



Tokyo Tech



平成31年1月 24 日

報道機関各位

東京工業大学
科学技術振興機構(JST)

振動発電素子のエレクトレット外付けに成功

ー無線 IoT 端末電源として性能向上に期待ー

【要点】

- エレクトレット（用語 1）型 **MEMS**（用語 2）振動発電素子は従来、材料選択・設計・作製に制約があった。
- MEMS** 可変容量素子とエレクトレット層を切り離した新原理の振動発電素子を開発し、開発の自由度が向上。
- 環境からのエネルギーハーベスティング技術の性能向上を実現。

【概要】

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所の山根大輔助教（兼 科学技術振興機構（JST）さきがけ研究者）は、東京大学 先端科学技術研究センターの年吉洋教授、本間浩章研究員と共同で、**MEMS** 可変容量素子とエレクトレット層を物理的に切り離した新原理の振動発電素子の開発に成功した。

個別に作製した **MEMS** とエレクトレットを電気配線で接続するだけで発電可能な新しい振動発電原理を実証した。これは、従来のエレクトレット振動発電における制約条件を打破する成果であり、今後、無線 **IoT**（用語 3）センサーなどへ向けた**エネルギーハーベスティング技術**（用語 4）の性能向上につながると期待される。

従来のエレクトレット型 **MEMS** 振動発電素子は、**MEMS** 可変容量素子内にエレクトレット層を形成したため、材料選択・設計・作製方法などに多くの制約があった。

研究成果は、2019 年 1 月 28 日に韓国ソウルで開催される国際会議「**MEMS 2019 (The 32nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems)**」で発表される。

●研究成果

これまでのエレクトレット型 MEMS 振動発電は、**MEMS 可変容量素子**（用語 5）とエレクトレット層を同一素子内に組み込み、エレクトレットに空気を介して対向する電極に生じる**誘導電荷**（用語 6）を利用していた（図 1 左）。そのため、エレクトレットと MEMS の設計において互いが干渉し、材料選択・設計・作製方法などに多くの制約があった。そこで山根助教らは個別に作製した MEMS 可変容量素子とエレクトレット成膜基板を電気配線で接続するだけで発電可能な新しい振動発電原理（図 1 右、図 2）を提案、実際の発電に成功した。

MEMS 可変容量素子は外部振動による慣性力で可動電極が動く構造となっている。その結果、振動に応じて MEMS 部の静電容量とエレクトレット層下部の静電容量のバランスが変化する。これにより、各静電容量に蓄積される電荷量が変わることから誘導電荷が生じ、その誘導電荷を外部負荷で取り出すことで、発電が可能となる。この原理を利用することで、任意の MEMS 構造に任意のエレクトレット材料を組み合わせることができる。

今回の原理検証実験では、シリコン MEMS 可変容量素子と、エレクトレット（CYTOP、AGC 社）を成膜したシリコン基板を用意して、それらを電気配線で接続した。シリコン MEMS 可変容量素子のみを振動させた場合は誘導電荷を生じないが、エレクトレット成膜基板に接続した場合は誘導電荷による発電を確認できた（図 3）。

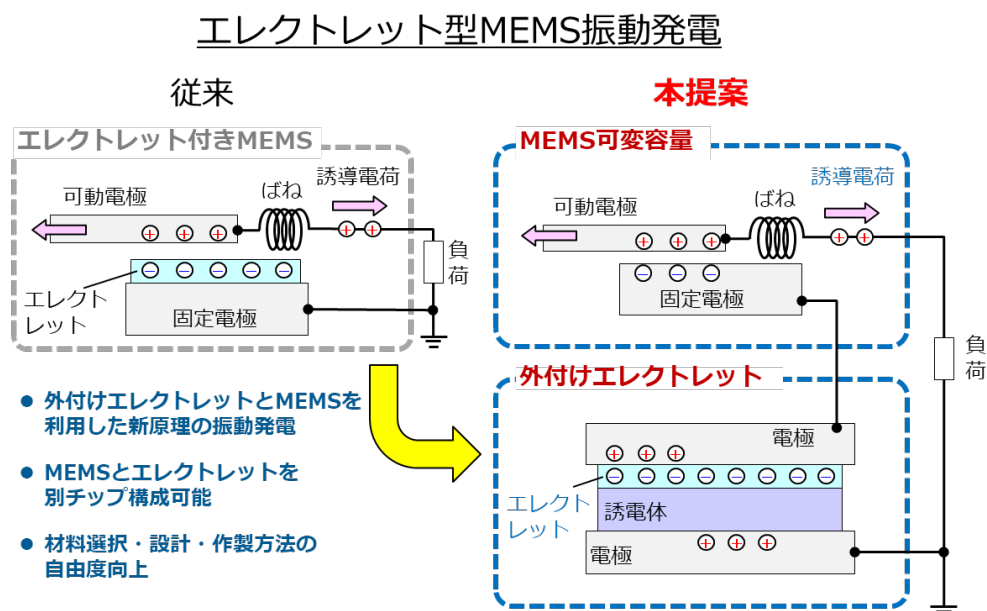


図 1：外付けエレクトレットと MEMS を利用した振動発電素子の概要

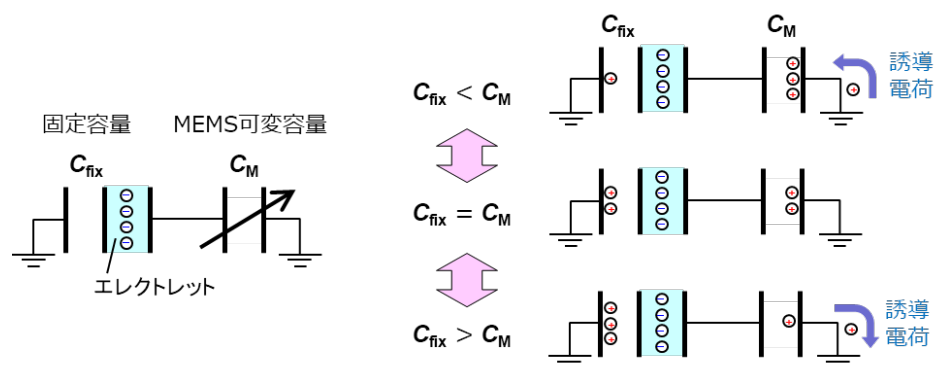


図 2：発電原理の概念図

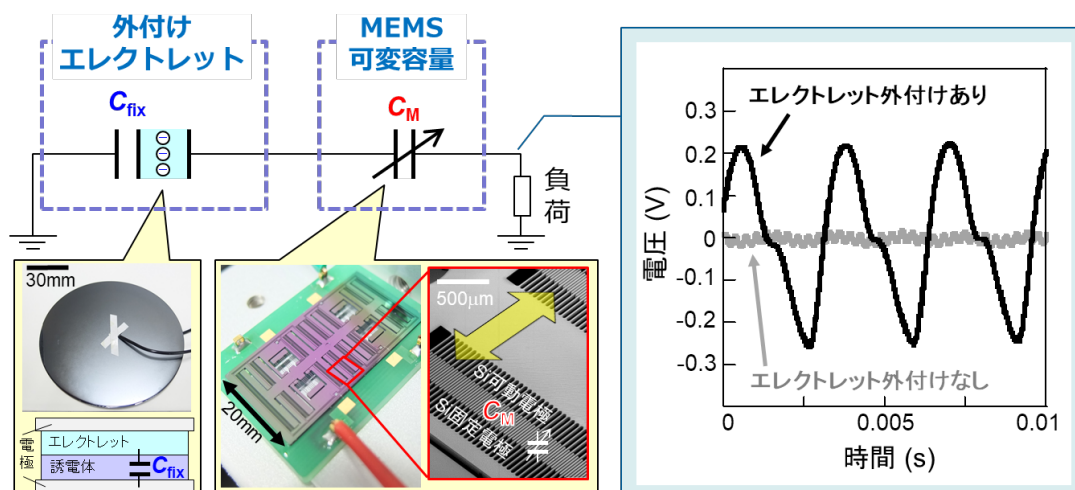


図 3：外付けエレクトレットと MEMS 可変容量素子を利用した振動発電
(印加加速度 0.2 G、負荷抵抗 10 M Ω の測定結果。G は重力加速度。)

●背景

MEMS 技術を利用した小型の振動発電素子は、電池フリー、夜間・暗所でも発電可能であるため、小型 IoT 端末向けの次世代電源を目指した研究が活発に行われている。特にエレクトレット型 MEMS 振動発電素子は、他の方式より低周波数かつ出力電力密度が大きいと、環境振動を利用した発電に有利である。

今後、エレクトレット型 MEMS 振動発電素子を実無線 IoT 端末などの電源に利用するためには、さらなる発電性能の向上が必要となる。従来の発電原理では MEMS 構造内にエレクトレット層を組み込むため、MEMS とエレクトレットの構造・材料を自由に選択できず、各要素の最適設計が困難だった。例えば、エレクトレットに電荷を帯電させる際、

数百ボルト～千ボルト以上の高電圧を印加する。MEMS 内部にエレクトレットを組み込んだ場合、素子製造の最終工程で高電圧印加を行うため、**プルイン現象**（用語 7）などが引き起こす故障を防ぐために非常に強固な MEMS 機械構造が必要であった。さらに、空気中にイオンを発生させてエレクトレットを帯電させる場合には、電極表面に遮蔽物が無い設計も求められる。このため、MEMS 構造の限界設計（MEMS 機械性能を最大限に引き出す設計）には多くの制約があった。また、発電素子作製後に素子間のエレクトレット帯電量を補正する技術も無かった。そこで山根助教らの研究グループは、MEMS とエレクトレットを物理的に切り離す新原理を考案し、振動発電を実証した。

●今後の展開

今回の研究で、MEMS 可変容量素子とエレクトレットを切り離した新原理の振動発電の実証に成功した。今後、MEMS 構造とエレクトレット材料を独立して最適に設計することが可能になり、各要素における最先端技術の融合を大幅に加速できる。これは、従来のエレクトレット振動発電における制約条件を打破する成果であり、無線 IoT センサーなどに向けた電池フリー、夜間・暗所でも発電可能な振動エネルギーハーベスティング技術において、性能向上につながると期待される。

【用語説明】

- (1) **エレクトレット (Electret)** : 半永久的な電荷を保持する誘電体。今回は AGC 社の CYTOP を利用した。
- (2) **MEMS (Microelectromechanical Systems : 微小電気機械素子)** : 半導体微細加工技術を利用して製造したマイクロメートル寸法の 3 次元電子・機械デバイスの総称。
- (3) **IoT (Internet of Things)** : 身の回りのあらゆるモノがインターネットを介して情報通信・相互制御を行う仕組み。
- (4) **エネルギーハーベスティング技術** : 環境中に存在する振動などのエネルギーを電力に変換する技術（環境発電技術）。
- (5) **MEMS 可変容量素子** : MEMS 技術で作製した微小機械構造を利用して、電気信号や機械振動により静電容量を変化できる電子デバイス。本研究では、外部振動の強度により静電容量が変わる構造を用いた。
- (6) **誘導電荷** : 導体を帯電した物体に接近させた際、帯電した物体のほうへ引き寄せられる電荷。誘導電荷の極性は、帯電した物体の極性と逆になる。
- (7) **プルイン現象** : 空気を介した電極間に直流電圧を印加すると、電極を引き付けあう静電引力が発生する。片方の電極が可動構造の場合、電極間隔が初期の 3 分の 1 以下に縮まると、可動電極は対向電極に接触するまで強制的に引き込まれることが理論解析より明らかになっており、これはプルイン現象と呼ばれる。

【付記事項】

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

(1) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究（さきがけ）

研究領域：「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出（CREST・さきがけ複合領域）」（研究総括：谷口 研二 大阪大学 名誉教授）

研究課題名：「多層エレクトレット集積型 CMOS-MEMS 振動発電素子の創製」

研究代表者：山根 大輔（東京工業大学 助教）

研究期間：平成 29 年 10 月～平成 33 年 3 月

(2) 戦略的創造研究推進事業 チーム型研究（CREST）

研究領域：「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出（CREST・さきがけ複合領域）」（研究総括：谷口 研二 大阪大学 名誉教授）

研究課題名：「エレクトレット MEMS 振動・トライボ発電」

研究代表者：年吉 洋（東京大学 生産技術研究所 教授）

研究期間：平成 27 年 12 月～平成 31 年 3 月

科学技術振興機構（JST）はこの領域で、様々な環境に存在する熱、光、振動、電波、生体など未利用で微小なエネルギーを、センサーや情報処理デバイス等での利用を目的としたマイクロワット～ミリワット程度の電気エネルギーに変換（環境発電）する革新的な基盤技術の創出を目指しています。

上記研究課題（1）では、エレクトレット実装技術と CMOS-MEMS 技術を融合し、環境振動エネルギーをミリワット級の電気エネルギーに変換する小型振動発電デバイスの実現を目指しています。本成果では、発電原理の提案、外付けエレクトレットの開発、発電素子の作製と評価を行いました。

上記研究課題（2）では、次世代の無線センサノードに必要な 10 ミリワット級の自立電源を実現するために、MEMS 技術とイオン材料技術を駆使して、環境振動から未利用エネルギーを回収し発電する振動発電素子の研究に取り組んでいます。本成果では、研究課題（2）で開発した MEMS 可変容量素子を用いています。

【論文情報】

国際会議： The 32nd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems
(MEMS 2019)

URL： <http://mems19.org/html/main.php>

論文タイトル： A MEMS Vibratory Energy Harvester Charged by an Off-Chip Electret

著者： Daisuke Yamane, Hiroaki Honma, Hiroshi Toshiyoshi

【問い合わせ先】

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 助教

山根大輔（やまね だいすけ）

Email : yamane.d.aa@m.titech.ac.jp

TEL : 045-924-5031 FAX : 045-924-5166

＜JST の事業に関すること＞

科学技術振興機構 戦略研究推進部

中村幹（なかむら つよし）

Email : presto@jst.go.jp

TEL : 03-3512-3531 FAX : 03-3222-2066

【取材申し込み先】

東京工業大学 広報・社会連携本部 広報・地域連携部門

Email : media@jim.titech.ac.jp

TEL : 03-5734-2975 FAX : 03-5734-3661

科学技術振興機構 広報課

Email : jstkoho@jst.go.jp

TEL : 03-5214-8404 FAX : 03-5214-8432