

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

第19編

平成25年度

神奈川工科大学

は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、平成25年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

< 目 次 >

甲第27号	秋野 裕	イオンマイクロホンの研究 1
-------	------	--------------	---------

氏名(本籍)	あきの ひろし (北海道) 秋野 裕
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 27 号
学位授与日	平成 25 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 電気電子工学専攻
学位論文題目	イオンマイクロホンの研究
論文審査委員	(主査) 神奈川工科大学 下川 博文 教授 神奈川工科大学 荒井 俊彦 教授 神奈川工科大学 小室 貴紀 教授 神奈川工科大学 板子 一隆 教授 東京電機大学 金田 豊 教授

内容の要旨

一般にスピーカやマイクロホンなどの電気音響変換器では振動板が用いられている。空気の音響振動と電気信号が振動板を介して結合している。マイクロホンは音波を機械振動に変換し、これを電気信号に変換している。しかし、振動板には質量があり、振動板を復元するための弾力が必要であることから共振が発生する。このため、マイクロホンの主要收音帯域の音圧に対する周波数応答を平坦にするために制御方式が用いられるが、收音できる周波数帯域には限界がある。このほか、共振周波数では振動板の振動変位あるいは振動速度が大きくなることから振動板素材に起因する音質劣化の問題がある。振動板に質量が無ければこのような問題は起こらないと考えられる。振動板を持たない電気音響変換器のうちイオンスピーカは実現されたが、イオンマイクロホンはこれまでに動作する先例を確認することができなかった。

本研究の目的は、大気圧放電で発生させたプラズマを質量の無い振動板として動作させることによって、音波を直接電気信号に変換することである。

第 1 章では背景、振動板を持つ電気音響変換器、振動板を持たない電気音響変換器とイオンマイクロホンを実現するために必要な先行技術について述べ、本論文の目的と構成を示している。これまでに実用化されてきた振動板を持つマイクロホンについて述べている。ここでは、現在用いられているコンデンサマイクロホンの性能から、イオンマイクロホンが到達すべき信号対雑音比について示している。振動板を持たない電気音響変換器のうちイオンスピーカは実用化されているが、イオンマイクロホンは動作する先例を見出すことができなかった。イオンマイクロホン実現に関わる先行技術を活用し、イオンスピーカと同様の放電プラズマを用いることによるイオンマイクロホンが実現できると予測している。加えて、以降の章で用いる音響測定環境と測定方法を示している。

第 2 章では直流コロナ放電を用いて低温プラズマを発生させ、放電が放射する音波、放電電流の雑音と放電電流から音波に対する応答を検出する方法を検討している。そして、これまでイオンマイクロホンが実現されてこなかった原因を明らかにしている。直流コロナ放電が放射する音波には電源に起因するものとコロナ放電に起因するものがあり、放射される音波の音圧が目的音より大きい場合には收音できないことを明らかにしている。直流コロナを用いて放電電流から音声信号を検出する方法では放電電流に含まれる雑音成分に比べ、音波に対する応答が低いことが確認された。これらの結果がこれまでイオンマイクロホンが実現されなかった原因と考えることができることを示している。

第 3 章では発振器、放電電極と検出方法を検討してイオンマイクロホンを設計した。このイオンマイクロホンで高温プラズマを発生させ、プラズマに音波を加えると帰還発振器の発振周波数偏移として音波に対する応答を検出することができた。プラズマに加えた音波に対する発振周波数偏移を FM 検波することによって音声信号を取り出すことに初めて成功している。そして、プラズマと針電極に対向する電極との間に音波に反応する静電容量が形成されることを明らかにしている。さらに、点音源を用いた測定により、プラズマの音波に反応する部分を明らかにしている。しかし、イオンマイクロホンの音波に対する反応は低く、実用化するためには信号対雑音比を改善する必要があることを示している。このほか、大気中放電であることから高周波放電においても放電部は音波を放射し、針電極が損耗することを確認した。これらの問題は針電極の表面状態に依存すると考え、不活性ガスを針電極周辺に流すことによって針電極を保護し、音波の放射を防止している。

第 4 章ではイオンマイクロホンの信号対雑音比の改善を検討している。放電電力を増加させると音波に対する反応は高まるが、不安定な放電が発生することによって放電電力の増加には限界があった。このため、プラズマの形成方向、放電電極の形状寸法と表面処理を検討し音波に反応する安定した高周波放電プラズマを形成する条件を明らかにしている。この条件を用いることにより放電電力を増加させ、イオンマイクロホンの音波に対する反応を高めた。さらに、検波器の検波感度の向上と音波導入部を検討することによってイオンマイクロホンの信号対雑音比を改善した。これらの結果から、限られた周波数帯域ではあるが、既存のコンデンサマイクロホンと同等の信号対雑音比を実現することができた。このことから、イオンマイクロホンを実用化することが可能であることを示している。イオンマイクロホンの周波数反応は周波数の増加に伴って出力レベルが減少する。この結果から、イオンマイクロホンは音波の粒子変位の振幅に反応していることを明らかにしている。既存のマイクロホンは音波の音圧あるいは粒子速度に比例した出力信号であることに対して、イオンマイクロホンは音波の粒子変位の振幅に比例した出力信号であることを示している。

第 5 章は結論であり、本研究で得られた結果の要点と実用化に向けた課題と展望を述べている。

審査経過の要旨

1. 審査の経過

- (1) 2013年3月1日(金), 指導教員下川博文に対し, 秋野裕君より学位論文が提出された.
- (2) 2013年3月21日(木), 電気電子工学専攻会議にて審議を行い, 予備審査の開始と予備審査委員が承認された.
- (3) 2013年4月27日(土) 14:00~15:20に予備審査会が開催された. その際に出された各審査委員からのコメントを受けて論文の修正及び推敲を行うことを条件に, 本請求論文は本審査に十分耐えうると判断され, 予備審査は終了した.
- (4) 2013年5月1日(水), 電気電子工学専攻会議における論文受理の可否投票の結果, 論文受理を決定した.
- (5) 2013年6月14日(金), 研究委員会において, 提出論文の受理を決定し, 上記5名をその審査委員とすることを決定した.
- (6) 2013年7月13日(土), 11:00~12:20に公聴会を開催した.
- (7) 2013年7月13日(土), 12:30~12:50に最終試験及び審査委員全員による審査委員会を開催した. 審査期間中における各審査委員の個別審査, 及び公聴会での発表内容, 質疑応答の内容に基づいて審議の結果, 申請論文は博士論文としての学術性, 新規性, 有効性, 実用性を有すること, また, 申請者は博士の学位に相応しい学力, 語学力を有していることを審査委員全員で確認した.

2. 審査結果

本論文は, 質量の極めて軽いマイクロホンを実現するために, 帰還発振器で発生させた大気圧プラズマを音波に応答させ, 加えた音波を周波数偏移として検出し, さらに周波数偏移を FM 復調することにより音声信号を得ることを目的として研究を行い, 得られた成果及び知見を5章にわたってまとめている.

第1章では背景, 振動板を持つ電気音響変換器, 振動板を持たない電気音響変換器とイオンマイクロホンを実現するための先行技術について述べ, 本論文の目的と構成を示している. 現在用いられているコンデンサマイクロホンの性能から, イオンマイクロホンが到達すべき信号対雑音比について示している. 振動板を持たない電気音響変換器のうちイオンスピーカは実用化されているが, イオンマイクロホンは動作する先例を見出すことができないことを述べている. イオンマイクロホン実現に関わる先行技術を活用し, イオンスピーカと同様に大気圧プラズマを用いることによるイオンマイクロホンが実現できると予測している. 加えて, 以降の章で用いる音響測定環境と測定方法を示している.

第2章では直流コロナ放電を用いて低音プラズマを発生させ, 放電が放射する音波, 放電電流の雑音と放電電流から音波に対する応答を検出する方法を検討している. この結果から, これまでにイオンマイクロホンが実現されてこなかった原因を明らかにしている. 直流コロナ放電が放射する音波には電源に起因するものとコロナ放電に起因するものがあ

り、放射される音波の音圧が目的音より大きい場合には收音できないことを明らかにしている。直流コロナを用いて放電電流から音声信号を検出する方法では放電電流に含まれる雑音成分に比べ、音波に対する応答が低いことを確認している。これらの結果がこれまでイオンマイクロホンが実現されてこなかった原因と考えることができることを結論付けている。

第3章では発振器、放電電極と検出方法を検討してイオンマイクロホンを設計している。このイオンマイクロホンで高温プラズマを発生させ、プラズマに音波を加えて帰還発振器の発振周波数偏移として音波に対する応答を検出している。プラズマに加えた音波に対する発信周波数偏移をFM検波することによって音声信号を取り出すことに初めて成功している。そして、プラズマと針電極に対向する電極との間に音波に応答する静電容量が形成されること、さらに点音源を用いた測定によりプラズマの音波に応答する部分を明らかにしている。しかし、イオンマイクロホンの音波に対する応答は低く、実用化するためには信号対雑音比を改善する必要があることを示している。このほか、大気中放電であることから高周波放電においても放電部は音波を放射し、針電極が損耗することを確認している。これらの問題は、不活性ガスを針電極周辺に流すことによって針電極を保護し、音波の放射を防止できることを示している。

第4章ではイオンマイクロホンの信号対雑音比の改善を検討している。放電電力を増加させると音波に対する応答は高まるが、不安定な放電が発生することによって放電電力の増加には限界があることを示している。さらに、プラズマの形成方向、放電電極の形状寸法と表面処理を検討し音波に応答する安定した高周波放電プラズマを形成する条件を明らかにしている。この条件を用いることにより放電電力を増加させ、イオンマイクロホンの音波に対する応答を高めている。さらに、検波器の検波感度の向上と音波導入部を検討することによってイオンマイクロホンの信号対雑音比を改善している。これらの結果から、限られた周波数帯域ではあるが、既存のコンデンサマイクロホンと同等の信号対雑音比を実現している。このことから、イオンマイクロホンを実用化することが可能であることを示している。イオンマイクロホンの周波数応答は周波数の増加に伴って出力レベルが減少する。この結果から、イオンマイクロホンは音波の粒子変位の振幅に応答していることを明らかにしている。既存のマイクロホンは音波の音圧あるいは粒子速度に比例した出力信号であることに対して、イオンマイクロホンは音波の粒子変位の振幅に比例した出力信号であることを示している。

第5章は結論であり、本研究で得られた結果の要点と実用化に向けた課題と展望についてまとめている。

よって本論文提出者は、博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定する。