

LiteBIRDで使用する 光学部材の陽子線による影響

岡山大学 舟木巧、岡奈穂、喜田洋介、石野宏和

JAXA/ISAS 松村知岳

高エネルギー加速器研究機構 羽澄昌史

国立天文台 唐津謙一、関本裕太郎

Kavli IPMU 片山伸彦

横浜国立大学 水上邦義、入江郁也、中村正吾

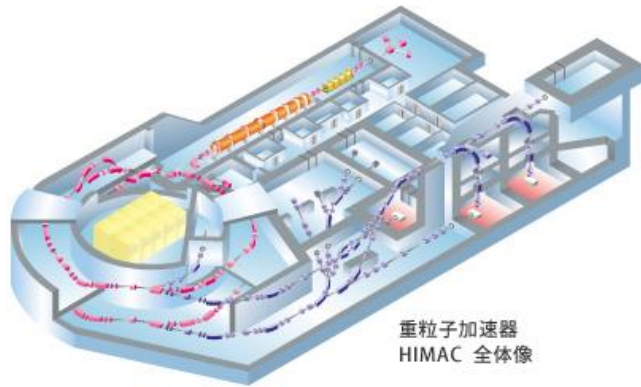
他、LiteBIRDワーキンググループ

目的

- LiteBIRDは太陽・地球のL2ハロー軌道において3年間、宇宙マイクロ波背景放射の偏光を測定する衛星。
- 宇宙環境では、衛星は太陽や深宇宙から放射線によって被爆する。
 - 主な成分は高エネルギー陽子線
 - 線量は年間約 2krad
- LiteBIRDで使用する部材の放射線耐性を事前に調べる必要がある。
 - 例えば、回転半波長板の光学的な透過率が変化するかもしれない。
- そこで、放射線医学総合研究所(放医研)において、部材に陽子ビームを照射し、照射前後の特性を評価した。

放医研での陽子ビーム照射実験

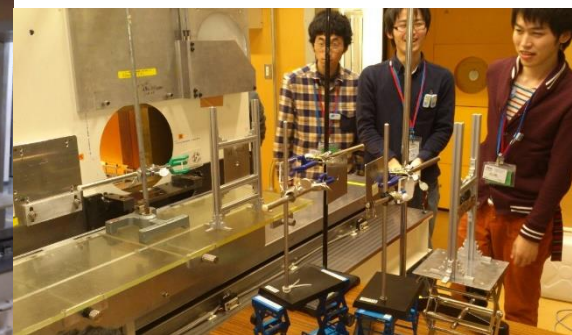
- HIMACの生物照射室において2014年11月17日に照射試験を行った。
 - ビームエネルギー: 157MeV
 - ビーム幅: 5cmの σ を持つガウシアン
 - 照射量: 水の照射量に換算して10krad、約5年分の宇宙空間での観測に相当する。
 - フルエンス = 1.2×10^{11} protons/cm²



HIMACの全体図



生物照射室ビームライン



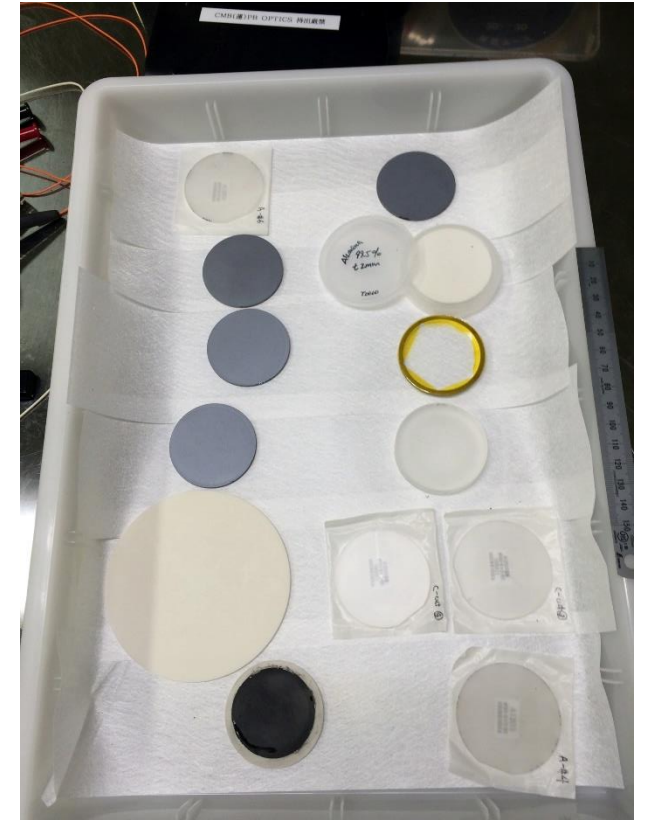
ビームラインに試料を
設置したところ



感光紙で測定した陽子
ビームのプロファイル

照射サンプルと線量のリスト

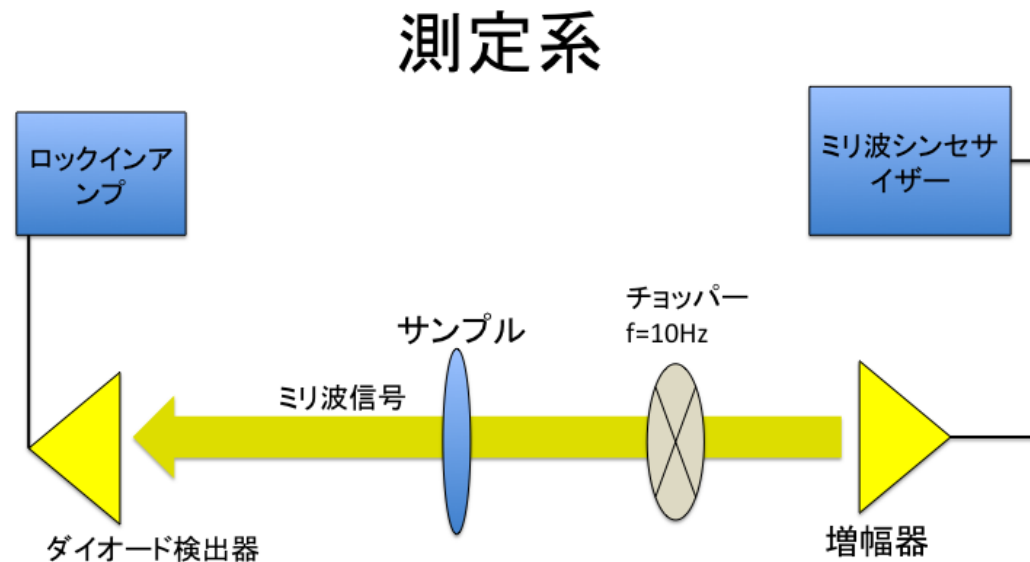
測定物質	エネルギー損失 $\langle -dE/dx \rangle [\text{MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{g}]$	線量 [Rad]
アルミナ サファイア	4.34	8330
Cytop	4.33	8310
Rexolite	5.19	9970
YBCO	3.39	6500
Si	4.25	8150
Al	4.14	7950
Mn	3.65	7010
Nb	3.24	6220
AlMn	3.81	7320
NbTiN	3.62	6950
skybond		
stycast1266 ($\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$)	5.13	9850
$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	5.36	10300
Au	2.75	5280



試料の大きさは、直径
2~5cm、厚さは2~5mm

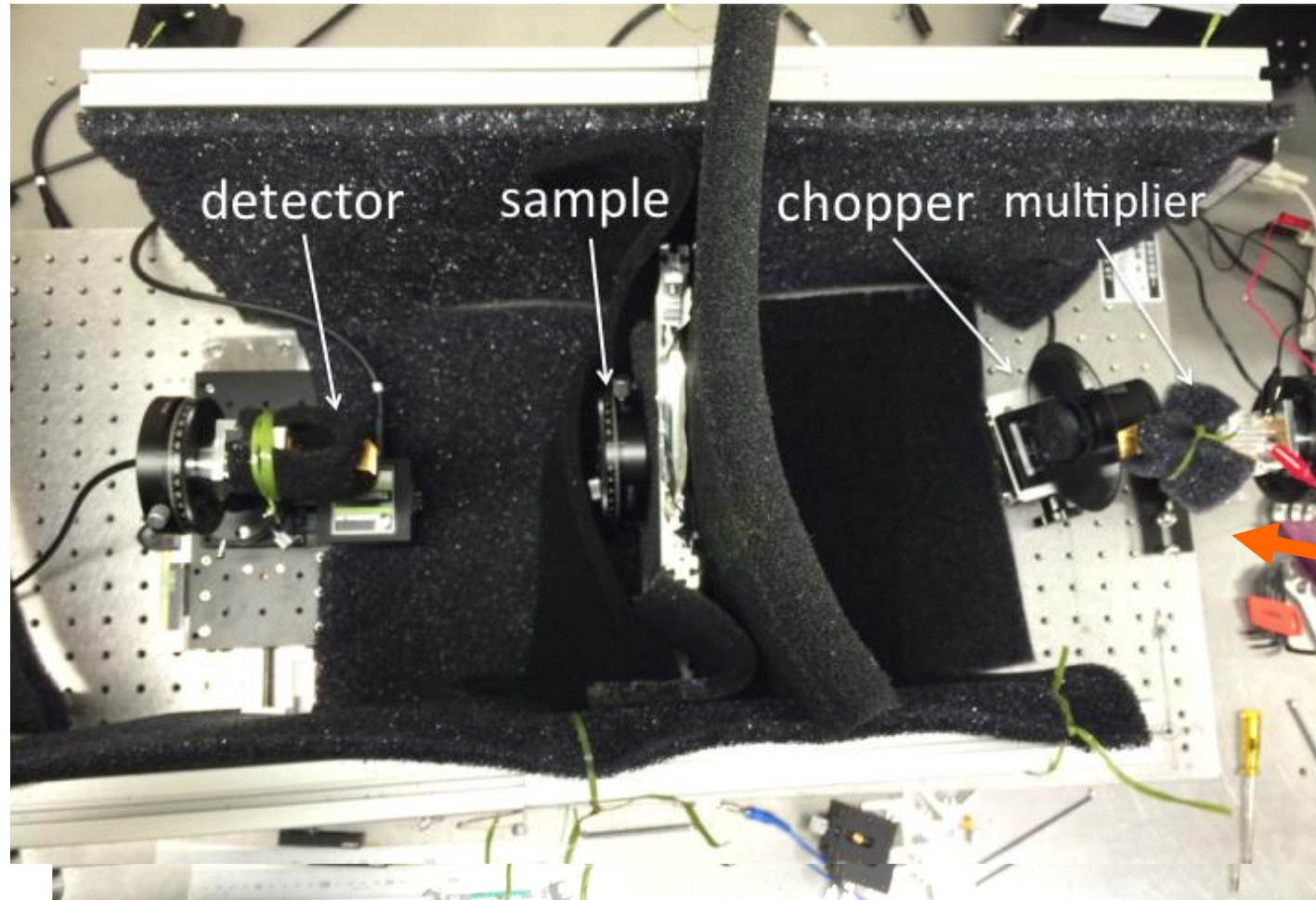
照射前後の評価

- この講演では、シリコン基板と半波長板で使われる候補である光学部材アルミナとサファイアについて測定結果について報告する。
- 光学部材の屈折率を測定するために、下図のシステムを宇宙科学研究所にて組んだ。

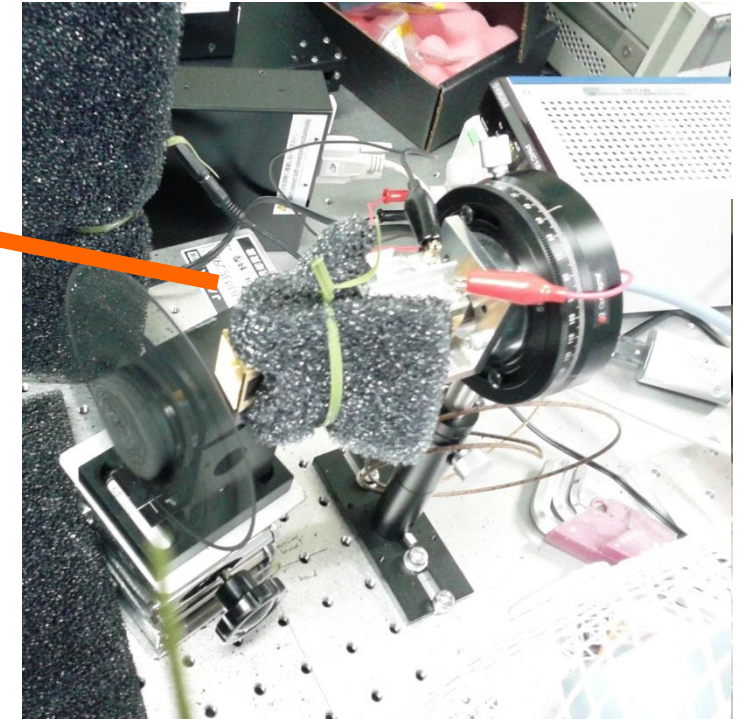


ミリ波シンセサイザーから、マイクロ波を生成、増幅器において周波数を6倍にし、75～110GHzのミリ波を生成する。増幅器・受信機(ダイオード)・測定サンプルの間で定在波が立つので、受信機的位置を変えながら受信強度を測定し、平均の強度を算出する。

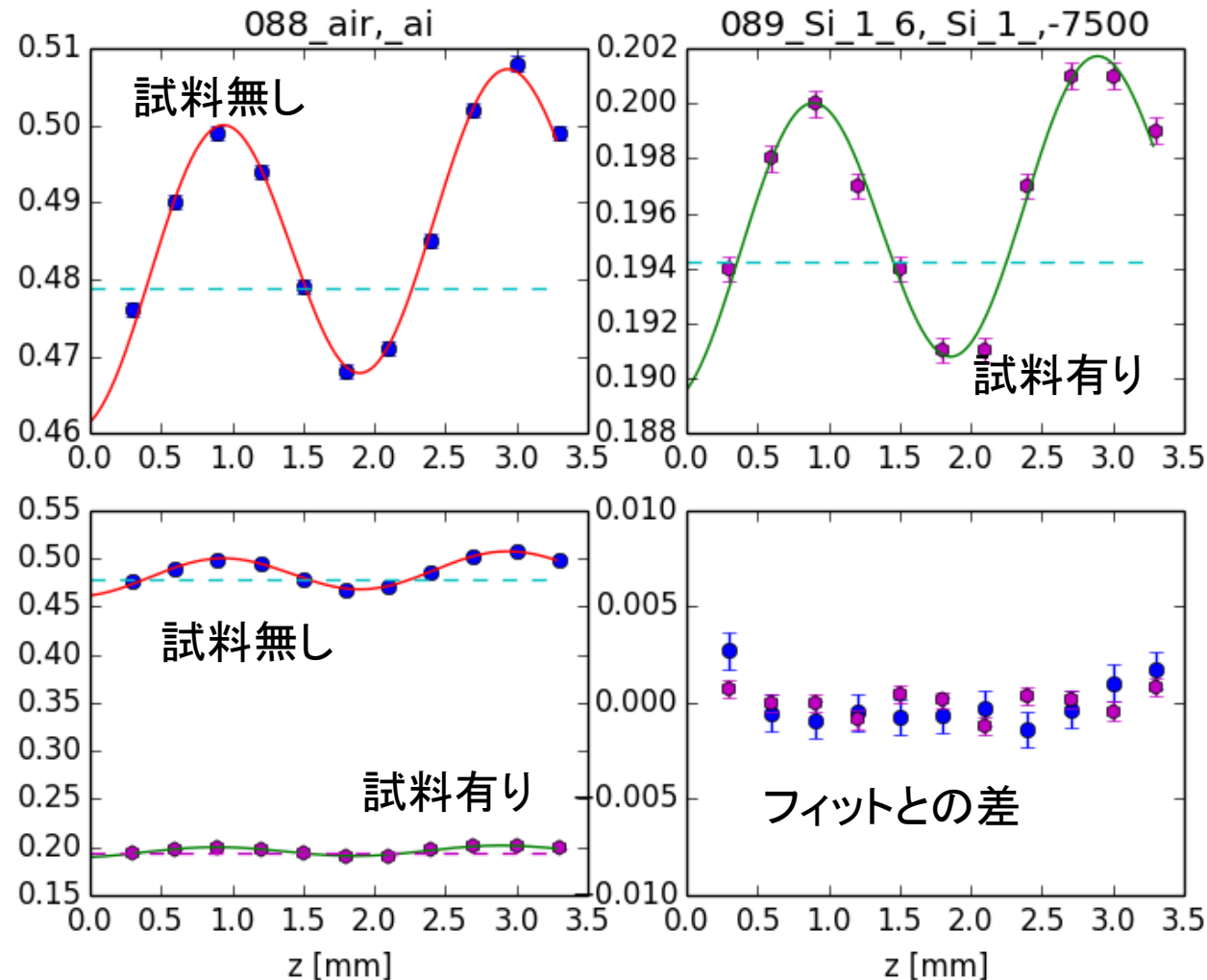
ミリ波透過率測定システム



JAXA/ISAS
松村知岳氏により構築



受信機をビーム軸方向に移動したときの測定強度

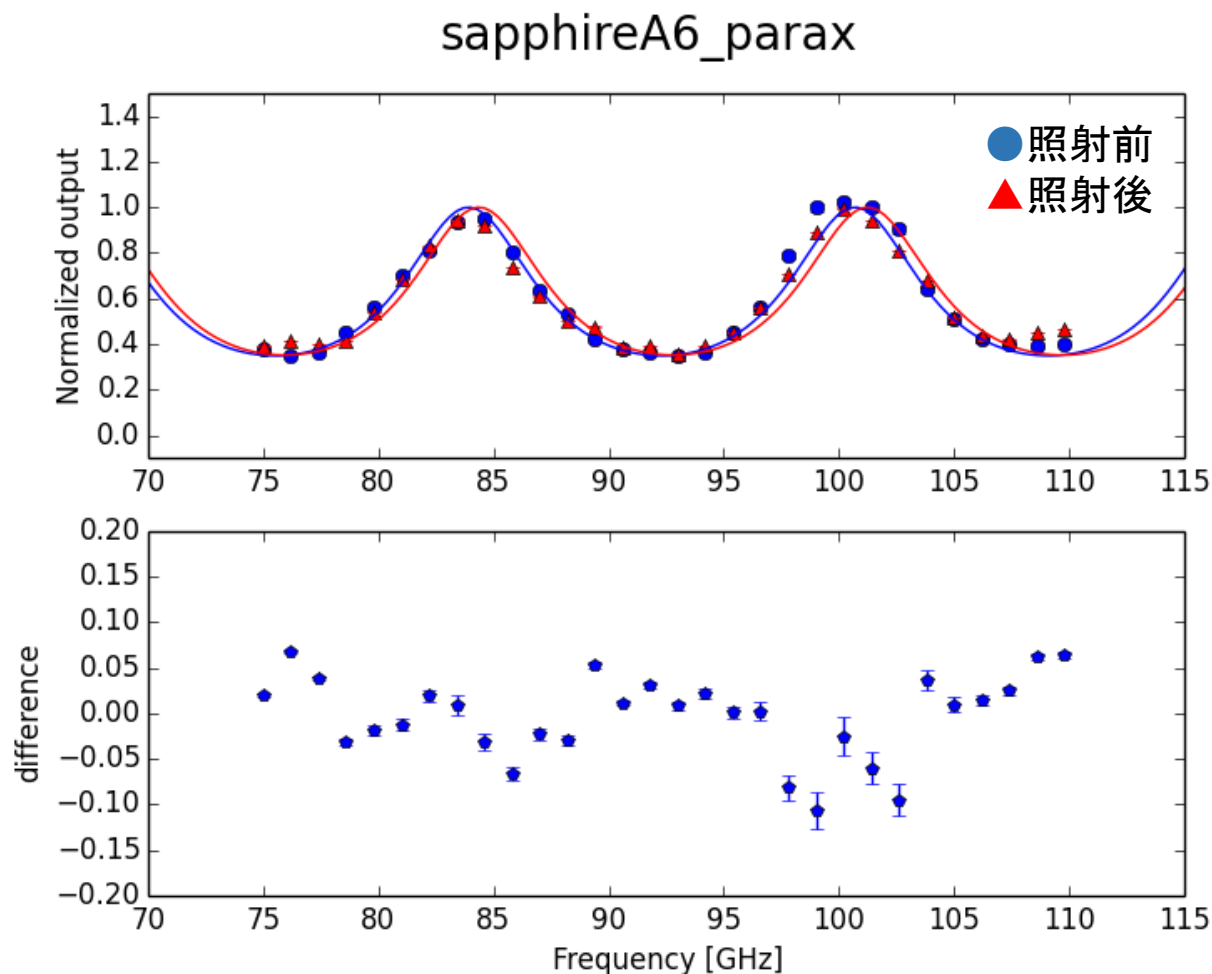


$$Y = A + Bz + \sin\left(\frac{2p}{\phi}z + C\right)$$

$$\phi = \frac{1}{2}$$

定在波のため、観測波長は、
ミリ波波長の半分になる。
各波長毎にA, B, Cをフィット。
Aの比から透過率を求める。

透過率 T の周波数依存性から屈折率 n をフィットで求める。



$$T = 1 - r$$

$$r = \frac{(1 - n^2)^2 \cos^2 k_0 h}{4n^2 \cos^2 k_0 h + (1 + n^2)^2 \sin^2 k_0 h}$$

n : 屈折率
 k_0 : 波数
 h : 光学的厚さ nd
 d : 厚さ

E.Hecht / Optics 4th ed.(2002)

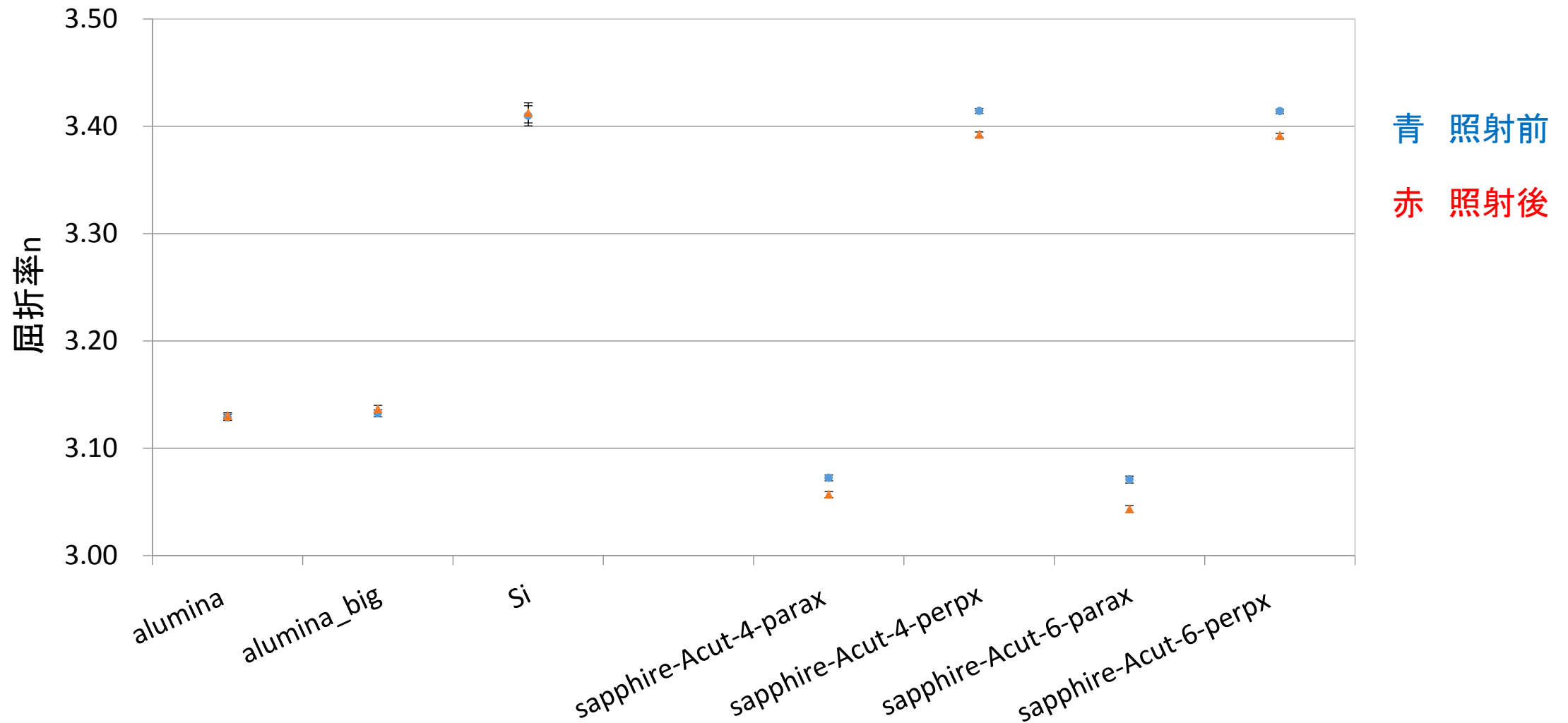
測定結果(誤差は統計誤差のみ)

サンプル	照射前	err	照射後	err
alumina	3.1288	0.0029	3.1301	0.0038
alumina_big	3.1325	0.0032	3.1367	0.0026
Si	3.4098	0.0094	3.4125	0.004
sapphire-Acut-4-parax	3.0723	0.0028	3.0568	0.0089
sapphire-Acut-4-perpx	3.4143	0.0024	3.3923	0.0025
sapphire-Acut-6-parax	3.0707	0.0033	3.0434	0.0071
sapphire-Acut-6-perpx	3.4139	0.0022	3.3912	0.0024

結晶軸に対する
カットの方向が違う

アルミナ・シリコンについては差がなかった。

サファイアについては、多少違いがある。系統誤差を含めて今後検討する必要あり。



まとめ

- LiteBIRDで使用する光学部材(アルミナ・サファイア)の放射線耐性試験を行った。
 - 放医研HIMACで、157MeVの陽子ビームを10krad分照射。
 - 照射前後において透過率の測定から、部材の屈折率を75～110GHzの間で測定した。
 - アルミナ・シリコンについては有意な差異はなかった。
→10kradまでの放射線量による影響はない。
 - サファイアについては差異があった。系統誤差も含めて検討する。
- 今後
 - 測定の系統誤差(測定の再現性など)を見積もり、論文を出版する。
 - TES、MKID、YBCO、反射防止膜についても照射試験を既に行っており、それらの結果も順次公表予定。
 - 2015年5月14日に2回目の照射実験を行う予定。