(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2022 007 688 T5** 2025.06.12

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2024/042614**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 688.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/031728**
(86) PCT-Anmeldetag: **23.08.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **29.02.2024**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **12.06.2025**

(51) Int Cl.: ***A61B 5/0515*** (2021.01)

(71) Anmelder:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

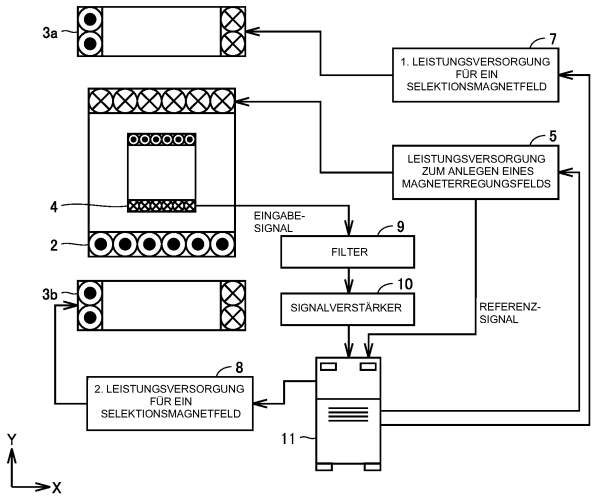
(72) Erfinder:
Yamauchi, Kazuki, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **MAGNETPARTIKELBILDGEBUNGSSYSTEM, MAGNETPARTIKELBILDGEBUNGSVERFAHREN UND MAGNETPARTIKELBILDGEBUNGSPROGRAMM**

(57) Zusammenfassung: Ein Prozessor (21) berechnet eine Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Satzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in einer Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind. Der Prozessor (21) erlangt eine räumliche Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Satzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Magnetpartikelbildgebungssystem, Magnetpartikelbildgebungsverfahren und ein Magnetpartikelbildgebungsprogramm.

STAND DER TECHNIK

[0002] Ein Magnetpartikelbildgebungssystem ist herkömmlicherweise bekannt. Das Magnetpartikelbildgebungssystem umfasst ein Selektionsmittel zum Erzeugen eines Selektionsmagnetfelds, das eine Region mit schwachem Magnetfeld und eine Region mit starkem Magnetfeld in einer Untersuchungsregion aufweist, ein Aussteuerungsmittel zum Ändern einer relativen Positionsbeziehung von zwei Regionen in der Untersuchungsregion in Bezug auf Magnetpartikel, ein Erregungsmittel zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds, um die Magnetisierung der Magnetpartikel zu ändern, und ein Empfangsmittel zum Empfangen einer Änderung der Magnetisierung der Magnetpartikel als ein Erfassungssignal.

[0003] Der Wert des Erfassungssignals des Magnetpartikelbildgebungssystems ist ein Wert, der durch ein Faltungsintegral der räumlichen Verteilung der Magnetpartikel mit einer Systemfunktion erlangt wird, und dementsprechend schließt das Abbilden der räumlichen Verteilung der Magnetpartikel anhand des Erfassungssignals eine Bildrekonstruktion ein, die eine Entfaltung der Systemfunktion einschließt.

[0004] Die Systemfunktion beinhaltet die Magnetisierungskurve der Magnetpartikel und Informationen des Systems (d. h. des Selektionsmittels, des Aussteuerungsmittels, des Erregungsmittels und des Empfangsmittels), und im Allgemeinen werden Daten der Systemfunktion vor einer Untersuchung für jede Auswahl von bei der Untersuchung zu verwendenden Partikeln und jede Einstellbedingung des Systems erlangt. Als ein Verfahren zum Erlangen der Systemfunktion ist ein Verfahren unter Verwendung einer Istwertmessung bekannt.

[0005] Bei dem Verfahren auf Grundlage einer Istwertmessung wird ein Wert, der gemessen wird, während eine kleine punktartige Kalibrierungsprobe von einem Punkt zu einem anderen Punkt in einer Untersuchungsregion bewegt wird, als die Systemfunktion erlangt. Die Kalibrierungsprobe beinhaltet Magnetpartikel in einer geringen Menge und dementsprechend kostet das Erlangen eines ausreichenden SN-Verhältnisses Zeit für die Messung an jedem Punkt. Infolgedessen erfordert das Erlangen der Systemfunktion einen enormen Zeitaufwand.

[0006] Um dieses Problem anzugehen, verwendet PTL 1 ein Verfahren durch numerische Berechnung. PTL 1 nutzt eine räumliche Symmetrie, die eine Systemfunktion theoretisch aufweist. Wenn die Systemfunktion zum Beispiel eine Verteilung aufweist, die in Bezug auf zwei Achsen symmetrisch ist, wird eine punktartige Kalibrierungsprobe lediglich in einem Viertel einer Region angeordnet und bewegt, um eine Signalstärke an jeder Stelle zu erlangen. Danach wird ein Messsignal repliziert, damit es mit der Symmetrie der Systemfunktion übereinstimmt, um die Systemfunktion zu erstellen.

LISTE DER ANFÜHRUNGEN

PATENTLITERATUR

[0007] PTL 1: JP 2012 - 510 847 A

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

TECHNISCHES PROBLEM

[0008] Jedoch kann das in PTL 1 beschriebene Verfahren die durch einen Herstellungsfehler verursachte Schiefe der Systemfunktion nicht bewältigen. Dies führt zu einem in einem rekonstruierten Bild erzeugten Artefakt, einer reduzierten räumlichen Auflösung, einer reduzierten Quantitativität usw. und somit dazu, dass das rekonstruierte Bild eine verschlechterte Bildqualität aufweist.

[0009] Daher besteht eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung darin, ein Magnetpartikelbildgebungssystem, ein Magnetpartikelbildgebungsverfahren und ein Magnetpartikelbildgebungsprogramm bereitzustellen,

die dazu in der Lage sind, eine Systemfunktion in einem kürzeren Zeitraum als ein Verfahren durch Istwertmessung zu erlangen und zudem ein rekonstruiertes Bild von hoher Qualität zu liefern.

LÖSUNG DES PROBLEMS

[0010] Gemäß der vorliegenden Offenbarung umfasst ein Magnetpartikelbildgebungssystem zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion Folgendes: eine Selektionseinrichtung zum Erzeugen eines Selektionsmagnetfelds, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden; eine Erregungseinrichtung zum Bereitstellen eines Erregungsmagnetfelds, um die Magnetisierung der in dem Selektionsmagnetfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern; einen Empfänger zum Empfangen einer Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal; und einen Prozessor. Das Erfassungssignal wird durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt. Der Prozessor berechnet die Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind, und der Prozessor erlangt eine räumliche Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.

[0011] Gemäß der vorliegenden Offenbarung umfasst ein Magnetpartikelbildgebungsverfahren zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion Folgendes: Erzeugen, durch eine Selektionseinrichtung, eines Selektionsmagnetfelds, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden; Bereitstellen, durch eine Erregungseinrichtung, eines Erregungsmagnetfelds, um die Magnetisierung der in dem Selektionsmagnetfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern; und Empfangen, durch einen Empfänger, einer Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal. Das Erfassungssignal wird durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt. Das Magnetpartikelbildgebungsverfahren beinhaltet Folgendes: Berechnen, durch einen Prozessor, der Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind; und Erlangen, durch den Prozessor, einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.

[0012] Gemäß der vorliegenden Offenbarung erzeugt das Magnetpartikelbildgebungssystem in einem Magnetpartikelbildgebungsprogramm zur Verwendung in einem Magnetpartikelbildgebungssystem zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion ein Selektionsmagnetfeld, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden, stellt ein Erregungsmagnetfeld bereit, um die Magnetisierung der in dem magnetischen Selektionsfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern, und empfängt eine Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal. Das Magnetpartikelbildgebungssystem umfasst einen Prozessor. Das Erfassungssignal wird durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt. Das Magnetpartikelbildgebungsprogramm veranlasst den Prozessor dazu, Folgendes durchzuführen: Berechnen der Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind; und Erlangen einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.

VORTEILHAFTE WIRKUNGEN DER ERFINDUNG

[0013] Gemäß der vorliegenden Offenbarung kann eine Systemfunktion innerhalb einer kurzen Zeitdauer erlangt werden und kann ein rekonstruiertes Bild mit hoher Qualität geliefert werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für eine allgemeine Konfiguration eines Magnetpartikelbildgebungssystems zeigt.

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für eine Hardwarekonfiguration einer Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 veranschaulicht.

Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs eines Magnetpartikelbildgebungsverfahrens gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs zum Messen einer Kalibrierungsprobe in Schritt S104 aus **Fig.** 3.

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für das Anordnen einer Kalibrierungsprobe veranschaulicht.

Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer Teilroutine zum Erzeugen einer Systemfunktion (oder einer ersten Entfaltungsoperation) in Schritt S206 aus **Fig.** 4.

Fig. 7 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer diagnostischen Messung (oder einer Untersuchungsprobenmessung) in Schritt S107 aus **Fig.** 3.

Fig. 8 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs eines Prozesses zum Abbilden einer räumlichen Verteilung (oder einer zweiten Entfaltungsoperation) in Schritt S406 aus **Fig.** 7.

Fig. 9 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs zum Messen einer Kalibrierungsprobe gemäß PTL 1.

Fig. 10 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für das Anordnen einer Kalibrierungsprobe gemäß PTL 1 zeigt.

Fig. 11 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer Teilroutine zum Erzeugen einer Systemfunktion gemäß PTL 1.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0014] Nachfolgend wird in dieser Schrift unter Bezugnahme auf die Zeichnungen eine Ausführungsform beschrieben.

Erste Ausführungsform.

[0015] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für eine allgemeine Konfiguration eines Magnetpartikelbildgebungssystems zeigt.

[0016] Das Magnetpartikelbildgebungssystem umfasst eine Erregungseinrichtung 2, eine erste Selektionseinrichtung 3a, eine zweite Selektionseinrichtung 3b, einen Empfänger 4, eine Leistungsversorgung 5 zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds, eine erste Leistungsversorgung 7 für ein Selektionsmagnetfeld, eine zweite Leistungsversorgung 8 für ein Selektionsmagnetfeld, einen Filter 9, einen Signalverstärker 10 und eine Informationsverarbeitungsvorrichtung 11.

[0017] Die erste Selektionseinrichtung 3a und die zweite Selektionseinrichtung 3b erzeugen ein Selektionsmagnetfeld, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, in einer Untersuchungsregion, in der ein Analyt angeordnet ist, auszubilden.

[0018] Dies begrenzt die in der Untersuchungsregion vorhandenen Magnetpartikel, die zu einem Messsignal beitragen können, auf eine Region in der Nähe der ersten Teilregion. In der ersten Teilregion wird insbesondere eine Region mit einer Magnetfeldstärke, die einen Wert nahe null aufweist, als feldfreie Region (FFR) bezeichnet. Beispielsweise wird die feldfreie Region FFR in Abhängigkeit von der Form auch als feldfreier Punkt (FFP), feldfreie Linie (FFL) oder feldfreie Ebene bezeichnet. Die FFL kann eine feldfreie Region auf-

weisen, die sich in einer Richtung erstreckt, und kann zum Beispiel in der Form eines Rechtecks, wobei sie in diesem Fall eine längere Seite in einer Richtung aufweist, in die sie sich erstreckt, oder einer Ellipse vorliegen. Beispielsweise weisen eine feldfreie Ebene und eine FFL eine größere Region, die zu dem Signal beitragen kann, auf als ein FFP, und sind insofern vorteilhaft, als ein SN-Verhältnis, das für die Messung und Bildrekonstruktion ausreichend ist, in einem kurzen Zeitraum erlangt werden kann.

[0019] Die erste Selektionseinrichtung 3a beinhaltet einen ersten Elektromagneten. Die zweite Selektionseinrichtung 3b beinhaltet einen zweiten Elektromagneten. Der erste Elektromagnet und der zweite Elektromagnet sind einander gegenüberliegend angeordnet, um Magnetfelder in entgegengesetzten Richtungen in der Untersuchungsregion zu erzeugen. Der erste Elektromagnet ist mit der ersten Leistungsversorgung 7 für ein Selektionsmagnetfeld verbunden. Der zweite Elektromagnet ist mit der zweiten Leistungsversorgung 8 für ein Selektionsmagnetfeld verbunden. Die erste Leistungsversorgung 7 für ein Selektionsmagnetfeld leitet einen Strom zu dem ersten Elektromagneten und die zweite Leistungsversorgung 8 für ein Selektionsmagnetfeld leitet einen Strom zu dem zweiten Elektromagneten, um dadurch ein Selektionsmagnetfeld zu erzeugen. Das Ändern der Größe der Ströme von der ersten Leistungsversorgung 7 für ein Selektionsmagnetfeld und der zweiten Leistungsversorgung 8 für ein Selektionsmagnetfeld kann eine Positionsbeziehung des Selektionsmagnetfelds (konkreter der ersten Teilregion und der zweiten Teilregion) relativ zu den Magnetpartikeln ändern (oder elektrische Bewegung verursachen).

[0020] Beispielsweise ermöglicht das Ändern eines Gleichgewichts zwischen dem Strom für den ersten Elektromagneten und dem Strom für den zweiten Elektromagneten, dass die feldfreie Region FFR in der Untersuchungsregion in einer Translationsrichtung oder einer Drehrichtung in ihrer Position bewegt wird. Die erste Teilregion (insbesondere die feldfreie Region FFR) wird somit ausgesteuert und in einer Abtastregion abgetastet. Die Weise, wie das Selektionsmagnetfeld erzeugt wird, ist nicht auf einen Elektromagneten beschränkt. Der erste Elektromagnet und der zweite Elektromagnet können durch zwei Permanentmagneten, die einander gegenüberliegend angeordnet sind, oder durch eine Kombination aus einem Permanentmagneten und einem Elektromagneten ersetzt werden. Darüber hinaus ist die Weise, wie ein Magnetfeld (in diesem Beispiel die feldfreie Region FFR) abgetastet wird, nicht wie vorstehend beschrieben beschränkt. Zum Beispiel kann das Magnetfeld ausgesteuert und durch physische Bewegung der ersten Selektionseinrichtung 3a und der zweiten Selektionseinrichtung 3b oder eine Kombination aus elektrischer Bewegung und physischer Bewegung davon abgetastet werden. Alternativ kann das Magnetfeld positionsfest sein und der Analyt kann bewegt werden, um das Magnetfeld relativ zu dem Analyt abzutasten.

[0021] Die Erregungseinrichtung 2 legt ein Erregungsmagnetfeld an, um die Magnetisierung von Magnetpartikeln zu ändern, die in einem Selektionsmagnetfeld einer Untersuchungsregion vorhanden sind, in der eine Kalibrierungsprobe oder eine Untersuchungsprobe oder ein ähnlicher Analyt angeordnet ist. Die Kalibrierungsprobe wird verwendet, um die Systemfunktion zu bestimmen, und es handelt sich dabei um eine Probe, die eine bekannte Magnetpartikelverteilung aufweist. Bei der Untersuchungsprobe handelt es sich um eine Probe, die eine zu untersuchende Magnetpartikelverteilung aufweist.

[0022] Beispielsweise beinhaltet die Erregungseinrichtung 2 eine Spule, die mit der Leistungsversorgung 5 zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds verbunden ist. Wenn die Leistungsversorgung 5 zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds einen AC-Strom an die Spule leitet, wird ein AC-Magnetfeld als ein Erregungsmagnetfeld an die Untersuchungsregion angelegt, in der der Analyt angeordnet ist.

[0023] Wenn das Erregungsmagnetfeld an den Analyten angelegt wird, erzeugen die Magnetpartikel, die in dem Analyten beinhaltet sind, ein Magnetsignal einer Grundwelle, die die gleiche Frequenz wie das Erregungsmagnetfeld aufweist, und ein Magnetsignal einer Harmonischen einer höheren Ordnung als diese. Die Magnetpartikel werden mit einer Substanz, wie etwa einem Protein, modifiziert, die durch eine Antigen-Antikörper-Reaktion an eine Zielsubstanz bindet, die in dem Analyten enthalten ist.

[0024] Der Empfänger 4 empfängt als ein Erfassungssignal eine Änderung der Magnetisierung von Magnetpartikeln, die durch das Erregungsmagnetfeld erregt werden. Der Empfänger 4 beinhaltet beispielsweise eine Spule. Der Empfänger 4 kann ein Hall-Element, ein magnetoresistives Element (ein AMR-Element (anisotropes magnetoresistives Element), ein SMR-Element (magnetoresistives Halbleiterelement), ein TMR-Element (magnetoresistives Tunnelelement) und dergleichen), ein MI-Sensor (magnetoimpedanter Sensor) oder dergleichen sein, der ein variierendes Magnetfeld erfassen kann. Das Erfassungssignal wird beispielsweise über einen Rauschminderungsfilter 9 und einen Signalverstärker 10 in die Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 eingegeben.

[0025] **Fig.** 2 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für eine Hardwarekonfiguration der Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 veranschaulicht. Die Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 beinhaltet einen Prozessor 21, einen RAM (random access memory - Direktzugriffsspeicher) 25, eine Leseeinheit 26, eine interne Speichereinheit 27, eine Anzeigeeinheit 22, eine Bedieneinheit 23 und eine Kommunikationsschnittstelle 24.

[0026] Der Prozessor 21 ist beispielsweise eine CPU (Central Processing Unit - Verarbeitungseinheit) und führt Berechnungen durch.

[0027] Der RAM 25 speichert temporäre Informationen, die erzeugt werden, wenn der Prozessor 21 Berechnungen durchführt. Der Prozessor 21 liest ein in der internen Speichereinheit 27 gespeichertes Programm (einschließlich eines eine Systemfunktion erzeugenden Programms und eines Programms zum Abbilden der räumlichen Verteilung), lädt das Programm in den RAM 25 und führt das Programm aus.

[0028] Die Leseeinheit 26 liest Informationen, die auf einem optischen Speichermedium, wie etwa einer CD-ROM (compact disc read only memory) aufgezeichnet sind.

[0029] Die interne Speichereinheit 27 ist beispielsweise ein Festplattenlaufwerk. Die interne Speichereinheit 27 speichert eine Vielfalt an Programmarten, wie etwa ein eine Systemfunktion erzeugendes Programm und ein Programm zum Abbilden der räumlichen Verteilung, und eine Vielfalt von Datenarten, wie etwa ein numerisches Modell für eine Kalibrierungsprobe.

[0030] Die Anzeigeeinheit 22 ist beispielsweise eine Flüssigkristallanzeige. Die Anzeigeeinheit 22 zeigt einen Bildschirm an, der gemäß den Berechnungen durch den Prozessor 21 erzeugt wird.

[0031] Die Bedieneinheit 23 beinhaltet beispielsweise eine Tastatur, eine Maus und dergleichen. Die Bedieneinheit 23 empfängt eine Bedieneingabe durch einen Bediener.

[0032] Die Kommunikationsschnittstelle 24 kommuniziert über ein Netzwerk mit einer externen Vorrichtung (beispielsweise einer Servervorrichtung).

[0033] Das eine Systemfunktion erzeugende Programm beinhaltet eine Gruppe von Anweisungen für einen Prozess zum Erzeugen einer Systemfunktion auf Grundlage eines Messsignals einer Kalibrierungsprobe. Das Programm zum Abbilden der räumlichen Verteilung beinhaltet eine Gruppe von Anweisungen für einen Prozess zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe, wie etwa einem lebenden Körper eines Patienten, vorhanden sind. Diese Programme werden beispielsweise auf einem optischen Aufzeichnungsmedium aufgezeichnet, durch die Leseeinheit 26 gelesen und in der internen Speichereinheit 27 gespeichert. Alternativ können diese Programme von der Servervorrichtung über die Kommunikationsschnittstelle 24 heruntergeladen und in der internen Speichereinheit 27 gespeichert werden.

[0034] Der Prozessor 21 speichert ein von dem Empfänger 4 empfangenes Erfassungssignal. Wenn das Erfassungssignal als eine Spannung gemessen wird und eine feldfreie Region an einer Translationsposition r_i in einem Winkel θ_j vorhanden ist, weist das Erfassungssignal eine k-te harmonische Komponente $U_k(r_i, \theta_j)$ auf, die durch eine Faltung einer Systemfunktion $S_k(p)$ und einer Magnetpartikelverteilung c(p) dargestellt wird. p ist ein Vektor, der eine dreidimensionale Position (x, y, z) darstellt. Die Faltungsoperation wird beispielsweise durch einen nachfolgend angegebenen Ausdruck beschrieben. Die Systemfunktion $S_k(p)$ wird durch die Magnetisierungskurve der Magnetpartikel und eine Wirkung von Eigenschaften einer Vorrichtung, die das Magnetpartikelbildgebungssystem kalibriert, bestimmt. In Ausdruck (1) steht d^3p für dx × dy × dz.
[Berechnung 1]

$$U_k\left(r_i, \theta_j\right) = \int s_k(p) \cdot c(p) d^3p \qquad (1)$$

[0035] Die Systemfunktion $S_k(p)$ ist eine Übertragungsfunktion, wenn die Magnetpartikelverteilung c(p) eine Eingabe ist und die k-te harmonische Komponente $U_k(r_i, \theta_j)$ des Erfassungssignals eine Ausgabe ist.

[0036] Die Verwendung der k-ten harmonischen Komponente $U_k(r_i, \theta_j)$ des Erfassungssignals und der Magnetpartikelverteilung c(p) zum Berechnen der Systemfunktion $S_k(p)$ wird als erste Entfaltungsoperation bezeichnet. Die erste Entfaltungsoperation ermöglicht es, dass $S_k(p)$ aus $U_k(r_i, \theta_j)$ und der Magnetpartikelverteilung c(p) erlangt wird, ohne dass Eigenschaften der Systemfunktion $S_k(p)$ bekannt sind.

[0037] Ein Beispiel für die erste Entfaltungsoperation ist ein Verfahren zum Erlangen von $S_k(p)$ durch Anwenden einer inversen Fourier-Transformation auf einen Wert, der durch Dividieren eines Fourier-Transformationswerts von $U_k(r_i, \theta_j)$ durch einen Fourier-Transformationswert von c(p) erlangt wird.

[0038] In der vorliegenden Ausführungsform führt der Prozessor 21 eine Entfaltungsoperation unter Verwendung eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals durch, bei dem es sich um ein Erfassungssignal handelt, wie es mit einer relativen Positionsänderung zwischen der Kalibrierungsprobe und dem Selektionsmagnetfeld gesammelt wurde. Nachfolgend wird in dieser Schrift die Entfaltungsoperation, die unter Verwendung des Datensatzes des ersten Erfassungssignals durchgeführt wird, als eine erste Entfaltungsoperation bezeichnet. In dieser Schrift bezeichnet ein „Datensatz des ersten Erfassungssignals“ eine Sammlung von Daten des ersten Erfassungssignals, wie an einer Vielzahl von Stellen gesammelt. Daher sind alle Daten, die ein Element des Datensatzes des ersten Erfassungssignals sind, mit einer Stelle verknüpft, an der das erste Erfassungssignal gesammelt wird. Beispielsweise werden jedes Mal, wenn die Stelle geändert wird, Daten des ersten Erfassungssignals, die mit dieser Stelle verknüpft sind, gesammelt. Eine Sammlung der Daten des ersten Erfassungssignals, die derart für jede Stelle gesammelt wurden, dient als Datensatz des ersten Erfassungssignals. Die erste Entfaltungsoperation kann unter Verwendung des Datensatzes des ersten Erfassungssignals durchgeführt werden, der all den Stellen entspricht, wenn das Abtasten endet, oder die erste Entfaltungsoperation kann jedes Mal, wenn die abzutastende Stelle geändert wird, sequenziell unter Verwendung eines Datensatzes des ersten Erfassungssignals durchgeführt werden, der den Stellen entspricht, bevor und nachdem die abzutastende Stelle geändert wird.

[0039] Dabei kann der Prozessor 21 beispielsweise als einen spezifischen Prozess die erste Entfaltungsoperation durchführen, indem er eine erwartete Systemfunktion aktualisiert, sodass ein Datensatz eines ersten erwarteten Erfassungssignals, der durch eine Faltungsoperation an der Magnetpartikelverteilung der Kalibrierungsprobe und der erwarteten Systemfunktion erlangt wird, einen Wert aufweist, der dem Datensatz des ersten Erfassungssignals so nahe wie möglich kommt. Als ein Beispiel kann der Prozessor 21 die erwartete Systemfunktion aktualisieren, sodass sich eine Summe eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des Datensatzes des ersten erwarteten Erfassungssignals und jedem Element des Datensatzes des ersten Erfassungssignals verringert.

[0040] Die Verwendung der k-ten harmonischen Komponente $U_k(r_i, \theta_j)$ des Erfassungssignals und der Systemfunktion $S_k(p)$ zum Berechnen der Magnetpartikelverteilung c(p) wird als eine zweite Entfaltungsoperation bezeichnet.

[0041] Ein Beispiel für die zweite Entfaltungsoperation ist ein Verfahren zum Erlangen von c(p) durch Anwenden einer inversen Fourier-Transformation auf einen Wert, der durch Dividieren eines Fourier-Transformationswerts von $U_k(r_i, \theta_j)$ durch einen Fourier-Transformationswert von $S_k(p)$ erlangt wird.

[0042] In der vorliegenden Ausführungsform führt der Prozessor 21 eine Entfaltungsoperation unter Verwendung eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals durch, bei dem es sich um ein Erfassungssignal handelt, das mit einer relativen Positionsänderung zwischen der Untersuchungsprobe und dem Selektionsmagnetfeld gesammelt wurde. Nachfolgend wird in dieser Schrift eine Entfaltungsoperation, die unter Verwendung des Datensatzes des zweiten Erfassungssignals durchgeführt wird, als eine zweite Entfaltungsoperation bezeichnet. In dieser Schrift bezeichnet ein „Datensatz des zweiten Erfassungssignals“ eine Sammlung einer Vielzahl von gesammelten Daten des zweiten Erfassungssignals. Daher sind alle Daten, die ein Element des Datensatzes des zweiten Erfassungssignals sind, mit einer Stelle verknüpft, an der das zweite Erfassungssignal gesammelt wird. Beispielsweise werden jedes Mal, wenn die Stelle geändert wird, Daten des zweiten Erfassungssignals, die mit dieser Stelle verknüpft sind, gesammelt. Eine Sammlung der Daten des zweiten Erfassungssignals, die derart für jede Stelle gesammelt wurden, dient als Datensatz des zweiten Erfassungssignals. Die zweite Entfaltungsoperation kann unter Verwendung des Datensatzes des zweiten Erfassungssignals durchgeführt werden, der all den Stellen entspricht, wenn das Abtasten endet, oder die zweite Entfaltungsoperation kann jedes Mal, wenn die abzutastende Stelle geändert wird, sequenziell unter Verwendung eines Datensatzes des zweiten Erfassungssignals durchgeführt werden, der den Stellen entspricht, bevor und nachdem die abzutastende Stelle geändert wird. Wenn dies erfolgt, kann die Untersuchungsprobe an einer Stelle oder einer Vielzahl von Stellen in der Untersuchungsregion stehen gelassen oder in Bezug auf das Selektionsmagnetfeld bewegt werden.

[0043] Der Prozessor 21 kann die zweite Entfaltungsoperation durchführen, indem er eine erwartete Magnetpartikelverteilung aktualisiert, sodass ein Datensatz eines zweiten erwarteten Erfassungssignals, das durch eine Faltungsoperation an der Systemfunktion und der erwarteten Magnetpartikelverteilung erlangt wird,

einen Wert aufweist, der dem Datensatz des zweiten Erfassungssignals so nahe wie möglich kommt. Als ein Beispiel kann der Prozessor 21 die erwartete Magnetpartikelverteilung aktualisieren, sodass sich eine Summe eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des Datensatzes des zweiten Erfassungssignals und jedem Element des Datensatzes des zweiten erwarteten Erfassungssignals verringert.

[0044] **Fig.** 3 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs eines Magnetpartikelbildgebungsverfahrens gemäß der Ausführungsform.

[0045] In Schritt S101 wird ein Untersuchungsreagens ausgewählt, das einer abzubildenden Zielsubstanz entspricht.

[0046] In Schritt S102 wird eine Systembedingung festgelegt, die für den Analyten und das Untersuchungsreagens geeignet ist. Das Untersuchungsreagens wird durch Modifizieren superparamagnetischer Partikel mit einem Protein oder dergleichen, das durch eine Antigen-Antikörper-Reaktion an die Zielsubstanz gebunden ist, erlangt. Das Untersuchungsreagens weist eine Magnetisierungseigenschaft auf, die mit der Art des Untersuchungsreagens variiert. Wenn ferner die Magnetisierungseigenschaft variiert, variiert auch die Systemfunktion. Daher ist es notwendig, eine Systemfunktion zu verwenden, die dem ausgewählten Untersuchungsreagens entspricht. Die Magnetisierungseigenschaft wird nicht nur durch Eigenschaften der Magnetpartikel an sich beeinflusst, wie etwa die Größe, Verteilung usw. der Kernpartikel der Magnetpartikel, sondern auch durch Auswirkungen der umliegenden Umgebung, wie etwa wie sich ein Durchmesser hydrodynamischer Partikel aufgrund des Unterschieds der Art der Antikörpermoleküle ändert, die die Magnetpartikel modifizieren, der Viskosität in der Nähe einer Läsion usw.

[0047] Die Systembedingung beinhaltet repräsentativ: eine Erregungsintensitätsverteilung, eine Erregungsfrequenz und/oder eine ähnliche Bedingung für die Erregung; eine Verteilung der Stärke eines Selektionsmagnetfelds und/oder eine ähnliche Bedingung für die Selektion; eine Bedingung für das Aussteuern des Selektionsmagnetfelds; und eine Verteilung der Empfindlichkeit einer Empfängerspule, der Eigenschaften des Filters, der Eigenschaften des Signalverstärkers und/oder eine ähnliche Bedingung für den Empfang. Die Systembedingung ist ein Systemeinstellungswert, der zur Messsignalstärke beiträgt.

[0048] Um sicherzustellen, dass ein rekonstruiertes Bild, das durch Abbilden der räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln erlangt wird, zuverlässig ist, ist es wünschenswert, eine Systemfunktion zu verwenden, die unter der gleichen Bedingung erlangt wird wie eine diagnostische Messung (oder eine Untersuchungsprobenmessung).

[0049] In Schritt S103 wird bestimmt, ob eine Systemfunktion, die unter der gleichen Bedingung wie eine diagnostische Messung (oder Untersuchungsprobenmessung) erlangt wurde, in der Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 gespeichert ist. Wenn eine solche Systemfunktion nicht gespeichert ist, geht der Prozess zu Schritt S 104 über.

[0050] In Schritt S104 wird eine Kalibrierungsprobenmessung durchgeführt. Somit wird die Kalibrierungsprobenmessung vor der diagnostischen Messung (oder Untersuchungsprobe) durchgeführt.

[0051] In Schritt S105 wird der Zeitpunkt bestimmt, zu dem die Systemfunktion erlangt wurde. Wenn die Systemfunktion nicht innerhalb eines vorbestimmten Zeitraums erlangt wurde, kehrt der Prozess zu Schritt S104 zurück. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es, selbst wenn eine notwendige Systemfunktion bereits in der Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 gespeichert wurde, wünschenswert ist, jedes Mal, wenn der vorbestimmte Zeitraum verstreicht eine periodische Inspektion durchzuführen, um eine Kalibrierungsprobenmessung durchzuführen, da sich der Zustand des Magnetpartikelbildgebungssystems mit der Zeit ändert. Wenn die diagnostische Messung unter Verwendung einer Systemfunktion mit einem von der Art her nicht übereinstimmenden Untersuchungsreagens oder einer nicht übereinstimmenden Systembedingung durchgeführt wird, ist ein rekonstruiertes Bild, das durch Abbilden der räumlichen Verteilung erlangt wird, ein Bild, das ein Artefakt beinhaltet, und der Magnetpartikel ist zudem hinsichtlich der Quantitativität beeinträchtigt. Dies führt zu einer negativen Auswirkung auf die diagnostische Messung.

[0052] In Schritt S106 wird eine Systemfunktion ausgewählt. In dieser Schrift wird zum Beispiel die neueste Systemfunktion ausgewählt.

[0053] Sobald die Systemfunktion ausgewählt ist, wird in Schritt S107 eine diagnostische Messung (oder Untersuchungsprobenmessung) durchgeführt. Bei dem in **Fig.** 3 angegebenen Magnetpartikelbildgebungs-

verfahren wird zunächst bestimmt, ob eine Systemfunktion vorliegt, die mit einer Vielfalt von Arten von Bedingungen übereinstimmt (z. B. der Art des Untersuchungsreagens, der Systembedingung oder der Zeitbedingung), und falls keine übereinstimmende Systemfunktion vorliegt, wird eine Kalibrierungsprobenmessung vor der Untersuchungsprobenmessung durchgeführt, um eine Systemfunktion zu erlangen, die mit den Bedingungen übereinstimmt.

[0054] **Fig.** 4 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs zur Kalibrierungsprobenmessung in Schritt S104 aus **Fig.** 3.

[0055] Die Schritte S201 bis S206 in dem in **Fig.** 4 gezeigten Ablaufdiagramm werden durch den Prozessor 21 umgesetzt, der ein im RAM 25 geladenes Programm ausführt.

[0056] In Schritt S200 wird eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet. **Fig.** 5 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für das Anordnen der Kalibrierungsprobe veranschaulicht. In diesem Beispiel entspricht eine Zelle in **Fig.** 5 einem Pixel eines rekonstruierten Bildes einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel. Die Kalibrierungsprobe mit einer Größe, die größer als diejenige des Pixels des rekonstruierten Bildes ist, reicht aus. In dem in **Fig.** 5 gezeigten Beispiel wird beispielhalber eine feldfreie Linie (FFL) als feldfreie Region verwendet. Die Kalibrierungsprobe wird beispielsweise im Wesentlichen in der Mitte der Untersuchungsregion angeordnet.

[0057] In Schritt S201 erzeugt der Prozessor 21 einen Befehl zum Aussteuern von Leistung, die dem ersten Elektromagneten und dem zweiten Elektromagneten zugeführt wird, und gibt den erzeugten Befehl an die erste Leistungsversorgung 7 für das Selektionsmagnetfeld und die zweite Leistungsversorgung 8 für das Selektionsmagnetfeld aus. Als Reaktion auf den Befehl beginnen die erste Leistungsversorgung 7 für das Selektionsmagnetfeld und die zweite Leistungsversorgung 8 für das Selektionsmagnetfeld damit, dem ersten Elektromagneten und dem zweiten Elektromagneten Leistung zuzuführen. Infolgedessen wird in der Untersuchungsregion ein Selektionsmagnetfeld erzeugt.

[0058] In Schritt S202 erzeugt der Prozessor 21 einen Befehl zum Aussteuern der Leistung, die der Erregungseinrichtung 2 zugeführt wird, und gibt den erzeugten Befehl an die Leistungsversorgung 5 zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds aus. Als Reaktion auf den Befehl beginnt die Leistungsversorgung 5 zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds damit, der Erregungseinrichtung 2 Leistung zuzuführen. Infolgedessen wird ein AC-Erregungsmagnetfeld auf den Analyten angewendet.

[0059] In Schritt S203 tastet der Prozessor 21 das Selektionsmagnetfeld in der Untersuchungsregion ab, indem er ein Gleichgewicht zwischen Strömen von der ersten Leistungsversorgung 7 für das Selektionsmagnetfeld und der zweiten Leistungsversorgung 8 für das Selektionsmagnetfeld für den ersten Elektromagneten und den zweiten Elektromagneten anpasst. Beispielsweise wird die Position des Selektionsmagnetfelds relativ zu einer Kalibrierungsprobe, die an einer Stelle in der Untersuchungsregion stehen gelassen wird, geändert. Ferner kann für die FFL eine Drehabtastung eingeschlossen sein.

[0060] In Schritt S204 empfängt der Empfänger 4 als Erfassungssignal eine Änderung eines Magnetisierungsmoments des durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikels. Das empfangene Erfassungssignal wird über den Rauschminderungsfilter 9 und den Signalverstärker 10 in die Informationsverarbeitungsvorrichtung 11 eingegeben.

[0061] In Schritt S205 bestimmt der Prozessor 21 auf Grundlage einer voreingestellten Endbedingung, ob das Abtasten des Selektionsmagnetfelds in der Untersuchungsregion beendet ist. Wenn das Abtasten nicht beendet ist, kehrt der Prozess zu Schritt S203 zurück. Wenn das Abtasten beendet ist, geht der Prozess zu Schritt S206 über. Als ein Beispiel für einen Fall, in dem die feldfreie Region FFR eine feldfreie Linie (FFL) ist, endet das Abtasten beispielsweise durch Drehen der FFL in einem Bereich von 0 Grad bis 180 Grad mit einem vorgegebenen Winkelinkrement und Translation der FFL für jeden Winkel zu Positionen in dem gesamten Bereich der Untersuchungsregion. Wenn die feldfreie Region FFR eine andere Form aufweist, gilt eine andere Abtastendbedingung.

[0062] In Schritt S206 verwendet der Prozessor 21 einen Erfassungssignalsatz, der in Schritt S204 gespeichert wurde, um einen Prozess zum Erzeugen einer Systemfunktion (oder der ersten Entfaltungsoperation) durchzuführen.

[0063] Die Reihenfolge des Erzeugens des Selektionsmagnetfelds in Schritt S201 und des Erzeugens des Erregungsmagnetfelds in Schritt S202 kann umgekehrt sein. Die Reihenfolge des Aussteuerns und Abtastens des Selektionsmagnetfelds in Schritt S203 und des Erfassens des Signals in Schritt S204 können umgekehrt sein.

[0064] **Fig.** 6 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer Teilroutine zum Erzeugen einer Systemfunktion in Schritt S206 aus **Fig.** 4 (oder der ersten Entfaltungsoperation).

[0065] In Schritt S301 erzeugt der Prozessor 21 ein gemessenes Kalibrierungssinogramm anhand des Erfassungssignalsatzes und Informationen, die die Abtastpositionen der feldfreien Region angeben, wie in Schritt S204 aus **Fig.** 4 gespeichert. Das gemessene Kalibrierungssinogramm ist eine Abbildung, die eine k-te harmonische Komponente $U_k(r,\theta)$ des Erfassungssignals für eine Ordnung k einer harmonischen Komponente, eine Translationsposition r und einen Winkel θ darstellt.

[0066] $U_k(r_i, \theta_j)$ wird durch eine Faltung der Systemfunktion $S_k(p)$ und der Magnetpartikelverteilung c(p) der Kalibrierungsprobe dargestellt.

[0067] In Schritt S302 legt der Prozessor 21 eine erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$ fest. In Schritt S302 wird erstmals ein vorbestimmter Anfangswert für die erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$ festgelegt.

[0068] In Schritt S303 berechnet der Prozessor 21 eine k-te harmonische Komponente $U2_k(r,\theta)$ eines erwarteten Erfassungssignals durch eine Faltungsoperation an der erwarteten Systemfunktion $S2_k(p)$, die in Schritt S202 festgelegt wurde, und der Magnetpartikelverteilung c(p) der Kalibrierungsprobe.

[0069] Die Magnetpartikelverteilung c(p) der Kalibrierungsprobe wird durch ein numerisches Modell dargestellt, das die Form und Magnetpartikelkonzentration der Kalibrierungsprobe darstellt. Wenn es sich bei der Kalibrierungsprobe um Magnetpartikel handelt, die einen säulenförmigen Raum mit einer Konzentration ct gleichmäßig füllen, wird das numerische Modell unter Verwendung einer Treppenfunktion H(p) dargestellt, wie nachstehend angegeben. Wenn die Kalibrierungsprobe zum Beispiel in Form eines Zylinders (eines Kreises, der einen Durchmesser R in der YZ-Ebene und eine Länge L in der X-Richtung aufweist) vorliegt, wird das numerische Modell durch den folgenden Ausdruck beschrieben.

$$c(r) = ct \times \left[H\left((R/2)^2 - (z - z0)^2 - (y - y0)^2 \right) \times H\left(L/2 - (x - x0) \right) \right] \qquad (A1)$$

[0070] Wenn die Kalibrierungsprobe in Form eines viereckigen Prismas vorliegt (das eine Länge Lx in der X-Richtung, eine Länge Ly in der Y-Richtung und eine Länge Lz in der Z-Richtung aufweist), wird das numerische Modell durch den folgenden Ausdruck beschrieben.

$$c(r) = ct \times \left[H\left(Lx/2 - (x - x0) \right) \times H\left(Ly/2 - (y - y0) \right) \times H\left(Lz/2 - (z - z0) \right) \right] \qquad (A2)$$

[0071] In den Ausdrücken (A1) und (A2) sind x0, y0 und z0 Mittelpunktkoordinaten der Kalibrierungsprobe.

[0072] Der Prozessor 21 liefert ein erwartetes Kalibrierungssinogramm. Das erwartete Kalibrierungssinogramm ist eine Abbildung, die die k-te harmonische Komponente $U2_k(r,\theta)$ des erwarteten Erfassungssignals für die Ordnung k der harmonischen Komponente, die Translationsposition r und den Winkel θ darstellt.

[0073] In Schritt S304 berechnet der Prozessor 21 eine Summe E1 eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des gemessenen Kalibrierungssinogramms und jedem Element des erwarteten Kalibrierungssinogramms.

[0074] Wenn zum Beispiel ein Tensor, der die erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$ darstellt, durch Sass dargestellt wird, und ein Tensor, der ein numerisches Modell der Magnetpartikelverteilung der Kalibrierungsprobe darstellt, durch Cmodel dargestellt wird, wird ein Tensor Uass, der das erwartete Kalibrierungssinogramm darstellt, durch einen nachstehend angegebenen Ausdruck beschrieben. Sass weist Abmessungen von k, r_i, θ_j, x, y und z auf. Cmodel weist Abmessungen von x, y und z auf. Uass weist Abmessungen von k, r_i und θ_j auf.

$$Uass = Sass \cdot Cmodel \qquad (B1)$$

[0075] Wenn ein Tensor, der das gemessene Kalibrierungssinogramm darstellt, durch Ucal dargestellt wird, wird E1 durch einen nachstehend angegebenen Ausdruck beschrieben. Ucal weist Abmessungen von k, r_i, and θ_j auf. Der nachfolgend angegebene Ausdruck ist eine Summe eines Quadrats eines Fehlers jedes Elements von zwei Tensoren.

$$E1 = \left|Ucal - Uass\right|^2 \qquad (B2)$$

[0076] In Schritt S305 bestimmt der Prozessor 21, ob E1 gleich oder kleiner als eine vorbestimmte Bedingung für die Konvergenz ist. Wenn E1 gleich oder kleiner als ein vorbestimmter Referenzwert ist, kehrt der Prozess zu Schritt S302 zurück. Wenn E1 den vorbestimmten Referenzwert überschreitet, geht der Prozess zu Schritt S306 über.

[0077] In Schritt S302 aktualisiert der Prozessor 21 die erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$. Der Prozessor aktualisiert die erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$ durch das Gradientenabstiegsverfahren, wie durch einen nachstehenden Ausdruck beschrieben. η ist ein Beschleunigungskoeffizient zum Bestimmen einer Geschwindigkeit, die angewendet wird, um die erwartete Systemfunktion zu aktualisieren.

$$S2_k(p) = S2_k(p) - \eta \nabla E2\left(S2_k(p)\right) \qquad (B3)$$

[0078] In Schritt S306 bestimmt der Prozessor 21 eine erwartete Systemfunktion $S2_k(p)$, die einem erwarteten Kalibrierungssinogramm entspricht, das die Bedingung für die Konvergenz als die Systemfunktion $S_k(p)$ erfüllt.

[0079] Während eine Systemfunktion im Allgemeinen eine gleichmäßige Verteilung aufweist, leitet das Festlegen einer erwarteten Systemfunktion $S2_k(p)$ ohne eine gleichmäßige Verteilung, da sie Rauschen beinhaltet, ein Ergebnis ab, das heißt, es führt das Rauschen in ein Bild einer räumlichen Verteilung ein, das als Ergebnis des Abbildens der räumlichen Verteilung erlangt wird. Dementsprechend kann die bestimmte Systemfunktion $S_k(p)$ in einer Nachbearbeitung geglättet werden oder kann eine Einschränkung in einer Konvergenzberechnung zum Bestimmen der Systemfunktion $S_k(p)$ auferlegt werden.

[0080] **Fig.** 7 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer diagnostischen Messung (oder einer Untersuchungsprobenmessung) in Schritt S107 aus **Fig.** 3.

[0081] Die Schritte S401 bis S406 in dem in **Fig.** 7 gezeigten Ablaufdiagramm werden durch den Prozessor 21 umgesetzt, der ein im RAM 25 geladenes Programm ausführt.

[0082] In Schritt S400 wird eine Untersuchungsprobe in einer Untersuchungsregion angeordnet. Die Schritte S401 bis S405 sind die gleichen Schritte wie die Schritte S201 bis S205 aus **Fig.** 4 und werden dementsprechend nicht erneut beschrieben.

[0083] In Schritt S406 verwendet der Prozessor 21 den in Schritt S404 gespeicherten Erfassungssignalsatz, um einen Prozess zum Abbilden der räumlichen Verteilung (oder die zweite Entfaltungsoperation) durchzuführen.

[0084] **Fig.** 8 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs eines Prozesses zum Abbilden einer räumlichen Verteilung in Schritt S406 aus **Fig.** 7 (oder der zweiten Entfaltungsoperation).

[0085] In Schritt S501 liefert der Prozessor 21 ein gemessenes Untersuchungssinogramm anhand des Erfassungssignalsatzes und Informationen, die die Abtastpositionen der feldfreien Region angeben, wie in Schritt S404 aus **Fig.** 7 gespeichert. Das gemessene Untersuchungssinogramm ist eine Abbildung, die die k-te harmonische Komponente $U_k(r,\theta)$ des Erfassungssignals für die Ordnung k der harmonischen Komponente, die Translationsposition r und den Winkel θ darstellt.

[0086] $U_k(r_i, \theta_j)$ wird durch eine Faltung der Systemfunktion $S_k(p)$ und der Magnetpartikelverteilung c(p) der Untersuchungsprobe dargestellt.

[0087] In Schritt S502 legt der Prozessor 21 eine erwartete Magnetpartikelverteilung c2(p) fest. In Schritt S502 wird erstmals ein vorbestimmter Anfangswert für die erwartete Magnetpartikelverteilung c2(p) festgelegt.

[0088] In Schritt S503 berechnet der Prozessor 21 eine k-te harmonische Komponente $U2_k(r,\theta)$ eines erwarteten Erfassungssignals durch eine Faltungsoperation an der erwarteten Magnetpartikelverteilung c2(p), die in Schritt S502 festgelegt wurde, und der Systemfunktion $S_k(p)$.

[0089] Der Prozessor 21 liefert ein erwartetes Untersuchungssinogramm. Das erwartete Untersuchungssinogramm ist eine Abbildung, die die k-te harmonische Komponente $U2_k(r,\theta)$ des erwarteten Erfassungssignals für die Ordnung k der harmonischen Komponente, die Translationsposition r und den Winkel θ darstellt.

[0090] In Schritt S504 berechnet der Prozessor 21 eine Summe E2 eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des gemessenen Untersuchungssinogramms und jedem Element des erwarteten Untersuchungssinogramms.

[0091] Wenn zum Beispiel ein Tensor, der die Systemfunktion $S_k(p)$ darstellt, durch S dargestellt wird und ein Tensor, der die erwartete Magnetpartikelverteilung darstellt, durch Cexp dargestellt wird, wird ein Tensor Uexp, der das erwartete Untersuchungssinogramm darstellt, durch einen nachstehend angegebenen Ausdruck beschrieben. S weist Abmessungen von k, r_i, θ_j, x, y und z auf. Cexp weist Abmessungen von x, y und z auf. Uexp weist Abmessungen von k, r_i, and θ_j auf.

$$Uexp = S \cdot Cexp \qquad (C1)$$

[0092] Wenn ein Tensor, der das gemessene Untersuchungssinogramm darstellt, durch Uins dargestellt ist, wird E2 durch einen nachfolgend angegebenen Ausdruck beschrieben. Uins weist Abmessungen von k, r_i, and θ_j auf. Der folgende Ausdruck ist eine Summe eines Quadrats eines Fehlers jedes Elements von zwei Tensoren.

$$E2 = |Uins - Uexp|^2 \qquad (C2)$$

[0093] In Schritt S505 bestimmt der Prozessor 21, ob E2 gleich oder kleiner als eine vorbestimmte Bedingung für die Konvergenz ist. Wenn E2 gleich oder kleiner als ein vorbestimmter Referenzwert ist, kehrt der Prozess zu Schritt S502 zurück. Wenn E2 den vorbestimmten Referenzwert überschreitet, geht der Prozess zu Schritt S506 über.

[0094] In Schritt S502 aktualisiert der Prozessor 21 die erwartete Magnetpartikelverteilung c2(p). Der Prozessor 21 aktualisiert die erwartete Magnetpartikelverteilung c2(p) durch das Gradientenabstiegsverfahren wie folgt:

$$c2(p) = c2(p) - \eta \nabla E2(c2(p)) \qquad (C3)$$

[0095] In Schritt S506 bestimmt der Prozessor 21 die erwartete Magnetpartikelverteilung c2(p), die die Bedingung für die Konvergenz erfüllt, als die Magnetpartikelverteilung c(p). Bei dem Bild, das die Magnetpartikelverteilung c(p) darstellt, handelt es sich um Bildgebungsdaten der räumlichen Verteilung, das heißt ein rekonstruiertes Bild.

[0096] Nachfolgend werden PTL 1 und die Unterschiede zwischen PTL 1 und der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. **Fig.** 9 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs zum Messen einer Kalibrierungsprobe gemäß PTL 1.

[0097] Das Ablaufdiagramm aus **Fig.** 9 unterscheidet sich von dem Ablaufdiagramm aus **Fig.** 4 dadurch, dass das Ablaufdiagramm aus **Fig.** 9 die Schritte S800 und S806 anstelle der Schritte S200 und S206 beinhaltet.

[0098] **Fig.** 10 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für das Anordnen einer Kalibrierungsprobe gemäß PTL 1 zeigt. Gemäß PTL 1 wird in Schritt S801 eine punktartige Kalibrierungsprobe in einer Untersu-

chungsregion an einer räumlichen Position angeordnet, die einem Pixel entspricht. Die Kalibrierungsprobe wird nacheinander um eine Breite bewegt, die einem Pixel entspricht.

[0099] **Fig.** 11 ist ein Ablaufdiagramm eines Vorgangs einer Teilroutine zum Erzeugen einer Systemfunktion gemäß PTL 1.

[0100] In Schritt S901 wird eine Symmetrie für eine Systemfunktion gelesen. In Schritt S902 werden Messsignaldaten (oder Erfassungssignaldaten) dupliziert, sodass sie mit der Symmetrie für die Systemfunktion übereinstimmen, um die Systemfunktion zu erstellen.

[0101] In Schritt S903 werden Systemfunktionsdaten ausgegeben. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Verteilung einer Kalibrierungsprobe entfaltet, und im Gegensatz zu dem Verfahren gemäß PTL 1 ist es nicht erforderlich, dass die Kalibrierungsprobe in der Größe mit einer Größe übereinstimmt, die einem Pixel eines rekonstruierten Bildes entspricht, und die Kalibrierungsprobe kann somit eine Größe aufweisen, die größer als das Pixel des rekonstruierten Bildes ist. Die eine große Größe aufweisende Kalibrierungsprobe kann mit einem großen Messsignal gemessen werden und ein ausreichendes SN-Verhältnis kann sogar in einer kurzen Messzeit erlangt werden. Folglich kann die Kalibrierungsprobe in einem kürzeren Zeitraum gemessen werden. Somit kann in der vorliegenden Ausführungsform eine periodische Inspektion eines Magnetpartikelbildgebungssystems häufiger durchgeführt werden als herkömmlich, und das Abbilden der räumlichen Verteilung wird hinsichtlich der Bildqualität verbessert.

[0102] Darüber hinaus kann in der vorliegenden Ausführungsform die Kalibrierungsprobe in demselben Vorgang gemessen werden wie eine diagnostische Messung (oder Messung einer Untersuchungsprobe). Anders ausgedrückt, ist es unnötig, die Kalibrierungsprobe an eine Position zu bewegen und an dieser anzuordnen, die einem Pixel eines rekonstruierten Bildes entspricht, und Aussteuern, um eine relative Positionsbeziehung zwischen der Kalibrierungsprobe und dem Selektionsmagnetfeld zu ändern, und Abtasten sind somit ausreichend. Wenn beispielsweise eine FFL als feldfreie Region verwendet wird, kann eine Kalibrierungsprobe in einer Untersuchungsregion gemessen werden, während die FFL translatorisch und drehend abgetastet wird. Dadurch entfällt das mechanische Abtasten der Kalibrierungsprobe und somit wird ermöglicht, dass die Kalibrierungsmessung in einem kurzen Zeitraum durchgeführt wird, und daher wird ein Antriebsmechanismus zum mechanischen Abtasten der Kalibrierungsprobe überflüssig.

[0103] Ein rekonstruiertes Bild wird im Allgemeinen durch Pixel dargestellt, die in Form eines Gitters unterteilt sind, und dementsprechend reduziert sich bei der numerischen Modellierung einer Kalibrierungsprobe unter Verwendung der Kalibrierungsprobe in Form eines viereckigen Prismas anstelle eines Zylinders ein Diskretisierungsfehler eines Endabschnitts der Kalibrierungsprobe. Die numerische Modellierung mit einem reduzierten Fehler ermöglicht es, eine Systemfunktion mit einem reduzierten Fehler zu erzeugen und somit ein Bild der räumlichen Verteilung mit einem reduzierten Fehler auszubilden.

[0104] Es versteht sich, dass die vorliegend offenbarte Ausführungsform in jeglicher Hinsicht veranschaulichend und nicht einschränkend ist. Der Umfang der vorliegenden Offenbarung ist durch den Inhalt der Ansprüche und nicht durch die vorstehende Beschreibung definiert und soll jegliche Modifikationen umfassen, die innerhalb der Bedeutung und des Umfangs liegt, die zum Inhalt der Ansprüche äquivalent sind. Für den Fachmann liegt auf der Hand, dass von den in der Ausführungsform beschriebenen Inhalten jene außer den Gegenständen, die in Anspruch 1 aufgeführt sind, nicht wesentlich sind.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0105] 2 Erregungseinrichtung, 3A erste Selektionseinrichtung, 3B zweite Selektionseinrichtung, 4 Empfänger, 5 Leistungsversorgung zum Anlegen eines Erregungsmagnetfelds, 7 erste Leistungsversorgung zum Erzeugen und Antreiben eines Selektionsmagnetfelds, 8 zweite Leistungsversorgung zum Erzeugen und Antreiben eines Selektionsmagnetfelds, 9 Filter, 10 Signalverstärker, 11 Informationsverarbeitungsvorrichtung, 21 Prozessor, 22 Anzeigeeinheit, 23 Bedieneinheit, 24 Kommunikationsschnittstelle, 25 RAM, 26 Leseeinheit, 27 interne Speichereinheit.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2012 - 510 847 A [0007]

Patentansprüche

1. Magnetpartikelbildgebungssystem zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion, umfassend:
eine Selektionseinrichtung zum Erzeugen eines Selektionsmagnetfelds, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden;
eine Erregungseinrichtung zum Bereitstellen eines Erregungsmagnetfelds, um die Magnetisierung der in dem Selektionsmagnetfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern;
einen Empfänger zum Empfangen einer Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal; und
einen Prozessor,
wobei das Erfassungssignal durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt wird,
wobei der Prozessor die Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind, berechnet,
wobei der Prozessor eine räumliche Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion erlangt.

2. Magnetpartikelbildgebungssystem nach Anspruch 1, wobei das numerische Modell eine Form der Kalibrierungsprobe und eine Konzentration der Magnetpartikel, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind, darstellt.

3. Magnetpartikelbildgebungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Kalibrierungsprobe eine Größe aufweist, die größer als eine Größe eines Pixels eines Bilds ist, das die erlangte räumliche Verteilung der Magnetpartikel darstellt.

4. Magnetpartikelbildgebungssystem nach einem der Ansprüche 1-3, wobei
die Kalibrierungsprobe ein säulenförmiger Raum ist, der mit Magnetpartikeln gefüllt ist, und
der Prozessor eine Treppenfunktion verwendet, um das numerische Modell für die Kalibrierungsprobe zu erzeugen.

5. Magnetpartikelbildgebungssystem nach einem der Ansprüche 1-3, wobei
die Kalibrierungsprobe ein Raum in Form eines viereckigen Prismas ist, der mit Magnetpartikeln gefüllt ist, und
der Prozessor eine Treppenfunktion verwendet, um das numerische Modell für die Kalibrierungsprobe zu erzeugen.

6. Magnetpartikelbildgebungssystem nach einem der Ansprüche 1-5, wobei der Prozessor die erste Entfaltungsoperation unter Verwendung eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals durchführt, das gesammelt wird, während das Selektionsmagnetfeld relativ zur Kalibrierungsprobe in der Position verändert wird, wenn die Kalibrierungsprobe an einer Stelle in der Untersuchungsregion stehen gelassen wird, wobei das relative Ändern der Position des Selektionsmagnetfelds das drehende Abtasten des Selektionsmagnetfelds beinhaltet.

7. Magnetpartikelbildgebungssystem nach einem der Ansprüche 1-6, wobei der Prozessor die erste Entfaltungsoperation durch Aktualisieren einer erwarteten Systemfunktion durchführt, sodass sich eine Summe eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des Datensatzes des ersten Erfassungssignals und jedem Element eines Datensatzes eines ersten erwarteten Erfassungssignals, das durch eine Faltungsoperation an der erwarteten Systemfunktion und dem numerischen Modell für die Kalibrierungsprobe erlangt wird, verringert.

8. Magnetpartikelbildgebungssystem nach einem der Ansprüche 1-7, wobei der Prozessor die zweite Entfaltungsoperation durch Aktualisieren einer erwarteten Magnetpartikelverteilung durchführt, sodass sich eine Summe eines Quadrats eines Fehlers zwischen jedem Element des Datensatzes des zweiten Erfassungssignals und jedem Element eines Datensatzes eines zweiten erwarteten Erfassungssignals, das

durch eine Faltungsoperation an der Systemfunktion, die durch eine erste Entfaltungsoperation berechnet wurde, und der erwarteten Magnetpartikelverteilung erlangt wird, verringert.

9. Magnetpartikelbildgebungsverfahren zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion, umfassend:
Erzeugen, durch eine Selektionseinrichtung, eines Selektionsmagnetfelds, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden;
Bereitstellen, durch eine Erregungseinrichtung, eines Erregungsmagnetfelds, um die Magnetisierung der in dem Selektionsmagnetfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern; und
Empfangen, durch einen Empfänger, einer Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal, wobei das Erfassungssignal durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt wird, wobei das Magnetpartikelbildgebungsverfahren Folgendes beinhaltet:
Berechnen, durch einen Prozessor, der Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind; und
Erlangen, durch den Prozessor, einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.

10. Magnetpartikelbildgebungsprogramm zur Verwendung in einem Magnetpartikelbildgebungssystem zum Abbilden einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln in einer Untersuchungsregion,
wobei das Magnetpartikelbildgebungssystem ein Selektionsmagnetfeld erzeugt, das ein räumliches Muster der Magnetfeldstärke aufweist, um in der Untersuchungsregion eine erste Teilregion, die eine geringe Magnetfeldstärke aufweist, und eine zweite Teilregion, die eine höhere Magnetfeldstärke aufweist, auszubilden, wobei das System ein Erregungsmagnetfeld bereitstellt, um die Magnetisierung der in dem Selektionsmagnetfeld vorhandenen Magnetpartikel zu ändern, wobei das System eine Änderung der Magnetisierung der durch das Erregungsmagnetfeld erregten Magnetpartikel als ein Erfassungssignal empfängt, wobei das Magnetpartikelbildgebungssystem einen Prozessor umfasst, wobei das Erfassungssignal durch eine Faltung einer räumlichen Verteilung der Magnetpartikel und einer Systemfunktion dargestellt wird,
wobei das Magnetpartikelbildgebungsprogramm den Prozessor dazu veranlasst, Folgendes durchzuführen:
Berechnen der Systemfunktion durch eine erste Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines ersten Erfassungssignals, das erlangt wird, während eine Kalibrierungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und eines numerischen Modells einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in der Kalibrierungsprobe beinhaltet sind; und
Erlangen einer räumlichen Verteilung von Magnetpartikeln, die in einer Untersuchungsprobe beinhaltet sind, durch eine zweite Entfaltungsoperation auf Grundlage eines Datensatzes eines zweiten Erfassungssignals, das erlangt wird, während die Untersuchungsprobe in der Untersuchungsregion angeordnet ist, und der Systemfunktion.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

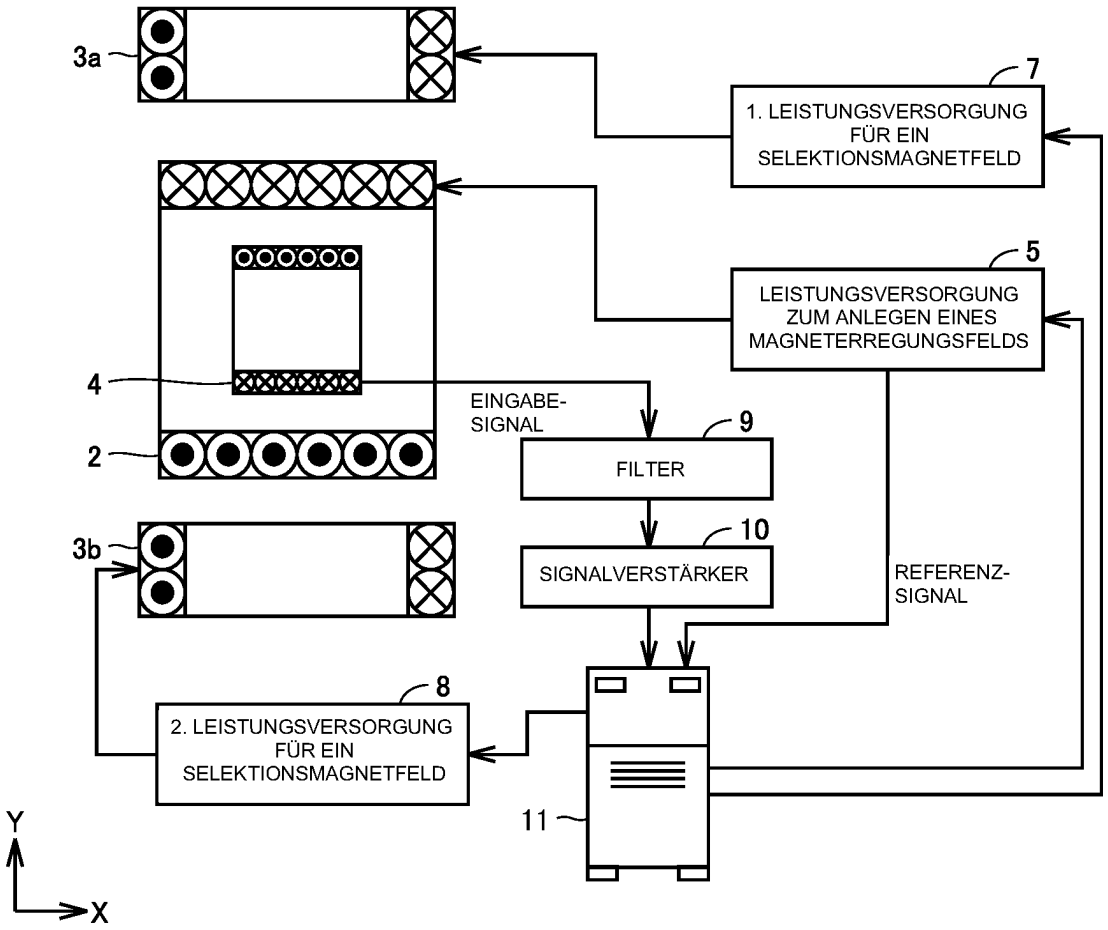


FIG.2

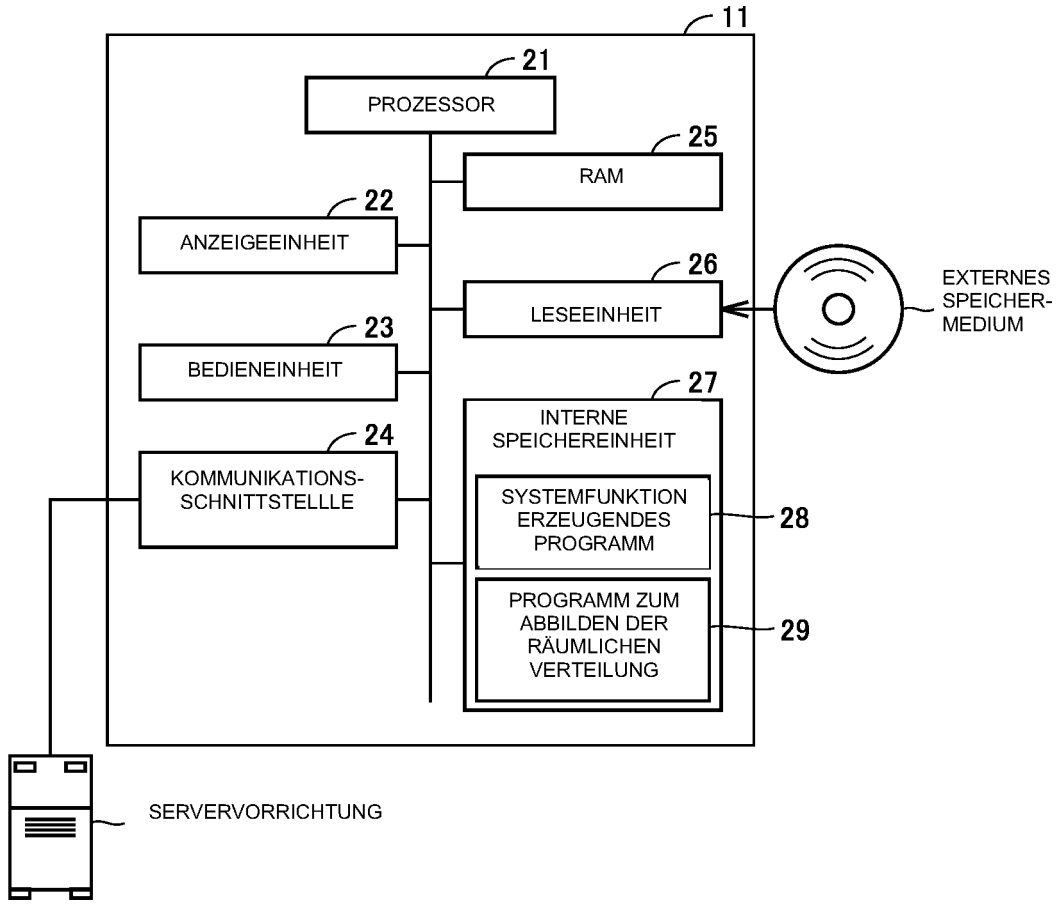

11
21
PROZESSOR
25
RAM
22
ANZEIGEEINHEIT
26
LESEEINHEIT
EXTERNES SPEICHER-MEDIUM
23
BEDIENEINHEIT
27
INTERNE SPEICHEREINHEIT
24
KOMMUNIKATIONS-SCHNITTSTELLLE
SYSTEMFUNKTION ERZEUGENDES PROGRAMM
28
PROGRAMM ZUM ABBILDEN DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG
29
SERVERVORRICHTUNG

FIG.3

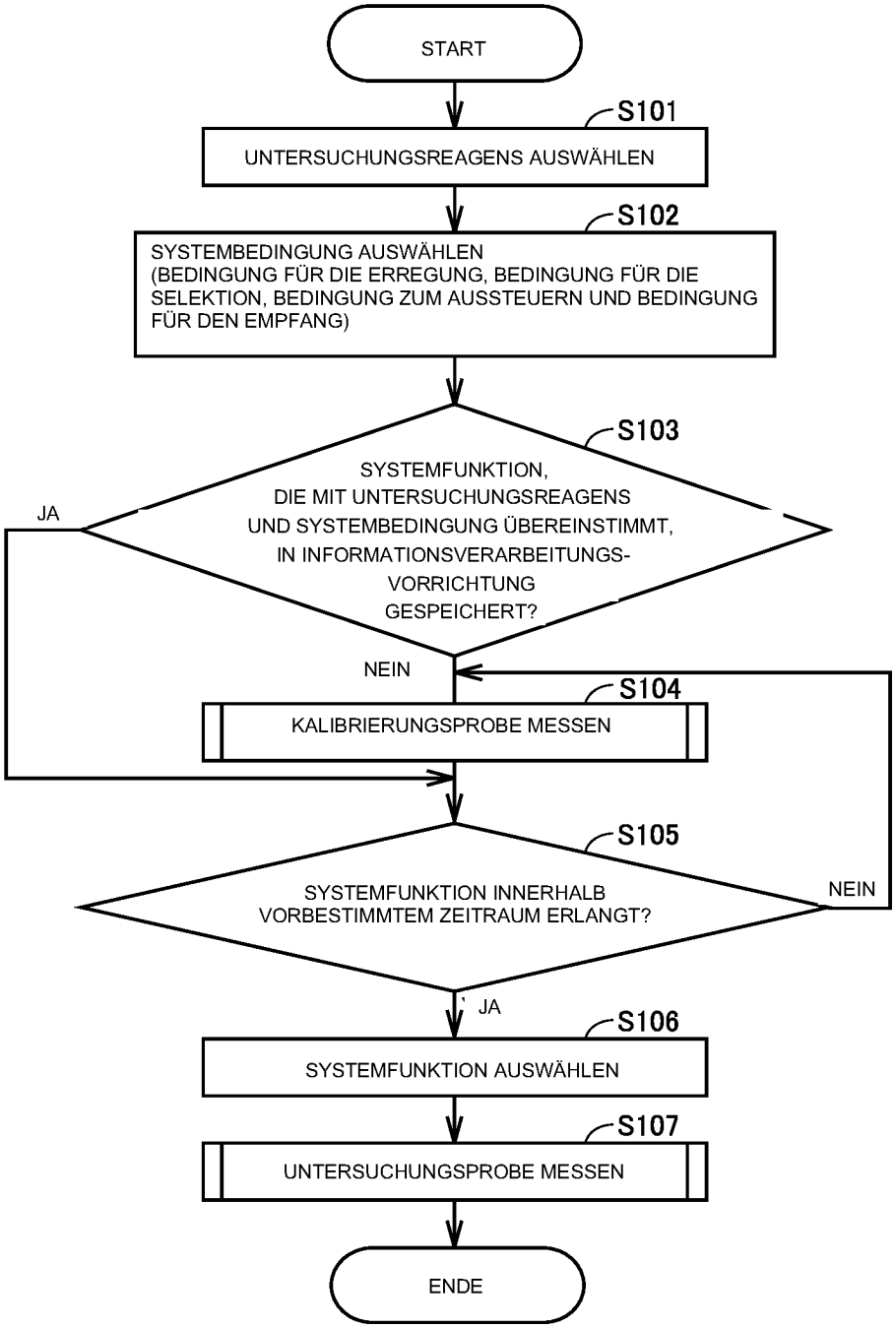

START
S101
UNTERSUCHUNGSREAGENS AUSWÄHLEN
S102
SYSTEMBEDINGUNG AUSWÄHLEN
(BEDINGUNG FÜR DIE ERREGUNG, BEDINGUNG FÜR DIE SELEKTION, BEDINGUNG ZUM AUSSTEUERN UND BEDINGUNG FÜR DEN EMPFANG)
S103
SYSTEMFUNKTION, DIE MIT UNTERSUCHUNGSREAGENS UND SYSTEMBEDINGUNG ÜBEREINSTIMMT, IN INFORMATIONSVERARBEITUNGS-VORRICHTUNG GESPEICHERT?
JA
NEIN
S104
KALIBRIERUNGSPROBE MESSEN
S105
SYSTEMFUNKTION INNERHALB VORBESTIMMTEM ZEITRAUM ERLANGT?
NEIN
JA
S106
SYSTEMFUNKTION AUSWÄHLEN
S107
UNTERSUCHUNGSPROBE MESSEN
ENDE

FIG.4

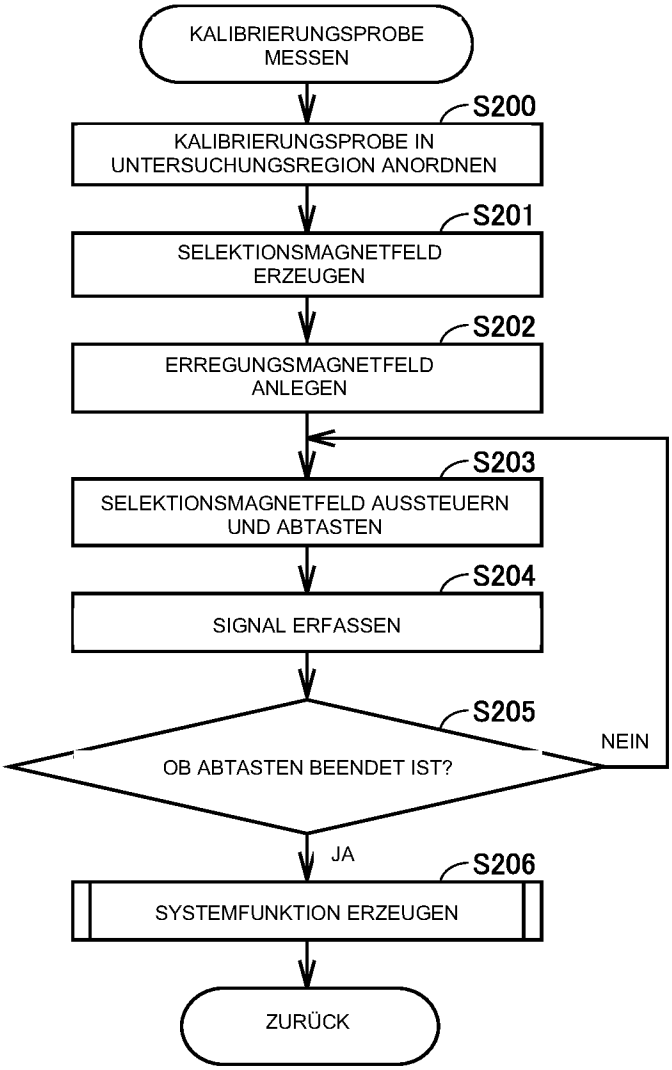

KALIBRIERUNGSPROBE MESSEN
S200
KALIBRIERUNGSPROBE IN UNTERSUCHUNGSREGION ANORDNEN
S201
SELEKTIONSMAGNETFELD ERZEUGEN
S202
ERREGUNGSMAGNETFELD ANLEGEN
S203
SELEKTIONSMAGNETFELD AUSSTEUERN UND ABTASTEN
S204
SIGNAL ERFASSEN
S205
OB ABTASTEN BEENDET IST?
NEIN
JA
S206
SYSTEMFUNKTION ERZEUGEN
ZURÜCK

FIG.5

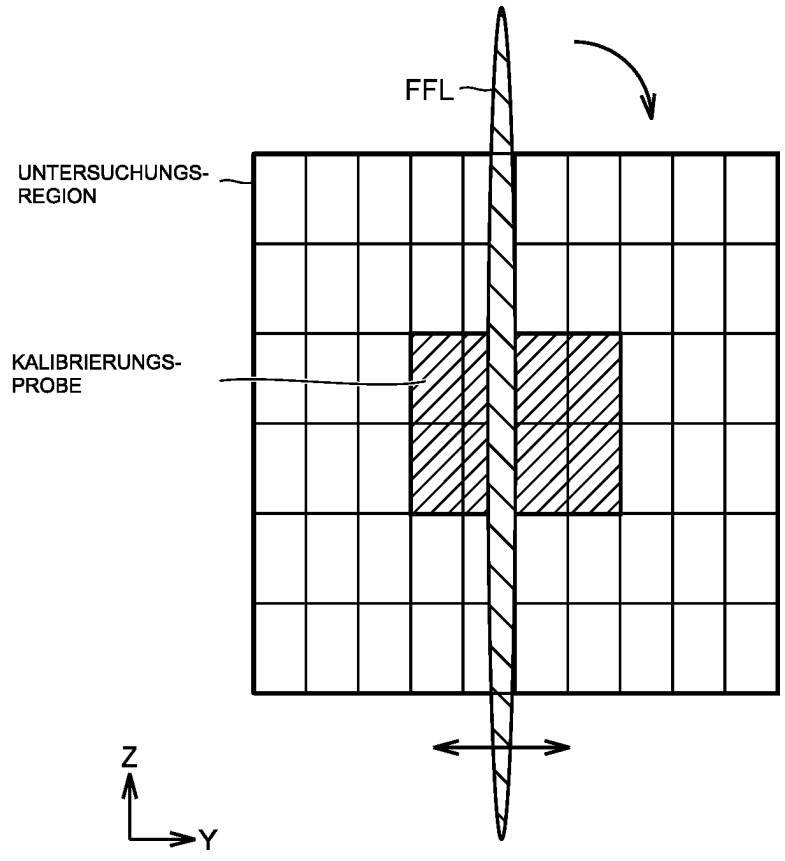


FIG.6

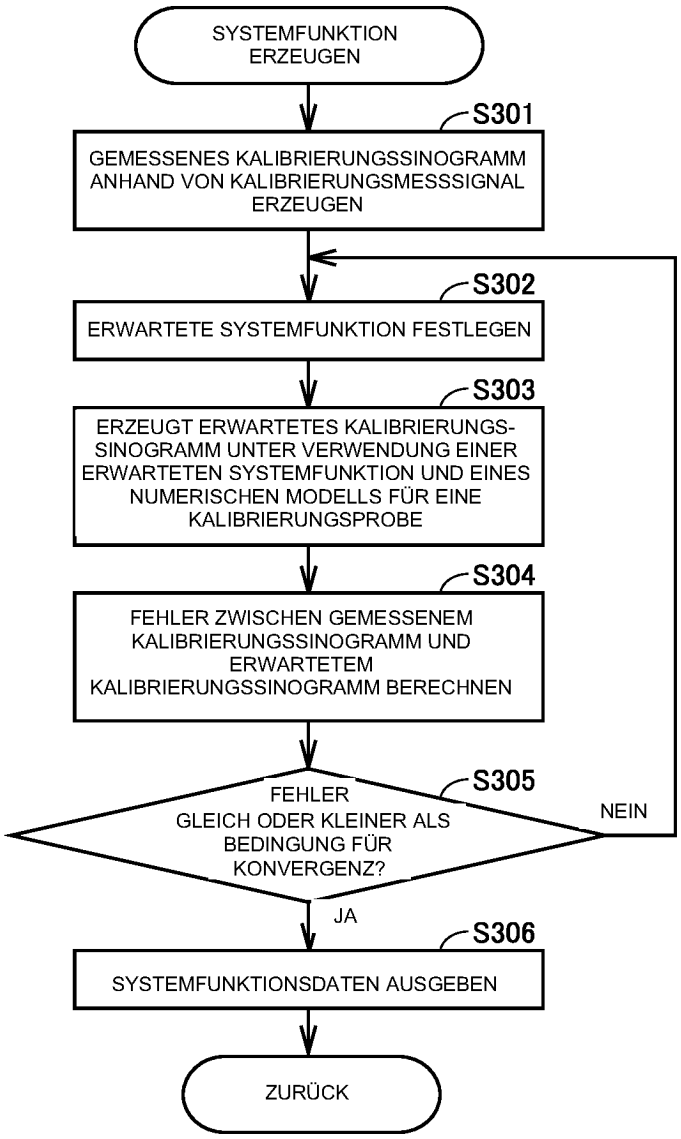

SYSTEMFUNKTION ERZEUGEN
S301
GEMESSENES KALIBRIERUNGSSINOGRAMM ANHAND VON KALIBRIERUNGSMESSSIGNAL ERZEUGEN
S302
ERWARTETE SYSTEMFUNKTION FESTLEGEN
S303
ERZEUGT ERWARTETES KALIBRIERUNGS-SINOGRAMM UNTER VERWENDUNG EINER ERWARTETEN SYSTEMFUNKTION UND EINES NUMERISCHEN MODELLS FÜR EINE KALIBRIERUNGSPROBE
S304
FEHLER ZWISCHEN GEMESSENEM KALIBRIERUNGSSINOGRAMM UND ERWARTETEM KALIBRIERUNGSSINOGRAMM BERECHNEN
S305
FEHLER GLEICH ODER KLEINER ALS BEDINGUNG FÜR KONVERGENZ?
NEIN
JA
S306
SYSTEMFUNKTIONSDATEN AUSGEBEN
ZURÜCK

FIG.7

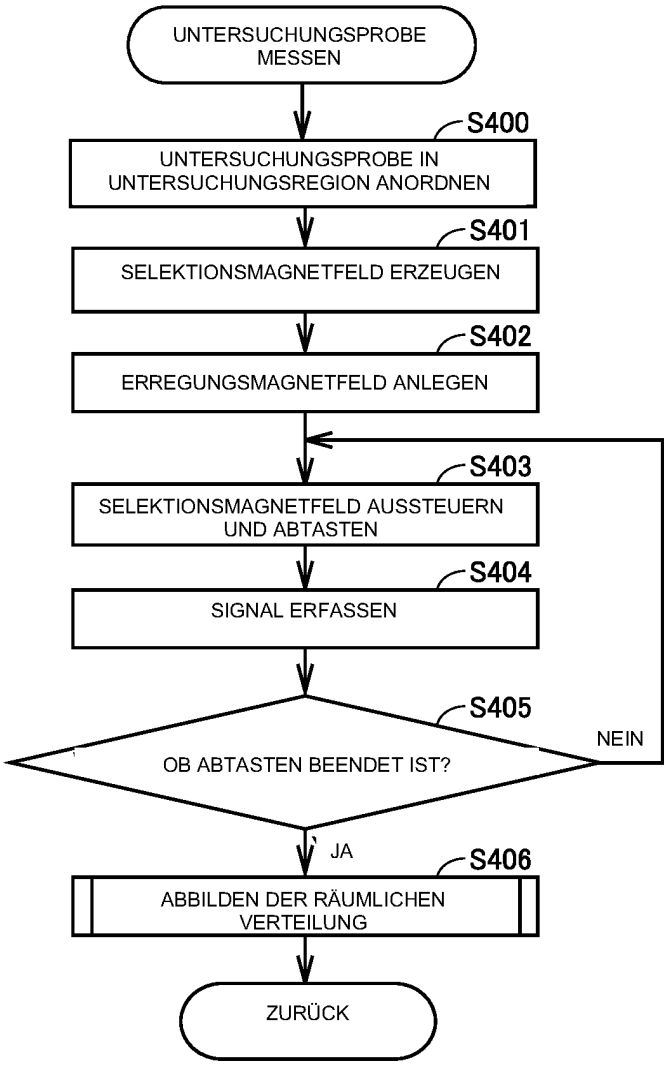

UNTERSUCHUNGSPROBE MESSEN
S400
UNTERSUCHUNGSPROBE IN UNTERSUCHUNGSREGION ANORDNEN
S401
SELEKTIONSMAGNETFELD ERZEUGEN
S402
ERREGUNGSMAGNETFELD ANLEGEN
S403
SELEKTIONSMAGNETFELD AUSSTEUERN UND ABTASTEN
S404
SIGNAL ERFASSEN
S405
OB ABTASTEN BEENDET IST?
NEIN
JA
S406
ABBILDEN DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG
ZURÜCK

FIG.8

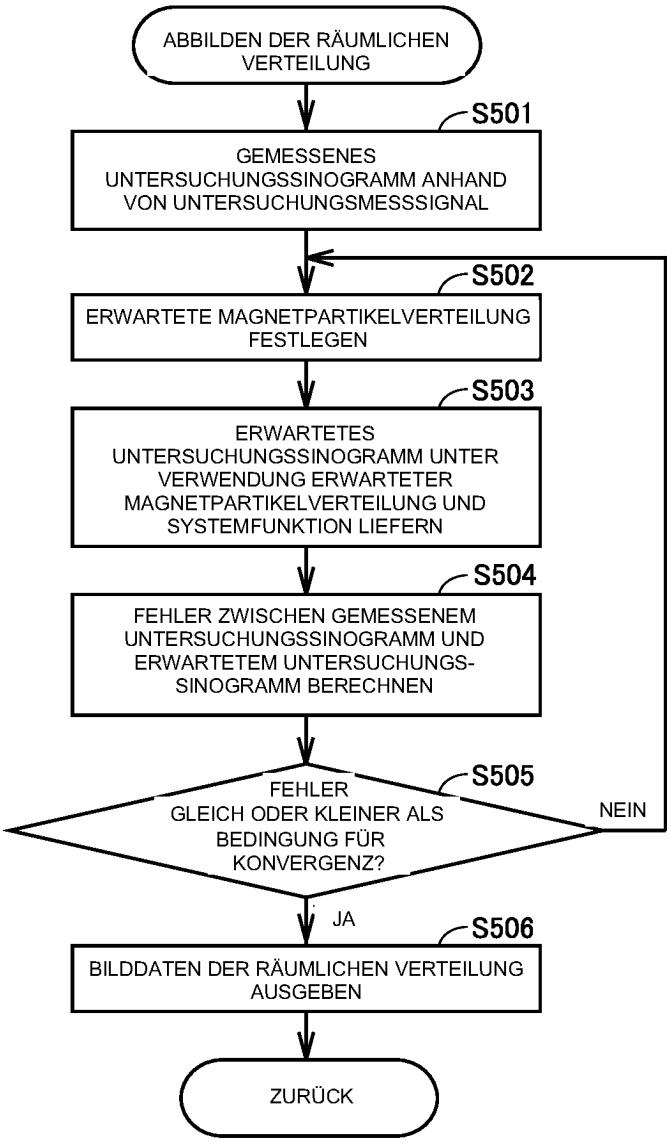

ABBILDEN DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG
S501
GEMESSENES UNTERSUCHUNGSSINOGRAMM ANHAND VON UNTERSUCHUNGSMESSSIGNAL
S502
ERWARTETE MAGNETPARTIKELVERTEILUNG FESTLEGEN
S503
ERWARTETES UNTERSUCHUNGSSINOGRAMM UNTER VERWENDUNG ERWARTETER MAGNETPARTIKELVERTEILUNG UND SYSTEMFUNKTION LIEFERN
S504
FEHLER ZWISCHEN GEMESSENEM UNTERSUCHUNGSSINOGRAMM UND ERWARTETEM UNTERSUCHUNGS-SINOGRAMM BERECHNEN
S505
FEHLER GLEICH ODER KLEINER ALS BEDINGUNG FÜR KONVERGENZ?
NEIN
JA
S506
BILDDATEN DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG AUSGEBEN
ZURÜCK

FIG.9

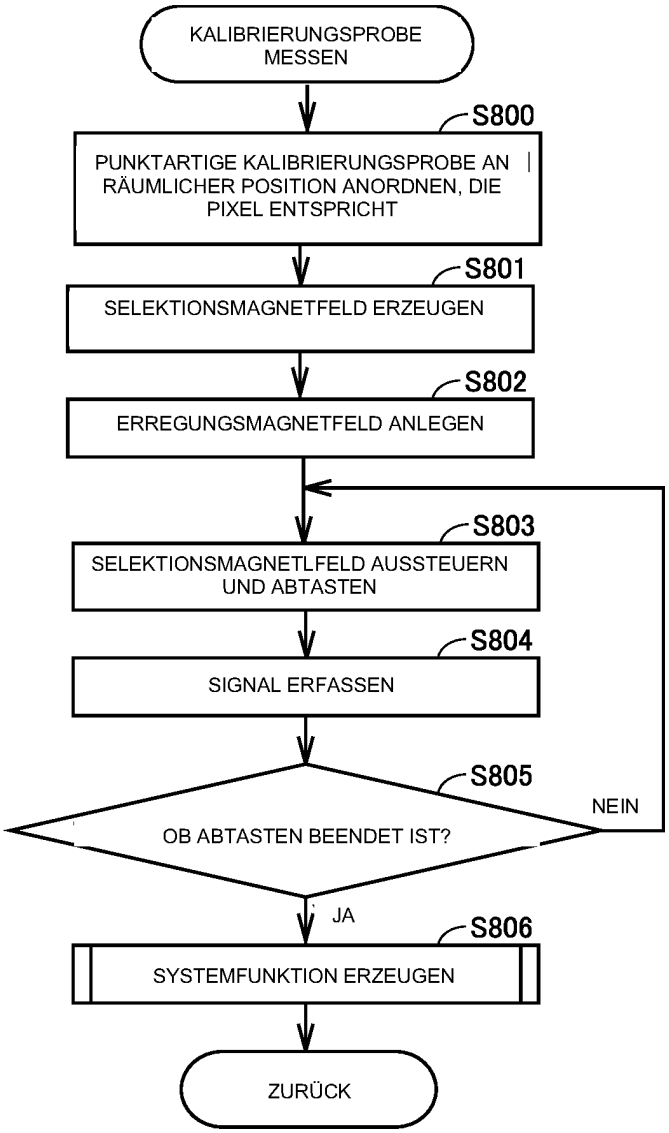

KALIBRIERUNGSPROBE MESSEN
S800
PUNKTARTIGE KALIBRIERUNGSPROBE AN RÄUMLICHER POSITION ANORDNEN, DIE PIXEL ENTSPRICHT
S801
SELEKTIONSMAGNETFELD ERZEUGEN
S802
ERREGUNGSMAGNETFELD ANLEGEN
S803
SELEKTIONSMAGNETLFELD AUSSTEUERN UND ABTASTEN
S804
SIGNAL ERFASSEN
S805
OB ABTASTEN BEENDET IST?
NEIN
JA
S806
SYSTEMFUNKTION ERZEUGEN
ZURÜCK

FIG.10

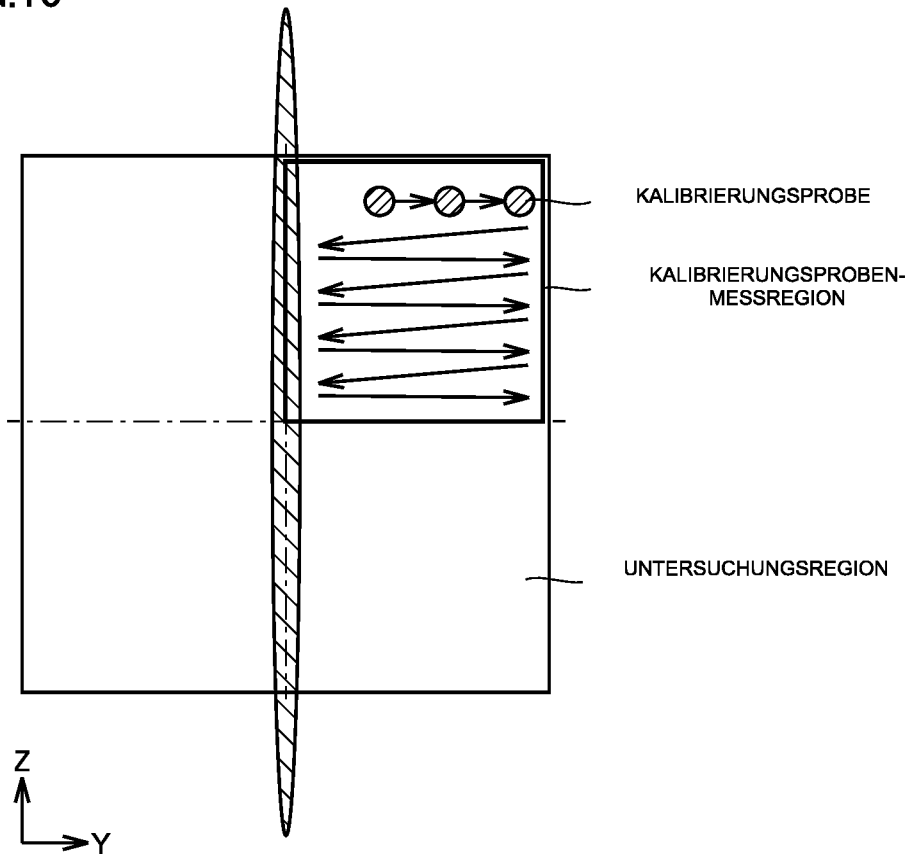
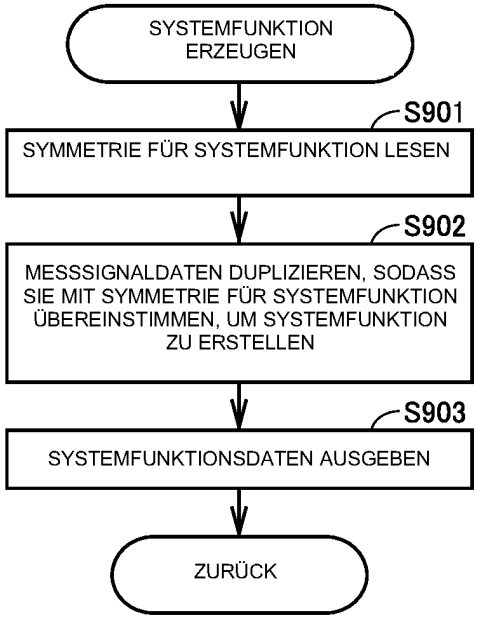

KALIBRIERUNGSPROBE
KALIBRIERUNGSPROBEN-
MESSREGION
UNTERSUCHUNGSREGION
Z
Y

FIG.11



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.