

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760566

研究課題名(和文) 人工筋肉を用いた大出力薄型海底下音響探査装置に関する研究

研究課題名(英文) Study for slim and powerful sub-bottom profiler made with EPAM

研究代表者

澤 隆雄 (SAWA TAKAO)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究主任

研究者番号：50359139

研究成果の概要(和文): 誘電EAP エラストマ(人工筋肉)を用いた空中用のスピーカの指向性と周波数特性を計測し, 指向性はおよそ120度, 周波数400～3kHzに感度を持っている事を明らかにした。また1時間の連続パルス送波試験を実施し, 試験前後で感度の変化が無い事を確認した。また水中試験として, 深度10,000m相当の水圧下で人工筋肉試験片の動作を確認し, 音圧が低いながらも水中送波が可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文): A speaker using dielectric elastomer type of electroactive polymer "artificial muscle" was tested in air. The directivity and frequency response were 120 deg. and from 400 to 3000 Hz respectively. The sensitivity were kept after continuous projection test for 1 hour. Test piece of the artificial muscle were operable in hydrostatic pressure at 10,000 m depth, and the special speaker for underwater use could project sonic waves in water.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野: 海洋工学

科研費の分科・細目: 総合工学・船舶海洋工学

キーワード: 人工筋肉, 誘電EAPエラストマ, サブボトムプロファイラ

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 海底下探査ソナーに関して

海洋はその表面域を除くとそのほとんどが光がまったく届かない世界であり, 音響技術の利用が不可欠である。水中音響探査装置であるソナーは, 海底高度の計測や魚群の発見だけでなく, 海底下地層の調査や海底鉱物資源の探査にも重要な役割を果たしている。

ソナーの能力を表す指標に, 探知距離と分解能がある。探知距離はソナー送信波出力が大きいほど向上し, ソナー分解能は目標に接

近するほど向上するため, ソナーを可能な限り大型大出力化し, そして目標にできる限り接近して観測するのがソナー運用におけるセオリーである。

海中・海底の目標に接近する一つの手段として, ソナーを水中ロボット等へ搭載して運用することが考えられる。この場合は目標に数mまで接近することも可能だが, しかし水中ロボットのペイロードは水上船舶と比較して制限が厳しく, 搭載可能なソナーに限られる。特に海底下音波探査では大出力の音源

として放電や爆発、爆縮を利用したものがあるが、それらは重く大きく、多くはそのまま搭載することが難しい。

海洋研究開発機構が所有する自律型無人潜水機「うらしま」は圧電素子による送波器を用いた海底下探査ソナーを搭載しているが、探査可能距離は海底下およそ数十mであり、水上船舶用のそれが1,000m以深を探査できることを考えると出力の向上が望まれる。ただし現状の海底下探査ソナーでも重量は約100kgあり、軽量かつ大出力のソナー用水中送波器が必要とされている。

#### (2) 人工筋肉に関して

近年、人工筋肉と呼ばれるエレクトロアクティブポリマーが注目されているが、そのポリマーの一つに誘電性高分子膜を用いたものがある。これは高分子膜の両面に粉末カーボン電極で挟み、電極間に加えた電圧で発生する静電引力で膜を変形させる。この膜は高応答速度、大伸縮率、低コストという特徴を持つとともに、エネルギー密度が桁違いに大きく、質量比発生圧力にも優れている。

この高分子膜は周波数応答が良くスピーカとしての利用も注目されており、自在に曲げられる薄型スピーカとしても研究が進められている。印加電圧に1,000V以上が必要であるなど課題もあるが、海底下探査ソナー用の送波器として考えれば周波数特性は十分であり、印加電圧も障害とならない。

### 2. 研究の目的

本研究は海底地形調査や海底下構造調査などで用いるソナーの性能向上を目的として、特にペイロードに制約がある水中ロボットに大型大出力の海底下探査装置を搭載するため、人工筋肉を用いた大出力薄型水中送波器を試作し、その効果と問題点を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高静水圧試験

高圧試験水槽を用いて誘電性高分子膜試験片の高静水圧試験を行う。圧力は最大12,000m相当まで加え、それによる試験片の作動における変化を確認する。

#### (2) 特性計測

8cm x 8cm程度の既成の誘電性高分子膜を用いた人工筋肉スピーカを用いて周波数特性及び指向性特性を計測する。計測は空中及び水中において実施し、両者結果を比較することで水中利用特有の利点と問題点の把握をする。

#### (3) 繰り返し高出力送波試験

短いバースト音波を人工筋肉スピーカか

ら繰り返し送波し、それによる送波出力の低下の有無を確認する。

#### (4) 多層化試験

2枚の誘電性高分子膜で構成される人工筋肉スピーカを駆動する際、片側（1枚）と両側（2枚）駆動による差異を計測する。

### 4. 研究成果

#### (1) 高静水圧試験

海洋研究開発機構が保有する高圧実験水槽内に誘電性高分子膜試験片を設置し、0, 10, 30, 100MPaと段階的に加圧し、それぞれの圧力下で2.5kV, 3.0kV, 3.5kVの電圧を印加し、水槽内に設置したカメラでその作動状態を常時監視した。その結果、いずれの圧力・電圧においても人工筋肉に大きな変化はなく、正常に動作する事を確認した。

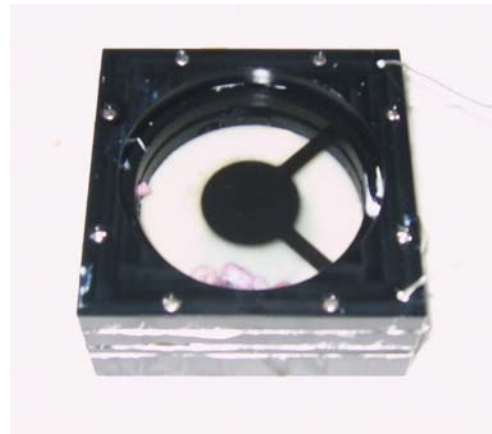


図 シリコン油中の試験片

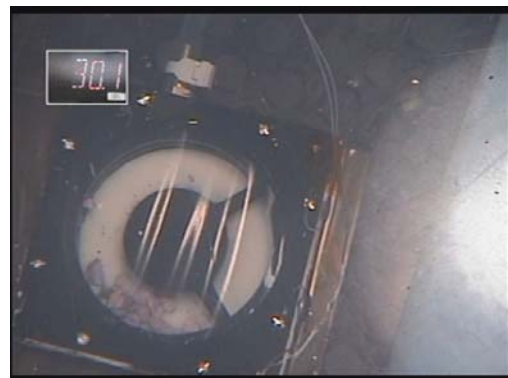
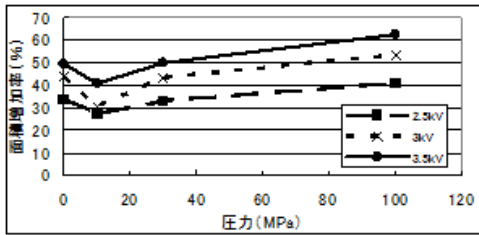


図 30Mpa 圧力下における試験片

表 面積増加率



(2) 特性計測

空中における指向性特性と周波数特性の計測において、ファンクションジェネレータで生成したパルス波をパワーアンプで 1kV 以上に増幅し、人工筋肉スピーカに入力して音波を出力、それをサウンドレベルメータで受信し、受信波形をオシロスコープで観察してその振幅から受信レベルを算出した。周波数 320Hz から 20.4kHz の周波数特性を計測した結果、700Hz で音圧ピークとなったのち 6kHz まで徐々に低下し、その後フラットとなった。

また人工筋肉スピーカを回転台の上に搭載し、-90 から+90 度の指向性特性を計測した結果では、この人工筋肉スピーカはおよそ ±45 度程度の指向性を持っており、送波音圧は角度が増えるに連れてなだらかに減少しており、サイドローブの無い特性であった。

続いて専用の防水ケースを用いた水中スピーカを試作し、可聴域の音楽を入力信号に用いて水中での送波試験を実施したところ、送波されていること確認できた。しかし非常に微弱であり、また音圧が徐々に低下し最終的に破損することとなった。原因を調査したところ、高分子膜の振動に伴って表面のカーボンが液体との摩擦で剥離・脱落したことが原因と推測された。



図 人工筋肉スピーカ



図 特性計測試験の様相

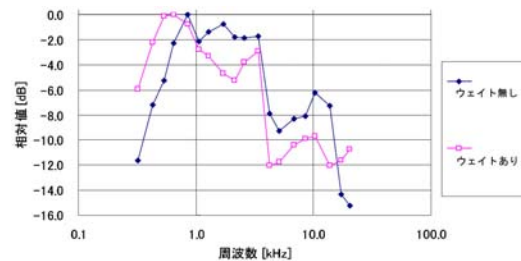


図 周波数応答

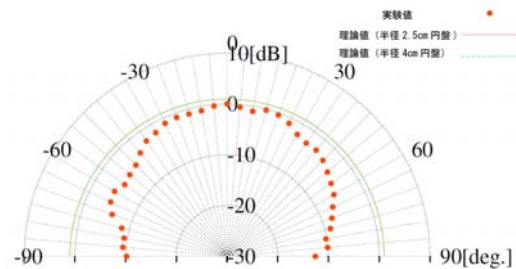


図 指向性特性

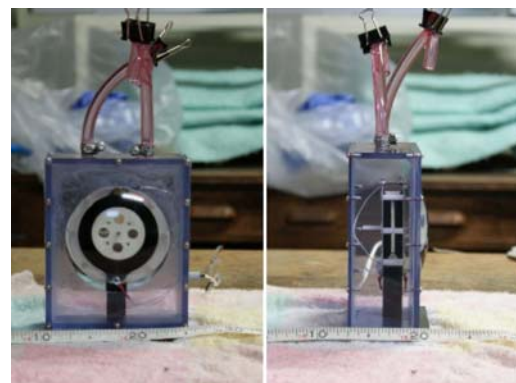


図 防水ケース入り人工筋肉スピーカ

(3) 繰り返し高出力送波試験

空中で行った高出力送波実験では、パルス幅 0.1msec, パルスインターバル 0.5sec, 周波数 0.5, 2.0, 10kHz のそれぞれで約 60 分間の連続送信波試験を実施した。合計約 30,000 回の送波試験後の送信波音圧は試験前と大きな変化が無く、劣化は殆ど無い事が確認できた。印加電圧は約 1.5kV で、送信ア

ンプの定格最大値に近い値であった。

水中での試験のため、今度は人工筋肉スピーカ全体にシリコンゴムを塗布し、膜表面のカーボンが水との摩擦で損傷するのを防ぐ構造とした。入力信号には周波数に偏りのない一般的な音楽を用いたところ、60分以上の連続駆動でも音楽は正常に再生され、膜に特段の劣化・損傷が無い事を確認できた。ただしやはり微弱であり音圧は低かった。

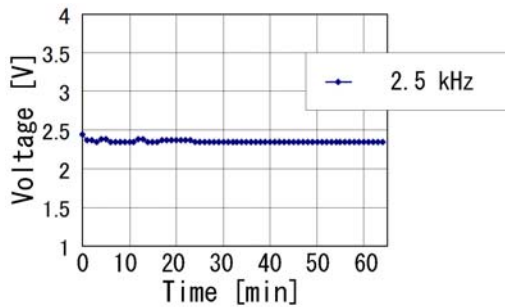


図 高出力送波時の受信電圧の推移



図 空中用人工筋肉スピーカ（左）と水中用人工筋肉スピーカ（右）

#### (4) 多層化試験

膜の1枚だけ通電動作させる構成とし、一般的な音楽を入力信号に用いた送波試験を行った。その結果、音楽は正常に再生され、ただし2枚の場合よりも低い送信音圧で再生される事が確認できた。

#### (5) 今後の展望

残念ながら大型水中送波膜の製作と、それを用いた特性計測および変形試験は、費用的な問題で断念した。また水中送波出力が低く、ハイドロフォンによる計測が出来なかったため、水中における特性試験を定量的に評価することが出来なかった。しかし本研究により人工筋肉を用いた大深度用水中送波器の実現が十分可能であることが確認できたことから、今後に繋がる有意義な研究成果であったと考える。

### 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)

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Seiki Chiba, Mikio Waki, Takao Sawa・・他3名, Electroactive Polymer "Artificial muscle" Operatable in Ultra-High Hydrostatic Pressure Environment, IEEE Sensors Journal, 査読有, Vol. 11, No.1, 2011, pp.3-4

〔学会発表〕(計3件)

- ① 澤隆雄, 防水型人工筋肉を用いた水中送波器による送波試験, 海洋音響学会2011年度研究発表会, 2011年5月30日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京)
- ② 澤隆雄, 誘電EAPエラストマーを用いた水中スピーカの試作, 日本音響学会2010年秋季研究発表会, 2010年9月15日, 関西大学千里山キャンパス(大阪)
- ③ 澤隆雄, 誘電EAPエラストマーの海底下探査ソナーへの適用, 海洋音響学会2009年度研究発表会, 2009年5月18日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京)

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

澤 隆雄 (SAWA TAKAO)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究主任

研究者番号: 50359139