

論文の内容の要旨

申請者 氏名 秋山 佑佳

論文題目

広帯域特性及び広角な斜入射特性を有する電波吸収体の最適設計

電波吸収体 (RAM) は電波暗室の設計だけでなく、通信障害対策やノイズ対策等、様々な場面で必要とされており、幅広く利用されている。RAM は使用用途に応じて周波数帯域が異なり、要求される性能も広帯域特性、斜入射特性、両偏波特性等で異なる。そのため、RAM の設計には目的に応じた材質や形状の選択が求められ、一般的に、RAM の材質には導電性材質、誘電性材質、磁性材質及び人工材質の他、これらを組み合わせた複合材料があり、形状にはピラミッド型や平板型に加えて抵抗皮膜等がある。それらの RAM は要求性能を満たすよう優れた特性を有しているが、構造上の制約や周波数の制約、加工及び製作精度を要する等の欠点も有している。そこで、これらの課題を克服するため、本論文では加工が容易で、使用用途を拡大できる平板型構造を使用し、複数の要求性能を満たす RAM の設計手法を提案する。RAM の性能は受信周波数及び入射角に対して、その電気材料定数によって決定するため、電気材料定数の算出に最適化手法を適用し、垂直入射時及び斜入射時に広帯域特性を満たす RAM の設計を行う。この際、垂直入射時には、少ない層数で低周波数帯域から広帯域特性を満たす RAM が求められており、斜入射時には、低周波数帯域から、連続した斜入射特性かつ広帯域特性を満たす RAM が求められている。したがって、垂直入射時及び連続した斜入射時において広帯域特性を満たす 2 層平板型 RAM を提案する。ここで、最適設計は最適解が確定値であるため、製作時に設計変数に誤差が生じた場合、要求性能を満たすことが困難という欠点を有する。そのため、本論文では設計変数に対してロバスト性を持たせる、ロバスト設計手法についても併せて提案する。最適設計及びロバスト設計という 2 つの手法から、広帯域特性を満たす 2 層平板型 RAM を設計する。

第 2 章では、多目的遺伝的アルゴリズムを用いて、2 層平板型 RAM の広帯域特性及び最小周波数の低周波化を同時に考慮した電気材料定数最適化による設計手法を示す。その結果、20 dB 以上の電波吸収量を満たす周波数の広帯域化及び低周波化を実現した。また、最適化手法に加えてクラスタリング分析手法を用いることで、低周波数帯域から広帯域な範囲で 20 dB 以上の電波吸収量を満たすには、比誘電率の周波数分散性を考慮する必要があることを示した。比誘電率実部及び比誘電率虚部の周波数分散性を考慮して設計に係る最適化を行った結果、20 dB 以上の電波吸収量に対して、比帯域幅 158.24 %、最小周波数

1.78 GHz を満たす、厚さ 18.1 mm の 2 層平板型 RAM を設計することができた。

第 3 章では、第 2 章で提案した設計手法を応用し、連続した斜入射時において広帯域特性を有する RAM の設計手法を示す。最大入射角が大きくなるにつれて全ての入射角で電波吸収量が 20 dB 以上となる条件を満たすことは困難となるが、誘電性材質及び磁性材質を用いて、連続した斜入射特性かつ広帯域特性を有する 2 層平板型 RAM の設計を実現した。その結果、誘電性 RAM は、最大入射角が 60 deg. であり、広角度の斜入射特性を有するという利点がある一方で、TE 波入射時、最小周波数の低周波化が十分に満たされないという課題が明らかとなった。一方、磁性 RAM は、最大入射角は 45 deg. 以下と誘電性 RAM に比べて小さいが、最小周波数の低周波化に優れるという特性を有することが確認された。したがって、広角度の斜入射特性が求められる場合に誘電性提案 2 層平板型 RAM が適しており、低周波数帯域で広帯域特性及び斜入射特性が求められる場合には、磁性提案 2 層平板型 RAM が適していることが明らかとなった。加えて、提案する誘電性 RAM、磁性 RAM はそれぞれ 60 deg., 50 deg. 以内の入射角範囲で、電波吸収量 10 dB に対して両偏波特性を有することを確認した。

第 4 章では、設計変数に対してロバスト性を有し、かつ垂直入射時及び連続した斜入射時において広帯域特性を満たす 2 層平板型 RAM の設計手法を示す。設計変数の変動区間において最悪値を取った場合でも制約条件を満たす設計領域において、目的関数の最悪値を最大化する手法を用いることで、誘電性材質から成る 2 層平板型 RAM のロバスト設計を実現した。提案手法により設計した RAM は設計変数にロバスト性を持たせるため、製作時に誤差が生じた場合でも垂直入射時、斜入射時ともに広帯域特性を有しており、その性能に問題がないことを示した。垂直入射時、電波吸収量の最小値を 20 dB とした場合、比誘電率実部及び比誘電率虚部は 13.0 % まで、厚さについては 5 % まで変動可能であることが明らかとなった。さらに、TM 波入射時、電波吸収量の最小値を 15 dB とした場合、比誘電率実部及び比誘電率虚部は 9.9 % まで、厚さについては 5 % まで変動可能であり、TE 波入射時は、比誘電率実部、比誘電率虚部及び厚さ全て 1.5 % まで変動可能であることが明らかとなった。加えて、必要な電波吸収量の最小値に対して、比誘電率実部、比誘電率虚部及び厚さの変動倍率の指標を得ることができた。