

高出力振動発電のための自動共振機構の開発

機械情報システム課 吉江真太郎、中村陽文

1. 緒言

近年、環境発電技術のひとつである振動発電が、特に設備保守の分野で注目されている。振動発電は、人体の運動や機械・構造物の振動に伴う振動エネルギーを電力に変換する発電方法であり、電池交換や配線が難しい環境での使用が期待されている。主な用途としては、機械設備や土木構造物等をモニタリングするセンサ類が想定されており、こうしたIoTデバイスの小型化、省電力化が進んでいることも、振動発電の需要を後押ししている。

振動発電は、圧力を電力に変換する圧電体を利用しており、一般的には大きな振動を与えるほど、取り出せる電力は大きくなる。このため、多くの振動発電デバイスでは、圧電素子を取りつけた部分(本研究では、振動板と呼ぶ)を大きく振動させるため、共振現象を利用している。振動板は、固有振動数と同じ周波数の外部振動を受けたときには、大きく振動し、発電量が增大するが、それ以外の周波数の外部振動では、発電量は減少してしまう。これが共振を利用する振動発電デバイスの課題のひとつである。

本研究では、振動発電における共振周波数の広帯域化を実現させる機構の検討、および試作と検証を行った。

2. 機構の検討

共振周波数を広帯域させる様々な方法がこれまでに提案されており、これらについてTangら¹⁾は(1)共振周波数を機械的または電氣的にチューニングするもの、(2)複数年モードを有する振動子を用いるもの、(3)周波数変換機構を用いるもの、および、(4)非線形振動子を用いるもの、に分類している。このうち(4)の非線形振動子を用いた振動系の例をFig. 1に示す。スライダと梁から成るこの系を加振すると、スライダが梁に沿って受動的に移動し、梁の固有振動数が変化する。その結果、梁の運動とスライダの運動の非線形連成を含む共振現象が引き起こされる。このような非線形振動により、共振が発生する帯域を広げられることが報告されている²⁾。本研究では、比較的単純な要素で実現できることから、この非線形振動子を用いる機構の開発を目指した。

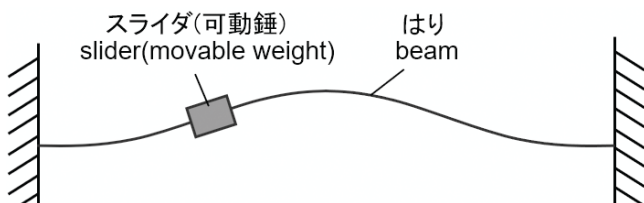


Fig. 1 System of the beam and the sliding weight

3. 機構の設計

共振機構の設計にあたり、片持ち梁形式の振動板を想定し、まず振動板の共振周波数が変化する基本的な仕組みを整理した。Fig. 2に先端に質量 m の錘(おもり)をもつ片持ち梁の固有振動数 f_0 の理論式を示す。

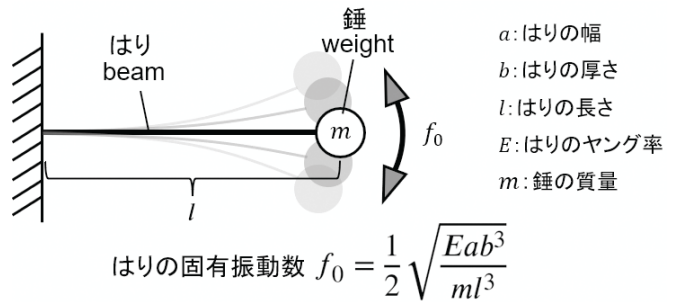


Fig. 2 Natural frequency of cantilever beam

この式から、梁の固有振動数は錘の質量や梁の幅、厚さ、長さなどによって変化することがわかる。ここから、以下の3パターンの固有振動数の変化方法を検討した。

(a) 梁の長さの変化 (Fig. 3)

(b) 錘の質量の変化 (Fig. 4)

(c) 錘の位置の変化 (Fig. 5)

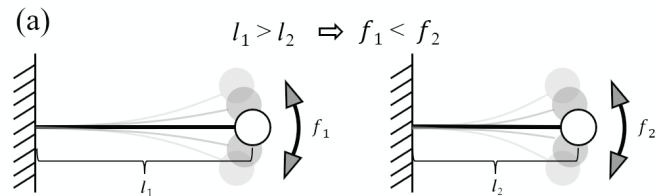


Fig. 3 Change of length of the cantilever

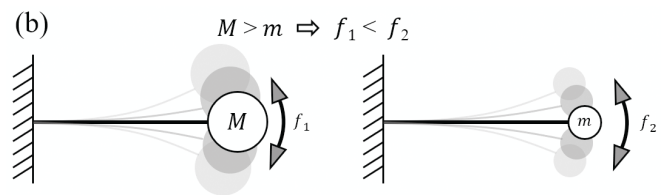


Fig. 4 Change of mass of the cantilever

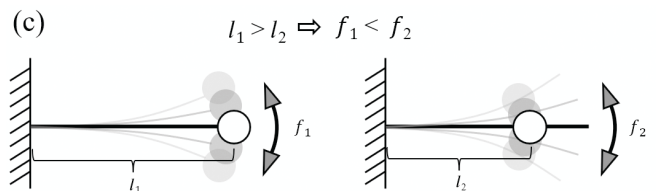


Fig. 5 Change of position of the mass of the cantilever

上記のパターンごとに、実現可能性等を検討した結果、比較的単純な構造で実現できると考えられた(c)の仕組み、用いた機構の開発を目指すこととした。

4. 機構の製作

錘の位置が振動板の上を移動することにより、振動板の固有振動数が変化する機構の開発を目指した。製作したモデルを Fig. 6 に示す。市販のアルミ板(A5052, 板厚 3.0mm)を梁とし、その板を挟み込むように錘として2枚のステンレス(SUS304, 板厚 3.0mm)の板材を取り付けた。錘は振動発生時に移動できるように、板と錘の間にはスペーサーを挟んで隙間を設けた。さらに、この振動板を2対、水平方向に逆向きに配置し、錘同士をタコ糸で繋いだ。錘の位置によって振動板の固有振動数が異なるように、各部品の寸法や材質を調整した。

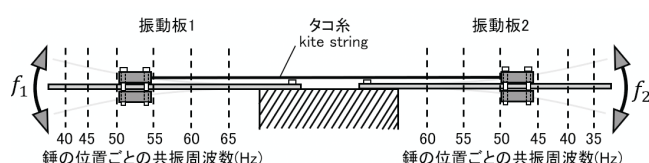


Fig. 6 Schematic diagram of development model

振動試験機を用いて、このモデルに対する周波数掃引試験(加速度 1G、周波数 20Hz~70Hz、片道 5分)を行い、振動板の先端に取り付けた加速度ピックアップによって、印加周波数ごとの応答加速度を測定した。

5. 実験結果および考察

固定錘(比較用)での実験結果を Fig. 7 に示す。70Hz から 20Hz の下降掃引を行った際、振動板 1 では共振周波数(53Hz)をピークとして、58~48Hz の範囲で共振し、振動板 2 では、共振周波数(45Hz)をピークとして、50~42Hz の範囲で共振の発生がみられた。

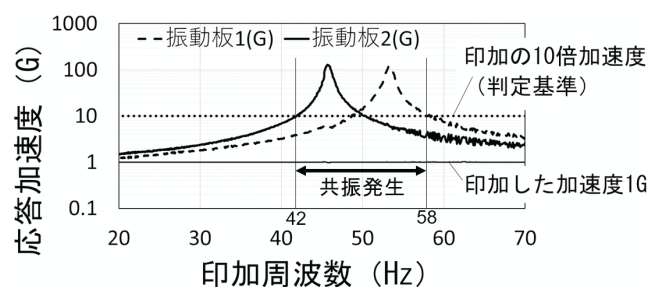


Fig. 7 Experimental result of fixed weights

キーワード：IoT、環境発電、振動発電、自動共振

Development of an Automatic Resonant Mechanism for High-Power Vibration Power Generation

Mechanics and Digital Engineering Section; Shintaro YOSHIE and Takafumi NAKAMURA

With the aim of increasing the output of vibration power generation, we developed a mechanism (automatic resonance mechanism) that actively changes the natural frequency of the cantilever on the device side in synchronization with the frequency of external vibration. Prototype models consisting of two sets of cantilever-shaped resonant plates with movable weights were created. The responses acceleration at each frequency were measured by sweep vibration tests using these models.

2つの振動板をあわせてひとつの振動板ユニットと考えると、58~42Hzで共振が発生した結果となった。

一方、可動錘(開発モデル)では、下降掃引を行った際に、50Hz~31Hzの広い範囲で共振が続いた。振動板1と振動板2ともに掃引試験中に可動錘の移動が発生したため、振動板の共振周波数が変化し、固定錘と比べて共振が広い帯域で続いたかたちとなった(Fig. 8)。

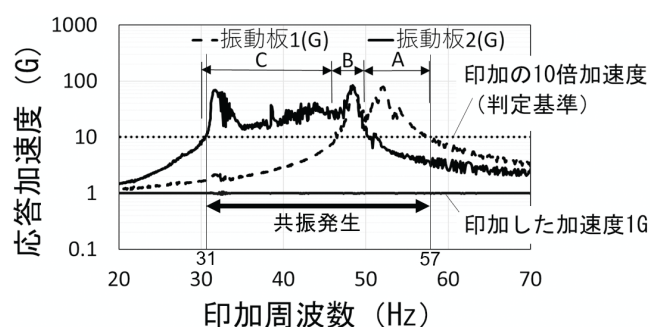


Fig. 8 Experimental result of movable weights

6. 結言

自動で共振周波数が変化する機構の開発を目標として、片持ち梁の板の上を移動する錘同士をタコ糸でつないだ機構を提案し、検証を行った。その結果、高い周波数から低い周波数への変化(下降掃引)の場合は、共振発生帯域が大きく広がることが確認できた。一方で、低い周波数から高い周波数への変化(上昇掃引)の場合には、共振帯域の広域化にはつながらなかった。実用化にむけてはより小さなデバイスに適したスケールでの検証も必要であると考えられ、これらが今後の課題として残った。

参考文献

- 1) L. Tang, Y. Yang, C. K. Soh: *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 21 (2010) 1867-1897
- 2) L. M. Miller: *Phd Thesis*, (2012) 60-73