

HK実験における前置検出器ND280++ファイバートラッカー 開発に向けた準備実験

東北大学 素粒子加速器実験室
修士1年 若林大貴

1. Hyper-Kamiokande(HK)実験

主な研究対象

- ニュートリノ物理
 - レプトンセクターのCP対称性の破れ
 - ニュートリノの質量階層性
- 陽子崩壊探索
 - 大統一理論の検証



ハイパーカミオカンデのイメージ図

SKからのアップデート

- 検出器の大型化
- SKの8倍の有効体積
- ビームパワーの増強
- 前置検出器のアップデート

長基線ニュートリノ実験

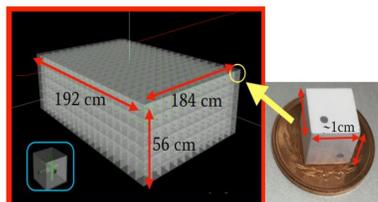
- J-PARC加速器ニュートリノビームのニュートリノ振動を前置検出器と後置検出器(HK)で観測し、ニュートリノのCP対称性の破れを測定する。T2K実験の後継実験。
- T2K実験では加速器下流に設置した前置検出器ND280でニュートリノビームのフラックス、エネルギー、反応断面積の測定を行い、SKで観測されるニュートリノのイベントレートを予測する。



2. ND280からND280++へ

Super FGD(Super Fine Grained Detector)

シンチレータキューブ約200万個と波長変換ファイバー、MPPCからなる検出器。



SuperFGDの概要図

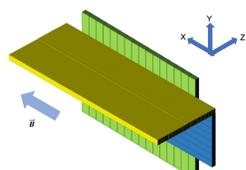
課題

- 炭素原子核との反応による系統誤差
- 飛程の短い粒子の検出精度が低い

体積のほとんどを水で占める検出器を作りたい。

候補：SciFiトラッカー

- SciFiとMPPCからなる検出器。
- H₂O:CH = 9:1 (2m*2m*50cm)

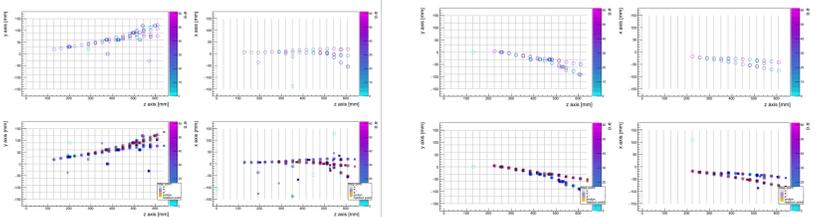


SFGDとの性能比較

	SFGD	Fiber
Volume with 2m length	192*56*184 [cm ³]	200*200*50 [cm ³]
Light yield	35p.e.	29p.e.

3. 実験1.1 PID: γ vs e^-

Z方向に γ と電子を入射した50ずつのイベントに関して、主観的にPIDを行い正答率(50イベントのうち正しくIDされたイベント)を測った。



e^- イベント
EMシャワーが特徴

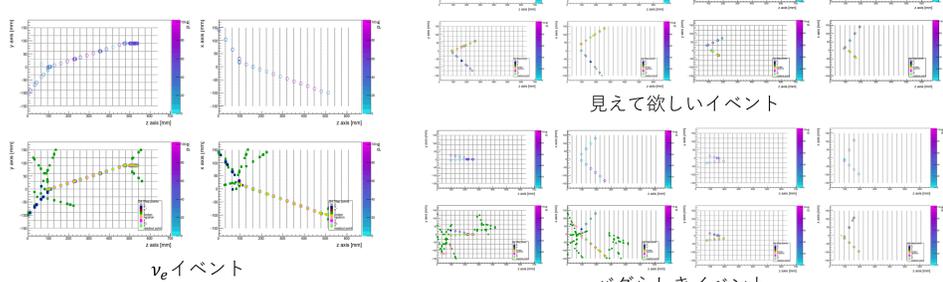
γ イベント
対生成の枝分かれが特徴

〈判別のポイント〉

- 最初のヒットが大きい \rightarrow γ 対生成による2 hit

3. 実験1.2 PID: ν_e

ν_e のCCQE100イベントに対してPIDできそうか主観的に判断し3段階で評価した。



ν_e イベント

見えて欲しいイベント

バグらしきイベント

〈判別のポイント〉

荷電レプトンのトラックがe-likeか μ -likeか

* ν_μ のイベントにバグがありそうだったので1.1と同じ方法はとらなかった

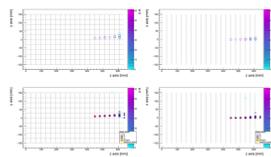
〈実験1.1 結果〉

- γ と e^- の両方で8割を超える正答率が得られた。

評価	イベント数
γ の正答数	44
e^- の正答数	41

〈考察〉

- 粒子の発生点から反応点まで距離の違いによって判別しやすくなってしまった。XY方向だけでなくZ方向に発生点を振れると良い。



発生点(Z=100)から離れた反応点

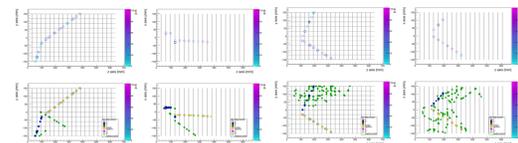
〈実験1.2 結果〉

- 約4割のイベントではニュートリノイベントであるとIDできなかった。

評価	イベント数
ν_e とPIDできそう	15
ν とPIDできそう	49
その他	36

〈考察〉

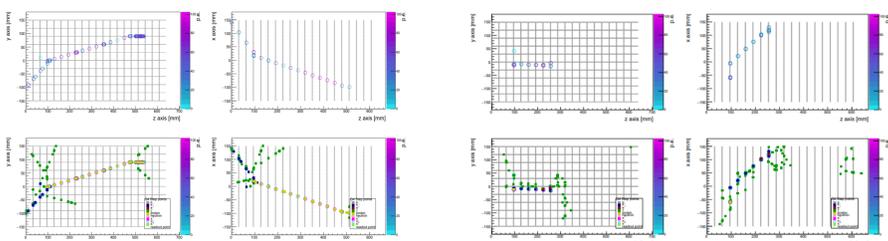
- 思ったほど電子がシャワーを起こさず、予想より陽子の飛程が大きかった。
- 散乱角の大きなイベントに対して不感。
- Y方向の読み出しを増やせたら良いかも。



3. 実験2 Vertexの決定

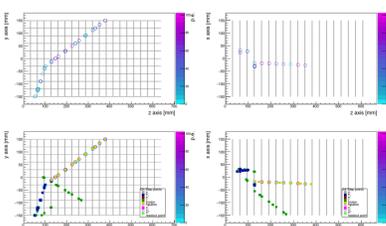
〈方法〉

- 同じ ν_e の100イベントに対してvertexを決定できそうかを主観的に判断し評価した。



○:2本のトラックが引ける。

×:1本しかトラックが引けない



○:YZ平面でZ座標が決定できる

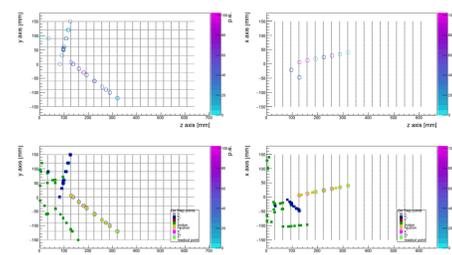
〈vertex決定の結果〉

- 両平面で2本のトラックが見えるイベントは24イベントあった。
- 約7割のイベントでvertexが決定できそうだった。

評価	イベント数
できそう	72
厳しそう	28

〈考察〉

- 片方の平面でトラックの枝分かれが見えればよいので全イベントの2/3程はvertexが決定できそう。
- OpenなX方向に粒子が散乱した際の検出効率が悪かった。

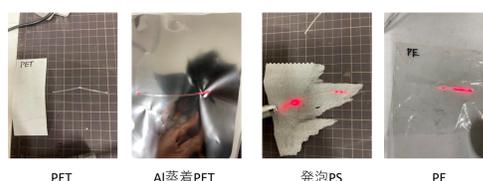


- ν_e のイベントもバグっているかもしれない。(てっきり後ろに飛んでいる電子だと思っていた。)

おまけ

実際にファイバーがくっつくか遊んでみた。

溶着試験:超音波溶着機



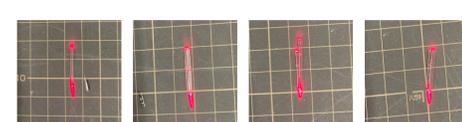
PET

Al蒸着PET

発泡PS

PE

熱溶着試験:ハンダごて



before

R01

R02

C01

R02

〈方法〉

- プラスチックシートにファイバーを溶着させようとした。

〈結果〉

- ファイバーが折れたり、潰れてしまったり、側面から光が漏れてしまったりした。

〈考察〉

- 融点が離れていることが問題かも。
- ファイバーのクラッド同士なら融点と同じ。

〈方法〉

- 2本のファイバーで小手先を挟むようにして加熱した。

〈結果〉

- 超音波溶着機よりは損傷が少ないものの、溶着はできなかった。

〈考察〉

- 小手先を抜いた途端にアクリルが固まっている？
- 小手先によるポケットができてしまった？

4. 今後の課題

- 各種デバッグとシミュレーションの改善
 - ニュートリノ反応のデバッグ
 - 粒子の発生点をZ方向にも振りたい
- ν のフレーバーの決定精度が改善できないか？
 - X方向に粒子が飛ぶとどうにもできない
 - e-likeと μ -likeの違いが分かりづらい
- PIDやvertex決定のための定量的な評価方法の模索