

# IPを用いたX線ビーム幅測定

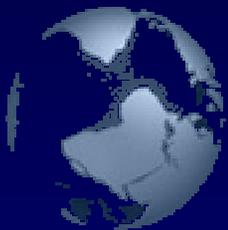
産業医科大学病院

大石 芳貴

小川 正人

古海 誠

片山 竜也



# 背景1

CTのX線ビーム幅精度を評価することは、被曝や画質特性等、装置管理を行う上で重要であり、評価法については古くから検討されてきた。

IEC (International electrotechnical commission) ではフィルム法による評価が提唱されているが、精度良く評価するためには工業用の低感度フィルムやマイクロデンシトメータ等の特殊な器材が必要なこと、試料となるフィルムの現像過程などの諸問題、さらにはCTのX線ビーム幅測定自体が煩雑であることからあまり実践的には普及してこなかった。

# IEC61223-3-5 : CT受け入れ試験

1. ノイズ,平均CT値,均一性
2. 空間分解能
3. スライス厚
4. 線量
5. 患者支持器の位置決め
6. 患者位置決め投光器  
(Patient positioning light : PPL)
7. らせん式撮影
8. 低コントラスト分解能
9. 線量プロファイル

X線ビームの幅は,一般的には照射口側のプレコリメータで制御され,回転中心ではスライス厚と同等の幅となるように設定してある。しかし,コリメータ(照射野制限器)が正常に作動していない場合は,被曝線量の増加やスライス精度の低下をきたす。

X線ビームの幅が,公称値通りに正確に照射されているかどうかについて,フィルム法を用いた体軸方向の線量プロファイルから判定しようとする規定。

# 線量プロフィール測定

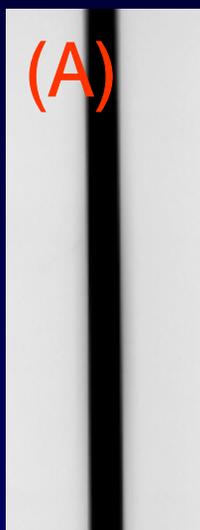


工業用  
低感度フィルム

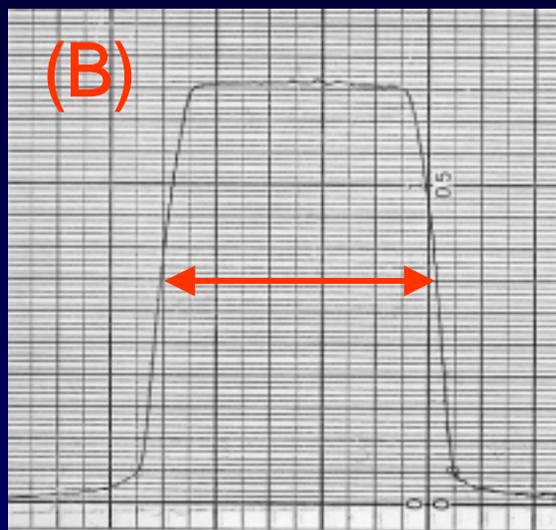


2405型  
マイクロデンシトメーター

工業用のフィルムを回転中心に精度良く配置し、X線管球を0°に固定し照射をする。フィルムをマイクロデンシトメーターでスキャンし得られた濃度プロフィールの半値幅を測定し、X線ビーム幅とする。



(A)



(B)

基礎値との差異    スライス厚T  
2mm > T                    : ±30%  
2mm    T    1mm        : ±50%  
                                 T < 1mm : +100%  
測定頻度: 受け入れ時

煩雑!

## 背景2

近年,デジタル化が急速に進み,多くの施設において増感紙 - フィルムシステムからCR (computed radiography) システムへと移行したことや本装置の導入により,DICOM (Digital information communication of medicine) 形式での画像取得が容易になったことで,汎用ソフトの有効利用が可能となった.

# IPを利用したCT装置の簡易的な管理方法

放射線機器管理士シリーズ X線・MRI・CT

社団法人 日本放射線技師会 放射線機器管理士部会

- X線ビーム幅測定試験 (スリット精度, コリメータ精度)
- ガントリ傾斜角度精度測定試験
- スキャン範囲精度測定試験
- 投光器精度測定試験

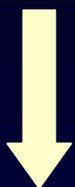
# 簡易法の測定手順 (フロー図)

CT回転中心にIPを精度良く配置



線量の減弱 (CTの線量が多い)

Pb等の付加



X線照射

**簡易法**

画像取得 (DICOM形式)

DICOM形式での画像取得  
Image J等の汎用ソフトで解析



デジタルプロファイル作成



X線ビーム幅 (デジタルプロファイルのFWHM)

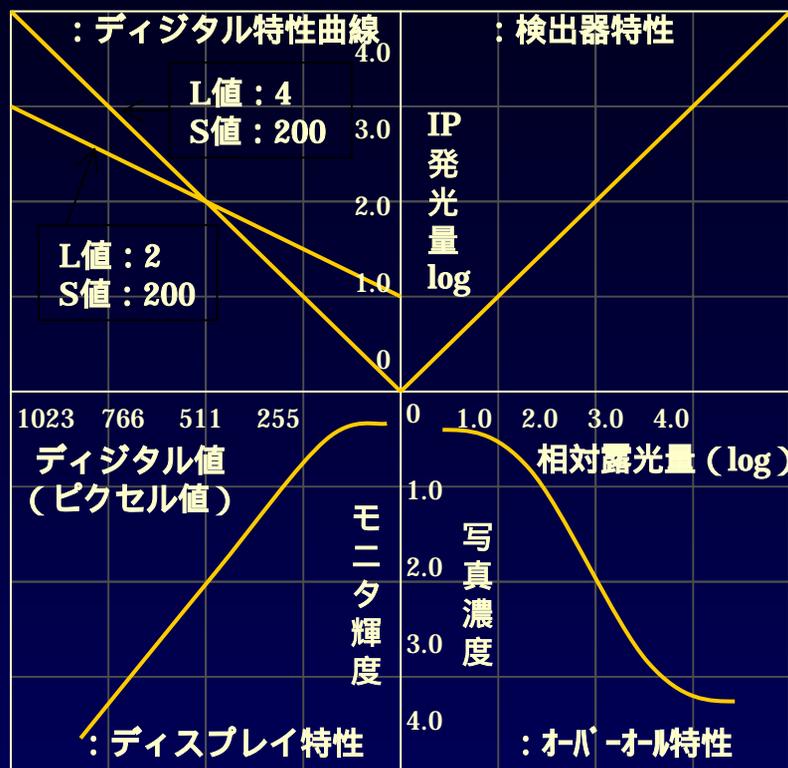
**簡単!**

# 目的

イメージングプレート (imaging plate: 以下IP) を用いたX線ビーム幅測定 の原理・特徴について, CRの原理を踏まえて, 基礎的な解説を行う.

# CRシステムの原理(復習)

# 情報伝達特性(入出力特性)



# デジタル画像の分類

## Logシステム(CR装置)

輝尽発光量を対数変換し  
デジタル値に割り振る

## Linearシステム(FPD)

入射X線量を直接デジタル  
値に割り振る

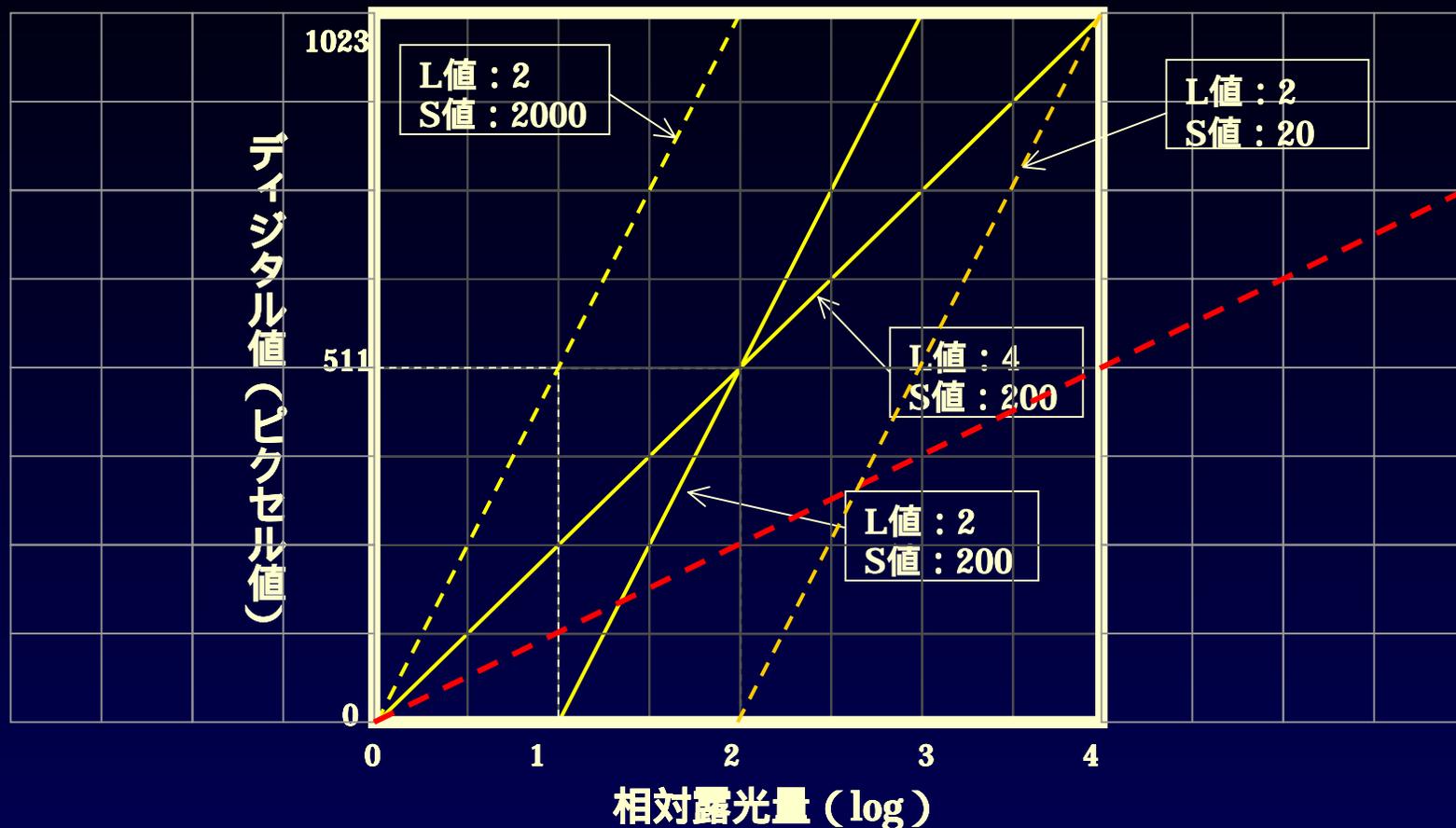
富士メディカルシステム社製

1024階調      0 ~ 1023

コニカミノルタメディカル社,コダック社製

4096階調      0 ~ 4095

# デジタル特性曲線 (富士メディカル社製)



4桁のIP入射線量の範囲内において,S値,L値でデジタル値が任意に変わる.

# X線ビーム幅測定の実際

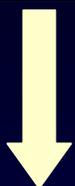
# 簡易法の測定手順 (フロー図)

CT回転中心にIPを精度良く配置



線量の減弱 (CTの線量が多い)

Pb等の付加



X線照射

簡易法

画像取得 (DICOM形式)

DICOM形式での画像取得

image J等の汎用ソフトで解析



デジタルプロファイル作成



X線ビーム幅 (デジタルプロファイルのFWHM)

簡単!

# 今回の提案手法(フロー図)

1. 使用するCRシステムの検証

2. IP入射線量の減弱  
(Pb厚の決定)

5. 画像取得

3. デジタル特性曲線の取得

6. デジタルプロファイル作成

4. 回帰式の取得  
(IP入射線量 - デジタル値)

7. 線量プロファイル作成(デジタル値から線量へ変換)

8. X線ビーム幅(線量プロファイルのFWHM)

# 1 . CRシステムの検証

1 . システム感度

2 . IP入射線量に対するS値の直線性

# 1-1. システム感度の検証

FCRのシステム感度設定

管電圧80kV, 1.0mRで, S値 = 200



(方法) 80kV, 200mA, 0.0025sec(0.5mAs), SSD:100cmにて照射線量を測定し, 距離の逆二乗から1mRとなる距離を算出し, その前後で, 照射線量を測定して微調整した条件でIPに照射して「感度」メニューで処理をした。

# CR装置の感度

	80kV	200mA	0.0025sec	0.5mAs	SSD:100cm
SSD cm	読み値mR			ave.	校正値
100	3.846	3.847	3.851	3.848	3.73256
150	1.763	1.757	1.759	1.759667	1.706877
195	1.004	1.001	1.006	1.003667	0.973557
194	1.023	1.019	1.022	1.021333	0.990693
	1.025	1.023	1.028	1.025333	0.994573
	1.033	1.036	1.032	1.033667	1.002657

## (検証結果)

今回使用した装置では、3回測定全てにおいてS値は210となり、僅かにフェーディングを含むものの適正に調整されていることが検証された。

# 1-2.IP入射線量に対するS値の直線性

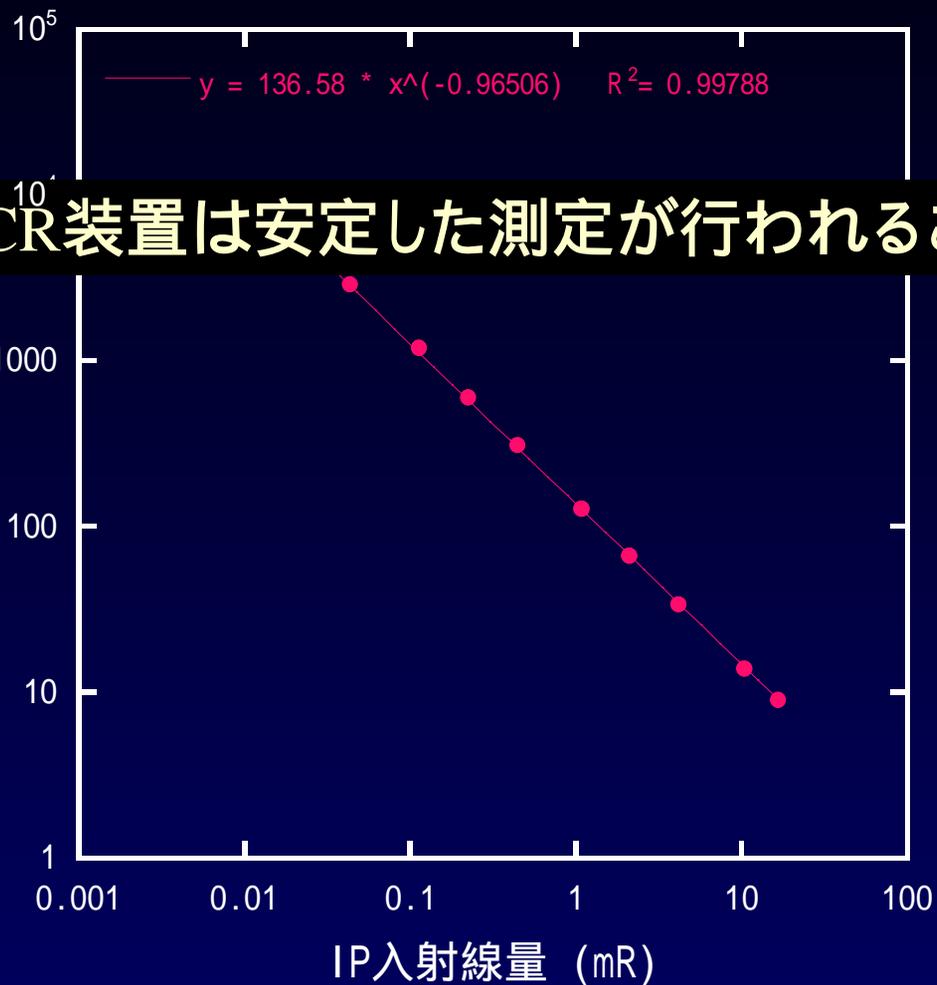
IPの輝尽発光量は,約0.01mR ~ 100mRまでの4桁に渡り広範囲なX線量域と直線関係にある.



(方法) 感度測定と同じ幾何学的配置において,撮影線量を変化させ,IP入射線量毎にS値を求め線形であるかの確認を行う.

# S値と入射線量の直線性

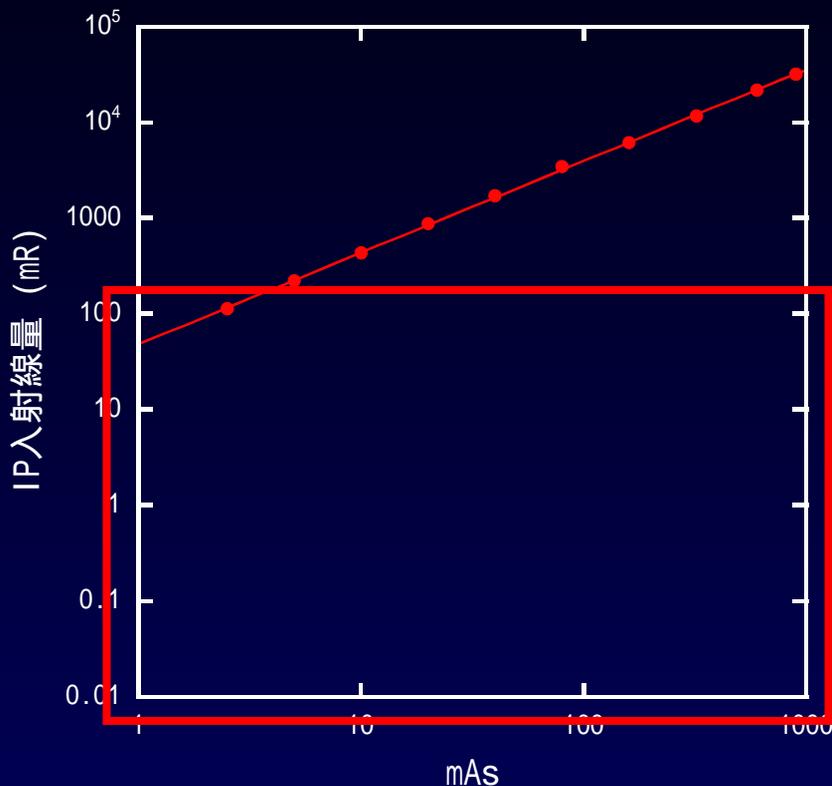
入射線量とS値



今回使用したCR装置は安定した測定が行われることが検証できた

## 2.IP入射線量の減弱

120kV ビーム幅32mm 鉛付加無



CTで使用可能なX線量は、他の一般撮影装置に比べ高い。



CRの感度域(約0.01mR ~ 100mR)では適応外となってしまう。

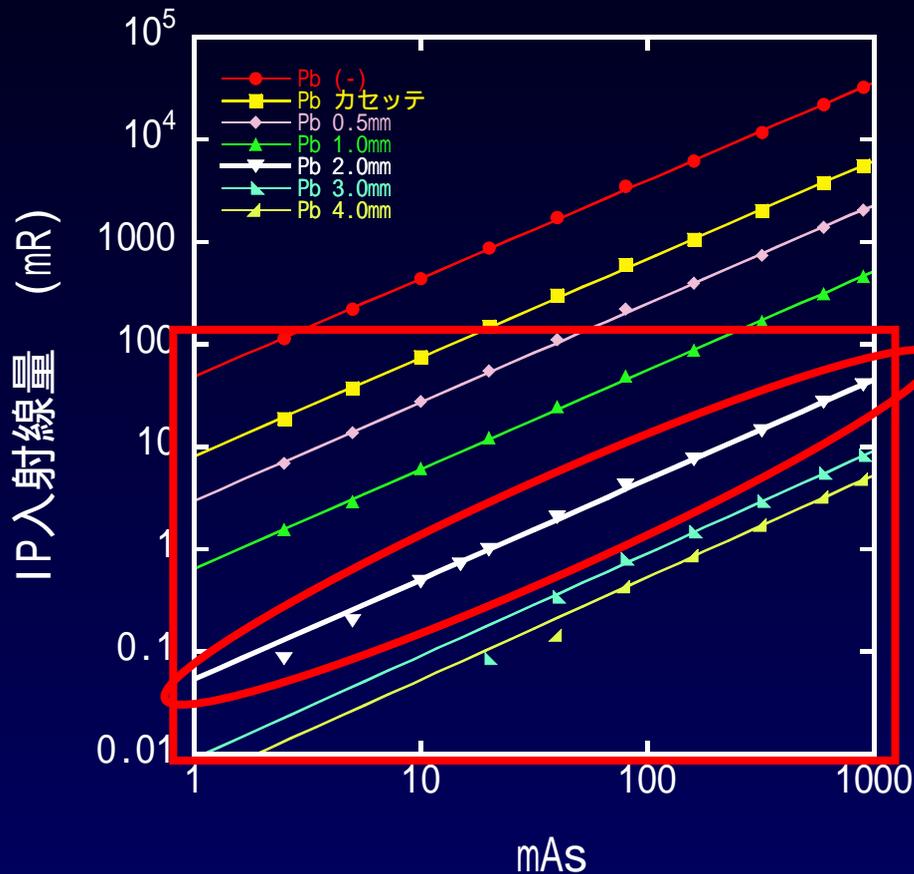


(方法) 鉛等を付加してIP入射線量の減弱特性を調査する。

どのくらいの鉛を付加する必要があるのか？

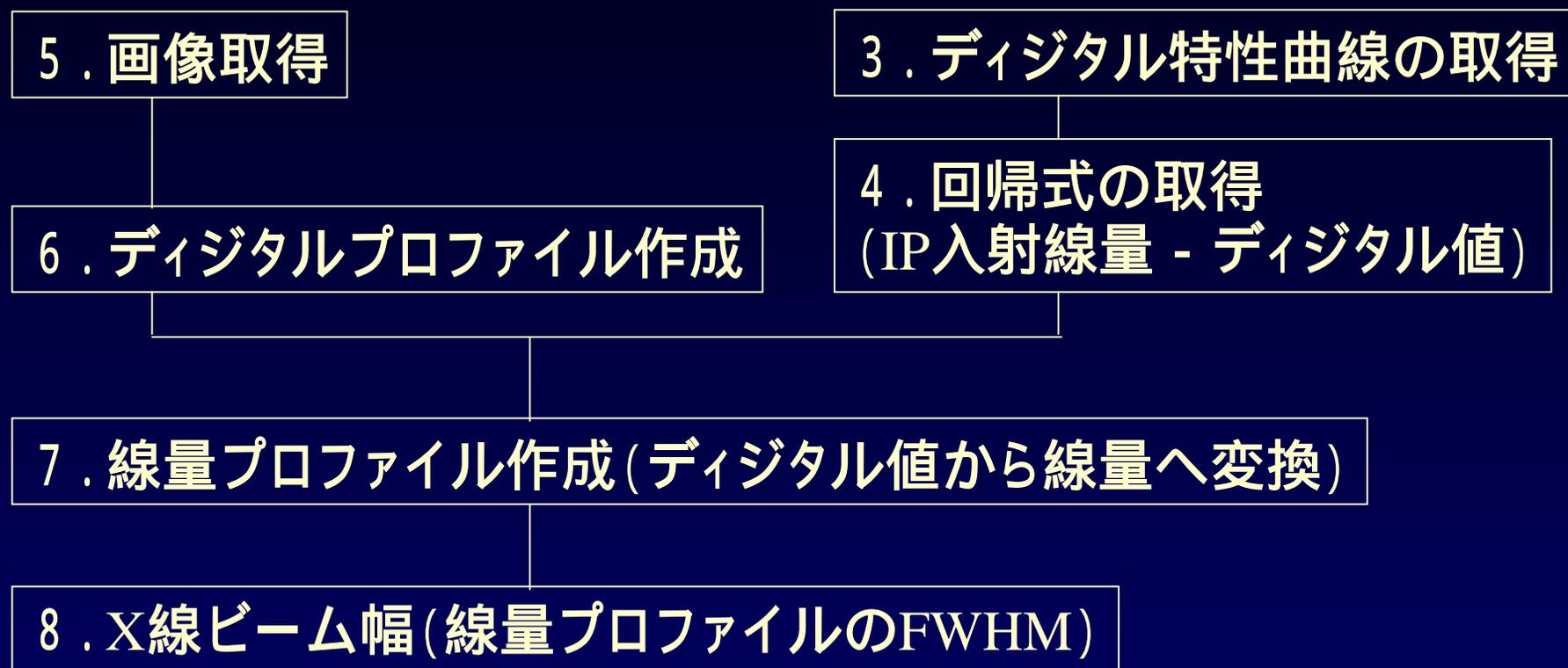
# 鉛厚の決定

120kV ビーム幅32mm

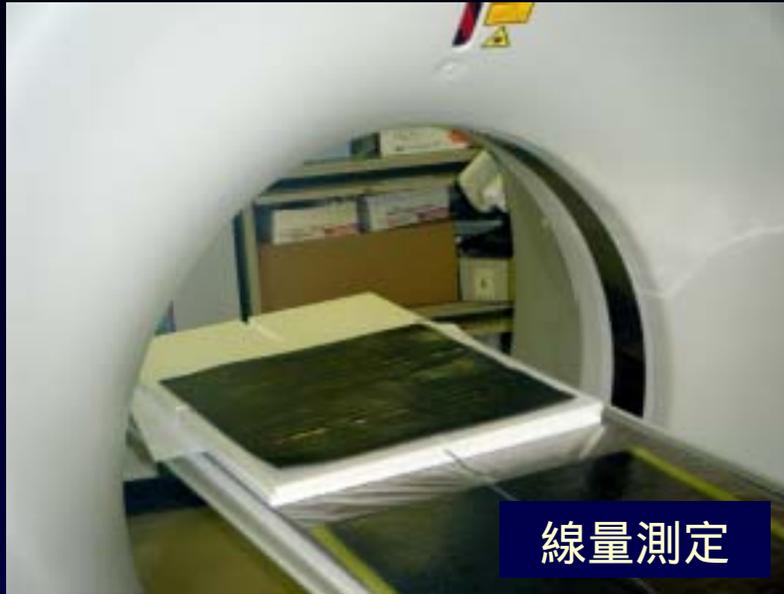


CRの感度域(約0.01mR ~ 100mR)に対応するためには2mm厚さの鉛を付加することが必要である.

# 今回の提案手法(フロー図)



# 3. デジタル特性曲線の取得



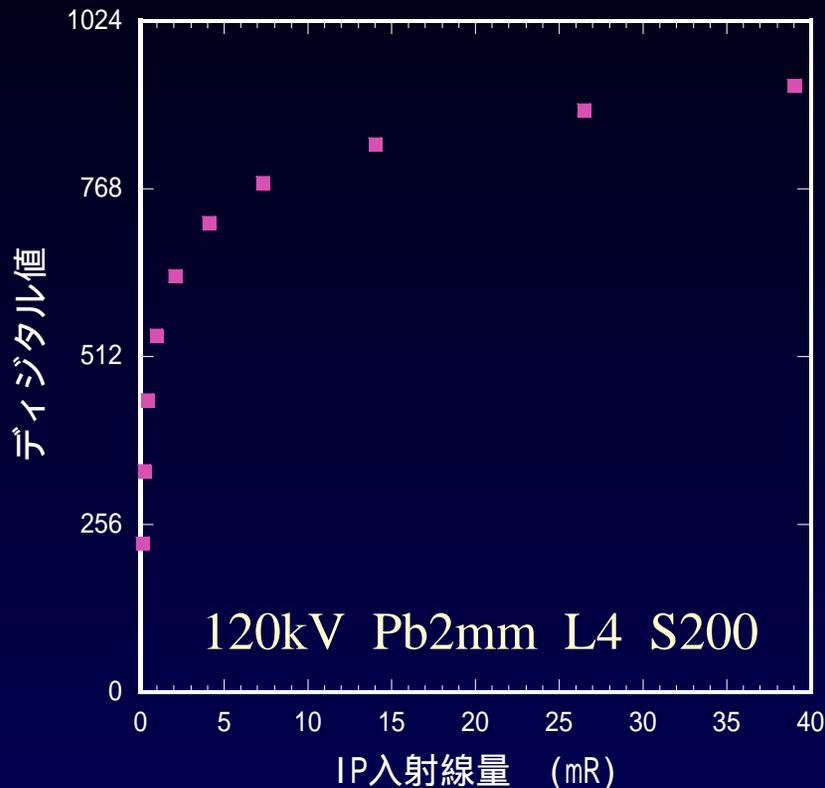
CTのX線管球を0°で固定し、線量計とIPがアイソセンターになるように配置して撮影線量毎のデジタル値をもとめる。

撮影条件：管電圧120kV, X線ビーム公称32mm, 鉛 2mm 付加

撮影線量：2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 600, 900mAs

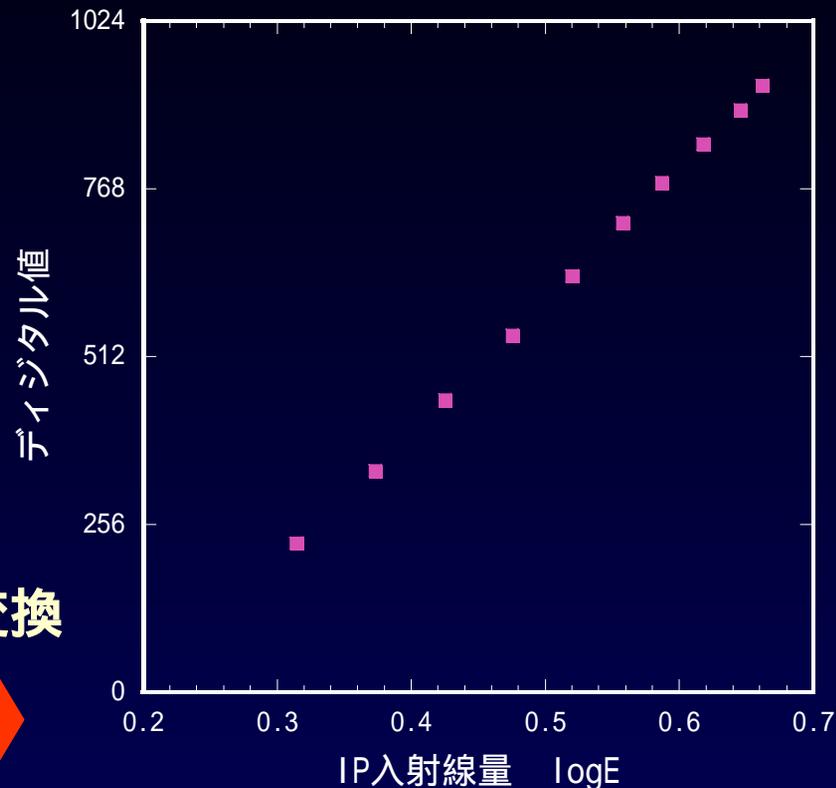
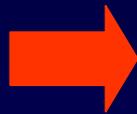
CRの設定：TESTメニュー『AVE4.0』(FIXモード)L値4, S値200固定

# デジタル特性曲線



IP入射線量 - デジタル値曲線

Log変換



デジタル特性曲線

# 4. 回帰式の取得

デジタル特性曲線



X軸, Y軸を入れ替える

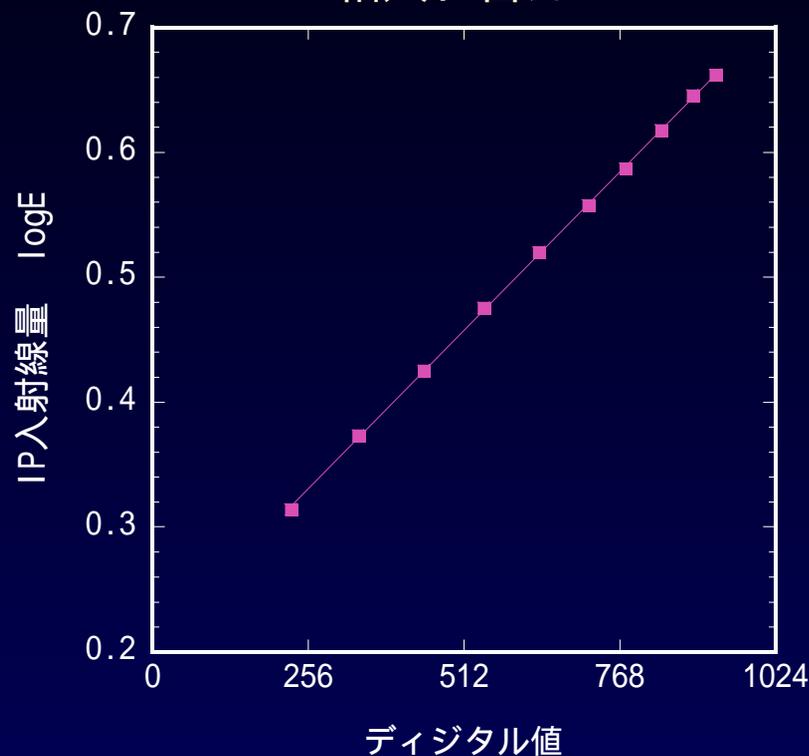


Excel等で近似式を計算させる



$$y = ( 1/2018.6 )x + 0.2041$$

軸入れ替え



120kV Pb2mm L4 S200

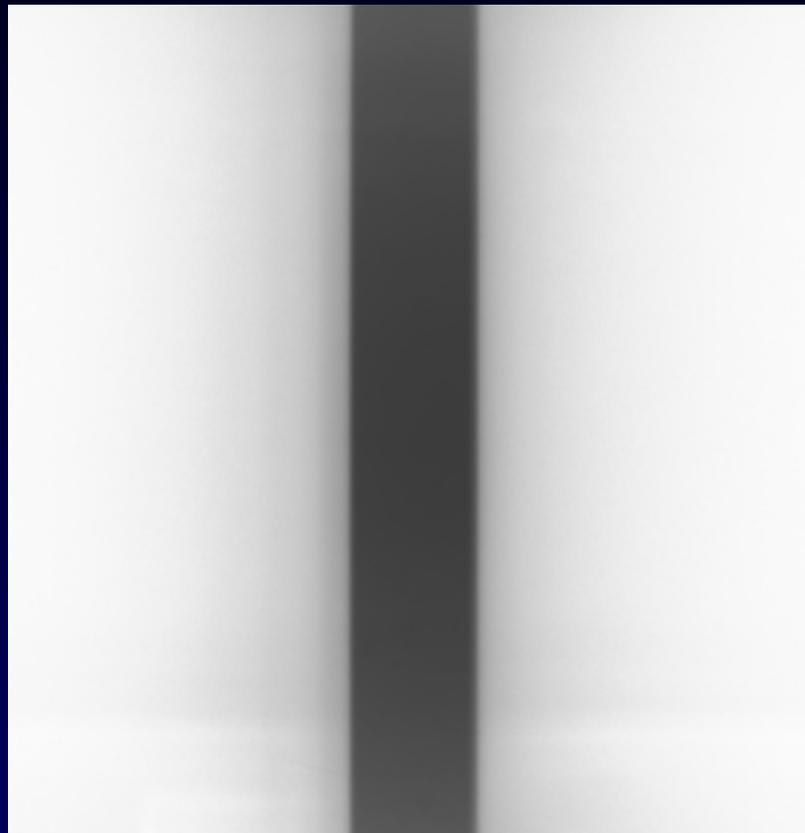
# X線ビーム幅測定の一概観



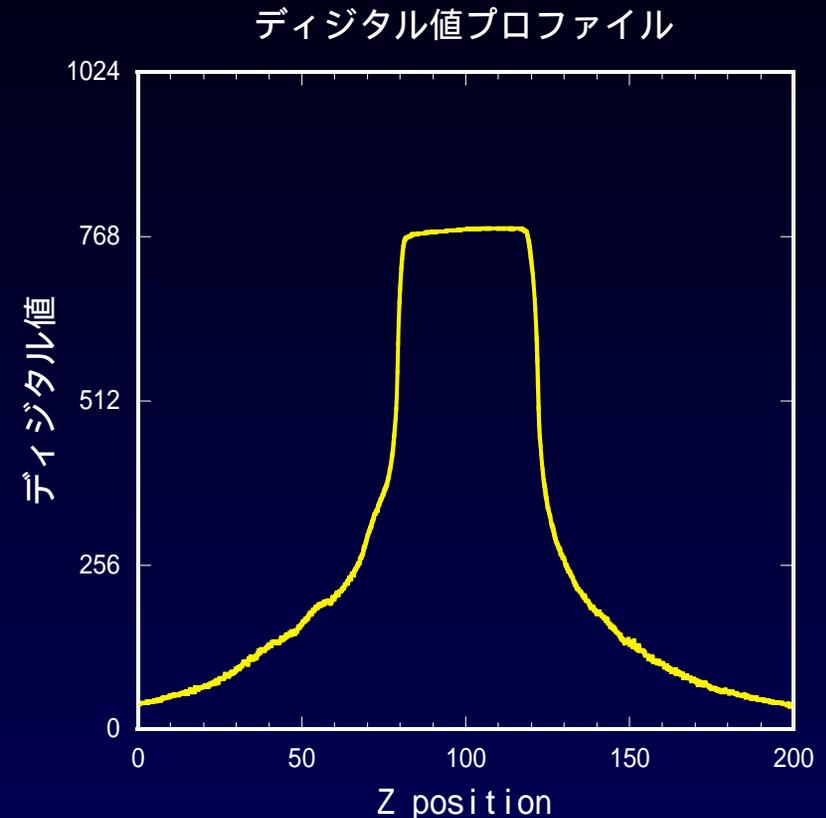
# 5.X線ビーム幅測定用画像の取得

120kV,160mAs,Beam : 0.5 × 64

Pb2mm L4 S200



# 6. デジタル値プロファイルの取得

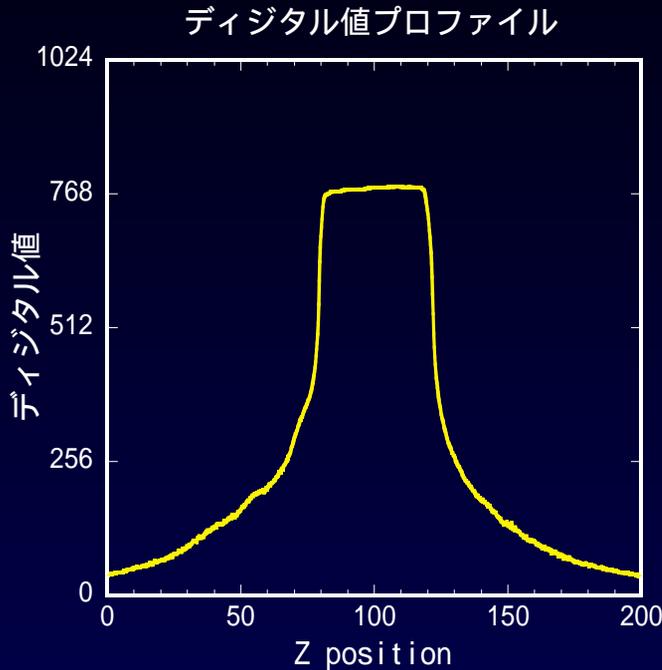


ImageJを使用してデジタル値プロファイルを取得する。

# 7.線量プロフィール作成

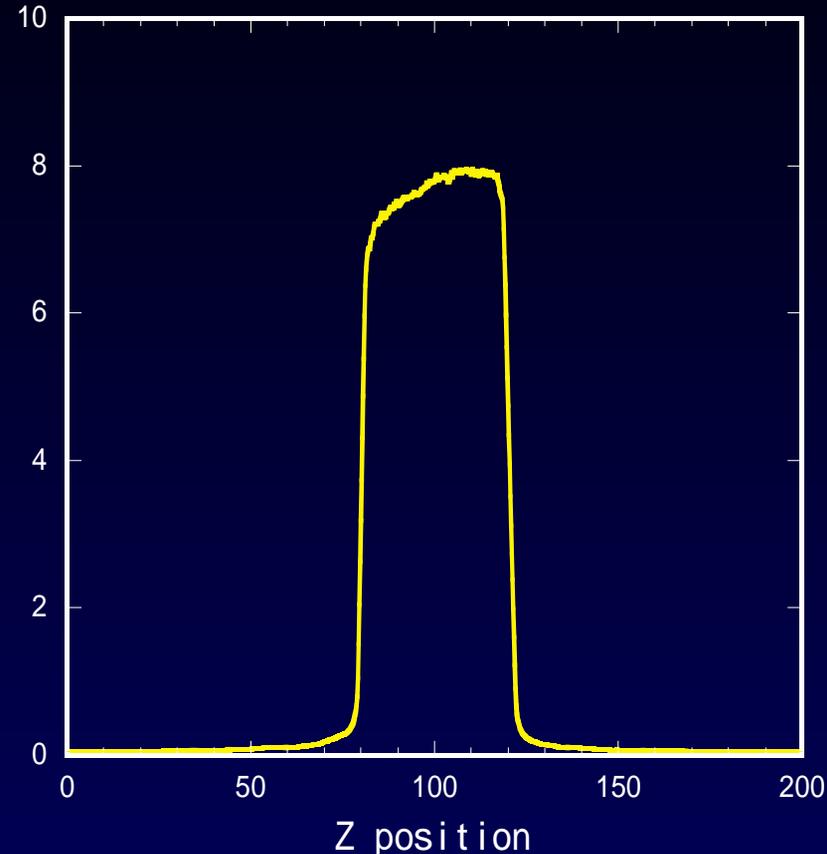
120kV,160mAs,Beam : 0.5 × 64,Pb2mm,L4,S200

線量プロフィール



線量変換

IP入射線量 (mR)



回帰式  $y = (1/2018.6)x + 0.2041$

デジタル特性曲線から求めた回帰式を使用して、デジタル値 線量(log)  
IP入射線量(mR)と変換させ、線量プロフィールを作成する。

# 8.X線ビーム幅算出

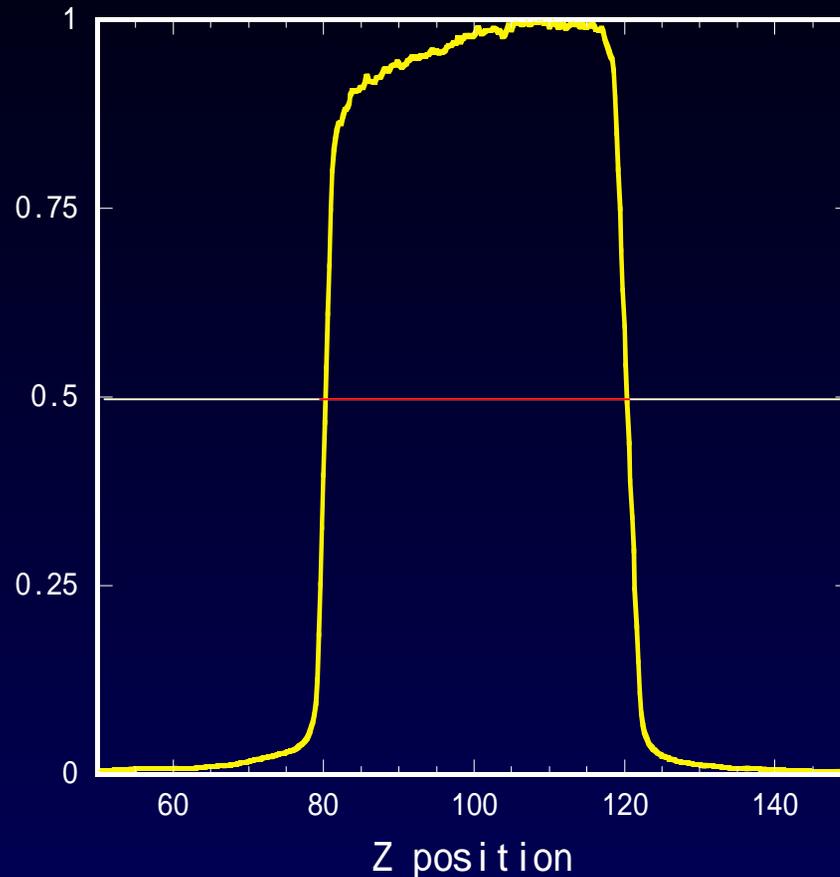
120kV 160mAs

Beam : 0.5 × 64

Pb2mm

L4 S200

線量プロファイル(正規化)



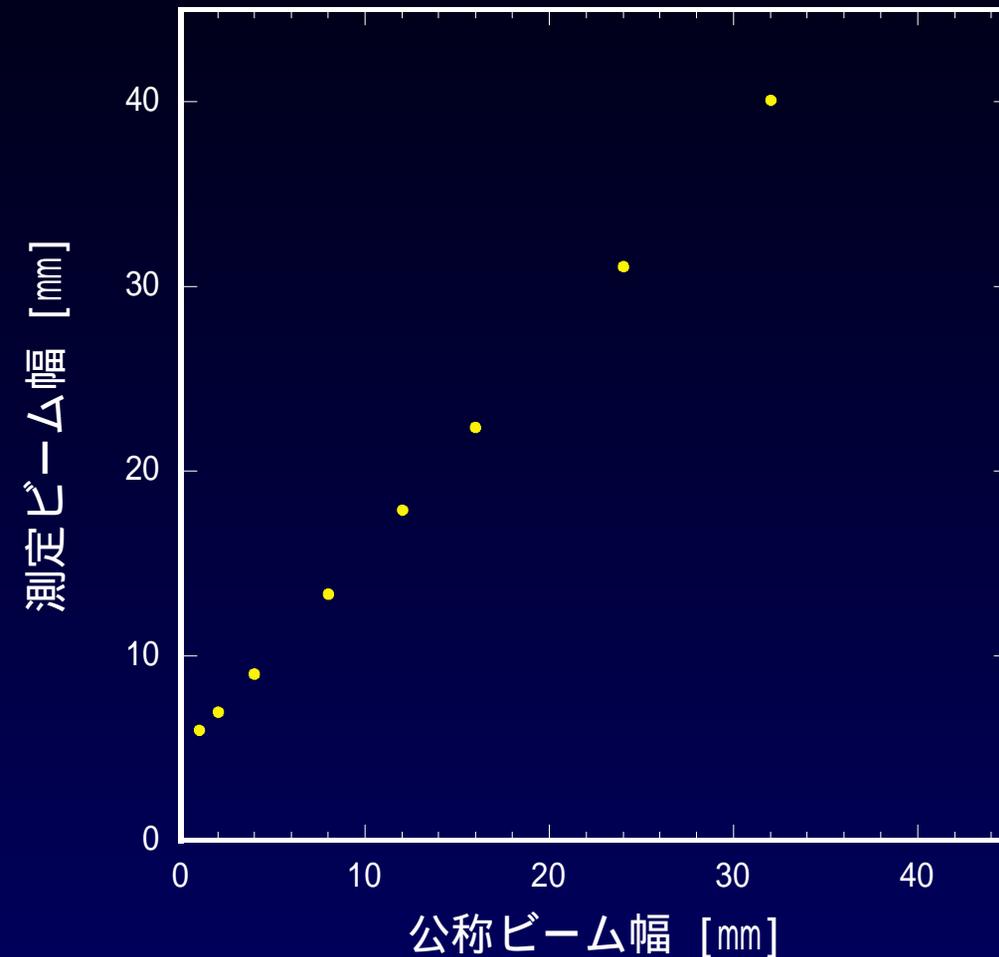
線量プロファイルを最大線量で正規化し、線量プロファイルの半値幅(FWHM)をX線ビーム幅としてもとめる。

# 測定結果の参考例および その他の検証

# 公称X線ビーム幅毎の実測値

120kV 200mAs Pb2mm L4 S200

Aquilion64 (東芝メディカル社製)

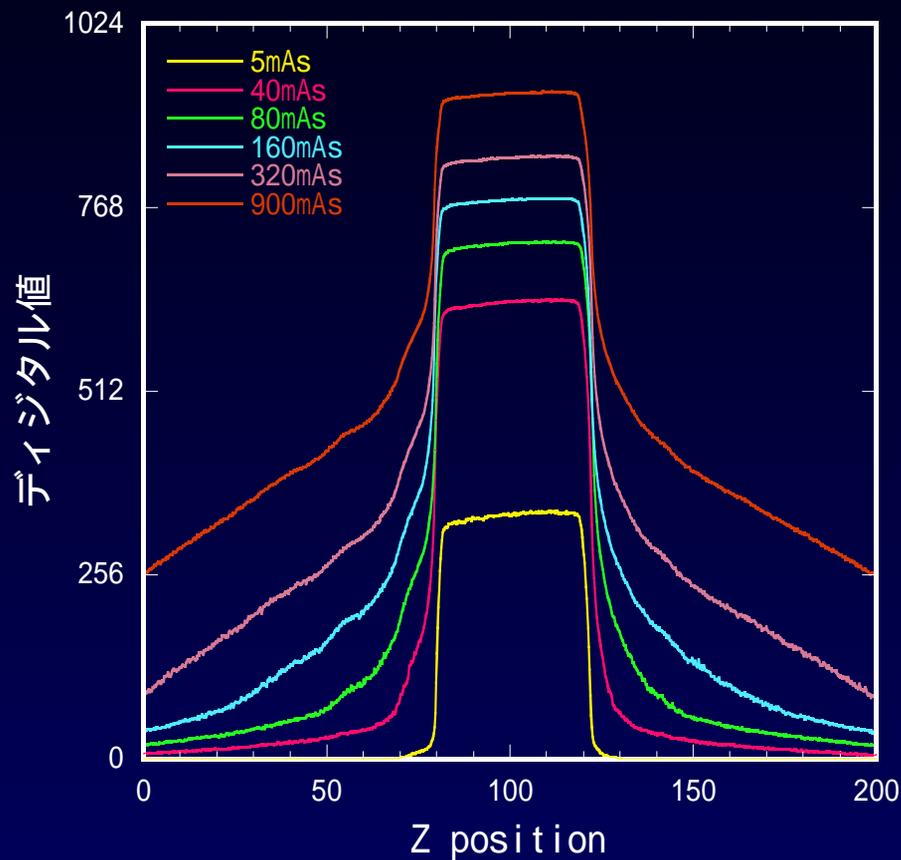


	公称値	測定幅	デジタル値	線量mR
120kV	1	6.0	793	9.0
	2	7.0	795	9.2
	4	9.0	797	9.4
	8	13.4	798	9.5
	12	17.9	799	9.6
	16	22.4	800	9.6
	24	31.1	802	9.9
	32	40.1	803	9.9

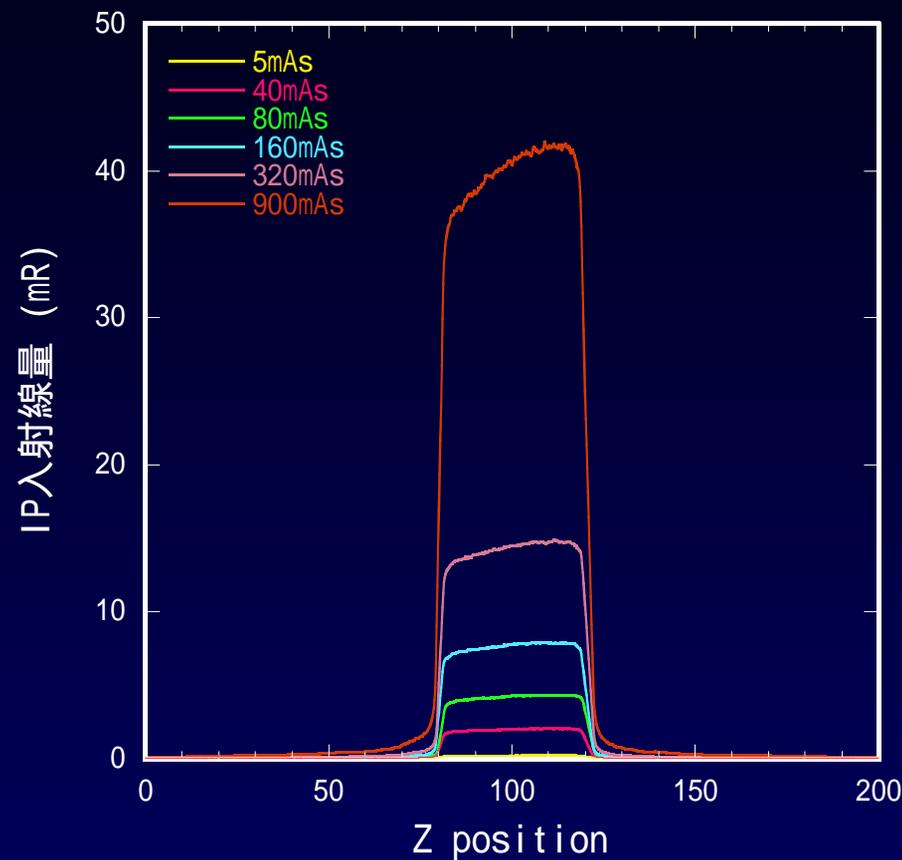
# 線量がプロファイルへ及ぼす影響

120kV Pb2mm L4 S200

デジタル値プロファイル

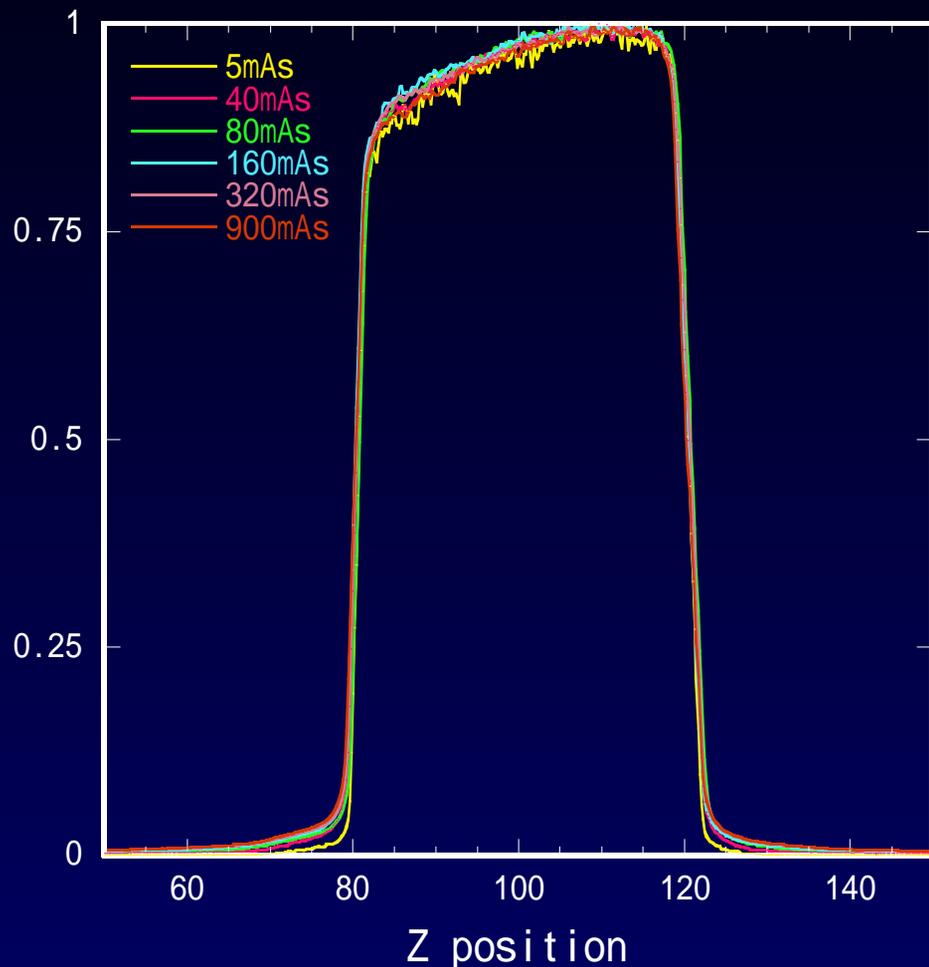


線量プロファイル

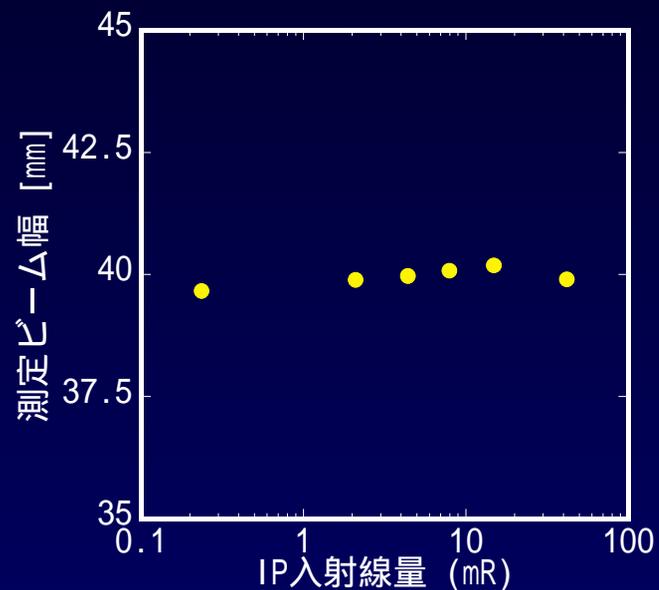


# 線量が測定値へ及ぼす影響

120kV Pb2mm L4 S200 正規化

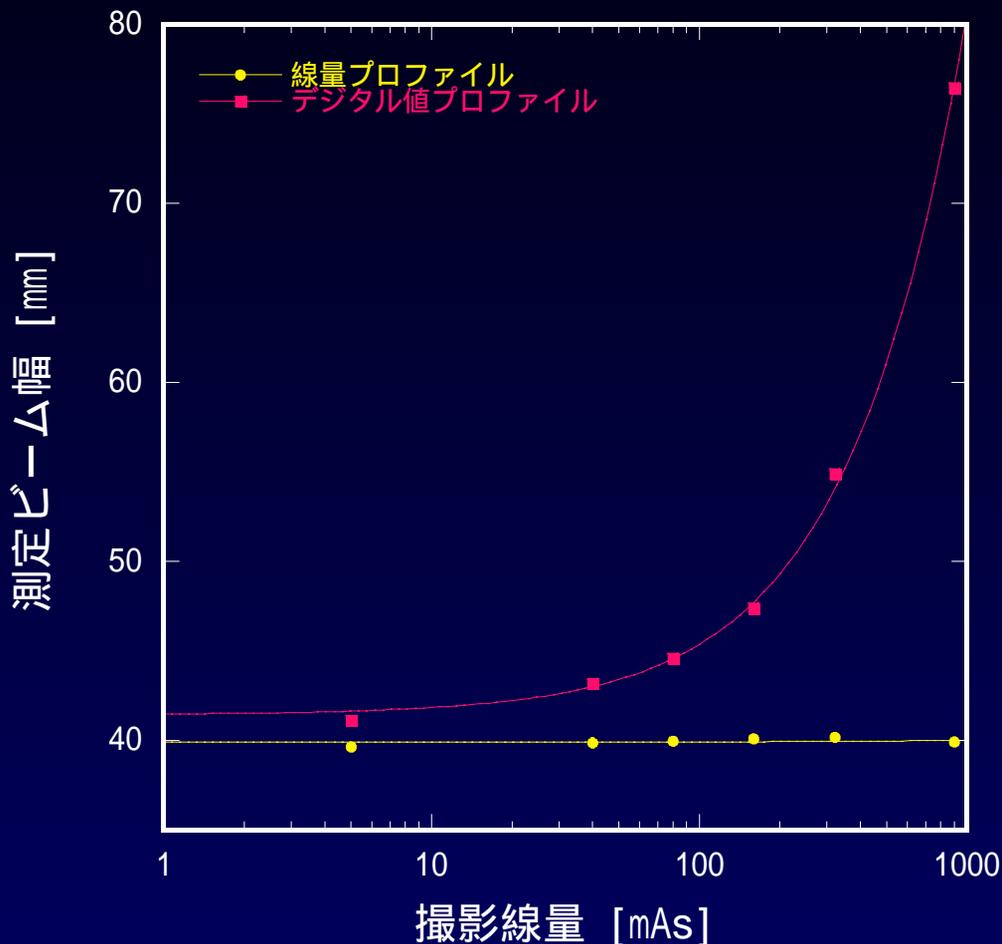


mAs	ビーム幅
5	39.7
40	39.9
80	40.0
160	40.1
320	40.2
900	39.9



# プロファイルの相違と測定値への影響

120kV Pb2mm L4 S200



## 簡易法

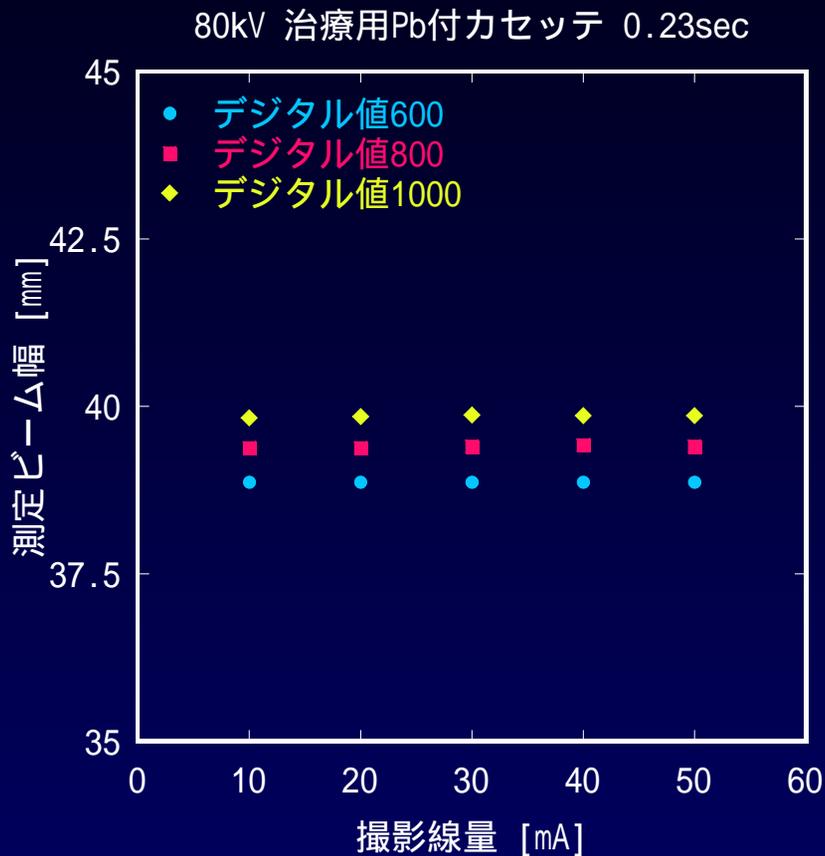
デジタル値プロファイルを正規化して半値幅を測定する。

## 今回の測定法

デジタル値プロファイルを線量プロファイルに変換した後、正規化して半値幅を測定する。

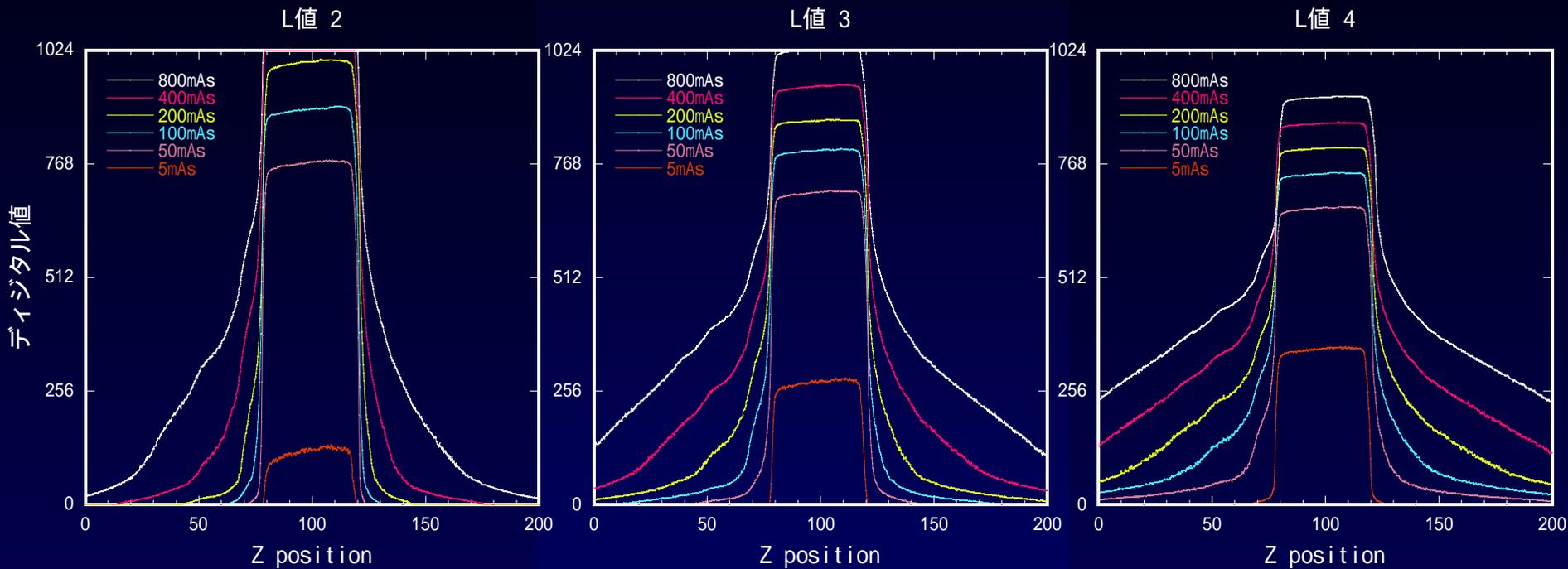
# 簡易法の測定精度

## デジタル値を揃えるためS値を調整する手法



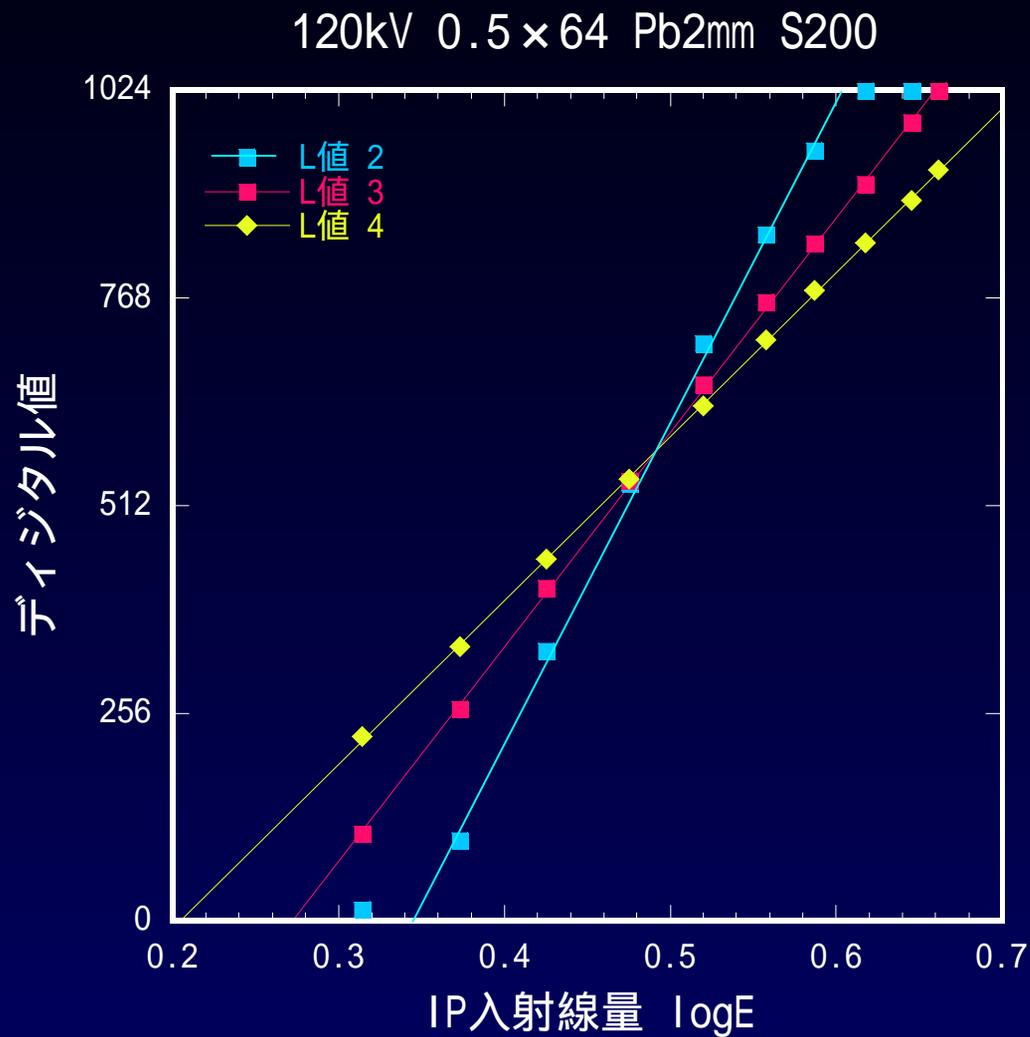
管電流	デジタル値	S値	FWHM
10mA	600	70	38.87
	800	163	39.39
	1000	409	39.83
20mA	600	34	38.87
	800	82	39.39
	1000	210	39.85
30mA	600	23	38.87
	800	55	39.41
	1000	145	39.87
40mA	600	19	38.87
	800	46	39.43
	1000	118	39.86
50mA	600	14	38.87
	800	32	39.41
	1000	82	39.86

# L値変化でのプロファイルの違い



120kV Pb2mm S200

# L値とCRの測定域



# 線質の影響

L4 S200

回帰式

80kV

$$y = 1902.9x - 305.78$$



管電圧毎にデジタル特性曲線を作成し、得られた回帰式からデジタル値を線量に変換することで線質の影響は除外できる。



メーカーや機種異なる装置においても  
同等のビーム幅測定が可能



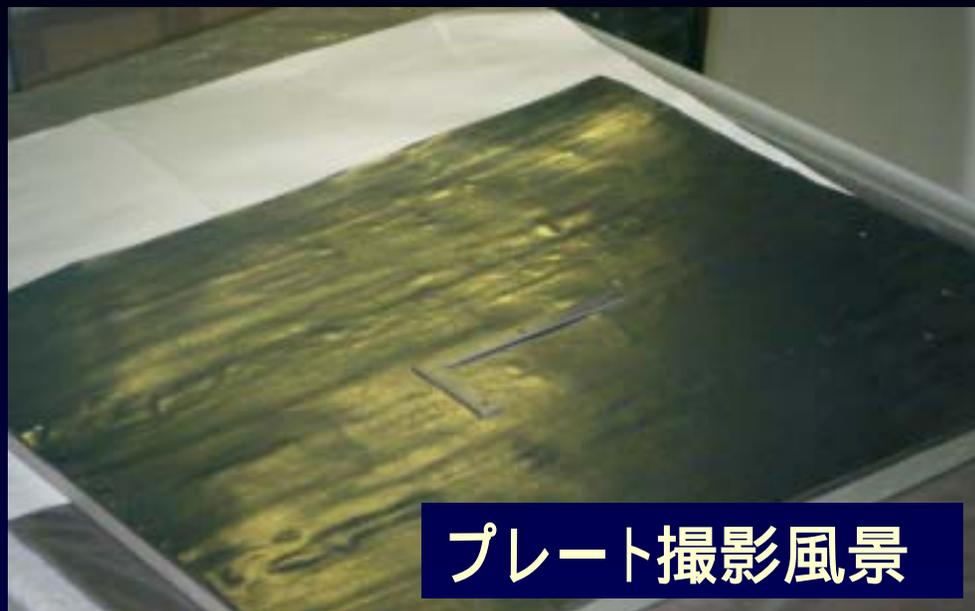
0	15.4	15.5	15.4	15.5
12	17.9	18.0	17.9	17.9
16	22.4	22.5	22.4	22.4
24	31.1	31.2	31.1	31.0
32	40.2	40.3	40.1	40.0

公称ビーム幅 [mm]

# 本法の精度についての検証



プレート幅 10mm

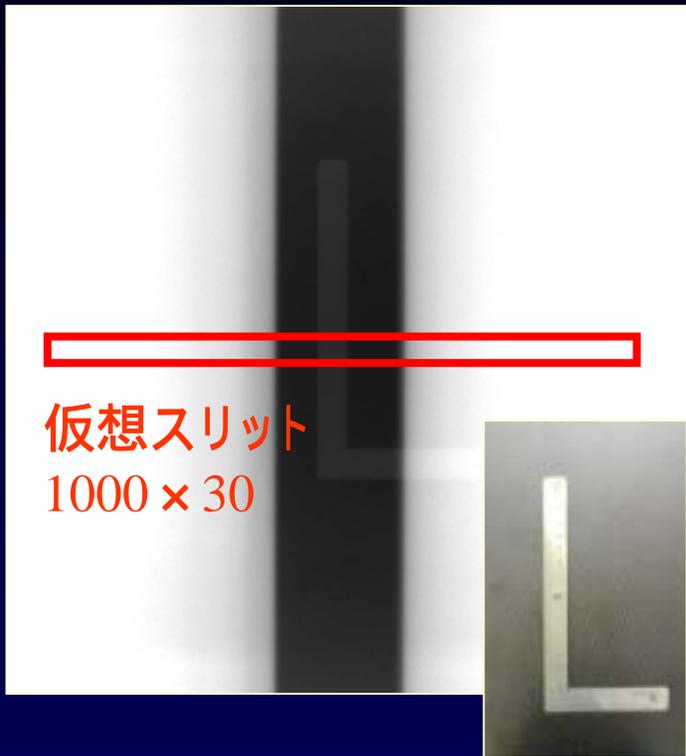


プレート撮影風景

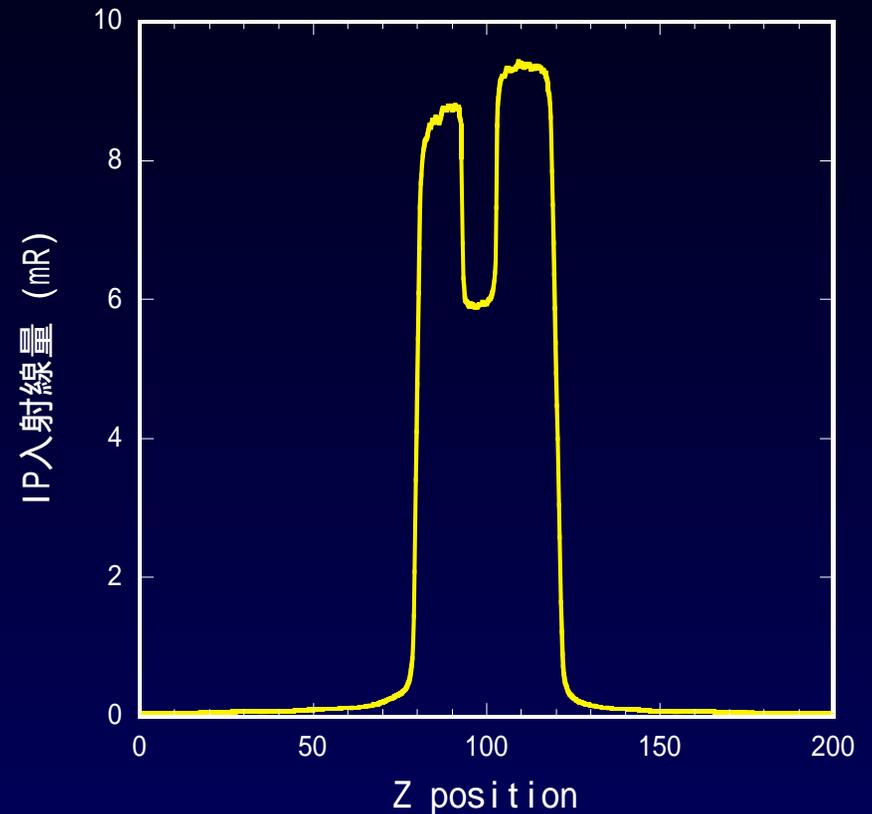
長さが既知であるファントム(ステンレスプレート)をビーム上において撮影し、プレートの半値幅を測定した。

# ステンレスプレートの線量プロファイル

120kV, 200mAs, Pb2mm,  
Beam : 0.5 × 64, L4, S200

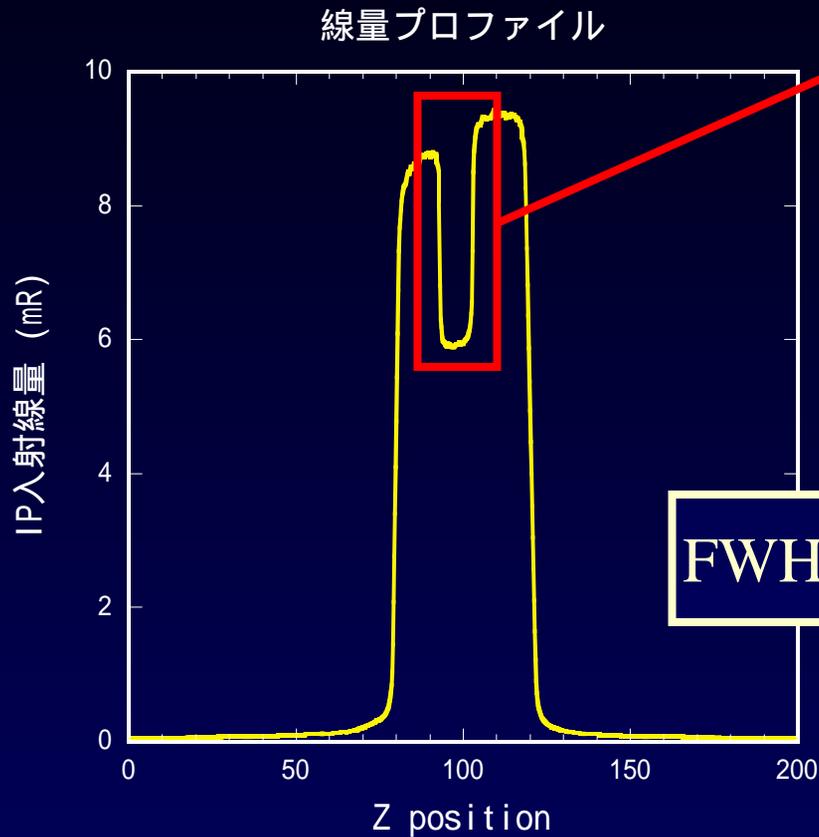


線量プロファイル

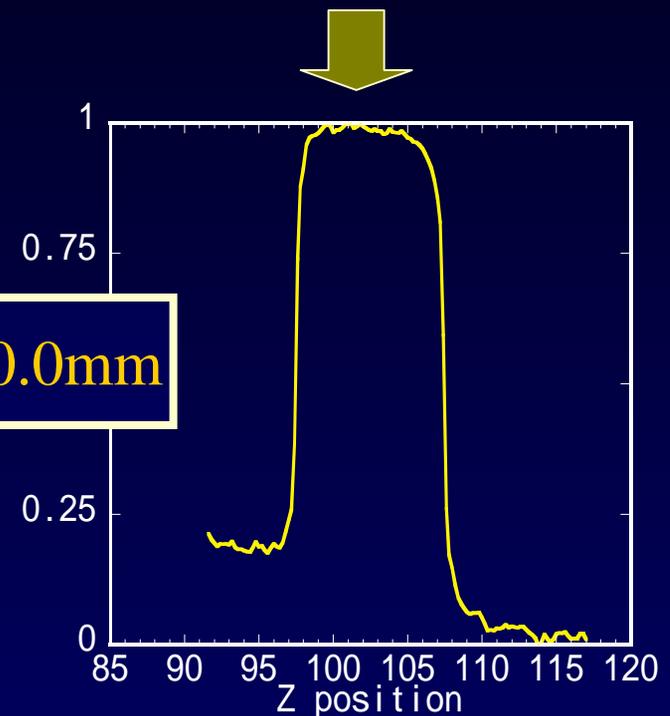


# ステンレスプレートの半値幅測定

120kV, 200mAs, Pb2mm, Beam : 0.5 × 64, L4, S200

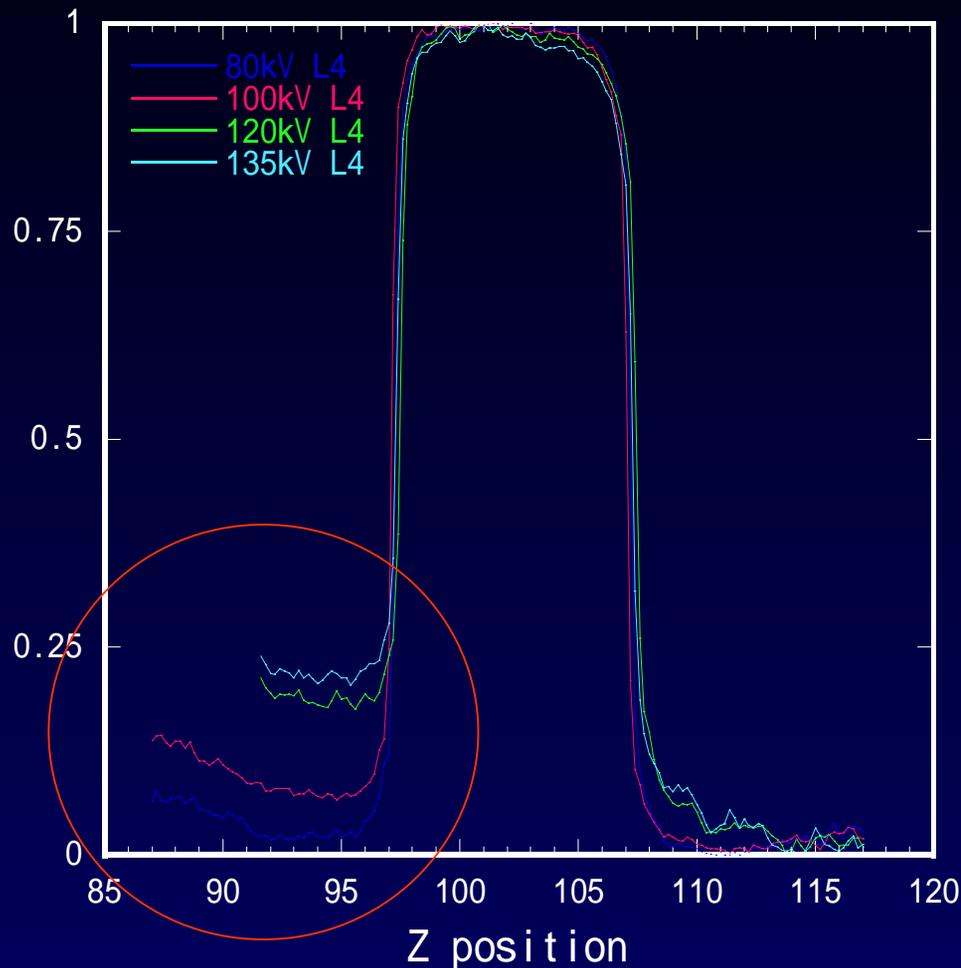


この部分を抜き出し, 最小線量値を基準に反転させたプレートのプロファイルを作成し, 正規化した.



# 線質変化の影響 —プレート幅—

10mm 幅 プレート正規化



Pb2mm,

Beam : 0.5 × 64, L4, S200

管電圧	プレート幅[mm]
80kV	9.9
100kV	9.9
120kV	10.0
135kV	10.0

# 注意点

# 線量計の校正

使用線量計 「9015型 放射線モニター」 RADCAL 社

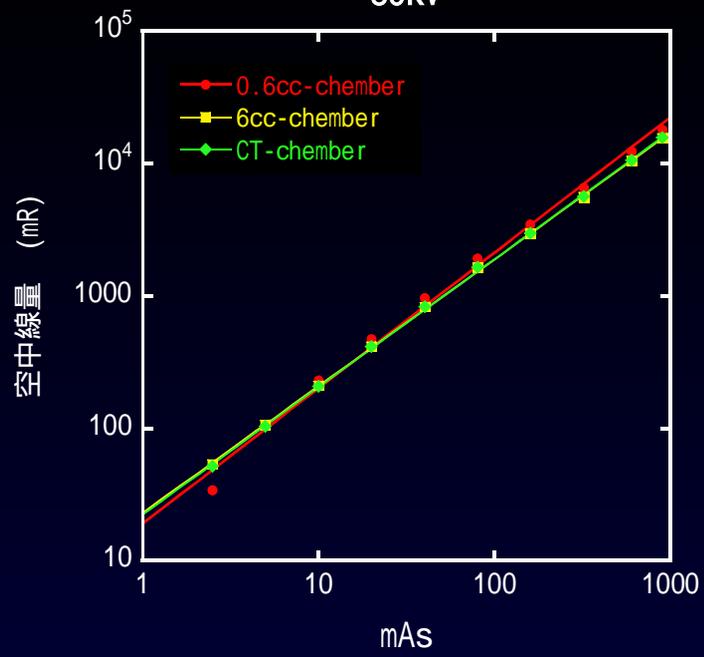
電離箱	基準	:10X5-180	180cc (校正済)
	一般撮影	:10X5-6	6cc
	CT	:10X5-3CT	3cc

参照用線量計 「Dose1」 Scanditronix/Wellhofer社

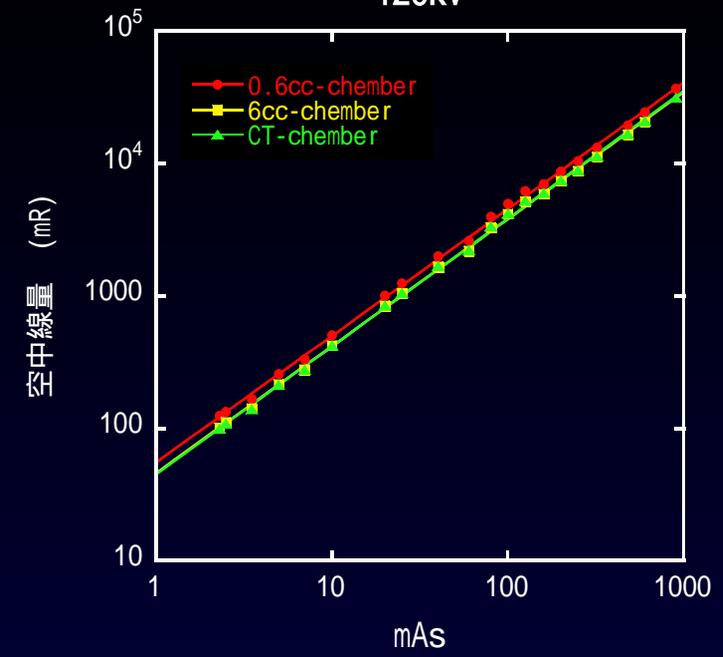
電離箱 : Type PTW30013 0.6cc (  $^{60}\text{Co}$  校正済) PTW社

- 6cc一般撮影用電離箱の校正定数は校正された180cc電離箱(平行平板)で一般撮影装置を使用してクロスキャリブレーションにより求めた。
- CT用電離箱はクロスキャリブレーションで校正した6cc一般撮影用電離箱でCT装置を使用して求めた。但し、下記の条件のみ有効  
(Beam slit:0.5mm,slit:0.5mm,N:64,filter:Large,focus:Large)
- 0.6cc電離箱は $^{60}\text{Co}$ で校正された値をそのまま用いた。

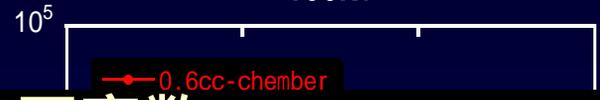
80kV



120kV



100kV

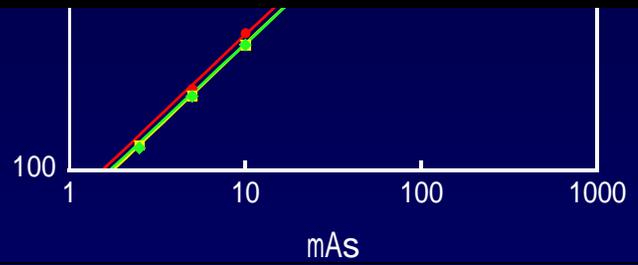
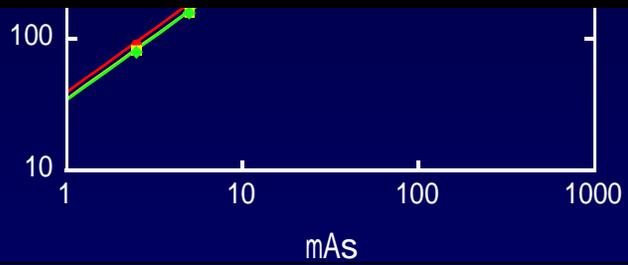


135kV

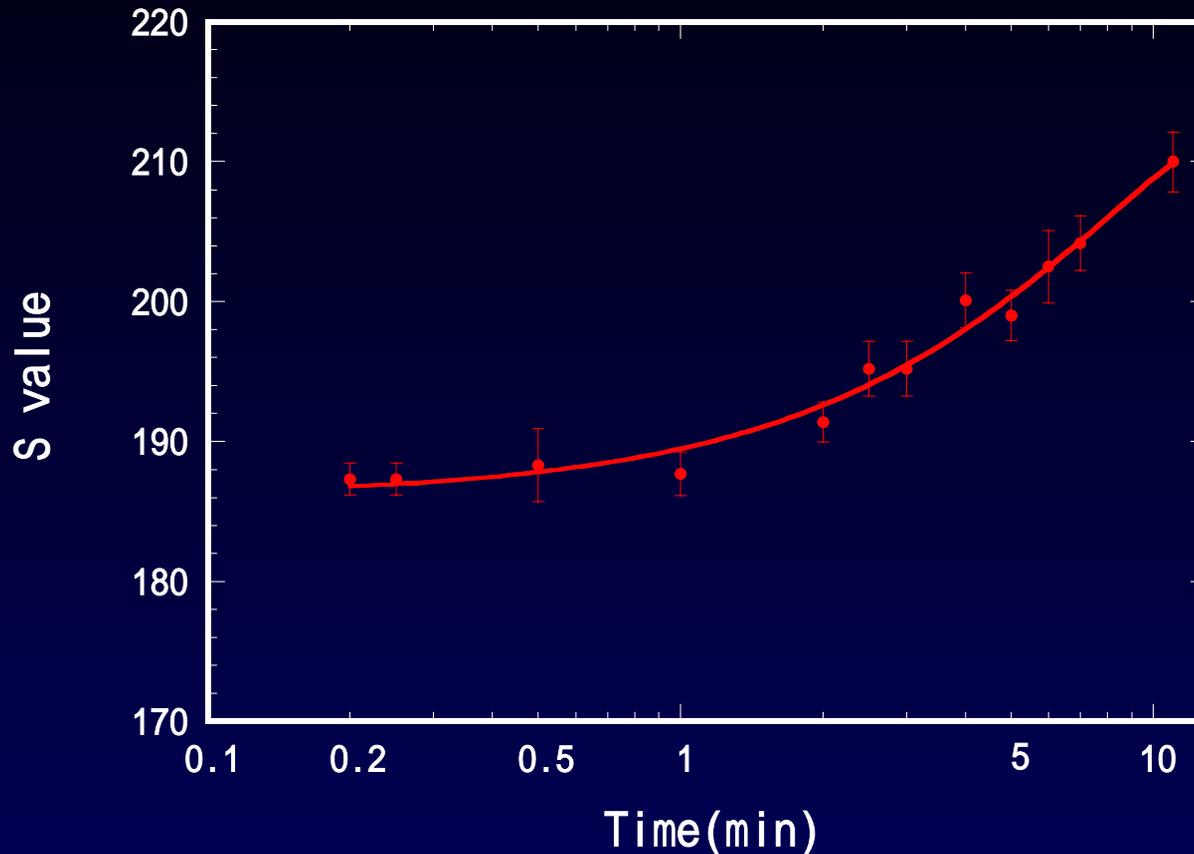


校正定数

管電圧	80kV	100kV	120kV	135kV
6cc-chamber	0.90	0.90	0.89	0.89
CT-chamber	2.20	2.18	2.16	2.15



# IPのフェーディング特性



日本放射線技術学会雑誌第65巻第10号:1391-1399 藤本啓司他

# まとめ

- デジタル値のプロファイルから線量プロファイルに変換することで良好な測定結果が得られる。
- 管電圧毎に特性曲線を取得し,デジタル値を線量に変換することで線質の影響を受けない測定が可能となる。
- メーカーや機種が異なるCT装置の比較が可能であることが示唆された。
- デジタル値を線量に適切に変換できることから,今後IPによる線量測定が可能なが示唆された。

# 結語

デジタル値のプロファイルの半値幅から得られたX線ビーム幅は、CRシステムの処理条件を常に同じとすることで、短時間で容易に再現性の高い測定値が得られるためCT装置の管理（初期性能の不変性や幾何学的位置ズレ）等には有用である。しかし、X線ビーム幅毎の比較や他の装置との比較など測定値の精度を追求するためには、デジタル値を線量に変換し、最大線量で正規化した線量プロファイルの半値幅から求める必要がある。

# 結語

現在,多くの施設に設置されているマルチスライスCTでは,X線ビームの半影部分が画像作成に利用されないため,公称ビーム幅に対して大きめのビーム幅が設定されている.マルチスライスCTの被曝が問題視されていることを鑑みて,是非とも保有装置のX線ビーム幅測定を試みて頂ければ幸いである.