

### 1. DT 整列ランダムエラー

DTL の収束磁石の整列エラーにより、ビーム平均位置は横方向の振動を伴う。その振幅や周期等は整列エラーの分布に依存する。シミュレーションでは、乱数発生の初期条件を変える事により、こうした効果をシミュレートする。図 1 には、40 種類の J-PARC DTL 内の振動例をまとめて示した。各磁石の変位は、 $\pm 50$  ミクロンの中で分布させている。図 2 には、最大振幅の大きくない例を示す。

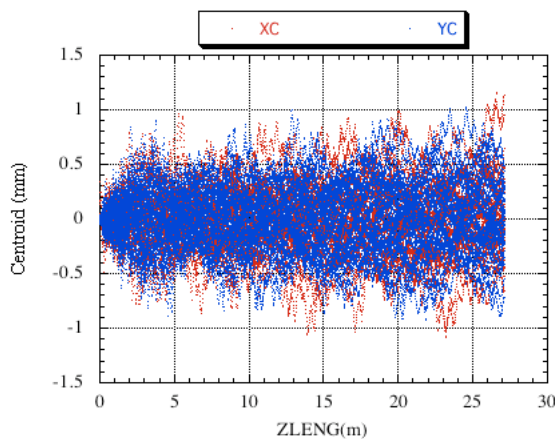


図 1 DT 設置エラー  $\pm 50$  ミクロンの時の横振動。40 例を重ねて表示。

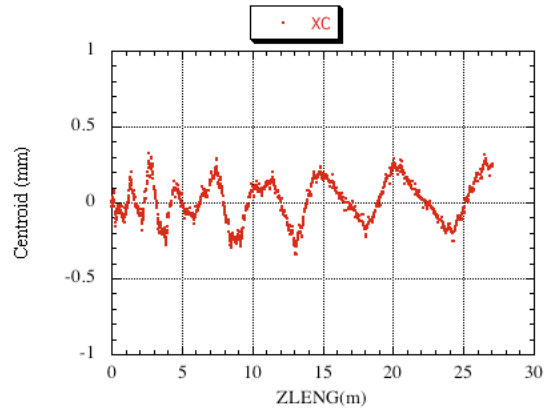


図 2 DT 設置エラー  $\pm 50$  ミクロンの時の横振動例。

### 2. ランダムエラーの補正

図 3 には、最大振幅が大きい例を示す。エラーの分布により最大振幅が大きくなる場合には、入射ビームの条件を変える事により、その振幅を減少させる事ができる。図 3 のエラー分布の場合、ここでは x 方向の補正だけを考えると、入射ビームの変位を  $0.35$  mm、傾きを  $-1.65$  mrad にすれば、図 4 のように、振幅は半分となる。この方法は、乱数初期値を変える事に相当するので効果がある。

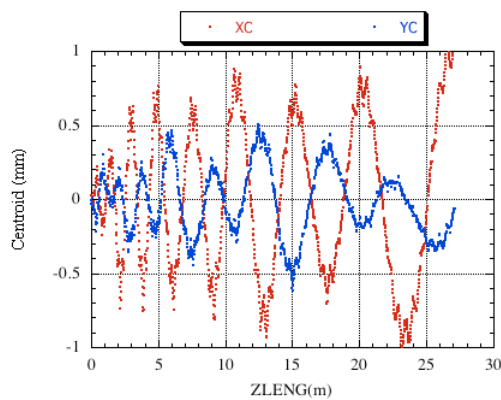


図 3 DT 設置エラー  $\pm 50$  ミクロンの時の横振動例。

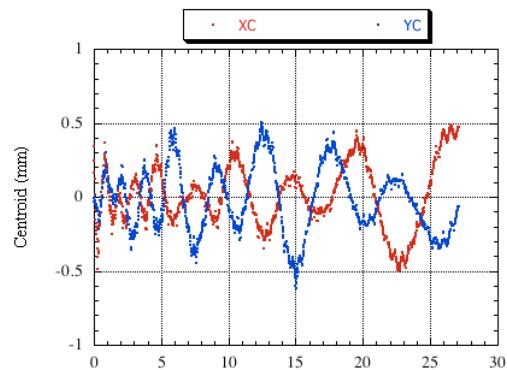


図 4 図 3 のエラーの場合に、入射ビームを調整して、振幅を減少させた例。□ $x=0.35$  mm、□ $x'=-1.65$  mrad とした。

### 3. J-PARC DTL-1 の場合

J-PARC DTL-1 の DTQ 整列精度は $\pm 50$  ミクロンが仕様である。測定整列データは 2 種類ある。第一はユニットセル毎の測定値。これは、正確な測定値である。第二は、地下トンネル内でユニットタンクを組み立てた後で、測定した値。これは、本来の測定方法ではなく、測定精度が悪い事を前提として、発表したデータであり、今回の解析によっても信頼出来るデータとは考えられないので、以後は、使用しない事にする。

#### 3.1 ユニットタンク整列データの場合

図 5 に DTQ 整列測定データを示す。これはテーラーホブソンにより、ユニットタンク毎に精度良く測定されており、地下へのタンク移動設置後も確認作業が行われている。

この整列エラーのもとで、DTL-1 のセントロイドは図 6 のようになる。入射ビーム補正により、出射位置の改善をした結果が図 7 である。

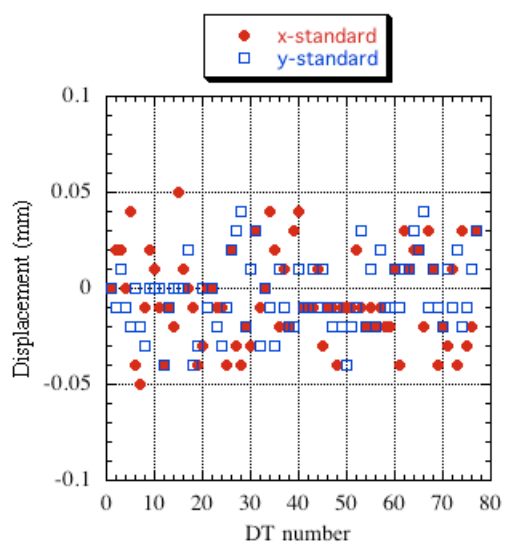


図 5 DTL-1 の DT 整列測定値

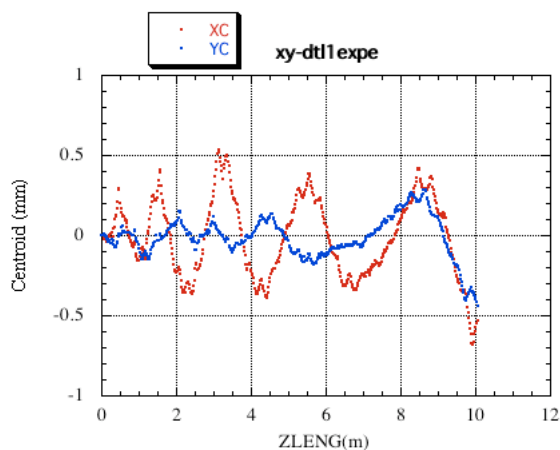


図 6 DT 整列エラーが図 5 の時の、DTL-1 内の 50mA ビームの平均位置

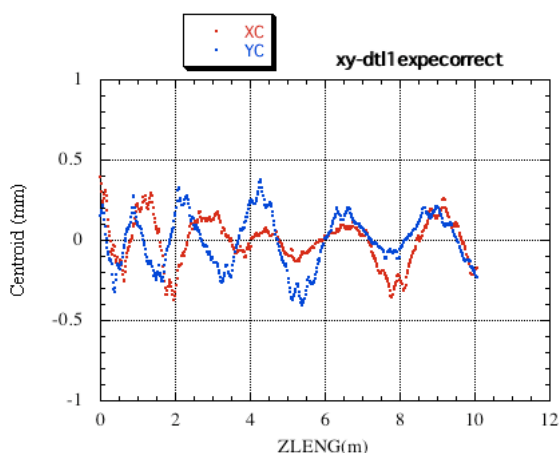


図 7 図 6 の入射ビームを調整して、出射位置を小さくした ( $\Delta x=0.4\text{mm}$ ,  $\Delta x'=0.6\text{mrad}$ ,  $\Delta y=0.15$ ,  $\Delta y'=-0.25$ )。

### 3.2 トンネル内タンク組立後の測定値と精度の良い測定値との比較

ユニットタンク 3 台を連結させたあとで DT 変位を測定した結果（内藤）を図 8 に示す。この測定はターゲット自体の精度が悪い事、ターゲットの装着の方法の精度が悪い事、長距離測定を行っている事により、信頼できる測定値ではない。この測定をふまえて、次に良い精度のターゲットを開発しようとする過程の測定であったので、本来、これを基礎に議論をすべき測定値ではないが、試みに解析する。図 8 では、ユニットタンク 3 台が折れ曲がってつながっているように見える。ユニットタンクの中では、DT の変位は図 5 とほぼ等しいはずである。そこで、図 5 と図 8 中のユニットタンク 1 の測定値を比較する。まず、図 8 のユニットタンクの測定値を 1 次式で近似し、それをユニットタンクの中心線と考える。図 9 に結果を示す。図 9 中のユニットタンク中心軸からの変位と図 5 に示した正しいと推定される変位の両方を図 10（x）と図 11（y）に示す。ユニットタンク 2 データに対する同様の結果を図 12 と図 13 に示す。

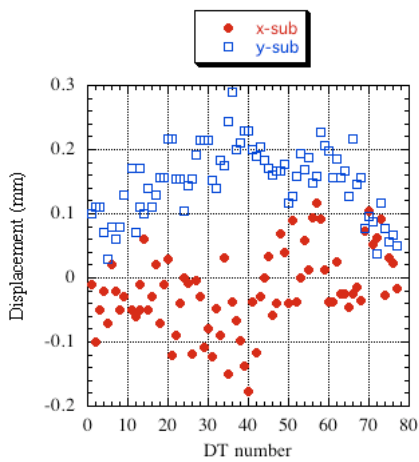


図 8 トンネル内の精度の悪い測定。

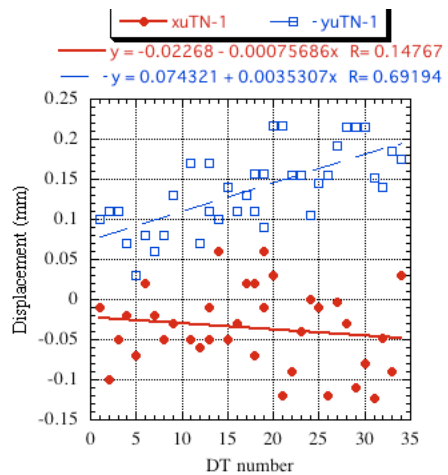


図 9 図 8 のユニットタンク 1 の部分。直線は、中心位置を近似的に示す。

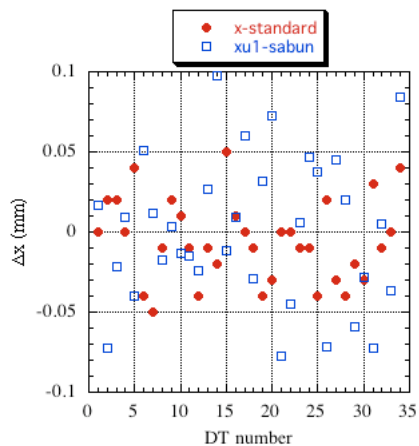


図 10 精度の良い測定結果（●）とトンネル内の測定結果（□）との比較。ユニットタンク 1 の x 測定値。

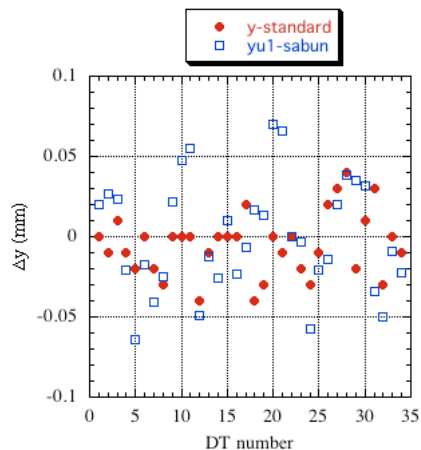


図 11 精度の良い測定結果とトンネル内の測定結果との比較。ユニットタンク 1 の y。

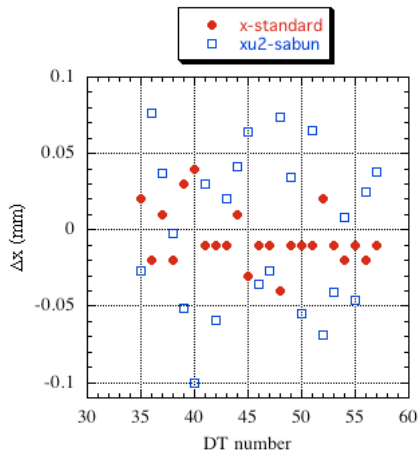


図 1 2 精度の良い測定結果とトンネル内の測定結果との比較。ユニットタンク 2 の x。

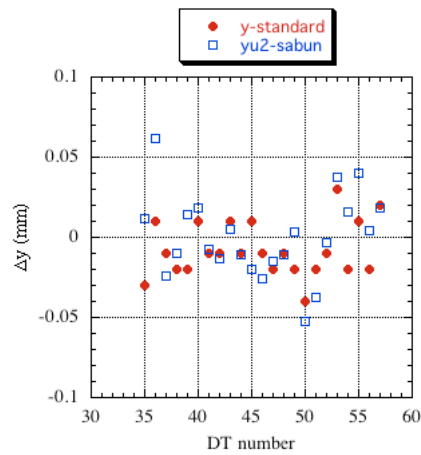


図 1 3 精度の良い測定結果とトンネル内の測定結果との比較。ユニットタンク 2 の y。

図 1 0 - 1 3 を見ると。図 1 3 で多少の相関がある位で、その他の図では、その分布の差が大きい。従って、ここで試みた比較の結果より、トンネル内測定値は、精度が悪く、シミュレーションの基礎とする事は適切とは思われない。

### 3.3 トンネル内データの活用

前節の結果はあるが、データがあるので、精度の悪いデータを使って遊んでみる。

トンネル内測定データのユニットタンク毎の中心値の変化は、ある程度正しい可能性がない事はないと考えて、図 1 4 に示す。この中心軸のまわりに、精度の良い測定値 (図 5) を分布させると図 1 5 となる。

図 1 5 の DTQ 変位の時の DTL-1 内のビームの平均位置と、図 6 に示した測定精度の良い DT 変位データを使った時のビーム変位とを、図 1 6 と 1 7 にまとめて示す。これらの結果から、タンク全体の変位 (図 1 4) が、ビーム平均軌道に及ぼす影響は、DTL-1 では大きくない事がわかる。

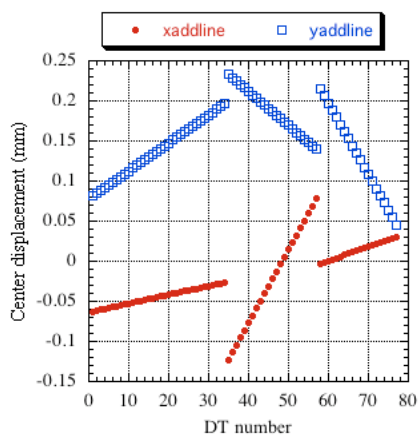


図 1 4 トンネル内測定データのユニットタンク毎の中心位置の変化をリニア近似で求めた。

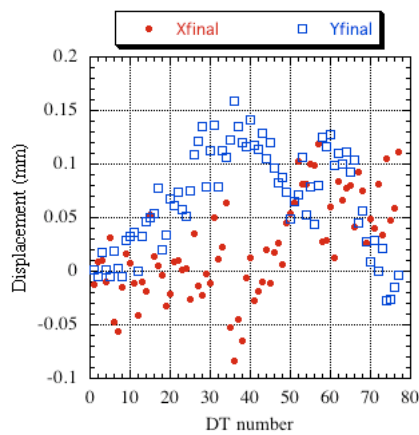


図 1 5 図 1 4 に示した平均軸の周りに、図 5 に示した精度の良い測定値を加算した分布。

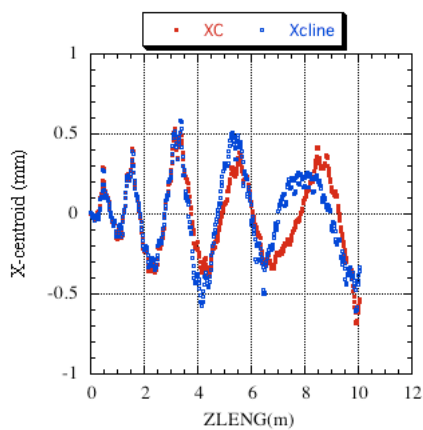


図 1 6 図 5 に示す変位エラーの時のビーム平均位置と図 1 5 の変位エラーの時のビーム平均位置を図示 (x)。

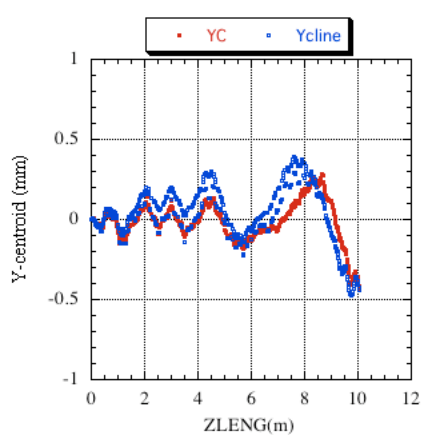


図 1 7 図 5 に示す変位エラーの時のビーム平均位置と図 1 5 の変位エラーの時のビーム平均位置を図示 (y)。

(注) 本項のビーム変位は、TRACE3D によるセントロイド計算結果である。TRACE3D の DTL 全体としてのセントロイド計算が正しいかどうかのチェックはまだ行っていない。