

SuperKEKB 陽電子ダンピングリング における常伝導高周波加速空洞の据付

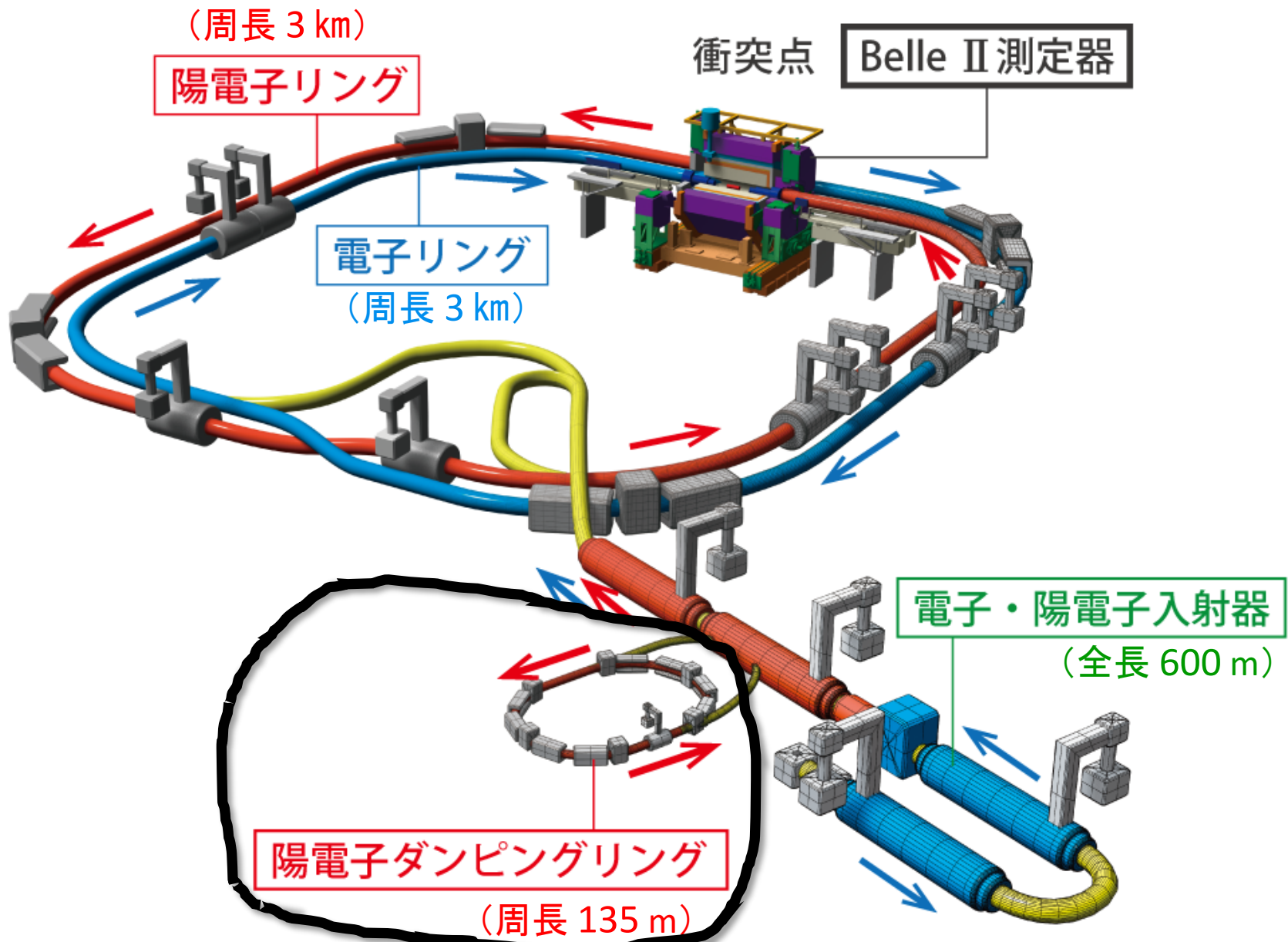
阿部 哲郎、竹内 保直、坂井 浩、影山 達也、吉野 一男、
増澤 美佳、川本 崇

高エネルギー加速器研究機構／加速器研究施設

日本加速器学会年会@北海道大学

2017年8月1日

SuperKEKB Accelerator Complex



New Positron Damping Ring (DR)

for the low-emittance beam injection to SuperKEKB / LER(e^+)

Parameters of the Damping Ring

MACIO

(N.Iida)

Energy	1.1	GeV
No. of bunch trains/ bunches per train	2 / 2	
Circumference	135.5	m
Maximum stored current*	70.8	mA
Energy loss per turn	0.091	MV
Horizontal damping time	10.9	ms
Injected-beam emittance	1700	nm
Equilibrium emittance(h/v)	41.4 / 2.07	nm
Coupling	5	%
Emittance at extraction(h/v)	42.5 / 3.15	nm
Energy band-width of injected beam	± 1.5	%
Energy spread	0.055	%
Bunch length	6.5	m
Momentum compaction factor	0.0141	
Number of normal cells	32	
Accel. voltage for 1.5 % bucket-height	1.4	MV
RF frequency	509	MHz
Inner diameter of chamber	32	mm
Bore diameter of magnets	44	mm

1.0

12.7

2100

14 / 1.4

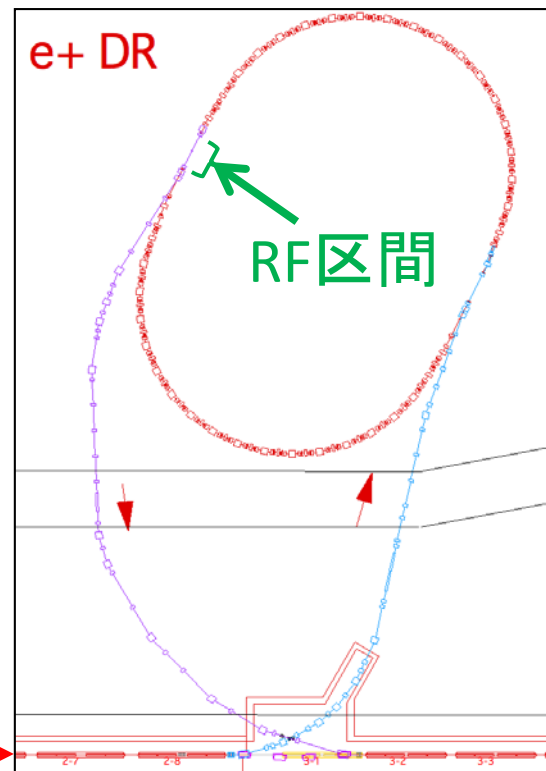
10

17.6 / 5.1

5.4

0.0019

CSR



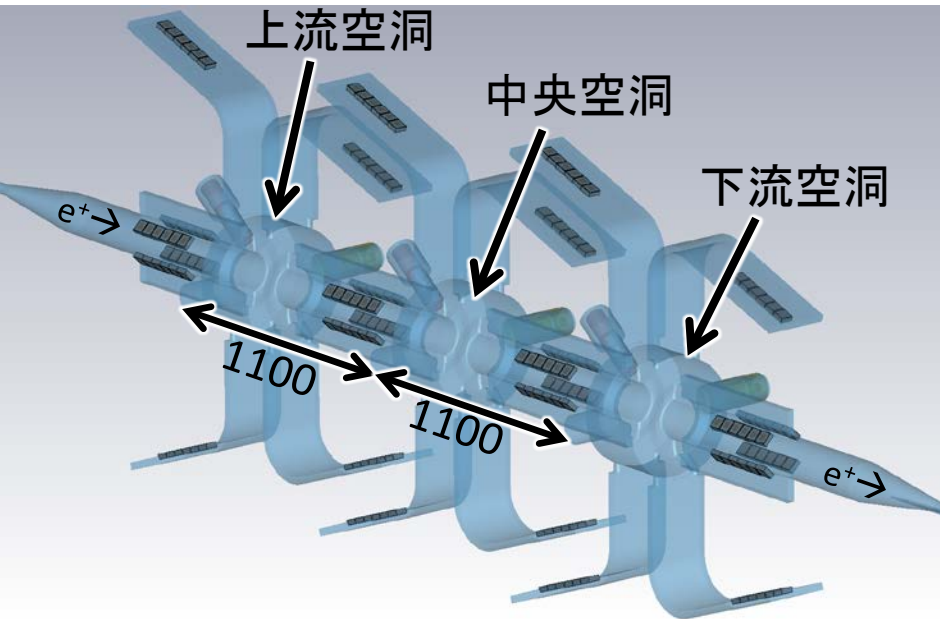
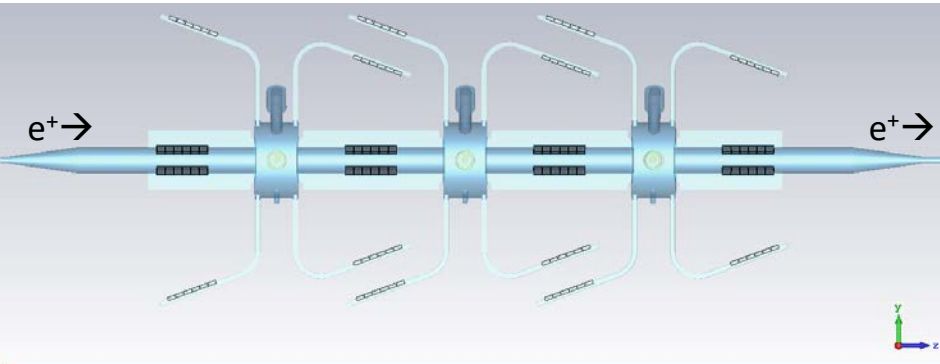
電子陽電子入射器

- ✓ 建設の最終段階
- ✓ 2017年12月に立ち上げ予定
- ✓ SuperKEKB Phase-II 運転で使用

* 8 nC/bunch

DR用常伝導高周波加速構造

- ✓ 青色領域: 真空(運転時)
- ✓ 灰色領域: HOM吸収体(SiCセラミックス)



- 加速モード周波数: 508.9 MHz (CW) (主リングと同じ)
- HOM減衰構造等の基本的構造はアレス空洞を踏襲
- 元々空洞1台のためのスペースに最大3台の空洞を設置可能

- 全加速電圧: Total $V_c = 2.4$ MV が可能

■ (アレス空洞には無い) 省スペース構造

- HOM吸収体は全てコンパクトなタイル形状(48x48x20mm)のSiCセラミックスを採用
- 隣り合う空洞がひとつの溝付ビームパイプを共有
- 溝付ビームパイプは空洞に直結
- 溝付ビームパイプは「TE&高次TMモード」を吸収(→SiCダクトの類いが不要)

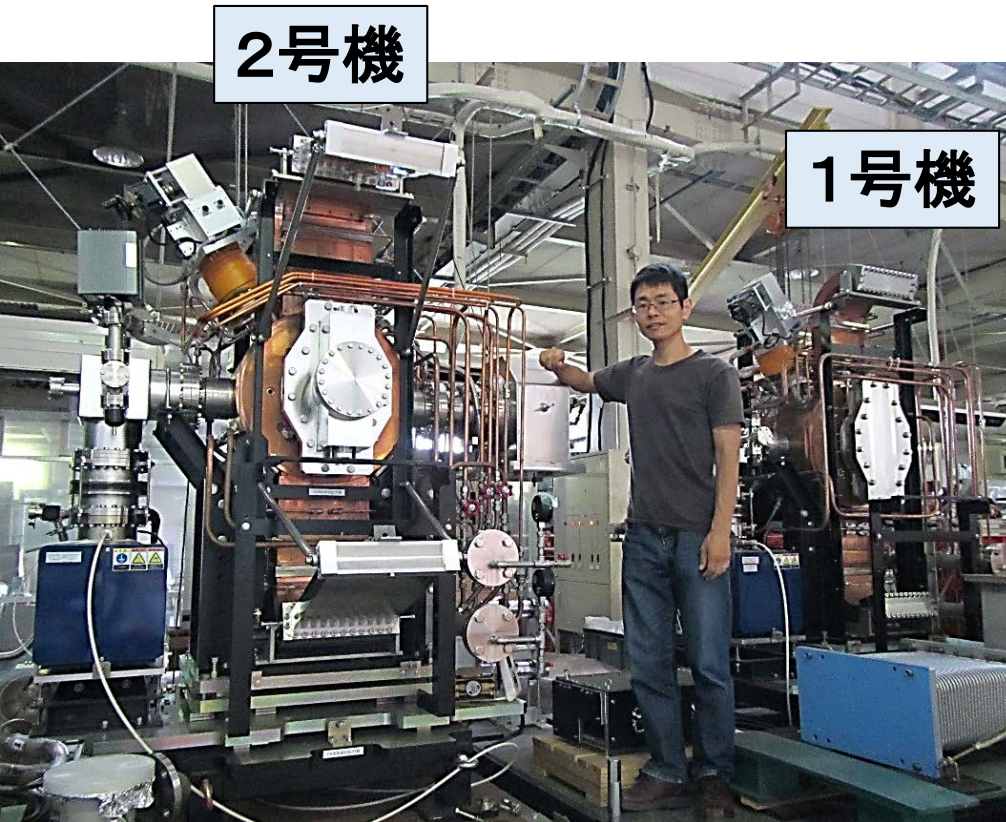
■ 「マルチ・単セル」構造

- 加速モードのビームパイプへの染み出し、及び、空洞間を行き来する高次モードは溝付ビームパイプのHOM吸収体で十分減衰
- レゴブロックのように組み立てて、ひとつの大きな構造体となる
- (原理的には)空洞の個数可変、空洞交換可能

■ 真空ポンプを空洞本体に直結

デザイン・パラメータ	
運転周波数	508.9 MHz
R_{sh}/Q_0	150 Ω
Q_0	約30000
空洞電圧 V_c (運転時)	0.7 MV / cavity
空洞電圧 V_c (空洞仕様)	0.8 MV / cavity
壁面損失電力 @ $V_c = 0.7 \sim 0.8$ MV	約110~140 kW / cavity

実機1号機と2号機

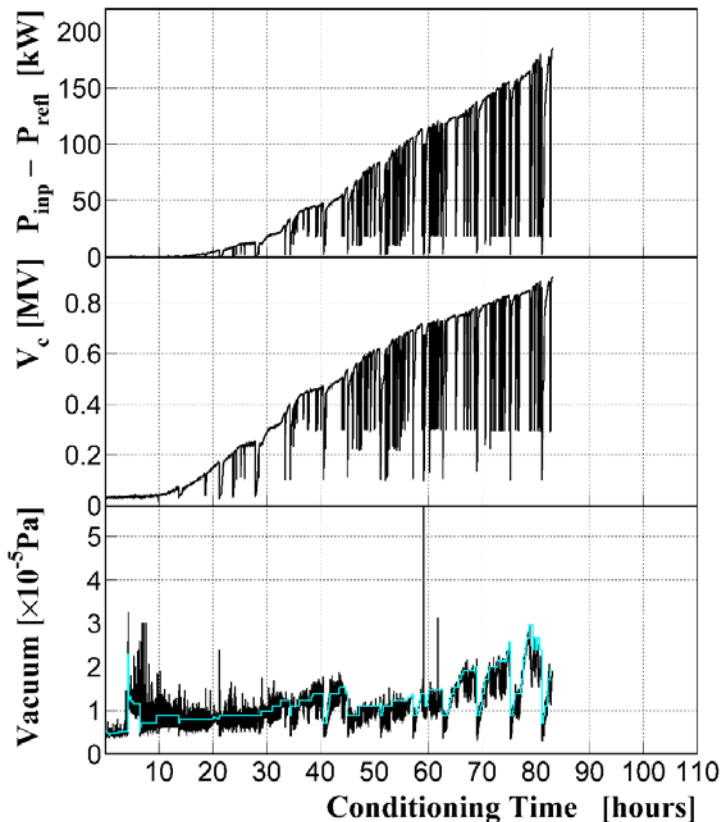


0. 零号機 (試験機) 製作 (2011年度)
1. 1号機製作 (2012年度)
2. 2号機製作 (2013年度)

実機1号機と2号機は、
✓ 電気設計
✓ 機械設計
✓ 製作方法
が同じ

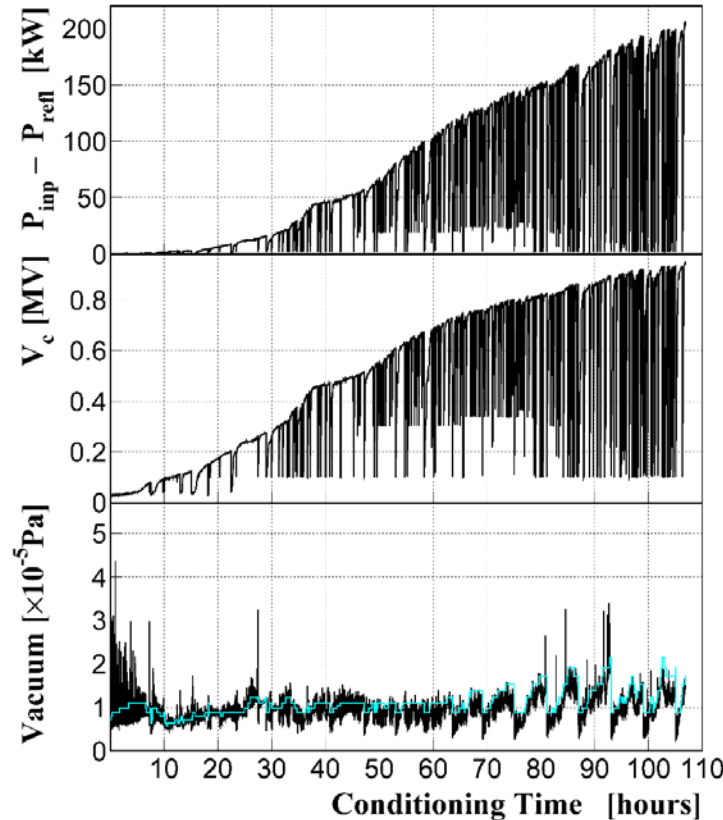
空洞電圧0.95MVまで問題なくRFコンディショニング済

実機1号機



✓ 83 hours to reach $V_c=0.90$ MV

実機2号機



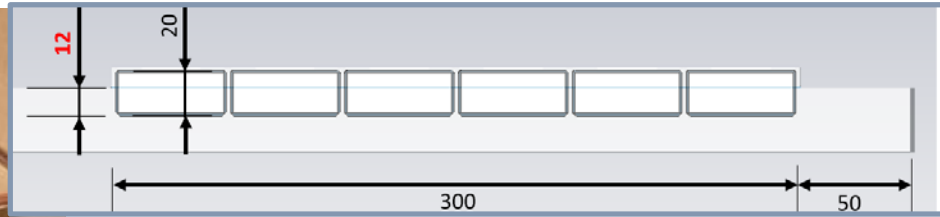
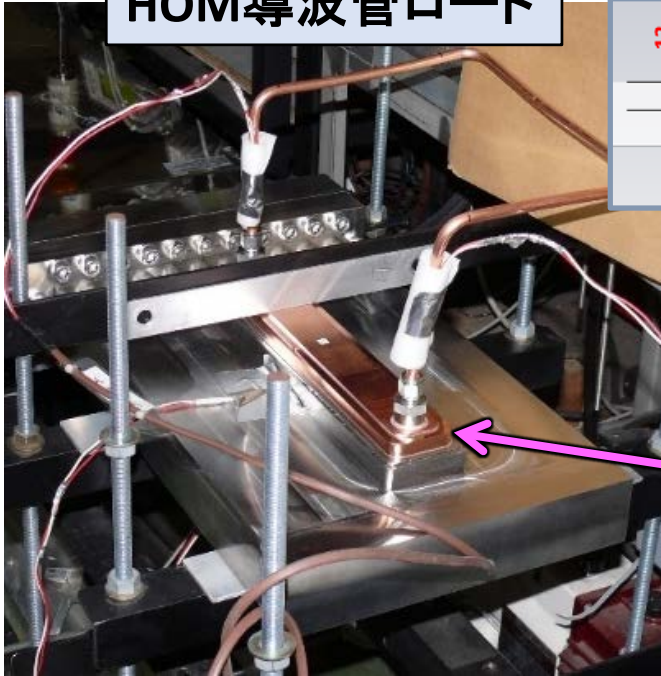
✓ 95 hours to reach $V_c=0.90$ MV
✓ 107 hours to reach $V_c=0.95$ MV

- ✓ P_{in} (P_{refl}): input power to (reflected power from) the cavity
- ✓ Wall-loss power: $P_{wall} = P_{in} - P_{refl} = \sim 0.99 \times P_{in}$
- ✓ **Cavity No.2 reached 0.95MV/cavity successfully.**
- ✓ **Comparable conditioning speeds btwn Cavity No. 1 and 2**

The light blue lines indicate the reference vacuum pressure specified by the computer controlled automatic aging. If the vacuum pressure is higher than the reference, P_{in} is slightly stepped down until the vacuum pressure becomes lower than the reference, and then P_{in} is slightly stepped up as long as the vacuum pressure is lower than the reference.

その他のコンポーネント

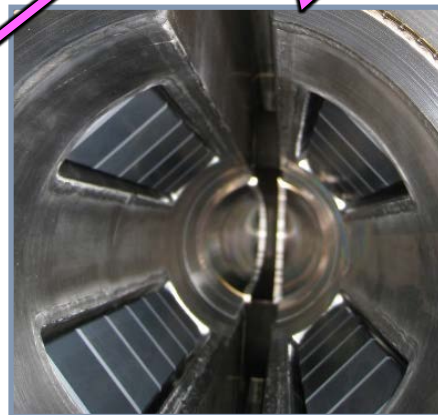
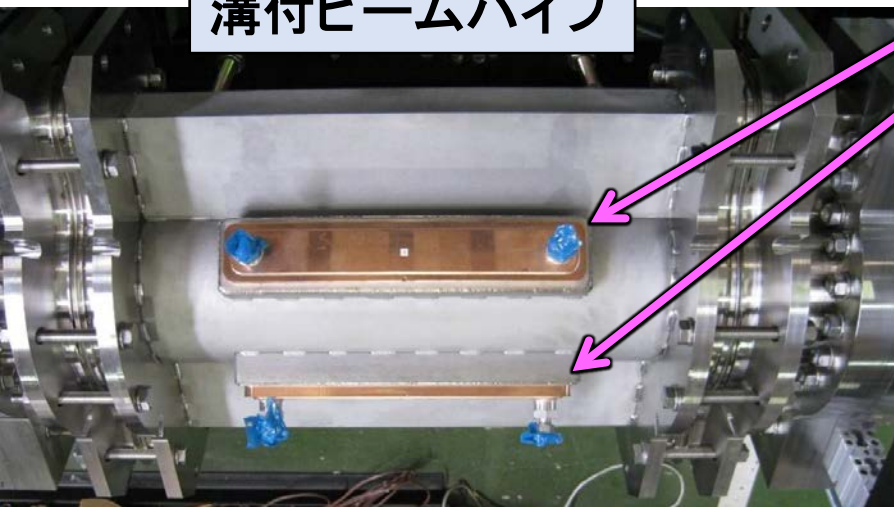
HOM導波管ロード



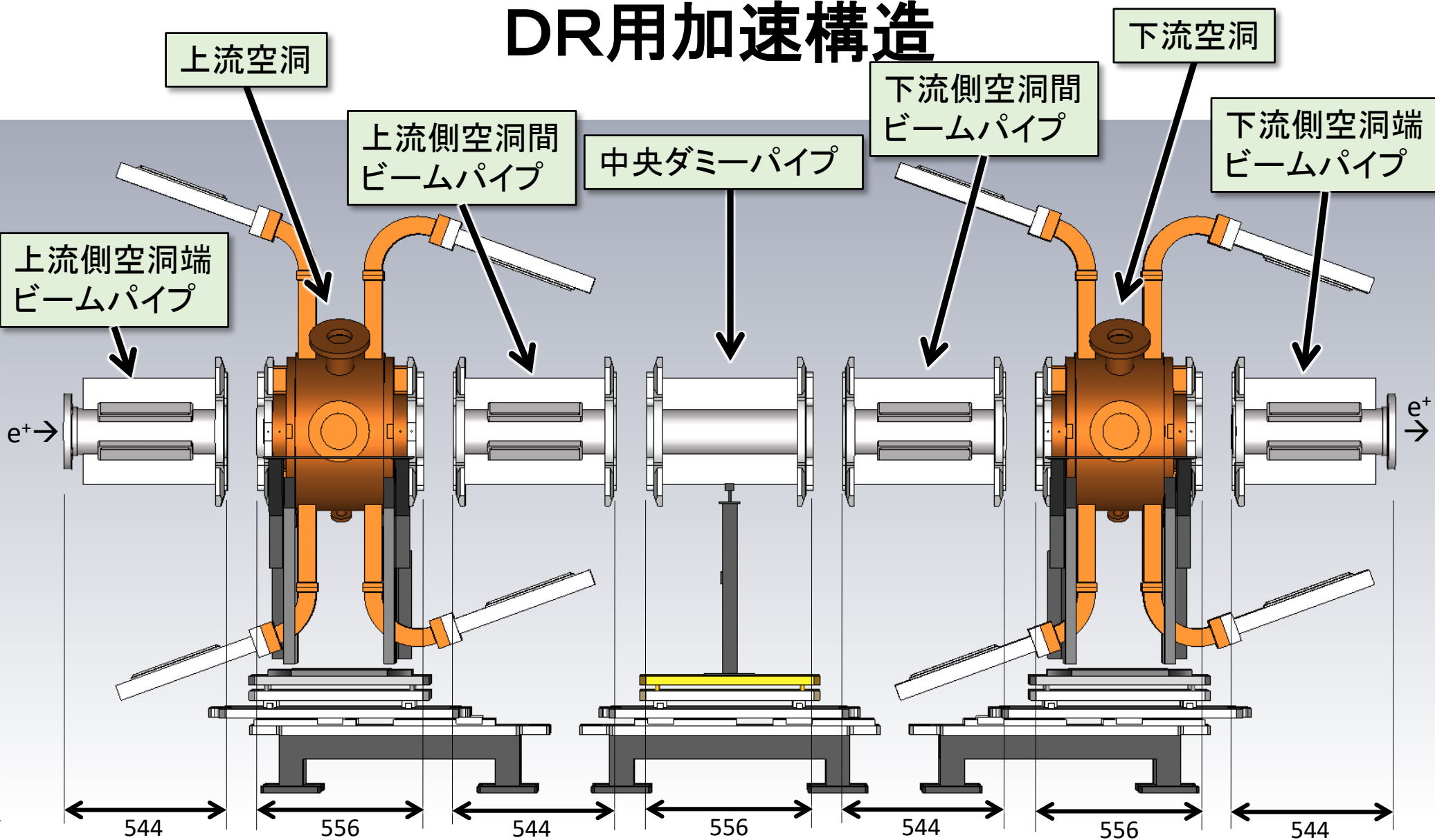
タイル形SiCセラミックス



溝付ビームパイプ



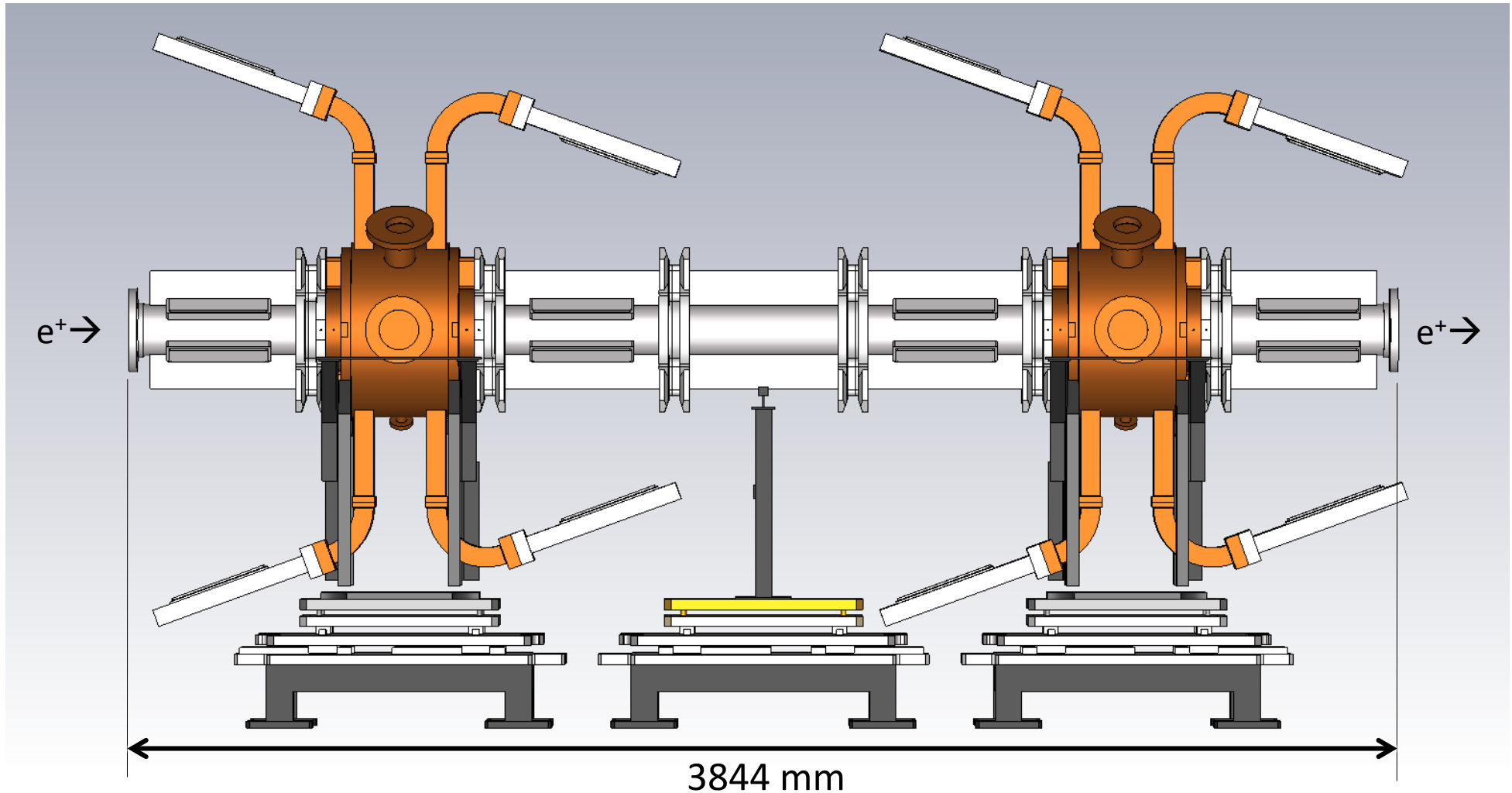
DR用加速構造



7個のコンポーネント(加速空洞2台 & ビームパイプ5本)をアライメント →

DR用加速構造

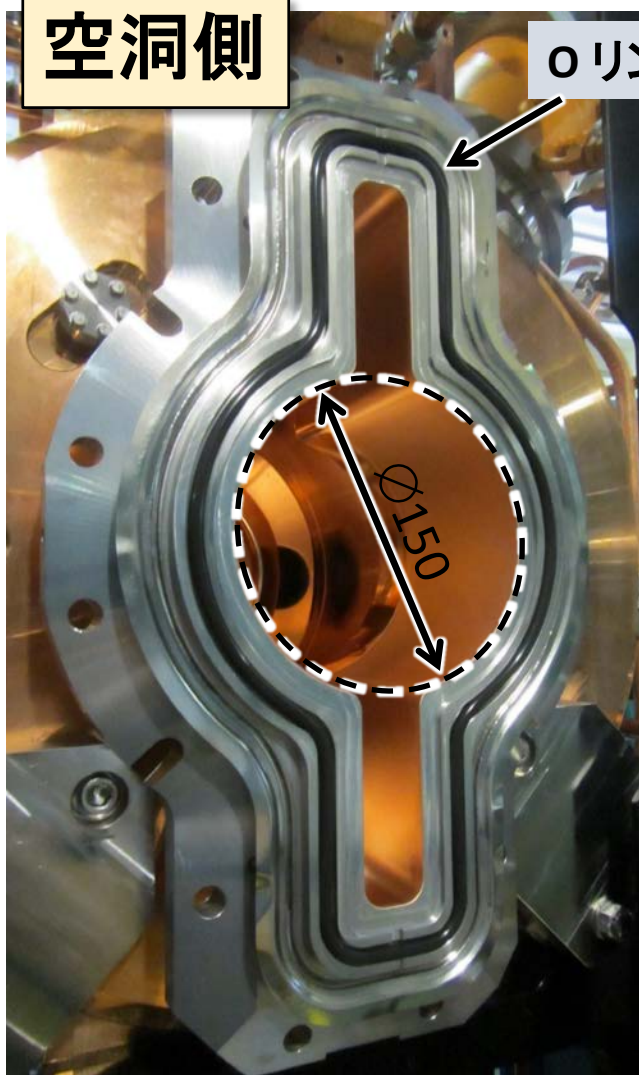
合体後、長さ約3.8mのひとつの構造体となる



7個のコンポーネント(加速空洞2台 & ビームパイプ5本)をアライメント → 合体
(このような加速構造の据付は初めて)

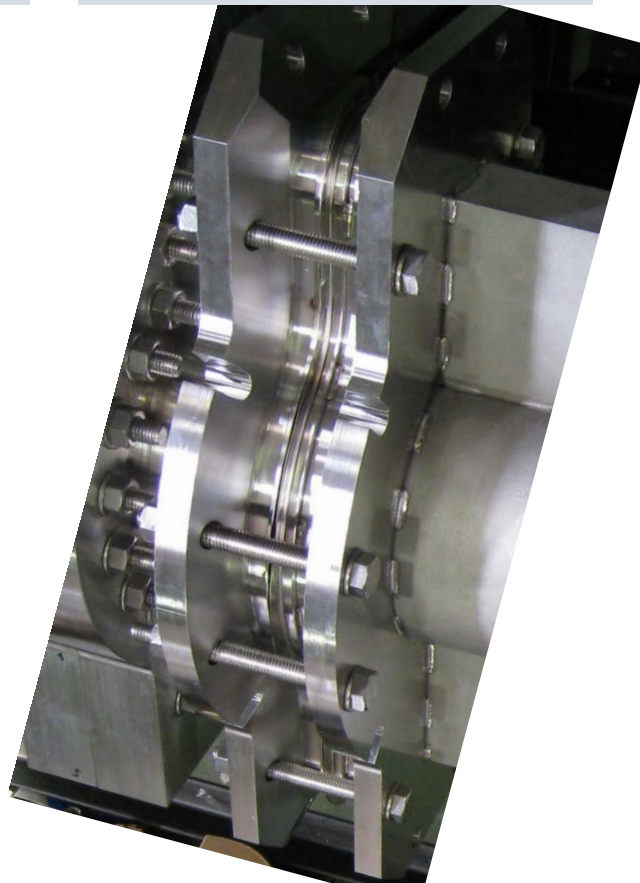
DR空洞とビームパイプの連結部フランジ

空洞側



○リング

M12ボルト16本で固定



嵌合のあそび: $\pm 0.2 \sim 0.3$ mm程度

ビームパイプ側



BeCu製RFフィンガー
(金コーティング付)

- ✓ 中心軸に対する直角度: 0.05mm (目標)
- ✓ フランジ加工後、ろう付け

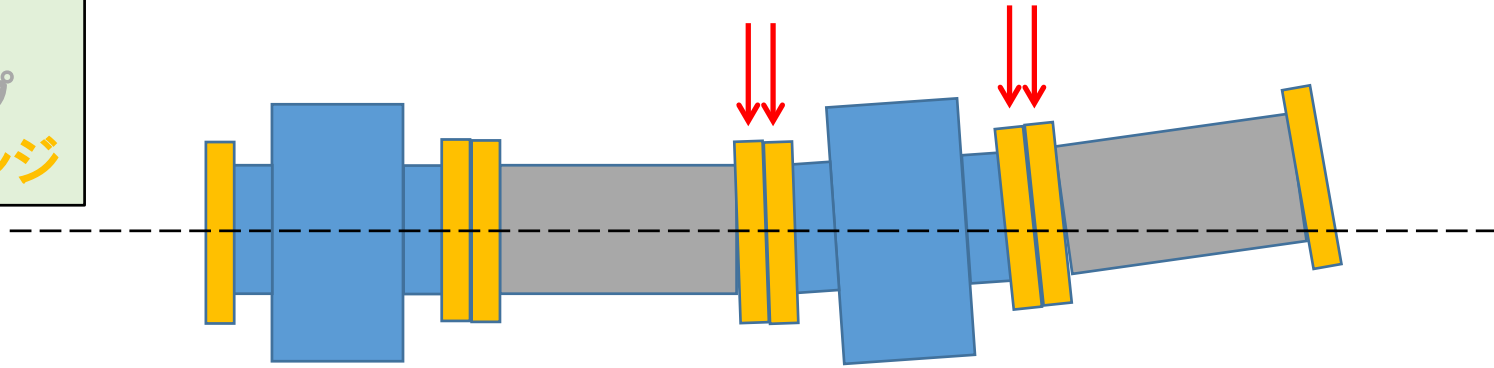
- ✓ 中心軸に対する直角度: 0.05mm (目標)
- ✓ 溶接後、フランジ面出し加工

アライメント方針

- 据付精度は主リング／アレス空洞を目標とする：
 - 直角方向 : **0.3 mm**
 - (ビーム軸方向: **1.0 mm**)
- 対象: 加速空洞の**ビームポート・フランジ**
 - 主リングのアレス空洞では、
 - ビームパイプ中心(←アライメント・テレスコープ)
 - 空洞本体の基準座(←レーザートラッカー)
- ビーム軸の定義: RF区間上下流のQ磁石の4分割線
 - レーザー墨出し器とオートレベルを使用
- 事前に**ビームポート・フランジの位置計測**を行う

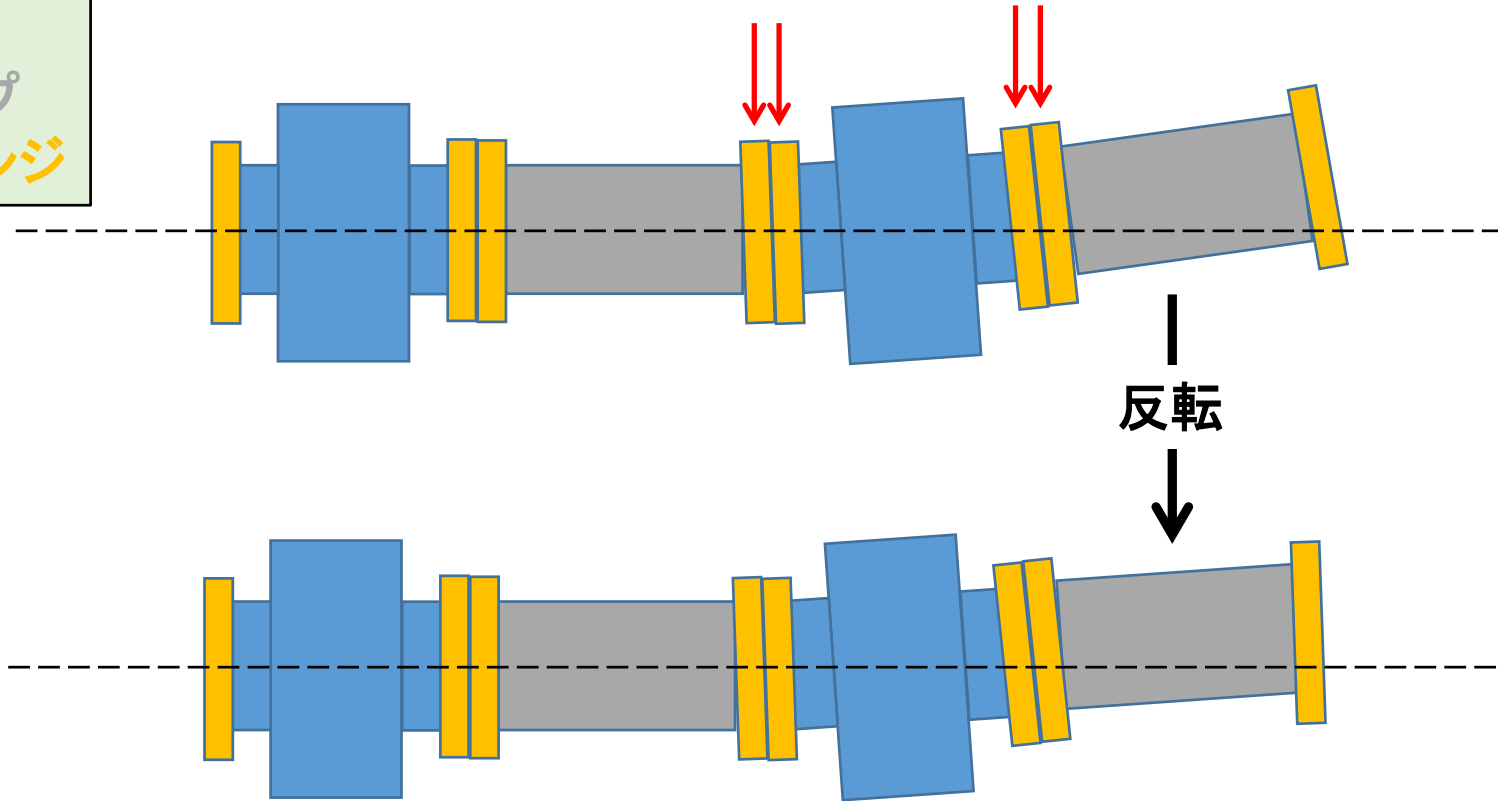
例えば、ビームポート・フランジに傾きがあると、、、

加速空洞
ビームパイプ
連結部フランジ



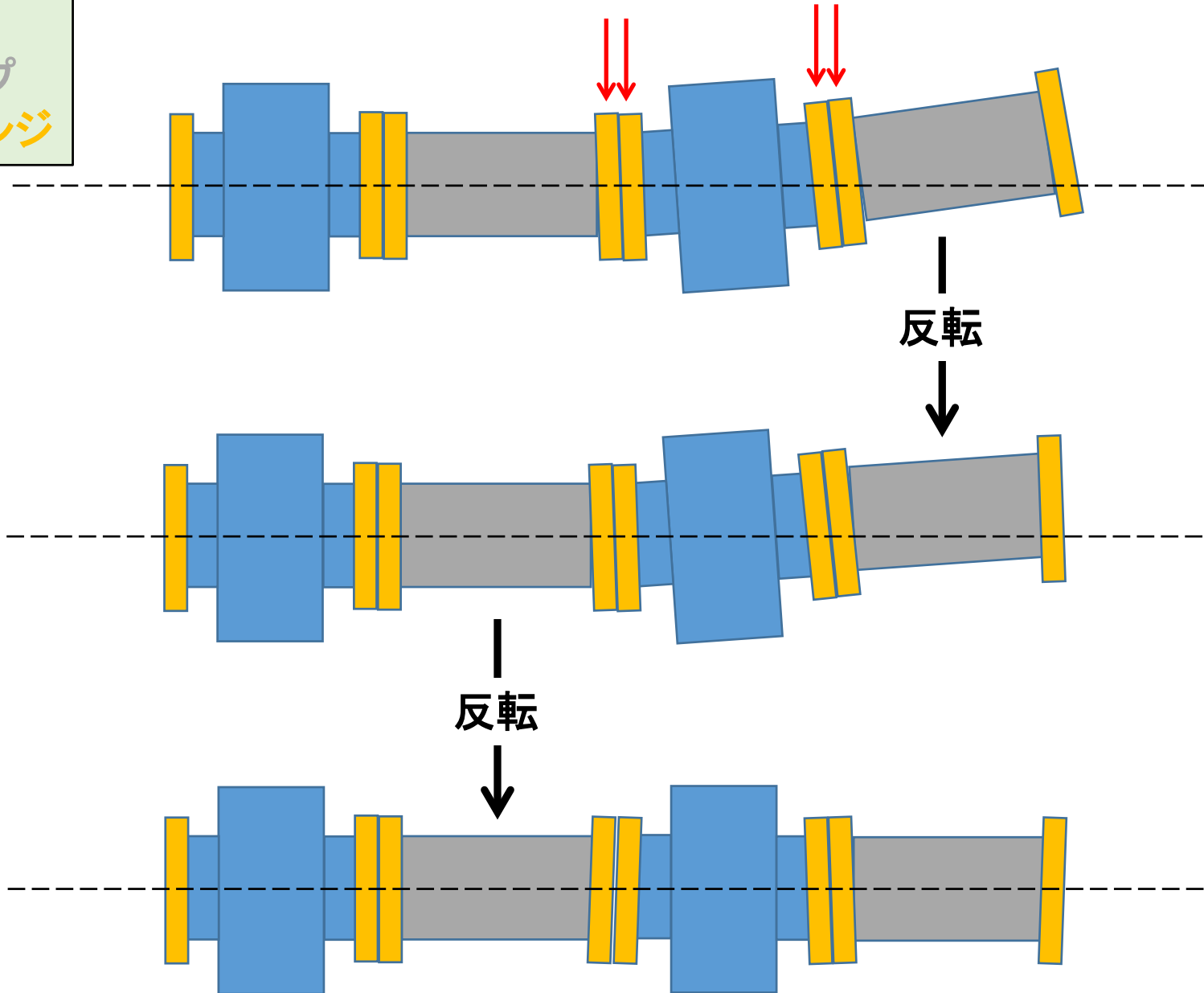
例えば、ビームポート・フランジに傾きがあると、、、

加速空洞
ビームパイプ
連結部フランジ



例えば、ビームポート・フランジに傾きがあると、、、

加速空洞
ビームパイプ
連結部フランジ



0. ビームポート・フランジの位置計測

(測定日: 2016年1月20~22、26日)

使用機器：FaroArm Edge

(可搬型CMM)

- ✓ 測定範囲(直径)：1.8 m
- ✓ 5軸
- ✓ 定点繰返精度：0.024 mm(スペック)

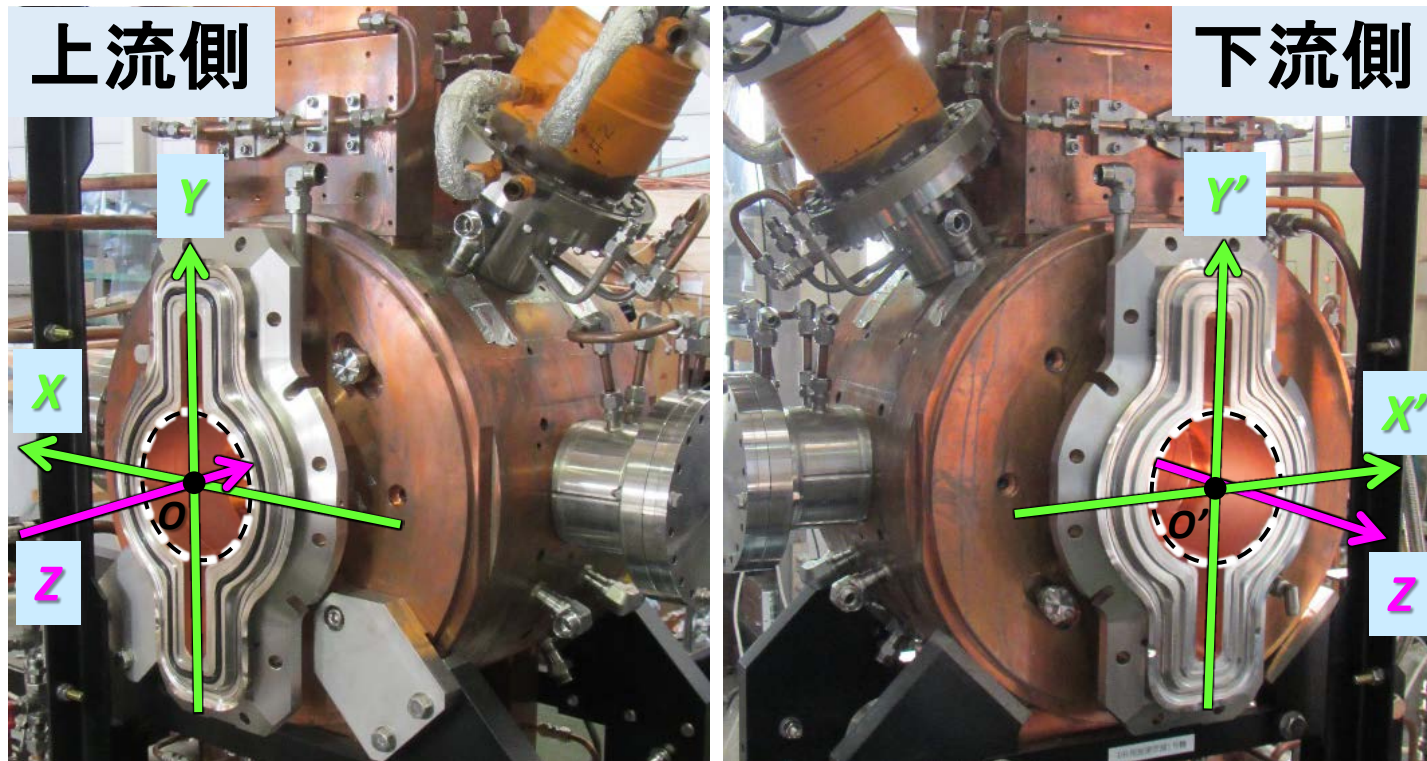
測定の様子



DR空洞のフランジ位置計測手順

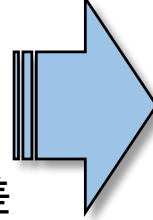
座標設定方法

1. 上流側フランジの当たり面をXY平面とする。
2. ダクト内円の中心を当該当たり面に投影した点を座標原点 ($X=0, Y=0, Z=0$) とする。
3. 上流側・上側基準面のM6ボルト穴を当該基準面に投影した点をY軸 ($Y>0$) に置く。



→ 上流側フランジに対する下流側フランジの傾き & オフセットを測る

測定結果



この結果を基に、空洞据付時の
コンポーネントの向きと組み合わせを決める。

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

(測定日: 2016-01-20~22、26)		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクト No.1	空洞間 ダクト No.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
当り面 間距離 (デザイン値 からのずれ) [mm]	Total: -1.5mm	555.991 +0.003 -0.004	555.329 +0.008 -0.010	556.044 +0.006 -0.011	544.077 +0.006 -0.006	543.115 +0.002 -0.002	543.776 +0.006 -0.008	544.173 +0.001 -0.002
		(-0.009)	(-0.671)	(+0.044)	(+0.077)	(-0.885)	(-0.224)	(+0.173)
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164 + 0.009 -0.011	1.050 +0.013 -0.014	-0.099 +0.025 -0.034	0.262 +0.017 -0.018	-0.114 +0.014 -0.019	0.118 +0.006 -0.003	-0.296 +0.028 -0.024
	Y軸まわ り (H)	0.566 + 0.020 -0.037	0.200 +0.015 -0.025	-0.009 +0.021 -0.034	0.172 +0.001 -0.001	0.211 +0.045 -0.026	0.002 +0.017 -0.030	0.161 +0.045 -0.046
下流側 の上流 側に対 するオ フセット [mm]	X	0.354 +0.016 -0.013	0.009 +0.007 -0.004	-0.073 +0.010 -0.010	0.169 +0.007 -0.014	0.059 +0.018 -0.013	0.117 +0.014 -0.017	0.151 +0.017 -0.023
	Y	-0.077 +0.023 -0.017	-0.133 +0.006 -0.003	0.054 +0.010 -0.009	-0.001 +0.014 -0.011	-0.053 +0.003 -0.004	0.040 +0.007 -0.006	0.325 +0.005 -0.009

オフセットは嵌合のあそびで吸収出来るので、 まずはフランジの傾きのみ考慮する

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクト No.1	空洞間 ダクト No.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
当り面 間距離 (デザイン 値からのず れ) [mm]		555.991 +0.003 -0.004 (-0.009)	555.329 +0.008 -0.010 (-0.671)	556.044 +0.006 -0.011 (+0.044)	544.077 +0.006 -0.006 (+0.077)	543.115 +0.002 -0.002 (-0.885)	543.776 +0.006 -0.008 (-0.224)	544.173 +0.001 -0.002 (+0.173)
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164 + 0.009 -0.011	1.050 +0.013 -0.014	-0.099 +0.025 -0.034	0.262 +0.017 -0.018	-0.114 +0.014 -0.019	0.118 +0.006 -0.003	-0.296 +0.028 -0.024
	Y軸まわ り (H)	0.566 + 0.020 -0.037	0.200 +0.015 -0.025	-0.009 +0.021 -0.034	0.172 +0.001 -0.001	0.211 +0.045 -0.026	0.002 +0.017 -0.030	0.161 +0.045 -0.046
下流側 の上流 側に対 するオ フセット [mm]	X	0.354 +0.016 -0.013	0.009 +0.007 -0.004	-0.073 +0.010 -0.010	0.169 +0.007 -0.014	0.059 +0.018 -0.013	0.117 +0.014 -0.017	0.151 +0.017 -0.023
	Y	-0.077 +0.023 -0.017	-0.133 +0.006 -0.003	0.054 +0.010 -0.009	-0.001 +0.014 -0.011	-0.053 +0.003 -0.004	0.040 +0.007 -0.006	0.325 +0.005 -0.009

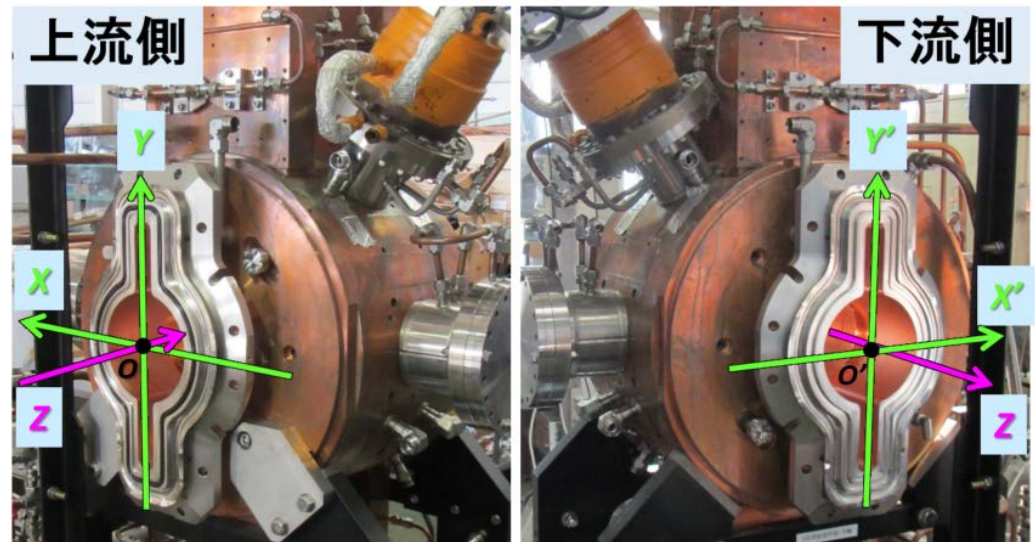
傾きのみを考慮

フランジ計測結果

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクトNo.1	空洞間 ダクトNo.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164	1.050	-0.099	0.262	-0.114	0.118	-0.296
		+ 0.009	+0.013	+0.025	+0.017	+0.014	+0.006	+0.028
	Y軸まわ り (H)	0.566	0.200	-0.009	0.172	0.211	0.002	0.161
		+ 0.020	+0.015	+0.021	+0.001	+0.045	+0.017	+0.045
		-0.037	-0.025	-0.034	-0.001	-0.026	-0.030	-0.046

固定
(対称性はないので)



フランジ計測結果

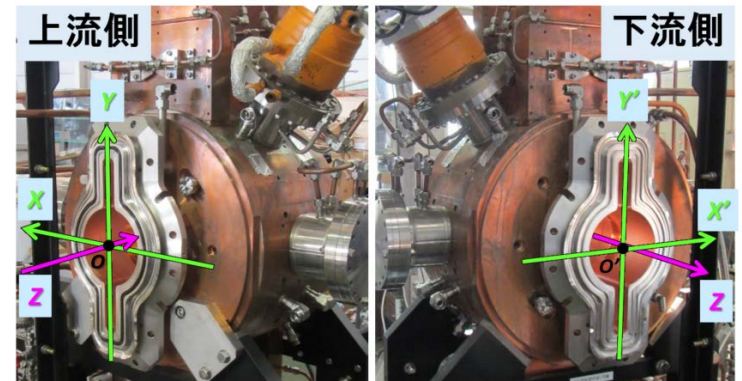
- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクトNo.1	空洞間 ダクトNo.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164	1.050	-0.099	-0.262	-0.114	-0.118	-0.296
		+ 0.009	+0.013	+0.025	+0.017	+0.014	+0.006	+0.028
	Y軸まわ り (H)	0.566	0.200	-0.009	-0.172	0.211	-0.002	0.161
		+ 0.020	+0.015	+0.021	+0.001	+0.045	+0.017	+0.045
		-0.037	-0.025	-0.034	-0.001	-0.026	-0.030	-0.046

固定
(対称性はないので)

**ビーム軸
周り反転**

**ビーム軸
周り反転**



フランジ計測結果

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクトNo.1	空洞間 ダクトNo.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164 + 0.009 -0.011	1.050 +0.013 -0.014	-0.099 +0.025 -0.034	-0.262 +0.017 -0.018	-0.114 +0.014 -0.019	-0.118 +0.006 -0.003	-0.296 +0.028 -0.024
	Y軸まわ り (H)	0.566 + 0.020 -0.037	0.200 +0.015 -0.025	-0.009 +0.021 -0.034	-0.172 +0.001 -0.001	-0.211 +0.045 -0.026	-0.002 +0.017 -0.030	-0.161 +0.045 -0.046

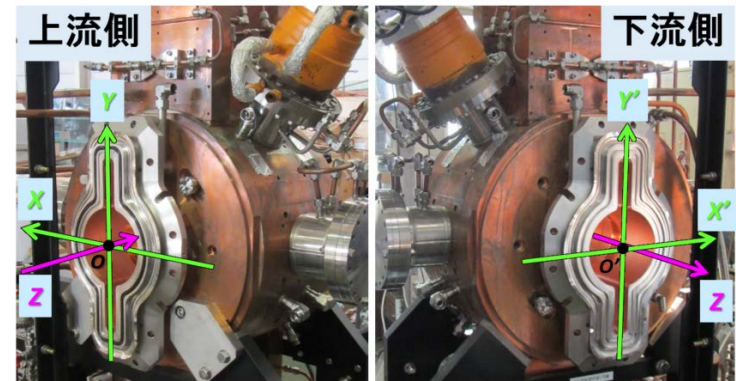
固定
(対称性はないので)

ビーム軸
周り反転

Y軸周り
反転

ビーム軸
周り反転

Y軸周り
反転



フランジ計測結果

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクトNo.1	空洞間 ダクトNo.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164 + 0.009 -0.011	1.050 +0.013 -0.014	-0.099 +0.025 -0.034	-0.262 +0.017 -0.018	-0.114 +0.014 -0.019	-0.118 +0.006 -0.003	-0.296 +0.028 -0.024
	Y軸まわ り (H)	0.566 + 0.020 -0.037	0.200 +0.015 -0.025	0.009 +0.021 -0.034	-0.172 +0.001 -0.001	-0.211 +0.045 -0.026	-0.002 +0.017 -0.030	-0.161 +0.045 -0.046

固定
(対称性はないので)

**Y軸周り
反転**

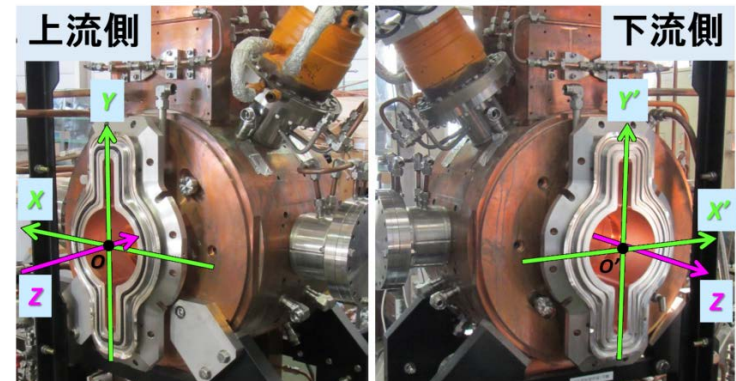
(意図せず;
作業の結果)

**ビーム軸
周り反転**

**Y軸周り
反転**

**ビーム軸
周り反転**

**Y軸周り
反転**



フランジ計測結果

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定の最大・最小値と平均値の差

		DR空洞 1号機	DR空洞 2号機	ダミー ダクト	空洞間 ダクトNo.1	空洞間 ダクトNo.2	空洞端 ダクトNo.1	空洞端 ダクトNo.2
下流側 の上流 側に対 する傾 き [mrad]	X軸まわ り (V)	0.164	1.050	-0.099	-0.262	-0.114	-0.118	-0.296
		+ 0.009	+0.013	+0.025	+0.017	+0.014	+0.006	+0.028
	Y軸まわ り (H)	-0.011	-0.014	-0.034	-0.018	-0.019	-0.003	-0.024
		0.566	0.200	0.009	-0.172	-0.211	-0.002	-0.161
		+ 0.020	+0.015	+0.021	+0.001	+0.045	+0.017	+0.045
		-0.037	-0.025	-0.034	-0.001	-0.026	-0.030	-0.046

固定
(対称性はないので)

Y軸周り
反転

(意図せず;
作業の結果)

ビーム軸
周り反転

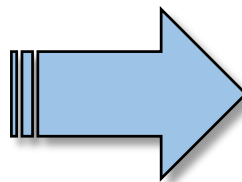
Y軸周り
反転

ビーム軸
周り反転

Y軸周り
反転

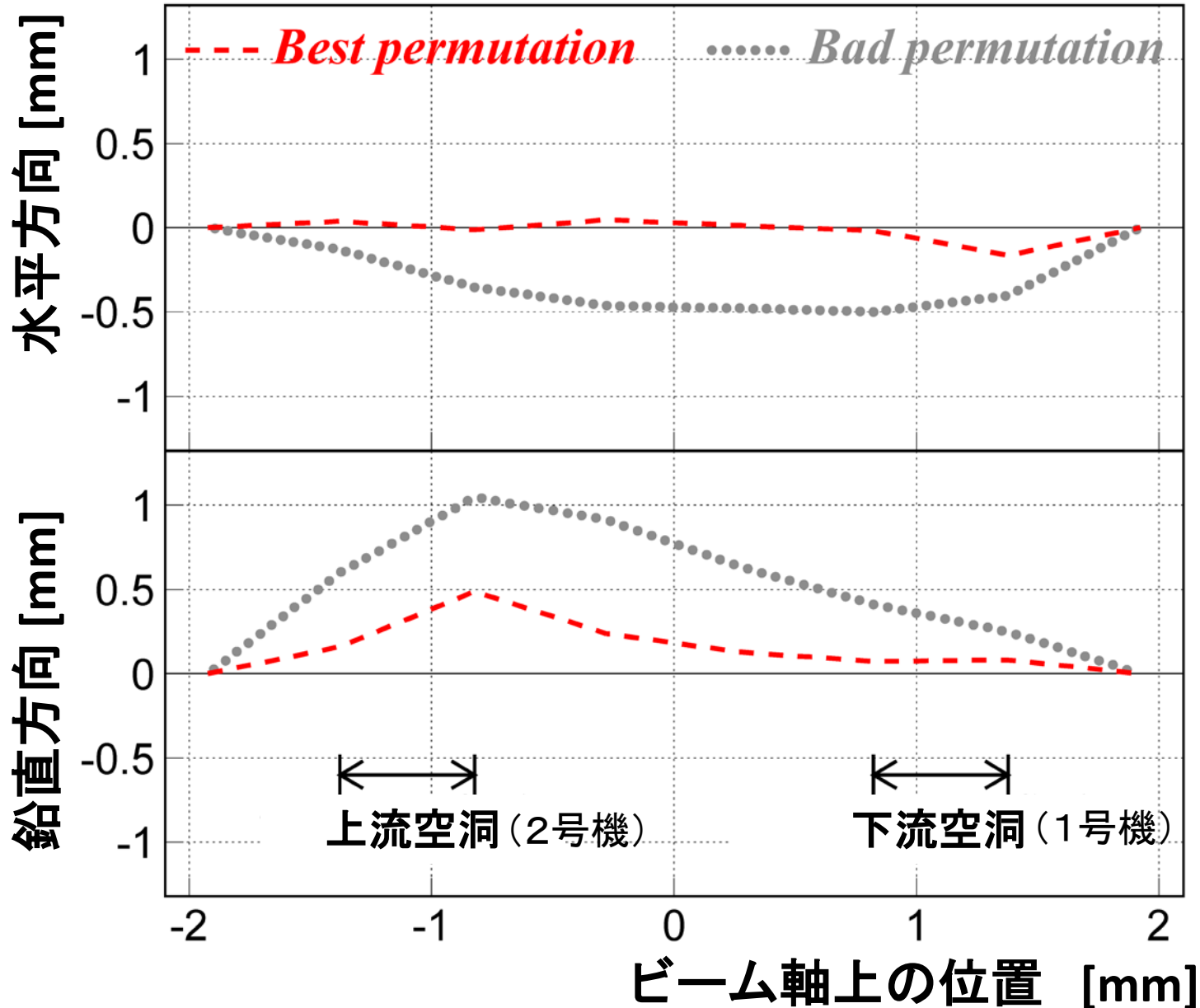
(フランジ計測時に空洞
と連結する側を上流と
したため)

- ✓ 1号機を下流空洞とする
- ✓ 局所的に補正

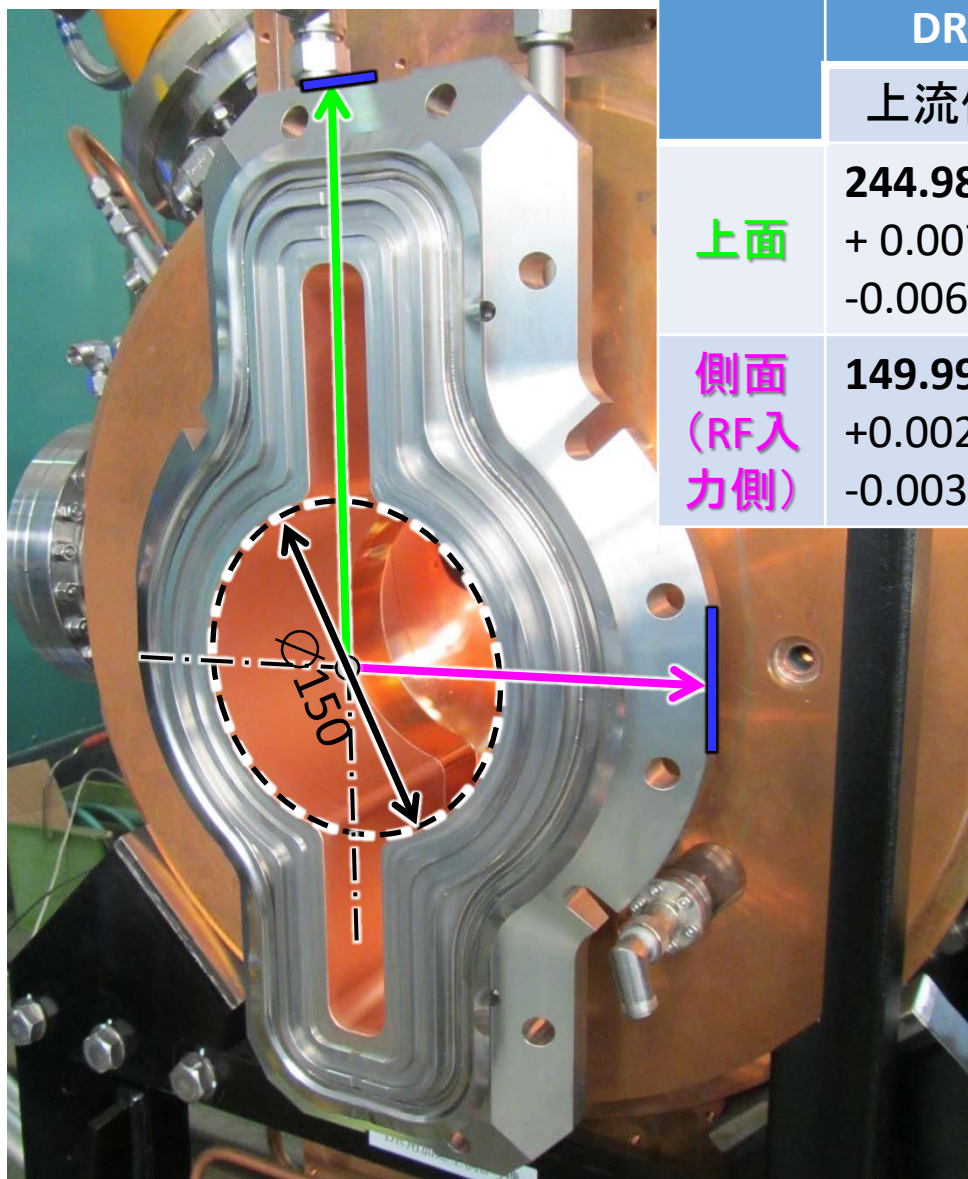


コンポーネントの組み合わせ
と位置が一意的に決まる

オフセット理論値

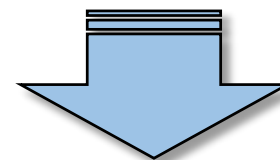


基準面からΦ150ダクト円中心までの距離



	DR空洞1号機		DR空洞2号機		寸法精度
	上流側	下流側	上流側	下流側	
上面	244.980 + 0.007 -0.006	244.987 +0.034 -0.024	244.926 +0.013 -0.023	245.036 +0.010 -0.008	245± 0.1mm
側面 (RF入力側)	149.996 +0.002 -0.003	149.915 +0.028 -0.020	149.955 +0.003 -0.002	149.975 +0.007 -0.006	150± 0.1mm

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定 of 最大・最小値と平均値の差



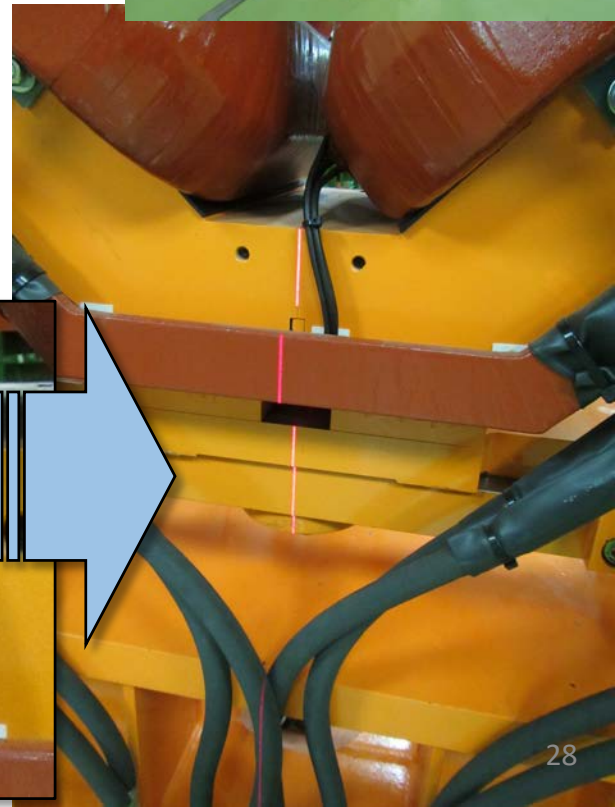
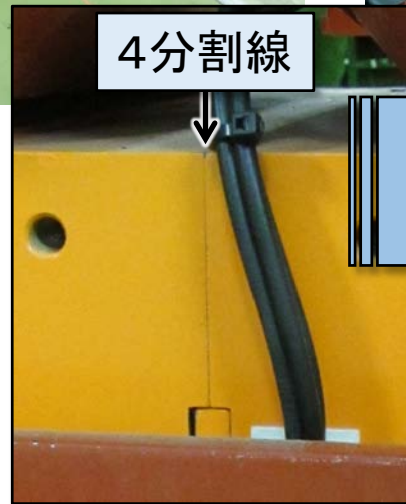
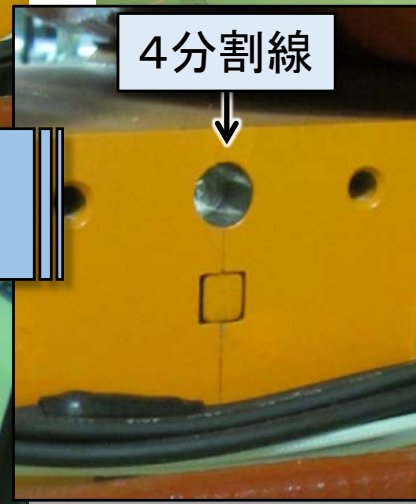
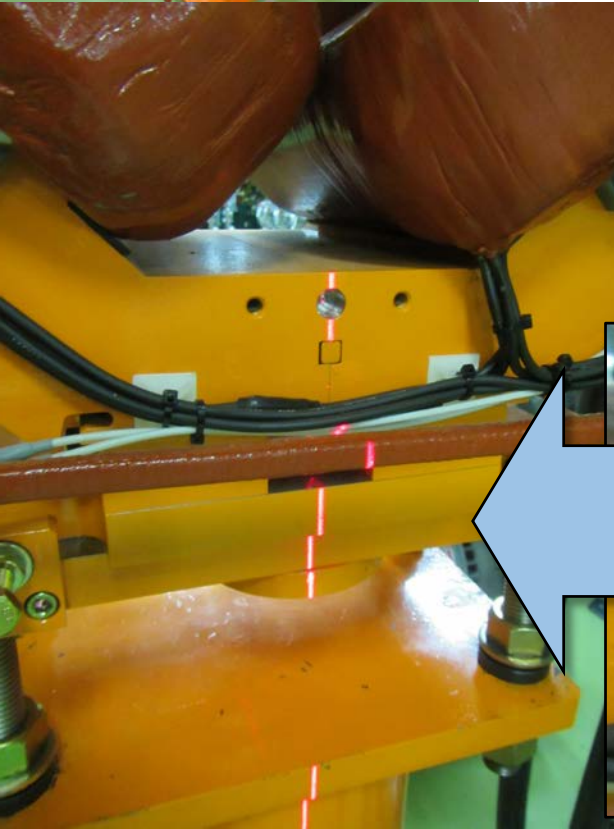
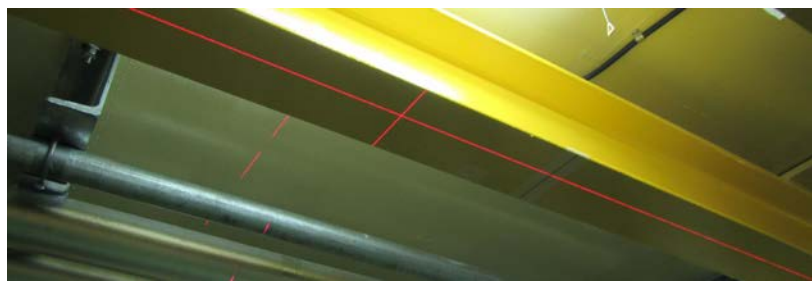
空洞アライメント後の
位置確認に使用

1. ビーム軸墨だし

上流側

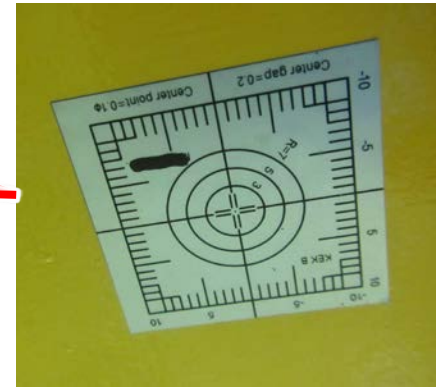
レーザー墨出し器を使った ビーム軸水平方向墨出し

下流側

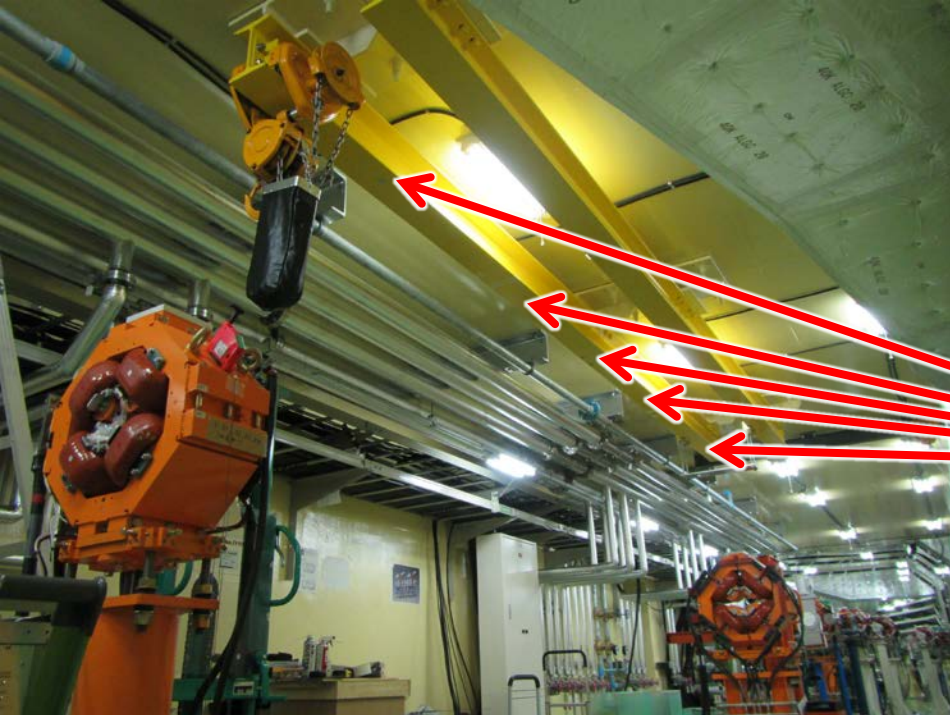


墨出し結果を記録・保持

天井のビーム上



床面上

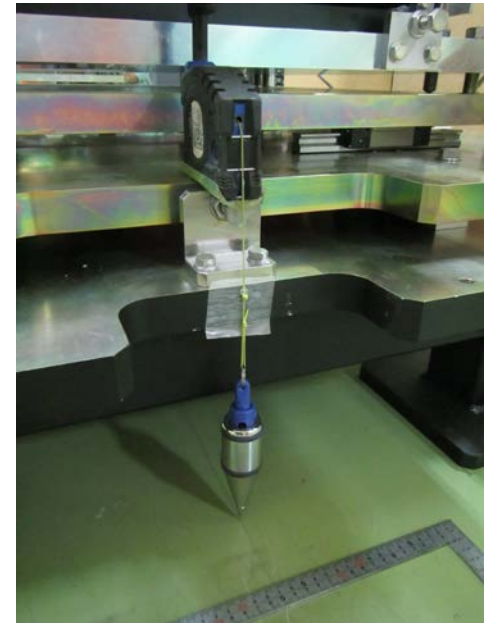
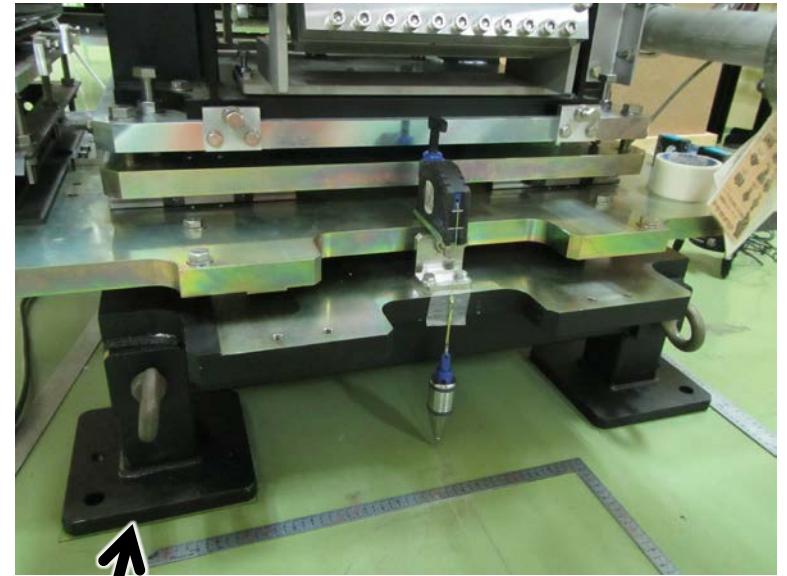


空洞架台の据付位置をマーク



2. 空洞架台据付

加速空洞ごと、移動、設置、アライメント(粗)



加速空洞架台

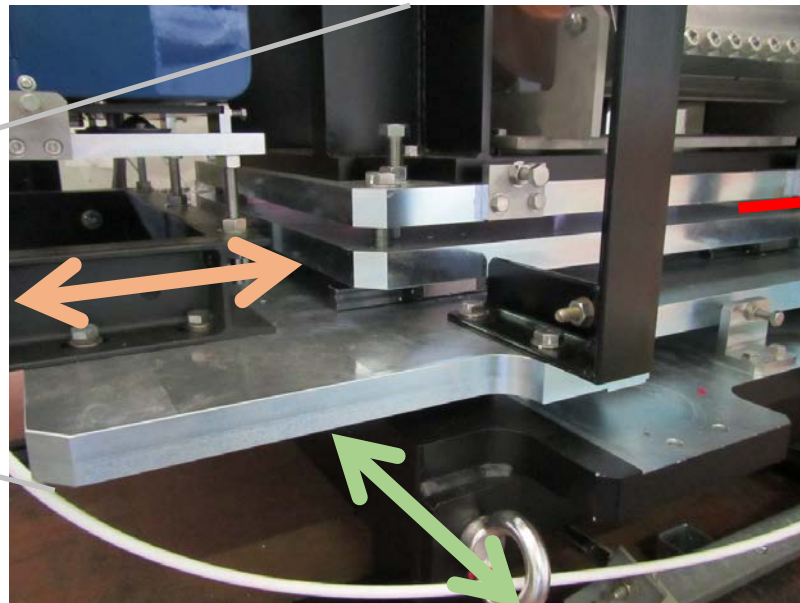
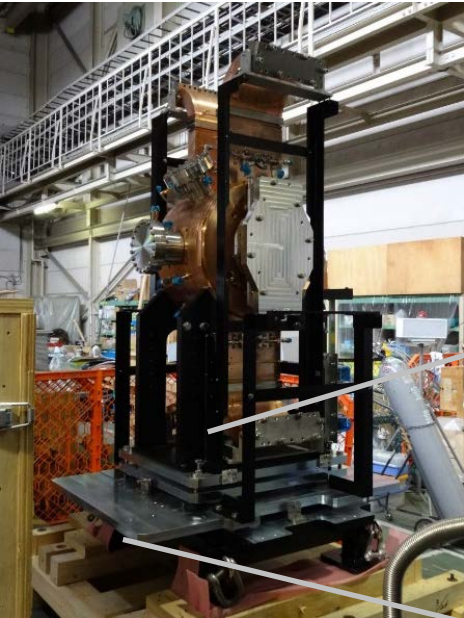
アンカー打設



アンカー打設後の空洞架台位置精度：約0.5mm(レーザー墨出し器で確認)
(高精度アライメントは、加速空洞が備えているアライメント機構を使って後で行う)

3. 空洞個別アライメント

DR用加速空洞が備えている アライメント機構



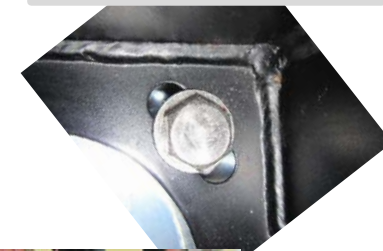
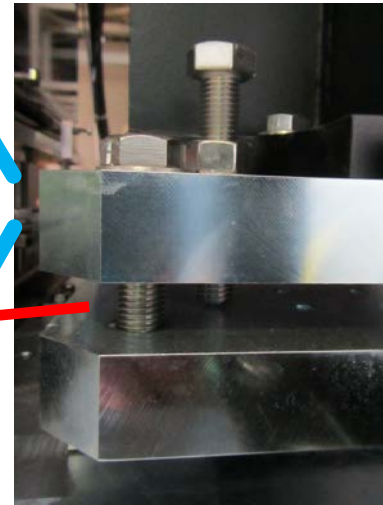
「架台」



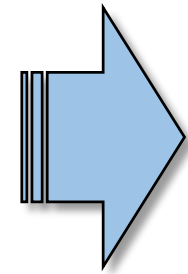
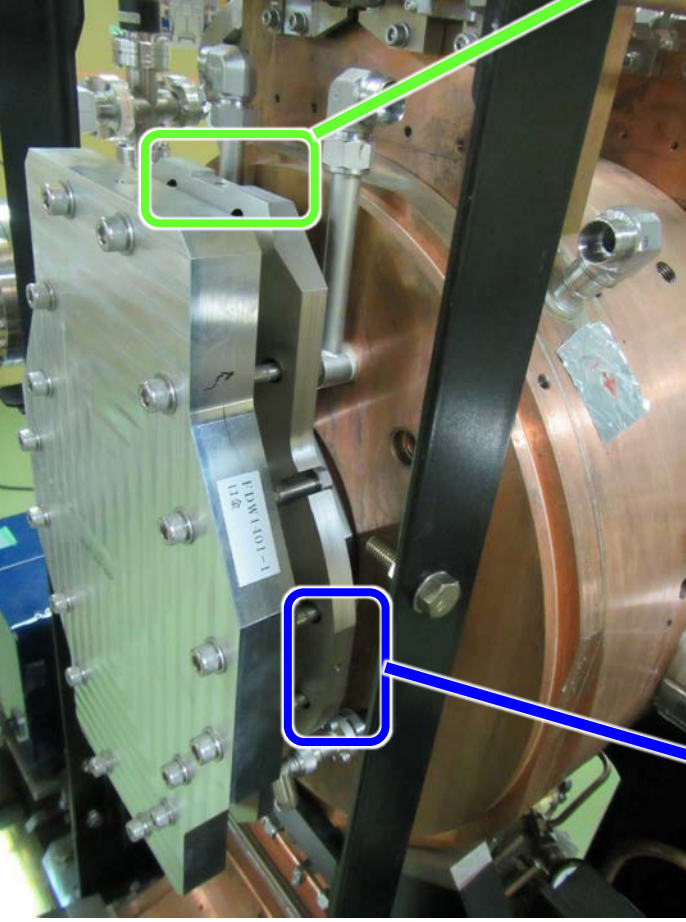
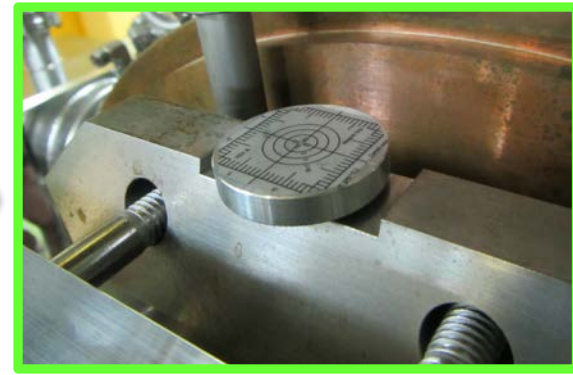
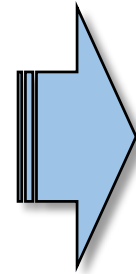
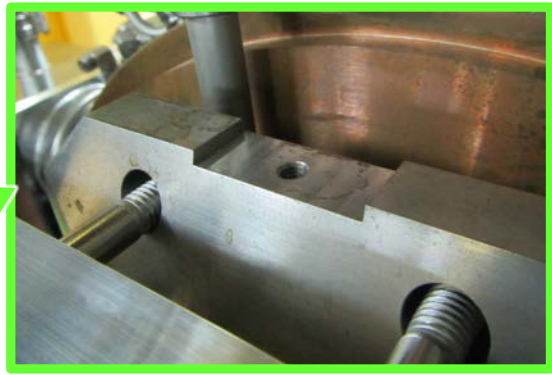
↑Horizontal 方向
のLMガイド

Longitudinal 方向
のLMガイド↓

(LM: Linear Motion)

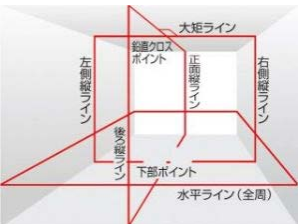


ビームポート・フランジを
アライメントする



空洞アライメントで使用した機器

レーザー墨出し器
TAJIMA ML10N-KJC



- ・照射ライン精度: 10mで±0.61mm以内
- ・到達点距離精度: 10mで±1mm以内
- ・左右通り精度: 20mで±2mm (10mで±1.5mm)
- ・直角精度: 90° ± (2mm/10m)
- ・鉛直点精度: 5mで±1mm (3mで±0.75mm)
- ・ライン幅: 10mで約3mm
- ・自動補正範囲: ±2° (範囲外はレーザーライン消灯)

オートレベル
SOKKIA B40

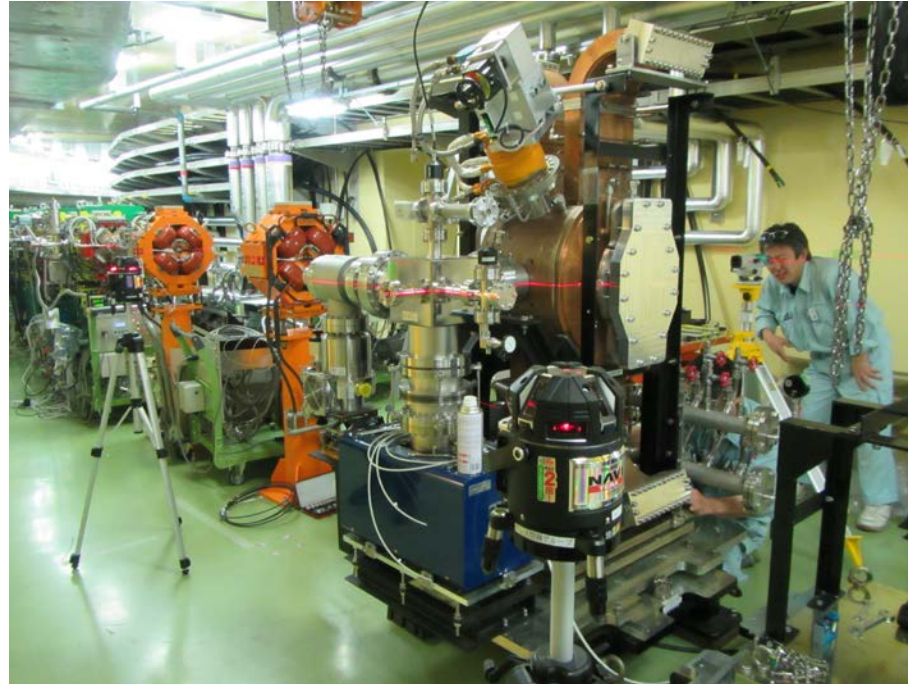


- ・倍率: 24x
- ・分解力: 0.2mm @ 10m
- ・自動補正範囲: ±15'
- ・対物有効径: 32mm
- ・視野: 1° 25' (2.5m/100m)
- ・1km往復標準偏差: 2.0mm

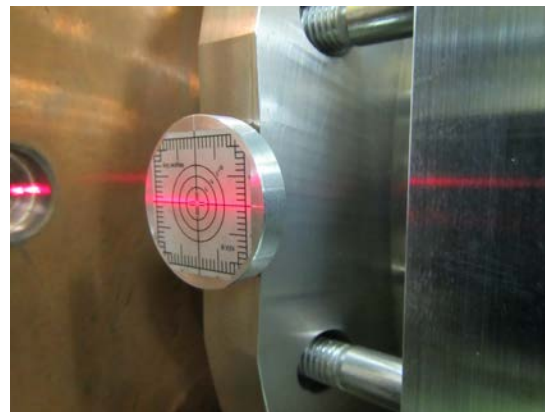
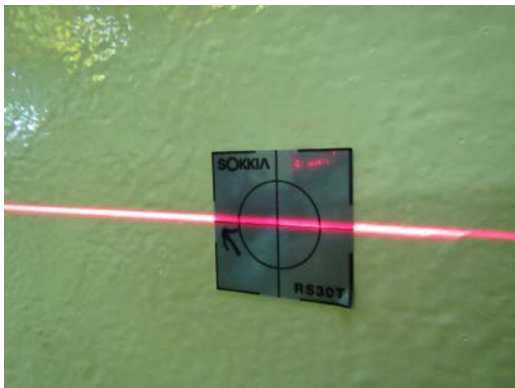
レベル調整

レーザー墨出し器+オートレベル

(上流側Q磁石)

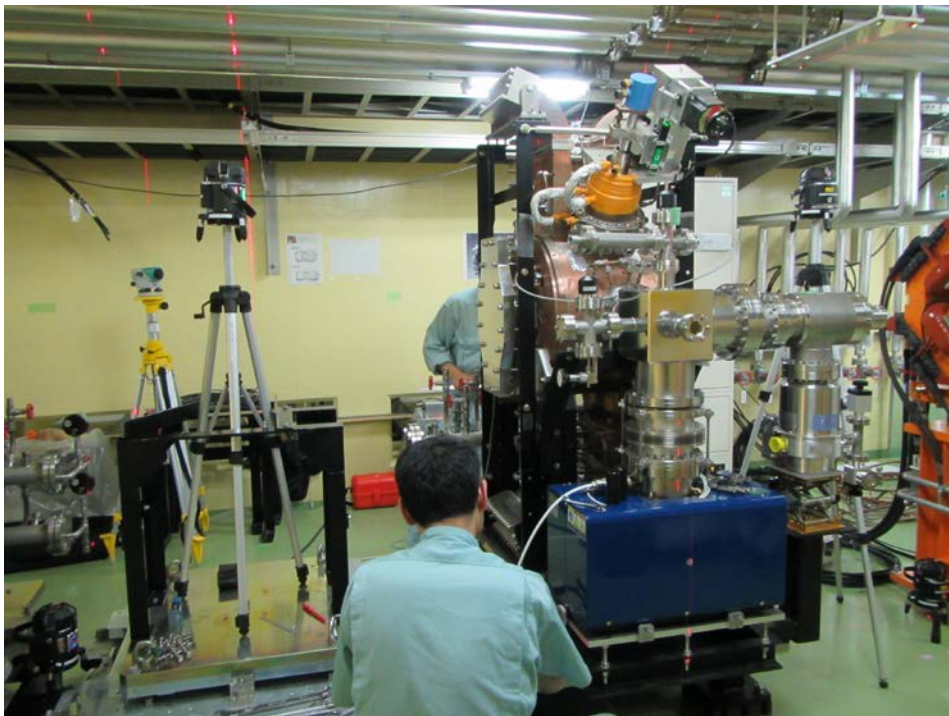
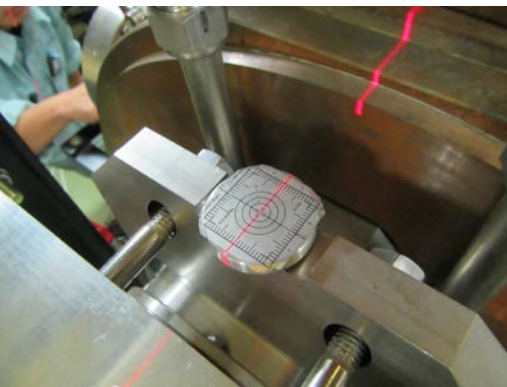


(下流側Q磁石)



水平方向 & 鉛直方向軸周りの回転角の調整

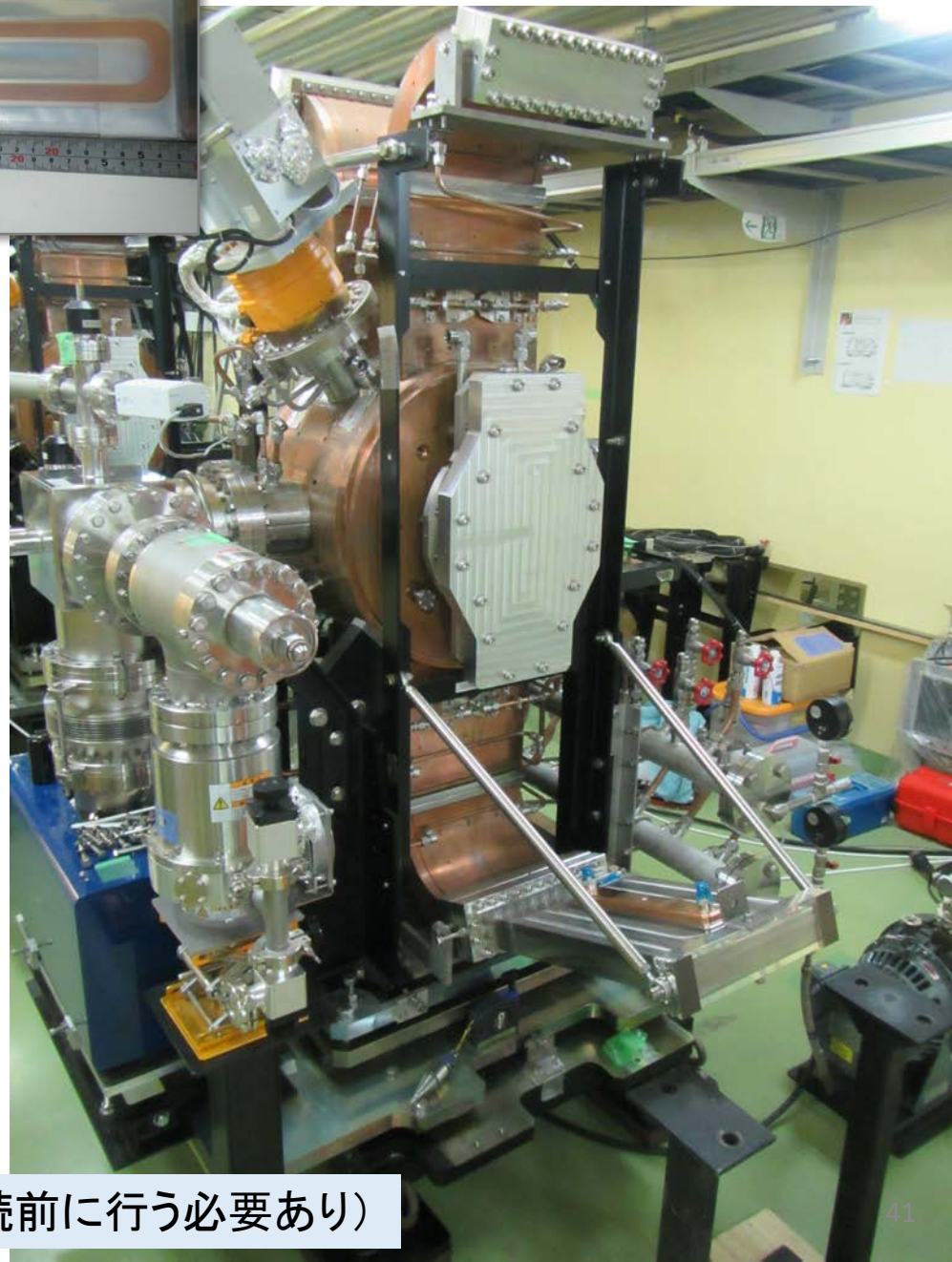
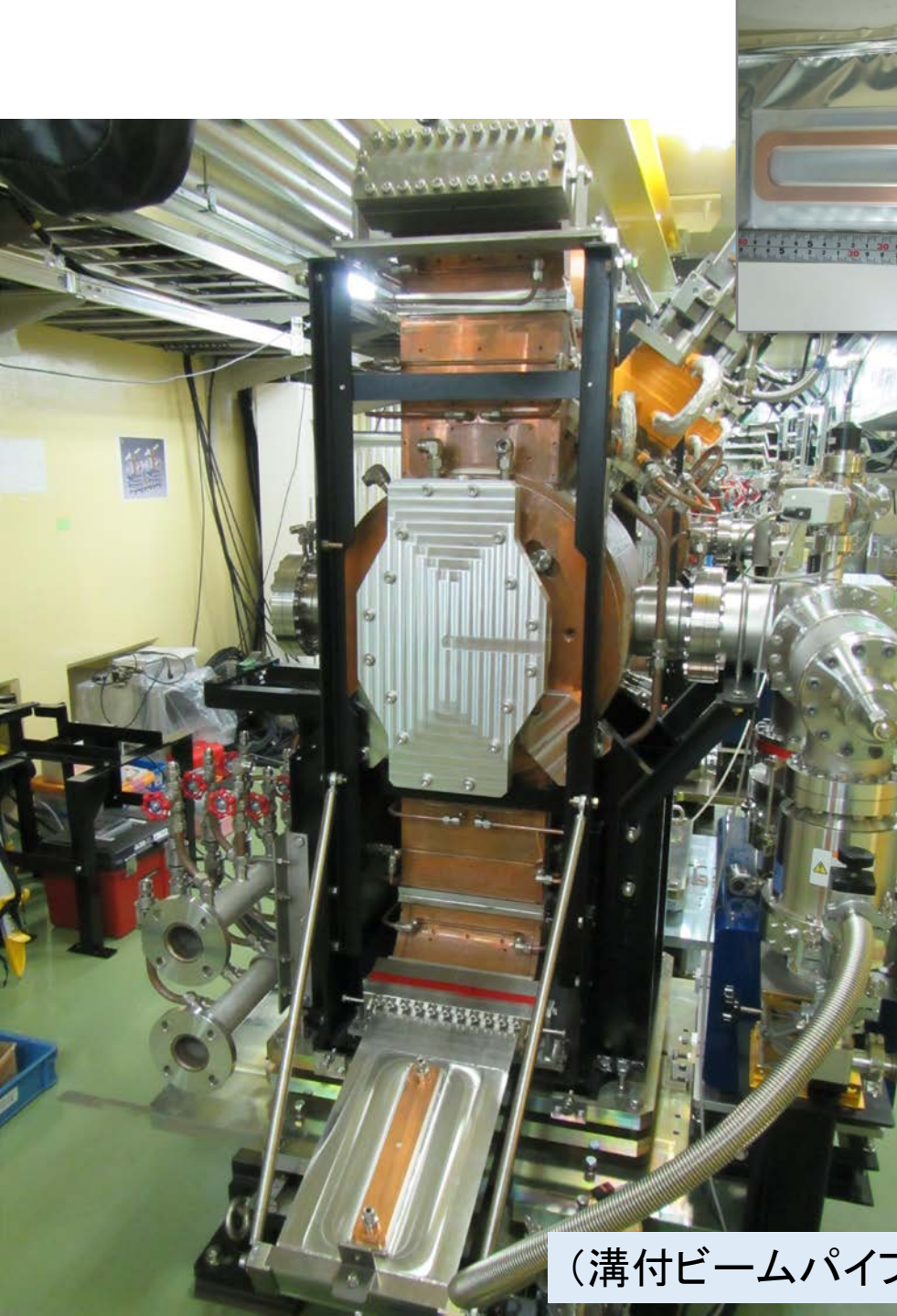
上流側



下流側



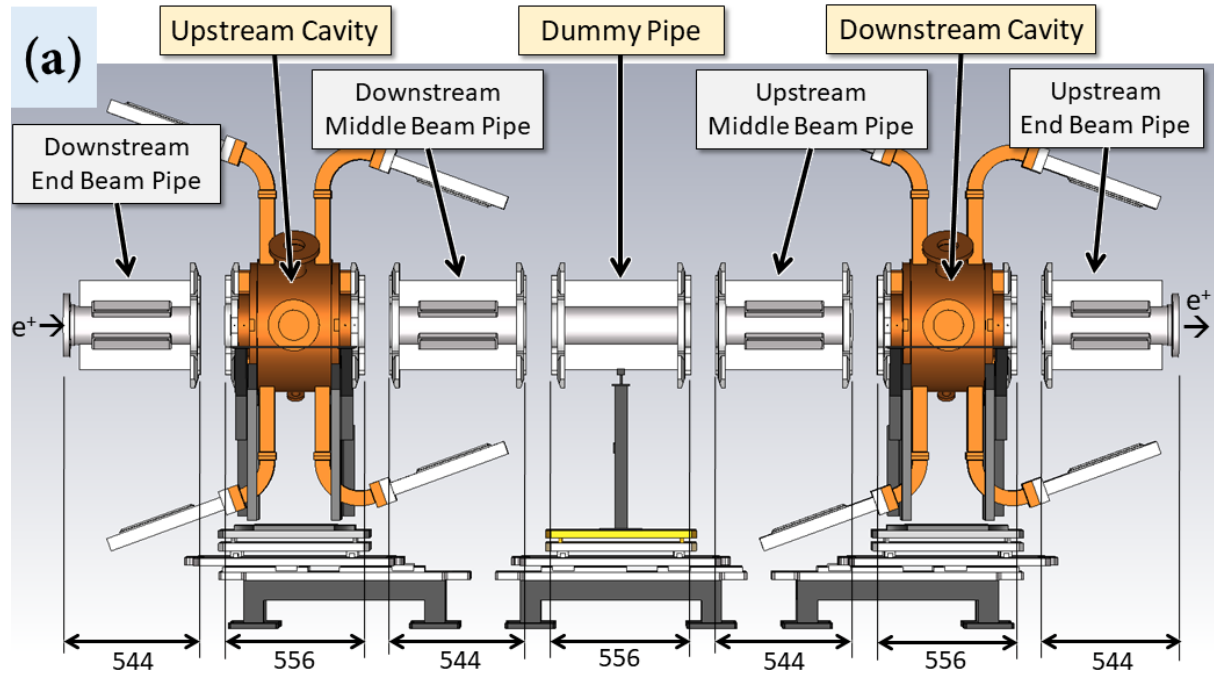
4. 下側HOM導波管ロード取付



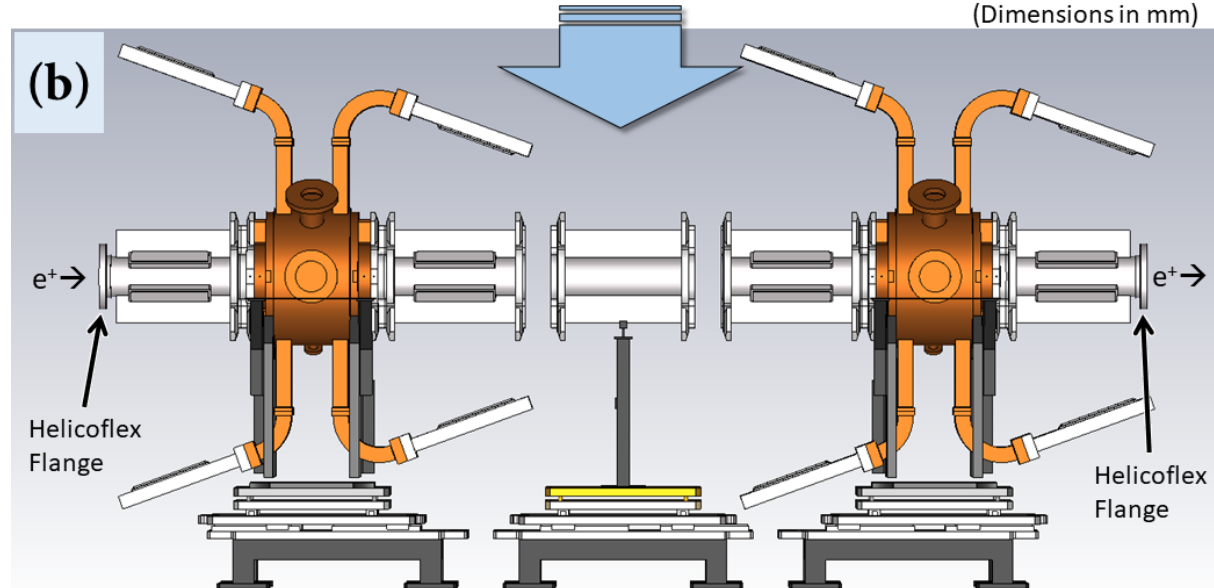
(溝付beamパイプ接続前に行う必要あり)

5. ビームパイプ連結・合体

溝付ビームパイプの接続



(Dimensions in mm)

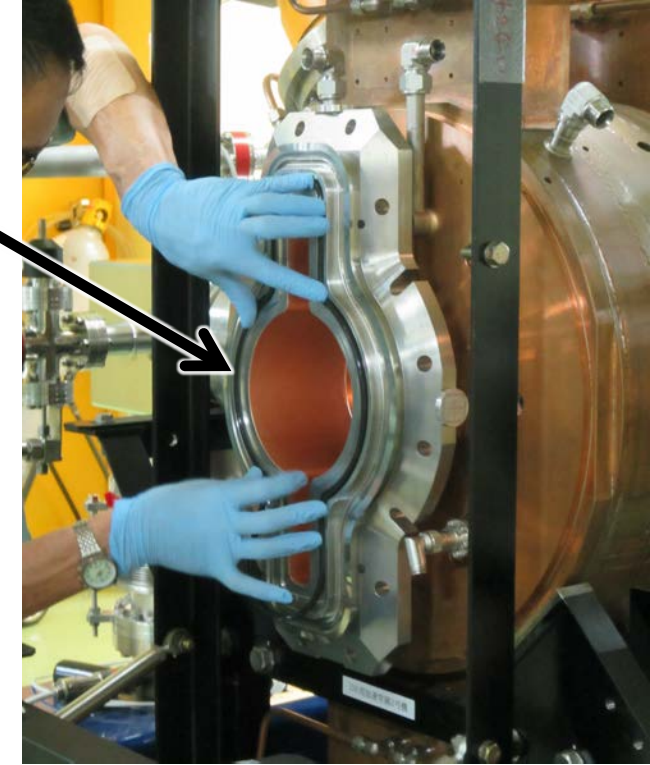


溝付ビームパイプ連結

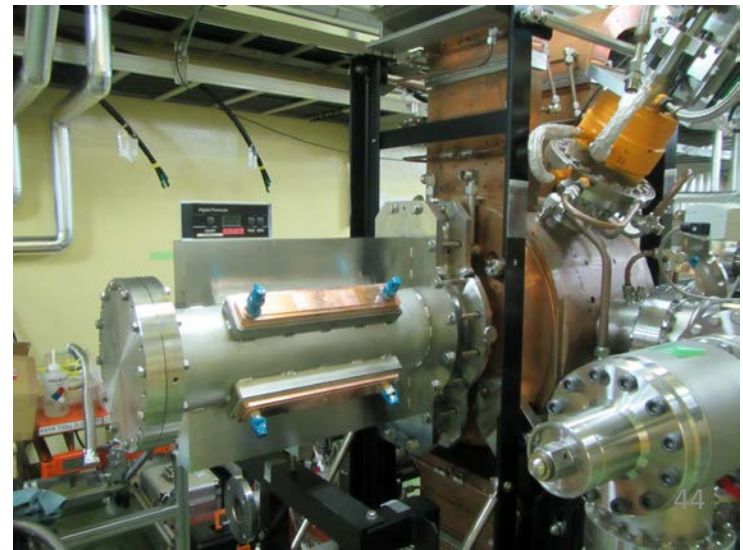
Oリング使用



+

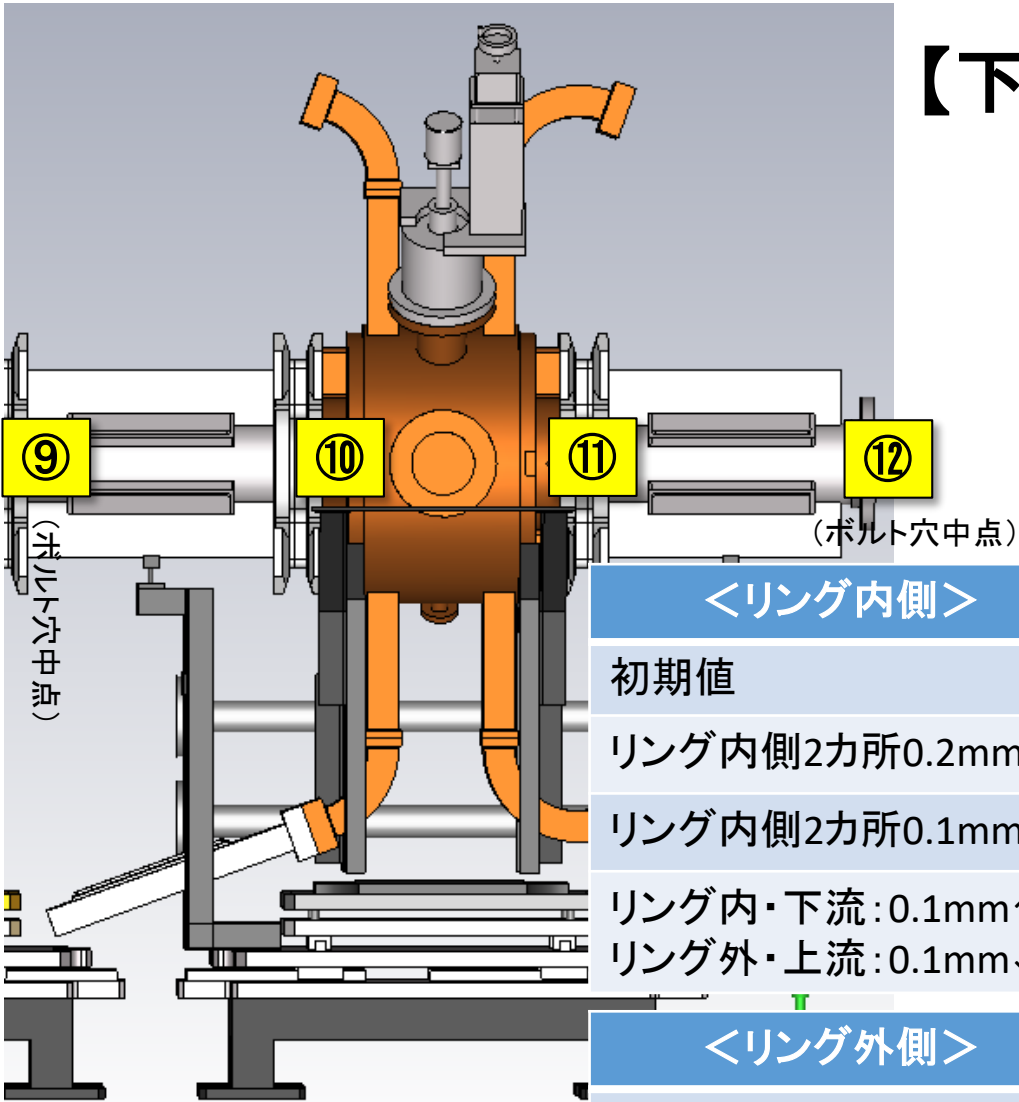


||



上下流の溝付ビームパイプ連結後、
最終アライメント

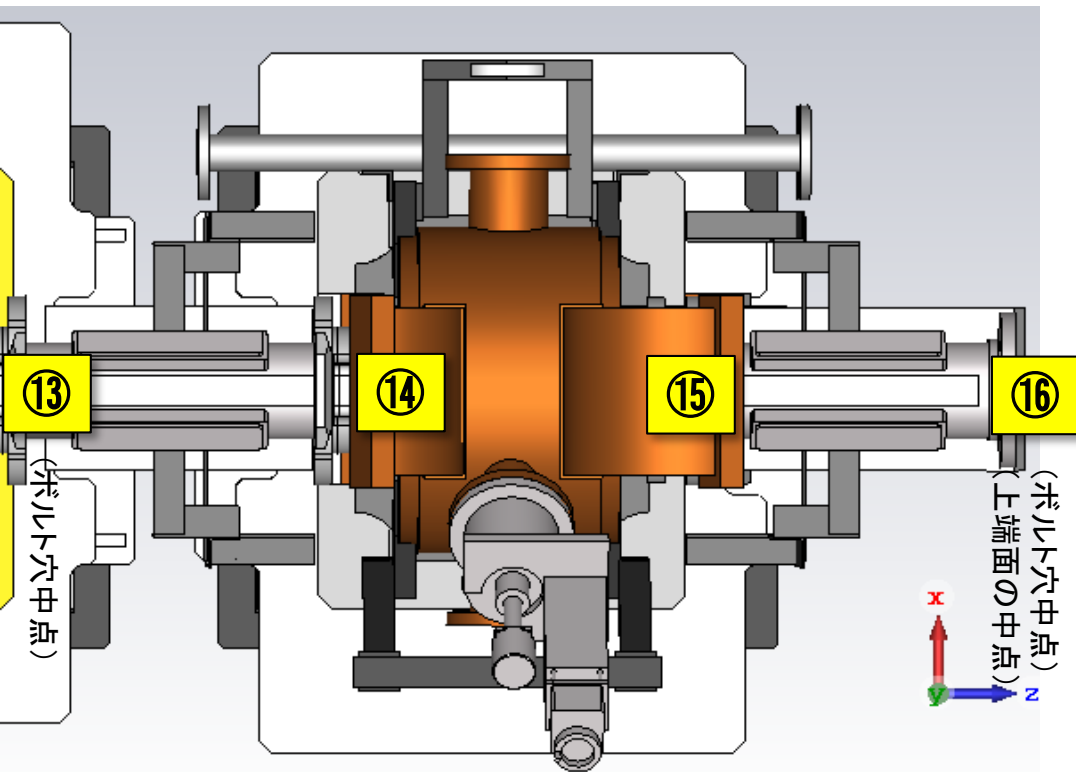
【下流空洞】鉛直方向位置(レベル)の測定結果



<リング内側>	⑨	⑩	⑪	⑫
初期値	0.8 mm ↓	0.4 mm ↓	0.2 mm ↓	0.4 mm ↓
リング内側2カ所0.2mm↑	0.3 mm ↓	0.1 mm ↓	0.1 mm ↓	0.2 mm ↓
リング内側2カ所0.1mm↑	0.0 mm	0.1 mm ↑	0.2 mm ↑	0.2 mm ↓
リング内・下流:0.1mm↑ リング外・上流:0.1mm↓	0.2 mm ↓	0.1 mm ↑	0.2 mm ↑	0.1 mm ↓

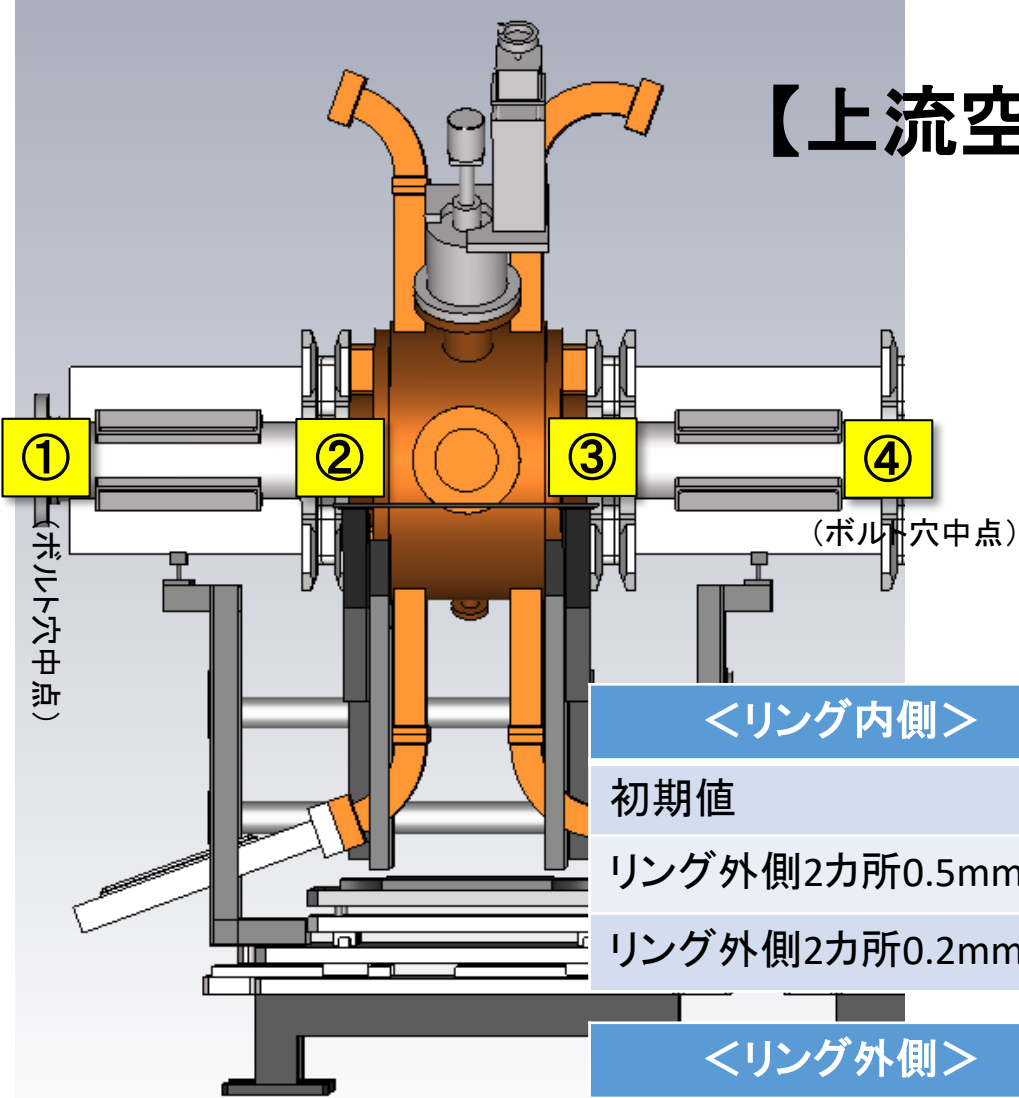
<リング外側>	⑨	⑩	⑪	⑫
初期値	0.3 mm ↓	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
リング内側2カ所0.2mm↑	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm
リング内側2カ所0.1mm↑	0.3 mm ↑	0.2 mm ↑	0.1 mm ↑	0.2 mm ↓
リング内・下流:0.1mm↑ リング外・上流:0.1mm↓	0.1 mm ↑	0.1 mm ↑	0.0 mm	0.1 mm ↓

【下流空洞】水平方向位置の測定結果



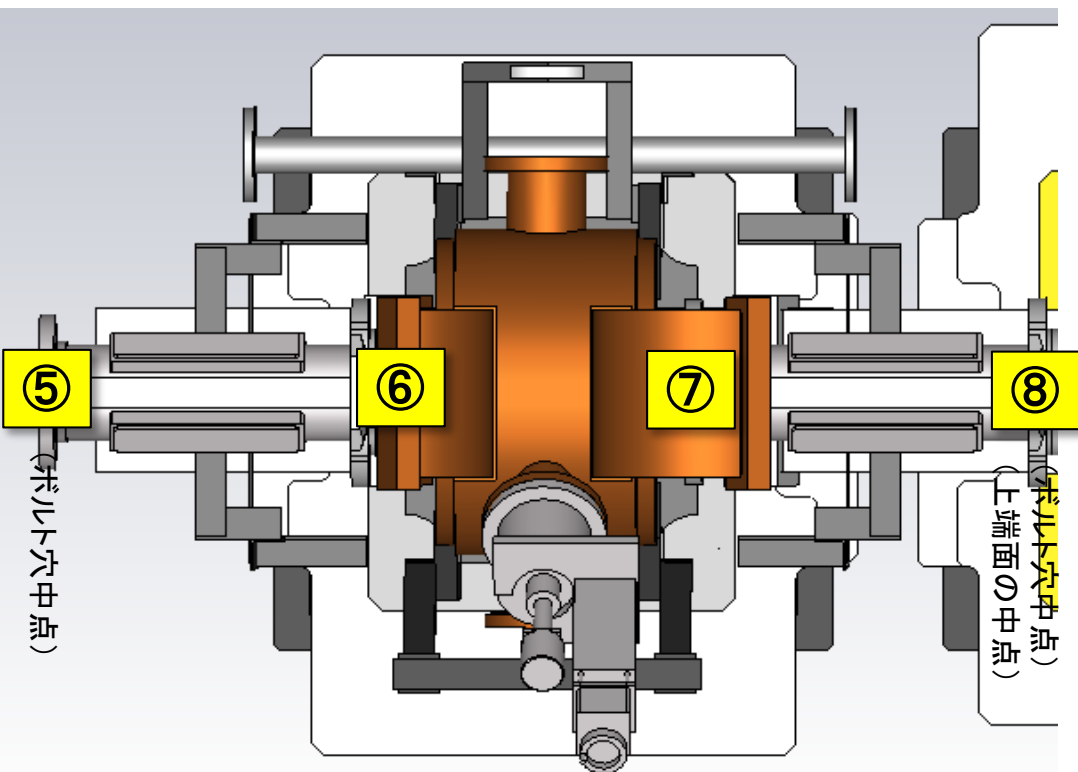
<上側>	⑬	⑭	⑮	⑯
初期値	0.2 mm (外)	1.0 mm (外)	1.2 mm (外)	1.5 mm (外)
鉛直方向軸周り回転 & 水平方向微調整	0.2 mm (内)	0.0 mm	0.2 mm (内)	0.3 mm (内)

【上流空洞】鉛直方向位置の測定結果



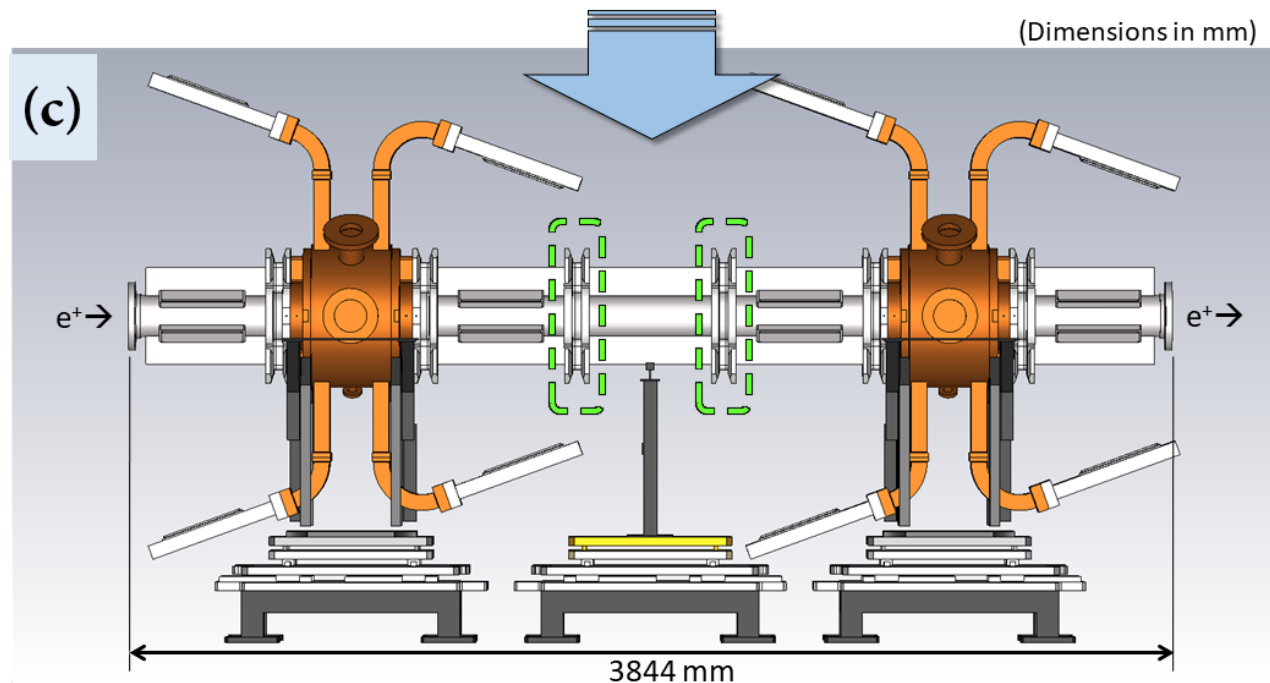
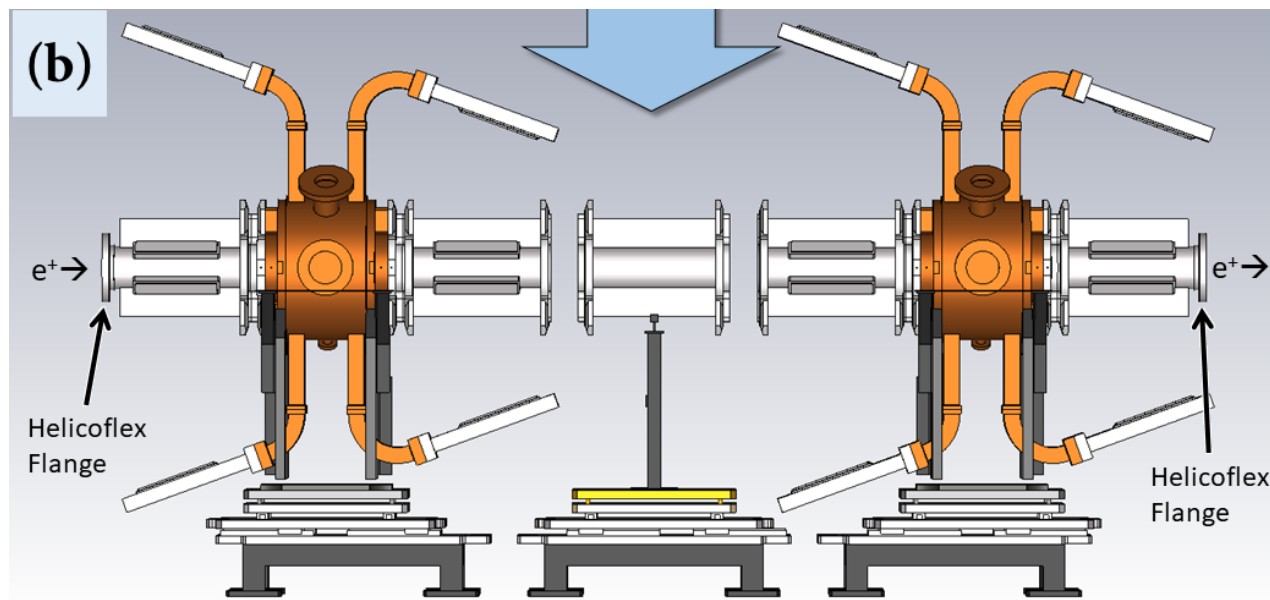
<リング内側>	①	②	③	④
初期値	0.3 mm ↓	0.1 mm ↓	0.1 mm ↓	0.3 mm ↓
リング外側2カ所0.5mm↑	0.0	0.0	0.0	0.2 mm ↓
リング外側2カ所0.2mm↑	0.3 mm ↓	0.1 mm ↑	0.1 mm ↑	0.0
<リング外側>	①	②	③	④
初期値	0.6 mm ↓	0.5 mm ↓	0.8 mm ↓	0.8 mm ↓
リング外側2カ所0.5mm↑	0.2 mm ↓	0.1 mm ↓	0.1 mm ↓	0.4 mm ↓
リング外側2カ所0.2mm↑	0.1 mm ↓	0.1 mm ↑	0.1 mm ↑	0.2 mm ↓

【上流空洞】水平方向位置の測定結果

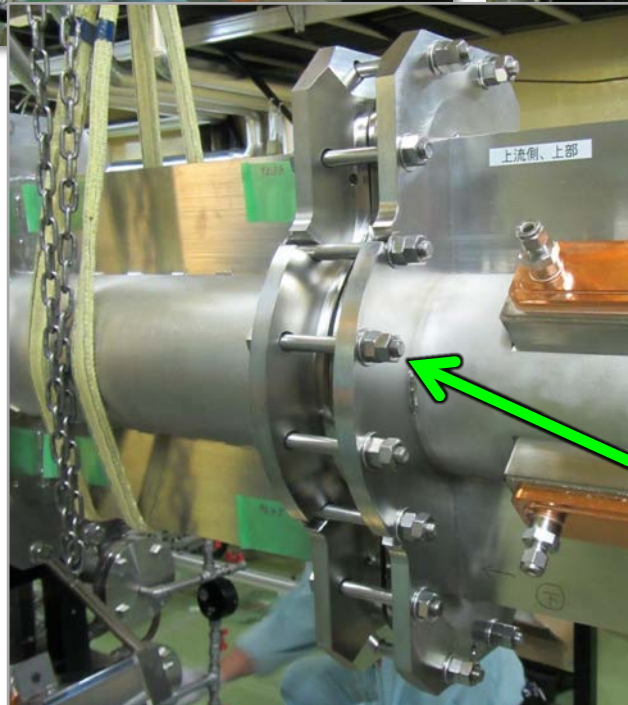
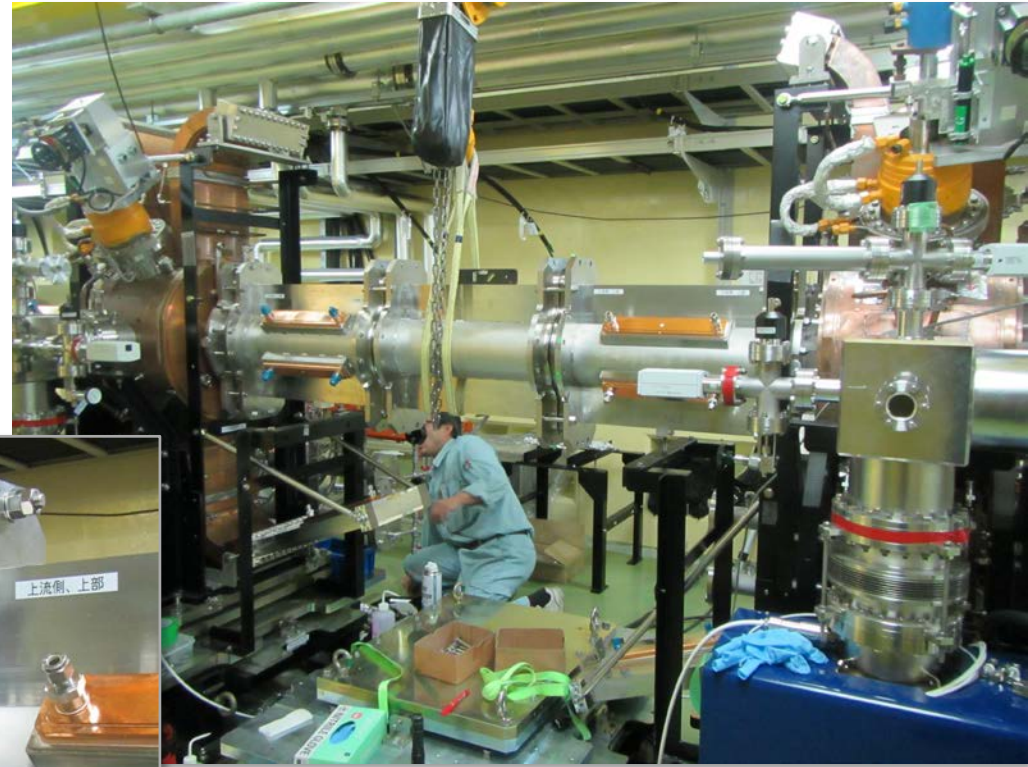


<上側>	⑤	⑥	⑦	⑧
初期値	1.0 mm (内)	0.0	0.8 mm (外)	1.5 mm (外)
鉛直方向軸周り回転	0.1 mm (内)	0.0	0.0	0.0
リング外側2カ所0.5+0.2mm↑	2.0 mm (内)	1.0 mm (内)	1.0 mm (内)	1.0 mm (内)
水平方向微調整	0.2 mm (内)	0.2 mm (外)	0.0	0.0

中央ダミーパイプの接続



中央ダミーパイプの接続



中央ダミーパイプの連結部は、
4本を除いて、ダブルナットで固定
(応力回避↑)

フランジ間距離の測定



(仮締め→本締め)

リング外側、上部: 92.5 → 91.15 mm
リング内側、上部: 92.55 → 91.45 mm

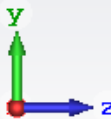
リング外側、上部: 92.35 → 91.25 mm
リング内側、上部: 92.55 → 91.40 mm

リング外側、下部: 92.7 → 91.25 mm
リング内側、下部: 92.60 → 91.65 mm

リング外側、下部: 92.45 → 91.30 mm
リング内側、下部: 93.05 → 91.60 mm

max - min = 0.5 mm

max - min = 0.35 mm



RFフィンガーのコンタクト範囲(±0.9 mm)内

真空リーク試験

■ 一晩真空引き後

- 空洞内圧力: $2e-4$ Pa →



■ 真空リーク試験 (2016-11-17 AM)

- $1.7e-10$ Pa m³ /sec のバックグラウンドでリーク検出無し

真空リークも無かったので、更なるアライメントは行わなかった。

6. 合体後の空洞位置測定

使用機器：FARO Laser Tracker ION



F 3次元測定器 FARO Laser T... X +

← ⓘ | www.faro.com/ja-jp/products/metrology/faro-laser-tracker/overview | ↻ 🔍 検索

^ FARO Laser Tracker ION



FARO Laser Tracker ION

インライン測定、高速ダイナミック測定、機械の高精度キャリブレーションなど、最高精度が必要となる場面において、FARO Laser Tracker IONは最先端の干渉計(IFM)ベースの測定システムであり、高精度、広範囲測定を可能にします。

- 測定範囲: 110m (361ft) (直径)
- 精度: 0.015mm (0.0006in.)*
*角度測定@2m

デックシート ↓

ビーム軸の再定義

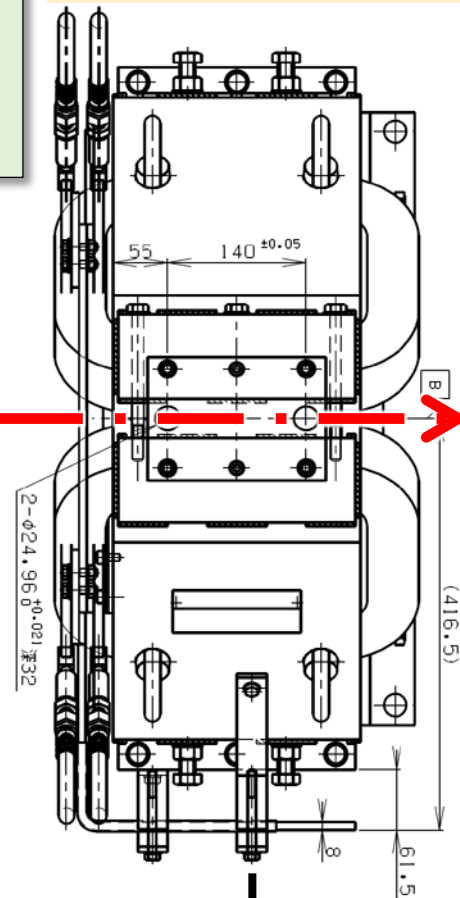
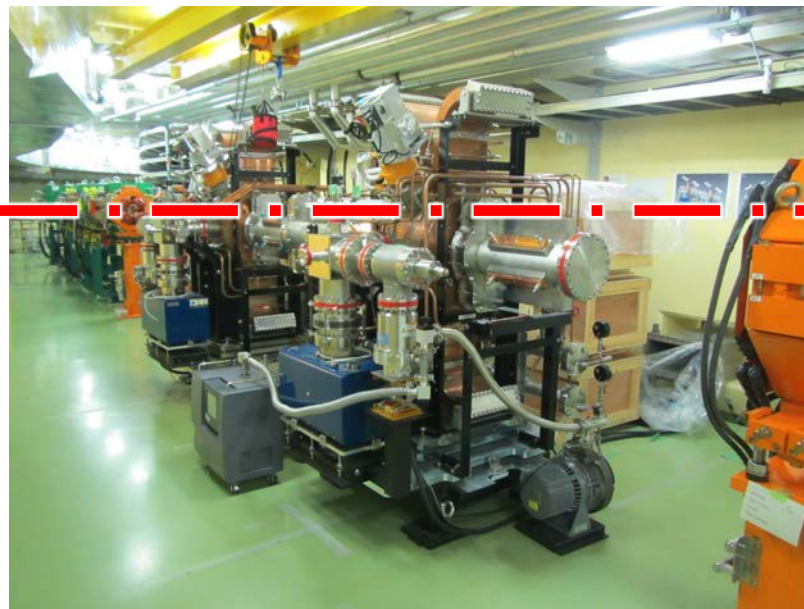
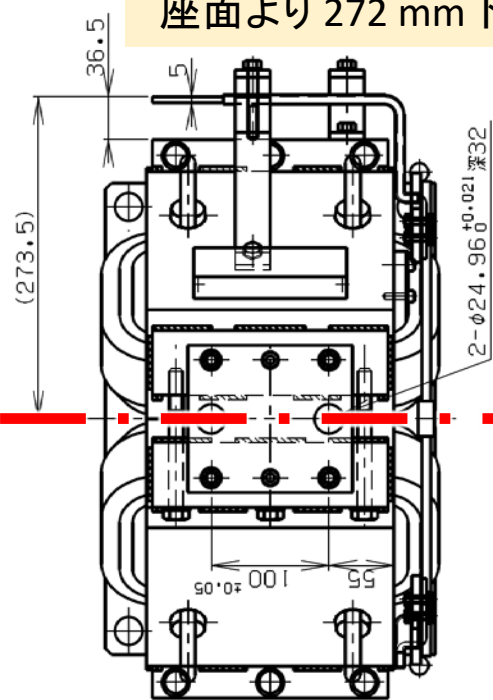
RF区間上下流の(ターゲット座で測った)
Q磁石中心を結んだ直線

上流側Q磁石
(ビームレベルは、
座面より 272 mm下)

今回の測量の結果、

- ✓ 4測定点は10~20ミクロンの精度で一直線上にある
- ✓ $\theta - \pi/2 = 15 \pm 4$ [μrad] (1回目測定)
- ✓ $\theta - \pi/2 = 18 \pm 8$ [μrad] (3回目測定) (鉛直上向き: $\theta=0$)

下流側Q磁石
ビームレベルは、
座面より 390 mm下



5660 mm

空洞測定点

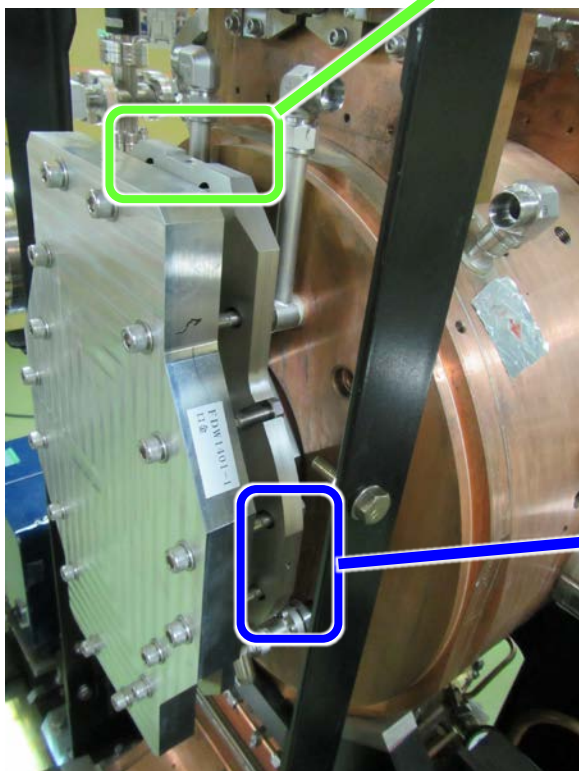
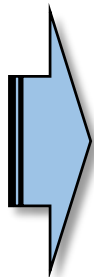
(上面とリング内側(副通路側)側面のみ測定)



(↑ねじ切り加工後)



(↑購入時)



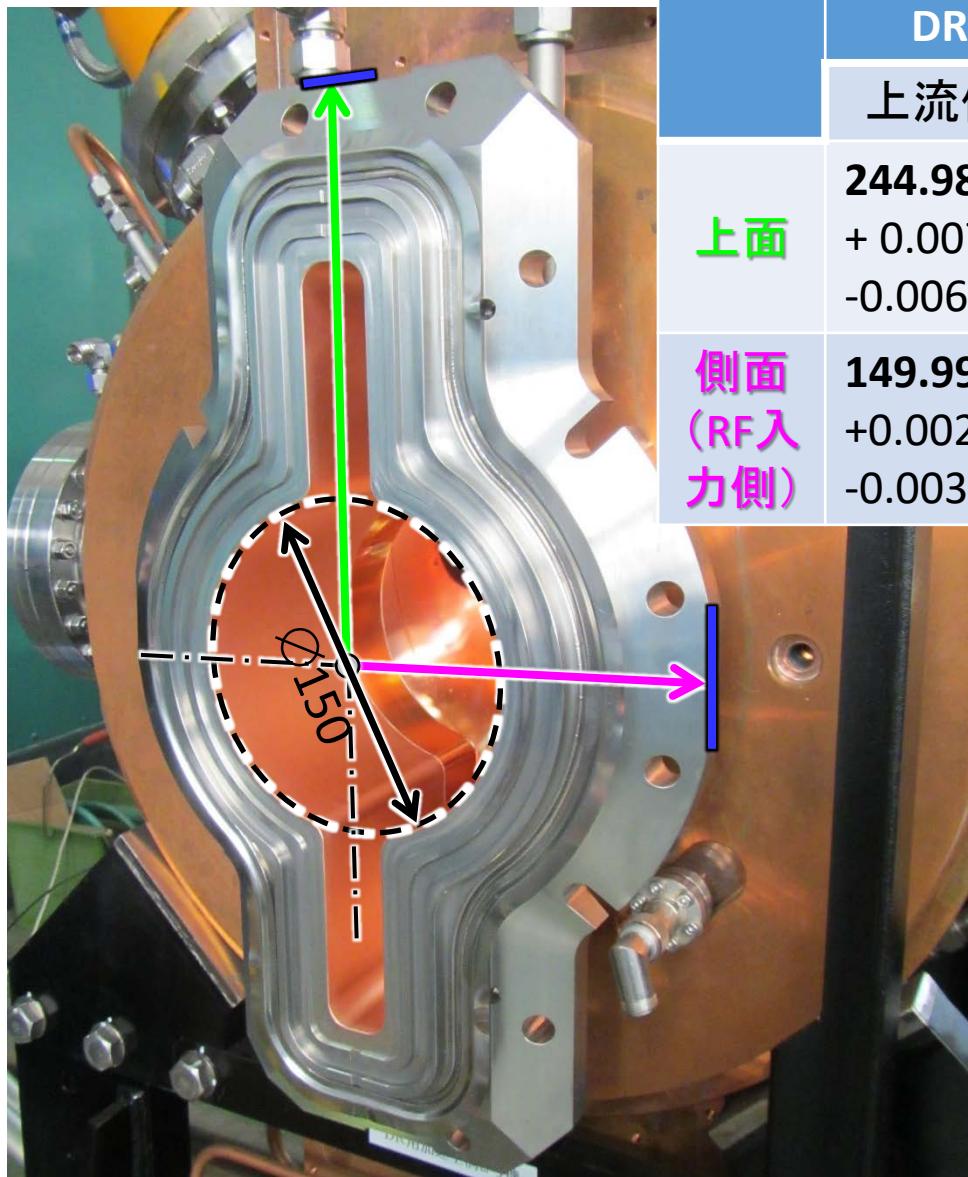
M6タップ穴

↑
ターゲット・ホルダー
↓

↑
1.5インチ・ターゲット
↓

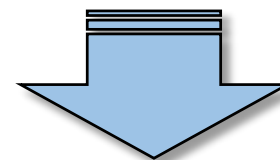


基準面からΦ150ダクト円中心までの距離



	DR空洞1号機		DR空洞2号機		寸法精度
	上流側	下流側	上流側	下流側	
上面	244.980 + 0.007 -0.006	244.987 +0.034 -0.024	244.926 +0.013 -0.023	245.036 +0.010 -0.008	245± 0.1mm
側面 (RF入力側)	149.996 +0.002 -0.003	149.915 +0.028 -0.020	149.955 +0.003 -0.002	149.975 +0.007 -0.006	150± 0.1mm

- ✓ 表示値は3回の測定の平均値
- ✓ ±は3回の測定 of 最大・最小値と平均値の差



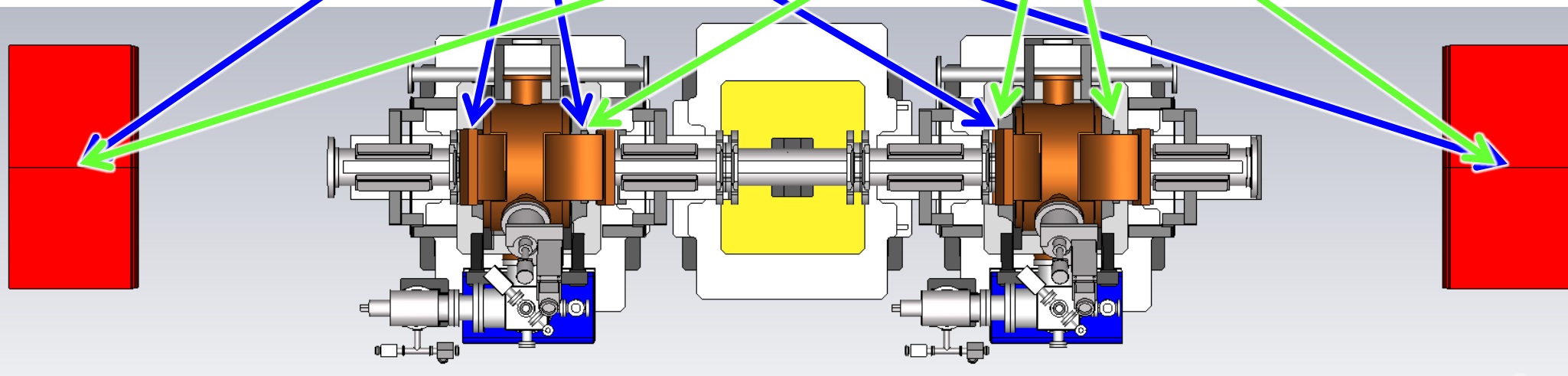
空洞アライメント後の
位置確認に使用

一度に全ての測定点を見通せないので、2回に分けて測定

上流空洞
の前で測定

下流空洞
の前で測定

(副通路側)



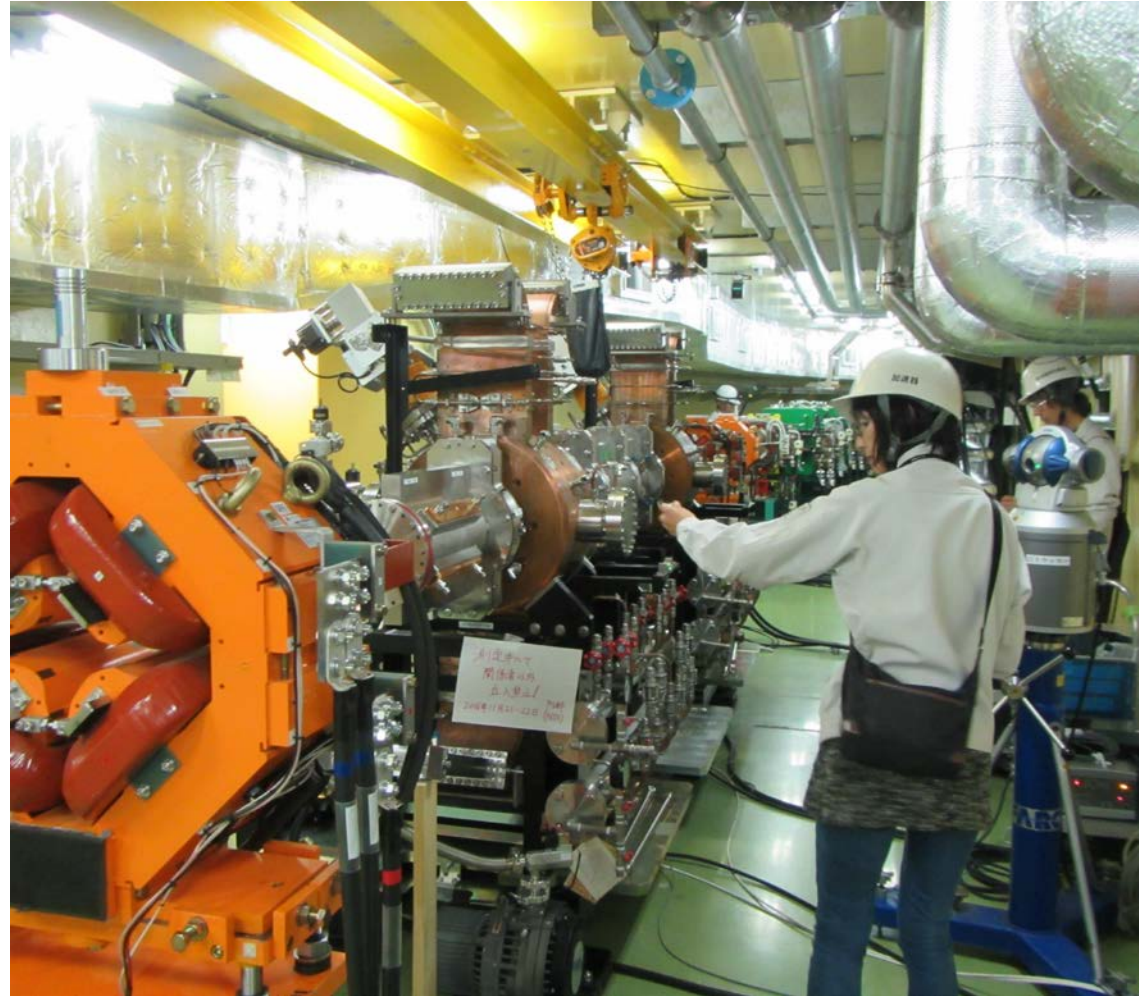
Q磁石
(上流側)

上流空洞(2号機)

下流空洞(1号機)

Q磁石
(下流側)

測定の様子



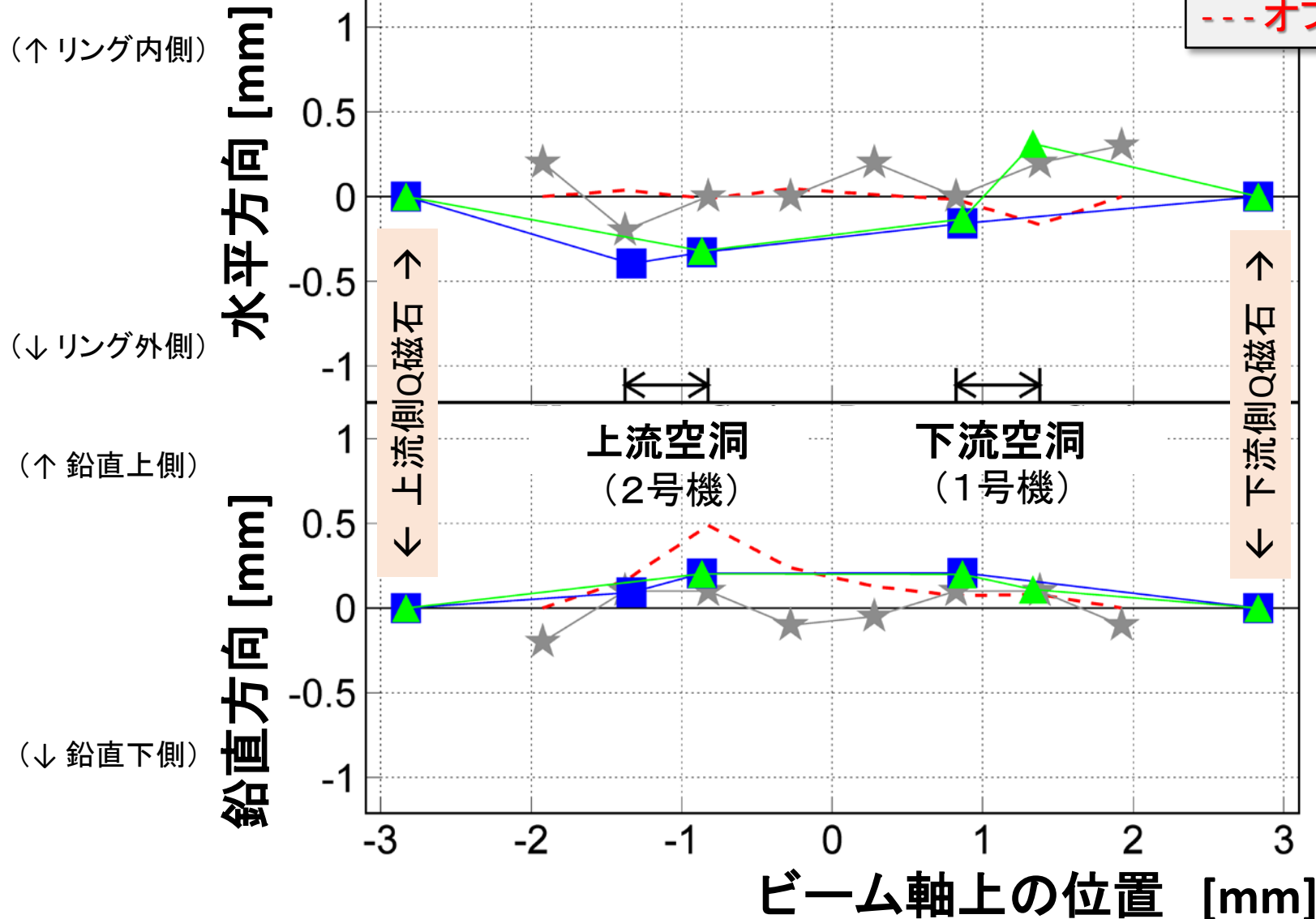
ビームポート・フランジにおけるΦ150ダクト中心のビーム軸からのずれ

ビームポート・フランジ上面・側面から
Φ150円中心までの距離は、事前に
FARO ARMを使って測定した結果を使用

(測定日:2016-11-21)

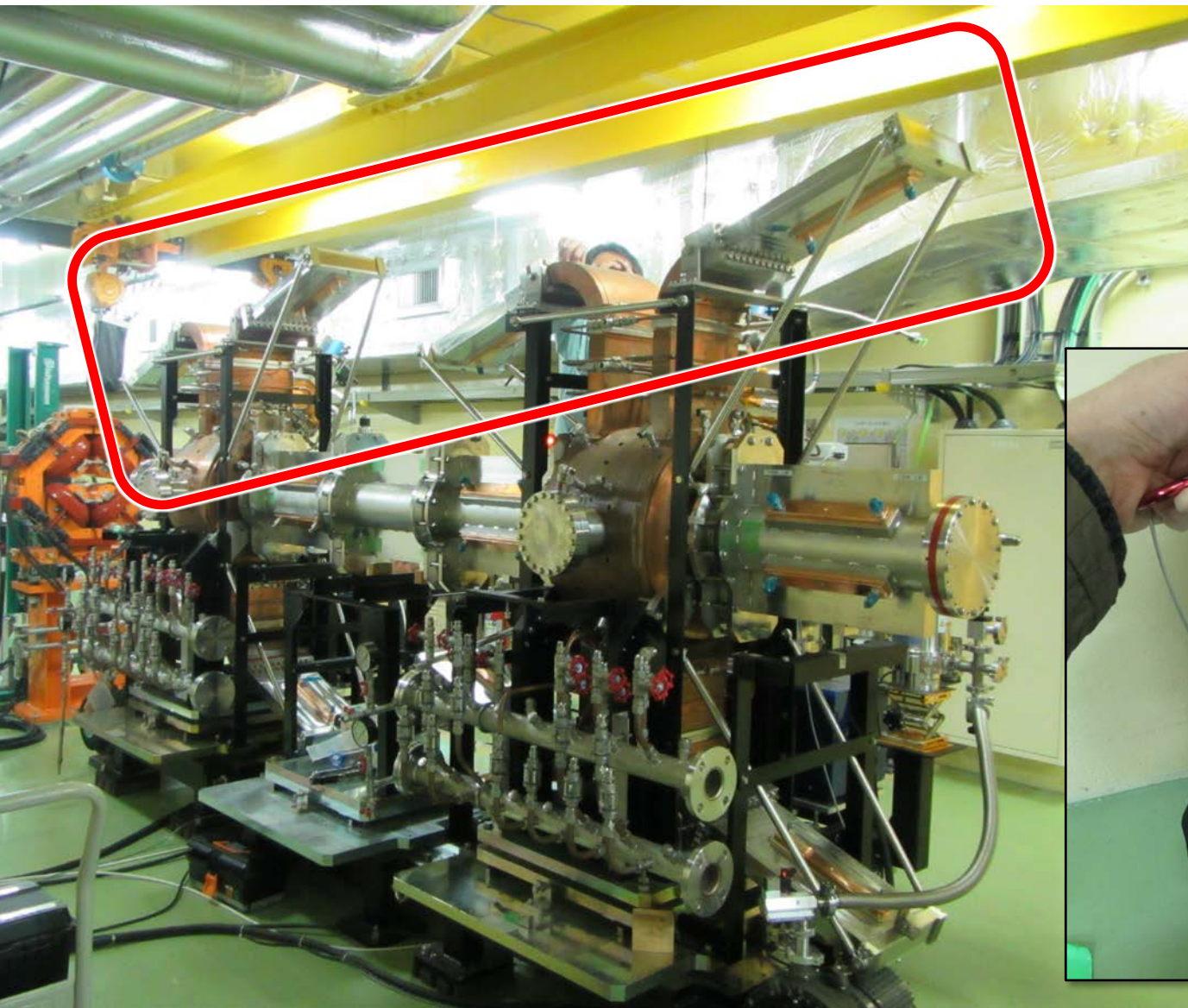
(2回の測定の再現性:約10μm)

- ▲ 下流空洞の前で測定
- 上流空洞の前で測定
- ★ 据付中の測定値
- オフセット理論値



7. 上側HOM導波管ロード取付

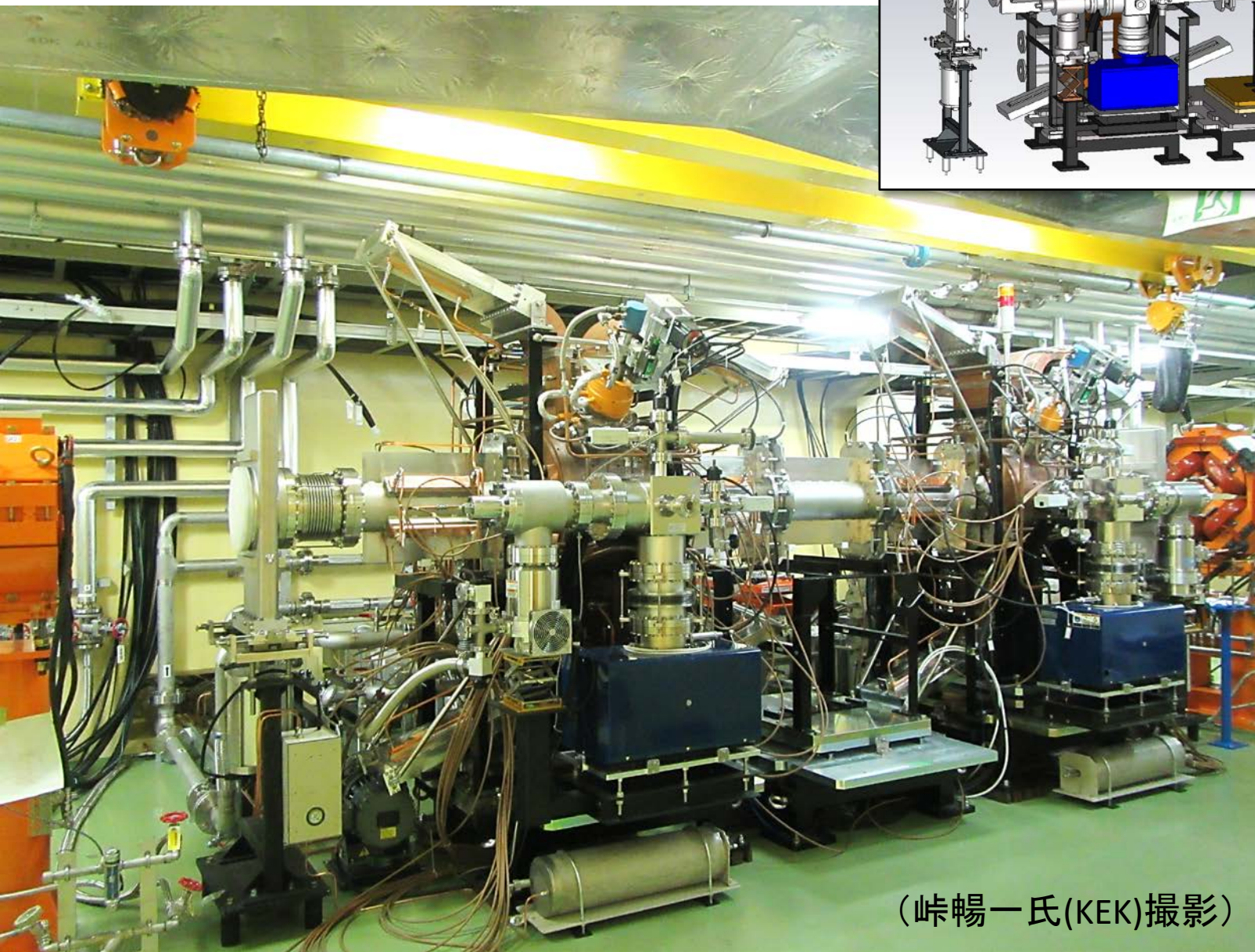
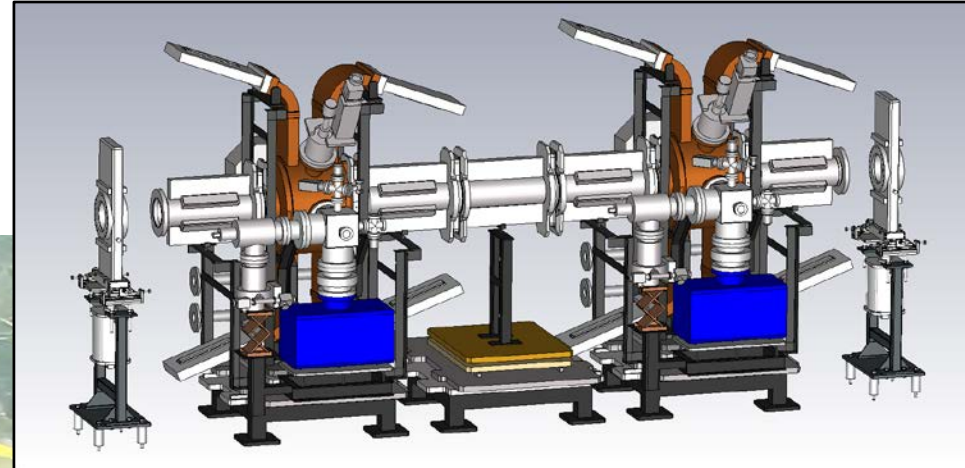
2016-11-24



←小さいチェーン
ブロックを使用

スリングで導波管を巻いて、吊り上げた。⁶¹

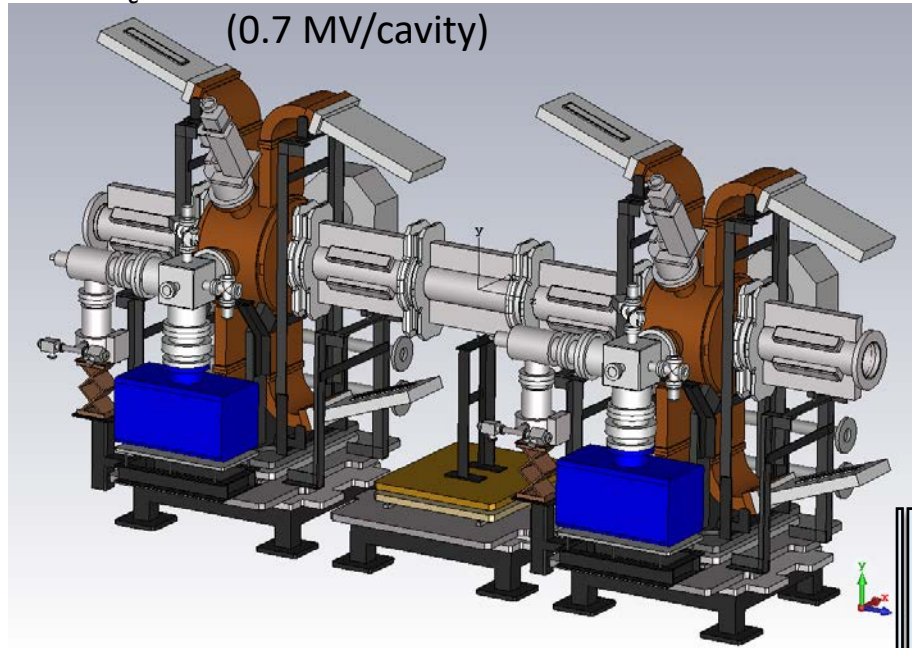
据付完了後



(峠暢一氏(KEK)撮影)

2 → 3 空洞構成

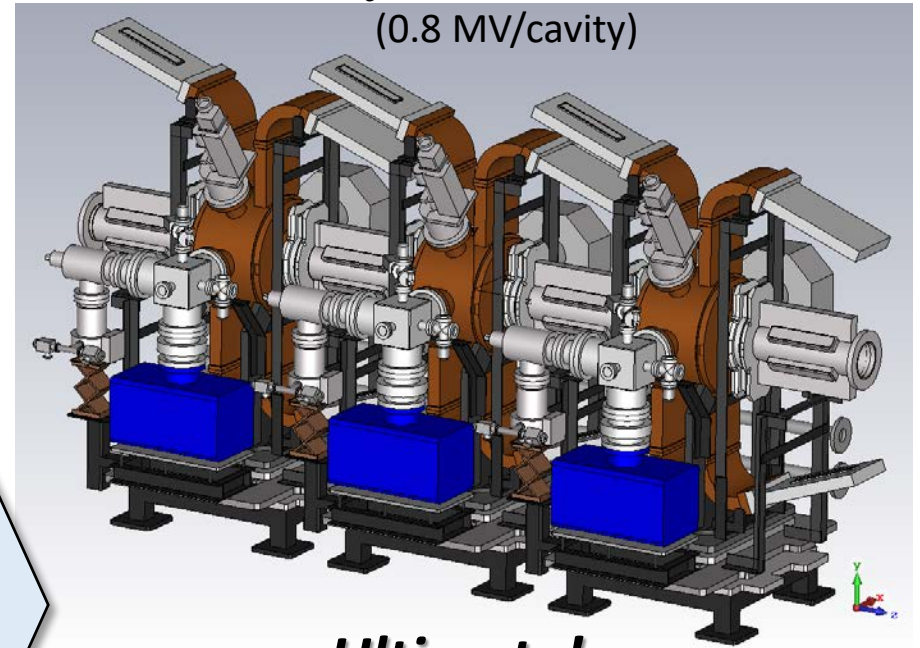
Total $V_c = 1.4$ MV for normal DR operation @ Phase II



(0.7 MV/cavity)

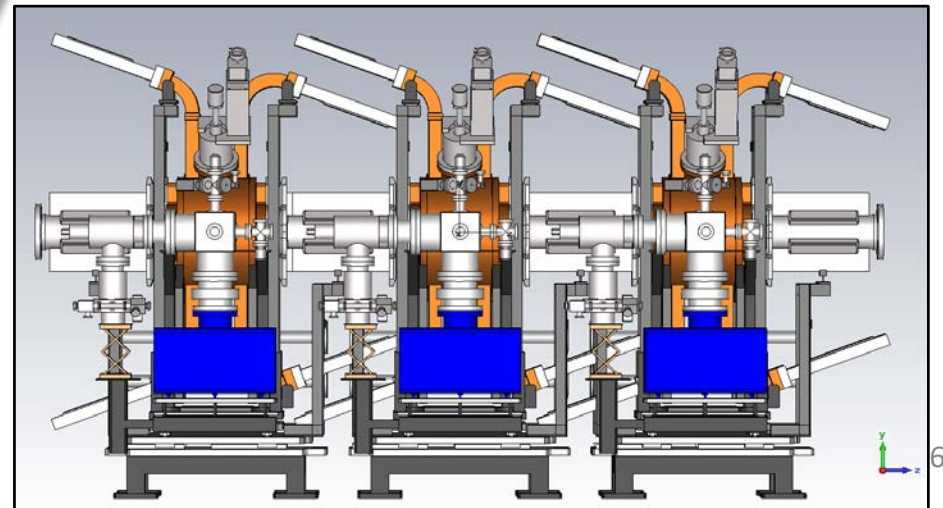
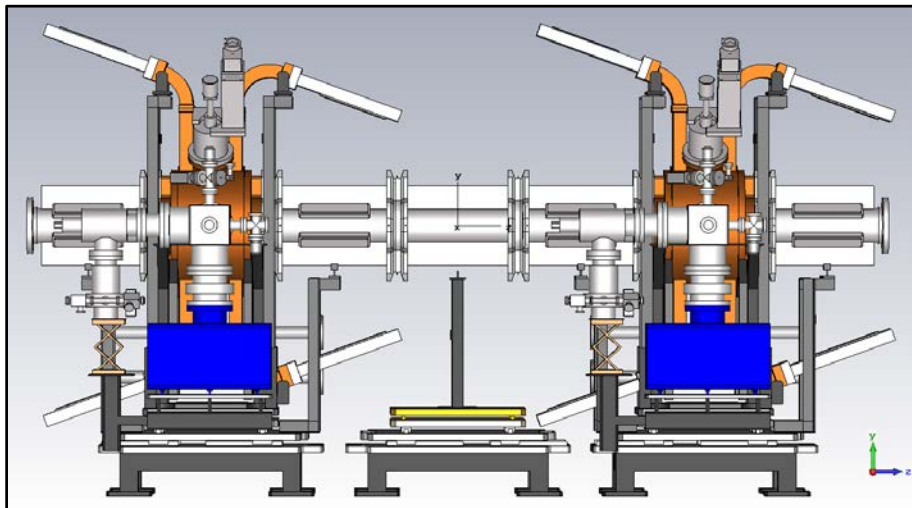
Starting with 2 cavities

Total $V_c = 2.4$ MV at max. @ Phase III?



(0.8 MV/cavity)

Ultimate!
(if necessary)



まとめ

- 省スペース構造をもつDR用常伝導加速構造をDRトンネル／RF区間に据付完了
 - 事前のフランジ位置計測により、コンポーネントの最適な組み合わせ・位置を決定
 - 可搬型CMM(据付前) + レーザートラッカー(据付後)を使った精密据付位置確認
 - 目標据付精度(直角方向0.3mm)をほぼ達成！
- 本加速構造、及び、据付方法は、任意の長さの加速構造に適用可能

