

環境温度とビーム

AMBIENT TEMPERATURE AND BEAM

矢野 喜治^{*,A)}, 明本 光生^{A)}, 荒川 大^{A)}, 片桐 広明^{A)}, 川村 真人^{A)}, 設楽 哲夫^{A)},
中島 啓光^{A)}, 夏井 拓也^{A)}, 松下 英樹^{A)}, 松本 修二^{A)}, 松本 利広^{A)}, 三浦 孝子^{A)}

Yoshiharu Yano^{*,A)}, Mitsuo Akemoto^{A)}, Dai Arakawa^{A)}, Hiroaki Katagiri^{A)}, Masato Kawamura^{A)},
Tetsuo Shidara^{A)}, Hiromitsu Nakajima^{A)}, Takuya Natsui^{A)}, Hideki Matsushita^{A)}, Shuji Matsumoto^{A)},
Toshihiro Matsumoto^{A)}, Takako Miura^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 1 - 1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

KEK's electron-positron injector began operation in 1982 as an electron injector for the PF ring. After repeated expansion and modification, it is currently in operation as an injector for PF, PF-AR, and SuperKEKB. Various improvements have been made to stably supply good quality beams. The temperature of the gallery where the power supply is installed is stabilized by the air conditioning system managed by the facility department. As the beam became more stable through various improvements, it became impossible to ignore the effects of temperature fluctuations on the beam, which had not been an issue up until now. It was found that the temperature change in the upstream part of the A sector has a great effect on the beam stabilization. We report on the measures against temperature fluctuations in the upper sector of A sector.

1. はじめに

KEKの電子陽電子入射器は全長約600mの線形加速器で地上部(ギャラリー)と地下部(加速管室)に分かれている。加速管室には約240本の加速管と電磁石類が設置されている。ギャラリーには加速管にRFを供給する約60台のクライストロンとそのモジュレータ電源、電磁石電源と各種信号のモニターと制御のための機器類が設置されている。これらの機器はAセクターからCセクターおよびIセクターから5セクターまで、セクターと呼ばれる約80mごとの区画に分かれて設置されている。BセクターとCセクターの間にはアーク部がありビームはここで180度折返している。空間としてのギャラリーは連続しておりBセクターとCセクターは2箇所の通路で繋がっている。天井の高さはアーク部ギャラリー(クライストロン組立ホール)が約10m、それ以外が約5mとなっている。空調システムはセクター毎に分かれておりセクターの中間部に空調機がありそこで取り入れた空気を機械室からの冷却水で冷やしダクトを介してセクター全体に分配している。ダクトの吹出し口は横80cm、縦40cmで設置間隔は約5mである。尚、モジュレータ電源は約10m間隔で設置されている。その他の機器類はセクター全般に分散しているが、入射部(Aセクター上流)、アーク部、陽電子ターゲット部などは熱源となる電磁石電源の設置数が多くなっている。そのため補助的なパッケージエアコンが増設されている。ギャラリーや機器の温度、クライストロンのパワー、ビーム強度などLinacの運転に関わるパラメーターはControl System Studio (CSS) archiverで取得管理されている[1,2]。

2. 測定データ間の相関について

2つのデータの間に相関があるかどうかを判定する時にはそれらのデータの散布図を描き相関係数を計算し相関の度合いを判定する。この方法はデータ間の相関の様子が一定ならば正しい判定結果を出す事が出来るが、時系列データの場合には時間と共に相関の状態が変わってもそれを判定する事は出来ない。時間と共に変わって行く相関を判定するために移動相関係数を導入する。これは移動平均と同じ様にある一定区間ごとの相関係数を区間をずらしながら求めたものである。本稿では様々な場所の温度の測定データを扱っている。各温度データ間の相関を見るため相関係数を算出するが測定データのばらつきや相関の変動を見るため2種類のグラフを描いた。

- データ間の移動相関係数の移動平均;
 - ある時間幅のデータの相関係数を移動相関係数としその係数を移動平均したもの。
 - データにばらつきが大きい場合相関係数はほぼ0となる。
- 移動平均したデータ間の移動相関係数;
 - ある時間幅のデータの移動平均値を元に移動相関係数を算出したもの。
 - データにばらつきがあっても移動平均したデータ間の相関は見る事が出来る。

移動相関係数を扱う場合は母数の取り方で相関係数の出方が異なるので注意が必要である。周期的な変動にランダムな変動が重なった2つの測定データの移動平均、移動相関係数、移動平均の移動相関係数のグラフと散布図を Fig. 1 に示す。右側は周期的な変動に位相差がある場合のグラフである。周期的変動に位相差が無い場合とある場合の違いを見ると、移動相関係数の移動平均のグラフ(上から3番目)については変動幅の違いはあるが同じ様なグラフになっている。移動平均の移動相関係数のグラフ(上から4番目)では位相差が無い場合は常に1の値が続いているが、位相差

* yano@post.kek.jp

がある場合は正と負が周期的に現れる。さらに散布図もドーナツ状になっている。

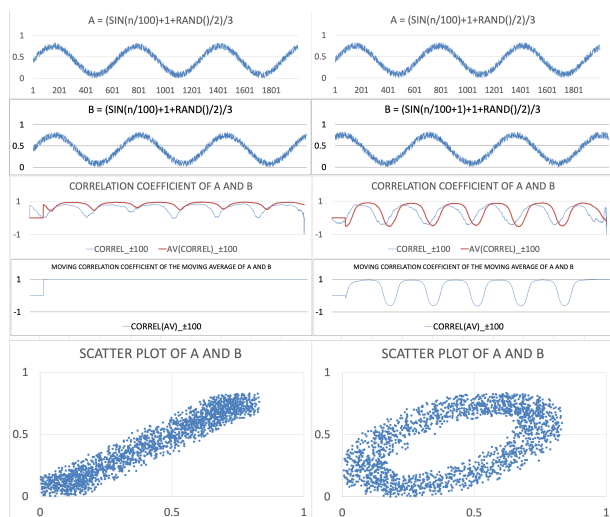


Figure 1: Correlation coefficients and scatter plots for A and B.

Top graph ; $A = (\text{SIN}(n/100)+1+\text{RAND}()/2)/3$.
2nd graph(left) ; $B = (\text{SIN}(n/100)+1+\text{RAND}()/2)/3$.
2nd graph(right) ; $B = (\text{SIN}(n/100)+1+\text{RAND}()/2)/3$.
3rd graph(blue) ; Moving correlation coefficient of A and B.
3rd graph(red) ; Moving average of the correlation coefficient of A and B.
4th graph ; Moving correlation coefficient of the moving average of A and B.
5th graph ; Scatter plots for A and B.

3. 温度変動とビーム

3.1 外気温と入射器内の温度

外気温とギャラリー温度、外気温とレーザーハット非常口の温度の移動相関係数と散布図を Fig.2 に示す。外気温の変動幅が 20 °C、ギャラリー温度の変動幅が 1 °C、レーザーハット非常口の温度の変動幅が 0.5 °C となっている。ギャラリー温度の変動は外気温のそれより 3 時間程度の遅れがあるが空調機の ON/OFF による 10 分間隔の変動が影響して散布図では温度変動に位相差がある場合のドーナツ状の分布は見られない。レーザーハット非常口の温度の変動は外気温のそれより 4 時間程度の遅れがあり散布図でドーナツ状の分布が見られる。

3.2 ギャラリー温度と PF ビーム

ビームチャージ量の長期観測を続けているとギャラリー温度との相関が疑われたので 24 時間の変動と相関を調べた。ビームバンチャーの RF 源である KL-A1A のパワーとギャラリー温度の相関の様子を Fig.3 に示す。以下に温度と電源パワー、ビームチャージ量、ビームの X 及び Y 方向の変動との相関のまとめを示す。

- KL-A1A のインバータ電源の温度と PF ビーム ;
 - 電源パワーとの相関は負。

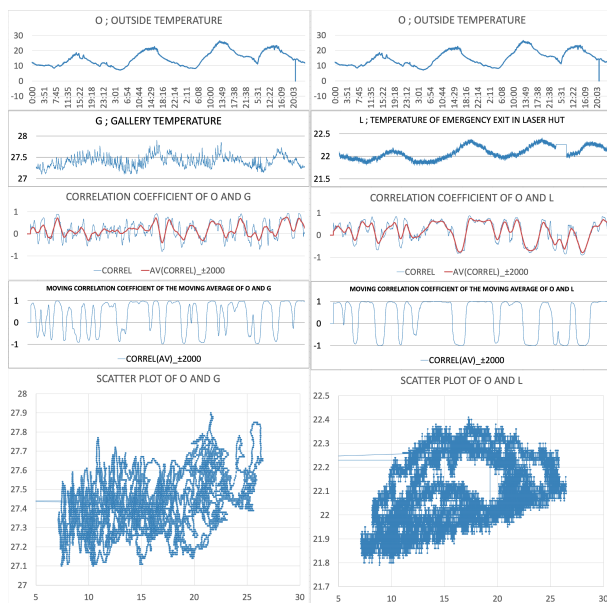


Figure 2: Correlation coefficients and scatter plots.

Left graph ; Correlation coefficient between outside temperature and gallery temperature.
Right graph ; Correlation coefficient between outside temperature and Temperature of emergency exit in laser hut.

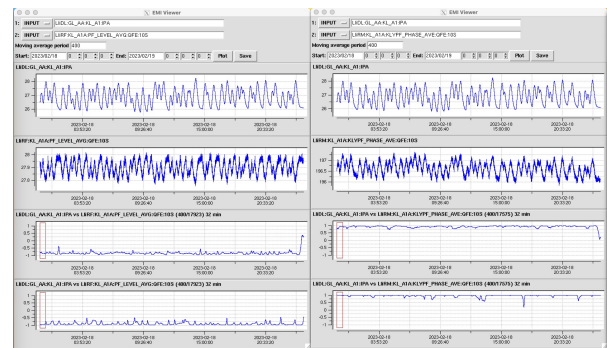


Figure 3: Correlation between gallery temperature and KL-A1A.

Top graph ; A-Sector gallery temperature.
2nd graph(left) ; Power of KL-A1A.
2nd graph(right) ; Phase of KL-A1A.
3rd graph ; Moving average of the correlation coefficient of Temperature and KL-A1A.
4th graph ; Moving average of the correlation coefficient of Temperature and KL-A1A.

- RF 位相との相関は正。
- ビームの X 方向の変動に相関無し。
- ビームの Y 方向の変動に相関無し。
- KL-A1A の電源パワーと PF ビーム ;
 - ビームのチャージ量との相関は正。
 - ビームの X 方向の変動に相関無し。
 - ビームの Y 方向の変動に相関無し。

- HVST の温度と PF ビーム ;
 - ビームのチャージ量との相関無し。
 - ビームの X 方向の変動との相関は正。
 - ビームの Y 方向の変動との相関は正。

3.3 ギャラリー温度とクライストロンパワー及びビーム

- KL-A1B のインバーター電源付近の温度変動が 5.6 % (1.5 °C/27 °C) の時、KL-A1B の KEKB e- 時のパワー変動は 0.54 % (0.08/22.7) で相関関係は負、この時の A セクター上流 BPM のチャージ量の変動は 3.3 % (0.1/3.0) でパワーとの相関関係は負。
- KL-A1A のインバーター電源付近の温度変動が 5.6 % (1.5 °C/27 °C) の時、KL-A1A の PF 時のパワー変動は 0.54 % (0.08/22.7) で相関関係は負、この時の A セクター上流 BPM のチャージ量の変動は 5.0 % (0.026/0.52) でパワーとの相関関係は正。
- KL-A1A のインバーター電源付近の温度変動が 5.6 % (1.5 °C/27 °C) の時 A セクター上流 BPM の PF-AR のチャージ量の変動は 3.0 % (0.015/0.52) で相関関係は負。
- KL-A1A のインバーター電源付近の温度変動が 5.6 % (1.5 °C/27 °C) の時 A セクター上流 BPM の KEKB e+ のチャージ量の変動は 0.8 % (0.08/10.4) で相関関係は負。

A セクターは電子銃、バンチャーなど機器が集中しておりビームエネルギーも低いいため温度変動の影響を受けやすい。A セクターの温度変動幅は 1~2 °C と大きくビームチャージ量の変化も 3~5 % と大きくなっている。基本的に一度落ちたビームのクオリティは良くなる事はなく、下流のビームトランスポートでビームロスを引き起こしてしまう。チャージ量と温度の間に相関があるという事は温度を安定化させればビームの安定化に寄与するという事である。他のセクターの温度変動は 1 °C 以内に収まっているので A セクターもこの程度に収める事が出来ないか検討が必要である。

4. ダクトファンによる空気の攪拌と各部の温度変化

全セクターの温度を観測すると温度変動のパターンからそれぞれの空調機が影響を及ぼしている範囲がわかる。それらは外気温のほぼ 3 時間遅れで温度が変化している。この変動幅は A セクターとクライストロン組立ホールが 1~2 °C、他のセクターは 1 °C 以下となっている。注目すべき事はビームに大きな影響を及ぼしている KL-A1A と KL-A1B の温度変動が複雑で大きい事である。これは機器の増設と空調機の増設のバランスが取れていないためと思われる。ABC セクター

の増設が行われ空調機などが設置された後にマグネット、クライストロン、レーザーハットなどの増設が行われているが空調機の見直しと改修などは実施されていない。このため A セクター最上流のモジュレーター (KL-A1A) から空調機 (M0-PAC-1) までの空間が狭くなっており空調機への空気の流れが阻害されていると思われる。A セクターギャラリーの空気の流れを補助する目的でダクトファンを設置した。ダクトファンの設置場所と風向きを変更してギャラリーの温度変化を観測した。その結果、ダクトファンの設置でギャラリーの温度変動は抑えられるなど一定の効果は見られたが KL-A1A と KL-A1B のインバーター電源部の温度変化を低減することは出来なかった。A セクター以外の空調機のダクトは壁側の天井に設置されており後側からモジュレーターや他の電源類に風の流れが起こるようになっている。M0-PAC-1 のダクトはモジュレーター前通路の上部に設置されておりモジュレーター側と真下方向への吹き出し口が付いているため空調機の風が直接これらのインバーター電源にあたる状態になっている。そのためダクトファンによる空気の攪拌の影響は限定的であったと思われる。これらインバーター電源部の温度変動は外気温の変動の影響は受けていないがダクトからの風の影響を強く受けて 10 分から 20 分の周期で 2 °C 程度変化している。これは空調機に使われている冷水の ON/OFF が影響しており今回設置したダクトファンによる空気の攪拌ではこれらの温度変動を抑え込む事は出来ない事が判明した。

5. まとめ

Linac の各部の温度と機器やビームのパラメーターを観測する際、移動相関係数を導入する事で A セクターの温度変動がビームに大きな影響を与えている事が分かった。その温度変動を抑えるためにダクトファンを導入し A セクターギャラリーの温度変動を低減出来る事が分かった。しかしビーム変動に大きな影響を及ぼしている KL-A1A と KL-A1B の温度変動幅の低減は実現する事は出来なかった。今後は施設部との連携を強化し問題になっている場所の温度変動を低減することでビームの安定供給に貢献したい。

参考文献

- [1] Y. Yano *et al.*, "TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM OF KEK LINAC", in Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006, pp. 771-773.
- [2] I. Satake *et al.*, "IMPROVEMENT OF TEMPERATURE AND HUMIDITY MEASUREMENT SYSTEM FOR KEK INJECTOR LINAC", in Proceedings of the 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sendai, Aug. 1-3, 2017, pp. 1161-1164.