

## マイクロプラズマを活用した高結晶性CNTの高密度合成

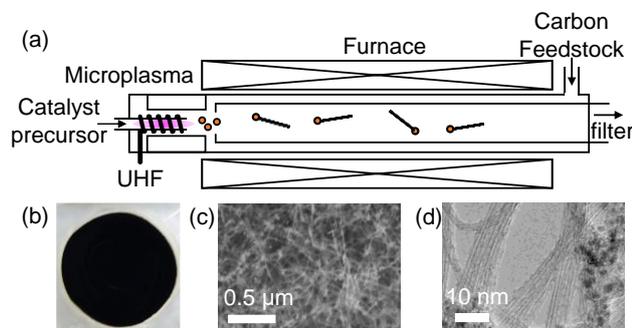
### High density synthesis of highly crystalline CNTs by microplasma based reactor

産総研<sup>○</sup>辻享志, 陳国海, 山田真保, 何金萍, 清水禎樹, 榊田創, 畠賢治, フタバドン, 桜井俊介  
 AIST,<sup>○</sup>Takashi Tsuji, Guohai Chen, Maho Yamada, Jinping He, Yoshiki Shimizu, Hajime Sakakita,  
 Kenji Hata, Don N. Futaba, Shunsuke Sakurai  
 E-mail: takashi.tsuji@aist.go.jp

カーボンナノチューブ (CNT) は優れた力学強度、電気・熱伝導性を兼ね備えることから、高強度部材やウェアラブル部材等様々な用途が検討されている。CNT の優れた特性は  $sp^2$  炭素からなる六員環ネットワークの筒状構造が途切れなくつながる構造に起因する。それゆえ、その構造内に欠陥が数個でも存在するとその特性が桁違いに低下し、この影響は CNT で構成されるバルク材料の性能にも及ぶ。したがって欠陥の少ない高結晶性 CNT の合成技術は重要であるが、高結晶性 CNT を高い数密度で合成する技術は存在せず、量産性が乏しいのが現状である。

高結晶性 CNT は一般的に気相中の熱 CVD 法で合成される<sup>1</sup>。触媒原料ガスと炭素原料ガスを高温反応炉に供給することで、触媒原料の分解により生じる触媒粒子上で CNT の核生成と成長が進行する。その際、高密度の触媒原料を供給すると、短時間内 (~10 ms) に粒子が粗大化するため、CNT の高密度合成は困難であった。

本研究では、マイクロプラズマによる粒子形成技術<sup>2,3</sup>を活用し、高結晶性 CNT の高密度成長が可能な多段階反応炉を開発した。本反応炉ではマイクロプラズマで形成された触媒粒子と炭素原料とを数ミリ秒という極めて短時間内に混合できることから、生成した触媒粒子の凝集を抑制し、高密度の触媒粒子から CNT を成長させることができる。具体的には、図 1a のようにマイクロプラズマ反応管 (内径 1.5 mm) を熱管状炉 (925 °C) に挿入し、触媒原料のプラズマ分解で生成する触媒粒子を予熱した炭素原料と反応させた。反応炉の下流に設置したフィルター (図 1b) には触媒粒子と単層 CNT が捕捉され (図 1c, d)、それらの平均直径はそれぞれ 1.8 nm, 0.9 nm と小さいことが明らかとなった。熱流体解析シミュレーションから、触媒原料はプラズマ反応部を通過後 3-4 ms 以内に炭素原料と混合されることが分かった。触媒粒子の成長時間を短時間に制御できていることから、小直径の触媒粒子から小直径 CNT の成長が可能となったといえる。また Raman 分光法や遠赤外線吸収分光法による分析から、得られた CNT の結晶性が高いことが示された。



**Figure** (a) Multistep CVD reactor, (b) photograph of products collected on a filter, (c) SEM and (d) TEM images of the products.

<sup>1</sup>Tsuji et al. *Nanomaterials* **2021**, *11*, 3461.

<sup>2</sup>Tsuji et al. *Carbon* **2021**, *173*, 448.

<sup>3</sup>Tsuji et al. *ACS Omega* **2021**, *6*, 18763.