

レーザー整列システムの試験と改良 (1)

2003年8月4日 加藤隆夫、内藤富士雄、東保男、田中宏和

現在、レーザー測定系の改良を行っているので、これまでの作業の経過報告をする。一言でまとめれば、良い結果が得られた。

KEK 陽子リニアック棟の地下トンネルの側室に長さ約 50mのラインをつくり、測定を開始した。この部分は、トンネルの中心部とは厚い壁により隔てられており、側室への入り口部分と壁の所々にある配線用の穴により、空調のあるトンネル中心部とつながっている。

ここまでの検討内容：

1. 50 m 測定の分解能の測定 : 新しいデータ処理法を使うと、測定エラーの標準偏差 = 2.6 ミクロンとわかった。
2. レーザー生信号のノイズ低減化: 新しいフィルターを使うと、従来フィルターに比べて、ノイズのピーク値で -28dB、rms 値で-22dB となった。
3. 信号入力部の検討: できれば AD 変換ボードの分解能をあげる事が望ましい。又、ノイズの小さいボードが望ましい。
4. レーザー架台の横方向と縦方向の移動によるレーザービーム偏移の確認: 広い移動範囲にわたり、架台移動量とビーム偏移量が線形に対応しており、コントロール可能である事がわかった。

準備ができしだい、ピエゾを使ったフィードバックによるビーム安定化測定を行う予定。

1) 測定データ処理の改良と 50 メートル測定の分解能 - 1

この測定には、移動平均値を測定値とする方法が適していると考えられる。それぞれのデータ取得時の電圧平均回数が 100 回の時、2 秒毎の直近 20 個のデータを平均した測定結果を図 1 に示す。図 2 に示したのは、2 秒毎の測定値と移動平均値との差 (DDX) である。本図の分布の標準偏差は 2.6 ミクロンであるので、50 m の距離では、レーザー測定法は、これまでの測定系を使い、このデータ処理をする場合には、標準偏差 2.6 ミクロンで測定が可能である事がわかる。なお、この偏移 (DDX) をピエゾ素子にフィードバックする事により更に精密なレーザービーム位置コントロールが可能と考えられ、準備中である。

図 3 に従来と同じデータ処理による測定結果を示す。

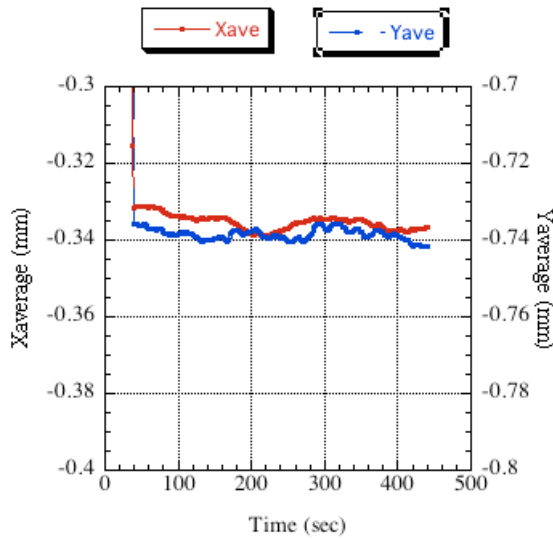


図 1 50 m 測定のレーザーの x y 変位。
2 秒毎のデータを 20 個平均して図示した
(移動平均値)。

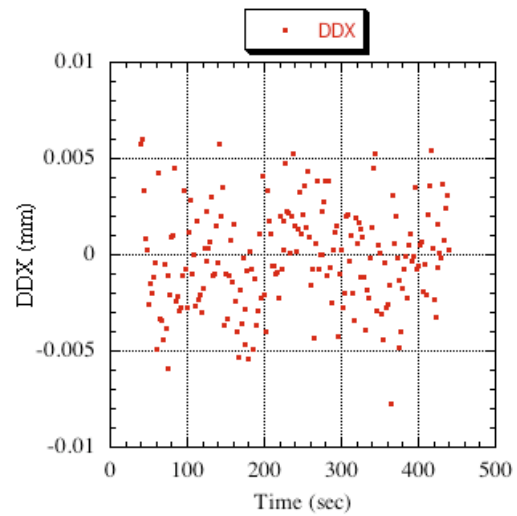


図 2 図 1 に示した移動平均と直近
測定値との差 (水平方向)。この分
布の標準偏差は 2.6 ミクロンであ
る。この値を位置のフィードバック
に使う予定。

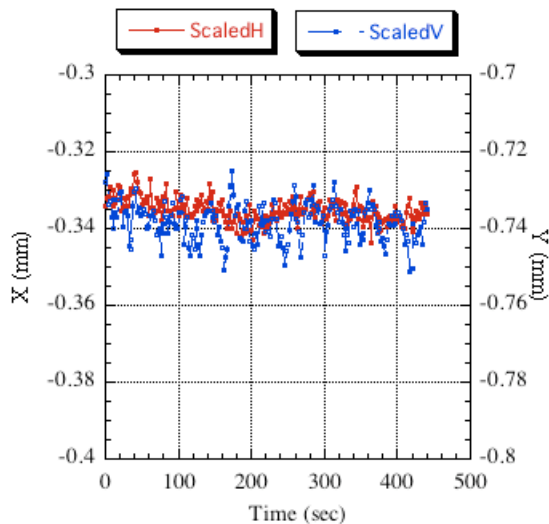


図 3 従来のデータ処理による 50
m レーザー変位。

2) ノイズフィルターの改善

採用している変位測定方法では、レーザーターゲット信号の直流成分を精度よく測定する事が必要である。図 4 と 5 に、約 50 m の位置に設置したレーザーターゲットの信号を直接オシロスコープで観測した信号を示す。

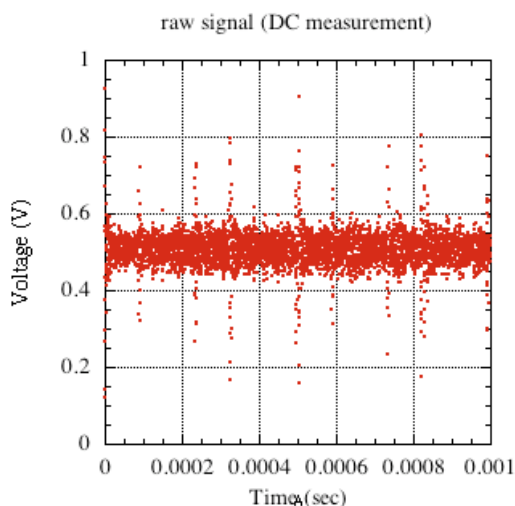


図4 50m先の4分割レーザーターゲットのひとつのシグナルをオシロスコープで直接観測。直流モード測定。

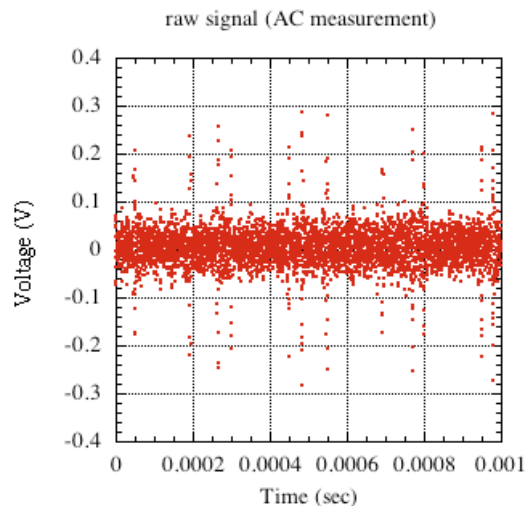


図5 50m先の4分割レーザーターゲットのひとつのシグナルをオシロスコープで直接観測。交流モード測定。

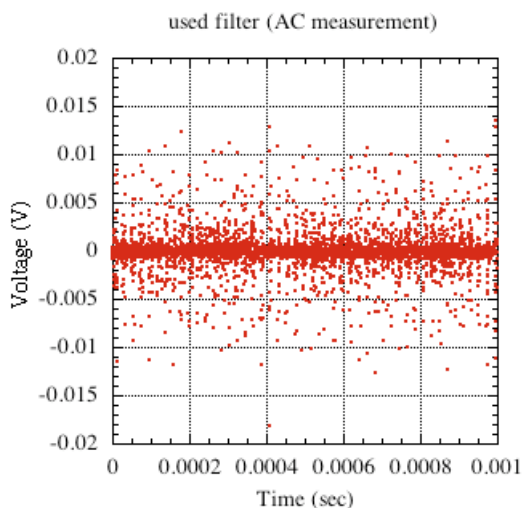


図6 従来使用していたノイズフィルター通過後のレーザー信号。交流モード測定。

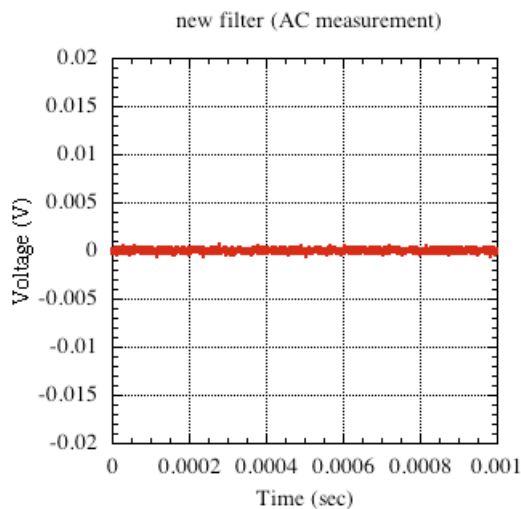


図7 新たに製作したノイズフィルター通過後のレーザー信号。交流モード測定。

今まで使っていたノイズフィルターを通過したあとの信号($V_{pp}=31.6\text{mV}$, $V_{\square}=2.1\text{mV}$)を図6に示す。図7には、新しく作ったフィルターを通過し

た信号 ($V_{pp}=1.2\text{mV}$, $V_{\square}=0.17\text{mV}$) を示す。これより、新しいフィルターによりノイズは p-p で 28 dB、rms で 22 dB 改善される。

3) フィルター改良前の測定データについての検討

図 8 に測定系のコンピュータの AD ボード (16 ビット) の一つのチャンネルの 1 回毎の出力 (ひとつの測定値を確定する為の 800 回の測定カウント) のレーザー測定信号分布を示す。一対一対応する電圧変換後の分布を図 9 に示す。これらの測定より、現在のセットアップでは、信号レベルが小さいので、AD 変換のビット数が不足していると考えられる。

ここに示した 800 回の測定回数は AD ボードサンプルなので、必要な測定時間は極めて短い。10 分間の測定 (1000 回平均して 10 秒毎にデータをとる) の全測定のカウントデータを図 10 に示す。その時の変位データを図 11 に示す (レーザー架台にコンデンサタイプの変位測定器をとりつける作業をしていたので、データの振れが大きい)。これらの結果より、ノイズ低減化の意味では、1 回の測定毎の平均回数を大きくしても大きな効果は期待できない事が予想される。図 10 のカウントの分布を図 12 に示した。

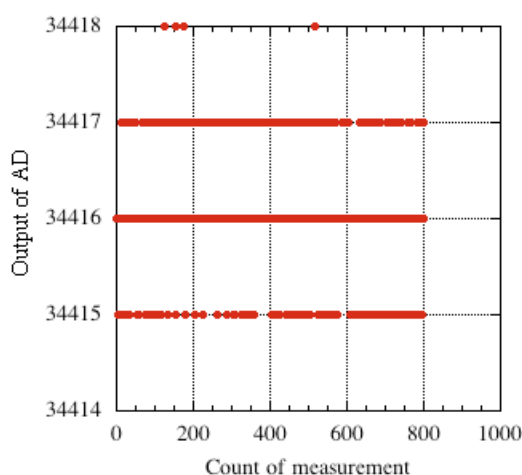


図 8 レーザー信号の AD 変換後のボード出力。

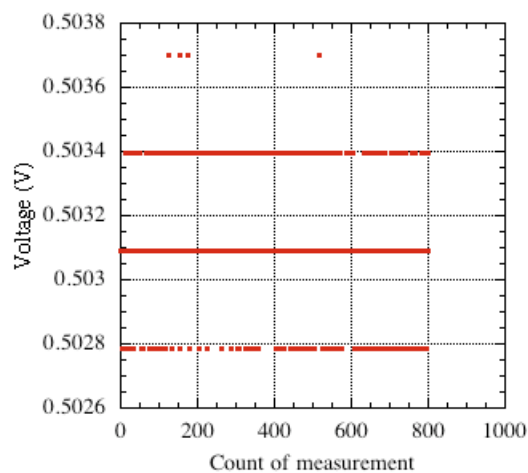


図 9 図 8 のデータを電圧に変換後のデータ。

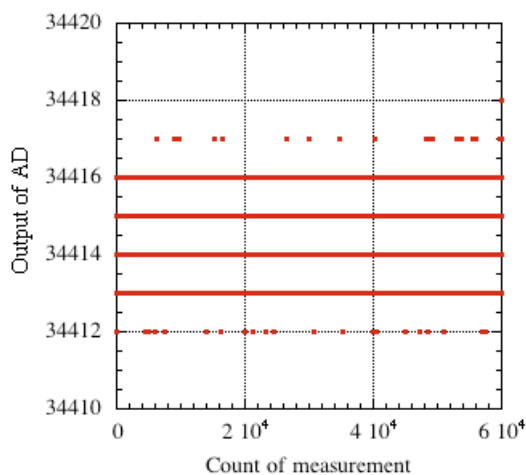


図 1 0 10 分間の AD 変換ボード出力。

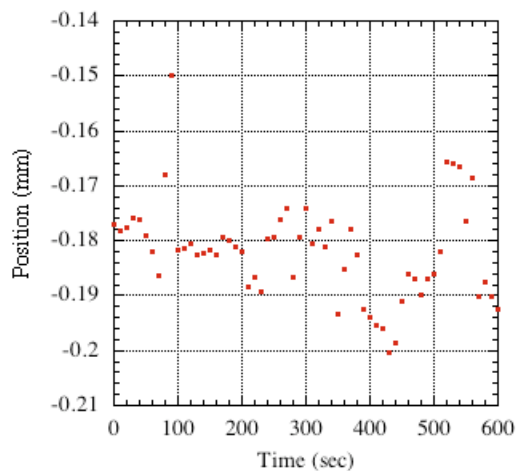


図 1 1 図 1 0 に対応するレーザー変位。大きなゆらぎは、レーザー架台で作業をしているため。

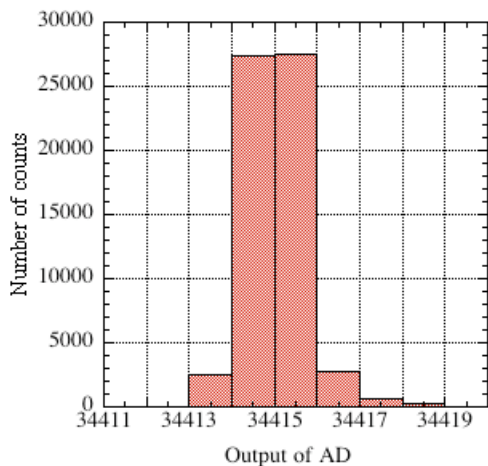


図 1 2 図 1 0 のデータをヒストグラム表示。

以上の結果より、信号の雑音を減らす事、AD 変換の分解能をあげる事が望ましいと思われる。

4) レーザー架台の微調テスト

レーザービーム位置安定化のフィードバックの基礎データを得る為に、レーザー架台を水平及び垂直方向にその角度をふり、50m先のレーザービームの変位を測定した。

4. 1) 水平方向

架台の下流部をパルスモーターにより変位させる。変位量は電気容量測定タイプのセンサーにより測定する。測定感度はナノメートルに迫る。架台長さが約1mなので、その部分の1ミクロンの変位は、約50m遠方のレーザーターゲットの位置では50ミクロンの変位となる。ここで使用した最小の架台変位量は0.4ミクロンである。

図13-15に結果を示す。図15では、レーザー架台の最小の変位量は0.4ミクロンであり、それが50倍されて、レーザービームは約20ミクロン移動している。

4. 2) 垂直方向

架台の上流部をパルスモーターにより変位させる (図16)。

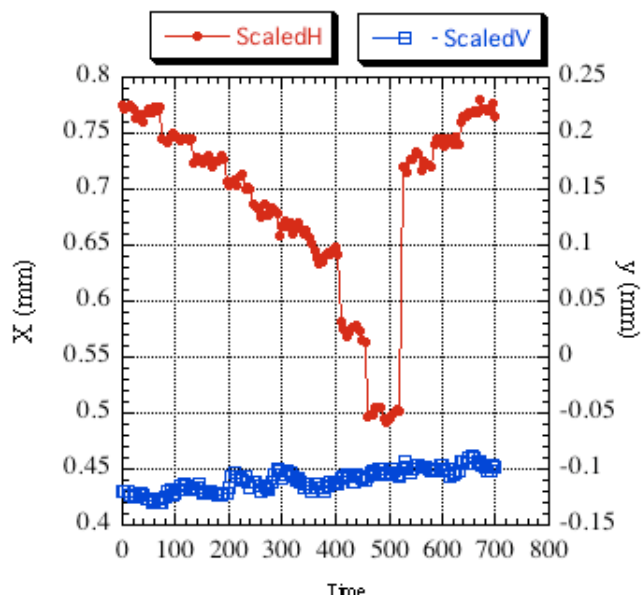


図13 レーザー架台出射部を水平に振った時の、50m先のレーザー変位(H & V)。架台変位量は図14の横軸参照。

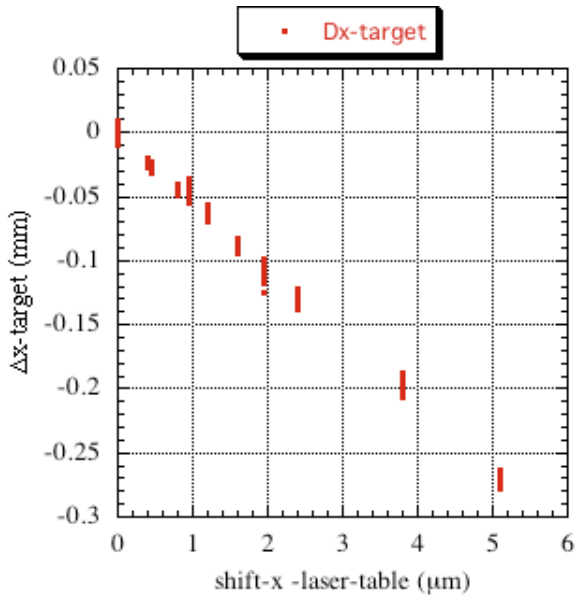


図14 図13のデータの横軸を架台変位量にした。縦軸はレーザービームの変化量にした。

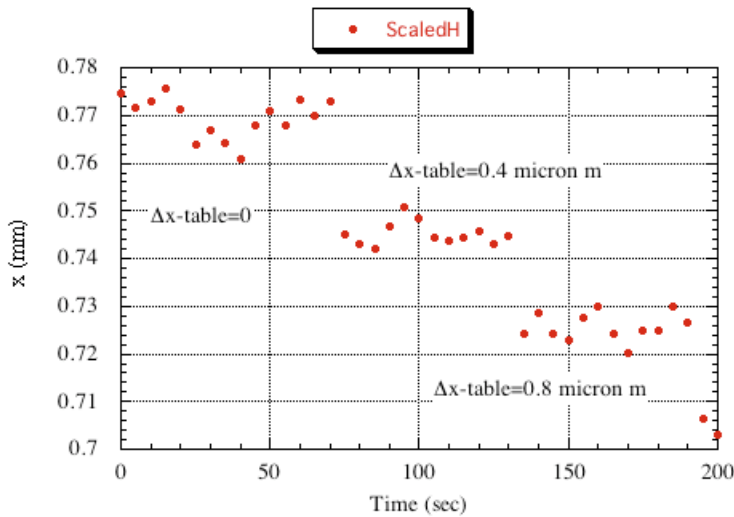


図15 図13データの詳細図。

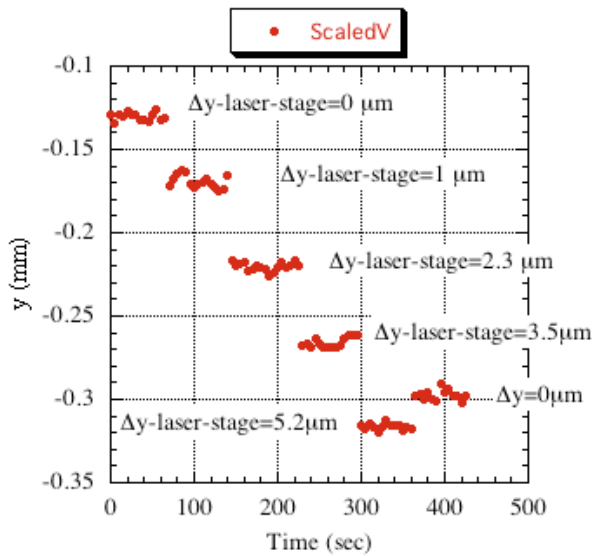


図16 架台の後部をy方向に変位させた時のレーザーの変位。

5) 長時間測定データ

金曜日の夕方から日曜日の午前 11 時までの測定データ(10 秒毎に 1000 回平均のデータを取得)を図 17 に示す。土曜日は曇り雨、日曜日は夏晴れの天気であった。レーザーが設置してあるこの場所は、間接的な空調になっているためか、日中でも空調による温度の変化が大きいように感じる場所である。

図 18 は、図 17 のデータ中の明け方近くの比較的安定している部分の 4 時間のデータを拡大したものである。図 19 には図 18 に対応する時間帯の 20 データの移動平均をプロットした。図 20 は、図 19 に対応する測定値と移動平均との乖離を示す。移動平均を測定値とみなした時のその時の測定値との差は 10 ミクロン以内で、標準偏差は 4.1 ミクロンである。

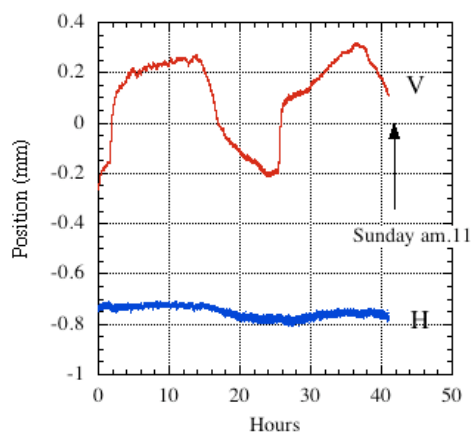


図 17 50m, 10 sec 毎、1000 回平均。夕方 7 時から 40 時間の測定。

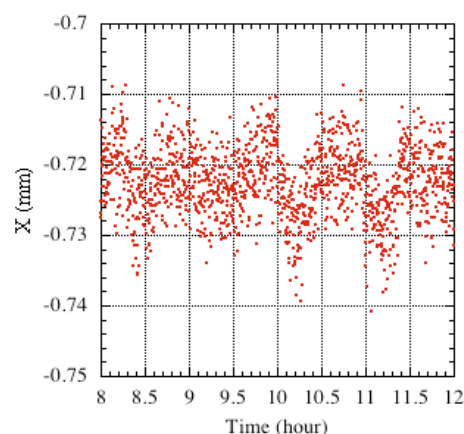


図 18 図 17 の 8 - 12 時(午前 3 時 - 7 時) の部分。

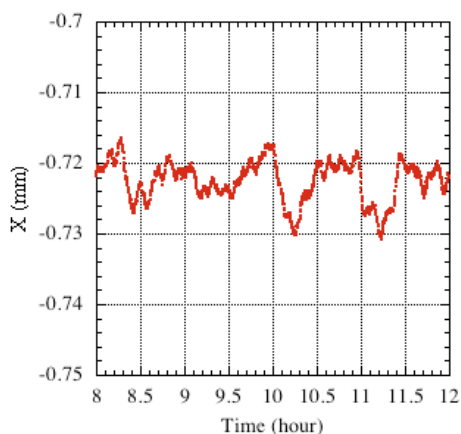


図 19 図 18 の測定データの 20 個のデータの平均を図示。

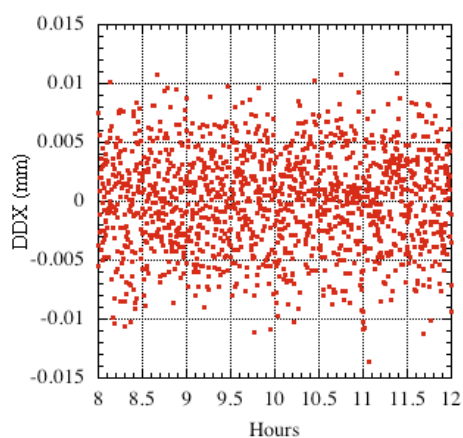


図 20 図 19 の移動平均値と測定値との差。