

京都大学	博士 (工学)	氏名	望月 諒
論文題目	Study on Beltrami Fields with Parallel Electric and Magnetic Fields at Microwave Frequencies (マイクロ波帯における電場と磁場が平行なベルトラミ場の研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、マイクロ波帯における電場と磁場が平行なベルトラミ場の実現に向けた理論および数値的研究についてまとめたものである。具体的には単一周波数で振動する電場と磁場が平行($E H$)なベルトラミ場の一般解の導出と閉空間内に $E H$ ベルトラミ場を閉じ込めるための共振器の実装方法についてまとめてあり、全5章から構成される。</p> <p>第1章では、マイクロ波、ベルトラミ場および $E H$ 場の歴史や先行研究と研究動機・目的・課題についてまとめられている。$E H$ 場のマイクロ波帯での実現は新たなマイクロ波応用の開拓に繋がりをうるために意義深く本研究の動機となっている。そしてマイクロ波帯における $E H$ ベルトラミ場の実現には a)$E H$ ベルトラミ場の一般解の導出と b)$E H$ ベルトラミ場の閉空間への閉じ込めが課題である。課題 a)と b)の解決を通して、マイクロ波帯における $E H$ ベルトラミ場の実現可能性を示すことが本研究の目的である。</p> <p>第2章では、従来未解決であった単一周波数で正弦波振動する $E H$ 場の一般解を導出することで、課題 a)を解決した。本章では1組の適当なベクトル場 v とスカラ場 f を用いて $E H$ 場における電場 E と磁場 H を書き表した。単一周波数で正弦波振動する $E H$ 場はスカラ場 f の時間依存性によって Case I または Case II に分類可能である。Case I $E H$ 場はベルトラミ場でもある。ベクトル場 v はヘルムホルツ方程式の解であることから、ヘルムホルツ方程式の解の積分表示を利用することで、Case I $E H$ 場の一般解を導出できる。さらに、Case I $E H$ 場の一般解はさまざまな方向に進む同一巡回方向の円偏波の重ね合わせであるという物理的解釈を得る。Case II $E H$ 場は非ベルトラミ場である。Case II $E H$ 場では v は2次元ラプラス方程式の解であることから、正則関数と2次元ラプラス方程式の関係を利用し、Case II $E H$ 場の一般解を導出できる。Case II $E H$ 場の一般解は互いに逆向きに進行する巡回方向の異なる2つの平面ベルトラミ場の重ね合わせで得られるという物理的解釈を得た。</p> <p>第3章では、$E H$ ベルトラミ場を閉じ込める半波長円筒空洞共振器を提案することで、第1章で提示した課題 b)の解決方法を与えた。まず第2章で導出した Case I $E H$ ベルトラミ場の一般解を円筒座標系に適用することで、軸対称的な $E H$ ベルトラミ場を得る。その $E H$ ベルトラミ場は通常の導体壁で囲まれた円筒空洞共振器内には発生不可能である。そこで $E H$ 場と両立可能な共振器側面と端部における境界条件を与える。側面においては共振器縦断方向の電場と磁場を共にゼロにする特殊な境界条件 longitudinal electromagnetic conductor (LEMC)が必要である。端部においては周方向の電場と磁場を共にゼロにする特殊な境界条件 circumferential electromagnetic conductor (CEMC)が必要である。LEMC は周方向に配置されたコルゲーションを備えた円筒導波管によって実装される。さらに CEMC は同心的に配置された円形フィンによって実装される。そして LEMC と CEMC を備えた半波長円筒空洞共振器を設計し、設計した共振器には電場と磁場が時間・空間的に平行な共振モードが発生することを数値的に証明した。さらに、提案した共振器では電気および磁気エネルギー密度の空間分布が一致し複素ポインティングベクトルの虚部がゼロになるという通常の円筒空洞共振器には起こり得ない特異性質を持つことを数値的に示した。</p> <p>第4章では、第3章で提案した半波長円筒空洞共振器を発展させることで励振機構を</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	望月 諒
<p>備えた四分の一波長円筒空洞共振器の実装方法を与えた。第3章で提案した半波長円筒空洞共振器は外部系からの孤立を仮定したが、実際の利用には外部回路との結合による共振器の励振機構が不可欠である。そこで、共振器とTMおよびTEモード給電導波管を独立に結合させ、共振器内部でTMおよびTEモードを合成することで軸対称E Hベルトラミ場を励振した。そのために新たに特殊な端部境界条件 radial electromagnetic conductor (REMC)を導入した。REMCは径方向の電場と磁場を共にゼロにする端部における特殊な境界条件であり、軸対称的に配置された放射状フィンによって実装される。提案する共振器は、四分の一波長LEMCの両端をCEMCとREMCで終端することで実装される。提案共振器はCEMC端部の底部に設けられた弧状スロットを介してTMモード給電導波管と結合し、REMC端部の底部に設けられた放射状スロットを介してTEモード給電導波管と結合する。TMおよびTE共振モードの蓄積エネルギーが一致する時E Hベルトラミ場が生成されることから、E HとなるためのTMとTEの結合係数に関する条件を電磁界理論および回路理論的に導出した。そしてE H条件を満たすTMおよびTEの結合係数を備えた共振器を複数設計し、いずれの共振器でもE H場が励振されることを数値的に確認し、実現できることを示した。このことから励振機構を含む提案した四分の一波長共振器の実装・設計手法の妥当性が確認された。</p> <p>第5章は結論であり、本研究で得られた成果と今後の課題について述べられている。</p>			