

(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2008-234938

(P2008-234938A)

(43) 公開日 平成20年10月2日(2008.10.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H05H 7/04 (2006.01)	H05H 7/04	2G085
H01F 13/00 (2006.01)	H01F 13/00	G
	H01F 13/00	C

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2007-71350 (P2007-71350)
 (22) 出願日 平成19年3月19日 (2007.3.19)

(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

(74) 代理人 100138391
 弁理士 天田 昌行

(74) 代理人 100098589
 弁理士 西山 善章

(74) 代理人 100097559
 弁理士 水野 浩司

(74) 代理人 100121083
 弁理士 青木 宏義

(74) 代理人 100132067
 弁理士 岡田 喜雅

最終頁に続く

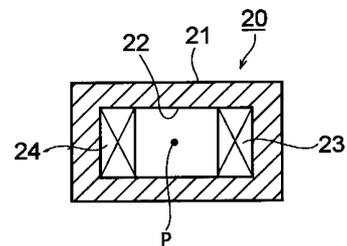
(54) 【発明の名称】 電磁石の高速強磁場化方法及びパルス電磁石システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 所要の強磁場が得られるまでの立ち上がり時間を大幅に短縮すると共に励磁電流のオン/オフによる磁力の変化幅を拡大する電磁石の高速強磁場化方法及びパルス電磁石システムの提供。

【解決手段】 パルス電磁石 20 は、磁場が発生する間隙部を有する磁性体ブロック 21 と、磁性体ブロック 21 の間隙に沿って配設された励磁導体 23, 24 と、励磁導体 23, 24 にパルス状の励磁電流を印加する高電圧パルス発生器及びパルス伝送線とを備える。そして、パルス状の励磁電流の電流値を磁性体ブロック 21 の飽和点付近の可逆領域に設定して磁性体ブロック 21 を励磁する。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁性体に沿って配設した励磁導体にパルス状の励磁電流を流して当該に磁場の発生と消滅を瞬時に引き起こす電磁石の高速強磁場化方法であって、

前記励磁電流の電流値を前記磁性体の飽和点付近の可逆領域に設定して当該磁性体を励磁することを特徴とする電磁石の高速強磁場化方法。

【請求項 2】

前記磁性体の飽和点付近の可逆領域は、励磁電流の増大に対して磁力増大率が減少し始める磁性体飽和開始点と、励磁電流をオフしても磁場の消滅が認められなくなる永久磁石化開始点との間の領域であることを特徴とする請求項 1 記載の電磁石の高速強磁場化方法

10

【請求項 3】

前記パルス状の励磁電流の周期は、1 K H z 未満であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の電磁石の高速強磁場化方法。

【請求項 4】

前記パルス状の 1 μ 秒程度の時間長の励磁電流により、最大出力が 0.3 [T]、最大出力に達するまでの所要時間が 0.4 μ 秒であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の電磁石の高速強磁場化方法。

【請求項 5】

磁場が発生する間隙部を有する磁性体ブロックと、前記磁性体ブロックの間隙に沿って配設された励磁導体と、前記励磁導体にパルス状の励磁電流を印加する高電圧パルス発生手段とを備え、前記励磁電流の電流値を前記磁性体の飽和点付近の可逆領域に設定して当該磁性体ブロックを励磁することを特徴とするパルス電磁石システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁性体を高速に強磁場化すると共にその磁場を消滅させる高速強磁場化方法及びパルス電磁石システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

現在、素粒子実験、原子核実験、核医学（放射線治療等）等の分野では、高エネルギー粒子線加速器の利用が図られている。従来の高エネルギー粒子線加速器は、高エネルギーの荷電粒子の軌道を偏向させるために、軌道偏向用のパルス電磁石を用いるものがある（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

図 8 は、従来のパルス電磁石の構成例を示す図である。

鉄心枠 11 の内周に珪素鋼板を積層したヨーク 1 を配置し、珪素鋼板を積層した C 型のヨーク 1 の開口部 2 に、一巻のコイル、つまりセプタムコイル 3 及びリターンコイル 4 が巻装された構成となっている。また、開口部 2 におけるセプタムコイル 3 近傍には、導電性板 6 がセプタムコイル 3 とは接触せずにそれぞれ独立に設けられている。そして、開口部 2 に発生する磁場により、ビームダクト 5 の偏向部でのビームの取り出しを行うようになっている。ビームダクト 5 中の 9 は出射軌道を示しており、10 はバンブ軌道を示している。また、セプタムコイル 3 に流れる電流により発生する熱を除去するために、鉄心枠 11 の外側には冷却管 12 が設けられている。

40

【0004】

ところで、小型の粒子加速器で加速された高エネルギー荷電粒子を外部に取り出して利用する場合、大強度の磁場が必要である。発生する磁場強度はパルス電磁石の開口部 2 のサイズに反比例し、セプタムコイルに流れる電流に比例する。一方、開口部 2 のサイズは

50

荷電粒子のビームサイズにより決まるので、開口部 2 のサイズを小さくするには限度がある。従って、発生磁場強度を高めるためには、セプタムコイル 3 に流す電流を増加させなければならないことになる。

【 0 0 0 5 】

上述のような荷電粒子の軌道偏向を行うためには、まず、セプタム電磁石のバンブ軌道 1 0 からセプタム電磁石の開口部 2 に荷電粒子の軌道を瞬間的に偏向させなければならない。この役割を果すのが、パルス電磁石の中でも最高速偏向が可能なキッカー電磁石システムである。キッカー電磁石システムは周回軌道上に存在するため、軌道偏向を行う以外の殆どの時間帯は、出力があると周回軌道を妨げてしまうため、出力が出てはいけない。したがって、キッカー電磁石システムは磁場のオン/オフが明瞭である必要がある。

10

【 0 0 0 6 】

ヨーク 1 等に用いられる軟磁性材料の磁性体であっても、励磁電流を増大して飽和点を越えた大きな外部磁場（不可逆領域）を印加した場合には、励磁電流をオフした後も磁化されたままの状態が維持されてしまう。このため、従来の磁化方法では、磁性体の飽和点に近づくと励磁電流のオン/オフによる磁力の変化幅を十分に確保できなかった。

【 0 0 0 7 】

そのため、従来の電磁石の磁場化方法では、磁性体の飽和点付近に比べて大きな変化幅を確保できる動作領域として、磁性体の飽和点から十分に離れていて磁力曲線の傾きが大きい可逆領域を用いていた。

【 特許文献 1 】 特開平 8 - 2 8 8 1 2 6 号公報

20

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

しかしながら、従来の電磁石の磁場化方法では、磁性体の飽和点から十分に離れていて磁力曲線の傾きが大きい可逆領域を動作領域としていたので、励磁電流の大きさが制限されることとなり、励磁電流を供給して所望の強磁場が得られるまでの所要時間（立ち上がり時間）をこれ以上短縮するのは困難であった。

【 0 0 0 9 】

また、従来の電磁石の磁場化方法では、磁力曲線の傾きが大きい可逆領域の一部しか利用していないため、磁力の変化幅もこれ以上大きくすることは困難であった。

30

【 0 0 1 0 】

本発明は、所要の強磁場が得られるまでの立ち上がり時間を大幅に短縮することができると共に励磁電流のオン/オフによる磁力の変化幅を拡大でき、しかも大幅な小型化が可能な電磁石の高速強磁場化方法及びパルス電磁石システムを提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

本発明の電磁石の高速強磁場化方法は、磁性体に沿って配設した励磁導体にパルス状の励磁電流を流して当該磁性体に磁場の発生と消滅を瞬時に引き起こす磁性体の高速強磁場化方法であって、前記励磁電流の電流値を前記磁性体の飽和点付近の可逆領域に設定して当該磁性体を励磁することを特徴とする。

40

【 0 0 1 2 】

本発明の電磁石の高速強磁場化方法によれば、磁性体の飽和点付近の可逆領域を動作領域とするので、所要の強磁場が得られるまでの立ち上がり時間を大幅に短縮することができると共に励磁電流のオン/オフによる磁力の変化幅を拡大でき、しかも大幅な小型化が可能である。

【 0 0 1 3 】

本発明のパルス電磁石システムは、磁場が発生する間隙部を有する磁性体ブロックと、前記磁性体ブロックの間隙に沿って配設された励磁導体と、前記励磁導体にパルス状の励磁電流を印加する高電圧パルス発生手段とを備え、前記励磁電流の電流値を前記磁性体の飽和点付近の可逆領域に設定して当該磁性体ブロックを励磁することを特徴とする。

50

【 0 0 1 4 】

上記電磁石の高速強磁場化方法及びパルス電磁石システムにおいて、前記磁性体の飽和点付近の可逆領域は、励磁電流の増大に対して磁力増大率が減少し始める磁性体飽和開始点と、励磁電流をオフしても磁場の消滅が認められなくなる永久磁石化開始点との間の領域であることが望ましい。また、パルス状の励磁電流の周期は、磁性体の高周波損失が顕著にならない程度の1 K H z 未満であることが望ましい。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、所要の強磁場が得られるまでの立上がり時間を大幅に短縮することができると共に励磁電流のオン/オフによる磁力の変化幅を拡大でき、しかも大幅な小型化が可能である。

10

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 6 】

本発明者は、磁性体に磁場を発生させる励磁電流の周期が、1 K H z 未満であれば励磁電流の電流値を磁性体の飽和点付近まで増大しても励磁電流をオフしたときに出力が0又は0近傍まで戻ることを見出した。すなわち、従来は動作領域として使用できないとされていた領域が、磁性体の励磁周期によっては励磁電流の電流値を磁性体の飽和点付近まで上げることが可能であり、それに伴い立ち上げ時間の高速化及び高磁場化が可能であることが判明した。

以下、本発明の一実施の形態について図面を参照しながら具体的に説明する。

20

本実施の形態に係る高速磁場化方法において用いるパルス電磁石の動作領域について、図1を参照して説明する。

【 0 0 1 7 】

図1はパルス電磁石における励磁電流と発生磁力との関係を示す図である。同図に示すように、励磁電流の増大に対して磁力増大率が減少し始める磁性体飽和開始点P1までは励磁電流の大きさに比例して発生磁力もリニアに増大している。そして、磁性体飽和開始点P1から励磁電流をオフしても磁場の消滅が認められなくなる永久磁石化開始点P2までの領域(本明細書では「OC EM領域(Over-Current Excitation Method)」と呼称する)では磁力曲線の傾きが緩やかになり、永久磁石化開始点P2以降は励磁電流を大きくしてもほとんど発生磁力が変化しない状態となる。すなわち、磁性体飽和開始点P1までは従来の磁場化方法でも励磁電流をオフすれば磁性体の磁力が無くなり、磁性体飽和開始点P1から永久磁石化開始点P2までは従来の磁場化方法では励磁電流をオフしても磁性体に磁力が残るが可逆性が認められる可逆領域である。また、永久磁石化開始点P2以降は磁性体が永久磁石化して励磁電流をオフしても磁性体が元の磁力を出力しない状態とはならない不可逆領域である。従来方法では、可逆領域でも磁力線の傾きが大きい励磁電流=5 K A 未満の動作領域(A)を用いていた。以下の説明では動作領域(A)のことを従来領域と呼称する。

30

【 0 0 1 8 】

本実施の形態では、磁性体飽和開始点P1から永久磁石化開始点P2までの励磁電流が大きく、磁力線曲線の傾きが小さいOC EM領域(B)を用いるものとする。OC EM領域(B)は励磁電流が9 K A ~ 20 K A と大きく、発生磁力も従来領域(A)に比べて数倍大きな値が得られる。

40

【 0 0 1 9 】

図2は本実施の形態のパルス電磁石の断面図である。

磁性体ブロック21は高電気抵抗フェライト材から構成されている。磁性体ブロック21は全体として四角形の筒状体をなしており、中央空隙部22は励磁導体としてのセプトムコイル23及びリターンコイル24が挿通されている。高エネルギー粒子線加速器に適用した場合には、中央空隙部22の中央がビーム軌道Pとなる。

【 0 0 2 0 】

図3はパルス電磁石の励磁導体(23, 24)に励磁電流を流すためのシステム構成図

50

である。高電圧パルス発生器30は、0.1 μ 秒の立上り時間を有し1.3 μ 秒の時間長で最大20kAのパルス電流を発生させる能力を備える。高電圧パルス発生器30で発生させたパルス電流をパルス伝送線31経由でパルス電磁石のコイル23の一端に印加するように構成している。なお、コイル23の他端はリターンコイル24の一端に接続され、リターンコイル24の他端がグラウンドに接続された状態を示している。磁性体ブロック21は、パルス電磁石の動作領域が図1のOCЕМ領域(B)となるように寸法が調整される。なお、本実施形態では上記パルス電流に耐え得るような磁性体としてフェライト材を用いている。

【0021】

従来領域(A)を用いる従来型のパルス電磁石とOCЕМ領域(B)を用いて本実施の形態のパルス電磁石との高速特性の比較結果について説明する。

10

【0022】

図4に示す出力特性を測定するために用いた従来型のパルス電磁石及び本実施の形態のパルス電磁石の基本構造及びパラメータは図5の基本設計例に示す通りであり、出力高速特性及び磁性体寸法の実測値を図6に示す。なお、従来型のパルス電磁石は最も強い磁場を発生可能な分布定数、全反射電流利用型を用いた。また、励磁電流のパルス幅は1.3 μ 秒とした。

【0023】

図4及び図6に示すように、従来型のパルス電磁石で従来領域(A)を用いて励磁した場合、最大出力が得られるまでの時間(立ち上がり時間)は0.969 μ 秒である。これに対してOCЕМ領域(B)を用いて励磁した場合、最大出力が得られるまでの時間(立ち上がり時間)は0.467 μ 秒であり、本実施の形態の方が立ち上がり時間を約2倍も高速化できていることが判る。

20

【0024】

また、OCЕМ領域(B)を用いる本実施の形態により、従来領域(A)を用いる従来型のパルス電磁石と同等の出力を得ようとする、図6に示すように磁性体寸法を大幅に縮小できることが判る。

【0025】

図7は従来型のパルス電磁石と本実施の形態のパルス電磁石とを、磁性体ブロックの中央空隙部に発生させる磁場性能が同等である条件で設計した場合の、寸法比較図である。同図(a)は従来型のパルス電磁石を示し、同図(b)は本実施の形態のパルス電磁石を示している。同図に示すように、従来型のパルス電磁石は高速性能を達成させるために磁性体ブロック40の外周に大きな金属電極板41が必要となる。一方、本実施の形態では金属電極板41が不要であると同時に、OCЕМ領域での使用となり磁性体ブロック21そのものの体積を減らす事ができる。このため、本実施例では従来型のパルス電磁石に比べて全体の寸法を大幅に縮小することができる。

30

【0026】

また、図4に示す出力波形は比較のため上部平坦部の値で正規化されているが、OCЕМ領域(B)使用時の最大出力(上部平坦部)は0.3Tであり、従来領域(A)使用時の最大出力は0.1Tであった。すなわち、OCЕМ領域(B)を用いることにより、従来領域(A)使用する場合に比べて3倍も強い磁力を実現することができる。

40

【0027】

以上のように、本実施の形態は、OCЕМ領域(B)を用いてパルス電磁石を高速磁場化するようにしたので、従来領域(A)使用するパルス電磁石に比べて、最大出力が得られるまでの立ち上がり時間を大幅に短縮できると共に励磁電流を印加した時の最大出力とオフしたときの出力(例えば0)との幅である磁力変化幅を拡大できる。しかも、磁性体ブロック自体及びパルス電磁石全体を大幅に縮小することができる。

【0028】

以上の説明では高エネルギー粒子線加速器において荷電粒子の進行方向を曲げるのに最適なパルス電磁石及びその高速強磁場化方法について説明したが、本発明は高エネルギー

50

粒子線加速器以外にも極めて短い時間（1 μ秒前後のオーダー）で磁力の発生と消滅を繰り返す用途であれば適用可能である。

【産業上の利用可能性】

【0029】

本発明は、磁性体を高速に強磁場化すると共にその磁場を消滅させるパルス電磁石システムに適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本実施の形態で使用するOCЕМ領域及び従来使用している従来領域対比して示す発生磁力 - 励磁電流の特性図

10

【図2】本実施の形態のパルス電磁石の断面図

【図3】パルス電磁石の励磁導体に励磁電流を流すためのシステム構成図

【図4】従来型のパルス電磁石及び本実施の形態のパルス電磁石による出力特性の比較例を示す出力特性図

【図5】従来型のパルス電磁石及び本実施の形態のパルス電磁石の基本構造及びパラメータの基本設計例に示す図

【図6】従来型のパルス電磁石及び本実施の形態のパルス電磁石の出力高速特性及び磁性体寸法の実測値を示す図

【図7】従来型のパルス電磁石と本実施の形態のパルス電磁石との寸法比較図

【図8】従来型のパルス電磁石の構成図

20

【符号の説明】

【0031】

1 ... ヨーク

2 ... 開口部

3 ... セプトムコイル

4 ... リターンコイル

5 ... ビームダクト

6 ... 導電性板

10 ... バンプ軌道

11 ... 鉄心棒

12 ... 冷却管

P1 ... 磁性体飽和開始点

P2 ... 永久磁石化開始点

20 ... パルス電磁石

21 ... 磁性体ブロック

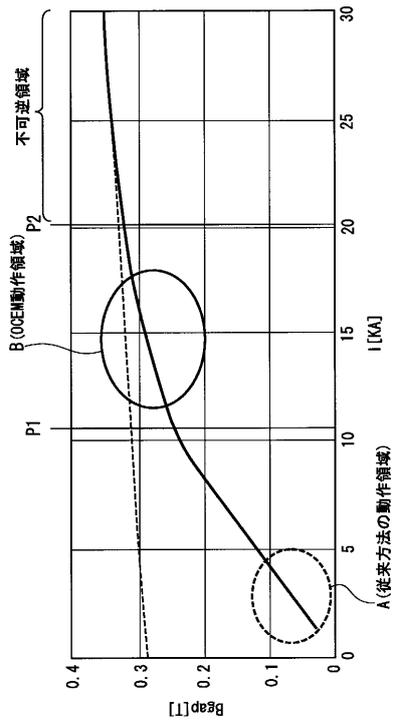
22 ... 中央空隙部

23 ... コイル

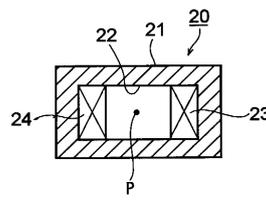
24 ... リターンコイル

30

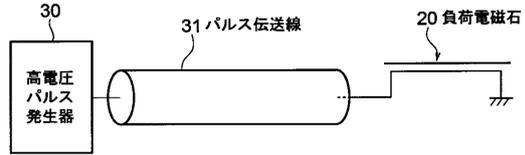
【図1】



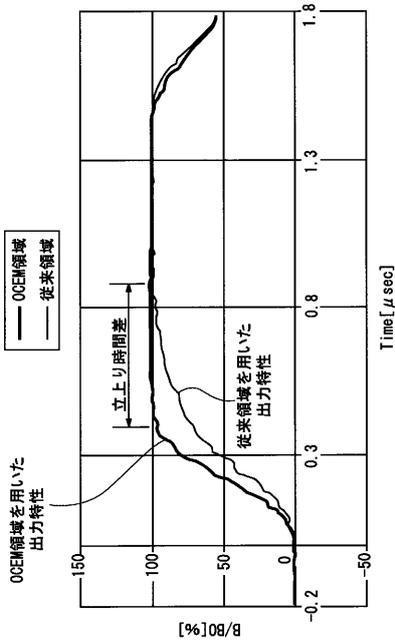
【図2】



【図3】



【図4】



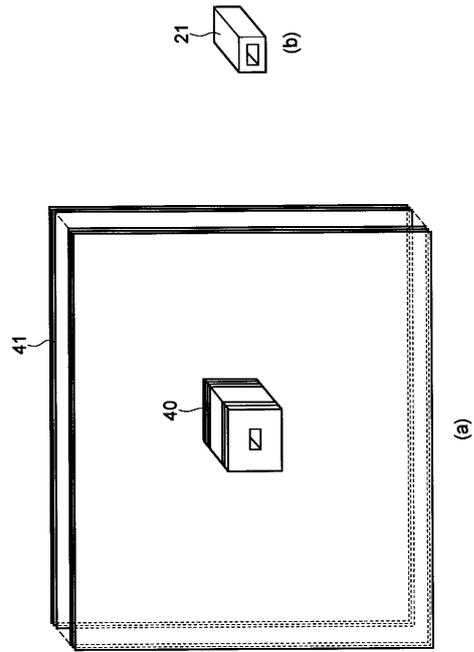
【図5】

項目	単位	従来型	本発明 (OCEM型)	備記
設計条件				
電磁石口径	[mm]	90 (従来型と同)	90 (従来型と同)	
縦幅	[mm]	100 (従来型と同)	100 (従来型と同)	
構幅	[mm]	0.3 (従来型と同)	0.3 (従来型と同)	
条長	[mm]	0.3 (従来型と同)	0.3 (従来型と同)	
磁束密度	[T]	2.5 (従来型と同)	2.5 (従来型と同)	
特性インピーダンス	[Ω]	0.2 (従来型と同)	0.2 (従来型と同)	
励磁電流立ち上がり時間	[μs]			
累出基本量				
構造による電磁気パラメータ				
インダクタンス	[μH]	0.764 (従来型と同)	0.764 (従来型と同)	
必要励磁電流	[kA]	11.9	14.3	
必要励磁パルス電圧	[kV]	30	36	
励磁用誘電容量総量	[μF]	0.121 (従来型と同)	0.121 (従来型と同)	
高速化に伴う分割数	[#]	12	1	
分割長	[m]	0.025	0.251	
励磁用誘電容量設置に伴う非共振減衰割合	[%]	15	0	
実効インダクタンス	[μH]	0.641	0.251	
励磁用誘電容量実効値	[nF]	102.542	13.404	
分割数当りの励磁用誘電容量実効値	[nF]	8.545	13.404	
励磁用誘電容量構成必要断面積	[m ²]	3.137 (外付け)		
(正方形想定での1辺長)	[m]	1.771		

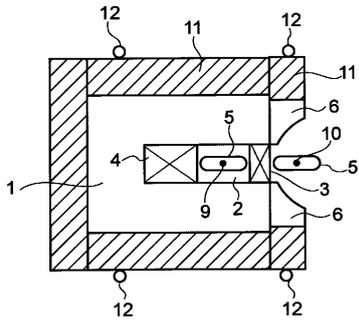
【 図 6 】

項目	単位	従来型	本発明 (OCEM型)	備記
出力が同等条件であることの確認のため総評 全磁束 (単位幅単位励磁量当り)	[lmv/kA]	6.4	6.3	ほぼ同じ
出力高選特性の差	[μs]	0.969	0.467	約2倍の差
磁束立上り時間	[mm]	107	36	
磁性体寸法 ヨーク幅	[mm]	264	121	
縦	[mm]	314	171	
横				

【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 中村 英滋

茨城県つくば市緑が丘20番地13

Fターム(参考) 2G085 BC02 BC15 CA17