

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420211

研究課題名(和文) ランダム振動型ジャイロ発電機の研究

研究課題名(英文) Study on gyroscopic power generator for random vibration

研究代表者

保坂 寛 (HOSAKA, Hiroshi)

東京大学・新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：50292892

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：予め錘に高速運動を与え、それを振動させることで、従来の単振動型に比べ発電量を大幅に増大させた振動発電機を2種開発した。第1は錘をモータで自転させ、錘に傾斜振動を与えるもので、慣性力の増大原理にコマ式ジャイロを用いている。任意の振動で発電し、最大0.2Wを発電した。第2は梁を曲げ振動させ、これにねじり振動を与えるもので、増大原理に振動ジャイロを用いている。ねじり振動の2倍の周波数で曲げ加振したとき、錘の振動振幅が非加振時の1.5倍に増大した。

研究成果の概要(英文)：Two types of vibrational power generators were developed that increase output power by moving a pendulum in high speed. The first type rotates pendulum by a motor and gives rotational vibration to it. Its amplifying mechanism is the same as that of spinning gyroscopes. The generator works under any vibration and produced 0.2W at most. The second type gives a beam a bending and a twisting vibrations. Its amplifying mechanism is the same as that of vibrational gyroscopes. The generator produced vibrational amplitude of 1.5 times larger than that without bending vibration.

研究分野：機械振動学

キーワード：発電機 ジャイロ 振動

1. 研究開始当初の背景

従来の振動発電機は、内部のおもりを共振周波数で加振し、その慣性力を電気機械変換して発電していた。一方自然界の振動は、人や動物の動き、波や風による浮体や樹木の揺れなど、1Hz程度の振動が多く、かつ周波数が変動する。従来の発電機は、共振周波数以外の、特に低周波の振動に対してはおもりの加速度が小さく、発電量が小さいという課題があった。例えば腕時計発電機では、腕の筋肉は平均で常時10W程度の仕事をするのに対し、発電量は100μW程度であり、10万分の1しか利用できなかった。

2. 研究の目的

低周波かつ周波数が変動する環境振動から、効率的に電気エネルギーを生成する振動発電機を開発する

3. 研究の方法

従来の発電機は静止した錘を加振していた。これに対し、本研究では、おもりに予め運動を与えておき、それを振動させることで錘の慣性力を増大させる。ジャイロ効果に基づく2つの方法を用いる。第1は錘をモータで自転させ、錘に傾斜振動を与える。この方法によれば、生じる慣性トルクは、慣性モーメント×振動振幅×周波数×回転数となるので、振動振幅や周波数が小さくても、回転数を上げればトルクはいくらでも大きくできる。原理はコマ式ジャイロと同じである。第2はおもりを高周波で振動させておき、これに外部振動を与える方式である。原理は振動ジャイロと同じである。

4. 研究成果

(1)コマ式ジャイロ発電機

理論解析

図1に発電機の構成を示す。ロータをモータで回転させ、入力軸に回転振動を加えるとジャイロ効果が発生し、入力軸と自転軸に垂直な軸(歳差軸)回りに回転振動がおこる。これを歯車列で増速した後永久磁石を回転し、電磁誘導によりコイルに発電する。ジャイロ効果を最大化するため、発電した電力をモータに正帰還し、ロータの回転速度を上げる。電力はすべてロータの運動エネルギーとして蓄えられるので、本発電機はフライホイール電池としても作用している。

入力振動、ロータの傾斜および自転、発電および自転モータの電気機械変換、発電および自転ギヤのトルク変換、整流回路の電圧電流の式を立て、ロータの歳差角を微小、ロータの自転は滑らかに増大すると仮定すると、発電量Pは次式となる。

$$P = P(0)\exp[2(C - D)/I_p]t$$

P(0)は発電量の初期値、tは時間、I_pはロータの慣性能率、Cは加振振幅、周波数、ロータの

慣性能率、自転および発電モータのトルク定数、ギヤ比などで決まる加速係数、Dは機械的電氣的損失係数である。図2に、材質ステンレス、φ80mm、厚さ20mm、初速度100rpmのロータを振幅30[deg]、3[Hz]で加振した場合の発電量の計算値を示す。C=3.8E-5[J・s]である。Dは実験機での値、その他は10%、20%に低減した値である。Dが減少すると、発電量が急激に増大することが分かる。

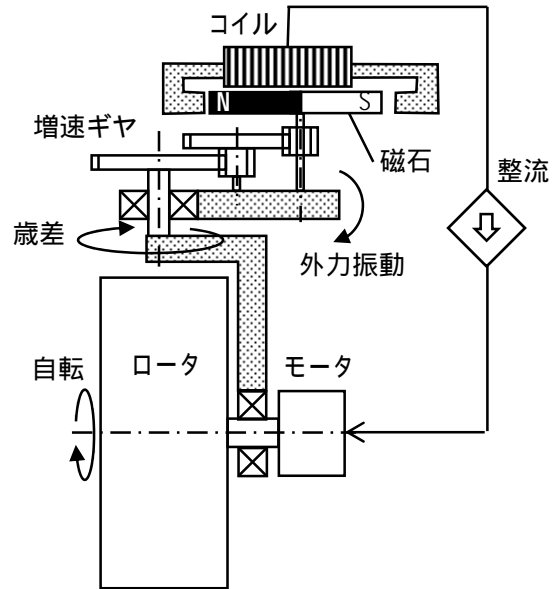


図1 コマ式ジャイロ発電機の構成

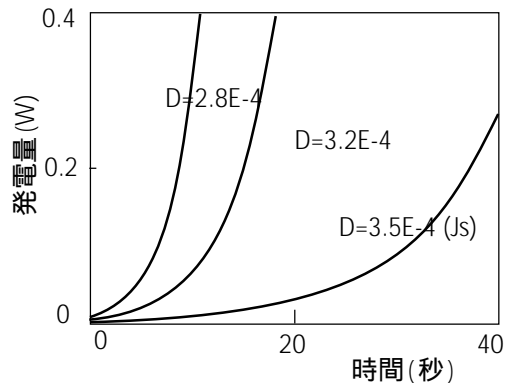


図2 コマ式ジャイロ発電機の発電量の計算値

実験

実験装置を図3に示す。ロータを2重ジンバルで支持し、歳差軸に100倍増速付きのコアレスモータを装着し、発電する。ロータ軸をφ3と細くして機械損失を低減している。発電された電力はダイオードブリッジにより整流され、自転モータへと帰還される。また歳差軸にはねじりばねが取り付けられ、歳差角が過大にならないようにしている。入力振動を手動で与え、その際の入力振動軸、歳差振動軸の角変位とロータの自転速度を計測した。

φ100およびφ80のロータにより自転の帰還

増速に成功した. $\phi 100$ では自転速度が 1000 から 1800rpm に増大し 0.2W を発電し, $\phi 80$ では 500 から 700rpm に増大し 10mW を発電した. 図4に $\phi 100$ ロータにおける回転数の推移を示す. 後半で実験値が下がっている理由は, 手動で入力振動を与えたため, 入力振幅が減少したためである.



図3 コマ式ジャイロ発電機の写真

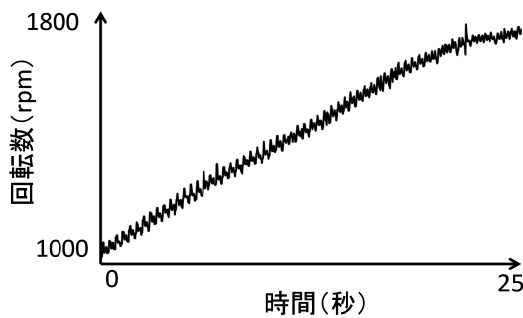


図4 コマ式ジャイロ発電機の回転特性

(2) 振動ジャイロ式発電機

理論解析

振動ジャイロは, 弾性変形のみで角速度に比例するコリオリ振動を発生でき, MEMS による製造も可能である. 従って, 振動ジャイロのセンサ出力を電力とみなせば, 超小型のジャイロ発電機を実現できる可能性がある. 振動ジャイロの計算モデルを図5に示す. 振動ジャイロはコリオリ力を用いており, その運動は, 回転する平面内で2次元運動する質点で表すことができる. 簡単のため, x 方向には内部摩擦のみが, y 方向には圧電反力のみが働き, 両者の減衰係数はともに c とする. また, x 方向には加振力 f が, Z 軸

回りには xyz 座標系を回転させるトルク τ が働く. xyz 座標系の回転角を θ , 角速度を ω とする. 計算により, 一定回転時には発電量がゼロとなること, 振動回転時には, その2倍の周波数で加振したときに発電量が最大となることが確認された.

実験検証

実験装置の構成を図6に示す. y 方向の振動子は片持ち梁の先端におもりを付けたものとし, x 方向の加振はリニアガイドをリンク機構により往復振動させて与え, 回転加振はリニアガイドをベアリングで支持し, モータで回転振動させた. 回転加振と x 方向加振は, とともに 2ch ファンクションジェネレータにより正弦波電圧を与えた. x, y, θ の振動振幅は, ビデオ画像により測定した. 半径加振の周波数は y 方向の共振周波数に一致させた. x 方向と回転の加振の位相, 周波数を種々変化させ, 定常状態において, y 方向の振動振幅を測定した.

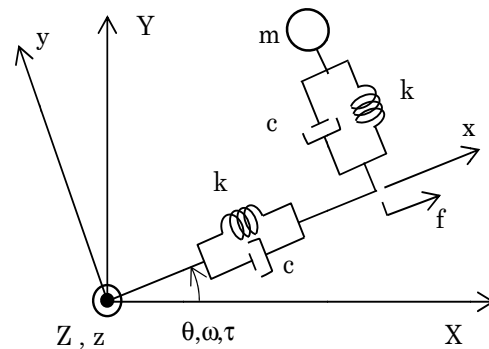


図5 振動ジャイロ発電機の計算モデル

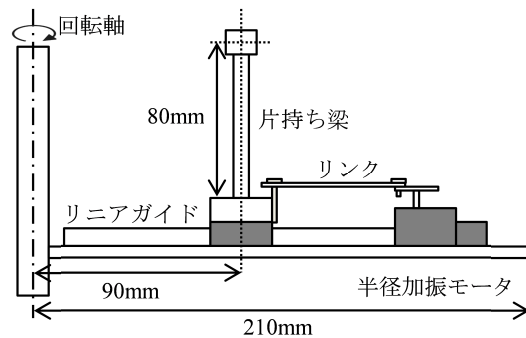


図6 振動ジャイロ発電機の実験装置

錘の加振周波数と振幅の関係を図7に示す. 横軸は回転振動の周波数と加振周波数の比, 縦軸は非加振時と加振時の振幅の比である. 実験値, 計算値ともに周波数倍率が2倍のときに振幅比が最大となっている. 回転と加振の位相差と振幅の関係を図8に示す. 加振周波数は回転振動の2倍である. 実験値, 計算値ともに位相差 270 度で振幅比が最大となっている. 以上により, 理論の妥当性が確認された.

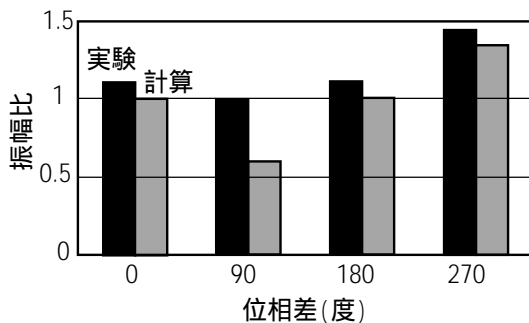


図8 振動ジャイロ発電機の周波数特性

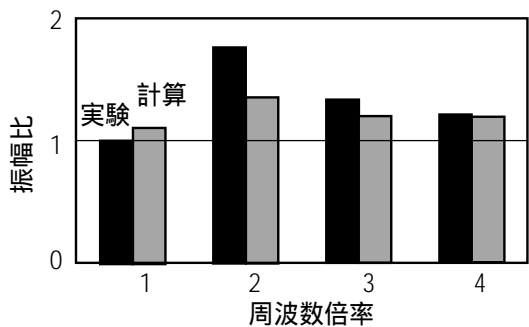


図9 振動ジャイロ発電機の位相特性

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)

〔学会発表〕(計8件)

大西吉徳, 荒井洸, 保坂寛, 自転帰還型ジャイロ発電機の試作, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会, 2016年3月17日, 東京理科大学(千葉県・野田市)

荒井洸, 大西吉徳, 保坂寛, ジャイロ効果を用いる高出力振動発電機の研究, 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会, 2016年3月14日, 東洋大学(東京都・文京区)

保坂寛, ジャイロを用いた電磁デバイスとその応用, 第2回新磁歪電磁スマートデバイス開発研究会(招待講演), 2016年2月26日, 東北大学(宮城県・仙台市)

南部雄一, 岩越智哉, 保坂寛, 発電用防振パレットの開発, 2015年度精密工学会春季大会, 2015年3月18日, 東洋大学(東京都文京区)

荒井洸, 山本花菜, 保坂寛, 正帰還ジャイロ発電機の動特性解析. 第一報. 理論解析, 2014年精密工学会春季大会学術講演会, 2014年3月19日, 東京大学(東京都・文京区)

山本花菜, 荒井洸, 保坂寛, 正帰還ジャイロ発電機の動特性解析. 第二報. 実験検証, 2014年精密工学会春季大会学術講演会, 2014年3月19日, 東京大学(東京都・文

京区)

寺本大輝, 中野人夢, 保坂寛, 振動ジャイロ発電機の研究. 第一報. 理論解析, 2014年精密工学会春季大会学術講演会, 2014年3月19日, 東京大学(東京都・文京区)

中野人夢, 寺本大輝, 保坂寛, 振動ジャイロ発電機の研究. 第二報. 実験検証, 2014年精密工学会春季大会学術講演会, 2014年3月19日, 東京大学(東京都・文京区)

〔図書〕(計2件)

保坂寛, 朝倉書店, 機械力学ハンドブック, 2015, pp.553-556

保坂寛, 技術情報協会, エネルギーデバイス, 2016, 6ページ(掲載決定)

6. 研究組織

(1)研究代表者

保坂 寛 (HOSAKA, Hiroshi)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号: 50292892