

氏名	きりの ひでき 桐野 秀樹
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	富理工博甲第129号
学位授与年月日	平成30年3月23日
専攻名	数理・ヒューマンシステム科学専攻
学位授与の要件	富山大学学位規則第3条第3項該当
学位論文題目	ワッフルアイアンリッジ導波路とそれを用いたアレー アンテナに関する研究
論文審査委員 (委員長)	中島 一樹 小川 晃一 前澤 宏一

学位論文の要旨

学位論文題目

ワッフルアイアンリッジ導波路とそれを用いたアレーアンテナに関する研究

数理・ヒューマンシステム科学専攻

氏名 桐野 秀樹

本学位論文は、ミリ波回路に用いられるミリ波導波路と、それを用いたミリ波アンテナの研究成果について報告するものであり、特に車載ミリ波レーダの周波数である 76GHz 帯のアレーアンテナを中心に報告する。

従来のミリ波導波路としてマイクロストリップ線路と導波管が多く用いられている。しかし、マイクロストリップ線路は基板の誘電損失や線路からの放射がありアレーアンテナの効率を低下させることがハードルとなって、民生機器への普及が進んでいない。また、導波管を用いたアレーアンテナでは、利得・効率・低損失・低サイドローブ等の特性に加え、組立の容易さ・ $\lambda/2$ に近いアレー配置・自由な導波路配置・複数アンテナの一体構成という要求を含めて、ミリ波アレーアンテナへの要求に応えるものが実現されていなかった。よって本論ではワッフルアイアンとリッジ構造による電磁界エネルギーの閉じ込め機能を利用することで従来の導波路の課題を解決した新たなミリ波導波路を提案し、その特性を解析するとともに、新たに提案した導波路を用いた複数のミリ波アレーアンテナについて、設計試作した結果を示す。

本論は以下の内容で構成される。本章において本研究の背景と目的、ならびに概要について述べた後、第2章では導波路とアレーアンテナの概要と従来技術について述べる。従来のアレーアンテナとして、金属導波管およびそれを改良した導波路を用いた複数の例を用いて説明し、本研究がこれら従来のアレーアンテナと同等の特性を有しながら、従来のアレーアンテナが有する課題を解決することを目的とすることを説明する。

第3章では、新規に提案するワッフルアイアンリッジ導波路 (Waffle-iron Ridge Guide : 以降、WRG とする) を説明する準備として電磁氣的境界の概念を説明し、さらにワッフルアイアン構造の電氣的特性を求める。さらに WRG の構造を説明するとともに、WRG の伝搬の物理的理解を得るアプローチとして等価回路と横共振法による解析をおこなう。また導波路では伝送帯域の評価が大変重要になる。よって第3章では、ワッフルアイアン構造の伝送帯域について、分散特性から見た場合と遮断帯域から見た場合の、2つの観点で解析する。なお、分散特性から見た伝送帯域については、WRG と同一構造について研究発

表している他の研究グループの解析方法も合わせて示した。これによりミリ波導波路の分野で研究途上である WRG について、現時点で研究されている範囲での、伝送帯域の解析方法について示しているものと考えられる。

なお、WRG は本研究者によって 2008 年に考案されたものであるが、当時スウェーデン Chalmers 大学の Kildal 教授によってもほぼ同時に考案されている。Kildal 教授らの研究グループでは、WRG を Gap Ridge Waveguide と命名している。

第 4 章では、WRG を用いた 2 種類の一次元アレーアンテナを説明する。1 つ目は導波路波長の間隔に放射エレメントを配置したタイプであり、2 つ目は導波路上に遅波構造を付加することにより、放射エレメントの配置間隔を短縮したタイプである。なお、第 4 章の一次元アレーアンテナは、第 5 章の二次元アレーアンテナを実現するための事前検討として位置づけられる。

第 5 章では、WRG を用いた二次元アレーアンテナを説明する。ここで説明する二次元アレーアンテナは、第 1 章に述べた車載ミリ波レーダに用いられる小型高利得高効率なアンテナを想定したものであり、車載ミリ波レーダの要求に合致するよう、二次元の方向でサイドローブレベルを低減したものとなっている。本論では、第 5 章で説明する二次元アレーアンテナが、第 2 章で説明する従来のミリ波アレーアンテナと比較する対象として位置づけて、本研究の達成度を検証する。

ミリ波機器では可変ビームアンテナが要求されている。よって第 6 章では、WRG を用いた 2 種類の可変ビームアンテナを説明する。ここで説明する可変ビームアンテナは電子的に指向性を制御するものではなく、機械的に指向性を制御するアンテナを目的としている。それを実現するために WRG の上下の導体板を動かすことで移相器を構成している。なお、第 6 章で説明する可変ビームアンテナは、実用的なアンテナを実現するまでには、今後のさらなる研究を要するものとなっている。2 種類の可変ビームアンテナのうち、1 種類目は導波路長を変化させる移相器を使用したタイプであり、2 種類目は導波路波長を変化させる移相器を使用したタイプとなっている。

第 7 章では、第 1 章から第 6 章を総括し、本研究の目的と達成度について述べる。最後に、第 8 章で今後の研究について述べる。

本研究の成果により、ミリ波帯を使用する機器において、従来のアレーアンテナと同等の性能を有しながら、従来のアレーアンテナの課題を解決できる。これにより、ミリ波機器の普及に大きく貢献できるものと期待できる。

【審査の結果の要旨】

当学位論文審査委員会は申請論文「ワッフルアイアンリッジ導波路とそれを用いたアレーアンテナに関する研究」(申請者 桐野秀樹)を詳細に査読し、また、平成30年1月24日に学位論文公聴会を開催し、その発表及び質疑応答を含めた審査を行った。以下に審査結果の要旨を記す。

従来のミリ波導波路としてマイクロストリップ線路と導波管が多く用いられている。しかし、マイクロストリップ線路は基板の誘電損失や線路からの放射がありアレーアンテナの効率を低下させることがハードルとなって、民生機器への普及が進んでいない。また、導波管を用いたアレーアンテナでは、利得・効率・低損失・低サイドローブ等の特性に加え、組立の容易さ・ $\lambda/2$ に近いアレー配置・自由な導波路配置・複数アンテナの一体構成という要求を含めて、ミリ波アレーアンテナへの要求に応えるものが実現されていなかった。

このような背景を踏まえ、本論文では、ワッフルインとリッジ構造による電磁界エネルギーの閉じ込め機能を利用することで従来の導波路の課題を解決した新たなミリ波導波路を提案し、その特性を解析するとともに、新たに提案した導波路を用いた複数のミリ波アレーアンテナについて、設計試作した結果を示すものである。

第1章では、本研究の背景と目的、ならびに概要について述べられている。

第2章では、導波路とアレーアンテナの概要と従来技術について述べられている。

第3章では、提案するワッフルアイアンリッジ導波路(WRG)の構造を説明するとともに、WRGの伝搬の物理的理解を得るアプローチとして等価回路と横共振法による解析が行われている。またWRGの伝送帯域について、分散特性から見た場合と遮断帯域から見た場合の2つの観点で解析され、有効性が実証されている。

第4章では、WRGを用いた2種類の一次元アレーアンテナが説明されている。1つ目は導波路波長の間隔に放射エレメントを配置したタイプ、2つ目は導波路上に遅波構造を付加することにより放射エレメントの配置間隔を短縮したタイプが示されている。

第5章では、WRGを用いた二次元アレーアンテナが説明されている。二次元アレーアンテナは、車載ミリ波レーダに用いられる小型高利得高効率なアンテナを想定したものであり、二次元の方向でサイドローブレベルを低減したものであることが示されている。

第6章では、WRGを用いた2種類の可変ビームアンテナが説明されている。機械的に指向性を制御するアンテナを実現するためにWRGの上下の導体板を動かすことで移相器を構成しており、有効性が実証されている。

第7章では、本研究の目的と達成度、第8章では、今後の研究について述べられている。

以上、本論文は、ミリ波帯を使用する機器において、従来のアレーアンテナと同等の性能を有しながら、従来のアレーアンテナの課題を解決できることが記されている。これにより、ミリ波機器の普及に大きく貢献できるものと考えられる。これらの結果より、本審査委員会は、博士(工学)の学位を授与するに十分な内容をもつものと認めた。