

## R&D STATUS FOR J-PARC ACS

H.Ao<sup>1A)</sup>, A.Ueno<sup>A)</sup>, T.Morishita<sup>A)</sup>, K.Hasegawa<sup>A)</sup>, Y. Yamazaki<sup>A)</sup>,

<sup>A)</sup> Japan Atomic Energy Research Institute

2-4 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

M.Ikegami<sup>B)</sup> N.Hayashizaki<sup>C)</sup>

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

<sup>C)</sup> Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550

### Abstract

The J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) LINAC will be commissioned with energy of 181-MeV using 50-keV ion source, 3-MeV RFQ, 50-MeV DTL and 181-MeV SDTL (Separated DTL) on September 2006. It is planned to be upgraded by using 400-MeV ACS (Annular Coupled Structure), which is a high-beta structure most suitable for the J-PARC, in a few years from the commissioning. The first ACS type cavity, which will be used as the first buncher between the SDTL and the ACS, is under fabrication. Detailed design and tuning procedure of ACS cavities has been studied with RF simulation analysis and cold-model measurements. The results of cold-model measurements, fabrication status, and related development items are described in this paper.

## J-PARC ACS空洞開発の現状

### 1. はじめに

Annular Coupled Structure (ACS)型加速空洞はJ-PARC 200~400 MeV区間の加速管として開発を進めている<sup>[1]</sup>。

2002年4月以降、SDTL~ACS間のマッチングセクションに用いるACS型バンチャー空洞をJ-PARC用ACSの初号機として製作を開始した。加工手順や高周波測定等のR&Dのため、実機サイズでのアルミ製中間(周期的構造部)セル、無酸素銅製セルを試作した。これらセルの高周波測定手順と周波数調整切削の検討、および測定治具類の改良を進めてきた。本バンチャー空洞は今年度末の完成を目標に製作を進めている。

また、2003年度末に加速セルで10セル分の1/2アルミモデル(beta=0.7114)を製作した。中間セル、端部セル部の周波数調整切削を行って、空洞全体としての特性、および端部セルが与える影響等について試験をおこなった。

本論文では製作の現状とこれまでの結果について報告する。

### 2. バンチャー空洞

#### 2.1 中間セル試作

バンチャー空洞向けのセルの試作、高周波測定を順次進めてきた<sup>[2][3][4]</sup>。セル製作時には、周波数を実測して、加工時の寸法の個体差や設計値からずれを補正することが必要である。2004年に入ってから

最終段階の調整加工を実際に行い、作業手順と周波数調整量を確認した。

ACS空洞では加速モード、結合モードの二つのモードを考慮する必要がある。加速セル側はセルの最外周部、結合セル側はリッジ部外周を調整切削する。各セル(モード)の調整切削箇所と切削量に対

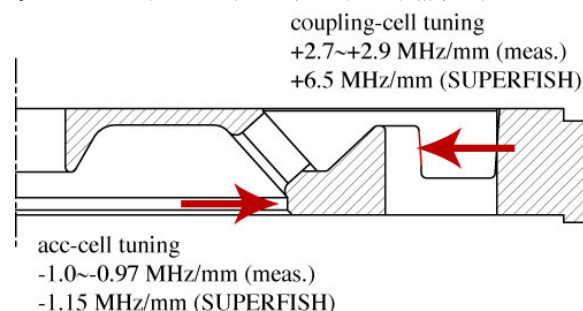


図1：切削予定箇所と周波数変化量

する周波数変化量を図1に示す。

加速セル側は解析よりやや周波数変化量が小さいが、加速モードのfieldが結合セル側にスロットを通じて広がっており、加速セルだけの解析に比べvolumeが広がっているためと考えている。結合セル側は調整箇所が真空用ポート穴で切り欠かれているため、小さくなっていると考えている。

実際の周波数調整ではこれらの係数を基に初期削り量を決定する予定である。結合セル側リッジ部については初期設計に無かった垂直部を追加し、調整加工後の寸法測定を容易にするなど、修正切削上の

<sup>1</sup> E-mail: hiroyuki.ao@j-parc.jp

工夫もおこなった。これらの試作セルはロウ付け前後の周波数変化を確認する目的で、最終的には先行して試験ロウ付けすることも検討中である。

量産寸法の決定については、中間セルの加工上の制約から、いくつか検討すべき点が残っているが概ね終了している。エンドセルやブリッジ空洞部など試作を行わなかった部分は、後述するアルミモデルでの測定結果や解析を合わせて寸法決定を行う予定である。中間セル以外の周波数調整や調整切削の手順についても順次検討を進めていく予定である。

## 2.2 全体構造検討

JHFのR&Dでドリフトスペース上部に配置していたブリッジ空洞は、Q-magnetのアライメント<sup>[5]</sup>、メンテナンスを優先しQ-magnet下に変更した。本変更に沿ってチューナー類は下部からのメンテナンスとなり、空洞、導波管、真空排気系類の組み立て、冷却配管との干渉などの詳細設計が進行中である。

空洞のアライメントも基本的にQ-magnet同様の共通基準座を各加速空洞端部に設置する予定である。基準座施工は空洞ロウ付け後になるため、ビーム軸からの寸法基準の取り方等も全体構造と合わせて検討を進めている。

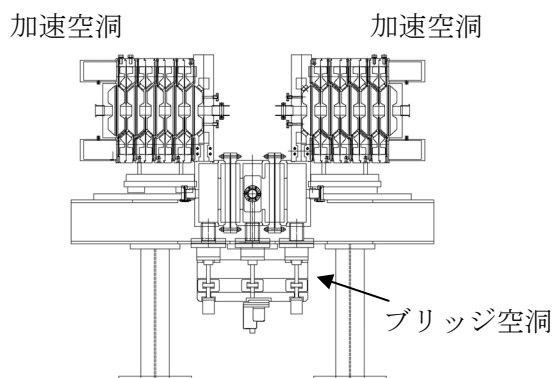


図2：バンチャー空洞構成（5+5セル）

## 2.3 空洞接続部ICFフランジ

1 2台の加速空洞はブリッジ空洞の結合セルで二重エッジのコンフラットフランジ(ICF356)で接続される。フランジはSUSで空洞本体にロウ付けされるため、数回のロウ付けの熱焼鈍を加えられる。焼鈍したSUSのエッジ強度を確認する為、一对のブランクフランジを試作して予定される熱履歴を与え、真空リーク試験を行った。

結果は真空リークは認められず、良好な結果がえられた。二重エッジの内側の切り欠き部（真空引き用のスリット）で若干、エッジが倒れ込む傾向が見られた。本対策としてスリットをやめてエッジは連続とし、フランジ本体に穴加工で排気経路を確保する構造に改める予定である。

## 3. アルミモデルのチューニング

### 3.1 High-betaアルミモデル

2003年末からHigh-betaアルミモデルの製作を進めてきた。本モデル製作の目的は、空洞（高周波）設計の確認とともにバンチャー空洞製作時のチューニング手順の確認である。チューニング作業、高周波測定手順や治具等は机上検討では網羅できない部分も多く、モデル測定で得られた結果を基に反映していく予定である。

### 3.2 中間セル調整

周期的構造のセルについては、加速セル、結合セルに応じた境界条件をショート板で設定し、周波数測定および調整加工をおこなった。結合セルについては、真空ポートによるセル間のcouplingがあるため、1~4セル程度までセル数を変化させて周波数測定を行い、セル数無限大（=周期的構造）での周波数をfittingで求めた。

加速セルについては2セル分を修正切削し、周波数の補正係数を実測後、最終寸法を決めて全数を仕上げた。その際に三次元測定で加速ギャップ部等、寸法による影響が大きい部分についての補正も考慮した。

結合セルについて6セル分を修正切削した。結合セル外周を切削し径を広げたが、その際に結合セル端面が加工時の外周方向の力で盛り上がり、結果平面度が劣化、トルク依存性が増し、測定の再現性が確保できなくなる状況が発生した。この平面度劣化は加工機上のダイヤルゲージによって、エッジ部の凸部確認が出来る程度のものであった。当初は三次元測定器の測定にもかかわらず究明に苦慮したが、切削後の端面の形状確認、必要に応じた再研磨処置をおこなうことで対応した。

### 3.3 エンドセル調整

加速セルの両端部エンドセルはスロットが無い分周波数が高くなる。その分を補正するため結合セル斜辺部を広げることによって周波数調整を行った。

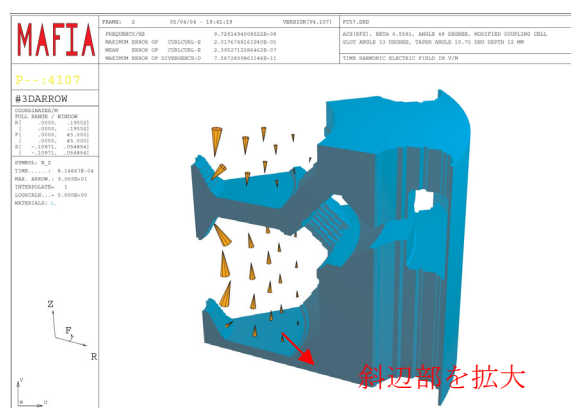


図3：（加速セル）端部セルの検討

MAFIAでの解析例を図3に示す。ギャップ間隔等は変更していない。現状、周波数のみを見てチューニングしている。電場分布等の測定については今後進めていく予定である。

### 3.4 組み合わせ測定と全体傾向

加速セル、結合セルともチューニング後、工場試験として9セルまでのdispersion測定をおこなった。図4に結果を示す。また、3セルでのdispersion測定結果を図5に示す。

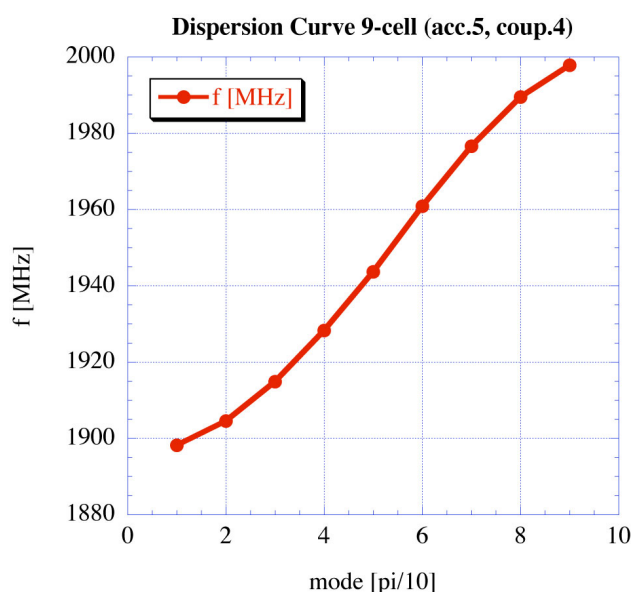


図4 : 9セルでのdispersion curve

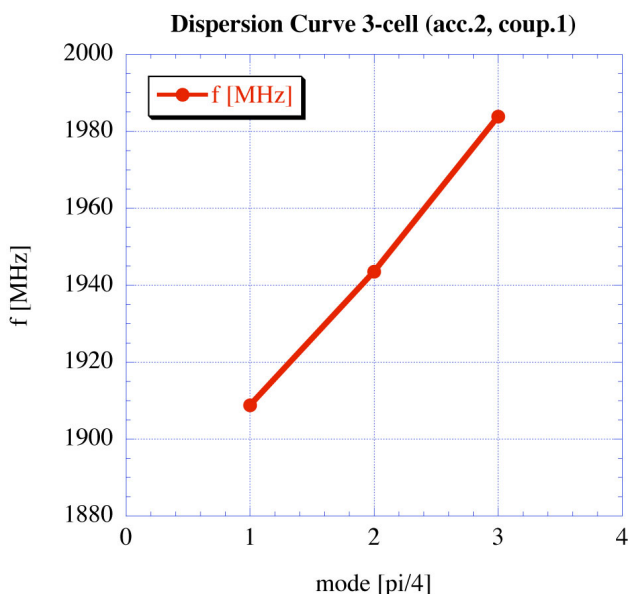


図5 : 3セルでのdispersion curve

3セル測定の結果を見ると、加速モードの周波数に対して結合モードの周波数がやや高いことを示している。これは3セル測定時の結合セルがセル前後で真空ポートがelectric (short) 条件になっており、理想的な周期的条件 magnetic (open) の場合と境界条件が異なるためである。9セル測定では境界条件がイレギュラーになるのは両端部のみとなる。中間セルとしては1944±1MHz程度の範囲に調整出来ているが、両端のイレギュラーとなる境界条件分の補正が出来ていない。従って、全体として結合モードの周波数が平均化され、9セル測定では目立ってこないものと考えている。

モデルの周波数修正の段階では結合セルのエンドセルを明確に区別して調整していなかった。今後、結合セルのエンドセル部の周波数調整を行って変化を見る予定である。またバンチャー空洞についても結合セル側の境界条件への配慮(設計と測定)を行う予定である。

## 4. まとめ

バンチャー製作に必要と思われるR&Dとして、長期にわたって中間セル周りの作業を進めてきた。その結果、実サイズの試作セルは周波数の調整切削まで一連の作業を完了した。また境界条件としてイレギュラーとなるエンドセル周りについても、アルミモデルでの結果から調整方針に見通しがつき、バンチャー設計に反映することが可能な段階に至った。

しかし、本論文で触れなかったブリッジ空洞や真空排気系の検討については、部分的に検討されているものの、まだ不十分な部分も多くある。バンチャー空洞製作の過程の中で適宜、フォローしていきたいと考えている。

また本空洞の完成後にも引き続き、本バンチャーを用いた大電力試験等を予定している。今後の量産に向け、R&Dを積み重ねていく予定である。

## 参考文献

- [1] N. Hayashizaki, et al. "J-PARC用ACS加速管の開発", Proceedings of the 28th Liner accelerator meeting in Japan, Tokai, Jul. 30 - Aug.1, 2003.
- [2] H. Ao et al. "R&D Status of the Annular Coupled Structure Linac for the JAERI/KEK Joint Project", Proc. of the 2002 Linac Conf., August 2002
- [3] H. Ao et al. "Cold-model Tests of an Annular Coupled Structure for upgrade of a J-PARC Linac", Proc. of the 2003 Particle Accelerator Conf., May 2003
- [4] H. Ao, et al. "ACS型加速空洞の高周波測定の現状", Proceedings of the SAST03 meeting in Japan, Tokai, , 2003
- [5] T. Morishita, et al. "AN ALIGNMENT SYSTEM OF J-PARC LINAC", Proceedings of this meeting