

Development of high-power models of the Annular Coupled Structure

Tatsuya KAGEYAMA, Yuichi MOROZUMI,
Yoshishige YAMAZAKI and Kazuo YOSHINO
KEK, National Laboratory for High Energy Physics
Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

Abstract We have been developing the four-slot Annular Coupled Structure (ACS) for the high- β coupled-cell proton linac of the Japanese Hadron Project (JHP). A 1296-MHz four-slot ACS cavity has been designed and constructed to study the performance in high-power operation. This ACS cavity has azimuthally staggered cell-to-cell slot orientation to reduce the second nearest neighbor coupling between adjacent accelerating cells via the annular coupling cell. The RF-processing has been carried out up to the rated input power. Another high-power model with azimuthally uniform cell-to-cell slot orientation is now under construction.

ACS 型空洞高電力モデルの開発

はじめに

ここ数年の間、KEKでは、大型ハドロン計画 1-GeV 陽子線形加速器高 β 部 coupled-cell linac の有力な候補として、ACS 型空洞の開発を進めてきた。ACS 型空洞の特徴は環状の結合セルである。しかし、この種の空洞には、 $\pi/2$ 加速モードと環状空洞中の高次モードが電磁氣的に結合しやすいという欠点があった。

そこで、この問題について我々は三次元電磁場解析プログラム MAFIA による種々の数値計算、及び低電力試験空洞による実験を積み重ねてきた。その結果、加速セルと結合セル間の磁気結合孔を 90 度おきに 4 つ配置した ACS 型空洞であれば上記問題点を克服でき、かつ機械的及び熱的な側面からも実用化可能であるという結論に達した^{1, 2}。

次に、高電力 RF 投入時の ACS 型空洞の特性を調べるために 2 種類の高電力試験空洞を製作し、実験を行なうことにした。2 つの試験空洞の構造上の差は、セルとセルの間の磁気結合孔（以下、スロットと略）の相対的な位置関係にある。先に製作に着手した空洞は、結合セルを介しての加速セル間の二次的結合 (the second nearest neighbor coupling) を小さくするために、セル毎にスロットの位置を 45 度ずつずらした互い違い構造をしている。もう一つの空洞は、すべてのセルのスロットの方向を揃え、加速セル及び結合セルそれぞれの中央の面について面対称にスロットを配置

した構造をしている。特に、結合セルにおいて向かい合うスロットの相対的位置関係の差は、 $\pi/2$ 加速モードによって結合セル中に励起される電磁場のパターンの違いとなって現われる。

スロット互い違い配置型の空洞の高電力試験は昨年行なわれ、ピーク値において定格の 2 倍近いレベルまで問題なく RF 電力を投入することができた。また、スロット同方向型の空洞については、現在製作中である。工程は最後のろうづけの段階に入っており、まもなく完成の予定である。

ACS 型高電力試験空洞の構造及び RF 特性

図 1 に示されているように、高電力試験空洞は、一対の 5 セル ACS 型空洞（スロット互い違い型）と、それらを電氣的に結合し、かつ RF 電力入力部と

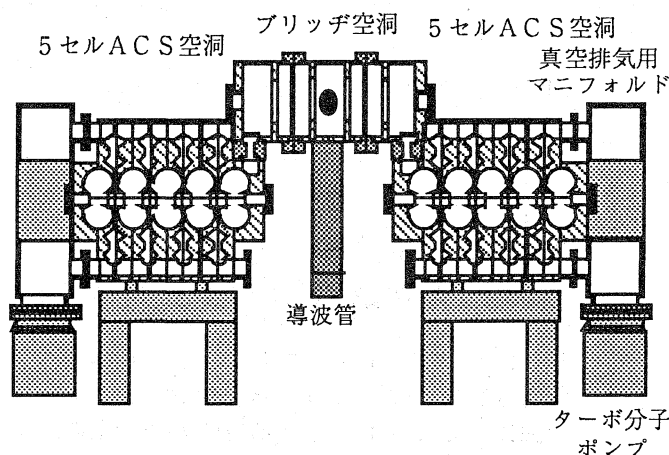


図 1 ACS 型高電力試験空洞構成図

表1 ACS型空洞高電力試験機の仕様

β (v/c)	0.78
周波数	1296 MHz
加速電界	4.5 MV/m
シャント・インピーダンス ZT^2	54 M Ω /m
パルス幅	600 μ s
繰り返し	50 Hz
壁面損失 (ピーク値) /セル	27 kW*)

*) シャント・インピーダンス理論値の80%を仮定

なる5セル disk-loaded 型ブリッジ空洞から構成されている。表1に5セル ACS 型空洞の種々の設計値を示す。表中のシャント・インピーダンスはSuperFishによる理論値である。その値の80%を仮定した場合、定格の投入電力は加速セル当たり27kWとなる。全投入電力は、2台の5セルACS空洞とブリッジ空洞で300kWとなる。運転時の周波数同調については、3個の可動チューナーがブリッジ空洞の中央及び両端のセルに取付けられている。空洞の真空排気は、環状結合セル外周部にビーム軸と平行に8つの排気用長穴があり、両端に取付けた manifold を介し、2台のターボ分子ポンプにて行なわれる。ACS 型空洞及びブリッジ空洞に関する詳細は文献3~5を参照されたい。また、RF電力投入時における空洞の熱構造的な問題、及び熱変形による周波数変化を最小にするための冷却水路の設計については、文献6、7に詳細に記述されている。

図2に、ブリッジ空洞によって連結された2台のACS 型空洞のビーム軸上加速電場分布を示す。測定はビード摂動法で行なわれた。図中、エンドセルの

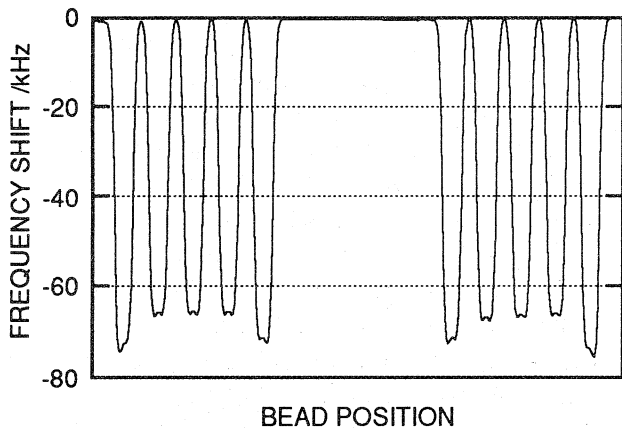


図2 軸上加速電場分布 (ビード測定による)

表2 $\pi/2$ 加速モードのパラメータ

	測定値	理論値
Q値	1.9×10^4	2.4×10^4
R/Q	201	205 Ω /セル
R (ZT^2)	42	54 M Ω /m

加速電場が中間セルのそれより5%程度高くなっている。その原因は、スロットの有無による周波数差を相殺するためにエンドセルのノーズコーン間のギャップ長が中間セルのそれに比べて約5%程度短いためである。

表2に、 $\pi/2$ 加速モードのRF特性についての測定値を示す。実際のシャント・インピーダンスは理論値の78%であった。その22%の劣化の内訳は、5%が空洞内壁表面の仕上具合によるもの、残りの17%がスロットによるものである。

高電力試験

図3に、コンクリート・シールド内に設置された高電力試験空洞を示す。RF電力は、写真手前側の導波管を通してブリッジ空洞の中央セルに投入される。また、ブリッジ空洞手前の導波管水平直線部の途中には、ベリリアのRF窓が取付けられ、空洞真空側部分と導波管中の加圧ガス(SF₆)側部分を分離している。

最初のRF conditioning は、パルス幅 200 μ s、繰り返し10Hzと、定格に比べて1/15のdutyで行なわれた。RFを入れていないときの空洞中の真空度は 1.5×10^{-7} Torrで、conditioningの進め方は真空度を 2×10^{-6} Torr以下に保つようにした。また、環状結

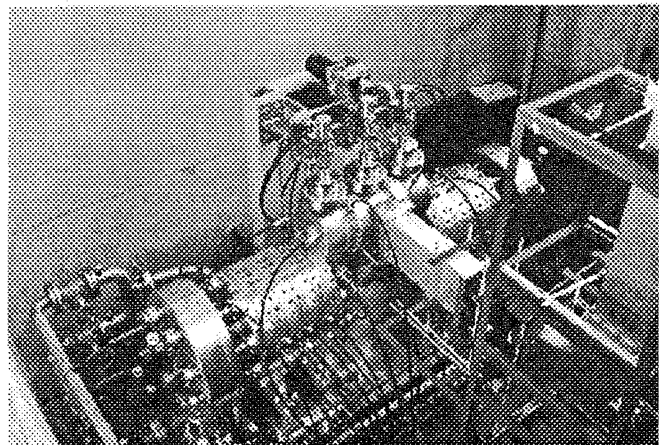


図3 ACS型高電力試験空洞

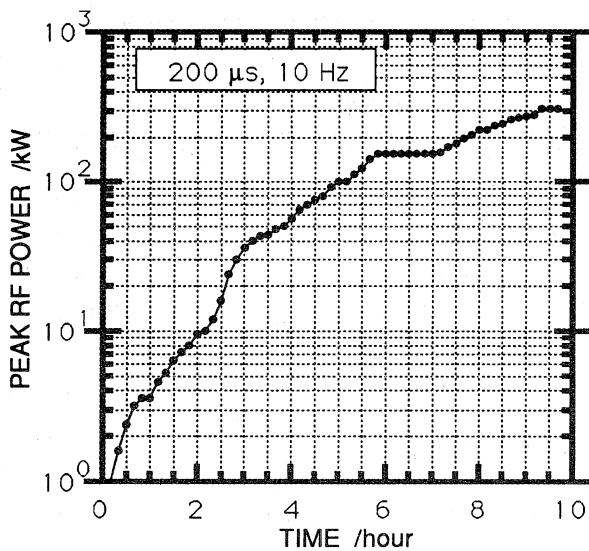
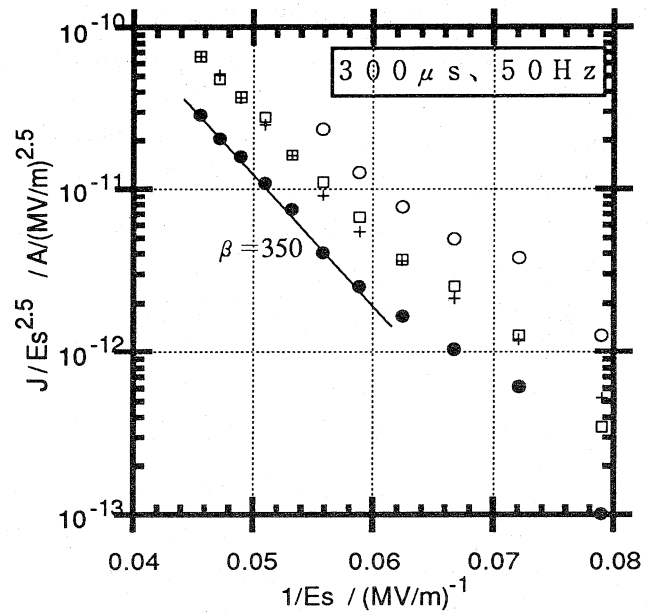


図4 最初のconditioningの履歴曲線

合セル内部やRF窓付近の様子を覗き窓に取付けた数台のテレビカメラを使って観察した。図4に、最初のconditioningの履歴を示す。履歴曲線において、入力170kWあたりで1時間半程conditioningが停滞しているが、その間RF窓において青白い放電が頻繁に観測された。それを除けば、順調に約10時間で定格の入力レベル300kWまでconditioningを完了した。環状空洞中の放電現象については全く観測されなかった。

低dutyでの高電力試験成功後、手持ちのレーバンド・クライストロン用電源のPFNで可能な最長のパルス幅300μs、繰り返しは定格の50Hzでの試験を行なった。第2回目の試験の進め方については、まず上記dutyで300kWまでconditioningを行ない、さらに500kWまでRF入力を上げて行き、続いて450kWでの18時間連続運転を行なった。最後に、パルス幅100μs、繰り返し10Hzにdutyを下げて、RF入力600kWで12時間の連続運転を行なった。

図5に、この試験中に測定した電界放出電流と加速セル内壁（ノーズコーン先端部）に於ける表面電界の関係（Fowler-Nordheimプロット）を示す。測定はビーム軸上に置いたファラデー・カップを使用して行なった。電界放出電流はconditioningを進めるにつれて減少する傾向にある。しかし、同じRF入力で長時間conditioningを行なうよりも、dutyを下げて高めのRF入力で行うほうが非常に効果的であることを、この図は示している。また、空洞内壁の表面状態に関する指標である電界増倍係数（Field Enhancement Factor） β は、600kW12時間運転後において約350であった。



- 300kW到達直後
 - 450kW運転6時間後
 - +
 - 600kW運転(100μs、10Hz)12時間後
- 縦軸のJは電流平均値、測定条件はすべてパルス幅300μs、繰り返し50Hz

図5 電界放出電流と空洞内壁表面電界の関係

まとめ

今回の高電力試験の結果、4スロットACS型空洞（スロット互い違い配置型）は、RF入力電力ピーク値において、パルス幅300μsで定格の1.5倍の450kW、100μsで2倍の600kWまで問題なく機能することが実証された。今後は、クライストロン電源のPFNを増強し定格パルス幅600μsでの高電力試験、さらにスロット同方向型ACS空洞の試験を進めていく予定である。

参考文献

1. T. Kageyama et al., Part. Accel. **32**, 33 (1990)
2. T. Kageyama et al., Proceedings of the 14th Linear Accelerator Meeting in Japan, 82 (1989)
3. T. Kageyama et al., Proceedings of the 1990 Linac Conference, LA-12004-C, 150 (1990)
4. Y. Morozumi et al., Proceedings of the 1990 Linac Conference, LA-12004-C, 153 (1990)
5. K. Yamasu et al., Proceedings of the 1990 Linac Conference, LA-12004-C, 126 (1990)
6. K. Yoshino et al., Proceedings of the 15th Linear Accelerator Meeting in Japan, 38 (1990)
7. K. Yoshino et al., 'Studies on water-cooling of an ACS high-power model', this meeting