

「福岡水素エネルギー戦略会議 研究開発支援事業」

## 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の自己運転診断制御法による安全確保および最適制御による性能向上に関する研究

**TOTO**



九州大学

研究開発チーム構成

報告者

《学》九州大学大学院工学研究院

中島裕典

《産》TOTO株式会社総合研究所

# 研究目的

高温運転の固体酸化物形燃料電池

SOFC → 高効率な発電デバイスとして期待

## 自己運転診断制御法

- ・安定した連続運転
- ・異常検知による運転条件変更や緊急停止等の安全措置
- ・最適運転制御による高効率運転

発電時の運転状態の診断

診断法の確立

過電圧解析  
性能向上のためのセル運転条件  
および設計指針

# SOFCリアルタイム自己診断法の開発(1)

---

SOFCにおいて種々の運転状態における交流インピーダンス解析により、燃料電池に生じる電圧ロスである活性化過電圧と濃度過電圧に対応するインピーダンスの分離計測を行って、活性化過電圧と濃度過電圧を高精度で分離して解析し、過電圧発生メカニズムを考察した。この知見に基づき、交流インピーダンス解析により、運転状態を示す特徴的なパラメーターを検討した。

# 実験方法

---

## □ IV測定

- SOFCの性能評価
- 交流インピーダンス解析の精度確認

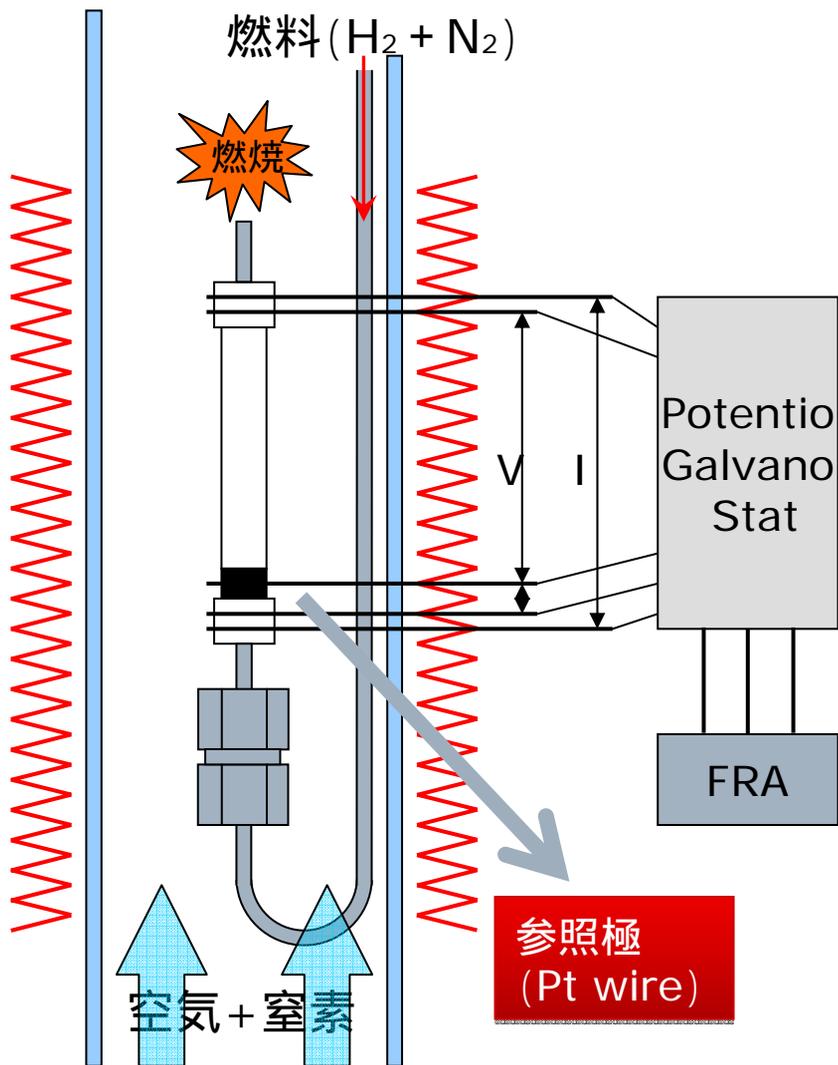
## □ 交流インピーダンス法

- 過電圧解析
- 運転状態の変化に対応した等価回路の各抵抗，容量値の変化傾向



運転状態の診断

# 実験装置・実験条件



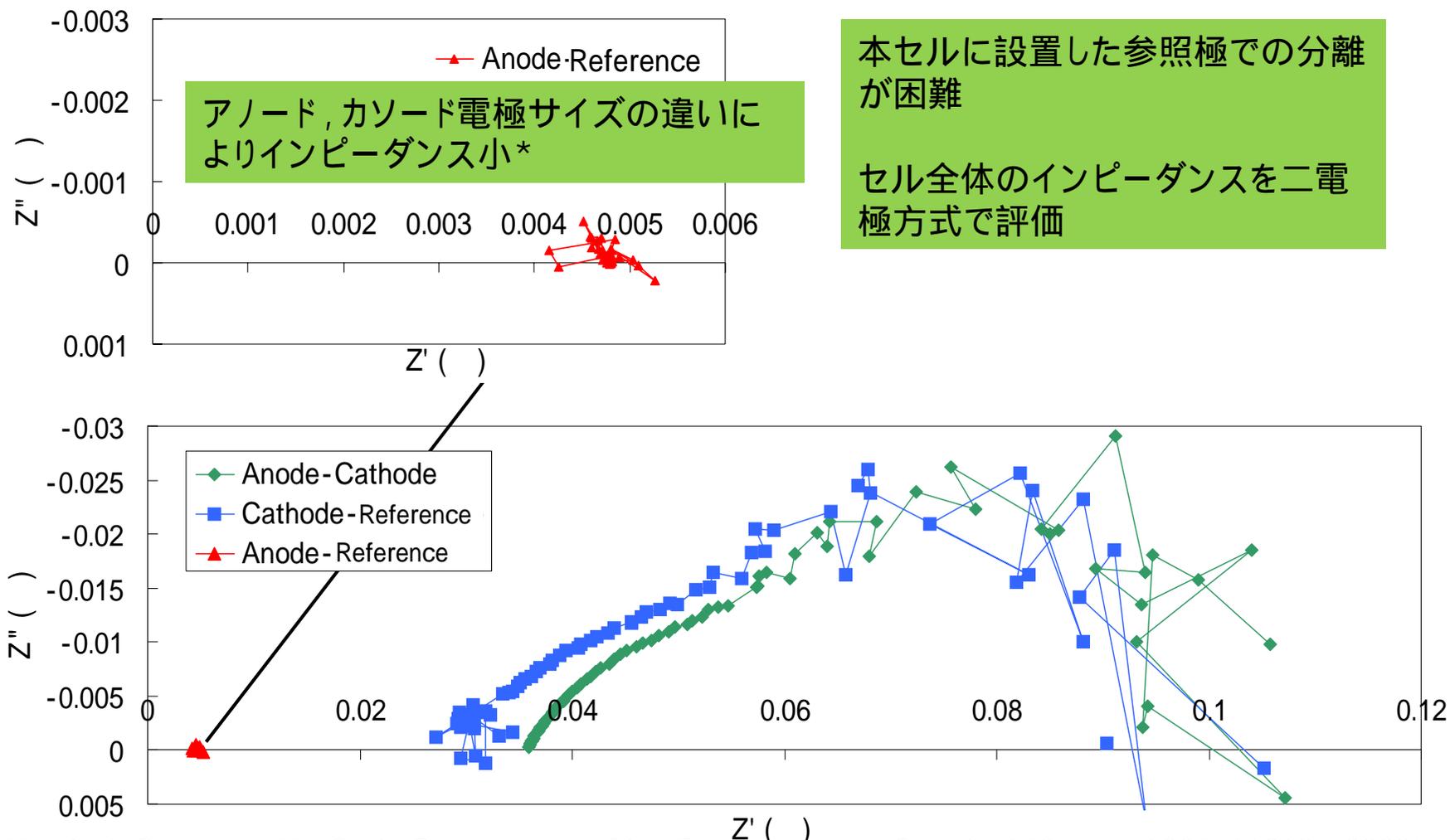
## 実験条件

温度	700, 600, 550
水素流量 cc/min	40, 80, 120
窒素流量 cc/min	40, 80, 120, 160
空気流量 cc/min	1000, 333, 200, 100
窒素流量 cc/min	0, 667, 800, 900

アノード		水素流量		
		40	80	120
窒素流量	40			
	80			
	120			
	160			

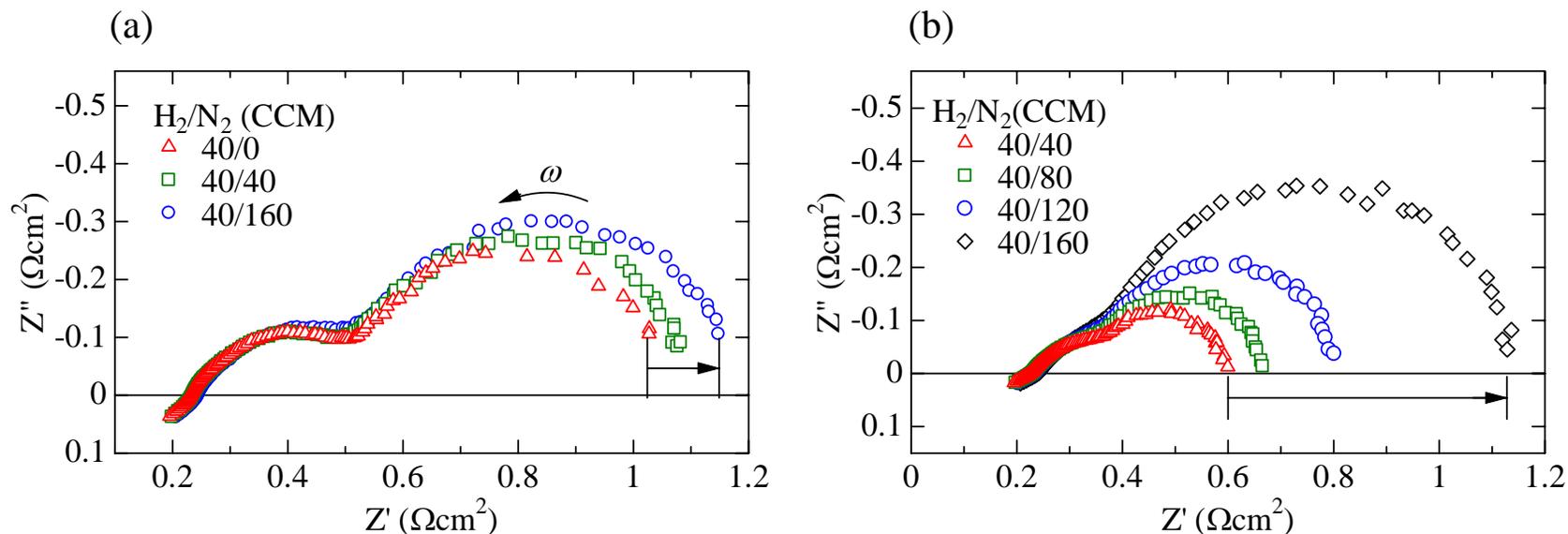
カソード		空気流量			
		1000	333	200	100
窒素流量	0				
	667				
	800				
	900				

# アノード, カソードインピーダンス解析



\* McIntosh, S., Vohs, J.M., Gorte, R.J., *Journal of the Electrochemical Society*, 150, pp. A1305–A1312 (2003)

# インピーダンススペクトル $H_2$ 分圧依存性

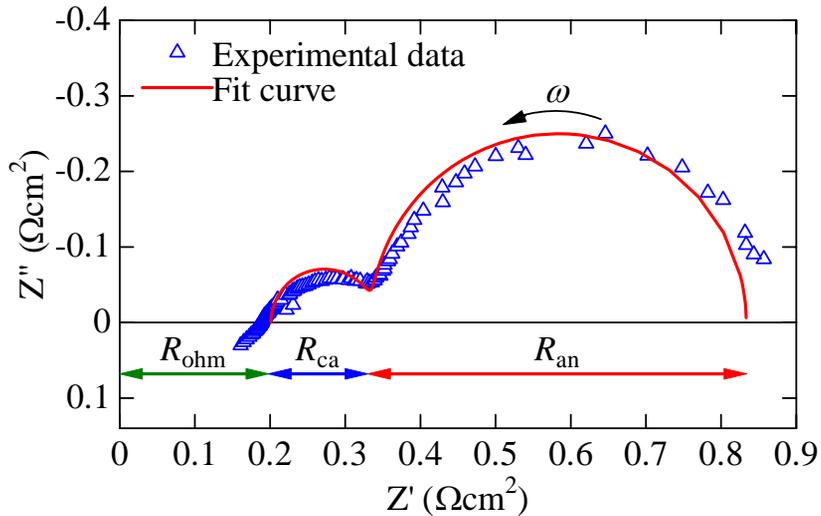


Comparison of impedance spectra under different  $H_2/N_2$  mixing ratio in the anode at (a) 0.067 and (b) 0.505  $A/cm^2$ .

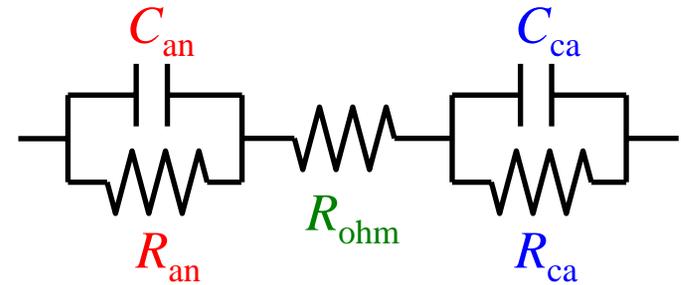
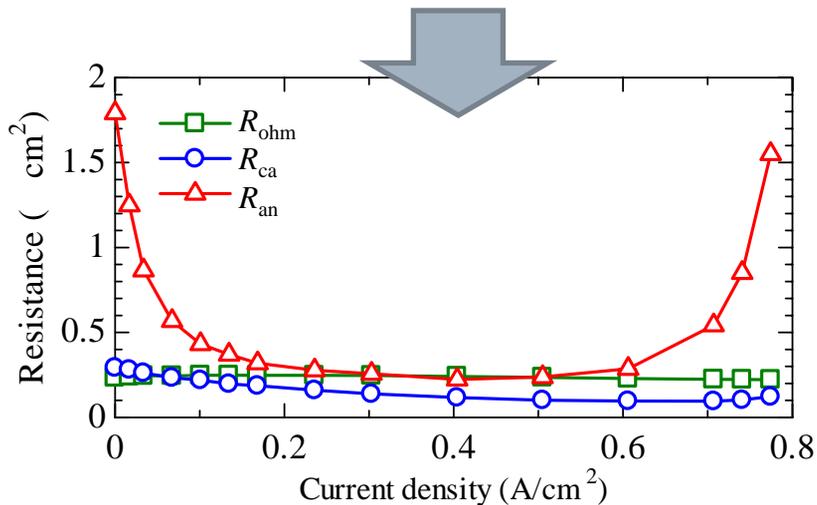
低周波数側円弧が大きく変化  
高周波数側円弧は変化が小さい

➡ 低周波数側円弧がアノード極の挙動を示している

# インピーダンス解析



## 非線形最小自乗フィッティング



等価回路

## 過電圧の算出

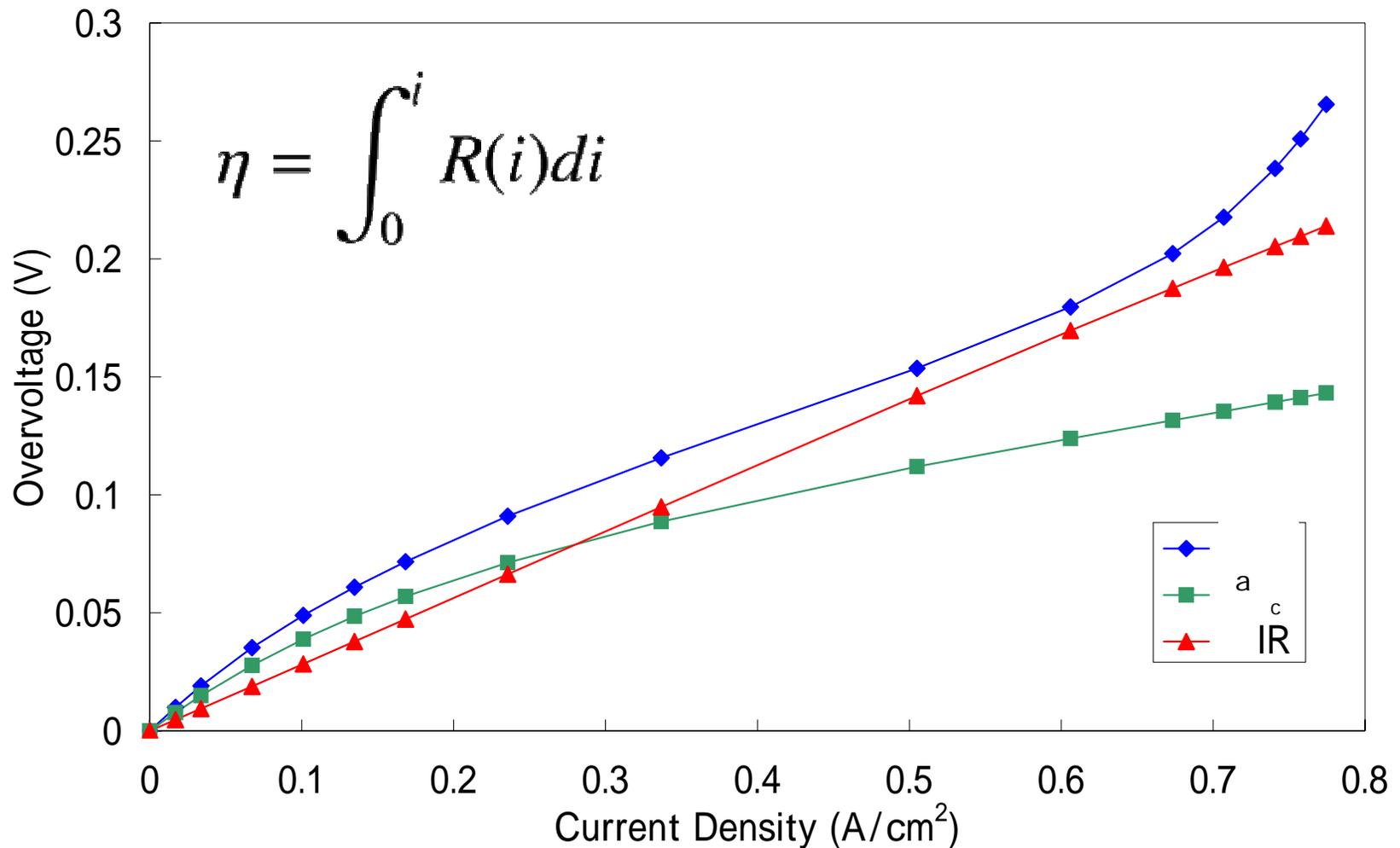
$$\eta_{pol} = \int_0^i R_{pol}(i) di$$

$\eta_{pol}$  : 各過電圧(V)

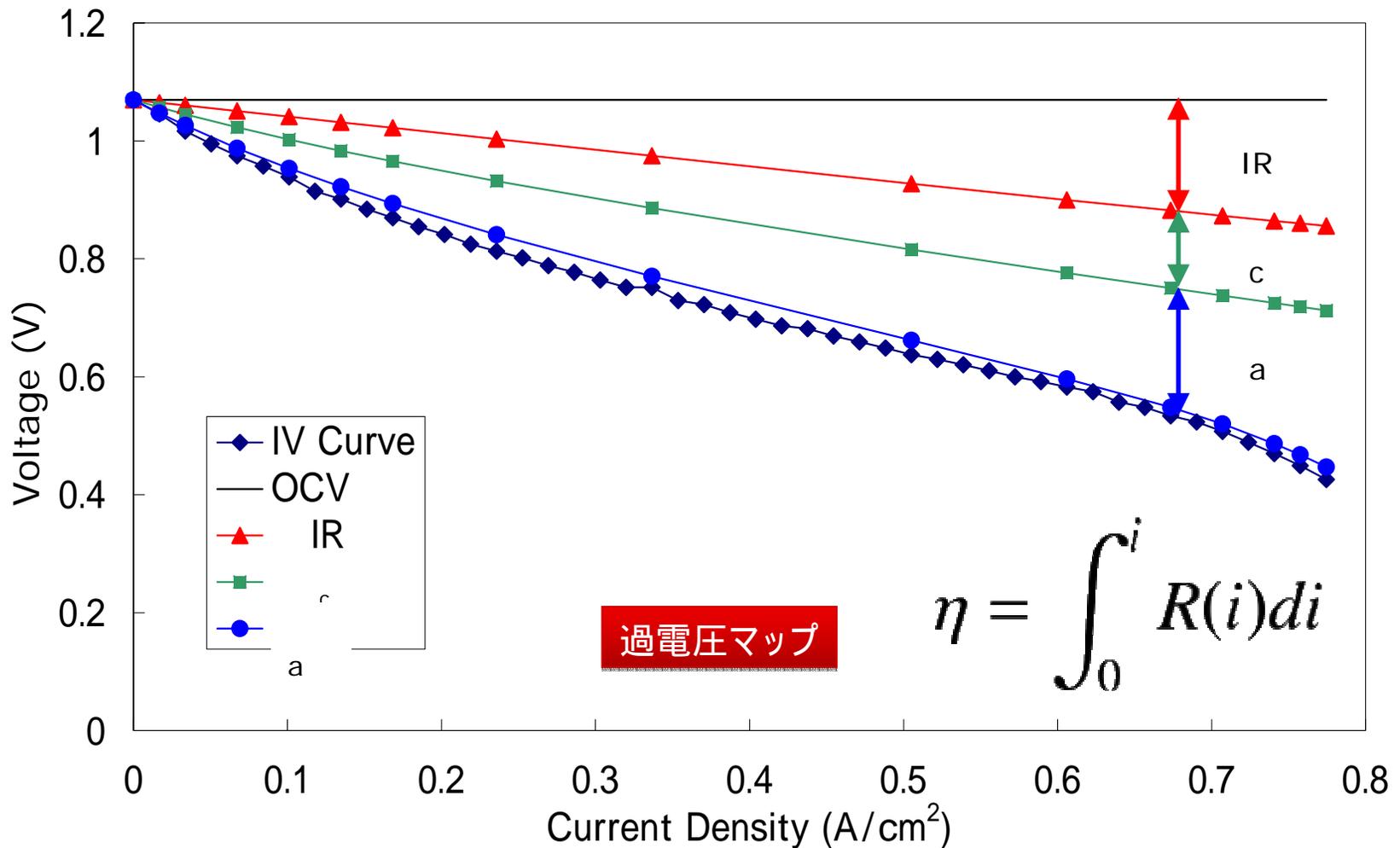
$R_{pol}$  : 各部抵抗( $\Omega\text{cm}^2$ )

$i$  : 電流密度( $\text{A}/\text{cm}^2$ )

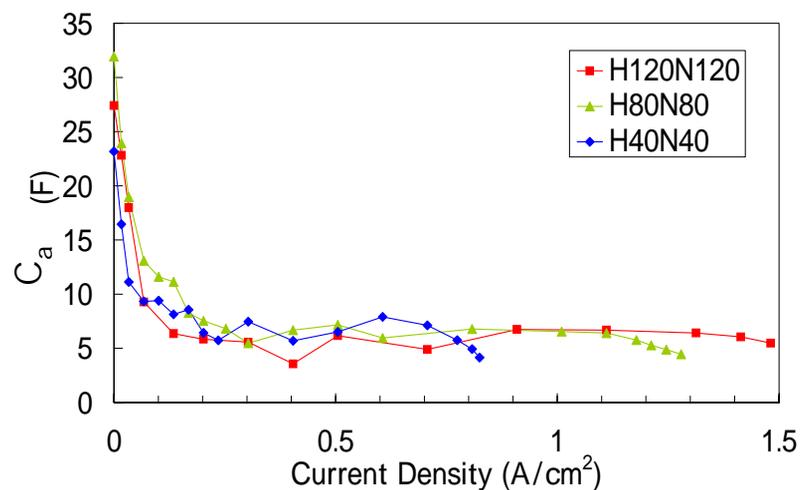
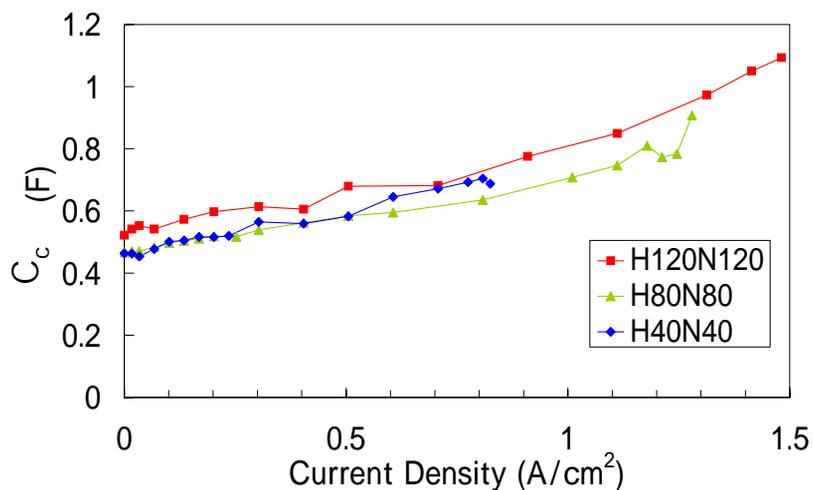
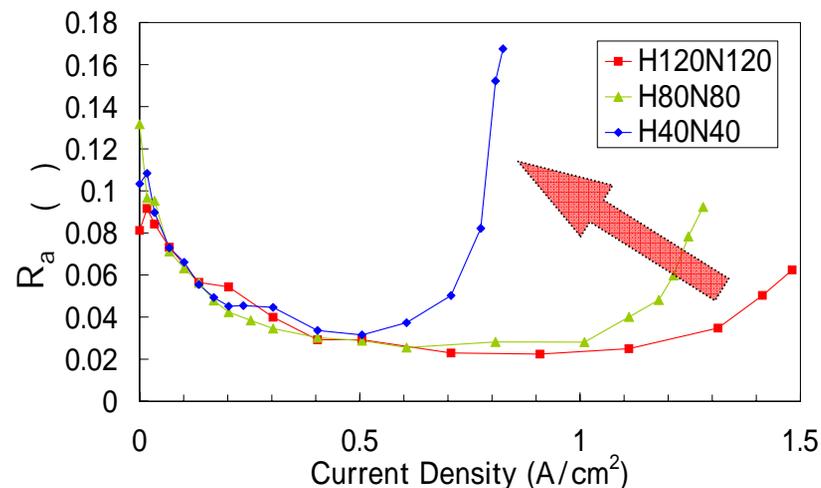
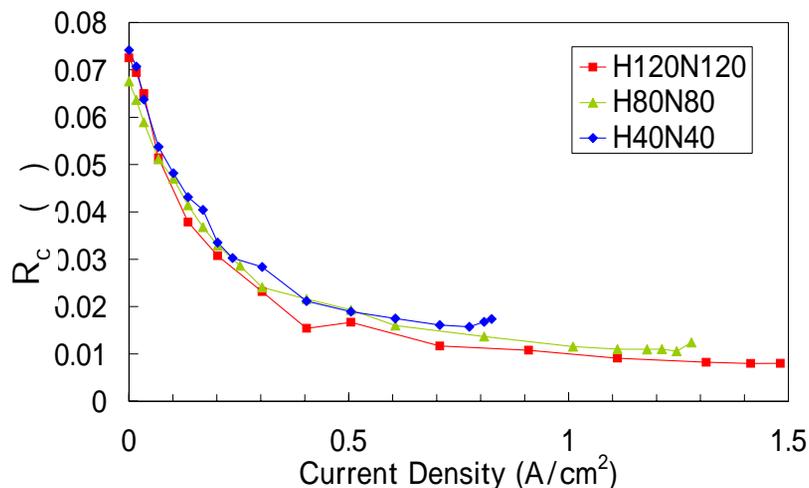
# インピーダンス解析結果



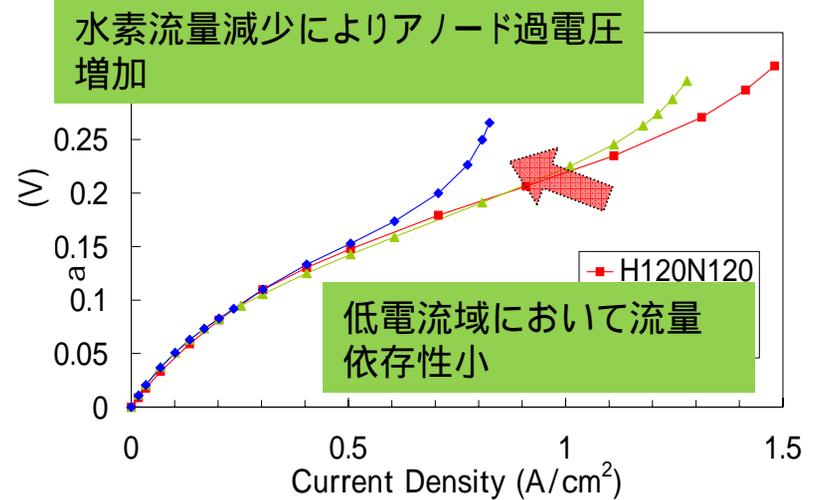
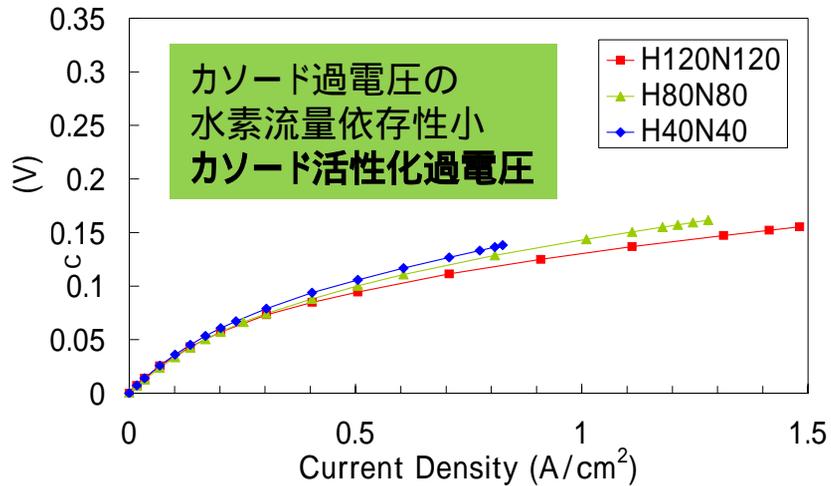
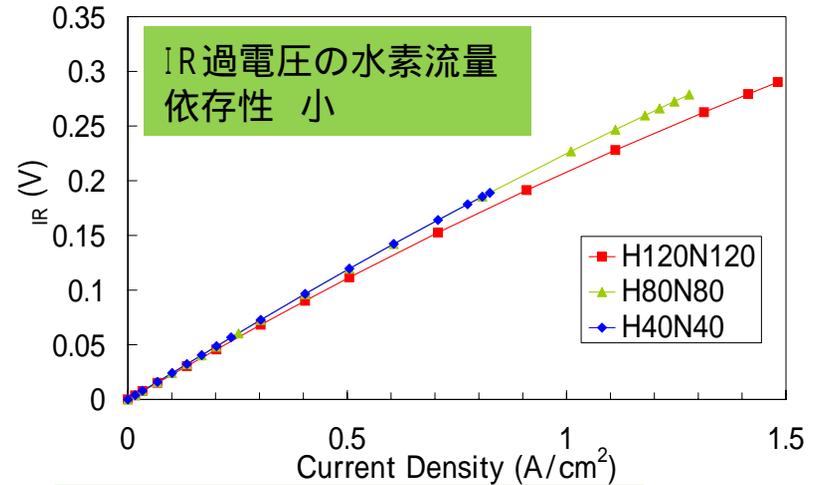
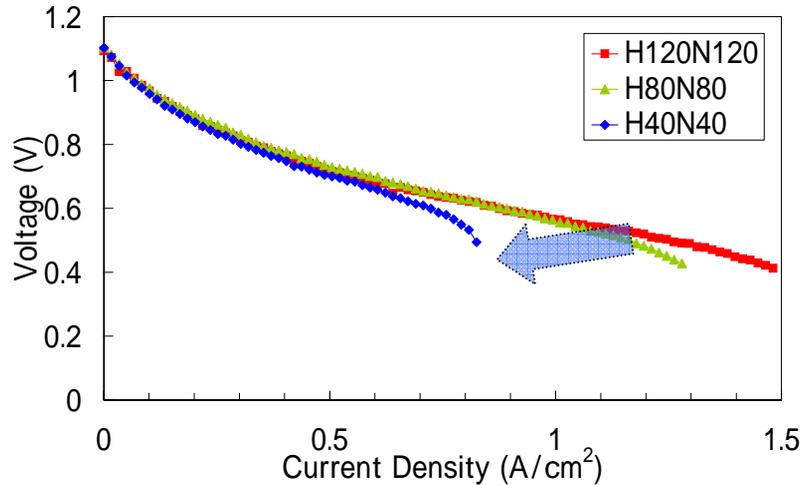
# IV測定-インピーダンス解析 比較



# インピーダンス解析-水素流量変化

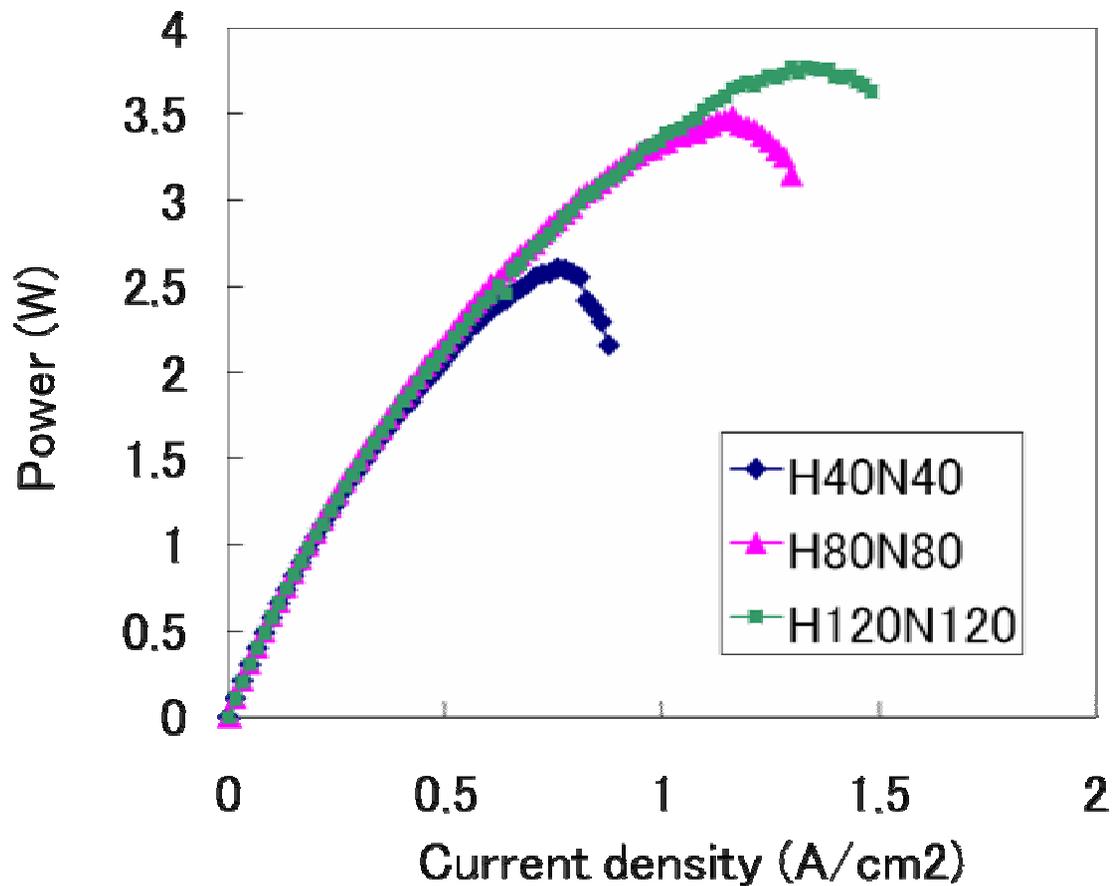


# インピーダンス解析-水素流量変化

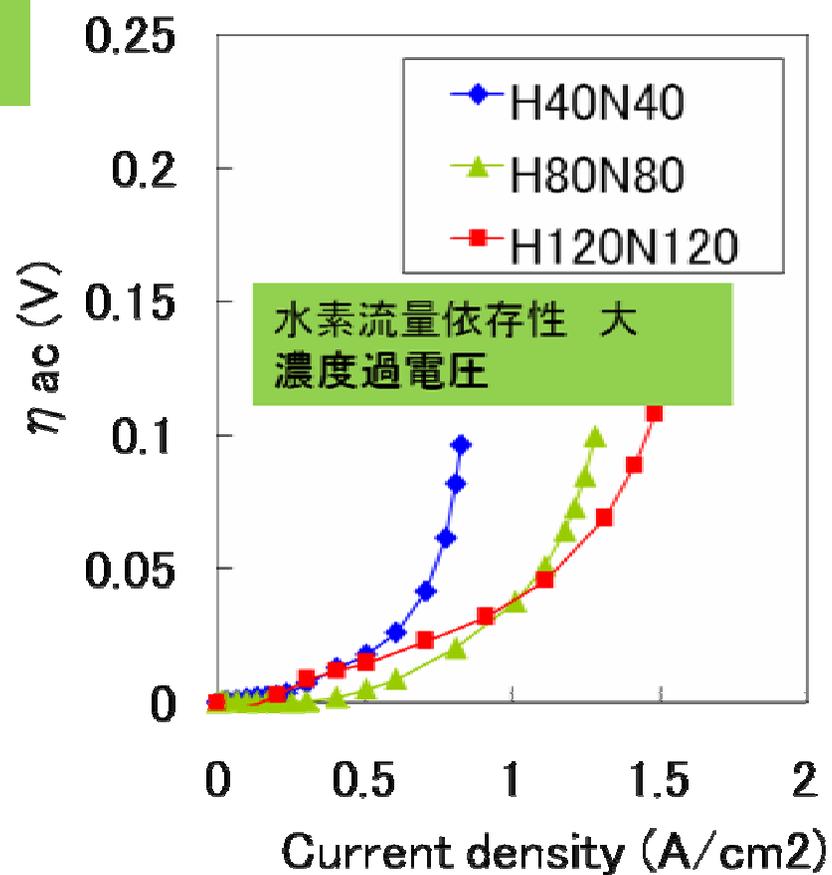
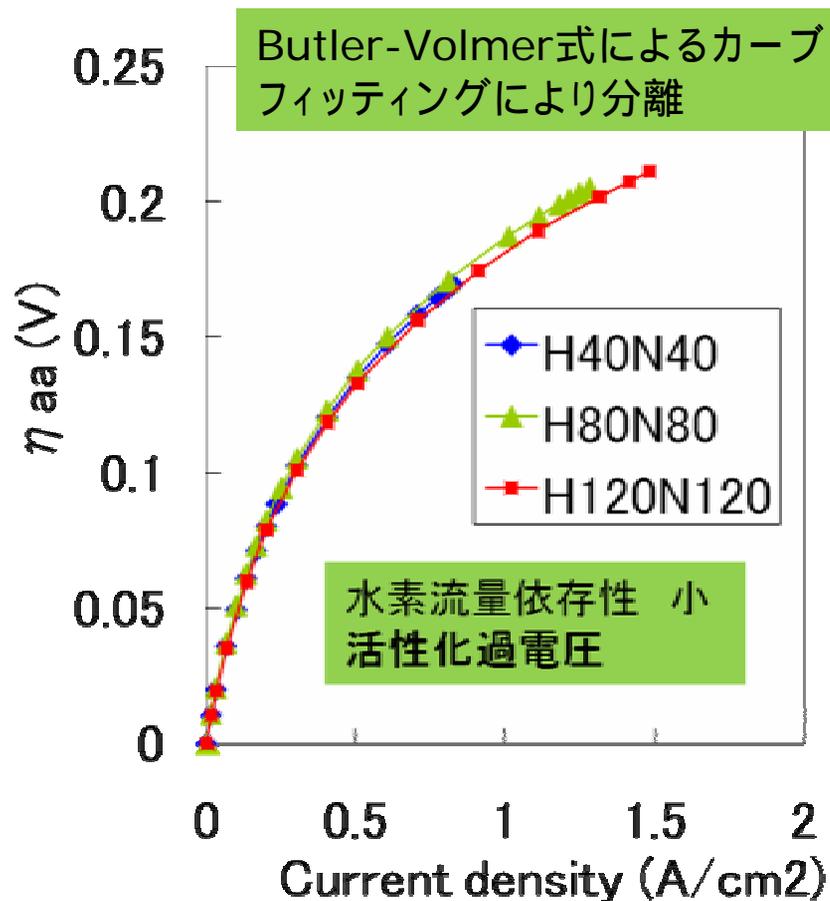


アノード活性化過電圧+アノード濃度過電圧

# 出力特性



# アノード過電圧分離



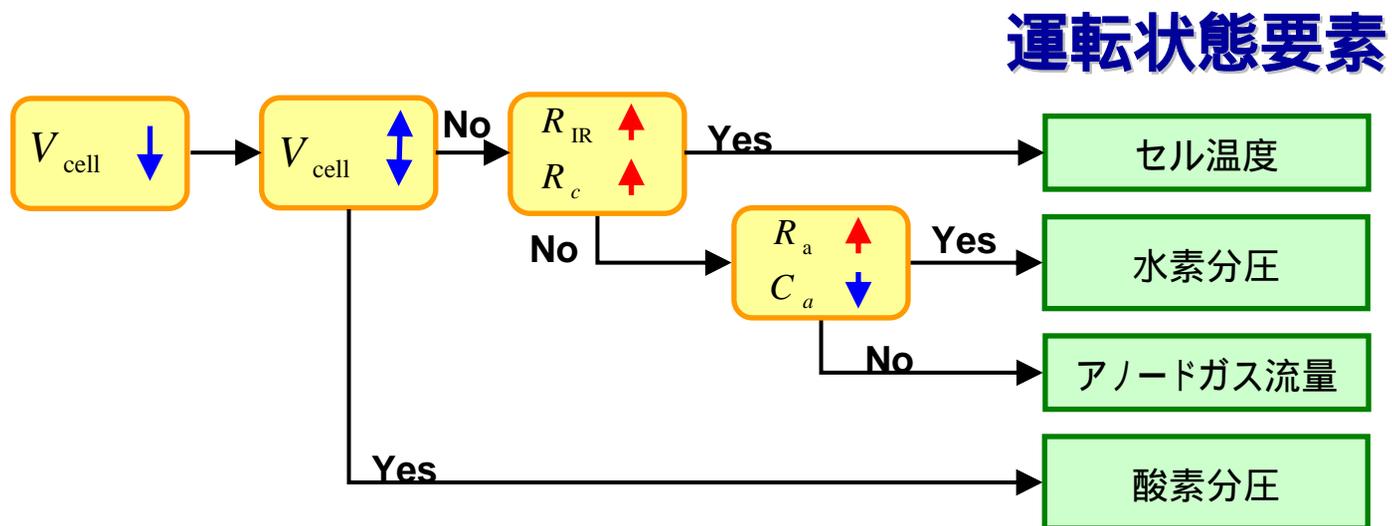
# 結論

- インピーダンススペクトルの周波数領域の違いから、アノード、カソード個別過電圧解析が可能
  - ・ 診断法開発への指針
  - ・ 最適運転制御への指針
- 各条件における結果から出力電圧および等価回路パラメータの変化傾向が得られた

	$V_{cell}$	$R_{IR}$	$R_c$	$R_a$	$C_c$	$C_a$
Cell temperature ↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓
Hydrogen partial pressure ↓	↓	-	-	↑		↓
Anode flow rate ↓	↓	-	-	↑	-	-
Oxygen partial pressure ↓	◆					
. . .						

# 結論

## □ 診断フローチャート例



- ・アノード, カソード個別過電圧解析に基づき, 各パラメーターと運転状態要素との関連付けができた
- ・診断パラメーターの変化傾向に基づく診断法の可能性が明らかになった

## SOFCリアルタイム自己診断法の評価(2)

---

これまで開発してきた携帯型のSOFC向けセルを、リアルタイム自己診断法の研究に供試した。開発されたリアルタイム自己診断法に対し、実用システムへの実装の観点から評価を行い、重大事故防止や運転制御の最適化の可能性を検討した。

# SOFCリアルタイム自己診断法の評価(2)

携帯型のSOFC向けセルのインピーダンス解析により開発したリアルタイム自己診断法の評価を行ったところ、セル運転状態を示すパラメーターが得られたことから、将来のスタック診断への展開の可能性が示された。また、SOFCの過電圧による電圧ロスの内訳が明らかになり、セル開発及び最適運転制御法の開発に有用な知見が得られた。

セル運転状態のパラメータを種々の運転状態に対して測定し、近似曲線により関数化

運転中の任意のパラメータ値に対応した、セルの運転状態要素値が算出できる

比較

安全運転限界及び性能維持限界における運転状態要素値を、閾値として設定する

異常検知・通報，緊急停止，最適運転状態の維持が可能となる

# SOFCリアルタイム自己診断法の評価(2)

---

## 明らかになった課題

安全運転限界および性能維持限界における運転状態要素値のデータベース化の必要性

アノード・カソード個別過電圧解析に基づいた、実用SOFCシステムの運転状態診断法の高精度化および最適運転制御法の開発

炭化水素燃料(都市ガス, LPGおよびこれらの改質ガス)運転状態における過電圧解析法および状態診断法の研究による、本診断法のSOFCシステムへの適用可能範囲の拡大

# 今後の展開

## 育成枠研究

炭化水素燃料(改質, 直接)運転の検討  
セル劣化診断法  
最適運転制御法  
回復運転法  
耐被毒性セル材料開発への知見

交流インピーダンス法による  
アノード, カソード分離過電圧解析  
運転状態診断法の高精度化  
最適運転制御法の開発  
高性能材料開発への知見

## 事業化研究

SOFCの運転時発熱挙動の解析  
熱自立条件  
スタック配置  
最適運転制御法  
  
高温熱源としての利用

地域や家庭への  
SOFCコージェネレーション普及促進  
・CO<sub>2</sub>排出低減 ・大規模省エネ効果  
・地域安全性向上 ・災害時用電源

# 事業化研究例

## 長期保管形SOFC災害時ライフケアシステム

九州大学 分担

TOTO社 分担

プロパン  
ボンベ

μSOFC

保存食・米  
ミネラル  
ウォーター

調理  
消毒

最適運転制御

最適伝熱構造

高効率  
発電

高効率  
廃熱回収

被災住宅、避難  
所、情報機器へ  
の電力供給

ミニボイラーとの  
複合システムによる  
給湯  
消毒、保存食調理

メンテナンス  
フリー  
長期保管可能  
持ち運び可能  
静粛性  
低振動性  
低燃費  
クリーンな排ガス

600~1,000

マイクロSOFC  
セルの開発



本研究成果を災害用小型SOFCシステムに搭載  
災害時非常用小型電源  
災害医療活動  
被災地での食糧確保  
山間部や離島で特に有効  
山小屋の環境保全にも有効

長期保管形災害時  
ライフケアシステム  
ライフライン断絶への備え