

2025年度 各務記念材料技術研究所共同研究報告書

研究課題名	多層カーボンナノチューブの引張強度におよぼす欠陥量の影響の電子顕微鏡内引張試験による評価
重点課題	Ⅲ－B，Ⅲ－C
新規・継続	継続
研究代表者 氏名	シマムラ ヨシノブ 島村 佳伸
所属機関・ 部局・職名	静岡大学・工学領域機械工学系列・教授
研究分担者 (氏名・所属機 関・部局・職名)	研究代表者： 島村佳伸・静岡大学・工学領域・教授 研究分担者： 山本航平・静岡大学・総合科学技術研究科・修士1年 井上翼・静岡大学・工学領域・教授
研究所側 受入教員名	川田宏之，細井厚志

研究目的

本研究は軽量高強度な材料の創製による機械システムの省エネルギー化に寄与するため，多層カーボンナノチューブの強度発現を妨げる因子を実験的に明らかにすることを目的としている．

実験内容と研究成果

【実験内容】

○供試材

静岡大学井上翼教授提供の多層カーボンナノチューブを使用した。直径は10nm, 30nm, 40nmの3水準であり、いずれも長さ数100 μ mである。

○熱処理

熱処理無し、ならびに最高2,800℃でのいくつかの温度で熱処理を実施した後、ラマン顕微鏡（XploRa-SPI, 堀場製作所）を用いて結晶化度（ラマンスペクトルのG-bandとD-bandの比 I_d/I_g で表すことができる）を分析した。その結果、 I_d/I_g でおおよそ1.5～15の範囲の多層カーボンナノチューブ（MWNT）を用意できた。

○実験方法

各務記念材料技術研究所所有の走査型電子顕微鏡（SEM）（SU3500, 日立製作所）内で実施し、引張試験を試みた。具体的には、切断した透過型電子顕微鏡用のグリッドのエッジにMWNTを付着させることでMWNTを自立させた試料を事前に用意し（図1）、次に、SEMのチャンバー内にて、チャンバー内に設置されたピエゾ素子駆動のマニピュレータにとりつけた原子間力顕微鏡のカンチレバー（PPP-CPMTR-10, NANOSENSORS）の先端に自立したMWNTの端部を付着させ、顕微鏡画像を撮影しながら、カンチレバーを動かして、MWNTが破断するまで引っ張る。このとき、MWNT破断直前のカンチレバーの傾きから、MWNTに作用する最大引張荷重を推定可能であり、これをMWNTの断面積（本研究では中実と仮定）で除すことで引張強さが計算できる。

【研究成果】

○研究成果

本年度も3条件の直径のMWNTについてSEM中引張試験を試みたが、最も直径が細い直径10nmのMWNTについては本年度も残念ながら引張強度を得ることができなかった。一方、直径30nmについては追加で3本、40nmのMWNTについては追加で2本の実験に成功した。

得られた引張強さをプロットしたものを昨年度のものも含めて図3に示す。縦軸はMWNT単体の引張強さ（断面積は中実と仮定して計算）、横軸は結晶化度を示す I_d/I_g 比である。

それぞれの直径ごとに結晶化度の影響を確認すると、傾向としては結晶化度が大きくなるにつれて引張強度の低下が見られるが、結晶化度が近い条件の試験片に着目すると、引張強さは、その平均値にたいして1/2～2倍程度のばらつきがあることがわかる。引張強さの計算に必要な荷重の計測精度についても十分な議論が必要ではあるが、この結果が正しいとすると、引張強さはMWNT中の平均的な欠陥量では決まらず、脆性材料で一般的にみられるような、標点間に存在する最大欠陥に支配されていることが示唆される。

○応募時の申請で掲げた予想結果に対してどこまで達成できたか

直径30nmと40nmのデータ拡充については、合計で5本の結果が追加で得られたが、応募時に掲げたより細い直径10nmのMWNTの引張試験の再チャレンジは今年度もうまくいかなかった。については、より実験の成功確率が高そうな直径20nmのMWNTを用意する内容で継続申請を行い、引き続き本研究を実施させていただければと考えている。

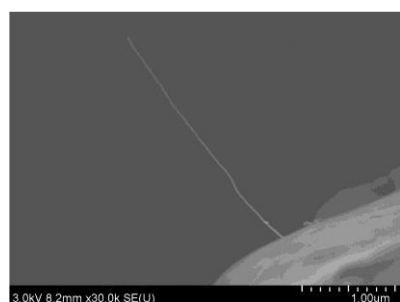


図1 自立したMWNT

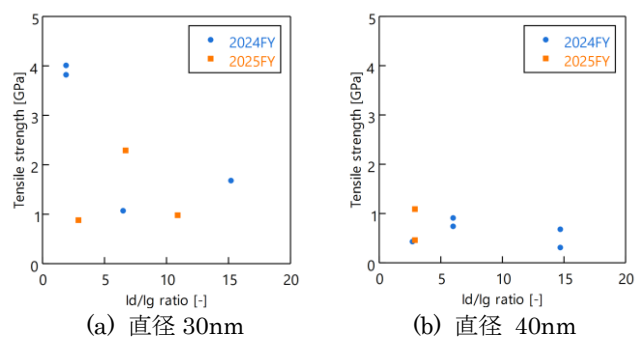


図2 MWNTの引張強度

研究成果の公表状況（論文、国際・国内会議、学会発表、特許等の知財）

（国際シンポジウム1件）

Yoshinobu Shimamura, Jin Shirasaka, Tomoyuki Fujii, Hiroyuki Kawada, Atsushi Hosoi, Yoku Inoue, Evaluation of Tensile Strength of Multi-walled Carbon Nanotube by Ultrasonication and In-situ Tensile Test in SEM, Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials & Structures 2025, 2025, Kyoto, Japan (Plenary)

（国内発表1件）

島村佳伸, 白坂仁, 藤井朋之, 川田宏之, 細井厚志, 井上翼, 超音波誘起切断法とSEM内引張試験による多層カーボンナノチューブの引張強度の評価, M&M2025 材料力学カンファレンス, pp.888-891, 2025, 熊本

（注）様式Bは、A4サイズ2頁になるようにしてください。