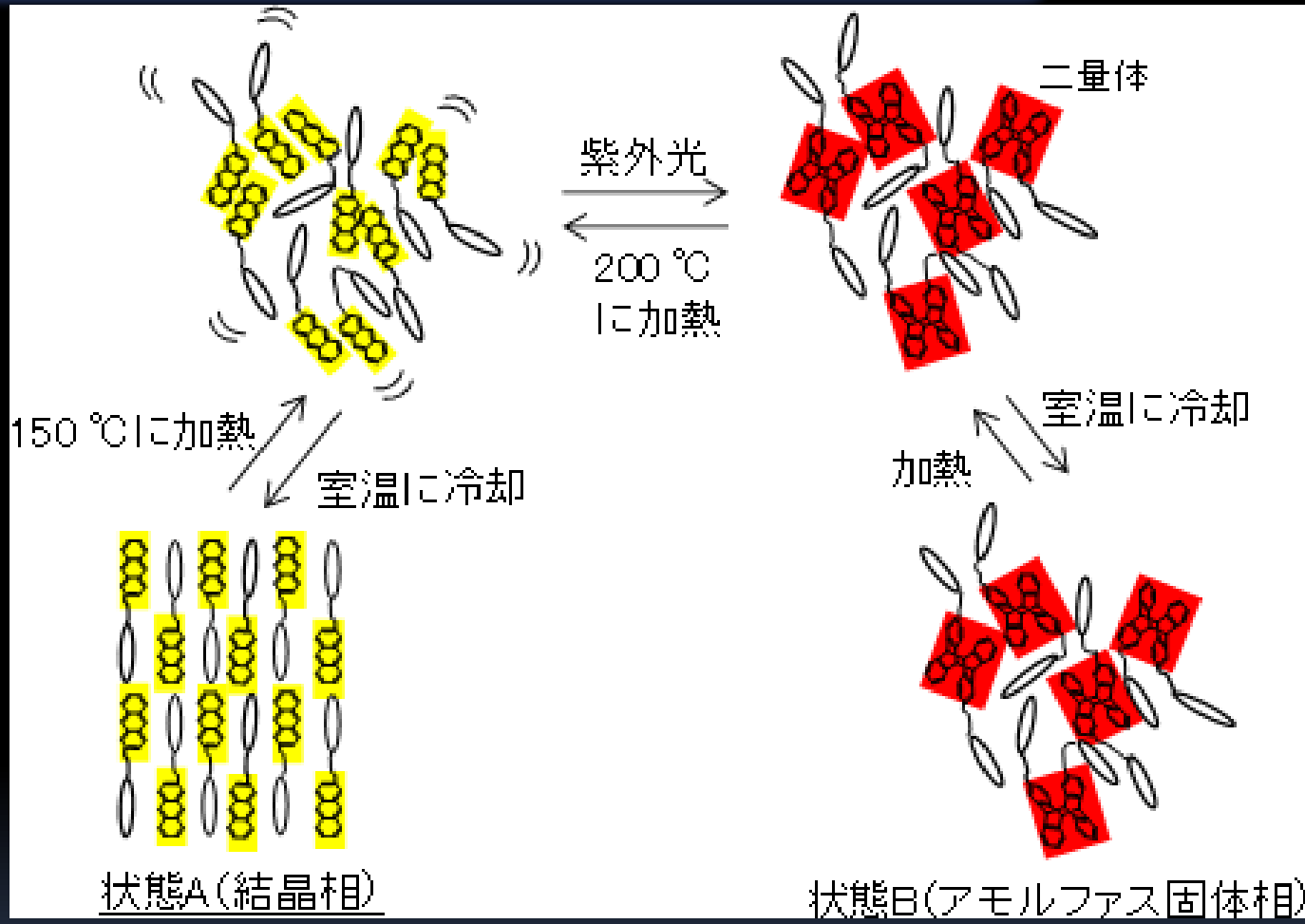
# 新しい相変化型の光記録材料

## 光と熱の作用により選択的かつ可逆的に相変化する有機化合物

- ❖ 光反応による結晶相からアモルファス固体相への相変化によりパターンを記録できる有機材料
- ❖ 加熱による逆反応で元に戻るため、書き換え可能な光記録材料や表示材料に応用可能
- ❖ 光記録されたパターンは非破壊の読み出しが可能で、室温において長期保存が可能



# 新しい相変化型の光記録材料



開発した有機材料が室温で安定な2つの相(結晶相とアモルファス固体相)の間で可逆的に相変化するメカニズム

http://www.aist.go.jp/aist\_j/new\_research/nr20130422/nr20130422.htm

有機色素(フタロシアニン)内部で水素原子が位置を変える反応(互変異性化)を光学顕微鏡でリアルタイム観察することに成功した。

② 孤立したフタロシアニン1分子の互変異性化の頻度は数秒に1回で結晶中の頻度より10万倍低いことを明らかにした。

③ フタロシアニンは、「1分子に2状態が存在し、それらを区別できる」条件を満たすため、分子1個が1ビットのメモリ機能を持つ「分子メモリ」になれる。

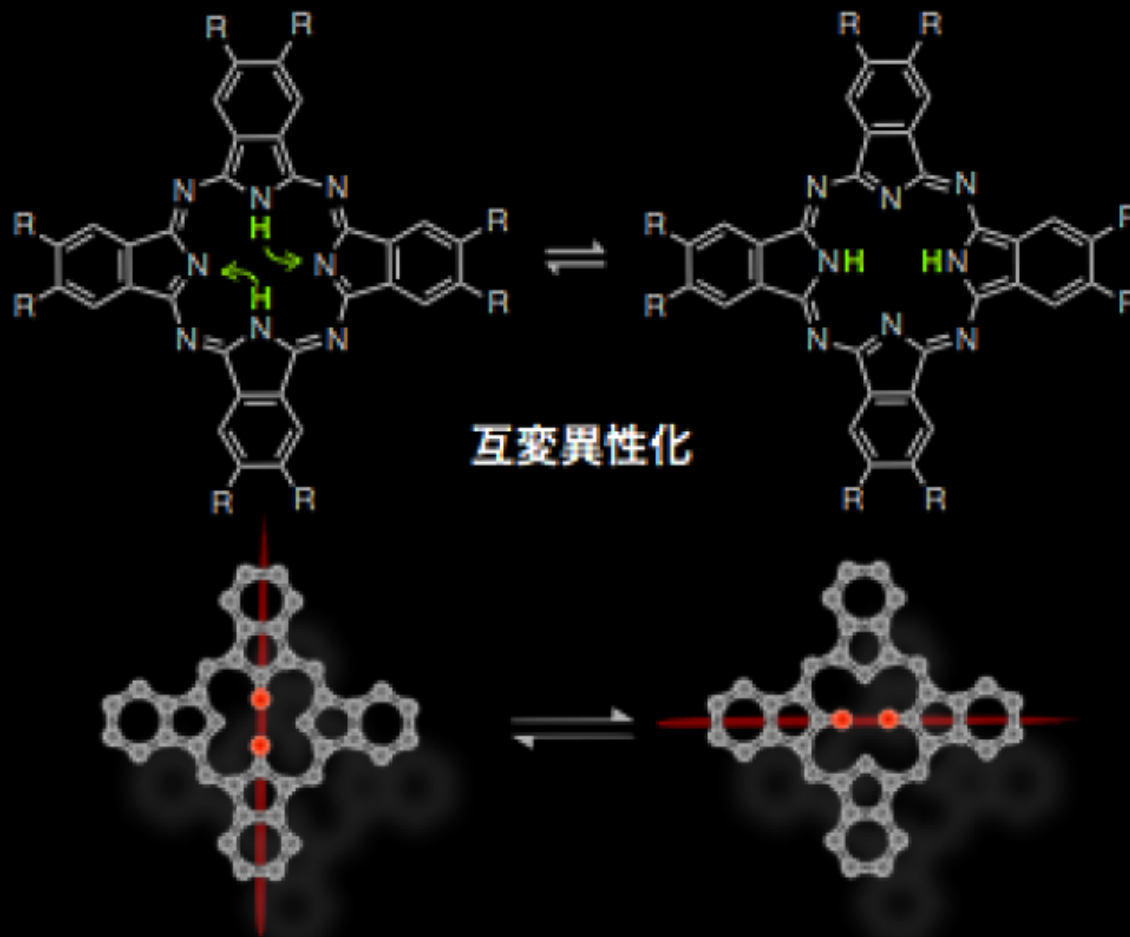


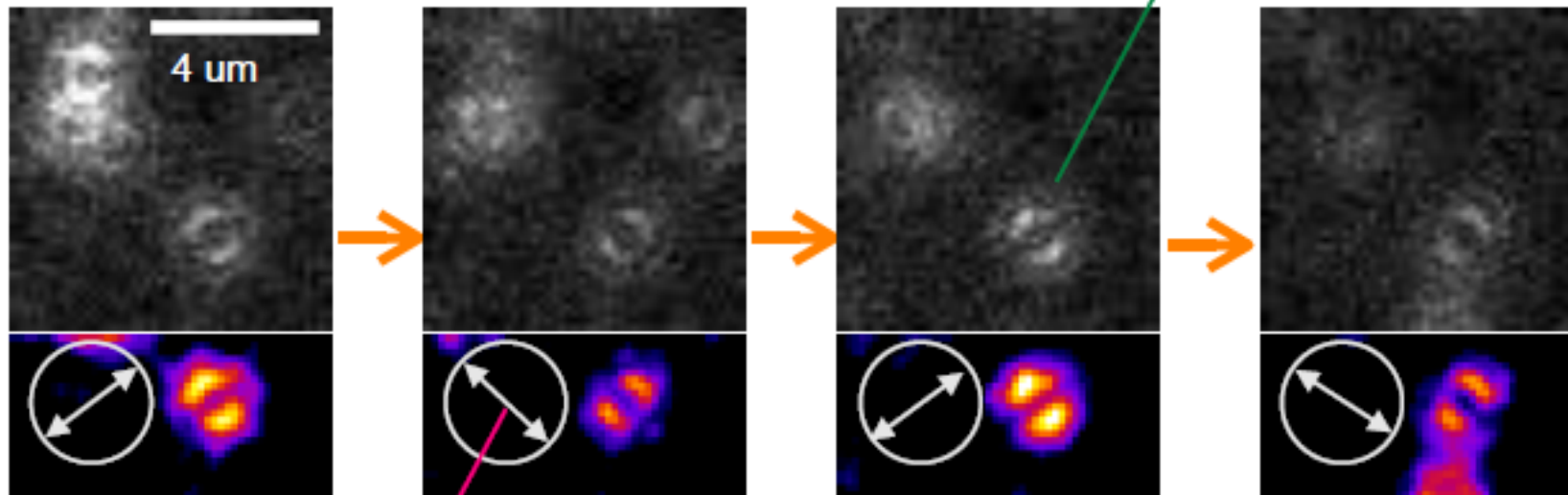
図1. フタロシアニンの化学構造とその互変異性化

(上段) 化学構造式による表現 (下段) 異方性の変化のイメージ

この互変異性化前後で分子自身は回転していない

→: 時間の経過

ダブルローブ模様



偏光の向き

# フタロシアニンのデフォーカス1分子蛍光イメージング



PART 5

# 生分解性樹脂



## 生分解性樹脂

医療技術の発展は目覚しく、ハイビジョンカメラを使って遠く離れた大病院から遠隔手術を行ったり、生きている人間の脳神経細胞の活動を画像化したり、さまざまな新しい技術が開発されることによって、私たちは健康に歳を取ることができる用になり、生活の質は著しく向上しています。

その医療の発展系として、私たちの体内にセンサーや治療器具などの医療装置を入れてしまおう、という技術開発が進んでいます。皮膚を切開して体内に埋め込んだ医療装置を完治や交換のために再び外科的対応によって取り出さなければならないならば、その患者負担は少なくないものになります。

私たちの体と完全に適合して、医療器具として機能し、機能を停止した後はそのまま放置しておけば体に自然に消えていく医療器具。あるいは、最初から私たちの体に同化させて使用する夢の医療装置などの実現に必須なのが生分解性樹脂です。

また、つい先日、人間の生活環境とは接することがあるはずもない深海生物の体内から大量の樹脂が見つかって、環境中に放出された樹脂の蓄積が問題になっています。かつて、生分解性樹脂は生分解する前から既にもろく、既存の樹脂の置き換えにはその用途に大きな制限がありました。現在では多くの問題が解決されてきています。それどころか、生分解すること自体が樹脂の大きな特徴として、これまでの樹脂では考えられなかったような用途、前述の体内埋め込み用途等が生まれてきています。

# 適当に捨てられる電池



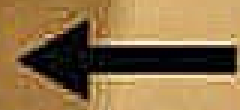
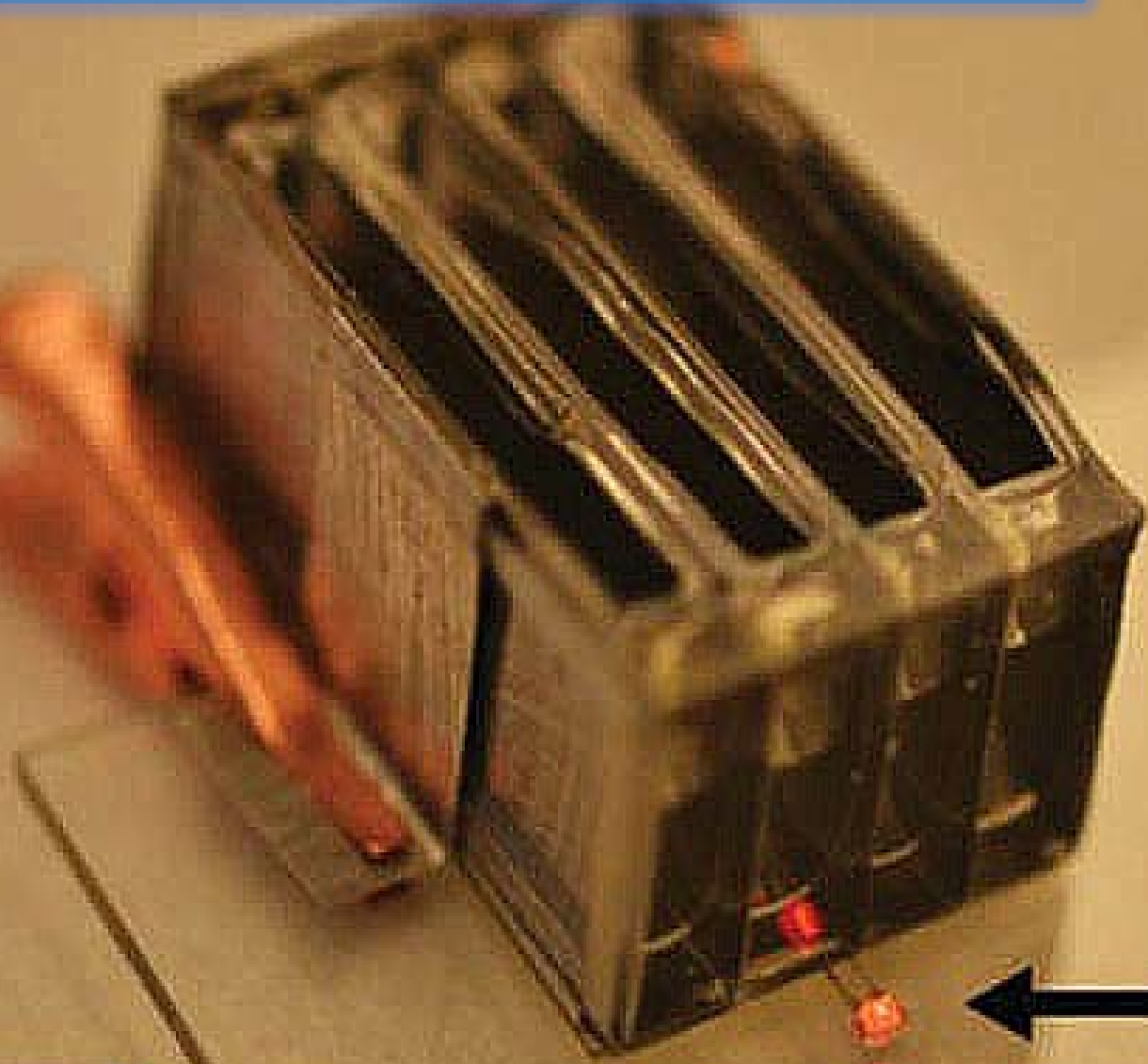
体内に埋め込む医療機器については生分解性の体温センサーなどがすでに開発されていましたが、電源は生分解する電池の開発が困難でしたので、スマートフォンや電動歯ブラシなどで使用されている誘導コイルを利用したワイヤレス給電となっていました。

# 適当に捨てられる電池

Nature DOI: doi:10.1038/nature.2014.14919



1 cm



LED

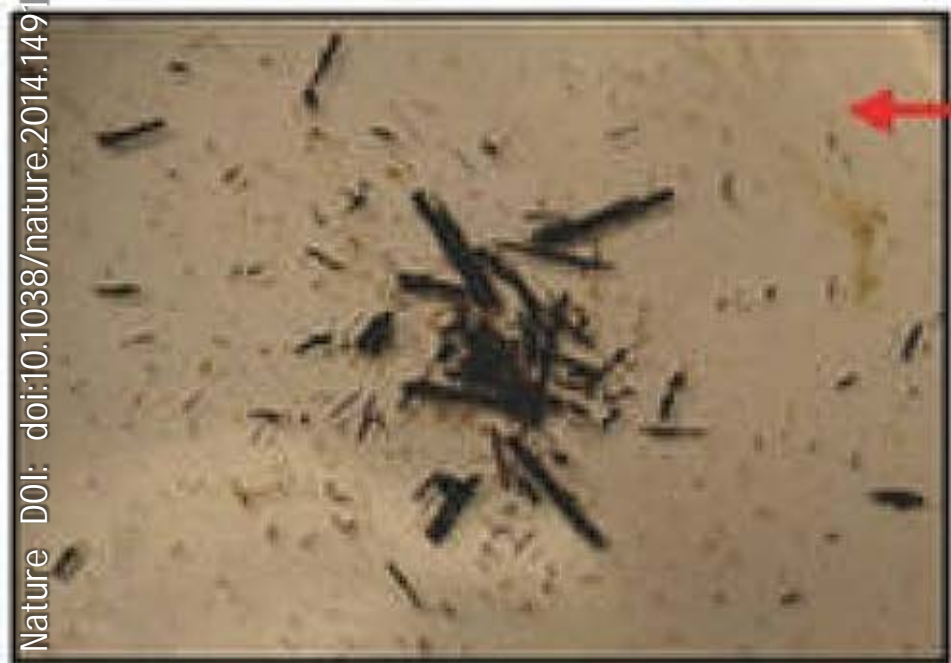


# 適当に捨てられる電池

この電池は生物によってすべてのパーツが自然分解される生分解性電池なのです。当面は人間の体内に埋め込む医療機器の電池としての用途開発を進める計画です。

今回発表された生分解性電池はケースには生分解性プラスチック、負極にマグネシウム、正極に鉄やモリブデンなどを使用しています。これらの金属も私たちの体内にももともと存在していて、使用量も少ないので電池の分解とともに生体に適合してしまいます。電解質にはこれも私たちの体にもともと存在しているリン酸系の物質が使用されています。形状はきわめて薄い1平方センチメートルの電池で2.4mAの電流を発生させ、電池が溶解すると9mgのマグネシウムが放出されます。

# 適当に捨てられる電池



Nature DOI: doi:10.1038/nature.2014.14919

# 適当に捨てられる電池

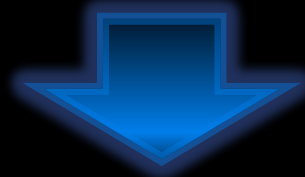


現状の問題点としてはバッテリーの分解速度が速すぎることで、出力をさらに高めつつ、1日程度は安定して電力を供給できる生分解性電池が目標とされています。

このような電池は体内はもちろん、環境中でも微生物によって分解されますので、船舶事故で油が流出した際に油を処分する装置の電源として組み込み、回収しなくても海中で自然に分解されてしまうような装置の開発も視野に入れていきます。



低炭素社会の構築  
環境負荷低減



プラスチックビジネスの永続性  
のための選択肢

問題点

耐熱性  
力学物性



アミノ桂皮酸の光二量化により世界初のバイオ由来芳香族ジアミンを合成

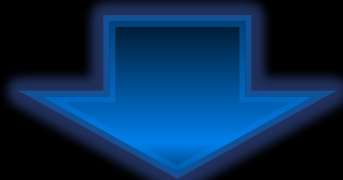
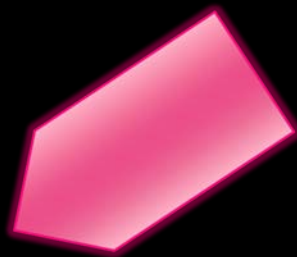


史上最高耐熱のバイオプラスチックシート  
透明性、低熱膨張率・・・高い機能性  
電装部品や自動車部品などのガラスや金  
属の代替として期待

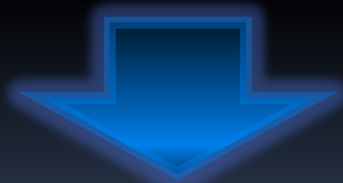


遺伝子組み換え

微生物



アミノ桂皮酸(シナモン系分子)  
を生産する微生物



光反応  
高分子量化



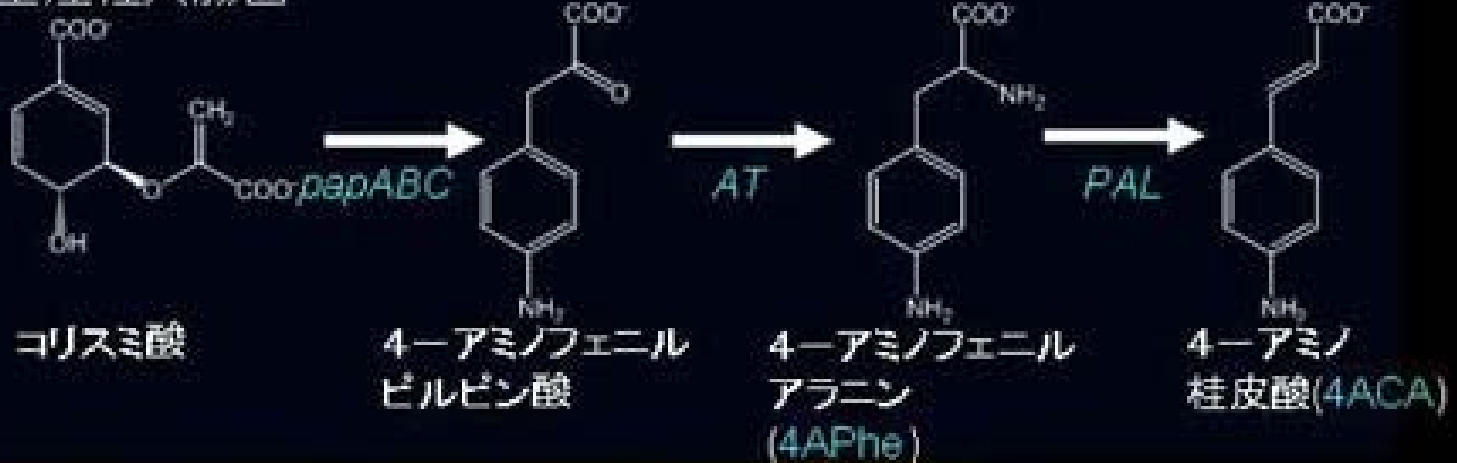
高性能  
ポリイミド



# フェニルアラニン生産性大腸菌

フェニルアラニン生産性大腸菌

グルコース  $\rightleftharpoons$  シキミ酸  
経路

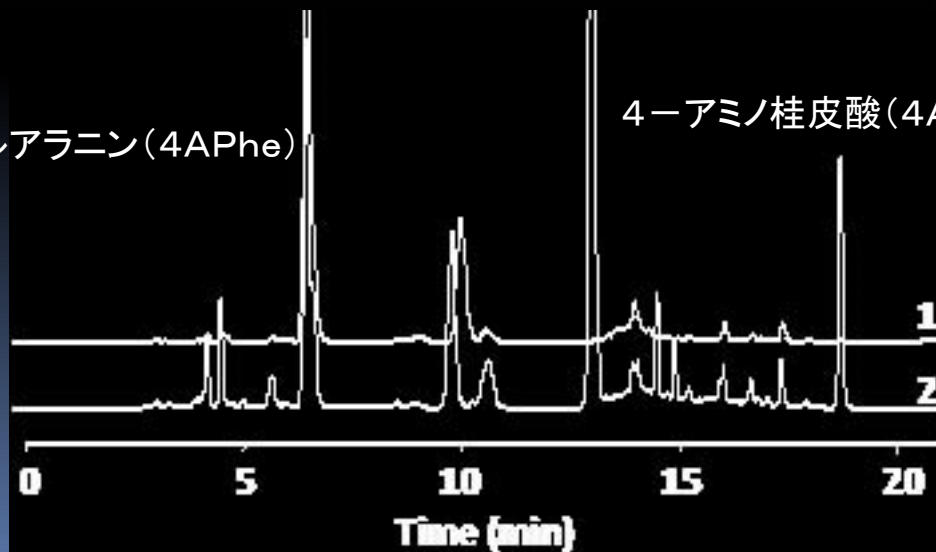


発酵生産

生物変換

4-アミノフェニルアラニン(4APhe)

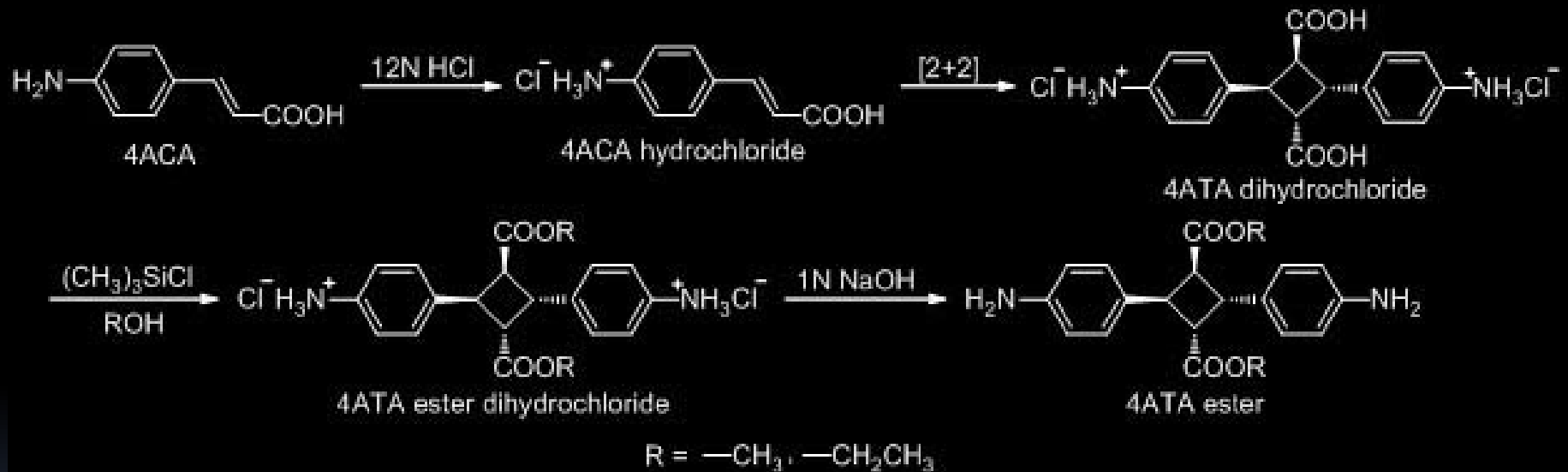
4-アミノ桂皮酸(4ACA)





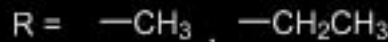
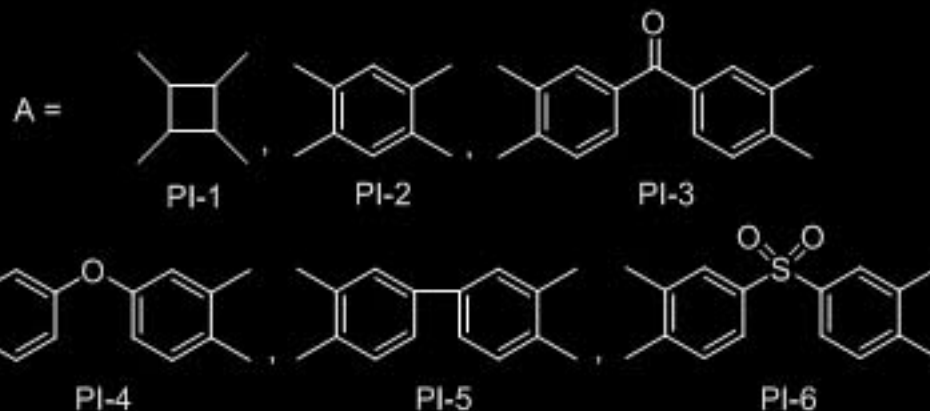
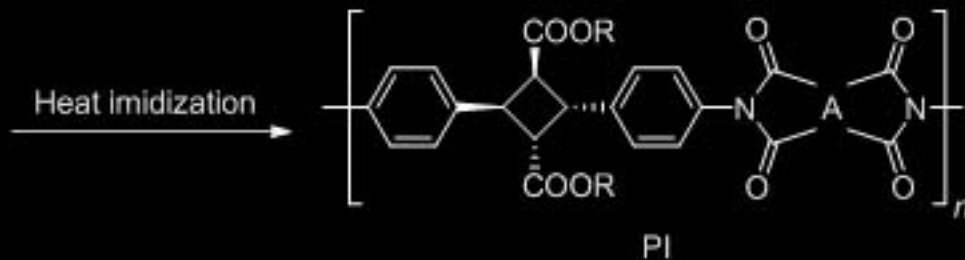
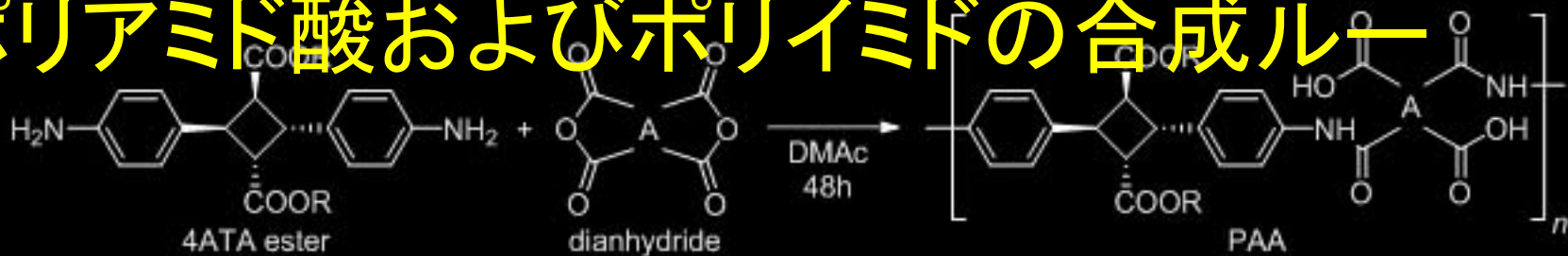


# 4-アミノ桂皮酸からの4-アミノトルキシリン酸ジメチルまたはジエチル(バイオ由来芳香族ジアミンとして世界初)の光反応による合成ルート





# バイオ由来芳香族ジアミンと各種テトラカルボン酸二無水物との重縮合によるポリアミド酸およびポリイミドの合成ルート





# どれくらい高性能なポリイミドなのか？

耐熱温度 = 390~425度

(既存の最高耐熱の芳香族バイオポリエステル = 305度)

(鉛フリーはんだの融点 = 378度)

…電装部品での使用



# どれくらい高性能なポリイミドなのか？

線熱膨張係数 = が40ppm/K以下  
(金属と同程度)

…金属代替材料として自動車のエンジン  
周りに使用することで、自動車の軽量化も  
期待できます。



# どれくらい高性能なポリイミドなのか？

高ヤング率 = 10GPa超

難燃性(自己消火性)

細胞適合性

透明性

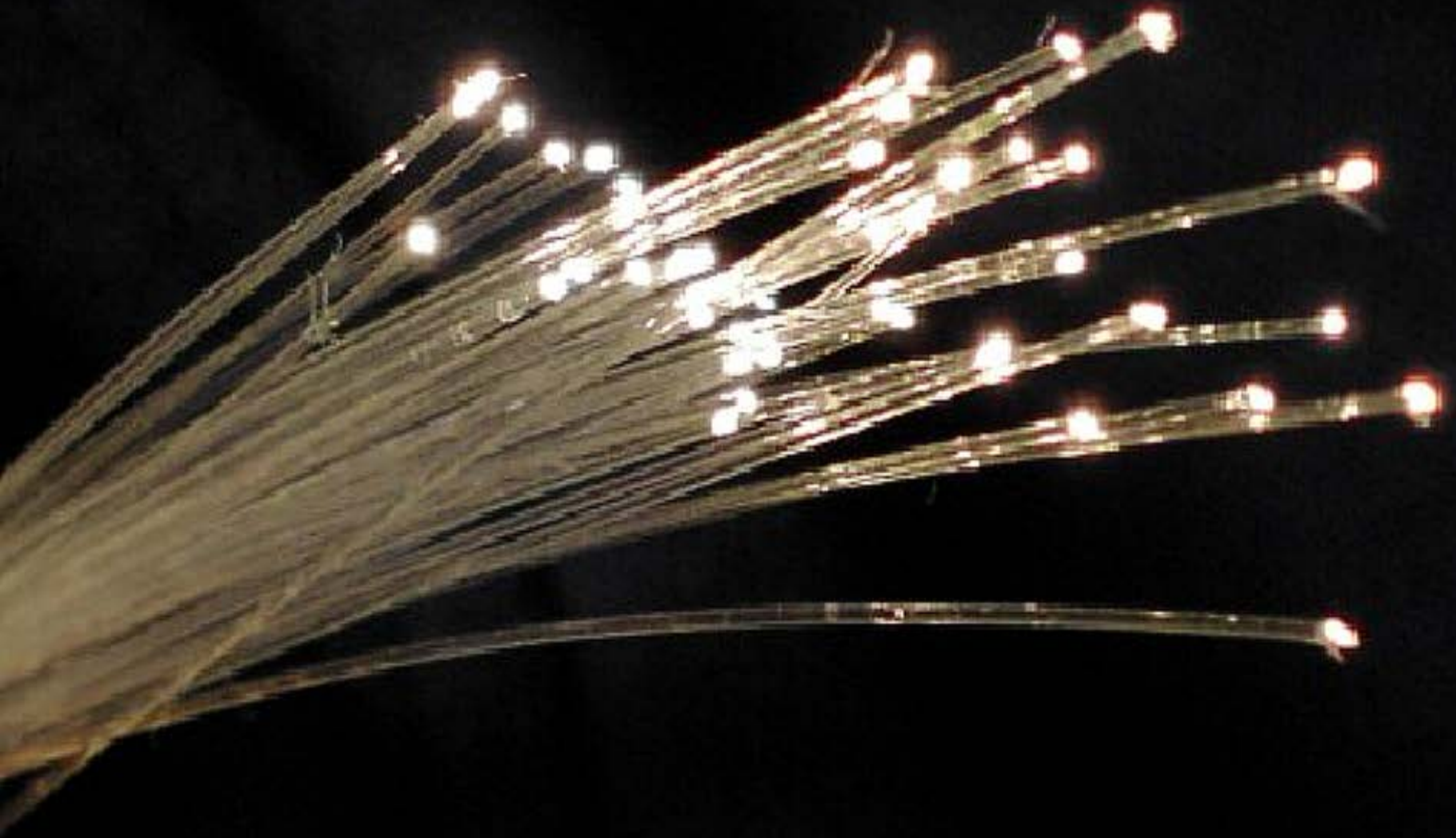
高屈折率

紫外線分解性

# PART6



## フットニクス



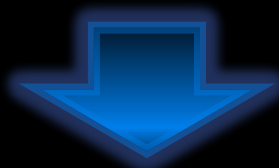
フォトン・アップコンバージョンとは

低エネルギーの光を  
高エネルギーの光に変換

# ● 既存のフロン・アップコンバージョン技術 の問題点

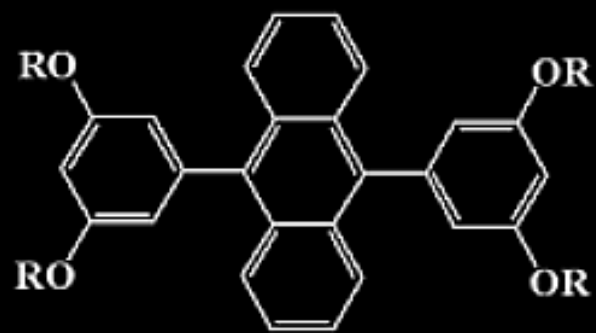


- ❖ 空気中で機能しない
- ❖ 揮発性の有機溶媒が必要
- ❖ 励起寿命が短く効率が低い

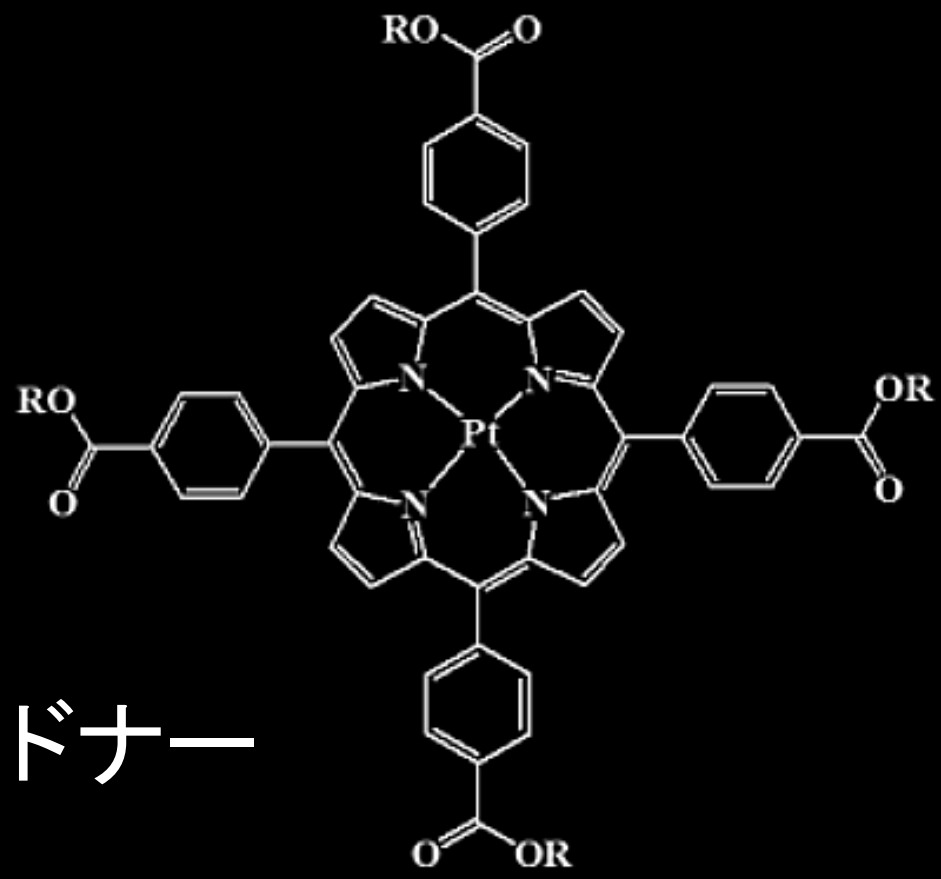


- 発光性分子自身が液体であるために溶媒不要
- 励起エネルギーが高密度で存在する液体分子間を移動して衝突

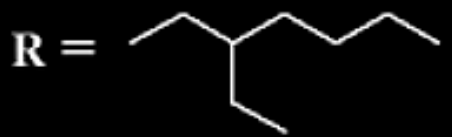




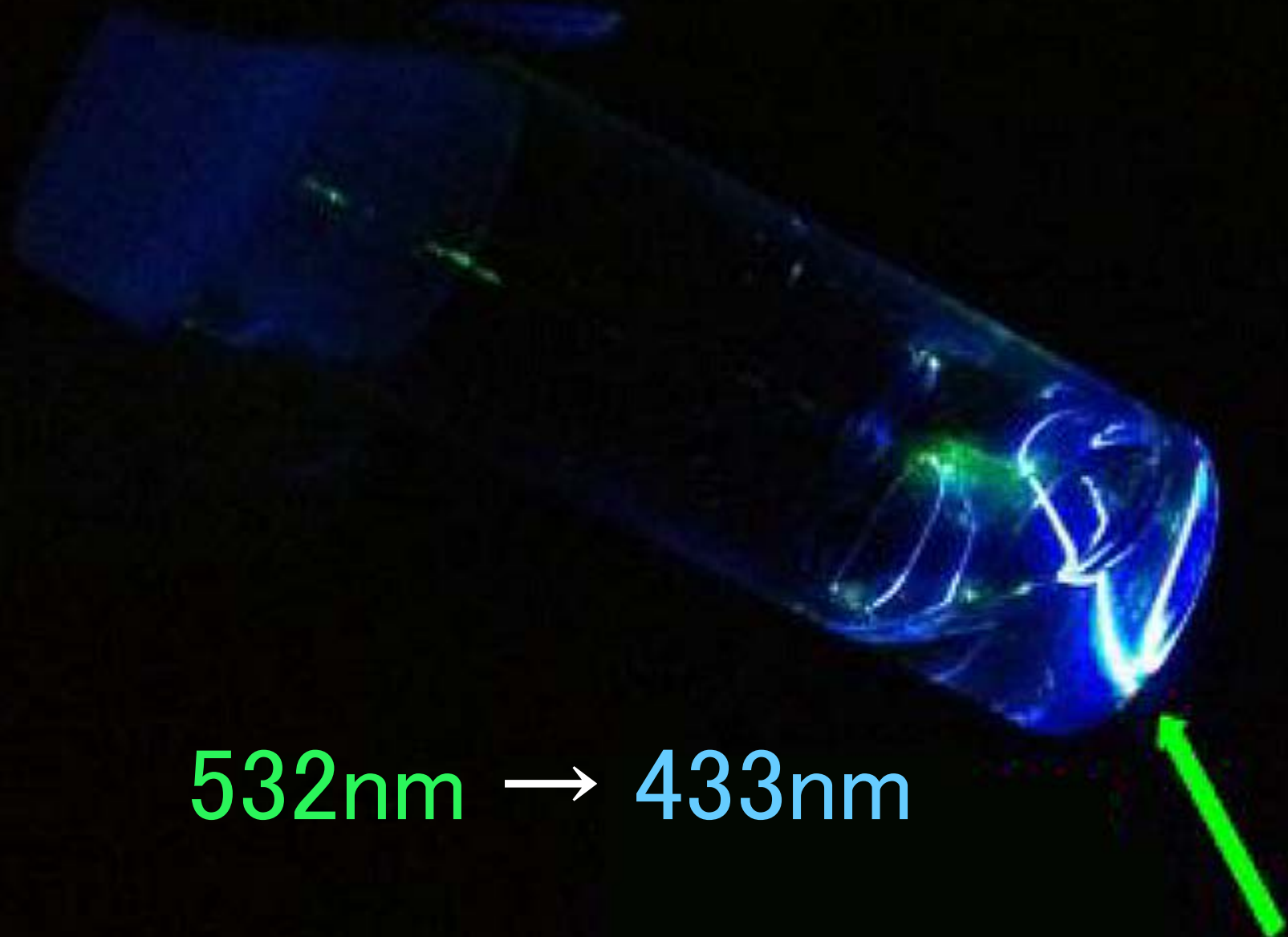
アクセプター



ドナー



# 緑色入射光で青色の発色



532nm → 433nm

# 今後の技術改良のポイント



液体アクセプターとドナーの組み合わせは  
数多く考えられる = 汎用性が高い  
分子設計、組み合わせでさらに高効率に

近赤外光 → 可視光

可視光 → 紫外光

変換が可能になれば、太陽電池や水の可  
視光分解(水素エネルギー製造)に応用可  
能

# PART7



## 触媒



## 触媒

中東で算出される石油から、北米で採掘されるシェールガスへ炭素元は移り変わり、やがては、日本近海で採掘されるメタンは緯度レートや、大気中や海水中に増え続けている二酸化炭素も炭素元として普通に使われる時代がまもなくやってきます。

炭素元が変わっても、私たちが生活に求めるものは変わりません。それどころか、これまで容易に入手することのできていたベンゼンがとてつもなく製造困難な貴重なものになってしまう可能性も否定できません。そういった環境の変化へ対応するためには炭素元のミッシングリンクを補うことができる触媒の開発が必要です。

また、有用な化学物質を以下に入手しやすい原料から、安価に、熱も圧力も使わずに生み出すか、地球環境のサステナビリティを考える場合においても、これまでの燃料を大量に消費しながら行う化学反応を続けていたのでは、工申告は生き残れるかもしれませんが、日本は生き残ることができません。



# あらゆる化学物質の原料はメタノールに

安価な天然ガスの生産拡大  
原油価格の高騰

脱石油技術開発の加速

メタンガス、天然ガス



メタノール



化学製品

バイオ

触媒





ゼオライト = ケイ素やアルミニウム

アルミ原子の位置と空間の構造で化学反応を制御できる

一部のアルミ原子を金属と置換

応用新触媒

メタノール → プロピレン



シェールガスを原料にすると安価なエチレンが  
大量に生産される

芳香族やブタジエンの供給不足懸念

ガスを出発点に不足する基礎化学品を簡単な  
プロセスで作る技術を持つことが必要

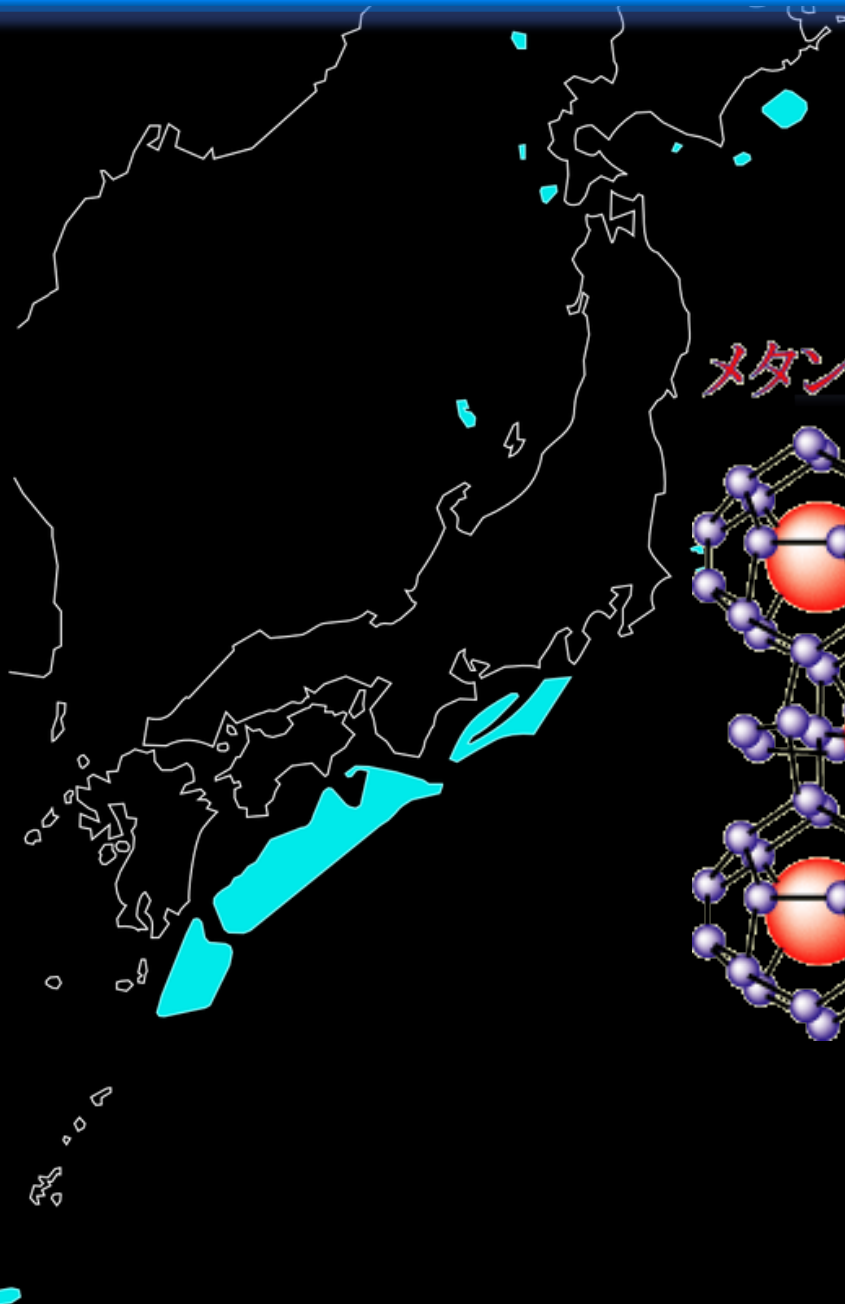
天然ガスに豊富に含まれるメタンを原料にあら  
ゆる化合物を作り出すことが目標

たとえば、メタンからベンゼンを作る触媒、メタン  
からプロピレンを作る触媒

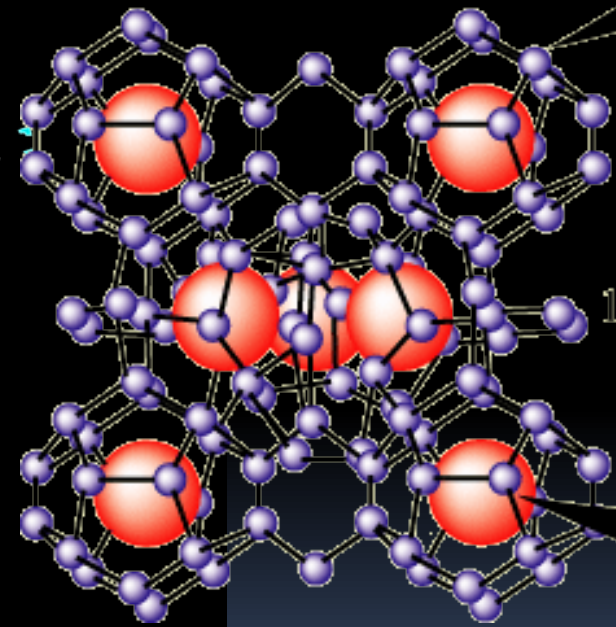




# たとえばメタンハイドレート



メタンハイドレート



水の酸素原子

水：メタン  
= 5.75 : 1

1.2nm

メタン分子

# 二酸化炭素を原料として有用な化学品製造

地球温暖化の主原因物質である二酸化炭素を、メタノールと反応させる

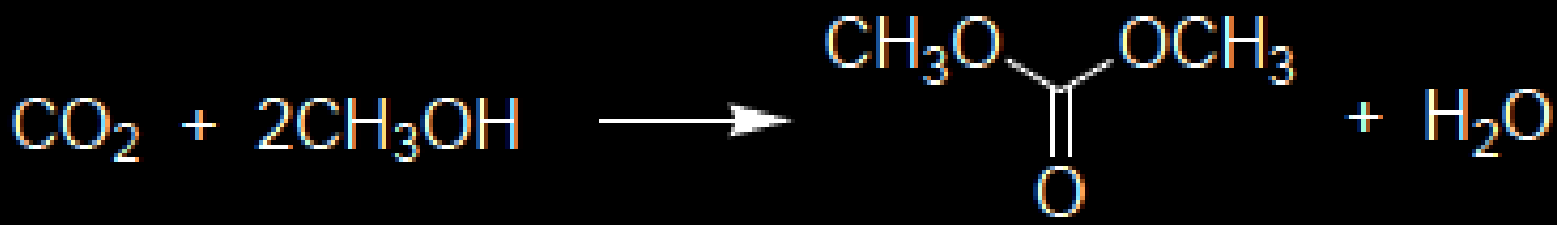
ことで、プラスチックの原料やリチウムイオン二次電池の電解液として有用な炭酸ジメチ

ルへ変換する高効率な触媒反応系の開発に成功しました。この反応系が将来的に工業化さ

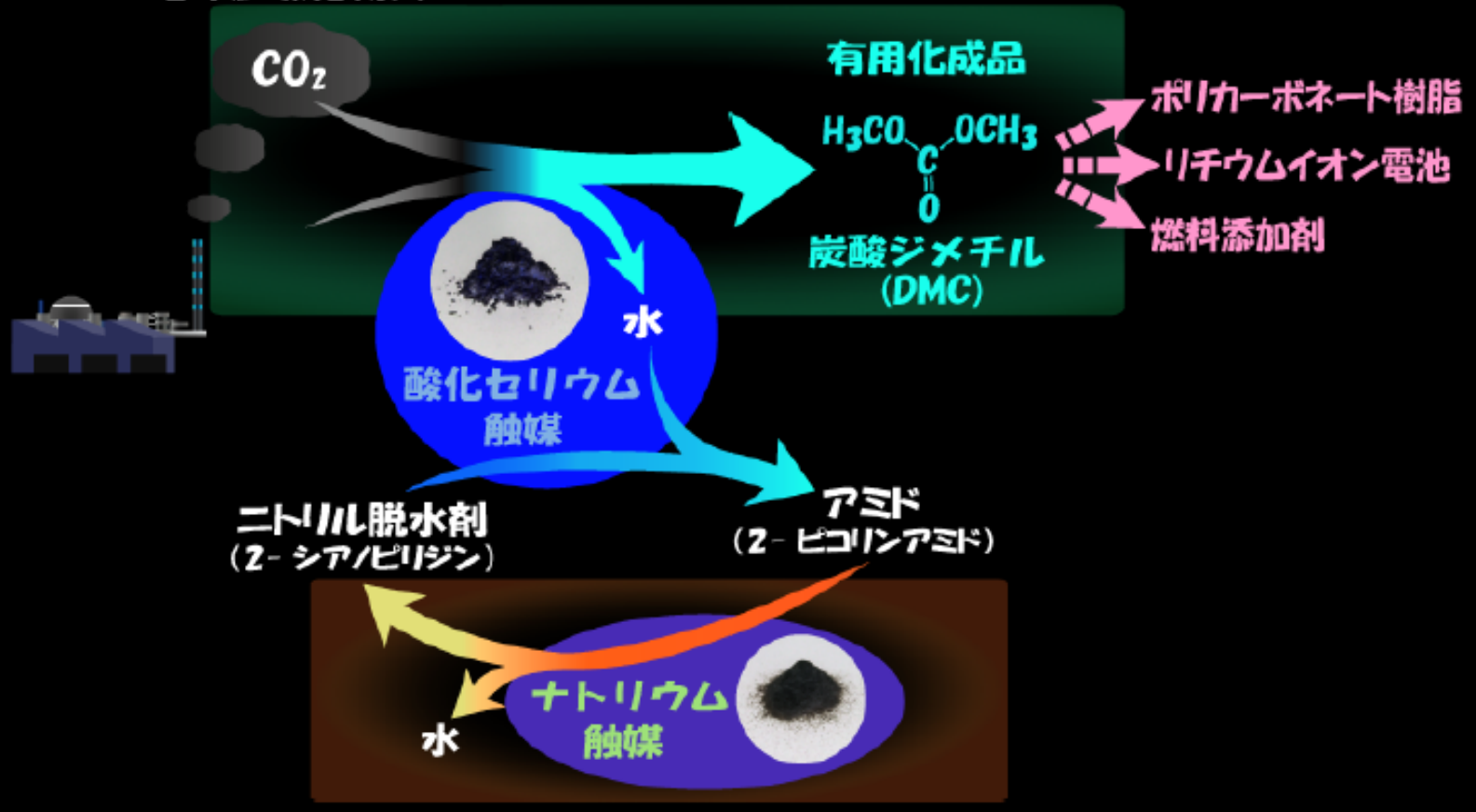
れば、ホスゲンなどの有害な物質を用いずに二酸化炭素を原料として有用な化学品製造





# 酸化セリウム(CeO2)を触媒



地球温暖化物質





二酸化炭素排出削減の観点から、二酸化炭素を原料に用いる反応が注目されています。炭酸ジメチル(DMC)は、ポリカーボネート樹脂の原料やリチウムイオン二次電池の電解液として幅広く利用されており、近年注目されている物質です。DMCは二酸化炭素と二等モル量のアルコールから合成が可能です(式1)。この反応は目的生成物のDMC以外に水しか副生しない低環境負荷な反応です。

#### 炭酸ジメチル(DMC)

そのためDMCは二酸化炭素変換のターゲット物質として期待されています。しかし二酸化炭素は化学的安定性が高いことから、熱力学的な制約を受け、適切な触媒を用いてもDMC収率が1%程度しかありませんでした。そこで反応系内からの脱水によるDMC収率の向上が試みられてきました。しかし、これまでの研究例では2000気圧の超臨界流体を加熱・冷却させる大掛かりな装置を用いても、DMC収率は最大でも45%にとどまっていた。

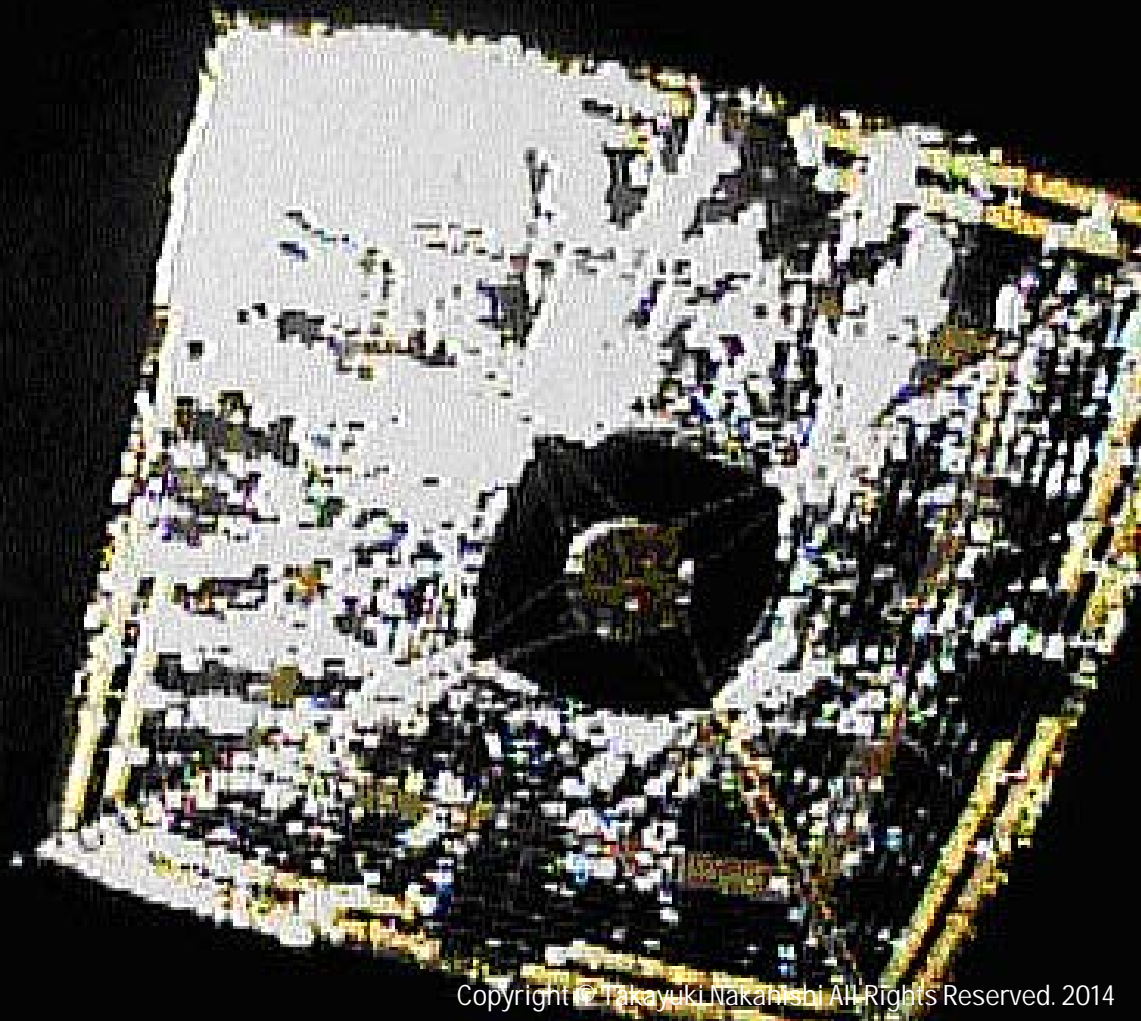
#### 2. 研究成果概要および本成果の意義

今回開発した触媒系では、酸化セリウム触媒を用いて、メタノールに脱水剤の2-シアノピリジンを加えた溶液を50気圧の二酸化炭素で加圧し、120℃で反応を行いました。12時間後にDMCの最高収率は94%となり、従来の触媒系よりはるかに高い値を得ることに成功しました。反応後には触媒、DMC及び2-シアノピリジンの脱水により生成した2-ピコリンアミドを含む固体が析出しますが、これらは容易に分離が可能です。触媒活性成分の反応溶液への溶出は観測されず、触媒を反応後回収して焼成処理し反応に再使用する操作を3回繰り返しても活性の低下は見られませんでした。また、脱水により生成した2-ピコリンアミドを2-シアノピリジンに戻す再生反応に有効なアルカリ金属(ナトリウムなど)担持シリカ触媒の開発にも成功しました。DMC合成と脱水剤の再生という2つの反応を行うことにより、二酸化炭素から高収率でDMCのみを製造するプロセスが可能になります。

# PART8



## 未知なる可能性



# PART8 解説



## 未知なる可能性

私たちが考え出すことができる新しい技術には限界があります。それはもちろん、なんだかんだ言っても、既存の知識や、既存の技術をベースにしてしか現実の近未来を予想することはできない「おりこうさん」だからです。

SFの世界では色々な革新的技術が登場します。そのような技術のストーリーに触れ、その具現化を期待するものの、現実を良く知っていればいるほど「これはSF、実現できるかもしれないけど何世紀も先のこと」と勝手に頭の中で仕分けをしてしまいます。

今流行しているテレビアニメ「ALDNOAH.ZERO(アルドノア・ゼロ)」では人類が火星で古代火星文明のテクノロジー「アルドノア」を発見します。アルドノアは遺伝子に組み込まれた起動因子によって使用することができ、空飛ぶ戦艦やあらゆるものを消し去ってしまう特殊表面加工、敵を一瞬で焼き払う圧倒的火力の兵器の開発など、まさにあらゆるSFの世界のメカの実現を可能にします。……と書いてもほとんどの人は「アニメの世界の空想ごと」「科学的に検証するのは趣味としては面白いかもしれないけど、実現は難しいだろうね」という反応しか示さないとも思います。

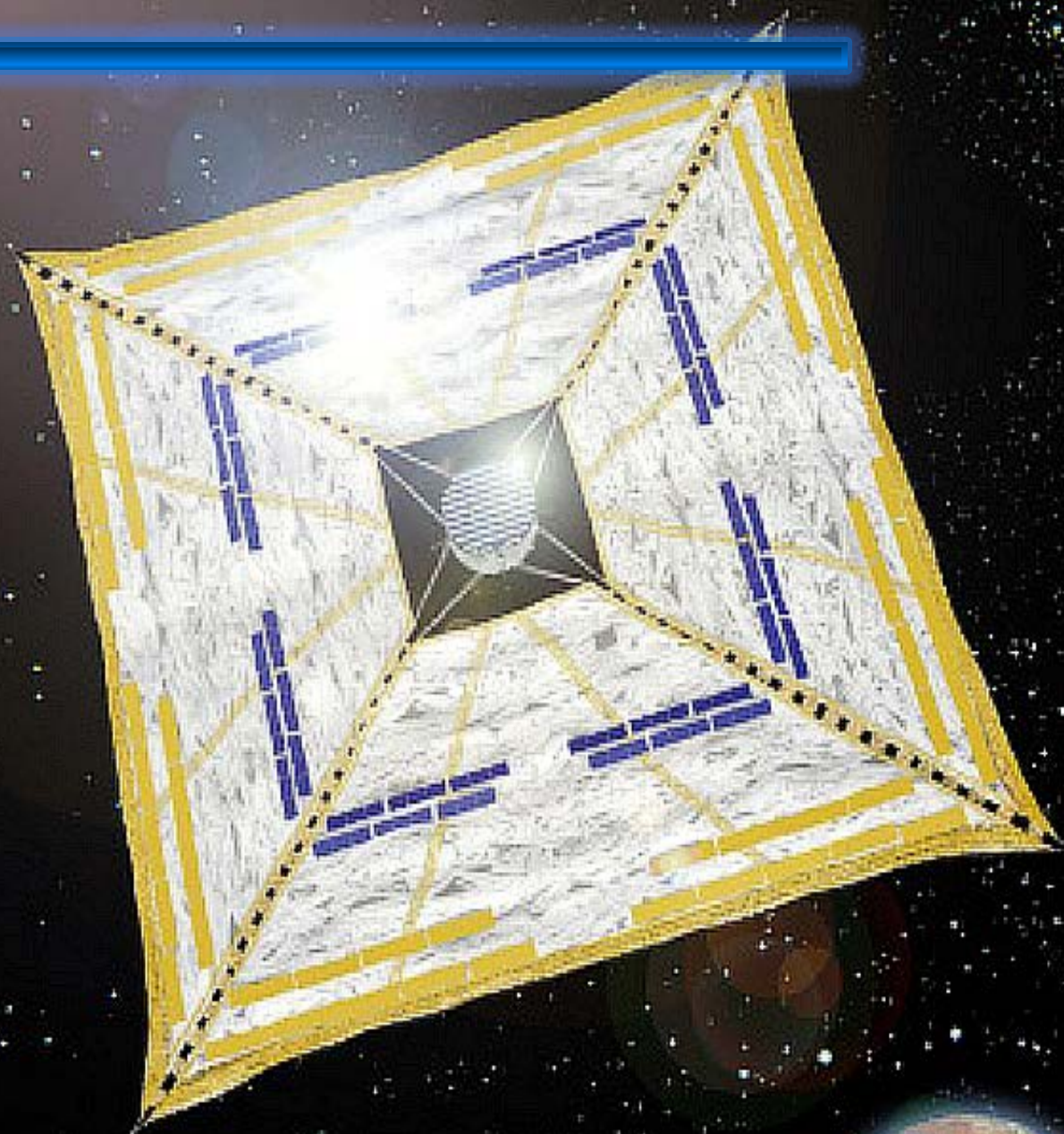
でも、日本人のものづくり魂は、私たちが子供の頃であれば夢物語だった「宇宙帆船」を実現してしまったのです。そこには高性能な高分子の合成技術や、薄膜太陽電池技術、液晶技術など日本の先端技術が満載されています。その技術のどれ一つとして化学無しには成り立ちません。逆に言えば化学は私たち自身が子供の頃に描いていた夢をあっという間に実現したのです。であるならば、今の私たちが夢だと思っているものが具現化するのが遠い未来まで待たなければならない理由は無いはずですね？



人工物を宇宙空間を飛行させるには大量の燃料が必要。  
燃料が無くなれば制御が困難に。

2010年にJAXAが打ち上げた人類初の宇宙帆船「イカロス」が想像以上の大成功  
燃料を搭載せず、ソーラーセイル(帆)と太陽電池だけで4年以上安定して飛行中

# 宇宙帆船



[http://www.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/index_j.html)





対角線の長さ=20メートル

厚さ=7.5マイクロメートル

重さ=15キログラム

アルミニウム蒸着ポリイミド樹脂

株式会社カネカ製

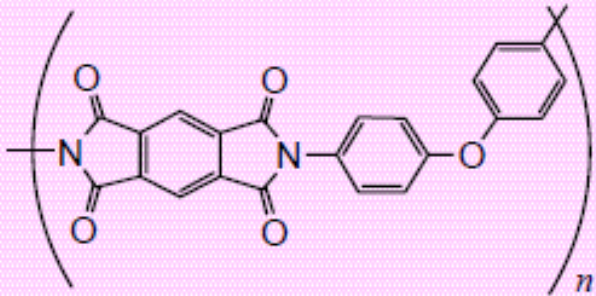
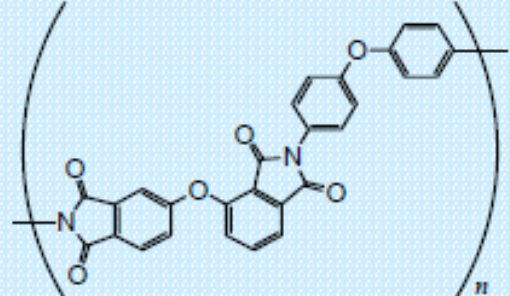
超耐熱PIフィルム「APICAL-7.5AH」

機能

- ・太陽光圧を受け止める帆
- ・舵としての液晶パネルを搭載
- ・薄膜太陽電池を搭載
- ・その他、電子回路を実装

# 宇宙帆船



	膜材1	膜材2
材料	(株)カネカ製 APICAL-7.5AH ポリイミド薄膜	ISAS開発 熱融着可能 ポリイミド薄膜
化学構造式		
面積 (m <sup>2</sup> )	154.28 (膜面の88.9%)	19.35 (膜面の11.1%)
	計: 173.63	
厚さ (mm)	7.5	7.5-9.0
重量 (kg)	1.643	0.206
	計: 1.849	
蒸着種	アルミニウム	アルミニウム
蒸着厚み(nm)	80	80



200平方メートルのポリイミドの圧力が受ける力  
= 約0.1グラム

空気抵抗が無く、光圧を受け続け加速を続けるため、木製より内側の太陽系内移動機関としては化石燃料型のロケットを上回る

# 宇宙帆船



一辺14m

薄膜太陽電池

液晶デバイス

亀裂進展防止用補強処理

テザー・ハーネス

先端マス



# 帆の改良ポイント

より軽く、より大面積で、高い宇宙空間耐久性

→ 補強材の省略

→ 自転せずに帆の形を維持するには？

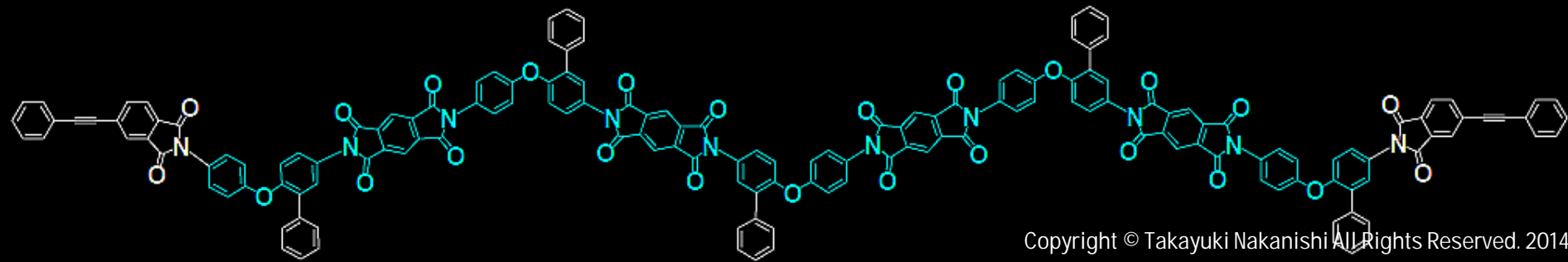
姿勢制御用の液晶が分厚く重い

→ 塗料の化学反応で色を変化させて代替

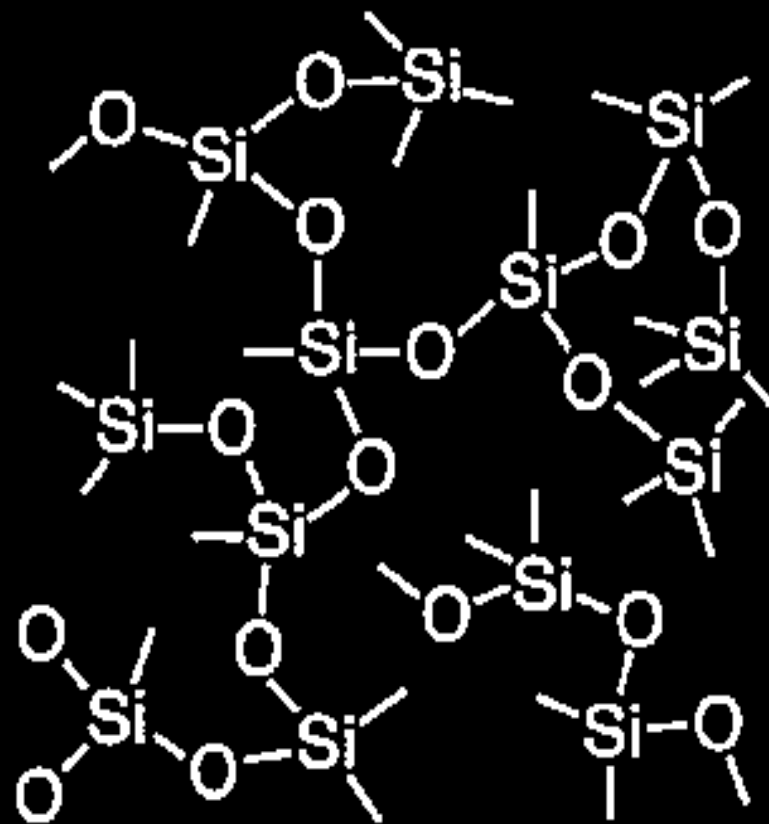
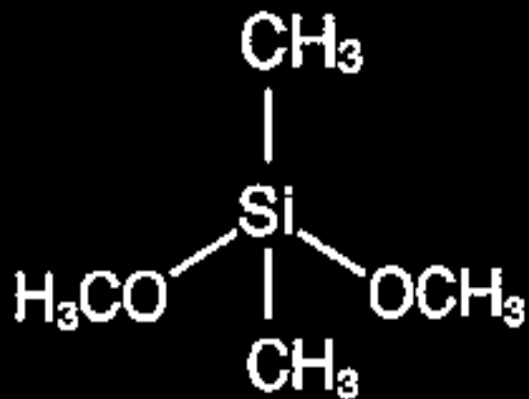
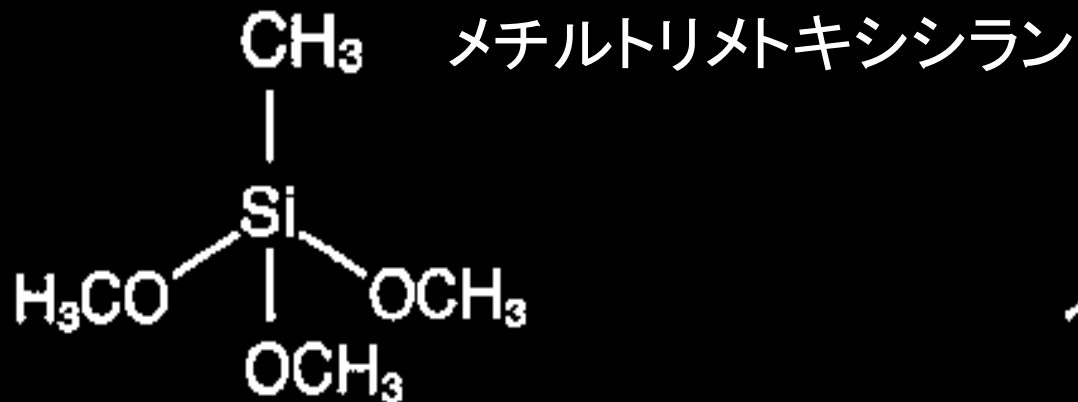
太陽電池を帆へのプリントで搭載

電子回路を帆へのプリントで搭載

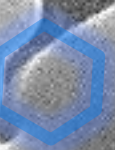
接着剤の開発



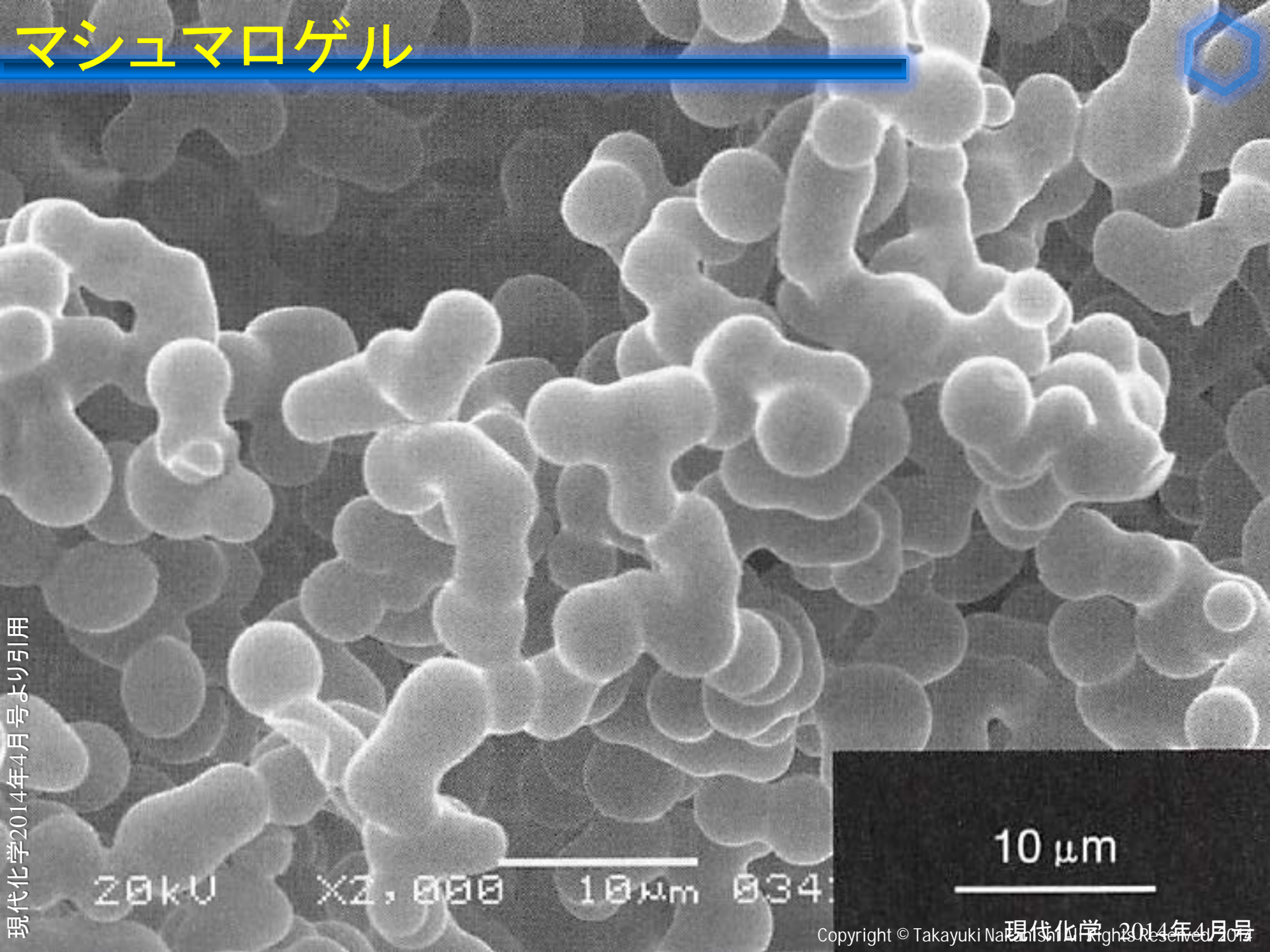
# マッシュマロゲル



# マッシュマロゲル



現代化学2014年4月号より引用



20KV

X2,000

10µm

0341

10 µm

# マッシュマロゲル



n-ヘキサデカン

ジヨードメタン

1-ブロモナフタレン



ホルムアミド

エチレン  
グリコール

水

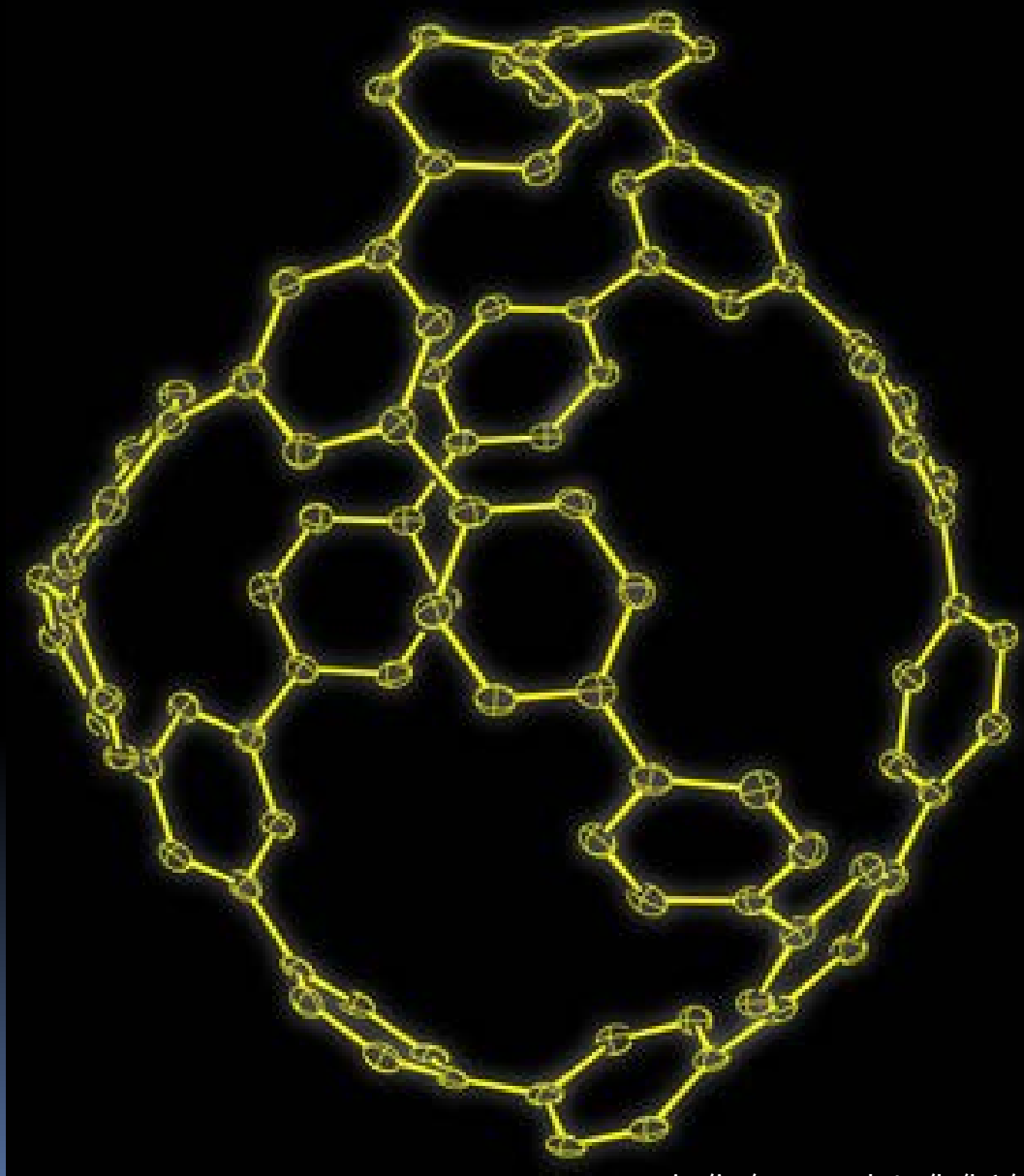


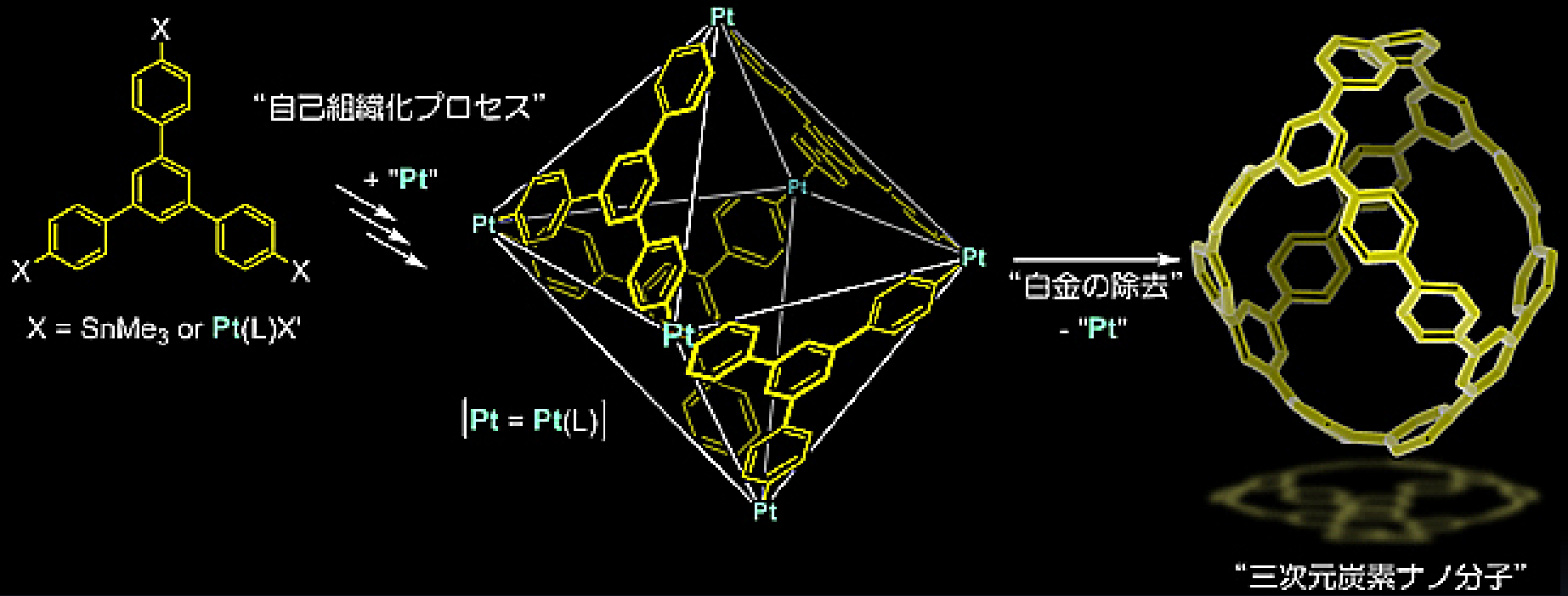
# マッシュマロゲルの特徴



- 曲げ可能な柔軟多孔体
- 合成が簡単
- 90%以上の高い気孔率
- 連続した数十マイクロメートルの細孔径
- 高い擬水性と親油性
- ヘキサンなど短鎖長のアルカンやメタノールなどのアルコール類ははじかない

# 新規ボール状三次元炭素ナノ分子





光物性や酸化還元特性、および電荷移動度などの基礎物性は良好

# メタノール、アンモニアを超える水素貯蔵物質

水素は酸素と反応して水になると、エネルギーが発生します。このエネルギーを自動車のモーターに利用したものが燃料電池自動車です。燃料電池自動車は化石燃料を使わず、温暖化ガスを排出しないので、ガソリン車と置き代わることができれば、エネルギー問題や環境問題を解決する上で大きな効果をもたらすと期待されています。しかし、その普及には一回のエネルギー補給で連続走行できる距離(航続走行距離)を伸ばすことが課題で、ガソリン自動車の航続走行距離の目安である500kmを燃料電池自動車を実現するには、何と約60000リットル(室温・大気圧)もの水素が必要になります。これは15畳の部屋に相当する体積で、通常のガソリン自動車のタンクが50~60リットル程度である事を考えれば、いかに容積が大きくなってしまいか想像できるでしょう。そのため、より多くの水素を車に積載するために容積の小さなタンクにギュウギュウに水素を詰め込む(高圧化)方法がとられています。現在では、700気圧の水素を充填可能なタンクが開発されており、830kmの走行が可能な燃料電池自動車も開発されています。しかし、水素量を圧力だけで大きく増やすことはできません。例えば、4割上げて1000気圧にしても、水素の密度は2割程度しか増えないのです。そこで注目されているのが固体中に水素を吸蔵できる水素貯蔵材料です。これを用いることにより、ガソリンタンクと同じ容積で、60000リットル分の水素を貯蔵することができると期待されていますが、水素貯蔵量 重量あたりに対して実用化には



今後まだまだ続くアジア圏の人口急増とそこに乗じられる贅沢の急増はものづくりにおいても、物(原料・資源 etc)が無いことを前提にした新しい発想が必要です。

その中で、バイオ由来化学物質が思いもよらない高性能を発揮したり、既存の炭素材料同士を組み合わせることによって、全く新しい機能が現れたりする例が多数見つかっています。

また、水素社会、燃料電池社会においても有用元素を保持する、あるいは大気や海から元素を固定して無尽蔵な環境から燃料を生み出す未来の錬金術も触媒や器を実用レベルで開発できるかどうか成功の鍵です。

このような新しい材料の開発はエレクトロニクス産業を支える化学メーカーが、新興国メーカーに対し優位に駒を進めながら、今後も力を発揮し続けることができる領域です。