

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06092

研究課題名(和文) 高速・広角度走査可能な機械振動式MEMS指向性アンテナの研究

研究課題名(英文) Research of mechanically-vibrating MEMS beam-formed antenna with a function of high speed and wide angle

研究代表者

古塚 岐 (Furutsuka, Takashi)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：90555608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：現在、ミリ波帯電磁波の更なる活用が期待されている。ミリ波帯では指向性をもつ電磁波ビームを走査することが必須であるが、従来の機械式走査型アンテナは構造が大型かつ複雑で、走査速度が遅いという致命的な問題点があった。本研究では、微小電気機械システム(MEMS)技術を利用して機械構造体を小型化することによりアンテナの高速応答と広い角度に電磁波ビームを走査できる新規アンテナの試作評価を行った。試作したアクチュエータは $\pm 10$ 度の角度に1kHzの速度で回転走査することに成功した。また、このアクチュエータに搭載する八木宇田アンテナをシリコンを利用して作製するための設計を行った。

研究成果の概要(英文)：Today, millimeter-wave band is drawn by strong attentions. In the millimeter-wave band, formed-beam scanning plays an important role. However, conventional mechanical scanning has serious problems: system is large and heavy and scanning speed is slow. In this research, a small sized antenna fabricated by MEMS technology to have a function of high speed and wide angle scanning is investigated. A fabricated silicon actuator has been successfully demonstrated to scan + and - 20 degs. with a speed of 1 kHz. Then, a silicon antenna forming Yagi-Uda array antenna is designed by considering RF characteristic.

研究分野：MEMSアンテナ

キーワード：アンテナ 高周波 共振 無線給電 ミリ波レーダ アクチュエータ シリコン MEMS

### 1. 研究開始当初の背景

近年、車両衝突事故防止のための車載用レーダや、パッシブイメージング技術を目的としたミリ波帯のアンテナが注目されている。ミリ波帯の電波は、減衰が大きいために遠方まで送受するのにビームフォーミング技術を必須とすることから、電波を広角度に送受するビーム走査機能が必要である。しかし、従来の機械式走査型アンテナは構造が大型かつ複雑で、走査速度が遅いという問題点があるため、電波を短時間に広角度に送受することができなかった。

この機械式走査アンテナの欠点を克服するものとして電子式走査方式（フェーズドアレイアンテナ：PAA）があり、我々も微小電気機械システム（MEMS）スイッチを利用した PAA の開発を進めてきた。しかし、PAA は構造が複雑であることから製造が容易でないという深刻な問題があることが明らかになってきた。

### 2. 研究の目的

本研究ではこれらアンテナの問題点を克服でき、簡単な構造で、高速・広角度にビームを走査できる新規アンテナの研究を提案する。その基本的なアイデアを下記に述べる。

(1) RF-MEMS 技術は低損失スイッチ以外にも微小なアクチュエータの作製に適用することが可能である。事実、我々は MEMS 技術を利用した振動式ジャイロスコープの研究を長年行ってきた。この研究の成果を利用すると、機械構造体を大きな角度でしかも数十 kHz という高速で走査することが可能である。これは機械の共振を利用するからであるが、微小シリコン機械構造体では共振の損失が非常に小さいために、10,000 を超える Q 値を容易に実現することができることが最大の理由である。

(2) 次の課題は指向性をもつ小型アンテナの構造に関連する。この小型アンテナは MEMS アクチュエータの上に搭載されることが必要である。種々のアンテナの調査の結果、擬似八木宇田アンテナに着目した。これは八木・宇田アンテナは構造が簡単で、しかも適宜な指向性をもっているからである。本研究では、MEMS アクチュエータとこれに搭載可能な小型指向性アンテナを開発することを目的にする。

### 3. 研究の方法

本研究期間内に以下に示す項目について効率的な方法で研究を進める：

(1) アンテナ：擬似八木宇田アンテナの設計指針を明確にし、大きな指向性をもつアンテナ構造の設計を行う。

擬似八木宇田アンテナは平面基板に形成するのに適した構造をもつ。アンテナアレイを形成することによってビーム半値幅の小さなアンテナ構造を作製することができる。このアンテナ設計は主に高周波解析シミュ

レーションを利用して研究を進める。

(2) 無線給電とバラン（平衡—非平衡変換回路）：小型集積化に適したバランの設計指針を示し、実証する。また、無線給電を利用して回転するアンテナに給電するための構造設計を明らかにする。

擬似八木宇田アンテナに給電するためのコンポーネントを FR-4 基板上面にて作製して特性評価を行う。

(3) アクチュエータ：櫛歯電極静電駆動アクチュエータを開発し、走査角 90 度以上、走査速度 10  $\mu$  秒以下のアクチュエータを実証する。

シリコン MEMS 技術を利用してアクチュエータの作製を行ってアクチュエータの特性評価を行う。

(4) 集積化アンテナ：上記 3 つの構成要素を集積化したアンテナの最適な構造と作製プロセスを示す。

上で明らかにされたアクチュエータとアンテナの構造設計に最適な作製方法の検討を行う。

### 4. 研究成果

本研究の 3 年間に以下の成果を得ることができた。

(1) 機械式振動アンテナの寸法は、ミリ波帯 (60 GHz) では一辺の長さが 2.5 mm と小型である。我々は、アンテナを搭載するアクチュエータとして図 1 に示す 5 mm 角のものを作製し動作特性を評価した。シリコン基板を MEMS 技術によって加工して作製したものであり、1.3 kHz の共振周波数で駆動するとき、 $\pm 40^\circ$  の広範囲に回転することができた。

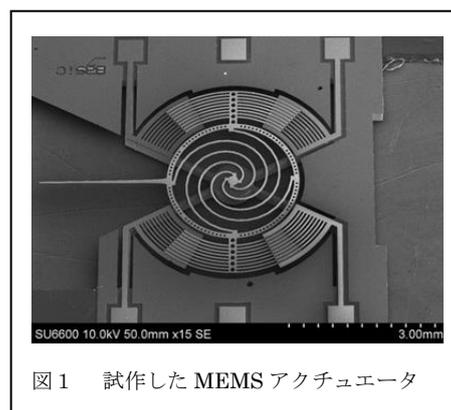


図 1 試作した MEMS アクチュエータ

(2) 図 2 は、FR-4 基板の上に試作した評価用ダイポールアンテナの写真である。図の右からダイポールアンテナ、バラン回路、SMA コネクタとなっている。このアンテナの裏面にグランド電極は形成されていない。今回は、対応周波数を 10 GHz として作製した。試作したダイポールアンテナは、図 3 に示すように、設計通りの 10 GHz で最も強い放射を生

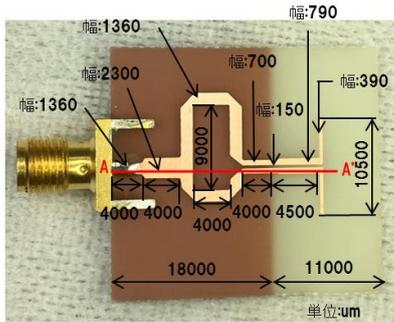


図2 試作したダイポールアンテナ

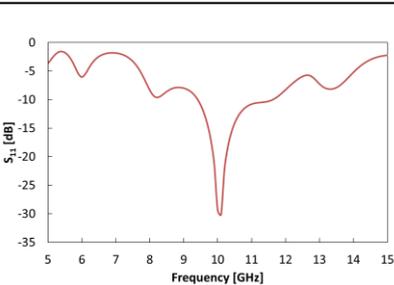


図3 ダイポールアンテナの周波数特性 (測定値)

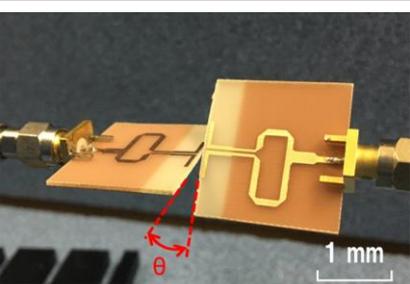


図4 ダイポールアンテナ間の結合パラメータ評価用デバイス

じた。

(3) 八木・宇田アンテナの放射器、反射器、導波器のそれぞれがリング枠とアンテナ支持棒上に搭載されて回転するため、これに給電するのに固定の結合方式は採用できない。このため、二つのダイポールアンテナ間の電磁波結合を利用したワイヤレス給電方式を検討した。電磁波給電の結合パラメータ(二つのアンテナの対向間距離と対向角度の依存性)を評価することを目的に、二つのダイポールアンテナをFR-4基板(ガラスエポキシ基板)上に作製し、それらを対向させてお互いを通ずる高周波特性を測定することにした。図4にダイポールアンテナ結合パラメータとして対向距離と対向角度を変化させて評価したデバイスを示す。対向角度を変化

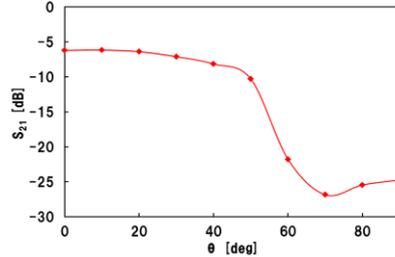


図5 ダイポールアンテナ間の対向角度依存性 (測定値)

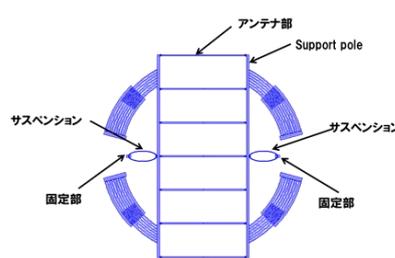


図6 アンテナを搭載したMEMSアクチュエータ

させたときの通過特性の測定値を図5に示す。偏向角度を増加させると、45°を超えた付近から通過特性が大きく悪化するのが見られた。一方、45°より小さい角度では大きな減少は見られなかった。

以上の実験結果よりダイポールアンテナによるワイヤレス給電は有効な給電方法であると考えられる。

(4) アクチュエータに搭載できるシリコンを利用したアンテナの設計を行った。図6に示すようにアンテナの電磁波を遮断しないようにアクチュエータのばねを外側に設けたアクチュエータ構造を検討した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計7件)

- 1) H. Nishio, T. Furutsuka, and K. Suzuki, "Millimeter-wave radar with vibratory MEMS Yagi-Uda antenna," The 2nd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBE), Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), 2017.
- 2) Y. Yamoto, H. Nishio, Y. Motoki, H. Tanigawa, T. Furutsuka, and K. Suzuki, "Study on installation of antenna on a mechanically vibrating MEMS antenna," The 9th Integrated MEMS Symposium, The

Japan Society of Applied Physics,  
01am2-PM-9, 2017.

3) T. Higaki, T. Furutsuka, and K. Suzuki,  
“Comparison of a quasi-millimeter wave  
band phase shifter with MEMS shunt  
switches between silicon and LTCC  
substrates,” Proc. of The 1st  
Internatioanal Symposium on Biomedical  
Engineering (ISBE), Ministry of Education,  
Culture, Sports, Science and Technology  
(MEXT), 2016.

4) 西尾駿、井上怜、古塚岐、鈴木健一郎：  
「MEMS 振動式アンテナ給電機構の基本電気  
評価」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、  
B-1-98, 2016 年。

5) S. Nishio, R. Inoue, T. Furutsuka, and  
K. Suzuki, “Wireless power supply for a  
vibratory MEMS Yagi-Uda antenna,” The 8th  
Integrated MEMS Symposium, The Japan  
Society of Applied Physics, 25pm3-D-1,  
2016.

6) 檜垣嵩之、川上貴裕、稲垣公義、古塚岐、  
西野朋希、鈴木健一郎：「LTCC 基板を用いた  
MEMS 移相器の開発」、電子情報通信学会ソサ  
イエティ大会、B-1-86, 2015 年。

7) Y. Motoki, R. Inoue, H. Tanigawa, T.  
Nishino, T. Furutsuka, and K. Suzuki,  
“Design on MEMS Actuator for Driving  
Resonant Yagi-Uda Antenna,” The 7th  
Integrated MEMS Symposium, The Japan  
Society of Applied Physics, 29pm1-D-1,  
2015.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古塚 岐 (FURUTSUKA Takashi)  
立命館大学・総合科学研究機構・教授  
研究者番号：90555608

### (2) 研究分担者

鈴木 健一郎 (SUZUKI Kenichiro)  
立命館大学・理工学部・教授  
研究者番号：70388122