

# 1<sup>st</sup> MC => PMC (Input Optics)

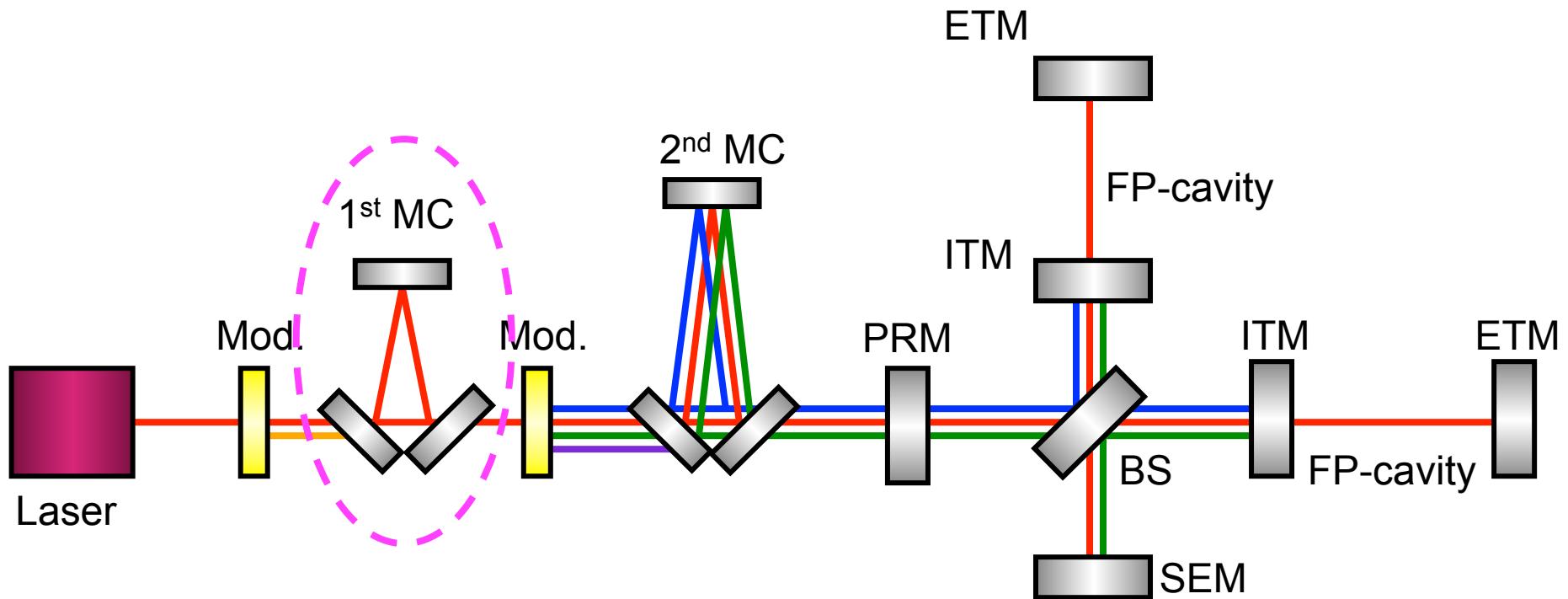
Department of Advanced Materials Science, University of Tokyo

Noriaki OHMAE, Shigenori MORIWAKI, Norikatsu MIO

July 8, 2010

# Purpose of this report

Can “1<sup>st</sup> MC” be replaced with “PMC” ?



# Difference between MC and PMC

- MC and PMC are the same things because both MC and PMC use characteristics of transmitted light from a optical cavity.
- Naming of MC and PMC are derived from supporting of mirrors.
  - MC: All mirrors are suspended by pendulums and are housed in vacuum chambers.
    - Low frequency: All mirrors fluctuate independently.
    - High frequency: Pendulum suppress mirror fluctuations.
  - PMC: All mirrors are glued to a rigid spacer.
    - Low frequency: Mirror fluctuation depends on the spacer.
      - It mainly depends on the thermal expansion.
    - High frequency: Resonance of the spacer should be cared.
- How to select MC or PMC
  - Long cavity => MC
    - MC: Each mirror is supported by the independent pendulum, and is housed in the vacuum chamber.
    - PMC: Spacer's resonance comes to low frequency and its amplitude becomes large.
  - Short cavity => PMC
    - MC: Mirror's fluctuation in low frequency is too large.
    - PMC: Mirror's fluctuation in low frequency is not large.
- PMC is easier to be operated than a suspended MC.
  - If both PMC and MC have the same performance, PMC should be selected.

# Summary (1)

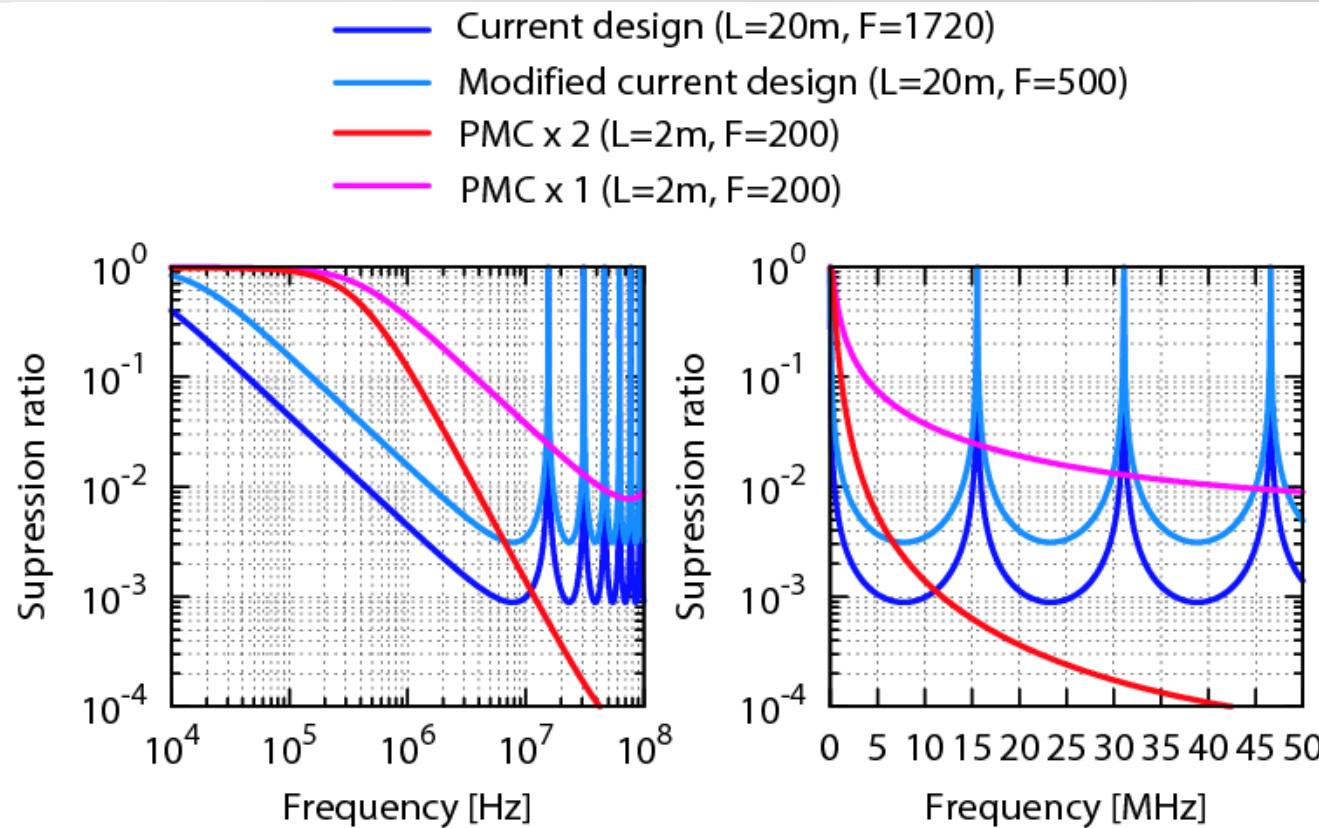
- Criterion for determining of the change “1<sup>st</sup> MC => PMC”
  - LCGT’s sensitivity is not be degraded by the change “1<sup>st</sup> MC => PMC”.
- If 1<sup>st</sup> MC => PMCs, there are a lot of advantages;
  - Installation of input optics (modulators, Faraday isolator etc.) will be quick.
    - Because all components before 2<sup>nd</sup> MC can be set in the laser room.
    - PMC can be tested before installation.
  - PMC is a rigid cavity, which is easier to be operated than a suspended MC (1<sup>st</sup> MC).
  - Beam profile after PMC is fixed.
    - Realignment of components after the PMC will not be needed after replacement and maintenance of the laser.
      - Components after PMC: modulators, Faraday isolator, 2<sup>nd</sup> MC, etc.
      - Laser can be replaced easily and quickly without any risks.
  - Cost of vacuum chambers, pendulums, large mirrors can be reduced.
- Area for 1<sup>st</sup> MC should be prepared.
  - In this 3-year term, PMC has a sufficient performance, but in the future, 1<sup>st</sup> MC may be needed to improve the sensitivity of LCGT.
  - Additional excavation is impossible, but vacuum chambers can be add in the future.
  - This area will be convenient for quick installation in this 3-year term.

# Summary (2)

- The main role of 1<sup>st</sup> MC (PMC) is the reduction of the RF intensity noise of the laser.
  - Suppression ratio of the current design (1<sup>st</sup> MC) is about 10<sup>3</sup>.
  - Finesse of the current design (1<sup>st</sup> MC) is so high that thermal problems will occur.
    - Finesse should be lower (1720 => < 500).
- Tandem configuration of 2 low-finesse PMCs has the same performance as the current 1<sup>st</sup> MC.
  - “Round-trip length = 2 m, Finesse = 200” × 2
  - If RF intensity noise is problematic, one more PMC will be added easily.
- Suppression ratio of RF intensity noise

	f1 = 11.25 MHz	f2 = 45 MHz
Current design (L = 20 m, F = 1720)	1.2e-3	2.9e-3
Modified current design (L = 20 m, F= 500)	4.1e-2	1.0e-2
PMC x 2 (L = 2 m, F = 200)	1.1e-3	9.4e-5
PMC x 1 (L = 2 m, F = 200)	3.4e-2	9.7e-3

# Suppression ratio

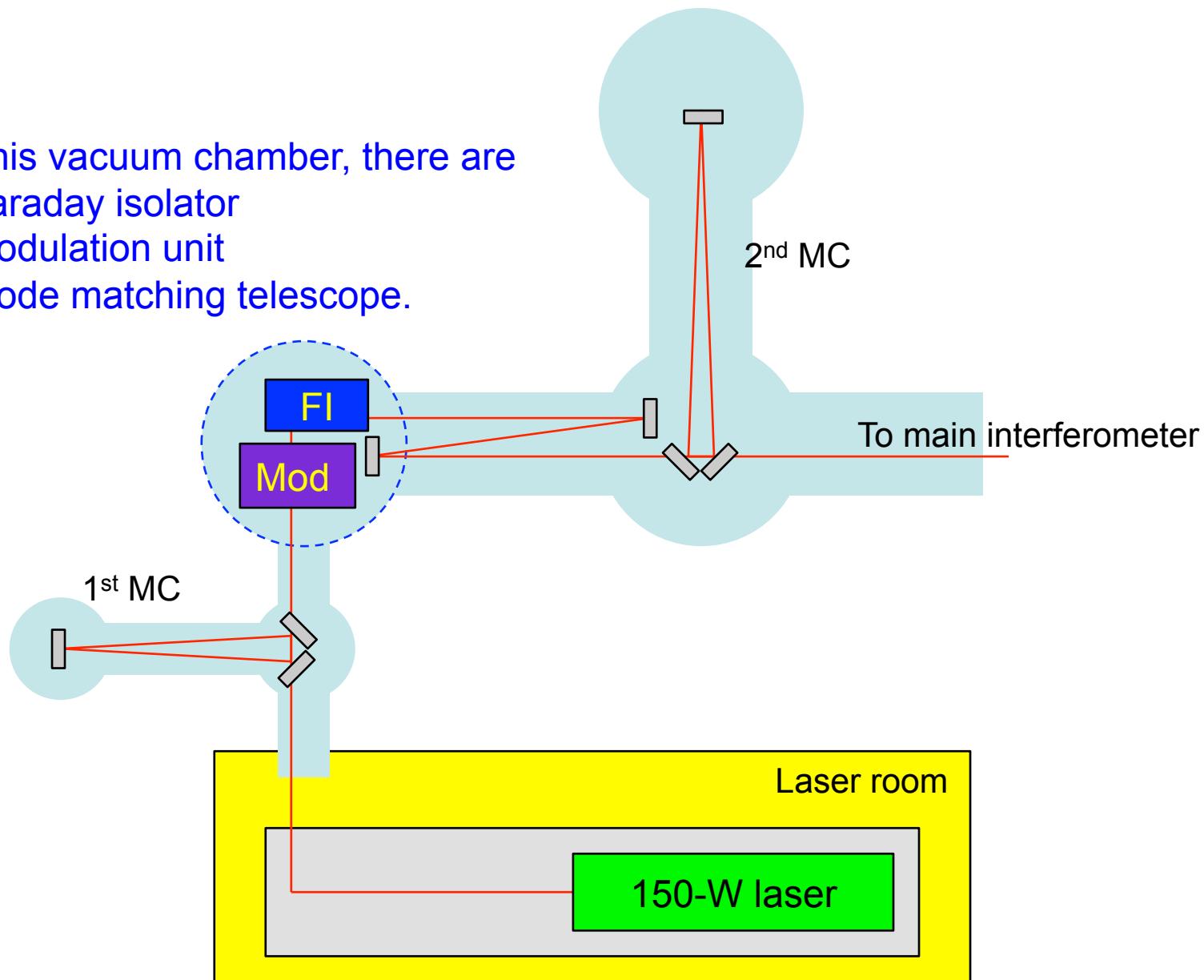


	f1 = 11.25 MHz	f2 = 45 MHz
Current design (L = 20 m, F = 1720)	1.2e-3	2.9e-3
Modified current design (L = 20 m, F = 500)	4.1e-2	1.0e-2
PMC x 2 (L = 2 m, F = 200)	1.1e-3	9.4e-5
PMC x 1 (L = 2 m, F = 200)	3.4e-2	9.7e-3

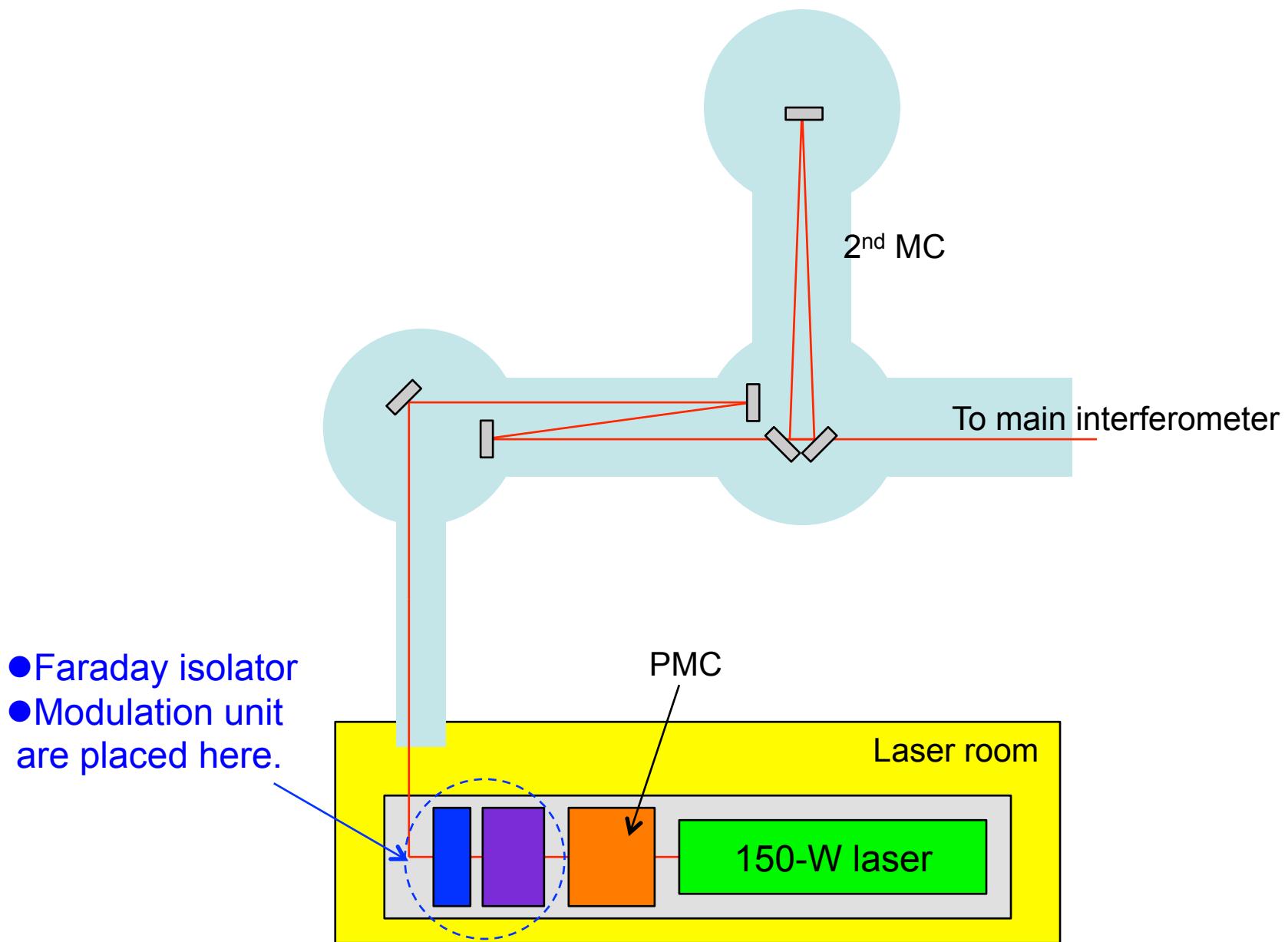
# Schematic of current design

In this vacuum chamber, there are

- Faraday isolator
- Modulation unit
- Mode matching telescope.



# Schematic of new design (1<sup>st</sup> MC => PMC)

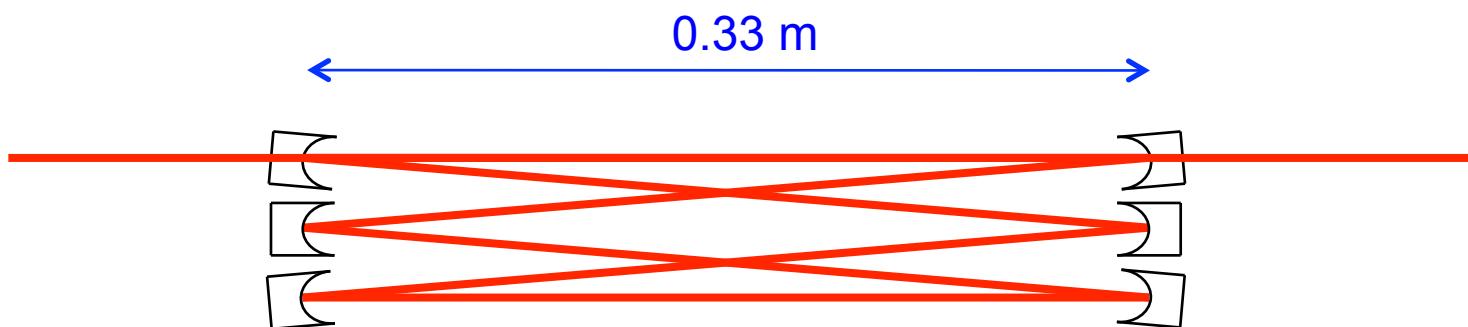


# Role of MCs

- 1<sup>st</sup> MC ( $L/2 = 10$  m)
  - Very important
    - Reduction of RF intensity noise
  - Important
    - Mode cleaning
    - Reduction of position fluctuation
  - Not necessarily
    - Frequency reference
    - Polarization discrimination
- 2<sup>nd</sup> MC ( $L/2 = 13.33$  m)
  - Very important
    - Transmission of RF sidebands
      - 11.25 MHz
      - 45 MHz
      - $\alpha$  (for alignment sensing)
    - Mode cleaning
    - Reduction of position fluctuation
    - Frequency reference
      - FSR = 11.25 MHz
    - Polarization discrimination
  - Not concerned
    - Reduction of RF intensity noise

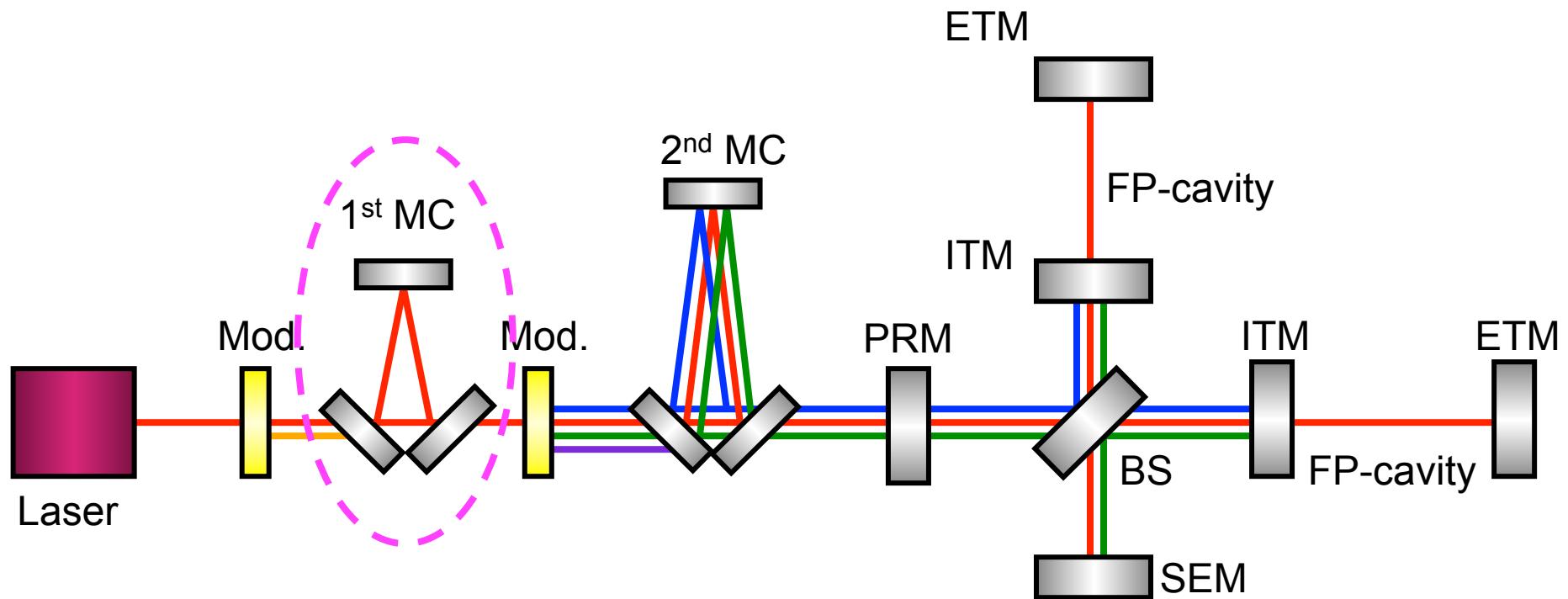
# Design of PMC

- Round-trip length = 2 m => FSR = 150 MHz
- Finesse = 200
- To avoid the resonance of a supporting body, the size of the body should not be large.
  - Typically, smaller than 0.5 m.
  - To make long length, folded path can be used. => 6 mirrors
- Loss of high-reflectance mirrors affects on the transmittance of the large-finesse cavity.
  - Since finesse of this design is sufficiently low, this is negligible.
- Laser power density should be lower. => Beam radius on mirrors should be larger.
  - PMC has a possibility to realize lower power density on mirrors than 1<sup>st</sup> MC.
- Mode deformation caused by the heat should be smaller.
  - Mirrors whose radii of curvature are small should be selected.



# このレポートの目的

1<sup>st</sup> MCをPMCに置き換えることは可能か？



# MCとPMCの違い

- どちらも光共振器の透過光の性質を利用したもので、基本的な性能は同じ。
- 光共振器を構成する鏡の支持方法の違いで使い分けている（明確な定義はない）。
  - MC: すべての鏡を吊っている & 真空槽に入る。
    - 低周波: すべての鏡が独立に揺れる。
    - 高周波: 鏡が振り子で防振されているので、揺れない。
  - PMC: すべての鏡を固体スペーサーに張り付ける & 空気中に置く。
    - 低周波: スペーサーに張り付けているので比較的揺れない。
      - スペーサーの熱膨張で決まる。
    - 高周波: スペーサーの共振を反映する。周辺の揺れを反映する。
- 支持方法の特徴を生かして、以下のように使い分けている。
  - 長い共振器 => MC
    - MC: 鏡を別々に支持 & 真空による空気の揺らぎが少ないので、向いている。
    - PMC: 長いと、スペーサーの共振が低周波 & 大振幅になるので、不向き。
  - 短い共振器 => PMC
    - MC: 低周波で揺れすぎなので、不向き。
    - PMC: スペーサーにくつづいているので、低周波で揺れが少なく向いている。
- 同じ性能なら、MCよりPMCの方が扱いやすいので、楽。

# まとめ①

- “1<sup>st</sup> MC => PMC” 変更の判断基準.
  - “1<sup>st</sup> MC => PMC” の変更により、LCGTの感度曲線を汚さない.
- “1<sup>st</sup> MC => PMC” にしたときの利点.
  - 入射光学系のインストールが速く完了できる.
    - 2<sup>nd</sup> MC前までの光学素子をレーザー部屋に設置できるから.
    - 事前のテストが簡単にできる.
  - 吊ったMCに比べて、固定MCの方が扱い(ロックに至る過程)が簡単.
  - PMC後のビームプロファイルは常に一定.
    - レーザー交換・メンテナンス時にPMC後の光学系の再調整が要らない.
      - PMC後の光学系: フラーデーアイソレータ, 変調ユニット, 2<sup>nd</sup> MCなど
      - PMC前の光学系の設計を工夫すれば、2つのレーザーの切替がすぐにできる.
  - 防振装置, 1<sup>st</sup> MC用大ミラーなどに要する時間・コストを削減できる.
- 1<sup>st</sup> MC用のスペースだけは用意すべき.
  - 3年内には1<sup>st</sup> MCの役割はPMCで十分だが、10年後を考えたとき、1<sup>st</sup> MCがなくて干渉計の性能が出ないのは困る.
  - 穴は後で掘り増しできない&MC用の真空装置はまだ増せる可能性はある.
  - ある程度のスペースは、3年での迅速なインストールのための有用なスペースになる.

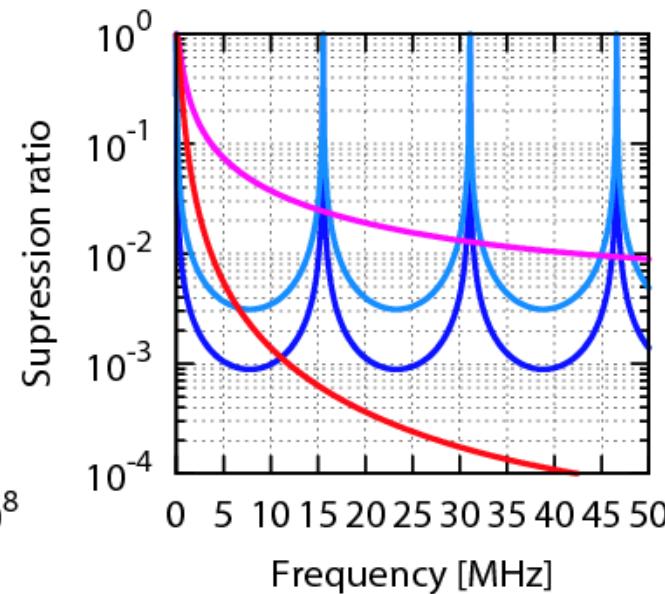
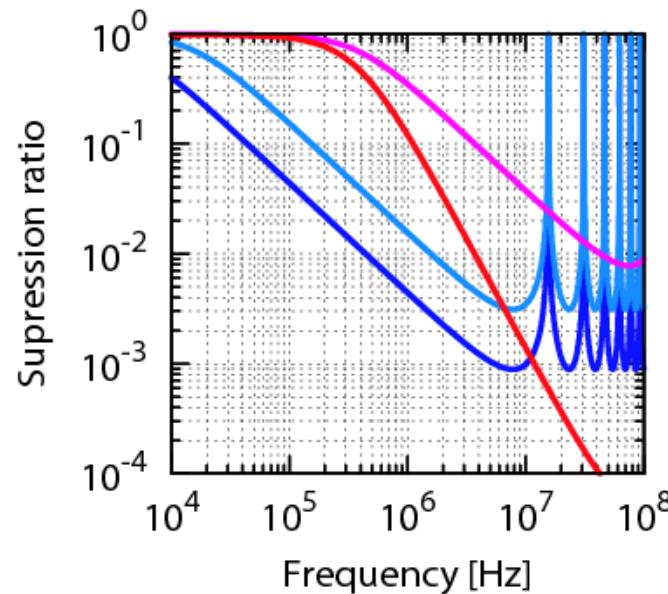
## まとめ②

- 1<sup>st</sup> MCの主な役割は、レーザーの変調周波数での強度雑音(RF強度雑音)の低減。
  - 現行案(1<sup>st</sup> MC)の抑圧比は3桁程度。
  - 現行案(1<sup>st</sup> MC)のフィネスは大きすぎて、熱が問題になる可能性がある。
    - フィネスを1720から、500以下に下げるべき→性能が約1/3落ちる。
- 2個の低フィネスPMCを組み合わせることで、現行案と同じパフォーマンスを実現できる。
  - “Round-trip length = 2 m, フィネス = 200” × 2
  - もし、RF強度雑音がさらに問題なら、もう1つPMCを増やすことで低減できる。
- RF強度雑音の抑圧比。

	f1 = 11.25 MHz	f2 = 45 MHz
現行案 (L = 20 m, F = 1720)	1.2e-3	2.9e-3
現行案の修正案 (L = 20 m, F= 500)	4.1e-2	1.0e-2
PMC x 2 (L = 2 m, F = 200)	1.1e-3	9.4e-5
PMC x 1 (L = 2 m, F = 200)	3.4e-2	9.7e-3

# RF強度雑音の抑圧比

- Current design (L=20m, F=1720)
- Modified current design (L=20m, F=500)
- PMC x 2 (L=2m, F=200)
- PMC x 1 (L=2m, F=200)

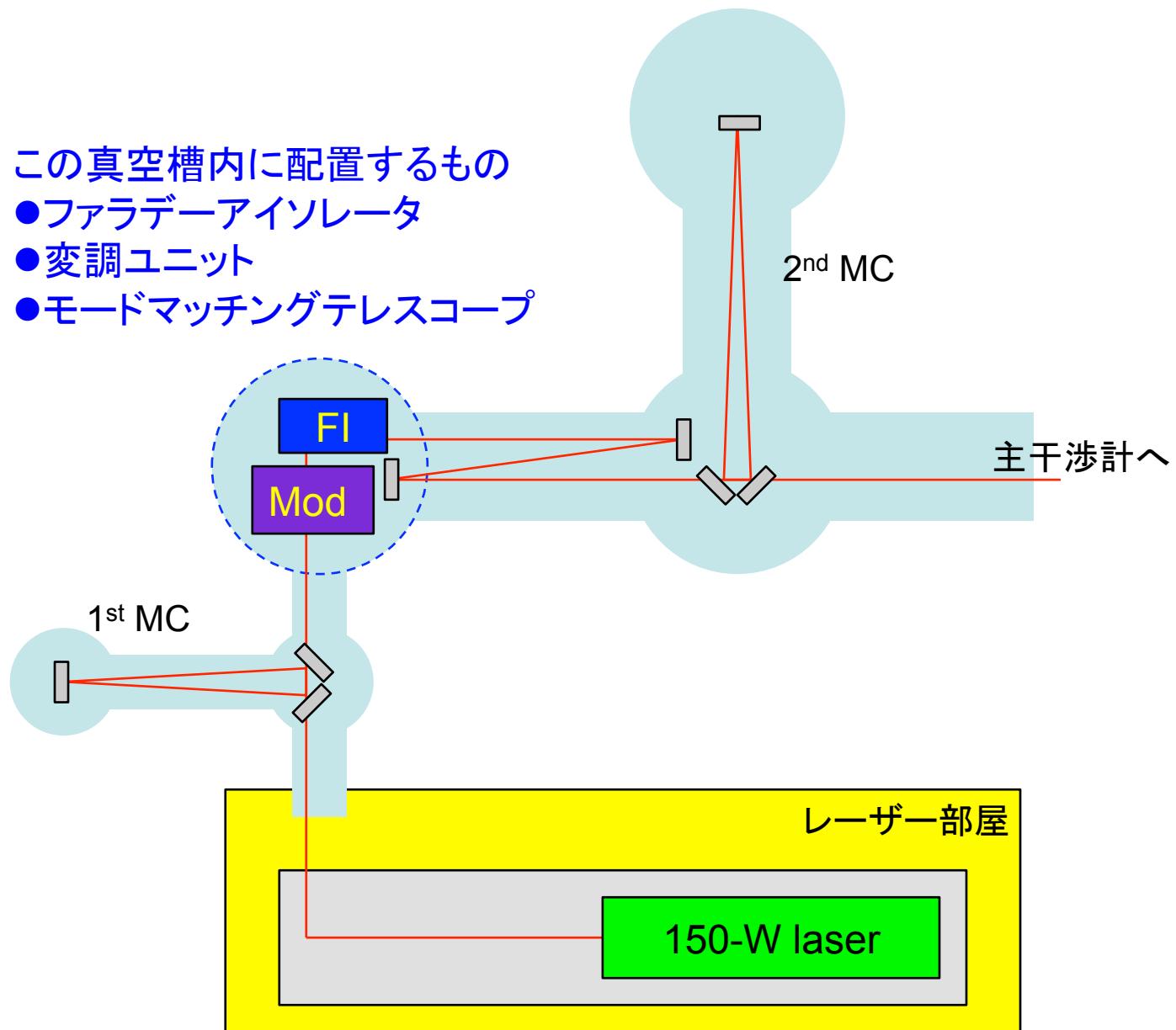


	$f_1 = 11.25 \text{ MHz}$	$f_2 = 45 \text{ MHz}$
現行案 (L = 20 m, F = 1720)	1.2e-3	2.9e-3
現行案の修正案 (L = 20 m, F = 500)	4.1e-2	1.0e-2
PMC x 2 (L = 2 m, F = 200)	1.1e-3	9.4e-5
PMC x 1 (L = 2 m, F = 200)	3.4e-2	9.7e-3

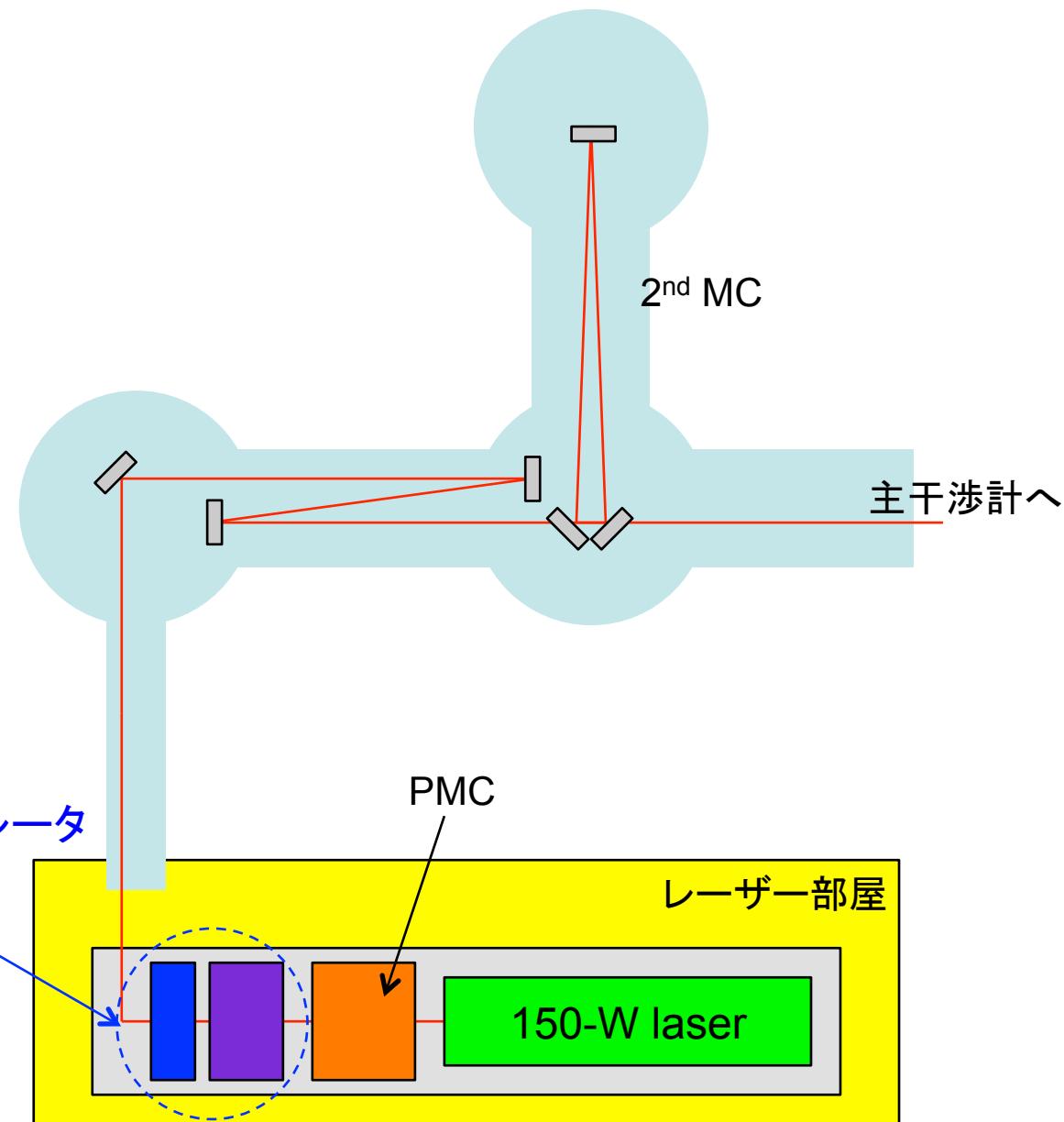
# 入射光学系の配置(現行案)

この真空槽内に配置するもの

- ファラデーアイソレータ
- 変調ユニット
- モードマッチングテレスコープ



# 入射光学系の配置(1<sup>st</sup> MC => PMC 案)



# MCの役割

- 1<sup>st</sup> MC ( $L/2 = 10\text{ m}$ )
  - 最重要項目
    - RF強度雑音の除去.
  - 重要項目
    - モードクリーニング
    - 位置揺らぎの低減
  - 必須ではないこと.
    - 周波数参照.
    - 偏光特性の改善.
- 2<sup>nd</sup> MC ( $L/2 = 13.33\text{ m}$ )
  - 最重要項目
    - 変調サイドバンドの透過
      - 11.25 MHz
      - 45 MHz
      - $\alpha$  (アライメント信号取得用)
    - モードクリーニング
    - 位置揺らぎの低減
    - 周波数参照
      - FSR = 11.25 MHz
    - 偏光特性の改善.
  - 考慮しなくてよいこと.
    - RF強度雑音の除去.

# PMCのデザイン

- Round-trip length = 2 m => FSR = 150 MHz
- フィネス = 200
- PMCデザイン時に注意すること。
  - リジットボディの共振を考慮し、あまり大きくしない(典型的に 0.5 m 以下のサイズ).
    - 折り返して、長さを稼ぐ => 6枚の鏡で構成.
  - フィネスを大きくすると、全反射ミラーでのロスが効く.
    - 低フィネスなので、現行案のエンド鏡と同性能のもので十分.
  - ミラー上のビーム径を大きくして、レーザーパワー密度を下げる.
    - 現行案と同程度以下にすることは可能.
  - 熱によるモードの変化への影響を最小限に抑える.
    - 比較的曲率半径の小さなミラーを使用すればよい.

