

ドップラー反射計校正のための回転回折格子の設計

日大生産工(院) ○坂田 壮
日大生産工 荒巻 光利

1. まえがき

ドップラー反射計とはプラズマに、マイクロ波を入射し、反射した波を測定することでプラズマの速度などの情報を得る計測器であり、プラズマへ入射した、マイクロ波のカットオフ現象と密度揺動による後方散乱現象を利用することでプラズマの回転速度を空間分解よく、測定できる。プラズマに模倣した回転回折格子で回折されたマイクロ波を測定し、ドップラーシフトしたマイクロ波を測定することでドップラー反射計の校正および性能評価ができる。

本研究ではマイクロ波反射計の試験をするための回転回折格子を設計する。

2. ドップラー反射計

ドップラー反射計の原理はプラズマ中に周期的な構造があると、カットオフ面に対して角度 θ で入射すると回折条件 $2k \sin \theta = k_{\perp}$ で受信アンテナへ戻る。 k はマイクロ波の波数、 k_{\perp} は周期的な構造の波数である。プラズマが速度 v_{\perp} で回転している場合、周期構造はマイクロ波の進行方向に対して、 $v = v_{\perp} \sin \theta$ の速度成分を持つ。反射波はドップラーシフト周波数 f と回転速度 ω との関係式は $f = r\omega \cdot 2k \sin \theta / 2\pi$ で示される¹⁾。ドップラー反射計の原理図をFig.1に示す。

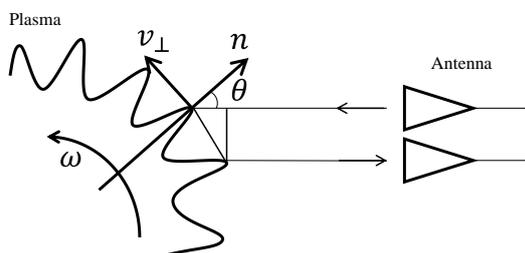


Fig.1 ドップラー反射計の原理図

ドップラー反射計の測定方法としては、プラズマにマイクロ波を入射し、反射したマイクロ波のドップラーシフトを測定する。マイクロ波

発振回路図をFig.2に示す。本研究ではプラズマを模倣した回転回折格子を設計する。

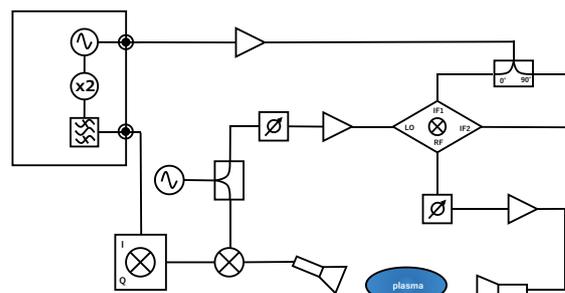


Fig.2 マイクロ波発振回路図

3. 設計方法

設計する回転回折格子模型をFig.3に示す。

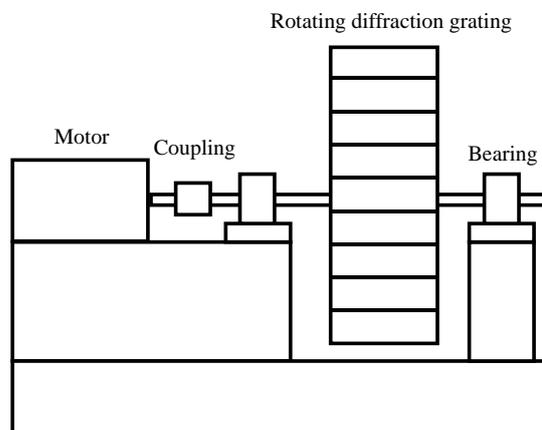


Fig.3 回転回折格子の設計概要

参考にした装置は徳沢等のドップラー反射計²⁾である。回転回折格子の寸法は、直径400mm、格子間隔10mm、幅180mm、回転速度800rpmで設計を行う。シャフトと土台との高さは300mmとする。選定する部品として誘導モーター、カップリング、シャフト、軸受けを選定したのち各部品の寸法を考慮した上、アルミフレームで土台の設計を行う。回転回折格

Development of rotating gratings for Doppler reflectometer calibration

Takeshi SAKATA, Mitutoshi ARAMAKI

子部分は格子面を四つに分け、各部分を3Dプリンターで作成し、接合したのち表面部に金属メッキ、アルミホイル等を付着させることでマイクロ波を反射させることを検討中である。回転回折格子のシャフト側は、金属板に前述した格子面を接合し、800rpmに許容できるようメカロックを使用し、シャフトに固定する。

4. 各部品の選定方法

回転回折格子の動力源としては単相、正弦波出力、分相始動式の誘導モーターを使用する。回転速度は1400rpmを超過するため、アンプを通して正弦波出力を制御する。当初PWMインバーターで制御する予定であったが、ノイズが出るため正弦波アンプを使用する。カップリングはオルダム型、スリット型、リジット型があり、回転精度を高めるため、本体間の樹脂のスライダーがスライドすることで許容ミスアライメントを高めることができるオルダム型のクランピングタイプを採用した。Fig.4にカップリングの許容ミスアライメントの関係を示す。Fig.4から分かるように、本体間の柔軟性が許容ミスアライメントの大小につながる。シャフトはモーターの軸径が14mmであるが、カップリング及び軸受けとの規格を考慮し15mmとした。また、表面硬度は通常、焼き入れを行うと硬度は高くなるが、脆く、衝撃に弱くなるため、今回の使用用途とは一致していないと考え、焼き入れなしを採用した。軸受けは回転回折格子の回転速度と重量を許容できる必要があり、二つを網羅し、かつ土台への固定形状からピロー型、高速回転を行う観点から、ボールベアリング式及びボールベアリング部に鋼鉄カバー一端密閉型の物を採用した。

5. まとめ

	硬直	柔軟
偏心量		
偏角量		

Fig.4 カップリングの許容ミスアライメント

今回はマイクロ波揺動測定に向けたドップラー反射計の測定対象であるプラズマに模倣した回転回折格子の設計を行った。回転回折格子を設計するにあたり、各部品のパラメータを考慮しつつ独自の回転回折格子の仕組みを考える必要がある。装置を実働させ、振動や安全面を考慮しつつ研究を進めていく予定である。今後の展望として、回転回折格子でドップラー反射計のドップラーシフトを測定でき次第、ヘリコン波プラズマの測定を行う予定である。

参考文献

- 1) 徳沢季彦, 江尻 晶, 先進計測技術・最近の進展, ドップラー反射計
J. Plasma Fusion Res.87, 345-349, 2011.
- 2) Tokihiko Tokuzawa, Shigeru Inagaki, “Application of Dual Frequency Comb Method as an Approach to Improve the Performance of Multi-Frequency Simultaneous Radiation Doppler Radar for High Temperature Plasma Diagnostics”, (2022) <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4744>. (参照2023-10-11)
- 3) MISUMI, 回転伝達「カップリングの基礎知識」, (2022) https://jp.misumi-ec.com/tech-info/categories/machine_design/md05/d0011.html. (参照2023-10-11)