

*PTFE*の反射特性の測定

A Measurement of Reflection Properties of PTFE

横浜国大工

菊地正人、小田晋太郎、小林尚史、
富田賢典、中村正吾、橋本安章、

研究背景

■神岡XMASS実験

液体キセノン放射線検出器を用いる実験

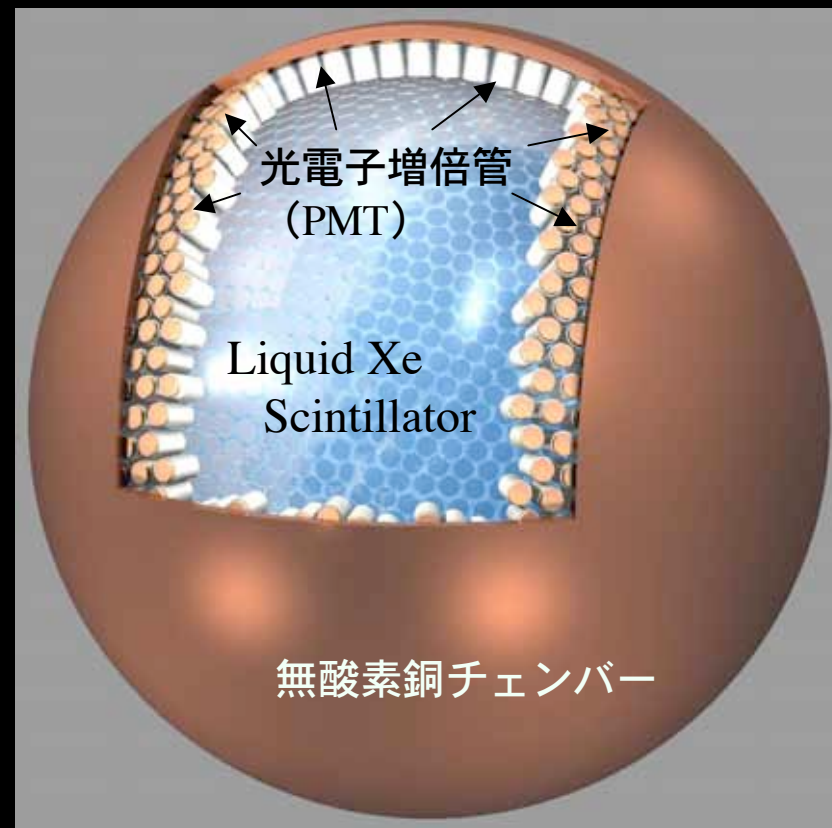
- ・暗黒物質の探索
- ・低エネルギー太陽 ν の観測
- ・ $0\nu 2\beta$ 崩壊の検出

■現在の研究状況

100kgの液体キセノン検出器



↑ 100kg 検出器の実際の写真



↑ 10tの液体キセノンを用いた検出器構想図

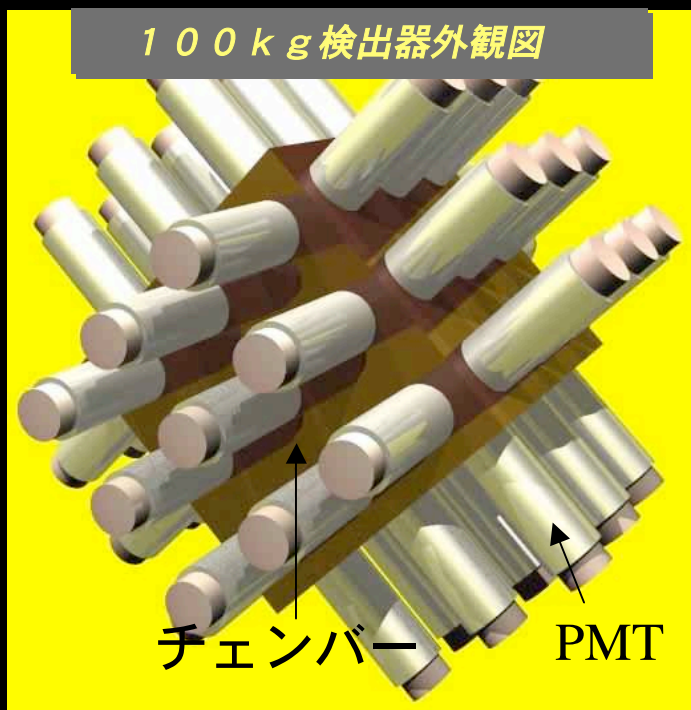
■100kg \Rightarrow 800kg \Rightarrow 10tの検出器を計画

XMASS実験とPTFE

■実験の問題点

- ・ 検出器の構造
 - ・ PMT 54本
- ⇒ 光の収集効率が悪い
⇒ ライトガイドを装着

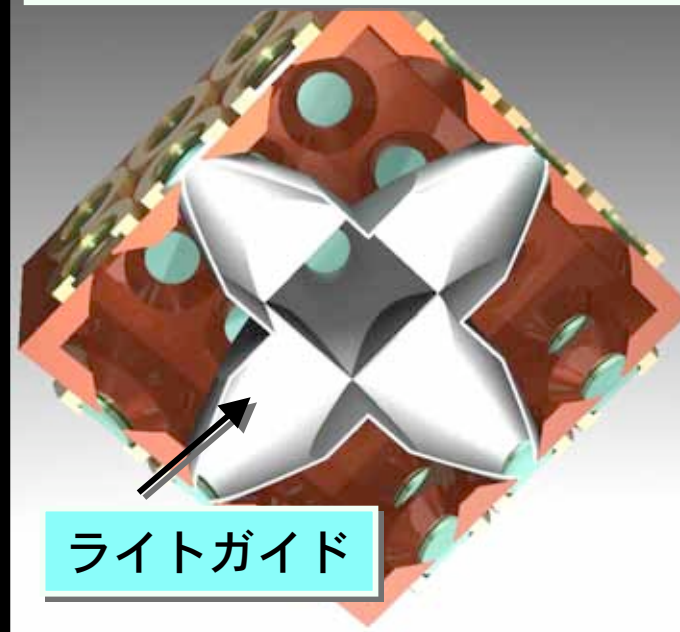
100kg 検出器外観図



■ライトガイドの条件

- ・ 液体キセノン温度 -110°C
⇒ 低温中で安定
- ・ シンチレーション光 $\lambda \sim 178\text{nm}$
⇒ 真空紫外領域に高い反射率

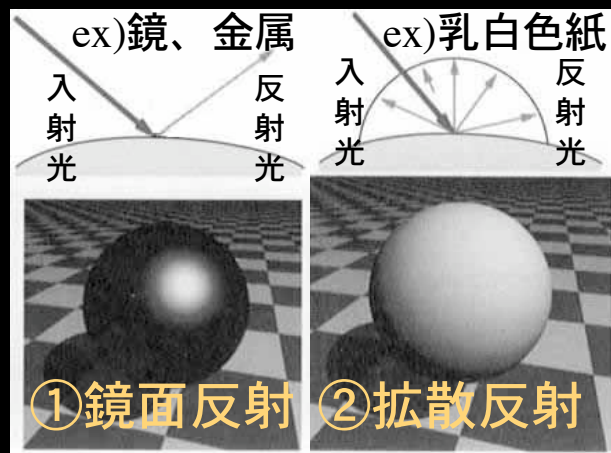
ライトガイド装着した検出器断面図



条件を満たす材料 ⇒ P T F E ⇒ 光の反射特性は？

光の反射とPTFE

■ 一般的な反射特性



①鏡面反射体

Snell's law (鏡面反射角 = 入射角)

②拡散反射体

Lambert's cosine law ($\cos \theta$ 分布)

■ PTFE (特徴: フッ素樹脂、化学的不活性) @テフロン



・液体Xe中でのVUV光に対する反射特性

検出器設計からデータ解析に至るまで必要なデータ

(80%、95%と有意に食い違う、拡散反射体?)

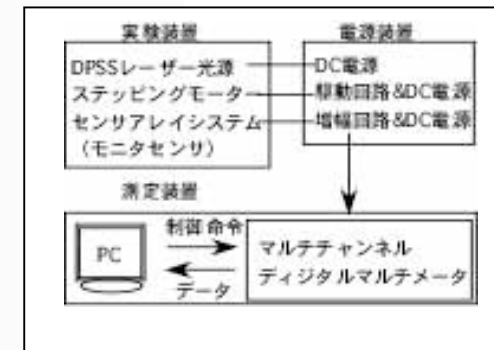
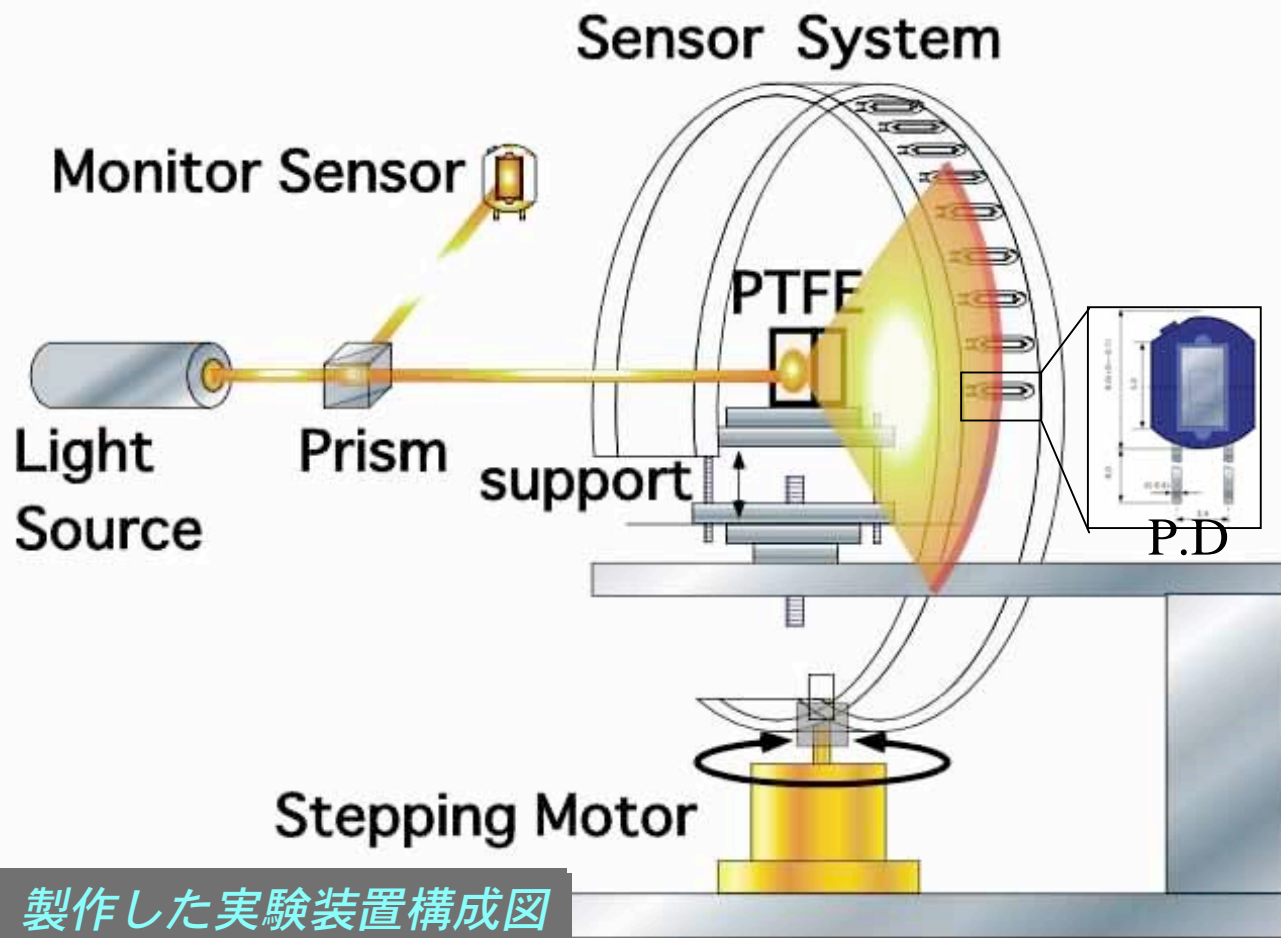
(VUV光源を使い液体キセノン中で測定する事は困難)

装置の開発、3次元測定方法の確立

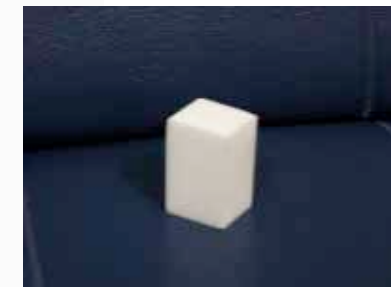
・予備実験「PTFEの可視光での反射特性の測定」を今回行った

実験方法・条件

- PTFE : 20mm厚試料 (研磨試料×1、素材試料×1)
測定間隔 : 水平方向 1.8° (⇒ステッピングモータ使用)
光センサ : フォトダイオード (P.D) × 10 (⇒垂直方向 10°間隔で測定)
光源 : $\lambda \sim 650\text{nm}$ (赤色半導体レーザー)



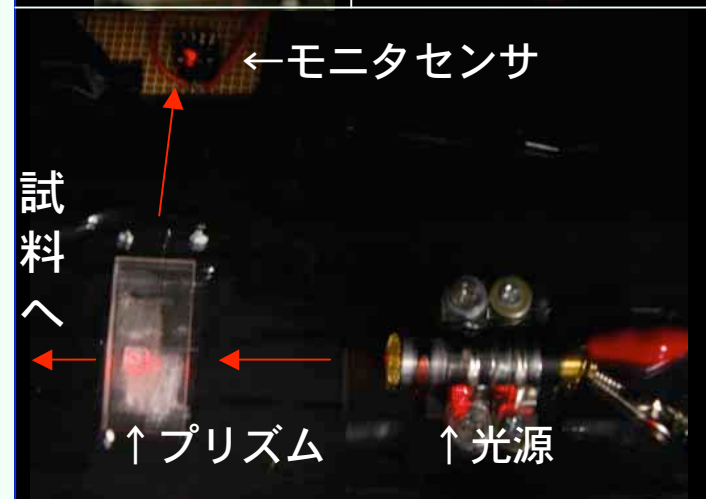
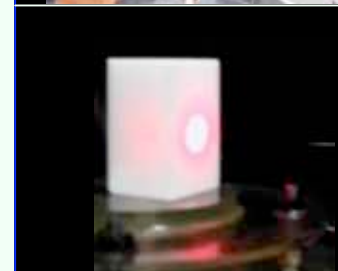
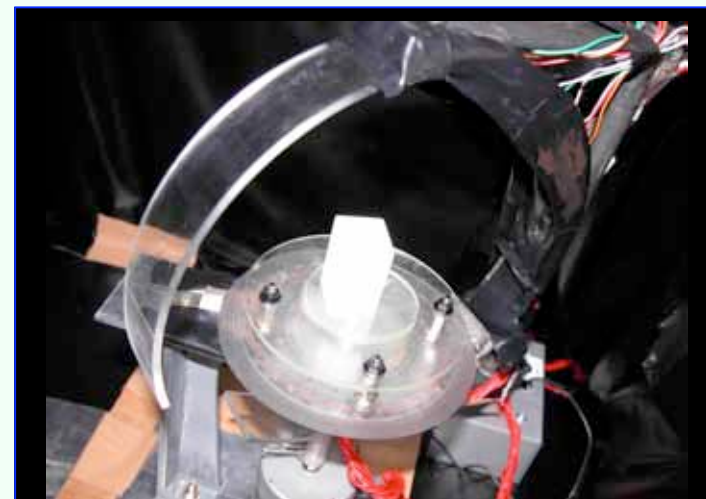
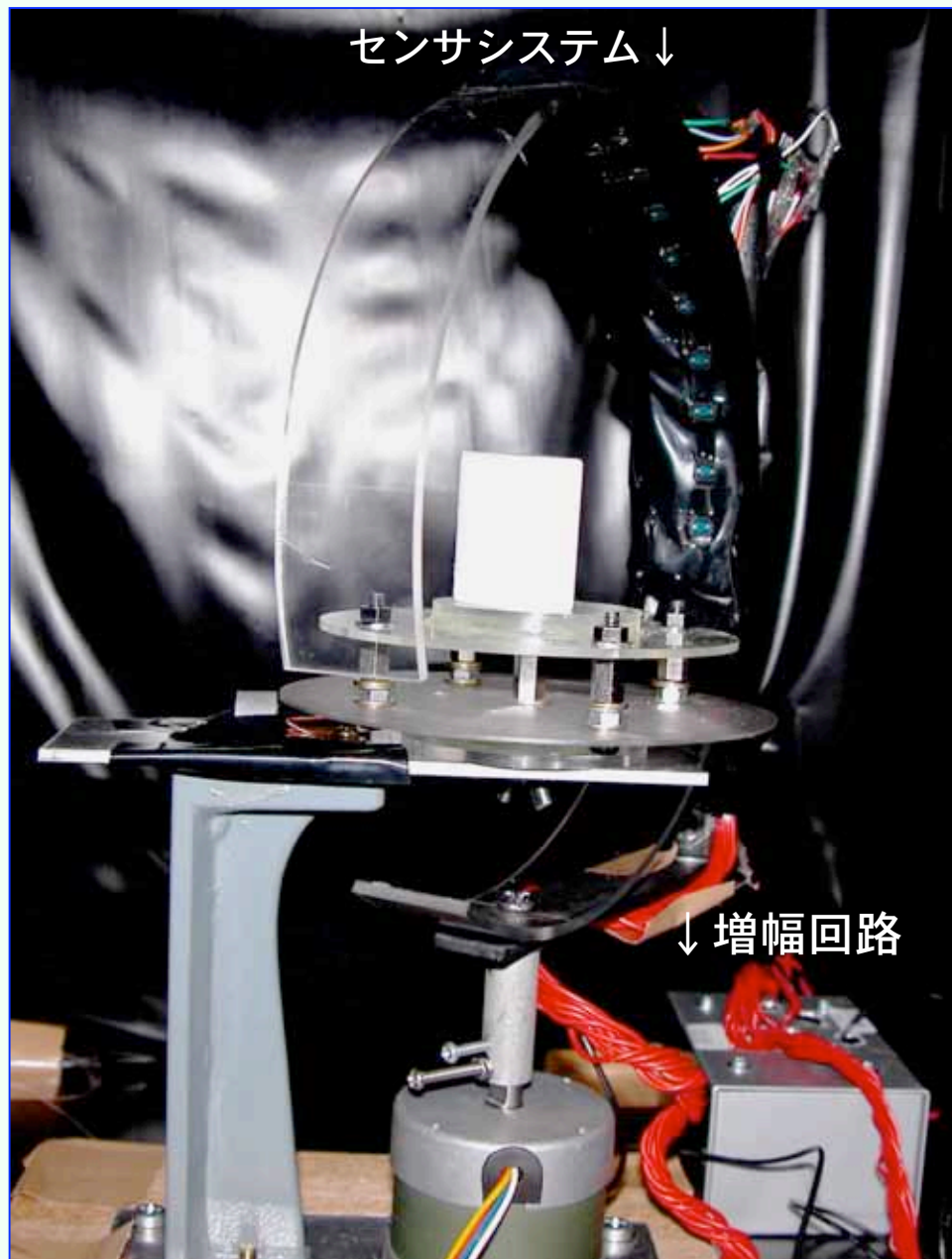
測定系



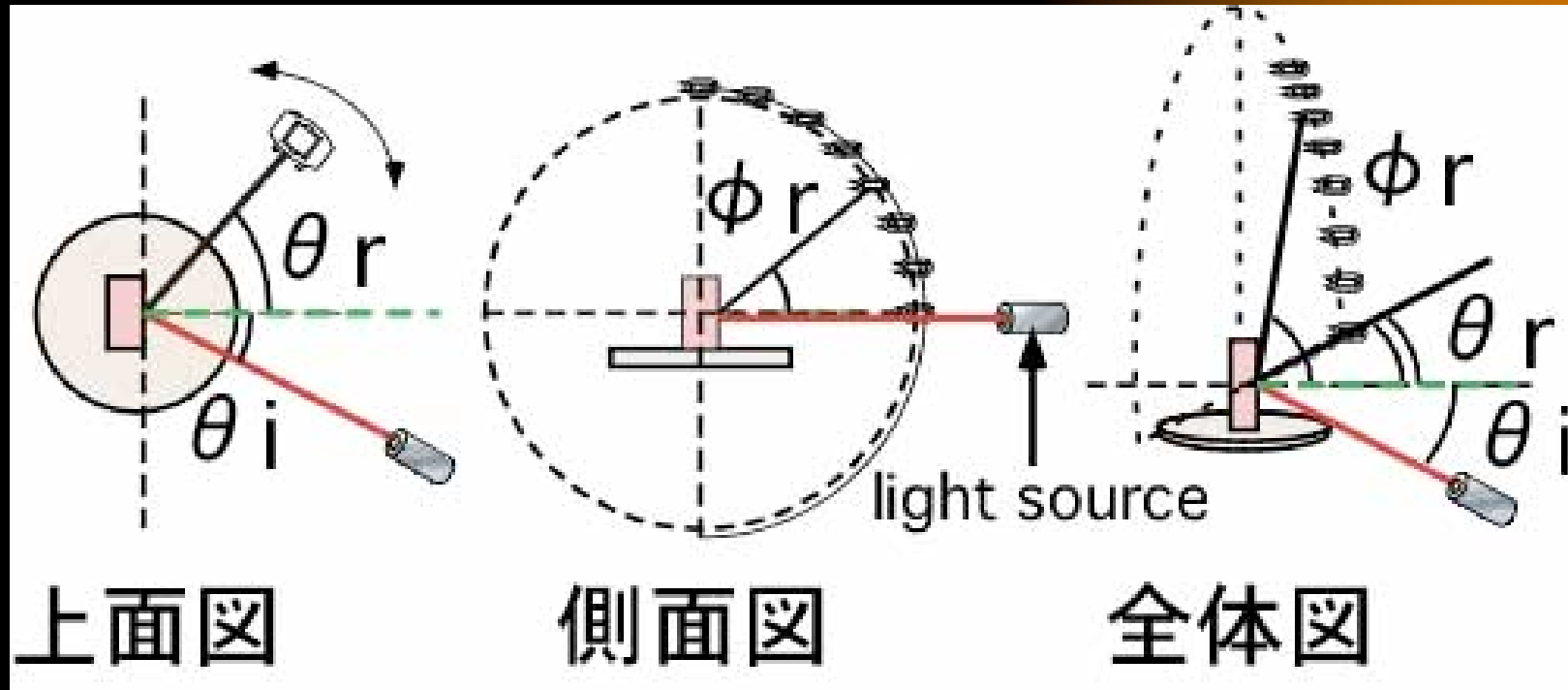
PTFE試料

製作した実験装置構成図

製作した装置の写真



角度定義



θ_i : 光源入射角 θ_r : センサ方位角 ϕ_r : センサ俯角
($-90^\circ \sim 90^\circ$) ($0 \sim 90^\circ$)

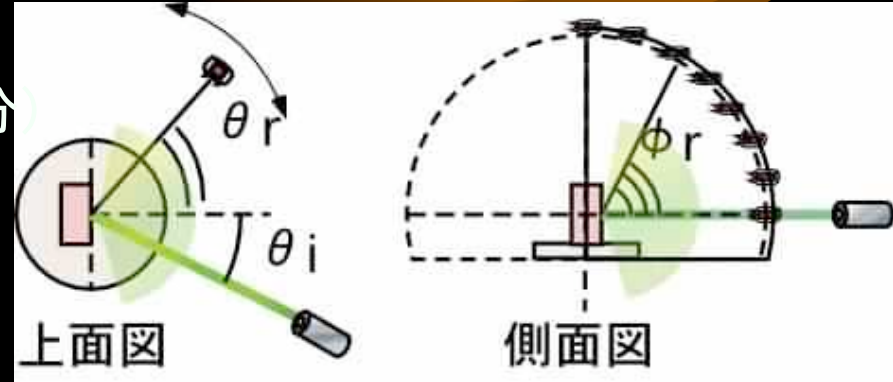
※方位角 θ_r 方向センサは 1.8° 間隔測定

※俯角 ϕ_r 方向センサ分布は 10° 間隔

※光源とセンサが重なる部分は測定不能

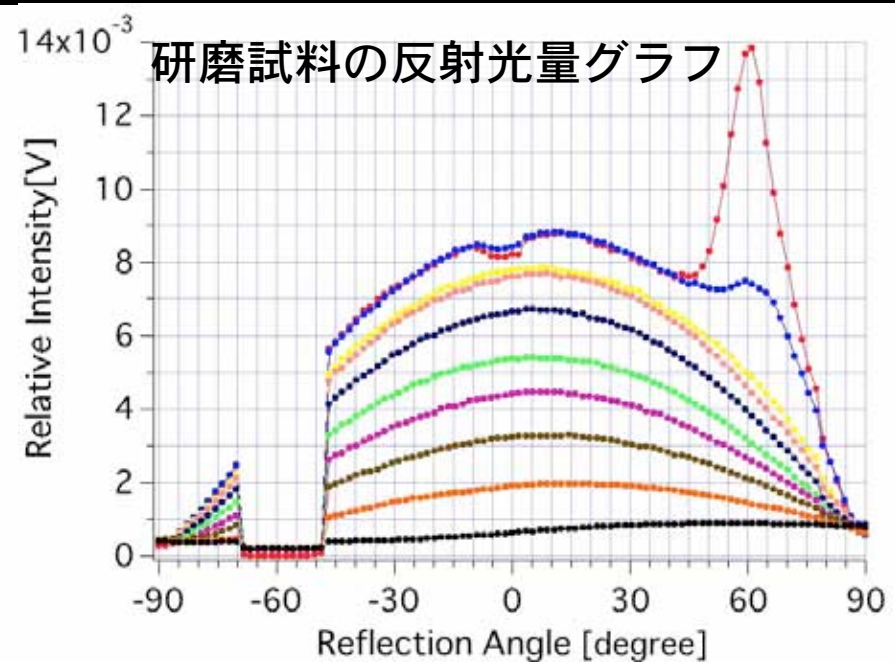
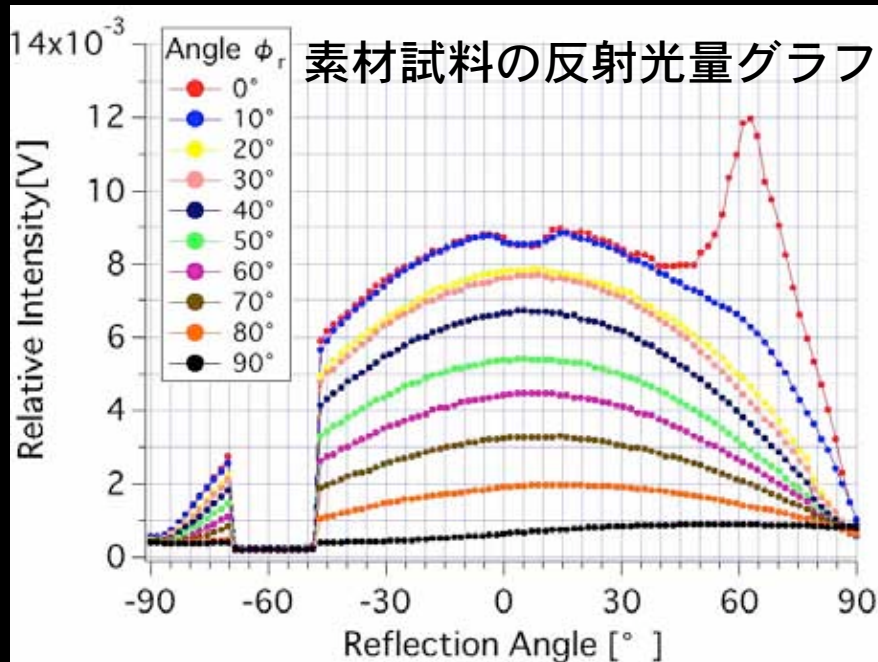
実験結果

- Snell則に従う反射角に強い反射成分
($\phi_r=0^\circ$ 、 $\theta_r=\theta_i$ に鏡面反射的な成分)
- 残りはLambert則に従う形
(反射光量グラフがcosine形)
- 鏡面的な反射は研磨試料の方が強い



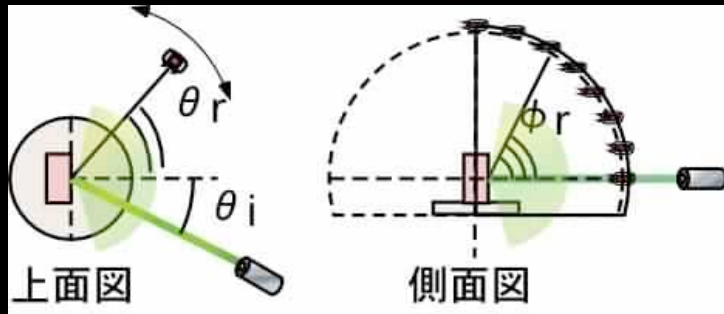
角度定義図

- 入射角 60° の場合の反射光量グラフ

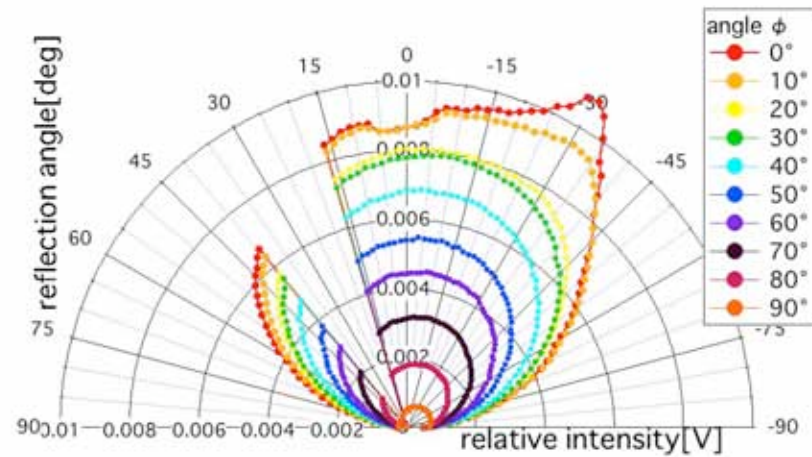


反射特性

入射角 30° の反射特性



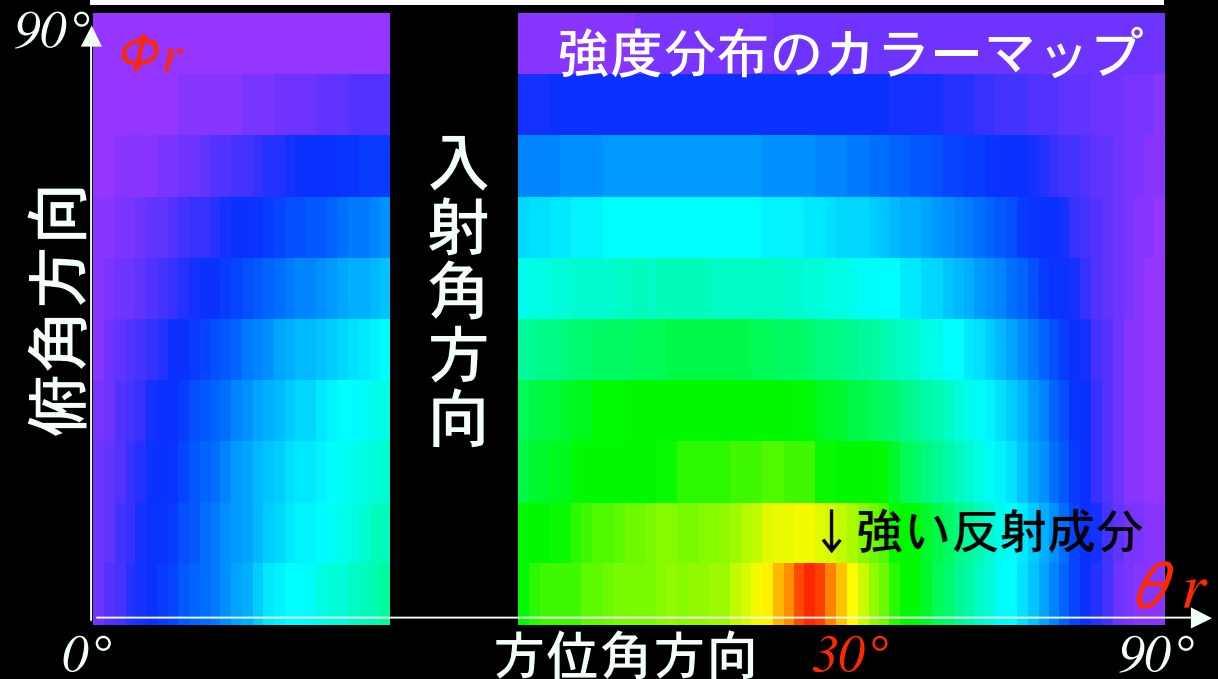
反射光量のポーラーグラフ



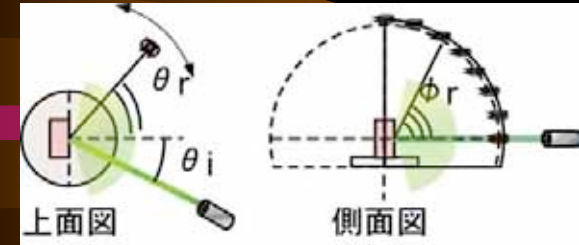
PTFEが完全拡散反射体

⇒ Lambert則

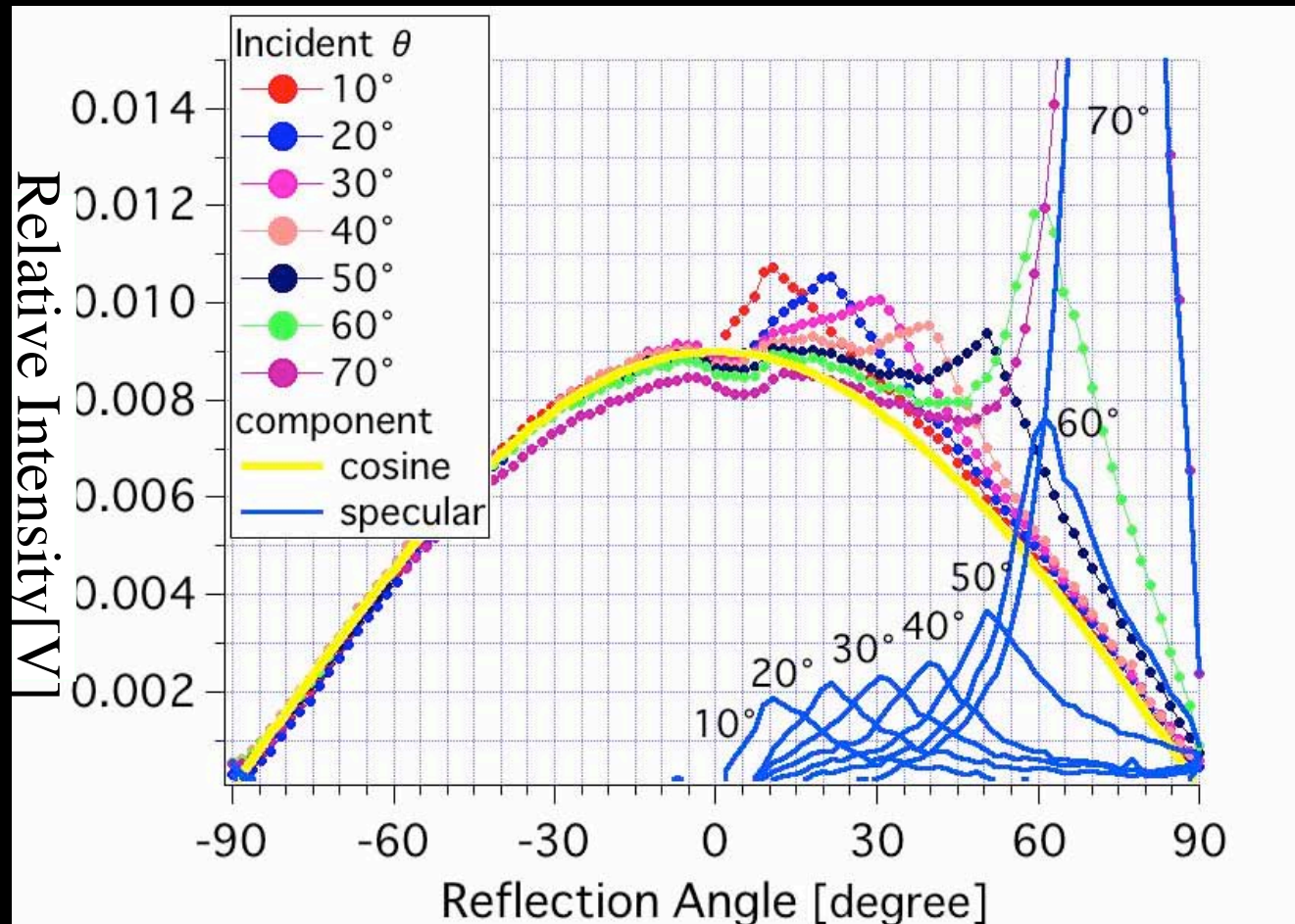
⇒ 同心円状になるはず



入射角依存性



- $\phi_r=0^\circ$ センサ信号に注目
入射角の変化による反射成分の推移



- $-90 \sim 0^\circ$: cosineフィッティング
- $0^\circ \sim +90^\circ$: 入射角小 \Rightarrow 大で鏡面反射成分が増加

PTFEの反射特性 結論・考察

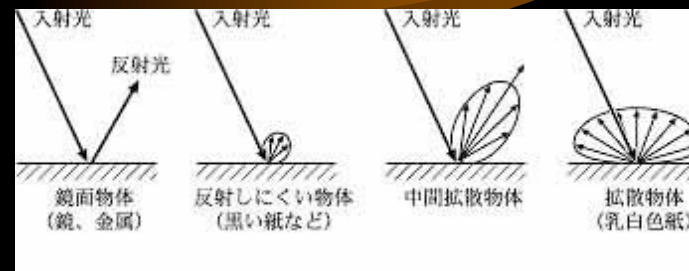
■結論

- 中間拡散反射体

⇒拡散反射＋鏡面反射の重ね合わせ

- 鏡面反射成分は入射角に伴い増加

⇒表面状態・分子レベルの構造に関する？



■課題

光学系の最適化

PTFEの構造

⇒X線解析

液体キセノン中での反射率

⇒水中での測定

シンチレーション光の反射率

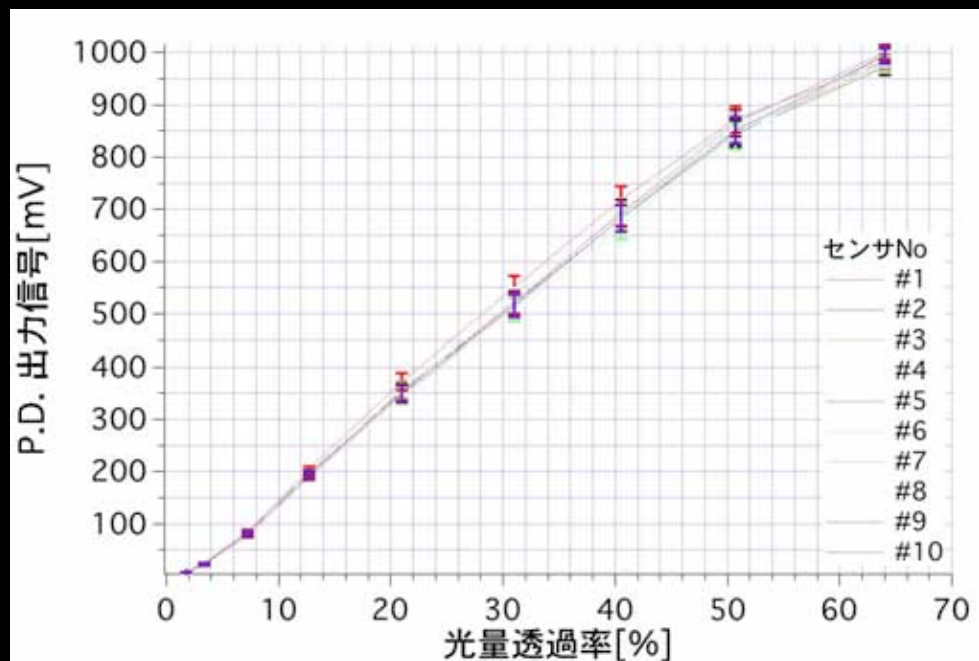
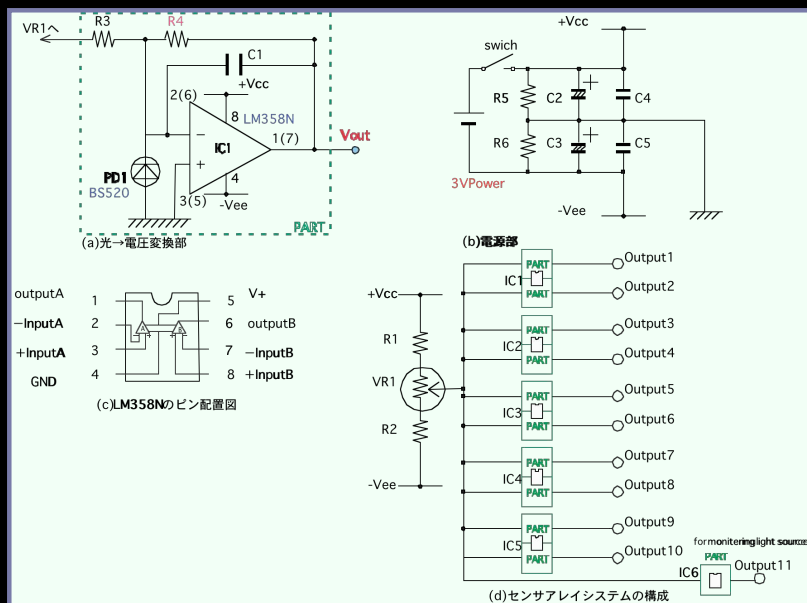
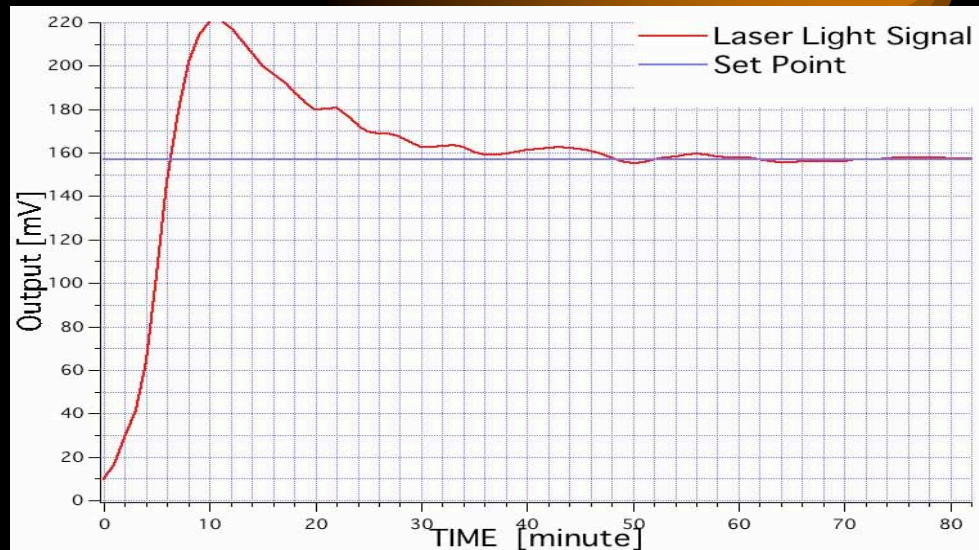
⇒VUV光源を用いた測定

■最終目標

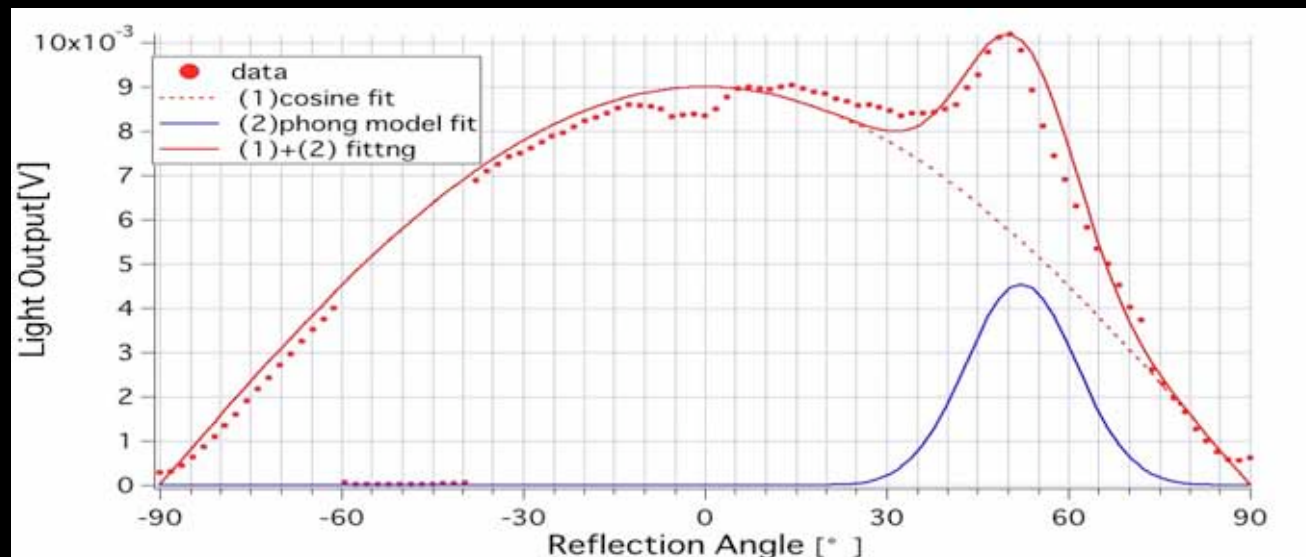
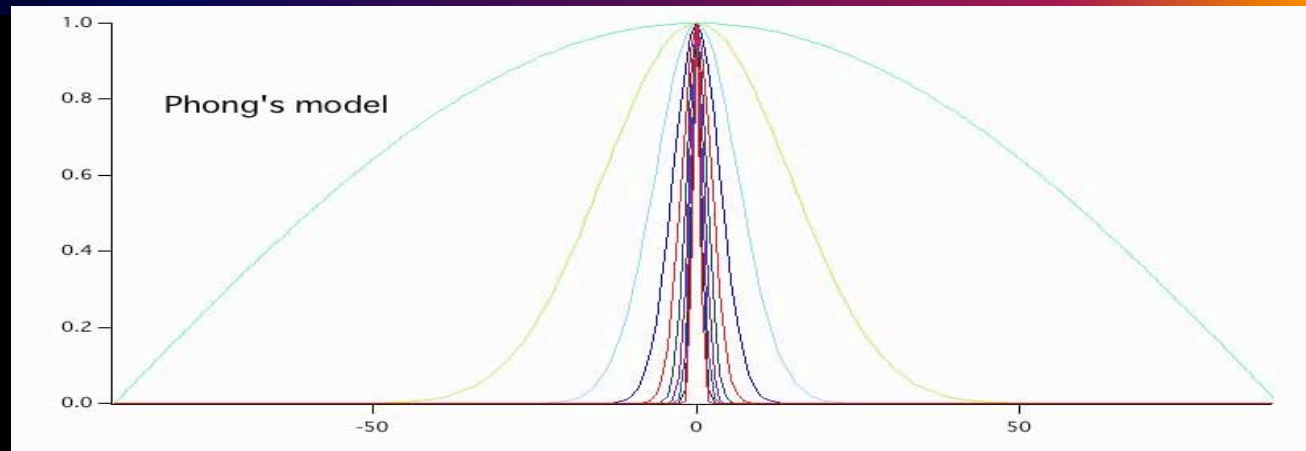
液体キセノン中のシンチレーション光に
対するPTFEの反射率

センサシステムのキャリブレーション

- センサ出力信号のオフセット補正
- 光源のモニタリング
- 光量対センサ信号の直線性



Phongモデルによる鏡面成分のフィッティング



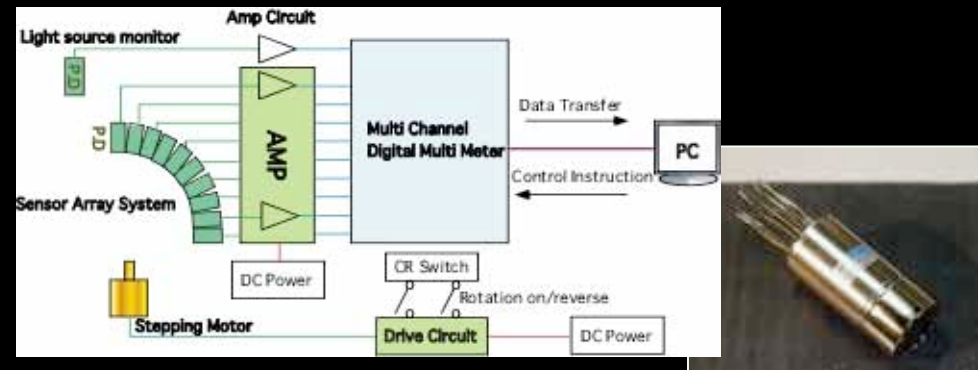
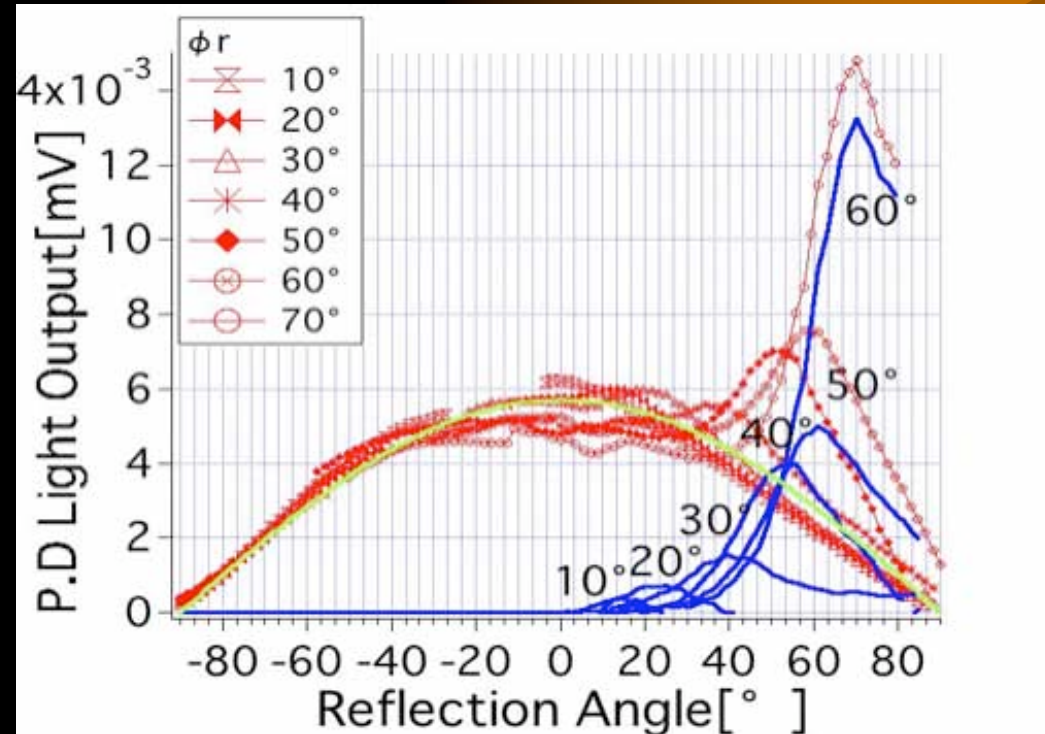
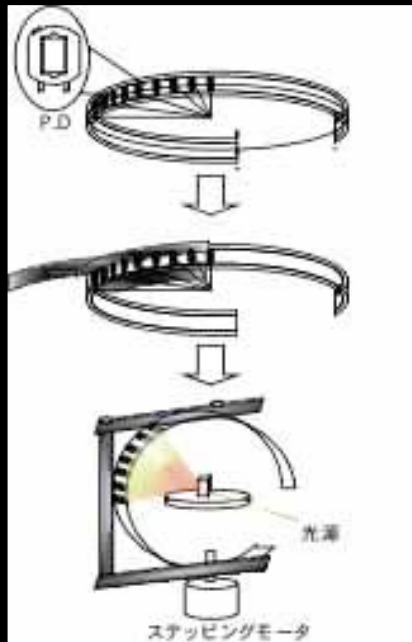
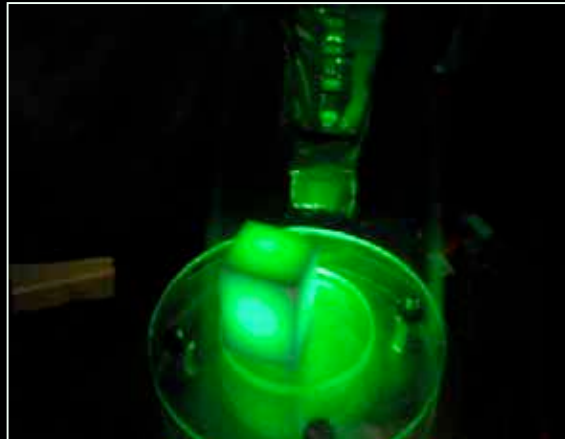
$$I(\theta) = I_i R_d \cos \theta_r$$

I_i : 入射光量

R_d : 拡散反射率

θ_r : 反射角

DPSSレーザーによる測定 (緑532nm)



フッ素元素の性質

- ①ファンデルワールス半径は水素原子について小さい
 - ②最も電気陰性度が高く、多くの元素と安定な化合物を作る
 - ③最外殻電子は2s、2p軌道にあり、核との相互作用が強い
- 結果、炭素-フッ素間には結合エネルギーが大きく、結合距離が短く、分極率が小さい共有結合が生成する。

元素記号	H	F	Cl
最外殻電子配置	1s ¹	2s ² 2p ⁵	3s ² 3p ⁵ 3d ⁰
ファンデルワールス半径[Å]	1.20	1.35	1.80
電気陰性度[ポーリング]	2.10	4.0	2.0
イオン化エネルギー[kcal / g atom]	315.0	403.3	300.0
C-Xの			
結合距離[kcal / g atom]	1.091	1.317	1.766
結合エネルギー[kcal / g atom]	99.5	116	78
	0.66	0.68	2.58

シンチレータとしての液体キセノンの性質

表1 液体Xeの物理的性質

物理的性質	値と単位
原子数	54
質量数	131
密度 (165.1K, 1atm)	2.95 g/cm ³
沸点 (1 atm)	165.1 K
融点 (1 atm)	161 K
屈折率 (175 nm)	@1.61

表2 液体Xeシンチレータの利点

特徴	利点
高発光量	42000[photons/MeV]
大きい原子番号	γ 線を自己遮蔽
高密度	コンパクトに作れる
液体である	形状は自由となる
沸点が比較的高い	液化が容易である
蒸留可能	純化が容易である