

Simulation of parallel cooling-channels for the JHP RFQ

Kazuo YOSHINO, Akira UENO and Yoshishige YAMAZAKI

National Laboratory for High Energy Physics, KEK

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

A radio-frequency quadrupole (RFQ) linac is being developed as the preinjector of a 1-GeV proton linac for the Japanese Hadron Project (JHP). In order to achieve the high accuracies of the inter-vane distances necessary for the good accelerating field distribution, the cavity is installed in vacuum chamber avoiding the thermal stress due to welding or brazing. The main water cooling system of this cavity are consisted of four channels and each channel of them are consisted of parallel four branches. The parallel system were adopted in order to make the manufacturing easier and to avoid the vacuum leak. Since each flow rate of the parallel branches cannot be measured in the RFQ, the test stands of the cooling channels were fabricated and tested. It is shown by the measurements that the flow rate can be adjusted within an error of $\pm 12\%$ by use of the supersonic flowmeter.

JHP RFQの並列水路流量測定用模擬実験

1. はじめに

我々は、大強度陽子線形加速器 (JHP 1 GeV proton linac) の初段加速器を用いる目的で、高周波四極加速空洞(RFQ)の開発を行っている。

本空洞の主冷却水路として、ヴェイン当り2本の水路をビーム軸と平行に設置することにした(図1)。しかし、軸方向長さが2.7mあり、高周波電力のデューティーも高いため、軸方向での水温上昇が大きく、それより生じる共振周波数の変化量も大きくなること熱解析の結果わかった^[1]。共振周波数の変化量を小さくするため、各水路を軸方向に2分割し、冷却水量を2倍に増加させることにした。このため、空洞への冷却水管の総出入り数は32本になる。しかし、本RFQの構造として、溶接やロー付け時に生じる熱歪みや焼きなまし効果によって、ヴェイン間距離等の工作精度が悪化することを避けるため、これらの方法は用いず、ボルト締めした空洞を真空容器に設置することにした。従って、多数の冷却水配管を真空容器外に取り出すことになり、真空シールの信頼性や加工時間、コストの増大等の問題がある。そこで、空洞から出入りする同径の水路パイプ4本を真空容器内で1本に分岐・合流構造(図2)にして、真空容器への水路パイプの総出入り数を8本に減らすことにした。

このように複雑な水路構造のため、分岐した後の水路の流量を真空容器内で測定・調整することは困難である。従って実機では分岐前の流量のみを測定することになり、真空容器外からは流量比を調整す

ることができない。

そこで、RFQ実機の水路部分を模擬した装置(テストスタンド)を製作し、全水路の流量と分岐後の各水路の流量値を計測した。そのデータを実機の水路に適用して流量比を一定に調整出来るかどうか検討する。

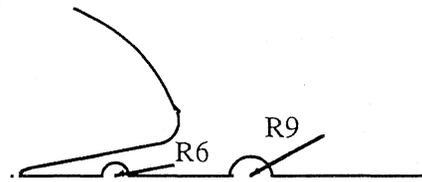


図1. JHP RFQ主冷却水路

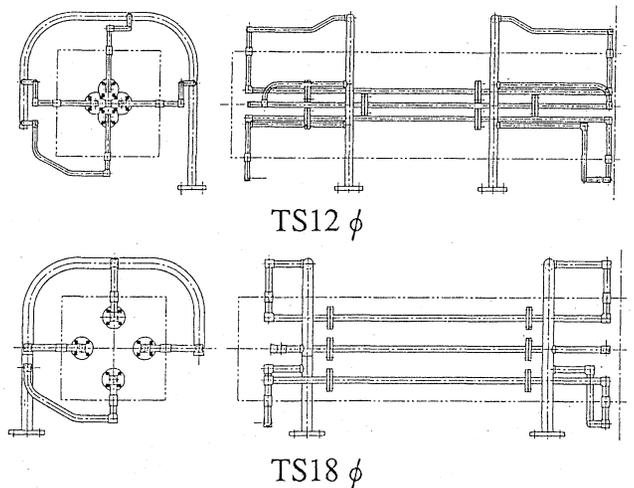


図2 テストスタンド12φ、18φ

2. テストスタンド

2.1 実験条件

テストスタンド(TS)は、空洞(ヴェイン)内水路を

銅パイプで置き換え、空洞外水路配管は実機と同じ形状で製作し、ヴェイン内水路径が12φ(TS12φ)と18φ(TS18φ)の異なる2タイプを用意した。材質も実機と同じ銅パイプを使用した。

流量測定に関しては、全流量を計る場合はヴェイン内水路を銅パイプの直管に置き換えて(図2)、水路出口にタービフローメーター(TM)を取付けて測定する。分岐後のTS各水路の流量は、ヴェイン内各水路の直管部分にTMを取付けて測定できるようにし、更に、実機における分岐後のヴェイン各水路の流量の傾向を把握する為に、伝播時間差法を利用した超音波流量計(SM)を使って、実機測定箇所と同位置に取付けて測定した。

又、実機の真空容器内で分岐後の各水路には流量調整バルブを取付けるので、テストスタンドにも同じ場所に取付けて、各水路測定後の流量調整のバルブシフト値を測定する。

2.2 テストスタンド実験結果

2.2.1 ヴェイン内水路径18φのTS測定結果

始めに、ヴェイン内パイプ部分にTMを取付けた状態にして、流量調整弁を調整する前の、各ヴェイン内水路の流量分布を測定した。その結果、各ヴェイン間で+2~-2%の流量の差が生じた。これは真空容器内の水路がTUNER PORTやPISLの出入り口等を避けるため複雑に分岐、配管していて、その為に各水路の長さや形状が違い、損失抵抗に多少ずれが生じたためである。従って流量調整弁にてその流量差が少なくなくなるようTMで調整した後、超音波流量計を使って以降の測定を行った。図3は各ヴェイン内パイプ部分にTMとSMのセンサーを取付けた状態で測定した結果で、各パイプごとに3又は4回計測して、プロットした。同一ヴェインでの計測では同程度の傾きだが、各ヴェイン間ではSMの価はTMに比べ傾きが0.89~0.93程度の範囲でばらついている。これはSMの自身の精度が読み取り値の1~3%あり、それに測定誤差も加わっていると思われるが、各ヴェイン間のばらつきはSMのセンサーの取付け場所の流れの状態が各パイプごとに違うためこのような差が生じると思われる。次に、実際に実機へSMの価を適用できるかどうか確認するため、各ヴェイン内パイプ部分にTMを取付け、SMのセンサーを実機で計測予定の箇所に取付けて測定した(図4)。この場合、同一ヴェインおよび、各ヴェイン間ではSMの価はTMに比べ傾きが0.83~1.04程度の範囲でかなりばらついている。これは、センサー取

付け場所が前後に曲がり等があつて、計測に必要な直線部分の長さが十分ではないため、流れの状態がかなり乱れていると思われる。更に、タービン自体の損失も無視できないので、各ヴェイン内パイプのTMは取り外し(出口の総流量を計るTSのみ残し)、SMのセンサーのみ取付けて測定した(図5)。この場合センサー取付け場所に直線部分の長さが十分あるのでばらつきは少なく、各ヴェイン間ではSMの価はTMに比べ、傾きが0.89~0.93程度の範囲なので、図3の測定と同じ傾向となっている。このように多少のばらつきはあるもの、タービンを取り外した影響は少なく、直線部分の長さが十分である場合はSMの再現性はあることが確認できた。

2.2.2 ヴェイン内水路径12φの測定結果

TS18φと同様に、ヴェイン内パイプ部分にTMを取付けた状態にして、流量調整弁を調整する前の各ヴェイン内水路の流量分布を測定した。

その結果、各ヴェイン間で+1.3~-7%の流量の差が生じた。その後、流量調整弁にてその流量差が少なくなくなるようTMで調整した後、超音波流量計を使って以降の測定を行った。TS18φにおいて、センサー取付け場所の直線部分の長さが十分ある場合、ばらつきは少ないことがわかったので、TS12φでは実機へSMの価を適用できるかどうか確認するため、各ヴェイン内パイプ部分にTMを取付け、SMのセンサーを実機で計測予定の箇所に取付けて測定した(図6)。この場合、同一ヴェインおよび、各ヴェイン間ではSMの価はTMに比べ、傾きが0.89~0.95程度の範囲で収まっている。これは、TS18φと同じくセンサー取付け場所の前後に曲がりがあるものの、計測に必要な直線部分の長さがTS18φより多少長い為、傾きのばらつきも少なめに出ていると思われる。

3. 考察及びまとめ

超音波流量計は、センサー取付け場所の直線部分の長さが十分ある場合は、ばらつきは少ないことがわかったが、TS18φでは実機のセンサー取付け場所が十分な直線部分がないため、図4の傾きを補正しても、ばらつきが±12%程度になる。しかし、調整前流量差が+2~-2%程度と少なく、本RFQでは流速2m/sで軸方向水路長1.35mにおける共振周波数の変化量が80KHz程度²⁾なので、10%以内の流量変化では超音波流量計を用いなくてもよい。TS12φでは実機のセンサー取付け場所の直線部分が多少長く、調整前流量差が+1.3~-7%であり、図6の傾き

を補正後は、SMのばらつきは±3%程度に収まる為、超音波流量計による流量補正は有効であると思われる。

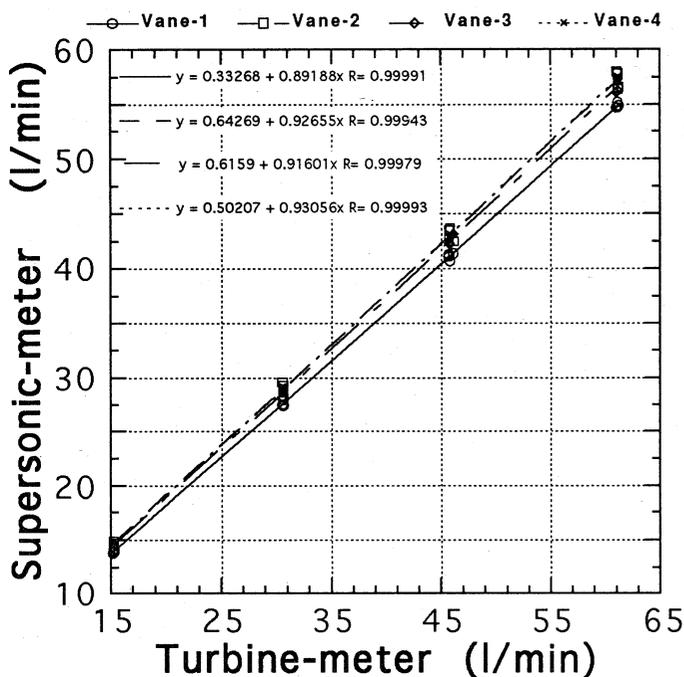


図3 各ヴェイン内パイプにTMとSMのセンサーを取付けて測定した結果(TS18φ)

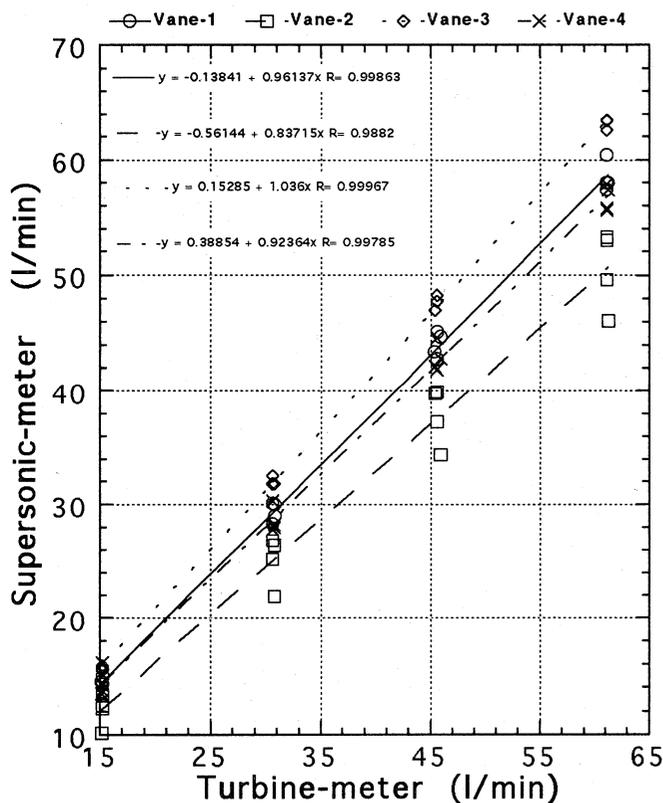


図4 各ヴェイン内パイプにTMを取付け、実機で計測予定の箇所にSMを取付けて測定(TS18φ)

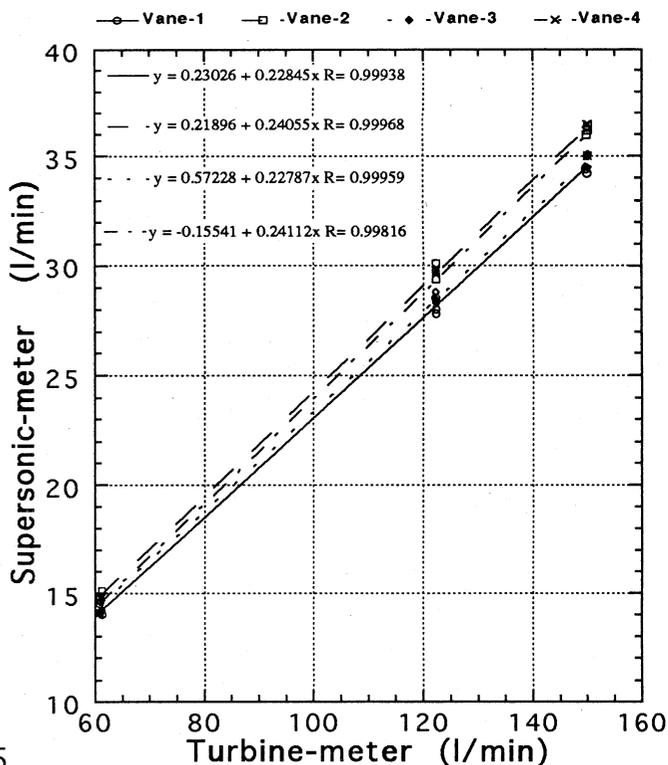


図5 各ヴェイン内パイプにTMは取り外し、SMのセンサーのみ取付けて測定(TS18φ)

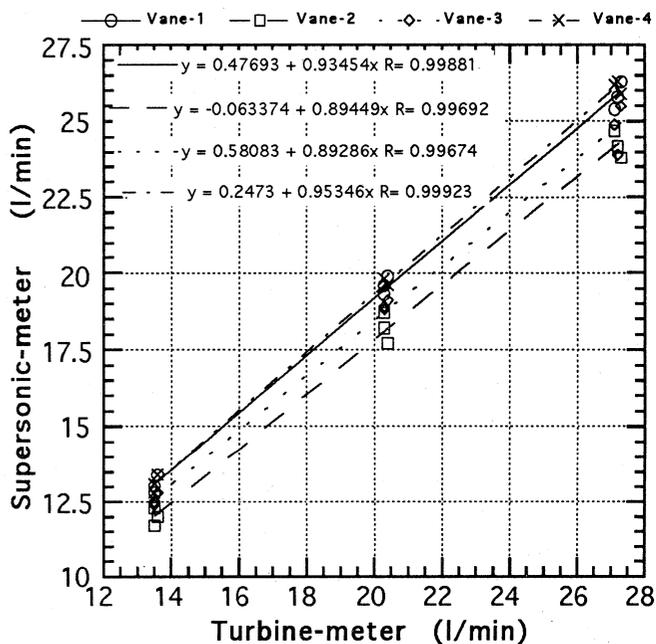


図6 各ヴェイン内パイプにTMとSMのセンサーを取付けて測定した結果(TS12φ)

参考文献

- 1) K.Yoshino et al., Proceedings of the 16th Liner Accelerator Meeting in Japan, 239 (1991)
- 2) K.Yoshino et al., Proceedings of the 8th Symposium Accelerator Science and Technology in Japan, 199 (1991)