

ハイパーカミオカンデ実験に向けた 水標的ファイバートラックカの要素開発

東北大理

熊野文佳, Lukas Berns, 市川温子

長基線ニュートリノ実験

- ニュートリノと反ニュートリノにおける振動の違いを測定

⇒ レプトンのCP対称性の破れを調査

T2K実験

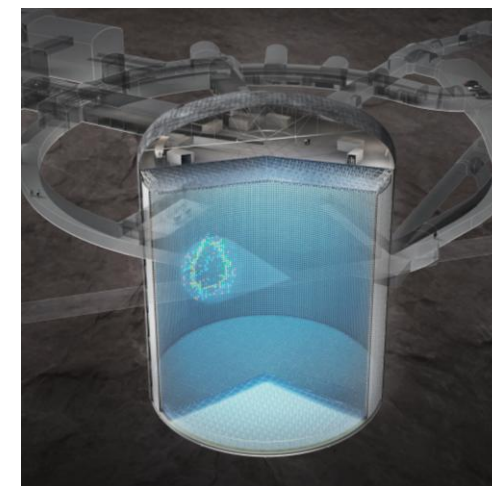


- J-PARCで作ったニュートリノをスーパーカミオカンデ(SK)に向けて照射

- 前置検出器(ND280) : 振動前のニュートリノ
 - 後置検出器(SK) : 振動後のニュートリノ
- をそれぞれ観測

ハイパーカミオカンデ(HK)実験(2028年~)

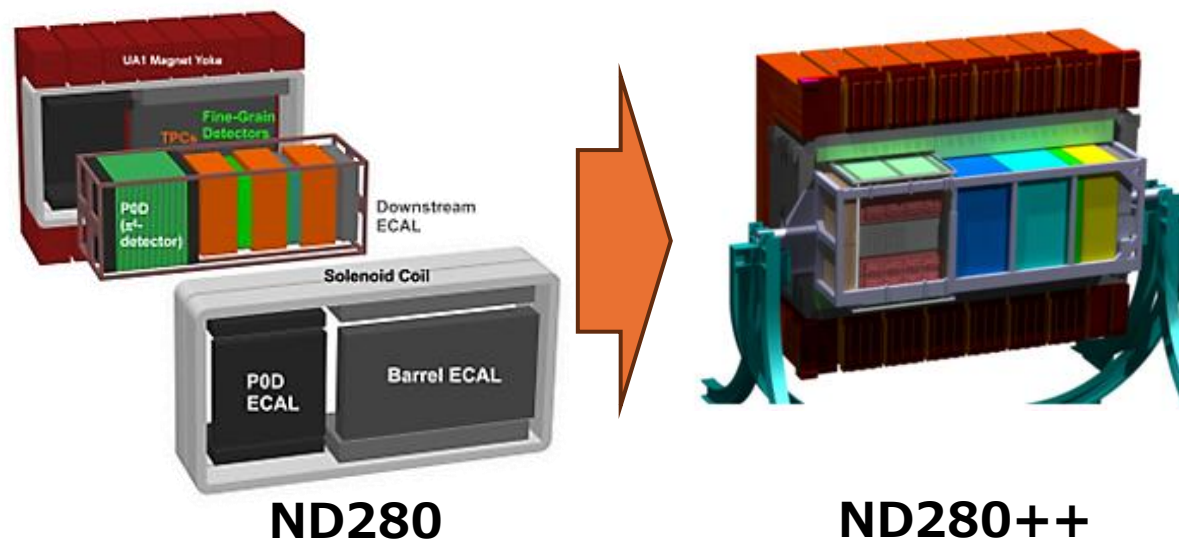
- T2K実験を継承
- 後置検出器 : SK ⇔ HK
- 有効体積8倍
 - ⇒ 統計量の増加
 - ⇒ 系統誤差を減らす必要がある
 - ⇒ **前置検出器ND280のアップグレード**



ND280++へのアップグレード

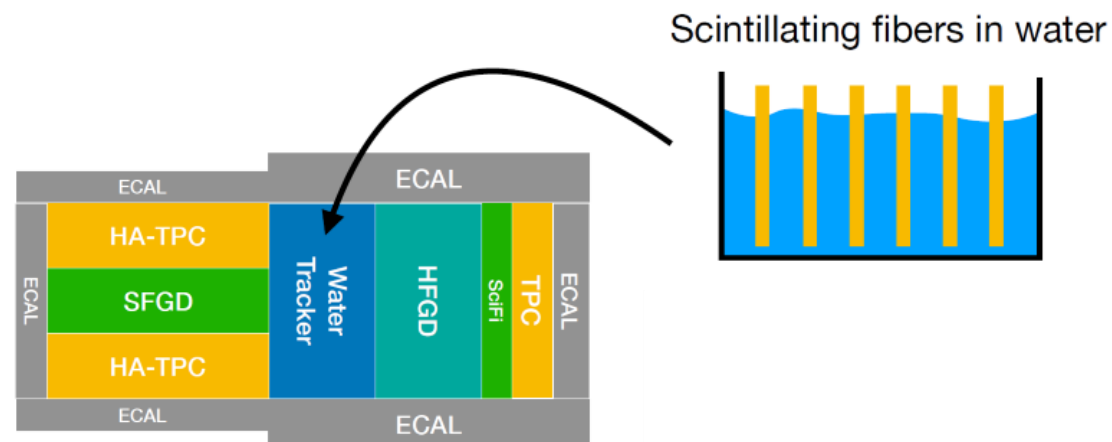
前置検出器ND280の課題

- 現在は主に炭素標的(プラスチックシンチレータ)を検出器に使用
SK, HK : 水標的 ND : 炭素標的
⇒ 系統誤差の要因に



ND280++

- HK実験に向けたND280のアップグレード計画
- 水標的の検出器の導入を計画
- 水標的ファイバートラッカはこの案の一つ



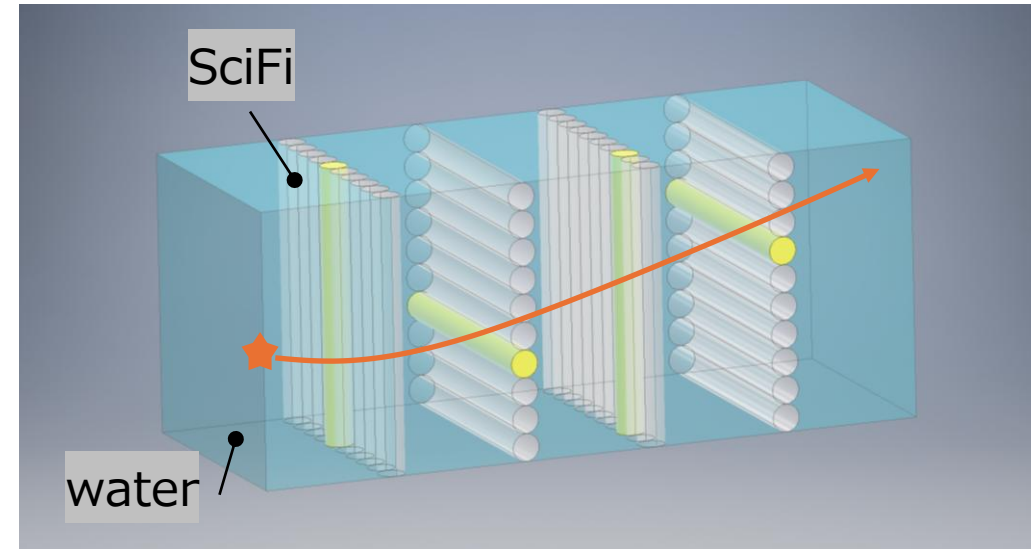
水標的ファイバートラッカ

デザイン概要

- 水中にSciFiシートを10mm間隔で配置
- 粒子が通過したファイバが光る
- ファイバからの光をMPPCで観測

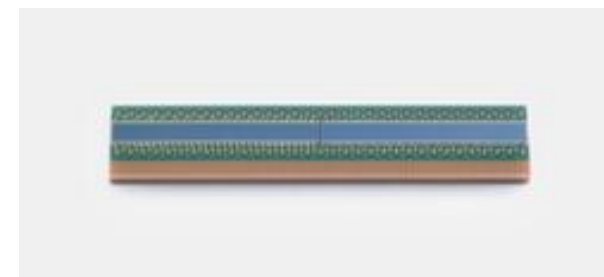
※SciFi : Scintillating Fiber コアにシンチレータを使用したプラスチックファイバ

- 複数ファイバをMPPC arrayでまとめて読み出し



メリット

- 水の割合が高い
- ファイバ方向 : 解像度がmm単位
高解像度 ⇨ 局所的な光量が分かる(発生直後の光が1粒子分か,2粒子分か)
⇨ ガンマ線と電子の識別
解像度はファイバ径で決まる ⇨ ファイバは細い方がよい



MPPC array S13552

水標的ファイバートラッカ

課題

- 大きなSciFiシートの作製に手間がかかる

SciFiシートサイズ：2 m × 2 m

⇒ 効率的な作製方法が必要

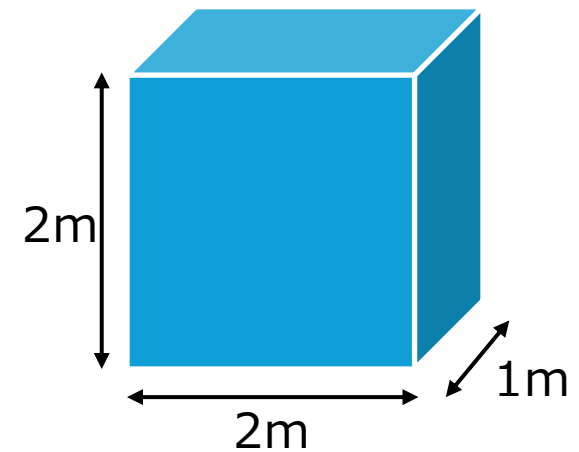
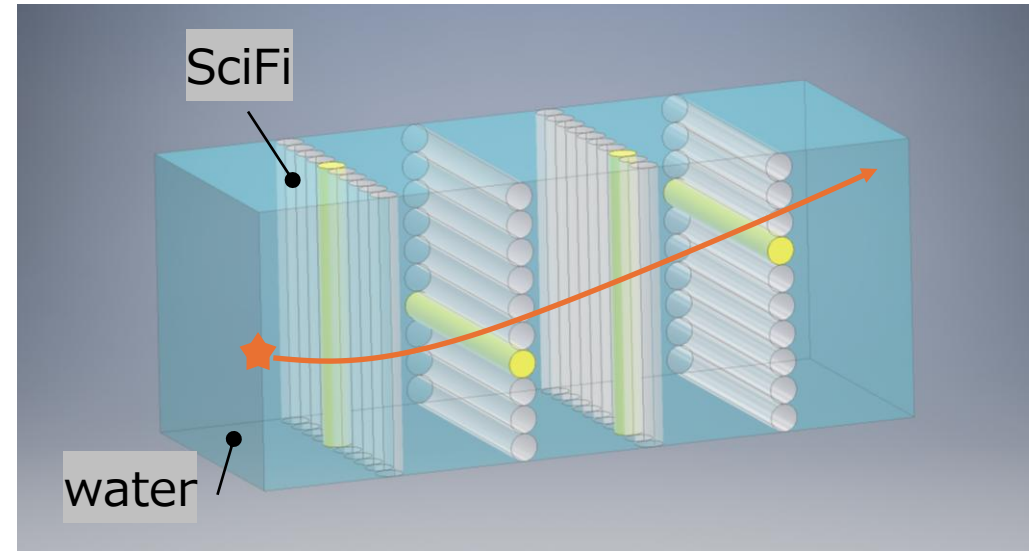
- 水平方向のファイバの読み出し

鉛直方向のファイバ：水槽上面で読み出し可

水平方向のファイバ：MPPCを水中に入れることができないため困難

いくつかの選択肢がある

- ①壁に防水の穴をあける
- ✓ ②光が透過可能な水タンクにSciFiシートを沈める
- ③薄い水槽とSciFiシートを交互に並べる



ファイバーシート

- SciFi(株式会社クラレ)の使用を検討
- 角ファイバと丸ファイバの2種類がある

角ファイバ

- 均一性が悪い
 - 1mmファイバの最大幅：1.8mm
 - 1mmファイバの最小幅：0.7mm
- シート作製が容易
 - テープで固定するなど



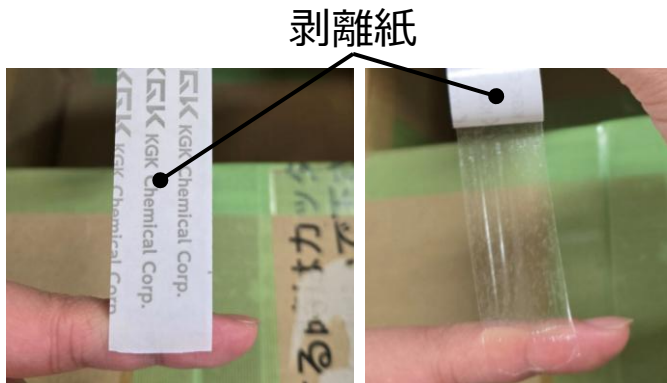
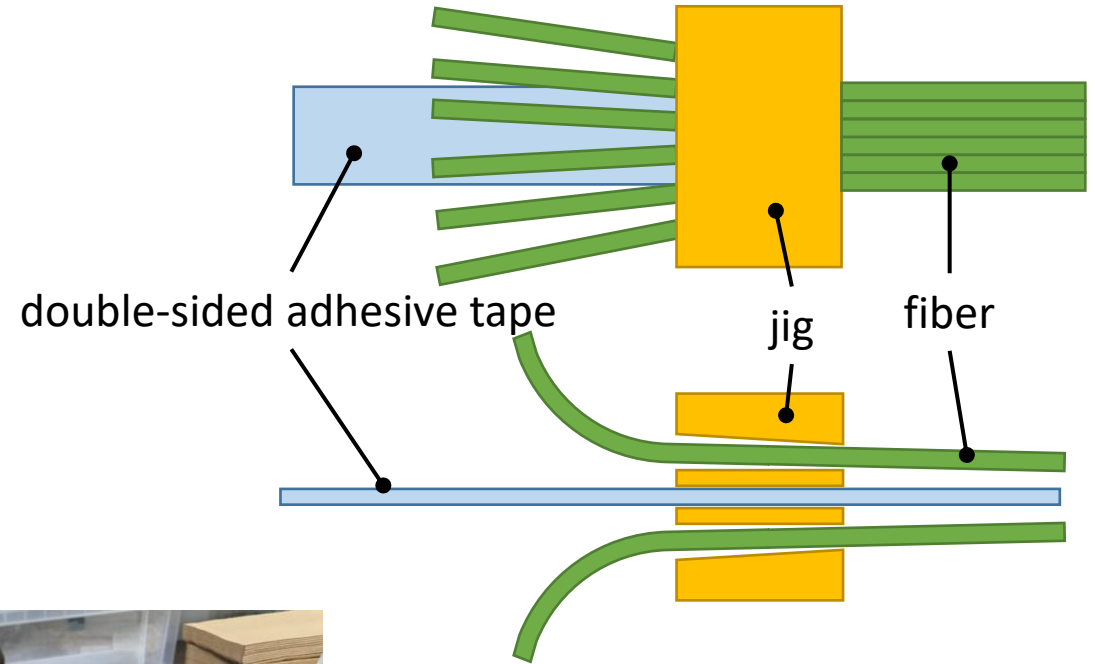
丸ファイバ

- 均一性が良い
- 不感領域が広い
 - ⇒ **俵積み**にする
- 俵積みを外注する場合コストがかかる
- ファイバ間の隙間 ⇒ 不感領域に

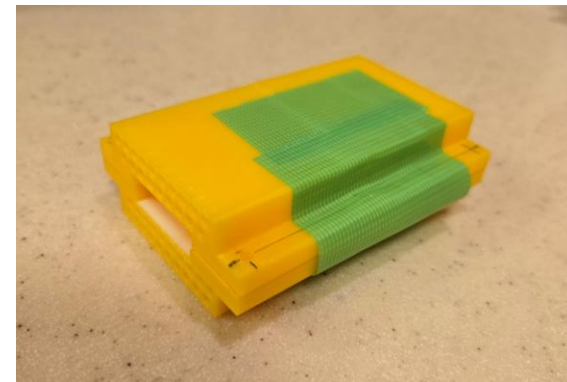


新しいファイバーシート作製方法

- 治具にファイバを通す
 - ⇒ シート状に並べられた状態が出る
 - ⇒ これを両面テープで固定
- ファイバーリボンを並べてシート状に
- 治具は3Dプリンタで作製
- 基材レス両面テープ
(アクリル系接着剤, テープ厚50 μ m)を使用



基材レス両面テープ



ファイバーシート作製の様子



ファイバを抜き出す

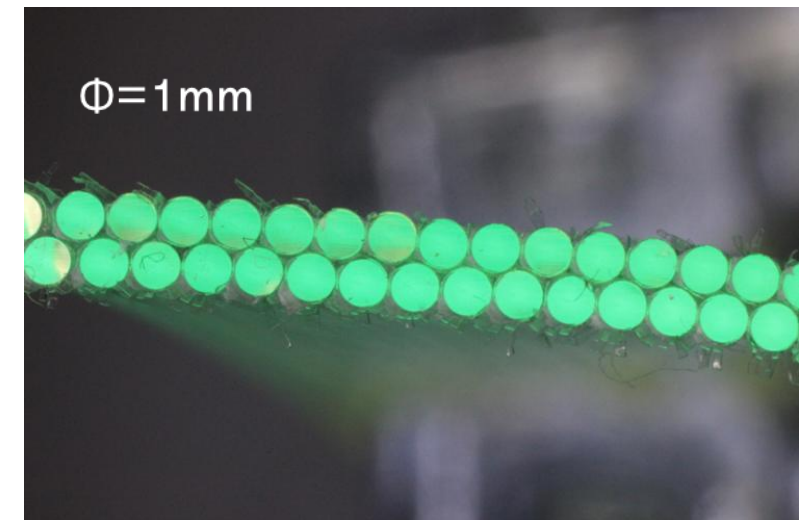
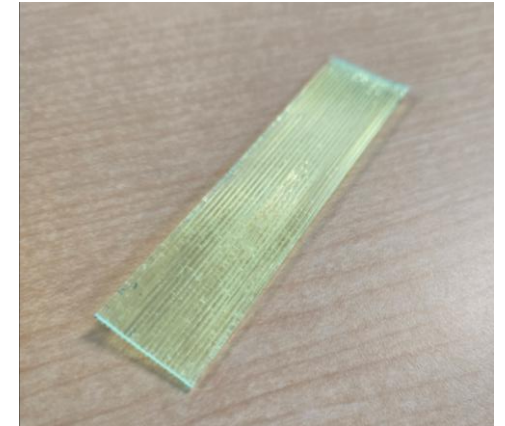


剥離紙を取り除く

10cm/10秒のペースで作製

作製したファイバーシート

- 直径1mm丸ファイバ(Y-11：波長変換ファイバ。クラッド材質はScifiと同じ)を使用
- 良い作製効率
- 両面テープ厚以外のファイバ間の隙間はほとんどない
 - ⇒ 不感領域は小さいが、ファイバ精度の影響を受けやすい
- 完成したシートがねじれていた
 - ファイバを引き出す時にねじれた
 - ⇒ ガイドレールを添える
 - そもそも、ファイバにくせがついていた
 - ⇒ シート化するときに加熱する
- 切断するときクラッドが損傷した
 - ⇒ 切断点はエポキシ等で固める必要がある



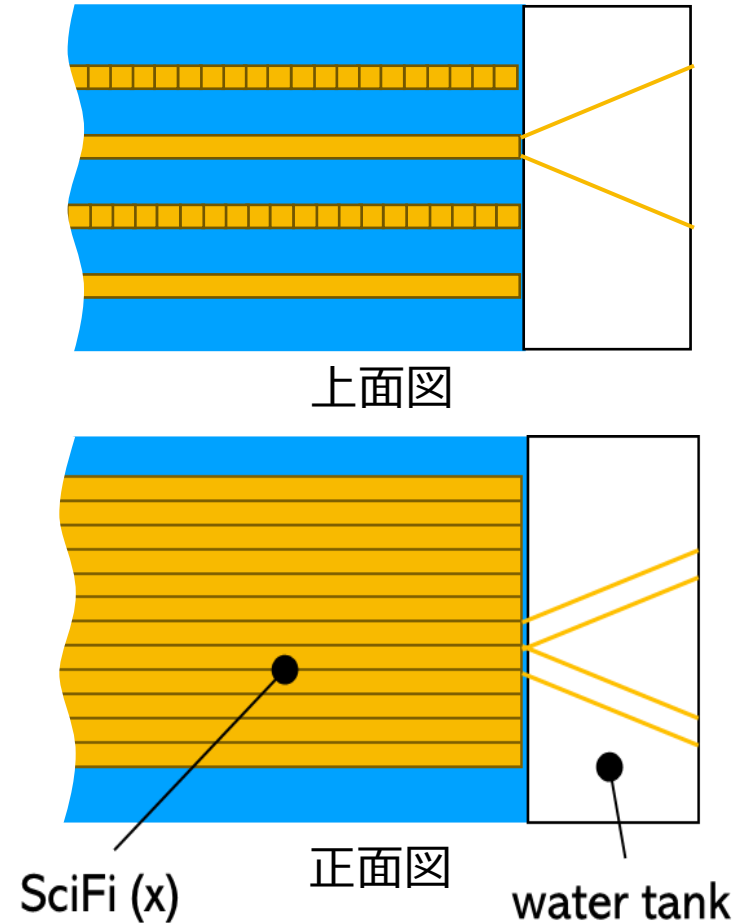
今後の検証要素

- 両面テープの強度と耐久性，耐水性が不明
⇒ 耐久性が不十分な場合，両面テープは仮止めとして使用し，全体をエポキシ等で固定
- 接着剤がファイバにダメージを与える可能性
- テープ厚をさらに薄くできるかどうか
- 直径0.5mmファイバ用治具を作製中

水槽デザイン

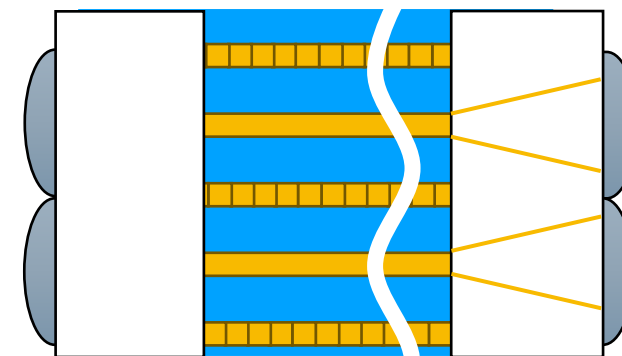
課題

- 水槽デザイン
 - 水平方向のファイバからの光をどのようにMPPCに届けるか
 - 水圧(または負圧)に耐える強度があるか
- 水槽の厚みによって, ファイバ端面からMPPCまで距離がある
 - ⇒ 光が拡散
 - ⇒ 異なるファイバからの光が混ざる
 - いくつかの光がMPPC届かない
- いくつかのモデルを検討
 - レンズモデル
 - アルミハニカムモデル
 - スリットモデル

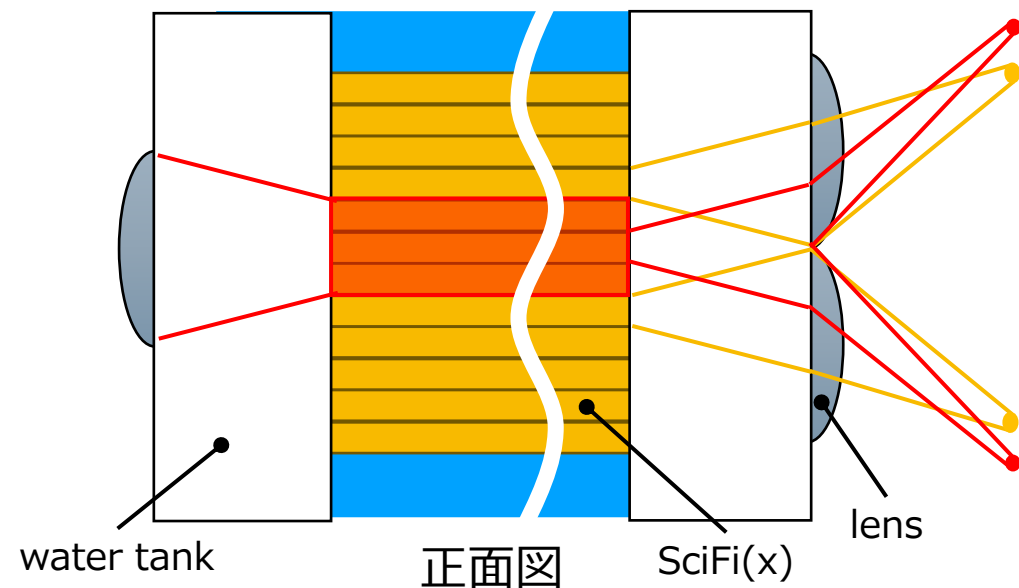


水槽デザイン ~レンズモデル~

- 水槽壁にレンズを取り付け，光を収束させる
- 全てのファイバからの光をMPPCに届けるために両面で読み出し
- 水槽壁は透明な材質
例) PMMAの時 厚さ > 55mm
⇒ これがレンズサイズに制限を与える
- 異なるファイバからの光が混ざらない
⇒ レンズによる拡大率 < 1
- レンズメーカーの式より，片凸レンズでは不可
⇒ レンズに工夫が必要



上面図



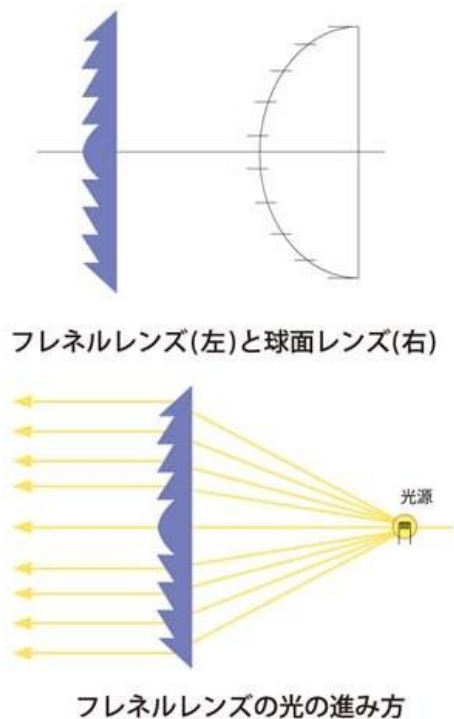
正面図

水槽デザイン ~レンズモデル~

- レンズ直径に対して焦点距離の短いレンズが必要

- フレネルレンズ

⇒ 光量損失が大きい

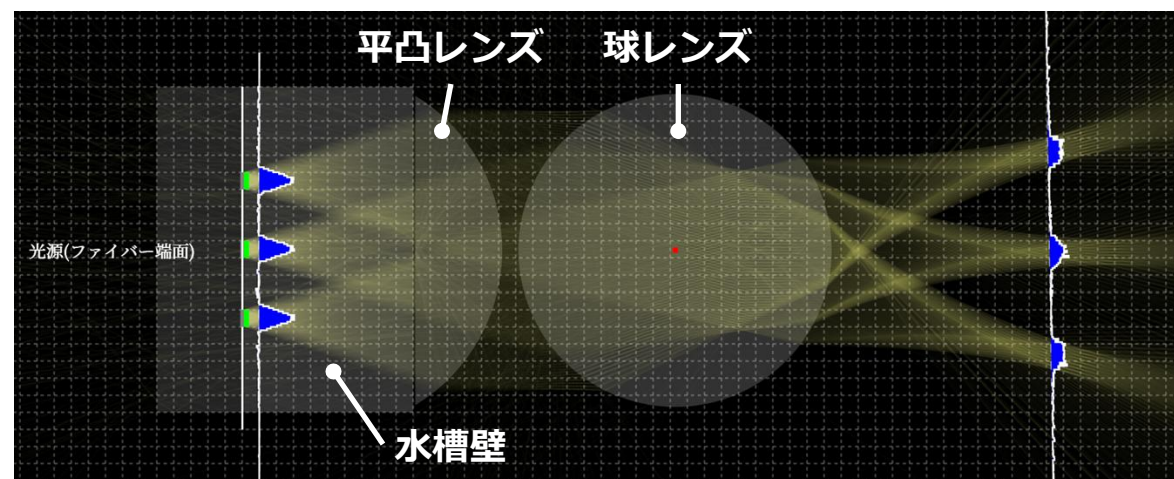


- 複合レンズ

⇒ • 調整が困難

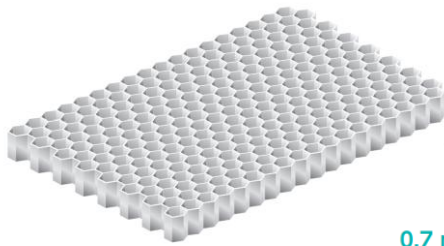
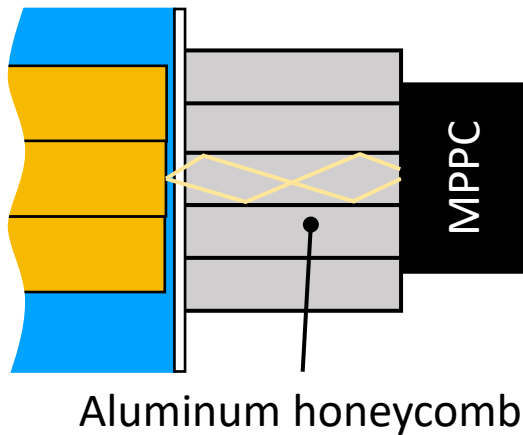
• タンク外にスペースが必要 ⇒ 有効体積減少

例) タンク厚が55mmのときタンク外に203mm必要

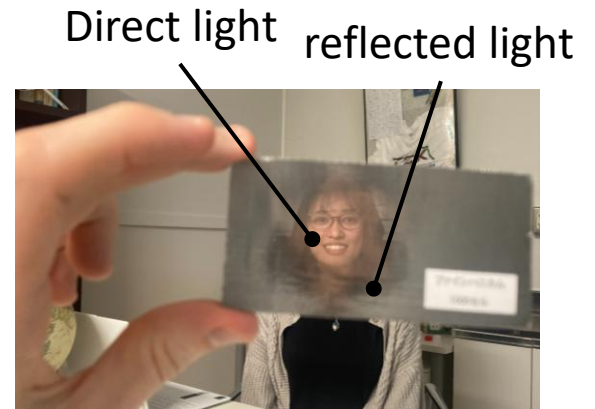
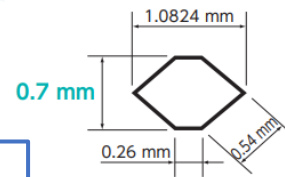


水槽デザイン ~アルミハニカムモデル~

- 水槽壁をアルミハニカム(株式会社UACJ)と透明なシートで作製
- 光をアルミハニカム内で反射させることでMPPCまで光を届ける
- アルミハニカムでは強度が不十分
⇒ アルミハニカムにアクリルを封入する



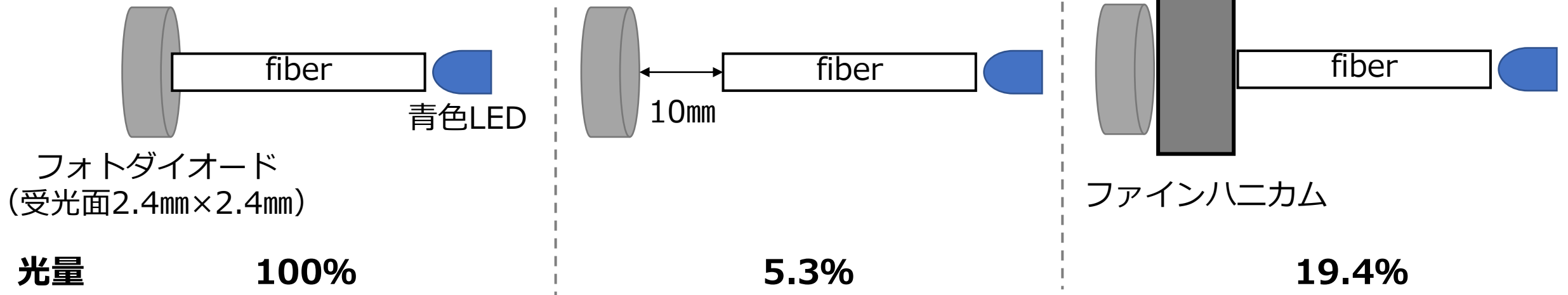
Aperture rate
96.4%



水槽デザイン ~アルミニウムモデル~

- 光量測定

LEDからの光をクリアファイバでフォトダイオードで届ける



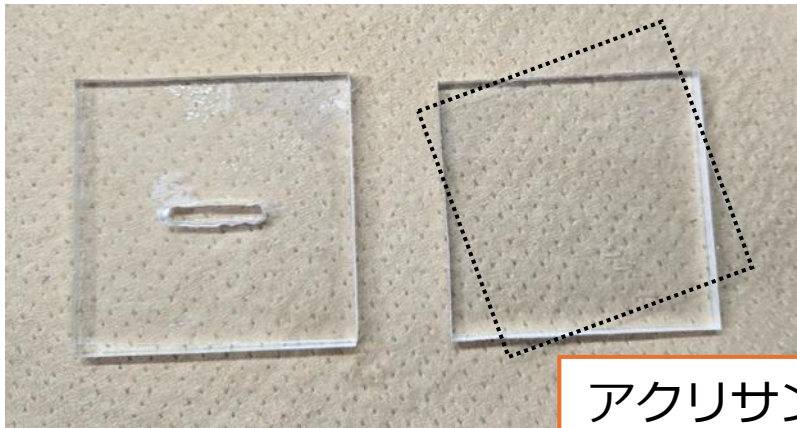
- 光量が不十分

⇒ アルミ蒸着等の追加加工が必要

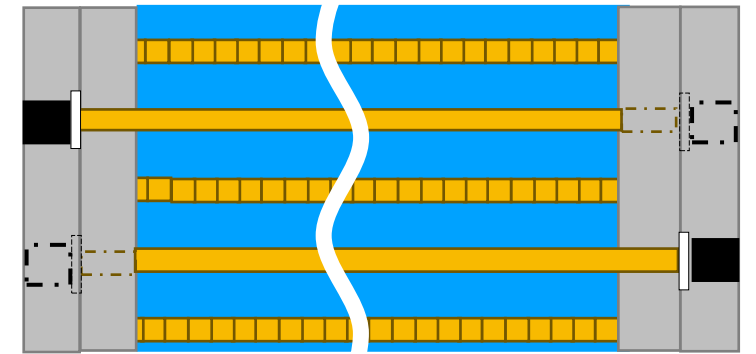
- 解像度低下の可能性

水槽デザイン ~スリットモデル~

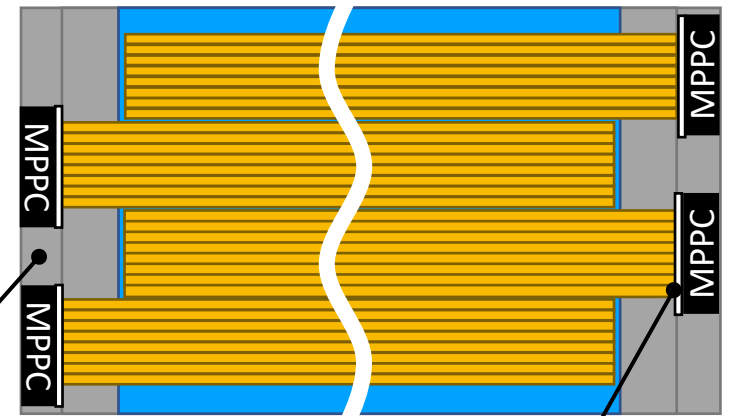
- 水槽壁にスリットを作製し，透明なシートでスリットを塞ぐ
- 強度を持たせるため，スリットは水槽壁に交互に作製
- スリットにファイバーリボンを差し込む
- 光学シミュレーション シート厚 < 1 mm
- 強度シミュレーション(安全率10以上) シート厚 > 70 μ m
- PMMAシート(50 μ m)はPMMA板に溶着可能



アクリサンダーで固定



上面図



Steel?
(it is not necessary to be transparent)

sheet (~200 μ m)

水槽デザイン -まとめ-

- 3種類のモデル

	レンズモデル	アルミハニカムモデル	スリットモデル
メリット	光量の維持(複合レンズ)	大型化が容易	光量の維持 壁が薄い
デメリット	構造が複雑 壁が厚い タンク外にスペースが必要	光量減少 壁が厚い	漏水の可能性

⇒ スリットモデルを第一候補に

- スリットを覆うシートとタンク壁の組み合わせ
- 圧力に耐えるための構造体の具体的な設計

- ハイパーカミオカンデ実験に向けて、新たな水標的の前置検出器の設置を検討中
- 水標的ファイバートラッカはその中の一つ
- ファイバーシート作製用治具を設計，製作
 - ⇒ 直径1mmのファイバにおいて作製可能な事を確認
- 複数の水槽デザインについて強度シミュレーションや光学シミュレーションを用いて検証
 - ⇒ スリットモデルを採用

今後の課題

- 直径0.5mmファイバでシートを作製
- 使用した両面テープの耐久性
- 作製したファイバシートの性能評価
- 水槽デザインの具体的な設計 材料，寸法など

backup