

[P7-46]

DESIGN OF THE INPUT COUPLER FOR SUPERCONDUCTING PROTON ACCELERATOR AT JAERI

K. Sennyu, M. Matsuoka, K. Okubo, T. Yamanaka
N. Ouchi*, M. Mizumoto* and S. Noguchi**

Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Kobe Shipyard & Machinery Works
1-1, Wadasaki-cho 1-chome, Hyogo-ku, Kobe-shi, Hyogo-ken 652-8585 Japan

*Japan Atomic Energy Research Institute

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan

**High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305-0801, Japan

Abstract

JAERI has proposed the Neutron Science Project with the superconducting proton accelerator. We have calculated the coupling of the input coupler for the superconducting cavity by using "MAFIA" code.

原研超伝導陽子加速器用入力カプラの設計

1. はじめに

原研が開発を進めている中性子科学研究計画用大強度陽子加速器には超伝導加速空洞を適用することが計画されており、その実現に向けて様々な R&D が行われている。これまでに、単セル及びマルチセル空洞の試作・試験が行われ、空洞単体として良好な性能が実証されてきており、次のステップとして、超伝導加速空洞クワイエシヨルとしての性能達成が要求されている。そこで、超伝導加速空洞と共に、周辺装置の開発が進められており、その1つとして入力カプラの設計検討が行われている。ここでは、共振周波数 $f_0=600\text{MHz}$ 、光速に対する荷電粒子速度比 $\beta=0.604$ の超伝導加速空洞用入力カプラの結合度に関する設計を電磁場解析コード (MAFIA) を用いて行ったので、以下にその内容を報告する。

2. 基本仕様

設計する上で用いた超伝導加速空洞及び入力カプラに関する基本仕様を表1に示す。(1)(2)

表1. 基本仕様

共振周波数 $f_0(\text{MHz})$		600	
β		0.604	
半セル長 $L(\text{cm})$		7.54	
ビームパイプ直径 (cm)		15.0	
シャントインピーダンス $R/Q(\Omega)$		154.3	
加速電圧 $V(\text{MV})$		3.59	
投入パワー $P_c(\text{kW})$	CW		16.5
	パルス	平均値	10.4
		ピーク値	56.0
入力カプラの Q値 Q_{in}	CW		5.1×10^6
	パルス		1.5×10^6
最大入力カプラ突出し量 (mm)		20	

3. 解析手法⁽³⁾⁽⁴⁾

空洞のみかけの Q 値を Q_L とし、空洞の Q 値を Q_0 、インポートの Q 値を Q_{in} とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_{in}}$$

Mafia の解析コード上では、空洞は完全導体として取り扱われるので、 $Q_0 \rightarrow \infty$ より、

$$Q_L = Q_{in}$$

となり、また、共振周波数 f_0 の空洞内に蓄積された電磁波電力の減衰率 τ から、 Q_L は以下の様に表される。

$$Q_L = 2\pi f_0 \tau$$

従って、 τ を求めることにより、 Q_{in} が求められる。ここで、実際の空洞は 5 切れであり、解析モデルは 1/4 切れ形状の 1/4 モデルであるため、解析で得られた値を 20 倍することで、5 切れ空洞の Q_{in} を求めることができる。

4. 解析モデル

図 2 に KEK TRISTAN、KEKB で実績のあるポート形状を有する解析モデルを示す。このモデルは 120D の規格管から外導体を $\phi 100$ に絞っている。また、図 3 に 77D の規格管で結合するモデルを示す。ここで境界は完全導体とし、ポートの部分は完全整合面として定義する。

5. 解析

解析は図 2、3 のモデルで固有値解析を行い、モデルの共振周波数 f_0 を計算し、その共振周波数 f_0 を用いて入力パルス (Sinus modulated gaussian pulse) を設定し、図 4 に示す様に解析モデルの空洞中心に入力パルスの波形の電気双極子を入力し、時間応答解析を行う。これにより、図 5 に示す入力ポート電圧の時間変化が得られ、電圧の減衰から時定数 τ が求められる。電力の減衰の時定数 τ は以下の通り表され、 Q_{in} を計算することができる。

$$\tau = \frac{\tau'}{2}$$

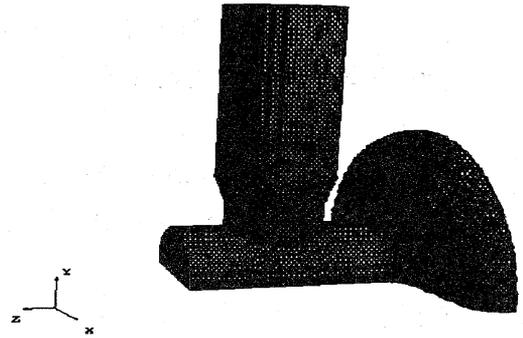


図 2. 120D の解析モデル

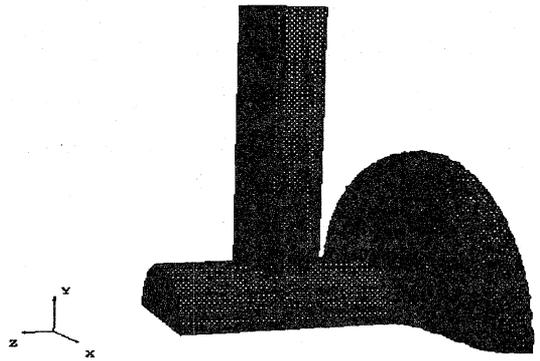


図 3. 77D の解析モデル

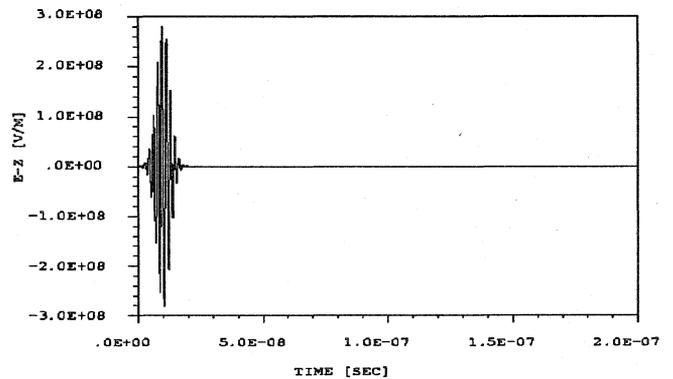


図 4. 120D モデルでの入力パルス

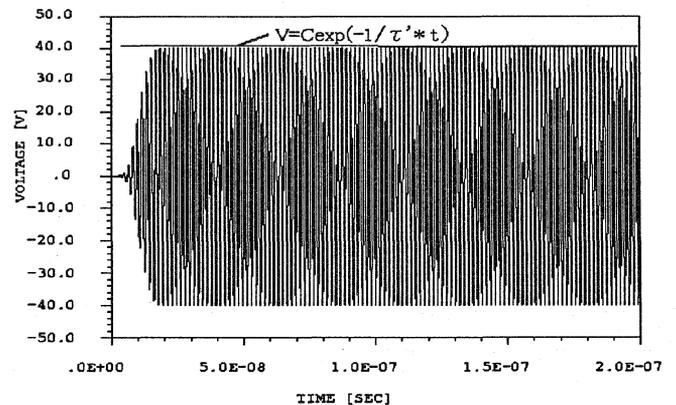


図 5. 120D モデルでの入力ポート電圧の時間変化

6. 解析結果

(1) 空胴—入力カプラ間距離

入力カプラ内導体の突出し量はビームトランスポートの要求から、20mm 以下という制限があり、この条件で解析すると図6の結果が得られ、最も強い結合が得られる条件($Q_{in}=1.5 \times 10^6$)となる空胴—入力カプラ間距離の関係は表2の通りとなる。これより、製造上重要となる空胴と入力カプラ外導体端部との距離は2つのモデルともほぼ同程度であることが分かる。

(2) 入力カプラ内導体突出し量

運転モードに応じて最適な Q_{in} が異なる為、入力カプラの突出し量を変化させて、最適な結合度を得る必要がある。そこで(1)で得られた空胴—入力カプラ間距離で入力カプラ内導体突出し量を変化させた際の結合度の変化を図7の通り求めた。運転モードに応じて、整合を取るためには、内導体突出し量をそれぞれ、17mm(120D), 13mm(77D)変化させる必要がある。

(3) 表面電界

2つのモデルの(1)で得られた空胴—入力カプラ間距離の条件及び内導体先端で電圧定在波が腹となる条件(入力カプラ上端面を先端からの距離 3/4 波長で電氣的に short)で、基本モードを励振した時に入力カプラに発生する電界を求めた。加速電界で規格化した最大表面電界 E_{sp}/E_{acc} は表3の通りとなり、120D タイプに比べ、77D タイプの方が、入力カプラの表面電界が約3倍高いことが分かった。TRISTAN, KEKB の超伝導加速空胴での運転実績を考慮すると、120D を中心に今後の検討を進めることが妥当であると考えられる。

表2. 空胴—カプラ間距離の最適値及びその時の最大表面電界

入力カプラタイプ	120D	77D
Q_{in}	1.5×10^6	
空胴—カプラ間中心距離	98.5mm	88mm
空胴端部から外導体端部までの距離	48.5mm	49.5mm
最大表面電界 E_{sp}/E_{acc}	0.13	0.37

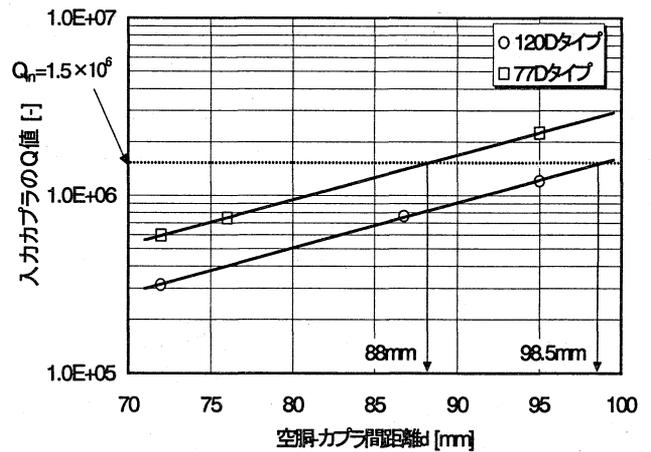


図6. 空胴—入力カプラ間距離による結合度

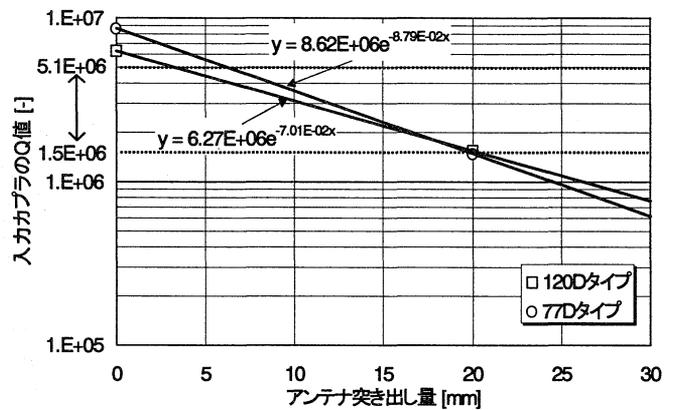


図7. 内導体突出し量による結合度の変化

7. まとめ・今後の予定

- (1)電磁場解析コード(Mafia)を用い、入力カプラの結合度の最適化を行った。
- (2)今後、本設計に基づき、テストモデルの試作を行い、解析結果の妥当性を検証すると共に、インドセル形状とセンターセル形状の差異による結合度への影響を把握する。

参考文献

- (1)K. Hasegawa, et al, "STATUS OF THE HIGH INTENSITY PROTON ACCELERATOR DEVELOPMENT AT JAERI", Proc. of the 23rd Linear Accelerator Meeting in JAPAN, pp19-21,1998
- (2)N. Ouchi, et al, "PROTON LINAC ACTIVITIES IN JAERI", Proc. of the 8th Workshop on Superconductivity, pp12-21,1997
- (3)N. Akasaka, et al, "Higher Order Mode Characteristics of the Choke Mode Cavity for KEK B-Factor(KEKB)", KEK Preprint 94-63, 1994
- (4)B. Fechner, et al, "An RF Input Coupler For a superconducting Single Cell Cavity", JAERI-Research 99-018, 1999