FABRICATION STATUS FOR J-PARC ACS

Hiroyuki Ao^{*A)}, Akira Ueno^{A)}, Takatoshi Morishita^{A)}, Kazuo Hasegawa^{A)},

Yoshishige Yamazaki^{A)}, Masanori Ikegami^{B)},

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 ^[1]. 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^[2]。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の状態で運転周波 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、eta=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	レを組み合わ	せた解析結果

MAFIA			Meas.
β	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(Ez)の例を示す。 解析では加速電圧 (E0T) 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. 高周波測定のセットアップと解析
- 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:

$$\begin{array}{lll} f(\mathrm{endA},\mathrm{shortA}) &=& f(\mathrm{endA}) + \Delta_{shortA} \\ f(\mathrm{endB},\,\mathrm{shortA}) &=& f(\mathrm{endB}) + \Delta_{shortA} \\ f(\mathrm{endA},\,\mathrm{endB}), &=& \displaystyle \frac{f(\mathrm{endA}) + f(\mathrm{endB})}{2} \end{array}$$

ここで、f(x, 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、 Δ_{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 ようになる:

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

-f(endA, endB)
$$f(\text{endA}) = f(\text{endA}, \text{shortA}) - \Delta_{shortA}$$

$$f(\text{endB}) = f(\text{endB}, \text{shortA}) - \Delta_{shortA}$$

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)

β =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:

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

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、式中での表記 f(shortA)と f(shortB) を省略し、また f(cell1) は f(1) と略記 すると、上式は、

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

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、

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

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

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

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

これらの式より

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

 $f(2) = 2f(1,2) - f(1) - \Delta_{shortA} - \Delta_{shortB}(6)$ $f(3) = 2f(1,3) - f(1) - \Delta_{shortA} - \Delta_{shortB}(7)$

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 ーグループとして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対称の条件となると 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	犬態 (無修正)) の中間セノ	レ周波数
---------	----------	---------	------

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		
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

- 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)