

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7170553号
(P7170553)

(45)発行日 令和4年11月14日(2022.11.14)

(24)登録日 令和4年11月4日(2022.11.4)

(51)国際特許分類	F I			
G 1 1 B	5/29 (2006.01)	G 1 1 B	5/29	L
G 1 1 B	5/012(2006.01)	G 1 1 B	5/012	
G 1 1 B	5/31 (2006.01)	G 1 1 B	5/29	A
		G 1 1 B	5/31	L

請求項の数 8 (全29頁)

(21)出願番号	特願2019-16893(P2019-16893)	(73)特許権者	000003078
(22)出願日	平成31年2月1日(2019.2.1)		株式会社東芝
(65)公開番号	特開2020-126703(P2020-126703 A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43)公開日	令和2年8月20日(2020.8.20)	(73)特許権者	317011920
審査請求日	令和3年8月26日(2021.8.26)		東芝デバイス&ストレージ株式会社
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74)代理人	110001737弁理士法人スズエ国際特許事務所
		(72)発明者	前東 信宏
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内
		審査官	川中 龍太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気ディスク装置及びリード処理方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ディスクと、
前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第1リードヘッド及び第2リードヘッドとを有するヘッドと、
前記ディスクの第1領域の第1トラックをリードする場合に前記第1リードヘッド及び前記第2リードヘッドの中間部を前記第1トラックの第1トラックセンタに位置決めし、前記第1領域と異なる前記ディスクの第2領域の第2トラックをリードする場合に前記第1リードヘッド及び前記第2リードヘッドの内のいずれか一方を前記第2トラックの第2トラックセンタに位置決めする、コントローラと、を備え、
前記コントローラは、前記第1領域で前記中間部を前記第1トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第1領域で前記第1リードヘッド及び前記第2リードヘッドの内のいずれか一方を前記第1トラックセンタに位置決めする、磁気ディスク装置。

【請求項2】

前記コントローラは、前記第1領域で前記中間部を前記第1トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第1領域で前記第1リードヘッド及び前記第2リードヘッドの内のいずれか一方を前記第1トラックセンタに位置決めした後に前記第1リードヘッド及び前記第2リードヘッドの内のもう一方を前記第1トラックセンタに位置決めする、請求項1に記載の磁気ディスク装置。

【請求項 3】

前記コントローラは、前記第 2 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 2 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のもう一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めする、請求項 1 に記載の磁気ディスク装置。

【請求項 4】

前記コントローラは、前記第 1 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 3 トラックを有する前記第 1 領域において前記中間部を前記第 3 トラックの第 3 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の小さい一方を前記第 3 トラックセンタに位置決めする、請求項 1 に記載の磁気ディスク装置。

10

【請求項 5】

前記コントローラは、前記第 2 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 4 トラックを有する前記第 2 領域において前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の大きい一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めする、請求項 1 に記載の磁気ディスク装置。

【請求項 6】

前記コントローラは、前記第 2 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 4 トラックを有する前記第 2 領域において前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の小さい一方を前記第 4 トラックの第 4 トラックセンタに位置決めする、請求項 1 に記載の磁気ディスク装置。

20

【請求項 7】

前記第 2 領域は、前記第 1 リードヘッドと前記第 2 リードヘッドとの前記ディスクの半径方向のヘッド間隔が前記第 1 領域よりも大きい、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の磁気ディスク装置。

【請求項 8】

ディスクと、前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第 1 リードヘッド及び第 2 リードヘッドとを有するヘッドと、を備える磁気ディスク装置に適用されるリード処理方法であって、

前記ディスクの第 1 領域の第 1 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの中間部を前記第 1 トラックの第 1 トラックセンタに位置決めし、

30

前記第 1 領域と異なる前記ディスクの第 2 領域の第 2 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックの第 2 トラックセンタに位置決めし、

前記第 1 領域で前記中間部を前記第 1 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めする、リード処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、磁気ディスク装置及びリード処理方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年、複数のリードヘッドを含むヘッドを有する 2 次元記録 (Two-Dimensional Magnetic Recording : TDMR) 方式の磁気ディスク装置が開発されている。TDMR 方式の磁気ディスク装置では、ヘッドのスキュー角に応じて複数のリードヘッドのトラックに交差する方向の間隔 (クロストラック間隔 : CTS) が変化する。そのため、TDMR 方式の磁気ディスク装置では、ディスクにライトされたデータをリードするためにヘッドを適切に位置決めする必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 3 】

【文献】米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 1 4 4 7 6 4 号明細書

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 7 0 6 7 6 号明細書

米国特許第 9 2 4 5 5 5 6 号明細書

特開 2 0 1 6 - 1 1 0 6 8 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

本発明の実施形態が解決しようとする課題は、リード処理性能を向上することが可能な磁気ディスク装置及びリード処理方法を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本実施形態に係る磁気ディスク装置は、ディスクと、前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第 1 リードヘッド及び第 2 リードヘッドとを有するヘッドと、前記ディスクの第 1 領域の第 1 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの中間部を前記第 1 トラックの第 1 トラックセンタに位置決めし、前記第 1 領域と異なる前記ディスクの第 2 領域の第 2 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックの第 2 トラックセンタに位置決めする、コントローラと、を備え、前記コントローラは、前記第 1 領域で前記中間部を前記第 1 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めする。

20

【 0 0 0 6 】

本実施形態に係るリード処理方法は、ディスクと、前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第 1 リードヘッド及び第 2 リードヘッドとを有するヘッドと、を備える磁気ディスク装置に適用されるリード処理方法であって、前記ディスクの第 1 領域の第 1 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの中間部を前記第 1 トラックの第 1 トラックセンタに位置決めし、前記第 1 領域と異なる前記ディスクの第 2 領域の第 2 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックの第 2 トラックセンタに位置決めし、前記第 1 領域で前記中間部を前記第 1 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めする。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】図 1 は、第 1 実施形態に係る磁気ディスク装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】図 2 は、第 1 実施形態に係るディスクに対するヘッドの配置の一例を示す模式図である。

【図 3】図 3 は、リードヘッドを基準位置に位置決めした場合のライトヘッドと 2 つのリードヘッドとの幾何学的配置の一例を示す模式図である。

40

【図 4】図 4 は、リードヘッドを半径位置に位置決めした場合のライトヘッドと 2 つのリードヘッドとの幾何学的配置の一例を示す図である。

【図 5】図 5 は、第 1 実施形態に係る R / W チャンネル 5 0 及び M P U 6 0 の構成例を示すブロック図である。

【図 6】図 6 は、クロストラック間隔が所定の値以下であるディスクの所定の領域に位置する対象トラックにヘッドを位置決めした場合の中間部 M P に対するリードヘッドの半径方向のオフセット量とこの対象トラックにヘッドを位置決めして対象トラックをリードした場合のエラーレートとの関係の一例を示す図である。

【図 7】図 7 は、図 6 に対応するリードヘッドの配置の一例を示す図である。

50

【図 8】図 8 は、クロストラック間隔が所定の値よりも大きいディスクの所定の領域に位置する対象トラックにヘッドを位置決めした場合の中間部に対するリードヘッドの半径方向のオフセット量とこの対象トラックにヘッドを位置決めして対象トラックをリードした場合のエラーレートとの関係の一例を示す図である。

【図 9】図 9 は、図 8 に対応するリードヘッドの配置の一例を示す図である。

【図 10】図 10 は、図 8 に対応するリードヘッドの配置の一例を示す図である。

【図 11】図 11 は、第 1 実施形態に係るクロストラック間隔とリード/ライトオフセットとの関係の一例を示す図である。

【図 12】図 12 は、第 1 実施形態に係るリード処理の一例を示すフローチャートである。

【図 13】図 13 は、第 2 実施形態に係るリードヘッドの配置の一例を示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、実施の形態について図面を参照して説明する。なお、図面は、一例であって、発明の範囲を限定するものではない。

(第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態に係る磁気ディスク装置 1 の構成を示すブロック図である。

磁気ディスク装置 1 は、後述するヘッドディスクアセンブリ (HDA) と、ドライバ IC 20 と、ヘッドアンプ集積回路 (以下、ヘッドアンプ IC、又はプリアンプ) 30 と、揮発性メモリ 70 と、バッファメモリ (バッファ) 80 と、不揮発性メモリ 90 と、1 チップの集積回路であるシステムコントローラ 130 とを備える。また、磁気ディスク装置 1 は、ホストシステム (ホスト) 100 と接続される。磁気ディスク装置 1 は、例えば、2 次元記録 (Two-Dimensional Magnetic Recording : TDMR) 方式の磁気ディスク装置である。

20

【0009】

HDA は、磁気ディスク (以下、ディスク) 10 と、スピンドルモータ (SPM) 12 と、ヘッド 15 を搭載しているアーム 13 と、ボイスコイルモータ (VCM) 14 とを有する。ディスク 10 は、スピンドルモータ 12 に取り付けられ、スピンドルモータ 12 の駆動により回転する。アーム 13 及び VCM 14 は、アクチュエータを構成している。アクチュエータは、VCM 14 の駆動により、アーム 13 に搭載されているヘッド 15 をディスク 10 の所定の位置まで移動制御する。ディスク 10 およびヘッド 15 は、2 つ以上の数が設けられてもよい。以下、磁気ディスク装置 1 の各部又は外部機器、例えば、ホスト 100 から転送されてディスク 10 にライトしたデータをライトデータと称し、磁気ディスク装置 1 の各部又は外部機器、例えば、ホスト 100 に転送されるディスク 10 からリードされたデータをリードデータと称する場合もある。

30

【0010】

ディスク 10 は、その記録領域に、ユーザから利用可能なユーザデータ領域 10a と、システム管理に必要な情報をライトするシステムエリア 10b とが割り当てられている。以下、ディスク 10 の円周、つまり、ディスク 10 の所定のトラックに沿う方向を円周方向と称し、円周方向に交差する方向を半径方向と称する。以下、ディスク 10 の所定の円周方向の位置を円周位置と称し、ディスク 10 の所定の半径方向の位置を半径位置と称する。また、ディスク 10 のトラックにライトされたデータ、ディスク 10 の所定の半径位置、ディスク 10 の所定のトラックの半径方向の幅 (以下、単に、トラック幅と称する) の中心位置 (以下、トラックセンタと称する)、及びディスク 10 の所定のトラックのトラック幅内の所定の半径位置等を単にトラックと称する場合もある。

40

【0011】

ヘッド 15 は、スライダを本体として、当該スライダに実装されているライトヘッド 15W とリードヘッド 15R とを備える。ライトヘッド 15W は、ディスク 10 にデータをライトする。リードヘッド 15R は、ディスク 10 に記録されているデータをリードする。リードヘッド 15R は、複数のリードヘッド、例えば、2 つのリードヘッド 15R1、15R2 を有している。リードヘッド 15R1 は、例えば、ライトヘッド 15W から最も

50

離れた位置に設けられている。リードヘッド15R2は、例えば、ライトヘッド15Wからリードヘッド15R1の次に離れた位置に設けられている。言い換えると、リードヘッド15R2は、ライトヘッド15W及びリードヘッド15R1の間に位置している。なお、リードヘッド15Rは、3つ以上のリードヘッドを有していてもよい。以下、複数のリードヘッド、例えば、2つのリードヘッド15R1、15R2をまとめてリードヘッド15Rと称する場合もあるし、複数のリードヘッド、例えば、リードヘッド15R1及び15R2のいずれか1つを単にリードヘッド15Rと称する場合もある。

【0012】

図2は、本実施形態に係るディスク10に対するヘッド15の配置の一例を示す模式図である。図2に示すように、半径方向においてディスク10の外周に向かう方向を外方向（外側）と称し、外方向と反対方向を内方向（内側）と称する。また、図2に示すように、円周方向において、ディスク10の回転する方向を回転方向と称する。なお、図2に示した例では、回転方向は、時計回りで示しているが、逆向き（反時計回り）であってもよい。図2において、ユーザデータ領域10aは、内方向に位置する内周領域IRと、外方向に位置する外周領域ORと、内周領域IRと外周領域ORとの間に位置する中周領域MRとに区分されている。図2に示した例では、半径位置IRP、半径位置RPO、及び半径位置ORPを示している。半径位置IRPは、半径位置RPOよりも内方向の位置であり、半径位置ORPは、半径位置RPOよりも外方向の位置である。図2に示した例では、半径位置RPOは、中周領域MRに含まれ、半径位置ORPは、外周領域ORに含まれ、半径位置IRPは、内周領域IRに含まれている。なお、半径位置RPOは、外周領域ORに含まれていてもよいし、内周領域IRに含まれていてもよい。半径位置IRP及びORPは、それぞれ、中周領域MRに含まれていてもよい。図2において、半径位置IRPは、内周領域IRの所定のトラックのトラックセンタIILに相当し、半径位置RPOは、中周領域MRの所定のトラックのトラックセンタILOに相当し、半径位置ORPは、外周領域ORの所定のトラックのトラックセンタOILに相当する。トラックセンタIILは、所定のトラック、例えば、内周領域IRの所定のトラックにおけるヘッド15の目標とする軌跡又は経路（以下、目標軌跡又は目標経路と称する場合もある）に相当する。トラックセンタILOは、所定のトラック、例えば、中周領域MRの所定のトラックにおけるヘッド15の目標経路に相当する。トラックセンタOILは、所定のトラック、例えば、外周領域ORの所定のトラックにおけるヘッド15の目標経路に相当する。トラックセンタIIL、ILO、及びOILは、ディスク10に対して同心円状に位置している。例えば、トラックセンタIIL、ILO、及びOILは、真円状に位置している。なお、トラックセンタIIL、ILO、及びOILは、円状でなくてもよく、ディスク10の半径方向に変動する波状に位置していてもよい。

【0013】

ディスク10は、複数のサーボパターンSVを有している。以下、サーボパターンSVをサーボセクタやサーボ領域と称する場合もある。複数のサーボパターンSVは、ディスク10の半径方向に放射状に延出して円周方向に所定の間隔を空けて離散的に配置されている。サーボパターンSVは、ヘッド15をディスク10の所定の半径位置に位置決めするためのサーボデータなどを含んでいる。以下、サーボセクタSV以外のユーザデータ領域10aにライトされているサーボデータ以外のデータをユーザデータと称する場合もある。

サーボデータは、例えば、サーボマーク（Servo Mark）、アドレスデータ、及びバーストデータ等を含んでいる。アドレスデータは、所定のトラックのアドレス（シリンダアドレス）と、所定のトラックのサーボセクタのアドレスとから構成される。バーストデータは、所定のトラックのトラックセンタに対するヘッド15の半径方向の位置ずれ（位置誤差）を検出するために使用されるデータ（相対位置データ）であり、所定の周期の繰返しパターンから構成される。バーストデータは、例えば、所定のトラックからこのトラックの半径方向に隣接するトラックに跨って千鳥状にライトされている。

【0014】

10

20

30

40

50

ヘッド15が半径位置R P 0に位置する場合、スキュー角は、例えば、 0° となる。以下、半径位置R P 0を基準位置R P 0と称する場合もある。ヘッド15が半径位置O R Pに位置する場合、スキュー角は、例えば、正の値となる。ヘッド15が半径方向において基準位置R P 0から外方向に移動するに従って、スキュー角は、正の値が増大する。ヘッド15が半径位置I R Pに位置する場合、スキュー角は、例えば、負の値となる。ヘッド15が半径方向において基準位置R P 0から内方向に移動するに従って、スキュー角は、負の値が減少する。なお、ヘッド15が半径位置O R Pに位置する場合、スキュー角が負の値であってもよい。また、ヘッド15が半径位置I R Pに位置する場合、スキュー角が正の値であってもよい。

【0015】

図3は、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に位置決めした場合のライトヘッド15 Wと2つのリードヘッド15 R 1、15 R 2との幾何学的配置の一例を示す模式図である。以下、リードヘッド15 R 1の位置を基準としてヘッド15におけるライトヘッド15 Wと2つのリードヘッド15 R 1、15 R 2との幾何学的配置を説明する。図3には、ライトヘッド15 Wの中心部W Cと、リードヘッド15 R 1の中心部R C 1と、リードヘッド15 R 2の中心部R C 2と、リードヘッド15 R 1の中心部R C 1とリードヘッド15 R 2の中心部R C 2との間に位置する中間部M Pとを示している。以下、リードヘッド15 R 1の中心部R C 1とリードヘッド15 R 2の中心部R C 2との間の円周方向の間隔をダウントラック間隔(Down Track Separation:DTS)と称する場合もある。リードヘッド15 R 1の中心部R C 1とリードヘッド15 R 2の中心部R C 2との間の半径方向の間隔をクロストラック間隔(Cross Track Separation:CTS)又はヘッド間隔と称する場合もある。リードヘッド15 Rとライトヘッド15 Wとの半径方向の間隔、例えば、リードヘッド15 R 1、15 R 2の中心部R C 1、R C 2とライトヘッド15 Wとの間の半径方向の間隔と中間部M Pとライトヘッド15 Wとの間の半径方向の間隔とをリード/ライトオフセットと称する場合もある。以下、説明の便宜上、「ライトヘッドの中心部」及び「ライトヘッドの各部」を単に「ライトヘッド」と称し、「リードヘッドの中心部」、「複数のリードヘッドの内の2つのリードヘッドの中間部」、及び「リードヘッドの各部」を単に「リードヘッド」と称する場合もある。

【0016】

図3に示した例では、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、ライトヘッド15 W、リードヘッド15 R 1、リードヘッド15 R 2、及び中間部M Pは、円周方向に沿って並んでいる。この場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、半径方向にずれていない。つまり、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合のクロストラック間隔C T S 0は、0である。また、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、リードヘッド15 R 1及びライトヘッド15 Wと、リードヘッド15 R 2及びライトヘッド15 Wと、中間部M P及びライトヘッド15 Wとは、それぞれ、半径方向にずれていない。つまり、この場合のリードヘッド15 R 1及びライトヘッド15 Wのリード/ライトオフセットO F 1 0と、リードヘッド15 R 2及びライトヘッド15 Wのリード/ライトオフセットO F 2 0と、中間部M P及びライトヘッド15 Wとは、それぞれ、0である。なお、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、半径方向にずれていてもよい。また、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、ライトヘッド15 Wとリードヘッド15 R 1及び15 R 2とは、半径方向にずれていてもよい。

【0017】

図3に示した例では、リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、ライトヘッド15 Wとリードヘッド15 R 1とは、円周方向に間隔G P 0で離間している。リードヘッド15 R 1を基準位置R P 0に配置した場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、円周方向にダウントラック間隔D T S 0で離間している。

【0018】

図4は、リードヘッド15 R 1を半径位置I R Pに位置決めした場合のライトヘッド1

10

20

30

40

50

5 Wと2つのリードヘッド15 R 1、15 R 2との幾何学的配置の一例を示す図である。

図4に示した例では、リードヘッド15 R 1を半径位置IRPに配置した場合、ライトヘッド15 W、リードヘッド15 R 1、リードヘッド15 R 2、及び中間部MP(ヘッド15)は、円周方向に対してスキュー角 $s w$ で内方向に傾いている。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、スキュー角 $s w$ の絶対値は、大きくなる。ヘッド15が円周方向に対してスキュー角 $s w$ で内方向に傾いている場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、半径方向にクロストラック間隔 $C T S x$ で離間している。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、クロストラック間隔 $C T S x$ の絶対値は、大きくなる。言い換えると、スキュー角 $s w$ の絶対値が大きくなるに従って、クロストラック間隔 $C T S x$ の絶対値も大きくなる。リードヘッド15 R 1を半径位置IRPに配置した場合、リードヘッド15 R 1とライトヘッド15 Wとは、半径方向にリード/ライトオフセット $O F 1 x$ で離間している。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、リード/ライトオフセット $O F 1 x$ の絶対値は、大きくなる。言い換えると、スキュー角 $s w$ の絶対値が大きくなるに従って、リード/ライトオフセット $O F 1 x$ の絶対値も大きくなる。リードヘッド15 R 1を半径位置IRPに配置した場合、リードヘッド15 R 2とライトヘッド15 Wとは、半径方向にリード/ライトオフセット $O F 2 x$ で離間している。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、リード/ライトオフセット $O F 2 x$ の絶対値は、大きくなる。言い換えると、スキュー角 $s w$ の絶対値が大きくなるに従って、リード/ライトオフセット $O F 2 x$ の絶対値も大きくなる。リードヘッド15 R 1を半径位置IRPに配置した場合、中間部MPとライトヘッド15 Wとは、半径方向にリード/ライトオフセット $O F M x$ で離間している。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、リード/ライトオフセット $O F M x$ の絶対値は、大きくなる。言い換えると、スキュー角 $s w$ の絶対値が大きくなるに従ってリード/ライトオフセット $O F M x$ の絶対値も大きくなる。

【0019】

図4に示した例では、リードヘッド15 R 1を半径位置IRPに配置した場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、円周方向にダウントラック間隔 $D T S x$ で離間している。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から内方向に離れるに従って、ダウントラック間隔 $D T S x$ は、小さくなる。言い換えると、スキュー角 $s w$ の絶対値が大きくなるに従って、ダウントラック間隔 $D T S x$ も小さくなる。

なお、リードヘッド15 R 1を半径位置ORPに配置した場合にもリードヘッド15 R 1を半径位置IRPに位置決めした場合と同様に、ライトヘッド15 Wと、リードヘッド15 R 1、15 R 2と、中間部MPとは、所定のスキュー角で外方向に傾いている。リードヘッド15 R 1を半径位置ORPに配置した場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、円周方向に所定のダウントラック間隔 $D T S x$ で離間し得る。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から外方向に離れるに従って、スキュー角 $s w$ の絶対値は、大きくなる。ヘッド15が円周方向に対してスキュー角 $s w$ で外方向に傾いている場合、リードヘッド15 R 1とリードヘッド15 R 2とは、外方向に所定のクロストラック間隔 $C T S x$ で離間し得る。ヘッド15が半径方向において基準位置RP0から外方向に離れるに従って、クロストラック間隔 $C T S x$ の絶対値は、大きくなる。

【0020】

ドライバIC20は、システムコントローラ130(詳細には、後述するMPU60)の制御に従って、SPM12およびVCM14の駆動を制御する。

ヘッドアンプIC(プリアンプ)30は、リードアンプ及びライトドライバを備えている。リードアンプは、ディスク10からリードしたリード信号を増幅して、システムコントローラ130(詳細には、後述するリード/ライト(R/W)チャネル50)に出力する。ライトドライバは、R/Wチャネル50から出力されるライトデータに応じたライト電流をヘッド15に出力する。

【0021】

10

20

30

40

50

揮発性メモリ 70 は、電力供給が断たれると保存しているデータが失われる半導体メモリである。揮発性メモリ 70 は、磁気ディスク装置 1 の各部での処理に必要なデータ等を格納する。揮発性メモリ 70 は、例えば、DRAM (Dynamic Random Access Memory)、又は SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory) である。

【0022】

バッファメモリ 80 は、磁気ディスク装置 1 とホスト 100 との間で送受信されるデータ等を一時的に記録する半導体メモリである。なお、バッファメモリ 80 は、揮発性メモリ 70 と一体に構成されていてもよい。バッファメモリ 80 は、例えば、DRAM、SRAM (Static Random Access Memory)、SDRAM、FeRAM (Ferroelectric Random Access memory)、又は MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) 等である。

10

【0023】

不揮発性メモリ 90 は、電力供給が断たれても保存しているデータを記録する半導体メモリである。不揮発性メモリ 90 は、例えば、NOR 型または NAND 型のフラッシュ ROM (Flash Read Only Memory : F-ROM) である。

システムコントローラ (コントローラ) 130 は、例えば、複数の素子が単一チップに集積された System-on-a-Chip (SoC) と称される大規模集積回路 (LSI) を用いて実現される。システムコントローラ 130 は、ハードディスクコントローラ (HDC) 40 と、リード/ライト (R/W) チャンネル 50 と、マイクロプロセッサ (MPU) 60 と、を含む。HDC 40、R/W チャンネル 50、及び MPU 60 は、それぞれ、互いに電氣的に接続されている。システムコントローラ 130 は、例えば、ドライバ IC 20、ヘッドアンプ IC 60、揮発性メモリ 70、バッファメモリ 80、不揮発性メモリ 90、及びホストシステム 100 等に電氣的に接続されている。

20

【0024】

HDC 40 は、後述する MPU 60 からの指示に応じて、ホスト 100 と R/W チャンネル 50 との間のデータ転送を制御する。HDC 40 は、例えば、揮発性メモリ 70、バッファメモリ 80、及び不揮発性メモリ 90 等に電氣的に接続されている。

R/W チャンネル 50 は、MPU 60 からの指示に応じて、リードデータ及びライトデータの信号処理を実行する。R/W チャンネル 50 は、リードデータの信号品質を測定する回路、又は機能を有している。R/W チャンネル 50 は、例えば、ヘッドアンプ IC 30 等に電氣的に接続されている。

30

【0025】

MPU 60 は、磁気ディスク装置 1 の各部を制御するメインコントローラである。MPU 60 は、ドライバ IC 20 を介して VCM 14 を制御し、ヘッド 15 の位置決めを実行する。MPU 60 は、ディスク 10 へのデータのライト動作を制御すると共に、ホスト 100 から転送されるライトデータの保存先を選択する。また、MPU 60 は、ディスク 10 からのデータのリード動作を制御すると共に、ディスク 10 からホスト 100 に転送されるリードデータの処理を制御する。MPU 60 は、磁気ディスク装置 1 の各部に接続されている。MPU 60 は、例えば、ドライバ IC 20、HDC 40、及び R/W チャンネル 50 等に電氣的に接続されている。「ヘッド 15 を位置決めする」ことは、「リードヘッド 15 R1、15 R2、及び中間部 MP (リードヘッド 15 R) をディスク 10 の所定の位置に位置決めする (配置する)」こと、及び「ライトヘッド 15 W をディスク 10 の所定の位置に位置決めする (配置する)」こと等を含む。

40

【0026】

図 5 は、本実施形態に係る R/W チャンネル 50 及び MPU 60 の構成例を示すブロック図である。図 5 において、ディスク 10 等は省略している。

R/W チャンネル 50 は、第 1 復調部 510 と、第 2 復調部 520 とを備えている。例えば、第 1 復調部 510 は、リードヘッド 15 R1 でリードしたデータ、例えば、サーボ信号を復調し、復調したサーボデータを MPU 60 等に出力する。第 1 復調部 510 と同様に、第 2 復調部は 520、リードヘッド 15 R2 でリードしたサーボ信号を復調し、復調

50

したサーボデータをMPU60等に出力する。なお、3つ以上のリードヘッドが設けられている場合、R/Wチャネル50は、これらのリードヘッドにそれぞれ対応する3つ以上の復調部を備えていてもよい。

【0027】

MPU60は、リード/ライト制御部610を備えている。MPU60は、各部、例えば、リード/ライト制御部610等の処理をファームウェア上で実行する。なお、MPU60は、各部を回路として備えていてもよい。

リード/ライト制御部610は、ホスト100からのコマンドに従って、データのリード処理及びライト処理を制御する。リード/ライト制御部610は、ドライバIC20を介してVCM14を制御し、ヘッド15をディスク10上の所定の半径位置に位置決めし、リード処理又はライト処理を実行する。

10

【0028】

リード/ライト制御部610は、複数のリードヘッド、例えば、リードヘッド15R1及び15R2の内の少なくとも1つ(リードヘッド15R)でリード処理を実行する。例えば、リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1を所定のトラックのトラックセンタに位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R2を所定のトラックのトラックセンタに位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする。また、リード/ライト制御部610は、中間部MPを所定のトラックのトラックセンタに位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする。以下、「リードヘッド15R1を所定のトラック(のトラックセンタ)に位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする」ことや、「リードヘッド15R1を所定のトラック(のトラックセンタ)に配置する」ことを「リードヘッド15R1を所定のトラックに位置決めする」と記載する場合もある。「リードヘッド15R2を所定のトラック(のトラックセンタ)に位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする」ことや、「リードヘッド15R2を所定のトラック(のトラックセンタ)に配置する」ことを「リードヘッド15R2を所定のトラックに位置決めする」と記載する場合もある。また、「中間部MPを所定のトラック(のトラックセンタ)に位置決めして、リードヘッド15R1及び15R2でこのトラックをリードする」ことや、「中間部MPを所定のトラック(のトラックセンタ)に配置する」ことを「中間部MPを所定のトラックに位置決めする」と記載する場合もある。

20

30

【0029】

リード/ライト制御部610は、ホスト100からのコマンド等で指示された対象とする半径位置(以下、対象位置と称する)、例えば、ホスト100からのコマンド等で指示された対象とするトラック(以下、対象トラックと称する)にヘッド15、例えば、中間部MPを位置決めした場合のクロストラック間隔に基づいて、リードヘッド15Rの内のエラーレート(ビットエラーレート)が最小となるリードヘッドを対象トラックに位置決めする。なお、リード/ライト制御部610は、対象トラックにヘッド15を位置決めした場合のスキュー角、対象トラックの半径位置、又は対象トラックを含むディスク10の所定の領域、例えば、ゾーンに基づいて、リードヘッド15Rの内のエラーレートが最小となるリードヘッド(以下、初期リードヘッドと称する場合もある)を対象トラックに位置決めする。ゾーンは、例えば、ディスク10のユーザデータ領域10aを半径方向に区分した複数の領域の内の1つの領域に相当する。また、ゾーンは、少なくとも1つのトラックを含んでいる。リード/ライト制御部610は、対象トラックがHigh Fly Write等によりリードヘッド15Rの内の所定のリードヘッド、例えば、初期リードヘッドを対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、初期リードヘッドと異なるリードヘッド15Rの内の少なくとも1つの所定のリードヘッド(以下、変更リードヘッドと称する場合もある)を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部610は、初期リードヘッドを対象トラックに位置決めした状態で少なくとも1回(又は複数回)のリードリトライを実行した場合、又は初期リード

40

50

ヘッドを対象トラックに位置決めした状態でリードリトライを繰り返し実行した場合、少なくとも1つの変更リードヘッドを対象トラックに位置決めする。なお、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めして所定のトラックをリードした場合のエラーレートと変更リードヘッドを所定のトラックに位置決めして所定のトラックをリードした場合のエラーレートとは、同じであってもよいし、異なってもよい。言い換えると、変更リードヘッドは、リードヘッド15Rの内のエラーレートが最小となるリードヘッドを含んでいてもよいし、含んでいなくともよい。例えば、互いに異なる複数の変更リードヘッドを対象トラックにそれぞれ位置決めした場合、リード/ライト制御部610は、複数の変更リードヘッドを対象トラックにそれぞれ位置決めして取得した複数のリードデータの内のエラーレートが最小となるリードデータを各部、例えば、磁気ディスク装置1の各部及びホスト100等に出力する。なお、複数の変更リードヘッドを対象トラックにそれぞれ位置決めして取得した複数のリードデータの内のエラーレートが同じ場合、リード/ライト制御部610は、複数のリードデータの中から少なくとも1つのリードデータを選択して各部、例えば、磁気ディスク装置1の各部及びホスト100等に出力してもよい。

10

【0030】

リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のクロストラック間隔が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下であると判定した場合、中間部MPを対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、中間部MPを対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めし、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした後にリードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとリードヘッド15R2を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとの内のエラーレートの小さいリードデータを出力する。

20

【0031】

リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のクロストラック間隔が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きいと判定した場合、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした状態でリードできないと判定した場合、リードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。なお、リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のクロストラック間隔が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きいと判定した場合、中間部MPを対象トラックに位置決めしてもよい。

30

【0032】

リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のスキュー角が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下のクロストラック間隔となるスキュー角であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅以下であると判定し、中間部MPを対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、中間部MPを対象トラックに位置決めした状態でリードできないと判定した場合、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めし、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした後にリードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとリードヘッド15R2を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとの内のエラーレートの小さいリードデータを出力する。

40

【0033】

リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のスキュー

50

一角が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きいクロストラック間隔となるスキュー角であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした状態でリードできないと判定した場合、リードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。なお、リード/ライト制御部610は、対象トラックに中間部MPを位置決めした際のスキュー角が所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅よりも大きいクロストラック間隔となるスキュー角であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部MPを対象トラックに位置決めする。

10

【0034】

リード/ライト制御部610は、対象トラックの半径位置が中間部MPを位置決めした際に所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下のクロストラック間隔となる半径位置であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅以下であると判定し、中間部MPを対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、中間部MPを対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めし、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした後にリードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとリードヘッド15R2を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとの内のエラーレートの小さいリードデータを出力する。

20

【0035】

リード/ライト制御部610は、対象トラックの半径位置が中間部MPを位置決めした際に所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きいクロストラック間隔となる半径位置であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。なお、リード/ライト制御部610は、対象トラックの半径位置が中間部MPを位置決めした際に所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅よりも大きいクロストラック間隔となる半径位置であると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部MPを対象トラックに位置決めする。

30

【0036】

リード/ライト制御部610は、対象トラックを含むゾーンが所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下のクロストラック間隔となるゾーンであると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅以下であると判定し、中間部MPを対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、中間部MPを対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めし、リードヘッド15R1（又はリードヘッド15R2）を対象トラックに位置決めした後にリードヘッド15R2（又はリードヘッド15R1）を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部610は、リードヘッド15R1を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとリードヘッド15R2を対象トラックに位置決めして取得したリードデータとの内のエラーレートの小さいリードデータを出力する。

40

【0037】

リード/ライト制御部610は、対象トラックを含むゾーンが所定の値、例えば、対象

50

トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きいクロストラック間隔となるゾーンであると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、リードヘッド 15 R 1（又はリードヘッド 15 R 2）を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部 610 は、リードヘッド 15 R 1（又はリードヘッド 15 R 2）を対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド 15 R 2（又はリードヘッド 15 R 1）を対象トラックに位置決めする。なお、リード/ライト制御部 610 は、対象トラックを含むゾーンが所定の値、例えば、対象トラックのトラック幅よりも大きいクロストラック間隔となるゾーンであると判定した場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部 MP を対象トラックに位置決めする。

10

【0038】

リード/ライト制御部 610 は、例えば、製造工程等において、ディスク 10 の各半径位置にヘッド 15 を位置決めした場合のクロストラック間隔及びスキュー角と、ディスク 10 の各半径位置においてリードヘッド 15 R でデータをリードした場合のエラーレートとを測定する。リード/ライト制御部 610 は、測定したクロストラック間隔及びスキュー角に対応するエラーレートが最小となるリードヘッド 15 R（最初のリードヘッド）を設定する。リード/ライト制御部 610 は、測定したクロストラック間隔及びスキュー角と、測定したクロストラック間隔及びスキュー角に対応するゾーンと、設定したクロストラック間隔及びスキュー角に対応するエラーレートが最小となるリードヘッド 15 R（最初のリードヘッド）とを関連付けて、メモリ、例えば、不揮発性メモリ 90、バッファメモリ 80、揮発性メモリ 70、又はディスク 10 等に記録している。

20

【0039】

図 6 は、クロストラック間隔が所定の値以下であるディスク 10 の所定の領域に位置する対象トラックにヘッド 15 を位置決めした場合の中間部 MP に対するリードヘッド 15 R の半径方向のオフセット量とこの対象トラックにヘッド 15 を位置決めして対象トラックをリードした場合のエラーレートとの関係の一例を示す図である。

【0040】

図 6 は、クロストラック間隔が所定の値、例えば、トラック幅（又はトラックピッチ）以下であるディスク 10 のユーザデータ領域 10a を半径方向に区分した所定の領域（以下、狭小領域と称する場合もある）、例えば、基準位置 RP0 を含む中周領域（以下、単に、中周領域と称する場合もある）MR に位置する対象トラックにヘッド 15 を位置決めした場合の中間部 MP に対するリードヘッド 15 R の半径方向のオフセット量（以下、単に、オフセット量と称する場合もある）とこの対象トラックにヘッド 15 を位置決めした場合のエラーレートとの関係を示している。なお、狭小領域は、例えば、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）の 0.7 倍乃至 1.3 倍の領域であってもよい。狭小領域は、例えば、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）の 0.7 倍より小さい領域であってもよいし、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）の 1.3 倍より大きい領域であってもよい。狭小領域は、ヘッド 15 のスキュー角（の絶対値）が所定の角度（以下、角度閾値と称する場合もある）以下の領域である。また、内周領域 IR 又は外周領域 OR が、狭小領域であってもよい。

30

40

【0041】

図 6 において、横軸は、中周領域 MR に位置する対象トラックにヘッド 15 を位置決めした場合の中間部 MP に対するリードヘッド 15 R のオフセット量を示し、縦軸は、中周領域 MR に位置する対象トラックにヘッド 15 を位置決めした場合のエラーレートを示している。図 6 の横軸において、オフセット量は、オフセット量 = 0（中間部 MP）よりも正の矢印の方向に進むに従って正の値の方向へ大きくなり、オフセット量 = 0 よりも負の矢印の方向に進むに従って負の値の方向へ小さくなる。例えば、オフセット量の正の値の方向は、半径方向の外方向に相当し、オフセット量の負の値の方向は、半径方向の内方向に相当する。なお、オフセット量の正の値の方向が、半径方向の内方向に相当し、オフセット量の負の値の方向は、半径方向の外方向に相当してもよい。図 6 の縦軸において、エ

50

ラーレートは、大の矢印の方向に進むに従って大きくなり、小の矢印の方向に進むに従って小さくなる。

【 0 0 4 2 】

図 6 には、中周領域 M R に位置する対象トラックにヘッド 1 5、例えば、中間部 M P を対象トラックに位置決めした状態でリードヘッド 1 5 R 1 のみでリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 R 1 E 1 と、中周領域 M R に位置する対象トラックにヘッド 1 5、例えば、中間部 M P を位置決めした状態でリードヘッド 1 5 R 2 のみでリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 R 2 E 1 と、中周領域 M R に位置する対象トラックにヘッド 1 5、例えば、中間部 M P を位置決めした状態で 2 つのリードヘッド 1 5 R 1 及び 1 5 R 2 でリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 M P E 1 と、を示している。エラーレートの変化 M P E 1 は、例えば、エラーレートの変化 R 1 E 1 及び R 2 E 1 を組み合わせたエラーレートの変化、又はエラーレートの変化 R 1 E 1 及び R 2 E 1 を平均したエラーレートの変化等に相当する。

【 0 0 4 3 】

図 6 に示した例では、エラーレートの変化 R 1 E 1 は、頂点 R 1 V 1 を有する放物線（2 次曲線）状に変化している。エラーレートの変化 R 1 E 1 は、頂点 R 1 V 1 で最小値である。頂点 R 1 V 1 は、オフセット量 = 0 よりも正の値の方向のオフセット量に対応している。言い換えると、頂点 R 1 V 1 は、オフセット量 = 0 に対するリードヘッド 1 5 R 1 の中心部 R C 1 のオフセット量に対応している。エラーレートの変化 R 2 E 1 は、頂点 R 2 V 1 を有する放物線状に変化している。図 6 に示した例では、エラーレートの変化 R 2 E 1 は、オフセット量 = 0 でエラーレートの変化 R 1 E 1 と重なっている。エラーレートの変化 R 2 E 1 は、頂点 R 2 V 1 で最小値である。頂点 R 2 V 1 は、オフセット量 = 0 よりも負の値の方向のオフセット量に対応している。言い換えると、頂点 R 1 V 1 は、オフセット量 = 0 に対するリードヘッド 1 5 R 2 の中心部 R C 2 のオフセット量に対応している。図 6 に示した例では、頂点 R 2 V 1 は、頂点 R 1 V 1 と同じである。なお、頂点 R 2 V 1 は、頂点 R 1 V 1 と異なってもよい。エラーレートの変化 M P E 1 は、頂点 M P V 1 を有する放物線状に変化している。エラーレートの変化 M P E 1 は、頂点 M P V 1 で最小値である。頂点 M P V 1 は、オフセット量 = 0（中間部 M P）に対応している。頂点 M P V 1 は、頂点 R 1 V 1 及び R 2 V 1 よりも小さい。なお、頂点 M P V 1 は、頂点 R 1 V 1 及び R 2 V 1 の少なくとも一方と同じでもよい。図 6 には、頂点 R 1 V 1 及び R 2 V 1 の間のクロストラック間隔 C T S 1 を示している。クロストラック間隔 C T S 1 は、狭小領域に位置する所定のトラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下である。

図 6 に示した例では、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔 C T S 1 に基づいて、エラーレートが最小となるように中間部 M P を対象トラックに位置決めする。例えば、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）以下である中周領域に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔 C T S 1 が対象トラックのトラック幅以下であると判定し、エラーレートが最小となるように中間部 M P を対象トラックに位置決めする。

【 0 0 4 4 】

図 7 は、図 6 に対応するリードヘッド 1 5 R の配置の一例を示す図である。図 7 には、説明に必要な構成のみを示している。図 7 には、中周領域 M R において基準位置 R P 0 よりも内方向に位置するゾーン Z N j の対象トラック M T R j を示している。図 7 に示した例では、リードヘッド 1 5 R 1、リードヘッド 1 5 R 2、及び中間部 M P は、円周方向に対してスキュー角 $s w 1$ で内方向に傾いている。リードヘッド 1 5 R 1 及び 1 5 R 2 は、互いにクロストラック間隔 C T S 1 で離間している。クロストラック間隔 C T S 1 は、対象トラック M T R j のトラック幅 T W 1 よりも小さい。中間部 M P は、対象トラック M T R j のトラックセンタ M T C j に位置している。リードヘッド 1 5 R 1 及び 1 5 R 2 は、対象トラック M T R j に重なっている。例えば、リードヘッド 1 5 R 1 の幅 R 1 W 1 とリードヘッド 1 5 R 2 の幅 R 2 W 1 とは、同じである。なお、リードヘッド 1 5 R 1 の幅 R 1 W 1 とリードヘッド 1 5 R 2 の幅 R 2 W 1 とは、異なってもよい。

【 0 0 4 5 】

図 7 に示した例では、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅より小さい中周領域 M R に位置する対象トラック M T R j をリードする場合、クロストラック間隔 C T S 1 が対象トラック M T R j のトラック幅 T W 1 以下であると判定し、中間部 M P を対象トラック M T R j のトラックセンタ M T C j に中間部 M P を位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、中間部 M P を対象トラック M T R j に位置決めした状態で対象トラック M T R j をリードできないと判定した場合、リードヘッド 1 5 R 1 (又はリードヘッド 1 5 R 2) を対象トラック M T R j のトラックセンタ M T C j に位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、リードヘッド 1 5 R 1 (又はリードヘッド 1 5 R 2) を対象トラック M T R j に位置決めした後に、リードヘッド 1 5 R 2 (又はリードヘッド 1 5 R 1) を対象トラック M T R j のトラックセンタ M T C j に位置決めする。

10

【 0 0 4 6 】

図 8 は、クロストラック間隔が所定の値よりも大きいディスク 1 0 の所定の領域に位置する対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合の中間部 M P に対するリードヘッド 1 5 R の半径方向のオフセット量とこの対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合のエラーレートとの関係の一例を示す図である。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、クロストラック間隔が所定の値、例えば、トラック幅 (又はトラックピッチ) よりも大きいディスク 1 0 の領域 (以下、広大領域と称する場合もある)、例えば、中周領域 M R よりも内方向の内周領域 I R に位置する対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合の中間部 M P に対するリードヘッド 1 5 R のオフセット量とこの対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合のエラーレートとの関係の一例を示している。広大領域は、例えば、ヘッド 1 5 を位置決めした場合にクロストラック間隔が狭小領域よりも大きい領域である。言い換えると、広大領域は、ユーザデータ領域 1 0 a の狭小領域以外の領域である。中周領域 M R よりも外方向の外周領域 O R も、広大領域になり得る。そのため、中周領域 M R よりも外方向の外周領域 O R に位置する対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合の中間部 M P に対するリードヘッド 1 5 R のオフセット量とこの対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合のエラーレートとの関係にも、図 8 に示したオフセット量とエラーレートとの関係と同様の説明が適用できる。なお、広大領域は、例えば、クロストラック間隔がトラック幅 (又はトラックピッチ) の 0 . 7 倍より大きい領域であってもよい。広大領域は、例えば、クロストラック間隔がトラック幅 (又はトラックピッチ) の 0 . 7 倍以下の領域であってもよい。広大領域は、ヘッド 1 5 のスキュー角 (の絶対値) が角度閾値よりも大きい領域である。言い換えると、広大領域は、ヘッド 1 5 のスキュー角 (の絶対値) が狭小領域よりも大きい領域である。また、中周領域 M R が、広大領域であってもよい。

20

30

【 0 0 4 8 】

図 8 において、横軸は、内周領域 I R に位置する対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合の中間部 M P に対するリードヘッド 1 5 R のオフセット量を示し、縦軸は、内周領域 I R に位置する対象トラックにヘッド 1 5 を位置決めした場合のエラーレートを示している。図 8 の横軸において、オフセット量は、オフセット量 = 0 (中間部 M P) よりも正の矢印の方向に進むに従って正の値の方向へ大きくなり、オフセット量 = 0 よりも負の矢印の方向に進むに従って負の値の方向へ小さくなる。図 8 の縦軸において、エラーレートは、大の矢印の方向に進むに従って大きくなり、小の矢印の方向に進むに従って小さくなる。

40

【 0 0 4 9 】

図 8 には、内周領域 I R に位置する対象トラックにヘッド 1 5、例えば、中間部 M P を位置決めした状態でリードヘッド 1 5 R 1 のみでリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 R 1 E 2 と、内周領域 I R に位置する対象トラックにヘッド 1 5、例えば、中間部 M P を位置決めした状態でリードヘッド 1 5 R 2 のみでリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 R 2 E 2 と、内周領域 I R に位置する対象トラッ

50

クにヘッド 15、例えば、中間部 MP を位置決めして 2 つのリードヘッド 15 R 1 及び 15 R 2 でリードした場合のオフセット量に対するエラーレートの変化 MPE 2 と、を示している。エラーレートの変化 MPE 2 は、例えば、エラーレートの変化 R 1 E 2 及び R 2 E 2 を組み合わせたエラーレートの変化、又はエラーレートの変化 R 1 E 2 及び R 2 E 2 を平均したエラーレートの変化等に相当する。

【0050】

図 8 に示した例では、エラーレートの変化 R 1 E 2 は、頂点 R 1 V 2 を有する放物線（2 次曲線）状に変化している。エラーレートの変化 R 1 E 2 は、頂点 R 1 V 2 で最小値である。頂点 R 1 V 2 は、オフセット量 = 0 よりも正の値の方向のオフセット量に対応している。言い換えると、頂点 R 1 V 2 は、オフセット量 = 0 に対するリードヘッド 15 R 1 の中心部 RC 1 のオフセット量に対応している。エラーレートの変化 R 2 E 2 は、頂点 R 2 V 2 を有する放物線状に変化している。図 8 に示した例では、エラーレートの変化 R 2 E 2 は、エラーレートの変化 R 1 E 2 から離間し、オフセット量 = 0 でエラーレートの変化 R 1 E 2 と重なっていない。エラーレートの変化 R 2 E 2 は、頂点 R 2 V 2 で最小値である。頂点 R 2 V 2 は、オフセット量 = 0 よりも負の値の方向のオフセット量に対応している。言い換えると、頂点 R 1 V 1 は、オフセット量 = 0 に対するリードヘッド 15 R 2 の中心部 RC 2 のオフセット量に対応している。図 8 に示した例では、頂点 R 2 V 2 は、頂点 R 1 V 2 と同じである。なお、頂点 R 2 V 2 は、頂点 R 1 V 2 と異なってもよい。エラーレートの変化 MPE 2 は、極大値 MPV 2 と極小値 MPV 3 及び MPV 4 とを有する 4 次曲線状に変化している。エラーレートの変化 MPE 2 は、極小値 MPV 3 及び MPV 4 で最小値である。極大値 MPV 2 は、極小値 MPV 3 及び MPV 4 よりも大きい。極大値 MPV 2 は、オフセット量 = 0（中間部 MP）に対応している。極小値 MPV 3 は、中間部 MP = 0 に対するリードヘッド 15 R 1 の中心部 RC 1（頂点 R 1 V 2）のオフセット量に対応している。極小値 MPV 4 は、中間部 MP = 0 に対するリードヘッド 15 R 2 の中心部 RC 2（頂点 R 2 V 2）のオフセット量に対応している。極大値 MPV 2 は、極小値 MPV 3 及び MPV 4 よりも大きい。極小値 MPV 3 及び極小値 MPV 4 は、同じである。なお、極小値 MPV 3 及び極小値 MPV 4 は、異なってもよい。極小値 MPV 3 は、頂点 R 1 V 2 と同じであってもよいし、異なってもよい。また、極小値 MPV 4 は、頂点 R 2 V 2 と同じであってもよいし、異なってもよい。図 8 には、頂点 R 1 V 2（極小値 MPV 3）及び頂点 R 2 V 2（極小値 MPV 4）の間のクロストラック間隔 CTS 2 を示している。クロストラック間隔 CTS 2 は、広大領域に位置する所定のトラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい。クロストラック間隔 CTS 2 は、図 6 に示したクロストラック間隔 CTS 1 よりも大きい。

【0051】

図 8 に示した例では、リードノライト制御部 610 は、クロストラック間隔 CTS 2 に基づいて、エラーレートが最小となるように中間部 MP を対象トラックに位置決めする。例えば、リードノライト制御部 610 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔 CTS 2 が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、エラーレートが最小となるように中間部 MP を対象トラックに位置決めする。

【0052】

なお、リードノライト制御部 610 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい外周領域 OR に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、エラーレートが最小となるようにリードヘッド 15 R 1 又は 15 R 2 を対象トラックに位置決めする。

【0053】

また、リードノライト制御部 610 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR 及び外周領域 OR に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部 MP を対象トラックに位置決めしてもよい。

【 0 0 5 4 】

図 9 は、図 8 に対応するリードヘッド 1 5 R の配置の一例を示す図である。図 9 には、説明に必要な構成のみを示している。図 9 には、基準位置 R P 0 を含む中周領域 M R よりも内方向の内周領域 I R に位置するゾーン Z N k の対象トラック I T R k を示している。図 9 に示した例では、リードヘッド 1 5 R 1、リードヘッド 1 5 R 2、及び中間部 M P は、円周方向に対してスキュー角 $s w 2$ で内方向に傾いている。リードヘッド 1 5 R 1 及び 1 5 R 2 は、互いにクロストラック間隔 C T S 2 で離間している。クロストラック間隔 C T S 2 は、対象トラック I T R k のトラック幅（又はトラックピッチ）T W 2 よりも大きい。トラック幅 T W 2 は、例えば、トラック幅 T W 1 と同じである。なお、トラック幅 T W 2 は、トラック幅 T W 1 と異なってもよい。リードヘッド 1 5 R 1 は、対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置している。図 9 に示した例では、リードヘッド 1 5 R 1 は、対象トラック I T R k に重なっている。リードヘッド 1 5 R 2 は、対象トラック I T R k に重なっていない。

10

【 0 0 5 5 】

図 9 に示した例では、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 I R に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔 C T S 2 が対象トラック I T R k のトラック幅 T W 2 よりも大きいと判定し、リードヘッド 1 5 R 1 を対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、リードヘッド 1 5 R 1 で対象トラック I T R k をリードできないと判定した場合、リードヘッド 1 5 R 2 を対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置決めする。

20

【 0 0 5 6 】

なお、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい外周領域 O R に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、リードヘッド 1 5 R 1 を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、リードヘッド 1 5 R 1 を対象トラックに位置決めした状態でリードできないと判定した場合、リードヘッド 1 5 R 2 を対象トラックに位置決めする。

【 0 0 5 7 】

図 1 0 は、図 8 に対応するリードヘッド 1 5 R の配置の一例を示す図である。図 1 0 には、説明に必要な構成のみを示している。図 1 0 には、基準位置 R P 0 を含む中周領域 M R よりも内方向の内周領域 I R に位置するゾーン Z N k の対象トラック I T R k を示している。リードヘッド 1 5 R 2 は、対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置している。図 1 0 に示した例では、リードヘッド 1 5 R 2 は、対象トラック I T R k に重なっている。リードヘッド 1 5 R 1 は、対象トラック I T R k に重なっていない。

30

【 0 0 5 8 】

図 1 0 に示した例では、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 I R に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔 C T S 2 が対象トラック I T R k のトラック幅 T W 2 よりも大きいと判定し、リードヘッド 1 5 R 2 を対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、リードヘッド 1 5 R 2 を対象トラック I T R k に位置決めした状態で対象トラック I T R k をリードできないと判定した場合、図 9 に示したようにリードヘッド 1 5 R 1 を対象トラック I T R k のトラックセンタ I T C k に位置決めする。

40

【 0 0 5 9 】

なお、リード/ライト制御部 6 1 0 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい外周領域 O R に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、リードヘッド 1 5 R 2 を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部 6 1 0 は、リードヘッド 1 5 R 2 で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド 1 5 R 1 を対象トラック

50

に位置決めする。

【 0 0 6 0 】

また、図 9 及び図 10 に示した例において、リード/ライト制御部 610 は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR 及び外周領域 OR に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部 MP を対象トラックのトラックセンタに位置決めしてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 11 は、本実施形態に係るクロストラック間隔とリード/ライトオフセットとの関係の一例を示す図である。

図 11 において、横軸は、ディスク 10 の所定の半径位置におけるクロストラック間隔を示し、縦軸は、ディスク 10 の所定の半径位置におけるリード/ライトオフセットを示している。図 11 の横軸において、クロストラック間隔は、クロストラック間隔 = 0 よりも正の矢印の方向に進むに従って正の値の方向へ大きくなり、クロストラック間隔 = 0 よりも負の矢印の方向に進むに従って負の値の方向へ小さくなる。図 11 には、狭小領域、例えば、基準位置 RP0 を含む中周領域 MR と狭小領域の内方向の広大領域、例えば、内周領域 IR との境界に相当する半径位置にヘッド 15 を位置決めした場合のクロストラック間隔 Th1 と、狭小領域と狭小領域の外方向の広大領域、例えば、外周領域 OR との境界に相当する半径位置にヘッド 15 を位置決めした場合のクロストラック間隔 Th2 とを示している。クロストラック間隔 Th1 の絶対値とクロストラック間隔 Th2 の絶対値とは、例えば、同じである。なお、クロストラック間隔 Th1 の絶対値とクロストラック間隔 Th2 の絶対値とは、例えば、トラック幅（又はトラックピッチ）の 0.7 乃至 1.3 倍であってもよい。なお、クロストラック間隔 Th1 の絶対値とクロストラック間隔 Th2 の絶対値とは、トラック幅の 0.7 倍より小さくてもよいし、トラック幅の 1.3 倍よりも大きくてもよい。また、クロストラック間隔 Th1 の絶対値とクロストラック間隔 Th2 の絶対値とは、異なってもよい。図 11 の横軸において、クロストラック間隔 Th1 よりも負の方向の各クロストラック間隔は、ヘッド 15 を内周領域 IR の各半径位置に位置決めした場合の各クロストラック間隔に相当する。図 11 の横軸において、クロストラック間隔 Th1 及び Th2 の間の各クロストラック間隔は、ヘッド 15 を中周領域 MR の各半径位置に位置決めした場合の各クロストラック間隔に相当する。図 11 の横軸において、クロストラック間隔 Th2 よりも正の方向の各クロストラック間隔は、ヘッド 15 を外周領域 OR の各半径位置に位置決めした場合の各クロストラック間隔に相当する。図 11 の縦軸において、リード/ライトオフセットは、クロストラック間隔 = 0 に対応するリード/ライトオフセット = 0 よりも正の矢印の方向に進むに従って正の値の方向へ大きくなり、クロストラック間隔 = 0 に対応するリード/ライトオフセット = 0 よりも負の矢印の方向に進むに従って負の値の方向へ小さくなる。例えば、リード/ライトオフセットの正の値の方向は、半径方向の外方向に相当し、リード/ライトオフセットの負の値の方向は、半径方向の内方向に相当する。なお、リード/ライトオフセットの正の値の方向は、半径方向の内方向に相当し、リード/ライトオフセットの負の値の方向は、半径方向の外方向に相当してもよい。図 11 には、リードヘッド 15 R1 をディスク 10 の各半径位置に位置決めした場合のクロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 R1L と、リードヘッド 15 R2 をディスク 10 の各半径位置に位置決めした場合のクロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 R2L と、中間部 MP をディスク 10 の各半径位置に位置決めした場合のクロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 MPL とを示している。図 11 に示すように、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 R1L と、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 R2L とは、内周領域 IR から外周領域 OR までの各半径位置に対応するクロストラック間隔に亘って示されている。クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 MPL は、中周領域 MR の各半径位置に対応するクロストラック間隔に亘って示されている。なお、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセット

10

20

30

40

50

の変化 MPL は、内周領域 IR から外周領域 OR までの各半径位置に対応するクロストラック間隔に亘って示されていてもよい。

【0062】

図11に示した例では、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 $R1L$ は、リード/ライトオフセット $IP11$ 、 $ThP11$ 、 $MDP11$ 、 $ThP12$ 、及び $OP11$ を有している。図11に示した例では、リード/ライトオフセット $IP11$ は、負の値である。リード/ライトオフセット $IP11$ は、クロストラック間隔 $Th1$ に対応する半径位置よりも負の方向、例えば、内方向にヘッド15を位置決めした場合のクロストラック間隔 ICS に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $ThP11$ は、負の値である。なお、リード/ライトオフセット $ThP11$ は、正の値であってもよい。リード/ライトオフセット $ThP11$ は、クロストラック間隔 $Th1$ に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $MDP11$ は、負の値である。なお、リード/ライトオフセット $MDP11$ は、正の値であってもよい。リード/ライトオフセット $MDP11$ は、クロストラック間隔 $Th1$ に対応する半径位置とクロストラック間隔 $Th2$ に対応する半径位置との間の半径位置にヘッド15を位置決めした場合のクロストラック間隔 MCS に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $ThP12$ は、正の値である。なお、リード/ライトオフセット $ThP12$ は、負の値であってもよい。リード/ライトオフセット $ThP11$ は、クロストラック間隔 $Th2$ に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $OP11$ は、正の値である。なお、リード/ライトオフセット $OP11$ は、負の値であってもよい。リード/ライトオフセット $OP11$ は、クロストラック間隔 $Th2$ に対応する半径位置よりも正の方向、例えば、外方向にヘッド15を位置決めした場合のクロストラック間隔 OCS に対応している。

【0063】

図11に示した例では、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 $R2L$ は、リード/ライトオフセット $IP21$ 、 $ThP21$ 、 $MDP21$ 、 $ThP22$ 、及び $OP21$ を有している。図11に示した例では、リード/ライトオフセット $IP21$ は、負の値である。リード/ライトオフセット $IP21$ は、クロストラック間隔 ICS に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $IP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $IP11$ の絶対値よりも小さい。例えば、リード/ライトオフセット $ThP21$ は、負の値である。なお、リード/ライトオフセット $ThP21$ は、正の値であってもよい。リード/ライトオフセット $ThP21$ は、クロストラック間隔 $Th1$ に対応している。リード/ライトオフセット $ThP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP11$ の絶対値よりも小さい。例えば、リード/ライトオフセット $ThP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP11$ の絶対値の約0.7倍である。この場合、クロストラック間隔 $Th1$ は、ヘッド15を位置決めした場合にリード/ライトオフセット $ThP21$ の絶対値がリード/ライトオフセット $ThP11$ の絶対値の約0.7倍となる半径位置に対応する。なお、リード/ライトオフセット $ThP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP11$ の絶対値の0.7倍以上であってもよいし、リード/ライトオフセット $ThP11$ の0.7倍より小さくてもよい。例えば、リード/ライトオフセット $MDP21$ は、負の値である。なお、リード/ライトオフセット $MDP21$ は、正の値であってもよい。リード/ライトオフセット $MDP21$ は、クロストラック間隔 MCS に対応している。例えば、リード/ライトオフセット $MDP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $MDP11$ の絶対値よりも小さい。例えば、リード/ライトオフセット $ThP22$ は、正の値である。なお、リード/ライトオフセット $ThP22$ は、負の値であってもよい。リード/ライトオフセット $ThP22$ は、クロストラック間隔 $Th2$ に対応している。リード/ライトオフセット $ThP22$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP12$ の絶対値よりも小さい。例えば、リード/ライトオフセット $ThP22$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP12$ の絶対値の約0.7倍である。この場合、クロストラック間隔 $Th2$ は、ヘッド15を位置決めした場合にリード/ライトオフセット $ThP22$ の絶対値がリード/ライトオフセット $ThP12$ の絶対値の約0.7倍となる半径位置

10

20

30

40

50

に対応する。なお、リード/ライトオフセット $ThP22$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $ThP12$ の絶対値の 0.7 倍以上であってもよいし、リード/ライトオフセット $ThP12$ の 0.7 倍より小さくてもよい。例えば、リード/ライトオフセット $OP21$ は、正の値である。なお、リード/ライトオフセット $OP21$ は、負の値であってもよい。例えば、リード/ライトオフセット $OP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $OP11$ の絶対値よりも小さい。リード/ライトオフセット $OP21$ は、クロストラック間隔 OCS に対応している。

【0064】

図 11 に示した例では、クロストラック間隔に対するリード/ライトオフセットの変化 MPL は、リード/ライトオフセット $MDP31$ を有している。図 11 に示した例では、リード/ライトオフセット $MDP31$ は、負の値である。なお、リード/ライトオフセット $MDP31$ は、正の値であってもよい。例えば、リード/ライトオフセット $MDP21$ の絶対値は、リード/ライトオフセット $MDP11$ の絶対値よりも小さく、リード/ライトオフセット $MDP21$ の絶対値よりも大きい。リード/ライトオフセット $MDP31$ は、クロストラック間隔 MCS に対応している。

【0065】

図 11 に示した例では、ホスト 100 からコマンド等で対象トラックを指示されてリード処理を実行する際に（以下、初期リード時と称する場合もある）、リード/ライト制御部 610 は、広大領域、例えば、内周領域 IR に位置する対象トラックにリード/ライトオフセット $IP11$ でリードヘッド 15R1 を位置決めする。リードヘッド 15R1 を対象トラックに位置決めして少なくとも 1 回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $IP11$ からリード/ライトオフセット $IP21$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R2 を位置決めする。

【0066】

なお、初期リード時に、リード/ライト制御部 610 は、広大領域、例えば、内周領域 IR に位置する対象トラックにリード/ライトオフセット $IP21$ でリードヘッド 15R2 を位置決めしてもよい。リードヘッド 15R2 を対象トラックに位置決めして少なくとも 1 回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $IP21$ からリード/ライトオフセット $IP11$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R1 を位置決めする。

【0067】

図 11 に示した例では、初期リード時に、リード/ライト制御部 610 は、狭小領域、例えば、中周領域 MR に位置する対象トラックにリード/ライトオフセット $MDP31$ で中間部 MP を位置決めする。中間部 MP を対象トラックに位置決めして少なくとも 1 回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $MDP31$ からリード/ライトオフセット $MDP11$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R1 を位置決めする。リードヘッド 15R1 を対象トラックに位置決めした後に、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $MDP11$ からリード/ライトオフセット $MDP21$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R2 を位置決めする。

【0068】

なお、中間部 MP を対象トラックに位置決めして少なくとも 1 回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $MDP31$ からリード/ライトオフセット $MDP21$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R2 を位置決めしてもよい。リードヘッド 15R2 を対象トラックに位置決めした後に、リード/ライト制御部 610 は、リード/ライトオフセット $MDP21$ からリード/ライトオフセット $MDP11$ にずらして対象トラックにリードヘッド 15R1 を位置決めする。

【0069】

図 11 に示した例では、初期リード時に、リード/ライト制御部 610 は、広大領域、例えば、外周領域 OR に位置する対象トラックにリード/ライトオフセット $OP11$ でリ

10

20

30

40

50

ードヘッド15R1を位置決めする。リードヘッド15R1を対象トラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部610は、リード/ライトオフセットOP11からリード/ライトオフセットOP21にずらして対象トラックにリードヘッド15R2を位置決めする。

【0070】

なお、初期リード時に、リード/ライト制御部610は、広大領域、例えば、外周領域ORに位置する対象トラックにリード/ライトオフセットOP21でリードヘッド15R2を位置決めしてリードヘッド15R2を対象トラックをリードする。リードヘッド15R2を対象トラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合、リード/ライト制御部610は、リード/ライトオフセットOP21からリード/ライトオフセットOP11にずらして対象トラックにリードヘッド15R1を位置決めする。

10

リード/ライト制御部610は、図11に示したクロストラック間隔とリード/ライトオフセットとの関係をメモリ、例えば、不揮発性メモリ90、バッファメモリ80、揮発性メモリ70、又はディスク10等に記録していてもよい。

【0071】

図12は、本実施形態に係るリード処理の一例を示すフローチャートである。

MPU60は、クロストラック間隔(CTS)に基づいて、ホスト100からのコマンド等に従って所定のトラックにリードヘッド15Rの内の初期リードヘッドを位置決めする(B1201)。例えば、MPU60は、クロストラック間隔が所定の値以下である場合、ホスト100からのコマンド等に従って、所定のトラックに中間部MPを位置決めする。MPU60は、クロストラック間隔が所定の値よりも大きい場合、所定のトラックにリードヘッド15Rの内の所定のリードヘッド、例えば、リードヘッド15R1又はリードヘッド15R2を位置決めする。MPU60は、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めした状態で所定のトラックをリードできるかリードできないかを判定する(B1202)。リードできると判定した場合(B1202のYES)、MPU60は、処理を終了する。リードできないと判定した場合(B1202のNO)、MPU60は、クロストラック間隔が所定の値よりも大きいのか所定の値以下であるかを判定する(B1203)。例えば、MPU60は、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合に初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めした状態で所定のトラックをリードできないと判定し、クロストラック間隔が所定のトラックのトラック幅(又はトラックピッチ)よりも大きいのかトラック幅(又はトラックピッチ)以下であるかを判定する。言い換えると、MPU60は、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合に初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めした状態で所定のトラックをリードできないと判定し、所定のトラックが位置する領域が広大領域であるか狭小領域であるかを判定する。つまり、MPU60は、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合に初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めした状態で所定のトラックをリードできないと判定し、初期リードヘッドとしてリードヘッド15R1又は15R2を所定のトラックに位置決めしているか初期リードヘッドとして中間部MPを所定のトラックに位置決めしているかを判定する。クロストラック間隔が所定の値よりも大きいと判定した場合(B1203のYES)、MPU60は、B1206の処理に進む。言い換えると、クロストラック間隔が所定の値よりも大きいため初期リードヘッドと異なる変更リードヘッド(以下、第1変更リードヘッドと称する場合もある)を所定のトラックに位置決めしていると判定した場合、MPU60は、B1205の処理に進む。クロストラック間隔が所定の値以下であると判定した場合(B1203のNO)、MPU60は、変更リードヘッドを所定のトラックに位置決めする(B1204)。言い換えると、クロストラック間隔が所定の値以下であるために中間部MPを所定のトラックに位置決めしていると判定した場合、MPU60は、初期リードヘッドと異なるリードヘッド15Rの内の第1変更リードヘッドを所定のトラックに位置決めする。MPU60は、第1変更リードヘッドと異なる変更リードヘッド(以下、第2変更リードヘッドと称する場合

20

30

40

50

もある)で所定のトラックをリードし(B 1 2 0 5)、処理を終了する。

【0072】

本実施形態によれば、磁気ディスク装置1は、リードヘッド15R、例えば、リードヘッド15R1及び15R2を備えている。磁気ディスク装置1は、ホスト100からのコマンド等に従って、狭小領域に位置する所定のトラックに中間部MPを位置決めする。中間部MPを所定のトラックに位置決めして少なくとも1回(又は複数回)のリードリトライを実行した場合、磁気ディスク装置1は、リードヘッド15R1を所定のトラックに位置決めする。リードヘッド15R1を所定のトラックに位置決めした後に、磁気ディスク装置1は、リードヘッド15R2を所定のトラックに位置決めする。磁気ディスク装置1は、ホスト100からのコマンド等に従って、広小領域に位置する所定のトラックにリードヘッド15R1(又はリードヘッド15R2)を位置決めする。リードヘッド15R1(又はリードヘッド15R2)を所定のトラックに位置決めして少なくとも1回(又は複数回)のリードリトライを実行した場合、磁気ディスク装置1は、リードヘッド15R2を所定のトラックに位置決めする。そのため、磁気ディスク装置1は、リードヘッド15Rから適切なリードヘッドを選択する処理や、選択したリードヘッドを最適な位置に調整して位置決めする処理を実行することなく、クロストラック間隔に基づいてリードヘッド15Rの内の適切なリードヘッドを所定のトラックに位置決めできる。また、初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めして少なくとも1回のリードリトライを実行した場合、磁気ディスク装置1は、クロストラック間隔に基づいて、リードヘッド15Rの内の初期リードヘッドと異なる少なくとも1つの変更リードヘッドを所定のトラックに位置決めすることでリードリトライの時間を短縮できる。したがって、磁気ディスク装置1は、リード処理性能を向上することが可能である。

【0073】

次に、他の実施形態に係る磁気ディスク装置について説明する。他の実施形態において、前述の実施形態と同一の部分には同一の参照符号を付してその詳細な説明を省略する。

(第2実施形態)

第2実施形態の磁気ディスク装置1は、リードヘッド15Rが第1実施形態の磁気ディスク装置1と異なる。

図13は、第2実施形態に係るリードヘッド15Rの配置の一例を示す図である。図10には、説明に必要な構成のみを示している。図13には、基準位置RP0を含む中周領域MRよりも内方向の内周領域IRに位置するゾーンZNmの対象トラックITRmと、ゾーンZNmで対象トラックITRmの内方向に隣接しているトラック(以下、隣接トラックと称する場合もある)ITRm+1とを示している。なお、隣接トラックITRm+1は、対象トラックITRmの外方向に隣接していてもよい。隣接トラックITRm+1は、内方向で対象トラックITRmに重ね書きされている。対象トラックITCmのトラック幅TW3は、隣接トラックITRm+1のトラック幅TW2よりも小さい。リードヘッド15R2は、対象トラックITRmのトラックセンタITCmに位置している。図13に示した例では、リードヘッド15R2は、対象トラックITRmに重なっている。リードヘッド15R1は、対象トラックITRmに重なっていない。例えば、リードヘッド15R2の幅R2W2は、リードヘッド15R1の幅R1W1よりも小さい。なお、リードヘッド15R1の幅がリードヘッド15R2の幅よりも小さくてもよい。例えば、対象トラックITRmにリードヘッド15R2を位置決めして対象トラックITRmをリードヘッド15R2でリードした場合のエラーレートは、対象トラックITRmにリードヘッド15R1を位置決めして対象トラックITRmをリードヘッド15R1でリードした場合のエラーレートよりも小さい。例えば、対象トラックITRmにリードヘッド15R1を位置決めして対象トラックITRmをリードヘッド15R1でリードした場合のエラーレートは、対象トラックITRmにリードヘッド15R2を位置決めして対象トラックITRmをリードヘッド15R2でリードした場合のエラーレートよりも小さくてもよい。また、例えば、隣接トラックITRm+1にリードヘッド15R1を位置決めして隣接トラックITRm+1をリードヘッド15R1でリードした場合のエラーレートは、隣接ト

トラック ITR_{m+1} にリードヘッド $15R_2$ を位置決めして隣接トラック ITR_{m+1} をリードヘッド $15R_2$ でリードした場合のエラーレートよりも小さい。例えば、隣接トラック ITR_{m+1} にリードヘッド $15R_2$ を位置決めして隣接トラック ITR_{m+1} をリードヘッド $15R_2$ でリードした場合のエラーレートは、隣接トラック ITR_{m+1} にリードヘッド $15R_1$ を位置決めして隣接トラック ITR_{m+1} をリードヘッド $15R_1$ でリードした場合のエラーレートよりも小さくてもよい。

【0074】

図13に示した例では、リード/ライト制御部610は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR に位置する対象トラック ITR_m のトラック幅 TW_3 が周辺のトラックのトラック幅、例えば、隣接トラック ITR_{m+1} のトラック幅 TW_2 よりも小さい場合、リードヘッド $15R_1$ 及び $15R_2$ の内の幅の小さいリードヘッド $15R_2$ を対象トラック ITR_m のトラックセンタ ITC_m に位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド $15R_2$ を対象トラック ITR_m に位置決めした状態で対象トラック ITR_m をリードできないと判定した場合、リードヘッド $15R_1$ を対象トラック ITR_m のトラックセンタ ITC_m に位置決めする。

10

【0075】

なお、リード/ライト制御部610は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい外周領域 OR に位置する対象トラックのトラック幅が周辺のトラックのトラック幅、例えば、隣接トラックのトラック幅よりも小さい場合、リードヘッド $15R_1$ 及び $15R_2$ の内の幅の小さいリードヘッド $15R_2$ を対象トラックに位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド $15R_2$ を対象トラックに位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド $15R_1$ を対象トラックに位置決めする。

20

【0076】

リード/ライト制御部610は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR に位置し、隣接トラック ITR_m のトラック幅 TW_3 よりも大きいトラック幅 TW_2 の対象トラック ITR_{m+1} をリードする場合、リードヘッド $15R_1$ 及び $15R_2$ の内の幅の大きいリードヘッド $15R_1$ を対象トラック ITR_{m+1} （のトラックセンタ）に位置決めする。リード/ライト制御部610は、リードヘッド $15R_1$ を対象トラック ITR_{m+1} に位置決めした状態で対象トラック ITR_{m+1} をリードできないと判定した場合、リードヘッド $15R_2$ を対象トラック ITR_{m+1} （のトラックセンタ）に位置決めする。

30

【0077】

また、リード/ライト制御部610は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも小さい中周領域（狭小領域） MR において周辺のトラックのトラック幅よりも小さいトラック幅を有する対象トラックに中間部 MP を位置決めした状態で対象トラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド $15R_1$ 及び $15R_2$ の内の幅の小さいリードヘッド $15R_2$ を対象トラックに位置決めする。リードヘッド $15R_2$ を対象トラックに位置決めした後に、リード/ライト制御部610は、リードヘッド $15R_1$ を対象トラックに位置決めする。

40

【0078】

図13に示した例において、リード/ライト制御部610は、クロストラック間隔がトラック幅（又はトラックピッチ）よりも大きい内周領域 IR 及び外周領域 OR に位置する対象トラックをリードする場合、クロストラック間隔が対象トラックのトラック幅よりも大きいと判定し、中間部 MP を対象トラックのトラックセンタに位置決めしてもよい。

【0079】

第2実施形態によれば、磁気ディスク装置1は、リードヘッド $15R$ 、例えば、リードヘッド $15R_1$ 及び $15R_2$ を備えている。リードヘッド $15R_2$ の幅 R_2W_2 は、リードヘッド $15R_1$ の幅 R_1W_1 よりも小さい。磁気ディスク装置1は、ホスト100からのコマンド等に従って広大領域に位置する所定のトラックをリードする場合、所定のトラ

50

ックのトラック幅が周辺のトラック、例えば、隣接トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下であるか隣接トラックのトラック幅よりも大きいかを判定する。広大領域に位置する所定のトラックのトラック幅が隣接トラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下であると判定した場合、磁気ディスク装置 1 は、リードヘッド 15 R 1 及び 15 R 2 の内の幅の小さいリードヘッド 15 R 2 を所定のトラックに位置決めする。また、磁気ディスク装置 1 は、狭小領域において周辺のトラックのトラック幅（又はトラックピッチ）よりも小さいトラック幅を有する所定のトラックに中間部 M P を位置決めした状態で所定のトラックをリードできないと判定した場合、リードヘッド 15 R 1 及び 15 R 2 の内の幅の小さいリードヘッド 15 R 2 を所定のトラックに位置決めする。そのため、所定のトラックのトラック幅が所定の値、例えば、周辺のトラックのトラック幅（又はトラックピッチ）以下である場合、磁気ディスク装置 1 は、例えば、リードヘッド 15 R の内の幅が最も小さい初期リードヘッドを所定のトラックに位置決めする。したがって、磁気ディスク装置 1 は、リード処理性能を向上することができる。

10

【 0 0 8 0 】

いくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

以下に、本願出願の当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

20

〔 1 〕ディスクと、

前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第 1 リードヘッド及び第 2 リードヘッドとを有するヘッドと、

前記ディスクの第 1 領域の第 1 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの中間部を前記第 1 トラックの第 1 トラックセンタに位置決めし、前記第 1 領域と異なる前記ディスクの第 2 領域の第 2 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックの第 2 トラックセンタに位置決めする、コントローラと、を備える磁気ディスク装置。

〔 2 〕前記コントローラは、前記第 1 領域で前記中間部を前記第 1 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めする、〔 1 〕に記載の磁気ディスク装置。

30

〔 3 〕前記コントローラは、前記第 1 領域で前記中間部を前記第 1 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めした後、前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のもう一方を前記第 1 トラックセンタに位置決めする、〔 2 〕に記載の磁気ディスク装置。

〔 4 〕前記コントローラは、前記第 2 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 2 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のもう一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めする、〔 1 〕に記載の磁気ディスク装置。

40

〔 5 〕前記コントローラは、前記第 1 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 3 トラックを有する前記第 1 領域において前記中間部を前記第 3 トラックの第 3 トラックセンタに位置決めしてリードリトライを繰り返し実行した場合、前記第 1 領域で前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の小さい一方を前記第 3 トラックセンタに位置決めする、〔 2 〕に記載の磁気ディスク装置。

〔 6 〕前記コントローラは、前記第 2 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 4 トラックを有する前記第 2 領域において前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の大きい一方を前記第 2 トラックセンタに位置決めする、〔 1 〕に記載の磁気ディスク

50

装置。

〔 7 〕前記コントローラは、前記第 2 トラックよりも半径方向の幅が小さい第 4 トラックを有する前記第 2 領域において前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内の幅の小さい一方を前記第 4 トラックの第 4 トラックセンタに位置決めする、〔 1 〕に記載の磁気ディスク装置。

〔 8 〕前記第 2 領域は、前記第 1 リードヘッドと前記第 2 リードヘッドとの前記ディスクの半径方向のヘッド間隔が前記第 1 領域よりも大きい、〔 1 〕乃至〔 7 〕のいずれか 1 項に記載の磁気ディスク装置。

〔 9 〕前記ヘッド間隔は、前記第 1 領域で閾値以下であり、前記第 2 領域で前記閾値よりも大きい、〔 8 〕に記載の磁気ディスク装置。

10

〔 10 〕前記第 2 領域は、前記ヘッドのスキュー角が前記第 1 領域よりも大きい、〔 1 〕乃至〔 7 〕のいずれか 1 項に記載の磁気ディスク装置。

〔 11 〕ディスクと、前記ディスクに対してデータをライトするライトヘッドと、前記ディスクからデータをリードする第 1 リードヘッド及び第 2 リードヘッドとを有するヘッドと、を備える磁気ディスク装置に適用されるリード処理方法であって、

前記ディスクの第 1 領域の第 1 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの中間部を前記第 1 トラックの第 1 トラックセンタに位置決めし、

前記第 1 領域と異なる前記ディスクの第 2 領域の第 2 トラックをリードする場合に前記第 1 リードヘッド及び前記第 2 リードヘッドの内のいずれか一方を前記第 2 トラックの第 2 トラックセンタに位置決めする、リード処理方法。

20

【符号の説明】

【 0 0 8 1 】

1 ... 磁気ディスク装置、 1 0 ... 磁気ディスク、 1 0 a ... ユーザデータ領域、 1 0 b ... システムエリア、 1 2 ... スピンドルモータ (S P M)、 1 3 ... アーム、 1 4 ... ボイスコイルモータ (V C M)、 1 5 ... ヘッド、 1 5 W ... ライトヘッド、 1 5 R 1、 1 5 R 2 ... リードヘッド、 2 0 ... ドライバ I C、 3 0 ... ヘッドアンプ I C、 4 0 ... ハードディスクコントローラ (H D C)、 5 0 ... リード / ライト (R / W) チャネル、 6 0 ... マイクロプロセッサ (M P U)、 7 0 ... 揮発性メモリ、 8 0 ... バッファメモリ、 9 0 ... 不揮発性メモリ、 1 0 0 ... ホストシステム (ホスト)、 1 3 0 ... システムコントローラ。

30

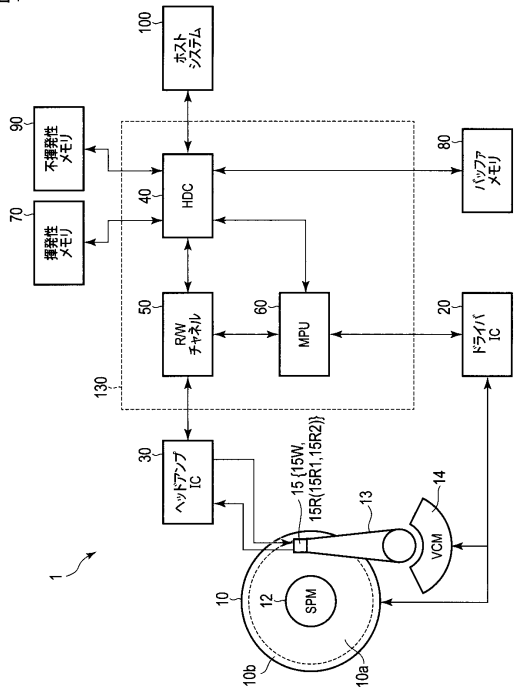
40

50

【図面】

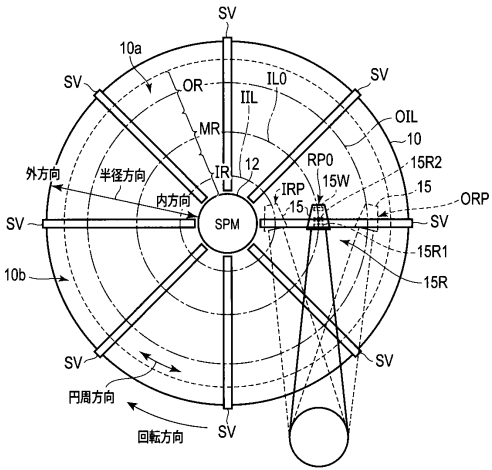
【図 1】

図 1



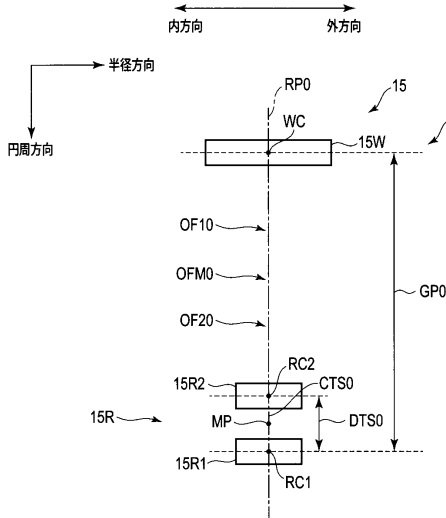
【図 2】

図 2



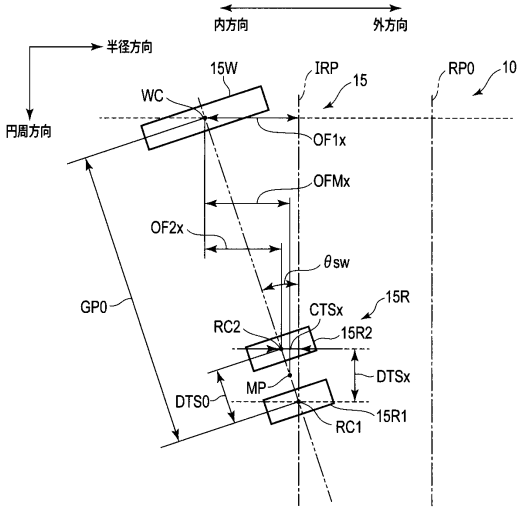
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



10

20

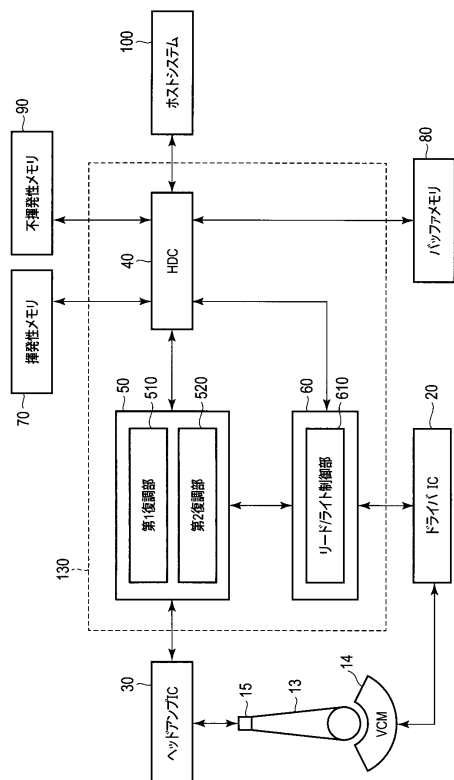
30

40

50

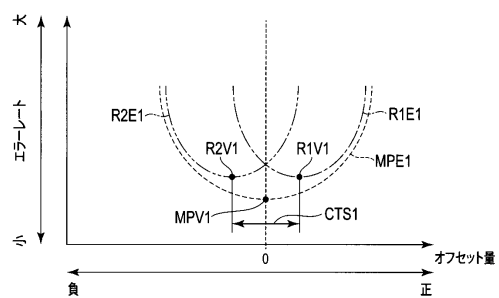
【 図 5 】

图 5



【 図 6 】

图 6

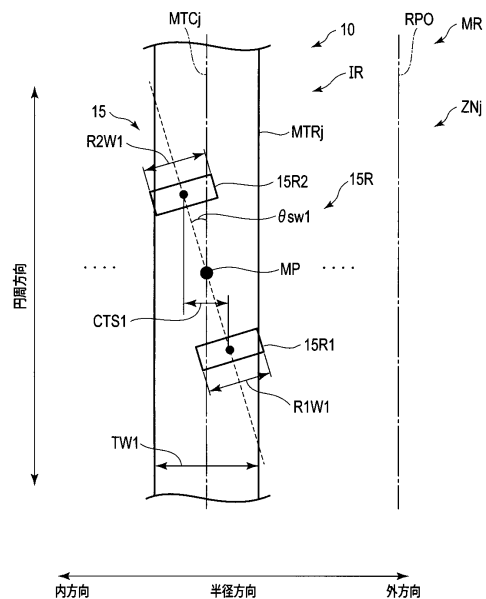


10

20

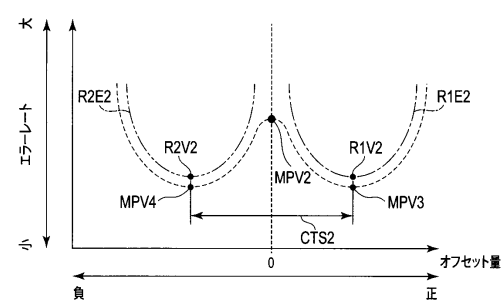
【圖 7】

图 7



【圖 8】

图 8

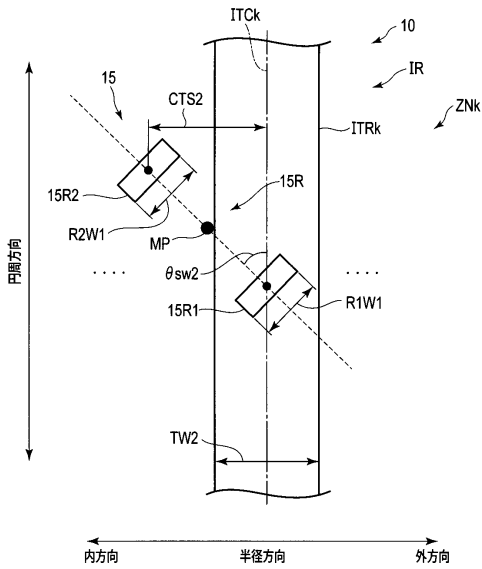


30

40

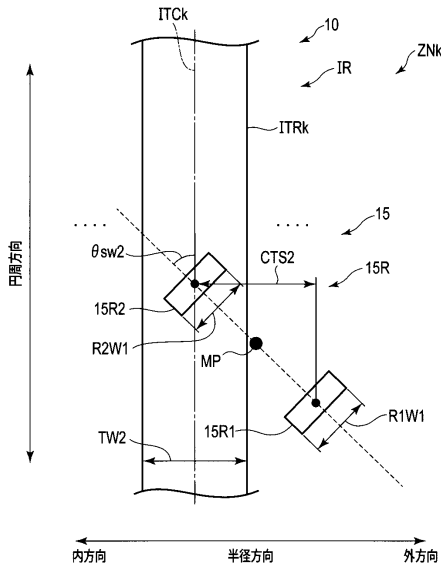
【図 9】

図 9



【図 10】

図 10

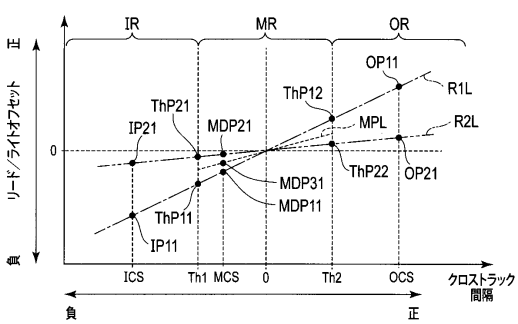


10

20

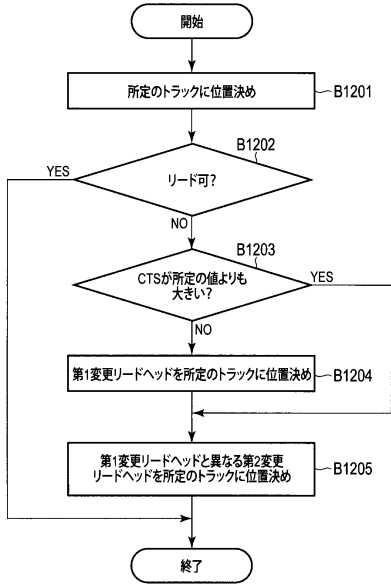
【図 11】

図 11



【図 12】

図 12



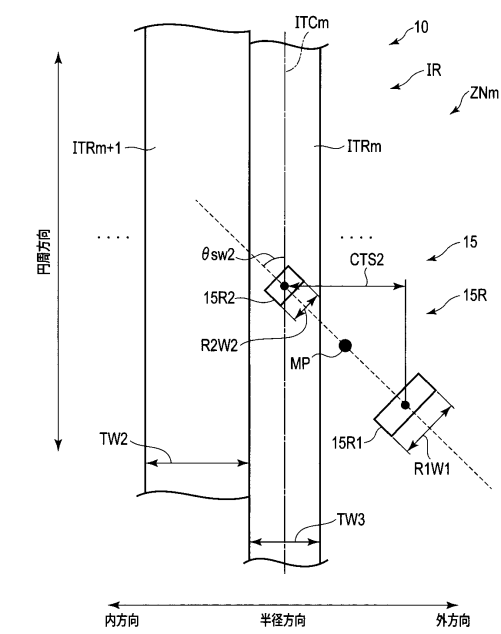
30

40

50

【図 13】

図 13



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 1 0 6 8 0 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 7 0 6 7 6 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 0 3 5 3 8 4 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 5 5 0 9 9 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 1 1 B 5 / 2 6 5 - 5 / 3 2 5
G 1 1 B 5 / 0 0 - 5 / 0 2 4