

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	並列給電回路を有する中空導波管スロットアレーアンテナの数値固有モード解析と広帯域設計
Title(English)	Numerical Eigenmode Analysis and Wideband Design of Hollow-Waveguide Slot Array Antennas with Corporate Feed Network
著者(和文)	戸村崇
Author(English)	Takashi Tomura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9455号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:廣川 二郎,荒木 純道,安藤 真,水本 哲弥,西方 敦博,小西 善彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9455号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	11D13020	号	学位申請者氏名	戸村 崇	
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	廣川 二郎	准教授	審査員	西方 敦博	准教授
	審査員	荒木 純道	教授		小西 善彦	広島工業 大学教授
		安藤 真	教授			
		水本 哲弥	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Numerical Eigenmode Analysis and Wideband Design of Hollow-Waveguide Slot Array Antennas with Corporate Feed Network (並列給電回路を有する中空導波管スロットアレーアンテナの数値固有モード解析と広帯域設計)」と題し、英文6章からなる。

第1章「Introduction」では、並列給電中空導波管スロットアレーアンテナの位置づけ、導波管スロットアンテナの解析手法、ミリ波帯無線システムへの応用に向けた課題を明確にし、本論文の目的はミリ波帯で広帯域・高利得・高効率な導波管スロットアレーを実現することとしている。本アンテナは並列給電回路と複数の 2×2 放射スロットサブアレーから構成され両者の広帯域化が必要となる。給電回路はすでに $VSWR < 1.5$ の帯域が19.6%と広帯域が実現されており、帯域が9.2%に留まっているサブアレーの広帯域化が課題になるとしている。サブアレーの高速な解析手法を確立し、サブアレーの広帯域化、さらに45度偏波化とその広帯域化を行うと述べている。

第2章「Numerical Eigenmode Analysis of Wall-Inserted Cavity-Backed Slot Array Antenna」では、本論文で設計する挿入壁付きキャビティ付きスロットアレーアンテナの数値固有モード展開を用いた解析法を示している。導波管断面形状が長方形に壁を挿入した構造では固有モードは解析的には求められないので、2次元有限要素法により計算した数値固有モードで展開し、モーメント法と組み合わせている。解法の妥当性を確認するため、正方形配列アレーの素子方向に対して0度および45度傾いた直線偏波スロットアレーアンテナに適用し、汎用有限要素法シミュレータHFSSと同等の解析結果を得ている。例えば31の周波数における解析に要する時間は、HFSSの20分程度に対し、本手法では9~15秒と大幅に短縮されている。

第3章「Wideband Design of 0° Linearly Polarized Slot Array Antenna by Numerical Eigenmode Analysis」では、第2章で構築した高速解析手法を用い、0度直線偏波スロットアレーアンテナを60GHz帯で広帯域設計している。5つのステップに分けて12パラメータを決定している。幅広放射スロットと低キャビティによる低Q化、三重共振化によりサブアレーの $VSWR < 1.5$ の帯域を20.4%へ広げている。16×16素子アレーを試作し、利得31.5dBi以上の帯域は従来の13.1%から19.2%と大幅に広帯域化している。

第4章「Initial Design of 45° Linearly Polarized Slot Array Antenna」では、0度直線偏波アンテナの偏波面を45度傾ける層を追加した構造を提案している。正方形配列アレーの対角線方向である45度面が主偏波面となりサイドローブが基本的に低くなっている。しかしサブアレーは非対称構造となるため、4個の放射スロットは厳密には非一様に励振される。細い励振スロットを採用して非一様の主因である高次モードの伝搬を抑圧し、キャビティ内の電磁界分布を一様に維持することで4個の放射スロットを一様に励振できている。また交差偏波を抑圧するために厚い放射スロットを採用し、結果としてこのアンテナの低サイドローブ特性を実現している。60GHz帯16×16素子アレーを試作し、設計周波数においてE面第一サイドローブレベルは-26.1dB、利得33.0dBi、アンテナ効率83.8%を実現している。

第5章「Wideband Design of 45° Linearly Polarized Slot Array Antenna by Numerical Eigenmode Analysis」では、2章の解析手法を用い、4章の45度直線偏波スロットアレーアンテナを71~86GHz帯で設計している。交差偏波抑圧のために幅が細いスロットのペア構造を採用し、厚み以外の全13パラメータを一括して遺伝的アルゴリズムで設計している。 $VSWR < 1.5$ 以下の帯域は従来の7.2%から25.7%まで格段に広帯域化されている。放射素子の固有モード解析の結果、帯域内に3つの固有モードがあり、2つの固有モードの低Q化と共振周波数の適切な配置により広帯域化されたことを明らかにしている。16×16素子アレーを試作し、設計周波数で利得32.9dBi、アンテナ効率86.6%を実現した。また利得31.5dBiかつアンテナ効率70%以上の帯域は18.4%に広帯域化されている。

第6章「Conclusion」では、本研究で得られた成果を総括し、本論文の結論を述べるとともに、今後の検討課題について言及している。以上要するに、本論文はミリ波帯で広帯域・高利得・高効率な導波管スロットアレーを実現したもので、工学上、工業上貢献することが大きい。よって我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値があるものと認める。