

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2020

専攻名 (専門分野) Department	環境・エネルギー 専攻	氏名 Name	高橋 和也	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	CD 54180020-0		
研究題目 Title	井桁構造機能層を介挿した SOFC の性能予測				

## 1. 緒言

固体酸化物型燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cells)は発電効率がよく、有望な分散型電源として期待されるが、更なる普及にはコスト削減が必要不可欠となる。SOFCのコストは原材料費の割合が高い<sup>[1]</sup>と報告されており、性能向上により電池材料の使用量の削減を目標とする。SOFCの発電反応は反応場である三相界面(TPB: Triple Phase Boundary)のみで生じ、有効度の向上が必要となる。本研究室では $\mu\text{m}$ レベルの制御が可能なマテリアルプリンタによる反応場の拡大に取り組んでいる。しかし、現在使用中のマテリアルプリンタはインクジェット式であり、微細化には限界がある。そこで、アノードおよび電解質を繊維状の一次元部材として成形し、織物と同様の方法にて、図1に示すような独立した井桁構造の機能層の作製を検討している。アノード上に、アノードもしくは電解質を付加製造技術によって線状あるいはハニカム構造の機能層を介挿した報告<sup>[2][3]</sup>はあるが、複数部材を用いた機能層の介挿および設計はなされていない。そこで、本研究では二つの異なる部材で構成される井桁構造機能層を数値計算により評価し、性能向上の見込める構造を設計した。

## 2. 数値計算条件

SOFCの発電では、燃料ガス、電子およびイオンが各ネットワークパスにより輸送され、TPBにて化学反応が生じる。そのため、性能向上には、TPB密度の向上だけでなく各輸送抵抗最小化するような設計も重要である。本研究では図1に示す井桁構造を扱い、部材同士が1回直交した状態を1層と定義する。

図1の灰色部位はアノード部材、白色の部位は電解質部材を表しており、また、①部材の径②部材同士の縦と横の重複度(縦:  $D_p$  横:  $D_v$ )③積層回数<sup>3</sup>の3つが操作可能パラメータとなる。これらが過電圧に与える影響を評価すれば、理想的な構造の設計が可能となる。そこで

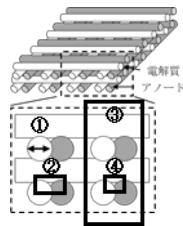


図1 井桁構造イメージ図

有限要素法ベースの汎用シミュレーションソフトウェアであるCOMSOLを用いて機能層-アノード間におけるアノード過電圧を予測した。計算モデルは、アノード部材と電解質部材界面のみでButler-Volmer型の反応が生じる局所平衡を仮定し、同種材および異材間の界面抵抗は考慮していない。境界条件は各集電面で一様電流とし、全圧一定にてアノードの集電端面で一様のガス濃度を与えた。電流密度の条件は $0.3 \text{ A/cm}^2$ で統一し、計算結果は計算領域と同じ大きさの機能層未介挿セルの値を100%とした相対値で整理した。

## 3. 数値計算結果

### 3.1 一次元部材径ごとの性能予測

一次元部材の径が性能に与える影響として、計算結果を図2に示す。線径は $1 \mu\text{m}$ 、 $3 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ および $60 \mu\text{m}$ の4条件とし、 $D_p$ および $D_v$ を0.1に固定した。図2から線径の減少に伴って過電圧は低減し、一次元部材の線径が $3 \mu\text{m}$ では機能層未介挿と同程度の過電圧となり、 $1 \mu\text{m}$ では34.4ポイント%の減少を確認した。このようにアノード過電圧が減少する理由としてTPB密度が要因と推測した。線径 $1 \mu\text{m}$ のTPB密度は、

$10 \mu\text{m}$ と $3 \mu\text{m}$ と比較するとそれぞれ10<sup>2</sup>、10倍程度大きい。このようにTPB密度は、部材の線径の減少とともに指数関数的に増大するため、過電圧は図2のように減少すると考えられる。以上から、性能向上には構造の微細化が重要であると言える。

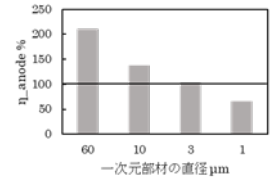
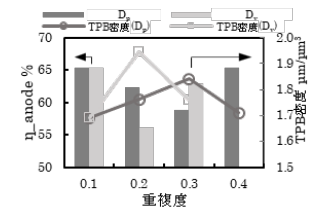


図2 部材の径とアノード過電圧

### 3.2 重複度の変更によるアノード過電圧の予測

図3に部材の線径 $1 \mu\text{m}$ に固定し、重複度をパラメータとしてアノード過電圧とTPB密度の変化を示す。 $D_p$ 、 $D_v$ それぞれの重複度の性能向上に対する寄与を独立に求めるため、他方の重複度を0.1に固定した。図



3から $D_p$ と $D_v$ の過電圧が極小となる値は異なるが、 $D_v$ が0.2の構造において過電圧は最小値をとり、両重複度が0.1の場合に対し9.2ポイント%減少した。これは、同図に示したTPB密度の極大値と連動している。いずれも重複度の増大に伴い異材間の重複部の外周に存在するTPB長さは増大し、体積も同時に小さくなるためTPB密度は増大する。しかしながら、極小値となる重複度を超えると、隣接部材との重複により図1の④に示す空隙部が消失し、TPB密度はむしろ減少に転じ、過電圧が増大したと考えられる。以上から、TPB密度を極大化させる重複度の最適値があると判明し、 $D_p=0.05$ 、 $D_v=0.3$ の構造にてTPB密度が $2.15 \mu\text{m}^3/\mu\text{m}^3$ と最大値となった。このアノード過電圧は $D_p=D_v=0.1$ の構造に対し17.8ポイント%の低減が確認された。

### 3.3 積層回数の変更によるアノード過電圧の予測

前節までで、アノード過電圧が最小値となる構造にて、積層回数のみパラメータとして計算した。その結果を図4に示す。過電圧が最小値をとる積層数は14層で、1層に対して14.1ポイント%低減し、積層高さは $19.5 \mu\text{m}$ となった。15層以上では過電圧が増大したが、これは、酸素イオンの輸送距離増大に起因すると推測される。すなわち、積層回数増大により、反応場の増大による性能向上以上に輸送抵抗が増大し、過電圧が上昇したと考えられる。文献<sup>[4]</sup>に従い、反応場の有効距離を酸素イオンの95%が燃料に消費され、電子を放出する電解質界面からの距離とすれば、本モデルでは電流密度の条件からイオン電流密度が $-0.015 \text{ A/cm}^2$ となる距離まで有効となり、14層と15層ではアノード界面にてそれぞれ $-0.0147$ と $-0.011 \text{ A/cm}^2$ となった。上記の定義と比較し、極小値をとる積層数として14層は妥当と推測した。

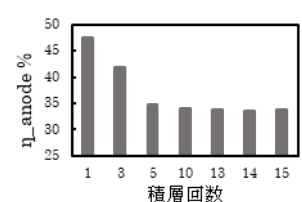


図4 積層回数とアノード過電圧

[1] JST 低炭素社会戦略センター, LCS-FY2013-PP-04  
[2] S.Masciandaro et al, Journal of the European Ceramic Society 39, pp9-16, 1 2019  
[3] T. Shimura et al, International Journal of Hydrogen Energy vol.44.12043-12056 2019