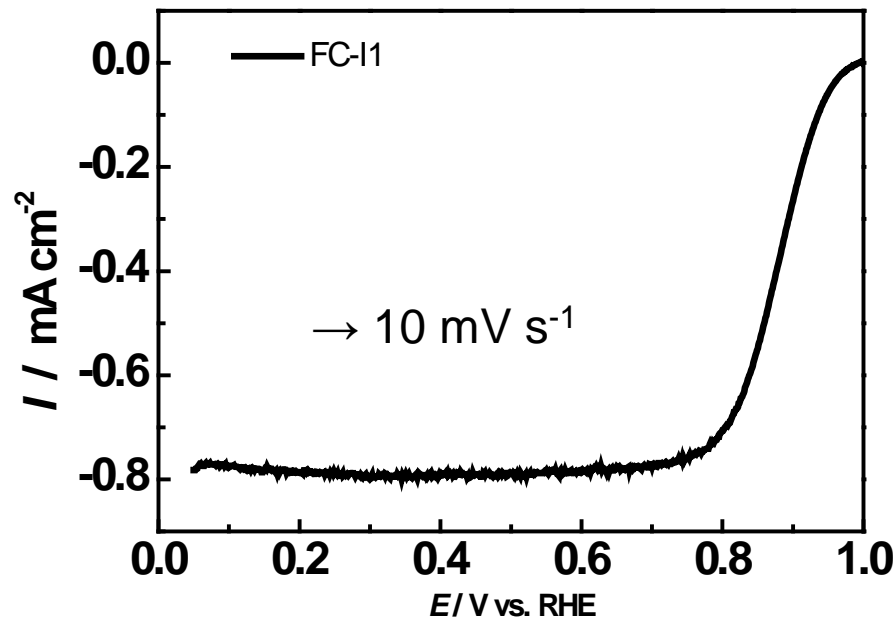
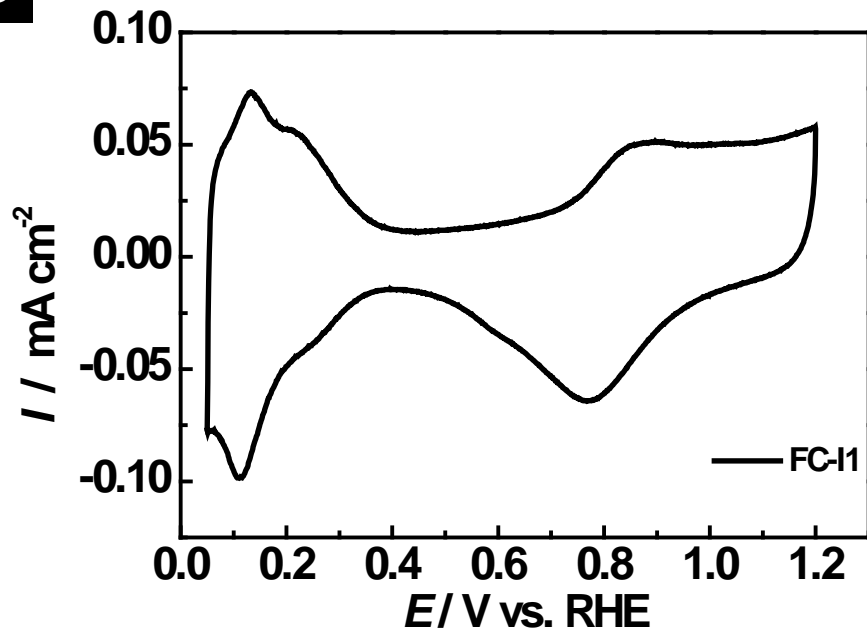


# 評価条件

1. 酸の純度等：メーカー(多摩化学工業 TAMAPURE-AA-100 )，酸の純度(70 %、超高純度)
2. 水の純度等：メーカーまたは製造機等(Sarnorius アリウム611UV )，純度( $> 10^{18} \Omega\text{cm}$ )
3. 洗ビンの容器の材質：フッ素樹脂製
4. 電解槽および電気化学測定装置名等：回転装置：日厚計測RRDE-1、ポテンシostat ALS Model 700C
5. 電解槽の容積：ガラス製保温ジャケット付き 180 mL
6. 電解槽の洗浄方法：混酸に一晩浸漬後、超純水で熱湯煮沸を30分を行い、超純水で洗浄
7. 回転電極の電極部の大きさ：直径(6.0 mm)
8. 試験電極作製法：b. GC電極上に触媒を載せた上にイオノマーを滴下
9. 回転電極の試験電極部：Pt/C担持量( $14.1 \mu\text{g cm}^{-2}$ )，イオノマー担持量( $0.50 \mu\text{L cm}^{-2}$ = $0.08\mu\text{m}$ に対応)
10. GC電極上への触媒担持方法：1-hexanolを分散溶媒として触媒懸濁液を $10 \mu\text{L}$ 塗布
11. 試験電極作製時の加熱温度と時間：一晩常温で放置後、真空デシケーターで24h以上真空乾燥
12. ORR特性評価における電解液中での電極の前処理：安定なボルタモグラムが得られるまで $0.05 \sim 1.0 \text{ V}$ 、 $50 \text{ mV s}^{-1}$ で数十サイクル程度掃引
13. ORR評価測定前酸素吹込時間：20 min
14. ORR評価中の酸素吹込状況：b. 液上部流通
15. 特記事項：



1. 触媒 (○印) : (a) FC-I1, b. FC-I2, c. FC-T1, d. FC-J1
2. ECSA (電気化学活性比表面積) :  $58 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
3. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
4. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
5. 電解液の種類と濃度: 種類 ( $\text{HClO}_4$ )、濃度 (0.1 M)
6. 電解液量と温度: 液量 (180 mL), 温度 (25 °C)
7. ECSA の評価法 (○印) : a. 水素吸着波, (b) 水素脱離波, c. 吸着COの脱離波, d. その他 ( )
8. 電位走査速度:  $50 \text{ mV s}^{-1}$
9. 対極 (○印) : a. Pt板, (b) Pt線, c. Pt黒, d. 炭素繊維
10. 参照電極 (○印) : (a) RHE, b. Ag/AgCl, c. SCE
11. 上限電位、下限電位を変化させて測定した場合には、縦軸を少しずらして同一図に収める

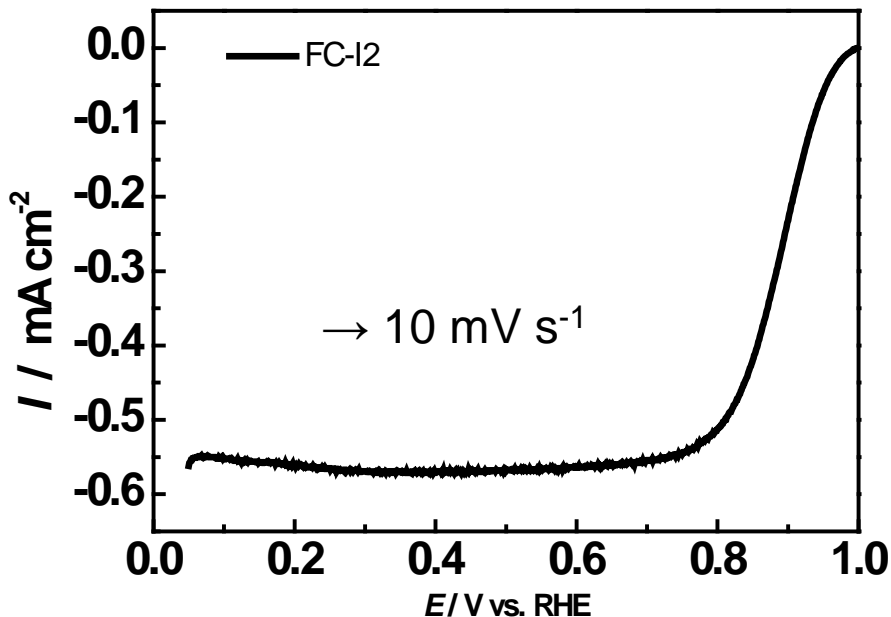
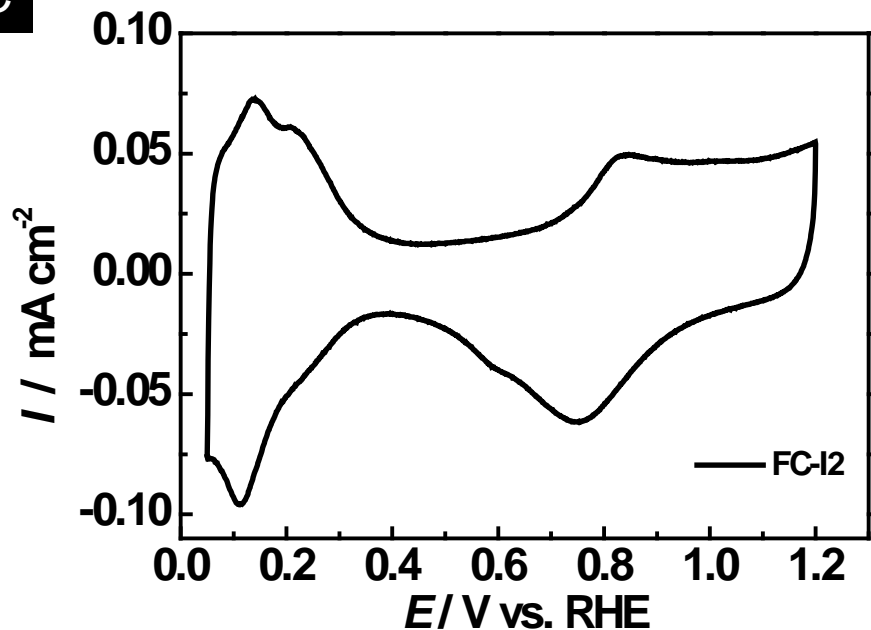
1. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
2. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
3. ORR評価の電解液温度 (○印) : a. 60 °C, (b) 60 °C以外で評価した場合の温度 (25 °C)
4. 電極回転速度: 任意 (例えば500~3000 rpmの範囲で6種類の速度)

1600rpmのデータを下記の式を用いて $I_K$ を算出。

$$I_K = \frac{I_d \times I}{I_d - I}$$

1. 電位 0.85 V および 0.90 V vs. RHEにおける活性化支配電流密度: 右表を参照 (2人の学生による評価結果)
2. 縦軸:  $j^1/A^{-1}$  が望ましい
3. 横軸:  $\omega^{-1/2}/(\text{rad s}^{-1})^{-1/2}$  が望ましい
4. 電流値評価: a. カソード電位走査時,  
 (b) アノード電位走査時(10mV s<sup>-1</sup>),  
 c. その他( )

	FC-I1
Pt particle size (nm)	-
Carbon support	Vulcan
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	48
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	54.4 61.5
Pt utilization (%)	113 128
Specific activity @0.9 V (mA/cm <sup>2</sup> )	403 331
Specific activity @0.85V (mA/cm <sup>2</sup> )	1810 1272
Mass activity @0.9 V (A/g)	216 204
Mass activity @0.85 V (A/g)	970 782



1. 触媒 (○印) : a. FC-I1, (b) **FC-I2**, c. FC-T1, d. FC-J1
2. ECSA (電気化学活性比表面積) : **73.7 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>**
3. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
4. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
5. 電解液の種類と濃度: 種類 (**HClO<sub>4</sub>**)、濃度 (**0.1 M**)
6. 電解液量と温度: 液量 (**180 mL**)、温度 (**25 °C**)
7. ECSA の評価法 (○印) : a. 水素吸着波, (b) **水素脱離波**, c. 吸着COの脱離波, d. その他 ( )
8. 電位走査速度: **50 mV s<sup>-1</sup>**
9. 対極 (○印) : a. Pt板, (b) **Pt線**, c. Pt黒, d. 炭素繊維
10. 参照電極 (○印) : (a) **RHE**, b. Ag/AgCl, c. SCE
11. 上限電位、下限電位を変化させて測定した場合には、縦軸を少しずらして同一図に収める

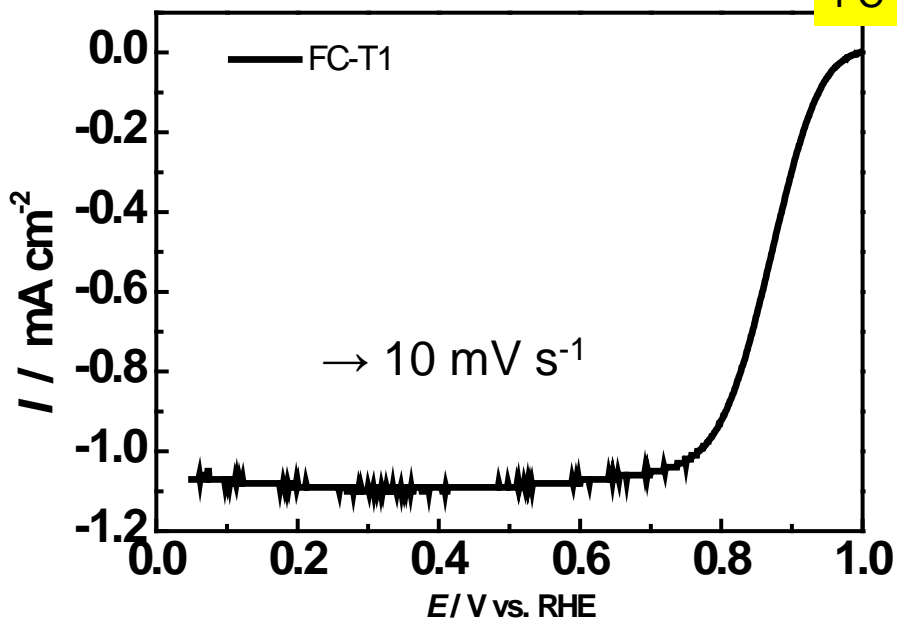
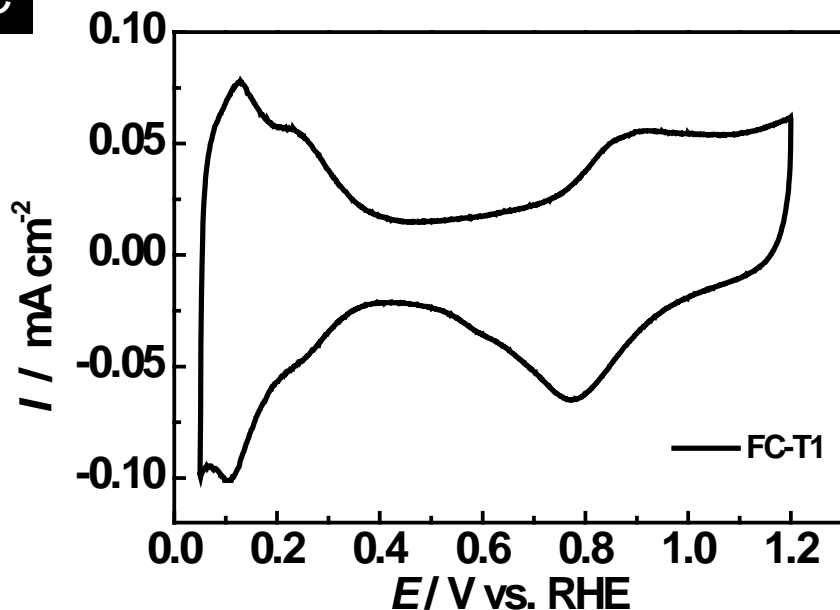
1. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
2. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
3. ORR評価の電解液温度 (○印) : a. 60 °C, (b) **60 °C以外で評価した場合の温度 (25 °C)**
4. 電極回転速度: 任意 (例えば500~3000 rpmの範囲で6種類の速度)

1600rpmのデータを下記の式を用いて $I_K$ を算出。

$$I_K = \frac{I_d \times I}{I_d - I}$$

1. 電位 0.85 V および 0.90 V vs. RHEにおける活性化支配電流密度: 右表を参照 (2人の学生による評価結果)
2. 縦軸:  $j^1/A^{-1}$  が望ましい
3. 横軸:  $\omega^{-1/2}/(\text{rad s}^{-1})^{-1/2}$  が望ましい
4. 電流値評価: a. カソード電位走査時,  
 (b) アノード電位走査時(10mV s<sup>-1</sup>),  
 c. その他( )

	FC-I2
Pt particle size (nm)	-
Carbon support	KB
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	70
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	75.5 71.9
Pt utilization (%)	108 103
Specific activity @0.9 V (mA/cm <sup>2</sup> )	391 361
Specific activity @0.85V (mA/cm <sup>2</sup> )	1570 1496
Mass activity @0.9 V (A/g)	296 259
Mass activity @0.85 V (A/g)	1196 1080



1. 触媒 (○印) : a. FC-I1, b. FC-I2, (c.) **FC-T1**, d. FC-J1
2. ECSA (電気化学活性比表面積) : **38.8 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>**
3. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
4. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
5. 電解液の種類と濃度: 種類 (**HClO<sub>4</sub>**)、濃度 (**0.1 M**)
6. 電解液量と温度: 液量 (**180 mL**)、温度 (**25 °C**)
7. ECSA の評価法 (○印) : a. 水素吸着波, (b.) **水素脱離波**, c. 吸着COの脱離波, d. その他 ( )
8. 電位走査速度: **50 mV s<sup>-1</sup>**
9. 対極 (○印) : a. Pt板, (b.) **Pt線**, c. Pt黒, d. 炭素繊維
10. 参照電極 (○印) : (a.) **RHE**, b. Ag/AgCl, c. SCE
11. 上限電位、下限電位を変化させて測定した場合には、縦軸を少しずらして同一図に収める

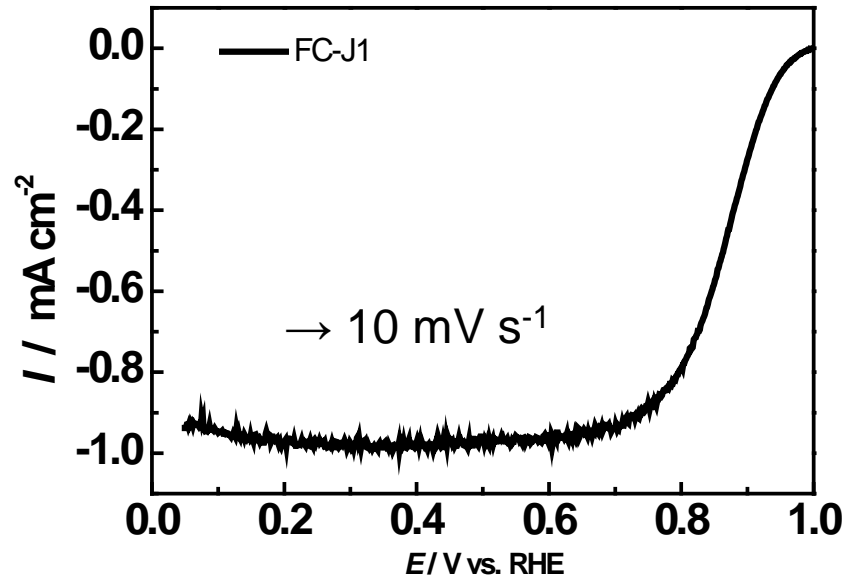
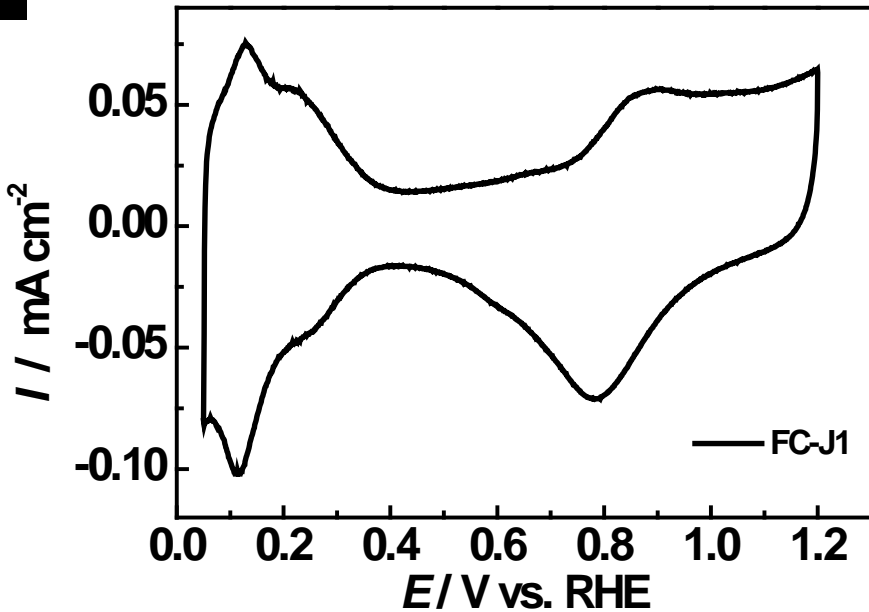
1. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
2. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
3. ORR評価の電解液温度 (○印) : a. 60 °C, (b.) **60 °C以外で評価した場合の温度 (25 °C)**
4. 電極回転速度: 任意 (例えば500~3000 rpmの範囲で6種類の速度)

1600rpmのデータを下記の式を用いて $I_K$ を算出。

$$I_K = \frac{I_d \times I}{I_d - I}$$

1. 電位 0.85 V および 0.90 V vs. RHEにおける活性化支配電流密度: 右表を参照  
(2人の学生による評価結果)
2. 縦軸:  $j^1/A^{-1}$  が望ましい
3. 横軸:  $\omega^{-1/2}/(\text{rad s}^{-1})^{-1/2}$  が望ましい
4. 電流値評価: a. カソード電位走査時,  
 (b) アノード電位走査時(10mV s<sup>-1</sup>),  
 c. その他( )

	FC-T1
Pt particle size (nm)	4.8
Carbon support	KB
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	74.4
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	37.6 39.9
Pt utilization (%)	50 54
Specific activity @0.9 V (mA/cm <sup>2</sup> )	407 410
Specific activity @0.85V (mA/cm <sup>2</sup> )	1650 1578
Mass activity @0.9 V (A/g)	152 164
Mass activity @0.85 V (A/g)	621 630



1. 触媒 (○印) : a. FC-I1, b. FC-I2, c. FC-T1 (d) **FC-J1**
2. ECSA (電気化学活性比表面積) :  $57.1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
3. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
4. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
5. 電解液の種類と濃度: 種類 ( $\text{HClO}_4$ )、濃度 (0.1 M)
6. 電解液量と温度: 液量 (180 mL), 温度 (25 °C)
7. ECSA の評価法 (○印) : a. 水素吸着波, (b) **水素脱離波**, c. 吸着COの脱離波, d. その他 ( )
8. 電位走査速度:  $50 \text{ mV s}^{-1}$
9. 対極 (○印) : a. Pt板, (b) **Pt線**, c. Pt黒, d. 炭素繊維
10. 参照電極 (○印) : (a) **RHE**, b. Ag/AgCl, c. SCE
11. 上限電位、下限電位を変化させて測定した場合には、縦軸を少しずらして同一図に収める

1. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
2. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
3. ORR評価の電解液温度 (○印) : a. 60 °C, (b) **60 °C以外で評価した場合の温度 (25 °C)**
4. 電極回転速度: 任意 (例えば500~3000 rpmの範囲で6種類の速度)



1600rpmのデータを下記の式を用いて $I_K$ を算出。

$$I_K = \frac{I_d \times I}{I_d - I}$$

1. 電位 0.85 V および 0.90 V vs. RHEにおける活性化支配電流密度: 右表を参照 (2人の学生による評価結果)
2. 縦軸:  $j^1/A^{-1}$  が望ましい
3. 横軸:  $\omega^{-1/2}/(\text{rad s}^{-1})^{-1/2}$  が望ましい
4. 電流値評価: a. カソード電位走査時,  
 (b) アノード電位走査時(10mV s<sup>-1</sup>),  
 c. その他( )

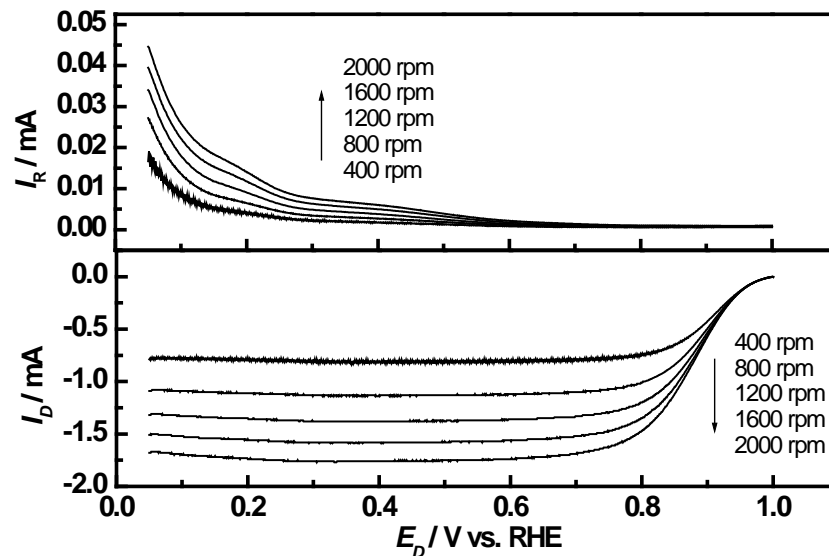
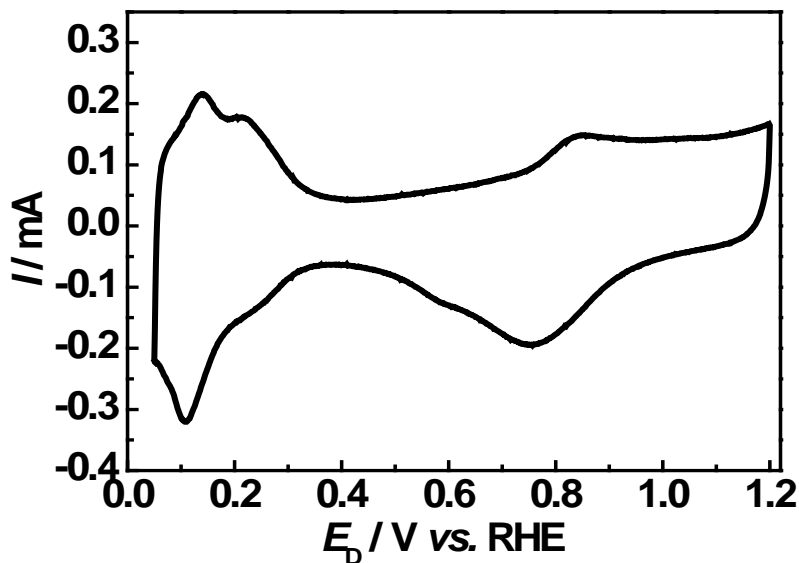
	FC-J1
Pt particle size (nm)	3.2
Carbon support	Vulcan?
Surface area (m <sup>2</sup> /g)	66
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	60.9 53.3
Pt utilization (%)	92 81
Specific activity @0.9 V (mA/cm <sup>2</sup> )	382 439
Specific activity @0.85V (mA/cm <sup>2</sup> )	1429 1790
Mass activity @0.9 V (A/g)	163 234
Mass activity @0.85 V (A/g)	609 954

## 各Pt/C触媒の電気化学特性

	FC-I1	FC-I2	FC-T1	FC-J1
Pt particle size (nm)	-	-	4.8	3.2
Carbon support	Vulcan	KB	KB	Vulcan?
Surface area (m <sup>2</sup> /g)-nominal value	48	70	74.4	66
ECSA (m <sup>2</sup> /g)	54.4 61.5	75.5 71.9	37.6 39.9	60.9 53.3
Pt utilization (%)	113 128	108 103	50 54	92 81
Specific activity @0.9 V (mA/cm <sup>2</sup> )	403 331	391 361	407 410	382 439
Specific activity @0.85V (mA/cm <sup>2</sup> )	1810 1272	1570 1496	1650 1578	1429 1790
Mass activity @0.9 V (A/g)	216 204	296 259	152 164	163 234
Mass activity @0.85 V (A/g)	970 782	1196 1080	621 630	609 954

# 評価条件

1. 酸の純度等: メーカー(多摩化学工業 TAMAPURE-AA-100), 酸の純度(70%、超高純度)
2. 水の純度等: メーカーまたは製造機等(Sarnorius アリウム611UV), 純度( $> 10^{18} \Omega\text{cm}$ )
3. 洗ビンの容器の材質: フッ素樹脂製
4. 電解槽および電気化学測定装置名等: 回転装置: 日厚計測RRDE-1、ポテンシostat ALS Model 700C
5. 電解槽の容積: ガラス製保温ジャケット付き 180 mL
6. 電解槽の洗浄方法: 混酸に一晩浸漬後、超純水で熱湯煮沸を30分行い、超純水で洗浄
7. 回転電極の電極部の大きさ: 直径(6.0 mm)
8. 試験電極作製法: b. GC電極上に触媒を載せた上にイオノマーを滴下
9. 回転電極の試験電極部: Pt/C担持量( $14.1 \mu\text{g cm}^{-2}$ ), イオノマー担持量( $0.50 \mu\text{L cm}^{-2}=0.08\mu\text{mI}$ に対応)
10. GC電極上への触媒担持方法: 1-hexanolを分散溶媒として触媒懸濁液を10  $\mu\text{L}$ 塗布
11. 試験電極作製時の加熱温度と時間: 一晩常温で放置後、真空デシケーターで24h以上真空乾燥
12. ORR特性評価における電解液中での電極の前処理: 安定なボルタモグラムが得られるまで0.05 ~ 1.0 V、50 mV  $\text{s}^{-1}$ で数十サイクル程度掃引
13. ORR評価測定前酸素吹込時間: 20 min
14. ORR評価中の酸素吹込状況: b. 液上部流通
15. 特記事項: FCCJ標準測定方に準拠、オーム損補正無し



1. 触媒 (○印) : a. FC-I1, b. FC-I2, c. FC-T1, (d) **FC-T2**, e. FC-J1
2. ECSA (電気化学活性比表面積) :  $73.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$
3. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
4. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
5. 電解液の種類と濃度: 種類 ( $\text{HClO}_4$ )、濃度 (0.1 M)
6. 電解液量と温度: 液量 (180 mL), 温度 (25 °C)
7. ECSA の評価法 (○印) : a. 水素吸着波, (b) **水素脱離波**, c. 吸着COの脱離波, d. その他 ( )
8. 電位走査速度:  $50 \text{ mV s}^{-1}$
9. 対極 (○印) : a. Pt板, b. Pt線, c. Pt黒, d. 炭素繊維
10. 参照電極 (○印) : (a) **RHE**, b. Ag/AgCl, c. SCE
11. 上限電位、下限電位を変化させて測定した場合には、縦軸を少しずらして同一図に収める

1. 縦軸:  $j / \text{mA cm}^{-2}$  (geometric) が望ましい
2. 横軸:  $E / \text{V vs. RHE}$  が望ましい
3. ORR評価の電解液温度 (○印) : a. 60 °C, (b) **60 °C以外で評価した場合の温度 (25 °C)**
4. 電極回転速度: **1600 rpm**
5. 電位走査速度: **Positive 10 mV s<sup>-1</sup>**

1600rpmのデータを下記の式を用いて $I_K$ を算出。

$$I_K = \frac{I_d \times I}{I_d - I}$$

1. 電位 0.85 V および 0.90 V vs. RHEにおける活性化支配電流密度: 右表を参照
2. 縦軸:  $j^1/A^{-1}$  が望ましい
3. 横軸:  $\omega^{-1/2}/(\text{rad s}^{-1})^{-1/2}$  が望ましい
4. 電流値評価: a. カソード電位走査時,  
 (b) アノード電位走査時( $10\text{mV s}^{-1}$ ),  
 c. その他( )

	FC-T2
Pt particle size (nm)	2.8
Carbon support	KB
Surface area ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	99
ECSA ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	73.5
Pt utilization (%)	73.6
Specific activity @0.9 V ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	350
Specific activity @0.85V ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	-
Mass activity @0.9 V ( $\text{A}/\text{g}$ )	255
Mass activity @0.85 V ( $\text{A}/\text{g}$ )	-

オーム損補正無し