

T2K新型前置検出器における ν_e 事象選択のための 粒子識別手法の改善

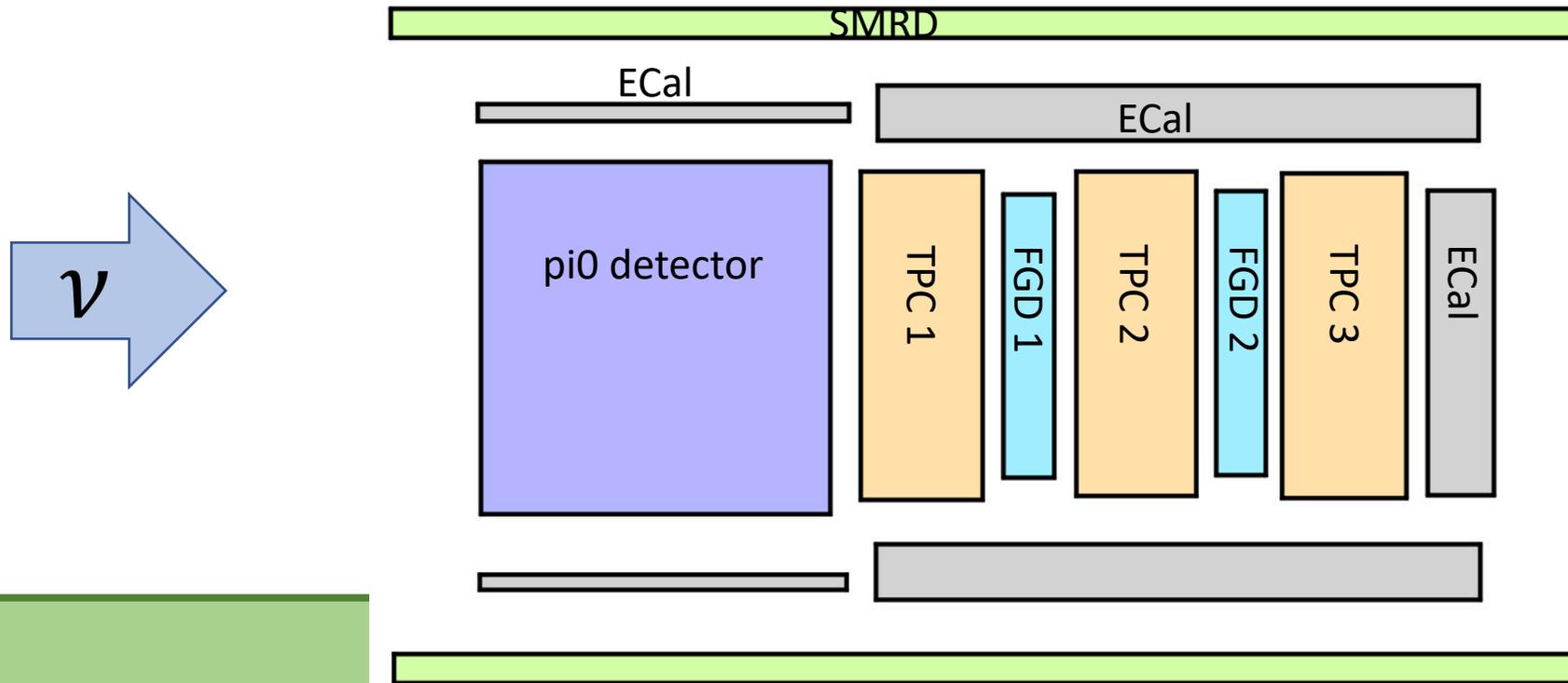
東京大学 理学系研究科 物理学専攻 M1 冲永和平
2023/02/20, 第29回 ICEPPシンポジウム

ν_e 事象の解析

- T2K 実験では95%の信頼度でレプトンCP対称性の破れを確認
 - 3σ の信頼度での検証が目標
- 誤差の主な要因
 - 統計量不足
 - ν_e 反応断面積の不定性 (ν_μ の断面積からの類推)
 - 核内反応の不定性 (CCQE以外の反応)
- ν_e 反応断面積を精度良く測定する必要がある
 - ν_e はニュートリノビームの約1%のみ
 - π^0 の崩壊などで生じる γ の対生成が ν_e 反応に類似

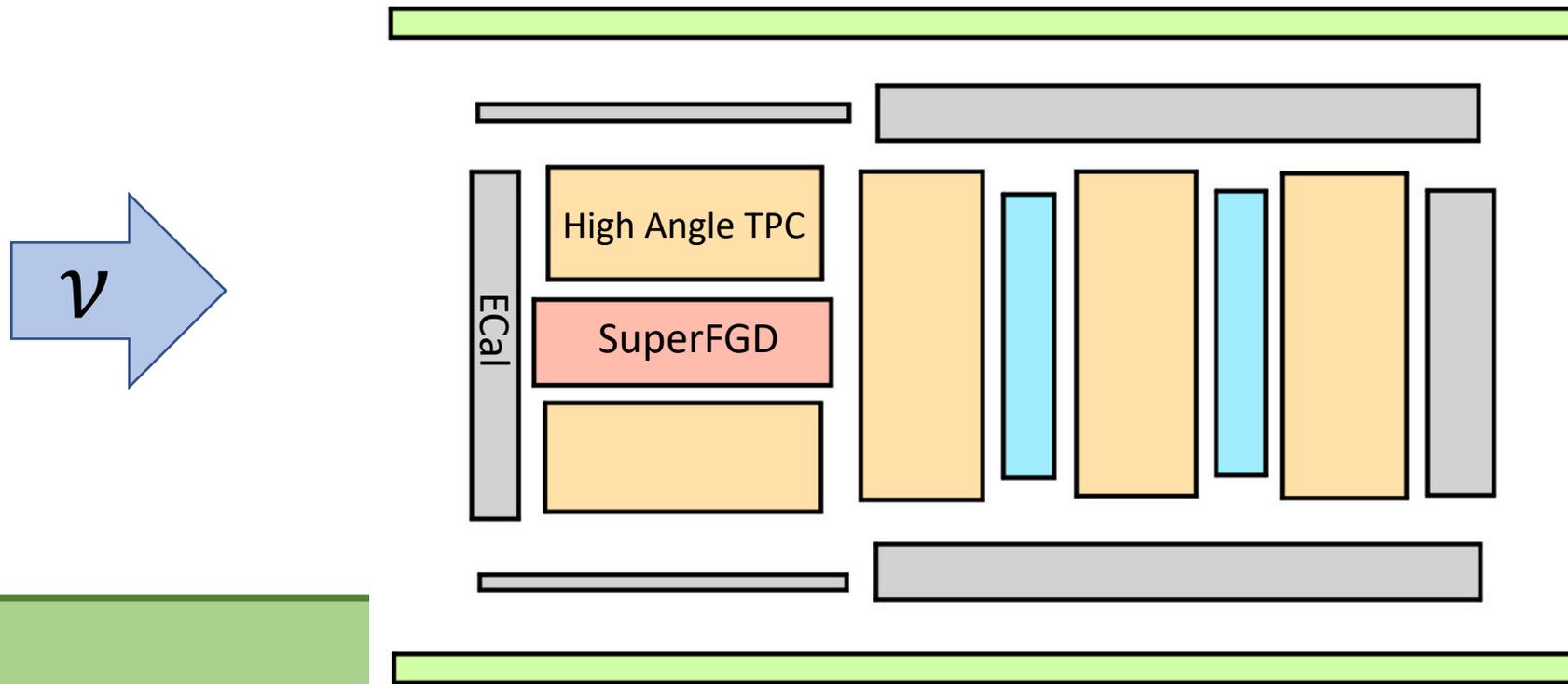
ν_e 事象の解析

- 現行のND280での ν_e 選択手法
 - 反応点がFGD1にある事象を選ぶ
 - TPCとECalを用いてPID (particle identification)
 - 不変質量が小さい電子陽電子対があれば γ 対生成として排除



ν_e 事象の解析

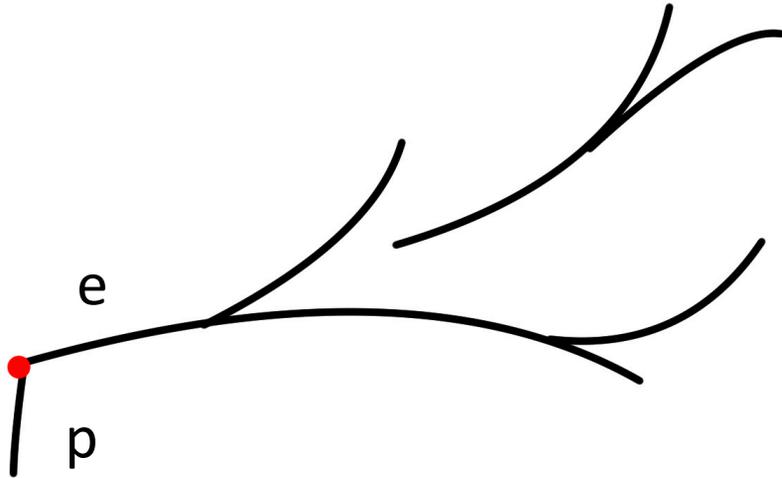
- この手法はFGD内でシャワーが起きないことを前提とし、個々の飛跡について解析している。
- 新しい標的のSuperFGDはビーム方向に長い。
 - 内部でシャワーが起きやすく、このままでは対応が難しい。



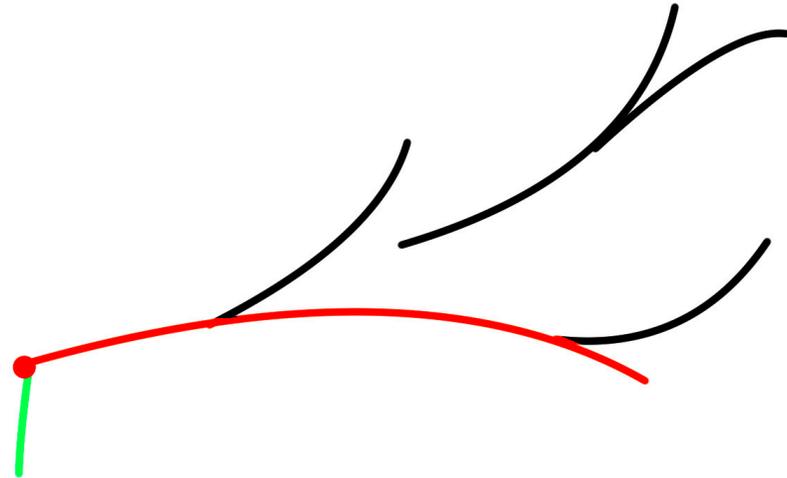
ν_e 事象の解析

- シャワー事象に特化した ν_e 選別手法が必要
 - 複数の飛跡をまとめたうえで解析
- SuperFGDは未だインストールされていないため、MCシミュレーションのデータのみで解析している。

v_e 選択の流れ

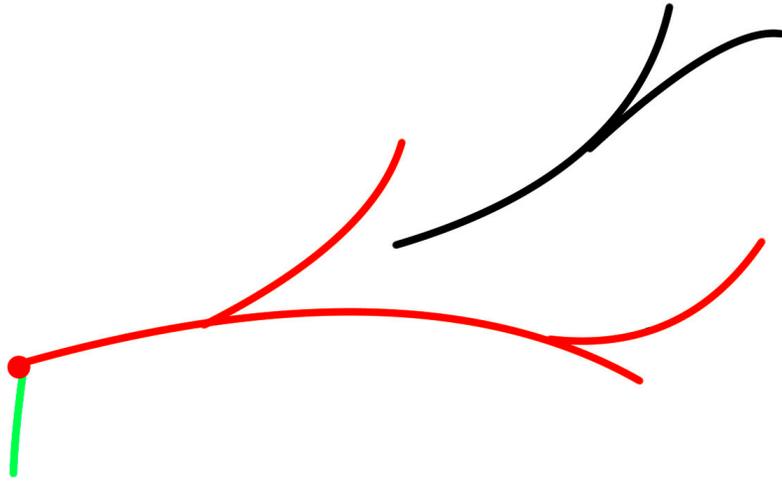


反応点選択

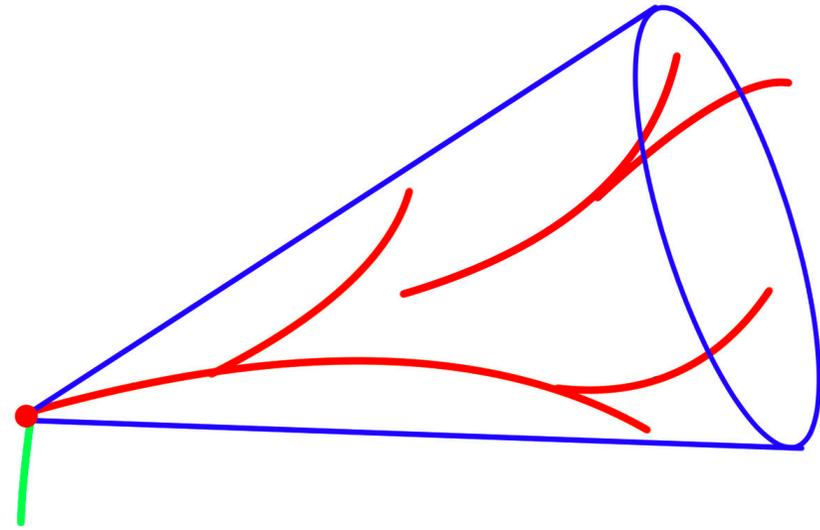


反応点付近に再構成された飛跡を探す
これらをprimary trackとする

v_e 選択の流れ



primary track 付近の飛跡を探す
これらをconnected trackとする



primary trackの方向に円錐(頂角 30°)
を作り内部の飛跡を探す
これらをdistant trackとする

ν_e 選択の流れ

- 円錐内部の情報からPIDに使う変数を計算する
 - connected track, distant trackの数
 - primary trackの長さ, energy deposit, dE/dx
 - hit chargeの分散, 最大最小比, 最大の位置
 - 円錐内部でのhit 位置の広がり
- BDT(Boosted Decision Tree)を用いてshower-likeな円錐を探す
- 同じくBDTでgammaシャワーを除去
 - gammaシャワーは初期に電子陽電子対の飛跡の重複があるため、 dE/dx が単一電子のシャワーと比べて大きくなる

ν_e 事象の解析

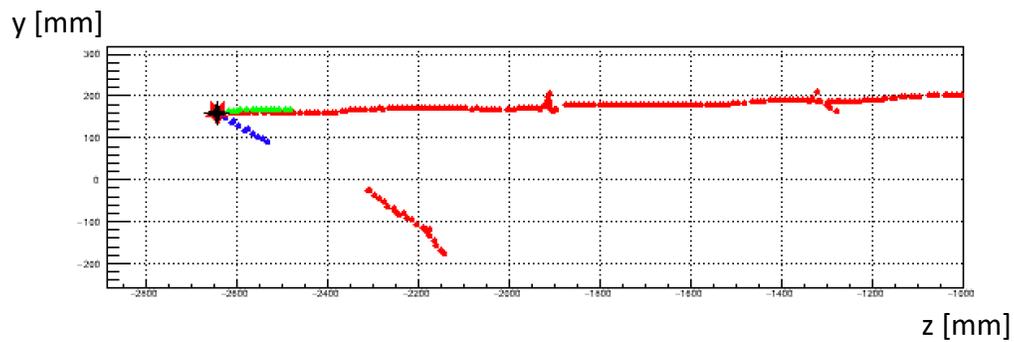
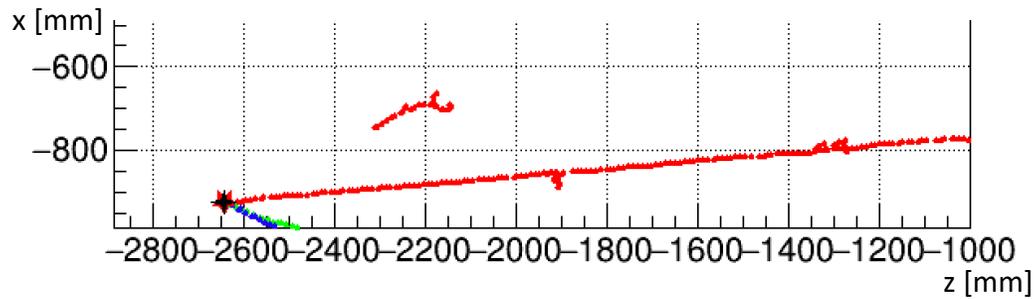
- 現行のND280ではpurity 54%, efficiency 26%で ν_e を選択できる
- 先述のシャワーPIDにより、SFGD-contained事象についてpurity 58%, efficiency 55%で ν_e を選択できる
 - containedとは運動量最大の粒子がSFGD内で止まった事象を指す
 - これは反応点のtrue情報を用いて解析している
- しかしescaping(containedではない)事象ではpurity 13%, efficiency 20%となっている
 - この結果は周りの他検出器の情報を用いていない

v_e 事象の解析

- 今後の目標
 - 反応点再構成・選択アルゴリズムの改善
 - v_e 選別手法の改善
- 反応点に関する研究は小林北斗さんが現在進めている
 - その間は反応点のtrue情報を用いて v_e 選別の研究を進める予定
- v_e 選別：円錐の形成とその後のPID
 - 現状の選別手法で対応できていない事象を調べ、改善点を洗い出す

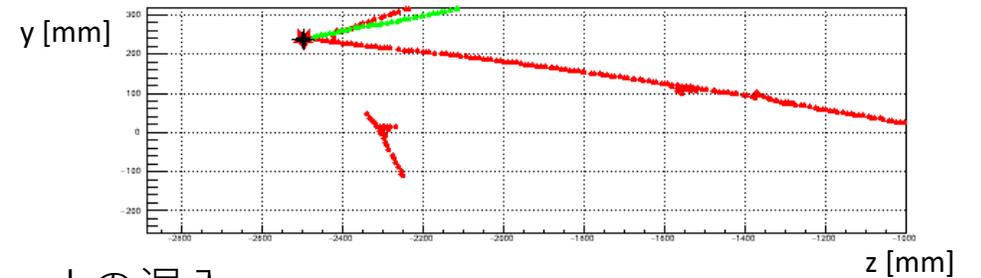
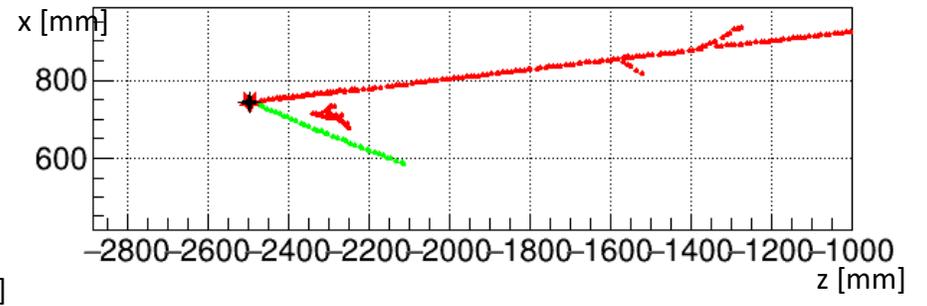
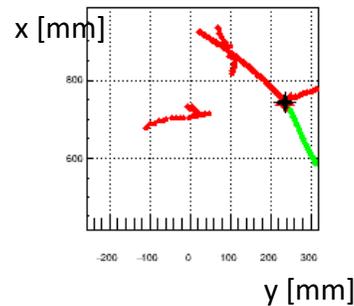
ν_μ 事象の誤選択

- 誤って選択された ν_μ 事象のうち60%が円錐内に無関係な飛跡が混入していた



distant trackの混入

event displayをxyz方向から見た図（ビームはz方向）
同じ色の飛跡は同じ円錐に含まれる



distant trackの混入
+ primary trackが3つに対して2つしか認識されていない

ν_μ 事象の誤選択

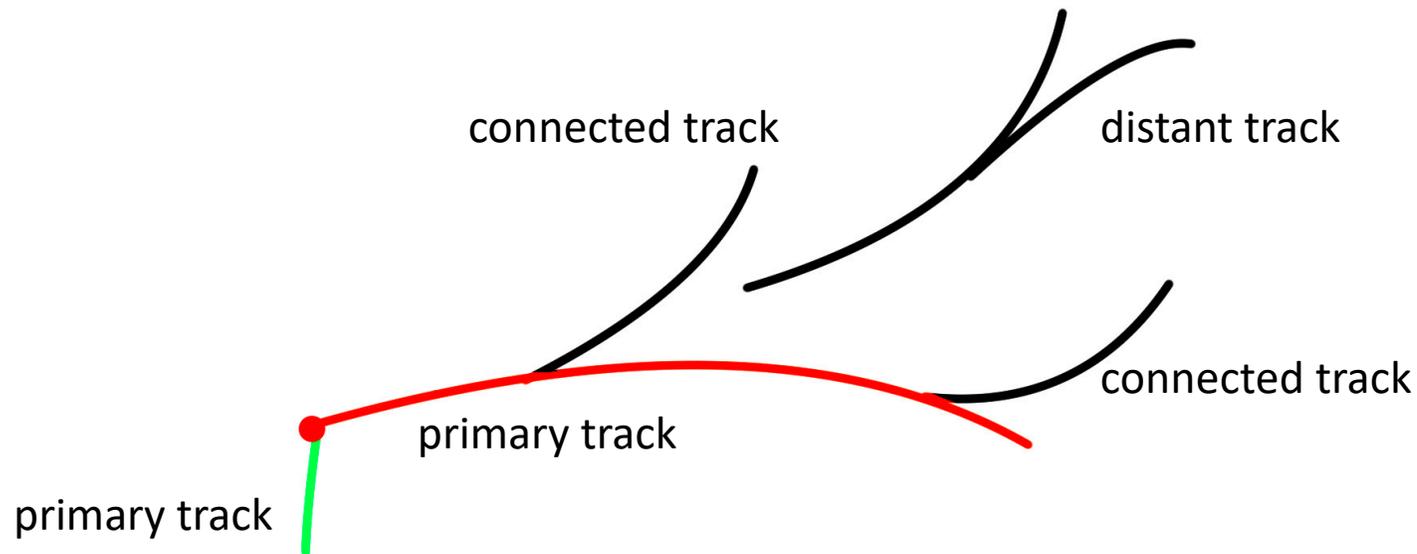
- 選択された他の ν_μ 事象には shower-like な形状がなかった
 - PID の訓練データにはシャワーを起こしていない電子のイベントがあった
 - shower-like な事象を選別したいので、この訓練データは不適當
- ν_e 選別手法の改善点
 - 円錐の形成アルゴリズムを改良
 - シャワーのあるデータのみで訓練し直す
- 本発表ではこの 2 点について議論する

1. 円錐の形成

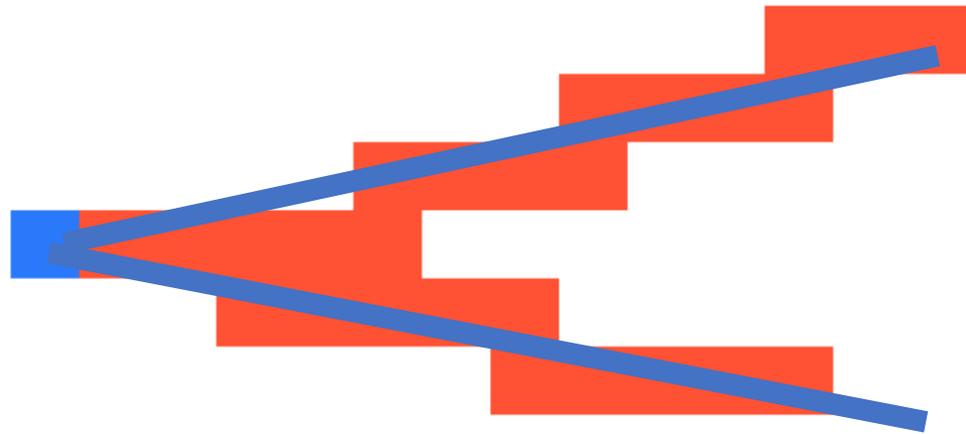
2. シャワーPID

Primary Track の判別

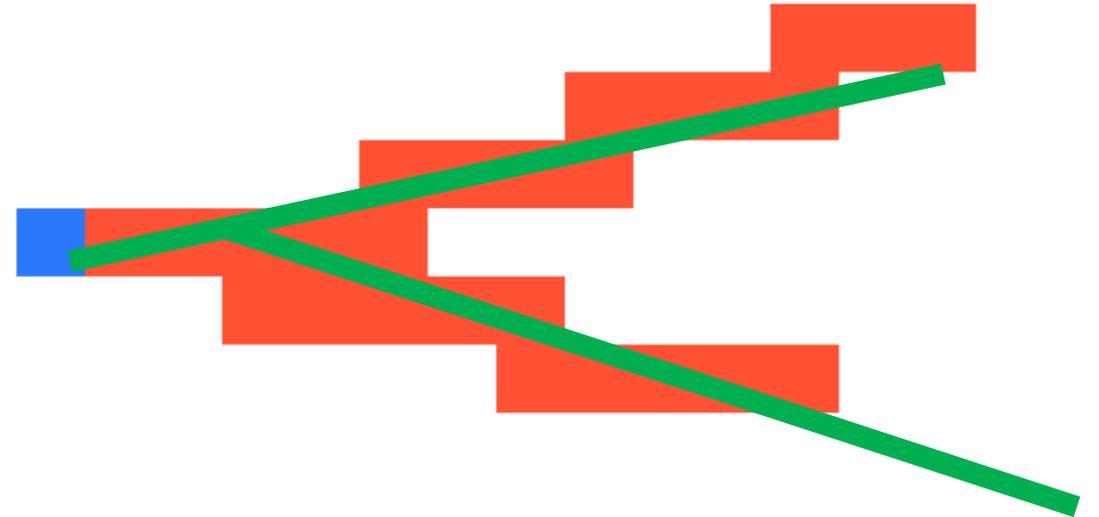
- 再構成された飛跡のうち端点が反応点に近い($< 30\text{mm}$)ものを primary trackとしている。
- しかし約40%のeventでprimary trackの数がtrueの情報と一致していない。



Primary Track の判別



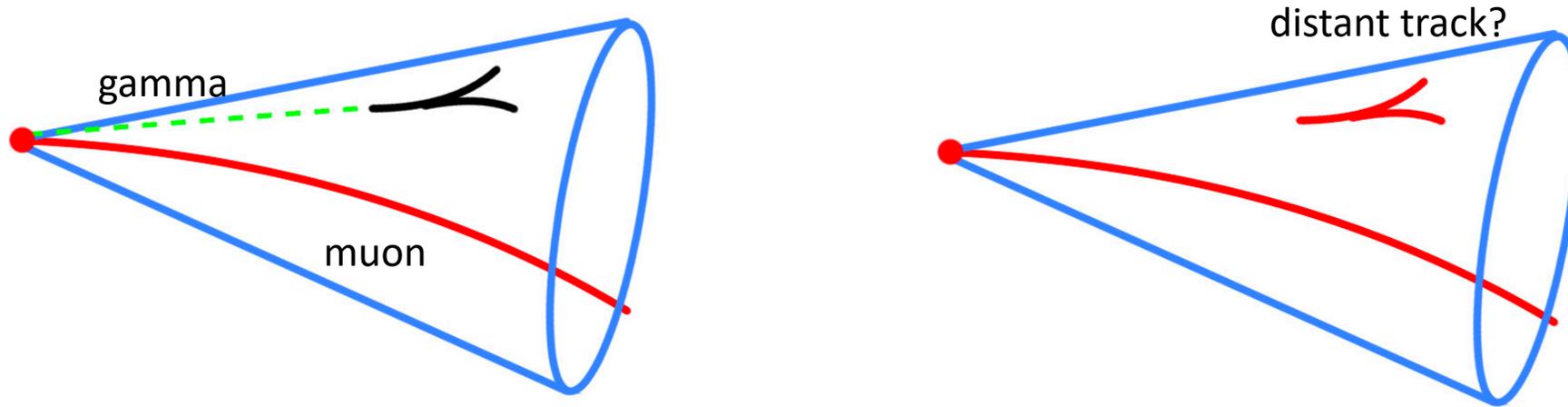
Trueの飛跡
2 primary tracks



再構成された飛跡
1 primary track, 1 connected track

現状のprimary trackの判別は反応点からの距離のみを用いているため、このような事象に対応できない

Distant Trackの混入



無関係な飛跡がprimary track付近にあると、その円錐に入ってしまうことがある
このような円錐はshower-likeと判断されうる

まとめ（円錐形成について）

- PIDには正確な円錐が必要
 - 現状は誤選択された背景事象の60%で円錐の形成が不正確
 - primary trackを正しく判別する
 - distant trackの混入をなくす
- 機械学習を用いた画像パターン認識などが有用と思われる
 - 今後取り組む予定

1. 円錐の形成

2. シャワーPID

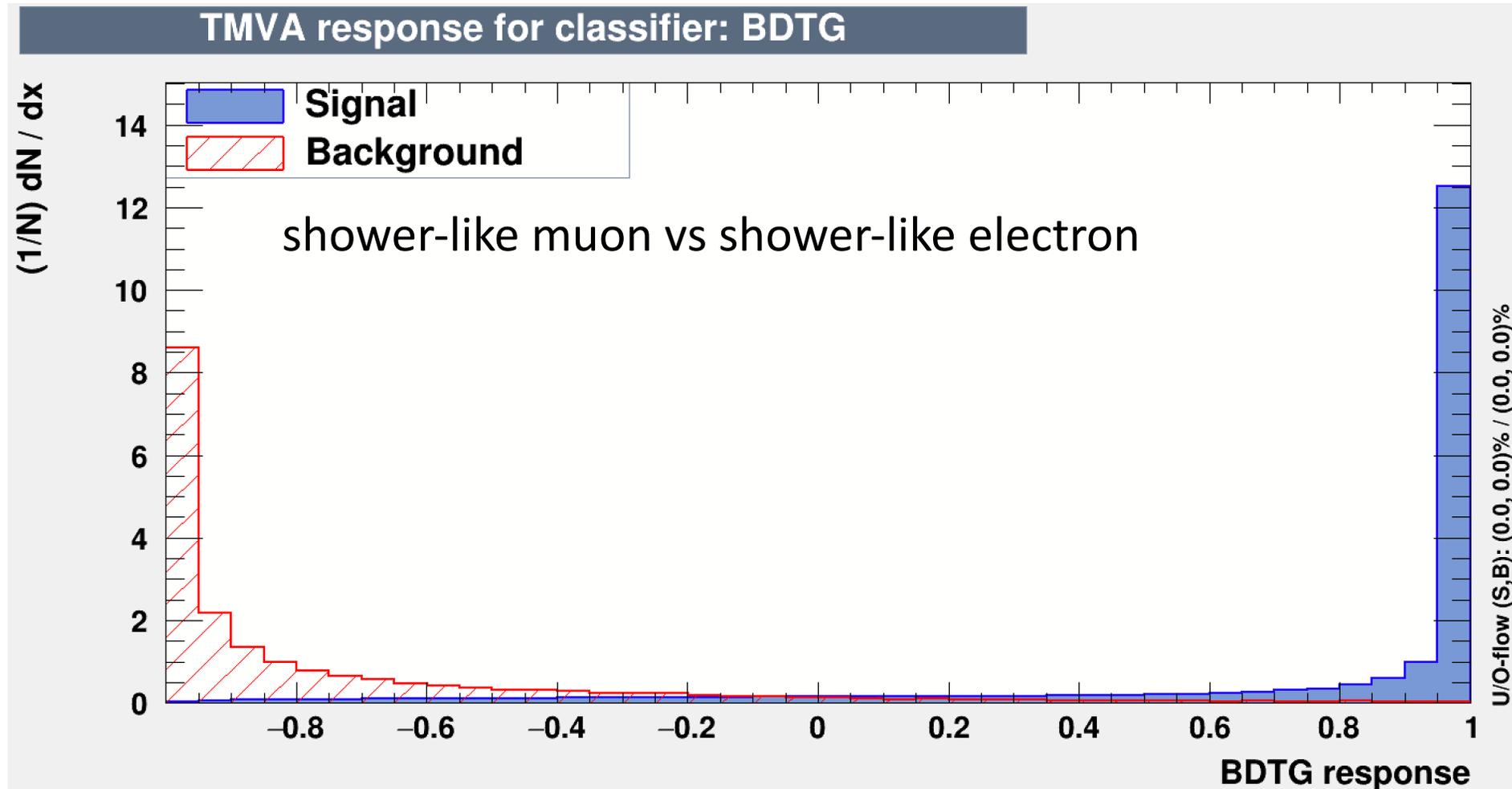
訓練の改善

- 訓練データ
 - μ, e について2,000,000 eventを生成
 - 開始点: SuperFGD内 一様乱数
 - 方向: 4π 方向 一様乱数
 - 運動量: $\mu [0, 2.5]\text{GeV}/c, e[0, 3.5]\text{GeV}/c$ 一様乱数
- それぞれcontainedとescapingで分けて処理

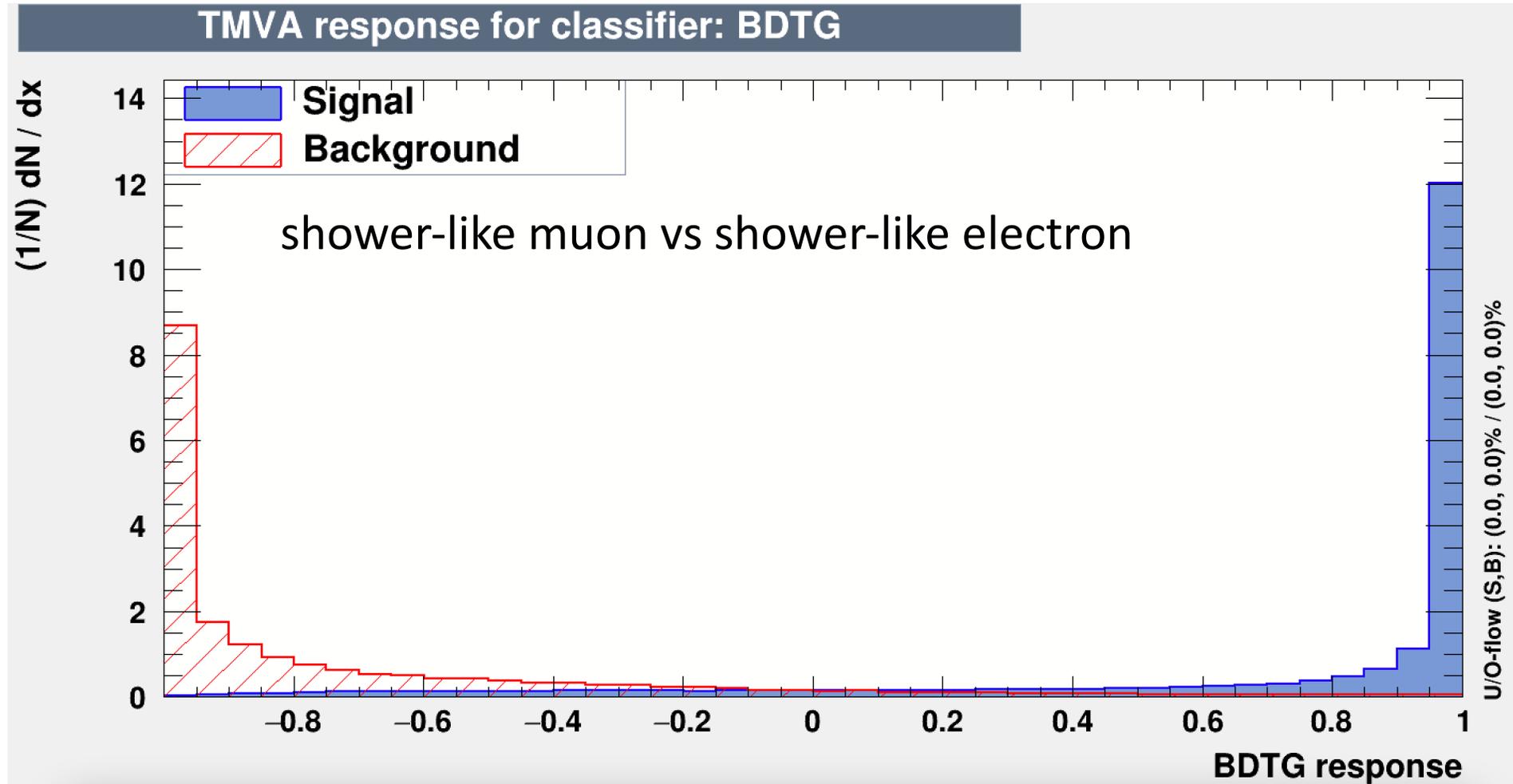
訓練の改善

- 生成データの内、shower-likeなもののみを訓練に使用
- “connected trackの数 ≥ 2 || distant trackの数 ≥ 2 ”を“shower-like”として定義
 - この定義は再構成された飛跡をもとにしている
 - 基準に明確な根拠がないため検討が必要
 - この基準を満たす μ はdelta rayを含む

BTDG Result (Contained)



BTDG Result (Escaping)



TPCの活用

- Escaping事象については、周りの検出器の情報を使うことになる。
- 今回は検証のためSuperFGD後方のTPC1を μ が通過した場合、そのイベントは ν_e ではないとしてcutした (trueの情報を用いた)
- これはTPCのPIDによって μ が必ず識別できることを仮定している。
 - 将来的にtrueの情報を使わないcutを組み込む予定

結果 (5e20 POT)

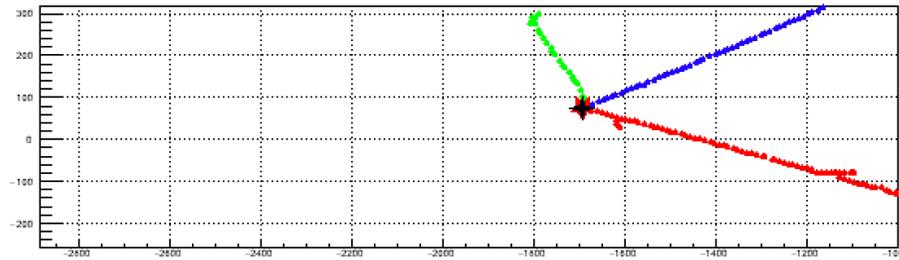
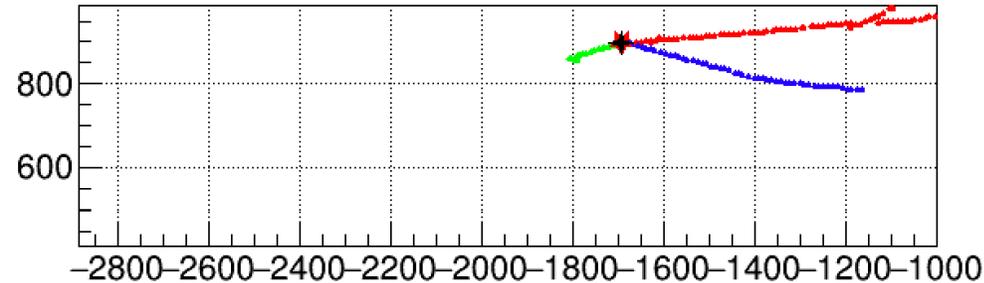
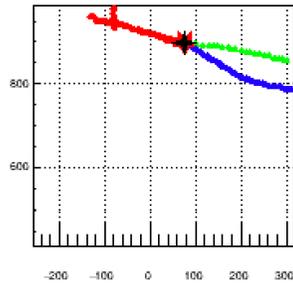
| Contained | nue | numu | NC |
|------------------------------|--------------------------|-------|-------|
| Total | 520 | 10019 | 15358 |
| PID Pass (previous training) | 285 (eff: 55%, pur: 58%) | 69 | 136 |
| PID Pass (recent training) | 257 (eff: 49%, pur: 68%) | 28 | 91 |

| Escaping | nue | numu | NC |
|------------------------------|--------------------------|-------|------|
| Total | 947 | 64753 | 9129 |
| PID Pass (previous training) | 194 (eff: 20%, pur: 13%) | 1285 | 67 |
| PID Pass (recent training) | 217 (eff: 23%, pur: 19%) | 877 | 57 |
| + TPC muon cut | 217 (eff: 23%, pur: 53%) | 138 | 57 |

recent trainingでの選別ではPID cutをかけるまえに、p.20のシャワーの基準を満たさない円錐はその時点でcutした。

改善点

- 残った背景事象の80%は円錐形成に問題があった
- 他の背景事象はdelta rayが多い μ による
- またp.20のシャワーの基準が適切かどうか不明確



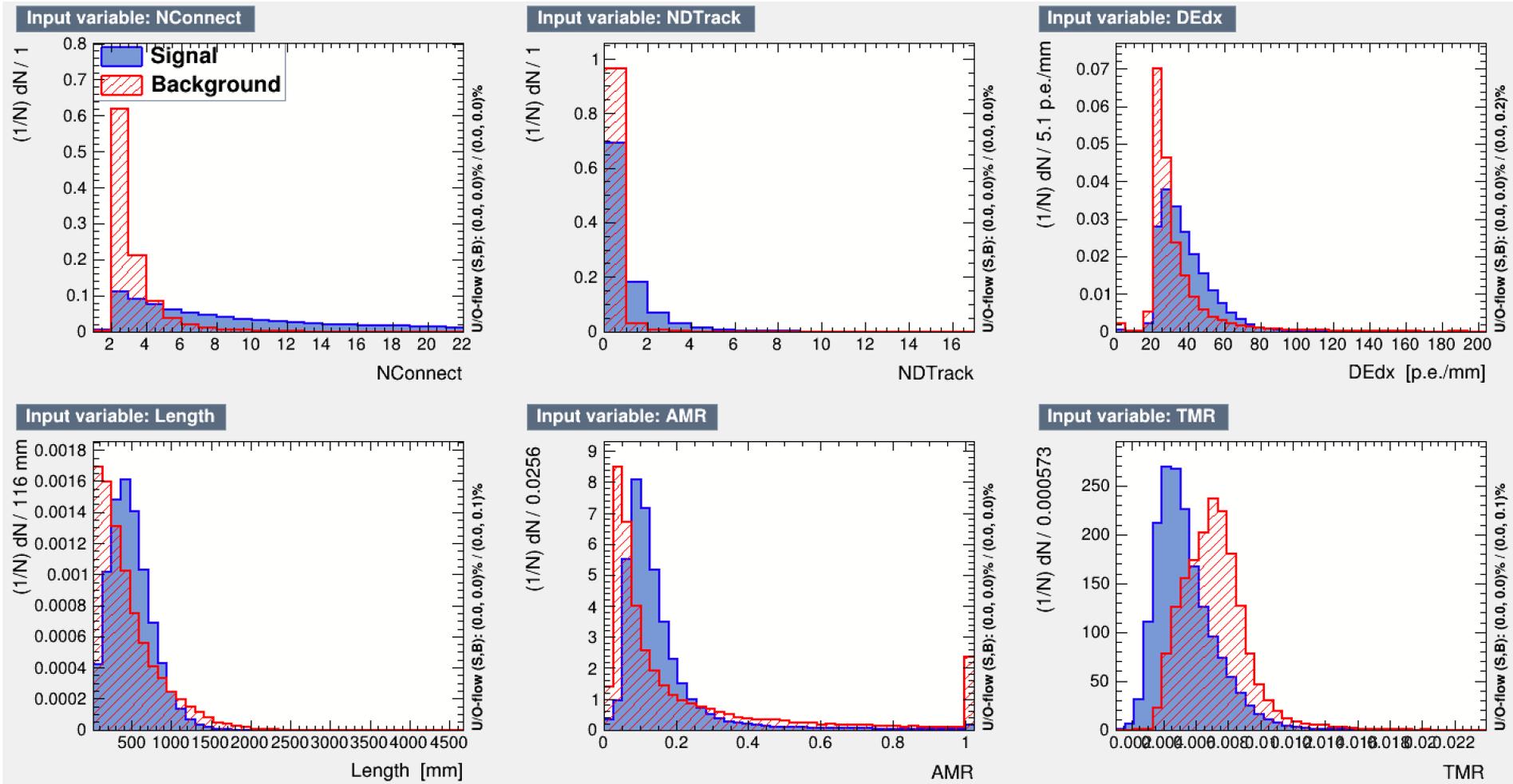
まとめ (PIDについて)

- shower-likeな事象のみでPID訓練をやり直した
- TPCのtrue情報を用いて μ のcutをかけた
- escaping事象での ν_e のpurityが13%から53%まで向上した

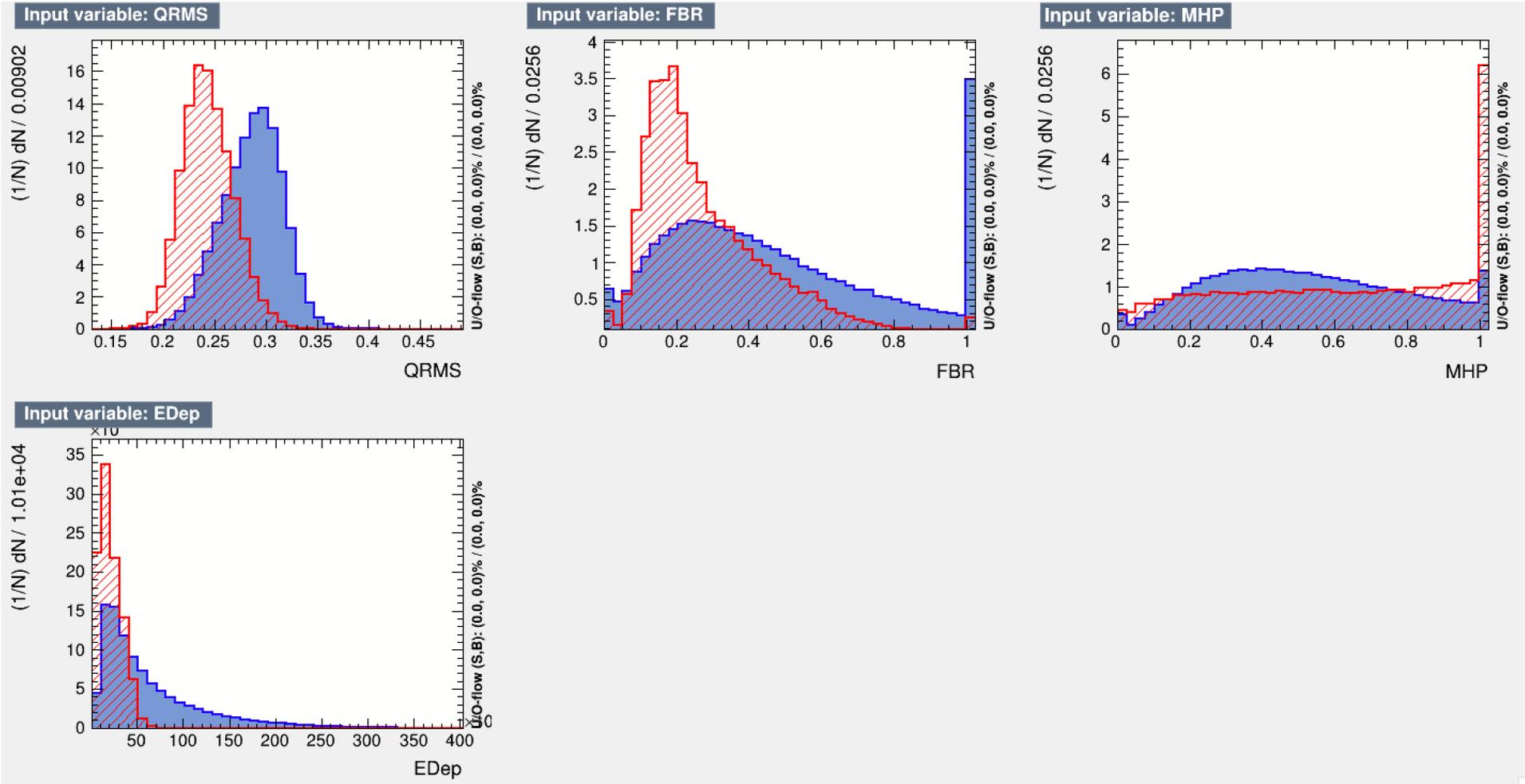
- 円錐の誤形成やdelta rayを含むmuonなどの背景事象が残っており改善が必要
- 周りの検出器の再構成情報をPIDに組み込む予定

Back up

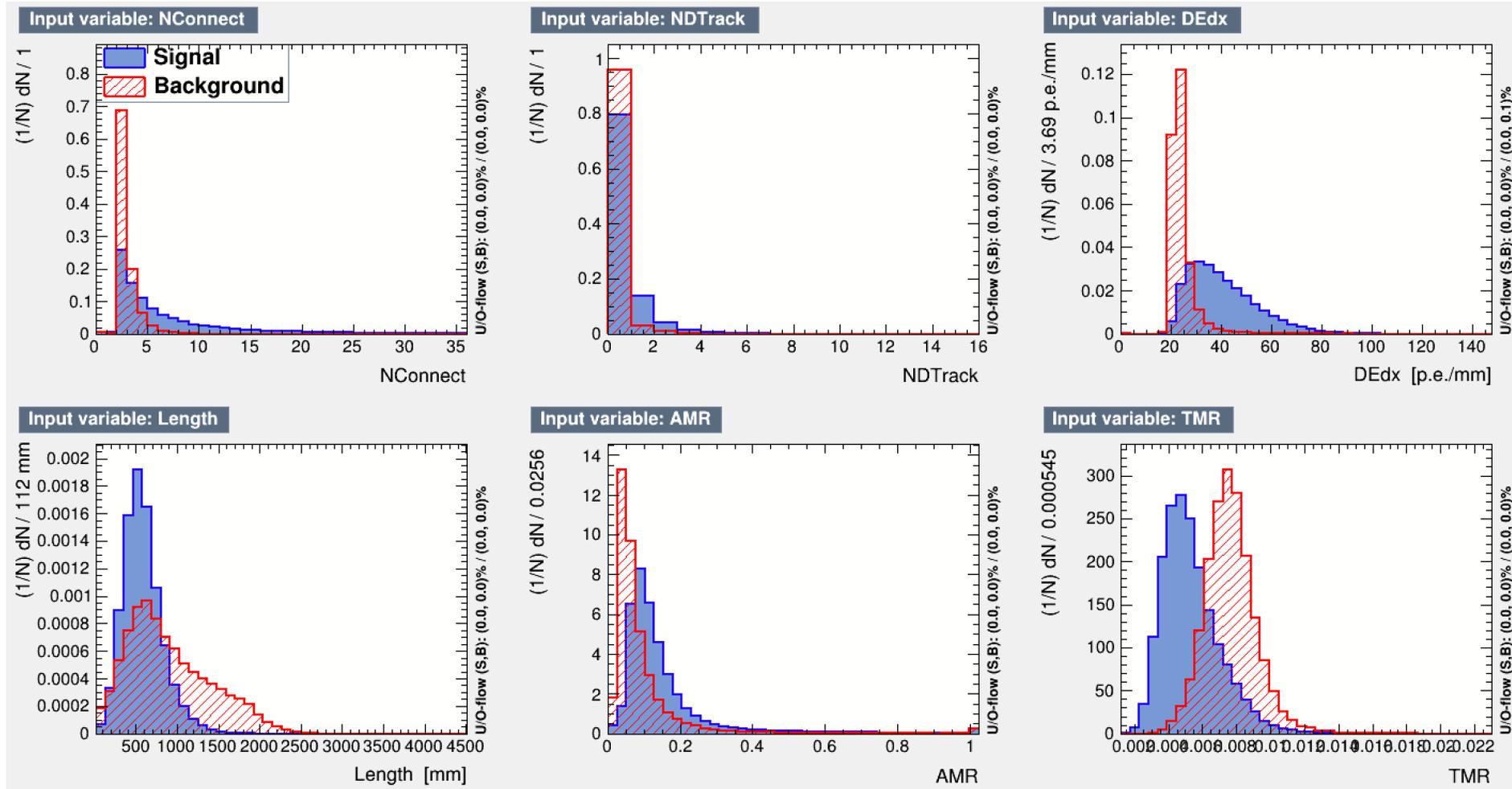
BDTG Input (Contained)



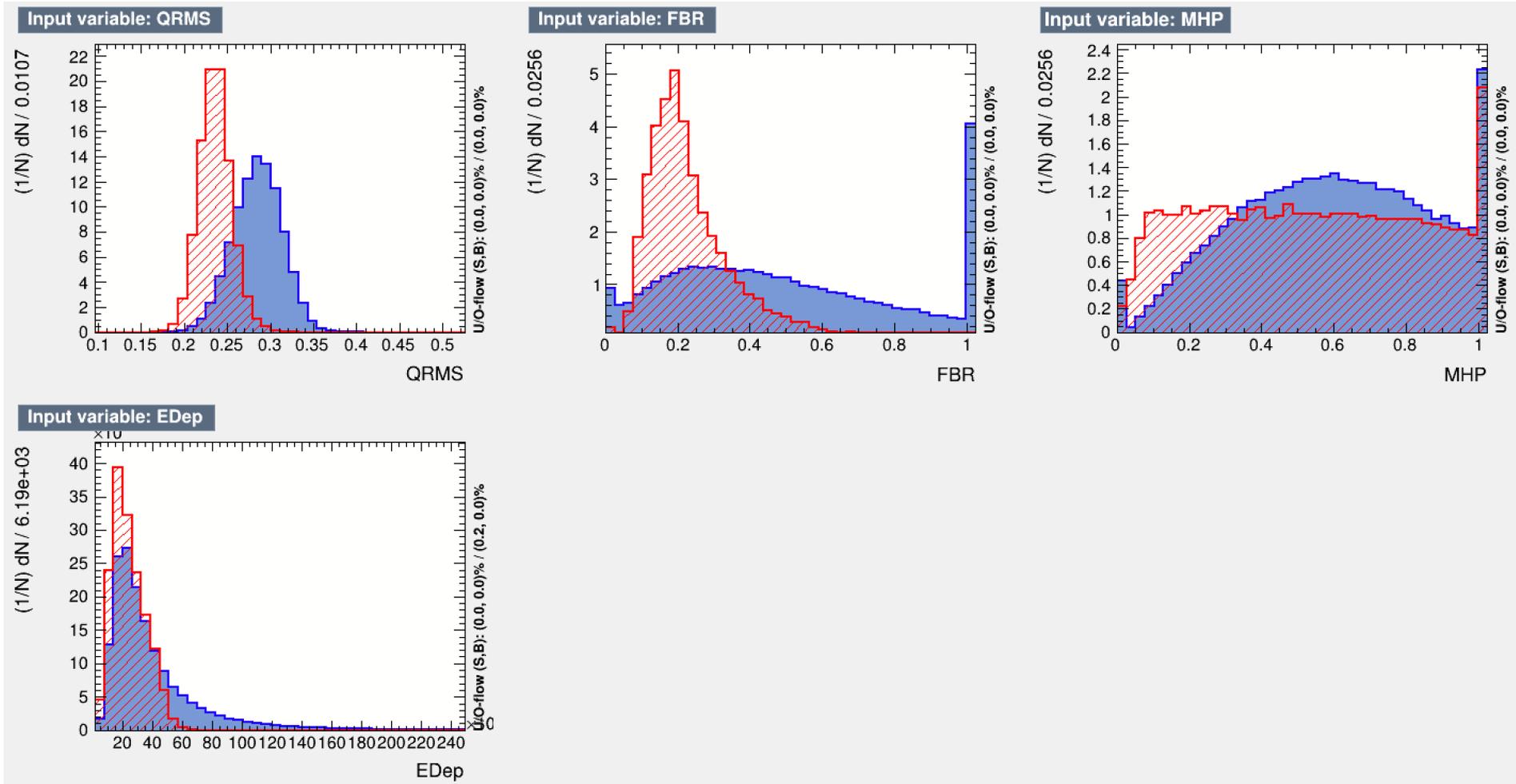
BDTG Input (Contained)



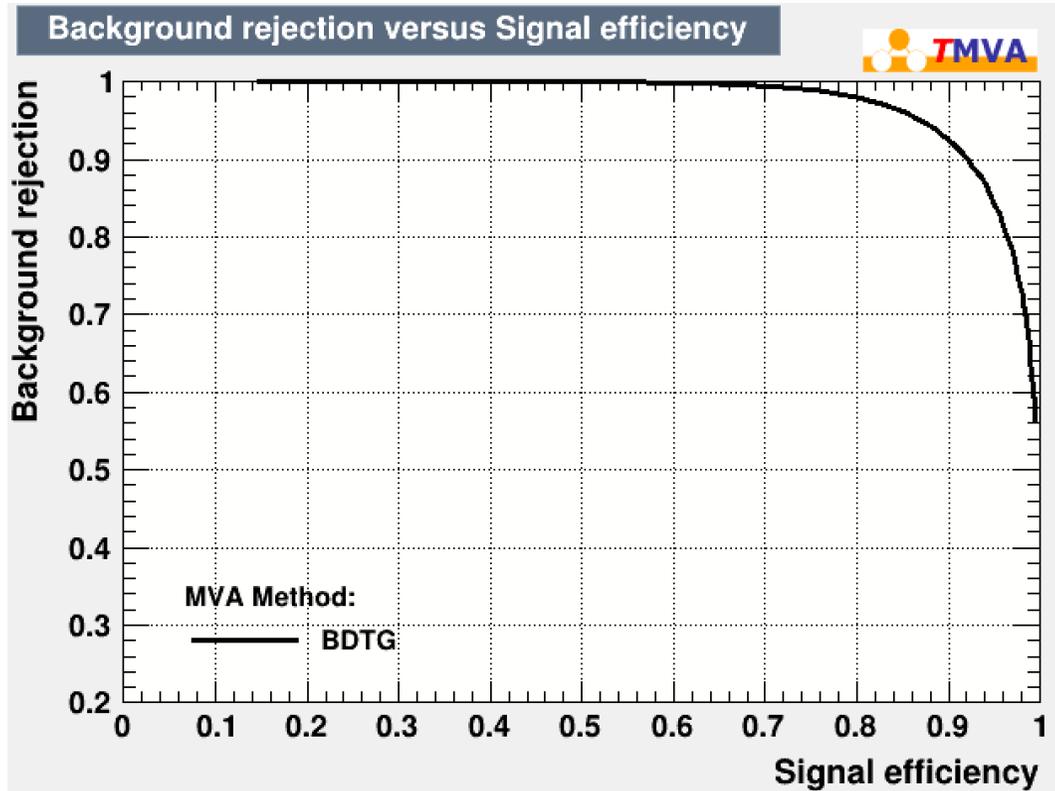
BDTG Input (Escaping)



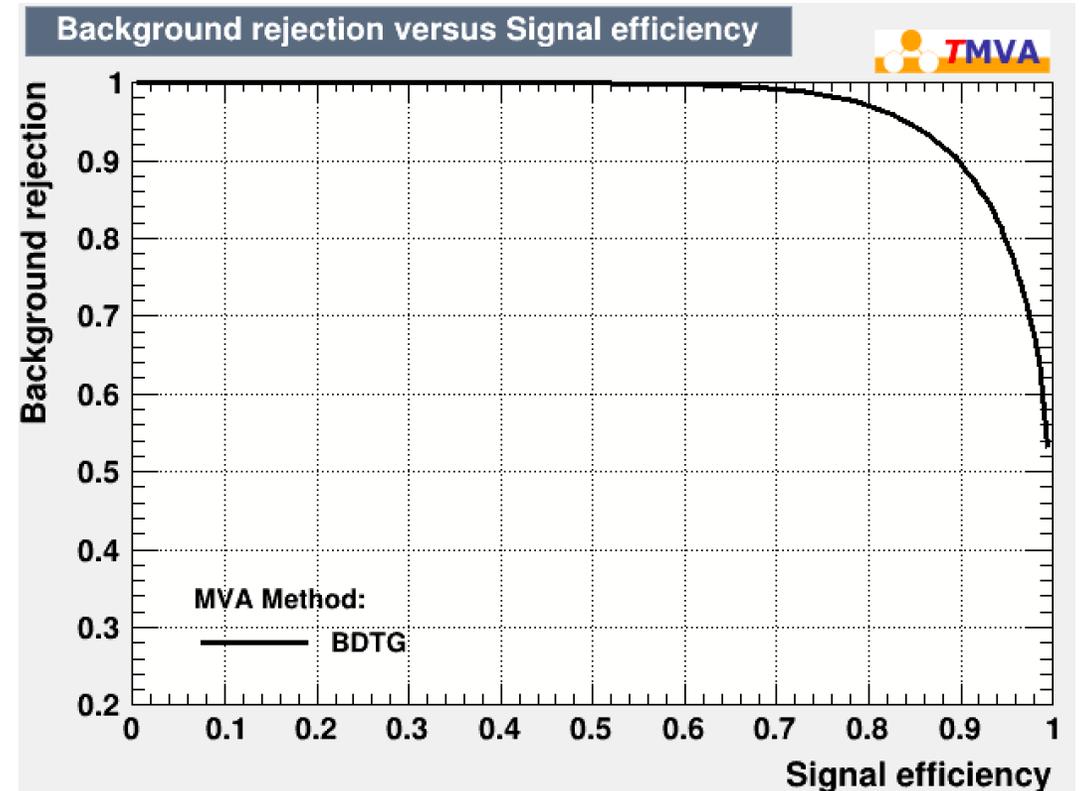
BDTG Input (Escaping)



BTDG Result



ROC curve (contained)



ROC curve (escaping)