



# IQMのビーム特性について

# 本資料の目的

- **Integral Quality Monitor (IQM, i-RT, Germany)** はリニアックのガントリーヘッドにマウントし、治療中のビームをリアルタイムにモニタリングが可能な透過型の検出器です。



「IQM - iRT Systems (i-rt.de)」 <https://i-rt.de/iqm/> より引用

# 本資料の目的

- 透過型の検出器の懸念は、ビーム線質の変化とビーム減衰（出力）への影響です。
  - TPS に新たなビームモデルが必要となる可能性があります。
- 上記理由から、IQMの特性を調査したCasarら\*は以下のように述べています。
  - **“IQM検出器の特性は、臨床的な導入に先立って自施設で十分に検討する必要がある”**
- Elekta Japanでは、IQMの性能を評価するためにいくつかの検証を実施しました。
  - 本資料ではIQMをご購入しようとしているお客様へ物理特性をご紹介します。
  - コミッショニングの方法やご施設で取得するデータの一例を参考としてお示しします。

\* Casar, Bozidar et al. *Zeitschrift fur medizinische Physik* vol. 27,3 (2017): 232-242.

# 使用機器と測定条件

## • 治療機 : Elekta Synergy

- キヤノンメディカルシステムズ放射線治療研修センター (RTTC)

✓ フィルター構成:	4MV	: 4513 330 0703-02K
	6MV	: 4513 330 0705-02F
	10MV	: 1005948

## • 三次元水ファントム: Blue phantom 2

- 検出器: CC01, CC13

## • IQM Detector\*

## • 減弱板

- IQM Detectorが修理交換時などに代替として取り付けるアルミ板

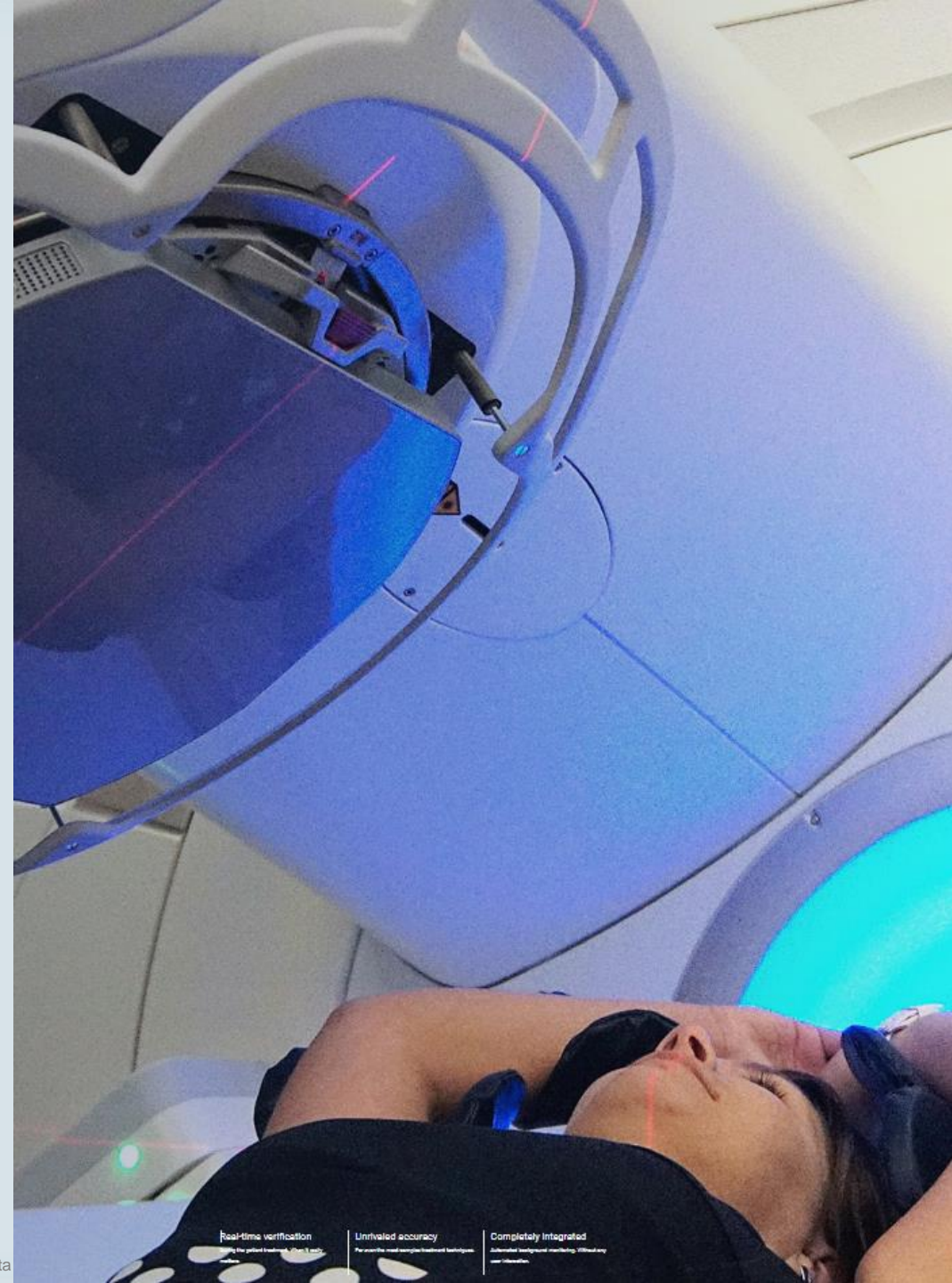


\* 「IQM - iRT Systems (i-rt.de)」 <https://i-rt.de/iqm/>



# 検証内容と結果

1. 先行研究との比較
2. ビームプロファイル評価
3. 減弱板の性能評価
4. EPID画像への影響の評価



# 検証内容と結果

1. 先行研究との比較
2. ビームプロファイル評価
3. 減弱板の性能評価
4. EPID画像への影響の評価



# 引用文献



Zeitschrift für Medizinische Physik

Volume 27, Issue 3, September 2017, Pages 232-242



ORIGINALARBEIT

Influence of the Integral Quality Monitor transmission detector on high energy photon beams: A multi-centre study

***“Influence of the Integral Quality Monitor transmission detector on high Casar, Bozidar et al. energy photon beams: A multi-centre study.”***

Casar, Bozidar et al.

Zeitschrift für medizinische Physik vol. 27,3 (2017): 232-242. doi:10.1016/j.zemedi.2016.10.001

• IQMの有無によるビーム特性を評価した多施設試験 (N=9) の結果を報告した論文\*

\* 今回検証で使用した治療機と、多施設試験で報告されている治療機では、搭載されているフィルターのタイプが異なります。



# 評価項目

- Beam hardening effect

IQM および no IQMのPDD<sub>20,10</sub>の差異を算出し、  
多施設試験の結果と比較する

$$\delta_{Q,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{20,10,i,j}(IQM) - PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)}{PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)} \quad (1)$$

- Surface doses

IQM および no IQM のPDD depth 0 cmの差異を  
算出し、多施設試験の結果と比較する

$$\delta_{S,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{S,i,j}(IQM) - PDD_{S,i,j}(no\ IQM)}{PDD_{S,i,j}(no\ IQM)} \quad (3)$$

- Transmission factor

IQM および no IQMの出力の差異を算出し、  
多施設試験の結果と比較する

$$k_{Q,i}^{IQM} = 100 \times \frac{D_i (IQM)}{D_i (no\ IQM)} \quad (6)$$



# Beam hardening effect

## PDD<sub>20,10</sub> の比較

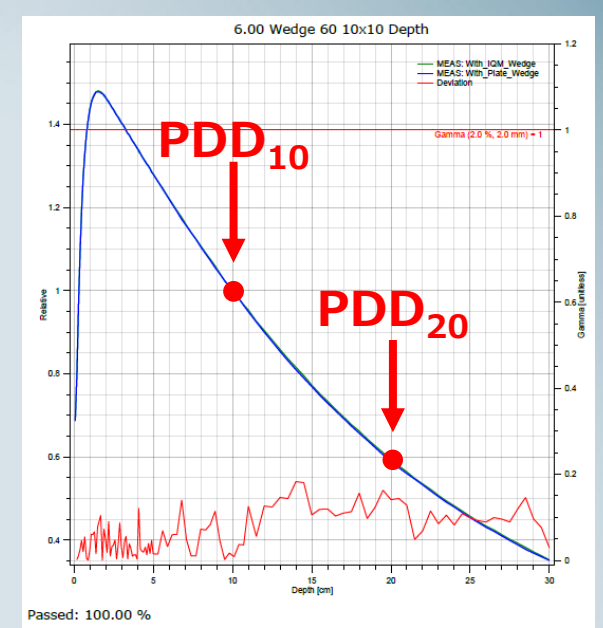
1. 各照射野サイズでIQM、no IQMの両方でPDD<sub>10</sub>およびPDD<sub>20</sub>の比 (PDD<sub>20,10</sub>) を求める

2. (1) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $\delta_{Q,i,j}^{IQM}$  を算出する

$$\delta_{Q,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{20,10,i,j}(IQM) - PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)}{PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)} \quad (1)$$

3. 得られた各照射野サイズの  $\delta_{Q,i,j}^{IQM}$  の平均値を求める

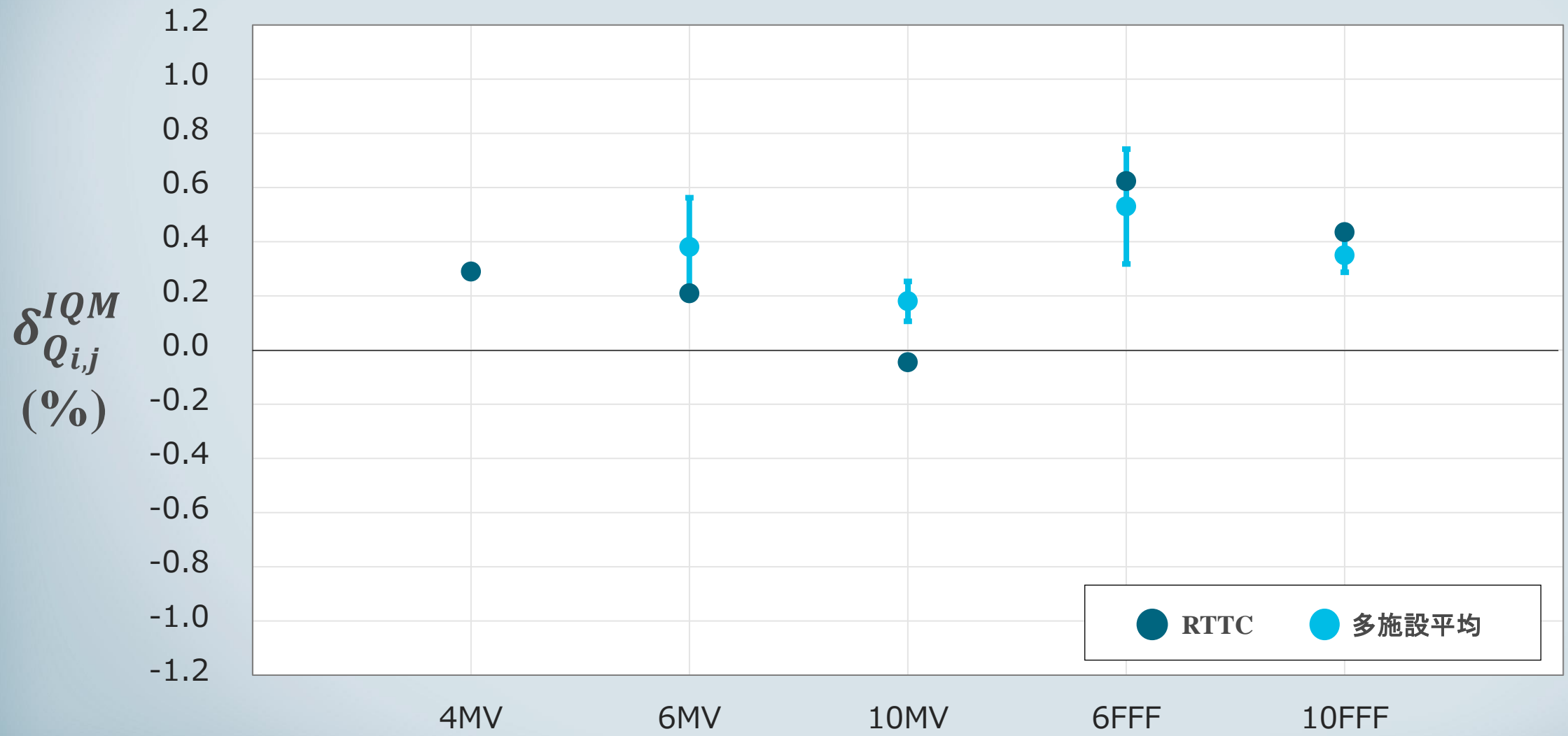
4. 多施設の平均値とRTTCの値を比較する



$i$ : 照射野サイズ  
 $j$ : 施設(今回の場合は1)

# Beam hardening effect

PDD<sub>20,10</sub> の比較



# Surface doses

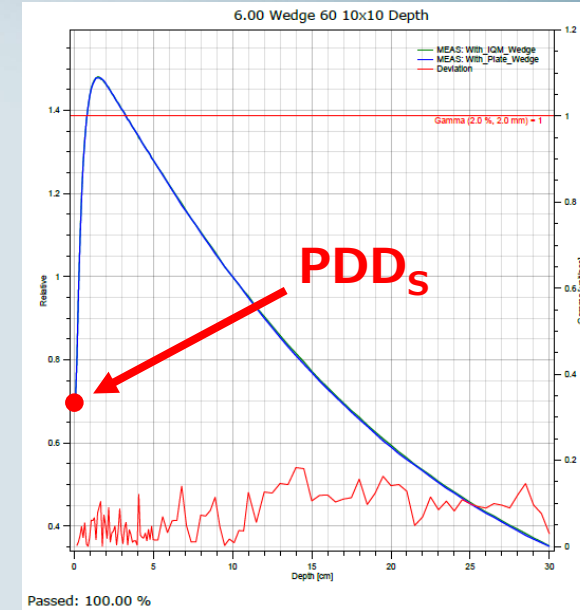
## PDD depth = 0の比較

1. 各照射野サイズでIQM、no IQMの両方で PDD<sub>S</sub> (PDD depth = 0) を取得する

2. (3) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $\delta_{S,i,j}^{IQM}$  を算出する

$$\delta_{S,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{S,i,j}(IQM) - PDD_{S,i,j}(\text{no IQM})}{PDD_{S,i,j}(\text{no IQM})} \quad (3)$$

3. 各照射野サイズにおいて、多施設の平均値とRTTCの値を比較する



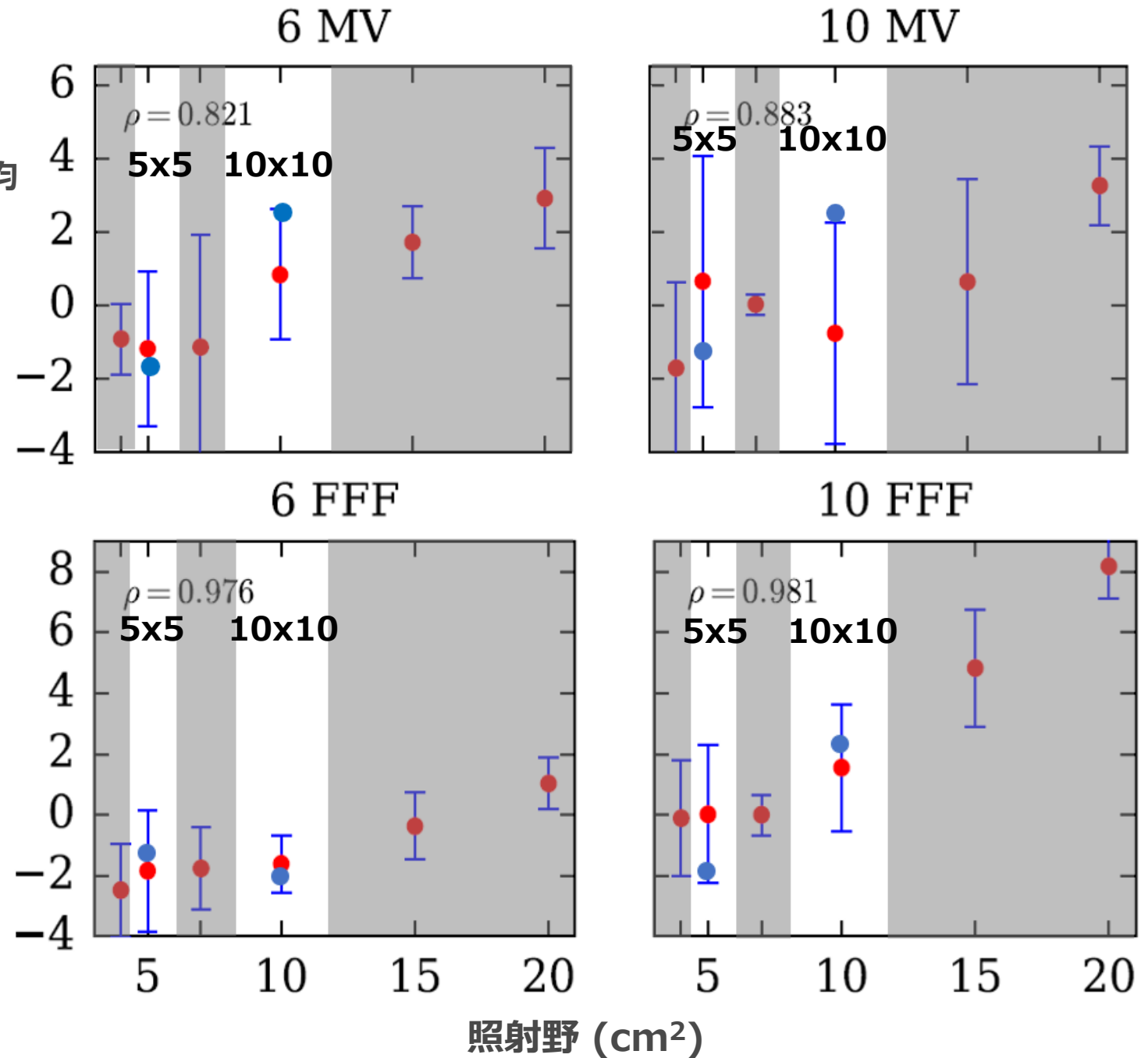
$i$ : 照射野サイズ  
 $j$ : 施設(今回の場合は1)

# Surface doses

PDD depth = 0の比較

● RTTC  
● 多施設試験平均

$\delta_{Si,j}^{IQM}$   
(%)



- RTTCの4MVの測定結果\*
  - ✓ 5x5 : -1.57 %
  - ✓ 10x10 : -1.99 %

\*4MVは論文で報告されていないため未記載



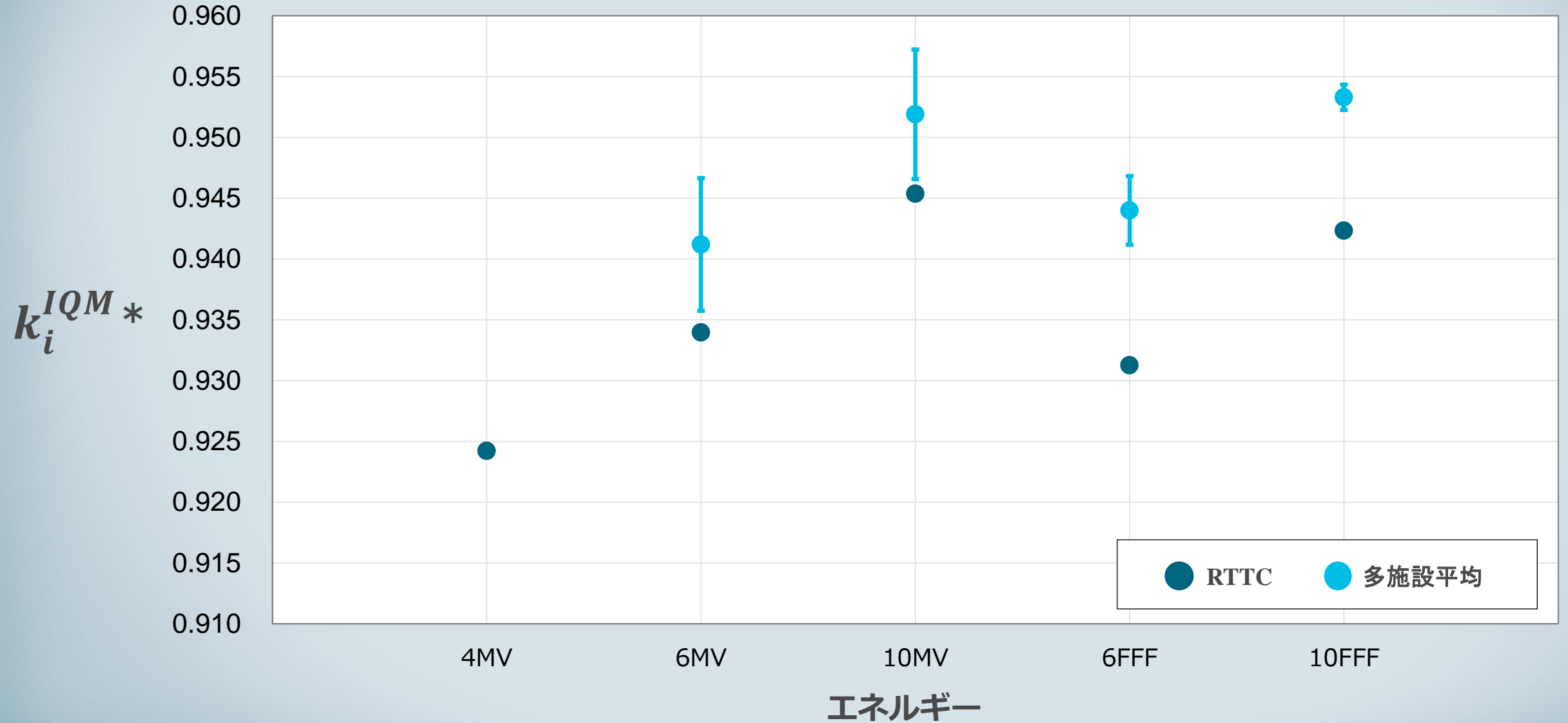
# Transmission factor

1. 各照射野サイズでIQM、no IQMの両方で各照射野サイズごと出力線量を取得する
2. (6) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $k_i^{IQM}$  を算出する

$$k_{Q,i}^{IQM} = 100 \times \frac{D_i \text{ (IQM)}}{D_i \text{ (no IQM)}} \quad (6)$$

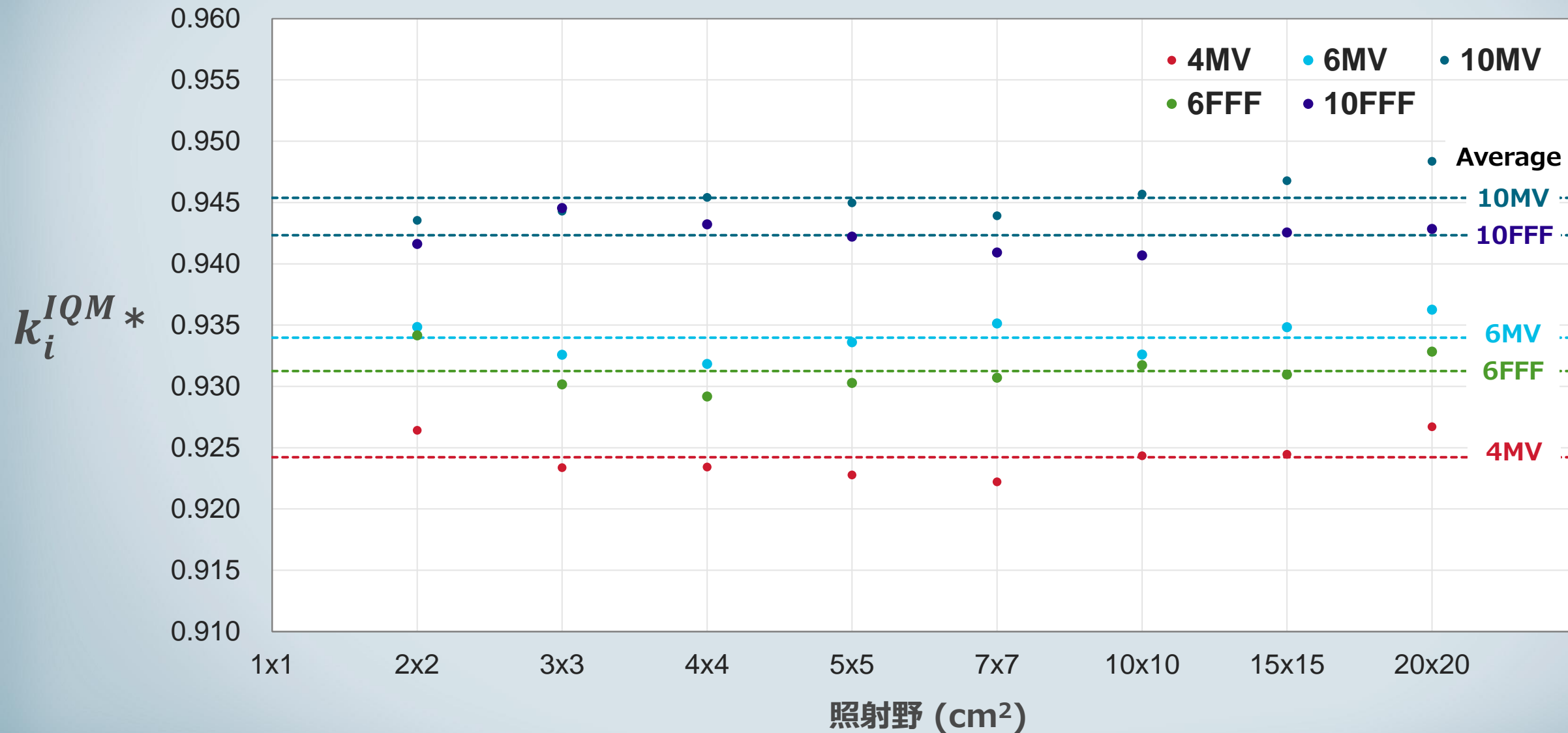
3. 得られた各照射野サイズの  $k_i^{IQM}$  の平均値を求める
4. 多施設の平均値とRTTCの値を比較する

# Transmission factor - 各照射野サイズにおける $k_i^{IQM}$ の平均値



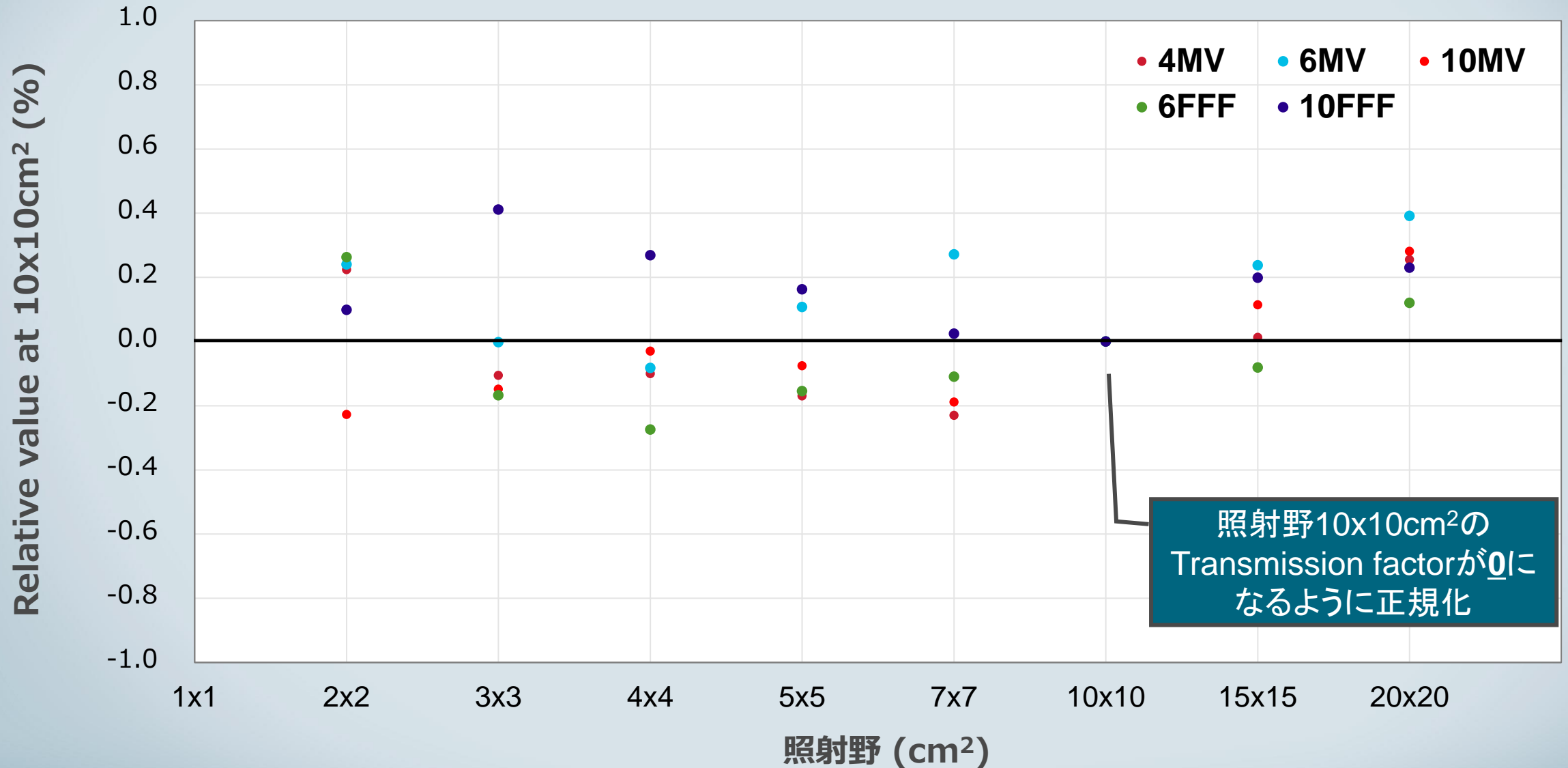
# Transmission factor - 各照射野における $k_i^{IQM}$

\* RTTCの結果



# Transmission factor - 各照射野における $k_i^{IQM}$

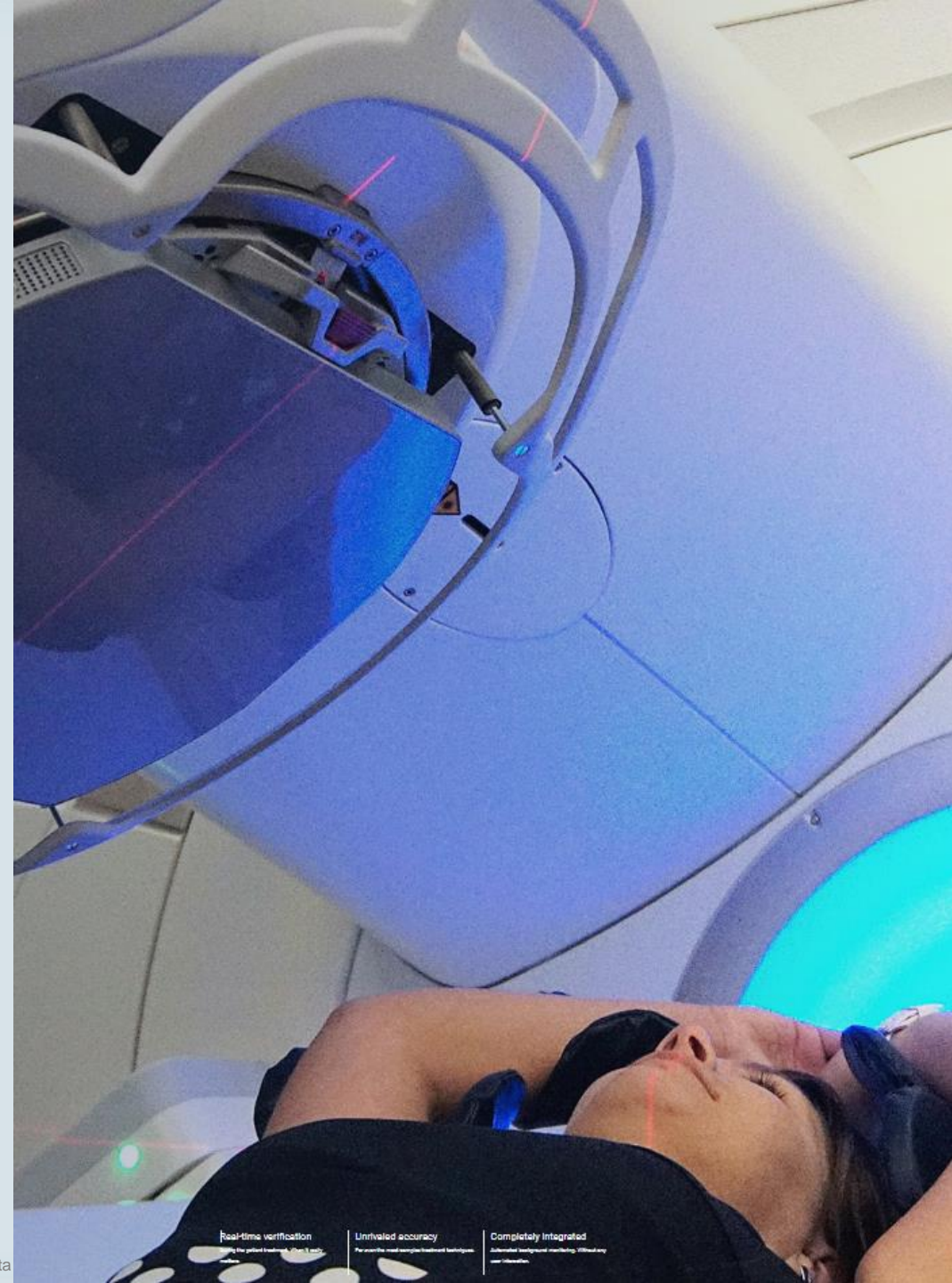
\* RTTCの結果





# 検証内容

1. 先行研究との比較
2. ビームプロファイル評価
3. 減弱板の性能評価
4. EPID画像への影響の評価



# ビームプロファイル評価

- 測定データの取得

**PDD: 照射野 3x3, 10x10, 30x30 cm<sup>2</sup>**

**OCR: 照射野 3x3, 10x10, 30x30 cm<sup>2</sup> @ 10 cm depth**

- 測定データの解析・比較

Monacoで計算した結果と水ファントムの測定結果を比較する  
ツール『**Monaco Commissioning Utility**』を使用して評価

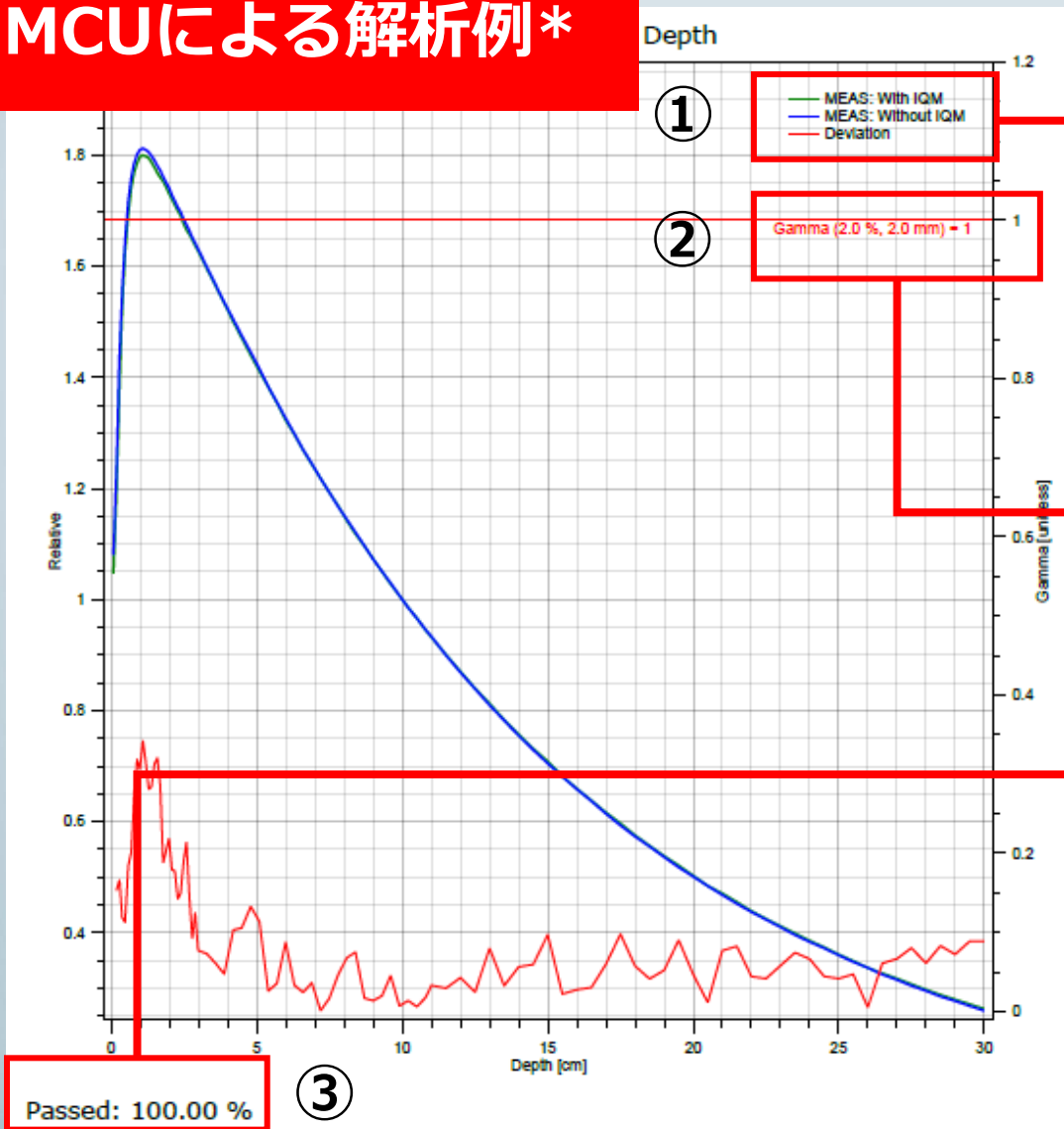


『MCU』

- Monaco Commissioning Utility -

# ビームプロファイル評価

## MCUによる解析例\*



- MEAS: With\_IQM
- MEAS: Without\_IQM
- Deviation

- IQMを装着して取得
- IQMを装着せず取得
- $\gamma$ -index

2mm/2%,  
Global,  
threshold:10%

Gamma (2.0 %, 2.0 mm) = 1 |  $\gamma$ -index = 1となるライン

Passed: 100.00 %  $\gamma$ -pass ratio

\* PDDは10cm深、OCR 中心軸で正規化

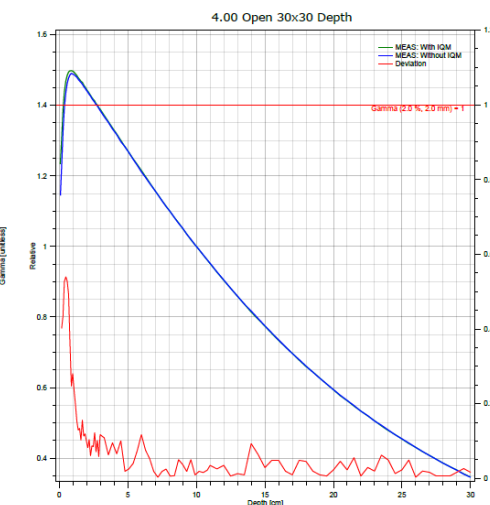
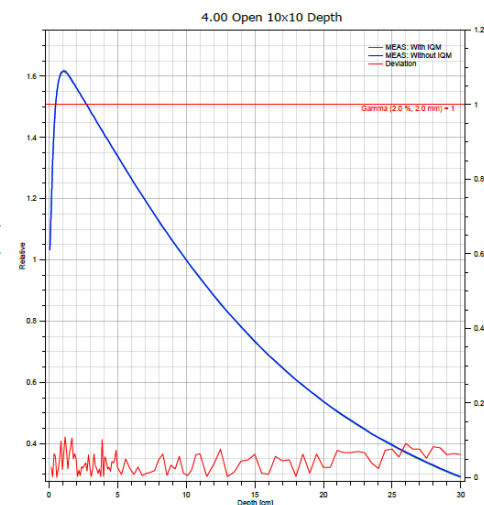
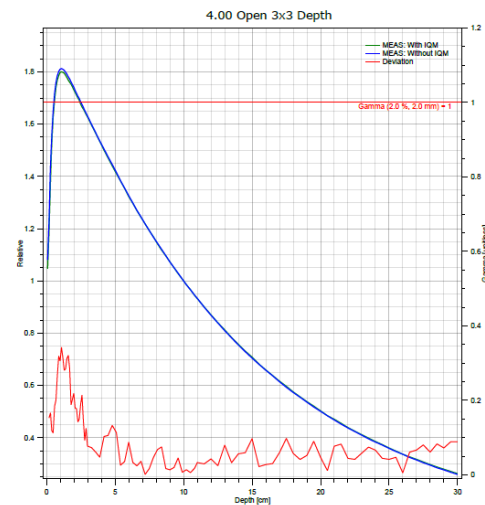
# ビームプロファイル評価 - 4MV

PDD

3×3

10×10

30×30

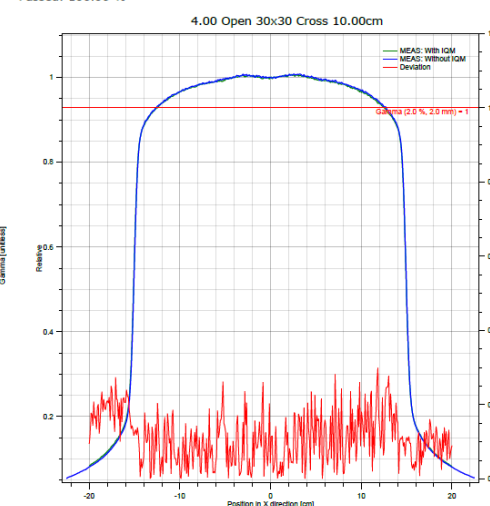
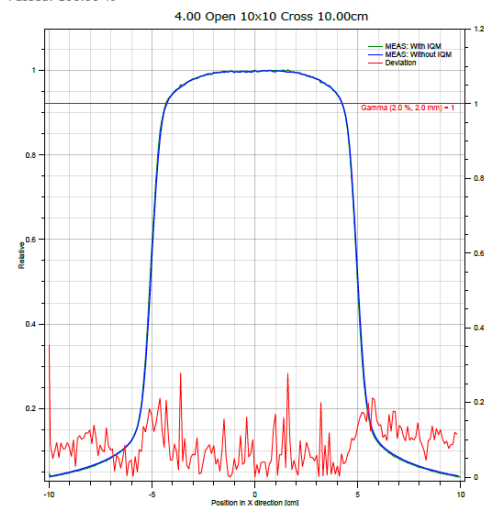
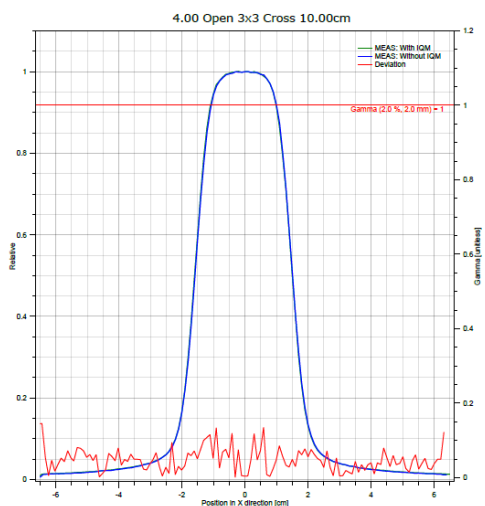


Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

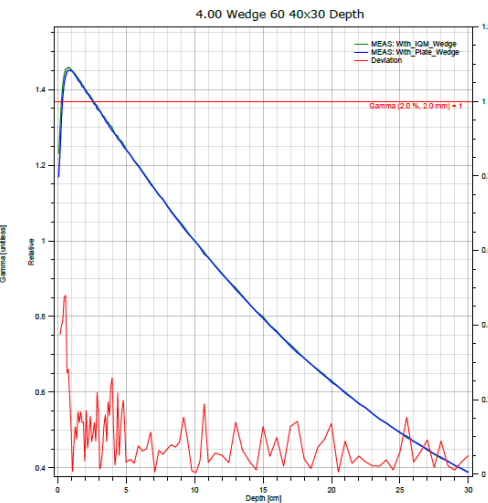
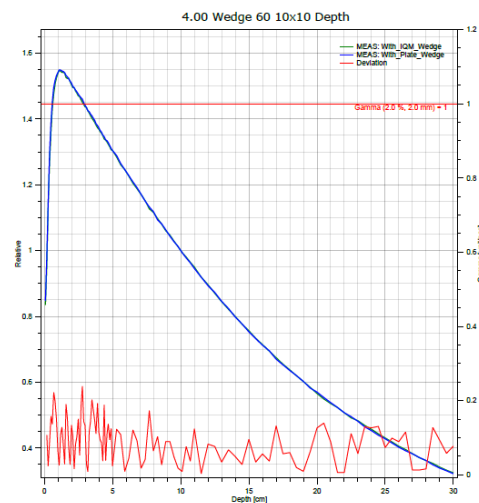


# ビームプロファイル評価 - 4MV Wedge

PDD

10×10

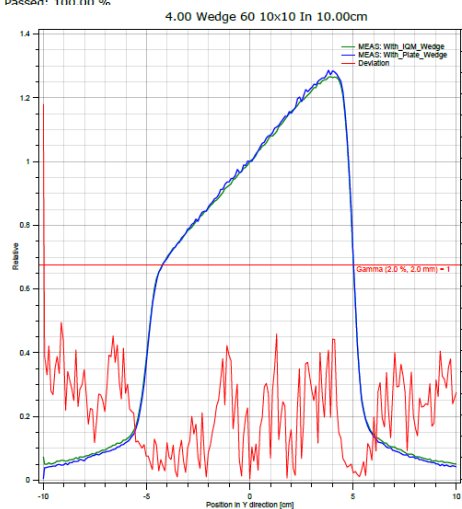
30×40



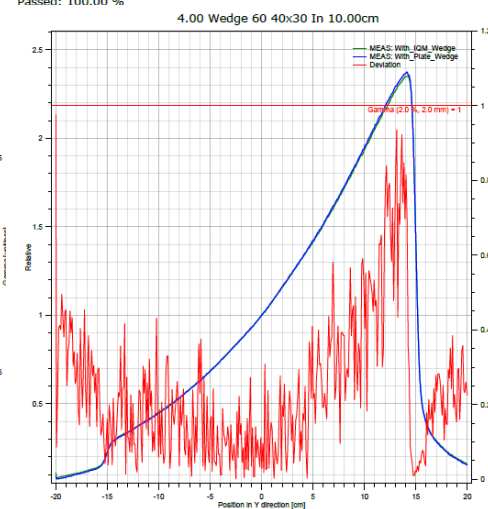
Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 99.50 %



Passed: 100.00 %

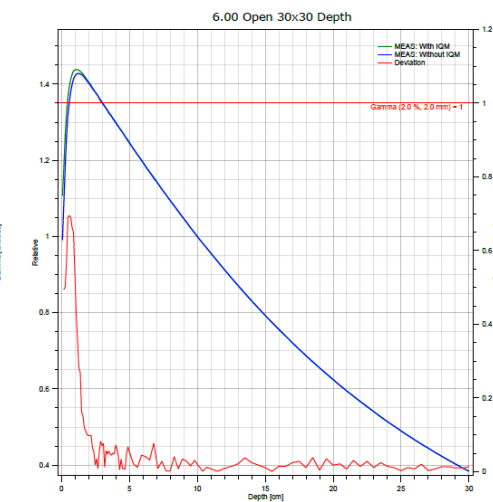
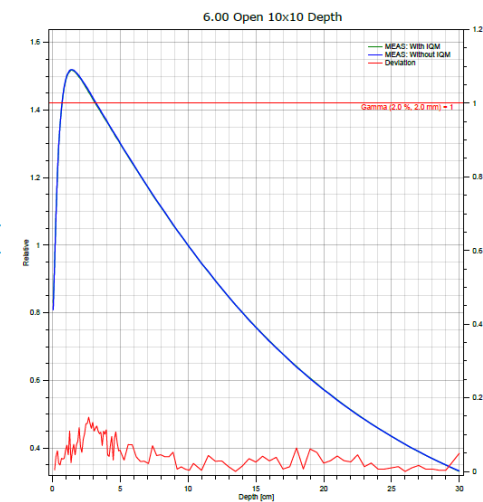
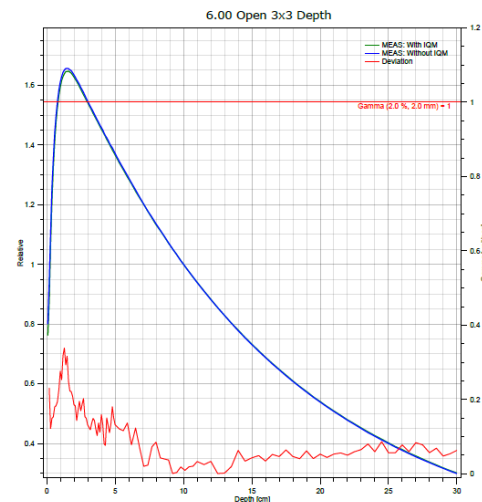
# ビームプロファイル評価 - 6MV

PDD

3×3

10×10

30×30

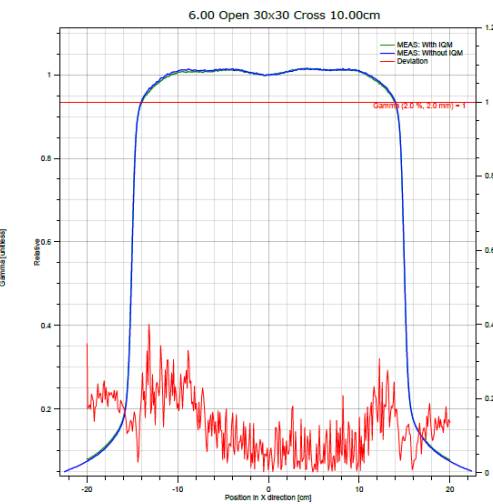
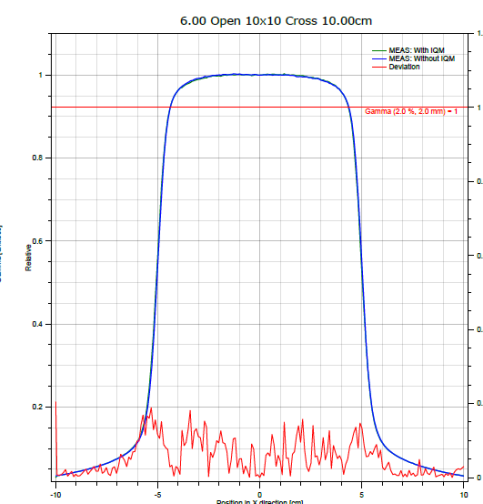
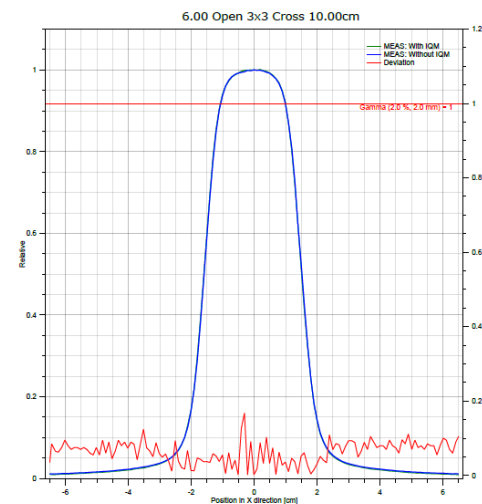


Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

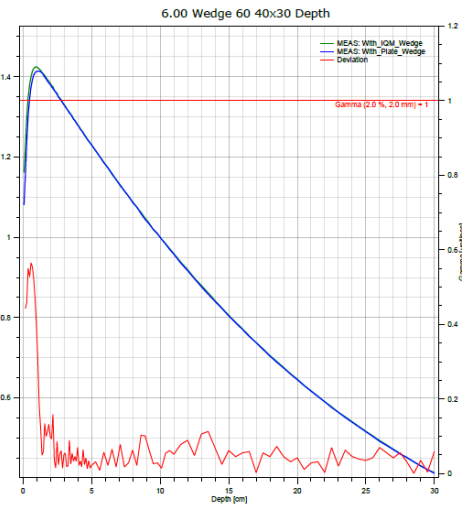
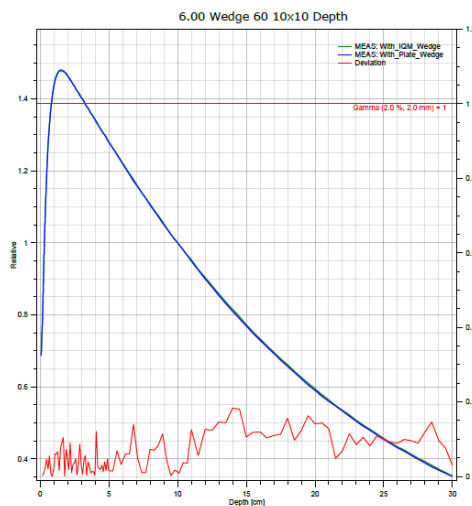
Passed: 100.00 %

# ビームプロファイル評価 - 6MV Wedge

PDD

10×10

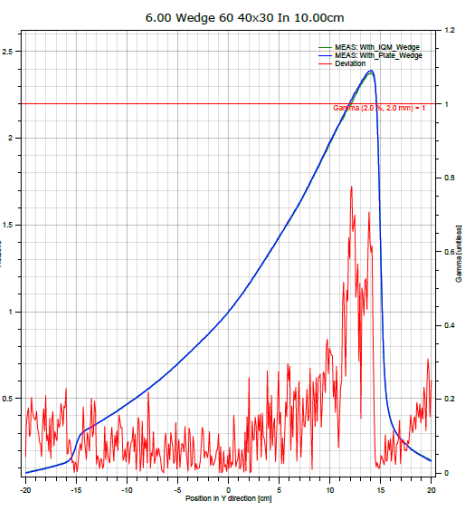
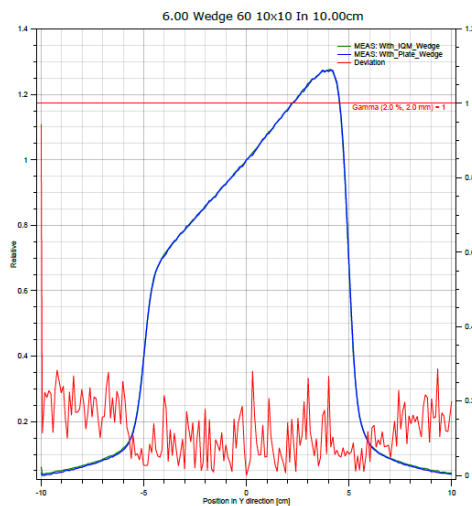
30×40



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

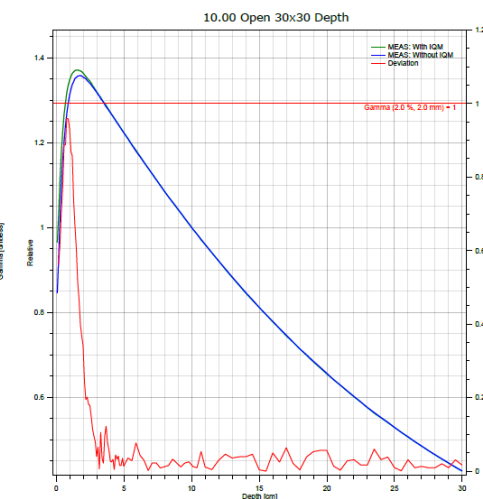
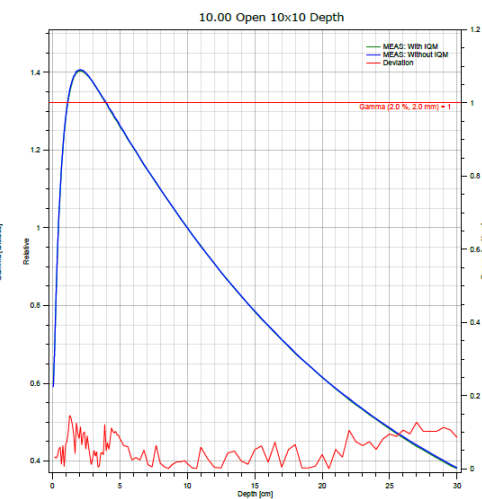
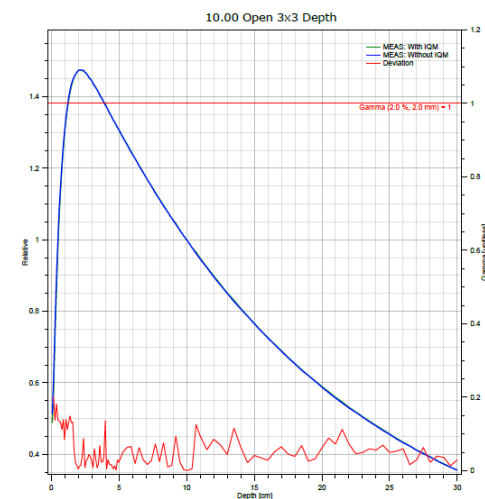
# ビームプロファイル評価 - 10MV

PDD

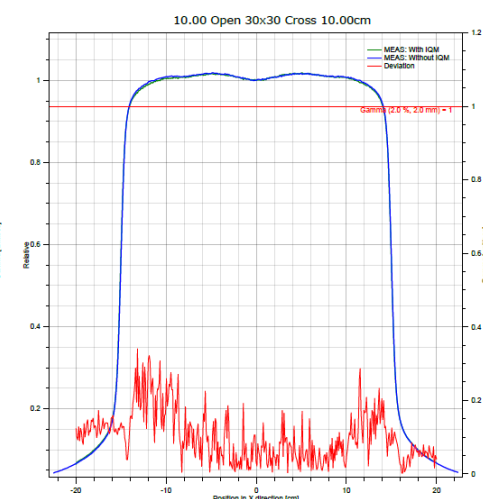
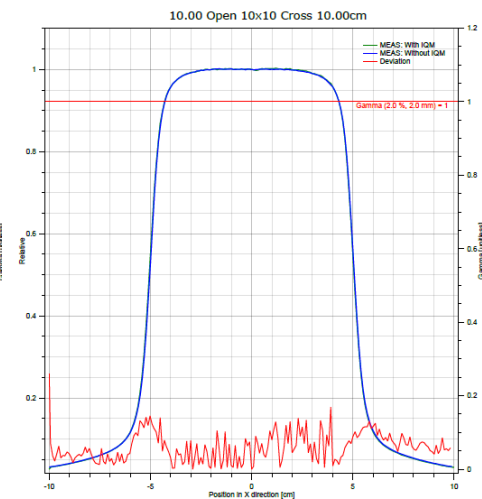
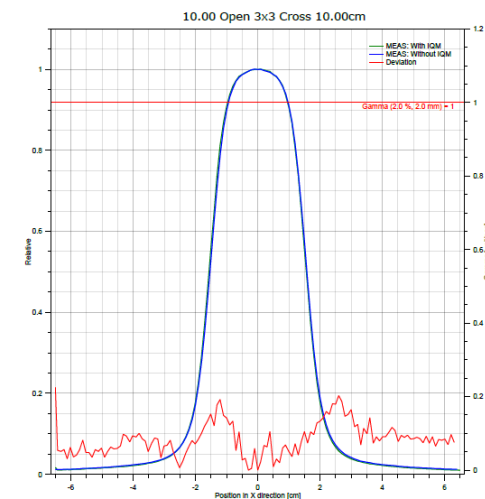
3×3

10×10

30×30



OCR

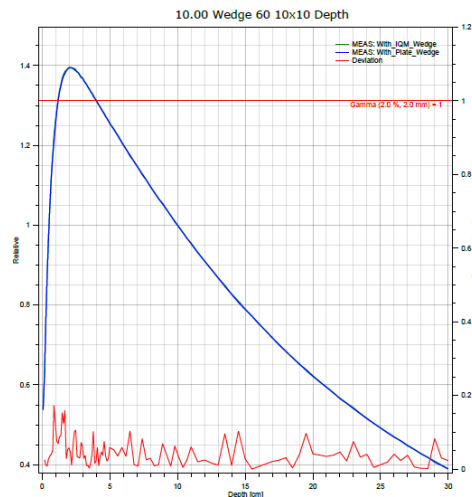
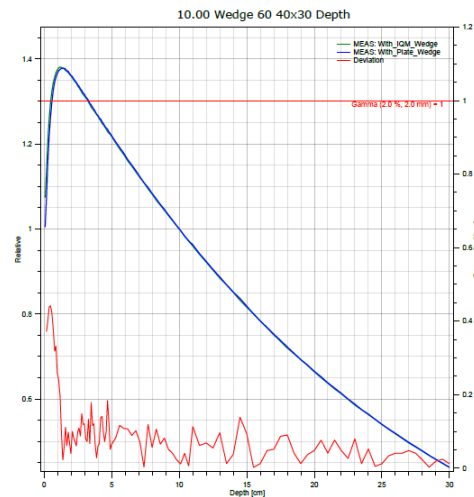


# ビームプロファイル評価 - 10MV Wedge

PDD

10×10

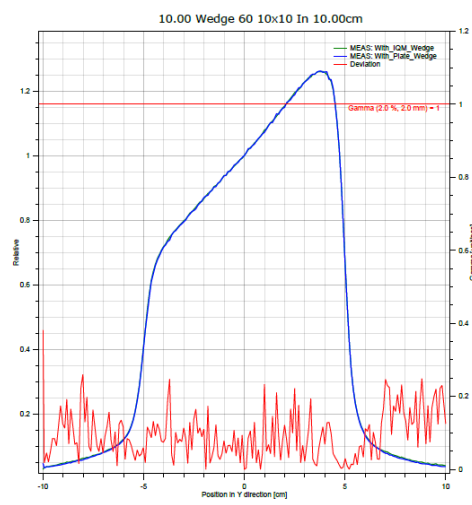
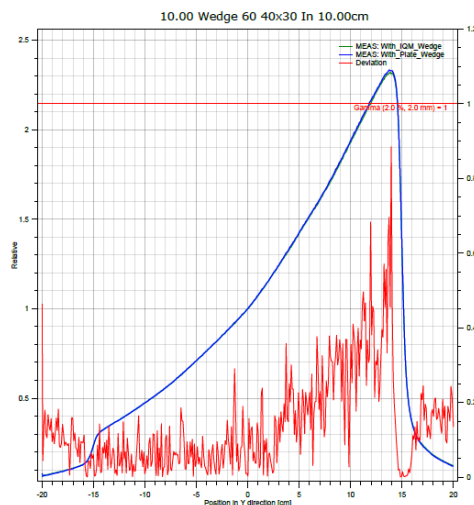
30×30



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

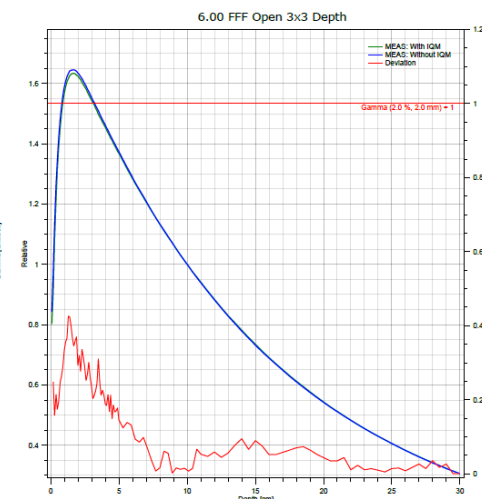
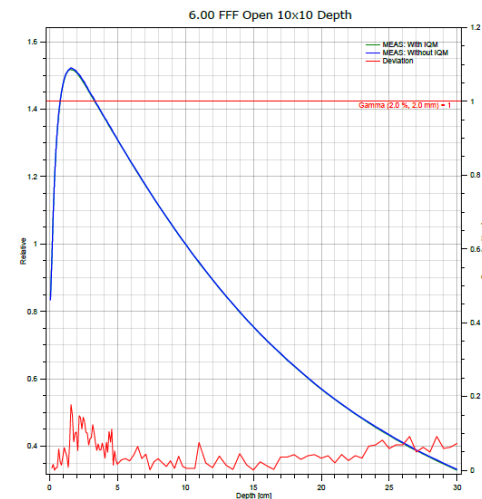
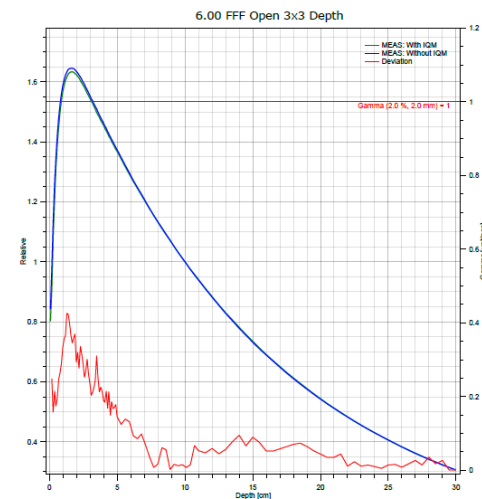
# ビームプロファイル評価 - 6FFF

PDD

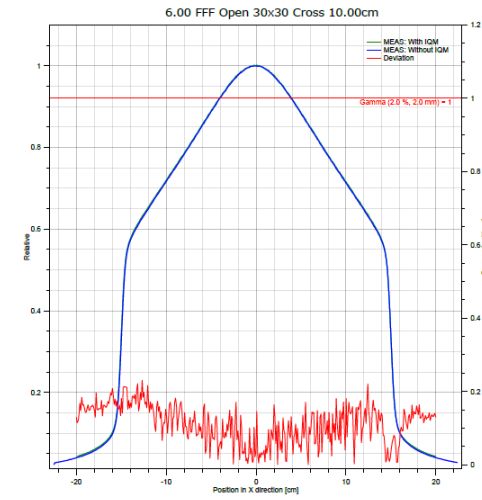
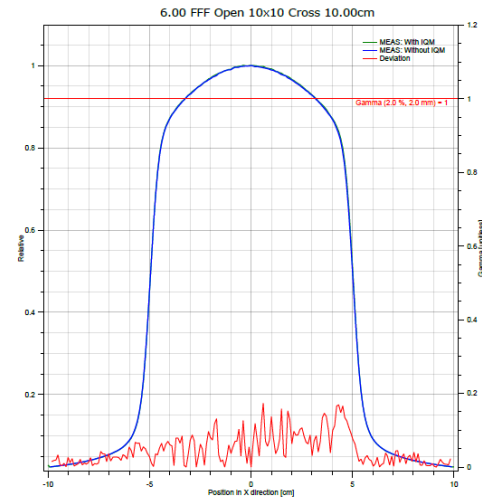
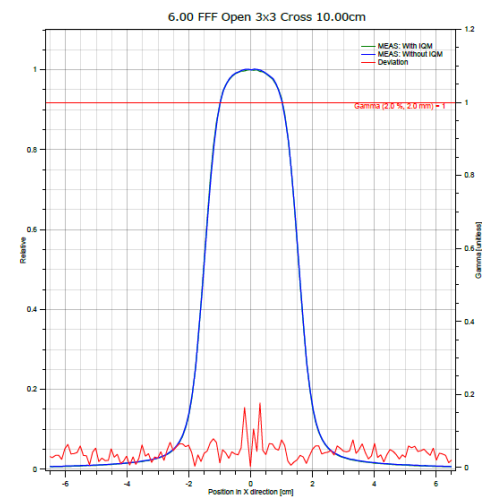
3×3

10×10

30×30



OCR





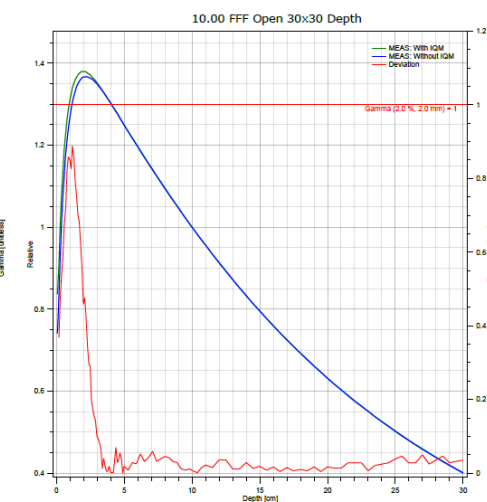
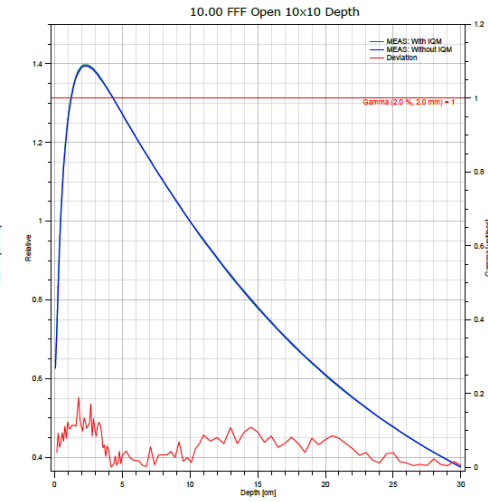
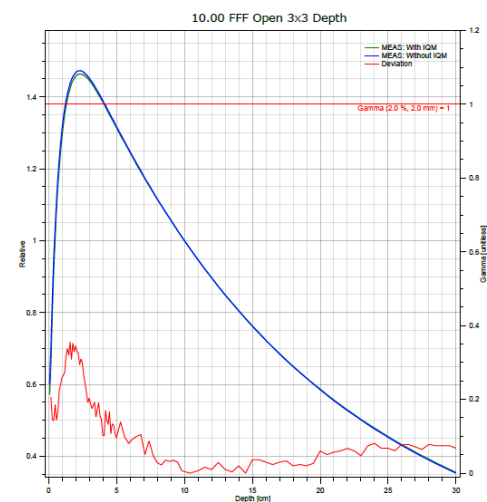
# ビームプロファイル評価 - 10FFF

PDD

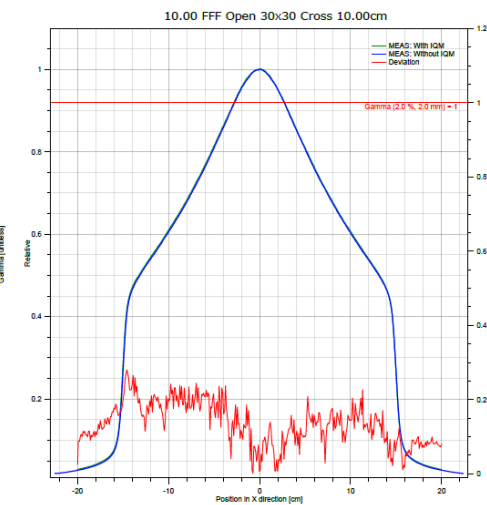
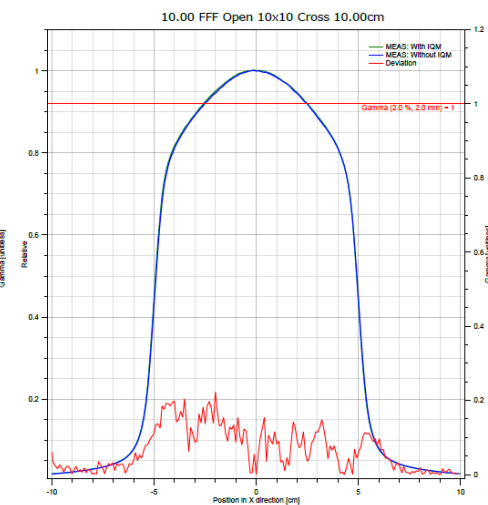
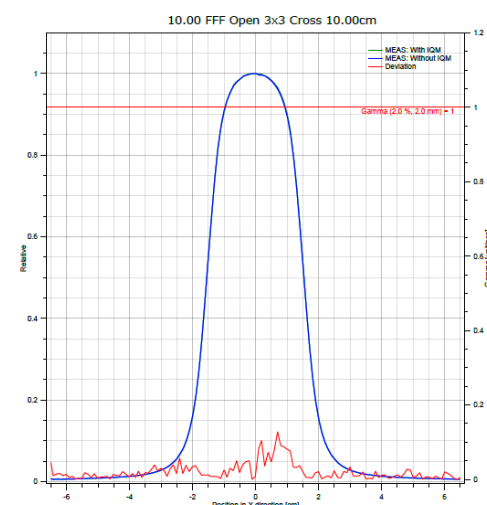
3×3

10×10

30×30



OCR



# 検証内容と結果

1. 先行研究との比較
2. ビームプロファイル評価
3. 減弱板の性能評価
4. EPID画像への影響の評価



# 評価項目



## Casarらの調査項目と同じ項目を減弱板で実施

- Beam hardening effect

減弱板 および no IQM間のPDD<sub>20,10</sub>の差異を算出し、IQMと比較する

$$\delta_{Q,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{20,10,i,j}(IQM) - PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)}{PDD_{20,10,i,j}(no\ IQM)} \quad (1)$$

- Surface doses

減弱板 および no IQM間のPDD depth 0 cmの差異を算出し、IQMと比較する

$$\delta_{S,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{S,i,j}(IQM) - PDD_{S,i,j}(no\ IQM)}{PDD_{S,i,j}(no\ IQM)} \quad (3)$$

- Transmission factor

減弱板 および no IQMの出力の差異を算出し、IQMと比較する

$$k_{Q,i}^{IQM} = 100 \times \frac{D_i (IQM)}{D_i (no\ IQM)} \quad (6)$$

- プロファイル評価

減弱板 および IQMのプロファイルを比較

- TPR<sub>20,10</sub>評価 - 照射野サイズ: 10x10cm<sup>2</sup>

減弱板、IQMおよび no IQMのTPR<sub>20,10</sub>を比較

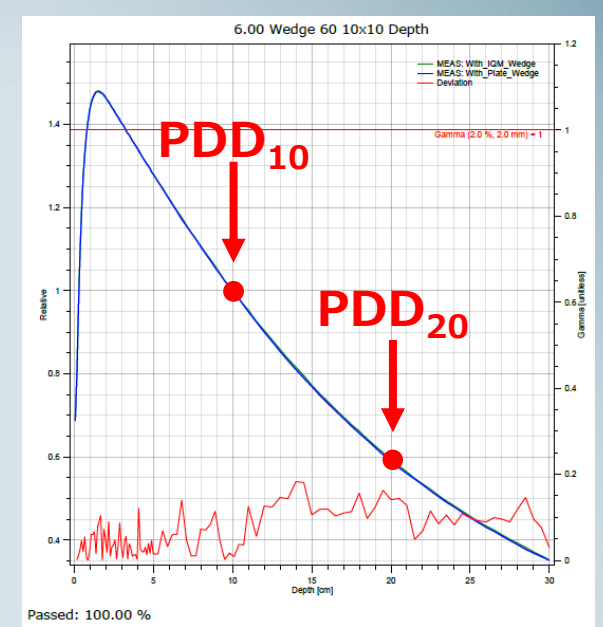
# Beam hardening effect

## PDD<sub>20,10</sub> の比較

1. 各照射野サイズで減弱板、no IQMの両方でPDD<sub>10</sub>およびPDD<sub>20</sub>の比 (PDD<sub>20,10</sub>) を求める
2. (1) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $\delta_{Q_{i,j}}^{Plate}$  を算出する

$$\delta_{Q_{i,j}}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{20,10,i,j}(IQM) - PDD_{20,10,i,j}(no \ IQM)}{PDD_{20,10,i,j}(no \ IQM)} \quad (1)$$

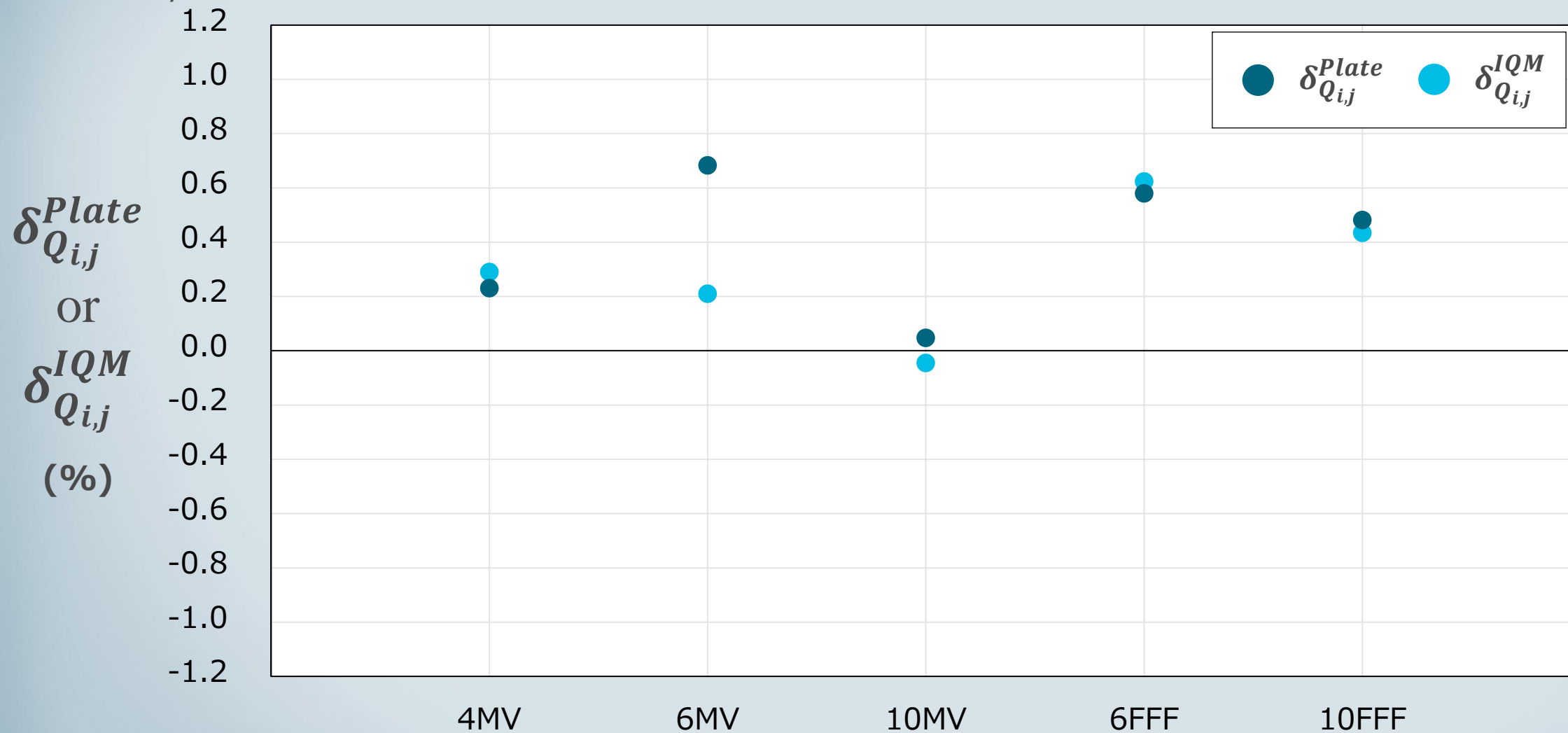
3. 得られた各照射野サイズの  $\delta_{Q_{i,j}}^{Plate}$  の平均値を求める
4. IQMを装着して測定および算出した値  $\delta_{Q_{i,j}}^{IQM}$  と  $\delta_{Q_{i,j}}^{Plate}$  を比較する



$i$ : 照射野サイズ  
 $j$ : 施設(今回の場合は1)

# Beam hardening effect

PDD<sub>20,10</sub>の比較



エネルギー

# Surface doses

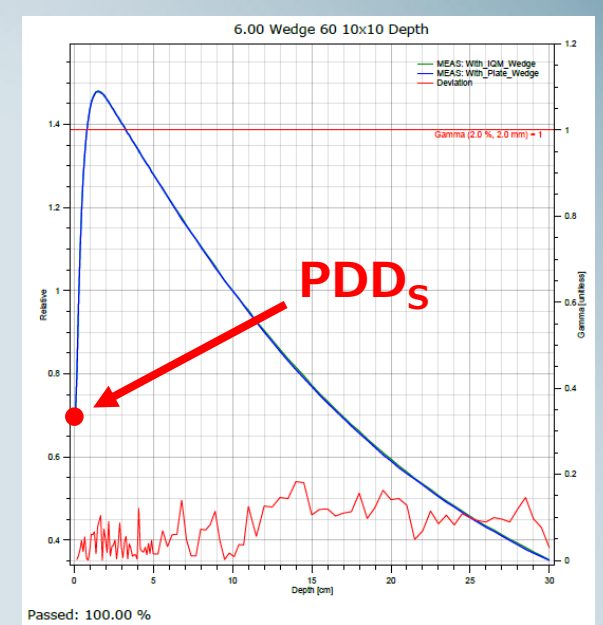
## PDD depth = 0の比較

1. 各照射野サイズで減弱板、no IQMの両方で PDD<sub>S</sub> (PDD depth = 0) を取得する

2. (3) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $\delta_{S,i,j}^{Plate}$  を算出する

$$\delta_{S,i,j}^{IQM} = 100 \times \frac{PDD_{S,i,j}(IQM) - PDD_{S,i,j}(no IQM)}{PDD_{S,i,j}(no IQM)} \quad (3)$$

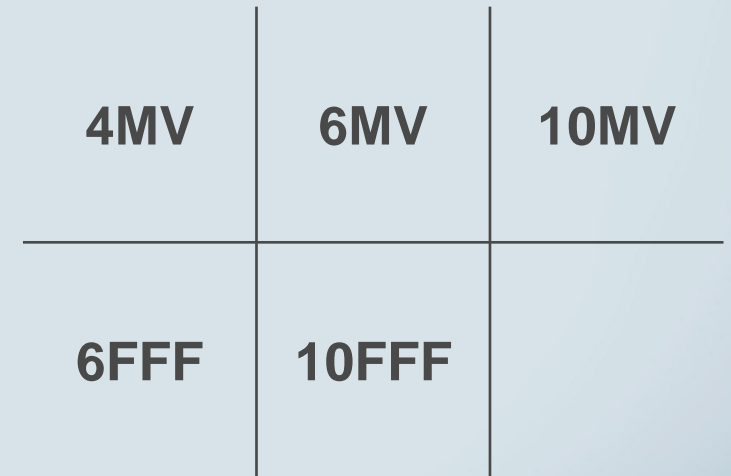
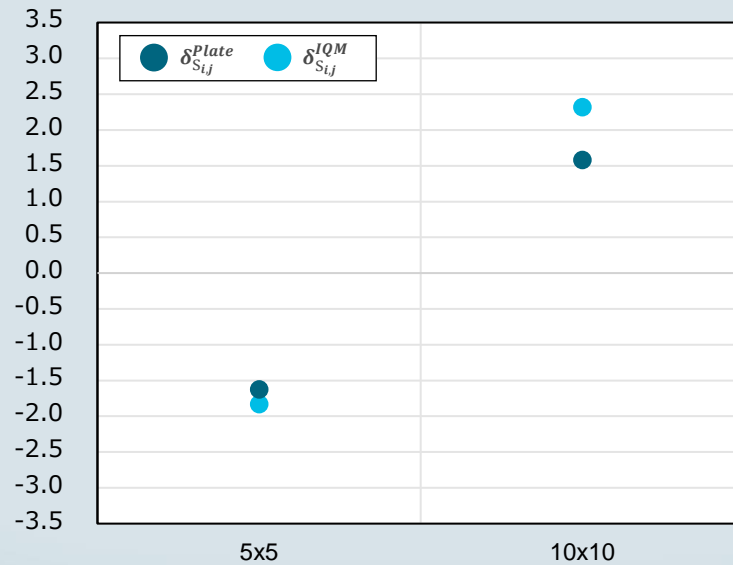
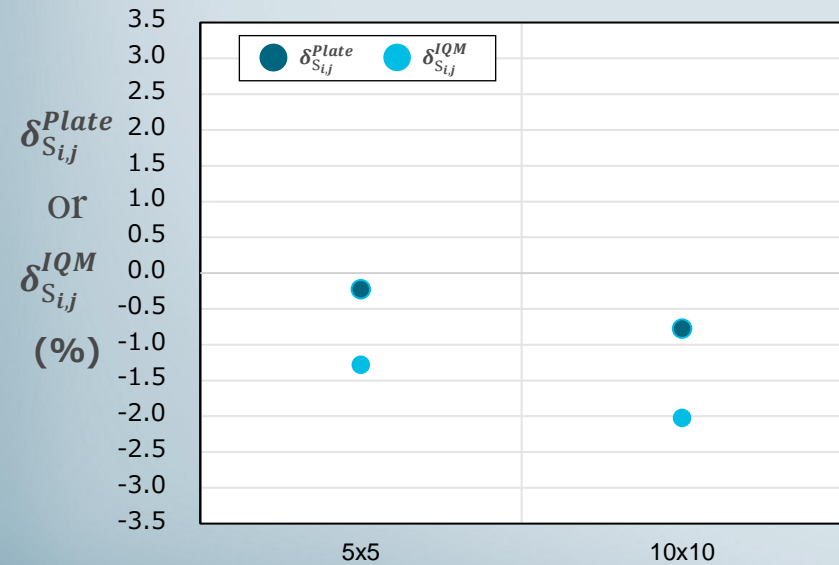
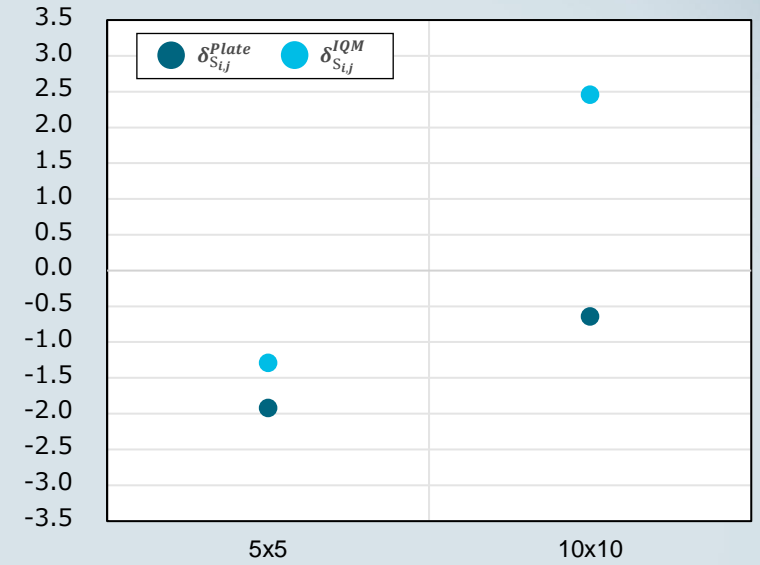
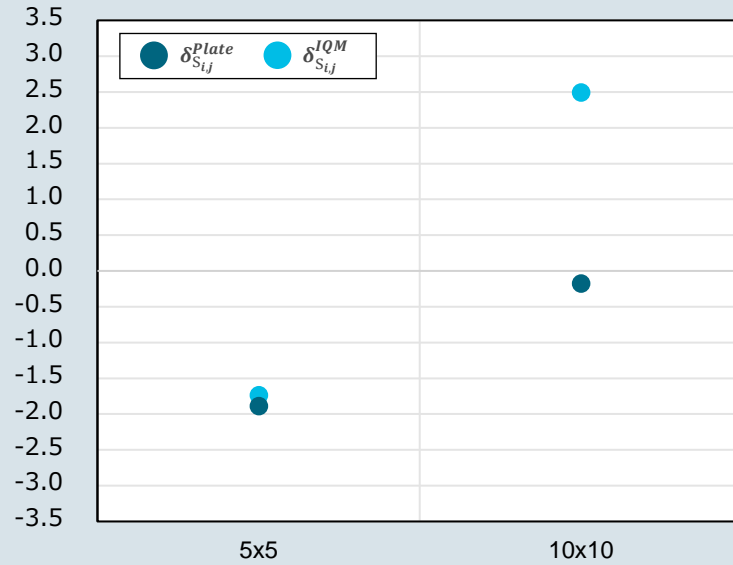
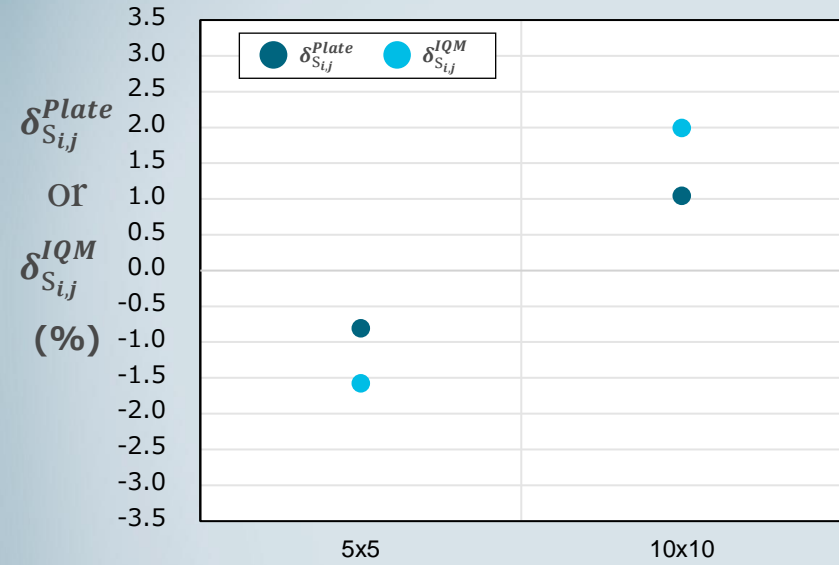
3. IQMを装着して測定し求めた値  $\delta_{S,i,j}^{IQM}$  と  $\delta_{S,i,j}^{Plate}$  を比較する



*i*: 照射野サイズ  
*j*: 施設(今回の場合は1)



# Surface doses PDD<sub>20,10</sub> の比較



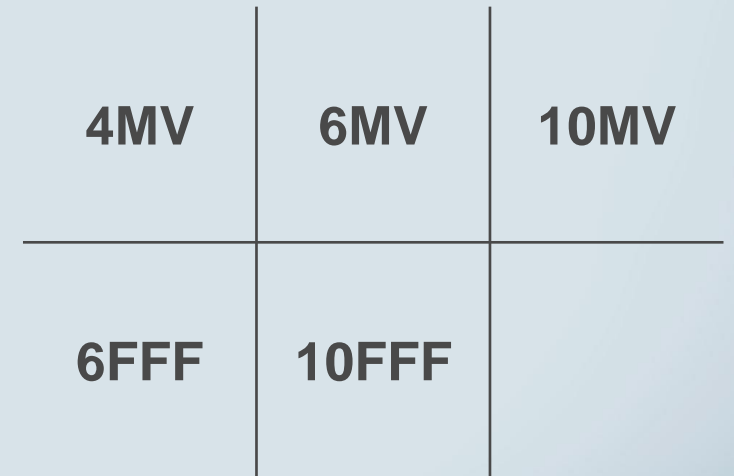
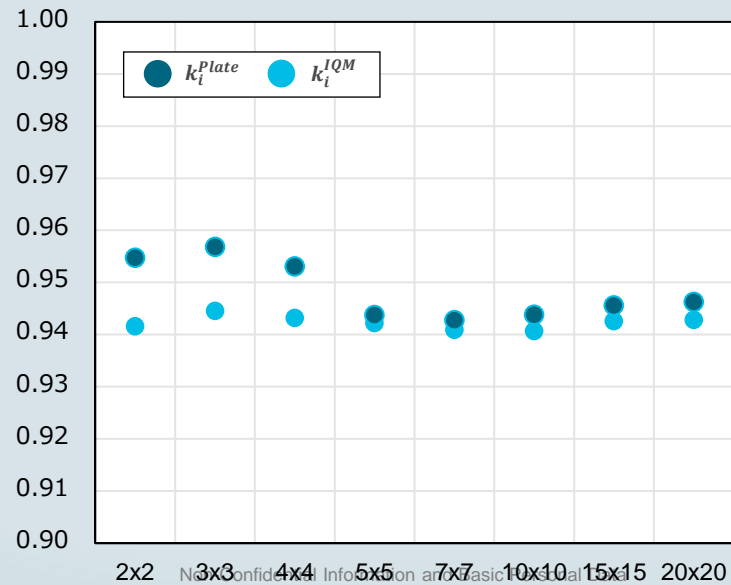
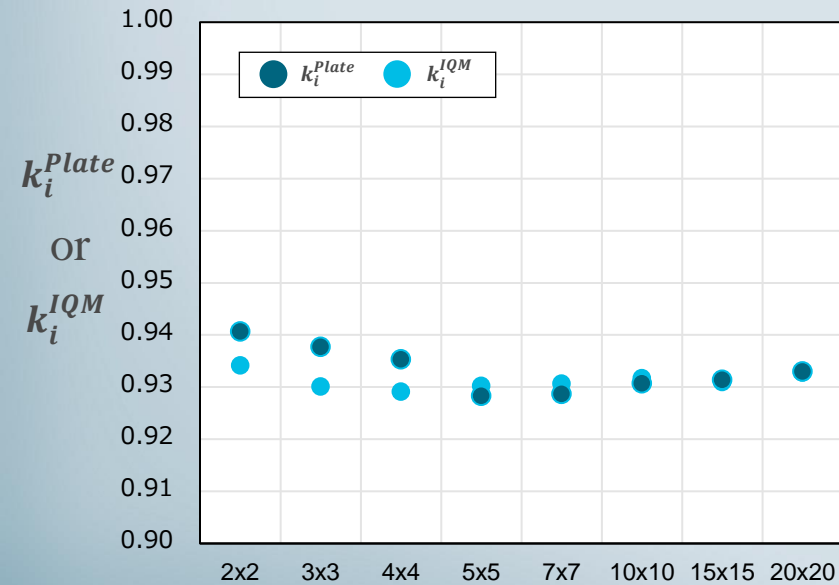
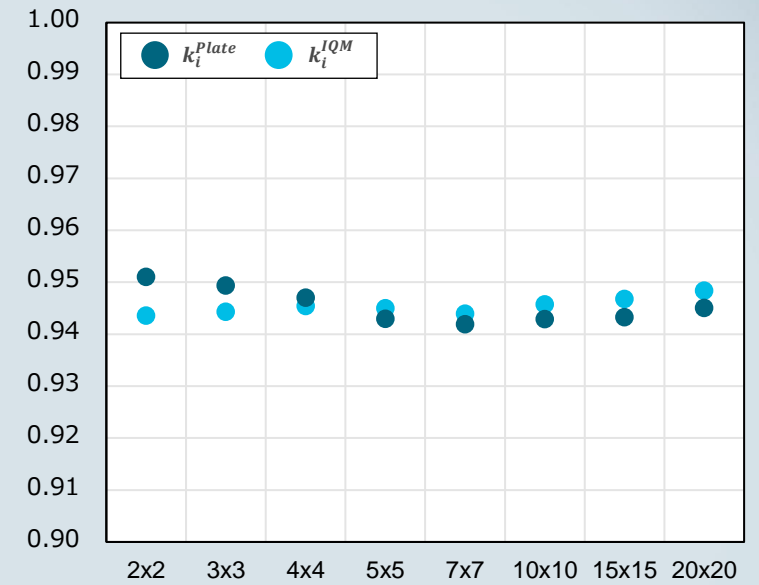
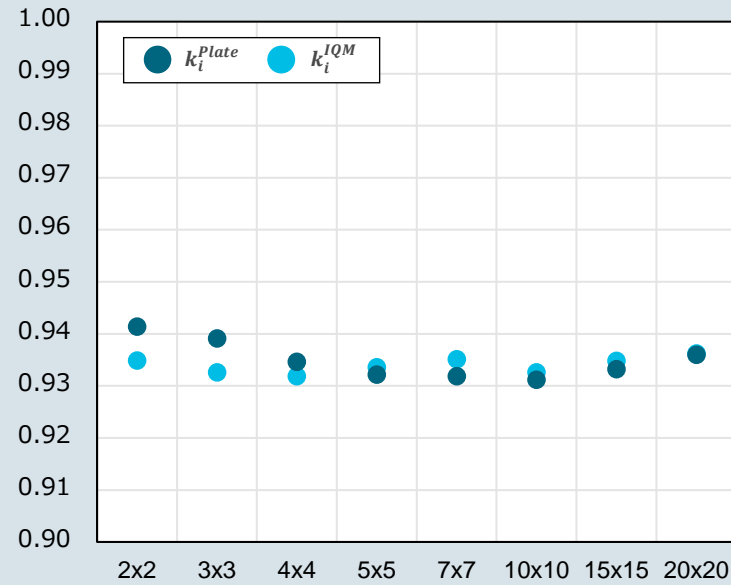
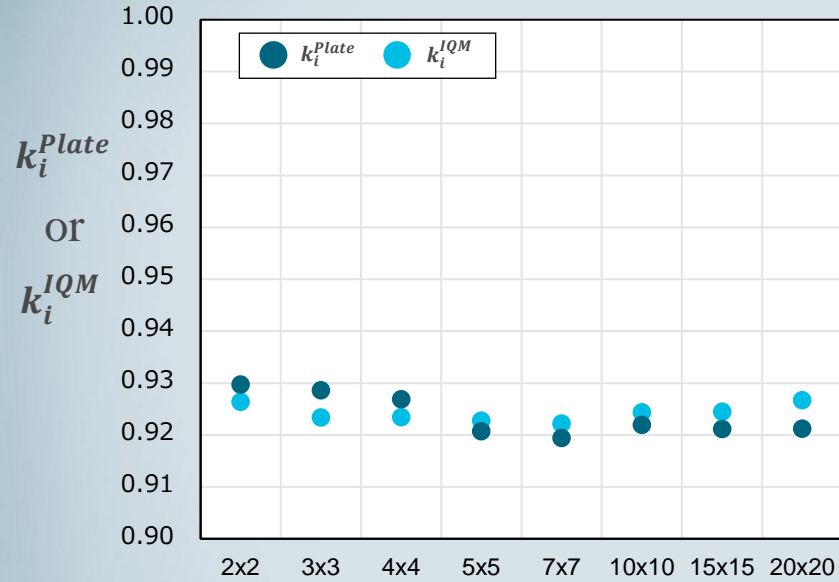
# Transmission factor

1. 各照射野サイズで減弱板、no IQMの両方で各照射野サイズごと出力線量を取得する
2. (6) 式より、各照射野サイズでRTTCにおける  $k_i^{Plate}$  を算出する

$$k_{Q,i}^{IQM} = 100 \times \frac{D_i \text{ (IQM)}}{D_i \text{ (no IQM)}} \quad (6)$$

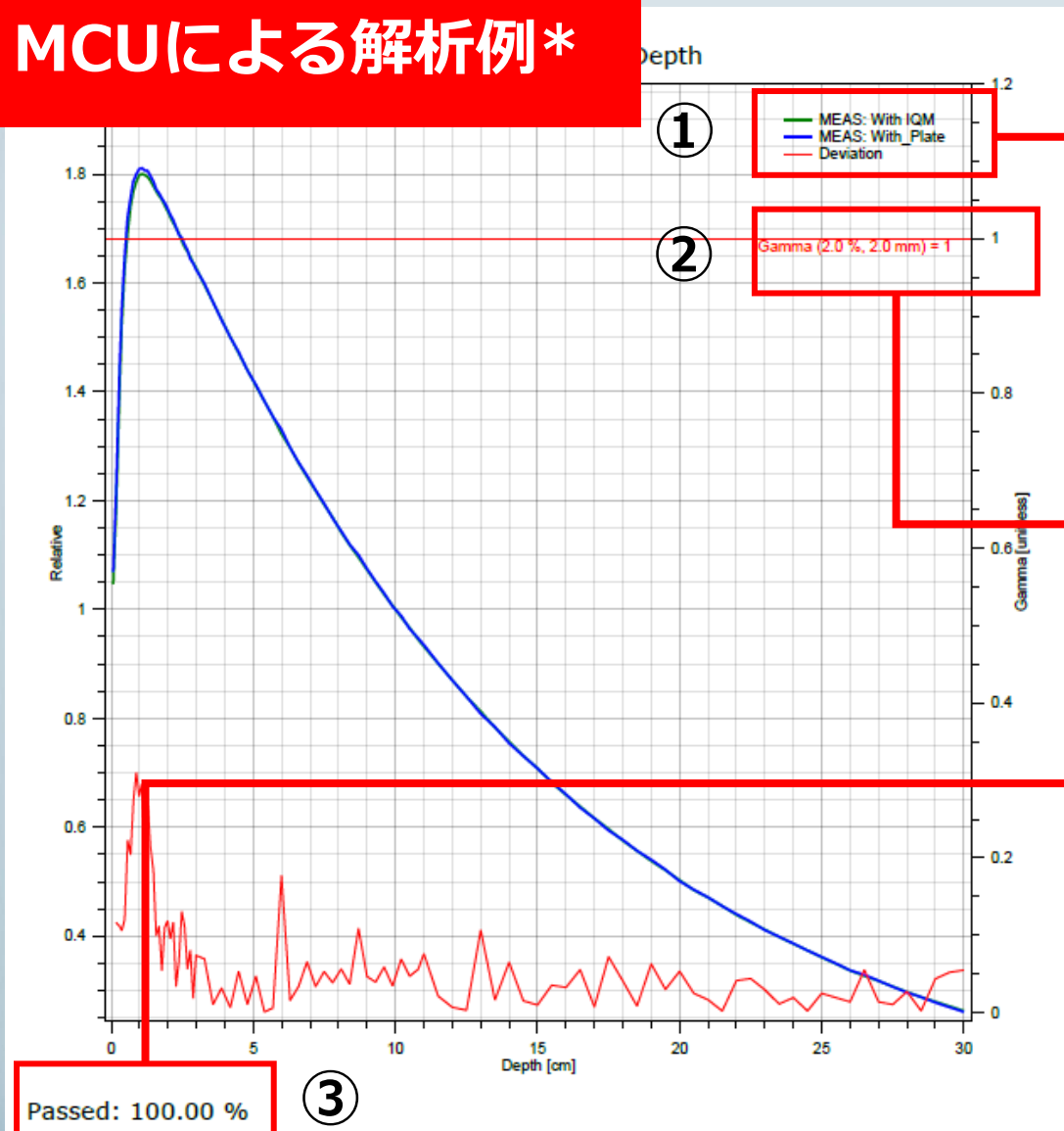
3. 得られた各照射野サイズの  $k_i^{Plate}$  の平均値を求める
4. IQMを装着して測定し算出した値  $k_i^{IQM}$  と  $k_i^{Plate}$  を比較する

# Transmission factor - 各照射野における $k_i^{Plate}$ および $k_i^{IQM}$



# ビームプロファイル評価

## MCUによる解析例\*



- MEAS: With IQM
- MEAS: With Plate
- Deviation

- IQMを装着して取得
- 減弱板を装着して取得
- $\gamma$ -index

2mm/2%,  
Global,  
threshold:10%

Gamma (2.0 %, 2.0 mm) = 1

$\gamma$ -index = 1となるライン

Passed: 100.00 %  $\gamma$ -pass ratio

\* PDDは10cm深、OCR 中心軸で正規化

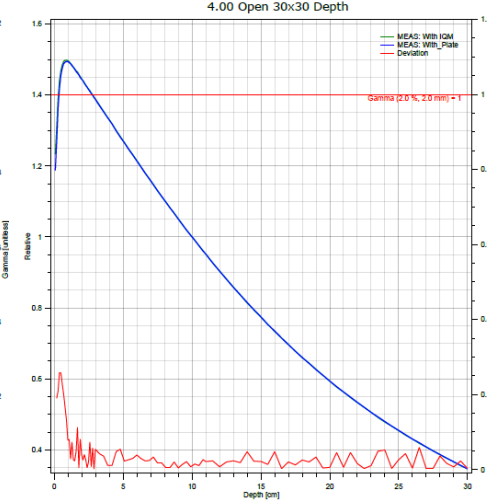
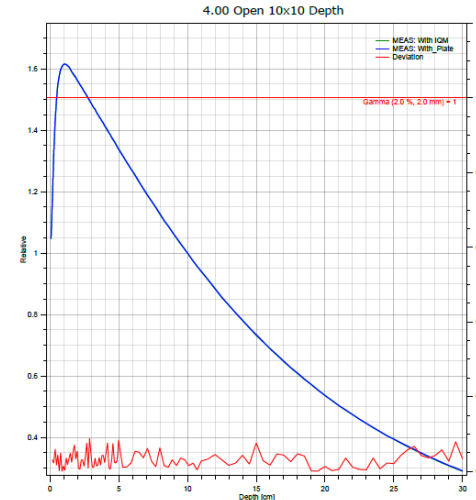
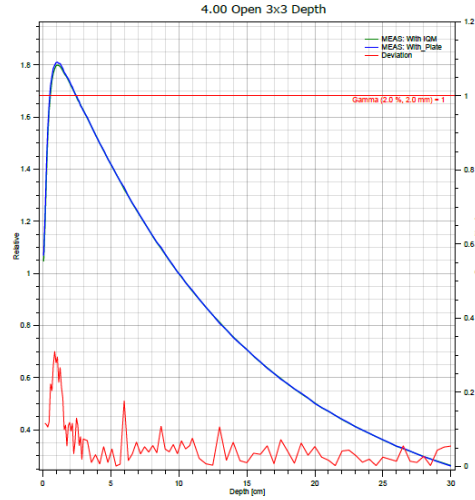
# プロファイル評価 - 4MV

PDD

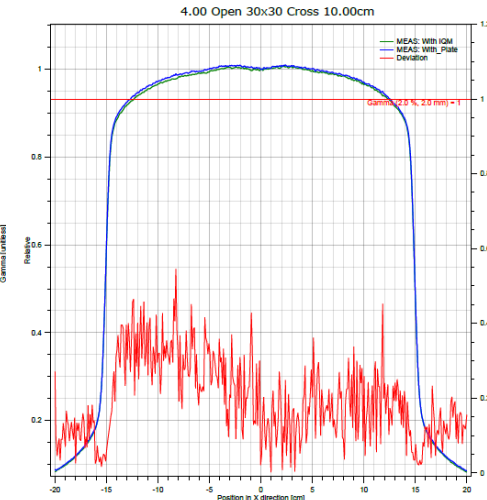
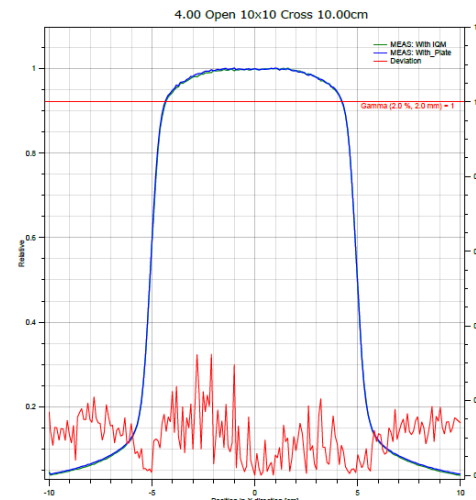
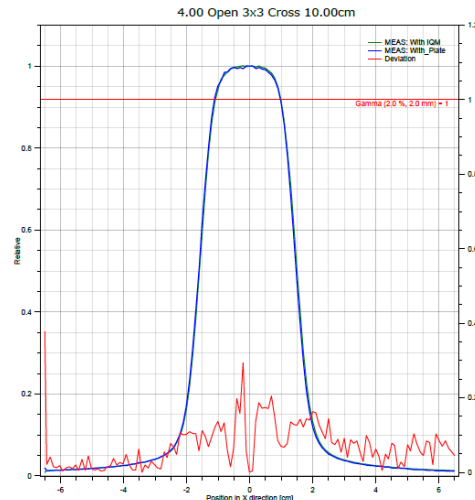
3×3

10×10

30×30



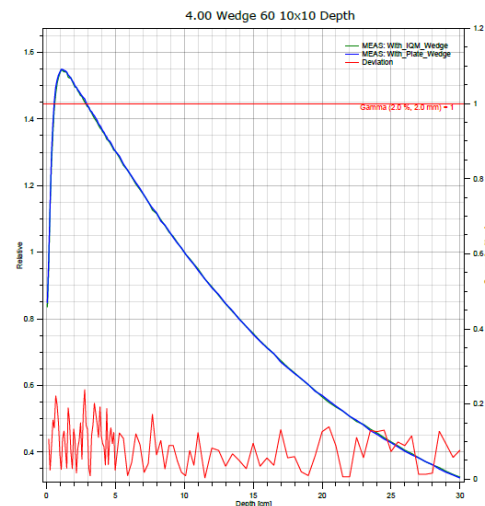
OCR



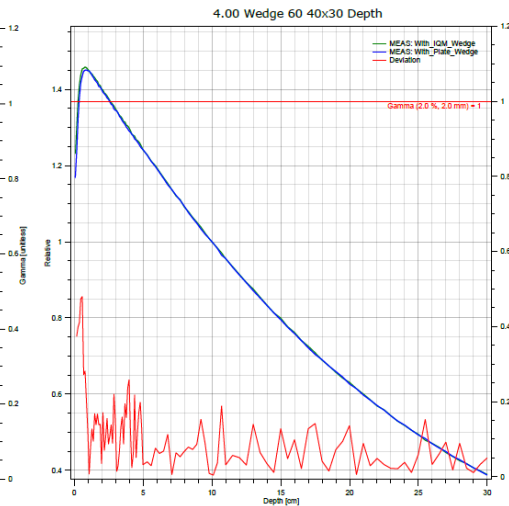
# プロフィール評価 - 4MV Wedge

PDD

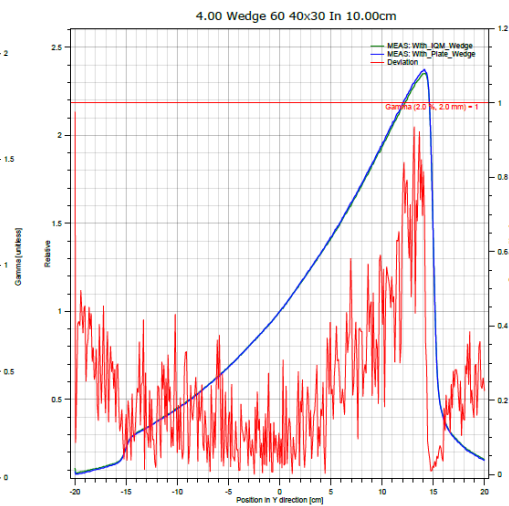
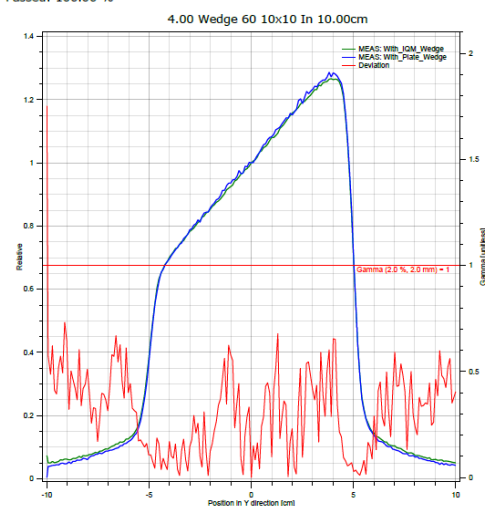
## 10×10



## 30×30



OCR





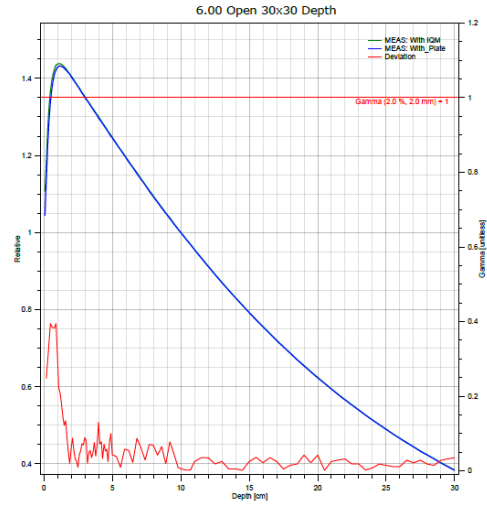
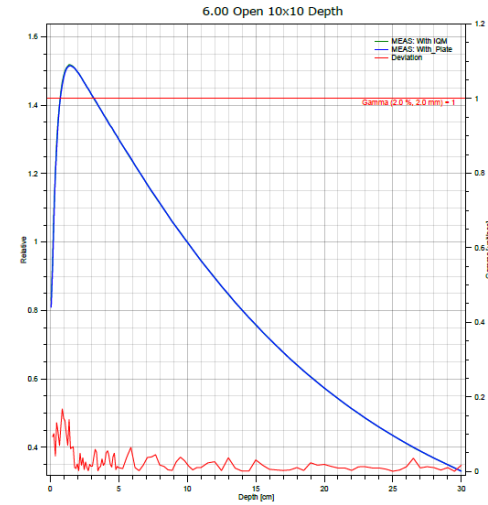
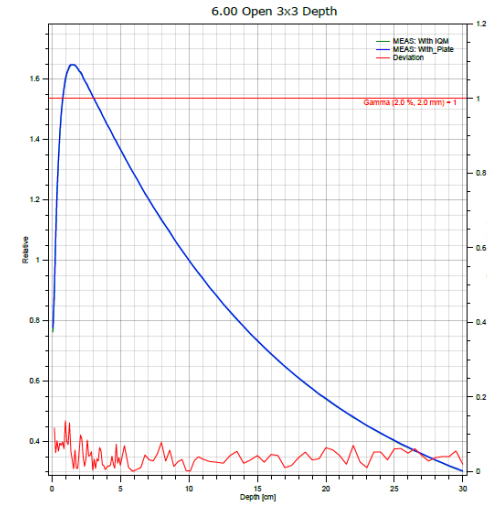
# プロフィール評価 - 6MV

PDD

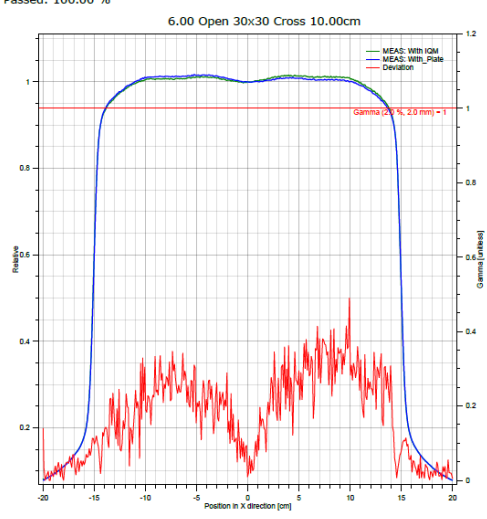
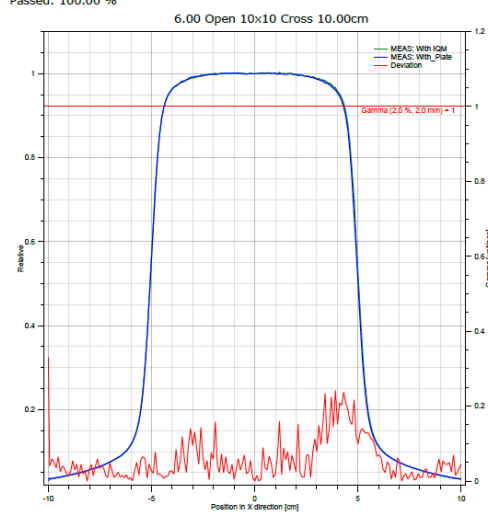
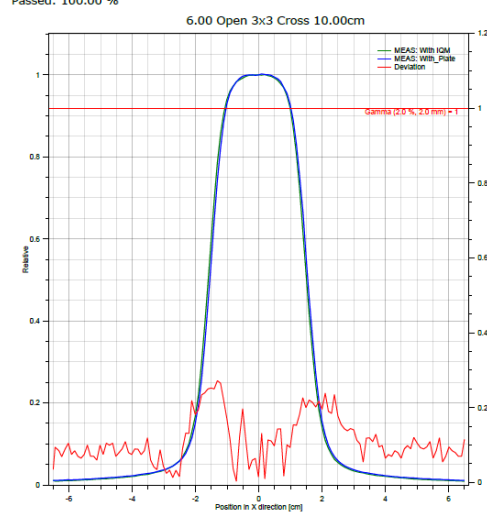
3×3

10×10

30×30



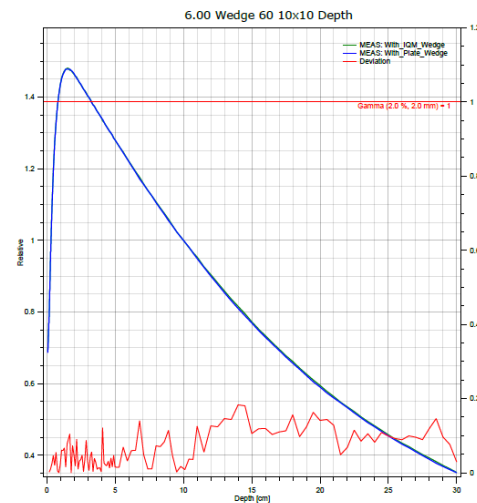
OCR



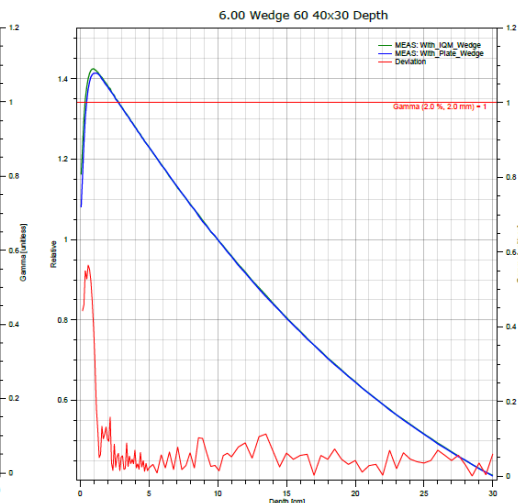
# プロファイル評価 - 6MV Wedge

PDD

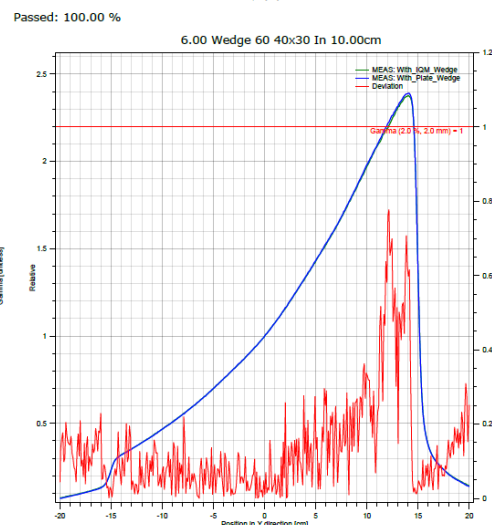
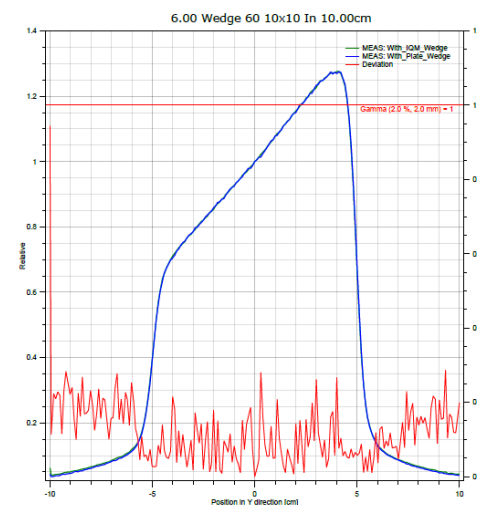
10×10



30×30



OCR



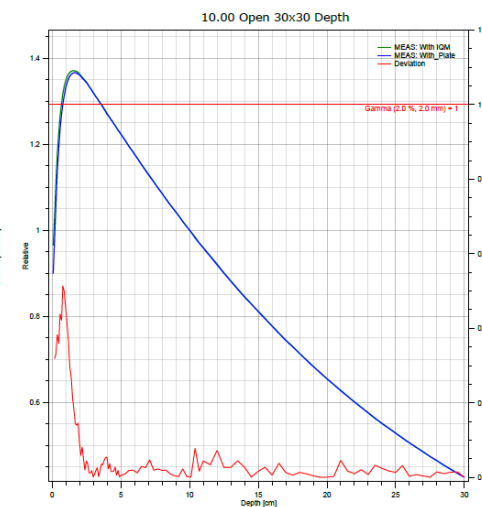
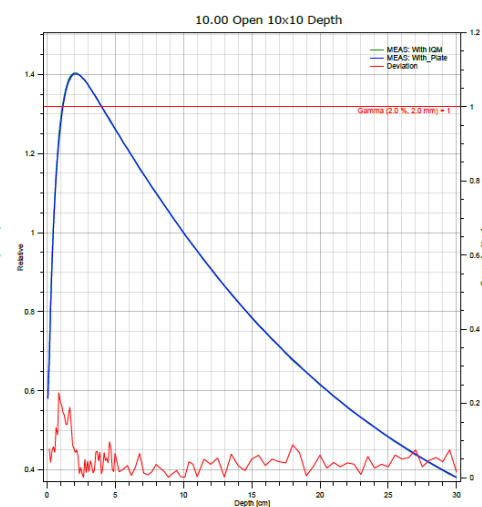
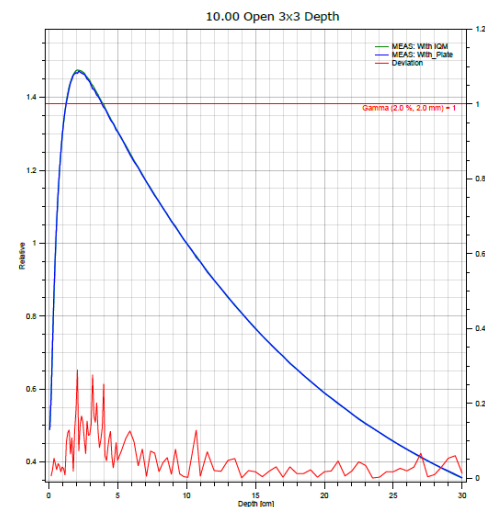
# プロファイル評価 - 10MV

PDD

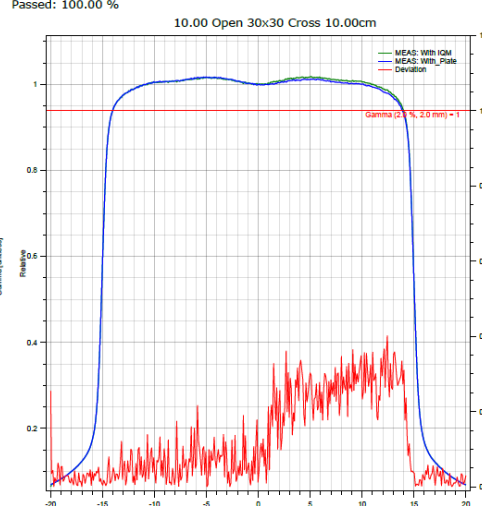
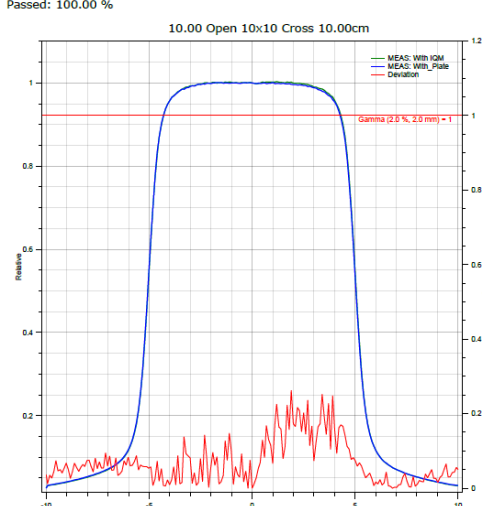
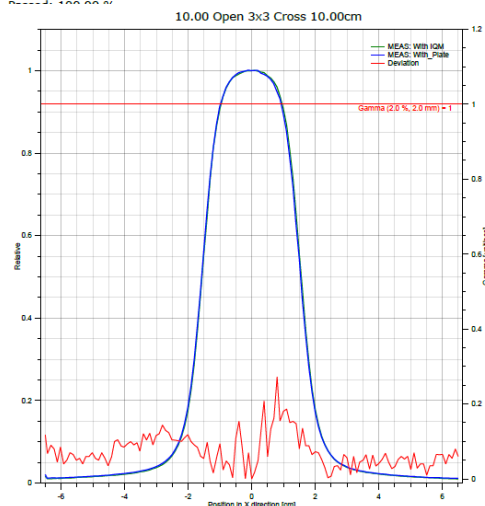
3×3

10×10

30×30



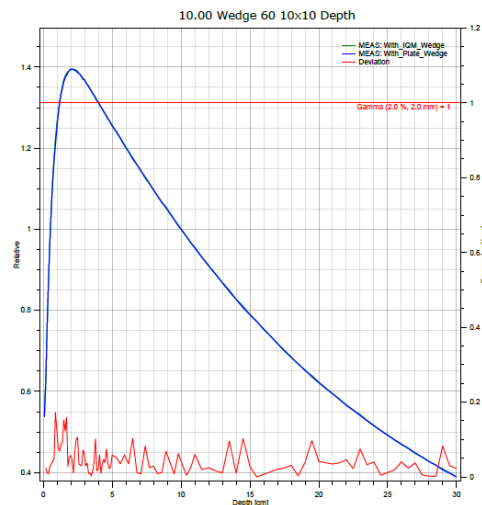
OCR



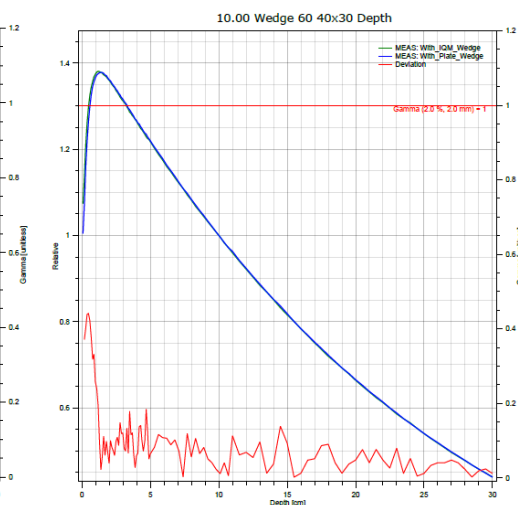
# プロファイル評価 - 10MV Wedge

PDD

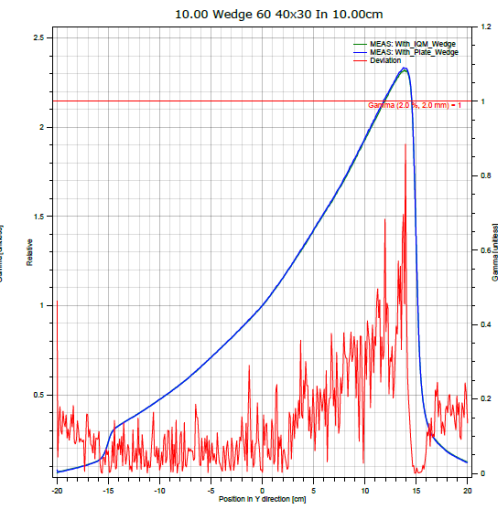
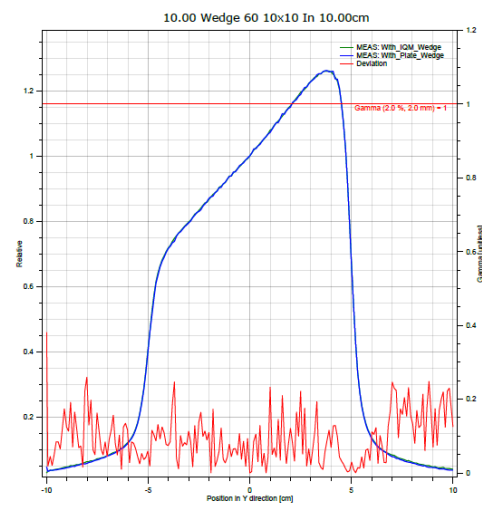
10×10



30×30



OCR



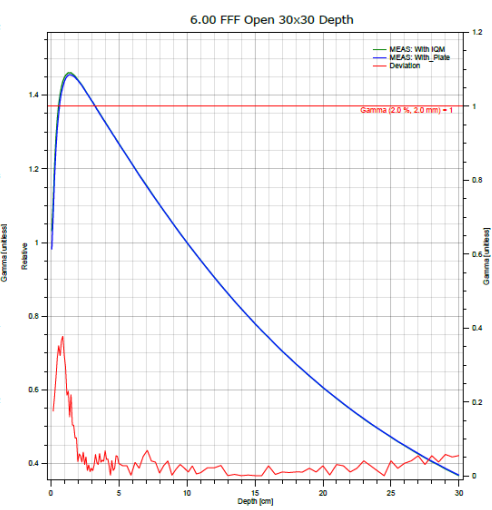
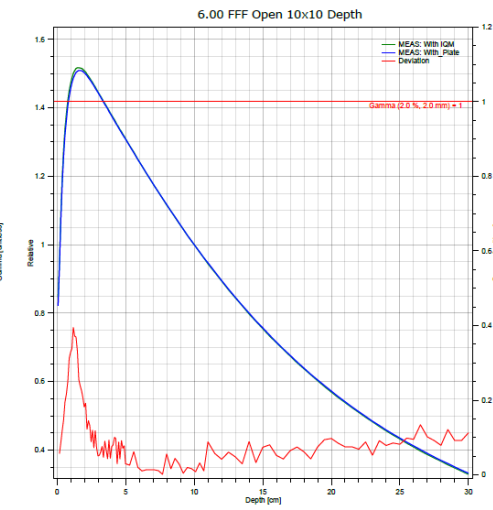
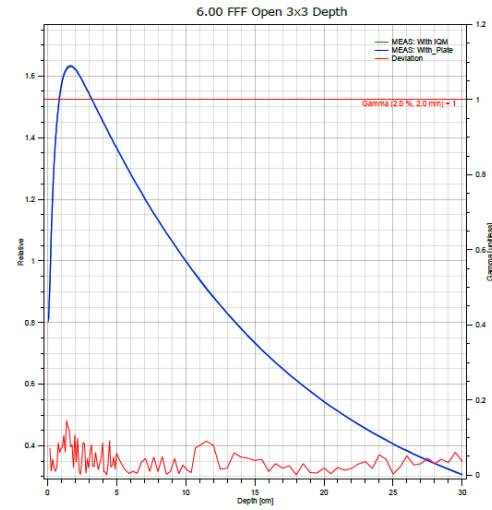
# プロフィール評価 - 6FFF

PDD

3×3

10×10

30×30

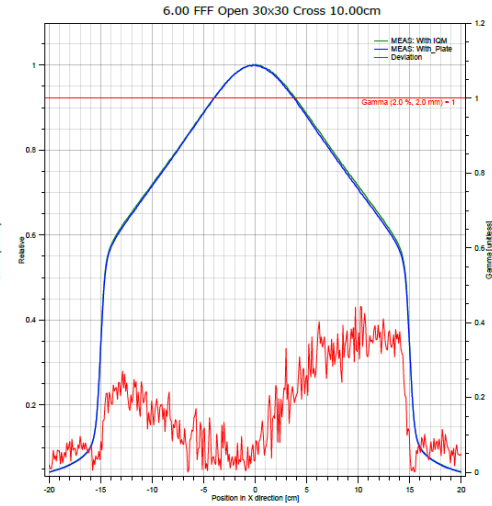
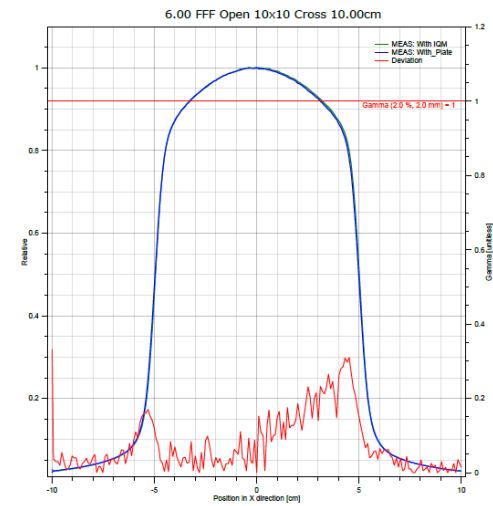
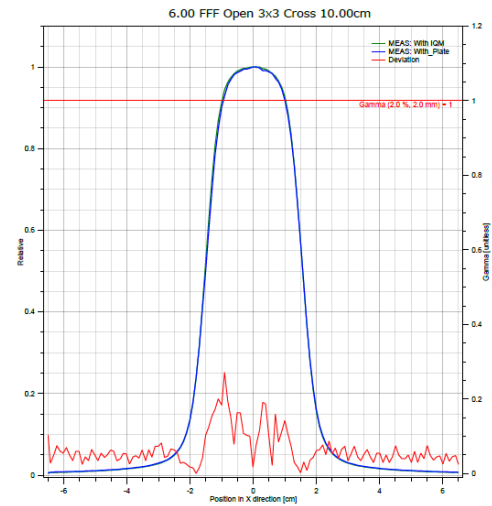


Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

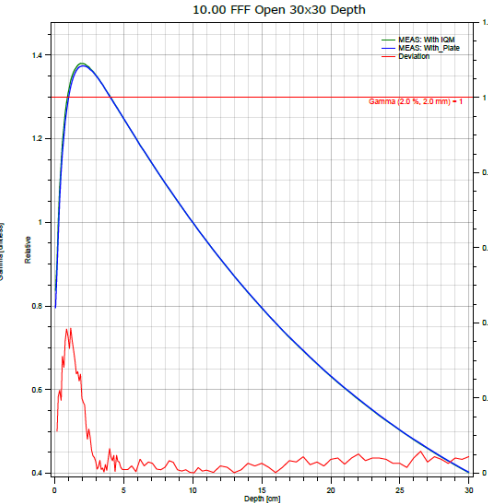
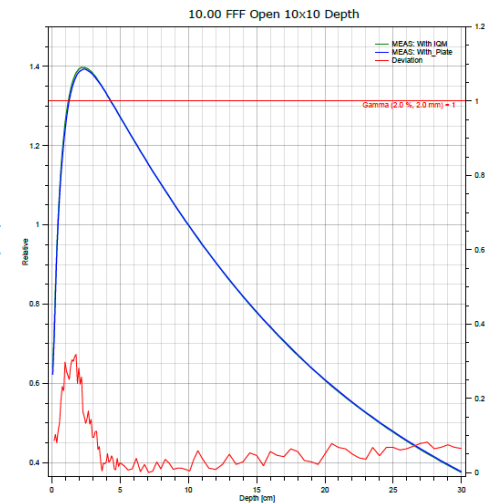
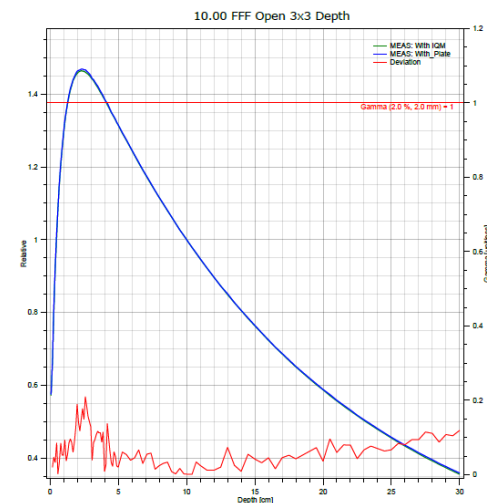
# プロファイル評価 - 10FFF

PDD

3×3

10×10

30×30

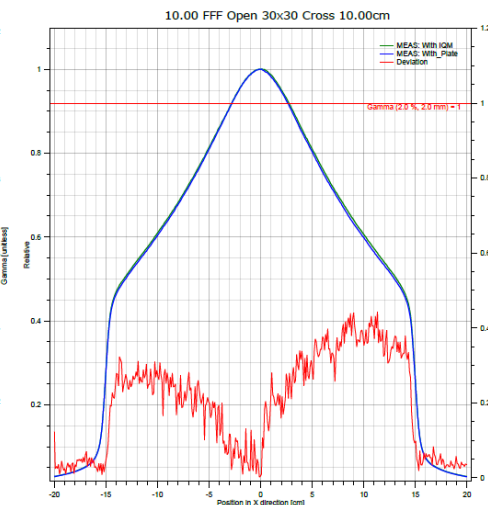
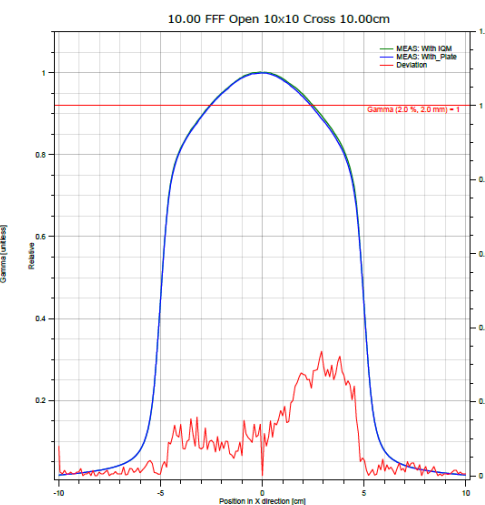
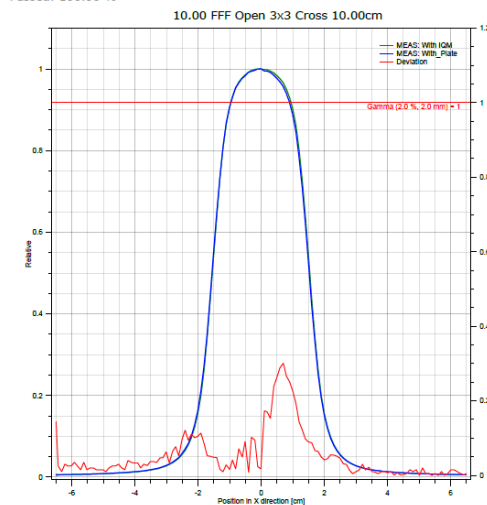


Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

OCR



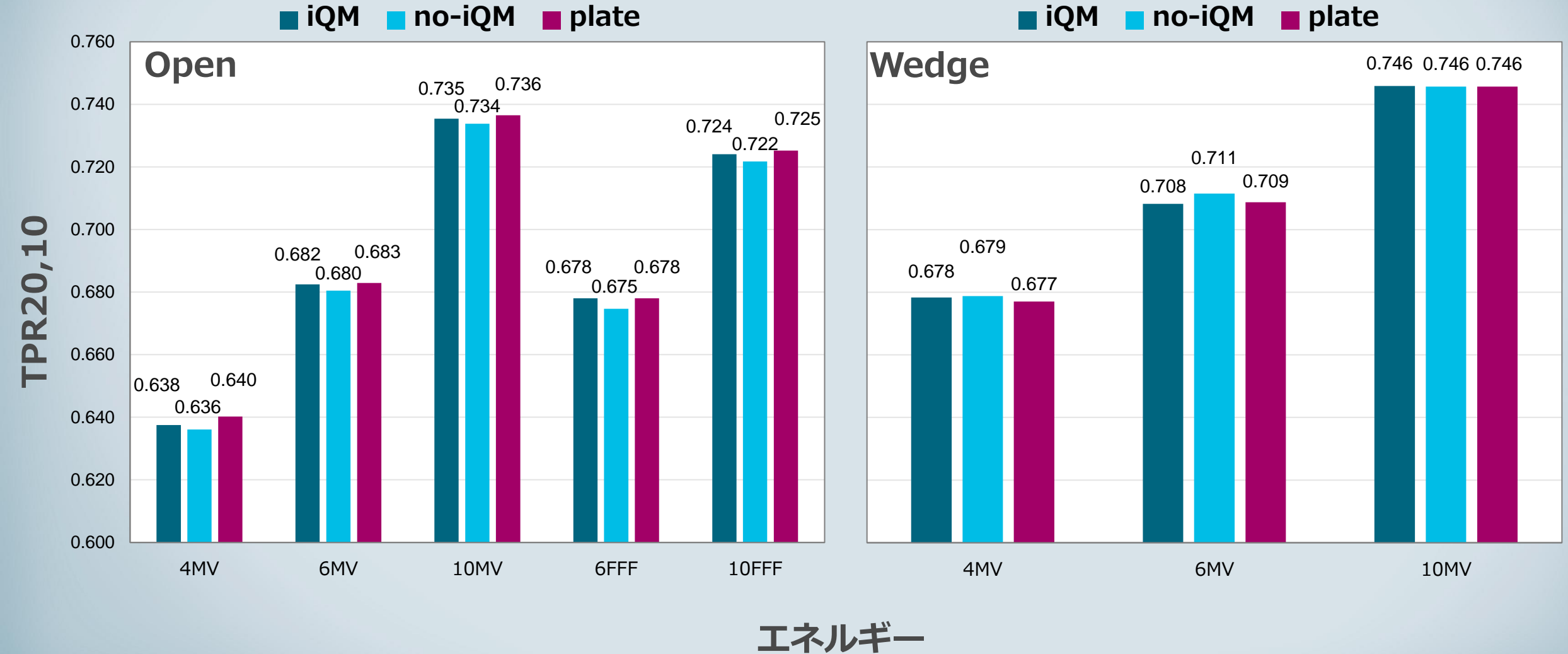
Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %

Passed: 100.00 %



# TPR20,10評価 - 照射野サイズ: 10x10cm<sup>2</sup>



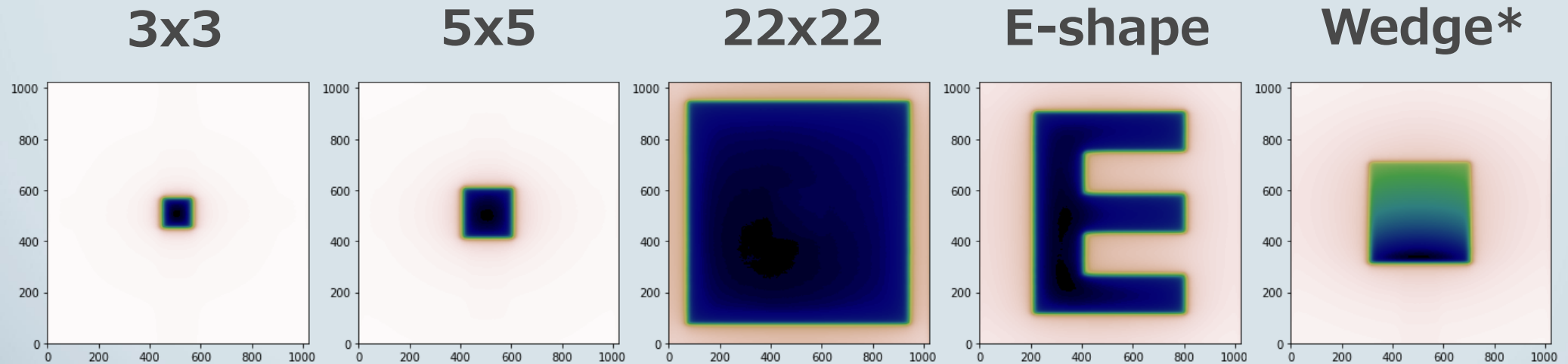
# 検証内容と結果

1. 先行研究との比較
2. ビームプロファイル評価
3. 減弱板の性能評価
4. EPID画像への影響の評価



# EPID画像への影響の評価

- IQMを装着しない状態(**Without IQM**)、装着した状態(**IQM**)、減弱板を装着した状態(**Plate**)でそれぞれiViewGTによりEIPDを取得した
- 取得したEPID画像:

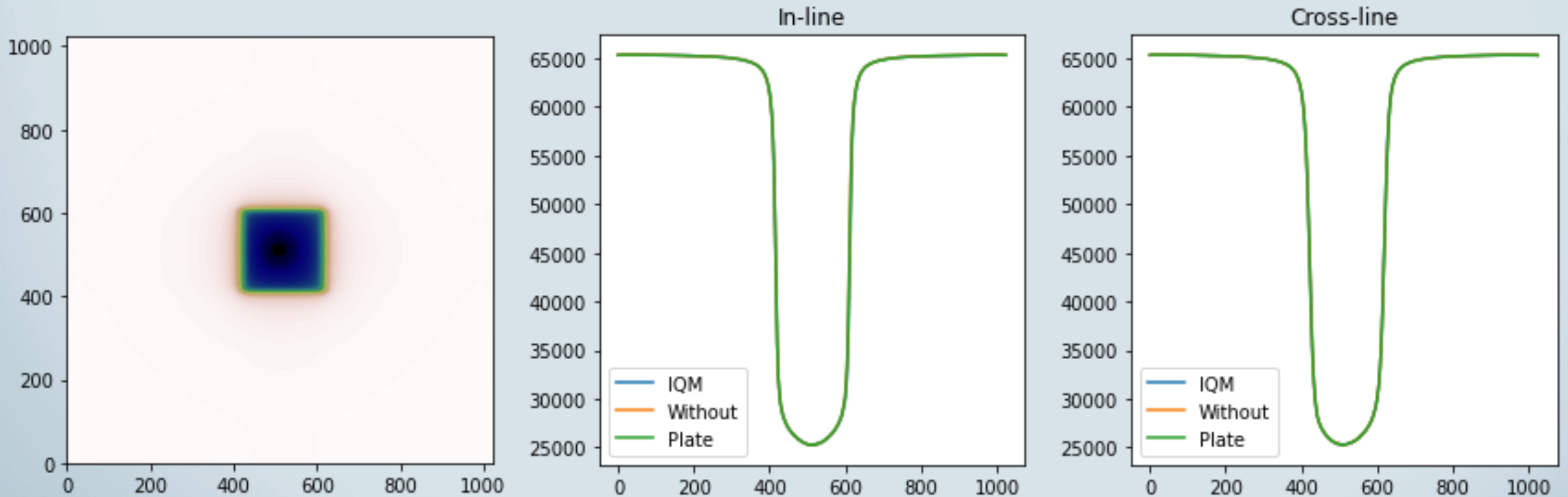


\* FFビームのみ取得

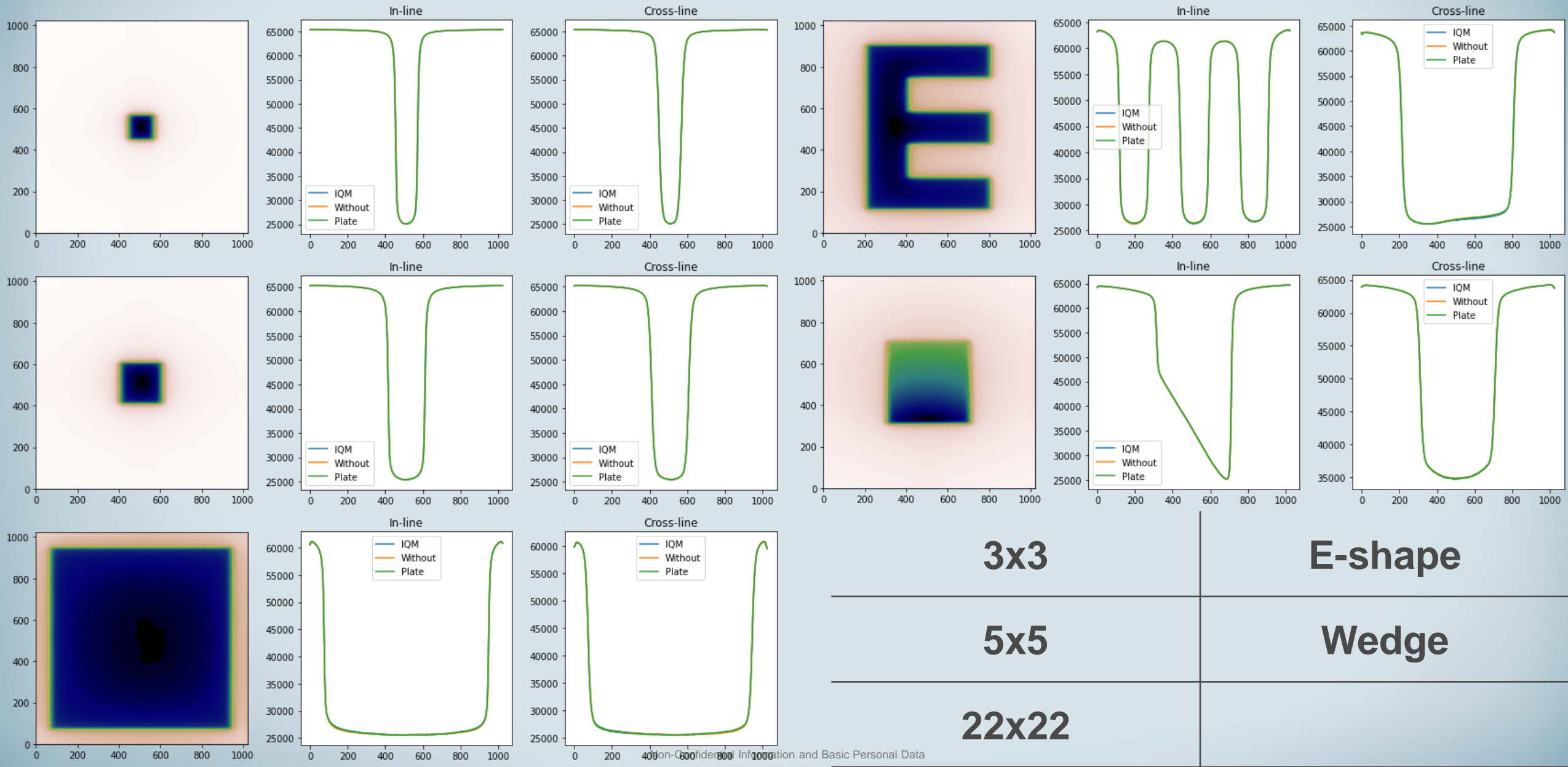
# EPID画像への影響の評価

- 取得したEPID画像の中心軸上のプロファイルを取得し、それぞれ比較した

例：6FFF, 5x5



# EPID画像への影響の評価 - 4MV



3x3

E-shape

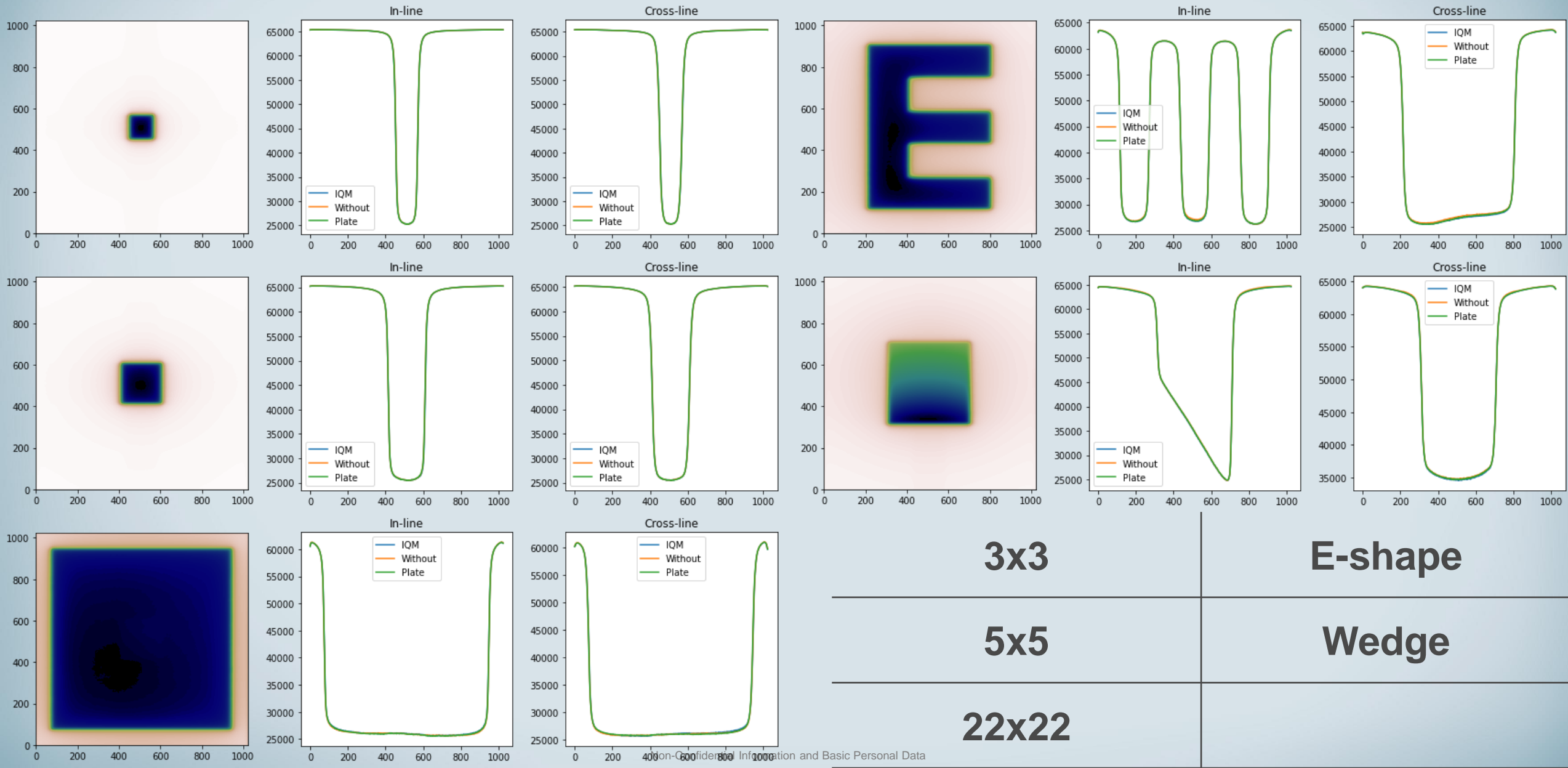
5x5

Wedge

22x22



# EPID画像への影響の評価 - 6MV



3x3

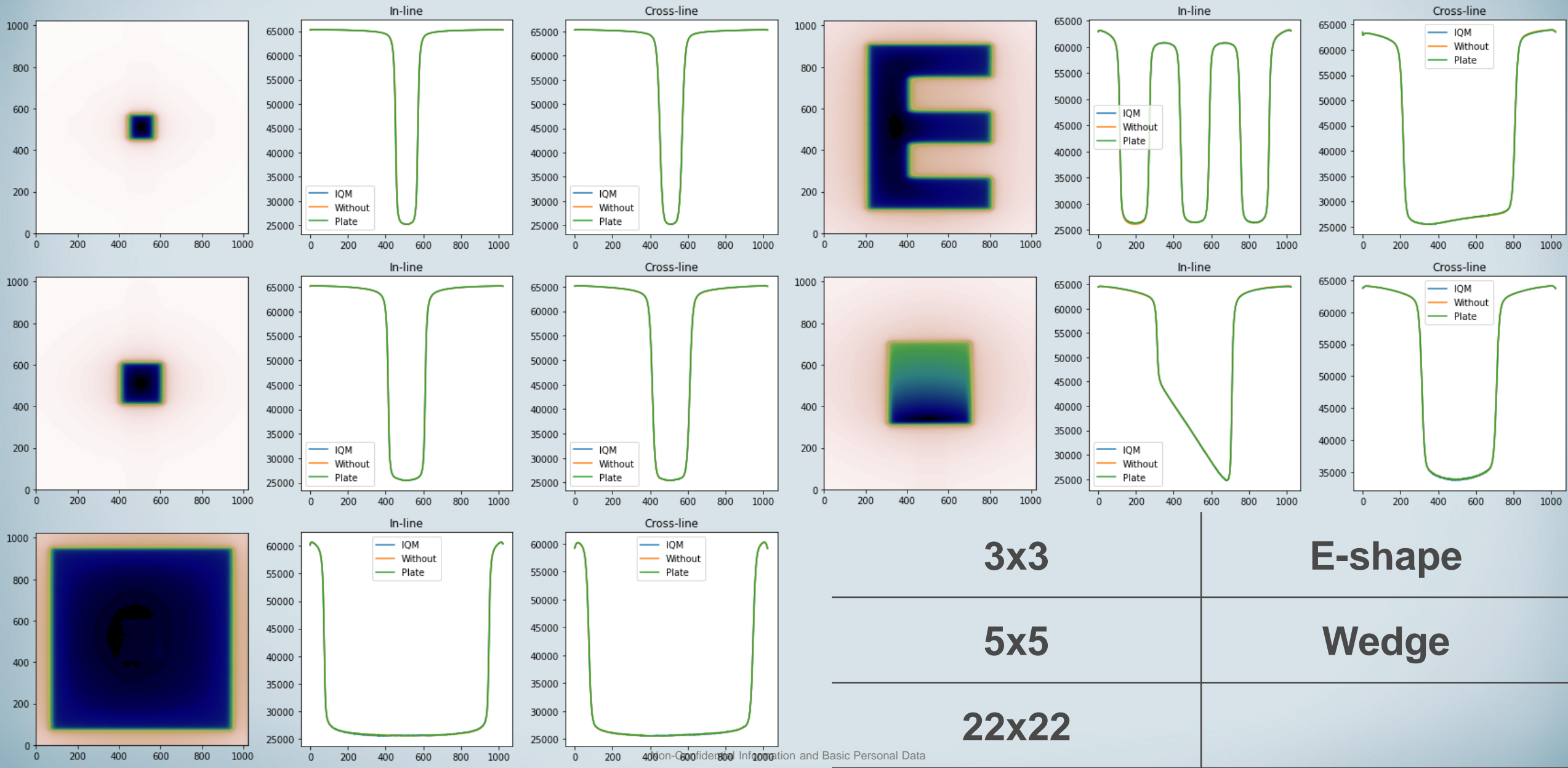
E-shape

5x5

Wedge

22x22

# EPID画像への影響の評価 - 10MV



3x3

E-shape

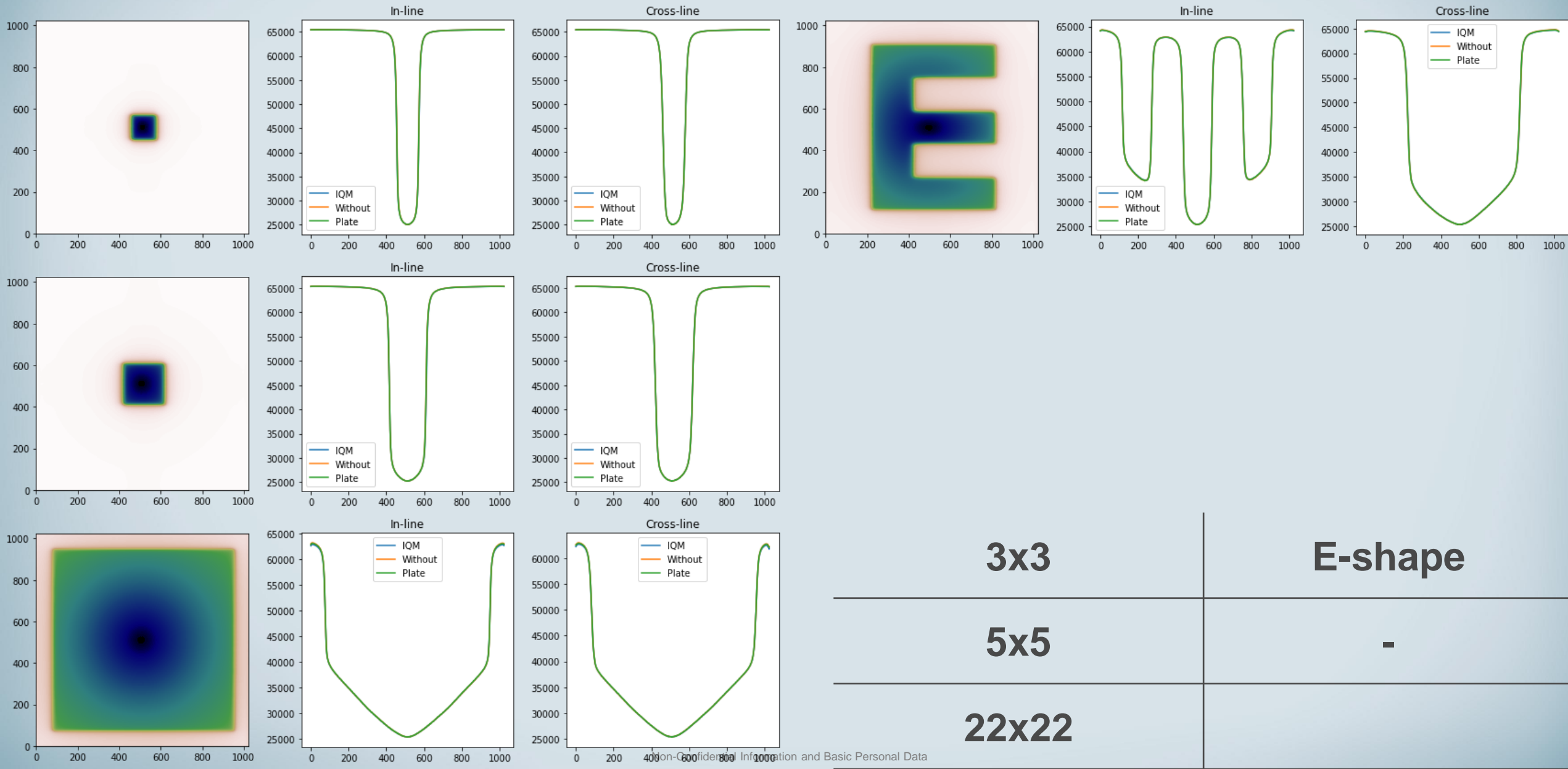
5x5

Wedge

22x22



# EPID画像への影響の評価 - 6FFF



3x3

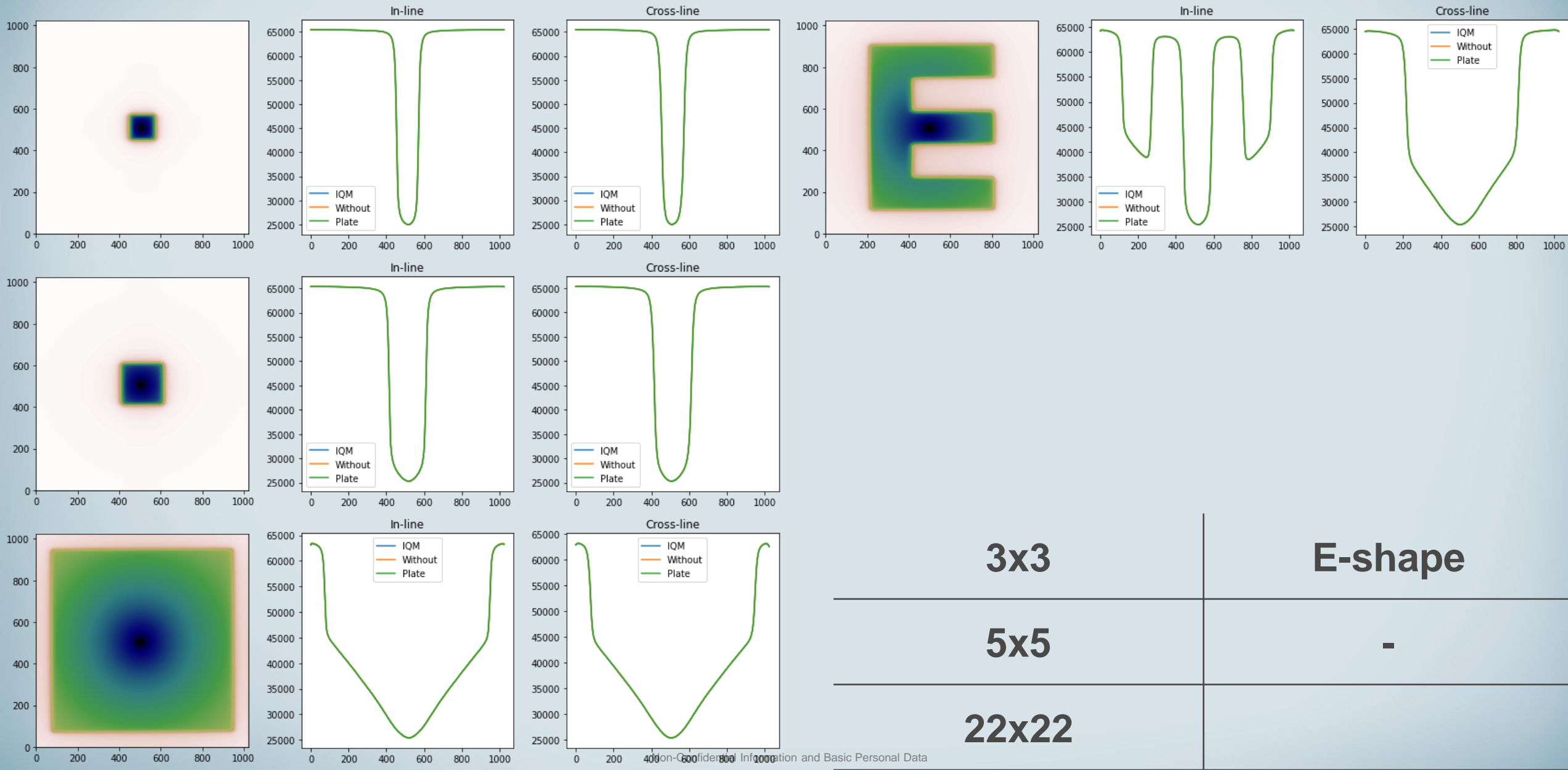
E-shape

5x5

-

22x22

# EPID画像への影響の評価 - 10FFF



3x3

E-shape

5x5

-

22x22

# まとめ

- 本資料ではIQMの性能を評価するために実施した検証結果を一例としてご報告しました。

## 1. 先行研究との比較

- ✓ Beam hardening & Surface doses: Casarらの報告と同等の結果
- ✓ Transmission Factor: Casarらの報告と比較すると系統的に小さいものの、照射野 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ における測定値を基準とした時、照射野依存性は、0.5%以内

## 2. ビームプロファイル評価

- ✓ 照射野が大きいかつ、浅い部分でわずかに差異がある

## 3. 減弱板の性能評価

- ✓ Transmission Factor、ビームプロファイル、TPR<sub>20,10</sub>に大きな差異は見られない

## 4. EPID画像への影響の評価

- ✓ プロファイルに差異は見られない

照射野:  $30 \times 30 \text{ cm}^2$   
エネルギー: 6MV



# まとめ

- 同様の検証を実施したCasarら\*は以下のように述べています。
  - “ビーム線質と表面線量において、臨床的に無視できるほどの変化であると考えられる”
  - “照射野  $1 \times 1 \sim 20 \times 20 \text{cm}^2$  から得られた平均Transmission factorを、TPS上でTray factorなどを適応し補正するか、リニアックの出力補正のために使用することができる”
- プロファイルを比較した結果、その違いはモデリングの基準内であったことから、AGLを実施されたご施設、もしくは後発でIQMを導入されるご施設においては、モデルの出力を調整するのみで追加の測定は不要であろうと考えられます。
  - 装着した状態で使用する場合は光照射野が投影されないため、セットアップや測定の際は注意が必要です。

\* Casar, Bozidar et al. *Zeitschrift fur medizinische Physik* vol. 27,3 (2017): 232-242.

# まとめ

- 臨床的な導入に先立って自施設で十分に検討いただければと思います。  
ご施設の運用決定の参考になれば幸いです。



**Thank you**