

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「プロセスインテグレーションによる  
機能発現ナノシステムの創製」  
研究課題「自己組織プロセスにより創製された  
機能性・複合 CNT 素子による柔らかい  
ナノMEMS デバイス」

## 研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

研究代表者：畠 賢治  
((独)産業技術総合研究所 ナノチューブ  
応用研究センター 首席研究員)

## § 1 研究実施の概要

### (1)実施概要

CNTはその優れた物理・化学的特性のため、次世代デバイスのコア素材として期待されている。しかしながら、CNT デバイスを実用化するためには、高度な構造制御が要求され、CNT を大量にバルク材料として使用する用途より、実用化がはるかに困難となっている。

本研究テーマでは、かかる課題を解決し CNT デバイスの礎となる基盤製造技術の開発を目的とする。

平成 20 年度に、CNT シートを成長基板から取り出し、任意の基板に貼り付ける技術の開発に成功した。この貼り付け技術と、リソグラフィーによる CNT 微細加工技術と組合せて CNT カンチレバーを作製し、その共振周波数が Si より高いことを見出した。さらに、CNT 構造体の光吸収特性の評価を行い、非常に広い波長範囲(波長 0.2–200 $\mu\text{m}$ )にわたって、高い光吸収率を有していることを見出した。

平成 21 年度は、CNT 微細加工法をさらに進化させ、積層型 CNT 構造体を、Si 基板上やフレキシブル基板上に作製することに成功した。また、CNT と異材料とのインテグレーションに必要な、密度の異なる CNT 構造体の作製法を開発した。CNT シートから高密度の配向 CNT 構造体の作製には、液滴のみならず、膜状や泡状液、蒸気、スーパーインクジェット技術も有効であることを見出した。さらに、フレキシブル CNT キャパシター作製のため、CNT を用いたキャパシター電極特性評価を行った。スーパーグロース法により合成される、高純度で比表面積が大きい CNT は電極材料として優れ、従来の活性炭電極では達成できなかった 4V までの高駆動電圧が利用できることを見出した。加えて、CNT の配向性および直線性から、良好なイオン拡散性が得られるため、高パワー密度、高エネルギー密度につながることを明らかにした。

平成 22 年度は、CNT シートを基板に貼り付ける技術を用い、伸縮可能な基板の上に高密度の配向 CNT を構築し、CNT を用いた新しい歪みセンサーを開発した。この CNT 歪みセンサーは、既存の歪みセンサーにはない 280% 以上の大きな歪みを検出できた。また、優れた耐久性を持ち、ひずみに対する応答性はわずか 14 ミリ秒と、100% 以上の大きなひずみを測定できるセンサーとしては最速であった。さらに、従来の導電性材料と高分子のコンポジットひずみセンサーと比べ、クリープが小さく、クリープからの回復も 20 倍以上速かった。この CNT 歪みセンサーにより、膝の屈伸・指の動きや呼吸・発声といった人体の動作をモニタリングでき、ウェアラブルデバイス、レクリエーションや医療分野での応用が期待される。

平成 23 年度は、CNT シート貼り付けおよび微細加工技術に基づき、積層型 CNT 構造体を有する CNT 配線間に抵抗変化型素子  $\text{Ni/Ta}_2\text{O}_5/\text{Ni}$  を組み込み、低電流で作動する CNT-RAM デバイスの開発に成功した。積層型 CNT 構造体を有する CNT 配線は、Si、フレキシブル両基板上で同等な特性を示し、フレキシブル基板上では屈曲による繰り返し変形後でも配線構造および、その電気特性は保たれた。この CNT 配線は、RRAM のみならず、様々なナノ材料電子デバイスへの活用が期待される。

平成 24 年度は、開発した CNT 歪みセンサーの作製手法に基づき、伸縮性ロッドに CNT シートを巻き付けて貼り付け、CNT ツイスト(ねじり)センサーの開発に成功した。従来の光ファイバー複合システムによるセンサーに対し、大変形の検出(4 倍のねじり(400rad/m))が可能であった。従来センサーより小型で簡易に作製でき、表面実装が可能で、変形を受ける構成部品に直接埋設できる。人体やロボットの動作をモニターでき、ストレッチャブルデバイス、ヘルスケア、バーチャリアリティ等の広い分野で応用が期待される。また、フレキシブル CNT キャパシター作製のため、リソグラフィーによる Si 基板上での集電体配線作製プロセス、CNT 膜深堀加工技術を開発した。試作した CNT くし型マイクロキャパシターにイオン液体(電解質)を含浸・複合化し、充放電の動作確認ができた。

平成 25 年度は、CNT マイクロキャパシターを Si 基板上で直列・並列接続し、接続様式に応じた高電圧・高電流での駆動に成功した。集積度・電極デザインにより、高作動電圧の利用、高周波数特性の活用、容量の任意設計が可能で、超小型電子機器用電源、電子回路への埋設などの応用が期待される。また、ロバストデバイス開発に資する、リソグラフィーによる CNT ゴ

ムの微細加工技術の開発に成功した。さらに、ネットワーク構造の長尺 CNT をゴムに分散させることで、従来のゴムでは実現できなかった数百 nm や  $\mu\text{m}$  の精度でゴム表面を金型成形加工する技術を開発した。ゴム中で自由自在に変形できる支持材として CNT が働き、ゴムの柔軟性と高精緻な形状維持性を両立できた。表面加工することにより濡れ性、密着性、光学特性を制御した高機能ゴムへの応用が期待される。

## (2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

1. A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection, Takeo Yamada, Yuhei Hayamizu, Yuki Yamamoto, Yoshiki Yomogida, Ali Izadi-Najafabadi, Don N. Futaba, Kenji Hata, Nature Nanotechnology, Nature Nanotechnology, 6 (5), 296-301, 2011. DOI: 10.1038/nnano.2011.36

概要: 配向 CNT シートを伸縮性のある基板に貼り付け、CNT シートの電気抵抗変化によって歪みを検出できる歪みセンサーの作製に成功した。この CNT 歪みセンサーは、既存の歪みセンサーにはなかった 280% 以上の歪みを検出可能で、耐久性・応答性に優れ、クリープも小さく、膝の屈伸・指の動きや呼吸・発声といった人体の動作をモニタリングできた。ウェアラブルデバイス、レクリエーションや医療分野での応用が期待される。

2. Hierarchical Three-Dimensional Layer-by-Layer Assembly of Carbon Nanotube Wafers for Integrated Nanoelectronic Devices, Takeo Yamada, Natsumi Makimoto, Atsuko Sekiguchi, Yuki Yamamoto, Kazufumi Kobashi, Yuhei Hayamizu, Yoshiki Yomogida, Hiroyuki Tanaka, Hisashi Shima, Hiroyuki Akinaga, Don N. Futaba, Kenji Hata, Nano Letters, 12, 4540-4545, 2012. DOI: 10.1021/nl3016472

概要: Si、フレキシブル両基板上に配向 CNT シートを貼り付け、リソグラフィーにより、2 方向に配向方向が制御され、立体交差を有する CNT 配線の作製に成功した。フレキシブル基板上の CNT 配線は屈曲による繰り返し変形後でも、配線構造および電気特性は保たれた。さらに、立体交差した CNT 配線間に Ni/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ni を積載して、抵抗変化型メモリ RRAM 素子を作製し、Pt 配線をもつ類似 RRAM に比べ低電流で作動できた。この CNT 配線は、RRAM のみならず、様々なナノ材料電子デバイスへの活用が期待される。

3. Torsion-Sensing Material from Aligned Carbon Nanotubes Wound onto a Rod Demonstrating Wide Dynamic Range, Takeo Yamada, Yuki Yamamoto, Yuhei Hayamizu, Atsuko Sekiguchi, Hiroyuki Tanaka, Kazufumi Kobashi, Don N. Futaba, Kenji Hata, ACS Nano, 7(4), 3177-3182, 2013. DOI: 10.1021/nn305593k

概要: 配向 CNT シートを伸縮性ロッドに巻き付けて密着させ、CNT ツイスト(ねじり)センサーの開発に成功した。従来の光ファイバー複合システムによるセンサーに対し、大変形の検出(4 倍のねじり(400rad/m))が可能であった。従来センサーより小型で簡易に作製でき、表面実装が可能で、変形を受ける構成部品に直接埋設できる。人体やロボットの動作をモニターでき、ストレッチャブルデバイス、ヘルスケア、バーチャルリアリティ等の広い分野で応用が期待される。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. ひずみセンサープレスリリース、nano tech2012 展示、試料提供

概要: 従来の金属製歪みセンサーの約 50 倍となる、280 % の大きさのひずみまで検出可能な CNT 歪みセンサーのプレスリリース・展示を行った。歪みセンサーの新規利用、レクリエーション、医療、スポーツ、ウェアラブルデバイス等への応用に関して、関心のある企業から問い合わせ、技術相談依頼があった。CNT 歪みセンサーの技術相談、試料提供を行い、使用環境に応じたセンサー性能に関して、産業応用への知見を得た。

## 2. 集積化 CNT マイクロキャパシター開発、産総研オープンラボ 2013 展示

概要:比表面積が大きく、キャパシター電極材料として優れた単層 CNT を用いて、リソグラフィーに基づく微細加工技術により、くし型マイクロキャパシターを開発した。くし型 CNT マイクロキャパシター電極にイオン液体(電解質)を含浸・複合化し、直列・並列接続様式に応じた高電圧・高電流での駆動に成功した。集積度・電極デザインにより、高作動電圧の利用、高周波数特性の活用、容量の任意設計が可能で、超小型電子機器用電源、電子回路への埋設などの応用が期待される。

## 3. ロバストデバイス開発、ゴムの金型微細加工プレスリリース、イノベーション・ジャパン 2013 展示

概要:ロバストデバイス開発に資する、リソグラフィーによる CNT ゴムの微細加工技術の開発に成功した。さらに、ネットワーク構造の長尺単層 CNT をゴムに分散させることで、従来のゴムでは実現できなかった数百 nm や  $\mu\text{m}$  の精度でゴム表面を金型成形加工する技術を開発し、そのプレスリリース・展示を行った。この金型成形加工では、ゴムの柔軟性と高精緻な形状維持性が両立されており、表面加工により濡れ性、密着性、光学特性を制御した高機能ゴムへの応用が期待される。ゴムメーカー等、企業から問い合わせがあり、技術相談を行った。

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

10 年後にカーボンナノチューブ (CNT) MEMS ナノデバイス産業を日本から実現するため、CNT デバイスの基盤製造技術と、CNT と異材料とのインテグレーション技術を開発する。自己組織化によるボトムアップの技法と微細加工技術を組み合わせ、CNT の位置・形状を自由自在に制御しながら集積化させ、イオン液体、金属、樹脂等の異材料とインテグレーションすることにより、デザインされた機能を有する CNT 素子を作製し、それを組み込んだナノ (MEMS) デバイスを創製する。CNT の強靭性、高導電性、柔軟性、一次元性、摺動性、低摩擦性、高比表面積等の優れた特性を最大限に活用した、従来のシリコンテクノロジーでは実現不可能な、超小型フレキシブルキャパシターデバイス、革新的なセンサーなどに例証されるナノ MEMS デバイスシステムを実証し、実用化研究への橋渡しを行う(図 1)。



図 1 研究構想

本研究テーマで提示する課題を実現するために、以下の革新的技術を開発する。

① CNT シートを基板に貼って作るデバイスの製造技術開発

微細加工技術により直線状にパターンニングした触媒から、超高効率 CNT 成長法(スーパーグローブ法)を用いて、CNT を成長させると、CNT が自己組織化し、配向 CNT シートが合成できる。配向シート中の CNT の体積占有率は高々数パーセントであり、非常にすかすかな構造である。この配向 CNT シートを成長基板から剥離し、デバイスを製造する基板に“貼り付け”、溶液等によるジッパー効果を用いて、基板上で高密度化する技術を開発する。本手法を用いることにより、CNT の成長とデバイスの製造プロセスが別の基板で行われ、デバイス製造のプロセス温度が、従来の 800 度から室温になる。結果として、CMOSが積載されたシリコン基板上、プラスチック等のフレキシブル基板上、さらにはゴム等のストレッチャブル基板上にナノデバイスを製造することが可能になる。

② 化学プロセスを用いた異材料とのインテグレーション技術開発

CNT と異材料を複合化(インテグレーション)させることにより、新規な機能を有する素子が作製でき、デバイスの多様性が大きく広がる。例えば、CNT とイオン液体を組み合わせた場合、CNT が電極、イオン液体が電荷として機能し、複合体は電池になる。従来のシリコンデバイスが主として、固い材料でインテグレーションされているのに対し、本研究テーマでは含浸、ポリマーコーティング、電気化学反応といった化学的手法を用いて、CNT と樹脂、ゴム、液体等をインテグレーションさせて、やわらかいデバイスの創出を目指す。

③ 柔らかいナノデバイスシステム開発

本研究プロジェクトでは、上記の製造インテグレーション技術で創出できる革新的ナノデバイス・システムの事例として、フレキシブル On Board 薄型 CNT スーパーキャパシターと、ゴム基板上に集積させた配向 CNT シートを用いた、ストレッチャブル絆創膏 CNT 歪みセンサーのプロトタイプの製作を行う。フレキシブル On Board 薄型 CNT スーパーキャパシターは、超小型の蓄電デバイスであり、薄膜化が可能でかつフレキシブルなため、基板上に直接貼ったり、モバイル機器のわずかな隙間に折り曲げてはさみこんだりでき、電池交換時や瞬間停電時のバックアップ電源として使用できる。ストレッチャブル絆創膏 CNT 歪みセンサーは、ゴム基板の上に配向 CNT シートを設置したものであり、ゴム基板が伸縮すると配向 CNT の結びつきが少しずつほぐれることにより、導電性が変化することで伸縮を検出する歪みセンサーとして機能する。裏に接着面をつけることにより、絆創膏のように物品の可動部に設置可能である。ロボットの関節部の動きのモニターや、手の関節に貼り指先の動きを入力情報とするウェアラブル入力機構に使用できる。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

外部研究者との連携として、CNT 歪みセンサーの試料提供依頼を受けた企業と技術相談を行い、使用する環境に応じたセンサー性能評価を行った。湿度と温度が CNT シートの電気抵抗値に及ぼす影響を明らかにし、産業応用を行うための知見を得た。また、CNT 歪みセンサーの新規利用・レクリエーションでの応用、配向 CNT シートのバイオセンサー利用に関心をもつ企業との技術相談・試料提供を行い、求められるセンサーのスペックと課題を明らかにした。さらに、領域内の西澤チームにバイオ発電デバイスに適した CNT シートを合成して提供し、領域内共同研究を行った。得られたグルコース酸化用の CNT/酵素複合バイオアノードを LED デバイスの先端に貼付し、ブドウに挿入して自己発電型の糖度計を構成して動作確認を行った。

CNT と他の材料との機能融合としては、ロバストデバイス開発において中核を成す、CNT とゴムのインテグレーションを行い、引張や圧縮に耐えるロバストな CNT ゴム微細電極を開発できた。加えて、ネットワーク構造からなる長尺 CNT をゴムに分散させることで、従来のゴムでは実現できなかった数百 nm や  $\mu\text{m}$  の精度でゴム表面を加工する技術の開発に成功した。

② 中間報告書§2. 当初の研究計画に対する進捗状況「(3) 今後の進め方、および研究成果の見通し」の記載事項に関し、研究を進めた結果について

新たに追加したロバストデバイスや、ひずみセンサー、フレキシブルスーパーキャパシターらのナノデバイス開発に注力するため、異材料とのインテグレーション技術開発においては、ポリマー、金属、炭素材料との複合化、フレキシブル化・ストレッチャブル化は方針を変更し実施しなかった。

③ 上記①②以外で生まれた新たな展開について  
特になし。

### §3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 「産総研ナノチューブ応用研究センター」グループ  
研究参加者

氏名	所属	役職	担当する 研究項目	参加時期
畠 賢治	ナノチューブ応用研究センター	首席研究員	全体統括	H20.10～
湯村 守雄	ナノチューブ応用研究センター	副センター長	全体統括	H20.～H25.3
山田 健郎	ナノチューブ応用研究センター	研究チーム長	デバイスプロセス全般、柔らかいデバイス開発全般	H20.10～
二葉 ドン	ナノチューブ応用研究センター	研究チーム長	シート合成技術開発	H20.10～
小橋 和文	ナノチューブ応用研究センター	主任研究員	異材料とのインテグレーション開発	H21.4～
Chandramouli Subramaniam	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	異材料とのインテグレーション開発	H21.～H22.3
関口 貴子	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	柔らかいデバイス開発	H21.4～
田中 啓之	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	デバイスプロセス全般	H22.～H23.3
Izadi-Najafabadi Ali	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	異材料とのインテグレーション開発	H22.～H22.9
田中 文昭	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	柔らかいデバイス開発	H23.4～
LASZCZYK Karolina Urszula	ナノチューブ応用研究センター	産総研特別研究員	柔らかいデバイス開発	H23.5～
山田 幸子	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H21.～H24.9
牧本 なつみ	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H21～H22.11
山本 由貴	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H21.～H24.9
浜名 志帆	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H24.～H24.5

彦坂 理恵	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H24.10～
藤井 美智子	ナノチューブ応用研究センター	テクニカルスタッフ	デバイスプロセス全般	H25.4～

## § 4 研究実施内容及び成果

### 4. 1 シート合成技術開発((独)産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター) (1)研究実施内容及び成果

#### ① 研究実施方法

当研究項目の全ては「島チーム」にて実施した。

#### ② 研究実施内容・成果

配向高密度 CNT 構造体を効率よく作製するために、一度の成長で基板上に多数の様々なサイズをもつ CNT シートの合成を、CNT の超高効率成長法であるスーパーグロース法により行った。CNT シートとは、基板からシート状に垂直配向した CNT のマクロ構造体である。合成した CNT シートは基板から容易に剥離可能で、かつ剥離した CNT シートは自立膜としてその構造を維持できた。さらに、歪みセンサーやツイストセンサーのための、サイズの大きい CNT シートや、高密度配向 CNT の受動素子等を作製するのに必要な、サイズの小さな CNT シートを、基板上で一度に多数、合成することができた。この CNT シートの合成技術開発により、合成基板から剥離可能であり、剥離後自立膜として存在可能で、各種用途に必要な大きさの CNT シートが合成可能となった(図 1)。

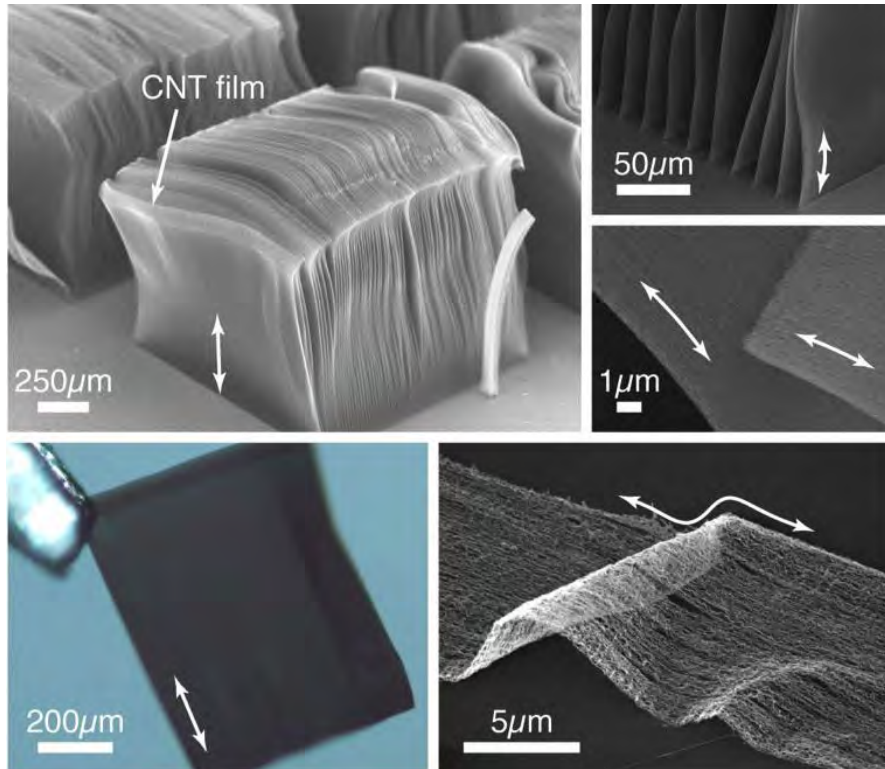


図1:一度に多数合成された CNT シート(左上、右上、右中)及びそれらの自立性(左下、右下)

この CNT シートから作製した高密度の配向 CNT 構造体は、当初の研究計画では想定していなかったが、種々の特性を有することが明らかとなり、それらの特性評価を行った。CNT シートを高密度化した配向 CNT 構造体 (CNT ウエハー) が MEMS デバイスに組み込んだ際に、機械特性は重要であり、まずその評価を行った。また、配向した CNT 構造体自体が、特異な光学吸収特性を有していることが分かり、当研究で目標とする新しいデバイスに組み込むことを考慮し、その光学特性の解明を行った。

・CNT ウエハーから作製した配向高密度 CNT カンチレバーの剛体としての特性

基板上に密に成長させた CNT シート群から、CNT シートを1枚取り出し、基板上で高密度化して貼り付けを行った。リソグラフィーによる微細加工技術を用いて、この CNT ウエハーを加工し、CNT カンチレバーの作製を行った。作製したカンチレバーの振動特性を評価した結果、CNT カンチレバーが弾性体として振るまい、共振周波数を決める物質の音速が CNT カンチレバーにおいて 10100m/s となり、Si ウエハーの音速 (9000m/s) より高い事が明らかとなった。これにより CNT カンチレバーは Si カンチレバーに比べ、より高い共振周波数を持ち得ることがわかった。

・配向した CNT 構造体が有する光学特性

Si 基板上に単層 CNT 垂直配向構造体 (通称フォレスト) を合成し、フォレストの厚みを 10  $\mu\text{m}$  以上、密度を 0.002  $\text{g}/\text{cm}^3$  - 0.2  $\text{g}/\text{cm}^3$  に調整することにより、高い光吸収率をもつ材料を作成できることがわかった。

光吸収体は、カメラや精密光学機器の遮光、通信機器の電磁波・ノイズ防止、また吸熱性を利用して熱線吸収材や熱型赤外線センサーのコーティング、放熱性を利用して電子機器の冷却などに利用されている。このように先進技術における光や熱のエンジニアリングに欠かせない材料であるが、これまで広い波長範囲で一定した高い吸収率を得ることは難しかった。例えば赤外領域の光吸収特性を放射率 (吸収率と等価) によって評価すると (図2)、従来の光吸収材料の上限は 0.96 程度で、波長によって吸収率が変化するスペクトル構造をもちやすい。放射率 (吸収率) を向上させ、吸収率の変動を抑えて一様とすることで、光吸収体を利用した機器類の一層の高機能化、高効率化が期待される。

CNT 垂直配向構造体 (フォレスト) の光吸収性を評価するため、赤外分光装置 (FT-IR) を用いて赤外領域 (波長 5 - 12  $\mu\text{m}$ ) の垂直分光放射率を測定した (図2)。CNT 構造体は従来の光吸収材料に比べて高い放射率 (平均 0.987) を示し、しかも波長による変動もほとんど見られなかった。測定結果より計算される半球反射率は 0.013 である。

次に紫外領域から遠赤外領域までを3つの測定域A (波長 0.2-2 $\mu\text{m}$  (紫外光~近赤外光))、B (波長 2-20 $\mu\text{m}$  (近赤外光~遠赤外光))、C (波長 25-200 $\mu\text{m}$  (遠赤外光)) に分けて分光反射率 (図3) を測定した。

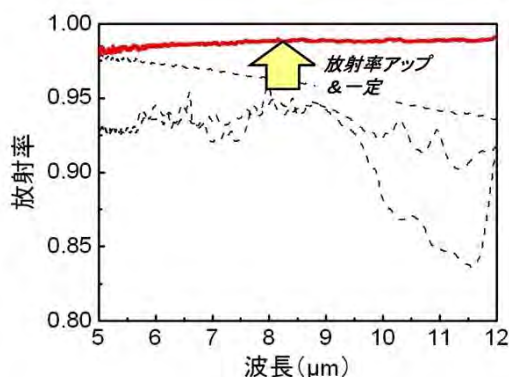


図2: 垂直分光放射率の測定結果  
本開発品 (赤線) と従来品 (破線)

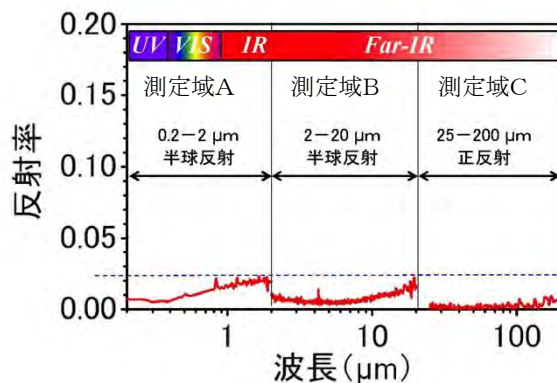


図3: CNT フォレストの分光反射率



その結果、測定域AとBで測定した半球反射率は、0.01～0.02 でスペクトルは平坦であり、図2で示した垂直分光放射率の測定結果とよく一致した。また測定域Cにおいては正反射率を測定したところ、測定域A、Bと整合する低反射特性が明らかとなった(図3)。

以上の測定結果から、CNT フォレストは紫外光から遠赤外光までの非常に広い波長範囲(波長0.2～200  $\mu\text{m}$ )にわたって、一様な反射特性を示し、しかもその反射率は0.01～0.02(吸収率に換算すると0.98-0.99)と低いことが強く推察される。開発したCNT光吸収体の「黒さ」は目に見える光だけではなく、紫外光から遠赤外光までの広い領域で「黒い」といえる。このように紫外光から遠赤外光まで、ほとんどすべての光に対して高い吸収率を示す材料はかつてなく、現在、世界で最も黒体に近い材料であるといえる。特に赤外領域での反射特性を明らかにしたことで、温度計測やサーモグラフィ、赤外センサー、建築物や電子機器の熱管理など、赤外光技術分野への応用の道をひらいた。

#### 4.2 CNT シートを基板に貼って作るデバイスの製造技術開発((独)産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター)

##### (1)研究実施内容及び成果

##### ① 研究実施方法

当研究項目の全ては「畠チーム」にて実施した。

##### ② 研究実施内容・成果

CNT シートを基板に貼って作るデバイスの製造技術開発は、本研究テーマの中核技術となる。CNT シートを成長基板から剥離して、デバイスを製造する基板上に移した。その後、CNT シートに液滴を導入し、その乾燥時にシートを構成するCNTどうしを液体の表面張力で引きつけ高密度化した。この高密度化と同時に、CNT シートを基板に密着させることができ、貼り付け技術(図4)を開発した。これにより、CNTが平面的一方向に配向し、高密度に集合し板状になったCNTウエハーを作製できた。このCNTウエハーを構築する手法に基づき、任意の基板の任意の位置に、任意の配向方向をもって形成可能とする「CNT シートを基板に貼って作るデバイスの製造技術開発」を行った。

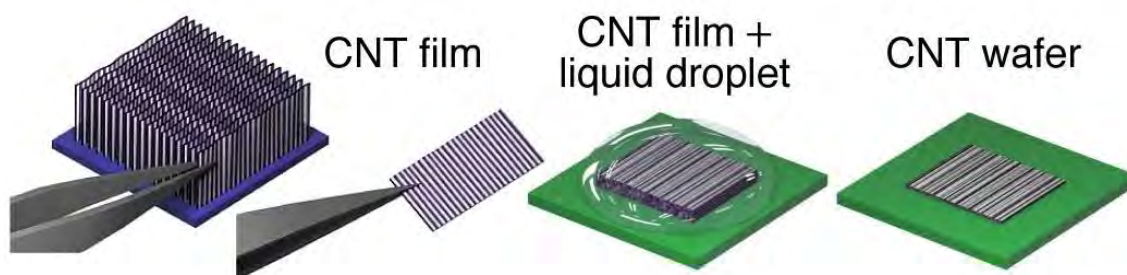


図4:任意の基板に任意の配向方向を有するCNTウエハーを構築する貼り付け技術

CNT シートはSi基板、フレキシブル基板、伸縮性基板のいずれにも貼り付けることができた。CNTウエハーと基板との密着性を評価するため、CNTウエハーの接着力を評価したところ、Si基板に対して13 N/cm<sup>3</sup>で接着しており、デバイス作製プロセスを行うのに十分な接着力をもつことが分かった。次にCNTウエハーの平坦性と均一性の評価を、触針式段差計と原子間力顕微鏡を用いて行った。その結果、CNTウエハーはリソグラフィ用レジストを塗布するのに十分な平坦性、均一性を有することが分かった。

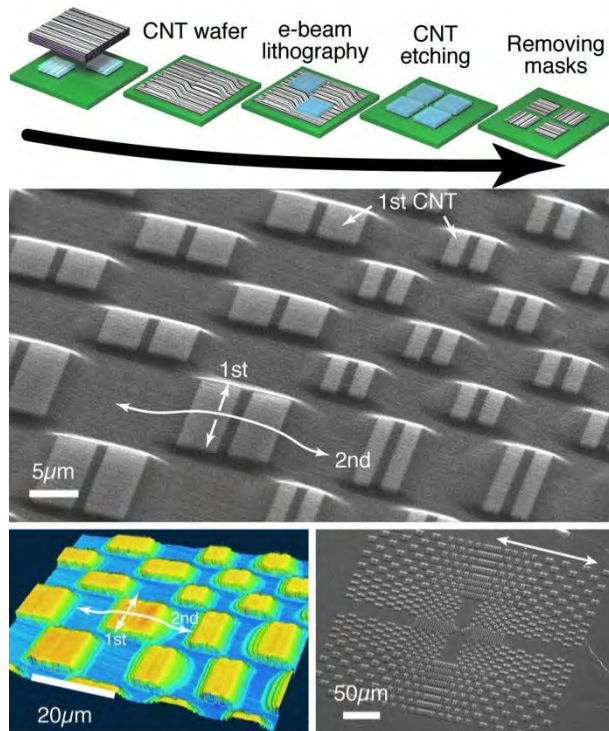


図5: CNT ウェハー積層貼り付け法(上)、CNT 構造体の上に構築した CNT ウェハー(中、左右下)

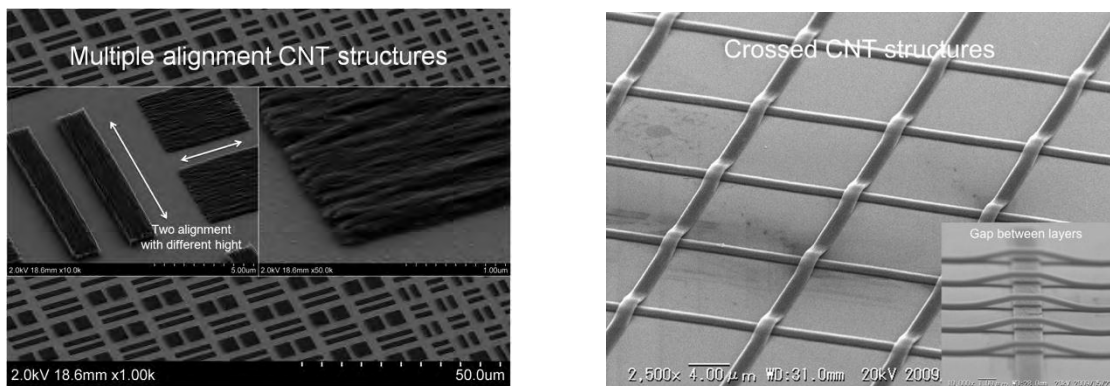


図6: Si基板上で作製された、2方向に配向制御した CNT 構造体(左)、立体交差を有する CNT 構造体配線(右)

さらに、この貼って作るデバイス製造技術を発展させ、キャパシター等のデバイス構造に必要な、積層型の CNT 構造体を Si 基板上に構築する技術開発を行った(図5)。積層型の CNT 構造体を構築するために、上記技術を用いて CNT ウェハーを貼り付けると、液滴内で CNT シートが動くため、下層の CNT 構造体が破壊されてしまう。また、上層の CNT 構造体をエッチングで微細加工する際に、下層の CNT 構造体を保護する必要がある。まず下層の CNT 構造体が破壊されてしまう問題を解決するため、新たな CNT ウェハー構築法を開発した。積層が必要な CNT 構造体の上に、所望の配向方向をもって CNT シートで覆い、マニピュレーターで固定する。その上から、CNT シートを濡らすのに十分な液滴を垂らし、固定したまま乾燥させる。この手法により、CNT シートが下層の CNT 構造体を破壊するのを防ぐことが出来た。しかしながら、下地に CNT 構造体があることにより、上層の CNT の基板設置面積が著しく減少するため、上層の CNT ウェハーが、溶媒乾燥の際に基板から剥がれ、めくれてしまう新たな問題が起こった。そこで、このめくれ現象が起

きる原因を検討したところ、CNT シート内の溶液の蒸発速度の差異による、CNT ウェハー内の歪みと、基板との密着性から現れている事がわかった。溶液の蒸発速度を制御することにより、CNT ウェハー内に生ずる歪みを解消し、2方向に配向を制御した積層型の CNT 構造体を構築することができた(図 6 左)。さらに、この積層型 CNT 構造体の構築手法を用いて、2方向に配向を制御した、立体交差をもつ CNT 構造体配線(図6右)を開発した。また、これらの技術を組合せ、コイル状の CNT 構造体の作製にも成功した。

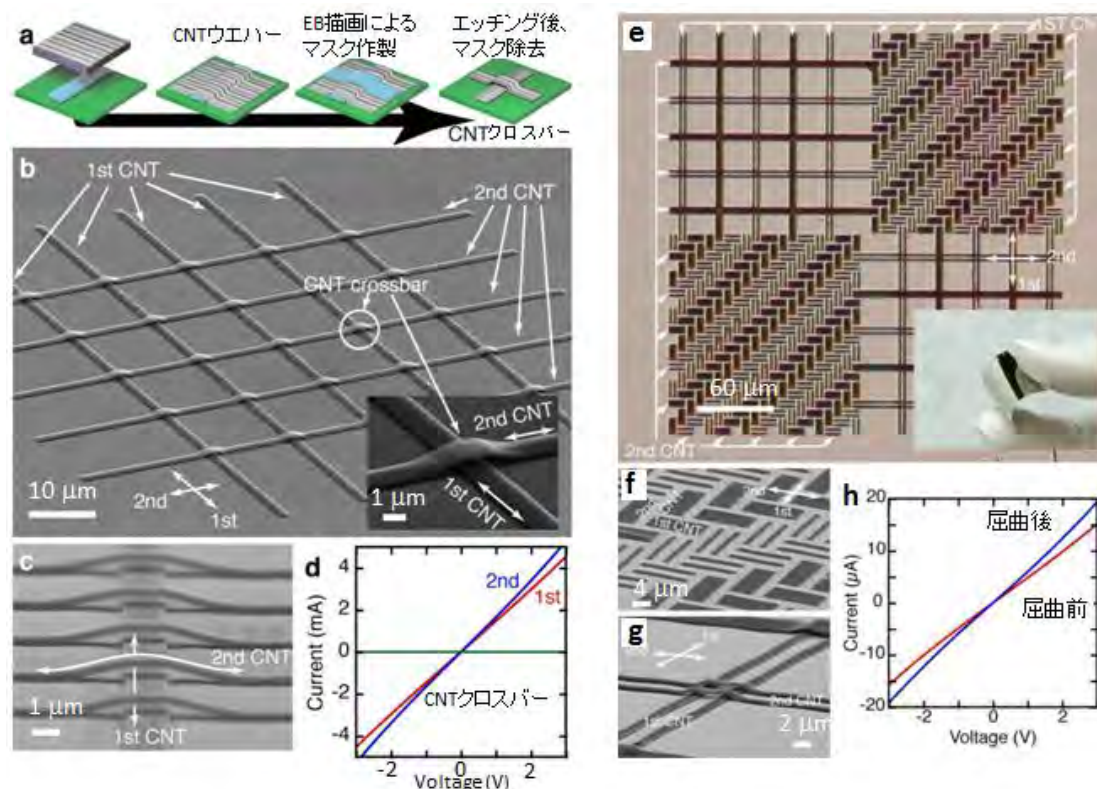


図7:フレキシブル基板上で作製された、  
2方向に配向制御した CNT 構造体、立体交差を有する CNT 構造体

これらの積層型 CNT 構造体の構築手法をフレキシブル基板上に適用することにも成功し、2方向に配向方向を制御し、立体交差を有する CNT 構造体配線をポリイミド基板上に作製することができた(図 7a-c)。この CNT 配線における第 1 層および第 2 層の配線は、ともに同等な電気抵抗値を示し、電圧に比例して、電流値が上昇した(図 7d)。フレキシブル基板上での CNT 構造体作製において、基板と CNT 構造体の密着性が課題であったが、フレキシブル基板に SiN または Ni 薄膜をコートすることで解決できた。これら薄膜は CNT との密着性向上のみならず、絶縁性付与する上では SiN、機械的な変形をさせる上では Ni がそれぞれ好適であり、加えて RIE による CNT 加工時にフレキシブル基板を保護する役割を果たした。

フレキシブル基板に積載された、これらの CNT 構造体は、屈曲による繰り返し変形後でも、その構造が保たれた(図 7e-g)。さらに、CNT 構造体電気特性について、基板屈曲変形に対する安定性を調べるため、幅 2 $\mu$ m、厚さ 1 $\mu$ m、長さ 10 $\mu$ m ラインを、CNT ウェハーの微細加工により作製した。CNT 配向方向に対する曲率半径が 0.6cm の屈曲前後で、I-V 特性を調べたところ(図 7h)、わずかな変化しか見られず、屈曲前後で電気抵抗値は(屈曲前 186 k $\Omega$ →屈曲後 149k $\Omega$ )ほぼ等しかった。これらの CNT 構造体は Si 平面基板、フレキシブル基板の両基板上で同等な特性を示した。

このように高密度配向 CNT (CNT ウェハー) を、硬い基板や柔らかい基板上の任意の位置に、任意の配向方向をもって形成し、微細加工により種々の CNT 構造体を作製できた。この技術をさらに拡張し、伸縮性のある基板 (Poly Dimethylsiloxian: PDMS) 上に CNT ウェハーを作製することも可能とし、CNT 歪みセンサーの開発 (図 8) を行った。

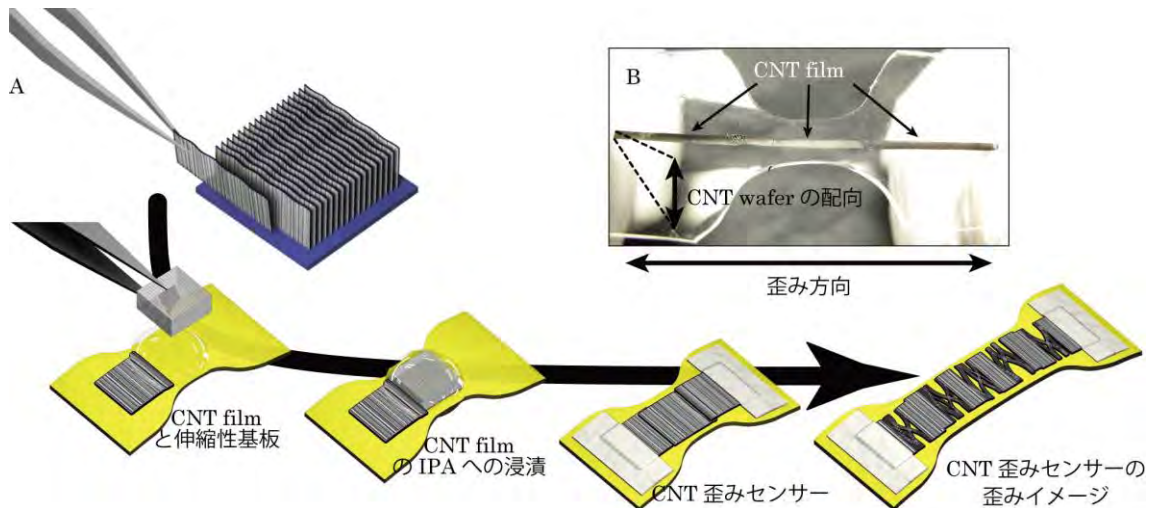


図 8: 伸縮性基板上で CNT ウェハーにより作製した CNT 歪みセンサー

これらの技術開発を通して、成長基板から CNT シートをデバイス製造基板上に移転する方法、デバイス製造基板上で CNT シートを高密度化する方法、CNT シートの設置する場所を制御する方法や、CNT シートをしわがなく貼り付ける方法の開発に成功した。

#### 4.3 異材料とのインテグレーション技術 ((独)産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター)

##### (1) 研究実施内容及び成果

##### ① 研究実施方法

CNT 複合化のための密度制御技術・形態制御技術、フレキシブル CNT キャパシター作製のため複合化の研究については「畠チーム」にて、CNT のバイオ燃料電池電極への応用のための複合化の研究は、「西澤チーム」と「畠チーム」との領域内共同研究で行った。

##### ② 研究実施内容・成果

CNT の新規な機能発現を目指して、CNT と異材料とのインテグレーションを行うにあたり、まず、複合化のために重要な CNT 構造体の密度制御技術、形態制御技術の開発を行った。スーパーグロース法で合成される CNT は、その超高効率成長から、種々の構造を形成可能であるものの、その CNT の本数密度は低密度である。そのため、構造体中で本数密度を制御できる技術開発を行い、インテグレーションや、種々の用途に適用可能な、CNT 構造体作製技術の開発を行った。その結果、図 9a-d に示すように、構造体中の CNT 本数密度を変化させる事に成功した。この結果から、CNT シートから CNT ウェハーを作製するのに、液滴だけでなく、膜状や泡状、蒸気、スーパーインクジェット技術等も有効であることがわかり (図 9e-g)、これらの固体化技術を駆使し、インテグレーションに最適な CNT ウェハー作製方法を構築することができた。

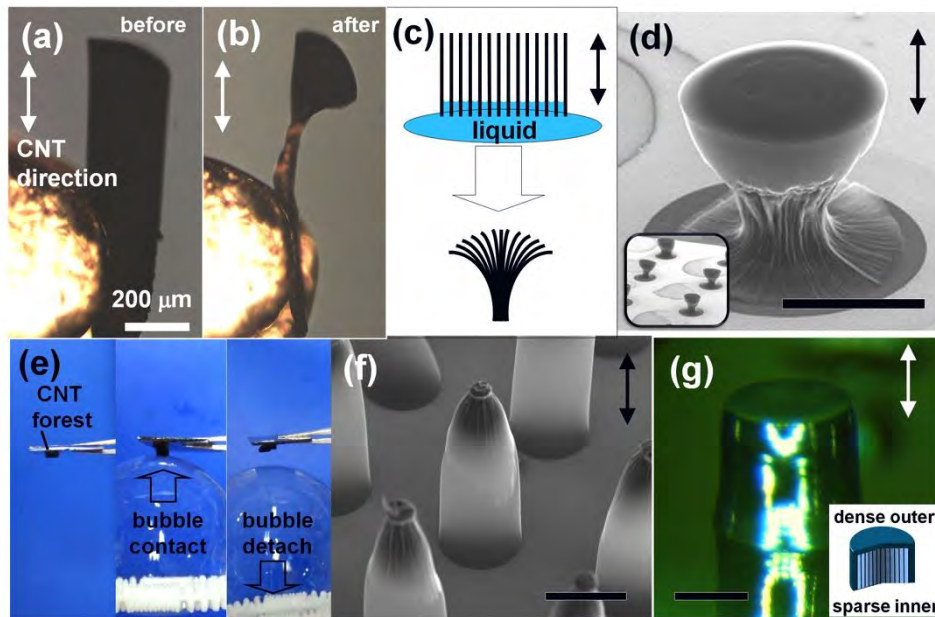


図 9: CNT 構造体での CNT 本数密度制御技術

さらに、フレキシブル CNT キャパシター作製のため、キャパシター電極として、CNT と Carbon Nanohorn を用いた複合化電極の開発及び評価を行った。その結果、キャパシター電極として重要である、電解質イオンがアクセスする、CNT どうしの隙間構造を調節することが可能となった。

これらの結果から、CNT と異材料とのインテグレーション技術に、貼り付け法に基づく CNT 構造体の密度制御が非常に密接に連動していることが明らかになった。したがって、複合化技術開発は作製するデバイスに特化する必要が生じた。

そのため、フレキシブル CNT キャパシターに特化した、CNT とイオン液体との複合化、新たに研究計画に加わったバイオ燃料電池に特化した複合化技術の開発を行った。さらに、貼り付け法に基づき作製した CNT 構造体配線間に、他デバイス素子を組み込む複合化技術を開発した。バイオ燃料電池における複合化においては、配向した CNT シートを合成して、「西澤チーム」に提供し、CNT シート中への酵素の導入・固定化を「西澤チーム」と共同で開発した。

#### ・CNT シートによるフレキシブル酵素電極

合成した CNT シート(チューブ間隔 16 nm)に酵素溶液を染み込ませてから乾燥収縮させる方法で、高密度で酵素が内包された酵素電極の作製を可能とした。直接電子移動が可能なフルクトースデヒドロゲナーゼとラッカーゼを CNTF 内に保持し、これらをアノード・カソードとするバイオ電池において、果糖水溶液から世界最高の出力密度で発電できた(図 10)。さらに、メディエータ分子を CNT 表面に修飾する事にも成功し、グルコースオキシダーゼを高効率で働かせることを可能とした。その結果、約 3 兆個/CNTF の酵素のほぼ総てが  $600 \text{ s}^{-1}$  の最大反応速度で働き、ブドウ糖溶液から  $50 \text{ mA/cm}^2$  を超える圧倒的な高電流密度が得られるに至った。この酵素電極フィルムは自立した柔軟なフィルムであるため、貼ったり巻いたりできる。たとえば、この酵素電極フィルムを LED デバイスの先端に貼付し、ブドウに挿入して自己発電型の糖度計を構成することができた。糖濃度に応じて LED の点滅速度が変化する仕組みである。

酵素を電極触媒とするバイオ発電の研究開発は依然として世界中で活発であり、特にアジア各国からの成果発信が激増している。本研究では、世界で唯一、酵素とナノ材料を一括して扱うマイルドなボトムアップ複合化プロセスを開拓して、究極と言える程の高密度酵素修飾を実現し、結果として世界最高の酵素利用率と出力密度を達成することができた。実用化においては、長期利用が不可能であることを直視した応用展開が必要であるが、具体的な実用化の取り組みで目立った

報告は未だ無い。本研究では、他のソフト技術と組み合わせて作製する「使い捨て型のパーソナル医療ツール」に実現の見通しを得ることができた。

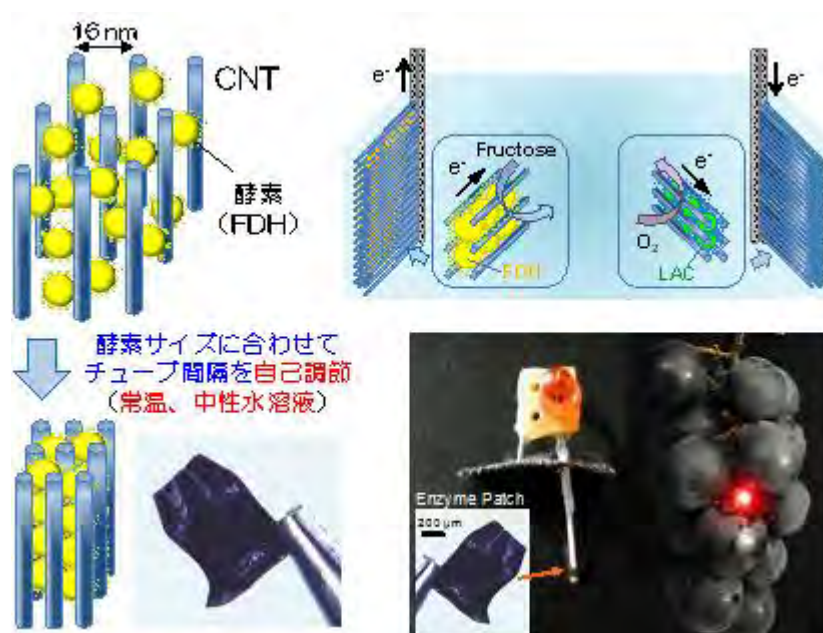


図 10: CNT シートへの酵素内包とバイオ発電への応用

#### 4.4 柔らかいナノデバイスシステム開発((独)産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター)

##### (1)研究実施内容及び成果

##### ① 研究実施方法

当研究項目全ては「畠チーム」にて実施した。

##### ② 研究実施内容・成果

柔らかいナノデバイスシステムの開発に向けて、CNTシートの貼り付け技術、CNTと異材料とのインテグレーション技術を展開、進展させ、今までにない新しいデバイスの各種開発を行った。

##### ・CNT 歪みセンサーの開発

CNT シート貼り付け法を用い、CNT シートを伸縮性のシリコンゴム基板の上に配向方向を制御して貼り付け、CNT 歪みセンサーデバイスを開発した。CNT 歪みセンサーは、既存の歪みセンサーでは5%程度の歪み測定しかできなかつたところ、最大で280%までの歪み測定を可能とした(図 11A)。また、図10Bに示すように、初めの歪みを与えたとき(図 11B 赤線)と、それ以降(図 11B 青線)では歪みに対し、異なる抵抗変化を示した。しかしながら、初めに歪みを与えた以降は、二つの線形領域を持つものの、150%までの歪みで10,000回以上の繰り返し耐久性を有し(図 11C)、急激な100%の歪みに対しても、3%程度の低クリープしか生じず、それも僅か5秒程で減衰した(図 11D)。この歪みセンサーは100%程度の歪みを測定可能な、導電性フィラーと高分子の複合材料(クリープ量:8.8%、減衰:100秒以上)(文献値)と比べても、低クリープでその減衰も早いことがわかった。また、歪みに対する応答性も非常に高速であり、僅かに14ミリ秒程度の遅れで追従することがわかった(図 11E)。これらの結果から、配向CNTウエハーを伸縮基板の伸縮方向と直

交するように配置した歪みセンサーは、既存のセンサーと比べて大きな歪みを測定可能であり、耐久性や、応答性にも優れていることが明らかとなった。

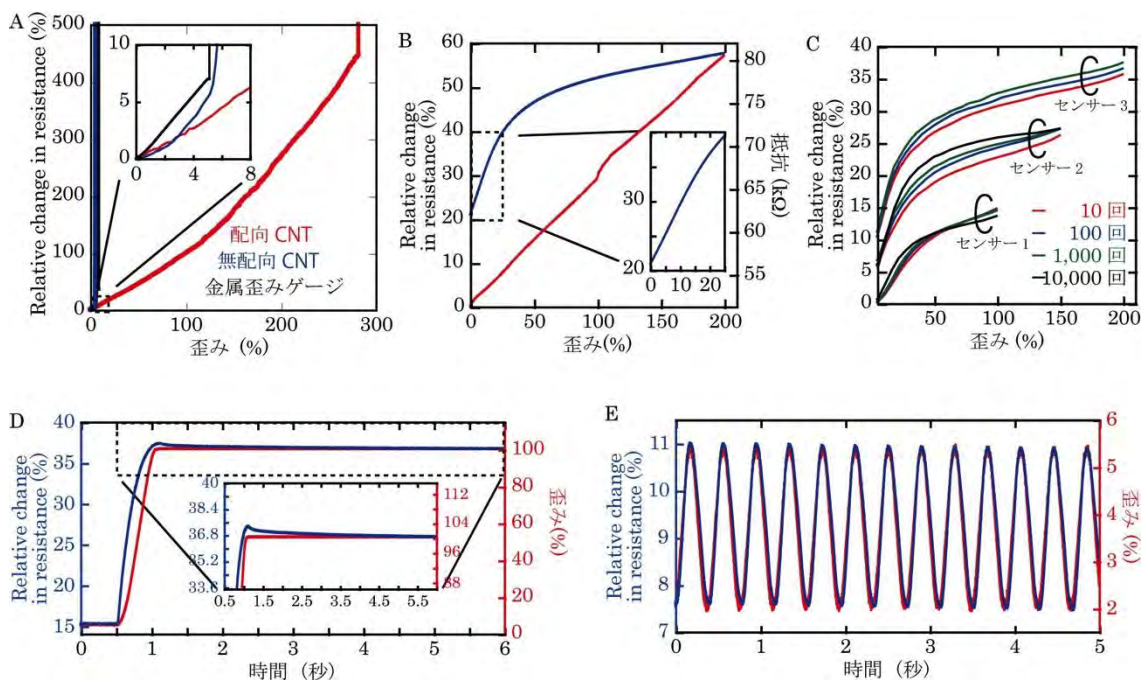


図 11: CNT 歪みセンサーの特性

#### ・CNT 歪みセンサーのメカニズム

上述した様に特異な性質を示す CNT 歪みセンサーのメカニズムを解明するため、CNT ウエハー表面の詳細な観察を行った。その結果、歪み前には、凹凸のない表面だったが(図 12A)、初めて 100%の歪みを与えると、表面に座屈及び歪み方向と直交する方向(CNT の配向方向)に亀裂が入った(図 12B)。その後、歪みを解除すると亀裂が収縮し(図 12C)、再度歪みを加えると、初めに生じた亀裂が再度開くことがわかった(図 12D)。この CNT が変形する亀裂の開閉により(図 12E,F)、伸縮性基板に CNT が追従していることがわかった。さらに、走査型電子顕微鏡により、CNT の亀裂表面を詳細に観察したところ(図 12G)、この亀裂はただ割れているだけでなく、CNT により架橋されていることがわかった(図 12H)。このため、亀裂が生じているにもかかわらず、導電経路を確保できているのもわかった。また、このメカニズムに対し、図 12I に示すような CNT の架橋のモデルを導入し、フィッティングをしたところ、伸縮に対して、抵抗値を良くフィッティング可能(図 12J)であることもわかった。

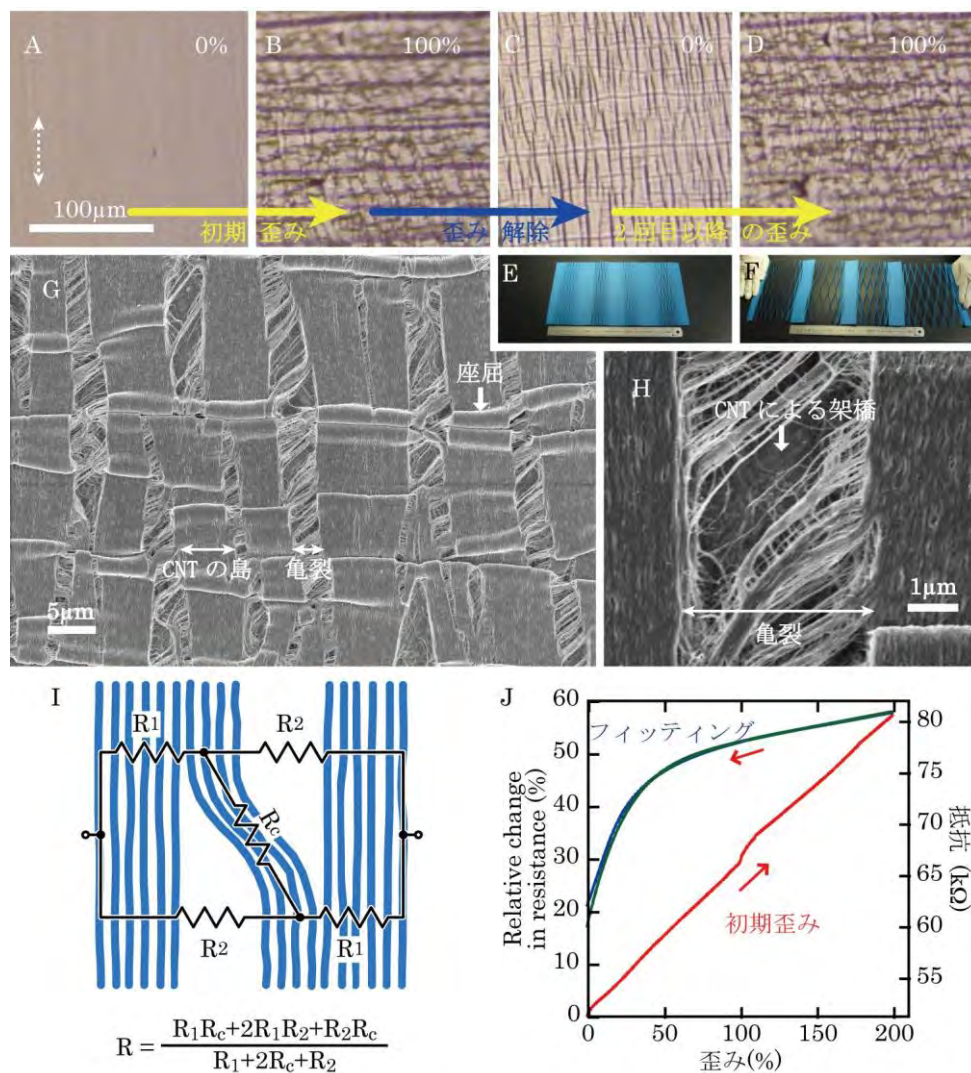


図12: CNT 歪みセンサーの伸縮メカニズムとフィッティング

•CNT 歪みセンサーの人体モニタリングセンサーへの応用

これら歪みセンサーのデバイス応用を見据え、人体モニタリングデバイスの開発を行った。人体モニタリングデバイスとして、呼吸・発声・手の動き・足の動きをモニタリングするデバイスを試作した。図 13 に測定結果を示す。膝の動きをモニタリングするタイツ(図 13a)では、膝を曲げるとひずみが加わって電気抵抗が増加し、伸ばすとひずみが解放され電気抵抗が小さくなるが、足の動きに伴う電気抵抗の変化が検出できている(図 13b)。また、ジャンプをするための膝の素早い屈伸動作と、着地に伴う衝撃を吸収する動作も検出できた。また、手袋の指それぞれに CNT ひずみセンサーを取り付け(図 13c)、指を動かすと各指の形状をすべて判別でき、データグローブとして利用の可能性を確認できた(図 13d)。



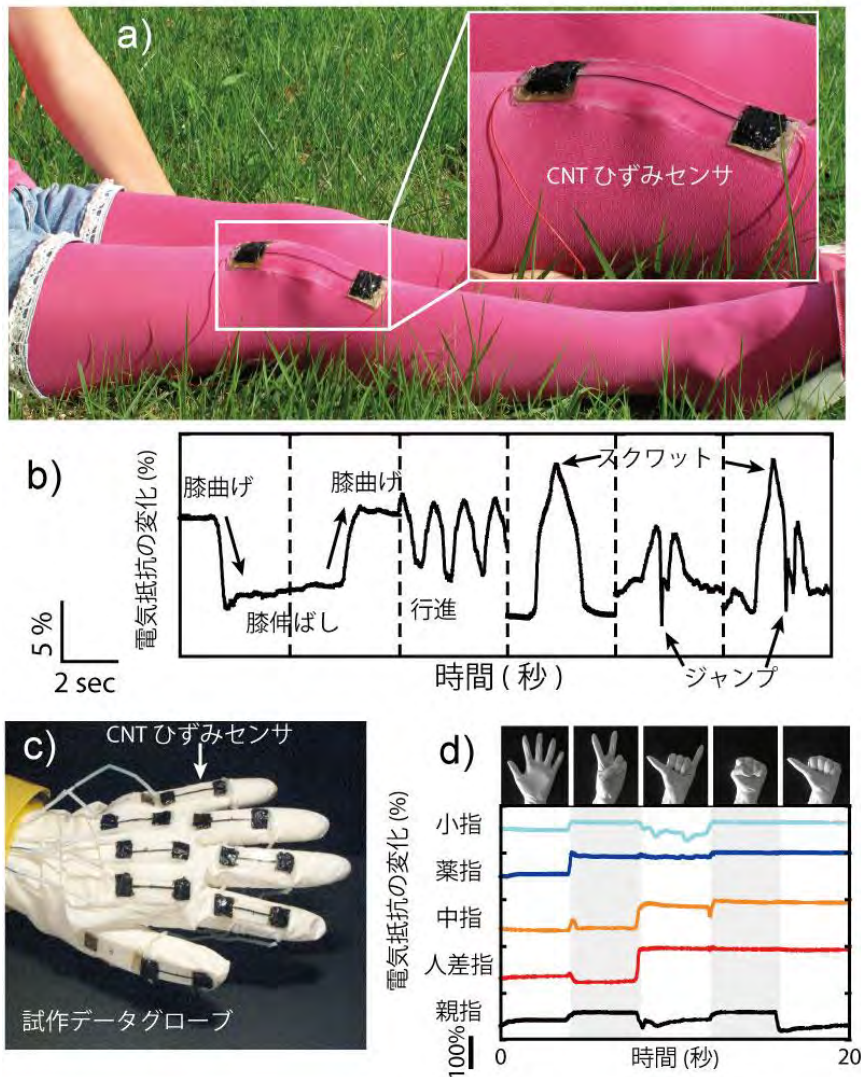


図13: CNT 歪みセンサーを利用した人体モニタリングデバイス

・CNT ツイストセンサーの開発

ねじり(ツイスト)という現象は、線形ひずみに加え、回転ひずみを含んだ変形である。ねじりは人工筋肉、ロボット工学等での動作に見られるが、その変形が複雑であるため、簡易なセンシングが困難であった。これまでブラッグ反射を用いた光ファイバー素子と長周期ファイバークレーティングの複合システムによるセンサーで、ねじりの検出が行われてきた。CNT シート貼り付け技術に基づいて、CNT シートを伸縮性のある PDMS ロッドに巻き付け(右巻き)密着させ、CNT センシング構造体の作製に成功した(図 14(ア-ウ))。開発した CNT ツイストセンサーを用いると、従来の光ファイバーによるセンサーに対し、4 倍(400rad/m)のねじりを検出でき、大変形の検出が可能であった。加えて、従来センサーより小型で簡易に作製でき、表面実装が可能な上に、ねじり変形を受ける構成部品に直接埋設することができる。この CNT ツイストセンサーは、人体やロボットの動作をモニターでき、ストレッチャブルデバイス、ヘルスケア、バーチャルリアリティ等の広い分野で応用が期待される。

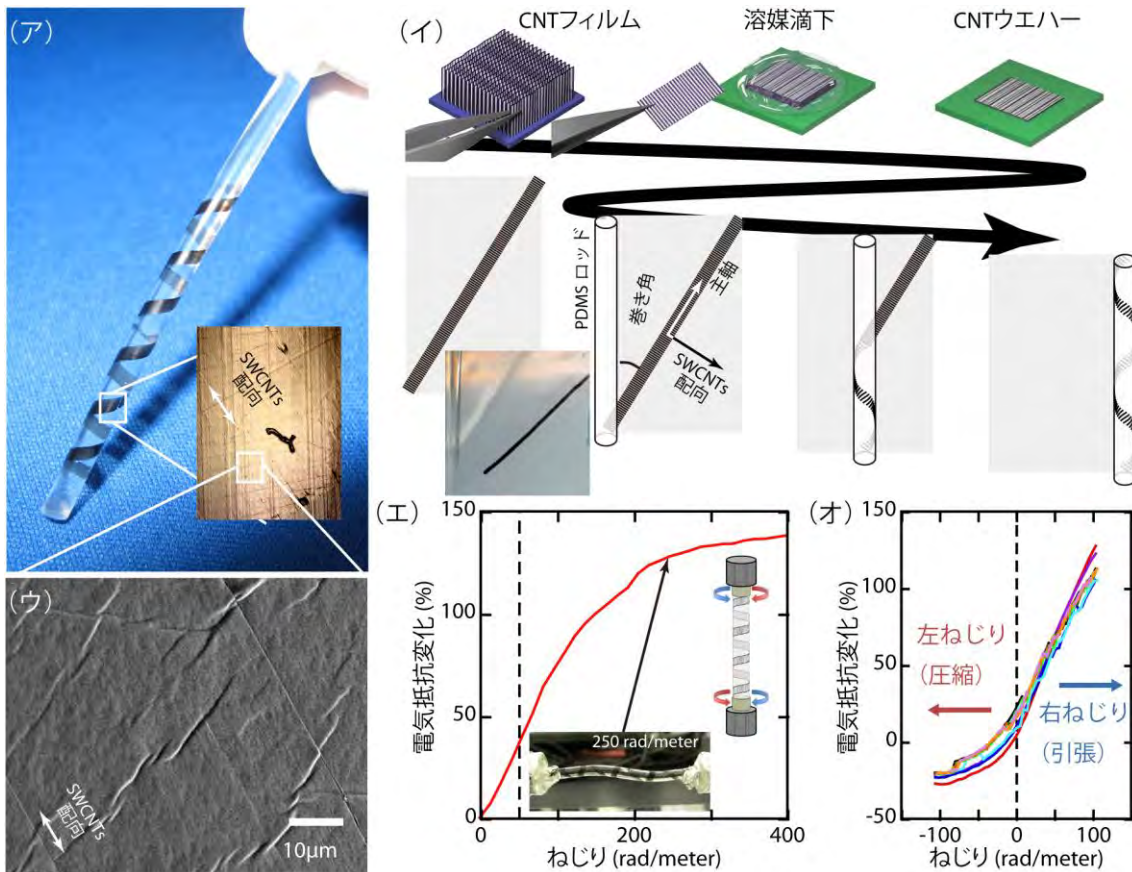


図 14 伸縮性 PDMS ロッド上への CNT シート作製法(ア-ウ)と CNT ツイストセンサー特性(エ、オ)

CNT ツイストセンサー作製にあたり、まず PDMS ロッドへの CNT シートの巻き角について検討した。0°では規則性のある抵抗値変化が観察できず、センシングに適さなかった。30°、45°、60°の巻き角で試料を作製したところ、センサーの破壊につながるせん断力を小さくし、検出感度が高くなる 45°が好適であることが分かった。

次に、45°の巻き角で CNT シートを PDMS ロッドに貼り付け、ねじりに伴う電気抵抗値の変化を調べた。ねじりの増大に伴い電気抵抗値が上昇し、センシングが可能であることが分かった。50rad/m までは線形に抵抗値が増大し、その後 400rad/m までゆるやかな増加が見られた(図 14(エ))。ねじりが逆方向(左)にかけられた場合は、抵抗値が減少し、左右のねじりを判別することができた(図 14(オ))。ただし、順方向(右)に比べ、逆方向(左)では抵抗値が線形に変化せず、感度が低いことが分かった。ねじり角が 100rad/m を超えると、PDMS ロッド上の CNT シートに座屈、剥離が生じた(図 15(ア-カ))。また、逆方向にねじった場合、座屈、剥離がより生じやすく、非線形な抵抗値の変化につながることを理解できた。従来のセンサーでは左右のねじりを判別できなかったが、この CNT ツイストセンサーで判別に成功した。

耐久性について検討したところ、±100rad/m での 1000 サイクルねじり試験で電気抵抗値に基づく検出性能は保持され、良好な耐久性をもつことが分かった(図 14(オ))。950rad/m までねじり試験を行ったところ、CNT シートは決裂せず、高度なねじりを検出できたが、CNT シート内に不均一な座屈が生じた。PDMS ロッド上の CNT シートがせん断力による不均一な負荷を受けたため、この座屈が生じたと示唆された。したがって、ねじりを検出できる測定範囲は、基材のロッドの伸縮性に依存すると考えられ、基材検討により、検出できるねじり角の向上が期待できる。

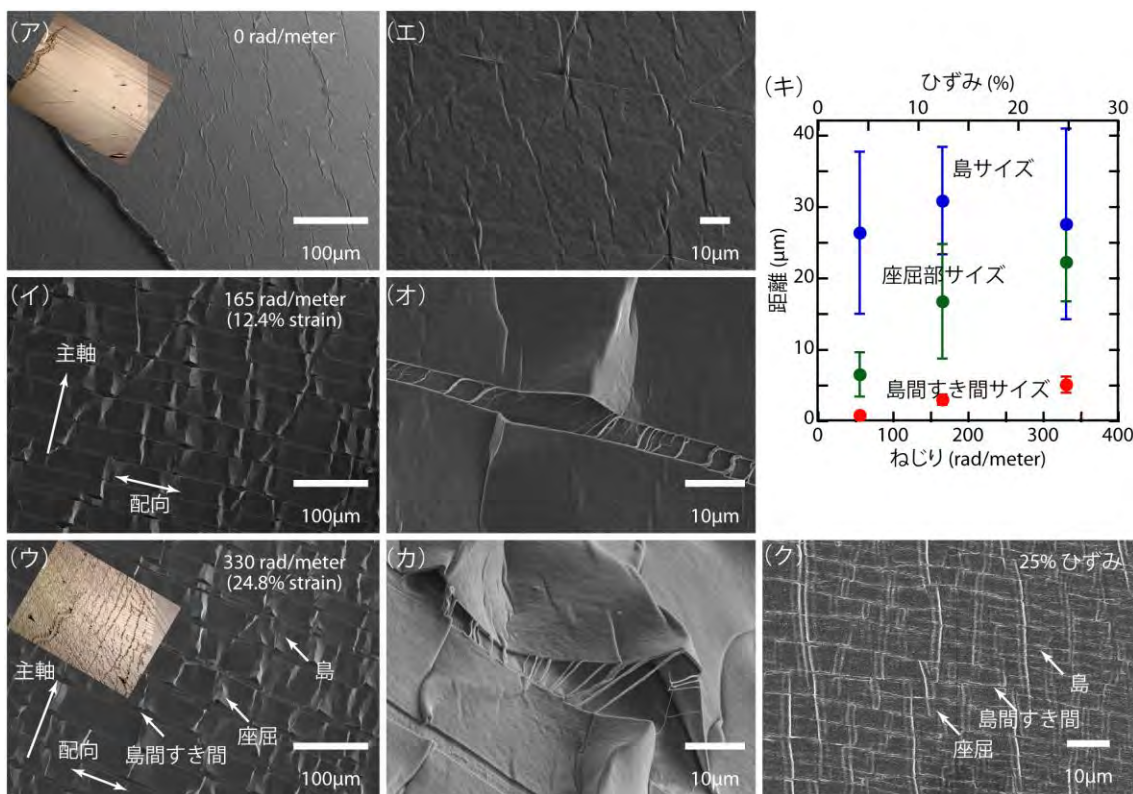


図 15 伸縮性 PDMS ロッド上の CNT シート: ねじりによる構造変化  
 (ア-ウ) 0, 165, 330rad/m での低倍率 SEM 画像、(エ-カ)各高倍率画像、  
 (キ)島、座屈部、島間すき間サイズの変化、(ク)25%引張変形を受けた CNT シート

ねじりを検出するメカニズムを検討するため、PDMS ロッド上の CNT シートの構造変化をねじり前後で観察した(図 15(ア-カ))。ねじりにより CNT シートに島構造が発生し、島間には裂きチーズのように CNT バンドルが橋渡しされた構造が観察された。ねじり角が大きくなるにつれ、島間すき間サイズ、座屈部サイズの増大が確認された(図 15(キ))。ねじりの増大とともに、ねじり軸方向に対して平行方向へのせん断力が増加するため、ねじり角が大きくなると広範囲に座屈が生じた(図 15(ウ、カ))。これら島構造の発生により、抵抗値の増加が生じ、ねじりの検出が可能であることが分かった。島間を橋渡しする CNT バンドルは、配向 CNT シートから生じる固有の構造である。ねじりの大変形に対する良好な耐久性は、この架橋構造によってもたらされると示唆された。また、島構造は PDMS ロッドからの剥離を防ぐアンカーの役割を担ったと考えられる。

また、ねじり以外の変形時の CNT シート構造変化を調べた。線形の引張変形のみを受けた CNT シートに対して(図 15(ク))、ねじりの変形を経た CNT シートには異なる構造変化が確認された。両変形で同様な島構造の発生が生じたが、ねじりにおいては CNT シート内に座屈が顕著に観察された。したがって、ねじりでは CNT シート全体に変形が及ぶが、例えば曲げでは CNT シートの一部に変形が生じ抵抗変化が小さいため、各変形を判別可能である。

#### ・CNT 配線を利用した CNT-RRAM デバイスの開発

開発した CNT 構造体が従来の電子デバイス製造工程に組み込めることを実証するため、立体交差を有する CNT 構造体配線を用いて、抵抗変化型メモリ RRAM デバイスの開発を行った。立体交差した CNT 構造体配線の間、Ni/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ni を積載し、抵抗変化型メモリ RRAM 素子を作製し、素子としての作動に成功した(図 16)。この CNT-RRAM デバイスの作製プロセスでは、従来品製造で行われる、配線の表面研磨および平滑化、電極絶縁用バッファ層作製の工程が必要

でなく、製造工程を簡略化できる。

開発した RRAM は印加電圧 4.6V で導電パスが形成され、電気抵抗値が 25MΩ から 350kΩ に大きく減少した。再び電圧を印加すると導電パスは ~2.0V でリセットされ、電気抵抗値は 9MΩ に増加した。その後、電圧印加により 3.0V でセットされ、電気抵抗値は 380kΩ に減少した(図 15e)。2μm 幅の CNT 配線をもつ RRAM のオンオフスイッチングに必要な電流はわずか 15μA で、100nm 幅の Pt 配線をもつ類似の RRAM で必要な 50μA よりかなり低く、低電流で作動できた。開発した CNT 立体交差構造体は RRAM のみならず、様々なナノ電子デバイスへの活用が期待される。

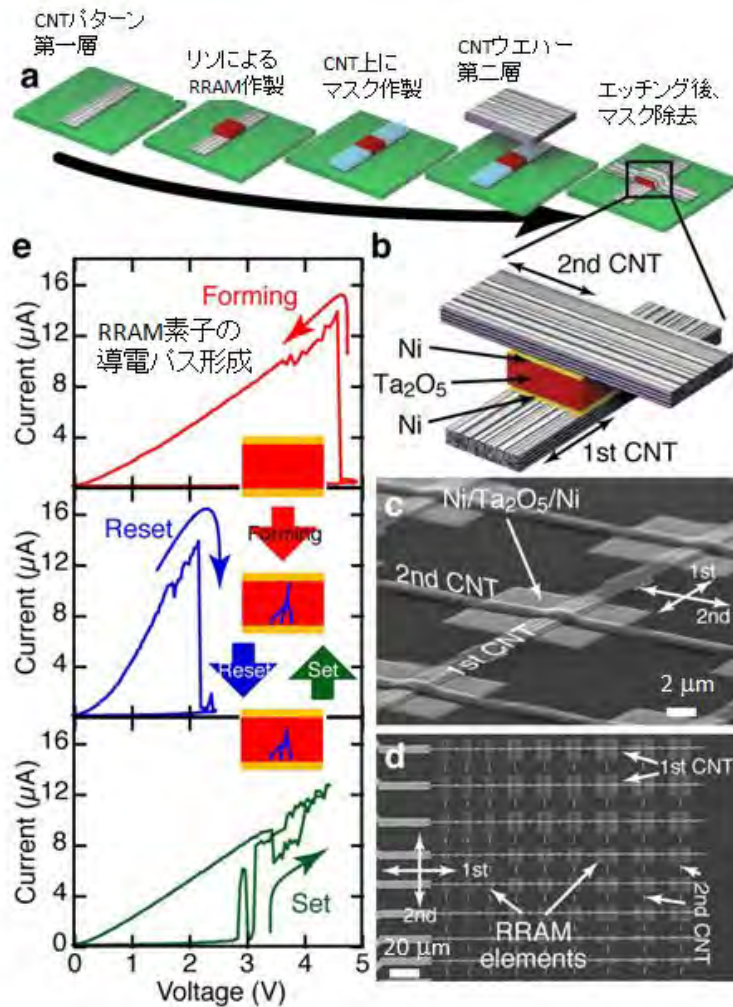


図 16 立体交差を有する CNT 構造体を活用した抵抗変化型メモリ RRAM デバイス

・フレキシブル CNT キャパシター作製のための CNT キャパシター電極特性

フレキシブルマイクロキャパシター作製のため、キャパシター電極材料として CNT を利用した場合の電極特性の評価を行った。作製した CNT キャパシターは、従来の活性炭電極では達成できなかった 4V までの動作電圧に耐えられることがわかり(図 17a)、さらに CNT の配向性、直線性から、良好なイオン拡散性が得られ、高パワー密度、高エネルギー密度につながるということがわかった(図 17b)。

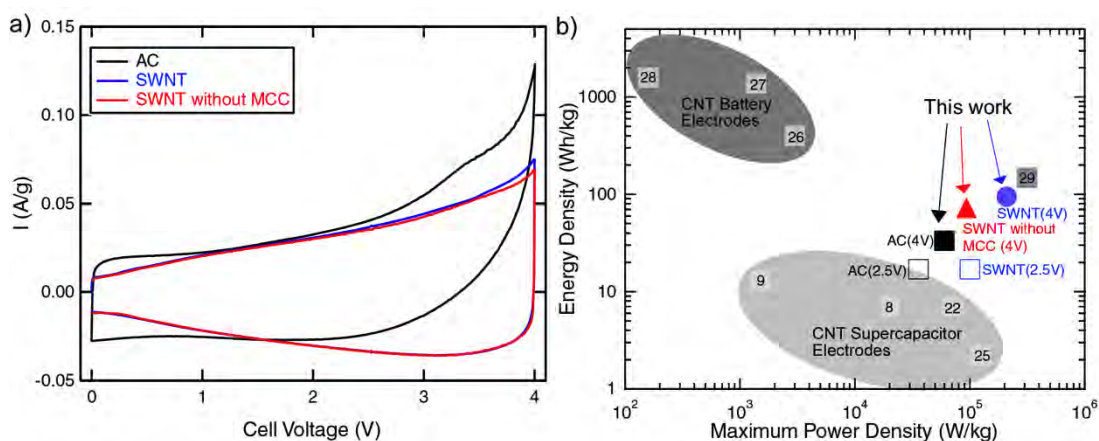


図 17: CNT 電極を用いたキャパシター性能

## §5 成果発表等

1. SWNT probed by multi-frequency EPR and nonresonant microwave absorption, B. Corzilius, K. -P. Dinse, K. Hata, M. Haluška, V. Skákalová, and S. Roth, Phys. Stat. Sol. (b) 245, No. 10, 2251-2254 (2008)
2. Diagnostics and Growth Control of Single-Walled Carbon Nanotube Forests Using a Telecentric Optical System For in-situ Height Monitoring, Satoshi Yasuda, Don. N. Futaba, Motoo Yumura, Sumio Iijima and Kenji Hata, Appl. Phys. Lett. 93, 143115 (2008)
3. Excitons and exciton-phonon coupling in metallic single-walled carbon nanotubes: Resonance Raman spectroscopy, Stephen K. Doorn, Paulo T. Araujo, Kenji Hata, and Ado Jorio, Phys. Rev. B 78, 165408 (2008)
4. スーパーグロース法による単層・二層 CNT 合成, 山田健郎, 畠賢治, 触媒, 第 51 巻 1 号, 2-7 (2009)
5. Exploring Advantages of Diverse Carbon Nanotube Forests with Tailored Structures Synthesized by Super-Growth from Engineered Catalysts, Bin Zhao, Don N. Futaba, Satoshi Yasuda, Megumi Akoshima, Takeo Yamada, Kenji Hata, ACS Nano, 3 (1), 108-114 (2009)
6. A Black Body Absorber from Vertically Aligned Single Walled Carbon Nanotubes, Kohei Mizuno, Juntaro Ishii, Hideo Kishida, Yuhei Hayamizu, Satoshi Yasuda, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, Proceedings of the National Academy of Sciences, 106 (15), 6044-6047 (2009)
7. Defects generation in single-walled carbon nanotubes induced by soft X-ray illumination, Yutaka Mera, Yoshihisa Harada, Satoshi Arima, Kenji Hata, Shik Shin and Koji Maeda, Chemical Physics Letters, 473 (1-3), 138-141 (2009)
8. Mechanical Properties of Beams from Self-Assembled Closely Packed and Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes, Yuhei Hayamizu, Robert C. Davis, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Satoshi Yasuda, Motoo Yumura, and Kenji Hata, Physical Review Letters, 102, 175505 (2009)
9. Thermal Diffusivity of Single-Walled Carbon Nanotube Forest Measured by Laser Flash Method, Megumi Akoshima, Kenji Hata, Don N. Futaba, Kohei Mizuno, Tetsuya Baba, and Motoo Yumura, Japanese Journal of Applied Physics, 48 (5), 05EC07 (2009)

10. Dual Porosity Single-Walled Carbon Nanotube Material, Don N. Futaba, Koji Miyake, Kazuhiro Murata, Yuhei Hayamizu, Takeo Yamada, Shinya Sasaki, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Nano Letters*, 9 (9), 3302-3307 (2009) (Selected to be highlighted in RESEARCH/RESEARCHERS, MRS BULLETIN, VOLUME 34, NOVEMBER 2009)
11. レーザフラッシュ法によるカーボンナノチューブの熱拡散率測定, 阿子島 めぐみ, 畠賢治, Futaba Don, 水野 耕平, 斎藤 毅, 馬場 哲也, *Thermophysical Properties* 30
12. Comparative NEXAFS Examination of Single-wall Carbon Nanotubes Produced by Different Methods, L. G. Bulusheva, A. V. Okotrub, Yu. V. Lavskaya, D. V. Vyalikh, U. Dettlaff-Weglikowska, A. Fonseca, and K. Hata, *Phys. Status Solidi B* 246, No. 11-12, 2637-2640 (2009)
13. Intrinsic Magnetoresistance of Single-Walled Carbon Nanotubes Probed by a Noncontact Method, Yugo Oshima, Taishi Takenobu, Kazuhiro Yanagi, Yasumitsu Miyata, Hiromichi Kataura, Kenji Hata, Yoshihiro Iwasa, and Hiroyuki Nojiri, *Physical Review Letters*, 104, 016803 (2010)
14. Calibrating the Single-Wall Carbon Nanotube Resonance Raman Intensity by High Resolution Transmission Electron Microscopy for a Spectroscopy-Based Diameter Distribution Determination, Pedro B. C. Pesce, Paulo T. Araujo, Pavel N. Nikolaev, Stephen K. Doorn, Kenji Hata, Riichiro Saito, Mildred S. Dresselhaus, Ado Jorio, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 051910 (2010)
15. Integration of SWNT film into MEMS for a micro-thermoelectric device, Van Thanh Dau, Dzung Viet Dao, Takeo Yamada, Bui Thanh Tung, Kenji Hata and Susumu Sugiyama, *Smart Materials and Structures*, 19, 075003 (2010)
16. Benchmarking bucky gel actuators: Chemically modified commercial carbon nanotubes versus super-growth carbon nanotubes, Maurizio Biso, Alberto Ansaldo, Don N. Futaba, Kenji Hata, and Davide Ricci, *Phys. Status Solidi B* 247, No. 11-12, 3055-3058 (2010)
17. Integrated CNTs thin film for MEMS mechanical sensors, Van Thanh Dau, Takeo Yamada, Dzung Viet Dao, Bui Thanh Tung, Kenji Hata and Susumu Sugiyama, *Microelectronics Journal*, 41, 860-864 (2010)
18. Selective D-2 adsorption enhanced by the quantum sieving effect on entangled single-wall carbon nanotubes, Daisuke Noguchi, Hideki Tanaka, Toshihiko Fujimori, Hirotoshi Kagita, Yoshiyuki Hattori, Hiroaki Honda, Koki Urita, Shigenori Utsumi, Zheng-Ming Wang, Tomonori Ohba, Hirofumi Kanoh, Kenji Hata, Katsumi Kaneko, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 22 (33, Sp. Iss.), 334207 (2010)
19. Efficient dispersing and shortening of super-growth carbon nanotubes by ultrasonic treatment with ceramic balls and surfactants, Hui Xu, Hiroya Abe, Makio Naito, Yoshinobu Fukumori, Hideki Ichikawa, Shigehisa Endoh, Kenji Hata, *Advanced Powder Technology*, 21 (5), 551-555 (2010)
20. Extracting the Full Potential of Single-Walled Carbon Nanotubes as Durable Supercapacitor Electrodes Operable at 4V with High Power and Energy Density, Ali Izadi-Najafabadi, Satoshi Yasuda, Kazufumi Kobashi, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Hiroaki Hatori, Motoo Yumura, Sumio Iijima and Kenji Hata, *Advanced Materials*, 22 (35), E235-E241 (2010)
21. Impact of cell-voltage on energy and power performance of supercapacitors with single-walled carbon nanotube electrodes, Ali Izadi-Najafabadi, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Hiroaki Hatori, Sumio Iijima, Kenji Hata, *Electrochemistry Communications*, 12, 1678-1681 (2010)
22. Carbon Nanotubes with Temperature Invariant Viscoelasticity from -196°C to 1000°C, Ming Xu, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Motoo Yumura and Kenji Hata, *Science*, 330 (6009), 1364-1368 (2010)
23. Ion Diffusion and Electrochemical Capacitance in Aligned and Packed

- Single-Walled Carbon Nanotubes, Ali Izadi-Najafabadi, Don N. Futaba, Sumio Iijima and Kenji Hata, *Journal of the American Chemical Society*, 132 (51), 18017-18019 (2010)
24. Outer-Specific Surface Area as a Gauge for Absolute Purity of Single-Walled Carbon Nanotube Forests, Don N. Futaba, Jundai Goto, Takeo Yamada, Satoshi Yasuda, Motoo Yumura, Kenji Hata, *Carbon*, 48, 4542-4546 (2010)
  25. Towards highly sensitive strain sensing based on nanostructured materials , Dzung Viet Dao, Tung Thanh Bui, Koichi Nakamura, Van Thanh Dau, Takeo Yamada, Kenji Hata, Susumu Sugiyama, *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 1, 045012(2010)
  26. Arid5a cooperates with Sox9 to stimulate chondrocyte-specific transcription, Amano Katsuhiko, Hata Kenji, Muramatsu Shuji, *Molecular Biology of the Cell*, 22(8), 1300-1311 (2011)
  27. High Power Supercapacitor Electrodes from Single-Walled Carbon Nanohorn/Nanotube Composite, Ali Izadi-Najafabadi, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Masako Yudasaka, H. Takagi, Hiroaki Hatori, Sumio Iijima, Kenji Hata, *ACS Nano*, 5, 811-819 (2011)
  28. Macroscopic Wall Number Analysis of Single-Walled, Double-Walled, and Few-Walled Carbon Nanotubes by X-ray Diffraction, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Kazufumi Kobashi, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Journal of the American Chemical Society*, 133, 5716-5719 (2011)
  29. Self-Regulating Enzyme-Nanotube Ensemble Films and Their Application as Flexible Electrodes for Biofuel Cells, Takeo Miyake, Syuhei Yoshino, Takeo Yamada, Kenji Hata, Matsuhiko Nishizawa, *Journal of the American Chemical Society*, 133, 5129-5134 (2011)
  30. A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection, Takeo Yamada, Yuhei Hayamizu, Yuki Yamamoto, Yoshiki Yomogida, Ali Izadi-Najafabadi, Don N. Futaba and Kenji Hata, *Nature Nanotechnology*, 6 (5), 296-301 (2011)
  31. Cross-linking super-growth carbon nanotubes to boost the performance of bucky gel actuators, Maurizio Bisio, Alberto Ansaldo, Don N. Futaba, Kenji Hata and Davide Ricci, *Carbon*, 49, 2253-2257 (2011)
  32. Effect of Nanoscale Curvature Sign and Bundle Structure on Supercritical H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Adsorptivity of Single Wall Carbon Nanotube, M. Yamamoto, T. Itoh, H. Sakamoto, T. Fujimori, K. Urita, Y. Hattori, T. Ohba, H. Kagita, H. Kanoh, S. Niimura, K. Hata, K. Takeuchi, M. Endo, F. Rodríguez-Reinoso, K. Kaneko, *Adsorption*, 17, 643-651 (2011)
  33. Direct electron transfer to hydrogenase for catalytic hydrogen production using a single-walled carbon nanotube forest, Takanori Kihara, Xue-Ying Liu, Chikashi Nakamura, Kang-Min Park, Sung-Woong Han, Dong-Jin Qian, Kazunori Kawasaki, Nikolay A. Zorin, Satoshi Yasuda, Kenji Hata, Tatsuki Wakayama, Jun Miyake, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (13), 7523-7529 (2011)
  34. Mechanics and actuation properties of bucky gel-based electroactive polymers, Luca Ceseracciu, Maurizio Bisio, Alberto Ansaldo, Don N. Futaba, Kenji Hata, Alberto C. Barone, Davide Ricci, *Sensors and Actuators B*, 156 (2), 949-953 (2011)
  35. Tailoring Temperature Invariant Viscoelasticity of Carbon Nanotube Material, Ming Xu, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, *Nano Letters*, 11 (8), 3279-3284 (2011)
  36. Carbon Nanotubes with Temperature-Invariant Creep and Creep-Recovery from -190 °C to 970 °C, Ming Xu, Don N. Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Advanced Materials*, 23 (32), 3686-3691 (2011)
  37. High-Speed Carbon Nanotubes Actuator Based on Oxidation-Reduction Reaction, Ken Mukai, Kinji Asaka, Kenji Hata, Toribio Fernández Otero, and Hideaki Oike,

- Chemistry - A European Journal, 17 (39), 10965-10971 (2011)
38. Gas Dwell Time Control for Rapid and Long Lifetime Growth of SWNT Forests, Satoshi Yasuda, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Motoo Yumura and Kenji Hata , Nano Letters, 11 (9), 3617-3623 (2011)
  39. Growth control of single-walled, double-walled, and triple-walled carbon nanotube forests by a priori electrical resistance measurement of catalyst films, Wei-Hung Chiang, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, Carbon, 49 (13), 4368-4375 (2011)
  40. Epoxy Composite Sheets with a Large Interfacial Area from a High Surface Area-Supplying Single-Walled Carbon Nanotube Scaffold Filler, Kazufumi Kobashi, Hidekazu Nishino, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, Carbon, 49 (15), 5090-5098 (2011)
  41. Capacitive and faradic charge components in high-speed carbon nanotube actuator, Pablo Gimenez, Ken Mukai, Kinji Asaka, Kenji Hata, Hideaki Oike, and T.F. Otero, Electrochimica Acta, 60, 177-183 (2012)
  42. Role of Subsurface Diffusion and Ostwald Ripening in Catalyst Formation for SWNT Forest Growth, Shunsuke Sakurai, Hidekazu Nishino, Don N. Futaba, Satoshi Yasuda, Takeo Yamada, Alan Maigne, Yutaka Matsuo, Eiichi Nakamura, Motoo Yumura and Kenji Hata, Journal of the American Chemical Society, 134 (4), 2148-2153 (2012)
  43. Regulation of bone and cartilage development by network between BMP signalling and transcription factors, Riko Nishimura, Kenji Hata, Takuma Matsubara, Makoto Wakabayashi and Toshiyuki Yoneda, The Journal of Biochemistry, 151(3), 247-254(2012)
  44. Mechanically Durable and Highly Conductive Elastomeric Composites from Long Single-walled Carbon Nanotubes Mimicking the Chain structure of Polymers, Seisuke Ata, Motoo Yumura, Kazufumi Kobashi and Kenji Hata, Nano Letters, 12 (6), 2710-2716 (2012)
  45. Mutual Exclusivity in the Synthesis of High Crystallinity and High Yield Single-Walled Carbon Nanotubes, Hiroe Kimura, Don Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, Journal of the American Chemical Society, 134 (22), 9219-9224 (2012)
  46. Carbon Nanotube Loop Arrays for Low-Power, High Uniformity Field Emission with Lifetime over 10,000, Don N. Futaba, Hiroe Kimura, Bin Zhao, Takeo Yamada, Hiroyuki Kurachi, Sashiro Uemura, and Kenji Hata, Carbon, 50 (8), 2796-2803 (2012)
  47. Alignment Control of Carbon Nanotube Forest from Random to Nearly Perfectly Aligned by Utilizing the Crowding Effect, Ming Xu, Don Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, ACS Nano, 6 (7), 5837-5844 (2012)
  48. Hierarchical Three-dimensional Layer-by-Layer Assembly of Carbon Nanotube Wafers for Integrated Nanoelectronic Devices, Takeo Yamada, Natsumi Makimoto, Atsuko Sekiguchi, Yuki Yamamoto, Kazufumi Kobashi, Yuhei Hayamizu, Yoshiki Yomogida, Hiroyuki Tanaka, Hisashi Shima, Hiroyuki Akinaga, Don Futaba and Kenji Hata, Nano Letters, 12 (9), 4540-4545 (2012)
  49. Quantum Molecular Sieving Effects of H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> on Bundled and Nonbundled Single-Walled Carbon Nanotubes, Hirotohi Kagita, Tomonori Ohba, Toshihiko Fujimori, Hideki Tanaka, Kenji Hata, Sei-ichi Taira, Hirofumi Kanoh, Daiki Minami, Yoshiyuki Hattori, Tsutomu Itoh, Hyuma Masu, Morinobu Endo, and Katsumi Kaneko, Journal of Physical Chemistry C, 116 (39), 20918-20922 (2012)
  50. Significant Hydration Shell Formation Instead of Hydrogen Bonds in Nanoconfined Aqueous Electrolyte Solutions, Tomonori Ohba, Kenji Hata, and Hirofumi Kanoh, Journal of the American Chemical Society, 134 (43), 17850-17853 (2012)
  51. Fast-moving bimorph actuator based on electrochemically treated millimeter-long carbon nanotube electrodes and ionic-liquid gel , Kentaro Yamato, Ken Mukai, Kenji



- Hata, Kenji Asaka, *International Journal of Smart and Nano Materials*, 3(4), 263-274 (2012)
52. Dynamic Quantum Molecular Sieving Separation of D<sub>2</sub> from H<sub>2</sub>-D<sub>2</sub> Mixture with Nanoporous Materials, Subaru Niimura, Toshihiko Fujimori, Yoshiyuki Hattori, Lloyd Abrams, Dave Corbin, Kenji Hata, and Katsumi Kaneko, *Journal of the American Chemical Society*, 134(45), 18483-18486 (2012)
  53. Molecularly Ordered Bioelectrocatalytic Composite inside a Film of Aligned Carbon Nanotubes, Syuhei Yoshino, Takeo Miyake, Takeo Yamada, Kenji Hata, and Matsuhiko Nishizawa, *Advanced Energy Materials*, 3(1), 60-64 (2013)
  54. A dispersion strategy: dendritic carbon nanotube network dispersion for advanced composites, Kazufumi Kobashi, Seisuke Ata, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Chemical Science*, 4(2), 727-733 (2013)
  55. Direct wall number control of carbon nanotube forests from engineered iron catalysts, Wei-Hung Chiang, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(4), 2745-2754 (2013)
  56. Torsion-Sensing Material from Aligned Carbon Nanotubes Wound onto a Rod Demonstrating Wide Dynamic Range, Takeo Yamada, Yuki Yamamoto, Yuhei Hayamizu, Atsuko Sekiguchi, Hiroyuki Tanaka, Kazufumi Kobashi, Don N. Futaba, and Kenji Hata, *ACS NANO*, 7(4), 3177-3182 (2013)
  57. Unexpectedly High Yield Carbon Nanotube Synthesis from Low-Activity Carbon Feedstocks at High Concentrations, Hiroe Kimura, Jundai Goto, Satoshi Yasuda, Shunsuke Sakurai, Motoo Yumura, Don N. Futaba, and Kenji Hata, *ACS NANO*, 7(4), 3150-3157 (2013)
  58. A Fundamental Limitation of Small Diameter Single-Walled Carbon Nanotube Synthesis - A Scaling Rule of the Carbon Nanotube Yield with Catalyst Volume, Shunsuke Sakurai, Masayasu Inaguma, Don N. Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Materials*, 6(7), 2633-2641 (2013)
  59. Field emission from laterally aligned carbon nanotube flower arrays for low turn-on field emission, Hiroe Kimura, Bin Zhao, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Hiroyuki Kurachi, Sashiro Uemura, and Kenji Hata, *APL MATERIALS*, 1(3), 32101 (2013)
  60. One hundred fold increase in current carrying capacity in a carbon nanotube-copper composite, Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Kazufumi Kobashi, Atsuko Sekiguchi, Don N. Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Nature Communications*, 4, 2202 (2013)
  61. A micromirror with CNTs hinge fabricated by the integration of CNTs film into a MEMS actuator, Van Thanh Dau; Bui Thanh Tung; Thien Xuan Dinh; Dzung Viet Dao; Yamada, Takeo; Hata, Kenji; Sugiyama, Susumu, *JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING*, 23( 7), 075024(6pp) (2013)
  62. Diameter and Density Control of Single-wall Carbon Nanotube Forests by Modulating Ostwald Ripening through Decoupling the Catalyst Formation and Growth Processes, Shunsuke Sakurai, Masayasu Inaguma, Don N. Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *Small*, 9(21), 3584 (2014)
  63. Interplay of wall number and diameter on the electrical conductivity of carbon nanotube thin films, Guohai Chen, Don N. Futaba, Shunsuke Sakurai, Motoo Yumura, Kenji Hata, *Carbon*, 67, 318-325 (2014)
  64. Absence of an Ideal Single-Walled Carbon Nanotube Forest Structure for Thermal and Electrical Conductivities, Guohai Chen, Don N. Futaba, Hiroe Kimura, Shunsuke Sakurai, Motoo Yumura, and Kenji Hata, *ACS Nano*, 7 (11), 10218-10224 (2013)
  65. The Infinite Possible Growth Ambients that Support Single-Wall Carbon Nanotube Forest Growth, Hiroe Kimura, Jundai Goto, Satoshi Yasuda, Shunsuke Sakurai, Motoo Yumura, Don N. Futaba, and Kenji Hata, *Scientific Reports*, 3, 3334 (2013)
  66. Green, Scalable, Binderless Fabrication of a Single-Wall Carbon Nanotube

- Nonwoven Fabric Based on an Ancient Japanese Paper Process, Kazufumi Kobashi, Tatsuya Hirabayashi, Seisuke Ata, Takeo Yamada, Don Futaba, and Kenji Hata, ACS Applied Materials & Interfaces, 5 (23), 12602-12608 (2013)
67. Systematic Conversion of Single Walled Carbon Nanotubes into n-type Thermoelectric Materials by Molecular Dopants, Yoshiyuki Nonoguchi, Kenji Ohashi, Rui Kanazawa, Koji Ashiba, Kenji Hata, Tetsuya Nakagawa, Chihaya Adachi, Tomoaki Tanase, and Tsuyoshi Kawai, Scientific Reports, 3, 3344 (2013)
  68. Influence of lengths of mm-scale single-walled carbon nanotube on electrical and mechanical properties of buckypaper, Shunsuke Sakurai, Fuminori Kamada, Don N Futaba, Motoo Yumura, and Kenji Hata, Nanoscale Research Letters, 8, 546 (2013)
  69. Controlling exfoliation in order to minimize damage during dispersion of long SWCNTs for advanced composites, Howon Yoon, Motoi Yamashita, Seisuke Ata, Don N. Futaba, Takeo Yamada, and Kenji Hata, Scientific Reports, 4, 3907 (2014)
  70. Carbon nanotube-copper exhibiting metal-like thermal conductivity and silicon-like thermal expansion for efficient cooling of electronics, Subramaniam Chandramouli, Yuzuri Yasuda, Satoshi Takeya, Seisuke Ata, Ayumi Nishizawa, Don N. Futaba, Takeo Yamada, and Kenji Hata, Nanoscale, 6, 2669-2674 (2014)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 畠賢治、阿多誠介、“柔軟性の高い導電性・機械特性を実現した複合材料の開発”、Polyfile, 49(580), 32-35(2012/6/10)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 29 件、国際会議 16 件)

1. T. Yamada, K. Hata, D. Futaba, “Advances in Supergrowth - Growth, Application and Devices”, The 5th Japan-Korea Symposium on Carbon Nanotube, Busan, Korea, 2008 年 11 月 12 日
2. K. Hata, “Super-growth CVD for mass production of carbon nanotubes and its applications”, ISSS-5, 東京, 2008 年 11 月 13 日
3. 畠 賢治, “CNT スーパーグロース技術”, nano tech2009 富士通ブース講演会, 東京, 2009 年 2 月 19 日
4. 畠 賢治, “カーボンナノチューブによるナノデバイス”, 第1回 TSC 研究交流勉強会, 東京, 2009 年 2 月 27 日
5. K. Hata, “Super Growth for Highly Efficient CNT Synthesis, Applications, and Devices”, 第5回 有機エレクトロニクス・バイオエレクトロニクス国際会議(M&BE5), 宮崎, 2009 年 3 月 17 日
6. 畠 賢治, “スーパーグロース法による CNT 技術”, 電子ジャーナル第 344 回セミナー「カーボンナノチューブの最前線★徹底解説」, 東京, 2009 年 05 月 11 日
7. K. Hata, “Carbon Nano-composites and its applications with super growth”, International Nanofiber Symposium 2009, Tokyo, 2009 年 6 月 19 日
8. 畠 賢治, “スーパーグロースの進捗・成長・応用・デバイス”, 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, つくば, 2009 年 09 月 02 日
9. 畠 賢治, スーパーグロース法による CNT 技術, フィルム研究会, 東京, 2009 年 10 月 5 日
10. 畠 賢治, CNT 固体とプロセス技術, 第 38 回薄膜・表面物理基礎講座, 東京, 2009 年 11 月 5 日
11. 畠 賢治, カーボン材料の MEMS・機能材料への応用, NE アカデミーカーボン材料(カーボンナノチューブ, グラフェン, カーボン薄膜など)のデバイス応用, 東京, 2009 年 11 月 6 日

12. 畠 賢治, CNT スーパーキャパシターとMEMSの最新展望 , 平成21年度第4回「ナノカーボンエレクトロニクス技術分科会」,, 2009年11月16日
13. T. Yamada (AIST), “Aligned Carbon Nanotube Wafer-based Device Application” Material Research Society, Boston, USA, 2009年12月3日
14. T. Yamada (AIST), “Applications of Aligned Carbon Nanotube Wafers: From MEMS to Human Motion Detection” International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Kirchberg/Tirol, Austria, 2010年3月7日
15. 山田 健郎, “カーボンナノチューブの"純粋なエレクトロニクス応用ではない"応用技術 (More than Moore)", 第47回半導体テクノロジーロードマップ委員会-WG12(ERD)会議, 東京, 2010年04月27日
16. 畠 賢治, スーパーグロース法によるCNT合成技術、電子ジャーナル第503回テクニカルセミナー、東京、2010年05月20日
17. 畠 賢治, スーパーグロース法によるカーボンナノチューブの合成・量産・用途開発・デバイス、第152回ファイラー研究会、東京、2010年9月3日
18. 山田健郎、畠賢治 配向 CNT ウェハーを用いた応用 Application of Aligned Carbon Nanotube Wafers、第71回 応用物理学会学術講演会、長崎、2010年9月14日
19. 畠 賢治, “スーパーグロース法によるカーボンナノチューブの合成・量産・用途開発・デバイス”, 第97回トップフォーラム, 東京, 2011年3月8日
20. Kenji Hata, “Challenges and Future for Single-walled Carbon Nanotubes”, INC7, Albany, 2011年5月18日
21. 畠 賢治, “実用化間近！スーパーグロース単層 CNT の研究開発の現状と未来展望”、CNT-NMEMS-TIA 共同シンポジウム、つくば、2011年5月25日
22. 小橋和文, “スーパーグロース法による単層 CNT の網目状分散技術と用途開発”, 岡山地区高分子懇話会、岡山、2011年7月6日
23. Kenji Hata, “Advances in SWNT Forests: Growth, Characterization, Applications, and a Pilot Plant”, NT11, Cambridge, UK, 2011年7月11日
24. Ming Xu, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Motoo Yumura and Kenji Hata, “Temperature Invariant Rubberlike Viscoelasticity of Carbon Nanotubes from -196°C to 1000°C”, CARBON2011, 上海, 中国, 2011年7月28日
25. 畠 賢治, “低コスト CNT 量産技術”, Electronic Journal 第872回 Technical Seminar, 御茶ノ水/東京、2011年8月24日
26. 畠 賢治, “単層 CNT の高機能複合化技術”, Science & Technology(株)主催セミナー、大田区/東京、2011年9月9日
27. 山田 健郎, “配向 CNT ウェハーを用いたひずみセンサーの開発並びに最近のスーパーグロース CNT の用途開発状況”, カーボンナノ材料研究会、大阪、2011年9月16日
28. 山田 健郎, “カーボンナノチューブの柔らかいデバイスへの応用”, インテレクチャルカフェ, つくば、2011年10月13日
29. Kenji Hata, “Advances in SWNT Forests: Growth, Characterization, Applications, and a Pilot Plant”, MRS Fall Meeting, Boston, 2011年11月30日
30. 畠賢治, “新材料を世に送り出すまで:カーボンナノチューブ実用化への茨の道”, サイエンスカフェ、サロンド富山房 FOLIO/東京、2012年1月20日
31. 畠賢治, “インテグレート・カーボンナノチューブによる機能性部材とそれを組み込んだ柔らかい MEMS デバイスの創製”, ナノプロセス融合がもたらすグリーン&ライフイノベーション (CREST「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製」研究領域第1回公開シンポジウム)、アキバプラザ/東京、2012年1月31日
32. 畠賢治, “実用化真近！スーパーグロース単層 CNT の研究開発の現状と未来展望”、ナノ炭素材料革命への挑戦-新世代(ナノ炭素構造体からナノ炭素材料へ)に向けて-(nano tech 2012 に併設)、東京ビッグサイト/東京、2012年2月15日

33. 山田健郎、“カーボンナノチューブ歪みセンサー”、産総研ブースプレゼンテーション(第11回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(nano tech 2012))、東京ビッグサイト/東京、2012年2月17日
34. 畠賢治、“単層カーボンナノチューブの基礎と応用★徹底解説”、Electronic Journal 第1155回 Technical Seminar、総評会館/東京、2012年3月7日
35. Kenji Hata, “Synthesis and Device Application of CNT”, International Symposium on “Development of Core Technologies for Green Nanoelectronics”, 日本科学未来館/東京、2012年3月14日
36. 山田健郎、畠賢治、“人体計測を可能にするカーボンナノチューブ歪みセンサー”、日本化学会第92春季年会(2012)、慶応大学日吉校舎/東京、2012年3月25日
37. 西澤松彦・三宅丈雄・長峯邦明・吉野修平・山田健郎・畠賢治、“貼って巻いてバイオ発電:柔軟な酵素電極シールの開発”、日本化学会第92春季年会(2012)、慶応大学日吉校舎/東京、2012年3月25日
38. Don FUTABA, “The World of Carbon Nanotube Forests-Developing CNTs into an Industrial Material-”, Nanotech Conference & Expo 2012, 2012年6月12日
39. Don FUTABA, “ Super-Growth CNT Forests: Optimizing Form with Function ”, 13th International Conference on the Science and Application of Nanotubes(NT12), Brisbane, 2012年6月25日
40. 畠賢治、“単層カーボンナノチューブ(CNT)★徹底解説～産業化目前の単層CNTの量産技術・用途・課題などを詳解～”、Electronic Journal 第1377回 Technical Seminar、総評会館/東京、2012年9月5日
41. Don FUTABA, “Developing Single-Wall Carbon Nanotubes into an Industrial Material through the Super-Growth CVD Method”, APS March Meeting 2013, 2013年3月22日
42. 畠賢治、“Controlling Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes Forests”、Sixth Guadalupe Workshop For the Nucleation and Growth of SWCNTs, Flying L Guest Ranch/アメリカ/テキサス、2013年4月15日
43. Chandramouli Subramaniam、山田健郎、フタバドン、湯村守雄、畠賢治、“Electromigration suppression by carbon nanotubes in copper for a 100 times higher current carrying capacity Emerging Interface of Molecular Materials”、IC & SR Auditorium, IIT Madras インド Chennai、2013年8月10日
44. 山田健郎、“スーパーグロースCNTとその応用”、第40回炭素材料学会年会、2013年12月5日
45. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Kenji Hata, “Electromigration suppression by carbon nanotubes in copper for a hundred-times increase in electrical current-carrying-capacity”, Department of Science and Technology, India International Conference on Nano Science and Technology, 2014年3月5日

② 口頭発表 (国内会議 33 件、国際会議 25 件)

1. X. Liu, C. Nakamura, D. Qian, T. Kihara, K. Park, N. Zorin, T. Wakayama, S. Yasuda, K. Hata, M. Yumura, N. Nakamura, J. Miyake, “Single-walled carbon nanotube forest with hydrogenase for electrochemical hydrogen evolution”, PRiME 2008: Joint international meeting of 214th Meeting of ECS and The Electrochemical Society 2008 Fall Meeting of The Electrochemical Society of Japan, Honolulu, USA, 2008年10月13日
2. 畠賢治, 山田健郎, Don Futaba, “スーパーグロースカーボンナノチューブ、量産用

- 途と素子開発”, 産総研オープンラボ, つくば, 2008年10月20日
3. 水野 耕平, 石井 順太郎, 早水 裕平, 保田 諭, Futaba Don, 湯村 守雄, 畠 賢治, “カーボンナノチューブ黒体: 垂直配向 SWNT による高効率光吸収体”, 第 36 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 2009年3月2日
  4. D. Futaba, 後藤潤大, S. Yasuda, T. Yamada, M. Yumura, K. Hata, "Clarifying the Rules for the Highly Efficient Growth of Carbon Nanotubes", 2009 APS March Meeting, Pittsburgh, USA, 2009年3月16日
  5. 水野耕平、石井順太郎、岸田英夫、早水祐平、保田諭、二葉ドン、湯村守雄、畠賢治、カーボンナノチューブ黒体: 垂直配向SWNTによる高効率光吸収体、第36回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、愛知、2009年3月2日
  6. 水野 耕平, 川手 悦男, 石井 順太郎, Futaba Don, 畠 賢治, "Anisotropic Optical Properties of Vertically Aligned Single-walled Carbon Nanotubes", IRMMW-THz 2009, Korea, 2009年9月23日
  7. A. Najafabadi<sup>1</sup>, T. Hiraoka, T. Yamada, D. N. Futaba, S. Yasuda, H. Hatori, M. Yumura<sup>1</sup>, S. Iijima<sup>1</sup>, K. Hata, “High-Voltage, High-Energy, and High-Power Supercapacitors Using Vertically-Aligned Single-Walled Carbon Nanotubes”, MRS fall meeting, Boston, USA, 2009年12月4日
  8. Izadi-Najafabadi Ali, 小橋 和文, 山田 健郎, Futaba Don, 羽鳥 浩章, 湯村 守雄, 飯島 澄男, 畠 賢治, Water-assisted grown single-walled carbon nanotubes as near ideal supercapacitor electrodes with an operating voltage range of 4V, 2010 International Conference on Advanced Capacitors (ICAC2010)、京都、2010年06月01日
  9. 小橋 和文, 西野 秀和, 山田 健郎, Futaba Don, 畠 賢治, Non-Dispersive Built, Aligned SWNT Prepreg Sheet, 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), Montreal, Canada, 2010年06月29日
  10. Takeo Yamada, Yuhei Hayamizu, Yuki Yamamoto, Ali Izadi-Najafabadi, Don N. Futaba, Kenji Hata, Applications of Aligned Carbon Nanotube Wafers, 11th International Conference on the Science and Application of Nanotubes (NT10), Montreal, Canada, 2010年7月1日
  11. 吉野修平, 高橋竜也, 三宅丈雄, 山田健郎, 畠 賢治, 西澤松彦, フレキシブルバイオ燃料電池へ向けた自己収縮ナノ電極への酵素固定化、2010年電気化学秋季大会、神奈川、2010年9月3日
  12. 徐鳴, フタバドン, 山田健郎, 湯村守雄, 畠賢治、広い温度範囲(-196°C-1000°C)で安定した粘弾性、第39回フラーレンナノチューブ学会、京都、2010年9月6日
  13. Ming Xu, Don N. Futaba, Takeo Yamada, Motoo Yumura, Kenji Hata, Rubberlike Viscoelastic Energy Dissipation From -196°C to 1000°C, 2010 MRS Fall Meeting, Boston, 2010年12月3日
  14. 小橋和文、高比表面積 SWNT scaffold による高界面積を利用した強化エポキシ樹脂コンポジットシート、ナノカーボン物質の基礎と応用: 現状と展望に関する若手研究会、茨城、2010年12月28日
  15. 徐 鳴, Futaba Don, 湯村 守雄, 畠 賢治、Carbon Nanotubes with Temperature-Invariant Creep and Creep-Recovery from -190°C to 970°C, 第 40 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、愛知、2011年3月8日
  16. 小橋和文, 西野秀和, 山田健郎, Futaba Don, 湯村守雄, 畠賢治、Reinforced Epoxy Nanocomposite Sheets Utilizing Large Interfacial Area from a High Surface Area Single-Walled Carbon Nanotube Scaffold, APS March Meeting 2011, Dallas, Texas, 2011年3月21日
  17. Chandramouli Subramaniam, 山田健郎, Futaba Don, 畠賢治、Micro-scale "air-gap" circuitry with conducting carbon nanotube-copper composite, APS

- March Meeting 2011, Dallas, Texas, 2011 年 3 月 22 日
18. 徐鳴, Futaba Don, 山田健郎, 湯村守雄, 畠賢治, Carbon Nanotubes with Temperature Invariant Viscoelasticity from  $-196^{\circ}\text{C}$  to  $1000^{\circ}\text{C}$ , 241st ACS National Meeting & Exposition, Anaheim, California 2011 年 3 月 28 日
  19. 三宅丈雄, 吉野修平, 羽田圭吾, 山田健郎, 畠賢治, 西澤松彦, “新規ナノ構造体への高密度酵素固定化およびバイオ発電デバイスへの応用”, ナノ学会 第 9 回大会 (北海道), 2011 年 6 月 3 日
  20. Alberto Ansaldo, Maurizio Bisio, Luca Ceseracciu, Don N. Futaba, Kenji Hata, Alberto C. Barone, Davide Ricci, “Boosting Bucky Gel Actuators: Cross-Linked CNTs and Linear Motion”, International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge, UK, 2011 年 7 月 14 日
  21. Kazufumi Kobashi, Seisuke Ata, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, “Highly Conductive, Long-Range SWNT Network Structure Made by Wet Shear Dispersion”, CNT-NET, Cambridge, UK, 2011 年 7 月 16 日
  22. 石 康昭, フタバドン, 湯村 守雄, 畠 賢治, “スーパーグロス単層カーボンナノチューブフォレストの直径制御”, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム, 八王子/東京, 2011 年 9 月 5 日
  23. 羽野茂樹, フタバドン, 湯村守雄, 畠賢治, “マイクロスケール 4-プローブを用いたカーボンナノチューブフォレストの成長方向における電気的特性評価”, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム, 八王子/東京, 2011 年 9 月 5 日
  24. 徐鳴, フタバドン, 湯村守雄, 畠賢治, “温度安定なカーボンナノチューブ粘弾性体の調製”, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム, 東京, 八王子, 2011 年 9 月 5 日
  25. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Kenji Hata, “Multi-dimensional, multi-layer, micro-scale, circuit-like patterning of conducting CNT-Cu composite”, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム, 八王子/東京, 2011 年 9 月 7 日
  26. 阿多誠介, 小橋和文, 山田健郎, フタバドン, 湯村守雄, 畠賢治, “血管状 SGT ネットワークによる導電性と機械耐久性を併せ持つ CNT ゴム”, 第 41 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム, 八王子/東京, 2011 年 9 月 7 日
  27. M. Nishizawa, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, “Enzyme-Nanotube Ensemble Films and Their Application as Flexible Electrodes for Biofuel Cells”, The 14th Asian Chemical Congress (Thailand), 2011 年 9 月 7 日
  28. 吉野修平, 羽田圭吾, 大藤琢矢, 山田健郎, 三宅丈雄, 畠賢治, 西澤松彦, “新規ナノ構造体への高密度酵素固定とバイオ燃料電池への応用”, 2011 年秋季電気化学会 (朱鷺), 2011 年 9 月 10 日
  29. フタバドン, 桜井俊介, 小橋和文, 徐鳴, 山田健郎, 石康昭, 湯村守雄, 畠賢治, “CNT フォレストの特性と CNT の形状の関係”, 第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京/東京大学, 2012 年 3 月 6 日
  30. 阿多誠介, 水野貴章, 小橋和文, 湯村守雄, 畠賢治, “溶解度パラメーターに基づく汎用的方法による高導電性 CNT ゴム作成について”, 第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京/東京大学, 2012 年 3 月 6 日
  31. Ming Xu, Don N. Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, “触媒制御による半導体単層 CNT 選択的成長方法の開発”, 第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京/東京大学, 2012 年 3 月 6 日
  32. 桜井 俊介, 山田 真保, 中村 紘子, フタバドン, 畠 賢治, “Alignment Control of Carbon Nanotube Forests from Random to Nearly Perfectly Aligned by Utilizing Crowding Effect”, 第 42 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シン

- ポジウム、東京/東京大学、2012年3月6日
33. 山田健郎、山本由貴、早水祐平、田中啓之、フタバドン、畠賢治、“巻き付け転写法により作製した、単層カーボンナノチューブねじれセンサー”、第42回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京、2012年3月7日
  34. 三宅丈雄、吉野修平、大藤琢矢、山田健郎、畠賢治、西澤松彦、“酵素包含カーボンナノ電極を用いた小型バイオ発電デバイスの開発”、第59回春季応用物理学会（東京）、2012年3月16日
  35. 吉野修平、大藤琢矢、三宅丈雄、山田健郎、畠賢治、西澤松彦、“カーボンナノチューブ構造体を用いたグルコースオキシダーゼ電極の開発”、第79回春季電気化学会（浜松）、2012年3月29日
  36. 西澤松彦・吉野修平・三宅丈雄・山田健郎・畠賢治、“Enzyme-carbon Nanotube Ensemble Films for Biofuel Cells”、MRS、Moscone West Convention Center/Marriott Marquis/ San Francisco、2012年4月10日
  37. 関口貴子、山田健郎、湯村守雄、畠賢治、“Stretchable and Robust Interconnects of Conductive CNT Rubbers Fabricated by Lithography Technique and Transfer Process on a Rubber Substrate ”、MRS、Moscone West Convention Center/ Marriott Marquis / San Francisco、2012年4月12日
  38. T. Miyake, S. Yoshino, T. Ofuji, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, “Enzyme-Carbon Nanotube Ensemble Films for Biofuel Cell”, The 221st ECS Meeting (Seattle), 2012年5月7日
  39. 吉野修平、大藤琢矢、山田健郎、三宅丈雄、畠賢治、西澤松彦、“グルコースを燃料とする高出力・高効率なバイオ発電デバイスの開発”、第25回化学とマイクロナノシステム研究会（熊本）、2012年5月18日
  40. Ming Xu, Don N.Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, “Alignment Control of Carbon Nanotube Forests from Random to Nearly Perfectly Aligned by Utilizing Crowding Effect”, 13th International Conference on the Science and Application of Nanotubes(NT12), Brisbane Convention & Exhibition Centre, Australia、2012年6月25日
  41. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don N Futaba, Kenji Hata, “Micro-patternable carbon nanotube-copper composite, exceeding current density tolerance of metals by over 100 times for highly efficient electrical power transport”, Functional Carbon Composites: Controlled Synthesis, Brisbane Convention & Exhibition Centre, Australia, 2012年6月29日
  42. Ata, Mizuno, Kobashi, Yamada, Yumura, Hata, “Mimicking the Chain structure of Polymers with Long Single-walled Carbon Nanotubes for Mechanically Durable and Highly Conductive Elastomeric Composites”、Functional Carbon Composites: Controlled Synthesis, Brisbane Convention & Exhibition Centre, Australia, 2012年6月29日
  43. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don Futaba, Motoo Yumura, Kenji、Hata、“A patternable CNT-Cu composite possessing hundred-times higher electrical current-carrying-capacity than metals”、第43回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学/仙台、2012年9月6日
  44. 尹好苑、山下基、阿多誠介、湯村守雄、畠賢治、“長尺単層CNT分散技術による高導電性ゴム材料の開発”、第20回秋季大会(成形加工シンポジウム'12(東海))、ウインクあいち/名古屋、2012年11月30日
  45. 水野貴瑛、阿多誠介、尹好苑、湯村守雄、畠賢治、“2軸押し出し機による長尺単層CNTを用いた高導電性ゴム材料開発”、第20回秋季大会(成形加工シンポジウム'12(東海))、ウインクあいち/名古屋、2012年12月1日
  46. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Kenji Hata, Motoo Yumura, “Electromigration suppression in copper by carbon nanotubes :

- A mechanistic insight”、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京/東京大学、2013 年 3 月 13 日
47. 吉野修平, 小川雄, 大藤琢矢, 加藤孝一朗, 馬籠隆博, 三宅丈雄, 梶 弘和, 山田健郎, 畠 賢治, 西澤松彦, “酵素とカーボンナノチューブからなる自立フィルムを用いたバイオ燃料電池の開発”, 電気化学会第 80 回大会 (仙台), 2013 年 3 月 29 日
  48. M. Nishizawa, S. Yoshino, T. Miyake, T. Yamada K. Hata, “Ordered Enzyme Assembly inside Nanotube Forest Films for Constructing Self-Powered Miniature Biodevices”, 2013 MRS Spring Meeting (San Fransico), 2013 年 4 月 4 日
  49. M. Nishizawa, S. Yoshino, T. Miyake, T. Yamada K. Hata, “Enzyme Assembly inside Nanotube Forest Films for Self-Powered Biodevices”, ECS 223rd Meeting (Toronto), 2013 年 5 月 14 日
  50. Kazufumi Kobashi, Karolina U.Laszczyk, Atsuko Sekiguchi, Fumiaki Tanaka, Chandramouli Subramaniam, Don N. Futaba, Takeo Yamada, and Kenji Hata, “Monolithic Integration of Micro-Capacitors by Lithographically Patternable, Wafer-Scale Single-Walled Carbon Nanotube Film”, 223rd ECS Meeting, カナダ/トロント、2013 年 5 月 14 日
  51. 桜井俊介、稲熊正康、フタバドン、湯村守雄、畠賢治、 “Modulating catalyst formation process to control diameter and density of single-wall carbon nanotube forests”, NT13 Fourteenth International Conference on the Science and Applications of Nanotubes, Aalto University, Espoo, Finland, 2013 年 6 月 25 日
  52. 阿多誠介、尹好苑、Chandramouli Subramaniam、水野貴瑛、山田健郎、畠賢治、 “Highly Conductive CNT/Polymer Composite on Arbitrary Rubber Matrices Based on Thermodynamics”, 第 45 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、大阪大学/豊中、2013 年 8 月 5 日
  53. 保田ゆづり、Chandramouli Subramaniam、阿多誠介、湯村守雄、フタバドン、畠賢治、 “Thermally conductive SG-CNT-Cu composite with low thermal expansion”, 第 45 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、大阪大学/豊中、2013 年 8 月 5 日
  54. 木村 寛恵, 後藤 潤大, 保田 諭, 桜井 俊介, 湯村 守雄, フタバドン, 畠 賢治, “単層カーボンナノチューブフォレスト成長を可能にするガス種の多様性”, 第 45 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、大阪大学/豊中、2013 年 8 月 7 日
  55. S. Sakurai, M. Yamada, H.Nakamura, D.N. Futabaand K. Hata, “Approach for the Preferential Synthesis of Semiconductor Single-Walled Carbon Nanotubes for Device Application”, SSDM2013, 2013 年 9 月 24 日
  56. 阿多誠介、水野貴瑛、山田健郎、畠賢治、 “CNT 複合材料の導電性向上に対する熱力学的アプローチ”, 成形加工シンポジア'13, 2013 年 11 月 8 日
  57. 八幡直人, 水野貴瑛, 阿多誠介, 山田健郎, 畠賢治, 熱力学的アプローチによる高導電性 CNT/ゴム複合材料の作成, 成形加工シンポジア'13, 2013 年 11 月 8 日
  58. 小橋和文, 平林達也, 阿多誠介, 山田健郎, FutabaDon, 畠賢治, “Green, scalable, binderless fabrication of a single-wall carbon nanotube nonwoven fabric based on an ancient Japanese paper process”, 第 46 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン 総合シンポジウム, 2014 年 3 月 5 日

③ ポスター発表 (国内会議 35 件、国際会議 27 件)

1. K. Mizuno, J. Ishii, S. Yasuda, D. Futaba, M. Yumura, T. Baba, K. Hata, "Vertically Aligned Single Wall Carbon Nanotube for Radiometric Application", NEWRAD 2008, Daejeon, Korea, 2008 年 10 月 13 日
2. T. Yamada, Y. Yamamoto, N. Makimoto, S. Yamada, Y. Hayamizu, D. N. Futaba,



- K. Hata (AIST), “Fully-Stretchable Sensors for Human Motion Sensing by “Sticking” SWNT Films to Arbitrary Substrates”, 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, つくば, 2009 年 9 月 1 日
3. 小橋 和文, 西野秀和, 山田 健郎, Futaba Don, 畠 賢治, " Aligned SWNT Prepreg Sheets and Their Reinforcing Effects", 第 37 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, つくば, 2009 年 9 月 3 日
  4. Takeo Yamada, Recent Advancements and Applications of “Super-Growth” Carbon Nanotubes, The 6th International Nanotechnology Conference on Communications and Cooperation (INC6), Minattec , Grenoble, France, 2010 年 5 月 19 日
  5. 中村史, 木原隆典, 劉学螢, 川崎一則, Dong-Jin Qian, Nikolay A. Zorin, 若山 樹, 保田諭, 畠賢治, 湯村守雄, 中村徳幸, 三宅淳、Electrochemical hydrogen evolution using hydrogenase assembled in single-walled carbon nanotube forest, Biosensors2010, Glasgow, 2010 年 05 月 27 日
  6. 山田健郎, 山本由貴, 早水裕平, 蓬田美樹, アリ イザディーナジャファバディ, 二葉ドン, 湯村守雄, 畠賢治, 配向 CNT-wafer を用いた歪センサー, 第 39 回フラーレンナノチューブ学会, 京都, 2010 年 9 月 5 日
  7. Izadi-Najafabadi Ali, 小橋和文, 山田健郎, フタダドン, 羽鳥浩章, 湯村守雄, 飯島澄男, 畠賢治, 4V 駆動可能なスーパーグロース CNT を利用したキャパシタ電極, 第 39 回フラーレンナノチューブ学会, 京都, 2010 年 9 月 6 日
  8. 横井裕之, 岡部史典, 早水裕平, 畠賢治, 単層カーボンナノチューブの電子状態に対する水分子吸着効果の FT-IR 研究, 第 39 回フラーレンナノチューブ学会, 京都, 2010 年 9 月 6 日
  9. 三宅丈雄, 吉野修平, 高橋竜也, 山田健郎, 畠賢治, 西澤松彦, 新規ナノ構造体 carbon nanotube forest への酸化還元酵素の高密度固定化およびバイオ発電デバイスへの応用, 第 22 回化学とマイクロ・ナノシステム研究会, 2010 年 11 月 17 日
  10. 畠賢治, スーパーグロースカーボンナノチューブの量産・用途・素子開発, 2010 産総研オープンラボ, 茨城, 2010 年 10 月 14 日 15 日
  11. 山田健郎, 山本由貴, 早水裕平, 蓬田美樹, Izadi-Najafabadi Ali, Futaba Don, 湯村守雄, 畠賢治, 配向 CNT-wafer を用いた歪みセンサーのさらなる展開, 第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 愛知, 2011 年 3 月 9 日
  12. 桜井俊介, 西野秀和, Futaba Don, 保田諭, 山田健郎, Alan Maigne, 中村栄一, 湯村守雄, 畠賢治, 様々な鉄化合物からなる SWNT フォレスト成長触媒の一般的な調整方法の開発, 第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 愛知, 2011 年 3 月 9 日
  13. Chandramouli Subramaniam, 山田健郎, Futaba Don, 畠賢治, Synthesis and characterization of highly conducting Carbon nanotube-Copper composite, 第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 愛知, 2011 年 3 月 9 日
  14. 木村寛恵, Funtaba Don, 湯村守雄, 畠賢治, スーパーグロース:高結晶性単層カーボンナノチューブの高効率成長, 第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 愛知, 2011 年 3 月 9 日
  15. Funtaba Don, 山田健郎, 小橋和文, 湯村守雄, 畠賢治, X線回折法による単層, 2 層, 数層カーボンナノチューブのマクロ的層数分析, 第 40 回フラーレン・ナノチューブシンポジウム, 愛知, 2011 年 3 月 10 日
  16. Naoki Yokoyama, Toshihiko Kanayama, Tsutomu Tezuka, Hiroyuki Ohta, Kenji Hata, Shintaro Sato, Mizuhisa Nihei, Toshimichi Shintani, and Junji Tominaga, “Development of Core Technologies for Green Nanoelectronics”, INC7, Albany, 2011 年 5 月 18 日
  17. Don N Futaba, Shunsuke Sakurai, Kazufumi Kobashi, Ming Xu, Takeo Yamada, Motoo Yumura, and Kenji Hata, “The World of CNT Forests”,

- NT11, Cambridge,UK, 2011年7月12日
18. Shunsuke Sakurai, Hidekazu Nishino, Don Futaba, Satoshi Yasuda, Takeo Yamada, Alan Maigne, Eiichi Nakamura, Motoo Yumura, Kenji Hata, "Preparation of Iron Catalyst Nanoparticle for Single-Walled Carbon Nanotube Forest from Various Iron Compounds", NT11, Cambridge,UK, 2011年7月12日
  19. Kazufumi Kobashi, Seisuke Ata, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Motoo Yumura and Kenji Hata, "Highly Conductive, Long-Range SWNT Network Structure Made by Wet Shear Dispersion", NT11, Cambridge,UK, 2011年7月14日
  20. Ming Xu, Don N Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, "Tailoring Temperature Invariant Viscoelasticity of Carbon Nanotube Material", International Conference on the Science and Application of Nanotubes, Cambridge,UK, 2011年7月14日
  21. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don. N. Futaba, Kenji Hata, "Micro-scale 'Air-gap' Circuitry With Conducting Carbon Nanotube - Copper Composite", NT11, Cambridge,UK, 2011年7月16日
  22. 山田健郎、山本由貴、早水裕平、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, "貼り付け法によるCNT-waferを用いた様々な応用", 第41回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム、八王子/東京、2011年9月5日
  23. 木村寛恵、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, "スーパーグロース: 合成条件最適化によるSWCNTフォレストの結晶性向上とその特性", 第41回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン記念シンポジウム、八王子/東京、2011年9月6日
  24. S. Yoshino, K. Haneda, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, "High Power Biofuel Cells with Self-Regulating Enzyme-Nanotube Ensemble Films", 62nd Annual Meeting of ISE (Niigata), 2011年9月12日
  25. S. Yoshino, K. Haneda, T. Ofuji, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, "Electrical Power Generation from Biochemical Energy with Self-regulating Enzyme-Nanotube Ensemble Films", PowerMEMS 2011 (Seoul), 2011年11月15日
  26. S. Yoshino, K. Haneda, T. Ofuji, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, and M. Nishizawa, "Fabrication of Nanotube-Enzyme Ensemble Films for High Power Biofuel Cells", 2011MRS-Fall meeting (Boston), 2011年11月28日
  27. T. Miyake, S. Yoshino, K. Haneda, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, "Engineering Enzyme-Nanotube Ensemble Films for Electrical Power Generation from Biofuels in Living-Organisms", ISSS-6 (Funahori), 2011年12月12日
  28. 尹好苑、山下基、阿多誠介、小橋和文、山田健郎、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, "分散プロセスが及ぼすSWNT-ゴム複合材の導電性への効果", 第42回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京、2012年3月6日
  29. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don N. Futaba, Kenji Hata, "SWNT-Copper composite with Ampacity of 108 A/cm<sup>2</sup> : Route to Next-Generation Electronics.", International Symposium on "Development of Core Technologies for Green Nanoelectronics", 日本科学未来館/東京, 2012年3月14日
  30. Shunsuke Sakurai, "Control of the Metal/Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes Ratio through Pre-annealing Catalyst Nanoparticle", International Symposium on "Development of Core Technologies for Green Nanoelectronics", 日本科学未来館/東京, 2012年3月14日
  31. 尹好苑、山下基、阿多誠介、小橋和文、山田健郎、湯村守雄、畠賢治, "Investigation of effective dispersion process to achieve higher conductivity of

- single wall carbon nanotubes reinforced composites”, INC8、つくば、2012年5月8日
32. 徐鳴、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, “Alignment Control of Carbon Nanotube Forests from Random to Nearly Perfectly Aligned by Utilizing Crowding Effect”, INC8、つくば、2012年5月8日
  33. 木村寛恵、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, “Crystallinity Improvement of SWCNT forests through the Synthesis Optimization using the Super-Growth Method”, INC8、つくば、2012年5月8日
  34. 陳国海、石康昭、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, “Diameter controlled synthesis of single-walled carbon nanotube forests for property improvement”, INC8、つくば、2012年5月8日
  35. 小橋和文、阿多誠介、山田健郎、フタバドン、湯村守雄、畠賢治, “A Dispersion Strategy: Dendritic Carbon Nanotube Network Dispersion for Advanced Composites”, INC8、つくば、2012年5月8日
  36. 阿多誠介、水野貴章、小橋和文、山田健郎、湯村守雄、畠賢治, “A generalized approach to achieve highly conductive CNT composite based on solubility parameters”, INC8、つくば、2012年5月8日
  37. Chandramouli Subramaniam、山田健郎、Futaba Don、畠賢治, “Efficient electrical power transport using carbon nanotube-copper composite with over 100 times higher current carrying capacity than metals.”, INC8、つくば、2012年5月8日
  38. S. Yoshino, T. Ohuji, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, "Nanotube - Enzyme Ensemble Films for Electrical Power Generation from Biochemical Energy", IACIS2012 (Sendai), 2012年5月16日
  39. 桜井俊介、稲熊正康、フタバドン、湯村守雄、畠賢治、“触媒微粒子アレイの調整方法による単層CNTフォレストの構造制御”、第43回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学/仙台(宮城)、2012年9月5日
  40. 関口貴子、山田健郎、小橋和文、湯村守雄、畠賢治、“Micro-fabrication of stretchable and robust interconnects of conductive CNT rubber on a stretchable substrate”、第43回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学/仙台(宮城)、2012年9月6日
  41. 尹好苑、山下基、阿多誠介、湯村守雄、畠賢治、“複合材の導電性を向上させる単層カーボンナノチューブの分散構造”、第43回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学/仙台(宮城)、2012年9月6日
  42. 阿多誠介、水野貴瑛、尹好苑、湯村守雄、畠賢治、“スーパーグロース単層CNT導電性ゴムの大量生産を目指した押し出し成形の開発”、第43回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東北大学/仙台(宮城)、2012年9月6日
  43. Chandramouli Subramaniam, Takeo Yamada, Don Futaba, Motoo Yumura, Kenji Hata, “Light-weight, CNT-Cu conductor with 100 times higher current carrying capacity than metals”, *Frontiers in Science & Technology: Successes and Emerging Challenges*、インド大使館/東京、2012年9月20日
  44. S. Yoshino, T. Miyake, H. Kaji, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, "Ordered Molecular Assembly Inside Carbon Nanotube Forest Films for High-Efficiency Enzymatic Biofuel Cell", *microTAS 2012 (Okinawa)*, 2012年10月29日
  45. 水野貴瑛、阿多誠介、尹好苑、湯村守雄、畠賢治、“2軸押し出し機による長尺単層CNTを用いた高導電性ゴム材料開発”、第20回秋季大会(成形加工シンポジウム'12(東海))、名古屋、2012年11月30日
  46. 木村寛恵、後藤潤大、保田諭、桜井俊介、湯村守雄、フタバドン、畠

- 賢治、“スーパーグロース：高濃度低活性炭素源を用いた高収量 CNT 合成法”、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学/東京、2013 年 3 月 11 日
47. 松本 尚之, 大島 あずさ, 湯村 守雄, フタバドン, 畠 賢治, “後工程処理による CNT の特性向上”、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学/東京、2013 年 3 月 12 日
  48. 高城 順一, 高井 和之, 木口 学, 榎 敏明, 山田 健郎, 畠 賢治, 石井 孝文, 京谷 隆, “ナノグラフェンとガス分子のホスト・ゲスト相互作用”、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学/東京、2013 年 3 月 12 日
  49. 桜井 俊介, フタバドン, 湯村 守雄, 畠 賢治, “単層 CNT フォレスト成長制御に向けた触媒微粒子アレイ形成過程のモデル分析”、第 44 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、東京大学/東京、2013 年 3 月 13 日
  50. S. Yoshino, T. Ohuji, K. Kato, T. Magome, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, “High Efficient Bioelectrocatalysis by Ordered Molecular Assembly inside Carbon Nanotube Forests”, Seventh International conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (Fukuoka), 2013 年 3 月 19 日
  51. 尹好苑, 山下基, 阿多誠介, 湯村守雄, 畠賢治, “A dispersion method for improving the electrical conductivity of long SWCNT/rubber composites”, "NT13 Fourteenth International Conference on the Science and Applications of Nanotubes, Aalto University, Espoo, Finland, 2013 年 6 月 26 日
  52. 陳国海, フタバドン, 桜井俊介, 湯村守雄, 畠賢治, “Interplay of wall number and diameter on the electrical conductivity of carbon nanotube thin films”, 第 45 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、大阪大学/豊中、2013 年 8 月 5 日
  53. 尹好苑, 阿多誠介, 山田健郎, 湯村守雄, 畠賢治, “Influence of dispersion state of long SWCNTs on the electrical conductivity of composites”, 第 45 回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム、大阪大学/豊中、2013 年 8 月 5 日
  54. 阿多誠介, 尹好苑, Subramaniam Chandramouli, 西澤あゆみ, 水野貴瑛, 山田健郎, 畠賢治, “熱力学的アプローチによる高導電性 CNT/ゴム複合材料の作成”、第 62 回 高分子討論会、金沢大学/石川、2013 年 9 月 13 日
  55. 尹好苑, 山下基, 阿多誠介, 山田健郎, 畠賢治, “長尺単層 CNT の分散制御による高導電性ゴム複合材料の開発”、第 62 回 高分子討論会、金沢大学/石川、2013 年 9 月 13 日
  56. T. Miyake, S. Yoshino, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, “Ordered Enzyme Assembly Inside Carbon Nanotube Forest Films for Electrical Power Generation from Biofuels in Raw Grapes”, International Soft Matter Conference 2013 (Rome), 2013 年 9 月 18 日
  57. Y. Ogawa, S. Yoshino, T. Miyake, T. Yamada, K. Hata, M. Nishizawa, “Miniature Biofuel Cells with Self - Regulating Enzyme - Nanotube Ensemble Film”, International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan (Sendai), 2013 年 9 月 29 日
  58. 小橋和文, 畠賢治, “集積化 CNT マイクロキャパシタの作製・評価”、戦略目標「プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」3 研究領域合同公開シンポジウム、コクヨホール/東京港区、2013 年 10 月 17 日
  59. 水野貴瑛, 阿多誠介, 尹好苑, 湯村守雄, 畠賢治, “長尺単層 CNT/ポリカーボネート複合材料の作成条件が物性に与える影響”、成形加工シンポジウム'13, 2013 年 11 月 8 日
  60. 尹好苑, 阿多誠介, 山田健郎, 畠賢治, “長尺単層 CNT の分散評価手法の確立による複

合材料の高性能化”，成形加工シンポジウム'13, 2013年11月8日

61. 八幡直人,水野貴瑛,阿多誠介,山田健郎,畠賢治, “長尺単層カーボンナノチューブを用いた複合材料における電気特性の特徴”, 成形加工シンポジウム'13, 2013年11月8日
62. 山田健郎,関口貴子,畠賢治, ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形, 産総研本格研究ワークショップ in 松山, 2013年11月12日

#### (4)知財出願

##### ① 国内出願 (8件)

1. 電磁波放射体・電磁波吸収体、畠賢治、水野耕平、石井順太郎、産業技術総合研究所 2009/02/17、特願 2009-033853
2. カーボンナノチューブを用いた伸縮装置とその製造方法、山田健郎、畠賢治、早水裕平、産業技術総合研究所、2209/08/25、特願 2009-194537
3. タンパク質を包含したカーボンナノチューブフィルム、それを電極とするセンサ及び発電デバイス、西澤松彦、三宅丈雄、吉野修平、畠賢治、山田健郎、東北大学、産業技術総合研究所、2010/06/29、特願 2010-148068
4. タンパク質を包含したカーボンナノチューブフィルム、それを電極とするセンサ及び発電デバイス、西澤松彦、三宅丈雄、吉野修平、畠賢治、山田健郎、東北大学、産業技術総合研究所、2010/10/06、特願 2010-227013
5. カーボンナノチューブ膜構造体及びカーボンナノチューブマイクロ構造体、畠賢治、山田健郎、早水裕平、産業技術総合研究所、2010/11/30、特願 2010-267790
6. カーボンナノチューブ複合膜、関口貴子、畠賢治、山田健郎、産業技術総合研究所、2013/04/16、特願 2013-085980
7. カーボンナノチューブ複合物構造体及びその形成方法、畠賢治、山田健郎、関口貴子、産業技術総合研究所、2013/04/16、特願 2013-085981
8. カーボンナノチューブ含有エラストマー構造体及びその製造方法、畠賢治、関口貴子、産業技術総合研究所、2013/04/16、特願 2013-085982

##### ②海外出願 (2件)

1. カーボンナノチューブを用いた伸縮装置とその製造方法、山田健郎、畠賢治、早水裕平、産業技術総合研究所、2010/06/14、PCT/JP2010/060042
2. タンパク質を包含したカーボンナノチューブフィルム、それを電極とするセンサ及び発電デバイス、山田健郎、畠賢治、西澤松彦、三宅丈雄、吉野修平、2011/06/24、PCT/JP2011/064594

#### (5)受賞・報道等

##### ①受賞

1. 第6回日本学士院学術奨励賞(業績名:カーボンナノチューブ合成の基礎と用途開発への応用に関する研究、受賞者:畠賢治)
2. 第6回日本学術振興会賞(業績名:カーボンナノチューブ合成の基礎と用途開発への応用に関する研究、受賞者:畠賢治)
3. INC8 ベストポスター、Chandramouli Subramaniam、2012年5月8日
4. 第9回飯島奨励賞、Chandramouli Subramaniam、2013年3月12日

②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい。)  
(プレスリリース)

『人体の動きを測定できるカーボンナノチューブひずみセンサー』2011年3月28日発表  
配向した単層カーボンナノチューブ(単層 CNT)の薄膜を伸縮性のある高分子基板の上に貼り付け、CNT膜の電気抵抗変化によってひずみを検出できるひずみセンサーを開発した。このCNTひずみセンサーは、従来の金属製ひずみセンサーの約50倍となる、280%の大きさのひずみまで検出可能である。また、150%以下のひずみに対しては1万回以上の繰り返し耐久性を持ち、ひずみに対する応答性はわずか14ミリ秒と、100%以上の大きなひずみを測定できるセンサーとしては最速である。さらに、導電性材料と高分子との複合材料で作られたひずみセンサーと比較すると、クリープが小さく、クリープからの回復も20倍以上速い。

CNTひずみセンサーは簡単に衣服や体に貼り付けることができ、膝の屈伸・指の動きや呼吸・発声をモニターできる。将来のウェアラブルデバイスの開発につながり、レクリエーションや医療分野での応用も期待される。

『ゴムをナノメートルレベルの精度で成型』2013年8月28日

ネットワーク構造の単層カーボンナノチューブ(CNT)をゴムに分散させることで、従来のゴムでは実現できなかった数百ナノメートルやマイクロメートルの精度でゴム表面を加工する技術を開発した。ゴムに代表されるエラストマーを加工する方法としては、従来から成型加工や切削加工などが知られている。特に成型加工は生産性に優れ、連続生産もでき、大量生産に適しているが、プレス成形中の気泡混入や、成形後のクリープにより、ナノメートル、マイクロメートル単位での高精緻な加工が事実上不可能であった。今回、ネットワーク構造の長尺単層CNTをゴムに分散させることで、ゴム中で自由自在に変形できる支持材としてCNTが働き、ゴムの柔軟性と高精緻な形状維持性を両立した。今回開発した技術を用いると、自由自在にマイクロサイズのゴム表面加工を、数百ナノメートルやマイクロメートル精度で行うことが可能になり、例えば表面加工することにより濡れ性、密着性、光学特性を制御した高機能ゴムへの応用が期待できる。

(新聞報道)

1. 日経産業新聞, 実用化へ基礎に回帰, 2008年11月1日
2. 朝日新聞, 世界一「真っ黒」な物質, 2009年5月15日
3. 読売新聞, 日本学士院学術奨励賞に川合・名大准教授ら, 2010年2月12日
4. 科学新聞, 第6回日本学術振興会賞に25氏, 2010年2月12日
5. 読売新聞, 望月・京都大准教授ら6人に日本学士院学術奨励賞, 2010年2月13日
6. 朝日新聞, 学士院奨励賞に6人, 2010年2月13日
7. 読売新聞, 日本学士院学術奨励賞に6人, 2010年2月13日
8. 日刊工業新聞, 若手向け「学術奨励賞」, 2010年2月15日
9. 日刊工業新聞, カーボンナノチューブ融合材, 2010年2月19日
10. 毎日新聞, 学術奨励賞の受賞者を決定, 2010年2月23日毎日新聞,
11. 日本学士院学術奨励賞: 受賞者6人を決定, 2010年2月23日
12. 科学新聞, 学術振興会賞 学士院学術奨励賞, 2010年3月12日
13. 日経産業新聞, カーボンナノチューブ 低炭素社会へ産学官連携, 2010年05月13日
14. 日本経済新聞, 次世代炭素材、量産可能に、2010年5月31日
15. 化学工業日報 『電極に単層CNT』高電圧動作が可能に、2010年6月21日
16. 日経産業新聞, 単層カーボンナノチューブ電極キャパシタの高電圧・安定動作を実証、2010年6月25日
17. 日刊工業新聞, 電極に単層CNT使用 3ボルト以上で安定動作確認、2010年7月15日
18. 電波新聞, 産総研と名城大学, 単層カーボンナノチューブを電極に使ったキャパシタ試

- 作「高電圧・安定動作を実証」、2010年7月19日
19. 日刊工業新聞「人体の動きを測定できるカーボンナノチューブひずみセンサー」2011年3月28日
  20. 電波新聞、「金属製歪みセンサーの50倍の歪みを検出」、2011年4月8日
  21. 電波新聞、「CNT膜の電気抵抗変化で280%までひずみを測定」、2011年4月18日
  22. 日刊工業新聞、「用途絞りこみ急ピッチ カーボンナノチューブ実用化研究」、2011年8月4日
  23. 電波新聞、「CNT使った導電性ゴム」、2011年9月19日
  24. 日刊工業新聞、「チタン並み熱伝導率 産総研など」、2011年10月7日
  25. 化学工業日報、「産総研・TASCが放熱材料 開発」、2011年10月7日
  26. 日刊工業新聞、「微量CNT混ぜ100倍の導電性」、2011年10月13日
  27. 化学工業日報、「単層CNT 極微量添加で導電性」、2011年10月14日
  28. 化学工業日報、「金属並み放熱材料 相次ぎ誕生 電材の高機能・小型化に対応」、2011年10月24日
  29. 日経産業新聞、「カーボンナノチューブ 製造コスト1/1000以下目標」、2011年12月6日
  30. 日刊工業新聞、「量産技術焦点に」、2012年8月27日
  31. 日本経済新聞、「血糖値測定にも応用へ」、2012年8月28日
  32. 電気新聞、「ブドウ糖で最高水準発電」、2012年8月28日
  33. 日刊工業新聞、「甘みセンサー開発」、2012年8月30日
  34. 日本経済新聞、「材料科学、「世界が一目置く強さを」「出口最優先は問題」 東北大とシンポ日本を元気にする産業技術会議」、2012年9月7日
  35. 科学新聞、「電源不要のバイオセンサー」、2012年9月14日
  36. 日本農業新聞、「糖度測定刺すだけ 新センサー開発」、2012年9月20日
  37. 日本経済新聞、「日本ゼオン、来年から量産 高強度・高伝導「単層ナノチューブ」世界初電池材料向け」、2012年11月6日
  38. 化学工業日報、「単層CNT サンプル生産開始」、2012年11月
  39. 日刊工業新聞、「◆CNTのサンプル出荷開始」、2012年11月7日
  40. 日刊自動車新聞、「スーパーグローブ法で量産 日本ゼオン」、2012年11月8日
  41. 化学工業日報、「日本ゼオン 着想段階から優位性を」、2013年1月21日
  42. 化学工業日報、「日本ゼオン CNT事業化急ぐ」、2013年1月25日
  43. 化学工業日報、「CNT-銅複合材料 電気伝導度 銅の100倍」、2013年7月24日
  44. 日刊工業新聞、「単層CNT 融合新材料研究開発機構 CNT・銅の複合材 電気容量、銅の100倍」、2013年7月24日
  45. 鉄鋼新聞、「銅とCNTの複合材開発 電流容量、銅の100倍」、2013年7月26日
  46. 日経産業新聞、「銅とCNTの複合材開発 電流容量、銅の100倍」、2013年7月30日
  47. 日本経済新聞、「銅とCNTの複合材開発 電流容量、銅の100倍」、2013年7月30日
  48. 日経産業新聞、「ナノチューブ複合材開発進む 量産技術で低コスト化」、2013年8月2日
  49. 日経産業新聞、「ゴムをナノメートルのレベルで金型成形」、2013年8月29日
  50. 化学工業日報、「ゴム表面を高精度加工 単層CNT分散で実現 産総研が技術開発」、2013年8月29日
  51. 日刊工業新聞、「ナノレベルで金型成形 ゴム材 CNT混合、変形抑制」、2013年8月29日
  52. 科学新聞、「カーボンナノチューブ添加 ゴムを自在に表面加工」、2013年9月6日
  53. 中国新聞、「銅とCNTの複合材開発 電流容量、銅の100倍」、2013年9月13日

54. 中部経済新聞、「電流 100 倍でも大丈夫」、2013 年 9 月 24 日
55. 日刊工業新聞、「単層 CNT・銅複合材 NEDOなど微細配線作製技術 電流容量、銅の100倍」、2014 年 1 月 24 日
56. 化学工業日報、「銅の 100 倍の電流実現」、2014 年 1 月 24 日
57. 日経産業新聞、「単層カーボンナノチューブと銅の複合材料で微細配線加工に成功」2014 年 1 月 24 日
58. 鉄鋼新聞、「NEDOなど 銅と CNT の複合材料 微細配線技術を開発」、2014 年 1 月 24 日
59. 科学新聞、「電流は銅の 100 倍 単層 CNT と銅の複合材料で微細配線」、2014 年 2 月 7 日
60. 日経産業新聞、「塗工・印刷可能な単層カーボンナノチューブコート剤を開発」、2014 年 3 月 5 日
61. 日刊工業新聞、「基板に塗布・印刷可能 単層 CNT コート剤」、2014 年 3 月 5 日

#### その他の講演

1. 山田 健郎, 畠 賢治, Don Futaba, スーパーグロースカーボンナノチューブ、量産用途と素子開発, オープンラボ, つくば, 2008 年 10 月 20-21 日
2. 水野 耕平, 石井 順太郎, 畠 賢治, 単層カーボンナノチューブを利用した光吸収体ー光のブラックホール, nano tech 2009, 東京, 2009 年 2 月 18-20 日
3. 畠賢治, “材料科学で日本を元気にする”, 東北大・産総研合同シンポジウム, 東京, 2012 年 8 月 31 日、パネリスト
4. 畠 賢治, “革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト”, TIA-nano ワークショップ, つくば, 2013 年 6 月 27 日
5. 山田健郎, 畠賢治, FutabaDon, 桜井俊介, “単層 CNT の量産技術開発ースーパーグロースカーボンナノチューブの展開ー”, 平成25年度産総研本格研究ワークショップ in 中部, 2013 年 12 月 10 日
6. 山田健郎, 畠賢治, “Recent Progress Applications of Super-Growth Carbon Nanotubes”, ICSS 2013, 2013 年 12 月 15 日
7. 山田健郎, 畠賢治, 小橋和文, “集積化 CNT マイクロキャパシタ”, 産総研関西センター本格研究ワークショップ, 2014 年 1 月 21 日

#### その他(WEB)

1. 山路達也(フリーライター)のブログ「エコ技術研究者に訊く」、カーボンナノチューブでできた世界で最も「黒い」物質(1)～(3)、2009 年 5 月 19 日
2. 日本学士院(WEB)、日本学士院学術奨励賞の受賞者決定について、2010 年 2 月 12 日
3. 読売新聞(WEB)、日本学士院学術奨励賞に川合・名大准教授ら、2010 年 2 月 12 日
4. 読売新聞(WEB)、望月・京都大准教授ら6人に日本学士院学術奨励賞、2010 年 2 月 13 日
5. 毎日新聞(WEB)、日本学士院学術奨励賞:受賞者6人を決定、2010 年 2 月 23 日
6. つくばサイエンスニュース (WEB)、人の動き測定できる高性能ひずみセンサーを開発、201 年 4 月 6 日
7. 化学工業日報 (WEB)、TASC CNT 分散ゴム開発、導電性・耐久性を両立、2011 年 9 月 8 日
8. 日本経済新聞 (WEB)、産総研、チタンに匹敵する熱伝導率の単層 CNT/CF/ゴム複合材料を開発、2011 年 10 月 6 日
9. メカニカル・テック (WEB)、産総研、25W/mK の熱伝導率をもつ単層 CNT/CF/ゴム



- 複合材料を開発、2011年10月7日
10. 日本経済新聞 (WEB)、産総研とTASC、極少量の単層カーボンナノチューブを添加して作った導電性樹脂を開発、2011年10月12日
  11. メカニカル・テック (WEB)、産総研、極少量の単層カーボンナノチューブを添加して作った導電性樹脂、2011年10月13日
  12. マイコミジャーナル (WEB)、産総研など、従来比100倍の導電率を実現したSWCNT添加導電性樹脂を開発、2011年10月13日
  13. 日刊工業新聞 (WEB)、産総研、微量のCNT混ぜ100倍の導電性持つ樹脂開発ーゴムの性質保つ、2011年10月13日
  14. つくばサイエンスニュース (WEB)、チタンに匹敵する熱伝導率を持つゴム系新複合材料を開発、2011年10月19日
  15. ゴムタイムス (WEB)、産総研 複合材料を開発 ゴムで従来比100倍の導電率を実現、2011年10月19日
  16. Itmedia、発電しながら甘みを測る―東北大学と産総研、電源不要のカーボンナノチューブ製糖度センサーを開発、2012年8月27日
  17. Tech-On!、苦節20年超のカーボン・ナノチューブに「春」が来た! ?、2012年8月10日
  18. ecool.jp、東北大、「発電しながら測る」電源が要らない微小バイオセンサを開発、2012年8月27日
  19. 日本経済新聞 (WEB)、東北大、「発電しながら測る」電源が要らない微小なバイオセンサを開発、2012年8月27日
  20. 電気新聞 (WEB)、東北大・産総研、ブドウ糖からの世界最高レベルの発電、2012年8月28日
  21. 環境ビジネスオンライン、東北大学など、「発電しながら糖度を測る」、電源不要の微小バイオセンサを開発、2012年8月28日
  22. マイナビニュース、東北大、「発電しながら測る」電源が要らない微小なバイオセンサを開発、2012年8月28日
  23. 日本農業新聞 (WEB)、糖度測定 刺すだけ 新センサー開発 東北大大学院と産総研 電源なしでLED点滅、2012年9月20日
  24. 日経プレスリリース (WEB)、ゼオン、高品位なカーボンナノチューブのサンプル製造を開始、2012年11月6日
  25. Jpubb、日本ゼオン、カーボンナノチューブのサンプル製造を開始、2012年11月6日
  26. 週間ゴムタイムス、日本ゼオン カーボンナノチューブ量産化へ、2012年11月6日
  27. 日本経済新聞 (WEB)、日本ゼオン、単層ナノチューブを初の量産化、2012年11月6日
  28. 化学工業日報 (WEB)、日本ゼオン 単層CNTのサンプル生産開始、2012年11月7日
  29. 化学工業日報 (WEB)、日本ゼオン CNT事業化急ぐ 放熱材料に的、2013年1月25日
  30. 日経プレスリリース (WEB)、産総研、銅の100倍まで電流を流せるカーボンナノチューブ銅複合材料を開発、2013年7月23日
  31. マイナビニュース (WEB)、産総研、銅の100倍まで電流が流せる単層CNTと銅の複合材料を開発、2013年7月24日
  32. 日刊工業新聞 (WEB)、産総研とTASC、銅の100倍の電気容量持つ銅・CNT複合材料を開発、2013年7月24日
  33. 環境ビジネスオンライン (WEB)、NEDOなど、電流を銅の100倍流せる複合材料を開発 カーボンナノチューブを使用、2013年7月25日
  34. ITmedia ニュース (WEB)、銅の100倍の電流を流せる配線材料、カーボンナノチューブ使い、2013年7月25日

35. ゴムタイムス (WEB)、NEDO CNT 銅複合材料を開発、2013 年 7 月 25 日
36. サイエンスポータル (WEB)、銅の 100 倍の電流容量、カーボンナノチューブで新材料、2013 年 7 月 30 日
37. Nanowerk (WEB)、Novel CNT-copper nanocomposite delivers a 100-fold increase in current density、2013 年 8 月 6 日
38. Security Online News (WEB)、ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形 [産総研]、2013 年 8 月 28 日
39. J-Net21 (WEB)、ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形—カーボンナノチューブを添加することで自在な表面加工が可能に—、2013 年 8 月 28 日
40. 日経プレスリリース (WEB)、産総研など、ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形する技術を開発、2013 年 8 月 28 日
41. 独立行政法人 科学技術振興機構 (WEB)、ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形、2013 年 8 月 28 日
42. ゴムタイムス (WEB)、産総研 ゴム表面加工新技術を開発、2013 年 8 月 28 日
43. 日刊工業新聞 (WEB)、産総研、ナノレベルで金型成形できるゴム材料開発—CNT 混合、変形抑制、2013 年 8 月 29 日
44. 化学工業日報 (WEB)、産総研 ゴム表面の精緻な加工ができる技術を開発、2013 年 8 月 29 日
45. マイナビニュース、産総研、単層 CNT 分散させたゴム表面をナノレベルで加工することに成功、2013 年 8 月 30 日
46. 日経バイオテク ONLINE、産業技術総合研究所、ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形—カーボンナノチューブを添加することで自在な表面加工が可能に—2013 年 8 月 30 日
47. インターネットコム (WEB)、「産総研がゴム加工の精緻化に成功、高機能ゴムに期待」、2014 年 9 月 2 日
48. ゴム報知新聞 (WEB)、「産業技術総合研究所、ナノ精度でゴム表面加工の技術開発」、2014 年 9 月 2 日
49. ASCII.jp (WEB)、「カーボンナノチューブ複合材で銅の 100 倍の電流を流せる微細配線が可能に」、2014 年 1 月 24 日
50. マイナビニュース (WEB)、「単層 CNT と銅の複合材で銅の 100 倍電流を流せる微細配線加工に成功」、2014 年 1 月 24 日
51. 日経バイオテク ONLINE (WEB)、「独立行政法人 産業技術総合研究所、単層カーボンナノチューブと銅の複合材料で微細配線加工に成功」、2014 年 1 月 24 日
52. EE Times Japan (WEB)、「立体交差もできる！ 銅の 100 倍電流を流せるカーボンナノチューブ材料で微細配線加工に成功」、2014 年 1 月 24 日
53. 日刊工業新聞 (WEB)、「NEDO など、単層 CNT・銅複合材で微細配線作製技術—電流容量は銅の 100 倍」、2014 年 1 月 24 日
54. Tech-On ! (WEB)、「銅の 100 倍の電流を流せる複合材料で微細配線、産総研などが試作」、2014 年 1 月 24 日
55. J-Net21 (WEB)、「単層カーボンナノチューブと銅の複合材料で微細配線加工に成功—高電流に耐える高機能小型電子デバイスの配線が可能に—」、2014 年 2 月 7 日
56. 日経プレスリリース (WEB)、「産総研など、塗工・印刷可能な単層カーボンナノチューブコート剤を開発」、2014 年 3 月 4 日
57. J-Net21 (WEB)、「塗工・印刷可能な単層カーボンナノチューブコート剤を開発—単層カーボンナノチューブを低コストで利用可能に—」、2014 年 3 月 5 日
58. 日経バイオテク ONLINE (WEB)、「独立行政法人 産業技術総合研究所、塗工・印刷可能な単層カーボンナノチューブコート剤を開発」、2014 年 3 月 5 日
59. 日刊工業新聞 (WEB)、「産総研など、基板に塗布・印刷できる CNT コート剤を開発」、2014 年 3 月 5 日

60. マイナビニュース (WEB)、「TASC など、塗工・印刷可能な単層カーボンナノチューブコート剤を開発」、2014年3月6日

その他(雑誌掲載)

1. Newton 2011 4、極低温でも弾力のあるゴム、2011年4月17日
2. 現代化学 4月号 No.481、カーボンナノチューブ製のゴム、2011年4月
3. highlighted in Angrew.Chem.、Carbon Nanotube Rubber Stays Rubbery in Extreme Temperatures、2011年4月14日
4. リーチレター No. 591、人体の動きを測定できるカーボンナノチューブひずみセンサー、2011年5月25日
5. 日経サイエンス 2011 08、産学連携でイノベーション推進、2011年7月1日
6. 化学工業時報、産総研 フィルムにできる高熱伝導性材料を開発、2011年11月15日
7. プラスチックスエージ 12、ごく少量の単層 CNT 添加でできる導電性樹脂、2011年11月22日

#### ①社会還元的な展開活動

- ・ 発展途上国に対し、得られた成果を提供した。
- ・ 本研究成果をインターネットで公開し、一般に情報提供している。

## §6 研究期間中の活動

### 6. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	概要
2009年10月15-16日	2009産総研オープンラボ	産業技術総合研究所、つくば	企業、大学、公的機関を対象に、研究成果や研究現場を公開し、シーズの公開や研究者と対話による産総研への理解が目的
2010年10月14-15日	2010産総研オープンラボ	産業技術総合研究所、つくば	企業、大学、公的機関を対象に、研究成果や研究現場を公開し、シーズの公開や研究者と対話による産総研への理解が目的
2010年12月28日	産総研見学会(ナノカーボン物質の基礎と応用:現状と展望に関する若手研究会)	産総研ナノチューブ応用研究センタースーパーグロースCNTチーム研究室	ナノカーボン物質の基礎と応用:現状と展望に関する若手研究会の参加者に研究現場を公開
2011年10月12、13日	2011産総研オープンラボ	産業技術総合研究所、つくば	企業、大学、公的機関を対象に、研究成果や研究現場を公開し、シーズの公開や研究者と対話による産総研への理解が目的
2012年1月13日	TXテクノロジーショーケース	つくば国際会議場	研究者、企業、行政の交流やベンチャー事業の場作りが目的。異分野の研究者や企業人との情報交換を行い、研究成果を展示しました。

2012年2月 15日～17日	nano tech2012	東京ビッグサイト	最先端のモノづくりに欠かすことのできない基盤技術「ナノテクノロジー」に関する世界最大の展示会。
2012年10月 25～26日	2012産総研オープンラボ	つくば中央	企業、大学、公的機関を対象に、研究成果や研究現場を公開し、シーズの公開や研究者と対話による産総研への理解が目的
2013年1月 30日	nano tech2013	東京ビッグサイト	最先端のモノづくりに欠かすことのできない基盤技術「ナノテクノロジー」に関する世界最大の展示会。
2013年10月 30日、11月 1日	2013産総研オープンラボ	産業技術総合研究所、つくば	企業、大学、公的機関を対象に、研究成果や研究現場を公開し、シーズの公開や研究者と対話による産総研への理解が目的
2014年1月 28日～30日	nano tech2014	東京ビッグサイト	最先端のモノづくりに欠かすことのできない基盤技術「ナノテクノロジー」に関する世界最大の展示会。

視察対応

年月日	見学者
2008年10月17日	Accel Partners (USA)
2008年12月10日	経済産業省
2009年3月12日	尾身衆議院議員一行
2009年4月10日	経済産業省
2009年4月15日	経済産業省 産業技術環境局 大学連携推進課長 訪問
2009年6月5日	経産省研究開発課
2009年6月15日	財務省経済産業1係
2009年6月30日	経済産業省
2009年8月11日	資源エネルギー庁 新エネルギー対策課 燃料電池推進室
2009年8月26日	政策評価・独立行政法人評価委員会 独立行政法人評価分科会 委員
2009年9月3日	衆議院経済産業調査室長
2009年9月9日	二階経済産業大臣
2009年9月28日	直嶋経済産業大臣、増子副大臣、近藤大臣政務官
2009年10月2日	ノーベル博物館館長・スウェーデン王立科学アカデミー会長一行
2009年12月8日	衆議院・経済産業委員会 民主党議員
2009年12月16日	高橋経済産業大臣政務官
2010年1月14日	財務省 鍮水主計官
2010年1月15日	民主党 大泉博子衆議院議員
2010年3月26日	経済産業省産業技術環境局一行
2010年5月20日	産業技術政策課西脇課長補佐
2010年6月23日	経済省 豊永大臣官房審議官

2010年6月23日	三井業際研究所
2010年7月2日	経済産業省 望月事務次官他
2010年8月19日	内閣府田中参事官
2010年10月1日	菅原産業技術環境局長
2010年10月19日	国際標準推進部(社)日本経済団体連合会
2010年10月28日	TIA 運営最高会議、他
2010年12月09日	経済産業省 大臣官房技術総括審議官
2010年12月17日	経産省技術振興課
2010年12月20日	奥村衆議院議員
2010年12月21日	つくばナノフォーラム
2010年12月27日	大島経済産業省大臣
2011年1月26日	内閣官房 行政改革推進本部事務局
2011年2月7日	第6回運営諮問会議委員
2011年2月8日	経済産業省大臣官房審議官(産業技術・環境担当)
2011年5月24日	独法評価委員会評価委員
2011年6月17日	東北大学数井理事
2011年7月22日	日立製作所執行役専務小豆畑茂
2011年8月24日	経済産業省化学物質管理課
2011年8月29日	産総研室島崎室長補佐
2011年9月2日	産総研室芳田室長補佐
2011年9月5日	文科省(理研・NIMS 所管課)理研、NIMS
2011年9月9日	福島県商工労働部
2011年9月15日	茨城大学理学部
2011年10月13日	産業技術政策課
2011年11月8日	経済産業省
2011年12月15日	関東経済産業局
2011年12月20日	総合科学技術会議議員
2012年1月12日	福島県郡山市
2012年1月20日	経済産業省研究開発課
2012年2月6日	第7回運営諮問会議委員
2012年2月23日	関東経済産業局
2012年3月13日	GNC シンポジウム招聘研究者
2012年3月23日	イギリス公共政策研究所所長のTIA視察
2012年04月04日	総合科学技術会議
2012年04月17日	NEDO 電子材料ナノテクノロジー部
2012年05月08日	財務省主計局3係、経済産業省産業技術環境局
2012年05月17日	オクラホマ州立大学
2012年05月22日	三菱商事株式会社
2012年06月27日	鉄道総合研究所

2012年07月03日	経産省
2012年08月07日	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課
2012年08月15日	経済産業省 産業技術環境局
2012年09月21日	電気通信大学
2012年10月12日	株式会社デンソー
2012年10月25日	経済産業省 産業技術環境局
2012年11月05日	経済産業省 関東経済産業局
2012年12月12日	特許庁
2013年02月01日	経済産業省 産業技術政策課
2013年02月26日	筑波研究学園都市交流協議会
2013年02月28日	慶應大学理工学部
2013年4月26日	経済産業省 産業技術環境局 安永審議官
2013年5月9日	オクラホマ州立大学
2013年5月13日	グルノーブル経営学院
2013年5月13日	独法評価委員会
2013年6月11日	内閣府 山際政務官
2013年6月17日	経産省研究開発課
2013年6月28日	株式会社三菱ケミカルホールディングス
2013年7月10日	経済産業省 産業技術環境局
2013年7月12日	特許庁審判7部門
2013年7月17日	経産省 研究開発課の田中企画官他
2013年7月18日	長崎県立佐世保北中学校
2013年8月2日	財務省主計局 宇波主計官
2013年8月5日	財務省主計局 松本主査
2013年8月7日	日本経済団体連合会 内山田副会長
2013年8月27日	第2回パワーエレクトロニクスサマースクール
2013年8月29日	超党派議員連盟「科学技術の会」事務局 三浦事務局長
2013年9月24日	経産省 多田政策評価審議官
2013年10月8日	文部科学省 研究振興局 前田参事官
2013年10月8日	日本発明振興協会
2013年11月27日	政策研究大学院大学
2013年11月28日	日独若手専門家交流事業
2014年1月28日	カナダ企業
2014年2月3日	Nanotechnology Coordination Office (NNCO)
2014年2月24日	三菱樹脂株式会社

2014年2月28日	民主党 加藤敏幸参議院議員
2014年3月11日	フランス DGA 研究開発担当マネージャー

## §7 最後に

当初の研究構想で掲げた、①CNT シートを基板に貼って作るデバイスの製造技術開発、②化学プロセスを用いた異材料とのインテグレーション技術開発、③柔らかいナノデバイスシステム開発は、計画通り順調に行われ、研究目標の達成度は高いと評価できる。開発した各種のデバイスは、フレキシブルであったり、伸びたりするデバイスであることから、人間の生活環境中に溶け込み、我々が意識しないで使用するユビキタスデバイスになることが予想される。今後の研究の展開として、開発した CNT のプロセスインテグレーション技術の活用及びそれらの改良と、CNT と異材料との複合化、CNT を集合構造体としたときにはじめて発現する機能等を通し、全く新しい CNT を用いた柔らかいナノ(MEMS)デバイスの開発が見込まれる。

