TES型γ線マイクロカロリメータのインピーダンス測定による特性評価

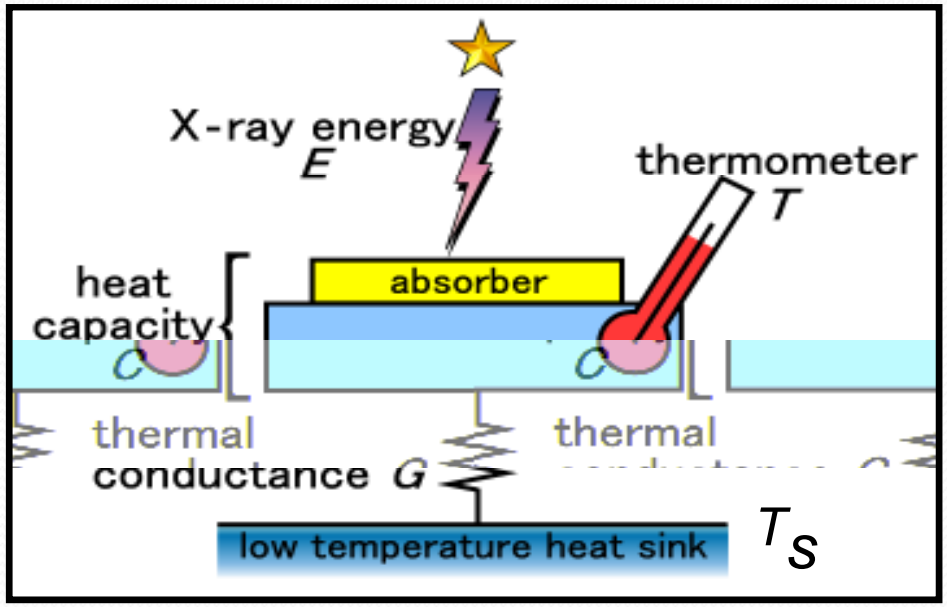
赤松弘規、石崎欣尚、星野晶夫、江副祐一郎、大橋隆哉（首都大理工）、吉野友崇、竹井洋、山崎典子、満田和久（ISAS/JAXA）、大島泰（国立天文台）、田中啓一（SIINT）

2008年　秋季天文学会　＠岡山理科大

TES型マイクロカロリメータ

マイクロカロリメータ

入射光子のエネルギーを素子の
温度上昇として感知

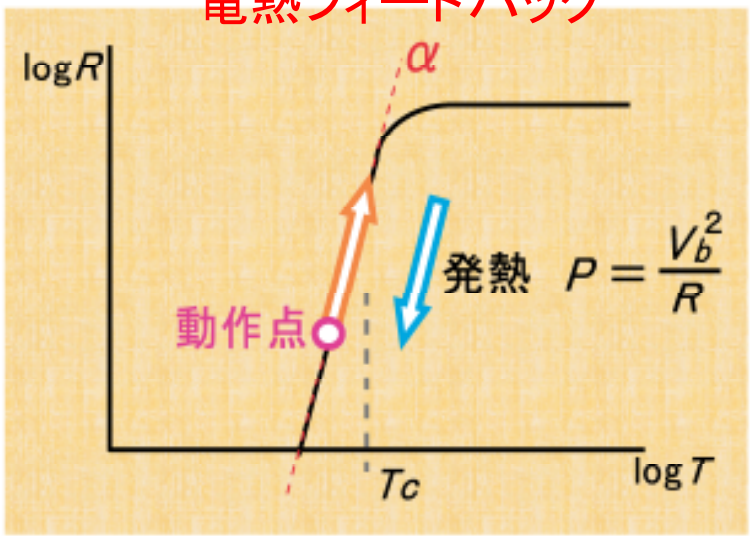


エネルギー分解能

$$\Delta E_{\mathrm{FWHM}} \propto \sqrt{k\,T^2 C / \alpha_{eff}}$$

TES（Transition Edge Sensor）
超伝導遷移端の急激な抵抗変化
を利用した温度計

電熱フィードバック



TESの感度を表すパラメータ

$$\alpha = \frac{\partial \ln R}{\partial \ln T} \qquad \beta = \frac{\partial \ln R}{\partial \ln I}$$

$$\alpha_{eff} = \alpha/(1+\beta)$$

理論的分解能を知る上で必須だが、
X線パルスからではパラメータの分離が困難

目的

- これまでの成果

  インハウス素子 ΔE=4.8 eV @ 5.9 keV (Yoshino+2008)

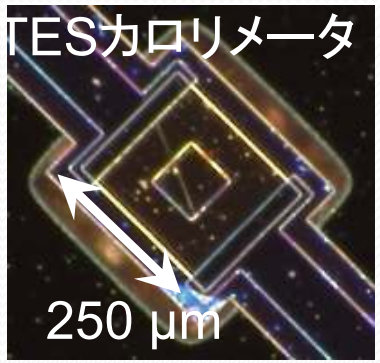
  ノイズが分解能を制限⇒ ノイズの理解が分解能向上に必須

- 複素インピーダンス測定（Lindeman+ 2004）

  微小ホワイトノイズを入力し素子の電気的、熱的応答関数を取得

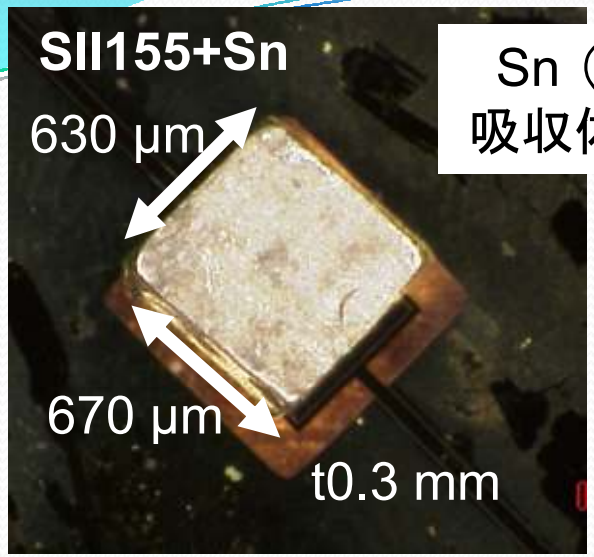
  α、β、Cなどの基本パラメータを定量的に測定可能

- 首都大 インピーダンス測定のシステムを構築、
  吸収体なしTES素子を評価（赤松 2007 天文 秋）

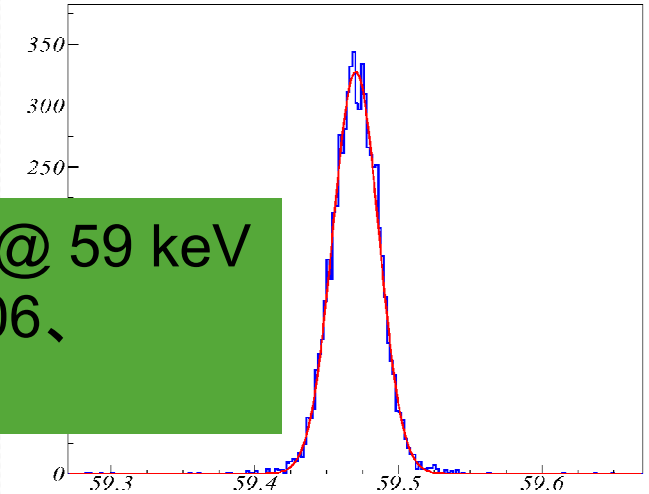


今回、応答が複雑な大きなスズ吸収体付き
γ線マイクロカロリメータのインピータンスを測定

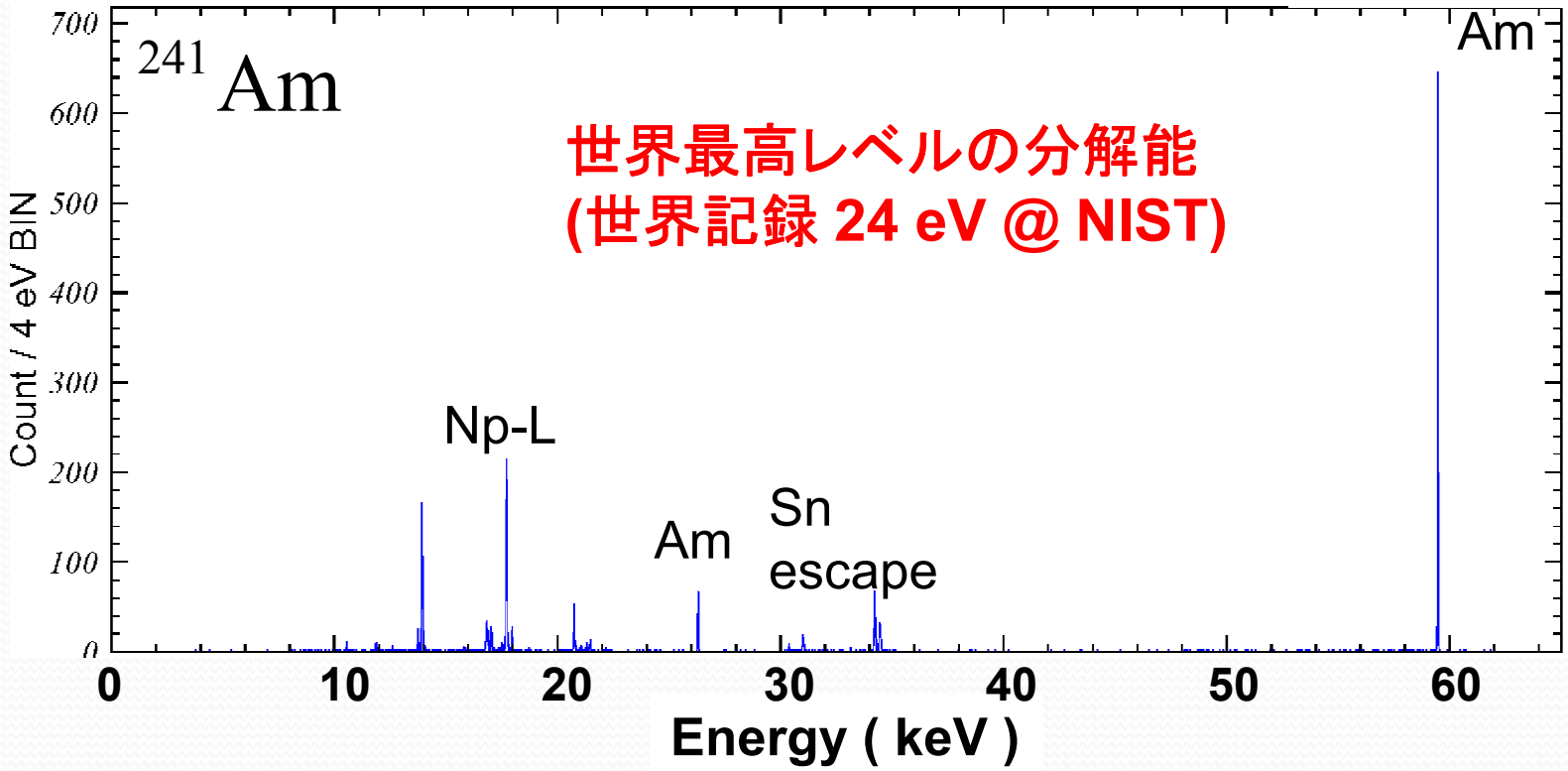
測定したTES型γ線マイクロカロリメータ



Sn（ Z= 50 ）
吸収体貼り付け



ΔE_{FWHM}=38.4±0.9 eV @ 59 keV
（首都大　山川 修論 2006、
Oshima et al 2008 ）



モデルとモデルに基づいた複素インピーダンス

$$Z_{TES} = Z_\infty + (Z_0 - Z_\infty)\frac{1}{1 - i\omega\tau}$$

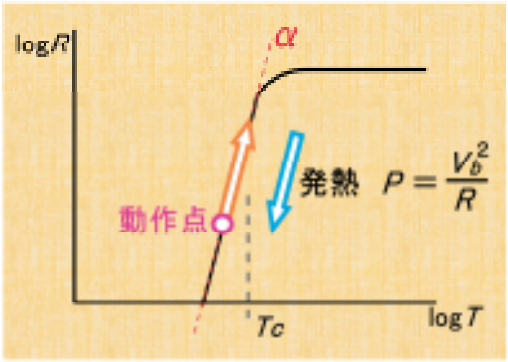
$$\tau = \tau_{eff}\left(1 - \frac{C_a}{C}\frac{i\omega\tau_a}{1 + i\omega\tau_a}\right)$$

$$\tau_{eff} = C / G(L-1)$$

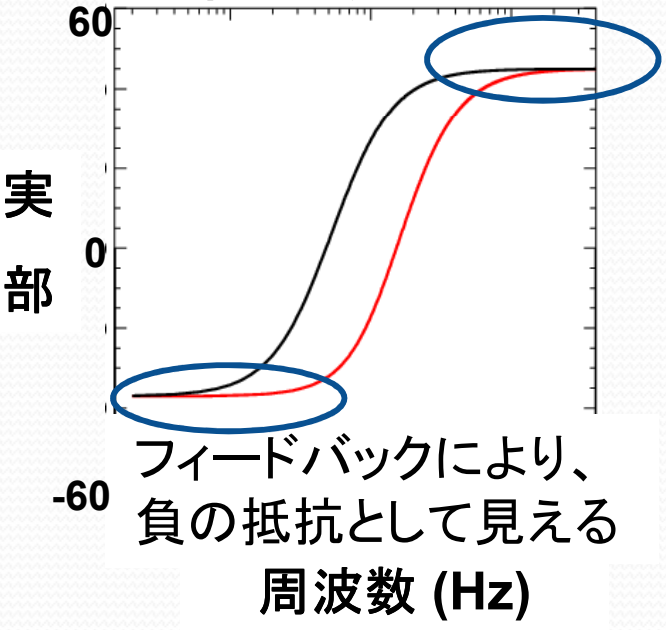
$$\tau_a = C_a / G_a$$

電熱フィードバック

TESを定電圧で動作させることで
温度上昇が起きると発熱量が減少
（負のフィードバック）

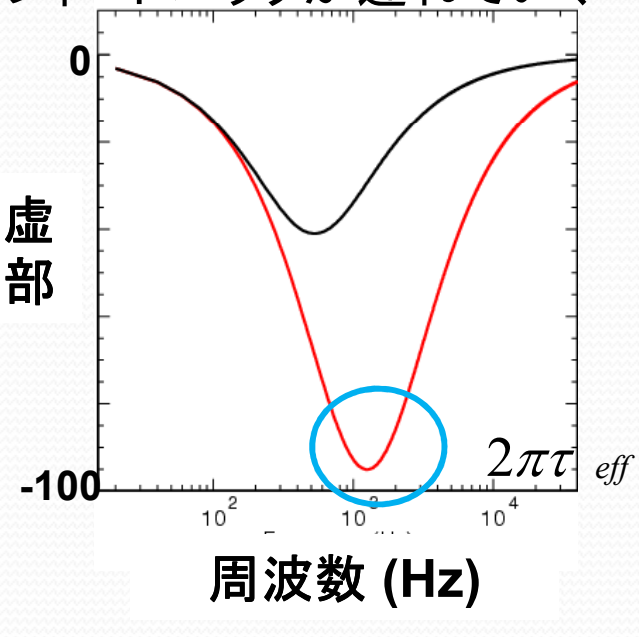


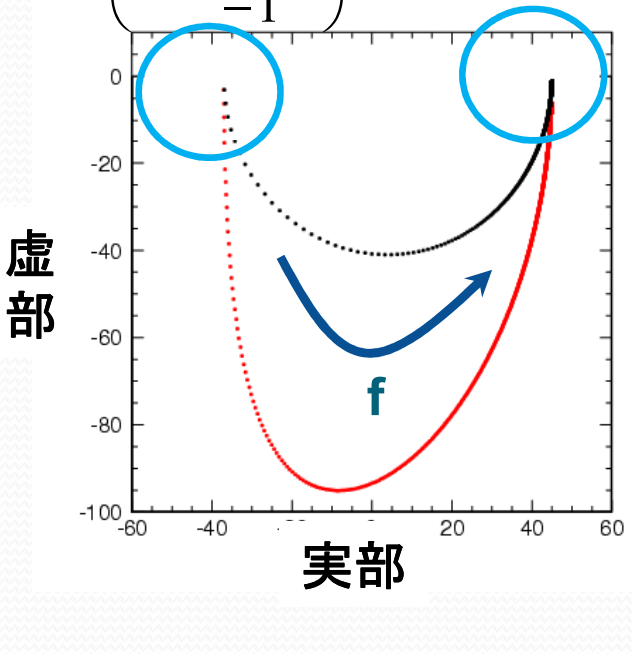
フィードバックが追い付かず
ただの抵抗と見なせる



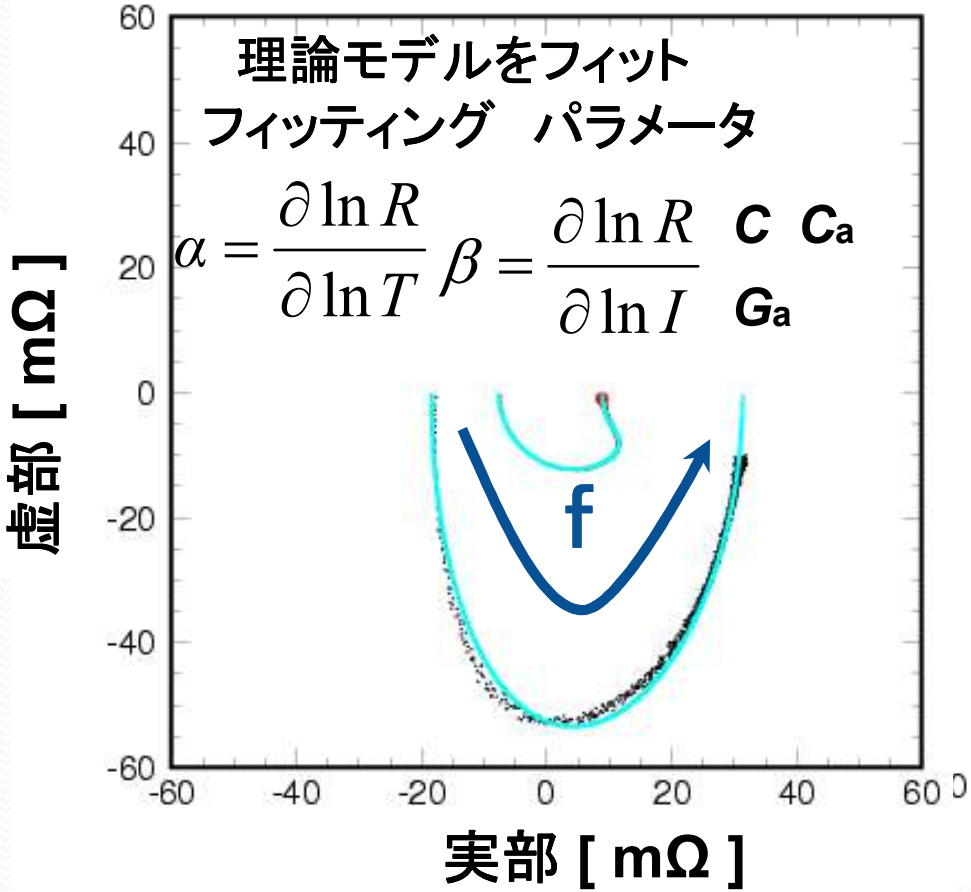
素子の熱的な応答分だけ
フィードバックが遅れていく

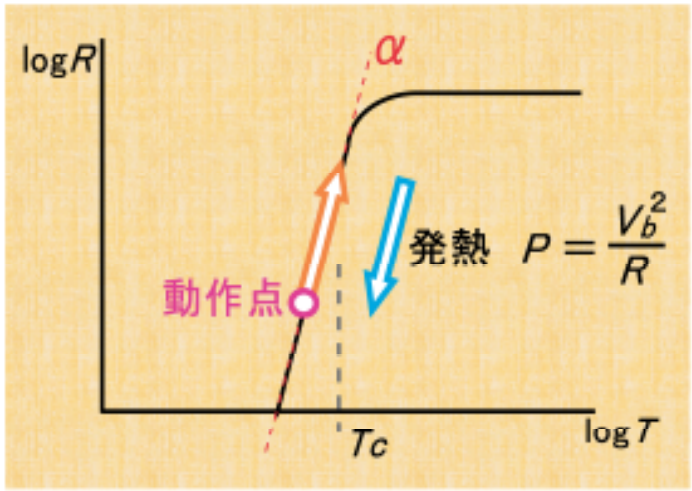
$$Z_0 = -R\left(\frac{1 + \beta + }{-1}\right) \qquad Z_\infty = R(1+\beta)$$

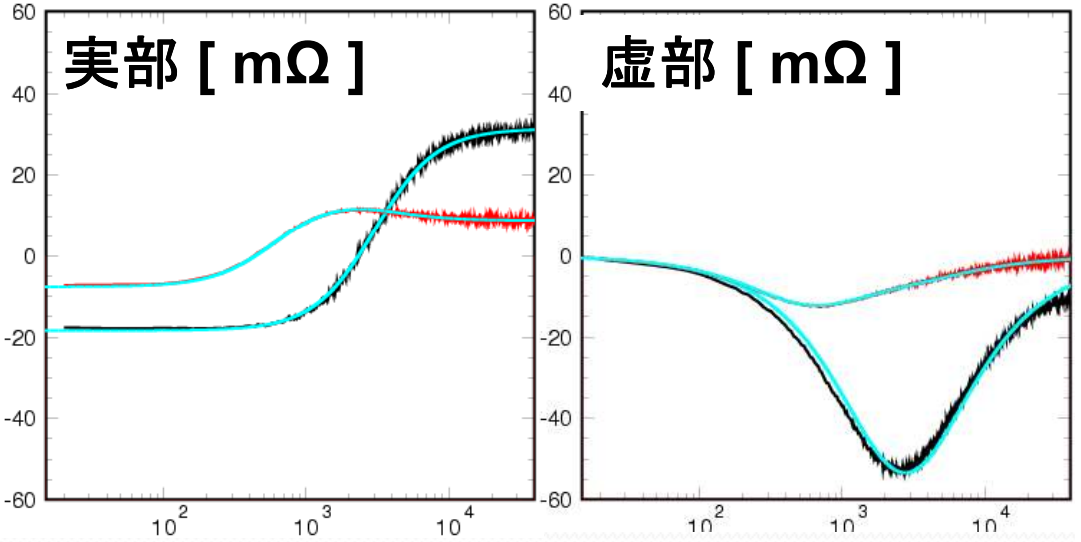




測定したインピーダンスデータ

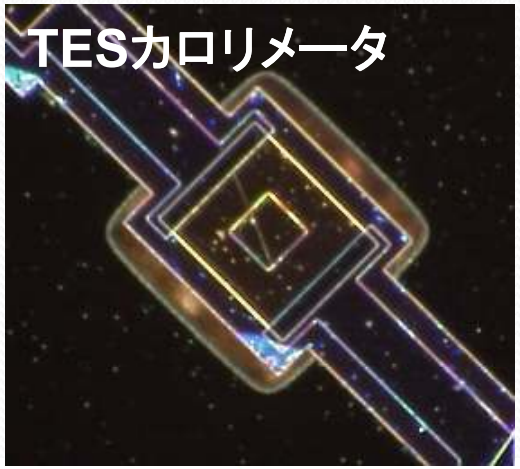


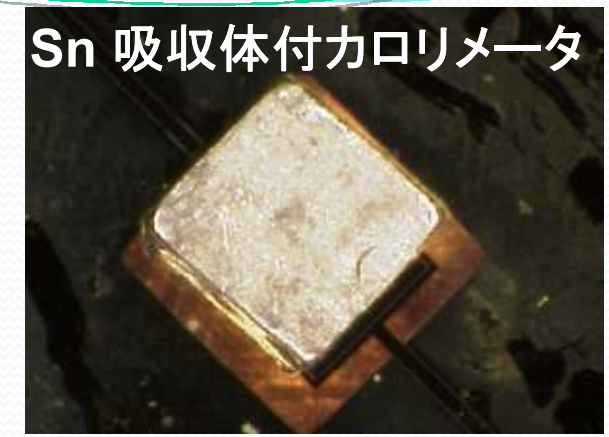


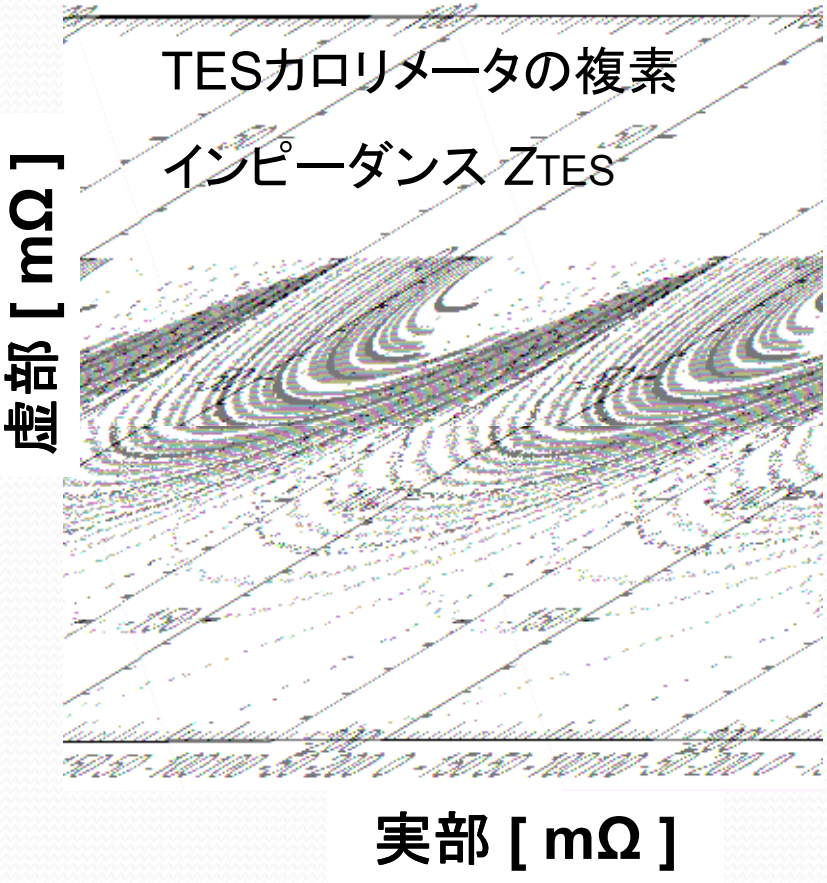


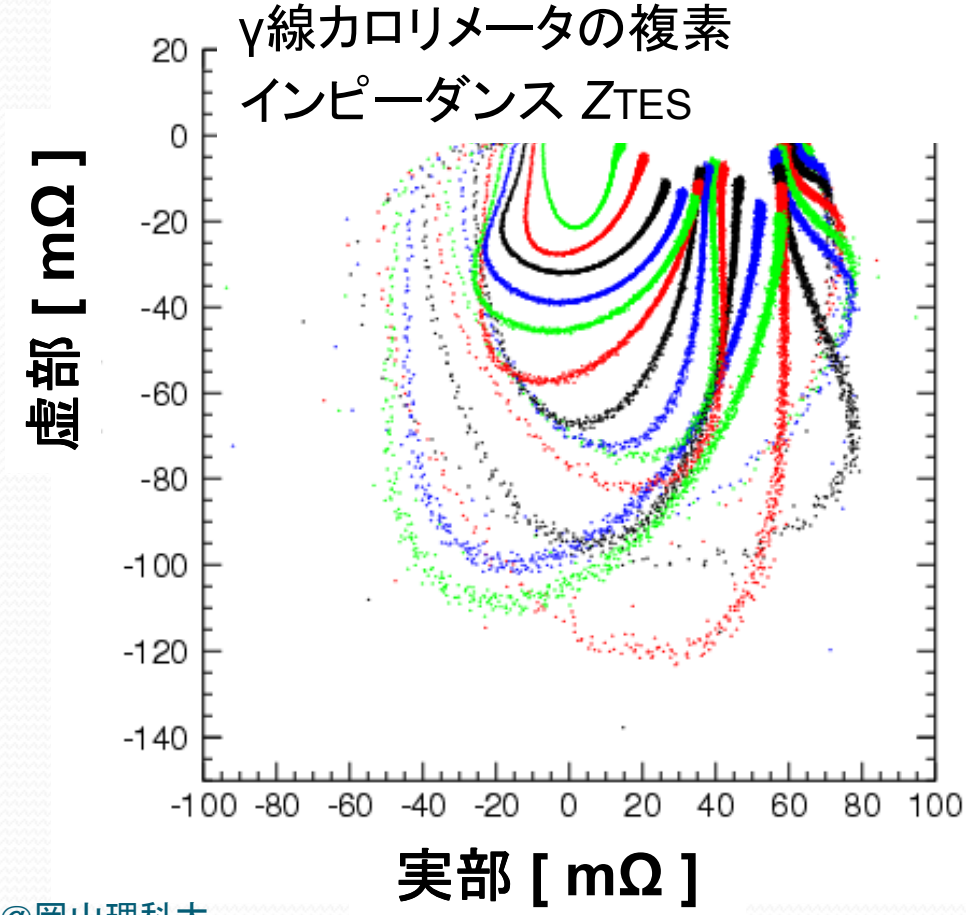
24箇所の異なる動作点で、
インピーダンスを測定
R = 6 – 61 mΩ

吸収体ありなしでのインピーダンス

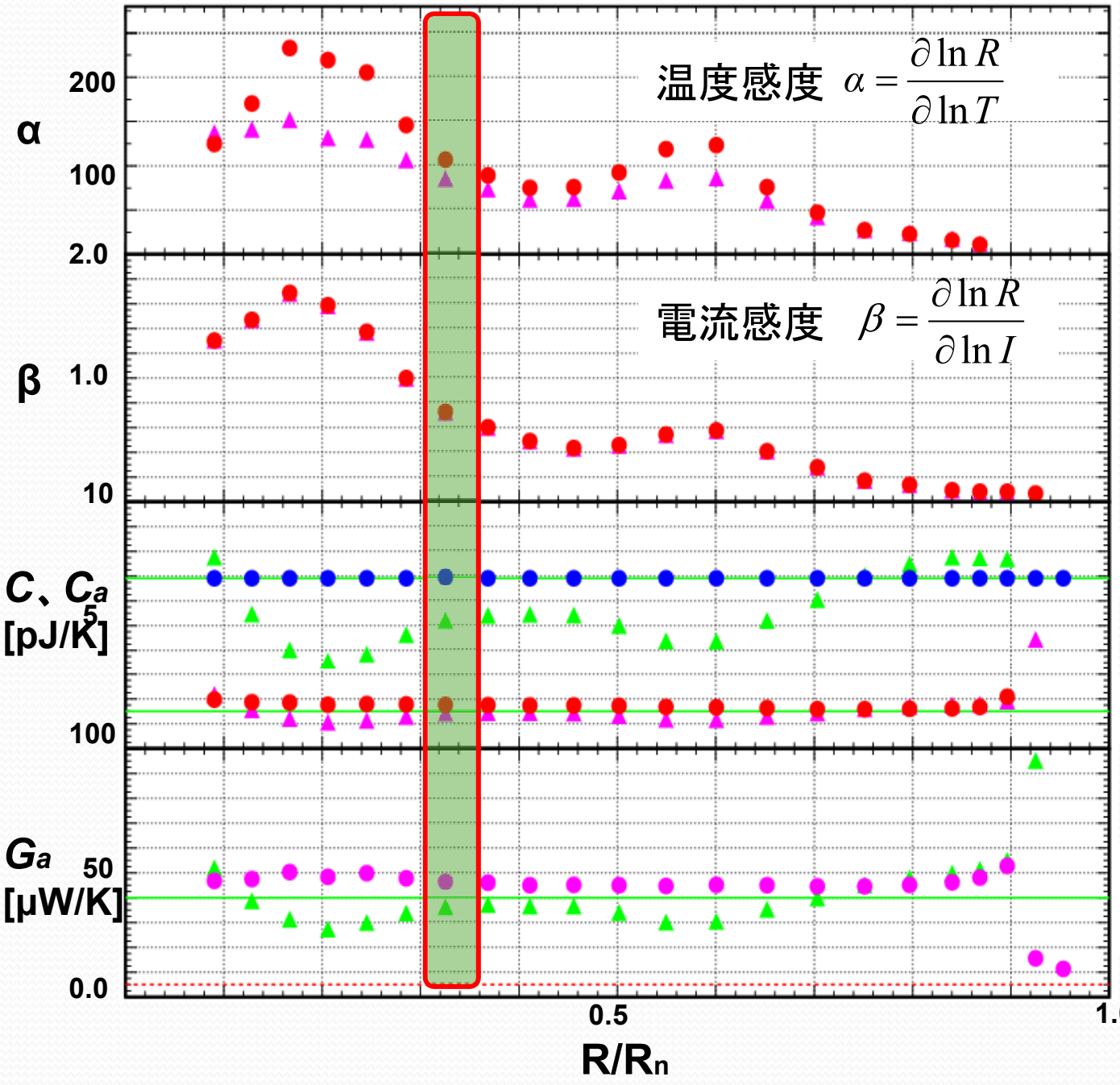








インピーダンス測定で得られたパラメータ



すべてのパラメータをfit

吸収体の熱容量は一定なはず
物性値で固定

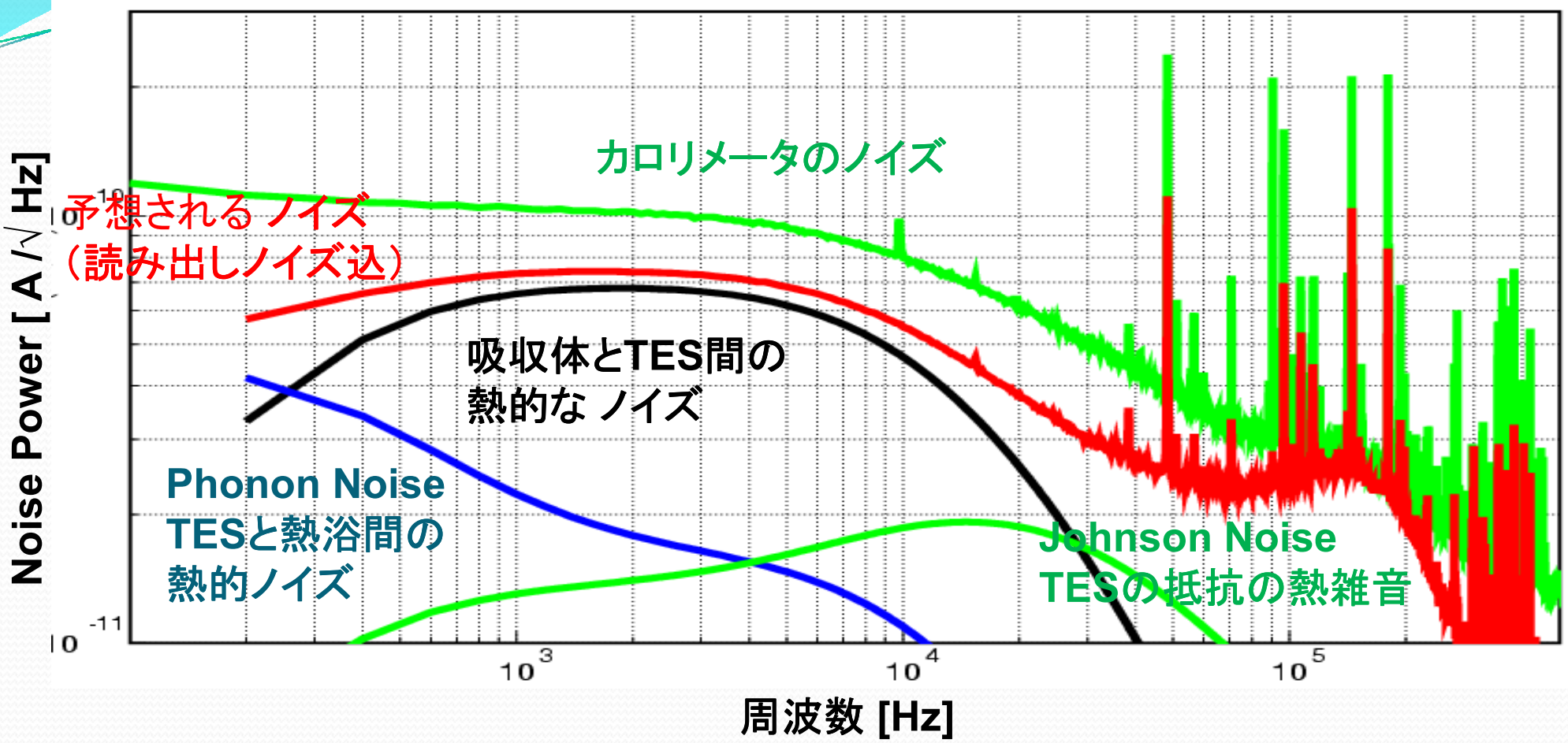
この動作点 (R / Rn = 0.33) のパラメータを用いて ノイズ解析

吸収体の熱容量 *Ca*

TESの熱容量 *C*

吸収体とTES 間の熱伝導度 *Ga*

ノイズ解析（preliminary）



カロリメータ由来と読み出しノイズのみでは
観測したノイズスペクトルを説明できない

超過ノイズが存在している

まとめ

- 大きいスズ吸収体付きγ 線カロリメータのインピーダンス測定を行った

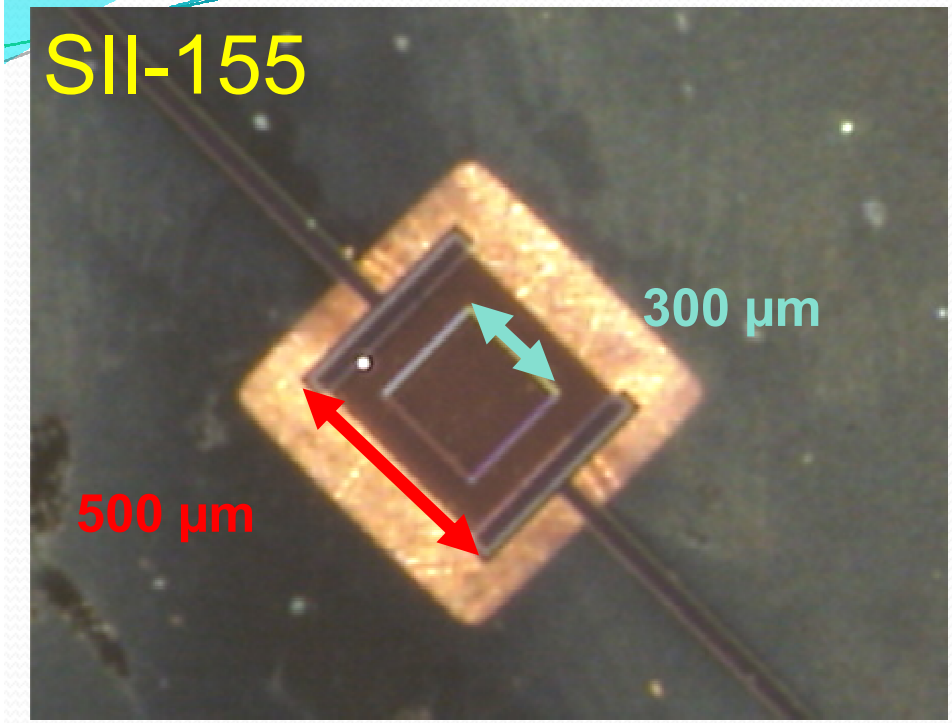
- 吸収体の熱容量C_aとTES間の熱伝導度G_aによる影響で複素インピーダンスプロットがゆがむことを確認

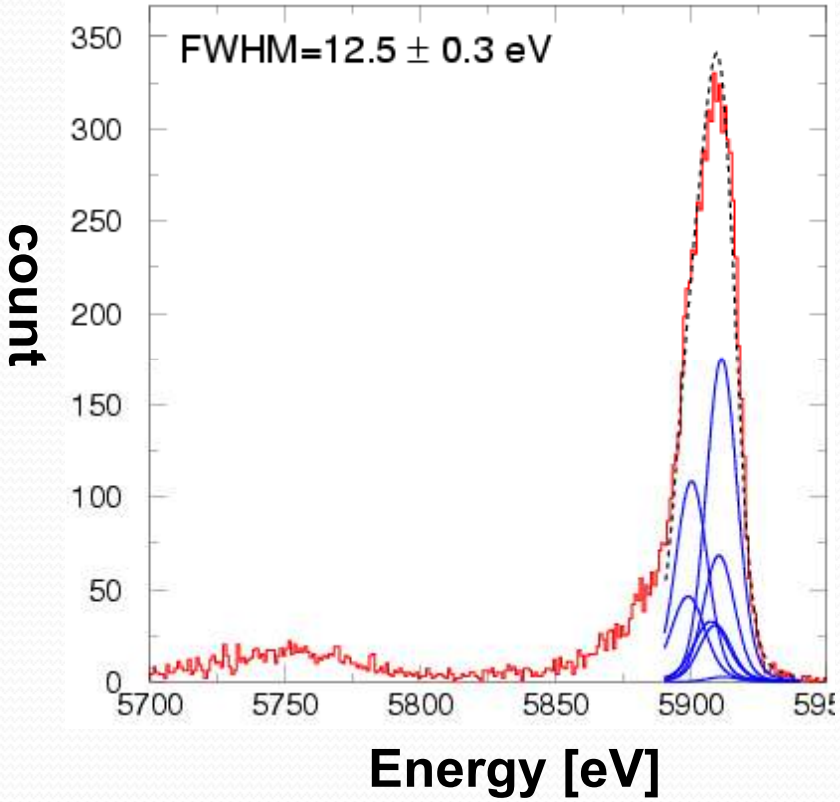
- 吸収体付きカロリメータのパラメータ α、β、C、G_a を決定

- 得たパラメータを元に、ノイズ解析を行った
  ⇒超過ノイズの存在を確認

吸収体付きカロリメータの複素インピーダンスを用いた特性評価方法を確立

SII155のみの分解能

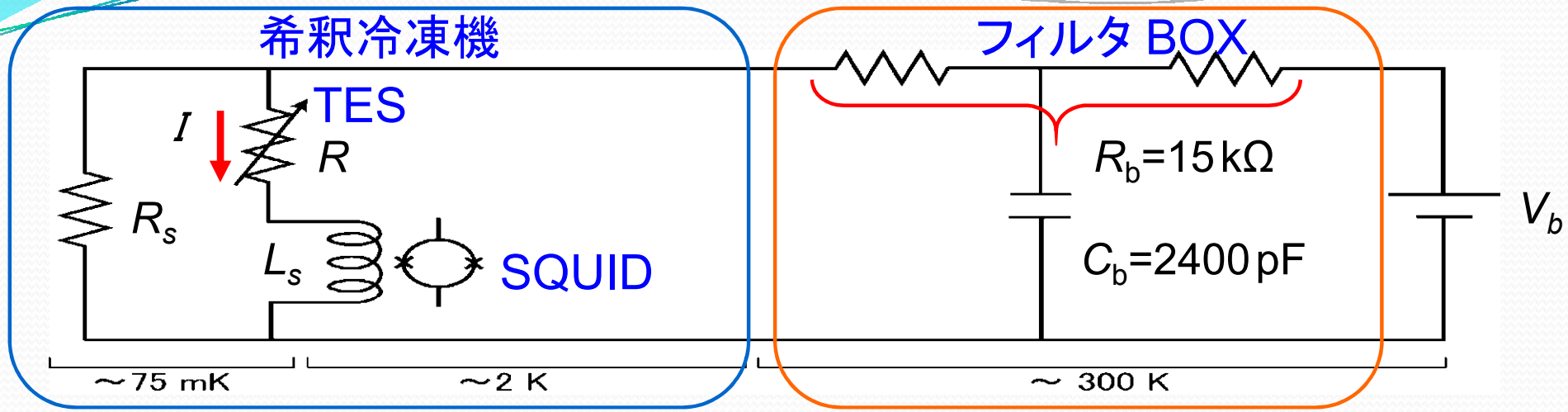




TES	Ti/Au
厚さ	40/120 nm
X線吸収体	Au
厚さ	500 nm
メンブレン	全面タイプ
転移温度	151 mK

ΔE = 12 eV @ 5.9 keV

インピーダンス測定の意義と手法



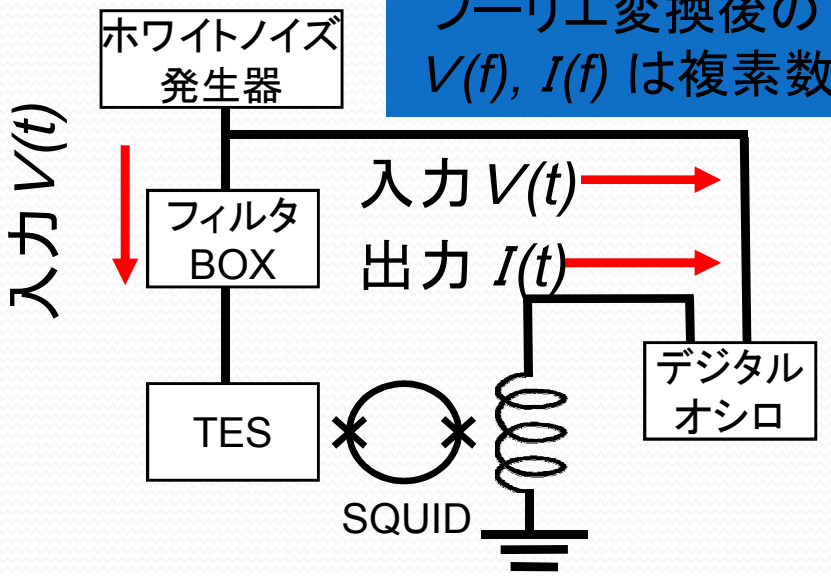
$$Z(f) = V(f) / I(f)$$

カロリメータの特性評価
温度計感度α、β、熱容量C が必要

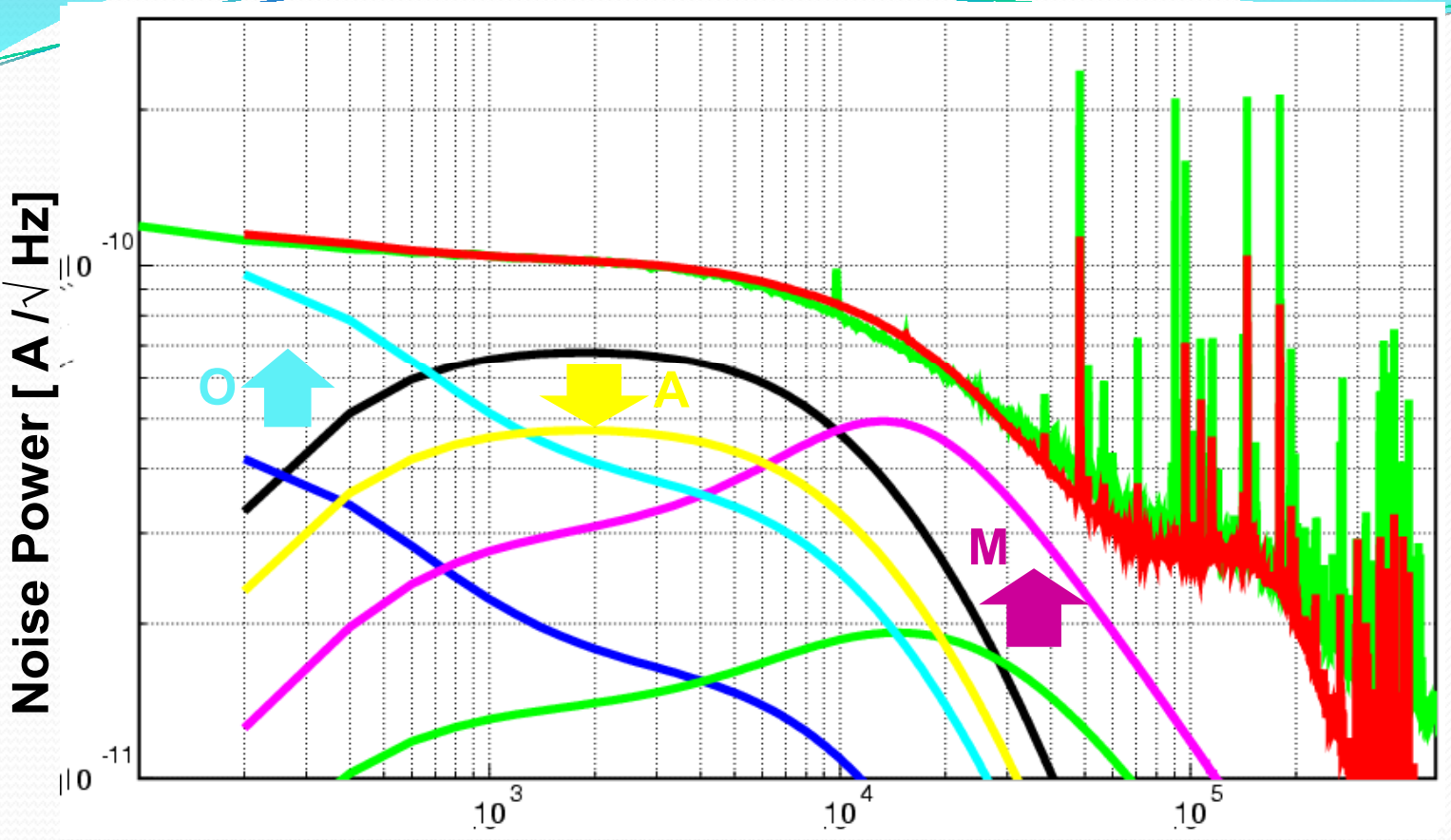
※ $V(t), I(t)$：実数を
フーリエ変換後の
$V(f), I(f)$ は複素数

各パラメータがカップルしており、
正確な値が得にくい

複素インピーダンスから精度よく
導くことが可能（ Lindeman et al 2004）



ノイズ解析



カロリメータのノイズ

Johnson Noise

Phonon Noise

吸収体とカロリ間の熱的な Noise

Total Noise

原因不明 Noise

原因不明 Noise

原因不明 Noise

カロリメータ由来と読み出しノイズのみでは観測したノイズスペクトルを説明できない

原因不明な Noise 成分を考える

$M = 2.5 \quad O = 2.3 \quad A = 0.7$

$$M \approx 0.2\alpha^{1/2}$$

Ullom et al APL 2005

この動作点では

α = 109 M = 2.1