

機関番号：32619

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560169

研究課題名（和文） ディスク型SOFC用平行円板流路内のガス流動制御に関する研究

研究課題名（英文） Study on gas flow control between two parallel disk plates for disk shape SOFC

研究代表者

角田 和巳 (TSUNODA KAZUMI)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：70255644

研究成果の概要（和文）：固体酸化物形燃料電池（SOFC）の一種であるディスク型 SOFC の平行円板流路を想定し，円板間に生じる低レイノルズ数流れの計測と流動場の最適化を行った．本研究ではセルの構成要素である集電体の形状にインボリュート曲線を採用したが，これにより，広い流量範囲にわたって速度場の一様性が大きく改善され，熱応力の軽減等の可能性が示唆された．さらに，PIV で計測した速度場を用いて運動方程式の各項が流体運動に及ぼす影響を評価し，インボリュート曲線に沿う円板間流れの運動状態を力学的に説明した．

研究成果の概要（英文）：Swirling flow behavior between two parallel disk shape plates was experimentally investigated with the aid of a particle image velocimetry (PIV). The experiment was performed at low Reynolds numbers ($Re < 100$) to simulate the practical operation in a disk shape planar-type solid oxide fuel cell (SOFC). In the channel installed involute-type current collectors, a swirling flow was generated and its velocity was kept at nearly constant value toward the channel exit. This trend was observed regardless of flow rates, and hence flow uniformity was achieved over the wide range of Reynolds numbers. This improvement of flow field suggests that a control of thermal stress of the channel could be achieved by installing a circle involute flow passage.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：固体酸化物形燃料電池，ディスク型 SOFC，円板間流れ，旋回流れ，粒子画像流速計，低レイノルズ数流れ

1. 研究開始当初の背景

電力への依存度が高い現代のエネルギー消費社会では，二酸化炭素排出量が少なく発

電効率に秀でたエネルギー変換技術の実現が急務である．このような状況において，固体酸化物形燃料電池（SOFC）とマイクロガスタービンとを複合化した発電システムが従来から注目を集めているが，本システムで

高い総合効率を達成するためには、電力変換の過半を担う SOFC が十分な性能を発揮することが前提となっていた。とりわけ、 1000°C 付近の高温下で作動する SOFC の場合、均一な温度分布を確保してセルの劣化や破損を防ぐことが不可欠で、セル内のガス流動を制御し適切な状態に維持することが重要な課題の一つであった。また、都市ガスを燃料とする SOFC モジュールでは、一般に燃料供給圧力が低くなり、SOFC 内はきわめて低レイノルズ数の流れとなるため、圧力損失を抑制しながら流れの一様化を促進することも重要なテーマである。特に、実際の運転時（発電時）には、種々の外的要因に伴う圧力変動や流量変動が生じることから、セル内のガス流動の動的挙動を十分理解し、その上で流れの最適化について議論することが不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、高効率発電が期待される平板型 SOFC のうち、流れの対称性に優れたディスク型 SOFC に着目し、ディスク型 SOFC を想定した平行円板流路を用いて、空気実験を行った。これにより、セルに供給されたガスの挙動を流体力学的な視点に基づいて掌握し、発電性能の向上につながる適切な流動制御方法を提案することによって、SOFC の高性能化に寄与することを目的としている。

3. 研究の方法

ディスク型 SOFC のモデル流路として、外径 90mm のアクリル製平行円板流路を作製し、室温の圧縮空気を作動ガスとして実験を行った。図 1 はディスク型流路の概略を示したものであり、燃料流路の上に空気流路が積層された構造となっている。また、燃料流路では中心から外周へ向けてガスが流れるのに対し、空気流路では外周から供給されたガスが流路中心へ向かい、中心から外周へ折り返す流動形式が採用されている。

流路内の速度場計測には、粒子画像流速計 (PIV) を適用し、ディスクと平行な面内の速度場を調査することで、流れ場の挙動を明らかにした。実験では、SOFC の運転時における流れ場と力学的に相似となるようなレイノルズ数および流量を設定し、これらをパラメータとして計測を行った。本実験におけるレイノルズ数は、燃料流路では $1 < Re < 43$ 、空気流路では $12 < Re < 92$ となっている。これらのレイノルズ数をパラメータとして速度分布の変化を調べたところ、狭いレイノルズ数範囲で局所的に一様な速度分布が観察されたものの、放射状流れでは均一な流れ場を維持することができなかった。そこで図 1

のように、円板間をインボリュート形状の曲面壁（実機では集電体に相当する）で分割した流路を作製し、その内部に生じる旋回流れの速度場について計測を行った。また、測定された速度分布のデータを用いて、運動方程式の各項を定量的に評価し、平行円板間に生じた旋回流れの運動状態について力学的説明を行った。

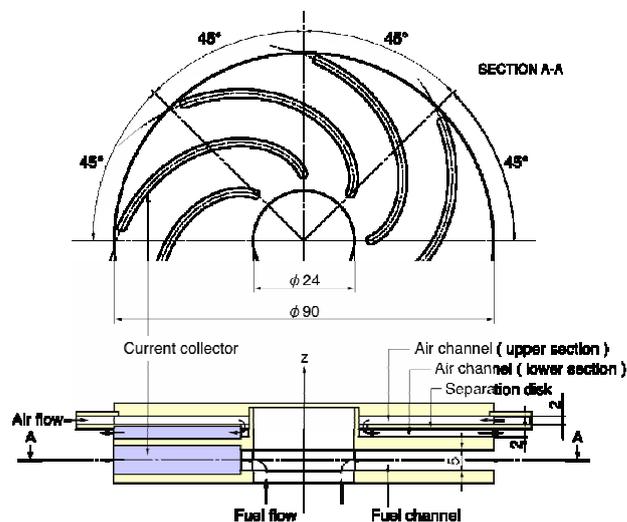


図 1 実験用ディスク型流路

4. 研究成果

図 2 は、燃料流路内で計測された代表的な速度場であり、流路高さ中央を通りディスクと平行な断面内で測定された $Re = 43$ における速度ベクトルを示している。隣り合う集電体に挟まれた領域内では、ほぼインボリュート曲線に沿う外向き流れが得られており、集電体表面付近を除けば流速の大きさにも著しい差は認められない。しかし、流入域では負圧面側の集電体（流下方向左側の集電体）付近で流速が高くなる傾向が見られ、集電体

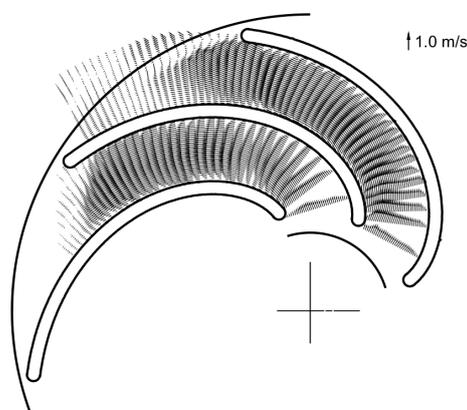


図 2 燃料流路内速度分布

前縁に向かう流れの迎え角が若干過大であることが示唆される。このことより、ディスク中心から供給されるガスの流入角については、適正化の余地が残されていると考えられる。

図3に、空気流路上段の水平面内における速度ベクトルを示す。これらは、上段部のインボリュート板と下段部のインボリュート板との設置位置が、周方向に異なっている場合に得られた結果を比較したもので、左は両者が一致している流路、右は両者が 22.5° の相対角度を持つ流路である。両者とも、速度ベクトルの挙動は類似しており、速度分布も概ね一様であるが、流れの進行方向に向かって左側の集電体付近では流体が減速されやすくなっている。一方、下段流路へ流れが流入する領域では、上下段のインボリュート板の設置位置が一致していない流路において流れの進行方向左側に速度のピークが観察された(図3右)。これは、下段流路のインボリュート板が上段流路のインボリュート板の中央に位置しているため、これを回避するような流れが生じたことによるものと考えられる。

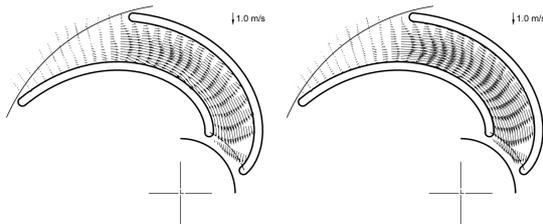


図3 空気流路上段の速度分布

図4は、図3に対応する空気流路下段で計測された速度ベクトルである。いずれの場合も、上段から折り返してきた空気流はインボリュート曲線に沿って中心から外周へと進み、集電体に挟まれた領域において、ほぼ一定の主流速度を維持していることがわかる。また、圧力面側(流れの進行方向右側)に速度のピークが存在するような速度場となっており、上段流路の観察結果とは異なる傾向が認められる。さらに、上下段におけるインボリュート板の設置位置の相違が中心付近の速度場に現れており、 22.5° の場合の方が一様性に優れた速度分布となっている。したがって局所的な効果ではあるが、下段流路のインボリュート板(集電体)と上段流路のインボリュート板(支持板)との位置関係には最適値(本条件下では 22.5°)が存在すると考えられる。

以上の速度ベクトルの比較から明らかに、集電体(あるいは支持板)に挟まれた領域内の主流部では、ほぼ一定の流速が実現されていることがわかったが、本実験では

この状態が低流量時にも観察されている。このような定速流れが実現されるのは、インボリュート曲線を側壁とする流路が、その幾何学的特性から等断面流路を構成するためであり、速度場の一様性確保に適した流路形状であることがわかる。とりわけ上段流路の速度場は、従来使用されてきた半径方向に空気流を吹き込む形式の流路と比較して不均一性が大幅に解消されており、本研究で対象とするレイノルズ数の範囲において、温度こう配の抑制や効果的な電気化学反応もたらしむことが期待される。

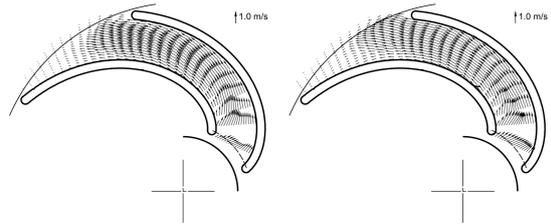


図4 空気流路下段の速度分布

以上のような旋回流れの挙動を明らかにするため、PIV計測によって得られた速度場を用いて、運動方程式の各項が流体の運動量変化に及ぼす影響を定量的に評価した。

図5はその代表的な結果であり、インボリュート曲線に沿う座標 ξ とそれに直交する座標 η で成分された運動方程式の η 方向成分の挙動に着目している。図5においてもっとも特徴的な振る舞いを示している F_{23} の項は、曲率中心方向の加速度に相当する項であり、 ξ 方向に沿って減少すると同時に、 η 方向にも負圧面から圧力面へ向けて低下していることがわかる。これは、曲率中心方向の加速度が ξ 方向速度に比例し、曲率半径には反比例するためである。

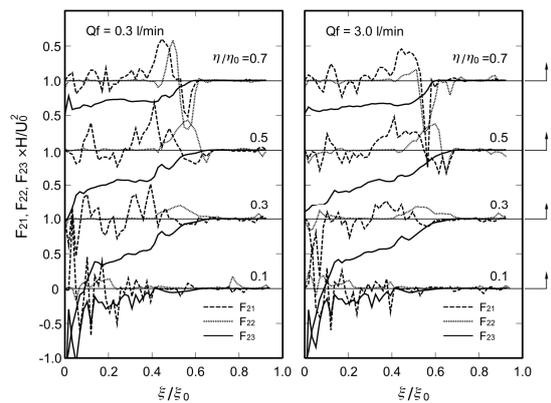


図5 旋回流れの力学的挙動

本実験流路内ではインボリュート曲線に沿う方向の速度成分が卓越するため、この成分が関与する流れ方向への移流項と、向心方

向加速度が支配的となり、特に後者が旋回流れの実現に主要な役割を果たしていることを実験的に明らかにすることができた。また空気流路の場合には、上段流路と下段流路で速度分布のピーク位置が異なるため、向心方向加速度が強くなる領域もこれに応じて変化することが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. 角田和巳, 神田智史, “ディスク型 SOFC チャンネルにおける旋回流れの挙動,” 日本機械学会論文集(B編), 77 巻 773 号, (2011-1), pp.76-85. 査読有り

[学会発表] (計4件)

1. 網中一公, 角田和巳, “ディスク型 SOFC 流路における旋回流れの特性,” 日本機械学会関東支部第 17 期総会講演会講演論文集, No.110-1, 東京, (2011-3), pp.383-384.
2. 角田和巳, 網中一公, “ディスク型 SOFC を模擬した平行円板流路における旋回流れの最適化,” 日本流体力学会年会 2010 拡張要旨集 (CD-ROM), 札幌, (2010-9), 4 pp.
3. 神田智史, 角田和巳, “平板形 SOFC を模擬したディスク型流路における旋回流れの挙動,” 日本機械学会関東支部第 16 期総会講演会講演論文集, No.100-1, 東京, (2010-3), pp.257-258
4. Tsunoda, K., Mukai, Y. and Kinomura, K., “Studies on Flow Structures in Model Channels of A Disk Shape Planar SOFC,” 7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermo-dynamics (CD-ROM), Krakow, Poland, (2009-6), pp.293-300. 査読有り

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

角田 和巳 (TSUNODA KAZUMI)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号：70255644

(2) 研究分担者

末包 哲也 (SUEKANE TETSUYA)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部
研究者番号：30262314

(3) 連携研究者

なし