

2024 年度年次報告書

ナノ物質を用いた半導体デバイス構造の活用基盤技術

2024 年度採択研究代表者

早水 裕平

東京科学大学 物質理工学院

准教授

ペプチド界面基盤技術によるグラフェン・バイオセンサの開拓

主たる共同研究者:

田中 貴久 (慶應義塾大学 理工学部 准教授)

福岡 剛士 (金沢大学 ナノ生命科学研究所 所長・教授)

研究成果の概要

本研究は、生体分子の自己組織化能と二次元材料表面との相互作用を活用し、分子識別機能と電子状態制御機能を両立する次世代バイオナノ界面の構築を目指すものである。2024 年度は、分子足場となるペプチドの設計・開発および解析に取り組んだ。関連する成果としては、特にペプチド-ヘミン複合体の階層的自己組織化と、その構造が電子機能および触媒機能に与える影響の解明、ならびに神経変性疾患に関連する分子の電気化学的センシング技術の開発に成功した。

まず、グラファイト表面におけるペプチド-ヘミン複合体の自己組織化に関して、液中原子間力顕微鏡 (FM-AFM) によりその階層的自己組織化構造を分子レベルで明らかにした。この構造は、ペプチドによる分子間相互作用と表面吸着挙動の協奏的效果により形成され、酵素様触媒反応の活性向上に寄与することを実験的に実証した (Sugiyama et al., ACS Nano, 2025)。本成果は、分子設計とナノ構造制御に基づく高機能バイオ触媒の創出に新たな視座を与えるものであり、表面化学・ナノバイオエレクトロニクス分野に対する基礎的貢献として位置づけられる。

次に、電気化学的グラフェンバイオセンサを用いた分子識別技術の開発に取り組み、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) に関連する異常ペプチド (ジペプチドリピート:DPR) と RNA との液-液相分離過程における選択的相互作用の電気的検出を実現した。特に、界面における分子間相互作用の差異を電荷移動挙動として読み出すことで、非標識・高感度な分子識別が可能となった (Kikuchi et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 2025)。本手法は、神経変性疾患の診断に資するバイオマーカー検出技術としての応用可能性を有し、医療・ヘルスケア分野における波及が期待される。

これらの成果を通じて、分子レベルの構造と電子機能の相関を解明し、それを基盤とした機能性デバイスの設計戦略を提示したことは、今後のバイオナノインターフェース研究における展開の基礎となる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Sugiyama, A. Yurtsever, N. Uenodan, Y. Nabae, T. Fukuma, Y. Hayamizu, Hierarchical assembly of hemin-peptide catalytic systems on graphite surfaces. *ACS Nano* **19**, 13760–13767 (2025).
- 2) K. Kikuchi, Y. Yamazaki, K. Kanekura, Y. Hayamizu, Graphene biosensor differentiating sensitive interactions between ribonucleic acid and dipeptide repeats in liquid-liquid phase separation. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **17**, 12765–12771 (2025).