

IFI scattered light requirement

K.Somiya (TITech)

散乱光のカップリング経路

[LIGO-T0900501-v2]

- (1) メインビームに合流して周波数雑音を生む
- (2) 強度安定化(ISS)用PDへ入り強度雑音を生む
- (3) CARM用PDへ入射して周波数雑音等を生む

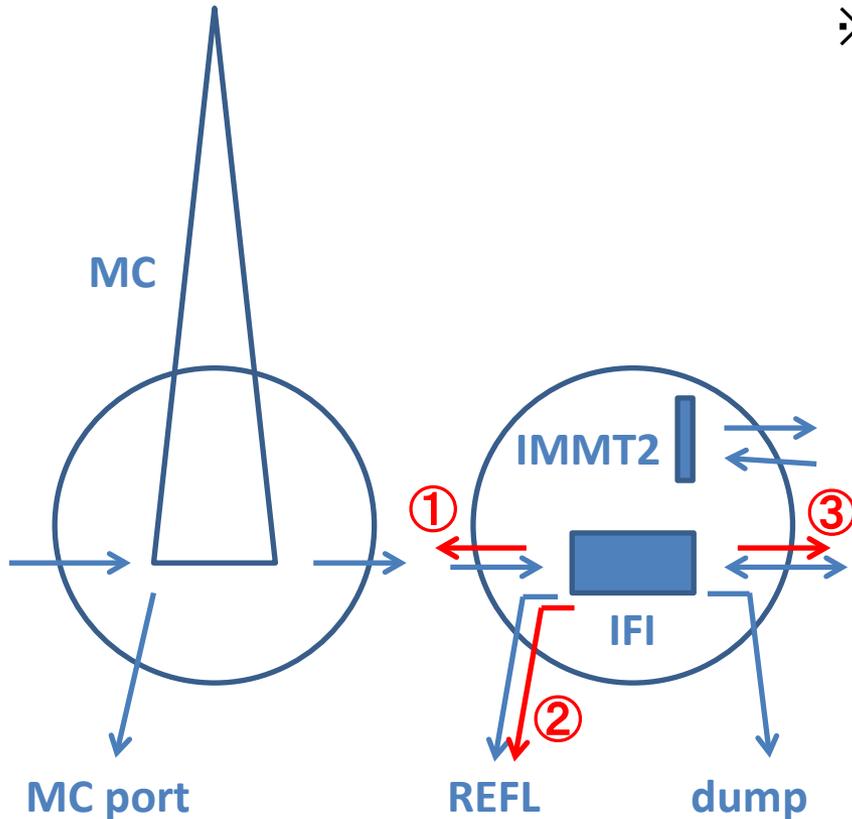
関係する事項

- KAGRAのISSはIMMT1or2の透過光で行う
- KAGRAではCARMでMICHも取得⇒変更の可能性あり
- 参考文献ではMC前のFNを検討している

散乱光のカップリング経路

※ISSはIMMT1の透過光で行うと仮定

※PRMミスアライン時の光は下流で分けると仮定



IFIからの主な散乱光

- ①: 入射光がIFIとバツフルで反射 → (1)(2)
- ②: 別偏光成分がIFIとバツフルで反射して、CWPで分離される干渉計反射光に混入 → (3)
- ③: 干渉計の反射光がIFIとバツフルで反射 → (1)(2)

散乱方法は、

- (i) バツフルからの乱反射
 - (ii) IFI結晶表面からの乱反射
- の2通りがある

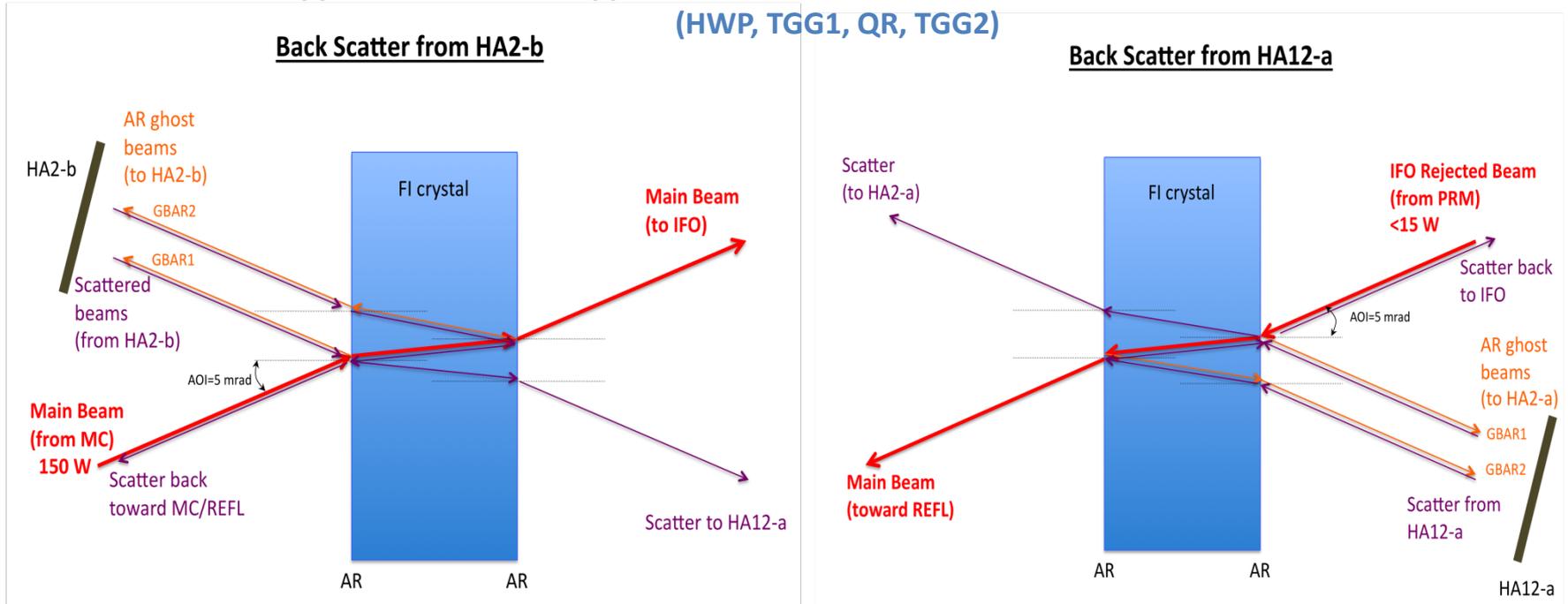
※乱反射はBRDFを乗じて計算する

(Bidirectional Reflectance Distribution Function)

バックフル経路の散乱光

* AR reflection is 1000ppm for KDP and 300ppm for the other 4 elements
(HWP, TGG1, QR, TGG2)

[LIGO-T1000011-v4]



HA2-bからMC(①) = Input beam x IFI-AR(total) x HA(BRDF x solid angle) x IFI-AR(average) x 2
 = 100W x 2200ppm x (0.1 x 2.44e-8) x 440ppm x 2 = 4.7e-13 W

HA2-bからREFL(②) = (~同上) x (別偏光混入比) = 4.7e-13 x 0.1% = 4.7e-16 W

HA12-aからIMMT(③) = Reflected beam x IFI-AR(total) x HA x IFI-AR(average) x 2
 = ~20W x 2200ppm x (0.1 x 2.44e-8) x 440ppm x 2 = 9.4e-14 W



ガウスビームの立体角

[Siegmann, chap.17]

$$\Omega = \frac{\lambda^2}{2\pi w_0^2} \quad \text{IFIでのビーム径} w_0=2.55\text{mm}$$
$$= 2.44e-8 \quad [\text{sr}]$$

$$\text{BRDF} = \frac{dL_R(w_R)}{L_I \cos \theta dw_I} \quad [1/\text{sr}]$$

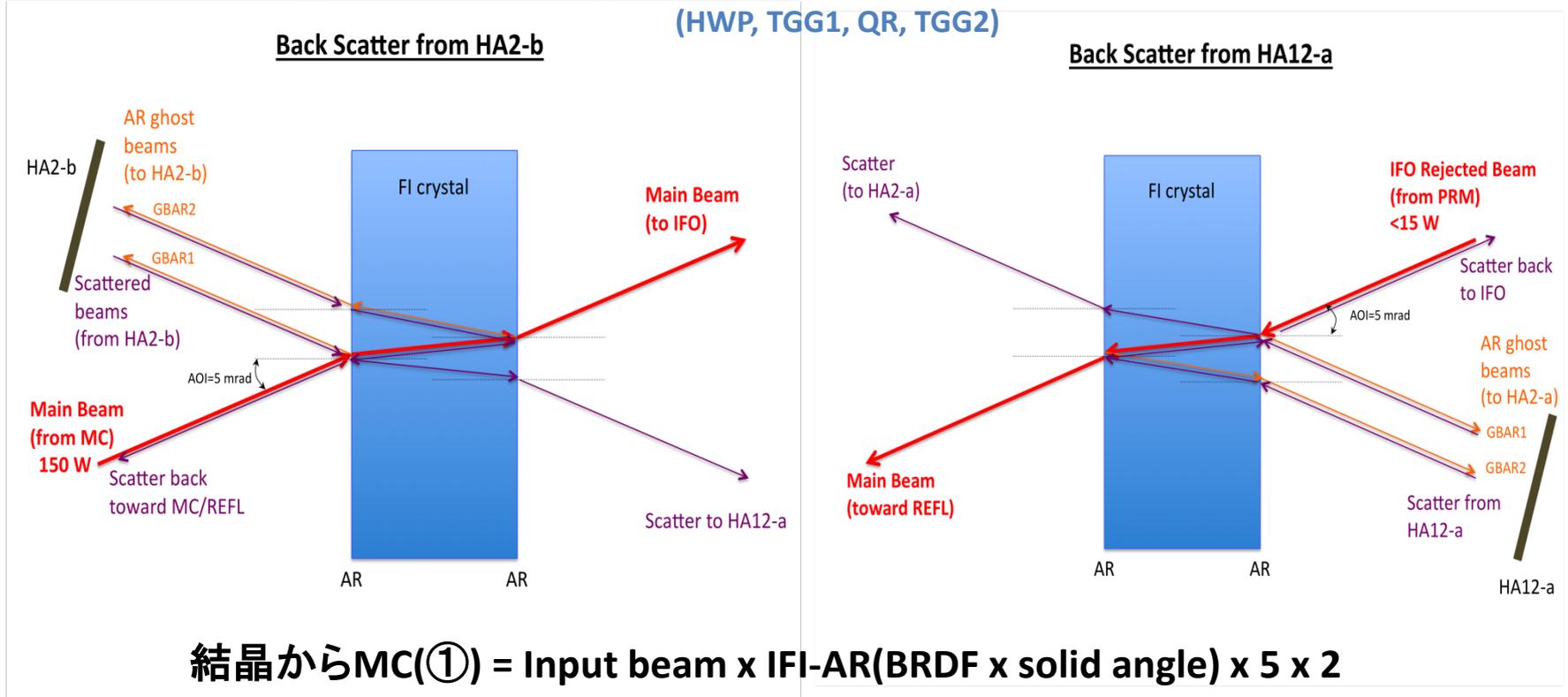
$$\Rightarrow \text{LIGO's BRDF} = \frac{dL_R(w_R)}{L_I dw_I} \quad [1/\text{sr}]$$

バッフルはほぼ直入射 $\theta=0$ 度
Faraday結晶への入射角は $\theta=5$ 度(ほぼ0度)

結晶表面での乱反射

* AR reflection is 1000ppm for KDP and 300ppm for the other 4 elements
(HWP, TGG1, QR, TGG2)

[LIGO-T1000011-v4]



$$\begin{aligned} \text{結晶からMC(①)} &= \text{Input beam} \times \text{IFI-AR(BRDF} \times \text{solid angle)} \times 5 \times 2 \\ &= 100\text{W} \times (0.01 \times 2.44\text{e-}8) \times 10 = 2.4\text{e-}7 \text{ W} \end{aligned}$$

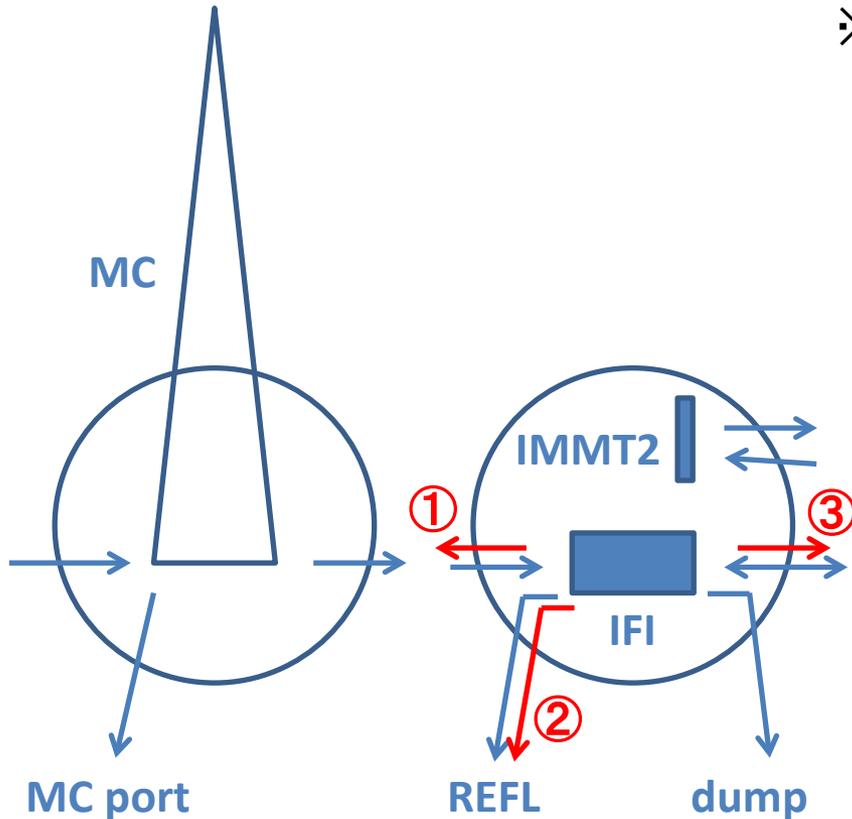
$$\text{結晶からREFL(②)} = (\sim\text{同上}) \times (\text{別偏光混入比}) = 2.4\text{e-}10 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{結晶からIMMT(③)} &= \text{Reflected beam} \times \text{IFI-AR(BRDF} \times \text{solid angle)} \times 5 \times 2 \\ &= \sim 20\text{W} \times (0.01 \times 2.44\text{e-}8) \times 10 = 4.9\text{e-}8 \text{ W} \end{aligned}$$

散乱光(合計)

※ISSはIMMT1の透過光で行うと仮定

※PRMミスアライン時の光は下流で分けると仮定



IFIからの主な散乱光

- ①: 入射光がIFIとバッフルで反射 → (1)(2)
- ②: 別偏光成分がIFIとバッフルで反射して、CWPで分離される干渉計反射光に混入 → (3)
- ③: 干渉計の反射光がIFIとバッフルで反射 → (1)(2)

$$\textcircled{1} = 4.7\text{e-}13 + 2.4\text{e-}7 = 2.4\text{e-}7 \text{ W}$$

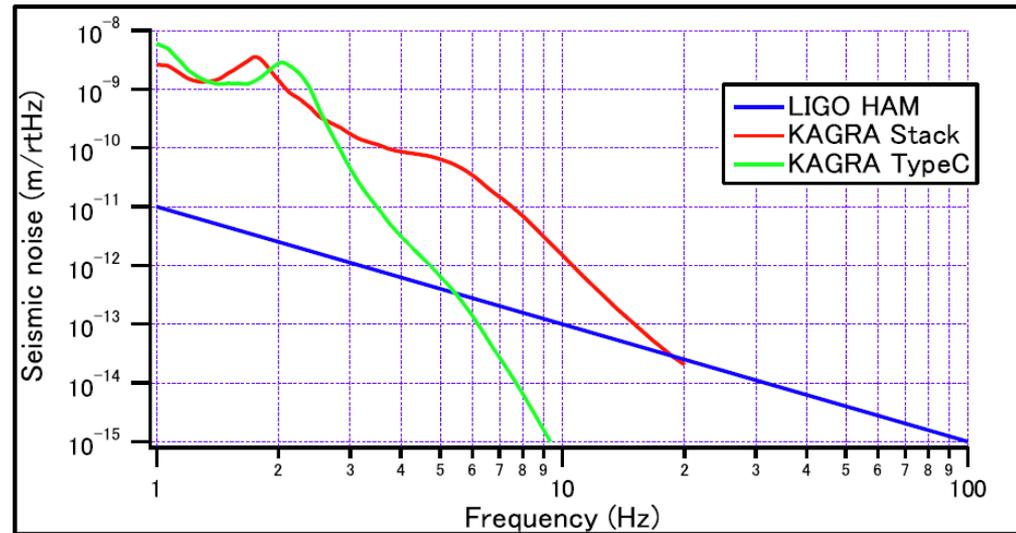
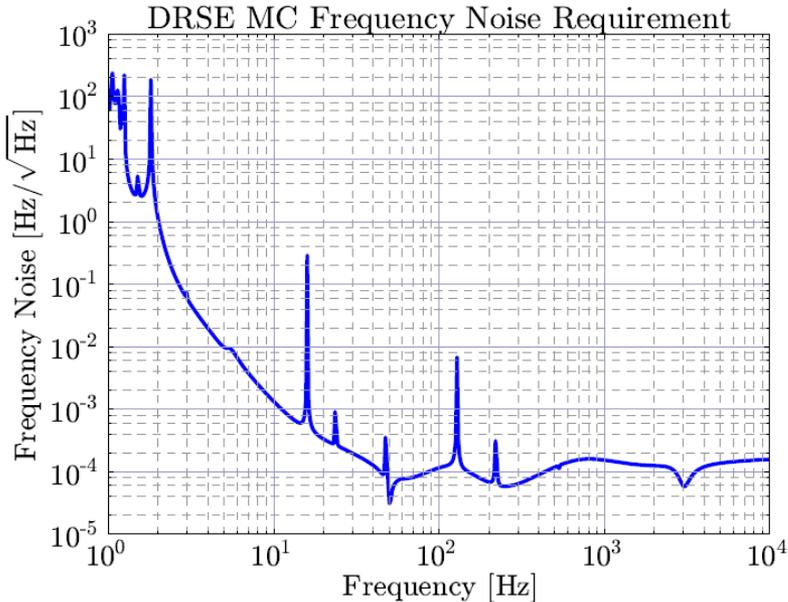
$$\textcircled{2} = 4.7\text{e-}16 + 2.4\text{e-}10 = 2.4\text{e-}10 \text{ W}$$

$$\textcircled{3} = 9.4\text{e-}14 + 4.9\text{e-}8 = 4.9\text{e-}8 \text{ W}$$

①については、MCや100テーブル上の光学素子でさらに乱反射してはじめて干渉計へ再入射することになるので、さらに8桁ほど軽減されると考えられる。以下、②と③について考えていく。

(1) 周波数雑音に関する要求

[JGW-T1100363 (MIF Design Document)]

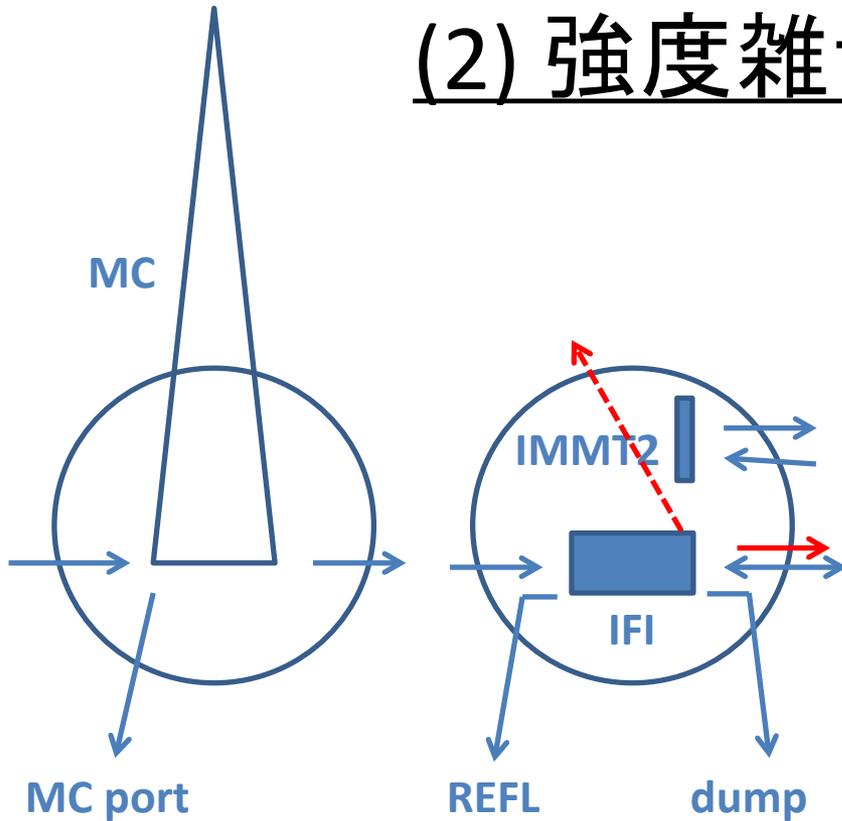


$$\text{Sqrt}[P_{\text{scatter3}}] \times 2\pi \times \delta x / \lambda < \text{Sqrt}[P_{\text{in}}] \times \delta v / (2\pi f) \times 10\%(\text{safety})$$

10Hz:	2.2e-4	6 x	1e-12 / 1e-6	10	1e-3 / 60	0.1	[OK]
20Hz:	2.2e-4	6 x	2e-14 / 1e-6	10	3e-4 / 120	0.1	[OK]
50Hz:	2.2e-4	6 x	<1e-15 / 1e-6	10	1e-4 / 300	0.1	[OK]

※ Stackを仮定

(2) 強度雑音に関する要求



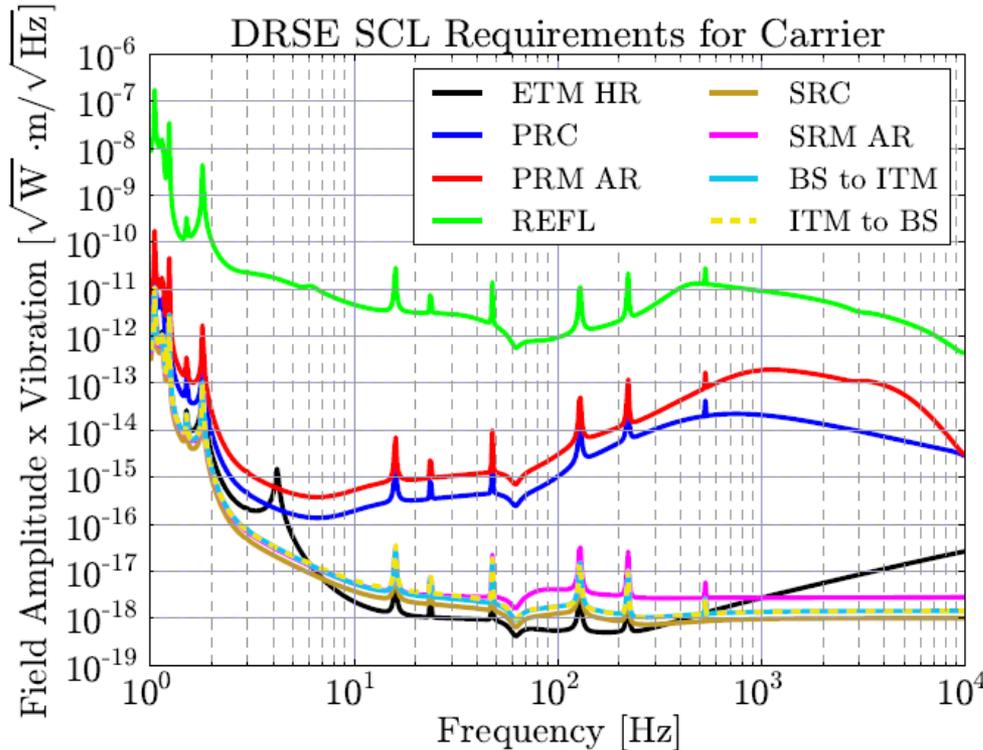
- ISSをIMMT1の透過光で行う場合、IFIより下流なので問題にならない
- ISSをIMMT2の透過光で行う場合、IFIから直接PDに入ると問題となる可能性があるが、遮光すればよい
- ISSがIFIより上流にある場合の要求値は以下の通り

$$\text{Sqrt}[P_{\text{scatter3}}] \times 2\pi \times \delta x / \lambda < \text{RIN} \times \text{Sqrt}[P_{\text{in}}] \times 10\%$$

10Hz:	2.2e-4	6.3e-6	2e-9	10	0.1	[ぎりぎりOK]
20Hz:	2.2e-4	1.3e-7	2e-9	10	0.1	[OK]
50Hz:	2.2e-4	<6.3e-9	2e-9	10	0.1	[OK]

(3) CARMに関する要求

[JGW-T1100363 (MIF Design Document)]



左図のREFLに注目すると

$$\text{Sqrt}[P_{\text{scatter}2}] \times \delta x < \text{Requirement}$$

$$10\text{Hz}: 1.5e-5 \times 1e-12 < 5e-12 \text{ [OK]}$$

$$100\text{Hz}: 1.5e-5 \times \sim 1e-15 < 1e-12 \text{ [OK]}$$

※ Stackを仮定

SBについても同程度の要求値であり、
Stackを使用しても要求値は満たされていることが分かる

まとめと考察

- IFIを振り子で吊らずStackに直置きした場合に懸念される散乱光問題について検証した
- 周波数雑音経由、強度雑音経由、制御ループ経由で混入する散乱光雑音について検証したところ、10Hz以上で要求値を十分満たしていることが分かった
- Film PBSを入れる場合は散乱光が増える可能性があるので、考慮する必要がある