

CW運転のまとめ

ERLビームダイナミクスWG

2015年10月1日

加速器研究施設 第7研究系

島田 美帆、中村 典雄

これまでのCW運転を振り返る。

2015年1月~4月

- 4/2-3 最大80uAのCW運転・LCS実験

1か月のシャットダウン、真空作業なし

2015年5月~6月

- 5/27-29 (水一金) ビーム運転開始、3日間かけてビームダンプに輸送
- 6/2 (火) 再開後初めてのCW運転、30uA程度のCW運転。高速ロスモニタの故障でビームが半分ロスしたことに気づかず。
- 6/4 (木) 30uAのCW運転、COL3で非常にレベル高い。悲観的になる。
- 6/18 (木) 最大80uAのCW運転、COL3,COL5を入れており、レベル高い。
- 6/19 (金) 最大80uAのCW運転、COL1,COL2のみでレベル低い。
- 6/24 (水) 20:40に6/19のパラメータを読み込み、最大90uAのCW運転。
- 6/25 (木) 最大100uA。LCS実験。
- 6/26 (金) 周回エネルギーを変えてLCS実験。

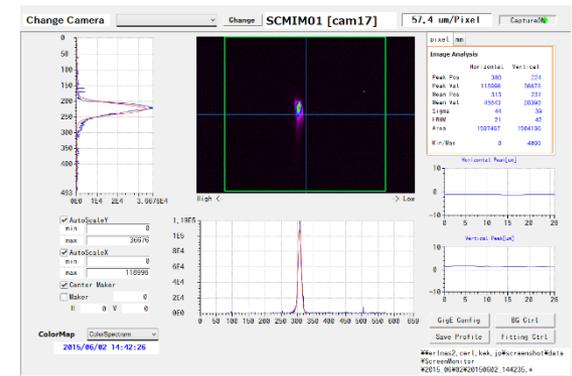
4月のCW運転を再現しようとして、目途が立ったのは6/19であった。
次のCW運転でいい運転条件を早く再現するにはどうすればいいか。

来季ですぐに再現できるとは限らない。
季節が変わるとうまくいかないこともある。

CW運転のときの記録（抜粋）
6/2, 4, 18, 19, 24, 25,26

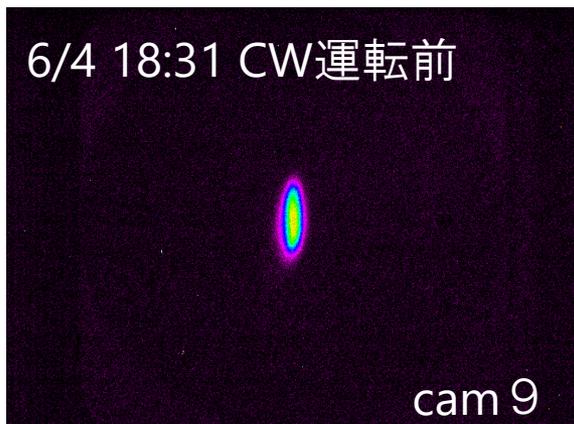
6/2（火）：ビーム調整&CW運転

- 入射エネルギーにふらつきが見られた。
 - 後に恒温槽のトラブルがあったと判明。
 - BMADPSを調整しないとcam31の中心を通らない。エネルギーの変化を疑う。
- Optics調整
 - Cam17のひげを小さくするようにZVQMAG05を微調整
- コリメータ調整
 - COL1,2のみ。COL1がbefore LCSに効いている。
- CW運転
 - 70uAに上げる途中で合流部の真空悪化。
 - ALOKAの反応を見ながらコリメータの調整。
 - 電子銃とダンプのFCの応答に数10%の差。
 - COL2付近の高速ロスモニタ（PMT8）が故障していた。



6/4 (木) : ビーム調整

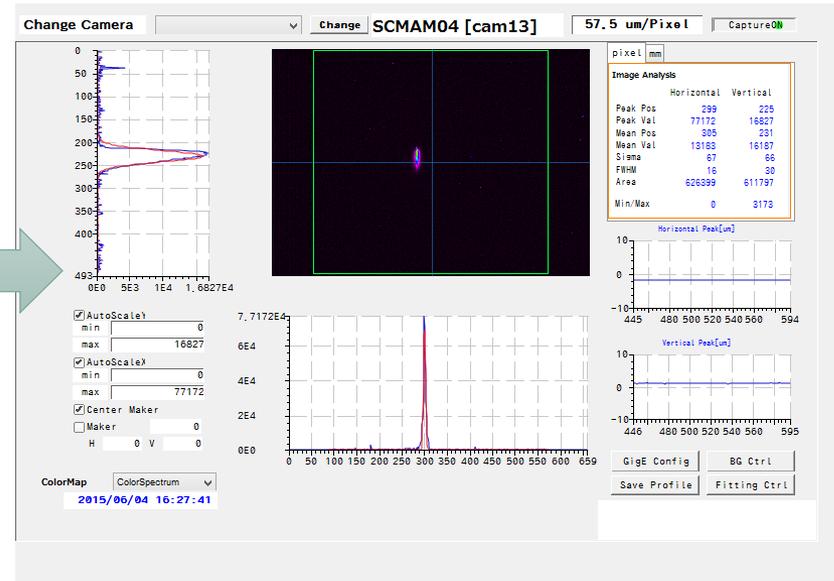
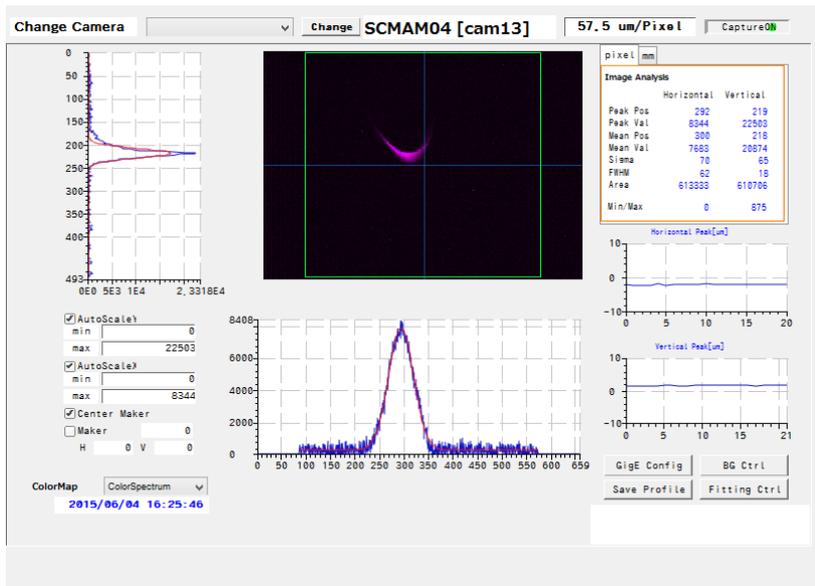
- 4/3を再現しようとしたがうまくいかなかった。
 - Cam9で縦長になっていれば、COL1とCOL2でハローを除くことができ、CW運転がうまくいくものと思っていた。
- Optics・軌道調整
 - 恒温槽トラブルがあったため、調整途中で入射空洞の位相調整を行い、時間がなかったためにそのままCW運転へ。optics・軌道はめちゃくちゃとなった。
 - さらに、CW運転の途中でZHBMIF04をゼロに設定し直したため、mmオーダーの軌道が立ってしまった。
 - QMIM08でcam29のprofileをまとめると、減速ビーム付近のレベルが下がることを確認。
 - 第2アークの分散関数を閉じてQMAM05,08で軌道調整すると、主空洞上流のレベル(N05)が下がった。
- コリメータ
 - COL1,2,3を使用。COL3はBefore LCSを下げるために使用。COL3付近でレベル高い。
 - Cam9でビームが縦長になるように調整すれば、COL1,2だけでロスが抑えることができ、CW運転も問題なくできる、というわけではなさそう。
 - 4/3の電磁石設定を読み込んだ後にZHV04を調整していたか (5/27 14:50頃)。
 - 5/29のburst運転ではCOL1はbefore LCSに効いていた。



Cam9で縦長であれば、COL1と2でハローを削ることができると思っていたが、COL3を使うことになった。

6/4 (木) : Beam Profile対策

- 北直線部 (特にcam13) でビームが歪んだときはQMAG08で整えることができる。 (2015/6/4 16:28電子ログ) 宮島さんの提案



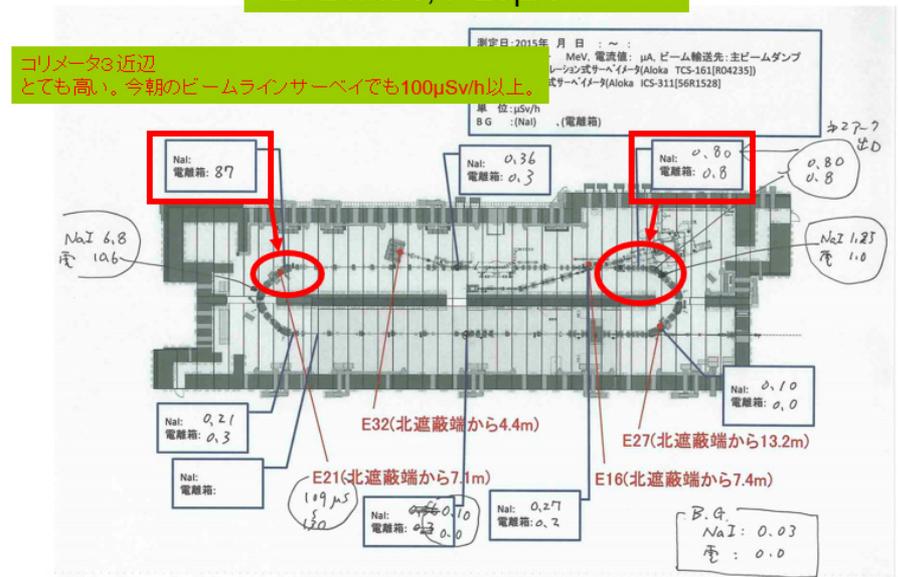
- しかし、cam15以降ではbeam profileがまとまってなかったが、CW運転を行ってしまった。



6/4 (木) : CW運転

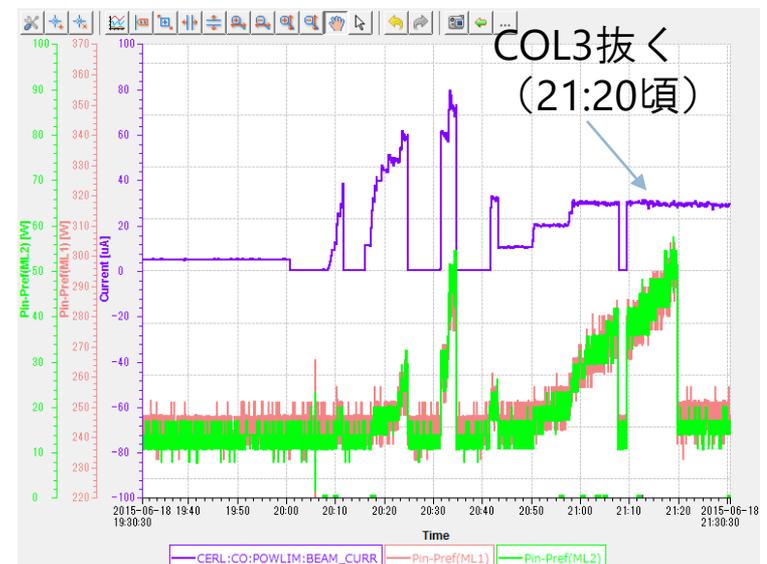
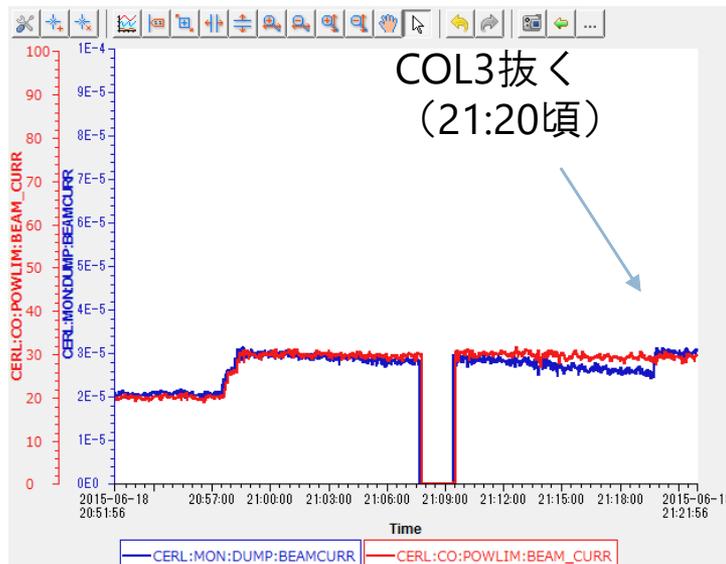
- ビーム調整がうまく行かなかった日。
 - 主空洞付近で1600mSv/hになる。
 - リターンビームの調整をするもALOKA N12 (CircFC中壁) が高い。GanRadMonも上がり、電流が上げられなかった。
- 天井の放射線量測定
 - COL3付近でレベルが高い。→ 遮蔽を追加して対処することになる。
 - 第2アーク出口付近でレベルが高い。→ 今後の課題となる。

2015年6月4日天井線量測定
E=21MeV, I=25μA



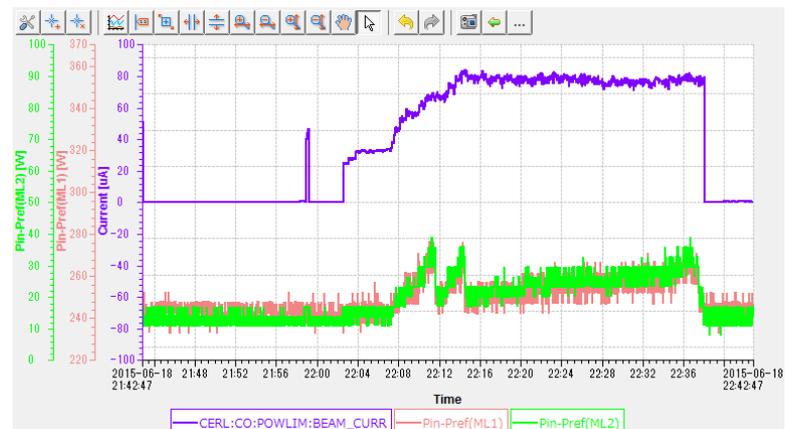
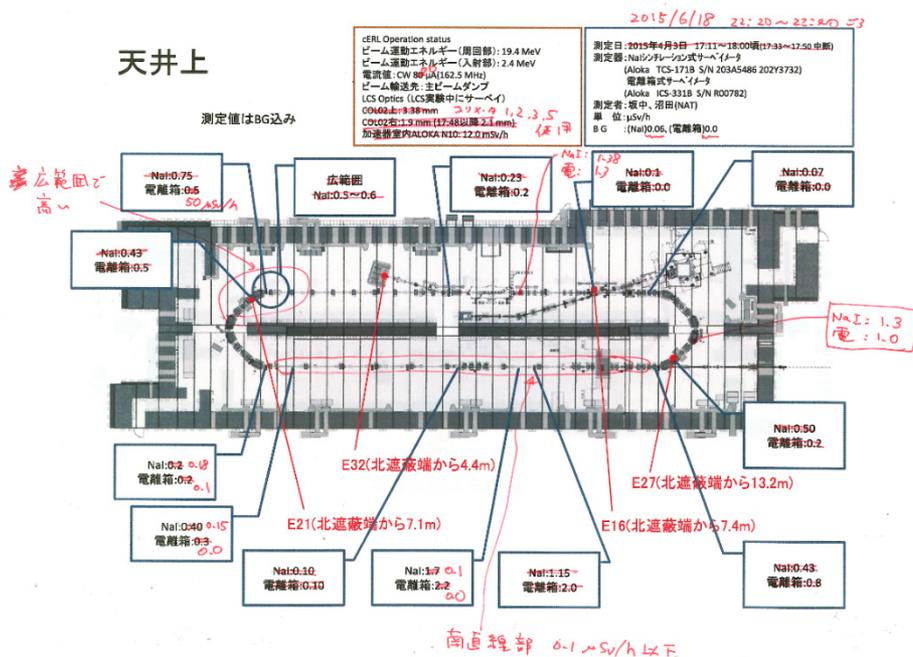
6/18 (木) : ビーム調整

- 入射器空洞の不調のため、前倒ししてCW運転の調整
- Optics・軌道調整
 - Optics調整・マッチングをあまりやってない。
 - 第1アーケの通し方がいつもと違う。
 - できる限り、励磁するステアリングの数を減らした。水平・垂直ともに1か所ずつ。
 - ダンプラインの軌道調整にZHBMAD01を使用。
 - これまでにあまり経験のない例。理由はわからない。
- コリメータ
 - COL1,2,3,5を使用。COL3は6/4と同様にbefore LCSを抑えるために使用。
 - CW運転を行いながら、COL3とCOL5の微調整。
 - エネルギー回収効率もリアルタイムで測定。
 - 主空洞上流(N05)を下げるためにCOL5を使用。
 - COL3でエネルギー回収率が変わった。(つまりビームの位置が徐々にずれていた。)



6/18 (木) : CW運転

- CW運転しながらCOLを調整し、最大80uAに到達。
 - 最大80uAに到達。
 - 天井のサーベイではCOL3付近のレベルが高い。COL3を入れてbefore LCS付近のレベルを下げていたため。
 - 南側直線部ではレベルが低い。
- 最後はALOKA N04 (ダンプ北壁) のILでCW運転が終了。
 - ダンプラインの軌道調整でZHBMAD01を使用したことと関係あるか。
 - エネルギーが低いため、大きな電流ロスでも放射線量は少ない。このILの閾値は上げていない。
- 今後のためにもCOL3を入れなくてもいい条件を探すことが重要！
 - COL3周辺に遮蔽を追加するが、できる限り、20MeV加速前のCOL1, 2のみでハローを削る。



6/18 (木) : CW運転中のチャージアップの影響



この日にチャージアップによる軌道・profileの変化を問題視し始める。
→これは来期には解決するはず。

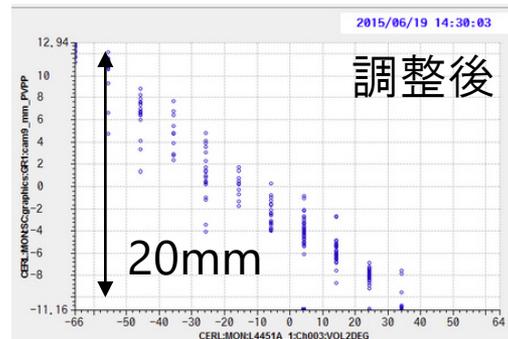
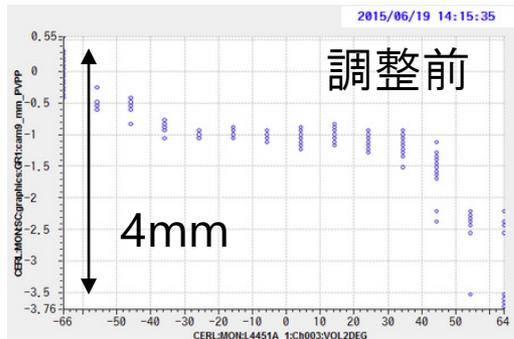
6/19（金）：入射空洞軌道調整1

COL1,2のみでハローをカットしてCW運転をすることが目的

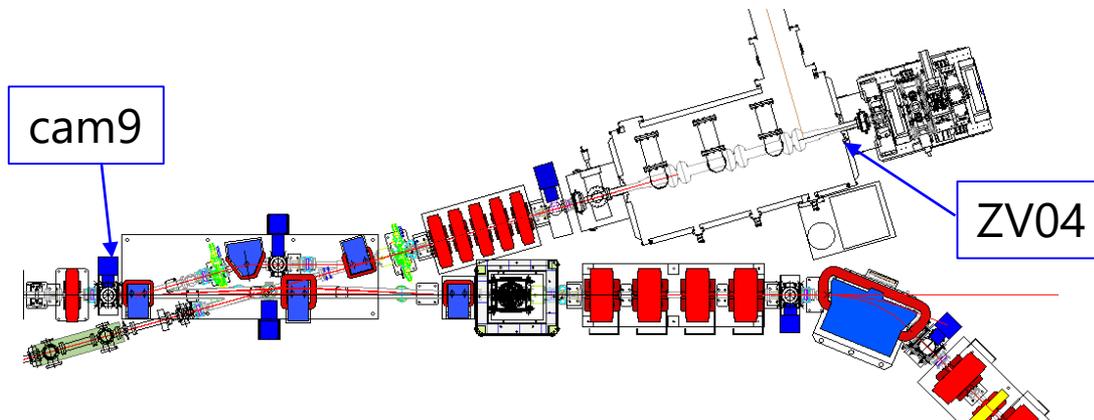
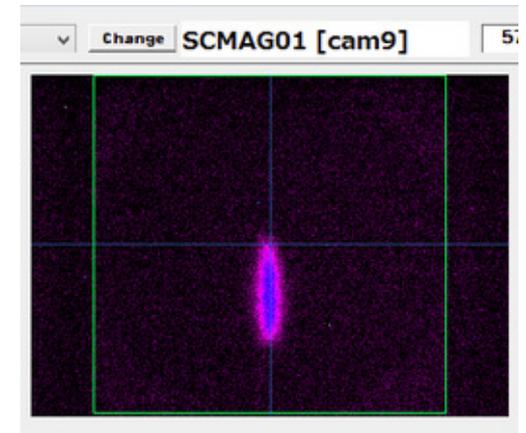
1. ZV04で入射空洞の軌道を調整

- レーザーのタイミングをずらしたときに垂直方向の位置がずれるようにZV04で軌道調整を実施
- その後、QMGC01とQMGC05の中心通しを実施。

Cam9の垂直方向の位置



レーザーのタイミング



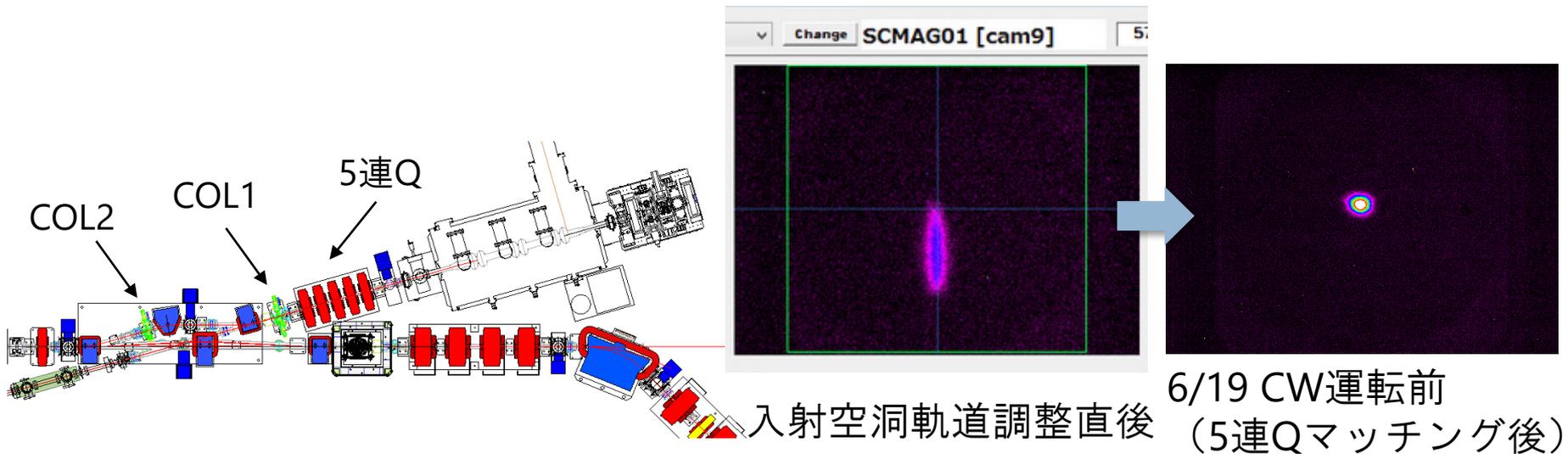
本田さん、宮島さんの提案

6/19（金）：入射空洞軌道調整2

COL1,2のみでハローをカットしてCW運転をすることが目的

2. その後下流の5連Qを調整

- COL1とCOL2は5連Qの下流にある。
- このときは、エネルギーパネルの設定を間違っていたため、不本意の結果のはずである。
- Cam9で縦長だったbeamが円になっている。
- ビームの重心が垂直方向に移動しているように見える。COL付近の軌道が変わってしまった可能性あり。



本田さん、宮島さんの提案

6/19（金）：Optics調整・CW運転

- Optics調整
 - 入射部のマッチングを実施。MP2は成功。
 - LCS衝突点のopticsをQ scanで調整。しかし、バンプは立てず。→LCS実験室のノイズが非常に少なかった。
 - 6/4, 18は実施していなかった。
- 軌道調整
 - 第1アークの軌道調整を普段の方法に戻す。
 - ダンプラインの軌道調整にBMADPSを使用。第1アークとの因果関係は？
 - 周長を12mmも変える必要があった。
- CW運転
 - COL1,2のみでLCS付近のロスモニタの応答が減る。
 - ALOKA N04（ダンプ北壁）のレベル
→第2アークの分散関数・opticsの調整をやりお直して、下げることができた。
 - ALOKA N12（CircFC中壁）が徐々に上昇。
 - CW運転中にCOL5を挿入、ZV05（入射空洞直後のステアリング）をわずかに調整。→チャージアップが原因か。ミラーの交換で必要なくなる？

6/19 (金) : CW運転中の放射線量

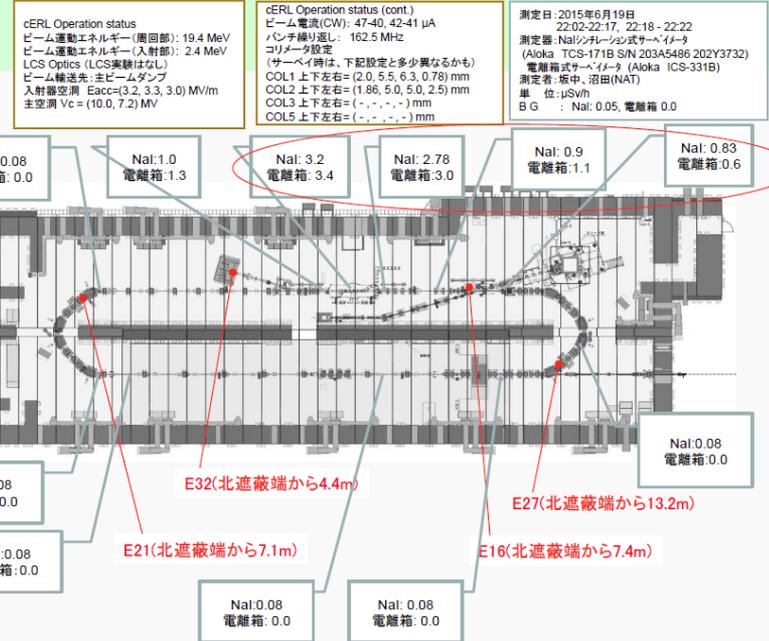
• CW運転

- ALOKA N04 (ダンプ北壁) でレベル上昇。
→リターンビームの調整、第2アークの分散を閉じて対処。
- リターンビーム調整後
→ALOKA N12 (CircFC中壁) が上昇。主空洞近くのALOKA N05では1800mSv/h。
- 天井サーベ이의結果：主加速空洞からダンプにかけてレベルがやや高い。
減速ビームの調整が課題になる。

ALOKA monitors (6/19 22:33, I=41 μA)



天井上サーベイ



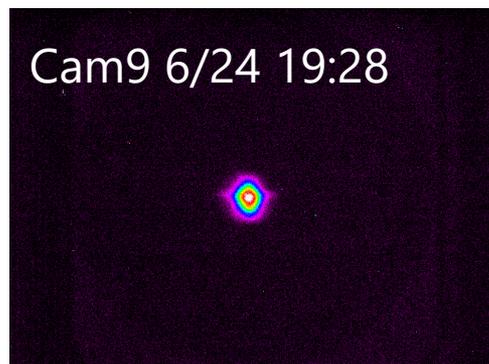
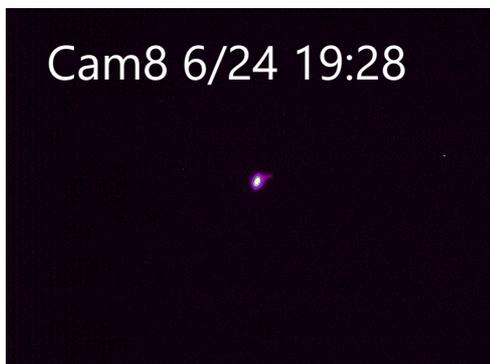
6/24 (水) 1回目のCW運転 (20:40まで)

ALOKA N12が上昇したため、CW運転で3 uAまでしか上げられなかった。

- 入射部ビーム調整
 - 6/23の入射部opticsマッチングのパラメータをそのまま引き継ぐ。
→この際、入射空洞までの軌道は6/19と同じ。
 - 5連Qのマッチングを実施。
→COL1, 2までの軌道が変わってしまった可能性。(ZV05以降を変更)
→Cam9から左右対称に伸びる羽のような形状がある。

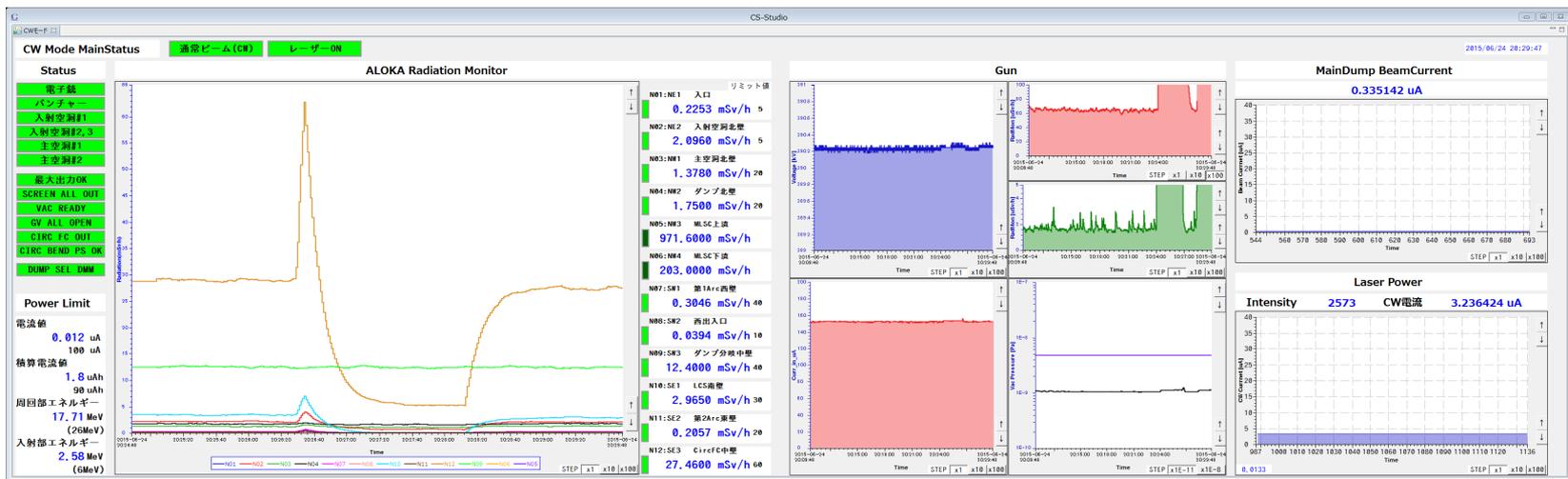
IDIR [A]	6/24 19:26	6/19 23:22
QMGC01	0.000646	0.0840
QMGC02	-0.0945	-0.0471
QMGC03	-0.137	-0.238
QMGC04	-0.0839	-0.0285
QMGC05	0.195	0.173

5連Qの調整前後のパラメータ



6/24 (水) : 1回目のCW運転 (20:40まで)

- 周回部ビーム調整 (非常に大変であった)
 - ビームプロファイルがガウシアン分布からほど遠かったため、Q scanの結果がいびつになる。
 - 主加速空洞の位相調整を行うが、テールらしきものは消えない。
 - LCS opticsの調整に時間がかかる。
 - 第2アークのビームプロファイル調整にも手がかかる。
 - 閉じていたはずの第1アークの分散関数が漏れていたため、修正。第2アークは閉じなかった。
 - 電子銃FCとダンプFCの電流に10%の差
- コリメータ調整
 - COL2は第1アークに効いたが、COL1がほとんど効かなかった。
 - COL3はややLCS付近に効果あり、COL4でLCS付近のロスを減らす。
- CW運転
 - ALOKA N12 (Circ中壁) が上昇したため、最大3uAまでしか行かず。Burst modeにして、ビーム調整やり直し



6/24（水）：2回目のCW運転（20:40以降）

成功していた6/19の設定をロードして、主加速空洞の位相も戻す。

- Optics調整
 - 周回部輸送が容易、10分程度でダンプまで輸送
 - テールが小さくなり、ビームのプロファイルはガウシアン分布に近くきれい。
 - cam31で中心を通過できなかった。
- LCS調整・コリメータの調整が1時間半程度。
 - COL1と2のみでCW運転開始。
- CW運転
 - **最大90uAで運転。良好な結果。**
 - 天井サーベイの結果、南側直線部のレベルが高かったが、その後COL2 top挿入で激減
 - 主加速空洞からダンプにかけては6/19よりレベル低い。
 - ALOKA N05が1000mSv/h以下であった。FEが原因であり、ビームロスによるものではない。
- LCS実験
 - 6/19よりノイズが3桁大きい、この日と違ってバンプを立てていた。

6/24 (水) : CW運転中の放射線量

- 6/19をロードした後にサーベイ
- 天井サーベイの結果は南側直線部が高かったが、その後COL2 topを挿入して下げることができた。→チャージアップの影響か。
- 主空洞近くのALOKA N05は1000mSv/h程度で低かった。
 - cam30 (入射合流部近く) でビームを小さくまとめ、BPMで主空洞の中心を通すように調整したことが効果的だったか。
- ダンプラインで中心を通ってなかったが、ALOKA N04 (ダンプ北壁) は低かった。

ALOKA monitors (6/24 22:10, I=76 μ A)

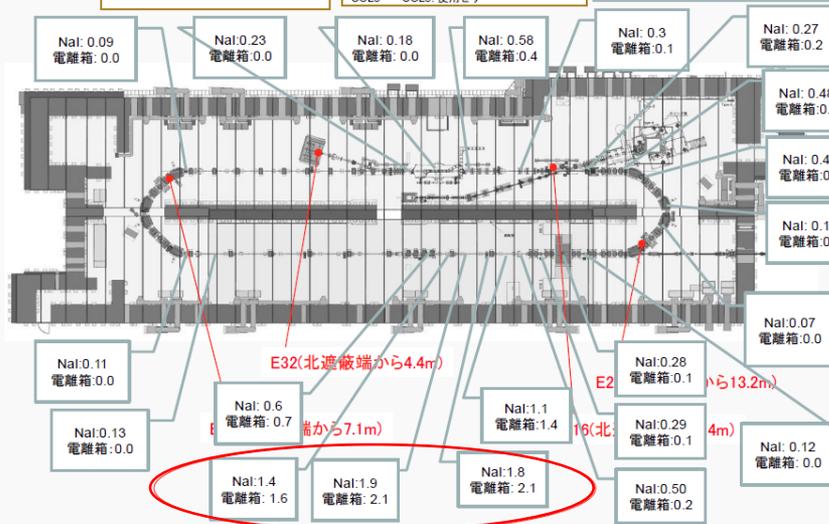


天井上サーベイ

cERL Operation status
 ビーム運動エネルギー(周回部): 19.4 MeV
 ビーム運動エネルギー(入射部): 2.4 MeV
 LCS Optics (LCS実験調整)
 ビーム輸送先: 主ビームダンプ
 入射器空洞 Eacc=(3.2, 3.3, 3.05) MV/m
 主空洞 Vc=(10.0, 7.16) MV

cERL Operation status (cont.)
 ビーム電流(CW): 74 - 65 μ A
 パンチ線り返し: 162.5 MHz
 コリメータ調整
 (サーベイ時は、下記設定と多少異なるかも)
 COL1 上下左右=(4.5, 1.7, 5.3, 2.8) mm
 COL2 上下左右=(3.5, 5.1, 5.0, 3.5) mm
 COL3 ~ COL5: 使用せず

測定日: 2015年6月24日 22:10 - 22:40
 測定器: NaIシンチレーション式サーベイ
 (Aloka TCS-171B S/N 203A5486 202Y3732)
 電離箱式サーベイ器 (Aloka ICS-331B)
 測定者: 坂中, 浅川(NAT)
 単位: μ Sv/h
 BG: NaI: 0.05, 電離箱: 0.0



ビームプロファイルの比較

6/24 19:28 (前半、CW運転前、最大3uA)

COL1,2,3,4を入れる。

ALOKA N12 (CircFC中壁) 発報

cam13

cam17

cam29

cam30

6/24 23:02 (後半、CW運転後、最大90uA)

COL1,2のみ。N05 (主加速空洞入口) <1000mSv/h

cam13

cam17

cam29

cam30

なぜ23:02の方がよかったのか、謎が残る。
(周回部の軌道調整をする必要があるのか。)

6/25 (木) : Optics調整・CW運転

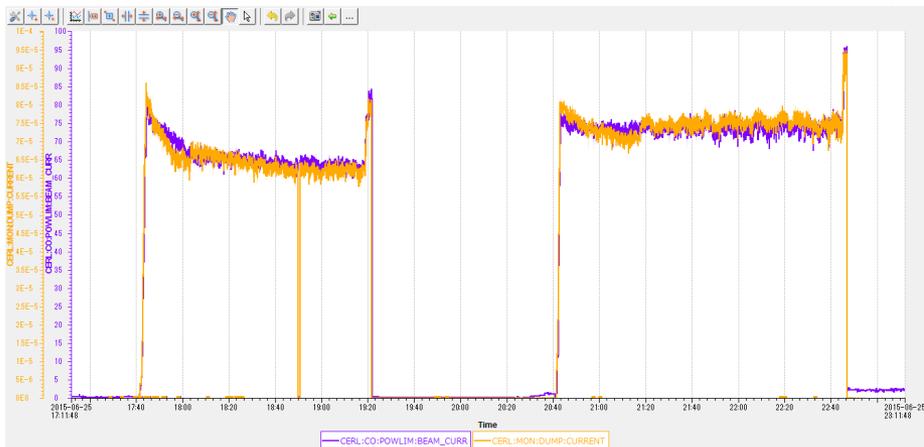
CW運転は順調、LCS実験も実施

• Optics調整

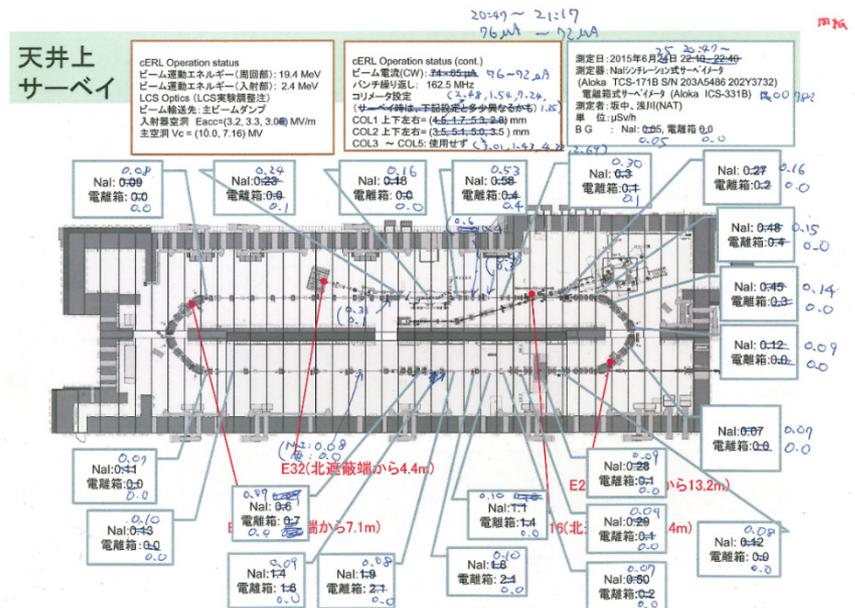
- 6/24のopticsを読みこみ、LCS opticsの調整。
- COL調整中にビームが不審な動きをすることに気づく。(KEKB通電試験が原因と思われる。)

• CW運転

- 最初は1uAでILが働いたため、Cam30で非常に横長になっていたbeam profileをまとめる。第2アーケの分散関数調整、主空洞・ダンプリン軌道調整
- ビーム調整後に90uAまで電流を上げる。
- 天井のサーベイ結果はとても低く良好。
- 運転中にCOL1やZV05を調整→ALOKA N12 (CircFC中壁) を下げるため

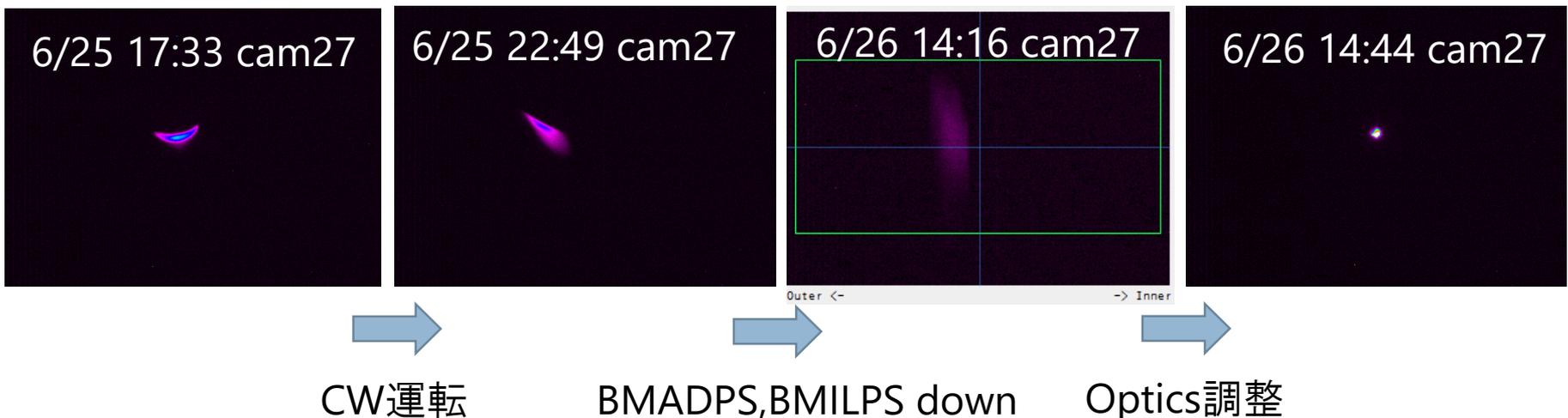


6/25の電流の履歴



6/26 (金) : 周回エネルギー変更-> LCS

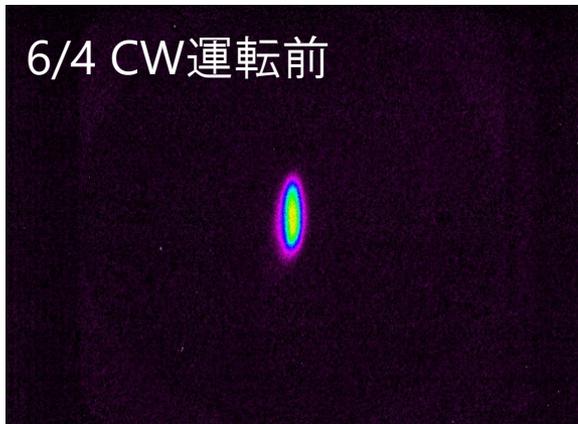
- 周回エネルギーを変えてLCS実験を行うstudy。
- Optics調整
 - 前日のopticsの再現を試みたが、当日朝にシケインの電源 (BMADPS, BMILPS) がILで落ちたためか、cam27 (第2アーク中央) でビーム形状が再現せずに、ぼやけてしまった。→アクシデントがあるとopticsは再現しないことも。
 - QMIL07-08, QMIM05-08でビーム調整すると、これまで時間をかけてもまとまらなかったcam30でまとめることができた。→BMADPS, BMILPSを再立ち上げたことが原因か。



各課題について

cam9のprofile

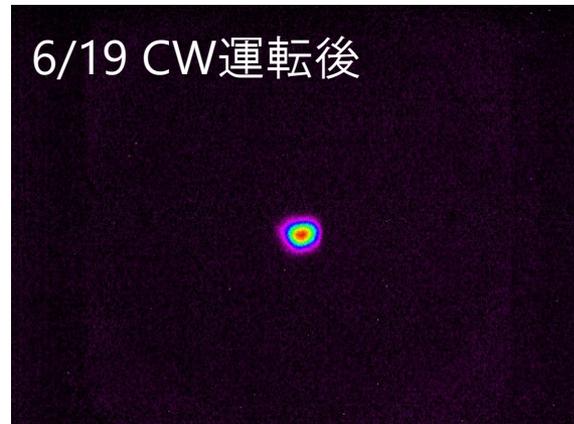
6/4 CW運転前



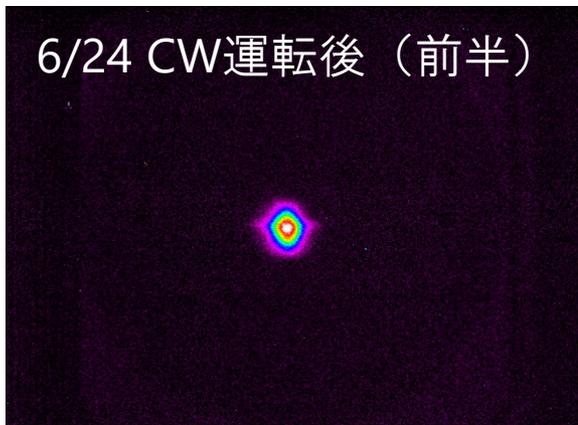
6/18 CW運転後



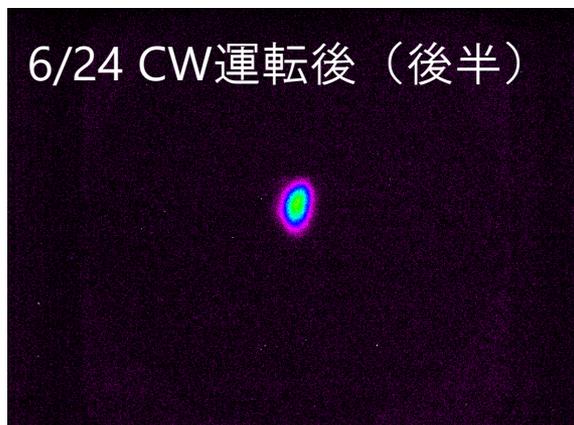
6/19 CW運転後



6/24 CW運転後（前半）



6/24 CW運転後（後半）



6/25 CW運転後



- 4月の時点では、cam9のprofileが縦に長ければCW運転がうまくいくという判断であったが、そうではないことが判明。
- 6/19以降では、入射空洞の軌道は変わってない。
 - ソレノイド・ステアリングの設定値は同じ。
- 6/24前半では羽のような形状も問題視されていた。
 - このときはcam8ですでに発生していた。
 - 周回部のビーム調整が普段より困難だった。

日付 CWの成績

6/4	×
6/18	×
6/19	○
6/24	×（6/19load前）
6/24	◎（6/19load後）
6/25	◎

CW運転用入射部optics調整

- 現状では、偶然見つけたopticsに頼っている、という印象が残る。
 - なんとかして、対応策を見つけない。
 - 6/19（金）がBESTとされているが、調整時間も短く不本意の結果だったはずである。
 - 電磁石電源などのトラブルがあると、見失ってしまう。
→6/25のopticsは6/26には再現しなかった。
- COL1,2だけでLCS付近のビームロスを減らすには、合流部までのoptics調整が要である。
 - 周回部のビーム調整にはあまり依存しない？
- CW運転を見据えた入射部optics調整（案）
 1. 電子銃レーザーのタイミングを変えてcam22&24で観測。
 2. COL1,2を挿入して、ビームが消えるようにopticsを調整。
 3. レーザータイミングを戻して、COL1,2でロスモニタの反応が下がるようにさらに調整。

ダンプラインの軌道調整

- 6/2
 - 入射ビームにふらつきがみられる。
 - Cam31の中心を通すために、BMADPSを調整。エネルギーの変化を疑う。
- 6/4
 - スムーズにダンプラインに誘導。
- 6/18
 - 分散関数は閉じる。
 - 第1アークの軌道調整方法が普段と異なる。
 - cam31の中心を通すとダンプにビームが行かない。
 - エネルギーが変わったことを疑い、BMADPSを変えたが、うまく行かず。
 - ZHBMAD01を調整しないとcam31・32の中心を通らなかった。
 - CW運転はALOKA N04（ダンプシケイン入口）のILで終了。
- 6/19
 - 分散関数は未確認。
 - 第1アークの軌道調整方法は普段と同じ。
 - BMADPSを調整する必要があった。
 - この日はALOKA N04についてコメントなし。
- 6/24（1回目）
 - BMADPSを調整する必要あり。
- 6/24（2回目）
 - 6/19の設定を読み込んだ後、10分でダンプへ。
 - 減速ビームは主空洞のBPMで合わせる。
 - Cam31・32の中心を通そうとしたが、途中で断念。
- 6/25
 - 6/24の設定を読み込んだ後、軌道調整のやり直し。
 - 分散関数の調整をした。
 - 減速ビームは主空洞のBPMで合わせる。
 - すんなりダンプに輸送できている。

はっきりとした原因・対策方法は不明。

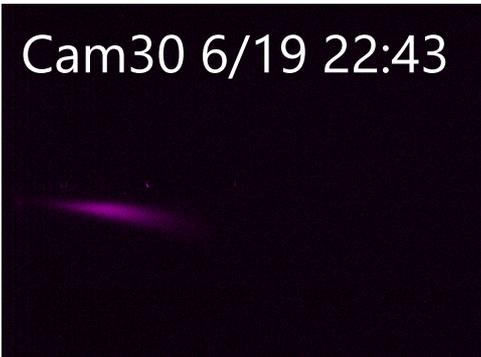
ダンプラインのビーム軌道

- 時折、cam31とcam32の中心を通過しないことがある。
 - ダンプシケインに斜めにビームが入っている状態。
 - BMADPSやZHBMAD01を調整に使用。
 - 調整に時間がかかることもしばしば。
- 5月から主加速空洞ML#2が10MV/cavで運転
 - 減速ビームが蹴られやすくなった可能性がある。
- 上流の軌道調整をやり直すと状況が変わることが多い。
 - Q scanをしているQの中心だけを通過し、ジグザグになっている可能性も。
 - 第2アーク出口のステアリングだけで調整できない時はさらに上流から調整しなおす。
- 6/18はALOKA N04（ダンプシケイン入口）のILでCW運転終了。
 - このILの閾値は上げていない。
 - エネルギー回収効率が高かった。
- エネルギーの安定性
 - 最初のDetune運転でBMAG, BMADの標準化を実施。再現性を高める。

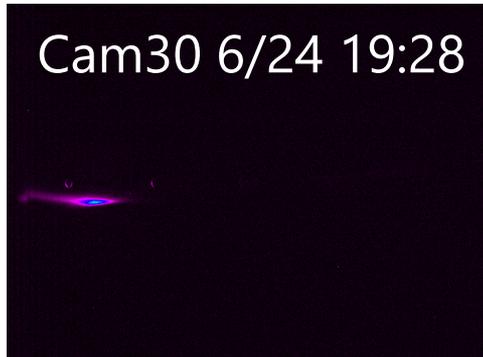
Cam30と減速ビームのロス対策

- 6/19（金）のサーベイ
 - 主加速空洞～ダンプまでのレベルが高かった。
 - ALOKA N05（主空洞入口）で1800mSv/hで飽和状態となる。
- 6/24の1回目のCW運転
 - ALOKA N12（CircFC中壁）でレベル高く、3uAが上限
- 6/24の2回目のCW運転
 - 最大90uAだったが、6/19よりも主加速空洞～ダンプのレベルが低かった。
- 6/25
 - サーベイした時はどこもレベルが低く良好だったが、徐々にN12が上昇し始める。最大90uA。

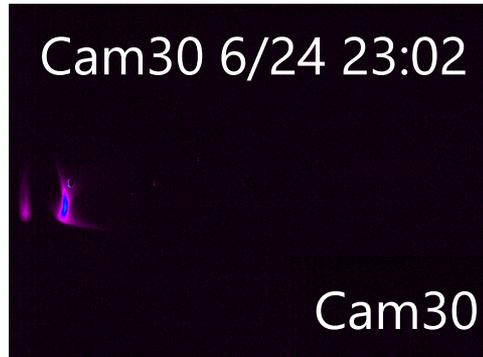
Cam30 6/19 22:43



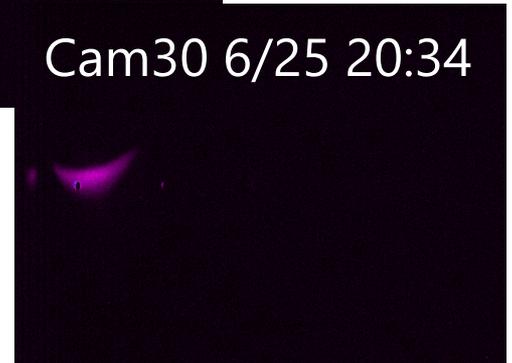
Cam30 6/24 19:28



Cam30 6/24 23:02



Cam30 6/25 20:34



cam30ではビームをまとめたほうがよさそう。

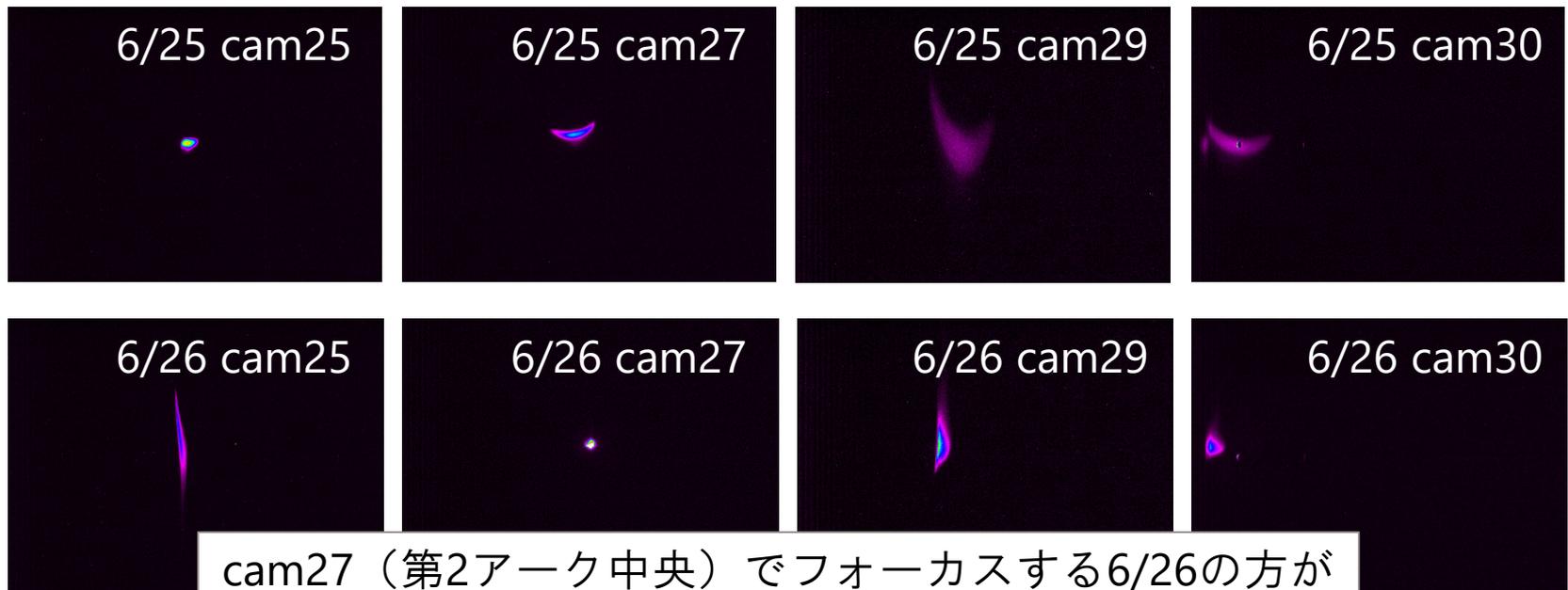
→失敗することも多い。効率的な方法はあるか？

2ビームのBPMによる軌道調整も効果的

帯名、第97回ビームダイナミクスWG参考

第2アークoptics調整

- これまで数時間かけていたこともあった。
 - 前日の6/25（木）には第2アーク出口以降から全くまとまらなかったが、6/26（金）はスムーズにまとめることができた。
- 6/26にうまく調整できたきっかけは運転前のBMADPS, BMILPSのdownか。
 - 履歴によって、下流のopticsに影響があったと思われる。
 - その後、QMLC07-08,QMIM05-08を再調整。
 - この際、6/25のCW運転前とcam11,12のprofileが変わっていた。実はBMAGPSも落ちていたということは？
- 第2アークの調整に手間取ったときは、LCSより上流からやり直すと効果的か。



cam27（第2アーク中央）でフォーカスする6/26の方が
デザインオプティクスに近い。

まとめと今後の課題 (1/2)

• CW運転の放射線量の問題点

1. COL3でハローを落としたときに、周辺の線量が上昇する。
→遮蔽追加で対応、COL1,2で落とすように
2. 入射空洞の軌道調整でリターンアークの調整が悪い場合、ALOKA N12 (CircFC中壁)、N05 (主空洞上流)、N04 (ダンプ北壁) などのレベルが上昇。
→リターンビームの調整が重要

• 入射部軌道・オプティクス調整

- レーザーのタイミングによって軌道がずれるよう、ZV04で蹴ると効果的。
- 5連Qの中心を通過していない場合、その設定でCOL1,2までの軌道が変わる。5連Qの設定後に軌道調整すべき。
- できる限り、20MeV加速前のCOL1と2でロスモニタの反応が小さくなるようにopticsを調整。

• リターンビームの調整

- 第2アークの分散関数を閉じることは重要。
- 第2アーク～Cam30でビームサイズを小さくまとめるといい。
→上流のシケイン電磁石ダウンによって、第2アークが調整しやすくなったということがあった。LCS手前のopticsを調整しろに入れてみる。
- 主空洞のBPMで2ビームの軌道が中心を通るように調整を丁寧に行う。
- ダンプラインの軌道は、第1アークなどの上流の軌道調整方法を変えると、影響を受けている模様。

まとめと今後の課題 (2/2)

- 電磁石の標準化
 - 6/26の時のようにトラブルで電磁石電源が落ちることもある。
 - シケインなどの偏向電磁石も実施すべき。
 - コミッショニング最初の「デチューン運転→そのままダンプ」の調整でも電磁石のループを決める。
- Cam13の非線形なビーム形状
 - QMAG08で調整すると解消される傾向にある。
 - この場所に関わらず、極端にビームサイズが大きくなる点をなくすことが重要。
- ミラーのチャージアップの問題は解決されると期待。
 - CW運転中にCOLやZV05を操作する必要もなくなる。