

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年12月23日(23.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号

WO 2010/146628 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 13/04 (2006.01) H01S 3/30 (2006.01)
H01S 3/106 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/002774
- (22) 国際出願日: 2009年6月18日(18.06.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 南部英(NAMBU, Akira) [JP/JP]; 〒3500395 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地株式会社日立製作所基礎研究所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: ポレール特許業務法人(Polaire I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

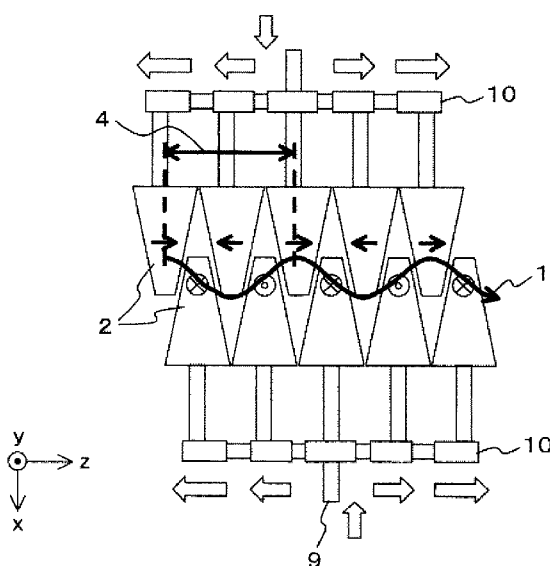
[続葉有]

(54) Title: INSERTION LIGHT SOURCE

(54) 発明の名称: 挿入光源

[図4A]

図 4A



(57) Abstract: Disclosed is an insertion light source capable of acquiring a highly bright and quasi-monochromatic undulator radiation light even at the energy sweeping time of a radiation light. The insertion light source comprises a permanent magnet (2) for establishing a periodic magnetic field in the region where an electron orbit (1) passes, or a first magnet line and a second magnet line including the permanent magnet (2) and a magnetic pole member. The insertion light source further comprises mechanisms (9 and 10) for making variable the magnetic field period length (4) of the magnetic fields which are generated by the first magnet line and the second magnet line.

(57) 要約: 放射光のエネルギー掃引の際にも高輝度、準単色性のアンジュレータ放射光を得ることが可能な挿入光源を提供する。電子軌道1が通過する領域に周期磁場を形成するための永久磁石2、或いは永久磁石2と磁極材とを含む第1の磁石列と第2の磁石列とを有する挿入光源において、さらに、第1の磁石列と第2の磁石列により形成される磁場の磁場周期長4を変とする機構9、10を有する。

WO 2010/146628 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：挿入光源

技術分野

[0001] 本発明は、電子加速器や電子蓄積リングの直線部に挿入して輝度の高い放射光を発生する挿入光源、特にアンジュレータおよび自由電子レーザーに適用できる挿入光源に関するものである。

背景技術

[0002] 永久磁石または永久磁石と磁性材（鉄や鉄コバルト合金）で構成される挿入光源は、電子シンクロトロン加速器の直線部分に真空チャンバーを挟む形、またはチャンバー内に電子軌道を挟む形で挿入され、従来の偏向磁石から得られる放射光よりも強力な放射光を発生する装置として有用である。

[0003] 図9にシンクロトロン加速器とそこに導入された挿入光源31の概念図を示す。挿入光源31は、磁石列間の空隙中垂直面内にサイン波状の周期磁場を発生する。周期磁場を発生する挿入光源31は、図3A～図3Cに示すように、直方体永久磁石22のみで構成されるハルバック型（図3A、図3B）と直方体永久磁石22と磁極の直方体磁性材26とで構成されるハイブリッド型（図3C）がある。

[0004] 図3Aに示すように、電子が挿入光源中を走行するとき、周期磁場により磁場に垂直な水平面内でサイン波状周期運動を行い、各蛇行点から放射光を生じる。符号1は電子軌道を示す。蛇行の程度により、ウィグラーモードとアンジュレータモードがある。符号5は電子軌道の振幅を示す。

[0005] ウィグラーモードでは各蛇行点から発生する放射光が重畳され、図9に示す偏向電磁石36からの放射光35より輝度（ $\text{photons/sec/mm}^2/\text{mrad}^2/0.1\%B.W.$ ）が10～1000倍大きな放射光が得られる。

[0006] アンジュレータモードでは各蛇行運動から発生する放射光は干渉し、基本エネルギーとその高次光では、ウィグラーより更に輝度が10～1000倍

程度大きな光が得られる。図9において、符号30は挿入光源からの放射光を、符号1-1は入射器から入射した電子軌道を示す。

[0007] その他アンジュレータモード放射光の特徴として、高い指向性、干渉効果により基本エネルギー（とその倍波）だけが放出される準単色性、高いコヒーレンス性というレーザーに準じた特性が挙げられる。なお、挿入光源に関しては、例えば非特許文献1～3に開示されている。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: Halbach, Nucl. Instr. And Meth. 187, 109 (1981)

非特許文献2: Sasaki et al, Nucl. Instr. And Meth. A347, 83 (1994)

非特許文献3: Tanaka et al, Rev. Sci. Instrum. 70, 4153 (1999)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 挿入光源からの放射光の基本エネルギーは実用単位を用いて、以下の式で表される。

[0010] [数1]

$$\varepsilon_1[\text{keV}] = 0.950 \frac{E^2[\text{GeV}]}{(1 + K^2/2)\lambda_u[\text{cm}]} \quad (1)$$

[0011] また、式(1)のパラメーターKは次の式で定義される。

[0012] [数2]

$$K = 0.934\lambda_u[\text{cm}]B_0[\text{T}] \quad (2)$$

[0013] 式(1)、式(2)で、 ε_1 は放射される放射光の基本エネルギー、Eは

挿入光源内を通過する荷電粒子の運動エネルギー（放射光シンクロトロン加速器の電子蓄積エネルギーに等しい）、 λ_u は磁場周期の周期長、 B_0 は電子が受ける磁場強度であり磁石列間隙値（ギャップ）の関数であるが、次のような式で近似可能である。

[0014] [数3]

$$B_0 = D \exp(C \times x[\text{mm}]) \quad (3)$$

[0015] D 、 C は定数で磁石の材質、形状によって変わり、 x はギャップ（磁石列間隙値；単位mm）である。

[0016] 挿入光源がウィグラーモードかアンジュレータモードになるかは、式（2）で定義した K 値で分類される。 $K = 1$ 前後かそれ以下の場合はアンジュレータになり、 $K \gg 1$ になるとウィグラーモードになる。アンジュレータ放射は $K = 1$ 付近で輝度が最大になる。

[0017] 準単色光のアンジュレータ放射ではエネルギーを掃引する場合は、通常式（1）の K 値を掃引して基本エネルギーの掃引を行う。 K 値の操作は式（2）、式（3）から解るように B_0 値の操作で行われるが、具体的には式（3）の x を変える、つまり図3A、図3Bに示した上下磁石列間の間隙値（ギャップ） x を操作して、ギャップに逆比例する B_0 の値を操作する。

[0018] ギャップを広げれば B_0 と K 値は小さくなり、電子軌道1の振幅 δ は小さくなり光子エネルギーは小さくなる。ギャップを狭めれば B_0 と K 値は大きくなり、電子軌道1の振幅 δ は大きくなり光子エネルギーは大きくなる。

[0019] しかし、 K 値を1より大きくすると、挿入光源は高輝度、準単色性といったアンジュレータ放射光の性質を失う。 K が1より十分大きくなるとウィグラーモードになり輝度が1～3桁程落ちる他、基本エネルギーより高光子エネルギー側の成分が増え、光学系と計測系の熱負荷が著しく増す。この熱負荷は電子エミッタンスの小さい第3世代光源では深刻な問題になり、時に光学系・計測系を破壊する。

[0020] 非特許文献2には、図3A～図3Cに示した通常のアンジュレータの上下

一組2本の磁石列に代えて、上下2組計4本の磁石列を用いる技術が開示されている。これにより、水平と垂直の磁場分散を発生させ、電子軌道を水平と垂直方向に振動させることで水平の直線偏光、円偏光、垂直の直線偏光等を発生可能にする。同時に光軸上の高次光放射が抑制され光学系に対する熱負荷が軽減される。

[0021] 非特許文献3には、上下の3組、計6本の磁石列を用いる技術が開示されている。これにより、通常の挿入光源の単純な水平面内サイン波振動である電子軌道を、垂直方向にも振動成分を持つ複雑な電子軌道に変え、偏光制御、或いは熱負荷軽減が可能である。

[0022] しかしながら、上記従来技術では、輝度や準単色性等に大きな影響を及ぼすK値を一定にすることができない。これは、上記従来技術では、基本エネルギーの掃引をK値の変化、すなわち磁石列のギャップの変更で行なっていたためである。しかしながら、磁場周期の周期長 λ_u を変えるために、単純に磁石列を構成する各磁石の間隔を広げたのでは磁場分布がサイン波から大きく外れるため挿入電極として機能しなくなる。

[0023] 本発明の目的は、エネルギー掃引の際にも高輝度、準単色性のアンジュレータ放射光を得ることが可能な挿入光源を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0024] 上記目的を達成するための一形態として、永久磁石、或いは永久磁石と磁極材を備えた第1の磁石列と第2の磁石列とを有する挿入光源において、前記第1の磁石列と前記第2の磁石列により形成される磁場の磁場周期長を可変とする機構を更に有し、前記磁場周期長の変更により放射光の基本エネルギーの掃引が行われるものであることを特徴とする挿入光源とする。

[0025] また、サイン波形を有する周期磁場により電子線を蛇行させて放射光を発生させる挿入光源において、サイン波の周期磁場を保持しつつ、前記磁場周期の周期長を変える磁場周期長変更手段を更に有することを特徴とする挿入光源とする。

発明の効果

[0026] エネルギー掃引の際にも高輝度、準単色性のアンジュレータ放射光を得ることが可能な挿入光源を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1A]本実施例に係る挿入光源の一例（台形柱磁石で構成される挿入光源）を示す斜視図である。

[図1B]本実施例に係る挿入光源の一例（台形柱磁石及び台形柱磁極材で構成される挿入光源）を示す斜視図である。

[図2A]本実施例に係る他の挿入光源の例（台形柱磁石と平行四辺形柱磁石で構成される挿入光源）を示す斜視図である。

[図2B]本実施例に係る他の挿入光源の例（台形柱磁石と平行四辺形柱磁極材で構成される挿入光源）を示す斜視図である。

[図3A]従来の挿入光源の例（直方体磁石で構成される挿入光源、H u l l b l o c k T y p e）を示す斜視図である。

[図3B]図3Aの挿入光源で、磁石列間隙を広げた状態を示す斜視図である。

[図3C]従来の挿入光源の例（直方体磁石と直方体磁極材で構成される挿入光源、H y b r i d T y p e）を示す斜視図である。

[図4A]図1Aに示した挿入光源での磁場周期変更の模式図（磁場周期小）である。

[図4B]図1Aに示した挿入光源での磁場周期変更の模式図（磁場周期大）である。

[図5A]図2Bに示した挿入光源での磁場周期変更の模式図（磁場周期小）である。

[図5B]図2Bに示した挿入光源での磁場周期変更の模式図（磁場周期大）である。

[図6A]本実施例に係る他の挿入光源（非対称の台形柱からなる挿入光源）での磁場周期変更の模式図（磁場周期小）である。

[図6B]本実施例に係る他の挿入光源（非対称の台形柱からなる挿入光源）での磁場周期変更の模式図（磁場周期大）である。

[図7]本実施例に係る挿入光源の動作機構を説明するための模式図である。

[図8A]従来のアンジュレータの放射光スペクトルを示すグラフである。

[図8B]本実施例に係るアンジュレータの放射光スペクトルを示すグラフである。

[図9]シンクロトロン加速器と放射光の放射方向を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0028] 本実施の形態は、通常K値を制御して掃引する放射光エネルギーを、K値を固定としその代わりに磁場の周期長 (λu) の変化で放射光エネルギーを掃引する事を最大の特徴とする。

[0029] 上述のように、従来のアンジュレータは基本形も改良型もギャップを操作し、K値を変化させる事でエネルギー掃引を可能としている。これに対して本実施の形態の挿入光源はギャップを操作すると同時に磁場周期・電子軌道周期を変化させる事でK値は固定したままでエネルギー掃引を可能にする事を実現する。

[0030] 磁場周期の変更機構としては、最も単純には通常の直方体磁石・磁極間の距離の開閉が考えるが、磁石間・磁極間距離をあまり拵げると、磁場漏れが発生するとともに、磁場分布がサイン波から大きく外れるため最適方法とは思われない。

[0031] そこで発明者は、通常の直方体の代わりに台形柱若しくは平行四辺形柱の磁石・磁極材を並べた磁石列・磁極列を用い、磁石列・磁極列内で磁石と磁極の配置を変えることで、磁石間・磁極間の距離を一定に保ち、磁場漏れを防ぐとともにサイン波を維持しつつ磁場周期・電子軌道周期の変更を行うことを考案した。

エネルギー掃引時に、K値を1前後或いはそれ以外の値に固定するには、 λu の変化の他に B_0 の操作も必要であり、その値は式(2)を変形した次の関係を満たすように変更する。

[0032]

[数4]

$$B_0 = \frac{K}{0.934} \times \frac{1}{\lambda_u} \quad (4)$$

[0033] 本実施の形態の挿入光源では、K値を1付近に固定することにより、高輝度、準単色性といったアンジュレータ放射光の特徴がエネルギーを掃引しても理想的な状態に保たれる。また、準単色性が保たれるため、高次光による光学系・計測系に対する熱負荷も、エネルギー掃引によって著しく増える事はない。

[0034] 以下、実施例により説明する。

実施例

[0035] 実施例を、図1A～図8を用いて説明する。図1A、図1B、図2A、図2Bに本実施例に係る挿入光源の一例を示す。これらの図および以下の図で、磁石柱内に書かれた矢印は磁化方向を示す。また、x、y、z軸を図1A、図1Bの左下に示したように定義し、平面図以外はこの定義を用いる。図1A、図1B、図2A、図2Bでは磁場周期が2周期分しか示されていないが、実際の挿入光源は20～200周期程度で構成される。図3A～図3Cに示した通常の挿入光源では磁石・磁極材は直方体であり、磁場周期を変更する事は出来ない。

[0036] 本実施例では、図1A、図1Bに示すように台形柱磁石2と台形柱磁極材6を並べた磁極列、または図2A、図2Bに示すように台形柱磁石2と、平行四辺形柱磁石7または平行四辺形柱磁極材8を並べた磁極列を用いる。四辺形の各辺の長さが等しい菱形柱を用いることもできる。永久磁石と磁極材とを組み合わせることにより、永久磁石の磁力劣化を低減することができる。

[0037] 台形柱も平行四辺形柱もその台形面または平行四辺形面をxz面（電子軌道面）と平行になるように配置され、台形面は左右対象の等脚台形になっている。図1A、図1B、図2A、図2Bに示したように、同一の挿入光源で

は全ての台形柱磁石の寸法は同じであり、平行四辺形柱磁石・磁極材の寸法も同じである。

[0038] 平行四辺形柱磁石・磁極材を用いる場合は、平行四辺形の斜辺の平行辺に対する角度は、台形柱の台形の斜辺の平行辺に対する角度と等しく、平行四辺形柱はその斜辺を台形柱の斜辺と平行になるように配置される。

[0039] なお、図 6 A、図 6 B に示すように、台形柱磁石の台形面は等脚台形でなく、一般の左右対称の台形を用いてもこの機構は実現出来る。台形柱とすることにより、周期長を変える際の磁場漏洩を低減することができる。さらに、等脚台形を用いることにより、磁石周囲の磁場の対称性が高く、放射光のエネルギーを掃引する際、磁場周期のサイン波形の劣化を防止、或いは低減することができる。よって、等脚台形の台形柱が好適である。

[0040] 図 4 A、図 4 B に示すように、台形の上底と下底とを交互に入れ替えた入れ子構造に配置された台形柱、或いは図 5 A、図 5 B のような台形柱と平行四辺形柱の磁石列・磁極列配置を x 方向にずらす事により、磁場周期に同期する電子軌道周期 $4(\lambda_u)$ の変更を可能にする。このとき、磁石列間（または磁石と磁極材間）に隙間が出来ると磁場が漏れ、磁場分布がサイン波から外れるため、磁石列・磁極列全体を z 方向にも伸縮させる。

[0041] 図 4 A、図 4 B と図 5 A、図 5 B はそれぞれ図 1 A と図 2 B の、下側の磁石列配置と電子軌道を概念的に示したものであり、左下に軸の方向が示されている。電子軌道は常に磁石列の中央に来るように磁石列・磁極列は動く。先に述べたように、 $K=1$ の関係を満たすためには、式 (4) を満たすように λ_u に同期して B_0 も変化する必要があり、通常のアングレータと同様 y 方向に磁石列・磁極列全体を動かして図 1 A、図 1 B と図 2 A、図 2 B のギャップ 3 も同時に動かす。

[0042] 本実施例で重要視している K 値は物理的には図 1 A、図 1 B と図 2 A、図 2 B の、電子軌道周期 4 と電子軌道振幅 5 の関係を表す値である。K 値を 1 付近で一定に保つという事は電子軌道周期 4 と電子軌道振幅 5 の関係をアングレータ放射にとって理想的に保つことを意味する。なお、K 値が 1 付近

とは0.9～1.1の範囲をいい、より好ましくは0.99～1.01の範囲をいう。

[0043] 図1Aの台形柱の磁石からなる挿入光源について、動作機構を説明する。第一に図4Aに示したように各台形柱磁石2を互い違いにx軸に対して平行に対称位置に置かれた2本の支持棒(z軸駆動機構)10(または板状でもよい)に接続する。磁場周期4を小さくするにはx軸(x方向)駆動機構9を使って、支持棒(z軸駆動機構)10の互いの距離を縮める方向に動かし、大きくするには支持棒(z軸駆動機構)10の互いの距離を拡げる方向に動かす。

[0044] この操作を単純に行うと、向かい合った台形柱磁石同士が干渉するので、x方向駆動に同期してz方向にも台形柱磁石2を動かす。このとき磁石列中心から離れた台形柱磁石2ほど大きく動かす必要があるが、支持棒(z軸駆動機構)10に釣り竿や指示棒等に用いられる伸縮機構を応用したものをを用いる事で実現出来る。図4Aは磁場周期4が小さいとき、図4Bは磁場周期4が大きい時の模式図である。

[0045] $K=1$ を保つにはx、z方向に加え、y方向(ギャップ)も同期して動かす必要があるが、これは図7に示すように上述のx軸駆動機構9とz軸駆動機構(支持棒)10を一本の棒或いは板に固定し、この機構を用いて磁石列全体をy軸方向に動かす機構(y軸駆動機構)11で実現可能になる。

[0046] 図4A、図4Bや図7では図1Aの台形柱磁石のみからなる挿入光源について例示したが、図1Bのような台形柱磁石2と台形柱磁極材6からなる挿入光源についても同じ機構で目的を達成出来る。

[0047] 図5A、図5Bに示した台形柱磁石2と平行四辺形柱磁石7または平行四辺形柱磁極材8からなる挿入光源では平行四辺形柱磁極材または平行四辺形柱磁石についてはx方向に動かす必要はないが、z方向には動くような機構を付け加える必要がある。このときは、台形柱磁石2の駆動機構は図4A、図4Bと同様のものをを用い、平行四辺形柱部の駆動は上下(y方向)から台形柱磁石の駆動機構とは独立して付加する方法が考えられる。

- [0048] 図4A、図4Bから分かるように、台形柱磁石または台形柱磁極からなる挿入光源の場合、電子軌道周期4は台形柱磁石2の長辺の2倍から4倍に限られる。このとき、磁石同士のマージンを考えなければ、磁場漏れ防止の観点から台形柱切り口の等脚台形は短辺と長辺の比が1:2であることが望ましい。実際には磁石間に数mm程度のマージンを作るので、その分だけ長辺と単辺の比は変わってくる。
- [0049] 台形柱磁石と平行四辺形柱磁石からなる挿入光源の場合も、結局最も軌道周期の可変範囲が広がるのは短辺と長辺の比が1:2の台形柱磁石と台形の短辺と同じ長さの平行辺を持つ平行四辺形柱磁石・磁極材の場合で、短辺の2倍から4倍の間で可変になる。
- [0050] 式(1)で、例えば $E=8$ の施設の場合、式(2)で $K=1$ として計算すると、 $\lambda_u=2.6\sim 5.2$ cmで $16\text{ keV}\sim 7.8\text{ keV}$ を、 $\lambda_u=5.2\sim 10.4$ cmで $7.8\text{ keV}\sim 3.9\text{ keV}$ の基本エネルギーの発振が可能になる。これを実現するためには例えば、長辺と短辺の長さが1.6 cmと4.2 cmであるような台形柱磁石、同じく長辺と単辺の長さが4.2 cmと9.4 cmであるような台形柱磁石を左右にそれぞれ5 mmのマージンをとって図1A、図1Bあるいは図6A、図6Bのように配置すればよい。また、例えば、 $E=3$ の施設の場合、 $\lambda_u=6\sim 12$ cmが $0.5\sim 1.0\text{ keV}$ に相当する。
- [0051] 図8A、図8Bに本実施例の効果の一例となるグラフを示す。図8Aはアンジュレータのスペクトルを計算したものであり、エネルギーを 10.1 keV から 5.1 keV に変化させた結果を比較している。この従来型アンジュレータではエネルギーを変化させるため、 K 値を1(10.1 keV)から2(5.1 keV)に変化させるが、 $K=1$ に比べ $K=2$ では多くの高次光成分が発生しているのが分かる。これら高次光成分はミラー分光器等の光学系に照射されると、多くの熱を発生し最悪の場合それらを破壊する。
- [0052] それに対し、図8Bの本実施例のアンジュレータの場合、エネルギーを 16 keV から 7.8 keV に変化させても $K=1$ の条件を維持出来るため、

高次光の発生がどちらのエネルギーでも少ない事が分かる。以上よって、準単色性が保たれ、熱負荷を軽減出来る本実施例の効果が確認出来る。

[0053] 挿入光源に用いる永久磁石としては希土類焼結磁石、例えば、サマリウムコバルト (SmCo) 磁石や ネオジウム (NdFeB) 磁石が望ましい。これらの磁石は磁気特性が高く、周期長が短くなっても空隙磁場強度を確保できるためであり、一定の長さの直線部で周期長を多く取れる。また、空隙長が大きくても、磁場強度を確保しやすい。

[0054] 本実施例によれば、磁場周期の周期長を変える機構を設けることにより、エネルギー掃引の際にも高輝度、準単色性のアンジュレータ放射光を得ることが可能な挿入光源を提供することができる。また、周期磁場を形成するための磁石列に用いる永久磁石の形状を台形柱とすることにより、周期長を変える際の磁場漏洩を低減することが可能な挿入光源を提供することができる。また、永久磁石の形状を等脚台形とすることにより、磁石周囲の磁場が対称で、磁場の乱れが少なく、放射光のエネルギーを掃引する際、磁場周期のサイン波形の劣化を防止、或いは低減することができる。

[0055] また、磁石列として永久磁石と磁極材とを組み合わせた構成にすることにより、永久磁石の磁力劣化を低減することができる。また、本実施例の挿入光源を用いることにより、回折や分光、各種構造解析に好適な電子シンクロトロン加速器を提供することができる。

符号の説明

[0056] 1…電子軌道、1-1…入射器からの電子軌道、2…台形柱磁石、3…間隙値 (ギャップ)、4…電子軌道周期、5…電子軌道振幅、6…台形柱磁極材、7…平行四辺形柱磁石、8…平行四辺形柱磁極材、9…x方向駆動機構、10…z方向駆動機構、11…y方向駆動機構、22…直方体磁石、26…直方体磁極材、30…挿入光源放射光、31…挿入光源、35…偏向磁石放射光、36…偏向磁石。

請求の範囲

- [請求項1] 永久磁石、或いは永久磁石と磁極材を備えた第1の磁石列と第2の磁石列とを有する挿入光源において、
- 前記第1の磁石列と前記第2の磁石列により形成される磁場の磁場周期長を可変とする機構を更に有し、前記磁場周期長の変更により放射光の基本エネルギーの掃引が行われるものであることを特徴とする挿入光源。
- [請求項2] 請求項1記載の挿入光源において、
- 前記磁場周期長と、前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列の間隙とを同時に変更する事によって、
- $$K = 0.934 \lambda_u B_0,$$
- ここで、 λ_u は磁場周期の周期長（cm）、 B_0 は電子が受ける磁場強度、
- で表されるKの値が一定に保たれたまま、前記基本エネルギーの掃引が行われるものであることを特徴とする挿入光源。
- [請求項3] 請求項2記載の挿入光源において、
- 前記エネルギーの掃引の際、 $K = 1$ 付近で固定されていることを特徴とする挿入光源。
- [請求項4] 請求項3記載の挿入光源において、
- 前記 $K = 1$ 付近で固定とは、 $0.9 \sim 1.1$ の範囲での変動を含むことを特徴とする挿入光源。
- [請求項5] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の挿入光源において、
- 前記第1の磁石列及び第2の磁石列は、台形柱の永久磁石の上底と下底とを交互に入れ替えた組み合わせ、または台形柱の永久磁石の上底と台形柱の磁極材の下底とを交互に入れ替えた組み合わせで構成されることを特徴とする挿入光源。
- [請求項6] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の挿入光源において、
- 前記第1の磁石列及び第2の磁石列は、台形柱の永久磁石と平行四

辺形柱の永久磁石とを交互に配置した組み合わせ、または台形柱の永久磁石と平行四辺形柱の磁極材とを交互に配置した組み合わせで構成されることを特徴とする挿入光源。

[請求項7] サイン波形を有する周期磁場により電子線を蛇行させて放射光を発生させる挿入光源において、

サイン波の周期磁場を保持しつつ、前記磁場周期の周期長を変える磁場周期長変更手段を更に有することを特徴とする挿入光源。

[請求項8] 請求項7記載の挿入光源において、

前記磁場周期長変更手段は、

前記周期磁場を形成するための第1の磁石列及び第2の磁石列を構成する複数の永久磁石を、前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列の長手方向にそれぞれ移動させる機構と、

前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列を構成する複数の前記永久磁石を、前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列の短辺方向に互いに平行にそれぞれ移動させる機構と、

前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列の間隙の距離を変更させる機構と、を有することを特徴とする挿入光源。

[請求項9] 請求項8記載の挿入光源において、

前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列を構成する複数の永久磁石の形状は、台形柱であることを特徴とする挿入光源。

[請求項10] 請求項8記載の挿入光源において、

前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列を構成する複数の永久磁石の形状は、台形柱と平行四辺形柱を含むことを特徴とする挿入光源。

[請求項11] 請求項8記載の挿入光源において、

前記磁場周期長変更手段は、

前記周期磁場を形成するための第1の磁石列及び第2の磁石列を構成する複数の永久磁石と磁極材を、前記第1の磁石列及び前記第2の磁石列の長手方向にそれぞれ移動させる機構と、

前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列を構成する複数の前記永久磁石と磁極材を、前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列の短辺方向に互いに平行にそれぞれ移動させる機構と、

前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列の間隙の距離を変更させる機構と、を有することを特徴とする挿入光源。

[請求項12]

請求項 8 記載の挿入光源において、

前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列を構成する複数の永久磁石の形状は、台形柱であることを特徴とする挿入光源。

[請求項13]

請求項 8 記載の挿入光源において、

前記第 1 の磁石列及び前記第 2 の磁石列を構成する複数の永久磁石の形状は、台形柱であり、磁極材の形状は平行四辺形柱であることを特徴とする挿入光源。

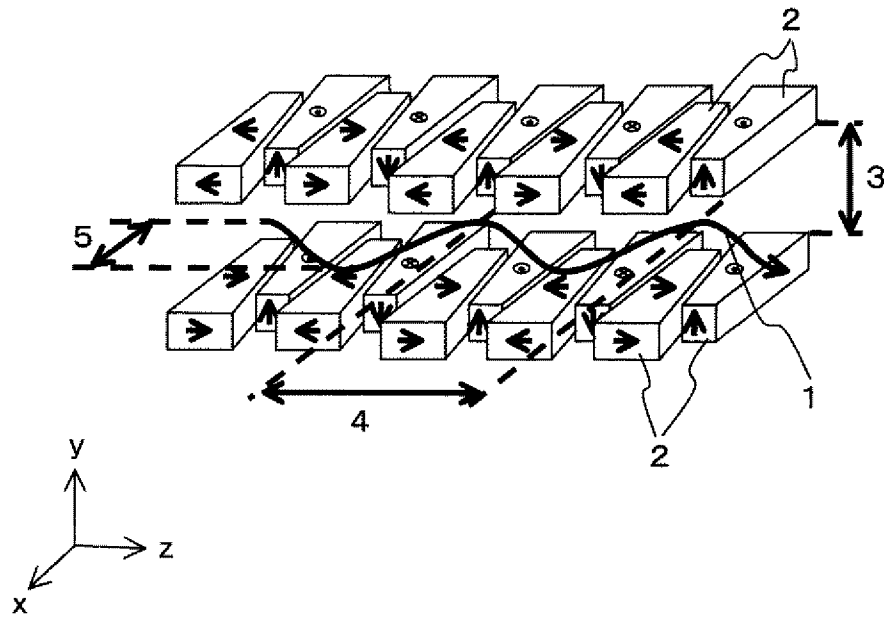
[請求項14]

請求項 9、10、12 及び 13 のいずれか一項に記載の挿入光源において、

前記台形柱は、等脚台形柱であることを特徴とする挿入光源。

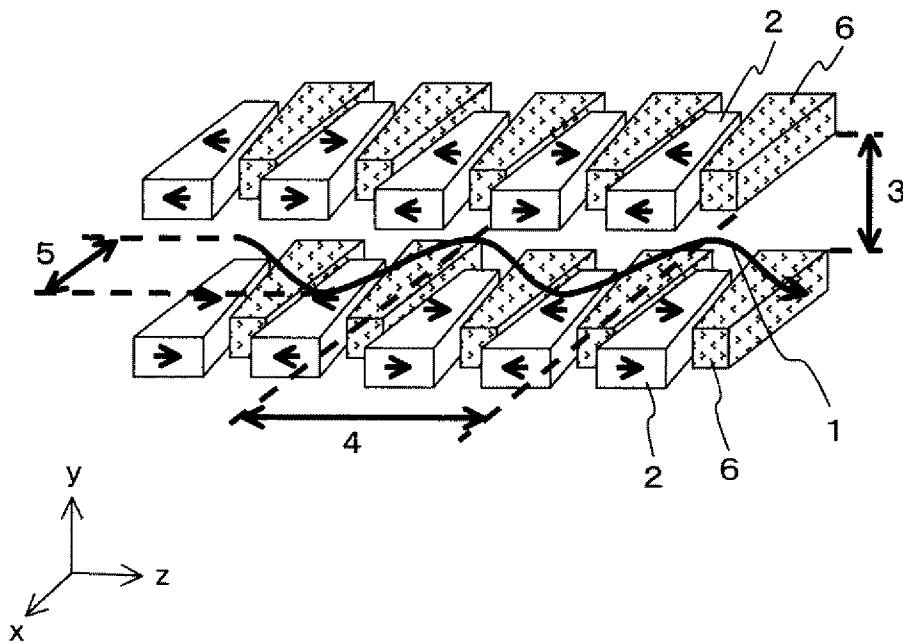
[図1A]

図 1A



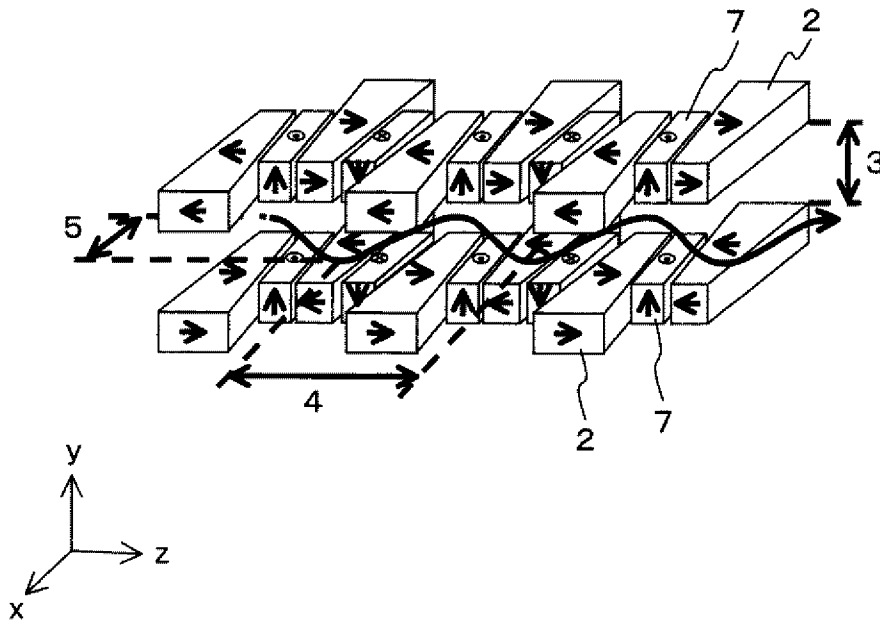
[図1B]

図 1B



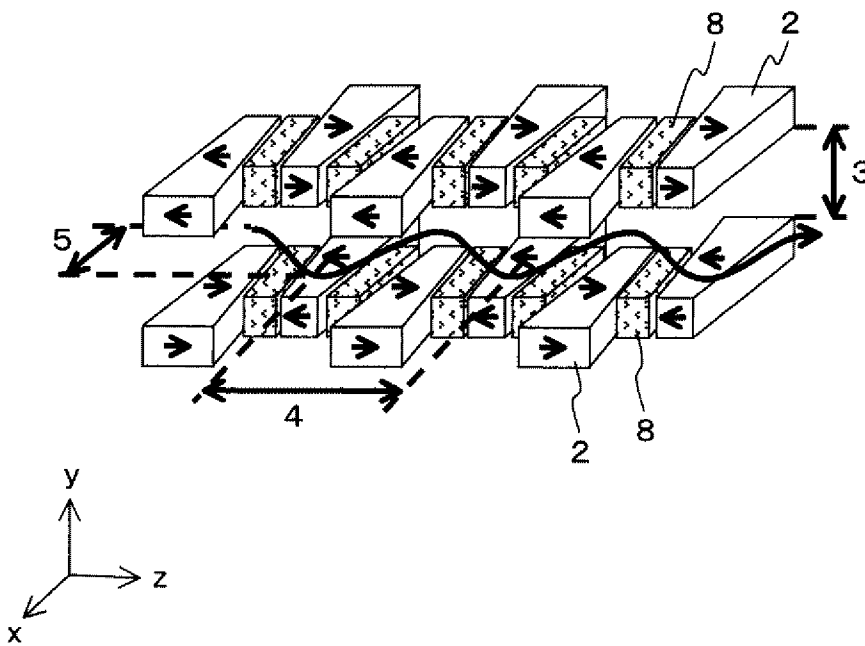
[図2A]

図 2A



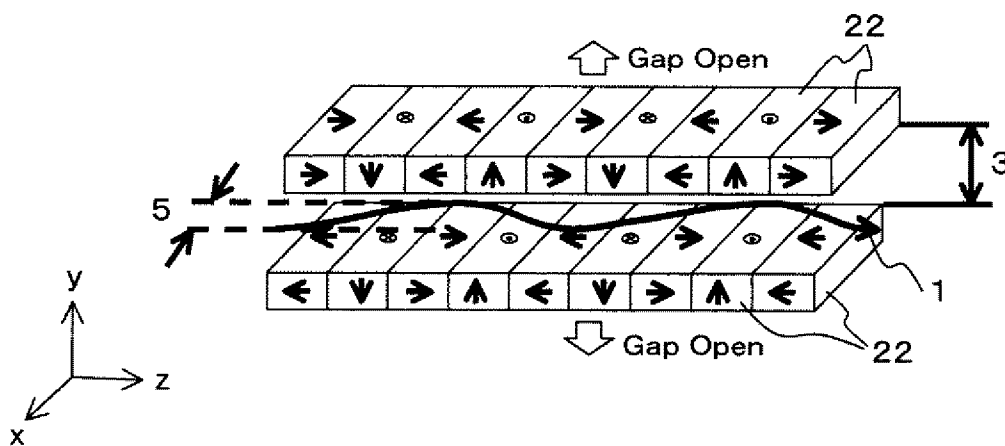
[図2B]

図 2B



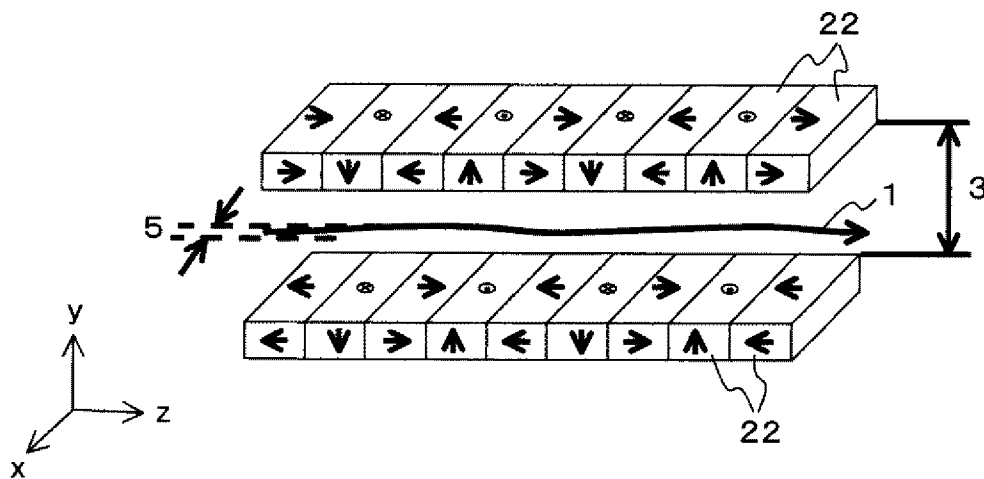
[図3A]

図 3A



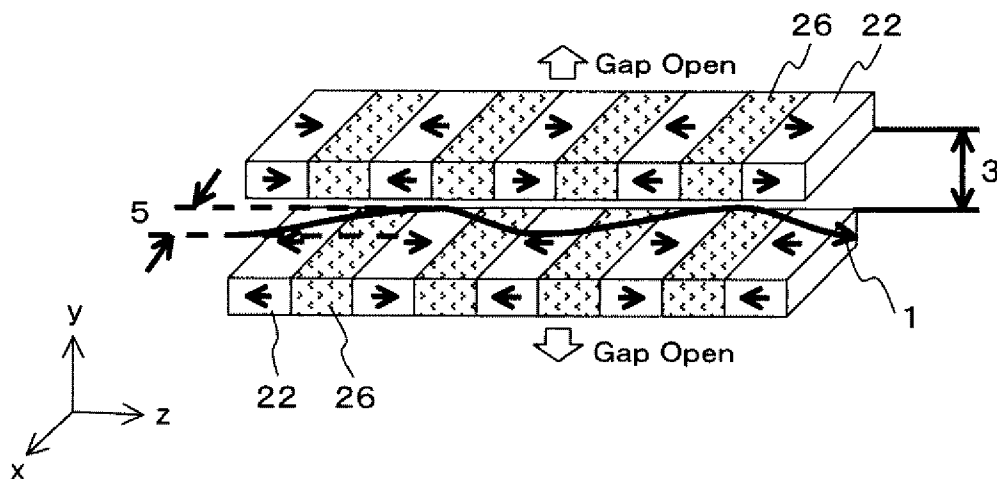
[図3B]

図 3B



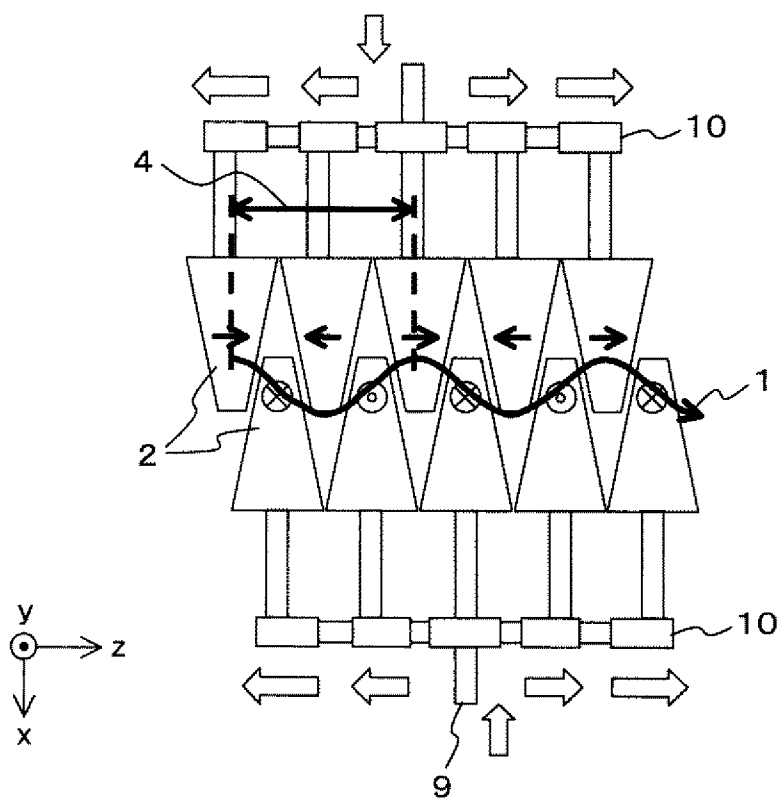
[図3C]

図 3C



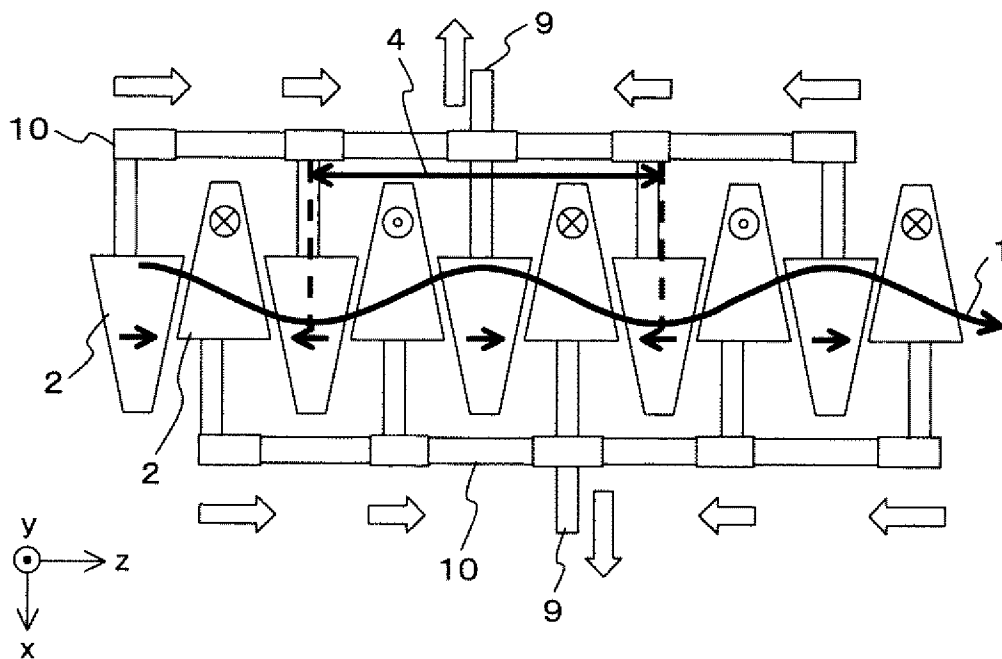
[図4A]

図 4A



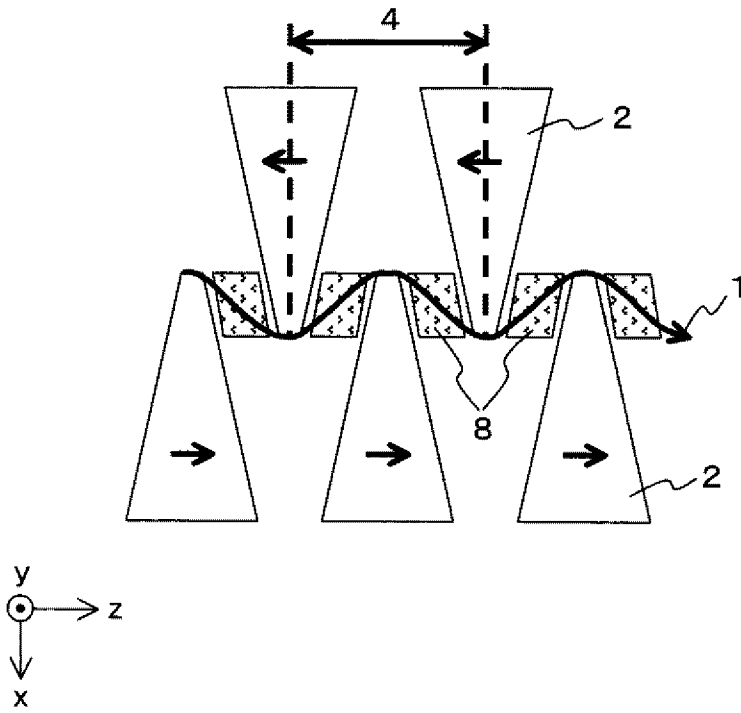
[図4B]

図 4B



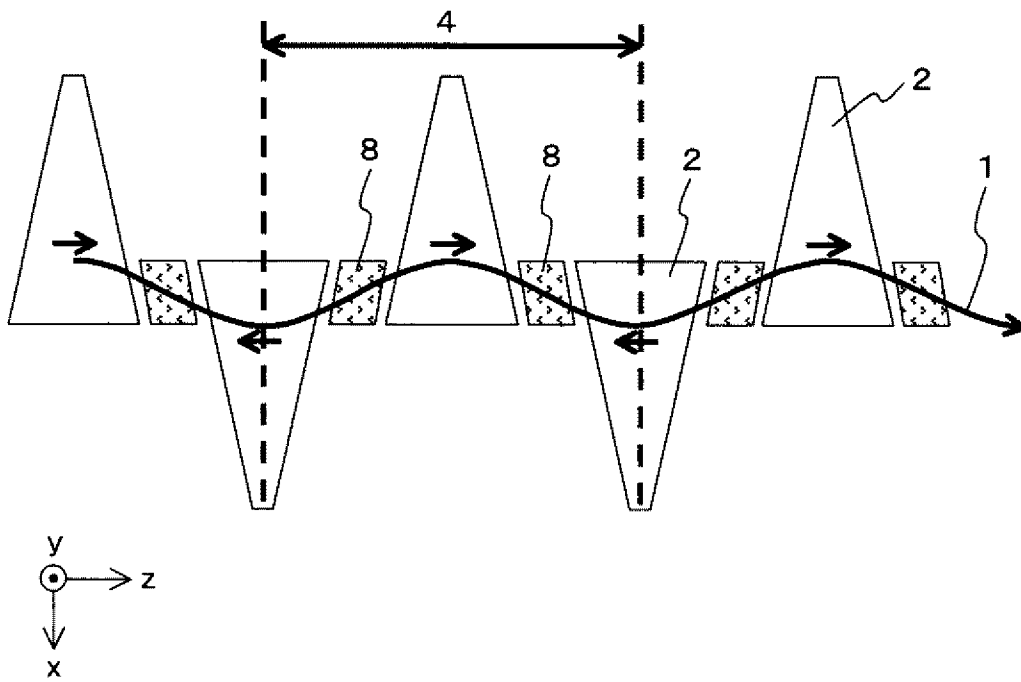
[図5A]

図 5A

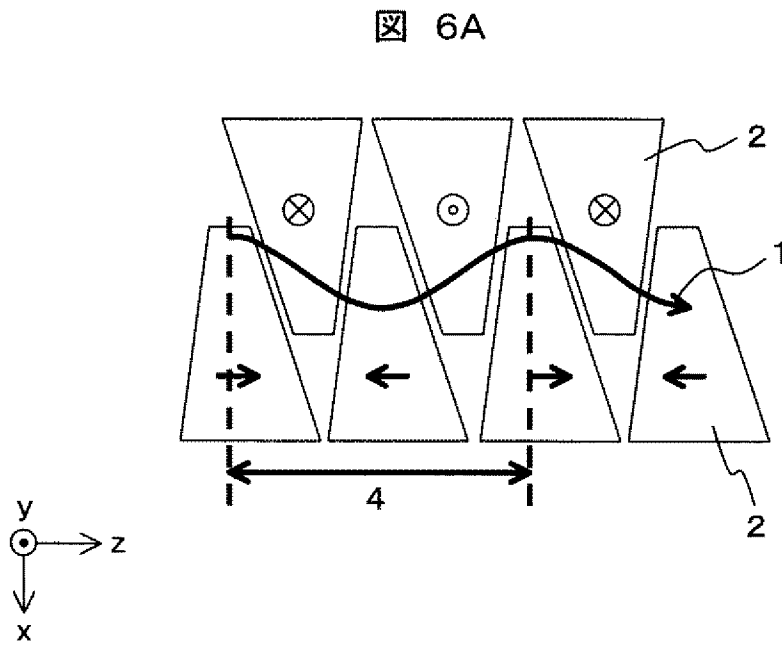


[図5B]

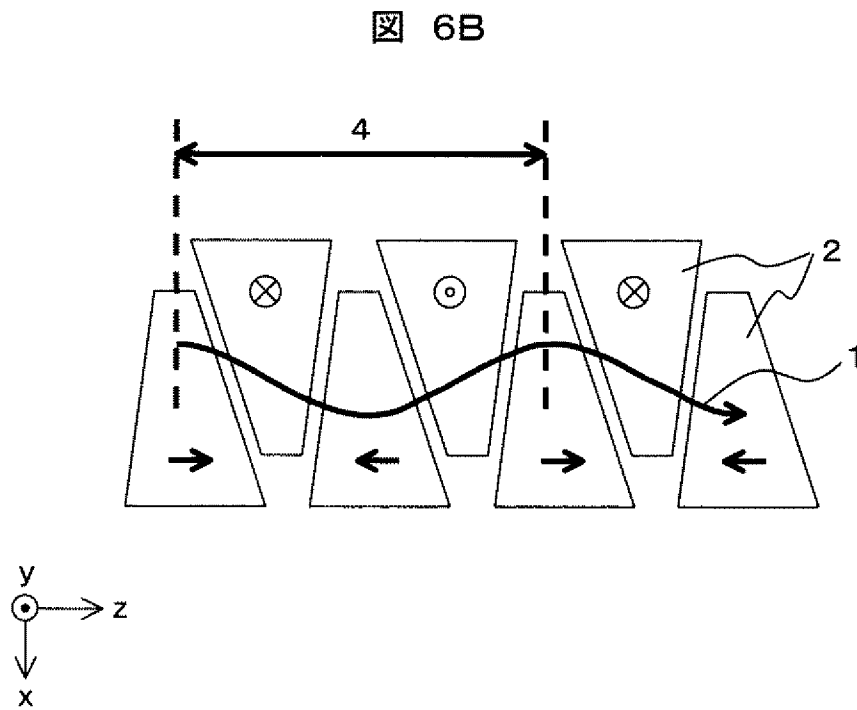
図 5B



[図6A]

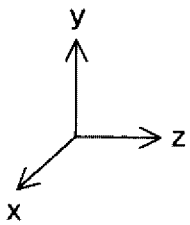
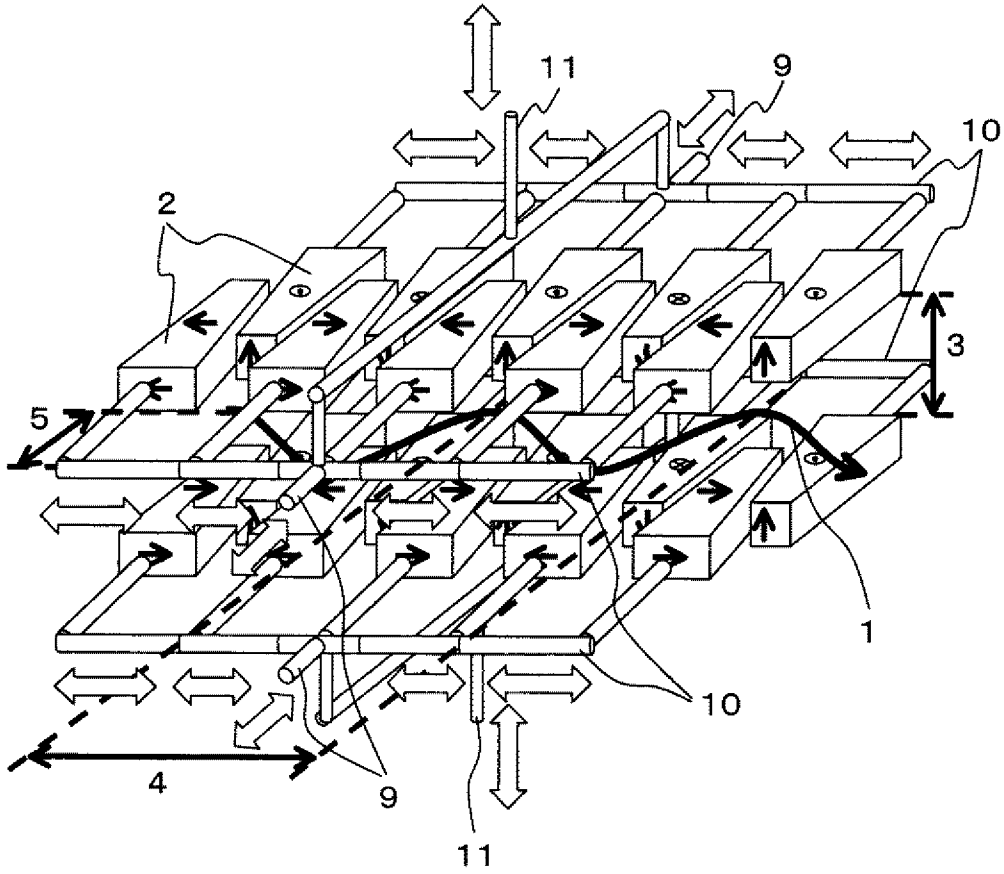


[図6B]



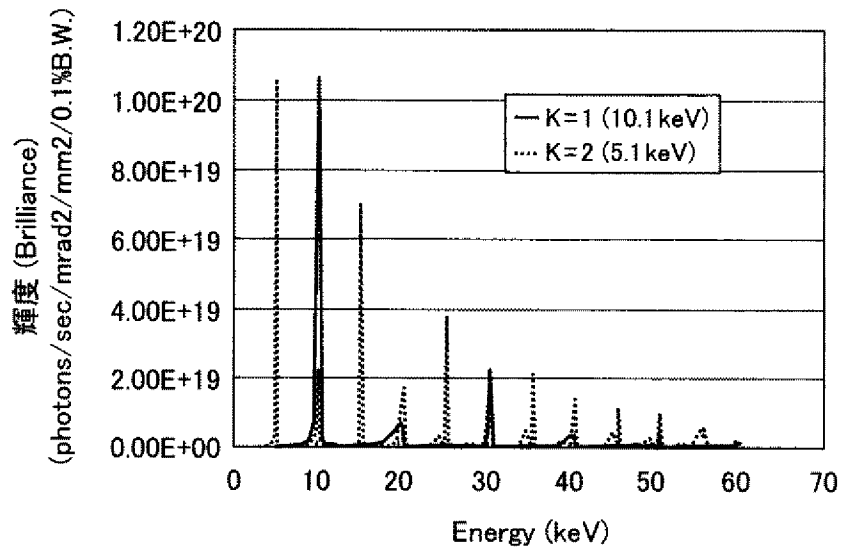
[図7]

図 7



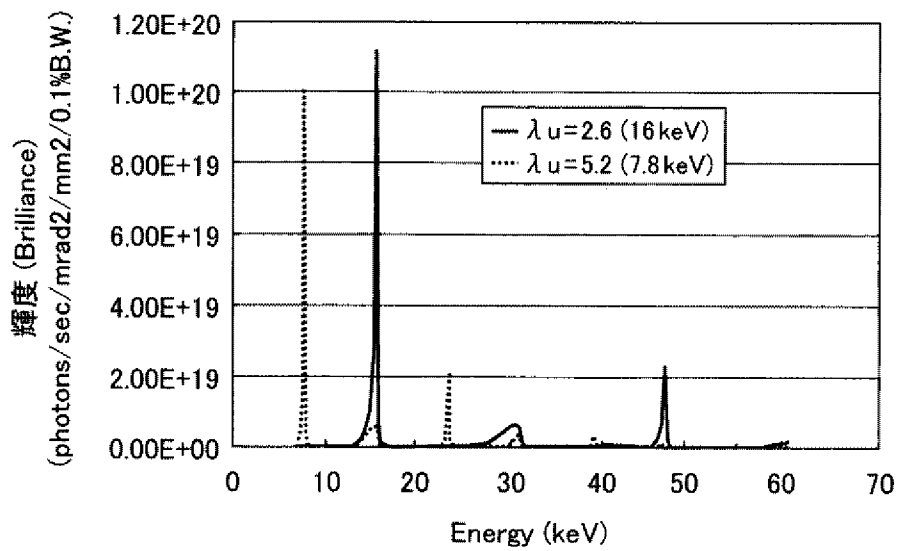
[図8A]

[図] 8A



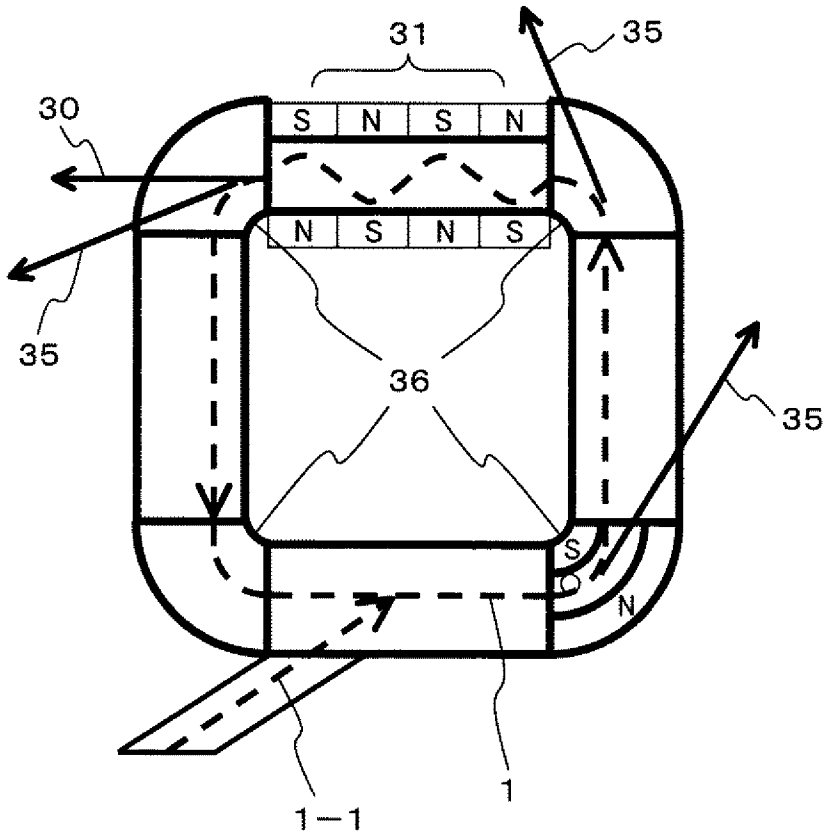
[図8B]

[図] 8B



[図9]

図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/002774

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05H13/04(2006.01)i, H01S3/106(2006.01)i, H01S3/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H05H13/04, H01S3/106, H01S3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 6-275399 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 30 September, 1994 (30.09.94), Full text; all drawings (Family: none)	1, 7 2-6, 8-14
Y	JP 10-162997 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 19 June, 1998 (19.06.98), Par. No. [0019] (Family: none)	2-6, 8-14
Y	JP 10-261845 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 29 September, 1998 (29.09.98), Par. No. [0017] (Family: none)	2-6, 8-14

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 28 August, 2009 (28.08.09)	Date of mailing of the international search report 08 September, 2009 (08.09.09)
-----------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/002774

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5019863 A (David C. Quimby), 28 May, 1991 (28.05.91), Fig. 2 and the explanations thereof (Family: none)	5
Y	JP 6-3499 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 11 January, 1994 (11.01.94), Figs. 2, 4 and the explanations thereof (Family: none)	5-6, 10, 13
A	JP 7-57899 A (Mitsubishi Electric Corp.), 03 March, 1995 (03.03.95), Par. Nos. [0029], [0030]; Fig. 4 (Family: none)	1-14
A	JP 10-125500 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/002774

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

- 3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
There is no special technical feature common to the inventions of claims 1-6 and the inventions of claims 7-14.

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**
- the The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H05H13/04(2006.01)i, H01S3/106(2006.01)i, H01S3/30(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H05H13/04, H01S3/106, H01S3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2009年
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年
 日本国登録実用新案公報 1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 6-275399 A (石川島播磨重工業株式会社) 1994.09.30, 全文全図 (ファミリーなし)	1, 7 2-6, 8-14
Y	JP 10-162997 A (三菱重工業株式会社) 1998.06.19, 段落【0019】 (ファミリーなし)	2-6, 8-14
Y	JP 10-261845 A (川崎重工業株式会社) 1998.09.29, 段落【0017】 (ファミリーなし)	2-6, 8-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 28.08.2009	国際調査報告の発送日 08.09.2009
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 木下 忠 電話番号 03-3581-1101 内線 3273

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	US 5019863 A (David C. Quimby) 1991.05.28, 図2及びその説明の記載 (ファミリーなし)	5
Y	JP 6-3499 A (住友電気工業株式会社) 1994.01.11, 図2、図4及びその説明の記載 (ファミリーなし)	5-6, 10, 13
A	JP 7-57899 A (三菱電機株式会社) 1995.03.03, 段落【0029】、【0030】、図4 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 10-125500 A (三菱重工業株式会社) 1998.05.15, 全文全図 (ファミリーなし)	1-14

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1-6に係る発明と請求項7-14に係る発明との間に共通の特別な技術的特徴がない。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。