

DEVELOPMENT OF THE 50 kV CLASS HIGH-VOLTAGE COAXIAL CONNECTOR

H.Baba^{A)}, K.Togawa^{1A)}, T.Inagaki^{A)}, T.Shintake^{A)}, H.Matsumoto^{B)}

^{A)} RIKEN Harima Institute

1-1-1 Kouto, Mikazuki, Sayo, Hyogo, 679-5148

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

We have developed a 50 kV class high-voltage coaxial cable connector. It was designed to feed high-power pulses from an inverter power supply to a modulator, and from a modulator to a klystron tank. The connector plug can be easily removed from the socket on the oil-filled tank, leaving the tank close. A spring contact was used to make reliable connection. The voidless fiber reinforced plastic (FRP), which has excellent high-voltage characteristics, was introduced to the insulator bushing to avoid discharge problems. This high-voltage connector has been applied to the C-band modulator and the pulsed electron gun for the X-ray FEL project at SPring-8, and worked for more than 1 year without any troubles.

50kVクラス高電圧同軸コネクタの開発

1. はじめに

現在、基礎科学を始め、産業、医療の分野で多くの電子リニアックが利用されている。システムの大幅な小型化を目指したC-bandリニアックでは、50MWクライストロンをドライブするために、インバータ直流電源を用いた密閉型変調器電源の開発を進めている^[1]。小型でかつノイズ遮断性を良くするために、これらの装置は全て、高電圧回路の構成部品を絶縁オイルタンク中に収納した密閉構造としている。

密閉オイルタンクを開放することなく、高電圧ケーブルを脱着できるようにするために、以下の点に重点を置いて、同軸コネクタの開発を行った。

- (1) オイルタイトな構造であること。
- (2) 高電圧絶縁特性が良いこと。
- (3) コネクタの脱着が容易でかつ確実な接触が得られること。機器のメンテナンス性をよくするためである。

本論文では、50kVクラス高電圧同軸コネクタについての詳細を述べる。

2. 構造

開発したコネクタの構造を図1に示す。タンク内部のオイルは、絶縁ブッシング両端のOリングにより完全にシールされる。ケーブルプラグとソケットはワンタッチで接続され、コネクタ接続用ナットを締め上げるだけで接続が完了する。尚、本コネクタは(株)オオツカより部品販売されている^[2]。

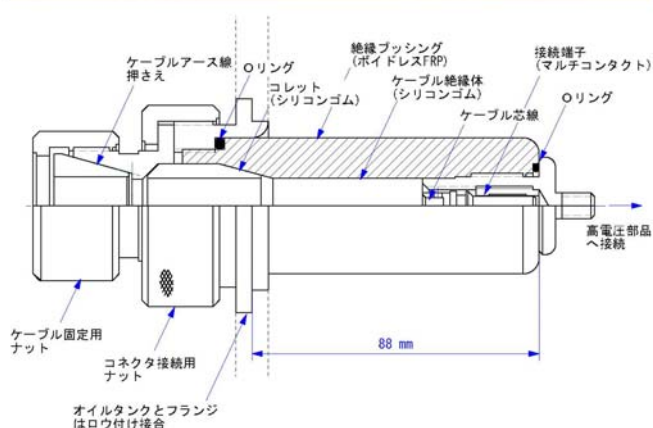


図1：高電圧同軸コネクタ (25kV変調器電源用)

¹ E-mail: togawa@spring8.or.jp

3. 設計・製作

設計は、C-bandリニアックに使用されるインバータ電源および変調器電源の出力を対象とし、できる限り共通の部品が使用できるように行った。表1にこれらのパラメータを示す。

表1：C-bandリニアック用インバータ電源および変調器電源の出力パラメータ

Inverter Power Supply	
Charging Voltage	50 kV (max.)
Charging Current	1.5 A
Modulator	
Peak Voltage	25 kV (max.)
Peak Current	6.2 kA (max.)
Pulse Width	4.7 μs (at 70% in voltage)
Repetition Rate	60 Hz
Average Current	1.7 A (max.)
PFN Impedance	4.3 Ω

3.1 高電圧ケーブル

変調器電源の出力インピーダンスは4.3Ωと低いため、これに整合した同軸ケーブルは非常に太く特殊なものとなり、取扱いが困難である。そこで我々は、Dielectric Science社製高電圧同軸ケーブルを採用した^[3]。本ケーブルは、EMI社製インバータ電源において使用実績があるもので、柔軟性があり手ごろな太さで扱いやすい。インピーダンス整合は9本のケーブルを並列に接続することで満足させることにした。インバータ電源用については1本のケーブルを使用する。ケーブルの仕様を表2に示す。

また、ケーブルに無理な負荷がかかり、コネクタとの接続部が損傷することを防ぐために、保護用の金属メッシュ (Isolation Products社製)を取り付けた^[3]。

表2：高電圧ケーブルの仕様 (Dielectric Science社)

Part Number	2062SVJ*
Working Voltage	100 kV DC
Dielectric	Silicone Rubber
Characteristic Impedance	41 Ω
Outer Diameter	20.5 mm
Minimum Bending Radius	64 mm

*より柔軟性のあるシリコンジャケットを備えたもの (2062SSJ) もある。

3.2 接続端子

機器のメンテナンス性を良くするためには、コネクタが容易に脱着できて、かつ確実な接触が得られる必要がある。ケーブルプラグとソケットとの接続端子には、ワンタッチ接続ができるマルチコンタクト社製の端子を使用した^[4]。ベリリウム銅のスプリング特性を利用した多面接触型の端子で、大電流を要する加速器部品に広く利用されている。本コネクタに使用した端子の仕様を表3に示す。最大定格電

流80 Aは、我々の用途には十分なものである。

表3：接続端子の仕様 (マルチコンタクト社)

タイプ名 (プラグ側)	SP6N/10
タイプ名 (ソケット側)	BL6N
定格電流 (80°C)	80 A
接触抵抗	100 μΩ
端子先端径 (プラグ側)	6 mm

3.3 絶縁ブッシング

コネクタにおける放電、絶縁破壊を防ぐためには、絶縁ブッシングの材料選定は非常に重要である。一般に、樹脂系の材料が使用されるが、内部に気泡 (ボイド) が多数存在すると、貫通絶縁破壊が発生する恐れがある。そこで我々は、製造段階で気泡が取り除かれているボイドレスFRP (日立化成工業：VT-E110) を採用した^[5]。ボイドレスFRPは高強度、高絶縁を要する構造材料として開発されたもので、発電所の変圧器などに広く利用されている。加工性が良いことも特徴である。当グループでも、パルストランスや電子銃用ダミーロードなどの高電界がかかる絶縁体部品に使用しており、問題なく働いている。表4にボイドレスFRPの絶縁特性の一例を示す。これを参考にして、ブッシング円筒の厚みは12.5 mmとした。

表4：ボイドレスFRPの絶縁特性の一例 (日立化成工業社)

	絶縁破壊電圧	平均電圧
貫層 (2 mm)	73 kV (交流)	37 kV/mm
	115 kV (インパルス)	58 kV/mm
沿層 (6 mm)	82 kV (交流)	14 kV/mm
	125 kV (インパルス)	21 kV/mm

次に、絶縁ブッシングの長さを決定しなければならない。製造メーカーでは、十分に安全率を考慮した経験値として表5に示す耐電圧が用いられている。ブッシングの内側は、ケーブル芯線の先端とアース導体間が絶縁体に添って気中となるため、ブッシングの長さは空気中の耐電圧が支配的になると予想される。KEKにて使用実績のある絶縁油中使用するブッシングの調査結果を表6に示すが、絶縁体の長さは気中絶縁で決まっているようである。これらのデータを参考にして、ブッシングの長さを表7の通り決定した。

表5：安全を考慮した耐電圧の経験値

絶縁油中耐電圧	12 kV/mm
空気中耐電圧	0.35 kV/mm

表6：KEKで使用実績のある絶縁ブッシング

定格電圧	ブッシング長さ	平均電圧
100 kV	270 mm	0.37 kV/mm
50 kV	129 mm	0.39 kV/mm

表7：決定した絶縁ブッシングの長さ

	定格電圧 (max.)	ブッシング 長さ	平均電圧
インバータ電源	50 kV	128 mm	0.39 kV/mm
変調器電源	25 kV	88 mm	0.28 kV/mm

ケーブル絶縁体とブッシングの間の空気層は可能な限り少ないほうが良い。そのために、ケーブル装着時には、ケーブル絶縁体にシリコングリス（信越化学工業：G40-100）を十分添付することとした。また、テーパ状に加工したシリコンゴム製のコレットを、ケーブル絶縁体の根元に取り付け、ブッシング内部の気密性を保つようにした。

3.4 その他

フランジ等の金属加工部品は全て真鍮製とした。また、コネクタ接続用ナットは握りやすいようにコレット仕上げとした。

3.5 端末処理

高電圧ケーブルプラグの端末処理の手順を表8にまとめる。

4. 現状と今後の予定

現在、SPring-8ではX線自由電子レーザー向けに、C-band加速器及び低エミッタンス電子入射器の開発を進めている。C-bandクライストロン及びCeB₆電子銃のパルス電源に密閉型変調器電源が使用されており、これらを接続する高電圧ケーブルに、本コネクタ（25kV用）を使用している（図2参照）。開発研究のため、コネクタの脱着と高電圧印加を繰り返し行っているが、1年以上トラブル無く動作している。

50kV用コネクタの使用実績はまだ無いが、本年度開発中のインバータ電源に装着する予定である

また、実用的により扱いやすいコネクタにするため、今後、次に記す改良を行う予定である。

- (1) コネクタを締めやすくするために、コネクタ接続用ナットをすべりの良いステンレス製にする。
- (2) ケーブル固定用ナットを誤って緩めてしまわないよう、六角ナットにする。
- (3) 誤装着を防ぐために、インバータ電源用と変調器電源用でフランジのネジサイズを変える。

参考文献

- [1] 例えば、稲垣隆宏、「C-bandクライストロン用コンパクト密閉型変調器電源の大電力試験」
Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, Tokai, Japan
- [2] <http://www.ohtsuka.org/>
- [3] 下記代理店より入手可能
<http://www.aetjapan.com/>
- [4] <http://www.solton.co.jp/>
- [5] <http://www.hitachi-chem.co.jp/>

表8：ケーブルプラグ端末処理の様子

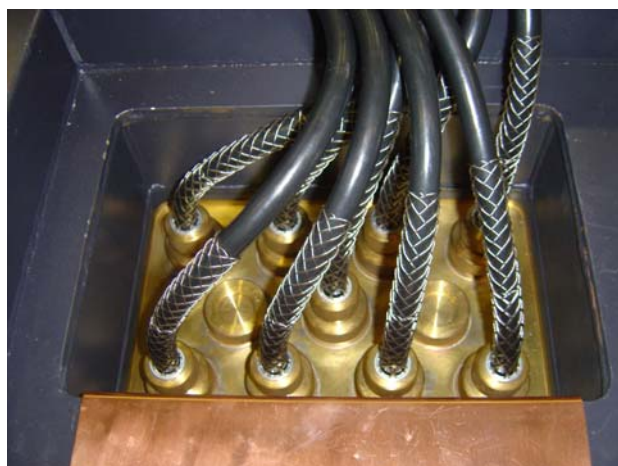
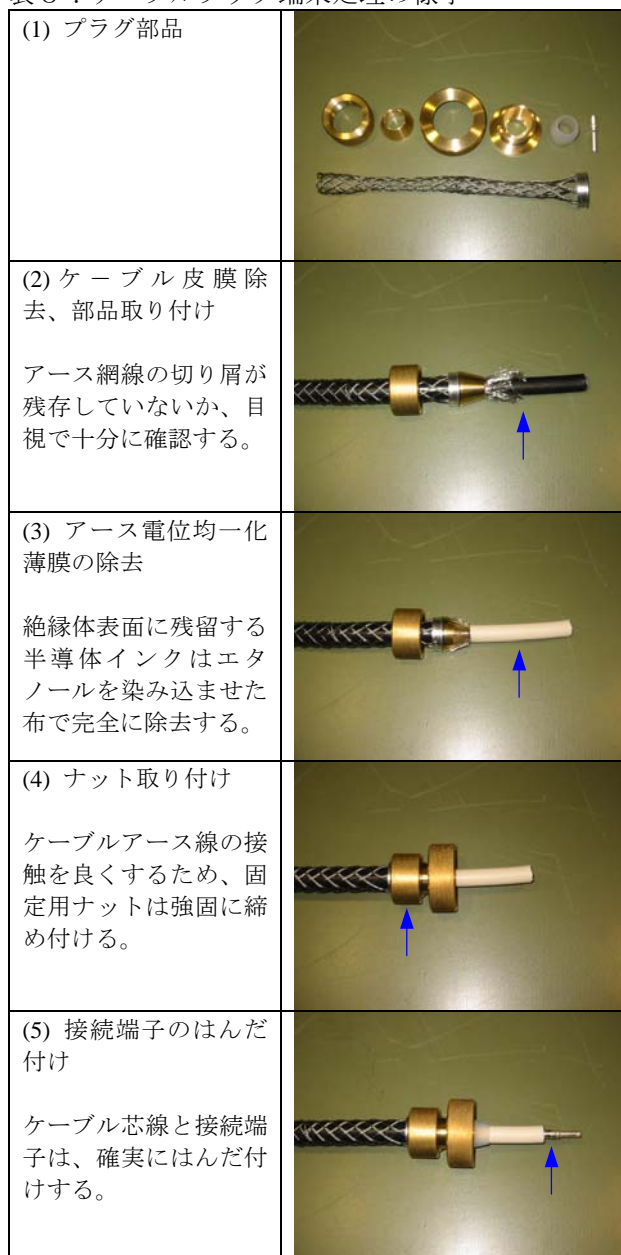


図2：CeB₆電子銃タンクに装着されたコネクタ