

補助事業番号 2024M-451

補助事業名 2024年度 樹状高分子を用いた振動発電システム用エレクトレット材料の  
開発 補助事業

補助事業者名 九州大学 先導物質化学研究所 融合材料部門 アルブレヒト建

## 1 研究の概要

近年、自発的配向分極(SOP)と呼ばれる有機物を真空蒸着した際に配向して分極したエレクトレットを形成する現象が振動発電に有用だとして注目を集めている。本研究では樹状高分子の分子構造と分子レベルでの分極(双極子モーメント)に注目した分子設計を行い、真空蒸着した際のエレクトレット薄膜をアウトプットとして特性を評価した。実際に様々な樹状高分子で検討したところ真空蒸着法を用いて分子を向きが揃った薄膜の作製に成功し、本事業を通じて104 mV/nmの分極を示す樹状高分子を見出して振動発電が可能である事を実証した。このような有機薄膜エレクトレット材料は成膜温度が低いことや荷電処理が不要であることなど省エネルギー化と低コスト化に大きなメリットが有る。今後は樹状高分子を用いた高性能エレクトレット薄膜についてより高性能な材料を開発することでIoTデバイス等に内蔵される小型発電デバイスとして社会還元することを目指す。

## 2 研究の目的と背景

IoTデバイスとして通信機器やセンサーが街中や遠隔地に多数設置されるようになってきている状況で、装置の電源をどうするかが大きな問題となっている。1つの解決策として様々な環境に存在する「振動」を電気エネルギーに変換する振動発電デバイスを内蔵する手段が考えられるが、普及には高性能化など更なる技術開発が必要である。

エレクトレット材料は振動発電素子の基幹構成部材であり、高性能化は素子の高効率化に直結する。近年、有機物を真空蒸着した際に永久双極子モーメントが配列して自発的にエレクトレットが形成される現象が注目を集めている。補助事業者が独自に開発している分子レベルで大きく分極した樹状高分子材料を真空蒸着することでマイクロメートルオーダーの厚み方向に大きく分極した薄膜(エレクトレット)を作製出来るのではないかと考えた。様々な分子構造や蒸着時の条件から大きな分極を示すエレクトレットを作製するための指針を抽出することを研究の目的とする。より大きな分極を示す材料を開発することで効率が高くなる。作成したエレクトレット材料については振動発電システムとして利用可能であることを実証する。

そのための要素技術として以下の検討を行った。

1) 樹状高分子材料の開発

2) エレクトレット薄膜の作製技術開発と振動発電の実証

### 3 研究内容

([https://www.alken-lab.com/uploads/1/2/2/5/122537894/jka報告書\\_アルブレヒト.pdf](https://www.alken-lab.com/uploads/1/2/2/5/122537894/jka報告書_アルブレヒト.pdf))

#### (1) エレクトレット材料に適した分極した樹状高分子材料の開発

樹状高分子の中でも事業者が独自に研究してきた、カルバゾール dendrimer に着目すると共に共同研究者が分子配向を制御するのに有効であると提案しているフッ素系置換基にも着目した分子設計を行った。蒸着が可能である分子量に抑えるために第2及び第3世代の樹状高分子を基盤としてフッ素系置換基を導入した分子と無置換型分子を合計10種類設計合成した(図1)。これらの合成は事業者が以前に報告している合成法を応用することで行った。

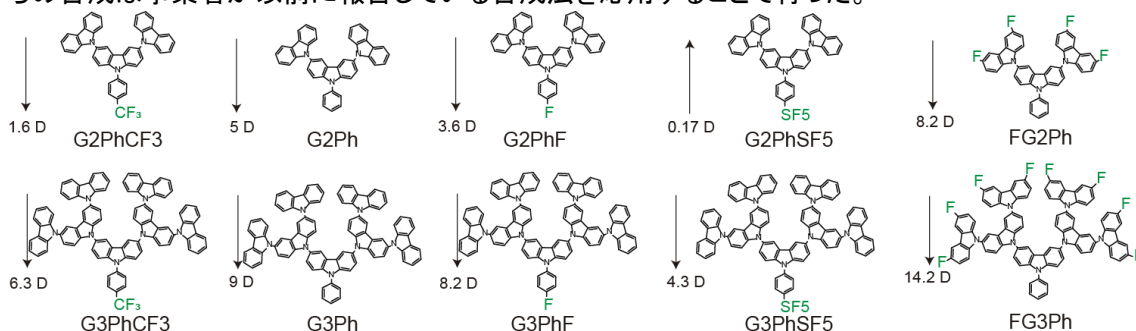


図1 本研究で取り扱った分子構造と量子化学計算により得られた双極子モーメントの大きさと向き

#### (2) 樹状高分子の蒸着によるエレクトレット薄膜の作製技術開発

樹状高分子を0.5 Å/sの速度で基板上に真空蒸着して、得られた薄膜の表面電位の膜厚依存性からGSPスロープ(分極の大きさの指標)を算出したところG3PhCF3が最も大きな104 mV/nmという分極を示す事を明らかとした(表1)。他の構造も第2世代よりも第3世代材料の方が大きな分極を示す傾向にあり、分子構造の内側に無置換やフッ素原子が1つ置換したものよりもCF<sub>3</sub>のように3つ置換した分子のほうが分極が大きく配向度という指標も大きいことが明らかとなった。なお、G3PhSF5については蒸着に向けた加熱中に分解が進行し、薄膜を得ることが出来なかった。末端にフッ素を導入することは効果が低いことが明らかとなった(FG3Ph, FG2Ph)。各分子のガラス転移点(T<sub>g</sub>)も測定したところ第2よりも第3世代が高い傾向が得られ、第3世代は300°C付近と非常に高いことが明らかとなった。フッ素系置換基による配向効果と高いガラス転移点が大きな分極膜の形成に効果的であることが分かり、今後の分子設計の重要な指針が得られた。得られた分極膜は振動発電デバイスに組み込むことで発電できることも確認した。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかについての展望

本研究で得られた成果については特許出願を行った。今後は得られた分子設計指針を活かしてさらに高性能な材料を生み出して行く予定である。高性能な材料が作成できれば、背景で記したようにIoTデバイスにおける自立型電源として様々なセンサー等のデバイスに搭載されていく可能性がある。センサーによるインフラの異常検知や個人の健康管理を通じて安全・安心な社会の

構築につながるものと考えている。

表1 検討した dendrimer の GSP スロープ (分極の指標)、永久双極子モーメント (PDM)、ガラス転移点 ( $T_g$ )、配向度 ( $\theta$ )

Dendrimer	PDM (D)	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	GSP slope (mV/nm)	con $\theta$
G2Ph	4.5	156	-12	-0.015
G2-F	3.6	153	17	0.028
G2-CF3	1.7	162	64	0.240
G2-SF5	0.2	177	-5.8	-0.201
G3Ph	5.0	NA	9	0.022
G3-F	8.2	292	46	0.070
G3-CF3	6.2	297	104	0.215
G3-SF5	4.3	319	NA	NA
FG2Ph	8.2	157	11	0.009
FG3Ph	14.2	283	75	0.072

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者がこれまでに研究してきた独自の樹状高分子を真空蒸着することで分極した薄膜 (エレクトレット) を作成できることを明らかとすることが出来た。これまで事業者は有機 EL 向けの応用研究しか行っていなかったが新たな応用先を見出すことが出来、研究の幅が広がった。今後もより高性能な材料の開発を行い実社会に還元していきたいと考えている。

## 6 本研究に関わる知財・発表論文等

本研究から得られた成果は以下のように特許出願を行った。

出願日 2025 年 3 月 3 日 「膜、エレクトレット、振動発電素子および化合物」

アルブレヒト建, 岩間海翔, 中尾晃平, 久村絵理, 中野谷一, 安達千波矢 (九州大学) 日本 特願 2025-033183

本研究から得られた成果は以下のように 2 件の学会発表を行った。

1. 第85回応用物理学会秋季学術講演会

2024年9月16日 発表番号16p-B6-13

題目「カルバゾール dendrimer 蒸着膜の自発的配向分極」

発表者 中尾 晃平、角町 駿太、久村 絵理、安達 千波矢、中野谷 一、アルブレヒト 建

2. 第72回応用物理学会春季学術講演会

2025年3月15日 発表番号15p-K404-3

題目「フッ素系置換基を導入したカルバゾール dendrimer の自発的配向分極」

発表者 岩間 海翔、中尾 晃平、川島 恭平、森 俊文、久村 絵理、角町 駿太、中野谷 一、安達 千波矢、アルブレヒト 建

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

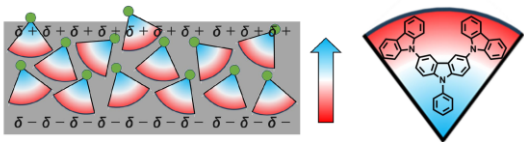
以下に成果を図表等を用いてまとめた成果報告書を記載している。

([https://www.alken-lab.com/uploads/1/2/2/5/122537894/jka報告書\\_アルブレヒト.pdf](https://www.alken-lab.com/uploads/1/2/2/5/122537894/jka報告書_アルブレヒト.pdf))

JKA Social Action   Auto Race

**JKA 機械振興事業 2024M-451**

**2024年度樹状高分子を用いた  
振動発電システム用エレクトレット材料の  
開発補助事業**



**事業概要説明並びに成果報告書**

九州大学先導物質化学研究所 アルブレヒト建

(2) (1)以外で当事業において作成したもの  
該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：九州大学 先導物質化学研究所

(キュウシュウダイガク センドウブツシツカガクケンキュウジョ)

住 所：〒816-8580

福岡県春日市春日公園6-1

担 当 者：准教授 アルブレヒト 建(アルブレヒト ケン)

担 当 部 署：先導物質化学研究所アルブレヒト研究室

(センドウブツシツカガクケンキュウジョ アルブレヒトケンキュウシツ)

E - m a i l : [albrecht@cm.kyushu-u.ac.jp](mailto:albrecht@cm.kyushu-u.ac.jp)

U R L : <https://www.alken-lab.com/>