

研究テーマ

「高発電性能を持つ熱電発電繊維の開発と大型施設の補修負荷低減技術への応用」

研究責任者 所属機関名 名古屋工業大学

官職又は役職 教授

氏 名 岸直希

メールアドレス kishi.naoki@nitech.ac.jp

共同研究者 所属機関名 株式会社テクニカルシステム社

官職又は役職 代表取締役

氏 名 成田勝彦

（令和5年度募集）第36回 助成研究 完了報告書

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要

老朽化の進む大型施設（プラント、発電所、大型商業施設など）における補修負担が問題となっている。必要な補修の例として配管からの水漏れがある。水漏れ箇所を探すためには漏水センサーの設置が考えられるが、大規模施設では配管が長く膨大な数のセンサーが必要となる。我々はこの漏水センサー用の独立電源として配管から発せられる未利用排熱を利用した熱電発電素子をターゲットとして研究を進めている。本研究では、熱電発電素子に用いる熱電材料として有機系熱電材料を用いた。有機系熱電材料は、軽量性・柔軟性に優れ、配管の曲線表面など自由度の高い設置が可能となる。本研究では代表的な有機系熱電材料である PEDOT:PSS を対象とし、繊維状・膜状の熱電材料の開発を行った。本報告では一連の研究のうち、自立膜状の PEDOT:PSS 熱電材料の熱電特性における界面活性剤の添加効果を報告する。PEDOT:PSS 自立膜の導電率における添加した界面活性剤種類・濃度依存性を検討した。SDS、SDBS、Triton-X のどの界面活性剤についても PEDOT:PSS 自立膜の導電率はその濃度に依存し変化した。また共通した傾向としては、ある界面活性剤濃度で導電率が最大値を取り、それ以上の濃度で導電率が低下する振る舞いが確認できた。また導電率の最大値も界面活性剤種類に依存し、SDBS において最も高い導電率が得られた。界面活性剤の添加は PEDOT:PSS 自立膜中の PEDOT 微結晶の品質にも影響を及ぼすことを XRD により確認しており、導電率の向上は界面活性剤の添加による結晶品質の改善によるものと考えている。一方、導電率に見られた界面活性剤種類・濃度依存性と比べると、ゼーベック係数に対しては与える影響が小さいことが確認できた。熱電特性（パワーファクター）に対する界面活性剤の添加効果としては、導電率に与える影響が支配的なことが明らかとなった。以上の結果は大規模施設の補修低減に用いる熱電発電素子開発における基礎的な材料開発上の知見となり、今後の素子開発における重要な成果

となる。

2. 実施内容および成果の説明

背景

高度経済成長時代に建設された多くの大型施設（プラント、発電所、大型商業施設など）の老朽化が進行しており、その補修が社会問題の一つとなっている。必要な補修の例として配管からの水漏れがある。水漏れを探すためには漏水センサーの使用が考えられるが、大規模施設では配管が長く膨大な数の漏水センサーが必要となる。我々はこの漏水センサー用の電源として配管から発せられる未利用排熱を利用した熱電発電素子の開発をターゲットとして研究を進めている。熱電発電素子に用いる熱電材料として、近年、有機系熱電材料が注目されている。有機系熱電材料は、軽量性・柔軟性に優れ、配管への取り付けなど自由度の高い設置が可能となる。代表的な有機系熱電材料としてチオフェン系の導電性高分子である PEDOT:PSS がある（図 1）。PEDOT:PSS の水分散液を用いることにより、一般的なウェットプロセスにより膜状や繊維状などの熱電材料形成が可能となる。配管への熱電発電素子の取り付けを考えた場合、熱電材料を繊維状とすることにより設置方法の自由度が高まる。本研究期間では、繊維状・膜状の PEDOT:PSS をベースとする熱電材料の開発を行った。本報告では一連の研究のうち、自立膜状の PEDOT:PSS 熱電材料の熱電特性における界面活性剤の添加効果を報告する。

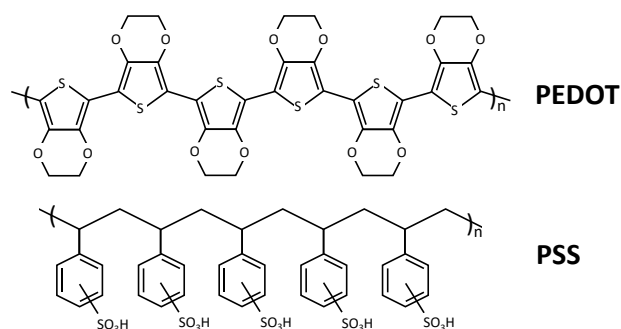


図 1. PEDOT:PSS の構造

研究内容

PEDOT:PSS 水分散液と添加材料として界面活性剤を混合した分散液を乾燥させることにより界面活性剤を含む PEDOT:PSS 自立膜を作製した。界面活性剤としては、SDS、SDBS、Triton-X を用い、次に示す熱電材料の性能指数により添加効果の比較を行った。熱電材料の特性を示す性能指数として、パワーファクター P 、無次元性能指数 ZT がある。それぞれ以下の式

(1)及び(2)で求められる。

$$P = S^2 \sigma \quad (1)$$

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} \quad (2)$$

ここで、 S はゼーベック係数、 σ は導電率、 κ は熱伝導率、 T は絶対温度である。熱電特性を高めるためには、ゼーベック係数及び導電率を大きく、また熱伝導率を小さくすることが必要となる。

図 2(a)に PEDOT:PSS 自立膜の導電率における添加した界面活性剤種類・濃度依存性を示す。どの界面活性剤についても濃度に依存し PEDOT:PSS の導電率が変化していることがわかる。また共通した傾向としては、ある界面活性剤濃度で導電率が最大値を取り、それ以上の濃度で導電率が低下する振る舞いが確認できる。最大値を取る界面活性剤濃度は、SDS、SDBS、Triton-X の順となっており、濃度が界面活性剤種類に依存することが分かった。また導電率の最大値も界面活性剤種類に依存し、SDBS において最も高い導電率が得られた。界面活性剤の添加は PEDOT:PSS 自立膜中の PEDOT 微結晶の品質にも影響を及ぼすことを XRD により確認しており、導電率の向上は界面活性剤の添加による結晶品質の改善によるものと考えている。図 2(b)にゼーベック係数における添加した界面活性剤種類・濃度依存性を示す。導電率に見られた界面活性剤種類・濃度依存性と比べると、ゼーベック係数に対しては与える影響が小さいことが確認できる。

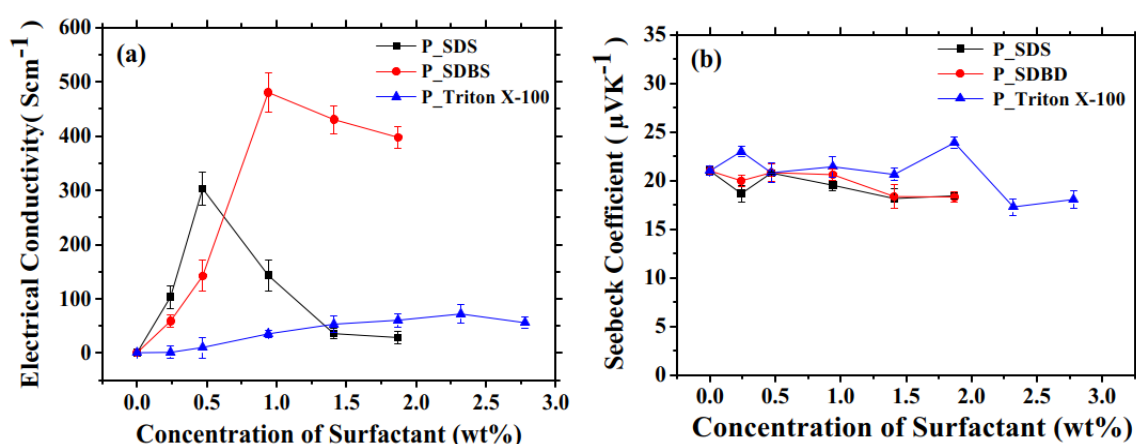


図 2 PEDOT:PSS 自立膜の(a)導電率、(b)ゼーベック係数における添加した界面活性剤種類・濃度依存性

次に導電率とゼーベック係数を用い式(1)から算出した熱電特性（パワーファクター）における添加した界面活性剤種類・濃度依存性を図 3 に示す。パワーファクターも界面活性剤種類・

濃度の両方に依存し変化することが確認できる。またグラフ概形は図 2(a)に近く、PEDOT:PSS 自立膜のパワーファクターに対する界面活性剤の添加効果としては、導電率に与える影響が支配的なことがわかる。

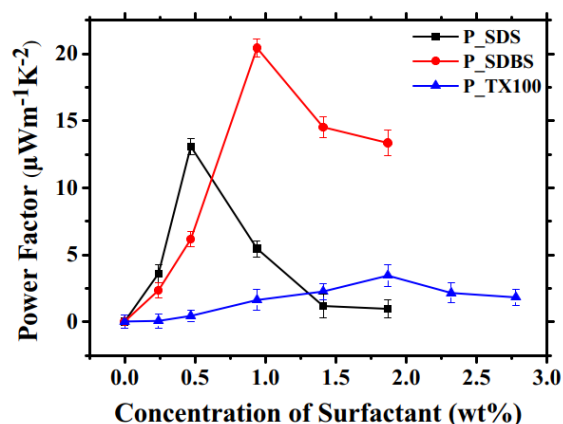


図 3 PEDOT:PSS 自立膜の熱電特性（パワーファクター）における添加した界面活性剤種類・濃度依存性

まとめ

大型施設の補修負荷低減に向けた熱電発電素子開発に向け、その基本となる熱電材料開発の研究を行った。有機系熱電材料である PEDOT:PSS からなる自立膜に対し、熱電特性の改善手法として界面活性剤の添加における界面活性剤種類・濃度依存性について報告した。本報告内容含め関連する研究について以下に示す計 5 報の論文を発表した。

研究成果（発表論文）

1. R. Md. Abdur, S. Hossain, N. Kishi “Optimizing Thermoelectric Performance of PEDOT:PSS Free-Standing Films via Synergistic Ethylene Glycol and SDS Treatment” Journal of Materials Science Materials in Electronics, vol.37 (2026) article number 26 1-21 (査読あり)
2. R. Md. Abdur, S. Hossain, N. Kishi “Tuning Electrical, Mechanical, and Structural Properties of PEDOT:PSS Films through the Surfactant and High Boiling Solvent Dual Modification” Journal of Applied Polymer Science, vol.143 (2026) e70152 1-17 (査読あり)
3. R. MD Matiur, Y. Yamamoto, N. Kishi “Improved mechanical stretchability and

- electrical conductivity based free-standing PEDOT:PSS flexible film via an intermediate ethanol-treated gel formation stage” *Materials Today Communications*, vol.43 (2025) pp.111687 1-11 (査読あり)
4. S. Hossain, Y. Yamamoto, N. Kishi “Tuning the Mechanical and Thermoelectric Properties of Self-Standing Stretchable PEDOT:PSS/SDBS Films” *Journal of Applied Polymer Science*, vol.141 (2024) pp.e55713 1-13 (査読あり)
 5. S. Hossain, Y. Yamamoto, S. Baba, S. Sakai, N. Kishi “Role of anionic surfactant addition in improving thermoelectric properties of PEDOT:PSS free-standing films” *Journal of Polymer Research*, vol.31 (2024) article number 233 1-13 (査読あり)