

# ニュースバル1.0GeV新入射器 の建設とコミッショニング運転

稲垣 隆宏, 平岩 聡彦, 前坂 比呂和, 原 徹, 田中 均 (理化学研究所),  
安積 隆夫, 出羽 英紀, 細田 直康, 岩井 瑛人, 近藤 力, 馬込 保, 大島 隆, 櫻井 辰幸,  
柳田 謙一, 濱田 洋輔, 杉本 崇, 糸賀 俊朗, 安積 則義 (高輝度光科学研究センター),  
#橋本 智, 藤井 将 (兵庫県大 高度研),  
井上 忍, 鍛冶本 和幸, 皆川 康幸, 中田 翔太郎, 住友 博史, 田中 信一郎, 山本 龍,  
吉岡 正倫 (スプリングエイトサービス),  
西森 信行, 上島 考太, 保坂 勇志, 岩下 大器 (量研機構)

# ニュースバル新入射器

- ☑ 運用停止したSPring-8 Linacに代わる専用入射器
- ☑ 熱陰極RF電子銃（短パルス、低エミッタンス）
- ☑ 高勾配Cバンド加速管（ $\sim 31\text{MV/m}$ ）
- ☑ コンパクトで安価な1.0GeV電子線型加速器
  - 既設のビーム輸送系トンネル内に収容可能
- ☑ 東北3GeV光源加速器の入射器プロトタイプ
- ☑ 理化学研究所、高輝度光科学研究センター、  
兵庫県立大の協力
- ☑ 入射器の概要、建設、コミッショニング、  
3ヶ月の運用状況

# 年会における関連報告

## 【電子銃】 WEAOA03 安積 他

高信頼性・高保守性・高輝度ビーム特性を兼ね 備えたグリッド熱陰極 RF 電子銃の開発”

## 【Cバンド加速管】 THP033 稲垣 他、

ニュースバル新入射器におけるCバンド主加速器のコンディショニングと運転状況

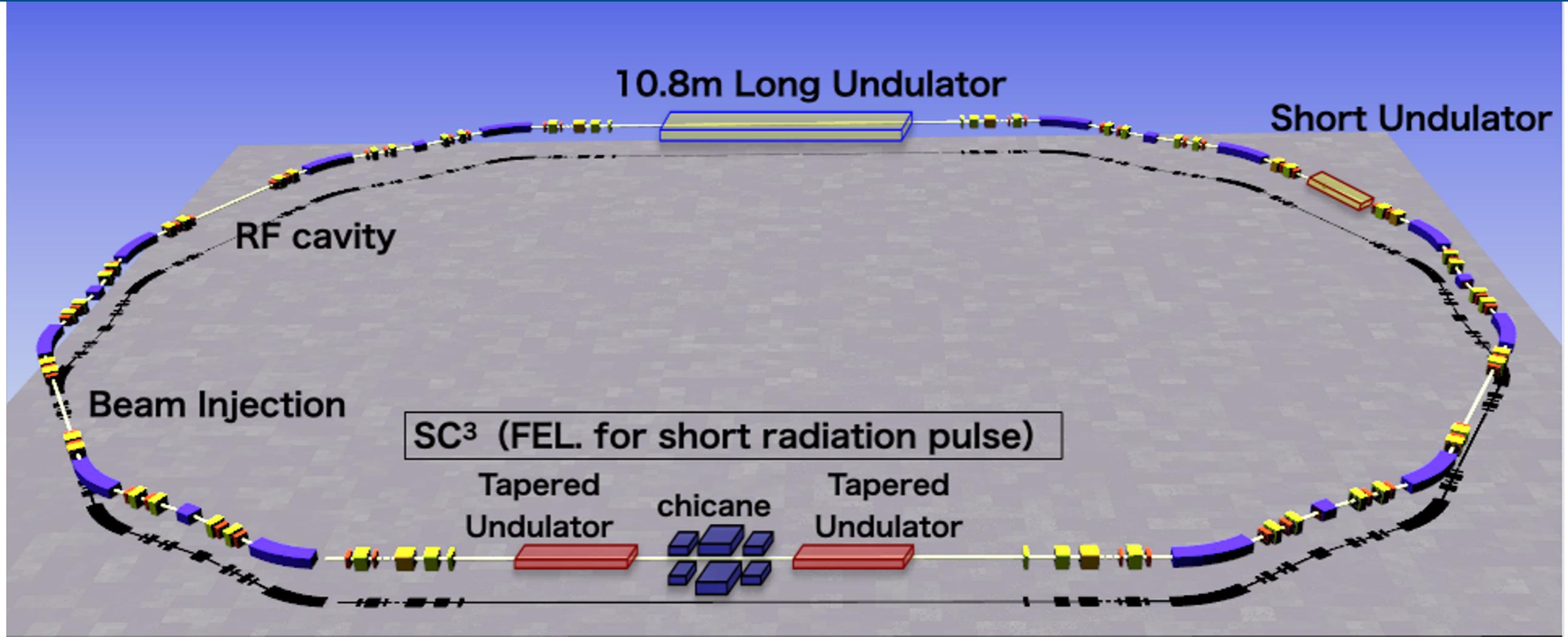
## 【LLRF】 WEOB05 大島 他、

放射光施設ニュースバルの新入射加速器のタイミング・低電力高周波制御システム

## 【施設報告】 THP057 橋本 他

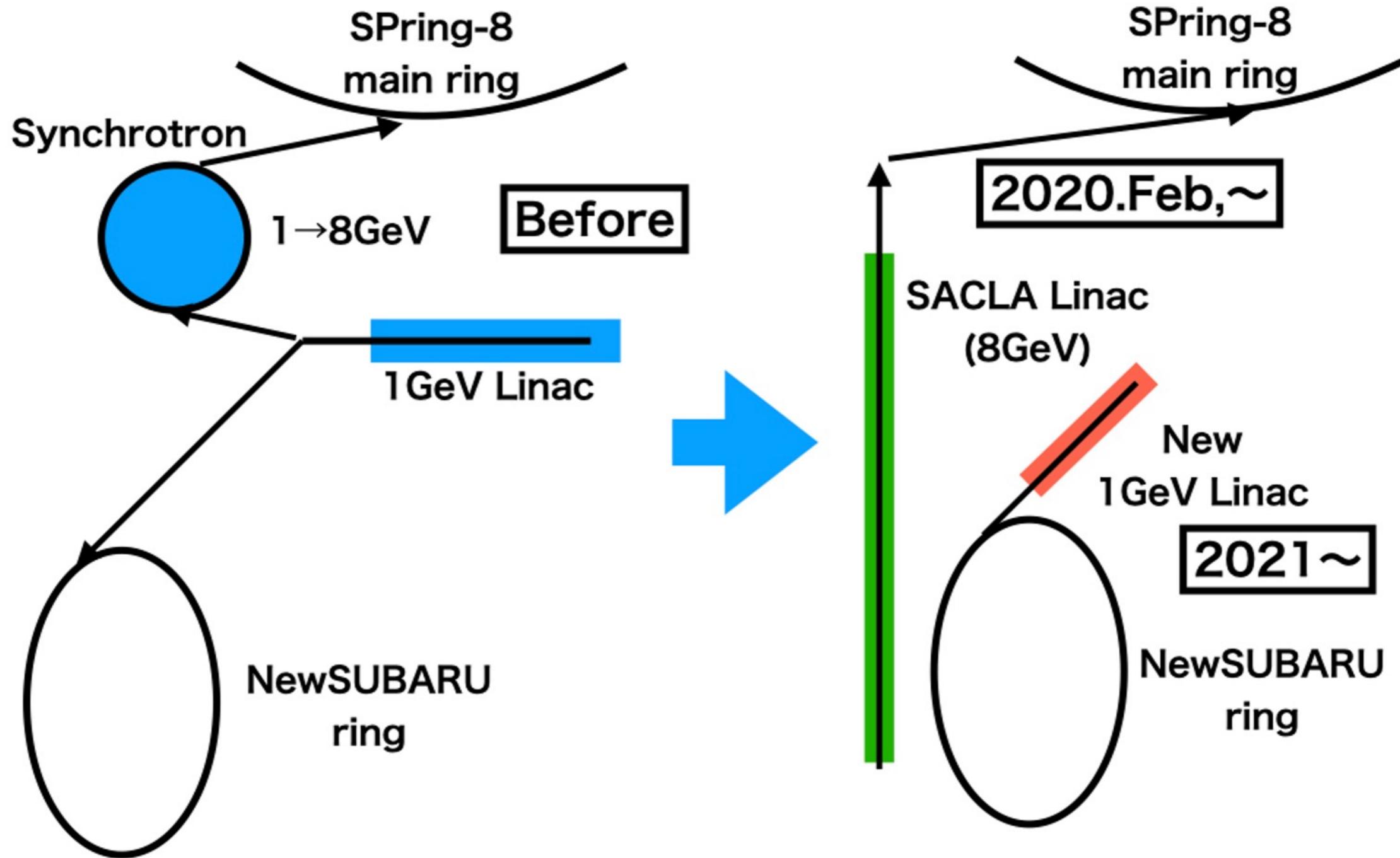
ニュースバル放射光施設の現状（施設報告）

# ニュースバル電子蓄積リング



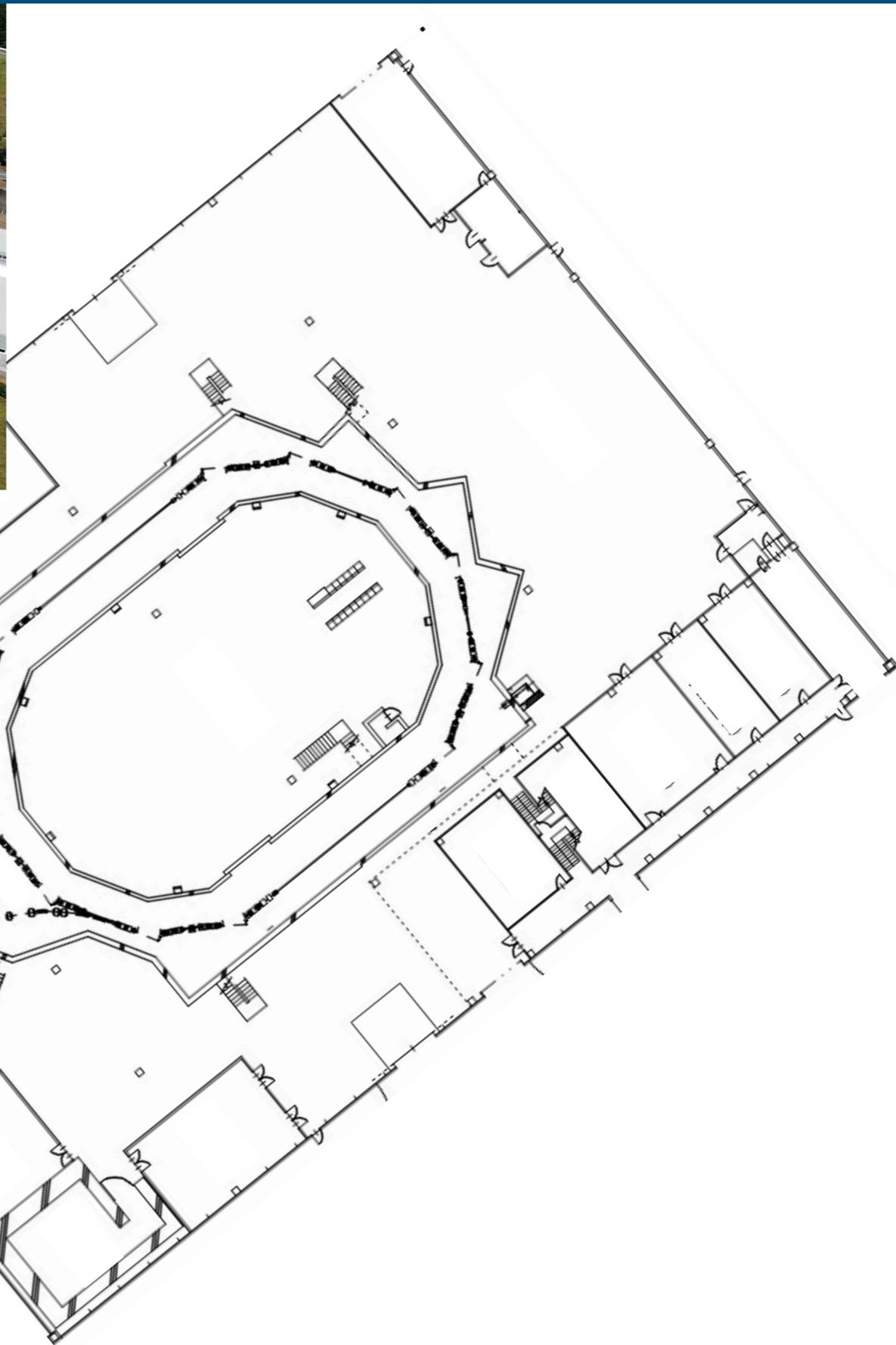
周長	118.7m	RF周波数	499.9555 MHz
入射エネルギー	1.0 GeV	ハーモニック数	198
蓄積エネルギー	0.5~1.5 GeV	エミッタンス	40 nm-rad @1.0 GeV
最大電流	500mA	ラティス	DBA+BI (逆偏向電磁石)
利用運転	300mA Topup@1.0GeV 350mA Decay@1.5GeV	偏向電磁石	12台
挿入光源	10,8m Long Undulator Short Undulator SC3 (FEL)	曲率半径	3.217 m
		ベータトロンチューン	6.295/2.215
		Momentum acceptance	±0.85%
		入射繰返し	1pps

# (SPring-8) 1.0GeV入射器の運用停止



SPring-8線型加速器のシャットダウンに合わせて  
ニューズバル専用の1.0GeV入射器の建設へ

# ニュースバル放射光施設



- ☑ 最大エネルギー 1.0GeV
- ☑ 既存BTトンネル内に収容
- ☑ 低コスト (建設・維持)

L4トンネル  
(入射器トンネルに名称変更)

附属棟 (クライストロンギャラリー)  
を新たに建設

# 建設の状況

-2017年2月 入射器設計

-2019年3月 附属棟（クライストロンギャラリー）竣工

-4月～ 附属棟ユーティリティ整備

→天井クレーン、高精度平滑床面、防油堤、冷却水ヘッダー、他

-2020年1月～ クライストロン搬入設置

→危険物取り扱い（消防署）、高周波設備変更（電波法）

-7月 Cバンドクライストロン単体高圧試験

-7月末 蓄積リング運転停止

-8月 放射線変更許可

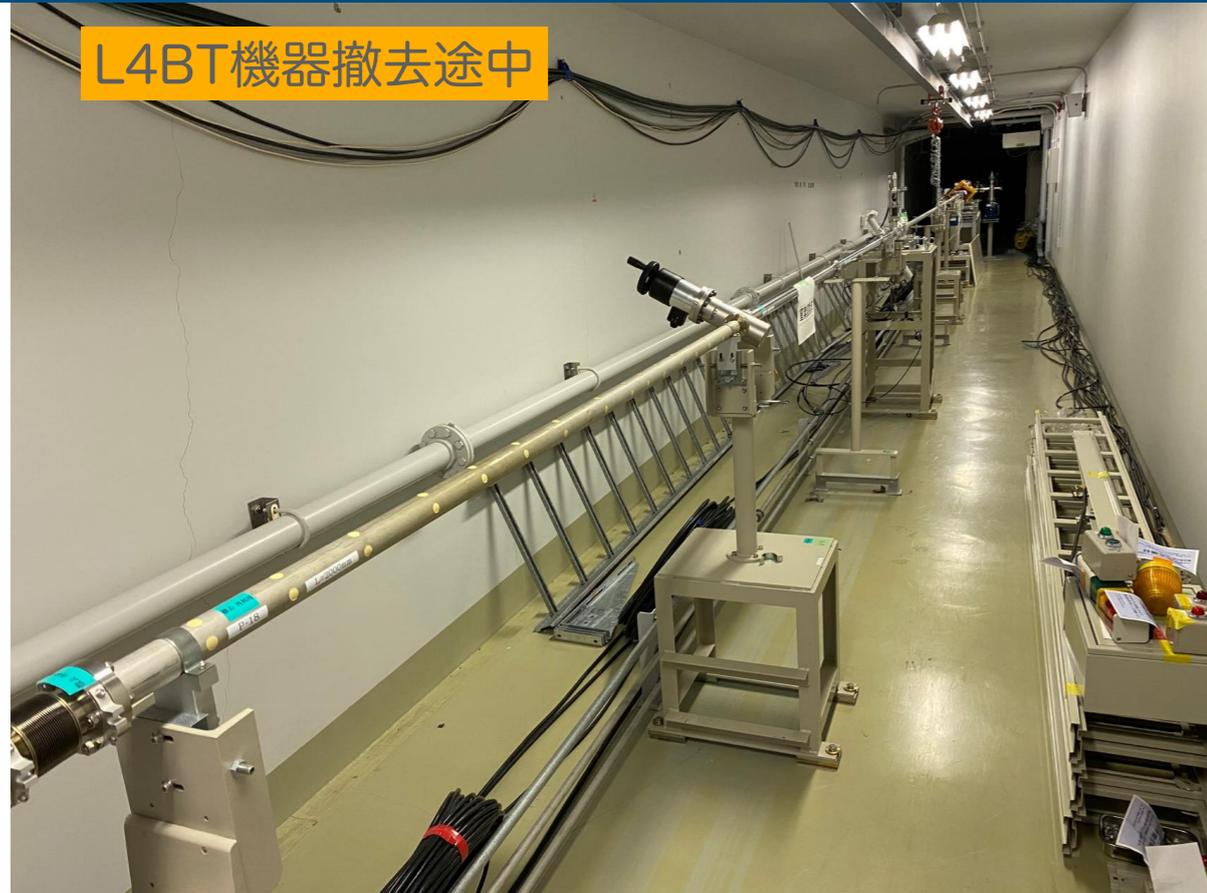
ビーム輸送系撤去・入射器トンネル改修

→コロナ禍での作業、消毒・トンネル内人数制限、濃厚接触者

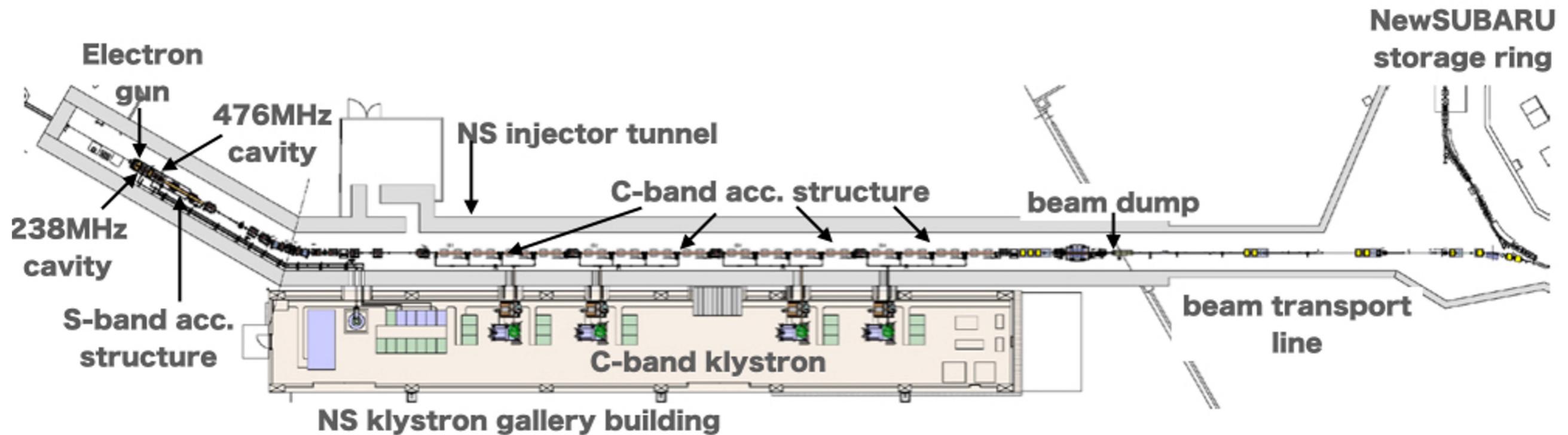
-10月 新入射器設置開始

-12月末 現場工事完了→予定通り

# 建設の様子



# 入射器全体図



- ☑ 電子銃システム：グリッド制御熱陰極、238MHz空洞
- ☑ 入射部：476MHz空洞、Sバンド加速管にてバンチビーム生成
- ☑ 30°偏向部、マッチング部：ビーム輸送、バンチ圧縮
- ☑ Cバンド加速部：ビーム加速（2m×16本、KLY:4台、1.0GeV）
- ☑ ビームダンプ：出射ビーム計測
- ☑ ビーム輸送系：リングへのビーム輸送
- ☑ 附属棟：クライストロン、モジュレーター、各種電源、制御機器

# ニュースバル附属棟

完成直後



クライストロンギャラリー建屋



現在



C-band klystron

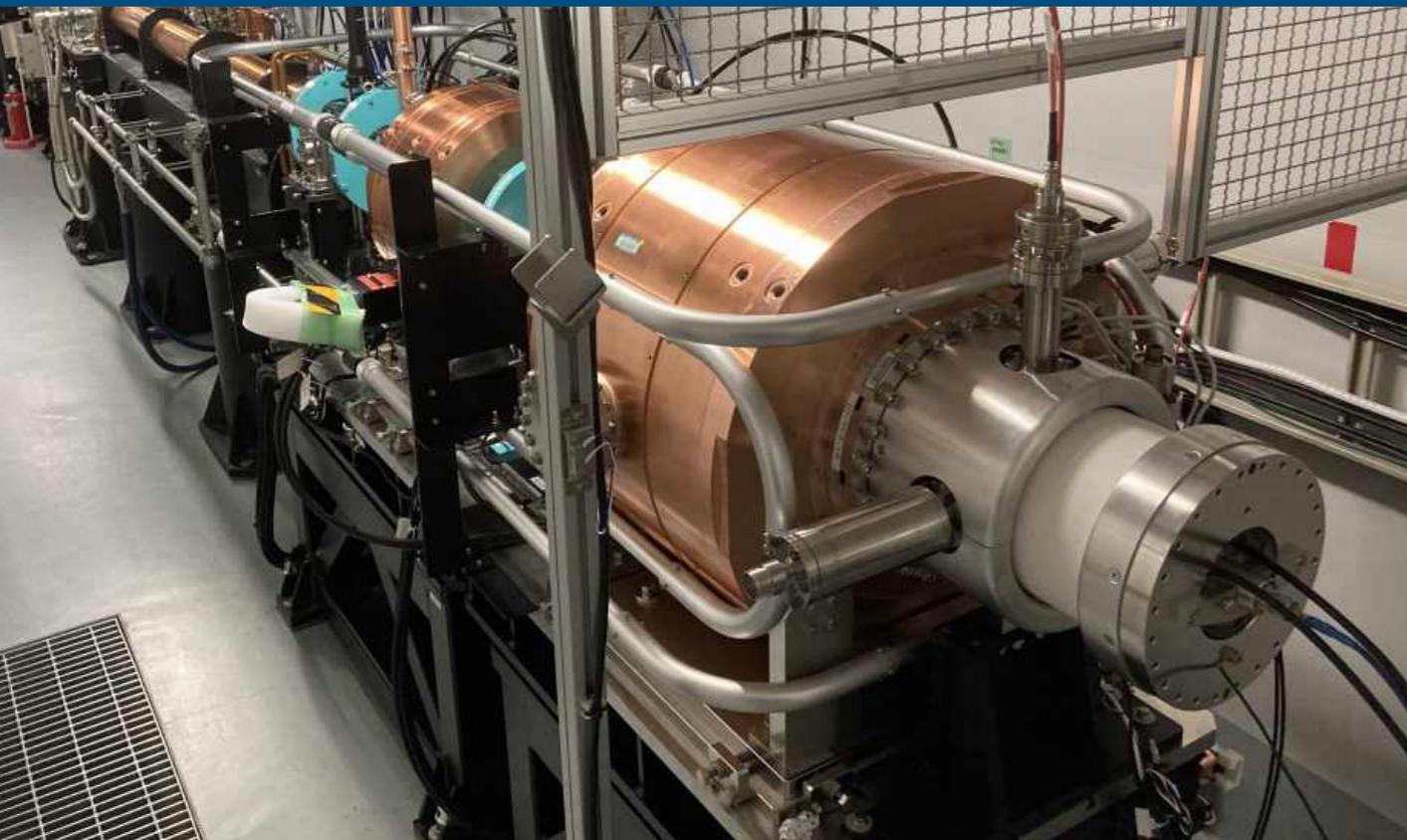
危険物取り扱い（仮貯蔵・仮使用）  
高周波設備設置変更申請（電波法）  
天井クレーン・冷却水ヘッダー、etc.

防油堤



高精度平坦樹床面 (0.05mm/m)

# 電子銃、238MHz空洞



WEAOA03 安積 他

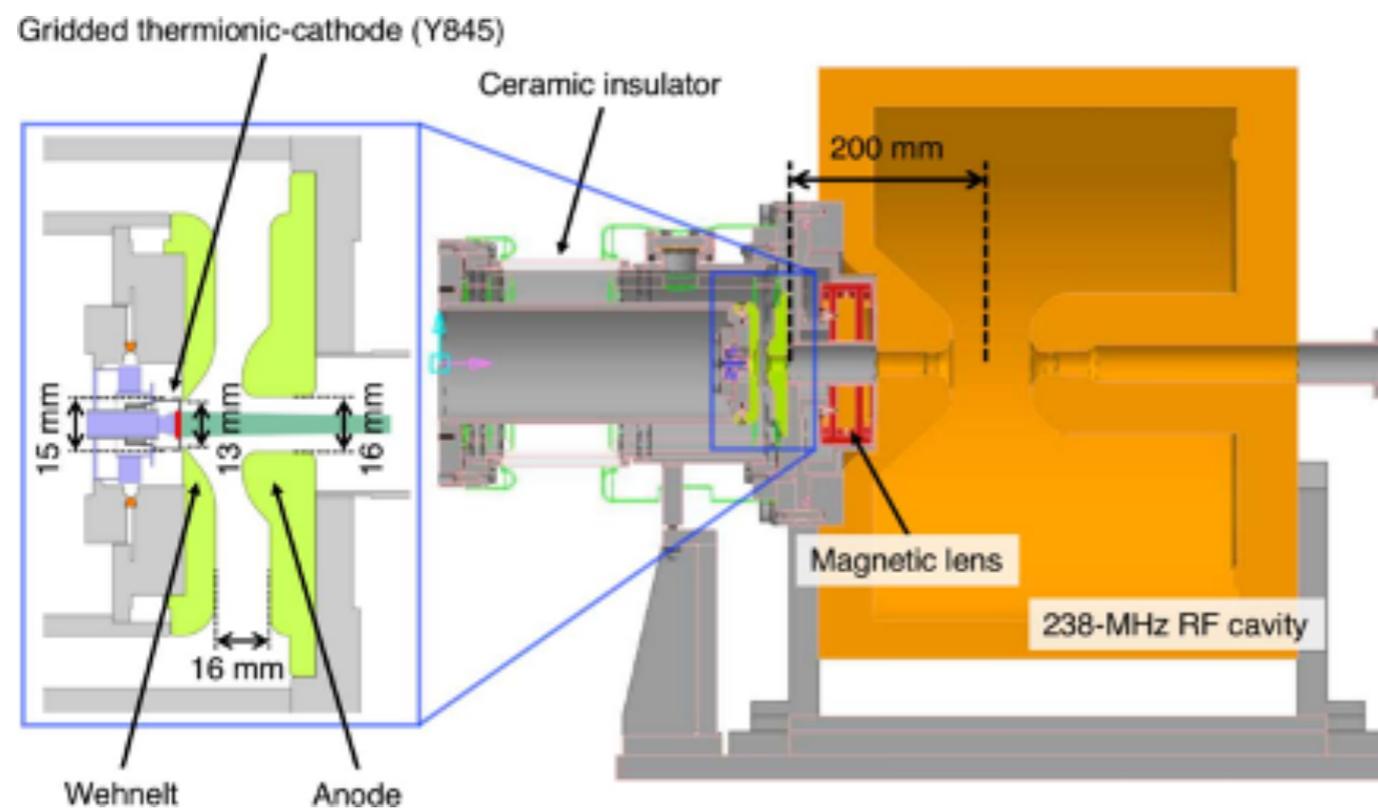
グリッド制御熱陰極RF電子銃

☑グリッド印加パルス電圧

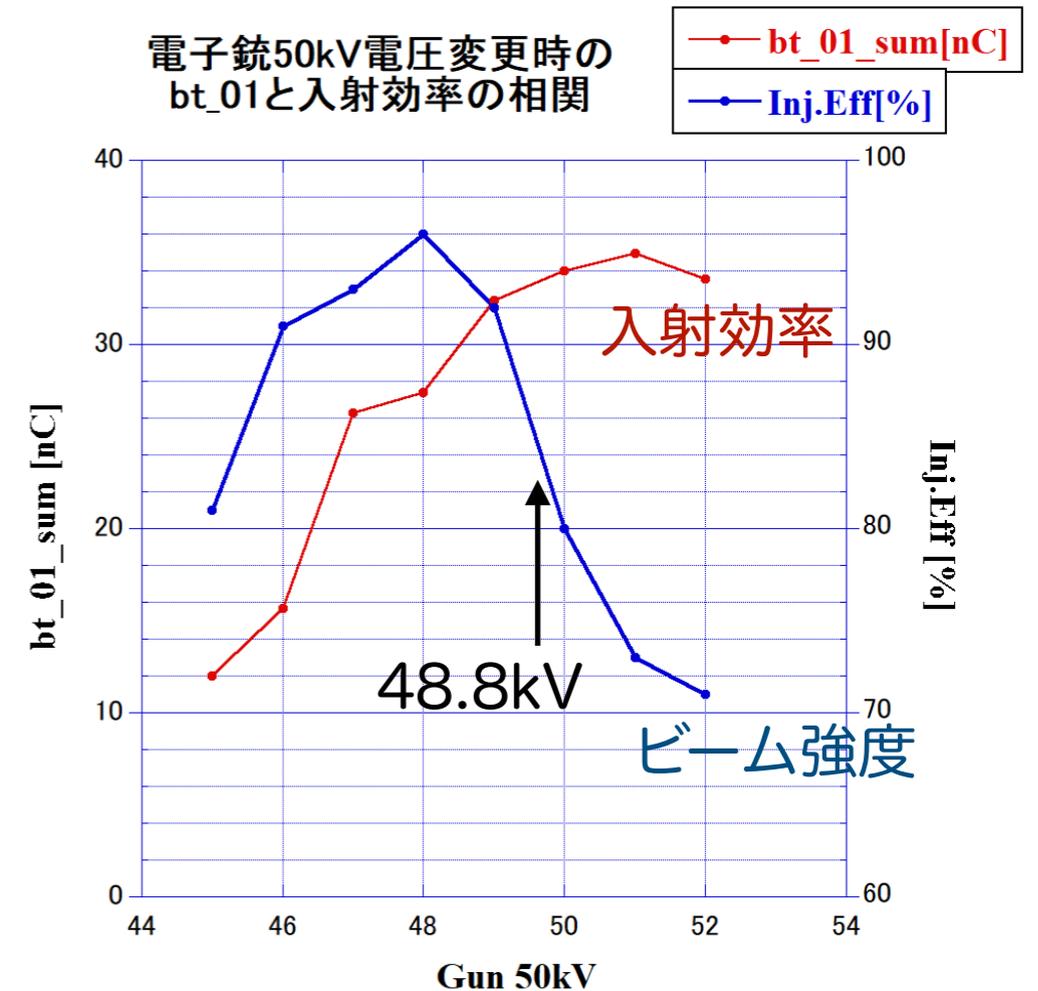
48.8kV、0.2ns

☑空洞出口でのビーム

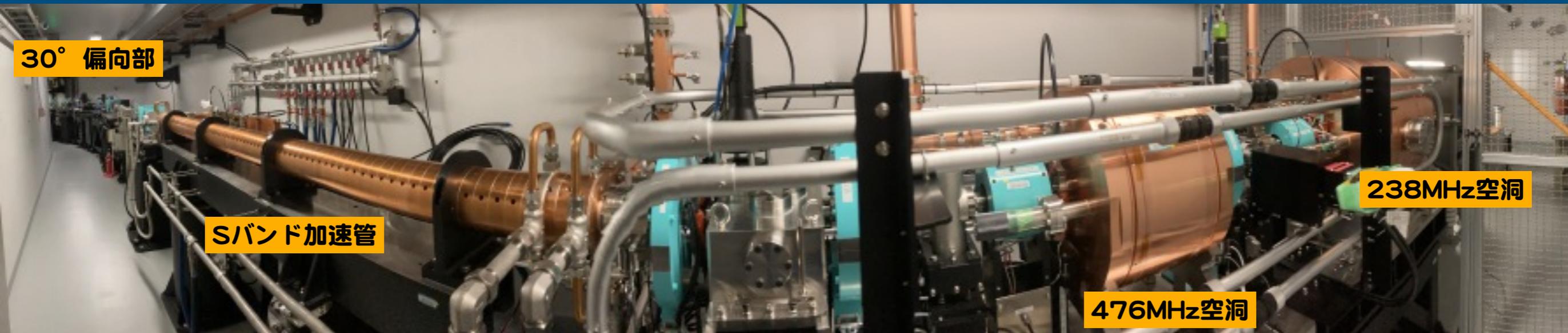
500keV、400pC、0.2ns



電子銃50kV電圧変更時の  
bt\_01と入射効率の相関

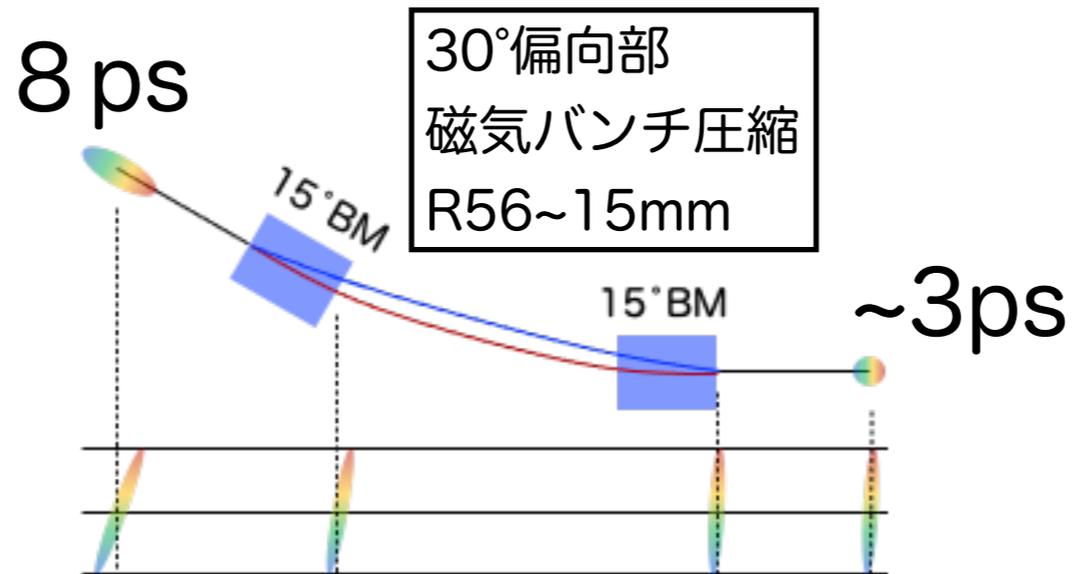


# 476MHz空洞、Sバンド加速管

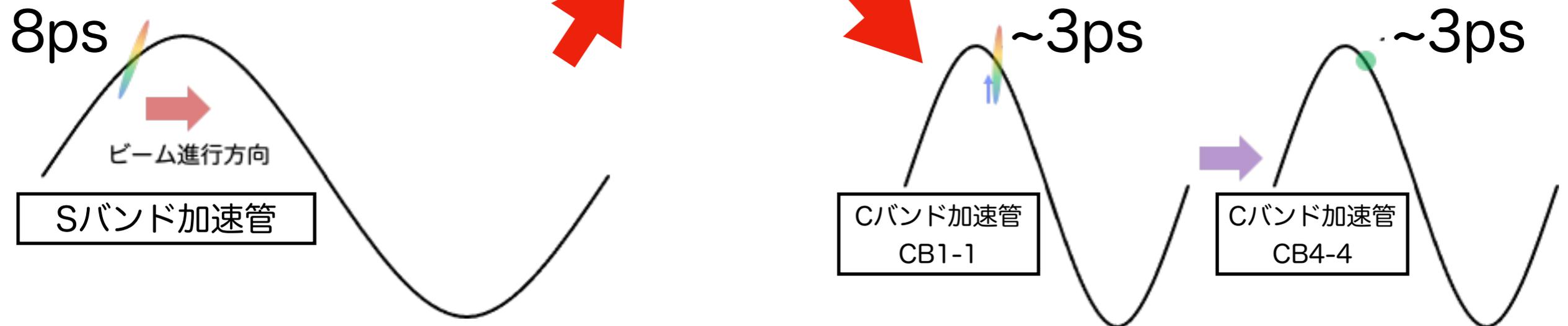


## ☑ Sバンド加速管

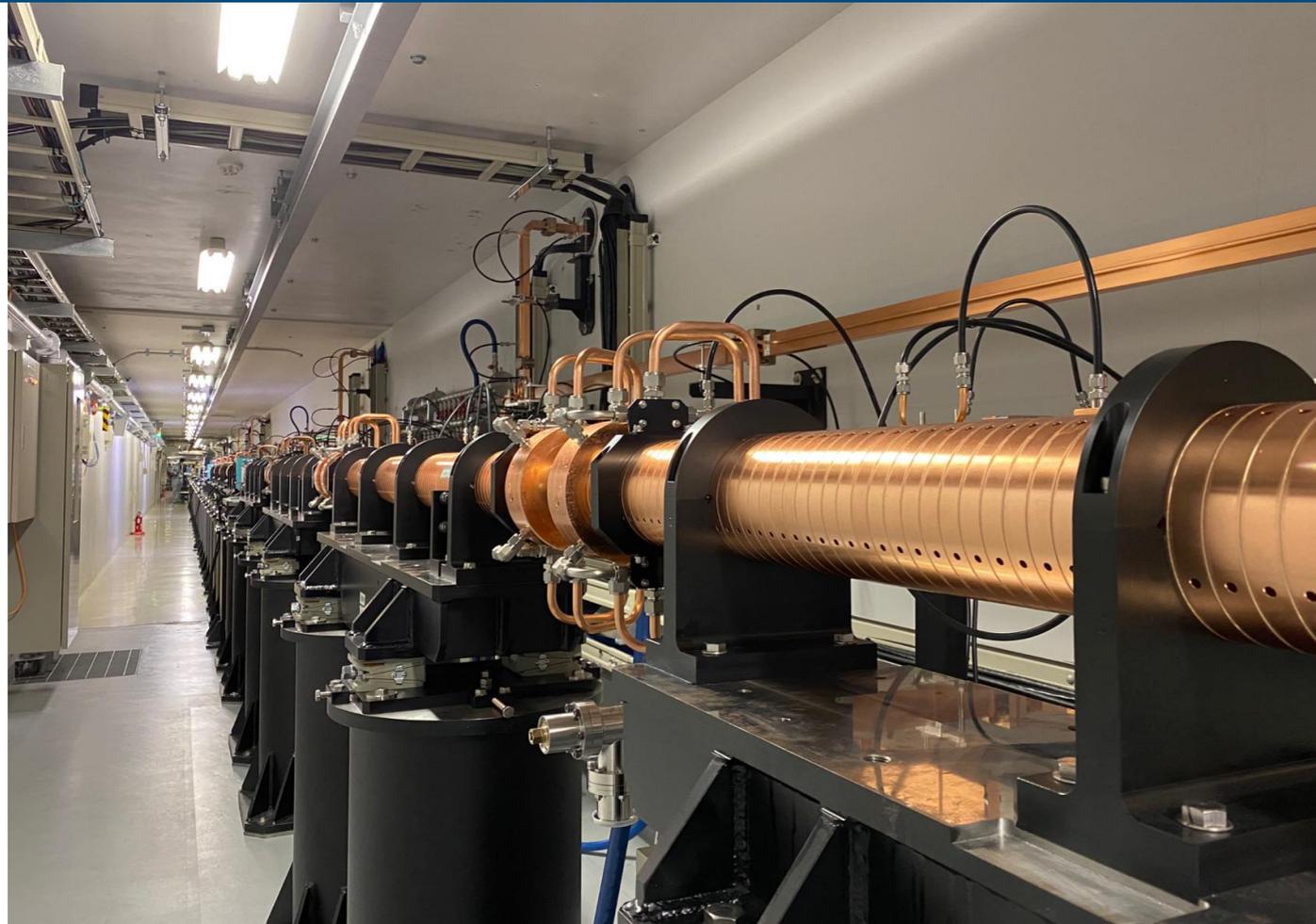
- ◆ 3 m (81セル)
- ◆ 18MV/m
- ◆ 50MeV, ~8ps



安積氏  
シミュレーションより

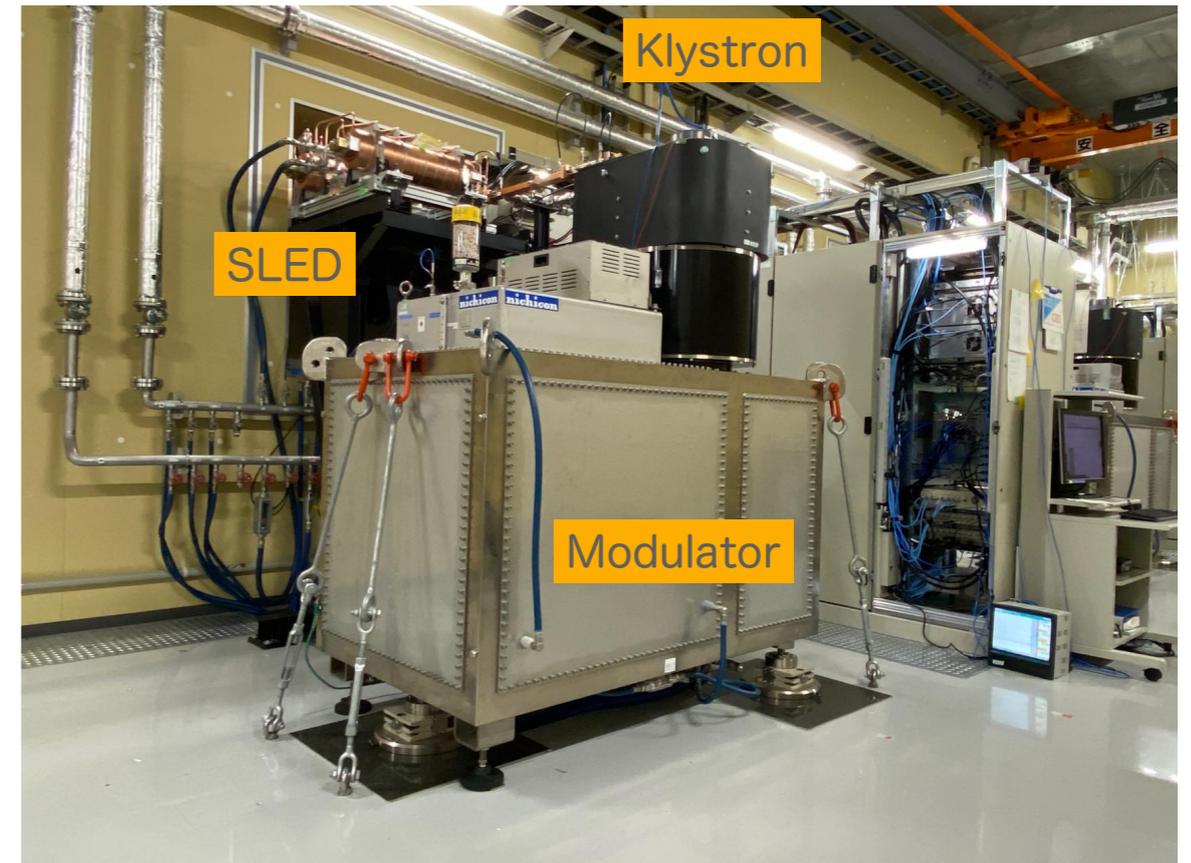


# Cバンド加速管



THP033

稲垣 他

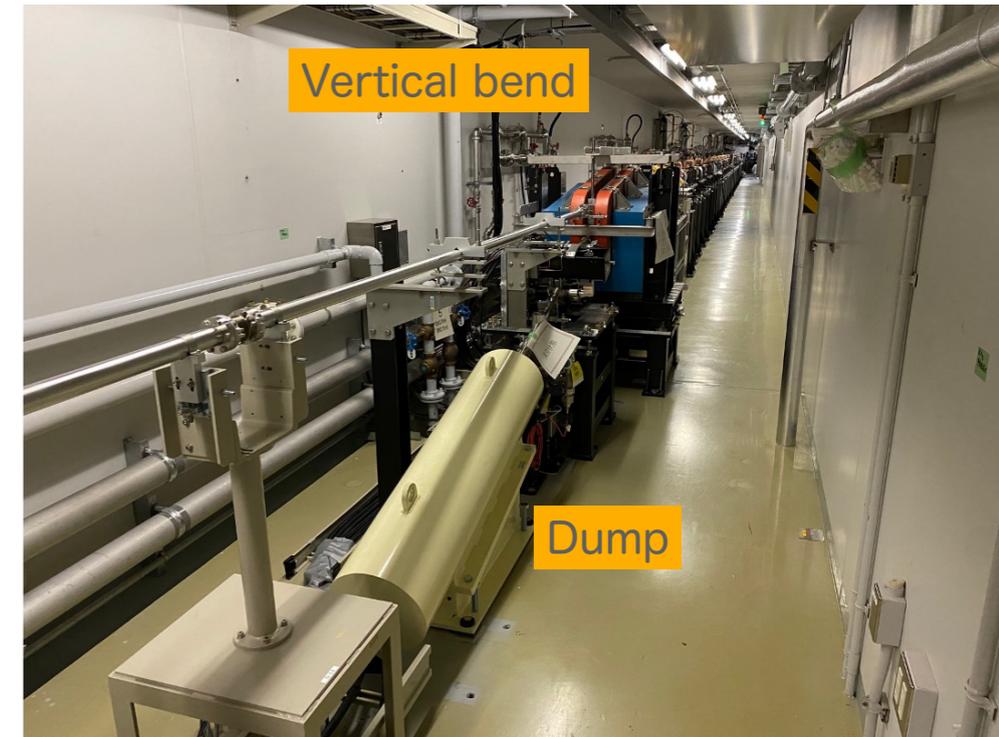


0.974GeV運転時のパラメーター	CB1	CB2	CB3	CB4
充電電圧(kV)	45	47	44	50
クライストロン出力(MW)	44	47	38	50
加速エネルギー(MeV)	236	236	225	247

- ◆ 2 m x16本
- ◆ 4台のクライストロン  
CB1~CB4
- ◆ 加速勾配 31MV./m
- ◆ 2.5  $\mu$ s, 50kV, 20pps

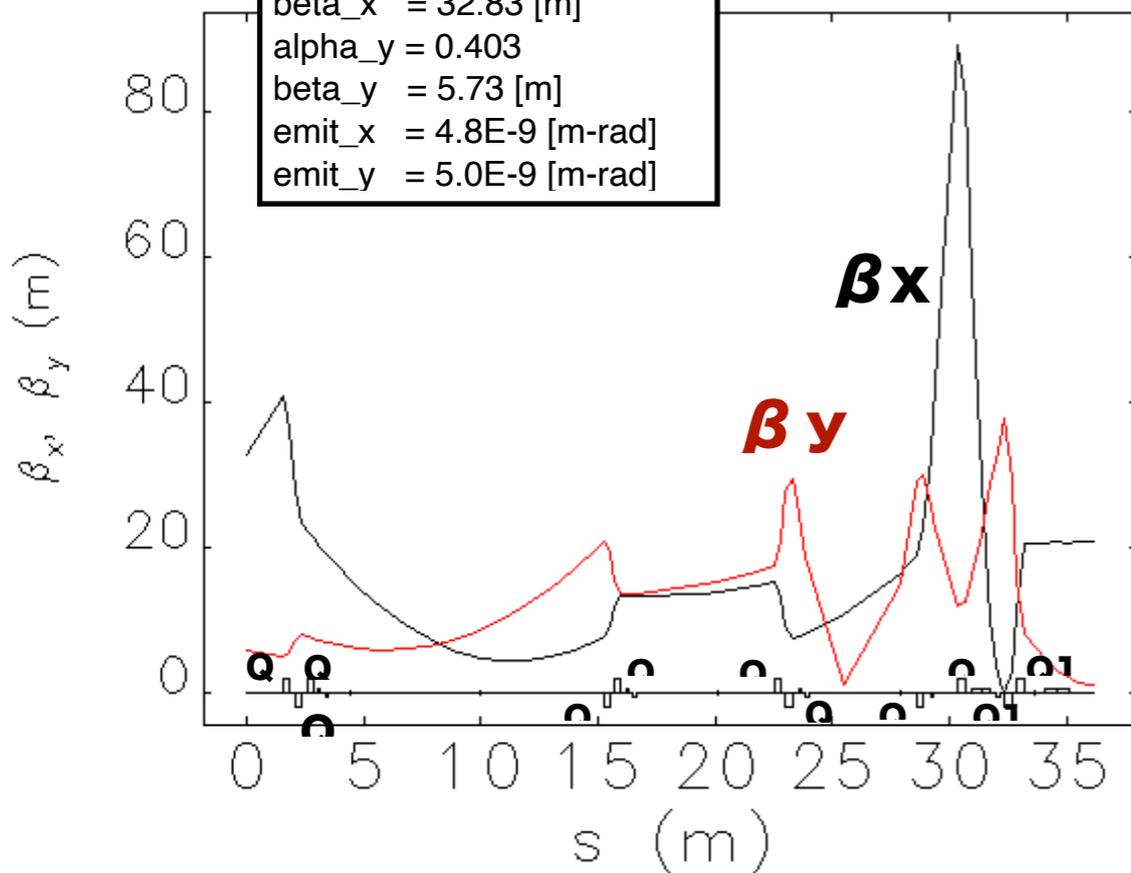
# ビームダンプ、ビーム輸送系

- ☑ダンプ：SCM&BPMでエネルギー計測
- ☑BT：ビーム損失なしでビーム輸送
- ☑BT：入射点直前Bend下流にBPM設置



## Linac Exit

alpha\_x = -2.33  
 beta\_x = 32.83 [m]  
 alpha\_y = 0.403  
 beta\_y = 5.73 [m]  
 emit\_x = 4.8E-9 [m-rad]  
 emit\_y = 5.0E-9 [m-rad]



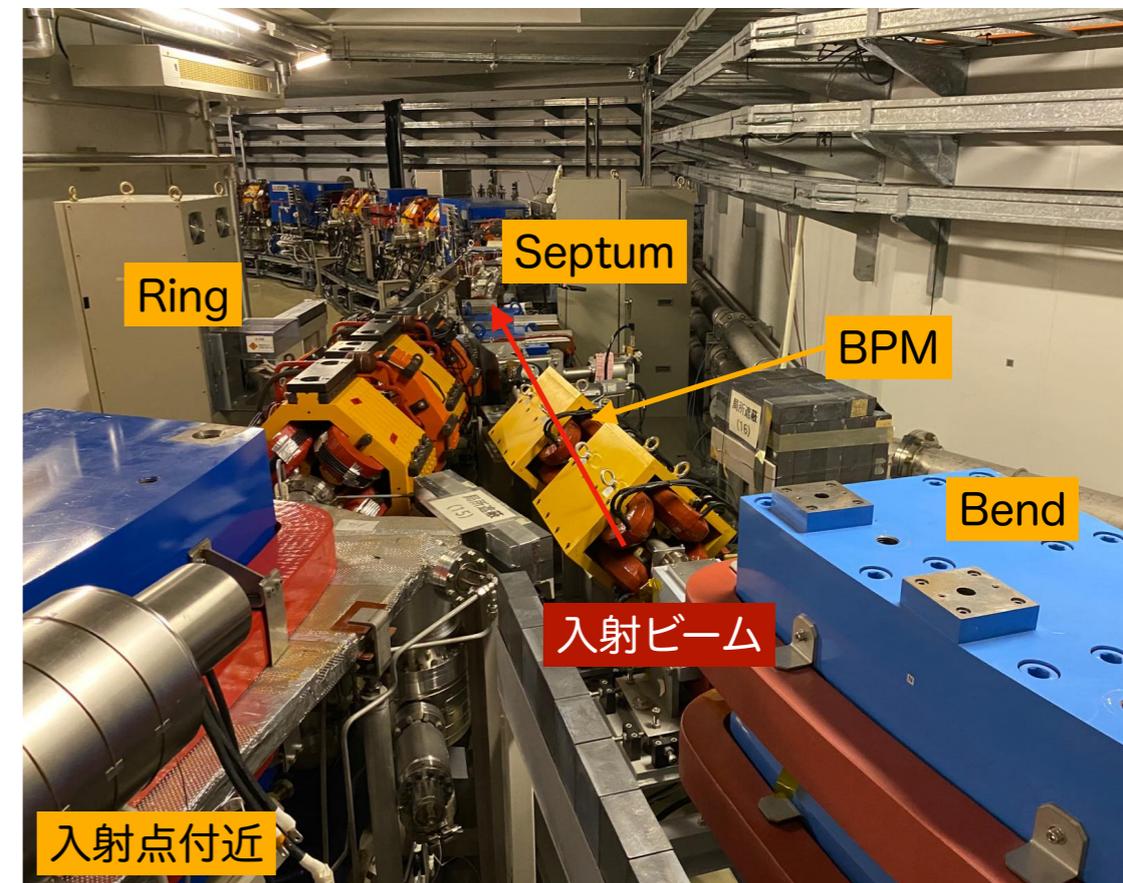
Twiss parameters--input: match.ele lattice: match.lte

## Ring Inj.

alpha\_x = 0.1  
 beta\_x = 18.8 [m]  
 alpha\_y = -0.1  
 beta\_y = 0.9 [m]  
 emit\_x = 4.8E-9 [m-rad]  
 emit\_y = 5.0E-9 [m-rad]

## 0.974GeV

Q01 = 2.27920  
 Q02 = -2.1643  
 Q03 = 0.00681  
 Q04 = -1.8774  
 Q05 = 1.9563  
 Q06 = 2.5388  
 Q07 = -2.7944  
 Q08 = -2.4538  
 Q09 = 2.8511  
 Q10 = -3.8856  
 Q11 = 4.4853



# 制御系

☑ LLRF → WE0B05 大島 他

MTCA.4 : 高速デジタイザ、RF フロントエンドで構成

☑ 制御フレームワーク

入射器 : M&M (SPring-8/SACLAで使用)

リング : MADOCA2からM&Mへ移行

☑ GUI

Qtグラフィックライブラリ採用

→初めての試み

リング : XmateからQtへ移行

☑ 制御室

サーバー・端末の増加

レイアウト大幅変更、

床下配線の見直し



# RFコンディショニング

☑2021/1/7 RFコンディショニング開始

THP033

稲垣 他

◆ 238 & 476MHz空洞、Sバンド&Cバンド加速器×4ユニット

◆ 加速管、RF機器の「枯らし」

◆ 制御、GUI、LLRFの動作確認

◆ 電圧、繰り返し周波数を徐々に増加

☑1/9 24時間連続運転開始

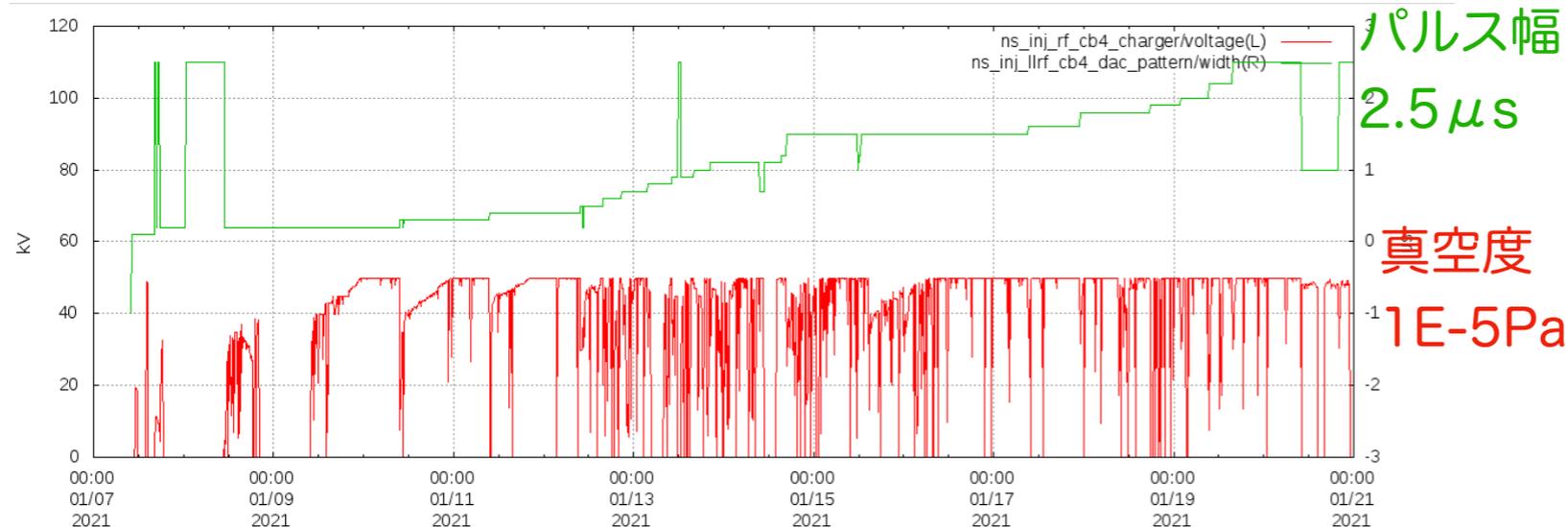
☑1/20 (約300hrs) Cバンド：1.4~2.5 $\mu$ s, 50kV, 20pps

☑2/15 ~ 夜間のみ (昼間：ビーム調整)

☑2/19 (約940hrs) RFコンディショニング終了

◆ Cバンド：3 $\mu$ s, 50kV, 10pps

◆ 一晩に数回のフォールト。ビーム運転時は1pps



# ビームコミッショニング運転

- ☑2/15. ビームコミッショニング運転開始
- ☑2/19 ダンプへの1.0GeV ビーム成功
- ☑3/8 BT系、リングへの入射調整開始  
1 GeV, 100 pC beam
- ☑3/9 ビーム蓄積成功 10mA
- ☑3/14 ビーム蓄積 200mA、入射効率 > 90%
- ☑4/20 ユーザー運転再開  
予定より4週間の前倒し  
350 mA Topup@1.0GeV



制御の不具合修正、機器の修正・追加、パラメータ微修正など細かな変更はあったが、非常に順調にビーム出射、リング入射が行われた。

# 入射器の性能

- ☑設計値通り、リング入射に十分な性能のビーム出射を確認
- ☑リング入射効率90%以上
- ☑安定性、再現性は非常に良好

	Require	Measurement
Beam Energy	1.0 GeV	1.0 GeV
Bunch charge	100 pC	100 pC
Normalized emittance	<10 mm-mrad	<10 mm-mrad
Energy spread	< $\pm 0.5\%$	0.1% (FWHM)
Energy stability	-	0.4% (STD)
Bunch length	5ps (FWHM)	<1ps (FWHM)
Injection efficiency	>90%	>90%

# 新入射器の運用によって

## ☑柔軟な施設運用スケジュール

大学の教務イベント、企業ユーザーの要望に合わせた運転

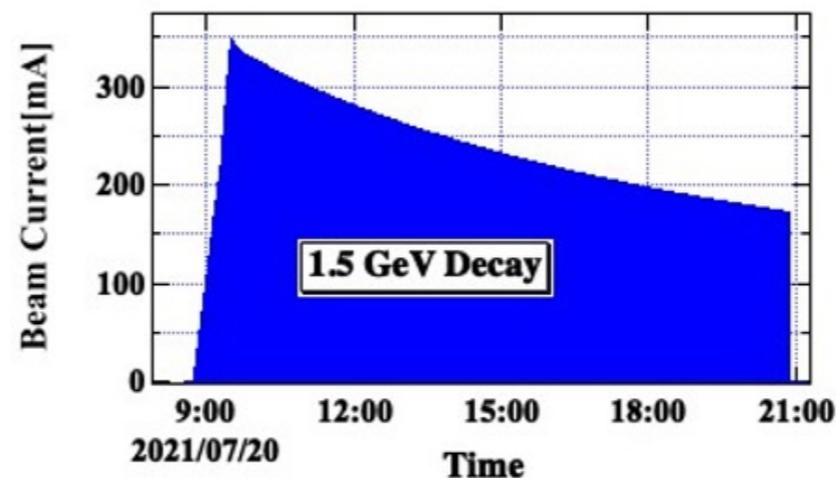
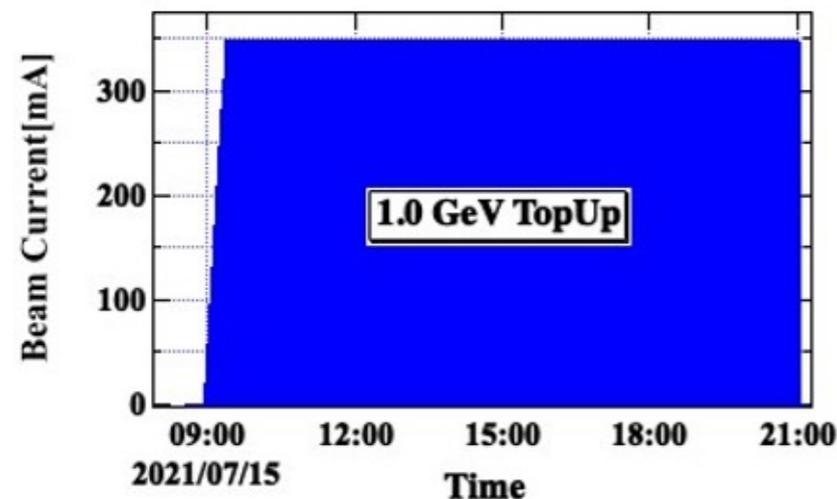
## ☑いつでも入射・リングに合わせた調整（低エネルギー運転）

## ☑高い安定性・再現性

高い入射効率を良好に維持→毎朝1時間以内に利用開始

1.0GeV Topup電流 300→350mA（4月～）

1.0 → 1.5GeV加速 350→400mA（10月～予定）



## ☑高品質電子ビームの利用

シングルパス実験、Low  $\alpha$  運転、将来のリング高輝度化

# 謝辞

ニューズバル新入射器の建設・調整・運用にご尽力いただきました  
理化学研究所、JASRI、QST、SES、兵庫県の関係者の皆様に  
感謝いたします。



2021/3/9 新入射器による蓄積リング入射蓄積に成功