

電気化学的エネルギー変換システムの高性能化に関する研究

小林, 由則

<https://hdl.handle.net/2324/1470598>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（2）



氏 名 : 小林 由則

論 文 名 : 電気化学的エネルギー変換システムの高性能化に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地球温暖化問題、エネルギー問題、そして経済問題を同時に解決するためには、エネルギー源の低炭素化とエネルギー利用の高効率化が唯一の解であることに疑いの余地はない。国民生活と基幹産業を支える基盤インフラとしての電源計画の立て直し、ひいては我が国エネルギー政策を根本的に見直すべく、2014年4月にエネルギー基本計画の抜本的な見直しが行われた。それぞれのエネルギー源の位置付けと当面の比率が策定され、新たに水素エネルギーと燃料電池についてもその重要性が言及された。

我が国が取り得るエネルギー問題の解決策としては、当面の原子力発電の可能性を考慮しつつも、将来的には、主に天然ガスを使った火力発電等の集中電源により構築された電力インフラをベースとして、高効率の分散電源を質・量共にベストミックスで組み合わせ、その上で再生可能エネルギー等の新エネルギーを経済的・合理的に最大限導入して行く必要がある。そして、この再生可能エネルギー利活用の為に将来極めて重要となるのが二次エネルギーとしての水素であろう。

そこで本論文としては、このエネルギー源の低炭素化とエネルギー利用の高効率化の為に必須の技術として、電気化学的なエネルギーの直接変換による高効率システムであるSOFC（固体酸化物形燃料電池）やSPWE（固体高分子水電解システム）等を取り上げ、その実用化を加速する為の課題と対策を検証した。更に、当面の「低炭素社会」から将来の「水素社会」へ向けた技術開発の方向性についても考察した。

第1章では、まず初めに現在のエネルギー環境問題に対する本質的な課題を明確にすると共に、これまでのエネルギー利用技術の変遷を整理、其の上で人類が将来目指すべきエネルギー環境関連の新技术開発の方向性を特定した。そして、その中核となる電気化学的なエネルギーの直接変換による高効率システムの実用化を加速することの重要性を詳述した。更に、それら電気化学的エネルギー変換システムの代表例としてのSOFCやSPWE等の技術概要を俯瞰的に纏めると共に、これらシステムの実用化に向けた開発課題を抽出し、本研究の目的、位置付け、論文の構成について記述した。

第2章では、電気化学的エネルギー変換装置を理解する為に、特にSOFCについて、その概要を整理した。

第3章では、そのSOFCを使った高効率発電システムとして期待されているガスタービンとの複合発電システムの概要と、その為の円筒横縞形セルスタックの加圧下での発電特性、モジュールにおける伝熱設計について述べると共に、SOFCを加圧作動させる為の取り組みについて述べた。特に、SOFCとマイクロガスタービンを組合せた200kW級の分散システムを製作・運転検証して、50%以上の発電効率が得られることを実証した。更に、将来的にはSOFCとガスタービン・蒸気タービンを組み合わせたトリプルコンバインドでは、70%の発電効率が達成可能であることについても述べると共に、この実現に向けた要素検証

等の取り組みについても述べた。

第4章では、SOFC発電システムの信頼性を左右するセルスタックの耐久性向上の為に、 $(\text{Sm,Ce})\text{O}_2$ カソード中間層を適用した円筒横縞形SOFCの運転条件(作動温度、燃料利用率、空気利用率等)がセルスタックの化学的耐久性に及ぼす影響を評価した。SDC中間層は温度が高いほどカソードからMn、Ca等が拡散して緻密化するものの、高温部では経時的な電圧低下は観察されず、燃料と空気の各利用率が耐久性に及ぼす影響は少なかった。一方で、作動温度が800°C以下の比較的低温域においてセル電圧低下が顕著であり、作動温度が低くなるほど、LSCMカソードとSDC20中間層界面に緻密層が顕著に形成された。カソードと中間層の界面に生成するLa, Ca, Mnから構成される緻密層が、カソード三相界面への酸素の供給を阻害することで経時的な電圧低下の主要因になっているとの推定を行った。

第5章では、SOFC発電システムの運用性向上の為に、円筒横縞形SOFCモジュールの起動時間短縮に関する研究を行い、従来システムの冷態からの起動時間短縮の最大の阻害要因となっていたセルスタックの昇温について、発電室内の触媒燃焼が最も有効であることを、理論検討と要素試験によって確認した。更に、本手法を大型発電システム用のカートリッジ規模のSOFCに適用して、実機発電システムとしての起動時間の短縮に対する有効性を確認した。

第6章では、SPWEの安全性向上の為に、水電解水素製造システムの信頼性向上に関する研究を行い、浮力差による自然循環で運転を行う一体型水電解装置に於いて、スタック内の気泡等が伝熱阻害要因となって発生するホットスポットに関して、実スタックでの発生事象の観察、スタック内熱流動解析、流動可視化試験により、そのメカニズムと対策を明らかにし、改良したスタックにて5000Hr運転による信頼性の検証結果について述べた。

第7章では、これら本研究の成果を踏まえた、高効率の電気化学的エネルギー変換システムの早期実用化によって実現可能となる、将来のエネルギーインフラのあるべき姿について述べた。具体的には、「低炭素化社会」の次に我々人類が目指すべき「究極のクリーンエネルギー社会」の姿として、高性能のエネルギー変換装置を組合せることで、再生可能エネルギーの適地で大規模に生産される電気エネルギーから、輸送・貯蔵が可能な水素燃料等の二次エネルギーを生み出し、これを大消費地で高効率に利用するエネルギーの全地球規模での循環型社会について考察することで、本論文の纏めとした。