

Unity Physics Training

Introduction to Cryostat

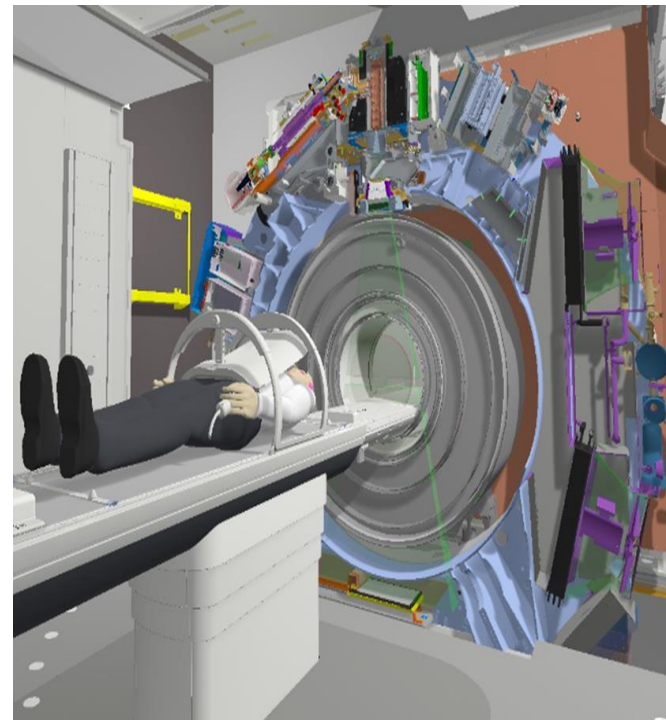
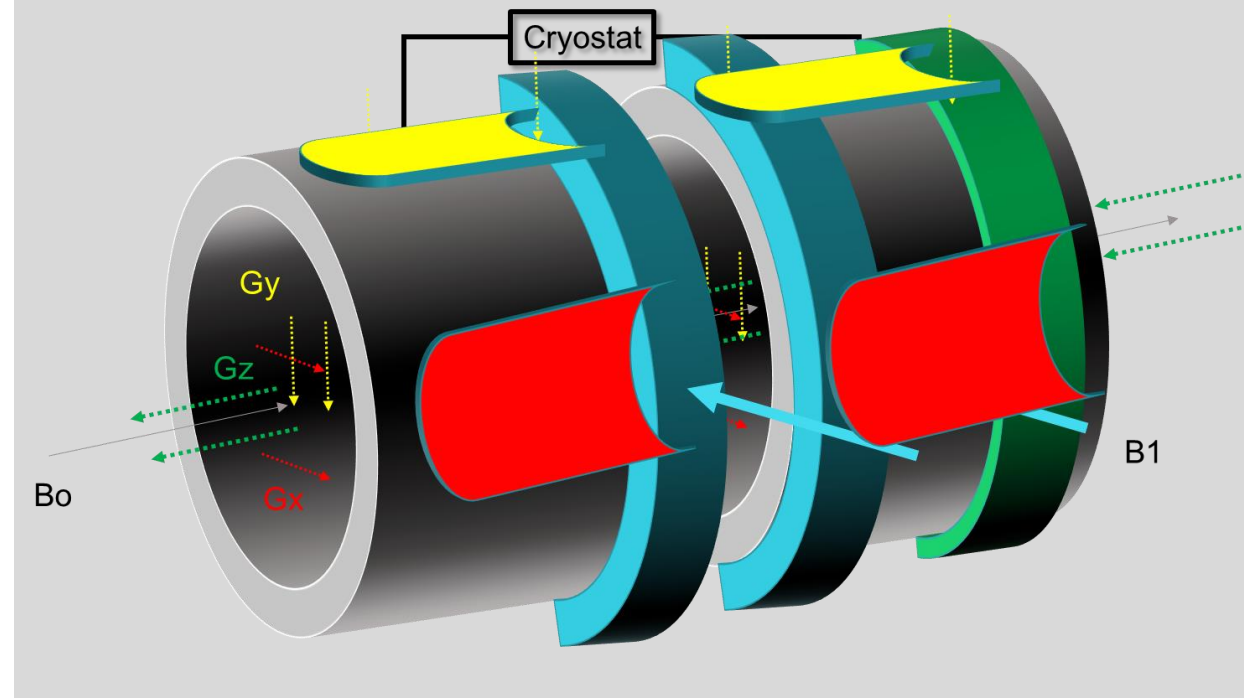
第2版：2021/6/30

E008222/01



Objectives

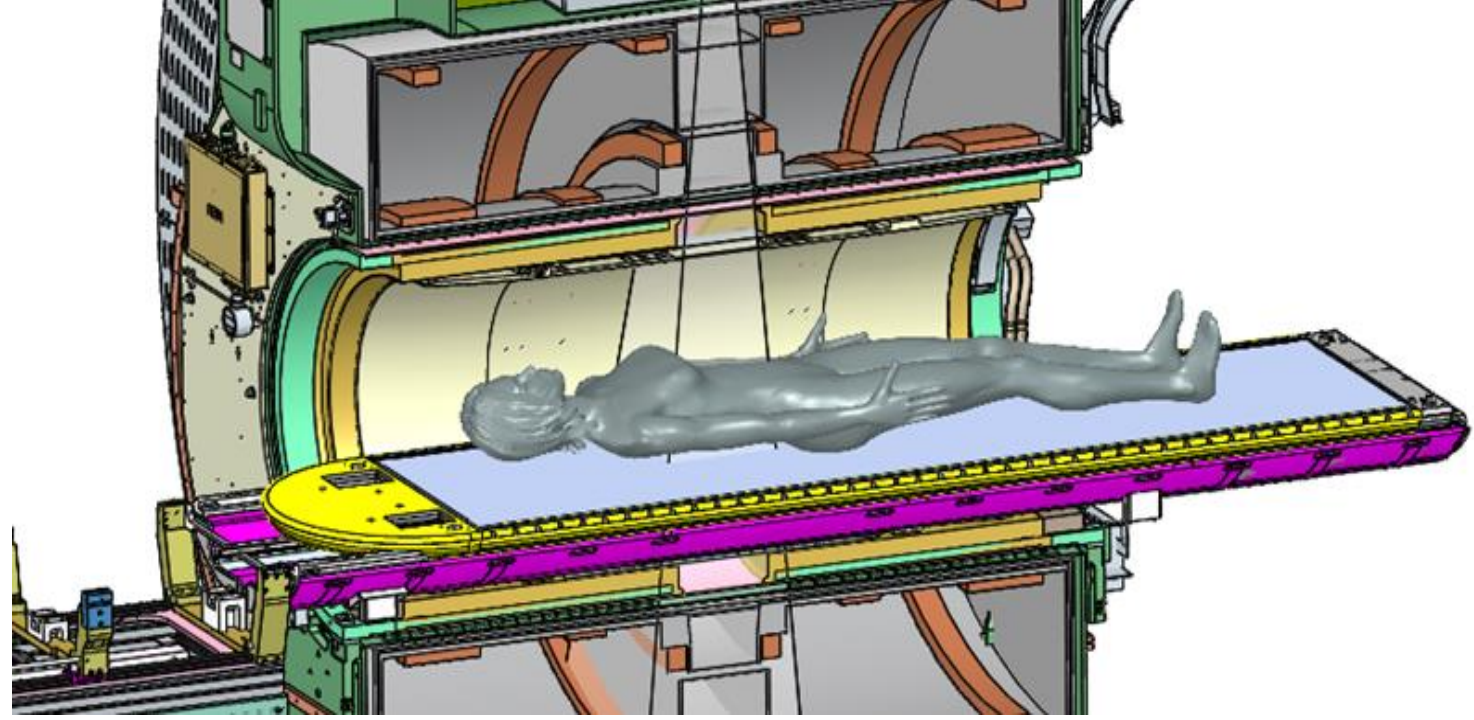
1. Unityクライオスタットの設計の理解
2. クライオスタットによる測定上考慮しなければならない事項の理解
3. クライオスタットに関する治療計画装置の挙動の理解



Lesson
Objectives

Design and Role of the Cryostat

- クライオスタットの構造
- Unityクライオスタットの構造



Introduction

Design and Role of the Cryostat

Introduction to Cryostat Design

クライオスタットは、液体ヘリウムを使用して極低温を維持し、磁石に超伝導特性を提供する断熱容器。
超伝導マグネットは、1.5 Tで均一な静磁場（ B_0 ）を生成する。

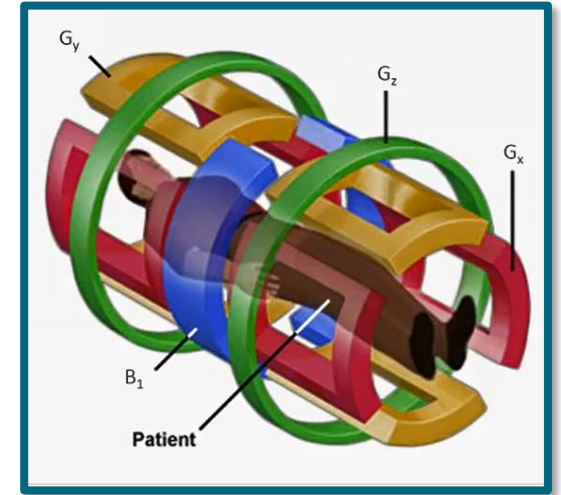
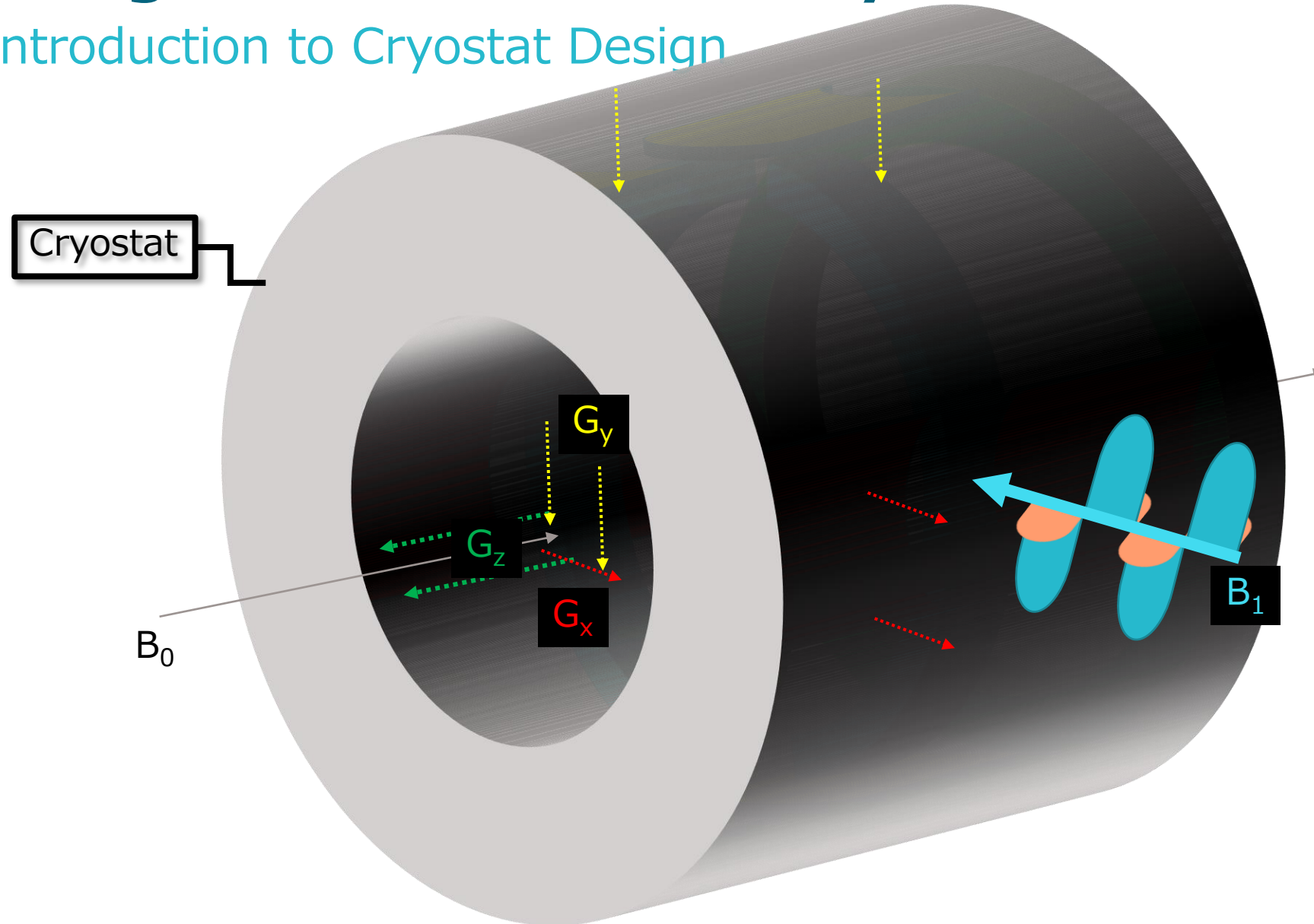
クライオスタット構造内にないコンポーネントには次のものがある

- RF送信コイル（ B_1 ）は、共振周波数でRFパルスを送る患者様に送る
- 傾斜磁場コイル（ G_x 、 G_y 、 G_z ）は、NMR信号の局在化を可能にし画像を生成する



Design and Role of the Cryostat

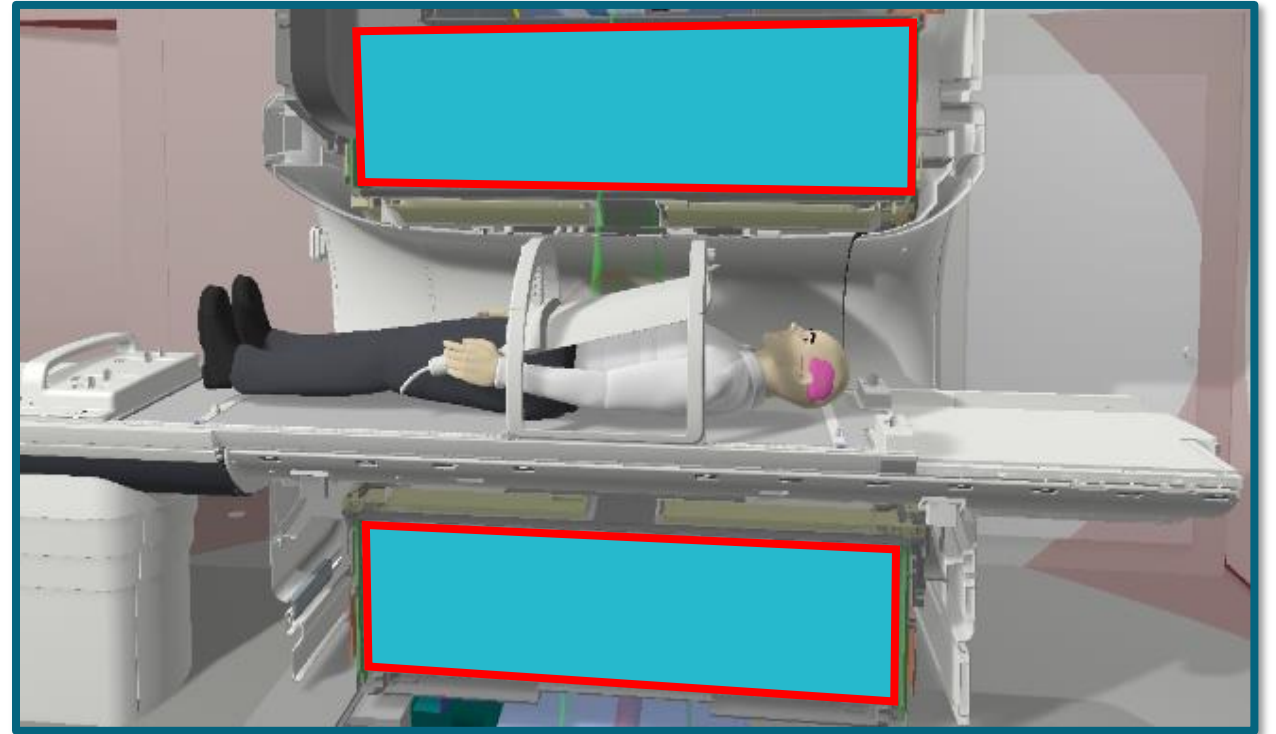
Introduction to Cryostat Design



Design and Role of the Cryostat

Introduction to Cryostat Design

- 放射線照射システムを実装する際の考慮事項
 - ビームハードニング
 - 磁場の一貫性
 - 放射線ビームの一貫性

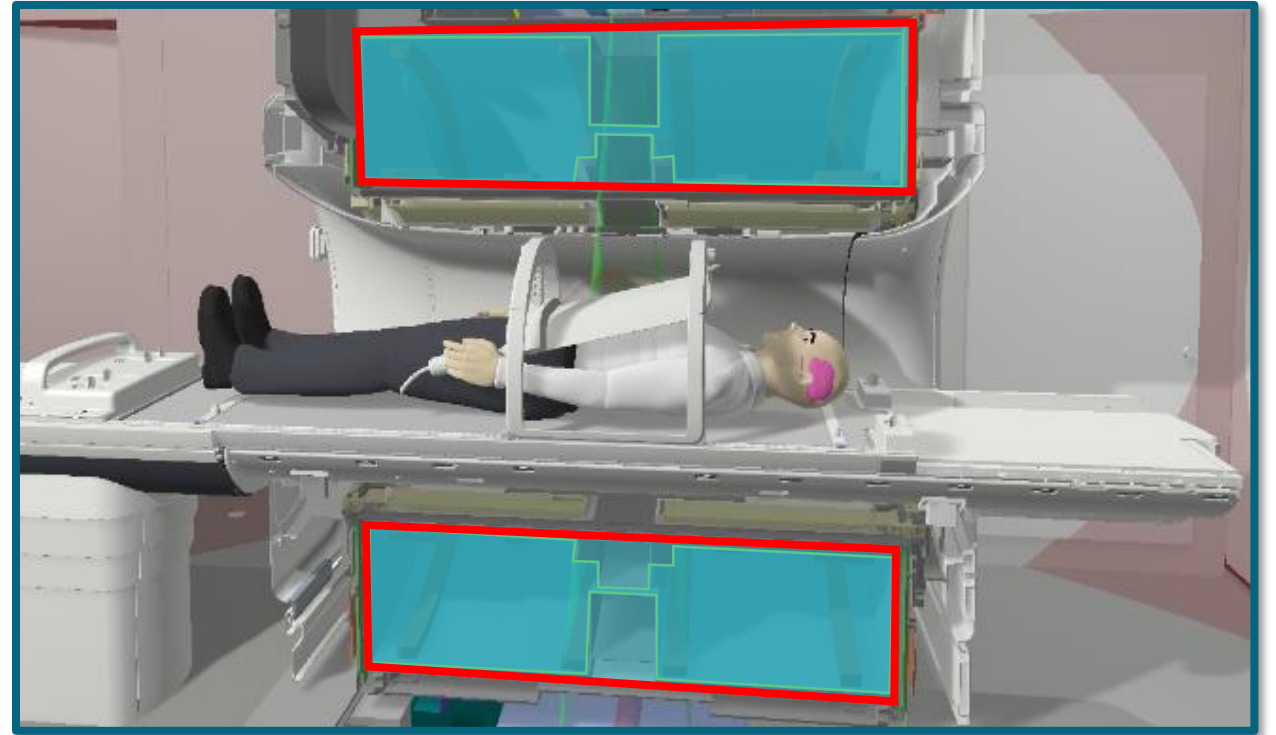


Design and Role of the Cryostat

Anatomy of the Marlin Cryostat

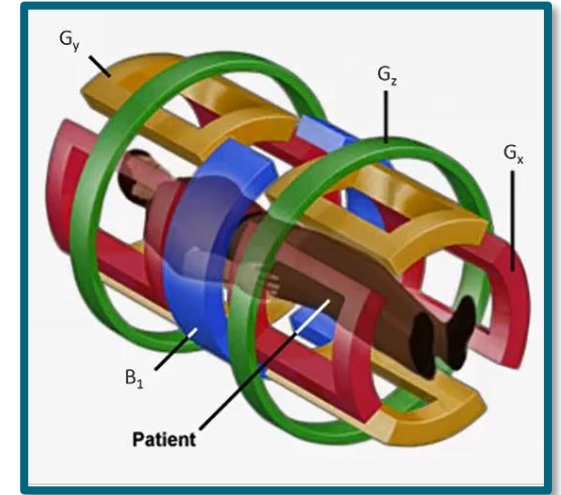
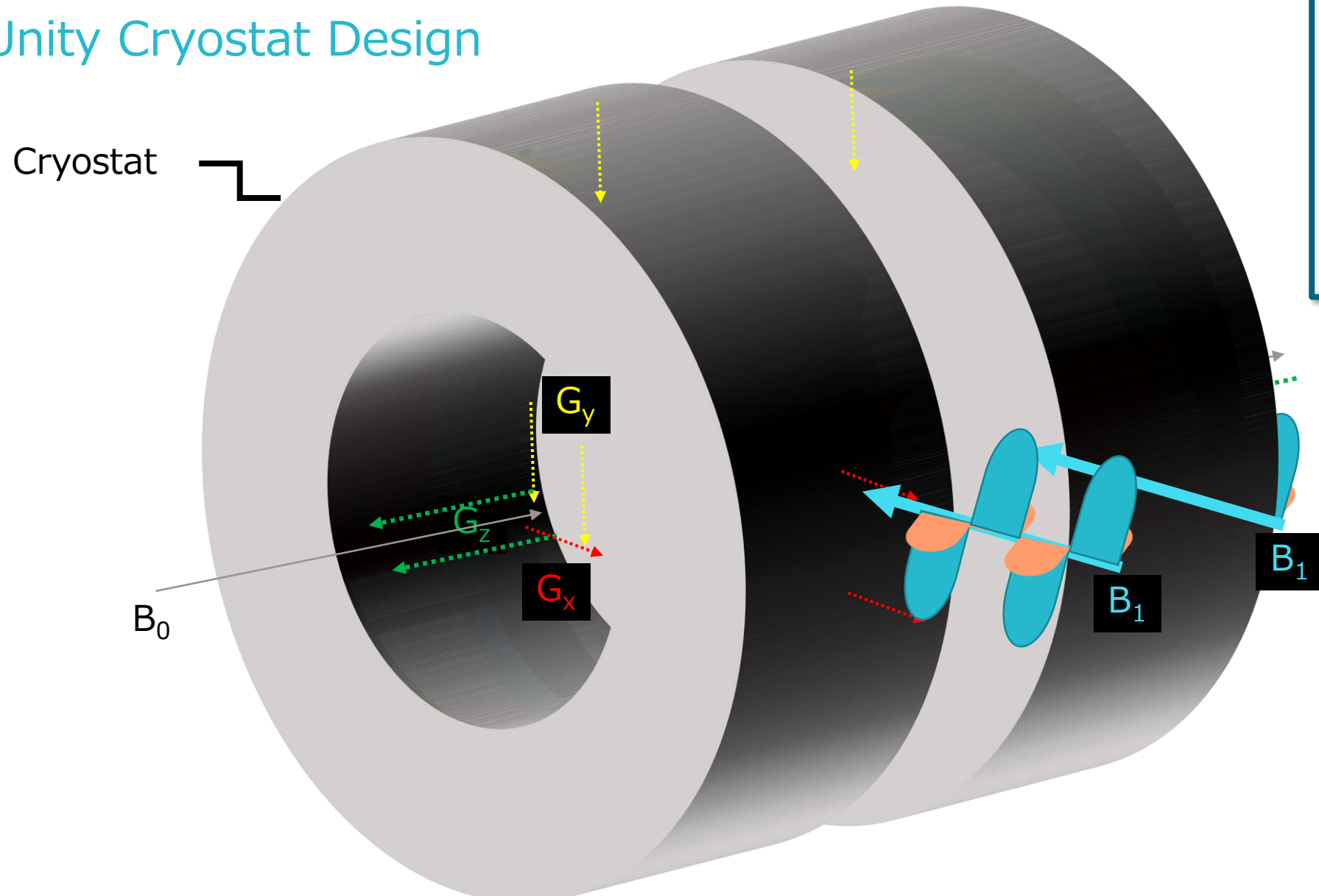
クライオスタットはアニュラス(Annulus)によって2つに分割されている

- ・クライオスタットを透過する厚みの最小化
- ・クライオスタットの壁はファラデーケージ(磁気シールド)の一部であり、MRによって生成されたフィールドがビーム発生機構に影響しないようにしている



Design and Role of the Cryostat

Unity Cryostat Design

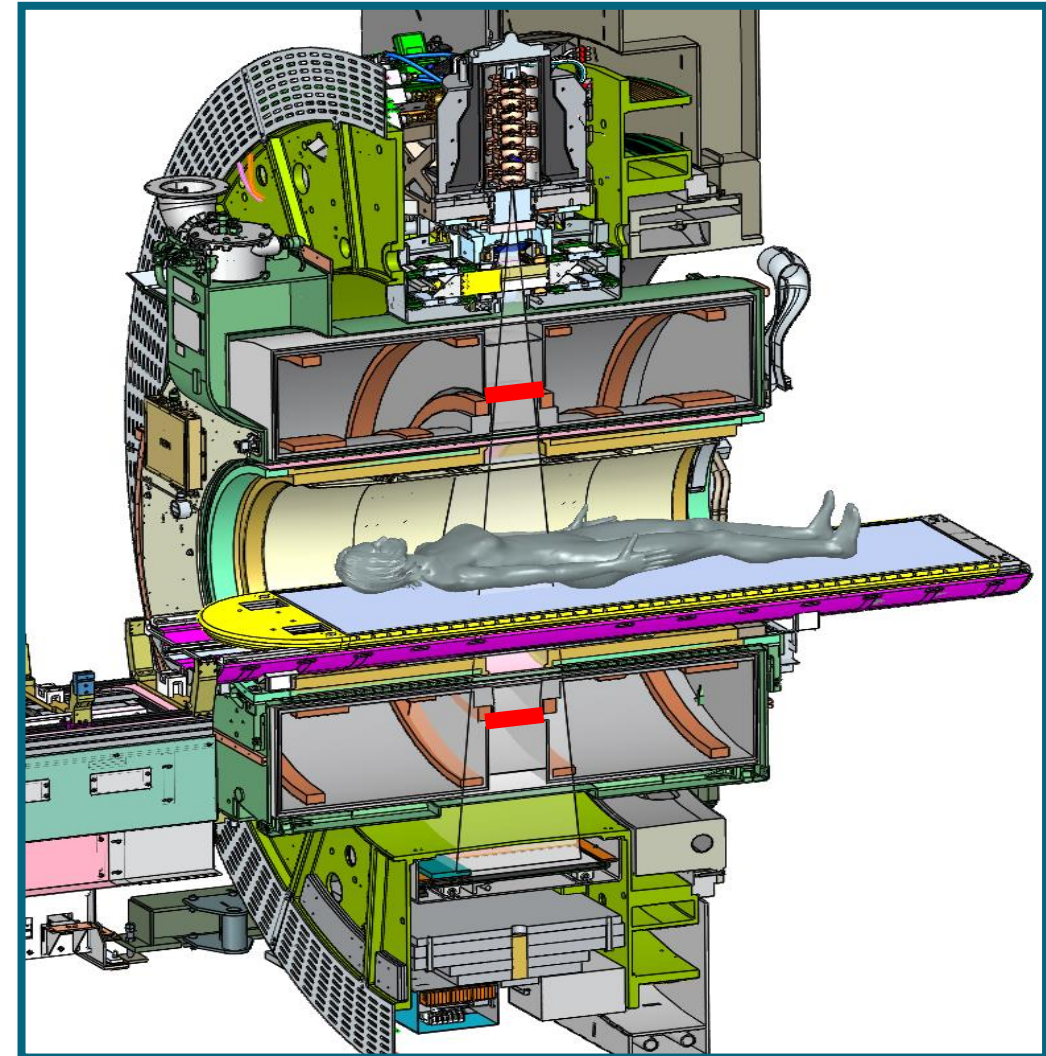
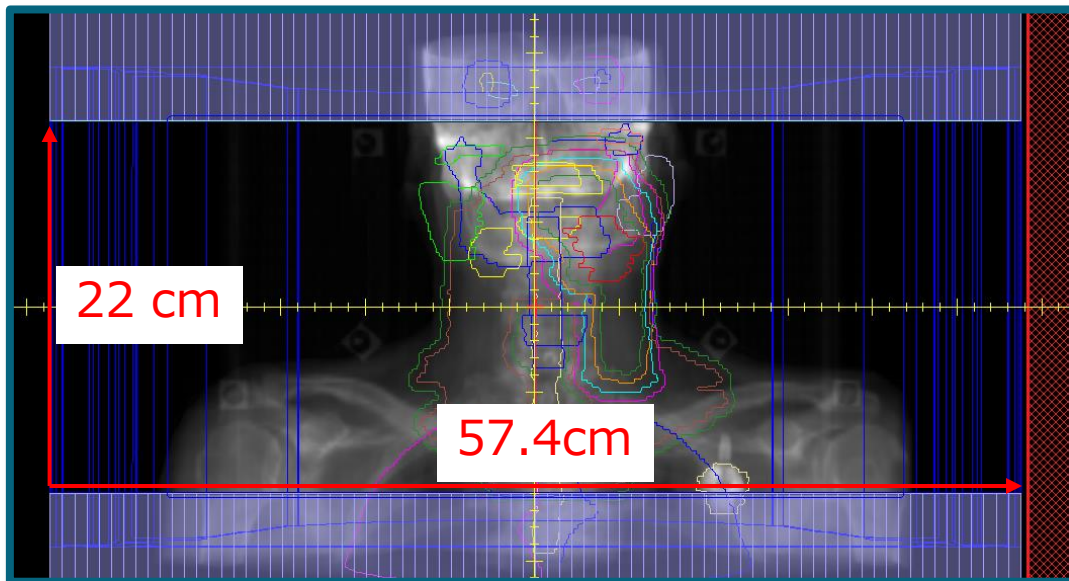


Design and Role of the Cryostat

Anatomy of the Unity Cryostat

アニュラスで接続された分割システム

- ビームはクライオスタット構造全体を透過しない
- Y方向の22 cmの最大フィールドサイズ

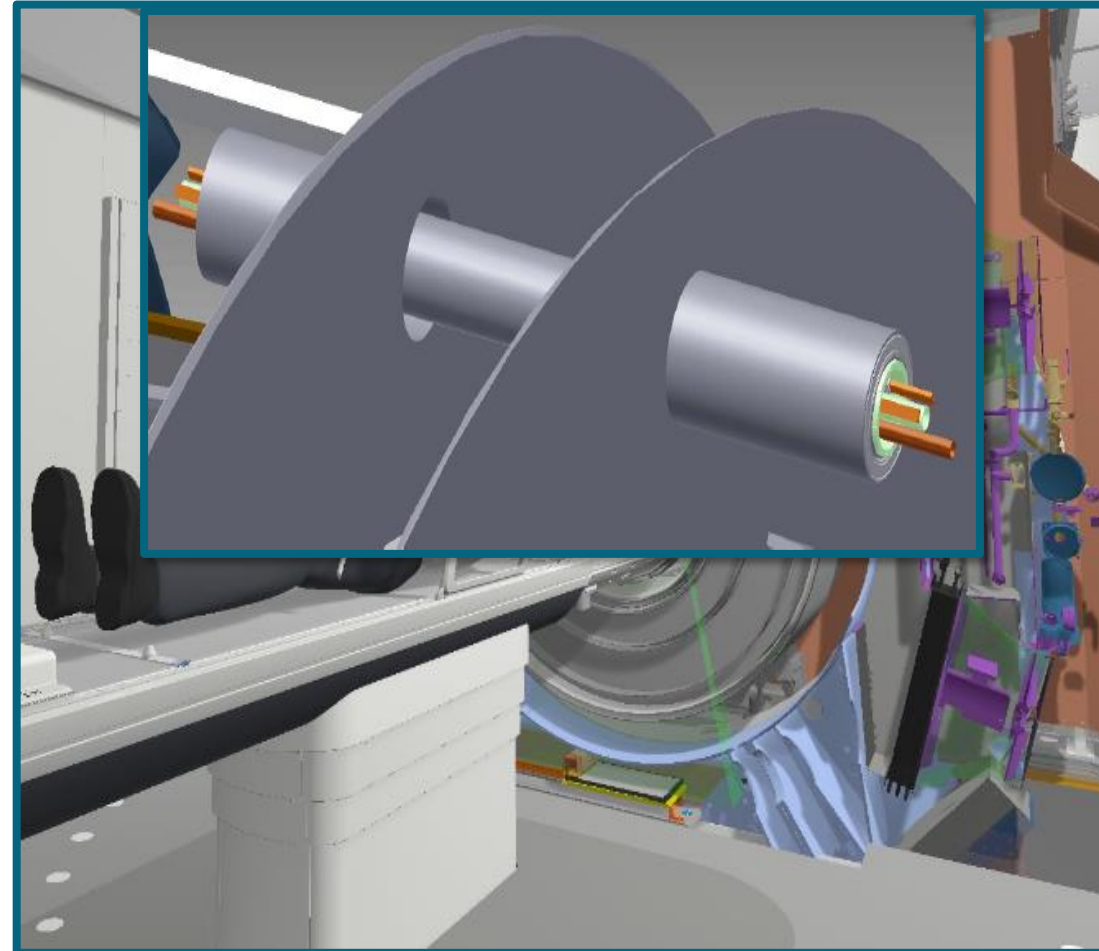


Design and Role of the Cryostat

Anatomy of the Unity Cryostat

クライオスタットパイプ

- カウチの足側から見たときに右側の垂直から13.2度に位置
- コイルの2つのセクションをつなぎ、超電導ケーブルを運ぶ
- パイプの中心からアイソセンターまでの距離は78 cm
- パイプ半径は2.54 cm



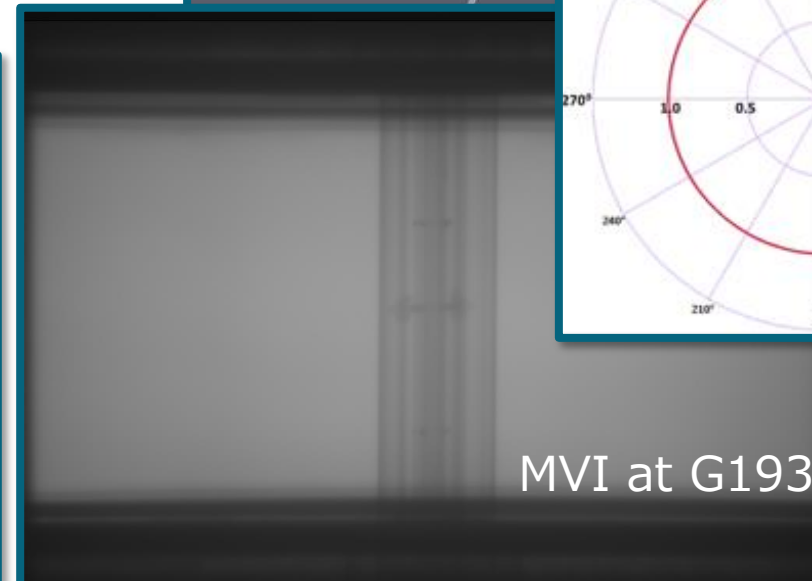
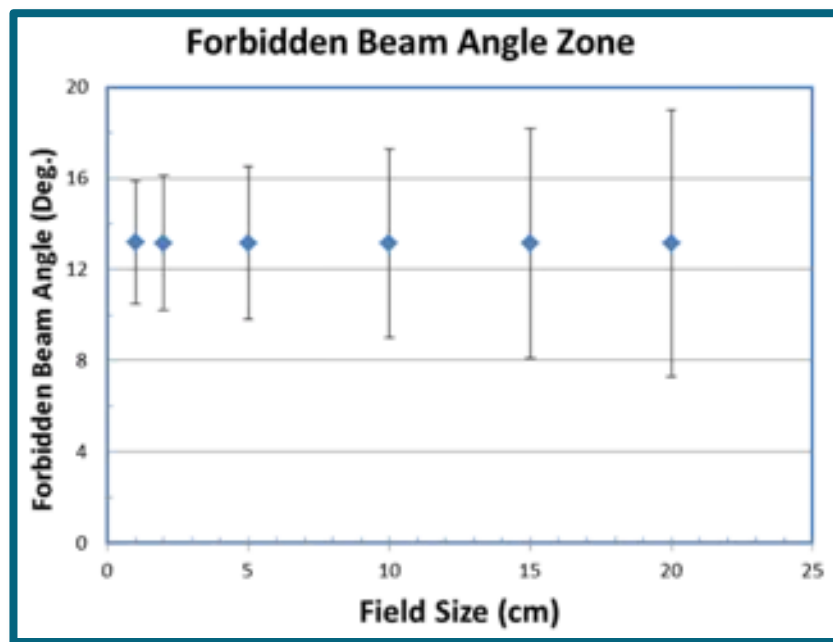
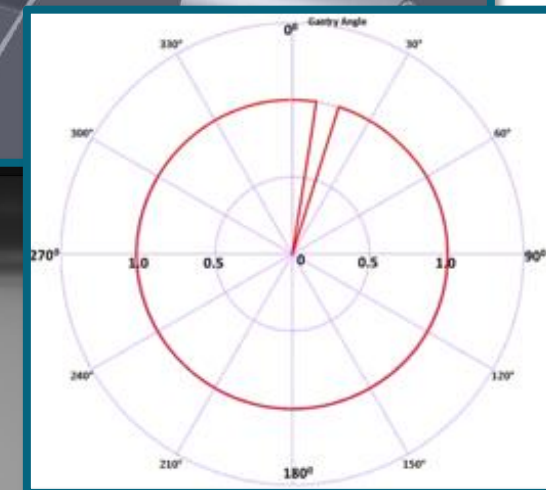
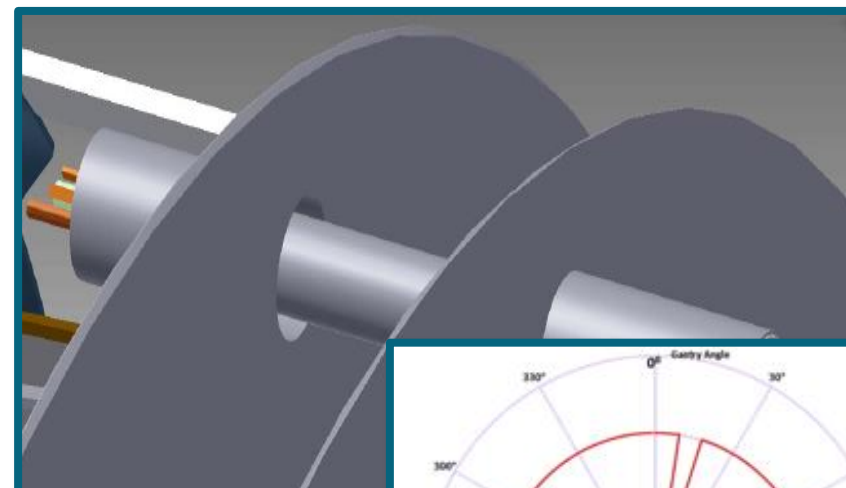
Design and Role of the Cryostat

Anatomy of the Unity Cryostat

クライオスタットパイプは不均一で、密度が高い

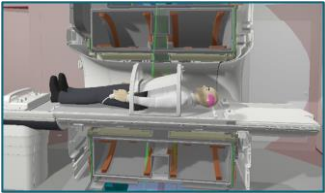
Unityは、13.2度のガントリ角度だけでなく、パイプ上に照射されている照射野サイズでは、それ以外の角度でも照射を行うことはできない

- パイプから180度のガントリ角度は可能



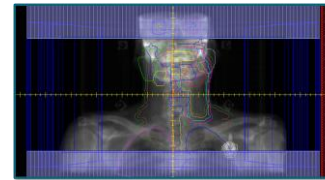
Summary ~Design and Role of the Cryostat~

Cryostat



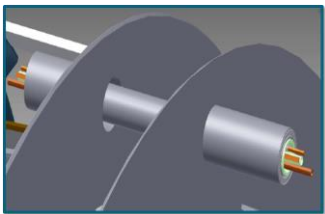
クライオスタットには、磁石に超伝導特性を付与するために使用され、液体ヘリウムが充填されている

Annulus



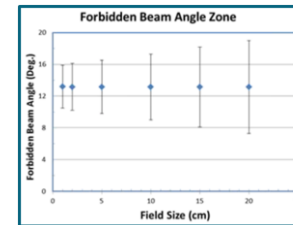
ビームは、クライオスタットのアニュラスを通過する。アニュラスは、2つのクライオスタットを接続する。

Connection Pipe



コイル間をつなぐクライオスタットパイプは13.2度に位置している

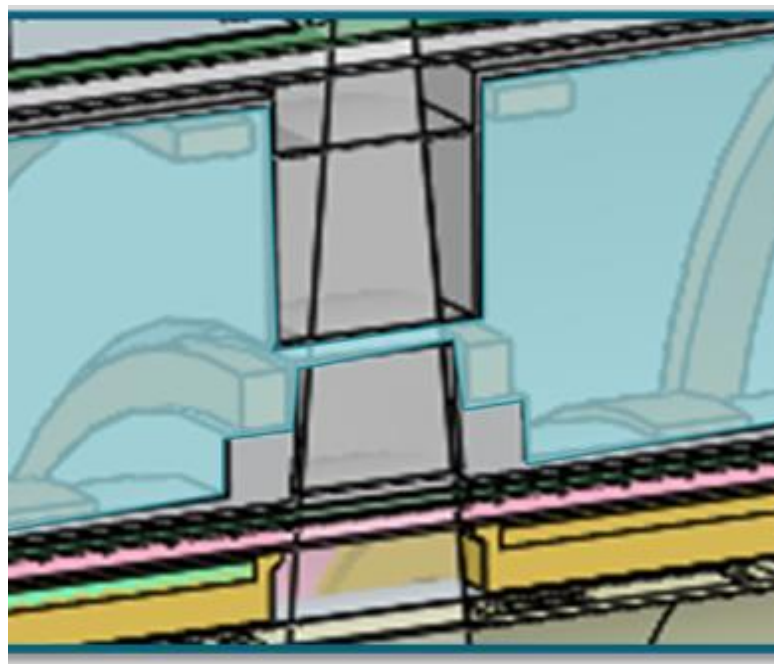
Built-in Interlocks



Unityコンソールは、パイプの場所とビームの制限を認識する

Cryostat effects on the MV Beam

- 不均一性補正
- ヘリウム充填率の影響

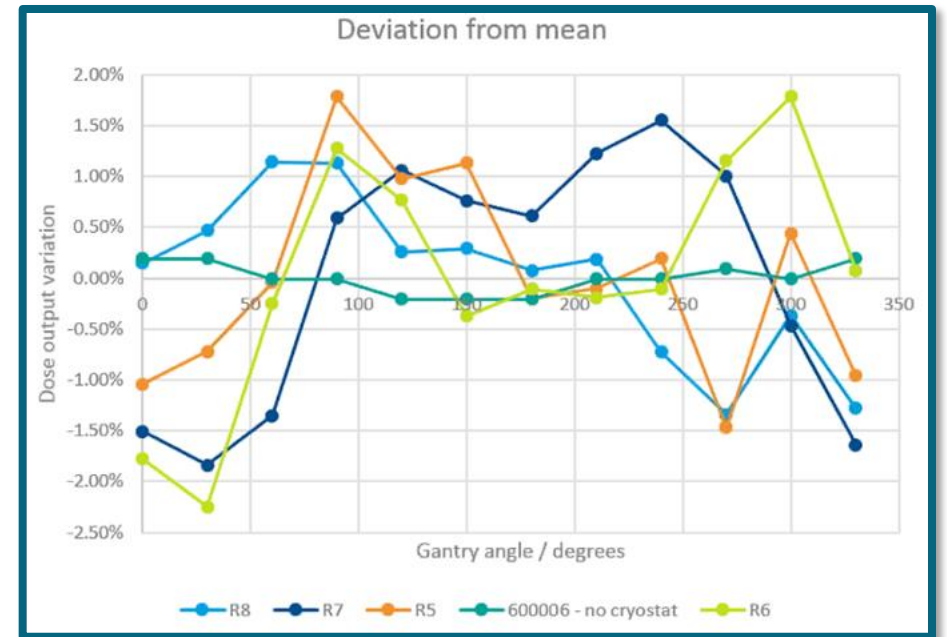


Cryostat Effect on the MV Beam

Variable Isolation

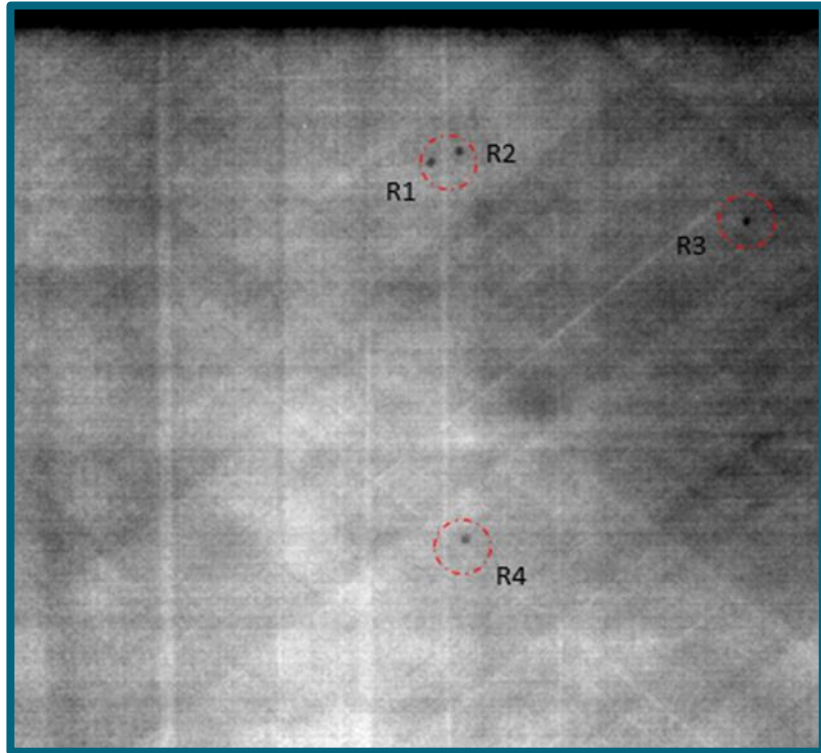
ビームがアニュラスを通過するときに影響する2つの因子

1. クライオスタットの不均一性
2. アニュラス内のヘリウム充填率



Cryostat Effect on the MV Beam

Non-uniformity Correction



クライオスタットの構造は完全に均一ではない

- 製造誤差は、減衰の違いをもたらす
- 溶接によって引き起こされる

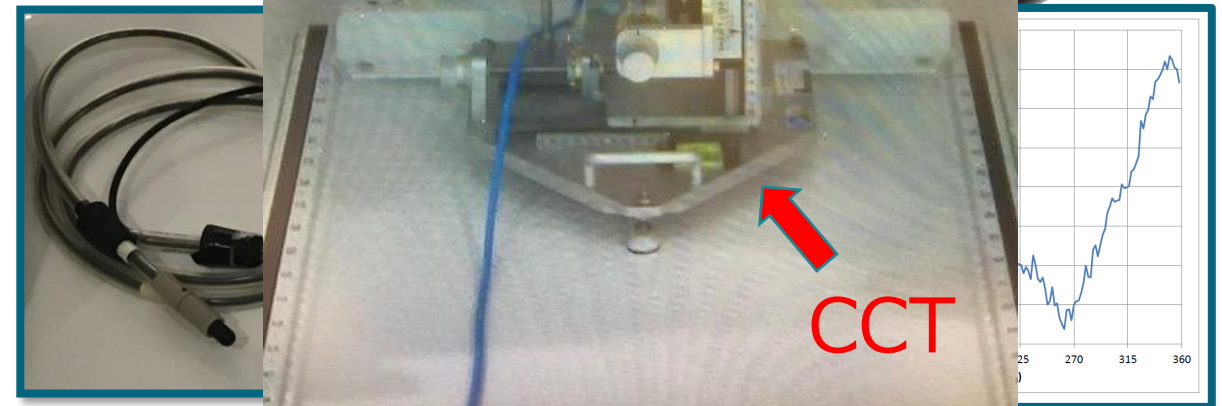
これらの理由から、クライオスタットの実験評価を行う。
具体的には、Cryostat characterization tool (CCT)
を用い、Cryostat Transmissionを測定する。

Cryostat Effect on the MV Beam

Non-uniformity Correction

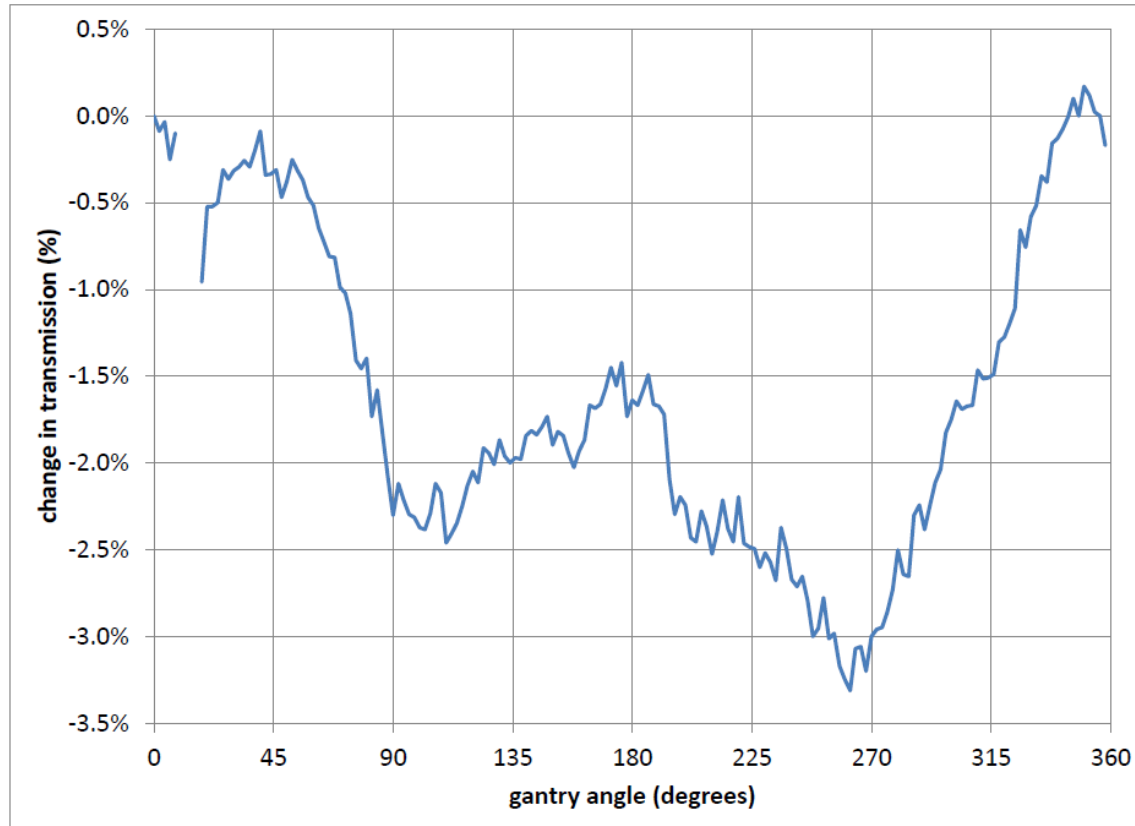
Cryostat Transmissionの測定方法：

1. Posteriorコイル、カウチ、ブリッジを取り外す
2. 電離箱にビルドアップキャップを装着しする
3. MVアイソセンタで電離箱をセットアップする
4. 2度ごとに10cm x 10cmの出力を確認する



Cryostat Effect on the MV Beam

Non-uniformity Correction



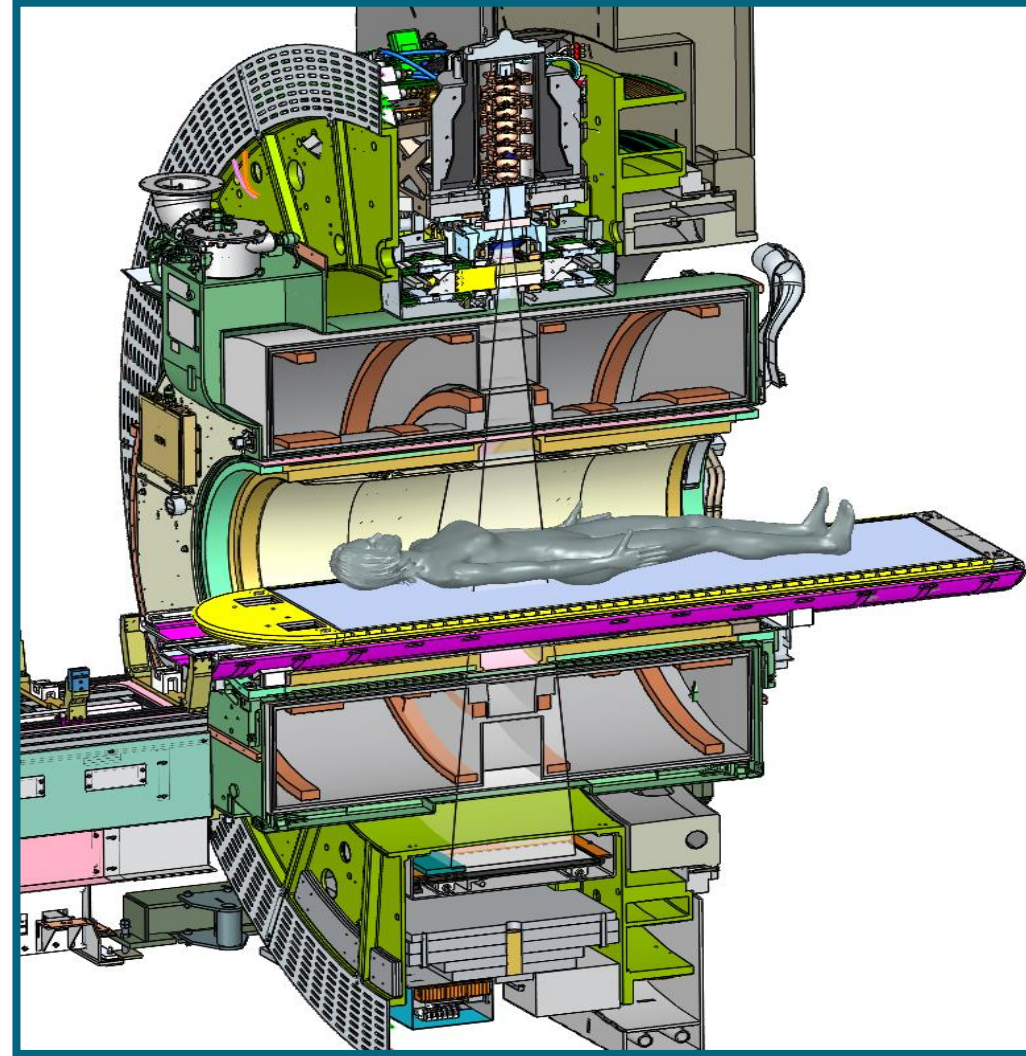
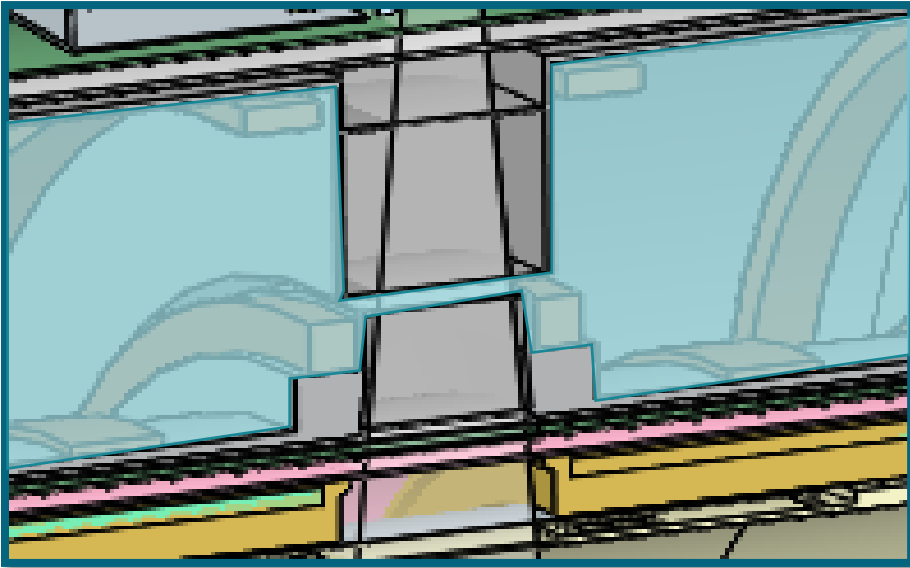
Cryostat Transmission測定結果：

角度毎のトランスミッションマップを作成し、
Monacoが線量計算で考慮できるようにする

Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission

アニュラスにより、クライオスタット構造全体に液体ヘリウムを均一に分布させることができる



Cryostat Effect on the MV Beam

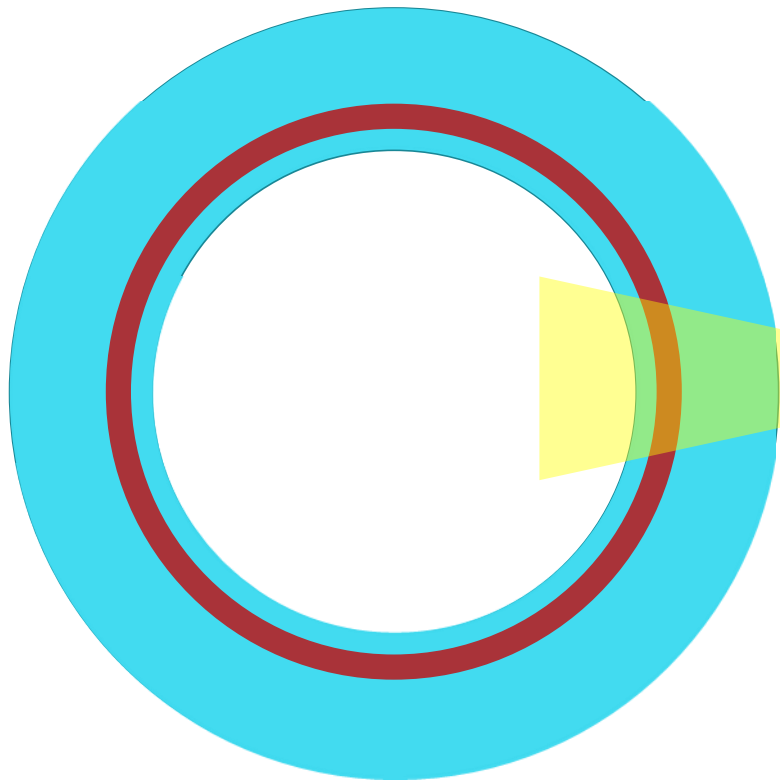
Helium Transmission

液体ヘリウムの量は、磁石の傾斜、停電などにより変化する可能性がある

- 液体ヘリウムの減衰は透過を0.7~0.9%増加させます
 - ガントリ角度に応じて平均出力に影響を与える

注目すべきクライオスタットヘリウム充填率

- 100%
フルで充填されている場合
- 93.2%
アニュラスを完全に覆っている最低レベルのヘリウム充填率
- 66%
エレクタが定める最低限必要な量
G90 / 270のマシン出力をチェックするのに十分なヘリウム充填率
- 40%
G90 / 270で均一なプロファイルをとるヘリウム充填率
- 30%
MRIを使用するために最低限必要



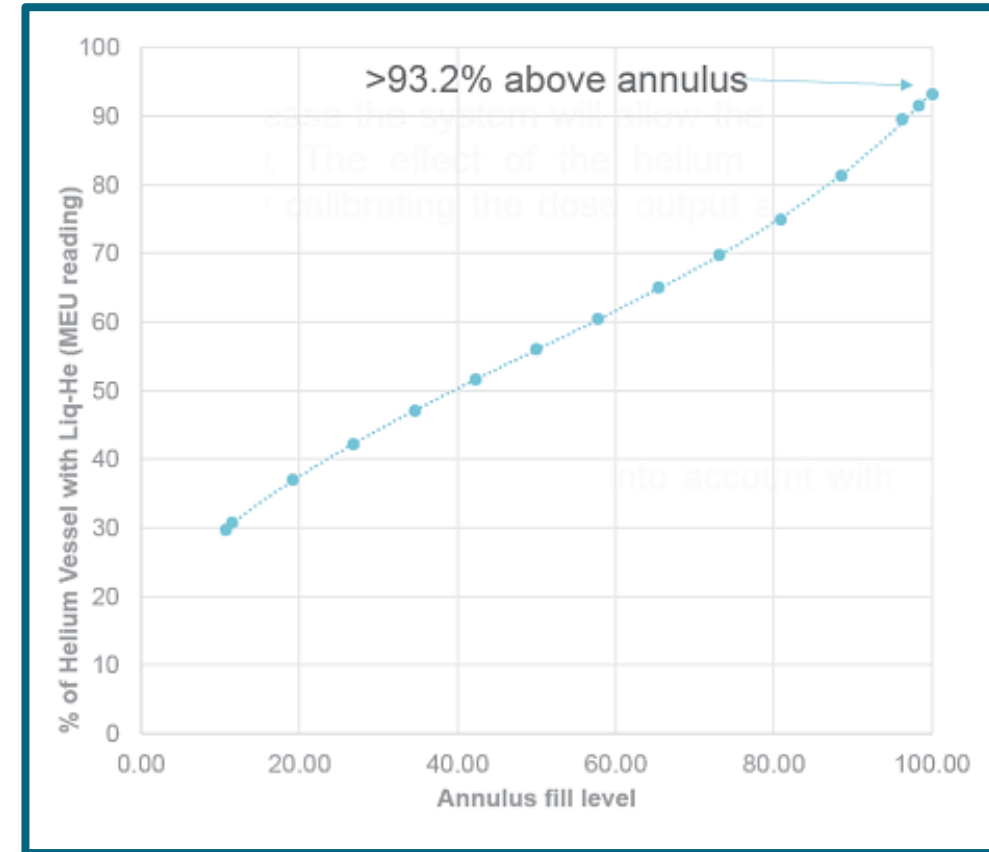
Cryostat Effect on the MV Beam

Cryostat vs Annulus fill level

右のグラフは、クライオスタット充填率に対して非線形に関連するアニュラスヘリウム充填率を表している

クライオスタットで前述した重要な値は、次のようなアニュラス充填に関連している

Cryostat	Annulus
100%	100%
93.2%	100%
66%	66%
40%	34%
30%	11%



Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission

アニュラスのヘリウム充填率による2つの主要な考慮事項

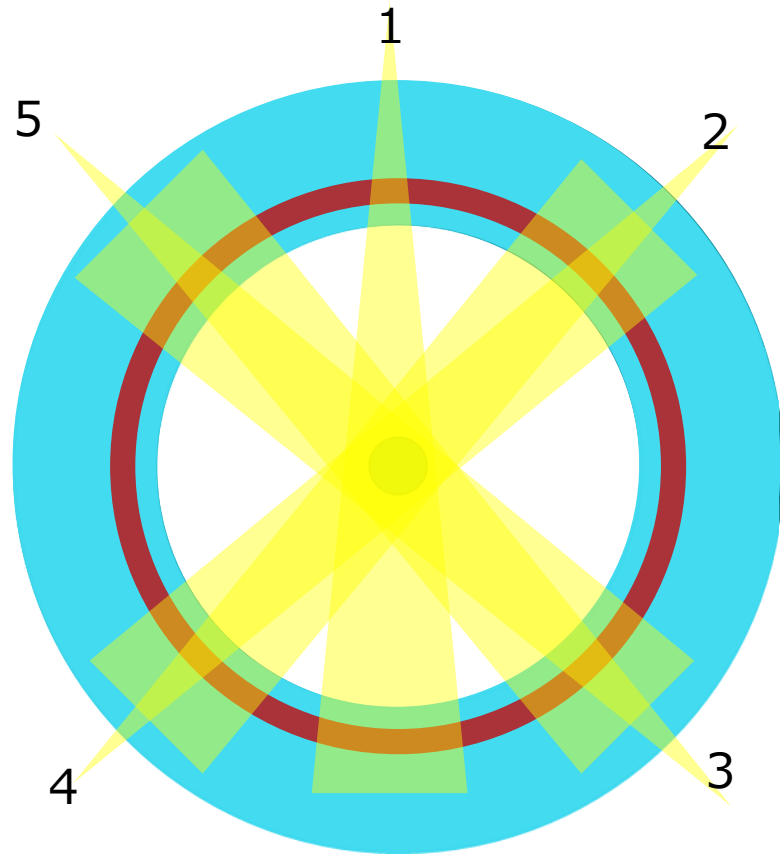
1. 照射中の絶対線量差
2. 線量校正時のガントリー角度に依存した違い

調査した2つのケース

1. 同じMUで異なるガントリー角度から照射する5門ビームのアイソセンタでの平均線量を求める
2. マルチアングルビームでアイソセンタの平均線量を求める

Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission



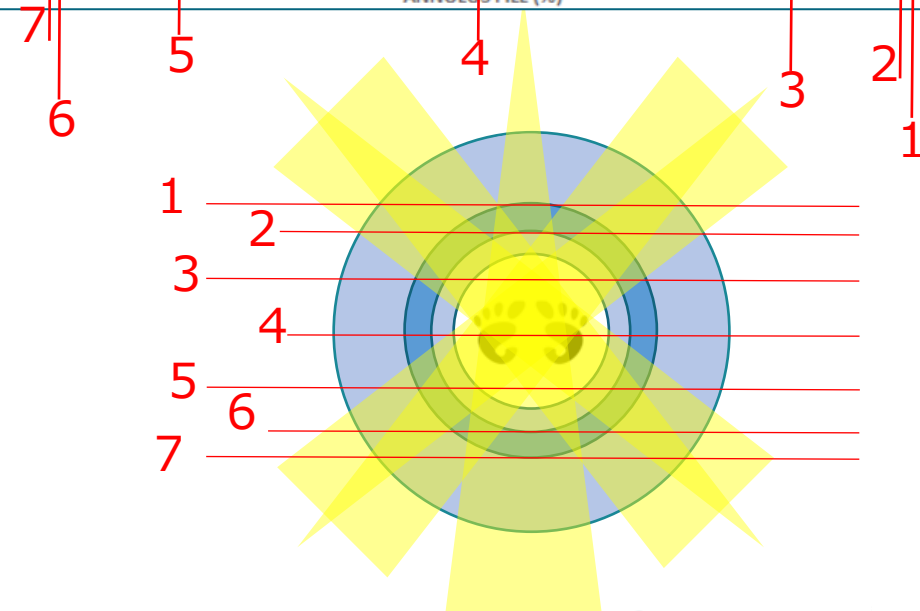
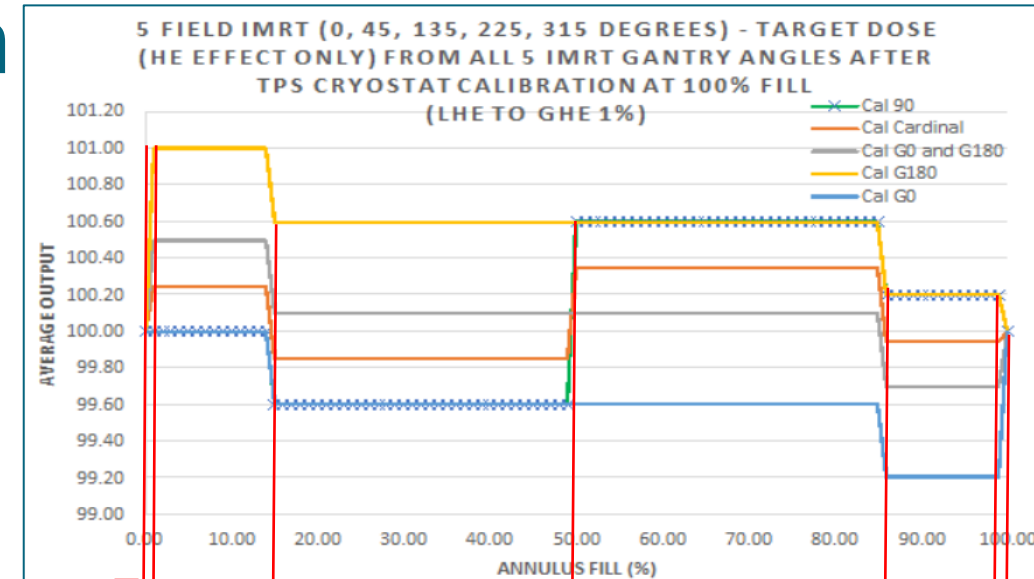
Annulus Fill	Beam 1	Beam 2	Beam 3	Beam 4	Beam 5
100%+	100 cGy	100 cGy	100 cGy	100 cGy	100 cGy
~98%	101 cGy	100 cGy	100 cGy	100 cGy	100 cGy
~88%	101 cGy	101 cGy	100 cGy	100 cGy	101 cGy
~66%	101 cGy	101 cGy	100 cGy	100 cGy	101 cGy

Total Dose	100%+	~98%	~88%	~66%
	500 cGy	501 cGy	503 cGy	503 cGy

Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission

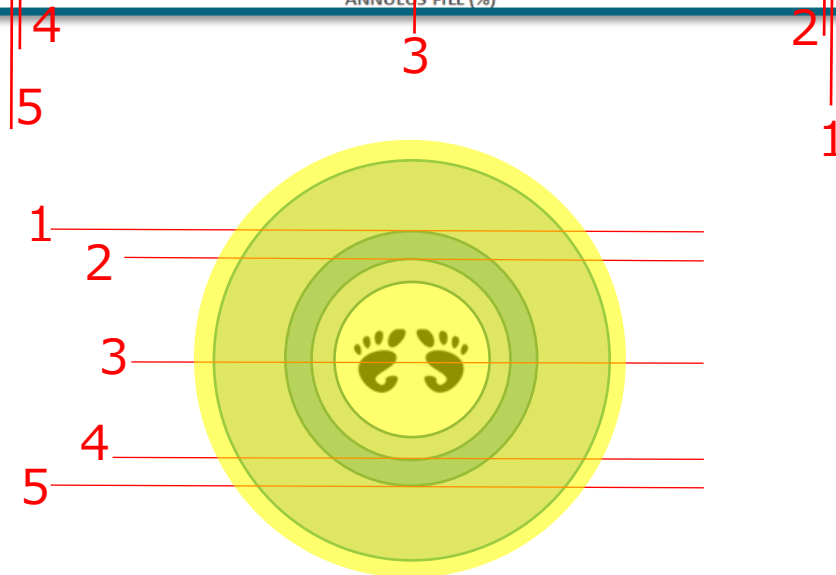
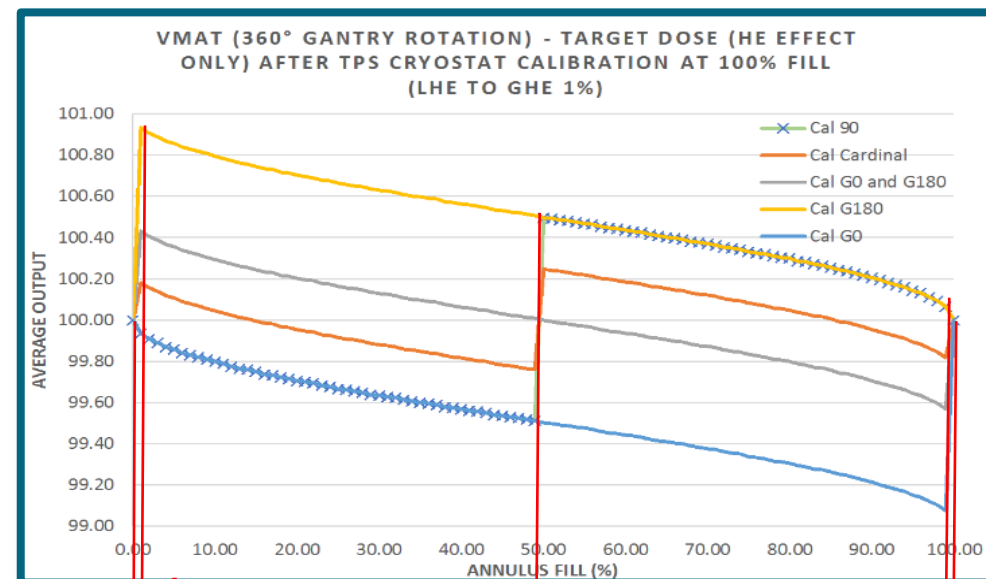
- 5門での平均線量を使用した調査
 - 様々な線量校正のガントリー角度を検証
 - G90
 - G0,G90,G180,G270の平均
 - G0,G180の平均
 - G180
 - G0



Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission

- マルチガントリーアングルでの平均線量を使用した調査
 - 様々な線量校正のガントリー角度を検証
 - G90
 - G0,G90,G180,G270の平均
 - G0とG180の平均
 - G180
 - G0



Cryostat Effect on the MV Beam

Helium Transmission

推奨される線量校正時のガントリー角度：G90またはG270

- 66～100%の充填率で検討

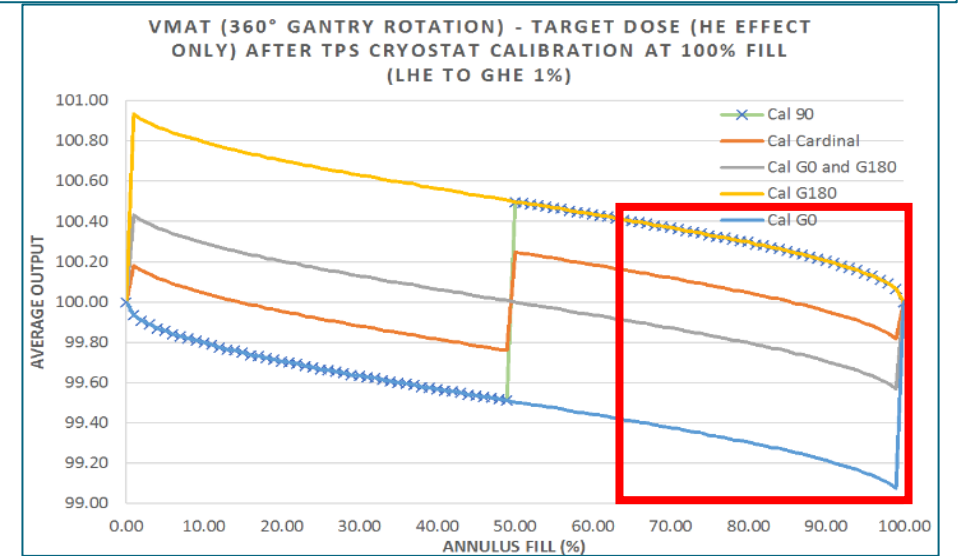
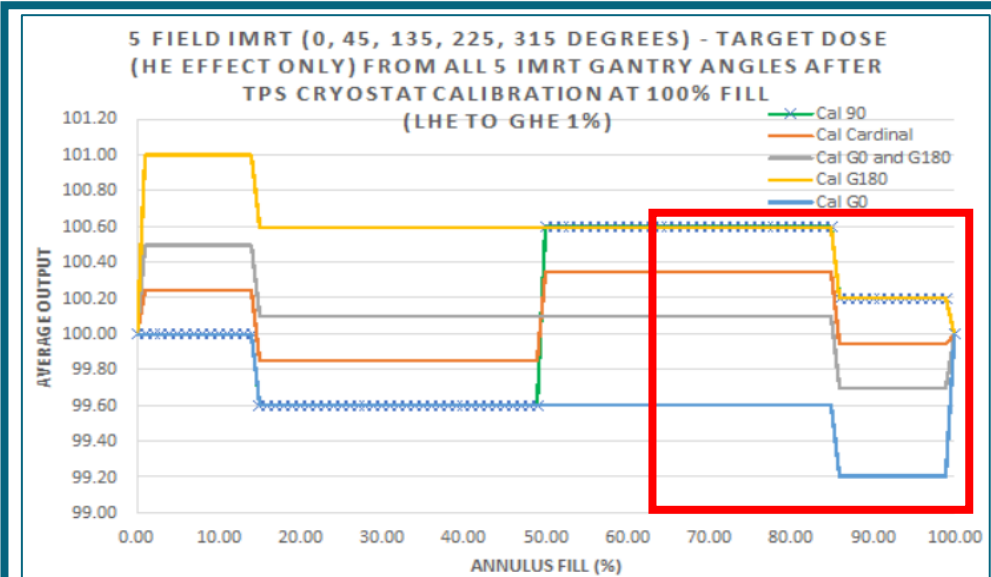
5ビーム平均出力の変化：

- G90でのキャリブレーションでは0.6%
- G0でのキャリブレーションでは0.8%

マルチガントリー角度の平均出力の変化

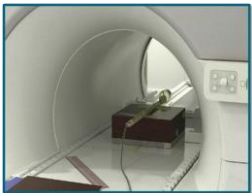
- G90でのキャリブレーションでは0.4%
- G0でのキャリブレーションでは0.9%

充填率はPhilips MR PCで測定された値



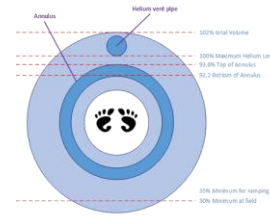
Summary ~Cryostat effects on the MV Beam~

Cryostat Characterization



クライオスタットには、超伝導磁石と、磁石に超伝導特性を提供するために使用される液体ヘリウムが充填されている

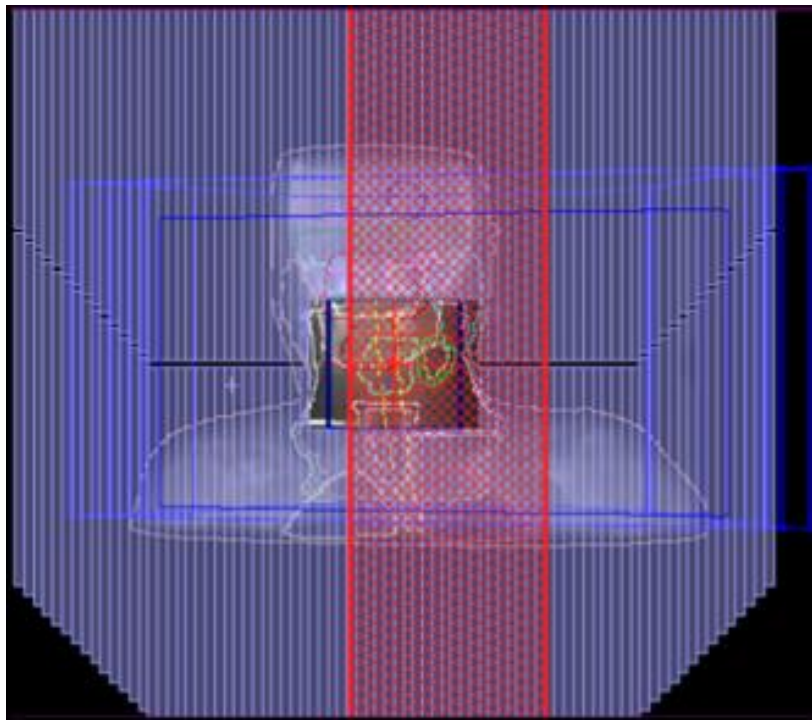
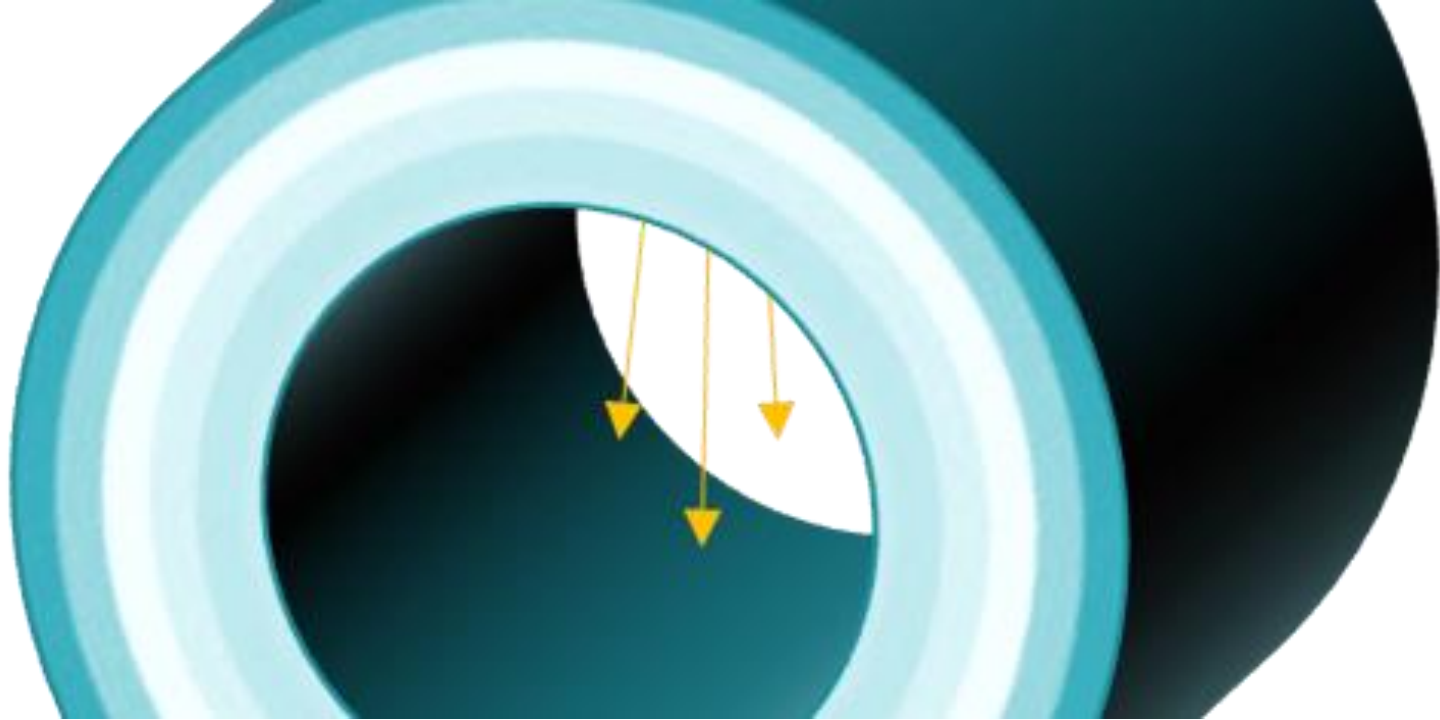
Annulus Helium Fill Level



Unityのビームは、クライオスタットアニュラスを通過するため、ヘリウムレベルが重要

Cryostat Model in the TPS

- クライオスタット
特性評価の適用
- クライオスタットパイプ



Treatment Planning Issues


Cryostat Model in the TPS

Application of Cryostat Characterization

TPSモデルはGPUMCD bmtmc jsonファイル内の2つのセクションを使用して、クライオスタットに基づく補正を適応する

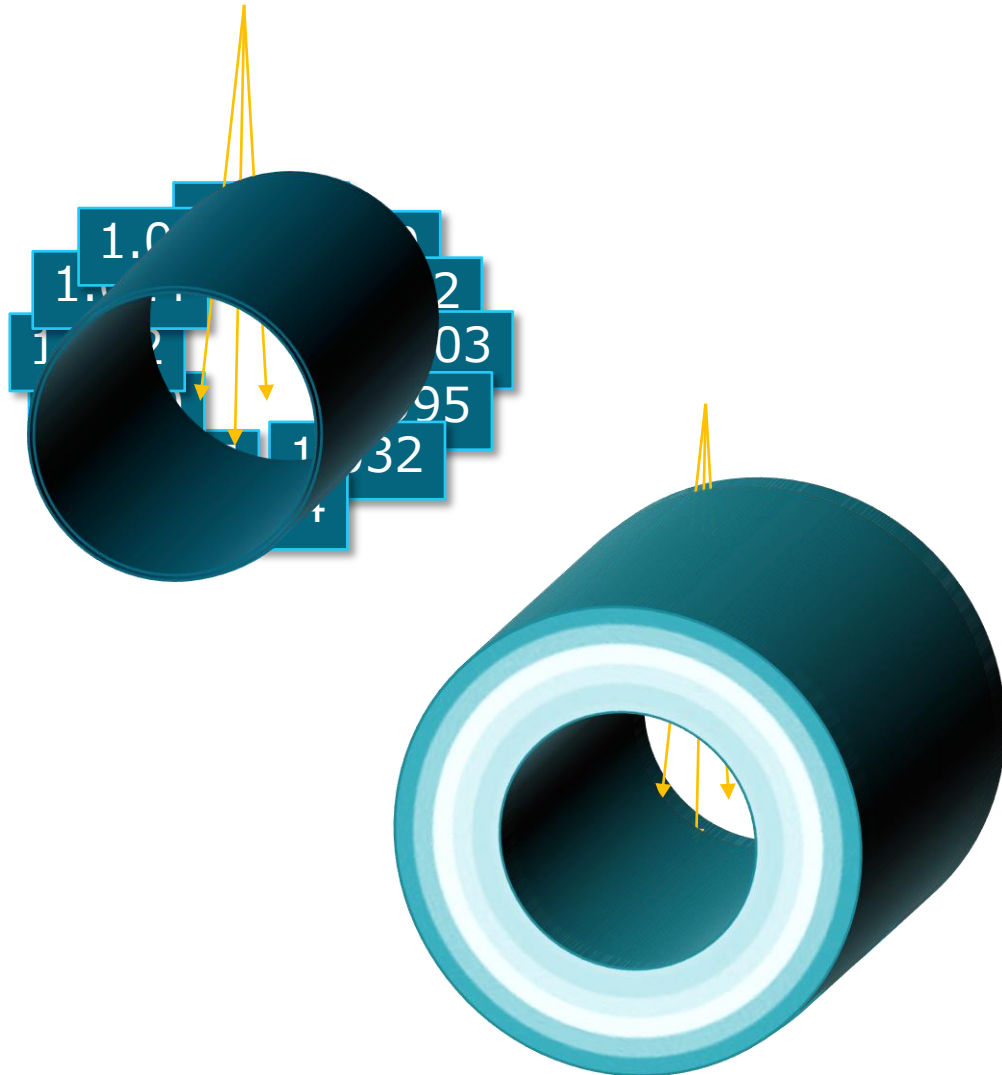
- 物質のリストとそれぞれのサイズ
- 360度のトランスミッションマップ

```
"CryostatModel": {
  "CryostatShells": [
    {
      "MassDensity": "pN+u46n0mt950tJ2oaco+w==",
      "MediumName": "qgXssKStNkhsqaNN6hER2gmzn3gVs81VuCew4sjuio8=",
      "OuterRadiusInMm": "Lphe17btQVDmgo3eSaJuew==",
      "ThicknessInMm": "Kkx10Dq5gocgUCprOSBfWCw=="
    },
    {
      "MassDensity": "YSpeU9aA7hqld24vVRrLAA==",
      "MediumName": "MYOnox/ufFpbLYyCJcuGKg==",
      "OuterRadiusInMm": "iXgc968jZ8RrkcCF37Xg9g==",
      "ThicknessInMm": "F/mgtpWH/mKyQ0A2IhOhWg=="
    },
    {
      "MassDensity": "eyAs0Hg8Fg66z08nySOVsw==",
      "MediumName": "wMVZT1AUug+obp7+kV/OGg==",
      "OuterRadiusInMm": "I9vcOjeW+5umz2lcFpLEyQ==",
      "ThicknessInMm": "705nhrttonIROHxQF9Agxng=="
    }
  ],
  "CryostatCorrectionMap": {
    "ShiftInMm": 0.0,
    "LengthInMm": 2000.0,
    "RadiusInMm": 701.38125,
    "NumAzimuthalPixels": 360,
    "NumLongitudinalPixels": 1,
    "Values": [
      1.0,
      1.0007972098,
      1.0015944196,
      1.0023916294000002,
      1.0031888392000001,
      1.003986049,
      1.0040488392,
      1.0041116294,
      1.0041744196,
      1.0042372098,
      1.0043,
      1.00436,
      1.0044199999999999,
      1.00448,
      1.00454,
      1.0046,
      1.0046765121999999,
      1.0047530244,
      1.0048295366,
      1.0049060488000001,
      1.004982561,
      1.0050822122,
      1.0051818634,
      1.0052815146,
      1.0053811658,
      1.005480817,
      1.005580418,
      1.005680019,
      1.00577962,
      1.0058792244
    ]
  }
}
```

Name	Date modified	Type	Size
 bmtmc	2/3/2020 6:57 PM	JSON File	24 KB

Cryostat Model in the TPS

Application of Cryostat Characterization



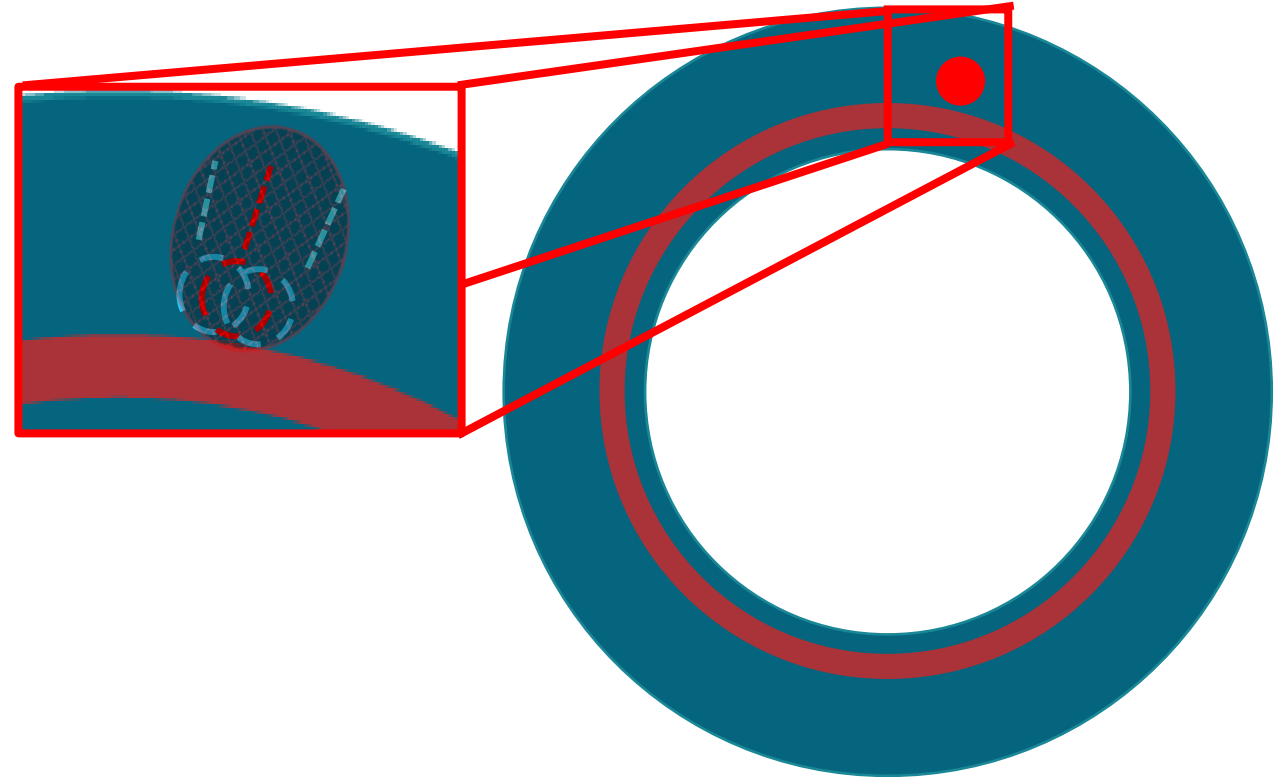
計算手順の概要：

1. クライオスタットの特性評価に基づいたトランスミッション補正マトリックスの構築
2. クライオスタットの「補正シリンダー」を通る個々の粒子経路を追跡する
3. 粒子の重みづけによって24層に補正されたクライオスタットシェルを介してモンテカルロ計算を実行する

Cryostat Model in the TPS

Pipe Exclusion

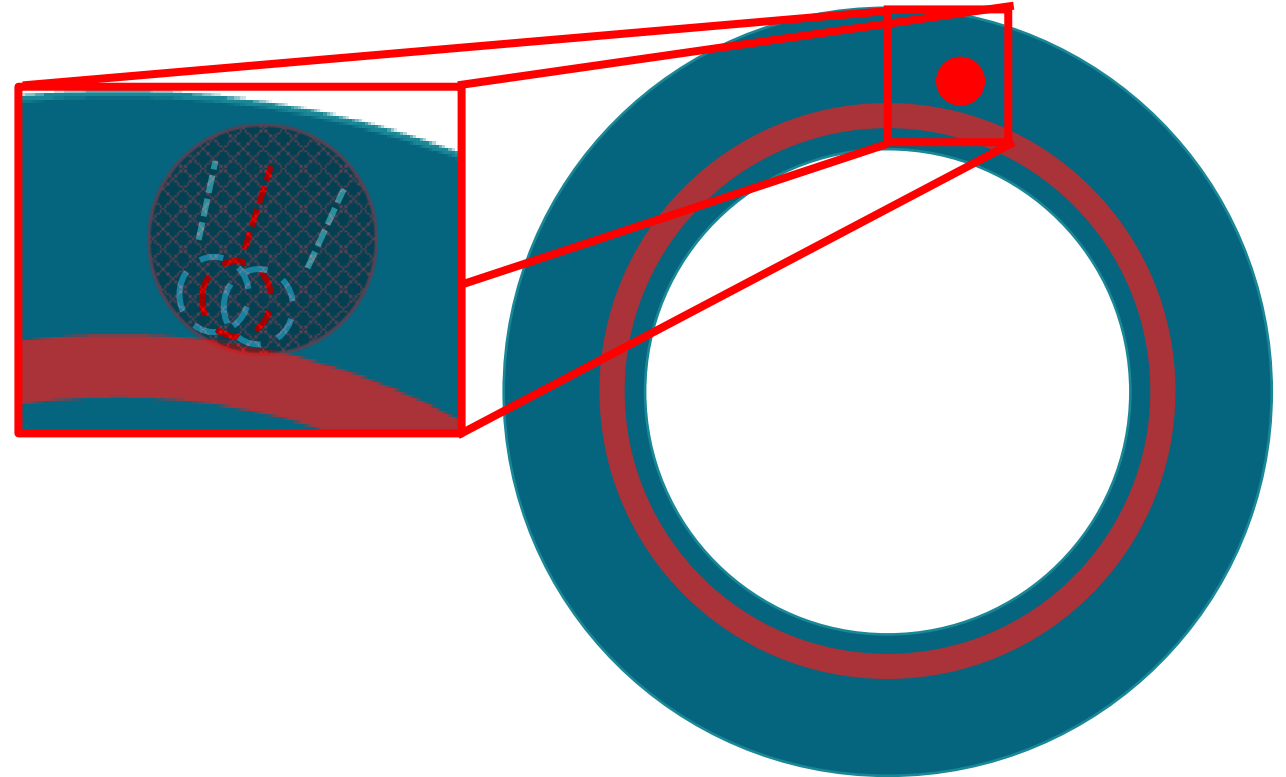
- Unityは、線源からのビームの角度投影を使用して、ガントリ角度の関数として「保護ゾーン」を決定する
- 最終的な完全除外ゾーンは楕円形になる



Cryostat Model in the TPS

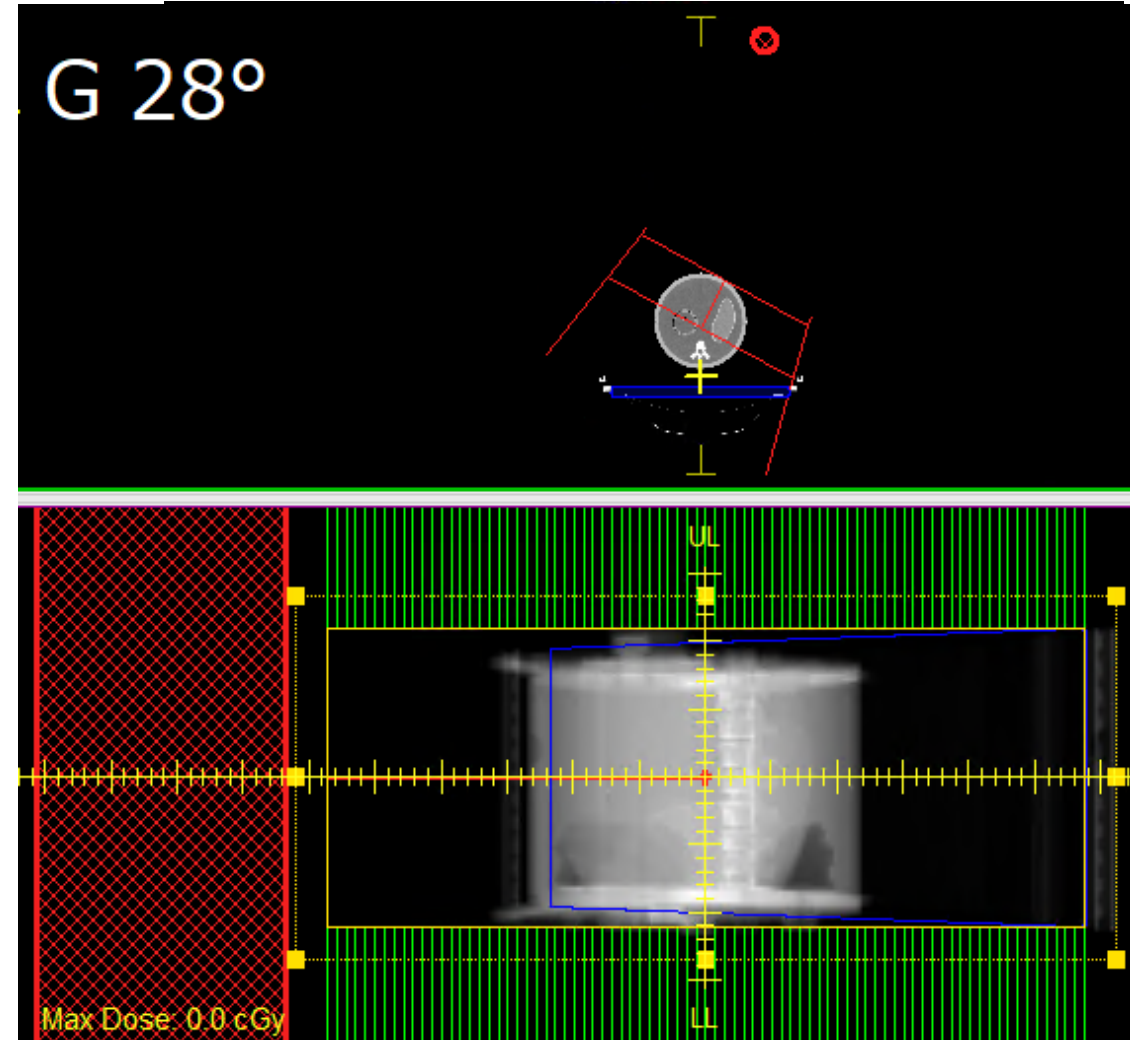
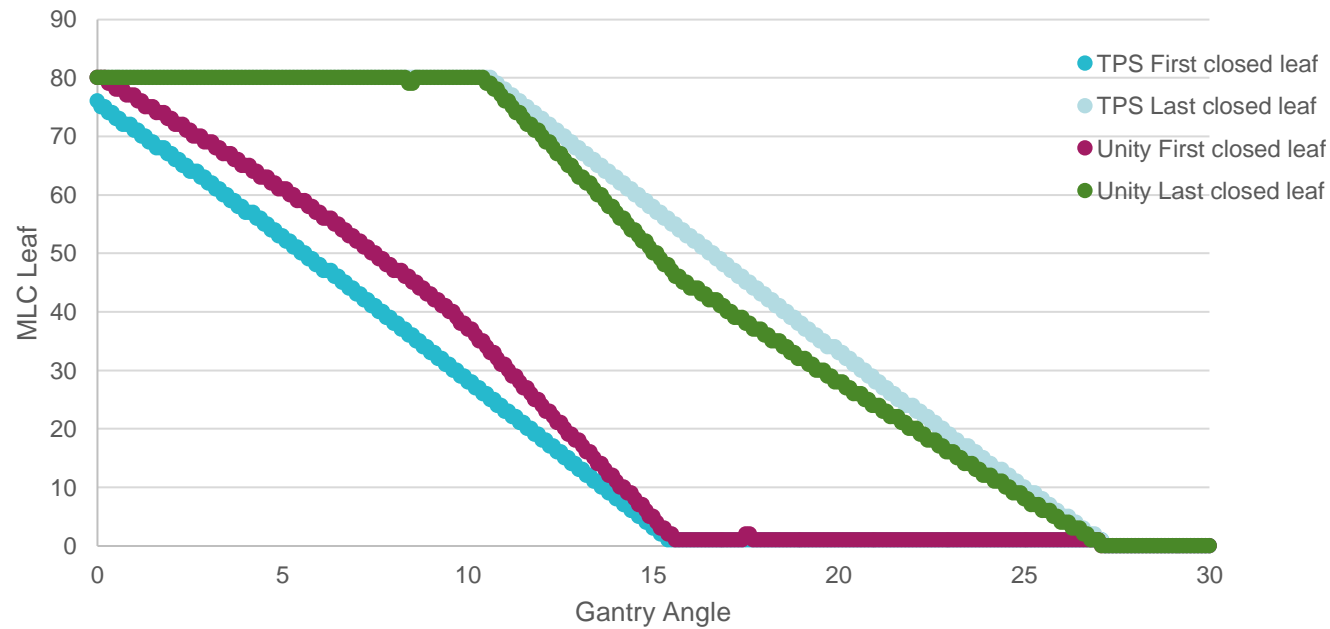
Pipe Exclusion

- Monacoは、「保護」エリアを単一の円柱モデルとしてモデル化して、回避ゾーンを提供する



Cryostat Model in the TPS

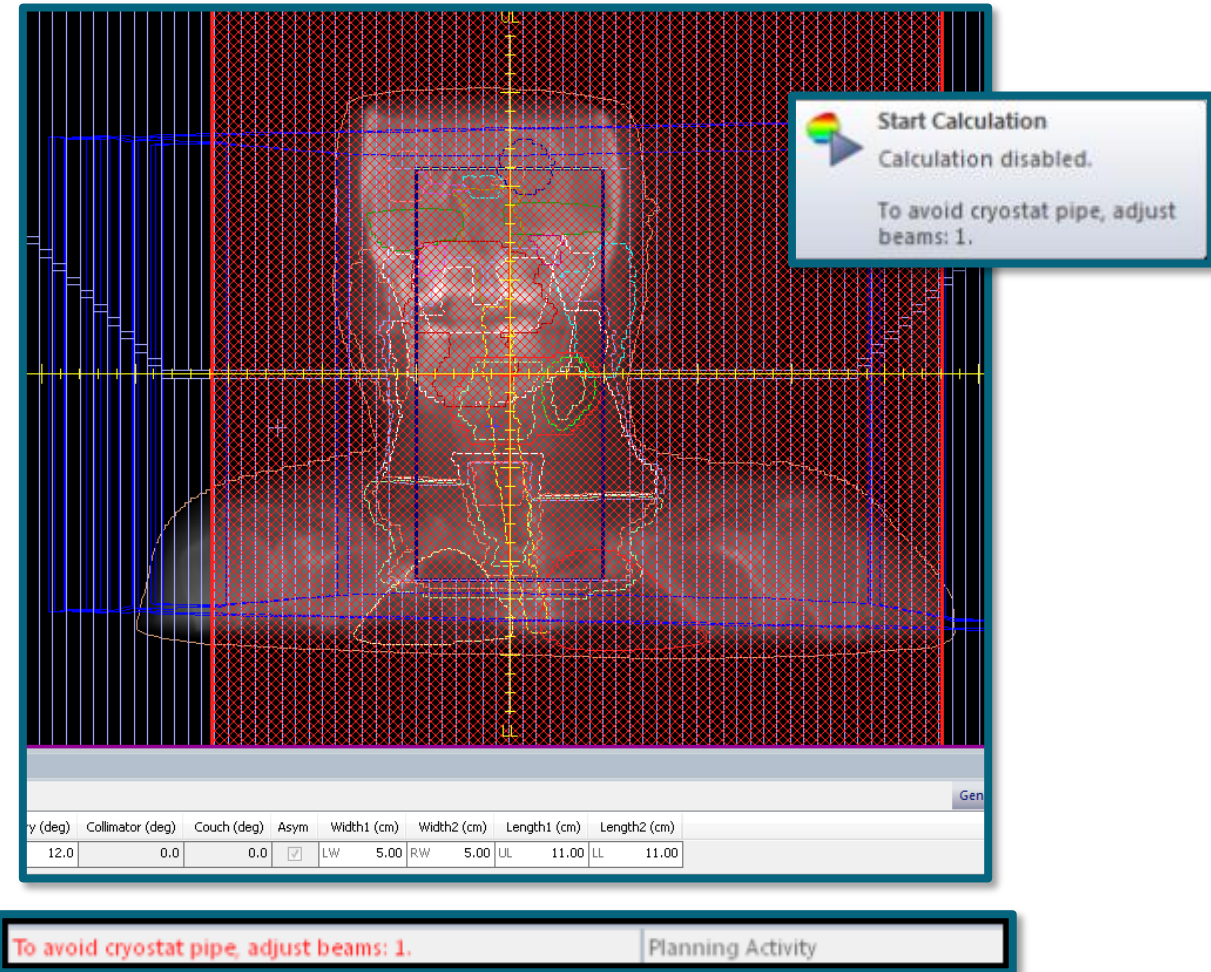
Pipe Exclusion



Cryostat Model in the TPS

Pipe Exclusion

- パイプは、BEVディスプレイから赤のハッチングバーとして表示される
- コンベンショナル照射の際、Monacoは線量計算を無効にし、エラーの原因となっているビームを編集するよう警告する



Start Calculation
Calculation disabled.
To avoid cryostat pipe, adjust beams: 1.

y (deg)	Collimator (deg)	Couch (deg)	Asym	Width1 (cm)	Width2 (cm)	Length1 (cm)	Length2 (cm)
12.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	LW 5.00	RW 5.00	UL 11.00	LL 11.00

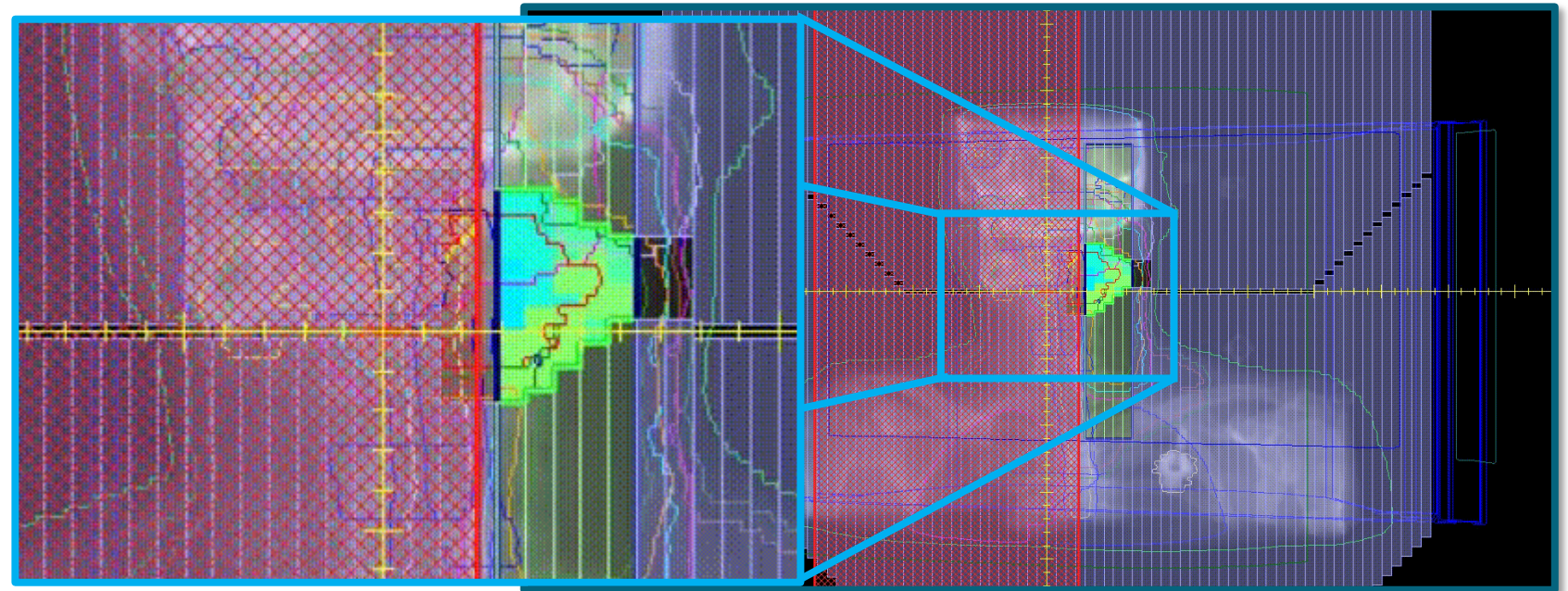
To avoid cryostat pipe, adjust beams: 1. Planning Activity

Cryostat Model in the TPS

Pipe Exclusion

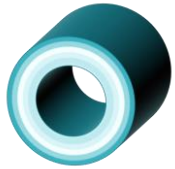
IMRT最適化中：

- ダイアフラムがクライオスタットパイプを塞ぐ
- ガードリーフも開く



Summary ~Cryostat Model in the TPS~

Virtual Cryostat Model



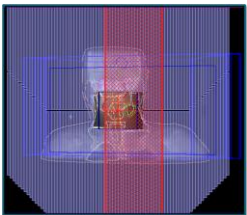
クライオスタットアニュラスモデルは、24層のシリンダーシェルから構成されている

GPUMCD Particle Weighting



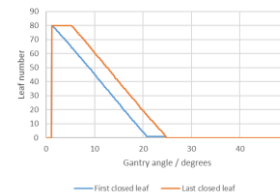
クライオスタット補正は、仮想シリンダーシェルトランスマッションモデルに基づいた粒子重み付けを使用して実行される

Pipe Protection



Monacoでは、クライオスタットパイプを通過するビームを作成することはできない

Beamlet Optimization



Monacoは、患者様に達する前にパイプを通過するビームレットを最適化しない。パイプはダイヤモンドを使用してブロックされる。

Thank you

