

固体酸化物形燃料電池発電システムの高度利活用技術と社会実装に関する研究

川端, 康晴

<https://hdl.handle.net/2324/2236230>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 川端 康晴

論文題名 : 固体酸化物形燃料電池発電システムの高度利活用技術と社会実装に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) システムは多様な燃料に適用可能で、高い発電効率が期待できる発電システムであり、有限な化石燃料の有効活用とさらなる低炭素社会の実現に資する重要な高効率発電技術として、業務・産業用分野を中心に開発が進み、今後の普及拡大が期待されている。本技術の円滑な市場導入と普及拡大を実現するためには、発電性能だけでなく、安全性や環境性、耐環境性を含めた長期耐久性や汎用性といった、発電システムの社会実装性を多面的かつ複合的に評価する必要があるが、これまでに実際の発電システムを用いた性能試験や長期実証運用を含めて多面的かつ体系的に評価検証を行うことで、SOFC 発電システムの社会実装性を包括的に評価したり、その評価手法の確立に向けて、技術的な検討を行った事例は殆どない。

また、さらなる低炭素化や将来の脱炭素社会実現に向けて、発電反応の過程で CO₂ を効率よく分離回収できる SOFC の特長を活かした高度利活用技術として、発電システムからの CO₂ 排出量削減や、CO₂ の分離回収と固定化を実現しうる、高効率ゼロエミッション発電技術が提案されているが、社会実装の観点に基づく有望なシステムやその実装方法に関する検討や、地域社会での導入・活用にむけた評価方法が確立しておらず、ゼロエミッション発電技術の適用効果を含めた社会実装性の推定評価手法も確立していない。

そこで本研究では、SOFC の特長を活かした、さらなる発電効率の向上による低炭素化に資する SOFC の高度利活用技術として、加圧駆動型の SOFC とマイクロガスタービン(MGT)との複合発電システムを対象として、実運用環境下での長期連続運転評価を含む社会実装性の実機評価を実施し、本システムの実用性や社会での有用性を検証した。また、評価検証を通じて得られた知見を整理し、業務・産業用 SOFC 発電システムの社会実装性評価手法を確立するとともに、本システムの実用性と評価手法の妥当性について、ユーザーサイドでの多角的な視点から評価検証を行った。その結果、SOFC-MGT 複合発電システムとして世界初となる、20,000 時間の長期屋外実証評価を含む、業務・産業分野での実運用に対応した社会実装性評価手法を確立するとともに、安全性検証データの活用による電気事業法の規制緩和を通じた普及基盤整備も行い、商用化を実現した。

また、固体酸化物形燃料電池の特性を活かした利活用技術として、化石燃料やバイオマス燃料を利用して効率よく発電しながら、発電時に発生する CO₂ も効率よく分離回収する、高効率ゼロエミッション発電システムの提案を行い、CO₂ の分離回収に伴うエネルギー損失を考慮した発電性能に基づく省エネルギー性や環境性と、回収した CO₂ の輸送と固定化も考慮した経済性の面から、提案システムの社会実装性について、複合的に解析・評価する方法を開発し、提案した発電システムの期待性能や、提案システムの利用による CO₂ フリー電力供給事業の事業性と、社会実装により期待される CO₂ 削減効果を推定して既存の発電システムと比較評価を行うことで優位性を明らかにするとともに、実用化と普及拡大に向けた技術課題を抽出した。

本論文は、以下の6章で構成される。

第1章では、本研究の背景として、省エネルギー化と地球温暖化問題を両立する、社会実装可能な発電システムの実用化と普及拡大の必要性を挙げるとともに、SOFCの原理や発電効率等の現状と、CO₂の分離回収や固定化に係る現状と課題を背景として整理した上で、本論文の目的を述べた。

第2章では、本研究におけるSOFC高度利活用技術の実験および解析評価方法として、加圧駆動型のSOFC-MGT複合発電システムの社会実装性評価方法を、独自に提案する評価手法や評価基準とともに整理した。

第3章では、前章で整理したSOFC高度利活用技術のうち、SOFCの特長を活かしたさらなる高効率発電技術として、実用化に向けた実証機開発が進展していたSOFC-MGT複合発電システムについて、実機検証を通じて社会実装性の向上と実社会への適用にむけた適性評価を行い、提案した評価手法や評価基準などの妥当性を検証した。

第4章では、SOFCの特長を活かし、将来の低炭素・脱炭素社会への適用を見据えた、さらなる高度利活用技術として、高温作動型圧カスイング式酸素製造装置(HT-PSA)との組み合わせによる、高効率CO₂回収型SOFC-MGT複合発電システムを提案するとともに、その社会実装性について、システム構成要素となるSOFC-MGT複合発電システムやHT-PSA装置の実証性能に基づく全体性能の総合解析を行い、従来型の燃焼式発電システムとの比較評価を行うことで、その優位性を明らかにしたほか、実用化に向けた技術面および経済・事業面での課題を抽出して整理した。

第5章では、前章で得られた知見と課題をふまえた高度利活用技術として、多段型SOFCと酸素透過膜、または水素イオン伝導型燃料電池(PCFC)と水素透過膜で構成される超高効率発電システムと、発電過程で発生するCO₂を効率よく液化回収する、液化CO₂回収型の超高効率ゼロエミッション発電システムを提案した上で、その社会実装性について、熱物質収支解析に基づく基本性能推定と、技術経済性分析に基づく事業性評価や市場顕在化率の推定結果から、提案した発電システムの期待導入量や、期待される社会実装効果の推定を行い、従来型発電システムとの比較評価を行うことで、提案システムの優位性や社会的意義を明らかにするとともに、実用化に向けた技術面の課題と、実用化後の社会実装に係る普及基盤整備上の課題をそれぞれ抽出して整理した。

第6章は本論文を総括し、中長期的な脱炭素社会における、SOFCの特長を活かした高度利活用技術と、この技術を適用した超高効率ゼロエミッション発電システムとその社会実装方法を提案し、その意義と開発課題を整理するとともに、様々な発電システムの社会実装性を推定評価し、開発機の社会実装性について、実証試験を通じて評価検証する、効率的かつ効果的なアプローチを提示し、社会実装性の高い発電システムの創出方法と、その評価検証方法を明確にした。

これらの成果は、業務・産業用のSOFC発電システムの社会実装性評価をはじめ、SOFCの特長を活かした高度利活用技術である、高効率CO₂回収型ゼロエミッション発電システムの早期実用化と、その円滑な市場導入と普及拡大による社会実装を可能とし、CO₂の大気排出を伴わない、持続可能な化石燃料利用と、大気中CO₂回収削減型バイオマス発電による、長期的な脱炭素社会の実現に寄与するものである。