

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04005

研究課題名（和文）波面形状を連続的に変形する可変フェイズドアレイアンテナ

研究課題名（英文）Phased-array lader with variable-frequency liquid antenna

研究代表者

野田 堅太郎（Noda, Kentaro）

富山県立大学・工学部・講師

研究者番号：00547482

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：これまでミリ波を走査する試みとしてフェイズドアレイ法が提案されている。フェイズドアレイ法では、集積した複数のアンテナから異なる位相の電磁波間で干渉を引き起こし、干渉波を特定方向・位置に照射する。このため、アンテナ自身の向きや方向を変えることなく、電磁波を走査することが可能となる。本研究では、誘電体として液体を用いることで共振周波数を連続的に変化できる MEMS 液体アンテナを利用し、各アンテナから出力する電磁波の位相を連続的に変化することでミリ波を任意位置に死角なく照射・反射を計測可能な MEMS 液体ミリ波フェイズドアレイアンテナの実現を目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミリ波帯域の電磁波は、環境に存在する雨やチリなどの微小物に影響を受けることなく、中・長距離の物体からの反射を観測できることから、車やロボットが周囲の人や障害物とその物体までの距離を検知するレーダへの応用が期待されている。こうしたミリ波レーダを実現するためにはミリ波を照射可能なミリメートルオーダの構造で死角なく空間の任意の位置にミリ波を収束・走査する方法の確立が核心的な課題となる。

研究成果の概要（英文）：The phased-array method has been proposed as an attempt to scan millimeter waves. In the phased array method, interference is caused between electromagnetic waves of different phases from multiple integrated antennas, and the interference waves are irradiated in a specific direction and position. This makes it possible to scan the electromagnetic waves without changing the direction or orientation of the antennas themselves. In this research, we aim to realize a MEMS liquid millimeter-wave phased array antenna that can irradiate and measure the reflection of millimeter-waves at any position without blind spots by using a MEMS liquid antenna whose resonant frequency can be continuously changed by using liquid as the dielectric, and by continuously changing the phase of the electromagnetic wave output from each antenna. The objective of this project is to realize a liquid millimeter-wave phased array antenna.

研究分野：マイクロセンサ

キーワード：MEMS 液体アクチュエータ 可変周波数アンテナ

## 1. 研究開始当初の背景

ミリ波帯域の電磁波は、環境に存在する雨やチリなどの微小物に影響を受けることなく、中・長距離の物体からの反射を観測できることから、車やロボットが周囲の人や障害物とその物体までの距離を検知するレーダへの応用が期待されている。こうしたミリ波レーダを実現するためにはミリ波を照射可能なミリメートルオーダの構造で死角なく空間の任意の位置にミリ波を収束・走査する方法の確立が核心的な課題となる。

これまでミリ波を走査する試みとしてフェイズドアレイ法が提案されている。フェイズドアレイ法では、集積した複数のアンテナから異なる位相の電磁波間で干渉を引き起こし、干渉波を特定方向・位置に照射する。このため、アンテナ自身の向きや方向を変えることなく、電磁波を走査することが可能となる。

しかし、電磁波出力・干渉のためにアンテナサイズ・アレイ間隔をミリメートル以下にする必要があるミリ波帯域では、主にサイズの制限から電磁波の位相を変化するための移相器に伝送路を離散的に切り替えるスイッチャを使用する必要があった。各アンテナ素子の位相を自由に選択することができないことから、任意の干渉を引き起こすことができず、電磁波を走査する際に必ず死角となる場所が存在してしまう。

## 2. 研究の目的

本研究では、誘電体として液体を用いることで共振周波数を連続的に変化できる MEMS 液体アンテナを利用し、各アンテナから出力する電磁波の位相を連続的に変化することでミリ波を任意位置に死角なく照射・反射を計測可能な MEMS 液体ミリ波フェイズドアレイアンテナの実現を目的とする。

フェイズドアレイ方式によって死角なく空間上の任意位置に電磁波を収束するためには、アレイを構成するアンテナ素子の出力位相を任意かつ連続的に変化させる必要がある。特にミリ波を入手可能な小型のアンテナでは微小領域内で位相の切り替えを行う必要があることから、離散的な波面制御しか行うことができない。

本研究ではこの課題を解決するため、従来にない独自の方式として、微小液滴を高分子膜で覆い、その上下をアンテナ電極およびグラウンド電極で挟み込んだ MEMS 液体アンテナを利用し

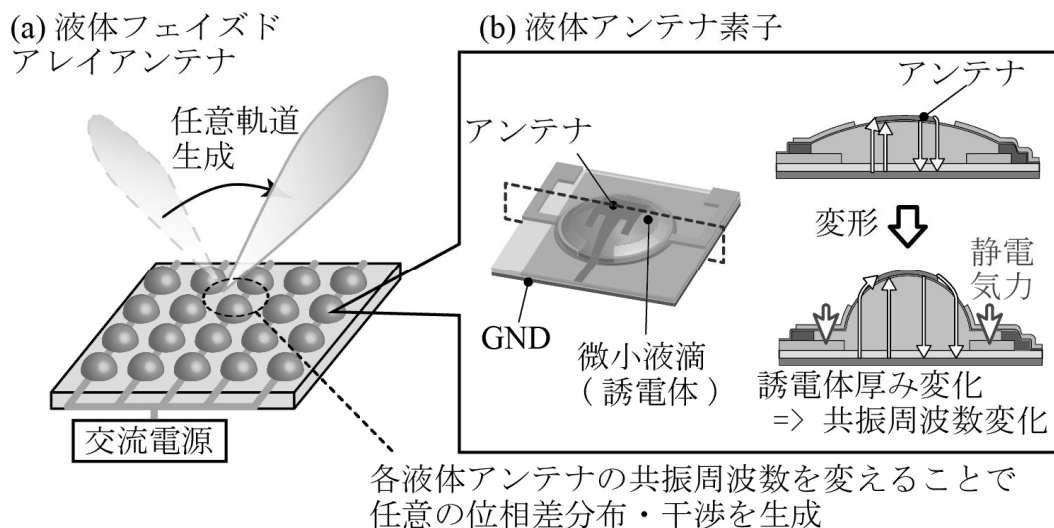


図 1. 提案する MEMS 液体ミリ波フェイズドアレイアンテナ

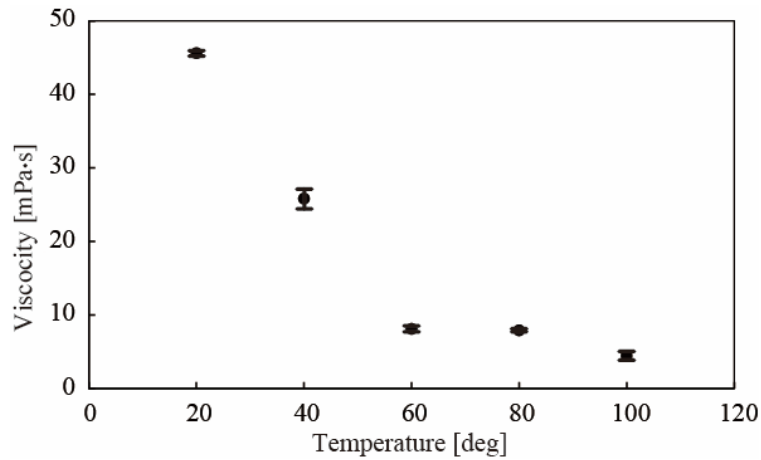


図 2. 温度とオイル粘度の関係

た MEMS ミリ波フェイズドアレイアンテナを提案する(図 1)。提案する MEMS 液体アンテナは、液滴周縁部に静電気力を加えることで液体を中心に集め、アンテナ電極間の液体厚み、すなわち誘電体の厚みを増減することで共振周波数を変化させる。任意の周波数に調整した各アンテナ素子に交流信号を加えると、入力した交流信号の周波数と各アンテナ素子の共振周波数の差が位相差を生み出し、空間上の任意の位置に収束する干渉波を生み出すことができるようになると思われる。

### 3. 研究の方法

本研究が実現を目指すフェイズドアレイアンテナを実現するにあたり、アンテナ設計を進める中で、アンテナを駆動するための液体アクチュエータの変形量・変形速度を向上することが必要となることが分かった。そこで当研究期間では、当初予定を変更し、アクチュエータの変形量・速度を向上するため、アクチュエータを構成する材料の特性に着目し、より大きく・高速に変形することが可能なアクチュエータの実現に取り組んだ。

具体的に新たに取り組んだ方策は、昇温による液体粘度の低減と膜極性の制御によって理想的なアクチュエータ形状を実現すること、の二点である。

まず、液体粘度の制御に関して、提案する液体アクチュエータは液体の粘度を軽減することによって微小な力での変形が可能となり、変形速度が向上する。しかし、一般的に粘度が低い液体は分子量が小さいために蒸気圧が高く、真空下においた際に蒸発してしまうために有機膜による封止が不可能であった。そこで、真空薄膜による封止を可能とする高分子液体でありながら粘度を低減するための方法として、昇温による液体粘度の低減を実現した。この方法では、図 1 に示すように、液体アクチュエータ底面に薄膜金属配線を利用した抵抗式ヒータを形成し、アクチュエータ内の液体を昇温した。本研究でアクチュエータに使用した液体材料はシリコンオイル HIVACF-4 (信越シリコン) であり、温度を 100 度まで向上することで、粘度が 1/4 まで減少する(図 2)。試作した液体アクチュエータを昇温させた際の変形量の違いを計測した結果を図 3 に示す。試作した液体アクチュエータの変形量は、アクチュエータの静電容量を元に算出した。図 3 の実験では、常温および 60 度まで昇温した時のアクチュエータに対して 150 V の電圧をステップ入力し、その折の変形量を計測した。図 3 の赤線が印加した駆動電圧を、黒線が静電容量の変化を示す。同図の結果が示す通り、昇温することによってアクチュエータの変形

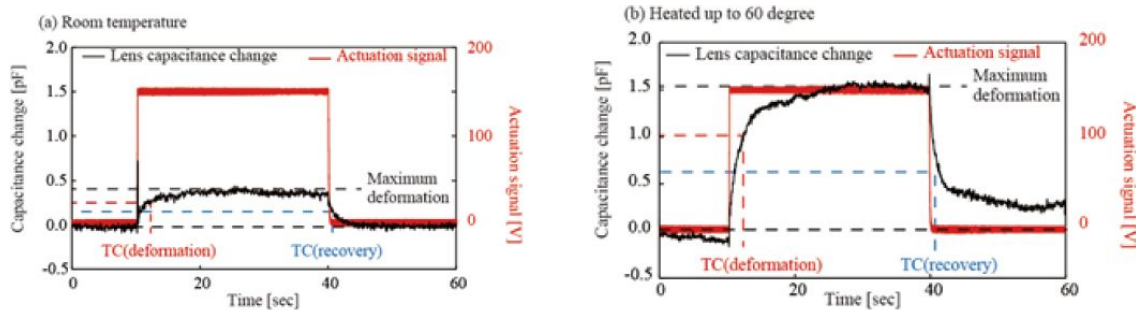


図 3. 昇温によるレンズ変形量の向上、印加電圧と変形量の関係

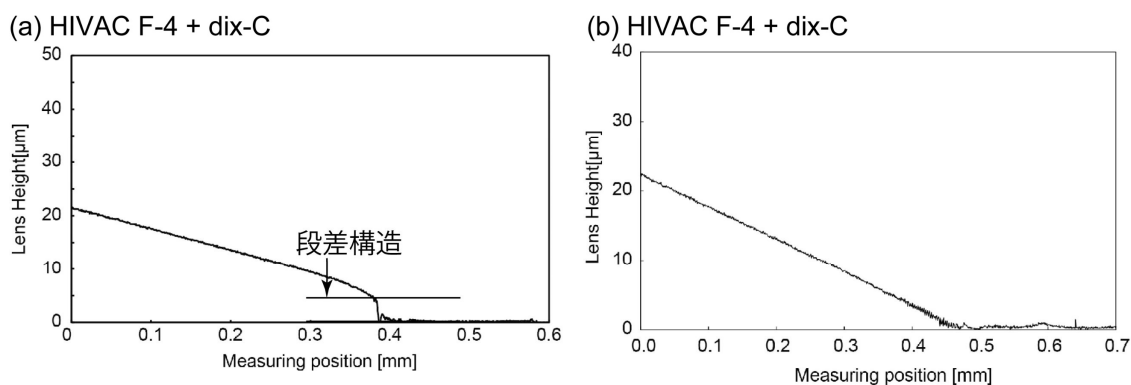


図 4. 試作アクチュエータのエッジ形状の比較

量が向上することが確認できる。変形時の時定数として、駆動電圧入力直後から静電容量変化の立ち上がりの最大値の 0.632 倍の時の時間を、復元時の時定数として駆動電圧除荷直後から静電容量が最大値の 0.368 倍になるまでの時間を計算した。この結果、室温状態のレンズの変形時の時定数は 2.4 sec、復元時の時定数は 0.6 sec となった。一方で、60 度に昇温したレンズの変形時の時定数は 2.2 sec、復元時の時定数は 1.8 sec となり、変形速度は室温時よりも向上したものの、復元速度は低減する結果となった。これはレンズ変形時に dix-C (KISCO) 膜が下部電極とスティクションを起こし、復元のために dix-C 膜が剥離するまでに若干の遅れが生じることが原因であると考えられる。一方で、常温での駆動時には初期状態に復帰することが確認できており、昇温温度を制御することでスティクションを起こすことがない至適な温度を選択する必要があることを確認した。

次に、液体アクチュエータの形状を理想化するために至適な材料の選定とその効果の確認に取り組んだ。当初実現した液体アクチュエータの断面形状は、図 4(a)に示す通り、液体アクチュエータの端部・周縁部の形状が球面形状から逸脱し、段差構造を形成している。これは当初液体アクチュエータに使用していたシリコンオイル (HIVAC F-4) と封止ためのパリレン膜 dix-C の極性が関与している。HIVAC F-4 および dix-C はともに無極性の素材であるため、蒸着によって膜が形成される過程で形状の偏りが生じることが分かった。この段差の高さは約 5 μm 程度であるもののこの段差があることによって静電容量が上昇し、印加電圧に対する変形量が減少する。今回試作したアクチュエータ印加電圧によって発生する静電気力の大きさによって変形量が決まるため、この静電容量の上昇が変形量の多寡に大きく影響する。そこで液体アクチュエータの形状、特に端部部分の両電極の距離を近づけることが重要となる。この方法としては、材料極性を変更し、液体もしくは膜材料、いずれかを極性のある物質に変えることが有効である。材料内の極性を均一に保つため、本研究では、封止を行う膜材料、すなわちパリレン材料側を極性のある材料に変更することが有効

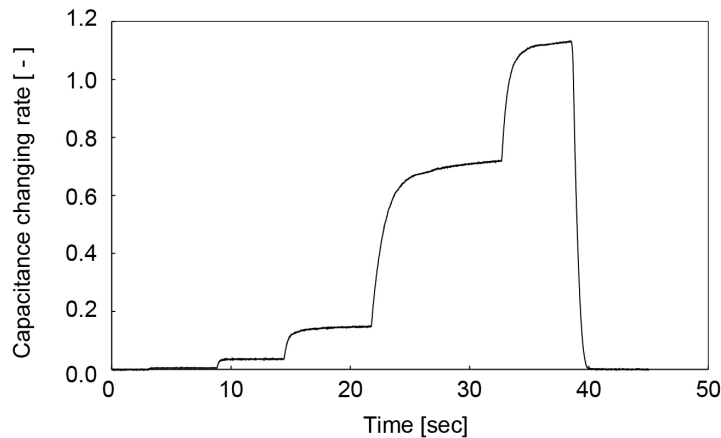


図 5. 試作アクチュエータの変形量計測

であることを確認した。蒸着する膜材料に diX-A (KISCO) を利用した。diX-A は diX-C の末端基をアミノ基に変更した材料であり、diX-C とは異なり大きな極性を有する。これらの膜材料は一般的には細胞やたんぱく質の固定などに多く用いられる材料である。HIVAC F-4 上に diX-A を蒸着して試作した液体アクチュエータの断面形状を図 4(b) に示す。これらの結果が示す通り、膜材料に極性を有する diX-A を利用することで液体材料が極性のない HIVAC F-4 上に膜を形成することで端部形状の段差が減少し、理想的な球面形状を形成することができることを確認した。試作したステアリアルアミン + HIVAC F-4 を diX-C 内に封止した液体アクチュエータと HIVAC F-4 を diX-A 内に封止した液体アクチュエータの動作特性を計測・評価した結果を図 5 に記す。この実験では、液体アクチュエータに対して最大 150 V のステップ入力を印加し、液体アクチュエータの変形量を静電容量変化値から算出した。これらの結果が示す通り、150V までのステップ入力を加えることによって、液体アクチュエータの静電容量は diX-C 材料を用いて作成したアクチュエータに対して 150 V 電圧を印加した場合よりも 5 倍以上静電容量変化量が向上することとなり、また時定数も向上していることを確認した。これらの結果から、極性が異なる材料を組み合わせることで液体アクチュエータを形成することで、アクチュエータの変形性能を向上することができることが確認できた。今後、この材料を利用することにより、周波数可変アンテナの駆動性能を向上し、フェイズドアレイアンテナの実現・操作方法の確立を進めていく。

研究期間中、不慮の事態のために当初予定していたアンテナの放射電波を計測・評価するための機材を使用することができなくなり、その放射特性を評価するところまで至ることができなかったものの、当初想定していなかった課題への取り組み、フェイズドアレイアンテナの実現に大きくつながる貴重な成果を得ることができたと考えている。今後、本研究成果を用いて試作したアンテナの発振特性の計測評価を行うとともにフェイズドアレイアンテナの実現を目指す。

#### 4. 研究成果

〔学会発表〕(計 1 件)

1. 野田堅太郎, グエン-ビンキエム, 下山勲, "ヒータによる可変焦点液体レンズの焦点距離変化量向上," 第 35 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 10/30 ~ 11/1, Hokkaido, Japan, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野田 堅太郎
2. 発表標題 ヒータによる可変焦点液体レンズの焦点距離変化量向上
3. 学会等名 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------