

低温水素ガス利用時における 固体高分子型燃料電池の性能調査

新井郁矢¹⁾, 小島孝之²⁾, 佐藤哲也¹⁾

1)早稲田大学, 2)JAXA

1. 研究目的

固体高分子型燃料電池(PEFC)は、電動航空機の推進システムの一つとして期待されている。また燃料としてエネルギー密度の高い液体水素の搭載が検討されている。

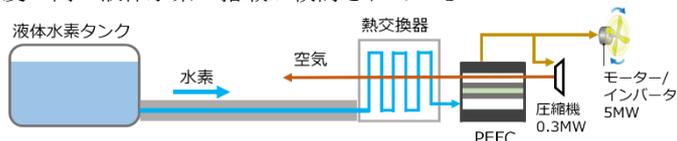


図 1 電動推進システム

推進システムは図1のように液体水素タンクと熱交換器,そしてPEFCで構成され,PEFCの排気熱を高温流体として使用する熱交換器を用いて気化した低温水素ガスを昇温させることを想定している。しかし,上記のシステムを起動させる際やPEFCの出力を急上昇させる際に気化した低温水素ガスがPEFC内部に流入し,反応速度の低下やセル内部に介在する生成水の凍結が発生することにより発電性能の低下が懸念される。また,航空機の推進システムは小型であることが望ましいことから熱交換器の小型化が必要となる。しかし熱交換器の小型化に伴ってPEFCへ流入する水素温度が低下し,発電性能へ影響を及ぼす可能性がある。そのため熱交換器の性能を決定するためにはPEFCの発電性能に影響しない流入水素の最低温度を求める必要がある。

本研究では,水素温度によるPEFCの発電性能への影響を調査することを目的とし,低温水素ガスを用いたPEFCの性能試験を実施し低温水素ガス流入時の内部抵抗への影響を把握した。内部抵抗の計測にはEIS法(電気化学インピーダンス法)を用いた。加えて,異なる流路を持つセパレータを用意し,各流路形状の持つ特性を調査した。

2. 研究手法

性能調査に用いたPEFCスタックを図1に示す。PEFCスタックは10セルで構成され,電解質膜はNafion212を用いた。水素と空気をそれぞれ逆方向から流す対向流としている。水素ガスは液体窒素を冷媒とする熱交換器により冷却した。負荷電流は1.5Aから7.5Aまで1Aずつ上昇させ,インピーダンスを1.5Aから6.5Aまで1回ずつ,負荷電流が定常状態となる7.5Aで7回の計13回計測した。そして計測したインピーダンスに対して図3に示す等価回路を用いてフィッティングを行い,各抵抗成分を算出した。等価回路の抵抗は, R_{ohm} が電解質膜抵抗, $R_{a,ct} \cdot R_{c,ct}$ が電荷移動抵抗(a:アノード, c:カソード), $R_{a,mt} \cdot R_{c,mt}$ が物質移動抵抗を示す。図4に計測されたインピーダンスと等価回路によるフィッティングの結果を示す。図4より,等価回路がPEFCの内部抵抗を精度よく表していることが分かる。加えて,図4に示すように直線状の流路を持つセパレータ(以下St型)と図5に示すサーペンタイン状の流路を持つセパレータ(以下Se型)を用いて,それぞれの持つ特性を調査した。実験条件を表1に示す。水素流量は7.5Aにおいて利用率が約80%になるように設定し。空気流量も同様に7.5Aにおいて利用率が約35%となるように設定した。

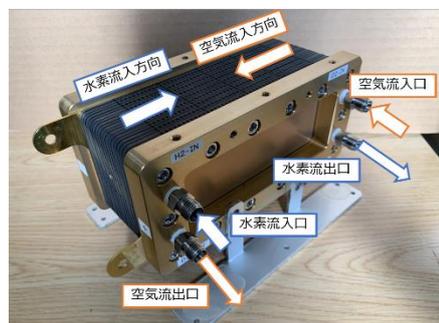


図 2 PEFCスタック

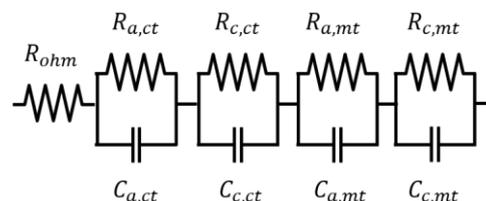


図 3 等価回路

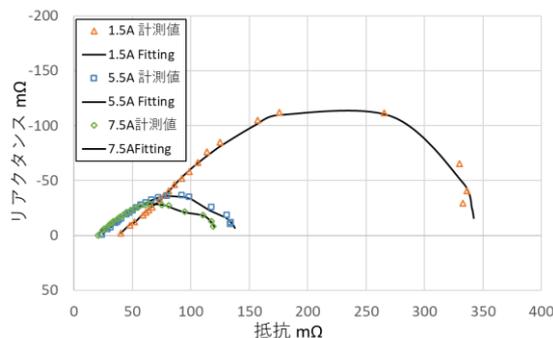


図 4 インピーダンスの計測値とフィッティング結果



図 5 St型セパレータ



図 6 Se型セパレータ

表 1 実験条件

流路形状	水素流量 L/min	水素温度 ℃	空気流量 L/min
St	0.64	14.2	3.6
St	0.64	-19	3.6
Se	0.64	22.5	3.6
Se	0.64	-22	3.6

3. 試験結果

本試験で得られた結果を以下に示す。電荷移動抵抗と物質移動抵抗はアノードとカソードの和である。

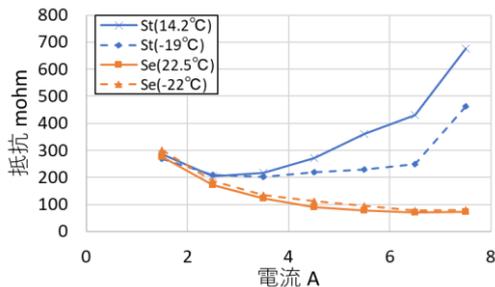


図 7 物質移動抵抗

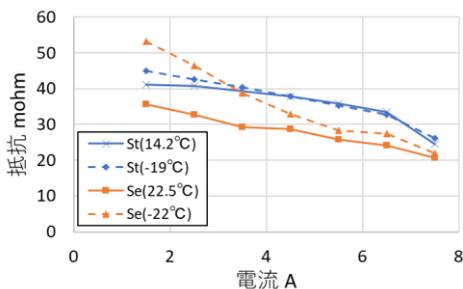


図 8 電解質膜抵抗(Rohm)

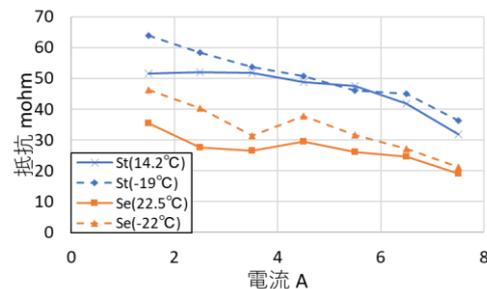


図 9 電荷移動抵抗

3.1 セパレータ形状の特性

図 6 より、St 型を用いた場合、Se 型と比較して 2.5 A 以降で水素温度によらず物質移動抵抗が大きく上昇していることが確認される。これは流路を通過する流体の流速が影響すると考えられる。St 型は Se 型と比較して流路の本数が約 3 倍となる。つまり St 型の流路を通過する流体の流速は Se 型の約 $\frac{1}{3}$ 倍になると考えられる。つまり、流速が遅いため反応生成物である水の排水能力が落ちセル内部に滞留し、燃料ガスの拡散を阻害したことによって物質移動抵抗が増加したと推測される。

3.2 低温水素による影響

3.1 節において St 型は水素温度によらず物質移動抵抗の上昇により発電性能が低下することが判明した。そこで本節では Se 型に着目して水素温度の低下による影響を調査する。図 7 では 1.5 A において -22 °C の水素が流入した際に電解質膜抵抗が常温水素流入時と比較して約 49 pt 上昇している。これは低温水素が流入することによって電解質膜に含まれる水分の一部が凍結したことが原因と考えられる。加えて、図 8 においても 1.5 A 時に -22 °C の水素が流入すると電荷移動抵抗が常温水素流入時と比較して約 31 pt 上昇する結果が得られた。これは低温水素が流入することによって触媒層が冷却され反応速度が低下したことが原因と推測される。

4. 結論

・本試験の条件において、St 型セパレータでは空気による排水能力が低く生成水が滞留し発電能力に影響することが判明した。

発電性能を高めるためには、利用率を低くして流量を多くする必要がある。

・-22 °C の低温水素が流入すると電解質膜抵抗と電荷移動抵抗がそれぞれ約 49 pt, 約 31 pt 上昇する結果を得た。これは低温水素によって電解質中の水分が凍結したこと及び反応界面である触媒層が冷却され反応速度が低下したことが原因であると推測される。