

BPP特性評価 ~耐食性試験~

BPP Characterization ~Corrosion Resistance Tests~

牧野 翔, 昇 一隆

研究の目的

- バイポーラプレート (BPP) の評価方法を開発し、評価解析プロトコル (NEDO) としての公開を目指す。
- 評価解析プラットフォームのBPP関連事業のサンプル評価を実施可能な環境を構築する。
- BPPの燃料電池環境下での耐食性評価方法について検討する。

結果・結論

- BPPの耐食性についてアノード・カソード腐食試験及び密着性試験について検討し、プロトコル目標値を設定した。
- 評価解析プロトコル (NEDO) にBPPの特性評価方法として公開予定である。
- 評価解析プラットフォームのサンプル評価できる環境を構築した。

概要

Stack cost breakdown [1]
(\$112/kW_{net} at 50,000 systems/year)

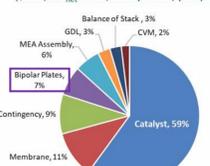


表 2.5.5-1 スタック主要部材のコスト目安 [2]

主要部材	NEDO 2030 年頃	FCV/82 (参考)	HDV	DOE 2030 年頃	FCV (参考) 203	材料コストの考え方
セルバネータ	約 120 円枚	約 120 円枚	4.9 \$/kW	5.3 \$/kW		DOE の HDV ではカーボンセラミックスを前駆体としており、金属セラミックスの FCV と比べて実価約 100 円高。ここでは FCV と同等レベルに設定

表 2.6.3-1 2040 年頃の主要材料の物性目標 ★は、今後測定 [2]

要素	物性	2040 年頃の目標値	2030 年頃の目標値	Gen2-MIRAI※3	一般材料
GDL/セバ、セバ/セバ等、接触抵抗合計 (0cm ²)		0.0004	0.00065	*	226B ※5 分子篩接触抵抗 ※4

- スタック内でのBPPのコストは高く、より安価な製品の開発が必須である。
- HDVのNEDOロードマップでの目標値は、6.5 mΩ cm² (2030)、0.4 mΩ cm² (2040)となっており、コストだけでなく革新的な性能向上も求められている。

LDV System Definitions: Stack Components [3]

	2020/2021 Auto System	2022 Auto System	2025 Auto System	2030 Auto System (High Innovation)
Bipolar Plates and Coating	SS 316L with TreadStone LiteCell™ Coating (Dots-R)	SS 316L with TreadStone LiteCell™ Coating (Dots-R)	SS 304L with Vacuum Coating (modeled as TreadStone TiOX)	Alloy that requires no coating (Based on input from industry experts on current R&D programs) Modeled as SS 304L cost

HDV Stack Component Assumptions [3]

	2021 HDV Technology System	2022 HDV Technology System	2025 HDV Technology System	2030 HDV Technology System
Bipolar Plates and Coating	Flexible graphite with resin impregnation			

- DOEのHDVはカーボン樹脂材の前提ではあるが、FCVに限っては基材をSS316L→SS304L→表面処理なしとコストダウンを意識している。
- トヨタ自動車の燃料電池自動車MIRAIでは基材にTiを使用していたが、NEDO事業においてコストの観点から安価なステンレスに耐食性の表面処理を施したBPPの研究開発が進んでいる。

[1] "Heavy-Duty Fuel Cell System Cost -2022", DOE Hydrogen Program Record #23002
 [2] "FCV・HDV 用燃料電池ロードマップ (解説書)", NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ
 [3] "Fuel Cell Cost and Performance Analysis", 2022 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting Presentation, #FC353
 [4] "Fuel Cell Technical Team Roadmap (2017)", DOE U.S. DRIVE roadmaps

Table 5. Technical Targets for Bipolar Plates [4]

Characteristic	Units	Status	2025 Target
Plate cost ^a (guideline)	\$/kW	5.40 ^{b,c}	2
Plate weight (guideline)	kg/kW	<0.4 ^{c,d}	0.18
Plate H ₂ permeation	Std cm ³ /(sec cm ² Pa) @ 80°C, 3 atm 100% RH	<2 × 10 ^{-6f}	2x10 ⁻⁶
Corrosion anode ^e	μA/cm ²	no active peak ^h	<1 and no active peak
Corrosion cathode ^e	μA/cm ²	<0.1	<1
Electrical conductivity	S/cm	>100 ^h	>100
Areal specific resistance ^h	Ohm cm ²	0.006 ^h	<0.01
Flexural strength ⁱ	MPa	>34 (carbon plate)	>40
Forming elongation ^m	%	20-40 ^h	40 ^m

- DOEではBPPの評価指針を公開しているが、評価解析プロトコル (NEDO) においては記載がないため策定が急務。
- 評価解析プラットフォームにおけるNEDO事業のBPPサンプルを評価するための評価方法の検討および実験環境の構築が必要。



原理・手法

評価・解析事例

バイポーラプレート評価項目について

接触抵抗

- 対ガス拡散層
- BPP/BPP

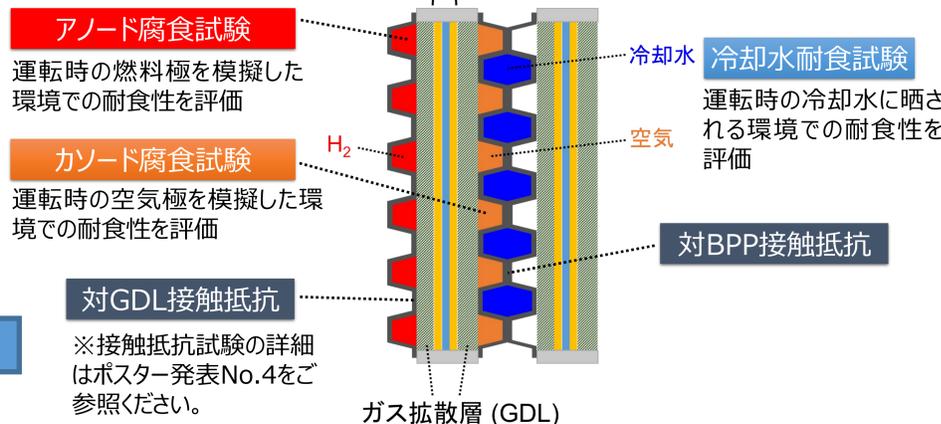
耐食性(腐食試験)

- アノード環境
- カソード環境
- 冷却水

表面処理層の密着性

- プレッシャークッカー試験

アノード触媒層 / 電解質膜 / カソード触媒層



BPP表面処理層の耐食性および密着性の評価手法について検討し、一部評価プロトコルの目標値を設定した。

項目	単位	現状	目標値			備考
			乗用車 2030	HDV 2030	HDV 2040	
耐食性試験	アノード腐食	mol cm ⁻² h ⁻¹ (Fe,その他基材元素溶出量)	1~3 × 10 ⁻¹⁰ (Au/304)	< 3 × 10 ⁻¹⁰ _Fe	-	-
	カソード腐食	mol cm ⁻² h ⁻¹ (Fe,その他基材元素溶出量)	1~3 × 10 ⁻¹⁰ (Au/304)	< 3 × 10 ⁻¹⁰ _Fe	-	-
	対冷却水耐食性	mol cm ⁻² h ⁻¹ (Fe,その他基材元素溶出量)	TBD	TBD	-	-
接触抵抗試験	対GDL	mΩ cm ²	BOL: < 2 EOL: < 3 (Au/304) BOL: < 5* EOL: < 6*	合計 6.5	合計 0.4	*メーカ参考値
	対BPP	mΩ cm ²	TBD BOL: < 2* EOL: < 5*	TBD	↑	↑ *メーカ参考値
密着性試験	表面処理層	mΩ cm ²	No change* (Au/SUS304)	-	-	*試験時間:4 時間 *φ80mm以上を剥がれと定義

アノード・カソード腐食試験

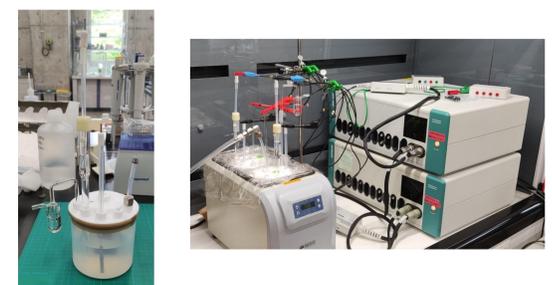
FCV運転状態のアノード・カソード環境を模擬した腐食試験。オールテフロンセルはフッ化物イオン含有溶液中での使用が可能であり、特殊仕様の参照極はコンタミレス。※セル形式はJFEテクノリサーチ(株)より貸与。

試験条件

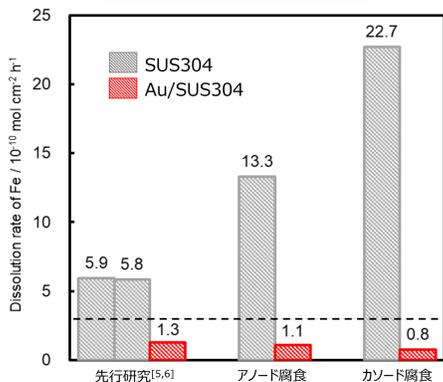
ワーク	平板を20%引っ張り、もしくは表面処理検討においては平板可。
試験容器	電気化学測定で使用されている標準的な容器とする。ただし、フッ素で溶解しないもの(例:PE製)を使用すること。
試験液	イオン交換水(導電率10μS/cm以下)に下記試薬を加え、希硫酸にてpH3±0.05に調整する。 NaCl特級試薬 16.5±0.1mg/L (Clとして10ppm相当) NaF特級試薬 6.65±0.1mg/L (Fとして3ppm相当)
試験液の温度	80±2°C
試験雰囲気	アノード: 不活性ガス(Ar, N ₂ 等), カソード: 大気雰囲気
参照電極	下記電位を印加できる電極を使用する。例えば銀塩化銀参照電極など。
対極	白金
印加電位	アノード: 0.0 V vs. RHE, カソード: 1.1 V vs. RHE
印加時間	60Hr以上

データ処理

- 測定条件に従い定電位試験を実施する。ただし、本評価の電位の印可時間は60Hr以上でも可。
- 試験後の試験液を回収し、ICP-MSにより金属溶出量の定量を実施する。



腐食試験中のFe溶出速度



[5] A. Minoura et al., 材料と環境, 70, 60 (2021).
 [6] JFE技術, 47, 75 (2021).

冷却水耐食試験

BPPの模擬冷却水中での耐食性を評価

試験環境	溶液	エチレングリコール/水=50/50 wt%
	温度	80°C±2°C
	時間	60時間以上

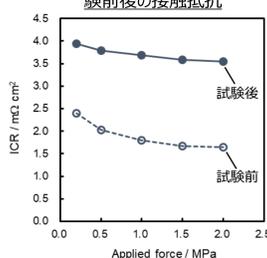


- 試験環境に耐えうるテフロン製密閉容器や耐圧反応容器など。
- 本項目における評価の前後においてBPP/BPP接触抵抗試験を実施するため2枚のテストピースを用意すること。

データ処理

冷却水耐食試験前後でBPP/BPP接触抵抗試験を実施し、プロトコル目標値を充足する事。

SUS304の冷却水耐食試験前後の接触抵抗



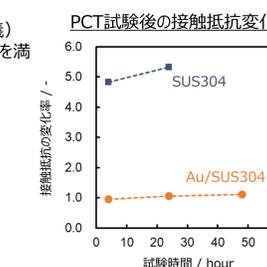
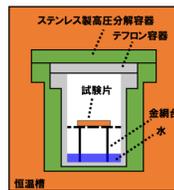
※対BPP接触抵抗試験と併せてAu/SUS304などのデータを取得中

密着性試験 (プレッシャークッカー試験)

高温・高圧の水蒸気に暴露することで表面処理層の密着性を評価

- 試験条件
- 試験液: イオン交換水
 - 試験液の温度: 130±2°C
 - 試験時間: 4Hr以上

- データ処理
- 剥がれなき事(φ80mm以上を剥がれと定義)
 - プレッシャークッカー試験後、初期の抵抗値を満足する事



今後の計画

- TBDの評価項目 (冷却水耐食試験及びBPP接触抵抗試験) について引き続き検討を行い、評価解析プロトコルへ反映する。
- 評価解析プラットフォームのBPPサンプルの評価を実施する。

謝辞

この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。