

# カーボンナノチューブの可視化操作技術の開発

機械工学専攻 46186 柳本幸雄 指導教官: 鷲津正夫 教授

## 研究の背景

単層カーボンナノチューブ(CNT)は直径が 1 nm 程度の炭素からなるチューブである。直径やチューブ側面の炭素原子の並び方によって導電性が異なり、半導体性の CNT・金属性の CNT が存在する。そこで、CNT を電気回路の配線や素子として利用することで、電気回路を従来のシリコンをフォトリソグラフィーで加工して作製されるものよりも小型化・高密度化できるのではないかと期待されている。そこで、CNT を基板上に配置し、回路等を組み立てるためにはどうすればいいか考えられている。

その例として、(1)CNT を基板上に直接成長させる。(2)CNT を基板上で自己組織化させる。(3)基板上に微小電極を作製して高周波電界を発生させ、誘電泳動の力で CNT を操作する。といった方法などが研究されている。

CNT を基板上に適切に配置するためには、CNT を観察しながら操作できることが望ましい。しかしながら、CNT はナノオーダーの大きさの物質であるため、CNT の配置が適切に進んでいるかを実時間で観察することが困難である。

## 研究の目的

本研究の目的は、誘電泳動による CNT の移動・電極への固定を、直接に実時間観察しながら行う技術を開発することである。そこで、CNT を蛍光修飾することで可視化する。そして、基板上に微小電極を作製して高周波電界を発生させ、誘電泳動の力で CNT を電極に引き付け、CNT の挙動を実時間観察する。

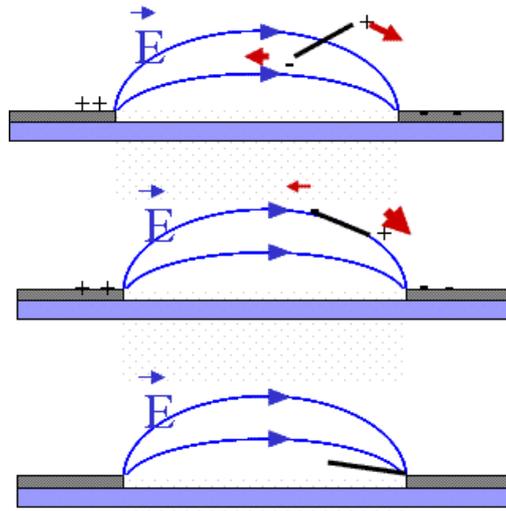


図 1. CNT の誘電泳動

### CNT の蛍光修飾

一般の合成法においては、CNT は多数の CNT のバンドル状の集合体として得られる。だが誘電泳動の際には CNT は溶液中に分散されている必要がある。さらに将来的に CNT を利用する際のことを考えれば、1 本 1 本に単分散されていることが求められる。そこで、まずこの集合体を解離させ、溶液中に単分散した CNT を得る必要がある。そこで一般的には、sodium dodecyl sulfate(SDS)、sodium do-decylbenzene sulfate(SDBS)などの分散剤を用い、超音波処理して、解離した CNT を分散剤でミセル状に包囲することで、単分散させる。

#### CNTを単分散させる一般的な方法

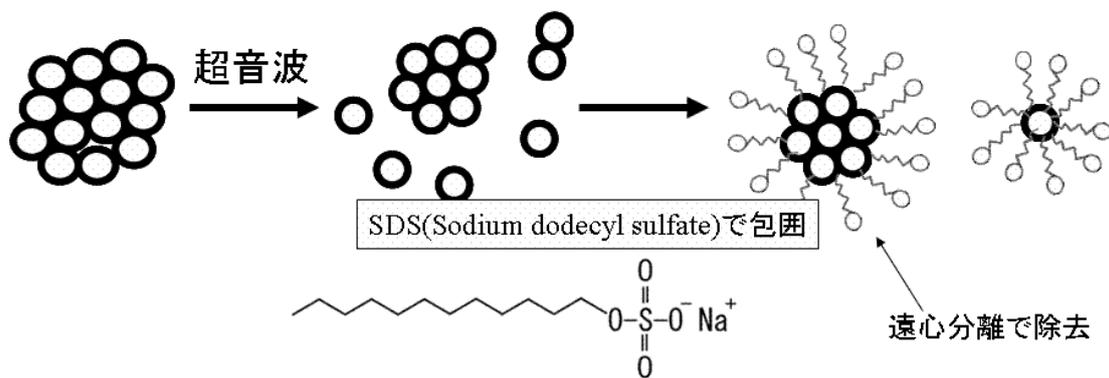


図 2. CNT の分散法

そこで蛍光修飾した分散剤を用いて CNT 分散を行うことで、CNT に蛍光色素を修飾し可視化することを試みた。分散剤には、Biocompatible PEG Anchors for cell

membrane(BAM, NOF CORPORATION)を用い、BAM の NHS 基に 蛍光色素 Lucifer yellow ethylenediamine(Molecular Probes)の NH<sub>2</sub> 基をアミド結合させた。

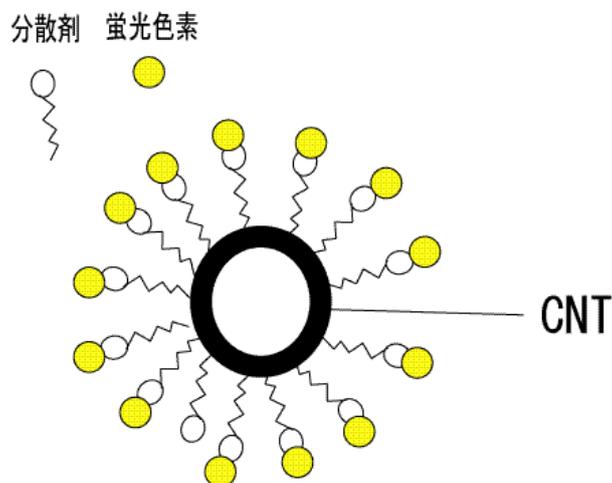


図 3. CNT の蛍光修飾

### 蛍光修飾 CNT の誘電泳動操作

電界下における CNT の挙動を、先述した蛍光修飾した CNT を用いて観察することを試みた。

0.6MHz, 1 MVp/m の電界下における様子が図である。電極間の一部が明るくなる様子が見られた。CNT が誘電泳動されて電極間に集まってきたものと思われる。だが、電界強度が強い電極端に CNT が引き寄せられて留まる様子は見られない(図 4)。印加電圧を上げていき、電界強度が 8 MVp/m 程度に達したところで CNT が電極端に引き寄せられる様子が観察された(図 5)。

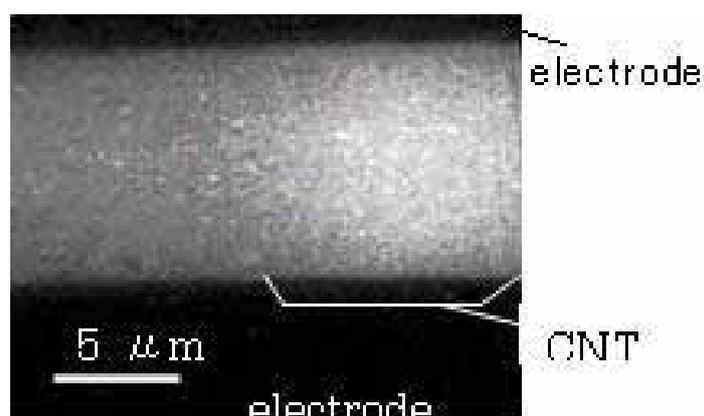


図 4. CNT の蛍光修飾

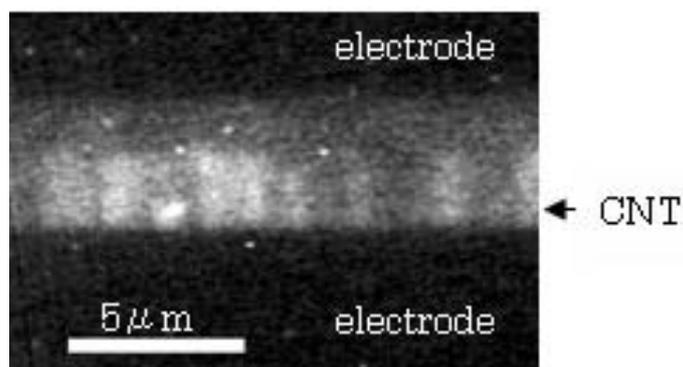


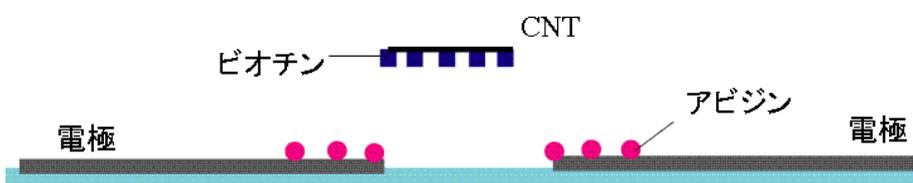
図 5. CNT の蛍光修飾

## CNT の電極への固定

誘電泳動によって電極に引き付けられた CNT は電界印加をやめると散ってしまう。CNT を電極に固定するため、アビジン・ビオチンを用いた CNT の固定を試みた。

CNT にビオチンを修飾し、電極にはアビジンをつける。CNT が電極に接触すると、アビジンとビオチンの結合により CNT が電極に固定される。

### 電極にアビジン、CNTにビオチンをつけておく



### 誘電泳動によってCNTが引き寄せられると、アビジンとビオチンが結合し、CNTが電極に固定される



図 6. アビジン・ビオチンによる CNT の固定

CNT 分散時に分散剤の蛍光修飾 BAM にビオチン修飾 BAM を混ぜておくことで CNT にビオチンを修飾した。また、電極上にアビジンを散布し、吸着させた。

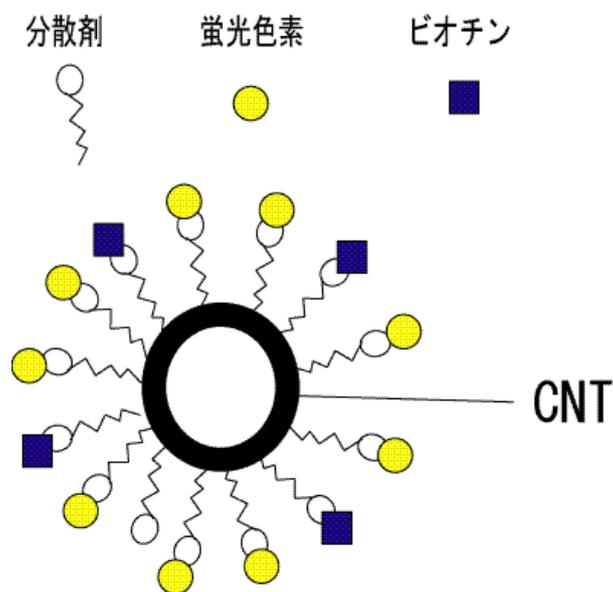


図 7. ビオチン修飾

そして CNT の誘電泳動を試みたのが、アビジンの電極への固定が不十分であり、遊離したアビジンがあったためか CNT の凝集が発生してしまった。アビジンを電極上に確実に修飾させる必要がある。

## 結論

BAM を介して CNT を蛍光修飾することで、誘電泳動によって CNT を可視化操作することに成功した。

アビジン・ビオチンを用いた CNT の電極への固定を試みたが、CNT の凝集という課題を残した。