

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7791592号  
(P7791592)

(45)発行日 令和7年12月24日(2025. 12. 24)

(24)登録日 令和7年12月16日(2025. 12. 16)

(51)Int. Cl.		F I		
G 0 1 N 22/00	(2006. 01)	G 0 1 N 22/00		Z
G 0 1 N 24/00	(2006. 01)	G 0 1 N 24/00		Z

請求項の数 12 (全 22 頁)

<p>(21)出願番号 特願2023-543694(P2023-543694)</p> <p>(86)(22)出願日 令和4年5月19日(2022. 5. 19)</p> <p>(86)国際出願番号 PCT/JP2022/020793</p> <p>(87)国際公開番号 W02023/026612</p> <p>(87)国際公開日 令和5年3月2日(2023. 3. 2)</p> <p>審査請求日 令和6年12月6日(2024. 12. 6)</p> <p>(31)優先権主張番号 特願2021-137182(P2021-137182)</p> <p>(32)優先日 令和3年8月25日(2021. 8. 25)</p> <p>(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p> <p>特許法第30条第2項適用 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 令和3年9月11日(ウェブサイトの掲載日) [刊行物等]</p>	<p>(73)特許権者 503360115 国立研究開発法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町四丁目1番8号</p> <p>(74)代理人 100105924 弁理士 森下 賢樹</p> <p>(72)発明者 伊藤 和馬 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内</p> <p>(72)発明者 新実 信夫 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内</p> <p>(72)発明者 生嶋 健司 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内</p>
--	--

最終頁に続く

(54)【発明の名称】被測定対象の特性測定装置及び被測定対象の特性測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

音波を発信する音波発信部と、  
前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する、該被測定対象からの電磁場を受信する受信部と、  
前記音波発信部の残響振動に起因する残響電磁場から前記電磁場を時間的に分離するための、前記音波発信部と前記被測定対象との間の音波媒体と、  
前記音波に関連する参照信号を用いて、前記受信部が受信した前記電磁場を逆拡散する逆拡散部と、  
逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定部と、を備える、  
被測定対象の特性測定装置。

【請求項2】

所定の情報に基づいて参照信号を生成する参照信号生成部と、  
前記参照信号に基づいて生成された音波を発信する音波発信部と、  
前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信する受信部と、  
前記参照信号を用いて、前記受信部が受信した前記電磁場を逆拡散する逆拡散部と、

逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定部と、を備える、

被測定対象の特性測定装置。

【請求項3】

前記逆拡散部は、前記受信部が受信した前記電磁場と、前記参照信号との相関を取ってパルス圧縮信号を出力する、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項4】

前記音波発信部が、インパルスな自己相関特性を有する情報に基づいて前記音波を生成し、

前記インパルスな自己相関特性を有する情報は、M系列又は相補系列である、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項5】

前記音波発信部が、周波数が時間と共に連続して変化する情報に基づく前記音波を生成する、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項6】

逆拡散された前記電磁場を所定の回数同期加算する同期加算部をさらに備え、

前記測定部は、前記同期加算部が同期加算した前記電磁場に基づいて前記被測定対象の特性を抽出する、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項7】

前記被測定対象が存在しない状態で前記受信部が受信した電磁場を逆拡散して得られる信号を、逆拡散された前記電磁場から減算する減算部をさらに備える、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項8】

逆拡散された前記電磁場を位相検波する位相検波部をさらに備える、

請求項1又は請求項2に記載の被測定対象の特性測定装置。

【請求項9】

音波発信源から音波を発信する音波発信工程と、

前記音波発信源と被測定対象との間の音波媒体により、前記音波発信源からの音波に対して、前記音波が該被測定対象に対して照射されることによって発生する該被測定対象からの電磁場を遅延させて受信する受信工程と、

前記音波に関連する参照信号を用いて、前記受信工程において受信した前記電磁場を逆拡散させる逆拡散工程と、

逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定工程と、を含み、

前記音波発信源の残響振動に起因する残響電磁場から前記電磁場を時間的に分離する、被測定対象の特性測定方法。

【請求項10】

所定の情報に基づいて参照信号を生成し、

前記参照信号に基づいて生成された音波を発信し、

前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信し、

前記参照信号を用いて、受信した前記電磁場を逆拡散し、

逆拡散した前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気

10

20

30

40

50

機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する、  
被測定対象の特性測定方法。

【請求項11】

前記逆拡散工程は、前記電磁場をパルス圧縮する、  
請求項9に記載の被測定対象の特性測定方法。

【請求項12】

逆拡散した前記電磁場は、パルス圧縮された前記電磁場である、  
請求項10に記載の被測定対象の特性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、被測定対象の特性測定装置及び被測定対象の特性測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

物体の電気特性、磁気特性その他の特性を測定する場合、通常は、光又は電波の電磁波を用いるのがよい。しかし、光の透過が困難な人体、金属又はコンクリートブロックのような対象物には、光を用いた特性の測定は難しい。そこで、光の透過が困難な人体、金属又はコンクリートブロックのような対象物に対して内部透過性が高く、同一周波数の電磁波よりも波長が5桁ほど短いため、同一周波数の電波計測に比べて深さ方向及び対象物の面内方向の空間分解能が高いという音波の特徴を活かしながら、あらゆる対象物を被測定対象とし得る音波誘起電磁場による物体の特性測定装置及びその方法が開示されている。

20

【0003】

特許文献1には、被測定物体に音波を照射し、被測定物体から発生する電磁波を測定し、電磁波の強度、位相及び周波数特性の何れか又はこれらの組み合わせから、被測定物体の電気特性、磁気特性又は電磁気・機械特性の何れかを測定する技術が開示されている。また、特許文献2には、振幅変調された音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信し、電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する技術が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第4919967号公報

【特許文献2】特許第5892623号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】E.Beaurepaire 他5名、Appl.Phys.Lett., Vol.84, No.18, pp.3465-3467, 3. May 2004

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記特許文献1で開示された技術は、音波の発信に伴う、音波の発生源からの残響電磁ノイズ(以下、「音波の発信に伴う残響振動に起因する残響電磁場」又は、単に「残響電磁場」という。なお、「残響電磁場」は「残響ノイズ」又は「振動子ノイズ」とも言われる。)を避けるために、音波の発生源と被測定対象との距離の制約があり、測定の自由度や信号感度が損なわれていた。上記特許文献2で開示された技術は、上記特許文献1で開示された技術における、被測定対象の特性の測定に時間を要するという課題を解決するために、振幅変調された音波を被測定対象に対して照射することで被測定対象の特性の測定時間を短縮するものである。しかし、上記特許文献2で開示された技術は、被測定対象の

50

特性の測定時間を短縮するために、音波発生源と被測定対象との距離を予め既知とする必要があり、測定自由度が損なわれていた。また、上記特許文献2では、深さ方向の空間分解能が上記特許文献1に比べて低くなるため、音波を用いた特性の測定における利点が失われていた。

【0007】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであり、(1)音波を用いた特性測定の自由度を損わないこと、換言すれば音波の発生源と被測定対象との距離の制約を緩和すること、(2)残響電磁場を避けて目的信号となる電磁場を受信すること、及び(3)被測定対象の特性の測定時間の短縮を可能にすることの群から選択される少なくとも1つを実現し得る、被測定対象の特性測定装置及び被測定対象の特性測定方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明のある1つの被測定対象の特性測定装置は、音波を発信する音波発信部と、前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する、該被測定対象からの電磁場を受信する受信部と、前記音波発信部の残響振動に起因する残響電磁場から前記電磁場を時間的に分離するための、前記音波発信部と前記被測定対象との間の音波媒体と、前記音波に関連する参照信号を用いて、前記受信部が受信した前記電磁場を逆拡散する逆拡散部と、逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定部と、を備える。

20

【0009】

また、本発明のもう1つの被測定対象の特性測定装置は、所定の情報に基づいて参照信号を生成する参照信号生成部と、前記参照信号に基づいて生成された音波を発信する音波発信部と、前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信する受信部と、前記参照信号を用いて、前記受信部が受信した前記電磁場を逆拡散する逆拡散部と、逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定部と、を備える。

30

【0010】

上記の各被測定対象の特性測定装置によれば、特性を測定するための時間を短縮することができるとともに、特性の測定に用いる信号のS/N比を改善することができる。加えて、該被測定対象の特性測定装置によれば、特性を測定するための時間の短縮とともに、音波の発信に伴う残響電磁場を抑制することによって音波の発生源と被測定対象との距離の制約を排除することができる。

【0011】

ところで、上述の各逆拡散部が、上述の受信部が受信した上述の電磁場と、上述の参照信号との相関を取ってパルス圧縮信号又は相関信号を出力することは好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、例えば、参照信号との相関を取ることによって、さらに、デジタル回路及び/又はソフトウェアを用いて容易に実装が可能となる。また、パルス圧縮信号を出力すること、換言すれば、上述の各逆拡散部において逆拡散した電磁場がパルス圧縮された電磁場であることは、特性の測定に用いる信号のS/N比を改善し、特性を測定するための時間を短縮する効果をより際立たせ得る。

40

【0012】

また、上述の参照信号生成部が、上述の所定の情報としてインパルスな自己相関特性を有する情報に基づいて上述の参照信号を生成すること、あるいは上述の音波発信部が、インパルスな自己相関特性を有する情報に基づいて上述の音波を生成することは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、さらに、受信部が受

50

信した電磁場に含まれる「雑音」（例えば、発振した音波と同じ周波数帯の雑音、測定部に同期した雑音（音波の発信に伴う残響電磁場を含む）、外来電波による雑音、増幅器等に起因した雑音、及び熱雑音の群から選択される少なくとも1種の雑音）を除去することができ、特性の測定に用いる信号のS/N比を改善することができる。また、上述のインパルスな自己相関特性を有する情報がM系列であること、あるいは、上述のインパルスな自己相関特性を有する情報が、M系列であることは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、さらに、シフトレジスタにより生成できるM系列を用いることで、参照信号の生成が容易であり、シフトレジスタを増やすことで参照信号を理論上の制限なく長く、すなわちS/N比を高くすることができる。

**【0013】**

また、上述の参照信号生成部が、上述の所定の情報として周波数が時間と共に連続して変化する情報に基づいて上述の参照信号を生成すること、あるいは、上述の音波発信部が、周波数が時間と共に連続して変化する情報に基づく上述の音波を生成することは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、さらに、参照信号の周波数帯域幅を自由に設定可能であるために参照信号を短くでき、測定を高速に処理することが可能となる。

**【0014】**

また、上述の被測定対象の特性測定装置が逆拡散された上述の電磁場を所定の回数同期加算する同期加算部をさらに備え、上述の測定部が、上述の同期加算部が同期加算した上述の電磁場に基づいて上述の被測定対象の特性を抽出することは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、さらに、相関信号の同期加算により、所望のS/N比を得ることができる。

**【0015】**

また、上述の被測定対象の特性測定装置が、上述の被測定対象が存在しない状態で上述の受信部が受信した電磁場を逆拡散して得られる信号を、逆拡散された上述の電磁場から減算する減算部をさらに備えることは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、さらに、逆拡散により生じうる時間サイドロープの影響を排除することができる。

**【0016】**

また、上述の被測定対象の特性測定装置が、逆拡散された上述の電磁場に対して、上述の参照信号の周波数で位相検波する位相検波部をさらに備えることは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置によれば、位相検波により、さらに、入射された超音波とその超音波により誘起される電磁信号の位相遅れを取得し、位相遅れから被測定対象の特性を抽出することができる。

**【0017】**

また、上述の参照信号生成部が、上述の所定の情報として相補系列に基づいて上述の参照信号を生成すること、あるいは上述のインパルスな自己相関特性を有する情報が相補系列であることは、他の好適な一態様である。この一態様の被測定対象の特性測定装置は、さらに、逆拡散により生じうる時間サイドロープの影響を排除することができる。

**【0018】**

また、上記目的を達成するために、本発明のある1つの被測定対象の特性測定方法は、音波発信源から音波を発信する音波発信工程と、前記音波発信源と被測定対象との間の音波媒体により、前記音波発信源からの音波に対して、前記音波が該被測定対象に対して照射されることによって発生する該被測定対象からの電磁場を遅延させて受信する受信工程と、前記音波に関連する参照信号を用いて、前記受信工程において受信した前記電磁場を逆拡散させる逆拡散工程と、逆拡散された前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定工程と、を含み、前記音波発信源の残響振動に起因する残響電磁場から前記電磁場を時間的に分離する方法である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 9 】

また、本発明のもう1つの被測定対象の特性測定方法は、所定の情報に基づいて参照信号を生成し、前記参照信号に基づいて生成された音波を発信し、前記音波が被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信し、前記参照信号を用いて、受信した前記電磁場を逆拡散し、逆拡散した前記電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、前記被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する。

## 【 0 0 2 0 】

上記被測定対象の特性測定方法によれば、特性を測定するための時間を短縮することができる。加えて、該被測定対象の特性測定方法によれば、特性を測定するための時間の短縮とともに、音波の発信に伴う残響電磁場を抑制することによって音波の発生源と被測定対象との距離の制約を排除することができる。

10

## 【 0 0 2 1 】

ところで、本出願においては、音波を発生する発生源の残響振動に起因する残響電磁場は、該発生源の基本周波数及び高調波による残響電磁場に限定されない。例えば、超音波振動子を該発生源として用いた場合は、基本周波数及び $n$ 次高調波とは異なる、該発生源における、少なくとも次の(a)～(c)の残響電磁場も、本出願における「残響電磁場」に含まれ得る。

20

(a) 径方向の振動モードにより発生する周波数による残響電磁場

(b) 厚みすべり振動モードにより発生する周波数による残響電磁場

(c) プロープ内の多重反射による干渉により発生する周波数による残響電磁場

## 【 0 0 2 2 】

従って、上述のような各種のモードにより発生する周波数による残響電磁場が生じた場合であっても、本発明のある1つの被測定対象の特性測定装置、もう1つの被測定対象の特性測定装置、本発明のある1つの被測定対象の特性測定方法、又はもう1つの被測定対象の特性測定方法を用いることにより、該残響電磁場の低減を確度高く実現し得ることは特筆に値する。

## 【 発明の効果 】

30

## 【 0 0 2 3 】

本発明のある1つの被測定対象の特性測定装置、及び本発明のある1つの被測定対象の特性測定方法によれば、特性を測定するための時間を短縮することができる。加えて、該被測定対象の特性測定装置、及び該被測定対象の特性測定方法によれば、特性を測定するための時間の短縮とともに、音波の発生源の残響電磁場が抑制されることによって音波の発生源と被測定対象との距離の制約を排除することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 被測定対象の部分に音波を照射して誘起される電磁場の様子を示す図である。

40

【 図 2 】 本発明の第1の実施形態に係る特性測定装置の構成例を示す図である。

【 図 3 】 波形発生器が発生させた信号の例を示す図である。

【 図 4 】 逆拡散部により逆拡散された電磁場の例を示すグラフである。

【 図 5 】 M系列の代わりにパルス超音波を用い、逆拡散しない状態で5回積算した例を示すグラフである。

【 図 6 】 M系列の代わりにパルス超音波を用い、逆拡散しない状態で5000回積算させた例を示すグラフである。

【 図 7 】 特性測定装置による特性測定処理の流れを示すフローチャートである。

【 図 8 】 音波発生器と被測定対象とを密着させた場合を示す図である。

【 図 9 】 音波発生器と被測定対象とを離隔させた場合を示す図である。

50

【図10】本発明の第1の実施形態の変形例1に係る特性測定装置を示す図である。

【図11】本発明の第1の実施形態の変形例2に係る特性測定装置を示す図である。

【図12】本発明の第1の実施形態の変形例3に係る特性測定装置を示す図である。

【図13】第1の実施形態の変形例4に係る特性測定装置を示す図である。

【図14】第1の実施形態の変形例4に係る特性測定装置を用いたときの、被測定対象の測定結果である。

【図15】比較例を用いたときの被測定対象の測定結果である。

【図16】低周波領域における残響電磁場の強度を比較するために、本変形例（実線（より薄い線））と比較例（点線）に対応する、残響電磁場の周波数スペクトルを比較するための図である。

10

【図17】第1の実施形態の他の変形例に係る特性測定装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施形態の一例を、図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において同一または等価な構成要素および部分には同一の参照符号を付与している。また、図面の寸法比率は、説明の都合上、誇張され得るため、実際の比率とは異なる場合がある。

【0026】

始めに、被測定対象の物体に音波が照射されると、音波が照射される部分に誘起される電磁場を説明する。なお、音波が照射される部分に誘起される電磁場の詳細については上記特許文献1に開示されている。

20

【0027】

図1は、被測定対象の部分に音波を照射して誘起される電磁場の様子を示す図である。図1において、音波集束ビーム1は、被測定対象90の部分2に集束している様子を示しており、丸印で囲んだ+及び-の記号は、それぞれ正の荷電粒子3及び負の荷電粒子4を示している。また、被測定対象の音波集束領域2では、正の荷電粒子3と負の荷電粒子4との濃度のバランスが崩れ、正の荷電粒子3が負の荷電粒子4よりも多い電荷分布状態を示している。加えて、矢印5は、音波集束ビーム1の音波振動方向を示しており、電場の向きに対応する。また、矢印6は、矢印5に垂直な面内で発生する磁場を示している。

【0028】

図1に示すように、音波集束ビーム1の照射によって、正の荷電粒子3及び負の荷電粒子4は、音波の振動方向（符号5で示した矢印の方向）に音波の振動数で振動する。そうすると、正の荷電粒子3及び負の荷電粒子4の振動は電荷が振動することになるので、振動方向5に垂直な面内で発生する磁場（符号6で示した矢印の方向）が誘起される。発生する電磁場は、互いに位相がだけずれているので、それらの電磁場が互いに打ち消しあうために電磁場は誘起されない。しかしながら、被測定対象の音波集束領域2では、負の荷電粒子4よりも正の荷電粒子3が多い電荷分布状態であるので、互いに完全に打ち消し合うことができず、正味の電磁場（矢印6）が誘起されることになる。従って、音波によって誘起される電磁場を観測し、電磁場の強度変化を観測されれば、電荷分布に変化が生じたこと、即ち、正の荷電粒子3又は負の荷電粒子4の濃度に変化が生じたか、或いはその両方の濃度が変化したことがわかる。その結果、音波によって誘起される電磁場の測定から、被測定対象中の荷電粒子の特性値、この場合にはその濃度の変化を測定することができる。

30

40

【0029】

ところで、図1は、音波によって誘起される電磁場の測定から、荷電粒子の濃度変化を測定する例を示したが、測定できる荷電粒子の特性値の変化としては、濃度だけでなく、質量、サイズ、形状、荷電数、又は荷電粒子を取り囲む媒体との相互作用力の変化が可能である。例えば、被測定対象の状態に関する他の知識、又は、他の何らかの手段による知識から、濃度、質量、サイズ、形状、及び荷電数の変化が起こり得ない状態であれば、測定した電磁場の強度変化は、荷電粒子を取り囲む媒体との相互作用力の変化に結びつけることができる。従って、例えば、測定した電磁場の強度変化は、電子分極率又は陽イオン

50

分極率の変化に結びつけることができる。

【0030】

以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象の電気特性として、電場、誘電率、電場、又は誘電率の空間勾配を測定することができる。また、以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象の磁気特性として、電子スピン又は核スピンに起因した磁化を測定することもできる。具体的には、電気分極の場合と同様に、磁化が時間変化しても電磁場が発生する。Maxwell方程式によると、放射電場は磁化の時間に対する2回微分に比例する（非特許文献1参照）。従って、電磁場強度や位相から、磁化の大きさや方向を測定することが可能である。

【0031】

また、以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象の磁気特性として、電子スピン又は核スピンに起因した音響磁気共鳴を測定することができる。具体的には、ある特定の共鳴周波数で、音波が効率よく吸収され、電子スピン又は核スピンの方向が変化することから、その周波数において電磁場強度や位相が大きく変化することが期待される。情報としては、共鳴周波数を確定することができる。加えて、通常のESR（電子スピン共鳴）やNMR（核磁気共鳴）と同様に、音波の周波数を走査すれば、スペクトルが得られ、電子スピンや核スピンの情報を取得できる。また、電子スピンや核スピンの緩和時間が測定できる。

【0032】

また、以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象の電気機械特性又は磁気機械特性として、圧電特性又は磁歪特性を次のように測定することができる。反転対象性のないイオン結晶は原理的に歪によって、電気分極が生じる。従って、音波誘起電磁場といえる測定対象の電磁場の強度から分極の大きさを得ることができる。音波を走査すれば、被測定対象の圧電特性を画像化することができる。さらに、音波伝播方向と、発生した電磁場の角度分布から、圧電テンソルを、被測定対象に電極を設けずに非接触で測定することができる。

【0033】

また、以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象の電気機械特性又は磁気機械特性として、磁歪特性を次のように測定することができる。磁歪とは、結晶歪により電子軌道が変化し、軌道・スピン相互作用を通じて電子スピン磁化に変化が加わる現象をいう。他の態様として、磁区構造が外部歪によって変化し、その結果、巨視的な領域（音波ビームスポット程度）での有効磁化が変化することもある。また、結晶歪により、結晶場分裂に変化が生じ、これが電子状態を変化させ、電子スピン磁化の大きさを変化させることもある。これらの時間変化が電磁場を発生させると考えられる。従って、音波誘起電磁場の強度から磁化の大きさや軌道・スピン相互作用、結晶歪と電子軌道変化の敏感さ、結晶場分裂と歪の敏感さ、結晶場分裂と電子スピン状態の関係、又は磁区構造と歪の関係を決定することができる。音波伝播方向と放射強度からは、被測定対象に電極を設けずに、非接触で磁歪テンソルを測定することができる。磁歪特性の画像化も圧電特性と同様に可能である。

【0034】

以下で説明する本発明の各実施形態及び各変形例では、被測定対象に音波を照射し、この被測定対象から発生する電磁場を測定する。本発明の各実施形態及び各変形例では、次の(i)～(iv)に示す各工程を含む被測定対象の特性測定方法により、音波発信源の残響振動に起因する残響電磁場から前記電磁場を時間的に分離する。

(i) 音波発信源から音波を発信する音波発信工程

(ii) 該音波発信源と被測定対象との間の音波媒体により、該音波発信源からの音波に対して、該音波が該測定対象に対して照射されることによって発生する該被測定対象からの電磁場を遅延させて受信する受信工程

(iii) 該音波に関連する参照信号を用いて、該受信工程において受信した該電磁場を逆拡散させる逆拡散工程

10

20

30

40

50

( i v ) 逆拡散された該電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、該被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する測定工程

#### 【0035】

別の観点から見れば、本発明の各実施形態及び各変形例では、所定の情報に基づいて生成された参照信号に基づいて生成された音波を被測定対象に照射し、被測定対象に対して照射されることによって発生する電磁場を受信し、上記参照信号を用いて、受信した電磁場を逆拡散する。より詳細には、受信した電磁場と、上記参照信号との相関を取って相関信号を生成する。そして、相関信号の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出することができる。なお、被測定対象の電気特性は、電場、誘電率、電場又は誘電率の空間勾配、被測定対象の有する荷電粒子における濃度、質量、寸法、形状、荷電数、荷電粒子を囲む媒体との相互作用からなる群から選択される少なくとも1種の特性値の変化である。また、被測定対象の磁気特性は、被測定対象の電子スピン又は核スピンに起因した磁化、被測定対象の電子スピン、又は核スピンに起因した音響磁気共鳴である。また、被測定対象の電気機械特性、及び磁気機械特性としては、被測定対象の圧電特性又は磁歪特性である。

#### 【0036】

##### <第1の実施形態>

図2は、本実施形態に係る特性測定装置100の構成例を示す図である。なお、図2(a)においては、図面を見やすくするために「参照信号」の発信源及び経路を簡略化して説明している。しかしながら、後述するように、該参照信号は波形発生器120が発生させる波形の基となる信号としてだけでなく、逆拡散部160において電磁場の逆拡散に用いられる信号としても用いられるため、より詳細な図面として図2(b)を示している。図10、図11、図12及び図13についても同様である。図2に示したように、本実施形態に係る特性測定装置100は、参照信号生成部110と、波形発生器120と、音波発生器130と、受信部140と、増幅部・フィルタ部150と、逆拡散部160と、測定部170と、を含んで構成される。図2に示した特性測定装置100は、被測定対象200の特性を測定する装置である。本実施形態では、被測定対象200として強磁性体の一例であるフェライト磁石を用いている。

#### 【0037】

参照信号生成部110は、波形発生器120が発生させる波形の基となる参照信号を生成する。参照信号生成部110が生成する参照信号は、波形発生器120が発生させる波形の基となる信号だけでなく、後述の逆拡散部160での電磁場の逆拡散に用いられる信号である。逆拡散部160は、参照信号を用いて電磁場を逆拡散することで、電磁場をパルス圧縮できる。

#### 【0038】

本実施形態では、参照信号生成部110は、参照信号の基となる情報として、インパルスな自己相関特性、又は鋭い自己相関特性を有する情報、具体的にはM系列に基づいて、参照信号を生成する。インパルスとは、時間的幅が無限小で高さが無限大のパルスである。また本実施形態では、参照信号生成部110は、参照信号の基となる情報として、周波数が時間と共に連続して変化する情報に基づいて参照信号を生成してもよい。そのような参照信号は、周波数が時間と共に連続して変化するチャープ信号となる。また、参照信号生成部110は、参照信号の基となる情報として、相補系列に基づいて参照信号を生成してもよい。

#### 【0039】

M系列は、シフトレジスタで生成できるので、参照信号の基となる情報としてM系列を用いる場合、参照信号の生成が容易であり、またシフトレジスタを増やすことで参照信号を理論上の制限なく長くすることができる。参照信号を長くすることは、電磁場のS/N比を高くできることに繋がる。

## 【 0 0 4 0 】

また、参照信号の基となる情報としてチャープ信号を用いる場合、参照信号の周波数帯域幅を自由に設定可能であり、M系列を用いた場合と比較して測定を高速化できる。パルス圧縮のS/N比は参照信号の信号長さと周波数帯域幅の積に比例する。M系列を用いた場合、参照信号の帯域幅は、中心周波数に対して整数倍である。従って、電磁場のS/N比を高めるためには信号を長くすることを要する。一方、参照信号の基となる情報としてチャープ信号を用いる場合、M系列を用いた場合と比較して参照信号の帯域幅を広く、すなわち参照信号を短くでき、被測定対象200の特性の測定をより高速化できる。

## 【 0 0 4 1 】

また、参照信号生成部110は、参照信号の基となる情報として、ゴレーイ符号、パーカー符号等に基づいて参照信号を生成してもよい。

10

## 【 0 0 4 2 】

ここで、参照信号を生成する理由について説明する。図2に示したような特性測定装置100において最も注意すべき点は、超音波を発生する音波発生器130からの振動子ノイズ(本実施形態においては、残響電磁場と同義。)を回避することである。この振動子ノイズは、目的信号と同じ周波数帯であるから、当然、狭帯域検波でも逃れることはできない。振動子ノイズは、受信部140が受信する信号よりもはるかに強大であると予想される。例えば、図8(a)のように音波発生器130と被測定対象200とを密着させると、図8(b)のように目的信号は振動子ノイズに埋もれてしまい、まず目的信号は得られない。

20

## 【 0 0 4 3 】

また、図9(a)のように音波発生器130と被測定対象200とを離隔させて、音波発生器130から被測定対象200へ音波が到達するまでの時間を利用することで、図9(b)のように、振動子ノイズと、受信部140が受信する被測定対象200からの目的信号とを時間的に分離することが可能である。例えば、水中の音速は1500m(メートル)/s(秒)であるから、音波が60mm(ミリ・メートル)伝搬するのに40μs(マイクロ秒)の遅延時間が生じる。一方、電磁波の伝搬時間は音波の伝搬時間に比べれば無視できるほど短い。従って、音波発生器130と被測定対象200との間に音波媒体を設け、音波伝搬時間より十分短い超音波励起パルスを使用したパルス法を用いることにより、超音波振動子ノイズと被測定対象200からの目的信号を、図9(b)のように時間的に分離することが可能である。

30

## 【 0 0 4 4 】

しかしながら、パルス法は一般に測定時間に比べて実効的な積分時間は極めて短い。たとえば、被測定対象200が音波の受信により発生する信号が生じた時間幅は10μs以下であるのに対して、超音波パルスの繰り返し時間は通常0.1s(100Hz)である。したがって、実効的に信号積分している時間は、測定時間の0.01%でしかない。言い換えると、1秒積算することによって得られるS/N(信号/ノイズ)比が小さく、長時間測定しないと明確な信号が得られないケースが多い。これは実用において大きな障害となる。

## 【 0 0 4 5 】

そこで、本実施形態に係る特性測定装置100は、参照信号に基づいて音波発生器130から音波を発生させ、被測定対象200が発生させた電磁場を受信部140で受信し、その受信した電磁場を、音波の基となる参照信号を用いて逆拡散する。本実施形態に係る特性測定装置100は、受信部140で受信した電磁場を、音波の基となる参照信号を用いて逆拡散することで、振動子ノイズと、受信部140が受信する被測定対象200からの目的信号とを独立して圧縮し、被測定対象200からの目的信号を得ることができる。

40

## 【 0 0 4 6 】

波形発生器120は、参照信号生成部110が生成した参照信号に基づいて波形を発生させる。以下の説明では、波形発生器120は、M系列に基づいて生成された参照信号に基づいて波形を発生させる。M系列として、M(12, 11, 9, 5, 3, 1)を用いる

50

。波形発生器 120 は、M 系列の M ( 12 , 11 , 9 , 5 , 3 , 1 ) に 0 . 5 M H z の矩形波を変調させた信号を発生させる。

【 0047 】

音波発生器 130 は、波形発生器 120 が発生させた信号に基づいて音波を発生させる。音波発生器 130 は、本発明の音波発信部の一例である。音波発生器 130 には、例えば、波形発生器 120 が発生させた信号に基づいて振動する超音波振動子が用いられる。また音波発生器 130 は、超音波診断装置等で用いられるアレイ型プローブであってもよい。図 3 は、波形発生器 120 が発生させた信号の例を示す図である。変調周波数は音波発生器 130 の共振周波数  $f_0$  であり、超音波の伝播方向の空間分解能及び超音波ビームスポットサイズはこの共振周波数で決まる。符号列は、そのインパルスな自己相関特性を有するもの、言い換えれば、自己相関関数が十分鋭いものを用い、そのような符号列には、PN 符号に属する M 系列などが挙げられる。本実施形態では、M 系列の M ( 12 , 11 , 9 , 5 , 3 , 1 ) に 0 . 5 M H z ( メガ ・ ヘルツ ) の矩形波を変調させた信号に基づいて音波を発生しており、1 回の測定における音波の発生時間は 9 . 190 [ m s ( ミリ秒 ) ] である。

10

【 0048 】

本実施形態の一例では、音波発信部又は音波発信源としての役割を担う音波発生器 130 は、被測定対象 200 に向けて音波を発信する ( 音波発信工程 ) 。被測定対象 200 は、タンク 300 の底部に設置される。音波発生器 130 は、被測定対象 200 との距離が 130 mm となるように、タンク 300 に満たされた水 310 ( 音波媒体に相当する ) に入れられている。また、タンク 300 の周囲は、被測定対象 200 が発生させる電磁場を正確に検出できるよう、外部からの電磁場を遮断する電磁シールド 400 で覆われている。

20

【 0049 】

受信部 140 は、被測定対象 200 から発生する ( 放射される ) 電磁場を検出 ( 「受信」ともいう。 ) する ( 受信工程 ) 。受信部 140 は、電磁場を検出できるものであればよい。例えば、ループ型アンテナ、静電結合型アンテナ、アレイ型アンテナなどの各種アンテナ、電荷、電場、磁場を検出するセンサ及びアレイセンサ等が受信部 140 として使用されてもよい。ここで、本実施形態の受信工程においては、音波発生器 130 と被測定対象 200 との間に音波媒体としての役割を担う水 310 が設けられることにより、音波発生器 130 から発信される音波に対して、該音波が被測定対象 200 に到達する時間が遅延されるため、該音波によって発生する被測定対象 200 からの電磁場を遅延させて受信することになる。

30

【 0050 】

増幅部・フィルタ部 150 は、受信部 140 が検出した電磁場の増幅及びフィルタリングを行う。本実施形態では、増幅部・フィルタ部 150 は、受信部 140 が検出した電磁場を所定量増幅させて、バンドパスフィルタに通すことで所定の周波数帯以外の帯域を除去する。所定の周波数帯は、例えば 9 . 9 M H z ~ 10 . 1 M H z である。

【 0051 】

逆拡散部 160 は、参照信号生成部 110 が生成した参照信号、より具体的には音波に関連する参照信号を用いて、増幅部・フィルタ部 150 により増幅及びフィルタリングされた電磁場の逆拡散を行う ( 逆拡散工程 ) 。なお、音波に前述の関連する参照信号は、音波を拡散処理する参照信号、又は拡散音波を励起する電圧信号という意味でもある。

40

【 0052 】

具体的には、逆拡散部 160 は、受信部 140 によって検出 ( 受信 ) され、増幅部・フィルタ部 150 により増幅及びフィルタリングされた電磁場と、参照信号生成部 110 が生成した参照信号との相関を取った相関信号又は該参照信号との相関を取ったパルス圧縮信号を出力する。逆拡散部 160 が、音波に関連する参照信号を用いて目的信号を含む該電磁場の逆拡散を行うことで、電磁場をパルス圧縮すること、又はパルス圧縮処理を施すことができる。電磁場をパルス圧縮すること ( すなわち、逆拡散部 160 が該相関信号又

50

は該パルス圧縮信号を出力すること)により、後述する測定工程において、被測定対象200が発生させた電磁場と、音波発生器130が発生させた振動子ノイズとを分離でき、被測定対象200が発生させた電磁場を明瞭に確認できるようになる。換言すれば、音波発生器130の残響振動に起因する残響電磁場の継続時間を短縮させたうえで、該残響電磁場から目的信号となる電磁場(被測定対象200からの電磁場)を時間的に分離することが可能となる。その結果、本実施形態の特性測定装置100及び特性測定方法によれば、音波発生器130の残響電磁場の影響を顕著に低減し、目的信号となる被測定対象200からの電磁場の分解能を高めたうえで、従来技術と比較して測定時間の大幅な短縮化(換言すれば、測定の高速化)を実現し得る。

#### 【0053】

図4は、逆拡散部160により逆拡散された電磁場の例を示すグラフである。測定時間は、音波の発生時間に近い10[m s]である。図4のグラフで0[μ s]から発生している波形は音波発生器130が発生させた振動子ノイズに基づくものであるが、約6.5[μ s]から発生している波形は被測定対象200が発生させ、逆拡散部160により逆拡散された電磁場に基づくものである。このように、逆拡散部160で電磁場を逆拡散することで、本実施形態に係る特性測定装置100は、被測定対象200が発生させた電磁場を明瞭に確認できる。

#### 【0054】

比較例として、M系列の代わりにパルス超音波を用い、電磁場を逆拡散せず積算した場合の例を示す。図5は、M系列の代わりにパルス超音波を用い、5回積算した電磁場の例を示すグラフである。1回あたりの測定時間を2[m s]とすると、測定全体では10[m s]を要した。図5に示したグラフのように、5回の積算では、電磁場は振動子ノイズに埋もれてしまい、観測することが不可能である。そのため、本実施形態に係る特性測定装置100は、逆拡散部160で電磁場を逆拡散することで、パルス超音波を用いて電磁場を逆拡散せずに積算する場合と比較して、同じ測定時間でもS/N比を大幅に改善することができる。

#### 【0055】

別の比較例として、M系列の代わりにパルス超音波を用い、電磁場を逆拡散せず十分な回数積算した場合の例を示す。図6は、M系列の代わりにパルス超音波を用い、5000回積算させた例を示すグラフである。1回あたりの測定時間を2[m s]とすると、図6に示したグラフを得るには10秒要する。そのため、本実施形態に係る特性測定装置100は、逆拡散部160で電磁場を逆拡散することで、電磁場を逆拡散せずに積算する場合と比較して、測定時間を大きく短縮することができる。

#### 【0056】

なお、本実施形態に係る特性測定装置100を用いて、フェライト磁石を被測定対象200として採用した測定例においては、逆拡散部160で電磁場を逆拡散しない場合と比較して、約1000分の1という短時間であっても十分な分解能を実現した測定例が確認されている。この例においては、音波発生器130として採用した0.5MHzの振動子が、既に述べた、「径方向の振動モード」、「厚みすべり振動モード」、又は「プローブ内の多重反射による干渉」あるいはそれらの組合せによる残響電磁場が顕著に現れていた可能性があるため、より明確な分解能の改善効果として現れたものと、本発明者らは考えている。

#### 【0057】

測定部170は、逆拡散部160により逆拡散された電磁場に基づき、被測定対象200の特性を抽出する(測定工程)。具体的には、測定部170は、逆拡散部160により逆拡散された電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、被測定対象200の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する。

#### 【0058】

具体的には、上述したように、測定部170は、音波発生器130の残響振動に起因す

10

20

30

40

50

る残響電磁場の継続時間を短縮させたうえで、該残響電磁場から目的信号となる電磁場を時間的に分離した状態で、被測定対象200の電気特性として、電場、誘電率、又は、電場若しくは誘電率の空間勾配を、従来技術と比較して極めて短時間に測定することができる。また、測定部170は、被測定対象200の磁気特性として、電子スピン又は核スピンの起因した音響磁気共鳴を測定することができる。また、測定部170は、被測定対象200の磁気特性として、電気機械特性又は磁気機械特性として、圧電特性又は磁歪特性を測定することができる。また、測定部170は、被測定対象の電気機械特性又は磁気機械特性として、磁歪特性を測定することができる。

#### 【0059】

次に、特性測定装置100の作用について説明する。図7は、特性測定装置100による特性測定処理の流れを示すフローチャートである。特性測定装置100による特性測定処理は、特性測定装置100に接続されているコンピュータのCPU(Central Processing Unit)がコンピュータプログラムを読み出して、RAM(Random Access Memory)に展開して実行し、特性測定装置100の各部を制御することにより、特性測定処理が行なわれる。

10

#### 【0060】

特性測定装置100は、まずステップS101において、参照信号生成部110で所定の参照信号を生成する。本実施形態では、特性測定装置100は、上述したようにインパルスな自己相関特性を有する情報、具体的にはM系列に基づいて、参照信号を生成する。また本実施形態では、特性測定装置100は、周波数が時間と共に連続して変化する情報に基づいて参照信号を生成する。そのような参照信号は、周波数が時間と共に連続して変化するチャープ信号となる。

20

#### 【0061】

ステップS101において参照信号を生成すると、続いて特性測定装置100は、ステップS102において、参照信号に基づいて波形を生成し、生成した波形に基づいて音波発生器130から音波を発生させる。

#### 【0062】

ステップS102において音波発生器130から音波を発生させると、続いて特性測定装置100は、ステップS103において、音波発生器130が発生させた音波の受信により被測定対象200が発する電磁場を受信部140で受信する。

30

#### 【0063】

ステップS103において、電磁場を受信部140で受信すると、続いて特性測定装置100は、ステップS104において、受信部140が受信した電磁場を増幅部・フィルタ部150で増幅し、フィルタリングする。具体的には、特性測定装置100は、受信部140が受信した電磁場を所定量増幅させて、バンドパスフィルタに通すことで所定の周波数帯以外の帯域を除去する。所定の周波数帯は、例えば9.9MHz~10.1MHzである。

#### 【0064】

ステップS104において、電磁場を増幅し、フィルタリングすると、続いて特性測定装置100は、ステップS105において、フィルタリングした電磁場を、参照信号を用いて逆拡散部160で逆拡散する。例えば、逆拡散部160は、フィルタリングした電磁場と、参照信号との相関を取り、相関信号を出力する。

40

#### 【0065】

ステップS105において、電磁場を逆拡散すると、続いて特性測定装置100は、ステップS106において、逆拡散した電磁場の測定に基づいて、被測定対象200の特性を測定部170で抽出する。具体的には、測定部170は、逆拡散した電磁場の強度、位相、及び周波数からなる群から選択される少なくとも1種の測定に基づいて、被測定対象200の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも1種の特性を抽出する。

#### 【0066】

50

本実施形態に係る特性測定装置 100 は、図 7 に示した一連の処理を実行することで、被測定対象 200 が発生させた電磁場と、音波発生器 130 が発生させた振動子ノイズとを分離でき、被測定対象 200 が発生させた電磁場を明瞭に確認できるようになる。また、本実施形態に係る特性測定装置 100 は、図 7 に示した一連の処理を実行することで、逆拡散部 160 で電磁場を逆拡散することで、電磁場を逆拡散せずに積算する場合と比較して、測定時間を大きく短縮することができる。

#### 【0067】

上記実施形態では、逆拡散部 160 で逆拡散した電磁場を測定部 170 で測定することにより被測定対象 200 の特性を抽出していたが、本発明は上記の例に限定されない。

#### 【0068】

< 第 1 の実施形態の変形例 1 >

図 10 は、上述の本発明の実施形態に係る特性測定装置 100 の変形例を示す図である。図 10 に示した特性測定装置 100 は、逆拡散部 160 で逆拡散した電磁場を所定回数同期加算する同期加算部 165 が追加された構成を除いて、図 2 に示した構成と同じである。

#### 【0069】

本変形例のように、被測定対象 200 が発生させた電磁場の大きさが小さいことが想定される測定法において、S/N比を決める参照信号長さ、参照信号帯域幅、受信帯域幅の実装上の限界によって、S/N比が制限される場合があり得る。そのような場合であっても、逆拡散部 160 で逆拡散した電磁場を所定回数同期加算することによって、測定に必要な S/N比を満たしながら、測定を高速化することが可能となる。

#### 【0070】

本変形例のように、参照信号を用いて電磁場を逆拡散する場合、逆拡散後の信号にはサイドローブが生じる。これは時間サイドローブと呼ばれ、被測定対象 200 が発生させた電磁場の弁別に影響を及ぼすことが想定される。

#### 【0071】

< 第 1 の実施形態の変形例 2 >

図 11 は、上述の本発明の実施形態に係る特性測定装置 100 の変形例を示す図である。図 11 に示した特性測定装置 100 は、被測定対象 200 が存在しない状態で受信部 140 が受信した電磁場を逆拡散して得られる信号を、被測定対象 200 が存在する状態で受信部 140 が受信し、逆拡散部 160 が逆拡散した電磁場から減算する減算部 166 が追加された構成を有する点を除いて、図 2 に示した構成と同じである。該信号は、例えば特性測定装置 100 に接続されるコンピュータのメモリに格納されうる。減算部 166 によって、逆拡散部 160 が逆拡散した電磁場から信号を減算することで、時間サイドローブを低減させることができる。

#### 【0072】

本変形例のように、被測定対象 200 が発生させた電磁場の大きさが小さいことが想定される測定法において、常に存在する振動子ノイズの時間サイドローブを減算部 166 で取り除くことで、被測定対象 200 が発生させた電磁場の弁別度を向上させることができる。なお特性測定装置 100 は、参照信号生成部 110 が、相補系列に基づいた参照信号を生成した場合にも、当該参照信号を用いることによって、逆拡散により生じうる時間サイドローブの影響を排除することができる。

#### 【0073】

< 第 1 の実施形態の変形例 3 >

図 12 は、上述の本発明の実施形態に係る特性測定装置 100 の変形例を示す図である。図 12 に示した特性測定装置 100 は、逆拡散部 160 で逆拡散された電磁場に対して、参照信号の周波数で位相検波する位相検波部 167 が追加された構成を除いて、図 2 に示した構成と同じである。

#### 【0074】

逆拡散部 160 で逆拡散された電磁場の電圧は、圧電係数又は圧磁係数に比例している

10

20

30

40

50

。本変形例で用いた測定法は、誘電体の場合は圧電係数を、磁性体の場合は圧磁係数を取得する測定方法である。特性測定装置100は、位相検波部167で位相検波をすることにより、一般化された複素圧電係数、又は複素圧磁係数の実部と虚部の両方を取得することができる。実部は、励起音波と同期する通常の圧電係数又は圧磁係数であり、虚部は、励起音波の周波数帯における圧電・圧磁現象のエネルギー損失を特徴づける。よって、特性測定装置100は、位相検波部167で位相検波をすることにより、被測定対象200の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性に関するエネルギー損失に関する因子を虚部から評価することができる。さらに、特性測定装置100は、位相検波部167で位相検波をすることにより、位相検波をしない場合と比較して、S/N比をさらに改善することができる。

10

#### 【0075】

< 第1の実施形態の変形例4 >

図13は、本変形例に係る特性測定装置100aを示す図である。図13に示した特性測定装置100aは、コイル型のアンテナを、静電結合アンテナの役割を担う金属板（本変形においては、銅板）に変更した構成を除いて、図2に示した構成と同じである。従って、図13に示したように、本変形例の特性測定装置100aは、参照信号生成部110と、波形発生器120と、音波発生器130と、受信部240と、増幅部・フィルタ部150と、逆拡散部160と、測定部170と、を含んで構成される。なお、図13においては、被測定対象200を保持する保持具は図示されていない。

20

#### 【0076】

なお、本変形例においては、被測定対象200として誘電体の一例であるウシ（Bovine）のアキレス腱が用いられている。従って、本変形例においては、受信部240は、音波発生器130から照射された音波によって発生する電磁場（特に、電場）を検出（受信）することにより、被測定対象200の特性が測定される。なお、本変形例においては、逆拡散の一つであるパルス圧縮処理が施された電磁場の同期加算処理が12回（詳細には、5ms×12回）行われており、測定時間は60msであった。

#### 【0077】

図14は、本変形例に係る特性測定装置100aを用いたときの、被測定対象200の測定結果である。また、図15は、比較例を用いたときの被測定対象200の測定結果である。ここで、図15に示す比較例は、目的信号となる電磁場を逆拡散せずに、同期加算処理が5000回行われ、測定時間が50s（秒）であった点を除いて、本変形例の測定条件と同一である。なお、各図面の縦軸は電磁場信号強度（nV）であり、横軸は時間（μs）である。

30

#### 【0078】

図14に示すように、本変形例においては、被測定対象200からの電磁場信号が、上述の残響電磁場と十分に区別し得る程度に明確に示されていることが分かる。また、図14に示す被測定対象200からの電磁場信号が残響電磁場から時間的に分離され、また、音波の発信に伴う残響電磁場を抑制されていることが分かる。従って、図14に示す結果が、図15に示す被測定対象200からの電磁場信号の検出精度よりも優れていることが分かる。さらに、本変形例における測定時間（60ms）が、比較例の該測定時間（50s）の約830分の1であったことは、測定時間の高速化を実現する観点から特筆に値する。

40

#### 【0079】

また、図16は、低周波領域における残響電磁場の強度を比較するために、本変形例（実線（より薄い線））と比較例（点線）に対応する、0～17μsにおける、残響電磁場の周波数スペクトルを比較するための図である。図16が示すように、音波発生器130の周波数（1MHz）とは異なる低周波成分の本変形例（実線）の残響電磁場が、比較例（点線）の対応する残響電磁場に対して、顕著に減少していることが確認された。

#### 【0080】

図16に示すように、本変形例の特性測定装置100a及び特性測定方法を採用するこ

50

とにより、音波発生器 130 からの残響電磁場の周波数スペクトルを、従来技術と比較して格段に低減させることが可能となる。その結果、音波発信器 130 の残響振動に起因する残響電磁場の継続時間を短縮させたうえで、該残響電磁場から目的信号となる電磁場（被測定対象 200 からの電磁場）を時間的に分離することが可能となる。

#### 【0081】

本変形例においても、特性測定装置 100 が採用された場合と同様に、音波発信器 130 の残響電磁場の影響を顕著に低減し、目的信号となる被測定対象 200 からの電磁場の分解能を高めたとうえで、従来技術と比較して測定時間の大幅な短縮化を実現し得る。

#### 【0082】

なお、本変形例においては、電磁場信号の残響電磁場から時間的に分離すること、音波の発信に伴う残響電磁場を抑制すること、及び S/N 比向上の観点からいえば、拡散信号長の長い電磁場を使用した場合より、逆拡散された電磁場を同期加算した方が、より確度高く、下記の (A) ~ (D) の少なくとも 1 つを実現し易いといえる。

(A) 目的信号となる被測定対象 200 からの目的信号となる電磁場信号を残響電磁場から時間的に分離すること

(B) 波の発信に伴う残響電磁場を抑制すること

(C) S/N 比を向上させること

(D) 測定時間の大幅に短縮化すること

#### 【0083】

< その他の実施形態 >

ところで、上述の各実施形態又は各変形例においては、参照信号生成部 110 が配置されているが、上述の各実施形態又は各変形例は必ずしも参照信号生成部 110 を要しない。例えば、図 17 は、本発明の実施形態の他の変形例に係る特性測定装置 100 b を示す図である。

#### 【0084】

図 17 に示すように、参照信号が、波形発生器 120 から直接発信されることも採用し得る一態様である。換言すれば、波形発生器 120 が、第 1 の実施形態における参照信号生成部 110 の役割を兼ねることが可能である。具体的には、予め、波形発生器 120 により生成した参照信号を、ケーブル C2 を経由して逆拡散部 160 に送信される。その結果、上述の実施形態又は各変形例と同様に、逆拡散部 160 における電磁場の逆拡散に用いられる信号として、該参照信号が用いられる。

#### 【0085】

本変形例においても、第 1 の実施形態の特性測定装置 100 を用いた場合と同様に、音波発信器 130 の残響振動に起因する残響電磁場の継続時間を短縮させたうえで、該残響電磁場から目的信号となる電磁場（被測定対象 200 からの電磁場）を時間的に分離することが可能となる。その結果、本実施形態の特性測定装置 100 及び特性測定方法によれば、音波発信器 130 の残響電磁場の影響を顕著に低減し、目的信号となる被測定対象 200 からの電磁場の分解能を高めたとうえで、従来技術と比較して測定時間の大幅な短縮化を実現し得る。

#### 【0086】

ところで、上述の各実施形態及び各変形例においては、音波媒体として水が採用されているが、音波媒体は水に限定されない。上述の各実施形態又は各変形例の効果を實質的に失わせない限り、例えば、水以外の液体（例えば、各種水溶液、アルコール、液状油）、空気を含む気体、樹脂、又は金属も、音速を調整するための音波媒体として採用され得る。

#### 【0087】

また、上述の各実施形態及び各変形例に係る被測定対象の特性測定装置及び特性測定方法は、非破壊で被測定対象の電気特性、磁気特性、電気機械特性、及び磁気機械特性からなる群から選択される少なくとも 1 種の特性することができる。従って、コロイド溶液、液晶、固体電解質、イオン結晶、半導体、誘電体、金属、磁性体、磁性流体の何れか、あ

10

20

30

40

50

るいはこれらの複合材料を含む物体、構造物、又は機能デバイス等を対象とする、バイオ技術分野における計測技術を含む各種特性の測定技術に利用できる。

【 0 0 8 8 】

以上、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明の技術的範囲は上述の各実施形態又は各変形例に限定されない。例えば、電磁シールドが無い場合であっても、上述の各実施形態及び各変形例の効果の少なくとも一部が奏され得る。本発明の技術分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらの変更例または修正例についても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

10

【 0 0 8 9 】

上述の各実施形態及び各変形例において、CPUがソフトウェア（プログラム）を読み込んで実行した特性測定処理を、CPU以外の各種のプロセッサが実行することも、採用し得る一態様である。この場合のプロセッサとしては、FPGA（Field-Programmable Gate Array）等の製造後に回路構成を変更可能なPLD（Programmable Logic Device）、及びASIC（Application Specific Integrated Circuit）等の特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである専用電気回路等が例示される。また、特性測定処理を、これらの各種のプロセッサのうちの一つで実行してもよいし、同種又は異種の2つ以上のプロセッサの組み合わせ（例えば、複数のFPGA、及びCPUとFPGAとの組み合わせ等）で実行してもよい。また、これらの各種のプロセッサのハードウェア的な構造は、より具体的には、半導体素子等の回路素子を組み合わせた電気回路である。

20

【 0 0 9 0 】

また、上述の各実施形態及び各変形例において、特性測定処理のプログラムがROMまたはストレージに予め記憶（インストール）されていることは、採用し得る一態様であるが、上述の実施形態及び変形例は、そのような態様に限定されない。プログラムは、CD-ROM（Compact Disk Read Only Memory）、DVD-ROM（Digital Versatile Disk Read Only Memory）、及びUSB（Universal Serial Bus）メモリ等の非一時的（non-transitory）記録媒体に記録された形態で提供されてもよい。また、プログラムは、ネットワークを介して外部装置からダウンロードされる形態としてもよい。

30

【産業上の利用可能性】

【 0 0 9 1 】

本発明の被測定対象の特性測定装置、及び被測定対象の特性測定方法は、各種工業分野、化学分野、電力・エネルギー分野、材料分野、医学分野、製薬分野、及び生命科学分野を含む各種の技術分野に、幅広く利用され得る。

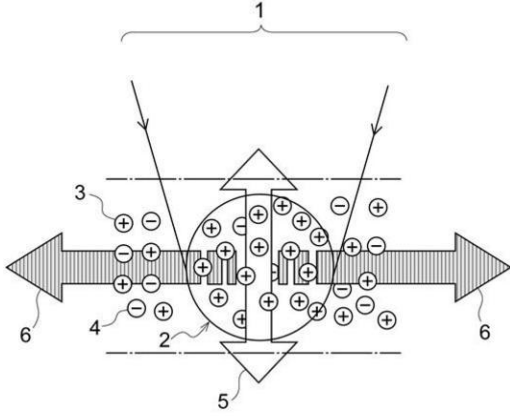
【符号の説明】

【 0 0 9 2 】

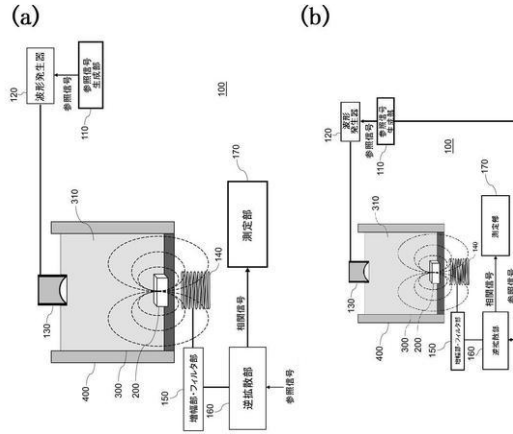
- 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b 特性測定装置
- 1 1 0 参照信号生成部
- 1 2 0 波形発生器
- 1 3 0 音波発生器
- 1 4 0 , 2 4 0 受信部
- 1 5 0 増幅部・フィルタ部
- 1 6 0 逆拡散部
- 1 7 0 測定部
- 2 0 0 被測定対象
- 3 0 0 タンク
- 3 1 0 水
- 4 0 0 電磁シールド

40

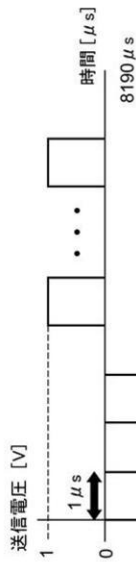
【図1】



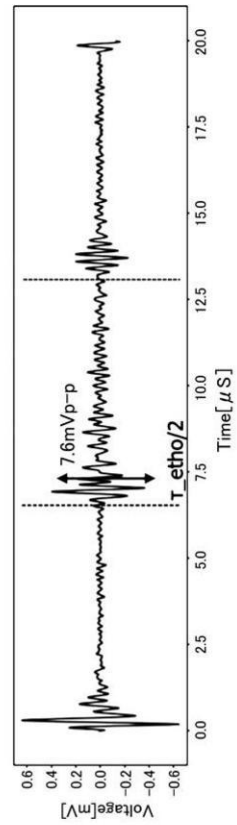
【図2】



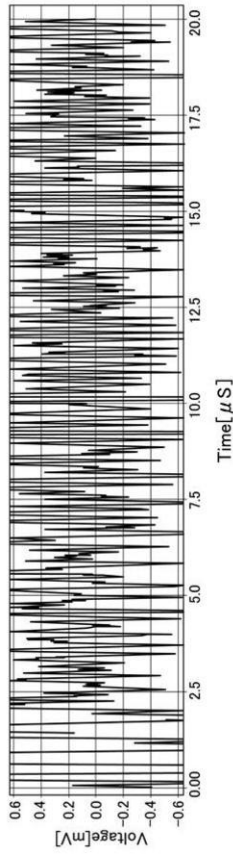
【図3】



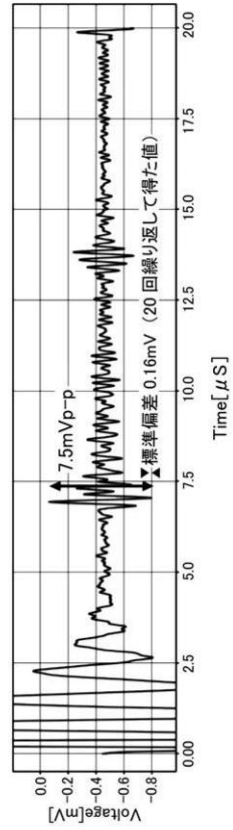
【図4】



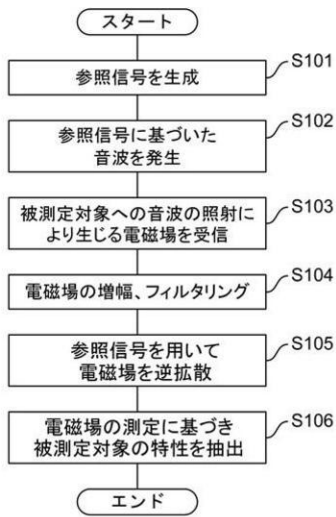
【図5】



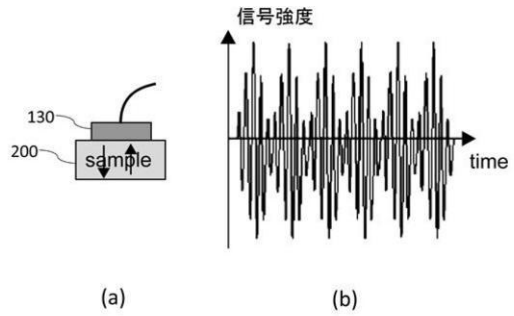
【図6】



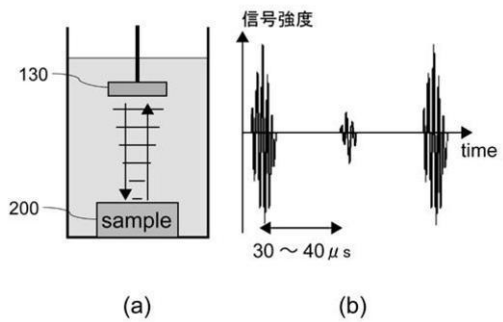
【図7】



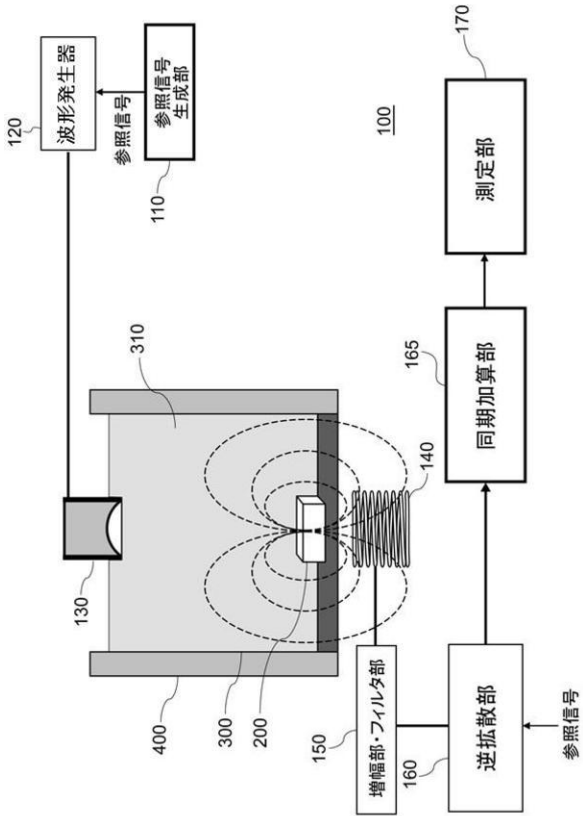
【図8】



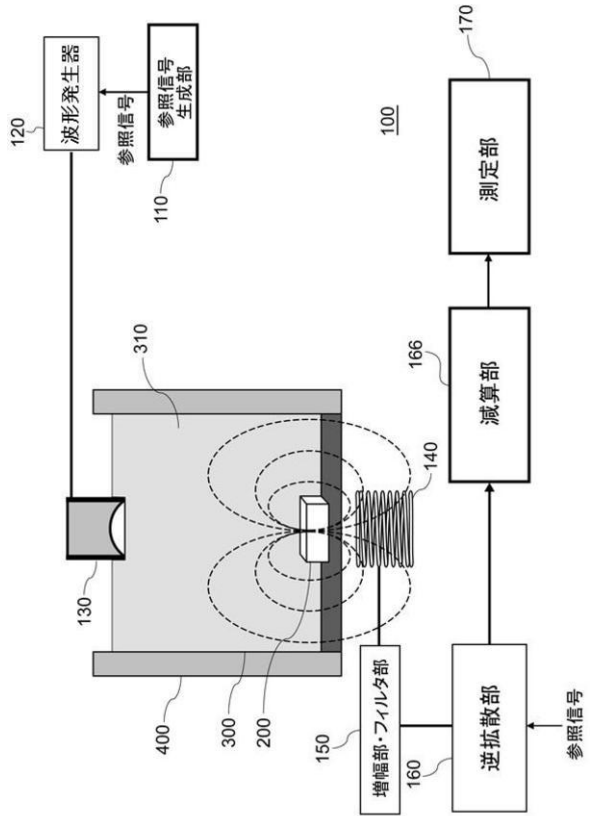
【図9】



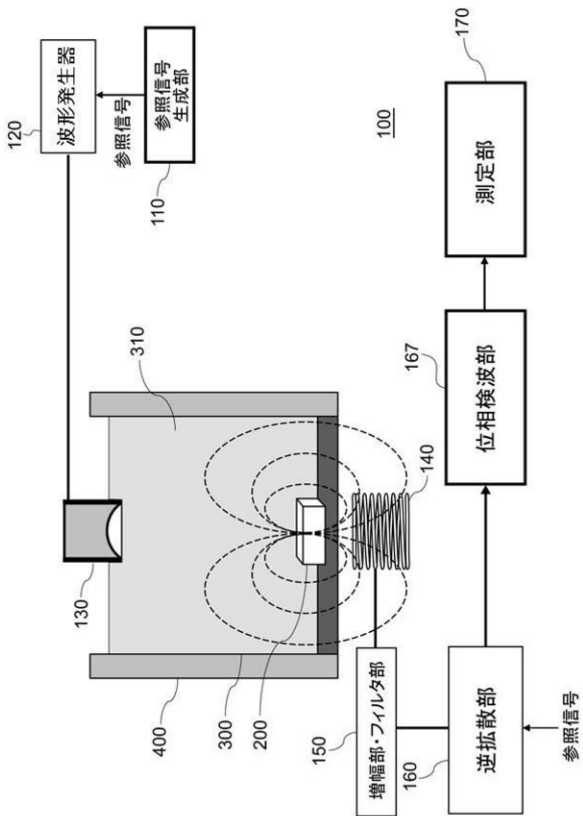
【図 1 0】



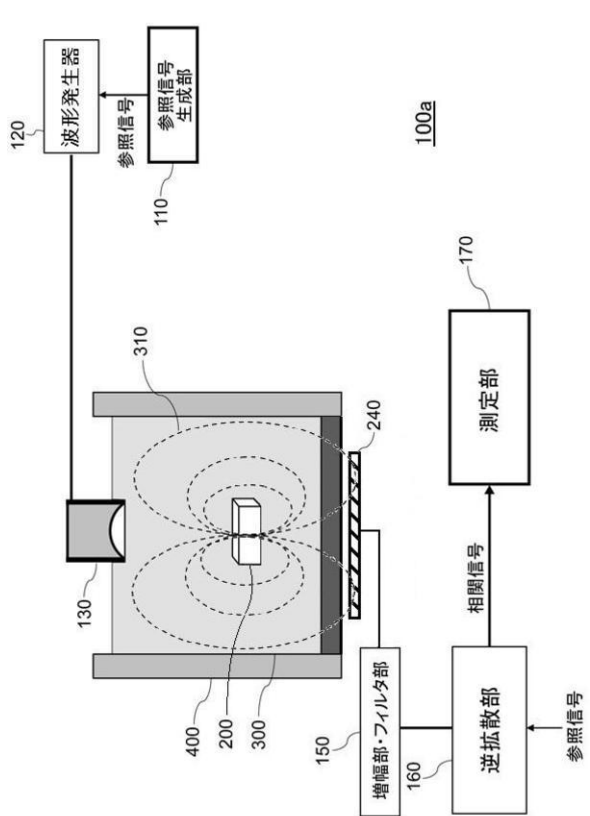
【図 1 1】



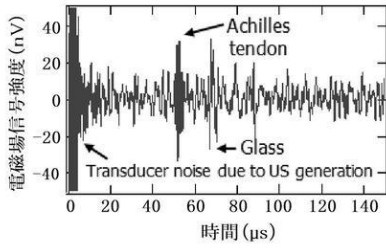
【図 1 2】



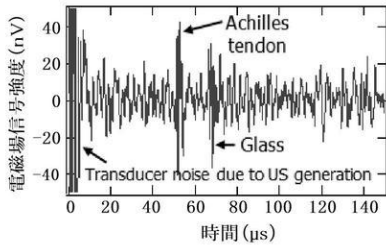
【図 1 3】



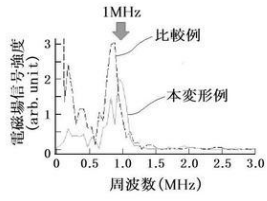
【 図 1 4 】



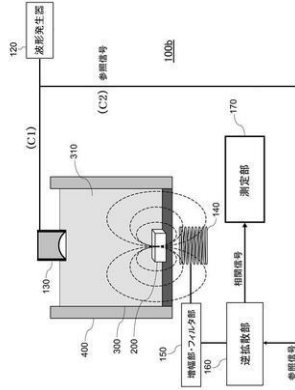
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



---

フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 IEEE International Ultrasonics Symposium (IEEE IUS) 予稿集 令和3年9月14日(ウェブサイトの掲載日) [刊行物等]

特許法第30条第2項適用 JST計測・分析技術 新技術説明会 発表資料 令和4年2月17日(ウェブサイトの掲載日)

特許法第30条第1項適用 秘密保持契約による守秘義務があるにもかかわらず、意に反する特許出願及びそれによる公開をされたため(特開2021-076474)。

審査官 嶋田 行志

(56)参考文献 国際公開第2013/011869(WO, A1)  
特開2000-221170(JP, A)  
特開平09-127254(JP, A)  
国際公開第2007/055057(WO, A1)  
特開2021-076474(JP, A)  
特開2020-121120(JP, A)  
米国特許出願公開第2013/0257431(US, A1)  
特開2021-076747(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 22/00 - G01N 22/04  
G01N 24/00 - G01N 24/14  
A61B 5/05  
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)  
JSTChina(JDreamIII)  
Science Direct