

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14744

研究課題名（和文）電波散乱壁を用いた次世代高速無線通信の室内伝搬環境制御技術に関する研究

研究課題名（英文）Research on electromagnetic wave scattering wall to control of radio wave propagation indoor in next-generation wireless communications

研究代表者

村上 靖宜（Murakami, Yasutaka）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：70849041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、次世代の無線通信における見通し外の通信品質を改善するために、散乱波を制御する電波散乱壁の開発を行った。まず、入射した電波を複数の方向に広角に散乱させるための反射板の設計方法について提案した。提案した設計手法は、等価回路、アレーアンテナ理論および遺伝的アルゴリズムを利用した高速に最適構造を決定できる。また、設計した電波散乱壁を用いて、30 GHz帯での電波伝搬計測実験を行い、不感地帯の通信品質改善効果を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、電波伝搬環境を制御できる電波散乱壁の最適設計方法を明確にすることで、任意の通信空間の実現に寄与する。近年、通信端末の爆発的な増大・使用周波数の高周波化に伴い、通信品質の確保や不感地帯の問題に対して、アンテナなどの通信機器だけで解決することは難しい。そのため本研究で提案して電波散乱壁を利用し、電波伝搬環境を制御することで、次世代高速無線通信のサービス向上に資することができる。

研究成果の概要（英文）：In this research, an electromagnetic scattering wall to control the scattered waves in order to improve quality of the next-generation wireless communications the in an out-of-sight area.

A design method of an electromagnetic scattering wall for multiple direction scattering was proposed. We also introduced fast design and optimization methods using equivalent circuits of metamaterials, antenna array theory, and the genetic algorithm. A received signal strength was measured in the 28 GHz band using the designed electromagnetic scattering wall, and the effect of improving the communication quality in the blind zone was clarified.

研究分野：アンテナ・電波伝搬

キーワード：メタマテリアル 電波伝搬 反射板 電波散乱

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットに接続する機器の増加、世界的な普及や SNS の新たなサービスの登場により、データトラフィック量は、国内外を問わず飛躍的に増大している。トラフィック量の増加の問題を解決する手段として、300 GHz 帯を使った高速・大容量無線通信システムの研究が行われており、短レンジ・見通し(~ 10 m)、超小型(10 mm 以内)、高速大容量(毎秒 10 Gbit 以上)、超広帯域といった特長を有する無線通信システムとしての活用が期待されている。しかし、この周波数帯では室内で、受信アンテナ間に遮蔽物が存在する場合、直接波も反射波も届かない空間が生じ通信品質が劣化する問題が生じるため通信品質の改善や、電波の効率的利用のため特定領域外への放射電磁波を抑制するという需要がある。

2. 研究の目的

本研究では、反射・散乱波を制御する電波散乱壁を部屋の天井や壁に配置し、室内で対象とする空間の電波伝搬環境を制御し、室内無線通信品質の改善や通信領域の限定化および対象通信領域外への漏洩電波の低減の実現を目的とした研究開発を行う。電波散乱壁は近似的な手法で散乱パターンを導出し、空間電波伝搬環境の様々な制御毎に対応させた新たな評価関数を利用した設計指針に基づき、機械学習で高速・高精度に設計する。電波散乱壁を利用し、電波伝搬環境を制御することで、次世代高速無線通信のサービス向上に資する。

3. 研究の方法

- (1) 本研究で電波伝搬環境を制御するために、電波散乱壁を提案する。電波散乱壁は、メタマテリアル技術に基づいた基準面での反射位相が異なる複数の周期構造の素子を組み合わせる構成し、その電波散乱壁の散乱パターンを、アレーアンテナ理論などの近似的な解析手法を応用して導出する。そして導出した散乱パターンを評価し、その評価値が最大となる電波散乱壁を設計する手法について考察する。
- (2) 提案した設計手法に基づいて、設計した電波散乱壁について目的とする広角な散乱パターンが実現できているか、散乱パターン測定実験を行い明らかにする。また、実験する周波数は 5G で利用されている 28 GHz 帯で行う。
- (3) 電波散乱壁の通信品質改善効果を実験で明らかにする。直接波が受信アンテナ到達しない室内電波伝搬環境を、遮蔽体などを用いて実験室で再現し、電波散乱壁を配置した場合の受信強度への影響を明らかにする。送信アンテナとしてホーンアンテナを用いて電波散乱壁に電波を入射させ、受信強度等を測定することにより散乱特性を評価する。また同じ散乱特性の散乱壁を複数製作し、室内伝搬環境への影響を明らかにする。

4. 研究成果

- (1) 入射した電波を表面で広角に散乱させる図 1 に示す電波散乱壁を提案した。提案した電波散乱壁は、目的の周波数で電波の反射位相が 0° を実現できるパッチ型メタマテリアルと反射位相 180° の通常の金属平面を組み合わせる構成した。2 つの異なる反射位相の領域を使用することで、電波散乱壁表面の電流分布を不均一にし、散乱パターンを制御できる。
- (2) 提案した電波散乱壁の最も広角な散乱パターンを実現するメタマテリアルと金属領域の組み合わせ決定手法を提案した。提案する設計手法は、以下の手順である。

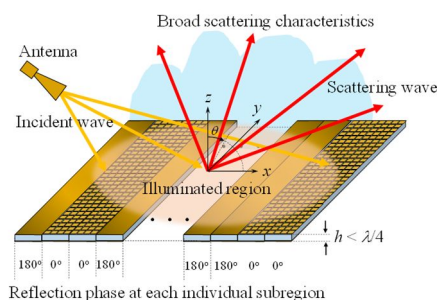


図 1 電波散乱壁の構成

- (a) 等価回路理論を用いて、目的の周波数で反射位相 0° を実現できるパッチ型メタマテリアルの構造パラメータを決定する。この方法で決定したメタマテリアルの厚みが、電波散乱壁の厚みとなる。
- (b) 電波散乱壁の散乱パターンについて、メタマテリアルと金属平板の領域をアンテナに置き換えて、アレーアンテナを用いて導出する。導出した散乱パターンは指向拡散度で評価する。

- (c) 最も広角な散乱パターンを実現するメタマテリアルと金属平板の領域の組み合わせ順序に関して、遺伝的アルゴリズムを用いて最適構造を決定する。

提案した最適化手法は、電磁界シミュレーションを用いず、近似式のみで高速に設計できる。一般的な最適化方法として、総当たりで解析する方法があるが、それに対して 90 % 以上の試行回数削減を実現した。提案した設計手法は周波数を変えた場合でも、同様に高速に設計することができるため、300 GHz 帯の電波散乱壁も設計が可能となった。

- (3) 設計した電波散乱壁について散乱パターンを 5G の周波数帯である 28GHz 帯で、実験により測定した。図 2 の黒破線と赤の実線を比較より、設計手法で導出した散乱パターンと実験結果は良好に一致しており、設計手法が妥当であることが明らかになった。図 2 に示すように入射角度が 0°, 20° 及び 40° (図 2(a)-(c)) と変化した場合でも、通常の金属平板に比べて広角な散乱パターンを実現できることを明らかにした。

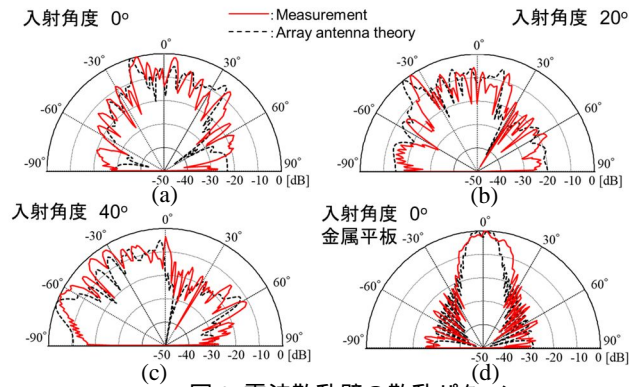


図 2 電波散乱壁の散乱パターン

- (4) 電波散乱壁の通信品質改善効果を明らかにするために、28 GHz 帯で電波電波測定実験を行った。シールドルーム内に送信アンテナからの直接波を遮蔽した領域内の受信電界強度を測定した。図 3(a)は実験構成で、図 3(b)は試作した電波散乱壁である。図 3(c)と(b)はそれぞれ電波散乱壁と通常の金属平板を配置した場合の受信アンテナの受信強度分布である。図 3 より、通常の金属平板では、低い受信強度の領域の改善を電波散乱壁により実現できていることがわかる。つまり、電波散乱壁を用いた通信品質改善の有効性を示すことができた。また、受信強度-70dbm 以上の領域の割合は通常の金属平板と電波散乱壁の場合は、それぞれ 16% と 39% であり、受信強度-70dbm 以上は約 23% 増加した。

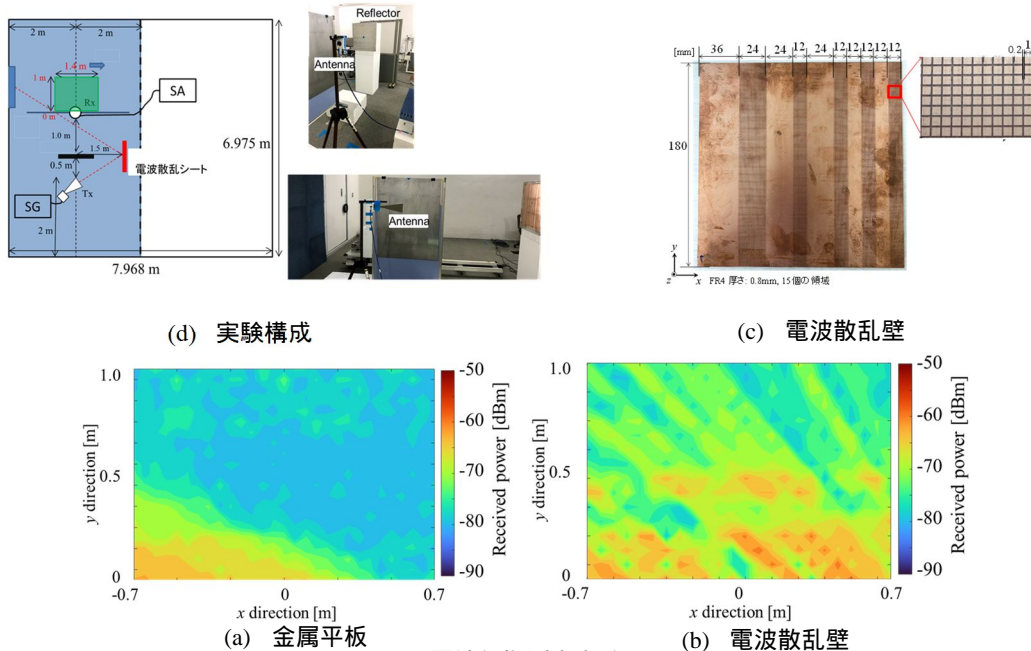


図 3 電波伝搬測定実験

- (5) 電波散乱壁の 300 GHz 帯での設計に向けて、薄膜の誘電体のシートが散乱パターンに及ぼす影響を実験により計測を行った。実験では薄膜の誘電体シートとして壁紙を利用した。実験の結果、薄膜の誘電体シートによる散乱パターンの変化はないことが明らかになった。以上の研究成果により、次世代無線通信における通信品質改善のための散乱壁の開発が可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Yasutaka Murakami, Jerdvisanop Chakaro thai, Katsumi Fujii | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Electromagnetic diffusion of a wall with modified checkerboard pattern | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Communications Express | 6. 最初と最後の頁 58-63 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2021XBL0187 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Murakami Yasutaka, Chakaro thai Jerdvisanop, Fujii Katsumi | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Design of electromagnetic scattering wall using genetic algorithm | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEICE Communications Express | 6. 最初と最後の頁 282-287 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/comex.2020XBL0028 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yasutaka Murakami, Jerdvisanop Chakaro thai and Katsumi Fujii |
| 2. 発表標題 Improvement of EM Diffusion Performance of Checkerboard Structure in 28 GHz Band |
| 3. 学会等名 2021 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, SIGNAL & POWER INTEGRITY（国際学会） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 村上靖宜, チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 浜田リラ, 藤井勝巳 |
| 2. 発表標題 電波散乱壁を用いた28GHz帯の電波伝搬環境改善の実験的検証 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Murakami, J. Chakrothai and K. Fujii |
| 2. 発表標題 A Design of Metamaterial Electromagnetic Scattering Wall |
| 3. 学会等名 URSI General Assembly and Scientific Symposium 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Y. Murakami, J. Chakrothai and K. Fujii |
| 2. 発表標題 A Design of an Electromagnetic Scattering Wall Applying Array Antenna Theory |
| 3. 学会等名 EMC Europe2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 村上靖宜, チャカロタイジェドヴィスノブ, 藤井勝巳 |
| 2. 発表標題 アレーアンテナ理論を応用した電波散乱壁の設計-メタマテリアルによる薄型化- |
| 3. 学会等名 信学技報EMCJ 2020-13 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 複数、村上靖宜(第6章 7節担当) | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 技術情報協会 | 5. 総ページ数 653 |
| 3. 書名 ～ 5 G / Beyond 5 G に向けた～ 高速・高周波対応部材の最新開発動向 | |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 橋本修 監修, 村上靖宜(第25章担当) | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 シーエムシー出版 | 5. 総ページ数 318 |
| 3. 書名 電波吸収体・電磁波シールド材の開発最前線 5Gに向けた設計と高性能化 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|