

氏 名（本籍）	いし がね ます あき 明 （青森県）
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 4 2 2 号
学位授与年月日	昭和 4 9 年 3 月 2 6 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	磁歪振動材料の大振幅励振時における磁気履歴損失に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 菊 池 喜 充 教授 清水 洋 教授 津 屋 昇 教授 岩崎 俊一 助教授 奥 山 大太郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

磁歪振動子はその機械的共振周波数で強力に励振され、強力超音波発生用として用いられる場合、交番磁化の強さや履歴損失などを評価することは工学上極めて重要なことであるが、このような大振幅作動状態では顕著な非直線現象や履歴現象をともなうため単純に論じ難く、これまでその評価法はなかった。

本論文は大振幅励振磁歪振動子の履歴特性解析に寄与するという工学的立場から同一周波数の磁場と機械的歪とが大振幅励振する場合の磁化および磁歪特性の一評価法について研究を行なったもので、まず機械的歪を一定とした時の磁性材料の磁化および磁歪の履歴特性の表現に関する

研究を述べ、次いで機械的歪が変化する場合の履歴特性の評価に関して行なった研究について述べている。

第2章では履歴現象を矩形履歴曲線の集合として表現する Everett や大照の履歴モデルの手法を磁歪材料の場合に拡張し、磁化および磁歪へ寄与する分布関数を2つの分布関数より成立つとし、磁化特性はそれらの和、磁歪特性はそれらの差であらわすという手法を導入し、磁化および磁歪の履歴特性を一元的にあらわす履歴モデルを提案している。

第3章では第2章の手法を種々の機械的歪（静加重）状態での磁歪材料パイブックスⅡの磁化および磁歪の履歴特性にあてはめ、その適用の可否を検討し、同材料に対しかなりよい表現が得られることを示している。また、種々の機械的歪状態での磁化および磁歪の履歴特性から、機械的歪によりその分布関数に変化すると見做すという手法を展開し、機械的歪の変化する場合の磁化過程の評価を試みている。

第2章 磁化および磁歪特性の表現

磁化と磁歪の履歴を同時に表現する方法の一つとして、Everett や大照の履歴モデルの手法を拡張し、従来の履歴モデルの持つ二つの安定状態（この状態を E_+ と E_- としあわすとすると）の中間にさらにもう一つの安定状態 E_0 を考え、磁化および磁歪の履歴に寄与する分布関数は、反転が状態 E_+ と状態 E_0 の間で行なわれる矩形履歴曲線の集合に対する分布関数と反転が E_0 と E_- の間で行なわれる矩形履歴曲線の集合に対する分布関数の二つより成立つとし、磁化の履歴に対してはそれらの和であらわされる分布関数が寄与し、磁歪の履歴に対してはそれらの差であらわされる分布関数が寄与するという新しい手法を提案している。

さらに磁化のみならず磁歪にも cognate path が存在するとして、磁化および磁歪の表現を試みている。またこの表現を実際の磁歪材料にあてはめるに際し、反転寄与の分布関数を二次元正規分布の n 種の和として取扱う手法を提案し、その各パラメータと保磁力、残留磁化、残留磁歪等との関係を普編図表として提供し、各パラメーターの一決定法について述べている。

第3章 磁歪材料パイブックスⅡへの表現式の適用

本章では、まず第2章での手法を種々の機械的歪（静加重）状態での磁歪材料パイブックスⅡに適用し、同材料の磁化ならびに磁歪特性の表現を試みている。例えば図1に示してある種々の機械的歪（張力加重）時での磁化特性の実験に対し、二次元正規分布の数 n を $n = 4$ とし各機械的歪に対して求めたパラメーターの値を用いた計算結果を図2に示している。図1、図2は実験結果と計算結果がかなりよく一致することを示していて、同材料に対しては本論文の手法でかなりよい表現が得られることを示している。

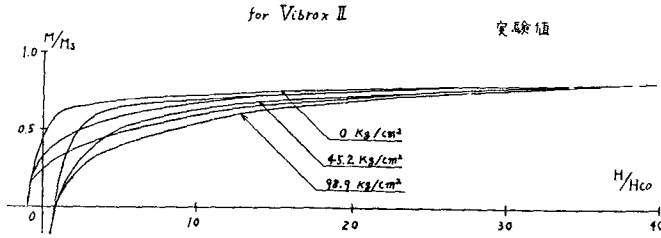


図1 張力加重によるパイブックスIIの磁化特性の変化(実験値)

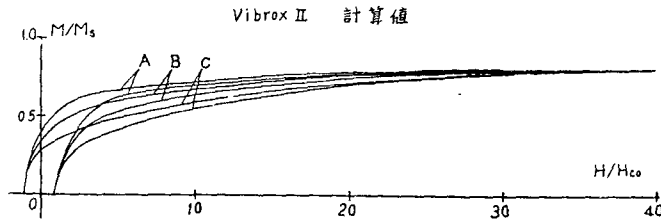


図2 張力加重によるパイブックスIIの磁化特性の変化(計算値)
(A; 0Kg/cm²相当, B; 45Kg/cm²相当, C; 99Kg/cm²相当)

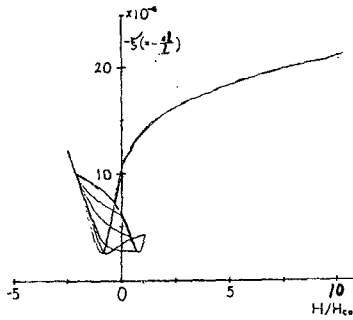


図3 磁歪の cograte path の実験値
(パイブックスII, 無加重時)

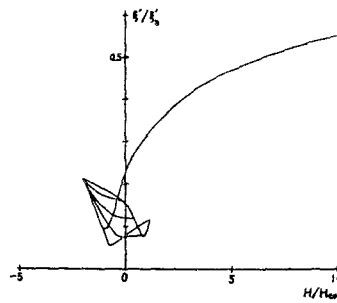


図4 磁歪の cograte path の計算値
(パイブックスII, 無加重時)

また図3および図4は無加重時の磁歪における cograte path の実験と計算を示したもので、磁歪特性においても cograte path が存在することが確かめられる。

また図2に示してある特性を計算するとき各機械的歪に対して分布関数のパラメーターの値が異なることから、矩形履歴曲線の集合として履歴をあらわす本手法では、各々の機械的歪に対し、反転寄与の分布が異なることもできる。そこで機械的歪が変化して行くときは、矩形履歴曲線の反転寄与の分布が変化していくと見做すという手法を導入し、履歴に対する歪の影響を履歴に対する磁場の影響と等価に扱うという手法で、機械的歪の変化する場合の磁化過程の評価を試みている。図5はこの試みの一例を示すもので、初期磁化過程の途中で機械的歪(張力加重)を 1 Kg/cm^2 から 70 Kg/cm^2 に変化させた場合の磁化の到着点の推定と、実際の到着点を示してい

る。実線は元の歪 (1 Kg/cm^2) での初期磁化曲線, \circ 印は歪変化 ($1 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow 70 \text{ Kg/cm}^2$) による磁化の到着点, 破線は本手法による到着点の推定点を結んだもの, 一点鎖線は新しい歪 (70 Kg/cm^2) 状態での初期磁化曲線を示している。

本論文では, 初期磁化曲線のみならず, 上昇磁化履歴過程あるいは下降磁化履歴過程の途中で張力加重を増加させる場合や減少させる場合についても, 同様の試みを行ない, いずれの場合も推定点と実際の到着点はよく一致することを確認している。

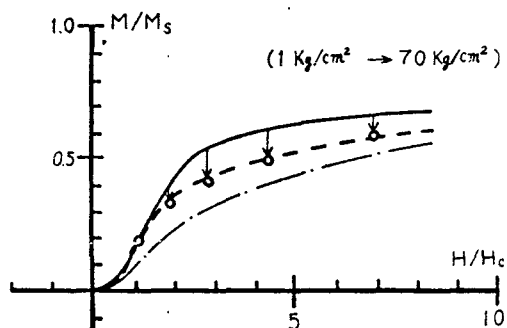


図 5. 1 Kg/cm^2 の張力状態での初期磁化過程の途中で張力が 70 Kg/cm^2 に変わった時の磁化の到着点と cognate path の理を用いたその推定点

第 4 章 振動子励振時の磁気履歴損失

前章までの結果を踏まえて, まず静的に磁場および機械的歪が交互に一定振幅で大きく変化する場合の磁化の履歴過程の評価を行ない, 実際に磁場および歪がそのように変化する場合の磁化過程と比較検討を行ない, 磁化-磁場平面上での履歴過程は, 両者とも 2 回目以後のサイクルでは閉じた履歴過程を描き, また数値的にもほぼ同じであるという結果を得ている。

次に磁場と機械的歪が同一周波数の正弦波で変化する場合の計算値と, 階段波ではあるが, それを模擬した磁化過程の実験値とを位相差 ϕ が 150° および 90° の場合について, しかもかなりの大振幅 (M の peak to peak はほぼ $0.2 M_s \sim 0.3 M_s$, τ の peak to peak はほぼ 80 Kg/cm^2) において比較検討している。このような場合でも例えば図 6., 図 7 に示すように計算と実験はほぼ同一位置においてほぼ同じ order の大きさになることがわかる。

このことから本論文での手法は他の任意の位相差状態でも成立するであろうと推論され, またこの例より小さい振幅でも成立するであろうと予想される。

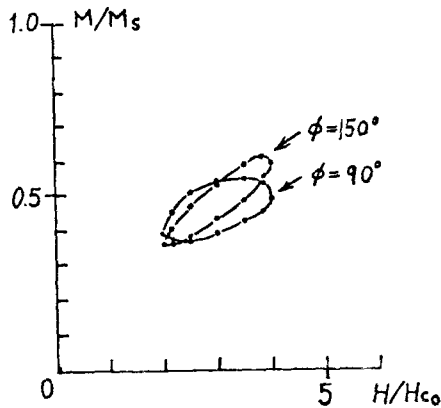


図 6. 磁場が機械的歪に対して ϕ の位相遅れで正弦変化しているときの磁化過程の計算値

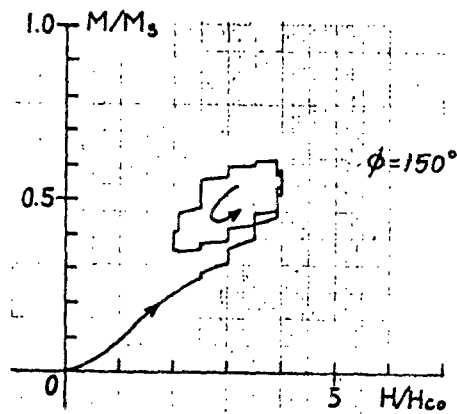


図 7. 磁場が機械的歪に対して 150° の位相遅れで正弦変化している場合を 30° ステップの階段波で模擬したときの磁化過程の実験値

実際の超音波磁歪振動子の実用される場合は、液体中（水中）での共振使用を考えると、ほとんど全ての場合、負荷条件は *under mismatch* であり、またパイブックスⅡの場合、安全使用範囲を張力への片振幅 100 Kg/cm^2 とすれば、本章での例のごとく張力加重 80 Kg/cm^2 はそれに近い張力であり、液体中の共振使用の磁歪振動子が大幅励振されているときの磁化過程を本手法により追跡計算することは可能であると考えられる。このことから、これまで展開されてきた本手法は大振幅励振磁歪振動子の磁気履歴特性解析に一つの可能性を与えるものであると考える。

第 5 章 結 論

本論文では、磁場と機械的歪が同一周波数で共に変化するときの磁化および磁歪の履歴過程の評価法を得ることをめざして研究を行ない、まず Everett，大照の手法を磁歪材料の場合に拡張し、磁化および磁歪に寄与する分布関数は二つの分布から成立とし、磁化に対してはそれらの和、磁歪に対してはそれらの差が寄与するという新しい手法を導入し、磁化および磁歪の履歴特性の表現法を提案した。次にこの手法を磁歪材料パイブックスⅡにあてはめ、同材料の磁化および磁歪の静特性のかなりよい表現を得ている。ここで磁歪にも *cognate path* が存在するという興味深い実験事実を得ている。また履歴に対する機械的歪の影響を履歴に対する磁場の影響でおきかえるという手法を展開し、磁場のみならず機械的歪も大きく変化する場合の磁化特性もかなりよく評価できることを示した。さらに、磁場および機械的歪が同一周波数の正弦波で大幅変化する場合の磁化過程の評価を試みた。これに対して階段波で正弦波を近似した実験を行ない、磁場—磁化平面上での磁化過程が、計算結果とほぼ同じ位置でほぼ同じ order になることを示し、大振幅励振磁歪振動子の磁気履歴特性解析に一つの可能性を示した。

審査結果の要旨

磁歪振動子はその機械的共振周波数で強力励振されるような場合には、同一周波数の磁場と機械的歪とが大振幅で変化する。このような場合にその交番磁化の強さや履歴損失などの数値を知ることは、磁歪振動子の大幅動作を解析する上で極めて重要なことであるが、顕著な非直線現象をとまなうため、これまでその評価法がなかった。本論文はその一評価法を提供したもので、全文5章よりなる。

第1章は緒論である。第2章ではEverettや大照の履歴モデルの手法を拡張し、矩形履歴特性の集合の分布関数を二つの分布の合成から成るとし、磁化特性はそれらの和、磁歪特性はそれらの差で表わすという新しい手法を提案している。

第3章は第2章の手法の実験的検証と、その展開である。すなわち、磁歪材料バイブロックⅡを用い、矩形履歴特性の集合分布を基にして具体的な磁化および磁歪の静特性を数値計算し、これに対応する実験結果を示し、両者がかなりよく一致することを述べている。なお磁歪特性にもcognate pathの存在することを実験的に確かめている。これは新しい知見である。また、静的機械歪が変化する時は矩形履歴特性の集合分布が変化したとみなすという手法を展開し、磁場と機械的歪とが共に大きく変化する際の磁化特性を評価し得る可能性を示唆している。これも一つの重要な知見である。

第4章では磁場と機械的歪とが交互に一定振幅で大きく変化する場合と、同一周波数の正弦波で変化する場合との磁化過程をバイブロックⅡについて数値計算し、これらに対応する実験を行っている。すなわち、前者に対しては直接、後者に対しては階段波で正弦変化を模擬した実験を行い、磁化—磁場平面上におけるループが数値計算結果とほぼ同一位置においてほぼ同じオーダーの大きさとなることを示した。これらのことより、本論文で展開してきた手法は、大振幅励振磁歪振動子の磁気履歴特性解析に一つの可能性を与えるものであると述べている。

第5章は結論である。

以上要するに、本論文は磁場と機械的歪とが同時に大幅変化する場合の磁歪材量の磁化特性を評価する一方法を提供したもので、超音波通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。