

分担課題 定位照射における精度保証技術を中心に
高精度放射線治療の技術評価に関する研究

分担班長 佐々木 潤一 大阪成人病センター
精度研究項目 4：高精度放射線外部照射における機器的精度管理

1. 治療装置の精度測定

1-1 治療装置の QA

外部放射線治療における QA/QC に関しては、IEC976、IEC977 に準じて作成された「外部放射線治療装置の保守管理プログラム」が標準的に使用され、これに基づいて定期点検が多く行なわれている。治療装置の精度は治療成績にも関わるため、放射線治療全体の精度評価のうえでも重要であり、基礎となる大切な QA 項目である。一般的な治療装置リニアックではコリメータ、治療寝台、ガントリがそれぞれ独立した回転軸を持っていて、定位放射線照射など高精度の治療を行なう場合には、治療装置の回転軸精度のより厳しい許容値が求められる。治療装置の保守管理では多くのガイドブックがあるが、AAPM Task Group 40(1994)Report No.46 から引用した群と、新しく AAPM Task Group 42(1995) Report No.54 から求めて許容値を設定した群に分かれているので紹介する。

(1) AAPM Task Group 40(1994)Report No.46 引用群

- 日本放射線腫瘍学会 QA 委員会編の「外部放射線治療における Quality Assurance (QA) システムガイドライン (平成 9 年)」

AAPM Task Group 40(1994)Report No.46 を元にならされている。Report No.46 と JASTRO の定めた値と対比しているが、大きな差は無く、許容誤差はおおむね 2 mm としている。

- 「外部放射線治療における保守管理マニュアル (日本放射線技術学会)」
詳細な説明がある。AAPM Task Group 40(1994) Report No.46 と JASTRO ガイドラインを元にならされている。許容誤差はおおむね 2 mm としている。

(2) AAPM Task Group 42(1995) Report No.54 引用群

- 日本医学物理学会編の「定位放射線照射のための線量標準測定法 (2001 年)」

AAPM Task Group 42(1995) Report No.54 を元にならされている。一般の外部放射線治療装置として「日本放射線腫瘍学会研究調査委員会編の外部放射線治療装置の保守管理プログラム」があるとして、定位放射線照射には「一般の外部放射線治療装置より厳しい精度が要求されている」として、細かな表記はしていませんが、許容誤差を 1 mm 以内としている。

以上より、定位放射線照射は通常の外部照射の QA ガイドラインを満たしていることが前提となる事より AAPM Task Group 40(1994)Report No.46 は有用であるが、定位放射線照射の QA に関しては AAPM Task Group 42(1995) Report No.54 や Hartmann らの

task group によるレポートからリニアックの機械的精度を 1 mm 以内に維持する事が望ましい。AAPM Task Group 42(1995) Report No.54 は Table はあるが、機械的精度としてアイソセンタの誤差量を 1 mm 以内としてあるだけで、Report No.46 のように詳細な表の表現はないので装置のチェック項目は Report No.46 の表を参考にする必要がある。

1-2 測定方法

治療装置の幾何学的精度管理としては架台と照射野限定システムの回転角表示値と実際の角度、その再現性、放射線ヘッドの縦・横揺れと放射線の中心線束、照射野の変位や再現性等が挙げられる。治療装置のコリメータ、治療寝台、ガントリの回転軸中心（アイソセンター）の位置精度はそれぞれの持つ機械的精度と装置設置時作業から決まる事が多く、定期的な測定も行われていないのが実状である。

治療装置のアイソセンタ位置の誤差量を定量的に計測するための一般的な方法として、Winston-Lutz 法が広く用いられている測定法である。簡易的な方法として star shot 法がある。架台や照射野の変位を確認する方法として split field 法や star shot 法がある。他に front pointer や CCD カメラを中心線束上に取り付けアイソセンタの変位を測定するなどさまざまな方法がある。それぞれの手法には一長一短があるが測定に使用する道具、取り付け位置、設定位置等が正確でないと精度を欠く事になり、測定ごとに再現性よく使用できなければ測定結果の信憑性が損なわれるので注意したい。

■照射ビーム中心軸の変化(誤差)の測定

- ① QC/QA ツール
- ② Split field 法
- ③ Winston lutz 法
- ④ Star shot 法

■アイソセンタ位置変化(誤差)の測定

CCD カメラ方式精度測定ツール

- (1) スターショット法は、スリットビームを用いて、装置の各回転軸を回転させ、一枚のフィルム上に曝射して得られた線分像（回転軸の幾何学的画像情報）を解析して装置の回転軸精度を評価する方法である。装置のアイソセンター位置精度の定量評価を定期的に簡便にできる方法である。しかしながら、フィルム上のスリットビーム幅の分解能に限度があり、2mm 以下のアイソセンター位置精度の定量評価は難しい。
- (2) CCD カメラ方式（三菱電機 KK 製精度測定ツール）：CCD カメラ方式精度測定ツールは Winston-Lutz 法を活用した回転軸精度を測定する器具である。治療寝台に固定した 8mm のターゲットポインターを治療装置ガントリヘッドのコリメータ位置に設置した CCD カメラで捕らえて誤差量を測定する。測定分解能は 0.033mm である。

1-3 測定

CCD カメラ方式精度測定ツール(Fig. 1)は治療寝台に固定された 8mmのターゲットポイントと、治療装置ガントリーヘッドのコリメータ位置に設置した CCD カメラ、CCD カメラ映像から回転軸のズレ量を読み取り(測定)解析するソフトとシステムを操作するノート PC から構成される。測定作業は回転中心位置に対してコリメータ、治療寝台、ガントリーを其々単独で回転したときの回転軸のズレ量を測定と、定位照射の際に実施される治療寝台とガントリーを同時に回転させた時の総合回転精度を測定した。

訪問調査による国内使用の 4 メーカー、15 施設の 15 台の治療装置を測定した(2003 年)。測定した 15 台のメーカー、リニアック、治療寝台を下記に示す。

三菱電機社 = リニアック (EXL 型、MHCL 型) 治療寝台 (MTC-22 型)
バリアン社 = リニアック (600C 型、2100C 型、2300CD 型)
治療寝台 (ETR 型、EXECT 型)
シーメンス社 = リニアック (KD2/50 型、KD2/50-PRIMUS 型、KD2/67-PRIMUS 型)
エレクトラ社 = リニアック (フィリップス-日立社の HL-1500 型)

1-4 測定結果と解析

訪問調査による 15 施設 15 台の治療装置を測定した結果を示す (Table 1)。

- (1) コリメータの回転誤差量は少なく、高い回転精度を保有していた。コリメータの回転精度が高いことから、治療寝台、ガントリーの回転精度測定の信頼度は高いと評価できる。
- (2) ガントリーの機械的精度は高いと思われるが、ガントリーヘッドの重量は非常に重いためガントリーのおじぎ成分が存在する事を認識すべきである。よって誤差量は 0° と 180° の間で最大となる。全測定装置の最大誤差量は 1.38mmであった。
- (3) 治療寝台の回転中心の誤差量は大きいですが、多少の修正は可能な装置が多いので、計測結果から検討する事を推奨する。測定グラフの往復の軌跡が膨らむのは寝台の左右、ロング方向にガタがあるためと考えられる。全測定装置の最大誤差量は 2.4mmであった。
- (4) 総合回転精度では治療寝台の角度 30° 毎にガントリーを回転させて誤差量を測定した。測定グラフが治療寝台角度に合わせて平行にズレているのは治療寝台の回転軸がズレている為と考えられる。
- (5) 測定結果で示すグラフはメーカー別に特徴のある測定結果になった。ガントリー回転精度と寝台回転精度をメーカー毎に 2 施設の測定グラフを表す (Fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)。

メーカー	軸	コリメータ回転精度	ガントリ回転精度	治療台回転精度	総合回転精度
A	X	0.12	0.35	0.48	1.16
	Y	0.11	1.38	0.42	1.18
B	X	0.25	0.28	1.88	1.29
	Y	0.28	0.84	2.16	0.84
C	X	0.13	0.92	0.94	0.77
	Y	0.15	0.98	2.40	1.26
D	X	0.22	0.37	0.26	0.88
	Y	0.20	0.62	0.16	0.61

Table.1 治療装置別の機械的精度 最大値

1-4 考察と対策

- (6) 患者の照射位置確認作業（アイソセンタ位置確認作業）ではコリメータ、治療寝台を回転させることなく、ガントリ回転角度も同じ角度を使用して確認作業が行われるため、今回の測定結果に示された誤差量は日常の照射位置確認作業では反映されず、これらの誤差を照射位置精度判定から忘れられているまま放射線治療がなされている事になる。定位放射線照射、高精度外部放射線照射を施行する施設ではこの測定結果を遵守し検討されたい。測定作業によって大きなズレ量を測定した際はそのズレ量の対策を練る必要がある。
- (7) これらの誤差量は治療装置の設置時において決まってくる事を考えると。治療装置の引渡し時の確認は十分注意して行う必要がある。下記に示すグラフは1施設が毎年行った精度測定結果である。多少の違いはあるが、グラフの軌跡は同じであることから、ズレ量はメーカーが持つ装置特有の機械的精度と判断できる (Fig. 14)。
- (8) 測定された治療装置の誤差成分を取り去る事は出来ない。しかし工夫する事で、誤差量を減らす事は可能である。
ガントリ回転精度の場合、ガントリの回転によるおじぎ成分 (Fig. 15) を取り去る事は出来ないが、サイドポイント精度を高くして、90°、270° ラインを重視したセ

ットアップする事で誤差量は半減する (Fig. 16, 17)。

- (9) 治療寝台のズレ量の改修法としては、寝台にカウチスタビライザー (Fig. 18) を取り付けることによってそのズレ量が半減することが分かっている。寝台ズレ量の大きい施設では高精度外部放射線照射を行う際に対策を講じる必要がある (Fig. 19, 20)。

参考文献

- (1) AAPM Report No.54 : Stereotactic Radiosurgery . Report of task group 42 radiation therapy committee . 1995
- (2) Hartmann GH, Lutz W, Arndt J, et al. : Quality assurance program on stereotactic radiosurgery , report from a quality assurance task group. Heidelberg, Springer, 1995
- (3) AAPM report 46. Comprehensive QA for radiation oncology : report of AAPM radiation therapy committee task group 40. Med Phys 1994 ; 21 : 581-618. 広川裕、伊藤彬、井上俊彦共訳.放射線治療における統合的 : AAPM 放射線治療委員会報告書 (TG40) 放射線科専門医会 1996

Figure 1

Measuring devices

CCD camera system

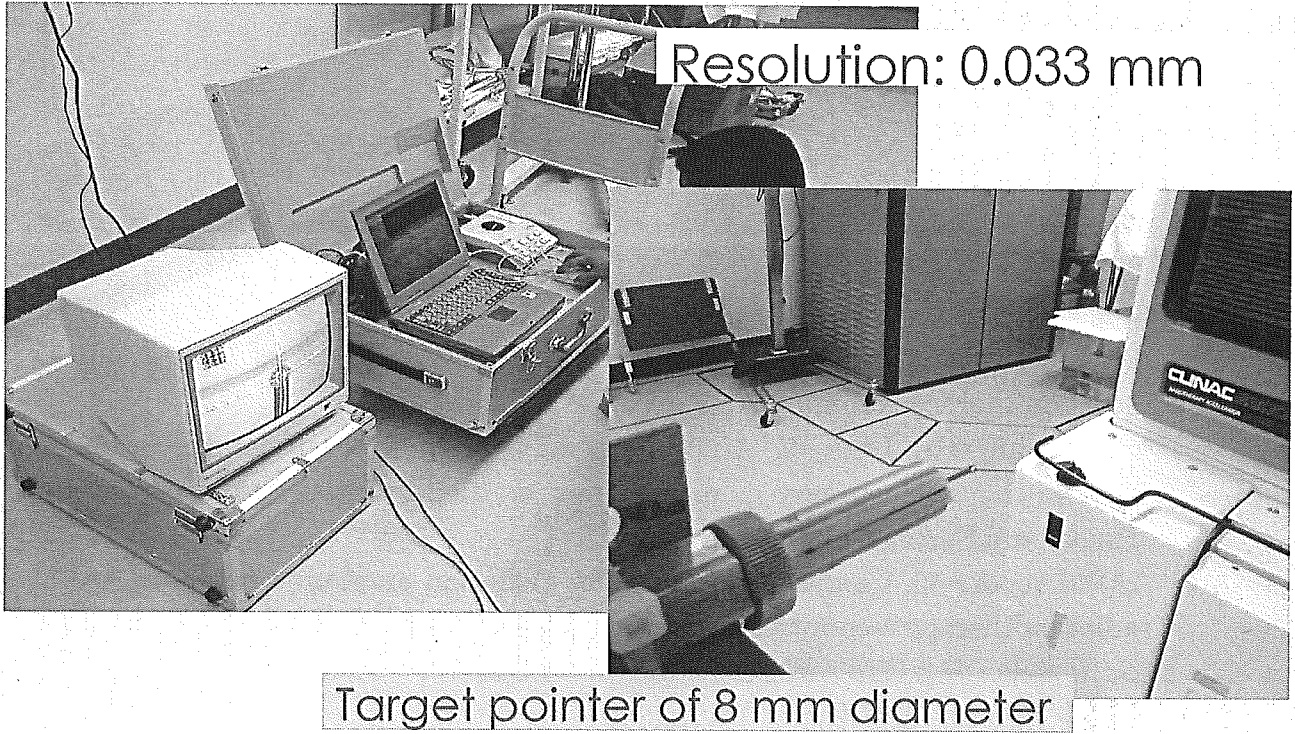


Figure 2

ガントリ回転精度 (A社)

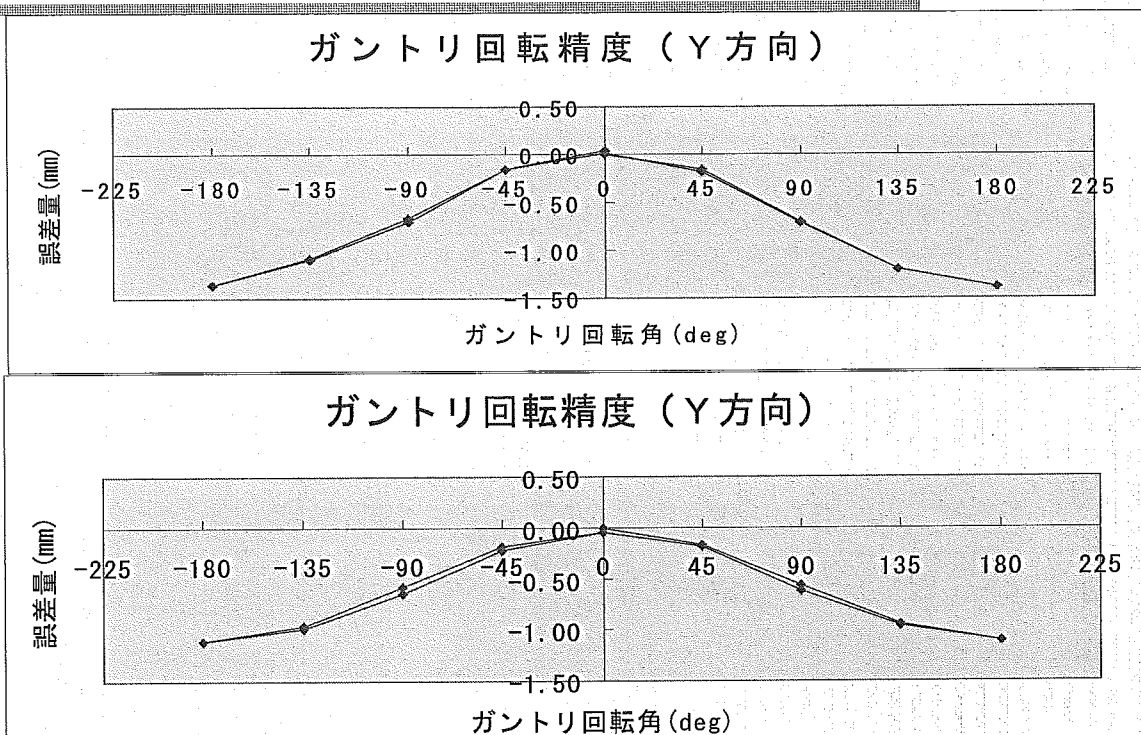


Figure 3

ガントリ回転精度 (B社)

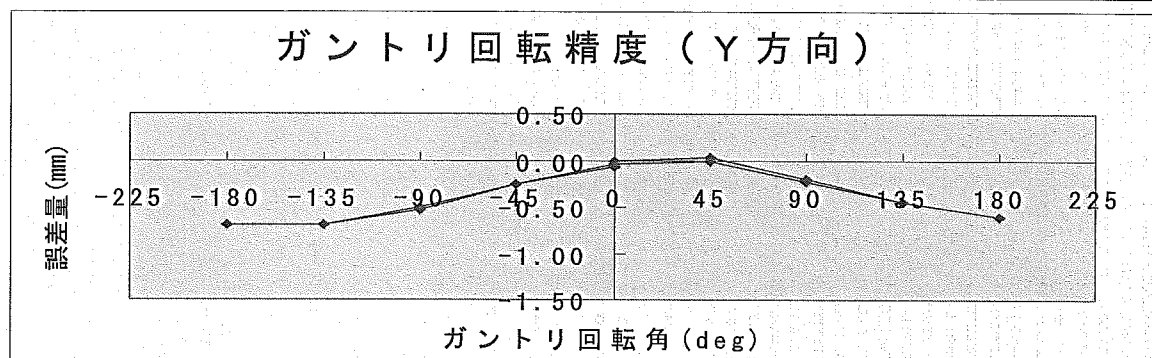
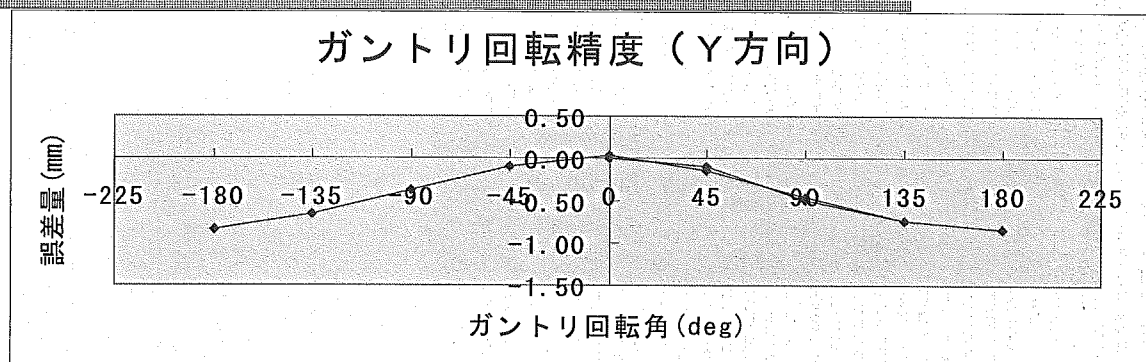


Figure 4

ガントリ回転精度(C社)

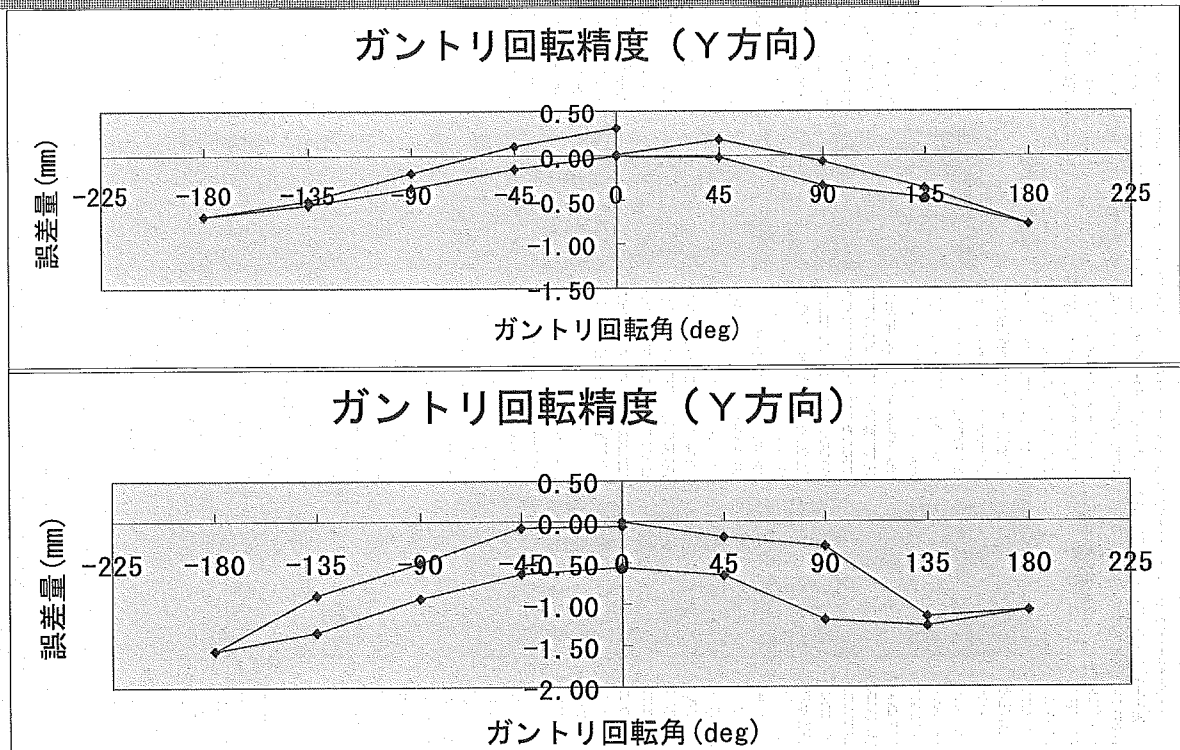


Figure 5

ガントリ回転精度(D社)

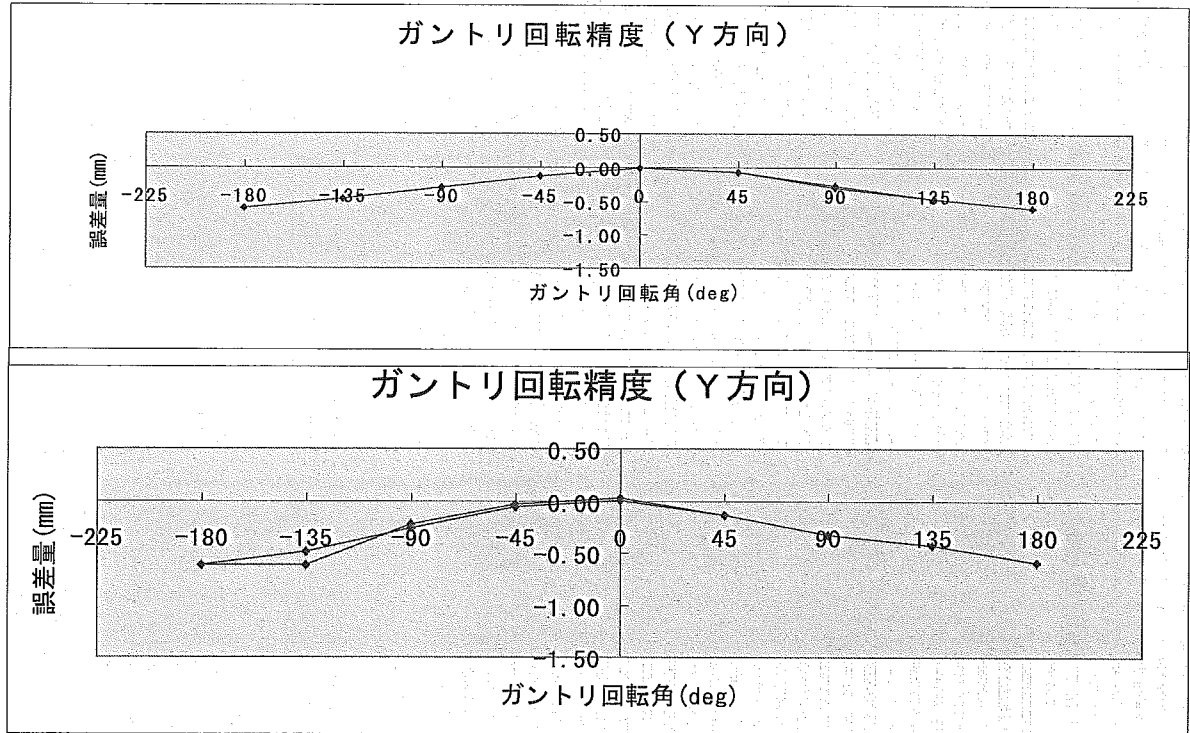


Figure 6

治療寝台回転精度 (A1社)

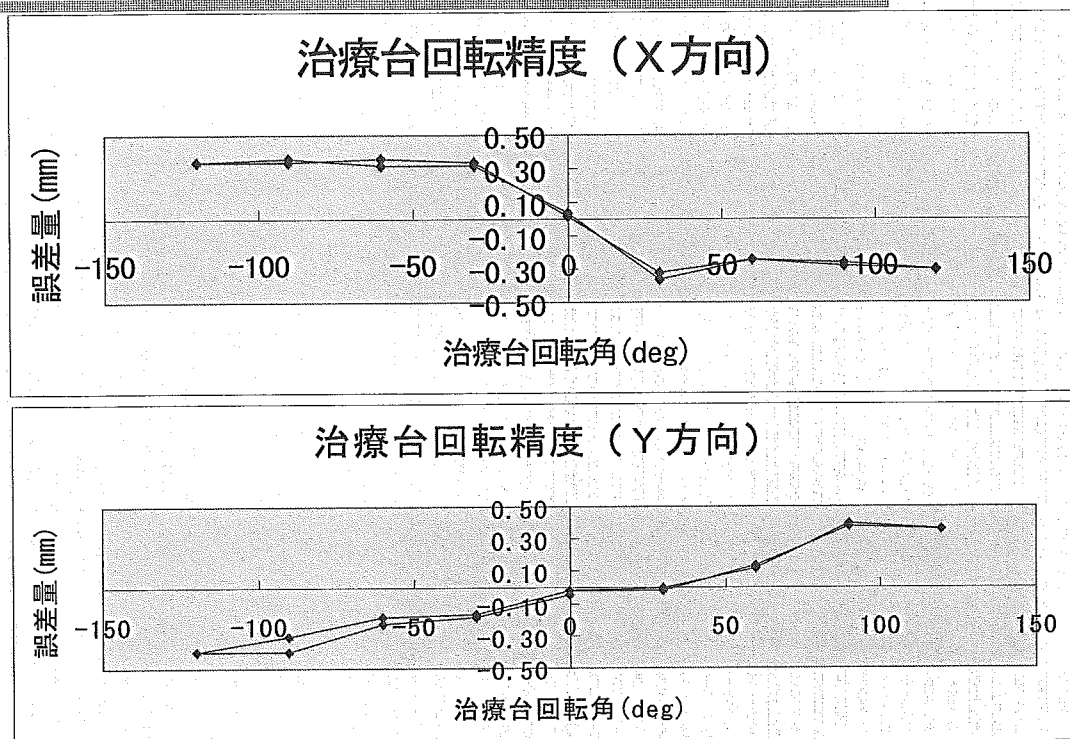


Figure 7

治療寝台回転精度 (A2社)

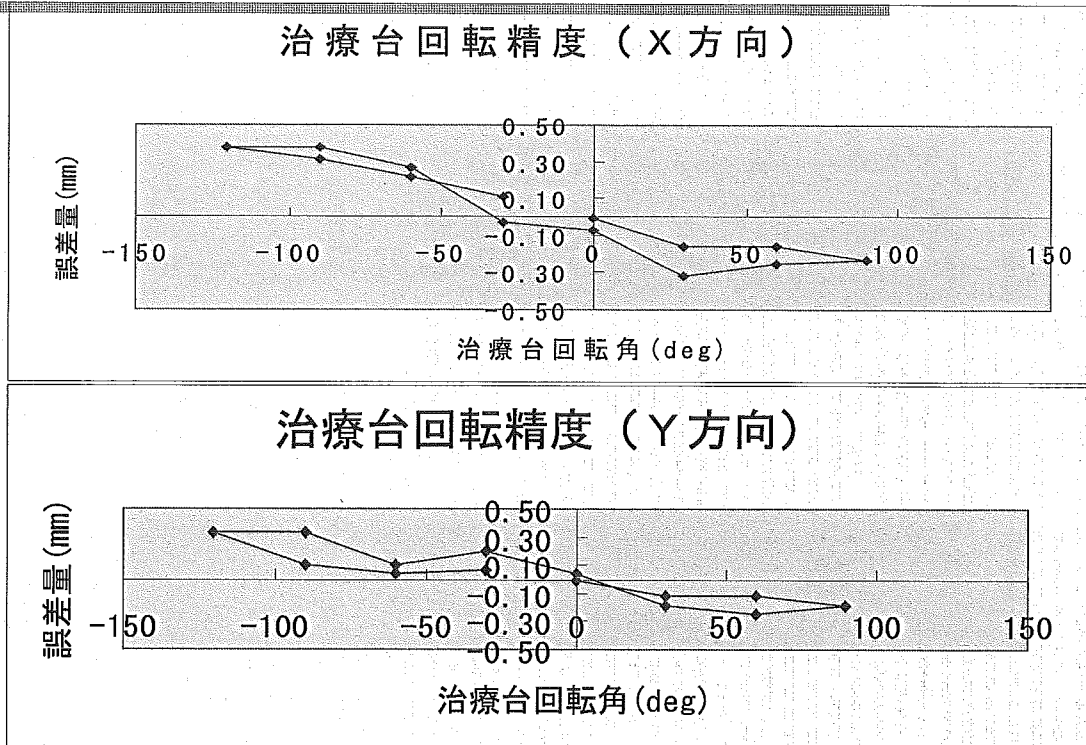


Figure 8

治療寢台回轉精度 (B1 社)

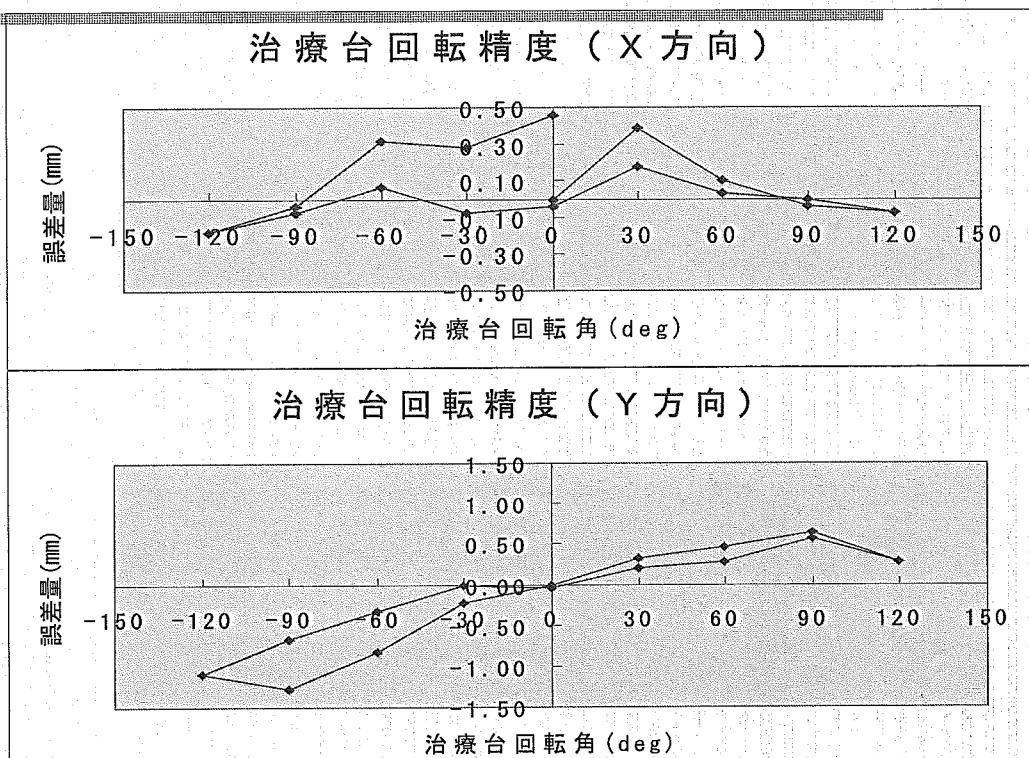


Figure 9

治療寢台回轉精度 (B2社)

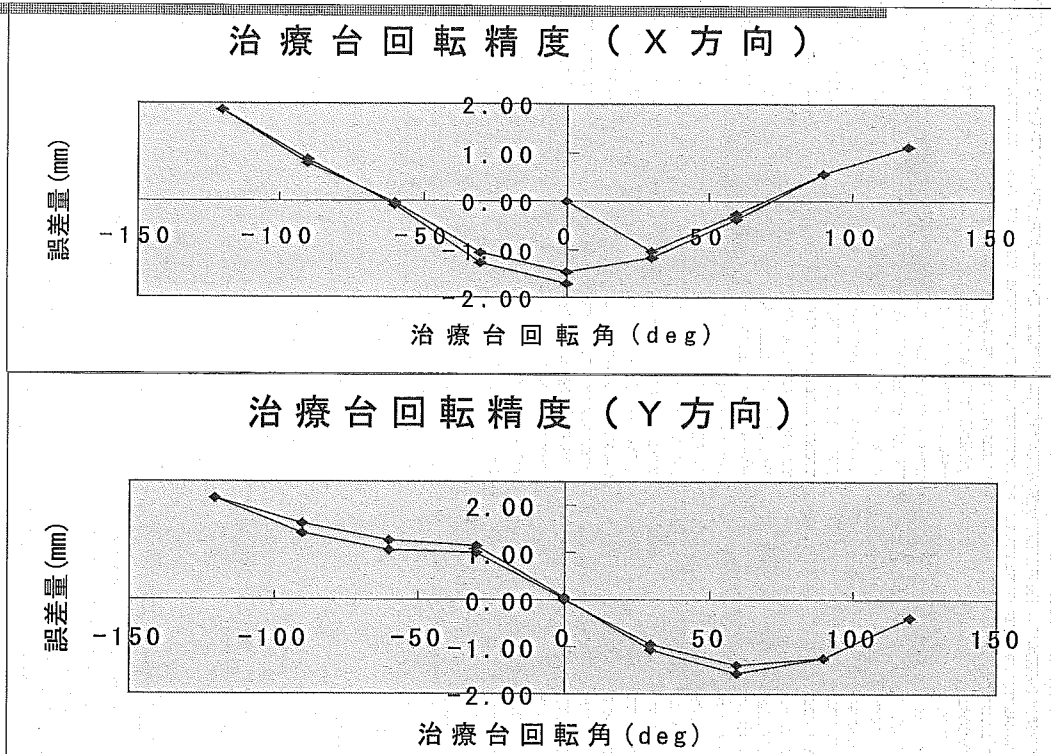


Figure 10

治療寢台回轉精度 (C1社)

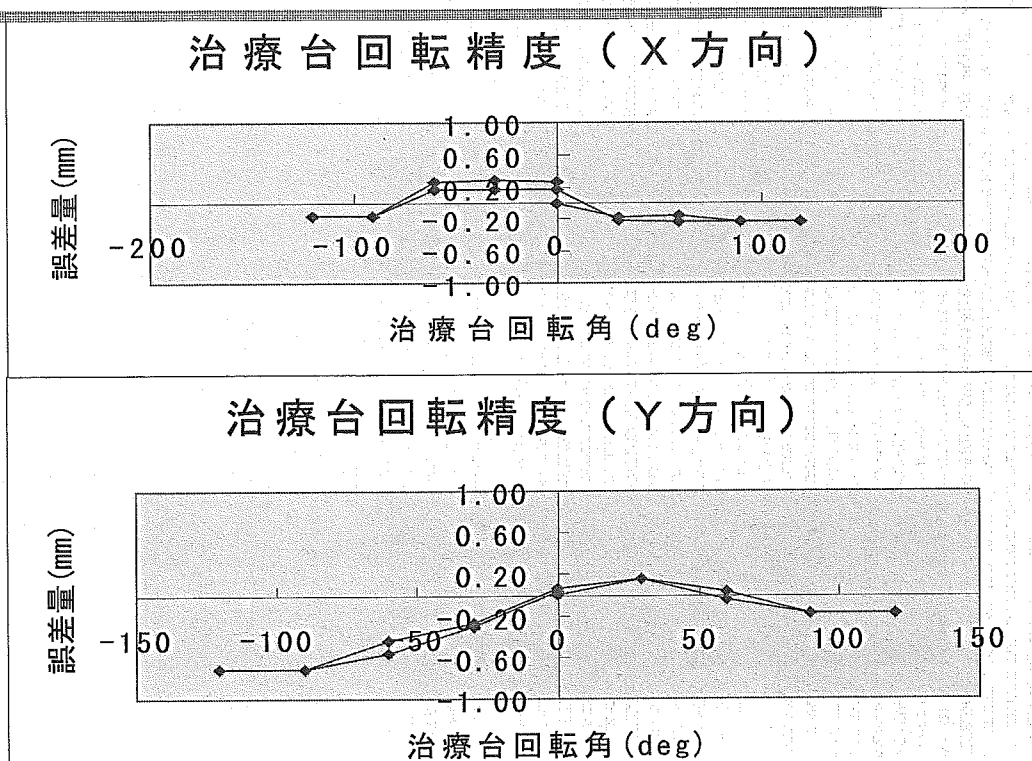


Figure 11

治療寝台回転精度(C2社)

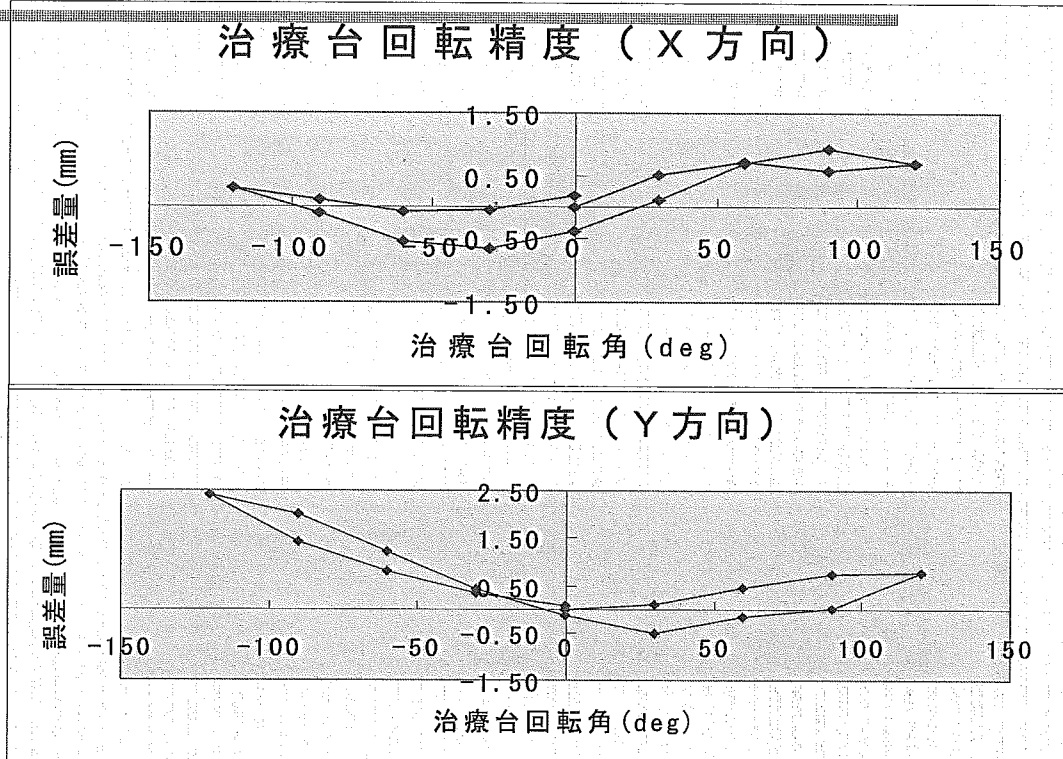


Figure 12

治療寢台回轉精度(D1社)

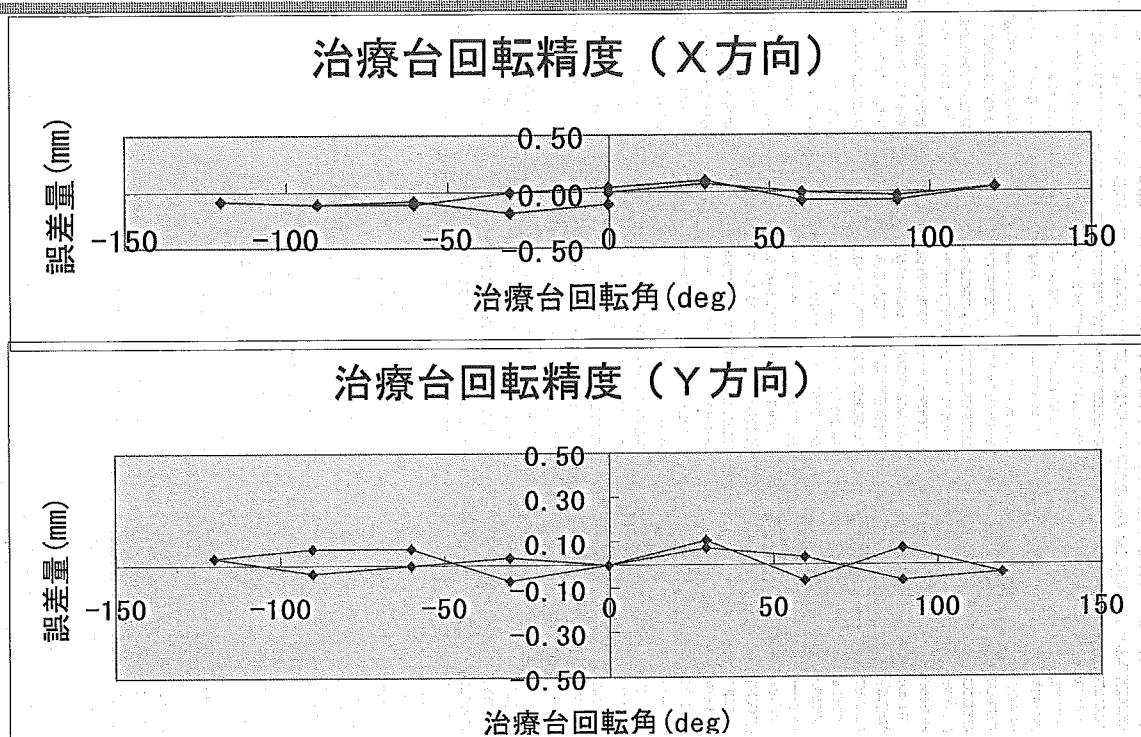


Figure 13

治療寝台回転精度(D2社)

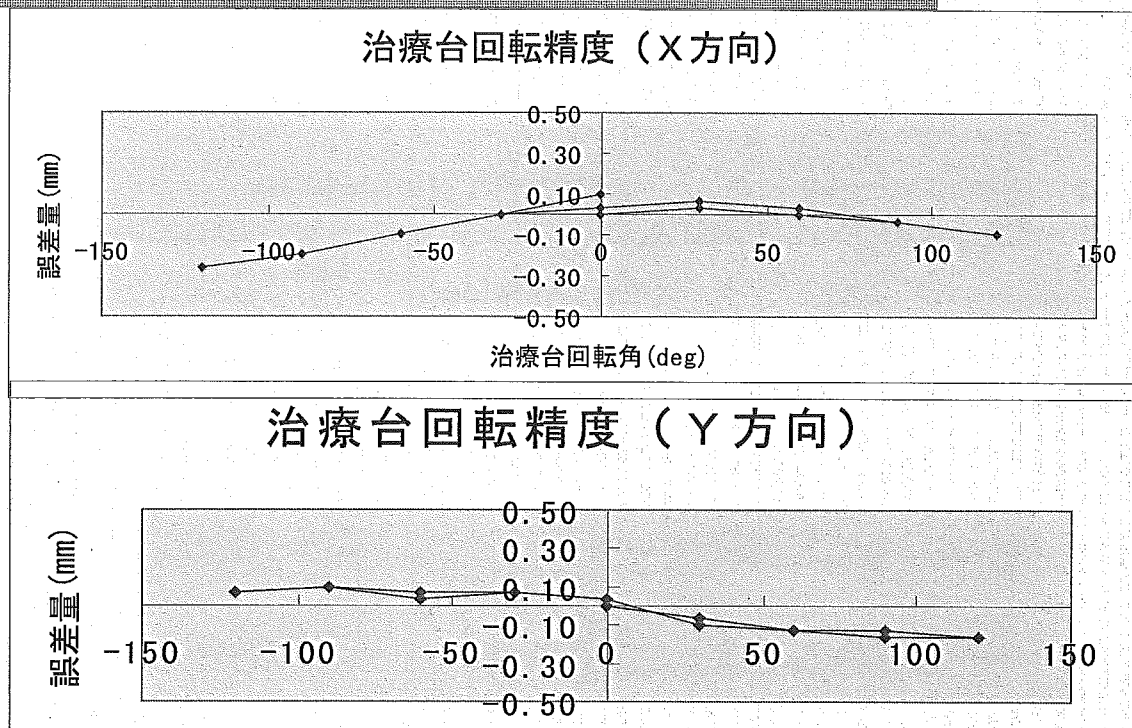


Figure 14

Summary 3

- Position error at machine installation could not be retrieved.

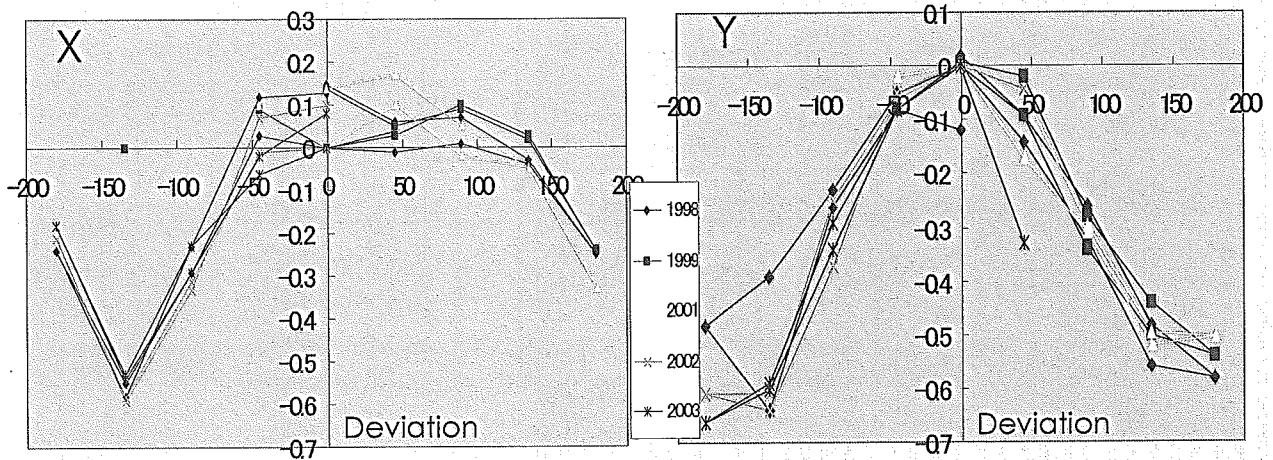


Figure 15

ガントリのお辞儀成分

