

PRESENT STATUS OF THE DEVELOPMENT FOR THE SUPERCONDUCTING PROTON LINAC IN JAERI

Ito N., Mukugi K.* , Hasegawa K., Kusano J., Mizumoto M., Noguchi S.** and Saito K.**

Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

ABSTRACT

R&D work of a superconducting linac for the high intensity proton accelerator in JAERI has begun in collaboration with KEK. The RF field calculation and the structural analysis have been made for the cavity design in the proton energy range of 100 to 1500 MeV. A test stand with a cryostat, a clean room and a water rinsing system has been constructed for the vertical tests of the 600 MHz cavity. We present the preliminary cavity design and the overview of the vertical test stand.

原研における超伝導陽子リニアック開発の現状

1. はじめに

原研では、中性子散乱、消滅処理、中性子核物理、中性子照射等の研究を行うために、中性子科学研究計画を提案している[1]。そのためには平均電流 10mA、加速エネルギー1GeV クラスの大強度陽子加速器の開発が必要となる。特に、100MeV 以上の高エネルギー部ではビームロスの低減、建設/運転コストの低減、稼働率/信頼性の向上、加速器長の抑制等の課題を解決する必要がある。これらの課題を解決するものとして、超伝導加速構造を高エネルギー加速部の第1のオプションとした。しかしながら、超伝導陽子加速器の実績は未だないため、その技術的課題を検討するために、エネルギー100～1500MeV 領域の 600MHz 超伝導陽子リニアックの研究開発を KEK と共同で開始した。

上記エネルギー領域における超伝導陽子加速器は、 β が1より小さい(0.43～0.92)ため、電子加速器[2]と比較して空洞形状が扁平となる。よって空洞形状パラメータを決定するためには、RF 特性や機械的強度を検討する必要がある。本報告では、これらの検討結果及び予備的に決定した形状パラメータ原案を示す。また、現在準備を進めている縦測定用テストスタンドの概要についても示す。

2. RF 特性の検討

超伝導加速空洞の形状は、電子加速器と同じ楕円形状とした。セルの RF 特性を検討するために、ハーフセル形状の電磁場計算を SUPERFISH コードを

用いて計算し、シャントインピーダンス(ZT^2)、最大表面電場と加速電場の比(E_p/E_{acc})、最大表面磁場と加速電場の比(H_p/E_{acc})を導出した。図1にハーフセルの断面形状パラメータを示す。種々のパラメータにおいて電磁場計算を行い以下の結果を得た。

同一の $\beta (=4L/\lambda)$ で比較すると、

- (1) アイリス半径(a)が小さいほど ZT^2 は向上し、 E_p/E_{acc} が低下する。
- (2) 直線部角度(α)が小さいほど ZT^2 は向上するが、 E_p/E_{acc} はあまり変化しない。
- (3) 楕円部短長径(R_1, R_2)が小さいほど ZT^2 は向上し、 E_p/E_{acc} も増加する。

異なる β で比較すると、

- (4) ZT^2 は β が小さくなると極端に小さくなる。
($\beta=0.43$ では $\beta=0.92$ の値の 1/5～1/10 となる)
- (5) E_p/E_{acc} は β が小さくなると大きくなる。
($\beta=0.43$ で 4～6、 $\beta=0.92$ で 1.5～3.5)
- (6) H_p/E_{acc} も β が小さくなると大きくなるが、その値はあまり大きくない。
($\beta=0.43$ で 70～130 Oe/(MV/m)、 $\beta=0.92$ で 35～50 Oe/(MV/m))

以上のことから、良好な RF 特性を得るためには a 及び α を小さくすることが有効であるが、 β が小さくなるほど良好な性能を得ることが困難になる。

3. 機械的強度の検討

超伝導空洞はニオブ板を成形、溶接することにより製作されるが、扁平な空洞の機械的強度を検討するために、 $\beta=0.5, 0.7, 1.0$ での種々の形状パラメータにおいて、空洞を真空にした場合の最大ミーゼス応力を ABAQUS コードを用いて評価した。空洞の肉厚は 3mm とし、アイリス部を拘束した場合とフ

* Mitsubishi Electric Corp.

** National Laboratory for High Energy Physics

リーの条件の2ケースについて計算を行った。その結果を以下にまとめる。

(1)直線部角度(α)依存性

アイリスフリーの場合には、 α を増加させると最大ミーゼス応力は大きく減少するが、 $10\sim 20^\circ$ でほぼ一定となり 0° の場合の $1/3$ 程度になる。

アイリス拘束の場合には、最大ミーゼス応力の α 依存性は小さい。

(2)楕円部短長径($R1$, $R2$)依存性

$R1$, $R2$ を変化させると、最大ミーゼス応力は $20\sim 30\%$ 程度変化する。

(3)アイリス半径(a)依存性

a を変化させても最大ミーゼス応力はあまり変化しない。

(4) β 依存性

β が小さいほど最大ミーゼス応力は増加する。アイリスフリーの条件では $\beta=0.5$ で $80\sim 190\text{MPa}$ 、 $\beta=1.0$ で $20\sim 85\text{MPa}$ 、アイリス拘束では $\beta=0.5$ で $40\sim 65\text{MPa}$ 、 $\beta=1.0$ で $14\sim 26\text{MPa}$ となった。

以上より、機械的強度は形状パラメータによって複雑に変化するものの、 α を大きくした方が有効であるといえる。また、アイリスをフリーにするよりも拘束した方が応力が減少する。いずれにしても、RF特性と同様に β が小さいほど状況が厳しくなる。

また、空洞製作に使用するニオブ材の耐力はRRRや加工履歴、熱処理等により変化するために、今後その評価が重要となるが、 700°C 前後の熱処理後のニオブ材耐力は $70\sim 90\text{MPa}$ 程度と推定される。よって、空洞に十分な強度を与えるためには $\beta < 0.6\sim 0.7$ の領域で補強構造を施すか、肉厚を増加させる必要があると考えられる。

4. 形状パラメータ原案の決定

すでに述べたように、 β が小さくなるほどRF特性及び強度の条件が厳しくなる。さらに空洞の表面処理が十分に行われる形状でなければ、そのRF性能を十分に発揮することはできない。表面処理手法は化学研磨(CP)と電解研磨(EP)に大別されるが、(1)空洞が比較的大型であること、(2)研磨速度の制御が容易であること、(3)TRISTANの実績があることから、EPを選択し、さらにバレル研磨[3]等の機械研磨を組み合わせた表面処理の適用を現在検討している。

形状パラメータ原案を決定するにあたり、表面処理の容易さに重点を置いて、TRISTAN空洞形状のスケーリングからアイリス半径 a を 7.5cm と設定した。形状パラメータ原案、RF特性、強度の検討結果を表1に示す。 β が小さくなるにつれ、RF特性及び強度

の条件が厳しくなることがわかる。

5. 縦測定用テストスタンド

600MHz空洞の性能を試験するためのテストスタンドの整備を、東海研究所内で現在進めている。テストスタンドは、試験用クライオスタット、空洞組立用クリーンルーム、空洞洗浄用超純水製造装置及び高圧水洗浄装置、計測システムで構成される。その概略を図2に示す。

テストスタンドのLHe槽は、内径 80cm 、深さ 3.5m のFRP製容器で、4連空洞までの測定が可能である。LHe槽を 30000 l/min の真空ポンプで排気することにより 2K 程度まで冷却することができる。また、LHe槽はパーマロイで磁気遮蔽を行っており、室温で磁場測定を行った結果、空洞取付位置で $3\sim 15\text{mG}$ と良好な結果であった。

クリーンルームはクラス10、100、10000のエリアに分かれており、空洞開封作業はクラス10エリアで行われる。パーティクルカウンタで測定した結果、無人状態のクラス10、100エリアでは $0.5\ \mu\text{m}$ 以上の粉塵は検出されなかった。

超純水製造装置は、 90 l/h の製造能力を有し、単セル空洞洗浄を約1時間継続することが可能である。また、高圧水洗浄装置は 85kgf/cm^2 の高圧ポンプ、 $0.1\ \mu\text{m}$ フィルタ及び空洞駆動装置により構成される。空洞駆動装置はクリーンルームクラス100エリアに設置されており、空洞の洗浄、組立、真空排気の一連の作業はクリーンルーム内で行われる。

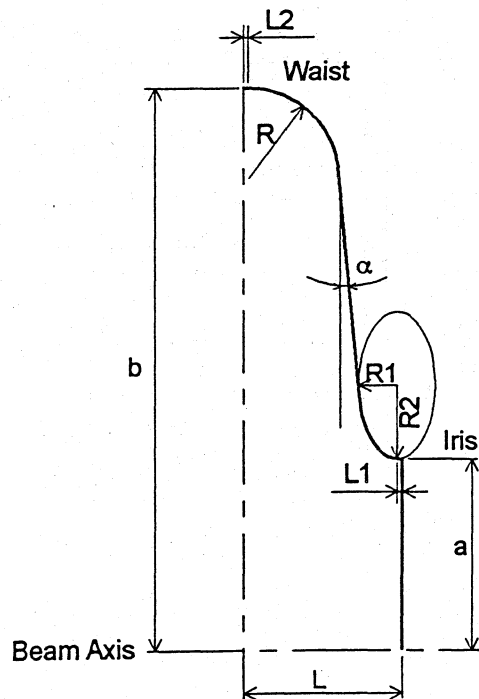


図1 超伝導空洞形状パラメータ

6. まとめと今後の予定

$\beta=0.43\sim 0.92$ の超伝導陽子加速空洞の形状パラメータの検討を行い、形状原案を決定したが、 β が小さくなるに従い状況が厳しくなることが示された。また、テストスタンドの整備はほぼ終了しており、今後その性能試験を順次行っていく予定である。

現在、形状原案をもとに $\beta=0.5$ 単セル空洞を製作しており、今年中に第1回目の縦測定を行う予定である。今後、種々の空洞形状で試験を行い、その結果から空洞形状の最適化を行っていく計画である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、KEKの加古永治氏、小野正明氏、山崎良成氏、井上均氏及び野村鍍金の

樋口玉緒氏には多大なる御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] M. Mizumoto et al, "Development of a High Intensity Proton Accelerator", Proc. of 2nd Int. ADTT Conf., 2-7 June 1996, Kalmar, Sweden
- [2] E. Kako et al, "Activities of High Gradient SC Cavities at KEK", Proc. of the 7th Workshop on RF Superconductivity, 17-20 October 1995, CEA-Saclay, France
- [3] T. Higuchi et al, "Application of Barrel Polishing to Niobium Superconducting Cavities", Proc of the 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, p179, 1995

表1 形状パラメータ原案とRF特性、強度検討結果 ($L_1=L_2=0.2\text{cm}$)

β	E (MeV)	a (cm)	b (cm)	R (cm)	R1×R2 (cm)	L (cm)	ZT^{2*} (M Ω/m)	ZT^2/Q (M Ω/m)	E_p/E_{acc}	H_p/E_{acc} (G(MV/m))	最大ミーズス応力(MPa)	
											アイリスフリー	アイリス拘束
0.43	100	7.5	22.98	2.57	1.5×3	5.37	1.42	75.5	5.92	117.2	127.6	54.8
0.5	145	7.5	22.58	3.56	1.5×3	6.25	2.96	127.7	4.80	86.5	110.7	44.7
0.6	235	7.5	22.28	4.96	1.5×3	7.49	5.98	208.7	3.87	64.9	91.1	35.7
0.7	376	7.5	22.63	5.08	2×3	8.74	8.46	274.6	2.95	57.8	55.6	26.5
0.8	626	7.5	22.44	6.18	2.5×5	9.99	11.91	345.5	2.40	50.8	47.5	22.7
0.875	1000	7.5	22.31	7.33	2.5×5	10.93	14.93	394.7	2.24	46.0	40.3	20.0
0.92	1500	7.5	22.31	7.58	3×6	11.49	16.20	419.2	2.01	45.0	38.9	18.9

*銅の電気伝導率で計算

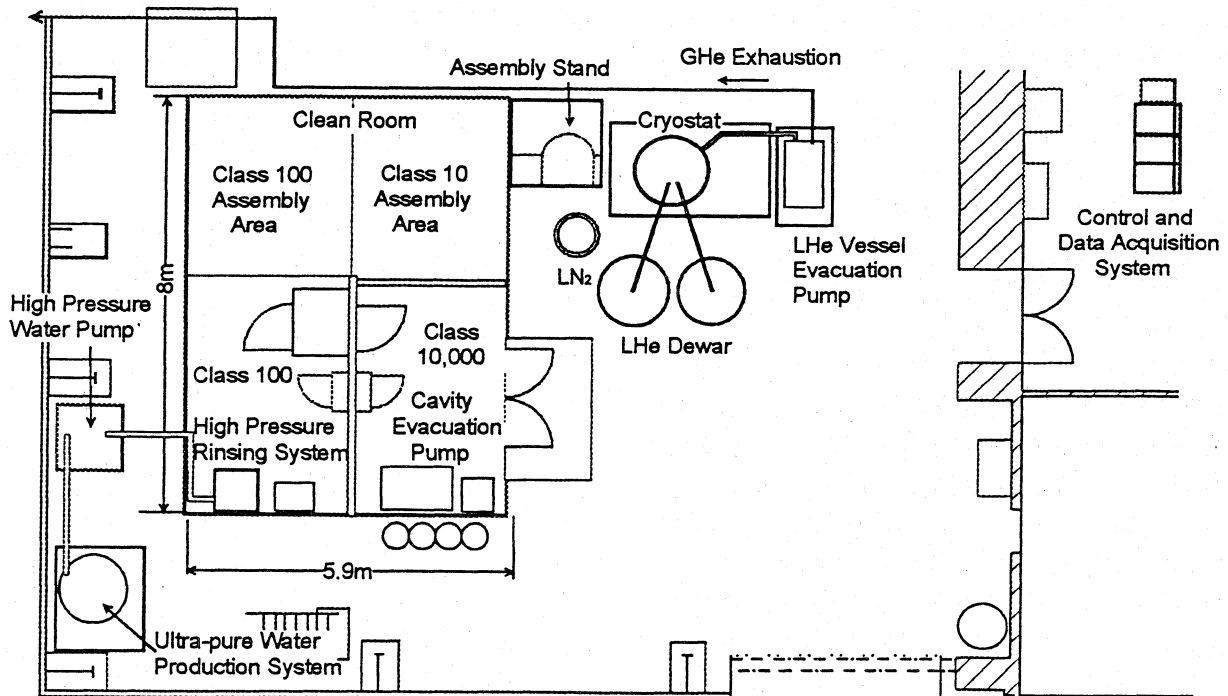


図2 縦測定用テストスタンド概略図