

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656227

研究課題名(和文)異方性配向CNTシートを用いたウェアラブル歪センサの研究

研究課題名(英文)Wearable strain sensors using anisotropic CNT sheets

研究代表者

三村 秀典(MIMURA, HIDENORI)

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：90144055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：長尺紡績性多層カーボンナノチューブ(MWCNT)配向リボンと高分子弾性樹脂から形成される新規ストレッチャブル動歪センサ(以下CNT歪センサ)に関する研究を行った。試作したCNT歪センサの弾性率は、金属歪センサに比較して、歪で20倍以上、歪に対する抵抗変化の割合で5～10倍である。繰り返し耐久性は18万回以上であることを確認し、耐久面からも実用の可能性を示唆した。さらに、ヒトの体にフィットするコンプレッション生地とCNT歪センサを一体化させ、ウェアラブルセンサを試作した。実際にヒトの関節部位にCNT歪センサを配置し、ヒトの繰り返し動作計測が計測可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：We have developed novel stretchable dynamic strain sensors which are composed of a multi-wall carbon nanotube (CNT) ribbon and elastic polymer. The modulus of elasticity of the fabricated CNT strain sensor is 20 times larger in stain and 5-10 times larger in the ratio of resistance variation to stain than those of conventional metal strain sensors. We confirmed that the repeated durability of the fabricated CNT strain sensor is larger than 180,000 times. It suggests that the fabricated CNT sensors are capable of practical use. In addition to them, we have developed wearable CNT strain sensors by incorporating the CNT sensors with compression stuff fit to a human body. We arranged the CNT sensors at several joints of human body and measured the signals following the movement of the human body.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：センシング CNT 歪センサー ウェアラブル

### 1. 研究開始当初の背景

人体に直接装着することで、人体の活動、すなわち生体情報を正確に測定し、人体の所作を分析する人間情報学・行動認識技術が検討され、ユビキタスネットワーク・医療・ロボティクス等への応用が期待されている。このためには、低侵襲化による常時体着可能であることに加え、人体の大きな動作に繰り返し追従する大歪・フレキシブル・繰り返し耐久性を具備した新しい歪センサが必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は我々グループが世界で唯一保有する、極めて簡単に数十m以上のウェブにすることができるカーボンナノチューブ (CNT) アレイを用いて、異方性配向 CNT シートを作製し、その異方性とナノ構造特性を利用した従来に無い新しい“高速応答ウェアラブル大歪センサシステム”の開発を行うことである。

### 3. 研究の方法

CNT の成長前に触媒の成膜などの前処理が必要なく、かつ 20 分で 2mm 以上の高速成長で極めて簡単に数十m以上のウェブにすることができる CNT アレイを用いて、異方性配向 CNT シートを作製する。CNT 配向膜の作製パラメータ (堆積時圧力、ガス流量、基板温度) を変化させ種々の特性を持つ異方性配向 CNT シートを製作する。これら、CNT シートと弾性マトリクス樹脂から図 1 に示す様な CNT 歪センサを製作する。CNT 歪センサの歪と抵抗変化の関係の静的・動的特性を測定する。また、CNT 歪センサをテキスタイルと一体化することで人体に対して非侵食かつ極めて装着感の無い装着方式について検討する。さらに、実際に人体に装着し、生体情報を測定しシステムの有用性を検証し、実用化に向けた検討を行う。

### 4. 研究成果

まず異方性 CNT シートを用いた歪センサの製作プロセスを開発した。ガラス基板上にラテックスを塗布、その後 CNT シートを張り付け、次に導電性接着剤を塗布する方法で、CNT 歪センサを製作した。この CNT 歪センサの引っ張り時 (伸長)、および無負荷時 (収縮) の抵抗変化を測定した。

図 2 に CNT 歪センサを 200% まで歪ませたときの抵抗-歪特性を示す。伸張時、歪の増加とともに単調に抵抗は増加した。収縮時は、まず抵抗が大きく減少した後、緩やかな減少傾向となった。初期抵抗値は 500 Ω 程度であり、歪 200% 時には 60k Ω となった。2 倍程度の歪に対し、500 Ω ~ 60k Ω と大きく抵抗変化する高感度センサであると言える。抵抗が変化 (上昇する) する理由は、図 3 に示す様に、CNT の伸長により CNT の連結部が開列するためである。また、収縮により高速に再組織化

して抵抗が元に戻る。そしてこの現象は安定した繰り返し特性を示す。

図 4 に歪センサの応答特性を示す。歪に対する抵抗変化の応答遅れは非常に小さく 0.02sec 以下である。応答性が速いセンサであると言える。

現時点での性能は金属歪ゲージに比較して、歪で 20 倍以上、歪に対する抵抗変化の割合を示すゲージファクター (GF) で 5~10 倍である。繰り返し耐久性は 18 万回以上であることを確認し、耐久面からも実用の可能性を確認した。

さらに、ヒトの体にフィットするコンプレッション生地と CNT 歪センサを一体化させ、ウェアラブルセンサを試作した。実際にヒトの関節部位に CNT 歪センサを配置し、ヒトの繰り返し動作計測が計測可能であることを確認した。

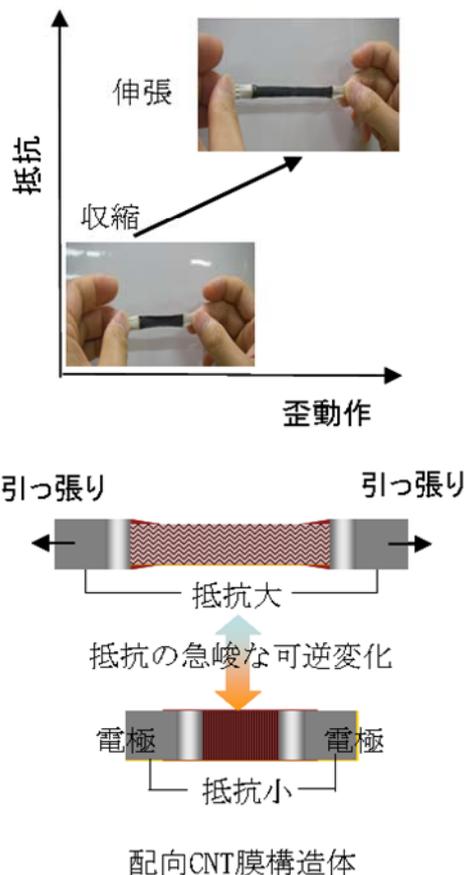


図 1 制作した CNT 歪センサ

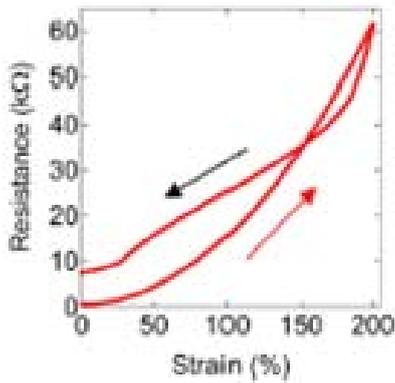


図2 制作したCNT歪センサの抵抗-歪特性

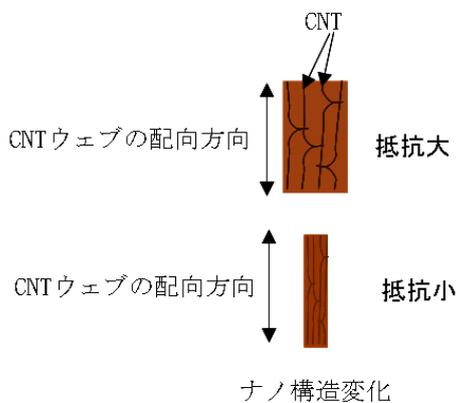


図3 CNT歪センサの動作原理

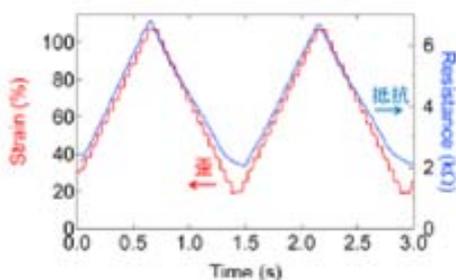


図4 CNT歪センサの応答特性

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

1. C. Ghemes A. Ghemes, M. Okada, H. Mimura, T. Nakano, and Y. Inoue, Study of Growth Enhancement of Multiwalled Carbon

Nanotubes by Chlorine-assisted Chemical Vapor Deposition、査読有、Vol. 52、2013、035202-1-6、doi:10.7567/JJAP.52.035202

2. A. Ghemes, Y. Minami, J. Muramatsu, M. Okada, H. Mimura, and Y. Inoue, Fabrication and mechanical properties of carbon nanotube yarns spun from ultra-long multi-walled carbon nanotube arrays、Carbon、査読有、Vol. 50、2012、4579-4587、doi:10.1016/j.carbon.2012.05.043

3. C. Ghemes, A. Ghemes, M. Okada, Y. Inoue, and H. Mimura, Synthesis of long and spinnable multi-walled carbon nanotubes、J. Advanced Research in Physics、査読有、Vol. 3、2012、011209-1-3、http://stoner.phys.uaic.ro/jarp/index.php/jarp/article/view/104

4. A. Ghemes, J. Muramatsu, Y. Minami, M. Okada, Y. Inoue, and H. Mimura, High performance carbon nanotube fibers spun from long multi-walled carbon nanotubes、J. Advanced Research in Physics、査読有、Vol. 3、2012、011207-1-3、http://stoner.phys.uaic.ro/jarp/index.php/jarp/article/view/102

[学会発表] (計 8件)

1. 佐孝佳祐、奥宮保郎、榊原慎吾、鈴木克典、中野貴之、矢代茂樹、島村佳伸、三村秀典、井上翼、高配向CNTシートを用いた新規大歪センサーの開発、第61回応用物理学関係連合講演会、2014年3月20日、青山学院大学

2. 林航平、佐藤仁、中西太字人、加藤隆、富田恭一、三村秀典、中野貴之、井上翼、多層カーボンナノチューブ紡績糸の電気特性及び機械特性の制御、第61回応用物理学関係連合講演会、2014年3月20日、青山学院大学

3. 菊池貴裕、臼田佑希、佐藤仁、中西太字人、加藤隆、富田恭一、三村秀典、中野貴之、井上翼、IIPVN法を用いた紡績性CNTアレイ合成技術の開発、第61回応用物理学関係連合講演会、2014年3月18日、青山学院大学

4. 臼田佑希、菊池貴裕、佐藤仁、中西太字人、加藤隆、富田恭一、三村秀典、中野貴之、井上翼、新規触媒前駆体として液体供給源を用いたCNT成長の開発(II)、第61回応用物理学関係連合講演会、2014年3月18日、青山学院大学

5. K. Hayashi, O. Morihiro, T. Nakano, H. Mimura, H. Sato, T. Nakanishi, T. Kato, K. Tomita, Y. Inoue, Influences of MWCNT Structures on Mechanical and Electrical Properties of Dry-Spun MWCNT Yarn, MRS Fall Meeting, December 6, 2013, Sheraton Hotel Boston, USA

6. T. Kikuchi, Y. Usuda, H. Sato, T. Nakanishi, T. Kato, K. Tomita, H. Mimura, T. Nakano, Y. Inoue, The Suggestion of

Hydride Vapor Phase Nucleation as Novel CNT Growth Method、MRS Fall Meeting, December 6、2013、Sheraton Hotel Boston、USA

7. 臼田祐希、菊池貴裕、佐藤仁、中西太宇人、加藤隆、富田恭一、中野貴之、三村秀典、井上翼、新規触媒前駆体として液体供給源を用いた CNT 成長の開発、第 74 回応用物理学会学術講演会、2013 年 9 月 16 日、同志社大学

8. C. Ghemes、A. Ghemes、三村秀典、中野貴之、井上翼、Growth enhancement of MWCNT by Chlorine-assisted CVD、第 73 回応用物理学会学術講演会、2012 年 9 月 13 日、愛媛大学

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三村 秀典 (Mimura Hidenori)

静岡大学・電子工学研究所・教授

研究者番号：90144055

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

井上 翼 (Inoue Yoku)

静岡大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90324334