



令和3年3月23日

報道機関 各位

東北大学未来科学技術共同研究センター  
東北大学大学院工学研究科附属先端材料強度科学研究センター

### セルロースナノファイバー(CNF)による蓄電体の開発 アモルファスセルロースナノファイバーを利用して創成した 物理的高性能電子吸着体の発見

#### 【発表のポイント】

- ・ CNF に強力な蓄電効果があることを世界で初めて発見
- ・ CNF 表面形状を制御したナノサイズの凹凸面を作り出すことにより、世界で初めて乾式で軽量のスーパーキャパシタの開発に成功
- ・ ナノサイズ径の CNF の使用により、電子吸着量が飛躍的に向上

#### 【概要】

CNF の原料である木材は、カーボン・ニュートラル素材の地球再生のエース材料として期待されていますが、現時点での応用は機械的・化学的、医学的分野に限定されています。

東北大学未来科学技術共同研究センターの福原幹夫リサーチフェロー、長谷川史彦センター長、大学院工学研究科附属先端材料強度科学研究センターの橋田俊之教授、静岡大学 藤間信久教授、仙台高等専門学校 武田光博教授らの研究グループと、日本製紙株式会社研究開発本部 CNF 研究所は、共同で CNF に強力な蓄電効果があることを世界で初めて発見し、CNF 表面形状を制御したナノサイズの凹凸面を作り出すことにより、乾式で軽量のスーパーキャパシタの開発に世界で初めて成功しました。

構成材料に電解液を全く用いないため、使用温度が広範囲で高電圧耐性（～400V）があるのが特徴です。電圧短時間充電が可能となり、空中、真空中からの充電の可能性も出てきました。またナノサイズ径の CNF の使用により、蓄電大容量化が見えてきたことで、世界に先駆けての「ペーパーエレクトロニクス」の幕開けが期待されます。

今後は、NEMS（ナノ電気機械システム）加工技術を導入し、集積化および積層化を行い、弱電用蓄電体としてパワー密度とエネルギー密度の向上を図ります。

本研究成果は、2021年3月19日に、Springer-Nature 誌の Scientific Reports にオンラインで掲載されました(<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85901-3>)。

### 【詳細な説明】

太陽光発電をはじめとする自然エネルギーは、気象状況に左右されやすく予測が極めて困難であり、現在のように発電した電気を送電線に直接流し込む方法ではブラックアウトのリスクを高めるため得策ではなく、エネルギーの地産地消が望まれています。リチウムイオン電池をはじめとする2次電池は電気エネルギーを直接蓄えることができず、化学エネルギーに変換するため瞬間的に大量の電気を蓄えることは原理的に不可能です。

一方でCNFの原料である木材は、炭酸ガスを吸収し、また、生分解性であることからカーボン・ニュートラル素材の地球再生のエース材料として期待されており、しかしながら、現在、その応用は機械的・化学的、医学的分野に限定されております。

本研究では、直接電気を蓄える完全固体物理電池（スーパーキャパシタ（注1））の電子吸着部分に平均3 nm径のCNFを採用し、表面形状を制御したナノサイズの凹凸面を作り出すことに成功しました（図1）。その物理的蓄電体の電子吸着モデルを図2に示します。蓄電量はその凹凸径が小さければ小さいほどマイナス6乗則のファンデルワールス力（注2）で瞬時に増大します。原理は現在の電気二重層キャパシタ（注3）と同様であるものの、構成材料に電解液を全く用いないため、使用温度が広範囲で高電圧耐性（～400V）があるのが特徴です（図3）。特に充電に長時間を要する従来の電気化学的電池と異なり電圧短時間充電が可能となり、空中における*I-V*、及び*R-V*特性における-6.5 V～+6.5 V間の大きなクーロンギャップ（図4）、空中非接触原子間力顕微鏡における正負電荷負荷下の電子吸着（図5）、真空中の強力電子線照射（蓄電）によるC<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>原子間収縮（図6）から明らかのように空中、真空中からの充放電の可能性も出てきました。蓄電発電機構としてアモルファス（注4）CNF分子構造中のCOONa官能基近傍での電子状態出現も正電荷誘起静電作用によるCNF表面での電子多量吸着に大きな効果を出しております（図7）。

またナノサイズ径のCNFの使用により、電子吸着量が飛躍的に向上することが明らかとなり、蓄電大容量化が見えてきました。

以上より、「地球コンデンサー（注5）」による大気中からの大気電流蓄電が期待されます。

本研究成果は、2021年3月19日に、Springer-Nature誌のScientific Reportsにオンラインで掲載されました(<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85901-3>)。

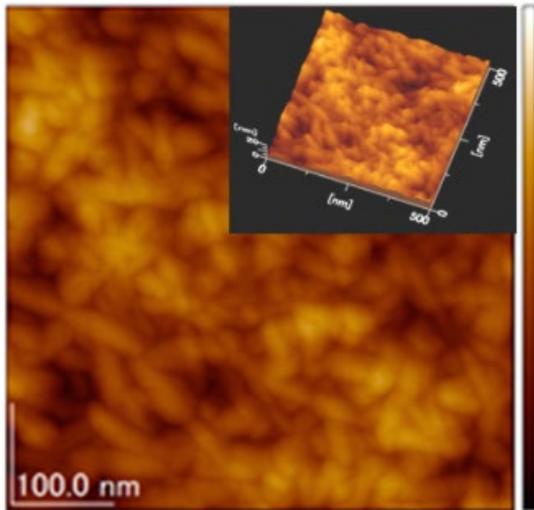


図 1 CNF 吸着体表面のナノ凹凸表面

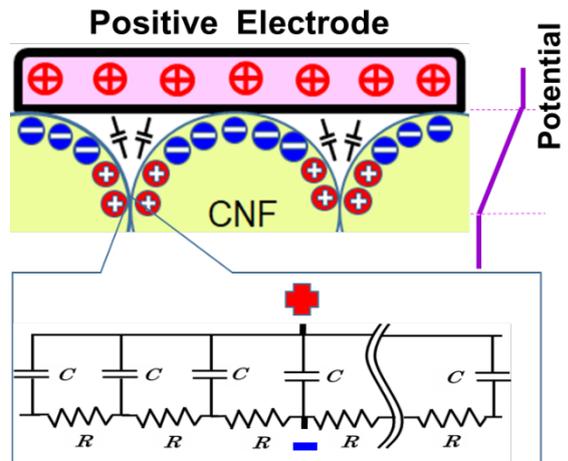


図 2 本研究で提案する固体物理蓄電体(注 6)の電子吸着モデル

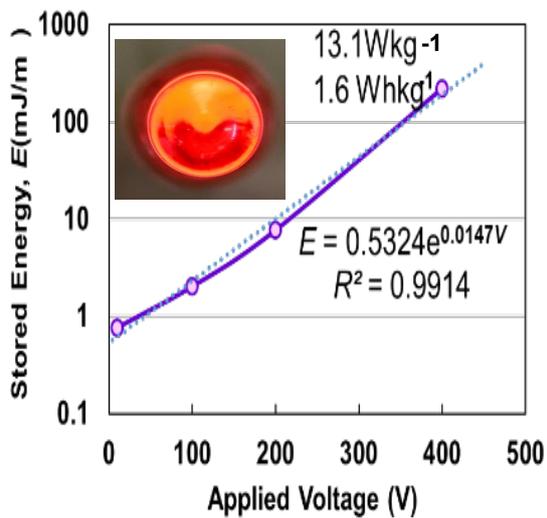


図 3 400V までの 10 秒間充電結果と LED 点灯

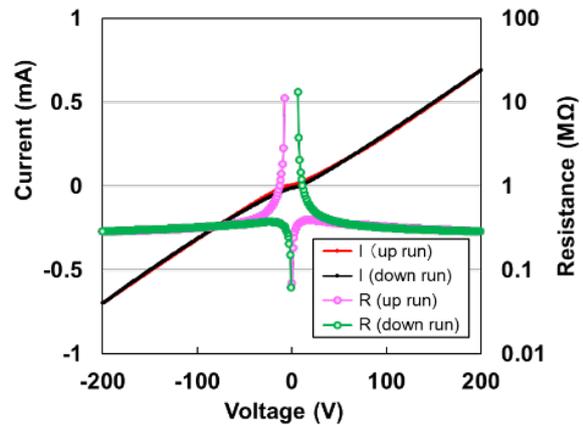


図 4 空中での  $I$ - $V$  及び  $R$ - $V$  特性  
-6.5 V ~ +6.5 V 間のクーロンギャップは空中からの充電を示す

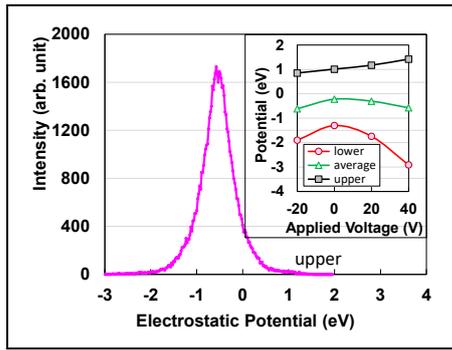


図 5 原子間力顕微鏡による空中非接触の正負電荷負荷下の電子蓄電。荷電圧が-20 V から+40 V に 10 分間で変化するとき、静電ポテンシャル分布ピストグラムは負の値に変移する

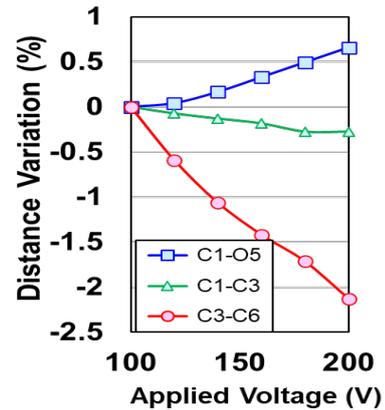


図 6 真空中の電子照射（蓄電）による C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> 原子間収縮

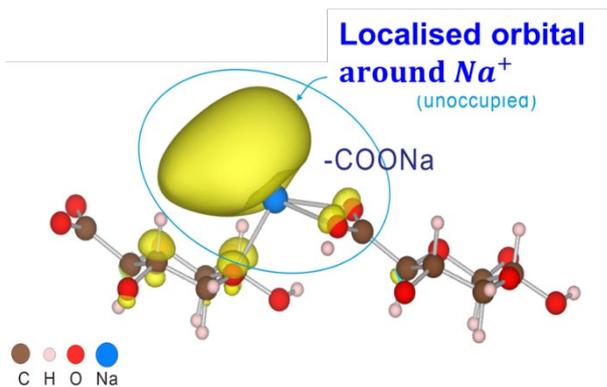


図 7 蓄電性発現に寄与する COONa 官能基近傍に生ずる電子状態（第一原理計算）

### 【用語解説】

- 注 1. スーパーキャパシタ：蓄電機構として電気二重層を用い（本研究の場合、固体／気体二重層）、比表面積が 2,000 m<sup>2</sup>/g 以上あることを特徴とするキャパシタで、従来のキャパシタと区別されています。
- 注 2. ファンデルワールス力：電極間距離のマイナス 6 乗則で作用する静電作用
- 注 3. 電気二重層キャパシタ：コンデンサーと二次電池の中間的な性質を持った蓄電体。二次電池は化学反応によって電荷を蓄えるのに対して、電解液に電極の表面にイオンを直接吸着させ、電気二重層（この場合、固体／

液体二重層)を形成することで電荷を蓄えます。このため、二次電池よりも短時間で充電を行うことができます。

注4. アモルファス：ガラスのように、元素の配列に規則性がなく全く無秩序な材料。結晶材料とは異なる種々の特性を示します。

注5. 地球コンデンサー：地上から高度 50 km に亘って宇宙線イオン化作用によって作られる導電層において、大気上層部が正に、地表部が負に蓄電する天然のコンデンサー。普通、電気的中性が保たれていますが、低気圧等による入道雲の発生や火山噴火の際、電気的中性が破れて絶縁破壊する現象が雷放電です。

注6. 固体物理蓄電体：原理は電気二重層キャパシタと同じ。ただし、電解液を用いず全て固体で構成されるため、短時間充電、高電圧耐性があるのが特徴です。また、構成材料にレアメタルも使用しないため元素戦略的に有効です。

**【問い合わせ先】**

東北大学未来科学技術共同研究センター  
リサーチフェロー 福原幹夫

電話番号: 080-1069-4789

メール: [mikio.fukuhara.b2@tohoku.ac.jp](mailto:mikio.fukuhara.b2@tohoku.ac.jp)

日本製紙株式会社研究開発本部 CNF 研究所  
主任研究員 中谷丈史 (たけし)

電話番号: 0545-67-0282

メール: [t-nakatani@nipponpapergroup.com](mailto:t-nakatani@nipponpapergroup.com)