

2024年7月31日

報道関係者各位

国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

**4,500m以深で半永久的に自立運転が可能な超小型深海帯流速計を開発  
海流のエネルギーを電気に変換して利用  
～深層海洋大循環の解明や深海生命科学、CO<sub>2</sub>を吸収するブルーカーボンの  
状況把握への貢献に期待～**

**【概要】**

奈良先端科学技術大学院大学（学長：塩崎 一裕）先端科学技術研究科 物質創成科学領域 生体プロセス工学研究室（細川 陽一郎教授）のヤリクン・ヤシャイラ准教授、中国科学院深海科学与工程研究所のYang Yang（ヤン ヤン）教授、北京工業大学のChangbao Han（チャンバオ ハン）教授、深圳大学のChenjiang Shang（チンジャン シャン）教授らは共同で、摩擦、振動など力学的エネルギーを電気的エネルギーに変換する摩擦電気ナノジェネレータ（TEG）（注1）発電技術を用いて、廉価で45MPa（4,500万パスカル）以上の高圧の環境下でも半永久的に自立運転が可能な超小型深海帯（注2）流速計（全長20cm）の開発に成功しました。水深4,531mの深海帯で実測を行い、幅広い範囲で流速レンジの測定（0.02m/s～6.69m/s）に対応できることが判明しました。

今回の研究成果は、2024年7月21日（日）にNature Communications誌（Springer Nature, London）にインターネット掲載されました（DOI:10.1038/s41467-024-50581-w）。

**【解説】**

深海（水深200m以深）は暗黒で、超高圧の世界であり、その場の海水の流れは様々に自然現象と深く関係し、詳細な観測は非常に困難です。そのため、深海は宇宙と同じく謎に満ちた未知の領域とされています。深海の典型的な挙動として、北大西洋北部および南極海で深層に沈み込んだ海水が、世界中の深海を約1500年かけて巡り、北太平洋やインド洋などで表層に上昇したあと、再び極域へ戻るという、膨大なベルトコンベアのような海水循環があります。この循環は地球環境の温度・気候変動など自然現象に深く関与しているため、海流の深さ方向を含む立体的な流れを解明することが重要です。

また、深海帯（水深4,000m以深）には生物ポンプと呼ばれるメカニズムがあります。これは、大気や海洋表面から海底へと微粒子や溶解性の有機炭素などが輸送される仕組みで、深海に生息する生物の生命活動を維持するための栄養素の輸送に大きく関わっています。このことから、生物ポンプの流れ方向、勢い、輸送量などの情報を把握することで、深海生命の誕生、生存、進化のメカニズムの解明に貢献できます。さらに、プラスチックなどの汚染物質の海中に拡散する状況の解明や、カーボンニュートラルの達成に向けたブルーカーボン（注3）の分布状況、深海生態系の保護・復元など、様々

な応用において深海の流れの実態を把握することが必要です。

## 超小型深海帯流速センサーの基本構造とその発電・計測原理

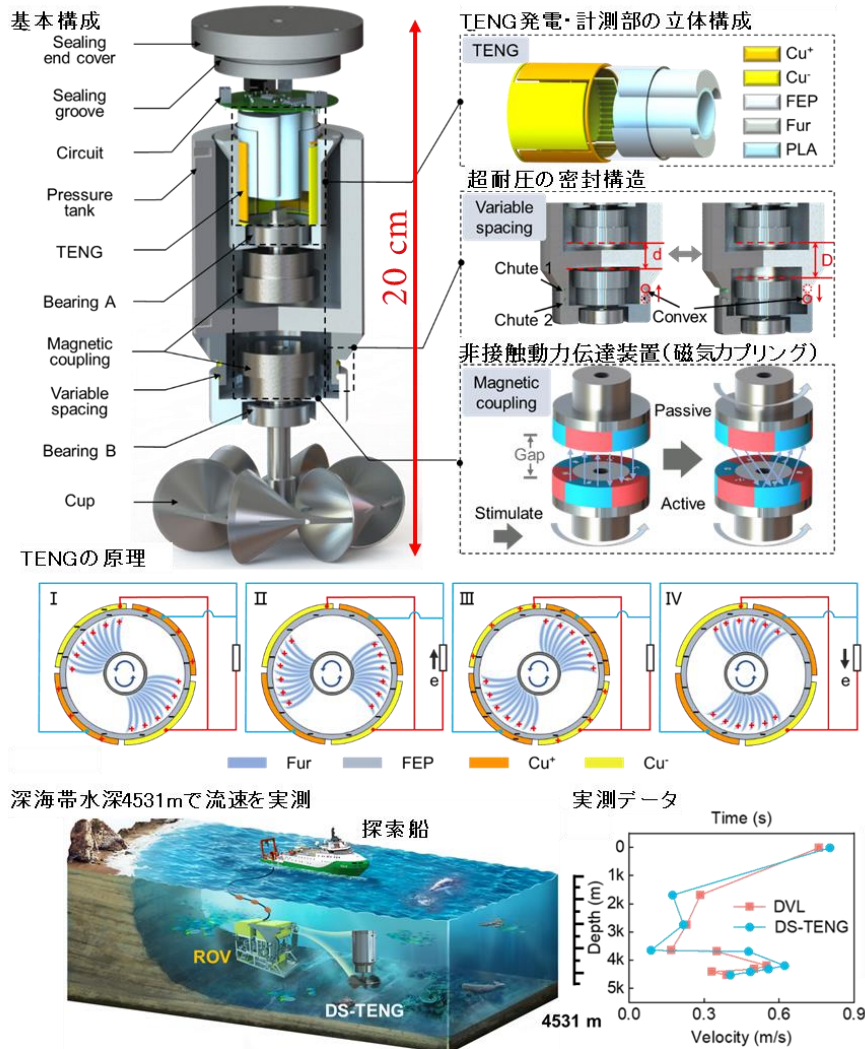


図1 TENG (Triboelectric Nanogenerator) 技術に基づく深海流速センサーの基本構造と原理図。TENGの原理は、異なる材料が接触して分離するときに材料の表面に電荷が蓄積され、電圧が生じるというものです。この電圧差により、外部回路を通じて電流が流れることから、海洋の流れの機械的なエネルギーを電気エネルギーに変換します。発生する電気の電圧・電流・位相などは海流の流速と相関する構造と設定することで、流速の計測が発電と同時にできます。この原理を応用し、磁気カップリングという物理的な接触がなくても動力伝達ができる手法や超耐圧の筐体設計を用いることで、深海計測向けのDS-TENG (Deep-Sea Triboelectric Nanogenerator) を実現しました。

### 【今までの問題点】

深海での流れの実態を解明するためには、直接の流速観測が効果的ですが、地球規模での網羅的な計測は極めて困難になります。そのため、数値シミュレーションが最も現実的ですが、数値モデルを作成する際の基礎データとして各ポイントでの深海の流速やその空間的分布に関するデータが

必要です。これらのデータを基にモデルを構築し、シミュレーションを行うことで、深海の流れの挙動を予測することができます。

正確な数値モデルを立てるためには、実測ポイントを増やし、深海での流れの流速とその空間的な分布をきめ細かく想定したうえで、十分に把握する必要があります。これまでの研究では、「超深海乱流計」が使用されています。この装置は全長数メートルで重量数十キログラムと巨大なものにも関わらず、バッテリーの関係で一度に数時間の測定しかできませんでした。そのため、実測ポイントを増やすことが難しく、長時間の計測も困難でした。深海の流れの実態を解明するために、長時間の自立的な計測が可能で、より低コストで運用できる計測装置の開発が求められています。

#### 【本研究の目的と得られた解決方法】

私たちは、カーボンニュートラル達成のために地球規模での深層海流測定を可能とするため、世界中での利用を想定した電力供給が困難な深海での安価で小型な長期自立計測機器開発を目指しています。今回、これまでに開発した TENG 発電装置の原理と構造 (1) (2) を活用することで超耐圧 (45MPa-75MPa) かつ約 20cm の筐体を持つ DS-TENG の開発に成功しました。開発した DS-TENG は流れで発電しながら電圧・電流と流速の相関からその際の流速を計測できます。自立発電しながらの計測を実現しているため、海流がある限り長期の流速計測と蓄積が可能です。

(1) <https://doi.org/10.1016/j.matre.2024.100280>

(2) <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.108240>

#### 【本研究の意義】

本研究で開発した DS-TENG 深海流速計を利用することにより、深海での長期間の多点同時計測や自立運転のためのエネルギー供給が実現できます。これにより、深海研究や環境モニタリングの分野で重要な役割を果たすことが期待されています。特に、深層海洋大循環の解明、深海生命科学関連分野への貢献、深海のブルーカーボンの動態や貯留メカニズムの解明など、さまざまな海洋課題の解決に貢献できます。

#### 【補足説明】

(注 1) TENG (Triboelectric Nanogenerator) : 2 種類の異なる材料が接触・分離することで電荷が移動し、電圧が発生する摩擦帯電効果を利用した機械的エネルギーを電気エネルギーに変換するナノ電気ジェネレーター。その基本動作原理は摩擦帯電効果 (Triboelectric Effect) と静電誘導 (Electrostatic Induction) に基づいている。TENG は多くの応用分野で利用されており、例えば、ウェアラブルデバイス、環境モニタリング、医療機器、エネルギー収集デバイスなどに使われ、特に自立的なエネルギー供給が必要な場面で有用である。

(注 2) 深海帯 : 水深 4,000 m から 6,000 m の領域であり、高圧 (40MPa-75MPa) ・暗闇・貧栄養・低水温 (およそ 2-4 °C) などの特徴を有する極めて劣悪な環境。

(注 3) ブルーカーボン : 2009 年に国連環境計画 (UNEP) によって命名された「藻場・浅場等の海洋生態系に取り込まれた炭素」のことである。ブルーカーボンを取り組む海洋生態系には海草藻

場・海藻藻場・塩性湿地、干潟・マングローブ林があり、これらは「ブルーカーボン生態系」と呼ばれる。深海のブルーカーボンは、地球規模での炭素循環や気候変動の緩和において重要な役割を果たしていると考えられている。(国土交通省「ブルーカーボンとは」より)

【掲載論文】

タイトル : Self-powered and speed-adjustable sensor for abyssal ocean current measurements based on triboelectric nanogenerators

著者 : Yuan Chao Pan, Zhuhang Dai, Haoxiang Ma, Jinrong Zheng, Jing Leng, Chao Xie, Yapeng Yuan, Wencai Yang, Yaxiaer Yalikusun, Xuemei Song, Chang Bao Han, Chenjing Shang, Yang Yang

掲載誌 : Nature Communications

DOI : doi.org/10.1038/s41467-024-50581-w

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 物質創成科学領域 生体プロセス工学研究室  
准教授 ヤリクン ヤシャイラ

TEL : 0743-72-6096 FAX : 0743-72-6133 E-mail : yaxiaer@ms.naist.jp

<報道に関すること>

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 渉外企画係

TEL : 0743-72-5112 FAX : 0743-72-5011 E-mail : s-kikaku@ad.naist.jp