

アニメーリングマシンを用いた 組み合わせ最適化による 飛跡再構成の性能評価と改善

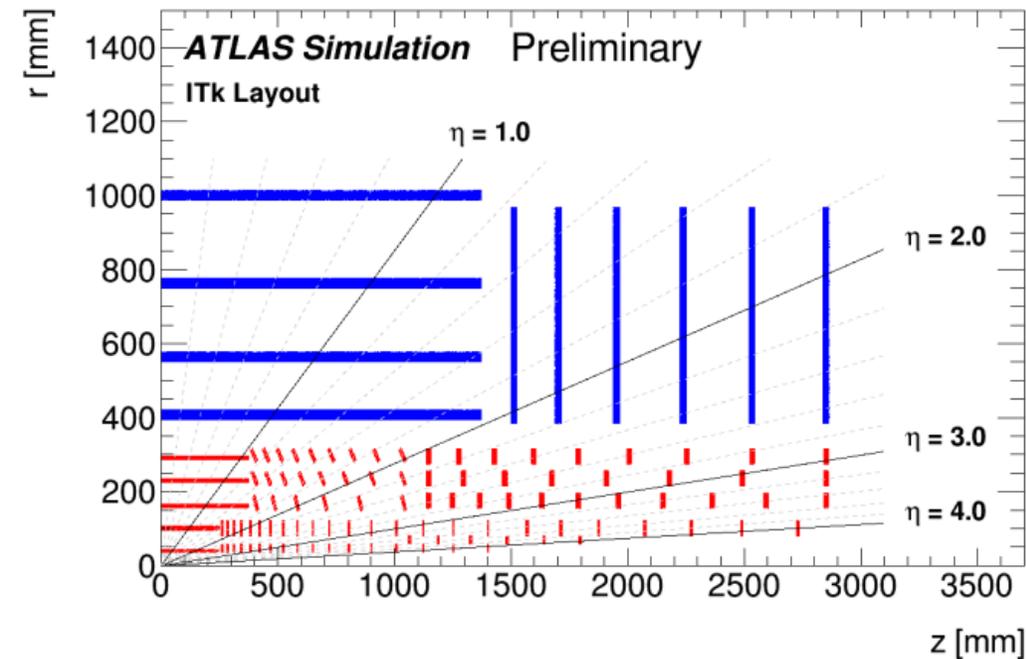
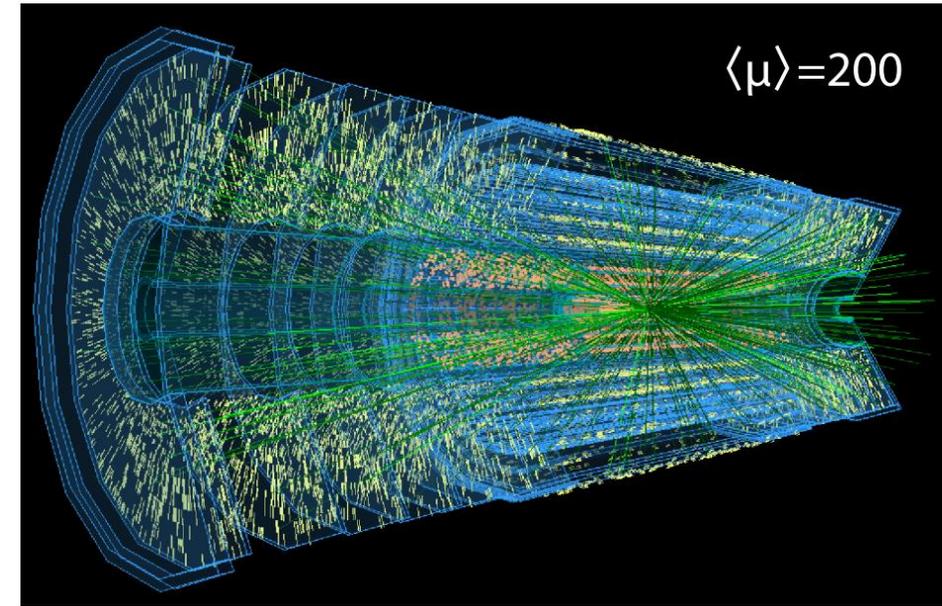
2022/2/20

早稲田大学 寄田研究室

M1 南 樹里

HL-LHC実験

- 2028年頃からHL-LHC運転が予定されている
 - 瞬間ルミノシティ(設計値)
 - $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \rightarrow 7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - 積分ルミノシティ
 - $350 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 4000 \text{ fb}^{-1}$
 - パイルアップ $\langle \mu \rangle$
 - $20 \sim 40 \rightarrow 200$
- 現状の内部飛跡検出器はInner Trackerに総入れ替え
 - 全シリコン製検出器
 - ピクセル検出器 + ストリップ検出器
 - 読み出しチャンネル数の増加

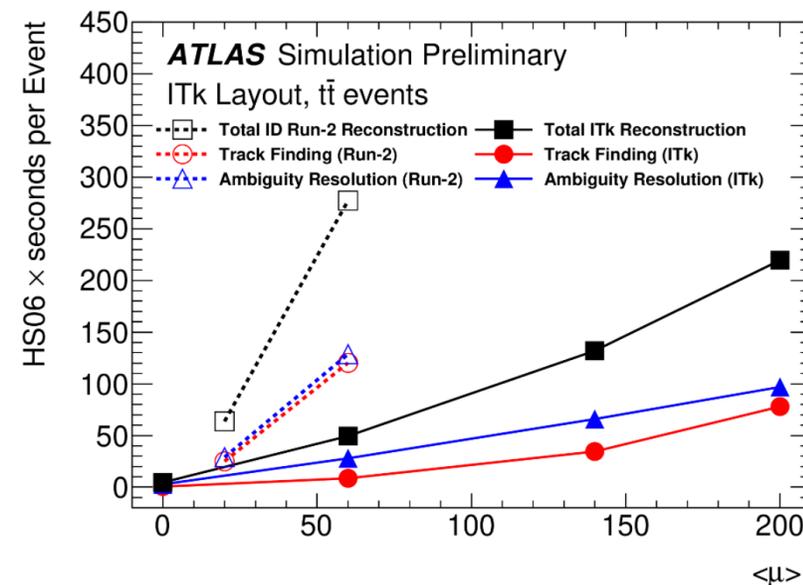
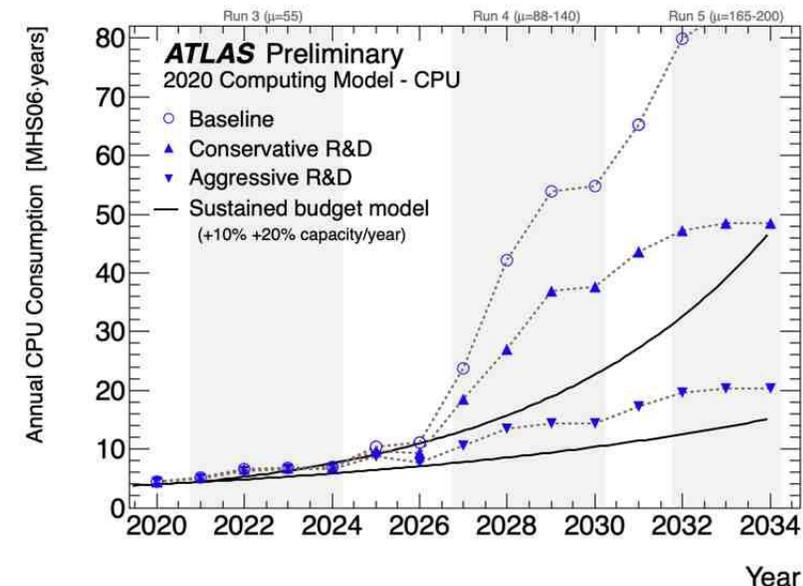


HL-LHC実験における荷電粒子の飛跡再構成

- 加速器の高輝度化・検出器の微細化によって必要な計算資源は増加
 - 今後の開発状況次第で、計算資源が不足する可能性
 - 特に、荷電粒子の飛跡再構成では多くの計算資源が必要
- トリガーの段階で全ての飛跡を再構成することは現状でも難しいが、さらに困難に
- 飛跡再構成にかかる時間はパイルアップに依存して増加



近年急速に発展している量子コンピューティング技術を飛跡再構成に応用出来ないか？



量子アニーリングの飛跡再構成への応用

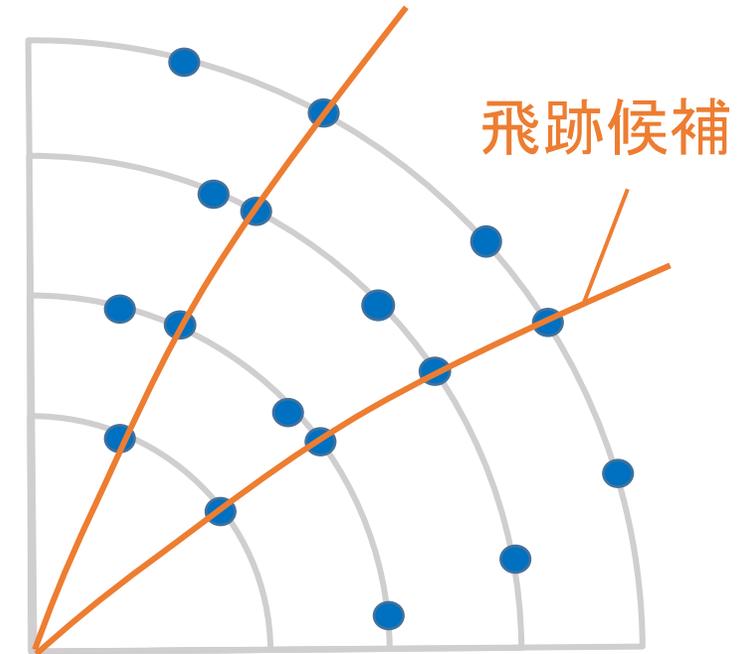
荷電粒子の飛跡再構成

膨大なヒットの中から、飛跡候補となる組み合わせを選び出す問題

➤ 組み合わせ最適化問題と考えられる

量子コンピュータ

- **量子アニーリング方式: 組み合わせ最適化問題に特化**
- 量子ゲート方式: 問題ごとに量子回路を作成、多様な問題に対応



➡ 荷電粒子の飛跡再構成を組み合わせ最適化問題に落とし込むことでアニーリング技術を使って高速かつ高性能な飛跡再構成を行えないか？

量子アニーリング

量子アニーリングは金属の焼きなましに着想を得た手法で、組み合わせ最適化問題に対する汎用近似解法

量子アニーリング(QA)の原理

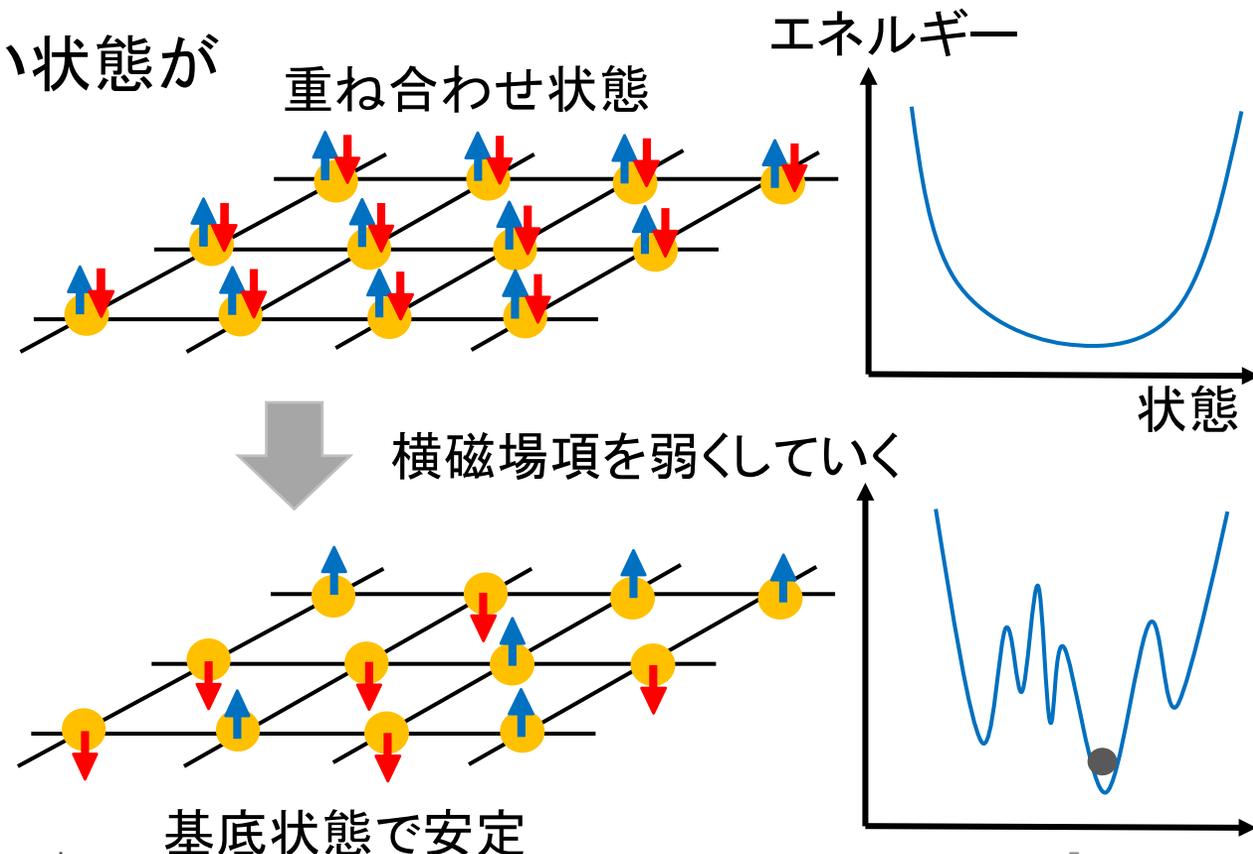
- 解きたい問題をイジング模型で表現、求めたい状態が最もエネルギーの低い状態になるように設定

$$H = \sum_{i \neq j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j + \sum_i h_i \sigma_i \quad \sigma \in \{-1, 1\}$$

相互作用項 局所磁場項

$\sigma \in \{0, 1\}$ に変換したものをQUBO(Quadratic Unconstrained Binary Optimization)形式と呼ぶ

- 横磁場をかけて重ね合わせ状態を作り、ゆっくりと磁場を弱めることで基底状態に留まり続けながら状態が遷移
- 最終的に求めたいハミルトニアン
の基底状態で安定



シミュレーテッドアニーリング

現在の量子アニーリングマシンにはいくつかの課題が存在

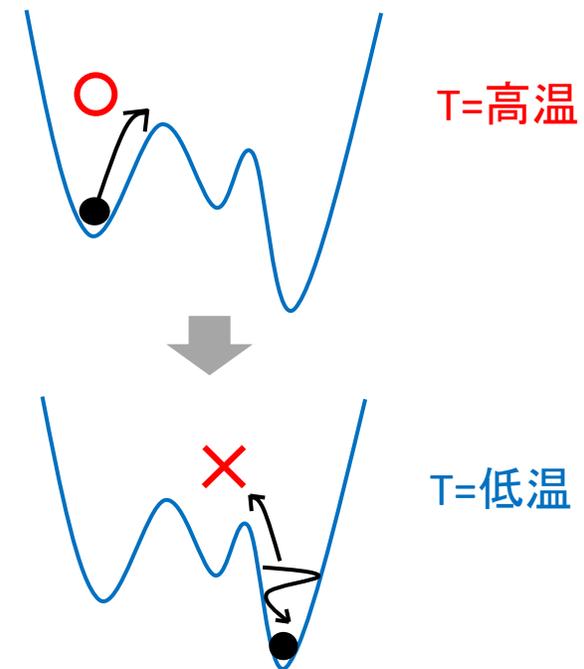
- ビット数に制限、結合が疎結合、大規模化が困難

デジタル回路を用いて組み合わせ最適化問題を高速に解くことが出来るマシンが開発されている

- 常温で安定に動作、大規模化が比較的容易

シミュレーテッドアニーリング(SA)の原理

- 各ビットの組み合わせを少しずつ変化させていくことでエネルギーの低い状態へ遷移
- このとき、エネルギーが小さくなくても、ある確率で次の状態へ遷移する。この確率は「温度」に対応するパラメータで制御される
- 高い温度のときには広い範囲で探索を行い、温度が低くなるにつれて探索範囲を狭めることで局所解に陥ることを防ぐ



現在開発されている主なアニーリングマシン



	D-Wave	富士通	Fixstars	日立		東芝	NEC	NTT
名称	Advantage	Digital Annealer	Amplify Annealing Engine	CMOS Annealing		Simulated Bifurcation Machine	Vector Annealing サービス	コヒーレントイジングマシン
最大ビット数	5,000以上	100,000	100,000以上	144k	100k	1,000,000	100,000	100,000
結合	ペガサスグラフ	全結合	全結合	キンググラフ	全結合	全結合	全結合	全結合
全結合換算ビット数	124	100,000	65,536	176	100k	1,000,000	100,000	100,000

- 様々な企業によってアニーリングマシンの開発が進められており、その性能は近年急速に向上している
- 結合の方式やビット数によって扱える問題や得意な問題が異なる

➤ **今回は全結合かつビット数の多いFixstars Amplify Annealing Engineを用いる**

Fixstars Amplify Annealing Engine(AE)

Fixstars社が開発したアニーリングマシン

- GPU(Graphics Processing Unit)回路でシミュレーテッドアニーリングを行う
- 各ビット間は全結合
- 最大ビット数 100,000以上
 - ・ 各ユーザーが利用できるのは100,000まで
- 全結合換算ビット数 65,536
 - ・ 各ビットが全結合した問題の場合の計算可能な最大ビット数

AEのパラメータ

timeout: アニーリングの実行時間を指定する。解は必ず一つ以上出力されるように動作する。そのため、指定時間以内に終了しない場合もある。

num_unit_steps: アニーリングの単位ステップ数。この回数モンテカルロステップを行うと解を記録。値を大きくすると解の品質が安定するが、解の収束は遅くなる。

triplet modelを用いた飛跡再構成の結果

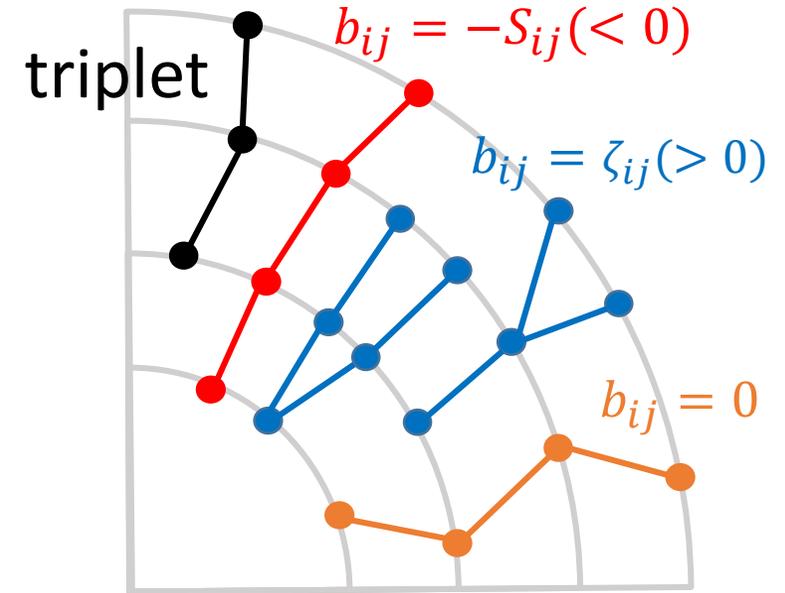
- 3つのヒットをつなげたtripletをビットに設定したmodel

$$H(a, b, T) = \sum_i^N a_i T_i - \sum_i^N \sum_{j<i}^N S_{ij} T_i T_j + \sum_i^N \sum_{j<i}^N \zeta_{ij} T_i T_j$$

$T_i \in \{0,1\}$
(各tripletに対応)

2つのtripletが間の2点を共有し曲率が近い

2つのtripletが始点や終点を共有する



- Pt>1GeVかつ4hit以上の飛跡を結果の評価に使用
- 結果の評価には右のefficiencyとpurityを用いる (50%以上のhitを再構成出来た飛跡を正解と定義)

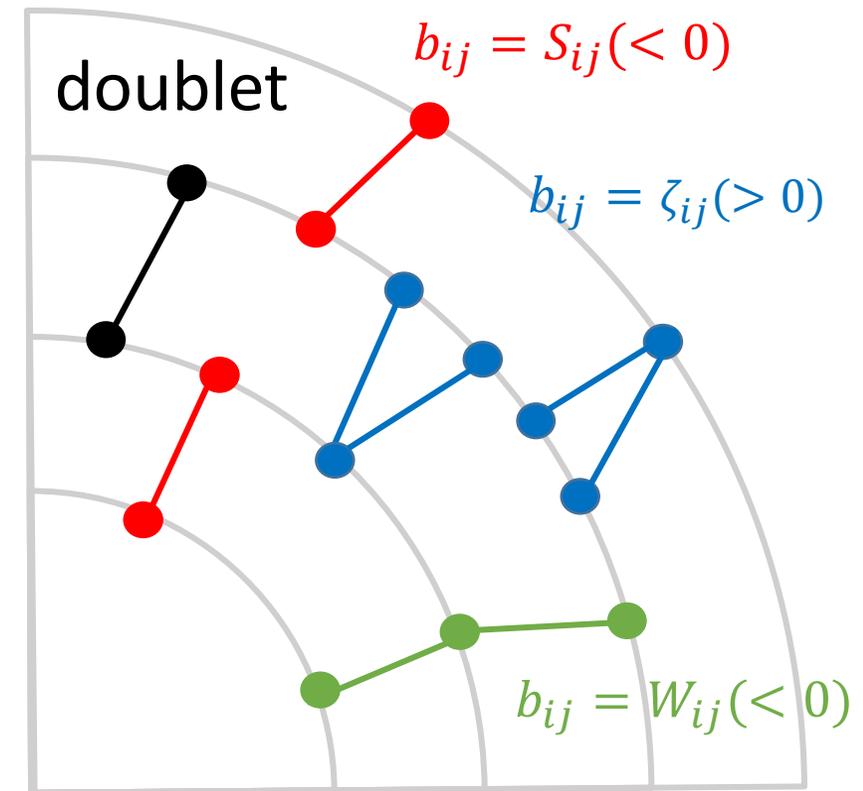
$$efficiency = \frac{\text{再構成された正解のtrack}}{\text{正解のtrack}}$$

$$purity = \frac{\text{再構成された正解のtrack}}{\text{再構成されたtrack}}$$

- 結果**
- 100% of HL-LHCにおいてもefficiency 約94%, purity 約86%で再構成出来た
 - QUBO生成の時間が大きな課題

QUBOの設定 -doublet model-

- 2つのヒットをつなげたdoubletをビットに設定
- triplet modelと比べて、QUBO作成の時間の短縮や短い飛跡への応用を期待
- 始点や終点を共有するdoublet同士には高いエネルギーを与え、間の1点を共有し曲率に近いdoublet同士や間の点を共有せず曲率が近いdoublet同士には低いエネルギーを与える



$$H(a, b, D) = \sum_i^N a_i D_i + \sum_i^N \sum_{j < i}^N S_{ij} D_i D_j + \sum_i^N \sum_{j < i}^N W_{ij} D_i D_j + \sum_i^N \sum_{j < i}^N \zeta_{ij} D_i D_j$$

$D_i \in \{0, 1\}$
(各doubletに対応)

hitを共有しない二つのdoublet

間のhitを共有する二つのdoublet

始点や終点を共有するdoublet

QUBOに入れるdoubletは曲率と z_0 で制限する

QUBOのパラメータ -doublet model-

$$H(a, b, D) = \sum_i^N a_i D_i + \sum_i^N \sum_{j < i}^N S_{ij} D_i D_j + \sum_i^N \sum_{j < i}^N W_{ij} D_i D_j + \sum_i^N \sum_{j < i}^N \zeta_{ij} D_i D_j$$

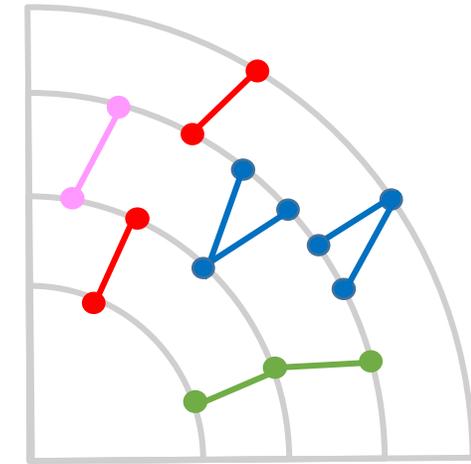
$a = (H_i + 1)^2$
 ホールの数が少ない方がエネルギーが低い

hitを共有しない二つのdoublet

間のhitを共有する二つのdoublet

始点や終点を共有するdoublet

$$\zeta = 5$$



$P_T^1, P_T^2 > 0.75 [GeV], \Delta\theta < 0.2, \Delta P_T < 0.6 [GeV] \dots \textcircled{1}$

$$W_{ij} = \begin{cases} C_w w_{ij} (C_w > 1) & \textcircled{1} + 2\text{つのdoubletが5層目以下にある} \\ w_{ij} & \textcircled{1} + 1\text{つのdoubletが5層目より上にある} \\ 5 & \text{other} \end{cases}$$

$$w_{ij} = -C_1 \left(e^{-\left(\frac{\Delta\theta}{C\theta}\right)^2} + e^{-\left(\frac{\Delta\left(\frac{1}{R}\right)}{C_R}\right)^2} \right)$$

$\Delta\theta, \Delta\left(\frac{1}{R}\right)$ が小さい方がエネルギーが低い

2つのdoubletを構成する3点

原点+原点に近い2点

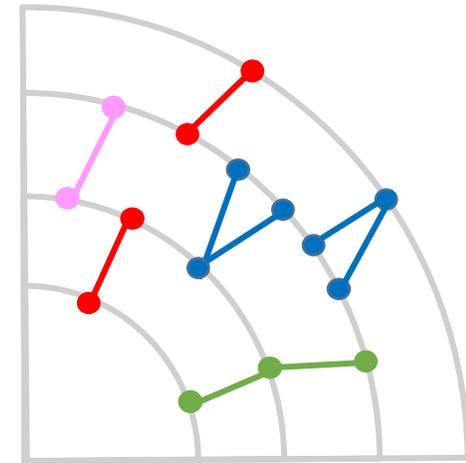
QUBOのパラメータ -doublet model-

$$H(a, b, D) = \underbrace{\sum_i^N a_i D_i}_{\text{hitを共有しない二つのdoublet}} + \underbrace{\sum_i^N \sum_{j<i}^N S_{ij} D_i D_j}_{\text{間のhitを共有する二つのdoublet}} + \underbrace{\sum_i^N \sum_{j<i}^N W_{ij} D_i D_j}_{\text{始点や終点を共有するdoublet}} + \sum_i^N \sum_{j<i}^N \zeta_{ij} D_i D_j$$

hitを共有しない二つのdoublet

間のhitを共有する二つのdoublet

始点や終点を共有するdoublet

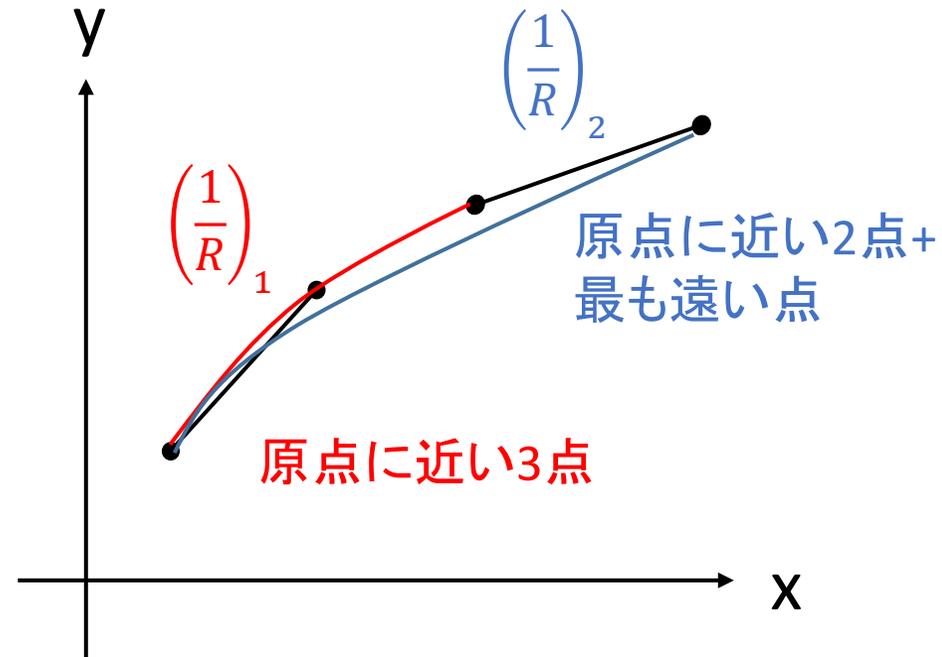


$$S_{ij} = \begin{cases} C_w S_{ij} \\ S_{ij} \end{cases} \quad S_{ij} = -C_2 \frac{\left\{ 1 - \frac{1}{2} (P_{ij}^R{}^2 + P_{ij}^\theta{}^2) \right\}}{d_{ij}} \quad \text{2つのdoubletが内側にある方がエネルギーが低い}$$

$$P_{ij}^\theta = \frac{\sqrt{(\theta_i - \theta_{mid})^2 + (\theta_j - \theta_{mid})^2}}{C^\theta} \quad \Delta\theta \text{が小さい方がエネルギーが低い}$$

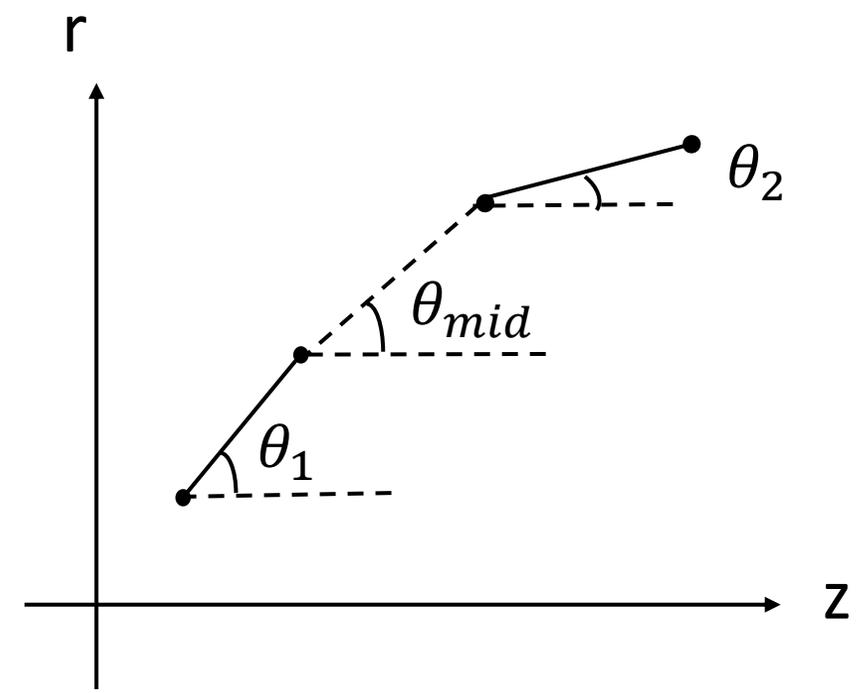
$$P_{ij}^R = \begin{cases} \frac{\left| \left(\frac{1}{R}\right)_1 - \left(\frac{1}{R}\right)_2 \right|}{C^R} \left(* \frac{1}{2} \right), P_T^1 < P_T^2 \quad (P_T^1 > P_T^2) \\ 10, & \text{low Pt or zigzag} \end{cases} \quad \Delta\left(\frac{1}{R}\right) \text{が小さい方がエネルギーが低い}$$

QUBOのパラメータ -曲率・ $\Delta\theta$ の定義-



$$P_{ij}^R = \begin{cases} \frac{\left| \left(\frac{1}{R}\right)_1 - \left(\frac{1}{R}\right)_2 \right|}{C^R} \left(* \frac{1}{2} \right), & P_T^1 < P_T^2 \quad (P_T^1 > P_T^2) \\ 10, & \text{low Pt or zigzag} \end{cases}$$

$\begin{cases} P_T^1, P_T^2 \text{ のどちらも } 0.6 [\text{GeV}] \text{ 以下かつ } P_T^1 * P_T^2 < 0 \\ P_T^1, P_T^2 \text{ のどちらかが } 0.75 [\text{GeV}] \end{cases}$



$$P_{ij}^\theta = \frac{\sqrt{(\theta_i - \theta_{mid})^2 + (\theta_j - \theta_{mid})^2}}{C^\theta}$$

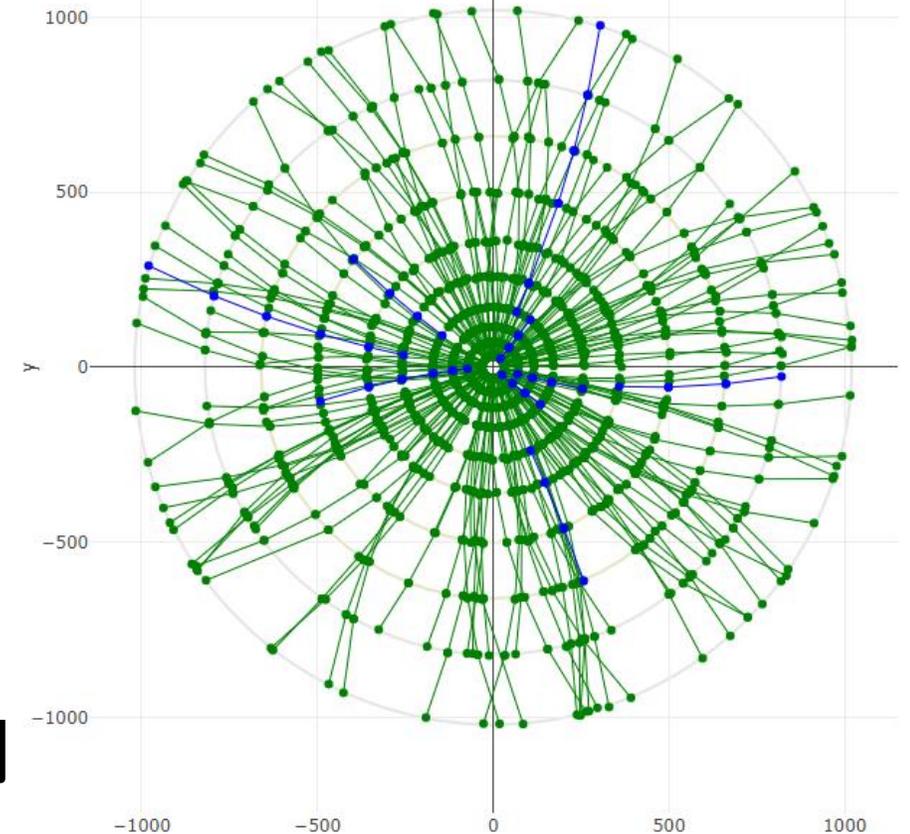
doublet modelを用いた飛跡再構成の結果

- $P_t > 1\text{GeV}$ かつ4hit以上の飛跡を結果の評価に使用
- QUBOを分割せずに一括で問題を解いた

結果

- efficiencyは約95%,purityは約100%
- アニーリング時間 約450[ms]
QUBOの生成時間 約13[s]
- QUBOの最適化によるefficiency, purityの向上、分割によるアニーリング時間・QUBOの生成時間短縮が見込まれる

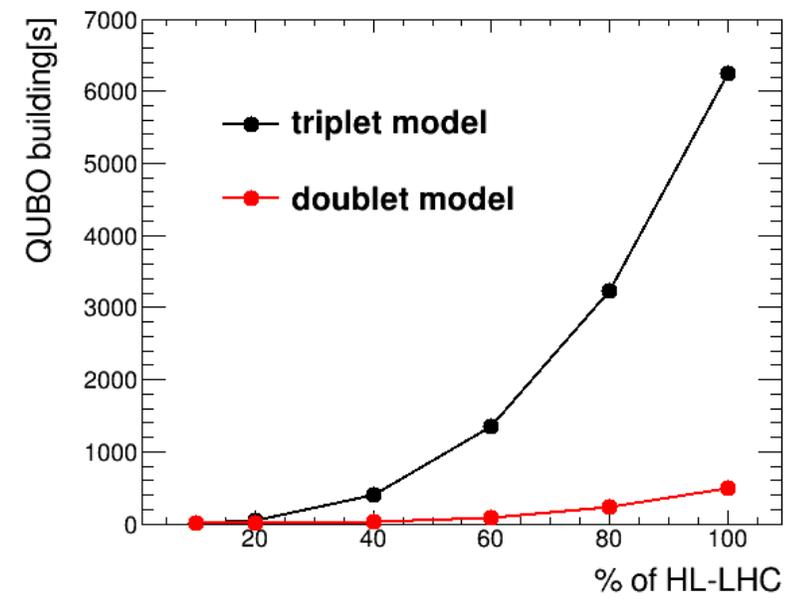
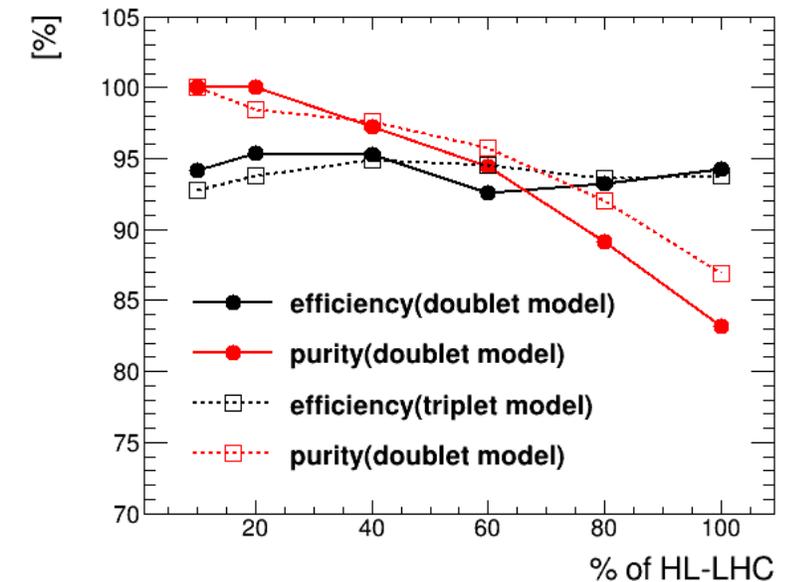
131particles
20% of HL-LHC
約9,500doublets



- 間違った飛跡
- 再構成された飛跡
- 再構成されなかった飛跡

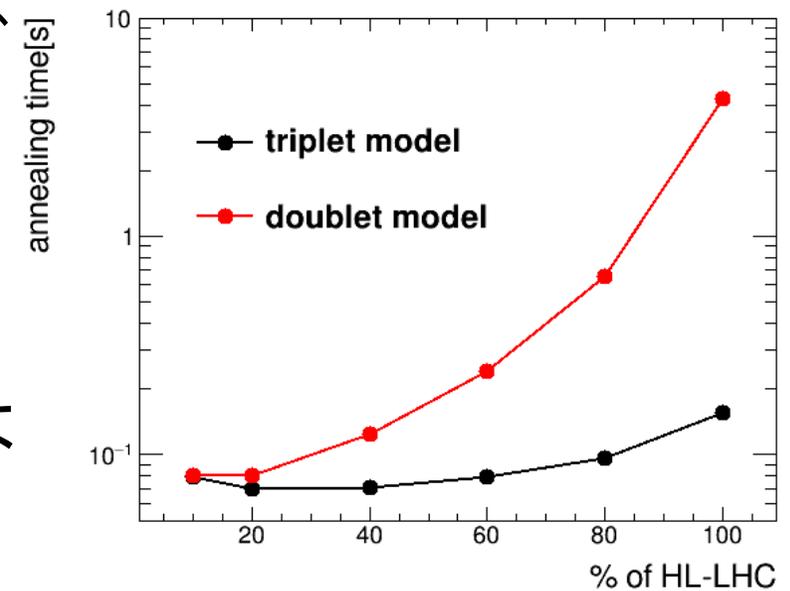
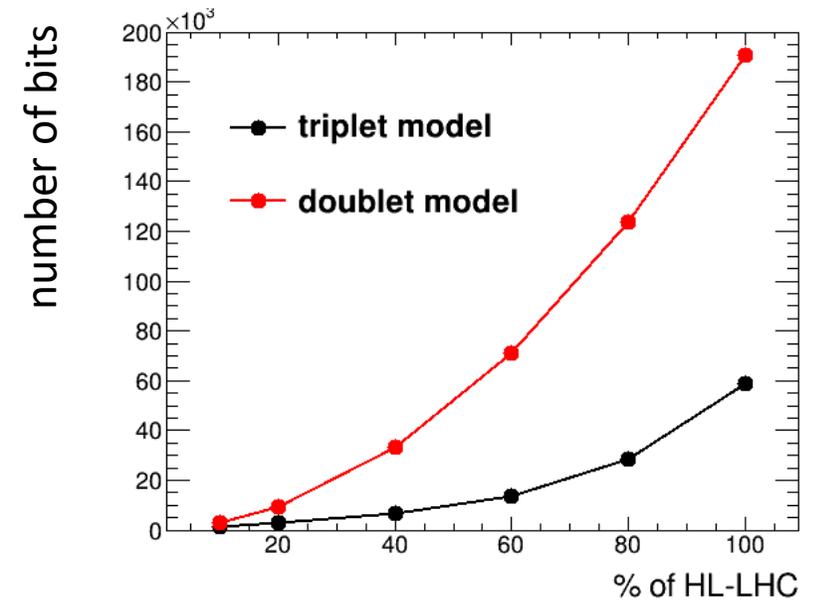
doublet modelを用いた飛跡再構成の結果

- AEのビット数の制限により、 η を2分割、 ϕ を8分割して解いた($\eta=0.01$ 、 $\phi=0.1$ のオーバーラップ)
- どのdensityにおいても、90%以上のefficiencyと80%以上のpurityで再構成可能
- efficiencyは安定しているが、purityはdensityに応じて少しずつ悪化
- 分割をしない場合にQUBOの生成にかかる時間(doublet(+ triplet, quadruplet)の生成・選別、QUBOの係数の計算)を計測
- doublet modelはtriplet modelと比較してQUBOを生成する時間が大幅に減少



doublet modelを用いた飛跡再構成の結果

- それぞれのmodelにおける分割をしない場合のQUBOのビット数
- ビット数はdensityに応じて多項式的に増加
- doublet modelはtriplet modelと比較してQUBOのビット数が多い
- η を2分割、 ϕ を8分割した場合に必要なアニーリング時間を比較(分割したQUBOの中の最大値)
- 同じ分割数の場合、doublet modelの方が必要なアニーリング時間は長くなる
- QUBOの分割数を増やすことで、アニーリング時間はさらに短縮可能



まとめ・今後の展望

- アニーリングマシンは組み合わせ最適化問題を高速に解くことが可能な技術であり、その性能は近年急速に向上している
- 現在様々なアニーリングマシンが開発されており、今回は全結合かつビット数の多いFixstars Amplify Annealing Engineを利用
- tripletをビットとしたQUBOでは、どのdensityにおいても85%以上のefficiencyとpurityで再構成することが可能
- doubletをビットとしたQUBOを設定
 - 100% of HL-LHCの場合に、80%以上のefficiencyとpurityで再構成することが出来た
 - triplet modelと比較してQUBO生成の時間を大幅に短縮することが出来た

今後の展望

- doublet modelの改善・性能向上、短い飛跡など特殊な飛跡への応用可能性の検討
- アニーリングマシンのその他の応用可能性の検討

Back Up

QUBOの設定 -triplet model-

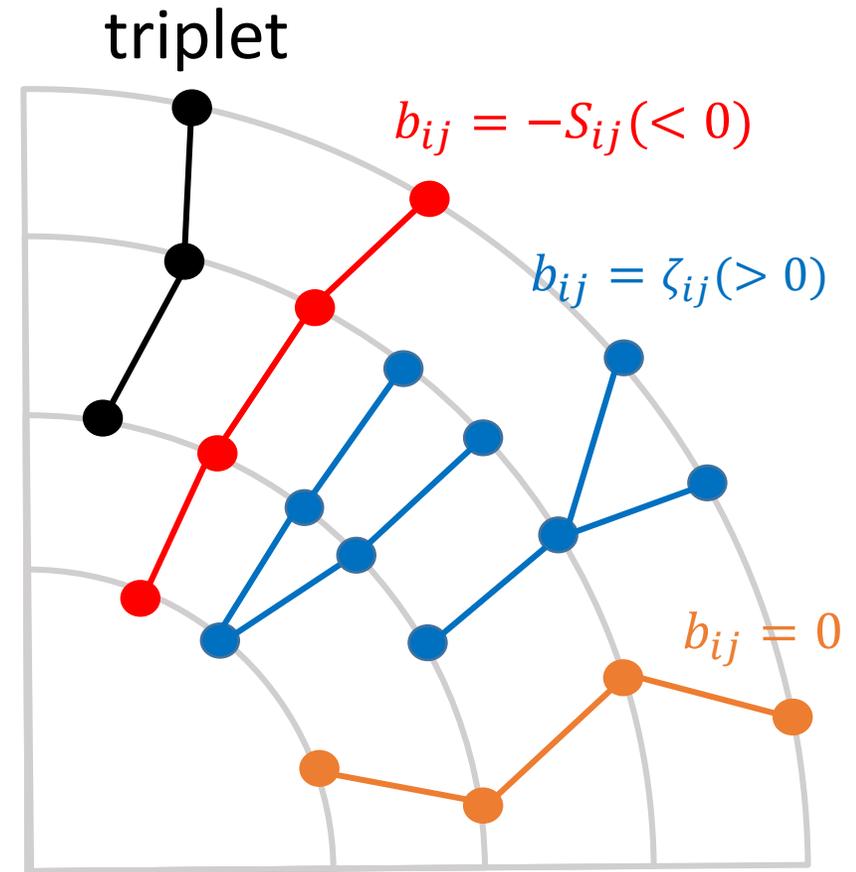
- アニーリングマシンへの入力はQUBO(Quadratic Unconstrained Binary Optimization)形式で行う
- 3つのヒットをつなげたtripletをビットに設定したmodel
- 始点や終点を共有するtriplet同士には高いエネルギーを与え、間の2点を共有し曲率が近いtriplet同士には低いエネルギーを与える

$$H(a, b, T) = \sum_i^N a_i T_i - \sum_i^N \sum_{j < i}^N S_{ij} T_i T_j + \sum_i^N \sum_{j < i}^N \zeta_{ij} T_i T_j$$

$T_i \in \{0,1\}$
(各tripletに対応)

2つのtripletが間の2点を共有し曲率が近い

2つのtripletが始点や終点を共有する



QUBOに入れるtripletとquadrupletは曲率やz方向の角度で制限する

QUBOのパラメータ -triplet model-

$$H(a, b, T) = \underbrace{\sum_i^N a_i T_i}_{\text{green}} - \underbrace{\sum_i^N \sum_{j < i}^N S_{ij} T_i T_j}_{\text{red}} + \underbrace{\sum_i^N \sum_{j < i}^N \zeta_{ij} T_i T_j}_{\text{blue}}$$

$$a = C_1 \left(1 - e^{-\frac{d_0}{C d_0}}\right) + C_2 \left(1 - e^{-\frac{z_0}{C z_0}}\right)$$

d_0, z_0 が小さい方がエネルギーが低い

$$\zeta = 1$$

$$S_{ij} = C_3 \frac{1 - C_4 (P_{ij}^R + P_{ij}^\theta)}{(1 + H_i + H_j)^{C_5}}$$

ホール数が少ない方がエネルギーが低い

$$P_{ij}^R = \frac{\left| \left(\frac{1}{R}\right)_i - \left(\frac{1}{R}\right)_j \right|}{C^R}$$

曲率の差が小さい方がエネルギーが低い

$$P_{ij}^\theta = \frac{\max(\delta\theta_i, \delta\theta_j)}{C^\theta}$$

2つのdoubletの $\delta\theta$ が小さい方がエネルギーが低い

HL-LHC環境における飛跡再構成の結果

652particles

100% of HL-LHC 約59,000 triplets

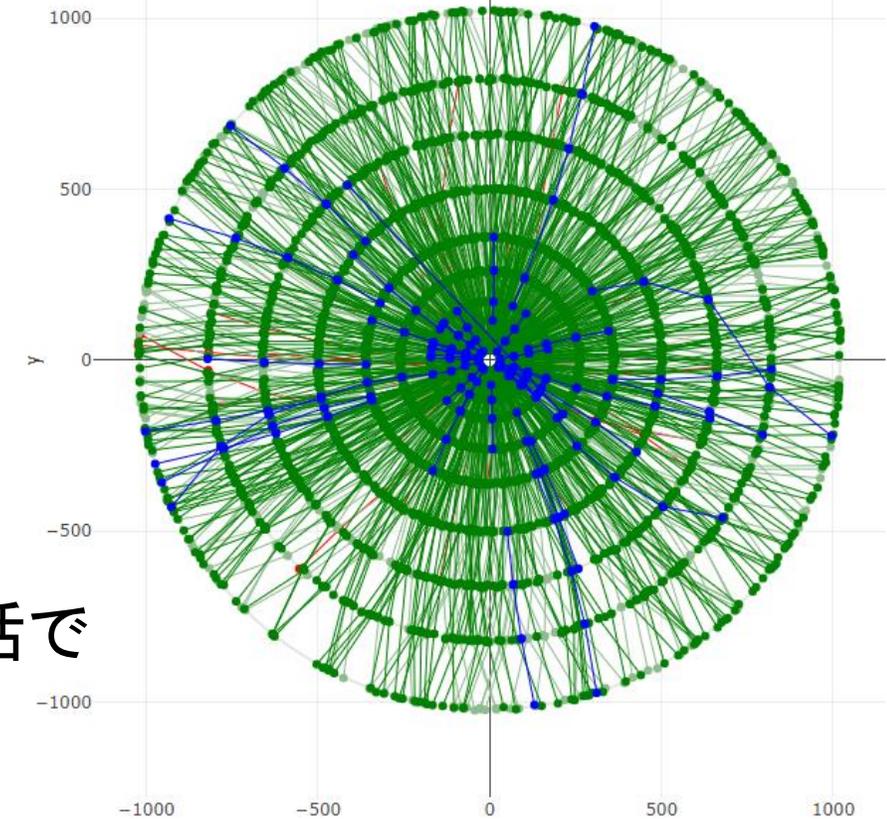
- Pt>1GeVかつ4hit以上の飛跡を結果の評価に使用
- 結果の評価には以下のefficiencyとpurityを用いる
(50%以上のhitを再構成出来た飛跡を正解と定義)

$$efficiency = \frac{\text{再構成された正解のtrack}}{\text{正解のtrack}}$$

$$purity = \frac{\text{再構成された正解のtrack}}{\text{再構成されたtrack}}$$

結果

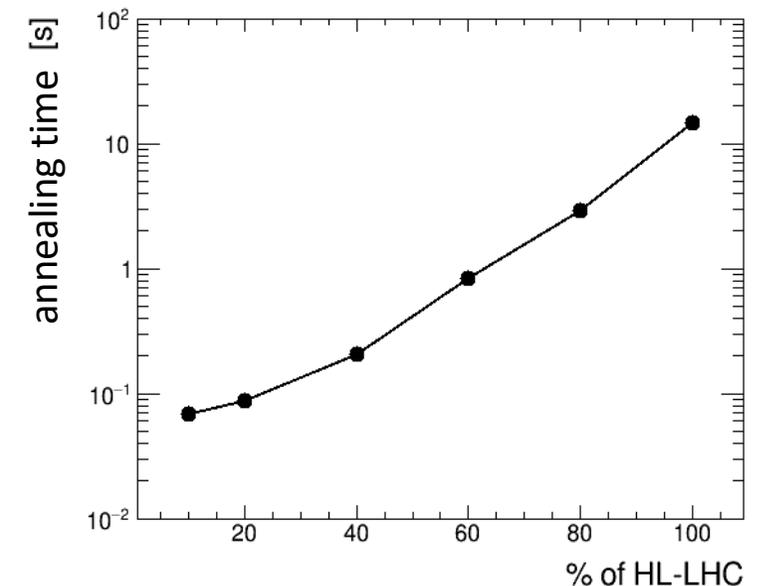
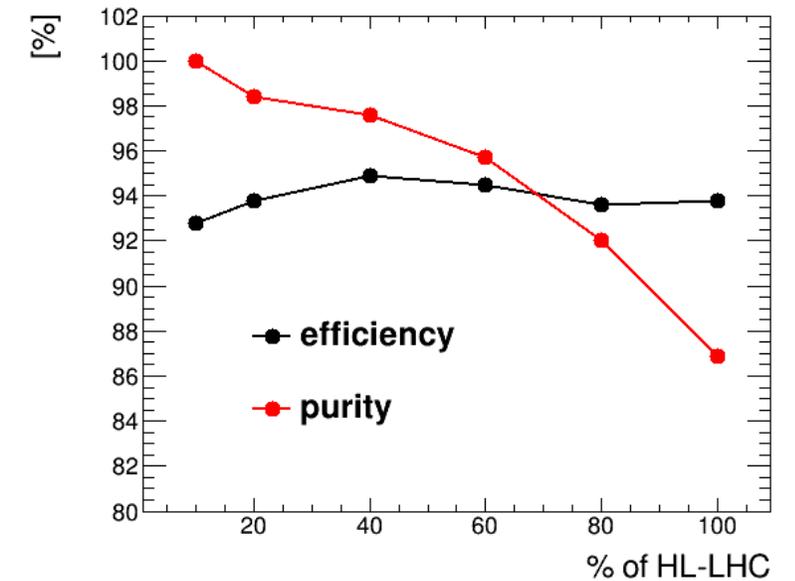
- 100% of HL-LHCの場合でも、QUBOを分割せずに一括で解くことが可能
- **efficiencyは約94%、purityは約86%**
- アニーリング時間 約75[s]
- QUBOの生成時間 約100[分]



- 間違った飛跡
- 間違った飛跡(truth由来)
- 再構成された飛跡(low Pt)
- 再構成された飛跡(High Pt)
- 再構成されなかった飛跡

HL-LHC環境における飛跡再構成の結果

- どのdensityにおいてもefficiencyとpurityは85%以上
 - efficiencyは93%前後で一定、purityはdensityが大きくなるにつれて少しずつ悪化
 - 各densityにおける1回のアニーリングに必要な時間を計測
 - ただし、1回のアニーリングの場合、60%以上のときの再構成率は下がる
 - densityが大きくなるにつれて必要な時間は指数関数的に増加
- QUBOの分割によってefficiency, purityは数%改善、アニーリング時間、QUBOの生成時間は短縮可能



LHCデータを用いた飛跡再構成の結果

- LHCで取得した実データ1eventを使用
- 現状の飛跡再構成に使われたClusterを入力
- $P_t > 0.5 \text{ GeV}$ かつ5Cluster以上の飛跡を結果の評価に使用
- 結果の評価には以下のpurityとefficiencyを用いる

$$\text{efficiency} = \frac{\text{再構成された正解のdoublet}}{\text{正解のdoublet}}$$
$$\text{purity} = \frac{\text{再構成された正解のdoublet}}{\text{再構成されたdoublet}}$$

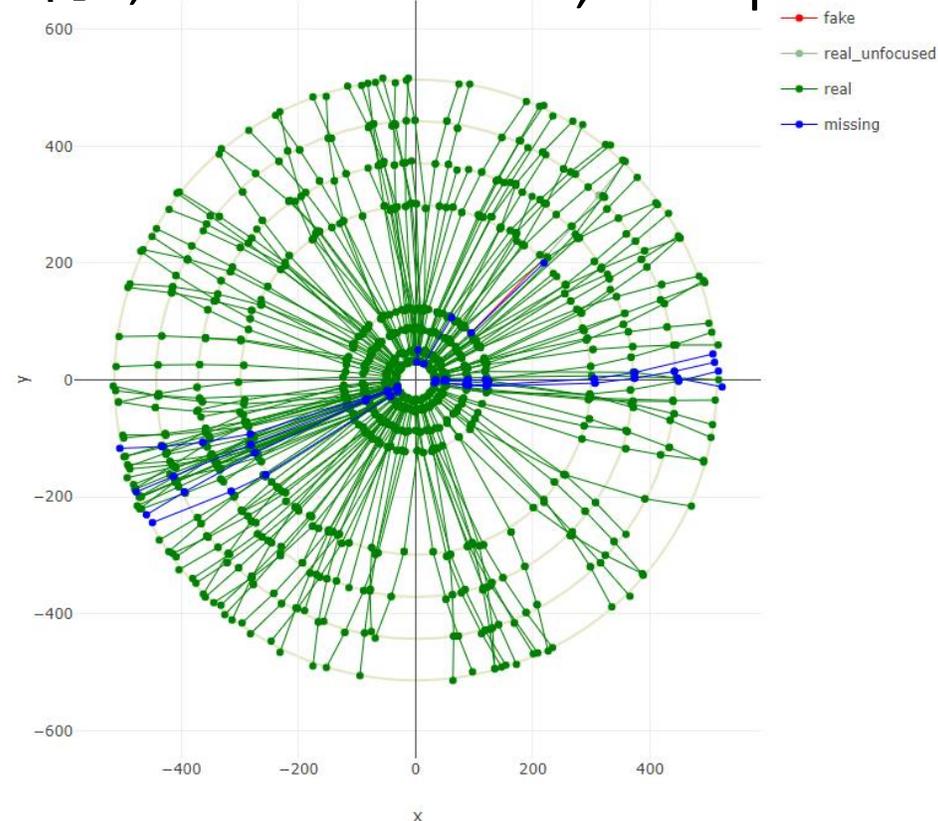
結果

- 95%以上のpurityとefficiencyで再構成可能
- アニールリング時間は $\sim 100[\text{ms}]$

360particles

約2,000Clusters

2,684 triplets



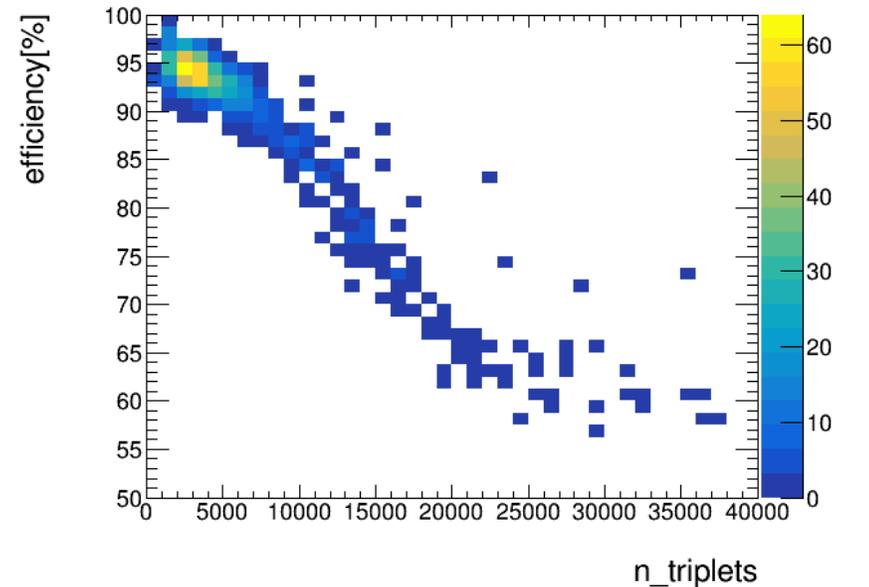
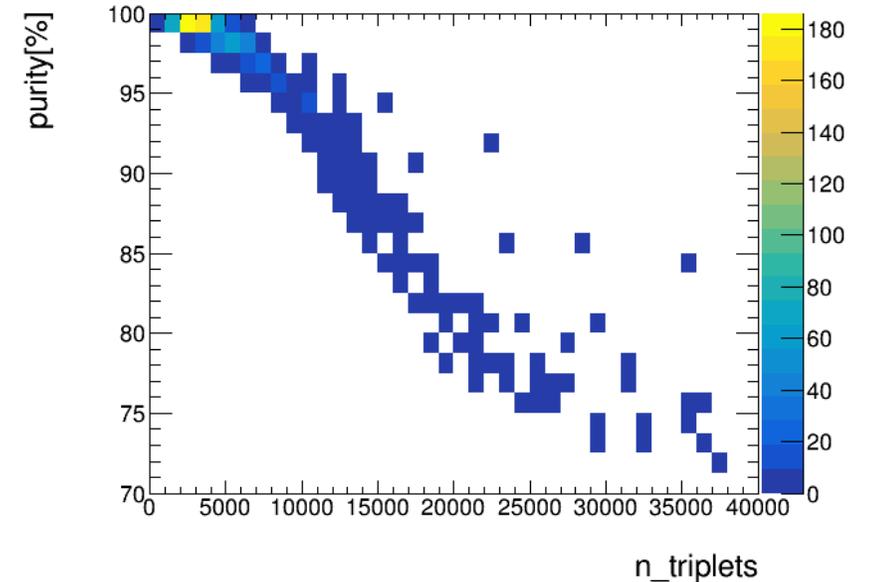
- 間違った飛跡
- 再構成された飛跡(High Pt)
- 再構成された飛跡(low Pt)
- 再構成されなかった飛跡

LHCデータを用いた飛跡再構成の結果

- LHCの実データ1000eventを使用して飛跡再構成を行った

結果

- tripletの数が5,000以下であればpurityとefficiencyは90%以上を保つ
- purityとefficiencyにはtripletの数と大きな相関がある
- QUBOの分割によって常に5,000bit以下に抑えることで性能の安定が期待できる

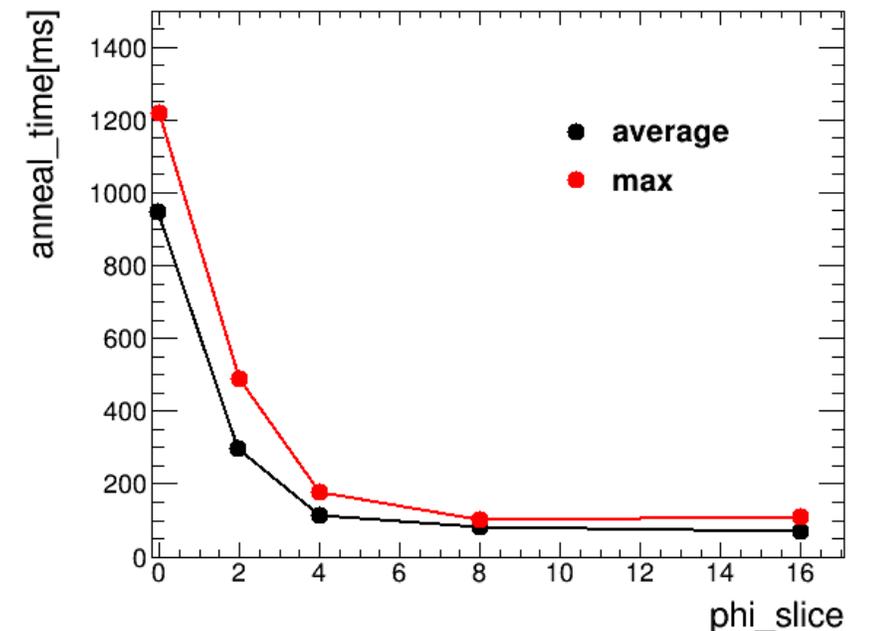
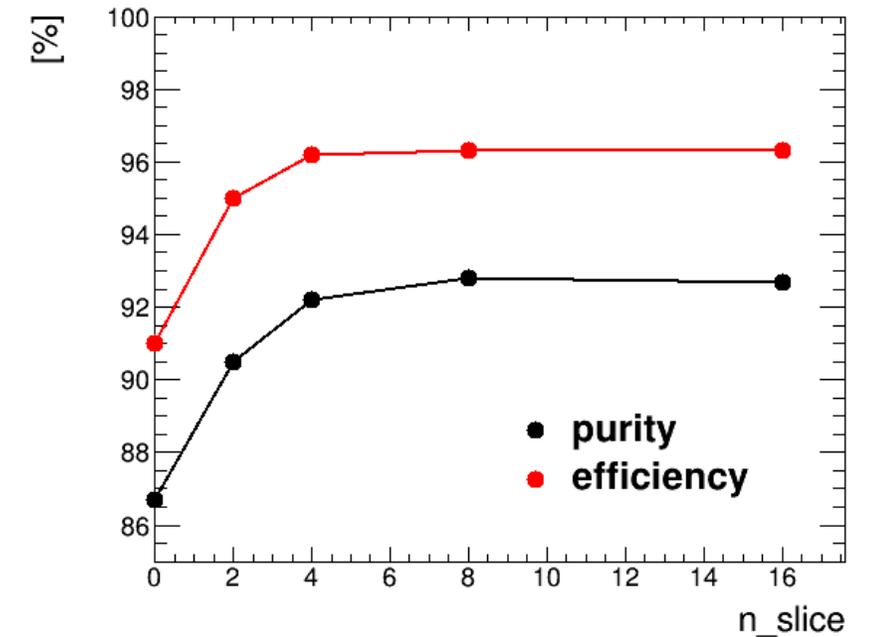


QUBOの分割による性能向上

- 100% of HL-LHCの粒子数でQUBOの分割を行った
- η を4分割、 ϕ を0,2,4,8,16分割している
- それぞれ、 $\eta=0.01$ 、 $\phi=0.1$ のオーバーラップを入れている

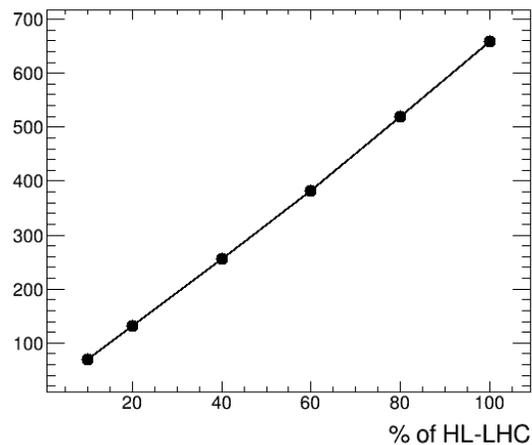
結果

- 分割によってpurityとefficiencyは向上
- アニーリング時間も大幅に減少
- η を4分割、 ϕ を4分割することで性能は約+5%、時間は約1/6に短縮することが出来る

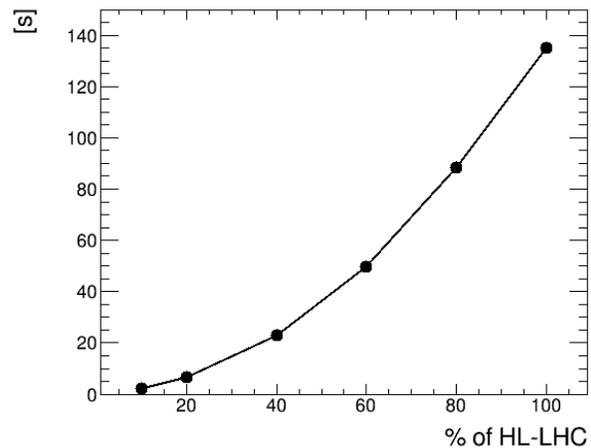


時間について -triplet model-

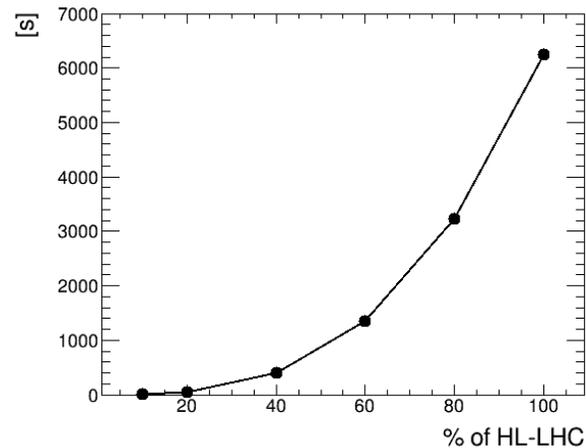
N of tracks



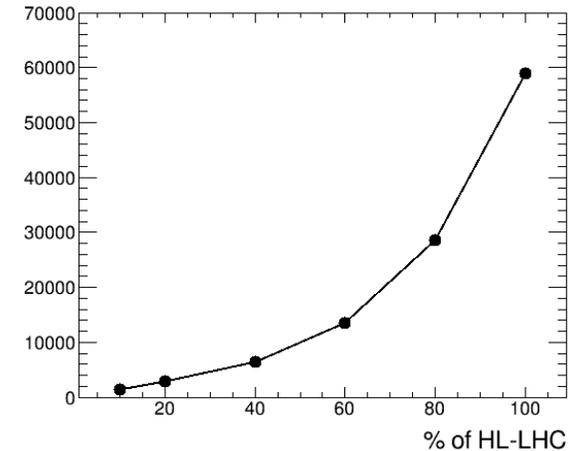
doublet making



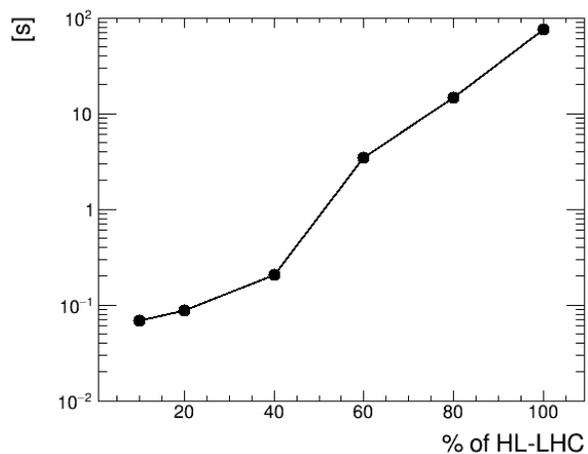
generate QUBO



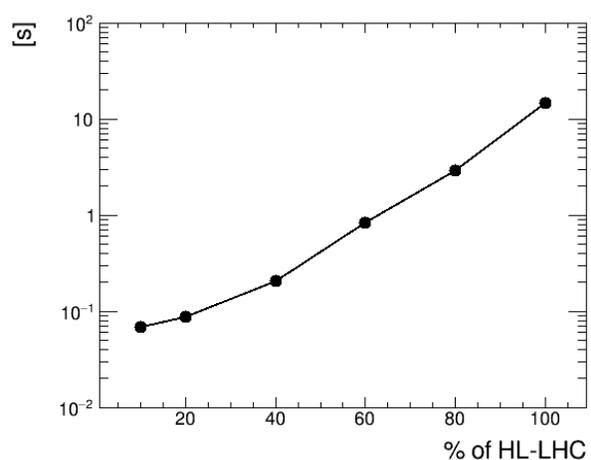
N of triplets



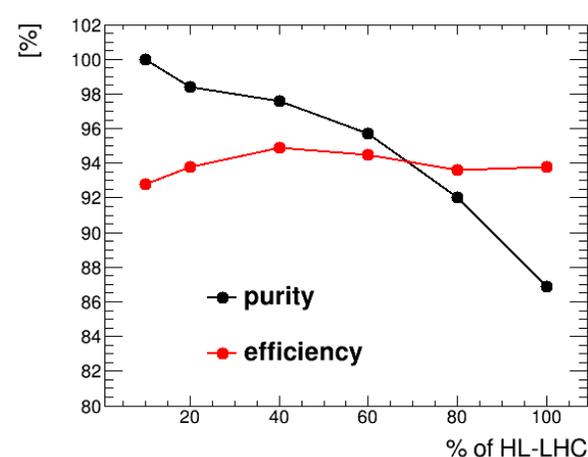
anneal_time



anneal_time_min



efficiency, purity

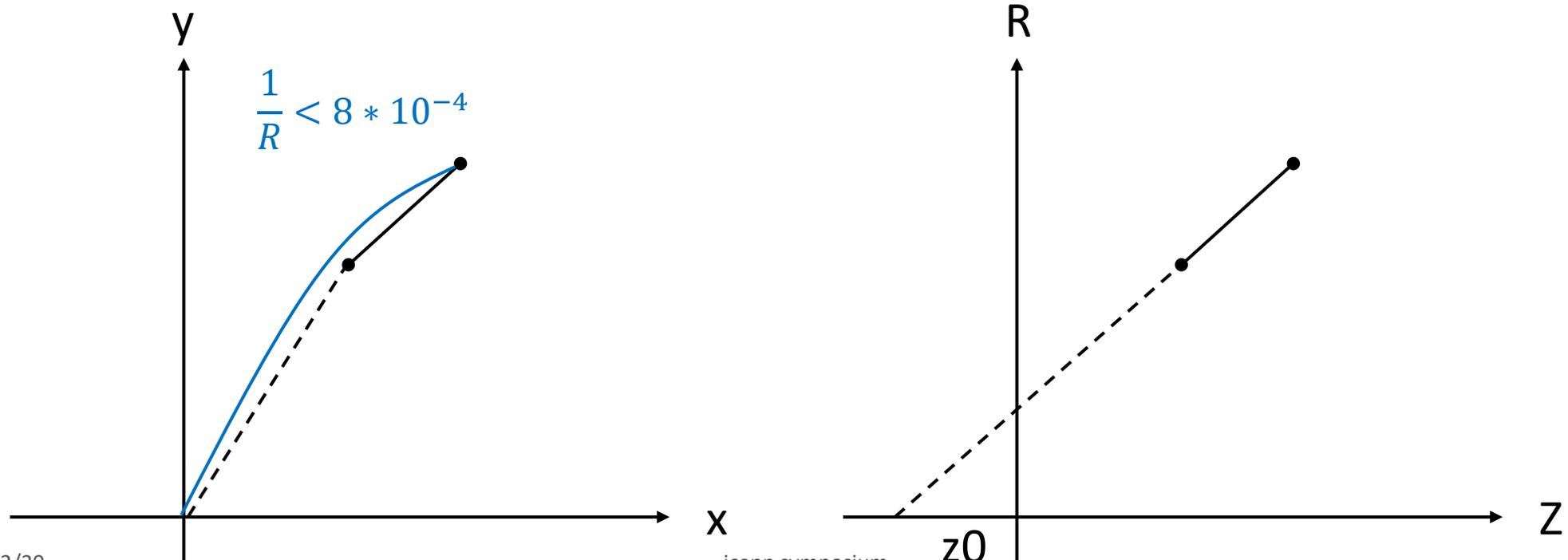


preselection -doublet model-

- 基本的なdoubletの作り方はtriplet modelのときと同じ

doubletの選別

- 原点を通ると仮定して曲率を求めて、 $\frac{1}{R} < 8 * 10^{-4} (P_T > 0.75 GeV)$ でカット
- z_0 がbeamspot_width(55/2mm)を超えるものはカット



doublet modelを用いた飛跡再構成の結果

- AEのビット数の制限により、 η を2分割、 ϕ を8分割して解いた($\eta=0.01$ 、 $\phi=0.1$ のオーバーラップ)

結果

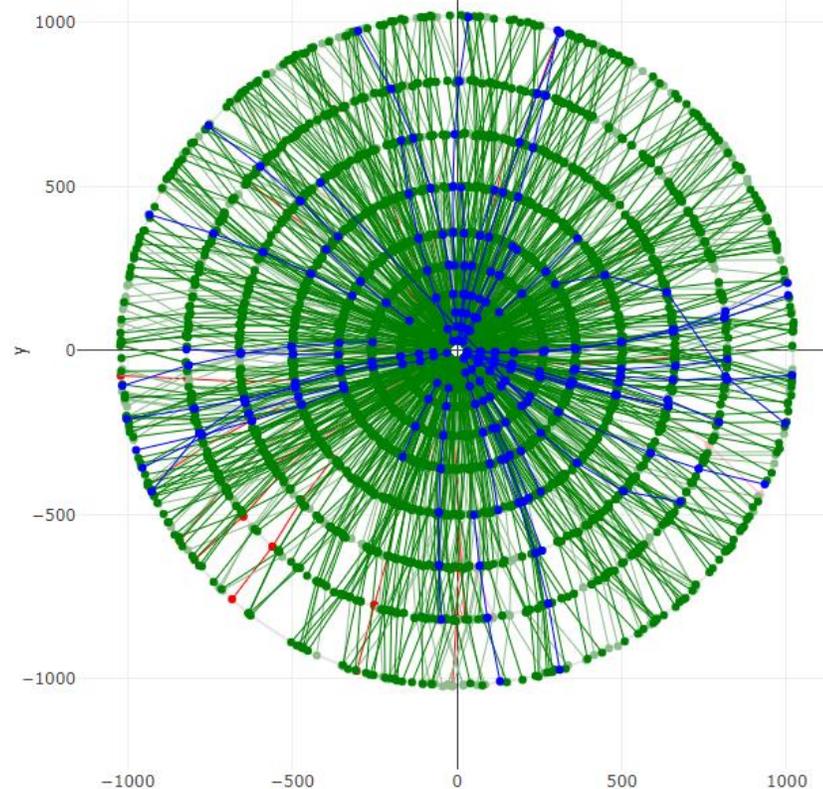
- 100% of HL-LHCにおいて、**efficiencyは約94%**
purityは約83%

- アニーリング時間 約4.2[s]

QUBOの生成時間 約290[s](分割したQUBOの中の最大値)

- QUBOの最適化によるefficiency, purityの向上、分割方法の改善・さらなる分割によるアニーリング時間・QUBOの生成時間短縮が見込まれる

652particles
100% of HL-LHC | 約190k doublets



- 間違った飛跡
- 間違った飛跡(truth由来)
- 再構成された飛跡(High Pt)
- 再構成された飛跡(low Pt)
- 再構成されなかった飛跡

現状かかっている時間

- 20% of HL-LHC
- $P_t > 1\text{GeV}, \geq 4\text{Hit}$
- d0z0 cut

	time[s]
create doublet	6.8
filter doublet	4.31



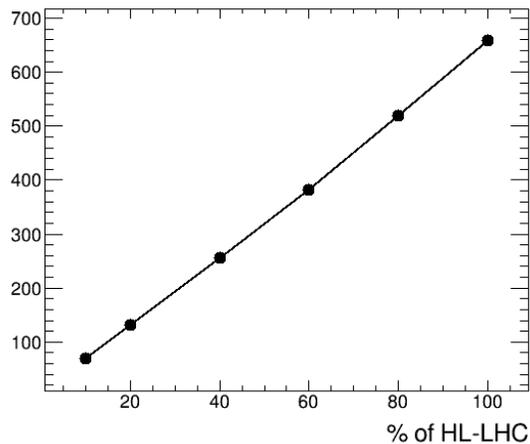
	time[s]
QUBO building	2.20



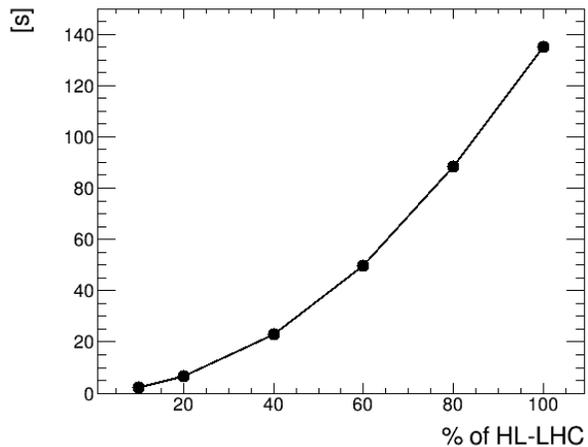
	time[s]
Annealing time	0.46

時間について -doublet model-

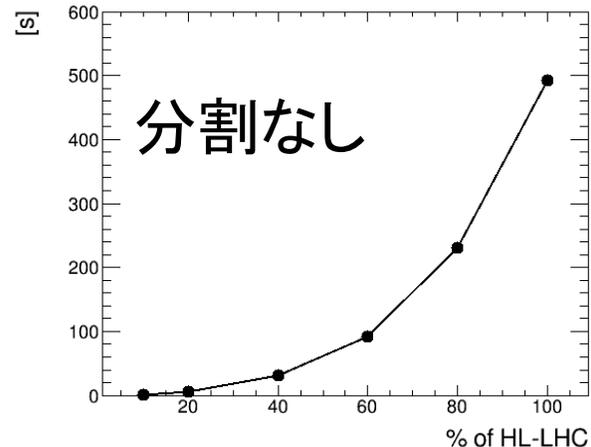
N of tracks



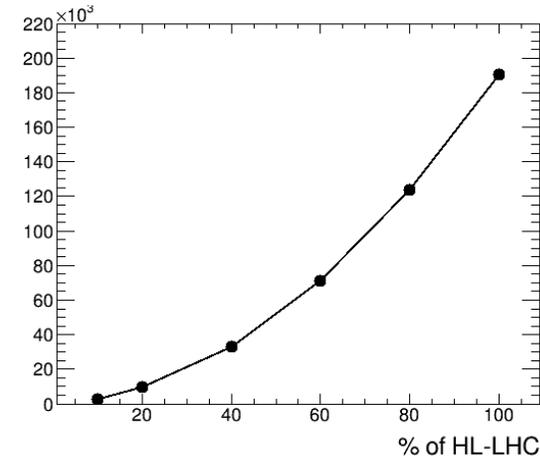
doublet making



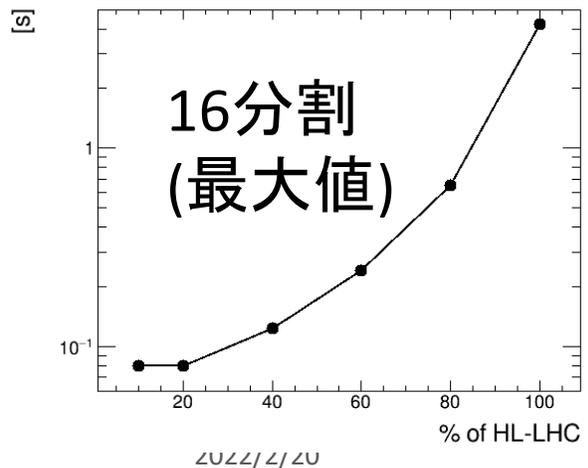
generate QUBO



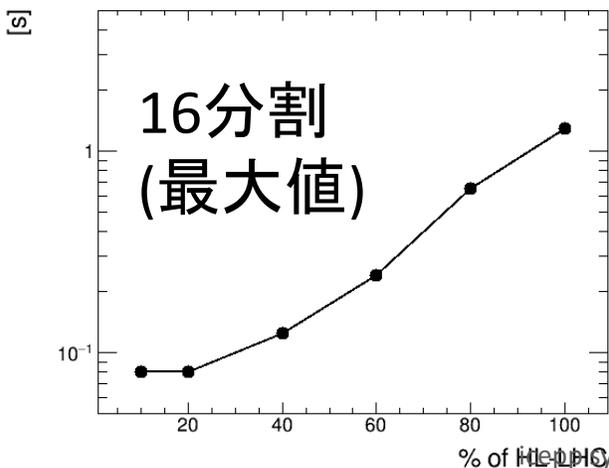
N of doublets



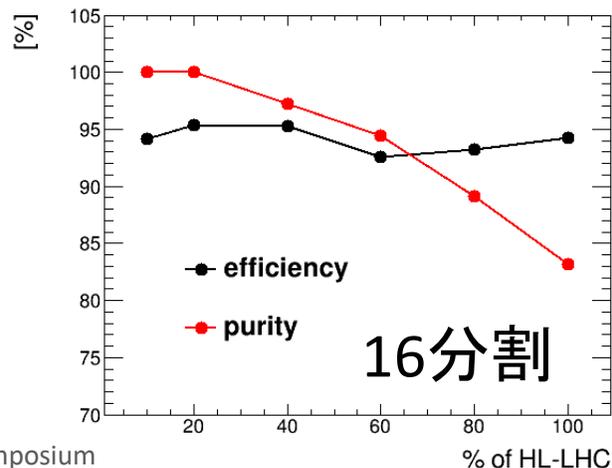
anneal_time



anneal_time_min

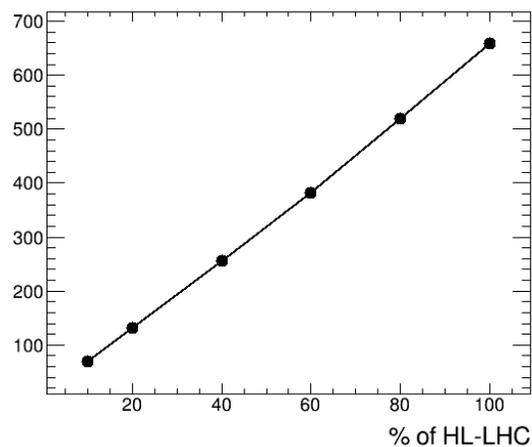


efficiency,purity

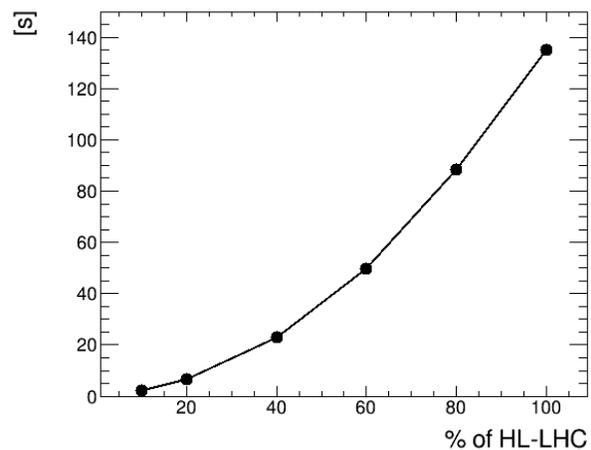


triplet model vs doublet model

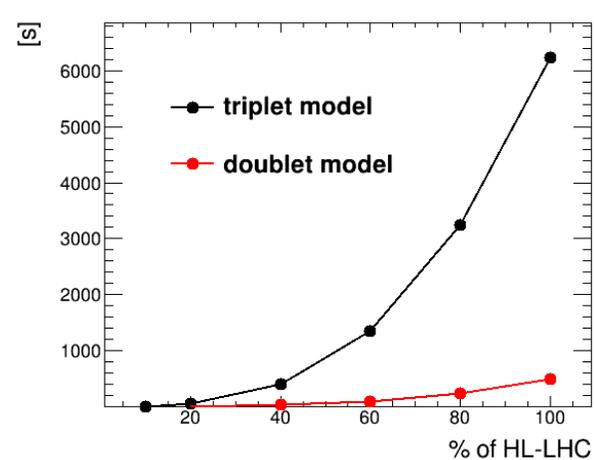
N of tracks



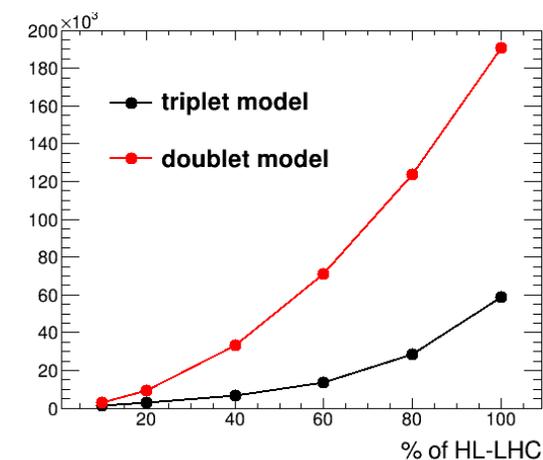
doublet making



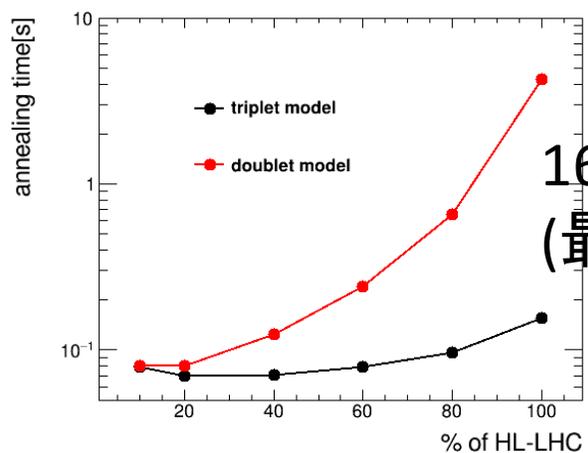
generate QUBO



N of bits

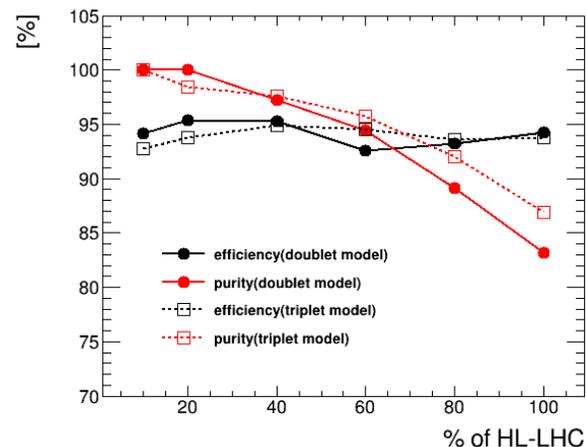


anneal_time



16分割
(最大值)

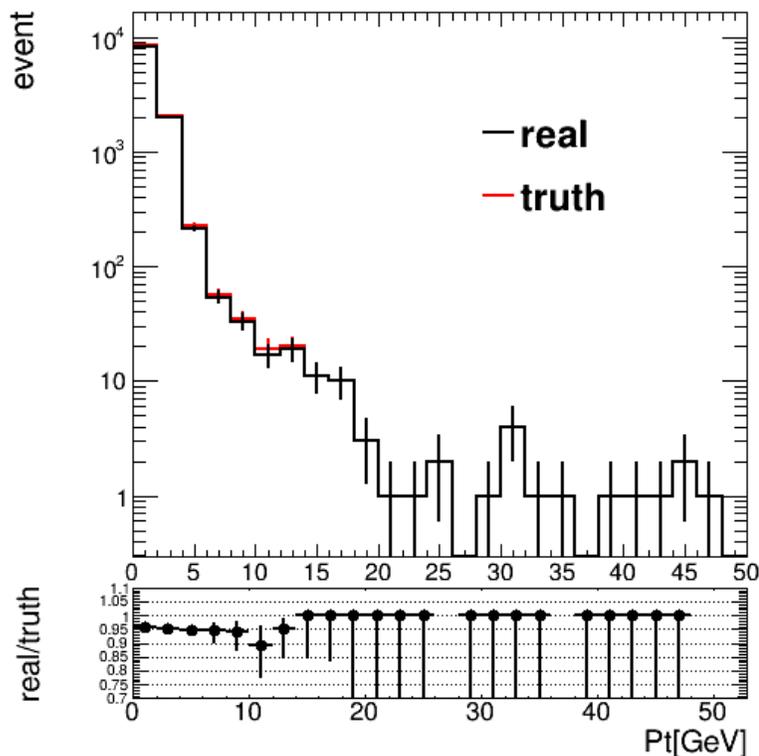
efficiency, purity



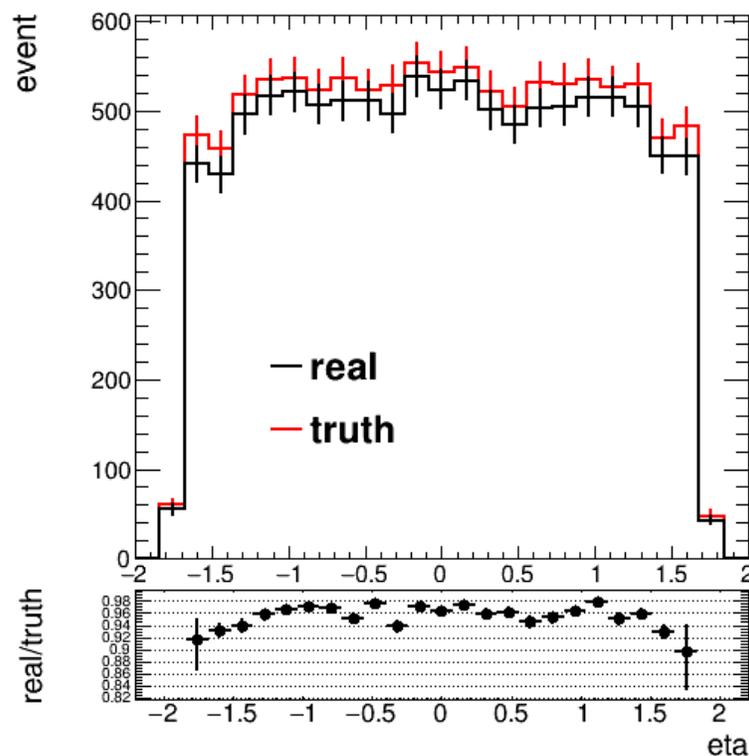
efficiencyの変数依存性

- 20% of HL-LHC、 $P_t > 1\text{GeV}$, $\geq 4\text{Hit}$
- 100event、11019tracks
- real:10551本、truth:11019本

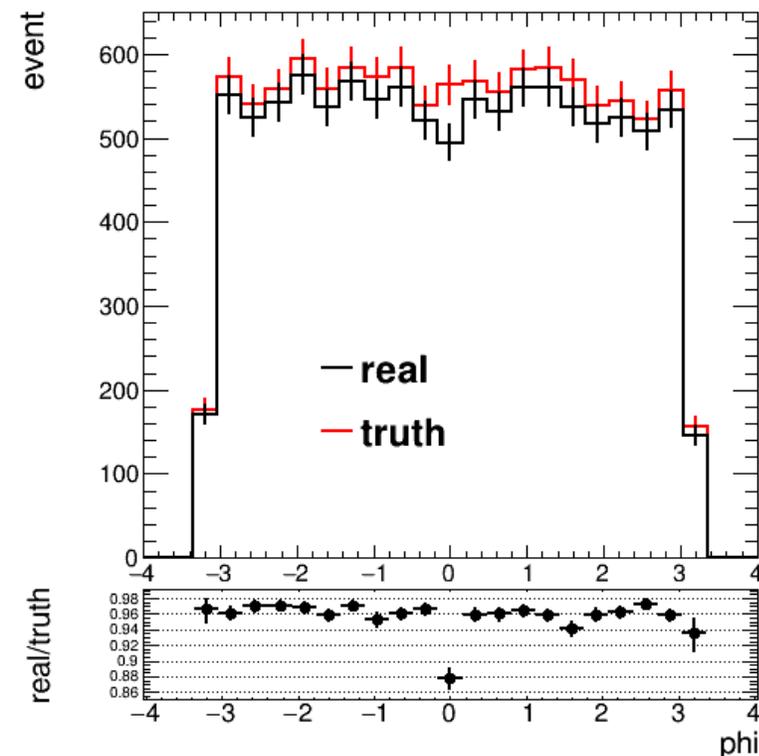
• P_T



• η

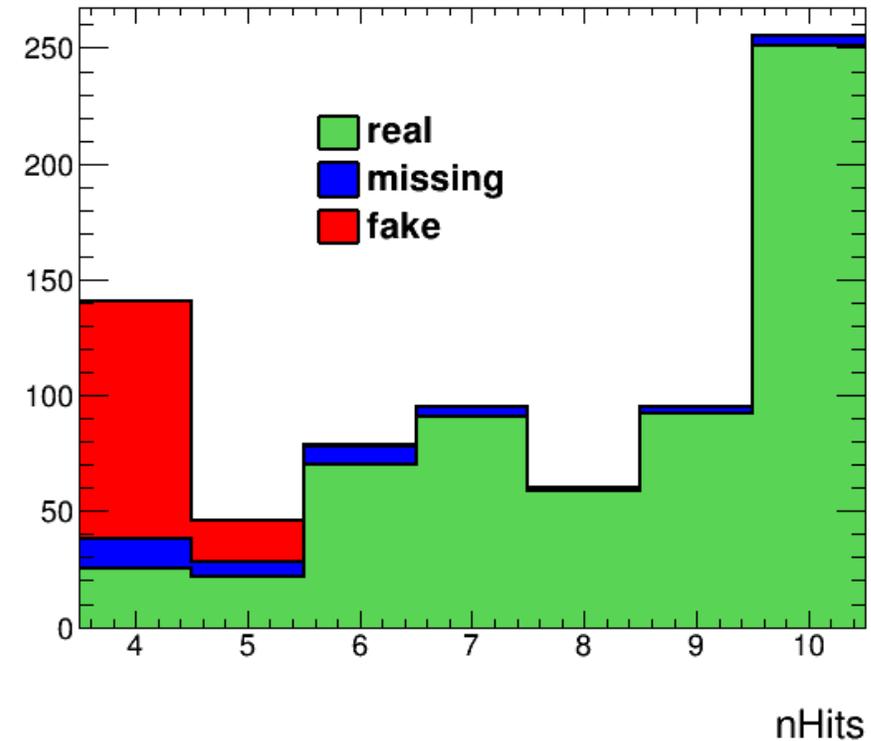
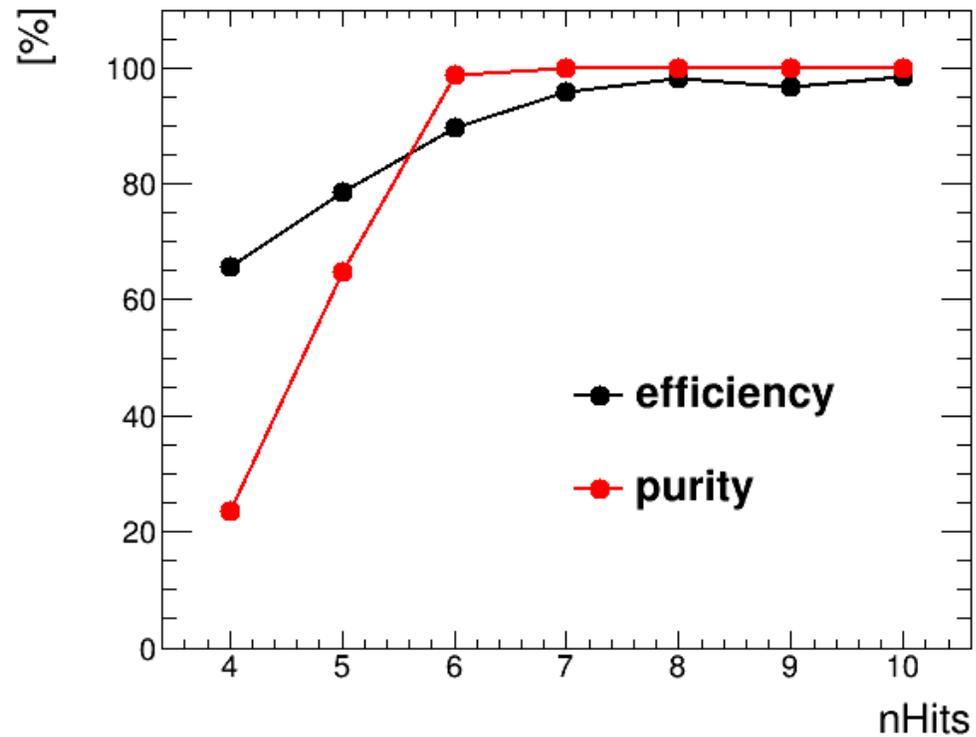


• ϕ



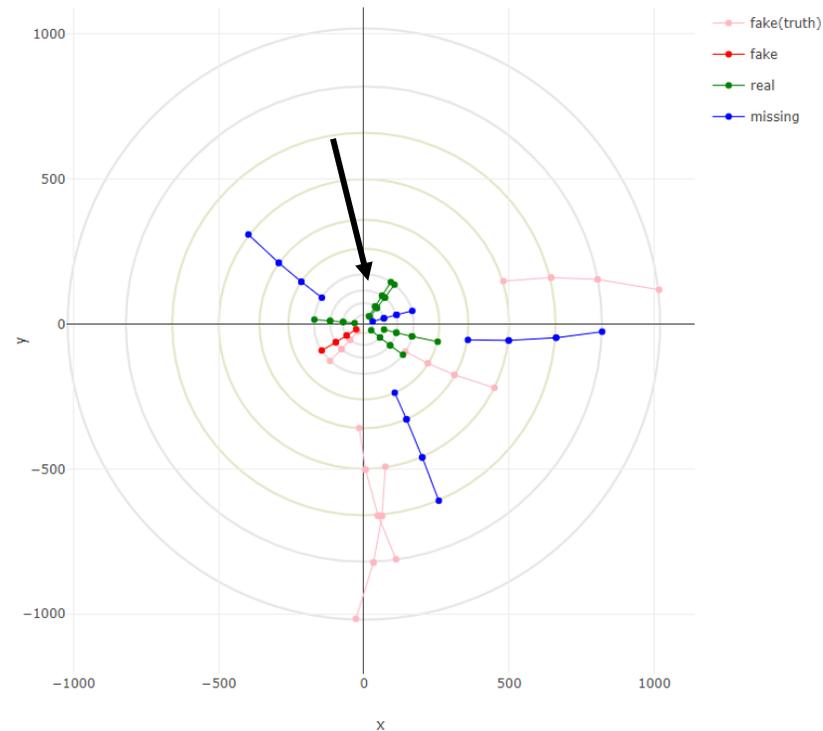
track lengthとのefficiency,purity

- 100% of HL-LHC
- $P_t > 1\text{GeV}$, $\geq 4\text{Hit}$
- $|\eta| < 1.7$



短い飛跡への応用

例) $\phi = 1.0, \theta = 1.0$ に直線の飛跡を入れた場合

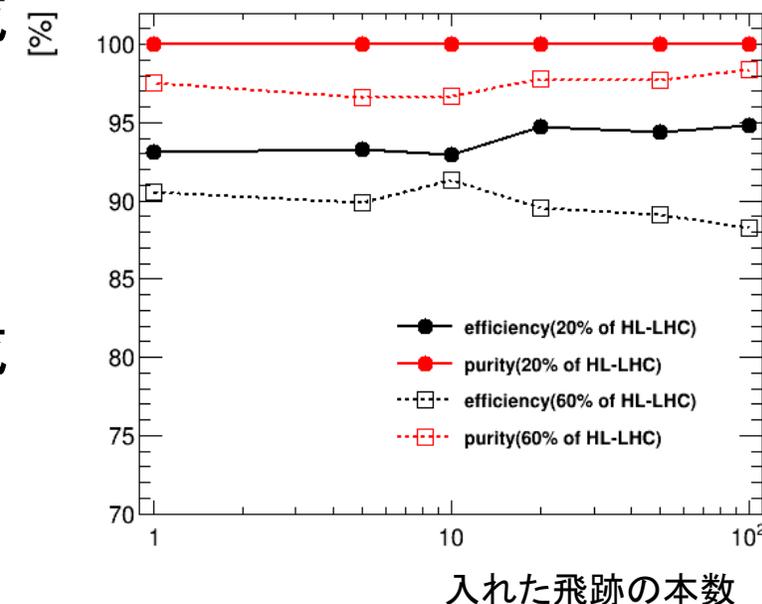
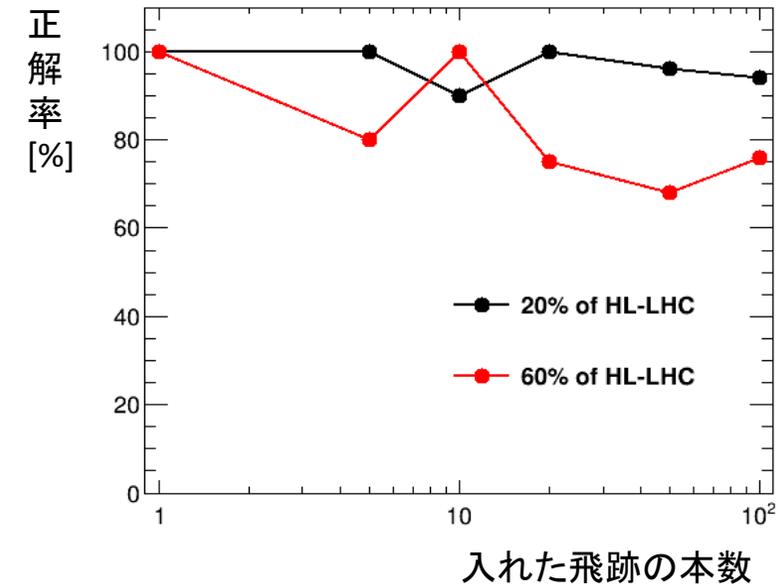


短い飛跡への応用例

- 内側4層のみを通る飛跡を入れ込み、再構成可能か検証
- doublet modelを用いる

結果

- 20% of HL-LHCに対して、
 - 1eventに100本入れた場合に**94本の飛跡**を再構成出来た
 - 異なる100eventsに1本ずつ入れた場合に**96events**で再構成出来た
- 60% of HL-LHCに対して、
 - 1eventに100本入れた場合に**76本の飛跡**を再構成出来た
 - 異なる100eventsに1本ずつ入れた場合に**65events**で再構成出来た
- **飛跡を入れ込んでも全体のefficiency, purityは変化しない**



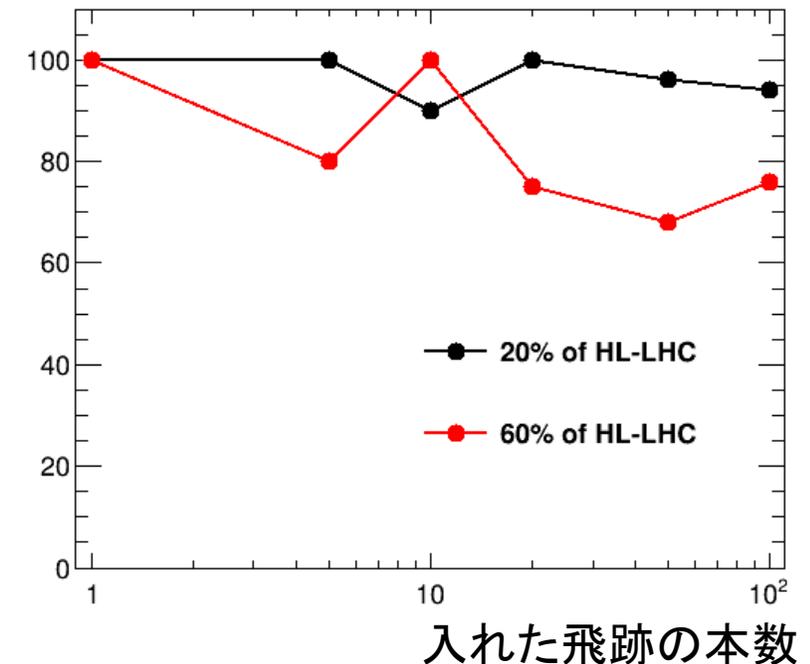
短い飛跡への応用例

- 内側4層のみを通る飛跡(直線)を人工的に埋め込み、再構成可能か検証

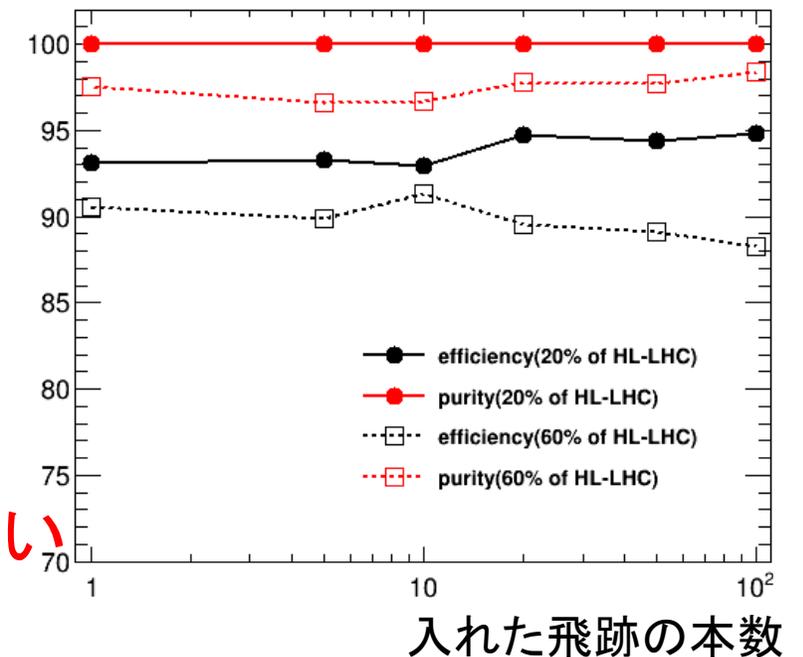
結果

- 20% of HL-LHCに対して、
 - 1eventに1本入れた場合: 正解率**91%**
 - 1eventに100本入れた場合: 正解率**94%**
 - 異なる100eventに1本ずつ入れた場合: 正解率**96%**
- 60% of HL-LHCに対して、
 - 1eventに1本入れた場合: 正解率**64%**
 - 1eventに100本入れた場合: 正解率**76%**
 - 異なる100eventに1本ずつ入れた場合: 正解率**65%**
- 飛跡を入れ込んでも全体のefficiency,purityは変化しない

引けた飛跡の割合 [%]



[%]



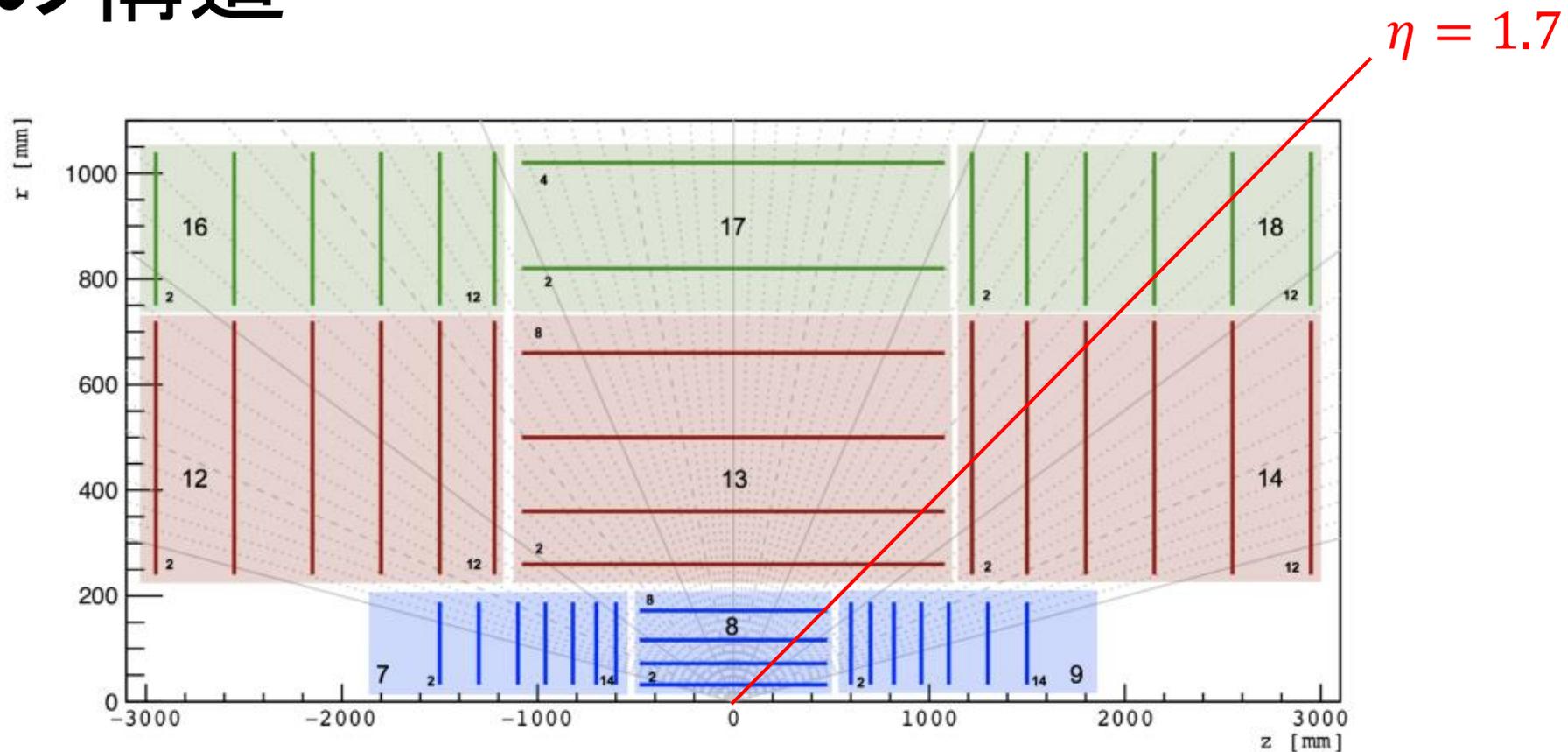
短い飛跡への応用例

- 飛跡の閾値を4hit→3hitに下げ、内側3層のみを通る飛跡(直線)を再構成可能か検証

結果

- 10% of HL-LHCに対して、
 - 1eventに1本入れた場合: 正解率0%(試行回数100回)
 - 1eventに100本入れた場合: 正解率6%
 - 異なる100eventに1本ずつ入れた場合: 正解率0%

検出器の構造



- 現状ではバレル領域に限定してtrackingしている
- バレル領域かつ $|\eta| < 1.7$ にあるhitに限定してtrackingを行う

実行時間

- 本研究は、飛跡再構成(ヒットのクラスタリング、パターン認識、fitをしてPtなどパラメータの算出)の内、パターン認識の箇所のアルゴリズムを検証

- 現状のtrackingにおける全体の時間との比較は現段階では難しい
- 今回のMCサンプルに対して現状のトラッキングを走らせることで比較は可能

- 今回のアルゴリズムの流れ(右図)
- 今回計測した時間はQUBOの作成の時間と、アニーリング時間
- この他にも、実際にはAEのCPU時間、キュー待ち時間などがかかってくる

