

Performance Test of Laser Tracker Leica AT-401 compared with API T3

Jun Kiuchi ^{#A)}, Tomoya Kai^{A)}, Sakuo Matsui^{B)}, Hiroaki Kimura^{B)}

^{A)} SPring-8 Service Co., Ltd. / 1-20-5 Koto, Shingu-cho, Tatsuno-shi, Hyogo, 678-1205 Japan

^{B)} RIKEN / SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148 Japan

Abstract

We have carried out performance test of Leica Absolute Laser Tracker AT401. It was needed for its warming up time for 5 hours, and its measuring time was enough in 3 seconds. An accuracy of the inner level was within ± 1 arcsec. Precision of horizontal angle and the distance measurement was as same as API Interferometer Laser Tracker T3.

レーザートラッカーAT-401 (Leica)の性能調査と T3(API)との比較

1. はじめに

SPring-8 の X 線自由電子レーザー施設(SACLA)では現在、加速管やアンジュレタなどの機器のアライメント及び基準モニュメントの測量に、API 社製のレーザートラッカーT3(Tracker 3)を使用している。今回導入した、絶対距離計のみ搭載の Leica 社製 AT-401 の基本性能を調査すると共に、実績のあるレーザー干渉計搭載の T3 との比較も行った。

まず、風速が 0.05m/sec 以下の室内で、約 8m おきに 6 つの架台を直線上に設置した。(図 1)

性能調査と比較には、この架台を使用し以下の測定を行った。本報告ではこれらの調査結果を述べる。

- ① サンプルング時間の選定
- ② 電源投入時からの安定度調査
- ③ Dini0.3 とのレベル精度比較
- ④ TDA5005 との水平角の精度比較
- ⑤ T3 との距離の精度比較
- ⑥ T3 との近距離の精度比較

2. AT-401 性能調査

2.1 サンプルング時間の選定

AT-401 は絶対距離計での測定が 2~3 回/sec、エンコーダによる測定が 250 回/sec となっており、メーカー初期値では、スタンダード測定が 3sec、精密測定が 5sec となっている。サンプルング時間の違いによる再現性の違いと測定値のバラつきを確認するため、架台直線上にトラッカーを設置し(図 2)、1.8m 地点(P1)、26m 地点(P4)、42m 地点(P6)にてそれぞれ 50 回、3sec・5sec・10sec のサンプルング時間による測定を行った。(図 3)

1.8m 地点では水平方向で若干のバラつきが見られるが、 $\pm 20 \mu\text{m}$ 程度であるためサンプルング時間による影響はそれ程無いと思われる。26m 地点でも大きなバラつきは見られなかった。42m 地点になると 3sec の距離方向の値が 5sec・10sec と比較し約 $15 \mu\text{m}$ シフトしたが、サンプルング時間の違いによる測定結果への影響はそれほどないと考えられる。

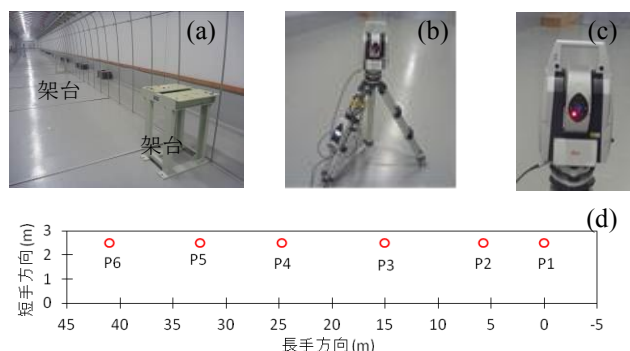


図 1. (a):ターゲット用架台 (b)(c):レーザートラッカーAT-401 (d):ターゲット架台設置位置

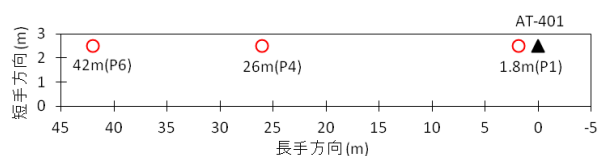


図 2. トラッカー設置位置と測点

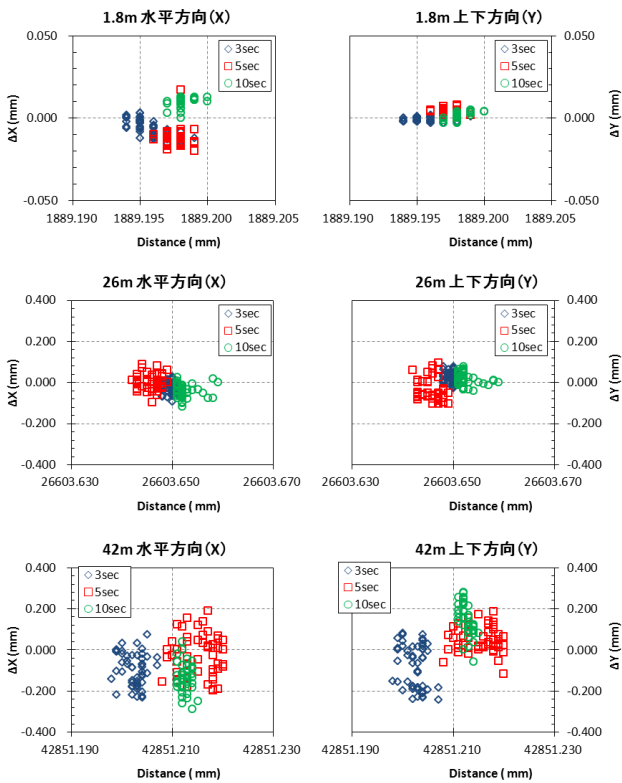


図 3. サンプルング時間変更測定結果

2.2 電源投入時からの安定度調査

AT-401 は本体電源投入後、90～120 分間のウォームアップが推奨されている。SACLA では通常、電源入の状態での機器の保管をしているため、作業時も安定状態で使用すると考えられるが、確認のため調査を行った。

まず、AT-401 の Initialize 推奨距離である 8m 付近にリフレクターを設置し、次に AT-401 本体とトラッカー設置箇所室温を計測するため温度センサーを取り付けた。(図 4)

電源投入直後から本体の表面温度は上昇し、機器本体の温度が安定するまでに約 5 時間を要した。一方、水平方向・距離方向の測定値が安定するまでには約 3 時間程度であったが、上下方向に関しては以降も緩やかな上昇を続け安定には 8 時間程度を要している。今回の測定がビニルハウス内であるため温度勾配が大きくなりやすくそのためにより高く見える成分も含まれているかもしれない。高さの異なる点での温度測定でこの成分は見積もれるが、また三脚の安定度に起因する成分を含めてもいずれにしろ 8m の距離で 1 時間で $5\mu\text{m}$ の傾斜とかなり小さいことがわかる。メーカー推奨の 90～120 分程度でも測定は可能であるが水平・上下方向に関しては 8m 付近で約 $40\mu\text{m}$ 程度バラつく可能性がある。AT-401 は内部の温度安定度が重要であり、使用にあたっては装置が十分に暖気された状態が望ましいと考える。(図 5)

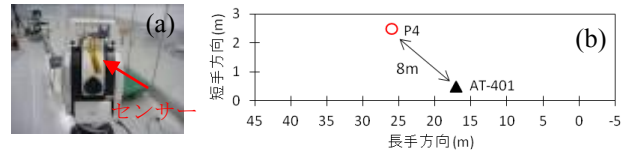


図 4. (a):温度センサー取付位置 (b):測定位置

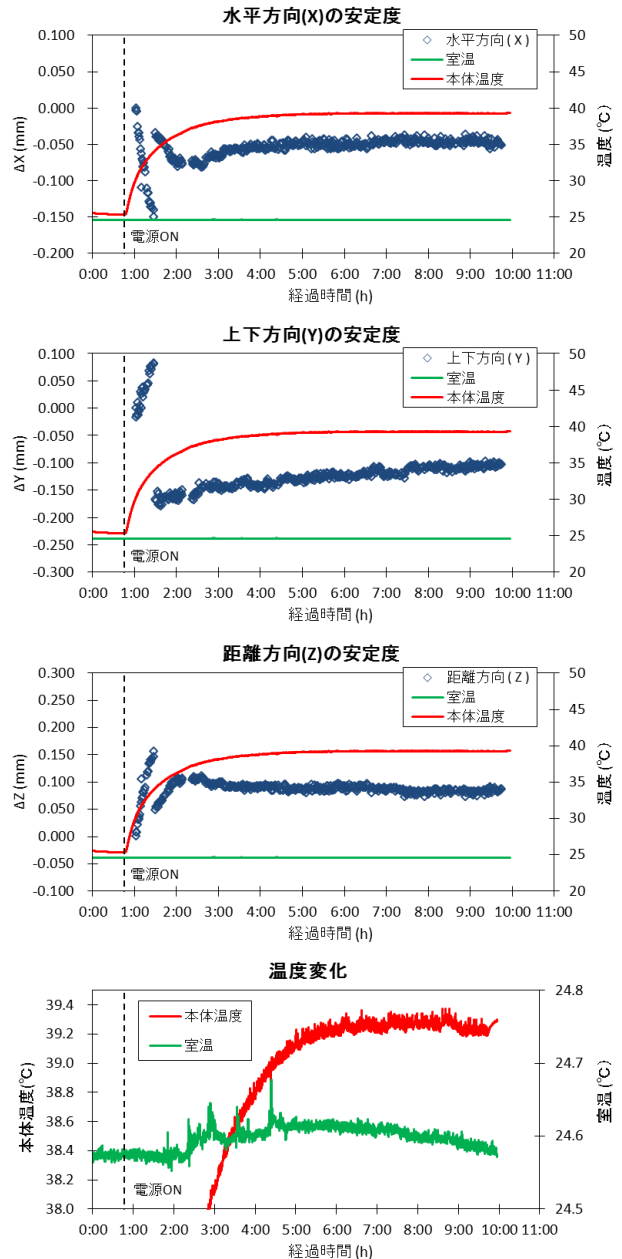


図 5. 安定度測定結果

2.3 Dini0.3 との直線のレベル精度比較

AT-401 の内蔵水準レベルの性能比較にはニコン・トリンプル社製 DiNi0.3 デジタルレベル(1km 往復標準偏差は 0.3mm)を使用した。機器を架台の中間地点(約 20m)に設置し、P1 を原点としレベル差を算出した。参考データとして T3 の結果も記載した。(図 6.図 7)

最もレベル差の大きい地点は 15m 地点で $33\mu\text{m}$ となり、40m 地点でも $26\mu\text{m}$ の差であった。AT-401 の内蔵水準レベル性能 $\pm 1\text{arc sec } 2\sigma$ 内に入る、良好な結果であると思われる。

AT401 は設置時にヘッドの傾きを水平に調整してから使用するのに対し T3 では $\pm 2^\circ$ (ごく最近 $\pm 0.2^\circ$ に変更) 以内であればそのまま測定できるとのことなので設置時の傾きが大きければこのように 40m で 0.3mm あるいはもっと大きくなった。実際に T3 のヘッドに Wyler の水準器を図 8 のように固定し T3 内部の水準器の値と比較した。図 9 上段に Wyler の値の変化を示す。また二つの水準器の軸の向きを補正するため Wyler の方をわずかに回転 (今回は 0.28 度) し、内部の水準器の値を 0.23% ほど大きくした値との差も示している。下段は内部の水準器の値の増大率を $0, 0.23, 0.46\%$ と変化させたときの Wyler の値との差で、 0.23% で良くあっている。Wyler の水準器は長さ 500mm の水準器検査器 (大菱計器製) でダイヤルゲージを用いエラーは 0.1% 以下であることをチェックした。 0.23% を考慮するとこの時のデジタルレベルの測定結果との差 40m で 0.7mm がよく説明できた。

このような結果から、T3 のヘッドに小さな水準器を固定し、内部の水準器を使用する場合は設置時に三脚の床に接するところのねじで調整することにした。

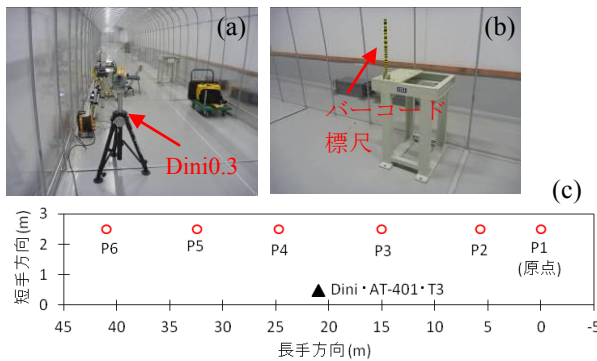


図 6. (a) (b):Dini 設置位置 (c):測定位置

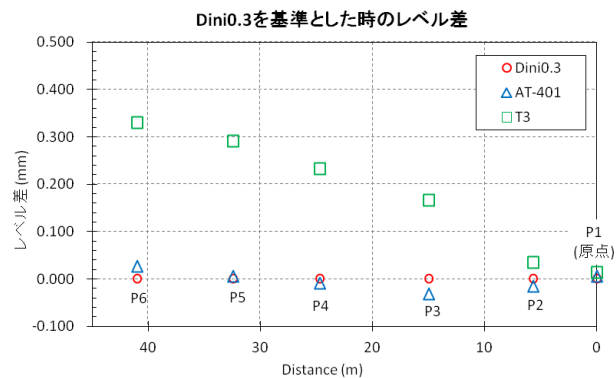


図 7. 直線レベル差比較結果



図 8. Wyler 水準器設置位置

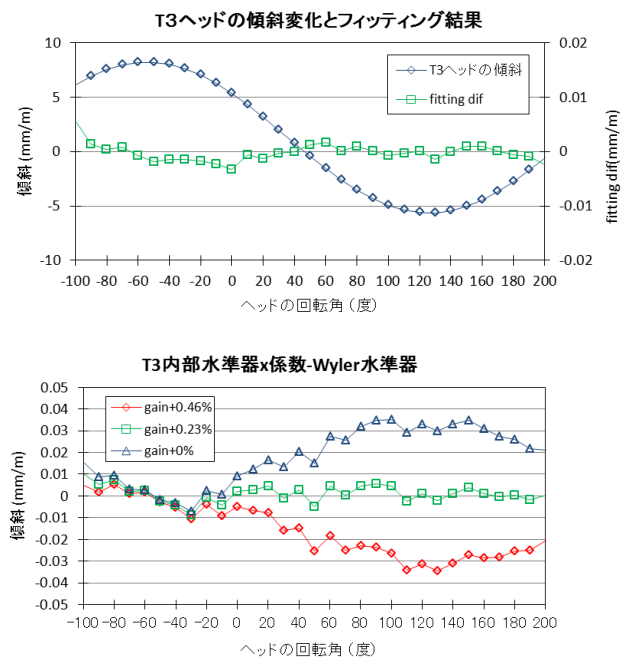


図 9. T3 ヘッド回転角と Wyler 水準器の比較

2.4 Dini0.3 との平面のレベル精度比較

AT-401 はホームポジションが無く、全方位の測定が可能である。しかし、本体を設置する向きを常に一定にするのは困難であるため、全方位でのレベル差比較を行い再現性の確認をした。まず、 $6\text{m} \times 6\text{m}$ の平面に 1m 間隔で計 49 点の測点を作成した。次に、測点を Dini0.3 と AT-401 で測定し Dini0.3 とのレベル差を算出した。Dini0.3 と比較し全体的にレベルが下る傾向にあり、本体から一番近い距離 (2m) で約 $60\mu\text{m}$ 程度下がったが、全方位測定においても本体の向きにより水準レベルが著しく変化する箇所はないと思われる。(図 10.図 11)

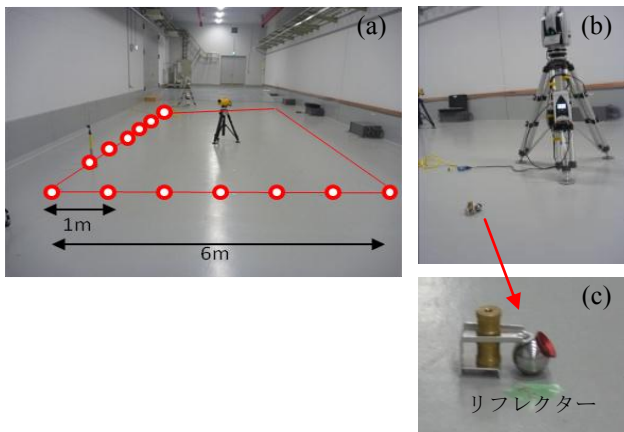


図 10. (a)平面測定位置 (b)(c):AT-401 測定状況

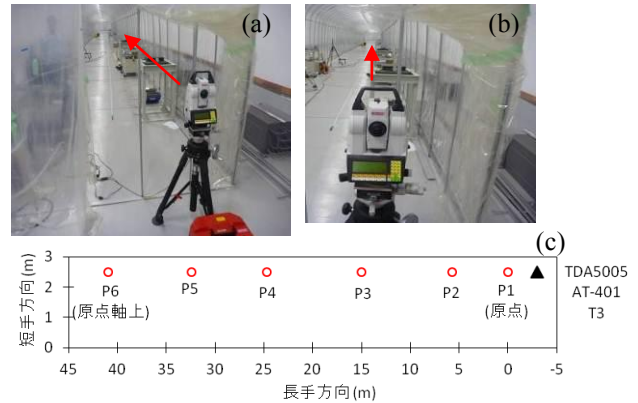


図 12. トラック設置位置と測点

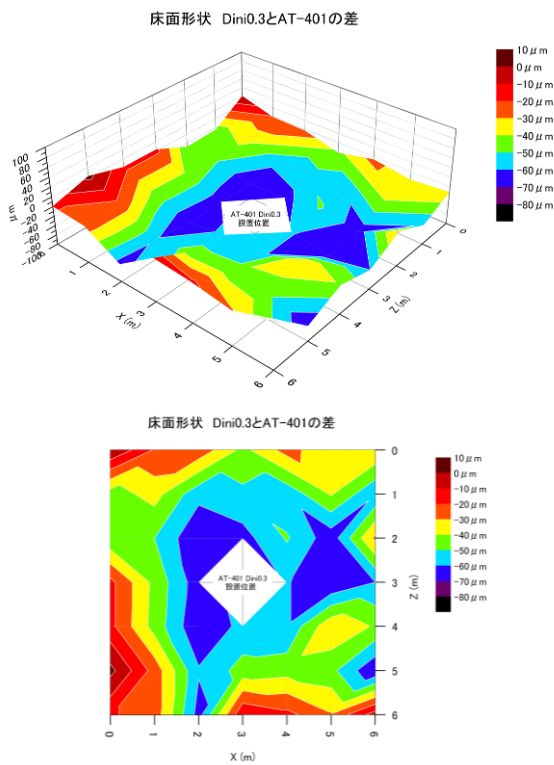


図 11. 平面レベル差比較結果

2.5 TDA5005 との水平角の精度比較

AT-401 の水平角の性能比較には、Leica 社製 TDA5005 を使用した。まず、装置を架台直線上に設置し架台 P1 を原点に、架台 P6 を原点軸上の点とした。(図 12)各測点にてそれぞれ 5 回の測定を行い、再現性の確認を行った後、結果を平均化した。TDA5005 を基準とし AT-401 と T3 の水平レベルの差を算出した。(図 13)

25m 地点で約 $40 \mu\text{m}$ の変位量となったが、全体的にズレ量は僅かであり、TDA5005 との水平角の相違は小さいと思われる。

TDA5005を基準とした時のAT-401とT3方位比較

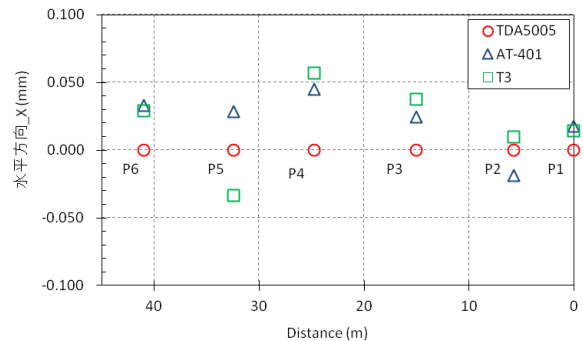


図 13. TDA5005 との水平方向比較

3. T3 との性能比較

3.1 T3 との距離の精度比較

現在、SACLA 光源棟ではモニュメントの定期測量として T3 を使用した網測量を行なっている。細長い領域での測量網ではミクロンオーダーの距離の精度が必要とされ、これまで干渉計を搭載した T3 で行ってきた。同様のことが AT-401 で可能か、距離測定精度を調査した。

架台の直線上に T3 を設置し、次に AT-401 を T3 の真横に設置した。ミクロンオーダーでの比較を行うには、極力人的な誤差を減らす必要があるため、測定時にリフレクターに触れること無く双方が測定可能な状態を作った。まず、T3 にて測定を行い、終了後レーザーを遮断する。T3 はホームポジションに戻るため、続いて AT-401 のレーザーをリフレクターにロックさせ測定を行った。この方法により、同じリフレクターを使用し、且つリフレクターを動かすこと無く精度の良い測定を行うことが出来た。

この測定は架台 P1 側に設置した時と架台 P6 側に設置した時の 2 箇所にて行い、測定値が再現するかの確認も行った。(図 14)

15m 付近の変位量が特に大きくなったが、40m 以上離れた測点においても T3 との誤差は $10 \mu\text{m}$ 以内に入っており、P1 側・P6 側の設置位置の違いにおいても同等な結果となっている。(図 15)

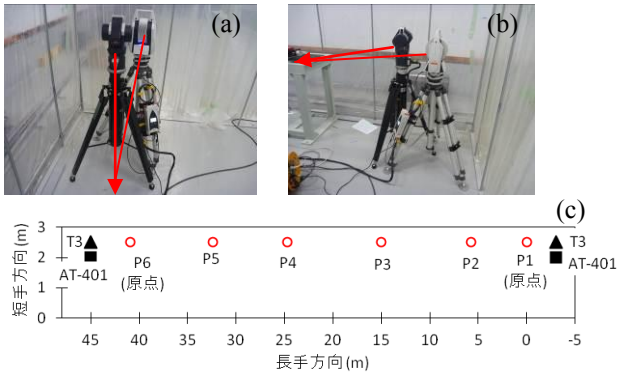


図 14. (a) (b):AT-401・T3 設置位置 (c):測定位置

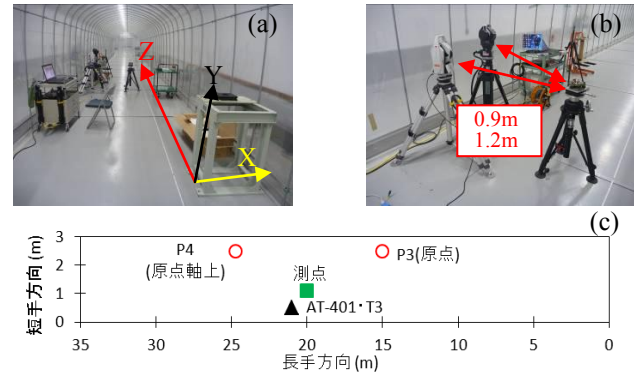


図 16. (a):左手系作成位置 (b):AT-401・T3 設置位置 (c):測定位置

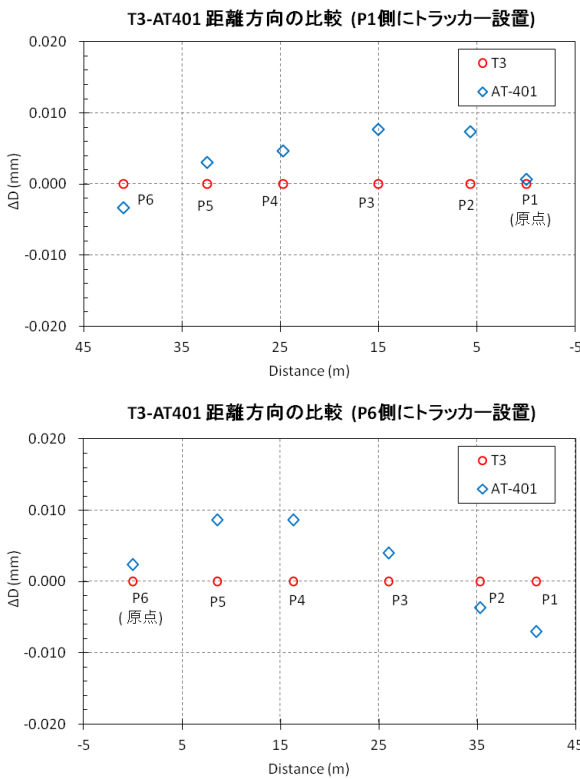


図 15. T3 との距離方向比較

3.2 T3 との近距離の精度比較

AT-401 の最短距離測定のメーカー保証は 1.5m であるが、実際にどこまで計測できるのかを T3 と比較した。測定には SACLA のアライメント環境と同様の状況で行った。SACLA ではアライメントに 2 つのモニュメントを使用し、左手系を作成している。まず、架台 P3 と架台 P4 を使用し、左手系を作成した。次にトラックからの距離 1.2m 地点と 0.9m 地点をそれぞれ 20 回測定し、測定値の差を算出した。(図 16)

1.2m 地点・0.9m 地点ともに測定値は T3 の結果とほぼ同じになり、測定自体は可能であると思われる。しかし、0.9m よりリフレクター近づけるとトラッキングせず測定自体が出来なくなった。

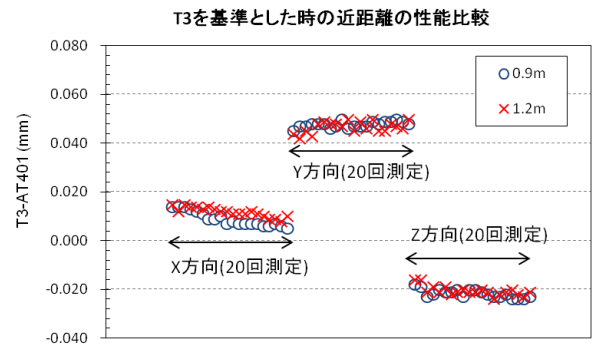


図 17. 近距離の性能比較

4. おわりに

今回新たに導入した AT-401 は絶対距離計による測定のため途中でレーザーが途切れても、再度トラッキングを行えば測定可能なので、現場での作業が容易になり、作業効率の向上が出来ると思われる。さらに、本体内部にバッテリーとワイヤレス LAN を搭載していることから、完全ケーブルレスでの測定も可能となった。今回の調査で SACLA での本格的な使用を前に AT-401 の基本性能を知ることが出来たと考える。電源投入から機器が安定するまでかなりの時間を要するが、常に電源を入れた安定状態で使用すれば、絶対距離計の精度も T3 と概ね同等であると思われる。今後は、実際の定期測量を AT-401 で行い、T3 とのさらなる比較を行いたいと考えている。

[1] M. Yamashita, et al. “XFEL加速管・Q電磁石BPM用架台のアライメント”, 本学会2010年
 [2] Y. Maeda, et al., “API社製レーザートラックの性能調査”, 本学会2011年