

固体高分子形燃料電池の発電性能向上のためのセパレータ流路構造に関する研究

高園, 康隼
Graduate School of Engineering, Kyushu University

<https://doi.org/10.15017/21995>

出版情報 : 九州大学, 2011, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

(別紙様式2)

論文要旨

区分	①・乙	氏名	高園康隼
論文題名 固体高分子形燃料電池の発電性能向上のためのセパレータ流路構造に関する研究			

論文内容の要旨

固体高分子形燃料電池（PEFC）はエネルギー変換効率が高く、生成物が水のみであることからゼロエミッション化が可能であり、高効率・低公害性が強く求められている自動車および小型コージェネレーション用動力源としての実用化が期待されている。しかし燃料電池の本格的普及に向けては、更なる発電性能の向上、耐久性の向上、並びにコスト低減などの技術的課題が多く残されており、PEFC主要構成要素である膜電極接合体（MEA）、ガス拡散層、並びにセパレータ流路などの最適化が重要な研究課題になっている。特にセパレータ流路は電極触媒層への反応ガスの供給、並びに生成水の排出過程に大きな影響を及ぼすことから適正な流路構造に関する設計指針を明らかにすることが重要である。PEFCの電極面はセパレータリブ部とガス流路部に接する二つの部分から成るが、PEFC性能向上には発電割合の高いリブ部電極面に反応ガスを積極的に供給する必要がある、その方策として対向楕形流路を用いリブ下拡散層への吹抜け流量を増大させることが有効である。一方、流路部における生成水排出にはサーペンタイン流路を用いガス流速を増大させることが有効であると考えられるため、本研究では対向楕形流路とサーペンタイン流路を併せ持つサーペンタインハイブリッド流路を考案し、高加湿から無加湿までの幅広い運転条件下で発電性能を向上させるための設計指針について明らかにした。

第1章ではPEFCのセパレータ流路に関する従来の研究、並びに課題をまとめるとともに、本研究の目的について述べた。

第2章では燃料電池の発電試験に用いた実験装置、並びにセパレータ流路の設計諸元について述べた。

第3章では燃料電池の発電試験方法、過電圧の解析方法、並びに電気化学インピーダンス分光法についてまとめた。

第4章では従来から一般に用いられている平行流路と対向楕形流路の各場合で高加湿条件下における発電性能を比較した。その結果、対向楕形流路を用いると平行流路と比較して高い発電性能が得られるが、対向楕形流路の発電性能は空気利用率の設定条件で大きく変化し、高い空気利用率の条件ではフラッディング（水詰まり）に起因する不安定な出力特性になることがわかった。乾いた拡散層を用いてセパレータ入口および出口のガス圧力と空気透過量の値から求めた空気透過係数、並びに発電試験中に測定した空気透過係数の比から貫通細孔面積比を求め、フラッディング率を評価する方法を考案した。高い空気利用率の条件では貫通細孔面積比が小さい値となり、濃度過電圧が上昇して出力電圧が低下することがわかった。これは拡散層の細孔部に生成水が蓄積し、電極触媒層への酸素の供給が阻害されたためと考えられ

る。一方、低い利用率の条件でも高電流密度域においてはフラッディングの発生により貫通細孔面積比が変動しセル内部の含水状態が不安定になる現象が認められた。この不安定現象を防いで発電性能を向上させる方策としてサーペンタインハイブリッド流路を考案した。

第5章では対向楕形流路とサーペンタインハイブリッド流路を用いた各場合で高加湿条件下における発電性能を比較した。その結果、ハイブリッド流路を用いると貫通細孔面積比が安定した高い値となり発電性能が大幅に向上することがわかった。ハイブリッド流路の場合は低圧サーペンタイン流路におけるガス流速が増大したため排水性が高まり耐フラッディング性が向上するとともに、低圧サーペンタイン流路に水蒸気を含んだ反応ガスが流れることにより高電流密度域でのMEAのドライアップが抑制されるためIR過電圧が減少して発電性能が向上することが明らかになった。

第6章ではアノード供給ガスの相対湿度100%、並びにカソード無加湿条件下における発電性能に及ぼすセパレータ流路構造の影響について検討した。高加湿条件下で得られた結果と同様に、サーペンタイン流路、対向楕形流路、並びにハイブリッド流路の順に高い発電性能が得られることがわかった。伝送線モデルを適用した電気化学インピーダンス法により、発電中のIR（オーム）抵抗、活性化抵抗、並びに拡散抵抗の値を測定した結果、カソード無加湿運転時の主要な抵抗は高分子膜中のプロトン伝導抵抗と電極触媒層のイオノマー中をプロトンが移動する際の抵抗であることがわかった。ハイブリッド流路を用いた場合はMEA全面で電流分布が均一化されるとともに、低圧サーペンタイン流路を流れる水蒸気を含んだ反応ガスによりMEAが良好な湿潤状態になるため、IR抵抗が低減して発電性能が向上することが明らかになった。

第7章ではアノード・カソード両極無加湿条件下における発電性能について検討した。電流遮断法により求めたIR過電圧からMEAの湿潤状態を評価するとともに、両極出口ガスの相対湿度を計測することによりセル内部の水バランスを解析した。その結果、カソードにはハイブリッド流路を用いてカソードから排出される水分量を減少させるとともに、低圧サーペンタイン流路に水蒸気を含んだ反応ガスを流すことによりMEA全面を良好な湿潤状態にすることが発電性能の向上に有効であることがわかった。一方、アノードにはサーペンタイン流路を適用し、カソードのハイブリッド流路における低圧サーペンタイン流路と対向して反応ガスを供給することにより、カソードからアノードへの逆拡散水を増大させることが発電性能を向上させるうえで重要であることが明らかになった。

第8章は本論文の総括であり、以上の研究成果をとりまとめるとともに、今後の課題について述べた。