

KAGRA 用高性能ミラー評価： 散乱角度分布測定装置の開発

長岡慧[○], 武者満, 辰巳大輔^A, 上田暁俊^A, 三尾典克^B,
米田仁紀, 植田憲一

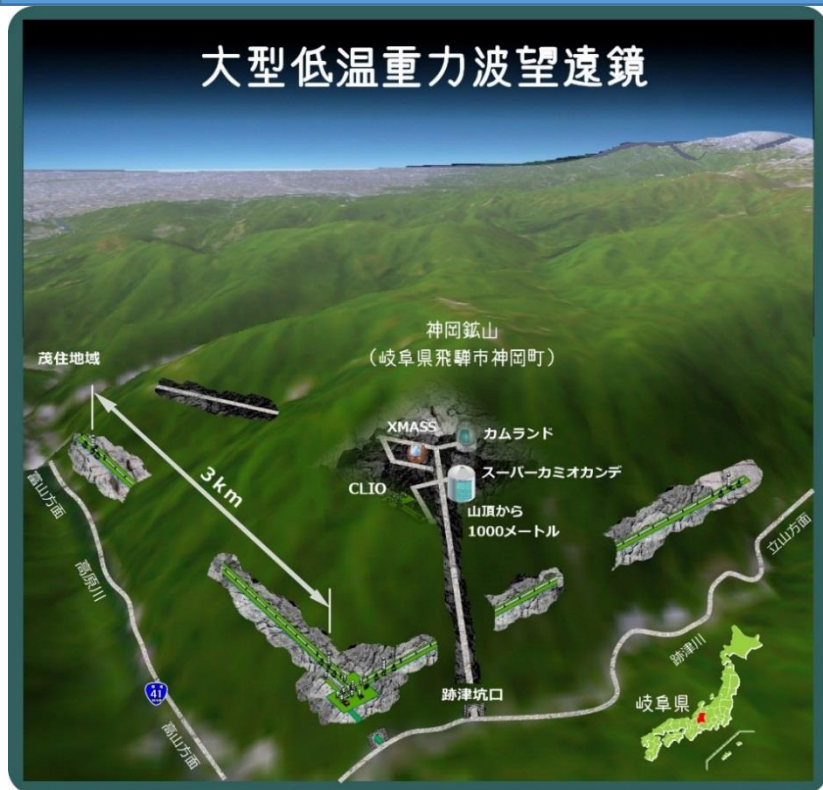
電通大レーザー研, 国立天文台^A, 東大工^B

- 研究背景
- 原理
- 散乱角度分布測定装置概要
- 光検出回路
- 迷光対策
- 散乱角度分布測定結果
- まとめと展望

研究背景

日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学

大型低温重力波望遠鏡

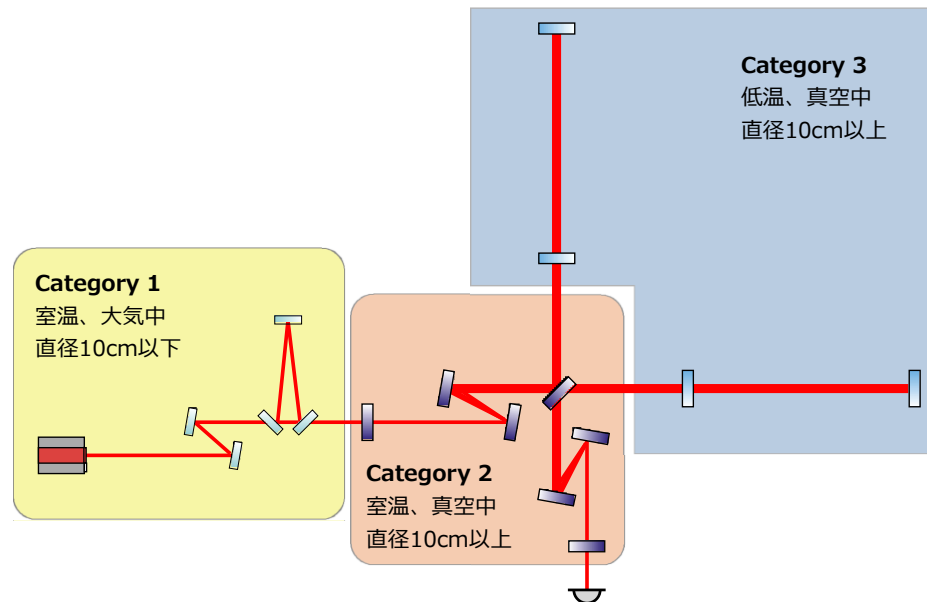


「大型低温重力波望遠鏡 KAGRA」

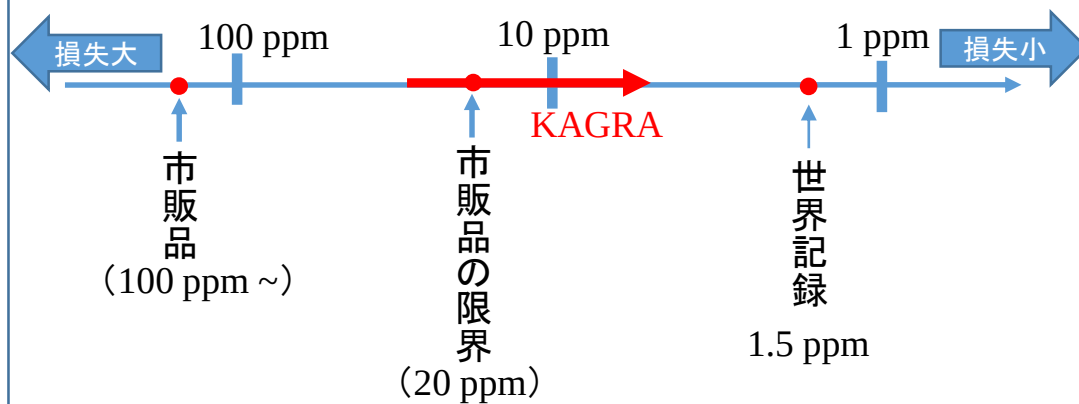
<http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/>

重力波検出器 KAGRA

KAGRA に必要なミラー
高パワー耐性、**超低損失**が要求される



各種ミラーの損失の大きさ



ミラーの損失の原因

表面での

散乱

内部での

吸収

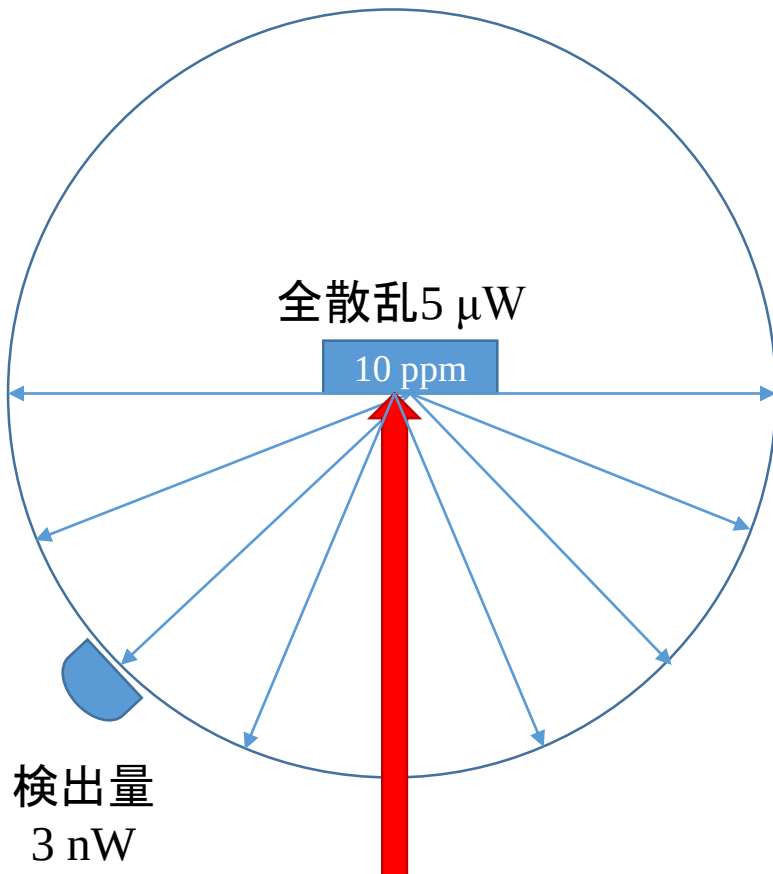
散乱源の大きさ

光の波長以上・・・ Mie散乱
光の波長以下・・・ Rayleigh散乱

散乱光の角度分布が異なる



微小散乱光の角度分布を測定できる装置の開発
(10 ppm以下の散乱)



500 mW
1064 nm光源

(低バックグランド光のために単一横モードが必要)

入射光 500 mW

↓ 10 ppm散乱

全散乱 ... 5 μ W

↓ 角度分布測定(見込角 4×10^{-3} sr)

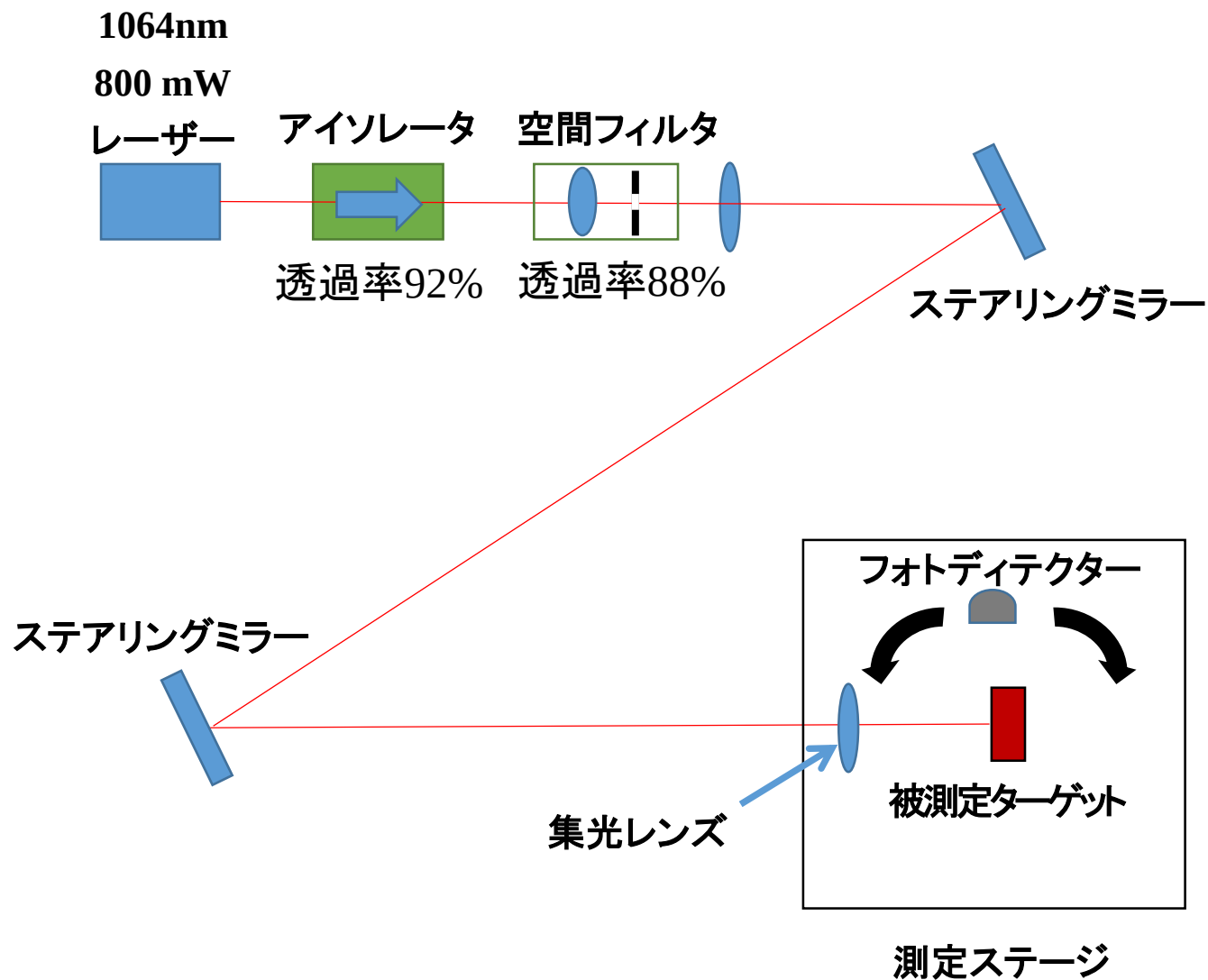
散乱光検出 ... 3 nW

- 微小信号検出器
- 光学系
- バックグランド光対策

様々な検討と工夫

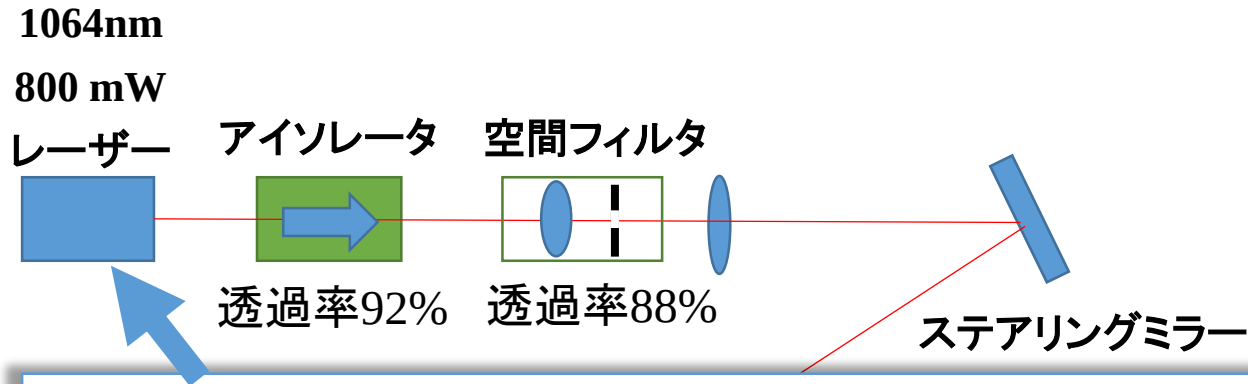
散乱角度分布測定装置

日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学



光学機器の特性評価

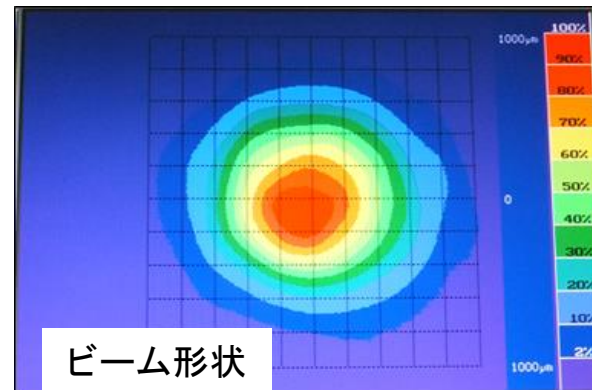
日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学



使用レーザー(Nd: YVO₄)
MIL-III-1064nm・800mW-12060566



Changchun New Industries Optoelectronics Tech



レーザー出射800 mW → ターゲット入射640 mW > 500 mW

OK !

測定ステージ

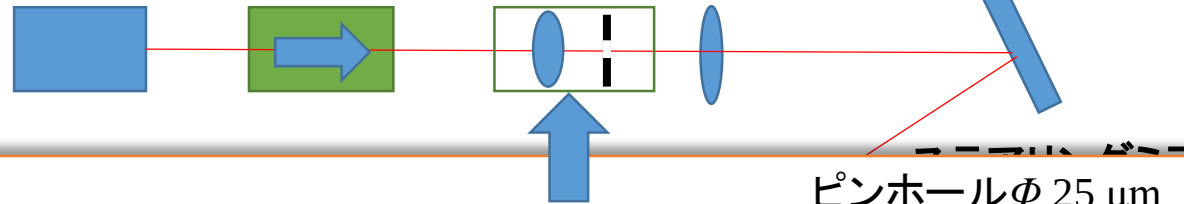
1064nm

800 mW

レーザー

アイソレータ

空間フィルタ

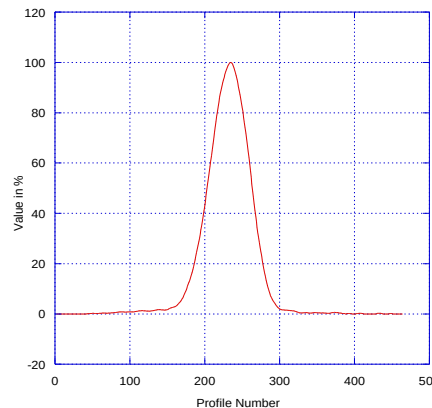
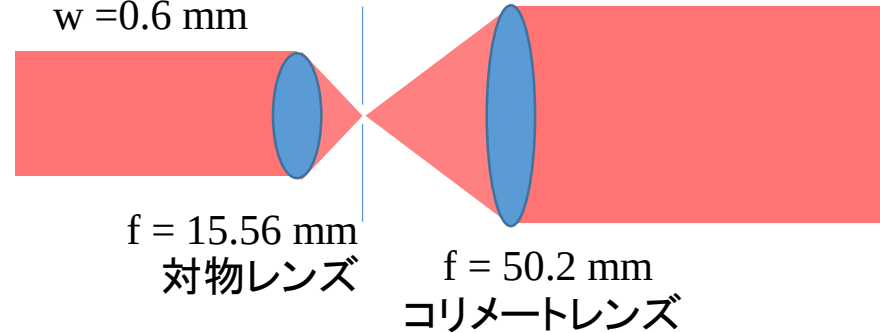


空間フィルタ (Spatial Filter)



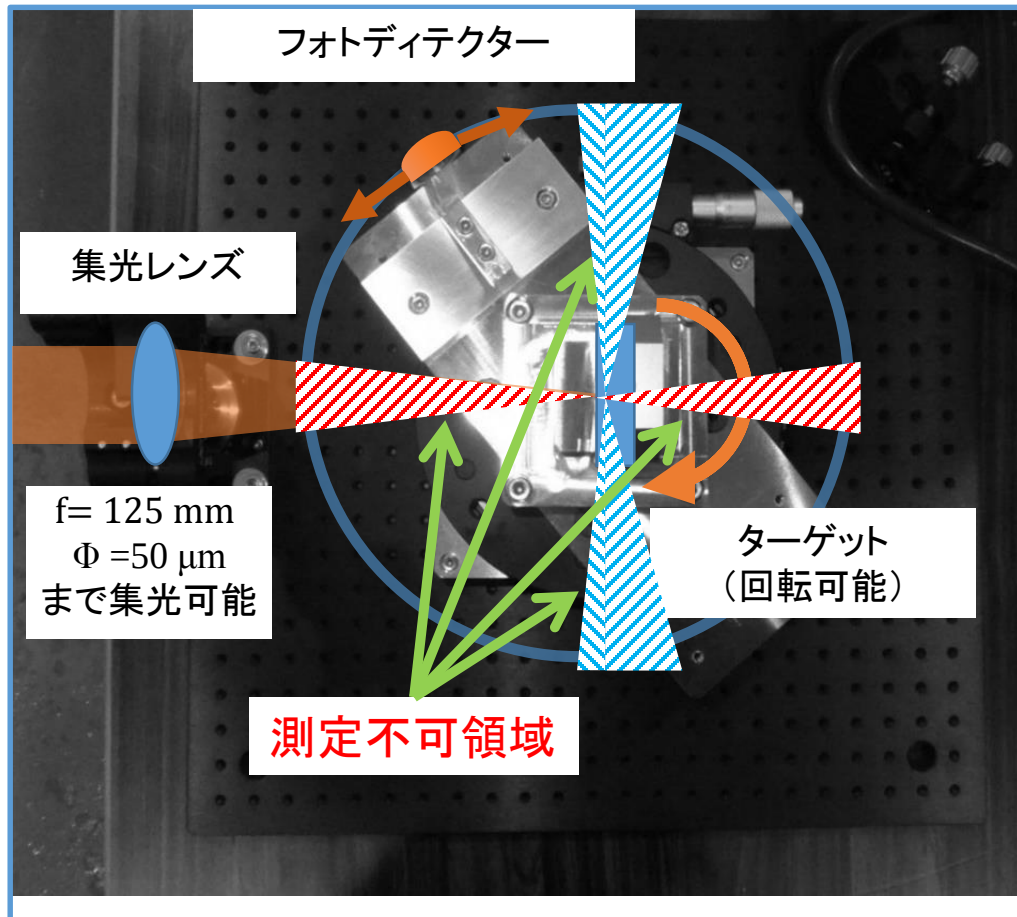
ビーム整形に使用

ピンホール $\phi 25 \mu\text{m}$ $w = 2.5 \text{ mm}$
 $w = 0.6 \text{ mm}$



出射後
ビームプロファイル

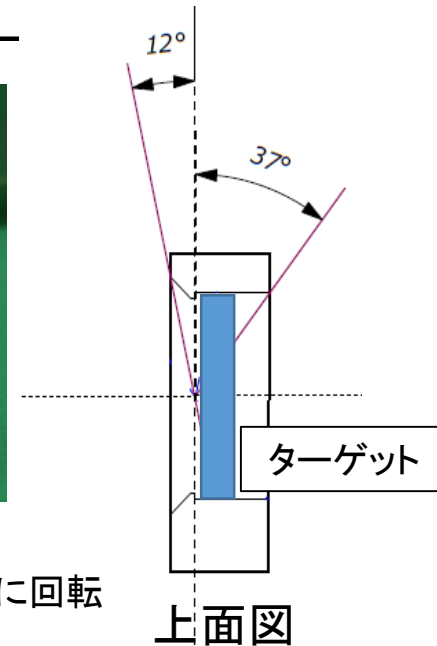
測定ステージ



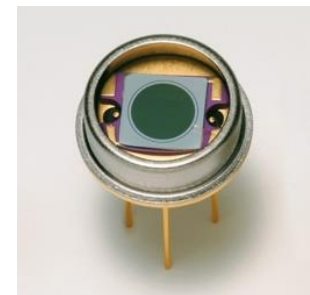
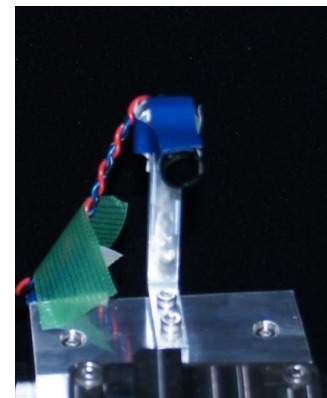
ターゲットホルダー



$\Phi = 30 \text{ mm}$, 1"に対応
ビーム入射点を中心に回転



フォトディテクター



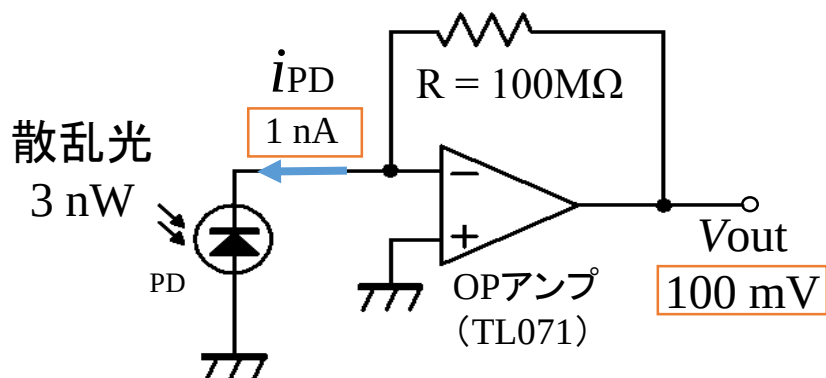
$\Phi = 5 \text{ mm}$

見込角 $4 \times 10^{-3} \text{ sr}$

光検出回路

日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学

トランス・インピーダンス・アンプ回路 $V_{out} = i_{PD} \times R$



PD(フォトディテクター)

Siフォトダイオード S3759(浜松ホトニクス)

開口直径 5 mm

光電効率 0.3 A / W

暗電流 40 pA@ $V_R=0.01$ V

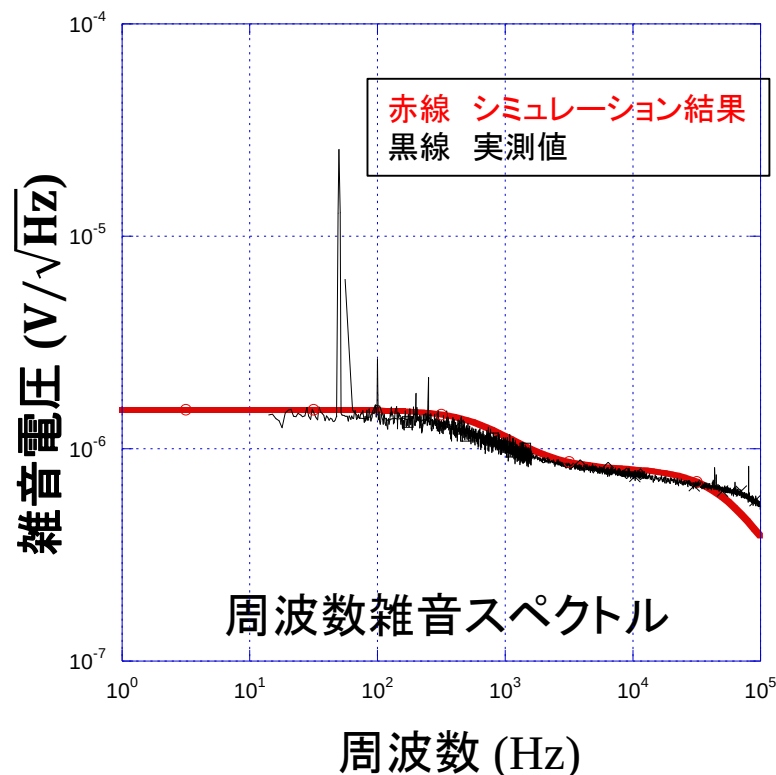
トランス・インピーダンス・アンプ回路の雑音源

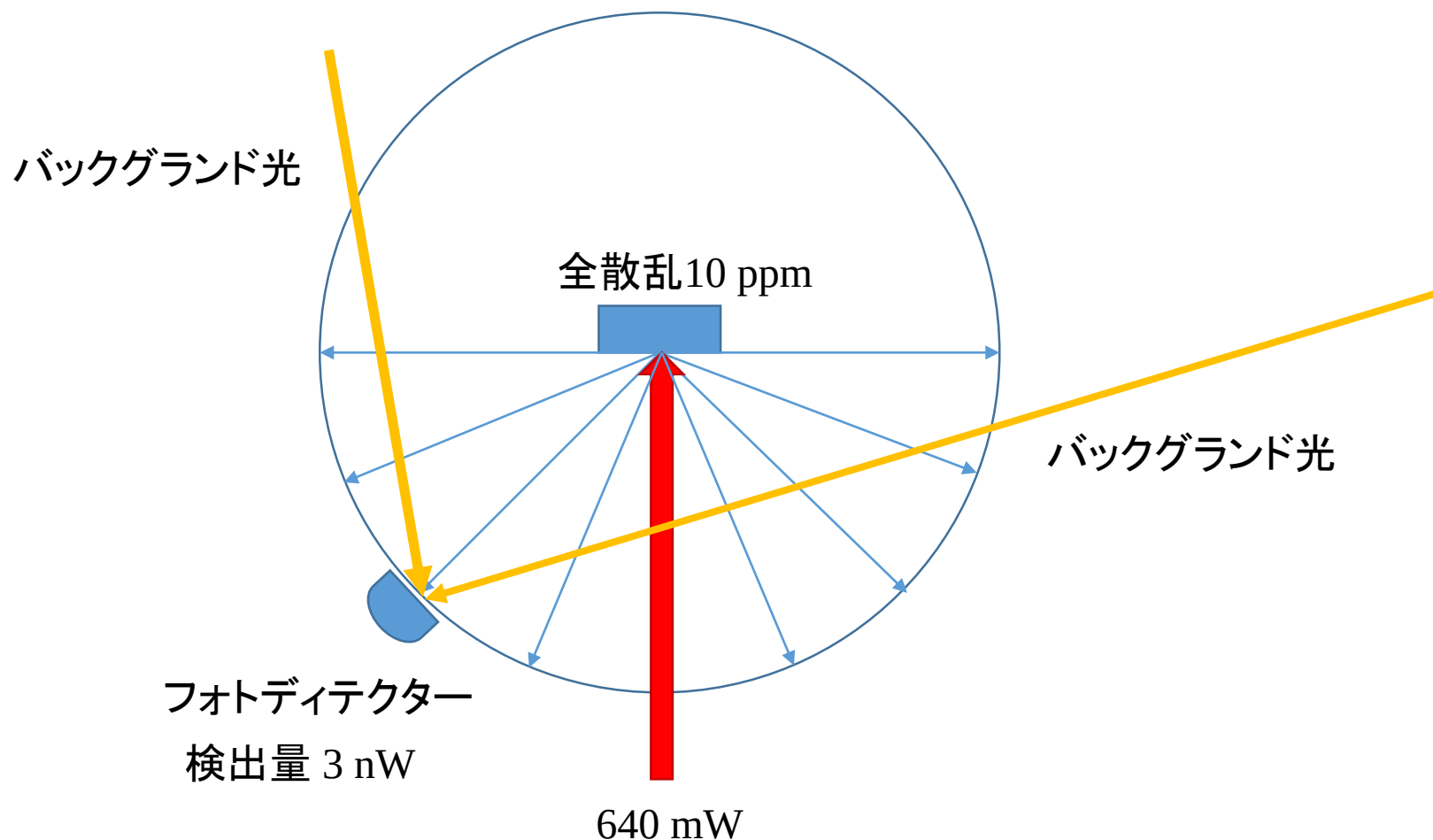
- 入力換算雑音電圧 387 μV_{rms}
- 入力換算雑音電流 35 μV_{rms}
- 抵抗の熱雑音 45 μV_{rms}



合計雑音... 0.4 mVrms $\ll$ 100 mV

(SNR ... 250)

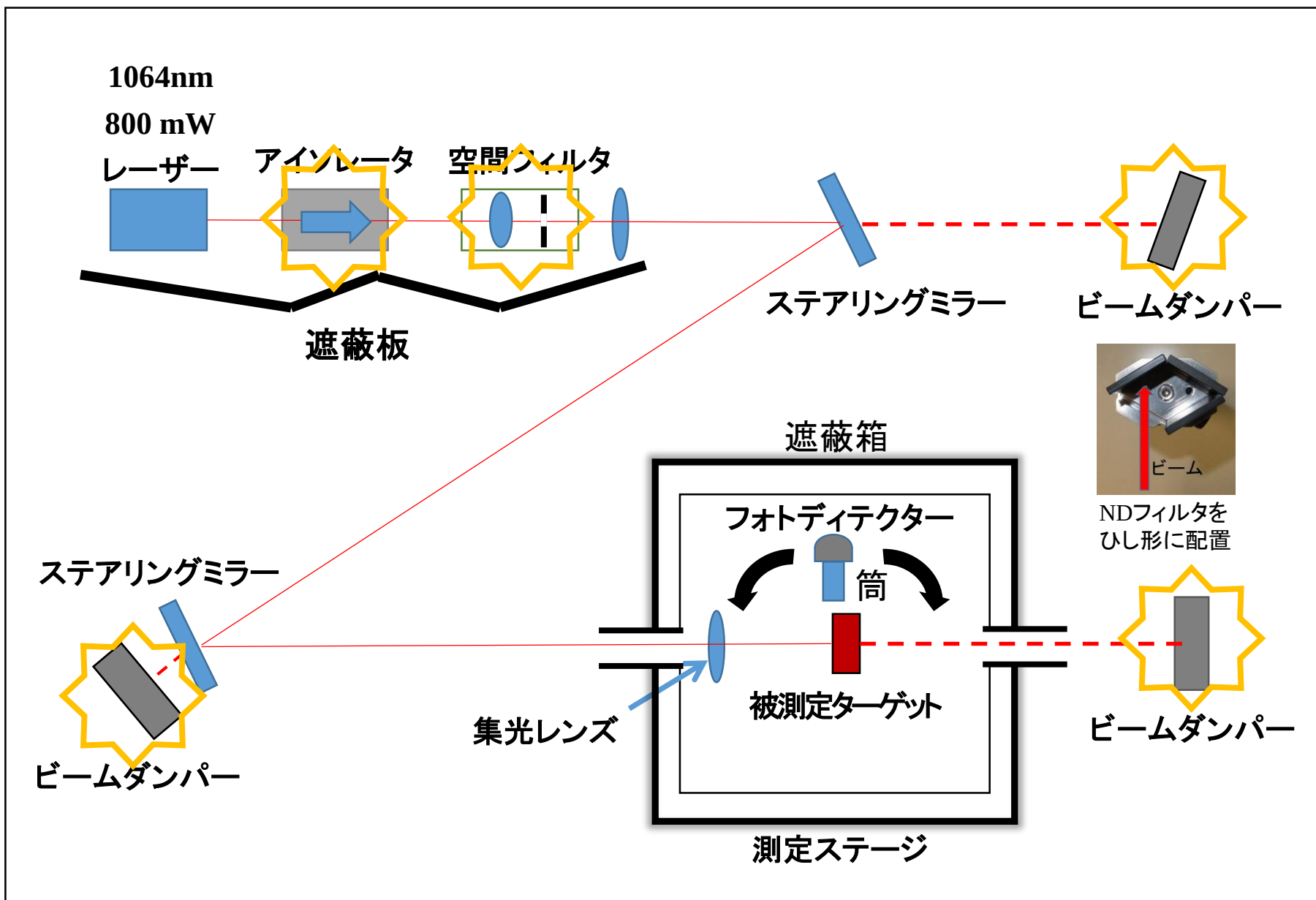


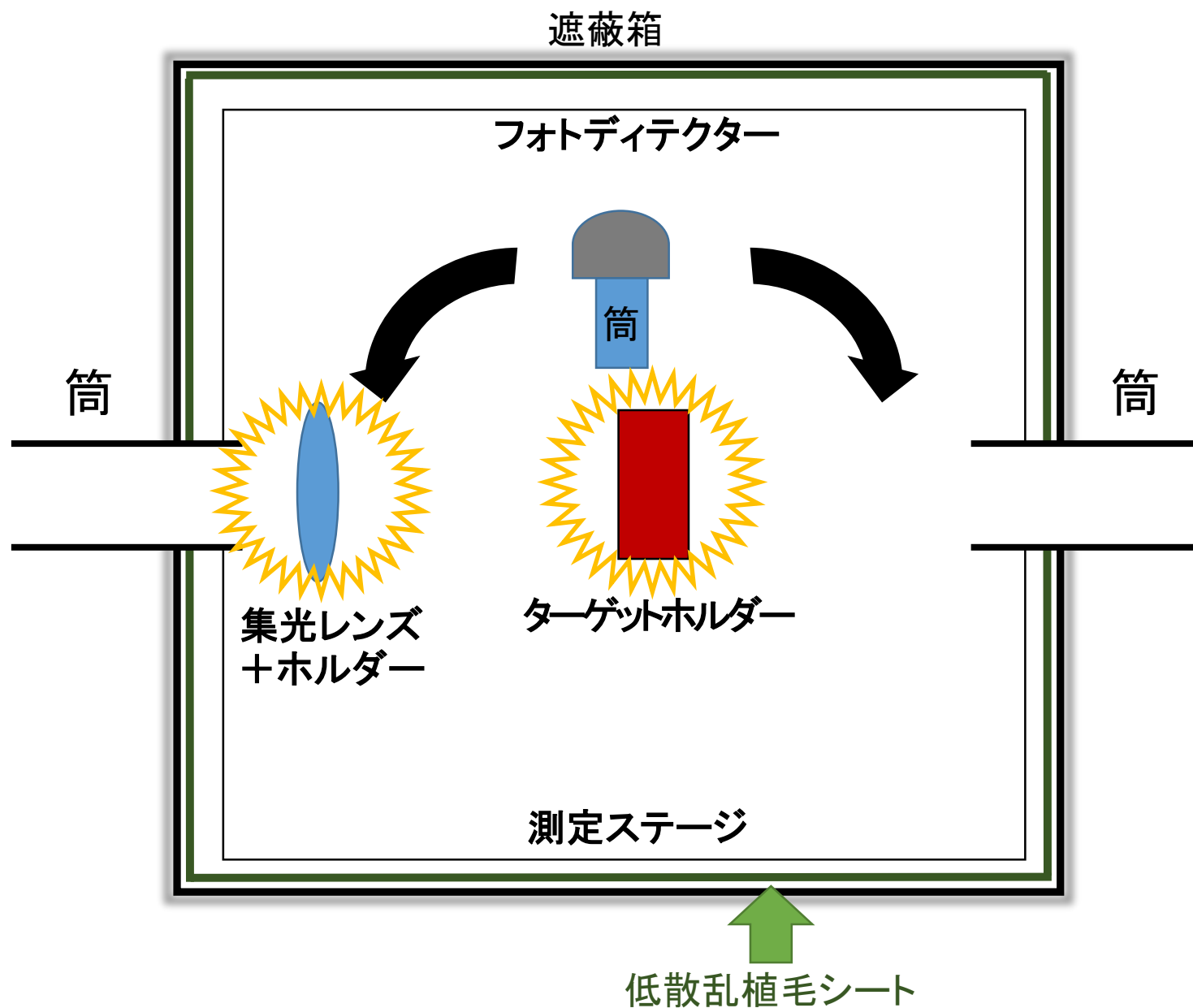


バックグラウンド光を散乱光以下まで低減する必要がある
ex. 遮蔽物の設置調整、ビームダンパーの設置

バックグラウンド光対策

日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学

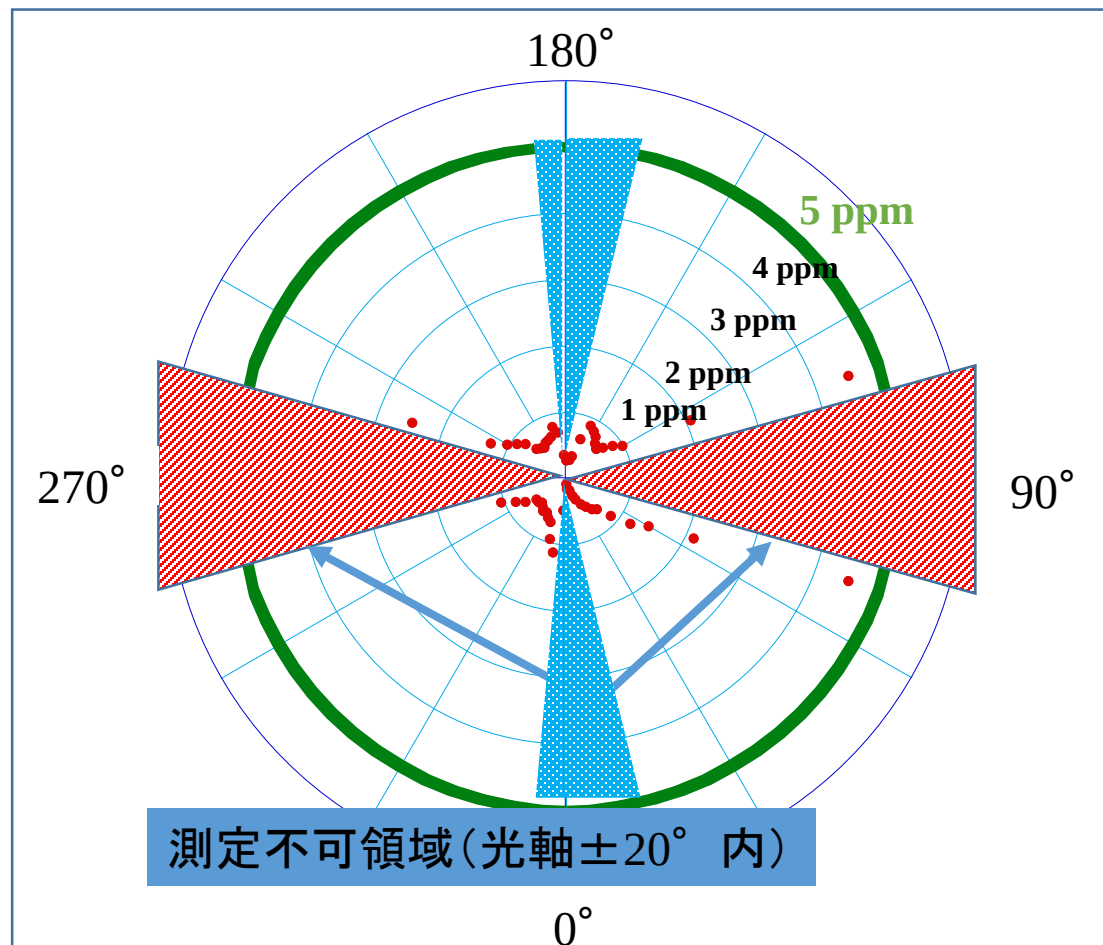
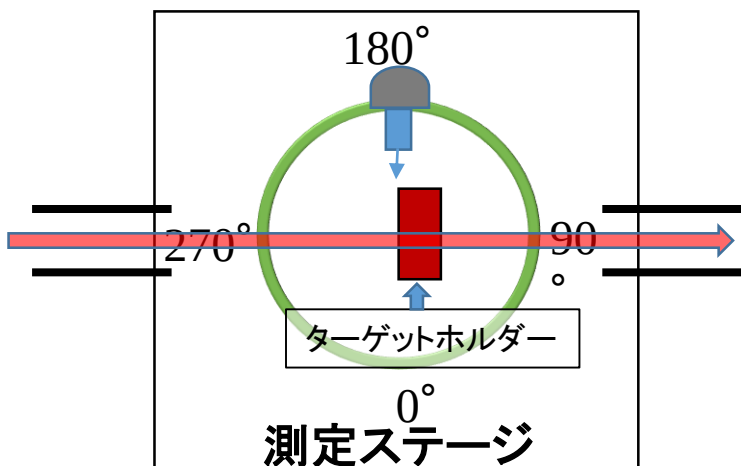




バックグラウンド光測定結果

日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学

集光レンズ不使用



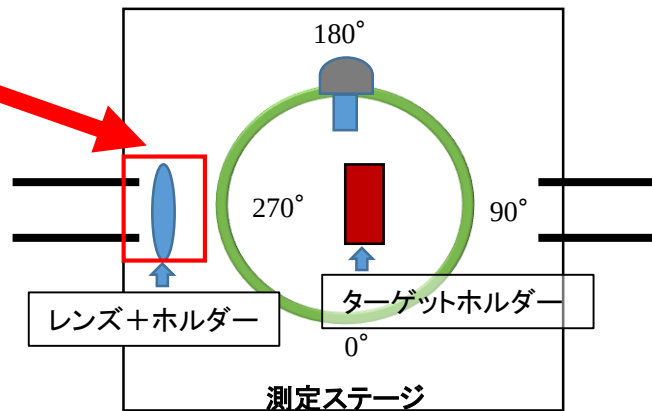
集光レンズ不使用時において
バックグラウンド光 5 ppm以下を達成！

バックグラウンド光測定結果

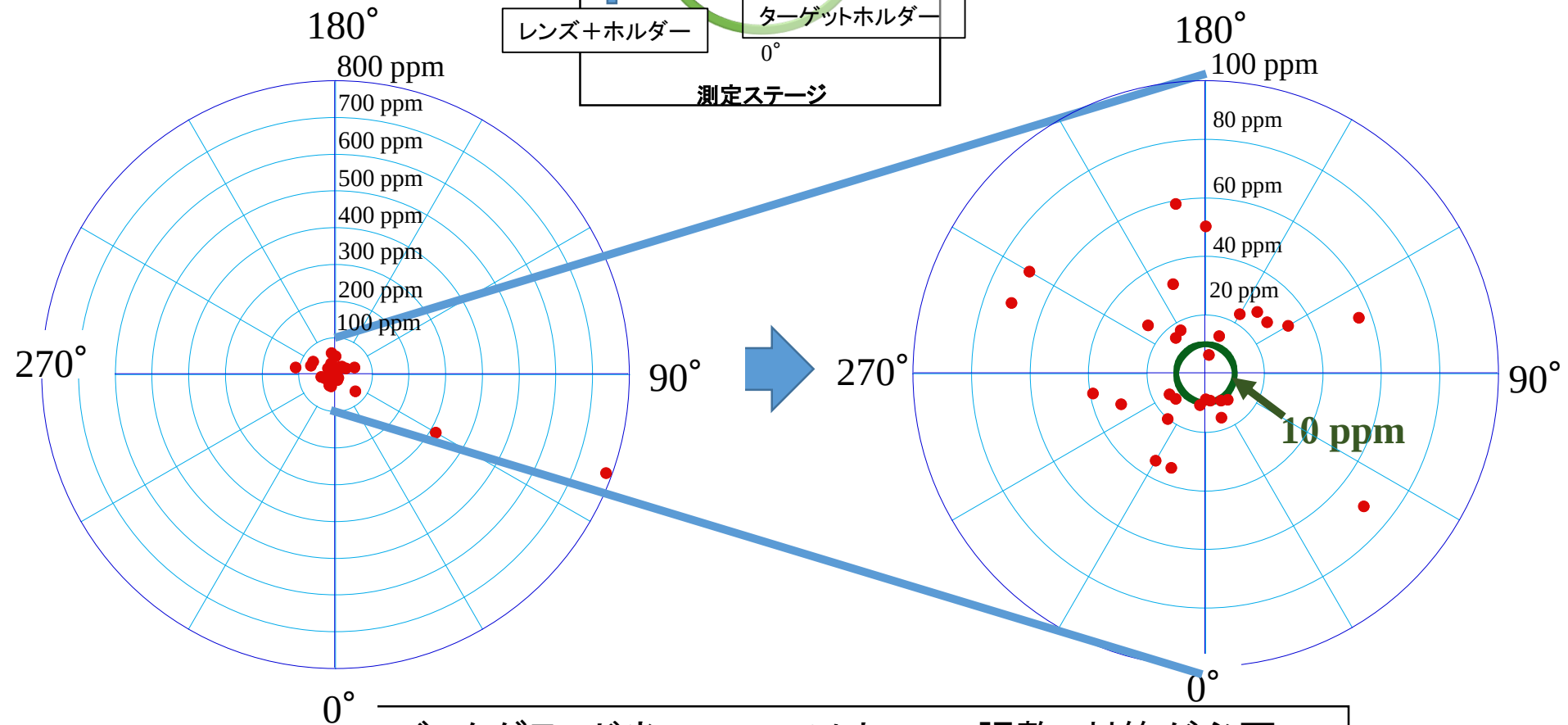
日本物理学会第68回年次大会 2013/3/26@広島大学

集光レンズ使用

(入射光束径調節)



100 ppm 以下拡大



バックグラウンド光10 ppm 以上 → 調整、対策が必要

- 散乱角度分布測定装置の開発

- 光検出回路の作成、雑音評価

- 信号ゲイン 3.3×10^6 V/W

- 雑音レベル 12 fW ==> 散乱レベル 0.04ppm (等方散乱)

- 光学機器の特性評価

- レーザー光量 640 mW (> 500 mW)

- バックグランド光対策、測定

- 集光レンズを使用しない場合、**5 ppm以下** (目標の10 ppmを満たす)

- 今後の展望

- 集光レンズ使用時のバックグランド光低減

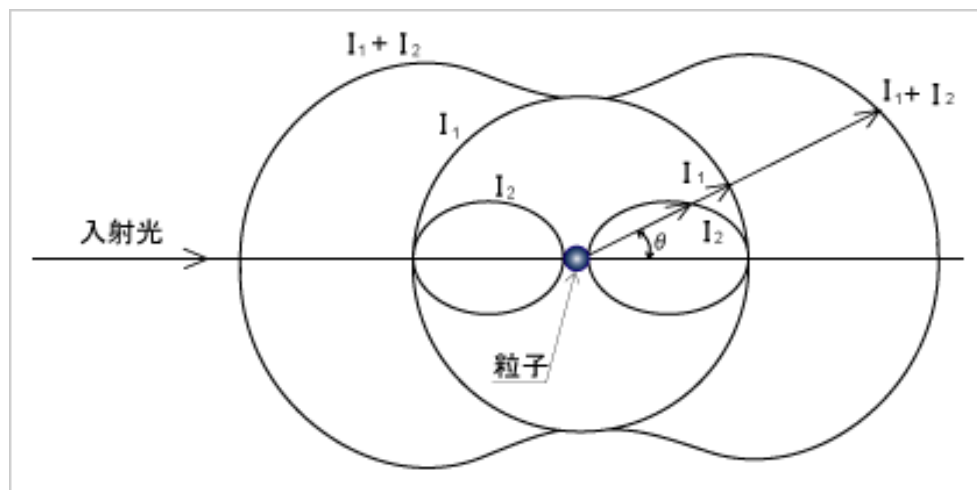
- 既知の散乱体による測定装置の評価

- ターゲットの散乱角度分布の測定と評価

- 散乱の波長依存性や入射ビーム径依存性の測定

Raily散乱

$$I(\theta) = \frac{I_0 \pi^4 d^6}{8 R^2 \lambda^4} \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta)$$

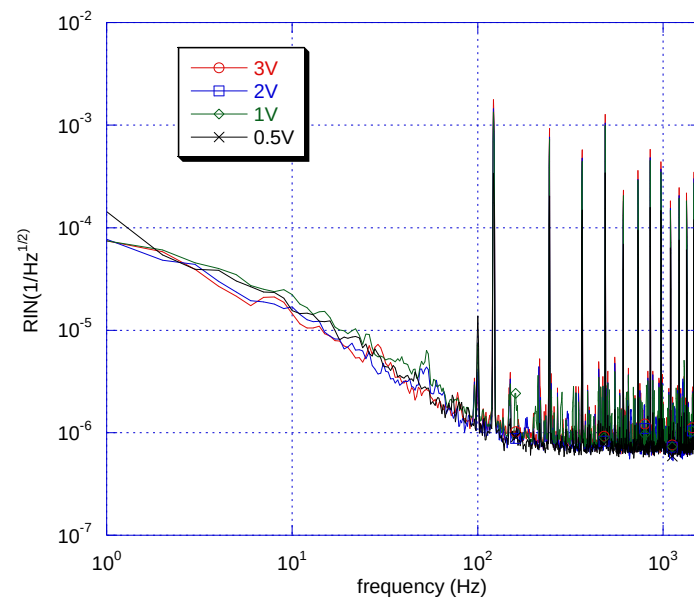
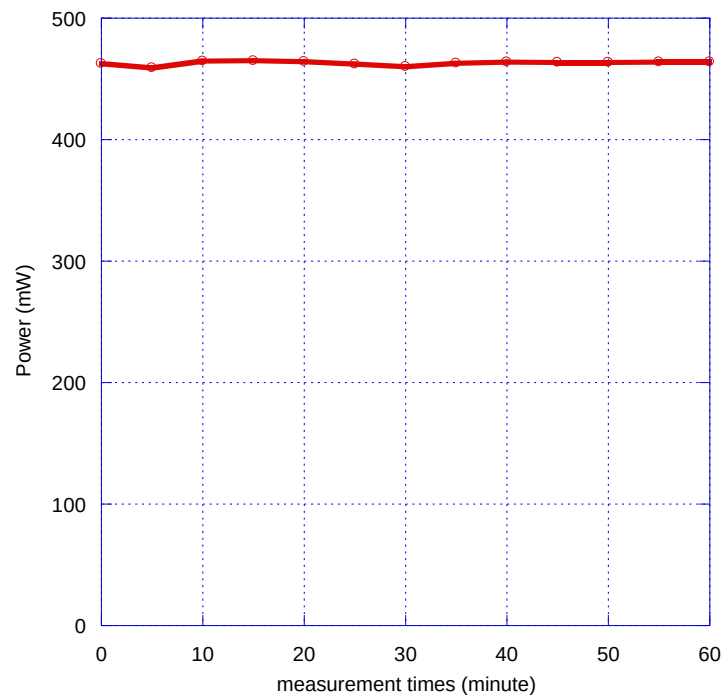


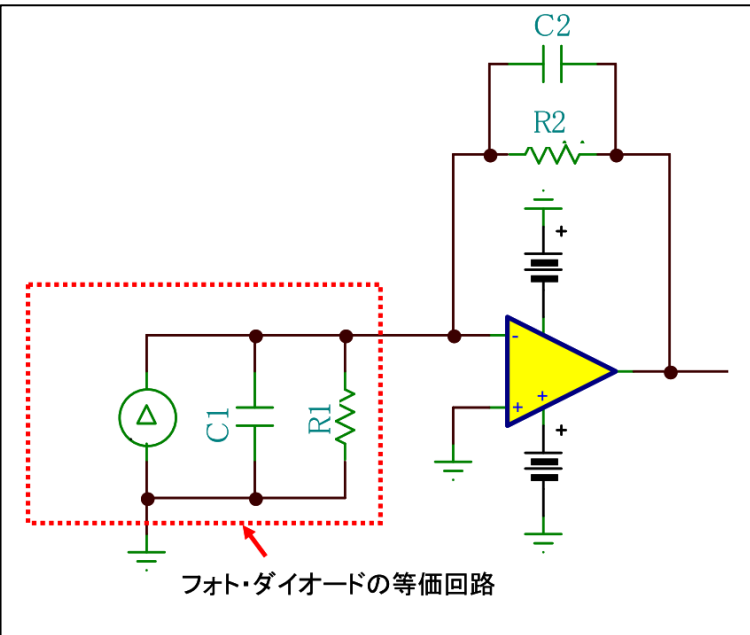
Mie散乱

$$I(\theta) = \frac{I_0 \lambda^2 (i_1 + i_2)}{8 \pi^2 R^2}$$

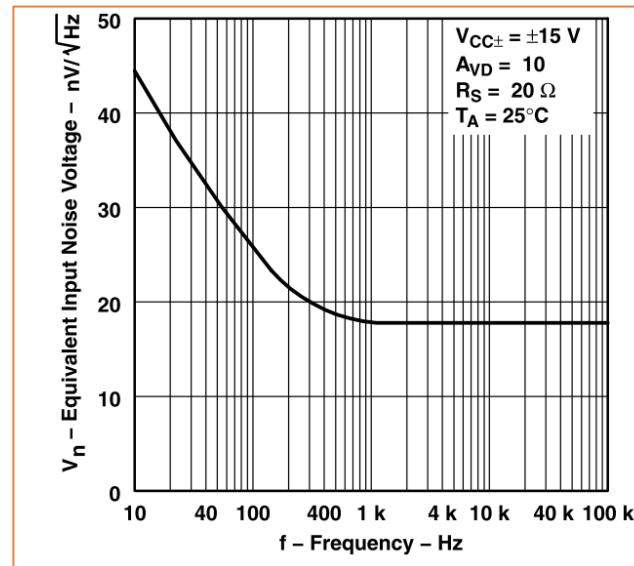
Table 4.1 MIL-III-1064nm・800mW-12060566 スペック

出力パワー	941.7 mW
波長	1064 nm
レーザー動作	CW
伝搬モード	TEM ₀₀
出射ビーム径	水平方向 1433 μ m 垂直方向 1355 μ m
ビーム広がり	1.5 mrad
動作モード	TTL&アナログ制御可能





	周波数範囲	ノイズゲイン(NG)	雑音帯域(BW)
		20 dB/dec	



市販ミラーの散乱量

	Maker	Product#			Refrectivity	Angle	RoC	Scattering (ppm)	
1	Newport	10CM00SR.50T	IBS	FS	>99.97%	0	flat	27	2012/2/9
2	Showa Optronics Co. LTD	2010 年購入	IBS	???	99.998%	0	flat	27	2012/2/13
3	Advanced Thin Films	CRD1064-1025-100	IBS	???	99.999%	0	1m, concave	26	2012/2/12
4	Lattice Electro Optics	BS-1064-Rs50-45-UF-2038	???	FS	52%	45	flat	44	2012/2/15
4	CVI Melles Griot	Y1S-1025-0		FS	>99.99%	0	flat		
5									
6									
7									
8									
9									
10	CVI Melles Griot	PR1-1064-99-IF-2037-C	EB	BK7	99%	0	flat w/ wedge	126	2012/2/10
11	CVI Melles Griot	Y1-2037-45S	EB	BK7	>99.5%	45	flat	146	2012/2/18
13									
14									
15	ALTECHNA		???	BK7	99.80%	45	flat	133	2012/2/14
16									
17									
18									
19									
20	NEW FOCUS	5104	???	Pyrex	>99%	0-45	flat	279	2012/2/10

