

スーパーカミオカンデ検出器較正用電子加速器の開発

DEVELOPMENT OF AN ELECTRON ACCELERATOR FOR THE Super-Kamiokande DETECTOR

鈴木良一^{#, A)}, 佐藤大輔^{A)}, 関谷洋之^{B)}

Ryoichi Suzuki^{#, A)}, Daisuke Satoh^{A)}, Hiroyuki Sekiya^{B)}

^{A)} RIMA-NMIJ, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

^{B)} ICRR, University of Tokyo

Abstract

A project is underway to improve the sensitivity of neutrino observation by adding gadolinium to the pure water of the Super-Kamiokande detector with the aim of observing supernova relic neutrinos. For the observation of supernova relic neutrinos, the energy region of the Super-Kamiokande detector is required to be about 30 MeV, but the maximum energy of the electron LINAC currently installed in the facility only accelerates to about 10 MeV. Thus, we are proceeding with the development of a new electron accelerator. Since the space in the installation room of the electron accelerator is limited, the new electron accelerator will use a C-band standing-wave accelerating tube (tube length of 80 cm), and round trip acceleration to generate high-energy electrons of up to 30 MeV.

1. はじめに

東京大学宇宙線研究所スーパーカミオカンデ(SK)において、超新星背景ニュートリノの観測を目指して検出器の純水中にガドリニウムを加えニュートリノの観測感度を向上させるプロジェクトが進行中である[1,2]。超新星背景ニュートリノの観測のためには、スーパーカミオカンデ検出器のエネルギー領域が 30 MeV 程度まで必要とされるが、現在同施設内に設置されている検出器較正用の電子リニアックは 10 MeV 程度までしか加速できず、それ以上のエネルギー較正ができないことから、新たな電子加速器の開発を進めている。

上記検出器較正用電子加速器は、設置室のスペースは限られており、従来のリニアックと同程度のスペースに加速器や電源を設置する必要がある。そこで我々は、新たな検出器較正用電子加速器では C バンドの定在波型加速管を用い、電子ビームを折り返すことによって1本の加速管で往復加速をすることにより 30 MeV 程度までの高エネルギー電子を発生させることを計画しており、その開発状況について報告する。

2. 開発している電子加速器

Figure 1 に開発している電子加速器の概略図を示す。本加速器の設置場所は、設置スペースが限られていることから、長い加速管や大型のマイクロ波クライストロン等は使うことができない。一方、加速器の目的であるスーパーカミオカンデ検出器の較正では、検出器に1電子が入れば良いことから、加速電流は微弱であり、ビームローディングはほとんど無視できる。そこで、小型の定在波型 C バンド加速管とコンパクトなクライストロンを用い、ビームを磁場で折り返すことで往復加速を行なって電子ビームエネルギーを 30 MeV 程度まで加速する方式の電子加速器を計画している。

電子ビームを折り返して加速する際に、磁場調整あるいは加速管と折返し電磁石との距離を変えることによって、折返しのビーム軌道の飛行距離を変えることができ、これにより、復路の電子ビームの加速位相を変えることができ、電子ビームのエネルギーを大幅に可変できると考えられる。

この電子加速器の主加速管は、AET 社製の C バンドオン軸定在波型加速管(シャントインピーダンス 75 MΩ/m)を用いる。この加速管にキャノン(旧東芝)製の E3773 型 C バンドクライストロンで発生したマイクロ波を供給する。

E3773 型クライストロンは、PPM (Periodic Permanent Magnet) 方式のクライストロンで、収束コイル等を最小限にでき、設置スペースも最小限にできる。E3773 型クライストロンの最大パワーは 4 MW (E3773,A) ないし 5 MW (E3773,D) であり、加速管のシャントインピーダンス(加速管長 80 cm で 60 MΩ)との関係から、ビームローディングがなければ 1 回加速で 15 MeV、往復加速で 30 MeV 程度まで加速できると予測される。

電子源は、将来的にはフォトカソードを導入することを計画しているが、立ち上げ段階ではカーボンナノ構造体冷陰極や一般的な熱陰極カソードを用いる。電子源から出た電子は前段加速空洞により主加速管での電子加速が可能なエネルギーまで加速する。この前段加速空洞は、共振周波数 5712 MHz の最大入力電力 100 kW の 1 セル空洞を用いる。この空洞には、主加速管を駆動するクライストロンのマイクロ波電力を 13 dB カプラーにて分岐して、可変減衰器・移相器をとおしてマイクロ波を導入する。

まだ前段加速空洞用の導波管や往復加速に必要な部品は入手できていないが、加速管、クライストロン等が揃っていることから、加速管の真空引き・ベーキングを行なうとともに、クライストロンと加速管のマイクロ波系の導波管を接続し(Fig. 2)、小電力での加速管のコンディショニングを開始した。

このコンディショニングでは、これまでに 1 MW 程度ま

[#] r-suzuki@aist.go.jp

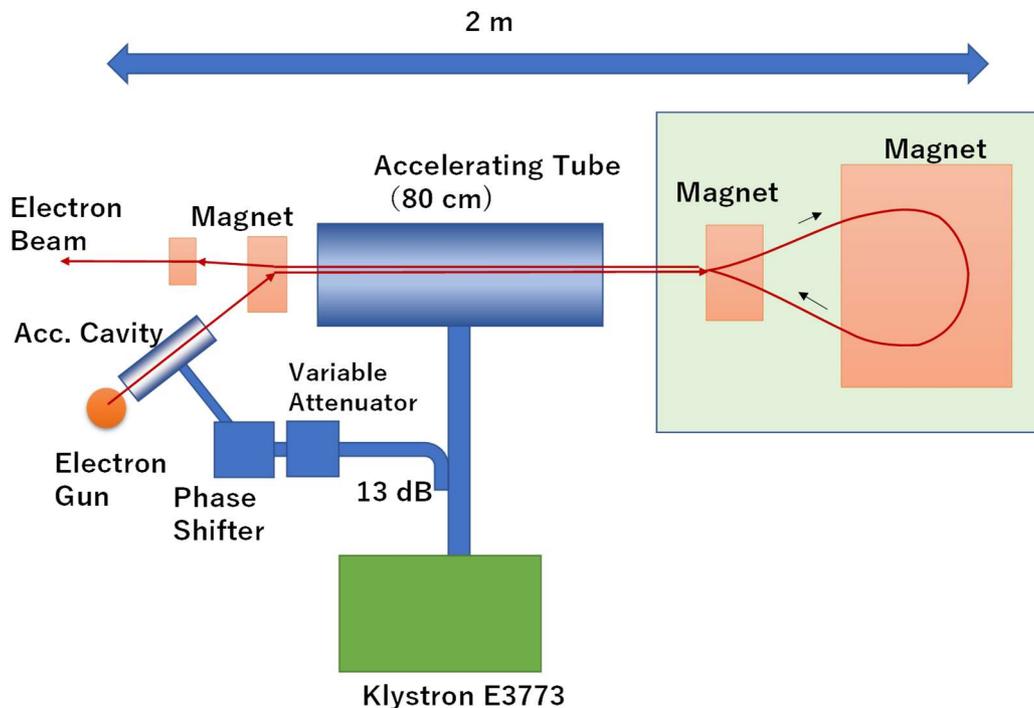


Figure 1: Schematic of the electron accelerator system.



Figure 2: Photo of the main accelerating tube.

でのマイクロ波を導入できている。現在はパルスレートが低い状態(0.1 pps 以下)で駆動しており、この条件ではこの加速器システムの全ての電力を合わせても 1 kW 以下で、AC100 V の電源で駆動できている。このクライストロンモジュレータでは、シリコン IGBT を用いたスイッチング素子により高電圧パルスが発生させクライストロンを駆動しているが、今後スイッチングロスを減らすためシリコンカーバイド(SiC)の高電圧半導体スイッチを使用する予定である。

往復加速のための電子ビーム折返し部は、最低限軌道分離用のマグネットと折返し用マグネットが必要だが、これまでに軌道分離用のマグネットを製作し、現在折返

し用マグネットを製作中である。

主加速管と前段加速の 1 セル空洞は、若干共振周波数が異なるが、チューニング機構が無いため、加速管に流す冷却水の温度を変えることで共振周波数を合わせる予定である。

3. まとめ

設置スペースが限られる場所でスーパーカミオカンデ検出器の較正に必要な高エネルギーの電子ビームを発生するため、Cバンド定在波型加速管を用いた往復加速型の電子加速器を開発している。現在、加速管のコンディショニングを行なっているが、今後、残りの部品を揃えてマイクロ波の出力を上げることにより、電子ビームの加速を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19H05807 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] <https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/news/detail/159>
- [2] K. Abe *et al.*, Nucl. Inst. & Methods in Phys. Res., A 1027 (2022) 166248.