

KEK つくばキャンパスにおける電子陽電子入射器測量報告 Survey report for KEK Tsukuba Campus e-/e+ injector

岡安 雄一 (KEK)

要旨

2020年8月に高エネルギー加速器研究機構つくばキャンパスの電子陽電子入射器に於いて、加速器機器に対する全系網測量を初めて行った。

網計算による機器配置の分布に加え、明らかになった問題点、改善についても議論する。

報告事項

- 1) 導入
- 2) 電子陽電子入射器の全系測量
- 3) 測量結果
- 4) 考察
- 5) まとめ
- 6) 改善点と今後の方針



1) 導入

KEK 電子陽電子入射器

(645 m : 120 m 直線部 + 33 m J-arc 部 + 492 m 直線部)

- PF
- PF-AR
- Damping Ring
- SuperKEKB (HER/LER)

2009 年 4 月 : PF/KEKB 同時トップアップ入射実現。

2010 年 6 月 : KEKB 運転終了。

2018 年 4 月 : SuperKEKB HER/LER 初衝突実現。

2020 年 5 月 : 入射器共用開始から 200,000 時間運転達成。

更なる目標 : SuperKEKB の低エミッタンス化

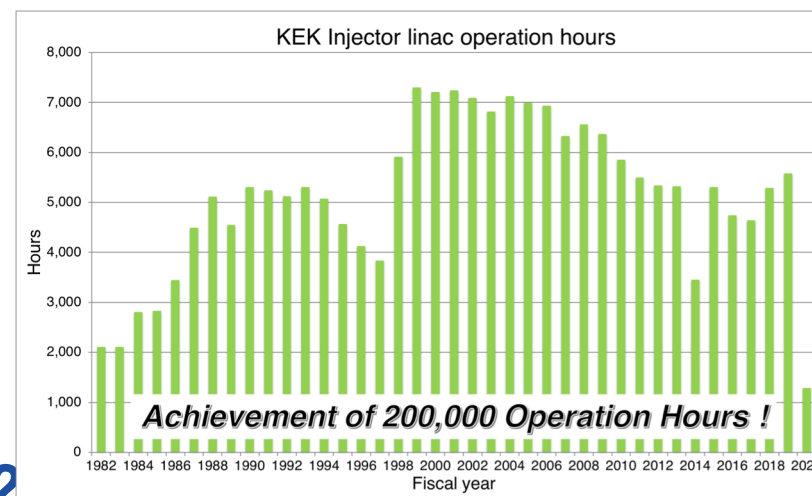
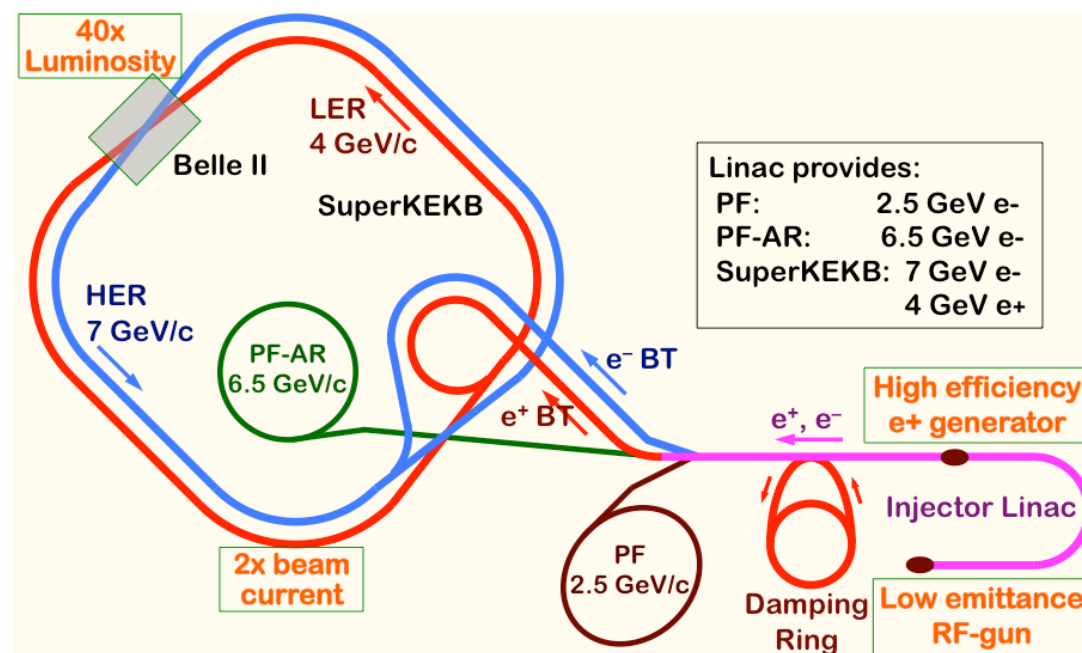
Phase 3 (final requirement)

e^+ : 100 (H) / 15 (V) [μm] (norm.)

e^- : 40 (H) / 20 (V) [μm] (norm.)

入射器アライメントの取り組み :

- 加速器構成機器のミスアライメント低減
- 入射器経年変動の体系的な把握
- 変動に対するリアルタイムフィードバック



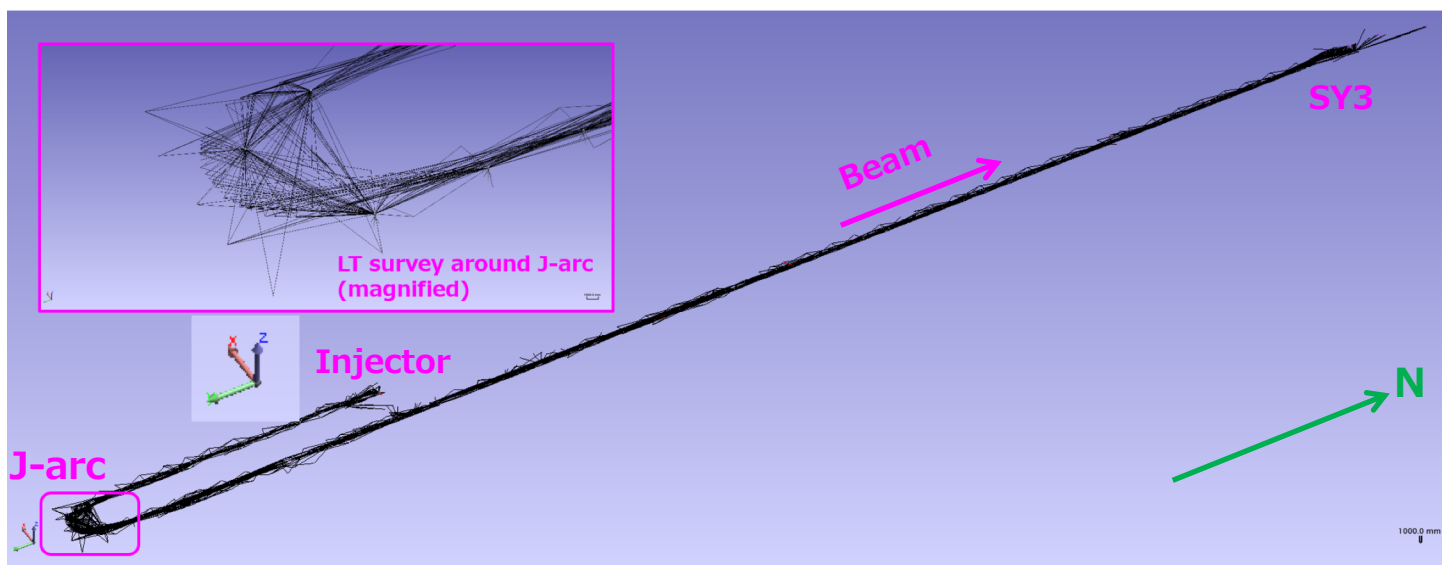
2) 電子陽電子入射器の全系測量

電子陽電子入射器の初期アライメント (J-arc 部を除く)

SuperKEKB 計画に向けて 2009 年にレーザーアライメントの開発に着手。初期アライメントを開始。

アーク部を含めた系統的な測量と変動評価はなされず。

2020 年 8 月にレーザートラッカー (LT) とデジタルレベルによる全系測量を開始。



座標系の定義

入射器先頭を原点とし、ビーム進行方向右側を +x、ビーム進行方向を +y、鉛直上方を +z とした。
従って J-arc 中央から下流はビーム進行方向は -y 方向となることに注意。

測量機器

・ LT

Leica AT-401

絶対角度精度 : $\pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m}/\text{m}$

絶対距離精度 : $\pm 10 \mu\text{m}$

~10m 間隔、62 器械点、3040 点

作業日数 : 2 weeks

・ デジタルレベル

Trimble DiNi 0.3

0.3 mm (標準偏差, 1 km 往復測量)

~16 m 間隔、21 器械点、43 点 (往復)

作業日数 : 2 days

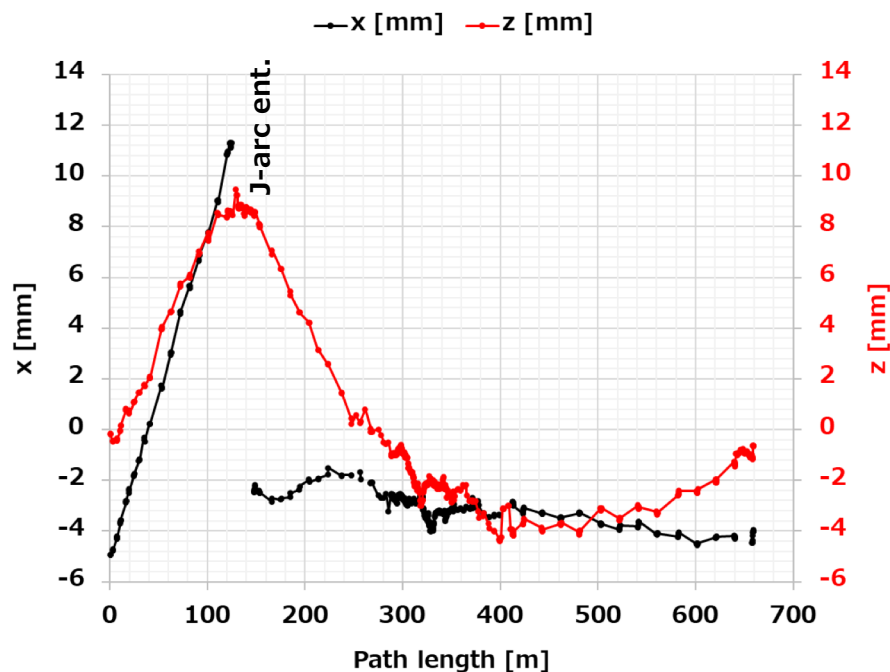
平均測量誤差 (1σ)

LT 測量	
水平角度	2.7 μrad
垂直角度	2.5 μrad
距離	17 μm
水準測量	
水準	5 μm

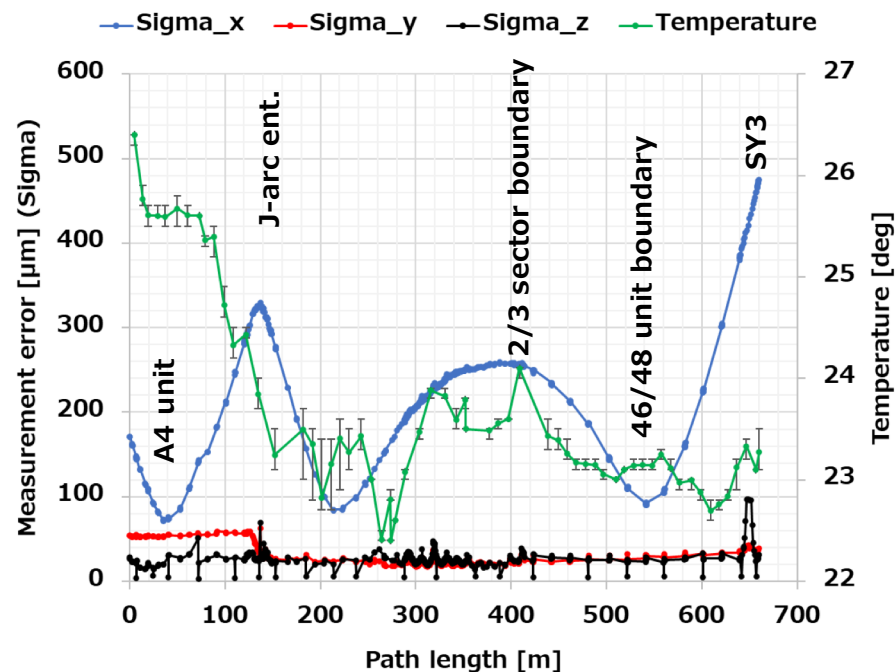


3) 測量結果

電磁石の座標 x と水準分布 (ジオイド補正前)

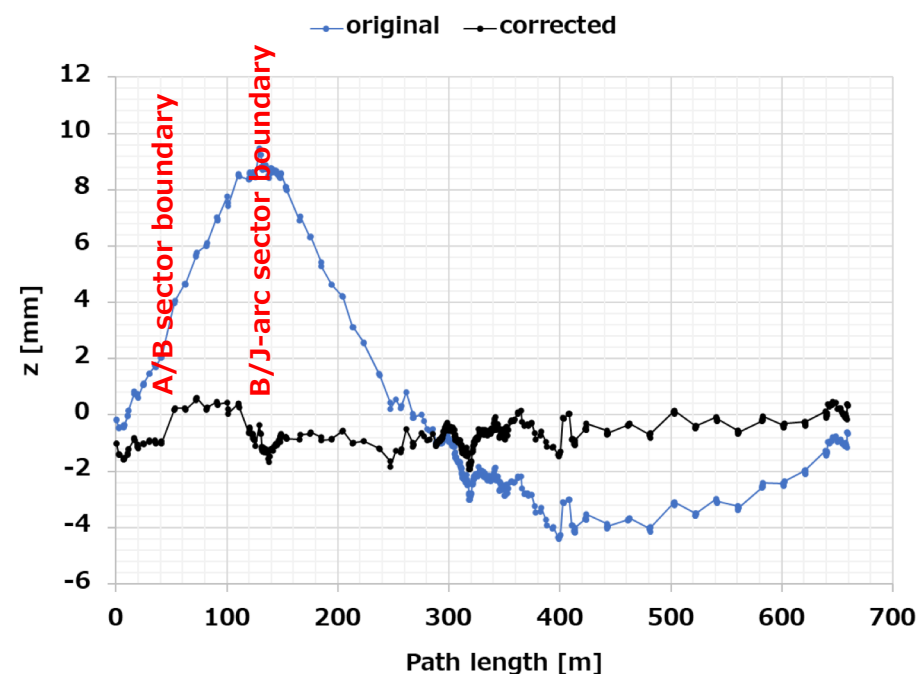
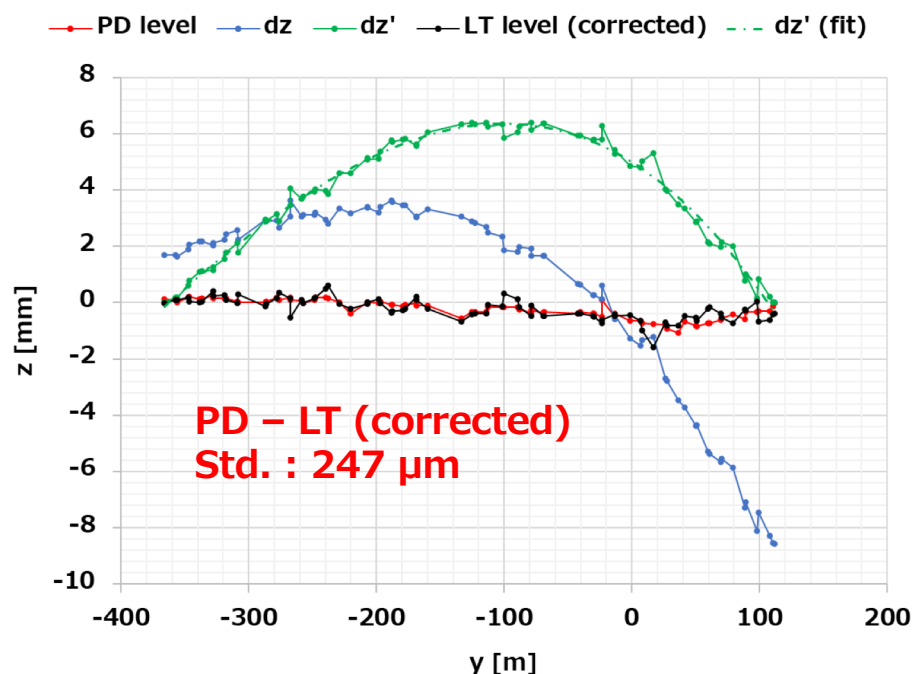


電磁石の測量誤差と測量時の室温分布



x については J-arc 部を除く。ビーム進行方向の座標 y は現時点では重要でないため載せていない。
 電磁石は J-arc へ向かうに従い 16 mm 程度西側へ開き、J-arc 出口から SY3 へ向けて緩やかに 2 mm 程度東へ開く。
 水準の考察はジオイド補正後に回す。
 他方、測量誤差については x は J-arc の入口、2/3 セクター境界で極大、A4 ユニット、46/48 ユニット境界で極小となる。
 y 方向の誤差は J-arc 入口まで 50 μm 程度、出口以降は 25 μm 程度。
 z の誤差はデジタルレベルで重み付き網計算を行っているため、デジタルレベルでの測量点で誤差が小さく、
 それ以外では 25 μm 程度。
 いずれも室温との明確な相関はみられない。

4) 考察



2016年にレーザーアライメントで計測した水準 (PD level) と重複する LT 測量の水準の差分 (dz) から、ジオイド曲線が第一次近似で得られる。レーザーアライメント計測は ~490 m 超直線部の両端を基準としていることから、pitching の角度補正 (20 μrad) を加え、dz の両端を 0 に補正 (dz')、得られた曲線をジオイド曲線として多項式でフィット。元々の LT 測量の水準に上記の角度補正とジオイド曲線を加えた (LT level corrected)。

このジオイド補正を全系測量の水準に適用し、ジオイド補正前後で入射器電磁石の水準分布を比較した (右図)。

B セクターで ~1.5 mm 程度の隆起があることが判る。

補正した 20 μrad の pitching は、網計算の最適化で生じた座標系の傾きと考えられる。

尚、地球を 6,371 km の真円と仮定した場合、C ~ 5 セクター (~480 m) でのジオイド補正高は ~4.5 mm であり、測量と解析から求めた ~6 mm とオーダーは合致する。

5) まとめ

- SuperKEKB の更なる低エミッタンス化を目指し、入射器では機器のミスアライメントの低減、経年変動の体系的な把握、変動に対するリアルタイムフィードバックに取り組む。

- **2020 年夏に LT とデジタルレベルで入射器の全系測量を入射器としては初めて実施。**

レーザーアライメントのデータとの差分から、ジオイド曲線を第一次近似で評価。

データと網計算から得られたジオイド補正高は、地球を真円と仮定した場合のそれと比較し、オーダーで合致。また、据付記録とも整合性あり。

水平方向については、電磁石は J-arc へ向かうに従い 16 mm 程度西側へ開き、

J-arc 出口から SY3 へ向けて緩やかに 2 mm 程度東へ開く。

水準に関しては、B セクターで ~1.5 mm 程度の顕著な隆起が認められた。

- 全系網測量の結果は、レーザーアライメントのデータと比較して 20 μ rad の pitching 補正が必要。網計算における最適化で、水平面に傾きが生じたと考えられる。

- **据付後の系統的な機器座標評価は、LT (+ デジタルレベル) による網測量・網計算だけでは正確に把握できず、レーザー基線などのレファレンスが必要。**



6) 改善点と今後の方針

改善点

全系測量は電磁石の他、壁・床に設けられた計 260 点のモニユメントの座標も測量している。

本来であればモニユメントの測量データは電磁石測量空間を均等に囲むように設置され、網計算の精度を向上させる。

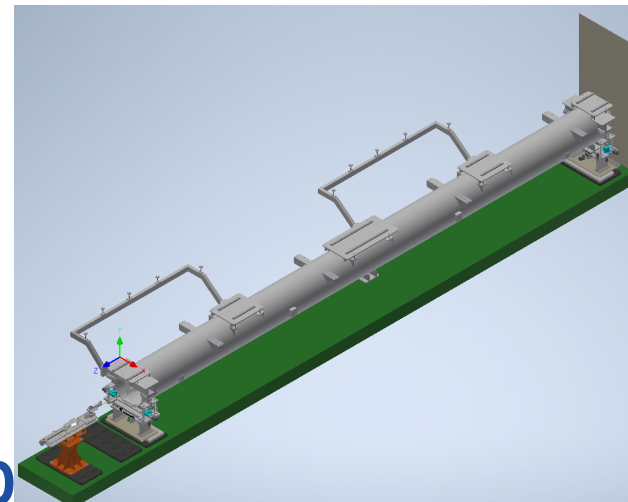
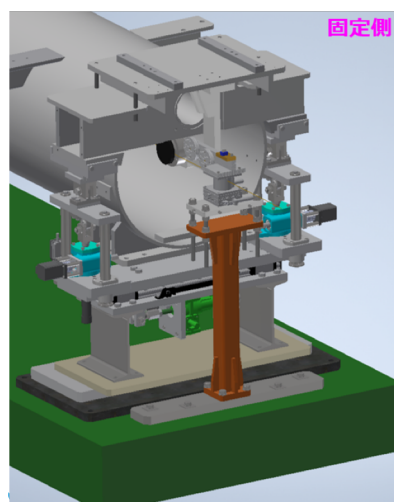
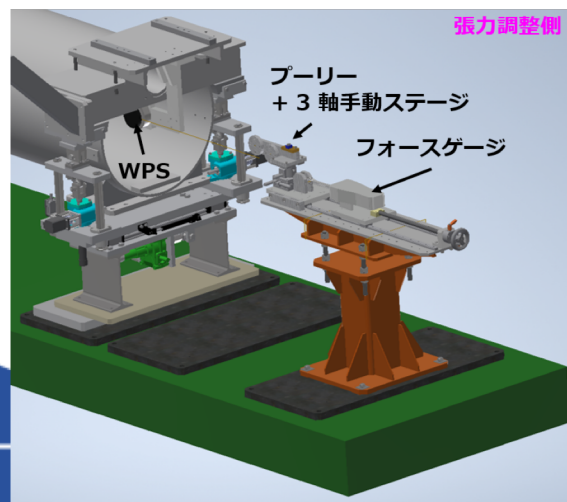
しかしながら、全系測量の網計算の結果、モニユメントの座標を網計算から除外した方が、精度が良いことが判明した。

シミュレーションによるモニユメントの位置及び点数を最適化を行っている。

今後の方針

- ・モニユメントを最適化し、全系測量を継続。
 - ・HLS / WPS による加速管・パルス電磁石架台の変位を常時監視し、エミッタンス低減に有効であれば、架台座標のリアルタイムフィードバックを行う。
- 全系測量の経年評価から変動の特性を把握し、駆動機構付き架台の設置個所選定に活用する。

	Hor. [μ rad]	Ver. [μ rad]	Dist. [μ m]
全点込み	2.69186	2.516842	16.736
東壁なし	2.508828	2.522306	16.777
西壁なし	2.694522	2.494085	16.992
床なし	2.577459	2.416588	16.855
バイパスのみ	2.191629	2.272744	16.832
壁床全部なし	2.187091	2.26614	16.764



KEK50年

20