

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18865

研究課題名（和文）安全な電池社会実現のための電池内部の迅速見える化技術基盤創成

研究課題名（英文）Creation of technology platforms for rapid visualization of the internal state of batteries for the realization of a safe battery society

研究代表者

佐藤 一永（Kazuhisa, SATO）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50422077

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：燃料電池、2次電池などは、エネルギー損失が最も少ない電気エネルギー製造・貯蔵方法としてよく知られている。一方、発電や充放電のたびに動的に変化する全固体電気化学デバイスの内部の様子を可視化することは、電池の安全性・信頼性を担保する上で極めて重要である。ただし、イオンは極めて小さく、早く移動するためそのものの動きを捉えて可視化することは難しいため、運転中のどのタイミングで劣化が起きるかはほとんど知られていない。そこで本研究では、全固体電気化学デバイスの電気化学反応が行われる異相界面の安定性や反応性の解明に向けた迅速評価手法の開発を行い、力学・電気・化学反応の連成効果の解明を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

発電や充放電のたびに動的に変化する全固体電気化学デバイスの内部の様子を可視化することは、電池の安全性・信頼性を担保する上で極めて重要である。そこで本研究では、全固体電気化学デバイスの電気化学反応が行われる異相界面の安定性や反応性の解明に向けた迅速評価手法の開発を行い、力学・電気・化学反応の連成効果の解明に成功した。本成果は全固体電池のみならず、様々な積層デバイスに応用できることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Fuel cells and secondary batteries are well known as the method of electrical energy production and storage with the lowest energy loss. On the other hand, it is extremely important to visualise the inside of all-solid-state electrochemical devices, which change dynamically every time they generate electricity or charge and discharge, to ensure the safety and reliability of the batteries. However, it is difficult to capture and visualise the movement of the ions themselves because they are extremely small and move quickly, so little is known about when degradation occurs during operation. In this study, a rapid evaluation method was developed to elucidate the stability and reactivity of the interface between different phases where electrochemical reactions take place in all-solid-state electrochemical devices, and the coupled effects of mechanical, electrical and chemical reactions were elucidated.

研究分野：材料力学・エネルギー変換技術

キーワード：全固体電池 燃料電池 信頼性 耐久性 迅速評価 その場非破壊評価 界面

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電気エネルギーの製造・貯蔵技術開発は世界の緊急解決課題であり、様々な方法が提案されている。中でも、燃料電池、2次電池をはじめとする電気化学デバイスは、エネルギー損失が最も少ない電気エネルギー製造・貯蔵方法としてよく知られている。一方、発電や充放電のたびに動的に変化する全固体電気化学デバイスの内部の様子を可視化することは、電池の安全性・信頼性を担保する上で極めて重要である。一方、プロトンや酸素イオンやリチウムイオンは極めて小さく、早く移動するためそのものの動きを捉えて可視化することは難しいため、運転中のどのようなタイミングで劣化が起きるかはあまりよく知られていない。

2. 研究の目的

燃料電池や2次電池をはじめとする電気化学デバイスは電気エネルギーを極めて効率良く製造・貯蔵できるシステムである。機能性酸化物等のセラミックスを用いてデバイスを完全な固体化することで、従来の電気化学デバイスの欠点であった長期耐久性の課題を克服できる可能性を持っている。さらなるデバイスの発展には、構造担体として信頼性の高い金属とのハイブリット化や低温化などが望まれる。そこで本研究では、全固体電気化学デバイスの電気化学反応が行われる異相界面の安定性や反応性の解明に向けた迅速評価手法の開発を行い、力学・電気・化学反応の連成効果の解明に向けた方法論を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、目的を達成するために以下の4つの研究課題を重点的に進める。初年度は主に科研費(挑戦的萌芽研究:信頼性・耐久性向上に向けた完全固体セラミックス/金属ハイブリット電池の創成(26550073)(2014-2016年度)、基盤研究(B):全固体電池における力学・電気・化学的因子相互作用機構の解明とその応用(16H04229)(2016-2018年度)やこれまでの科研費で開発した試験装置を用いて、様々な酸化物の電気・化学・機械的評価を行い、データベース構築を行う。その結果に基づき全固体電池の最適構造設計ならびに積層界面の安定性に関して迅速評価手法の開発を行うために各研究テーマを推進する。

研究(1)

物質移動に伴って発生する音響を捉えることに挑戦する。運転中の電気化学デバイスは多くの電氣的ノイズを有するため、ノイズを除去しながら音響信号の取得を目指す。

研究(2)

動作中の電池に様々な周波数のパルス音響波を与えてその特徴量を数値化・関数化することで高速な電池内部の動的変化挙動を捉えることに挑戦する。

研究(3)

過酷複合環境下における(酸素圧・温度・電位・外力)クリープ・サイクル特性を含めた機械的・電気化学的特性評価を行い、組成、微細構造を含めたデータベースの構築を行う。

研究室および他の施設で有する In-situ 分光技術を用いて結晶構造ならびに電子構造ならびに積層化した電池のはく離挙動を評価する。

研究(4)

電池の運転状態を模擬したシミュレーションコードを開発し、実験と併用することで電池の迅速評価システムの構築を行う。

4. 研究成果

本研究では世界で盛んに研究開発が進む全固体エネルギー変換デバイスを対象に、主に4つの課題に関して系統的に研究を遂行した。まずは、物質移動に伴って発生する音響を捉えることに挑戦した。また、動作中の電池に様々な周波数のパルス音響波を与えてその特徴量を数値化・関数化することで高速な電池内部の動的変化挙動を捉えることに挑戦した。加えて、電池内部に起こる物理・化学現象ならびに寿命を含めた変化挙動予測を数値シミュレーションで行うために物性評価や数値解析モデル化を様々な視点から試みた。本研究課題に関し、2件の国際査読付き論文を発表した。

また、2023 年度は動作中の電池に様々な周波数のパルス音響波を与えてその特徴量を数値化・関数化することで高速な電池内部の動的変化挙動を捉えることに挑戦し、電位ごとの周波数依存性を見出すことに成功した。

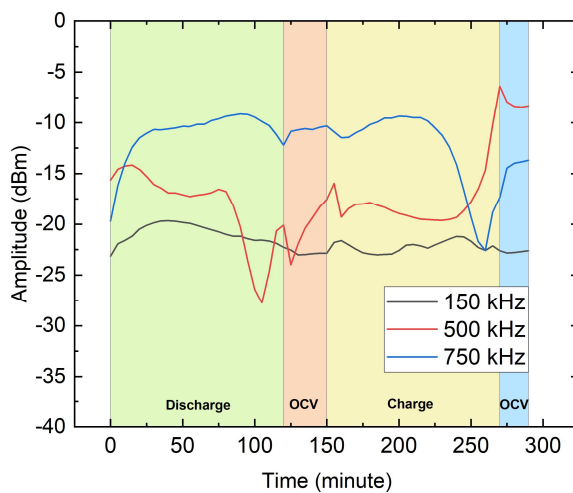


図1 Ni-MH 電池の充放電中における音響信号に対する周波数依存性

これらの基礎データを元に、今後、電気化学分野だけでなく異相界面を持つ、あらゆる構造体に適用できる可能性を秘めている。

これらの結果に基づいて、1件の国際査読付き論文で成果を発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tanaka Junya, Sato Kazuhisa, Yashiro Keiji, Kawada Tatsuya, Hashida Toshiyuki	4. 巻 550
2. 論文標題 Deformation mechanism of Ni(0)-yttria-stabilized zirconia upon reduction and its effect on cell stress evolution in solid oxide fuel cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 232116 ~ 232116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jpowsour.2022.232116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sumi Hirofumi, Shimada Hiroyuki, Yamaguchi Yuki, Nomura Katsuhiro, Sato Kazuhisa	4. 巻 443
2. 論文標題 Why is the performance different between small- and large-scale SOFCs?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 141965 ~ 141965
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.electacta.2023.141965	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Kazuhisa, Yabuta Yoshie, Kumada Keigo, Fukui Ken-ichi, Numao Masayuki, Kawada Tatsuya	4. 巻 570
2. 論文標題 Visualizing internal micro-damage distribution in solid oxide fuel cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 233059 ~ 233059
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jpowsour.2023.233059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荒木 稚子 (ARAKI Wakako) (40359691)	東京工業大学・工学院・教授 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鷲見 裕史 (SUMI Hirofumi) (80613257)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・研究グループ長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関