

CTAO報告246： CTAO大口径望遠鏡のための SiPMモジュール用集光器の 測定試験

溝手雅也, 山本常夏

齋藤隆之, 奥村暁, 安藤大地, 吉田龍生, 阿部和希, 糸川拓海, 猪目祐介, 大岡秀行, 岡知彦, 折戸玲子, 片桐秀明, 櫛田淳子, 窪秀利, 郡司修一, 小林志鳳, 櫻井駿介, 高橋光成, 田島宏康, 田中真伸, Daniela Hadasch, Daniel Mazin, 手嶋政廣, 寺内健太, 寺田幸功, 門叶冬樹, 中森健之, 西嶋恭司, 野崎誠也, 野田浩司, 橋山和明

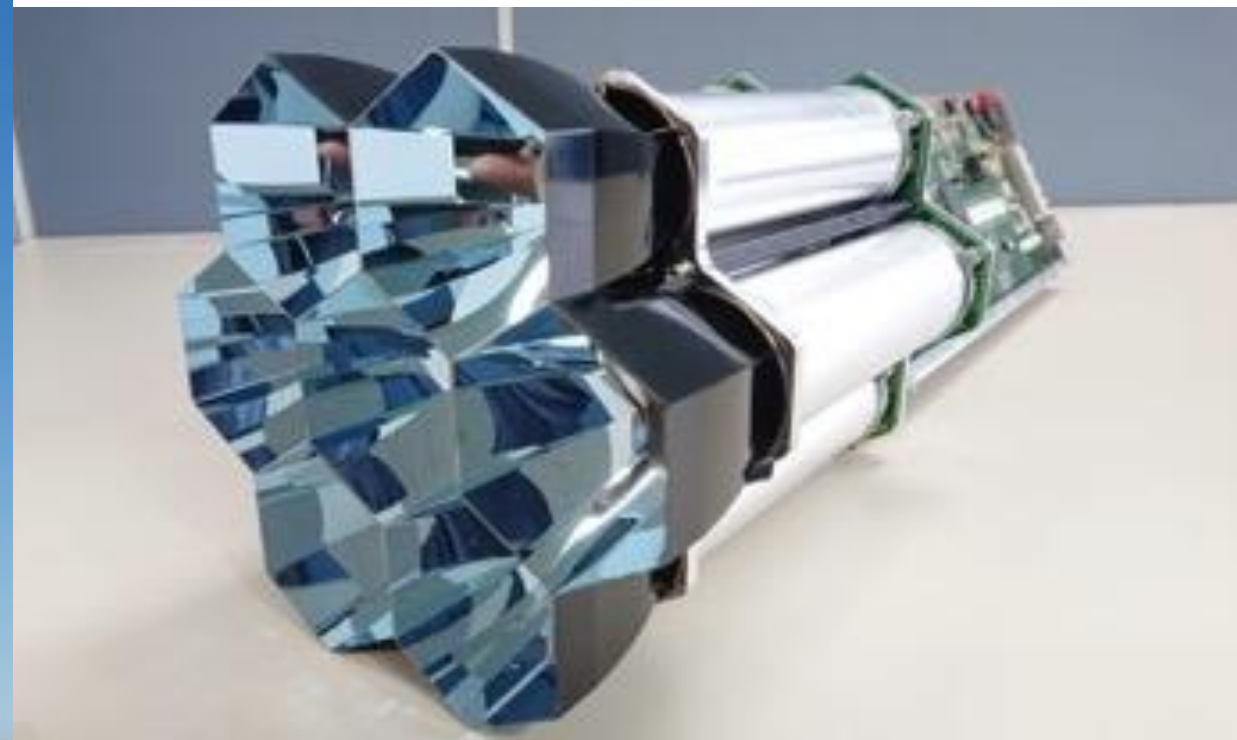
他 CTA-Japan consortium

LSTのカメラ



LSTのカメラ

- 直径：2.5m
- ピクセルの直径：5.77cm
- ピクセルの数：1855
- 検出器：PMT(光電子増倍管)



検出器の受光面に集光器(ライトガイド)を取り付けて、チェレンコフ光を逃さないようにしている。

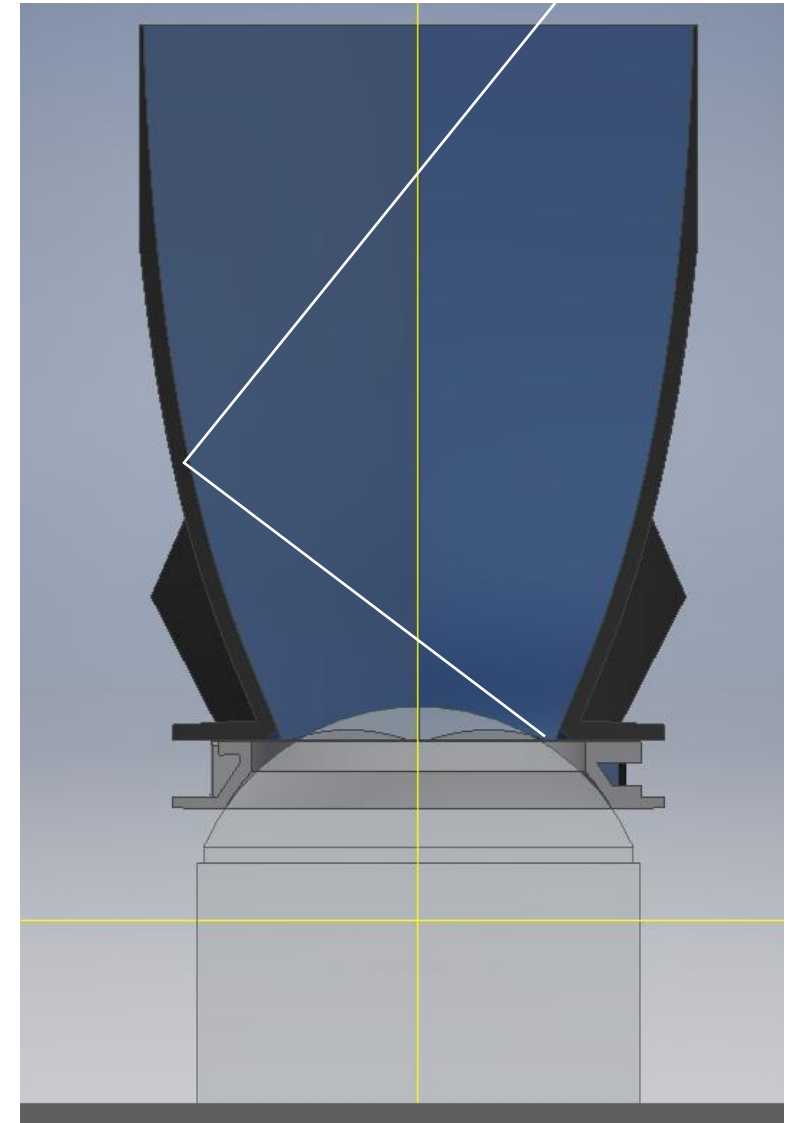
LSTのカメラのアップグレードのため、SiPMの採用を検討している。そのためにSiPM用の集光器を開発している。

集光器



集光器の役割

- 検出器間のスペースを埋める
- 視野の外からくる夜光や反射光を防ぐ
- 内側の鏡で光を反射させ、出口まで届ける

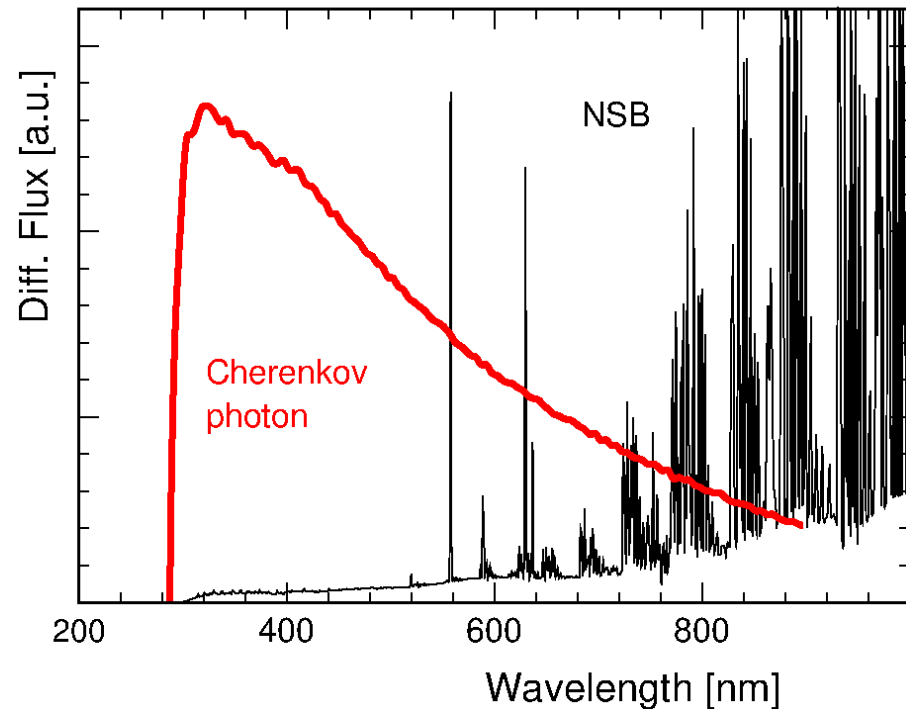


円柱形のPMTを敷き詰めた時にできるデッドスペースを埋めるために、入口を正六角形にして、ハニカム構造を作っている。

SiPMの受光面は正方形なので、正方形の出入り口を持つ集光器を新しく設計した。

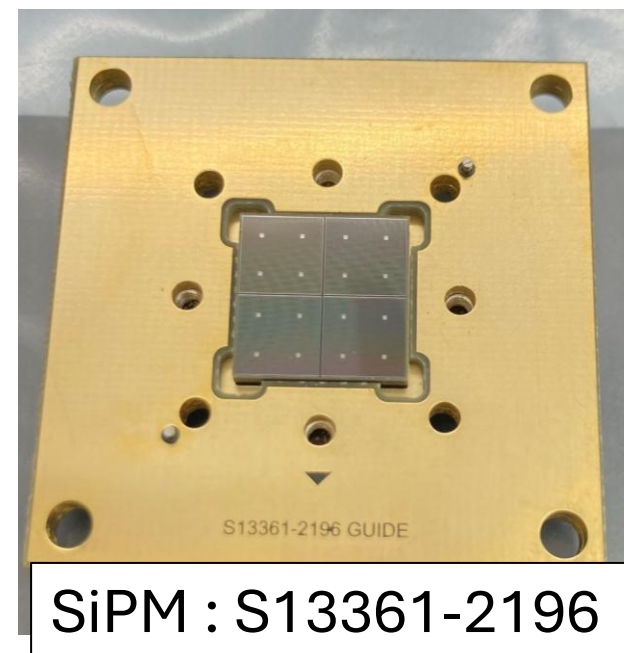
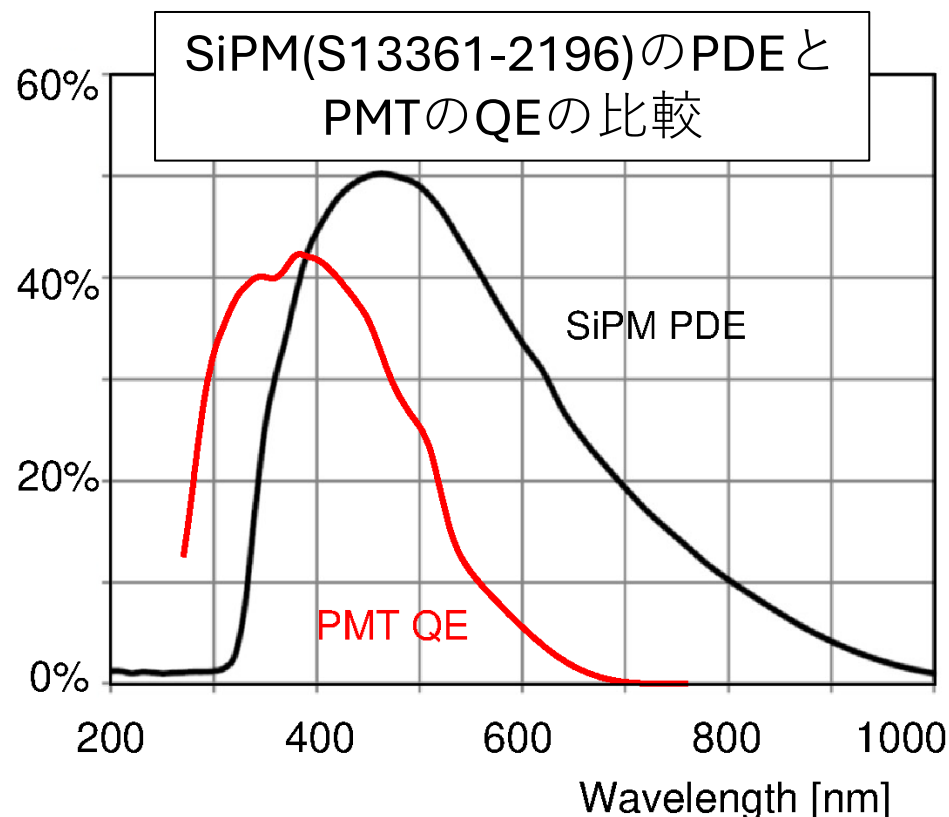
SiPM

(半導体光電子増倍素子)



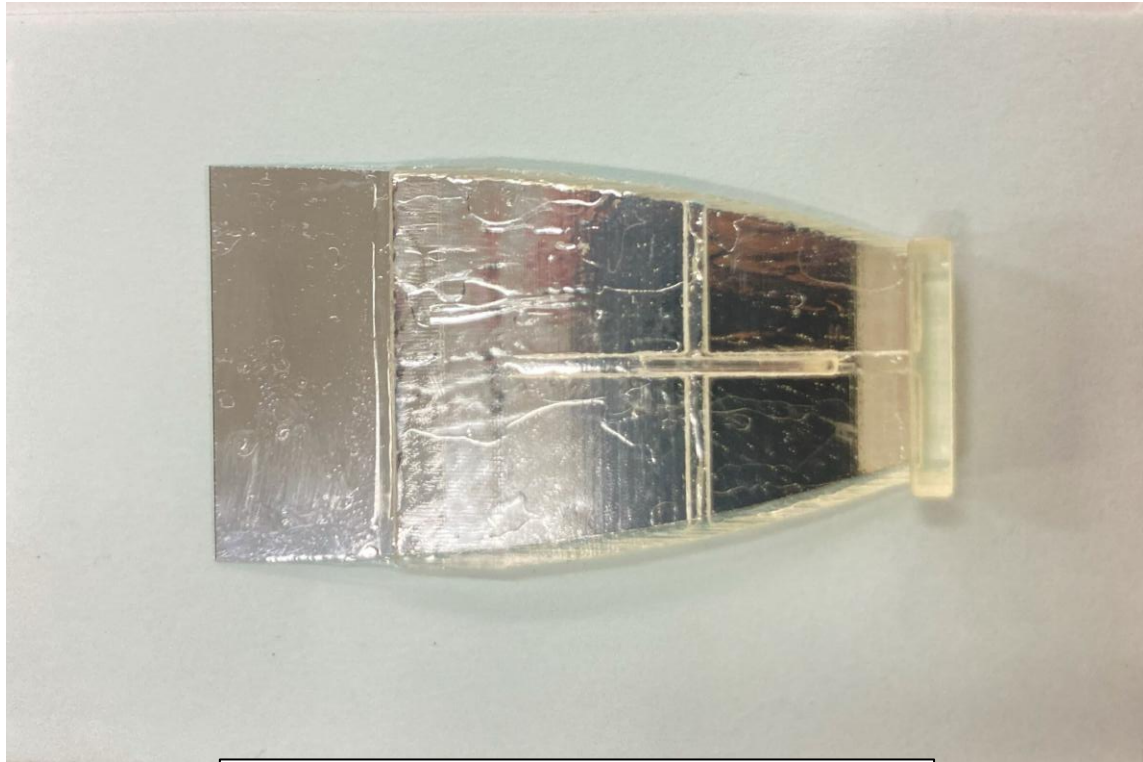
- 量子効率が従来のPMTの約1.5倍
- 1つ1つが小さいので、カメラに多く搭載することでピクセルの細分化が可能
- 動作電圧が低いため、動作による消費電力が下がる

- 長波長の感度が高く、短波長の感度が低い
 - 赤外線を含む夜光がノイズ化
 - 短波長の感度は、検出効率を約20%向上させるための改善が進められている
- 性能に強い温度依存性がある

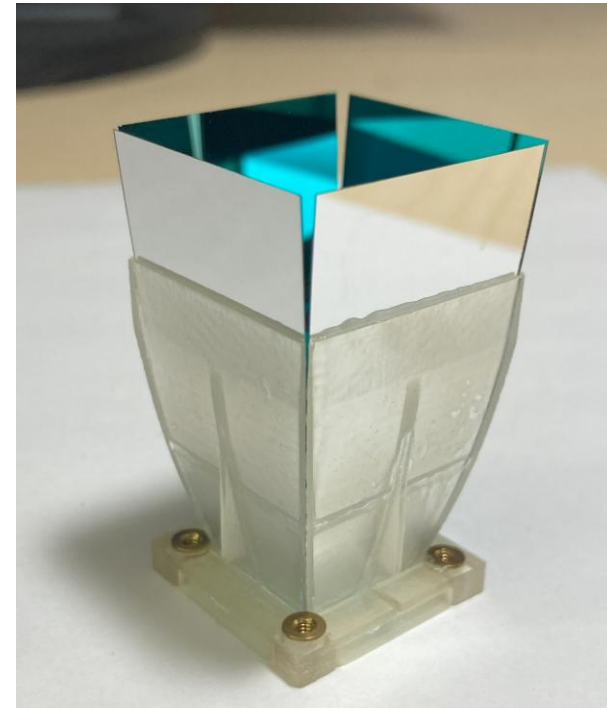
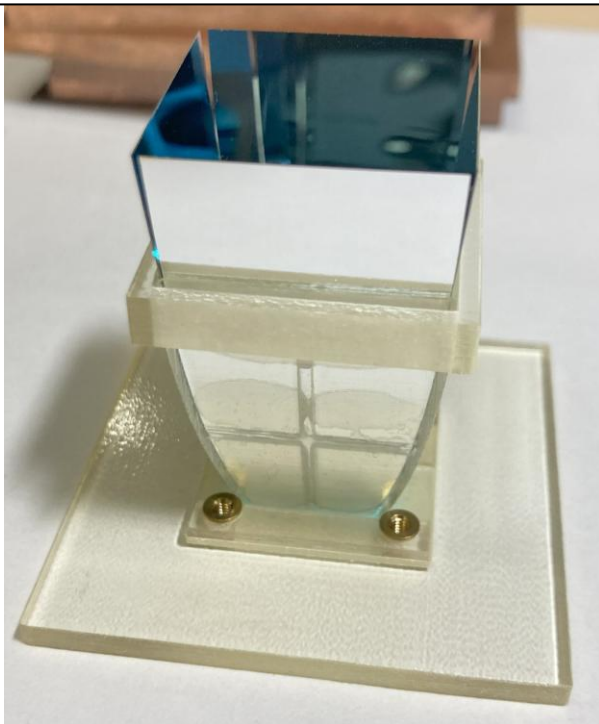


SiPM : S13361-2196

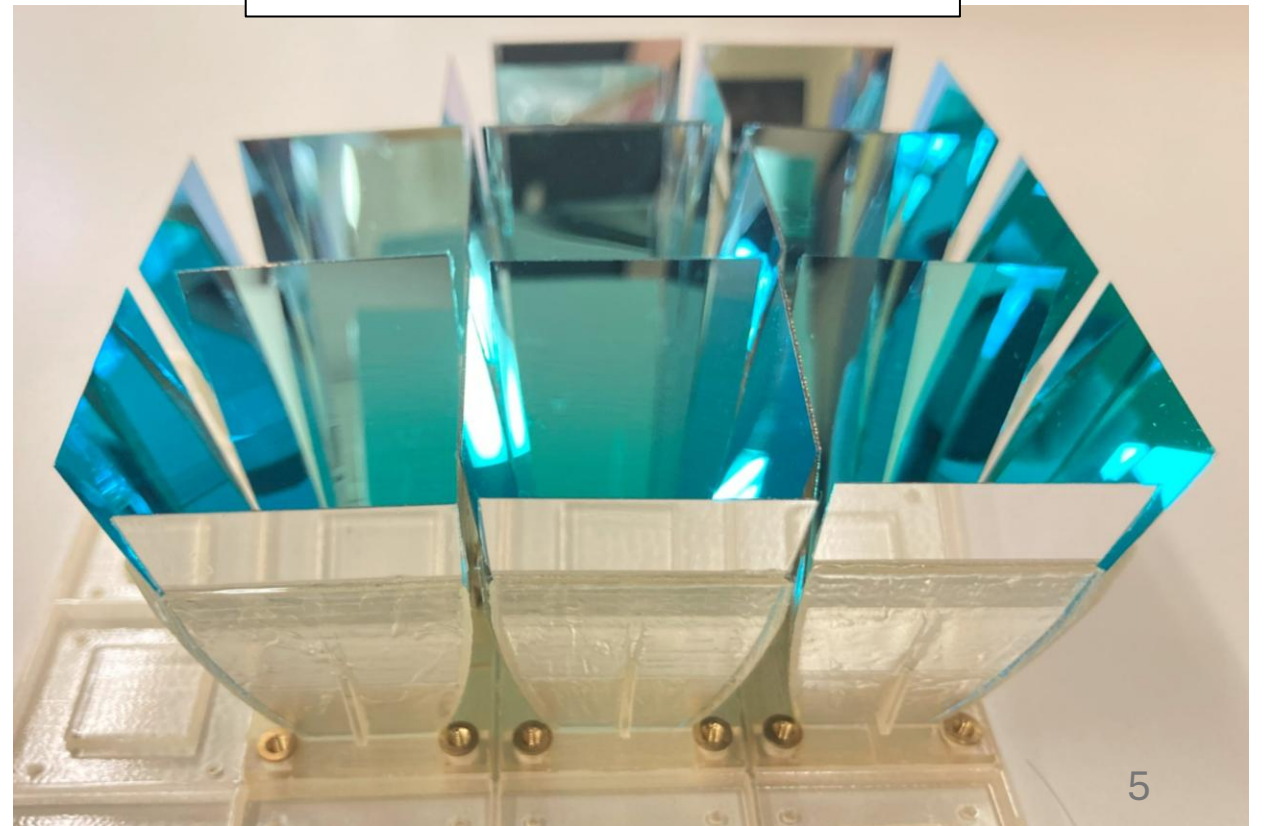
集光器の製作



集光器の製作過程



試作した集光器

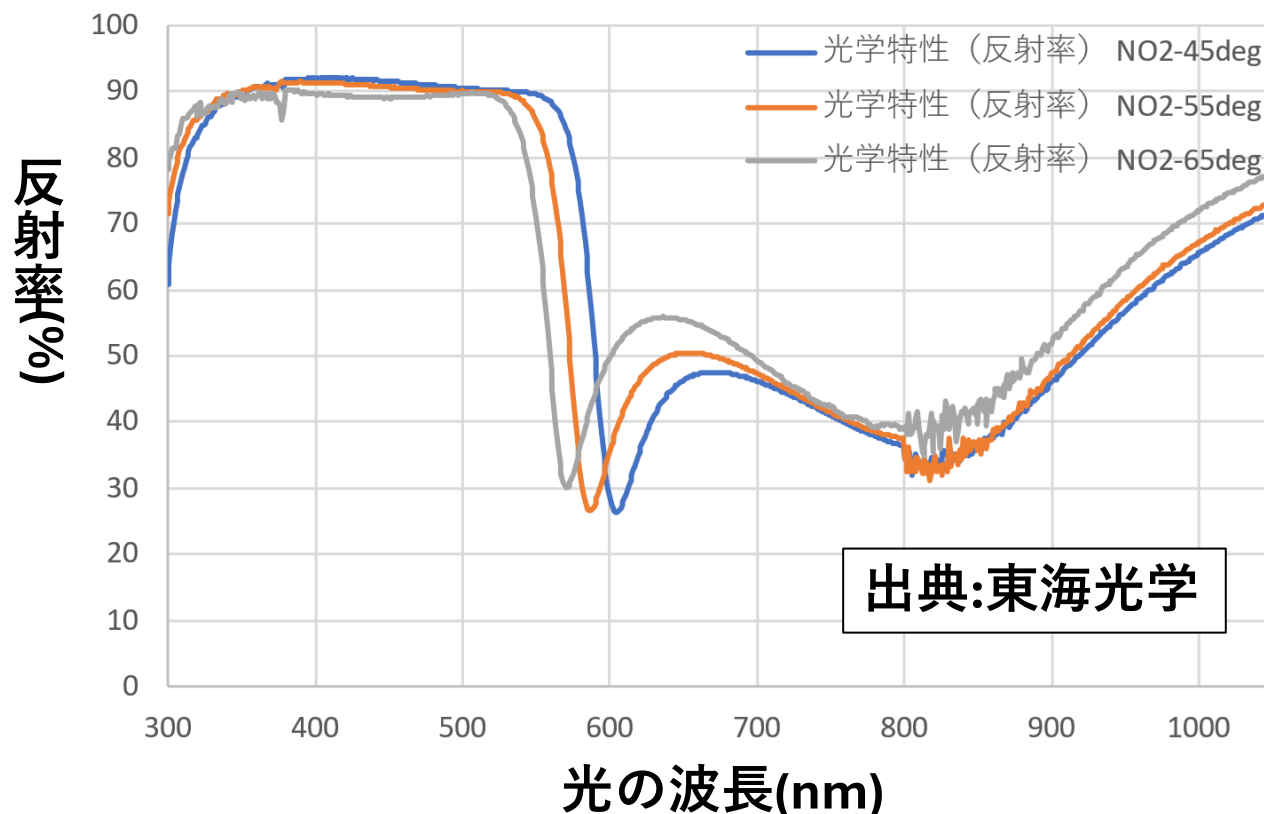
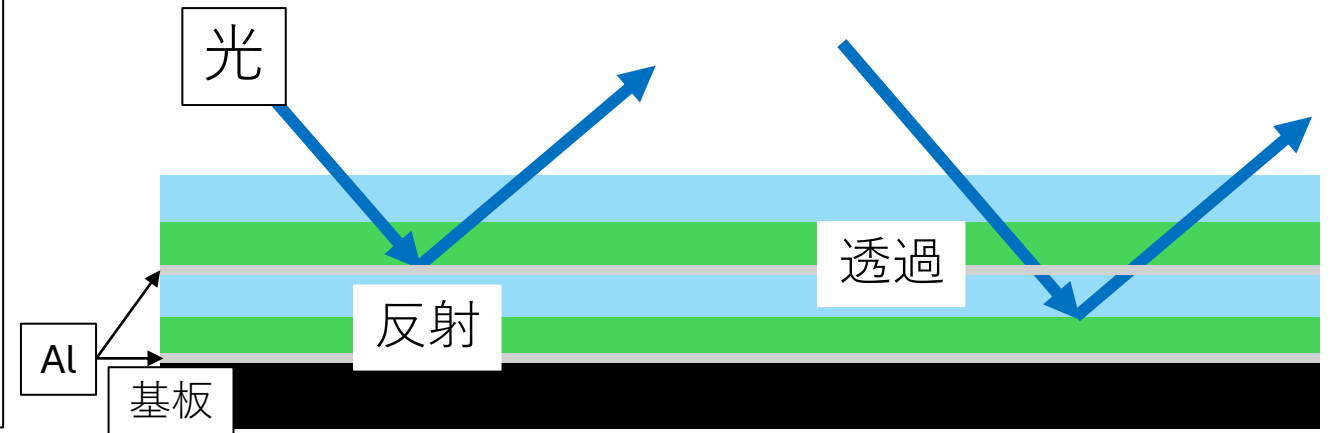


ブルーミラー

赤外線を含む、ノイズになる夜光を
カットできる集光器を作りたい

↓

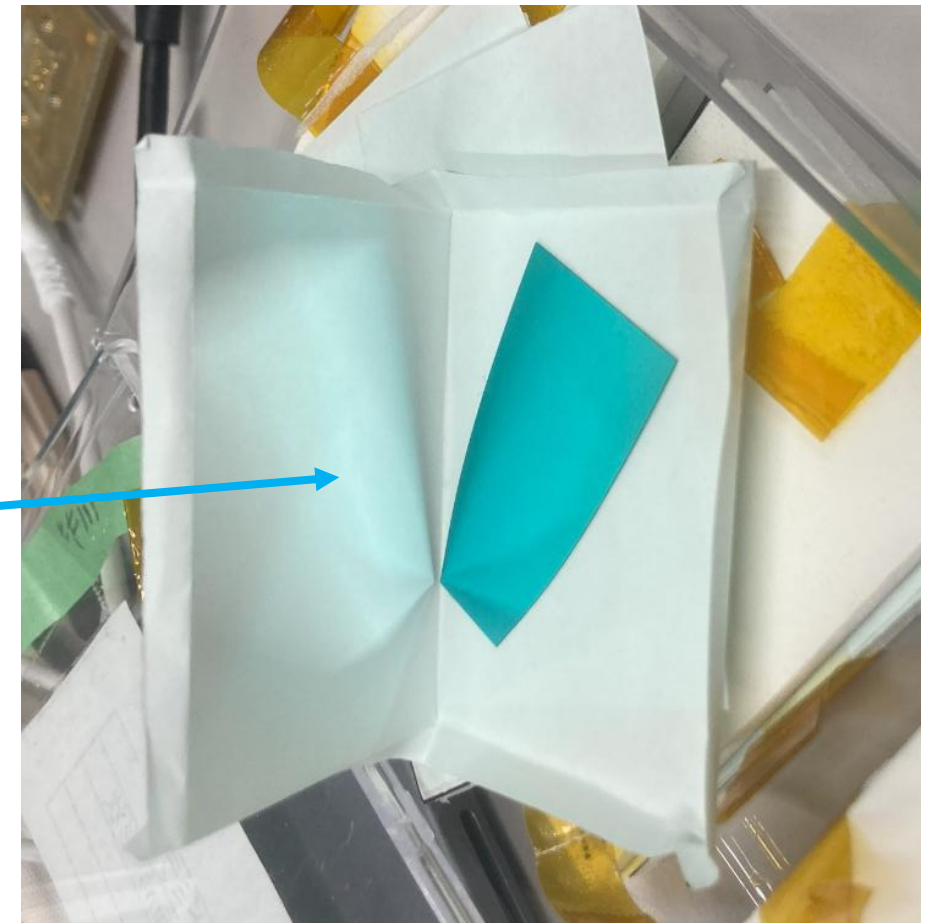
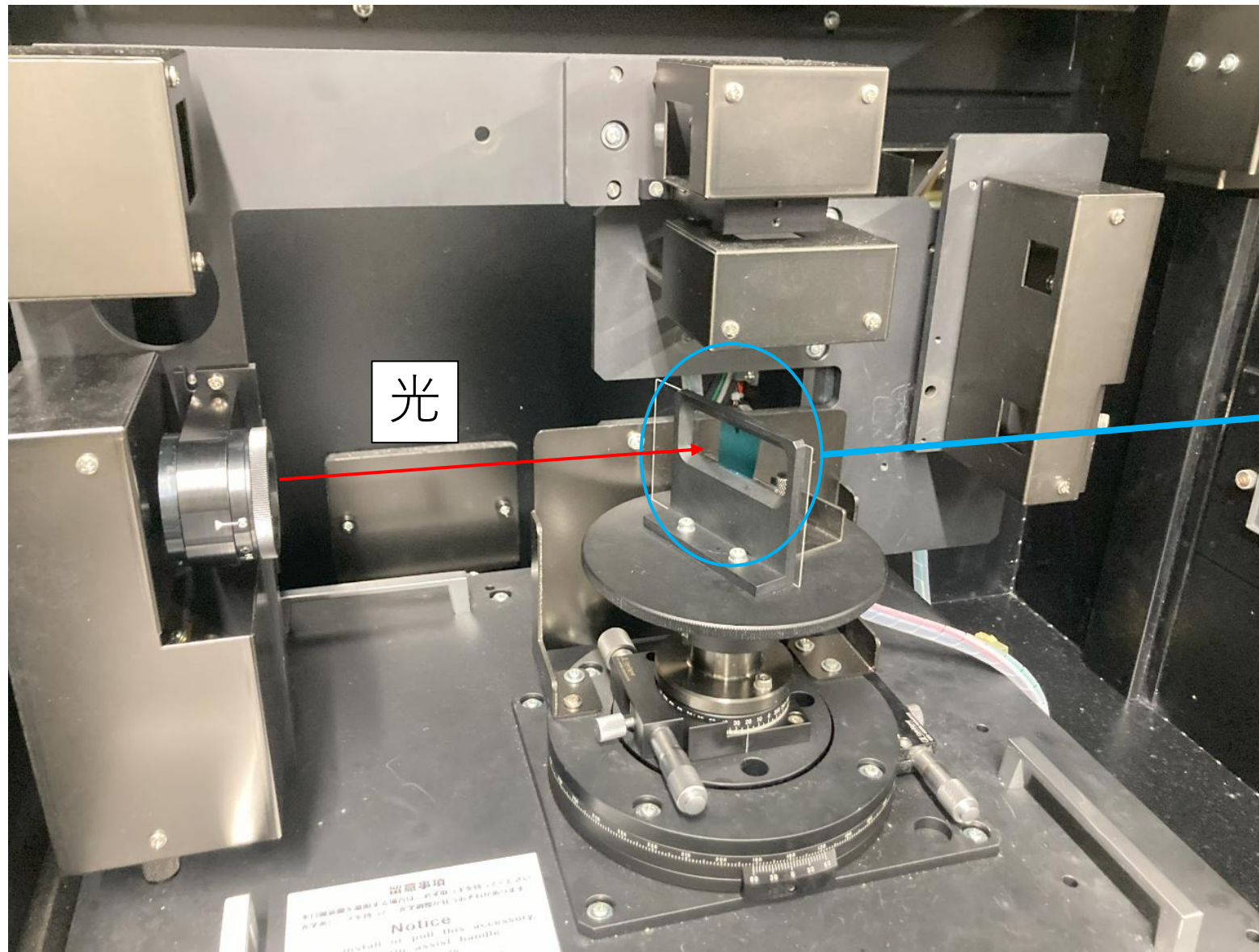
多層膜コーティングによって、波長
別の光の反射率が変化する鏡を使う



屈折率の異なる物質（二酸化ケイ素
と五酸化タンタル）を多層膜に蒸着
する。光は境界面で反射したり透過
したりする。

光の干渉によって、短波長の光を増
幅し、長波長の光を吸収するのがブ
ルーミラーの特徴である。

測定

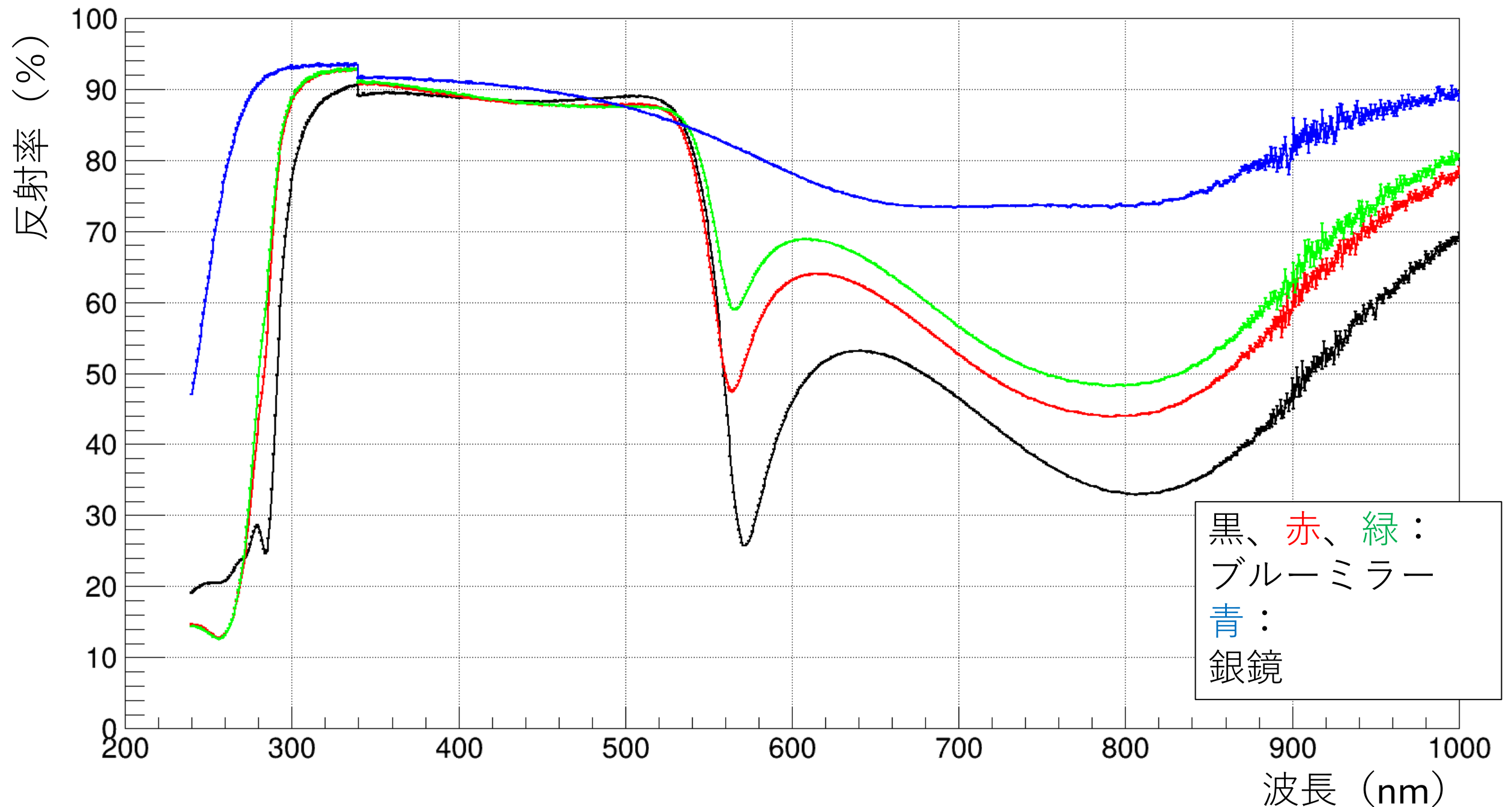


- ブルーミラーの試作品
 - 短波長光の反射率を重視したブルーミラー
 - 長波長光の反射率を重視したブルーミラー
 - 現在のLSTに搭載されている銀色の鏡（非ブルーミラー、五酸化タンタルとアルミのみ）
- 以上の4種類の鏡を用意した

東海光学が製作した、4種類の多層膜ミラーの反射率の波長依存性を調べることで、鏡単体の性能評価をする。

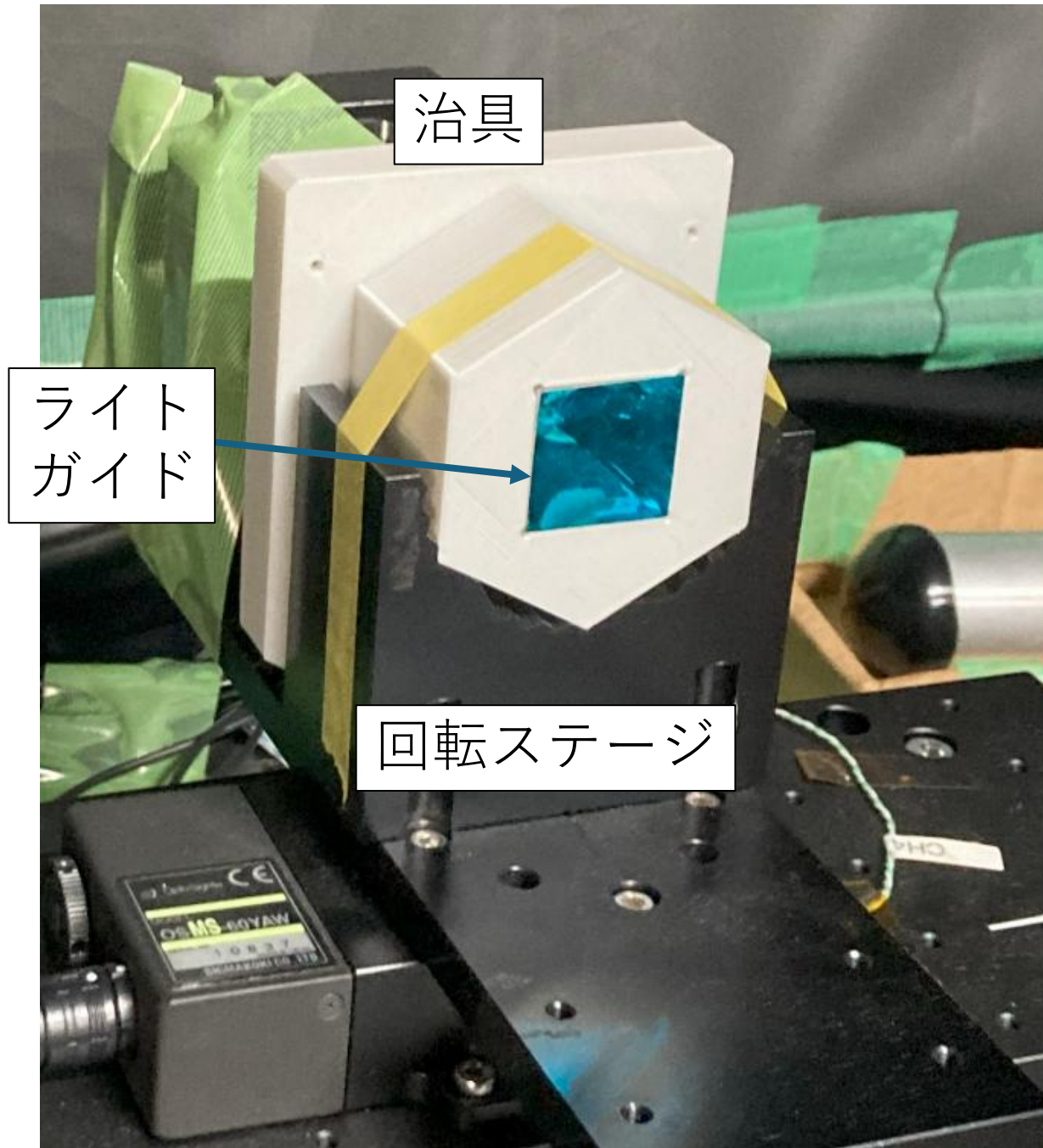
東大物性研究所の分光器で、光を照射された時の鏡波長依存性を測定した。

測定結果



前スライドの測定結果から、**S**偏光と**P**偏光の平均をグラフにまとめた。集光器の構造上、光は鏡に対して大角度で入射するので、入射角**65度**の時の反射率を参考に行している。全体の反射率は銀鏡が一番高いが、ブルーミラーの長波長光に対する反射率の低さが分かった。

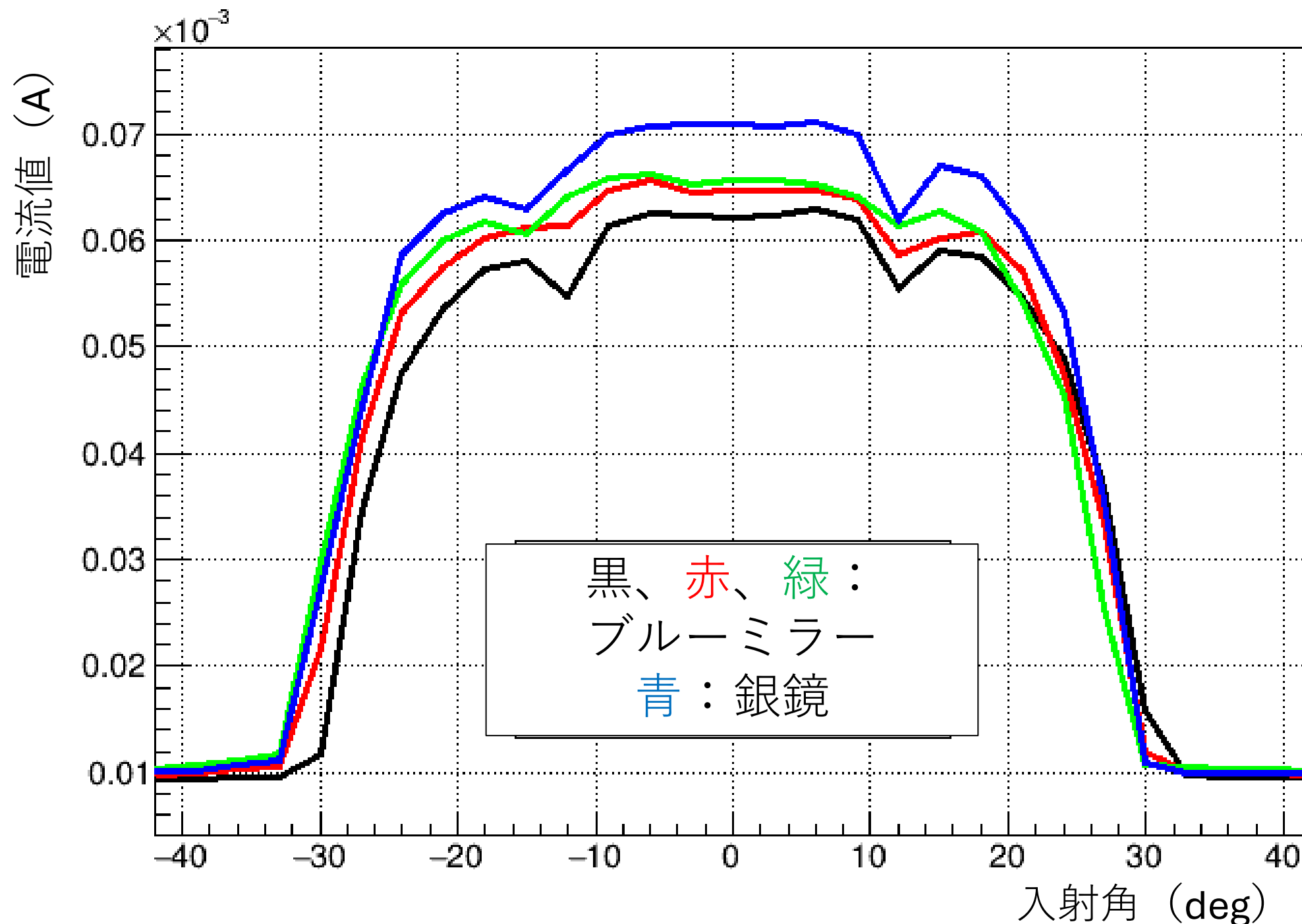
測定装置



前スライドの反射鏡を用いて試作した、集光器の集光効率を測定から導き出した。
測定は名古屋大学の研究室で行った。

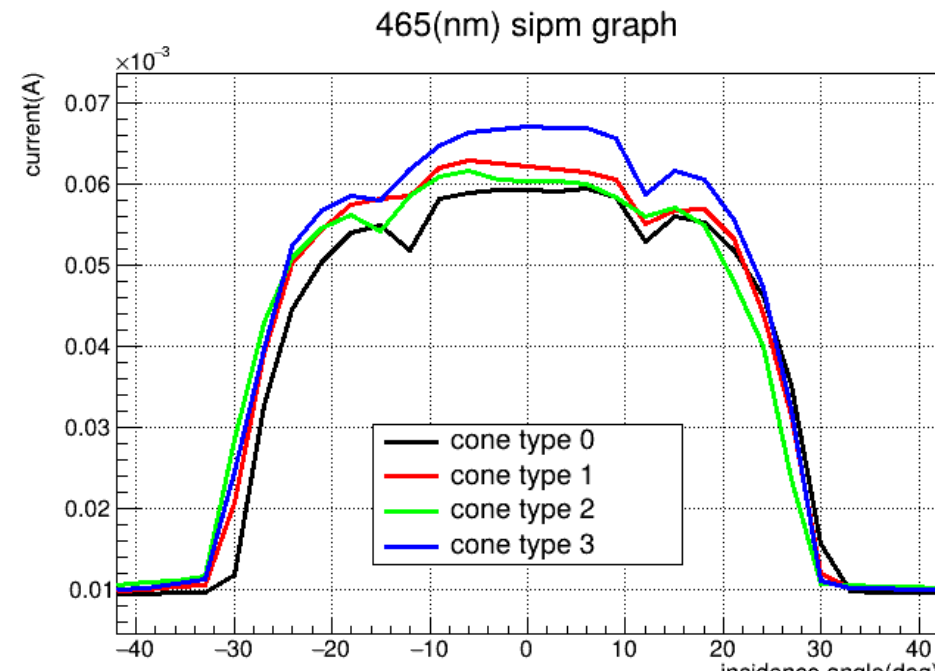
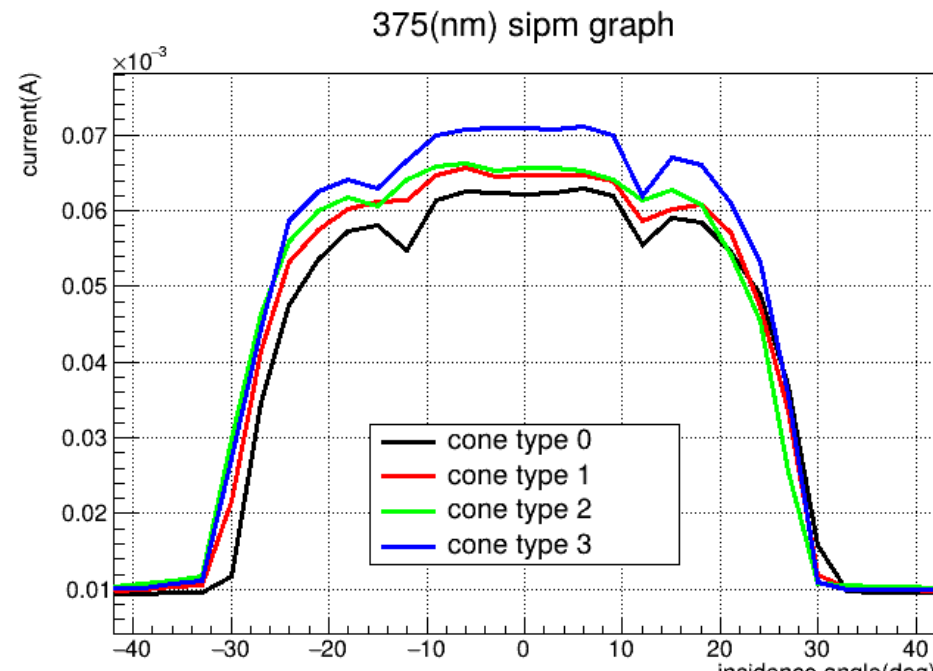
- 集光器の出口に**SiPM**をはめ込み、基板をネジ止めしている
- 3Dプリンタで治具を成形し、穴の中に集光器を入れる
- 集光器の入口を回転ステージの中心に固定し、入射角を変えられるようにする
- **LED**で単色光を照射し、電流計で**SiPM**の電流の出力値を読み取る

測定結果

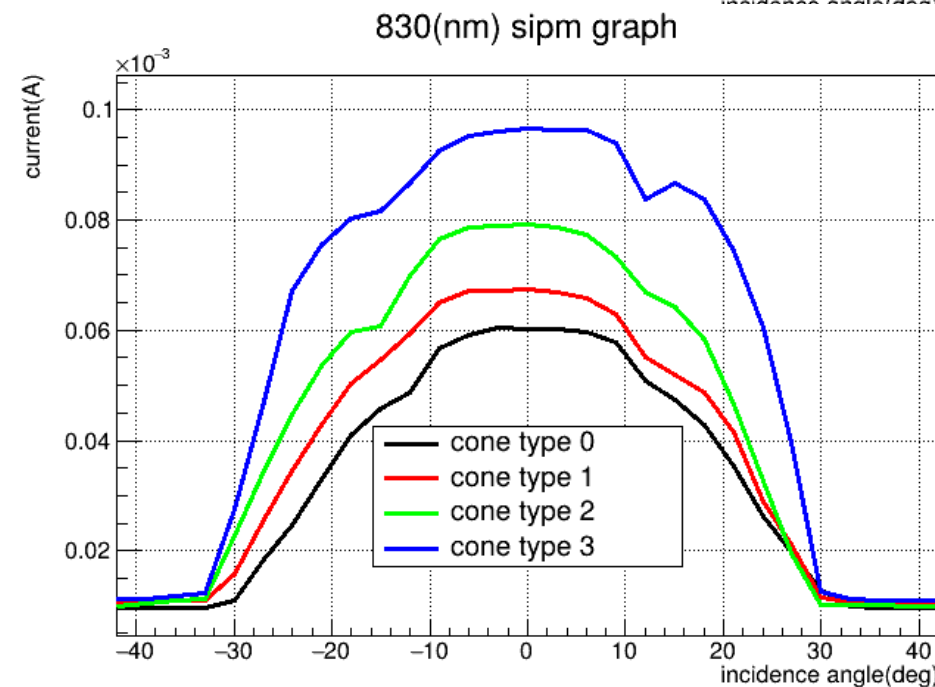
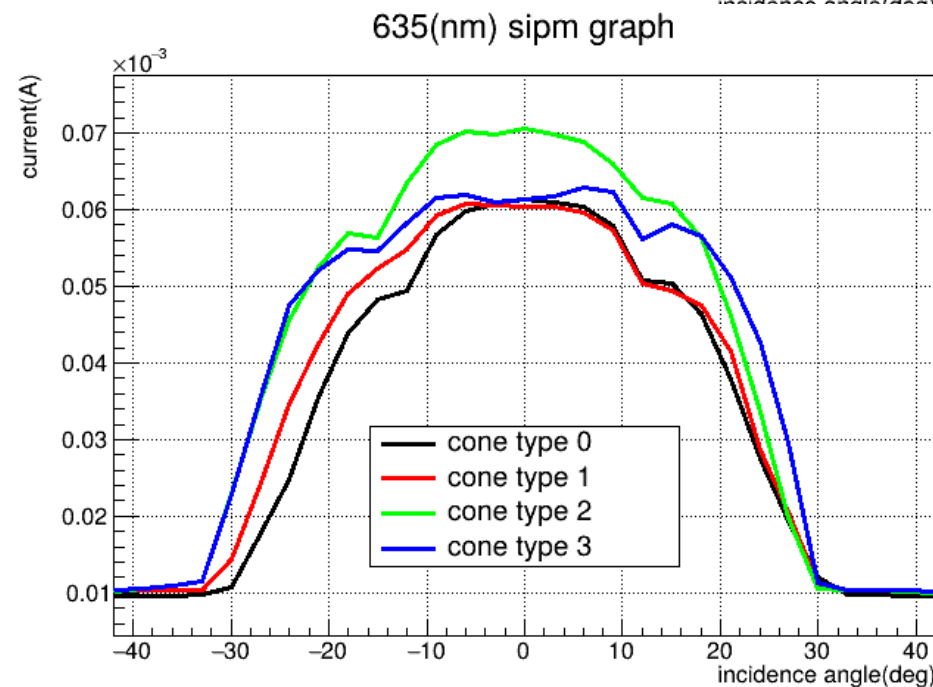


光の入射角による出力電流の変化をグラフにした。
375nmのLEDを用いた際の測定結果。ブルーミラーより銀鏡の結果の方が電流値が大きい。

測定結果



黒、赤、緑：
ブルーミラー
青：
銀鏡（前のグラフ
と同じ）

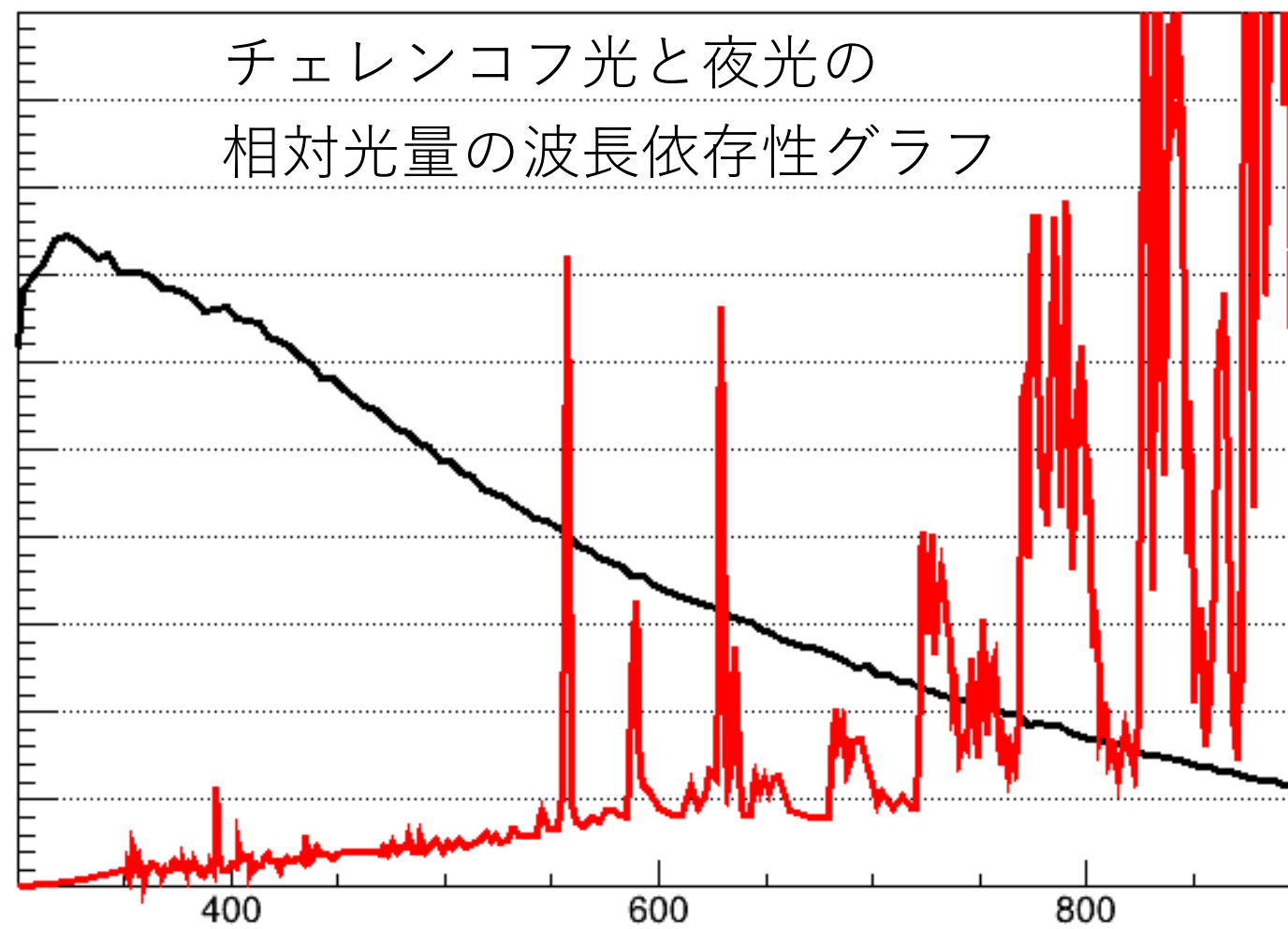
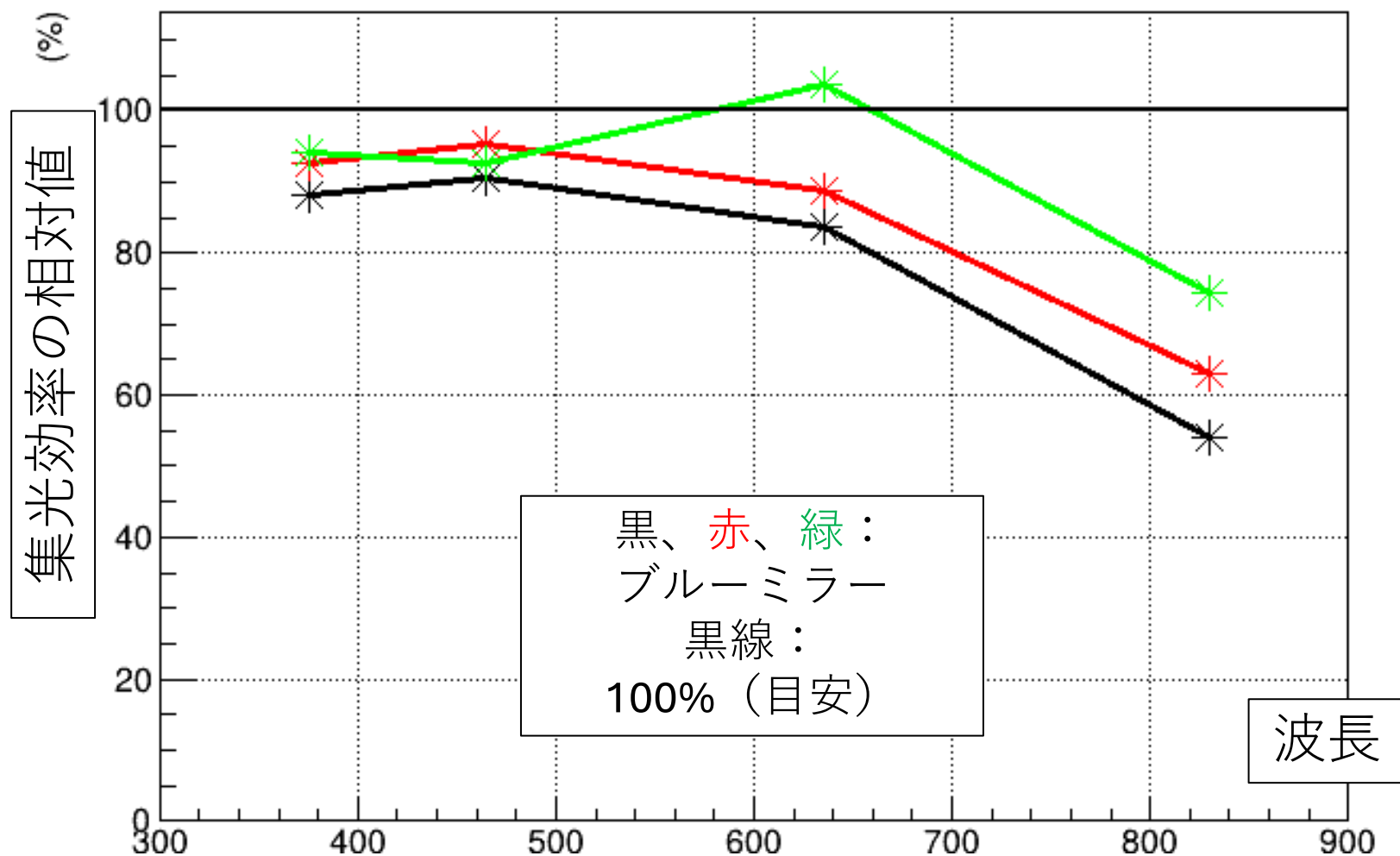


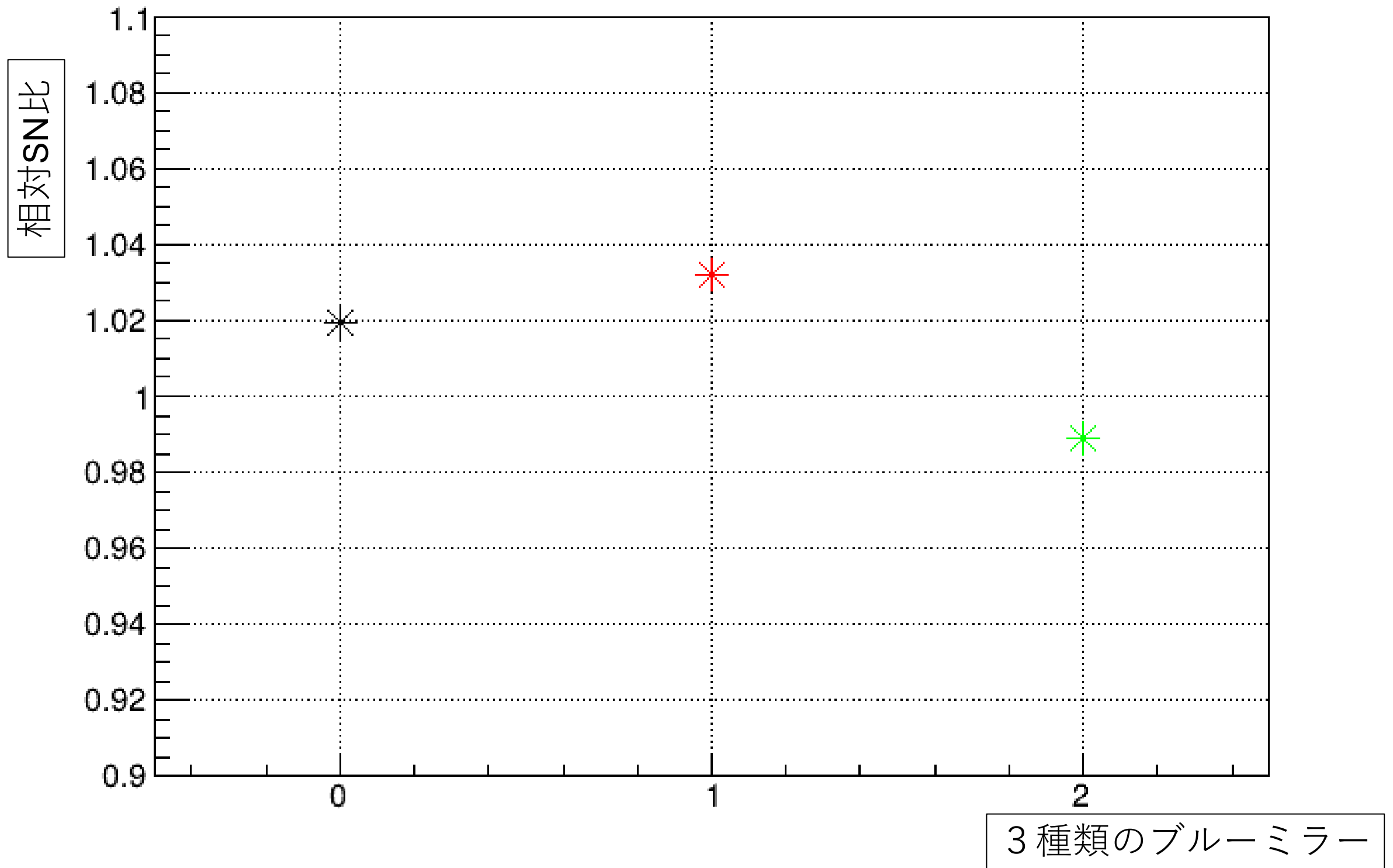
4つの波長の出力電流の入射角依存性グラフ

波長が長くなるにつれて、ブルーミラー集光器の結果が低くなっている。

銀鏡を基準としたときの集光効率の相対値を求めた。
全体を比較して、ブルーミラーは、銀鏡より集光効率は落ちるが、ノイズ（赤外線）の軽減を期待できると思われる。

4つの波長のデータからチェレンコフ光と、夜光の検出に対する影響を調べた。
SiPM(4 ページ目)のPDEも考慮することで、信号とノイズの検出効率を導き出し、鏡ごとのSN比を出す。





3 種類のブルーミラーにおける、銀鏡と比較した相対SN比。
黒と赤は 1 を超えており、緑は 1 をわずかに下回っている。これらのブルーミラーは、現在のLSTの鏡と比べて、大幅な改善ではないが、大きく劣ることも無いと考えられる。

まとめ

- SiPM用の集光器を試作し、性能を評価した。
- 赤外線を減光することにより、ノイズが軽減されることを確認した。

今後の予定

- 検出効率の絶対値を、多波長で測定する。
- SN比と検出効率を求め、集光器の最適化を行う。