

# Studies on water-cooling of an ACS high-power Model

Kazuo YOSHINO, Tatsuya KAGEYAMA,  
Yuichi MOROZUMI and Yoshishige YAMAZAKI

National Laboratory for High Energy Physics, KEK  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

## ABSTRACT

This report describes the heat-structure analysis of an Annular-Coupled Structure (ACS) cavity. This cavity has been developed for the high- $\beta$  coupled-cell accelerating structure of the JHP 1 GeV proton linac, and conditioned up to the rated RF input power. The numerical analysis using the computer code ISAS2 shows good agreement with results of the high-power experiment.

## ACS ハイパワーモデルの冷却に関する研究

### 1. はじめに

現在、KEKでは大型ハドロン計画(JHP)のR&Dを進めており、我々のグループでは、その入射器である1 GeV陽子リニアックの高 $\beta$ 加速空洞部の開発を進め、今回 $\pi/2$ モードCoupled-Cell型加速構造の一つとしてACS(Annular Coupled Structure)型加速空洞のハイパワーモデルを製作し高電力試験を行なった。ハイパワーモデルの冷却水路を決定するにあたっては、その問題点と種々の熱-構造解析結果から最適な構造を求めたことは、過去の本研究会において報告(参考文献[1])した。

従って本稿では、

- (1) ハイパワーモデルの熱-構造解析例
- (2) ハイパワーモデルの冷却に関する試験結果
- (3) 解析と実験結果との比較

等について報告する。

### 2. ハイパワーモデルの熱-構造解析例

#### 2.1 解析条件

モデルの解析は3次元構造解析プリプロセッサ・ポストプロセッサHICAD/FEM3・FEMP及び総合構造解析コードISAS2を使って行なった。

解析に際しては・流れは定常で線形・圧力降下は無視・物性値は一定(水の物性値は26.5°Cで、銅はOFC-CLASS1の値を使用)と仮定した。

発熱量	1 kW/セル
冷却水量	5 liter/min/セル
冷却水入口温度	25.0 °C
冷却水出口温度	28.0 °C
平均水温	26.5 °C

表1 冷却に関するパラメーター

#### 2.2 解析結果

##### 2次元軸対称5セルの熱伝達解析

軸対称に近似するため、近似水路図を設定し、熱伝達係数 $\alpha$ も近似値に換算<sup>[2]</sup>して解析した。その等温度線図を図1に示す。

解析によると最高温度は、加速セル中央部のノーズコーン先端部で約30.5°Cで、最低温度は27.3°Cであり温度差約3.2°C、変形量は、円周方向が加速セル中央部で4.2 $\mu$ m膨張し、ビーム軸方向は端

セルの加速セルディスク間で4.2  $\mu$ m開いた。

又、寸法変化による周波数のずれ $\Delta f$ をSUPERFISHで算出すると、加速セルで約80 kHz低くなった。

### 3次元単セルの熱伝達—構造解析

換算した $\alpha$ を利用した2次元解析の結果が正しいかどうか確認するために3次元解析を行なった。

計算機の容量の制約から解析はハーフセルのみで行なった。その等温度線図を図2に示す。

その結果、最低温度は27.2℃で最高温度は30.3℃であり温度差3.1℃となり、2次元解析の温度結果とほぼ同様であり、換算した $\alpha$ の計算値が正しかったことが確認できた。従ってハイパワーモデルの歪(周波数変化)については、2次元解析の結果が近いと考えられる。

又、寸法変化による周波数のずれ $\Delta f$ は、加速セルで約110 kHz低くなった。

## 3. ハイパワーモデルの冷却に関する試験結果

ハイパワーテストは、ACS5セルを1タンクとして、2タンクの間ブリッジキャビティが入る(図3)構成で行なった。発熱量はPEAK POWERで450 kW/11セル、パルス幅300  $\mu$ s、繰り返し50 ppsとなり、AVERAGE POWERに直すと610 W/セルとなる。冷却水はセル当たり6.7 L/minの純水を流した(図4)。RFピークパワーと冷却水出入り温度差の関係を図5に示す。その結果測定温度は、ほぼ計算結果に等しかった。

## 4. 試験結果と解析結果との比較

RFピークパワーと周波数変化の関係を比較するため、解析した加速セルの $\Delta f$ をハイパワーテストの条件に換算( $\Delta f \times$ 流量比 $\times$ 発熱比)すると

$$\Delta f(3次元) = -110 \times (5/6.7) \times (0.61/1) = -50 \text{ kHz}$$

$$\Delta f(2次元) = -80 \times (5/6.7) \times (0.61/1) = -36 \text{ kHz}$$

となり、この値と測定したデータを図6に示した。図から、予想したとおり、試験結果は2次元の熱解析結果とほぼ等しかった。3次元モデルの $\Delta f$ に関しては、ハーフセルで解析したため、片面が拘束をうけないで熱膨張した変形になり、ろう付けした2次元5セルのモデルより変形量が大きくなり、その $\Delta f$ も、やや大きくなっていると考えられる。

## 5. まとめ

今回のハイパワーテストの結果、周波数のずれが数十kHzにおさまっており、熱解析で求めた周波数変化とほぼ等しいデータが得られたので、冷却に関しては、十分にACSの実用化のめどが確認できた。

従って今後は、定格パルス幅600  $\mu$ s、繰り返し50 Hzでの高電力試験やスロット同方向型のACS空洞<sup>[3],[4]</sup>の試験を進めていく予定である。

## 参考文献

[1] K. Yoshino et al. ; " Study on Water Cooling of an Annular-Coupled Cavity for the JHP 1 GeV Proton Linac" , Proc. 15th Liner Accelerator Meeting in Japan (1990)

[2] JHP-14, KEK Internal 90-16

[3] T. Kageyama et al. ; " Development of a high power model of the Annular Coupled Structures" , Proc. 15th Liner Accelerator Meeting in Japan (1990)

[4] T. Kageyama et al. ; " Development of high power models of the Annular Coupled Structure" , Proc. this meeting

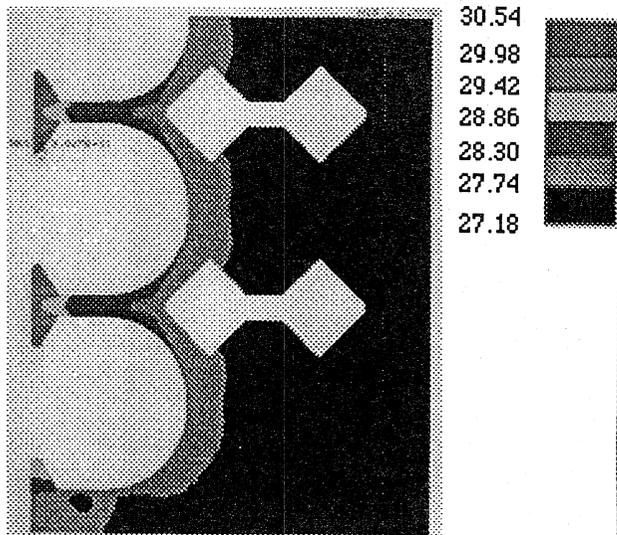


図1 2次元解析の等温度線図

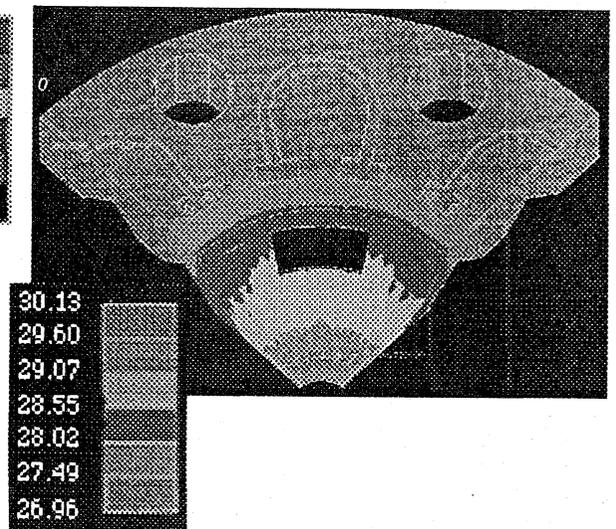


図2 3次元解析の等温度線図

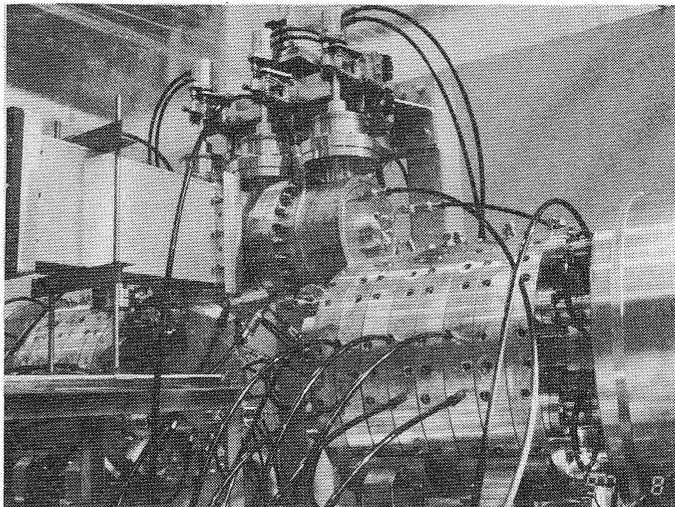
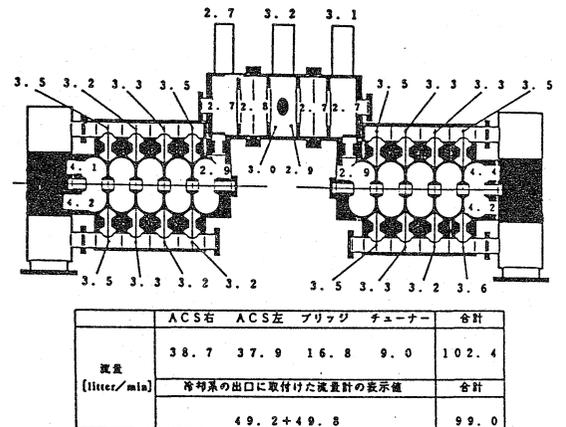


図3 ACSハイパワーテスト外観



実際に測定した各セルごとの流量値 [liter/min]

図4 セルごとの流量測定値

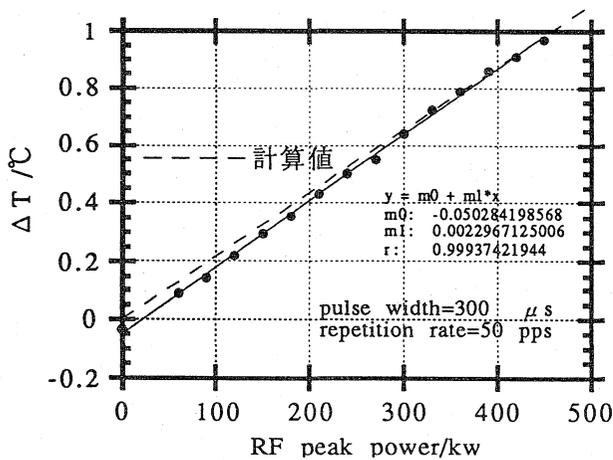


図5 RFピークパワーと冷却水出入り温度差の関係

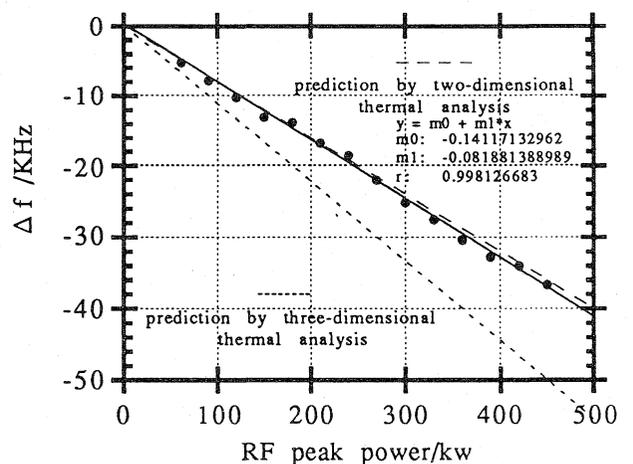


図6 RFピークパワーと周波数変化