

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7545100号  
(P7545100)

(45)発行日 令和6年9月4日(2024.9.4)

(24)登録日 令和6年8月27日(2024.8.27)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 F 27/245 (2006.01) H 0 1 F 27/245 1 5 5

請求項の数 5 (全48頁)

(21)出願番号	特願2024-529052(P2024-529052)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和5年6月21日(2023.6.21)	(74)代理人	100149548 弁理士 松沼 泰史
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/022943	(74)代理人	100140774 弁理士 大浪 一徳
(87)国際公開番号	WO2023/249054	(74)代理人	100134359 弁理士 勝俣 智夫
(87)国際公開日	令和5年12月28日(2023.12.28)	(74)代理人	100188592 弁理士 山口 洋
審査請求日	令和6年6月6日(2024.6.6)	(74)代理人	100217249 弁理士 堀田 耕一郎
(31)優先権主張番号	特願2022-100292(P2022-100292)	(74)代理人	100221279 弁理士 山口 健吾
(32)優先日	令和4年6月22日(2022.6.22)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 巻鉄心

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

方向性電磁鋼板を成形した複数の曲げ加工体を板厚方向に積層することで構成された巻鉄心であって、

前記巻鉄心は、複数の平坦部と、複数のコーナー部と、を有し、

前記曲げ加工体は、複数の平坦領域と、前記平坦領域に隣接する複数の屈曲領域と、を有し、

前記各屈曲領域の曲率半径が5.0mm以下であり、

前記曲げ加工体は、前記方向性電磁鋼板の長手方向の端面が対向した接合部を1以上有し、

最も内側に配置された前記曲げ加工体を第1曲げ加工体とし、前記第1曲げ加工体の前記接合部がある平坦領域を基準平坦領域としたとき、複数の前記曲げ加工体それぞれの前記接合部は、前記基準平坦領域がある前記平坦部にあり、

前記巻鉄心の側面視において、

前記基準平坦領域に隣接する前記屈曲領域の一方を第1屈曲領域とし、

前記基準平坦領域に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第2屈曲領域とし、

前記第1屈曲領域の前記基準平坦領域側の端点を通り、前記基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第1仮想線とし、

前記第2屈曲領域の前記基準平坦領域側の端点を通り、前記基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第2仮想線とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線から前記第 2 仮想線の間であり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 1 仮想線から前記第 1 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 1 最短接合部とし、

前記第 1 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間であり、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 1 仮想線から前記第 1 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 1 端接合部とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間であり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記第 2 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 2 最短接合部とし、

10

前記第 2 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間であり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記第 2 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 2 端接合部とし、

前記第 1 最短接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 A とし、

前記第 1 端接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 B とし、

20

前記第 2 最短接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 C とし、

前記第 2 端接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 D とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 A と前記仮想線 B との間にある前記接合部を第 1 群接合部とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 C と前記仮想線 D との間にある前記接合部を第 2 群接合部とし、

前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 1 仮想線から前記各第 1 群接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_i \rangle$  とし、

30

前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記各第 2 群接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_o \rangle$  としたとき、

下記 ( 1 ) 式および下記 ( 2 ) 式を満足する、巻鉄心。

$$25 \text{ mm} < L_i > \cdots ( 1 )$$

$$25 \text{ mm} < L_o > \cdots ( 2 )$$

#### 【請求項 2】

前記第 1 群接合部の数は、前記第 2 群接合部の数と等しく、

前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間であり、かつ、前記基準平坦領域のある前記平坦部の中の前記接合部の数を前記第 1 群接合部の数で割って得た商と剰余のうち、前記商である  $k$  が下記 ( 3 ) 式を満足する、請求項 1 に記載の巻鉄心。

40

$$2 \leq k \leq 8 \cdots ( 3 )$$

#### 【請求項 3】

前記各曲げ加工体が対向する 2 つの平坦領域のそれぞれに前記接合部を有し、

前記第 1 曲げ加工体が、前記基準平坦領域と、前記基準平坦領域と対向する第 2 基準平坦領域を有し、

複数の前記曲げ加工体それぞれの前記接合部は、前記基準平坦領域がある前記平坦部および前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部にあり、

前記巻鉄心の側面視において、

前記第 2 基準平坦領域に隣接する前記屈曲領域の一方を第 3 屈曲領域とし、

前記第 2 基準平坦領域に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第 4 屈曲領域とし、

50

前記第 3 屈曲領域の前記第 2 基準平坦領域側の端点を通り、前記第 2 基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第 3 仮想線とし、

前記第 4 屈曲領域の前記第 2 基準平坦領域側の端点を通り、前記第 2 基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第 4 仮想線とし、

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線から前記第 4 仮想線の間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記第 3 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 3 最短接合部とし、

前記第 3 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記第 3 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 3 端接合部とし、

10

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記第 4 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 4 最短接合部とし、

前記第 4 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記第 4 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 4 端接合部とし、

20

前記第 3 最短接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 E とし、

前記第 3 端接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 F とし、

前記第 4 最短接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 G とし、

前記第 4 端接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 H とし、

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 E と前記仮想線 F との間にある前記接合部を第 3 群接合部とし、

30

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 G と前記仮想線 H との間にある前記接合部を第 4 群接合部とし、

前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記各第 3 群接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_{2i} \rangle$  とし、

前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記各第 4 群接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_{2o} \rangle$  としたとき、

下記 ( 4 ) 式および下記 ( 5 ) 式を満足する、請求項 1 または 2 に記載の巻鉄心。

$$25 \text{ mm} < L_{2i} > \cdots ( 4 )$$

$$25 \text{ mm} < L_{2o} > \cdots ( 5 )$$

【請求項 4】

40

前記第 3 群接合部の数は、前記第 4 群接合部の数と等しく、

前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域のある前記平坦部の中の前記接合部の数を前記第 3 群接合部の数で割って得た第 2 の商と第 2 の剰余のうち、前記第 2 の商である  $k_2$  が下記 ( 6 ) 式を満足する、請求項 3 に記載の巻鉄心。

$$2 \leq k_2 \leq 8 \cdots ( 6 )$$

【請求項 5】

前記屈曲領域の曲げ角度が、 $30^\circ \sim 60^\circ$  である、請求項 1 または 2 に記載の巻鉄心。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本開示は、巻鉄心に関する。

本願は、2022年6月22日に、日本に出願された特願2022-100292号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

巻鉄心は、トランス、リアクトル、または、ノイズフィルター等の磁心として広く用いられている。従来、高効率化等の観点から鉄心で生じる鉄損の低減が重要な課題の一つとなっており、様々な観点から低鉄損化の検討が行われている。

【0003】

例えば特許文献1には、一卷ごとに少なくとも1箇所の切断部を有する複数枚の鉄心材が巻回され、中心に矩形の窓部を有する巻鉄心であって、コーナ部における前記鉄心材の占積率が前記コーナ部を除く辺部における前記鉄心材の占積率よりも低くなっている巻鉄心が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】日本国特開2015-141930号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1の場合よりもより鉄損が抑制された巻鉄心が求められている。

20

【0006】

本開示は、上記の課題を鑑みてなされた発明であり、鉄損が抑制される巻鉄心を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明は以下の手段を提案している。

<1>本発明の態様1の巻鉄心は、

方向性電磁鋼板を成形した複数の曲げ加工体を板厚方向に積層することで構成された巻鉄心であって、

30

前記巻鉄心は、複数の平坦部と、複数のコーナー部と、を有し、

前記曲げ加工体は、複数の平坦領域と、前記平坦領域に隣接する複数の屈曲領域と、を有し、

前記各屈曲領域の曲率半径が5.0mm以下であり、

前記曲げ加工体は、前記方向性電磁鋼板の長手方向の端面が対向した接合部を1以上有し、

最も内側に配置された前記曲げ加工体を第1曲げ加工体とし、前記第1曲げ加工体の前記接合部がある平坦領域を基準平坦領域としたとき、複数の前記曲げ加工体それぞれの前記接合部は、前記基準平坦領域がある前記平坦部にあり、

前記巻鉄心の側面視において、

40

前記基準平坦領域に隣接する前記屈曲領域の一方を第1屈曲領域とし、

前記基準平坦領域に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第2屈曲領域とし、

前記第1屈曲領域の前記基準平坦領域側の端点を通り、前記基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第1仮想線とし、

前記第2屈曲領域の前記基準平坦領域側の端点を通り、前記基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第2仮想線とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第1仮想線から前記第2仮想線の間であり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第1仮想線から前記第1仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第1最短接合部とし、

50

前記第 1 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間にあり、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 1 仮想線から前記第 1 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 1 端接合部とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間にあり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記第 2 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 2 最短接合部とし、

前記第 2 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間にあり、かつ、前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記第 2 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 2 端接合部とし、

10

前記第 1 最短接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 A とし、

前記第 1 端接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 B とし、

前記第 2 最短接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 C とし、

前記第 2 端接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面を通り、前記基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 D とし、

20

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 A と前記仮想線 B との間にある前記接合部を第 1 群接合部とし、

前記基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 C と前記仮想線 D との間にある前記接合部を第 2 群接合部とし、

前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 1 仮想線から前記各第 1 群接合部の前記第 1 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_i \rangle$  とし、

前記基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 2 仮想線から前記各第 2 群接合部の前記第 2 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_o \rangle$  としたとき、

下記 ( 1 ) 式および下記 ( 2 ) 式を満足する。

$$25 \text{ mm} < L_i > \cdots ( 1 )$$

$$25 \text{ mm} < L_o > \cdots ( 2 )$$

30

< 2 > 本発明の態様 2 は、態様 1 の巻鉄心において、

前記第 1 群接合部の数は、前記第 2 群接合部の数と等しく、

前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線との間にあり、かつ、前記基準平坦領域のある前記平坦部の中の前記接合部の数を前記第 1 群接合部の数で割って得た商と剰余のうち、前記商である  $k$  が下記 ( 3 ) 式を満足してもよい。

$$2 \leq k \leq 8 \cdots ( 3 )$$

< 3 > 本発明の態様 3 は、態様 1 または 2 の巻鉄心において、

前記各曲げ加工体が対向する 2 つの平坦領域のそれぞれに前記接合部を有し、

前記第 1 曲げ加工体が、前記基準平坦領域と、前記基準平坦領域と対向する第 2 基準平坦領域を有し、

40

複数の前記曲げ加工体それぞれの前記接合部は、前記基準平坦領域がある前記平坦部および前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部にあり、

前記巻鉄心の側面視において、

前記第 2 基準平坦領域に隣接する前記屈曲領域の一方を第 3 屈曲領域とし、

前記第 2 基準平坦領域に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第 4 屈曲領域とし、

前記第 3 屈曲領域の前記第 2 基準平坦領域側の端点を通り、前記第 2 基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第 3 仮想線とし、

前記第 4 屈曲領域の前記第 2 基準平坦領域側の端点を通り、前記第 2 基準平坦領域の前記板厚方向と平行な仮想線を第 4 仮想線とし、

50

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線から前記第 4 仮想線の間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記第 3 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 3 最短接合部とし、

前記第 3 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記第 3 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 3 端接合部とし、

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記第 4 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが最も短い前記接合部を第 4 最短接合部とし、

前記第 4 最短接合部を有する前記曲げ加工体に対して前記板厚方向に隣接する前記曲げ加工体にある前記各接合部のうち、前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記第 4 仮想線側の前記接合部の前記端面までの長さが短いほうの前記接合部を第 4 端接合部とし、

前記第 3 最短接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 E とし、

前記第 3 端接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 F とし、

前記第 4 最短接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 G とし、

前記第 4 端接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面を通り、前記第 2 基準平坦領域の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 H とし、

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 E と前記仮想線 F との間にある前記接合部を第 3 群接合部とし、

前記第 2 基準平坦領域がある前記平坦部の前記各接合部の内、前記仮想線 G と前記仮想線 H との間にある前記接合部を第 4 群接合部とし、

前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 3 仮想線から前記各第 3 群接合部の前記第 3 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_{2i} \rangle$  とし、

前記第 2 基準平坦領域の長手方向に沿った、前記第 4 仮想線から前記各第 4 群接合部の前記第 4 仮想線側の前記端面までの長さの平均を  $\langle L_{2o} \rangle$  としたとき、

下記 ( 4 ) 式および下記 ( 5 ) 式を満足してもよい。

$$25 \text{ mm} < L_{2i} > \cdots ( 4 )$$

$$25 \text{ mm} < L_{2o} > \cdots ( 5 )$$

< 4 > 本発明の態様 4 は、態様 3 の巻鉄心において、

前記第 3 群接合部の数は、前記第 4 群接合部の数と等しく、

前記第 3 仮想線と前記第 4 仮想線との間であり、かつ、前記第 2 基準平坦領域のある前記平坦部の中の前記接合部の数を前記第 3 群接合部の数で割って得た第 2 の商と第 2 の剰余のうち、前記第 2 の商である  $k_2$  が下記 ( 6 ) 式を満足してもよい。

$$2 \leq k_2 \leq 8 \cdots ( 6 )$$

< 5 > 本発明の態様 5 は、態様 1 ~ 4 のいずれか 1 つの巻鉄心において、前記屈曲領域の曲げ角度が、 $30 \sim 60^\circ$  であってもよい。

【発明の効果】

【0008】

本開示の上記態様によれば、鉄損が抑制される巻鉄心を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】第 1 態様に係る巻鉄心を示す斜視図である。

【図 2】図 1 の巻鉄心の側面図である。

10

20

30

40

50

【図 3】第 2 態様に係る巻鉄心を示す側面図である。

【図 4】第 3 態様に係る巻鉄心を示す側面図である。

【図 5】第 4 態様に係る巻鉄心を示す側面図である。

【図 6】図 1 の巻鉄心のコーナー部付近を拡大した側面図である。

【図 7】屈曲領域の一例を拡大した側面図である。

【図 8】図 1 の巻鉄心の曲げ加工体の側面図である。

【図 9】第 5 態様の巻鉄心の側面図である。

【図 10】第 6 態様の巻鉄心の側面図である。

【図 11】第 7 態様の巻鉄心の側面図である。

【図 12】巻鉄心の製造方法に用いられる巻鉄心の製造装置の第 1 例を示す説明図である。 10

【図 13】特性評価の際に製造した巻鉄心の寸法を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

(巻鉄心)

以下、本開示の巻鉄心について説明する。なお、下記する数値限定範囲には、下限値および上限値がその範囲に含まれる。「超」または「未満」と示す数値は、その値が数値範囲に含まれない。また、化学組成に関する「%」は、特に断りがない限り「質量%」を意味する。

また、本明細書において用いる、形状や幾何学的条件並びにそれらの程度を特定する、例えば、「平行」、「垂直」、「同一」、「直角」等の用語や長さや角度の値等については、厳密な意味に縛られることなく、同様の機能を期待し得る程度の範囲を含めて解釈することとする。また、本開示において、略  $90^\circ$  とは、 $\pm 3^\circ$  の誤差を許容するものであり、 $87^\circ \sim 93^\circ$  の範囲を意味する。 20

【0011】

本開示に係る巻鉄心は、方向性電磁鋼板を成形した複数の曲げ加工体を板厚方向に積層することで構成された巻鉄心である。巻鉄心に用いられる方向性電磁鋼板は、方向性電磁鋼板の少なくとも片面に被膜が形成された被膜付き方向性電磁鋼板であることが好ましい。また、被膜付き方向性電磁鋼板である場合、本開示に係る巻鉄心は、被膜付き方向性電磁鋼板から方向性電磁鋼板の被膜が外側となるように成形した複数の曲げ加工体を板厚方向に積層することで構成された巻鉄心であることが好ましい。 30

【0012】

本開示の巻鉄心の曲げ加工体は、平坦領域と、平坦領域に隣接する屈曲領域と、を有する。そして、本開示の巻鉄心の曲げ加工体は、方向性電磁鋼板の長手方向の端面が対向した接合部を 1 以上有する。以下の説明では、方向性電磁鋼板が被膜付き方向性電磁鋼板である場合について説明するが、本発明は以下の構成に限定されない。以下、本開示の巻鉄心の各構成について詳述する。

【0013】

「被膜付き方向性電磁鋼板」

本開示における被膜付き方向性電磁鋼板は、少なくとも、方向性電磁鋼板（本開示において「母材鋼板」という場合がある）と、母材鋼板の少なくとも片面に形成された被膜とを有する。 40

【0014】

被膜付き方向性電磁鋼板は、前記被膜として少なくとも一次被膜を有し、必要に応じて更に他の層を有していてもよい。他の層としては、例えば、一次被膜上に設けられた二次被膜などが挙げられる。

以下、被膜付き方向性電磁鋼板の構成について説明する。

【0015】

< 方向性電磁鋼板 >

本開示に係る巻鉄心 10 を構成する被膜付き方向性電磁鋼板において、母材鋼板は、結晶粒の方位が  $\{110\} <001>$  方位に高度に集積された鋼板である。母材鋼板は、圧 50

延方向に優れた磁気特性を有する。

本開示に係る巻鉄心に使用する母材鋼板は、特に限定されない。母材鋼板には、公知の方向性電磁鋼板を、適宜選択して用いることができる。方向性電磁鋼板としては、例えば、JIS C 2553:2019に記載の方向性電磁鋼帯を採用することができる。以下、母材鋼板の一例について説明するが、母材鋼板は以下の例に限定されるものではない。

【0016】

母材鋼板の化学組成は、特に限定されるものではないが、例えば、質量%で、Si: 0.8%~7%、C: 0%よりも高く0.085%以下、酸可溶性Al: 0%~0.065%、N: 0%~0.012%、Mn: 0%~1%、Cr: 0%~0.3%、Cu: 0%~0.4%、P: 0%~0.5%、Sn: 0%~0.3%、Sb: 0%~0.3%、Ni: 0%~1%、S: 0%~0.015%、Se: 0%~0.015%を含有し、残部がFeおよび不純物元素からなることが好ましい。

10

上記母材鋼板の化学組成は、結晶方位を{110}<001>方位に集積させたGoss集合組織に制御するために好ましい化学成分である。

【0017】

母材鋼板中の元素のうち、Fe以外は、SiおよびCが基本元素(必須元素)である。母材鋼板のSi含有量が、質量%で2.0%以上である場合、巻鉄心の渦電流損が抑制されるため好ましい。母材鋼板のSi含有量は3.0%以上であることがより好ましい。また、母材鋼板のSi含有量が、質量%で5.0%以下である場合、熱延工程および冷間圧延で鋼板の破断が起こりにくいため好ましい。母材鋼板のSi含有量は4.5%以下であることがより好ましい。

20

【0018】

母材鋼板は、任意元素として、酸可溶性Al、N、Mn、Cr、Cu、P、Sn、Sb、Ni、S、およびSeを含有していてもよい。これらの任意元素は、その目的に応じて含有させればよいので下限値は0%である。また、これらの任意元素が不純物元素として含有されても、本開示の効果は損なわれない。

【0019】

方向性電磁鋼板では二次再結晶時に純化焼鈍を経ることが一般的である。純化焼鈍においてはインヒター形成元素の系外への排出が起きる。特にN、Sについては濃度の低下が顕著で、50ppm以下になる。通常の純化焼鈍条件であれば、9ppm以下、さらには6ppm以下、純化焼鈍を十分に行えば、一般的な分析では検出できない程度(1ppm以下)にまで達する。

30

【0020】

母材鋼板において、基本元素および任意元素の残部がFeおよび不純物元素からなる。ここで、「不純物元素」とは、母材鋼板を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、または製造環境等から、意図せずに混入する元素を意味する。

【0021】

母材鋼板の化学成分は、鋼の一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、母材鋼板の化学成分は、ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)を用いて測定すればよい。具体的には、例えば、被膜除去後の母材鋼板の幅方向における中央の位置から35mm角の試験片を取得し、島津製作所製ICPS-8100等(測定装置)により、予め作成した検量線に基づいた条件で測定することにより特定できる。なお、CおよびSは燃焼-赤外線吸収法を用い、Nは不活性ガス融解-熱伝導度法を用いて測定すればよい。

40

なお、母材鋼板の化学成分は、方向性電磁鋼板から後述の方法により後述のガラス被膜およびリンを含有する被膜等を除去した鋼板を母材鋼板としてその成分を分析した成分である。

【0022】

<一次被膜>

一次被膜は、母材鋼板である方向性電磁鋼板の表面に他の層または膜を介さずに直接形

50

成されている被膜である。一次被膜としては、例えばガラス被膜が挙げられる。ガラス被膜としては、例えば、フォルステライト ( $Mg_2SiO_4$ )、スピネル ( $MgAl_2O_4$ )、およびコーディエライト ( $Mg_2Al_4Si_5O_{16}$ ) より選択される 1 種以上の酸化物を有する被膜が挙げられる。なお、方向性電磁鋼板の表面にガラス被膜を形成せずに、例えば、後述するリンを含有する被膜を一次被膜として形成してもよい。

#### 【0023】

一次被膜がガラス被膜である場合、ガラス被膜の形成方法は特に限定されず、公知の方法の中から適宜選択することができる。例えば、冷延鋼板にマグネシア ( $MgO$ ) およびアルミナ ( $Al_2O_3$ ) から選択される 1 種以上を含有する焼鈍分離剤を塗布した後で、仕上焼鈍を行う方法が挙げられる。

10

#### 【0024】

焼鈍分離剤は、仕上焼鈍時の鋼板同士のスティッキングを抑制する効果も有している。例えば前記マグネシアを含有する焼鈍分離剤を塗布して仕上焼鈍を行った場合、母材鋼板に含まれるシリカと焼鈍分離剤が反応して、フォルステライト ( $Mg_2SiO_4$ ) を含むガラス被膜が母材鋼板表面に形成される。

#### 【0025】

一次被膜の厚みは特に限定されないが、母材鋼板の表面全体に形成し、かつ、剥離を抑制する観点から、例えば  $0.5\ \mu m$  以上  $3\ \mu m$  以下であることが好ましい。

#### 【0026】

< その他の被膜 >

20

被膜付き方向性電磁鋼板は、一次被膜以外の被膜を備えてもよい。例えば、一次被膜上のその他の膜 (二次被膜) として、リンを含有する被膜を有することが好ましい。リンを含有する被膜を有することで、絶縁性を向上することができる。当該リンを含有する被膜は方向性電磁鋼板の最表面に形成される被膜である。方向性電磁鋼板が一次被膜としてガラス被膜または酸化被膜を有する場合には、当該一次被膜上に形成される。母材鋼板の表面に一次被膜として形成されたガラス被膜上に、リンを含有する被膜を形成することで、高い密着性を確保することができる。

#### 【0027】

リンを含有する被膜は、従来公知の被膜の中から適宜選択することができる。リンを含有する被膜としては、リン酸塩系被膜が好ましく、特に、リン酸アルミニウムおよびリン酸マグネシウムのうち 1 種以上を主成分とし、更に、副成分としてクロムおよび酸化ケイ素のうち 1 種以上を含有する被膜であることが好ましい。リン酸塩系被膜によれば、鋼板の絶縁性を確保すると共に、鋼板に張力を与えて低鉄損化にも優れている。

30

#### 【0028】

その他の膜がリンを含有する被膜である場合、リンを含有する被膜の厚みは特に限定されないが、絶縁性を確保する点から  $0.5\ \mu m$  以上  $3\ \mu m$  以下であることが好ましい。

#### 【0029】

< 板厚 >

被膜付き方向性電磁鋼板の板厚は、特に限定されず、用途等に応じて適宜選択すればよいが、通常  $0.10\ mm \sim 0.50\ mm$  の範囲内であり、好ましくは  $0.13\ mm \sim 0.35\ mm$ 、さらに好ましくは  $0.15\ mm \sim 0.30\ mm$  の範囲である。

40

#### 【0030】

(巻鉄心の構成)

本開示に係る巻鉄心の構成について、図 1、図 2 の巻鉄心 10 を例に説明する。図 1 は、巻鉄心 10 の斜視図、図 2 は、図 1 の巻鉄心 10 の側面図である。

なお、本開示において側面視とは、巻鉄心を構成する長尺状の方向性電磁鋼板の幅方向 (図 1 における Y 軸方向) に視ることをいう。

側面図とは、側面視により視認される形状を表した図 (図 1 の Y 軸方向の図) である。板厚方向とは、方向性電磁鋼板の板厚方向である。本開示の巻鉄心 10 において、板厚方向は、矩形状の巻鉄心に成形された状態においては巻鉄心の周面に垂直な方向となる。

50

周面に垂直な方向とは、周面を側面視した場合において、周面に垂直な方向を意味する。側面視において周面が曲線をなす場合、周面に垂直な方向（板厚方向）とは、周面がなす曲線の接線に対して垂直な方向を意味する。

【 0 0 3 1 】

巻鉄心 1 0 は、複数の曲げ加工体 1 を、その板厚方向に積層することで構成される。巻鉄心 1 0 は、例えば、図 1、図 2 に示されるように、複数の曲げ加工体 1 による略矩形形状の積層構造を有する。巻鉄心 1 0 は、複数の曲げ加工体 1 を積層した積層体 2 を有する。巻鉄心 1 0 は、そのまま巻鉄心として使用してもよい。必要に応じて公知の結束バンド等の締付具を用いて巻鉄心 1 0 を固定してもよい。なお曲げ加工体 1 は、母材鋼板である方向性電磁鋼板から形成される。曲げ加工体 1 の数（積層枚数）は、特に限定されないが、例えば、曲げ加工体 1 の数は、2 0 0 以上であることが好ましい。

10

【 0 0 3 2 】

図 1 および図 2 に示すように、巻鉄心 1 0 は、周方向に沿って四つの平坦部 4 と四つのコーナー部 3 とが交互に連続することで矩形形状に形成されることが好ましい。巻鉄心 1 0 は、複数の平坦部 4 と、複数のコーナー部 3 と、を有する。各コーナー部 3 に隣接する二つの平坦部 4 のなす角は、略 9 0 ° であることが好ましい。ここで周方向とは、巻鉄心 1 0 の軸線回りに周回する方向を意味する。

【 0 0 3 3 】

巻鉄心 1 0 のコーナー部 3 において、曲げ加工体 1 は二つの屈曲領域 5 を有する（図 2）。屈曲領域 5 は、曲げ加工体 1 の側面視において曲線状に屈曲した形状を有する領域である。屈曲領域についての詳細な説明は後述する。二つの屈曲領域 5 では、曲げ加工体 1 の側面視で、曲げ角度の合計が略 9 0 ° であることが好ましい。

20

【 0 0 3 4 】

巻鉄心 1 0 のコーナー部 3 のそれぞれにおいて、曲げ加工体 1 は、方向性電磁鋼板が略 9 0 ° 曲がるように一つ以上の屈曲領域 5 を有していればよい。本開示の第 2 の態様に係る巻鉄心 1 0 A のように、巻鉄心 1 0 のコーナー部 3 のそれぞれにおいて、曲げ加工体 1 は、三つの屈曲領域 5 を有してもよい（図 3）。また、巻鉄心 1 0 のコーナー部 3 のそれぞれは、第三の態様に係る巻鉄心 1 0 B のように、巻鉄心 1 0 の一つのコーナー部 3 において、曲げ加工体 1 は一つの屈曲領域 5 を有してもよい（図 4）。また、巻鉄心 1 0 のコーナー部 3 のそれぞれは、第四の態様に係る巻鉄心 1 0 G のように、巻鉄心 1 0 の一つのコーナー部 3 において、曲げ加工体 1 は一つの屈曲領域 5 を有してもよい（図 5）。また、巻鉄心 1 0 C のように、対向する平坦部 4 の長さが異なってもよい。

30

【 0 0 3 5 】

（平坦領域）

図 2 に示すように、曲げ加工体 1 には、屈曲領域 5 に隣接する平坦領域 8 がある。屈曲領域 5 に隣接する平坦領域 8 としては、以下の（1 A）、（1 B）に示す二つの平坦領域 8 がある。

（1 A）一つのコーナー部 3 において屈曲領域 5 と屈曲領域 5 との間（周方向に隣り合う二つの屈曲領域 5 の間）に位置し、各屈曲領域 5 に隣接する平坦領域 8（コーナー部の平坦領域）。

40

（1 B）各屈曲領域 5 にそれぞれ平坦部 4 として隣接する平坦領域 8。

【 0 0 3 6 】

（コーナー部）

図 6 は、図 1 の巻鉄心 1 0 におけるコーナー部 3 の付近を拡大した側面図である。

図 6 に示されるように、一つのコーナー部 3 において、曲げ加工体 1 a が二つの屈曲領域 5 a および屈曲領域 5 b を有する場合には、曲げ加工体 1 a の平坦領域である平坦部 4 に属する平坦領域 8 a から屈曲領域 5 a（曲線部分）が連続し、さらにその先には平坦領域 7 a（直線部分）、屈曲領域 5 b（曲線部分）、および平坦部 4 b に属する平坦領域 8 b（直線部分）が連続する。

【 0 0 3 7 】

50

巻鉄心 10 では、図 6 における線分 A - A' から線分 B - B' までの領域がコーナー部 3 である。点 A は、巻鉄心 10 の最も内側に配置された曲げ加工体（第 1 曲げ加工体）1 a の屈曲領域 5 a における平坦領域 8 a 側の端点である。点 A' は、点 A を通り曲げ加工体 1 a の板面に垂直方向（板厚方向）の直線と、巻鉄心 10 の最も外側の面（巻鉄心 10 の最も外側に配置された曲げ加工体 1 の外周面）との交点である。同様に点 B は、巻鉄心 10 の最も内側に配置された曲げ加工体 1 a の屈曲領域 5 b における平坦領域 8 b 側の端点である。点 B' は、点 B を通り曲げ加工体 1 a の板面に垂直方向（板厚方向）の直線と、巻鉄心 10 の最も外側の面との交点である。図 6 において、当該コーナー部 3 を介して隣接する二つの平坦部 4 a , 4 b のなす角（平坦部 4 a , 4 b の各延長線が交差することでなす角）は  $\theta$  であり、図 6 の例において当該  $\theta$  は略  $90^\circ$  である。屈曲領域 5 a , 5 b の曲げ角度については後述するが、図 6 において屈曲領域 5 a , 5 b の曲げ角度の合計  $\theta_1 + \theta_2$  は略  $90^\circ$  である。屈曲領域 5 a の曲げ角度  $\theta_1$  は、例えば、 $30^\circ \sim 60^\circ$  である。同様に、屈曲領域 5 b の曲げ角度  $\theta_2$  は、例えば、 $30^\circ \sim 60^\circ$  である。屈曲領域 5 a , 5 b の曲げ角度  $\theta_1$  ,  $\theta_2$  が、 $90^\circ$  よりも変形量が少なくなることで、曲げによる弾性応力すなわち曲げ戻りが小さくなり角度のばらつきが小さくなるため、屈曲領域 5 a , 5 b の曲げ角度  $\theta_1$  ,  $\theta_2$  は、特に  $30^\circ \sim 60^\circ$  が好ましい。

#### 【0038】

（屈曲領域）

図 7 を参照しながら、屈曲領域 5 について詳細に説明する。図 7 は、曲げ加工体 1 の屈曲領域 5 の一例を拡大した側面図である。屈曲領域 5 の曲げ角度  $\theta$  とは、曲げ加工体 1 の屈曲領域 5 において、折り曲げ方向の後方側の平坦領域と、折り曲げ方向の前方側の平坦領域と、の間に生じた角度差を意味する。具体的には、屈曲領域 5 の曲げ角度  $\theta$  は、屈曲領域 5 において、曲げ加工体 1 の外面を表す線 L b に含まれる曲線部分の両側の点（点 F および点 G）から、各点に隣接する直線部分をそれぞれ延長して得られる二つの仮想線 L b - e l o n g a t i o n 1、L b - e l o n g a t i o n 2 がなす角の補角の角度  $\theta$  として表される。

各屈曲領域 5 の曲げ角度は、略  $90^\circ$  以下であり、かつ、巻鉄心 10 の一つのコーナー部 3 に存在する曲げ加工体 1 の全ての屈曲領域 5 の曲げ角度の合計は略  $90^\circ$  であることが好ましい。

#### 【0039】

屈曲領域 5 とは、曲げ加工体 1 の側面視において、曲げ加工体 1 の内面を表す線 L a 上の点 D および点 E、並びに、曲げ加工体 1 の外面を表す線 L b 上の点 F および点 G を下記のとおり定義したときに、（2 A）曲げ加工体 1 の内面を表す線 L a 上で点 D と点 E とで区切られた線、（2 B）曲げ加工体 1 の外面を表す線 L b 上で点 F と点 G とで区切られた線、（2 C）前記点 D と前記点 G とを結ぶ直線、および、（2 D）前記点 E と前記点 F とを結ぶ直線により囲まれる領域を示す。

#### 【0040】

ここで、点 D、点 E、点 F および点 G は次のように定義する。

側面視において、曲げ加工体 1 の内面を表す線 L a に含まれる曲線部分における曲率半径の中心点 A と、曲げ加工体 1 の外面を表す線 L b に含まれる曲線部分の両側それぞれに隣接する直線部分を延長して得られる前記二つの仮想線 L b - e l o n g a t i o n 1、L b - e l o n g a t i o n 2 の交点 B とを結んだ直線 A B が、曲げ加工体 1 の内面を表す線 L a と交わる点を原点 C とし、

当該原点 C から曲げ加工体 1 の内面を表す線 L a に沿って、一方の方向に例えば、下記式（A）で表される距離 m だけ離れた点を点 D とし、

当該原点 C から曲げ加工体の内面を表す線 L a に沿って、他の方向に例えば、前記距離 m だけ離れた点を点 E とし、

曲げ加工体の外面を表す線 L b に含まれる前記直線部分のうち、前記点 D に対向する直線部分と、当該点 D に対向する直線部分に対し垂直に引かれ且つ前記点 D を通過する仮想線との交点を点 G とし、

10

20

30

40

50

曲げ加工体の外面を表す線 L b に含まれる前記直線部分のうち、前記点 E に対向する直線部分と、当該点 E に対向する直線部分に対し垂直に引かれ且つ前記点 E を通過する仮想線との交点を点 F とする。なお、交点 A は、線分 E F と線分 D G を点 B とは反対側の内側に延長させた交点である。

$$m = r \times (x / 180) \cdots (A)$$

式 (A) 中、m は原点 C からの距離を表し、r は中心点 A から原点 C までの距離 (曲率半径) を表す。なお、巻鉄心 10 の内面側に配置される曲げ加工体 1 の曲率半径 r は、例えば、1 mm 以上 5 mm 以下であることが好ましい。ここで、曲げ加工体 1 の曲率半径は、屈曲領域 5 の曲率半径となる。曲げ加工体 1 の曲率半径は 5 . 0 mm 以下である。曲げ加工体 1 の曲率半径は 5 . 0 mm 以下とすることで、鉄損が改善される。曲げ加工体 1 の曲率半径は 0 . 1 mm 以上であることが好ましい。曲げ加工体 1 の曲率半径は 0 . 3 mm 以上が更に好ましい。特に好ましい曲げ加工体の曲率半径は 1 . 0 mm 以上である。より好ましい曲げ加工体 1 の曲率半径は 2 . 9 mm 以下である。

#### 【0041】

図 8 は、図 1 の巻鉄心 10 の曲げ加工体 1 の側面図である。図 8 に示されるように、曲げ加工体 1 は、方向性電磁鋼板が曲げ加工されたものであって、平坦領域 8 と、平坦領域 8 に隣接する屈曲領域 5 と、を有する。曲げ加工体 1 は、複数の平坦領域 8 と複数の屈曲領域 5 とを有する。また、曲げ加工体 1 は、四つの曲げ加工体コーナー部 30 と、四つの曲げ加工体平坦部 40 とを有し、これにより、一枚の方向性電磁鋼板が側面視において略矩形の環を形成する。より具体的には、一つの曲げ加工体平坦部 40 には、方向性電磁鋼板の長手方向の両端面が対向した隙間 (接合部) 6 が設けられ、他の三つの曲げ加工体平坦部 40 は隙間 6 を含まない構成とされている曲げ加工体 1 の接合部 6 において、曲げ加工体 1 の長手方向の端面 13, 14 が対向した接合部を 1 以上有する。接合部 6 の空隙の大きさは例えば 0 . 1 mm ~ 5 . 0 mm であり、望ましくは 1 . 0 mm ~ 2 . 0 mm である。

巻鉄心 10 は、全体として側面視が略矩形形状の積層構造を有していることが好ましい。巻鉄心 10 は、二つの曲げ加工体平坦部 40 が隙間 (接合部) 6 を含み、他の二つの曲げ加工体平坦部 40 が隙間 6 を含まない構成であってもよい。この場合、二枚の方向性電磁鋼板から曲げ加工体を構成する。

巻鉄心製造時に板厚方向に隣接する二層間に隙間が生じないようにすることが望まれる。そのため、隣接する二層の曲げ加工体において、内側に配置される曲げ加工体の曲げ加工体平坦部 40 の外周長と、外側に配置される曲げ加工体の曲げ加工体平坦部 40 の内周長が等しくなるように、鋼板の長さおよび屈曲領域の位置が調整される。

#### 【0042】

(接合部の配置)

図 2 に示すように、最も内側に配置された前記曲げ加工体を第 1 曲げ加工体 1 a とし、第 1 曲げ加工体 1 a の接合部 6 がある平坦領域を基準平坦領域 11 としたとき、複数の曲げ加工体 1 のそれぞれの接合部 6 は、基準平坦領域 11 がある平坦部 4 にある。このような構成にすることで、巻線を組み付けやすくすることができる。

#### 【0043】

(第 1 群接合部の距離と第 2 群接合部の距離)

巻鉄心 10 は、コーナー部 3 の近くに存在する後述する第 1 群接合部の平均距離  $\langle L_i \rangle$  と、後述する第 2 群接合部の平均距離  $\langle L_o \rangle$  が、下記 (1) 式および下記 (2) 式を満足するように接合部 6 が配置される。

屈曲領域 5 において塑性歪および弾性歪が導入されており、接合部 6 の端部ではせん断による歪が導入されている。これらの歪が干渉することで、鉄損がより劣化する。

本開示の巻鉄心 10 では、第 1 群接合部の平均距離  $\langle L_i \rangle$  と、平均長さ  $\langle L_o \rangle$  が下記 (1) 式および (2) 式を満足することで、屈曲領域 5 の塑性歪および弾性歪と接合部 6 のせん断歪との干渉を回避することができ、鉄損を抑制することができる。

$$25 \text{ mm} < L_i > \cdots (1)$$

10

20

30

40

50

25 mm < L<sub>0</sub> > . . . ( 2 )

【 0 0 4 4 】

( 第 1 群接合部 V<sub>i</sub> )

次に、複数の第 1 群接合部 V<sub>i</sub> と複数の第 2 群接合部とがある場合を例に挙げて第 1 群接合部 V<sub>i</sub> と第 2 群接合部 V<sub>0</sub> とを説明する。図 9 は、複数の第 1 群接合部 V<sub>i</sub> と複数の第 2 群接合部 V<sub>0</sub> とを有する第 5 態様の巻鉄心 10D の側面図である。図 9 の巻鉄心 10D の曲げ加工体 1 と曲げ加工体 1 との間にある「 . . . 」の部分にも、複数の曲げ加工体 1 が積層されている。巻鉄心 10D は、1 つの接合部 6 を有する曲げ加工体 1 を積層した巻鉄心である。図 9 において、最も内側に配置された前記曲げ加工体を第 1 曲げ加工体 1 a とし、第 1 曲げ加工体 1 a の接合部 6 がある平坦領域を基準平坦領域 1 1 とする。巻鉄心 10D では、基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 に、各接合部 6 がある。図 9 において、接合部 6 がある平坦部 4 は、X 方向に平行な平坦部である。

10

また、基準平坦領域 1 1 に隣接する屈曲領域の一方を第 1 屈曲領域 1 2 a とし、基準平坦領域 1 1 に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第 2 屈曲領域 1 2 b とする。第 1 屈曲領域 1 2 a の基準平坦領域 1 1 側の端点を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向と平行な仮想線を第 1 仮想線 H 1 とし、第 2 屈曲領域 1 2 b の基準平坦領域 1 1 側の端点を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向と平行な仮想線を第 2 仮想線 H 2 とする。

【 0 0 4 5 】

基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 の各接合部 6 のうち、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、かつ、基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 1 仮想線 H 1 から第 1 仮想線 H 1 側の接合部 6 の端面 1 3 までの長さが最も短い接合部 6 を第 1 最短接合部 6 a とする。第 1 最短接合部 6 a を有する曲げ加工体 1 b に対して板厚方向に隣接する曲げ加工体 1 c , 1 d にある各接合部 6 のうち、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 1 仮想線 H 1 から第 1 仮想線 H 1 側の接合部 6 の端面 1 3 までの長さが短いほうの接合部 6 を第 1 端接合部 6 b とする。

20

第 1 最短接合部 6 a の第 1 仮想線 H 1 側の端面 1 3 a を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 A とする。第 1 端接合部 6 b の第 1 仮想線 H 1 側の端面 1 3 b を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 B とする。基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 の各接合部 6 の内、仮想線 A と仮想線 B との間にある接合部 6 を第 1 群接合部 V<sub>i</sub> とする。ここでは、第 1 群接合部 V<sub>i</sub> は V<sub>i1</sub> ~ V<sub>in</sub> までの合計 n 個 ( n は自然数 ) である。

30

【 0 0 4 6 】

( 第 1 群接合部の平均距離 < L<sub>i</sub> > )

基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 1 仮想線 H 1 から各第 1 群接合部 V<sub>i</sub> の第 1 仮想線 H 1 側の端面までの長さの平均を第 1 群接合部 V<sub>i</sub> の平均距離 < L<sub>i</sub> > とする。第 1 群接合部 V<sub>i</sub> の平均距離 < L<sub>i</sub> > は、以下の方法で測定することができる。光学顕微鏡などを用い、巻鉄心の側面の観察画像を得る。得られた観察画像において、上述した定義に基づいて、第 1 群接合部を特定する。次に、画像処理ソフトを用いて基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 1 仮想線 H 1 から各第 1 群接合部 V<sub>i</sub> の第 1 仮想線 H 1 側の端面までの長さ L<sub>i</sub> を測定する。得られた各 L<sub>i</sub> の平均値を求め、この平均値を第 1 群接合部の平均距離 < L<sub>i</sub> > とする。

40

【 0 0 4 7 】

( 第 2 群接合部 V<sub>0</sub> )

次に、第 2 群接合部 V<sub>0</sub> について説明する。基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 の各接合部 6 のうち、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、かつ、基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 2 仮想線 H 2 から第 2 仮想線 H 2 側の接合部 6 の端面 1 4 までの長さが最も短い接合部を第 2 最短接合部 6 c とする。第 2 最短接合部 6 c を有する曲げ加工体 1 e に対して前記板厚方向に隣接する曲げ加工体 1 f , 1 g にある各接合部 6 のうち、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 2 仮想線 H 2 から第 2 仮想線 H 2 側の接合部 6 の端面 1 4 までの長さが短いほうの接合

50

部 6 を第 2 端接合部 6 d とする。

第 2 最短接合部 6 c の第 2 仮想線 H 2 側の端面 1 4 a を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 C とする。第 2 端接合部 6 d の第 2 仮想線 H 2 側の端面 1 4 b を通り、基準平坦領域 1 1 の板厚方向に平行な仮想線を仮想線 D とする。基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 の各接合部 6 の内、仮想線 C と仮想線 C との間にある接合部 6 を第 2 群接合部  $V_0$  とする。ここでは、第 2 群接合部  $V_0$  は  $V_{01} \sim V_{0m}$  までの合計  $m$  個 ( $m$  は自然数) である。

【 0 0 4 8 】

(第 2 群接合部の平均距離  $\langle L_0 \rangle$ )

基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 2 仮想線 H 2 から各第 2 群接合部  $V_0$  の第 2 仮想線 H 2 側の端面までの長さの平均を第 2 群接合部  $V_0$  の平均距離  $\langle L_0 \rangle$  とする。第 2 群接合部  $V_0$  の平均距離  $\langle L_0 \rangle$  は、以下の方法で測定することができる。光学顕微鏡などを用い、巻鉄心の側面の観察画像を得る。得られた観察画像において、上述した定義に基づいて、第 2 群接合部  $V_0$  を特定する。次に、画像処理ソフトを用いて基準平坦領域 1 1 の長手方向に沿った、第 2 仮想線 H 2 から各第 2 群接合部  $V_0$  の第 2 仮想線 H 2 側の端面までの長さ  $L_0$  を測定する。得られた各  $L_0$  の平均値を求め、この平均値を第 2 群接合部の平均距離  $\langle L_0 \rangle$  とする。

【 0 0 4 9 】

巻鉄心 1 0 D において、接合部 6 は、周方向に各接合部 6 が階段状に互いにずれるように配置されることが好ましい。巻鉄心 1 0 D において、周方向は、基準平坦領域 1 1 の長手方向と同じである。曲げ加工体 1 中における接合部 6 の周方向の位置は、径方向の内側に位置する曲げ加工体 1 から径方向の外側に位置する曲げ加工体 1 に向かうに従い、周方向の第 1 仮想線 H 1 側 (第 1 群接合部  $V_i$  側) から第 2 仮想線 H 2 側 (第 2 群接合部  $V_0$  側) に徐々にずれている。径方向は、巻鉄心 1 0 D の軸線に直交する方向をいう。以下、このような接合部 6 の配置のパターンを、階段状のパターンという。本実施形態では、径方向に複数の階段状のパターンが繰り返されるように、接合部 6 が配置されている。第 1 実施形態では、1 つの階段状のパターンに配置される接合部 6 のうち、最も径方向の内側に位置する曲げ加工体 1 の接合部 6 は、第 1 群接合部  $V_i$  に含まれ、最も径方向の外側に位置する曲げ加工体 1 の接合部 6 は、第 2 群接合部  $V_0$  に含まれる。このように接合部 6 を周方向に沿って順次ずらすことによって、巻鉄心 1 0 D における磁束の流れの阻害を抑制することができる。

【 0 0 5 0 】

巻鉄心 1 0 D において、第 1 群接合部  $V_i$  の数は、第 2 群接合部  $V_0$  の数と等しいことが好ましい。また、巻鉄心 1 0 D において、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、かつ、基準平坦領域 1 1 のある平坦部 4 の中の接合部 6 の数を第 1 群接合部  $V_i$  の数で割って得た商と剰余のうち、商を  $k$  と定義すれば  $k$  が下記 (3) 式を満足する。図 9 において、この数  $k$  は、板厚方向に沿って、 $V_{i1} \sim V_{01}$  の間にあり、かつ、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にある接合部の数に等しい。すなわち、第 1 群接合部  $V_i$  から第 1 群接合部  $V_i$  に最も近い第 2 群接合部  $V_0$  まで、階段状にずらして配置される接合部 6 の数である。数  $k$  は、1 つの階段状のパターンに含まれる接合部の数である。このように接合部 6 を配置することで、より鉄損を抑制することができる。

$$2 \quad k \quad 8 \quad \cdots \quad (3)$$

【 0 0 5 1 】

図 9 において、接合部 6 がある平坦部 4 は、X 方向に平行な平坦部であったが、本発明において接合部の位置は、図 9 の構成に限定されない。例えば、図 10 の第 6 態様の巻鉄心 1 0 E のように、接合部 6 がある平坦部 4 が Z 方向に平行な平坦部であってもよい。

巻鉄心 1 0 E において、第 1 群接合部  $V_i$  の平均距離  $\langle L_i \rangle$  と、第 2 群接合部  $V_0$  の平均距離  $\langle L_0 \rangle$  が上記 (1) 式および (2) 式を満足する。第 1 群接合部の平均距離  $\langle L_i \rangle$  と、平均長さ  $\langle L_0 \rangle$  が上記 (1) 式および (2) 式を満足することで屈曲領域 5 の塑性歪および弾性歪と接合部 6 のせん断歪との干渉を回避することができ、鉄損を抑制する

10

20

30

40

50

ことができる。

【 0 0 5 2 】

巻鉄心 1 0 E において、接合部 6 は、周方向に各接合部 6 が階段状に互いにずれるように配置されることが好ましい。このように接合部 6 を周方向に沿って順次ずらすことによって、巻鉄心 1 0 E における磁束の流れの阻害を抑制することができる。

【 0 0 5 3 】

巻鉄心 1 0 E において、巻鉄心 1 0 D と同様に、第 1 群接合部  $V_i$  の数は、第 2 群接合部  $V_o$  の数と等しいことが好ましい。また、巻鉄心 1 0 E において、第 1 仮想線 H 1 と第 2 仮想線 H 2 との間にあり、基準平坦領域 1 1 のある平坦部 4 の中の接合部 6 の数を第 1 群接合部  $V_i$  の数で割った数  $k$  が上記 ( 3 ) 式を満足する。このように接合部 6 を配置することで、より鉄損を抑制することができることが好ましい。

10

【 0 0 5 4 】

図 9 および図 1 0 において、接合部 6 が 1 つある曲げ加工体 1 の例を説明したが、本発明において接合部の数は、1 つに限定されない。例えば、図 1 1 の第 7 態様の巻鉄心 1 0 F のように、各曲げ加工体 1 が対向する 2 つの平坦領域 8 のそれぞれに接合部 6 を有してもよい。各曲げ加工体 1 が 2 つの接合部 6 を有する場合、巻鉄心 1 0 F の第 1 曲げ加工体 1 a は、基準平坦領域 1 1 と、基準平坦領域 1 1 と対向する第 2 基準平坦領域 1 1 b を有する。

【 0 0 5 5 】

( 第 3 群接合部の距離と第 4 群接合部の距離 )

20

巻鉄心 1 0 F は、コーナー部 3 の近くに存在する後述する第 3 群接合部の平均距離  $\langle L_{2i} \rangle$  と、後述する第 4 群接合部の平均距離  $\langle L_{2o} \rangle$  が、下記 ( 4 ) 式および下記 ( 5 ) 式を満足するように接合部 6 が配置されることが好ましい。

屈曲領域 5 において塑性歪および弾性歪が導入されており、接合部 6 の端部ではせん断による歪が導入されている。これらの歪が干渉することで、鉄損がより劣化する。

本開示の巻鉄心 1 0 F では、第 1 群接合部の平均距離  $\langle L_i \rangle$  と、平均長さ  $\langle L_o \rangle$  が下記 ( 1 ) 式および ( 2 ) 式を満足することに加え、下記 ( 4 ) 式および下記 ( 5 ) 式を満足することで、より鉄損を抑制することができる。なお、巻鉄心を構成する曲げ加工体 1 に 2 つの接合部 6 がある場合、接合部 6 がある 2 つの平坦部 4 のうち一方の平坦部 4 の複数の接合部 6 のみが上記 ( 1 ) 式および ( 2 ) 式を満足する場合は、上記 ( 1 ) 式および ( 2 ) 式を満たす複数の接合部 6 がある平坦部 4 を基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 c とする。

30

$$25 \text{ mm} < L_{2i} > \cdots ( 4 )$$

$$25 \text{ mm} < L_{2o} > \cdots ( 5 )$$

【 0 0 5 6 】

( 第 3 群接合部  $V_{2i}$  )

次に、図 1 1 の巻鉄心 1 0 F を例に挙げて第 3 群接合部  $V_{2i}$  と第 4 群接合部  $V_{2o}$  とを説明する。なお、複数の第 1 群接合部  $V_i$  と複数の第 2 群接合部  $V_o$  については、説明を省略する。図 1 1 は、複数の第 3 群接合部  $V_{2i}$  と複数の第 4 群接合部  $V_{2o}$  とを有する巻鉄心 1 0 F の側面図である。巻鉄心 1 0 F は、1 つの接合部 6 を有する曲げ加工体 1 を積層した巻鉄心である。図 1 1 において、最も内側に配置された前記曲げ加工体を第 1 曲げ加工体 1 a とする。第 1 曲げ加工体 1 a は基準平坦領域 1 1 と第 2 基準平坦領域 1 1 b を有する。第 2 基準平坦領域 1 1 b は、基準平坦領域 1 1 と対向する平坦領域であり、かつ、接合部 6 を有する。複数の曲げ加工体 1 それぞれの接合部 6 は、基準平坦領域 1 1 がある平坦部 4 c と第 2 基準平坦領域 1 1 b がある平坦部 4 d にある。図 1 1 において、接合部 6 がある平坦部 4 c , 4 d は、X 方向に平行な平坦部である。

40

【 0 0 5 7 】

第 2 基準平坦領域 1 1 b に隣接する屈曲領域の一方を第 3 屈曲領域 1 2 c とし、第 2 基準平坦領域 1 1 b に隣接するもう一方の前記屈曲領域を第 4 屈曲領域 1 2 d とする。第 3 屈曲領域 1 2 c の第 2 基準平坦領域 1 1 b 側の端点を通り、第 2 基準平坦領域 1 1 b の板

50

厚方向と平行な仮想線を第3仮想線H1aとし、第4屈曲領域12dの第2基準平坦領域11b側の端点を通り、第2基準平坦領域11bの板厚方向と平行な仮想線を第4仮想線H2aとする。

【0058】

第2基準平坦領域11bがある平坦部4dの各接合部6のうち、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にあり、かつ、第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第3仮想線H1aから第3仮想線H1a側の接合部6の端面13までの長さが最も短い接合部6を第3最短接合部6eとする。第3最短接合部6eを有する曲げ加工体1hに対して前記板厚方向に隣接する曲げ加工体1i, 1jにある各接合部6のうち、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にあり、第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第3仮想線H1aから第3仮想線H1a側の接合部6の端面13までの長さが短いほうの接合部6を第3端接合部6fとする。

10

第3最短接合部6eの第3仮想線H1a側の端面13cを通り、第2基準平坦領域11bの板厚方向に平行な仮想線を仮想線Eとする。第3端接合部6fの第3仮想線H1a側の端面13dを通り、第2基準平坦領域11bの板厚方向に平行な仮想線を仮想線Fとする。第2基準平坦領域11bがある平坦部4dの各接合部6の内、仮想線Eと仮想線Fとの間にある接合部6を第3群接合部 $V_{2i}$ とする。ここでは、第3群接合部 $V_{2i}$ の数は $V_{2i1} \sim V_{2in}$ までの合計n個（nは自然数）である。

【0059】

（第3群接合部の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ ）

20

第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第3仮想線H1aから各第3群接合部 $V_{2i}$ の第3仮想線H1a側の端面13までの長さの平均を第3群接合部 $V_{2i}$ の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ とする。第3群接合部 $V_{2i}$ の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ は、以下の方法で測定することができる。光学顕微鏡などを用い、巻鉄心の側面の観察画像を得る。得られた観察画像において、上述した定義に基づいて、第3群接合部を特定する。次に、画像処理ソフトを用いて第2基準平坦領域11b（第1基準平坦領域と対向する平坦領域）の長手方向に沿った、第3仮想線H1aから各第3群接合部 $V_{2i}$ の第3仮想線H1a側の端面13までの長さ $L_{2i}$ を測定する。得られた各 $L_{2i}$ の平均値を求め、この平均値を第3群接合部の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ とする。

【0060】

30

（第4群接合部 $V_{2o}$ ）

次に、第4群接合部 $V_{2o}$ について説明する。第2基準平坦領域11bがある平坦部4dの各接合部6のうち、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にあり、かつ、第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第4仮想線H2aから第4仮想線H2a側の接合部6の端面14までの長さが最も短い接合部6を第4最短接合部6gとする。第4最短接合部6gを有する曲げ加工体1kに対して前記板厚方向に隣接する曲げ加工体1l, 1mにある各接合部6のうち、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にあり、第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第4仮想線H2aから第4仮想線H2a側の接合部6の端面14までの長さが短いほうの接合部6を第4端接合部6hとする。

40

第4最短接合部6gの第4仮想線H2a側の端面14cを通り、第2基準平坦領域11bの板厚方向に平行な仮想線を仮想線Gとする。第4端接合部6hの第4仮想線H2a側の端面14dを通り、第2基準平坦領域11bの板厚方向に平行な仮想線を仮想線Hとする。第2基準平坦領域11bがある平坦部4dの各接合部6の内、仮想線Gと仮想線Hとの間にある接合部6を第4群接合部 $V_{2o}$ とする。ここでは、第4群接合部 $V_{2o}$ は $V_{2o1} \sim V_{2om}$ までの合計m個（mは自然数）である。

【0061】

（第4群接合部の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ ）

第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第4仮想線H2aから各第4群接合部 $V_{2o}$ の第4仮想線H2a側の端面14までの長さの平均を第4群接合部 $V_{2o}$ の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ とする。第4群接合部 $V_{2o}$ の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ は、以下の方法で測定することが

50

できる。光学顕微鏡などを用い、巻鉄心の側面の観察画像を得る。得られた観察画像において、上述した定義に基づいて、第4群接合部 $V_{20}$ を特定する。次に、画像処理ソフトを用いて第2基準平坦領域11bの長手方向に沿った、第4仮想線H2aから各第4群接合部 $V_{20}$ の第4仮想線H2a側の端面までの長さ $L_{20}$ を測定する。得られた各 $L_{20}$ の平均値を求め、この平均値を第4群接合部の平均距離 $\langle L_{20} \rangle$ とする。

#### 【0062】

巻鉄心10Fにおいて、接合部6は、周方向に各接合部6が階段状に互いにずれるように配置されることが好ましい。曲げ加工体1中における接合部6の周方向の位置は、径方向の内側に位置する曲げ加工体1から径方向の外側に位置する曲げ加工体1に向かうに従い、周方向の第3仮想線H1a側（第1群接合部 $V_i$ 側）から第4仮想線H2a側（第2群接合部 $V_o$ 側）に徐々にずれている。平坦部4dでは、径方向に複数の階段状のパターンが繰り返されるように、接合部6が配置されている。巻鉄心10Fでは、1つの階段状のパターンに配置される接合部6のうち、最も径方向の内側に位置する曲げ加工体1の接合部6は、第3群接合部 $V_{2i}$ に含まれ、最も径方向の外側に位置する曲げ加工体1の接合部6は、第4群接合部 $V_{2o}$ に含まれる。このように接合部6を周方向に沿って順次ずらすことによって、巻鉄心10Fにおける磁束の流れの阻害を抑制することができる。

#### 【0063】

巻鉄心10Fにおいて、第3群接合部 $V_{2i}$ の数は、第4群接合部 $V_{2o}$ の数と等しいことが好ましい。また、巻鉄心10Fにおいて、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にあり、かつ、第2基準平坦領域11bのある平坦部4dの中の接合部6の数を第3群接合部 $V_{2i}$ の数で割って得た第2の商と第2の剰余のうち、第2の商を $k_2$ と定義すれば、 $k_2$ が下記(6)式を満足する。図11において、この数 $k_2$ は、板厚方向に沿って、 $V_{2i1} \sim V_{2o1}$ の間にあり、かつ、第3仮想線H1aと第4仮想線H2aとの間にある接合部の数に等しい。すなわち、特定の第3群接合部 $V_{2i}$ から第3群接合部 $V_{2i}$ に最も近い第4群接合部 $V_{2o}$ まで、階段状にずらして配置される接合部6の数である。数 $k_2$ は、1つの階段状のパターンに含まれる接合部の数である。このように接合部6を配置することで、より鉄損を抑制することができる。

$$2 \quad k_2 \quad 8 \quad \dots \quad (6)$$

#### 【0064】

<巻鉄心の製造方法>

次に本開示の巻鉄心の製造方法について説明する。曲げ加工体1を構成する方向性電磁鋼板を製造する方法は、特に限定されず、従来公知の方向性電磁鋼板の製造方法を適宜選択することができる。製造方法の好ましい具体例としては、例えば、上記方向性電磁鋼板の化学組成を有するスラブを1000以上に加熱して熱間圧延を行った後、必要に応じて熱延板焼鈍を行い、次いで1回または中間焼鈍を挟む2回以上の冷延により冷延鋼板を得る。当該冷延鋼板を、例えば湿水素-不活性ガス雰囲気中で700~900に加熱して脱炭焼鈍し、必要に応じて更に窒化焼鈍し、焼鈍分離剤を塗布した上で、1000程度で仕上げ焼鈍し、900程度で絶縁被膜を形成する方法が挙げられる。さらに、その後、動摩擦係数を調整するための塗装などを実施しても良い。

#### 【0065】

本開示の巻鉄心の製造方法において、以上のような形態を備える方向性電磁鋼板から構成される巻鉄心10は、曲げ加工体1に1つの接合部6がある場合、方向性電磁鋼板を上記の第1群接合部 $V_i$ の平均距離 $\langle L_i \rangle$ が上記(1)式を満足し、第2群接合部 $V_o$ の平均距離 $\langle L_o \rangle$ が上記(2)式を満足するように、方向性電磁鋼板をせん断し、折り曲げ加工し、板厚方向に積層して製造される。また、曲げ加工体1に2つの接合部6がある場合は、上記の第1群接合部 $V_i$ の平均距離 $\langle L_i \rangle$ が上記(1)式を満足し、第2群接合部 $V_o$ の平均距離 $\langle L_o \rangle$ が上記(2)式を満足し、第3群接合部 $V_{2i}$ の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ が上記(4)式を満足し、第4群接合部 $V_{2o}$ の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ が上記(5)式を満足するように、方向性電磁鋼板をせん断し、折り曲げ加工し、板厚方向に積層することが好ましい。一卷ごとに少なくとも1箇所の接合部6を介して方向性電磁鋼板の端面が対

10

20

30

40

50

向するように組み付けられる。本開示の製造方法は、方向性電磁鋼板の送り量と、折り曲げのタイミングと、方向性電磁鋼板のせん断のタイミングと、を調整することで、上記の条件を満足するように巻鉄心を製造する。

【 0 0 6 6 】

(巻鉄心の製造装置)

次に、本開示に係る巻鉄心の製造装置について説明する。以下の製造装置は、本開示の巻鉄心 10 を製造するための製造装置の一例である。図 1 2 に示すように、巻鉄心の製造装置 40 は、鋼板 (方向性電磁鋼板) 21 を折り曲げて積層してなる巻鉄心 10 の製造装置 40 である。方向性電磁鋼板 21 を曲げ加工する曲げ加工装置 20 と、曲げ加工装置 20 に方向性電磁鋼板 21 を送る送りロール 60 と、を備える。本開示の巻鉄心の製造装置 40 は、デコイラー 50、切断装置 70 を備えてもよい。

10

【 0 0 6 7 】

「デコイラー」

デコイラー 50 は、方向性電磁鋼板 21 のコイル 27 から、方向性電磁鋼板 21 を巻き出す。デコイラー 50 から巻き出された方向性電磁鋼板 21 は、送りロール 60 に向けて搬送される。

【 0 0 6 8 】

「送りロール」

送りロール 60 は、方向性電磁鋼板 21 を曲げ加工装置 20 に搬送する。送りロール 60 は、曲げ加工装置 20 内に供給される直前の方向性電磁鋼板 21 の搬送方向 25 を調整する。送りロール 60 は、方向性電磁鋼板 21 の搬送方向 25 を水平方向に調整した後、方向性電磁鋼板 21 を曲げ加工装置 20 に供給する。

20

【 0 0 6 9 】

切断装置 70 は、送りロール 60 と曲げ加工装置 20 との間に設置される。方向性電磁鋼板 21 は、切断装置 70 によって、切断された後、曲げ加工される。切断方法は、特に限定されない。切断方法は、例えばシャーリング加工である。

【 0 0 7 0 】

「曲げ加工装置」

曲げ加工装置 20 は、送りロール 30 から搬送された方向性電磁鋼板 21 を曲げ加工する。曲げ加工体 1 は、曲げ加工した屈曲領域と、屈曲領域に隣接する平坦領域とを有する。曲げ加工体 1 では、曲げ加工体平坦部と曲げ加工体コーナー部とが交互に連続する。各コーナー部において、隣接する二つの平坦部のなす角が略 90° であることが好ましい。

30

【 0 0 7 1 】

曲げ加工装置 20 は、例えば、プレス加工のためのダイス 22 とパンチ 24 とを有する。さらに曲げ加工装置は、方向性電磁鋼板 21 を固定するガイド 23 と、図示しないカバーと、を備えている。カバーは、ダイス 22、パンチ 24 およびガイド 23 を覆う。曲げ加工装置 20 が方向性電磁鋼板 21 を曲げ加工した後、切断装置 70 で切断してもよい。切断装置 70 が方向性電磁鋼板 21 を切断した後、曲げ加工装置 20 が曲げ加工してもよい。

【 0 0 7 2 】

40

方向性電磁鋼板 21 は、搬送方向 25 の方向に搬送され、予め設定された位置で固定される。次いでパンチ 24 で予め設定された所定の力で加圧方向 26 の所定の位置まで加圧することにより、所望の曲げ角度の屈曲領域を有する曲げ加工体 1 が得られる。

【 0 0 7 3 】

(積層)

曲げ加工装置 20 は、複数の曲げ加工体 1 を、各曲げ加工体 1 を板厚方向に積層する。曲げ加工体 1 を、曲げ加工体コーナー部 3 同士を位置合わせし、板厚方向に重ねあわせて積層し、側面視において例えば、略矩形形状の積層体 2 を形成する。これにより、本開示に係る低鉄損の巻鉄心を得ることができる。曲げ加工装置 20 は、曲げ加工体 1 の接合部 6 が 1 つである場合、上記の第 1 群接合部  $V_i$  の平均距離  $\langle L_i \rangle$  が上記 (1) 式を満足し

50

、第2群接合部 $V_0$ の平均距離 $\langle L_0 \rangle$ が上記(2)式を満足するように、各曲げ加工体1を板厚方向に積層する。曲げ加工体1に2つの接合部6がある場合は、上記の第1群接合部 $V_i$ の平均距離 $\langle L_i \rangle$ が上記(1)式を満足し、第2群接合部 $V_0$ の平均距離 $\langle L_0 \rangle$ が上記(2)式を満足し、第3群接合部 $V_{2i}$ の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ が上記(4)式を満足し、第4群接合部 $V_{2o}$ の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ が上記(5)式を満足するように、各曲げ加工体1を板厚方向に積層することが好ましい。得られた巻鉄心は、更に必要に応じて公知の結束バンドや締付具を用いて固定してもよい。

#### 【0074】

本開示は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は例示であり、本開示の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本開示の技術的範囲に包含される。本開示の巻鉄心の製造方法は、上記の巻鉄心の製造装置を用いて巻鉄心を製造する。

10

#### 【実施例】

#### 【0075】

以下、実施例(実験例)について説明するが、本開示に係る巻鉄心は以下の実施例に限定されるものではない。本開示に係る巻鉄心は、本開示の要旨を逸脱せず、本開示の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。なお、以下に示す実施例での条件は、実施可能性および効果を確認するために採用した条件例である。

#### 【0076】

##### <実験例1>

20

##### [巻鉄心の製造]

表1A~表1Kの板厚を有する方向性電磁鋼板(板幅152.4mm、板厚:0.23mmまたは0.18mm、Si含有量:3.45質量%)を表2A~表2Kの第1群接合部 $V_i$ の平均距離 $\langle L_i \rangle$ 、第2群接合部 $V_0$ の平均距離 $\langle L_0 \rangle$ 、第3群接合部 $V_{2i}$ の平均距離 $\langle L_{2i} \rangle$ 、第4群接合部 $V_{2o}$ の平均距離 $\langle L_{2o} \rangle$ 、数 $k$ 、および数 $k2$ の値となるように、せん断、曲げ加工して各曲げ加工体を作製し、この曲げ加工体を板厚方向に積層することで、図13に示される寸法の巻鉄心を得た。巻鉄心の曲げ角度は $45^\circ$ とした。なお、 $L1$ はX軸方向に平行な平坦部の長さである。 $L2$ はZ軸方向に平行な平坦部の長さである。 $L3$ は巻鉄心の巻厚み(積層方向の厚さ)である。 $L4$ は巻鉄心のコーナー部において、最内周の平坦領域の23周方向の長さである。各実施例では、 $L1:344\text{mm}$ 、 $L2:122\text{mm}$ 、 $L3:94.1\text{mm}$ 、 $L4:4\text{mm}$ とした。また、各屈曲領域での曲率半径はいずれも $1.5\text{mm}$ とした。図13では、接合部を省略しているが、各実施例の接合部は上記の階段状のパターンで形成した。接合部が1つある巻鉄心をコアAとし、接合部が2つある巻鉄心をコアBとした。コアBの各曲げ加工体の2つの接合部は対向する2つの平坦領域にある。表2A~表2K中の接合部1の欄は、基準平坦領域がある平坦部の接合部を意味し、接合部2は、第2基準平坦領域がある平坦部の接合部を意味する。なお、2つの平坦部にそれぞれ接合部がある場合で、一方の平坦部の複数の接合部のみが上記(1)式および(2)式の平均距離の条件を満足する場合は、上記(1)式および(2)式の平均距離の条件を満足する平坦部の接合部を接合部1とした。

30

#### 【0077】

40

##### [鉄損の評価]

鉄損の測定では、表1A~表2Kの実験No.1からNo.276の巻鉄心に関し、JIS C 2550-1に記載の励磁電流法を用いた測定を、周波数50Hz、磁束密度1.7Tの条件で行ない、巻鉄心の鉄損値(鉄心鉄損)WAを測定した。また、鉄心に使用した方向性電磁鋼板のフープ(板幅152.4mm)から、幅100mm×長さ500mmの試料を採取し、この試料に対して、JIS C 2556に記載のHコイル法を用いた電磁鋼板単板磁気特性試験による測定を、周波数50Hz、磁束密度1.7Tの条件で行ない、素材鋼板単板の鉄損値(素材鉄損)WBを測定した。そして、鉄損値WAを鉄損値WBで除することにより鉄心鉄損/素材鉄損(WA/WB)を求めた。鉄心鉄損/素材鉄損が1.05以下の場合を合格とした。

50

【 0 0 7 8 】

【 表 1 A 】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
1	A	0.23	94.1	418
2	A	0.23	94.1	418
3	A	0.23	94.1	418
4	A	0.23	94.1	418
5	A	0.23	94.1	418
6	A	0.23	94.1	418
7	A	0.23	94.1	418
8	A	0.23	94.1	418
9	A	0.23	94.1	421
10	A	0.23	94.1	418
11	A	0.23	94.1	417
12	A	0.23	94.1	418
13	A	0.23	94.1	418
14	A	0.23	94.1	418
15	A	0.23	94.1	418
16	A	0.23	94.1	418
17	A	0.23	94.1	418
18	A	0.23	94.1	418
19	A	0.23	94.1	418
20	A	0.23	94.1	418
21	A	0.23	94.1	418
22	A	0.23	94.1	418
23	A	0.23	94.1	418
24	A	0.23	94.1	418
25	A	0.23	94.1	419

10

20

30

【 0 0 7 9 】

40

50

【表 1 B】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
26	A	0.23	94.1	418
27	A	0.23	94.1	418
28	A	0.23	94.1	418
29	A	0.23	94.1	418
30	A	0.23	94.1	418
31	A	0.23	94.1	418
32	A	0.23	94.1	418
33	A	0.23	94.1	418
34	A	0.23	94.1	419
35	A	0.23	94.1	420
36	A	0.23	94.1	418
37	A	0.23	94.1	418
38	A	0.23	94.1	418
39	A	0.23	94.1	419
40	A	0.23	94.1	420
41	A	0.23	94.1	418
42	A	0.23	94.1	418
43	A	0.23	94.1	418
44	A	0.23	94.1	417
45	A	0.23	94.1	418
46	A	0.23	94.1	418
47	A	0.23	94.1	418
48	A	0.23	94.1	418
49	A	0.23	94.1	418
50	A	0.23	94.1	418

【 0 0 8 0 】

10

20

30

40

50

【表 1 C】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
51	A	0.23	94.1	418
52	A	0.23	94.1	418
53	A	0.23	94.1	418
54	A	0.23	94.1	418
55	A	0.23	94.1	418
56	A	0.23	94.1	413
57	A	0.23	94.1	414
58	A	0.23	94.1	415
59	A	0.23	94.1	416
60	A	0.23	94.1	417
61	A	0.23	94.1	419
62	A	0.23	94.1	420
63	A	0.23	94.1	418
64	A	0.23	94.1	418
65	A	0.23	94.1	413
66	A	0.23	94.1	418
67	A	0.23	94.1	413
68	A	0.23	94.1	416
69	A	0.23	94.1	419
70	A	0.23	94.1	420
71	A	0.23	94.1	422
72	A	0.23	94.1	423
73	A	0.23	94.1	418
74	A	0.23	94.1	418
75	A	0.23	94.1	418

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

【表 1 D】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
76	A	0.23	94.1	413
77	A	0.23	94.1	414
78	A	0.23	94.1	415
79	A	0.23	94.1	416
80	A	0.23	94.1	417
81	A	0.23	94.1	419
82	A	0.23	94.1	420
83	A	0.23	94.1	423
84	A	0.23	94.1	418
85	A	0.23	94.1	418
86	A	0.23	94.1	418
87	A	0.23	94.1	413
88	A	0.23	94.1	418
89	A	0.23	94.1	418
90	A	0.23	94.1	418
91	A	0.23	94.1	418
92	A	0.23	94.1	418
93	A	0.23	94.1	421
94	A	0.23	94.1	418
95	A	0.23	94.1	418
96	A	0.23	94.1	418
97	A	0.23	94.1	418
98	A	0.23	94.1	418
99	A	0.23	94.1	418
100	A	0.23	94.1	418

10

20

30

【 0 0 8 2 】

40

50

【表 1 E】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
101	A	0.23	94.1	418
102	A	0.23	94.1	418
103	A	0.23	94.1	421
104	A	0.23	94.1	423
105	A	0.23	94.1	415
106	A	0.23	94.1	418
107	A	0.23	94.1	418
108	A	0.23	94.1	416
109	A	0.23	94.1	417
110	A	0.23	94.1	418
111	A	0.23	94.1	419
112	A	0.23	94.1	420
113	A	0.23	94.1	421
114	A	0.23	94.1	422
115	A	0.23	94.1	423
116	A	0.23	94.1	418
117	A	0.23	94.1	418
118	A	0.23	94.1	418
119	A	0.23	94.1	418
120	A	0.23	94.1	418
121	A	0.23	94.1	418
122	A	0.23	94.1	423
123	A	0.23	94.1	418
124	A	0.23	94.1	418
125	A	0.23	94.1	418

10

20

30

【 0 0 8 3 】

40

50

【表 1 F】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
126	A	0.23	94.1	418
127	A	0.23	94.1	418
128	A	0.23	94.1	418
129	A	0.23	94.1	418
130	A	0.23	94.1	418
131	A	0.23	94.1	418
132	A	0.23	94.1	418
133	A	0.23	94.1	418
134	A	0.23	94.1	418
135	A	0.23	94.1	418
136	A	0.23	94.1	418
137	A	0.23	94.1	418
138	A	0.23	94.1	418
139	A	0.23	94.1	418
140	A	0.23	94.1	418
141	A	0.23	94.1	418
142	A	0.23	94.1	418
143	A	0.23	94.1	418
144	A	0.23	94.1	418
145	A	0.23	94.1	418
146	A	0.23	94.1	418
147	A	0.23	94.1	418
148	A	0.23	94.1	418
149	A	0.23	94.1	418
150	A	0.23	94.1	418

10

20

30

【 0 0 8 4 】

40

50

【表 1 G】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
151	A	0.23	94.1	418
152	A	0.23	94.1	418
153	A	0.23	94.1	418
154	A	0.23	94.1	418
155	A	0.23	94.1	418
156	A	0.23	94.1	418
157	A	0.23	94.1	418
158	A	0.23	94.1	418
159	A	0.23	94.1	418
160	A	0.23	94.1	418
161	A	0.23	94.1	418
162	A	0.23	94.1	418
163	A	0.23	94.1	418
164	B	0.23	94.1	418
165	B	0.23	94.1	418
166	B	0.23	94.1	418
167	B	0.23	94.1	418
168	B	0.23	94.1	419
169	B	0.23	94.1	417
170	B	0.23	94.1	418
171	B	0.23	94.1	418
172	B	0.23	94.1	418
173	B	0.23	94.1	419
174	B	0.23	94.1	417
175	B	0.23	94.1	420

10

20

30

【 0 0 8 5 】

40

50

【表 1 H】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
176	B	0.23	94.1	418
177	B	0.23	94.1	418
178	B	0.23	94.1	419
179	B	0.23	94.1	418
180	B	0.23	94.1	418
181	B	0.23	94.1	418
182	B	0.23	94.1	420
183	B	0.23	94.1	418
184	B	0.23	94.1	418
185	B	0.23	94.1	418
186	B	0.23	94.1	418
187	B	0.23	94.1	418
188	B	0.23	94.1	418
189	B	0.23	94.1	417
190	B	0.23	94.1	418
191	B	0.23	94.1	418
192	B	0.23	94.1	418
193	B	0.23	94.1	418
194	B	0.23	94.1	418
195	B	0.23	94.1	420
196	B	0.23	94.1	418
197	B	0.23	94.1	422
198	B	0.23	94.1	418
199	B	0.23	94.1	418
200	B	0.23	94.1	418

10

20

30

【 0 0 8 6 】

40

50

【表 1 I】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
201	B	0.23	94.1	417
202	B	0.23	94.1	420
203	B	0.23	94.1	423
204	B	0.23	94.1	415
205	B	0.23	94.1	414
206	B	0.23	94.1	418
207	B	0.23	94.1	418
208	B	0.23	94.1	418
209	B	0.23	94.1	417
210	B	0.23	94.1	423
211	B	0.23	94.1	416
212	B	0.23	94.1	418
213	B	0.23	94.1	418
214	B	0.23	94.1	418
215	B	0.23	94.1	418
216	B	0.23	94.1	418
217	B	0.23	94.1	418
218	A	0.18	94.1	531
219	A	0.18	94.1	531
220	A	0.18	94.1	531
221	A	0.18	94.1	531
222	A	0.18	94.1	531
223	A	0.18	94.1	531
224	A	0.18	94.1	531
225	A	0.18	94.1	531

【 0 0 8 7 】

10

20

30

40

50

【表 1 J】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
226	A	0.18	94.1	531
227	A	0.18	94.1	531
228	A	0.18	94.1	530
229	A	0.18	94.1	531
230	A	0.18	94.1	531
231	A	0.18	94.1	531
232	A	0.18	94.1	533
233	A	0.18	94.1	531
234	A	0.18	94.1	531
235	A	0.18	94.1	531
236	A	0.18	94.1	531
237	A	0.18	94.1	531
238	A	0.18	94.1	531
239	B	0.18	94.1	531
240	B	0.18	94.1	531
241	B	0.18	94.1	531
242	B	0.18	94.1	531
243	B	0.18	94.1	531
244	B	0.18	94.1	531
245	B	0.18	94.1	531
246	B	0.18	94.1	531
247	B	0.18	94.1	531
248	B	0.18	94.1	531
249	B	0.18	94.1	527
250	B	0.18	94.1	535

10

20

30

【 0 0 8 8 】

40

50

【表 1 K】

実験No	コア種類	素材板厚(mm)	巻厚み(mm)	積層枚数 (枚)
251	B	0.18	94.1	531
252	B	0.18	94.1	531
253	B	0.18	94.1	531
254	B	0.18	94.1	531
255	B	0.18	94.1	531
256	B	0.18	94.1	531
257	B	0.18	94.1	531
258	B	0.18	94.1	531
259	B	0.18	94.1	531
260	B	0.23	94.1	418
261	B	0.23	94.1	418
262	B	0.23	94.1	418
263	B	0.23	94.1	418
264	B	0.23	94.1	418
265	B	0.23	94.1	418
266	B	0.23	94.1	418
267	B	0.23	94.1	418
268	B	0.23	94.1	418
269	B	0.18	94.1	531
270	B	0.18	94.1	531
271	B	0.18	94.1	531
272	B	0.18	94.1	531
273	B	0.18	94.1	531
274	B	0.18	94.1	531
275	B	0.18	94.1	531
276	B	0.18	94.1	531

10

20

30

40

【 0 0 8 9 】

50

【表 2 A】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
1	5	5	1	/	/	/	1.08
2	20	30	1	/	/	/	1.08
3	10	30	1	/	/	/	1.08
4	30	10	1	/	/	/	1.08
5	5	320	2	/	/	/	1.08
6	10	300	2	/	/	/	1.08
7	20	260	2	/	/	/	1.08
8	25	250	2	/	/	/	1.05
9	25	250	2	/	/	/	1.05
10	25	25	2	/	/	/	1.00
11	25	25	2	/	/	/	1.00
12	25	30	2	/	/	/	1.02
13	25	60	2	/	/	/	1.05
14	40	40	2	/	/	/	0.96
15	40	100	2	/	/	/	1.03
16	110	110	2	/	/	/	0.94
17	150	25	2	/	/	/	1.05
18	150	60	2	/	/	/	1.05
19	150	150	2	/	/	/	1.02
20	250	10	2	/	/	/	1.08
21	250	25	2	/	/	/	1.05
22	300	25	2	/	/	/	1.05
23	25	300	2	/	/	/	1.05
24	40	100	2	/	/	/	1.05
25	40	100	2	/	/	/	1.05

【 0 0 9 0 】

10

20

30

40

50

【表 2 B】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
26	60	200	2				1.05
27	5	320	3				1.08
28	10	300	3				1.08
29	20	260	3				1.08
30	25	250	3				1.04
31	25	25	3				0.99
32	25	30	3				1.01
33	25	60	3				1.02
34	25	60	3				1.02
35	25	60	3				1.02
36	40	40	3				0.96
37	40	100	3				1.02
38	110	110	3				0.93
39	110	110	3				0.93
40	110	110	3				0.93
41	150	25	3				1.04
42	150	60	3				1.05
43	150	150	3				0.99
44	150	150	3				0.99
45	250	10	3				1.08
46	250	25	3				1.05
47	300	25	3				1.05
48	25	300	3				1.05
49	40	100	3				1.05
50	60	200	3				1.05

【 0 0 9 1 】

10

20

30

40

50

【表 2 C】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
51	5	320	7				1.08
52	10	300	7				1.08
53	20	260	7				1.08
54	25	250	7				1.05
55	25	25	7				1.02
56	25	25	7				1.02
57	25	25	7				1.02
58	25	25	7				1.02
59	25	25	7				1.02
60	25	25	7				1.02
61	25	25	7				1.02
62	25	25	7				1.02
63	25	30	7				1.04
64	25	60	7				1.05
65	25	60	7				1.05
66	40	40	7				0.94
67	40	40	7				0.94
68	40	40	7				0.94
69	40	40	7				0.94
70	40	40	7				0.94
71	40	40	7				0.94
72	40	40	7				0.94
73	40	100	7				1.02
74	110	110	7				0.93
75	110	110	7				0.93

【 0 0 9 2 】

10

20

30

40

50

【表 2 D】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
76	110	110	7	/	/	/	0.93
77	110	110	7	/	/	/	0.93
78	110	110	7	/	/	/	0.93
79	110	110	7	/	/	/	0.93
80	110	110	7	/	/	/	0.93
81	110	110	7	/	/	/	0.93
82	110	110	7	/	/	/	0.93
83	110	110	7	/	/	/	0.93
84	150	25	7	/	/	/	1.03
85	150	60	7	/	/	/	1.03
86	150	150	7	/	/	/	0.97
87	150	150	7	/	/	/	0.97
88	250	10	7	/	/	/	1.08
89	250	25	7	/	/	/	1.05
90	300	25	7	/	/	/	1.05
91	25	300	7	/	/	/	1.05
92	40	100	7	/	/	/	1.05
93	40	100	7	/	/	/	1.05
94	60	200	7	/	/	/	1.05
95	5	320	8	/	/	/	1.08
96	10	300	8	/	/	/	1.08
97	20	260	8	/	/	/	1.08
98	25	250	8	/	/	/	1.05
99	25	25	8	/	/	/	1.01
100	25	30	8	/	/	/	1.02

10

20

30

【 0 0 9 3 】

40

50

【表 2 E】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
101	25	60	8				1.03
102	40	40	8				0.97
103	40	40	8				0.97
104	40	40	8				0.97
105	40	40	8				0.97
106	40	100	8				1.02
107	110	110	8				0.96
108	110	110	8				0.96
109	110	110	8				0.96
110	110	110	8				0.96
111	110	110	8				0.96
112	110	110	8				0.96
113	110	110	8				0.96
114	110	110	8				0.96
115	110	110	8				0.96
116	150	25	8				1.04
117	150	60	8				1.04
118	150	150	8				0.99
119	250	10	8				1.08
120	250	25	8				1.05
121	300	25	8				1.05
122	300	25	8				1.05
123	25	300	8				1.05
124	40	100	8				1.05
125	60	200	8				1.05

【 0 0 9 4 】

10

20

30

40

50

【表 2 F】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	<L <sub>i</sub> > (mm)	<L <sub>o</sub> > (mm)	k	<L <sub>2i</sub> > (mm)	<L <sub>2o</sub> > (mm)	k2	
126	5	320	9				1.08
127	10	300	9				1.08
128	20	260	9				1.08
129	25	250	9				1.05
130	25	25	9				1.03
131	25	30	9				1.05
132	25	60	9				1.05
133	40	40	9				1.03
134	40	100	9				1.03
135	110	110	9				1.03
136	150	25	9				1.05
137	150	60	9				1.05
138	150	150	9				1.03
139	250	10	9				1.08
140	250	25	9				1.05
141	300	25	9				1.05
142	25	300	9				1.05
143	40	100	9				1.05
144	60	200	9				1.05
145	5	320	11				1.08
146	10	300	11				1.08
147	20	260	11				1.08
148	25	250	11				1.05
149	25	25	11				1.03
150	25	30	11				1.05

10

20

30

【 0 0 9 5 】

40

50

【表 2 G】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
151	25	60	11				1.05
152	40	40	11				1.03
153	40	100	11				1.05
154	110	110	11				1.03
155	150	25	11				1.05
156	150	60	11				1.05
157	150	150	11				1.03
158	250	10	11				1.08
159	250	25	11				1.05
160	300	25	11				1.05
161	25	300	11				1.05
162	40	100	11				1.05
163	60	200	11				1.05
164	10	300	3	10	300	3	1.11
165	20	260	3	20	260	3	1.11
166	25	250	3	25	250	3	1.04
167	25	25	3	25	25	3	0.99
168	25	25	3	25	25	3	0.99
169	25	25	3	25	25	3	0.99
170	25	30	3	25	30	3	1.01
171	25	60	3	25	60	3	1.02
172	40	40	3	40	40	3	0.96
173	40	40	3	40	40	3	0.96
174	40	40	3	40	40	3	0.96
175	40	40	3	40	40	3	0.96

【 0 0 9 6 】

10

20

30

40

50

【表 2 H】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
176	40	100	3	40	100	3	1.02
177	110	110	3	110	110	3	0.93
178	110	110	3	110	110	3	0.93
179	150	25	3	150	25	3	1.04
180	150	60	3	150	60	3	1.05
181	150	150	3	150	150	3	0.99
182	150	150	3	150	150	3	0.99
183	250	10	3	250	10	3	1.11
184	250	25	3	250	25	3	1.05
185	300	25	3	300	25	3	1.05
186	25	300	3	25	300	3	1.05
187	40	100	3	40	100	3	1.05
188	60	200	3	60	200	3	1.05
189	60	200	3	60	200	3	1.05
190	10	300	8	10	300	8	1.11
191	20	260	8	20	260	8	1.11
192	25	250	8	25	250	8	1.05
193	25	25	8	25	25	8	1.01
194	25	30	8	25	30	8	1.02
195	25	30	8	25	30	8	1.02
196	25	60	8	25	60	8	1.03
197	25	60	8	25	60	8	1.03
198	40	40	8	40	40	8	0.97
199	40	100	8	40	100	8	1.02
200	110	110	8	110	110	8	0.96

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

【表 2 I】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
201	110	110	8	110	110	8	0.96
202	110	110	8	110	110	8	0.96
203	110	110	8	110	110	8	0.96
204	110	110	8	110	110	8	0.96
205	110	110	8	110	110	8	0.96
206	150	25	8	150	25	8	1.04
207	150	60	8	150	60	8	1.04
208	150	150	8	150	150	8	0.99
209	150	150	8	150	150	8	0.99
210	150	150	8	150	150	8	0.99
211	150	150	8	150	150	8	0.99
212	250	10	8	250	10	8	1.11
213	250	25	8	250	25	8	1.05
214	300	25	8	300	25	8	1.05
215	25	300	8	25	300	8	1.05
216	40	100	8	40	100	8	1.05
217	60	200	8	60	200	8	1.05
218	5	320	8				1.08
219	10	300	8				1.08
220	20	260	8				1.08
221	25	250	8				1.05
222	25	25	8				0.99
223	25	30	8				1.02
224	25	60	8				1.03
225	40	40	8				0.95

【 0 0 9 8 】

10

20

30

40

50

【表 2 J】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
226	40	100	8				1.02
227	110	110	8				0.93
228	110	110	8				0.93
229	150	25	8				1.04
230	150	60	8				1.04
231	150	150	8				0.97
232	150	150	8				0.97
233	250	10	8				1.08
234	250	25	8				1.05
235	300	25	8				1.05
236	25	300	8				1.05
237	40	100	8				1.05
238	60	200	8				1.05
239	5	320	8	5	320	8	1.11
240	10	300	8	10	300	8	1.11
241	25	250	8	20	260	8	1.05
242	25	250	8	10	250	8	1.05
243	25	25	8	25	25	8	0.96
244	25	30	8	25	30	8	1.00
245	25	60	8	25	60	8	1.01
246	40	40	8	40	40	8	0.93
247	40	100	8	40	100	8	1.02
248	110	110	8	110	110	8	0.93
249	110	110	8	110	110	8	0.93
250	110	110	8	110	110	8	0.93

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

50

【表 2 K】

実験No	接合部1			接合部2			鉄心鉄損/素材鉄損
	$\langle L_i \rangle$ (mm)	$\langle L_o \rangle$ (mm)	k	$\langle L_{2i} \rangle$ (mm)	$\langle L_{2o} \rangle$ (mm)	k2	
251	150	25	8	150	25	8	1.02
252	150	60	8	150	60	8	1.02
253	150	150	8	150	150	8	0.95
254	250	10	8	250	10	8	1.11
255	250	25	8	250	25	8	1.05
256	300	25	8	300	25	8	1.05
257	25	300	8	25	300	8	1.05
258	40	100	8	40	100	8	1.05
259	60	200	8	60	200	8	1.05
260	20	260	8	20	20	8	1.13
261	25	250	8	20	40	8	1.05
262	25	25	8	20	200	8	1.05
263	25	30	8	25	20	8	1.05
264	25	60	8	10	60	8	1.05
265	40	40	8	10	10	8	1.05
266	40	100	8	20	100	8	1.05
267	110	110	8	110	20	8	1.05
268	150	25	8	150	20	8	1.05
269	20	260	8	20	20	8	1.14
270	25	250	8	20	40	8	1.05
271	25	25	8	20	200	8	1.05
272	25	30	8	25	20	8	1.05
273	25	60	8	10	60	8	1.05
274	40	40	8	10	10	8	1.05
275	40	100	8	20	100	8	1.05
276	110	110	8	110	20	8	1.05

10

20

30

40

## 【0100】

表 2 A ~ 表 2 K に示した通り、接合部が 1 つのコア A の場合、 $\langle L_i \rangle$  および  $\langle L_o \rangle$  が 25 mm 以上となることで、鉄損が改善された。また、 $\langle L_i \rangle$  および  $\langle L_o \rangle$  が 25 mm 以上であり、かつ数  $k$  が 2 ~ 8 である場合、更に鉄損が改善された。

## 【0101】

また、表 2 A ~ 表 2 K に示した通り、接合部が 2 つある場合は、 $\langle L_i \rangle$ 、 $\langle L_o \rangle$  が 25 mm 以上であり、さらに、 $\langle L_{2i} \rangle$  および  $\langle L_{2o} \rangle$  が 25 mm 以上となることで、鉄損が改善された。 $\langle L_i \rangle$ 、 $\langle L_o \rangle$ 、 $\langle L_{2i} \rangle$  および  $\langle L_{2o} \rangle$  が 25 mm 以上であり、かつ数  $k$  および  $k_2$  が 2 ~ 8 である場合、更に鉄損が改善された。

## 【0102】

50

## &lt; 実験例 2 &gt;

## [ 巻鉄心の製造 ]

表 3 の板厚を有する方向性電磁鋼板（板幅 152.4 mm、板厚：0.23 mm または 0.18 mm、Si 含有量：3.45 質量%）を表 4 の第 1 群接合部  $V_i$  の平均距離  $\langle L_i \rangle$ 、第 2 群接合部  $V_o$  の平均距離  $\langle L_o \rangle$ 、第 3 群接合部  $V_{2i}$  の平均距離  $\langle L_{2i} \rangle$ 、第 4 群接合部  $V_{2o}$  の平均距離  $\langle L_{2o} \rangle$ 、数  $k$ 、および数  $k^2$  の値となるように、せん断、曲げ加工して各曲げ加工体を作製し、この曲げ加工体を板厚方向に積層することで、図 13 の巻鉄心を得た。各実験例の屈曲領域の曲げ角度、屈曲領域の曲率半径、各寸法は表 3 の通り設定した。実験 No. 1A、3A、5A ~ 10A は接合部を 1 つとし、実験 No. 2A および 4A は接合部を 2 つとした。実験 No. 2A および 4A の各曲げ加工体の 2 つの接合部は対向する 2 つの平坦領域にある。表 4 中の接合部 1 の欄は、基準平坦領域がある平坦部の接合部を意味し、接合部 2 は、第 2 基準平坦領域がある平坦部の接合部を意味する。

10

## 【 0103 】

## [ 鉄損の評価 ]

鉄損の測定では、表 4 の実験 No. 1A から No. 10A の巻鉄心に関し、JIS C 2550-1 に記載の励磁電流法を用いた測定を、周波数 50 Hz、磁束密度 1.7 T の条件で行ない、巻鉄心の鉄損値（鉄心鉄損） $W_A$  を測定した。また、鉄心に使用した方向性電磁鋼板のフープ（板幅 152.4 mm）から、幅 100 mm × 長さ 500 mm の試料を採取し、この試料に対して、JIS C 2556 に記載の H コイル法を用いた電磁鋼板単板磁気特性試験による測定を、周波数 50 Hz、磁束密度 1.7 T の条件で行ない、素材鋼板単板の鉄損値（素材鉄損） $W_B$  を測定した。そして、鉄損値  $W_A$  を鉄損値  $W_B$  で除することにより鉄心鉄損 / 素材鉄損（ $W_A / W_B$ ）を求めた。鉄心鉄損 / 素材鉄損が 1.05 以下の場合を合格とした。

20

## 【 0104 】

表 4 に示した通り、接合部が 1 つのコアの場合、 $\langle L_i \rangle$  および  $\langle L_o \rangle$  が 25 mm 以上となることで、鉄損が改善された。また、 $\langle L_i \rangle$  および  $\langle L_o \rangle$  が 25 mm 以上であり、かつ数  $k$  が 2 ~ 8 である場合、更に鉄損が改善された。

## 【 0105 】

また、表 4 に示した通り、曲率半径が 5.0 mm 以下であることで、鉄損が改善された。曲率半径が 5.0 mm 超のコア  $e$  を用いた実験 No. 7A は鉄損が劣位であった。

30

## 【 0106 】

40

50

【表 3】

コア仕様	曲げ角度 (°)	曲率半径 (mm)	L 1 (mm)	L 2 (mm)	L 3 (mm)	L 4 (mm)	素材板厚 (mm)	巻厚み (mm)	積層枚数 (枚数)
a	45	0.2	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
b	45	1.0	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
c	45	2.9	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
d	45	4.9	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
e	45	10.0	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
f	30	1.0	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
g	30	2.9	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418
h	60	1.0	344	122	94.1	4	0.23	94.1	418

【 0 1 0 7 】

10

20

30

40

50

【表 4】

実験No	コア仕様	接合部 1			接合部 2			鉄心鉄損/ 素材鉄損
		<Li> (mm)	<Lo> (mm)	k	<L <sub>2i</sub> > (mm)	<L <sub>2o</sub> > (mm)	k2	
1A	a	40	40	8				1.04
2A	a	80	80	8	80	80	8	1.04
3A	b	40	40	8				0.99
4A	b	300	25	8	300	25	8	1.04
5A	c	40	40	8				1.00
6A	d	40	40	8				1.01
7A	e	40	40	8				1.06
8A	f	40	40	8				1.02
9A	g	40	40	8				1.02
10A	h	40	40	8				1.02

10

## 【産業上の利用可能性】

【0108】

20

本開示によれば、巻鉄心の鉄損を抑制することができる。よって、産業上の利用可能性は大である。

## 【符号の説明】

【0109】

- 1 曲げ加工体
- 2 積層体
- 3 コーナー部
- 4、4 a、4 b 平坦部
- 5、5 a、5 b 屈曲領域
- 6 接合部
- 8 平坦領域
- 10 巻鉄心
- 20 曲げ加工装置
- 40 製造装置
- 21 方向性電磁鋼板
- 22 ダイス
- 23 ガイド
- 24 パンチ
- 25 搬送方向
- 26 加圧方向

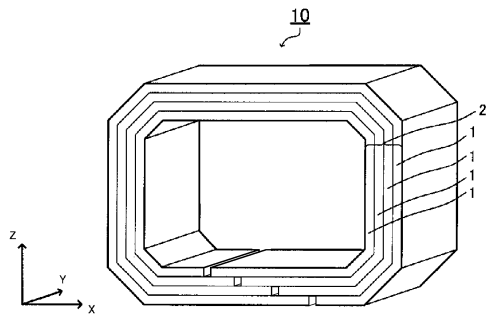
30

40

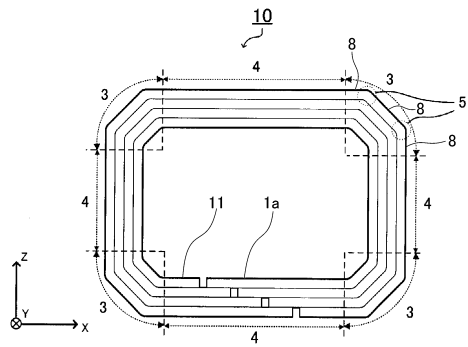
50

【図面】

【図 1】

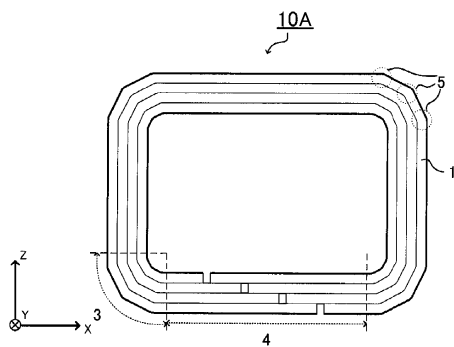


【図 2】

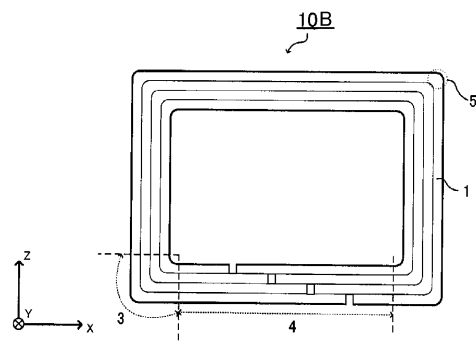


10

【図 3】

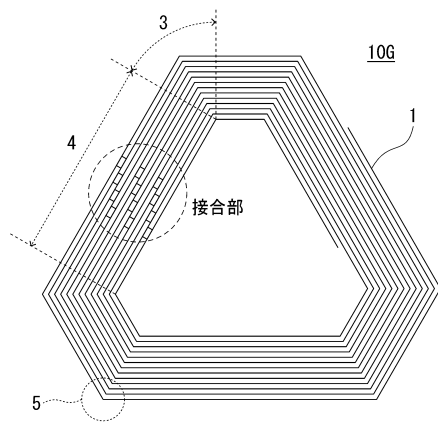


【図 4】

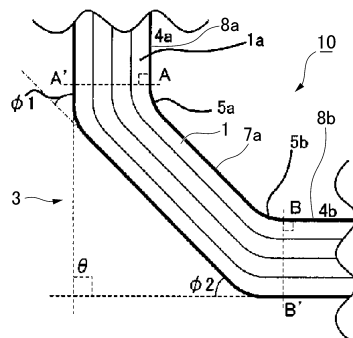


20

【図 5】



【図 6】

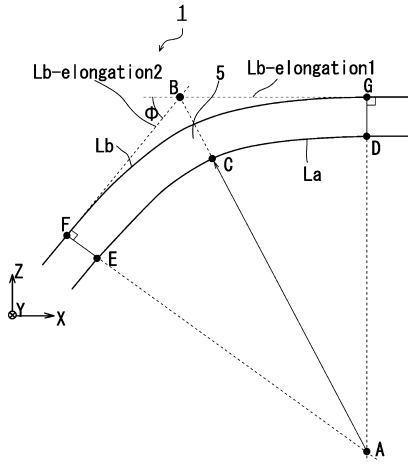


30

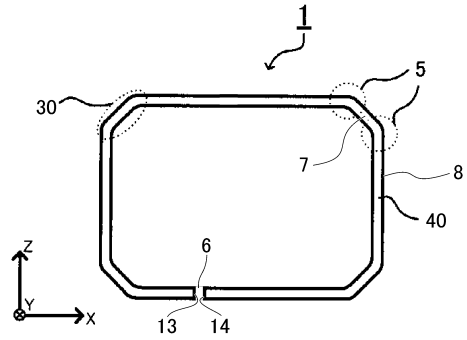
40

50

【図 7】

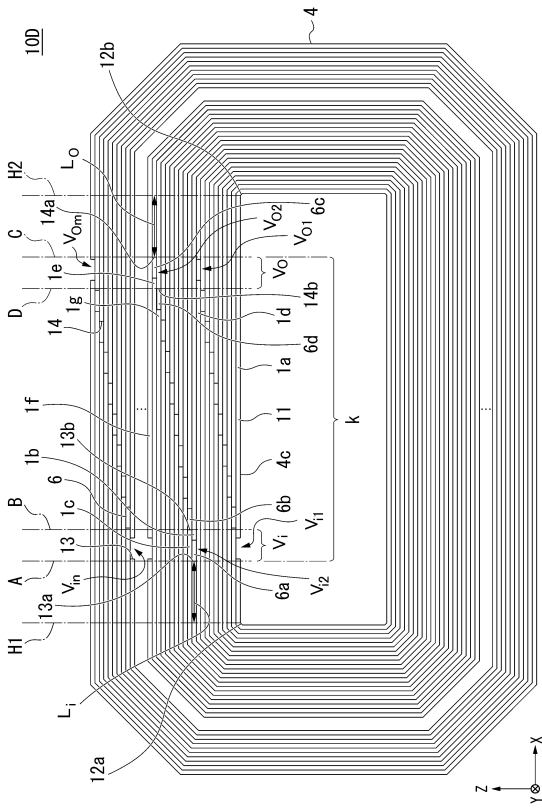


【図 8】

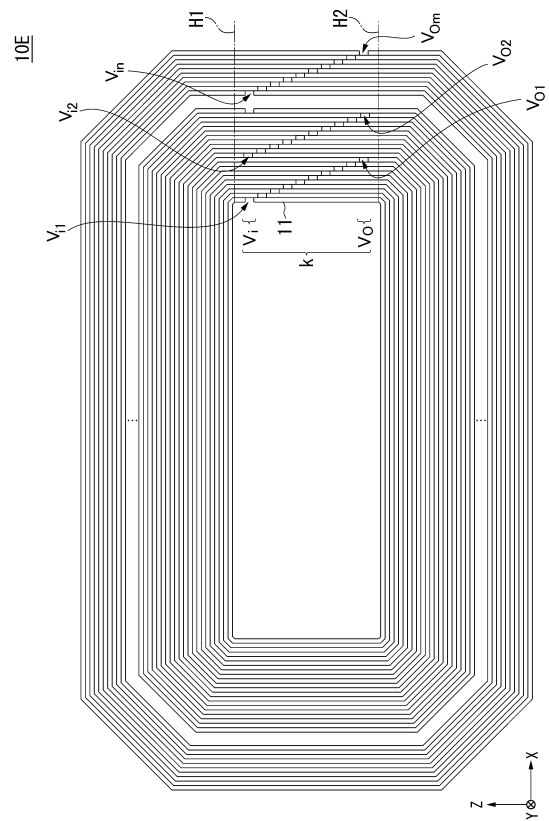


10

【図 9】



【図 10】



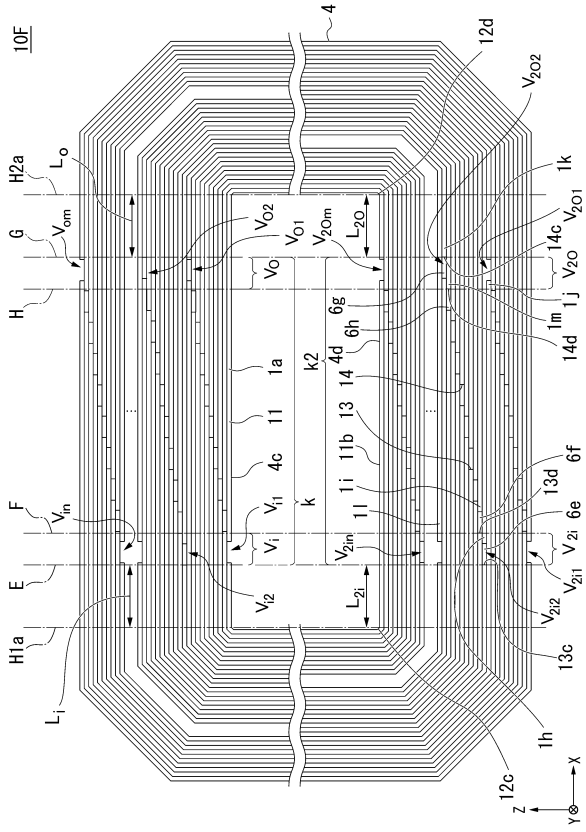
20

30

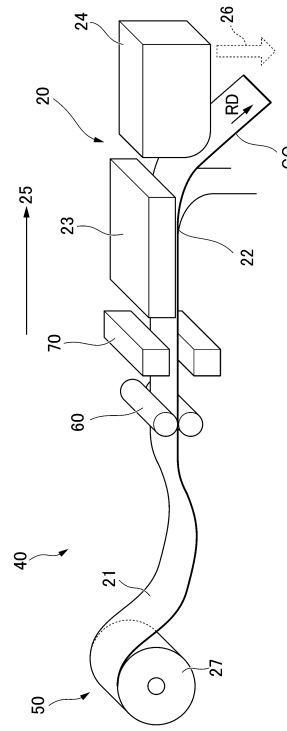
40

50

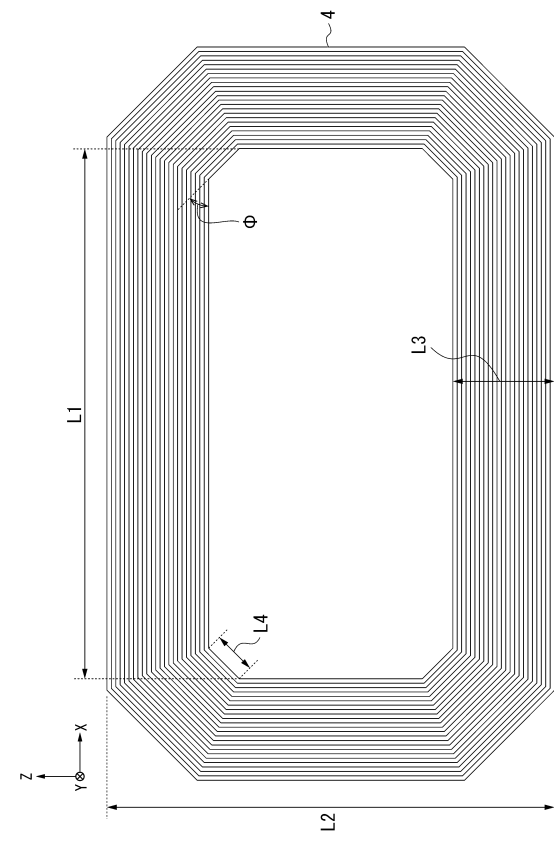
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (74)代理人 100207686  
弁理士 飯田 恭宏
- (74)代理人 100224812  
弁理士 井口 翔太
- (72)発明者 水村 崇人  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- (72)発明者 茂木 尚  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- (72)発明者 高橋 克  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- 審査官 古河 雅輝
- (56)参考文献 特開2018-148036(JP,A)  
特開2006-332235(JP,A)  
国際公開第2020/218607(WO,A1)  
国際公開第2020/71460(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
C22C 5/00 - 25/00  
C22C 27/00 - 28/00  
C22C 30/00 - 30/06  
C22C 35/00 - 45/10  
H01F 3/00 - 3/14  
H01F 27/24 - 27/26  
H01F 41/00 - 41/04  
H01F 41/08  
H01F 41/10  
H02K 15/00 - 15/02  
H02K 15/04 - 15/16