

## FABRICATION STATUS FOR J-PARC ACS

Hiroyuki Ao<sup>\*A)</sup>, Akira Ueno<sup>A)</sup>, Takatoshi Morishita<sup>A)</sup>, Kazuo Hasegawa<sup>A)</sup>,  
Yoshishige Yamazaki<sup>A)</sup>, Masanori Ikegami<sup>B)</sup>,  
A) Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI  
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195  
B) High Energy Accelerator Research Organization, KEK  
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

### Abstract

The first ACS module consists of two 5-cells ACS tanks and a 5-cells bridge cavity for the buncher module. Three RF tuners are installed to the bridge cavity for fine RF tuning. An operating frequency should be tuned to 972 MHz within the fine-tuning range before a brazing process in a factory. The tuning procedure has been studied with RF simulation analysis and cold-model measurements for ACS and bridge cells<sup>[1]</sup>. This paper describes RF tuning results, fabrication status and related development items.

## J-PARC ACS 空洞開発の現状

### 1. はじめに

ACS (Annular Coupled Structure) の最初のモジュール (バンチャー 1 号機) の開発は 2002 年の 4 月から開始された<sup>[2]</sup>。これまでの R&D の結果を経て、最終的な形状を 2004 年夏に決定し、5 セルの ACS 空洞の製作に着手した。

2004 年の 11 月末から、2 枚の ACS エンドセル (以下エンドセルと記す) と 2 枚の ACS 中間ハーフセル (以下中間セルと記す) を組み合わせて測定した。これはバンチャー 1 号機用の最初の量産セルである。高周波測定の順序は以下の通りであった。1.) 2 枚のエンドセルが 971.9 MHz となるように調整加工。2.) 2 枚の中間セルを初期状態で測定:973.4 MHz。3.) 2 枚のエンドセルと 2 枚の中間セルを組み合わせて測定:971.7 MHz。エンドセル、中間セルを組み合わせた場合には、セルの周波数の平均値、さらにはエンドセル単体の周波数よりも低い。つまり、セルを組み合わせた結果周波数が低下するという結果を得た。

エンドセルの加速ギャップの長さ、ノーズコーン部分の形状は周期的構造をもつ中間セルと同様である。ただし、エンドセルはスロット無し状態で運転周波数に合うように設計する必要があるため、エンドセルの外周 (斜辺) 部はセルのボリュームを広げるように拡張している。またエンドセル特有の問題として、ビームポートのために電場が一部ビームポート側に広がってしまう。周波数とあわせてこの影響 (EOT) を MAFIA で解析し、周期構造部と比較してみた。

解析により調整手順の見直しを進めるのと平行して、各中間セルの高周波測定とチューニングを行った。これらの結果についてもあわせて報告する。

### 2. エンドセルでの周波数低下

エンドセル、中間セル、エンドセルと中間セルの組み合わせについて、解析によって周波数低下が再

現できるか確認してみた。MAFIA 上で各セルの周波数をできる限り近い値に調整した。メッシュサイズの影響があり、細かい周波数調整は難しい (解析時間も必要。) 従って状況判断に十分と思われる程度にとどめている。図 1 に解析で用いた各形状を、表 1 に各周波数の結果を示す。測定同様、 $\beta = 0.556$  で約 0.6 MHz の周波数低下が確認できた。

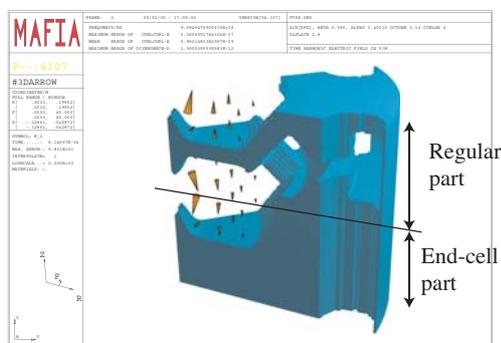


図 1: 解析形状

表 1: エンドセルと中間セルを組み合わせた解析結果

MAFIA			Meas.	
	$\beta$	0.556	0.7114	$\beta = 0.556$
End and Regular	969.494	972.909		971.73
Regular only	970.077	972.843		973.38
End only	970.160	973.499		971.90
Ave.	970.119	973.171		972.64
drop	-0.625	-0.262		-0.91

一方、図 2 にビーム軸に沿った電場 ( $E_z$ ) の例を示す。解析では加速電圧 (EOT) で、エンドセルの  $\beta = 0.556$

\* E-mail: aohi@linac.tokai.jaeri.go.jp

に対して 94.8%、同様に  $\beta = 0.7114$  に対して 98.4% との結果を得た。これらの補正は調整を複雑にすること、またビームの解析においても影響は小さいと思われることから、現設計の方針で進める予定である。

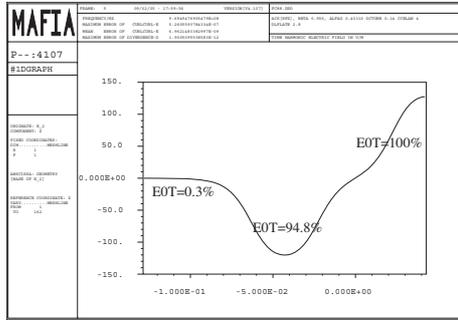


図 2: 電場分布  $E_z$  ( $\beta = 0.556$ )

### 3. 高周波測定の設定アップと解析

#### 3.1 エンドセルとショート板

高周波測定でのセットアップ(セル、ショート板の組み合わせ)と測定結果の解析は以下の要領で行った。

まず、エンドセルについてはエンドセル同士の組み合わせと、各ショート板との組み合わせについて測定した。(図 3 参照)

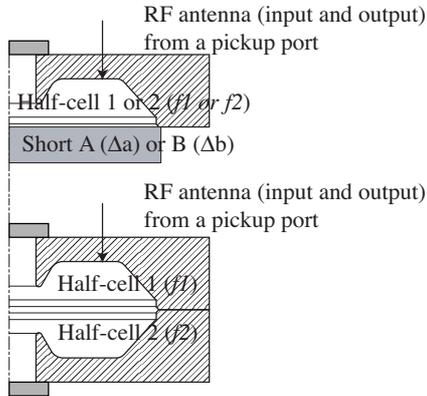


図 3: エンドセルの高周波測定セットアップ

ショート板の影響を考慮して、測定値を以下の式のように表す:

$$\begin{aligned} f(\text{endA}, \text{shortA}) &= f(\text{endA}) + \Delta_{\text{shortA}} \\ f(\text{endB}, \text{shortA}) &= f(\text{endB}) + \Delta_{\text{shortA}} \\ f(\text{endA}, \text{endB}), &= \frac{f(\text{endA}) + f(\text{endB})}{2} \end{aligned}$$

ここで、 $f(x, \text{shortA})$  は、セル  $x$  とショート板 A を組み合わせた周波数を示す。 $f(x)$  はセル  $x$  単体の周波数であり、 $\Delta_{\text{shortA}}$  はショート板 A の周波数を示

す。その他表記についても同様である。ショート板 B についても同様に測定し、ショート板の影響を確認した。ショート板の影響の主たる要因は完全な平面(境界面)になっていないことにある。本測定で用いたショート板は事前に 0.005mm 以下の平面度で研磨処理を行って、この影響を最低限に抑えるよう配慮している。

上式を用いて、各単体の周波数を求めると以下のようなになる:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{shortA}} &= \frac{f(\text{endA}, \text{shortA}) + f(\text{endB}, \text{shortA})}{2} \\ &\quad - f(\text{endA}, \text{endB}) \\ f(\text{endA}) &= f(\text{endA}, \text{shortA}) - \Delta_{\text{shortA}} \\ f(\text{endB}) &= f(\text{endB}, \text{shortA}) - \Delta_{\text{shortA}} \end{aligned}$$

これらの測定によりエンドセルとショート板についての周波数を決定した。ショート板の周波数は中間セル測定においてもこの値を用いて補正する。

表 2 に周波数調整後のエンドセルとショート板の周波数を示す。

表 2: エンドセルとショート板の周波数 (27°C, 真空)

$\beta=0.556$			
End-cell A	971.90	Short plate A	-0.033
End-cell B	971.91	Short plate B	-0.030
[MHz]			

#### 3.2 中間セル

これまで中間セルについては様々なセットアップによる R&D を行ってきた。結果として実機では、加速セルについてはハーフセル 2 枚を一組にし、ショート板で挟み込む形(これは加速セル中央で対称な構造になっていることによる)。一方、結合セルは加速セルをデチューンする方法を採用した。図 4 にセットアップの模式図を示す。

全体の周波数はエンドセルの場合と同様、各セル周波数の平均として求められるものとする:

$$\begin{aligned} &f(\text{shortA}, \text{cell1}, \text{cell2}, \text{shortB}) \\ &= \frac{f(\text{cell1}) + \Delta_{\text{shortA}} + f(\text{cell2}) + \Delta_{\text{shortB}}}{2} \end{aligned}$$

ここで二つのショート板 A, B はすべての加速セル測定で共通に用いられるため、式中之での表記  $f(\text{shortA})$  と  $f(\text{shortB})$  を省略し、また  $f(\text{cell1})$  は  $f(1)$  と略記すると、上式は、

$$f(1, 2) = \frac{f(1) + f(2) + \Delta_{\text{shortA}} + \Delta_{\text{shortB}}}{2}$$

と書くことができる。以下の式に示すセルの組み合わせを仮定すると、

$$f(1, 2) = \frac{f(1) + f(2) + \Delta_{\text{shortA}} + \Delta_{\text{shortB}}}{2} \quad (1)$$

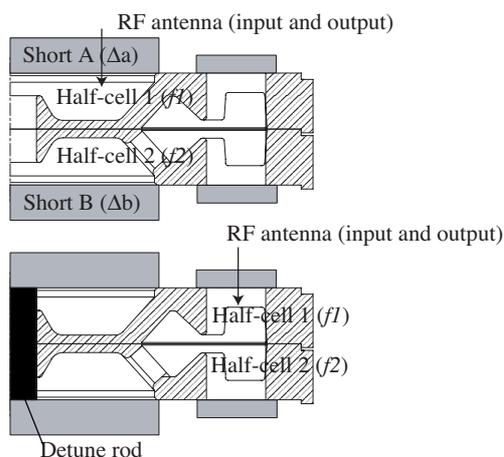


図 4: 中間セルの高周波測定セットアップ。(上) 加速セル、(下) 結合セル (EE) の境界条件

$$f(1,3) = \frac{f(1) + f(3) + \Delta_{shortA} + \Delta_{shortB}}{2} \quad (2)$$

$$f(2,3) = \frac{f(2) + f(3) + \Delta_{shortA} + \Delta_{shortB}}{2} \quad (3)$$

$$f(1,4) = \frac{f(1) + f(3) + \Delta_{shortA} + \Delta_{shortB}}{2} \quad (4)$$

これらの式より

$$f(1) = f(1,2) + f(1,3) - f(2,3) - \frac{\Delta_{shortA} + \Delta_{shortB}}{2} \quad (5)$$

$$f(2) = 2f(1,2) - f(1) - \Delta_{shortA} - \Delta_{shortB} \quad (6)$$

$$f(3) = 2f(1,3) - f(1) - \Delta_{shortA} - \Delta_{shortB} \quad (7)$$

と個々セルの周波数を得ることができる。

ここで  $f(1)$ ,  $f(2)$  and  $f(3)$  の解を得るためには式 (4) は不要であるが、セルの組み合わせとして 4 枚を一グループとして 4 通りの組み合わせを仮定した。これは中間セル (ハーフセル) の総数が偶数であることから、グループ分けを簡便にするためである。

表 3 に初期状態の測定結果をまとめて示す。加速セル: 973.27-48 MHz, 結合セル: 980.49-981.48 MHz とばらつきの少ない良好な結果を得ることができた。

これ以降、同様の測定と調整加工を 2 回繰り返し、加速周波数は各タンク毎に 971.98 と 972.02 MHz まで追い込むことができた。図 5 に修正加工後の各セルの周波数を模式的に示す。

#### 4. まとめ

エンドセルでの周波数低下は MAFIA 上でも再現できた。これは中間セルで鏡面对称の条件となるところがエンドセルでは異なっている ( $E_r, E_f \neq 0$ ) ためである。これは中間セルも含めた測定で周波数調整を今後行っていくことで対応する予定である。

エンドセル以外の中間セルについての高周波測定と周波数調整は、加工機を占有するため時間的な制

表 3: 初期状態 (無修正) の中間セル周波数

Tank No.1		
Cell ID	acc.mode	coup.mode (EE-boundary)
A1	973.33	980.66
B1	973.37	980.79
C1	973.38	980.59
D1	973.41	980.98
E1	973.36	980.68
B2	973.35	980.63
C2	973.35	980.89
F1	973.38	981.53
Tank No.2		
Cell ID	acc.mode	coup.mode (EE-boundary)
A2	973.38	980.85
B3	973.26	980.75
C3	973.42	980.90
D2	973.38	980.98
E2	973.31	980.81
B4	973.27	980.49
C4	973.48	981.16
F2	973.46	981.48

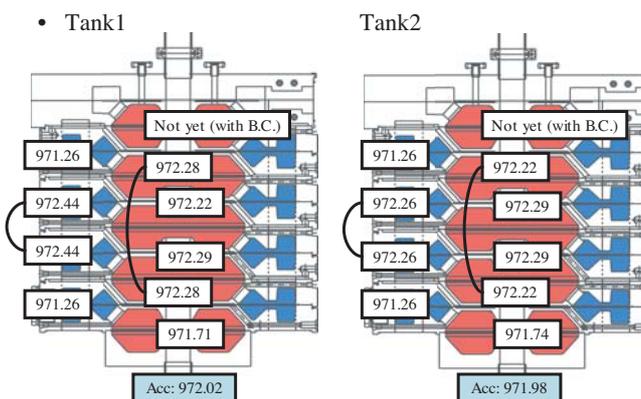


図 5: 調整加工後の中間セル周波数

約が大きく、思い切った追い込み量の指示が必要であったが、結果として順調に進められた。現状、結合セルについて最終的な補正 (主として両端の境界条件が周期的でない箇所の補正) とブリッジ空洞接続部との調整を待つ段階にある。今後はブリッジ空洞部の周波数調整のセットアップと手順の確立、全体測定、全体組み立てと鋭意進めていく予定である。

#### 参考文献

- [1] H. Ao et al. "Cold-model Tests and Fabrication Status for J-PARC ACS", Proc. of the 2004 Linac Conf., August 2004
- [2] V. V. Paromonov, "The Annular Coupled Structure Optimization for JAERI/KEK Joint Project for High Intensity Proton Accelerators", KEK Report 2001-14(2001)