

2022年12月2日

報道機関 各位

東北大学大学院環境科学研究科  
東北大学大学院工学研究科  
山梨大学大学院総合研究部  
東北特殊鋼株式会社

**情報を電源フリーでワイヤレス送信できる  
微小荷重センシングシステムを開発**  
—曲げ振動を利用して風邪コロナウイルスの検知に成功—

【発表のポイント】

- ・薄くて軽い鉄コバルト/ニッケル(Fe-Co/Ni)クラッド鋼板<sup>(注1)</sup>を開発し、曲げ振動で発生するエネルギーを10 mW/cm<sup>3</sup>以上の電力に変換
- ・曲げ振動で得られた電力で情報を5分に1回送信。永久磁石でバイアス磁場<sup>(注2)</sup>を印加すると、10秒に1回の情報送信が可能
- ・クラッド鋼板表面へのタンパク質CD13(アミノペプチダーゼN)固相化に成功し、曲げ振動を利用して風邪コロナウイルス(HCoV-229E)<sup>(注3)</sup>の捕捉を確認
- ・荷重の微量な変化を電源フリーでワイヤレス送信するセンシングシステムに期待

【概要】

自然界に広く存在する未利用の運動エネルギー(振動、衝撃など)から電気エネルギーを回収する環境発電が注目を集めています。東北大学大学院環境科学研究科(工学部材料科学総合学科)成田史生教授のグループと山梨大学大学院総合研究部 井上久美准教授のグループは、東北特殊鋼株式会社と共同で、逆磁歪効果を示す厚さ0.2mmのFe-Co/Niクラッド鋼板の表面にHCoV-229E捕捉タンパク質CD13を固相化させる技術の開発に世界に先駆けて成功しました。

また、このFe-Co/Niクラッド鋼板に整流蓄電回路と無線機を組み合わせ、曲げ振動で情報をワイヤレス送信できるシステムに改良し、クラッド鋼板による風邪コロナウイルス捕捉による共振周波数変化が確認できました。これによりクラッド鋼板に風邪コロナウイルスが吸着すると、振動発電量が減少し、情報送信間隔が変化してウイルスの捕捉を知ることが可能となります。

本研究成果は、2022年11月30日、Sensors and Actuators A: PhysicalのVolume 349、Issue 1に掲載されました。

**【問い合わせ先】**

＜研究に関すること＞

東北大学大学院環境科学研究科  
教授 成田史生

TEL: 022-795-7342

E-mail: narita@material.tohoku.ac.jp

＜報道に関すること＞

東北大学大学院環境科学研究科  
情報広報室

助手 物部 朋子

TEL: 022-752-2241

FAX: 022-752-2236

E-mail: tomoko.monobe.d4@tohoku.ac.jp

山梨大学大学院総合研究部

准教授: 井上 久美

TEL: 055-220-8147

E-mail: inokumi@yamanashi.ac.jp

山梨大学

企画部広報企画課

TEL: 055-220-8005, 8006

E-mail: koho@yamanashi.ac.jp

東北特殊鋼株式会社

高機能材料事業部 開発営業部

TEL: 0224-51-8223

E-mail: thk-kae1@tohokusteel.com

## 【詳細な説明】

### <背景>

あらゆるモノをインターネットにつなげてデジタル技術を活用しようとするモノのインターネット (IoT)・デジタルトランスフォーメーション (DX) が全世界に破壊的イノベーションをもたらそうとしています。IoT・DX 用センサの数は 1 兆個を超えともいわれ、それを駆動するための電源が大きな問題になり、電源のグリーン化 (センサの電池レス化) が求められています。一方、新型コロナウイルス感染症 COVID-19 は、病院や介護施設、ライブハウス、飲食店など様々な場所でクラスター感染を発生させ、社会・経済活動の停滞を引き起こしています。したがって、感染症の拡大を踏まえたウィズコロナ・ポストコロナ社会のあり方を見据え、新たな急性呼吸器感染症の突発的発生にも対応可能な技術を早期に創成し、安全・安心な社会・経済活動を維持できる環境を構築する必要があります。

### <成果>

今回研究グループが作製した厚さ 0.2 mm の Fe-Co/Ni クラッド鋼板では、曲げ振動 (共振周波数 116 Hz, 加速度 170 m/sec<sup>2</sup>) で約 8.4 V の出力電圧が得られ、約 0.414m W の出力電力 (クラッド鋼板 1 cm<sup>3</sup>あたり約 12.2 mW) が確認されています。蓄電回路に工夫を加えた結果、曲げ振動によって蓄えられた電力を使用して情報を 5 分に 1 回送信でき、永久磁石でバイアス磁場<sup>(注2)</sup>を印加すると、振動発電量が大幅に増大し、蓄電量を減らさずに 10 秒に 1 回の送信が可能となりました (図 1)。周波数が変化すると、発電量が減少して電波の送信間隔が長くなる結果も得られており、これにより情報の受信間隔でクラッド鋼板の周波数変化 (または発電量) を知ることができます。

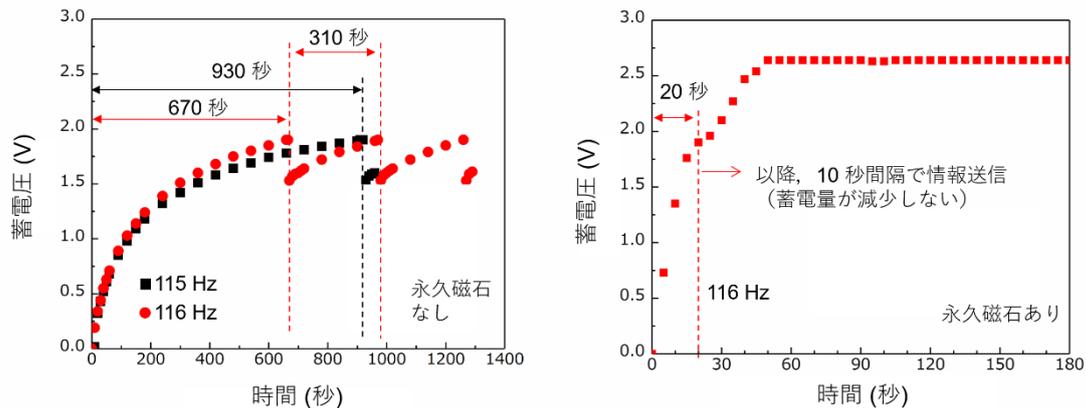
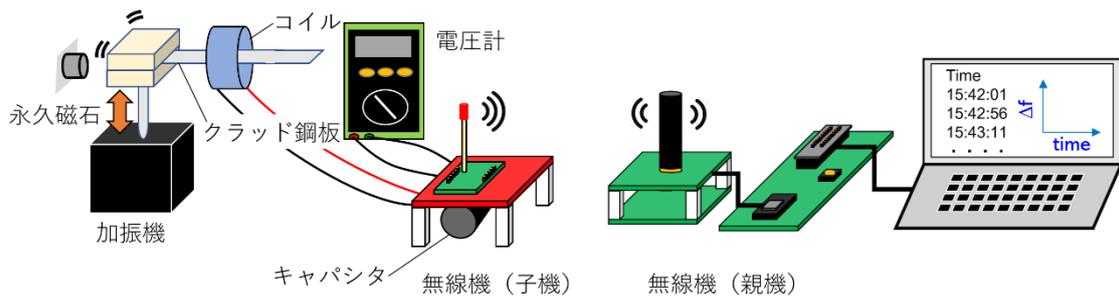


図1 Fe-Co/Ni クラッド鋼板の曲げ振動による蓄電とワイヤレス送信

振動している Fe-Co/Ni クラッド鋼板の周波数変化から、クラッド鋼板に作用する荷重の変化を検出することができます。続いて、本研究グループは、Fe-Co/Ni クラッド鋼板の表面に金 (Au) フィルムをスパッタし、生体機能化を促進して表面の錆びを防止後、11-メルカプトウンデカン酸 (11-MUA) に浸しました。これにより、11-MUA は表面に  $-COOH$  基を持つ自己組織化単分子膜を形成します。そして、1-エチル-3-[3-ジメチルアミノプロピル]カルボジイミド (EDC) と N-ヒドロキシスルホスクシンイミド (NHS) に浸漬し、EDC/NHS を  $-COOH$  基と反応させてアミン反応性のスルホ-NHS エステルを形成しました。最後に、Fe-Co/Ni クラッド鋼板を CD13 タンパク質溶液に浸すことで、HCoV-229E<sup>(注3)</sup> が吸着すると共振周波数が変化する風邪コロナウイルスセンシングシステムが完成します (図 2)。

センシング実験は、本研究グループで精製した HCoV-229E を用いて行いました。はじめに、Fe-Co/Ni クラッド鋼板をリン酸緩衝生理食塩水 (PBS) ですすぎ、未反応の CD13 を除去後、CD13 が固相化したクラッド鋼板にウシ血清アルブミン (BSA) ブロッキング<sup>(注4)</sup>を行って曲げ振動発電実験を実施しました (図 3a)。図 3b は実験前のクラッド鋼板を示したものです。出力電圧と周波数の関係が測定され、クラッド鋼板による HCoV-229E センシングの実現可能性が確認されました (図 3c)。CD13 が固相化した Fe-Co/Ni クラッド鋼板に、曲げ振動を与えて共振させると、共振周波数は、PBS と反応して減少し、HCoV-229E が吸着するとさらに小さくなりました。この共振周波数の変化量から HCoV-229E を検出することができます (図 3d)。Fluorescein

isothiocyanate (FITC) 標識抗体を併用した蛍光顕微鏡観察で、HCoV-229E の感染力と蛍光度との関係解明と、クラッド鋼板に吸着した HCoV-229E の定性的・定量的評価にも成功しています。

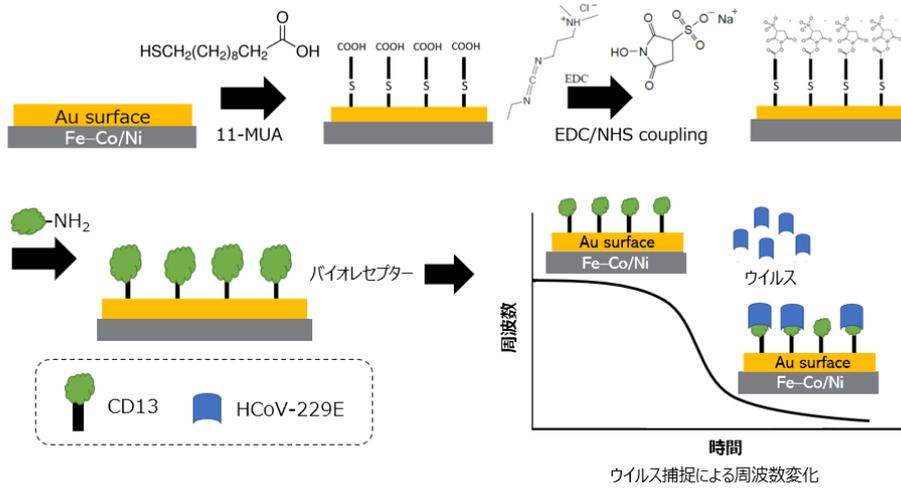


図 2 Fe-Co/Ni クラッド鋼板の生体機能化の概略図

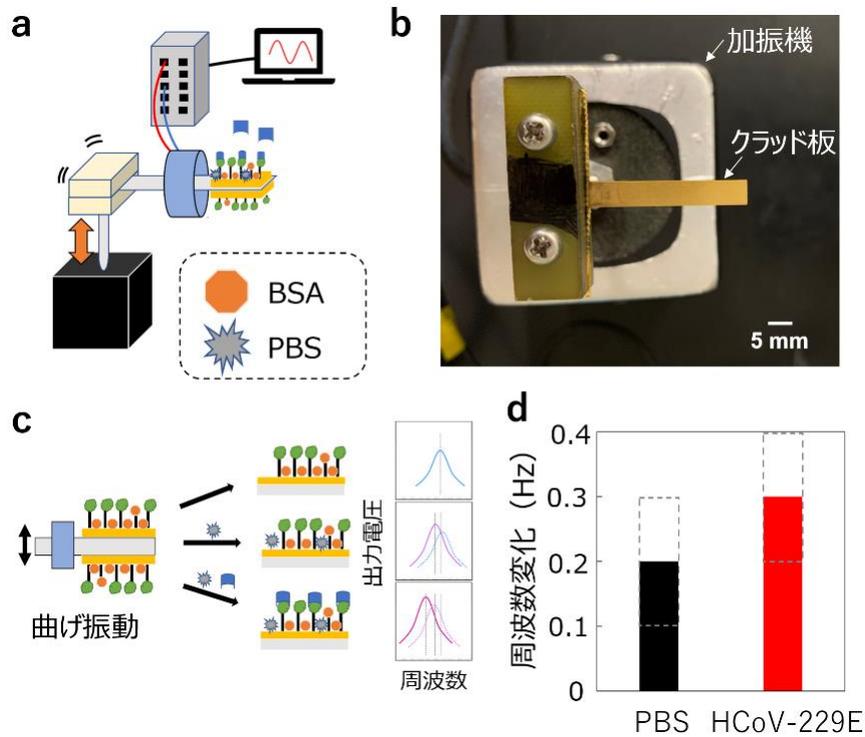


図 3 曲げ振動による HCoV-229E 検出実験

<今後の展開>

今回、CD13 タンパク質を固相化させた Fe-Co/Ni クラッド鋼板が提案され、曲げ振動により HCoV-229E の検出可能性が示されました。今後は、

1. 精度・感度向上のためのさらなる軽量化
2. HCoV-229E 捕捉による周波数変化を情報受信時間で評価
3. HCoV-229E 気中センシングの原理確立
4. 他のウイルス (HCoV-NL63、HCoV-HKU1、HCoV-OC43 や MERS-CoV、SARS-CoV など) に応用

が期待されます。

なお、今回の研究成果の一部は、科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) と日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究 (A) の支援を受けて得られたものです。また、回路設計・蓄電評価は、宮城県産業総合技術センターからの助言をもとに行われました。

【論文情報】

タイトル: Batteryless Wireless Magnetostrictive Fe<sub>30</sub>Co<sub>70</sub>/Ni Clad Plate for Human Coronavirus 229E Detection

著者名: Daiki Neyama<sup>1)</sup>, Siti Masturah binti Fakhrudin<sup>2)</sup>, Kumi Y. Inoue<sup>2,3)</sup>, Hiroki Kurita<sup>2)</sup>, Shion Osana<sup>4)</sup>, Naoto Miyamoto<sup>5)</sup>, Tsuyoki Tayama<sup>6)</sup>, Daiki Chiba<sup>6)</sup>, Masahito Watanabe<sup>7)</sup>, Hitoshi Shiku<sup>8)</sup> and Fumio Narita<sup>2)</sup>

著者所属:

- 1) Department of Materials Processing, Graduate School of Engineering, Tohoku University
- 2) Department of Frontier Sciences for Advanced Environment, Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University
- 3) Center for Basic Education, Faculty of Engineering, Graduate Faculty of Interdisciplinary Research, University of Yamanashi
- 4) Division of Biomedical Engineering for Health and Welfare, Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University
- 5) New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University
- 6) Advanced Material Division, Tohoku Steel Co. Ltd.
- 7) Research and Development Department, Tohoku Steel Co. Ltd.
- 8) Department of Biomolecular Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

雑誌名: Sensors and Actuators A: Physical

DOI: doi.org/10.1016/j.sna.2022.114052

## 【用語説明】

### 注 1 クラッド鋼板:

異なる金属を用途に合わせて接合し、一枚の板にしたもの。本研究では、磁場の印加によって伸びる鉄コバルトと縮むニッケルとを熱拡散接合し、曲げ変形で磁束が一定の方向に変化する現象を利用している。

### 注 2 バイアス磁場:

安定した出力を得るために、あらかじめ磁歪材料に与えておく外部磁場。

### 注 3 HCoV-229E:

人々に日常的に感染する 4 種類のコロナウイルス(Human Coronavirus: HCoV)の一つ。他に HCoV-OC43、HCoV-NL63、HCoV-HKU1 があり、HCoV の流行は冬にみられるが、229E は春と秋にも検出されるようである。

### 注 4 ブロッキング:

抗体(ここでは CD13)が抗原(ここでは HCoV-229E)以外と吸着することを阻止すること。