

# 入射器エネルギー回復について (ACSの状況を主観的に)

KEK/内藤富士雄

1. なぜCCLか？

2. ACS

構造

開発の経緯

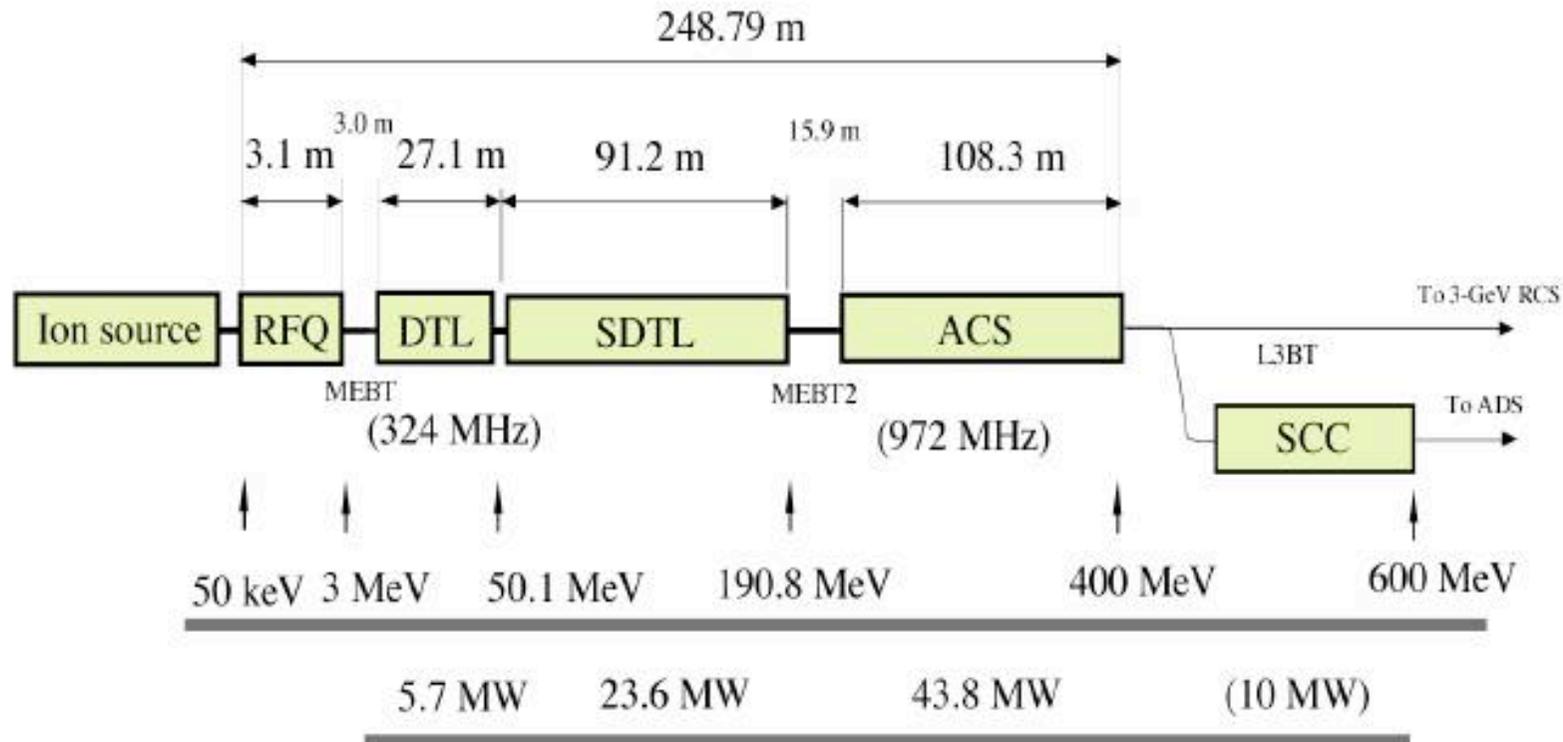
J-PARC用ACSの開発状況

3. まとめと結論（今後は？）

(4. 他のCCLの使用例)

(5. RF源の状況)

# Scheme of J-PARC linac



ACS: 21モジュール

1モジュール:17セルACS+ブリッジ+17セルACS

MEFT2: 2バンチャー

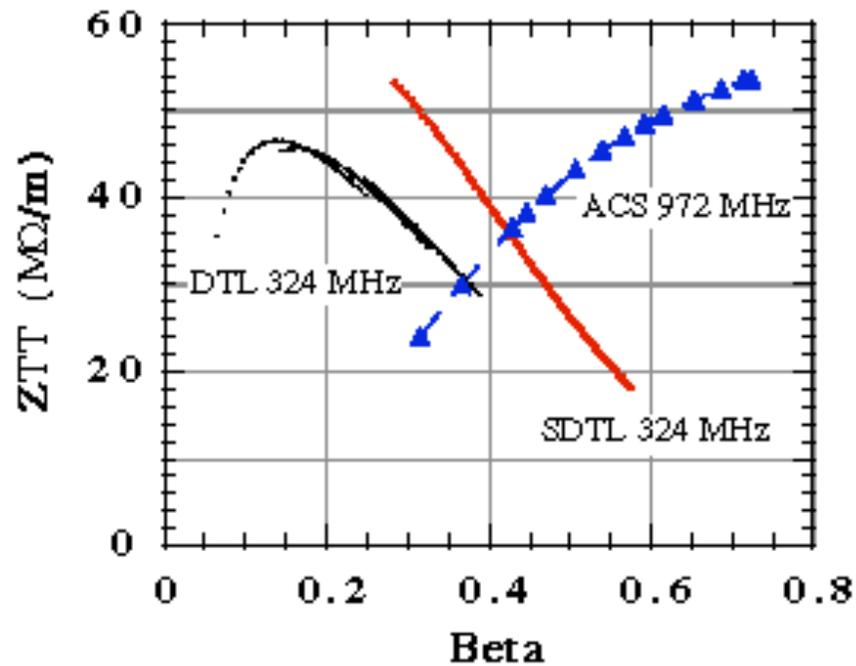
バンチャー: 5セルACS+ブリッジ+5セルACS

L3BT: 2デバンチャー

デバンチャー: 8セルACS+ブリッジ+8セルACS

# I. なぜ Coupled Cell linac (CCL) か？

(釈迦に説法ですが)



SDTL内部

DT長が長くなり効率下がる。

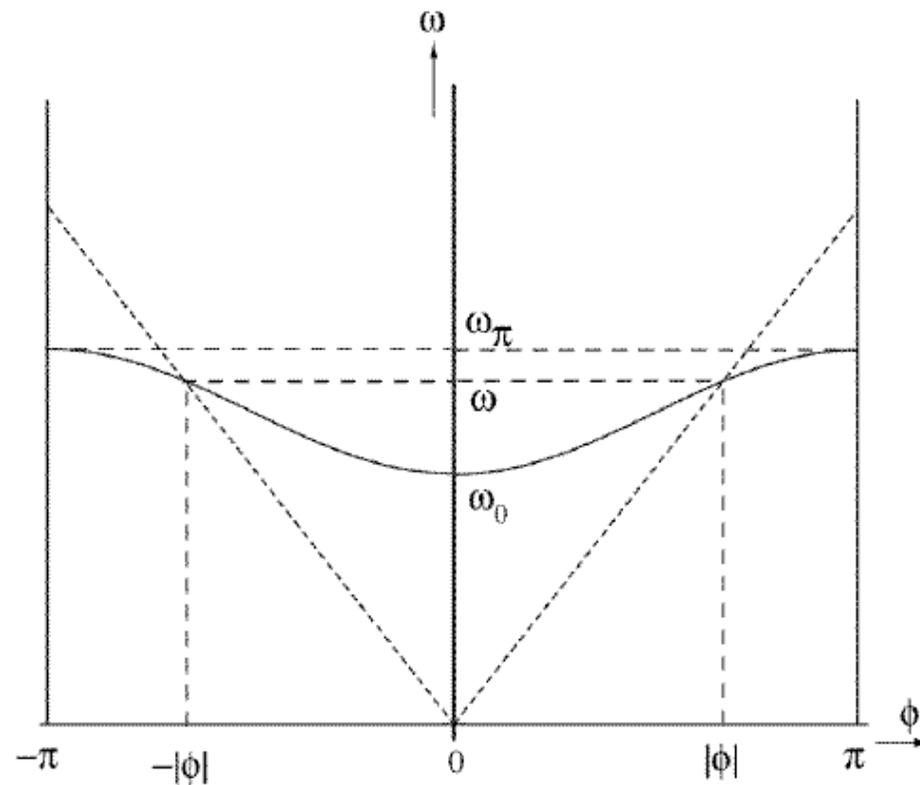
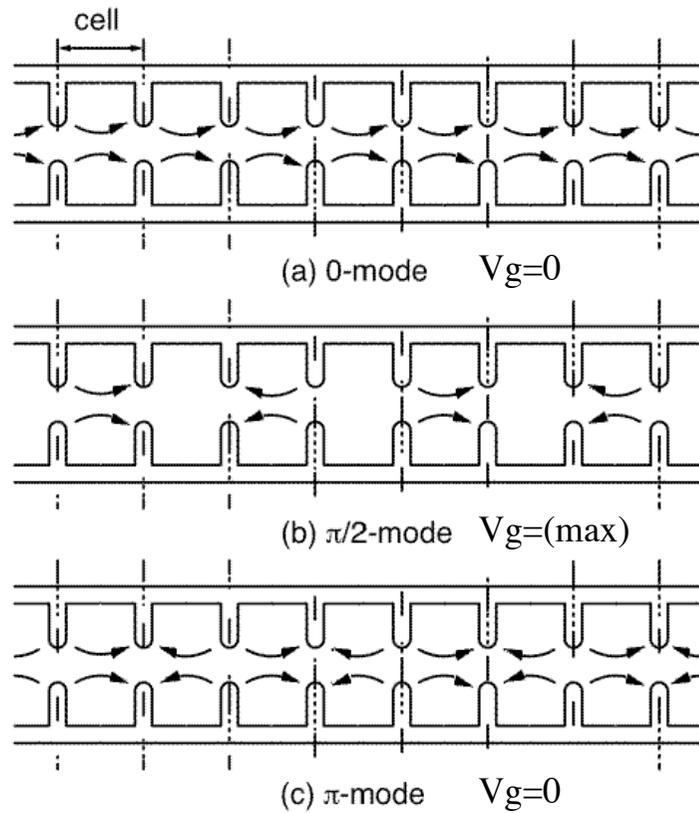
$$\beta(50\text{MeV})=0.31$$

$$\beta(191\text{MeV})=0.56$$

$$\beta(400\text{MeV})=0.71$$

# Infinitely long cavity-chain structure

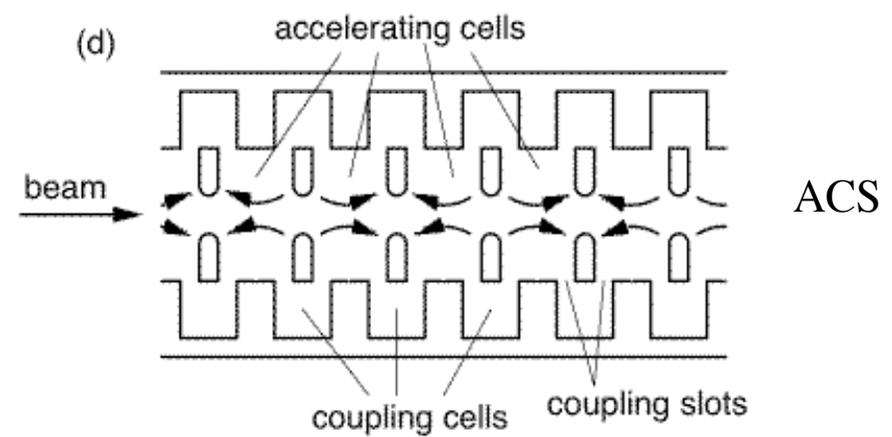
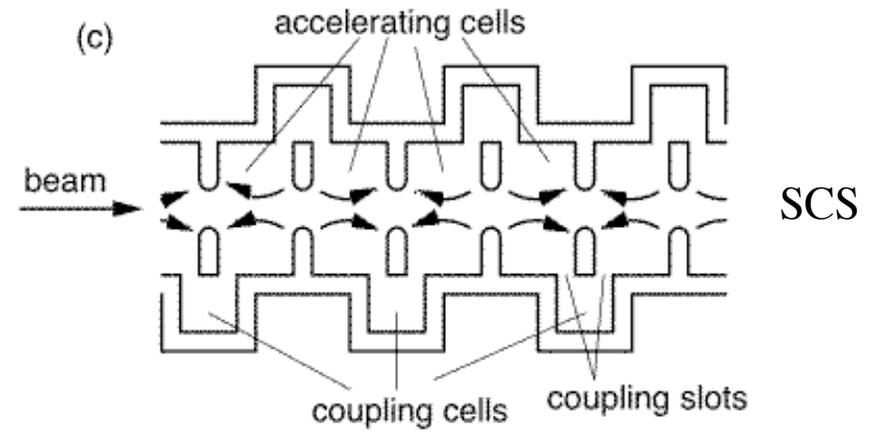
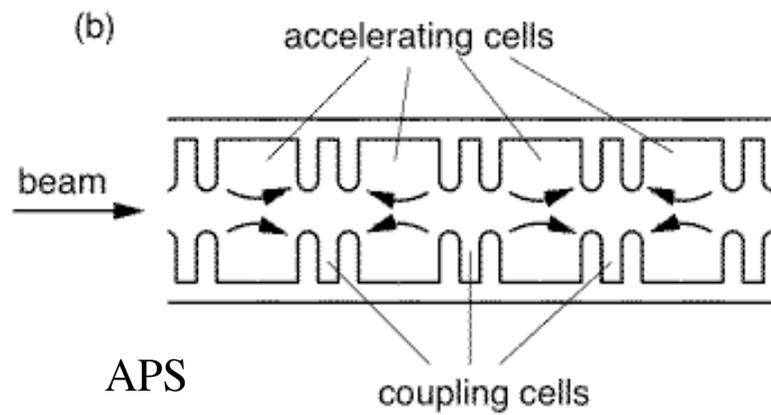
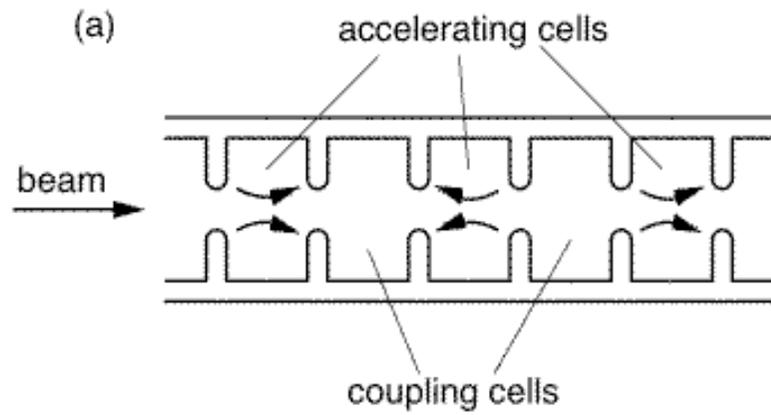
(又、釈迦に説法ですが)



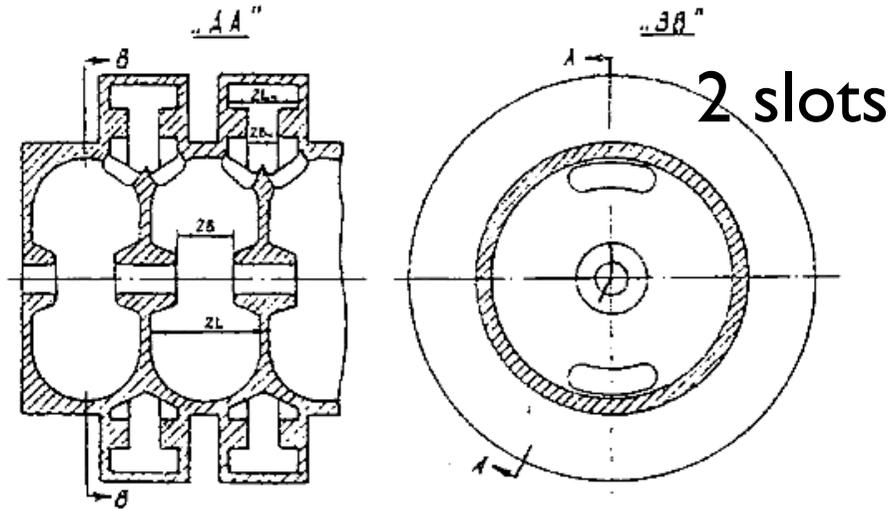
Dispersion curve (Brillouin zone)

(懲りずに釈迦に説法しますが、)

## $\pi/2$ mode cavities

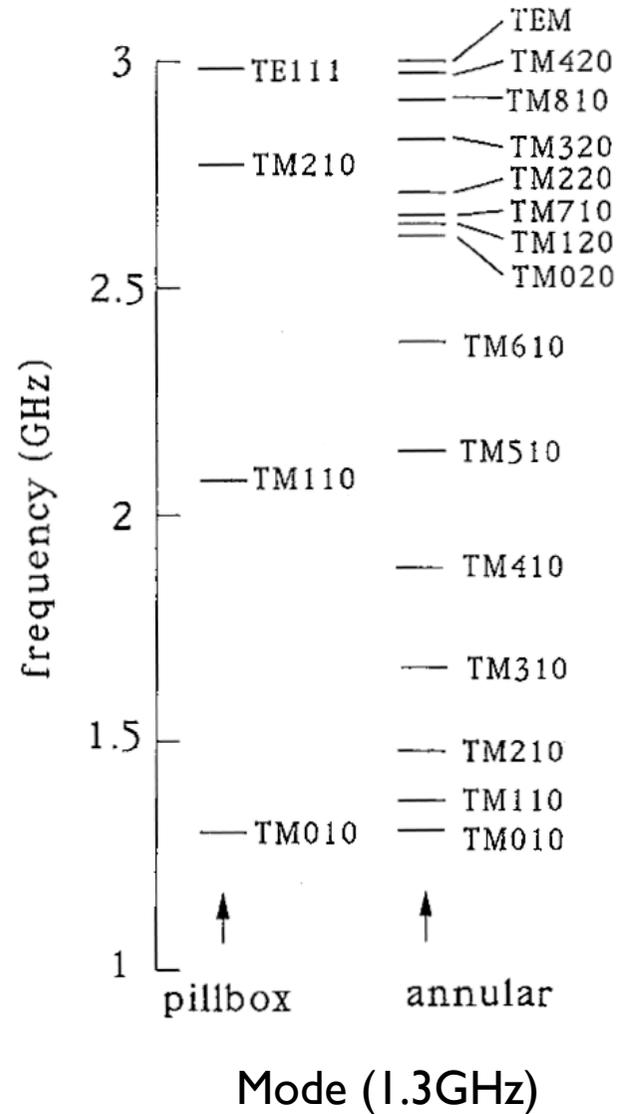
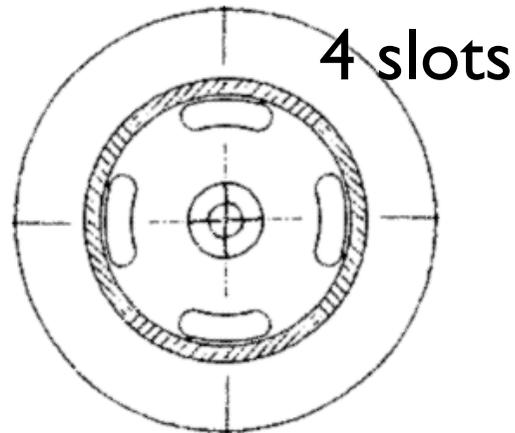


# Annular Coupling Structure (ACS)



2 slots問題の原因説明。  
(~1988、山崎、影山)

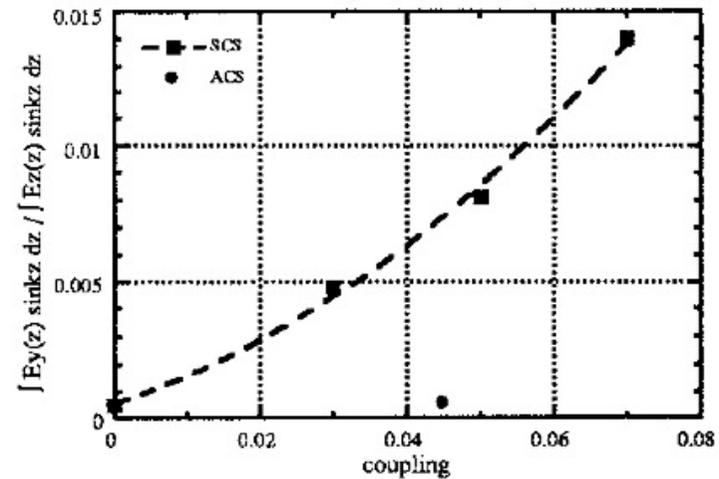
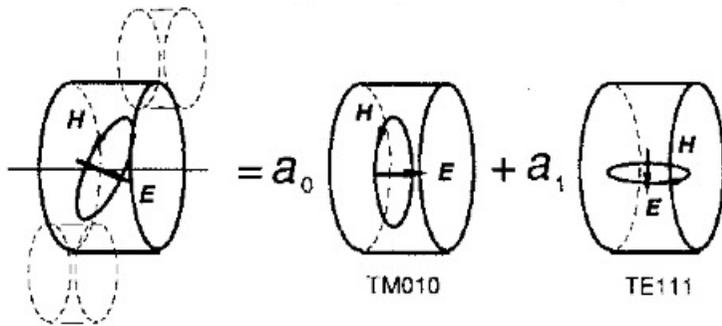
JHP用を開発



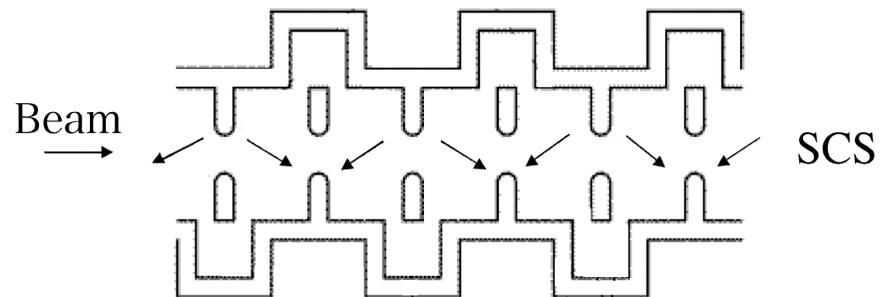
# ACS の特徴：加速電場の対称性が高い。

## Side coupled structure (SCS) の加速電場との比較 by 影山、両角、吉野、山崎 (linac'92)

MAFIAによる計算結果 (1セル)



- \*セル毎に逆に偏向→打ち消すか？
- \*ダミーセルを反対側に付ける。

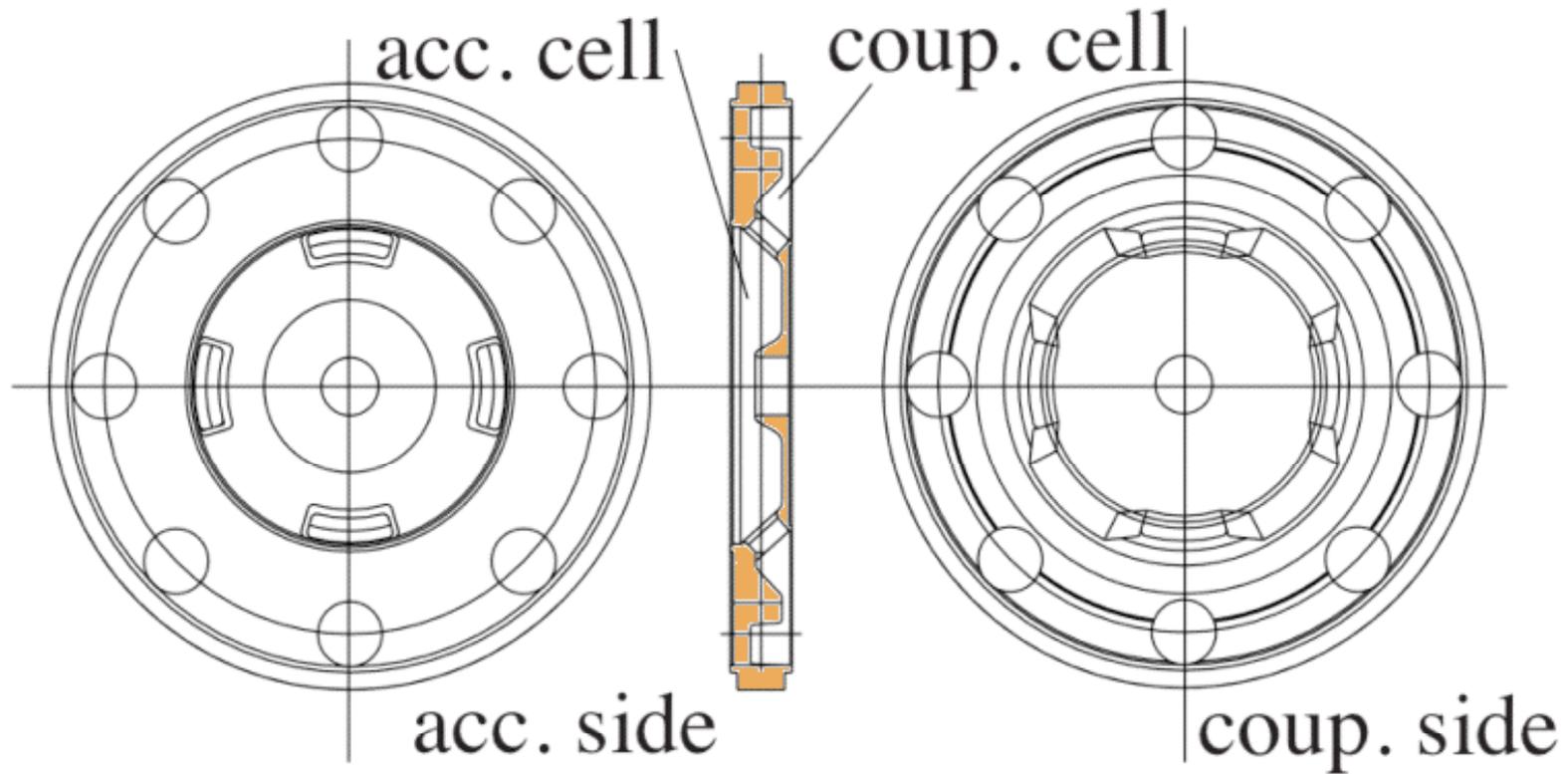


# ACS開発の経緯

- 1988~ JHP用CCL(1296MHz)として開発開始 (山崎、影山、両角、吉野)
- 1992 :最初の大電力試験成功。(5cells+bridge+5cells)
- 加工簡素化のため設計見直し
- 1993~1994:18セルモデル。
- 1999: J-PARC用(972MHz)開発開始 (青、林崎、 Paramonov、 Joshi、 山崎)
- 2002/4: Buncher-1 (5cells+bridge+5cells) 製作開始。
- 2002/7: J-PARC linacの初期エネルギーが181MeVに確定。ACS -> Meam line
- 2003/3/31: Buncher-2 と 17cells tank × 5台 製作開始。(青、山崎)
- 2006/6: Buncher-1完成。大電力試験成功。(青、平野、RF-Gr)
- 2007/9: ACS(CCL)担当を増強：青、平野 + 森下、浅野、内藤
- 2007/9: Buncher-2大電力試験準備中。
- 2007/12: low- $\beta$  tank( 17cells+bridge+17cells ) 大電力試験開始。
- 2008: medium- $\beta$  full tank 大電力試験??



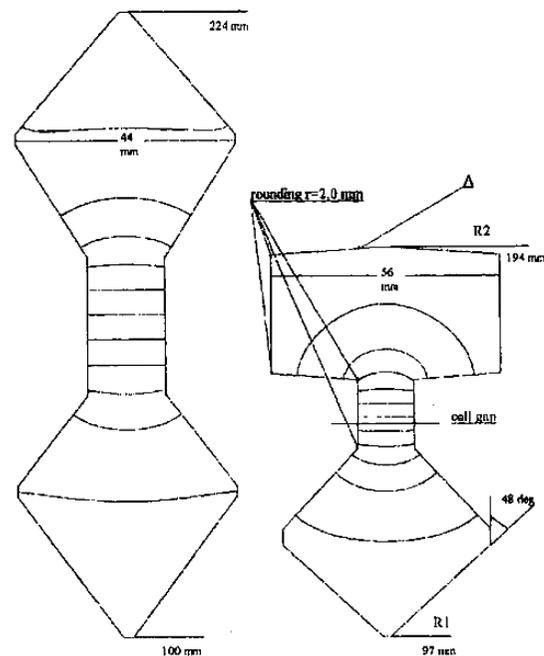
# 972MHz-ACSの構造



Configuration of the half-cell disk

# ACS断面形状の変更（外径を小さく！）

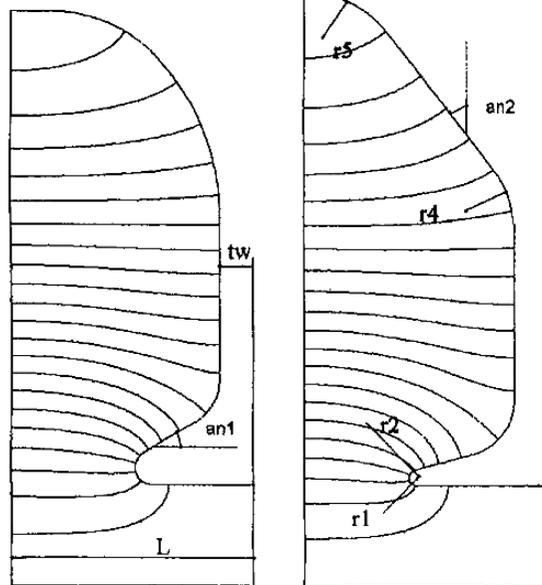
	原形	相似	改良
周波数 (MHz)	1296	972	972
加速セル直径 (mm)	174	230	220
結合セル内径	153	200	200
結合セル外径	339	450	390
空洞外径	411	550	460



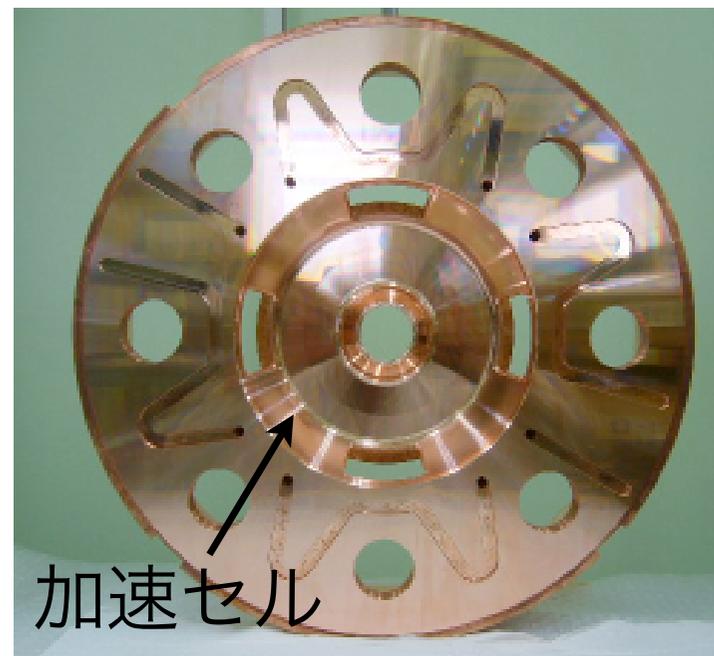
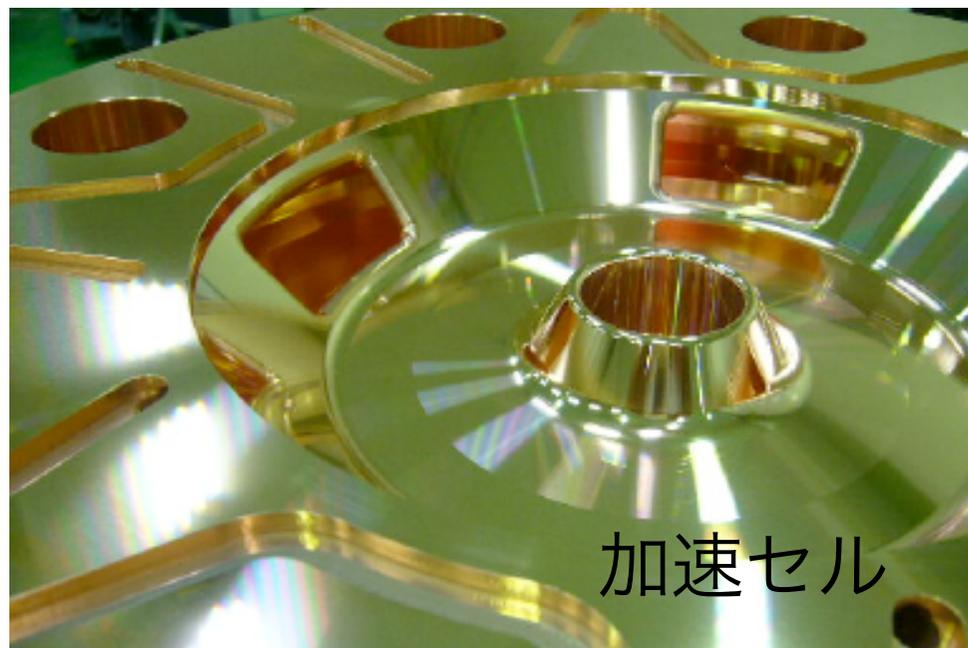
結合セル形状

ACSR

ACSm



加速セル形状



ボア径：40 mm

加速セル直径：220 mm

結合セル内径：200 mm

結合セル外径：390 mm

空洞外径：460 mm

面粗度：0.4 S

平面度： $\pm 10 \mu\text{m}$

超精密旋盤で仕上げ。

スロット加工は5軸MC。手仕上げ部無し。

スロット加工は通常の3軸+手仕上げ (JHP用)



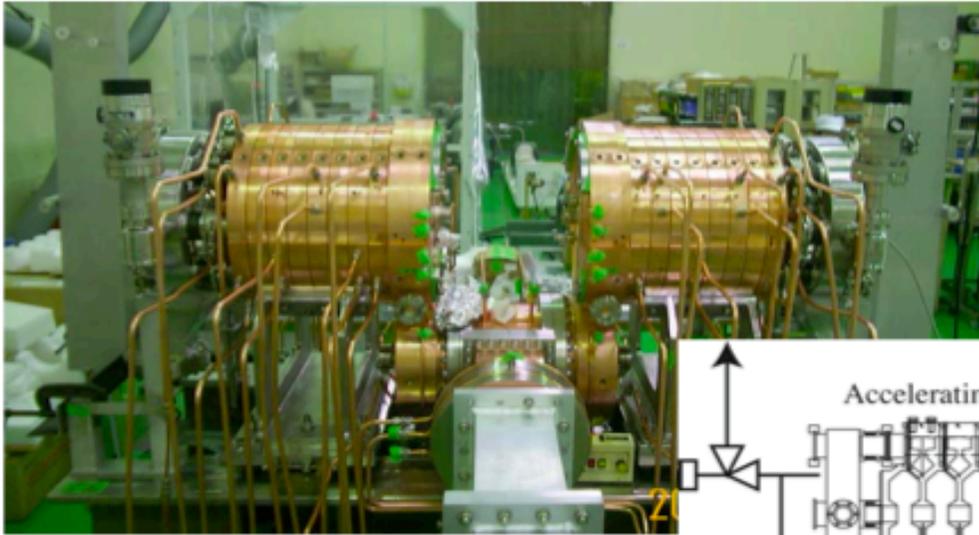
# ブリッジ空洞内面加工



面粗度0.4S 鏡面加工：RF的にも真空的にも過剰？

# Buncher #1

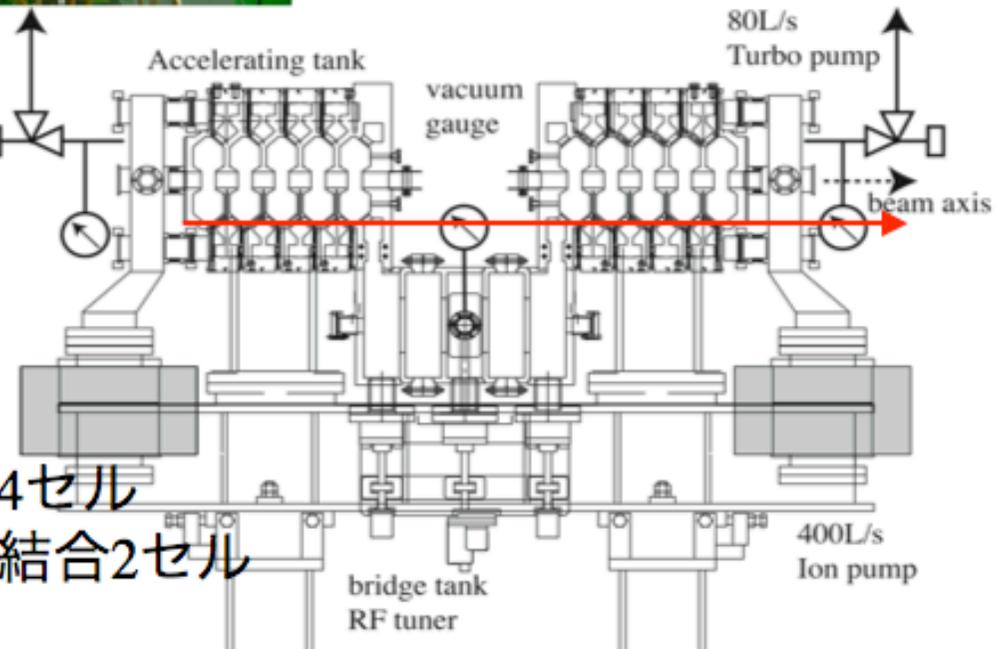
## 外観



工場試験@三菱三原

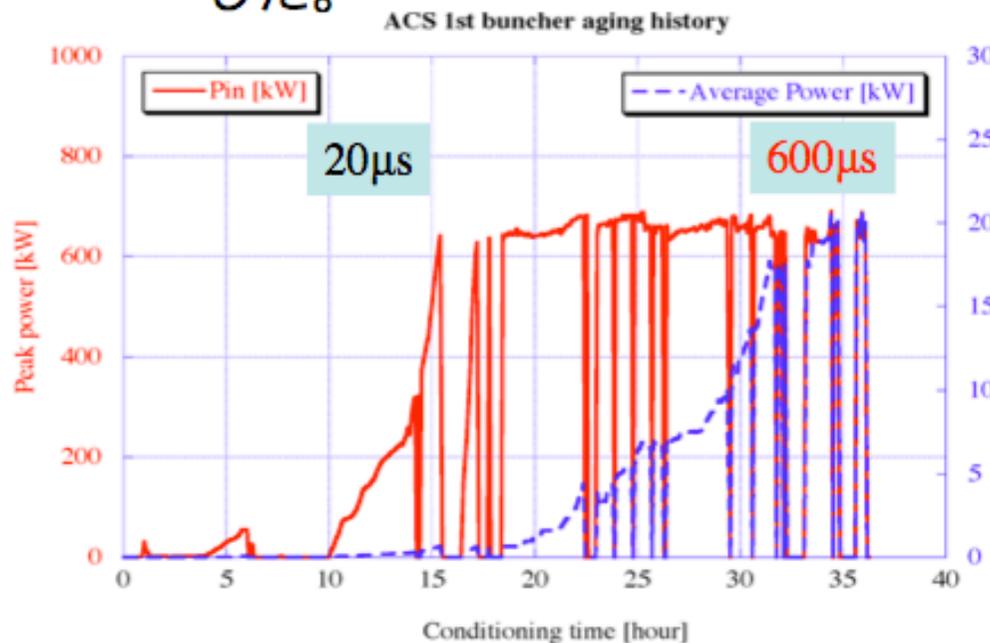
## 断面図

加速空洞: 加速5セル, 結合4セル  
ブリッジ空洞: 加速3セル, 結合2セル

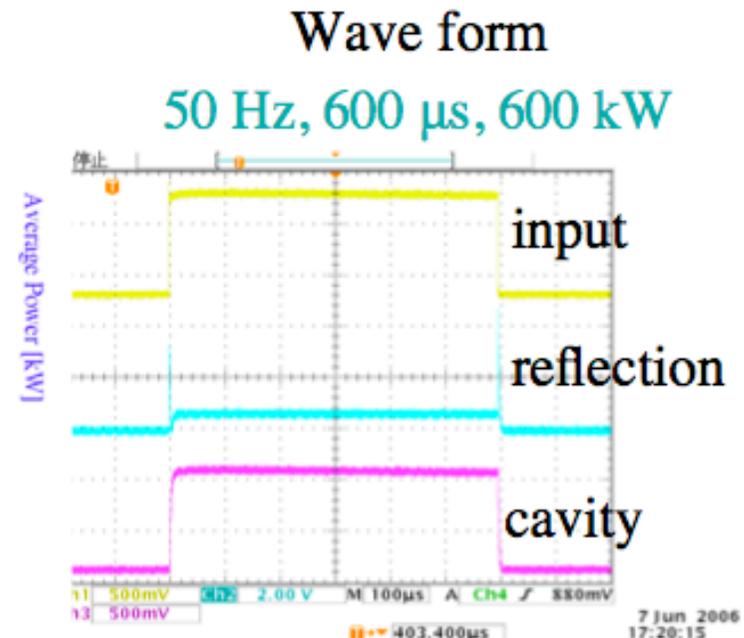


## エージング履歴

- 入力パワーの履歴  
繰り返しは50Hz固定。最初にパルス幅20 $\mu$ sでピークパワー600kWを投入。その後徐々にパルス幅を600 $\mu$ sへ拡大した。



(Repetition 50Hz)



> 972MHz ACS 空洞の基本性能は非常に高い。が、製作は容易ではなく、加工工程に未確定部分多数有り。もっとデータが必要。



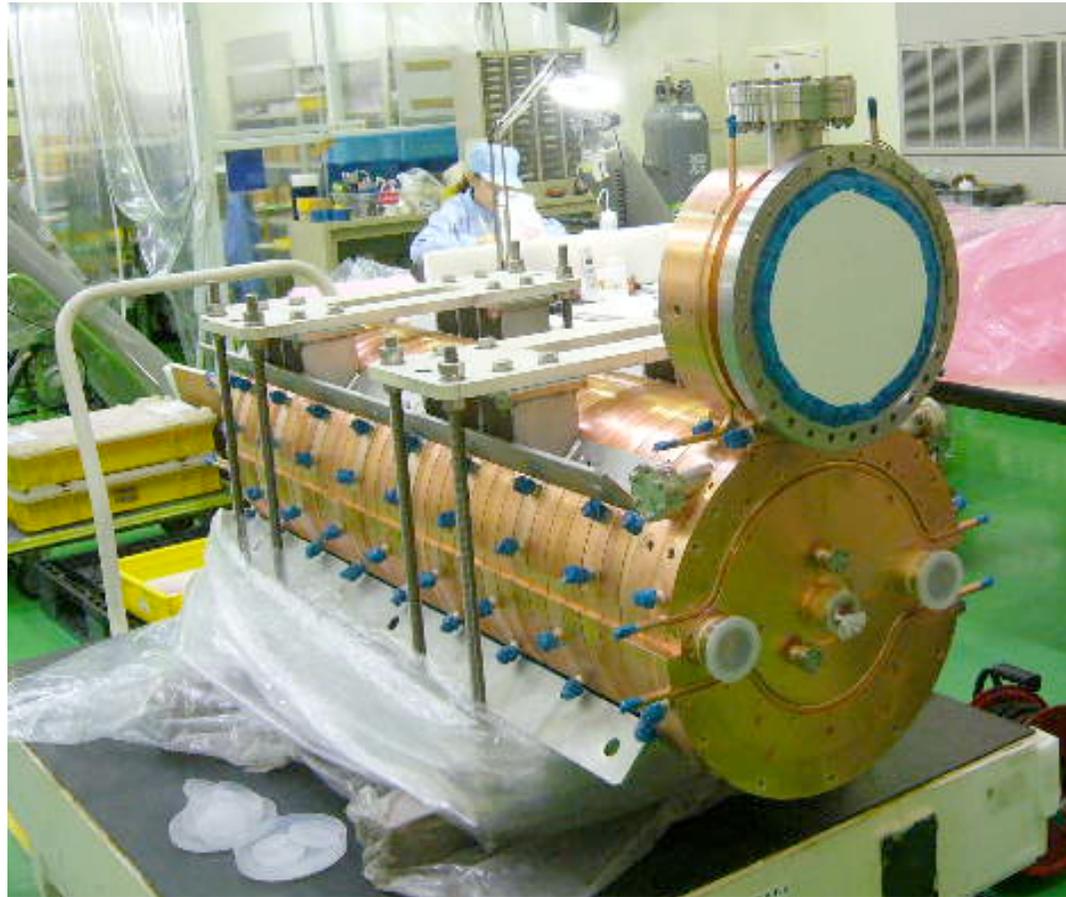
low- $\beta$  17cells tank  
口一付け準備



17セル移動 → 真空炉への設置



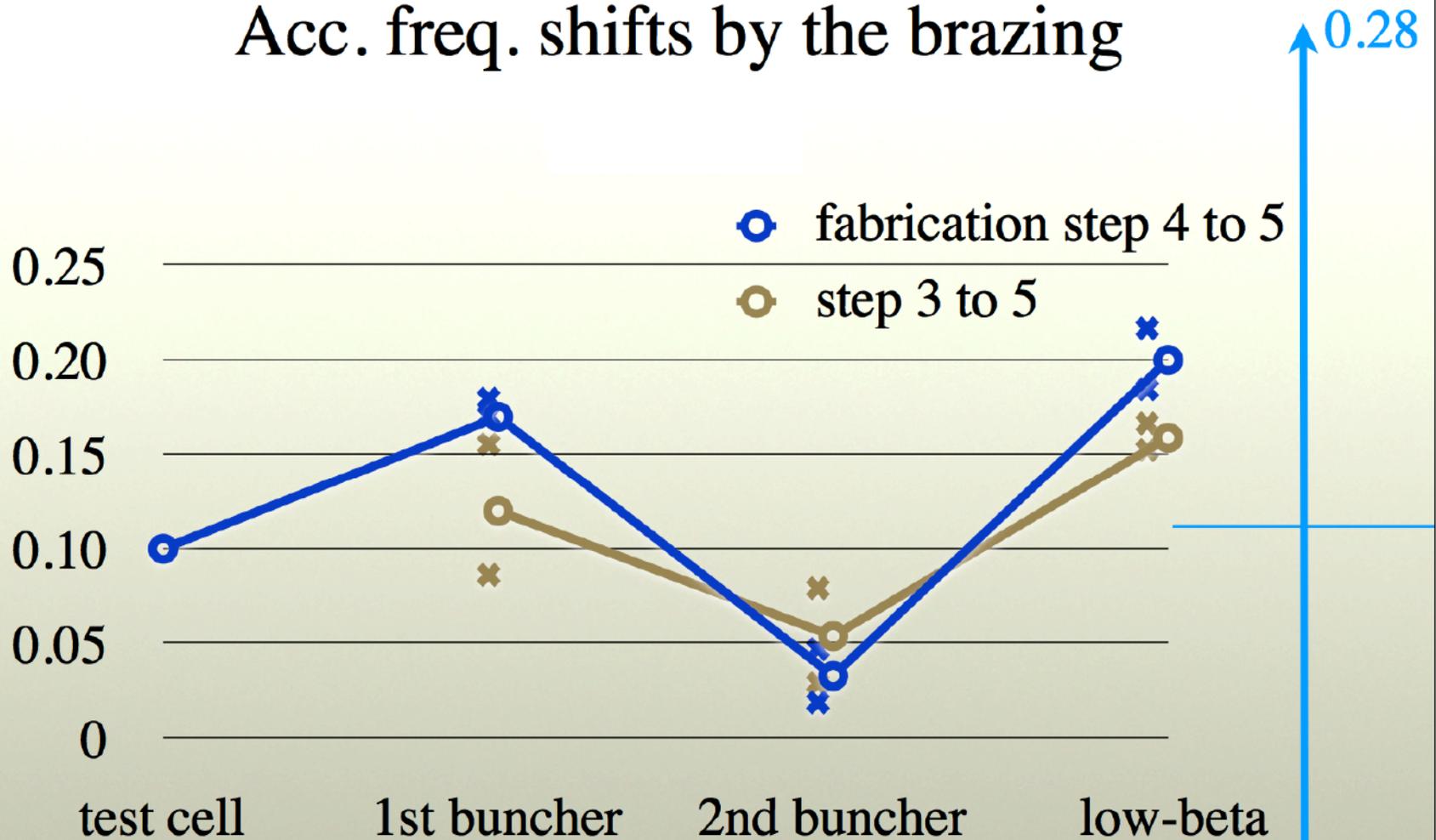
金ロー付け終了後、フランジ溶接



Buncher と同じ仕様で製作実施。

しかし全工程を見直す絶好機だったはず！！！！  
考える余裕がなかった？ 失敗が許されなかった？

# Acc. freq. shifts by the brazing



\*ろう付け後の周波数のずれは安定していない。原因究明中。  
(\*JHPの時: 1295.847 MHz → 1295.815 MHz  $df = -0.032$  MHz)

tuning range by the movable tuner



# Schedule for upgrade

(2007 ATAC)

- Cavity fabrication period is about three years.
- Extra equipments are needed in the current factory to keep the three years production. The minimization of this leading time and the quick start of fabrication are required for the smooth upgrade.
- Simplify machining -> Reduce leading and machining time.  
The trial module for the simplified machining will be valuable.

FY	1	2	3	4
Fabrication				
Preparation	Introduce for new turning machine		(pre) installation	
Module 1-2	fabrication		powertest	
Module 3-6		fabrication	powertest	
Module 7-10		fabrication	powertest	
Module 11-14		fabrication	powertest	
Module 15-18.5		fabrication	powertest	
400MeV upgrade shutdown				←→
Installation				
Aging, beam test				

(絵に描いた餅！)

## ACS 現状のまとめ

- Buncher空洞の電力試験は大きな問題はなく成功。非常に安定。
- 基本性能が十分高い事を立証。加速電場の対称性も良い。
- ビーム加速すれば世界初。
  
- 加工が非常に大変。（多分、製作費用は大幅増加？）
- 加工・製作は実質4年でも厳しい。今までも予想以上に遅れ気味。
  - 大きなBugが出尽くしていない可能性大。
    - low-, medium-, high- $\beta$  の全てで試験を終了させることが必要。
  - 機械的構造と加工工程の簡素化が未検討。
    - 17セル 空洞製作時に行うべきだった事項。

## 400MeVリニアックに関する（私の）結論

→すぐにACSを量産するのは危険が多い。データ不足。

更に試作と試験（～2年）が必要。

→急ぐなら他の加速構造の再検討も必要。

（例：Side-Coupled Structure, Disk & Washer）

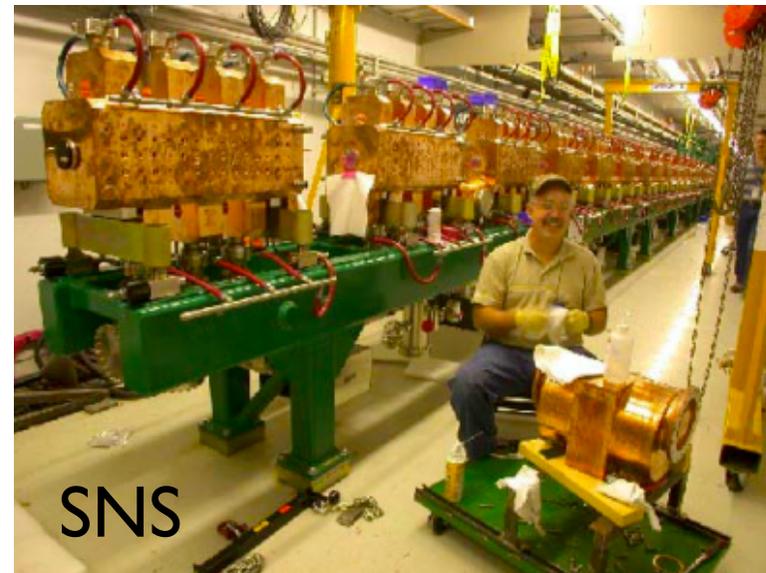
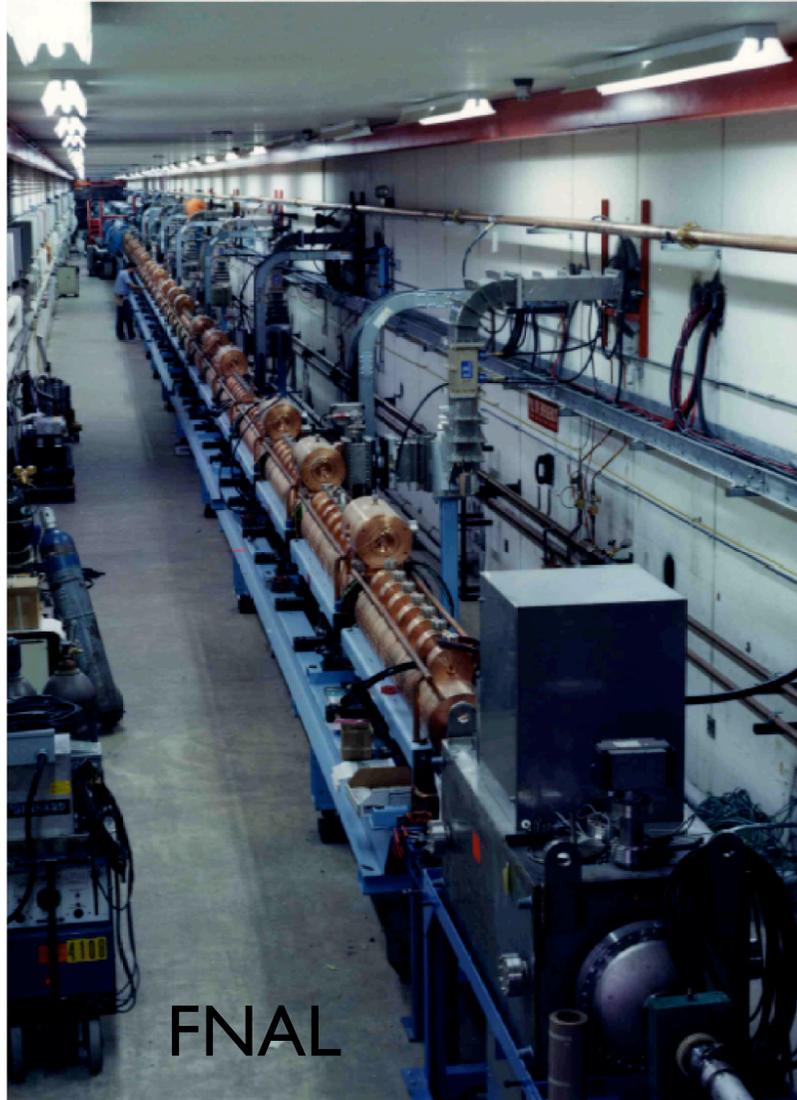
→本当にACS量産を急ぐ必要があるのか？

ユーザーはすぐに強いビームで実験したい！！

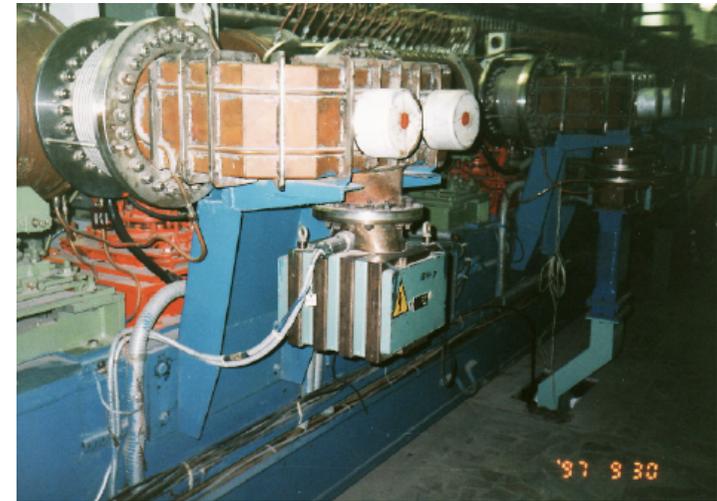
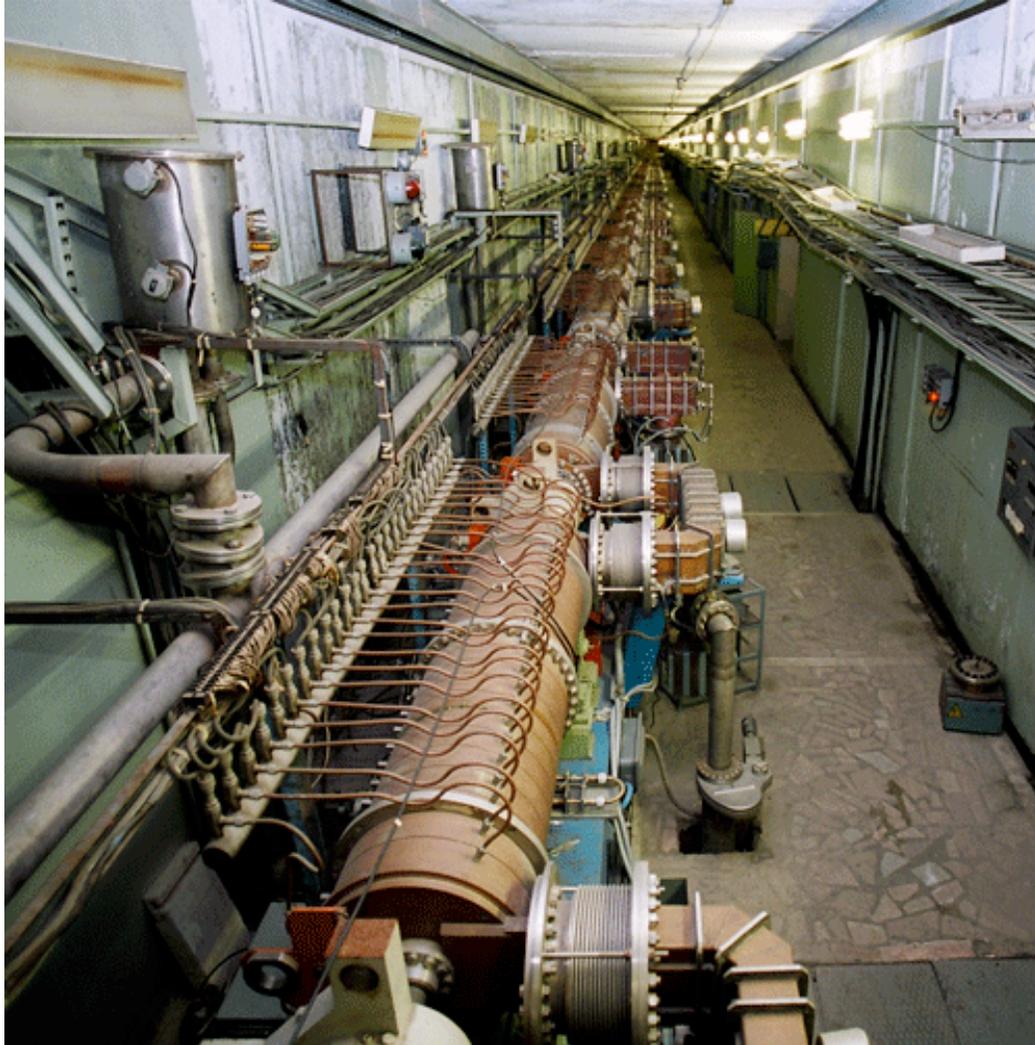
でもリニアックの空洞だけ増強しても...？

## 4. 既存のCCL

### Side-Coupled Structure linacs



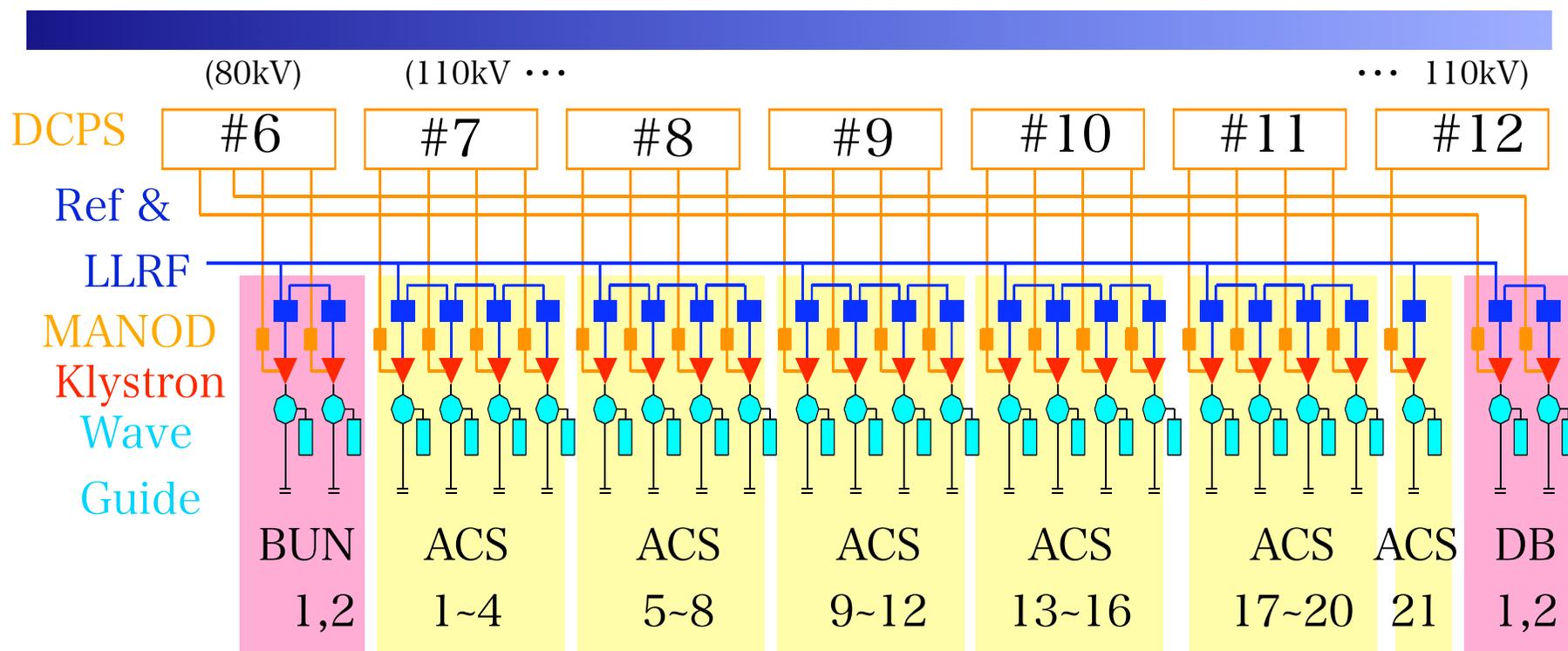
# Disk & Washer (DAW) linac of INR in Moscow (MMF: Moscow Meson Factory)



(991 MHz, Tank dia.:0.46~0.40m)

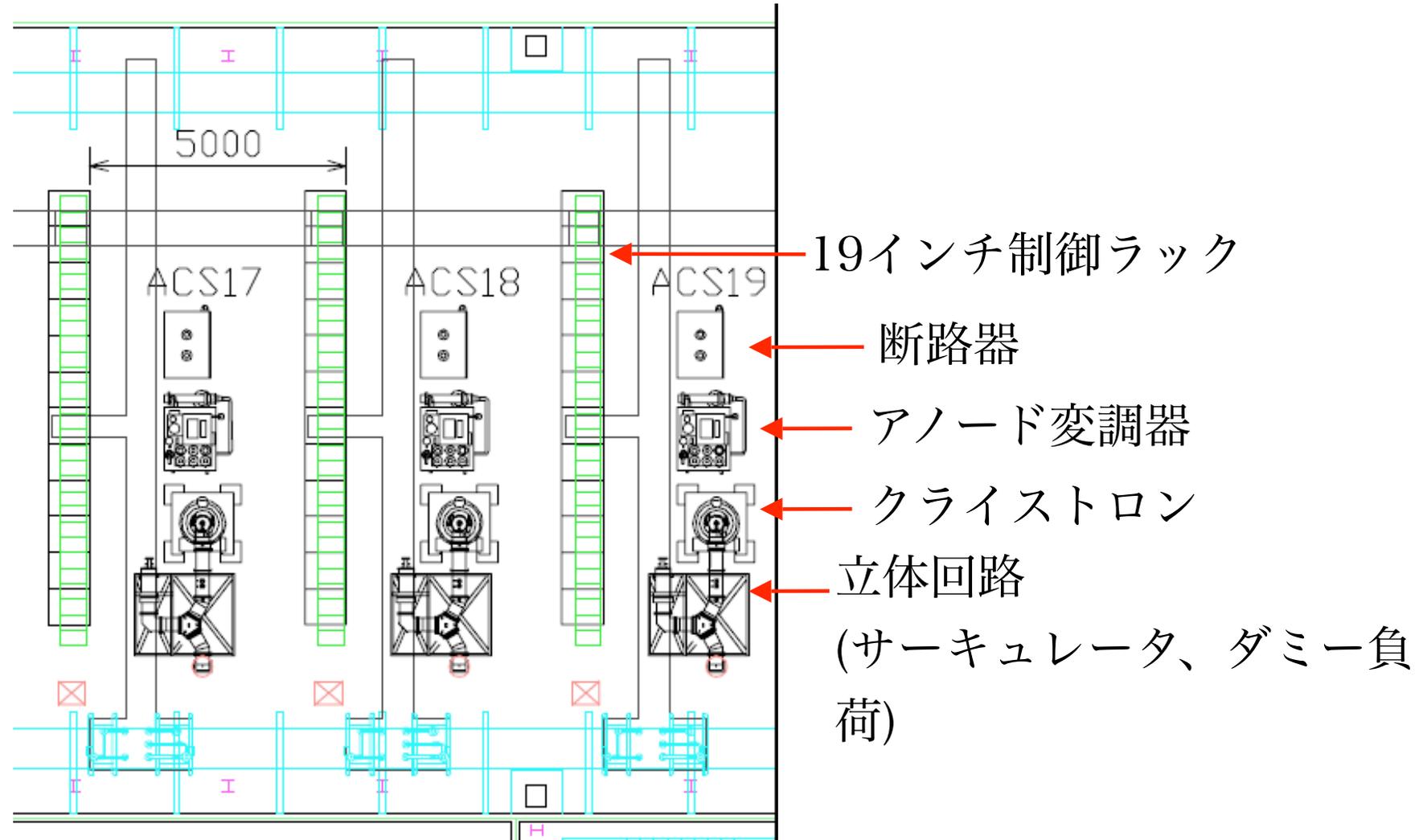
## 5. 972MHz高周波源

### 全体構成



クライストロン、モジュレータ、LLRF→ 25式  
立体回路(サーキュレータ、ダミー負荷) → 25式  
高圧電源→ 7式 (#6は設置済み。#12は移設)

# クライストロンギャラリレイアウト



# 972MHzクライストロンの開発状況

‘01年8月～’04年1月

1号管試験(#1)

発振現象が発生 (発振周波数：1300、1460、3210MHz)

→ガン発振を想定、発振開始電圧70kV

‘04年1月～’04年9月

2号管試験(#2)

対策：電子銃構成材料に高抵抗材料(SUS)

結果：発振現象(発振開始電圧、周波数)に変化なし

→ガン発振でない

発振周波数は第2空洞の高次モードに一致

‘05年9月～現在

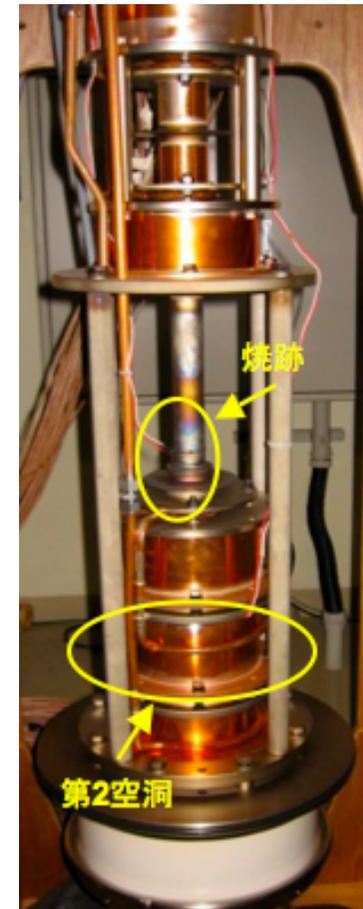
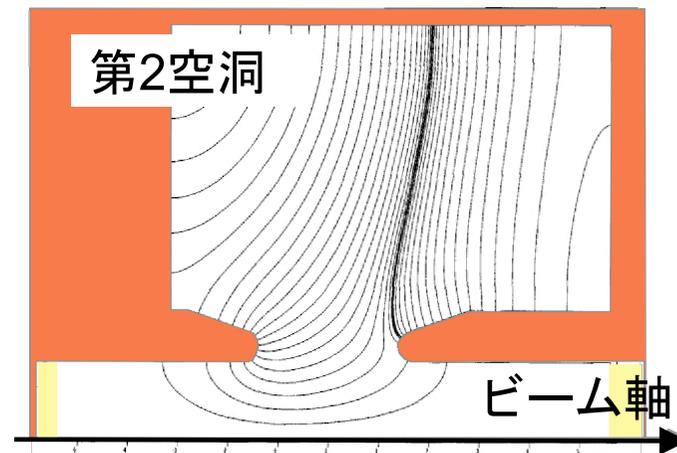
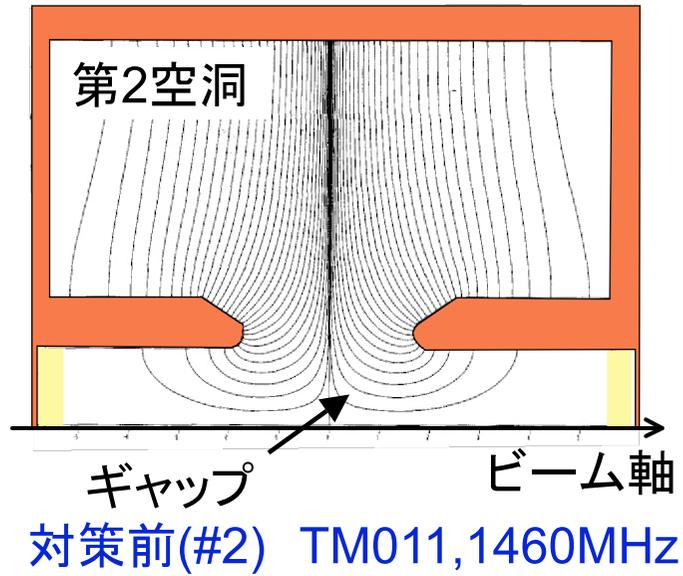
3号管試験(#3)

対策：第2、第3空洞形状を非対称(短ギャップ)の形状とする

→ 発振が存在するが(107.5kV)、

収束磁場条件を調整することにより定格(3MW)を達成

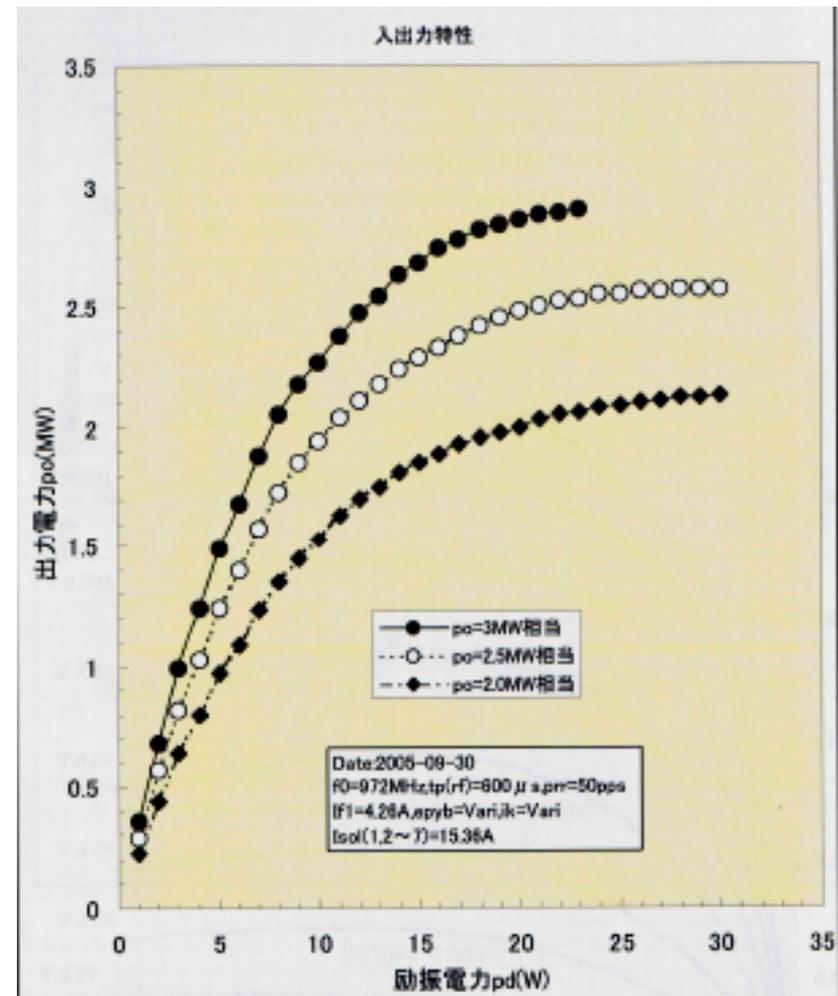
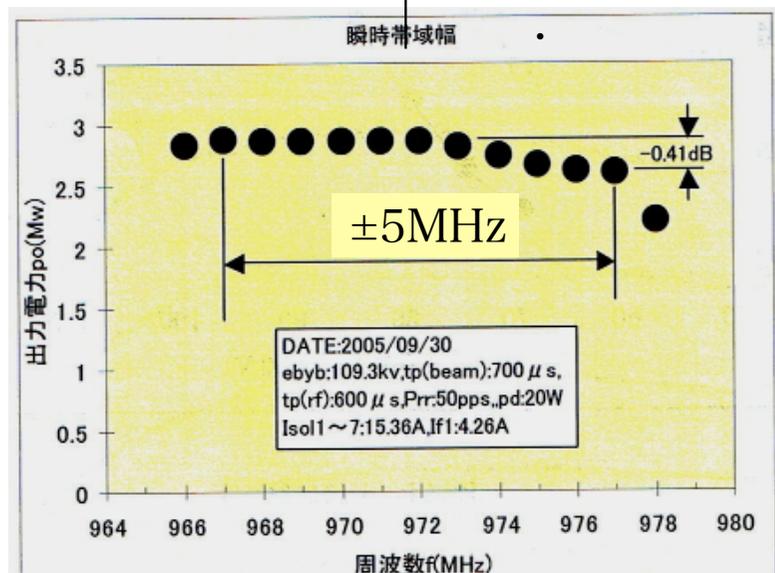
# 972MHzクライストロンの開発状況(2A、3号管)



# クライストロン3号管の動作特性

収束磁場を弱め、発振開始電圧を110kV以上に回避

ビーム電圧	109.3kV
ビーム電流	45.3A
飽和出力	2.9MW
ゲイン	52dB
効率	57.4%
パービアンス	1.25 $\mu$ Perv



## 972MHz高周波源の開発状況 (まとめ)

- クライストロン → 発振原因がほぼ特定  
量産前に実証機の製作を計画
- クライストロン電源 → 開発済み  
(324MHzと同仕様、安定動作を達成)
- 立体回路
  - ・サーキュレータ → 定格運転(3MW、3.25%) を達成(短時間)  
今後：全反射耐力試験(10パルス)と  
長時間運転 (フェライトの温度確認)
  - ・ダミー負荷 → 定格運転を達成  
今後：量産に向けて電波漏洩等を確認
  - ・導波管の冷却 → 今後：温度上昇( $\Delta T=12K$ 、@3MW,50Hz )  
に対し水冷 or 自然空冷の評価試験