

aLIGO参照球を利用したRecycling Cavityの検討

背景

- Recycling共振器(以下RC)には3つの大きく異なる曲率半径を持つミラーが必要
- さらに、これらの曲率半径の精度は1cm程度と極めて高い必要がある
- このような高精度で鏡を研磨するには、精度の高い参照球が必須
- しかし、参照球は値段が高く(一つ1千万円オーダー)、納期もかかる(3つ作って7ヶ月?)
- そこで、aLIGOが既に製作して持っている参照球を借りられないかを検討することにした

aLIGOの参照球

情報提供: GariLynn Billingsley

凹面鏡用

34m, 36m, 2100m (Clear Aperture 260mm以上)

凸面鏡用

5m, 6.5m, 9m, 11.5m (Clear Aperture 150mm)

aLIGOが作った鏡

-4.41m, -4.89m, -8.87m, -11.4m, 34m, 36m, 1934m, 2245m

参照球の利用条件

- 高精度研磨のためには、参照面と研磨面のサグの差が半波長以下であることが必要
- 曲率が短い場合、参照面と研磨面の距離を調節すればサグの差を吸収可能
 - 例えば、5m凹面参照球を0.5m離して使えば4.5m凹面となる(つまり-4.5m鏡が測れる)
 - しかしこの場合、0.5mの空気層がノイズを生む

境界条件

干渉計のレイアウトは多くの条件を満たす必要がある
以下はPRC, SRC部分に限った条件

- PRC, SRCの長さは66.6m (RF SB共振条件で決まっている)
- PRC, SRCの片道Gouy位相は適切な値でなければならない
 - 現状 PRC=16.5度, SRC=17.5度
 - 高次モードの共振条件、WFSの信号分離度から決められる
- ミラー上のビーム径が小さすぎても大きすぎてもいけない
 - 小さすぎる -> 熱レンズ, 大きすぎる -> 回折損失
- 折り返し角度はできるだけ小さくする(非点収差の回避)
- MCとBSの距離は基本的に決まっている
 - その間にPRCが入らなければならない
- 真空槽と真空槽が接近しすぎてはならない
- 鏡は真空槽の中心に置く
 - 真空槽に接続するパイプは少しオフセット可能
- POX, POYが分離可能であること

やったこと

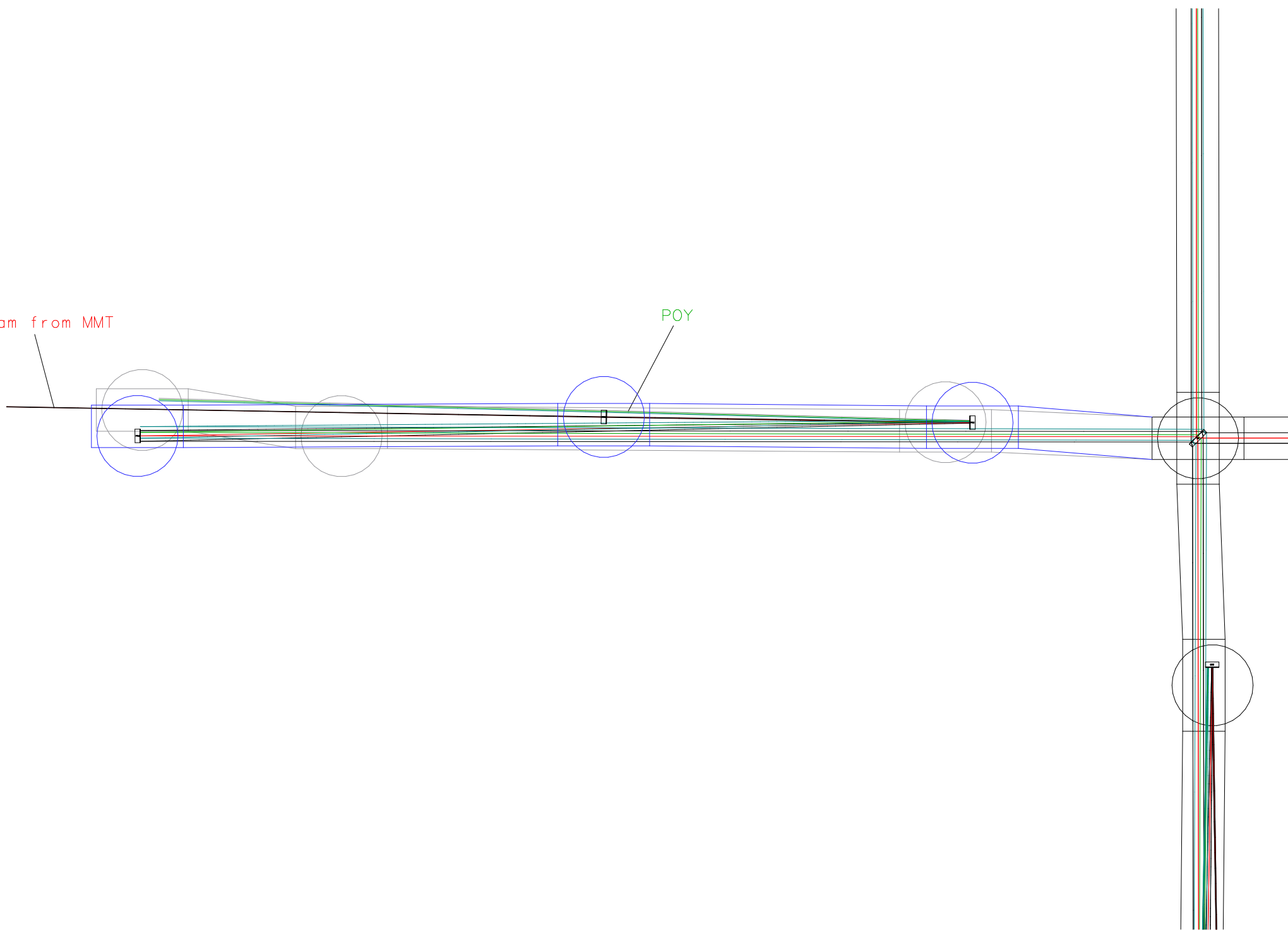
- Arm Cavityのg-factor変更
 - aLIGOの参照球(2100m)が使用可能な曲率に変更
 - 1900m - 2300mの間が研磨可能と想定
 - 様々な最適化を行う必要があるが時間がないので、とりあえずITM=ETM=1900mにした
 - スポットサイズ= 3.53cm (ITM,ETM共)
 - この組み合わせはSidles-Sigg Instabilityが最小になる
 - 熱雑音は要確認
- とりあえずRCのGouy位相はPRC=16.5度、SRC=17.5度のまま
 - 高次モード的には問題なさそう
 - WFS信号分離は要計算
- 上記ITM,ETMで腕共振器のモードを計算
- PR2, PR3にaLIGOの曲率を設定してITMから腕モードをPRMへ向かって伝搬させる
- PRMの曲率は伝搬されたビームの波面曲率と合わせる
- PR2-PR3間の距離を調節しながら上記の伝搬計算を繰り返し、Gouy位相が目標値になるようにする
- SRCに関しても同じことを行う
- 結果は次ページ (PRC部分のみ拡大)

aLIGO参照球利用を利用した場合

青で描かれているのがaLIGO参照球を利用する場合の真空槽
灰色は現状案での真空槽

Beam from MMT

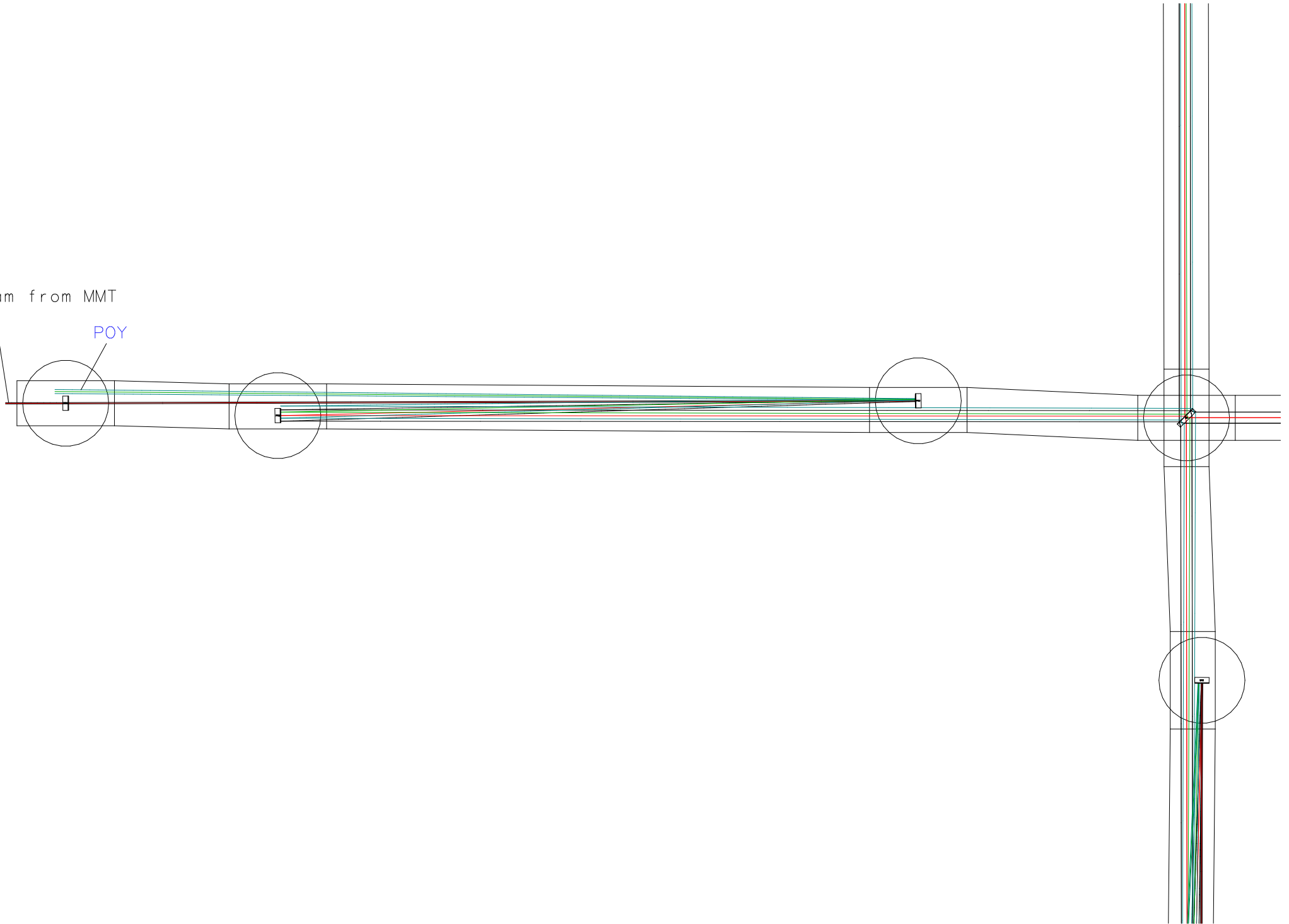
POY



参考: 現状案のレイアウト

Beam from MMT

POY



結果の説明

パラメータ

aLIGO参照球利用

PRM ROC = -9.505 m, SRM ROC = -6.58m
PR2 ROC = -4.41m, SR2 ROC = -4.894m
PR3 ROC = 34m, SR3 ROC = 34m

PRC Gouy Phase = 16.484582 deg
SRC Gouy Phase = 17.440324 deg

PR3 Spot Size = 36.762405 mm
PR2 Spot Size = 4.091663 mm
PRM Spot Size = 2.328103 mm

SR3 Spot Size = 36.789810 mm
SR2 Spot Size = 4.366409 mm
SRM Spot Size = 2.066558 mm

PRM, SRMはおそらく既存参照球で研磨可能

現状案

PRM ROC = 458 m, SRM ROC = 458m
PR2 ROC = -3.08m, SR2 ROC = -2.99m
PR3 ROC = 24.92m, SR3 ROC = 24.92m

PRC Gouy Phase = 16.5 deg
SRC Gouy Phase = 17.5 deg

PR3 Spot Size = 36.639 mm
PR2 Spot Size = 4.457 mm
PRM Spot Size = 4.457 mm

SR3 Spot Size = 36.666 mm
SR2 Spot Size = 4.31 mm
SRM Spot Size = 4.33 mm

以前は、PRCとSRCで曲率がかなり違って
いたが、今回は同じ参照球で製作可能なように
調節した(Ls2を少し変えた)。

数字だけ見た場合、大きな違いはPRM/SRMでのスポットサイズ
aLIGO参照球の場合は小さい

レイアウトの観点から

aLIGO参照球を使った場合の問題点は

- PR2での折り返し角度が大きくなる (1.16度 -> 1.8度)
 - 非点収差の増加
- POYの取り出しが少し難しくなる(ウェッジ角の誤差要求がきつくなる)
- PR3タンク内でPR3とそのMMTからのビームが大きく離れる
 - 真空パイプオフセットを大きくしなければならない

絶対にダメという欠点は存在しないように見える

まとめ

- aLIGOの参照球を利用しても、大きく破綻せずにRCを構成可能な解はあった
- ただし、現在検討されている真空槽配置と大きく変える必要がある
- aLIGO参照球利用案では、細かいところで現状案より劣る点は何点かある
- WFSの信号分離は未計算

麻生の個人的意見としては、現状案のほうが美しくて良い