

---

# Folding PRC の曲率誤差回避

Kazuhiro Agatsuma, Chen Dan

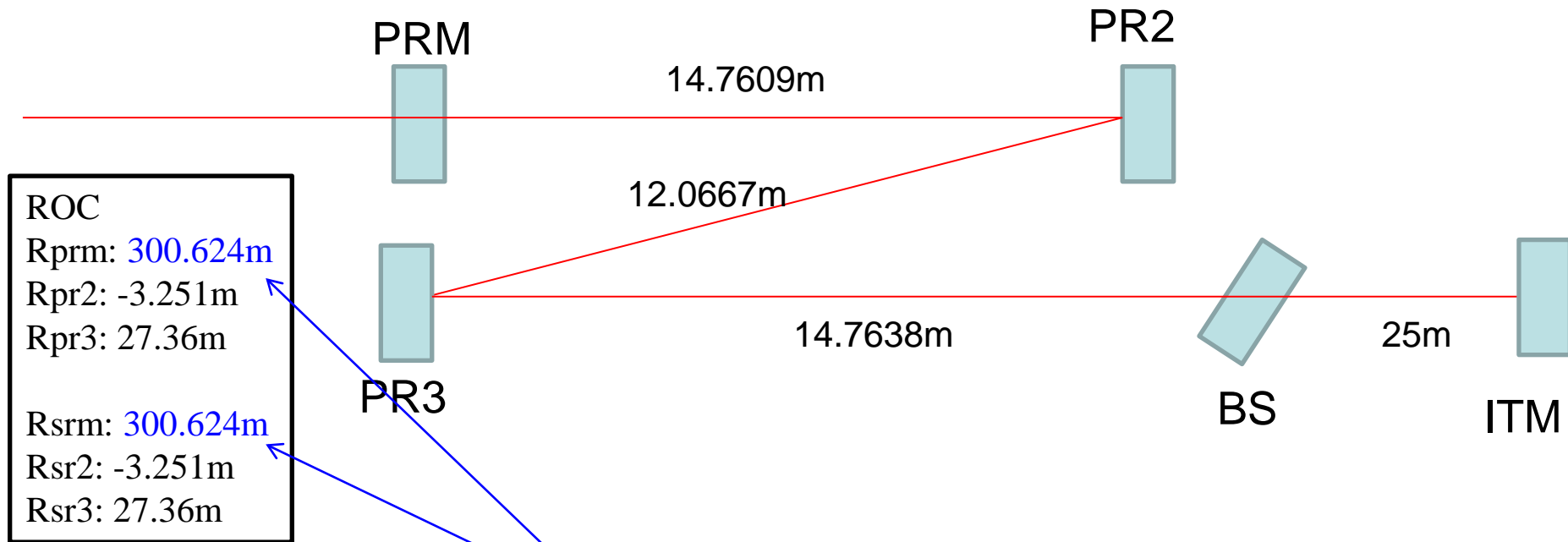
---

## PRCのROCに作成誤差が生じたときにそれを回避するための資料

- PRC全体の距離を固定して、PR3に作成誤差が入った場合のGouy phaseの回り方と、モードマッチを保つためのPRMの曲率半径を計算した。
- PR3のROCに作成誤差が生じたときに、PRC鏡間の距離変化でそのモードマッチ誤差をキャンセル出来るかを計算した。
- PRMのROCに作成誤差が生じたときにPRC鏡間の距離変化でそのモードマッチ誤差をキャンセル出来るかを計算した。その際のGouy phaseも計算した。

# Default values of PRC

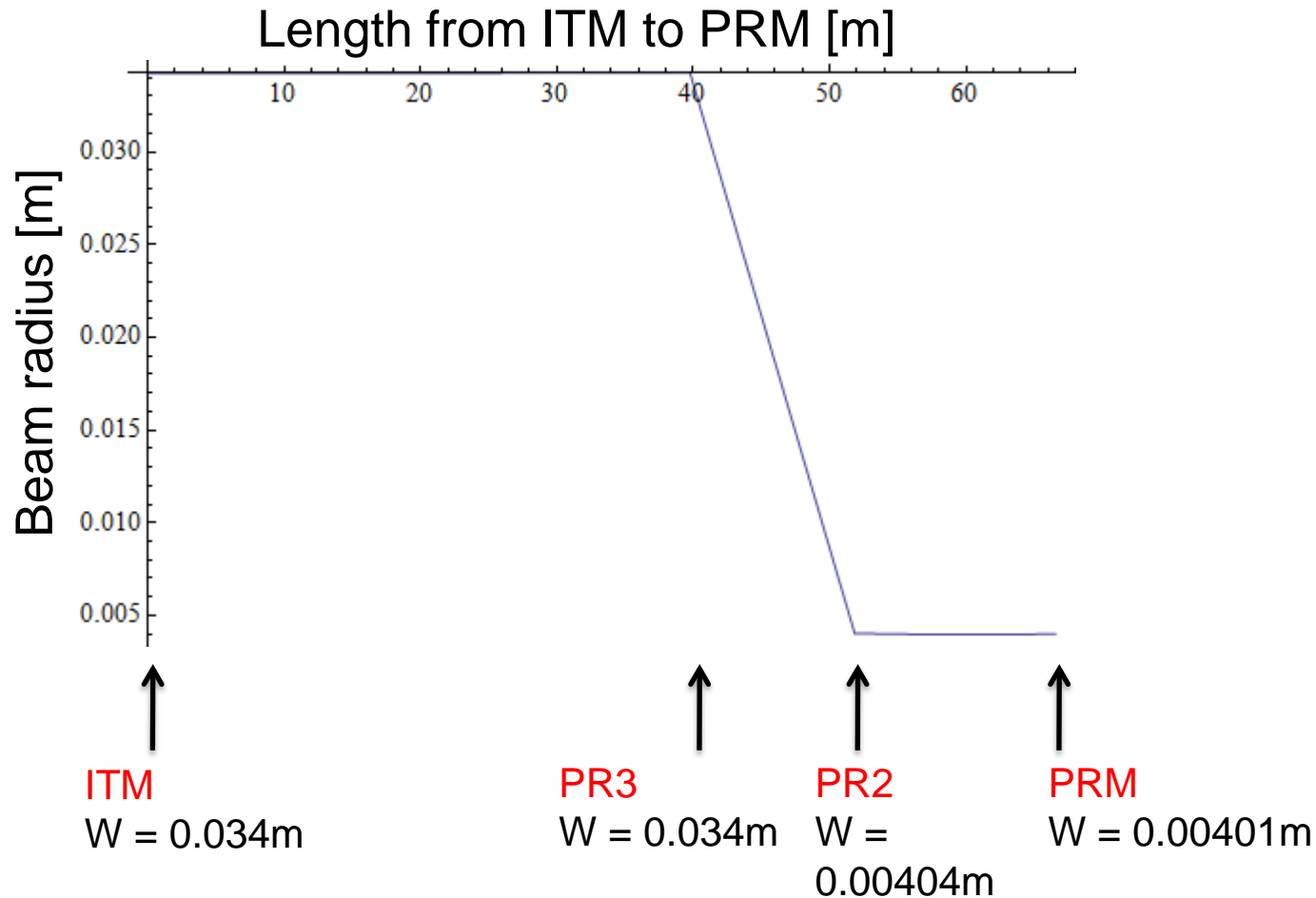
腕共振器のモードから始めて、PR3 ⇒ PR2 ⇒ PRMとビームを伝搬させて計算



おそらく間違い  
自分の計算では358.106mになった

Parameters are referred to  
<http://gw.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/LCGT/subgroup/ifo/MIF/OptParam>

# Beam profile on the default

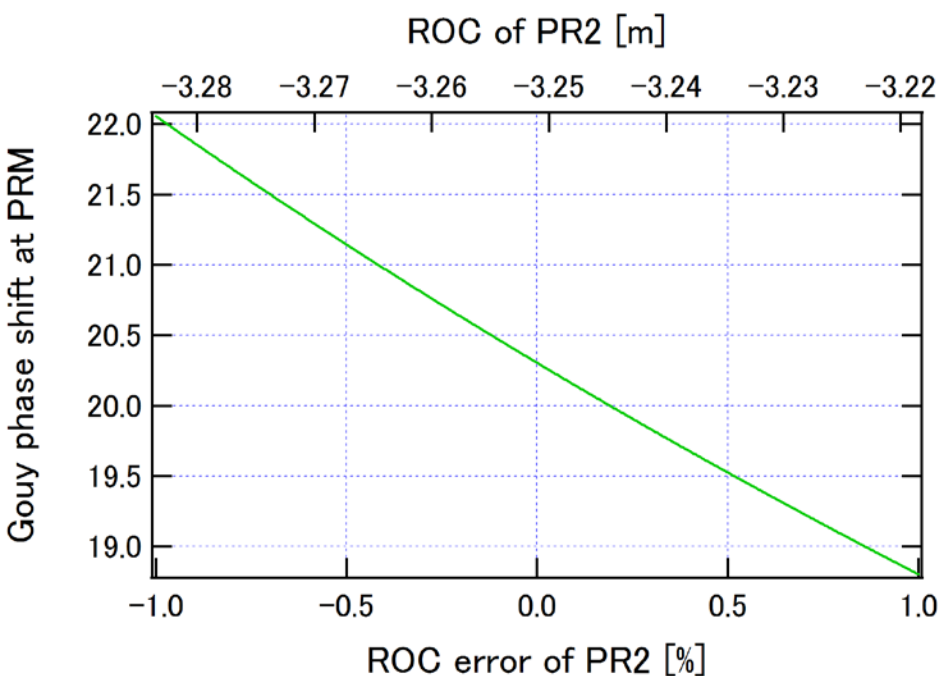


PRMでのビーム半径は約4mmで、熱レンズ効果はクリア

鏡の曲率に作成誤差が生じた場合、

(1)Gouy Phase変化量が変わる、(2)PRMの最適曲率が変わる

# ROC-Error effect of PR2

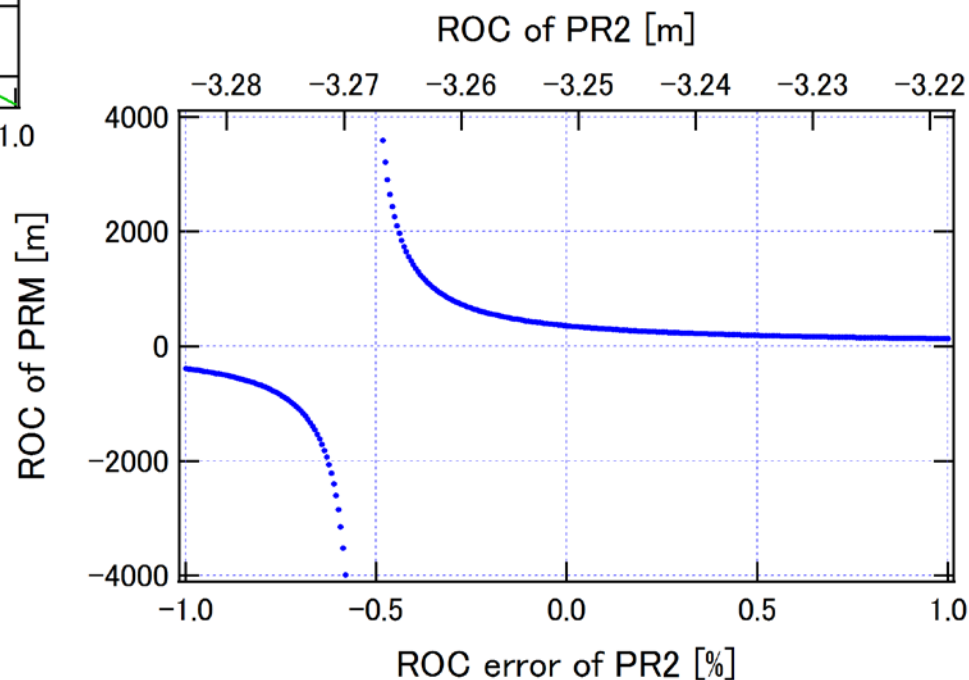


PR2のROCに誤差が生じたときに、PRMでのGouy phaseの回り方

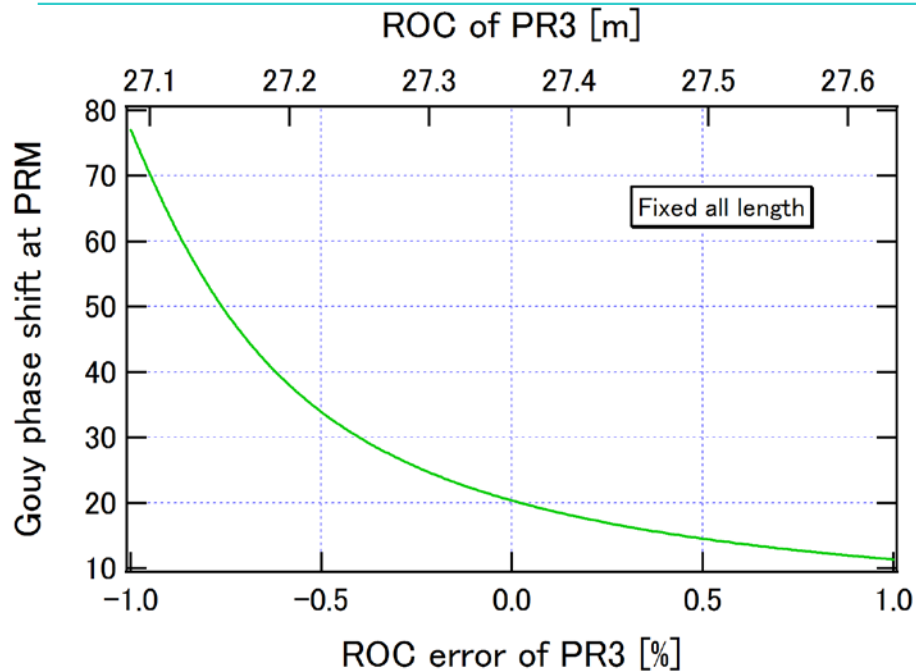
⇒ ROC±1%で、3度程度の変化

PR2のROCに誤差が生じたときに、モードマッチを保つPRMのROC (ビーム曲率の変化)

・-3.27m付近で曲率の符号が反転



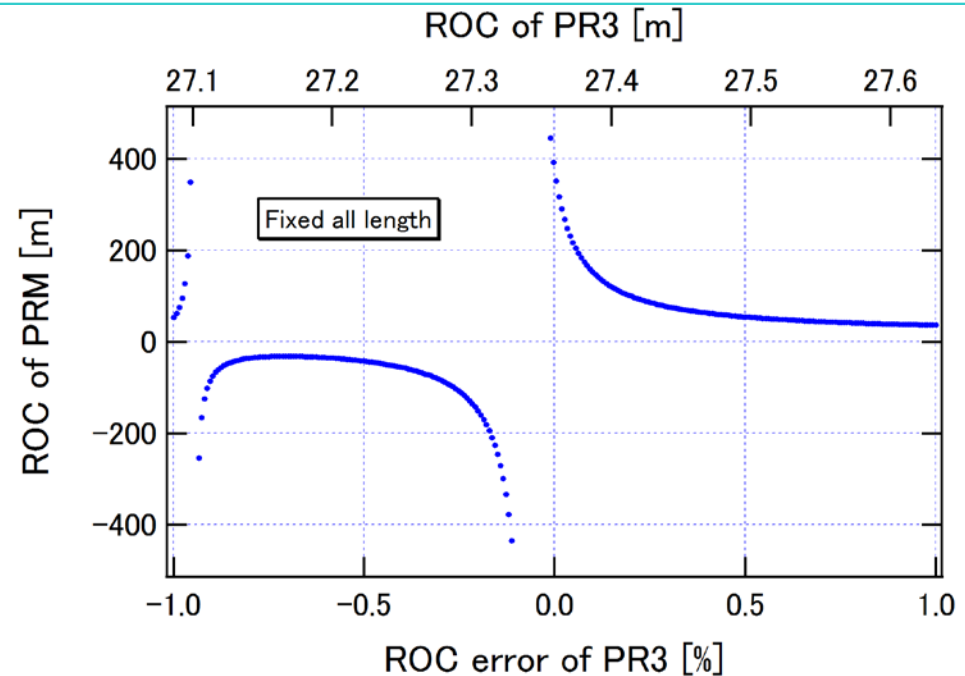
# ROC-Error effect of PR3



PR3のROCに誤差が生じたときに、PRMでのGouy phaseの回り方

70度も変化する

⇒ PR2の誤差に比べ、位相の変化が大きいのでより深刻



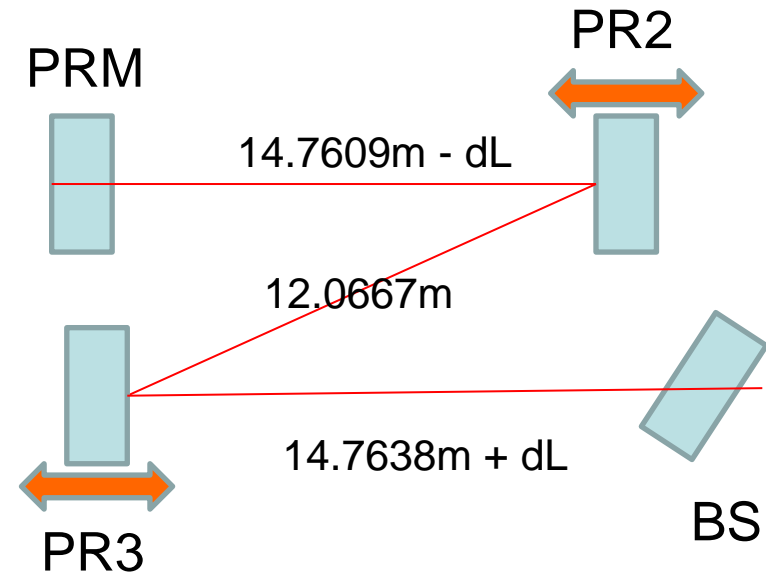
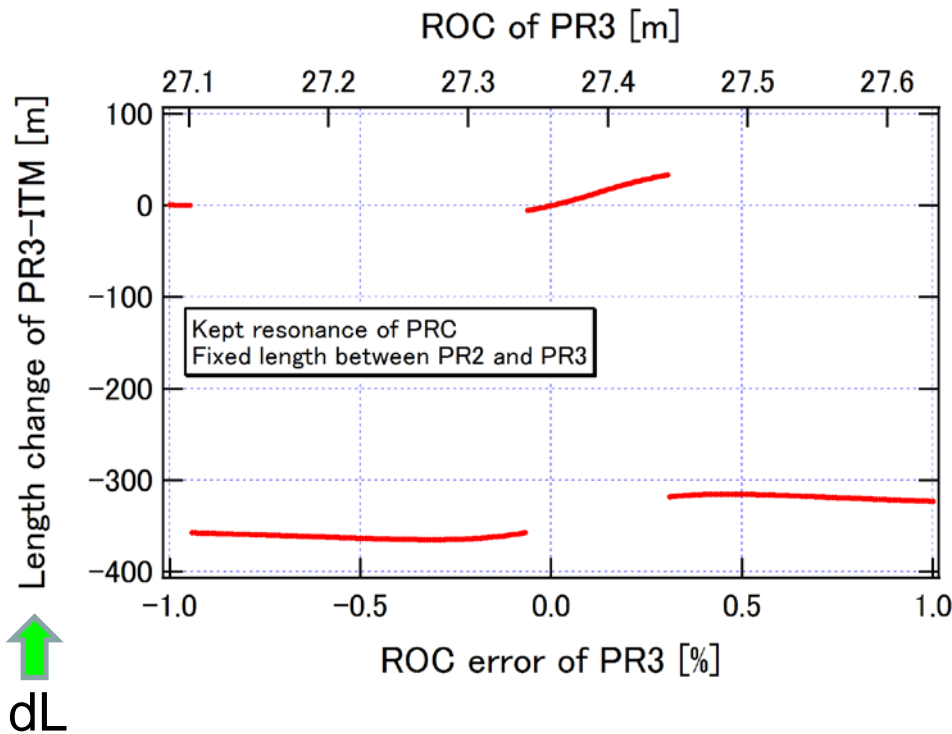
PR3のROCに誤差が生じたときに、モードマッチを保つPRMのROC (ビーム曲率の変化)

・27.33m付近と27.1m付近で曲率の符合が反転。

# PR3 error cancel (1)

PR3の曲率誤差について、仮にPRMがすでに固定(358.1m)されていたときに、モードマッチの補正を鏡間の距離変化でおこなえるかを評価する

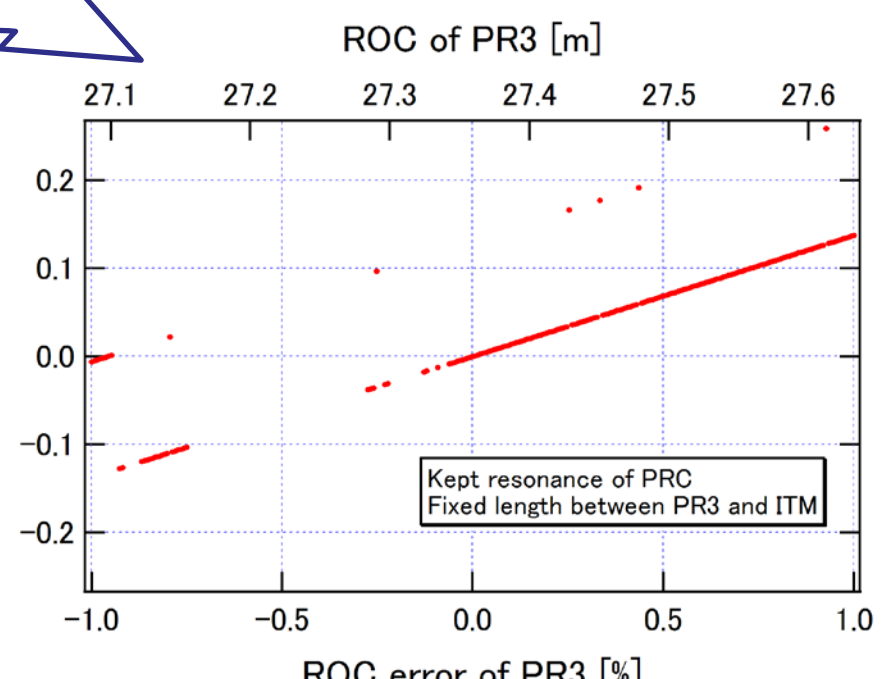
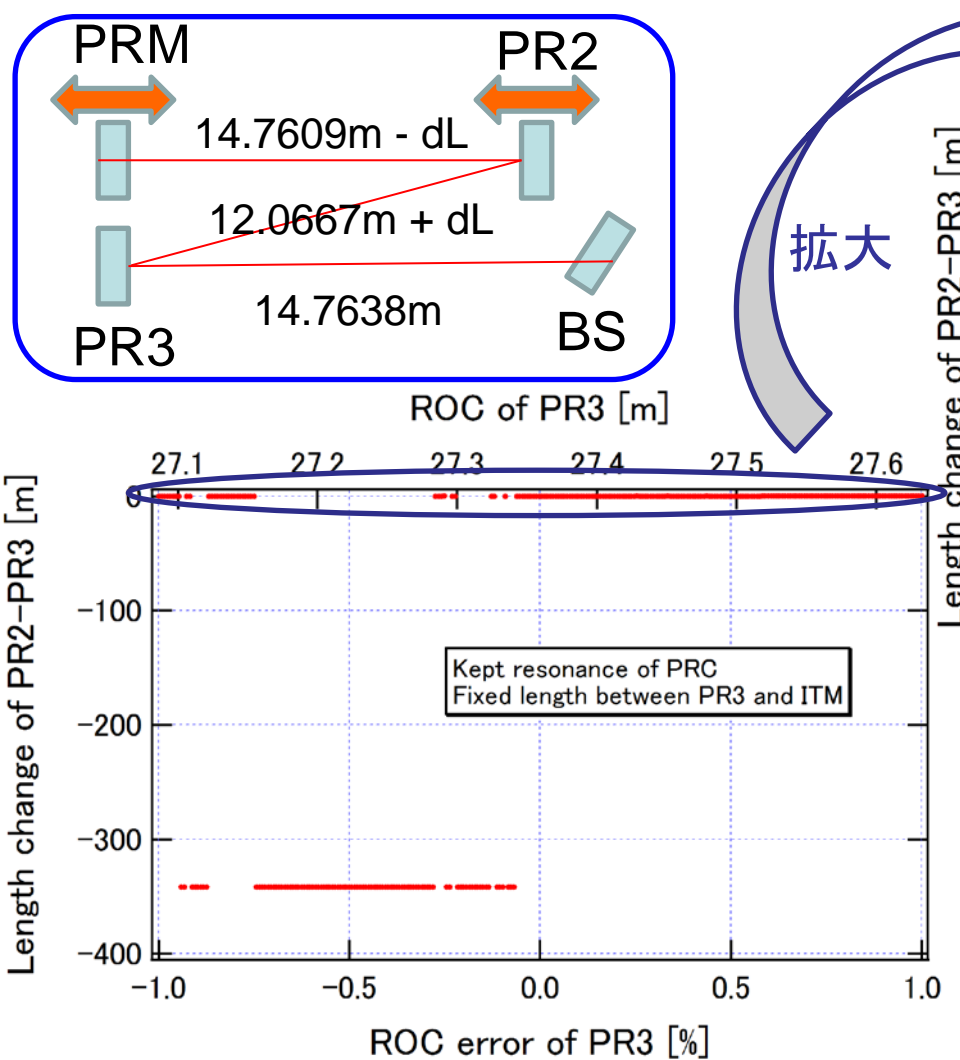
PRCの共振状態を保つために、PR3-ITM間の距離を変化させた場合  
(PRMでのビーム曲率:358.106mと、PRC全体長と、PR2-PR3間の距離は固定)



数十メートル~数百メートル移動させる必要があり、無理！

# PR3 error cancel (2)

PRCの共振状態を保つために、PR2-PR3間の距離を変化させた場合  
 (PRMでのビーム曲率:358.106mと、PRC全体長と、PR3-ITM間の距離は固定)



- ・プラス方向の誤差に対しては1%で約14cmの移動でカバーできる。  
 ⇒ 陳タン氏の計算(後述)とほぼ一致
- ・マイナス方向の誤差補正は無理。
- ・飛び飛びになっている点は不明(桁落ちか何か?)

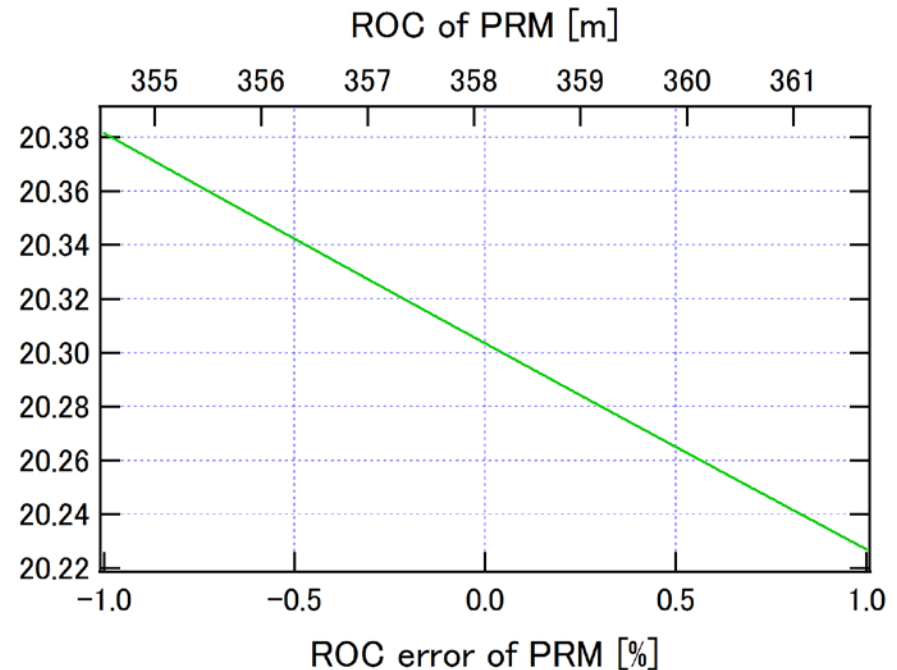
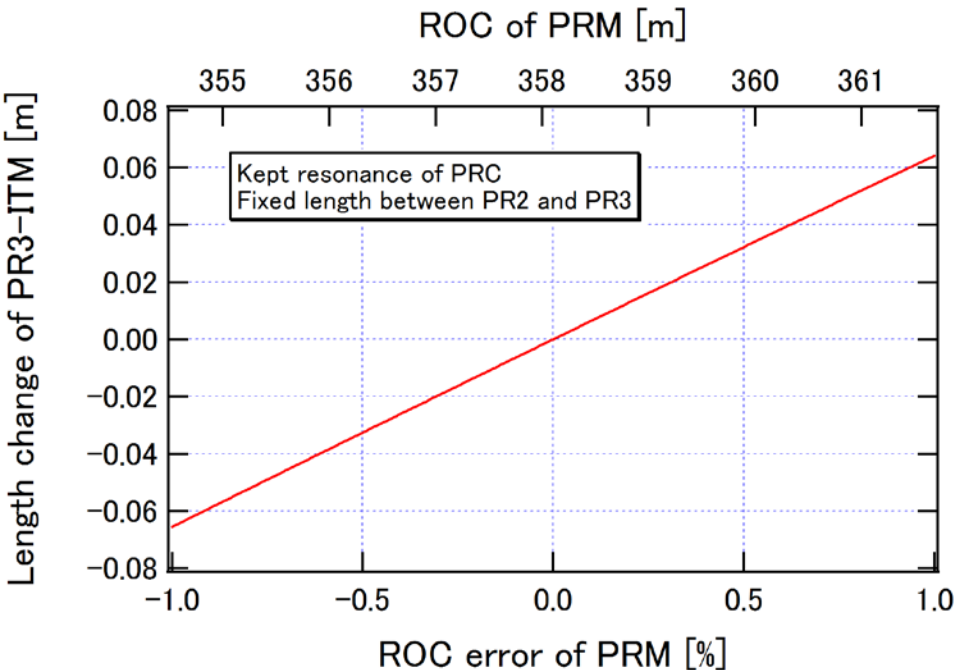


# PRM error cancel (1)

PR2とPR3を先に発注する

⇒ PR2とPR3の実測に基づいて、PRMの曲率半径を決める

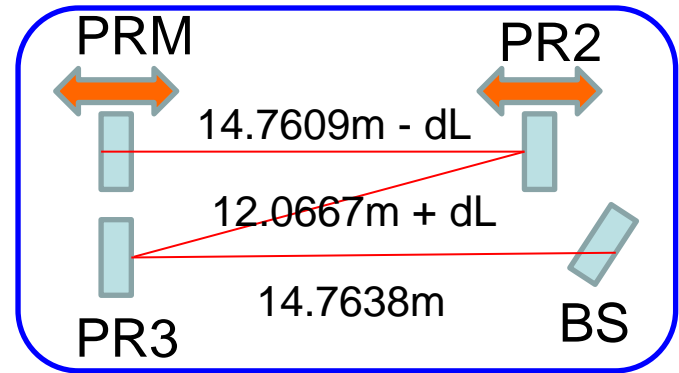
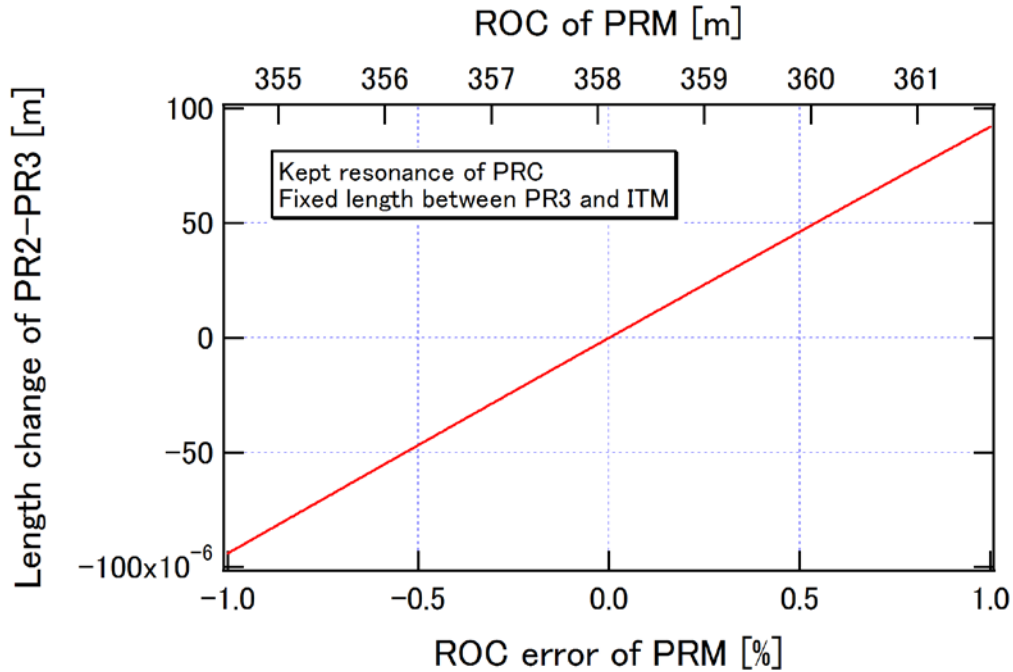
⇒ PRMの曲率に誤差が生じたときに、PRCのミラー配置の移動でビーム曲率の変化をキャンセルできるか？



PR3-ITM間の距離を変化させた場合、7cm  
程度の移動でモードマッチの補正ができる！

その場合のGouy phaseの変化も  
0.1度程度で問題ない

# PRM error cancel (2)



PR2-PR3間の距離を変化させた場合、100 $\mu$ mのオーダーの微調整で足りる  
 $\Rightarrow$  値が小さいので合わせにくい？

# まとめ

- 現在のパラメータならば、PRMのROCは358.106mのはず ⇒ 解決
- PR2よりもPR3のROC作成誤差の方がGouy phaseへ与える影響が大きい
- PR3のROCに作成誤差が生じたとき、PR3-ITM間の距離移動ではモードマッチの補正が出来ない
- PR3のROCに作成誤差が生じたとき、プラスの誤差1%ならば、PR2-PR3間の距離移動14cm程度でモードマッチ補正ができる(陳タン氏の結果とconsistent)。マイナス誤差の場合は不可能

## PR2とPR3を先に発注した場合

⇒ PR2とPR3の実測に基づいて、PRMのROCを決める

- PRMのROCに±1%の作成誤差が生じた場合、PR3-ITM間の距離移動を±7cm程度行えばモードマッチの補正ができ、Gouy phaseの変化も少ない

**結論:** PR2、PR3の鏡を先に発注すれば、後から発注したPRMの作成誤差(1%程度)は14cmの鏡距離移動でキャンセルできる

---

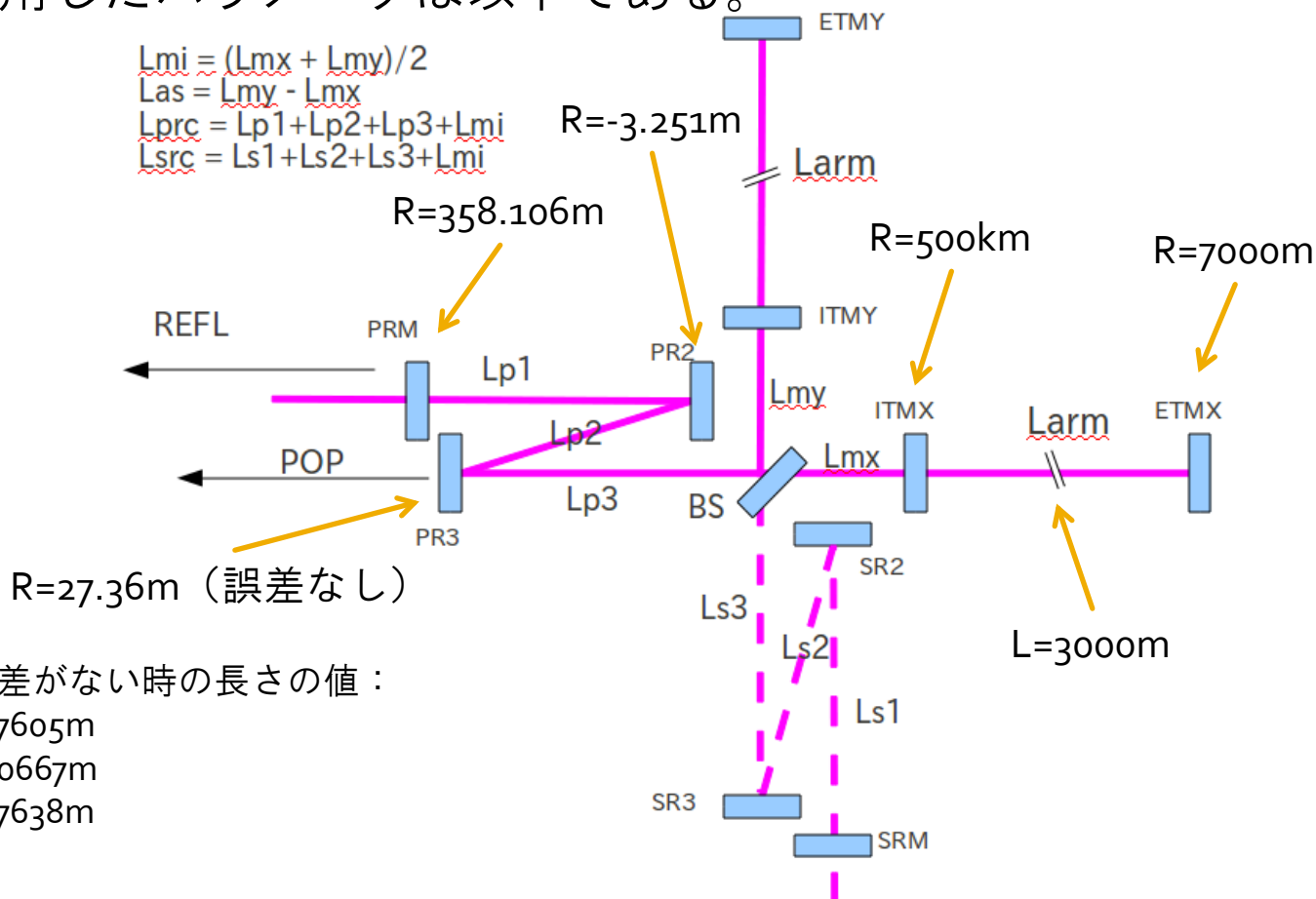
# 陳タン氏の計算結果

# PR<sub>3</sub>の曲率エラーをいかにキャンセルするか

PR<sub>3</sub>の曲率半径(27.36m)に0.5%のエラーがあった場合に、Lp<sub>1</sub>, Lp<sub>2</sub>, Lp<sub>3</sub>をどれだけ変化させれば、Gouy Phaseが20度まわり、かつPRMの曲率とレーザーの曲率が一致するかを計算した。(モードがもとと一致)

計算に使用したパラメータは以下である。

$$\begin{aligned} L_{mi} &= (L_{mx} + L_{my})/2 \\ L_{as} &= L_{my} - L_{mx} \\ L_{prc} &= L_{p1} + L_{p2} + L_{p3} + L_{mi} \\ L_{src} &= L_{s1} + L_{s2} + L_{s3} + L_{mi} \end{aligned}$$



PR<sub>3</sub>に誤差がない時の長さの値：

$$L_{p1} = 14.7605\text{m}$$

$$L_{p2} = 12.0667\text{m}$$

$$L_{p3} = 14.7638\text{m}$$

# 計算方法

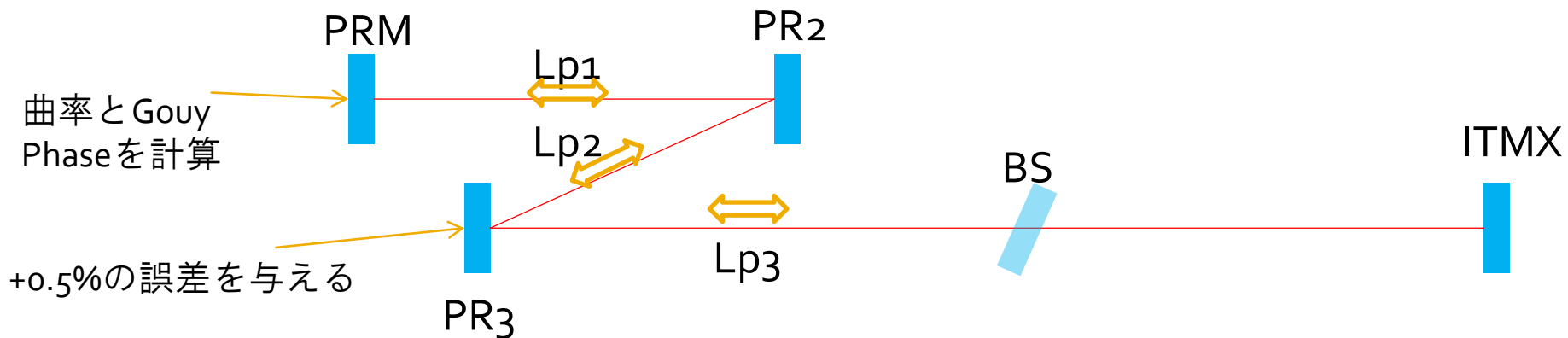
1. PR<sub>3</sub>の曲率半径に+0.5%の誤差を与える
2. 条件： $L_{p1}+L_{p2}+L_{p3}=41.5914[\text{m}]=\text{fixed}$ を課して、 $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ をふる
3. レーザーの曲率半径@PRMとITMX-PRM間のGouy Phase Shiftを計算

↳ レーザーを腕(ITMX)からPRMまで伝搬させてABCD matrixで計算を行った。

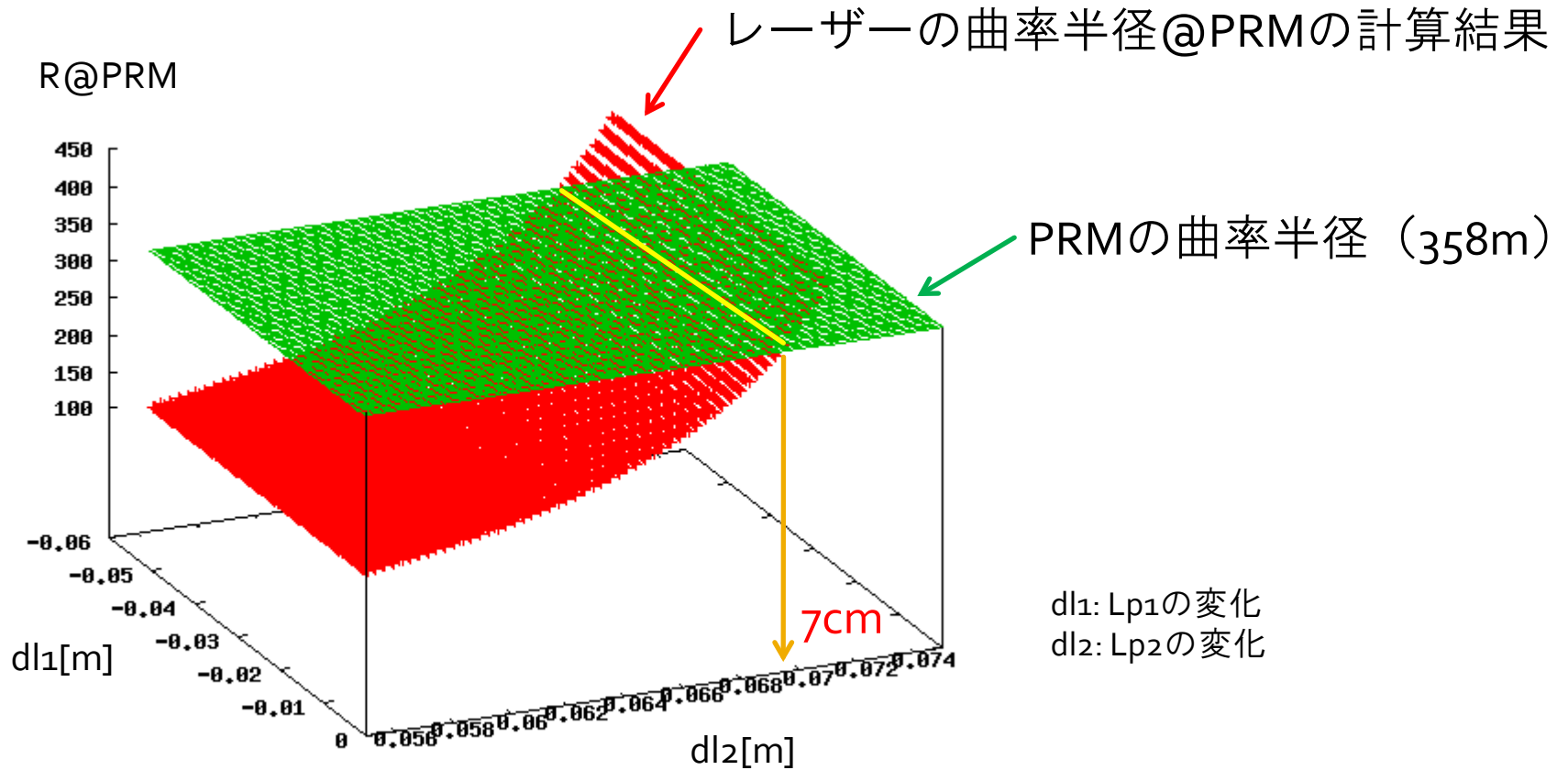
2, 3の計算を繰り返して、

- ・ PRMでのレーザーの曲率半径 = PRMの曲率半径(358m)
- ・ Gouy Phase Shift = 20度

の2条件を満たす $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ を見つける

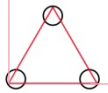


# PRMでのレーザーの曲率半径の計算結果



dl1は結果に大きくは作用しない

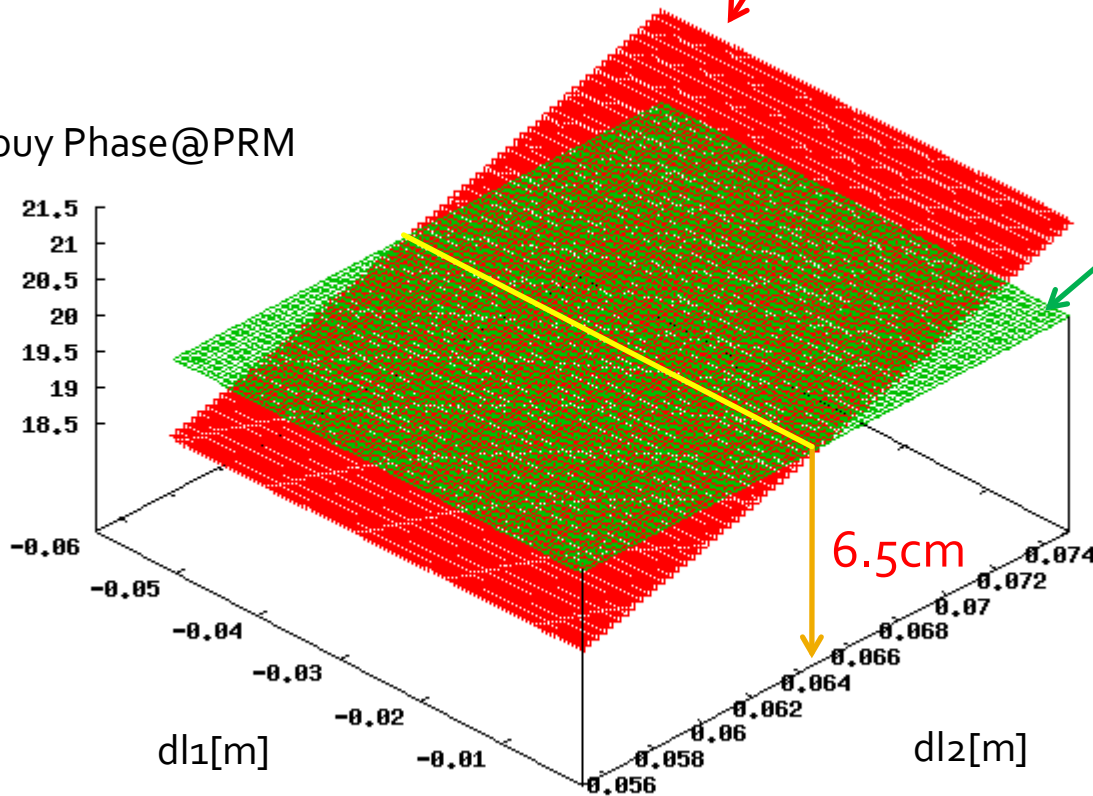
dl2を7cmだけ伸ばすことでレーザーの曲率半径とPRMの曲率半径が一致する



# Gouy Phase Shiftの計算結果

ITMX-PRM間のGouy Phase Shiftの計算結果

Gouy Phase@PRM

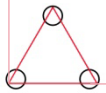


Gouy Phase = 20度

$dl_1$ : Lp1の変化  
 $dl_2$ : Lp2の変化

$dl_1$ は結果に大きくは作用しない

$dl_2$ を6.5cmだけ伸ばすことでITMX-PRM間のGouy Phaseが20度回る



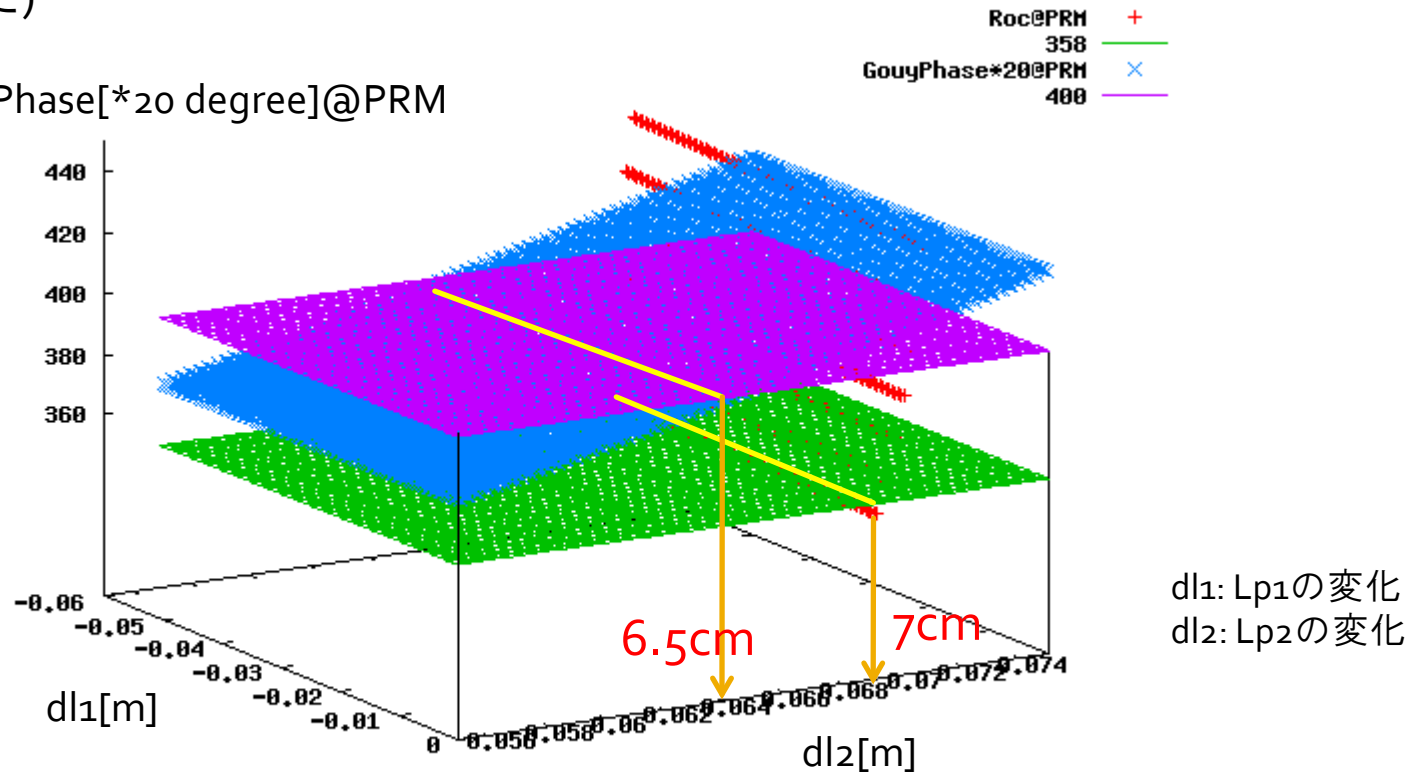


# 2条件を満たす解

- ・ PRMでのレーザーの曲率半径 = PRMの曲率半径(358m)
- ・ Gouy Phase Shift = 20度

の2条件を同時に満たすLp1, Lp2を見つけるために二つの結果を重ねた。  
見やすいようにGouy Phaseの方は値を20倍して表示している(RとGouy phaseの縦軸の値を一致させた)

R[m], Gouy Phase[\*20 degree]@PRM



dl1: Lp1の変化  
dl2: Lp2の変化

二つの条件を満たす解は見つけれなかった。(もっと振ってみる?)  
Lp2を7cm動かすことでレーザーの曲率半径とPRMの曲率半径を一致させることができる。この時、Gouy Phase Shiftは大して変わらない。(1度くらい?)

# まとめ

PR<sub>3</sub>の曲率に+0.5%の誤差があったときに、それをキャンセルするためにLp<sub>1</sub>, Lp<sub>2</sub>をどれだけ変化させればよいか

結果:

1. Lp<sub>1</sub>はGouy Phase, レーザーの曲率半径にほぼ影響を与えない。
2. 二つの条件（曲率半径とGouy Phase）を満たす解は見つけれなかった。
3. Lp<sub>2</sub>を7cm動かすことでレーザーの曲率半径とPRMの曲率半径を一致させることができる。この時、Gouy Phase Shiftは大して変わらない。（1度くらい?）

