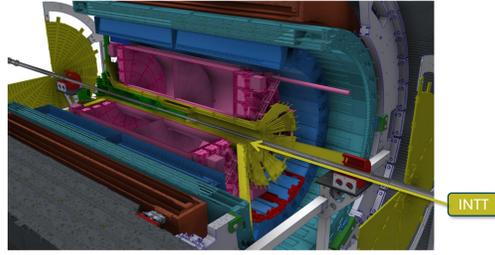


# sPHENIX INTTシリコン検出器におけるクローンヒット仮説の検証

21cb015t 柳川隼人 指導教員 村田次郎・中川格

## 背景について

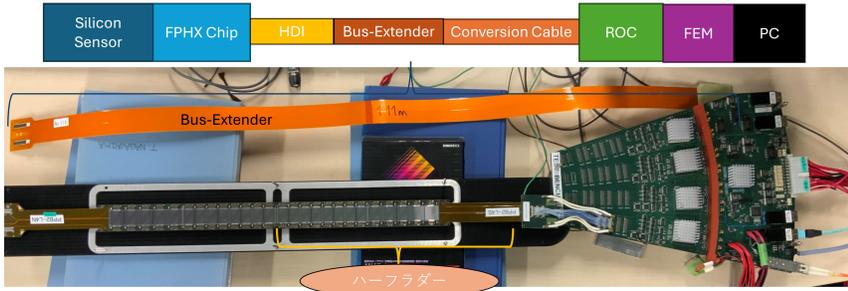
現在アメリカのブルックヘブン国立研究所では、高エネルギーの重イオン衝突事象を通してクオーク・グルーオン・プラズマ(QGP)現象を研究するsPHENIX実験が行われている。QGPは、衝突で生成されるジェット構造やアップシロンの抑制の測定からその物性が特定される。本研究では、sPHENIX実験の中核検出器であるINTTシリコン検出器の性能評価に取り組んでいる。



sPHENIX検出器 [1]

## INTTの読み出し回路

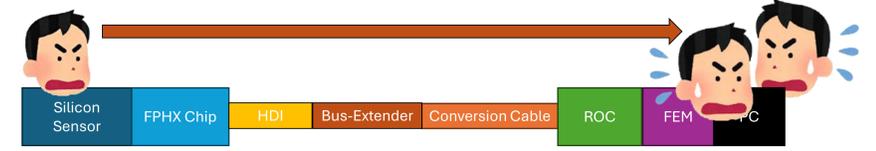
INTTシリコン検出器の動作テストのために理研には以下の図に示すテストベンチが設置されている。



センサーで発生したアナログ信号は、FPHXと呼ばれる読み出しチップで波形を整えられたうえでデジタル変換され、後段の電子回路(ROC,FEM)に送られる。

## 取得したデータの異常

INTTで検出したヒットには、9.4MHzのBeam Clock(BCO)と呼ばれるタイミング情報がFPHXでデータ送信時にタグ付けされる。各チャンネルで処理できるのは原則1ヒット/1BCOなので、**同一のBCOで同じチャンネルヒットが複数記録されることは設計上はありえない**。しかし、オフラインデータを紐解くと、0.1%程度の割合でそのようなヒットがデータに混入していることが本解析でわかった。これをここでは**クローンヒット**と呼ぶ。クローンヒットはオフライン解析で容易に検出し排除できるが、**データ収集バンドの圧迫やデータサイズを無駄に増やす弊害**がある。そこで、本研究ではクローンヒットの原因究明に取り組む。



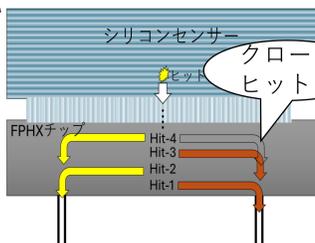
## クローンヒットの原因の検証方法

クローンヒットの発生源として疑われる箇所の変更、測定を繰り返す。その際のクローンヒットの応答を観測することで発生源を特定していく。応答はハーフラダーに組み込まれた26チップ毎に観測されるクローンヒット数で評価する。今回は、主に3つの仮説を検証している。

## クローンヒット仮説の検証

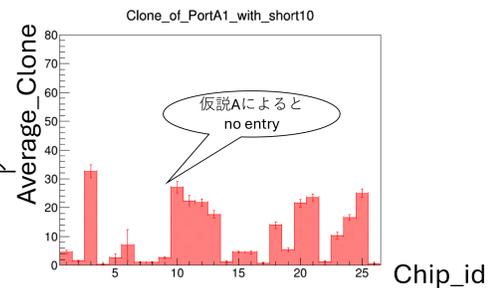
### 仮説A FPHXチップの不具合

FPHXチップには2セットのLVDS出力データラインが備わっており、データはその内1セットのみから出力される。しかし、**出力を制御する機能の誤作動**により、同一のヒットが2セットの出力ラインに同時送信されることでクローンヒットになるという仮説である。この場合、片方の出力ラインを意図的に断線させればクローンヒットが無くなるはずである。



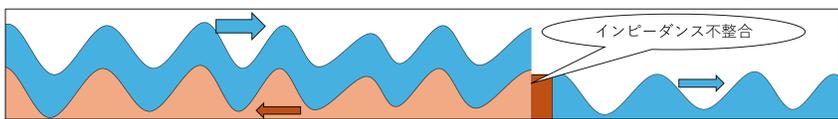
### 結果① 片方の出力ラインを断線させる

26チップあるうちの10番目のチップに対し、**片方の出力ラインを意図的に断線**させて測定を行った。仮説Aによると右の図のChip\_id=10のエントリーはゼロになるはずだが、**実測では有限のエントリーが観測された**。この結果は**仮説Aと矛盾する**。



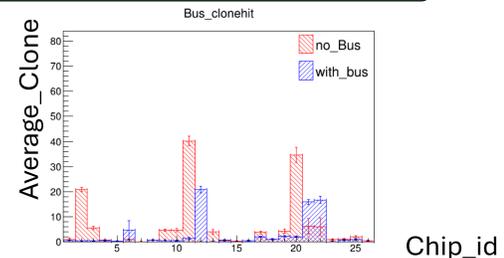
### 仮説B インピーダンスミスマッチによる反射

信号が、伝送路で**特性インピーダンスの変化による反射**を二度起こすことで、クローンヒットが観測されるという仮説です。**出力ケーブル長や接触抵抗**を変えることでクローンヒットに変化があるはずだ。また、**出力波高が小さい場合、反射波は小さくなり、認識されるクローンヒットの数は減ることが予想される[2]**。しかし、**現行ケーブルの長さから予想されるデータ伝送時間を鑑みると、理論的にはクローンヒットの原因とは考えにくい**。



### 結果② 1.1m Bus-Extenderの有無

図からクローンヒットの発生しているチップが変化していることがわかる。**Bus-Extenderの有無でクローンヒットの応答が変わるのは、仮説Bの反射と整合性が取れている**。



### 仮説C ROCのFPGAの不具合

FPHXからの信号を処理する後段の**ROC電子回路のFPGAのバグ**で、ヒットが複製される可能性もある。この場合、**ROCの上流で条件を変えても観測されるクローンヒットに変化が無いことが予想される**。

## まとめ

仮説からの予想と実際の結果を表に書き込んだ。

	予想			結果
	A FPHX	B 反射	C ROC	
①片方切る	×	○	○	○
②Busの有無	×	○	×	○
③Port依存	×	△	○	○
④ラダー依存	○	△	×	×
⑤LVDS	×	○	×	×

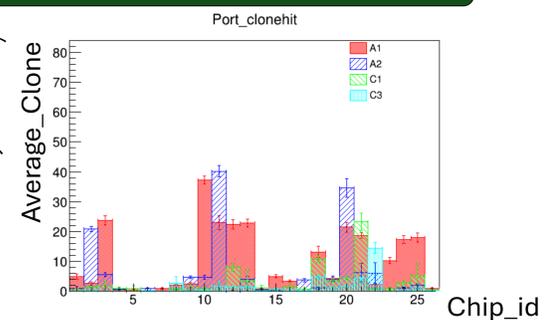
△の部分はコネクタの着脱により接触抵抗が変わる可能性がまだ未確認のため、保留という形にしている。結果として、いくつかの仮説が部分的に支持される一方で、**全ての現象を説明する単一の原因は見つからなかった**。今後の展望として、新しい視点や複数の要因を考えていこうと考えている。

## 参考文献

- [1] RIKEN 糠塚元気, 202403\_JPS\_sPHENIX\_Cold-QCD
- [2] 立教大学 藤木一真, 202301sPHENIX-INTT用読み出し回路基板ROCの再利用に向けた検査
- [3] 奈良女子大学 森田美羽, 202301RHIC-sPHENIX実験のためのINTT検出器のデータ読み出し性能の評価

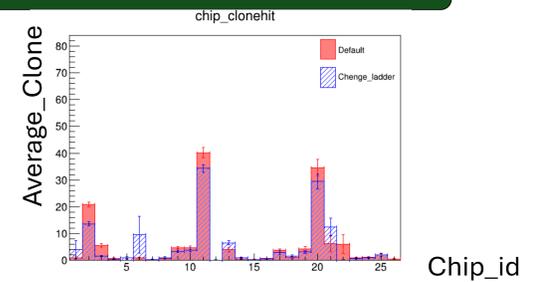
### 結果③ ROCのPort依存性

ROCは1台当たり16個のポートを持つ。INTTでは12のポートが使用され、それぞれにシリコンセンサーが繋がる。結果では、**ポートによるクローンヒットの発生数が右図のように異なる**。よって、**ROCより下流に問題**がありそうだ。



### 結果④ ハーフラダーの入れ替え

ラダーは読み出し回路のシリコンセンサーからHDIにあたる。多少差があれど特徴の出方に相違はないため、**HDIより下流の部分でクローンヒットが発生している**と考えられる。つまり、この結果は**仮説Aを強く否定する**。



### 結果⑤ LVDS電流の依存性

ここでは**LVDS電流を変化**させ、出力波高の変化によってクローンヒットの数が増えるか確認した[3]。結果としてクローンヒットの数は**増えたとも減ったとも言えず、仮説Bと矛盾する結果**になった。

