

AAPM TG142をやってみよう

Introduction to the Elekta Linear Accelerator

エレクタ株式会社
アプリケーションフィジックス



Contents

Linac Operation

Servo System

Appendix



Linac Operation

Linac Operation

リニアックを構成する部品や構造

電子銃(二極管)



スラローム偏向電磁石



マグネトロン



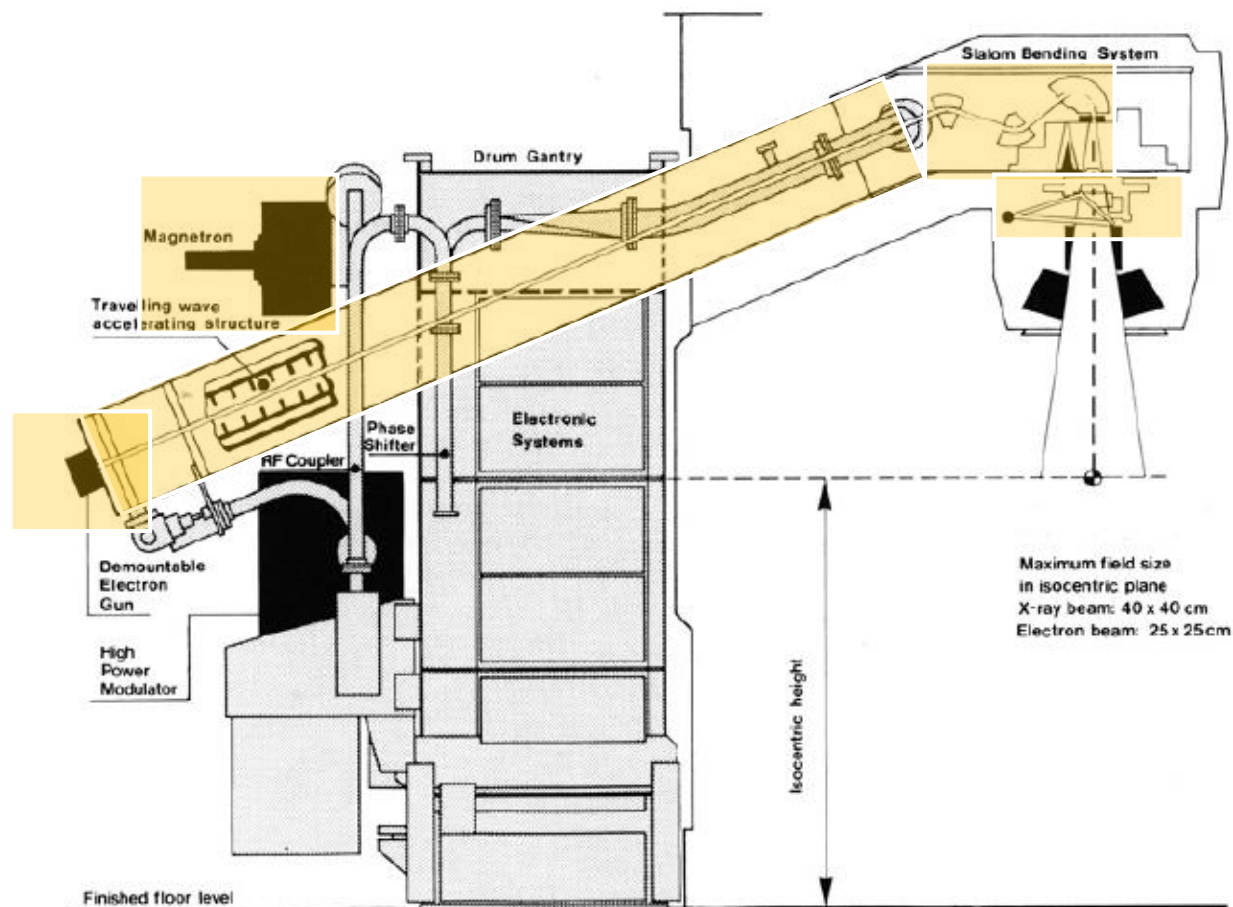
進行波型加速管



イオンチェンバ

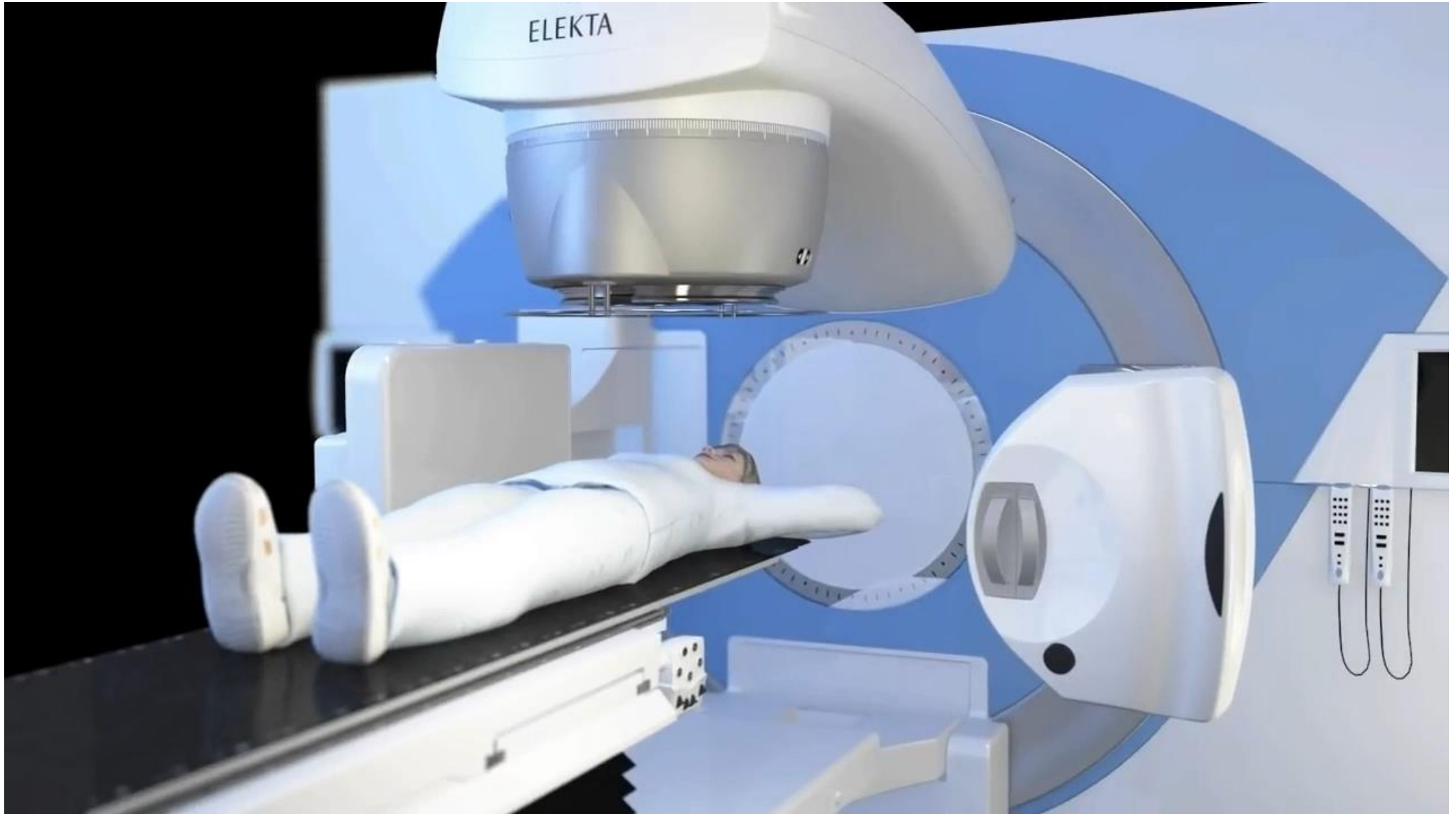


側面図



Linac Operation

※ 動画です。



Linac Operation

Edit Machine Item Parts

例;

Item	Part	Set	Actual
275 LT hours	4	9682	9682
276 HT hours	4	474.7	474.7
327 Gun I ctrl	4	4.50	4.50
223 Water temp	4	28.11	28.11

番号	名前	内容
223	Water Temp	冷却水水温
224	Dos. Temp1	ヘッド内温度
227	Vcc Gum	電子銃側真空値
228	Vcc Targ	ターゲット側真空値
275	LT hours	システム通電時間
276	HT hours	高圧電圧使用時間

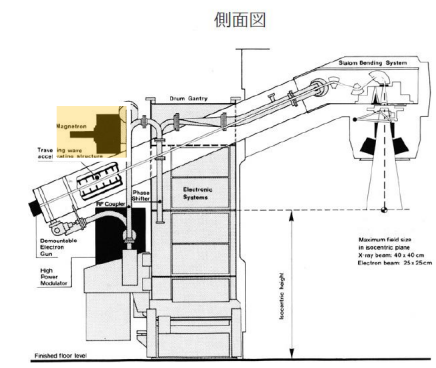
治療機の状態を定量的に把握することが可能です。

Linac Operation

ファストチューン・マグネトロン

- Radio Frequency (RF) 発生器
- 4MV(最低)から25MV(最高)まで
- 12か月ごとに点検を実施
- 交換頻度：約3.5年（通常1000～1200h程度で交換を推奨）
- 部品劣化になりやすい要因：**毎日の使用前ウォームアップを実施しない場合、耐用期間が短くなる**

276	HT hours	高圧電圧使用時間
-----	----------	----------

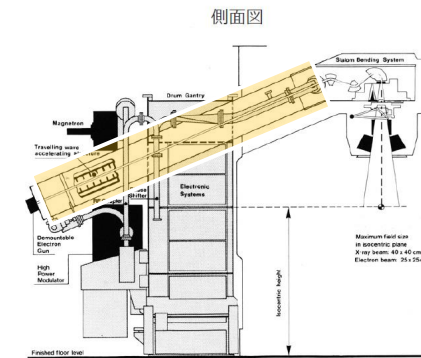


交換理由		%
定期交換		56.99
その他	Dose Rateの異常（低下、不安定）	43.01
	劣化の兆候	
	Tunerのトラブル	
	その他	

2018/1/1～5.5年で集計

Linac Operation

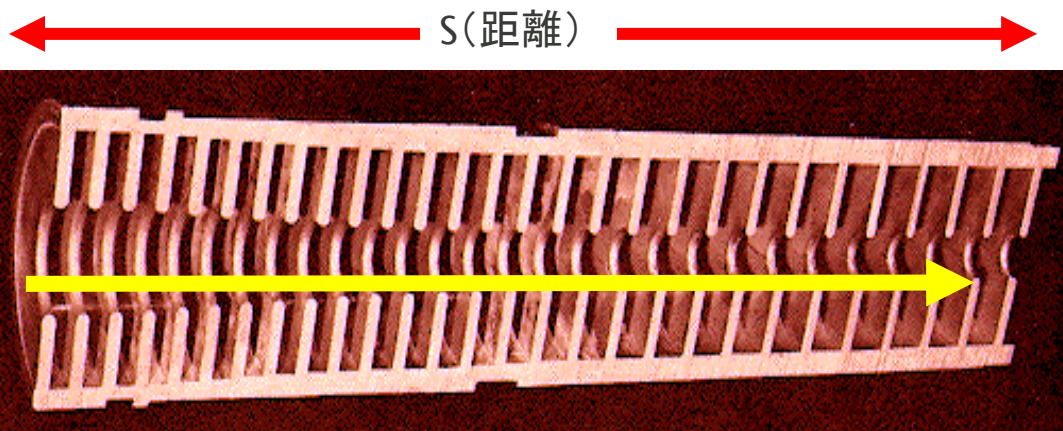
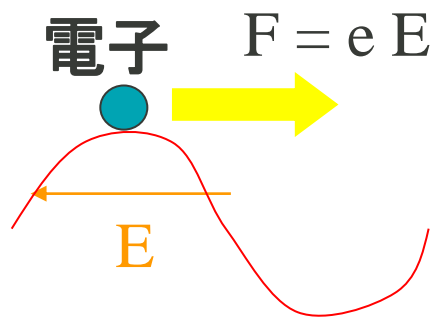
227	Vcc Gum	電子銃側真空値
228	Vcc Targ	ターゲット側真空値



進行波型加速管

- 20年保証 - 過去交換実績無し
- 厳しい真空度を必要しない
- 6か月、12か月ごとに点検を実施

電子のエネルギー : W (仕事) = F (電界強度) \times s (移動距離)



同じエネルギー W を得ようとするとき、
進行波は距離 s が大きい
→力(電界強度) F は小さくて済む
→放電が起きにくい

低い真空度で済む

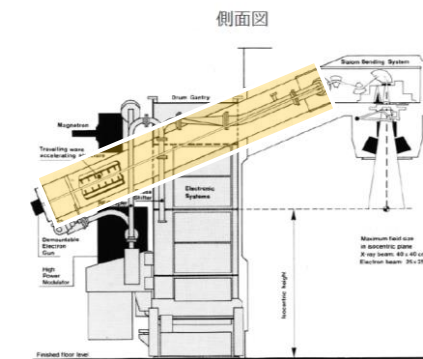
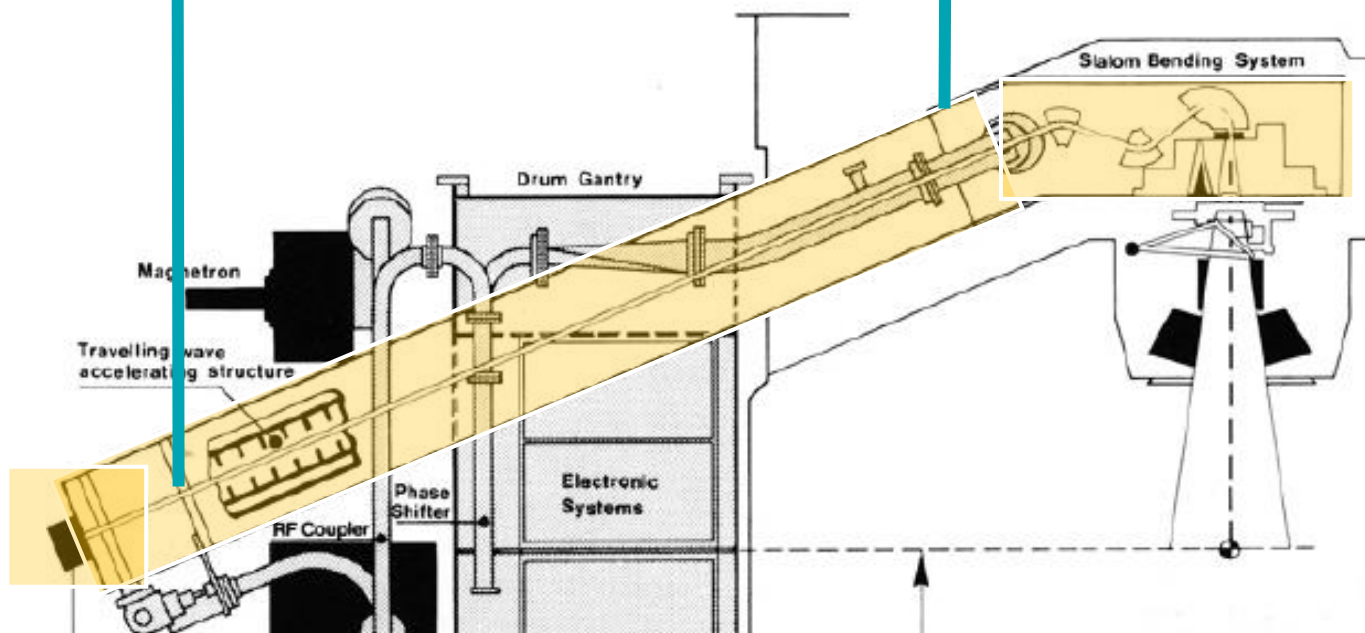
真空を引く時間が少なくて済むので、
装置のダウンタイムが少ない

Linac Operation

進行波型加速管

Edit Machine Item Parts				
Item	Part	Set	Actual	
227	Vcc Gum	4	-6.5	
228	Vcc Targ	4	-6.5	

227	Vcc Gum	電子銃側真空値
228	Vcc Targ	ターゲット側真空値

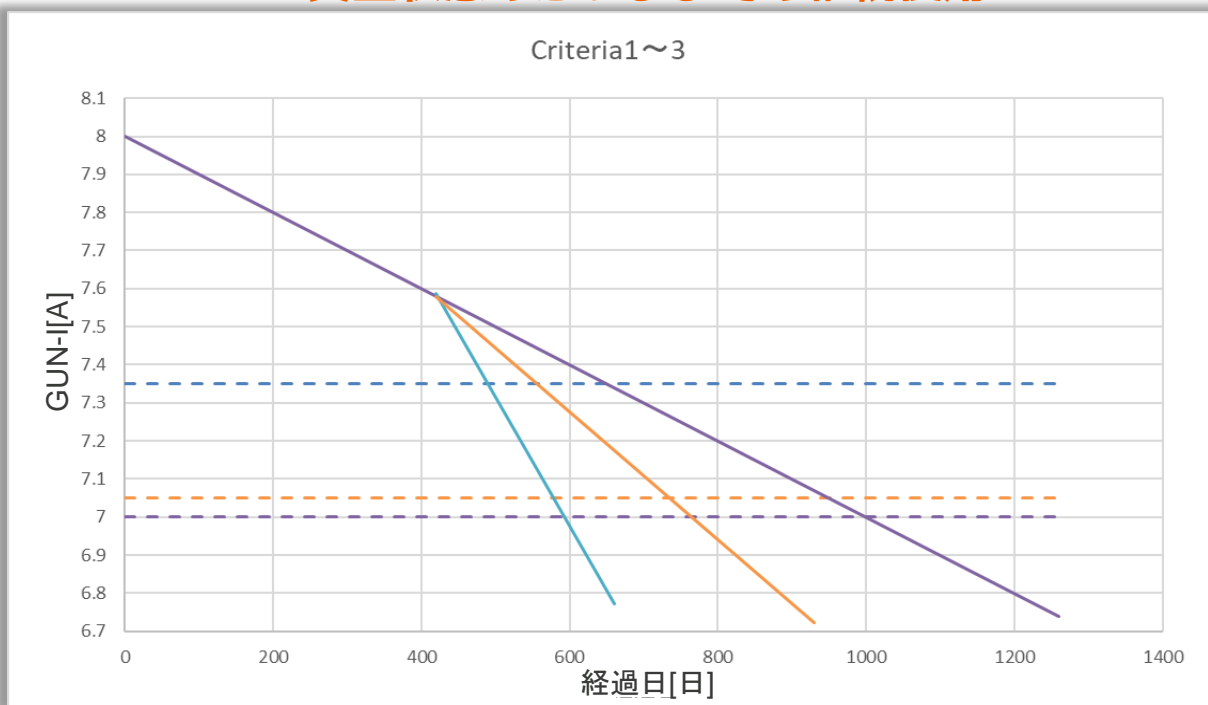


Linac Operation

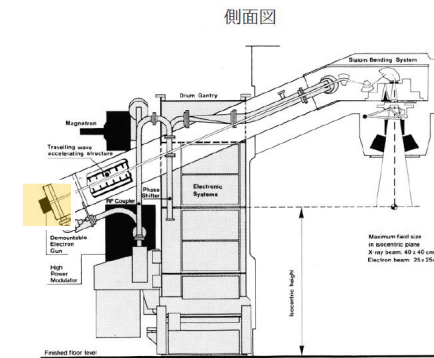
電子銃フィラメント

- 6か月ごとに“電子銃サーボテスト実施”
- 交換頻度：約1Aのフィラメント電流の低下
- 部品劣化になりやすい要因：

真空状態の悪いままでの継続使用



227	Vcc Gum	電子銃側真空値
228	Vcc Targ	ターゲット側真空値



交換理由		%
定期交換		87.36
その他	DoseRateの異常 (低下、不安定)	12.64
	フィラメントの断線	
	フィラメントの短絡	
	シンメトリー異常	
その他		

2018/1/1~5.5年で集計

Linac Operation

The screenshot displays the 'Quick Beam' control interface with a 'Display Service Pages' window. The interface is divided into several sections:

- Parameter Table:** A table with 'Set' and 'Actual' columns. Parameters include Radiation Type (XRAY), Energy (6 MV), Beam MU1 (100.0), Segment MU1 (100.0), Segment MU2 (102.0), Wedge (OUT), Timer (0.1 min), Dose Rate (0 MU/min), Gantry Angle (0.0 deg), and Collimator Angle (0.0 deg).
- Service Pages:** A grid of control elements for various components, including:
 - 43 Nom.D/rate: 530
 - 44 D/rate 1: 0
 - 45 D/rate 2: 0
 - 181 Gun Auto?: Auto
 - 327 Gun I ctrl: 7.93 / 5.28 (highlighted with a red box)
 - 217 Gun I mon: 0.00 / 5.28
 - 381 Gun aim I: 7.0
 - 187 Dose level: 26.70
 - 186 Hump gain: 26.00
 - 380 Gun stby I: 5.25 / 5.25
 - 441 Cal Bik PRF: 1 / 1
 - 546 Gun Diff: -32768
 - 182 Ph. Auto?: Auto
 - 161 Tuner ctrl: 0.0 / 189.1
 - 227 Vac Gun: 0.00 / -6.22
 - 228 Vac Targ: 0.00 / -6.51
 - 406 Auto: 1 / 1
- Navigation:** A bottom bar with tabs for AFC, Gun Servo (highlighted with a red box), Steering, LV PSU, ASU, and Mechanisms. Below this are buttons for Defaults, Custom, Load..., Unload, and Go To...

Two callout boxes are present:

- A red-bordered callout box points to the '327 Gun I ctrl' parameter in the Service Pages, containing the text '327 Gun I ctrl'.
- A red-bordered callout box points to the 'Gun Servo' tab in the navigation bar, containing the text 'Gun Servo'.

Linac Operation

スラロームベンディングシステム

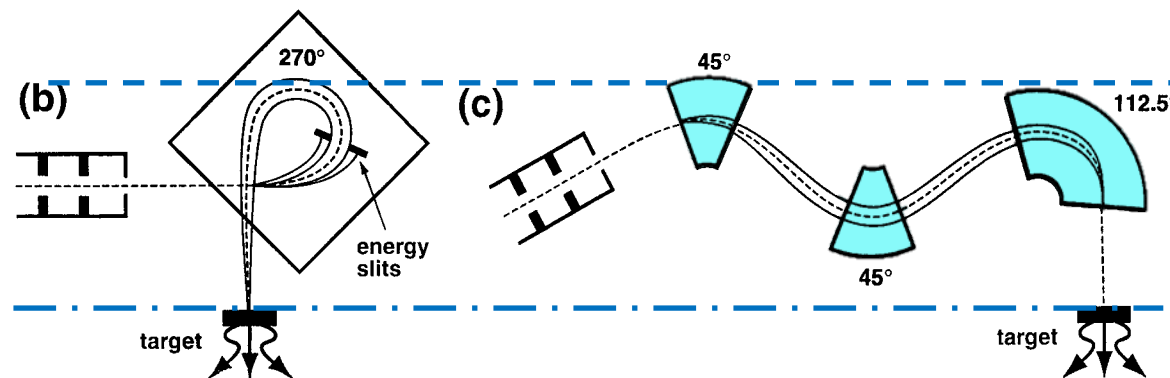
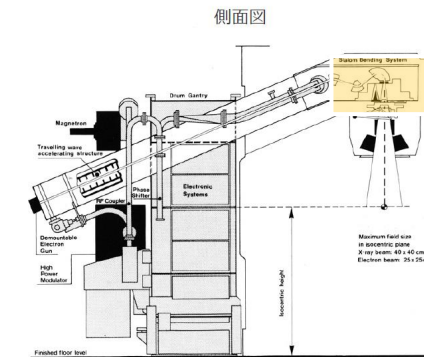
- 小さいガントリーヘッドを実現
- 低いアイソセンタ位置

フライトチューブ

- 真空状態が悪い場合に交換にいたることがある



227	Vcc Gum	電子銃側真空値
228	Vcc Targ	ターゲット側真空値



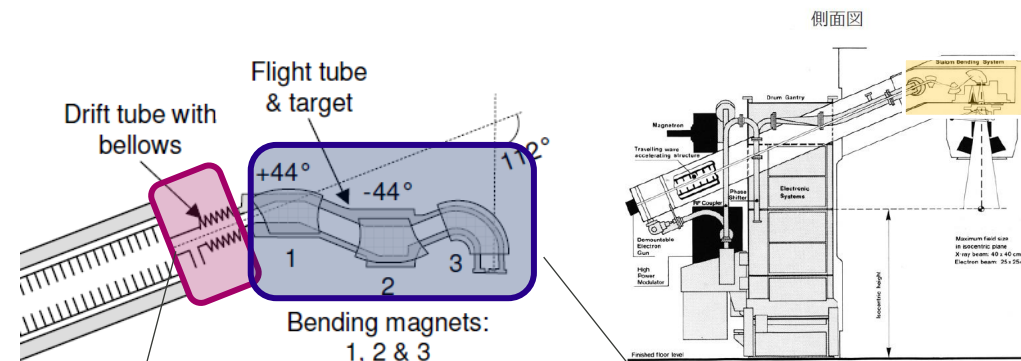
交換理由		%
リーク (真空漏れ)		72.73
その他	T側真空値が不安定	27.27
	駆動系の故障	
	真空計オーバーホール	

2018/1/1~5.5年で集計

Linac Operation

ターゲットシステム

- ドリフトチューブが伸縮することにより
2つのポジションに移動する
- X線モード: タングステンターゲットが
ビーム経路に配置されるポジション
- 電子線モード: 薄いニッケル窓が
ビーム経路内に配置されるポジション



ベンディングマグネット

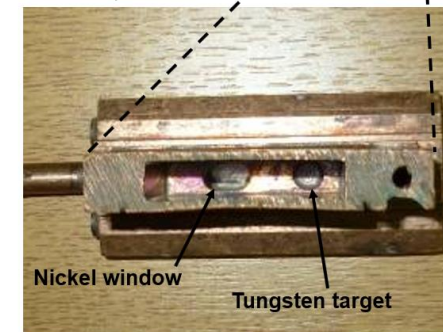


ドリフトチューブ



フライトチューブ

ターゲット



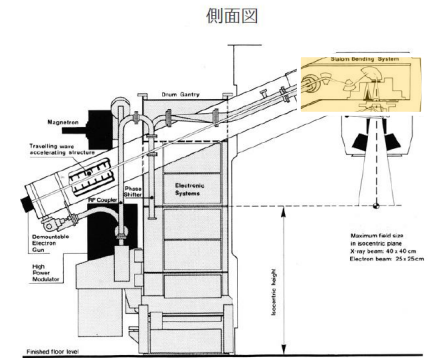
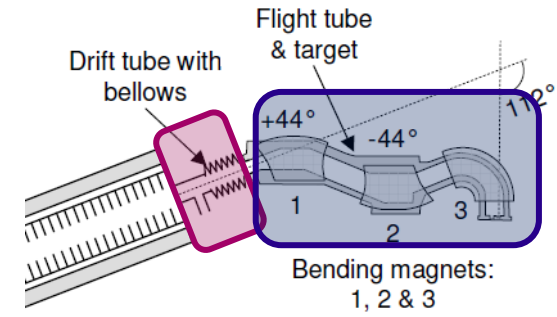
Nickel window

Tungsten target

Linac Operation

ターゲットシステム

- ドリフトチューブは使用終了後、
X線モードに切り替えることで負荷が軽減する



ドリフトチューブ



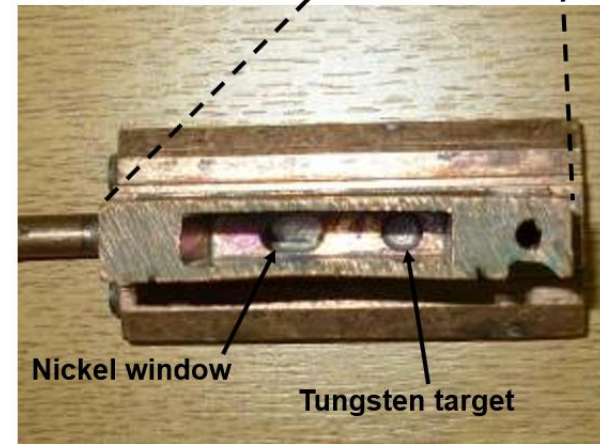
ベンディングマグネット



フライトチューブ



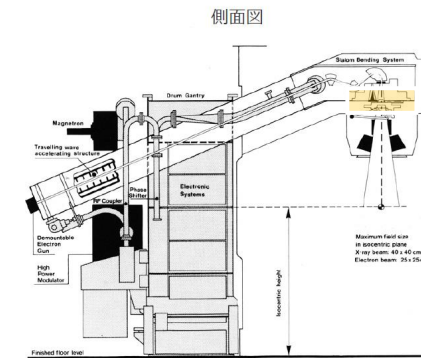
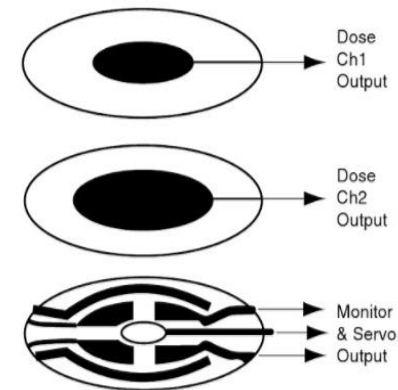
ターゲット



Linac Operation

イオンチェンバ

- 開放型
- 内部気体のリークが無いいため安定
- 湿度の管理が必要
- **“Dose Ref” の経時的な管理で、異変を察知しやすくなる**



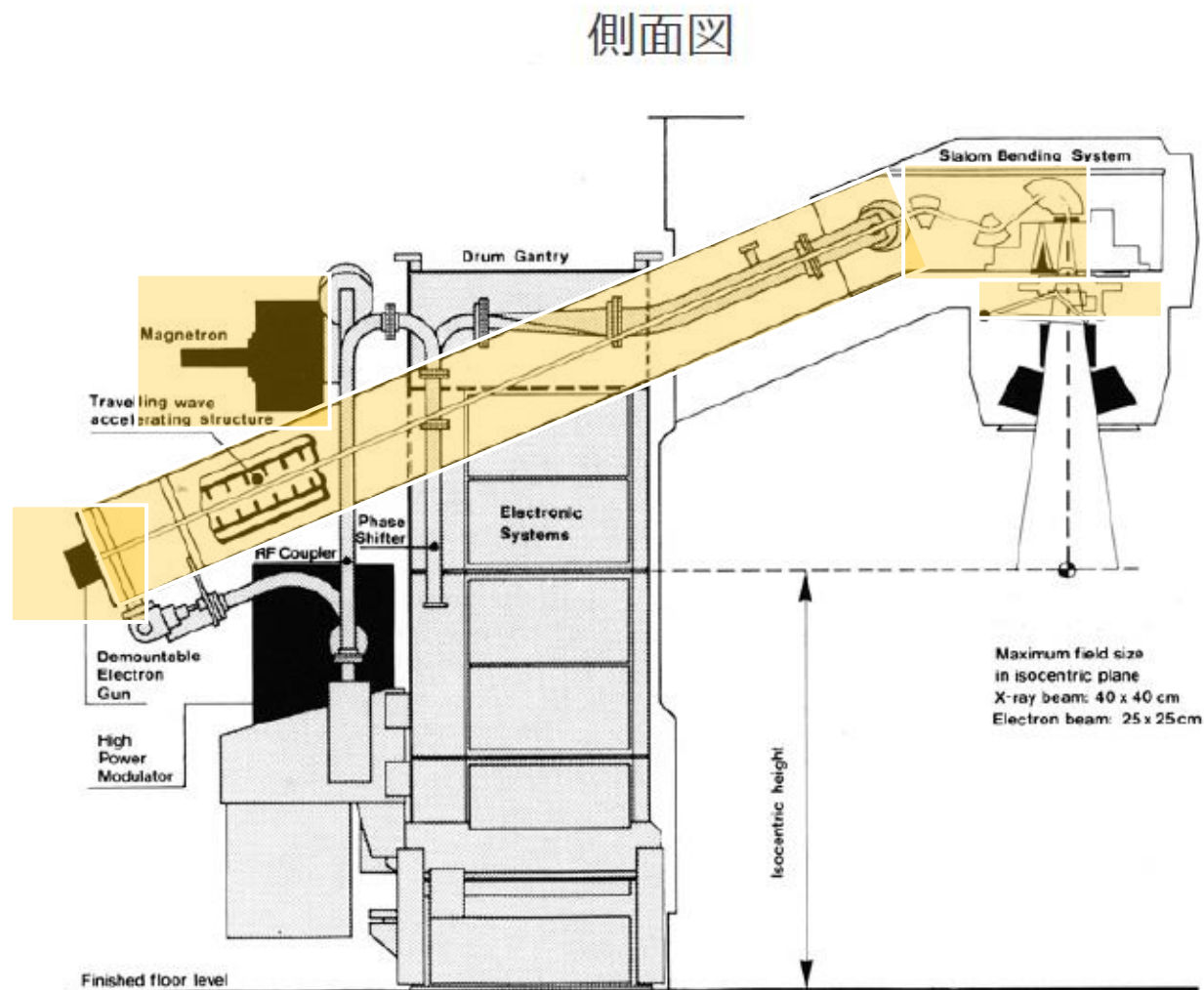
Servo Input Beam (SIB) PCB

- チェンバから送られてきた信号を基にデジタル制御を行う
- 部品交換頻度：約6年ごと

Page No.	Page Name	Value 1	Value 2
314	Dose ref 1	20.10	20.66
315	Dose ref 2	19.27	19.85
488	Des.Cap.on	1	1
502	DesCap Mon	1	1
35	Seg MU 1		100.0
36	Seg MU 2		100.0
33	Beam MU 1		100
34	Beam MU 2		100

Linac Operation _ Summary

- ファストチューン・マグネトロン
- 進行波型加速管
- 電子銃フィラメント
- スラロームベンディングシステム
- フライトチューブ
- ターゲットシステム
- イオンチェンバ
- SIB



Linac Operation _ Summary

Edit Machine Item Parts

Item	Part	Set	Actual

番号	Item	Part	内容	範囲
223	Water Temp	4	冷却水水温	35°以下※
224	Dos.Temp1	4	ヘッド内温度	40°以下※
227	Vac Gum	4	電子銃側真空値	-6.0以下
228	Vcc Targ	4	ターゲット側真空値	-6.0以下
276	HT hours	4	高圧電圧使用時間	850 hr

Preparatory

Field Incomplete

All Interlocks On

※インターロックがかかる上限の数値です。

Linac Operation _ Summary

交換部品と品質管理項目

部品	交換頻度	交換後チェック項目			
		エネルギー	プロファイル	線量率	線量
マグネトロン	約3.5年 (1000~1200h)	○	○	○	○
電子銃	約1Aの電流低下	○	○	○	○
ベンディングマグネット	—	○	○	○	○
フライトチューブ					
イオンチェンバ	—	○	○	○	○
SIB					

治療機の裏側を
見てみましょう



Servo System

Servo System

周波数、エネルギー、対称性に関与したサーボ機構があります。

AFC

RFの安定した周波数を維持するサーボ機構

Gun Servo

ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構

Steering Servo

ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構



Servo System

Automatic Frequency Controller (AFC)

AFC

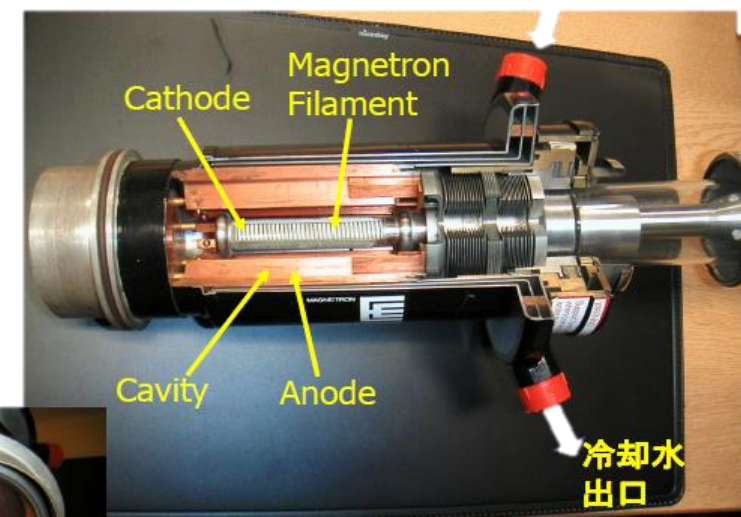
RFの安定した周波数を維持するサーボ機構

ビームを継続的に出力している場合、マグネトロンが熱膨張や収縮などの体積変化を生じる

- 電子を加速するための最適なRFの周波数が得られず、ビームが安定しない



自動的に最適なRF周波数に調整、維持するサーボ機構

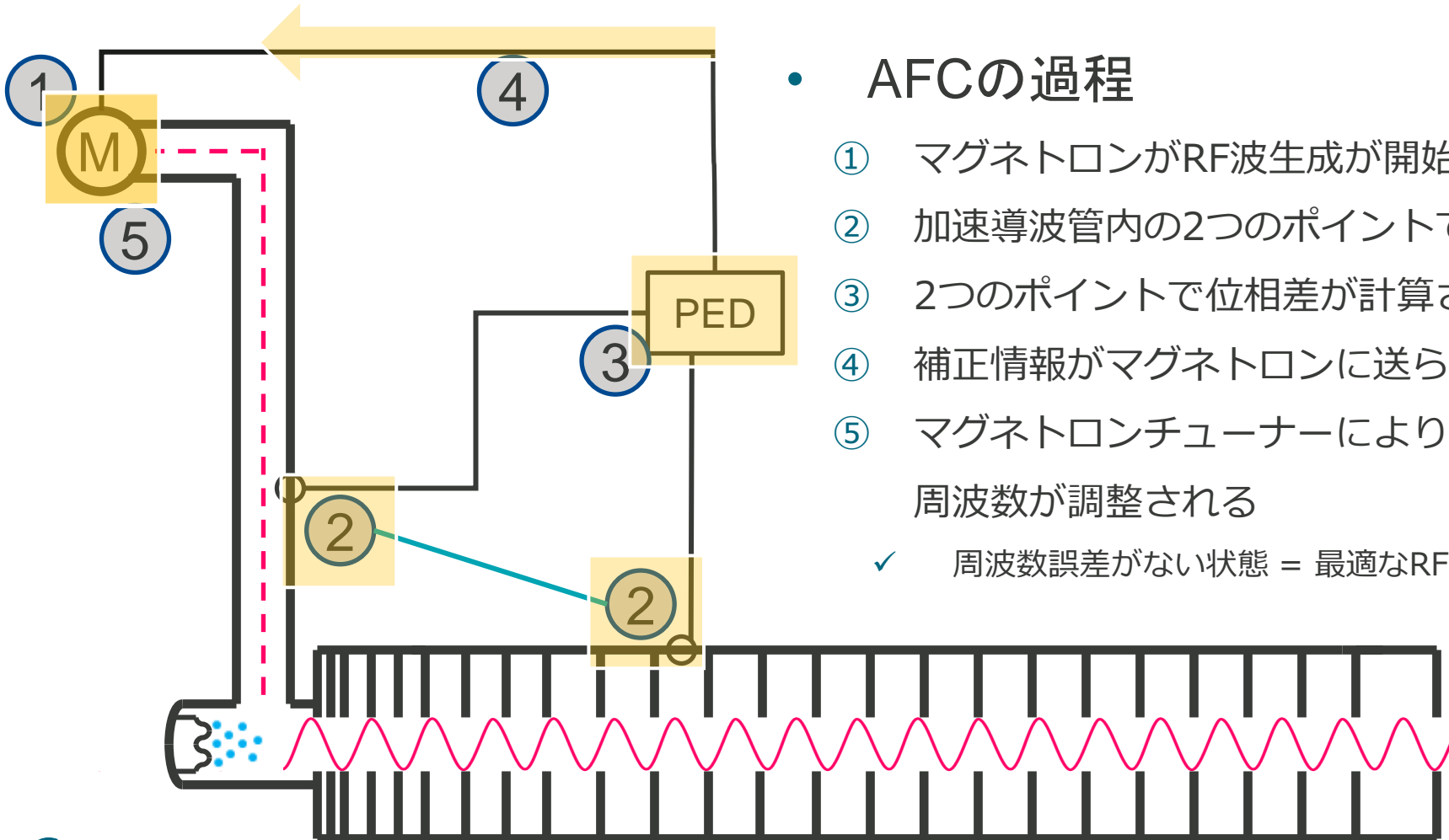


Servo System

Automatic Frequency Controller (AFC)

AFC

RFの安定した周波数を維持するサーボ機構



• AFCの過程

- ① マグネトロンがRF波生成が開始される
 - ② 加速導波管内の2つのポイントでのRFがサンプリングされる
 - ③ 2つのポイントで位相差が計算される (PED:Phase error detector)
 - ④ 補正情報がマグネトロンに送られる
 - ⑤ マグネトロンチューナーにより位相差が一定になるように周波数が調整される
- ✓ 周波数誤差がない状態 = 最適なRFの周波数 (最大線量率を得られる状態)

Set		Actual							
Radiation Type	XRAY		43	Nom.D/rate	200	44	D/rate 1	0	
Energy	4 MV		441	Cal Blk PRF	40	40	45	D/rate 2	0
Wedge	OUT	OUT	181	Gun Auto?	Auto	Auto			
Beam MU1	1000	MU	327	Gun I ctrl	Comp phase				
Beam MU2		MU	161	Tuner ctrl					
Max. Dose Rate		MU/min	182	Ph. Auto?		553	Tuner driv	0	
CVDR Usage	Dynamic Only		406	Tuner Auto	3	1	231	Tuner posn	0.0
			163	LP ph.ctrl		22.69	236	Comp phase	-327.68
			230	LP ph.posn		22.69	232	Phase leg1	-327.68
			97	Tuner Rest	197.8	197.8	233	Phase leg2	-327.68
			162	HP ph.ctrl		12.40	129	Phase Err	-3276.8
			229	HP ph.posn		12.40			
			438	Phase smpl	4.0	4.0	227	Vac Gun	0.00
							228	Vac Targ	0.00
									-6.21
									-6.49

AFC	Gun Servo	Steering	LV PSU	ASU	Mechanisms
Defaults	Custom	Load...	Unload	Go To...	

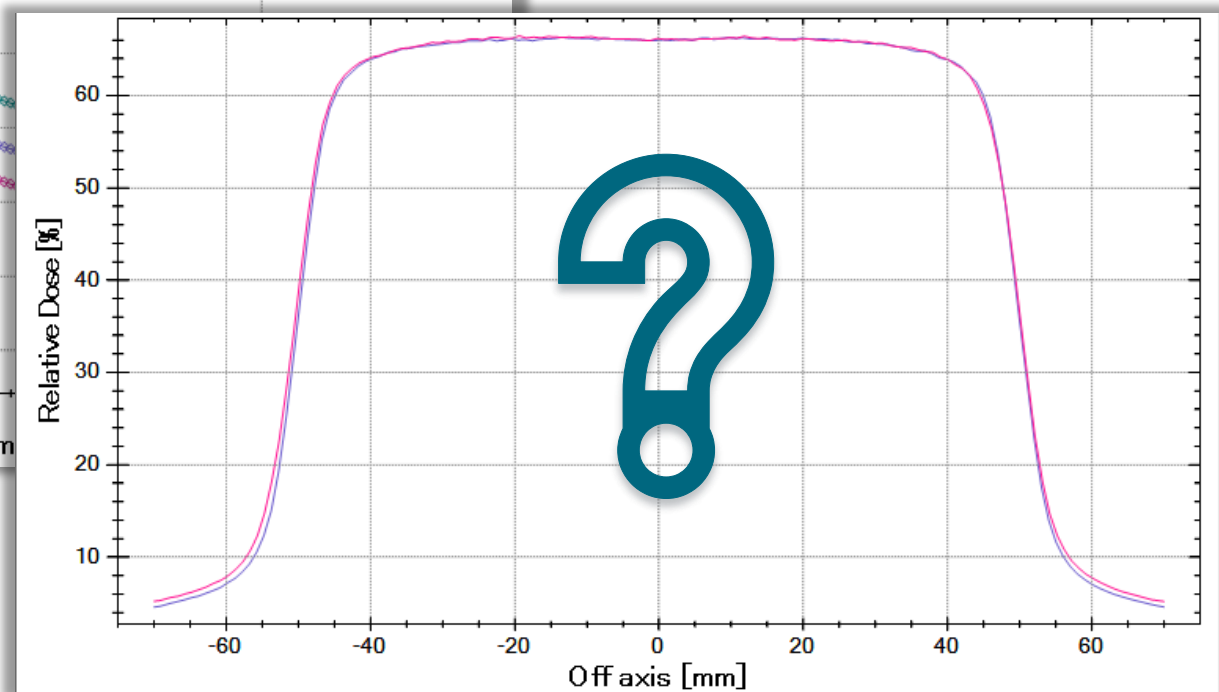
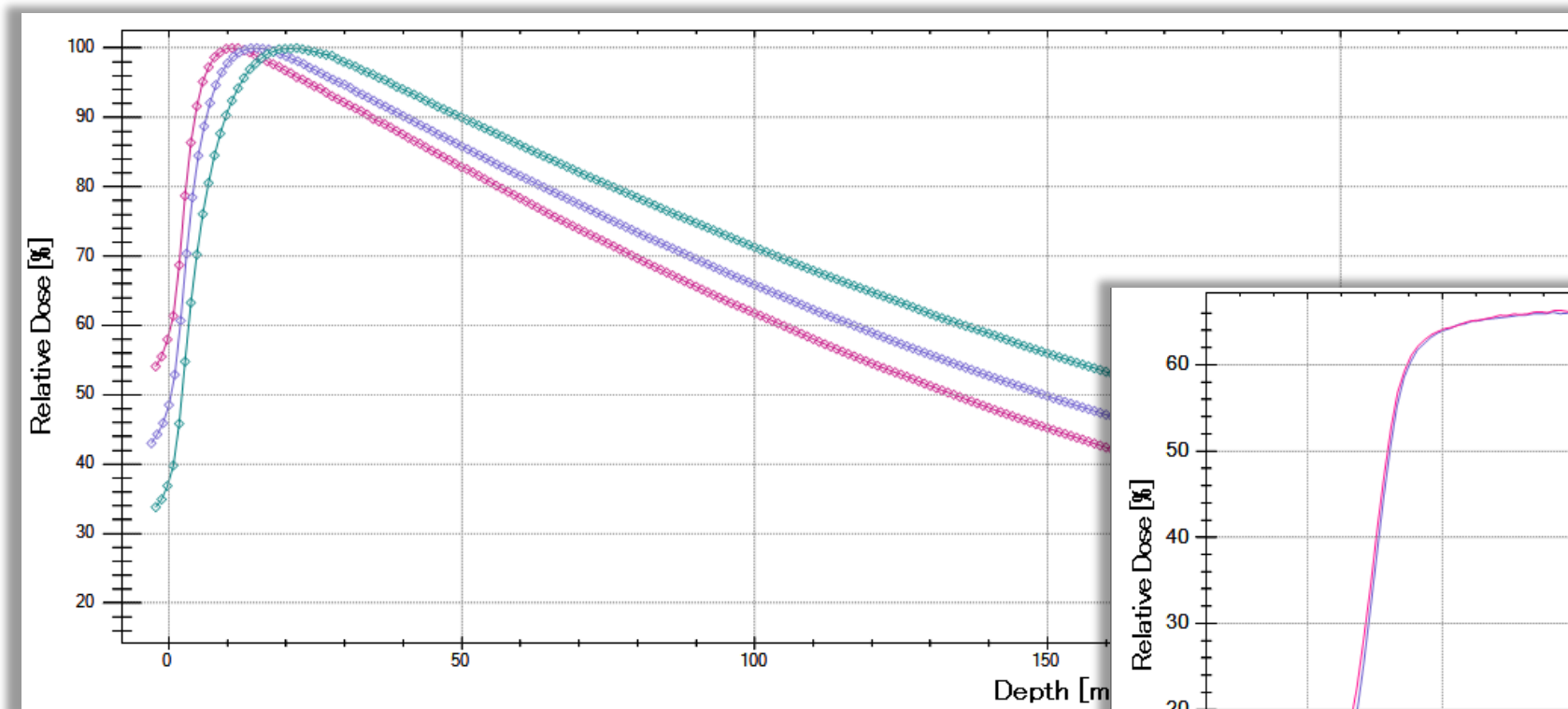
Servo System

Gun Servo

Gun Servo

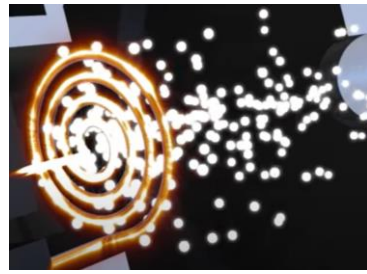
ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構

エネルギーが変化すると、ビームはどうなる？



Servo System

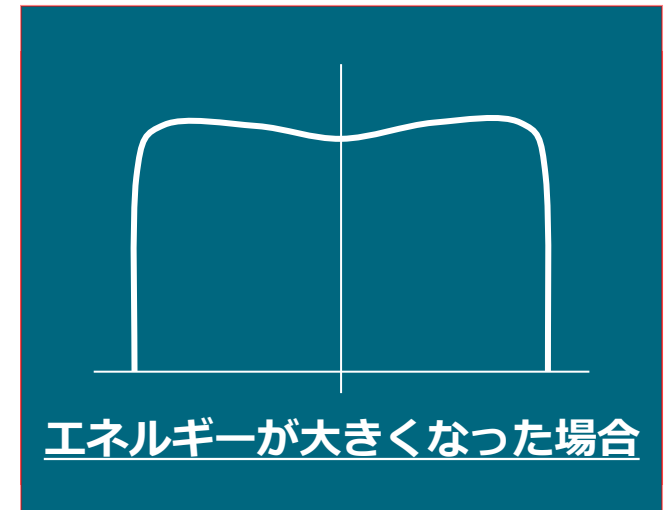
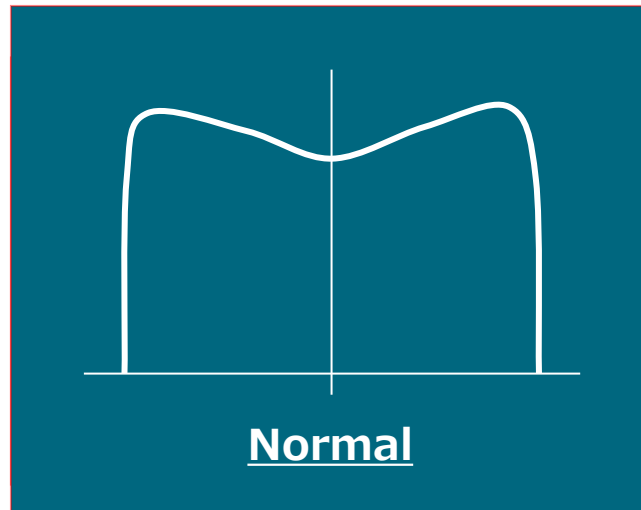
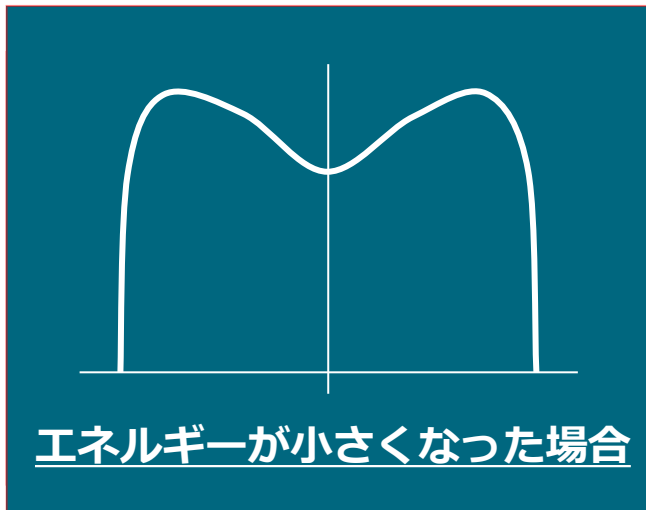
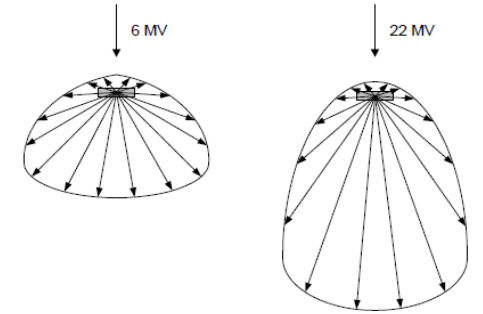
Gun Servo



Gun Servo

ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構

- エネルギーが変化すると、X線光子の強度分布が変化し、**Flatness(平坦度)**が変化する
- 電子銃のフィラメント電流を調整し、自動的にFlatnessを維持するサーボ機構



Servo System

Gun Servo

Gun Servo

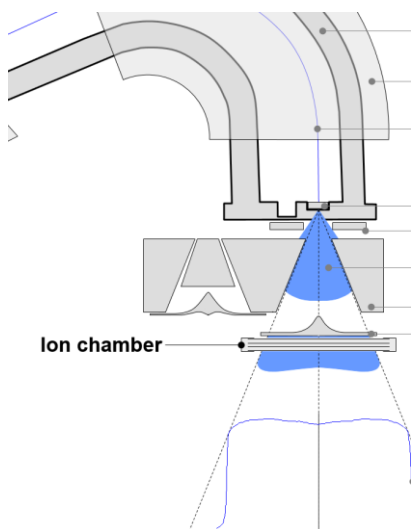
ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構

ビームプロファイルをイオンチェンバで感知

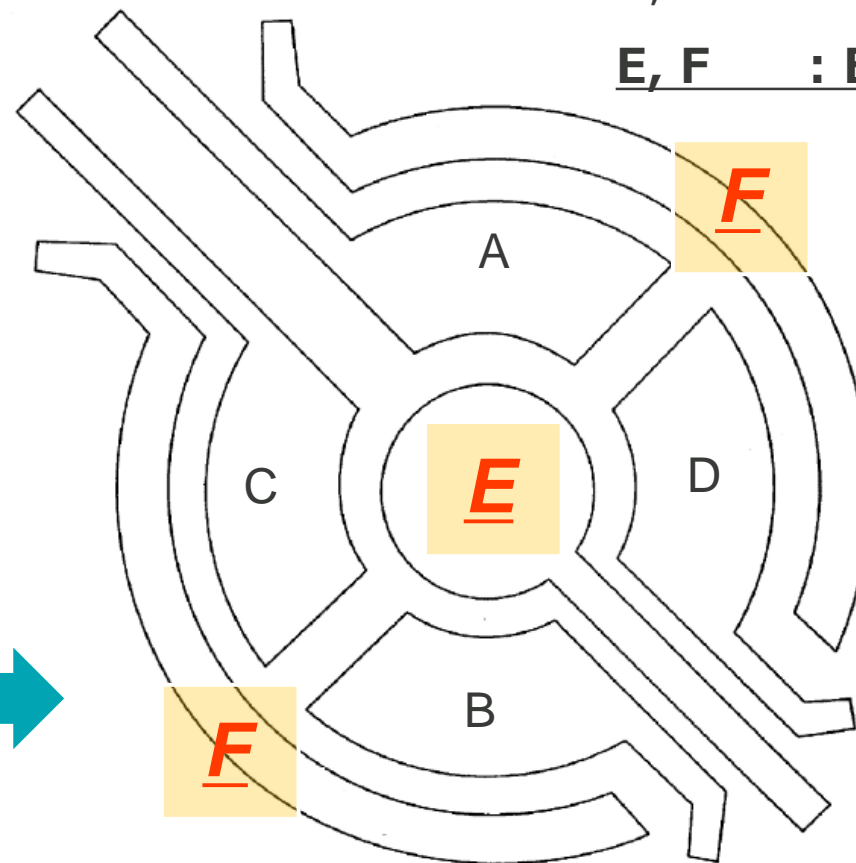
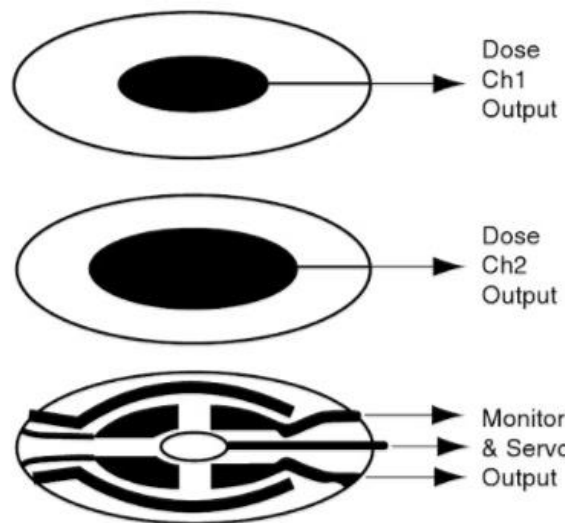
A, B : In plane側制御

C, D : Cross plane側制御

E, F : **Energy 制御**



3層構造のチェンバー



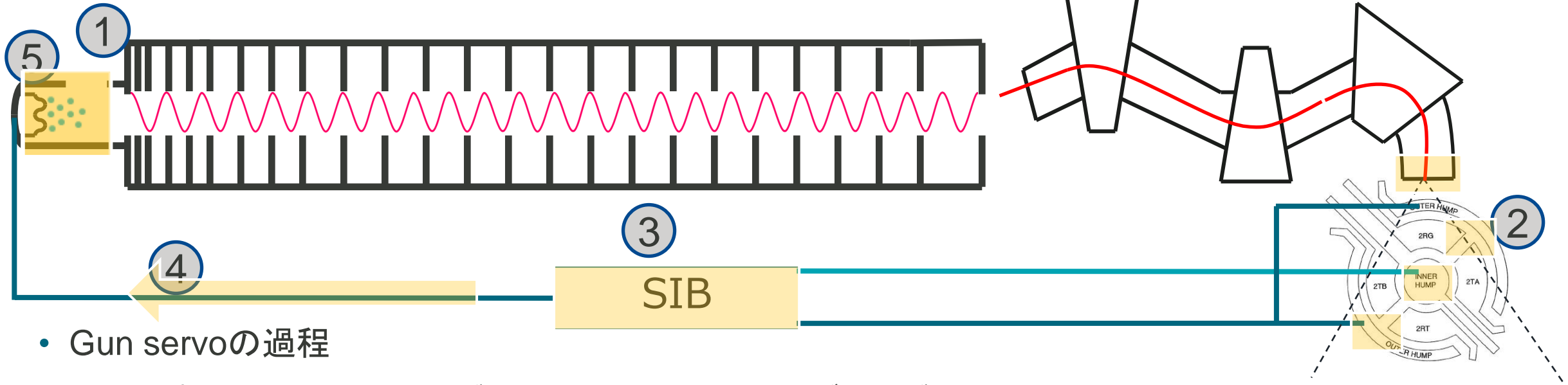
Ion chamber beam servo plates

Servo System

Gun Servo

Gun Servo

ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構



• Gun servoの過程

- ① 電子銃から生成された電子がRF波によって加速され、ビームが出力される
- ② イオンチェンバでビームプロファイルがサンプリングされる
- ③ 2つのプレート(イオンチェンバの外側と内側)で、設定した基準となるプロファイルとの誤差が計算される
- ④ 誤差がある場合、補正情報が電子銃に送られる
- ⑤ プロファイルの誤差がなくなるよう電子銃のフィラメント電流が調整される

Quick Beam Display Service Pages

Set	Actual	43 Nom.D/rate	44 D/rate 1
Radiation Type: XRAY	XRAY	530	0
Energy: 6 MV	6 MV		0
Beam MU1: 100.0	100.0 MU	181 Gun Auto? Auto	
Segment MU1: 100.0	100.0 MU		
Segment MU2: 102.0	100.2 MU	327	217 Gun I mon 0.00 5.28
Wedge: OUT	OUT		538 Gun I set 0.00 5.25
Timer: 0.1 min	0.1 min		216 Gun V mon 0.00 9.74
Dose Rate: 0 MU/min	0 MU/min	381	
Gantry Angle: 0.0 deg	0.0 deg	187 Dose level 26.70 26.70	
Collimator Angle: 0.0 deg	0.0 deg	186 Hump gain 26.00 26.00	166 Hump Err -3276.8
		380 Gun stby I 5.25 5.25	160 Uniformity -3276.8
		441 Cal Bik PRF 1 1	546 Gun Diff -32768

Set	Actual	187 Dose level	186 Hump gain	380 Gun stby I	441 Cal Bik PRF	161 Tuner ctrl	406 Tuner Auto	227 Vac Gun	228 Vac Targ
		26.70 26.70	26.00 26.00	5.25 5.25	1 1	0.0 189.1	1 1	0.00 -6.22	0.00 -6.51

Segment 1 of 1

0 530 1060

Terminate

Gun Servo

166 Hump Err

546 Gun Diff

AFC **Gun Servo** Steering LV PSU ASU Mechanisms

Defaults Custom Load... Unload Go To...

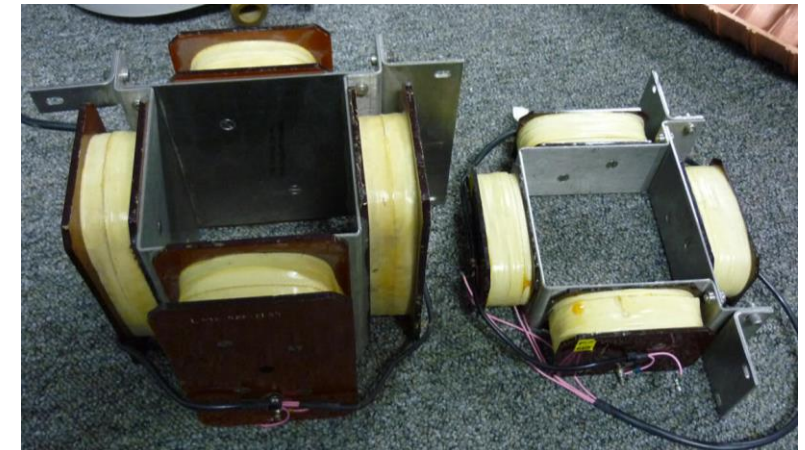
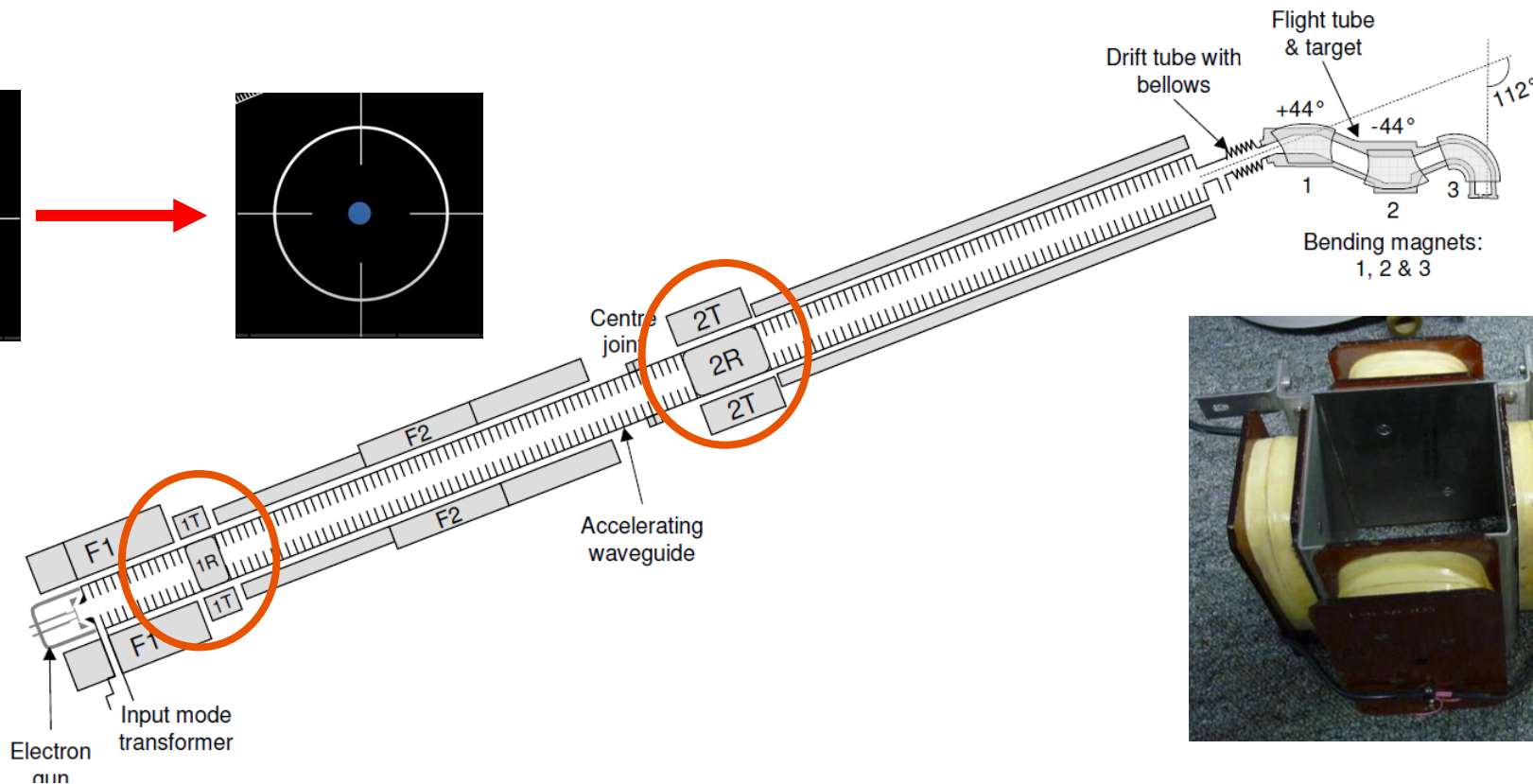
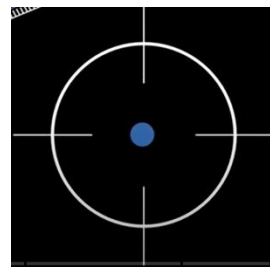
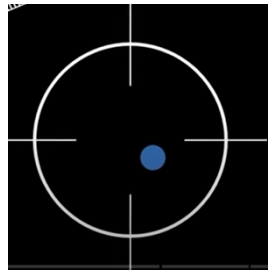
Servo System

Steering Servo

Steering Servo

ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構

- 機械的な変化や地磁気の影響により、加速管を通る電子の経路が変化する
- 加速管を通る電子の経路が変化すると、**Symmetry (対称性)**が変化する
- 2組のステアリングコイル(2R/2T、1R/1T)により、電子が加速管内の中心の通るように制御する



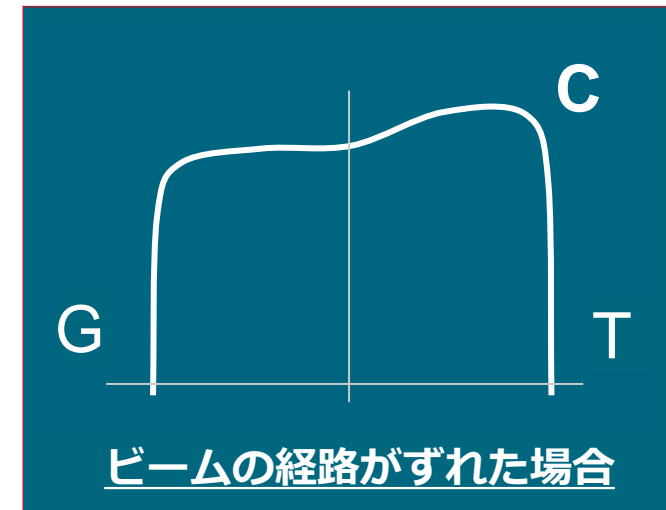
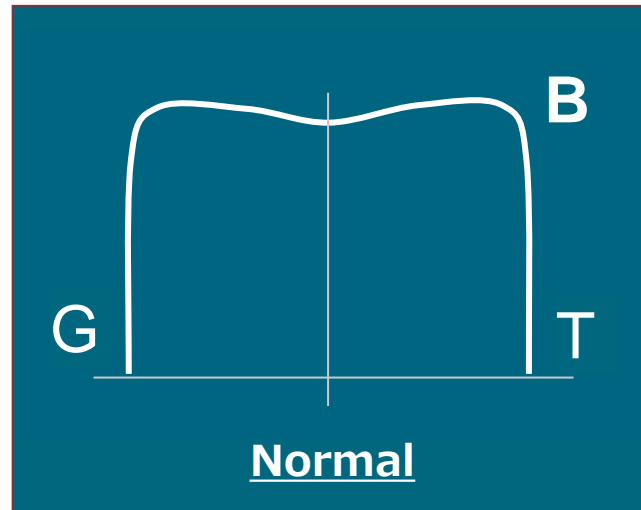
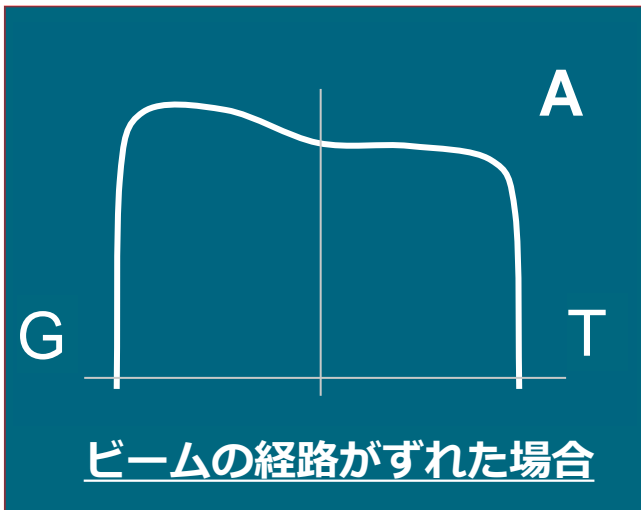
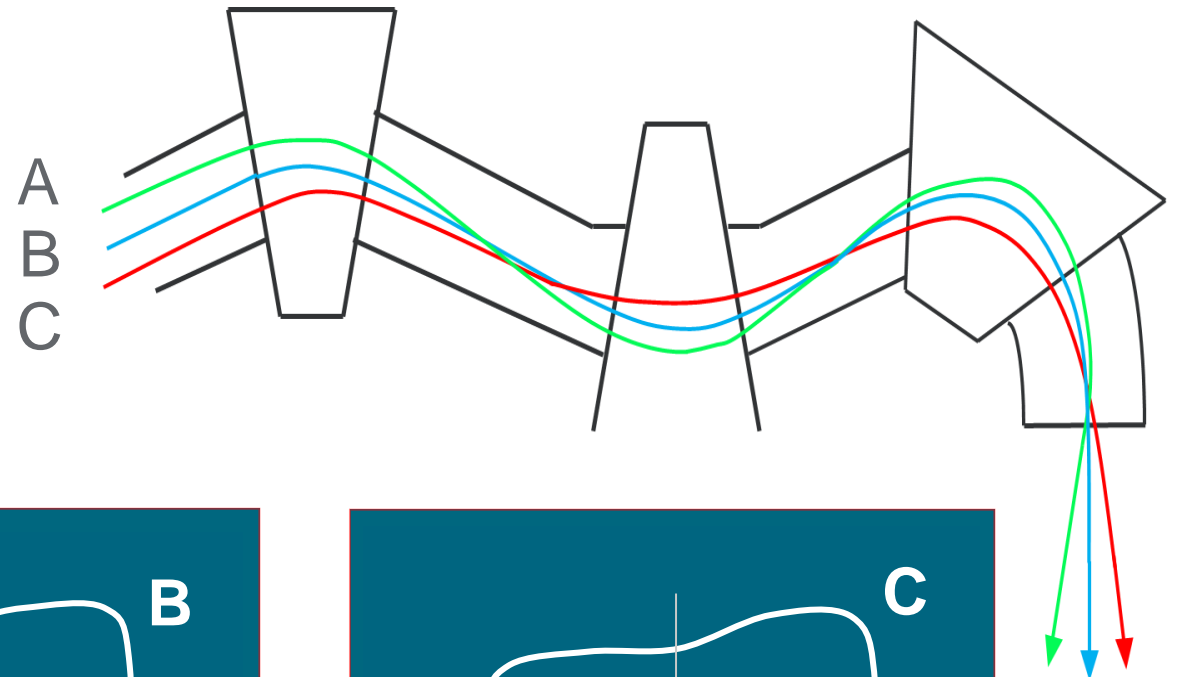
Servo System

Steering Servo

電子の経路を調整し、
自動的にSymmetryを維持する

Steering Servo

ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構



Servo System

Steering Servo

Steering Servo

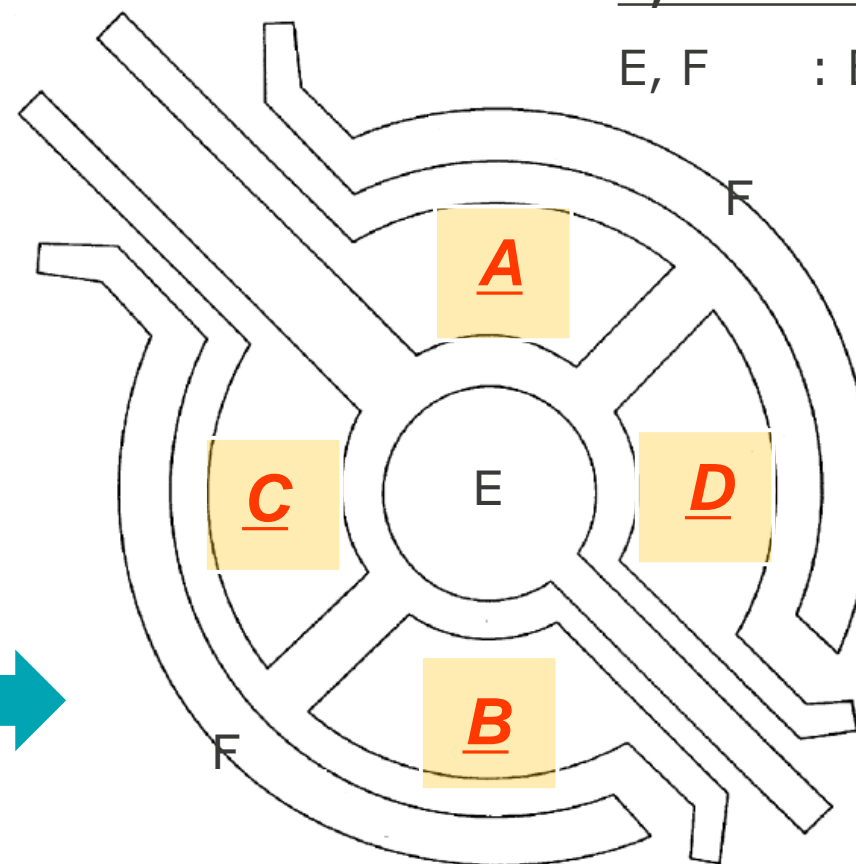
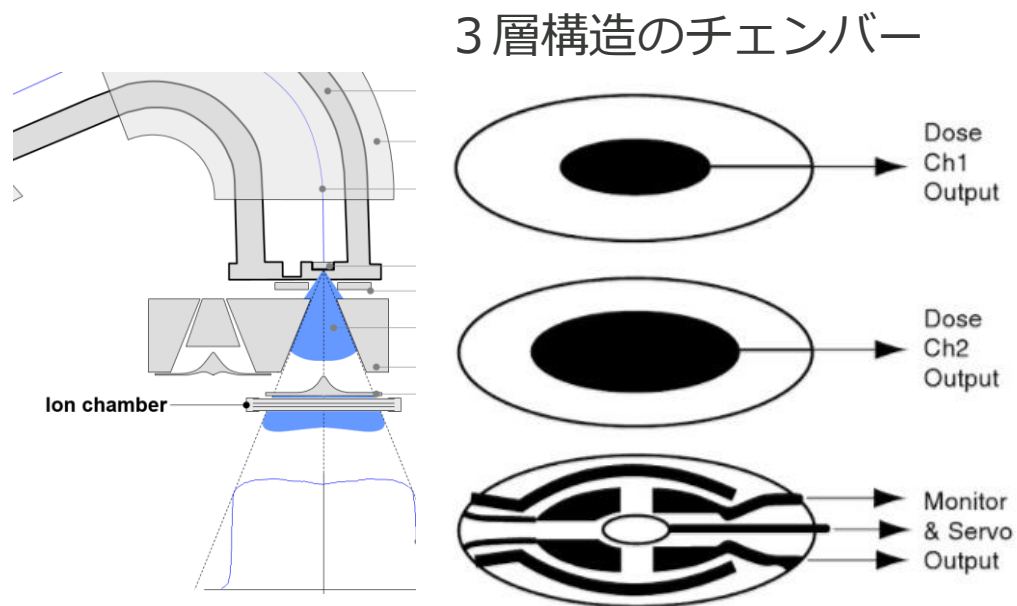
ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構

Symmetryの変化をイオンチェンバで感知

A, B : In plane側制御

C, D : Cross plane側制御

E, F : Energy 制御



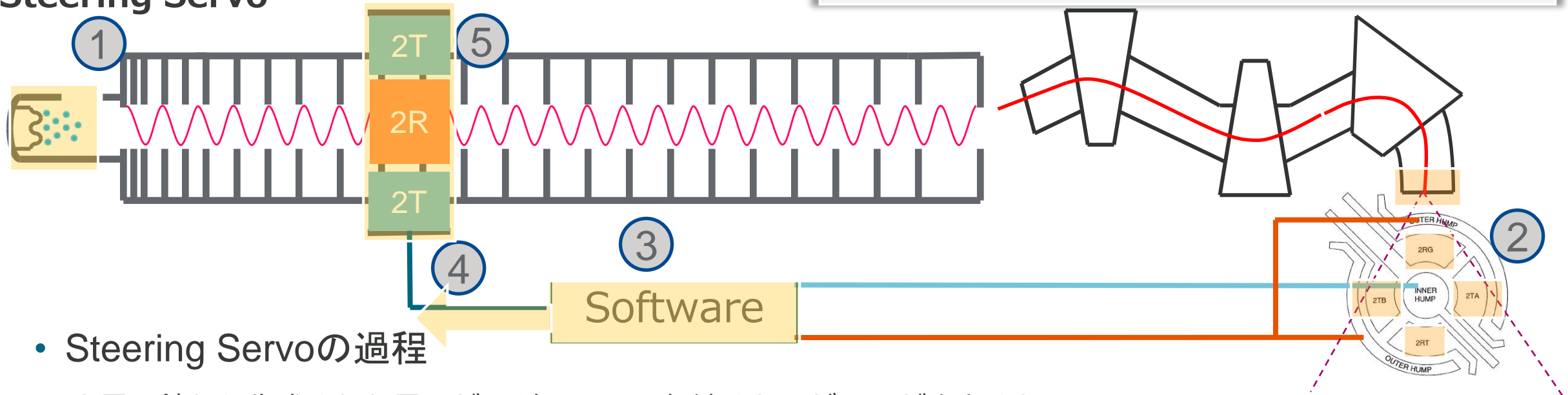
Ion chamber beam servo plates

Servo System

Steering Servo

Steering Servo

ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構



Steering Servoの過程

- ① 電子銃から生成された電子がRF波によって加速され、ビームが出力される
- ② イオンチェンバでビームプロファイルがサンプリングされる
- ③ 2つのプレート(イオンチェンバのG/T側、A/B側)で、設定した基準となるプロファイルとの誤差が計算される
- ④ 誤差がある場合、補正情報がステアリングコイルに送られる
- ⑤ プロファイルの誤差がなくなるようにステアリングコイルの電流が調整される

Quick Beam | Display Service Pages

Set	Actual	43 Nom.D/rate	44 D/rate 1
		530	0
Radiation Type			
Energy			228 Vac Targ 0.00 -6.51
Beam MU1	100.0	127 2R Err	194 2RG plate -327.68
Segment MU1	100.0		195 2RT plate -327.68
Segment MU2	102.0	128 2T Err	193 2TA plate -327.68
Wedge			192 2TB plate -327.68
Timer			190 Inner Hump -327.68
Dose Rate			191 Outer Hump -327.68
Gantry Angle			
Collimator Angle			
Segment 1 of 1		308 2R Bal. 20.44	127 2R Err -3276.8
		309 2R Loop 8.15 8.15	128 2T Err -3276.8
		310 2T Bal. 20.61 20.61	
		311 2T Loop 14.30 14.30	
		237 Hump Bal. 5.26 5.26	
		329 Hump Loop 13.78 13.78	166 Hump Err -3276.8
		171 Cal.item 1 0 0	
		170 enable 0 0	160 Uniformity -3276.8

Steering

AFC | Gun Servo | **Steering** | LV PSU | ASU | Mechanisms

Defaults | Custom | Load... | Unload | Go To...

GT方向

AB方向



Servo System _ Summary

X線のビーム生成には、周波数、エネルギー、対称性に関与した3つのサーボ機構が働いています

AFC

RFの安定した周波数を維持するサーボ機構

実習で確認！

Gun Servo

ビームのエネルギー(Flatness)を維持するためのサーボ機構

実習で確認！

Steering Servo

ビームのSymmetryを維持するためのサーボ機構

Servo System _ Electron

電子線では、どのように制御されているのでしょうか・・・

— X線 —

AFC

周波数

Gun Servo

ビームのエネルギー(Flatness)

Steering Servo

ビームのSymmetry

— 電子線 —

AFC

周波数

Gun Servo

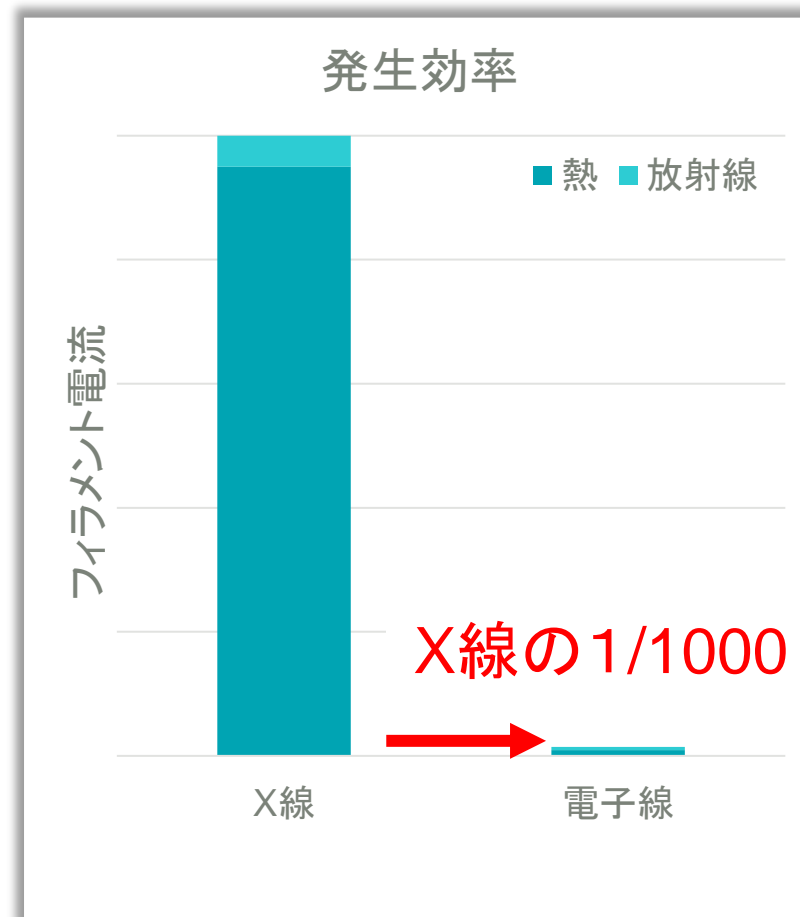
線量率

Steering Servo

ビームのSymmetry

Servo System _ Electron

- フィラメント電流の変化は
 ビームエネルギーに影響を与えません
- **フィラメント電流は線量率をサーボするために
 使用されます**
- 電子線のエネルギーは、RFパワーや周波数など作用される因子それぞれで、最適化を実施し調整されています。



Appendix

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



- VersaHD
- iViewGT
- XVI
- Precise Table
- Hexapod
- iBeam EVO
- Agility Head

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



Elekta VersaHD linac

- X線:
 - 3 FFBーム デフォルト : 6 / 10 MV
オプション : 4 / 15 / 18 MV (1つを選択)
 - 2 FFFブーム : 6FFF / 10 FFF MV
- 電子線 6 ブーム : 4 MeV – 15 MeV
- デジタルコントロールシステム
- 放射線とイメージングアイソセンタの一致: < 1.0 mm

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



iViewGT

- MV EPID (AMSI panel)
- パネルの物理的なサイズ : 41 cm x 41 cm
- 最大イメージングサイズ : 26 cm x 26 cm
- マトリクスサイズ : 1024 x 1024 pixels
- アイソセンタ面でのピクセルサイズ : 0.25 mm
- 線源-検出器間距離 : 160 cm

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



XVI

- KV Imager
- 2D, 3D, 4D イメージング
- パネルの物理的なサイズ : 41 cm x 41 cm
- 最大スキャン長 : 27 cm
- FOV : 27 cm (S) / 41 cm (M) / 50 cm (L)
- パネルのダレの補正: Flexmap calibration

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



Precise Table

- 4 軸可動
 - Longitudinal : 0 - 100 cm
 - Lateral : 50 cm
 - Height : 110 cm
 - Isocentric : 200°
- コラム回転 : 360°
- 位置精度 : < 1 mm or 1°
- 最大荷重 : 200 kg

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



HexaPod Evo

- 6 軸可動
- ドライブポジションからの最大稼働範囲
 - 回転方向 : $\pm 3^\circ$
 - 並進方向 : $\pm 30 \text{ mm}$
- 位置精度 : $< 0.5 \text{ mm or } 0.1^\circ$
- 最大荷重 : 200 kg

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



iBeam Evo

- フォームコア付きカーボンファイバー
- 減衰特性
 - 6 MV : 2.4 %
 - 10 MV : 1.9 %
- カーボンファイバー天板結合部
 - イメージング時にアーチファクトを発生させる原因となり、治療時には線量を減衰させるため、避ける必要がある

Elekta Treatment System

Overview of Linac Components



Agility

- 80対 (160枚) のMulti leaf collimator
- アイソセンター面でのリーフ幅 : 5 mm
- 最大リーフスピード : 3.5 cm/s
- 最大照射野サイズ : 40 cm x 40 cm
- MLC の透過線量 : 0.5%
- 光学追跡システム
 - 紫外線によるルビーの発光で各リーフの位置を認識
- Interdigitation 可能
- 60°の内挿ウェッジ
 - 位置精度 (ウェッジファクターの変化): < 2 %

参考資料

- Elekta Medical Linear Accelerator

Instructions for Use Volume 1 for : Elekta Synergy[®], Elekta Infinity[™], VersaHD[™]

「8 メンテナンス」に点検項目の詳細が記載されています。

- Elekta @Youtube

Elektaの製品やサービスなどに関する動画が多数あがっています。

Hope for everyone
dealing with cancer.