電気化学ナノテクノロジーの工学応用

研究代表者　逢坂 哲彌
（ナノ・ライフ創新研究機構　特任研究教授）

1. 研究課題

世界に先駆けて提唱し実践してきた「電気化学ナノテクノロジー」を機軸として，界面反応場を原子・分子界面単一層から設計し，その複合的な機能を発現させるデバイスの構築を図るだけでなく，実用化につながる実践的なデバイス開発研究を包括的に展開している．公的研究プロジェクトである革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM)，戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化技術開発（ALCA）特別重点技術領域「次世代蓄電池」，および RISING2（NEDO 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発）等の研究遂行のための基礎的な共通部分・周辺部分の研究を進める．

2. 主な研究成果

2.1 電界効果型トランジスタ（FET）を用いた食品中のアレルゲン検出

COI STREAM 事業において、2017 年度の研究成果として，FET 界面に固定化した抗体結合性フラグメント（Fab）との相互作用およびターゲットたんぱく質への界面活性剤修飾によるシグナル増幅手法を組み合わせることで FET を用いたそばアレルゲンたんぱく質の高感度検出を達成した．また加工食品中に含まれるそばアレルゲンたんぱくの検出に向けて，クッキー抽出液中のそばアレルゲンたんぱくの検出も試み，達成している．

2.2　高エネルギー密度電池の作製

ALCA 事業において，2017 年度は硫黄系正極-リチウム負極からなる全電池の作製および硫黄系正極の最適化を実施した．高エネルギー密度化のためには電解液量の削減が重要であると位置付け，本年度の検討においては有用な電解量/硫黄量の比を見出し，約 200 Wh/kg のエネルギー密度を有し，動作が可能な全電池の作製に成功している．

2.3　高エネルギー密度電池の電気化学インピーダンス（EIS）解析

RISING2 事業において Spring-8 などの放射光解析施設でのインピーダンスの同時測定の実現に向けて，2017 年度は放射光 operand 測定と並列して電気化学インピーダンス解析可能な矩形波 EIS 測定システムの構築およびインターフェースの開発を行った．図１にシステムのプロトタイプを示す．本システムは抵抗およびコンデンサからなるテストボックスにおいて作動することを確認している．

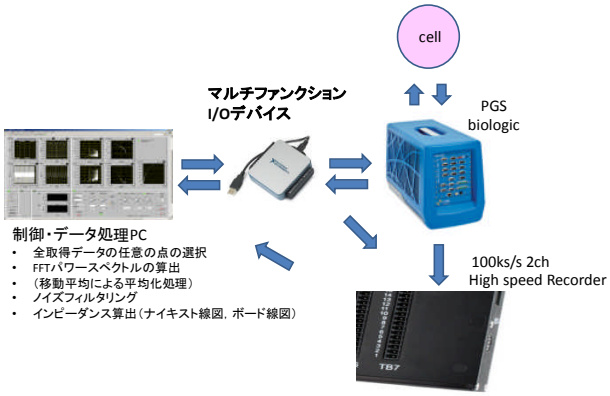

図 1. 矩形波 EIS システムのプロトタイプ

3. 共同研究者

門間　聰之（先進理工学部・応用化学科　教授）
大橋　啓之（ナノ・ライフ創新研究機構・研究院教授）
横島　時彦（ナノ・ライフ創新研究機構・研究院教授）
向山　大吉（ナノ・ライフ創新研究機構・研究院准教授）
奈良　洋希（ナノ・ライフ創新研究機構・研究院准教授）
秀島　翔　（ナノ・ライフ創新研究機構・研究院講師）

4. 研究業績

4. 1. 学術論文

- H. Nara, K. Morita, D. Mukoyama, T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, “Impedance Analysis of $LiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O_2$ Cathodes with Different Secondary-particle Size Distribution in Lithium-ion Battery”, Electrochimica Acta, 241, 323-330 (2017).
- T. Yokoshima, D. Mukoyama, H. Nara, S. Maeda, K. Nakazawa, T. Momma, T. Osaka, “Impedance Measurements of Kilowatt-Class Lithium Ion Battery Modules/Cubicles in Energy Storage Systems by Square-Current Electrochemical Impedance Spectroscopy”, Electrochimica Acta, 246, 800-811 (2017).
- S. Hideshima, M. Saito, K. Fujita, Y. Harada, M. Tsuna, S. Sekiguchi, S. Kuroiwa, T. Nakanishi, T. Osaka, “Label-free detection of allergens in food via surfactant-induced signal amplification using a field effect transistor-based biosensor”, Sensors & Actuators: B. Chemical, 254, 1011-1016 (2018).

他，多数

4. 2. 総説・著書

- K. Ohashi, S. Kuroiwa, S. Hideshima, T. Nakanishi, T. Osaka, “Review of Physiological Balance Sensing in an Unobtrusive Manner”, Electronics and Communications in Japan, 100 (9), 50-55 (2017).

4. 3. 招待講演

- T. Osaka, “Device Designing from Electrochemical Nanotechnology - From Materials to

System", 2017 International Workshop on Electrified Interfaces for Energy Conversions, 2017.05.19.

- T. Momma, Y. Wu, T. Yokoshima, H. Nara, H. mikuriya, T. Osaka, Li-ion Battery using Lithiated Sulfur Cathode Covered with Entrapping Structure of Polysulfides, 10 th International Conference on Advanced Lithium Batteries for Automobile Applications2017.10.25.
- 大橋啓之，"QoW のための疲労センシング"，人間機械協奏技術コンソーシアム第 3 回公開シンポジウム，2017.11.7.

他，多数

4.4. 受賞・表彰

- 逢坂哲彌，学会賞　一般社団法人エレクトロニクス実装学会，2017.5.25

4.5. 学会および社会的活動

- H. Nara, T. Yokoshima, T. Noguchi, T. Momma, T. Osaka, "Application of Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) Polystyrene Sulfonate (PEDOT-PSS) to Cathode for Improvement of Charge-discharge Property of Lithium Sulfur Battery", 2nd Li-SM3 conference, 2017.04.26.
- D. Mukoyama H. Nara T. Yokoshima, T. Momma, T. Osaka, "EIS Analysis of Commercial Lithium-ion Battery for Long-term Charge-discharge Cycling under Various Temperature Conditions", 68 th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, S01-017, 2017.08.31.
- S. Hideshima, M. saito, Y. Harada, M. Tsuna, S. Kuroiwa, T. Nakanishi, T. Osaka, Development of Semiconductor-Based Biosensor for Detection of Buckwheat Allergenic Protein in Food Products, 232 nd ECS Meeting, 2352, 2017.10.04
- 横島時彦，向山大吉，逢坂哲彌，高澤孝次，江草 俊，直井里美，石倉悟，山本耕市，"超高速高解像度 X 線スキャナを用いた LIB 内部短絡試験の内部状態 Operando 観察"，第 58 回電池討論会，2I01, 2017.11.15

他，多数

5. 研究活動の課題と展望

本研究課題において，実用化に資するセンシングデバイスやエネルギーストレージデバイスの開発研究を包括的に進めてきた．COI STREAM 事業において開発している FET バイオセンサについては医療現場だけでなく，家庭内や食品工場での簡便なアレルゲン検出手法としての応用可能性を示してきた． ALCA 事業にて実施している高エネルギー密度電池の作製に関しては，ターゲットである 250 Wh/kg を達成するための設計指針として，正極に含まれる炭素材料含有量の最適化が有用であると考えられる．RISING2 事業においては本年度に開発した放射光測定と電気化学インピーダンス測定同時可能なシステムを基盤として，今後の高度解析を推進していく．