

レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300の パワーリサイクリング XIV (散乱光雑音)

国立天文台, 東大天文^A, 東大理^B, 東大宇宙線研^C, 東大新領域^D,
阪市大^E, 電通大^F, 通総研^G, TAMA Collaboration^H

新井宏二, 佐藤修一, 高橋竜太郎, 阿久津智忠^A, 中川憲保^C, 辰巳大輔, 常定芳基,
福嶋美津広, 山崎利孝, 長野重夫^G, 安東正樹^B, 森脇成典^D, 武者満^F, 神田展行^E,
三尾典克^D, 川村静児, 藤本真克, 坪野公夫^B, 大橋正健^C, 黒田和明^C,
他TAMA Collaboration^H

TAMA300検出器

● 300m基線レーザー干渉計型重力波検出器TAMA300

サイト: 国立天文台 三鷹キャンパス (東京都)

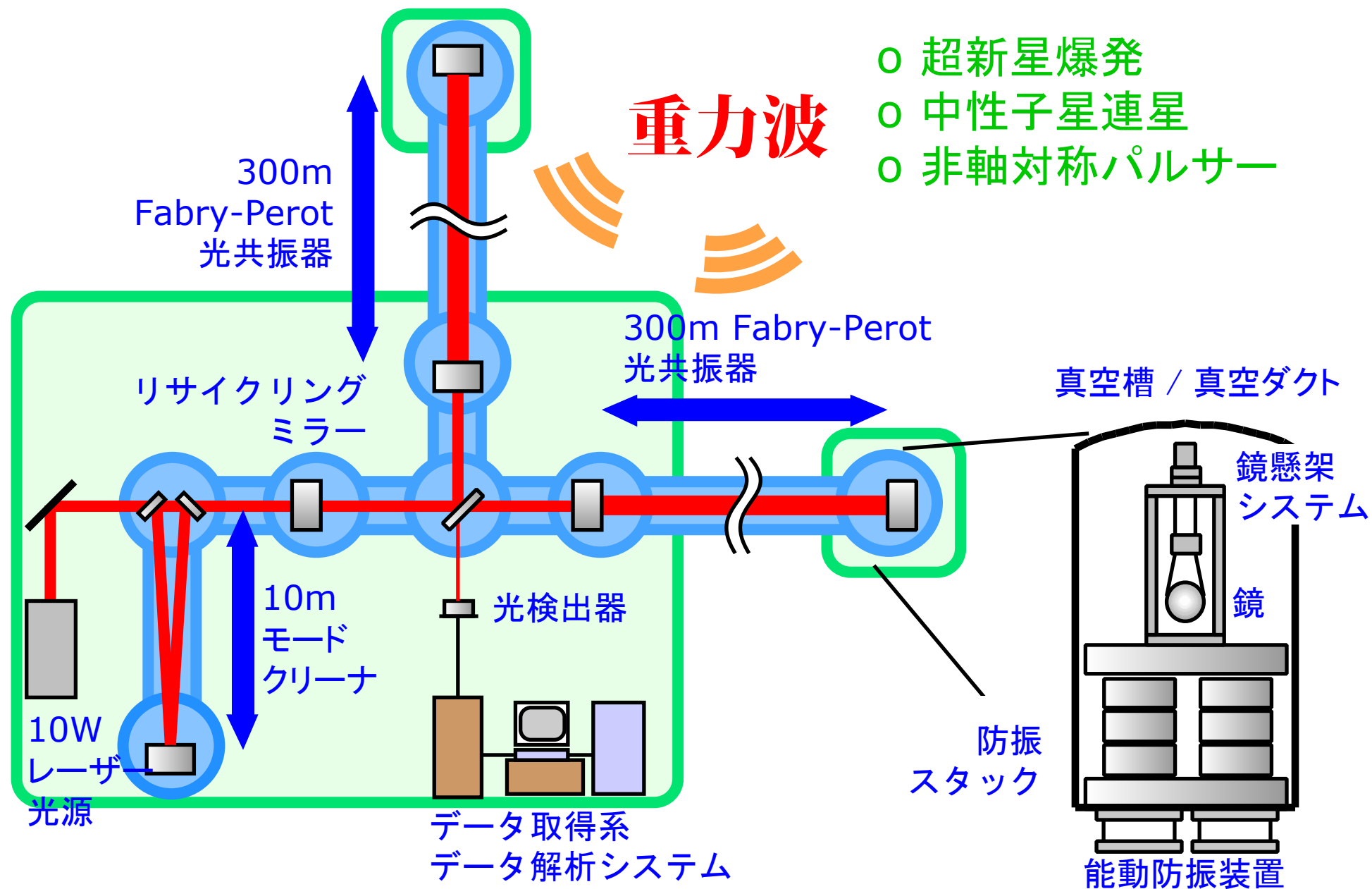
● TAMA300の目的

1. 近傍銀河で発生する
 - 重力波イベントを
 - 検出可能な
 - 実証型検出器の開発
2. 将来のkm級干渉計に
 - 必要な技術の確立

理論感度限界 $\sim h_{\text{RMS}} = 3 \times 10^{-21}$
観測帯域の中心周波数300Hz
(バンド幅300Hz)

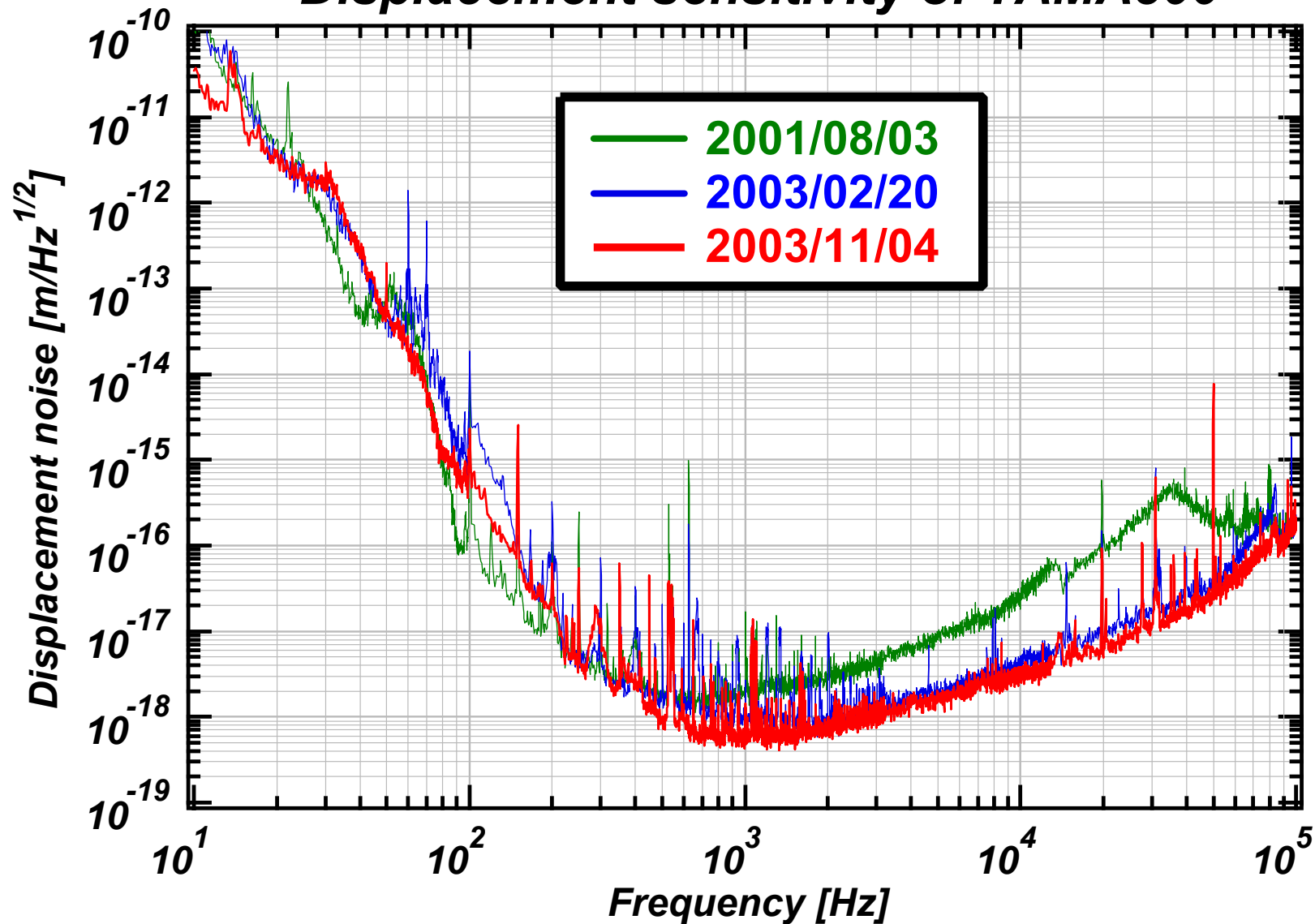


TAMA300検出器 ～ 概略



History of the sensitivity

Displacement sensitivity of TAMA300



数100Hz付近の感度を向上させることが重要

感度向上のためのActivity

- Recycled Michelson干渉計実験

⇒散乱光雑音

- 変調系雑音

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

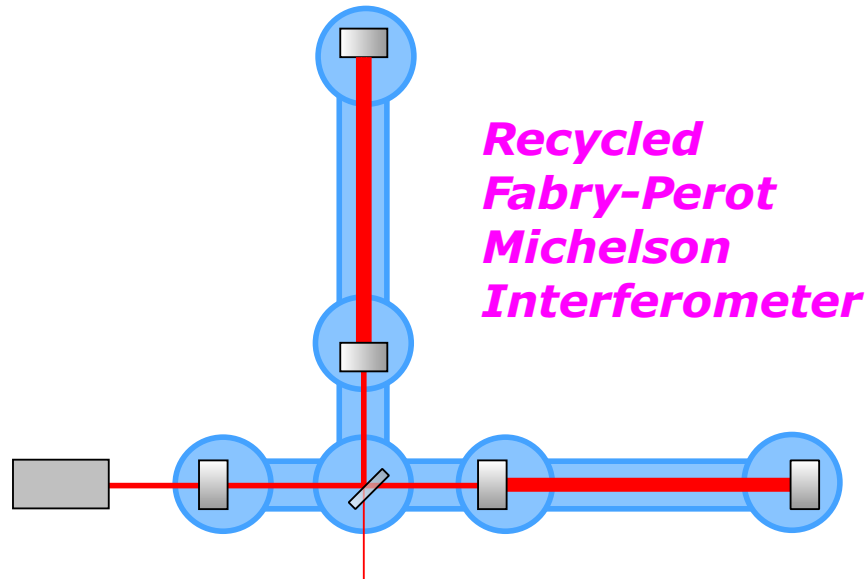
- 防振系のアップグレード

=> Seismic Attenuation System (SAS)

感度向上のためのActivity

● Recycled Michelson干渉計実験

⇒散乱光雑音



● 変調系雑音

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

⇒レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

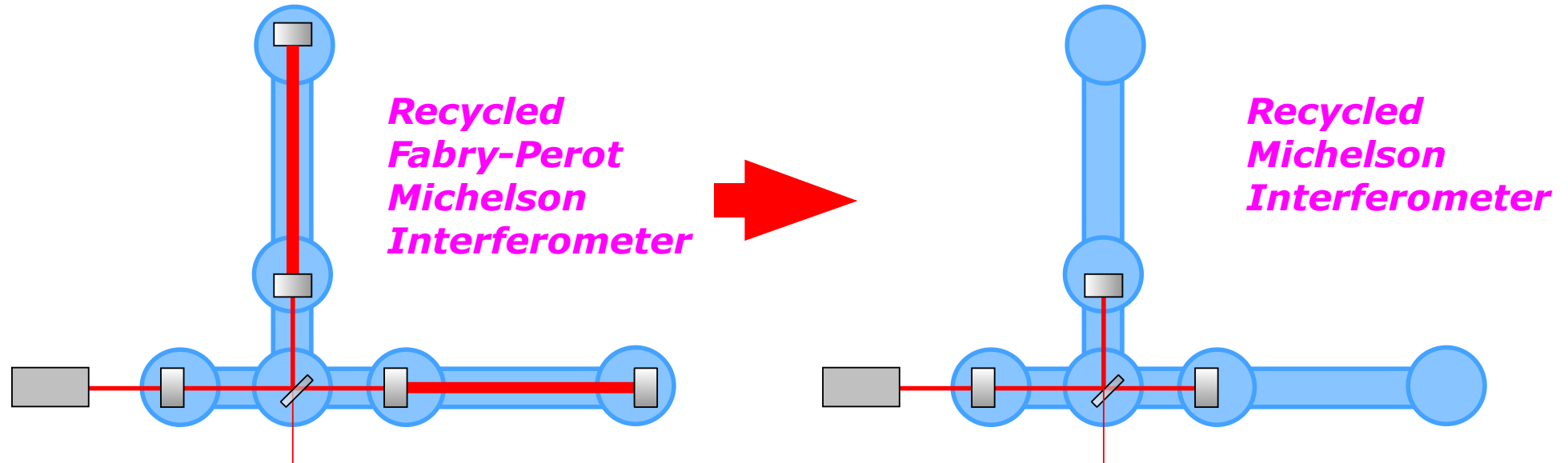
● 防振系のアップグレード

Seismic Attenuation System (SAS)

感度向上のためのActivity

● Recycled Michelson 干渉計実験

⇒ 散乱光雑音



● 変調系雑音

⇒ レーザー雑音の干渉計への影響の計算による理解

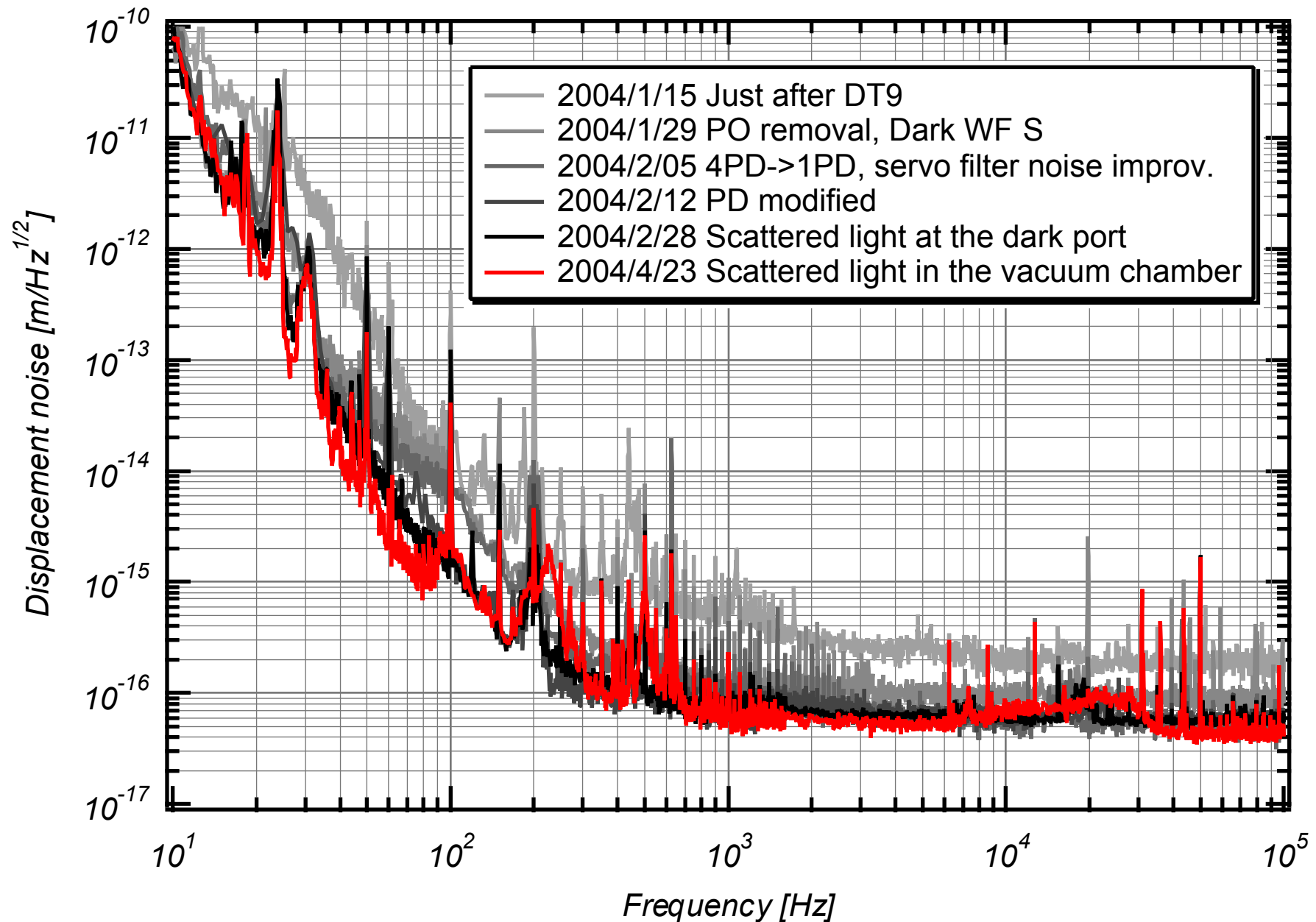
⇒ レーザー雑音の干渉計への影響の実験的検証

● 防振系のアップグレード

Seismic Attenuation System (SAS)

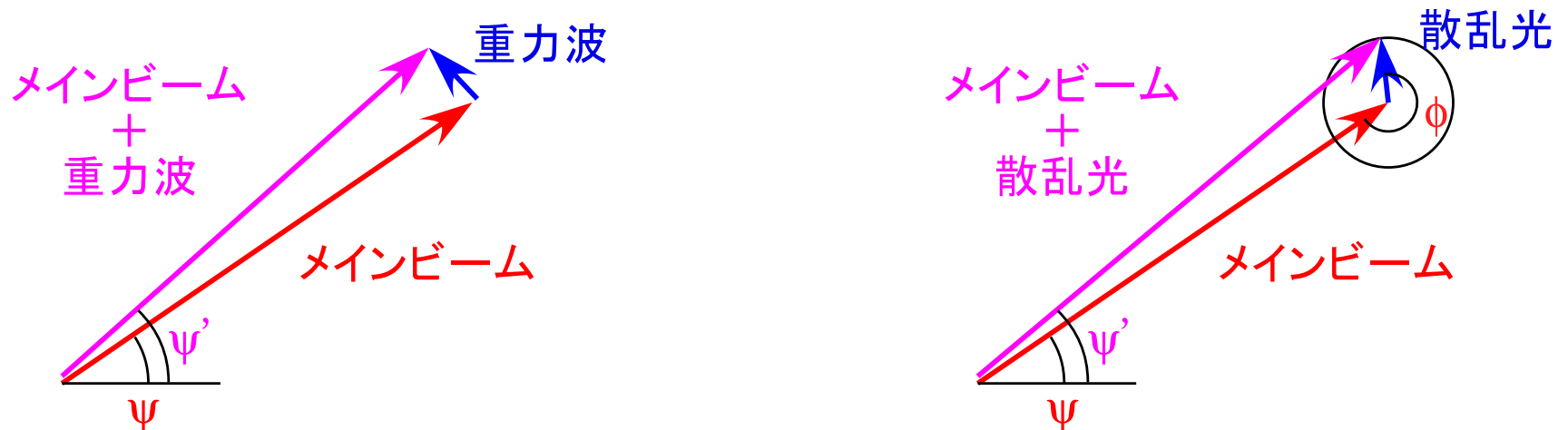
Recycled Michelson Interferometer ~ 感度の向上

RMI Displacement Noise Level



散乱光雑音

- 散乱光雑音の計算・実験での見積りを考える
- 干渉計内部・出力ポートで生じた散乱光
⇒ メインビームと干渉して雑音となる
- 散乱光雑音の原理 (のnaiveな説明)
重力波検出器 ⇒ 各腕でレーザー光に生じた位相変化を読み取る
散乱光 ⇒ 干渉計のレーザー光に任意位相で結合し、
各腕のレーザー光に位相揺動を生じる



散乱光雑音

● 後方散乱モデル

後方散乱: 干渉計からの出力光

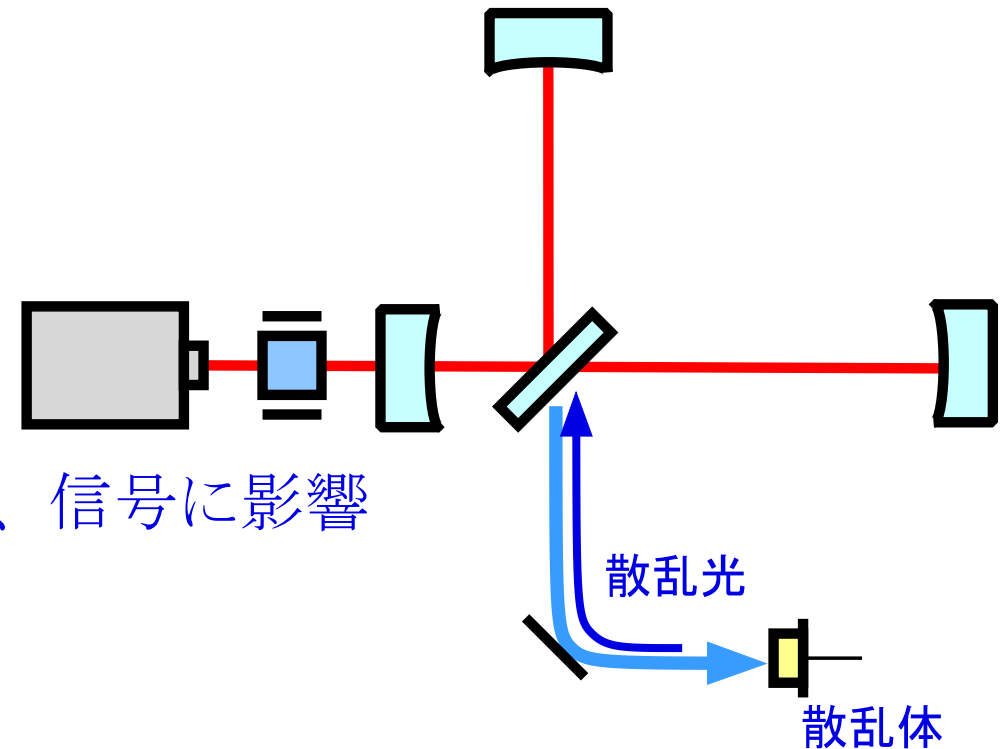
⇒ 光学素子などで散乱

⇒ メインビームの空間モードと
一致する散乱光だけが
メインビームと再結合（干渉）し、信号に影響

● 「散乱光」⇒「雑音」のファクター

各ポートについて

1. 出てきている光の量・光の組成
2. 散乱体からの散乱光とメインビームのモードの結合率
3. そのポートで一定量の散乱光がメインビームに結合したときの、干渉計感度への影響



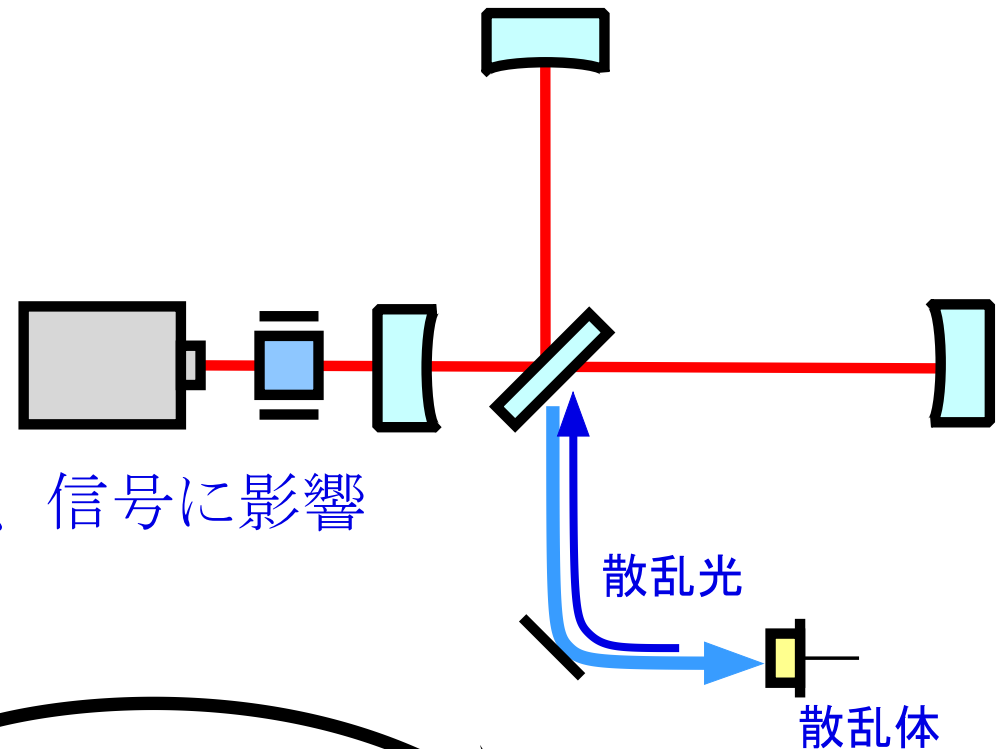
散乱光雑音

● 後方散乱モデル

後方散乱: 干渉計からの出力光

⇒ 光学素子などで散乱

⇒ メインビームの空間モードと一致する散乱光だけがメインビームと再結合（干渉）し、信号に影響



● 「散乱光」⇒「雑音」のファクター

各ポートについて

1. 出てきている光の量・光の組成

2. 散乱体からの散乱光とメインビームのモードの結合
計算で見積もる、または実験的に測定できればなお良い

3. そのポートで一定量の散乱光がメインビームに結合
干渉計感度への影響

従来のLength Sensing系
シミュレーションで
取り扱い可能

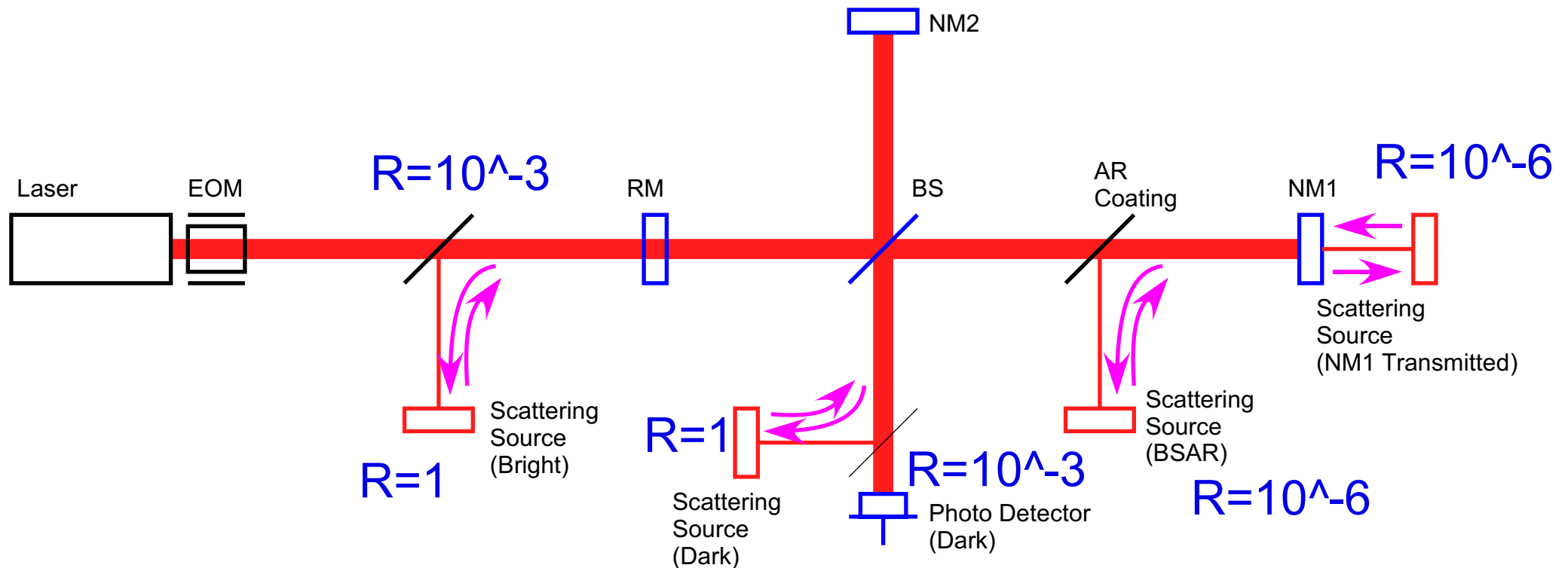
Finesseによるシミュレーション

- シミュレーションエンジン

GEOグループ開発のFinesseを使用

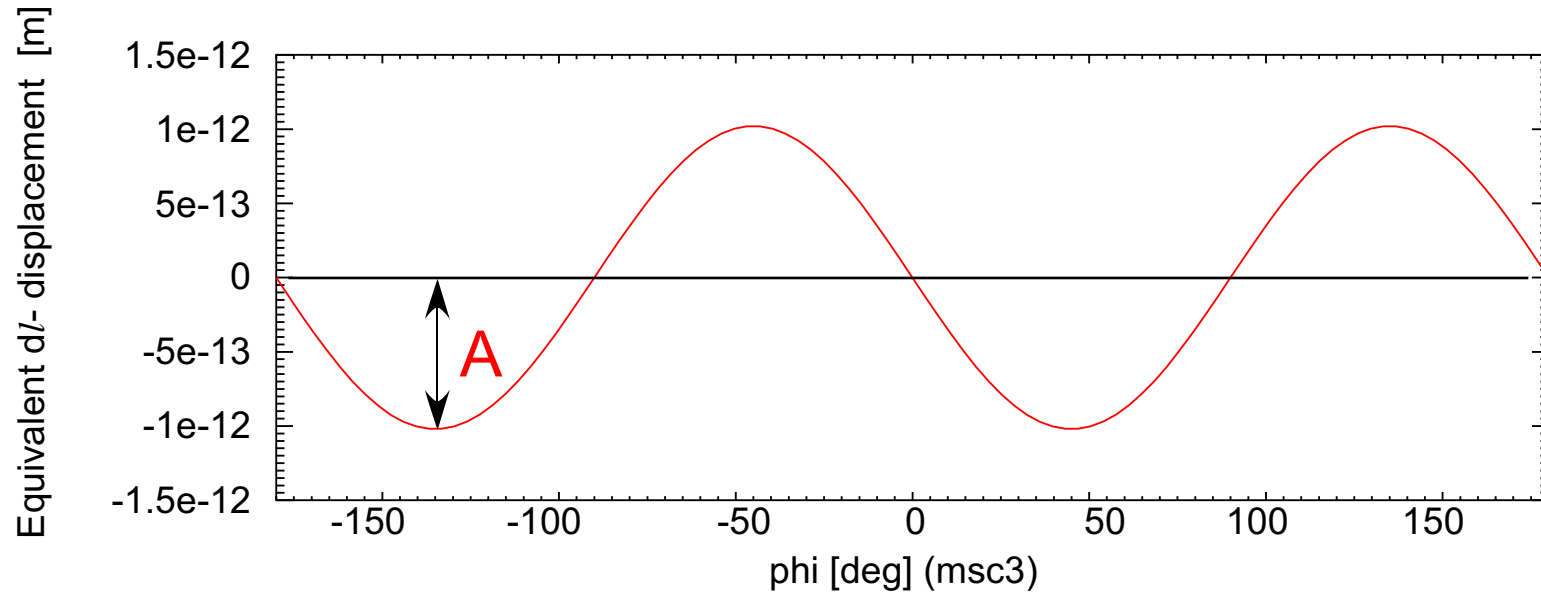
- 干渉計モデル

Recycled Michelson干渉計の各ポートに散乱体($R=10^{-6}$ の鏡)を配置
必要に応じて、散乱光を注入するためのPick-offを設定



シミュレーション結果の一例

ある散乱体が1波長 ($\lambda = 1064\text{nm}$) 動いたときの干渉計信号への影響



- 散乱体の振幅がレーザー波長に比べて小さいとき

$$dL_{\text{max}} = (4 \pi A / \lambda) dx_{\text{scat}}$$

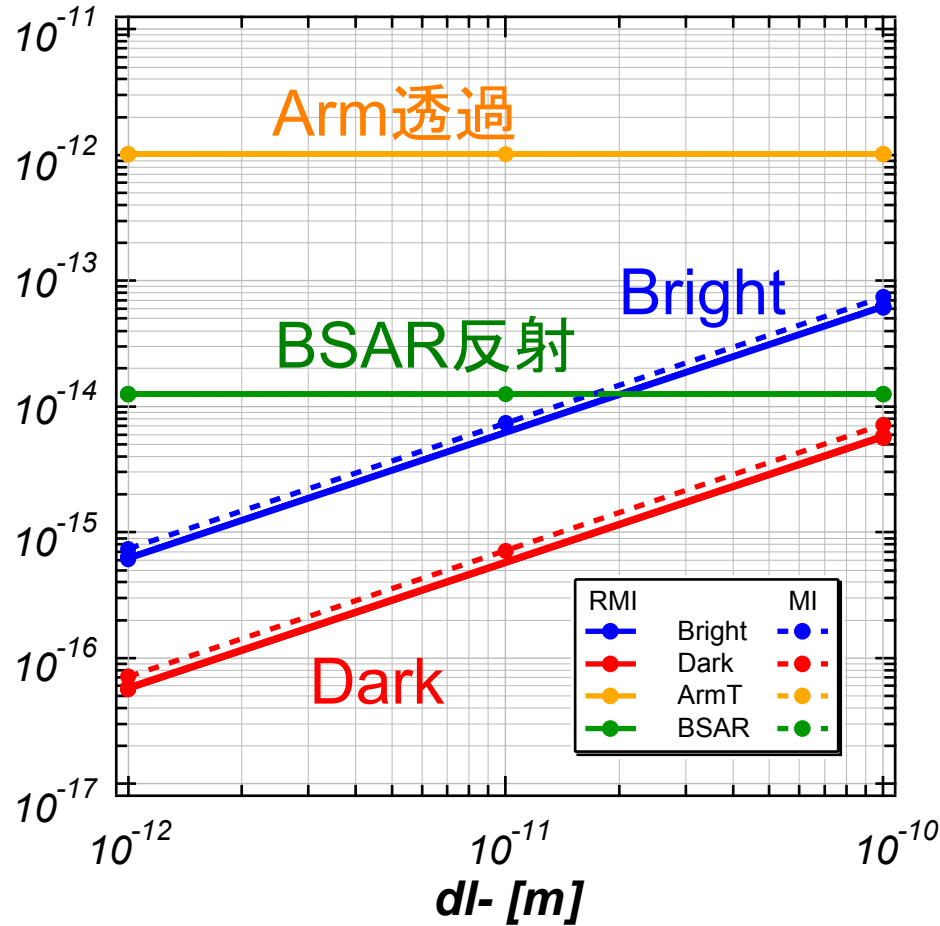
- 散乱体の振幅が大きいとき

$$dL = A \quad \dots \text{@周波数 } (2 v_{\text{scat}} / \lambda)$$

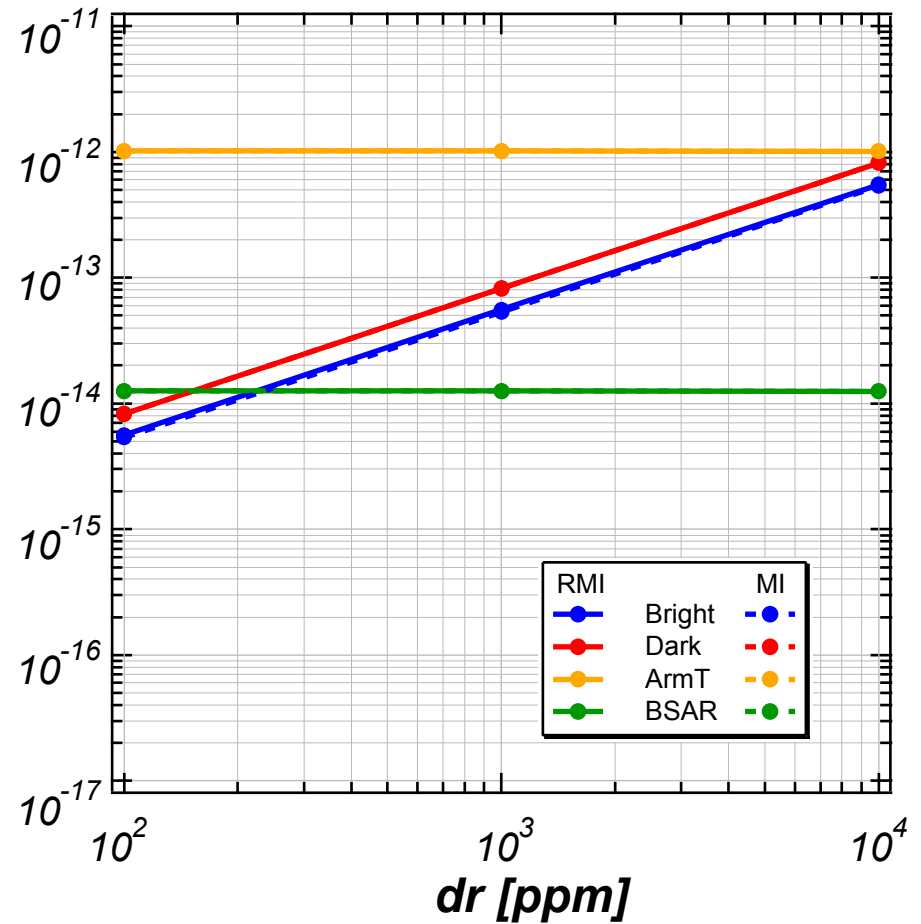
※Aは再入射する散乱光の「振幅」に比例

Michelson / Recycled Michelsonの場合の散乱光雑音振幅A

A: Scattering noise amplitude [m]



A: Scattering noise amplitude [m]



- 腕に非対称に入る散乱光は干渉計の状態に拠らない
- ⇒ 出射パワーの大きい順に問題となる
- 腕に対称に入る散乱光 (Dark/Bright) は干渉計の不完全性に比例

実験的検証・散乱光雑音の低減

● 散乱効率の実験的測定

散乱効率を計算するのは困難

⇒各ポートの光学素子を大振幅もしくはknownな小振幅で振ることで散乱光雑音振幅Aを測定する

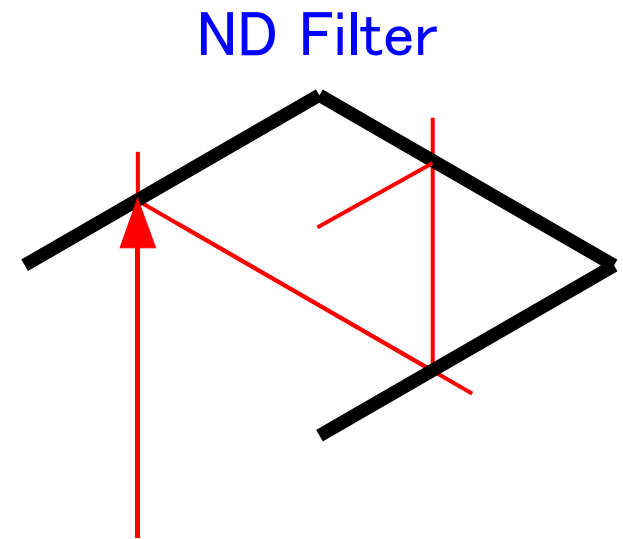
● 散乱光雑音の低減

散乱効率を下げる

⇒迷光をダンプするためのビームダンパー

散乱体のゆれを抑える

⇒光学ポートの防振・真空中への配置



まとめ

- 干渉計型重力波検出器TAMA300
数100Hz帯の雑音低減が急務
- 散乱光雑音
光学素子からの後方散乱が問題となる
干渉計のどの場所で発生した散乱光がどれくらい問題となるかの見積もり
⇒Finesseによるシミュレーション
- 腕に対し非対称に入る散乱光 ⇒直接信号に現れる
腕に対し対称に入る散乱光 ⇒干渉計の不完全性と結合して現れる
- 今後
シミュレーションモデルの300m干渉計への拡張
散乱効率・散乱光雑音レベルの実験的検証