

# RCNP AVFサイクロトロンへのアップグレード計画

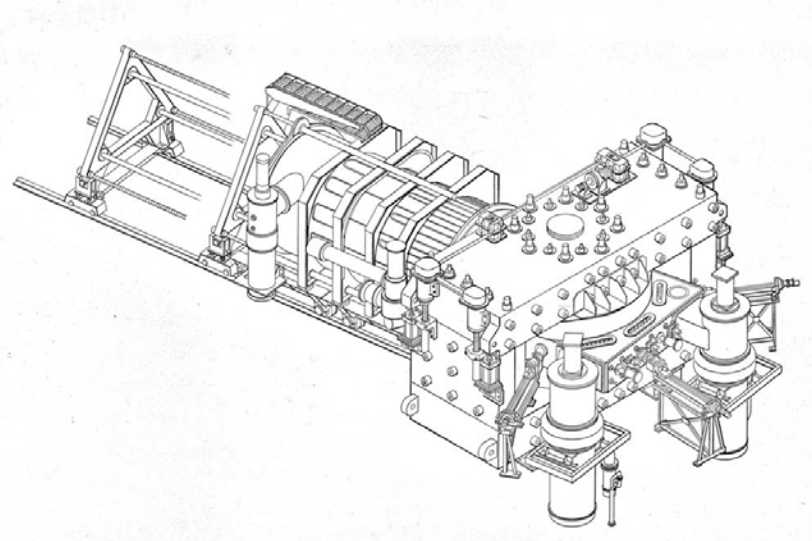


大阪大学 核物理研究センター

○安田裕介、福田光宏、依田哲彦、神田浩樹、友野大、中尾政夫、  
畑中吉治、齋藤高嶺、森信俊平、田村仁志、永山啓一、鎌倉恵太、  
原周平、郭慧雯、山野下莉那、森田泰之

# INDEX

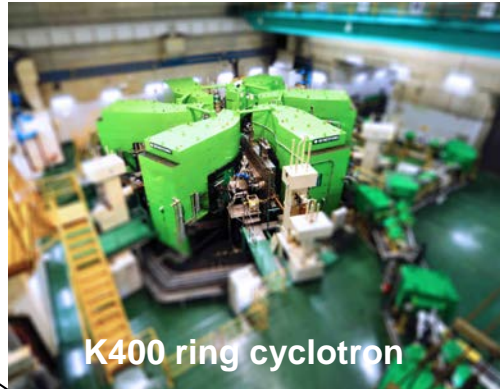
1. はじめに/大阪大学RCNPの紹介
2. アップグレードへの背景
3. イオン源強化  
(H29高輝度量子ビーム供給システム整備)
4. AVF アップグレードとオーバーホール  
(H30年度アップグレード計画)
5. 工事とスケジュール
6. まとめ





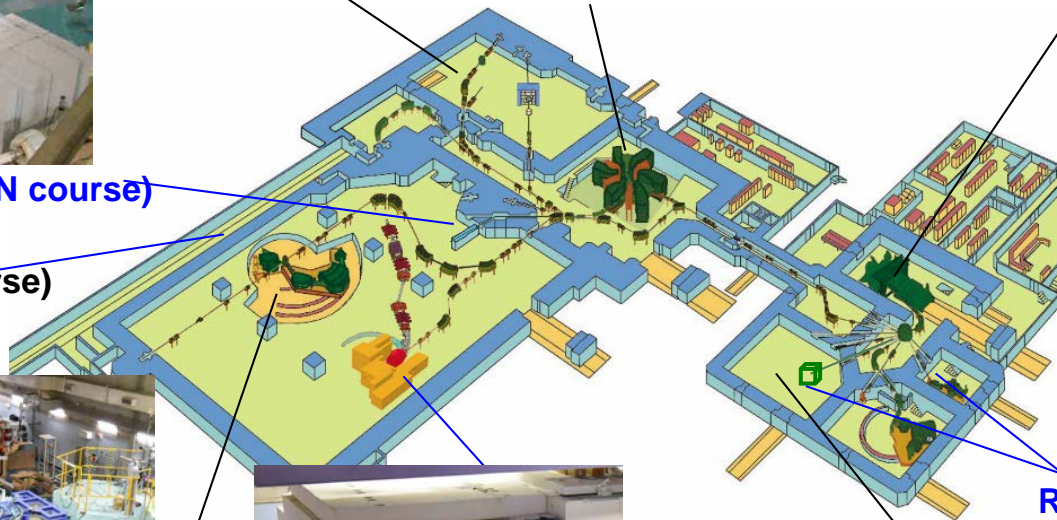
# はじめに/大阪大学RCNP加速器施設の紹介

RI beam separator  
(EN course)



白色中性子照射 (WN course)

中性子TOF(N0 course)



GR+LAS spectrometers  
(WS course)



MuSIC (WSS course)

DCミューオン源



RI生成(F/K course)

- ・ $\alpha$ 線内用療法実用化研究
- ・短寿命RI供給プラットフォーム  
(研究用RIの供給と技術支援)



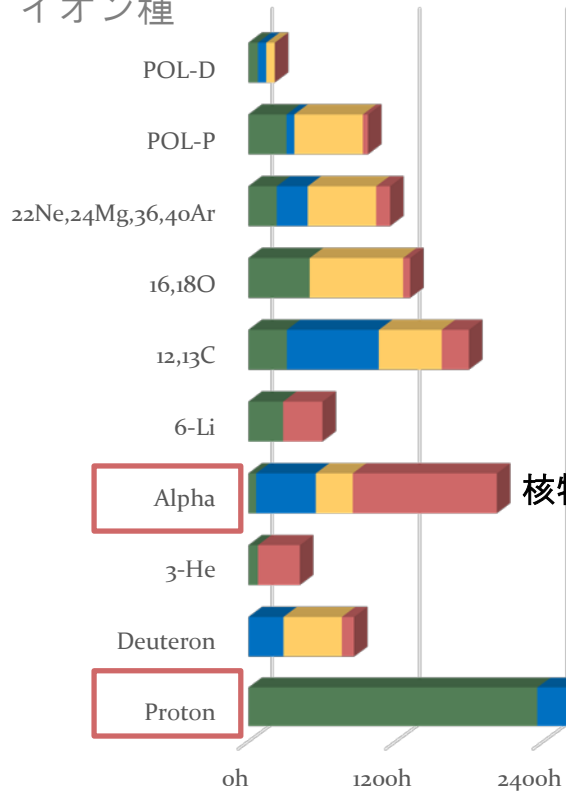
中性子生成 (Eコース建設予定)

- ・次世代BNCT研究

# ビームタイム 利用状況

2013~2016年  
イオン種、コース別

## イオン種

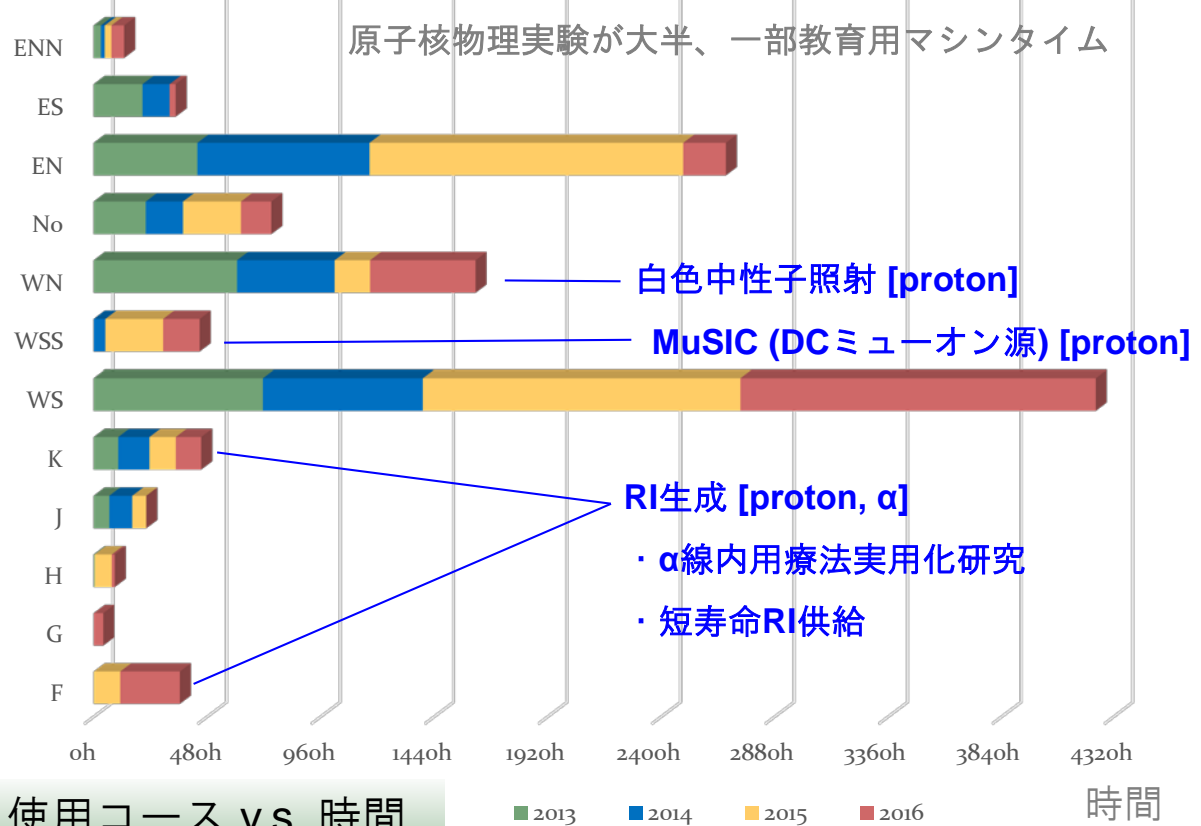


## イオン種 v.s. 時間

■ 2013 ■ 2014 ■ 2015 ■ 2016

時間

## コース



## 使用コース v.s. 時間

■ 2013 ■ 2014 ■ 2015 ■ 2016

時間

核物理、RI生成

原子核物理、白色中性子、ミュオン生成、RI生成

# アップグレードの背景

## ビーム品質向上への動機

- ビームトランスミッションの向上
- ビームエミッタンスの低減
- proton/ $\alpha$  beam の電流量増強
- 重イオンの電流増強

## AVFオーバーホールの必要性

- 老朽化対策・AVF内部の改修が必要  
トリムコイル・バレイコイルの更新など

## アップグレード& オーバーホール工事の実施

- イオン源からのビーム  
ビーム量増強、低エミッタンス化
- AVF入射までのビーム診断改善
- イオン源開発環境の改善
- AVF本体の内部アクセス性の改善



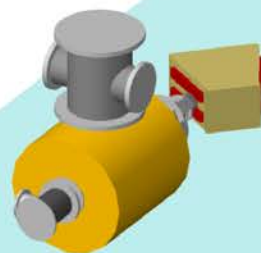
## 効果が期待できる分野/研究

- 半導体デバイスの誤動作・放射線耐性評価の推進
- 短寿命RIの大量生成  
( $\alpha$ 線内用療法による進行がん治療の実用化研究)
- ミューオンスピン共鳴分析
- ビーム品質の向上 高分解能で電流増（核物理実験へ）



# イオン源

～AVF入射ライン  
(現状)



**SCECR**  
for  
heavy ions  
18GHz  
100～200 $\mu$ A  
(Carbon)

**HIPECR**  
for  
intense p  
2.45GHz  
1mA at 15kV引出

**Neomafious**  
for  
Light ions  
p, d, He, Li ...  
10GHz  
proton  $\sim$ 400 $\mu$ A

**HIPIS**  
for  
polarized p, d  
proton  $\sim$ 数十 $\mu$ A

Typical transmission through AVF  
cyclotron : 5 - 7 %.

emittance:

イオン源ライン 100～200  $\pi$  mm-mrad

AVF引き出し後  $\sim$ 20  $\pi$  mm-mrad

Buncher1  
充放電型

AVFへ入射

# イオン源 / H29高輝度量子ビーム供給システム整備

- 引き出し電圧 15kV  $\Rightarrow$  50kV
- Duoplasmatron追加
- AVF入射まで50kV入射対応化(配置変更)
- 診断機器の追加(エミッタンスモニタ)
- オフラインテストライン

## Duoplasmatron

新規設置

for intense p, He

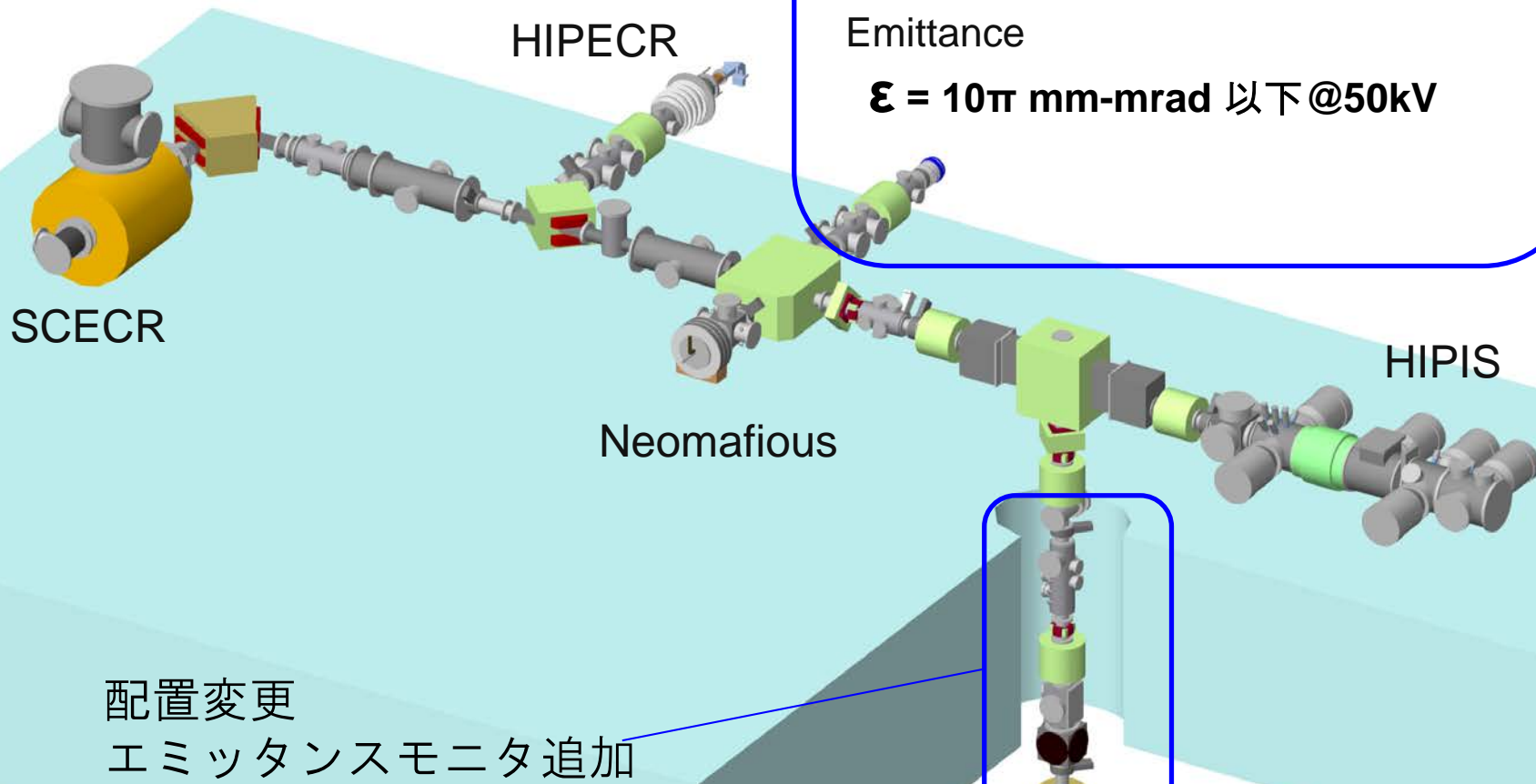
米国NEC社製

H<sup>+</sup> 10mA at 30kV引出

He<sup>+</sup> 2mA at 30kV引出

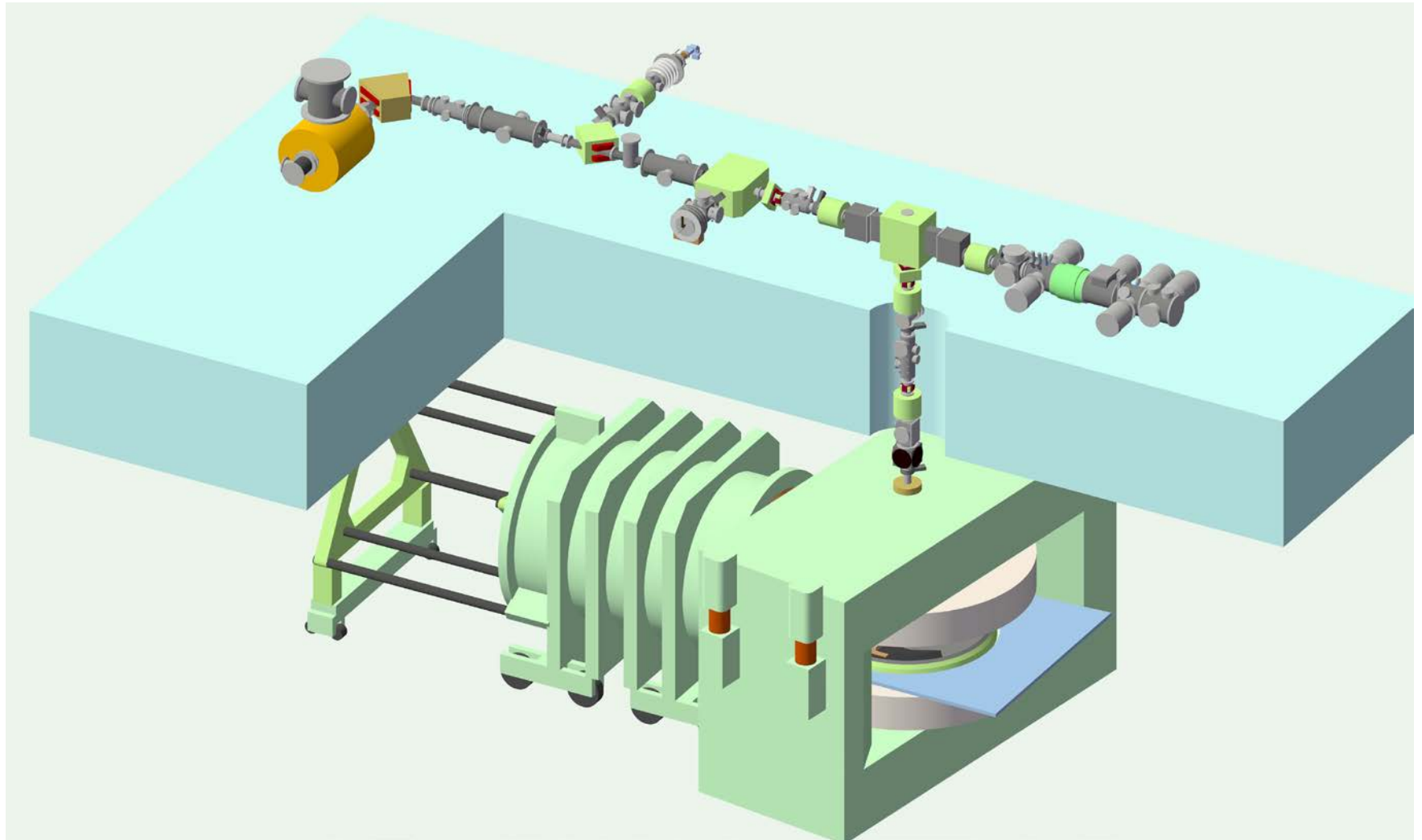
Emittance

$\epsilon = 10\pi$  mm-mrad 以下@50kV



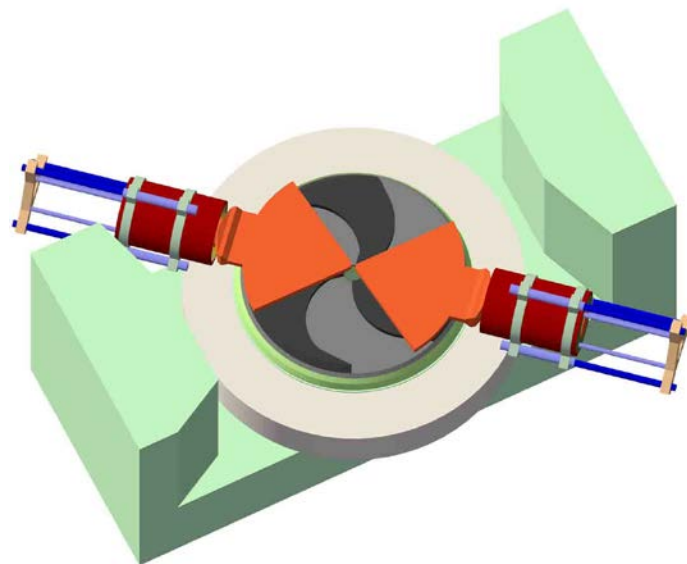
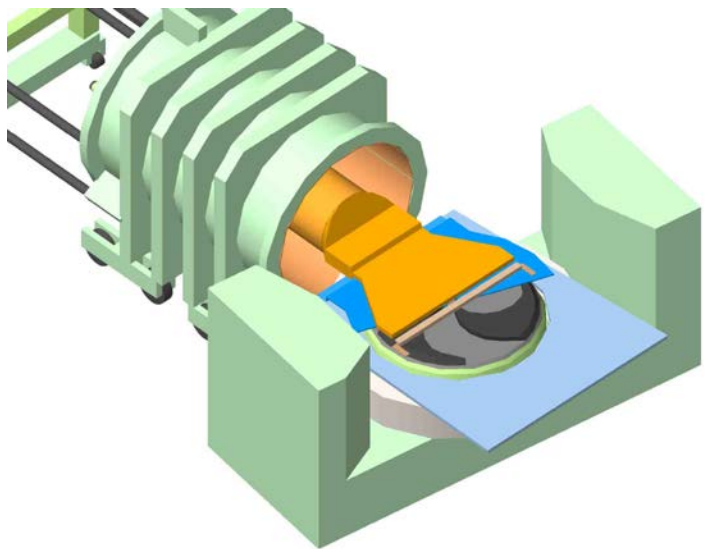
# AVF cyclotron アップグレードとオーバーホール

## H30年度アップグレード計画





# AVF Dee/共振器の更新 2Dee化により加速効率の向上を図る



共振器ハーモニクスとRF周波数の関係

	1 x 180deg. Dee	2 x 90deg. Dee		
AVF ハーモニクス	h=1	h=1	h=2	h=3
Ring h=6 運転	10~18.65 MHz	10~18.65 MHz	20.00~37.3 MHz	30.00~55.95 MHz
Ring h=10 運転	6.0~10.40 MHz	6.0~10.40 MHz	12.00~20.80 MHz	18.00~31.20 MHz
1周あたりのゲイン $\Delta E/qV$	2	2.8 (逆位相運転)	4 (同位相運転)	2.8 (逆位相運転)
AVF_RF 範囲	6.0~17.33 MHz	6.0~18.65 MHz	12.00~37.3 MHz	18.00~55.95 MHz

目標とする  
周波数レンジ  
18~37.3 MHz

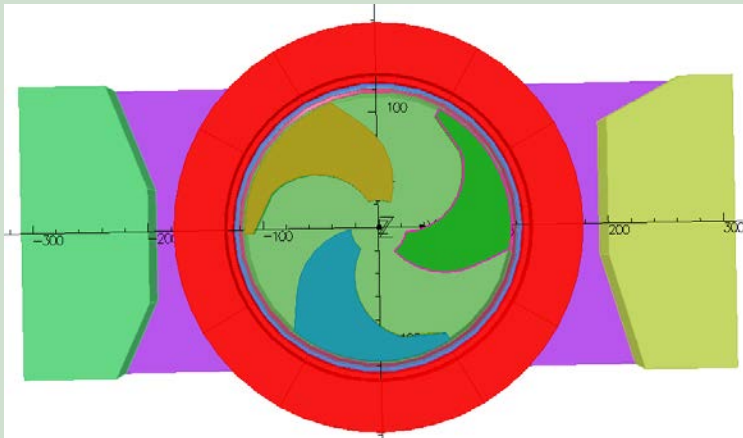
※ RCNPの主力 proton 65MeV(AVF)-392MeV(Ring) は 16.8MHz(AVF)

# Operation Parameters of Upgraded K140 AVF Cyclotron

## 【Specifications】

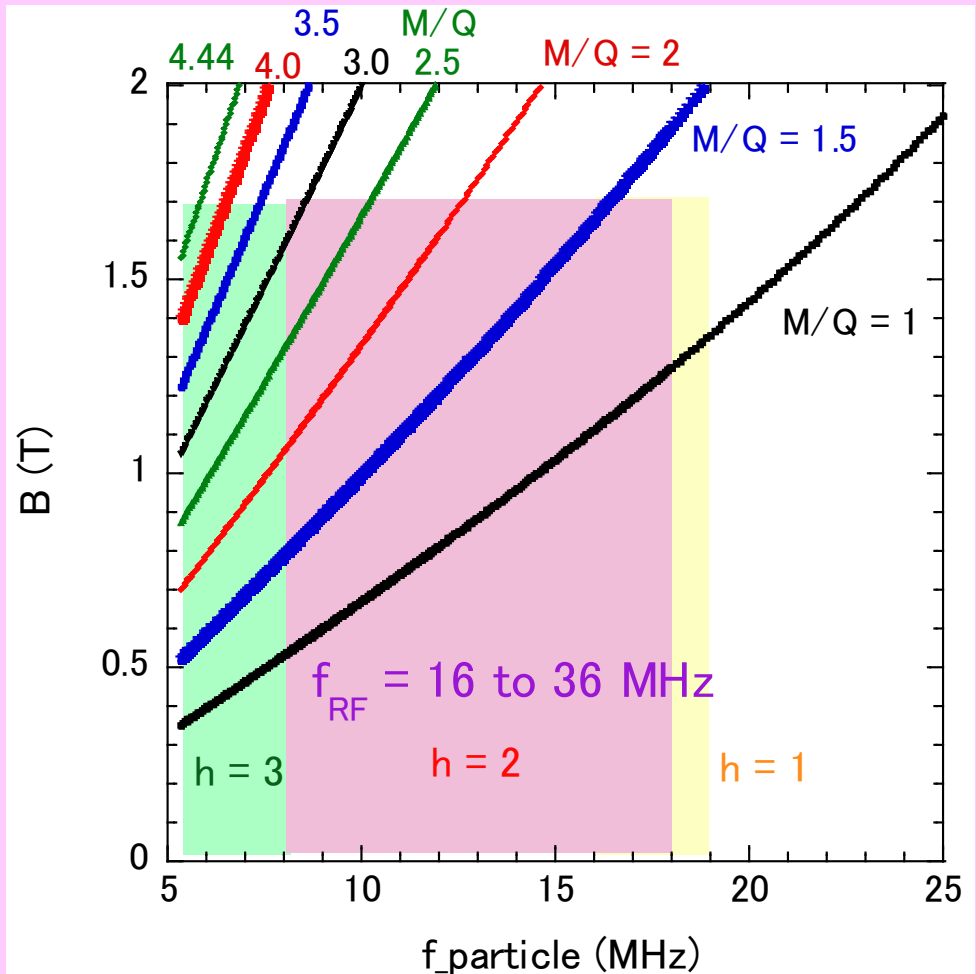
- Energy of ions with  $M/Q \leq 5$ 
  - proton  $\cong 80$  MeV
  - $D^+, {}^4\text{He}^{2+}$   $\cong 35$  MeV/n
  - ${}^3\text{He}^{2+}$   $\cong 180$  MeV
  - Heavy Ion  $\cong 140 \times (Q/A)^2$
- RF 16~36 MHz  
( $f_{\text{particle}} = 5\sim 18$  MHz)
- Dee electrode two  $\sim 90^\circ$  dees
- Acc. harmonics 1, 2, 3
- Average field  $\cong 1.7$  T

Magnet of 3-sector type



## ● Characteristics

- Variable energy and multi-particle
- Standard acceleration harmonic number :  $h = 2$

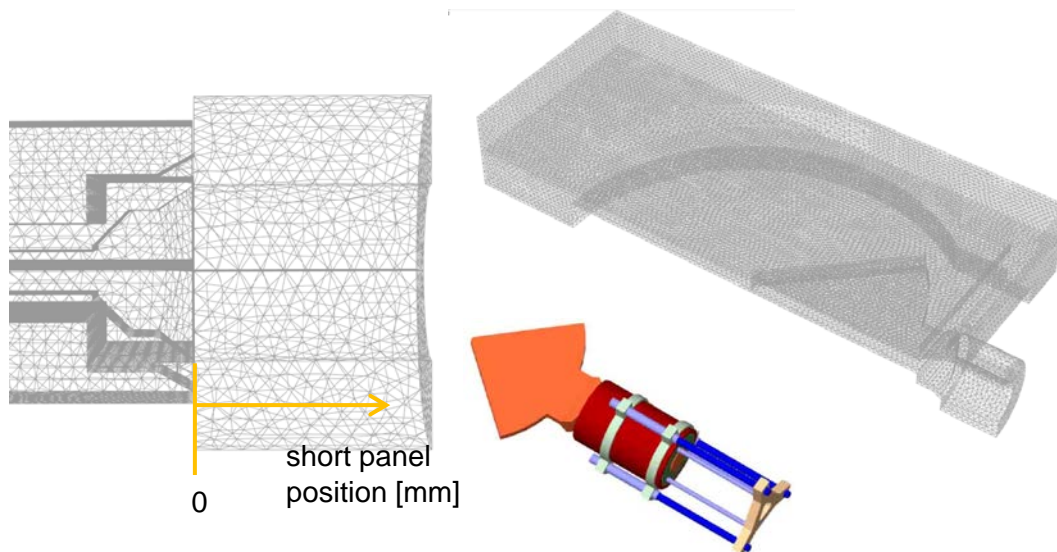
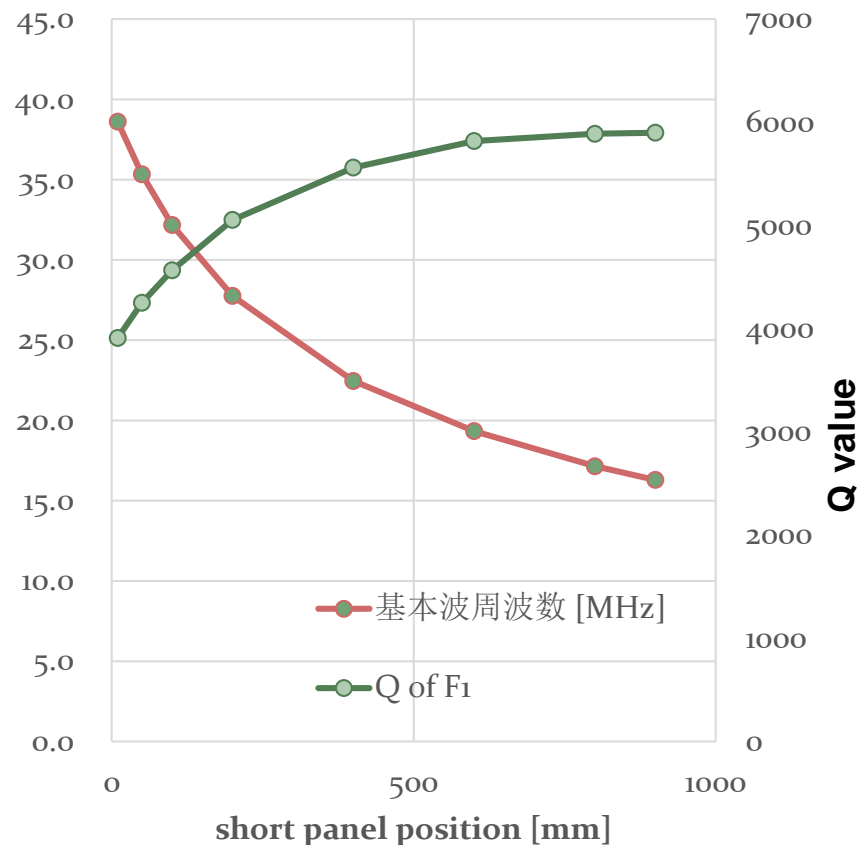


# 共振器の計算

Opera による共振器計算。  
ショート板位置と周波数、Q値の関係

short position [mm]	基本波周波数 [MHz]	Q of F <sub>1</sub>
10	38.6	3910
50	35.3	4251
100	32.2	4566
200	27.8	5054
400	22.5	5561
600	19.3	5819
800	17.1	5889
900	16.3	5899

基本波周波数 [MHz]



このモデルだと16~36MHzはカバーする。さらに

- 共振器とメインコイルの位置関係
- 電圧分布
- 電流密度 etc...

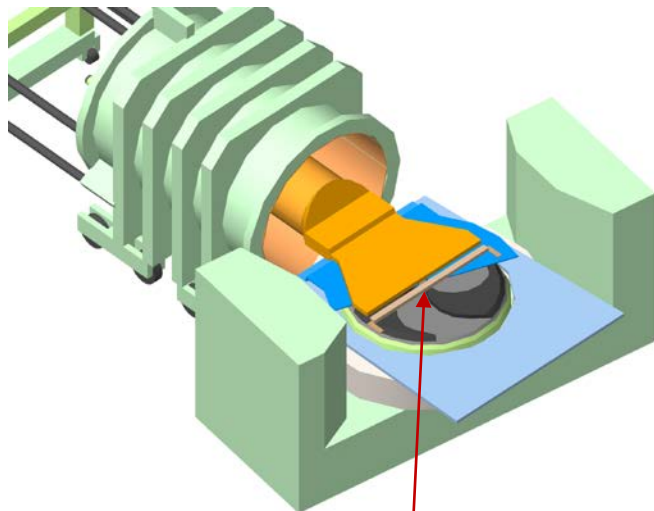
検討中



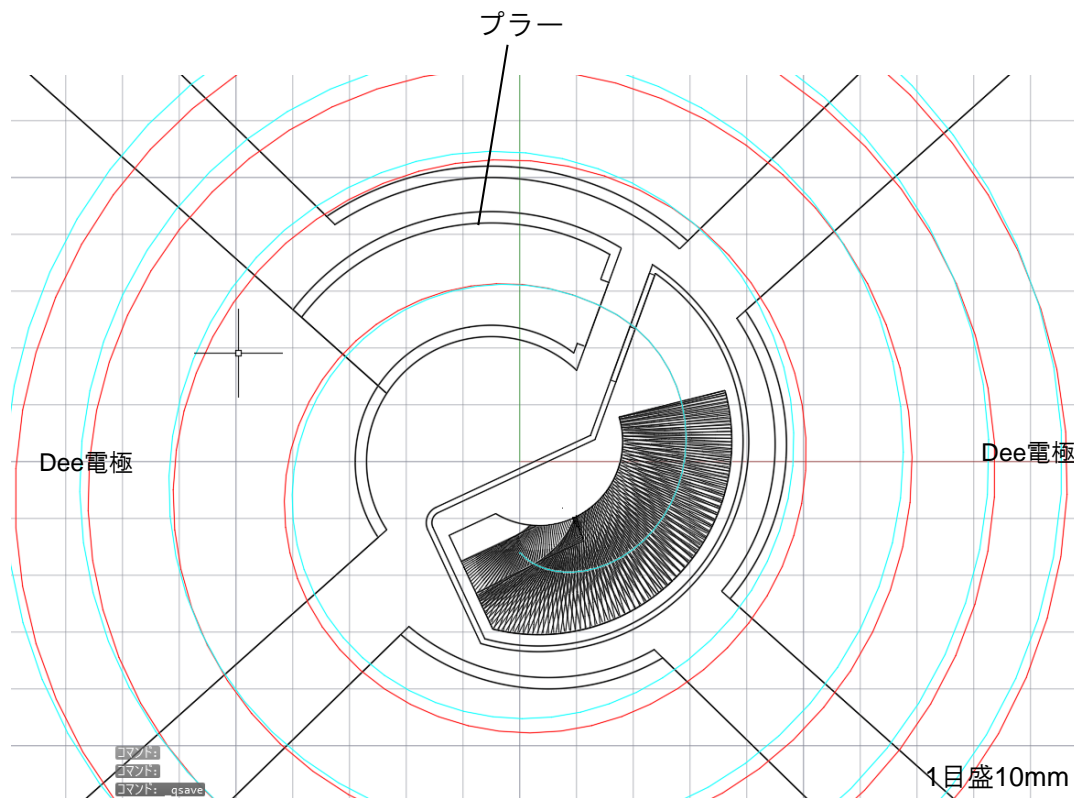
# AVF入射領域

50kV入射対応のための改造

- インフレクター作り替え (入射半径拡大)



現在のスパイラルインフレクター電極に～4kV印加



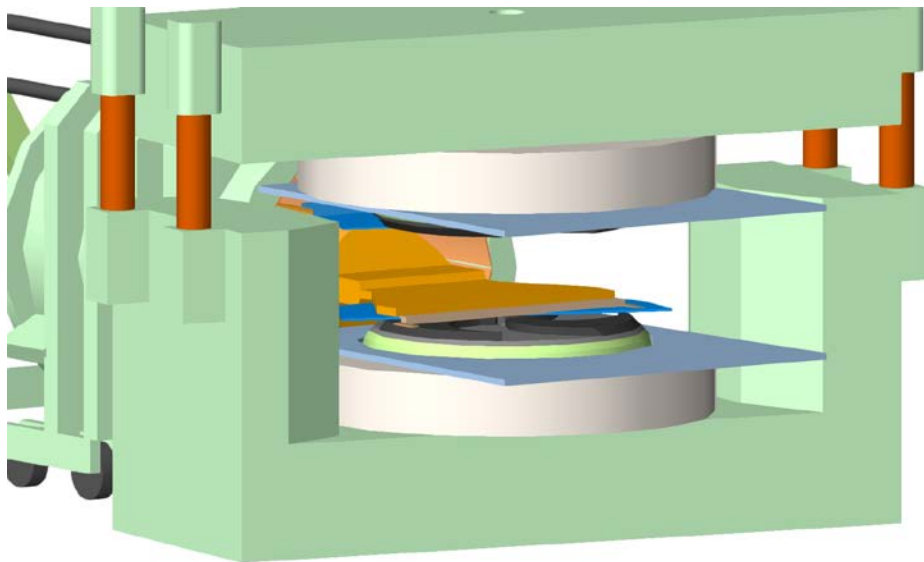
入射軌道の検討 (新インフレクターとプラー)

入射時の位相差が20度のビームを比較 赤：0度 青：-20度

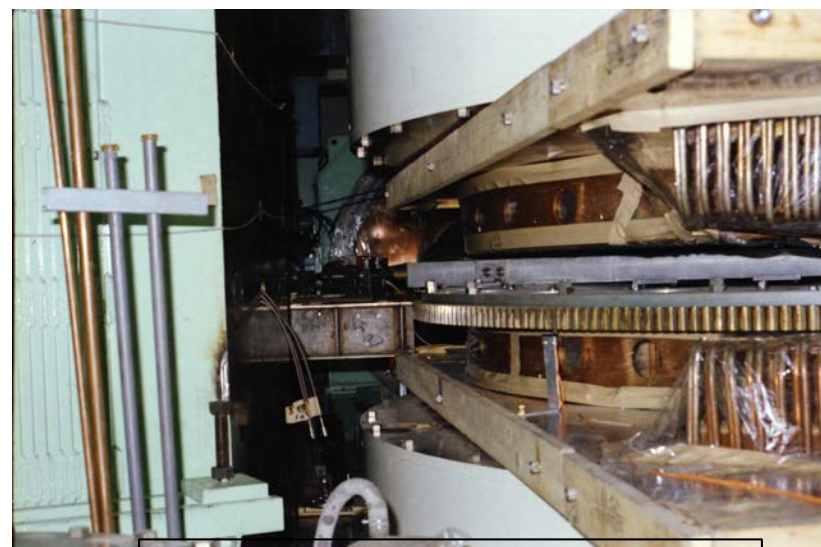
詳細は、M.Nakao *et al.* TUP022

「RCNP AVFサイクロトロンを中心領域の改良の検討」

# 上ヨークリフトアップ ヨークリフターの復活と改造



- 運転開始からこれまで使用していない
- 次のトリムコイル・バレイコイルの作業に必要
- 稼働範囲 600mm に (現状325mm)
- 今後の内部アクセス性が向上  
メンテナンス時に中心部に手が入られる



1974年 磁場測定中のAVF中心部  
真空槽の側面が外れている状態



# トリムコイル/バレイコイル

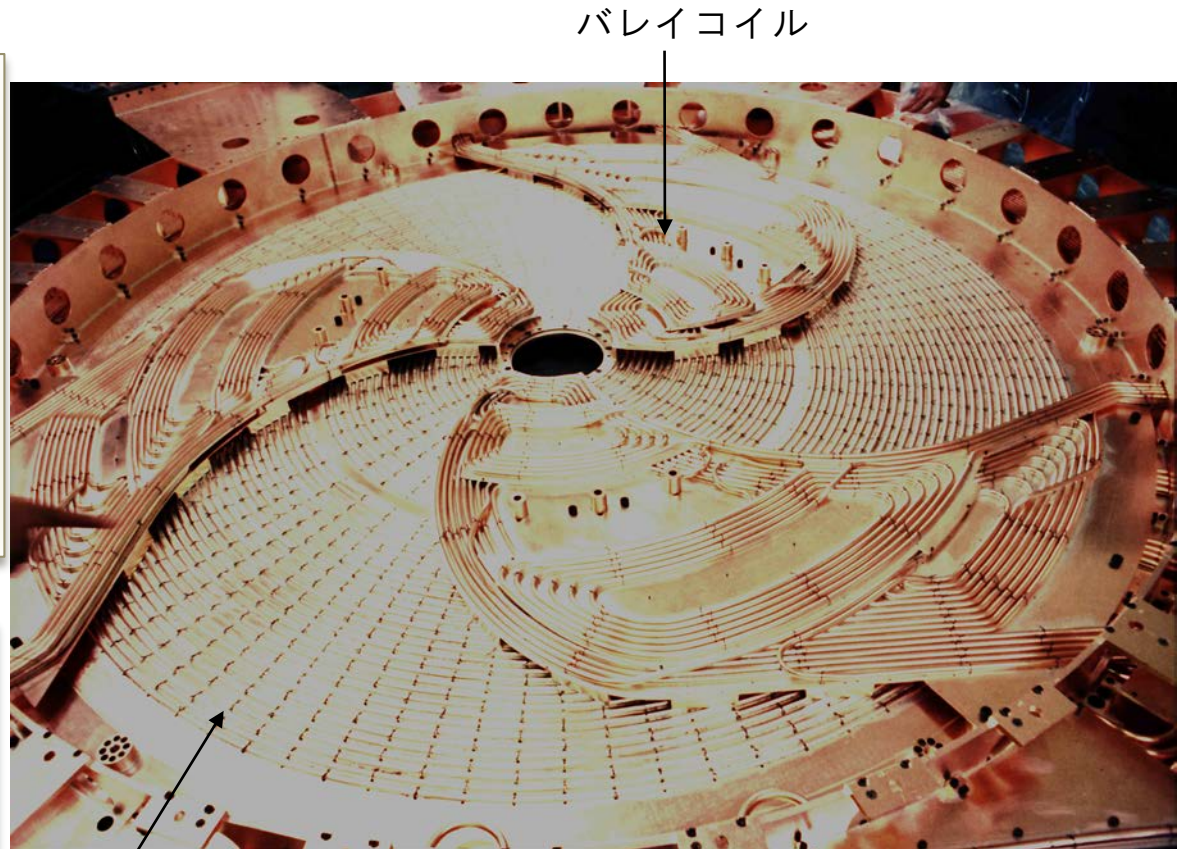
## トリムコイル

これまでトラブルは起こしていないが、冷却水を流しているため、いずれはトラブルを起こす可能性が高い

## バレイコイル

真空槽内で水漏れを起こしている。現在は、冷却水をながさず冷却水パイプを真空引きしている

- トリムコイル・バレイコイル作り替え
- アース板作り替え
- 真空箱作り替え  
真空システム更新  
ディフュージョンポンプ  
⇒クライオポンプ



バレイコイル

トリムコイル

アース板裏面にコイルが取り付けられている

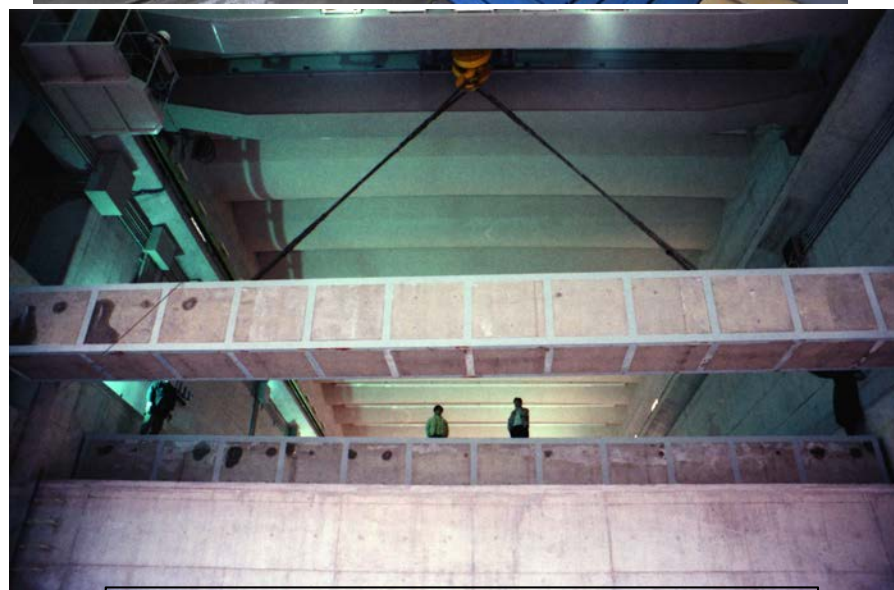
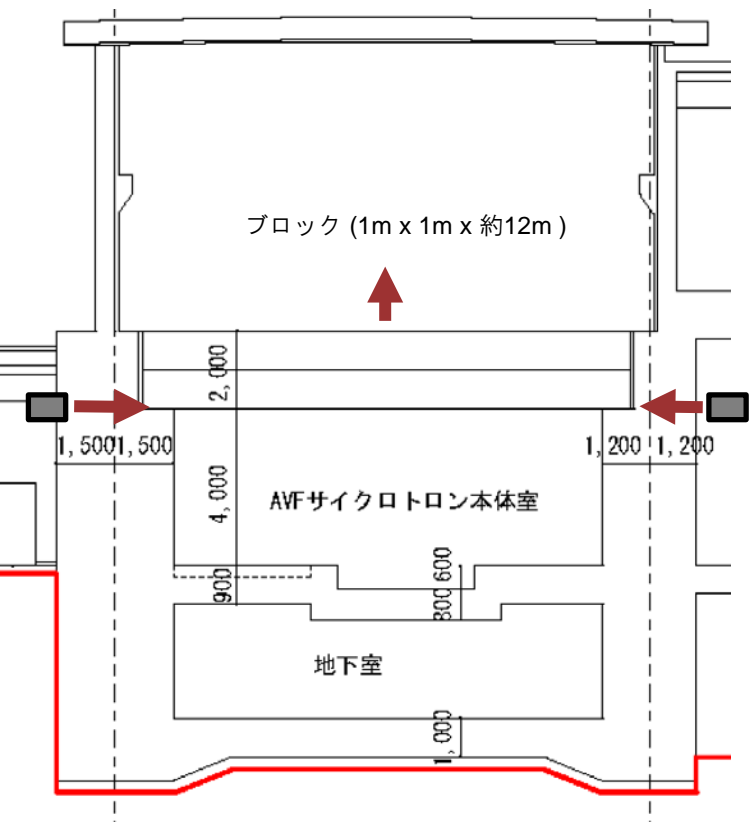
1972年 製作中のトリム・バレイコイル



# 天井のかさ上げ

ヨークリフトアップの空間確保

- AVFサイクロترون本体室の天井ブロックを600mm上げる。AVF上ヨークを上げる空間を確保する。



1972年 AVF本体室ブロック積み作業

# AVF天井の工事

天井工事のために、現在のイオン源は一旦全て撤去が必要。

H29年度イオン源整備分は、H30年度工事の後で設置する。

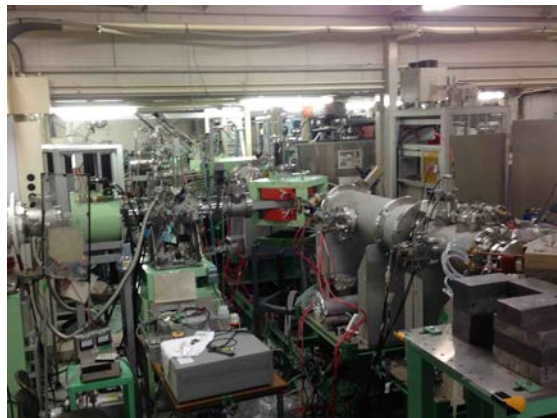


現在の AVF本体室上側

イオン源はプレハブの中



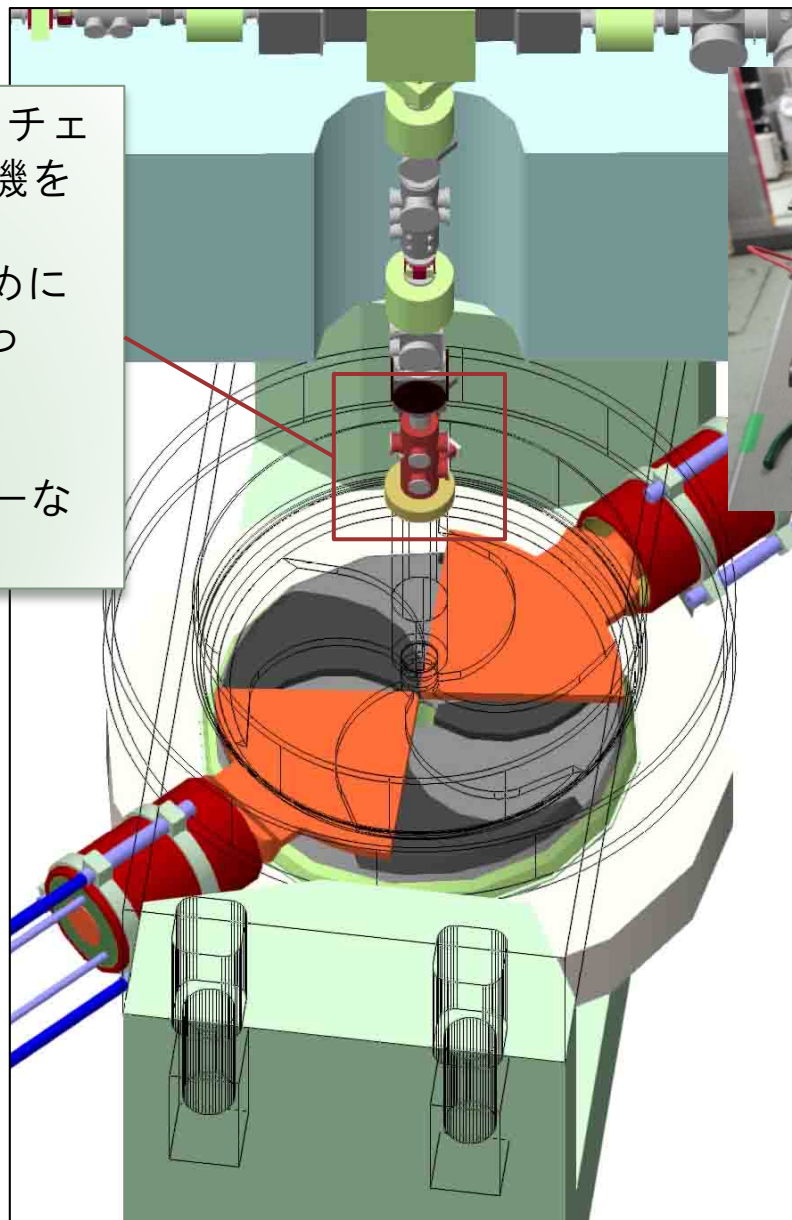
1972年 AVF本体室上側



現在のイオン源室内

# AVF軸入射の改良 診断機器追加/配置見直し

PPEMの測定画像



- 60cm空くので、新たにチェンバーを追加し、診断機を追加  
(これまで、軸縦穴のためにスペース制限が大きかった)
- グレーザー、バンチャーなど位置を最適化

ペッパーポット  
エミッタンスモニタ  
MCP+蛍光板  
Y.Morita *et al.*, TUP079  
「RCNPにおけるペッパーポット型エミッタンス測定装置のリアルタイム化」



# 付属施設

- 放射線遮蔽機能強化  
ビーム増強に備えて一部シールドを増強  
シールド扉の改修
- クレーンの増設
- 冷却水機能強化  
冷却塔の更新、イオン源冷却水ライン増強



AVF実験室建屋

AVF本体室建屋

シールド扉

AVF棟は築45年



AVF本体用クレーン



AVF冷却塔 3基

# スケジュール（仮）

平成29年度

高輝度量子ビーム供給システム整備

AVF平成30年度アップグレード 設計

平成30年度 後半～

**AVF平成30年度アップグレード工事開始**  
**約1年間マシン停止**

クレーン増設・イオン源、軸入射部撤去・  
天井かさ上げ・ヨークリフター復活・  
AVF内部改修・イオン源設置

平行して付属設備工事

平成31年度 後半～

試験運転

試験的にビーム供給

# まとめ / H29-31の機能強化

- 高強度、低エミッタンス化を目指したイオン源からAVF入射までの改良と2Dee化、内部オーバーホール、付属設備の更新。
- 平成30年度後半から約1年間のマシンタイム停止と改修工事

