

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7605477号
(P7605477)

(45)発行日 令和6年12月24日(2024.12.24)

(24)登録日 令和6年12月16日(2024.12.16)

(51)国際特許分類	F I
H 0 2 J 15/00 (2006.01)	H 0 2 J 15/00 A
H 0 2 J 3/30 (2006.01)	H 0 2 J 3/30

請求項の数 9 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-103254(P2021-103254)	(73)特許権者	521344607 ネクスファイ・テクノロジー株式会社 大阪府吹田市山田丘2番8号 大阪大学 テクノアライアンスC棟
(22)出願日	令和3年6月22日(2021.6.22)	(74)代理人	110000800 デロイトトーマツ弁理士法人
(62)分割の表示	特願2020-573066(P2020-573066))の分割	(72)発明者	中村 孝 福島県双葉郡楢葉町大字山田岡字仲丸1 - 7 福島S i C応用技研株式会社内
原出願日	令和2年10月2日(2020.10.2)	(72)発明者	谷本 智 福島県双葉郡楢葉町大字山田岡字仲丸1 - 7 福島S i C応用技研株式会社内
(65)公開番号	特開2021-166466(P2021-166466) A)	審査官	木村 励
(43)公開日	令和3年10月14日(2021.10.14)		
審査請求日	令和5年9月29日(2023.9.29)		
(31)優先権主張番号	62/913295		
(32)優先日	令和1年10月10日(2019.10.10)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フライホイール、及び、フライホイール蓄電システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

フライホイール蓄電システムのフライホイールであって、
 回転軸と、相対的に平均密度が低い低密度円盤部と、該低密度円盤部より平均密度が高い高密度外縁部とを備え、
 前記低密度円盤部は、前記回転軸に一体に支持されて、その全部が前記高密度外縁部の内周面よりも回転軸線側に位置し、
 前記高密度外縁部は、前記低密度円盤部に一体に支持されて、その全部が前記低密度円盤部の外側に位置し、
 前記回転軸の回転が前記低密度円盤部を介して前記高密度外縁部に伝達するように構成されていることを特徴とするフライホイール。

10

【請求項2】

請求項1記載のフライホイールにおいて、
 前記低密度円盤部の平均密度を ρ_i 、半径を R_i 、前記高密度外縁部の平均密度を ρ_o 、半径を R_o とするとき、 R_i / R_o は 0.4 以上 1 未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は 0.001 以上 0.6 以下であることを特徴とするフライホイール。

【請求項3】

請求項1記載のフライホイールにおいて、
 前記低密度円盤部の平均密度を ρ_i 、半径を R_i 、前記高密度外縁部の平均密度を ρ_o 、半径を R_o とするとき、 R_i / R_o は 0.8 以上 1 未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は 0.001 以上 0.6 以下であることを特徴とするフライホイール。

20

1 以下であることを特徴とするフライホイール。

【請求項 4】

請求項 1 記載のフライホイールにおいて、

前記低密度円盤部は、炭素繊維プラスチック、炭化ケイ素繊維強化プラスチック、及び、軽金属のうちの何れか 1 つの材料により形成され、又は、複数の前記材料を選択的に組み合わせられて形成されていることを特徴とするフライホイール。

【請求項 5】

請求項 1 記載のフライホイールにおいて、

前記高密度外縁部は、重金属、重金属を埋設した炭素繊維プラスチック、及び、重金属を埋設した炭化ケイ素繊維強化プラスチックのうちの何れか 1 つの材料により形成されて

10

【請求項 6】

請求項 5 記載のフライホイールにおいて、

前記高密度外縁部に用いられる前記重金属は、超高強度鋼、又は、高融点金属、又は、高融点金属合金であることを特徴とするフライホイール。

【請求項 7】

請求項 5 記載のフライホイールにおいて、

前記炭素繊維プラスチックに埋設する重金属、或いは、前記炭化ケイ素繊維強化プラスチックに埋設する重金属は、粉体、又は、ワイヤー、又は、周回等角対称に配置された素片であることを特徴とするフライホイール。

20

【請求項 8】

請求項 7 記載のフライホイールにおいて、

前記周回等角対称に配置された重金属の素片は、前記高密度外縁部の回転軸線に向かって突出する形状であることを特徴とするフライホイール。

【請求項 9】

発電電動機と、該発電電動機が備える入出力軸と同軸に設けられた回転軸と、該回転軸に設けられたフライホイールとを備えるフライホイール蓄電システムであって、

前記フライホイールは、回転軸と、相対的に平均密度が低い低密度円盤部と、該低密度円盤部より平均密度が高い高密度外縁部とを備え、

前記低密度円盤部は、前記回転軸に支持されて、その全部が前記高密度外縁部の内周面よりも回転軸線側に位置し、

30

前記高密度外縁部は、前記低密度円盤部に一体に支持されて、その全部が前記低密度円盤部の外側に位置し、

前記低密度円盤部を介して回転軸の回転が前記高密度外縁部に伝達するように構成されていることを特徴とするフライホイール蓄電システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フライホイール、及び、フライホイール蓄電システムに関する。

【背景技術】

40

【0002】

従来、フライホイールを回転動作させることにより、電気エネルギーを運動エネルギーとして貯蔵するフライホイール蓄電システムが知られている（例えば、下記特許文献 1 参照）。

【0003】

フライホイール蓄電システムのフライホイールとして一般的には、下記特許文献 1 のように一種類の材料で全体が均一な密度に形成された円盤によるもの、或いは、円盤の外周縁部に当該円盤よりも低密度の材料で形成した外縁部を設けたものが用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 4 】

【文献】特許 6 3 2 3 6 4 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

しかし、上記従来の構成では、同じ体格（体積）のフライホイールを同じ回転角速度で回転させようとしたとき、十分な質量エネルギー密度が得られないという問題がある。

【 0 0 0 6 】

上記の点に鑑み、本発明は、高いエネルギー密度を有するフライホイール、及び、そのフライホイールを採用して蓄電エネルギーの増大と軽量化を両立させることができる蓄電システムを提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明は、フライホイール蓄電システムのフライホイールであって、回転軸と、相対的に平均密度が低い低密度円盤部と、該低密度円盤部より平均密度が高い高密度外縁部とを備え、前記低密度円盤部は、前記回転軸に一体に支持されて、その全部が前記高密度外縁部の内周面よりも回転軸線側に位置し、前記高密度外縁部は、前記低密度円盤部に一体に支持されて、その全部が前記低密度円盤部の外側に位置し、前記回転軸の回転が前記低密度円盤部を介して前記高密度外縁部に伝達するように構成されていることを特徴とする。

20

【 0 0 0 8 】

本発明のフライホイールは、低密度円盤部と高密度外縁部とで構成されていることにより、同じ体積として同じ角速度で回転するとき、従来のフライホイール（一種類の材料で全体が均一な密度に形成された円盤によるもの、或いは、円盤の外周縁部に当該円盤よりも低密度の材料で形成した外縁部を設けたもの）に比べて、高い質量エネルギー密度を達成することができる。

【 0 0 0 9 】

また、本発明のフライホイールにおいては、一種類の材料で全体が均一な密度に形成された円盤による従来のフライホイールよりも 1 0 % 以上の質量エネルギー密度の改善を得る場合には、前記低密度円盤部の平均密度を ρ_i 、半径を R_i 、前記高密度外縁部の平均密度を ρ_o 、半径を R_o とするとき、 R_i / R_o は 0 . 4 以上 1 未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は 0 . 6 以下とすればよい。

30

【 0 0 1 0 】

また、本発明のフライホイールにおいては、一種類の材料で全体が均一な密度に形成された円盤による従来のフライホイールよりも 5 0 % 以上の質量エネルギー密度の改善を得る場合には、前記低密度円盤部の平均密度を ρ_i 、半径を R_i 、前記高密度外縁部の平均密度を ρ_o 、半径を R_o とするとき、 R_i / R_o は 0 . 8 以上 1 未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は 0 . 1 以下とすればよい。

【 0 0 1 1 】

前記フライホイールを設計する場合には、前記低密度円盤部の平均密度を ρ_i 、半径を R_i 、前記高密度外縁部の平均密度を ρ_o 、半径を R_o とするとき、下記式（ 1 ）で定義された値 Z を増大させるように、 R_i / R_o と ρ_i / ρ_o とを適正化することが挙げられる。

40

【 0 0 1 2 】

【数 1】

$$Z = \frac{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^4 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1}{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^2 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1} \dots\dots\dots(1)$$

【 0 0 1 3 】

式（ 1 ）は、本発明フライホイールと一種類の材料で全体が均一な密度に形成された円

50

盤による従来のフライホイール（以下、単に従来のフライホイールという）とのエネルギー密度比である。

【 0 0 1 4 】

即ち、式（ 1 ）は、次のようにして求められる。従来のフライホイールの質量 M と、慣性モーメント J と、エネルギー E との関係から、従来のフライホイールのエネルギー密度は、式（ 2 ）となる。

【 0 0 1 5 】

【数 2】

$$M = \pi R_o^2 t \rho_i$$

$$J \equiv \int_0^{R_o} r^2 dM = \frac{1}{2} \pi t \rho_i R_o^4$$

$$E \equiv \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{4} \pi t \rho_i R_o^4 \omega^2$$

$$\frac{E}{M} = \frac{1}{4} R_o^2 \omega^2 \dots\dots\dots (2)$$

10

【 0 0 1 6 】

一方、本発明のフライホイールの前記低密度円盤部の質量 M_i 、慣性モーメントを J_i 、エネルギーを E_i との関係と、

20

【 0 0 1 7 】

【数 3】

$$M_i = \pi R_i^2 t \rho_i$$

$$J_i = \frac{1}{2} \pi t \rho_i R_i^4$$

$$E_i \equiv \frac{1}{2} J_i \omega^2 = \frac{1}{4} \pi t \rho_i R_i^4 \omega^2$$

【 0 0 1 8 】

及び、本発明のフライホイールの前記低密度円盤部の質量 M_o 、慣性モーメントを J_o 、エネルギーを E_o との関係と、

30

【 0 0 1 9 】

【数 4】

$$M_o = \pi (R_o^2 - R_i^2) t \rho_o$$

$$J_o \equiv \int_{R_i}^{R_o} r^2 dM = \frac{1}{2} \pi t \rho_o (R_o^4 - R_i^4)$$

$$E_o \equiv \frac{1}{2} J_o \omega^2 = \frac{1}{4} \pi t \rho_o (R_o^4 - R_i^4) \omega^2$$

40

により、本発明のフライホイールのエネルギー密度は、式（ 3 ）となる。

【 0 0 2 0 】

【数 5】

$$\frac{E_i + E_o}{M_i + M_o} = \frac{1}{4} \frac{\rho_i R_i^4 + \rho_o (R_o^4 - R_i^4)}{\rho_i R_i^2 + \rho_o (R_o^2 - R_i^2)} \omega^2 \dots\dots\dots (3)$$

【 0 0 2 1 】

そして、式（ 2 ）と式（ 3 ）とから、本発明フライホイールと従来のフライホイールとのエネルギー密度比を示す式（ 4 ）を得ることができる。なお、式（ 4 ）により、エネルギー

50

ギ-密度比は R_i / R_o と ρ_i / ρ_o にのみ依存しており、回転角速度は無関係となることが明らかである。

【0022】

【数6】

$$\frac{\frac{E_i + E_o}{M_i + M_o}}{\frac{E}{M}} = \frac{\frac{1}{4} \frac{\rho_i R_i^4 + \rho_o (R_o^4 - R_j^4)}{\rho_i R_i^2 + \rho_o (R_o^2 - R_i^2)} \omega^2}{\frac{1}{4} R_o^2 \omega^2}$$

$$= \frac{\rho_i R_i^4 + \rho_o (R_o^4 - R_j^4)}{\rho_i R_o^2 R_i^2 + \rho_o R_o^2 (R_o^2 - R_i^2)}$$

$$= \frac{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^4 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1}{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^2 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1} \dots\dots\dots(4)$$

【0023】

式(1)は、式(4)に基づくものである。よって式(1)からエネルギー密度比の値Zを求めることができる。このように、式(1)を用いることにより、所望のエネルギー密度比を容易に算出することができる。 20

【0024】

このことから明らかのように、本発明のフライホイールを設計する場合には、前記値Zを最大化させるように前記 R_i / R_o と前記 ρ_i / ρ_o とを決定することが好ましい。

【0025】

更に、本発明のフライホイールを設計する場合には、変数 R_i / R_o と変数 ρ_i / ρ_o との交点に前記値Zが記録されたマトリクス表を用いて、前記値Zの増大領域を視覚的に探索することが好ましい。前記マトリクス表は、例えば、図12に示すように、横方向に R_i / R_o の値を配し、縦方向に ρ_i / ρ_o の値を配し、 R_i / R_o の値と ρ_i / ρ_o の値との交差位置に式(1)によって算出したエネルギー密度比の値Zを記録したものが挙げられる。 30

【0026】

前記マトリクス表を用いることにより、目標とするエネルギー密度比(改善比)を達成する R_i / R_o と ρ_i / ρ_o の組み合わせ候補を複数提示することができる。よって、極めて容易且つ迅速に前記 R_i / R_o と前記 ρ_i / ρ_o とを決定することができる。

【0027】

即ち、従来のフライホイールよりも10%以上の質量エネルギー密度の改善を得る場合、図12に示すマトリクス表を用いれば、 R_i / R_o は0.4以上1未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は0.6以下とすればよいことが容易に決定でき、従来のフライホイールよりも50%以上の質量エネルギー密度の改善を得る場合、前記マトリクス表を用いれば、 R_i / R_o は0.8以上1未満、かつ、 ρ_i / ρ_o は0.1以下とすればよいことが容易に決定できる。 40

【0028】

また、本発明のフライホイールにおいて、前記低密度円盤部は、炭素繊維プラスチック、炭化ケイ素繊維強化プラスチック、及び、軽金属のうちの何れか1つの材料により形成され、又は、複数の前記材料を選択的に組み合わせられて形成されていることが好ましい。

【0029】

また、本発明のフライホイールにおいて、前記高密度外縁部は、重金属、重金属を埋設した炭素繊維プラスチック、及び、重金属を埋設した炭化ケイ素繊維強化プラスチックの 50

うちの何れか1つの材料により形成されていることが好ましい。

【0030】

このとき、前記炭素繊維プラスチックに埋設する重金属、或いは、前記炭化ケイ素繊維強化プラスチックに埋設する重金属は、粉体、又は、ワイヤー、又は、周回等角対称に配置された素片であることが挙げられる。

【0031】

このうち、前記周回等角対称に配置された重金属の素片は、前記高密度外縁部の回転軸線に向かって突出する形状であることが好ましい。

【0032】

また、本発明は、発電電動機と、該発電電動機が備える入出力軸と同軸に設けられた回転軸と、該回転軸に設けられたフライホイールとを備えるフライホイール蓄電システムであって、前記フライホイールは、回転軸と、相対的に平均密度が低い低密度円盤部と、該低密度円盤部より平均密度が高い高密度外縁部とを備え、前記低密度円盤部は、前記回転軸に支持されて、その全部が前記高密度外縁部の内周面よりも回転軸線側に位置し、前記高密度外縁部は、前記低密度円盤部に一体に支持されて、その全部が前記低密度円盤部の外側に位置し、前記低密度円盤部を介して回転軸の回転が前記高密度外縁部に伝達するように構成されていることを特徴とする。

10

【0033】

本発明のフライホイール蓄電システムは、質量エネルギー密度の高いフライホイールを備えている。従って、軽量化されたフライホイールを用いて、フライホイール蓄電システム全体の軽量化を図ることができ、高効率のフライホイール蓄電システムを提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】第1及び第2実施形態のフライホイールを示す斜視図。

【図2】第3実施形態のフライホイールを示す斜視図。

【図3】第3実施形態のフライホイールの説明的断面図。

【図4】第4実施形態のフライホイールの説明的断面図。

【図5】第5実施形態のフライホイールの説明的断面図。

【図6】第6、第7及び第8実施形態のフライホイールの説明的断面図。

30

【図7】第9実施形態のフライホイールの説明的断面図。

【図8】第9実施形態のフライホイールの高密度外縁部の構成を模式的に示す図。

【図9】第9実施形態のフライホイールにおける金属素片の形状を示す図。

【図10】第9実施形態のフライホイールの一部の変形例を示す説明的断面図。

【図11】フライホイール蓄電システムの構成を示す説明的断面図。

【図12】マトリクス表の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0035】

本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1を参照して第1及び第2実施形態のフライホイールA、Bについて説明する。第1実施形態のフライホイールAは、円柱状の低密度円盤部10と、円筒状の高密度外縁部11とを備えている。

40

【0036】

低密度円盤部10と高密度外縁部11とは同じ厚み寸法 t_0 に形成され、高密度外縁部11は、低密度円盤部10の外周に一体に設けられている。高密度外縁部11と低密度円盤部10とは中心である回転軸線 x が一致している。

【0037】

第1実施形態のフライホイールAにおいては、低密度円盤部10は、半径 R_i が12cm、平均質量密度 ρ_i が 1.6 g/cm^3 である炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を材料として形成され、高密度外縁部11は、半径 R_o が15cm、平均質量密度 ρ_o が 19.25 g/cm^3 である高融点金属、例えばタングステンを材料として形成されてい

50

る。厚み寸法 t_o は 20 cm で形成されている。

【0038】

なお、低密度円盤部 10 は、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 以外に、炭化ケイ素繊維強化プラスチック (SiCFRP) を材料として形成してもよい。

【0039】

第 1 実施形態のフライホイール A によれば、下記式 (1) によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.51 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 51% 向上する。

【0040】

【数 7】

$$Z = \frac{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^4 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1}{\left(\frac{R_i}{R_o}\right)^2 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1\right) + 1} \dots\dots\dots(1)$$

10

【0041】

第 2 実施形態のフライホイール B は、第 1 実施形態のフライホイール A と同様に、円柱状の低密度円盤部 20 と、円筒状の高密度外縁部 21 とを備えている。

【0042】

低密度円盤部 20 は、半径 R_i が 13 cm、平均質量密度 ρ_i が 1.6 g/cm^3 である炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を材料として形成され、高密度外縁部 21 は、半径 R_o が 15 cm、平均質量密度 ρ_o が 14.2 g/cm^3 である高硬度鋼、例えば WC-Co サーマット合金を材料として形成されている。厚み寸法 t_o は 20 cm である。

20

【0043】

第 2 実施形態のフライホイール B によれば、式 (1) によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.49 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 49% 向上する。

【0044】

次に、第 3 実施形態のフライホイール C について説明する。第 3 実施形態のフライホイール C は、図 2 及び図 3 に示すように、円盤状の低密度円盤部 30 と、円筒状の高密度外縁部 31 とを備えている。低密度円盤部 30 の厚み寸法 t_i は、高密度外縁部 31 の厚み寸法 t_o よりも小さい。

30

【0045】

低密度円盤部 30 は、厚み寸法 t_i が 3 cm、半径 R_i が 13.5 cm、平均質量密度 ρ_i が 4.5 g/cm^3 であるチタンを材料として形成され、高密度外縁部 31 は、厚み寸法 t_o が 20 cm、半径 R_o が 15 cm、平均質量密度 ρ_o が 19.25 g/cm^3 である高融点金属、例えばタングステンを材料として形成されている。

【0046】

第 3 実施形態のフライホイール C によれば、式 (1) によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.68 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 68% 向上する。

40

【0047】

次に、第 4 実施形態のフライホイール D について説明する。第 4 実施形態のフライホイール D は、図 4 に示すように、円盤状の低密度円盤部 40 と、円筒状の高密度外縁部 41 とを備えている。低密度円盤部 40 は、チタン円盤 401 と、このチタン円盤 401 を挟む一対の炭素繊維強化プラスチック円盤 402 とで構成されている。高密度外縁部 41 は低密度円盤部 40 の外周に設けられている。

【0048】

チタン円盤 401 は、厚み寸法 t_{i1} が 3 cm、半径 R_i が 13 cm、平均質量密度 ρ_{i1} が 4.5 g/cm^3 であり、炭素繊維強化プラスチック円盤 402 は、夫々、厚み寸法

50

t_{i2} が 8.5 cm、半径 R_i が 13 cm、平均質量密度 ρ_{i2} が 1.6 g/cm^3 である。

【0049】

チタン円盤 401 と一対の炭素繊維強化プラスチック円盤 402 とからなる低密度円盤部 40 の平均質量密度 ρ_i は、 $4.5 \times (3/20) + 1.6 \times (17/20) = 1.6 \text{ g/cm}^3$ である。

【0050】

高密度外縁部 41 は、厚み寸法 t_o が 20 cm、半径 R_o が 15 cm、平均質量密度 ρ_o が 19.25 g/cm^3 である高融点金属、例えばタングステンを材料として形成されている。

10

【0051】

第 4 実施形態のフライホイール D によれば、式 (1) によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.51 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 51% 向上する。

【0052】

次に、第 5 実施形態のフライホイール E について説明する。第 5 実施形態のフライホイール E は、図 5 に示すように、第 1 実施形態のフライホイール A と同様に、円柱状の低密度円盤部 50 と、円筒状の高密度外縁部 51 とを備えている。低密度円盤部 50 と高密度外縁部 51 とは同じ厚みでその寸法 t_o は 20 cm である。

【0053】

低密度円盤部 50 は、半径 R_i が 13 cm、平均質量密度 ρ_i が 1.6 g/cm^3 の炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を材料として形成されており、高密度外縁部 51 は、半径 R_o が 15 cm、平均質量密度 ρ_o が 13.82 g/cm^3 である金属繊維強化プラスチック (MFRP) を材料として形成されている。金属繊維強化プラスチック (MFRP) は、直径 $5 \mu\text{m}$ の W 微細線バンドルを円周方向に巻いて強化したものが採用されている。

20

【0054】

第 5 実施形態のフライホイール E によれば、式 (1) によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.49 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 49% 向上する。

【0055】

次に、図 6 を参照して第 6、第 7 及び第 8 実施形態のフライホイール F, G, H について説明する。

30

【0056】

第 6 実施形態のフライホイール F は、中空の低密度円盤部 60 と、円筒状の高密度外縁部 61 とを備えている。

【0057】

低密度円盤部 60 は、空隙 602 を存して軸線方向に互いに対向する 2 つの円盤 601 によって構成されている。低密度円盤部 60 を構成する円盤 601 は、夫々、厚み寸法 t_i が 2 cm、半径 R_i が 13.5 cm、平均質量密度 ρ_{i2} が 1.6 g/cm^3 の炭素繊維強化プラスチック (CFRP) を材料として形成されている。

40

【0058】

2 つの円盤 602 による低密度円盤部 60 の平均質量密度 ρ_i は、 $1.6 \times ((2 + 2) / 20) = 0.32 \text{ g/cm}^3$ である。

【0059】

高密度外縁部 61 は、半径 R_o が 15 cm、平均質量密度 ρ_o が 5.84 g/cm^3 の超硬金属微細繊維強化プラスチック (MFRP) により形成されている。厚み寸法 t_o は 20 cm である。超硬金属微細繊維強化プラスチック (MFRP) は、直径 $10 \mu\text{m}$ のピアノ微細線バンドルを円周方向に巻いて強化したものが採用されている。

【0060】

第 6 実施形態のフライホイール F によれば、式 (1) によって求められたエネルギー密

50

度比の値 Z が 1.62 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 6.2% 向上する。

【0061】

なお、第6実施形態のフライホイールFにおける低密度円盤部60の両円盤601の位置は、高密度外縁部61の内部に收容された状態であれば、図6に示す位置に限定されない。例えば、図示しないが、両円盤601間が図6に示したものより近接していてもよい。また、第6実施形態では厚み寸法 t_i が 2 cm の円盤602を2つ用いた例を示したが、それ以外に、厚み寸法 t_i の小さい円盤を3つ以上用いて低密度円盤部60を形成してもよい。

【0062】

第7実施形態のフライホイールGは、第6実施形態と同じ材料で同じ構造の低密度円盤部70と、第6実施形態と同じ形状で同じ寸法であって材料が異なる高密度外縁部71とで構成されている。

【0063】

低密度円盤部70については第6実施形態の低密度円盤部60と同じであるため、その平均質量密度 ρ_i は、 $1.6 \times ((2 + 2) / 20) = 0.32 \text{ g/cm}^3$ である。

【0064】

第7実施形態の高密度外縁部71は、炭素繊維(CF)と超硬金属微細繊維(MF)とで強化したプラスチック(CMFRP樹脂)で構成されている。高密度外縁部71に採用したCMFRP樹脂は、W微細線(ワイヤー)と炭素繊維線(共に直径約5~10 μm)からなる複合バンドルを円周方向に巻いて強化したものであり、その平均質量密度 ρ_o は 6.84 g/cm^3 である。

【0065】

第7実施形態のフライホイールGによれば、式(1)によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.64 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 6.4% 向上する。なお、高密度外縁部71に採用するCMFRP樹脂としては、W微細線に替えてピアノ線のような超硬金属微細線を用いてもよい。

【0066】

第8実施形態のフライホイールHは、第6実施形態と同じ材料で同じ構造の低密度円盤部80と、第6実施形態と同じ形状で同じ寸法であるあって材料が異なる高密度外縁部81とで構成されている。

【0067】

低密度円盤部80については第6実施形態の低密度円盤部60と同じであるため、その平均質量密度 ρ_i は、 $1.6 \times ((2 + 2) / 20) = 0.32 \text{ g/cm}^3$ である。

【0068】

第8実施形態の高密度外縁部81は、超硬金属M粉末を分散させたプラスチック(エポキシ樹脂)を炭素繊維(CF)で強化した固体であるCFRP:M材料によって形成されている。

【0069】

超硬金属M粉末は、W粉末(密度 $\rho_{o2} = 19.25 \text{ g/cm}^3$ 、粒径 0.7 μm 、充填率 $V_{f2} = 0.25$) である。プラスチックは、エポキシ樹脂(密度 $\rho_{o3} = 1.15 \text{ g/cm}^3$) である。炭素繊維は、密度 $\rho_{o1} = 1.80 \text{ g/cm}^3$ 、線径 5~10 μm 、充填率 $V_{f1} = 0.45$ であり、炭素繊維束を円周方向に巻くことにより強化されている。この構成において、高密度外縁部81の平均質量密度 ρ_o は 6.84 g/cm^3 となる。

【0070】

第8実施形態のフライホイールHによれば、式(1)によって求められたエネルギー密度比の値 Z が 1.62 となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて 6.2% 向上する。なお、高密度外縁部81に採用するCFRP:M材料では、W粉末に替えて他の金属の微細粉末を用いてもよい。

【0071】

10

20

30

40

50

次に、第9実施形態のフライホイールIについて説明する。図7及び図8に示すように、第9実施形態のフライホイールIは、第6実施形態と同じ材料で同じ構造の低密度円盤部90と、第6実施形態と同じ形状で同じ寸法の高密度外縁部91とで構成されている。

【0072】

低密度円盤部90については第6実施形態の低密度円盤部60と同じであるため、その平均質量密度 ρ_1 は、 $1.6 \times ((2+2)/20) = 0.32 \text{ g/cm}^3$ である。

【0073】

第9実施形態のフライホイールIにおける高密度外縁部91は、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)によって円筒状に形成されているが、その内部には、周方向に互いに所定間隔を存して周回等角対称に配置された複数の金属素片911が埋設されている。

10

【0074】

各金属素片911は、全て同一形状であり、重金属で形成され、回転軸線に向かって突出するように、突出形状の先端を回転軸線に向けた姿勢で設けられている。

【0075】

金属素片911は、超合金の平均質量密度 ρ_{01} が 14.2 g/cm^3 であり、充填率 V_{f1} が0.25であり、プラスチックであるエポキシ樹脂の平均質量密度 ρ_{02} が 1.15 g/cm^3 である。よって、この構成による高密度外縁部91の平均質量密度 ρ_0 は 4.41 g/cm^3 となる。

【0076】

第9実施形態のフライホイールIによれば、式(1)によって求められたエネルギー密度比の値Zが1.57となり、エネルギー密度が従来のフライホイールに比べて57%向上する。

20

【0077】

なお、金属素片911は、図9に示すように、各種形状(図9において金属素片911、911a~911f)のものを選択的に用いることができる。このとき、高密度外縁部91には、同じ形状の金属素片を用い、金属素片911、911a~911fの何れの形状を採用した場合であってもその突出形状の先端(図において上方に示した側の端)を回転軸線に向ける。

【0078】

また、金属素片911は、図7に示すように、回転軸線に沿って長さを有する形状とする以外に、図10に示すように、短い長さ寸法の金属素片911を回転軸線に沿った方向に間隔を存して複数配列して設けてもよい。

30

【0079】

上記各実施形態で示したフライホイールは、フライホイール蓄電システムに好適に採用することができる。即ち、図11に示すように、フライホイール蓄電システム100は、発電電動機部101と、フライホイール部102とを備えている。

【0080】

フライホイール部102は、フライホイール102aと、このフライホイール102aを収容する筐体102bとを備えている。フライホイール102aは回転軸102cに設けられて回転軸102cと一体に回転する。

40

【0081】

回転軸102cは、発電電動機部101の入出力軸101aに連結されている。フライホイール102の回転軸102cは、筐体102bに設けられた一対の軸受け102dに回転自在に支持されている。

【0082】

フライホイール102aは、上述した各実施形態で示した構成のもの(フライホイールA、B、C、D、E、F、G、H、Iの何れか)が採用される。蓄電エネルギーの増大はフライホイール102aの厚み寸法や直径を増加させることで容易に達成することができる。

【0083】

50

フライホイール 102 a が上述した各実施形態で示した構成であることにより、エネルギー密度が高く、従来のフライホイールと比べて軽量となる。よって、フライホイール蓄電システム 100 を軽量に構成することができる。

【0084】

また、フライホイール 102 a の軽量化により、従来のフライホイール蓄電システムに比べてシステムレベルでのエネルギー密度を向上させることができる。

【産業上の利用可能性】

【0085】

本発明は、高い質量エネルギー密度が得られるフライホイール、及び、このフライホイールを回転動作させることにより、電気エネルギーを運動エネルギーとして貯蔵するフライホイール蓄電システムが得られ、余剰電力の貯蔵及び利用のために好適な装置を提供することができる。

10

【符号の説明】

【0086】

100 ... フライホイール蓄電システム

101 ... 発電電動機

101 a ... 入出力軸

102 c ... 回転軸

A, B, C, D, E, F, G, H, I, 102 a ... フライホイール

10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ... 低密度円盤部

20

11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91 ... 高密度外縁部

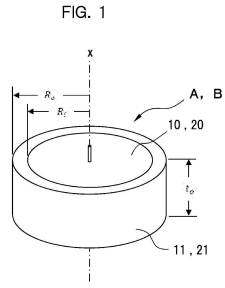
911, 911 a, 911 b, 911 c, 911 d, 911 e, 911 f ... 素片

30

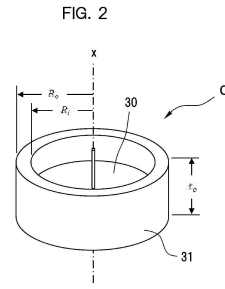
40

50

【 図面 】
【 図 1 】

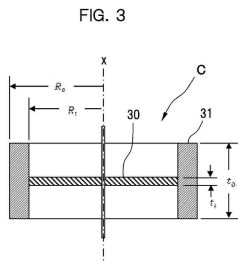


【 図 2 】

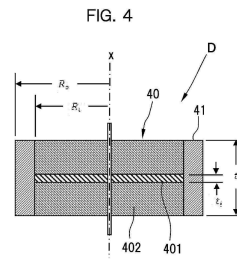


10

【 図 3 】

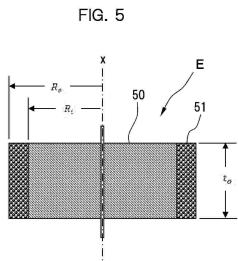


【 図 4 】

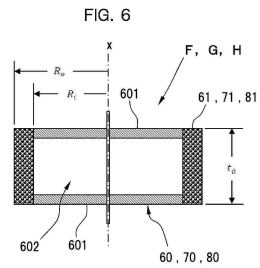


20

【 図 5 】



【 図 6 】

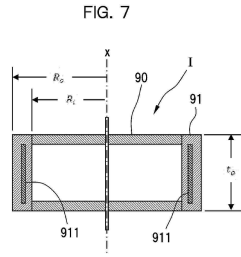


30

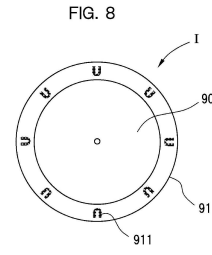
40

50

【 図 7 】

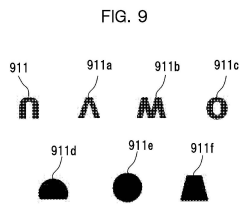


【 図 8 】

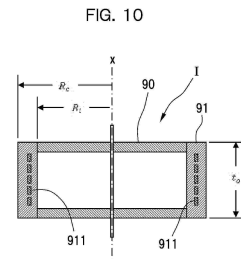


10

【 図 9 】



【 図 10 】



20

30

40

50

【 1 1 】

【 1 2 】

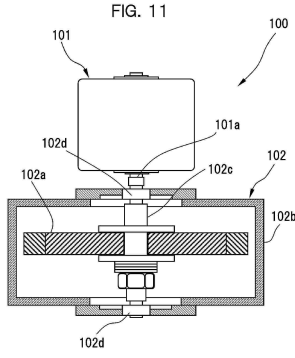


FIG. 12

$\frac{P_1}{P_2}$ (= ϵ)	$\frac{R_1}{R_2} (= \tau)$												
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.999		
0.001	1.00	1.01	1.04	1.09	1.16	1.25	1.36	1.49	1.64	1.81	1.99	1.67	
0.01	1.00	1.01	1.04	1.09	1.16	1.25	1.35	1.48	1.62	1.77	1.92	1.65	1.16
0.05	1.00	1.01	1.04	1.09	1.15	1.23	1.33	1.44	1.56	1.68	1.80	1.27	1.04
0.1	1.00	1.01	1.04	1.09	1.14	1.22	1.31	1.40	1.49	1.51	1.42	1.15	1.02
0.2	1.00	1.01	1.03	1.07	1.12	1.19	1.26	1.33	1.38	1.35	1.25	1.07	1.01
0.3	1.00	1.01	1.03	1.06	1.11	1.16	1.22	1.27	1.29	1.25	1.17	1.04	1.00
0.4	1.00	1.01	1.02	1.05	1.09	1.13	1.18	1.21	1.22	1.18	1.12	1.03	1.00
0.5	1.00	1.00	1.02	1.04	1.07	1.11	1.14	1.17	1.17	1.13	1.08	1.02	1.00
0.6	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.08	1.11	1.12	1.12	1.09	1.06	1.01	1.00
0.7	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09	1.08	1.04	1.01	1.00
0.8	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.04	1.02	1.00	1.00
0.9	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	1.00
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2017-78444(JP,A)
特開2000-304100(JP,A)
特開2013-106493(JP,A)
特表2012-522190(JP,A)
特表2004-502106(JP,A)
登録実用新案第3119542(JP,U)
米国特許出願公開第2015/0162799(US,A1)
特開平6-22477(JP,A)
実開昭59-6644(JP,U)
実開昭50-101787(JP,U)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02J 15/00
H02J 3/30