

640 GHz 帯 SIS 受信機の 利得線形性の測定

菊池、瀬田、稲谷、SMILES ミッションチーム

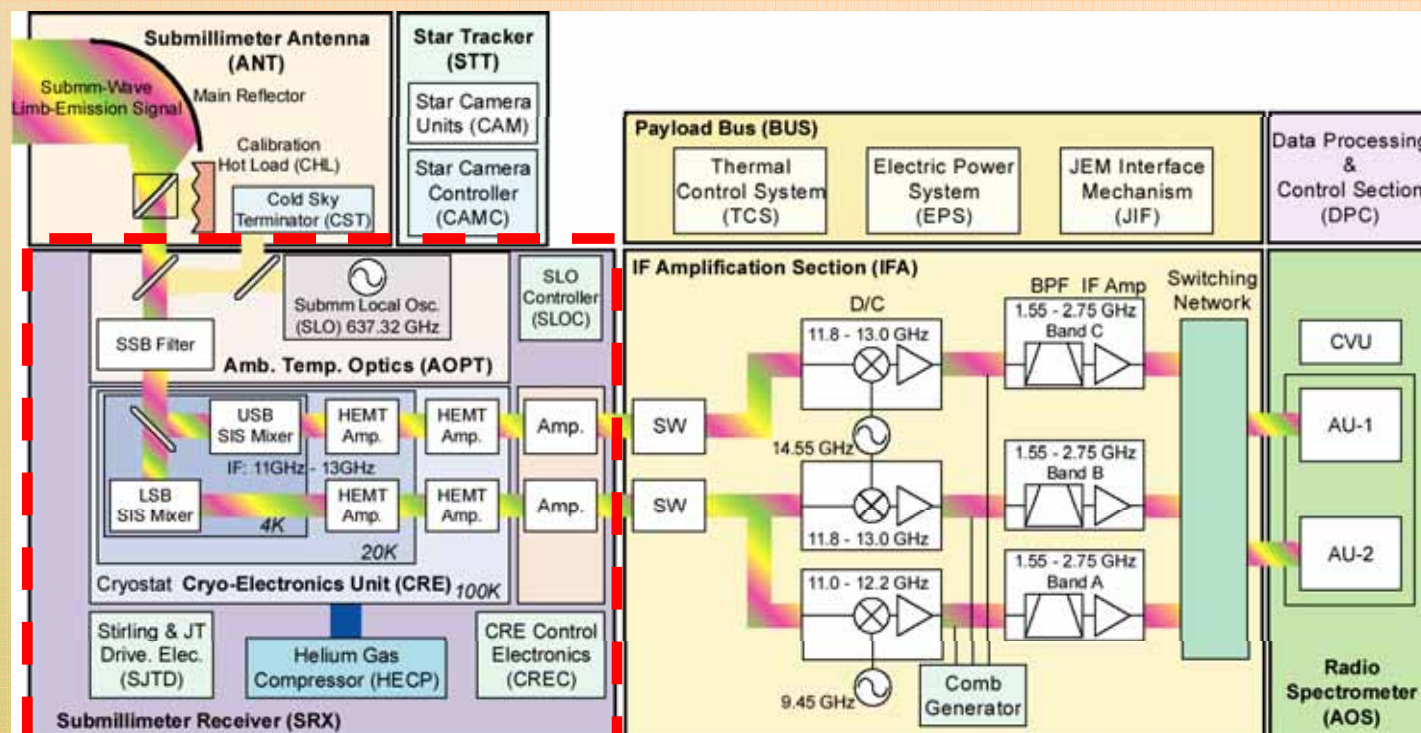
概要:

- JEM/SMILES の受信機システム (SRX) の EM 試験の一環として、利得線形性の測定を実施した。
- 「摂動法」によって、ブロードバンド・ノイズによるシステムの飽和を測定。理論限界に近い精度でシステムの非線形性を評価した。

JEM/SMILES サブミリ波受信機系 (SRX) の概要

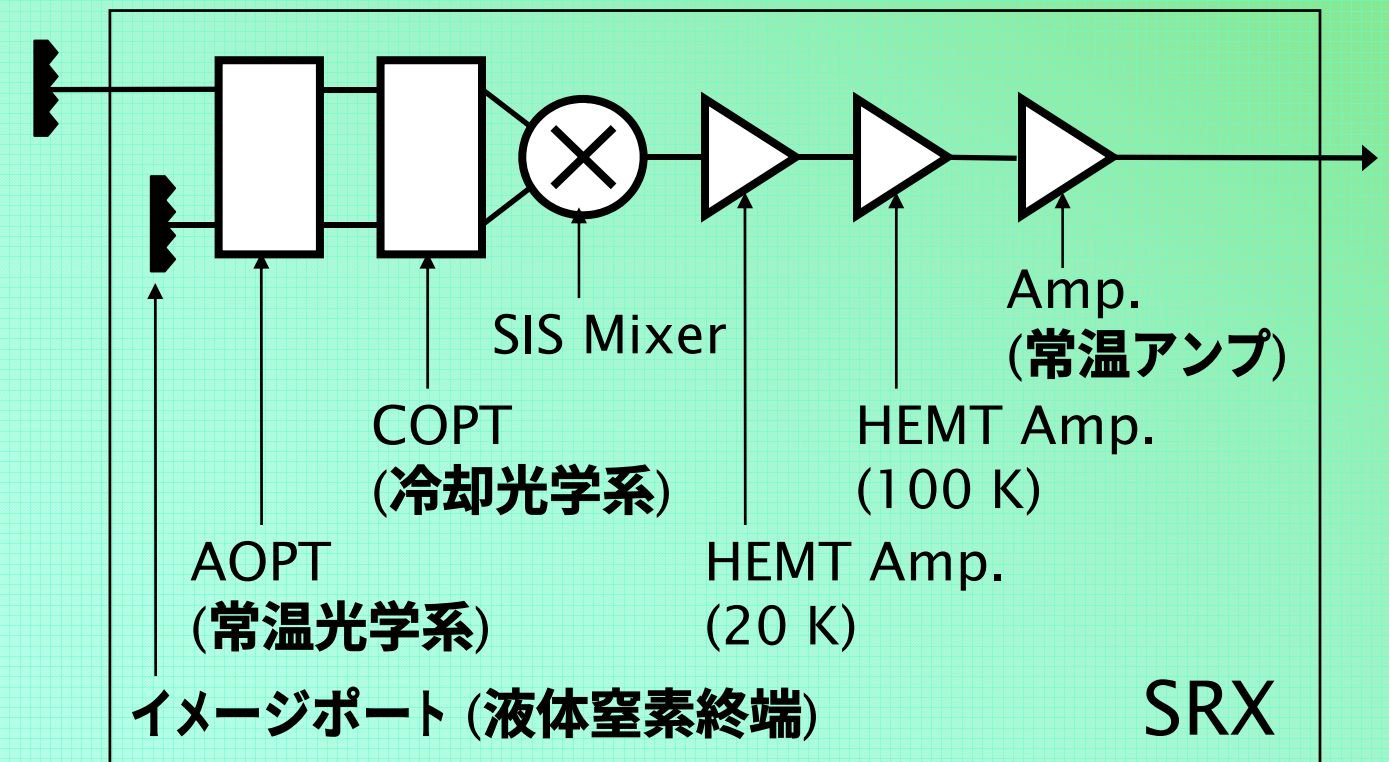
● SRX の主要な性能:

LO 周波数: 637.32 GHz
IF 周波数: 11.0–13.0 GHz
雑音温度: ~500 K (SSB)
利得: 65.6 ± 2 dB

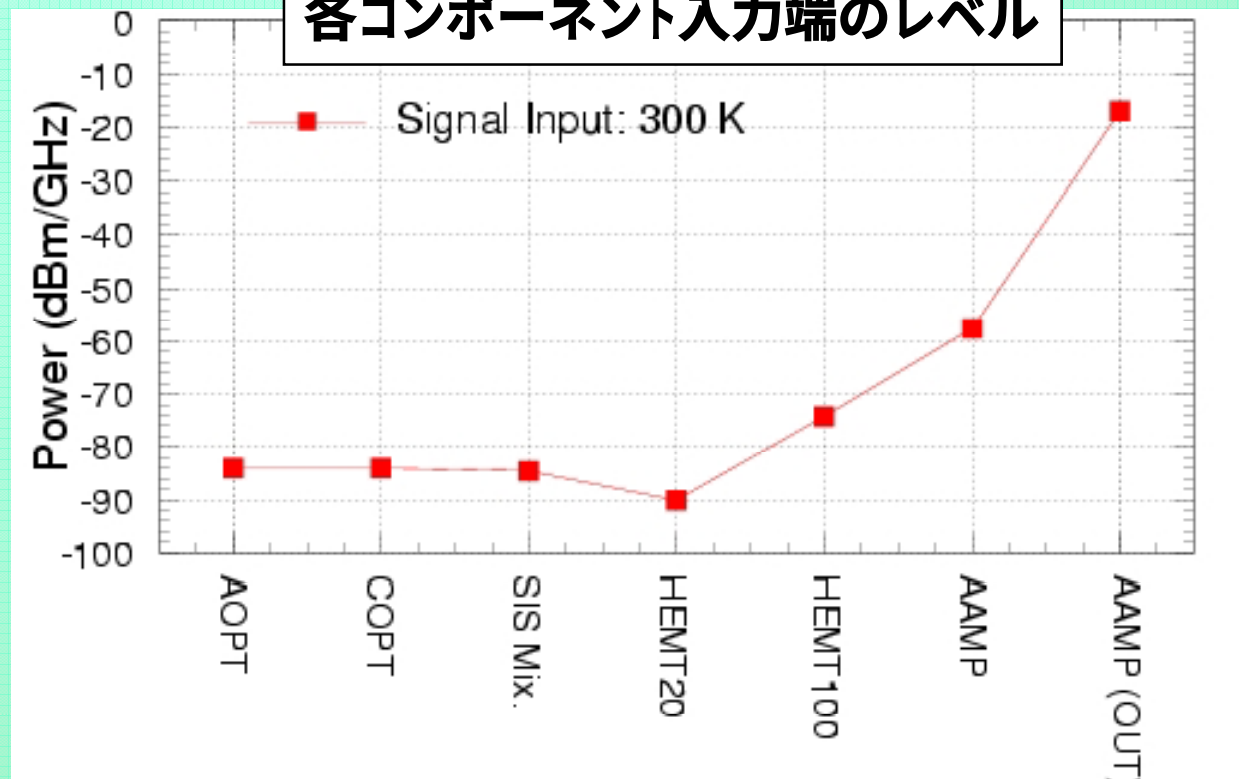


SRX

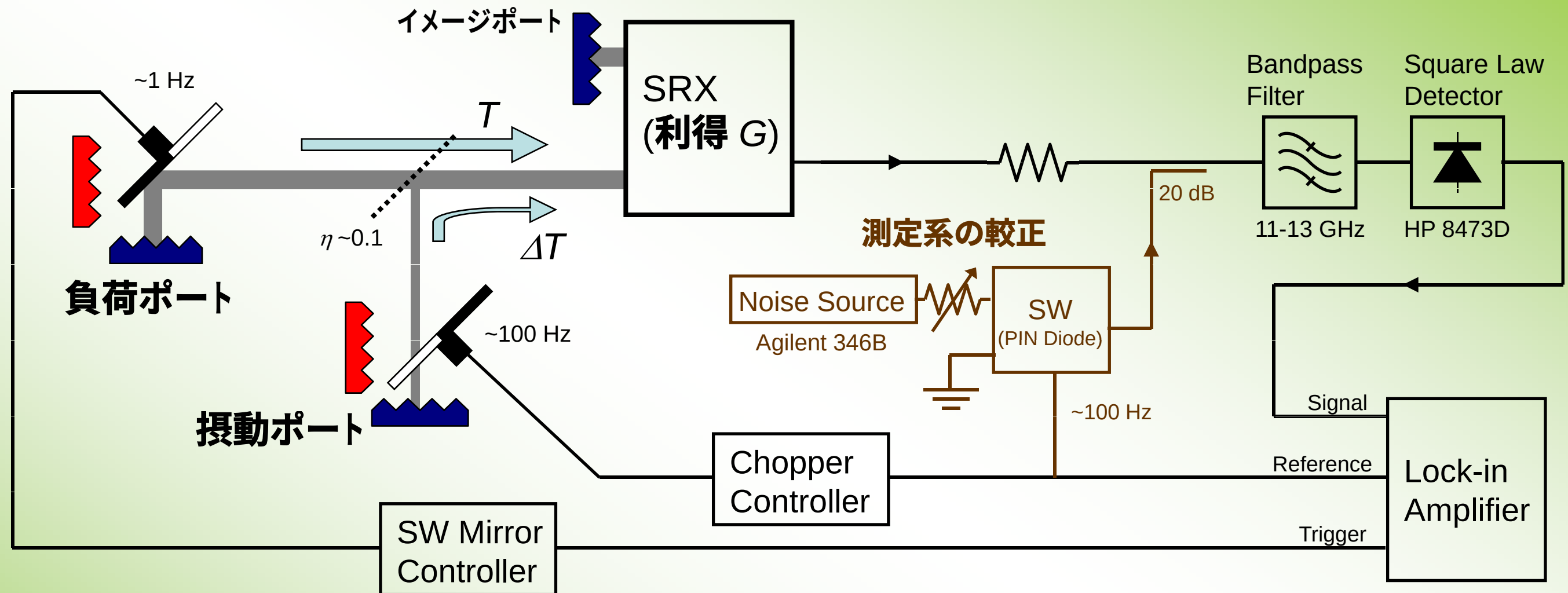
JEM/SMILES 全体の
シグナルフロー図



各コンポーネント入力端のレベル



「摂動法」による利得線形性の測定の概要 (1/2)



- **電力反射率 $\eta \sim 0.1$ の誘電体によってメインビームを分岐して擾動ポートへと導く。擾動ポートでは 100 Hz 程度の周波数で終端を室温と液体窒素温度の較正源に切り替え、 ΔT の擾動を与える。**
- **負荷ポートでは 1 Hz 程度の周波数で終端を室温と液体窒素温度の較正源に切り替える。それぞれの負荷における ΔT に対するシステムの応答ををロックイン検出し、それらを比較することによってシステムの線形性を評価する。**
- **検波器などを含む測定系の非線形性を評価する回路を付加している。**

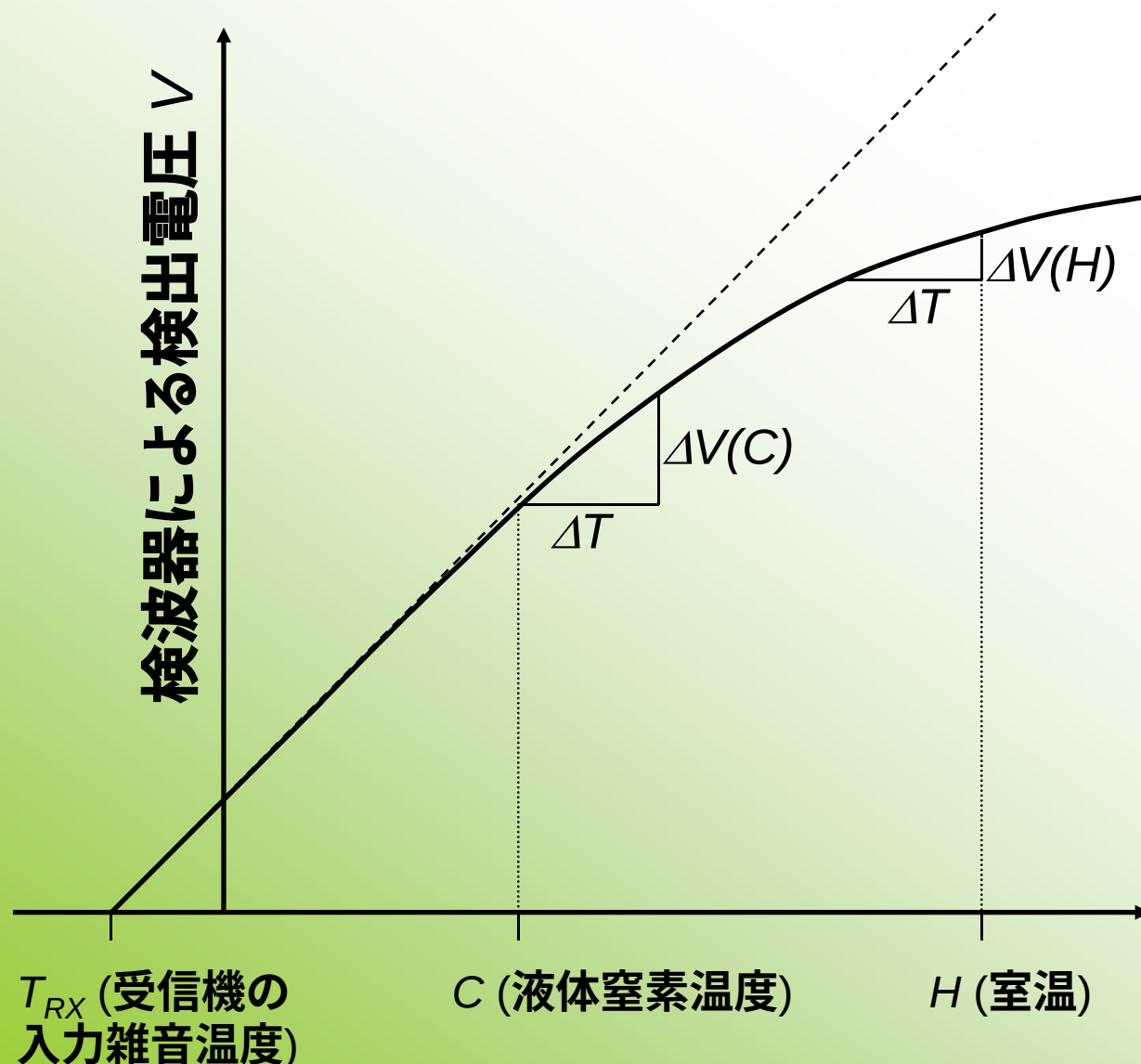
「摂動法」による利得線形性の測定の概要 (2/2)

- ロックイン・アンプによる検出電圧 ΔV :

$$\Delta V(T) = G(T) \Delta T$$

G : 受信機の利得

ΔT : 入力摂動信号の大きさ:



負荷ポートの終端温度 T

- 非線形性の定義: $NL \equiv 1 - \frac{V(H)}{V(C)}$

$NL = 0$: 系の利得が線形な場合

$NL < 0$: 系の利得が飽和している場合

- 検出感度の見積り: $S = \frac{T_R}{\Delta T}$

$$T_R = \frac{T_{RX} + T_{LOAD}}{\sqrt{B\tau}}$$

T_{RX} : 受信機の入力雑音温度
 T_{LOAD} : 負荷ポートの較正源の温度
 B : 検出帯域幅
 τ : 積分時間

$$\Delta T = \eta (T_H - T_C)$$

η : 摂動ポートへの結合係数
 T_H : 摂動ポートの高温較正源の温度
 T_C : 接合ポートの低温較正源の温度:

$\eta = 0.1$, $T_H = 280$ K, $T_C = 63$ K, $T_{RX} = 500$ K, $T_{LOAD} = 280$ K, $B = 2$ GHz, $\tau = 0.3$ sec (ロックイン・アンプの時定数) とすると、 $s = 0.15$ % となる。よって、原理的には一回の測定で NL を 0.18 % 程度の精度で決めることができる。

測定の結果と考察

- 非線形性の測定を $n = 312$ 回繰り返した結果。
- 得られた非線形性 ($NL = 1 - \Delta V(H) / \Delta V(C)$) の標準偏差は約 0.2 % と、理論限界 (radiometric noise limit) に近い。誤差が $n^{-0.5}$ で減少すると考えると、
 $NL = 0.569 \pm 0.011$ [%]
と計算される。
- Kerr 2002 [※] では SIS ミクサの利得線形性について論じている。以下の仮定に基づいて、我々の測定結果と比較する。
 1. RF の比帯域は 12.5 % (=80 GHz)
 2. SIS ミクサの利得は -7 dB
 3. IF の負荷インピーダンスは 0-80 GHz の範囲で 50 Ω

以上のパラメータから Kerr のモデルを計算すると、SIS ミクサの非線形性は約 1.8 % と見積もられる。我々の測定結果との不一致の理由は明らかではないが、特に 3 の仮定が現実的で無いことが原因の一つであると考えられる。

※ Kerr, A. R., "Saturation by Noise and CW Signals in SIS Mixers", ALMA Memo 401, 2002

