

ボイスコイルアクチュエータを用いた 電力フィードバック熱音響発電機の製作と制御

機械創造工学課程4年
騒音・振動制御工学研究室
17105088 竹岡響

1

1

研究背景

- 熱音響現象**：熱と音波の相互エネルギー変換
- 熱音響自動発振**：共鳴管内に設置されたスタックに温度勾配を与えることで音波が発生し高温側へ増幅
- 進行波型熱音響発電機**：発生・増幅した進行波音波の音響パワーをリニアモータに入力することで発電
- 熱源の温度変化により発電効率が変動**
- 電力フィードバック進行波型熱音響発電機**：音響パワーのフィードバックを電力に置き換えて熱源の温度変化に対処することを想定

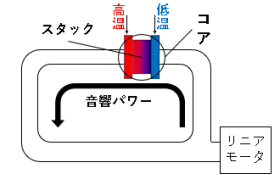


Fig.1 進行波型熱音響発電機

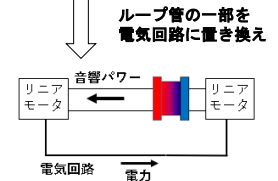


Fig.2 電力フィードバック進行波型熱音響発電機

2

研究目的

先行研究[1]：電力フィードバック進行波型熱音響発電機を製作

- ・リニアモータのコイルと磁石を分離した構造で支持・・・実験毎に磁石を位置調整
- ・横置きのリニアモータ・・・ベローズがたわみ磁石の位置調整が困難

実験準備に時間がかかる

本研究の目的：リニアモータの支持方法を改善し位置調整の手間を無くす

- ・リニアモータのコイルと磁石を一体型の構造で支持・・・位置調整の必要性を削除
- ・リニアモータを縦置きに変更・・・ベローズがたわみコイルと磁石が干渉する懸念を解消

- ・先行研究[1]で課題とされていた高効率な(推力定数の高い)リニアモータへの換装

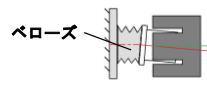


Fig.3 横置きのリニアモータ (従来)

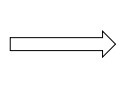


Fig.4 縦置きのリニアモータ

[1] 藤田将太郎, 「熱音響コアが多段階接続された電力フィードバック型熱音響発電機の発電状況の推定とフィードバック制御の熱果」, 修士論文 (2016)

3

3

リニアモータ部の設計(要点)

一体型の支持構造

- ・磁石とコイルを全ネジで支持された金属板に固定 (Fig.5)
- ・磁石を固定する金属板のボルト穴をボルトの直径より大きく設定 (Fig.6)
- ・金属板は磁石に吸着しないアルミ板を採用

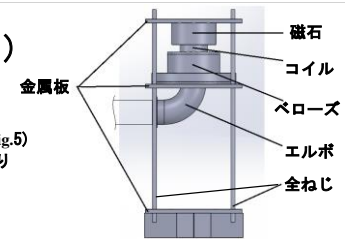


Fig.5 設計したリニアモータ部

縦置き配置

- ・エルボを用いてリニアモータを地面に対し垂直に配置 (Fig.5)
- ・磁石が上になるように配置 (Fig.6)

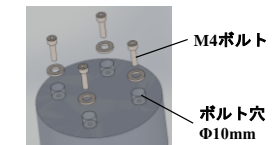


Fig.6 磁石固定部分

4

4

リニアモータ部の設計(ペローズの選定)

高効率なリニアモータ(X-1743)は従来より... **固有振動数が低下すると実験装置コイルの質量が大き**い

従来の固有振動数(約45Hz)付近になるよう**バネ定数の高いペローズを選定**

バネ質量を考慮したマスバネ系の固有振動数を与える(1)式を用いて、従来の固有振動数に最も近い**約46Hz**となるペローズ(NS10109-1-Y)を採用

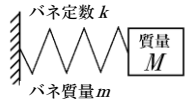


Fig.7 バネ質量のあるマスバネ系

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M + \frac{m}{3}}} \quad (1)$$

Table1 選定したペローズを用いた場合の各データ

ペローズバネ定数k [N/mm]	ペローズ質量m [g]	質量M [g]	固有振動数f [Hz]
23.65	170	226	46

5

5

リニアモータ部の設計(フランジの設計)

- ペローズ側のフランジ ... { ペローズにボルトが干渉しない大きさの規格品(10K90)を採用
ペローズは接着で接合
- エルボ側のフランジ ... { 中央の穴径 → エルボ内径と一致
ボルト穴の位置 → ペローズ側フランジと一致
エルボは溶接で接合 → 溶接のための段付きを加工

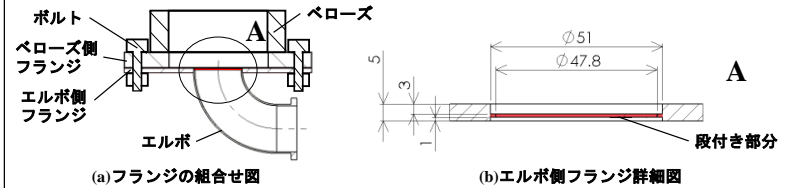


Fig.8 フランジの組合せと詳細図

6

6

リニアモータ部の製作

加工

- 材料を工作センターにて加工
- ペローズやエルボ等の接着・溶接



Fig.9 気密試験を行った部品

気密試験

エルボからコイル固定板までの部品(Fig.9)を水に沈めて息を吹き込み、気泡が出ないことを確認

溶接・接着部分の気密性があることを確認



Fig.10 組み立てたリニアモータ部

調整

磁石を動かしてコイルと接触しない位置に調整し固定

7

共振実験

Table2 実験条件と共振の有無、共振周波数

高温側温度[°C]	低音側温度[°C]	回路の状態 (Fig.11参照)	共振の有無	共振周波数[Hz]
270	10	異極(a)、短絡(R=0Ω)	無	-
		異極(a)、開放(R=∞Ω)	無	-
		同極(b)、短絡(R=0Ω)	有	36
		同極(b)、開放(R=∞Ω)	無	-

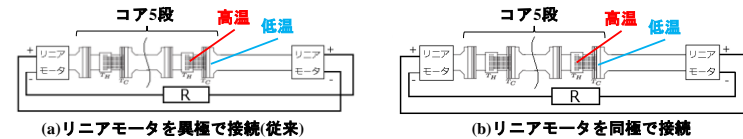


Fig.11 実験装置の概略図

従来の実験装置と異なる点

- リニアモータどうしの回路接続は同極で共振
- 回路開放で共振をしない
- 共振周波数が36Hzである(従来は43Hz)

管内にコアの低温側から高温側への進行波が確認できれば、**進行波型の共振**これらの違いは問題としない

8

8

進行波の確認実験

- Fig.12の位置A, B に配置した2つの圧力センサの出力電圧の時間応答を取得する実験を行った (サンプリング周期0.2ms、取得時間10s) **[実験1]**
- センサの個体差を考慮し、センサの位置を入れ替えて同様の実験を行った **[実験2]**

Table3 実験条件と発振周波数

回路の状態	高温側温度 [°C]	低音側温度 [°C]	発振周波数 [Hz]
同極、短絡 (R=0Ω)	270	10	36

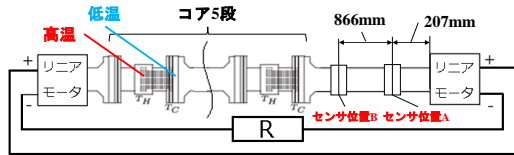


Fig.12 実験装置と圧力センサの位置

9

9

進行波の確認実験 (結果)

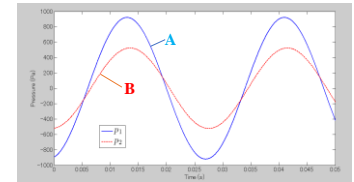
Fig.13からセンサの入れ替えによらず位置Aの出力が位置Bよりわずかに左にずれている

↓
コアの低温側から高温側への進行波が生じている

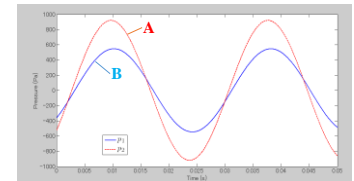
実験1,2の平均で位相角は6.8deg(純粋な進行波位相角33degの21%)

↓
従来(位相角が2~3deg、純粋な進行波位相角40degの5~8%)よりも進行波成分が増加した

実験1,2の間でリニアモータ部の調整なく発振させることが可能であることも確認した



(a)位置Aにp1,位置Bにp2としたとき



(b)位置Aにp2,位置Bにp1としたとき

Fig.13 推定圧力の時間応答

10

10

コアの段数の削減実験

段数を削減できれば将来的な装置の小型化につながる

従来の発振可能なコアの最小段数は5段 (段数が増えると進行波の音響パワーが増加)

⇒ リニアモータの高効率化により進行波成分が増加した

↓
発振可能なコアの段数を従来より削減できる可能性

コアを1段づつ減らして発振可能な最小段数を調査した (管路長の変更はなし)

Table4 実験条件と発振の有無、発振周波数

回路の状態	コア段数	高温側温度 [°C]	低音側温度 [°C]	発振の有無	発振周波数 [Hz]
同極、短絡 (R=0Ω)	4段	280	10	有	34
	3段	400(上限値)	10	無	-

4段までは発振可能であることが分かった

11

11

まとめ

- 実験毎に位置調整が不要なリニアモータ部を製作し、調整なく発振可能になったことを確認した
- 従来より進行波成分が増加したことを確認した
- 従来よりコアの段数を1段削減した状態(4段)で発振可能であることが分かった

今後の予定

削減可能なコアの段数の実験結果を理論的に理解するために、解析的な調査する

12

12