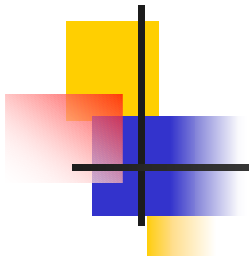


MICE実験用Sci-Fiの性能評価

大阪大学理学部 4 年 松宮 亮平



INDEX

◆ イントロダクション

- Neutrino FactoryとMICE
- MICE用飛跡検出器(Sci-fiトラッカー)

◆ Sci-Fiの性能評価

- Sci-Fiの構造
- 光量とクロストーク
- 減衰長の測定

◆ 今後の予定

Neutrino Factory

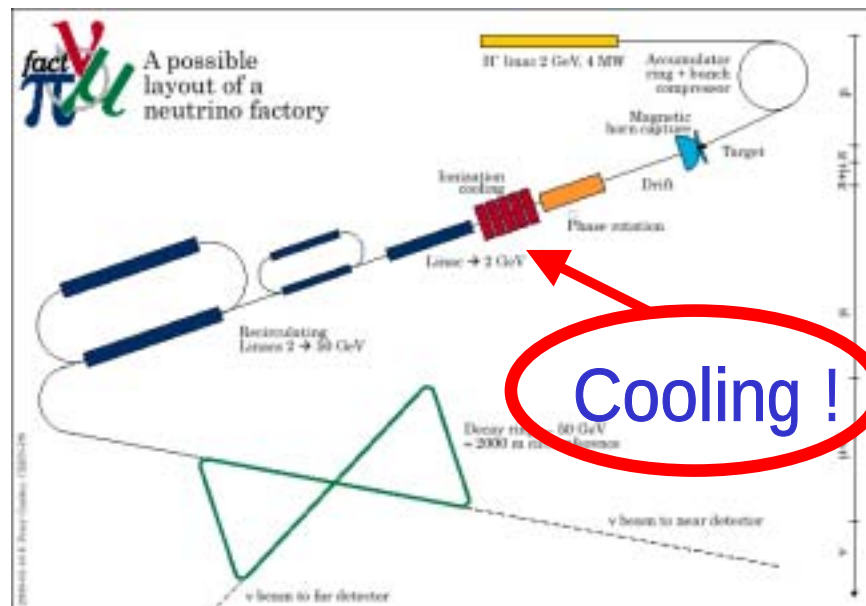
◆ 大強度・高エネルギー・高純度のニュートリノビーム

- 日本、ヨーロッパ、アメリカで計画中
- ニュートリノ生成反応 $\mu \rightarrow e \nu \bar{\nu}$
- 強度: $10^{19} \sim 10^{21}$ muon decays per year
- ビームエネルギー E_ν : 最大 50 GeV

◆ Neutrino Factoryでの物理

- ニュートリノ振動実験
- 深非弾性散乱実験(DIS)

効率よくミューオンを加速
させるためにミューオンビ
ームのエミッタンスを小さ
くする(cooling)必要がある



ヨーロッパ方式

MICE (Muon Ionization Cooling Experiment)

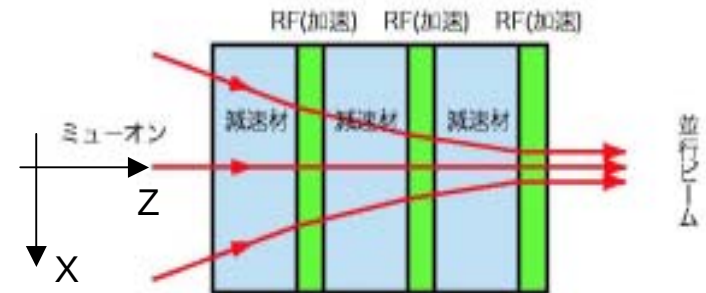
◆ イオン化冷却法

- ビーム冷却法のひとつ
- これまで実験されたことがない

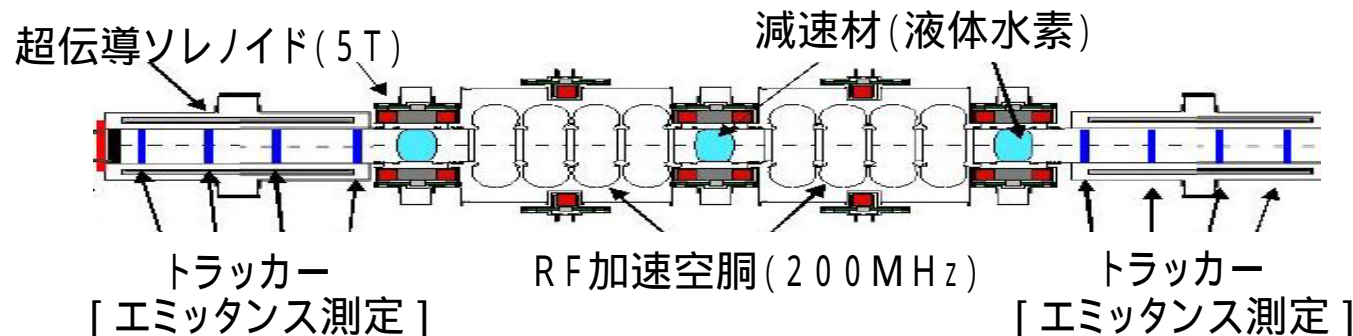
→ MICEによりイオン化冷却法を実証

◆ MICE

- ミューオンのエネルギー $E_{\mu} = 200 \text{ MeV}$
- 冷却前後に配置されたトラックでエミッタンスを測定
- 3段でエミッタンスを10%減少させ1%程度の精度で測定

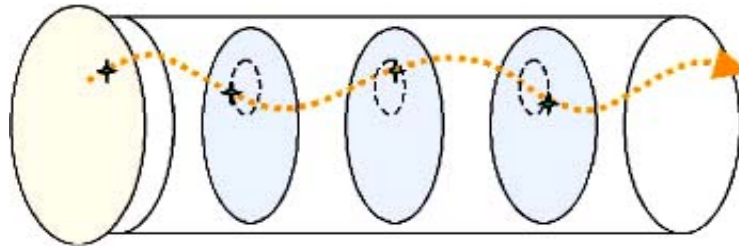


減速材で全運動量を落とし進行方向に加速して並行ビームにしてエミッタンスの縮小を行う



日,英,米の国際共同実験
2006年@RAL

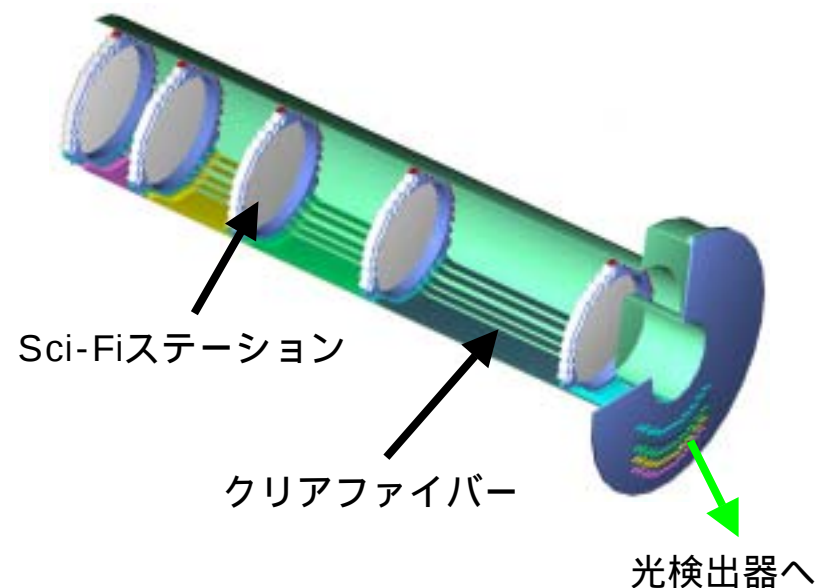
MICE用トラッカー



- ◆ 位置検出器を磁場中に置いてそこを螺旋軌道で進むビームの飛跡を再構成することでエミッタンスを測定する
- ◆ トラッカーに要求される条件
 - エミッタンスを0.1%程度の精度で測定する
(多重散乱の効果を抑えるため各面の厚さを輻射長の0.4%程度)
 - 高周波加速空洞からの2次電子やX線などの高バックグラウンドの下で安定に動作する

➡ シンチレーティングファイバー
(Sci-Fi) トラッカーが候補のひとつ

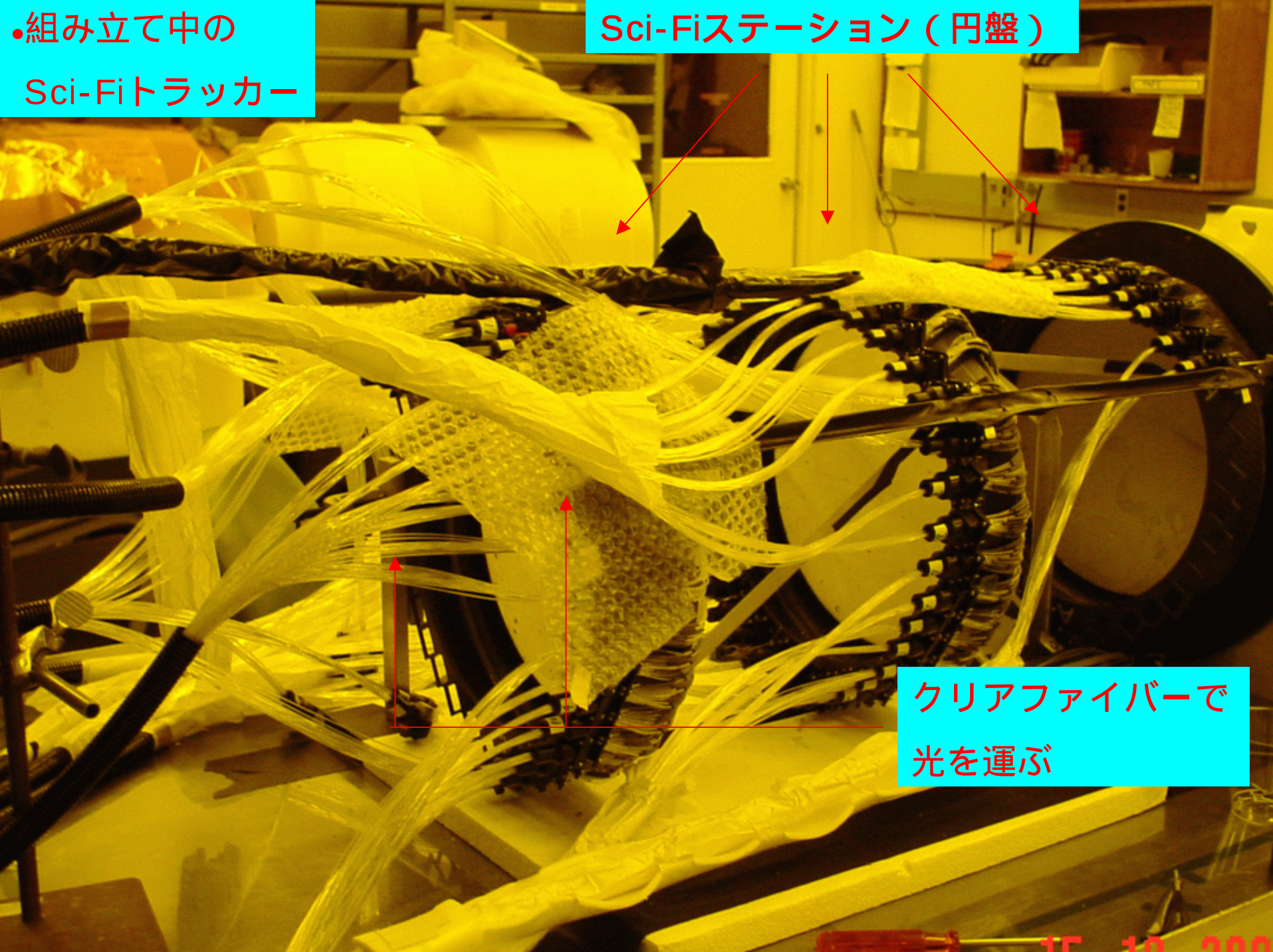
Sci-Fiトラッカー



- ◆ ファイバーは350 μm 径のものを使用することで、多重散乱の影響を抑える
- ◆ 径が小さいので発光量が少ない
 - 検出効率を上げるため
高い量子効率の光検出器を使用
→ VLPC (Visible Light Photon Counter)
感度領域 ~ 500 nm
得られた光の波長を500 nm付近まで
変換する必要がある

•組み立て中の
Sci-Fiトラッカー

Sci-Fiステーション（円盤）

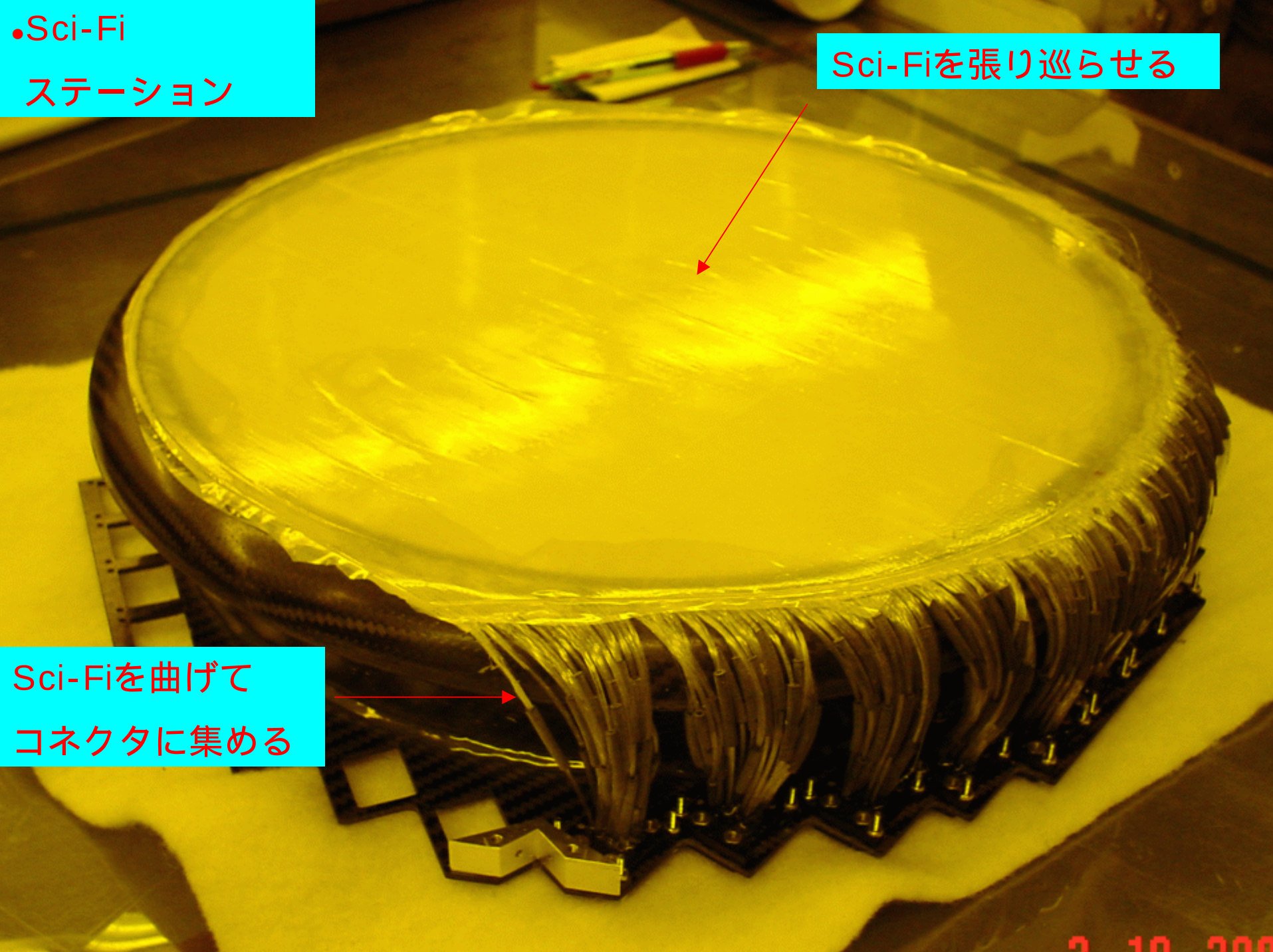


クリアファイバーで
光を運ぶ

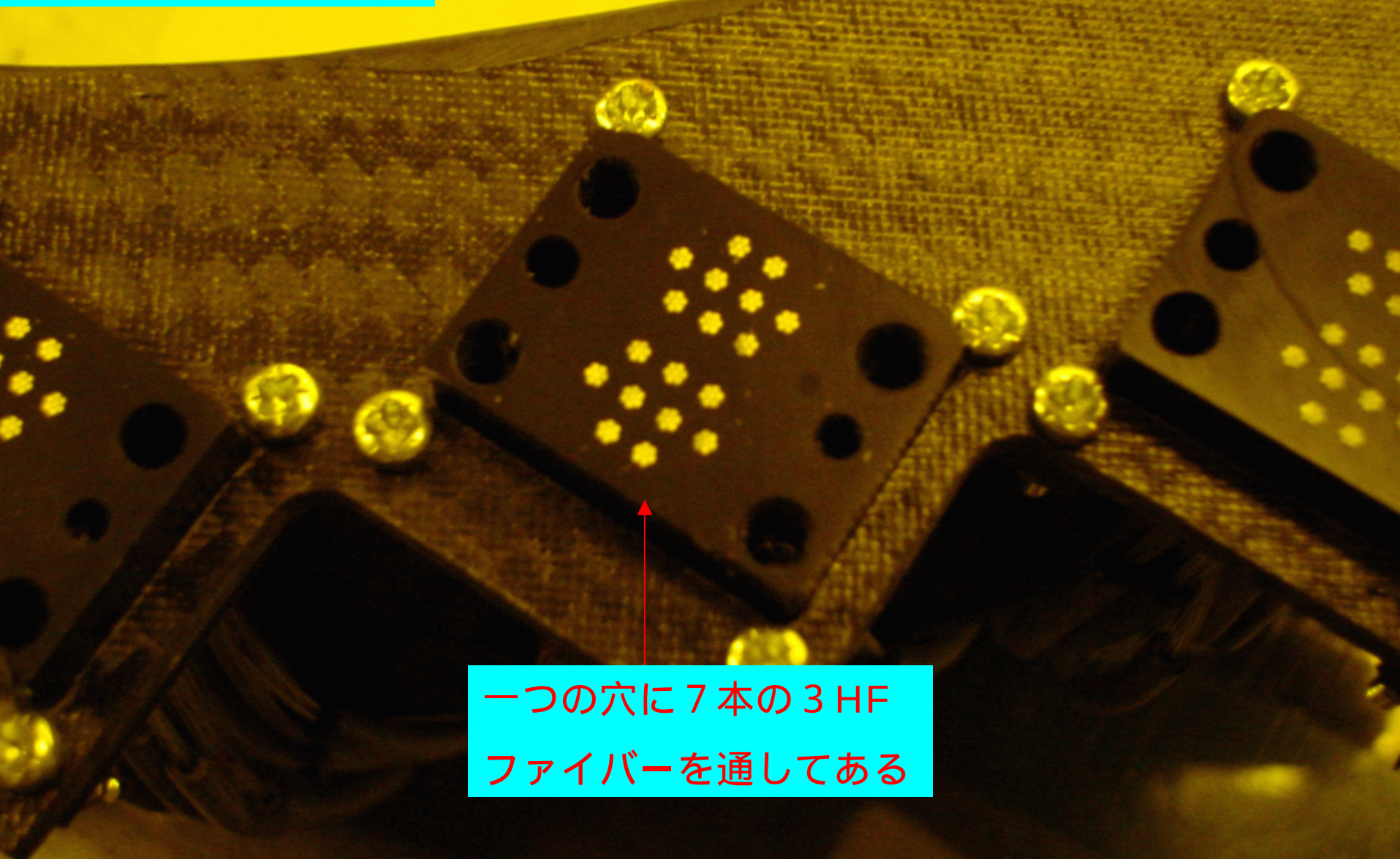
●Sci-Fi
ステーション

Sci-Fiを張り巡らせる

Sci-Fiを曲げて
コネクタに集める



- 3 HFファイバーとクリアファイバーをつなぐコネクタ

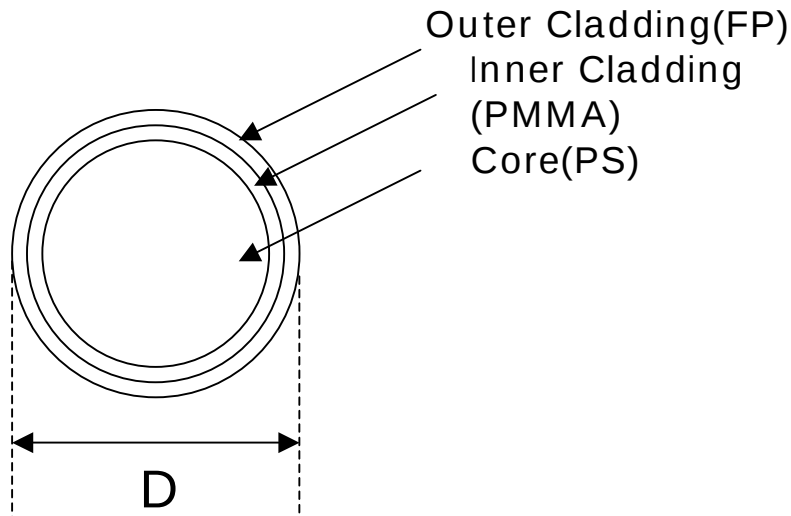


一つの穴に7本の3 HF
ファイバーを通してある

Sci-Fiの性能評価

Sci-Fiの構造

◆ 3HFファイバーは図のような多層構造をしている



- クラッドが二重になっているものを Multi Cladding という（一重のものは Single Cladding）
- 各クラッドの厚さは全径Dの3%

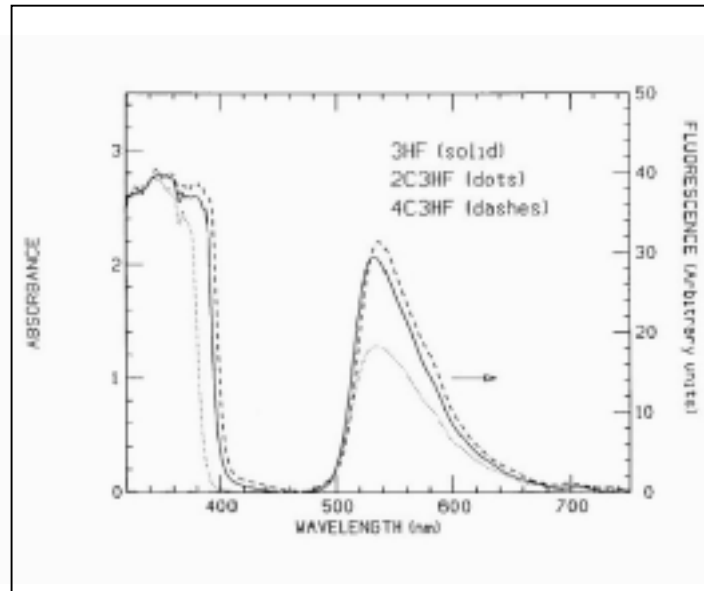
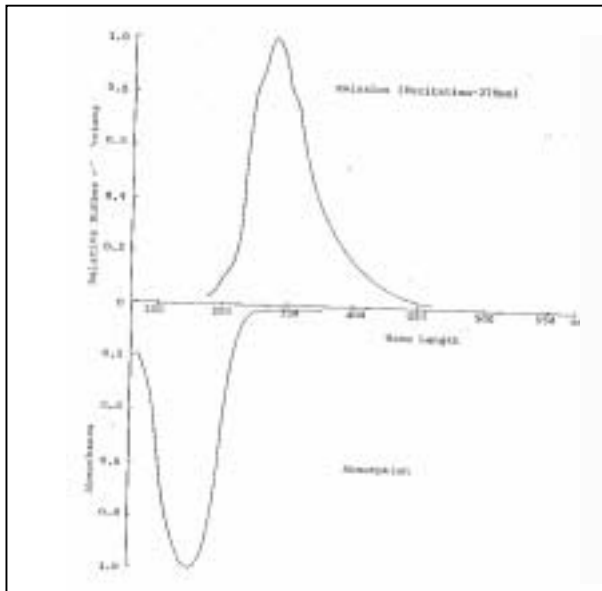
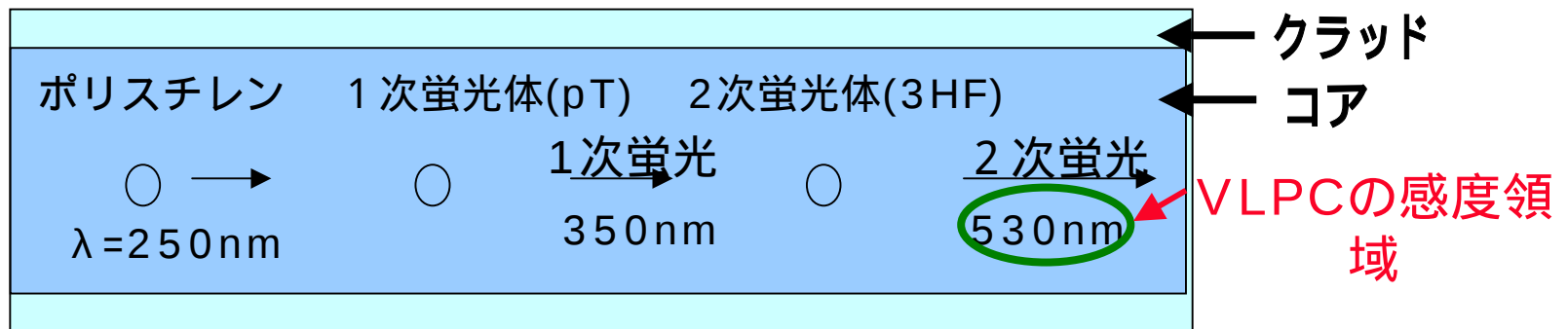
◆ マルチクラッドのファイバーはシングルクラッドより全反射角が広い

より多くの光量が得られる

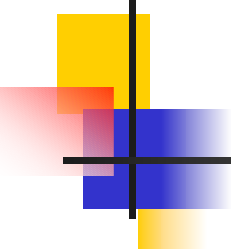
Sci-Fiの性能評価

波長シフト

- ◆ 蛍光体によって光検出器の感度波長まで波長をシフトさせる



(左) pTの吸収・発
光スペクトル
(右) 3HFの吸収・発
光スペクトル



Sci-Fiの性能評価

光量とクロストーク

- ◆ 3 HF濃度による光量の違い
 - より多くの光量が得られる 3 HF濃度を調べる
 - 以下の4種について実験済
 - 径 0.35mm / pT + 3HF(2500ppm)
 - 径 0.35mm / pT + 3HF(3500ppm)
 - 径 0.35mm / pT + 3HF(5000ppm)
 - 径 0.35mm / 5000ppm only

のpT + 3HF(5000ppm) が一番光量が多い

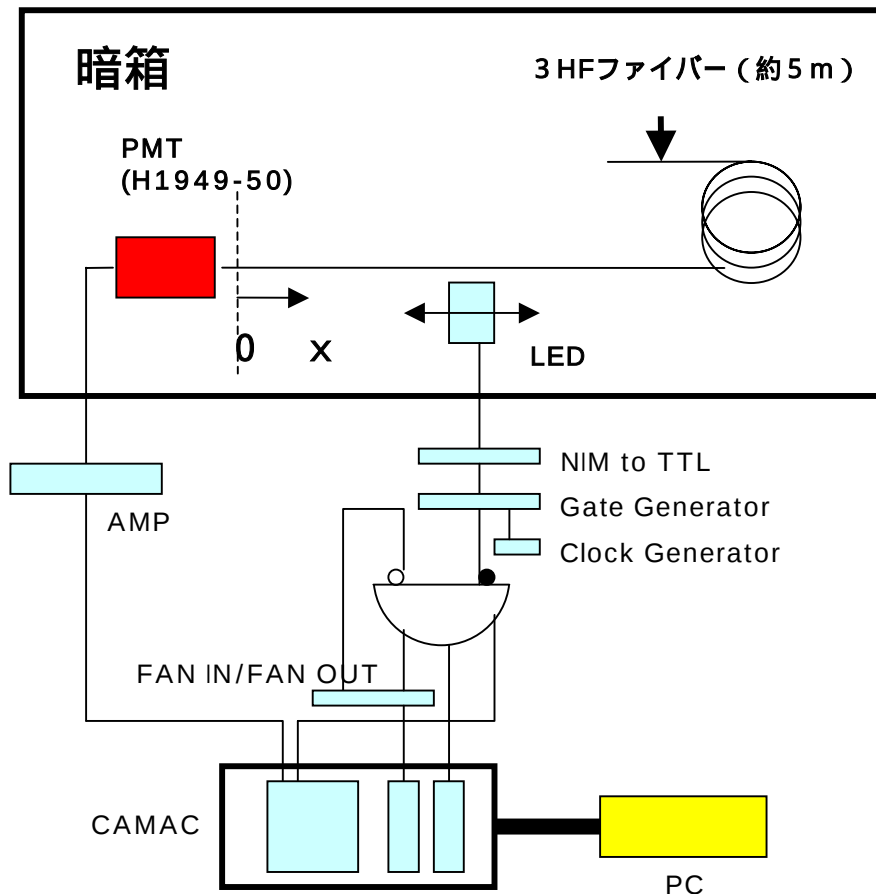
- ◆ クロストーク
 - クロストークが生じると、粒子の正確な飛跡が分からなくなる

クロストークは発生していないことを実験で確認

Sci-Fiの性能評価

減衰長の測定 - セットアップ

◆ ファイバー上の各点での光量を測定し、距離との関係を求める。



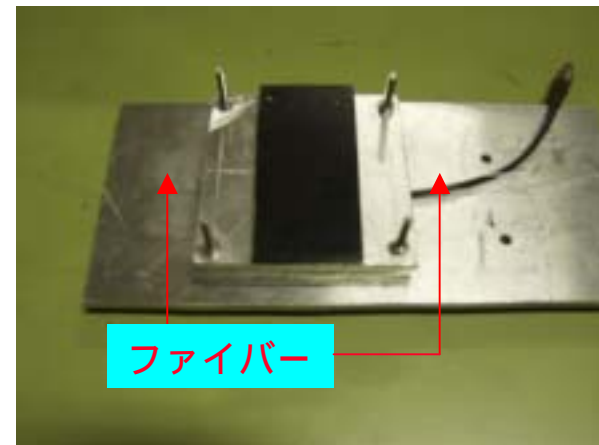
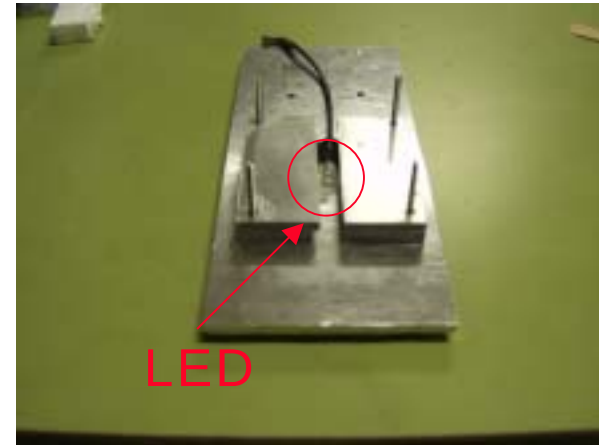
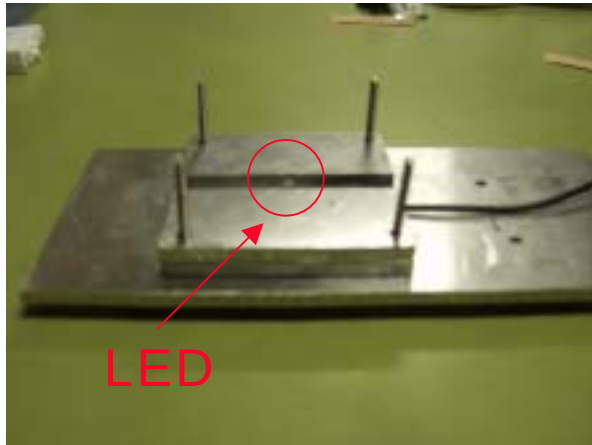
(左) セットアップ図

- Clock Generator でLEDへの入力波形とトリガーを生成
- LEDを動かし、各点でのADCデータを取得する
- LEDは波長395nmのUV.LEDを使用する。

Sci-Fiの性能評価

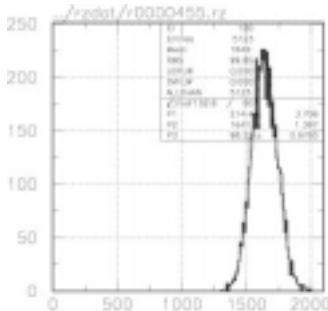
減衰長の測定 - セットアップ

◆ 光源（LED）の固定用架台周辺図

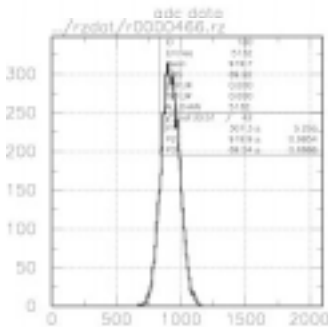


Sci-Fiの性能評価

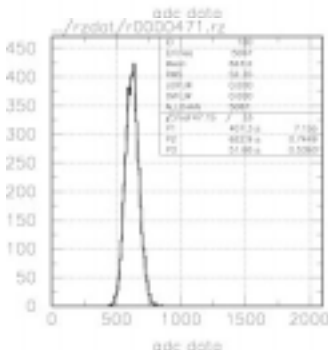
減衰長の測定 - ADC分布



ADC Data
@0[m]



ADC Data
@1[m]



ADC Data
@2[m]

◆ 左は $x = 0, 1, 2$ [m] で取ったADCのスペクトルを並べたもの。距離が長くなるに従い mean が小さくなっていくのが分かる。

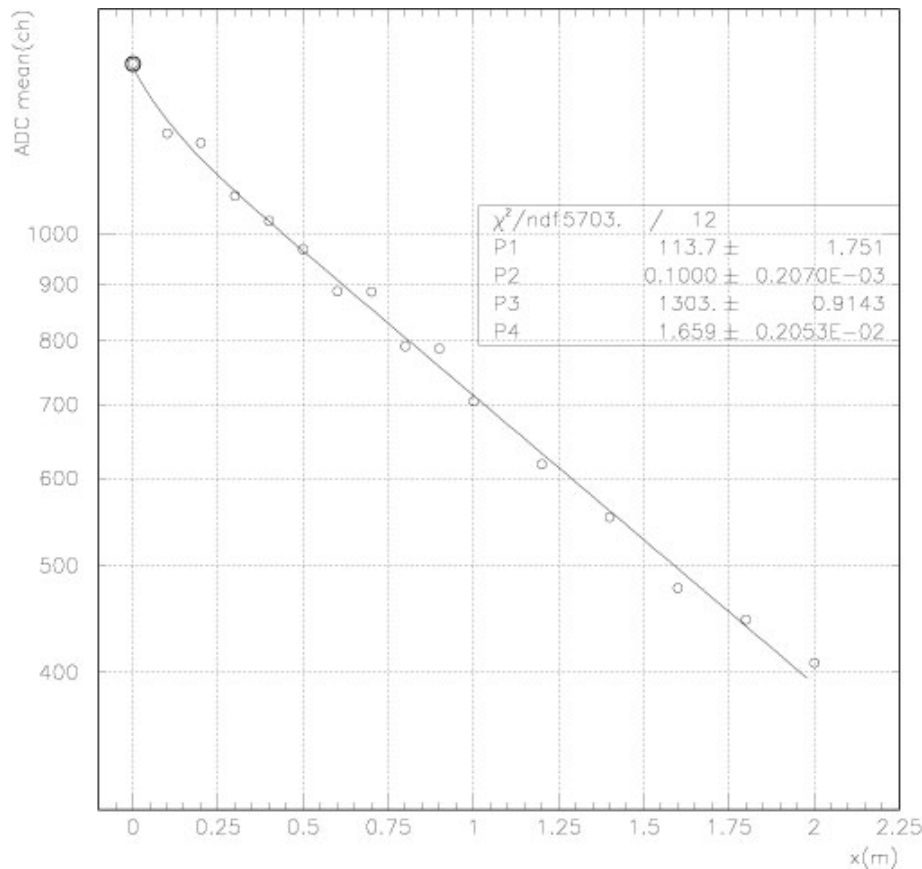
◆ 使用した 3 HFファイバーは

- 直径 / 0.35mm
- 3HF濃度 / 5000ppm pT無し
- 全長 / 約 5 m

のものである。

Sci-Fiの性能評価

減衰長の測定 - 測定結果



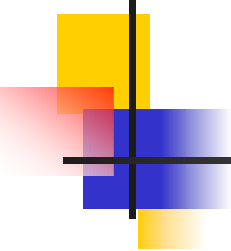
ファイバー長と光量の変化

◆ 各位置での ADC mean（からペデスタルを差し引いた値）を対数グラフ上にプロットした

◆ フィッティング関数

$$f(x) = a_1 \exp(-x/a_2) + a_3 \exp(-x/a_4)$$

- 減衰長には早く減衰するものとゆっくりと減衰するものの2つがある



今後の予定

- ◆ より正確な減衰長の測定
- ◆ 他の濃度、径の 3 H F ファイバーの減衰長の測定
- ◆ 経年変化の測定
 - M I C E と同じ状態（ファイバーを曲げた状態）を作り、長期間に渡って光量の変化をモニターする
- ◆ MICEで得られる光電子数を予想
 - MICEでは、PMTの代わりにより量子効率の高いVLPCを用いる。そこで、ビームテストの結果と、SCi-Fiの性能、およびビームテストで用いたPMTの量子効率から、MICEで得られる光電子数を予想する。