

非相反メタマテリアルによる ビーム走査アンテナ

2024年9月5日



KYOTO
INSTITUTE OF
TECHNOLOGY

京都工芸繊維大学

電気電子工学系 教授

上田 哲也

研究背景と課題

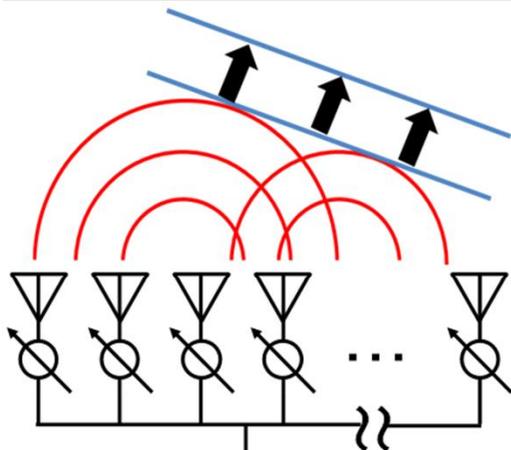
Beyond 5G & 6G

- 大容量
- 高速
- 同時多接続
- 低遅延, etc.

ビームフォーミング & 走査



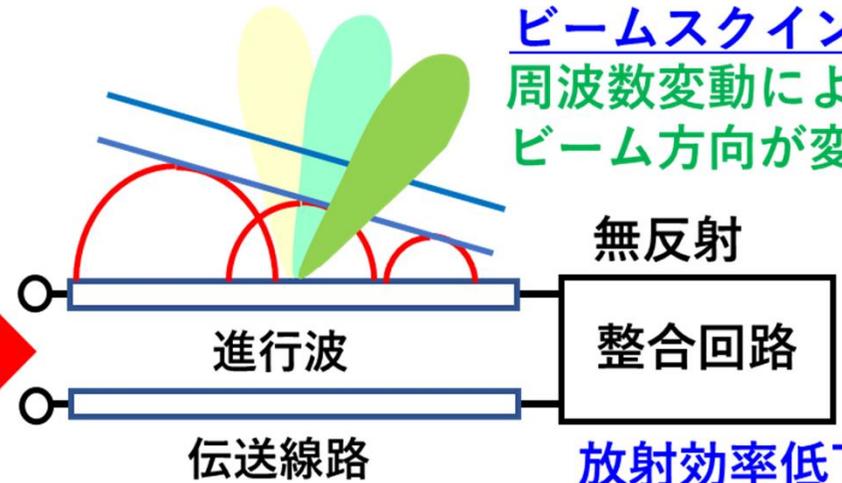
フェーズドアレーアンテナ



- より簡素な
- アンテナ構造
 - 制御システムが望ましい

複雑な給電構造、複雑な制御システム

漏れ波アンテナ



ビームスキイント:
周波数変動により
ビーム方向が変化

従来技術とその問題点

既に実用化されているビーム走査アンテナとしてフェーズドアレーアンテナがあるが、アンテナ素子数の増加に伴い

各素子の位相制御の負荷大

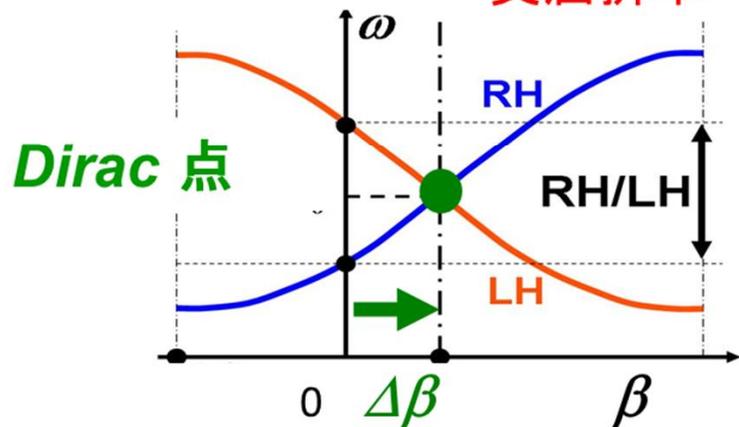
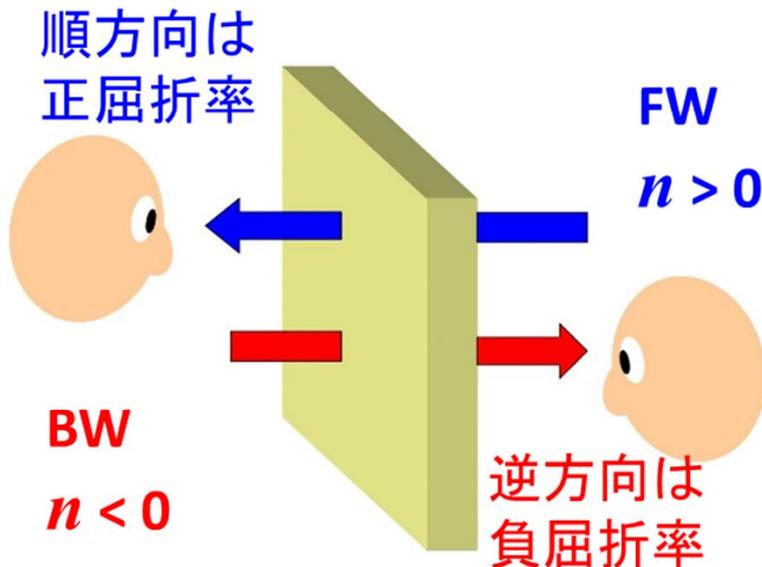
給電線が非常に複雑な構造

等の問題があり、端末等に広く利用されるまでには至っていない。

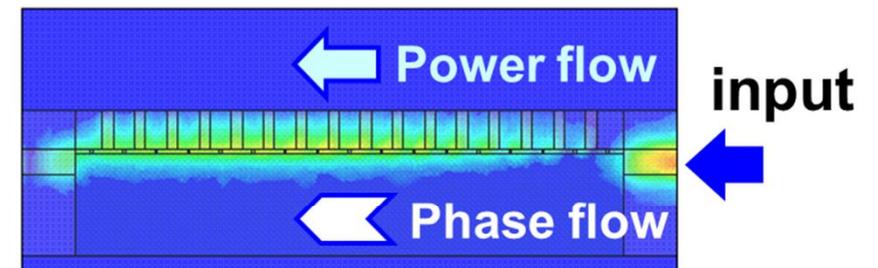
非相反メタマテリアル

非相反: 反平行な伝搬方向の間で透過係数が異なること

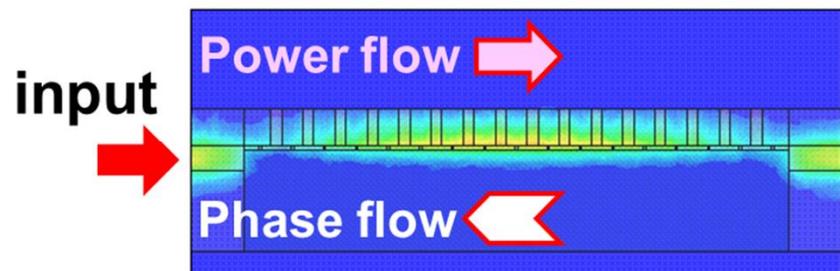
メタマテリアル: サブ波長サイズの単位セルからなる周期／非周期構造



Dirac点では伝送電力の向きに関係なく
波数ベクトルが一定

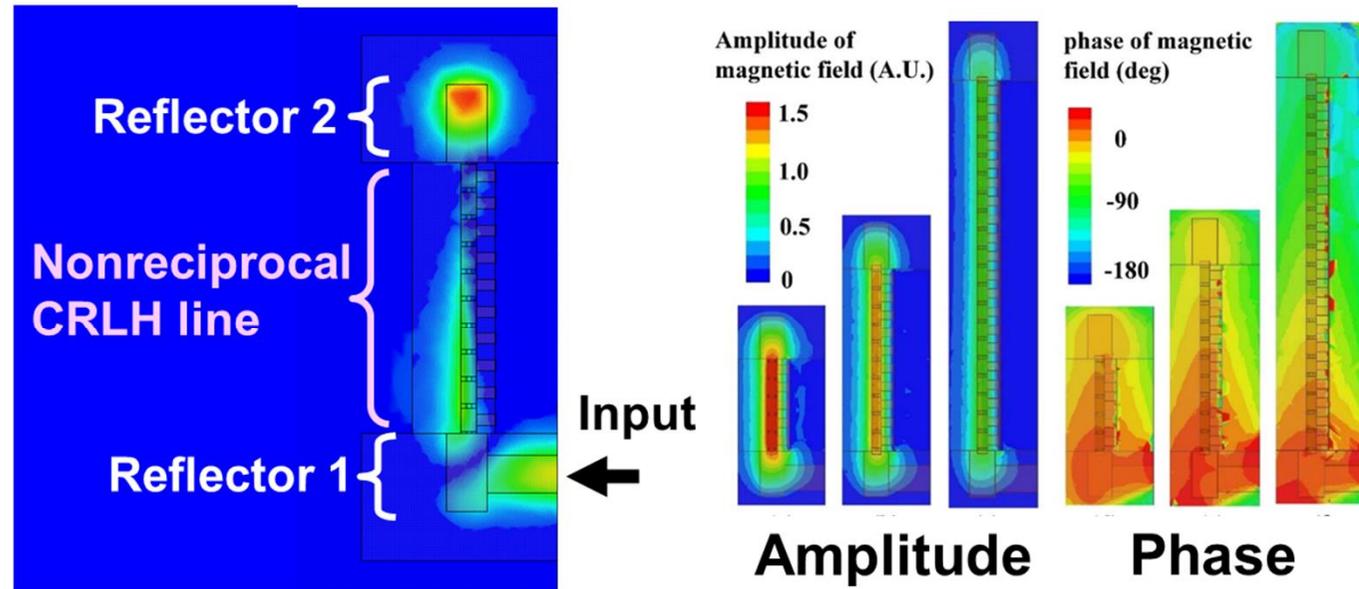
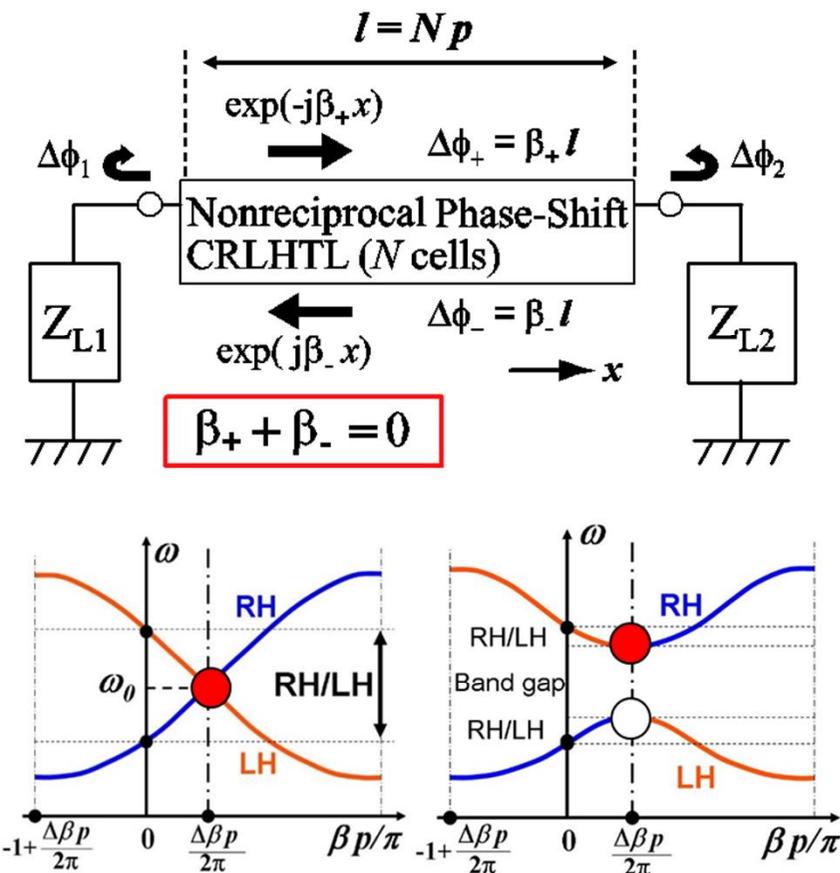


FW with positive index



BW with negative index

擬似進行波共振器

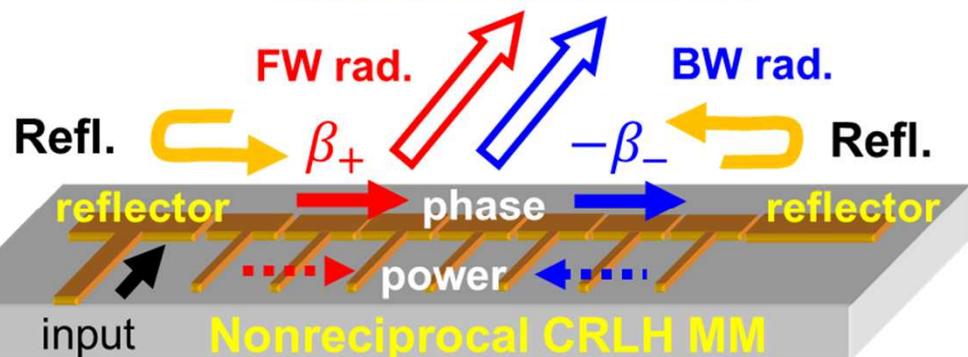


- 共振周波数は共振器サイズに依存しない
- 電磁界分布は進行波型
強度は一様分布
非相反性により自由に操作可能な位相勾配

Ueda et al., IMS2010, IEEE Trans. MTT2012

漏れ波ビーム走査アンテナへの応用

擬似進行波共振アンテナ



自動電力再利用システム
ビームスクイント低減機能付

$$\Delta\beta = \frac{\beta_+ - \beta_-}{2}$$

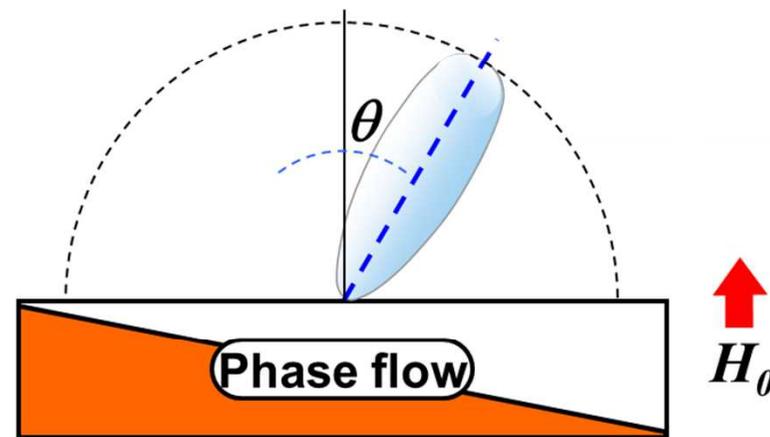
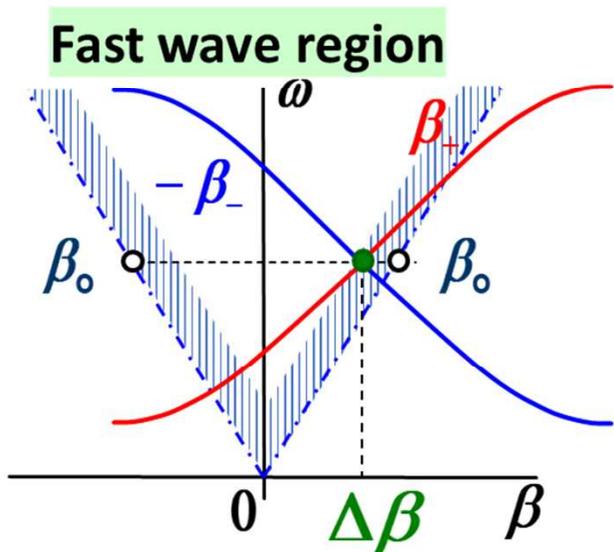
ビーム角

$$\theta = \sin^{-1}(\Delta\beta/\beta_0) = \sin^{-1} \Delta n_{\text{eff}}(\omega)$$

ゼロスクイント条件

$$\Delta n_{\text{eff}}(\omega) \propto \text{const.}$$

$$\Delta\beta(\omega) \propto \omega$$



Beam steering by changing H_0

Ueda et al., IEEE TMTT2012. Porokhnyuk et al., IMS 2013.

【発明その1】

全二重通信可能な非相反メタマテリアル
ビーム走査アンテナ

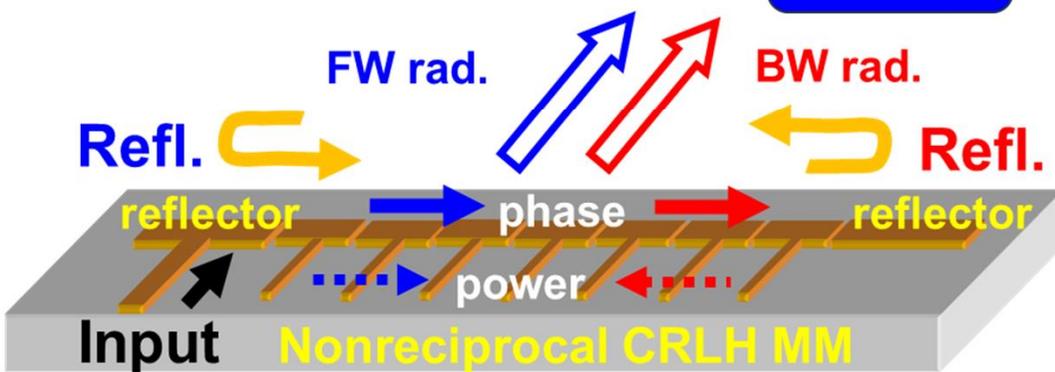
従来技術とその問題点

非相反メタマテリアルを適用した漏れ波ビーム走査アンテナにおいては、送信および受信動作を同時に行うことができない問題があった。

非相反メタマテリアルアンテナの課題

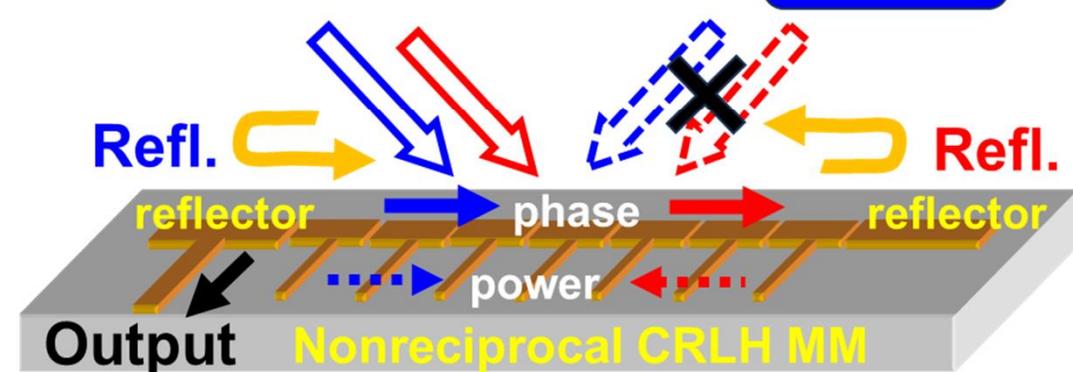
送信アンテナ

Target



受信アンテナ

Target

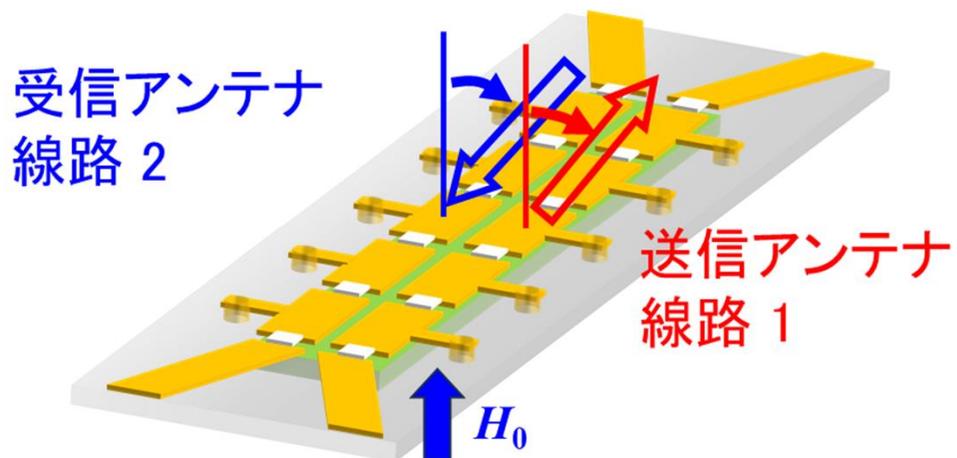


- 非相反メタマテリアル線路からなる漏れ波アンテナ、擬似進行波共振アンテナは同じ通信相手に対して、同時に送受信できない

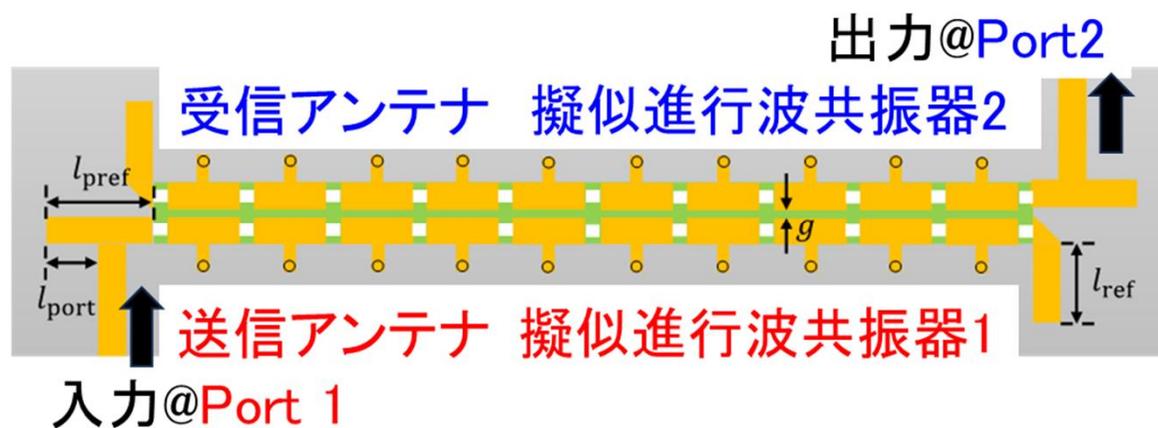
発明の構造

【提案構造】

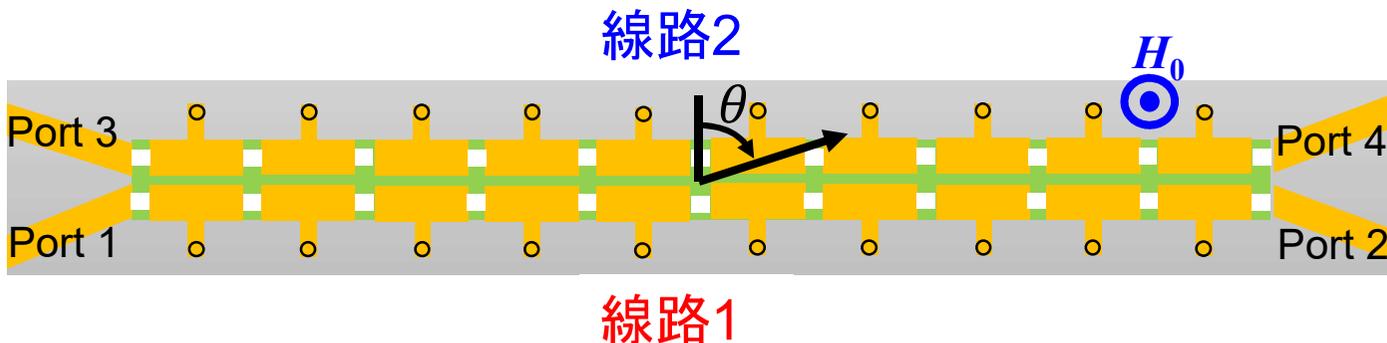
一対の対称な非相反メタマテリアル線路
漏れ波アンテナ



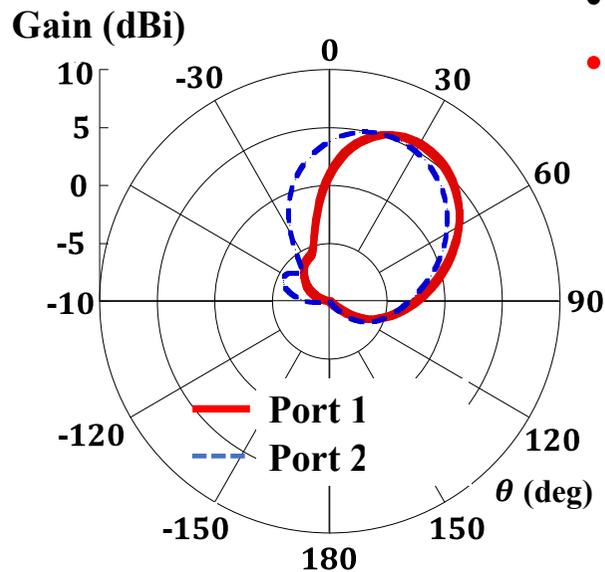
一対の対称な擬似進行波共振アンテナ



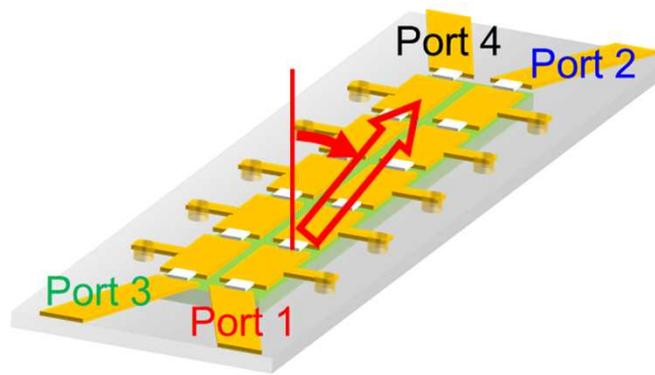
送信特性



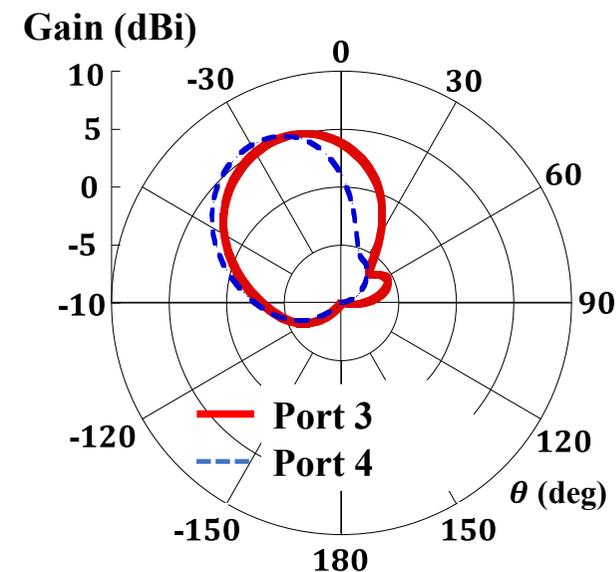
線路1から給電



- 放射ビーム角 $\theta = 30^\circ$
- 線路1 は送信アンテナとして動作

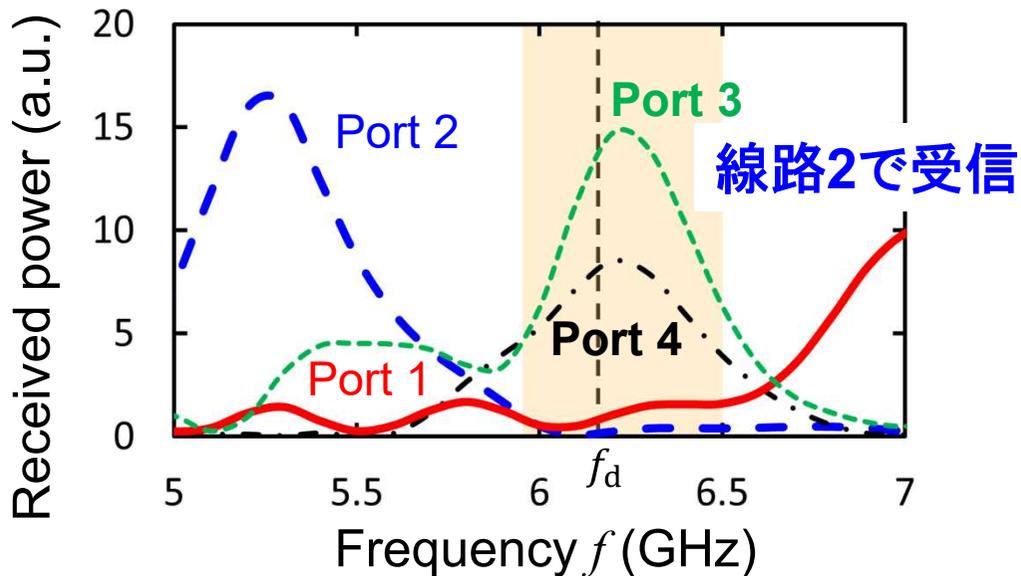


線路2から給電

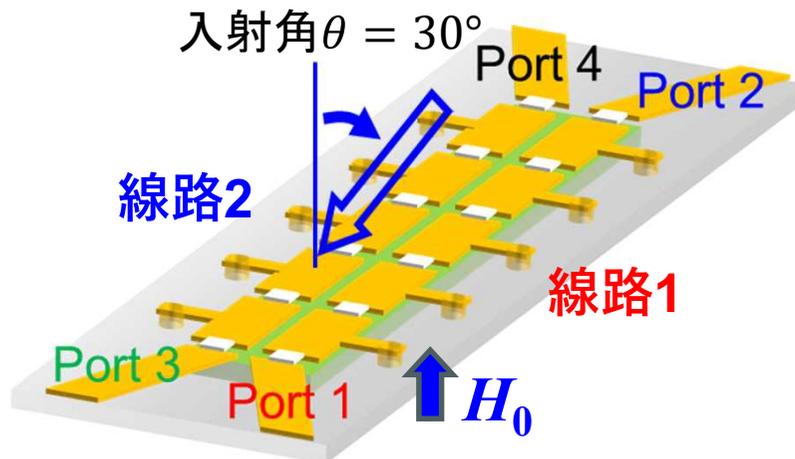
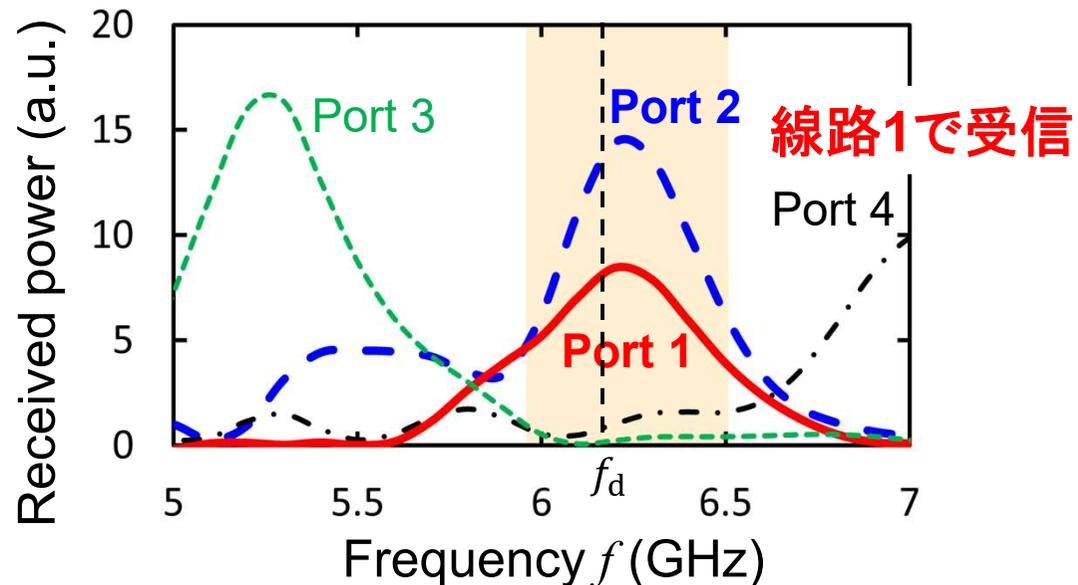


受信特性

入射角 $\theta = 30^\circ$



入射角 $\theta = -30^\circ$



新技術の特徴・従来技術との比較

- 一対のメタマテリアル線路を近接配置した構成であるが、線路の非相反性により、アンテナ間結合の抑制に成功。
- 従来は送受信の一方のみの動作に限定されていたが、同一周波数で同時に双方向（二重）通信が可能。
- 送受信アンテナ間で15 dB以上のアイソレーションを獲得（特性改善可能）。

【発明その2】

2次元面内で位相勾配を自由に操作可能な非相反メタマテリアルとビーム走査アンテナへの応用

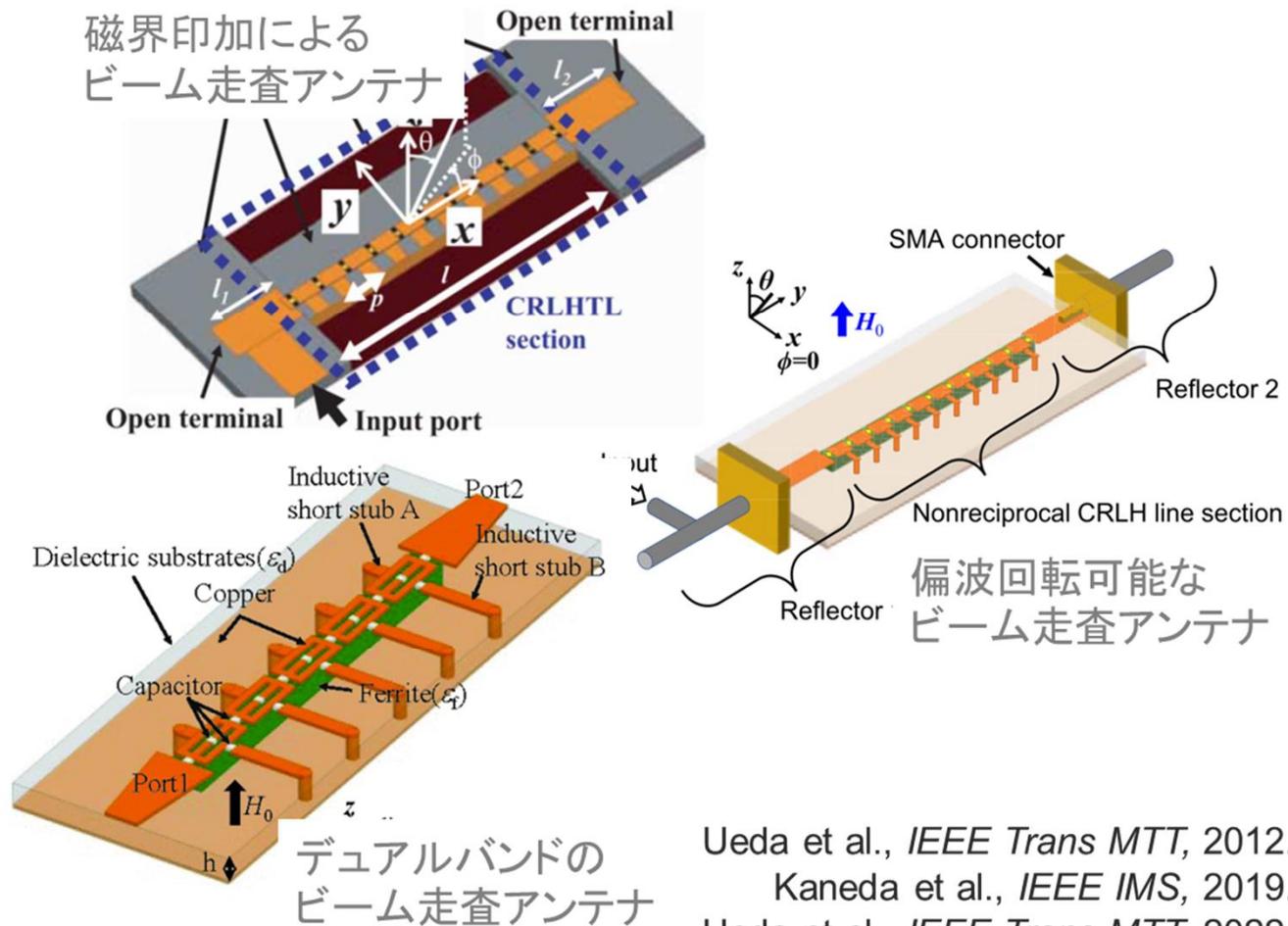
非相反メタマテリアルアンテナの課題

長所

- 共振器サイズに依存しない動作
- 反射波を利用した高効率なビーム走査
- ビームスクイントの低減

課題

- 一次元構造のみ
走査方向に制約
- 二次元構造への拡張が
望まれる

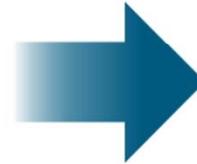
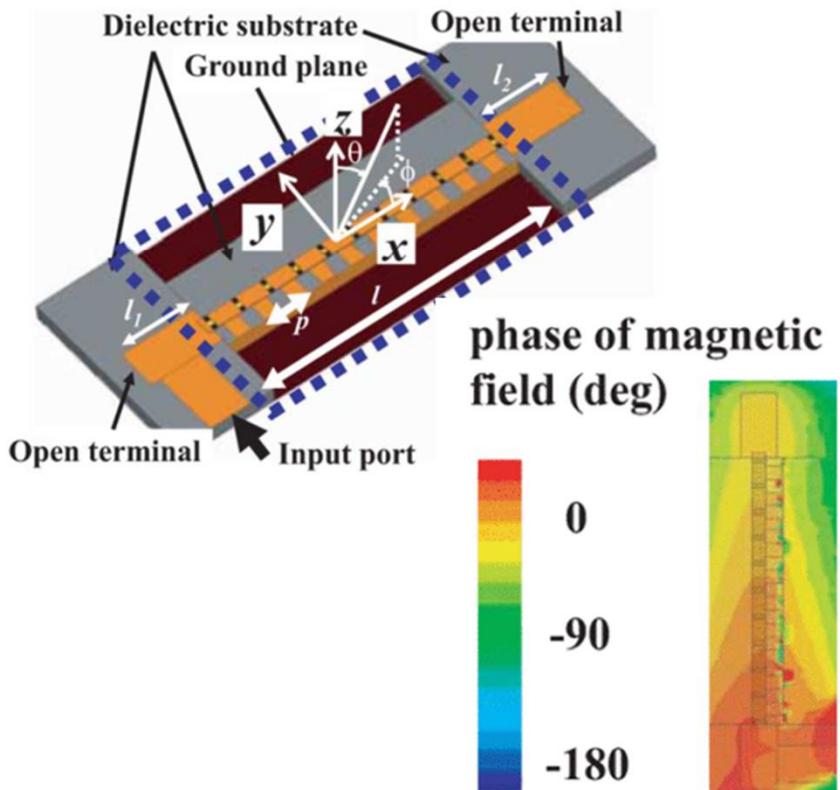


Ueda et al., *IEEE Trans MTT*, 2012.
Kaneda et al., *IEEE IMS*, 2019.
Ueda et al., *IEEE Trans MTT*, 2022.

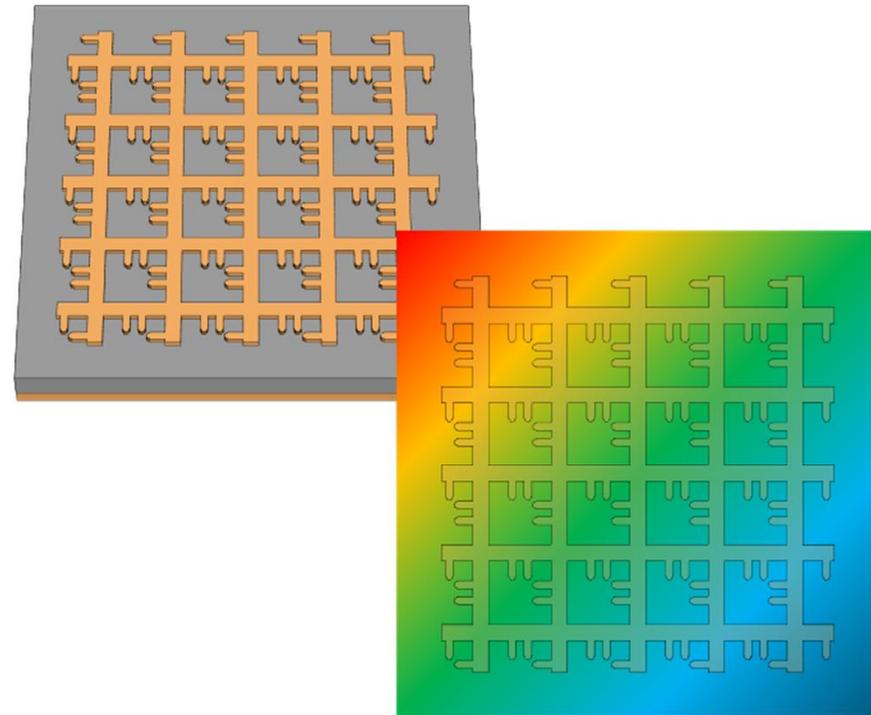
従来技術とその問題点

従来の非相反メタマテリアルからなる漏れ波ビーム走査アンテナの大部分は、一次元構造であり、ビーム走査の可動方向が一方向に限定される問題があった。

発明の構造



二次元構造へ
拡張



新技術の特徴・従来技術との比較

- 本発明の非相反メタマテリアル構造を採用することにより、電磁界分布の位相勾配を2次元面内で任意方向に動的制御可能となった。
- 本発明の非相反メタマテリアル構造を漏れ波アンテナに適用することにより、セル数に依存しない非常に少ない制御パラメータで、2次元ビーム走査可能なアンテナを実現。

実用化に向けた課題

- 現在、外部印加磁界によるビーム走査が可能のところまで開発済み。しかし、高周波化を考えると、電子制御によるビーム走査が未解決である。
- 最近、ビーム走査の電子制御を目的として、一次元非メタマテリアル線路の非相反移相特性の電圧制御を実現。
- 現時点で、非相反性の可動範囲は十分でないが、今後、実験データを取得、特性改善を行っていく。

企業への期待

- 高速ビーム走査については、可変素子の電子制御技術により克服できると考えている。
- 加工技術を持つ、企業との共同研究を希望。

本技術に関する知的財産権

①発明の名称：漏れ波アンテナ装置

出願番号：特願2023-055441

出願人：国立大学法人京都工芸繊維大学

②発明の名称：非可逆伝送線路、擬似進行波共振装置
及び漏れ波アンテナ装置

出願番号：特願2024-051948

出願人：国立大学法人京都工芸繊維大学

問い合わせ先

京都工芸繊維大学

産学公連携推進センター 知的財産戦略室

(研究推進・産学連携課 知的財産係)

Tel 075-724-7039

Mail chizai@kit.ac.jp

Web <https://www.liaison.kit.ac.jp/>