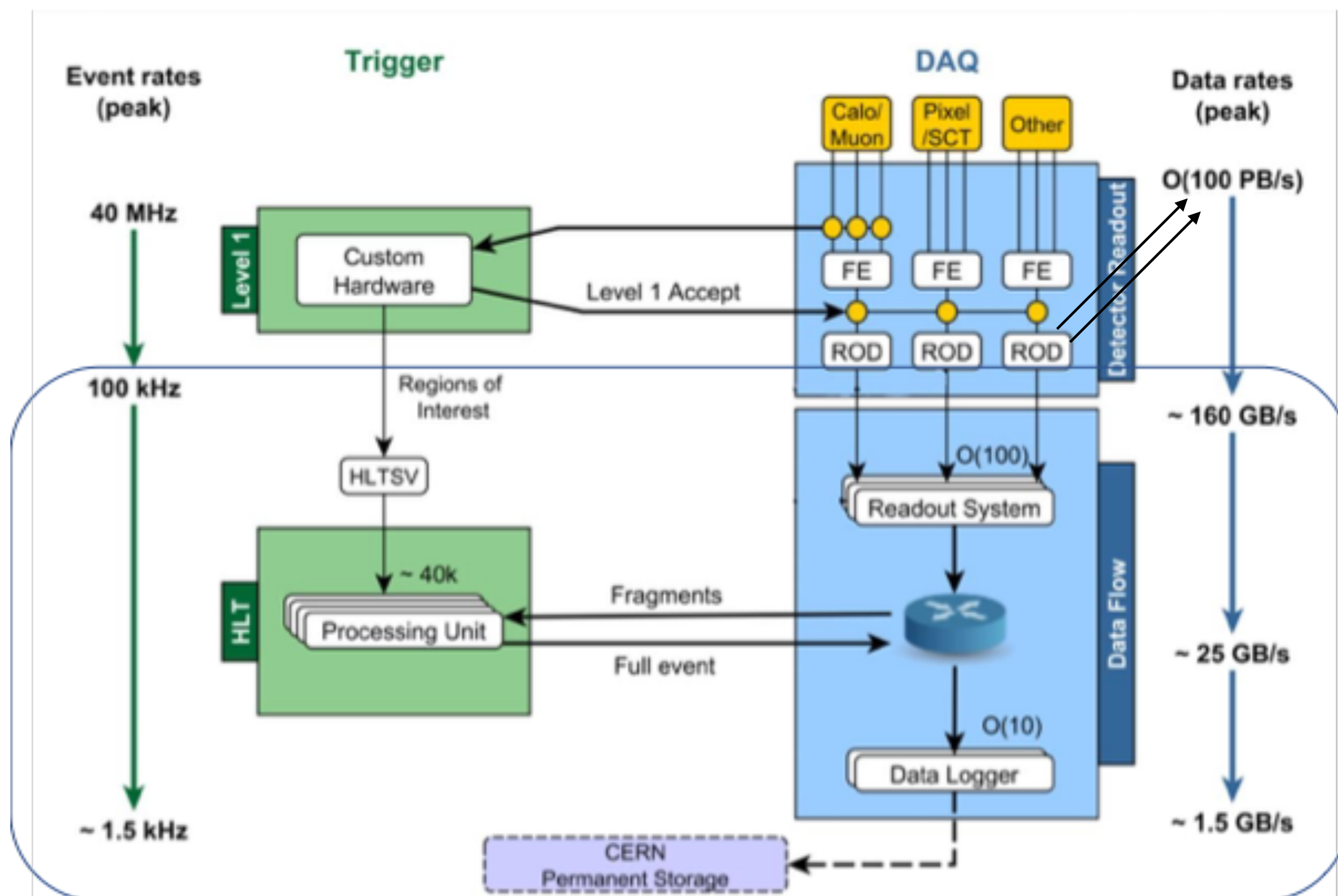


機械学習を用いた消失飛跡用トリガー

2022/2/21 29th ICEPP Symposium 東京大学 南朋輔

ATLASトリガーシステムの概要

トリガーの役割：LHC の陽子バンチ交差は40 MHz, 記録できるイベントは~1 kHz
→ 興味のあるイベントのみを記録したい



2段階のトリガー

陽子陽子衝突
40 MHz

①L1トリガー
ハードウェアレベルの簡易的なトリガー
(→100 kHz)

消失飛跡トリガー

②HLT
ソフトウェアレベルのトリガー
(→1 kHz)

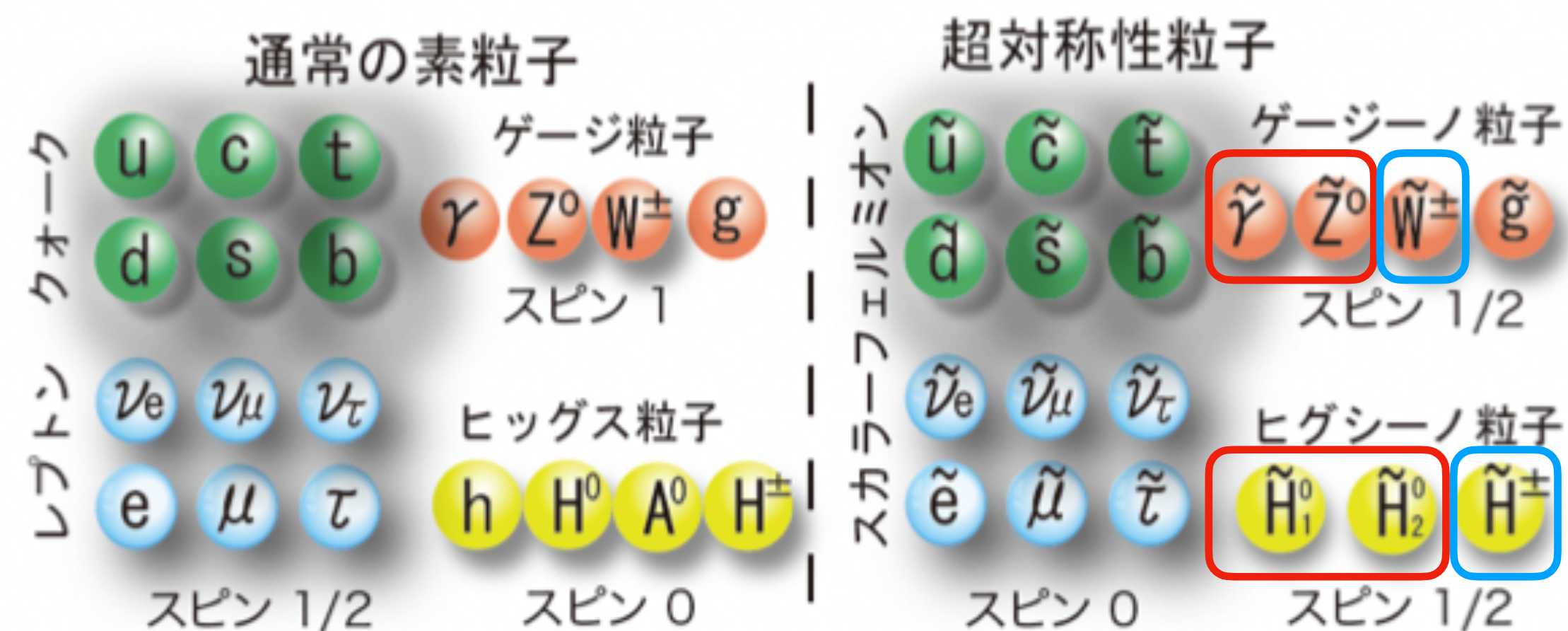
探索対象…チャージーノ (超対称性粒子)

超対称性理論(SUSY) フェルミオンとボソンの対称性

- 暗黒物質や階層性問題などの標準模型の問題を解決
- 超対称性粒子は未発見
- チャージーノ：荷電ウィーノ、荷電ヒグシーノの質量固有状態
- ニュートラリーノ：ビーノ、中性ウィーノ、中性ヒグシーノの質量固有状態
- ニュートラリーノは暗黒物質の候補

AMSB模型 (このトリガーで考えている模型)

- 純粋ウィーノが最も軽いチャージーノ
- チャージーノとウィーノの質量差が小さく
寿命が0.2 ns 程度と長い



探索方法：消失飛跡

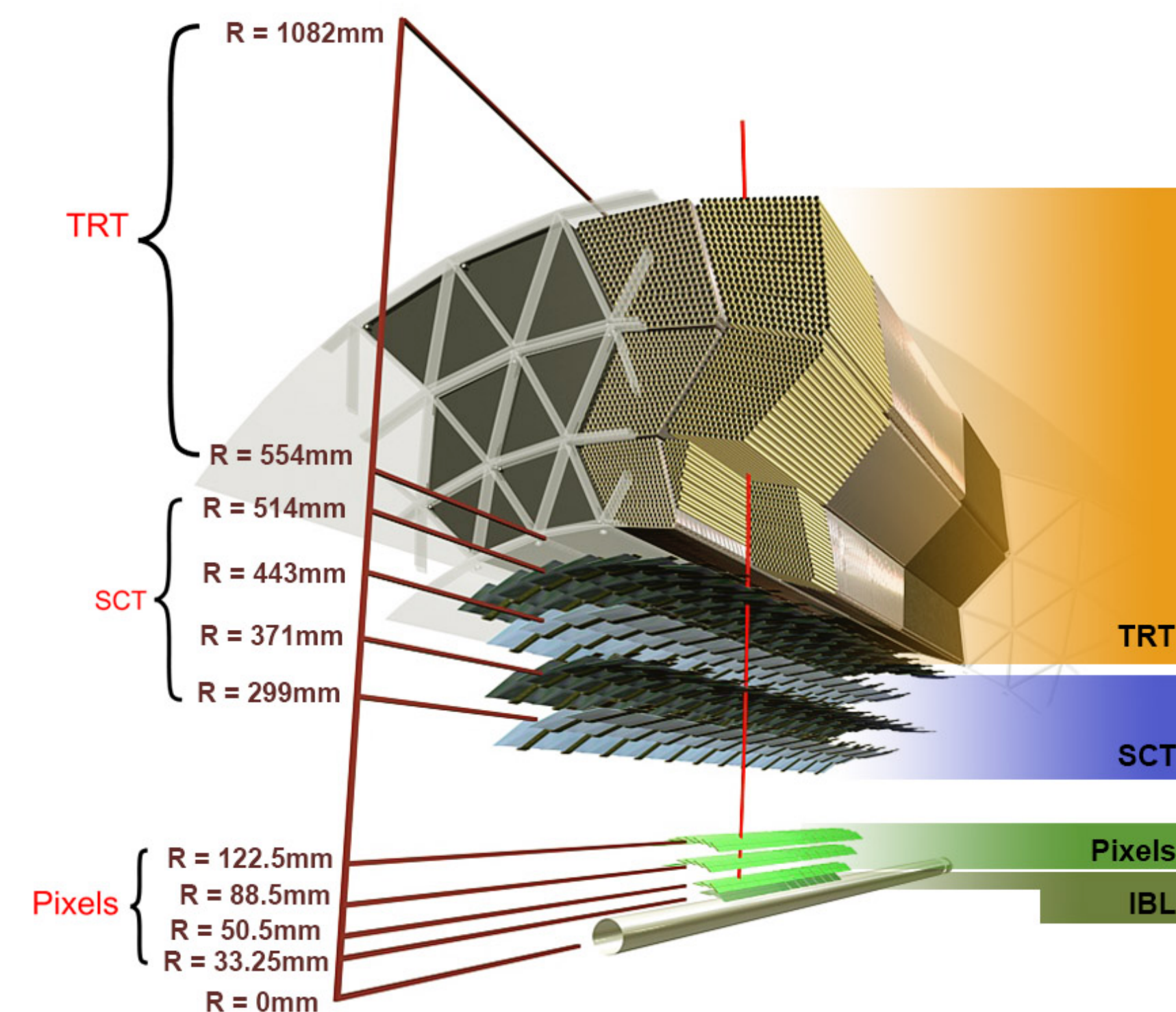
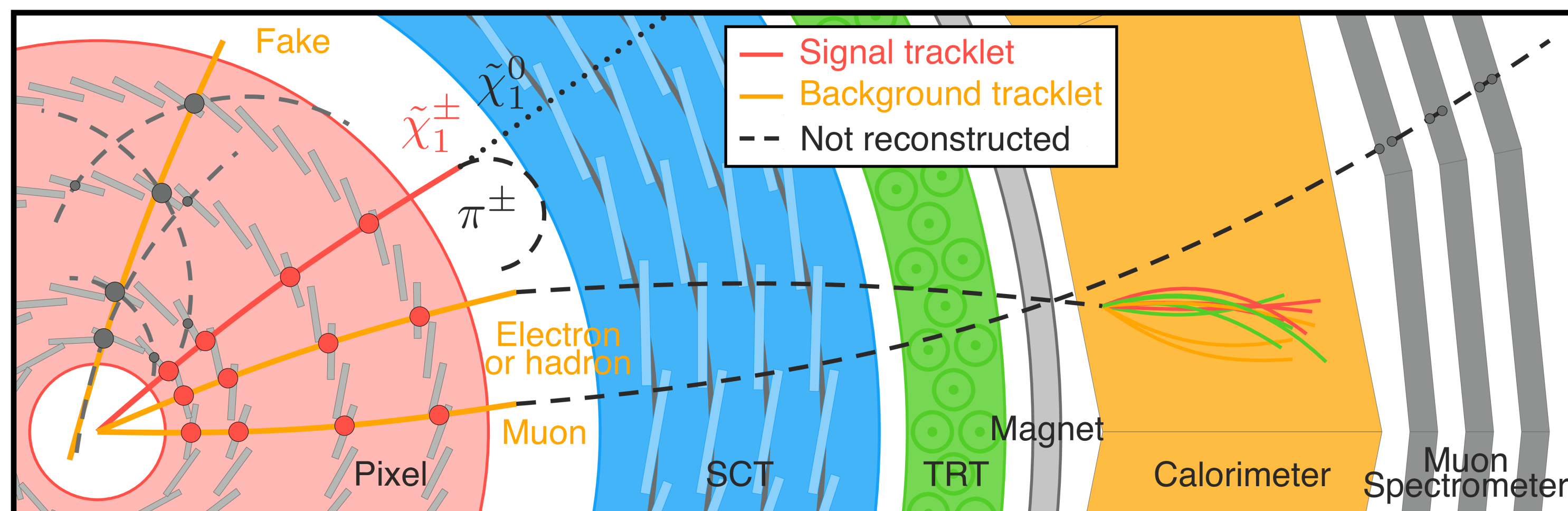
ニュートラリーノ ($\tilde{\chi}_1^0$) とチャージーノ ($\tilde{\chi}_1^\pm$) の質量差が小さい

→ $\tilde{\chi}_1^\pm$ が長寿命となり、検出器内で $\tilde{\chi}_1^0$ と π^\pm に崩壊する

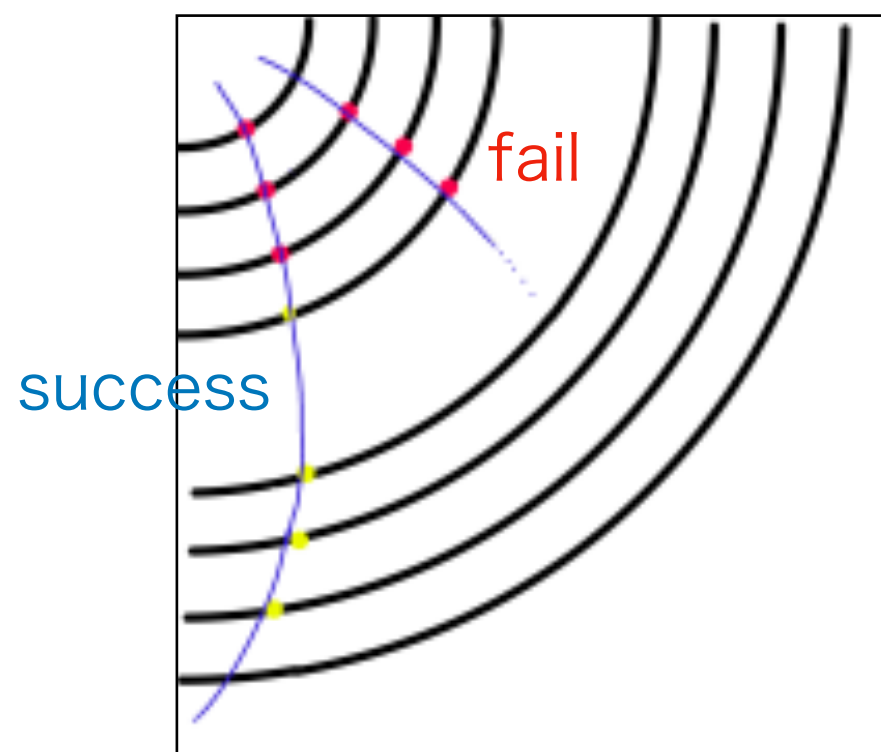
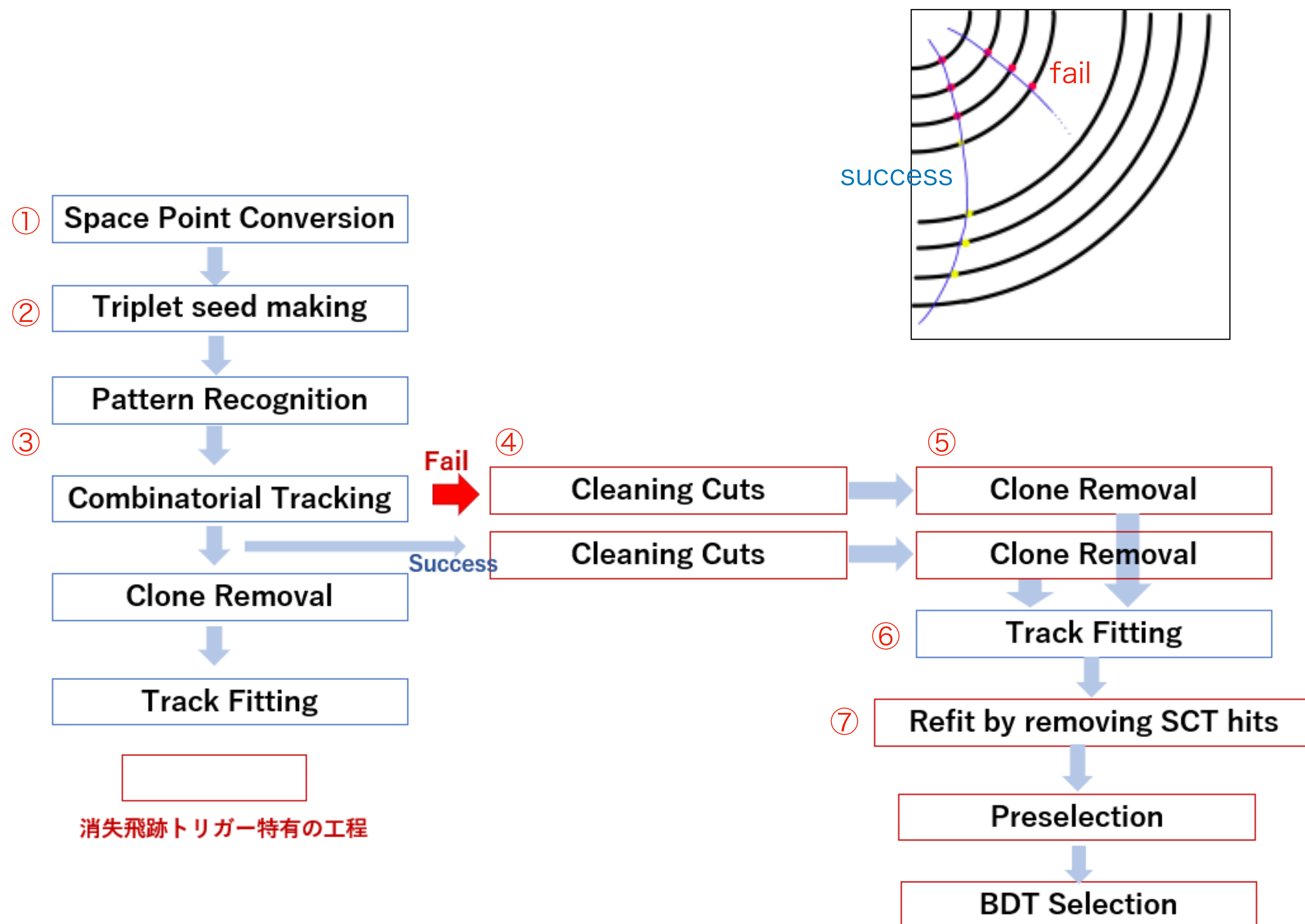
→ $\tilde{\chi}_1^0$ は検出器に検出されず、 π^\pm は磁場にまきとられて検出されないため、粒子が消えたように見える

→ 消失飛跡

特に Pixel 検出器と SCT 検出器の間で崩壊したものを探索する



消失飛跡トリガー行程1：飛跡の再構成



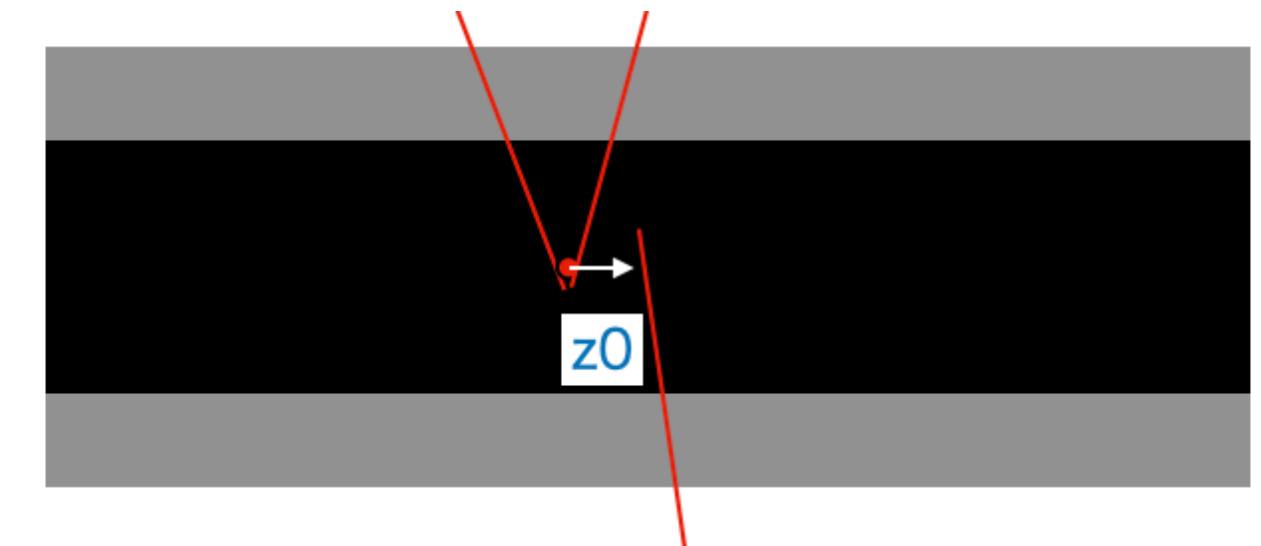
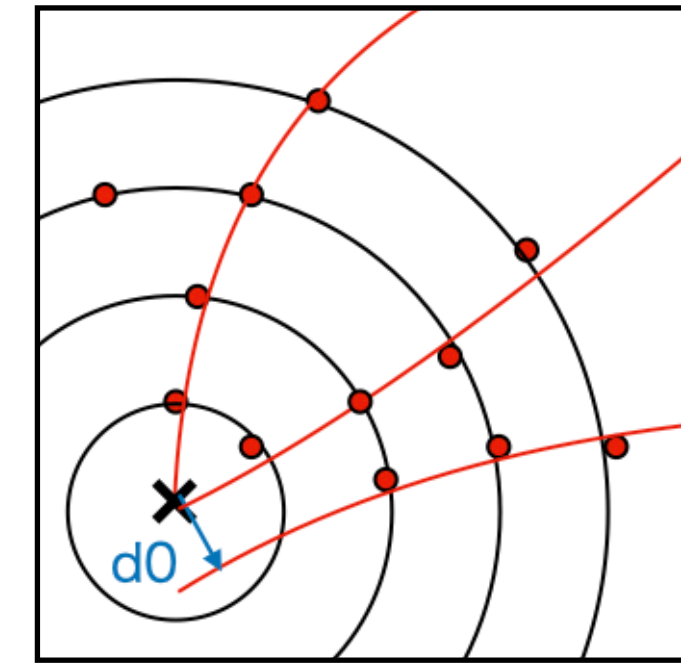
手順

- ① 検出器から荷電粒子の位置を取得
- ② 3つの位置情報から飛跡のシードを作成
- ③ Pixel検出器とSCT検出器のシードを組み合わせて飛跡を構成
- ④ 飛跡の構成に失敗したものと構成に成功したが質の低いものを抜き出す
- ⑤ 他の飛跡とヒットを共有しているものを除去
- ⑥ 飛跡のフィッティング
- ⑦ SCThitの取り除いた状態でのフィッティング

消失飛跡トリガー行程2 : Preselection

機械学習を行う前に以下の条件を満たさないものを取り除く

- z_0 (衝突点と飛跡とのビーム軸方向の距離) $< 50\text{mm}$
- d_0 (衝突点と飛跡との横方向の距離) $< 5\text{mm}$
- Pixel検出器のヒット数 ≥ 3
- 飛跡の χ^2/ndof (飛跡の質) < 5

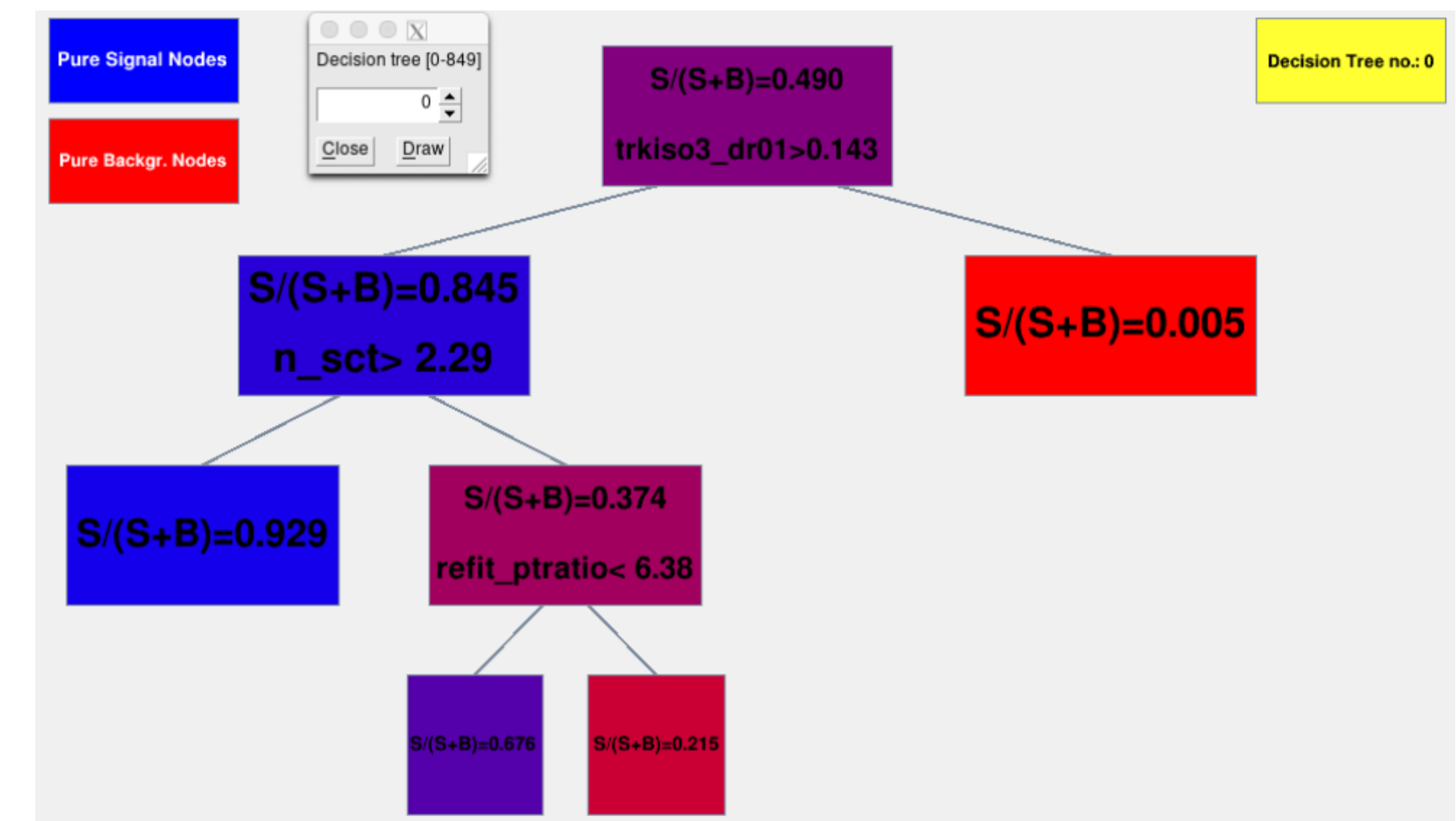


消失飛跡トリガー行程3 : 機械学習(BDT)による選別

決定木…入力変数と基準の値を比較することを繰り返し、信号事象と背景事象を分類する分類器。

BDT…決定木を多数組み合わせた分類器。

最終的に計算されたBDTscoreと、設定したワーキングポイント(WP)の大小比較により分類する。

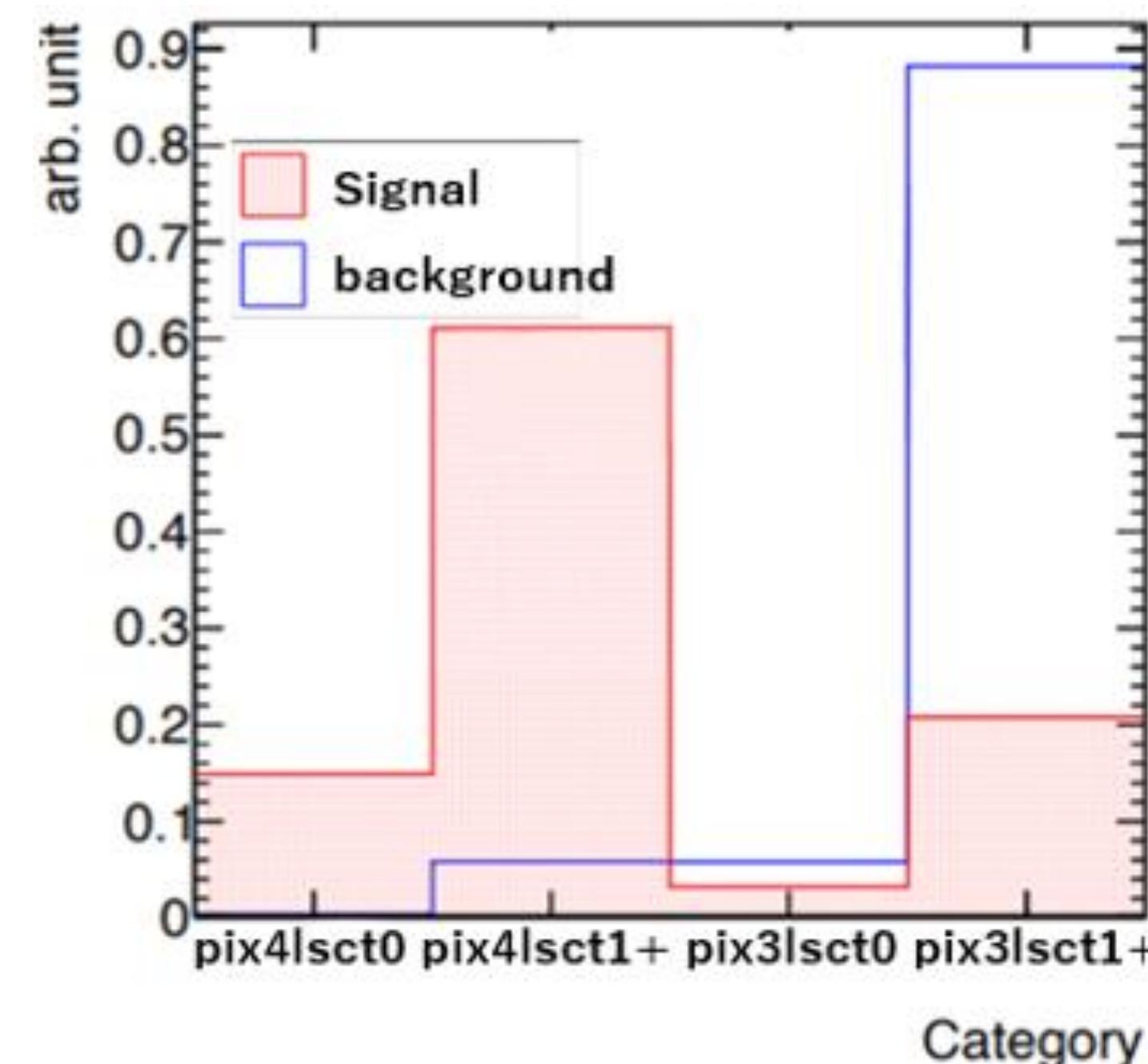


カテゴリ分け

Pixel検出器のhit数、SCT検出器のhit数によってカテゴリ分けをする

pix4|カテゴリは信号事象が支配的、pix3|カテゴリは背景事象が支配的
 →信号効率を向上させるためにカテゴリごとに別の分類器を作成する

カテゴリ	飛跡と互換性の高い ($\chi^2/(\text{自由度}) < 3$) Pixel 層のヒット数	SCT ヒットの個数
pix4 sct0	4	0
pix4 sct1+	4	≥ 1
pix3 sct0	3	0
pix3 sct1+	3	≥ 1



BDTの入力変数の最適化

背景事象効率が1%のときに
信号効率の最大化する入力変数を選定

機械学習に使用された変数

BDT variables	pix4lsct0	pix4lsct1+	pix3lsct0	pix3lsct1+
p_T	○	○	○	○
$ z_0 $	○		○	○
$ d_0 $	○		○	○
χ^2/ndof	○		○	○
$\chi^2/\text{ndof pix}$	○	○	○	
$p_T(\text{refit w/o SCT})$	○	○	○	○
$ z_0 (\text{refit w/o SCT})$		○	○	○
$ d_0 (\text{refit w/o SCT})$		○	○	○
$\chi^2/\text{ndof}(\text{refit w/o SCT})$				○
refit p_T/p_T	○	○		○
refit $(\chi^2/\text{ndof})/(\chi^2/\text{ndof})$	○	○		
Nr of Pixel hits	○	○	○	○
Nr of SCT hits		○		○
Nr of Barrel hits	○		○	○
Isolation($\Delta R < 0.1$)	○	○	○	○
Isolation($0.1 < \Delta R < 0.2$)	○	○	○	○
Fail or success(Combinatorial tracking)		○		○
Nr of BDT variables	12	12	12	15

飛跡の持つ全変数ではなく一部のみ使用
→性能を上げる、過学習をおさえる

表 A.1: 全 17 個の入力変数と最適化した際の入力変数を使用時の信号効率。テストサンプルに対する効率を示す。学習データの背景事象効率は 1% で固定している。

カテゴリ	全 17 個の入力変数使用時の信号効率	最適化した入力変数使用時の信号効率
pix4lsct0	0.635	0.650
pix4lsct1+	0.966	0.966
pix3lsct0	0.935	0.938
pix3lsct1+	0.924	0.925

学習と評価に用いられたデータサンプル

信号事象

チャージーノのモンテカルロサンプル(MC)

- 寿命 : 1 ns
- 質量 : 91, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 GeVを各30,000イベント
- 崩壊位置 : Pixel検出器とSCT検出器の間($130 \text{ mm} < r < 300 \text{ mm}$)

背景事象(学習)

- Run 2の実データ
 - RPVLLフィルターを使用して高 p_T などの興味のある領域を選別
- $p_T > 20 \text{ GeV}$
- MET > 50 GeV

背景事象(評価)

- Run 2の実データ
 - Enhanced bias data
 - 予め複数のL1トリガーが鳴っている等、HLTがなりやすいものを集めたサンプル
 - 比較的少ない統計量でHLTのトリガーレート評価ができる
- MET > 50 GeV

信号事象に対する性能評価

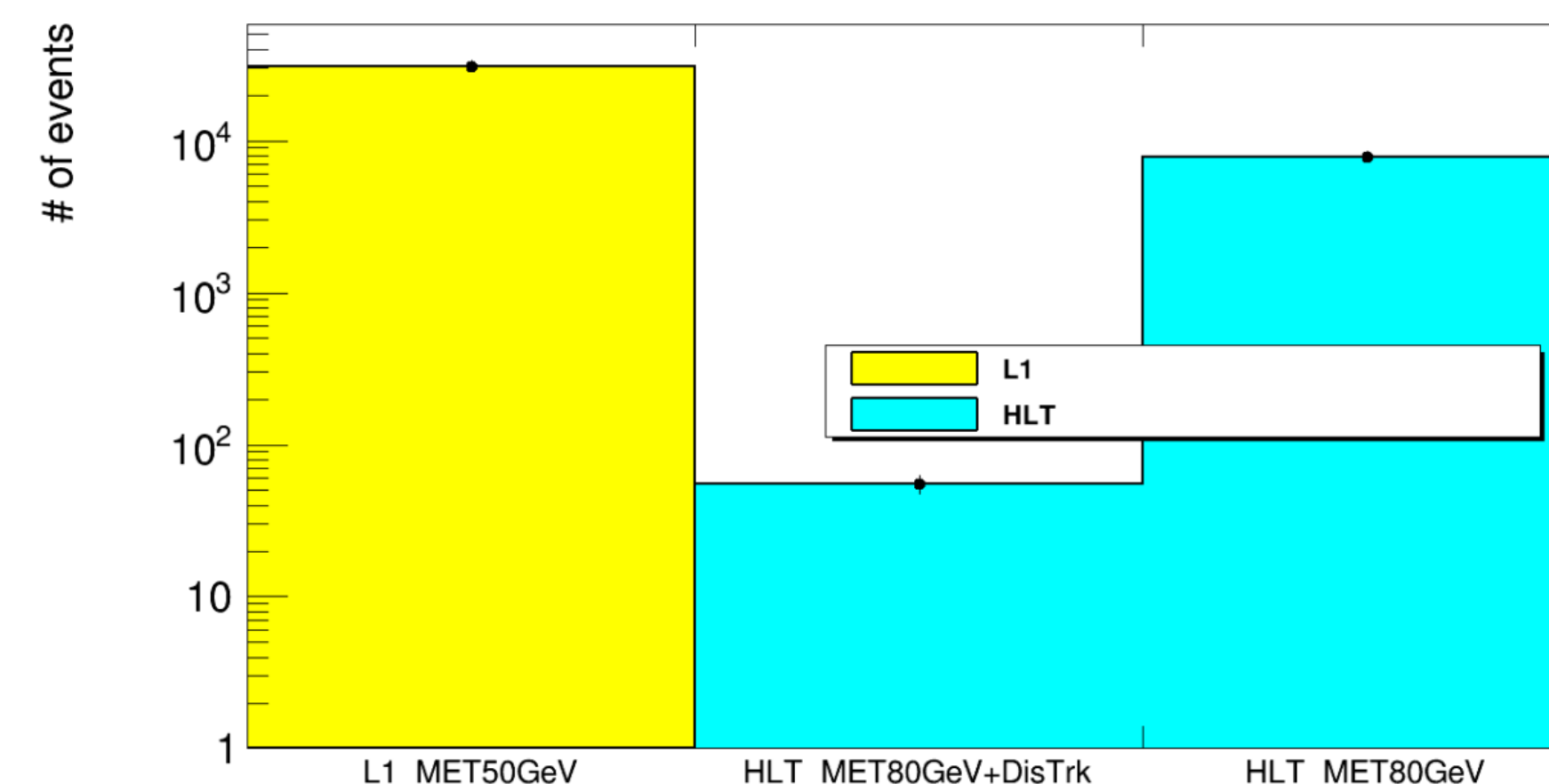
信号効率

- 割り当てられたトリガーレート 10 Hz
 - pix4lカテゴリは信号が多いため感度を高くしたい
- pix4lカテゴリでは信号効率が100%になるようにWPを設定し、pix3lカテゴリはトリガーレートが10 Hz 未満となるように調整

カテゴリ	信号効率	背景効率
pix4lsct0	100%	0.24%
pix4lsct1+	100%	0.17%
pix3lsct0	65%	$7.0 \times 10^{-3} \%$
pix3lsct1+	55%	$6.1 \times 10^{-3} \%$

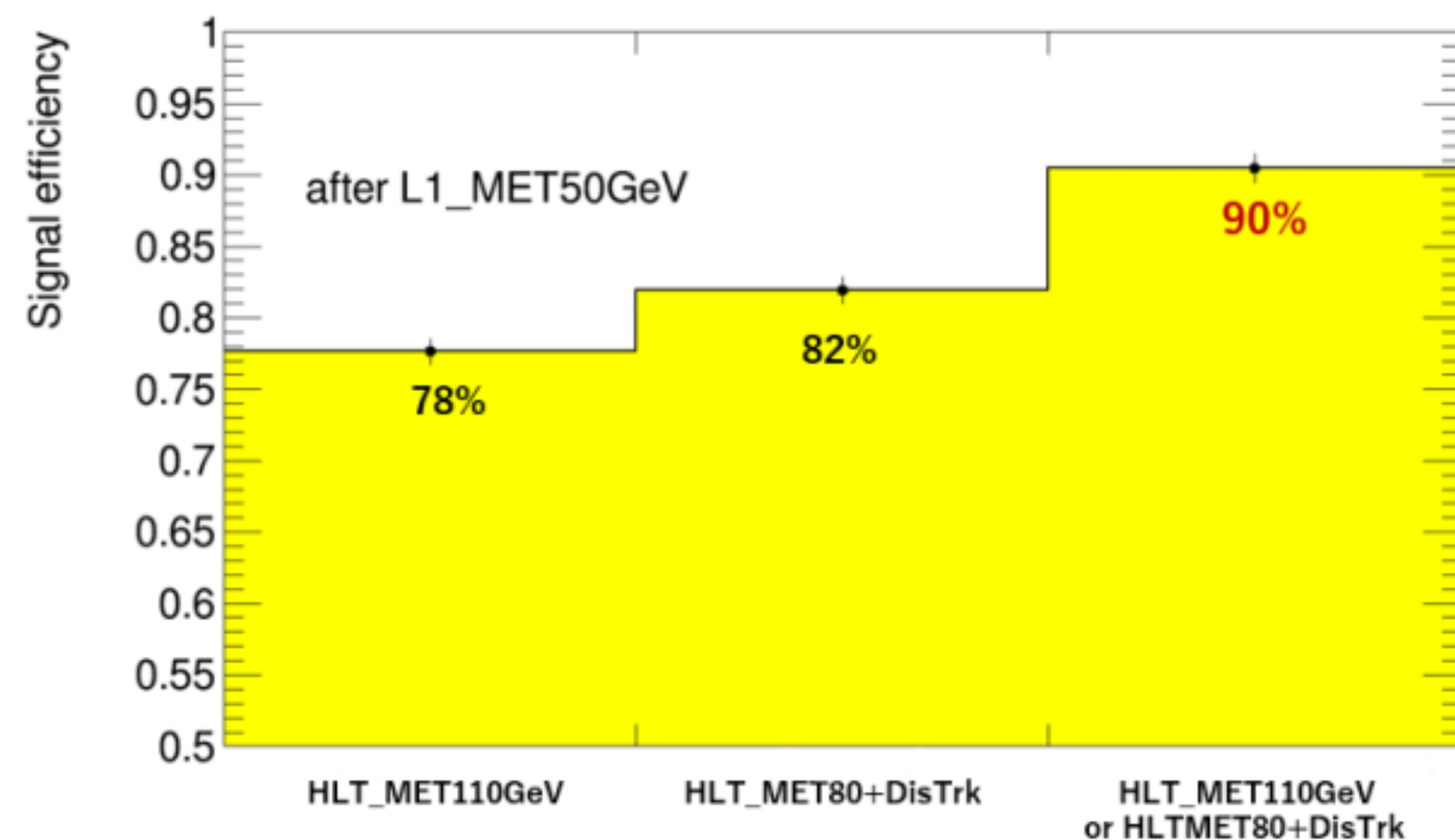
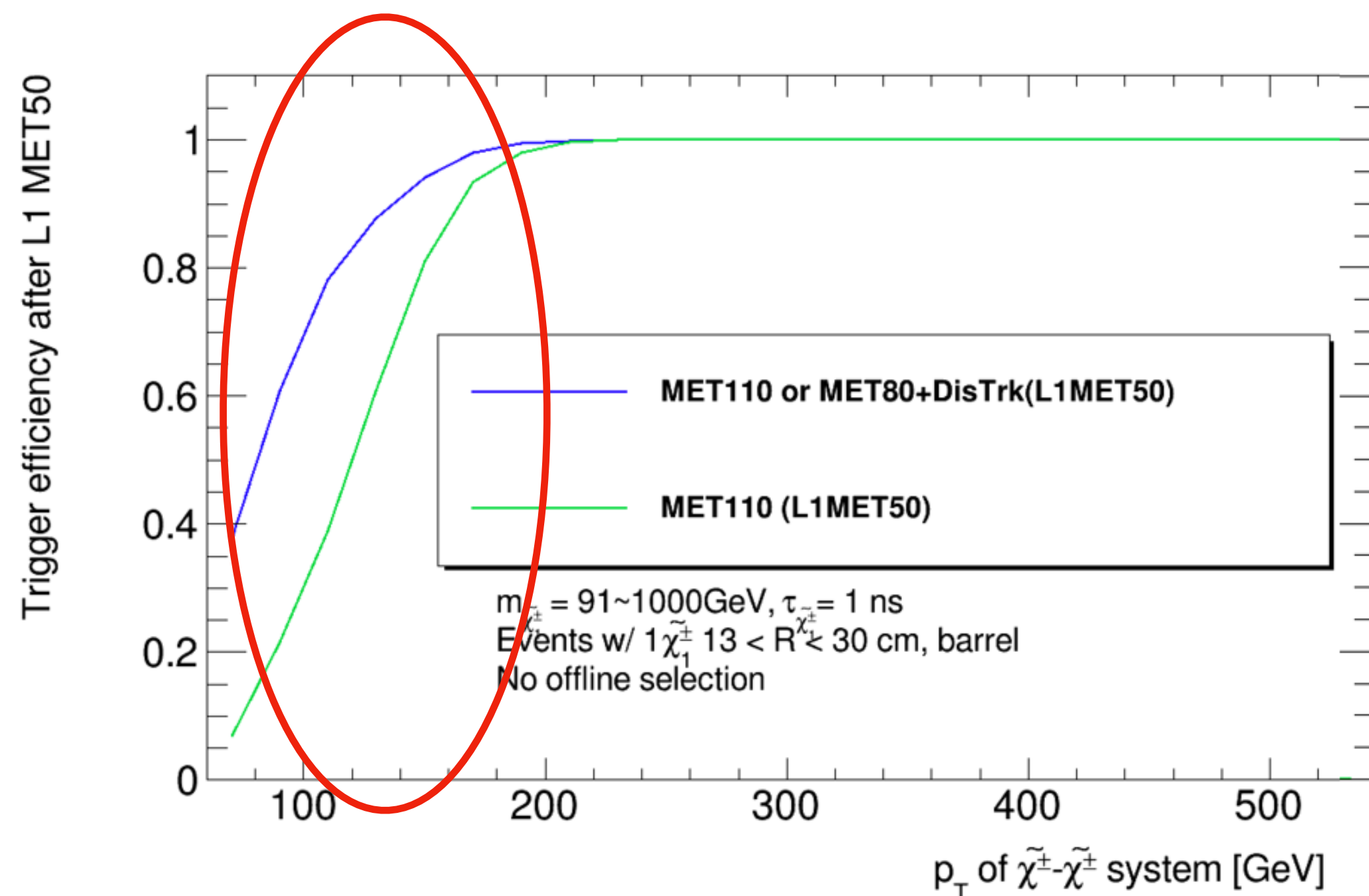
トリガーレート

L1 : 前段トリガー	MET > 50 GeV	5.1 kHz
		↓
HLT : 後段トリガー	MET > 80 GeV	1.3 kHz
		↓
HLT : 後段トリガー	消失飛跡トリガー	9.2 Hz



信号事象に対する性能評価

消失飛跡トリガー+HLT_MET80GeVとHLT_MET110GeV (Run2での消失飛跡解析に使用)との比較



既存のHLT_MET110GeVトリガーと合わせて使用することで
これまでより低いMET領域での感度が高くなった

まとめ

- 通常の飛跡再構成では捨てられる飛跡を再構成
 - 機械学習を用いた選別
- これまでは信号効率が悪かったMETの低い領域での感度が向上した

今後の展望

新たに作成されるモンテカルロサンプルによるトリガーの性能評価

ミューオンの飛跡のSCT検出器のhitを消した擬似信号による性能評価