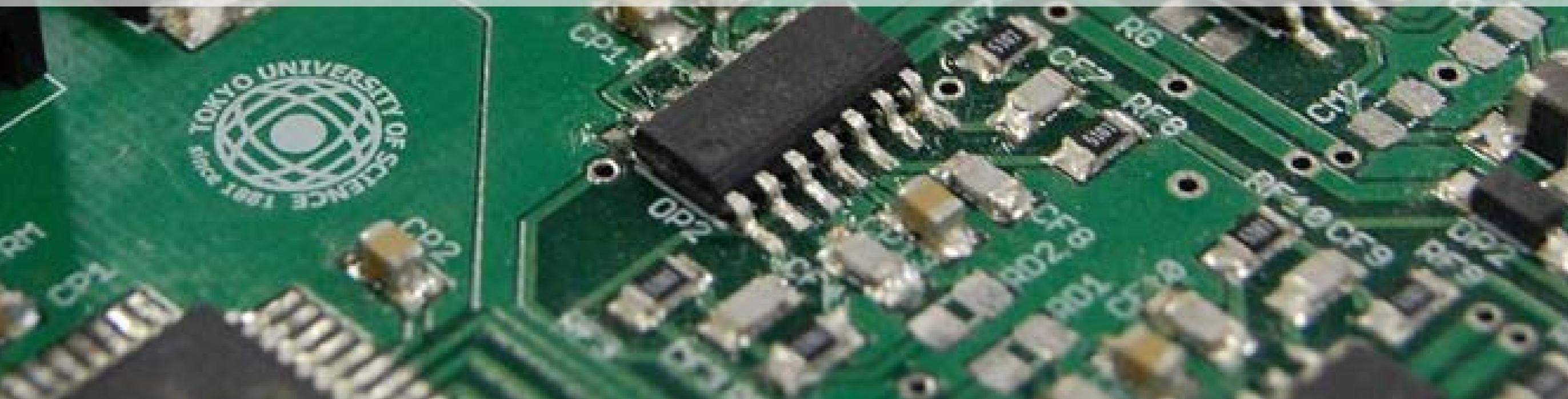


# 太陽電池を自律的に故障予知・診断する パワーコンディショナ

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科  
助教 片山 昇 准教授 杉山 睦



物質やその界面付近の劣化具合・均一性を評価する、電気化学インピーダンス法を応用した、太陽電池セルからシステムまでの故障診断を行う、これまでとは全く異なるシステムです。

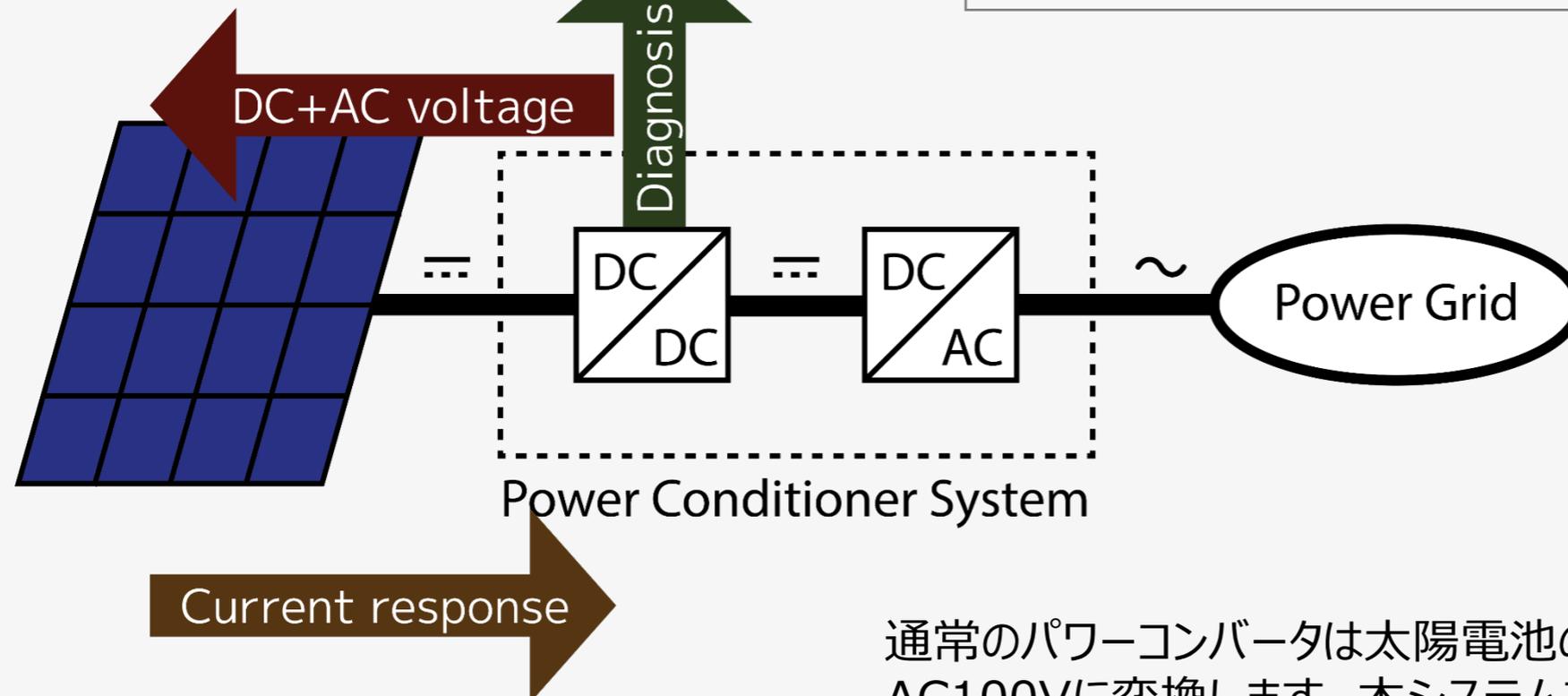


Users



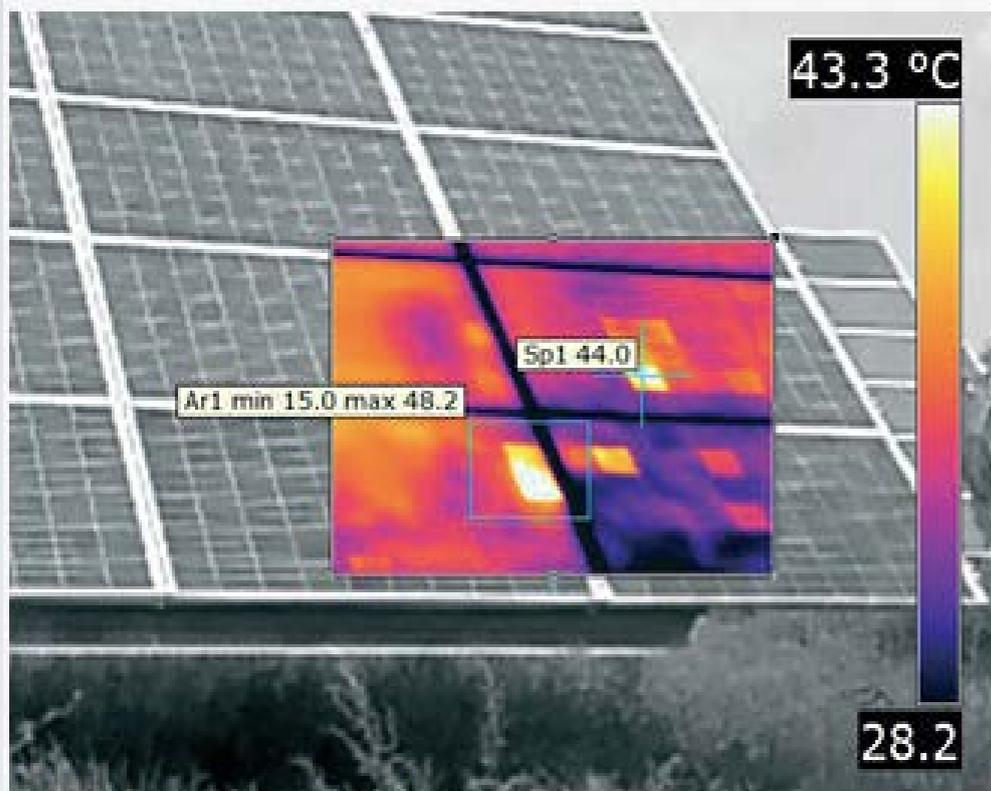
## Outline

- ・従来の故障診断技術とその問題点
- ・電気化学インピーダンスとは
- ・故障診断例
- ・想定される用途/業界
- ・実用化に向けた課題/企業への期待



通常のパワーコンバータは太陽電池の直流の電圧を昇圧し、交流に変換しAC100Vに変換します。本システムではコンバータから太陽電池に対して交流を重畳し、このときの電圧と電流の変動からインピーダンスを算出します。

# 従来の故障診断(サーモカメラ)



太陽電池パネルの表面温度測定



熱画像装置



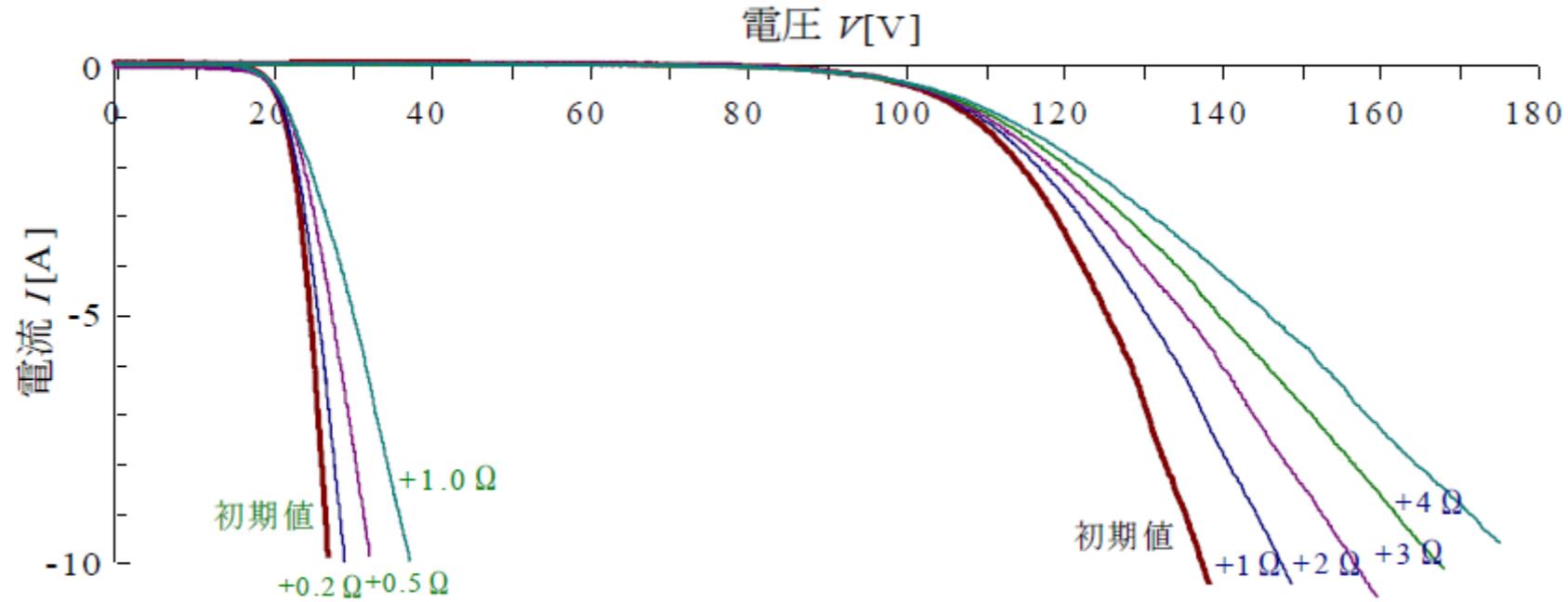
自律飛行型の点検用小型無人ヘリコプター



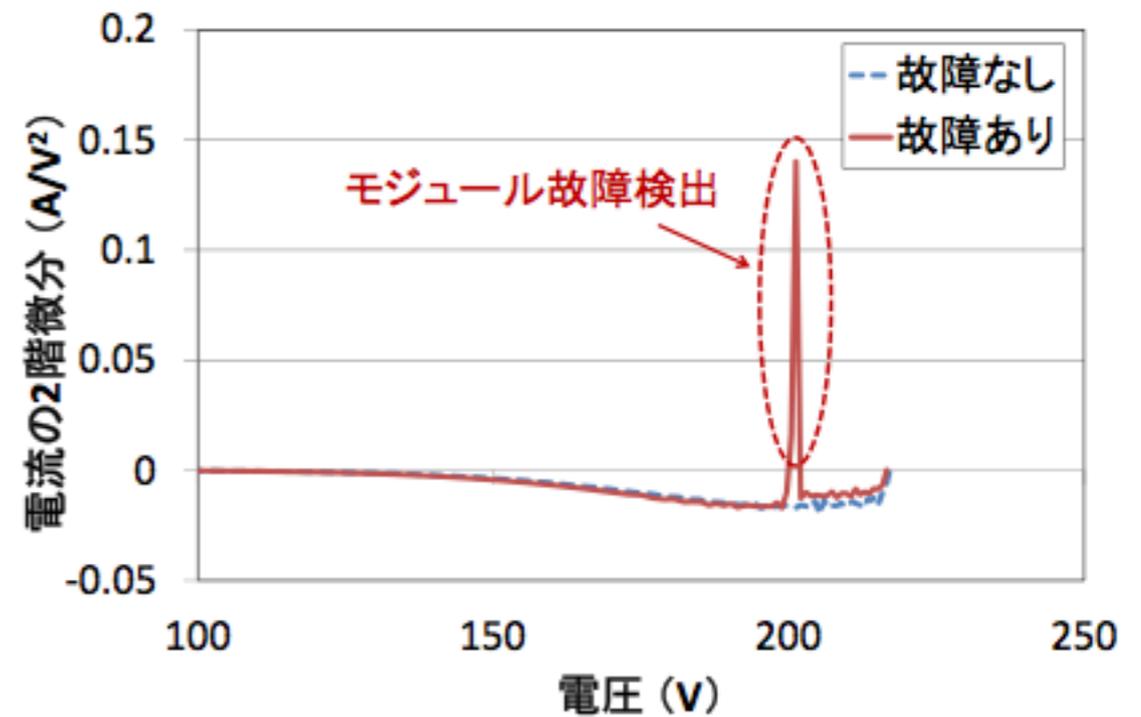
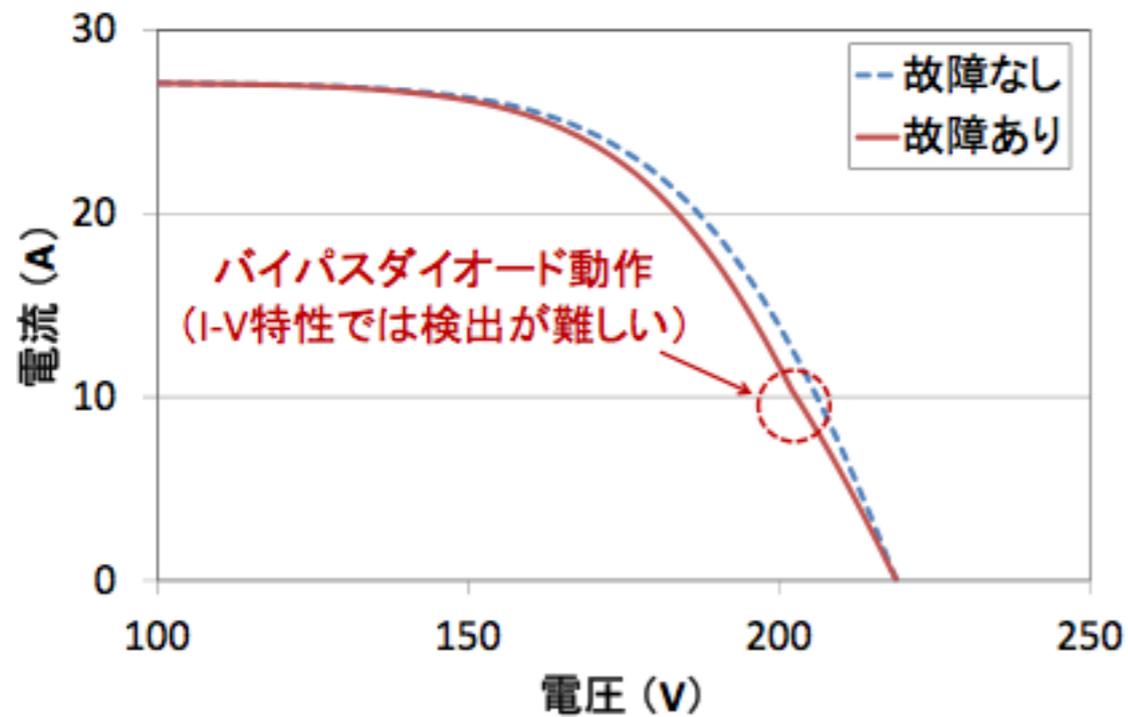
太陽電池パネルの点検



# 従来の故障診断(I-Vカーブ)



暗状態IVカーブを用いた故障診断 特開2011-066320 東京理科大学 平田陽一



PCSを用いた太陽電池モジュールの故障判定, 電力中央研究所報告, 2013

## (2) 太陽光発電システム評価技術の研究開発

65/123



共通基盤一事後評価分科会資料 2006



### 故障診断技術(ストリング)の開発

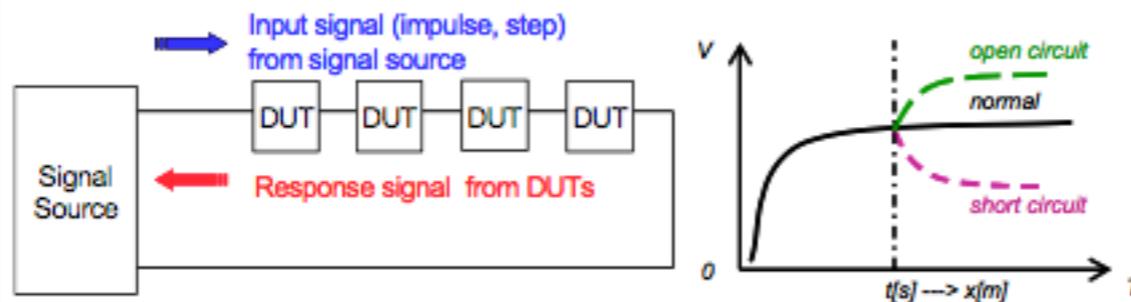
#### アレイ不具合検出方法の分類

手法	詳細
電気的手法	暗I-V計測 バイパスダイオードの発光 高周波計測
熱的手法	異常発熱 バイパスダイオードの発熱
視覚的手法	セルやモジュールの変色

有望

#### 電気的手法の開発

#### タイム・ドメイン・リフレクトメトリ: TDR

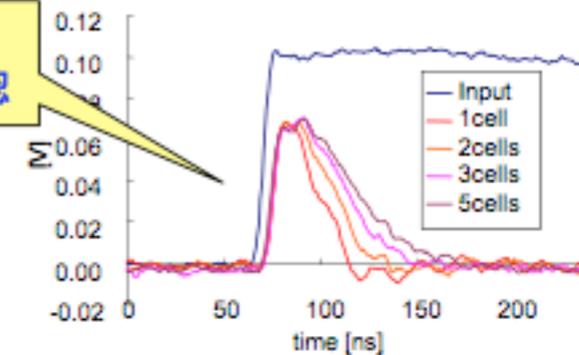


TDR手法の原理

TDR応答波形の例

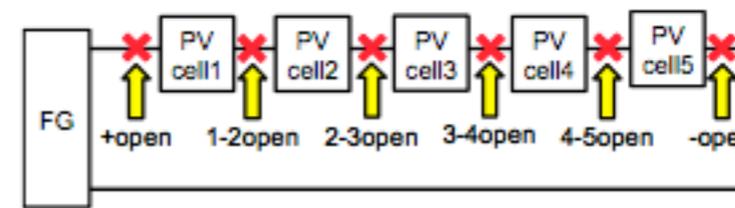
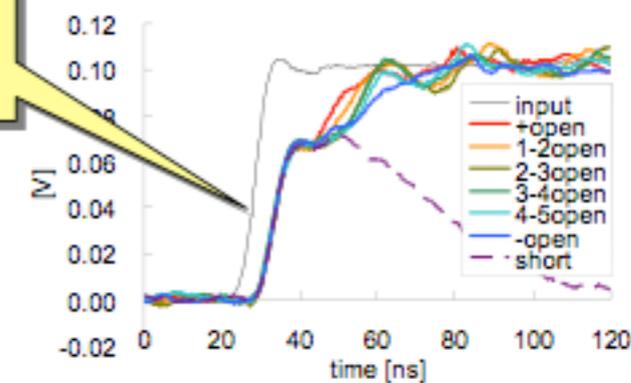
図3 セル直列数が増えた時のTDR応答波形(短絡時)

信号応答の時間ズレを確認



ストリング中で断線位置が変化した時のTDR応答波形

故障位置検出可能

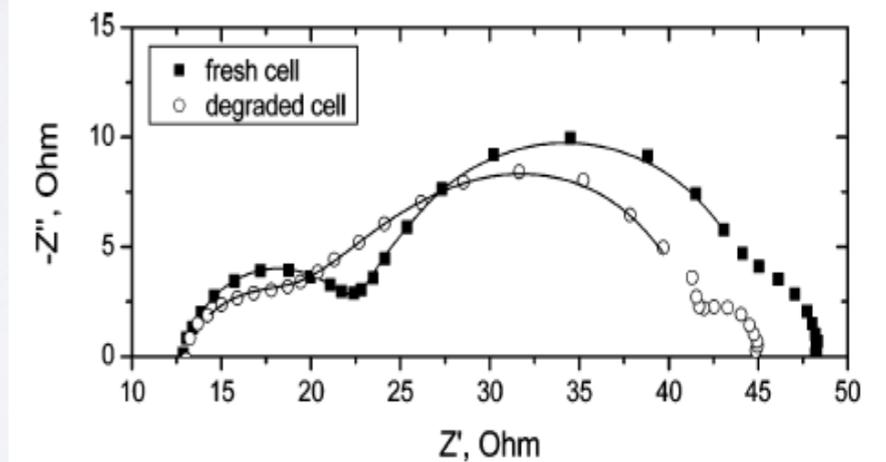


## 電気化学インピーダンス測定

電気化学分野（メッキ・腐食・バッテリー等）で使用  
最近では燃料電池や色素増感太陽電池の解析に用いられる

- 電極の振る舞い
- 電解液の振る舞い
- 基板の振る舞い
- 劣化プロセス 等

### ◆ 色素増感型太陽電池 (DSC)

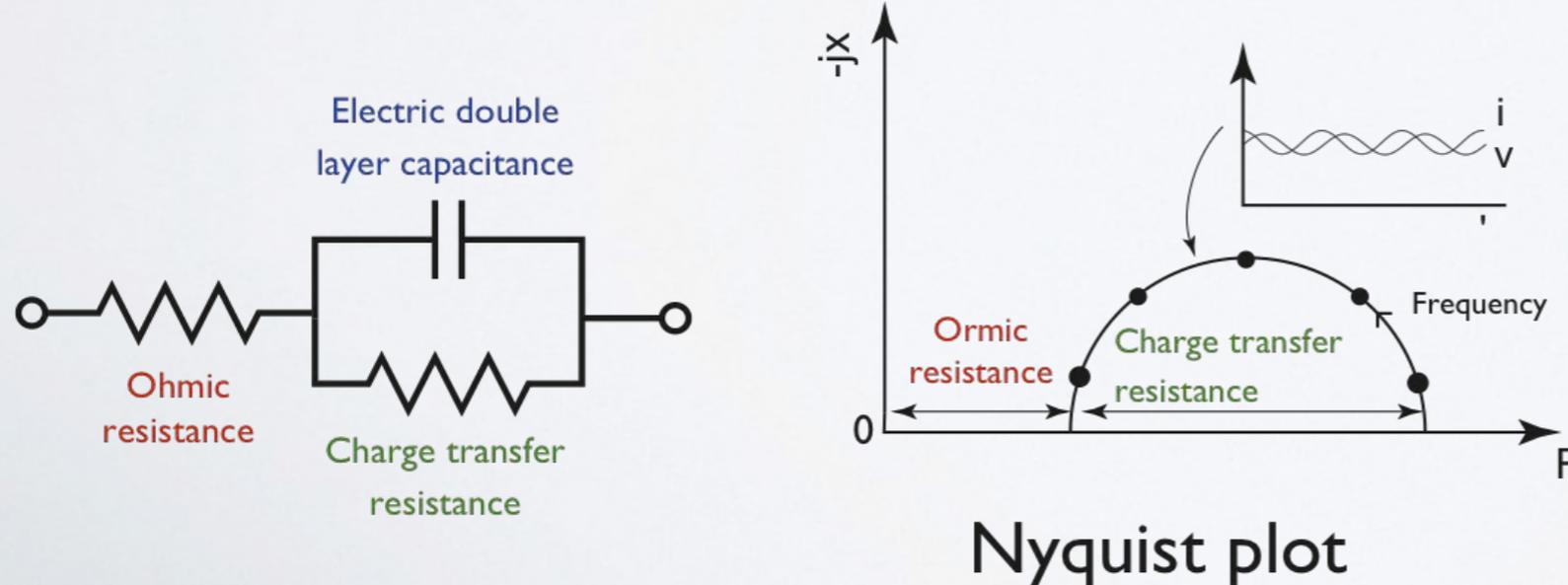


M. Itagaki, et al., Journal of Power Sources, 195 (2010) 6905.

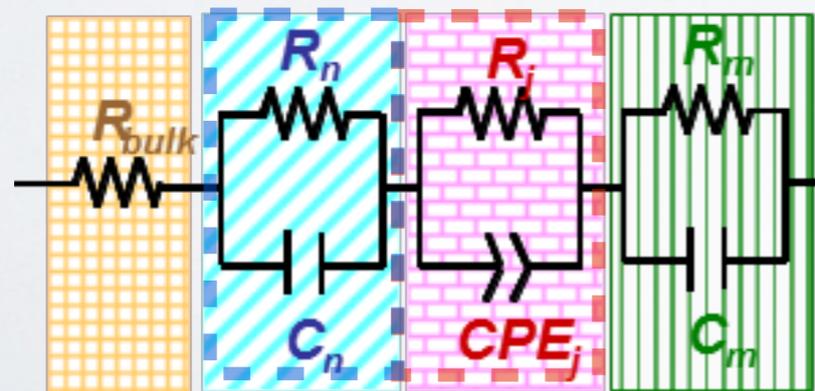
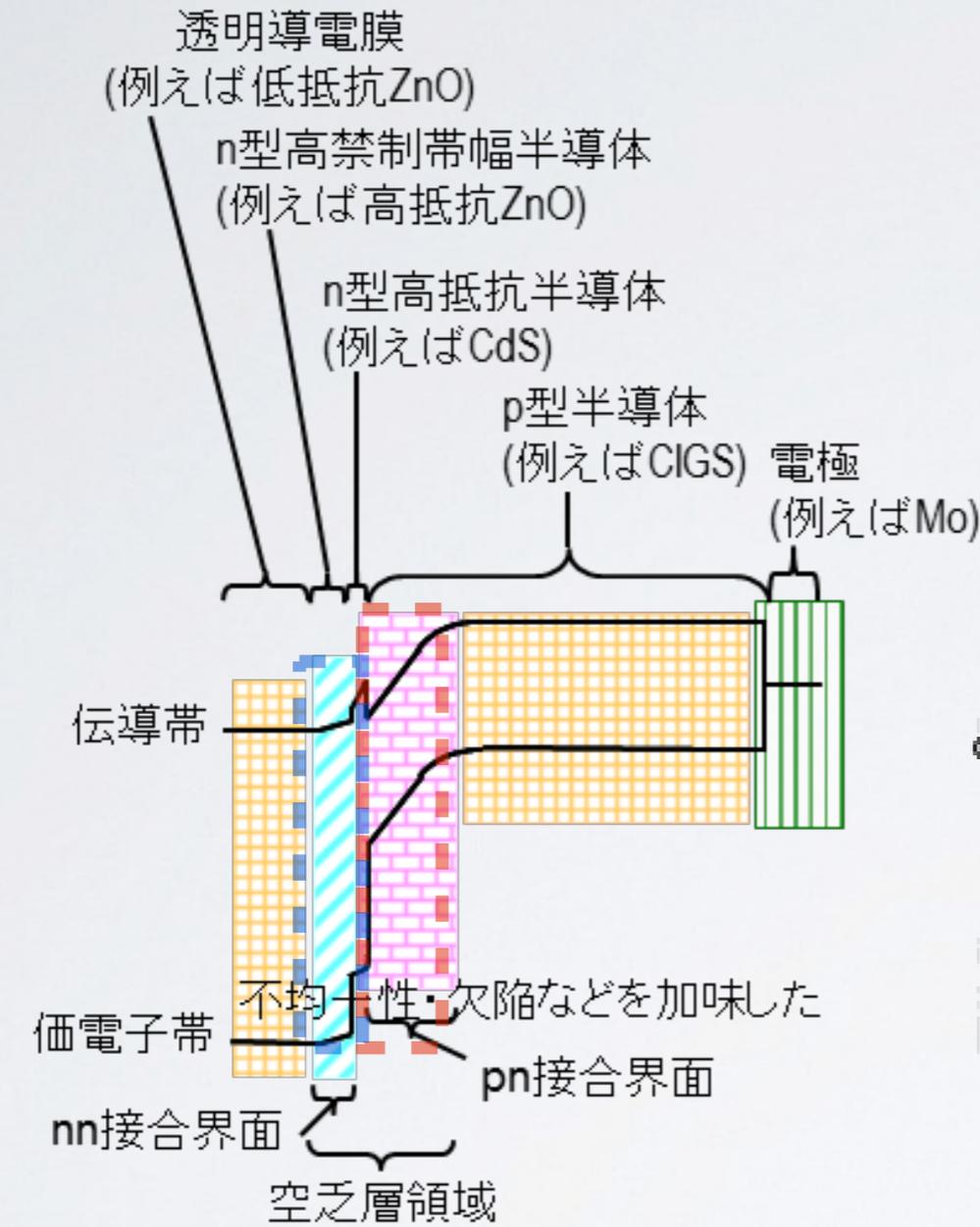
単純な評価で“どこが”悪いかを診断



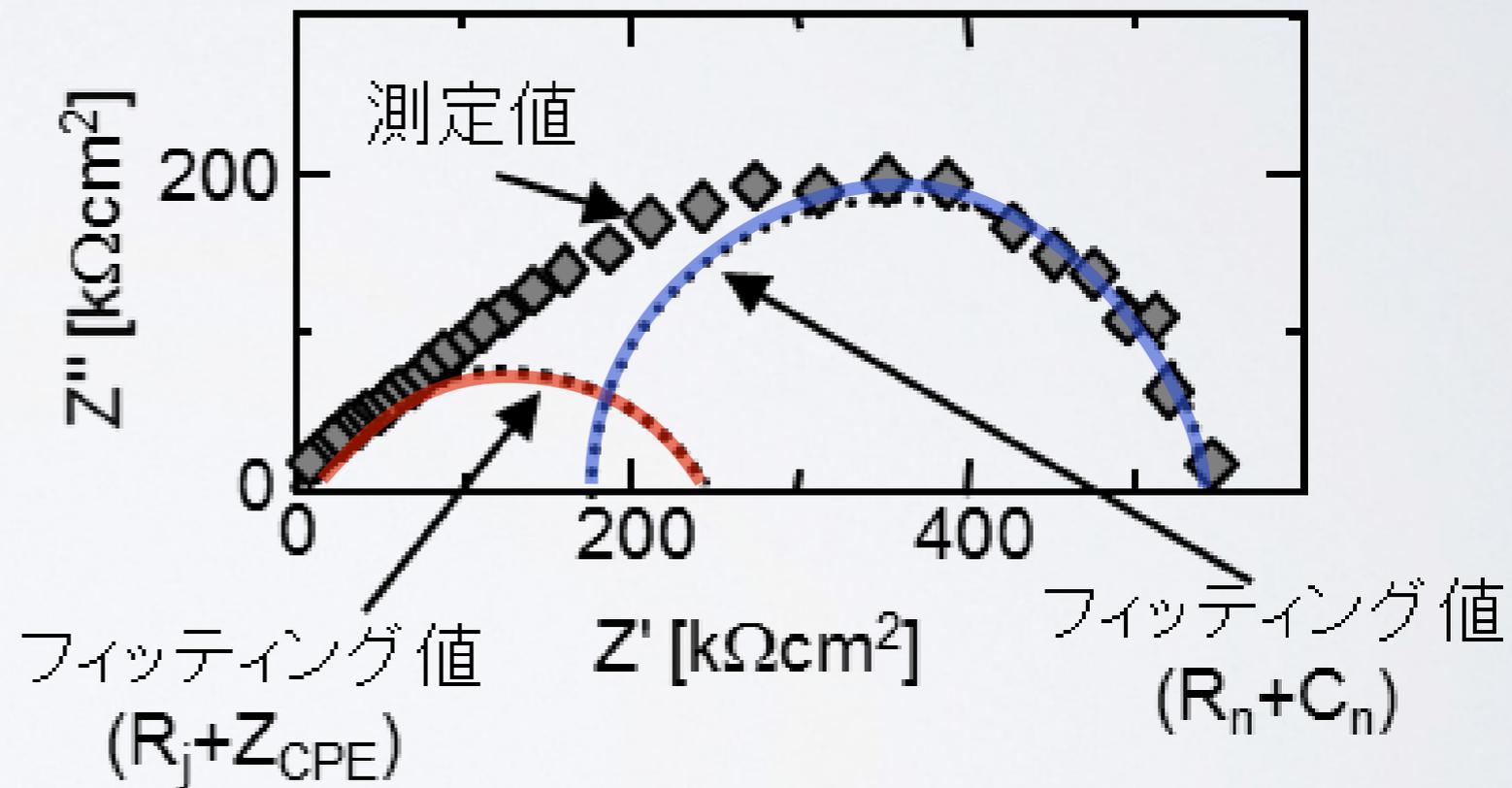
半導体を用いた太陽電池の故障診断に応用しては？



# 太陽電池の交流インピーダンス特性モデル

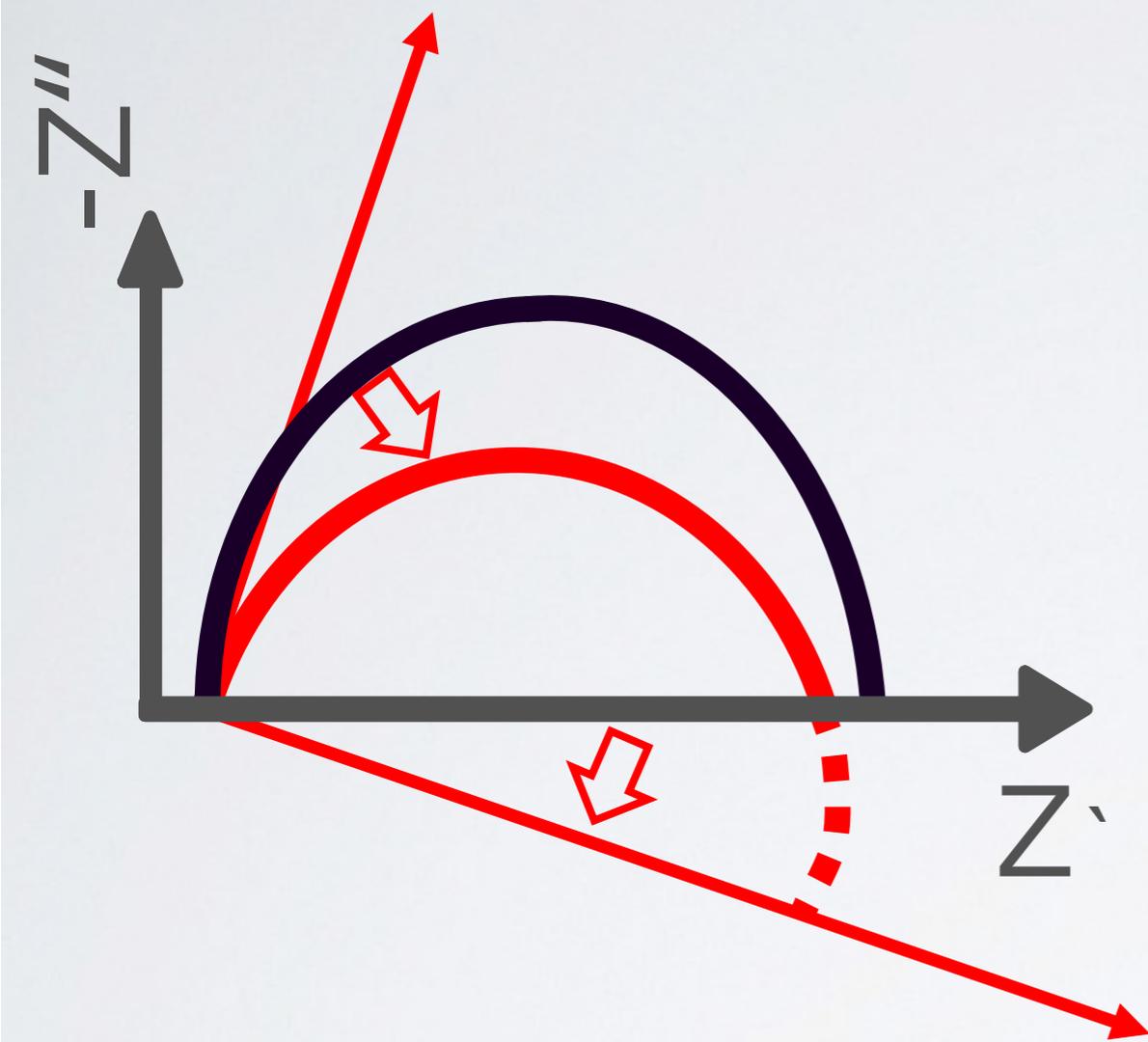


※半導体-金属間に  
欠陥がある場合に限る

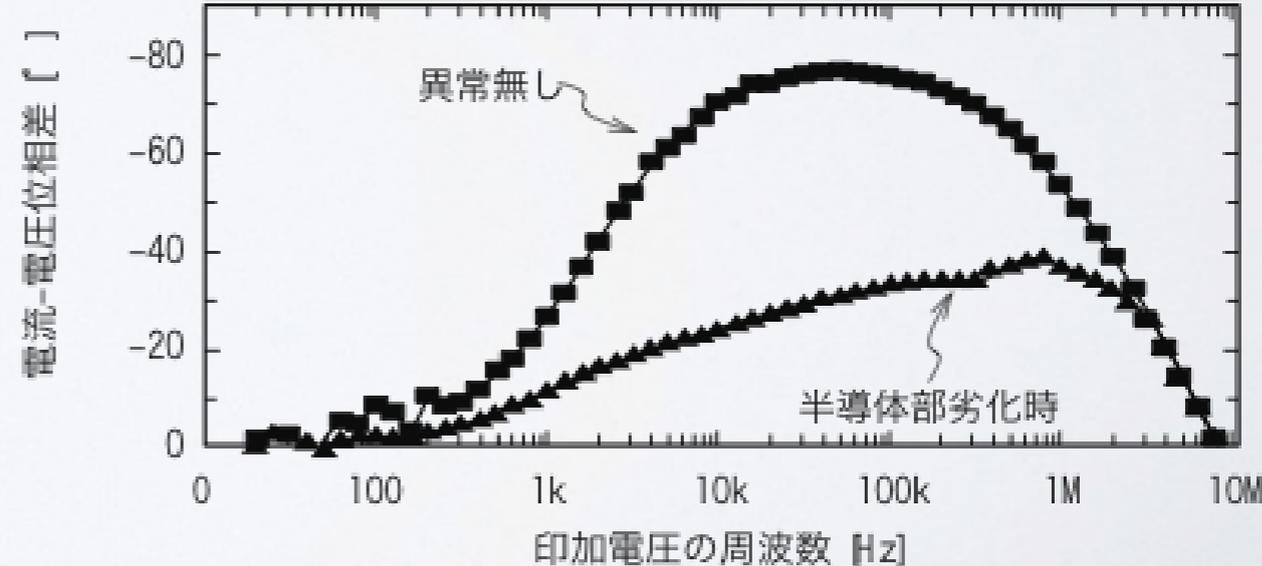
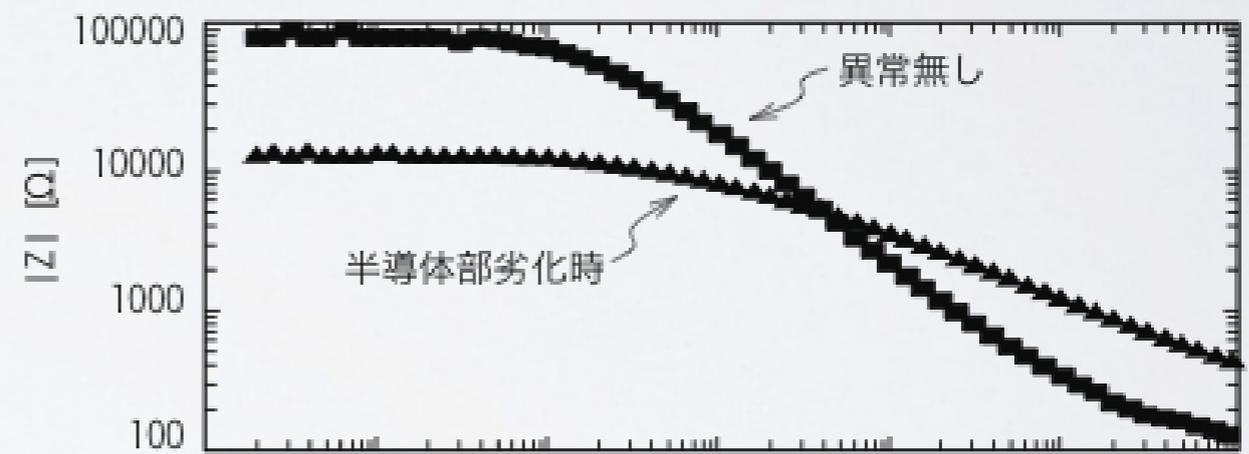
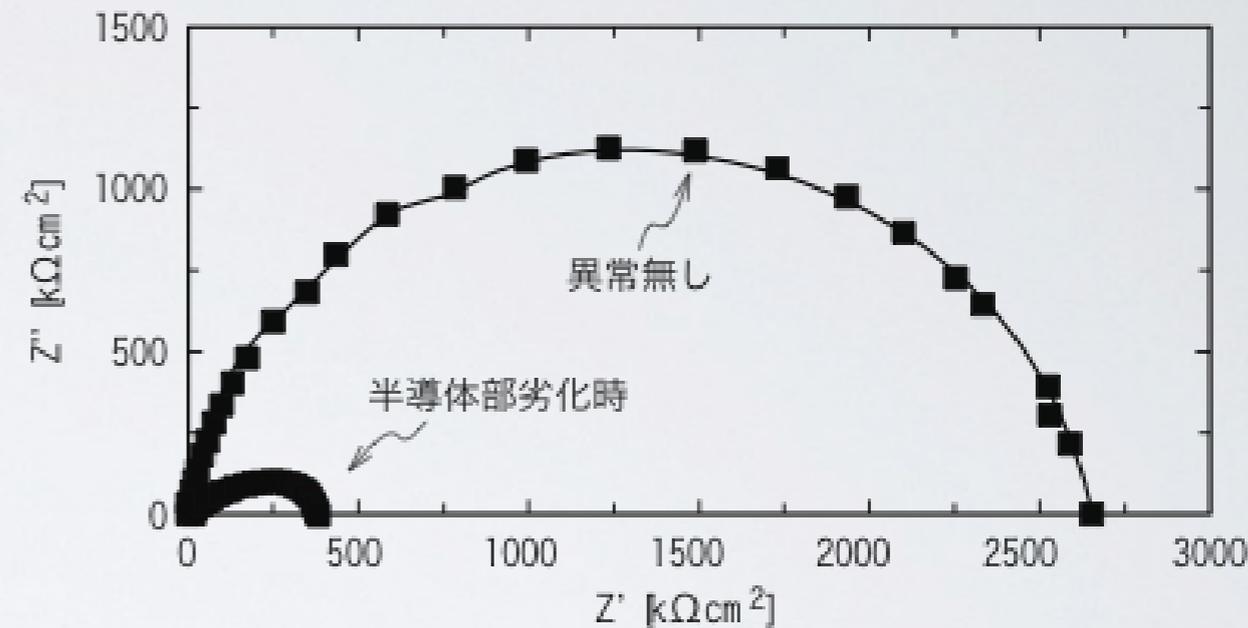


等価回路モデルの提案と、  
典型的な実験生データに対するデータ分離  
イメージ

# 半導体部劣化時の交流インピーダンス特性の変化

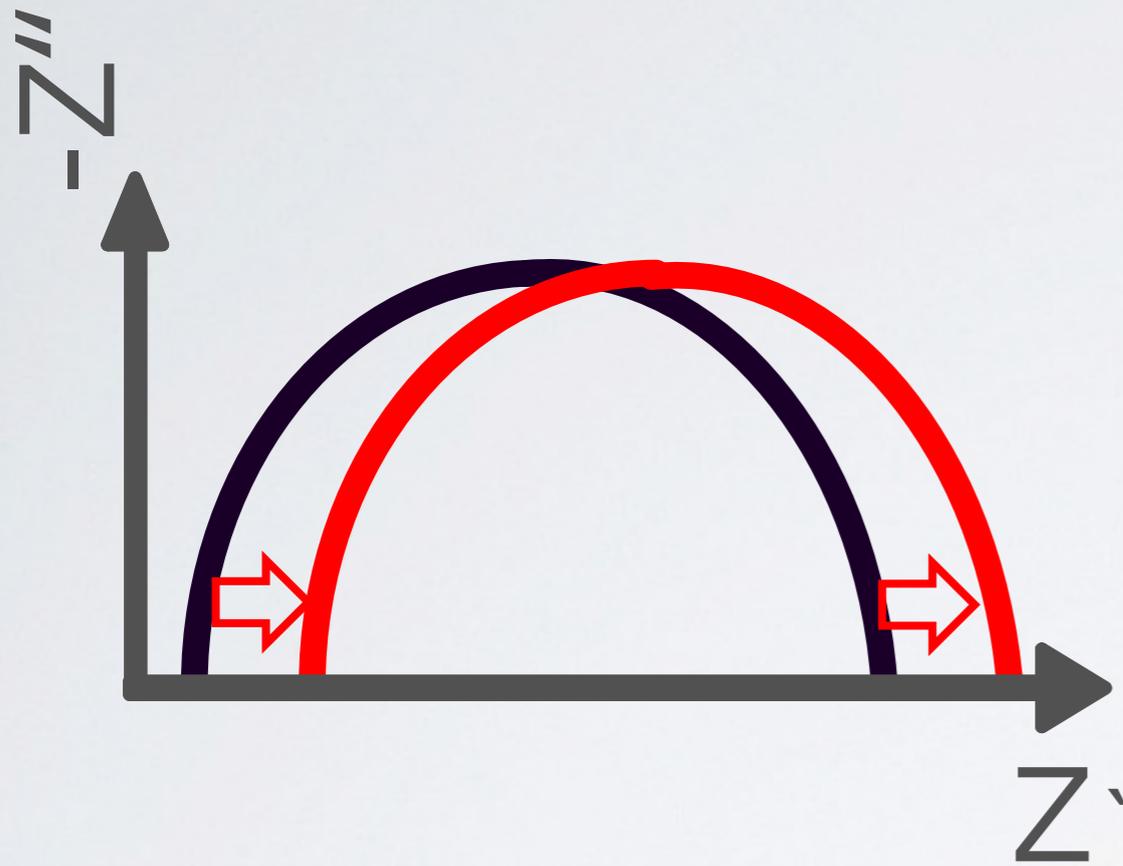


・半円の軸が時計回りにつぶれる  
 ↓  
 半導体(特にpn界面付近)が劣化した時に特有の現象です。パネル出荷前点検にも応用できます。

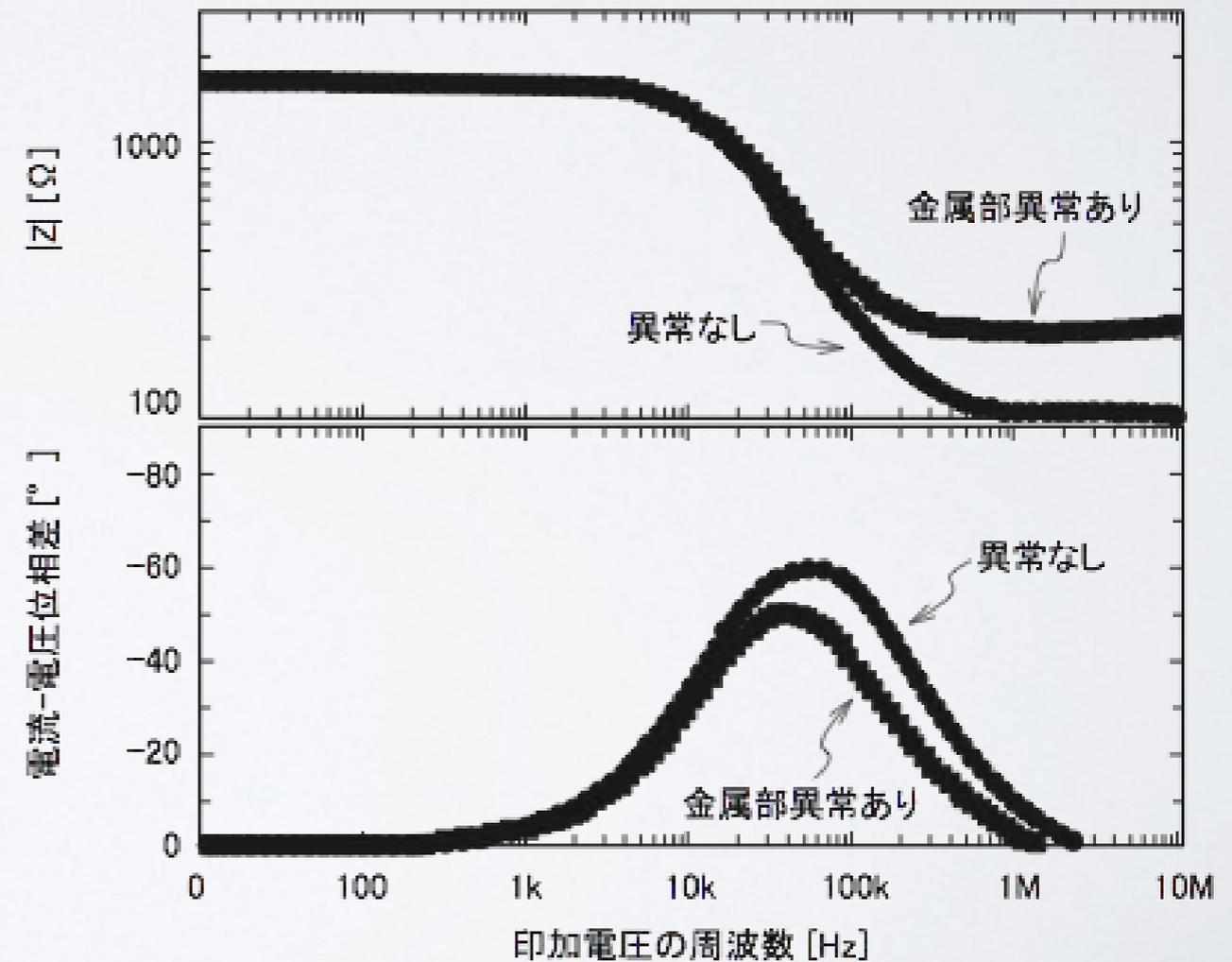
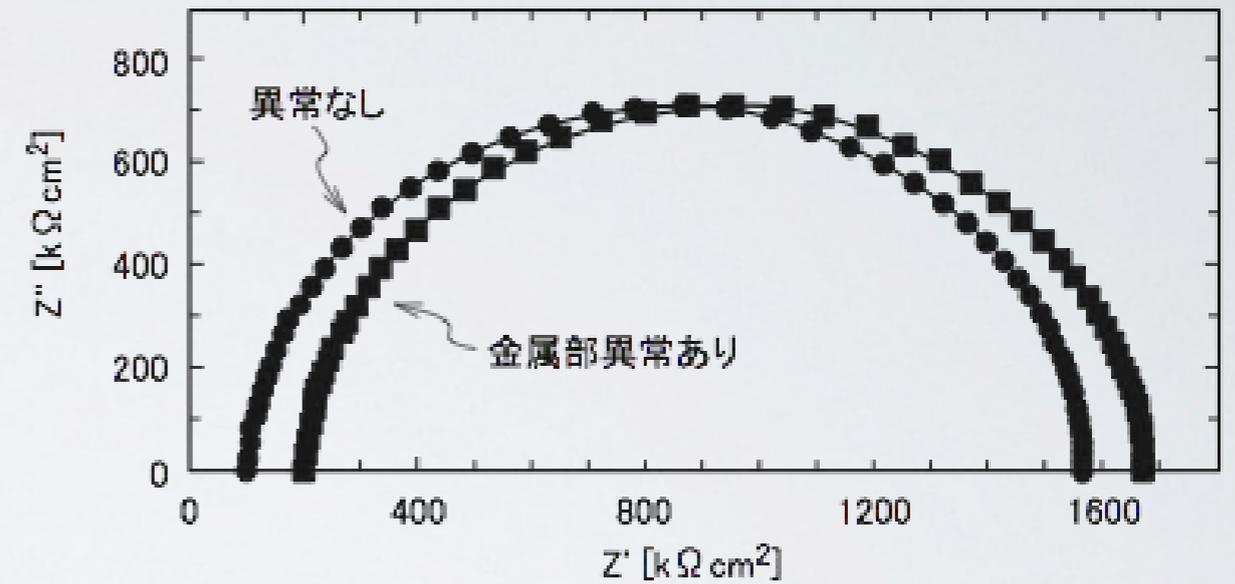


参考文献 M. Sugiyama, et al.  
 Investigation of Sputtering Damage around pn Interfaces of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Solar Cells by Impedance Spectroscopy" Electrochimica Acta, 131 (2014) 236.

# 配線部劣化時の交流インピーダンス特性の変化

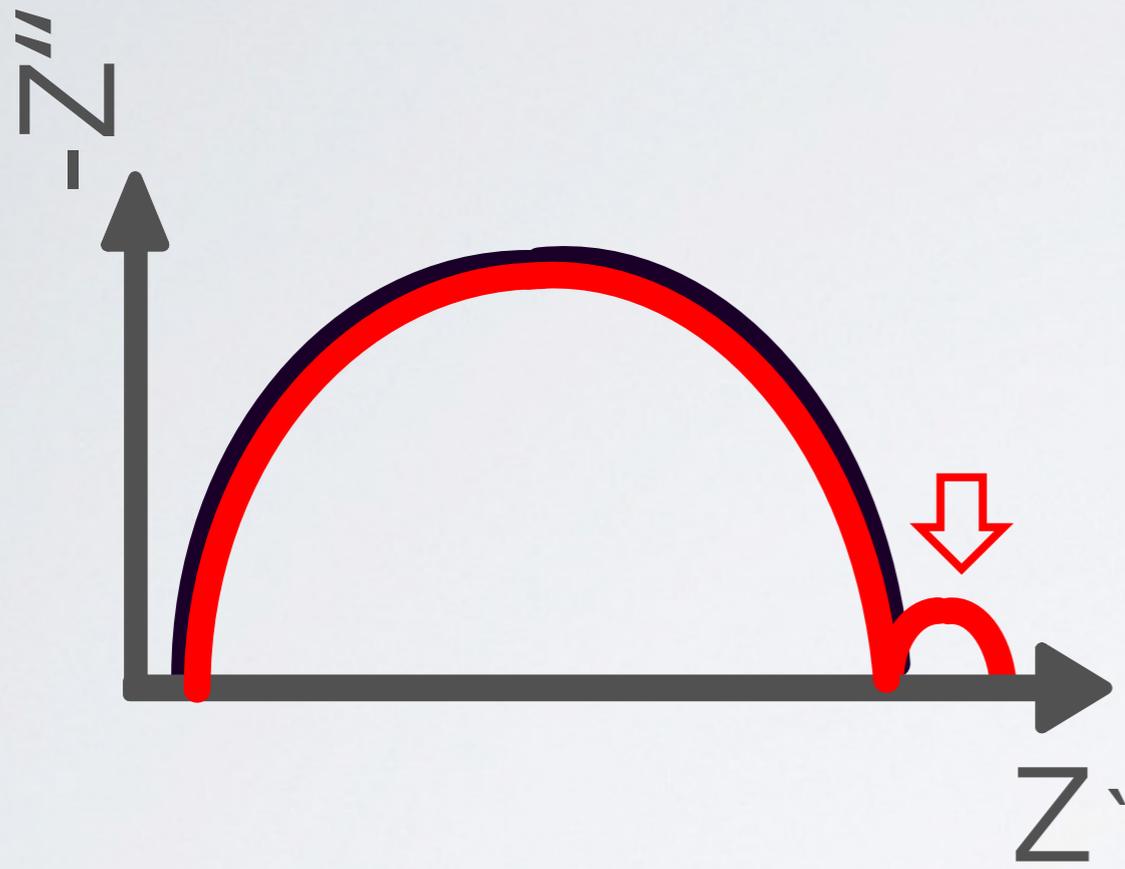


・半円が横に移動  
 ↓  
 太陽電池の故障ではなく、  
 配線ケーブル等の劣化が原因です。

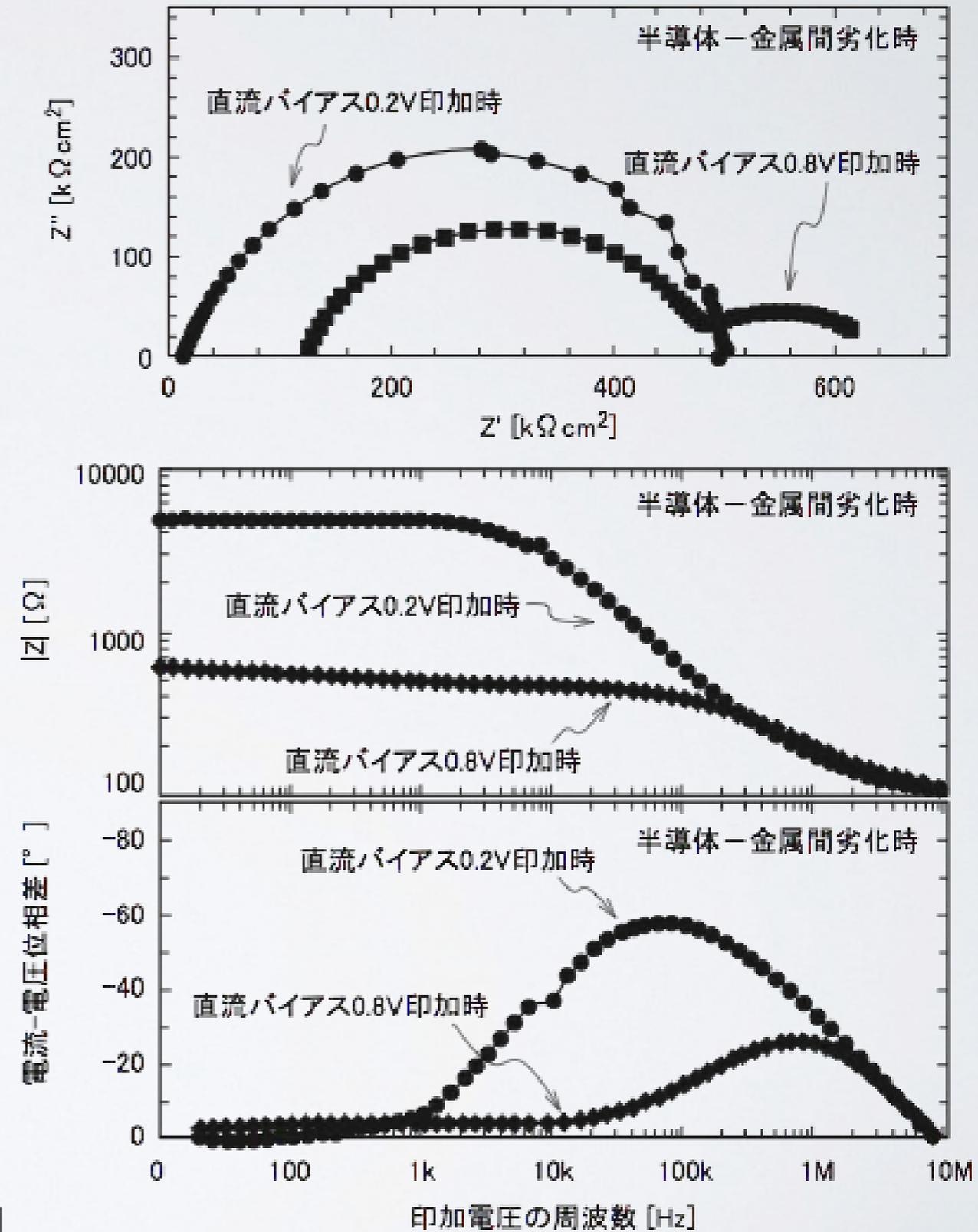


参考文献 M. Sugiyama, et al.  
 Investigation of Sputtering Damage around pn Interfaces of  
 Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Solar Cells by Impedance Spectroscopy"  
 Electrochimica Acta, 131 (2014) 236.

# 半導体-金属間劣化時の交流インピーダンス特性の変化



・別の半円の出現  
 ↓  
 表面・裏面電極付近が劣化した時に特有の現象です。



参考文献 M. Sugiyama et al.  
 "Application of impedance spectroscopy to investigate the electrical properties around the pn interface of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells"  
 Thin Solid Films, 535 (2013) 287.

# 故障診断方法の比較

	サーモカメラ	IVカーブ	TDR法	インピーダンス法
概略	パネル表面の温度分布を測定	電流・電圧特性を測定	パルスを印加し応答時間を測定	微小交流を印加しナイキスト曲線 <small>SEP</small> 異常検出
特徴	セル単位の異常箇所検出	異常検出	モジュール単位の異常検出	異常の種類検出
測定法	専用測定器	パワコンに内蔵 or 測定器 <small>SEP</small>	接続箱に取り付け or 測定器 <small>SEP</small>	パワコンに内蔵 or 測定器
その他	強い日射量が必要	日射量に依存	日射量非依存	初期劣化推定可？ 日射量非依存
価格	50～60万円	15万円～	80万円程度	主にパワコンのファームウェア変更で対応可能

PC

印加周波数帯  
24 ~ 6,140 Hz

微小交流電圧

診断結果

電流応答



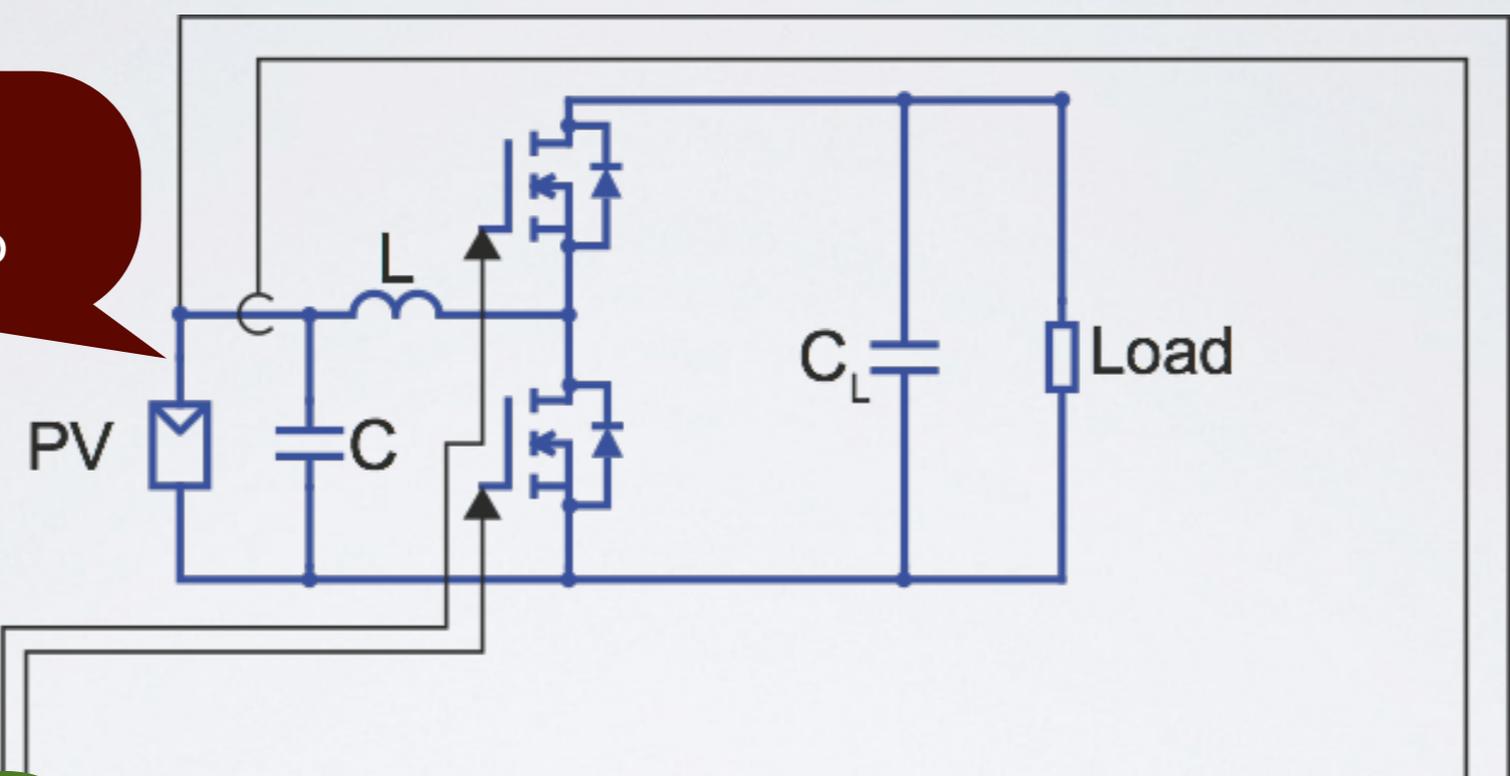
多結晶シリコン太陽電池  
最大電圧 1.5 V  
最大電流 500 mA  
面積 135 mm x 62 mm

DC-DCコンバータ  
入力電圧 < 3.3 V  
出力電圧 2.0 V

電子負荷  
PBZ40-10, Kikusui

# DC-DCコンバータによる交流インピーダンス診断の原理

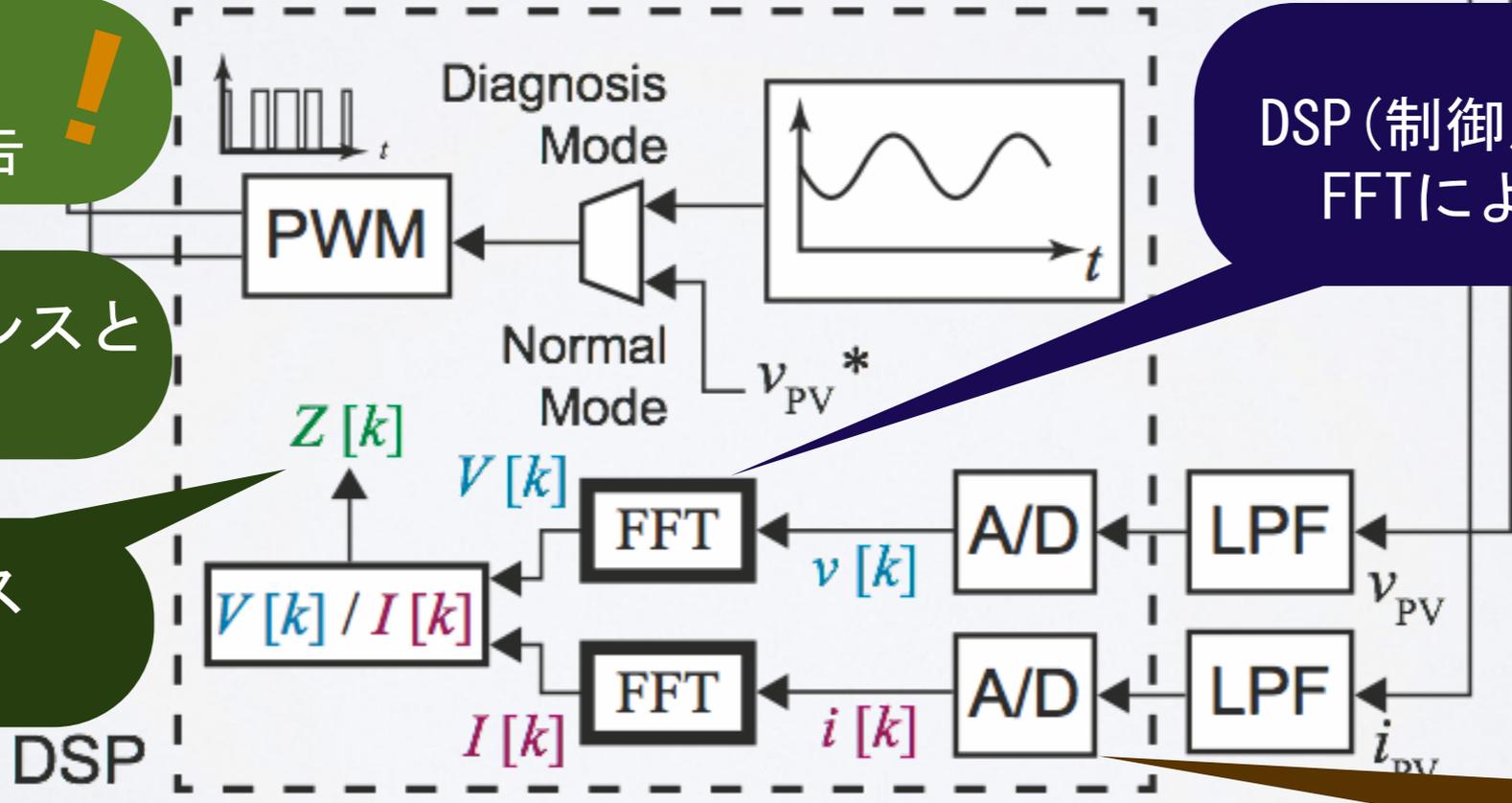
電圧を  
微小変化させる



異常があれば  
ユーザーに警告

正常なインピーダンスと  
比較

インピーダンス  
が求まる

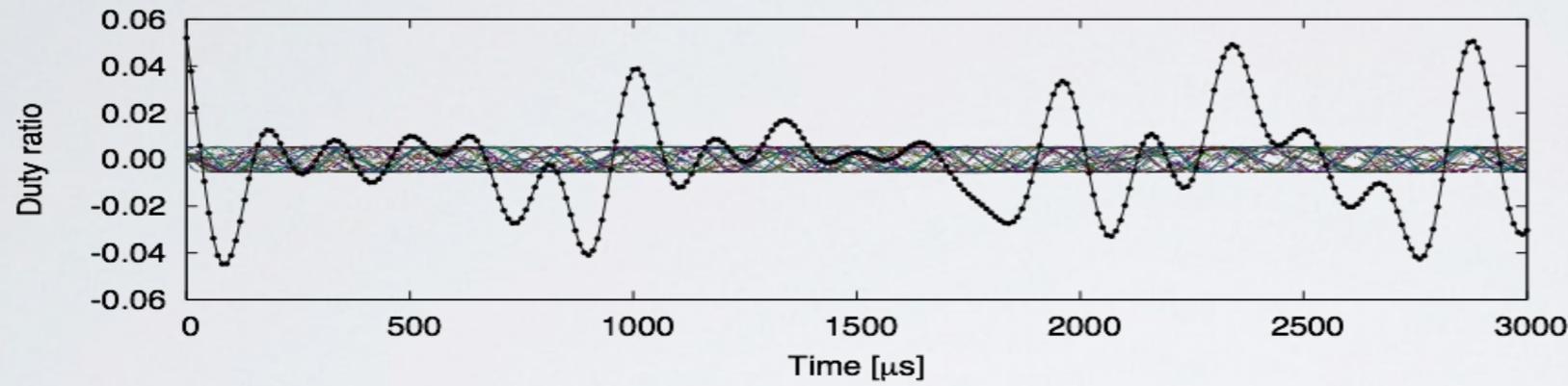


DSP (制御用マイコン) 内で  
FFTによる周波数分解

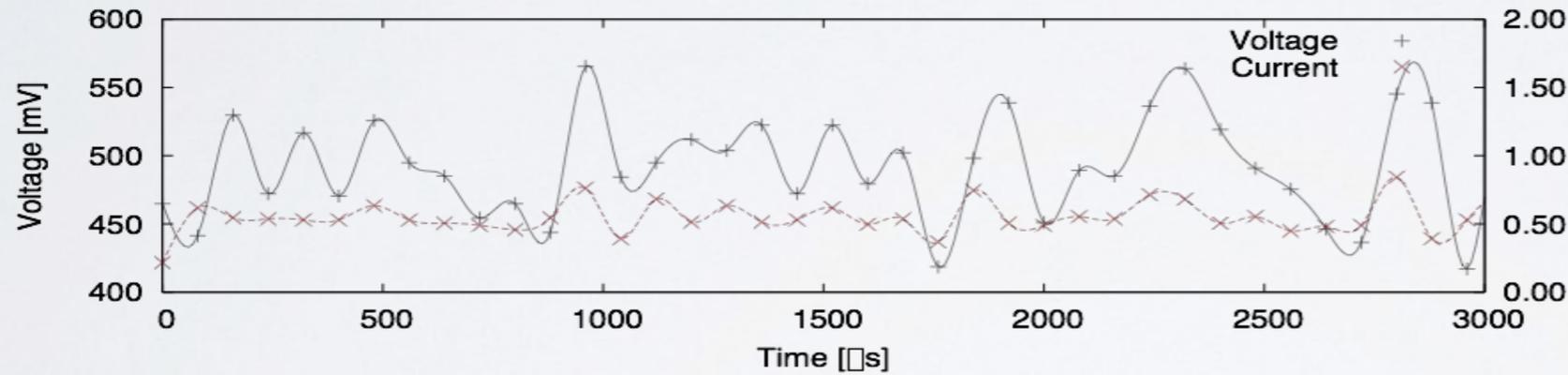
電流・電圧を  
取り込む

# 実際の診断の様子

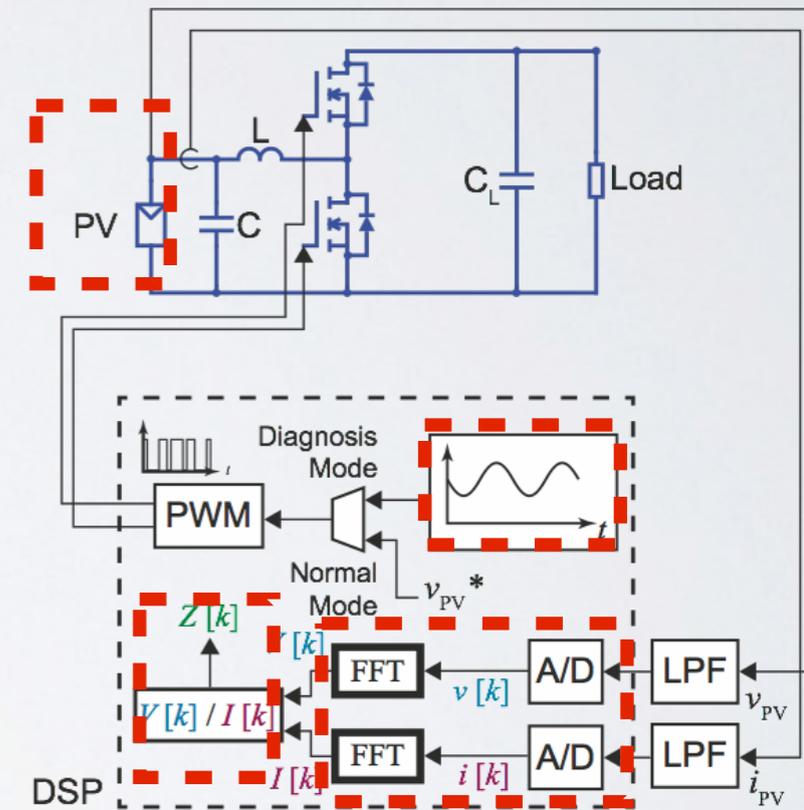
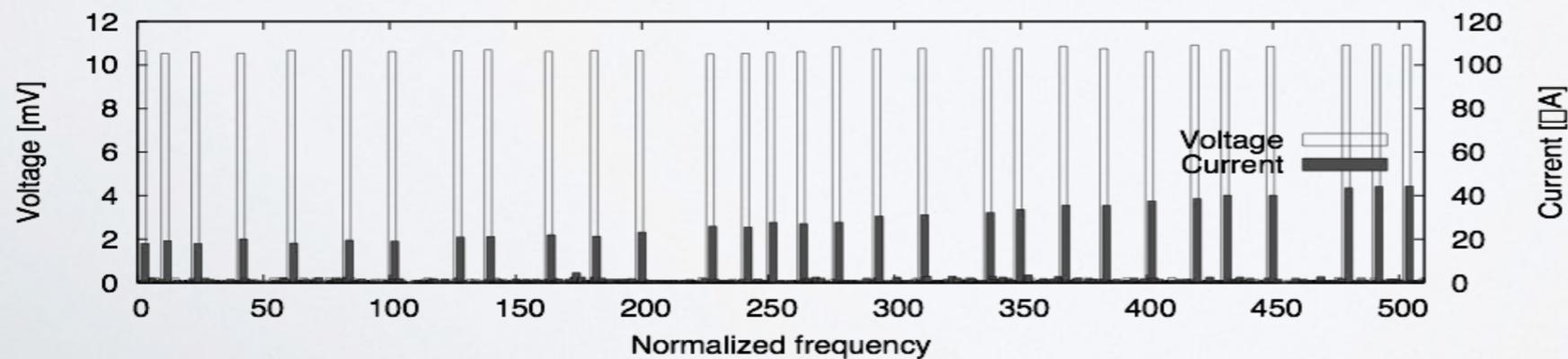
デューティ比の時間変化



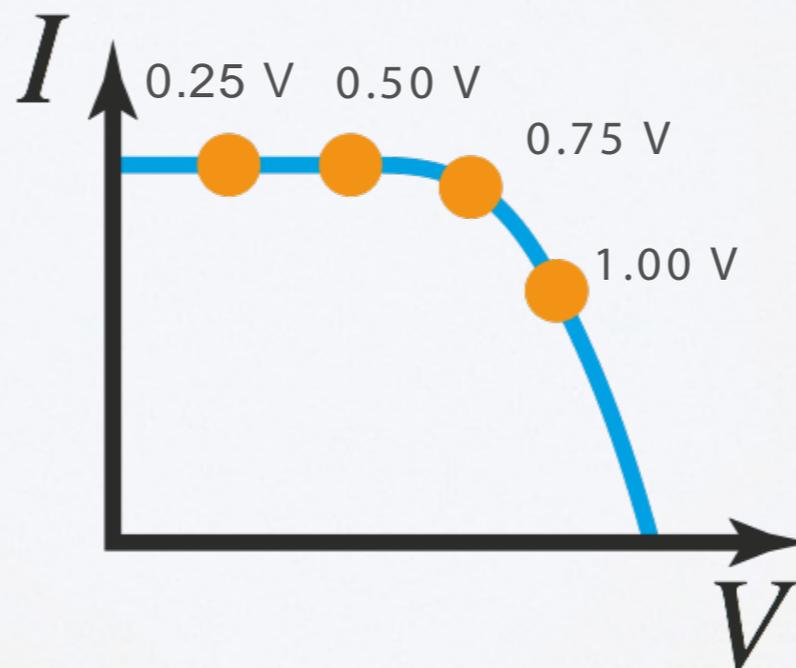
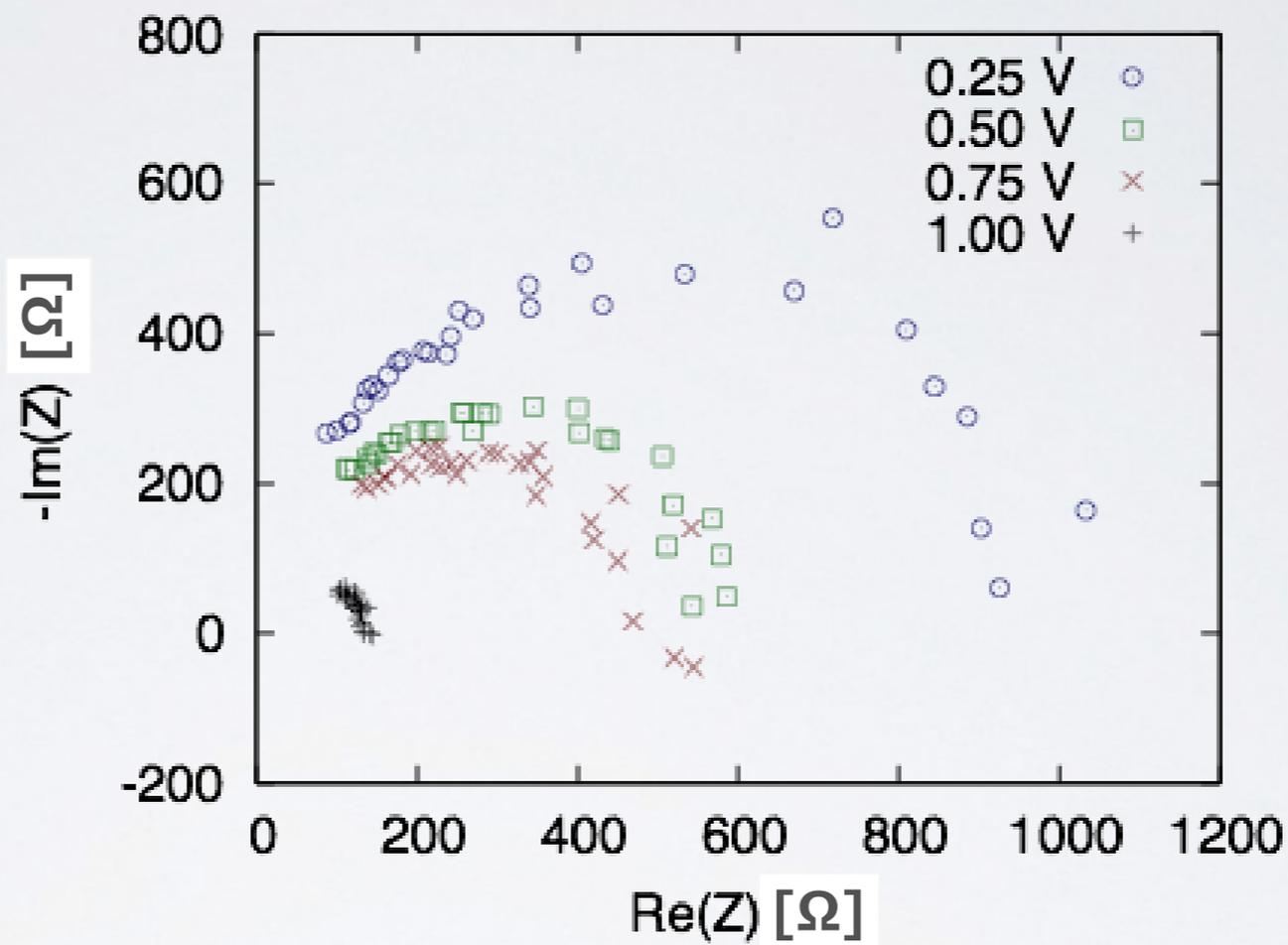
太陽電池電圧と電流の時間変化



太陽電池電圧と電流のスペクトル

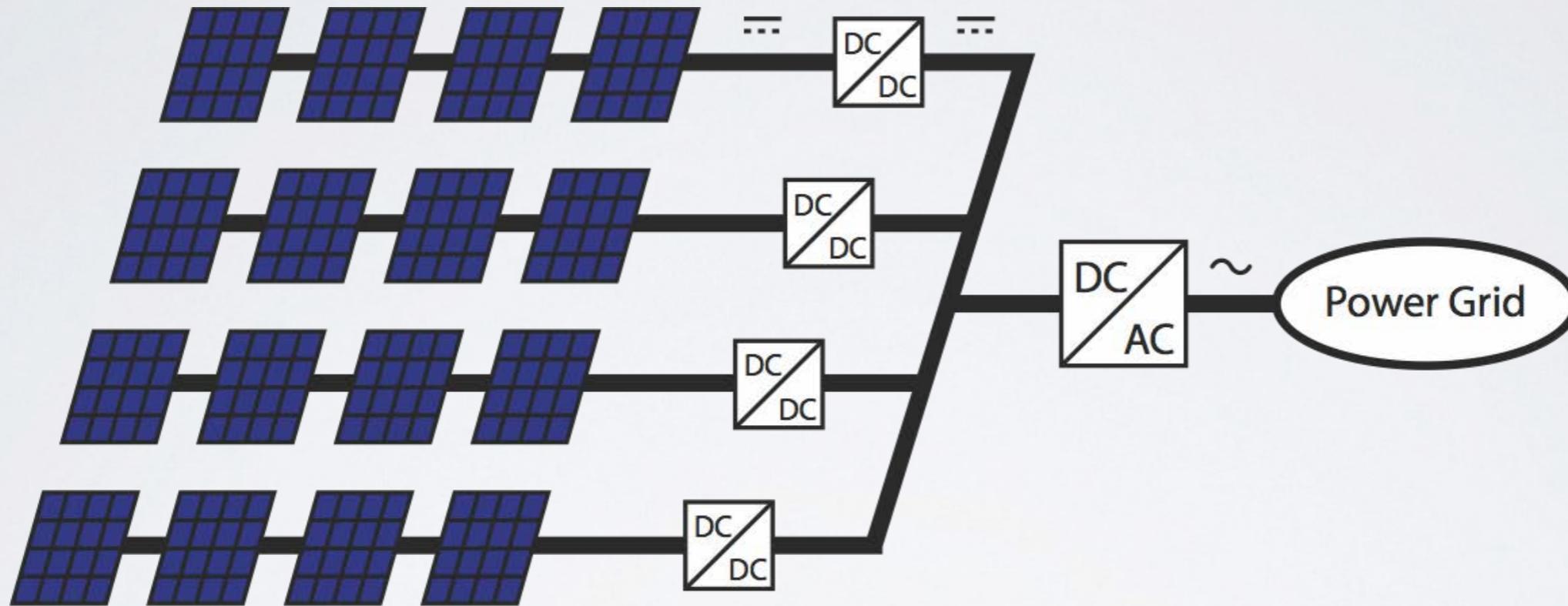


交流インピーダンスの  
ナイキストプロット



# 太陽電池アレイへの対応

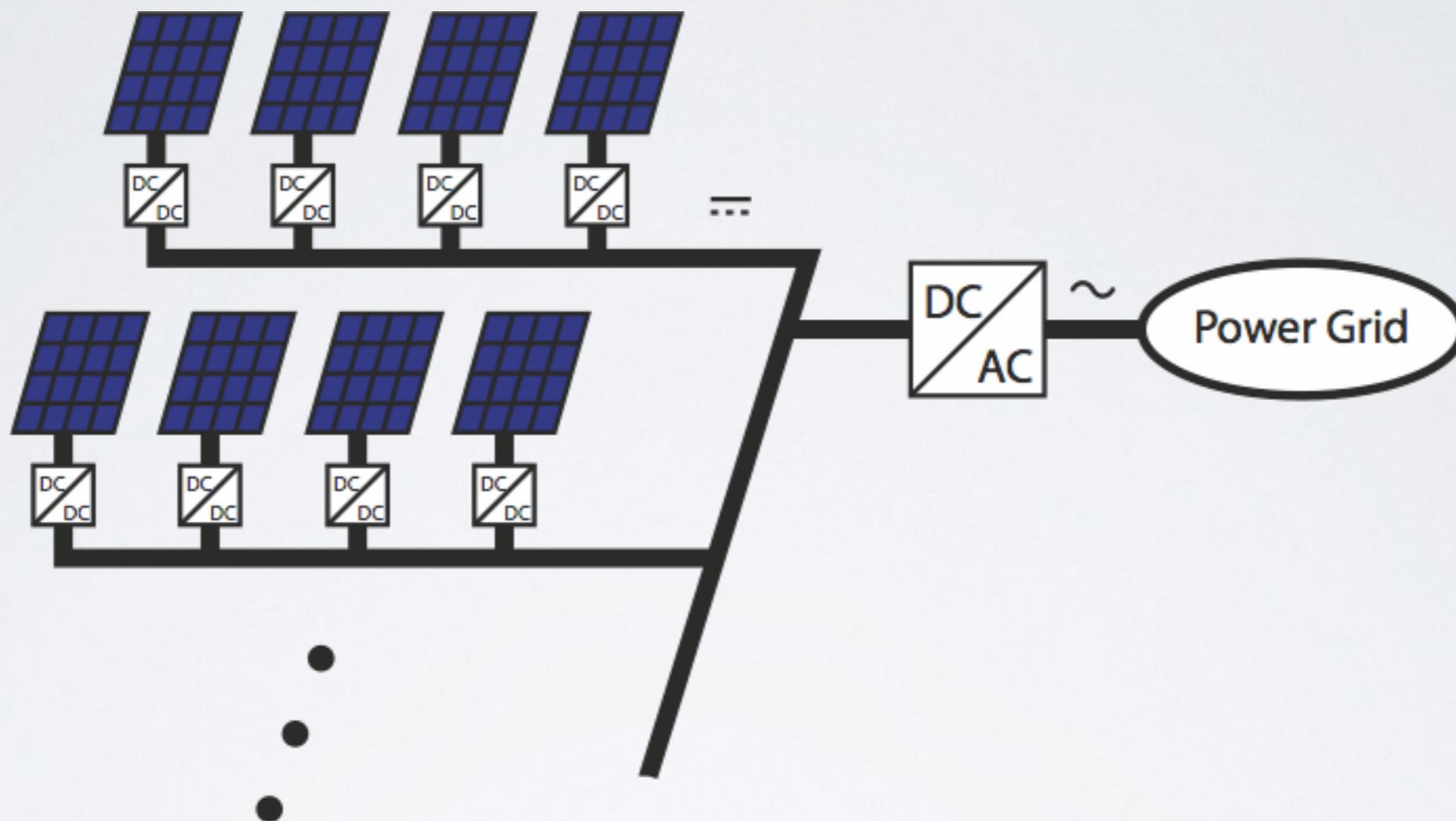
ストリング毎にDC-DCコンバータを使用する場合



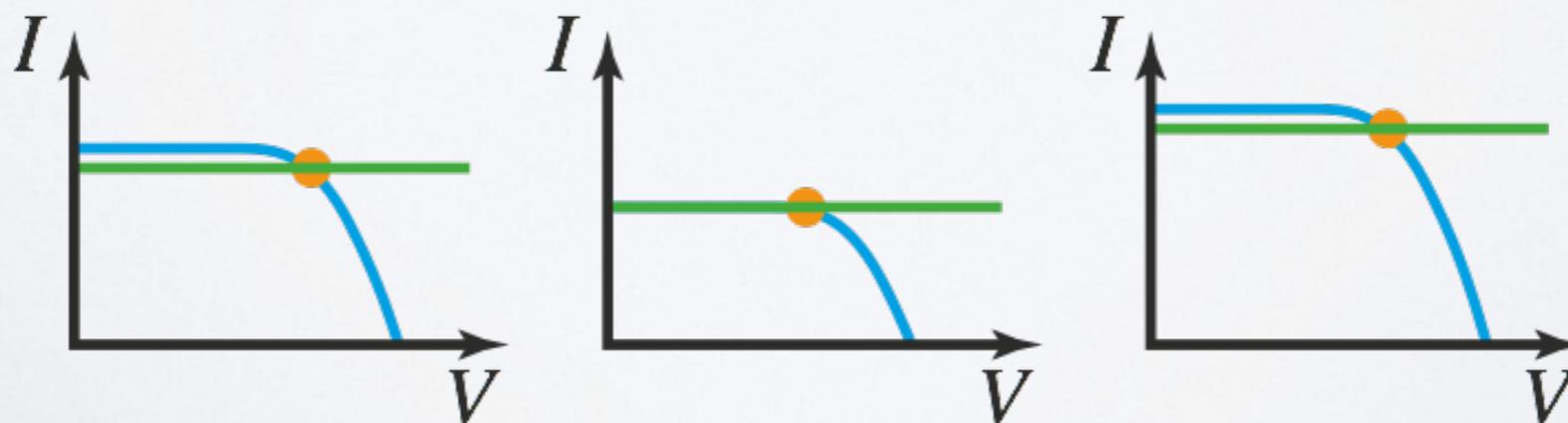
ストリング中の太陽電池は全て直列のため電流センシングはDC-DCコンバータ内で可能。電圧センシング用の配線を敷設し、スキャンングすることで対応可能

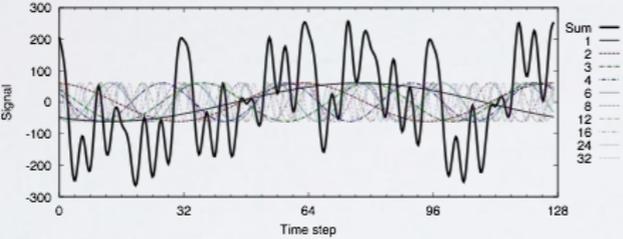
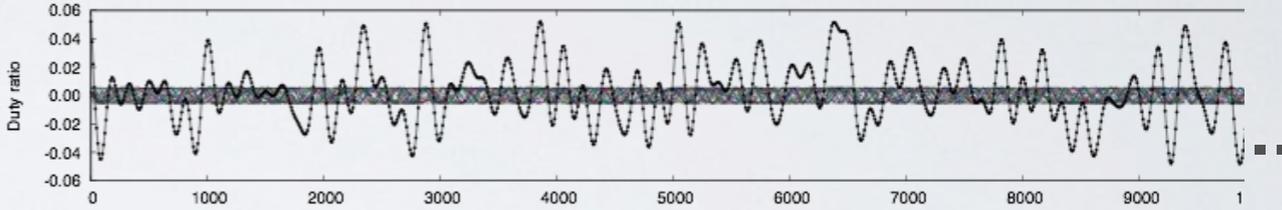
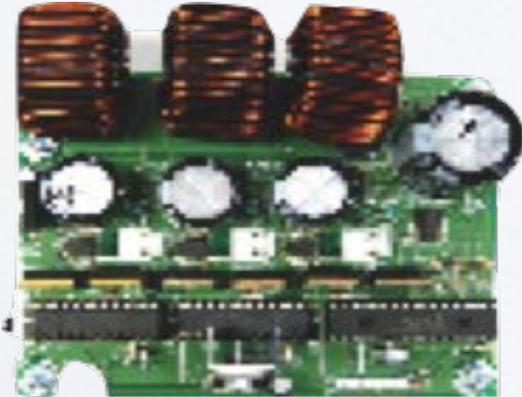
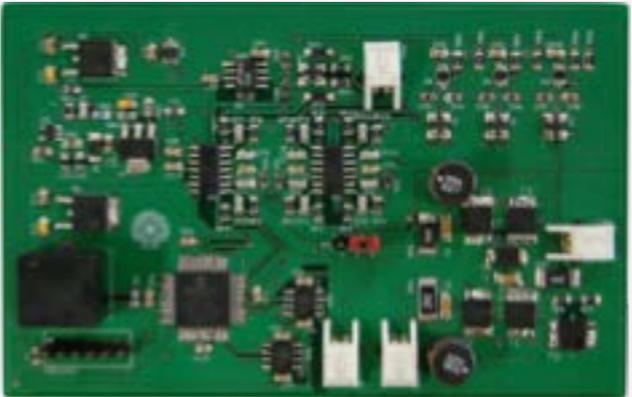
# 太陽電池アレイへの対応

モジュール毎にDC-DCコンバータを使用する場合

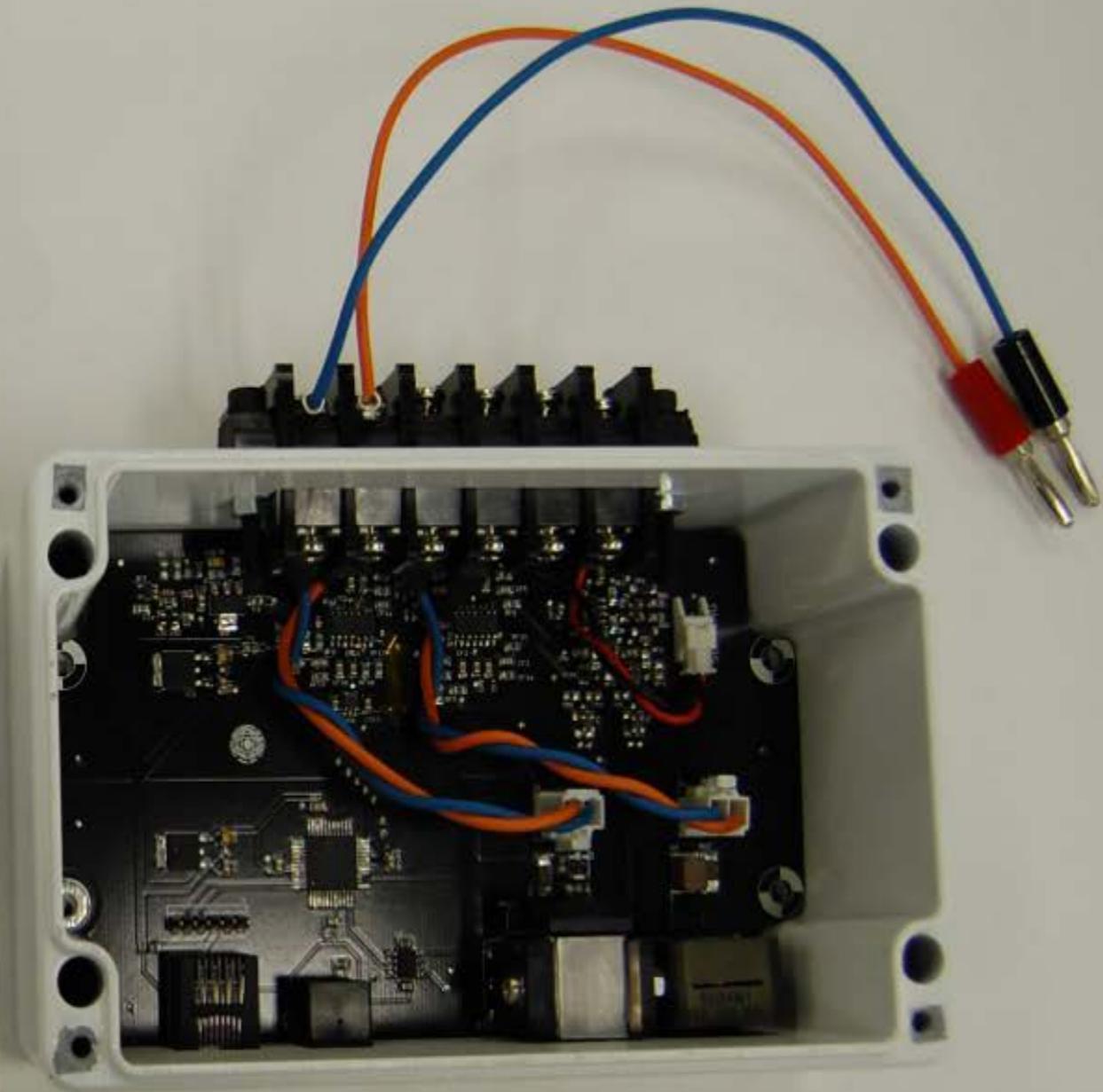


モジュール毎のMPPTを優先する構成。  
この構成の場合には新たな配線は不要。



Year	2011-2012		2013	2014
Superimposed signal samples	<p>128</p> 		<p>8192</p> 	
Frequency upper limit	~ 100 Hz		~ 50,000 Hz	
ADC resolution	10-bit		12-bit	
Rating	100 W		10 W	200 W
Appearance				

# 試作ハードウェアとソフトウェア



## ◎ 故障モードの割り出しが可能。

故障モードと交流インピーダンス特性のより詳細な関係性を解明中。

I-Vカーブによる推定では故障の有無しかわからない。

将来的にはモジュールの交換の必要性や時期の判断ができる。

## ◎ 夜間などの暗条件でも診断できる。

直流電流に影響されないため、日射量で特性が変化しない。

従来の多くの方法は光照射する必要があったが、本手法では不要。

例えば、一日に一回夜間に診断するなどの運用が可能。

## ◎ 開発費用が最小限で済む。

DC-DCコンバータの既存の回路が利用できる。

近年、電源回路の制御はデジタル化されつつあり、ソフトウェアの変更で対応可能。

主なハードウェアの変更は電圧・電流センサ部分のみ。

## ◎ 無人で監視でき、短時間で診断が完了する。

一度に複数の周波数を印加しているため、測定時間が短縮されている。

太陽電池モジュールを取り外すことなく、リアルタイムな診断が実現できる。

## ☆ 太陽電池モジュール単位の測定方法の開発

モジュール毎に電圧センシングをし、スキャンニング？

## ☆ 測定精度の向上

より小さな異常を判別するために精度の向上を検討する。

## ☆ 太陽電池・燃料電池以外の応用

過去の研究で燃料電池への応用は実証済み。

二次電池などの診断に応用できないか検討する。

## ☆ 故障モードと交流インピーダンス特性の関係解明

一部は解明されているが、起こりうるさまざまな故障モードに対する、

交流インピーダンス特性の変化を解明する。

## ☆ 電力変換回路の共同開発

本技術を適用した低ノイズ・高発電効率のパワコン開発

## ☆ パワコン現行機種を用いた動作実証

ソフトウェアのみの変更により本技術が適用可能か実証

## ☆ 太陽光発電プラントでの実証試験

劣化や異常を検知できるか実証

## ☆ 太陽電池以外の半導体故障診断への応用

LEDディスプレイなど製品の工場出荷前診断への応用

- 発明の名称：欠陥診断装置
- 出願番号：特願2014-064326
- 出願人：学校法人東京理科大学
- 発明者：  
杉山 睦， 片山 昇， 坂倉秀徳， 松本 俊哉