

BNCT システム用大電力多段型サーキュレータの開発 DEVELOPMENT OF THE HIGH POWER MULTI-STAGE TYPE CIRCULATOR FOR BNCT SYSTEM

相澤修一^{#,A)}, 日下部孝敏^{A)}, 奥山恒幸^{A)}, 鶴岡茂嗣^{A)}, 篠原己拔^{A)}
松本 浩^{B)}, 小林 仁^{B)}, 吉岡正和^{B)},

Shuichi Aizawa^{#,A)}, Takatoshi Kusakabe^{A)}, Tsuneyuki Okuyama^{A)}, Shigetsugu Tsuruoka^{A)}, Kibatsu Shinohara^{A)}
Hiroshi Matsumoto^{B)}, Hitoshi Kobayashi^{B)}, Masakazu Yoshioka^{A)}
^{A)} NIHON KOSHUHA Co., Ltd.

^{B)} KEK, HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION

Abstract

The process for BNCT begins with a pharmaceutical agent that carries a neutron capture agent containing ^{10}B (Boron 10) selectively into tumor cells. Thermal or epi-thermal neutrons then interact with the ^{10}B and produce α and ^7Li -particles. So far, BNCT have been provided only by nuclear reactors, because a neutron intensity of $1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2/\text{s}$, with energies between 0.5-eV and 10-keV is required. To realize BNCT using accelerator technologies, one of the big issuer is the high duty rf system, which will be used for 324 MHz, 1.2 MW peak klystron, 1 msec of an rf pulse width and a 200 Hz of cycle. A high power circulator is the most critical component among the waveguide system. It was redesigned from a linear accelerator of J-PARC to meet the 20% of a duty factor using a high saturation magnetization $4\pi\text{Ms}$ has high curie temperature.

Also, it was used thin ferrite layer to reduce the temperature rise and to reduce the temperature sensitivity. This paper reports the design work, the manufacture and a low power measurement.

1. はじめに

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) では治療効率を上げるためデューティー比の高い RF パルスが必要である。BNCT で使用する高周波電力は、周波数 324MHz でピーク電力 1.2MW、平均電力は 240kW に達する。(J-PARC 比で約 2.7 倍)

この大電力で使用可能な、外部磁界に永久磁石を使用した、コンパクトな導波管サーキュレータの開発を行った。

J-PARC で実績のある 324MHz 分岐形サーキュレータ^[1]を基本とし、フェライトについて、キュリー温度が高く、飽和磁化 $4\pi\text{Ms}$ は大きい、温度変化の小さいものに変更し、更にフェライトを薄くして温度上昇を抑えるようにし、温度特性の改善を行った。

本稿では本サーキュレータの設計、製作、低電力試験の結果について報告する。

2. 構成

構成を、Figure1 に示す、導波管 2 段接合形サーキュレータで、導波管の上下及び中央の仕切り板内に磁石を配置し、必要な磁界をえている。

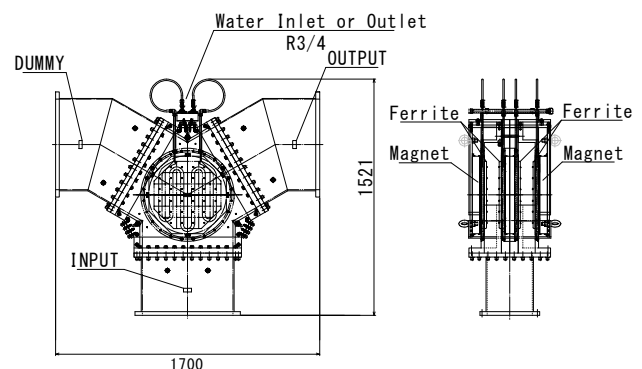


Figure1: External view

[#] s_aizawa@nikoha.co.jp

• Table1 : Specification.

Frequency		324±1MHz
Maximum input power	Peak power	1.3MW
	Pulse width	1msec
	Repetition	200Hz
VSWR	With center frequency	≤1.15
Ins. loss		≤0.15dB
Isolation		≥25dB

3. フェライトの温度上昇及び温度特性

フェライトは水冷銅円板に接着され、冷却されている。

フェライト表面の温度上昇 ΔT は、フェライト内で一様に発熱するとした。

$$\Delta T = \frac{hP}{2KS}$$

K : フェライト熱伝導率

h : 厚さ

D : 直径

$S = \pi (D/2)^2$: 表面積

P : 消費電力

で表わされる。

ΔT に依り、フェライトの飽和磁化 ($4\pi Ms$) が変化し特性の変化をもたらす、大きい場合はフェライトの破損をもたらす。

本サーキュレータでは、フェライトの直径は J-PARC のサーキュレータと同じで、厚さを 1/2 にして温度上昇を低くしている

又、30℃に於ける飽和磁化を $4\pi Ms$ 、10℃～50℃の範囲内の変化を $\delta 4\pi Ms$ とし

$$\frac{\delta 4\pi Ms}{4\pi Ms}$$

をフェライトの特性カーブから計算すると^[2]

J-PARC の場合、7.68%

BNCT 用の場合、2.83%

となり、飽和磁化の変化率が小さく温度特性が改善されると考えられる。

4. 導波管の高さ寸法

BNCT の入力パルスピーク電力は 1.2MW で、J-PARC の 3MW に対して導波管内電圧は低く、また強い磁場が必要となるので、磁石間の空隙を狭くする為、導波管高さ寸法は低くした。但し導波管内電界強度は J-PARC の場合より低い値としている。

5. 磁気回路

本サーキュレータはフェライトの共鳴磁界より強い磁界で動作し、さらに、フェライトの直径が大きいため磁石は大きく、強力なものとなった。

サーキュレーの重量制限があった為、磁石、ヨークを厚くする限界があり磁気回路の磁気抵抗の大きい部分の改善を行い必要な磁界を得た。

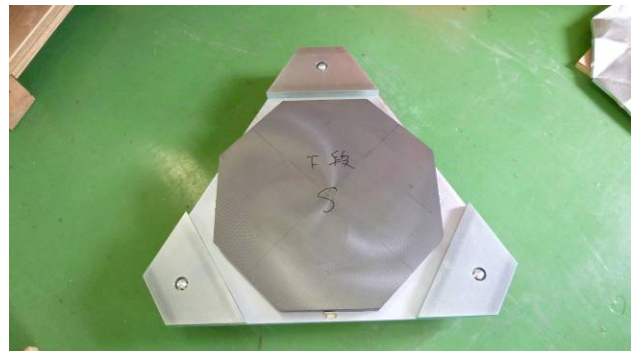


Figure2: Magnet

6. 低電力試験

入力側、出力側、ダミーロード側を誘導性ポストで整合をとり、中心周波数 324MHz で

入出力 VSWR 1.03
 挿入損失 0.12dB
 アイソレーション 35dB

を得た。

現在 いばらぎ中性子最先端医療研究センターに納入済みで、電力試験は後日行う予定である。

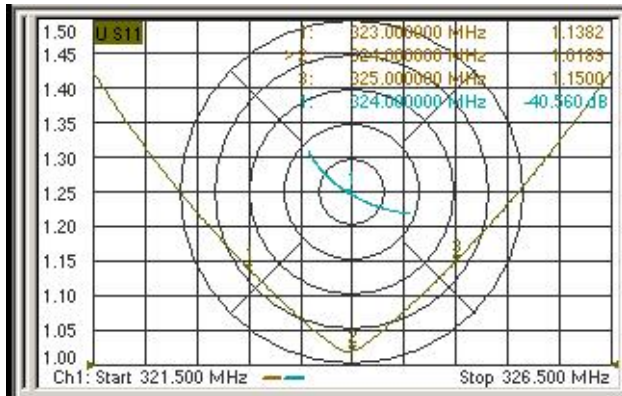


Figure3: S11 VSWR

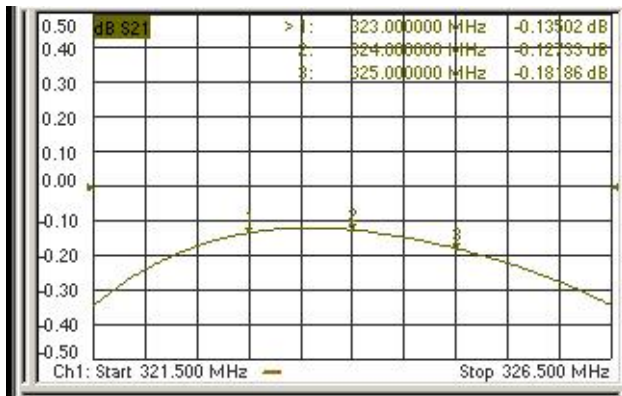


Figure4: S21 Ins. Loss

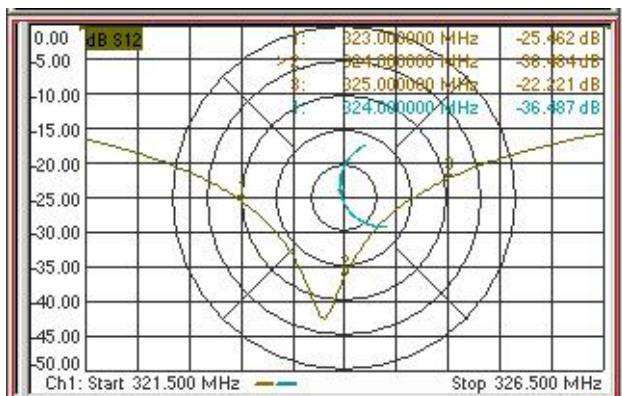


Figure5: S12 Isolation

7. まとめ

本サーキュレータは J-PARC に比べピーク電力は低いがデューティ比が高い為、フェライトの温度上昇が懸念される。この為フェライトを薄くし、フェライトで発生する熱を放熱しやすくさせて、フェライトの温度変化を小さくするものとした。しかし、強磁場が必要な為磁石を大きくまたヨークを大きくする必要があった。しかし大きさや重さの制限の為、磁気抵抗になりそうな部分の改善を行った。これにより、低電力試験では規格を満足する性能となった。

8. 謝辞

本サーキュレータの設計、製作に御協力頂いた関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- [1] S_aizawa, Proc.of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan Tosu July 20-22,2005,20P022
- [2] 小西 NHK 技術研究 昭 40 第 17 巻 第 2 号 通巻 87 号 94-95