

第 89 回ビームダイナミクスWGミーティング・メモ

日時：2014年7月9日（水） 13:30-17:30

場所：PF 研究棟2階会議室

参加者（敬称略）：羽島、永井（JAEA）、三浦、チュウ、宮島、本田（洋）、塩屋、上田、島田、原田、下ヶ橋、高井、帯名、本田（融）、谷本、阪井、梅森、坂中、小林、河田、中村（KEK）-メモ作成

1. オプティクス関係スタディのまとめ → 発表資料 島田

・主にシングルキックの応答を測定した結果を示す。xy カップリング測定や LCS オプティクスでのシングルキックなど残されたデータの解析結果は後日報告する予定である。

・北直線部～第1アーク部、南直線部のシングルキックの応答を測定した。キック源から近い場所では elegant の計算値と測定は概ね良く合う。距離が離れると有意なずれが見られるようになる。

・直線部について QM を off にしてドリフトスペースについての応答も測定した。南直線部での測定と計算のずれは、QMIM04 や QMLC05 の設定値に -0.03A、-0.05A のコイル電流の誤差を仮定することで概ね説明することは可能である。ただ、距離が離れるとその効果は小さくなる。

・Q スキャンによるコイル電流と K 値の校正を行った。差は 10%程度あるいはそれ以下であるが、ヒステリシスが見られた。

・第1アーク部でも QM を off にして4つの45度偏向電磁石だけの応答を測定した。水平・垂直共にこの測定と計算結果が概ね良く合うので、elegant で使用した偏向電磁石モデルに大きな誤りはないだろう。

・第1アーク部の分散関数を測定し、計算と比較した。垂直方向は計測誤差を考えると合っているとも言えるが、水平方向では少しずれが見られる。Q スキャンによるコイル電流と K 値の校正を QMIF01-03 で行ったが、QMIF04-06 の校正は行わなかった。

・(C) キック源からの距離が近いとずれが少ないことは確認はできたので、ほとんどの QM は正常に機能していると思っていいのではないかと。離れた領域で計算とのずれが大きくなるのは、特定の QM の誤差ではなく誤差の積み重ねの結果ではないか。(C) 誤差を加えた fitting などを使って測定応答が計算と合っているかどうかの基準を考える必要があるのではないかと。

・(C) 残留磁場は測定するとポールピースの先端で最大で 3G 程度あったので、電流で 0.01A、K 値で 0.15m^2 の誤差が最大と考えられる。応答の計算との一致を考える場合に残留磁場を誤差として考える必要がある。ただ、-0.05A は1つの QM の残留磁場では大きすぎる。(C) 高いエネルギーまで考慮して設計した電磁石なので、現在の電源の最大電流では消磁には十分ではない。ヒステリシスで残留磁場が変わりうる。(C) 個々のずれはあっても LCS エリアで問題ないようにすることが重要ではないか。(C) 対象とする K 値のずれを全て求めた上で合わせてはどうか。

2. LCS バンプスタディのまとめ → 発表資料 原田

・LCS で電子ビームとレーザーを合わせるためのバンプ軌道を得るために、今回は LCS オプティクスではほぼ全周に近いシングルキックの応答を測定して全般的なチェックを行った。

・2回スタディを行ったが、1回目は蹴りすぎてビームロスを起こしたので、2回目は最大軌道が 2mm

になるようにしたのでロスはほとんどない。データとしては、キックの前後での軌道と正負のキックでの軌道を測定した。キックの前後での軌道の再現性はそこそこあるので、傾向はわかるだろう。

- ・SADのシミュレーションによる計算値と測定データを比較したが、前半はともかく後半を含めて全周を見ると良く合っていない。また、水平のキックによって垂直の軌道変位（カップリング）が生まれていることがわかった。南直線部あたりからが主であるが、それより前の場合もある。垂直キックによる水平軌道の変位も比較すると小さいが、起こっていた。

- ・回転(0.1, 0.01mrad)、位置(0.05, 0.005mm)、強度(0.01, 0.001%)の誤差をランダムに仮定した計算を行ったが、測定データのカップリングなどを再現することにはならなかった。ステアリングの六極成分についても全体のカップリングの変位は測定に比べてかなり小さかった。

- ・(C)共振器レーザー自身の可能な移動量は2mmしかないので、DCでいいのでLCSのバンプが必要である。(C)現在、BPMの測定に20-30秒かかっている。速い測定や補正をするには、モニタ関係にもう少し予算をつぎ込む必要があるのではないかと。

- ・(C)誤差のシミュレーションで、残留磁場を考えると強度誤差の仮定が小さすぎる。(C)カップリングについて全周に渡って計算と合っていないが、局所的には六極成分でカップリングが説明できるのではないかと。(C)後半にカップリングが計算と比較して大きくなるのは、第2アーク前でのオプティクスマッチングが不十分であることや計算で入れた強度誤差の過小評価の影響もあるのではないかと。

3. LCS関係スタディのまとめ → 発表資料 本田(洋)

- ・来年予定されているLCS実験に向けて、その準備のためのスタディ結果を示した。

- ・電子ビームエネルギー20MeV、レーザー波長1064nmなので、最大X線エネルギーは7keVになり、発散角は約25mradである。光量を稼ぐために発光点から距離8mのところ検出器を配置する。

- ・X線量としては、電子ビームパラメータ(0.7pC/bunch, 1.3GHzバンチ繰り返し、1msマクロパルス幅、5Hzマクロパルス繰り返しを仮定)とレーザーパラメータ(162.5MHz, 0.2mJ/pulse)を考えると、検出器で2000個程度である。余裕をみて200個とすると、バックグラウンドは10000個程度には抑えたい。

- ・CsIをPMTで読み出すモニタを用意してバックグラウンドの測定を行った結果、直線部からMeV領域の信号が来ていることがわかった。スクリーンモニタを使ってビームロス位置の依存性を測定した結果、第1アーク部でのロスは検出されないことと南直線部では距離の2乗に近い関係があるので下流のロスが主になりうるということがわかった。簡単なロスモニタを設置してバックグラウンドの起源を調べた結果、通常のオプティクスでは検出されなかったため、LCSオプティクスで生じる大きなベータatron関数の場所でビームハローが損失している可能性が高い。上流のコリメータ(col2, col4)を入れてバックグラウンドの変化を見たところ、ビームコアを削る1mm程度前で減ることがわかった。

- ・バックグラウンドスペクトルから問題となる低エネルギーX線量を推定した(数100keV以下は暗電流に埋もれて見えない)。通常オプティクスよりもLCSオプティクスでは1桁高いレートで、低エネルギーで上がっていく。5-100keVで3000個/sec程度と推定した。残留ガス(10⁻⁶Pa)によるバックグラウンドはEGSでの計算では無視できるので、真空を良くしても減らないだろう。

- ・LCSオプティクスを調整して、衝突点のスクリーンモニタを使って水平・垂直での焦点が重なるようにした結果、1ピクセル(約50um)以下のサイズにまで絞ることができた。モニタの分解能以下だが、

非線形効果などがなければ 10 μ m 程度に絞られているはずである。

・入射空洞や電子銃によるビームローディングの影響を評価した。ピーク電流 1mA、1ms パルスモードでは入射空洞では LLRF のフィードバック機構から計算では 0.3%程度の変動に、電子銃では 1kV の電圧低下になる。BPM 信号でピーク電流 0.16mA と 0.9mA の 1ms パルスで 0.5%の変化を確認した。1 μ s のパルス幅では変化しなかった。また、入射空洞の振幅を 0.3%下げたり電子銃を 1kV 下げた場合、衝突点でのスクリーンモニタではビーム位置やサイズの変化は大きくなかったが、ダンプライン入口で影響が少なからず見られた。

・電子ビームと検出器は何とかなりそうであるが、共振器レーザーの仕様に余裕がないし、当初は仕様を満足しないことも考えられる。バックグラウンドを減らす可能性としては、LCS オプティクス最適化やベータatron関数の低減、CW 運転、電子ビーム繰り返しの低減、X線コリメータの設置などが挙げられる。

・(C) col1 はまだ使っていないので、使用してみてもどうか。低エネルギーで削れる。ロスがエネルギー由来ではなくエミッタンス由来ならば効果があるかもしれない。(C) col3 は既に使った。(Q) コリメータ間の位相関係は 90度近くになっているのか。(A) 確認する。(Q) ガス散乱の評価で散乱してハローになった効果は含まれているのか。(A) 入っていない。

・(Q) 検出器での X線のエネルギー幅を絞った方がいいのではないかと。(A) 半導体検出器(SDD)であれば可能だが、サイズは 5mmx5mm で小さくなるので、信号も減る。(Q) LCS オプティクス調整は高電荷では行ったのか。(A) 行っていない。やるべきではあった。(Q) 電子銃レーザーの繰り返しは共振器レーザーと同じまで下げられるのか。下げられればバックグラウンドはその分減る。(A) 検討するが、1.3GHz 運転と両立しないといけない。(C) その場合、今までの準備作業がかなりリセットされるのではないかと。

・(C) 発散角の違いで X線コリメータを設置するのがいいのではないかと。(C) 衝突点とバックグラウンドの位置が近いので劇的に変わらないと思う。(C) X線コリメータを設置する場合、検出点を少し下流にした方が S/N は上がるかもしれない。(C) 信号がもともと多ければいいが、信号の絶対量が下がることにならないか。(Q) 薄いシンチレータのエネルギー分解能はいくつか。(A) 信号となる X線に対しておよそ 1光子しか PMT で拾えないので、スペクトル分解は困難である。

4. 高バンチ電荷運転スタディのまとめ → 発表資料 宮島

・6月16日ー21日に行われた高バンチ電荷運転のスタディについて報告がなされた。

・16日にカソードの交換を行い、交換したカソードに合わせてレーザーの調整とカソードの QE の測定も行った。ピーク電流 25mA までビーム引き出し試験を実施し、スクリーンモニタと FC で確認した。17日は、基本的には計算によるパラメータ値設定を行って、レーザーのパルス幅を伸長させた。バンチャ空洞の電圧は約 65kV に上げ、入射空洞での位相調整を行い、第1空洞は今回 off crest 加速に設定した。診断ラインでバンチ長とエミッタンス測定をした結果、10ps、3.5-4.0 mm mrad であった。その後、合流部を経て主空洞でビーム加速して、第1アーク入口まで到達した。

・18日はビーム品質よりも周回部輸送を優先してオプティクス調整した。レーザーを 32ps まで伸長させ、直後のスクリーンでビームサイズが小さくなったことを確認した。主空洞を通すと主空洞がビーム負荷で落ちたので、LLRF のフィードバックを low gain に設定した。80%のビームを可動ダンプまで、

25%を主ダンプまで輸送できた。

・19日はビーム品質測定とビームロスの低減を試みた。ソレノイドスキャンを行って空間電荷の影響を調べると共に、計算モデルの修正を行った。ソレノイドを強くすることとバンチャ及び入射空洞の位相詳細調整を行い、40%を主ダンプまで輸送できた。周回部での水平・垂直の規格化エミッタンスは、42mm mrad、14.7mm mradであった（設計では0.6mm mrad）。オプティクスへのマッチングも試した。

・20日は、7.7pC/bunch用の新オプティクスを計算して試す。第1入射空洞の位相で-22度に設定した。オプティクスへのマッチングを4カ所で行った。完全ではないが、第1アーカ部でのロスがほとんどなくなり、可動ダンプまで90%を輸送できた。北直線部でのエミッタンス測定の結果、水平・垂直で2.9、2.4mm mradで入射診断部での測定とほぼ同じであった。南直線部でのエミッタンス測定では、水平・垂直で5.8、4.6mm mradで大きくなったが、前日に比べると大幅に減少した。

・問題点はバンチャ長が計算と合わないこととエミッタンスが大きいためである。どちらも入射器で起きている。環境磁場の影響や空洞の中心軸通しが不十分であるためかもしれない。空洞などの中心を通っていない可能性も有るので、ソレノイド架台を動かして中心軸を合わせることを検討している。周回部でのビームロスはマッチングで改善されたが、まだ不十分であり、原因を究明する必要がある。

・(Q) 電子銃直後のスクリーンで観測ビームが2重構造のようにになっているのは何故か。(A) ポツケルセルによるレーザー遮断中に通過する部分が小電流で広がらずに中心付近にいるためであると考えている。(Q) マクロパルス幅はいくつか。(A) 1 μ sであるが、途中から200nsに変えた。主空洞への負荷と可動ダンプへの電流を抑えるためである。(C) ビームロスがあつて主空洞のアーカセンサーで落ちた時に、電子ビームの主パルスの後に2つの小さなパルスが続いていることを確認した。レーザーにそもそもその構造があつた。(Q) その小さなパルスのビームロスへの影響はないのか。(A) 1%以下である。

・(Q) エネルギー広がりほどの程度か。また、バンチャのテールはあるのか。(A) エネルギー広がり0.4%程度である（計算は約0.3%）。入射診断部の偏向空洞を使って見る限りはテールはあまりなかったと思うが、非対称でガウス分布ではうまく合わなかった。(Q) エミッタンス増大の原因を空洞のオフセットに求める場合、レーザーパルス32psの小バンチャ電荷運転と7.7pC/bunch運転を比較するといい。

(A) 32psの小バンチャ電荷運転はしていない。(Q) 軸調整をソレノイドではなくレーザー位置を動かすことでできないか。(A) 検討しないとわからない。

5. LLRF スタディまとめ → 発表資料 チュウ

・cERL LLRFのシステム同定のスタディ結果を報告した。

・システム同定を行うのに、個々の要素ごとに調べるのは時間がかかるので、システムをモデル化して調べる。調べるのにホワイトノイズを入力として与えてその応答出力を観測する。3種類のモデルがある。ホワイトモデルは各要素の足し合わせであり、グレーモデルはシステムの詳細を知ることにはならないが、システムの構造が同定できる。ブラックモデルは非物理的なモデルで、予めシステムについての情報を全く知る必要はない。

・設定したモデルに対してMATLABでその応答を出力し、測定データと比べる。2つの残差を比べると、ブラックモデルが最も小さい。

・システムがモデル化されれば、外乱部分を入力に戻してやるのが可能になって、高周波数ノイズ

を消すことが可能になる。このモデルベースのフィードフォワードによってシミュレーションで安定性が高まることが確認できる。

・(Q) ホワイトノイズの最小時間間隔はいくらか。(A) 100us 程度である。(Q) ブラックモデルの係数はどうやって決めるのか。(A) matlab の toolbox が数学的に決定している。(Q) ブラックモデルの形はどのようにして決めているか。(A) 2 次のモデルが例として挙げているが、4 次の方が実際には良い。(Q) ホワイトモデルが合わないのは、見落としている要素があるからか。(A) そうである。(Q) グレーモデルは形から 1 次のブラックモデルではないか。(A) おそらく 1 次のモデルではあろう。

・(Q) モデルが変わることはないのか。(A) 10% くらいの利得やバンド幅などの変化は対応できる。(Q) モデルベースのフィードフォワードを cERL のビーム負荷補正に応用するつもりはあるのか。(A) そのつもりである。(Q) 高バンチ電荷運転に応用できるのか。(A) 1us の遅れがあるので、1us のパルス幅では機能しない。1ms では可能だ。(Q) フィードフォワードではなくフィードバックではないのか。(A) 実質的にはそうだ。全体のフィードバックは PI 制御を行っているが、それとは異なる。

次回予定

日時：2014年9月3日(水) 14:00～

場所：PF 研究棟 2 階会議室