

## 評価条件

1. 酸の純度等: メーカー(和光純薬工業), 酸の純度(試薬特級)
2. 水の純度等: メーカーまたは製造機等(ミリポア純水製造装置、Elix10), 純度( $10 \text{ M}\Omega \text{ cm}$ )
3. 洗ビンの容器の材質: (ポリエチレン)
4. 電解槽および電気化学測定装置名等: (ポテンシostat: solartron analytical 1480 Multistat, 回転電極コントローラ: 北斗電工HR202, 回転電極部: HR201)
5. 電解槽の容積: 300 mL
6. 電解槽の洗浄方法: (食器洗い用中性洗剤とブラシを用いて洗浄)
7. 回転電極の電極部の大きさ: 直径(5.0 mm), チャンネルフロ-電極の場合には電極サイズ等:  
(電極メーカー: 北斗電工 電極型番: HR2-D1-GC5)
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( $200 \mu\text{g cm}^{-2}$ ), イオノマー担持量(約 $0.025 \mu\text{l cm}^{-2}$ )
10. GC電極上への触媒担持方法(一回で担持、数度に分けて担持、その他の工夫などを簡潔に記述願います):  
(触媒を純水中に2 mg/mlの割合で分散。超音波+攪拌を15分、超音波+攪拌をしつつマイクロピペットで適量を採取し、担持、その後、減圧乾燥30分。)
11. 試験電極作製時の加熱温度と時間:  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , 20 min.
12. ORR特性評価における電解液中での電極の前処理:  
(電極を電解液中で1000 rpm, 5分間 回転保持した後、 $0-1.2 \text{ V vs. NHE}$   $200 \text{ mV/s}$ , 10 cycleの条件で前処理)
13. ORR評価測定前酸素吹込時間: 30 min., 150 ml/min.
14. ORR評価中の酸素吹込状況 (a) 電解液中に吹き込み
15. 特記事項:

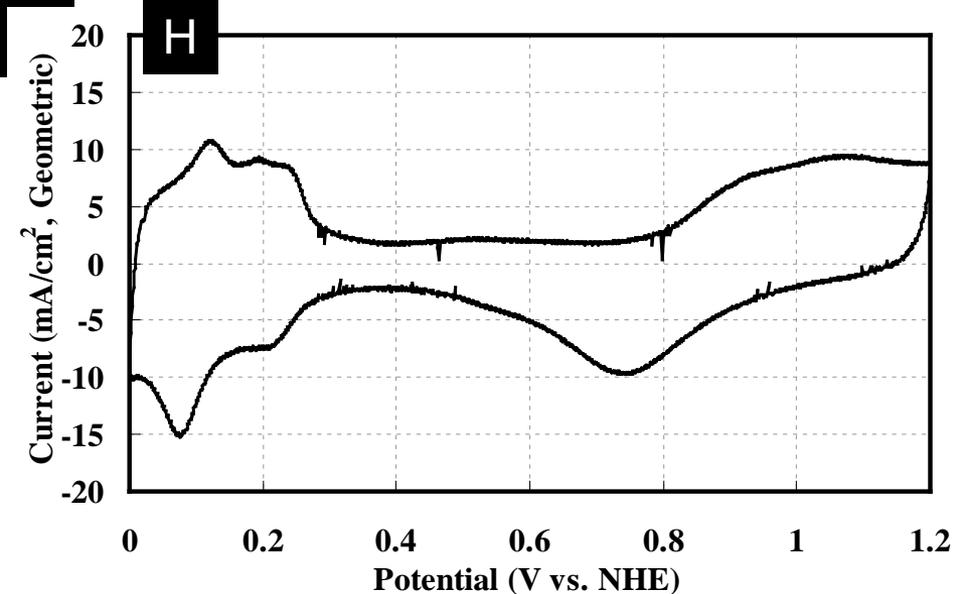


Fig. Cyclic Voltammogram.

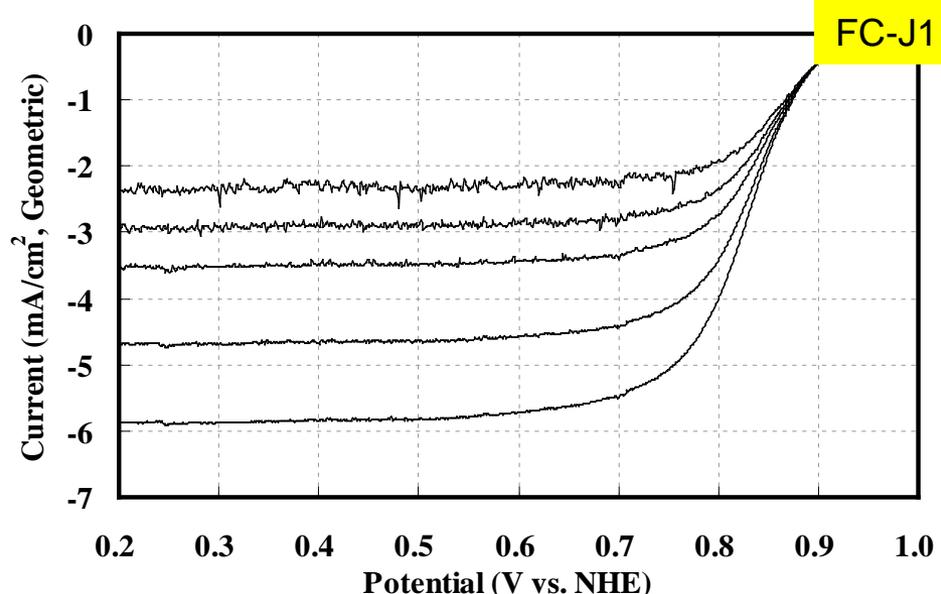


Fig. Polarization Curves.

## FC-J1, 1回目

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) : 41.3 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35 °C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

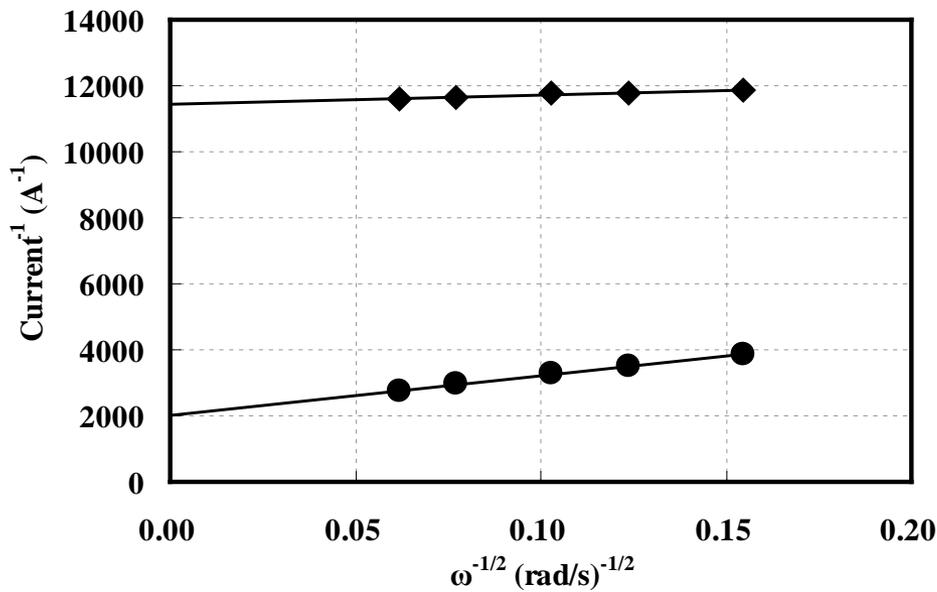


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-J1, 1回目

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：  
@0.85 V; 30.8 A g<sup>-1</sup>-Pt, 7.46x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 5.47 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.33x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

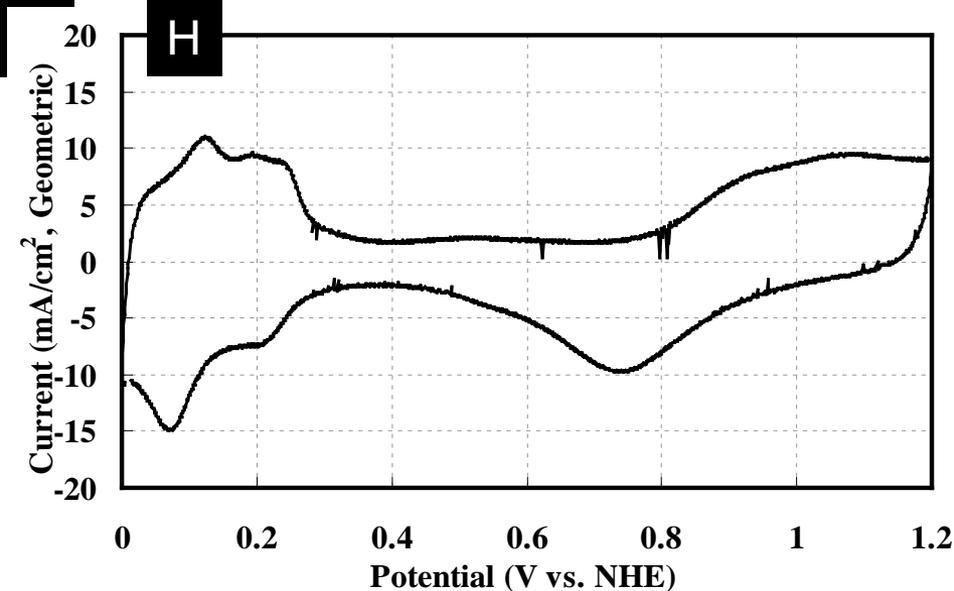


Fig. Cyclic Voltammogram.

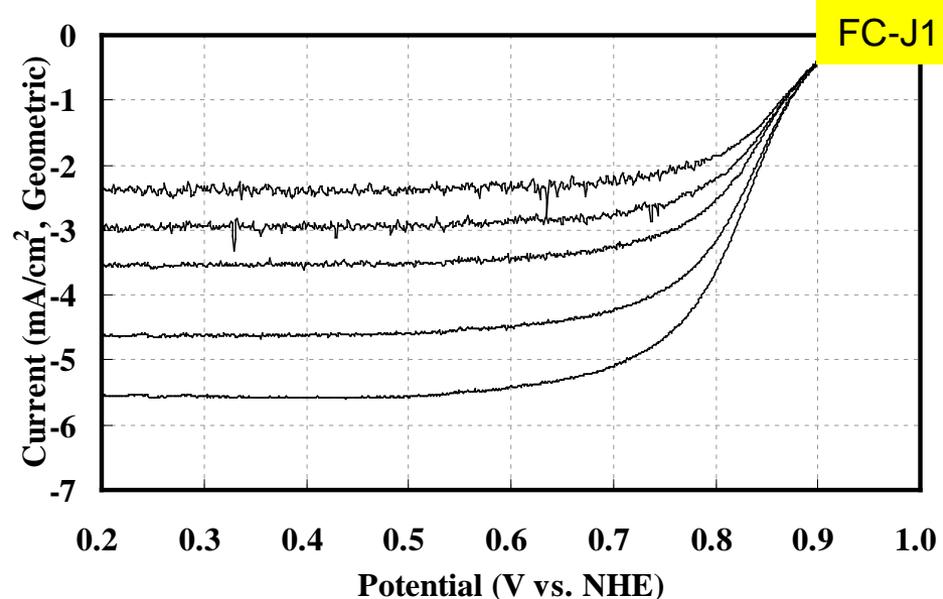


Fig. Polarization Curves.

## FC-J1, 2回目

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) : 45.8 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 mol/l)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35 °C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

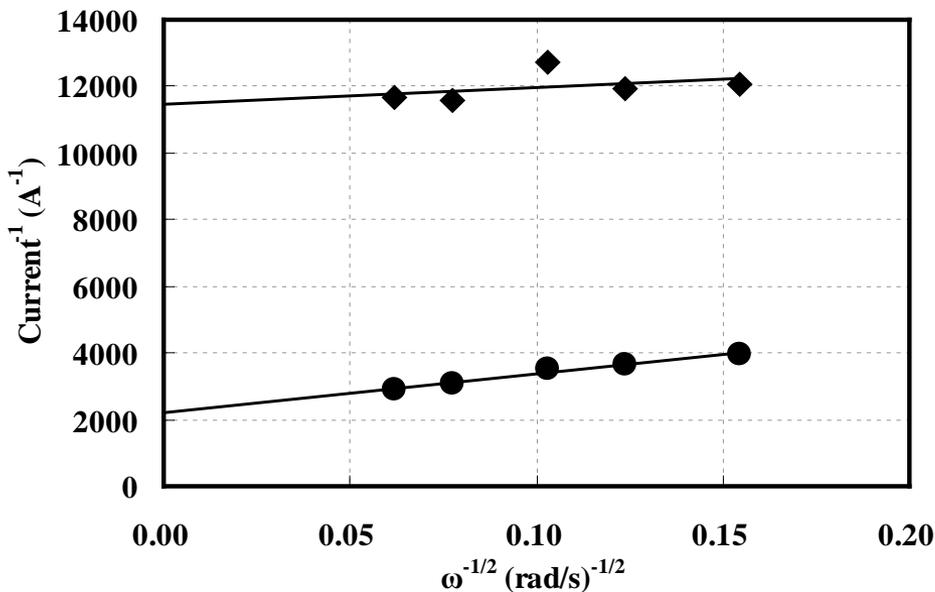


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-J1, 2回目

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：  
@0.85 V; 28.4 A g<sup>-1</sup>-Pt, 6.20×10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 5.47 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.19×10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

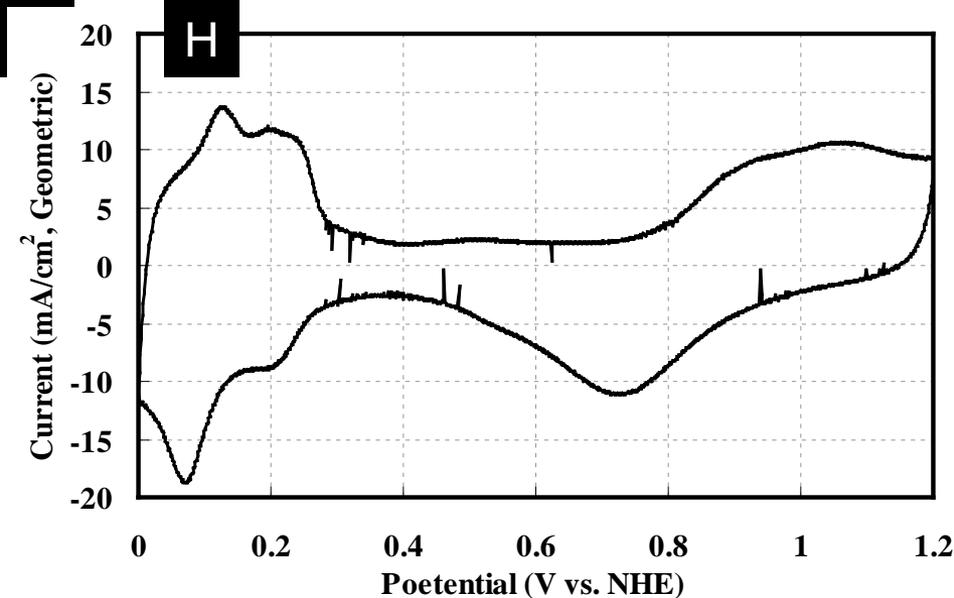


Fig. Cyclic Voltammogram.

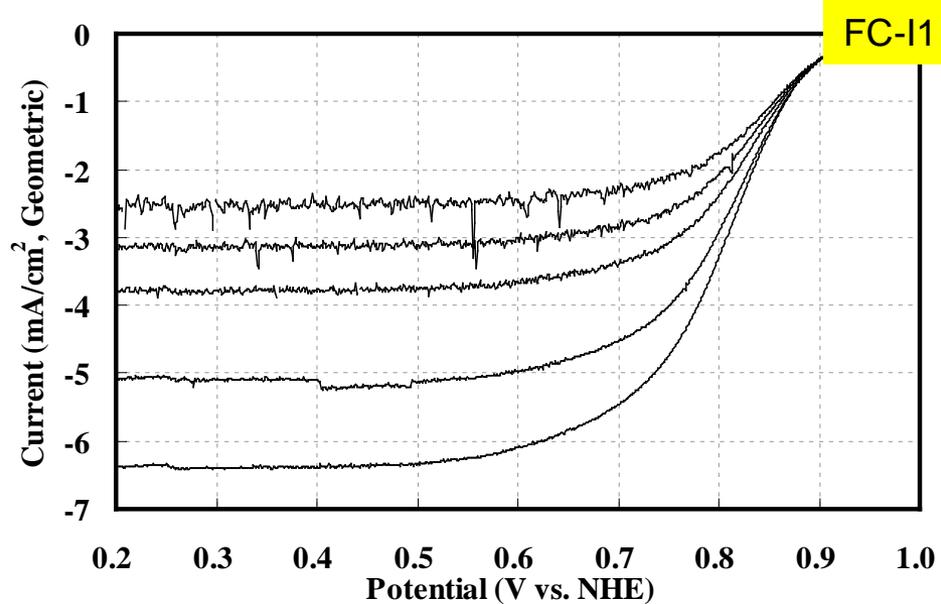


Fig. Polarization Curves.

## FC-I1, 1回目

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) : 55.5 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35°C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

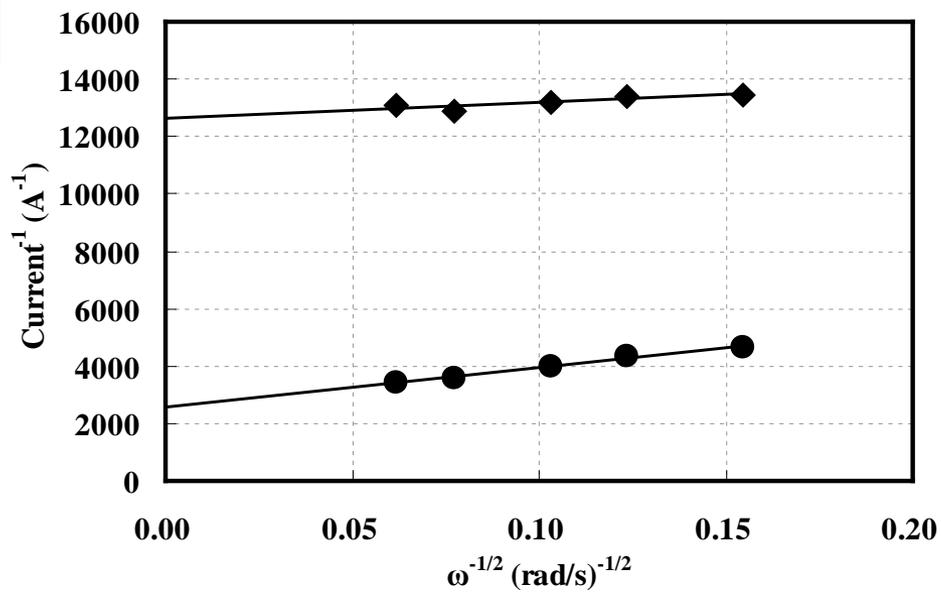


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-I1, 1回目

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：  
@0.85 V; 24.6 A g<sup>-1</sup>-Pt, 4.43x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 5.03 A g<sup>-1</sup>-Pt, 0.91x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

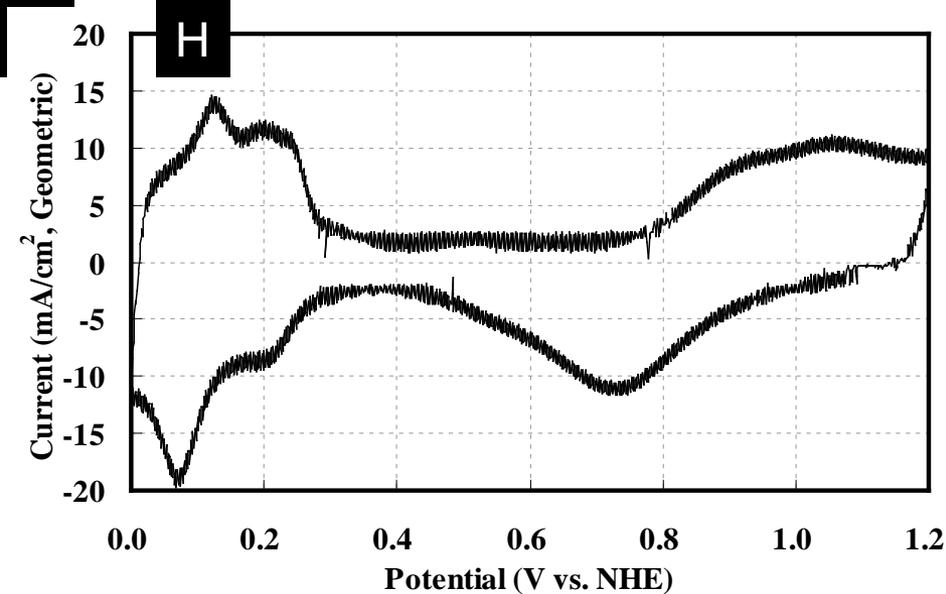


Fig. Cyclic Voltammogram.

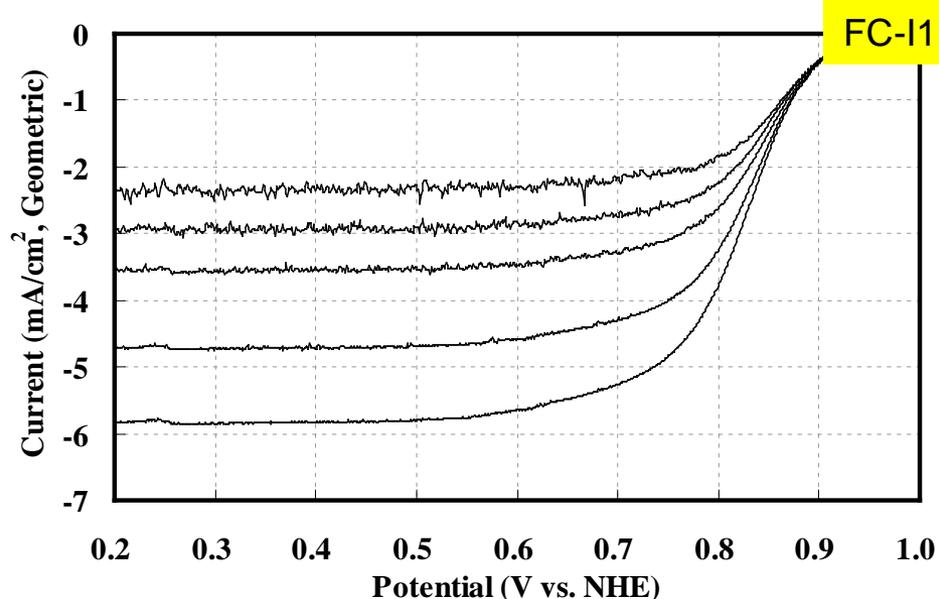


Fig. Polarization Curves.

## FC-I1, 2回目

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) : 59.1 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35°C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

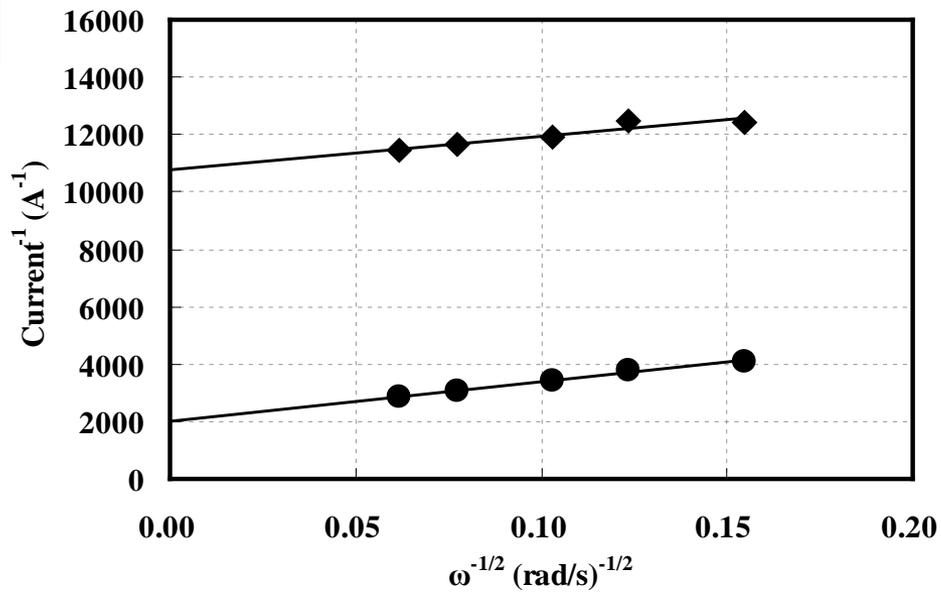


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-I1, 2回目

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：  
@0.85 V; 31.5 A g<sup>-1</sup>-Pt, 5.32x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 5.89 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.00x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

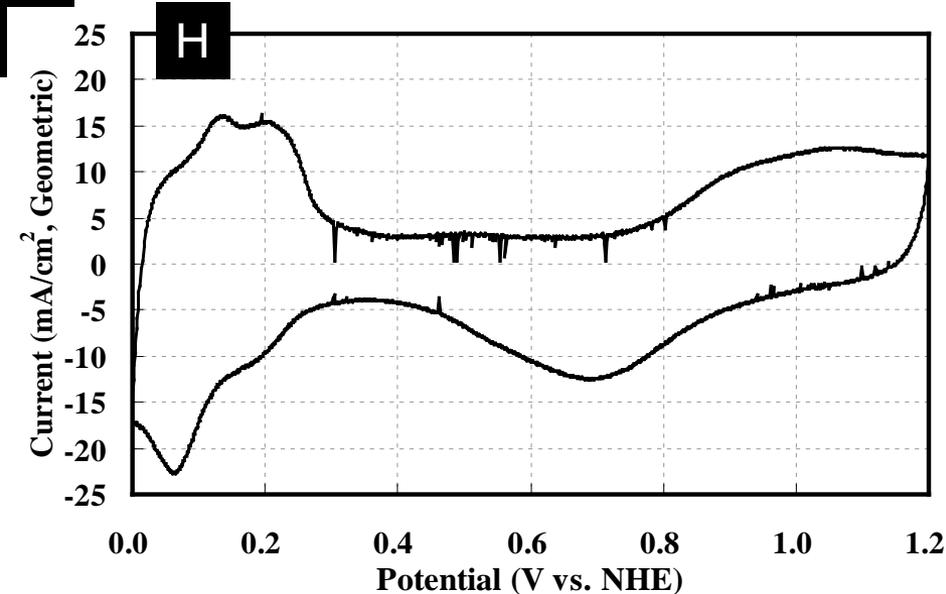


Fig. Cyclic Voltammogram.

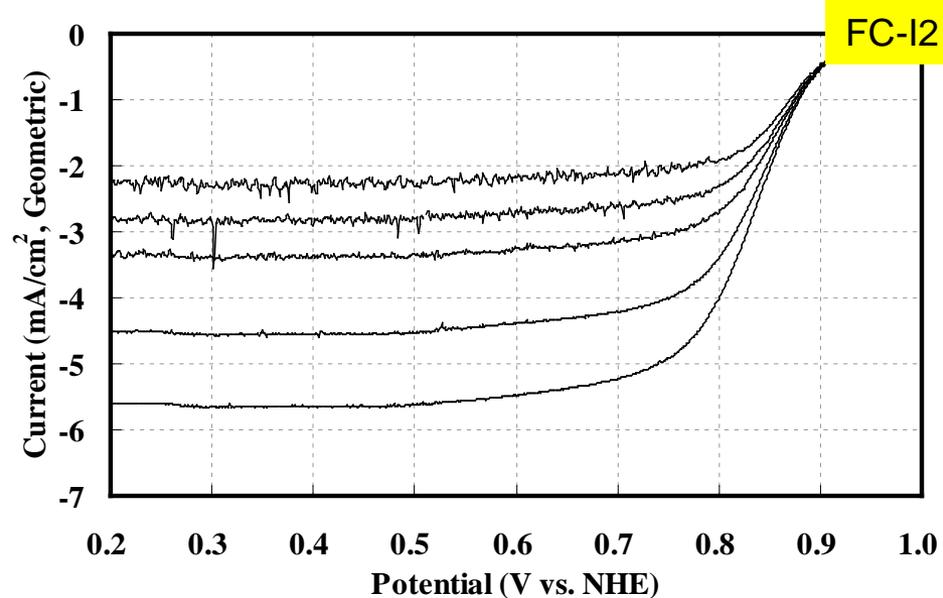


Fig. Polarization Curves.

### FC-I2, 1回目

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) : 68.4 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35 °C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

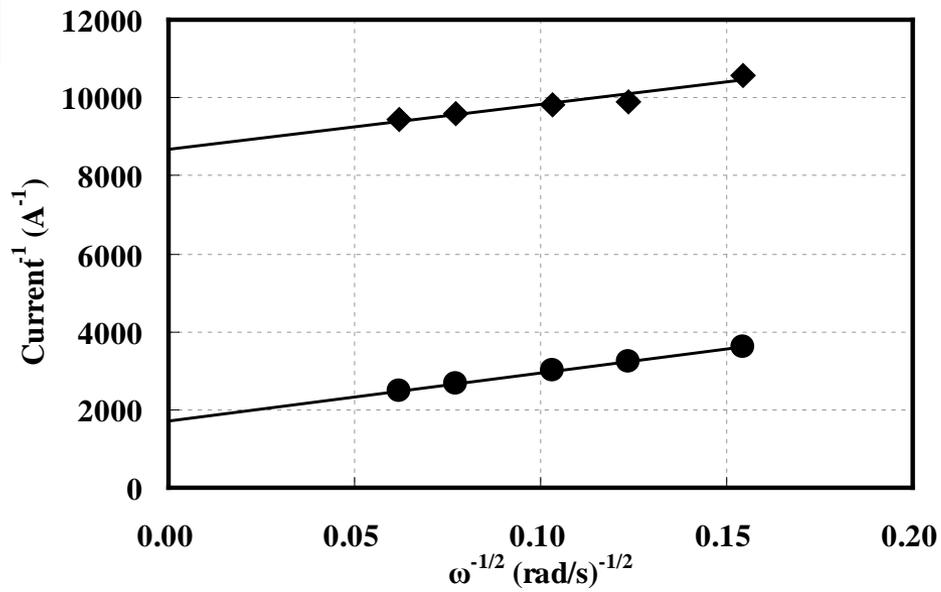


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-I2, 1回目

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：  
@0.85 V; 36.8 A g<sup>-1</sup>-Pt, 5.38x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 7.30 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.07x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( )

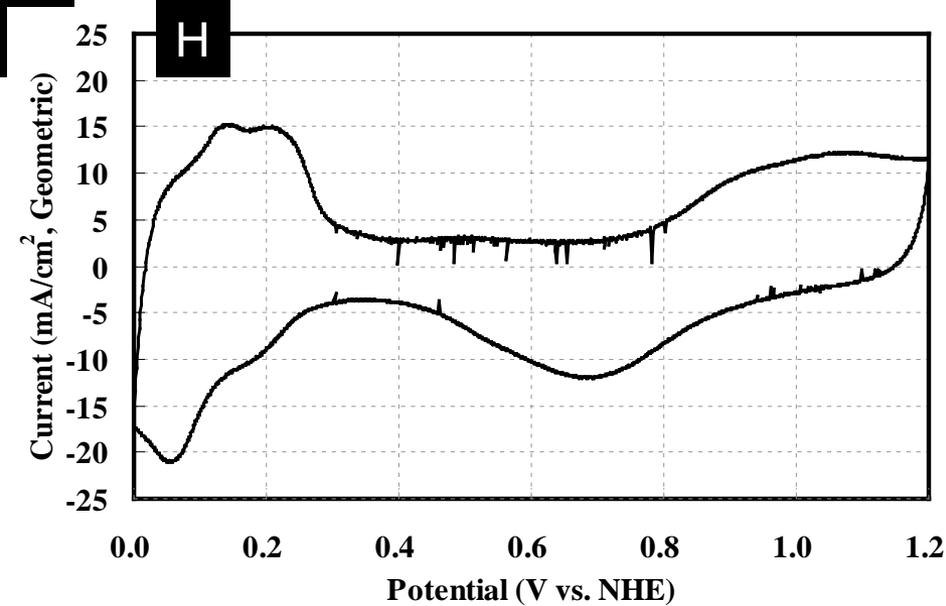


Fig. Cyclic Voltammogram.

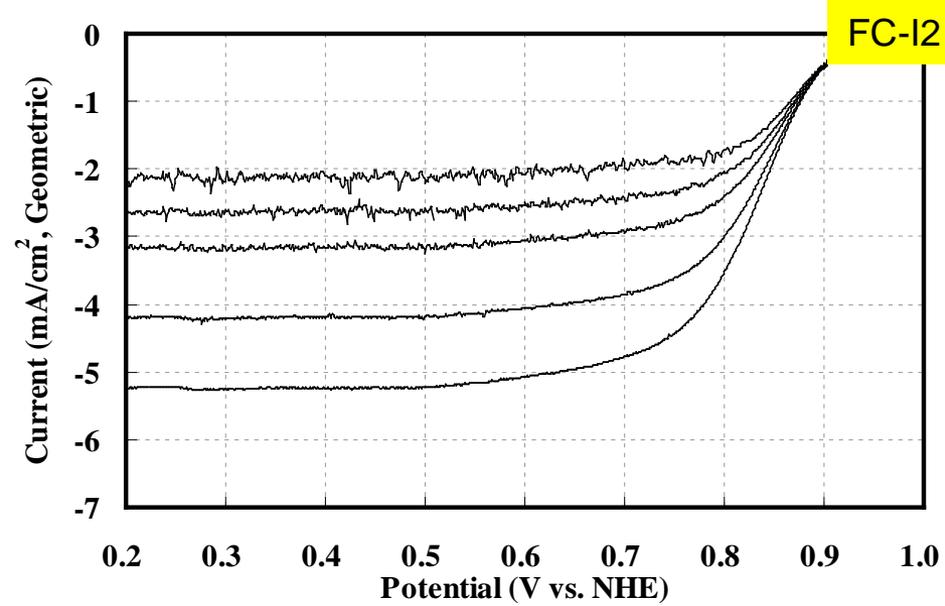


Fig. Polarization Curves.

### FC-I2, 2回目

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) : 69.6 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35°C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

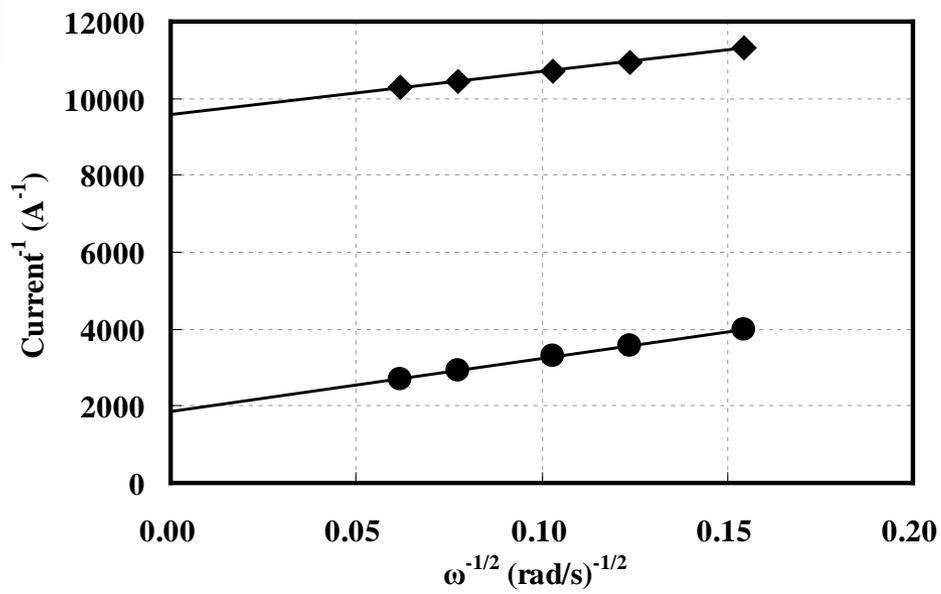


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-I2, 2回目

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：  
@0.85 V; 33.9 A g<sup>-1</sup>-Pt, 4.87x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 6.61 A g<sup>-1</sup>-Pt, 0.95x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( )

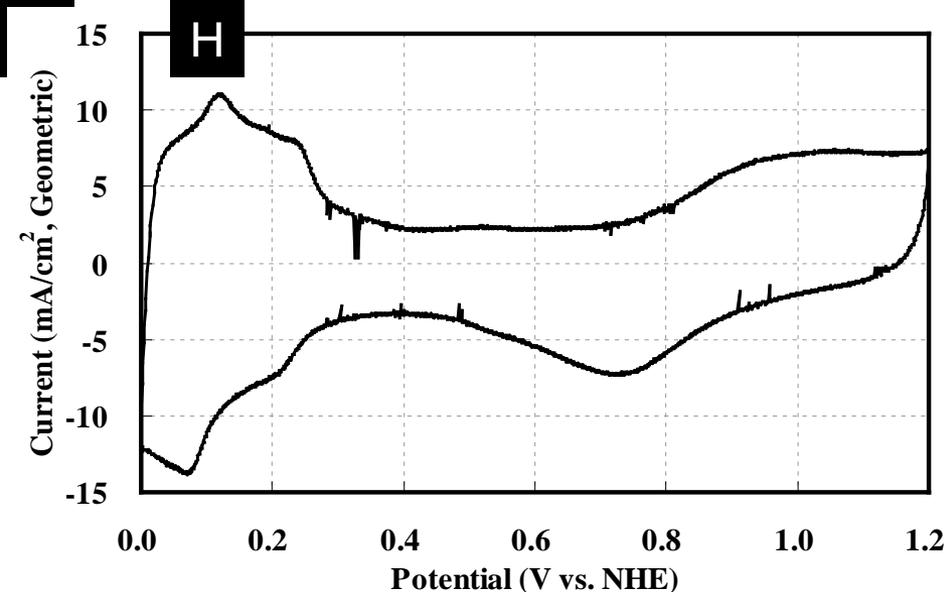


Fig. Cyclic Voltammogram.

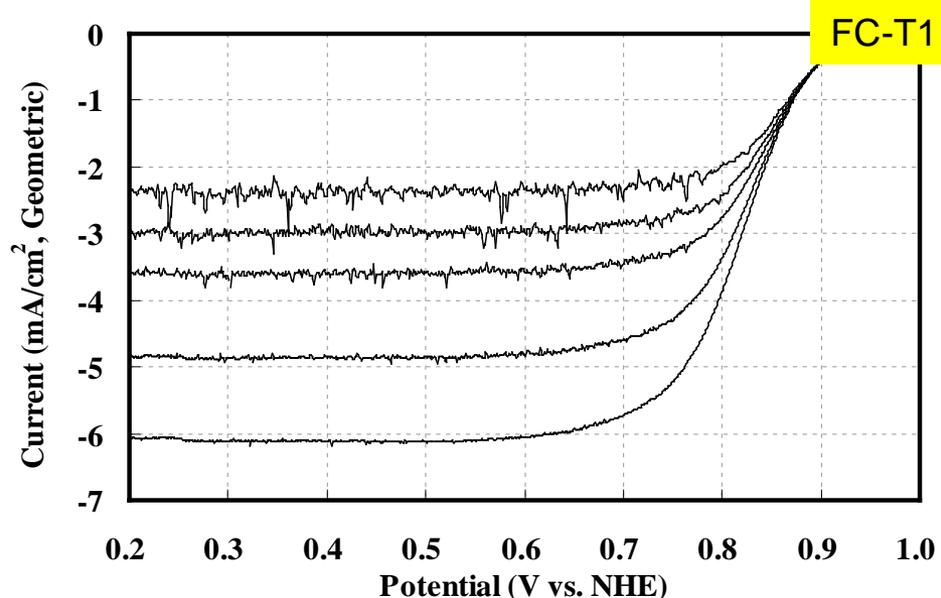


Fig. Polarization Curves.

### FC-T1, 1回目

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) : 32.6 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35°C)
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

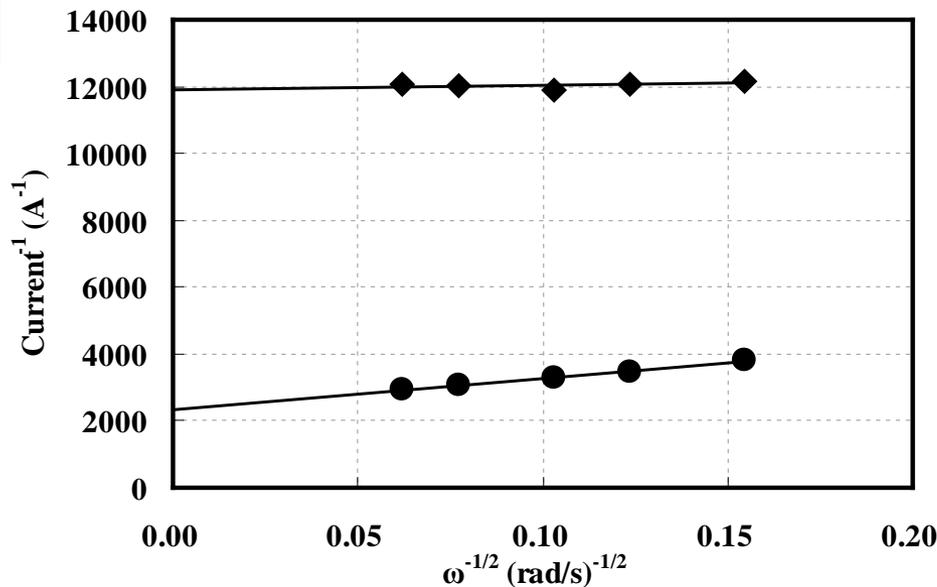


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-T1, 1回目

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：  
@0.85 V; 21.1 A g<sup>-1</sup>-Pt, 6.47x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 4.14 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.27x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

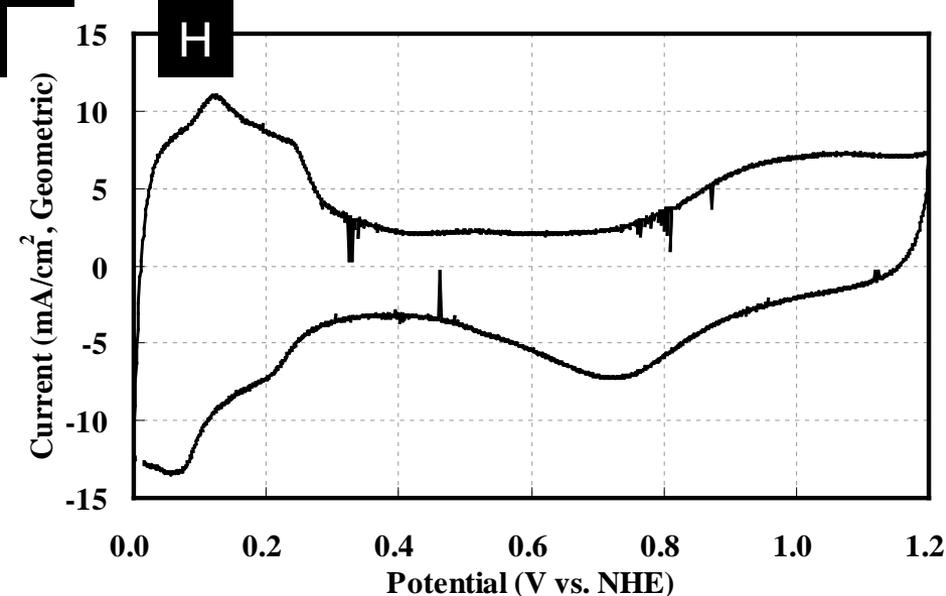


Fig. Cyclic Voltammogram.

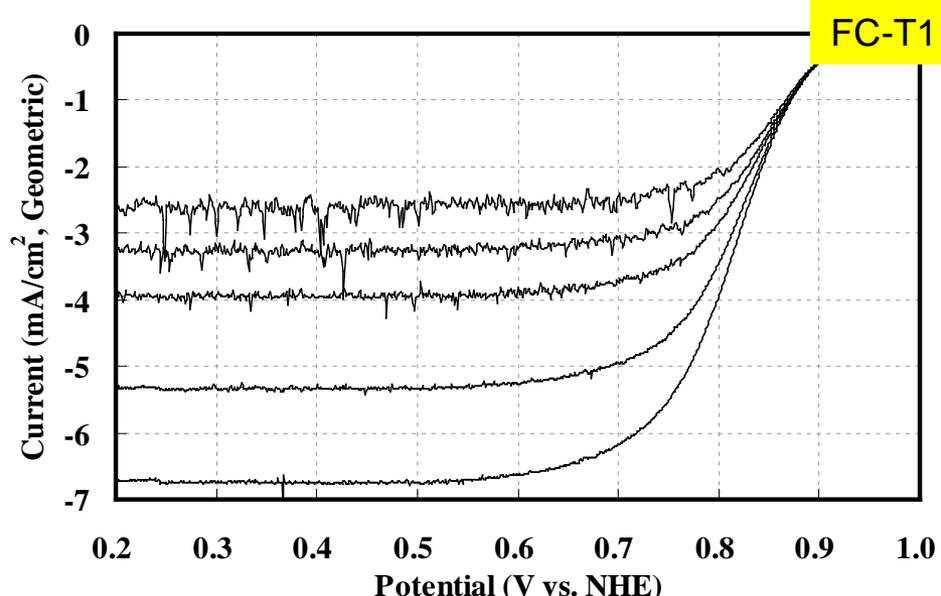


Fig. Polarization Curves.

## FC-T1, 2回目

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) : 36.1 m<sup>2</sup>/gPt
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(硫酸)、濃度(0.5 M)
6. 電解液量と温度: 液量(300 mL), 温度(35 °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: 10 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(35°C)**
4. 電極回転速度: 400, 625, 900, 1600, 2500の5水準

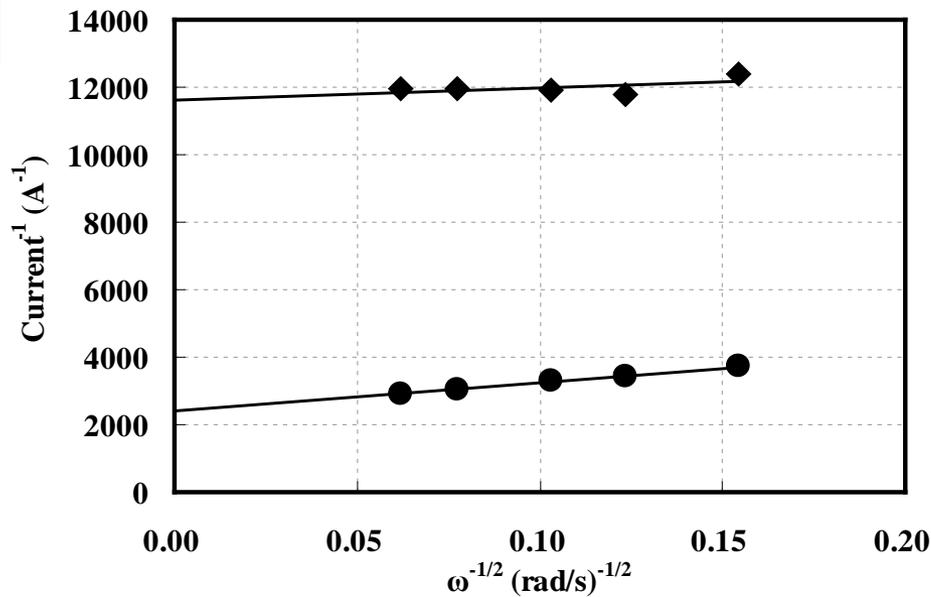


Fig. Koutecky-Levich Plot.

## FC-T1, 2回目

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：  
@0.85 V; 20.5 A g<sup>-1</sup>-Pt, 5.68x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
@0.90 V; 4.23 A g<sup>-1</sup>-Pt, 1.17x10<sup>-5</sup> A cm<sup>-2</sup>-Pt  
(再現性をみるため複数の結果を場合には  
数値を列挙)
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,  
c. その他( ) )

表まとめ

触媒	表面積 (m <sup>2</sup> /g)	$I_k@0.85\text{ V}$		$I_k@0.90\text{ V}$	
		A/g	A/cm <sup>2</sup>	A/g	A/cm <sup>2</sup>
FC-J1 1回目	41.3	30.8	$7.46 \times 10^{-5}$	5.47	$1.33 \times 10^{-5}$
FC-J1 2回目	45.8	28.4	$6.20 \times 10^{-5}$	5.47	$1.19 \times 10^{-5}$
FC-I1 1回目	55.5	24.6	$4.43 \times 10^{-5}$	5.03	$0.91 \times 10^{-5}$
FC-I1 2回目	59.1	31.5	$5.32 \times 10^{-5}$	5.89	$1.00 \times 10^{-5}$
FC-I2 1回目	68.4	36.8	$5.38 \times 10^{-5}$	7.30	$1.07 \times 10^{-5}$
FC-I2 2回目	69.6	33.9	$4.87 \times 10^{-5}$	6.61	$0.95 \times 10^{-5}$
FC-T1 1回目	32.6	21.1	$6.47 \times 10^{-5}$	4.14	$1.27 \times 10^{-5}$
FC-T1 2回目	36.1	20.5	$5.68 \times 10^{-5}$	4.23	$1.17 \times 10^{-5}$