

# GPS Network for SuperKEKB Main Ring

Yasunobu Ohsawa <sup>#,A)</sup>, Hiromi Inuma <sup>A)</sup>, Mika Masuzawa <sup>A)</sup>, Naohiro Abe <sup>B)</sup>, Takashi Ariyama <sup>B)</sup>, Kenji Mishima <sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

<sup>B)</sup> PASCO CORPORATION

1-1-2 Higshiyama, Meguro-ku, Tokyo, 153-0043

## Abstract

A GPS network is being built for the SuperKEKB main rings, which lie about 11 m below the ground level. Four GPS antennas have already been installed on the roof of the access buildings to the SuperKEKB main ring tunnel. There will be three more antennas added to expand the survey network on the ground, and to compare with measurements obtained by surveying the monuments in the tunnel. Preliminary analysis indicates a good agreement between the GPS network and the underground tunnel network. This helps rebuild the alignment network destroyed by the Great East Japan earthquake.

## SuperKEKB 主リング GPS システムの構築

### 1. はじめに

KEKB<sup>[1]</sup>主リングはトリスタン実験のために 1980 年代に建設された。その後 KEKB 実験に再利用され、現在は SuperKEKB<sup>[2]</sup>で再々利用するために建設工事を行っている。

トンネル建設当時は、露天掘りのような地下 11m の溝で、地上から全周 3km の主リングを見通せる状態であった。トンネル内の測量基準点は地上の測量基準点と直接関連付けて精度良く設置し、それを基に電磁石のアライメントを行った。

続く KEKB では既存のトンネル測量基準点等を利用して、トンネル内を約 20m 毎の範囲をレーザートラッカーで精密測量し、それらを重ね合わせて主リング全周の電磁石アライメントを行った。

SuperKEKB では、KEKB と共通且つ設置位置も変わらない再利用の電磁石と多くの基準点を使った測量網を新たに構築<sup>[3]</sup>し、電磁石アライメントを行なう予定であった。しかし、2011 年の震災と繰り返される余震の影響で頼るべきトンネル内の基準点や電磁石が動いてしまった<sup>[4]</sup>。この為、再度、主リング全体を見通せる地上に測量基準点を設け、トンネル内の測量基準点と直接関連付ける測量網を再構築しなければならない。

トータルステーションで地上の位置測定をする事も考えたが、季節昼夜問わない観測をしたい事と、基準点間の直接視野に制限があるために GPS (Global Positioning System) 測量を採用した。GPS アンテナの設置については、主リング全体をカバーする 8 点から成る地上測量網を構築中である。この地上測量網と、トンネル内の地下測量網を関連づけることにより、電磁石のアライメント精度は KEKB

と同等以上を目指す。本発表では、GPS の設置、及び取得データについて報告する。

### 2. GPS の据え付け

SuperKEKB トンネルは GPS の使用を考慮した設計ではないので、トンネルの直上に GPS アンテナの観測台を設け測量する事が不可能な構造である。その為、我々は GPS アンテナの設置地点とトンネルのビームラインを出来る限り近くで、長期間の定点観測できる場所の選定から始めた。設置場所は、図 1 に示す様に、トンネルに沿って建設された機器搬入用の搬入棟の屋上とトンネル内空調施設の補助機械棟とし、GPS アンテナが全方位の仰角 15 度以上の見晴らしを確保できるようにした。

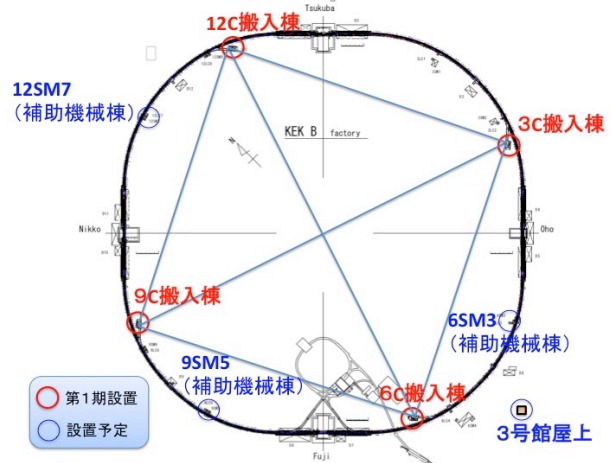


図 1 : SuperKEKB 主リング上の GPS アンテナ設置位置

第一期は、4 か所の搬入棟(3C、6C、9C、12C)の屋上に Leica 社製 GPS (GS10) を設置し、搬入通路を伝ってトンネル内の測量基準点につなげた。又、第二期として、図 1 の設置予定である場所の、補助機械棟にあるトンネルからの非常脱出用通路を利用した 3 か所の観測点を増設中であり、トンネルの測量基準点と直接関連づける地上の観測点は合計 7 箇所になる。更に、KEK の敷地内で最も高い建物 (3号館) の屋上にも GPS アンテナを設置し、地上 8 点の測量網を組むことが出来る。以下に、第一期設置で設置済みのシステムを紹介する。

搬入棟 4 カ所は、図 2 に示すようにトンネルと搬入棟の床面は段差のない約 30m の搬入通路で接続している。搬入棟の天井 (トンネル床面から天井までは高さ約 20m) に GPS アンテナを設置すれば、トンネルまで邪魔する物が殆ど無い状態で地上とトンネルを結ぶ測量網を構築できる。搬入棟壁面に 2 か所、GPS のアンテナ中心直下に埋設モニュメント (図 5 に写真を示す) を、更に搬入棟とトンネルを繋ぐ搬入通路などの横穴壁に 12 箇所のモニュメントを設置した。

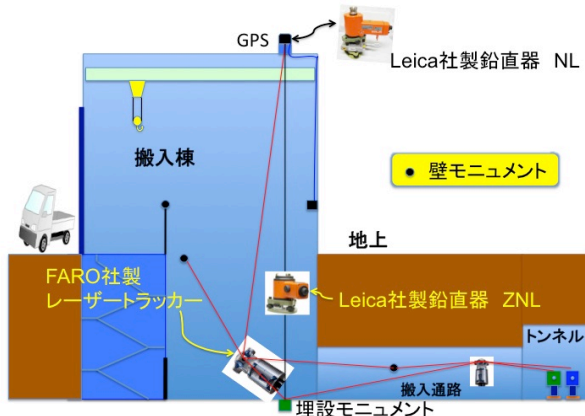


図 2 : 搬入棟の GPS と主リングトンネル

地下の埋設モニュメントを GPS アンテナ中心の真下に設置するために、Leica 社製の鉛直機 NL や ZNL を利用した。

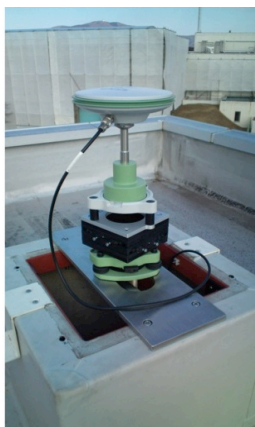


図 3 : GPS の設置



図 4 : GPS のドーム

GPS アンテナ設置の詳細を述べる。図 3 に、搬入棟天井に GPS アンテナを設置した様子を示す。天井に直径約 8cm の穴を開け、その上に防水加工を施した高さ 30cm の観測架台を設置する。観測架台上部に着脱式整準盤、スライド機構付き XY ステージをセットし、その上に GPS アンテナをセットする。図には見えないが GPS アンテナ鉛直下にレーザートラッカー用 0.5 インチ球面ターゲットを入れる。図 4 に示すように、通常は風雨を防ぐため建築用ドームをアンテナに被せている。2012 年 5 月に発生した巨大竜巻が付近を通過した際も被害はなかった。

搬入棟床面は、定常的に電磁石運搬用の空気浮上の台車が走るため、床面に凹凸を作る事ができない。GPS アンテナの鉛直下に設置するモニュメントは、図 5 に示す様に、HUBBS 社の 1.5 インチ用ターゲットホルダーを床に埋設する方式とし、その保護に蓋を付けた。



図 5 : 埋設モニュメント

以下に搬入棟からトンネルまでの測量の様子を示す。

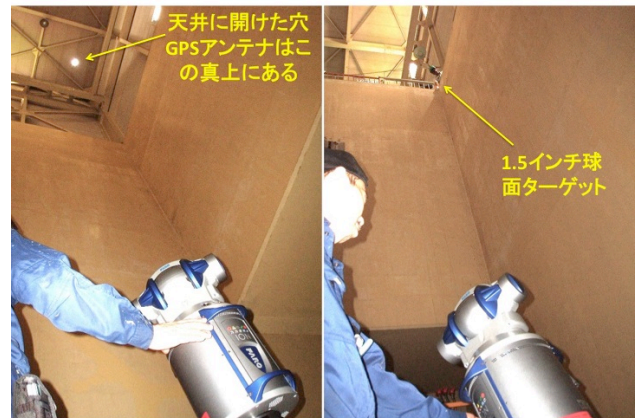


図 6 左 : GPS 用球面ターゲットの測量

図 7 右 : 搬入棟側面のモニュメント測量

図 6 は搬入棟床面に設置したレーザートラッカーで GPS アンテナ直下に取り付けた 0.5 インチ球面ターゲット (約 20m 上) を測量している写真である。図 7 は、搬入棟側面に設置したモニュメントの測量の様子を示す。我々のレーザートラッカーでは構造上の制限で真上の計測ができない。よって、図 8 に示す様に、レーザートラッカーを約 20 度傾けて真上の視野を確保し、屋上 GPS アンテナのターゲットと床の埋設モニュメント、搬入棟の壁モニュメントや搬入通路の壁モニュメントなどを一括測量した。





図 8 : 搬入棟とトンネルを結ぶ搬入通路のモニタリングの測量

### 3. GPS データ

地上基準点の GPS 測量は、L1/E1 および L2 周波数を用いたスタティック測量である。仰角 15 度以上で常に 6~8 機の GPS 衛星を受信可能な環境である。国土地理院の電子基準点「つくば 1」を既知点として参照し、第一期設置の 4 か所の固定観測点を 2012 年 3 月中旬から行っている。

図 9 に、SuperKEKB 主リング用固定観測点と国土地理院の「つくば 1」の位置関係を示す。3C 搬入棟と国土地理院の電子基準点「つくば 1」との距離は 5350.6014m であった。

又、表 1 に 4 か所の搬入棟（3C、6C、9C、12C）の GPS 測量結果及び、3C を基準にした斜距離をまとめる。約 4 ヶ月間の測量の間、斜距離は 1mm 未満で安定している。

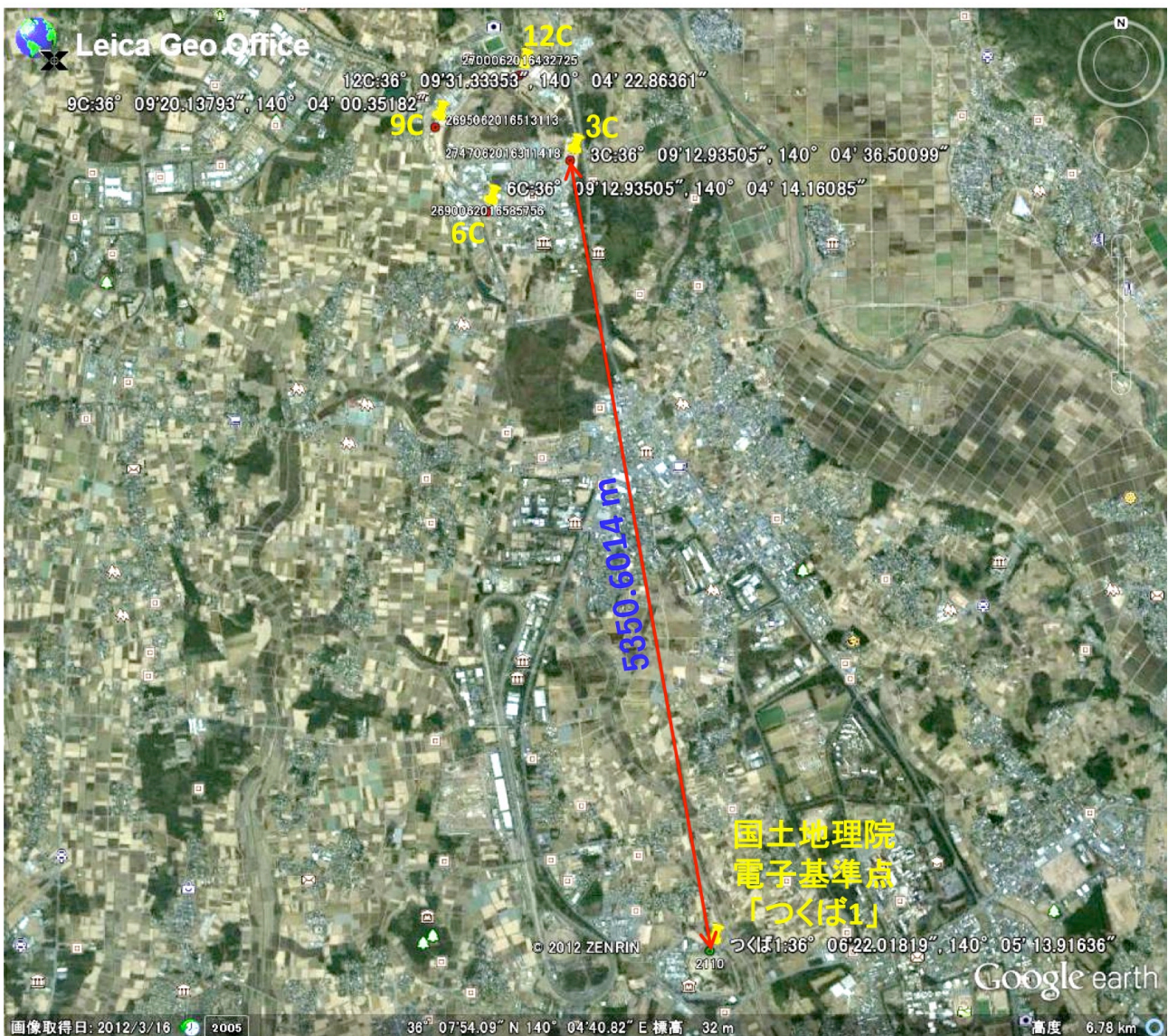


図 9 : SuperKEKB 主リング用固定観測点と「つくば 1」の位置関係

表 1 : 搬入棟 (3C、6C、9C、12C) の GPS 測量結果及び、3C を基準にした斜距離

固定 点名	緯度 (N)	経度 (E)	楕円体高 (m)	斜距離 (m) (3C 基点)
3C	36° 09' 12.93505"	140° 04' 36.50099"	78.0121	0.0000
6C	36° 09' 12.93505"	140° 04' 14.16085"	77.6718	654.2800
9C	36° 09' 20.13793"	140° 04' 00.35182"	78.0229	930.4882
12C	36° 09' 31.33353"	140° 04' 22.86361"	78.0563	661.6666

一方、2012 年 4~6 月にかけてトンネル内をレーザートラッカーで全周測量し、GPS アンテナの位置を独立に算出している。3C 基点の斜距離同士を単純比較した結果、3mm 以内で一致している事を確認した。

3 号館屋上に設置したで直視可能な搬入棟の 3 カ所 (3C、6C、9C) については、Leica 社製のトータルステーション TS30 を用いた斜距離の直接比較も行った。その結果、GPS とトータルステーションで測定した斜距離は 10ppm 以下で一致していた。

地上の GPS とトンネルの測量網の測定の詳しい結果は、この秋に開催される IWAA2012 (International Workshop on Accelerator Alignment) で報告する予定である。

#### 4. まとめ

SuperKEKB 主リングの 4 箇所の搬入棟に GPS アンテナ 4 台を設置した。今後、さらに補助機械棟 3 箇所と 3 号館屋上に GPS アンテナを増設し、地上部測量網の充実を図る。GPS を用いることにより、地上測量網の長期変動の観測、及び常時観測が可能になった。またレーザートラッカー、トータルステーション等で独立に構築したトンネル内測量網のクロスチェックを行うことで測量網の信頼度を上げることが出来る。

#### 参考文献

- [1] KEKB B-factory Design Report, KEK-Report 95-7, June 1995.
- [2] H. Koiso, K. Akai and K. Oide, "Design Progress and Construction Status of SuperKEKB", TUPPR006, Proceedings of IPAC12, New Orleans, USA, May 20-25, 2012.
- [3] Y.Ohsawa. et al., "Monument Set for KEKB MR Tunnel Surveying Network", Proceedings of the 7<sup>th</sup> Accelerator Meeting in Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010
- [4] M.Masuzawa. et al., "Impact of the East Japan Earthquake on the KEKB tunnel", Proceedings of the 8<sup>th</sup> Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2011