



量子エレクトロニクス
研究室
(佐藤グループ)

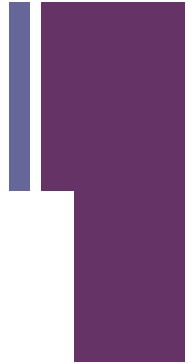
概要説明



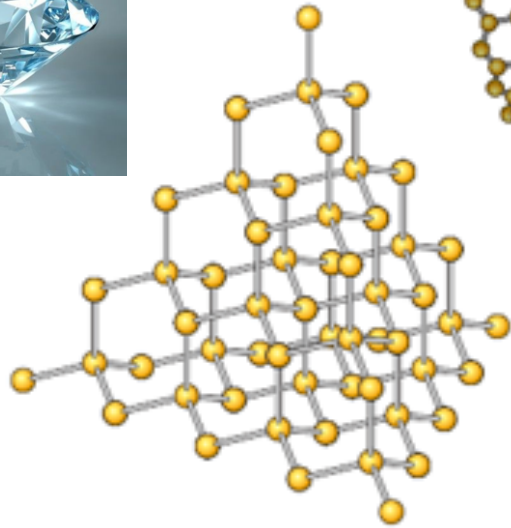
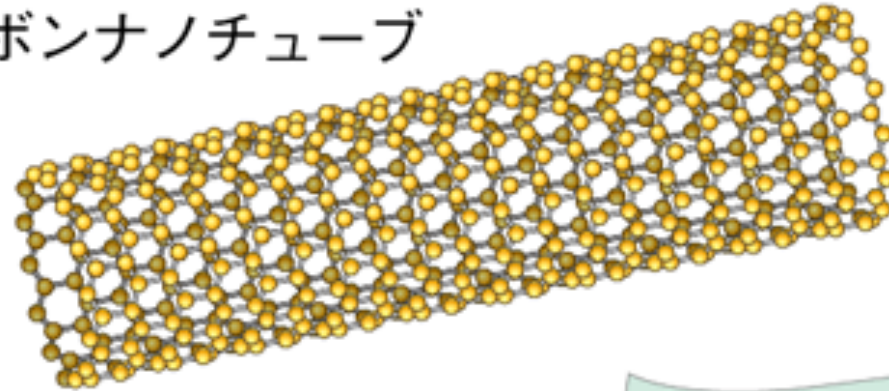
- ナノカーボン材料の研究
- 気体放電（プラズマ）によるナノ材料生成・加工プロセスの研究

の研究を行っています。

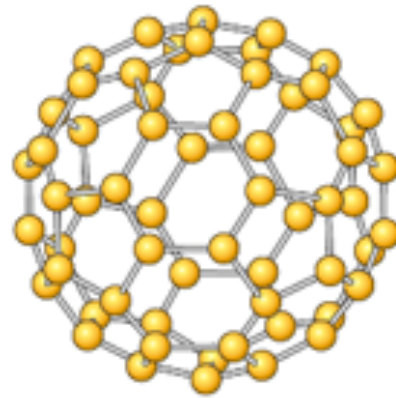
+ ナノカーボン



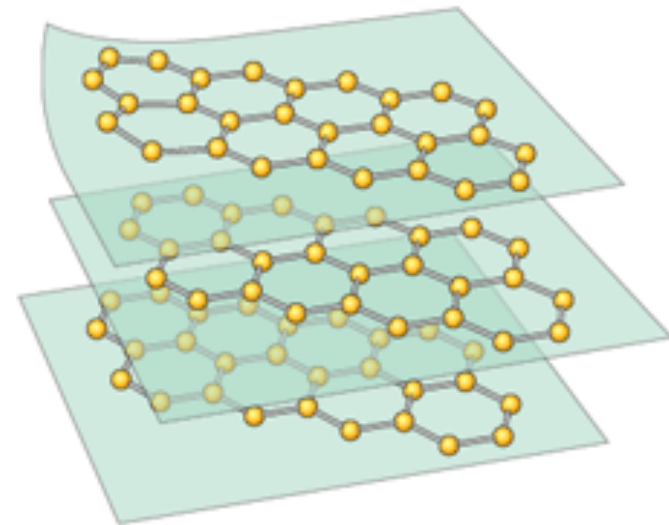
カーボンナノチューブ



ダイヤモンド



フラーレン



黒鉛 (グラファイト)

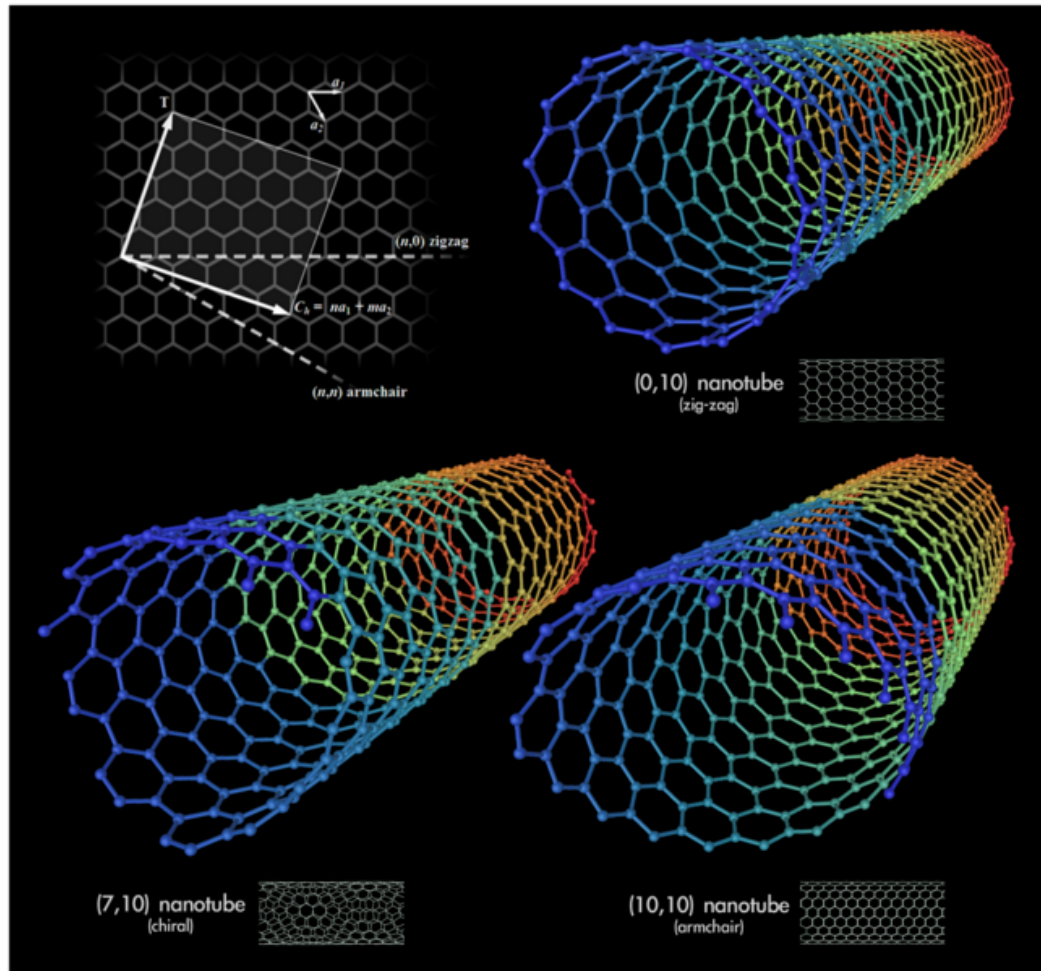


炭素の同素体

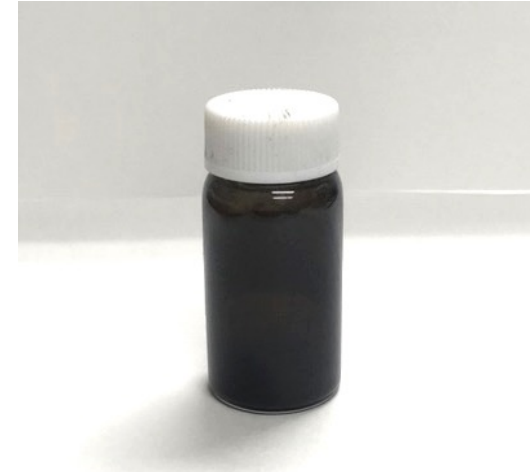
⇒ 同じ炭素原子でできているが
物性は全く異なる

カーボンナノチューブ (CNT)

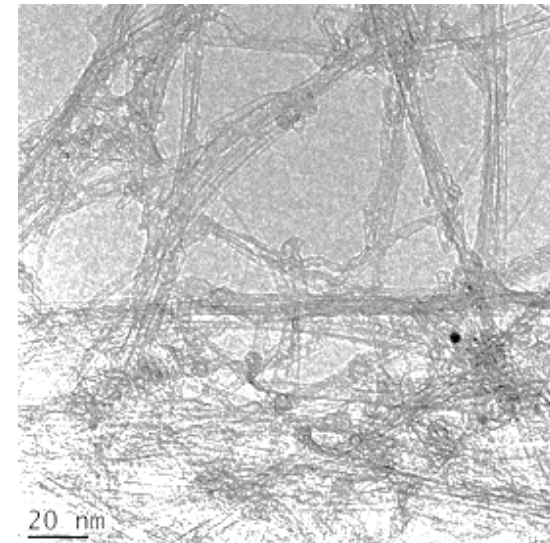
炭素のみで出来たナノサイズのチューブ



炭素の同素体の一種



見た目にはただの煤にしか見えません



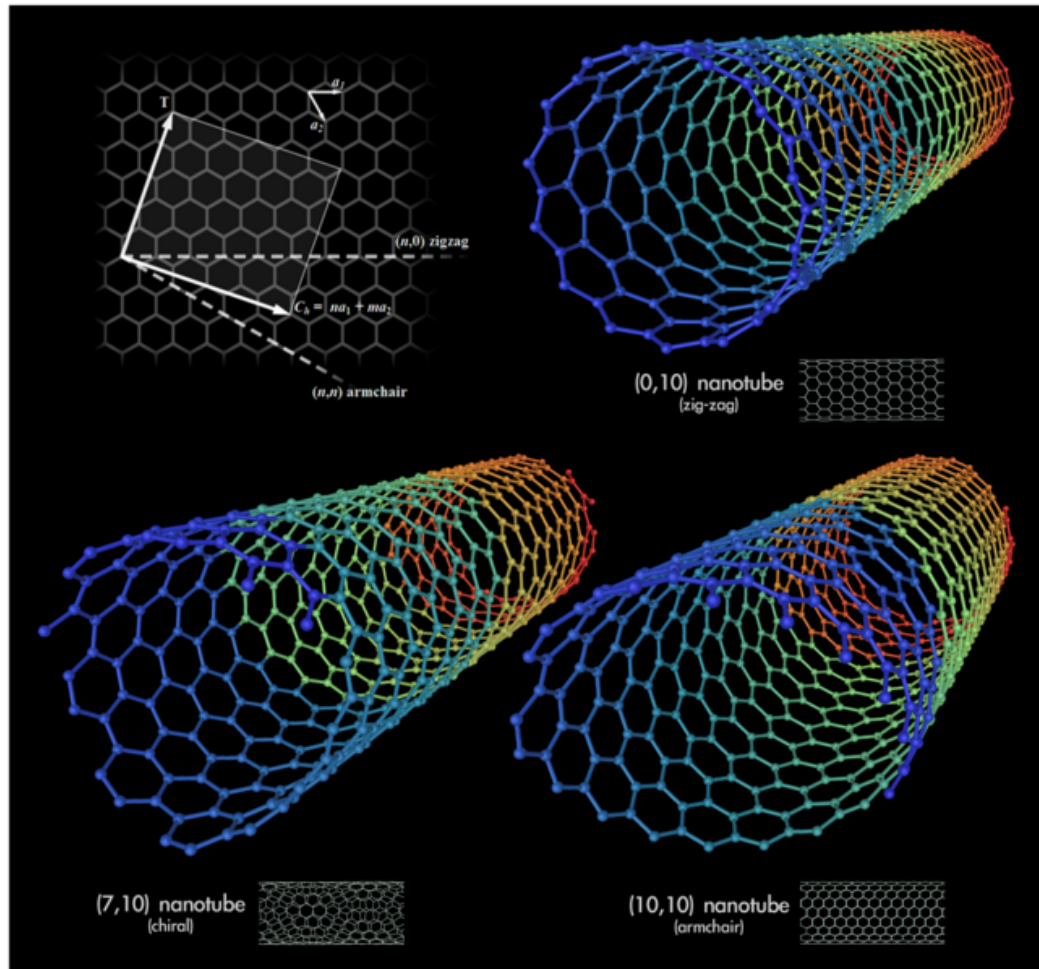
電子顕微鏡で見るとこんな感じ (↑)

カーボンナノチューブ (CNT)

炭素のみで出来たナノサイズのチューブ

CNTの特徴

- 導電性が金属的にも半導体的にもなる
- 熱伝導率が高い
- 引っ張り強度が高い
(鋼鉄の20倍)
- 化学的に安定
- 電子放出特性良好
- . . .



⇒様々な分野への応用が期待されています

+ カーボンナノチューブの応用

分野	応用
複合材料	導電性複合材料, 樹脂, セラミックス, 金属の強化 C/C 複合材料
ナノ電子デバイス	トランジスタ, ロジック回路, メモリ, ダイオード, 配線
電子源	電界放出型電子源, ディスプレイ (CRT, FED, VFDなど) X線管, リソグラフィなど工業用電子線装置 電子顕微鏡など研究用各電子線装置
真空エレクトロニクス	マイクロ波増幅器, 電力用スイッチ, ガス放電管電極
ナノメカニクス/ ナノ電子機械	走査プローブ顕微鏡の探針, ナノスケール加工機械 ナノメカトロニクス構成部品
エネルギー	水素貯蔵, 二次電池の電極材料, 電気二重層キャパシタ
化学	ガスセンサー, 触媒およびその担持体, 有機化学の原料

2030年に 花開く10大材料

酸化ガリウム (Ga₂O₃)

ポストSiCの次世代パワー半導体に 50

セルローズ・ナノ・ファイバー (CNF)

車両質量の2割軽量化を狙う 58

人工クモの糸

乗員への衝撃を吸収する内装樹脂に 62

全固体電池向けLGPS系電解質

-30℃の寒冷地でも走れるEVに 48

人工光合成電極向けCu系触媒

効率で植物並み、CO₂ガスを燃料に 56

今から13年後の2030年。クルマを構成する材料は大きく変わっているだろう。現在、2020年代の実用化を目指して開発されている次世代材料の、さらに一世代先の材料が使われ始めるからだ。“エネルギー効率向上”、“省資源”、そして“軽量化”に貢献する、注目すべき10大材料を紹介する。

(特集取材班)

44 Part 1 パワトレ、ボディーが変わる
効率向上、省資源、軽量化を実現

48 Part 2 ナノレベルから見直す

マグネシウム (Mg) 合金

Al合金より強く成形しやすくなる 60

環動ポリマー導入樹脂

同じ硬さ強さで衝撃吸収は2倍強 63

熱電変換材料 (Mg-Si系とMn-Si系)

エンジンの排熱で高效率発電 57

カーボン・ナノ・チューブ (CNT)

炭素繊維並みの価格へ、電線に期待 52

1-12系希土類磁石、L1₀型FeNi磁石

脱ネオジム磁石で資源リスク回避 54

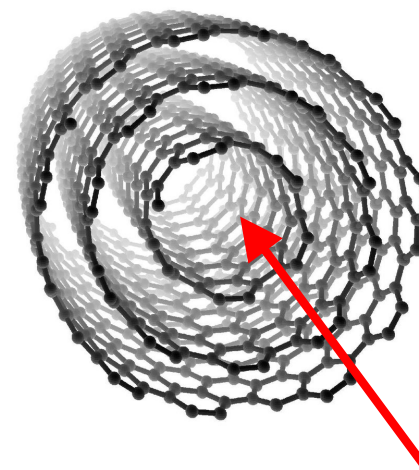
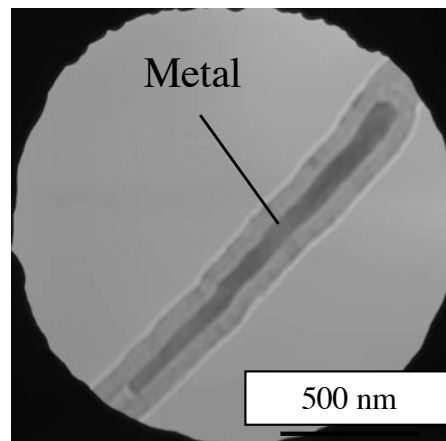
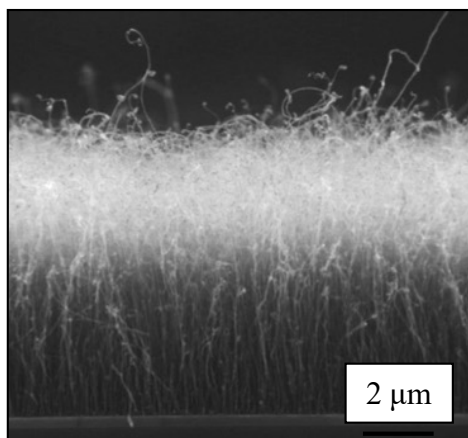
今後の展開が期待される材料



- ナノカーボン材料の生成と応用
 - ・ **鉄内包カーボンナノチューブ**
 - ・ グラフェンの生成
- 気体放電によるナノ材料生成・加工プロセス
 - ・ **カーボンナノチューブの高効率集積化**
 - ・ **大気圧プラズマによるナノカーボン・薄膜材料の高効率生成と加工**

+ ナノマグネティクス

鉄内包カーボンナノチューブ (Fe@CNT)



CNTの空洞内に鉄を充填

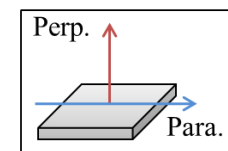
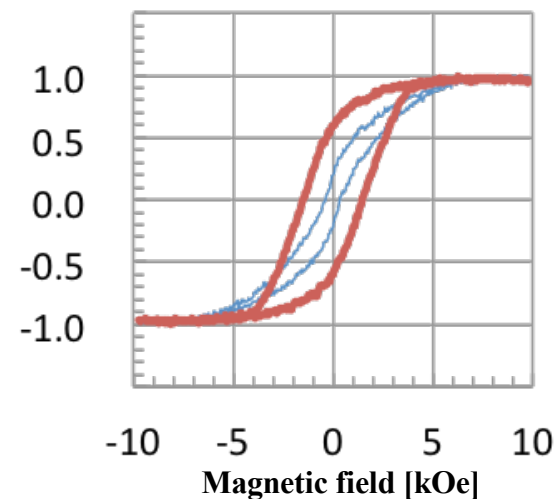
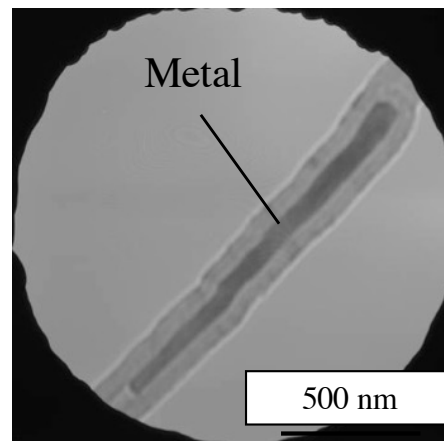
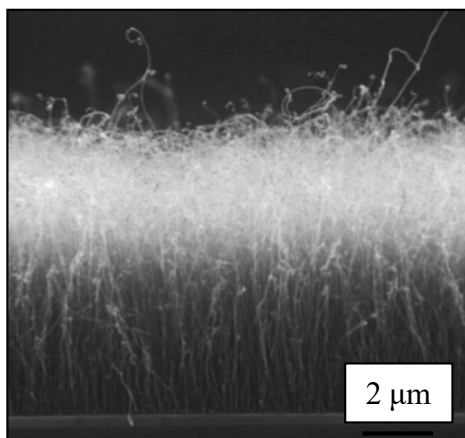
https://www.researchgate.net/figure/A-multiwalled-carbon-nanotubes-6-510-1016-11_fig3_282232799

+ 鉄内包カーボンナノチューブ

鉄内包カーボンナノチューブ (Fe@CNT)

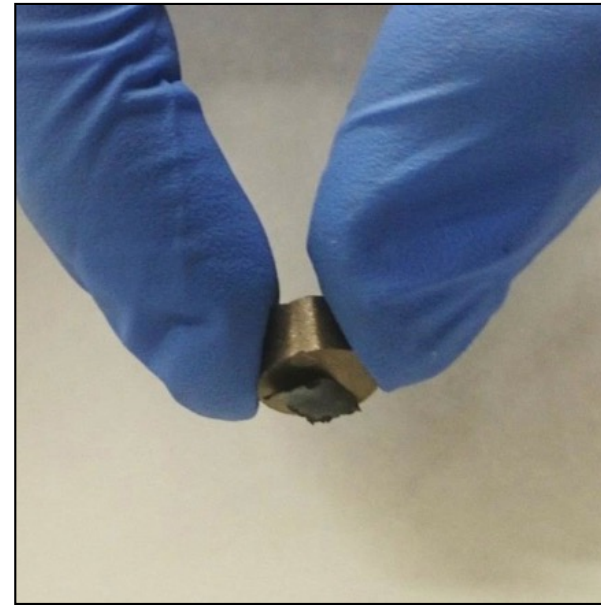
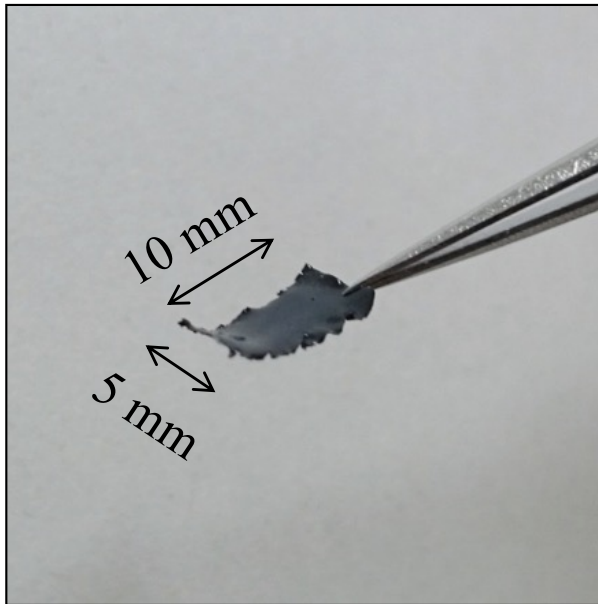
- 高アスペクト比形状に起因する長軸方向への形状磁気異方性*1
- グラファイト層が保護層として作用することによる高耐候性
- 優れた機械的特性(高い引張強度や柔軟性)

*1 Bozorth R.M., Chapin, D.M., J. Appl. Phys. 13, 320 (1942)



- ✓ 軟磁性体であるはずの鉄が永久磁石になる
- ✓ 柔らかくて高性能な磁石 が作れるかも

+ 鉄内包カーボンナノチューブ



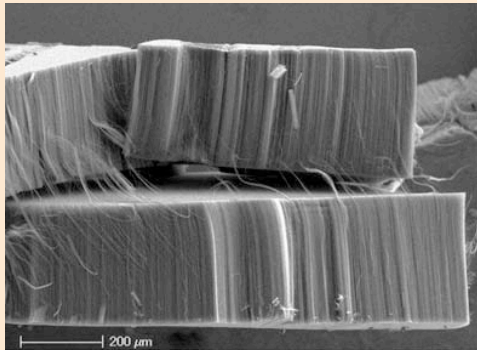
磁石に吸着するCNTシートの作製に成功

応用

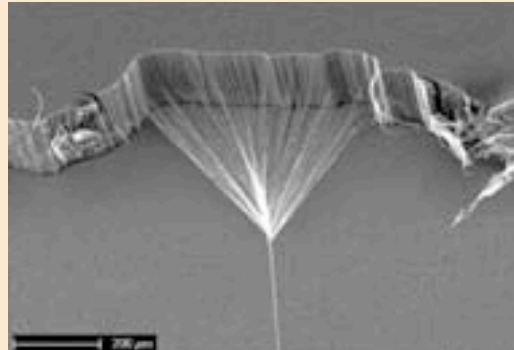
- フレキシブル磁石
- 磁気ハイパーサーミア
- ドラッグデリバリ
- 磁気シールド
- ナノ発熱体 etc.

気体放電によるカーボンナノチューブ (CNT) の高効率集積化

CNTを用いた紡糸

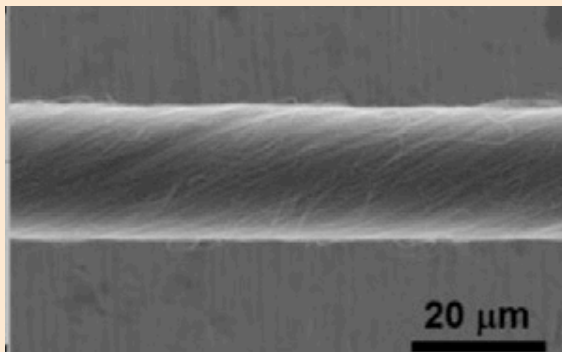


Vertically aligned CNTs



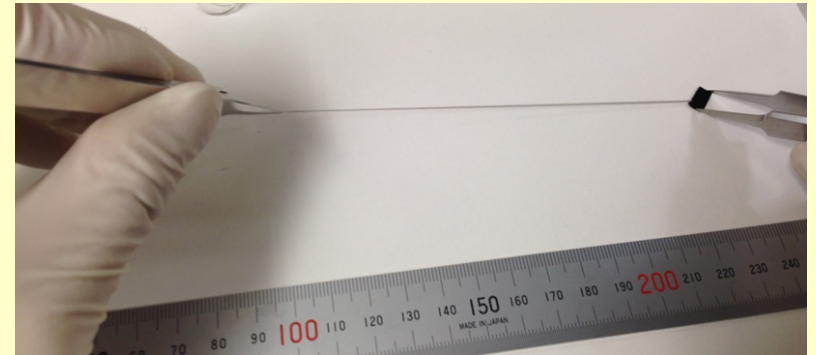
Drawing of CNTs

C. P. Huynh et al., Carbon, 48, 1105 (2010).



CNT yarn

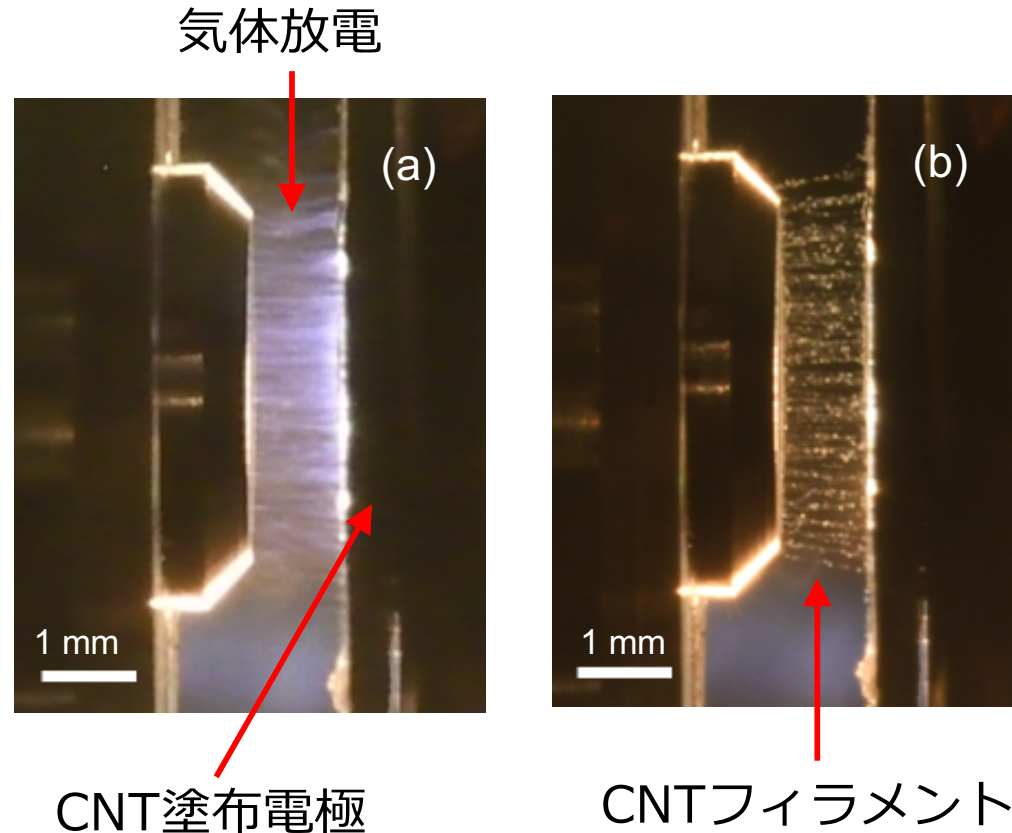
A. Ghemes et al., Carbon, 50, 4581(2012).



当研究室での実施例

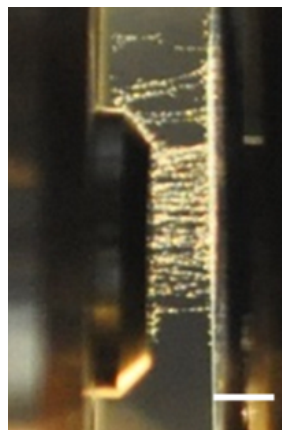
紡糸が実施可能なCNTは極めて限定される

気体放電によるカーボンナノチューブ (CNT) の高効率集積化

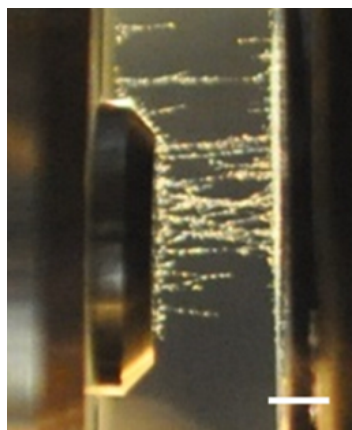


気体放電が発生し，電極間にCNTフィラメント (繊維状CNT) が形成

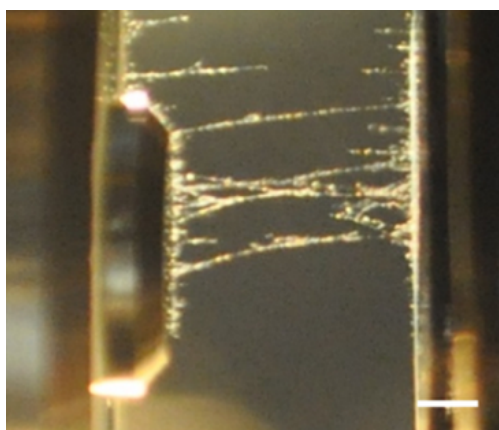
+ フィラメント延伸の様子



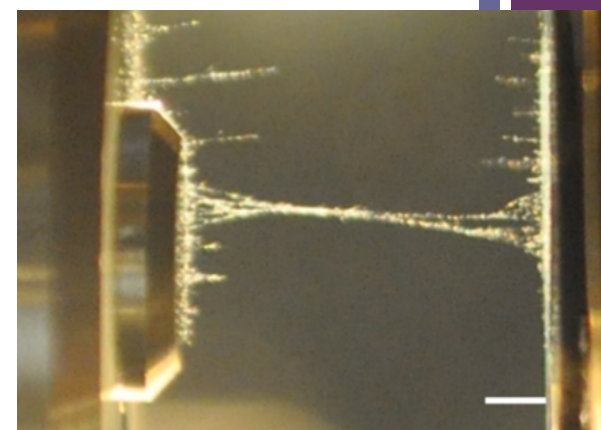
1.0 mm



2.0 mm



4.0 mm



6.0 mm



12.0 mm



17.0 mm

- 電極間隔を広げるとフィラメントが合体し，本数が減少
- フィラメントが細くなりつつ延伸



CNT紡糸に応用可能

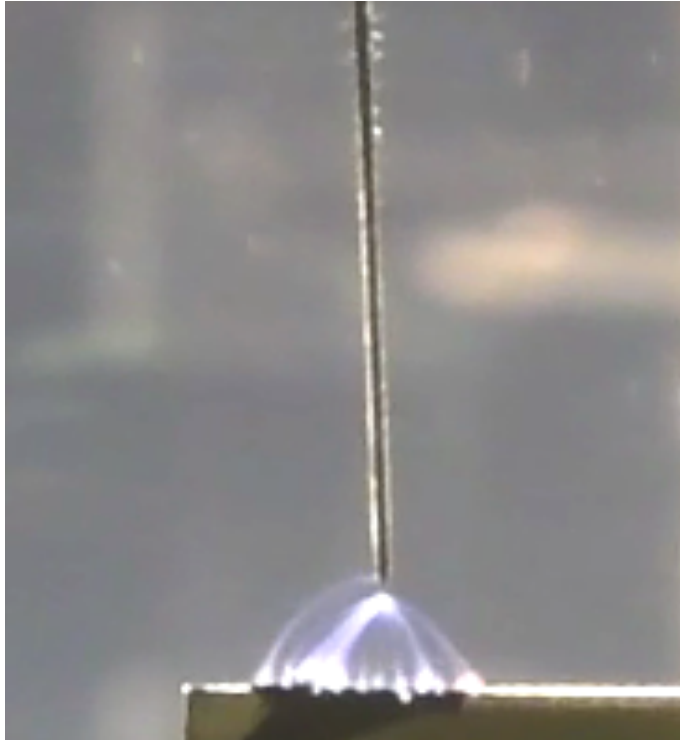
+ 宇宙エレベータ？



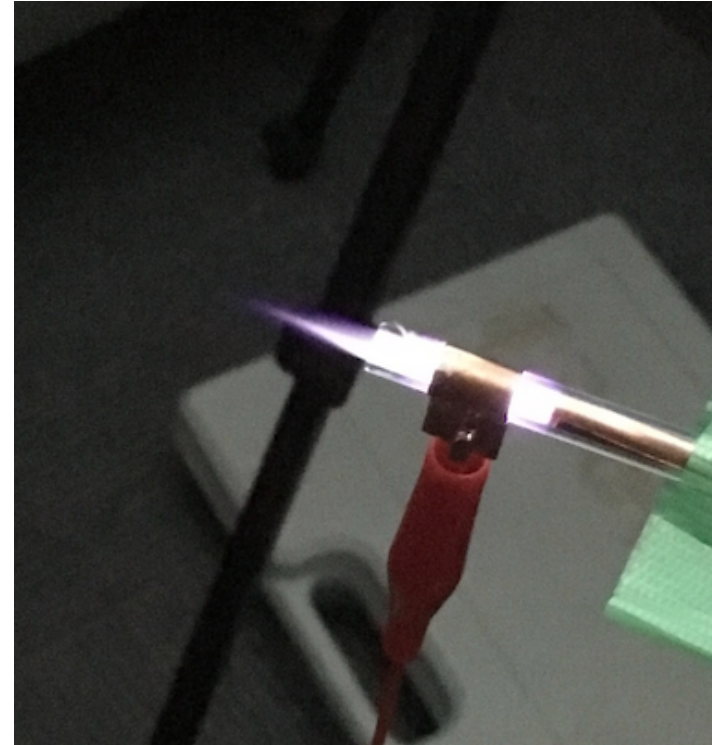
宇宙エレベータのワイヤーに、カーボンナノチューブが使われるかも・・・

大気圧プラズマ

物質の「第4の」状態



針電極先端の
コロナストリーマ



大気圧プラズマジェットの様子

大気圧プラズマをナノカーボン材料の生成や加工,
薄膜形成プロセスへ利用する

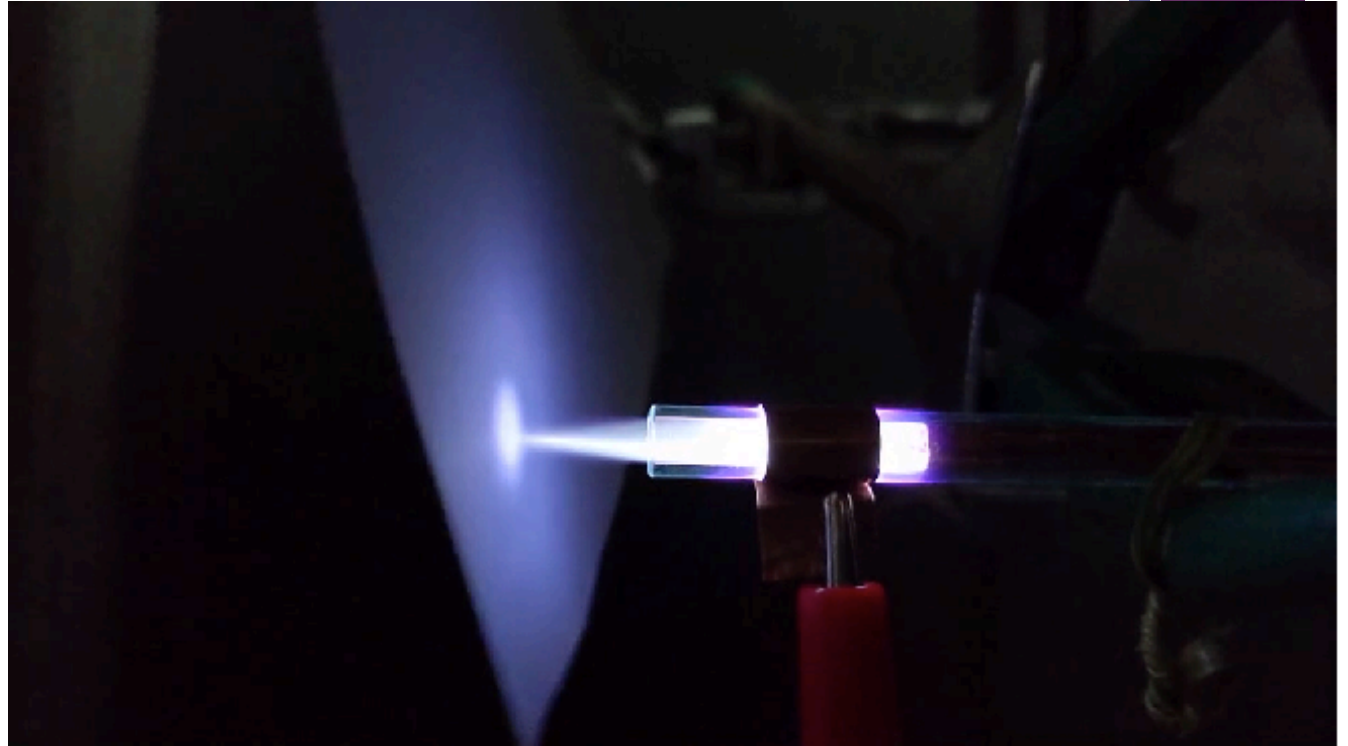
+ 大気圧プラズマ

- 従来困難だった、大気圧下でのプラズマ生成が可能に



通常のグロー放電
プラズマ @133 Pa

頑丈な金属製容器が必要



アルゴンプラズマジェット @大気圧

低温プラズマのため、紙を近づけても
燃えることはありません

最後に

もし何か興味があることがありました，気軽に連絡下さい。

連絡先：

三重大学 工学部 総合工学科
電気電子工学コース

佐藤 英樹 (sato@elec.mie-u.ac.jp)

研究室HP：

<http://www.nm.elec.mie-u.ac.jp>

