

Study on Water Cooling of an Annular-Coupled Cavity for the JHP 1 GeV Proton Linac

Kazuo YOSHINO, Tatsuya KAGEYAMA,
Yuichi MOROZUMI, Yoshishige YAMAZAKI

National Laboratory for High Energy Physics, KEK

ABSTRACT

Study on water cooling of an annular-coupled cavity has been made. The cavity has been developed for the high- β coupled-cell structure of the JHP (Japanese Hadron Project) 1 GeV proton linac. This note shows the recent results of Heat analysis on a Annular-Coupled Structure, including numerical calculations with the I S A S codes (a three dimensional solution program).

1. はじめに

大型ハドロン計画 (JHP) の入射器として, 1 GeV 陽子リニアックを想定しており, その最終段である high- β 加速空洞 (Coupled-Cell Linac) の候補として Alternating Periodic Structure (APS), Side-Coupled Structure (SCS), Annular-Coupled Structure (ACS) 型加速空洞等があるが, その中で加速効率 (シャントインピーダンス) が高く, かつ軸対称な構造である ACS 型空洞が有望であることが最近知られてきた。

そこで JHP では, ACS 実用化に向けて精力的に研究開発を行なっているが, RF 電力を入れるハイパワーモデルの冷却についても, 具体的に設計を進める必要が出てきた。

そこで本稿では,

- (1) ACS の冷却法
- (2) 構造解析コード (I S A S) による熱解析例
- (3) 熱変形による周波数変化

について報告する。

1. ACS の冷却法

図1に現在設計が進められている ACS の断面図を示す。 ACS 型空洞の冷却を考える場合, 冷却水路をどのように取るかが問題になる。 空洞の場合, まずディスクの温度上昇, 特にノーズコーン部の温度上昇が著しい事が予想されるが, その部分に冷却路を設けるのは問題点が多く, 銅の熱伝導度の良さを考慮すると空洞の外周付近に水路を設けても問題はないと思う。そこで水路を空洞内部でビーム軸に平行にとった場合, 水路と真空の間にはろう付け部が製作上存在するため, その間にリークが生じる可能性を残してしまう。 水路を外周に取り付けた場合はその心配はなくなるが, 空洞と水路が一体型で製作できない上, 取り付け方によっては熱伝達係数が減少し冷却効果が小さくなる。 従って双方とも一長一短があるが, ACS の特徴である, 加速空洞と結合空洞および真空路の一体型成形が可能であるという点を鑑み, 空洞内部でビーム軸に平行に冷却水路を設けることにし, 上述の問題に対しては, 水路を真空路とできるだけ離して通して真空洩れの可能性を押えることにした。

2. 構造解析コード (ISAS) による熱解析例

ACS型加速空洞($\beta=0.8$)の加速セル内壁でのRF壁面損失の発熱による温度分布・変形を3次元構造解析コードISAS II(Integrated Structure Analysis System II)を使って計算した。

はじめにACS5セル(1TANK)の2次元軸対称モデル(図2)を、外周表面温度を30℃と設定して熱伝導のみで解析した。材質はOFC-CLASS1としたが、軸対称で近似するためカップリングスロット部及びVacuum Pipe部の熱伝導率 λ 、及び縦弾性係数Eを断面積比に修正した。その結果ディスクの温度上昇、特にノーズコーン部の温度上昇が著しく、先端部で最高温度65℃で、円周方向の最大変位は41 μm であった。

熱応力による変形を図3に示す。

次にハーフセルの3次元SOLIDモデル(図4)を熱伝達係数 α を考慮して解析した。その境界条件を表1に示す。 α を計算する場合、まず水の流速が0.8乗で効いてくるのでなるべく高くしたいが、流量が一定の場合、水路径を大きく取るには流速は低くなり、又銅の場合、侵食作用も無視できないので低く押える必要がある。さらに α を上げるには乱流でなければならないのでレイノルズ数 Re をある程度確保する必要がある。

冷却水量	5 L/min/tk
冷却水入口温度	25 °C
冷却水出口温度	28 °C
平均水温	26.5 °C
水の粘性係数 μ	0.8×10^{-3} Pa·S
水の動粘性係数 ν	$0.9 \text{ m}^2/\text{s}$
プラントル数Pr	5.93

表 1

以上の条件を考慮に入れ α を計算していくと、水路径 $d=10\text{mm}$ にした場合、流速 $V=0.66 \text{ m/s}$ 従って $Re=V \cdot d / \nu=14700$ 又ヌセルト数 Nu はDittus-Boelterの実験式

$$Nu=0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \text{ より}$$

$$\alpha=Nu \cdot \lambda / d=3060 \text{ [Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C]}$$

上記のパラメーターより解析すると最低温度は冷却路表面で33℃、最高温度はノーズコーン先端部で68℃であり、円周方向の最大変位は47 μm であった。これらは2次元軸対称モデルと同じ25℃の温度上昇であり、変形量もほぼ等しいと言える。従って熱変形による周波数変化は、ACS5セル2次元軸対称モデルについて調べることにする。

3. 熱変形による周波数変化

図3より寸法変化を算出し、SUPERFISHで周波数変化を調べた。その結果を表2に示す。それによると加速セルの周波数は、ほぼ500KHz下がるが、寸法変化の多いエンドセルでは更に下がっている。結合セルでは逆に上昇しているが周波数変化は少ない。

以上の結果から、熱変形による周波数変化を考慮に入れ、さらに解析を進め実機製作にフィードバックしていく予定である。

	周波数変化(MHz)
加速セル(中側)	-0.5
加速セル(次)	-0.5
加速セル(イント)	-0.55
結合セル(中側)	0.1
結合セル(イント)	0.25

表 2

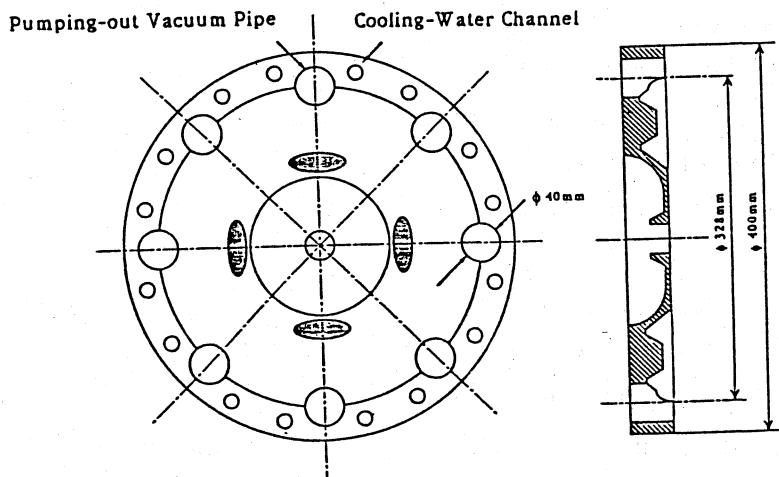


図1 ACS空洞 断面図

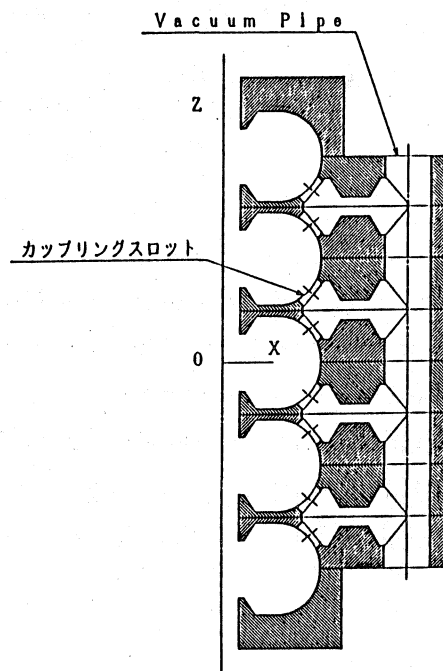


図2 ACS5セル空洞

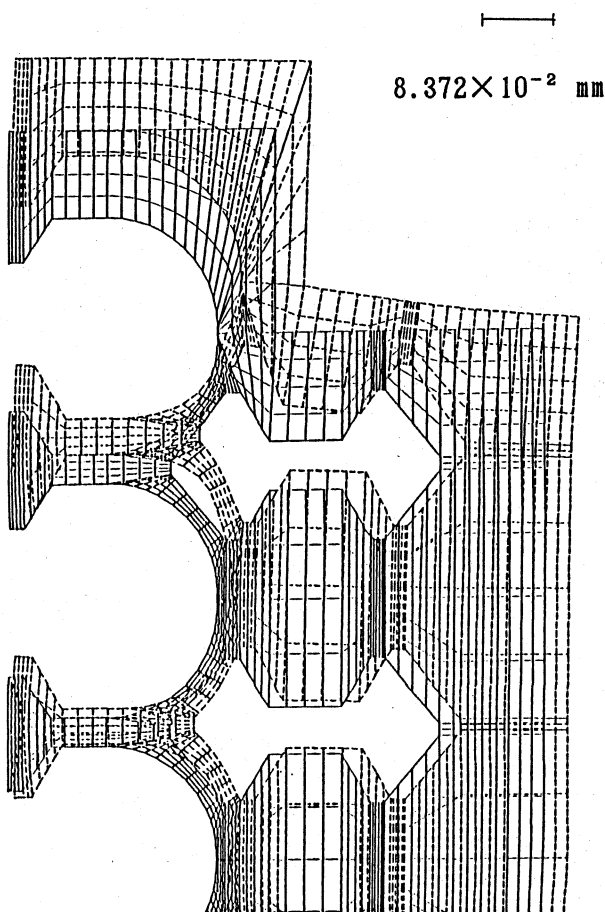


図3 2次元軸対称モデル変形図

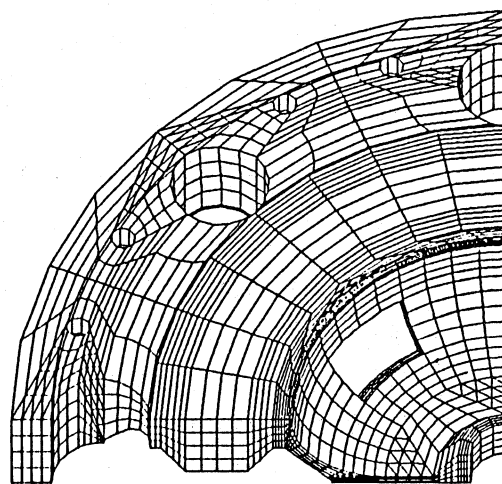


図4 3次元ソリッドモデル

References

- 1) JHP-10, KEK Internal 88-8
- 2) T.Kagayama et al.; "Design Study of Coupled Cell Linear Accelerator Structures for the JHF 1 GeV Proton Linac", Proc. 13th Liner Accelerator Meeting in Japan (1988)