

固体エネルギー変換デバイス信頼性向上のための情報処理技術の必要性

Information Technique for Improvement of Reliability on Solid Electrochemical Devices

佐藤 一永^{*1} 橋田 俊之^{*1} 福井 健一^{*2} 高藤 淳^{*3} 沼尾 正行^{*2}
 Kazuhisa Sato Toshiyuki Hashida Kenichi Fukui Atsushi Takafuji Masayuki Numao

^{*1} 東北大学大学院工学研究科 ^{*2} 大阪大学産業科学研究所 ^{*3} 株式会社 MetaMoji
 GSE, Tohoku University ISIR, Osaka University MetaMoji

New energy conversion systems develop in environmental fields, and make its presence greater and greater. Data mining method was developed in order to investigate the mechanical and electrochemical degradations process of solid electrochemical devices under operating conditions. By using this method, it was possible to show and help the possibility that detailed degradation process can be evaluated visually and in real-time, even when applied to modules at the actual equipment level. On the other hand, as service science intends to scientifically reveal the mechanism and principle in order to create new energy devices, there emerges a lot of interdisciplinary approach of the brand-new field. While traditional marketing theories have provided frameworks of how to grasp, reach, and lure as many customers as possible, none of them can externalize the functional structure of any service knowledge, and offer methodology of handling them on computer. Aiming at computationally utilizing any service knowledge, we discuss service ontology by both analogies with functional ontology on ontology engineering, and by comparison with typical marketing theory. In addition, we introduce case study that are based on ontology, and show how to create knowledge by this theory.

1. はじめに

東日本大震災を契機に、これまで以上に新エネルギーならびにスマートグリッドを利用した分散型エネルギー供給システム構築が急務となっている。自然エネルギーをはじめとする再生可能エネルギーを活用するにしても、電気化学デバイスはエネルギー変換効率や静音性などの観点から分散型電源として最も適しているといえる。一方、従来型の電気化学デバイスは液体をベースとするため、長期安定性が確保できない。そこで、著者らは完全固体で構成した燃料電池や2次電池の研究開発を行っている[Sato 06]。その際、電池の信頼性確保のために、非破壊検査を行い、解析ならびに開発現場にフィードバックしている。しかしながら、実験室レベルの研究から実機への応用展開を考えると解析する情報量は膨大になり、人間での解析は困難となる。そこで、データマイニングを用いて、得られた様々な情報を解析・可視化することで開発者ならびに運用者の支援ができるシステムを開発している。

他方、上述したように、これらのエネルギー変換デバイスの開発は急加速し、極めて短期間で商用化が進んでいる。特に燃料電池に関わる特許や学術論文の発行は2000年から現在までの10年足らずで数十万にも及ぶ。また、最近、いくつかのグループでは固体酸化燃料電池(SOFC)の商用化も進んでいる。そのため、今後、従来からの研究開発グループに加え、新規に参入するグループも多くみられることが予想される。短期間に世界で生み出され、分散していた SOFC に関する膨大な基本的知識・情報を集約・整理し、次の技術革新へ向けた有効的知識活用が重要となってくる。現状では多くの知識はある限られた個人や組織でのみ整理されているため、世界的な技術革新は困難な状況にあるといつてよい。それに対して本研究においては、オントロジー工学に基づき、SOFC 設計における基本情報である材料選択、電池の構成、形状、試料製造、稼働、

不具合などについて、機能の視点から一貫した知識の体系化を図り、燃料電池の各種プロセスを統合的に視覚化することを目的としている。従来の機能モデリングの手法に加え、対象物と機能構造の変化に関する 2 つの時間軸を加味した物理プロセス統合モデルを適用することで、視覚的かつ俯瞰的に知識を整理することが可能となる。本手法は、SOFC に限らずリチウムイオン電池、太陽電池等のいわゆる「知の爆発」が起きている研究・開発分野への応用が可能である。本発表では、著者らが実際に取り組んでいる 2 つの事例について簡単に紹介する。

2. 固体型電池の信頼性・耐久性評価援用のためのデータマイニング技術

2.1 固体電池評価に対する自己組織化マップ

大量に得られる AE 信号データに対して、ニューラルネットワーク学習のひとつである自己組織化マップ(SOM)を基にして、AE 波の類似関係を反映したマップを自動生成する手法を阪大沼尾研が中心となって開発した。本手法は次の利点を持つ。

- 1) 大局的な評価: 類似 AE 波は同じ損傷タイプ(部材と破壊モード)から生じたと考えられる。類似 AE 波の時間的変化により大まかな損傷過程を把握することが可能になる。
- 2) 探索的な分析: 利用者はマップを通して頻度の高い波形や特徴的な波形を探索的に分析することが可能になる。

2.2 固体電池破壊ダイナミクスの可視化と時系列分析

特に本研究では、近年、パターン認識や機械学習の分野で発展したカーネル法を適用したカーネル SOM を用いており、写像関数であるカーネル関数を適切に選択することで正しく AE 波の類似関係を捉えられる。

SOFC の損傷試験(60 時間)から得られた AE 信号データから損傷に起因する AE 波形を切り出し、周波数解析、スムージング、正規化などの前処理を施した後、カーネル SOM により AE 波の類似関係に基づいた 2 次元マップを生成し、マップ上で AE 波の出現頻度の経時変化から損傷過程の分析を行った。その結果を図 1 に示す[福井 07]。図の中央に示されているの

が、カーネル SOM によるマップであり、縦・横軸は絶対的な意味は持たず、検出された AE 波の類似度(ここでは周波数パワースペクトル分布の類似度)に基づいて、AE 波が 2 次元格子点上に対応付けられている。また、濃淡は類似 AE の集中度合い、すなわち濃いほど類似 AE が密集していることを表している。

領域(a)は昇温期間の AE 波が集まっており、降温が始まり初期のき裂の進展や材料の不均一性から生じたき裂と推測される AE 波が領域(b)に現れている。さらに温度が下がり徐々にガラスシールの凝固が始まると、ガラスシールと電解質の間に応力が生じ、ガラスシール、電解質ともに損傷する(領域(c), (d))。さらに温度が下がるにつれて、電極のき裂・電解質と電極間のはく離が生じる(領域(e))。このように、類似 AE 波の出現頻度の経時変化から、大局的な損傷過程を直感的に把握することができる。

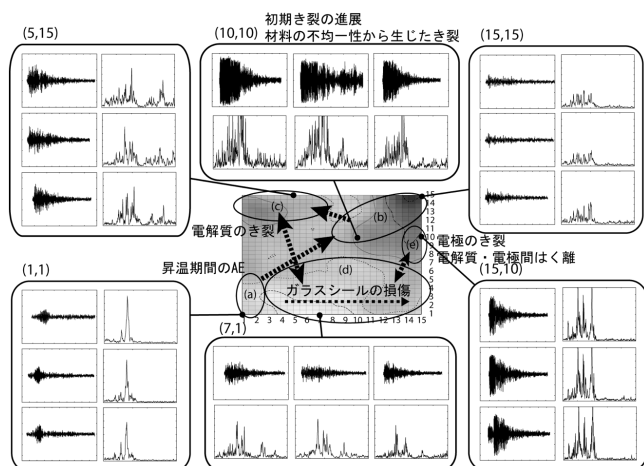


図 1 SOFC 損傷試験 AE データの可視化結果と代表領域のサンプル波形および周波数スペクトル

3. オントロジー工学に基づく固体酸化燃料電池の設計支援システム

3.1 オントロジー工学

本章では、オントロジー工学に基づき、SOFC 設計における基本情報である材料選択、電池の構成、形状、試料製造、稼働、不具合などについて、機能の視点から一貫した知識の体系化を図り、燃料電池の各種プロセスを統合的に視覚化することについて簡単に紹介する。従来の機能モデリングの手法に加え、対象物と機能構造の変化に関する 2 つの時間軸を加味した物理プロセス統合モデルを適用することで、視覚的かつ俯瞰的に知識を整理することが可能となる。本手法は、SOFC に限らずリチウムイオン電池、太陽電池等のいわゆる「知の爆発」が起きているエネルギー変換デバイス研究・開発分野への応用が可能である。

3.2 SOFC 設計支援のための物理プロセス統合モデリング

本研究では、まず、基礎情報となる材料データベースの構築環境を整備した[高藤 10]。材料データベースの表現系としては、米国の NIST (National Institute of Standards and Technology) が策定した材料情報標準記述 XML 言語である MatML (Materials Markup Language) を用いた。構築の手順としては、SOFC 研究者が論文等の技術文献から材料情報を読み取り、所定のフォーマットで記述した後、コンバータで MatML に変換し、XML-DB 等に格納する。

次に、オントロジー工学に基づく SOFC 設計支援のための知識統合モデルを策定し、ソフトウェアを試作した。本手法は以下の利点を持つ。

1) SOFC に関する膨大かつ多様な機能的知識を一貫した様式で顕在化し体系化することができるため、異なる背景を持つ技術者間であっても知識・理解共有が可能となる。

2) SOFC の材料製造、発電システム、不具合などにおける多様なプロセスを統合的に視覚化することで、個々の研究の知見や課題について大局的な視点から把握が可能となる。

具体的な手順としては、最初に、機能的知識外化ツール「OntoGear」を用いて、SOFC の各プロセスにおける機能分解木を記述する(図 2)。この時、前述した材料データベースを用いることで、効率的な記述を行うことができる。その後、プロセス統合モデル用の 3D 閲覧ツールを用いて、機能分解木群を三次元的に視覚化する。3D 閲覧ツールは、現在開発中である。

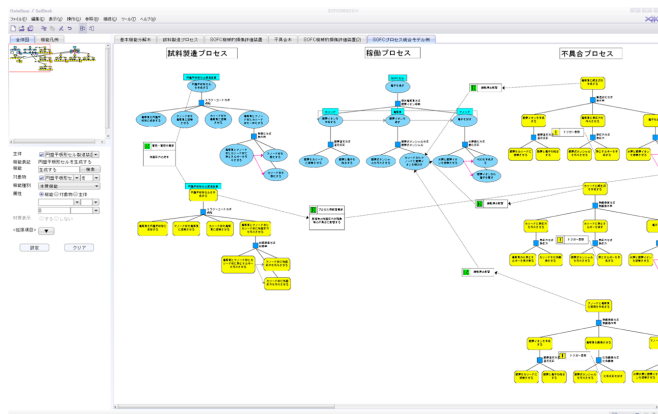


図 2. OntoGear による SOFC 機能分解木

4. おわりに

本研究では大きな期待が寄せられている固体電池開発に対する情報処理技術の適用例を示した。発表の中ではより詳細な話と情報処理技術がどのように次世代エネルギーシステムに組み入れられるべきかを紹介する。

参考文献

[Sato 06] K. Sato, H. Omura, T. Hashida, K. Yashiro, H. Yugami, T. Kawada, J. Mizusaki, Tracking the onset of damage mechanism in ceria-based solid oxide fuel cells under simulated operating conditions Journal of Testing Evaluations,34(3), 2006.
 [福井 07] 福井健一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 斉藤和巳, 沼尾正行, 固体酸化燃料電池における破壊ダイナミクスの可視化法, 情報科学技術レターズ, Vol.6, 2007.
 [高藤 10] 高藤淳, 佐藤一永, 八代圭司, 来村徳信, 水崎純一郎, 固体酸化燃料電池の材料データベース構築とプロセス統合設計支援システムの試作, 日本機械学会設計工学・システム部門講演会論文集, 2010.