

京都大学	博士 (工学)	氏名	徐 海元
論文題目	Mesoscale structural modification for anode-supported solid oxide fuel cell: Effects of corrugated structures fabricated through microextrusion printing (アノード支持型 SOFC におけるメゾスケール構造修飾： 押出式マイクロ塗布法により作製した波状構造の影響)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、固体酸化物形燃料電池 (solid oxide fuel cell : 以下SOFC) の一形態であるアノード支持型SOFCにおいて、その発電性能向上のために、電気化学反応の鍵を握る電極／電解質界面に、メゾスケール (10–100 μm) の波状構造を与える新たな作製手法を提案し、セルの発電性能に及ぼす影響を、実験および数値計算から解明したものである。</p> <p>第1章は序論であり、中低温作動用のSOFCとして注目されているアノード支持型セルにおける高発電密度化の重要性を概説した上で、セルの電極／電解質界面にメゾスケールの波状構造を与える方法の開発と、その影響を定量的に理解することの意義を説明している。</p> <p>第2章では、メゾスケール構造修飾における従来の作製手法に替わるものとして、押出式マイクロ塗布法を提案し、アノード支持型SOFCへの適用可能性を検討している。アノード混合粉末とテルピネオールベースのインク媒体を混ぜることでアノードペーストを作製し、共軸二重円筒型レオメーターを用いて流動特性を調べることで、作製したペーストが押出式マイクロ塗布法に適していることを確認している。アノードペーストを塗布対象物の表面上に線状で塗布する際、ペーストと基板との接触角を考慮することで、塗布後におけるペーストの線幅を正確に予測できるモデルを提案している。この手法を用いてアノード支持体に畝構造を形成させ、さらにその上に薄膜電解質とカソードを作製することで、電極／電解質に波状構造を持たせたセル (以下、凹凸セル) を作製し、これによるセルの性能向上を実証している。電極／電解質界面面積が増えるほど、セル内における過電圧がより低減されることにより、セル性能が向上することを見出している。また、実験を実施した600°Cから700°Cまでの範囲で、本研究でのメゾスケール構造修飾の効果は低い作動温度の条件でより顕著であることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、発電状態のアノード支持型SOFCにおいて、メゾスケール構造修飾がセル性能に影響を与えるメカニズムを、数値解析を通じて明らかにしている。実験セルの構造に対応する数値モデルを構築し、その数値シミュレーション結果を実験結果と比較することで数値モデルの妥当性を確認している。さらに、セル内における電気化学反応に寄与する物理化学量の分布を調べることで、凹凸セルにおける過電圧成分と平坦なセルにおける過電圧成分を比較しその変化量を、エネルギーロスの観点から定量的に説明している。また、セル内におけるイオン電流および反応電流は、電極／電解質界面面積を拡張させた効果だけではなく、電解質厚さが不均一に形成される効果により、非一様な分布を持つことを確認している。その結果、一様分布の仮定のもとで推定したものに比べて、オーム損の低減率は大きい、活性化過電圧の低減率は小さいことを見出している。さらに、平坦なアノード支持体の表面上に畝構造をつけることにより増加したアノードの平均厚さによって、アノードにおける濃度過電圧が増加することを見出している。ただし、その増加量はオーム損および活性化過電圧の低減量に比べて非常に小さいことから、セルの性能向上を妨げることはほとんどないことを指摘している。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	徐 海元
<p data-bbox="172 275 1422 651">第4章では、電気化学インピーダンス解析により、燃料中の水素分圧をさまざまに変化させた条件下で、凹凸セルにおける抵抗成分の平坦セルに対する変化量を評価している。緩和時間分布法および複素非線形最小二乗法を用いて、両セルにおける電気化学インピーダンスのデータを解析することで、抵抗成分を分離し、それらの変化率を得ている。アノードの平均厚さの増加によりガス拡散抵抗は増加したが、その増加量は比較的小さく、水素分圧に関係なくほぼ一定であることを見出している。一方、アノードにおける反応抵抗は、水素分圧の減少にともない、平坦セルでは減少するものの、凹凸セルでは増加するため、その低減量が小さくなる結果、水素分圧を低下させた際に本研究でのメゾスケール構造修飾の効果が弱まる要因を明らかにしている。</p> <p data-bbox="172 658 1422 734">第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、考えられる今後の展開を提案している。</p>			

氏名	徐海元
----	-----

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、固体酸化物形燃料電池 (solid oxide fuel cell : 以下SOFC) の一形態であるアノード支持型SOFCにおいて、その発電性能向上のために、電気化学反応の鍵を握る電極/電解質界面に、メゾスケール (10–100 μm) の波状構造を与える新たな作製手法を提案し、セルの発電性能に及ぼす影響を、実験および数値計算から解明したものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. メゾスケール構造修飾における従来の作製手法に替わるものとして、押出式マイクロ塗布法を提案し、アノード支持型SOFCへの適用可能性を検討した。アノードペーストを塗布対象物の表面上に線状で塗布する際、ペーストと基板との接触角を考慮することで、塗布後におけるペーストの線幅を正確に予測できるモデルを提案した。この手法を用いてアノード支持体に畝構造を形成させ、さらにその上に薄膜電解質とカソードを作製することで、電極/電解質に波状構造を持たせたセル (以下、凹凸セル) を作製し、これによるセルの性能向上を実証した。電極/電解質界面面積が増えるほど、セル内における過電圧がより低減されることにより、セル性能が向上することを見出した。また、600°Cから700°Cまでの範囲で、メゾスケール構造修飾の効果は低い作動温度の条件でより顕著であることを明らかにした。
2. 発電状態のアノード支持型SOFCにおいて、メゾスケール構造修飾がセル性能に影響を与えるメカニズムを、数値解析を通じて明らかにした。実験セルの構造に対応する数値モデルを構築し、その数値シミュレーション結果を実験結果と比較することで数値モデルの妥当性を確認した。さらに、セル内における電気化学反応に寄与する物理化学量の分布を調べることで、凹凸セルにおける過電圧成分の平坦なセルに対する変化量を、エネルギーロスの観点から定量的に説明した。セル内におけるイオン電流および反応電流は、電極/電解質界面面積を拡張させた効果だけではなく、電解質厚さが不均一に形成される効果により、非一様な分布を持つことを確認した。その結果、一様分布の仮定のもとで推定したものに比べて、オーム損の低減率は大きい、活性化過電圧の低減率は小さいことを見出した。
3. 電気化学インピーダンス解析により、燃料中の水素分圧をさまざまに変更した条件下で凹凸セルにおける抵抗成分の平坦セルに対する変化量を評価した。緩和時間分布法および複素非線形最小二乗法を用いて、両セルにおける電気化学インピーダンスのデータを解析することで、抵抗成分を分離し、それらの変化率を得た。

本論文は、以上のように、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年2月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降