

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-60510

(P2011-60510A)

(43) 公開日 平成23年3月24日(2011.3.24)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H05H 13/04 (2006.01) H05H 13/04 U 2G085
 H05H 13/04 R

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

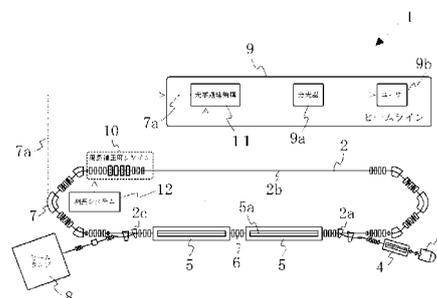
(21) 出願番号	特願2009-207299 (P2009-207299)	(71) 出願人	504151365 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市大穂1番地1
(22) 出願日	平成21年9月8日(2009.9.8)	(74) 代理人	100093816 弁理士 中川 邦雄
		(72) 発明者	青戸 智浩 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内
		(72) 発明者	島田 美帆 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内
		Fターム(参考)	2G085 AA03 AA13 BA14 BE03 CA02 CA24 CA27 DB02 DB04

(54) 【発明の名称】 電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】放射光発生装置において、電子周回部の周長又はその一部を測長し、その変化量から放射光パルス時間を制御する装置及び方法を提供。

【解決手段】入射した電子ビームを加速し偏向電磁石7により電子周回部を周回させるエネルギー回収型リニアック1と、前記電子周回部に設けた複数の電磁石からなる周長補正用シケイン10と、偏向電磁石7で発生した放射光を2台のスライド移動可能なステージに設置した回転ミラーに斜入射させることにより光軸を変えずに放射光の光路長を変化させる光学遅延機構11とからなる。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射した電子ビームを加速し偏向電磁石により電子周回部を周回させるエネルギー回収型リニアックと、

前記電子周回部に設けた複数の電磁石からなる周長補正用シケインと、

前記偏向電磁石で発生した放射光を 2 台のスライド移動可能なステージに設置した回転ミラーに斜入射させることにより光軸を変えずに放射光の光路長を変化させる光学遅延機構と、

レーザー光を測定光と参照光に分割し、前記リニアックを構成する機器に設置したミラーにより前記電子周回部に沿って進むように前記測定光を斜入射させ、終端光学素子で反射した前記測定光と前記参照光を干渉させることで、前記測定光の光路長を計測するレーザー干渉計と、

前記測定光の光路長と前記機器の位置から電子周回部の周長を算出し、前記周長と予めデータベースに登録しておいた周長の基準値とを比較して電子軌道長の変化量を予測し、前記変化量を基に前記周長補正シケインの印加磁場の補正值を算出し、前記補正值を基に前記光学遅延機構のステージ移動量及びミラー回転角度を算出する手段とからなり、前記周長補正シケインで電子の周回軌道長を補正し、前記光学遅延機構で光パルスのタイミングを調整することを特徴とする電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置。

【請求項 2】

レーザー干渉計として光コム干渉計を使用し、レーザー光としてフェムト秒レーザーを用いることを特徴とする請求項 1 に記載の電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の放射光パルス時間制御装置により、電子周回部の周長又はその一部を測長し、その変化量から放射光パルス時間を 100 フェムト秒のオーダーで制御することを特徴とする電子周回部測長による放射光パルス時間制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シンクロトロン放射光などの光源装置において、光パルスの時間（タイミング）を制御する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

シンクロトロン放射光は、加速器の一種であるシンクロトロンの軌道中にある偏向電磁石において高エネルギーの電子が曲げられるときに円軌道の接線方向に発生する電磁波である。

【0003】

まず、線形加速器（リニアック）により電子を光速に近い速度まで加速し、次に、加速した電子ビームを電子蓄積リングで周回させることで、偏向電磁石またはアンジュレータなどの挿入光源から高強度の白色パルス光を生成することができる。

【0004】

また、線形加速器で加速された電子ビームを、周回部で一回周回させ、再び線形加速器に減速位相で導入し、エネルギーを回収するエネルギー回収型リニアック（ERL）も利用されている。

【0005】

ただし、エネルギー回収型リニアックにおいては、開発過程で周長を補正する際のターゲット（基準）が曖昧であると、振動や温度による電子周回リングの周長変動が光パルスの時間的な精度を悪化させる懸念がある。

【0006】

尚、従来のシンクロトロン放射光発生装置においては、シンクロトロン放射光の光パルス

10

20

30

40

50

スを検出・監視しながら、シンクロトロンの電子周回部の電子の軌道を補正することで、安定した放射光パルスを発生させるものもある。

【0007】

特許文献1に記載されているように、簡単な方法で電子ビームを蓄積しながら電子ビームの軌道を正確な設計軌道に補正できる電子ビームの軌道補正装置及び補正方法の発明も公開されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来の方法では、電子周回部の周長又はその一部が振動や温度ドリフトなどにより位置や長さが変動し、光パルスのタイミングにばらつきが出るおそれがあり、また、電子周回部が長い場合には測長が困難である。

【0009】

そこで、本発明は、放射光発生装置、特にエネルギー回収型リニアックにおいて、電子周回部の周長又はその一部を測長し、その変化量から放射光パルス時間を制御する装置及び方法を提案することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記の課題を解決するために、本発明は、入射した電子ビームを加速し偏向電磁石により電子周回部を周回させるエネルギー回収型リニアックと、前記電子周回部に設けた複数の電磁石からなる周長補正用シケインと、前記偏向電磁石で発生した放射光を2台のスライド移動可能なステージに設置した回転ミラーに斜入射させることにより光軸を変えずに放射光の光路長を変化させる光学遅延機構と、レーザー光を測定光と参照光に分割し、前記リニアックを構成する機器に設置したミラーにより前記電子周回部に沿って進むように前記測定光を斜入射させ、末端光学素子で反射した前記測定光と前記参照光を干渉させることで、前記測定光の光路長を計測するレーザー干渉計と、前記測定光の光路長と前記機器の位置から電子周回部の周長を算出し、前記周長と予めデータベースに登録しておいた周長の基準値とを比較して電子軌道長の変化量を予測し、前記変化量を基に前記周長補正シケインの印加磁場の補正值を算出し、前記補正值を基に前記光学遅延機構のステージ移動量及びミラー回転角度を算出する手段とからなり、前記周長補正シケインで電子の周回軌道長を補正し、前記光学遅延機構で光パルスのタイミングを調整することを特徴とする放射光パルス時間制御装置、及び、当該装置により電子周回部の周長又はその一部を測長し、その変化量から放射光パルス時間を100フェムト秒のオーダーで制御することを特徴とする放射光パルス時間制御方法の構成とした。

【発明の効果】

【0011】

本発明は、エネルギー回収型リニアックなどの放射光源において、光パルスの時間的な繰り返し精度を向上させることができる。これにより、放射光源装置の長時間運転において生じる電子軌道変動や光ビームの位置変動などのドリフトの原因の解明にも繋がる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法で使用するエネルギー回収型リニアックの概要を示す図である。

【図2】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における制御の流れを示す図である。

【図3】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における制御を行う測長システムの構成を示す図である。

【図4】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における測長システムの測定装置の構成を示す図である。

【図5】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における

10

20

30

40

50

測定装置のレーザー測長器の構成を示す図である。

【図6】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における測長システムの情報処理を示す図である。

【図7】本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における光学遅延機構を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置は、入射した電子ビームを加速し偏向電磁石により電子周回部を周回させるエネルギー回収型リニアックと、前記電子周回部に設けた複数の電磁石からなる周長補正用シケインと、前記偏向電磁石で発生した放射光を2台のスライド移動可能なステージに設置した回転ミラーに斜入射させることにより光軸を変えずに放射光の光路長を変化させる光学遅延機構と、レーザー光を測定光と参照光に分割し、前記リニアックを構成する機器に設置したミラーにより前記電子周回部に沿って進むように前記測定光を斜入射させ、終端光学素子で反射した前記測定光と前記参照光を干渉させることで、前記測定光の光路長を計測するレーザー干渉計と、前記測定光の光路長と前記機器の位置から電子周回部の周長を算出し、前記周長と予めデータベースに登録しておいた周長の基準値とを比較して電子軌道長の変化量を予測し、前記変化量を基に前記周長補正シケインの印加磁場の補正值を算出し、前記補正值を基に前記光学遅延機構のステージ移動量及びミラー回転角度を算出する手段とからなり、前記周長補正シケインで電子の周回軌道長を補正し、前記光学遅延機構で光パルスのタイミングを調整することを特徴とする。

10

20

【0014】

また、電子周回部測長による放射光パルス時間制御方法は、当該放射光パルス時間制御装置により、電子周回部の周長又はその一部を測長し、その変化量から放射光パルス時間を100フェムト秒のオーダーで制御することを特徴とする。

【実施例1】

【0015】

図1は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法で使用するエネルギー回収型リニアックの概要を示す図である。

【0016】

エネルギー回収型リニアック1は、線形加速器とリング型加速器の利点をあわせ持った加速器であり、周回部2、電子銃3、主加速器5、偏向電磁石7、ビームダンプ8等からなる。

30

【0017】

周回部2は、直線部と湾曲部を設けることにより環状に繋いだ真空ダクトであり、内部を電子パンチと呼ばれる電子集団が通過する。合流部2aから電子ビームを入射し、1回又は複数回周回させて取出部2cから取り出す。

【0018】

合流部2aでは、電子銃3で生成した電子ビームを入射用加速器4を介して加速することで周回部2の電子軌道に乗せる。また、取出部2cでは、周回する電子を減速してビームダンプ8に送る。

40

【0019】

電子銃3は、固体中の電子を高熱や高電界、あるいはレーザースパッタリングにより空間に放出させ高電圧で加速すると共にビーム状に収束させる。入射用加速器4は、周回部2に入射するための前段加速器であり、超伝導の線形加速器等を使用する。

【0020】

周回部2において合流部2aのすぐ後の直線部には、主加速器5を1台又は複数台配置して電子を加速し、その先の湾曲部には偏向電磁石7を配置して電子の軌道を曲げ放射光7aを発生させる。

【0021】

50

主加速器 5 は、超伝導の線形加速器等であり、入射した電子ビームのエネルギーが 200 MeV 程度もしくは 5 GeV 程度になるまで加速する。また、周回した電子を減速してエネルギーを回収することで、次の電子ビームの加速に利用することができる。

【0022】

主加速器 5 の加速空洞 5 a は、ニオブ等により形成される。高周波電力を投入し高周波電場を発生することで、電子ビームを加速するが、超伝導技術を用いることで高電界かつ高効率の加速が可能となる。

【0023】

偏向電磁石 7 は、磁場の力を利用して電子が進む向きを変える。偏向電磁石 7 を数回介すことにより電子の進行方向を徐々に反対側に向ける。尚、偏向により発生した放射光 7 a を取り出しビームライン 9 にて放射光をユーザ 9 b に提供する。

10

【0024】

また、その後の長直線部 2 b には、周長補正用シケイン 10 やアンジュレータ光源を設置することができる。周長補正用シケイン 10 は、複数の電磁石を配置して磁場の力で電子の軌道を調整するものである。

【0025】

周回部 2 には、電子集団が真空ダクトの軸上近傍を通るように、何箇所かに収束用電磁石 6 が設けられる。収束用電磁石 6 は、4 極電磁石や 6 極電磁石を組み合わせる等して中心への収束作用を持たせたものである。

【0026】

加速及び収束させた電子集団にはエネルギー分布があり、エネルギーが大きい電子は磁場の力が効きにくく、湾曲部などにおいては中央よりも外側を通りやすく、エネルギーが小さい電子は磁場の力により中央よりも内側を通りやすい。

20

【0027】

周長補正用シケイン 10 では、逆に、エネルギーが大きい電子は磁場の力が効きにくいいため直進するように近道をし、エネルギーが小さい電子は磁場の力により軌道が湾曲し遠回りをするので、エネルギーの大小による電子軌道長の誤差を相殺することができる。

【0028】

また、アンジュレータ光源は、複数の永久磁石を N 極と S 極が交互になるように配置することで、電子ビームが細かく蛇行し放射光を発生する。放出される光同士が干渉するためエネルギーの揃った光を得ることができる。

30

【0029】

ビームライン 9 では、放射光 7 a を分光器 9 a で必要な波長を選別してユーザ 9 b に提供するが、光パルスのタイミングを安定させるために、分光器 9 a に通す前に光学遅延機構 11 で光パルスのタイミングを調整する。

【0030】

本発明は、光パルスのタイミングをリアルタイムに制御するにあたり、電子周回部を測長するために測長システム 12 を設け、周長補正用シケイン 10 及び光学遅延機構 11 をフィードバック制御する。

【0031】

図 2 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における制御の流れを示す図である。

40

【0032】

測長システム 12 による制御方法 13 は、電子周回部測長 13 a、機器位置測定 13 b、電子軌道長変化量予測 13 c、周長制御 13 d、及び光路長制御 13 e の手順により行われる。

【0033】

電子周回部測長 13 a は、電子ビームが周回する周回部 2 の長さを計測するが、まず周回部 2 に沿ってレーザー光を照射しレーザー光の光路長を計測し、基準となる位置との関係から周回部 2 の長さを換算する。

50

【 0 0 3 4 】

機器位置測定 1 3 b は、周回部 2 の長さを計測するにあたり、計測の基準となる周回部 2 に設置された主加速器 5、収束用電磁石 6、偏向電磁石 7、合流部 2 a、アンジュレータ光源などの機器の位置、長さ、間隔等を測定する。

【 0 0 3 5 】

機器位置の測定器としては、ホモダイン方式又はヘテロダイン方式のレーザー干渉計、レーザートラック、非接触 3 次元計測装置、光コム干渉を使用して絶対距離を計測する光コム距離計などが挙げられる。

【 0 0 3 6 】

電子軌道長変化量予測 1 3 c は、温度ドリフト及び振動による機器自体の位置や長さのずれ、電子のエネルギーの大きさにより磁場から受ける影響の違いなど様々な要素を考慮して電子の軌道長の変化量を予測する。

【 0 0 3 7 】

周長制御 1 3 d は、電子の軌道長の変化量を補正すべく周長補正用シケイン 1 0 を利用する。また、光路長制御 1 3 e は、電子軌道の補正に伴い生じた時間的なずれを光学遅延機構で放射光 7 a の光路長を調整することで放射光パルス時間制御する。

【 0 0 3 8 】

尚、本発明は、予め当該制御方法 1 3 を行ってから電子ビームを入射して放射光 7 a を取得しても良いし、連続的に電子ビームを入射しながら当該制御方法 1 3 も随時行ったりアルタイムに調整しながら放射光 7 a を取得することもできる。

【 0 0 3 9 】

図 3 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における制御を行う測長システムの構成を示す図である。

【 0 0 4 0 】

測長システム 1 2 を構成するコンピュータ 1 4 は、測定装置 1 5 から入力したデータを基に、周長補正用シケイン 1 0 及び光学遅延機構 1 1 を制御するための出力データを算出する。

【 0 0 4 1 】

尚、測定装置 1 5 には、周回部 2 を計測するレーザー干渉計 1 6 や、周回部 2 上の機器位置を測定する装置などがあり、周回部 2 の測長値や機器の位置情報などが入力データとなる。

【 0 0 4 2 】

図 4 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における測長システムの測定装置の構成を示す図である。

【 0 0 4 3 】

周回部 2 を計測する測定装置 1 5 として、周回部 2 上の機器に対し、レーザー干渉計 1 6 と終端光学素子 1 5 b を両端とし、間に複数のミラー 1 5 a を周回部 2 を構成する各機器に配して、周回部 2 を 1 周するように設置する。

【 0 0 4 4 】

レーザー干渉計 1 6 から照射した測定光 1 5 c をミラー 1 5 a で次々と斜入射により周回部 2 に沿って反射させ、終端光学素子 1 5 b で反対側に反射させてレーザー干渉計 1 6 まで戻し、光の干渉を利用して測定光 1 5 c の光路長を測定する。

【 0 0 4 5 】

尚、終端光学素子 1 5 b としては、ミラーの他に、コーナーキューブプリズムなどを利用することができる。コーナーキューブプリズムは、反射する性質を持った平面を直角に組み合わせることで、光を元の方向に反射する素子である。

【 0 0 4 6 】

図 5 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における測定装置のレーザー測長器の構成を示す図である。

【 0 0 4 7 】

10

20

30

40

50

レーザー干渉計 16 は、光源 16 a から発したレーザー光 16 b をビームスプリッタ 16 c で測定光 15 c と参照光 16 e に分割し、測定光 15 c を終端光学素子 15 b で反射させ、参照光 16 e を光学素子 16 d で反射させる。

【0048】

尚、レーザー光 16 b の例としては、波長 633 nm の HeNe レーザー等があり、光コム干渉の場合にはフェムト秒レーザーを使用する。

【0049】

そして、終端光学素子 15 b で反射した測定光 15 c と光学素子 16 d で反射した参照光 16 e とを光検出器 16 f で干渉させ、干渉縞の数と位相を読むことで、測定光 15 c の光路長を測る。

【0050】

参照光 16 e と測定光 15 c を干渉させると、波長の整数倍で強め合い、その間で弱め合う干渉縞が現れることから、その干渉縞の数と位相を読むことで、測定光 15 c の相対的な光路長を求めることができる。

【0051】

図 6 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における測長システムの情報処理を示す図である。

【0052】

コンピュータ 14 は、中央処理装置 17、記憶装置 18、入力装置、出力装置等からなり、測長システム 12 が導入される。尚、入力装置と出力装置については、外部機器とのデータのやり取りとなる。

【0053】

入力装置としては、測定装置 15 が該当する。電子周回部測長 13 a により測長値 18 a が入力され、機器位置測定 13 b により機器位置 18 b が入力されて、記憶装置 18 に保存される。

【0054】

記憶装置 18 には、データベース等を作成して、予め必要な基準値 18 c と演算に必要な式や値などを蓄積しておき、また、電子軌道長変化量予測 13 c の処理において必要に応じて一時的にデータを保存する。

【0055】

基準値 18 c は、予め設定しておく初期値やリアルタイム制御時の前回値であり、機器の規定位置、電子軌道長の規定値、周長補正用シケイン 10 の電磁石の初期値又は前回値、光学遅延機構 11 の初期位置及び初期角度又は前回制御後の位置及び角度などがある。

【0056】

中央処理装置 17 では、電子軌道長変化量予測 13 c の処理が行われるが、周長算出 17 a、変化量予測 17 b、補正值算出 17 c、制御値算出 17 d の各ステップが順次実行される。

【0057】

周長算出 17 a は、記憶装置 18 に保存された測長値 18 a と機器位置 18 b を入力し、機器の規定位置と機器位置 18 b の誤差を求め、測長値 18 a に反映することにより、周回部 2 の実際の周長に換算し、一時記憶する。

【0058】

変化量予測 17 b は、算出した周回部 2 の周長から実際にどのような電子軌道長になるかを推測し、電子軌道長の規定値と比較して、変化量がどの程度になるかを予測し、一時記憶する。

【0059】

補正值算出 17 c は、算出した電子軌道長の変化量を修正するのに必要な電圧を求め、周長補正用シケイン 10 の電磁石の初期値又は前回値からどの程度磁場を調整すれば良いか補正值を算出し、一時記憶する。

【0060】

10

20

30

40

50

制御値算出 17 d は、算出した補正値を基に、光学遅延機構 11 の初期位置及び初期角度又は前回制御後の位置及び角度からどの程度調整すれば良いか各制御値を算出し、一時記憶する。

【0061】

出力装置としては、周長補正用シケイン 10 と光学遅延機構 11 が該当し、補正値算出 17 c のステップで算出された補正値 18 d が周長補正用シケイン 10 に送られ、制御値算出 17 d のステップで算出された移動量 18 e 及び回転角度 18 f が光学遅延機構 11 に送られる。

【0062】

尚、リアルタイムで制御する場合には、処理を実行した時間を記憶しておくと共に、各実行時間ごとに各ステップにおいて一時記憶したデータを履歴としてデータベース等に蓄積し、次回の実行時に利用する。

10

【0063】

図 7 は、本発明である電子周回部測長による放射光パルス時間制御装置及び方法における光学遅延機構を示す図である。

【0064】

光学遅延機構 11 は、放射光 7 a をスライド移動可能なステージ 19 a に設置した回転ミラー 19 c と、スライド移動可能なステージ 20 a に設置した回転ミラー 20 c に斜入射させることにより、光軸を変えずに放射光 7 a の光路長を変化させる仕組みである。

【0065】

20

まず、2つの土台となるベース 19 とベース 20 を設ける。ベース 19 とベース 20 とは互いに平行だが位置を前方又は後方にずらして、ベース 19 の斜め方向にベース 20 が来るようにする。

【0066】

ベース 19 上には位置を把握できるように目盛りを付けたスケール 19 d を貼付する。同様に、ベース 20 上にも位置を把握できるように目盛りを付けたスケール 20 d を貼付する。

【0067】

ベース 19 上にスケール 19 d に沿うようにレール等を敷いて、その上にステージ 19 a を載置し、モータ 19 b を動力としてステージ 19 a がレール上をスライド移動できるようにする。

30

【0068】

同様に、ベース 20 上にスケール 20 d に沿うようにレール等を敷いて、その上にステージ 20 a を載置し、モータ 20 b を動力としてステージ 20 a がレール上をスライド移動できるようにする。

【0069】

ステージ 19 a にはスケールヘッド 19 e を取り付け、スケールヘッド 19 e でスケール 19 d を読み取れるようにし、ステージ 19 a の移動に伴い、ステージ 19 a の位置を取得する。

【0070】

40

同様に、ステージ 20 a にはスケールヘッド 20 e を取り付け、スケールヘッド 20 e でスケール 20 d を読み取れるようにし、ステージ 20 a の移動に伴い、ステージ 20 a の位置を取得する。

【0071】

ステージ 19 a 上に回転ミラー 19 c をロータリーエンコーダスキャナ 19 f 付きで載置し、ロータリーエンコーダスキャナ 19 f で回転ミラー 19 c を回転させると共に、回転ミラー 19 c の角度を取得する。

【0072】

同様に、ステージ 20 a 上に回転ミラー 20 c をロータリーエンコーダスキャナ 20 f 付きで載置し、ロータリーエンコーダスキャナ 20 f で回転ミラー 20 c を回転させると

50

共に、回転ミラー 20 c の角度を取得する。

【0073】

回転ミラー 19 c と回転ミラー 20 c は、常に、放射光 7 a が、回転ミラー 19 c に向かって進み、回転ミラー 19 c で反射して回転ミラー 20 c に向かって進み、回転ミラー 20 c で反射して分光器 9 a に向かって進むような角度になる。

【0074】

即ち、コンピュータ 14 から、ステージ 19 a の移動量 18 e 及び回転ミラー 19 c の回転角度 18 f と、ステージ 20 a の移動量 18 e 及び回転ミラー 20 c の回転角度 18 f が送られても、光軸が変わらないように制御され、光路長のみが変化する。

【符号の説明】

10

【0075】

1	エネルギー回収型リニアック	
2	周回部	
2 a	合流部	
2 b	長直線部	
2 c	取出部	
3	電子銃	
4	入射用加速器	
5	主加速器	
5 a	加速空洞	20
6	収束用電磁石	
7	偏向電磁石	
7 a	放射光	
8	ビームダンプ	
9	ビームライン	
9 a	分光器	
9 b	ユーザ	
10	周長補正用シケイン	
11	光学遅延機構	
12	測長システム	30
13	制御方法	
13 a	電子周回部測長	
13 b	機器位置測定	
13 c	電子軌道長変化量予測	
13 d	周長制御	
13 e	光路長制御	
14	コンピュータ	
15	測定装置	
15 a	ミラー	
15 b	終端光学素子	40
15 c	測定光	
16	レーザー干渉計	
16 a	光源	
16 b	レーザー光	
16 c	ビームスプリッタ	
16 d	光学素子	
16 e	参照光	
16 f	光検出器	
17	中央処理装置	
17 a	周長算出	50

17b	変化量予測	
17c	補正值算出	
17d	制御値算出	
18	記憶装置	
18a	測長値	
18b	機器位置	
18c	基準値	
18d	補正值	
18e	移動量	
18f	回転角度	10
19	ベース	
19a	ステージ	
19b	モータ	
19c	回転ミラー	
19d	スケール	
19e	スケールヘッド	
19f	ロータリーエンコーダスキャナ	
20	ベース	
20a	ステージ	
20b	モータ	20
20c	回転ミラー	
20d	スケール	
20e	スケールヘッド	
20f	ロータリーエンコーダスキャナ	

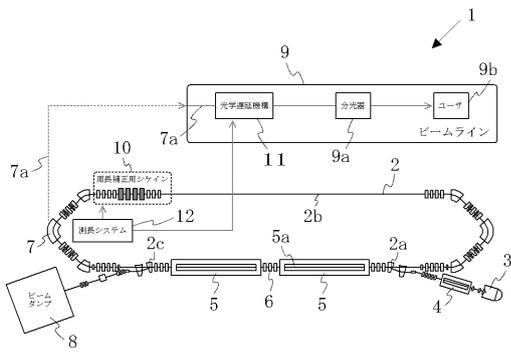
【先行技術文献】

【特許文献】

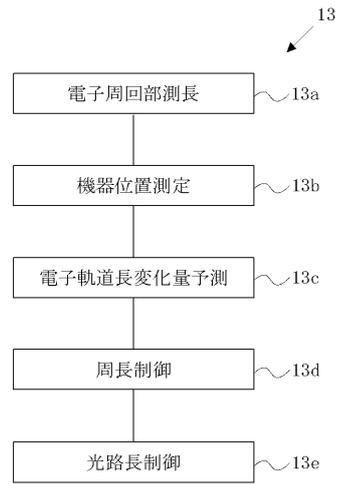
【0076】

【特許文献1】特許第4085176号公報

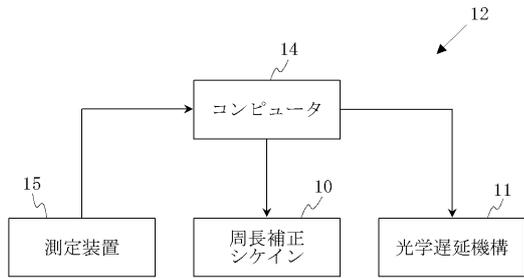
【図 1】



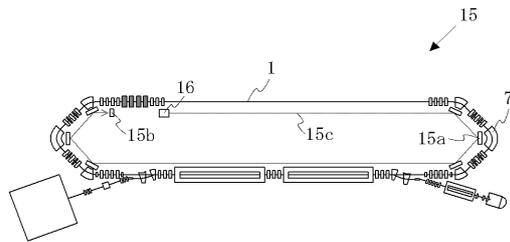
【図 2】



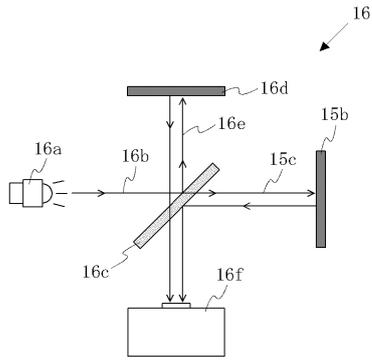
【図 3】



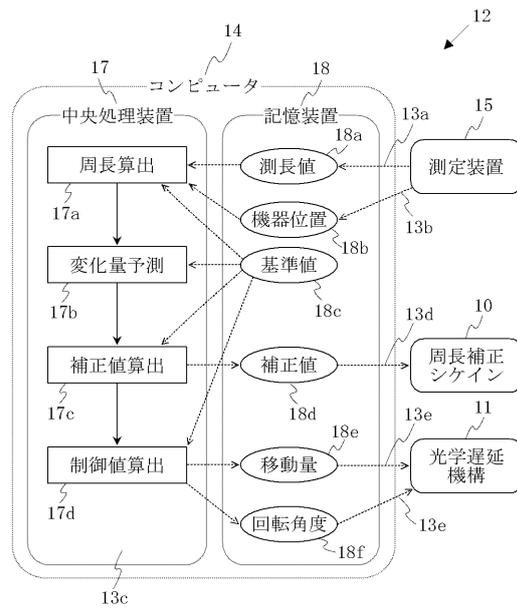
【図 4】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

