

KEK電子陽電子入射器における RF位相フィードバックの導入

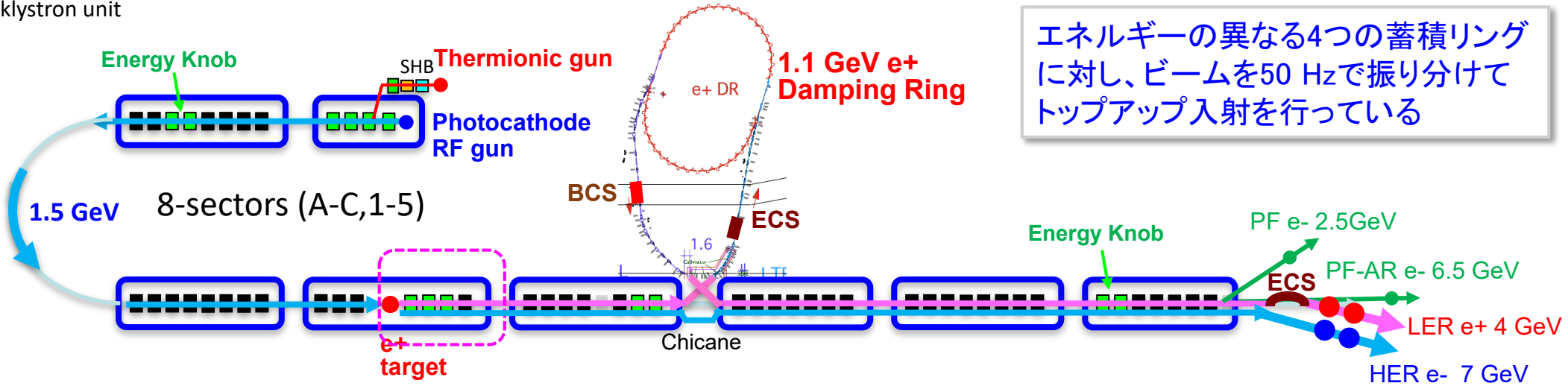
三浦 孝子, 荒川 大, 片桐 広明, 松本 利広, 矢野 喜治 (高エネ研),
工藤 拓弥 (三菱電機システムサービス), 大房 拓也 (関東情報サービス)

要旨

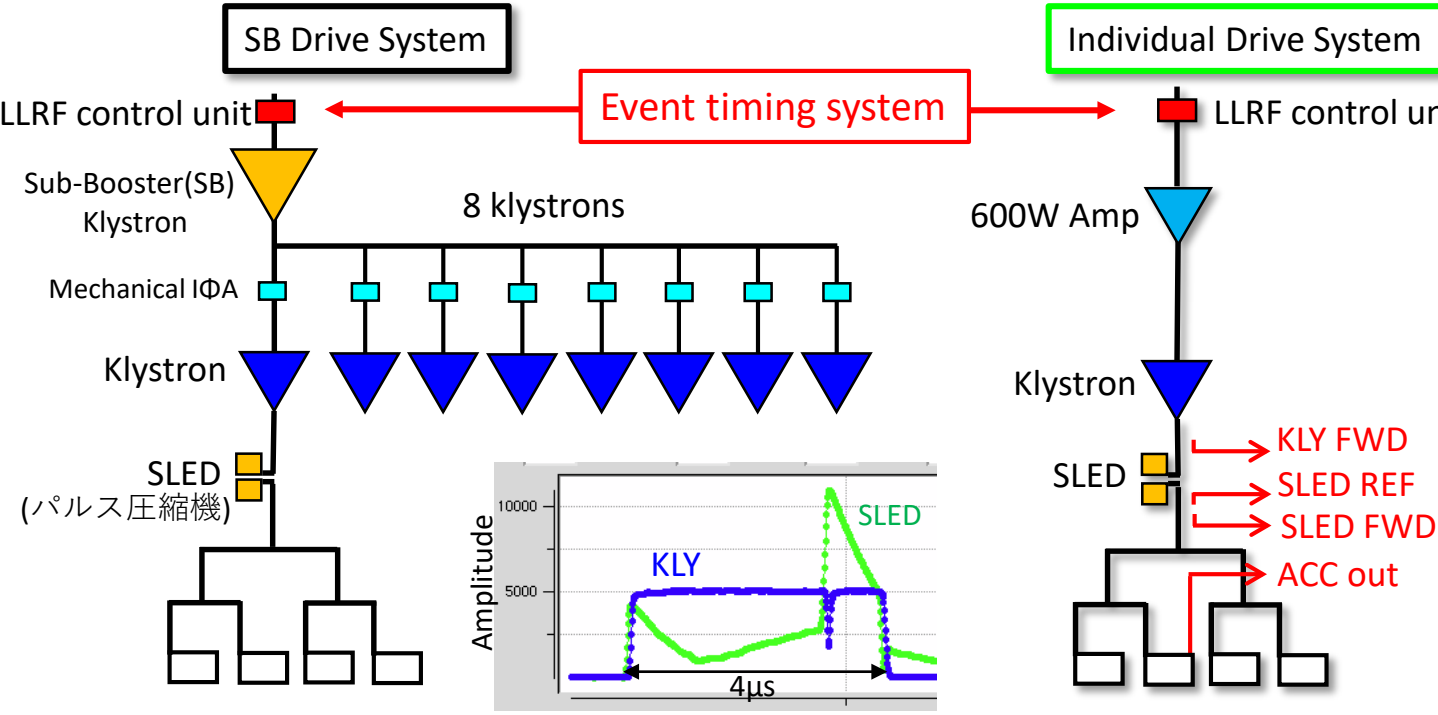
KEKの電子陽電子入射器は、4つの蓄積リング(SuperKEKB HER, LER, PF, PF-AR)への同時トップアップ入射を行っている。RFに関してはパルス幅が4 μs と短く、また、各リングのビームモードでRFのタイミングや位相を50Hzのパルス毎に切り替えて運用しているため、RFのフィードバックは導入していない。そのため、RFの安定度はクライストロンモジュレータの電圧安定度や冷却水温の安定度に依存していた。加速管用冷却水の温度制御が長期間不安定となった時期があり、補正のために新たにRFの位相フィードバックを導入した。位相の安定化に対しては、ビームを出さずにRFを空打ちするNIM(Non Injection Mode)モードを利用して、加速管出口のRF位相を安定化するようにオフセット位相を導出し、各ビームモードのRF設定位相に対して補正を行っている。現在、全箇所を導入され、クライストロン立ち上げ直後の冷却水温が安定していない時間でも、速やかにビームを加速することが可能となった。

電子陽電子入射器のRF制御系

■: klystron unit

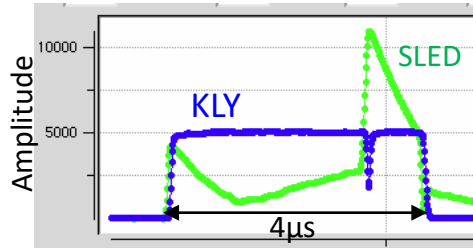


エネルギーの異なる4つの蓄積リングに対し、ビームを50 Hzで振り分けてトップアップ入射を行っている



イベントシステムからビームモードと位相情報を受け取り、50 Hzのパルス毎に位相を変更

Mode:
KBE(HER)/KBP(LER)/PFE/ARE/NIM (non-injection)

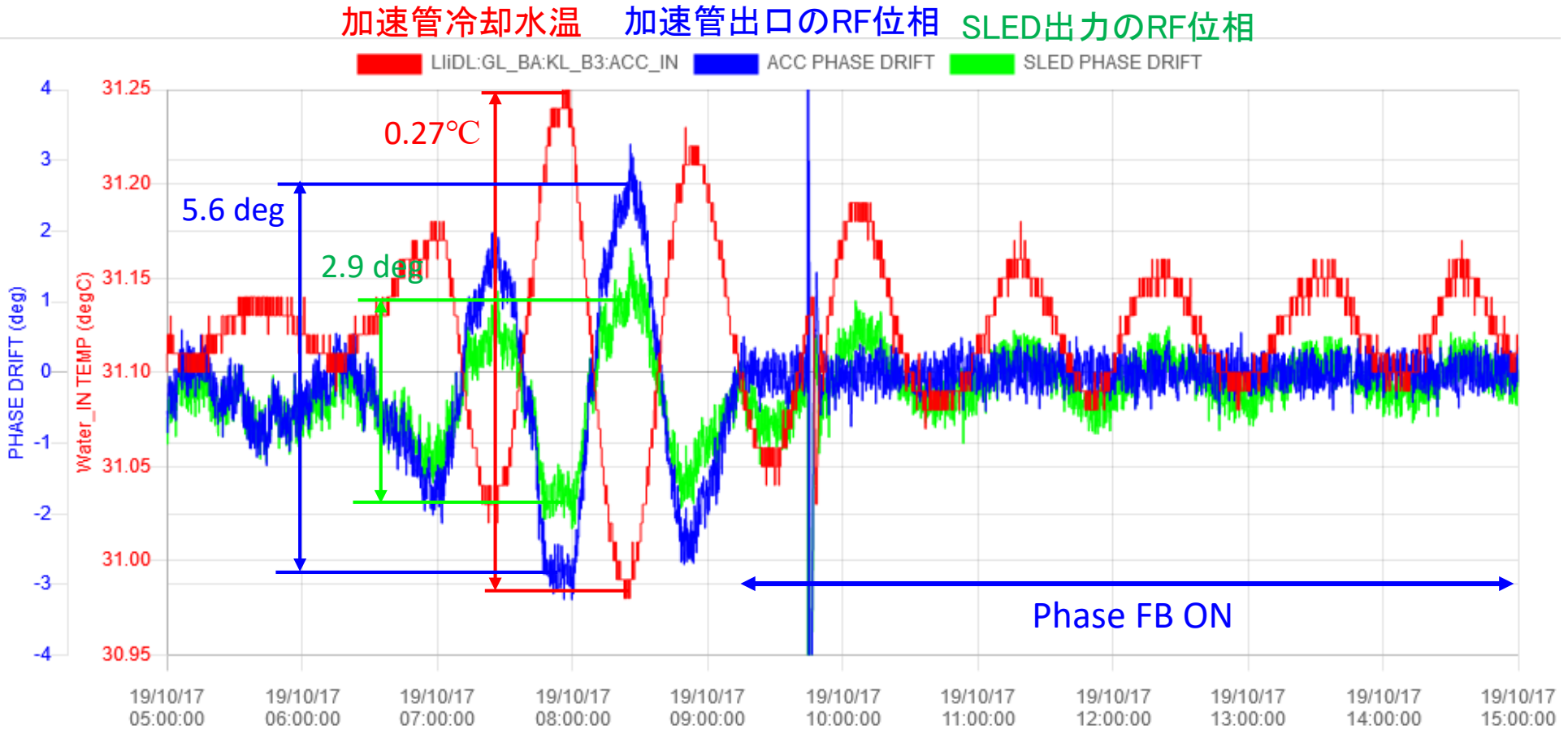


- KLY FWD
- SLED REF
- SLED FWD
- ACC out

RF Monitor

振幅・位相の測定値をモード毎に振り分けて保存

水温変動によるRF位相変動



冷却水温の変動によりSLEDや加速管でRF位相が変動

0.27°Cの水温変動に対する
 加速管内での位相変化量(測定値)
 $\Delta = 5.6 - 2.9 = 2.7 \text{ deg}$


 Consistent

デザインパラメータ

加速管総移相量 : 7.80/8.60/9.44 deg/°C (各種)
 → 2.10/2.32/2.55deg for $\Delta 0.27^\circ\text{C}$

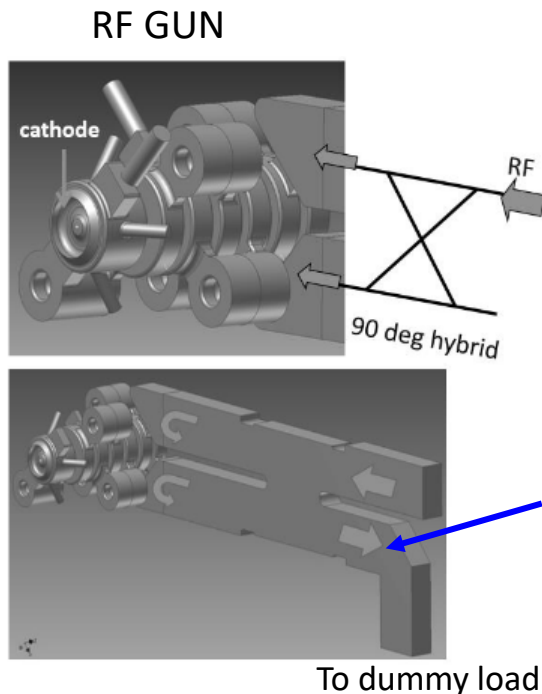
加速管出口(ACC)のRF位相が一定となるように位相フィードバックをおこなう。

RF位相フィードバック

水温変化など外的要因での位相ドリフトを補正するため、NIM(Non Injection Mode) で ACC PHASEが一定となるように補正位相(PHASE:OVERALL)を導出。各モードの設定位相(SET_PHASE)に補正位相(PHASE:OVERALL)を足したものをRFコントロールユニットへ設定する。

各モードの位相 $RF\ PHASE:(MODE) = SET_PHASE:(MODE) + PHASE:OVERALL$

位相フィードバックの誤動作を防ぐため、振幅が±1%の範囲の時に動作させることにしたが、気温などの変動等で振幅が変化するため現在は±2%を許容している。



サブハーモニックバンチャー(SHB)やRF GUNも含め、全RFユニットに対して位相フィードバックを導入。

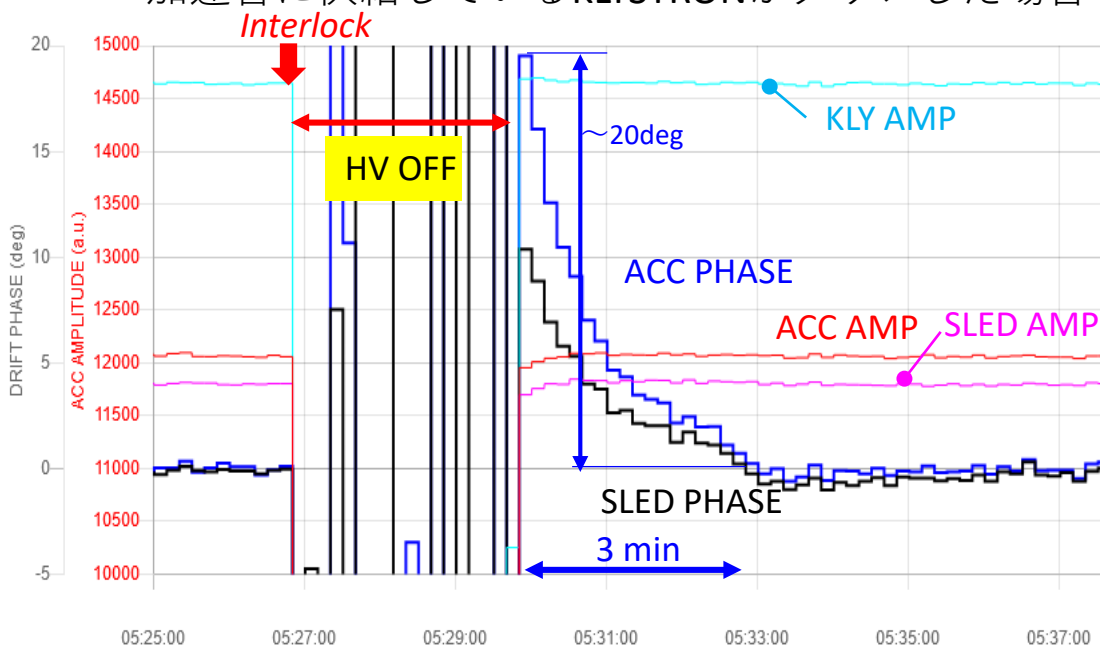
入域などで全クライストロンをOFFした場合、RF ON後、水温が落ち着くまで1時間ほどビームを出せなかったが、位相フィードバックの導入で速やかにビーム運転再開が可能となった。

RF GUNは空洞ピックアップが無いいため、入力RF OFF直後の空洞からの反射波の位相を測定してフィードバックをおこなっている。

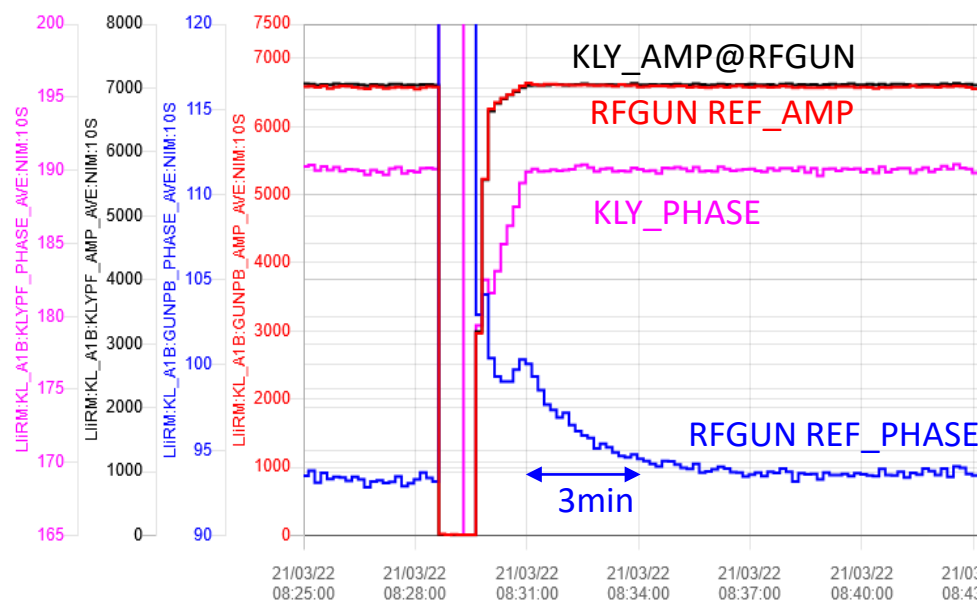
クライストロンHVダウン後の位相変動

インターロックによりクライストロンがHV OFFした場合、現場確認のために復旧に数分を要する。冷却水の温度は変化しないが、ダウンタイムに数分かかる場合、復帰直後のRF位相は大きく変化し、元に戻るまで**3分程**かかる。

加速管に供給しているKLYSTRONがダウンした場合



RFGUNのRFがダウンした場合

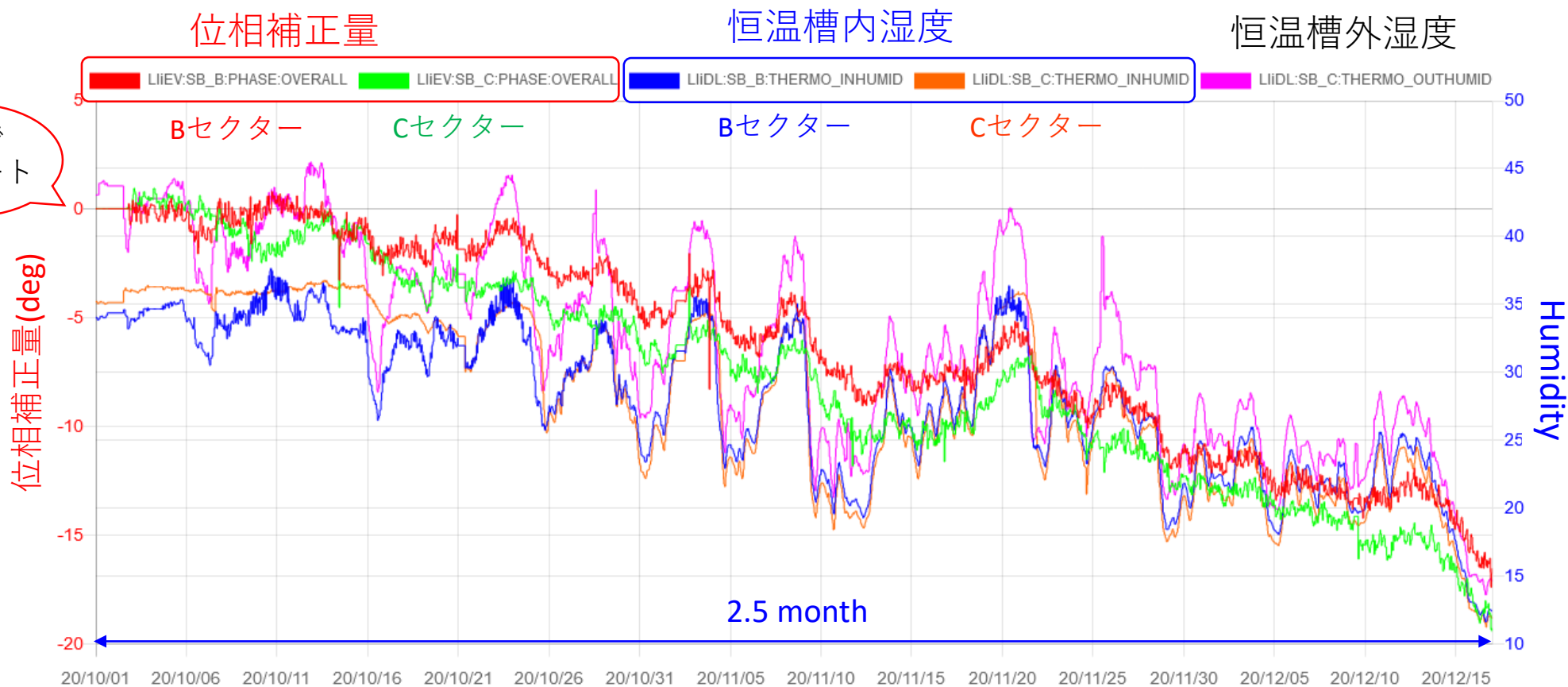


独立励振系については、振幅が定格到達後すぐに位相フィードバックをON。
サブブースタードライブ系は、**HV ON後3分**待ってから位相フィードバックをON。
KEKBへのビーム加速もHV ONから**3分後**に開始。

位相補正量の長期変動について

夏から冬にかけて位相補正量が全体的に負の方向へシフトした。調査の結果、室温ではなく湿度に相関があることが分かった。

クレスト位相を調べたところ、1セクタまでの上流側では大きなズレは無く、下流側では大きなズレが見られた。定期的にクレスト測定を行い、影響を調査していきたい。



位相補正量(PhaseOverall)と湿度の関係

まとめ

RF位相フィードバックを全RFユニットに対して導入することで、水温変動がある場合でも安定に運転を継続することが可能となった。

入域作業やトラブルなどで全クライストロンをオフした場合、HV ON後水温が落ち着くまで1時間ほどビームを出せなかったが、位相フィードバックの導入により、HV ON後速やかにビーム運転が再開できるようになった。

インターロックによってRFユニットが個別に数分間ダウンする場合、冷却水温度は変化しないが、SLEDや加速管の温度が下がるため、元の位相に戻るまで3分ほどかかることがわかった。

独立励振系は速やかにフィードバックで補正するが、サブブースター励振系では、他の安定動作しているユニットの位相も変化させてしまうため、3分間待ってからフィードバックを再開させ、それまではビームも出さないようにした。

補正量は0deg付近で変移すると考えていたが、長期的に15degを超えるような大きなドリフトが全箇所で見られ、それらは湿度に大きく依存していることがわかった。クレスト位相に対して再度測定したところ、ずれのある個所とない箇所があった。定期的にクレストを測定し、影響を調査したい。