

1 GeV リニアック検討資料

1 GEV LINAC DESIGN NOTE

題目(TITLE) DTL用ステム矯正実験結果の解析

著者(AUTHOR) 内藤富士雄

概要(ABSTRACT)

ドリフトチューブの位置を矯正する方法として現在ステムを塑性変形させるやり方を試験している。KEKの3次元測定器を使用して行った試験の結果を解析することにより、ステム引き伸ばしに関しては以下の事が判明した。

1. 永久変形量は引き伸ばし量の20~30%である。
2. 引き伸ばし時に生じるステムの回転は無視できる量である。
3. ステムの曲がりが発生した。60^μmmの伸びの永久変形を作った時、横方向に140^μmm位曲がった。従って引き伸ばした後、必ず横方向の補正をしなければならない。

KEY WORDS: Ion Source, RFQ, DTL, Magnet, Monitor, Beam Dynamics, Transport, Vacuum, Cooling, Klystron, Low Level RF, High Power RF, Modulator, Control, Operation, Radiation, Others

5月16、17日にKEKの3次元測定器を使用してDTLのステムの軸伸ばし試験を行なった。測定箇所は図. 0. に示してある。ただし(イ)は3次元測定器のプローブの形状の都合で測定できなかつたので、他の点から計算した。求めた量は(1)延びの永久変形量、(2)ステムの回転量、(3)ステムの曲がりである。(2)と(3)は本来は0であるべき量である。

*結果

(1) ステムの伸び

永久変形量は力を加えて伸ばした量の20~30%である。この値は以前の測定と同じである。力を加えて伸ばす量が100 μ mを越えると永久変形量のばらつきが増加する。ばらつきはステム上部の固定用テーパ部の滑り量が増加するので実際にステムに加わる力が一定にならないために起こるのかもしれない。この点は今後調べる必要がある。

(2) ステムの回転(ねじれ)

行程の最初と最後を比較すると、ステムは約0.04°回転していた。ドリフトチューブ内磁石の長さが30mmなので、磁石端面で中心が10 μ mずれことに対応する。これは許容範囲内である。

(3) ステムの曲がり

a. ビーム軸を含む平面内

曲がりは初期の段階で30 μ m発生し、以後は \pm 20 μ m程度のばらつきになっている。

b. ビーム軸に垂直な平面内

無視できない程曲がっていた。140 μ mの曲がりが観測された。補正可能な量ではある。原因は治具がステムに及ぼす力の方向がステムと平行になっていないためであろう。従って、ステムを伸ばす作業の後にはステム曲げの作業が必ず行わねばならない。

*結論及び今後の問題

今回の実験結果から永久変形に関する前回の実験の確認ができた。さらに今回はステムの曲がりが観測された。ただしこれは次行程で補正可能である。

最終段階ではある決められた量だけ永久変形を起こさせるので、そこにいたる手順の確立をする必要がある。

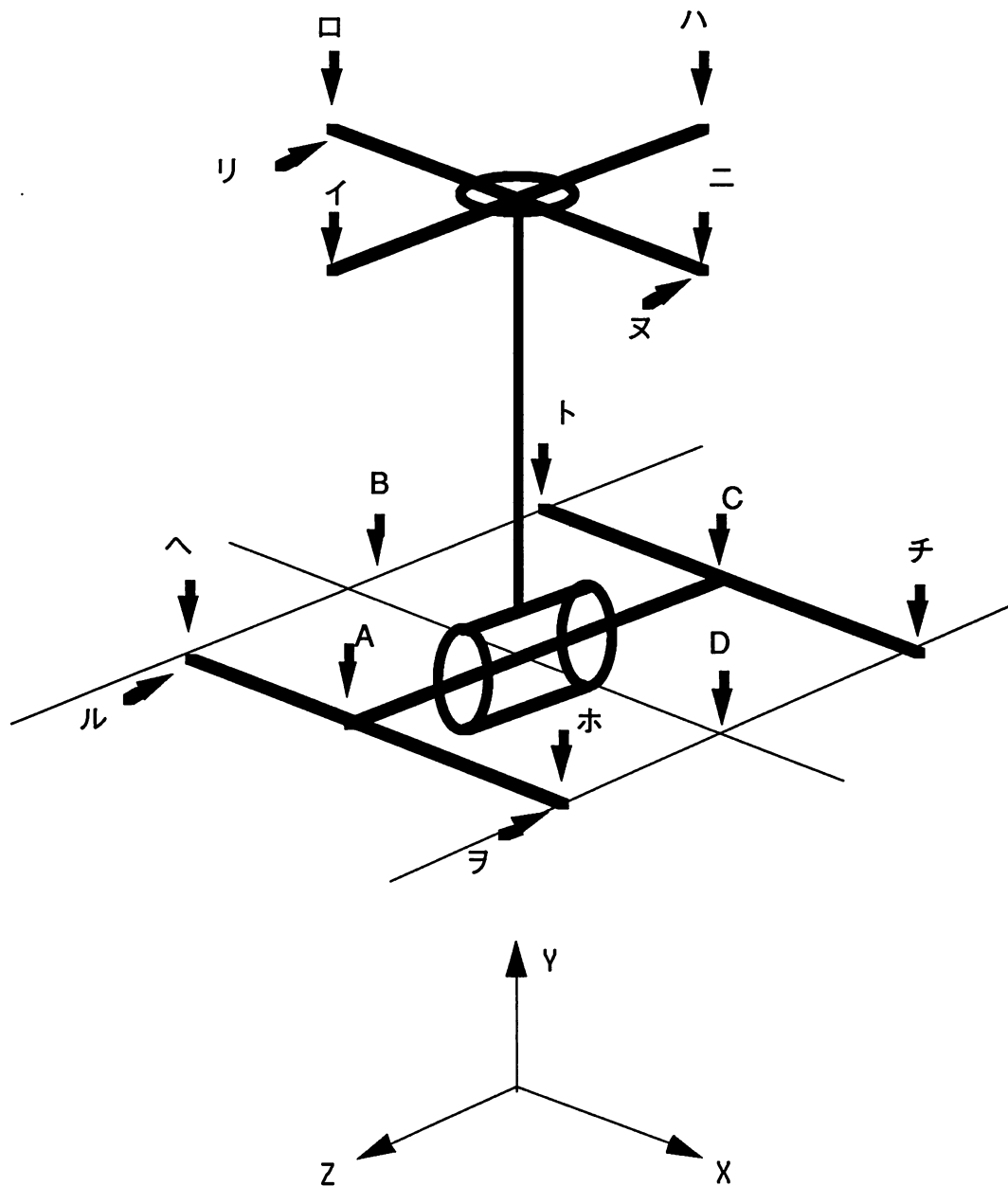
まだ改善策がまるで考えられていない問題としてはステムの治具からの取り外し方法がある。現時点では最後にステム上下にある力を受けるテーパ部が治具に食い込んでしまう。大きな力を加えなければ取り外せないため、ステムを予想外の方向に曲げてしまう可能性が残っている。かみ合い部の着脱方法を再考する必要がある。

(1) 測定箇所

下図はステム矯正器具の測定箇所を示した図である。ロ～ヲまでをKEKの3次元測定器で測定した。(イは測定器のプローブの形状の関係で測定できず、ロ、ハ、二の値から計算した。)また図のA～Dはホ～チから求めた。

測定はミットヨ3次元測定器B251を使用した。各点ともに3～4回測定を繰り返し最頻値を採用した。

さらに上部と下部にはダイヤルゲージを取付け変位量のモニターとした。1回の引き伸ばし量は下部のダイヤルゲージで50 μm 毎とした。ただし上部の固定部が動いてしまった場合はこれ以上になることもあった。途中で下部のダイヤルゲージが傾いたため引き伸ばし量が変わった可能性もある。



(2) ステムの伸び

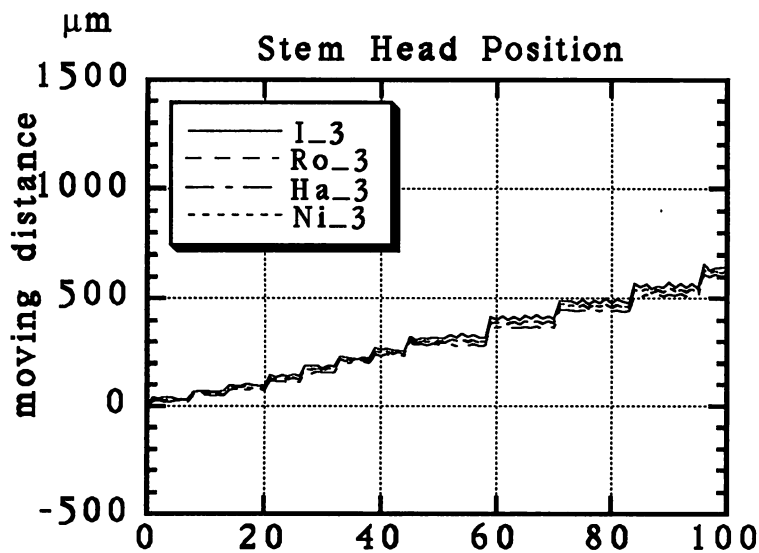


図. 1. Number of operation

図1はステム上部の測定値である。横軸は作業の行程数でありステムに力を加えた場合と力をかけていない状態の両者が含まれている。縦軸は最初の位置を基準にした座標値を示す。+側が引っ張っている方向（-y方向）への移動を意味する。階段状に変位している。次ページの図4に4点を平均したものを示しておく。

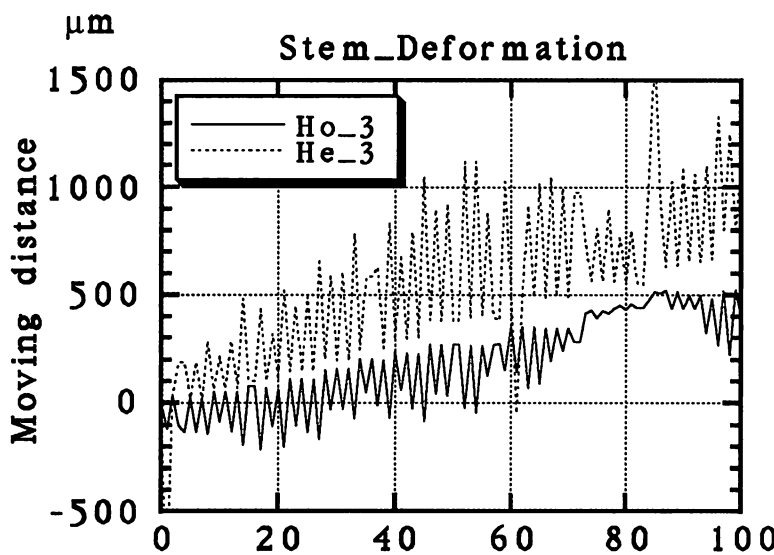


図. 2. Number of operation

図2と3はドリフトチューブのボアに取付けられた治具を通して測定されたステム下部の変位量である。横軸は作業行程数、縦軸の+側はステムが伸びる方向である。力の有無で伸びが変化するため、各線とも振動している。ホとチが行程数70あたりで振動が無くなっている。治具が回転しているためかも知れない。

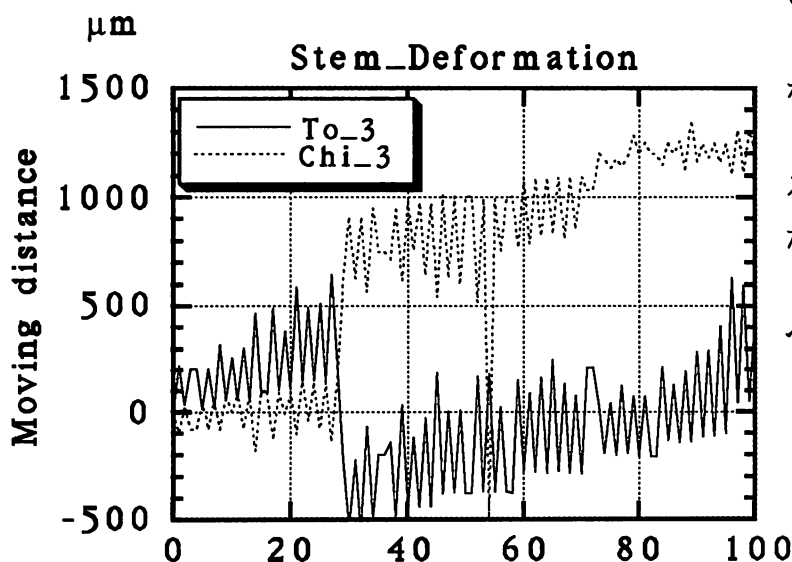


図. 3. Number of operation

なお図3の行程30位で大きくトとチの位置が入れ替わっているがこれは作業中に治具に触ったためである。

図2と3を平均したものを次ページの図5に示す。

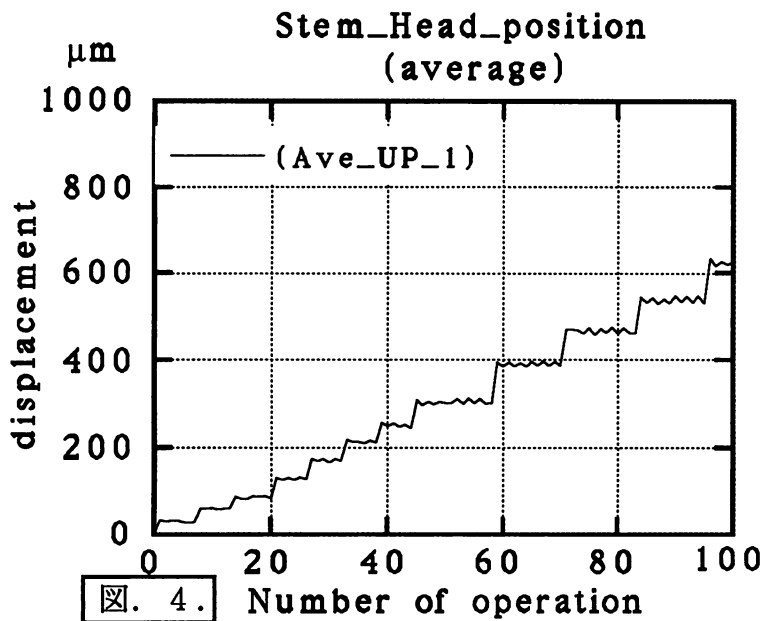


図. 4.

図4はステム上部の測定値の平均であり、図5はステム下部の測定値の平均である。横軸はやはり作業行程数であり、力を入れている場合とそうでない場合を含む。

図4からステム上部の固定用テーパ部が周期的にずり落ちているのが見て取れる。行程数40の後半から、ずり落ちる周期が長く、かつ1回にずり落ちる量も増えている。テーパ部の食い込み方が変化したと推測されるが、具体的に何がどう変化したかは分からない。

さてこれらのデータを基に永久変形量を算出する。結果を次ページの図6と7に示す。

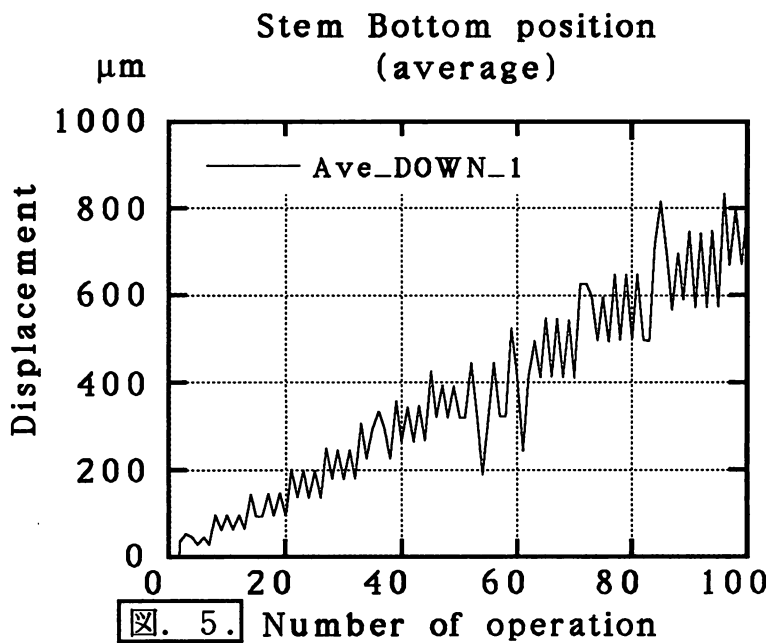


図. 5.

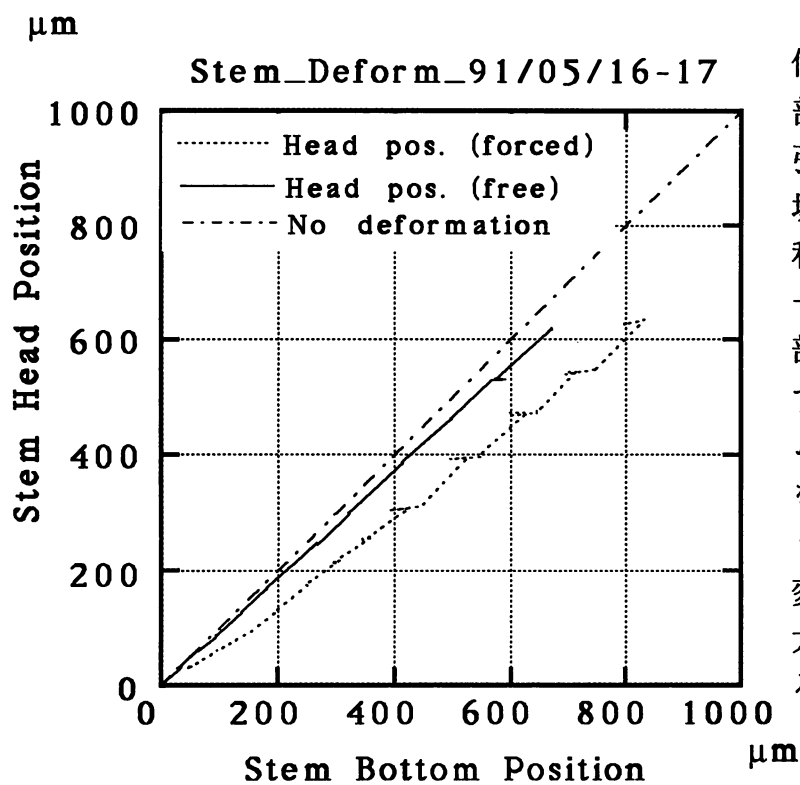


図. 6.

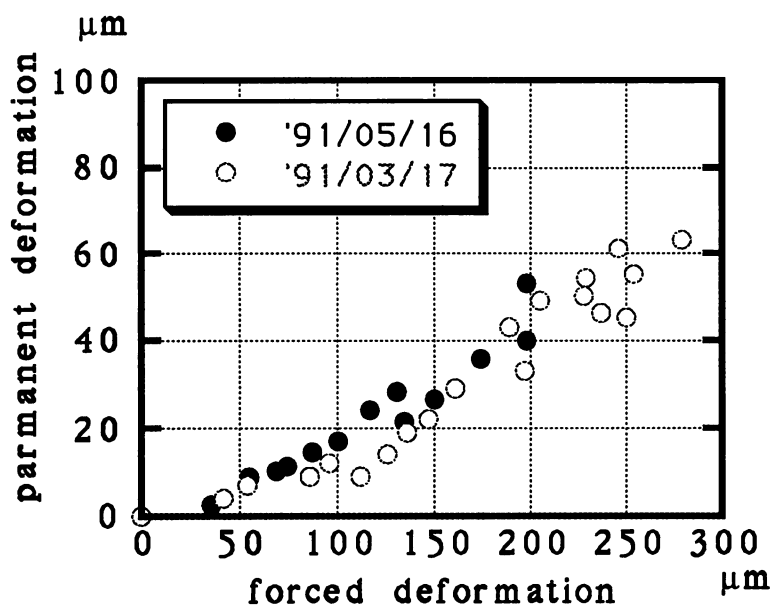


図. 7.

図6の横軸はステムの下部の位置であり、縦軸はステムの上部の位置をしめす。もし下部を引いても全くステムが伸び無い場合はステム上部と下部が同量移動する。この場合は図6中の一点破線に対応する。点線は下部を引いているときの関係を示す。一点破線からのずれはステムの伸びを意味する。実線は力を抜いた状態での位置関係であり、一点破線からのずれが永久変形量である。(なお図からは大きく外れる点は除外してある。)

図7は横軸に力を加えた時の伸び量を、縦軸にはその後力を抜いた時の変形量を示す。(最初の引き伸ばしの結果のみ示してある。)力を一気に加えて、ある量までステムを伸ばしたのではなく、数10μmずつ伸ばしている点に注意が必要である。一回で伸ばした場合と同じになるか現時点では我々は試験していない。

図中の○は前回の結果を、●は今回の結果を示す。ばらつきの範囲内で一致している。

永久変形量はほぼ伸ばした量の20~30%である。

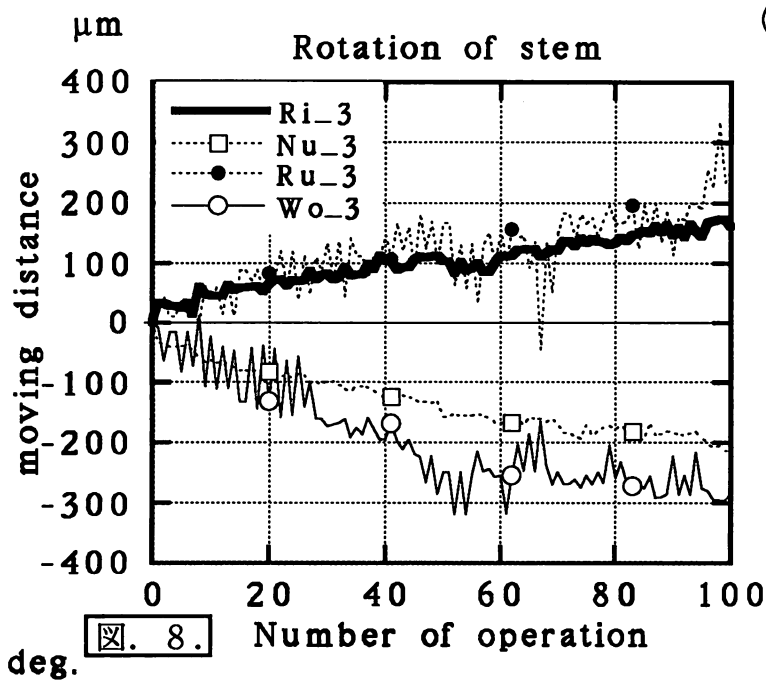


図. 8. Rotation of stem

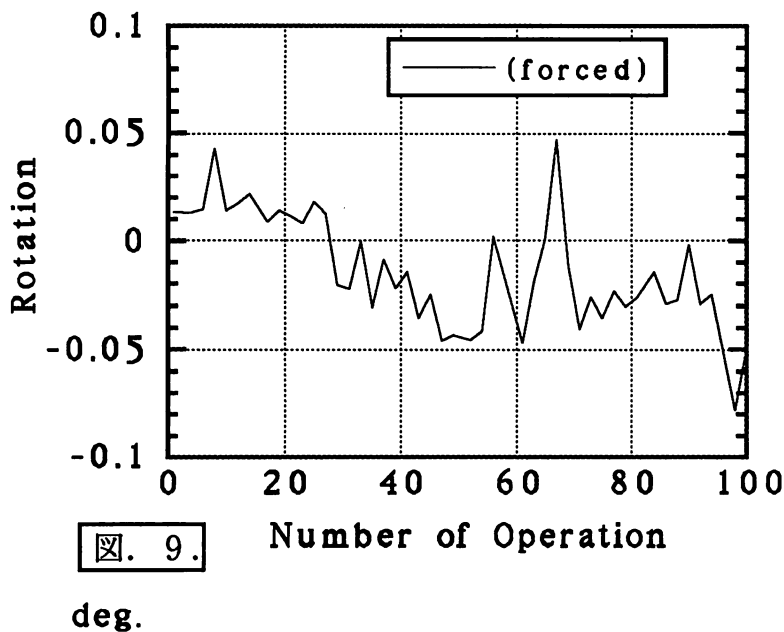


図. 9. (forced)

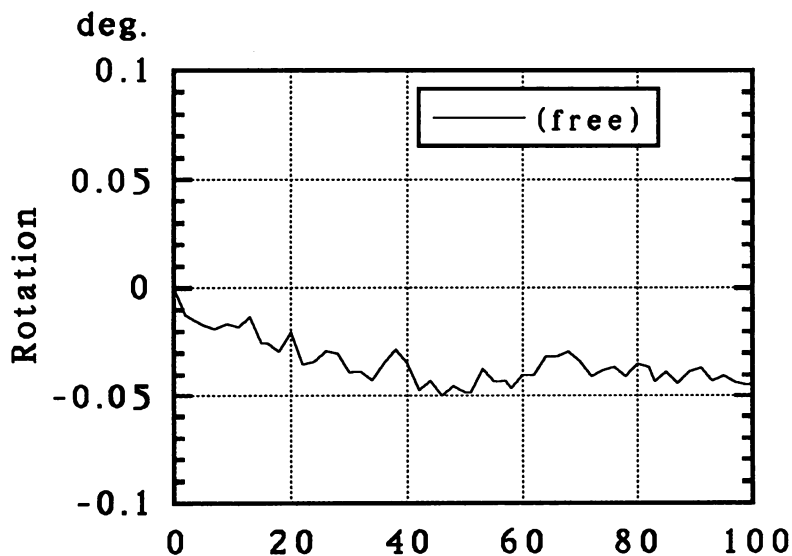


図. 10. (free)

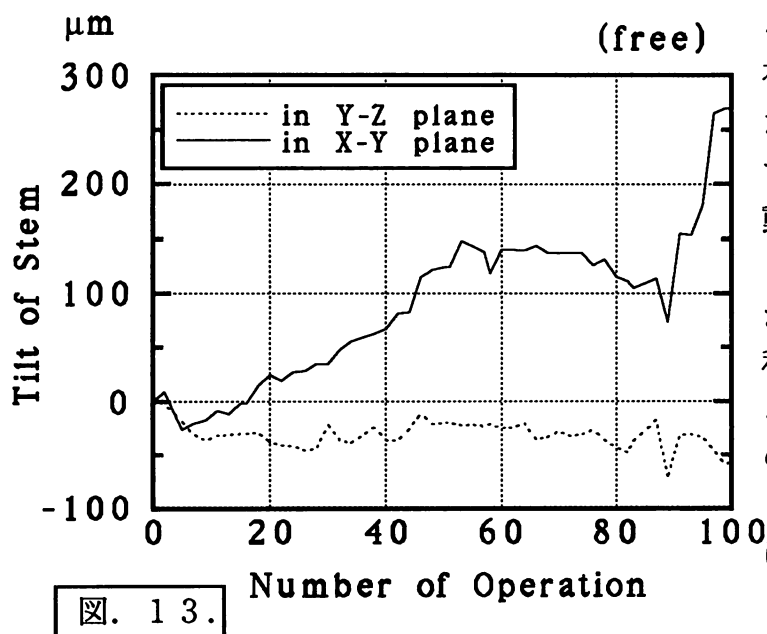
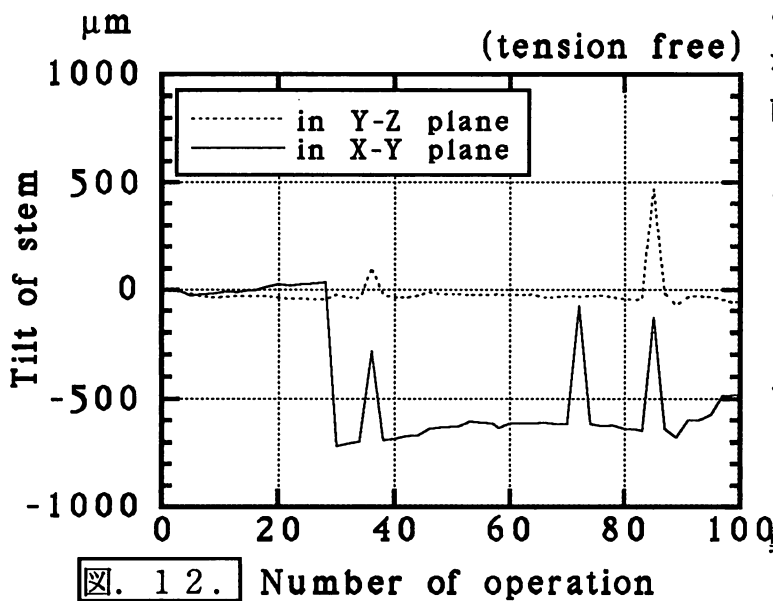
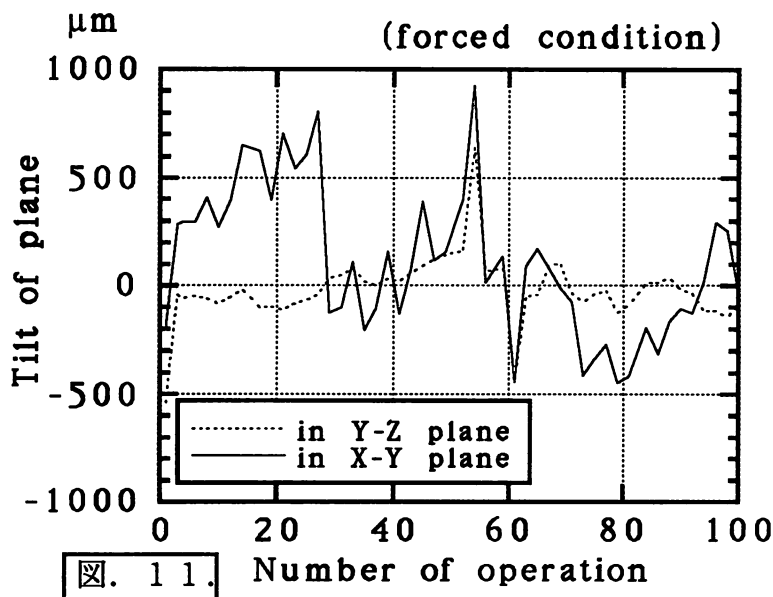
(2) ステムの回転 (ねじれ)

次にステムの回転の有無を調べた。使用したデータ点はリ～ヲである。これらは治具の側面を測定している。

図8に全データを作業行程順に示す。リとルが+側ではほぼ同量移動している。ヌとヲは一側に変位している。これはステムが行程と共に一方向に回転している事を示している。そして上部の回転量を示すリとヌの差と、下部の回転量を示すルとヲの差を比較すれば回転方向に関する永久変形量が分かる。

図9は力を加えた状態でのステムの回転を単位を度で示したものである。横軸は行程数、縦は回転角である。力を入れるたびに両方向へ回転している。

図10は力を抜いた状態での回転角である。行程数40回目位まで徐々に回転しており、それ以後は一定値になっている。回転角度は 0.04° であり、最も気になる永久4極磁石の端で $10\mu\text{m}$ の水平方向の変位に相当する。この大きさは許容範囲に入っているので回転に関しては無視して差しつかえない。ただし当然ながら追試は必要である。



(3) ステムの曲がり

イとAの間隔とハとCの間隔との差 (T_{yz}) がY-Z平面内でのステムの傾きを表す。同様にX-Y平面内での傾きはロとB間及びニとD間の差 (T_{xy}) で表される。

図11は力を加えた状態での2つの面内での差 T_{yz} と T_{xy} を示す。非常に大きな振幅で変化している。特にX-Y平面内での変動が大きい。ステムを引っ張る2点がX-Y平面内にあるので、治具のわずかなずれが大きくステムを振っている可能性がある。

図12は力を抜いた状態での T_{yz} と T_{xy} を示す。行程数30近傍でのX-Y平面内での傾き (実線 T_{xy}) が800 μm 位変化しているのは図3で既に示されているように治具が動いたためと思われる。

このような明らかな治具の変動と思われるデータを省いてプロットし直したのが図13である。Y-Z平面内での動きは最初の10行程で一方向に移動した後は $\pm 20\mu\text{m}$ 程度の変動を示すのみである。ステム下部の移動量は従って $\pm 10\mu\text{m}$ 程度となり、この面内では問題ない。しかしX-Y面内では最高270 μm 程度変位が起こっている。ステムの移動量は寸法比から半分なので、140 μm となり、大きい。

従ってステムを伸ばした時は、その後必ず横曲げの補正をしなければいけない。