

ランプアップ時ビームロスの低減とランプアップ高速化

岩崎 能尊

SAGA-LS

(本文)

背景:ユーザー運転時において入射エネルギーから 1.4GeV までのランプアップ(加速)の際に 10mA~30mA 程度のビームロスが発生し、1.4GeV 到達時に所定の蓄積ビーム電流に達しないケースがあった。ビームロスはほぼランプアップ開始直後に発生していた。

目的:ビームロスの要因を特定し、ビームロスを低減する。また、ランプアップ所要時間を短縮することにより、より安定した加速器の運転を行う。

実験手法:PXI システムによる電磁石電源、ビーム位置、ビーム電流およびビームプロファイルの高速観測と分析を行う。

実験結果:ランプアップ開始直後に 6 極電磁石電源に想定を超える出力の増大が見られた。また、ビームロス時において、垂直方向ビームサイズが増大するケースが見られた。6 極電磁石電源の制御プログラムの改修および 4 極電磁石電源出力パターンの調整を行うことにより、垂直方向ビームサイズが増大が抑制されビームロスが低減された。また、ランプアップ所要時間を 4 分半から 3 分に短縮した。

まとめ及び考察:ランプアップ開始直後のビームロスの要因を特定するために、PXI システムによる電磁石電源、ビーム位置、ビーム電流およびビームプロファイルの高速観測を行った。観測の結果、6 極電磁石電源の想定外の出力増大と垂直方向ビームサイズが増大が見つかった。これらを抑制することによりビームロスが低減された。また、ランプアップ所要時間が短縮された。しかしながら、ビームロスには垂直方向ビームサイズ増大と因果関係が必ずしも明確でないケースもあった。更なる要因特定のため、ビーム進行方向の運動を観測するためのシステム構築を行う。

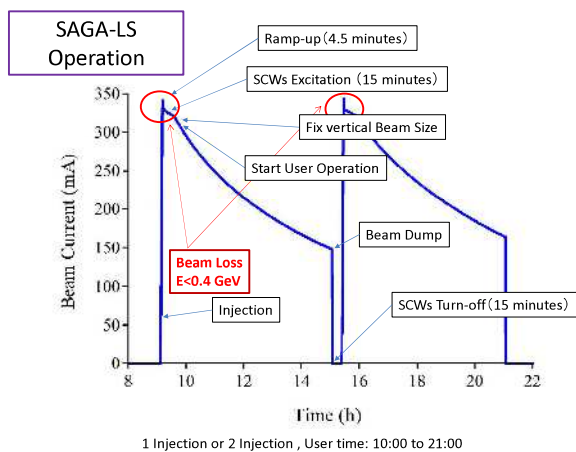
ランプアップ時ビームロスの低減と ランプアップ高速化

第15回研究成果報告会
加速器グループ 岩崎 能尊

Outline

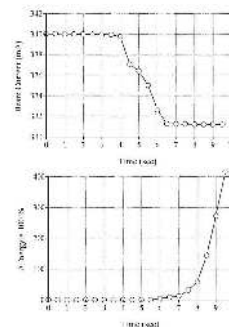
- Introduction
ランプアップ時のビームロス ーどのような問題に取り組むのか？ー
- Method
PIXIによる観測システムの拡張
- Result
ビームプロファイル形状の変化と他のパラメーターの同時観測結果
- Summary
これまでに得られた知見のまとめ
- 今後の予定

2



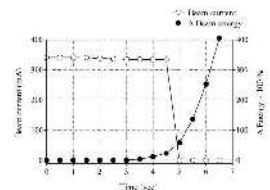
3

加速直後に発生する不連続なビームロス



加速直後に10mAロスしたケース

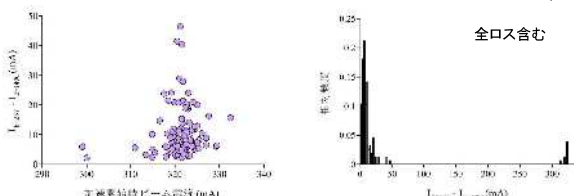
- ・ある蓄積ビーム電流以上で発生 ($I > 200 \text{ mA}$)
- ・加速直後に発生する ($E < 0.4 \text{ GeV}$)
- ・ビームロス量にはバラつきがある ($\Delta I \sim 10 \text{ mA}$)
全ロスする場合もある



全ロスしたケース

4

2018年11月15日から2019年7月12日にかけてのユーザー運転(320mAランプアップ)



ランプアップ回数: 155回

全ロス: 10回
平均ビームロス量*(全ロス含む): 31.8 mA
平均ビームロス量*(全ロス含まない): 11.8 mA

*ランプアップ開始ビーム電流1.4GeV到達時
ビーム電流(ナチュラ的な減衰~2mA程度を含む)



5

ランプアップ開始直後のビームロス要因の特定と対策

目的:

- ・ビームロスの要因を特定し、対策することで更なる加速器運転の安定化を目指す。
- ・ランプアップに要する時間を縮小し、加速器運転のパフォーマンスを向上する。

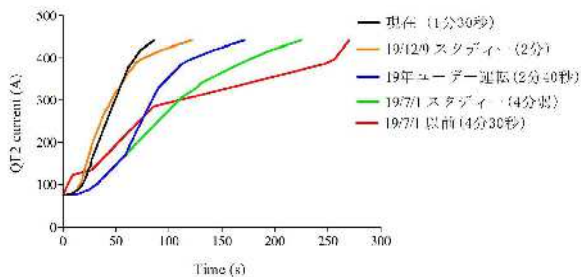
方法:

PIXIを用いた速い計測系の整備により、ビームロスの要因を特定し対策を行う。



6

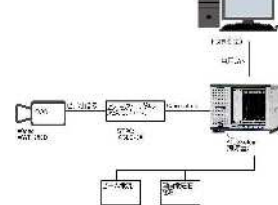
ランプアップ速度の向上



- ・ランプアップ直後：4極および6極の微調整
 - ・ランプアップ途中：電源の許容される励磁速度内で速度向上
- ⇒ランプアップ所要時間の短縮
しかし、20mA程度のビームロスが発生することがある。

7

方法：ビームロスのメカニズムを解明するため、新規PXIシステムにてビームプロファイルを観測
ビームポジションモニター(BPM)ではビームの重心位置情報しかわからない
入射不調時の要因解明にも使える



- ・面像収録アプリケーション制作
ビームプロファイルのデジタル常時表示および記録が可能となった。面像のサンプリング率は60Hz以上で可能（入力ソースに依存）。しかし、データをリアルタイムにHDDに保存するとサンプリングレートが10Hz程度に低下。ビームプロファイル面像はビーム電流、偏向電磁石電源出力と同時に計測可能。記録した面像のファイル名に自動的にタイムスタンプ、ビーム電流および偏向電磁石出力を記録。
- ・蓄積リング室内→電源室OCDカメラビデオ信号ケーブルの敷設（高林氏協力）
蓄積リング室内で既存ケーブルより分岐
電源室BNC取り合いポートより電源室PXI置き場まで延長
- ・電源室→制御室 専用LANケーブルの敷設（SES委託）
既存の制御LANの負荷にならないように、専用線を新設（ノイズシールドタイプ）
- ・アナログ・デジタル変換モジュール（ACLD400）用カメラファール作成（N1協力）
PXI-1435(Frame Grabber)にCameraLink信号を取り込むためのカメラファール
- ・ビーム電流、偏向電磁石電源出力のPXIへの取り込み
1kHzローパスフィルタ付きADC
他の物理用とビームプロファイルの同時観測。
- ・ノイズ対策
ノイズにより計測が途中で停止。PXI(LabVIEW RT)で稼働させているため、VIのエラークリアでは単純に対処できない。ノイズは電源室内のビデオ信号部に発生していることが判明。→インラインノイズフィルターによりカット



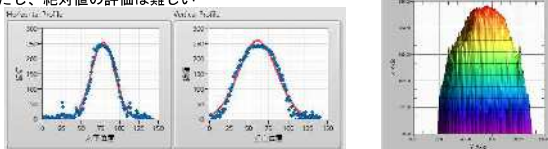
8

画像処理

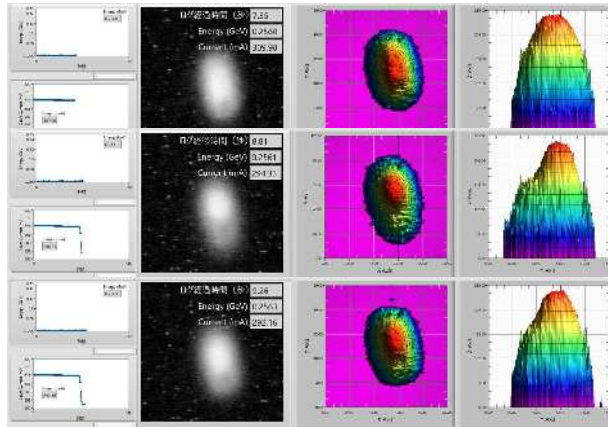
- ・ビットマップ画像を数値データに変換



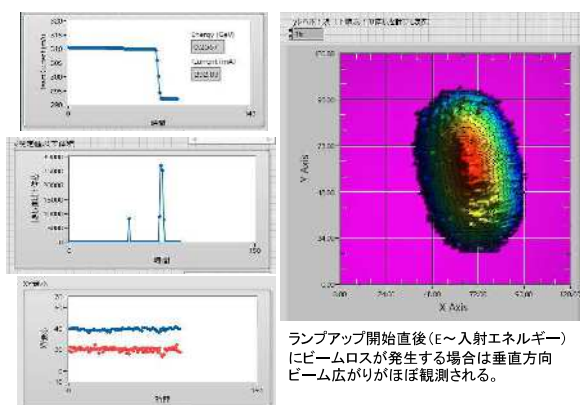
- ・ノイズ除去
- ・強度の等高線処理
- ・3D表示
- ・数値処理
ビームサイズ、重心位置、最大・最小値演算など
ただし、絶対値の評価は難しい



ランプアップ開始直後のビームロス (2021/2/8 4-20mAロス)



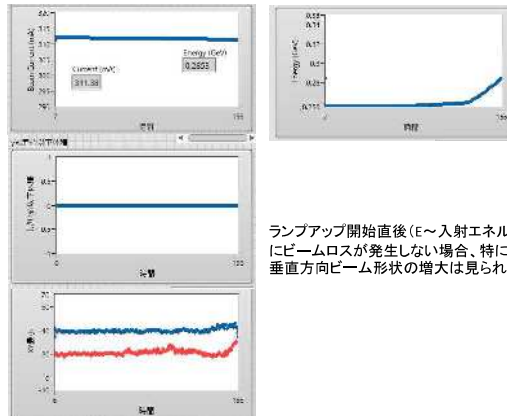
ランプアップ開始直後のビームロス (2021/2/8 4-20mAロス)



ランプアップ開始直後(E→入射エネルギー)にビームロスが発生する場合は垂直方向ビーム広がりほぼ観測される。

11

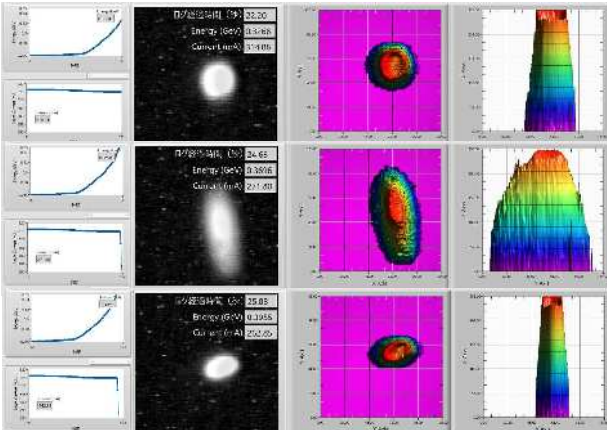
ランプアップ開始直後にビームロスが発生しないケース (2021/3/30)



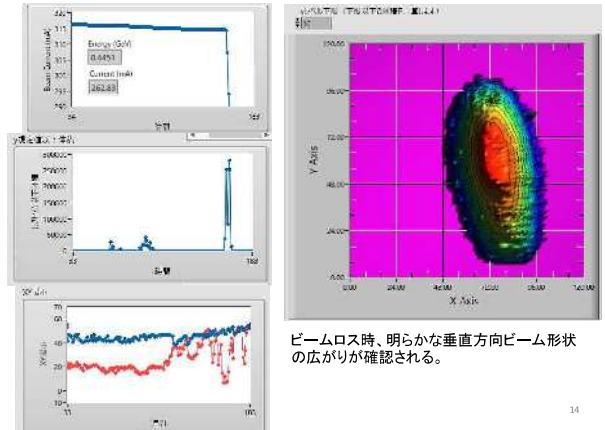
ランプアップ開始直後(E→入射エネルギー)にビームロスが発生しない場合、特に大きな垂直方向ビーム形状の増大は見られない。

12

ランプアップ開始しばらくしてのビームロス (2021/3/1 50mAロス E~360 MeV)



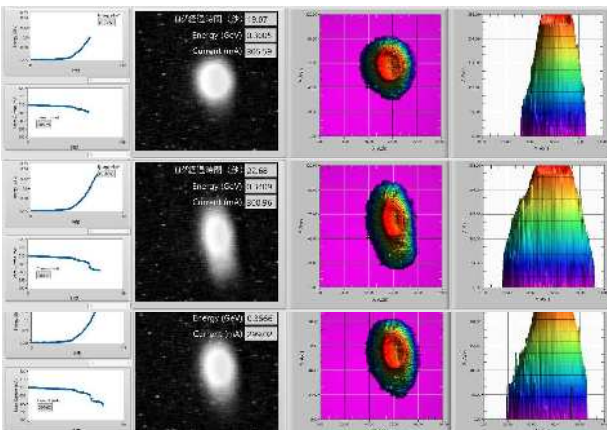
ランプアップ開始しばらくしてのビームロス (2021/3/1 50mAロス E~360 MeV)



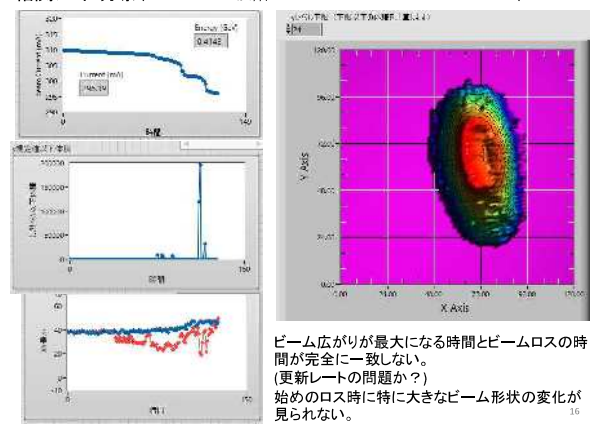
ビームロス時、明らかな垂直方向ビーム形状の広がりが確認される。

14

相関が不明瞭 (2021/2/16 2段階ビーム20mAロス E~340 MeV)



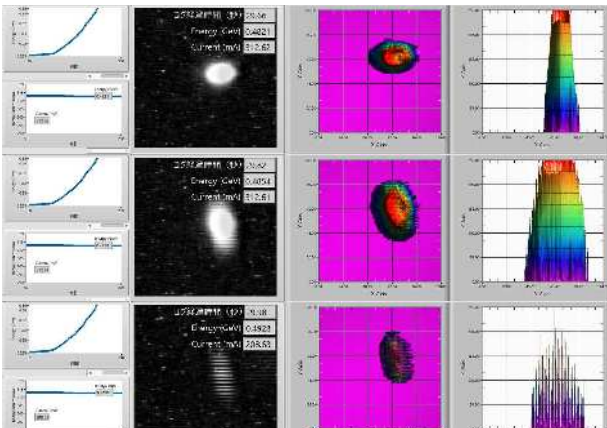
相関が不明瞭 (2021/2/16 2段階ビーム20mAロス E~340 MeV)



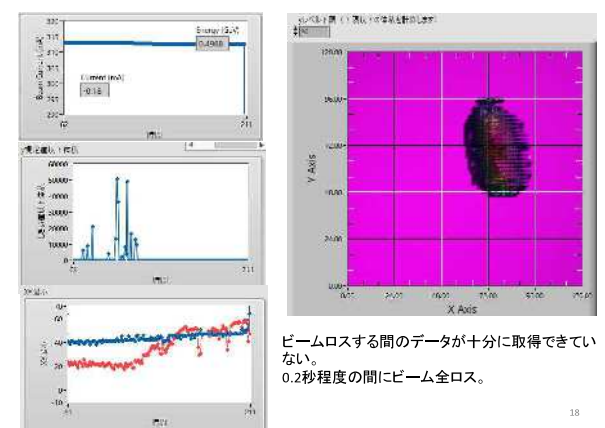
ビーム広がり最大になる時間とビームロスの時間が完全に一致しない。
(更新レートの問題か?)
始めのロス時に特に大きなビーム形状の変化が見られない。

15

瞬間的ビームロス (2021/3/30 全ロス E~490 MeV)



瞬間的ビームロス (2021/3/30 全ロス E~477 MeV)



ビームロスする間のデータが十分に取得できていない。
0.2秒程度の間にビーム全ロス。

16

想定されるビームロス要因

あるレベル以上に垂直方向ビームが広がったときにビームロスが発生するように見える。

⇒ アクセプタンスを超えた電子が損失する。

ビーム形状がオペレーション毎に変化する要因

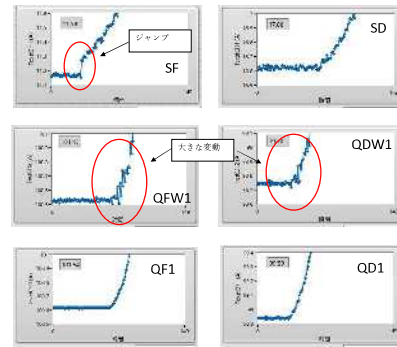
- ・チューン ⇒ QFW1, QDW1その他4極電源出力の再現性
- ・クロマチシティ ⇒ 6極電源出力に問題
- ・カップリング ⇒ 入射時からE~300MeV程度まで出力ゼロ
- ・ビーム位置 ⇒ 入射時からE~300MeV程度までST一定値
- ・真空度 (イオントラッピング、クリアリング電極電圧)
- ・インピーダンス
- ・その他ビーム不安定性

⇒

新PXIシステム (1kHzローパス搭載) にて主要電源出力の再調査

19

ランプアップ直後の電源出力の測定

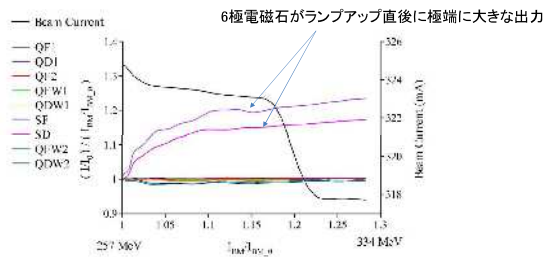


*グラフの時間は実時間の10倍

SF電源にランプアップ直後のジャンプ、QFW1, QDW1に大きな変動
その他主要電源 (QFW2, QDW2) の計測およびビームロスとの関係を調査中。

20

6極電磁石電源のランプアップ時出力



21

その他のビームロス要因

必ずしも垂直方向へのビーム形状の増大とビームロスの関係が明瞭でないケースもある。

・観測システム上の問題

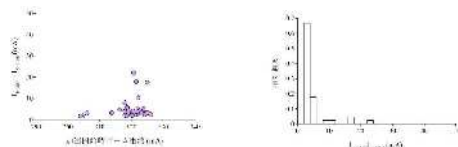
現在の画像保存レート: 10 Hz

入射エネルギーにおけるダンピングタイム~1sなので、入射エネルギーでのビーム形状の変化はほぼ捉えられる。
しかし、エネルギーが増大すると現状のシステムでは十分に変化を捉えられない。

・ビーム進行方向の不安定性

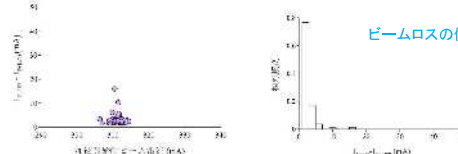
22

2019年7月17日から2019年11月14日にかけてのユーザー運転(320mAランプアップ 3分)



ランプアップ回数: 45回
全ロス: 0回
平均ビームロス量*: 4.6 mA

2019年11月15日から2020年3月27日にかけてのユーザー運転(310mAランプアップ 3分)



ランプアップ回数: 81回
全ロス: 0回
平均ビームロス量*: 2.9 mA

*ランプアップ開始ビーム電流: 1.4GeV到達時ビーム電流 (ナチュラルな減衰~2mA程度を含む)

23

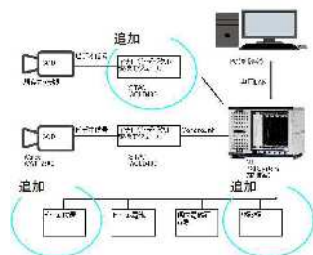
まとめ

- ランプアップ直後のビームロス要因を特性するためにビームプロファイルのデジタルモニタシステムを構築した。
- 6極電磁石電源のランプアップ制御を改修した。
- ビームロスが発生するケースにおいて、垂直方向ビーム形状の増大が見られた。
- ランプアップ開始直後にビームロスが発生する場合はほぼ全てのケースで垂直方向ビーム形状の増大が見られる。
- 垂直方向ビーム形状増大の要因として、主要電源の想定外の出力異常が考えられたため、新しいPXIシステム (1kHzローパスADC) にて波形を観測した。
- SF電源のランプアップ直後のステップライクな増大、QFW1電源、QDW1電源の不安定性が確認された。
- QFW2電源、QDW2電源その他の電源の応答や、ビームロスとの関係性について現在スタディーを継続している。
- ランプアップの所要時間を4分半から3分に短縮した。また、ビームロスが低減された。

24

今後の予定

- 制御プログラムのアルゴリズム改善により、60Hz(カメラ仕様)程度までの保存レートを目指す
- 主要電源の波形確認とビームロスの関係性調査の継続
- ADCチャンネル追加(全ての主要電源、ビーム位置を同時観測)
- ビーム進行方向の影響の調査(シンクロトロン振動、パンチ長など)
- 想定外の応答が見られた電源については、今後電源メーカーと協議して調査および対策を協議
- 常時監視システムとして整備



25