

巨大ジャイロ磁気効果マイクロモータ

Large Gyromagnetic Effect Micro-motor Using Amorphous Wires

杉野友啓、本田崇、山崎二郎

九州工業大学

T. Sugino, T. Honda, and J. Yamasaki

Kyushu Institute of Technology

(1999年10月29日受理、1999年12月14日採録)

High-speed rotation of amorphous wire in an ac longitudinal field was investigated in relation to magnetostrictive vibration for Fe, Fe-Co, and Co based wires. It was found that high-magnetostriction Fe and Fe-Co based wires rotate around the wire axis, but low-magnetostriction Co based wire does not, and that the rotational speed is a linear function of magnetomechanical resonance frequency. It seems from these observations that the rotation of amorphous wire around its axis originates from the magnetostrictive vibration.

Key word: amorphous wire, gyromagnetic effect, magnetostriction, magnetostrictive vibration

1. はじめに

近年、“大ジャイロ磁気効果”と称して交流磁界中でのアモルファスワイヤのワイヤ軸周りの高速回転が報告されている[1]。ジャイロ磁気効果は、元来、磁化に付随する角運動量に起因するデリケートな現象で、古くから有名な実験が多くなされているが[2]、磁性体の高速回転として、顕著に観察された例はない。我々は、この“大ジャイロ磁気効果”のアクチュエータ及びセンサへの応用を進めているが、ここでは、磁歪の異なる数種類のアモルファスワイヤを使用して、ワイヤの回転と印加磁界の関連、および、磁歪振動との関連について調べた。

2. 実験方法

2.1 実験回路図

長さ37mmの $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ (125 μm 径), ($\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$) $\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ (312 μm 径), $\text{Co}_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ (125 μm 径)のワイヤを実験に使用した。組成はwt%で、磁歪は各々、+30, +15, -2ppm程度である。Fig. 1に実験回路図を示す。ファンクションジェネレータの出力をアンプで10倍に増幅し、直径10mm長さ15mmのソレノイドコイルによって試料に一定の交流磁界をかける。0.5mmの穴を設けたOHPシートとアクリル版にワイヤを通し、ワイヤ端から数mmの部分で2点で保持した。ワイヤ下端はガラス基板上に乗せることでワ

イヤを垂直に保ち、ワイヤの回転に対する摩擦力を減少させた。

2.2 回転数測定法

ワイヤの回転数の測定は、ワイヤが少し曲がっているため、回転する時の軸のブレを利用した。発光ダイオードとフォトダイオードは、その回転数を検出するための機器である。その機器の間に試料を設置する。発光ダイオードに直流の電流を流し、フォトダイオードでその光の変化をオシロスコープを用いて読み取る。ワイヤが回転すると、そのブレのため発光ダイオードの光が変化することでワイヤの回転数が検出できる。

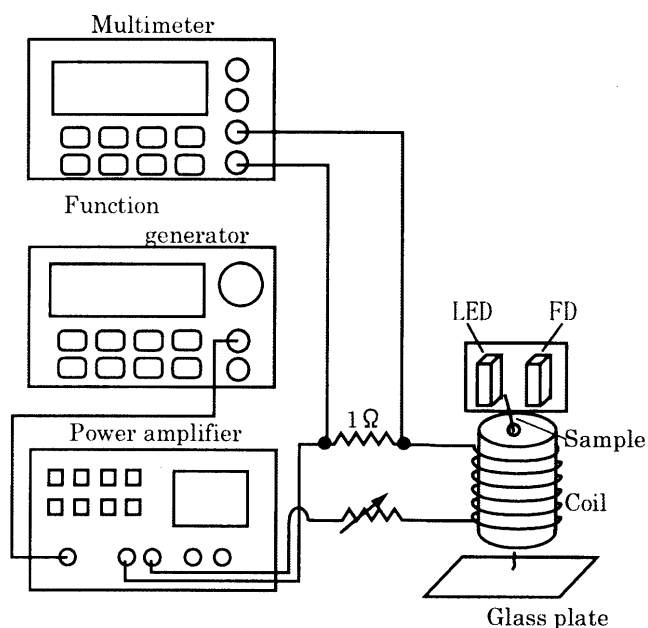


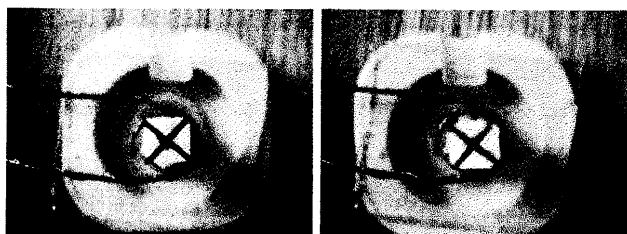
Fig. 1 Experimental arrangement

3. 結果と考察

3.1 アモルファスワイヤの回転の様子

Fig. 2に交流磁界中でのFe-Co基アモルファスワイヤの回転の様子を示す。回転を目視するため、ワイヤ上端にワイヤ軸に垂直にX印を記入した5mm×5mmの角紙片を接着剤で固定した。図は紙片を上から見た写真である。印加磁界の周波数は顕著な回転が観測された $f=62.8\text{kHz}$ に選んだ。

直流バイアス磁界 $H=1[\text{Oe}]$ でワイヤは回転を始めた。直流バイアス磁界を徐々に上げていくと、X印がややぼけて見えるように ($H=2[\text{Oe}]$)、回転数の上昇が確認された。この時の回転数は300rpm程度であった。 $H=3[\text{Oe}]$ に達すると、ワイヤは音をたてて高速回転する様子 (回転数480rpm程度) が見られた。



$f = 62.8 \text{ (kHz)} \quad H_{dc} = 0 \text{ (Oe)}$ $f = 62.8 \text{ (kHz)} \quad H_{dc} = 1 \text{ (Oe)}$



$f = 62.8 \text{ (kHz)} \quad H_{dc} = 2 \text{ (Oe)}$ $f = 62.8 \text{ (kHz)} \quad H_{dc} = 3 \text{ (Oe)}$

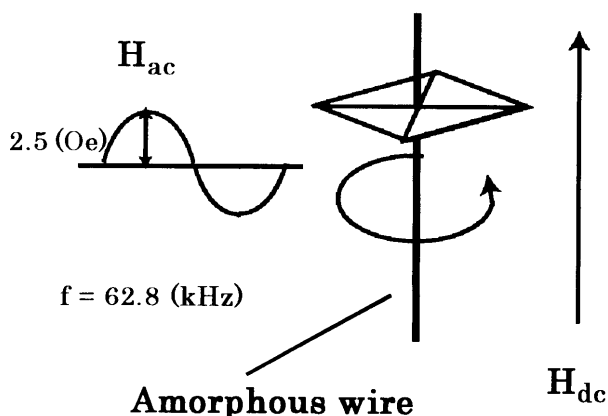
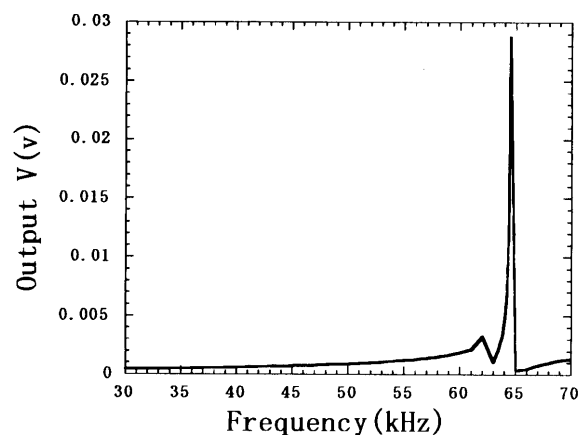


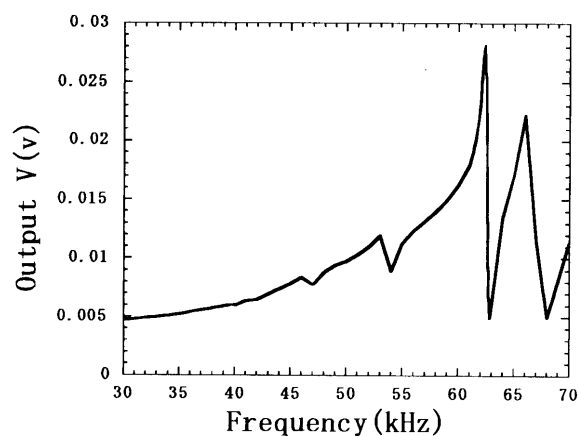
Fig.2 Rotation of $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37 mm amorphous wire rotate

3.2 ワイヤの磁歪振動周波数特性

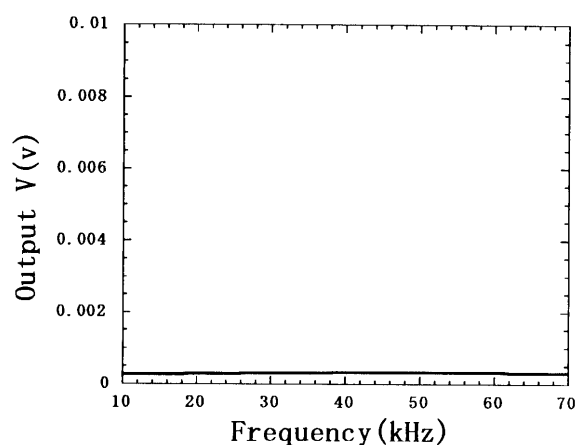
Fig. 2に示すようなワイヤの回転はFe, Fe-Co基のワイヤで観測されたが、負磁歪のCo基ワイヤでは確認されなかった。Fig. 3に各々のワイヤの磁歪振動 (バイアス磁界30e) の印加交流磁界 (0.40e) の周波数依存性を示す。交流磁界中では、交流磁界の周波数がワイヤの長さによって決まる共鳴周波数と一致した時、ワイヤ端は大きく振動する。ワイヤ端からの漏れ磁束をコイルで検出して磁歪振動を測定した[3]。いわゆる磁歪振動の振幅の大きさが電圧の比として検出される。従ってこのグラフの縦軸が磁歪振動の振幅の大きさで、横軸は交流磁界の周波数である。



a. $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ 37 mm



b. $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37 mm



c. $\text{Co}_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37 mm

Fig.3 Magnetostrictive vibration vs. frequency (DC bias field 3(Oe))

Fe およびFe-Coワイヤでは $f=63\text{kHz}$ 近傍で顕著な磁気弾性共鳴が観察される。一方、Co基ワイヤでは出力が小さく、明確な磁歪振動の共鳴も観測されなかった。Fe およびFe-Coの交流磁界中回転は、磁歪振動共鳴周波数近傍で最も顕著になること、また、共鳴が見られないCoワイヤで回転も観測されないことから、“大ジャイロ磁気効果”は磁歪振動に起因する現象だと考えられる。

3.3 ワイヤの回転が観測される周波数

$(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ ワイヤは $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ ワイヤと比較すると少しねじれているため、Fig. 3において沢山の共鳴が現れる。そこで $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ ワイヤに着目し、ワイヤの回転と磁歪振動との関連性について詳しく調べた。ワイヤの回転は、Fig. 3(b)における磁歪振動の共鳴が観測される交流磁界の周波数で観測された。また、共鳴が観測されない周波数でも、共鳴が顕著なところの1/2の周波数でワイヤの回転が観測された。したがって1/2の周波数は特異点とも言える。以上をまとめたものがTable. 1である。

Table. 1 $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37 mm ($H_{dc} = 3$ (Oe))

	$f_1/2$	$f_0/2$	f_4	f_3	f_2	f_1	f_0
AC field frequency (kHz)	31.5	33.5	46.8	54.0	58.0	62.8	67.1
Rotational speed (rps)	8.3	3.5	3.7	4.3	3.7	8.2	8.3

3.4 ワイヤの回転と共鳴周波数(磁歪振動数)との関係

直流バイアス磁界3(Oe)における $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ の各長さにおける共鳴周波数とワイヤの回転数との関係についてFig. 4に示す。ワイヤの長さを変化させると、磁気弾性共鳴の周波数は、ワイヤ長の逆数に比例する。従って、Fig. 4において、右のプロットほどワイヤは短くなる。ワイヤの回転数は、各ワイヤの長さの共鳴周波数に比例して増加するのが解る。いわゆる、ワイヤの回転は磁歪振動の共鳴周波数つまり磁歪振動数に依存する。

3.5 ワイヤの回転とバイアス磁界との関係

ワイヤの回転数は、磁歪振動の振幅にも依存する。Fig. 5に $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37mmの共鳴周波数; f_1 (62.8kHz)におけるバイアス磁界とワイヤの回転数との関係について示す。ワイヤの回転数は、直流バイアス磁界に比例して増加するが、ある値に収束していくのが解る。これは、直流バイアス磁界8(Oe)付近では、ワイヤの磁歪振動の振幅がこれ以上大きくならないためだと思われる。これより、ワイヤの回転は、共鳴周波数(磁歪振動数)と共に磁歪振動の振幅にも依存する。

特異点である共鳴周波数の1/2の周波数; $f_1/2$ (31.5kHz)においても、 $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37mmのバイアス磁界とワイヤの回転数との関係について調べた。それをFig. 6

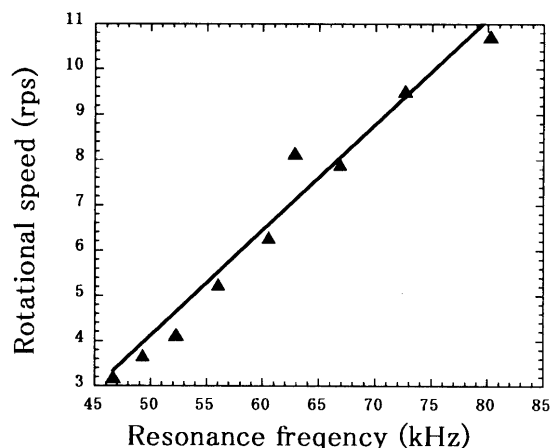


Fig. 4 Rotational speed vs. resonance frequency (Bias field 3 (Oe))

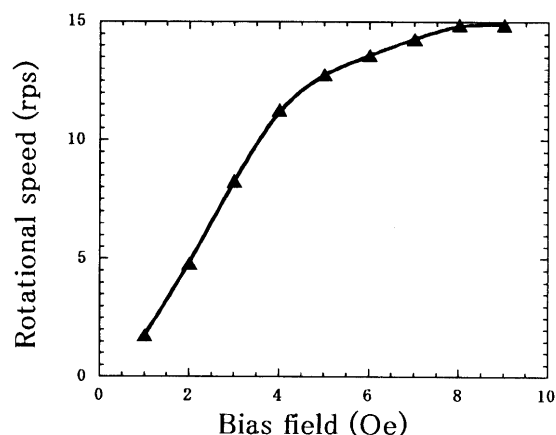


Fig. 5 Rotational speed vs. bias field of Fe-Co wire when driven with constant ac field (2.5 (Oe), 62.8 (kHz))

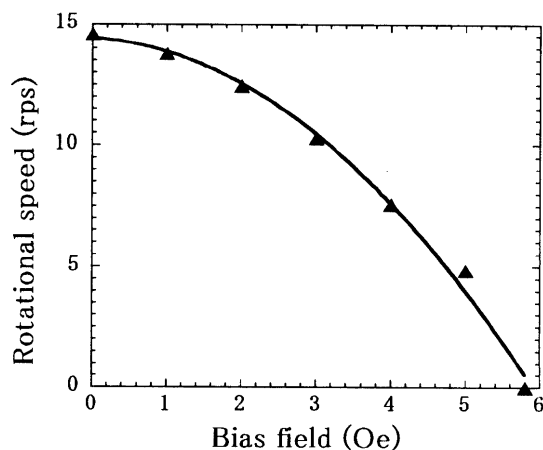


Fig. 6 Rotational speed vs. bias field of Fe-Co wire when driven with constant ac field (2.5 (Oe), 31.5 (kHz))

に示す。Fig. 5とFig. 6を比較すると、共鳴周波数(62.8kHz)では直流バイアス磁界が1(Oe)で回転をはじめるのに対して、特異点である $f_1/2$ の周波数(31.5kHz)では、バイアス磁界0(Oe)で最もワイヤが回転し、直流バイアス磁界の増加に伴ってワイヤの回転は減少した。

3.6 ワイヤの回転領域

そこで、 $f_1/2$ の周波数において、直流バイアス磁界とワイヤが回転をはじめる交流磁界の大きさについて調べた。Fig. 7に示すように直流バイアス磁界と交流磁界によって、回転領域とそうでない領域に分けられる。ドライブ磁界が2(Oe)以上ではワイヤの回転に直流バイアス磁界は必要としない。また直流バイアス磁界が大きくなると、大きなドライブ磁界が必要である。以上のことから次のことが考えられる。

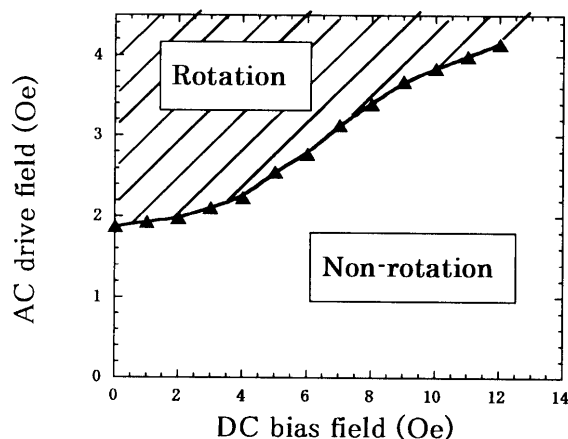


Fig. 7 AC magnetic field vs. DC bias field

Fig. 8のように、磁化曲線を折り曲げて磁歪振動のバタフライグラフに置き換えてみる。 $(\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5})_{72.5}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 37mm ワイヤにおいて磁歪振動の共鳴周波数は62.8kHzであるので、磁歪はこのバタフライグラフのループを62.8kHzで振動する。今、直流バイアス磁界0(Oe)の状態で共鳴周波数(62.8kHz)の1/2の交流磁界(31.5kHz)を印加したとすると、磁歪は交流磁界の2倍の周波数(共鳴周波数)で振動することになり回転が起こる。このことは $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ 37mm についても同様のことが観測された。このように磁歪が共鳴周波数で振動するような直流バイアス磁界と交流磁界を印加した場合のみ回転が起こる。

またワイヤの回転方向は、周波数、直流バイアス磁界の印加方向を同じにすると常に同方向に回転することが観測された。

4. まとめ

以上より、“大ジャイロ磁気効果”はアモルファスワイヤの磁歪振動に起因する現象であると考えられ、ワイヤの回転は、磁歪振動の振幅と共鳴周波数に依存する。また、ワイヤの回転は、磁歪が共鳴周波数で振動するような直流バ

ィアス磁界と交流磁界を印加した場合のみ観測される。今後は、磁歪振動から回転運動に変化する時のメカニズムの解明、および磁歪の異なる数種類のワイヤを使用して、磁歪と回転数との関係を調べていく予定である。

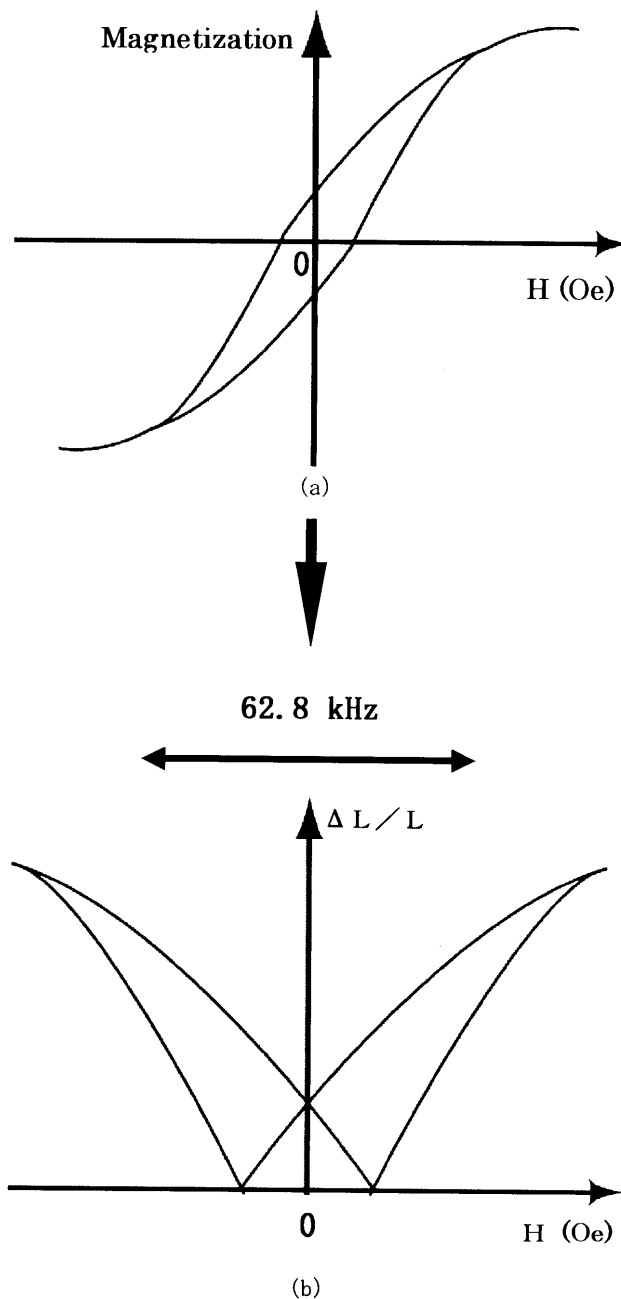


Fig. 8 Magnetization curve (a) and butterfly loop of magnetostriction (b) ($\Delta L/L$ is normalized magnetostriction)

参考文献

- [1] H. Chiriac, IEEE Trans., Magn., 33(5)3349(1997)
- [2] G. G. Scott, Phys. Rev., 82, 542(1951)
- [3] K. I. Arai, N. Tsuya, M. Yamada and T. Masumoto, IEEE. Trans. Magn., MAG- 11, 1355(1975)