

氏名	平田洋介
学位(専攻分野)	博士(エネルギー科学)
学位記番号	論エネ博第2号
学位授与の日付	平成10年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Shaping of Millimeter Waves and Its Applications to Gyrotrons for Electron Cyclotron Heating of Magnetized Plasmas (ミリ波の分布整形法と磁化プラズマの電子サイクロトロン加熱用ジャイロトロンへの適用)
	(主査)
論文調査委員	教授 若谷誠宏 教授 前川孝 教授 近藤克己

論文内容の要旨

本論文は、核融合プラズマの電子成分の加熱法として注目されている電子サイクロトロン加熱に不可欠の、170GHz帯の周波数で単管1MW級の連続発振が可能なジャイロトロンの実現を目指した研究の成果をまとめたものであり、序論と結論を含めて6章から成っている。このような大出力のジャイロトロンにおいて重要な課題は、ミリ波を発振する空洞共振器の熱負荷、電子ビームコレクターの熱負荷および出力窓の熱負荷の抑制である。これらの諸課題の中で、本論文は主として出力窓の熱負荷の抑制の問題に取り組んでいる。そのために、空洞共振器で生成されたTEモードのミリ波を、出力窓で平坦な電力分布を持つミリ波ビームに整形するためのモードコンバータと管内ミラー、および平坦な電力分布を持つミリ波出力を伝送系の基本モードへ再変換するための管外ミラー等を新しく開発し、これらを組み合わせることにより、170GHz帯で1MWの連続運転可能なジャイロトロン設計と試作を行い、総合効率を評価している。

第1章では、まず核融合プラズマにおける加熱法の特徴を明らかにした後に、電子サイクロトロン加熱に必要とされるジャイロトロン開発目標を述べている。さらに、既存のジャイロトロン性能評価を行い、170GHz帯の周波数で単管1MW級の連続発振が可能なジャイロトロンを実現するための課題と、それらを解決するためのミリ波のモードコンバータおよび分布整形のためのミラーの重要性をまとめている。

第2章では、内壁面に変形が加えられた円形導波管内の電磁界を求めめるためのモード変換理論をまとめている。導波管内の電磁界を固有モードに展開し、内壁面の変形に対応する各モード間の結合係数を計算する方法を取っている。得られた結合係数を用いれば、空洞共振器で発生したミリ波をミリ波ビームに変換する二重螺旋型モード変換器を設計できる。さらに、空洞発振モードのミリ波を2つのミリ波ビームに分離するためのモード変換器を実現できることを示している。これを用いると、空洞出力波を2つに分けて、2つの出力窓から取り出すことにより、出力窓の熱負荷を約半分下げられることを明らかにした。

第3章では、ミリ波ビームの分離ができるモード変換器を用いて、出力窓が2つの連続発振できる同軸型ジャイロトロン基本設計をまとめている。そのために次のような工夫を行っている。(1)同軸型空洞を用いて空洞熱負荷の小さい高次モード($TE_{01,8}$ モード)を安定発振させた。(2)空洞で発振したミリ波ビームをモード変換器により2つのビームに分離して出力窓の熱負荷を軽減した。(3)電位降下型コレクターを用いると、コレクター部の熱負荷を抑えると同時に、ジャイロトロン総合効率が向上することを示した。これらを適用することにより、周波数170GHz、出力1MWのCWジャイロトロン製作が可能になった。

第4章では、モード変換器から放射されたミリ波ビームを平坦な電力分布を持つビームに整形するためのミラーの設計法と分布整形の効率についてまとめている。ジャイロトロン出力窓の熱負荷を下げるために出力窓における電力分布を平坦化することは有効であり、そのために設計されたミラーが、電力分布と位相分布の制御を可能にすることを示した。設計例

では、分布整形ミラーの伝送効率として99%を得ている。さらに、平坦な電力分布を持つジャイロトロン出力波を、外部伝送系に効率よく結合させるために、電子サイクロトロン加熱用伝送系で用いられるコルゲート導波管の基本モードである HE_{11} モードに再整形する外部ミラーの設計も行っている。最後に、分布整形ミラーは1本のミリ波ビームを2本に分けたり、また、2本のミリ波ビームを1本に合成したりするためにも使えることを論じている。

第5章では、分布整形ミラーを備えたジャイロトロンを用いて、ミリ波ビームの電力分布および位相分布の測定法と、伝送系への結合効率の実験結果を示している。平坦な電力分布のジャイロトロン出力波を管外の分布整形ミラーにより HE_{11} モードに再変換して、伝送を行った結果、76%の効率で伝送系へ結合させることができた。この変換効率は、ジャイロトロン管内のミラー系の歪みに起因していることが示された。さらに、この効率を上げるためには、ジャイロトロン出力波の電力と位相の分布測定結果に基づいて、管外ミラー系を設計すればよいことも論じている。

第6章は、本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、磁気核融合プラズマの電子サイクロトロン加熱に不可欠の高周波数で、高出力の連続運転可能なジャイロトロンを実現するために、ミリ波ビームの電力分布の平坦化、およびミリ波ビームの分割と合成のためのモード変換器と分布整形用ミラーについて行った研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 導波管型モード変換器をモード変換理論に基づいて設計し、空洞共振器で発振したTEモードを2つのミリ波ビームに分割する手法を考案した。これにより、空洞出力波を2つに分けて、2つの出力窓から取り出すことにより、その熱負荷を約半分に下げられることを示した。

2. ジャイロトロンにおけるミリ波ビームの電力分布および位相分布を任意の形状に整形するミラーの設計手法を確立した。これにより、ジャイロトロン出力窓で平坦な電力分布を持つミリ波ビームが生成でき、出力窓における熱負荷を軽減できることを示した。さらに、この方式のミラーにより、単一のミリ波ビームを複数に分割したり、複数のミリ波ビームを単一に合成することができることを見出した。

3. ジャイロトロン出力窓を通過した平坦な電力分布のミリ波ビームを、電子サイクロトロン加熱用伝送系に結合するための外部分布整形ミラーを考案した。また、実験的にミリ波ビームの位相分布を推定する方法を示し、この分布を用いて分布整形ミラーを設計すれば、伝送効率が上がることを見出した。

4. 2つのミリ波ビーム生成用モード変換器、同軸空洞および電位降下型コレクターを用いて、出力窓、空洞内壁およびコレクターの熱負荷を抑制することにより、周波数170GHz、発振モード $TE_{01,8}$ 、出力約1MWの連続運転可能なジャイロトロン基本設計を行い、試作によりその実現性を確認した。

以上要するに本論文は、高周波数で高出力の連続運転を目指したジャイロトロン設計に必要なモード変換器および分布整形ミラーの基礎理論および設計方法を明確にしたもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成10年7月7日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。