

名古屋、ナディアパーク4F、ナゴヤイノベーションズガレージ 2026年2月16日(月)
2026年2月12日(木) 15:00 ~ 18:00
MEET UP CHUBU Vol.78
モビリティMap-NAGOYA

モビリティへの応用を前提とした固体 酸化物形燃料電池(SOFC)軽量化の ための材料開発

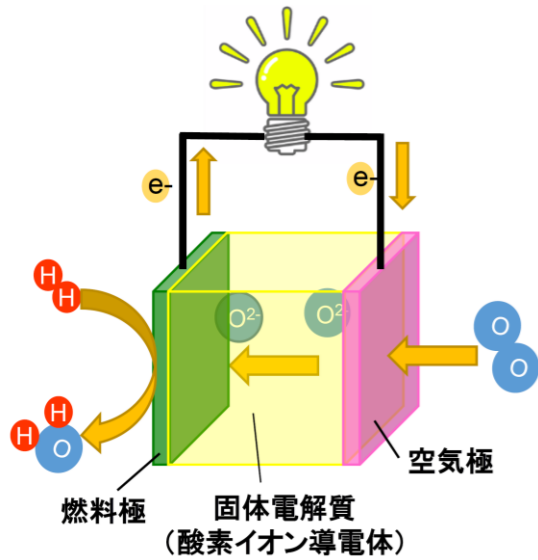
中部大学
理工学部 数理・物理サイエンス学科
橋本 真一

橋本研究室のHP



CHUBU
UNIVERSITY

固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell)とは



SOFCの動作原理図

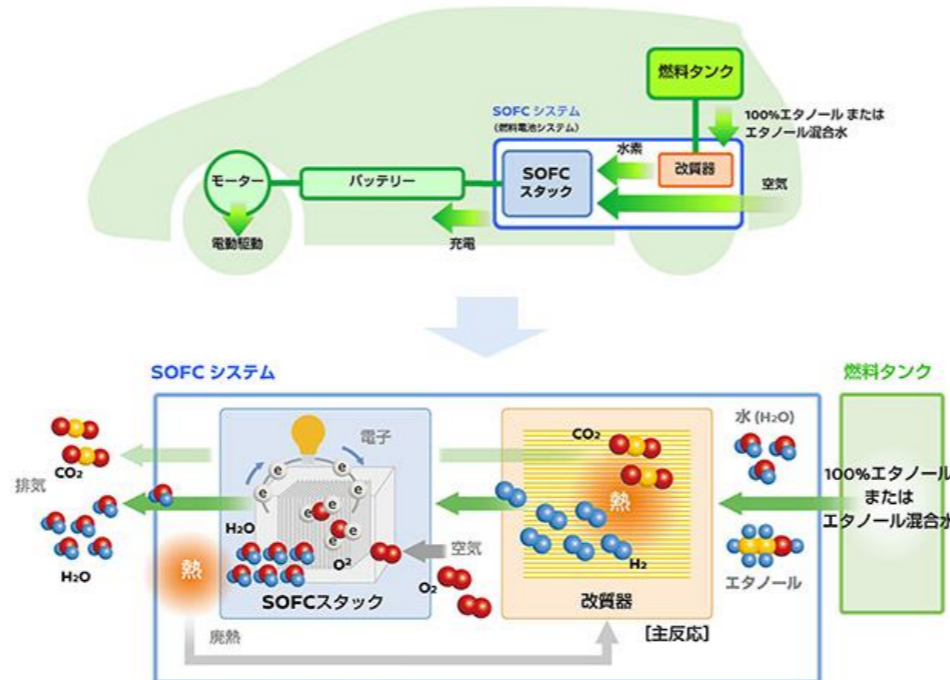


エネファームtypeSアイシン2022年度モデル

東邦ガスHPより

燃料電池: 燃料の「電気化学的燃焼」により、化学エネルギーから直接、電気エネルギーへと変換する発電装置。小型でも内燃機関より高効率が可能。

固体酸化物形燃料電池 (SOFC): 固体のイオン導電体 (セラミックス) を用いた燃料電池で、燃料電池の中で最も効率が高い。アイシン、京セラから、エネファーム type-S (発電効率55%、総合効率87%) として、家庭用に普及しはじめている (2020年で10万台以上の出荷実績)。また、日産は、e-Bio Fuel-Cellとして、エタノール燃料を用いたEV用レンジエクステンダーとして開発が進められている。



日産HPより

SOFCの特徴

- ◆ 高効率を狙える。
- ◆ 500 ~ 1000°Cで作動。
- ◆ 電解質の飛散・腐食が無い。
- ◆ 白金が不要。
- ◆ 燃料多様性とそれに伴うシステムの簡素化を狙える。
- ◆ 排熱利用が可能。

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) のモビリティへの搭載の背景

EVや航空機など、モビリティの電動化



モータ, パワー半導体, 蓄電池の90%以上の高効率



課題

- 蓄電池: エネルギー密度と環境耐性
- e-fuel, biofuel + 燃料電池: 出力密度と効率

表2 エネルギー源の重量エネルギー

エネルギー源	重量エネルギー密度 (MJ/kg)
液体水素	142
メタン	56
灯油(ケロシン)	45 - 47
エタノール	27
デカリン(C ₁₀ H ₁₈)* ¹	10
LaNi ₅ H ₆	2
電気* ²	0.5 - 2.5

e-fuel
biofuel

*1 水素放出時、トルエン (C₁₀H₈) までに反応を抑えた場合。

*2 Liイオン電池および全固体電池の活物質重量あたりの値。

表1 エネルギー変換デバイスの効率

エネルギー変換デバイス	効率
二次電池	90%* ¹ ~ (45%* ² ~)
燃料電池(SOFC)	50%~
燃料電池(PEFC)	40~50%台
エンジン(内燃機関)	~50%台

*1 充放電効率。

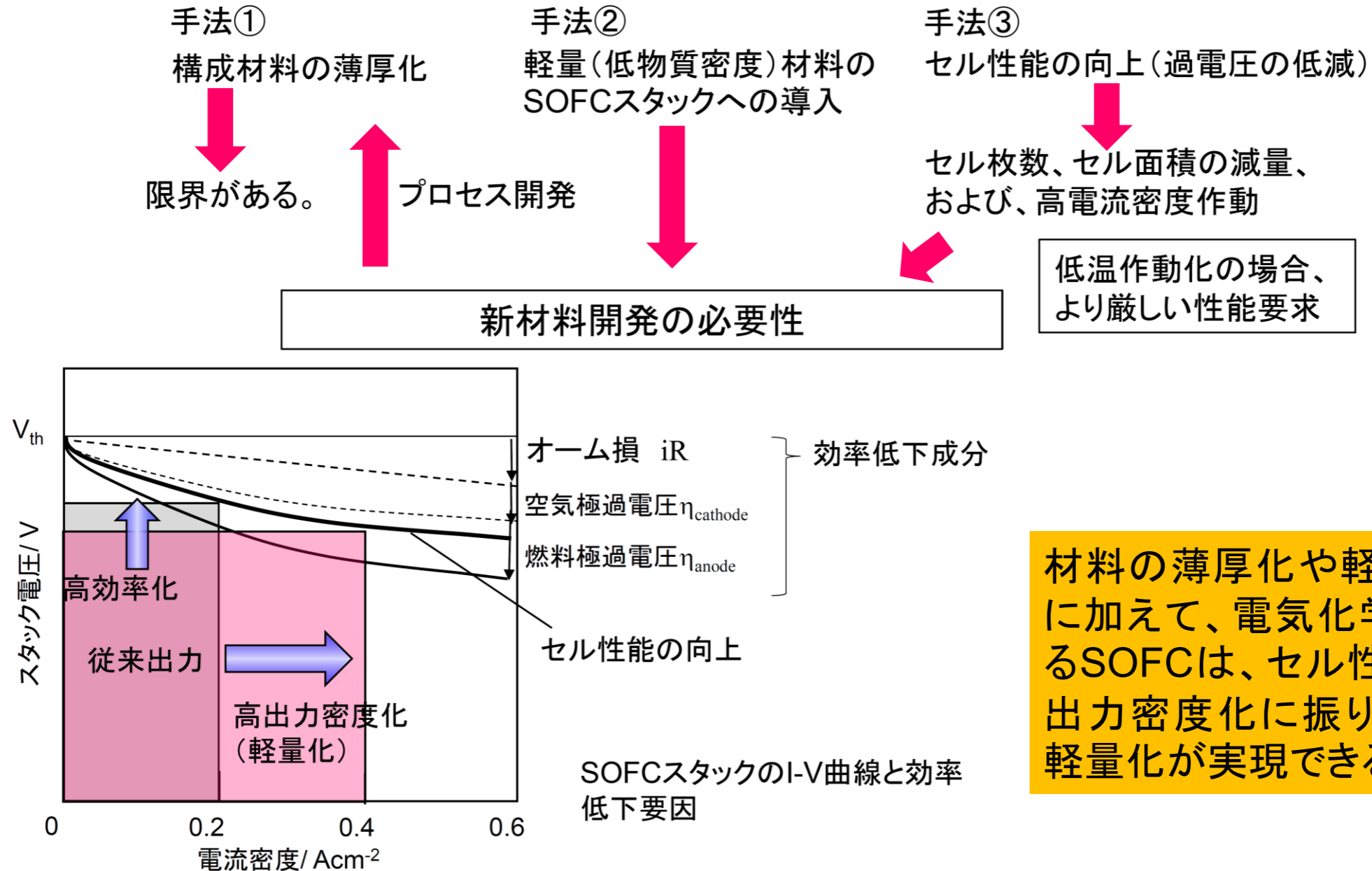
*2 火力発電所の効率を加味した場合。

表3 エネルギー変換デバイスの重量出力密度

エネルギー変換デバイス	重量出力密度
エンジン(内燃機関)	1~100 kW/kg以上
二次電池	1~100 kW/kg台
燃料電池(PEFC)	~2 kW/kg台
燃料電池(SOFC)	0.2~0.3 kW/kg台

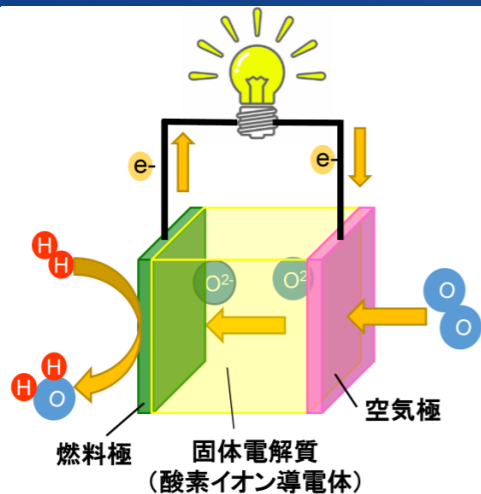
中部大学では、高効率が狙える固体酸化物形燃料電池(SOFC)の軽量化(高出力密度化)に材料開発の視点からチャレンジしている。

SOFCの軽量化の手法

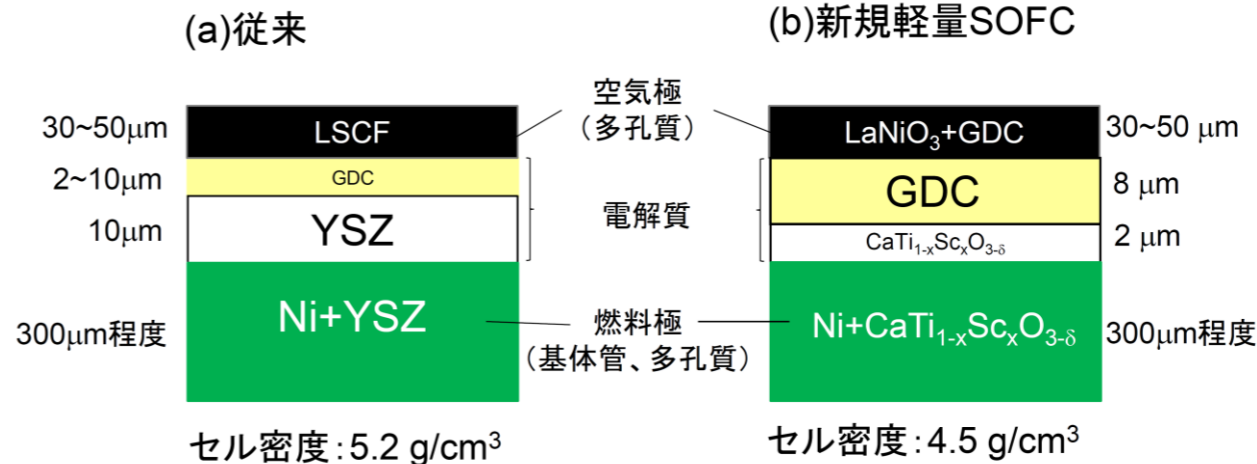


材料の薄厚化や軽量材料の導入に加えて、電気化学デバイスであるSOFCは、セル性能の向上を高出力密度化に振り分けることで、軽量化が実現できる。

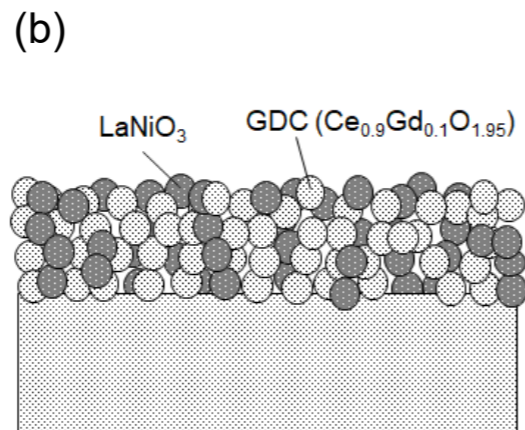
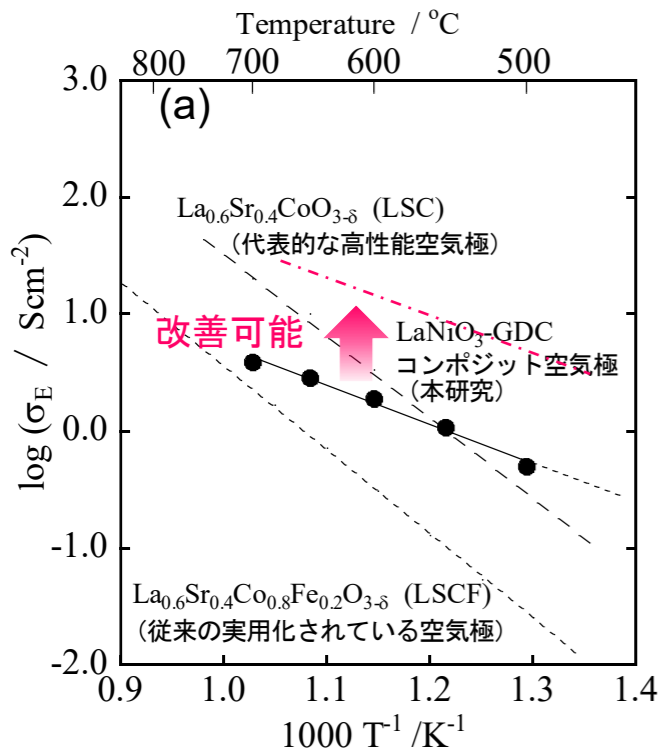
SOFC用軽量材料の材料開発 軽量SOFCセル用材料の開発



SOFCの概念図



新規燃料支持形軽量SOFCのセル構成



新規LaNiO₃-GDC空気極
(a) 電極性能(界面導電率)
(b) 電極構造概念図

世界初の試み

手法②軽量材料の採用
手法③高電流密度作動化



起動停止にも有利な600 °C以下で作動する
軽量SOFCのための新規材料開発(空気極、
電解質、燃料極)を実施。

空気極は、500 °Cで、従来材料の18倍以上の性能を有するLaNiO₃-GDCコンポジット空気極を開発している。

材料開発により可能となった軽量SOFCの出力密度の試算

SOFC スタックユニット

出力

常圧: **6.25kW** (従来2.5kW)

加圧(0.3MPa): **8.75 kW**

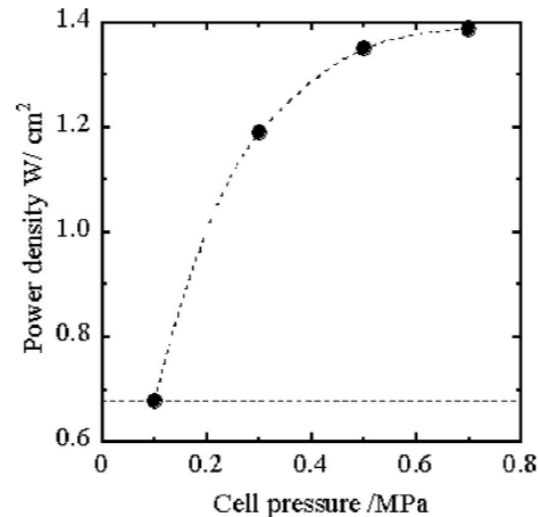
体積: 0.005 m³

重量: **7.3kg** (従来11kg)

電流密度: **0.5 Acm⁻²**

効率(LHV)

常圧: 55%~、加圧: 64%~



500°Cで発電したSOFCの加圧発電特性例
S.Hashimoto, *J. Electrochem. Soc.*,155(6)B587B591(2008)

120kWSOFCユニット

常圧:

重量: 7.3 x 19.2 kg = 140kg~

加圧(0.3MPa):

重量: 7.3 x 13.7 kg = 100kg~

システムとしての出力密度(推定)

加圧発電の補器類などの重量密度が、セルスタックとほぼ同等とすると

重量出力密度 P_{wd} : **0.6 kW/kg~**

参考:

従来のSOFCシステム

重量出力密度 P_{wd} : **0.2~0.3 kW/kg**

出力密度(システムを除く)

常圧:

重量出力密度 P_{wd} : **0.86 kW/kg**

加圧 (0.3MPa):

重量出力密度 P_{wd} : **1.20 kW/kg**

システム込みで 1kW/kg以上になれば、車載のみならず、電動航空機用電源としても可能性がある。

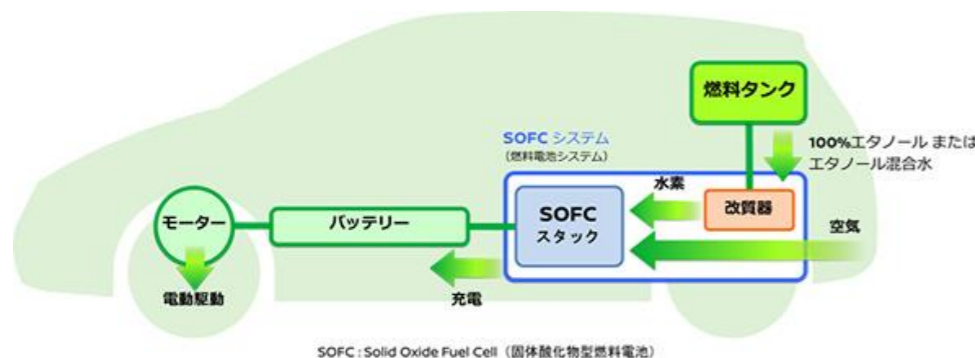
軽量SOFCが切り開く新たな電動モビリティ社会の可能性

EV用レンジエクステンダー



項目	仕様
ベース車	e-NV200
バッテリー容量	24kWh
利用エネルギー	電気 エタノール
タンク容量	30L
SOFC出力	5kW
航続距離	600km以上

※研究試験車両であり、仕様は変更される可能性があります。



SOFC : Solid Oxide Fuel Cell (固体酸化物型燃料電池)

日産自動車、2016年6月14日「e-Bio Fuel-Cell」プレスリリース

電動航空機推進用電源



(写真はNASAのX-57 "Maxwell" programの想定している電動航空機)

AIAA AVIATION Forum

June 25-29, 2018, Atlanta, Georgia

2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference



軽量SOFCの標準化

(写真は現行のCeres社製10kWスタック、Ceres社HP)

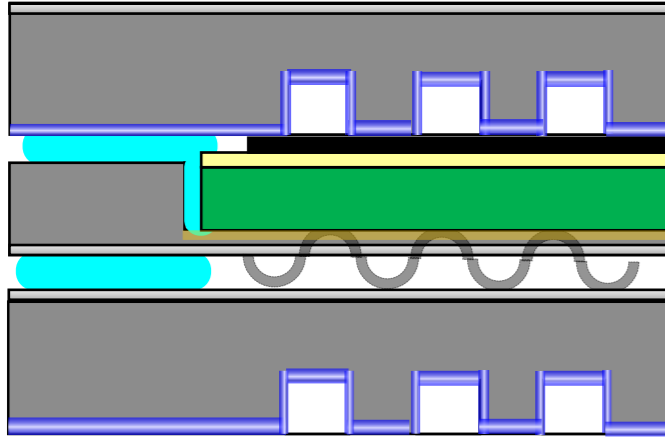


福島ロボットテストフィールド(HPより)

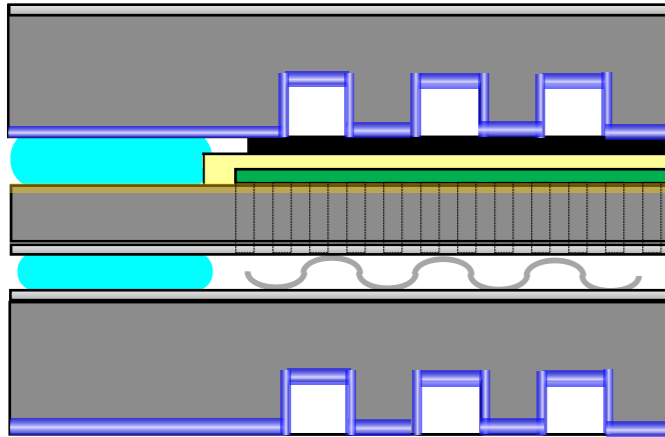
- セル、およびスタックのモビリティの分野を超えた標準規格化により、多くの企業の参入が容易になり、コストダウンも可能になる。
- 物流用ドローンと同等の離着陸距離(400m以下)で、10名程度の乗員がバス同等の燃費の電動航空機が実現できれば、航空分野で排出されるCO₂削減に大きく貢献できる。

これからの展開

燃料極支持型セル



金属支持型セル



金属多孔質基板に、低温で燃料電池用材料を成膜→日本で確立されていない技術で、従来のセラミックス技術は応用できない。

材料開発から、セルインテグレーション技術の開発へのフェーズへ

◆ 燃料極支持型セルインテグレーション技術の開発

➤ 筒状平板型の共焼結、GDC薄膜形成技術の開発

➡ 従来のセラミックス技術の応用(エネファームのコスト低減などをターゲット)

◆ 金属支持型セルインテグレーション技術の開発

(シール性、量産性、低コスト化、軽量化に有利)

➤ 多孔質基板の作成とCVDプロセスによるTiNコーティング

➤ 多孔質TiN薄膜上のMOD(Metal Organic Decomposition)法などによる薄膜SOFC作製のための低温プロセス開発

➤ インターコネクタへの薄膜形成技術の最適化

➡ 半導体の後工程薄膜製造技術に通ずる新しいプロセス開発(モビリティへの応用をターゲット)

セラミックスの合成、Ti系金属合金、セラミックスの低温薄膜作製技術など、企業の方との新しい視点での共創ができることを望んでいます。

固体高分子形燃料電池 (PEFC) と固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の比較

	固体高分子形 (PEFC)	固体酸化物形 (SOFC)
電解質の種類	Nafionなどの高分子膜	セラミックス (従来: 8YSZ + GDC) (本研究: $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\alpha}$ + GDC)
作動温度	~80 °C	500 ~ 1000 °C (本研究のターゲット 500~600°C)
空気極	C + Pt (高価)	$\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ (従来) (本研究: LaNiO_3 + GDC)
燃料極	C + Pt (高価)	8YSZ - Ni (従来) (本研究: 安価な $\text{CaTi}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-\alpha}$ - Ni)
インターコネクタ	スチール or Ti合金	耐熱スチール (従来) (本研究: コーティングしたTi合金)
効率	40~50 %	50 % ~
出力密度	1~2 kW/kg (実燃料用途では、大幅に低下)	0.2~0.3 kW/kg (従来) (本研究: 0.6 kW/kg ~)
燃料多様性	厳密なCO, CO ₂ の管理が必要 (モビリティには不向き)	不要、もしくは簡易な改質器 (本研究: 簡易な改質器を想定)