

# RF Intensity Noise Report

我妻一博

2008年6月28日

## 概要

以前(2007年8月)寺田さんが行った RF Intensity Noise の測定を、2008年6月26日に再度 Inline と Perpendicular でそれぞれ行い、再評価した。結果は、Inline、Perpendicular 共に、強度ノイズによる感度の悪化は約 20% となり、以前の寺田さんの評価(約 25%)とそれほど変わらない。現時点で RF Intensity Noise が感度を制限する心配はないことが分かった。

## 1 目的

CLIO の感度の改善が進み、以前ノイズ評価したときには問題にならなかったものも現れる可能性があるため、また、レーザーを修理したことなどを踏まえ、再度、変調周波数帯域でのレーザーの強度ノイズを測定した。

## 2 測定方法

基本的に寺田さんが以前行った方法を踏襲した。そのため、この部分は過去の報告と同じ文章である。

現在の MC は変調透過型 MC であるため、変調周波数帯域 (15.8MHz) のレーザーの強度ノイズも透過してしまい、それが主干渉計のノイズとして現れ、ショットノイズ限界でのオペレートを妨げることになる。このノイズを測定するため、以下の方法を取る。

主干渉計用の位相変調をかけずに、MC 透過光を PD で受け変調周波数で復調する。MC 透過光の PD 入射光量を変化させると、強度ノイズであれば光量に比例し、ショットノイズであれば、光量の平方根に比例する。

また、MC の遮断周波数は約 4.5kHz であるから、レーザーの強度ノイズは、それ以上の周波数では、 $f^{-1}$  で落ちる。一方、ショットノイズは MC の遮断周波数とは無関係にフラットである。

よって、強度ノイズとショットノイズのレベルが同じくらいの PD 入射光量の場合、復調信号のスペクトルは、低周波側から強度ノイズがフラットに現れ、遮断周波数から落ちて、ショットノイズによって再びフラットになるという構造をとる。

この構造から、強度ノイズとショットノイズが等しくなる\*1PD入射光量を求め、それが、主干涉計のオペレート時、即ち、共振した時の反射光量に比べて大きい小さいかで、主干涉計の感度にどの程度影響するかが分かる。

### 3 測定結果

図1の上図は Inline、下図は Perpendicular のそれぞれの PD に入る入射光量を変えたときのグラフである。測定方法に書いたように、約 4.5kHz まで RF 強度ノイズが支配的なフロアがあり、それ以上になると MC の遮断周波数の影響で下がるのが見え、高周波側でショットノイズフロアに達する。これら上下のフロアレレベルを読むことによって、RF 強度ノイズとショットノイズの大きさを比較した。Inline の図に描かれている黒い直線は目フィットによるフロアレレベルである。この線を各入射光量で描き、その線上の値を読んだものが図の Upper と Lower に記載されている値である。Ratio はそれらの比を表す。

図1の Perpendicular での測定より、PD への入射光量が 1250mV のときに RF 強度ノイズとショットノイズの比が  $\sqrt{2}$  倍になる。Inline の PD では 1250mV での測定が無いが、他の測定点での値を Perpendicular と比較するとほとんど同じ値であるため、Inline も Perpendicular も同じ 1250mV 付近で RF 強度ノイズとショットノイズが同じになると言える。

Cavity が共振状態にあるときの反射光量は Inline で 465mV、Perpendicular で 525mV であった。このことから、RF 強度ノイズがショットノイズに対してどの程度の感度悪化をもたらすかを計算する。RF 強度ノイズを  $N_I$ 、ショットノイズを  $N_S$  とすると、強度ノイズは光量に比例し、ショットノイズは光量の平方根に比例するので Perpendicular の Cavity が共振状態のとき

$$\begin{aligned} N_I : N_S &= \frac{0.525}{1.25} : \sqrt{\frac{0.525}{1.25}} \\ &= 0.42 : \sqrt{0.42} \end{aligned} \tag{1}$$

$N_S = 1$  としたとき、

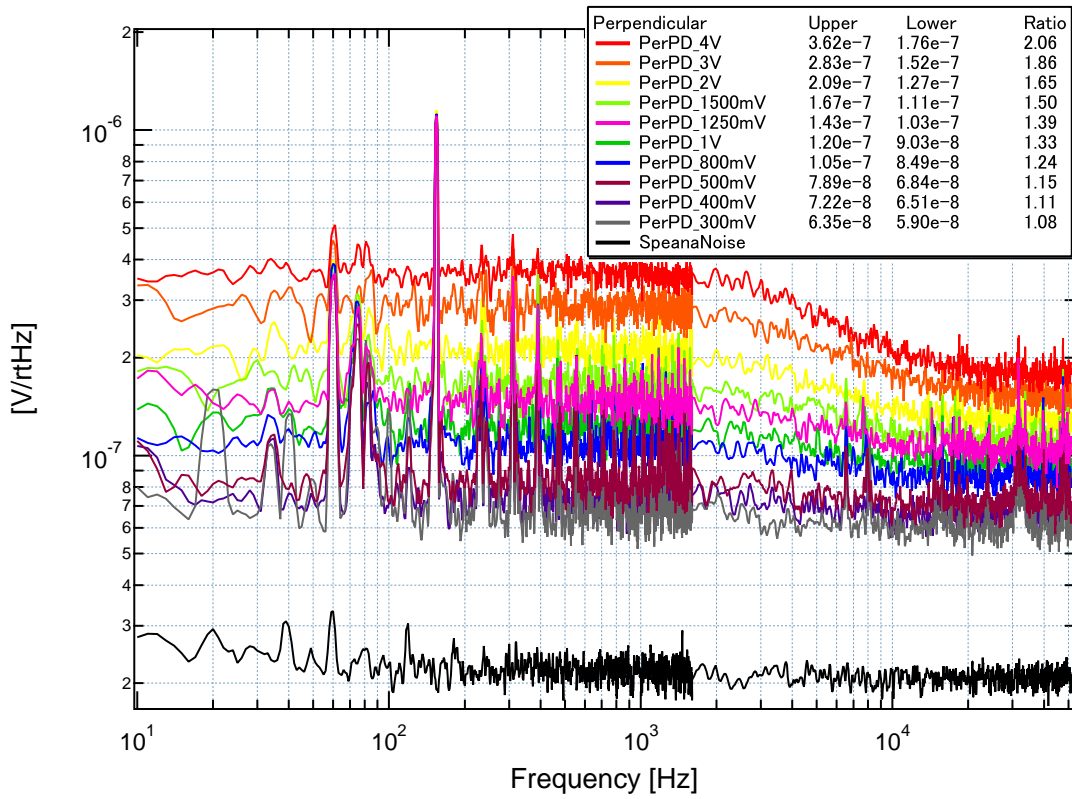
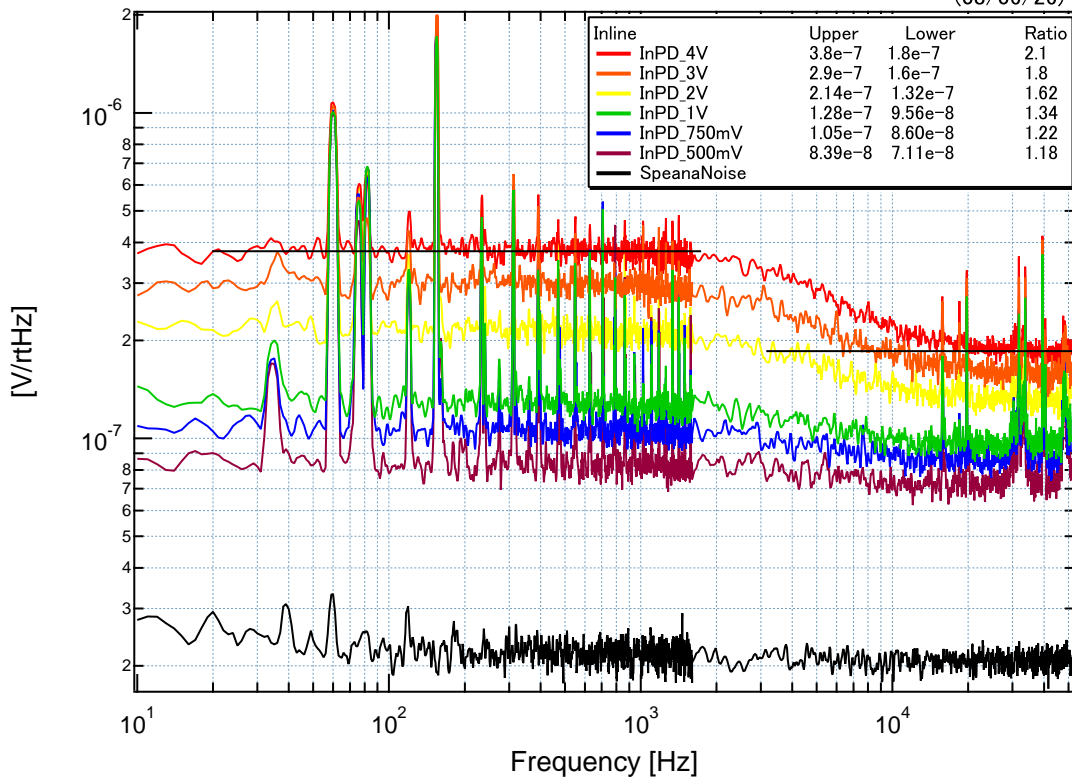
$$\begin{aligned} N_{I+S} &= \sqrt{1 + \left(\frac{0.42}{\sqrt{0.42}}\right)^2} \\ &\doteq 1.19 \end{aligned} \tag{2}$$

よって、RF 強度ノイズがショットノイズに対して悪化させる割合は 19% である。Inline に対しても同様の計算を行うと、17% の寄与であることがわかる。以上から、両腕ともに RF 強度ノイズによる感度の悪化は約 20% となる。

---

\*1 強度ノイズとショットノイズが等しいとき、強度ノイズ側のスペクトルフロアは、(強度ノイズ+ショットノイズ)となるため、ショットノイズフロアの  $\sqrt{2}$  倍になる。

(08/06/26)



☒ 1 RF Intensity noise vs. Shot noise

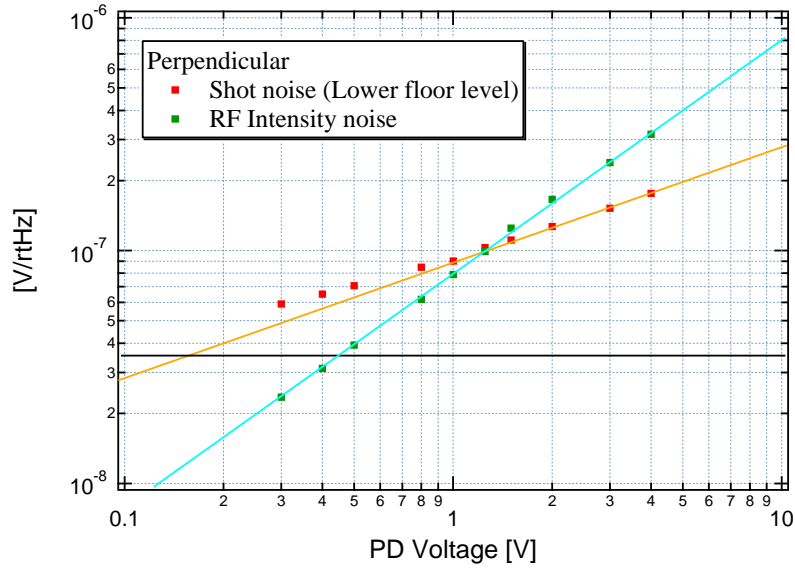


図2 ショットノイズと RF 強度ノイズの周波数依存性

## 4 Discussion

続いて、RF 強度ノイズが光量に比例し、ショットノイズが光量の平方根に比例することの確認を行った。図2にそれを示す。Perpendicularの方が測定点が多いため、また、Inlineもほとんど同じ値であるため代表でPerpendicularでの測定を用いた。水色の直線は光量（Voltage）に比例した直線であり、橙色の直線は1/2乗に比例した直線を表す。

正味のRF強度ノイズ $N_I$ は図1のUpperからLowerの分を引いた値、つまり

$$(N_I)^2 = \sqrt{(N_{Upper})^2 - (N_{Lower})^2} \quad (3)$$

によって求めた値である。図2の緑色の点が正味のRF強度ノイズであり、きれいに比例直線に乗った。

ショットノイズが支配的と考えられるLowerの値は赤色の点でプロットした。1V以上で1/2乗の直線に乗っており、約1.25VでRF強度ノイズと等しくなるという前節の議論が見て取れる。1V以下では1/2乗の直線から離れていく傾向が見られる。これは、 $3.3 \times 10^{-8} \text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ のホワイトな雑音ショットノイズの下にあることを仮定すると説明が付く。この雑音はPDのノイズが変換後の電気系のノイズと考えられる。0.5Vのとき（Cavityが共振したとき）橙色の直線から約13%の悪化に相当する。