

図2 セントラルモジュールの断面写真

2.2 共振周波数と高次モードの測定

図3にセントラルモジュール両端にエンドプレート部を取付けた外観写真を示す。エンドプレート部は、エンドプレートとベーン端部との軸方向のギャップは40mmであり、ベーンのアンダーカット部は軸長さ方向に50mmまた径方向に82mmカットした設計になっている。



図3 低電力試験のために試作したモジュール

図3に示す系においてネットワークアナライザによる共振周波数と励起モードの測定を行った。図4にループアンテナから入射した時のピックアップコイルへの伝送係数 (S_{21}) の測定データを示す。セントラルモジュール軸長1.1mにおいて2つのピークが計測された。それぞれのピークに対して、4つのキャビティの位相を測定し、この位相差からモード判定を行った。その結果、共振周波数が低い方は運転モードの TE_{210} モードであり、2つ目のピークはダイポールモードの TE_{110} モードであることが判明した。測定による運転モードの TE_{210} の共振周波数は175.65MHzであり、解析結果より1.29MHz高い共振周波数であったが1%以下の誤差範囲で一致した。この誤差は、エンドプレート部とセントラルモジュールのミスアライメントによるものと考えている。また共振周波数に対する測定結果と解析結果が一致するためには、境界条件が大きく変化するエンドプレート部におけるメッシュサイズが重要であり、セントラルモジュール部の軸方向のメッシュサイズ (27.5mm/mesh) の約1/5以下にすることが必要であることが明らかになった。

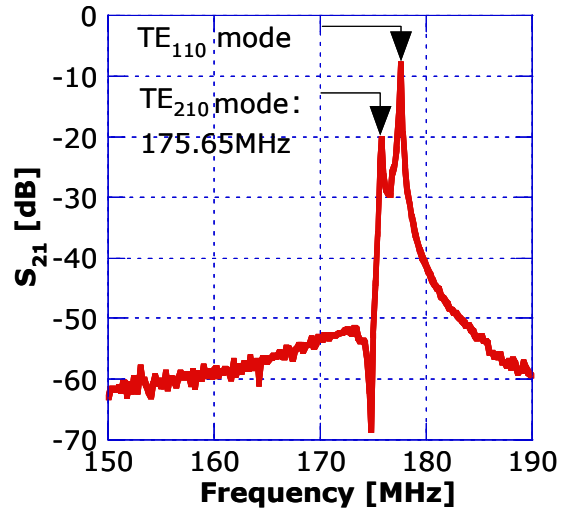


図4 ネットワークアナライザによるモックアップモジュールの共振周波数測定

2.3 軸長さに対する高次モード解析

図5にRFQ軸長さに対する高次モードの依存性についての解析結果を示す。RFQの軸長さが2.1m以上4.1m以内において、運転モードと高次モードとの共振周波数の差が1MHz以上離れており、この軸長さにおいて運転モードが高次モードによる影響を受けないことが判明した。IFMIF用RFQでは、RFQ軸長さ12m程度が必要とされる。結合板2枚を採用した場合、RFQ 1モジュール長は4mとなり、高次モードによる影響はなく、空洞結合板2枚を採用したRFQシステム設計が有効であることがわかった。

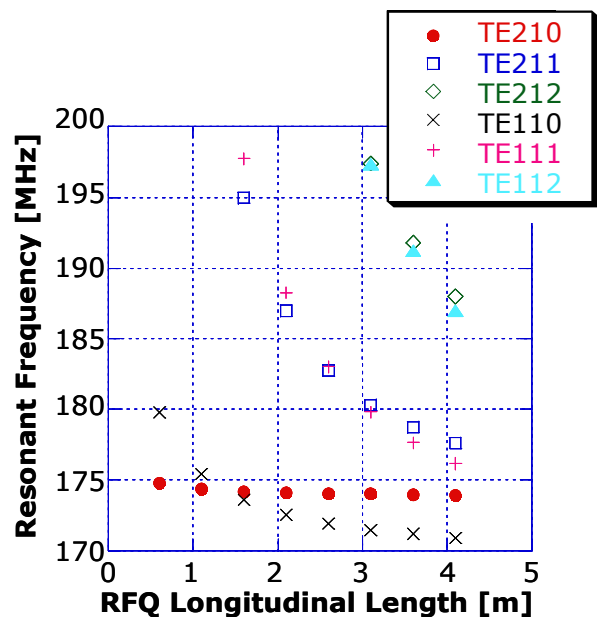


図5 RFQ軸長さに対する高次モードの依存性

3. 多重RF入力結合系の設計

3.1 RF入力結合系の概念設計

IFMIF用RFQシステムでは、ダイアクロード（単管最大出力 1 M-CW）を3台用い、RFQ1モジュール長当たり700 kWのRF入射が必要となる。各ダイアクロードからの電力伝送に際して、伝送系を4分配して250kW-CWの高周波真空窓4個を介して、1モジュールのRFQに伝送される。

RF入力結合系では、矩形導波管をリジッド型にしてカットオフ周波数を低くして開口面から入射するアイリスタイプと図6に示すように同軸導波管からループアンテナ介して入射する2種類がある。IFMIF用RFQシステムでは、周波数175MHzが用いられるために矩形導波管の寸法は約1.0m x 0.5mと大型化する。また前章で示したようにRFQ寸法から同軸導波管を考慮した場合、3 1/8インチ以下のサイズに制限される。

RF入射系の大型化を避けるために同軸導波管3 1/8インチサイズを採用し、ループアンテナによるRF入力結合系の設計を採用した。この同軸導波管の耐電圧は、内部導体を充分冷却した場合で200 kW程度である。従って1モジュール当たり少なくとも4つの入射ポートからRF入射する多重RF入力結合系の開発が必要となる。

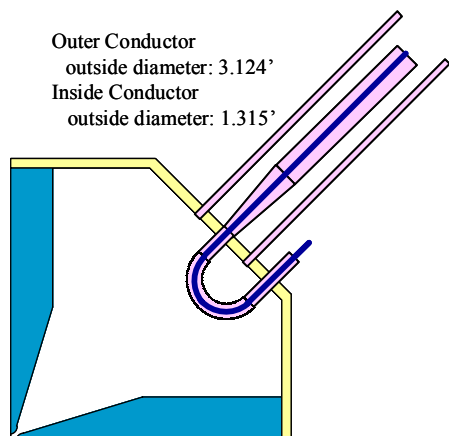


図6 同軸導波管ループアンテナ

3.2 ループアンテナ

同軸導波管の内部導体 33.4mmから 12mmまで軸長さ50mmでテーパをかけ、ループアンテナのサイズとして、冷却性能を得るために直径 12mm（肉厚1mmのパイプ）を採用した。この場合内径の曲げ半径が25mmとなり、ループアンテナの内径は 50、外形は 74mmとなる大口径となる。

この構造による共振周波数の変化は大きい、ビーム無しの無負荷時の反射係数は、-15 dB以上が

得られ、アンテナでの反射電力は7%程度だと推察される。この結合度による高周波源（ダイアクロード）への反射電力は、ダイアクロードへの入力位相を調整することにより出力位相を抑制し、高周波源への反射電力を打ち消す計画である。またループアンテナ構造によりアンテナ近傍で電界の歪みが発生するが、ボア径内の電界分布は、主にベーン先端部の形状で決まると推察している。

これらを解明するためにループアンテナによる共振周波数の変化、各キャピティでのパワーバランスの計測を計画している。これらの結果については、ポスターで詳細に説明する。

4. まとめ

3次元電磁界解析コード（MAFIA）による175MHzRFQの設計に基づいたモックアップモジュールによる低電力試験で得られた共振周波数の測定結果と解析結果は1%以内精度で一致した。またRFQ軸長さに対する高次モードの解析を行い、軸長4.1mにおいて運転モードと高次モードとの共振周波数の差が1MHz以上あることから運転モードが高次モードによる影響受けないことが判明し、2つの結合板を採用した設計が有効であることを示した。また幾何学的なRFQ寸法から同軸導波管3 1/8インチサイズの複数のループアンテナによるRF入力結合系の採用が妥当であることを示し、その測定を開始した。

5. 謝辞

本研究のモックアップモジュールの製作に関して、（株）西野精器製作所の永井義男様ならびに小室和志様ほか、多くの関係者の皆様にご協力を頂きました。この場を借りましてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] IFMIF-CDA Team (Ed.) M.Martone, “IFMIF, International Fusion materials Irradiation Facility Conceptual Design Activity, Final Report”, ENEA Frascati Report, RT/ERG/FUS/96/17 (1996).
<http://www.frascati.enea.it/ifmif/>
- [2] T.Kondo, J.of Nucl.Mater., 258-263,47(1998).
- [3] T.E.Shannon, et.al., J.of Nucl.Mater., 106, 47(1998).
- [4] IFMIF International Team, “IFMIF-KEP Report”, JAERI,JAERI-Tech 2003-005, March 2003.
- [5] D.Schrage, et al., “CW RFQ Fabrication and Engineering”, Proc. LINAC98 (Chicago,24-28 August 1998), pp679-683.
- [6] L. M. Young, et al., “High-Power Operation of LEDA”, Proc. LINAC2000 (Monterey, 21-25 August 2000), pp336-340.
- [7] L. M. Young, et al., “Operations of the LEDA Resonantly Coupled RFQ”, Proc. PAC2001 (Chicago, 18-22 June 2001), pp309-313.
- [8] H. V. Smith, Jr. et al., “Low-Energy Demonstration Accelerator (LEDA) Test Results and Plans”, Proc. PAC2001 (Chicago, 18-22 June 2001), pp3296-3

