

# 筑波大学大学院共通科目 平成26年度「国際研究プロジェクト」公開報告書 LHC 加速器を用いた高エネルギー陽子・陽子衝突実験における国際共同研究

数理物質科学研究科 物理学専攻 博士課程前期1年  
先崎 蓮

## 1 課題

Pix,SCT 検出器でのエネルギー損失  $dE/dx$  測定

## 2 概要

LHC(Large Hadron Collider) 加速器は、スイス・ジュネーブ郊外の欧州原子核研究機構 (CERN) にある世界最大の陽子・陽子衝突型加速器である。陽子ビームを加速・正面衝突させることで高エネルギーの原子核反応、素粒子反応を引き起こし、様々な物理の探索・検証を行っている。LHC 加速器には4つの衝突点があり、それぞれに ATLAS, CMS, ALICE, LHCb とした粒子検出器が設置され、実験が行われている。

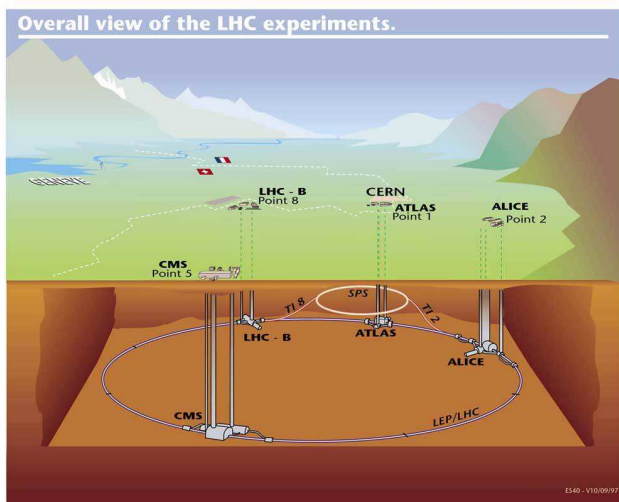


図 1: LHC 加速器

その1つである ATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS) 実験では、素粒子の標準模型の精密測定や、超対称性粒子、余剰次元といった新たな物理の探索を行っている。2013年には物質に質量を与えるヒッグス粒子を発見したことで記憶に新しい。ATLAS 検出器は、高さ 25m, 全長 44m, 重量 7000t の大型粒子検出器である。ビームパイプを軸とした円筒形をしており、中心から内部飛跡検出器, ソレノイド磁石, 電磁カロリメータ, ハドロンカロリメータ, トロイダル磁石, ミューオン検出器で構成される。最内層の内部飛跡検出器は Pixel 検出器,

SCT(Semi-Conductor Tracker) 検出器, TRT(Transition Radiation Tracker) 検出器から成る。これらの検出器は高い位置分解能を有し、粒子の衝突点, 運動量といった飛跡の情報を高い精度で求めることができる。

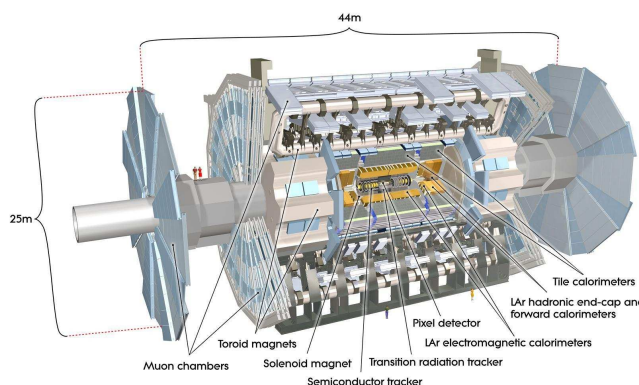


図 2: ATLAS 検出器

Pixel 検出器, 及び SCT 検出器に入射した荷電粒子はエネルギーを失い, その損失分に相当する電子・正孔対を生成する。生成された電子・正孔対は, 検出器に印加されているバイアス電圧によって電極に誘起され, 電気信号として読み出される。Pixel 検出器の場合, 信号がある閾値を超えていた時間を記録し, 信号電荷量, すなわち入射粒子のエネルギー損失  $dE/dx$  を測定する。運動量と同じ場合,  $dE/dx$  は粒子の質量ごとに異なる。したがって,  $dE/dx$  は入射粒子の識別に有用となる。

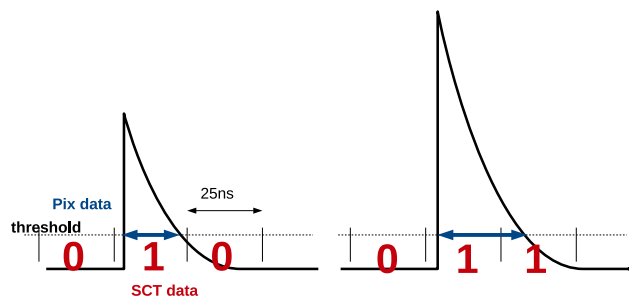


図 3: 検出器の信号とデータの違い

対して SCT 検出器は, 信号が閾値を超えたか否か (1 か 0) のみを 3ビットの時間情報として読み出す (1ビット

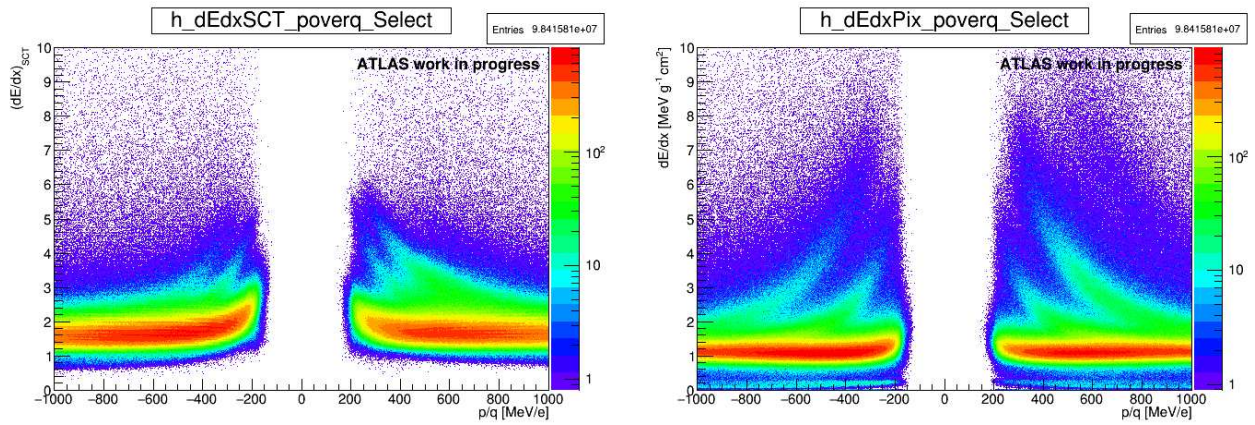


図 4: dE/dx と p/q の関係 (左:SCT 検出器, 右:Pixel 検出器)

トは 25n 秒). 信号は図 3 左の様に, 通常, 010 となる. したがって, 精度は劣るが 8 面のセンサーを使うことで dE/dx の情報を得られると期待できる. 実際, 粒子の dE/dx が大きくなると, 信号波形は大きくなり, 出力信号は図 3 右の様に 011 になると考えられる. 今回の実習では, この dE/dx によるデジタルデータの違いに着目し, SCT のデータから dE/dx の算出を行った.

### 3 結果

SCT のデジタルデータに対し, 010 では  $weight = 1$ , 011 では  $weight = 2$ , といった様に重み付けを行い, ある粒子のエネルギー損失 dE/dx を以下のように仮定した.

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{SCT} = \sum_{i=1}^{N_{hit}} \frac{weight_i \times \cos \alpha}{N_{hit}} \quad (1)$$

ここで,  $N_{hit}$  は 1 つの飛跡に対応する SCT のデータ数,  $weight_i$  は各 SCT のデータの重み,  $\cos \alpha$  は粒子の入射角に対する補正である.

これにより求めた dE/dx と運動量と粒子の電荷の比 p/q との関係を図 4 に示す. 図 4 左は SCT 検出器のデータから式 1 を用いて算出した dE/dx, 図 4 右は Pixel 検出器で測定された dE/dx をプロットしたものである. 図 4 右中に見える 3 つのバンドは粒子の質量の違いによるものである. 1000MeV/e 付近から立ち上がっているバンドが K 中間子, 600MeV/e から立ち上がっているバンドが陽子, 下部の赤いバンドが  $\pi$  中間子や電子,  $\mu$  粒子によるものである. SCT 検出器から求めた dE/dx (図 4 左) においても, Pixel 検出器ほど明瞭ではないものの, 粒子による違いを確認することができた. また, 図 5 は図 4 を  $300 < p/q [MeV/e] < 350$  の範囲で y 軸へ射影したものである. 図 5 上が SCT 検出器のデータ, 図 5 下が Pixel 検出器のデータである. こちらの図においても, それぞれの粒子のバンドに対応するピークを確認することができた.

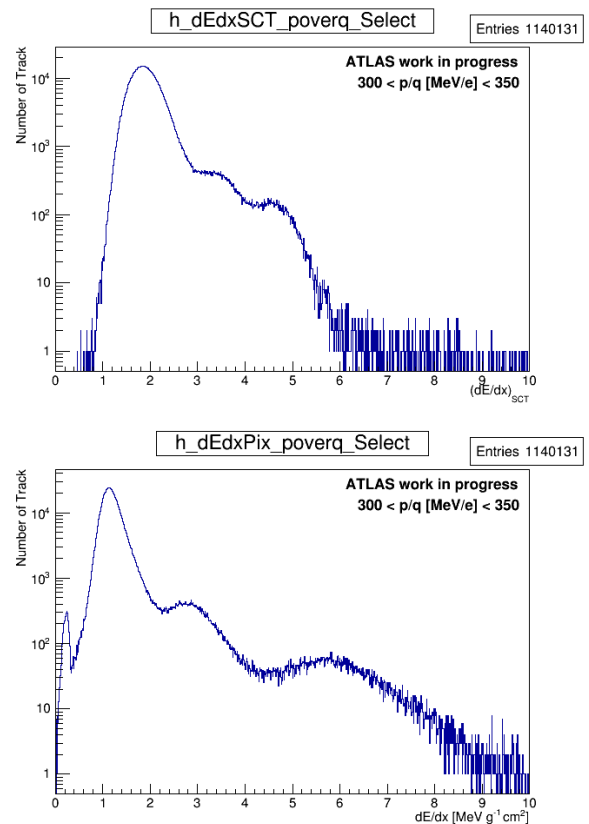


図 5: dE/dx 分布 ( $300 < p/q [MeV/e] < 350$ )  
(上: SCT 検出器, 下: Pixel 検出器)

### 参考文献

- [1] LHC, <http://public.web.cern.ch/public/>
- [2] ATLAS, <http://atlas.web.cern.ch/>
- [3] 三谷貴志, 「エネルギー損失 dE/dx による粒子識別能力に関する包括的研究～アルゴン検出器とシリコン検出器の双方の視点から～」, 早稲田大学理工学術院 先進理工学研究科 物理学及応用物理学専攻 修士論文