



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I822375 B

(45) 公告日：中華民國 112 (2023) 年 11 月 11 日

(21) 申請案號：111137723

(22) 申請日：中華民國 111 (2022) 年 10 月 04 日

(51) Int. Cl. : H01F27/245 (2006.01)

H01F1/16 (2006.01)

(30) 優先權：2021/10/04 日本

2021-163557

(71) 申請人：日商日本製鐵股份有限公司 (日本) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)
日本(72) 發明人：水村崇人 MIZUMURA, TAKAHITO (JP)；茂木尚 MOGI, HISASHI (JP)；高橋克
TAKAHASHI, MASARU (JP)

(74) 代理人：劉法正；尹重君

(56) 參考文獻：

JP 2019-117155A

審查人員：陳文傑

申請專利範圍項數：3 項 圖式數：14 共 43 頁

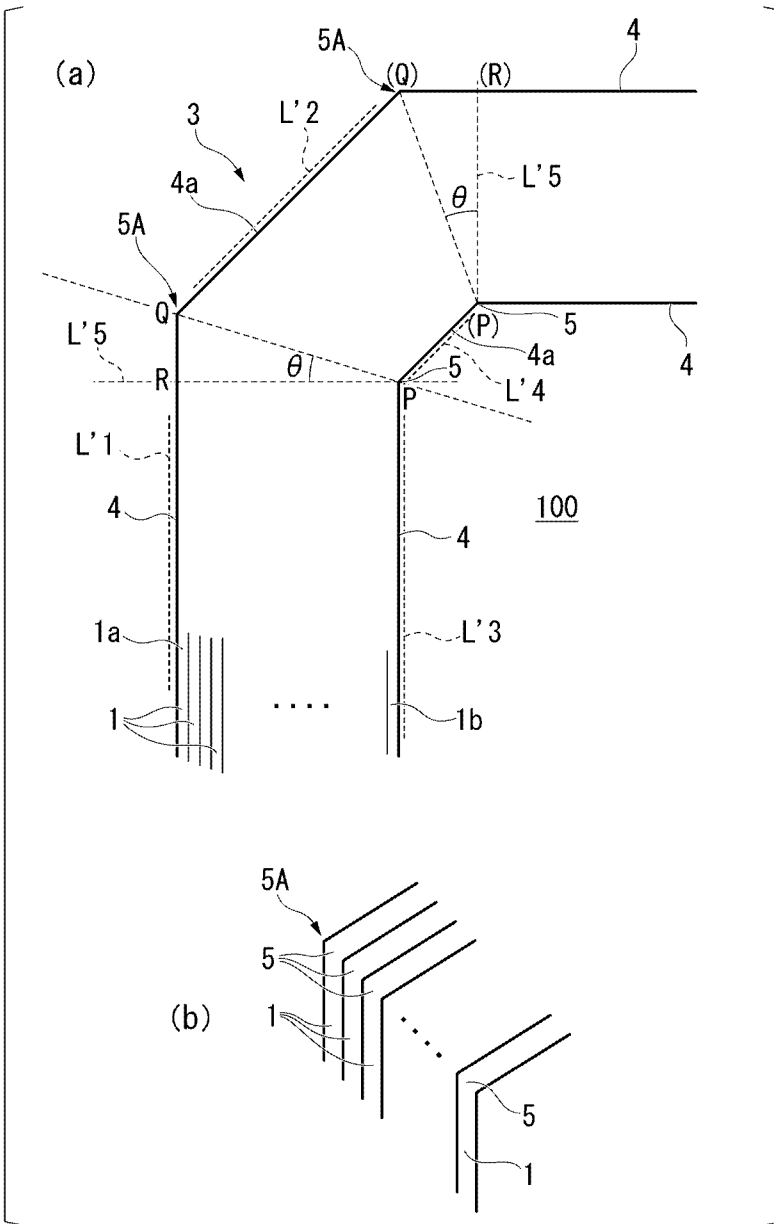
(54) 名稱

捲鐵心

(57) 摘要

本發明之捲鐵心是針對具有複數個的角落部(3)的撓曲區域 5A 當中的至少任意 1 個，形成為直線 PQ 與直線 PR 所成之角度 θ 滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ ，且角落部(3)朝外側膨起以約束在捲鐵心中流動之磁通。

指定代表圖：



符號簡單說明：

1,1a,1b:方向性電磁鋼板

3:角落部

4,4a:平面部

5:撓曲部

5A:撓曲區域

100:紙面

P,Q,R:點

L'1,L'2,L'3,L'4:延伸線

L'5:直線

θ :角度

【圖13】



I822375

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】

捲鐵心

【中文】

本發明之捲鐵心是針對具有複數個的角落部(3)的撓曲區域 5A 當中的至少任意 1 個，形成為直線 PQ 與直線 PR 所成之角度 θ 滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ ，且角落部(3)朝外側膨起以約束在捲鐵心中流動之磁通。

【指定代表圖】 圖13

【代表圖之符號簡單說明】

1,1a,1b:方向性電磁鋼板

3:角落部

4,4a:平面部

5:撓曲部

5A:撓曲區域

100:紙面

P,Q,R:點

L'1,L'2,L'3,L'4:延伸線

L'5:直線

θ :角度

【特徵化學式】

(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

捲鐵心

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種捲鐵心。

本案依據已於2021年10月4日於日本提出申請之特願2021-163557號主張優先權，並於此援引其內容。

【先前技術】

【0002】 變壓器的鐵心有疊片鐵心與捲鐵心。其中，捲鐵心一般而言是藉由將方向性電磁鋼板堆疊成層狀並捲繞成甜甜圈(donut)狀(捲繞形狀)，之後將該捲繞體加壓並成形為幾乎呈方型來製造(在本說明書中，有時會將如此進行而製造之捲鐵心稱為筒型鐵芯(トランココア))。因為在整個方向性電磁鋼板上會由於此成形步驟而出現機械性的加工應變(塑性變形應變)，且該加工應變會成為使方向性電磁鋼板之鐵損大幅劣化的主要原因，所以必須進行弛力退火。

【0003】 另一方面，作為捲鐵心的另一種製造方法，已揭示有如專利文獻1以及引用文獻2所揭示之技術，該等技術是事先將鋼板的要成為捲鐵心的角落部之部分進行彎曲加工以形成曲率半徑為3mm以下之相對較小的撓曲區域，再將該經彎曲加工之鋼板積層來做成捲鐵心(在本說明書中有時將以如此方式進行而製造之捲鐵心稱為C形鐵芯(UNICORE)(註冊商標))。根據該製造方法，因為不需要如以往之大規模的成形步驟，且鋼板以精細的方式被彎折並維持鐵心形狀，加工應變也僅集中於彎曲部(角部)，所以也可省略上述由退火步驟所進行之應變去除，工業上的優點是應用已大幅地(例如，設備投資也容易)進展。

先前技術文獻

專利文獻

【0004】 專利文獻1：日本特開2018-148036號公報

專利文獻2：日本特開2015-141930號公報

【發明內容】

發明欲解決之課題

【0005】 然而，在藉由鋼板彎折加工來對鋼板的要成為C形鐵芯的角落部之部分進行彎曲成形時，應變會被導入彎折部。因此，在未退火下使用鐵芯時，會成為在彎折部及其周邊部仍舊殘留有應變之狀態，而有鐵芯鐵損(鐵心之損失)變差之問題。

【0006】 本發明是有鑒於前述情形而作成之發明，目的在於提供一種即便在未退火下使用之情況下仍然呈低鐵損之捲鐵心。

用以解決課題之手段

【0007】 為了達成前述目的，本發明之捲鐵心是在中心具有中空部且包含方向性電磁鋼板在板厚方向上堆疊之部分的捲鐵心，前述方向性電磁鋼板是在長邊方向上平面部與撓曲部呈交替地接續之電磁鋼板，前述捲鐵心藉由將個別地彎折加工後之前述方向性電磁鋼板堆疊成層狀並組裝成捲繞狀態，而形成具有4個包含前述撓曲部的角落部之矩形狀，且在每一圈透過至少1處接合部來將複數片方向性電磁鋼板相互連接，並使前述各角落部的由前述撓曲部所形成之彎曲角度的合計為90度，前述捲鐵心的特徵在於：

藉由將前述各方向性電磁鋼板的對應之撓曲部彼此在板厚方向上堆疊成層狀而形成1個撓曲區域，

在前述捲鐵心的側面視角下，針對具有複數個的前述角落部的前述撓曲區域當中的至少任意的1個，若將堆疊成層狀之複數個前述方向性電磁鋼板當中位於最內側之方向性電磁鋼板中的沿著前述平面部的內側表面延伸到前述角落部之延伸線、與沿著形成前述角落部之前述撓曲部之間的前述平面部的內側表面

延伸之延伸線的交點設為P，將堆疊成層狀之複數個前述方向性電磁鋼板當中位於最外側之方向性電磁鋼板中的沿著前述平面部的外側表面延伸到前述角落部之延伸線、與沿著形成前述角落部之前述撓曲部之間的前述平面部的外側表面延伸之延伸線的交點設為Q，將通過前述點P並且朝相對於延伸到前述角落部之前述各方向性電磁鋼板的延伸方向呈垂直之方向延伸之直線，和前述最外側之方向性電磁鋼板的外側表面相交之點設為R，直線PQ與直線PR所成之角度 θ 滿足： $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 。

【0008】 在此，在本發明中，具體來說，點P、Q、R是如圖13所示，將包含在板厚方向上堆疊方向性電磁鋼板1之部分的捲鐵心放置於紙面100上，使用例如鉛筆或記號筆等筆記具，在捲鐵心的側面視角(圖13所示之視野方向)下，將針對具有複數個的角落部3的撓曲區域5A當中的至少任意1個，沿著方向性電磁鋼板1的表面在紙面100上劃線來求出，其中前述方向性電磁鋼板1是在長邊方向上平面部4(4a)與撓曲部5交替地接續之電磁鋼板。在此情況下，筆記具是設成使用和紙面100的顏色不同的顏色之筆記具，以便可以在紙面100上辨識線。再者，圖13(a)是以側面視角顯示在具有4個的角落部3當中的1個的周邊之捲鐵心的部位，又，圖13(b)是明確地顯示藉由各方向性電磁鋼板1的對應之撓曲部5彼此在板厚方向上堆疊成層狀而形成1個撓曲區域5A。

【0009】 作為點P、Q、R的更具體的求出方法，首先，最開始是在堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板1當中位於最外側之方向性電磁鋼板1a中，以筆記具在紙面100上描繪：沿著該平面部4的外側表面延伸到角落部3之延伸線L'1。又，以筆記具在紙面100上描繪：在相同的方向性電磁鋼板1a中，沿著形成角落部3之撓曲部5、5之間的平面部4a的外側表面延伸之延伸線L'2。並且，將延伸線L'1與延伸線L'2之交點設為Q。另一方面，在堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板1當中位於最內側之方向性電磁鋼板1b中，以筆記具在紙面100上描

繪：沿著該平面部4的內側表面延伸到角落部3之延伸線L'3。又，以筆記具在紙面100上描繪：在相同的方向性電磁鋼板1b中，沿著形成角落部3之撓曲部5、5之間的平面部4a的內側表面延伸之延伸線L'4。並且，將延伸線L'3與延伸線L'4之交點設為P。再者，所謂「內側表面」是指面向捲鐵芯的內側之表面，「外側表面」是指面向捲鐵芯的外側之表面。

【0010】 又，點R是作為通過點P並且朝相對於延伸到角落部3之各方向性電磁鋼板1的延伸方向呈垂直之方向延伸之直線L'5，和最外側之方向性電磁鋼板1a的外側表面相交之點來規定。並且，角度 θ 是直線PQ與直線PR所成之角度，且在本發明中是設定為 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 。

再者，針對構成相同的角落部3之其他的撓曲區域(5A)，求出點(P)、(Q)、(R)之情況也是和以上同樣地進行。

【0011】 本發明的發明人們基於如下的實際情況：在形成C形鐵芯之形態的捲鐵心中，在藉由鋼板彎折加工來對鋼板的要成為C形鐵芯之角落部的部分進行彎曲成形時，應變會被導入成為彎折部之撓曲部，鐵芯鐵損會因該應變而變差，且作為鐵芯鐵損變差的一個原因，得到了以下的知識見解：著眼於包含撓曲部之角落部的形態，若將角度 θ 設定得較小而呈角落部在捲鐵心的內側縮進之狀態，亦即如例如圖12所示，若將角度 θ 設定為22.5(在以往為一般的角度)(在圖12中，以規定 $\theta = 22.5$ 度的最外側的之方向性電磁鋼板1a的撓曲部中的前述交點Q'來表示)而將形成角落部3之撓曲部5、5之間的平面部4a以用虛線來表示的方式以寬度D1(較小的厚度T1)來延伸時，會如圖11所示，在捲鐵心中流動之磁通80會在角落部3呈無法彎曲地朝外側飛出而漏洩到空氣中，且鐵損會惡化，相對於此，若將角度 θ 設定得比22.5度更大而形成為使角落部朝捲鐵心的外側突出時，亦即如圖12所示，若將角度 θ 設定得比22.5度更大，而將形成角落部3之撓曲部5、5之間的平面部4a以用實線來表示的方式以寬度D2(較大的

厚度T2)來延伸時，朝空氣中飛出之前述磁通80會減少且鐵損會變得良好。

【0012】 並且，本發明的發明人們針對角落部的往外側之突出程度，致力研討的結果，發現了以下情形：針對藉由將各方向性電磁鋼板的對應之撓曲部彼此在板厚方向上堆疊成層狀而形成之角落部的具有複數個的撓曲區域當中的至少任意1個，在將堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板當中位於最內側之方向性電磁鋼板中的沿著平面部的內側表面延伸到角落部之延伸線、與沿著形成角落部之撓曲部之間的平面部的內側表面延伸之延伸線的交點設為P，將堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板當中位於最外側之方向性電磁鋼板中的沿著平面部的外側表面延伸到角落部之延伸線、與沿著形成角落部之撓曲部之間的平面部的外側表面延伸之延伸線的交點設為Q、將通過點P並且朝相對於延伸到角落部之各方向性電磁鋼板的延伸方向呈垂直之方向延伸之直線，和最外側之方向性電磁鋼板的外側表面相交之點設為R時，

當形成為直線PQ與直線PR所成之角度 θ 滿足： $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ ，來將角落部的往外側之突出程度最佳化時，可以有效地使在角落部朝空氣中飛出之磁通減少而將鐵損抑制得較低。

【0013】 在此，若 θ 低於 23° ，會成為以下形態：在捲鐵心中流動之磁通在角落部會呈無法彎曲地朝外側飛出這樣的狀態下，角落部朝向捲鐵心的內側縮進(沉下)，而導致磁通漏洩至空氣中，且鐵損惡化。相對於此，若將 θ 逐漸增大為 23° 以上，角落部會朝外側膨起以約束在捲鐵心中流動的磁通，因此朝空氣中飛出之磁通會減少且鐵損會變得良好。另一方面，若 θ 大於 50° ，在各方向性電磁鋼板中，其相鄰之撓曲部彼此之間の間隔(夾著平面部而相鄰之撓曲部彼此之間の間隔)會變窄，伴隨於該情形，形狀已因彎曲應變而變形之撓曲部以及其周邊部彼此不僅在相同的方向性電磁鋼板中接近，即便是在板厚方向上堆疊之不同一個的方向性電磁鋼板之間也會成為形狀已變形之撓曲部以及其周邊部

彼此緊密地接觸之情形，結果由於變形的層疊導致彈性應力變大，且鐵損變差。此外，噪音會變大。

【0014】像這樣，針對至少任意1個角落部中的至少任意的1個撓曲區域，若形成為直線PQ與直線PR所成之角度 θ 滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ ，來實現角落部的最佳的外側膨起形態，會成為即便在未退火下使用鐵芯的情況下，仍然可以獲得殘留應變少之鐵芯(鐵損劣化小之鐵芯)。

【0015】再者，在本發明中， $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 這樣的條件，雖然只要在至少任意1個角落部中的至少任意1個撓曲區域可滿足即可，但較佳的是在存在於捲鐵心之儘可能多的撓曲區域可滿足，更佳的是在存在於捲鐵心的所有撓曲區域都可滿足。有關於此，例如在1個角落部存在3個以上撓曲區域的情況下，只要在至少延伸到角落部之各方向性電磁鋼板在角落部中最開始形成撓曲部之撓曲區域中，可滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 這樣的條件即可。

【0016】又，較佳的是，在對捲鐵心的在厚度方向上相鄰的2片方向性電磁鋼板進行對比的情況下，形成角落部之撓曲部之間的平面部長度不同。較佳的是例如，形成角落部之撓曲部之間的平面部呈越朝向外側變得越長。亦即，較佳的是，在對從位於最內側之方向性電磁鋼板起算積層於外側第m片(m為1~M-1之整數。M表示最外層之方向性電磁鋼板)之方向性電磁鋼板的長度、與積層在第(m+1)片之方向性電磁鋼板的長度進行比較的情況下，第(m+1)片之方向性電磁鋼板會變得比第m片之方向性電磁鋼板更長。在滿足這個條件的情況下，會變得容易進行積層方向性電磁鋼板之作業。亦即，變得易於將第(m+1)片之方向性電磁鋼板嵌入第m片之方向性電磁鋼板的外側。

【0017】此外，將第m片之方向性電磁鋼板的長度與第(m+1)片之方向性電磁鋼板的長度之差分設為 ΔL_m ，並且將針對所有的m將 ΔL_m 平均後之值設為 $\langle \Delta L \rangle$ 時， $\langle \Delta L \rangle$ 宜滿足以下之數式(1)。

$$\langle \Delta L \rangle = 10 \times t \times \{ (\pi \theta / 180)^3 + (\pi \theta / 180) \} \quad (1)$$

在數式(1)中， t 是各方向性電磁鋼板的厚度。在滿足數式(1)的情況下，是設為在所有的角落部中 θ 皆相同，且 t 在所有的方向性電磁鋼板中皆相同。在滿足此條件的情況下，捲鐵心的噪音會減少。

【0018】 關於方向性電磁鋼板的厚度 t 之評價方法，是設為如以下所述。從在製作C形鐵芯時所使用之方向性電磁鋼板切出10片在長邊方向上為30mm以上且在寬度方向上30mm以上之尺寸的單板，將此等10片積層，並使用測微計(三豐(Mitutoyo)製，高精度數位型測微計MDH-25MB)來測定積層體的總厚度。測定利用以下方法進行。亦即，在積層體的10處測定積層體的厚度，並將最大值的1/10定義為方向性電磁鋼板的厚度 t 。關於在長邊方向上30mm以上且在寬度方向上30mm以上之尺寸的單板，亦可從C形鐵芯採取。在此情況下，是從除了撓曲部以外之平面部來採取，但所期望的是先以鋼板裁切用之剪刀等來將撓曲部去除。雖然為了切出長邊方向30mm以上且寬度方向30mm以上之尺寸的單板而使用剪切機，但為了保證該單板之尺寸精度來切出，方向性電磁鋼板之標稱板厚必須在剪切機的規格的範圍內，可列舉例如相澤鐵工所製造之精密剪切機且機型為ABH-512來作為該剪切機。

發明效果

【0019】 根據本發明，即使是在未退火下使用之情況下仍然可以實現低鐵損之捲鐵心。

【圖式簡單說明】

【0020】 圖1是示意地顯示本發明的一實施形態之捲鐵心的立體圖。

圖2是圖1之實施形態所顯示之捲鐵心的側視圖。

圖3是示意顯示本發明的其他的實施形態之捲鐵心的側視圖。

圖4是示意地顯示構成捲鐵心之1層方向性電磁鋼板之一例的側視圖。

圖5是示意地顯示構成捲鐵心之1層方向性電磁鋼板之另一例的側視圖。

圖6是示意地顯示構成本發明的捲鐵心之方向性電磁鋼板的撓曲部之一例的側視圖。

圖7(a)是用於製造本發明的捲鐵心之製造裝置的彎折加工部的概略的整體圖，(b)是(a)之彎折加工部的加工機的概略的詳細立體圖。

圖8是概略地顯示形成C形鐵芯形態之本發明的捲鐵心之製造裝置的構成的方塊圖。

圖9是用於說明鋼板的長度控制的圖，前述鋼板的長度控制是用於1個角落部具有2個撓曲部之情況下的之 $23^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ 設定。

圖10是用於說明鋼板的長度控制的圖，前述鋼板的長度控制是用於1個角落部具有3個撓曲部之情況下的之 $23^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ 設定。

圖11是顯示在捲鐵心中流動之磁通在角落部呈無法彎曲地朝外側飛出而漏洩到空氣中之狀態，且是以側面視角顯示在捲鐵心的具有4個的角落部當中的1個之周邊的部位的概略圖。

圖12是顯示使角落部朝外側膨起以從圖11之狀態來約束在捲鐵心中流動之磁通之狀態，且是以側面視角顯示在捲鐵心的具有4個的角落部當中的1個之周邊的部位的概略圖。

圖13是以側面視角顯示在捲鐵心的具有4個的角落部當中的1個之周邊的部位的概略圖，且是顯示角度 θ 的規定的方法的圖。

圖14是顯示在特性評價時所製造出之捲鐵心的尺寸的示意圖。

【實施方式】

用以實施發明之形態

【0021】 以下，依序詳細地說明本發明的一實施形態之捲鐵心。不過，本發明並非限制於僅於本實施形態所揭示之構成，可在不脫離本發明的主旨之範

圍內進行各種變更。再者，在下述之數值限定範圍中，下限值以及上限值會包含於該範圍。表示為「超過」或「小於」之數值，該值即不包含在數值範圍。又，有關於化學組成之「%」只要沒有特別限定，均意指「質量%」。

又，針對在本說明書中所使用之形狀、或幾何條件以及特定其等的程度之例如「平行」、「垂直」、「相同」、「直角」等用語、或長度、角度之值等，並不受嚴格的意義所束縛，而是作為包含可期待同樣的功能之程度的範圍來解釋。

又，在本說明書中，有時會將「方向性電磁鋼板」僅記載為「鋼板」或「電磁鋼板」，並將「捲鐵心」僅記載為「鐵心」。

【0022】 本發明的一實施形態之捲鐵心是具備在側面視角下呈大致矩形狀之捲鐵心本體的捲鐵心，該捲鐵心本體具有在側面視角下呈大致多角形狀之積層結構，前述積層結構包含方向性電磁鋼板在板厚方向上堆疊之部分，前述方向性電磁鋼板為在長邊方向上平面部與撓曲部交替地接續之電磁鋼板。前述撓曲部的側面視角下之內表面側曲率半徑 r 可為例如1.0mm以上且5.0mm以下。作為一例，前述方向性電磁鋼板具有以下之化學組成：以質量%計含有Si：2.0~7.0%，且剩餘部分由Fe以及不純物所構成，並具有於Goss方位定向之集合組織。

【0023】 其次，具體地說明本發明的一實施形態之捲鐵心以及方向性電磁鋼板的形狀。在此所說明之捲鐵心以及方向性電磁鋼板的形狀本身並非特別新穎之構成，只不過是依照習知之捲鐵心以及方向性電磁鋼板的形狀之構成。

圖1是示意顯示捲鐵心的一實施形態的立體圖。圖2是圖1之實施形態所顯示之捲鐵心的側視圖。又，圖3是示意顯示捲鐵心的另一實施形態的側視圖。

此外，在本發明中，所謂側面視角是指在構成捲鐵心之長條狀的方向性電磁鋼板的寬度方向(圖1中的Y軸方向)上觀看之情形，所謂側視圖是表現出可依據

側面視角來目視辨識之形狀的圖(圖1之Y軸方向的圖)。

【0024】 本發明的一實施形態之捲鐵心具備在側面視角下為大致多角形狀之捲鐵心本體。該捲鐵心本體具有方向性電磁鋼板在板厚方向上堆疊且在側面視角下呈大致矩形狀之積層結構。該捲鐵心本體可直接當作捲鐵心來使用，亦可因應於需要而具備有捆束帶等習知的緊固件等，以用來將已堆疊之複數個方向性電磁鋼板固定成一體。

【0025】 在本實施形態中，對捲鐵心本體的鐵心長度並無特別限制，但在鐵心中即使鐵心長度改變，撓曲部體積仍然是固定的，因此在撓曲部產生之鐵損是固定的，因為鐵心長度越長，撓曲部的體積率會變得越小，所以對鐵損劣化之影響也會較小，由此來看，鐵心長度宜為1.5m以上，較佳為1.7m以上。再者，在本發明中，所謂捲鐵心本體的鐵心長度是指以側面視角為依據之在捲鐵心本體的積層方向的中心點的周長。

【0026】 像這樣的捲鐵心也可以適合使用於以往習知之任何用途。

【0027】 本實施形態之鐵心的特徵在於：在側面視角下呈大致多角形狀。在使用了以下之圖的說明中，為了讓圖示以及說明變單純，而以也是通用的形狀之大致矩形狀(四角形)的鐵心來說明，但是依據撓曲部的角度或數量、平面部的長度，可製造各種形狀的鐵心。例如，若所有的撓曲部的角度皆為45°且平面部之長度相等，則側面觀看會形成為八角形。又，若角度為60°且具有6個撓曲部，平面部的長度相等，則側面觀看會成為六角形。

如圖1以及圖2所示，捲鐵心10具有在側面視角下具有中空部15之大致矩形狀的積層結構2，前述積層結構2包含在長邊方向上平面部4與撓曲部5交替地接續之方向性電磁鋼板1在板厚方向上堆疊之部分。包含撓曲部5之角落部3在側面視角下具有2個以上具曲線狀的形狀之撓曲部5，且存在於1個角落部3之撓曲部5的每一個的彎曲角度之合計會成為例如90°。角落部3在相鄰的撓曲部5、5之間具

有比前述平面部4更短之平面部4a。從而，角落部3會成為具有2個以上的撓曲部5、與1個以上的平面部4a之形態。再者，圖2的實施形態是1個撓曲部5為45°(在1個角落部3具有2個撓曲部5)。圖3之實施形態是1個撓曲部5為30°(在1個角落部3中具有3個撓曲部5)。

【0028】如這些例子所示，本實施形態之鐵心可藉由具有各種角度之撓曲部來構成，從抑制因加工時之變形所產生之應變來壓抑鐵損之點來看，撓曲部5的彎曲角度 φ ($\varphi 1$ 、 $\varphi 2$ 、 $\varphi 3$)宜為60°以下，較佳為45°以下。1個鐵心所具有之撓曲部之彎曲角度 φ 可任意地構成。例如，可以設為 $\varphi 1=60^\circ$ 且 $\varphi 2=30^\circ$ 。從生產效率之點來看，彎折角度宜相等，在若減少一定程度以上之變形處的話可以根據所使用之鋼板的鐵損來降低所製作之鐵心的鐵損的情況下，亦可作成不同的角度之組合的加工。可以從在鐵心加工中所重視之要點來任意選擇設計。

【0029】一邊參照圖6一邊進一步詳細地說明撓曲部5。圖6是示意地顯示方向性電磁鋼板1的撓曲部(曲線部分)5之一例的圖。所謂撓曲部5的彎曲角度，意指在方向性電磁鋼板撓曲部中，在彎折方向之後方側的直線部與前方側的直線部之間所產生的角度差，並且以在方向性電磁鋼板1外表面將夾著撓曲部5之兩側的作為平面部4的表面的直線部分延長而獲得之2條假想線Lb-延長線1(Lb-elongation1)、Lb-延長線2(Lb-elongation2)所成之角的補角的角度 φ 來表示。此時，延長之直線從鋼板表面脫離之點為平面部與撓曲部在鋼板外表面側的表面上之交界，於圖6中為點F以及點G。並且，2條假想線Lb-延長線1(Lb-elongation1)、Lb-延長線2(Lb-elongation2)之交點為點B。

【0030】此外，將從點F以及點G的每一點使垂直於鋼板外表面之直線延長而和鋼板內表面側的表面之交點各自設為點E以及點D。此點E以及點D為平面部4與撓曲部5在鋼板內表面側的表面上之交界。

並且，在本發明中，所謂撓曲部5是在方向性電磁鋼板1的側面視角下，被

上述點D、點E、點F、點G所包圍之方向性電磁鋼板1的部位。在圖6中，是將點D與點E之間的鋼板表面、亦即撓曲部5的內側表面設為La來表示，並將點F與點G之間的鋼板表面、亦即撓曲部5的外側表面設為Lb來表示。

【0031】 又，在此圖中顯示有撓曲部5在側面視角下之內表面側曲率半徑 r 。藉由以通過點E以及點D之圓弧來近似上述La，可獲得撓曲部5的曲率半徑 r 。曲率半徑 r 越小，撓曲部5的曲線部分的彎曲會越險急，曲率半徑 r 越大，撓曲部5的曲線部分的彎曲會變得越平緩。

在本發明之捲鐵心中，在板厚方向上積層之各方向性電磁鋼板1的各撓曲部5中的曲率半徑 r 亦可為具有某程度的變動之曲率半徑。此變動亦可為因成形精度所引起之變動，可考慮為在積層時的處理等中發生非預期之變動。像這樣的非預期之誤差，只要是現在之一般的工業的製造，即可抑制到0.2mm左右以下。在像這樣的變動較大的情況下，可藉由針對充分地大量的鋼板測定曲率半徑並進行平均來獲得代表之值。又，亦可考慮為因為某種理由而刻意地使其改變，本發明並未排除那樣的形態。

【0032】 再者，對撓曲部5的曲率半徑 r 之測定方法亦無特別限制，可以藉由例如使用市售的顯微鏡(Nikon ECLIPSE LV150)在200倍下進行觀察來測定。具體而言，是從觀察結果求出曲率中心A點，作為此求出方式可為例如：若將使線段EF與線段DG朝和點B為相反側之內側延長後之交點規定為A，將已在跟前連結了點A與點B時和鋼板內表面側之交點(圓弧La上之點)規定為C，則曲率半徑 r 的大小相當於線段AC之長度。

【0033】 圖4以及圖5是示意地顯示在捲鐵心本體中的1層份的方向性電磁鋼板1之一例的圖。在圖4以及圖5之例中所使用之方向性電磁鋼板1是為了實現C形鐵芯形態之捲鐵心之經彎折加工之電磁鋼板，且具有2個以上的撓曲部5、與平面部4，並透過1個以上的方向性電磁鋼板1的長邊方向(圖中X方向)端面的

接合部6來形成在側面視角下呈大致多角形之環。

在本實施形態中，捲鐵心本體只要側面觀看呈具有大致多角形狀之積層結構來作為整體即可。亦可如圖4之例所示地為以下之構成：1片方向性電磁鋼板透過1個接合部6構成捲鐵心本體的1層份(在每一圈透過1處接合部6來連接1片方向性電磁鋼板)，亦可如圖5之例所示地為以下之構成：1片方向性電磁鋼板1構成捲鐵心的大約半圈份，且2片方向性電磁鋼板1透過2個接合部6來構成捲鐵心本體的1層份(在每一圈透過2處接合部6來將2片方向性電磁鋼板相互連接)。

【0034】 在本實施形態中所使用之方向性電磁鋼板1的板厚並無特別限定，只要因應用途等來合宜選擇即可，通常是在0.15mm~0.35mm之範圍內，較佳是0.18mm~0.27mm之範圍。

【0035】 又，製造方向性電磁鋼板之方法並無特別限定，可以合宜選擇以往習知之方向性電磁鋼板之製造方法。作為製造方法之較佳的具體例，可列舉例如以下方法：在將扁胚加熱到1000°C以上進行熱軋延之後，因應於需求進行熱軋板退火，接著，藉由1次的冷軋或間隔著中間退火之2次以上的冷軋來做成冷軋鋼板，並將該冷軋鋼板在例如濕氫-非活性氣體環境中加熱至700~900°C進行脫碳退火，且因應於需求進一步進行氮化退火，在塗佈退火分離劑之後，在1000°C左右進行精加工退火，並在900°C左右形成絕緣被膜，其中前述扁胚是將C設為0.04~0.1質量%且其他具有上述方向性電磁鋼板之化學組成之扁胚。此外，在之後亦可實施用於調整摩擦係數之塗裝等。

又，一般而言，即使是在例如鋼板之製造步驟中以習知方法施行稱為「磁域控制」之處理後的鋼板也可以享受本發明效果，其中前述「磁域控制」是應用雷射照射、電子光束照射、珠擊法(shot peening)、超音波振動法、以刀具等金屬或陶瓷片等刻劃鋼板表面之機械加工法、對鋼板表面之離子注入法、摻雜(doping)法、放電加工法、組合了鍍敷與熱處理之方法等，而將應變或溝等導入。

【0036】又，在本實施形態中，由具備如以上之形態的方向性電磁鋼板1所構成之捲鐵心(捲鐵心本體10)是藉由將個別地彎折加工後之方向性電磁鋼板1堆疊成層狀並組裝成捲繞形狀，而形成為具有4個包含撓曲部5之角落部3的矩形狀，且在每一圈透過至少1處接合部6來將複數片方向性電磁鋼板1相互連接，各角落部3的由撓曲部5所形成之彎曲角度的合計是成為90度。在此情況下，可藉由如前述之圖13(b)所示，將各方向性電磁鋼板1的對應之撓曲部5彼此在板厚方向上堆疊成層狀，而形成1個撓曲區域5A(亦參照圖2)。並且，像這樣的捲鐵心(捲鐵心本體10)之特徵在於：在其側面視角下，針對具有複數個的角落部3的撓曲區域5A當中的至少任意1個，在本實施形態中尤其是針對所有的撓曲區域5A，如圖12所示，將堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板1當中位於最內側之方向性電磁鋼板1b中的沿著平面部4的內側表面延伸到角落部3之延伸線L'3、與沿著形成角落部3之撓曲部5、5之間的平面部4a的內側表面延伸之延伸線L'4的交點設為P，將堆疊成層狀之複數個方向性電磁鋼板1當中位於最外側之方向性電磁鋼板1a中的沿著平面部4的外側表面延伸到角落部3之延伸線L'1、與沿著形成角落部3之撓曲部5、5之間之平面部4a的外側表面延伸之延伸線L'2的交點設為Q，將通過點P並且朝相對於延伸到角落部3之各方向性電磁鋼板1的延伸方向呈垂直之方向延伸之直線L'5，和最外側之方向性電磁鋼板1a的外側表面相交之點設為R時，直線PQ與PR所成之角度 θ 滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 。藉此，捲鐵心在角落部3之厚度T2相對於捲鐵心在平面部4之固定的厚度(積層厚度)T會變得較大，而形成為角落部3朝外側膨起，以約束在捲鐵心中流動之磁通 Φ 。再者，針對點P、Q、R之更具體之求出方式，由於和圖13相關連且已說明，因此在此不重複說明。

【0037】為了像這樣地以滿足 $23^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ 之方式來將各方向性電磁鋼板1彎折並組裝成捲繞形狀，宜在每一圈使各方向性電磁鋼板1的長度(長邊方向的

尺寸)改變。具體而言，是將在堆疊成層狀之板厚 t 的複數個各方向性電磁鋼板1當中位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片(m 為1~ $M-1$ 之整數。 M 表示最外層之方向性電磁鋼板)之方向性電磁鋼板1的長度控制成：比最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更加長相當於為 m 、 θ 、板厚 t 之函數的預定的大小。在此情況下，第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板1會變得比第 m 片之方向性電磁鋼板1更長。亦即，形成角落部3之撓曲部5之間的平面部4a呈越朝向外側就變得越長。藉此，變得容易進行積層方向性電磁鋼板之作業。亦即，變得易於將第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板嵌入第 m 片之方向性電磁鋼板的外側。將可進行像那樣的控制之彎折加工機52之一例顯示於圖7。

【0038】如圖7(a)所示，可藉由從作為鋼板供給部之開卷機(decoiler)75以預定的搬送速度來將方向性電磁鋼板1送出而供給至此彎折加工機52，前述開卷機75用以保持已將方向性電磁鋼板1捲繞成捲狀而形成之箍(hoop)材。如此進行而供給之方向性電磁鋼板1是在彎折加工機52中，以合宜裁切成適當的尺寸，並且1片接1片這樣的方式，來接受對每少數片個別地進行彎折之彎折加工。具體而言，如圖7(b)所示，彎折加工機52具有：進料輥55，將所供給之方向性電磁鋼板1以從上下夾入的方式來保持並且送出；截斷機(guillotine)56，將如此進行而進料之方向性電磁鋼板1裁切成適當的尺寸；及撓曲形成部60，將經裁切之方向性電磁鋼板1彎折來形成撓曲部5。撓曲形成部60具有：衝模59，從下側支撐方向性電磁鋼板1；墊件(pad)57，從上側按壓衝模59上之方向性電磁鋼板1；及衝頭58，如虛線箭頭所示地以預定的加工速度朝下方壓下預定量，藉此將從衝模59突出之方向性電磁鋼板1的自由端彎折來形成撓曲部5。並且，在本實施形態中，是使用像這樣的彎折加工機52，藉由按每1圈來改變方向性電磁鋼板1的進料長度(例如做成改變進料輥55的進料速度等)，而按每一圈改變各方向性電磁鋼板1的長度(長邊方向之尺寸)，且進行成滿足前述之 $23^\circ \leq \theta$

$\leq 50^\circ$ ，而變得可獲得如圖12所示之朝外側膨起之角落部3。

【0039】像那樣的鋼板1的長度控制，是例如以如以下之方式進行。亦即，如圖9所示，在1個角落部3具有2個撓曲區域5A(各鋼板1藉由2個撓曲部5來形成1個角落部3)的情況下，若將1片鋼板1的厚度設為 t (在此，是設為所有的鋼板1的厚度 t 為相同)，在1個角落部3中，從位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度，在幾何上會變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $2 \times (x+y)$ 。從而，若考慮角落部3有4個(在此，是設為全部的角落部3具有相同的形狀(θ 為相同))，則在鐵心整體中，從位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度，在幾何上會變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $8 \times (x+y)$ 。

【0040】在此，若針對 $(x+y)$ 而考慮於1邊具有 x 之三角形PMN、以及於1邊具有 y 之三角形PNS時，將1個角落部3中的撓曲區域5A的數量設為 n 、 $\angle SPN = \alpha$ 、將線段PN的長度設為 z ，則以下會成立：

$$\theta' = (\pi / 180) \theta$$

$$x = m \times t \times \tan \theta'$$

$$y = z \times \sin \alpha$$

在此，由於為：

$$\cos \theta' = mt/z$$

$$\alpha = (\pi / 2n) - \theta'$$

所以會成為：

$$y = z \times \sin \alpha = mt \times \sin((\pi / 2n) - \theta') / \cos \theta'$$

從而，在圖9中，由於 $n=2$ ，所以將從位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度控制成變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $8 \times (x+y) = 8 \times mt (\tan \theta' + \sin((\pi / 4) - \theta') / \cos \theta')$ ，來形成為滿

足 $23^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ 。不過，在 $m=1$ 的情況下(所著眼之方向性電磁鋼板1成為方向性電磁鋼板1b的情況)，方向性電磁鋼板1的長度可任意地決定。

【0041】另一方面，如圖10所示，即使在1個角落部3具有3個撓曲區域5A(各鋼板1藉由3個撓曲部5來形成1個角落部3)的情況下，若將1片鋼板1之厚度設為 t ，則在1個角落部3中，從位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度，在幾何上會變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $2 \times (x+y)$ 。從而，若考慮到角落部3具有4個之情形，則在鐵心整體中，從位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度，在幾何上會變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $8 \times (x+y)$ 。

【0042】在此，若針對 $(x+y)$ 而考慮於1邊具有 x 之三角形PMN、以及於1邊具有 y 之三角形VWZ時，將1個角落部3中的撓曲區域5A的數量設為 n 、 $\angle ZVW = \alpha$ 、將線段PN的長度為 z ，則以下會成立：

$$\theta' = (\pi / 180) \theta$$

$$x = m \times t \times \tan \theta'$$

$$y = z \times \tan \alpha$$

在此，由於為：

$$\cos \theta' = mt/z$$

$$\alpha = \pi / 4n,$$

所以會成為：

$$y = z \times \tan \alpha = m \times t \times \tan(\pi / 4n) / \cos \theta'。$$

從而，在圖10中，由於 $n=3$ ，所以將位於最內側之方向性電磁鋼板1b起算積層於外側第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度控制成變得比位於最內側之方向性電磁鋼板1b的長度更長 $8 \times (x+y) = 8 \times m \times t (\tan \theta' + \tan(\pi / 12) / \cos \theta')$ ，來形成為滿足 23°

$\leq \theta \leq 50^\circ$ 。不過，在 $m=1$ 的情況下(所著眼之方向性電磁鋼板1成為方向性電磁鋼板1b的情況)，方向性電磁鋼板1的長度可任意地決定。

【0043】 在此，雖然在上述之例子中，是對第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度以幾何的方式來決定，但亦可藉由其他方法來決定第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度。例如，亦可在將第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度與第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板1的長度之差分為 ΔL_m ，並且將針對所有的 m 將 ΔL_m 平均後之值設為 $\langle \Delta L \rangle$ 時，以使 $\langle \Delta L \rangle$ 滿足以下之數式(1)的方式來決定第 m 片之方向性電磁鋼板1的長度。不過，在 $m=1$ 的情況下(所著眼之方向性電磁鋼板1成為方向性電磁鋼板1b的情況)，方向性電磁鋼板1的長度可任意地決定。

$$\langle \Delta L \rangle = 10 \times \{ (\pi \theta / 180)^3 + (\pi \theta / 180) \} \quad (1)$$

在滿足此條件的情況下，捲鐵心的噪音會減少。

【0044】 又，於圖8以方塊圖概略地顯示有可進行伴隨如以上之鋼板長度控制以及彎折加工之捲鐵心的製造之裝置。圖8概略地顯示有形成C形鐵芯之形態的捲鐵心之製造裝置70，此製造裝置70具備有個別地對方向性電磁鋼板1進行彎折加工之彎折加工部71，又，亦可具備有組裝部72，前述組裝部72藉由將經彎折加工之方向性電磁鋼板1堆疊成層狀並組裝成捲繞形狀，而形成包含方向性電磁鋼板1在板厚方向上堆疊之部分的捲繞形狀之捲鐵心，前述方向性電磁鋼板1為在長邊方向上平面部4與撓曲部5交替地接續之電磁鋼板。

【0045】 如前述，可藉由從開卷機75以預定的搬送速度來將方向性電磁鋼板1送出而供給至彎折加工部71，前述開卷機75用以保持已將方向性電磁鋼板1捲繞成捲狀而形成之捲材。如此進行而供給之方向性電磁鋼板1是在彎折加工部71中，以合宜裁切成適當的尺寸，並且1片接1片這樣的方式，來接受對每少數片個別地進行彎折之彎折加工。在如此進行而獲得之方向性電磁鋼板1中，因為以彎折加工所產生之撓曲部5的曲率半徑會變得極小，所以成為藉由彎折

加工而對方向性電磁鋼板1所賦與之加工應變會極小之構成。像這樣，只要可以設想為加工應變之密度增大，另一方面讓具有加工應變的影響之體積變小，便可省略退火步驟。

【0046】 又，彎折加工部71包含伴隨如前述之鋼板長度控制以及彎折加工之彎折加工機52。

【0047】 (實施例)

以下，將列舉本發明之實施例，並且進一步說明本發明之技術內容。以下所示之實施例中的條件是為了確認本發明的可實施性以及效果而採用之條件例，本發明並非限定於此條件例之發明。又，本發明只要不脫離本發明的要旨，且能達成本發明之目的，為可採用各種條件之發明。

在此實施例中，使用表1所示之方向性電磁鋼板(鋼種(鋼板編號)A~E)來製作表2所示之鐵心，並測定了鐵心特性。將詳細的製造條件以及特性顯示於表3A~3C。

【0048】 具體而言，在表1是針對各鋼種A~E而顯示有方向性電磁鋼板的板厚(mm)以及磁特性。方向性電磁鋼板的磁特性是依據在JIS C 2556：2015所規定之單板磁特性試驗法(Single Sheet Tester：SST)來進行測定。作為磁特性，測定了以800A/m激磁時的鋼板的軋延方向之磁通密度B8(T)，並進一步測定了在交流頻率：50Hz、激磁磁通密度：1.7T下之鐵損(W/kg)。

【0049】 [表1]

鋼種	製品板厚	特性	
		B8	鐵損
	mm	T	W/kg
A	0.30	1.900	0.87
B	0.23	1.900	0.75
C	0.20	1.900	0.65
D	0.18	1.900	0.55
E	0.15	1.900	0.45

【0050】又，本發明之發明人們將各鋼種A~E當作胚料，製造出具有表2以及圖14所示之形狀的鐵心a-1,a-2,b-1,b-2。在此，L1是捲鐵心的一個方向的相互平行之內表面側平面部之間的距離，L2是捲鐵心的另一個方向的相互平行之內表面側平面部之間的距離，L3是捲鐵心的積層厚度，L4是捲鐵心的積層鋼板寬度，L5是捲鐵心的最內部的相互配置成直角之平面部之間的距離，r是捲鐵心的內表面側的撓曲部5的曲率半徑(r未記載於表2中)， φ 是捲鐵心的前述之撓曲部5的彎曲角度。如圖2及圖14所示，大致矩形狀的鐵心a-1在1個角落部3中的撓曲部5的個數為2個，且如圖4所示，在每1圈的接合部6的數量為1個。如圖2及圖14所示，大致矩形狀的鐵心a-2在1個角落部3中的撓曲部5的個數為2個，且如圖5所示，在每1圈的接合部6的數量為2個。如圖3所示，大致矩形狀的鐵心b-1在1個角落部3中的撓曲部5的個數為3個，且如圖4所示，在每1圈的接合部6的數量為1個。如圖3所示，大致矩形狀的鐵心b-2在1個角落部3中的撓曲部5的個數為3個，且如圖5所示，在每1圈的接合部6的數量為2個。

【0051】 [表2]

鐵芯 編號	鐵芯形狀							
	L1	L2	L3	L4	L5	ϕ	1個角落的 撓曲部個數	接合部個數
	mm	mm	mm	mm	mm	°		
a-1	197	66	47	152.4	4	45	2	1
a-2	197	66	47	152.4	4	45	2	2
b-1	197	66	47	152.4	4	30	3	1
b-2	197	66	47	152.4	4	30	3	2

【0052】 並且，如表3A~3C所示，本發明之發明人們針對以各鋼種(鋼板編號)A~E為胚料而製造出之鐵心a-1,a-2,b-1,b-2中的95個試驗品，應用前述之彎折加工法，對角落部3的往外側之突出程度，亦即角度 θ 進行各種改變，並進一步對構成各層之(亦即第m片之)方向性電磁鋼板的長度進行各種改變，而依據鐵心的鐵損(W/kg)以及胚料(鋼板)的鐵損(W/kg)對鐵損比(=鐵心鐵損/胚料鐵損)進行了測定並評價。在評價中，D表示鐵損比為1.25以上，C表示鐵損比為1.17以上且在1.24以下，B表示鐵損比為1.15以上且在1.16以下，A表示鐵損比為1.14以下。

【0053】 並且，藉由以下方法來評價鐵心的噪音。亦即，將鐵心激磁，並測定噪音。此噪音測定是在背景噪音為16dBA之消音室內，將噪音計設置在距離鐵心表面0.3m之位置，並使用A特性作為聽覺校正來進行。又，關於激磁，是將頻率設為50Hz且將磁通密度設為1.7T。將結果顯示於表3A~3C。

【0054】 在表3A~3C中，在試驗編號2-a、5-a、6-a、7-a、14-a、15-a、17-a、20-a、21-a、25-a、27-a、30-a、32-a、35-a、37-a、39-a、42-a、45-a、47-a、48-a、49-a、50-a、51-a、52-a、54-a、57-a、59-a、64-a中，將第m片之方向性電磁鋼板的長度以幾何的方式(亦即如圖9所示)來決定。在其他試驗編號中，以滿足數式(1)之方式來決定第m片之方向性電磁鋼板的長度。亦即，求出

第 m 片之方向性電磁鋼板的長度與第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板的長度之差分的總平均值 $\langle \Delta L \rangle$ ，並以使 $\langle \Delta L \rangle$ 滿足數式(1)的方式來調整第 m 片之方向性電磁鋼板的長度 L_m 。將結果顯示於表3A~3C。

【0055】為了使各方向性電磁鋼板(第 m 片方向性電磁鋼板)的長邊方向的長度 L_m 成為所期望之值，必須在上述之製造裝置70中控制進料長度來事先設定為目標之長度。另一方面，可以藉由從已完成之C形鐵芯抽出第 m 片之方向性電磁鋼板，並如以下地求出該方向性電磁鋼板的長邊方向的長度 $L_m(\text{cm})$ ，來評價方向性電磁鋼板的長度 L_m 。

【0056】首先，測定從C形鐵芯抽出之第 m 片與第 $(m+1)$ 片之2片方向性電磁鋼板的重量。測定是使用上皿天平(島津製作所製，UP1023X)，來測定每1片的到小數點第3位為止之重量 $K(\text{g})$ 。其次，用尺測定方向性電磁鋼板的寬度 $w(\text{cm})$ 。這個測定是設為到小數第1位為止。最後，作為該方向性電磁鋼板之厚度 t ，是以上述之方法來求出。然後，使用 $7.65\text{g}/\text{cm}^3$ 作為鐵的密度，由以下求出第 m 片之方向性電磁鋼板的長度 L_m 。第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板的長度 L_{m+1} 也是以同樣的方法來求出。

$$L_m = K / (7.65 \times w \times t)$$

其次，藉由以下之數式來求出第 m 片之方向性電磁鋼板的長度 L_m 與第 $(m+1)$ 片之方向性電磁鋼板的長度 L_{m+1} 之差分 ΔL_m 。

$$\Delta L_m(\text{mm}) = 10 * (L_{m+1} - L_m)$$

【0057】如此進行，從最內側之方向性電磁鋼板($m=1$)求出1片外側之方向性電磁鋼板的長度之差分 ΔL_1 、1片外側之方向性電磁鋼板($m=2$)的長度與2片外側之方向性電磁鋼板的長度之差分 ΔL_2 ，並同樣地對 ΔL_3 、 ΔL_4 、 \dots 到 ΔL_{M-1} 最外側為止來將其值求出。其中， M 是指最外側的積層片數。然後，將這些平均後之值設為總平均值 $\langle \Delta L \rangle$ 。

【0058】 [表3A]

試驗 編號	鋼板 編號	板厚 (mm)	鐵芯 編號	角度 θ (°)	$\langle\Delta L\rangle$ (mm)	胚料 鐵損 (W/kg)	鐵心 鐵損 (W/kg)	鐵損比 (=鐵心鐵損/ 胚料鐵損)	噪音 (dB)	評價
1	A	0.3	a-1	22.5	1.3598	0.87	1.096	1.26	56	D
2	A	0.3	a-1	23.0	1.3983	0.87	1.079	1.24	48	C
2-a	A	0.3	a-1	23.0	1.9954	0.87	1.079	1.24	56	C
3	A	0.3	a-1	26.0	1.6417	0.87	1.035	1.19	48	C
4	A	0.3	a-1	28.0	1.8162	0.87	1.018	1.17	45	C
5	A	0.3	a-1	30.0	2.0014	0.87	0.992	1.14	42	A
5-a	A	0.3	a-1	30.0	2.1029	0.87	0.992	1.14	56	A
6	A	0.3	a-1	31.5	2.1479	0.87	0.974	1.12	42	A
6-a	A	0.3	a-1	31.5	2.1278	0.87	0.974	1.12	56	A
7	A	0.3	a-1	33.0	2.3011	0.87	0.992	1.14	42	A
7-a	A	0.3	a-1	33.0	2.1536	0.87	0.992	1.14	56	A
8	A	0.3	a-1	35.5	2.5723	0.87	1.001	1.15	45	B
9	A	0.3	a-1	37.0	2.7452	0.87	1.001	1.15	45	B
10	A	0.3	a-1	39.0	2.9882	0.87	1.009	1.16	45	B
11	A	0.3	a-1	40.5	3.1801	0.87	1.027	1.18	48	C
12	A	0.3	a-1	43.0	3.5196	0.87	1.018	1.17	48	C
13	A	0.3	a-1	44.0	3.6625	0.87	1.018	1.17	48	C
14	A	0.3	a-1	44.5	3.7355	0.87	1.001	1.15	45	B
14-a	A	0.3	a-1	44.5	2.3878	0.87	1.001	1.15	56	B
15	A	0.3	a-1	45.0	3.8096	0.87	0.992	1.14	42	A
15-a	A	0.3	a-1	45.0	2.4000	0.87	0.992	1.14	56	A
16	B	0.23	a-1	22.5	1.0425	0.75	0.945	1.26	56	D
17	B	0.23	a-1	30.0	1.5344	0.75	0.855	1.14	42	A
17-a	B	0.23	a-1	30.0	1.6122	0.75	0.855	1.14	56	A
18	B	0.23	a-1	31.5	1.6467	0.75	0.840	1.12	42	A
19	B	0.23	a-1	44.0	2.8079	0.75	0.878	1.17	48	C
20	B	0.23	a-1	44.5	2.8639	0.75	0.863	1.15	45	B
20-a	B	0.23	a-1	44.5	1.8307	0.75	0.863	1.15	56	B
21	B	0.23	a-1	45.0	2.9207	0.75	0.855	1.14	42	A
21-a	B	0.23	a-1	45.0	1.8400	0.75	0.855	1.14	56	A
23	C	0.2	a-1	22.5	0.9065	0.65	0.819	1.26	56	D
24	C	0.2	a-1	30.0	1.3343	0.65	0.728	1.12	42	A
25	C	0.2	a-1	31.5	1.4319	0.65	0.722	1.11	42	A
25-a	C	0.2	a-1	31.5	1.4185	0.65	0.722	1.11	56	A
26	C	0.2	a-1	44.0	2.4417	0.65	0.748	1.15	45	B
27	C	0.2	a-1	45.0	2.5397	0.65	0.741	1.14	45	A

【0059】 [表3B]

試驗編號	鋼板編號	板厚 (mm)	鐵芯編號	角度 θ (°)	$\langle \Delta L \rangle$ (mm)	胚料鐵損 (W/kg)	鐵心鐵損 (W/kg)	鐵損比 (=鐵心鐵損/胚料鐵損)	噪音 (dB)	評價
27-a	C	0.2	a-1	45.0	1.6000	0.65	0.741	1.14	56	A
28	D	0.18	a-1	22.5	0.8159	0.55	0.693	1.26	56	D
29	D	0.18	a-1	31.5	1.2887	0.55	0.616	1.12	42	A
29-a	D	0.18	a-1	31.5	1.2767	0.55	0.616	1.12	56	A
30	D	0.18	a-1	45.0	2.2858	0.55	0.627	1.14	42	A
30-a	D	0.18	a-1	45.0	1.4400	0.55	0.627	1.14	56	A
31	E	0.15	a-1	22.5	0.6799	0.45	0.563	1.25	56	D
32	E	0.15	a-1	31.5	1.0739	0.45	0.500	1.11	42	A
32-a	E	0.15	a-1	31.5	1.0639	0.45	0.500	1.11	56	A
33	E	0.15	a-1	45.0	1.9048	0.45	0.513	1.14	42	A
34	B	0.23	a-2	22.5	1.0425	0.75	0.953	1.27	56	D
35	B	0.23	a-2	31.5	1.6467	0.75	0.848	1.13	42	A
35-a	B	0.23	a-2	31.5	1.6313	0.75	0.848	1.13	56	A
36	B	0.23	a-2	45.0	2.9207	0.75	0.870	1.16	45	B
37	B	0.23	b-1	50.0	3.5356	0.75	0.893	1.19	48	C
37-a	B	0.23	b-1	50.0	2.9598	0.75	0.893	1.19	56	C
38	B	0.23	b-1	28.5	1.4271	0.75	0.870	1.16	45	B
39	C	0.2	b-1	30.5	1.3663	0.65	0.741	1.14	42	A
39-a	C	0.2	b-1	30.5	1.4400	0.65	0.741	1.14	56	A
40	C	0.2	b-1	22.5	0.9065	0.65	0.826	1.27	56	D
41	E	0.15	b-1	26.0	0.8208	0.45	0.527	1.17	48	C
42	A	0.3	b-1	31.5	2.1479	0.87	0.983	1.13	42	A
42-a	A	0.3	b-1	31.5	2.2249	0.87	0.983	1.13	56	A
43	D	0.18	b-1	44.0	2.1975	0.55	0.633	1.15	45	B
44	A	0.3	b-2	45.0	3.8096	0.87	1.009	1.16	45	B
45	C	0.2	b-2	30.5	1.3663	0.65	0.735	1.13	42	A
45-a	C	0.2	b-2	30.5	1.4400	0.65	0.735	1.13	56	A
46	D	0.18	b-2	23.0	0.8390	0.55	0.682	1.24	48	C
47	B	0.23	b-1	50.0	3.5356	0.75	0.930	1.24	48	C
47-a	B	0.23	b-1	50.0	2.0572	0.75	0.930	1.24	56	C
48	C	0.2	b-1	50.0	3.0745	0.65	0.735	1.13	42	A
48-a	C	0.2	b-1	50.0	1.7712	0.65	0.735	1.13	56	A
49	D	0.18	b-1	50.0	2.7670	0.55	0.633	1.15	45	B
49-a	D	0.18	b-1	50.0	1.5805	0.55	0.633	1.15	56	B
50	B	0.23	b-2	50.0	3.5356	0.75	0.930	1.24	48	C
50-a	B	0.23	b-2	50.0	2.0572	0.75	0.930	1.24	56	C

【0060】 [表3C]

試驗編號	鋼板編號	板厚(mm)	鐵芯編號	角度 θ ($^{\circ}$)	$\langle\Delta L\rangle$ (mm)	胚料鐵損(W/kg)	鐵心鐵損(W/kg)	鐵損比(=鐵心鐵損/胚料鐵損)	噪音(dB)	評價
51	B	0.23	b-1	60.0	5.0498	0.75	0.938	1.25	56	D
51-a	B	0.23	b-1	60.0	2.6693	0.75	0.938	1.25	56	D
52	B	0.23	b-1	70.0	7.0042	0.75	0.938	1.25	56	D
52-a	B	0.23	b-1	70.0	3.8197	0.75	0.938	1.25	56	D
53	B	0.23	b-1	80.0	9.4722	0.75	0.938	1.25	56	D
54	B	0.23	b-1	89.5	12.3593	0.75	0.938	1.25	56	D
54-a	B	0.23	b-1	89.5	130.5238	0.75	0.938	1.25	56	D
55	C	0.2	b-1	60.0	4.3912	0.65	0.813	1.25	56	D
56	C	0.2	b-1	89.5	10.7472	0.65	0.813	1.25	56	D
57	D	0.18	b-1	60.0	3.9520	0.55	0.688	1.25	56	D
57-a	D	0.18	b-1	60.0	1.9765	0.55	0.688	1.25	56	D
58	D	0.18	b-1	70.0	5.4816	0.55	0.688	1.25	56	D
59	D	0.18	b-1	80.0	7.4130	0.55	0.688	1.25	56	D
59-a	D	0.18	b-1	80.0	4.8636	0.55	0.688	1.25	56	D
60	D	0.18	b-1	89.5	9.6725	0.55	0.688	1.25	56	D
61	B	0.23	b-2	70.0	7.0042	0.75	0.938	1.25	56	D
62	B	0.23	b-2	80.0	9.4722	0.75	0.938	1.25	56	D
63	C	0.2	b-2	60.0	4.3912	0.65	0.813	1.25	56	D
64	C	0.2	b-2	70.0	6.0906	0.65	0.813	1.25	56	D
64-a	C	0.2	b-2	70.0	3.1603	0.65	0.813	1.25	56	D
65	C	0.2	b-2	89.5	10.7472	0.65	0.813	1.25	56	D
66	D	0.18	b-2	80.0	7.4130	0.55	0.688	1.25	56	D
67	D	0.18	b-2	89.5	9.6725	0.55	0.688	1.25	56	D

【0061】 如從表3A~3C所得知的，無論鋼板的厚度、1個角落部3中的撓曲部5的個數、每1圈的接合部6的數量如何，皆可藉由將 θ 設定為 23° 以上且 50° 以下，來將鐵損比抑制在1.24以下(捲鐵心的鐵損已受到抑制)。特別是，若 θ 超過 30° ，鐵損比會成為1.14以下，鐵損已充分地被抑制。

【0062】 此外，還可以藉由以滿足數式(1)的方式來決定總平均值 $\langle\Delta L\rangle$ ，而減少噪音。

【0063】 根據以上的結果可清楚得知，包含本實施形態之本發明的捲鐵心

藉由形成C形鐵芯形態並且滿足 $23^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ ，鐵損劣化會變小。

【符號說明】

【0064】

1,1a,1b:方向性電磁鋼板

2:積層結構

3:角落部

4,4a:平面部

5:撓曲部

5A:撓曲區域

6:接合部

10:捲鐵心(捲鐵心本體)

15:中空部

52:彎折加工機

55:進料輥

56:截斷機

57:墊件

58:衝頭

59:衝模

60:撓曲形成部

70:製造裝置

71:彎折加工部

72:組裝部

75:開卷機

80:磁通

100:紙面

A:曲率中心(點、交點)

AC,DG,EF,PN:線段

B,C,D,E,F,G,M,NP,Q,Q',R,V,W,Z:點(交點)

D1,D2:寬度

L1,L2,L5:距離

L3:積層厚度

L4:積層鋼板寬度

L'1,L'2,L'3,L'4:延伸線

L'5:直線

La:撓曲部的內側表面(圓弧)

Lb:撓曲部的外側表面

PQ,PR:直線

PMN,PNS,VWZ:三角形

r:曲率半徑

t:板厚(電磁鋼板的厚度)

T:捲鐵心在平面部的厚度

T1,T2:捲鐵心在角落部的厚度,

α, θ, θ' :角度

$\varphi, \varphi 1, \varphi 2, \varphi 3$:彎曲角度

x,y:三角形的一邊的長度

z:線段PN的長度

X,Y,Z:方向

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種捲鐵心，在中心具有中空部且包含方向性電磁鋼板在板厚方向上堆疊之部分，前述方向性電磁鋼板是在長邊方向上平面部與撓曲部交替地接續之電磁鋼板，前述捲鐵心藉由將個別地彎折加工後之前述方向性電磁鋼板堆疊成層狀並組裝成捲繞狀態，而形成為具有4個包含前述撓曲部的角落部之矩形狀，且在每一圈透過至少1處接合部來將複數片方向性電磁鋼板相互連接，並使前述各角落部的由前述撓曲部所形成之彎曲角度的合計為90度，前述捲鐵心的特徵在於：

藉由前述各方向性電磁鋼板的對應之撓曲部彼此在板厚方向上堆疊成層狀而形成1個撓曲區域，

在前述捲鐵心的側面視角下，針對具有複數個的前述角落部的前述撓曲區域當中的至少任意1個，若將堆疊成層狀之複數個前述方向性電磁鋼板當中位於最內側之方向性電磁鋼板中的沿著前述平面部的內側表面延伸到前述角落部之延伸線、與沿著形成前述角落部之前述撓曲部之間的前述平面部的內側表面延伸之延伸線的交點設為P，將堆疊成層狀之複數個前述方向性電磁鋼板當中位於最外側之方向性電磁鋼板中的沿著前述平面部的外側表面延伸到前述角落部之延伸線、與沿著形成前述角落部之前述撓曲部之間的前述平面部的外側表面延伸之延伸線的交點設為Q，將通過前述點P並且朝相對於延伸到前述角落部之前述各方向性電磁鋼板的延伸方向呈垂直之方向延伸之直線，和前述最外側之方向性電磁鋼板的外側表面相交之點設為R，直線PQ與直線PR所成之角度 θ 滿足： $23^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ 。

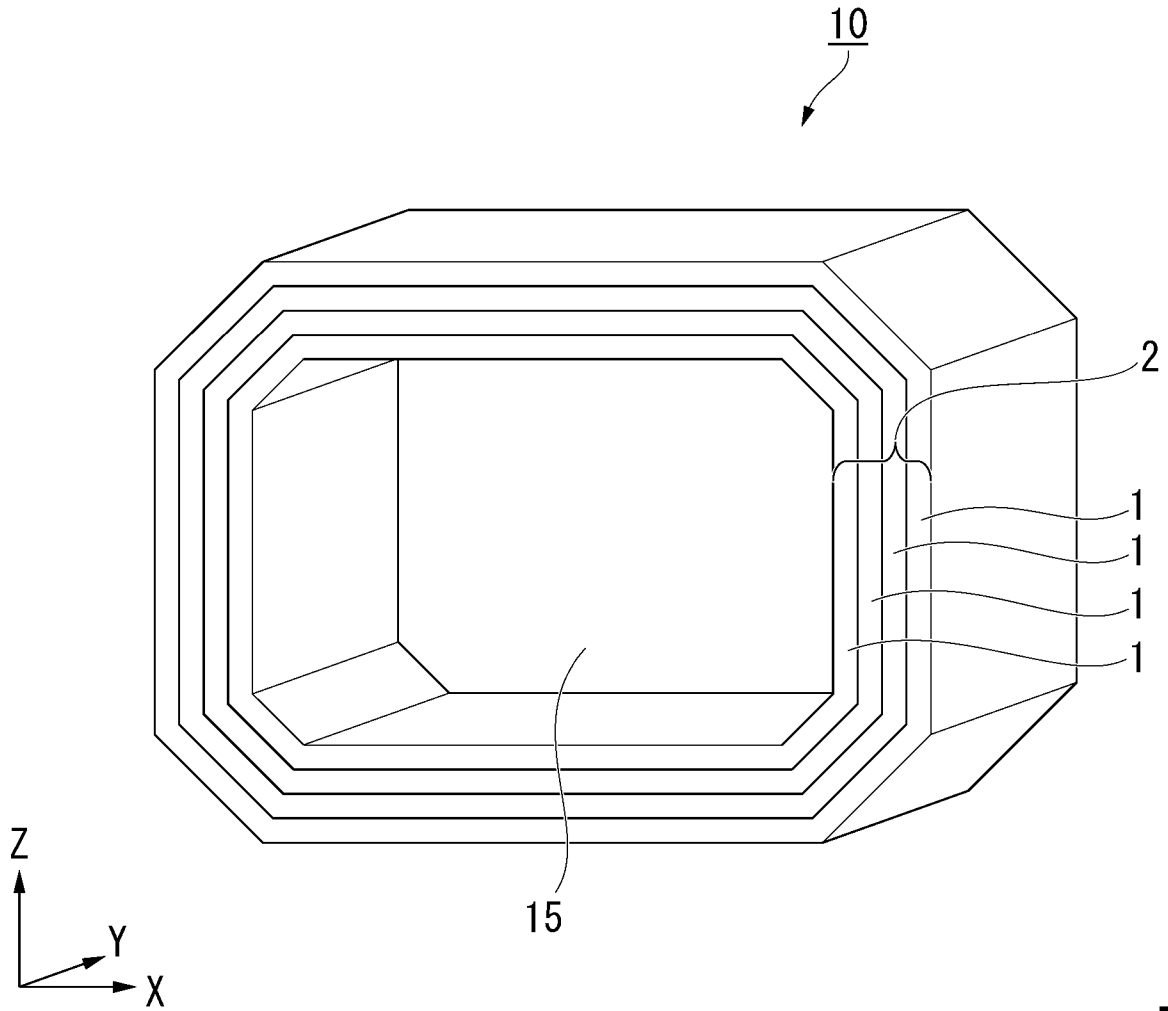
【請求項2】 如請求項1之捲鐵心，其中在對前述捲鐵心的在厚度方向上相鄰的2片前述方向性電磁鋼板進行對比的情況下，形成前述角落部之前述撓曲部之間的前述平面部的長度不同。

【請求項3】 如請求項2之捲鐵心，其中將從位於最內側之前述方向性電磁鋼板開始計數為第m片之前述方向性電磁鋼板的長度與第(m+1)片之方向性電磁鋼板的長度之差分設為 ΔL_m ，並將針對所有的m將 ΔL_m 平均後之值設為 $\langle \Delta L \rangle$ 時， $\langle \Delta L \rangle$ 滿足以下之數式(1)，

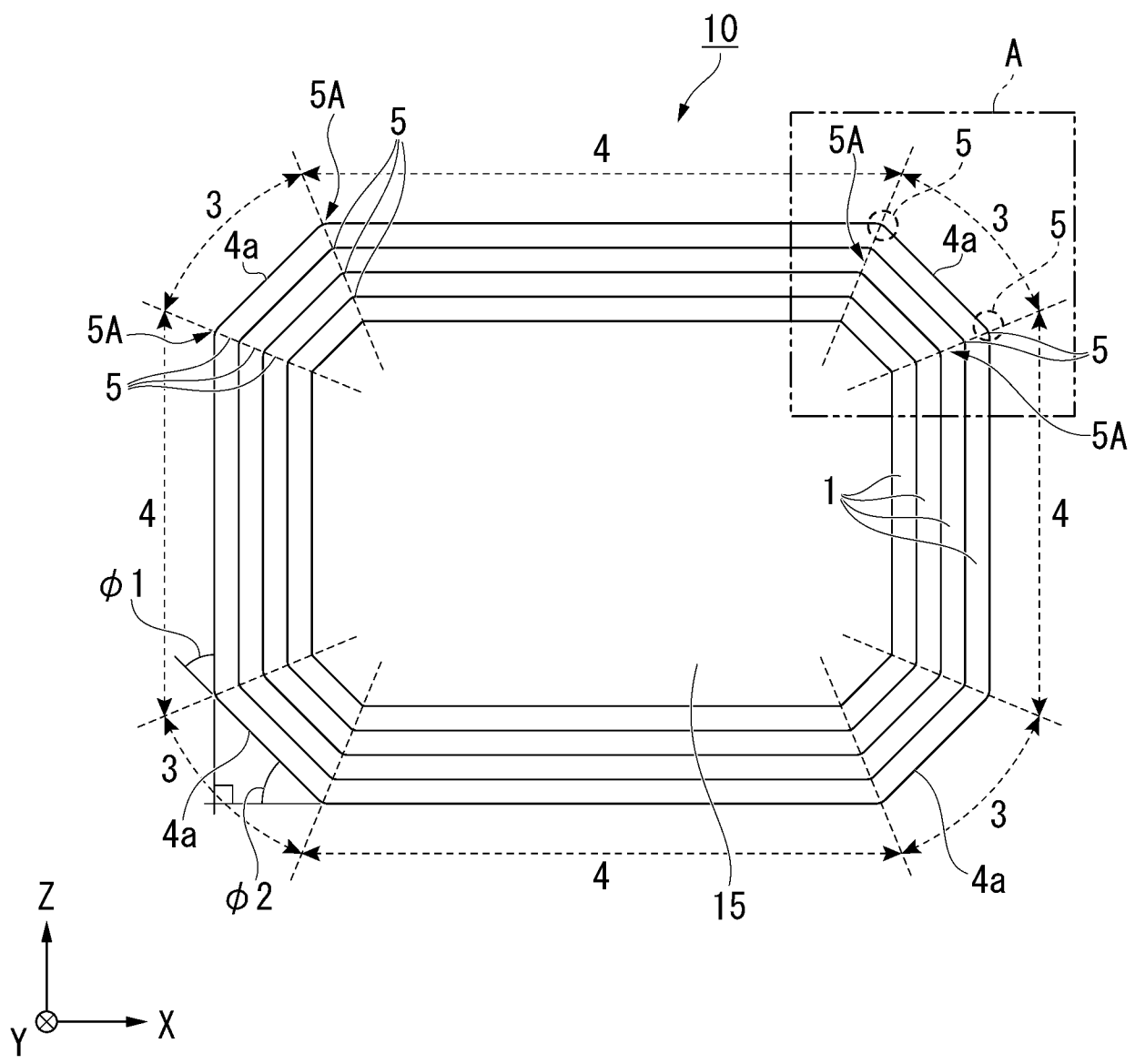
$$\langle \Delta L \rangle = 10 \times t \times \{ (\pi \theta / 180)^3 + (\pi \theta / 180) \} \quad (1)$$

在前述數式(1)中，t是前述各方向性電磁鋼板的厚度。

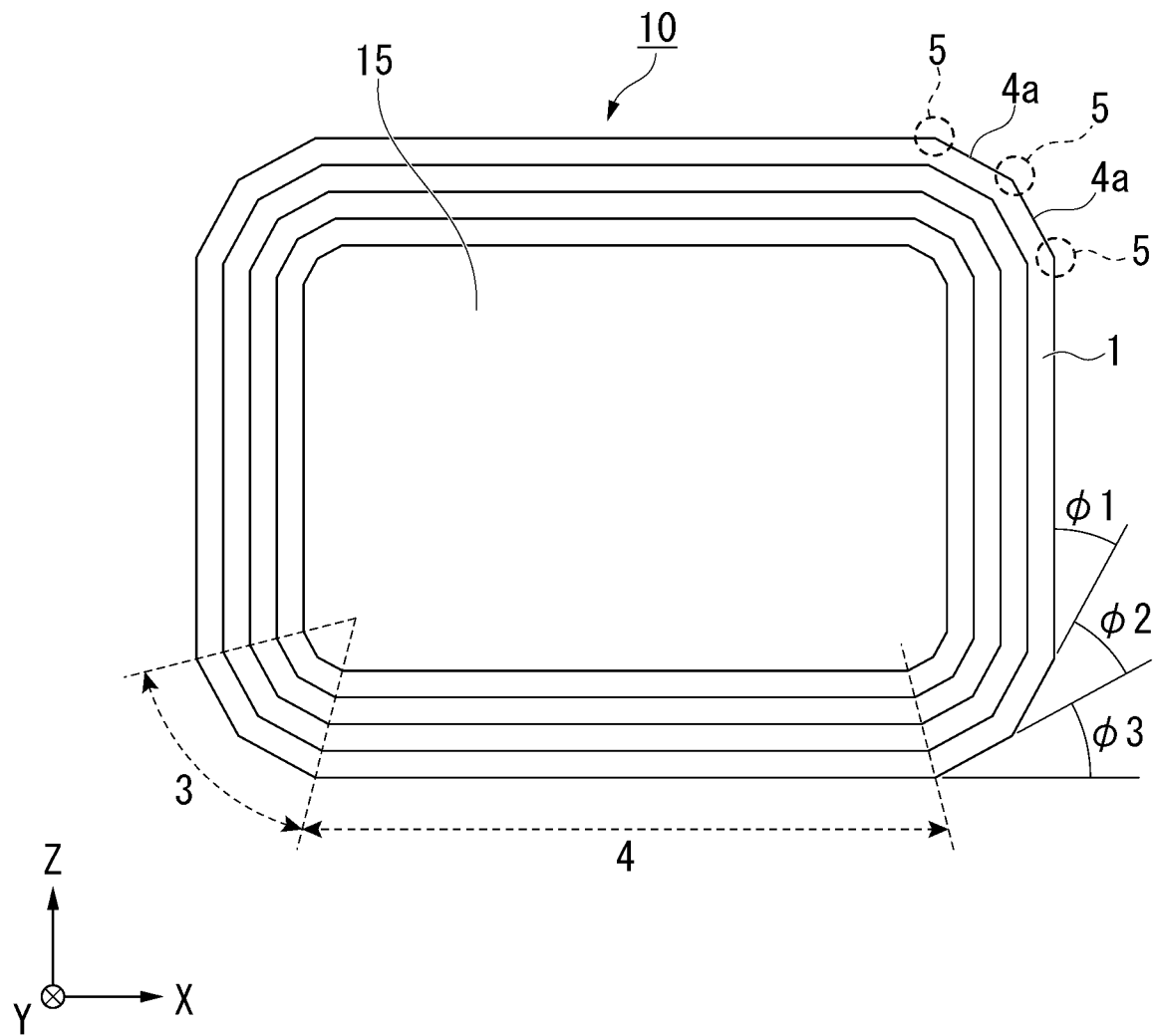
【發明圖式】



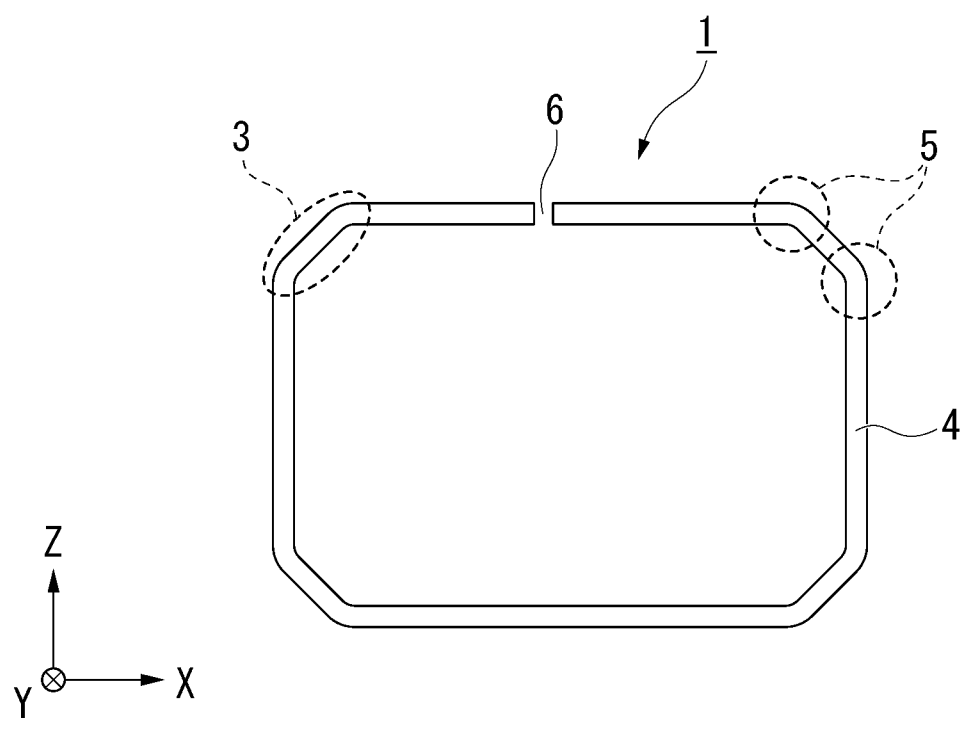
【圖1】



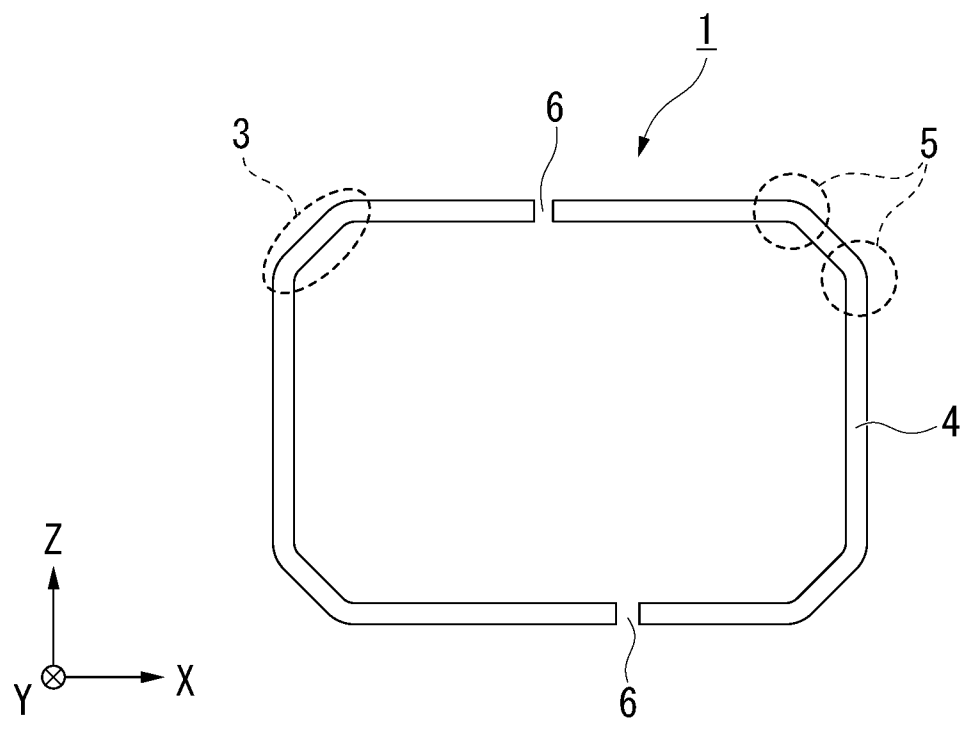
【圖2】



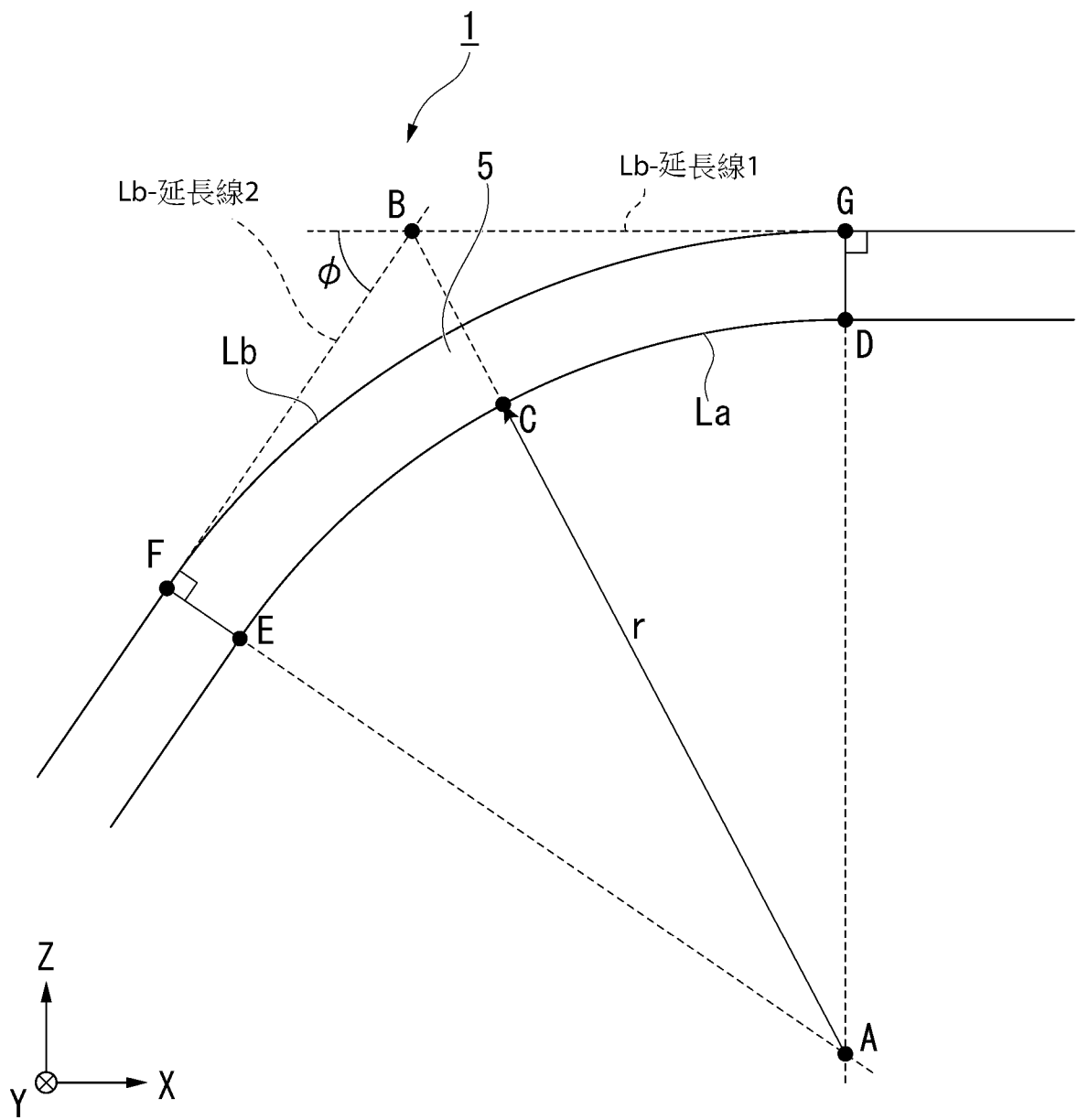
【圖3】



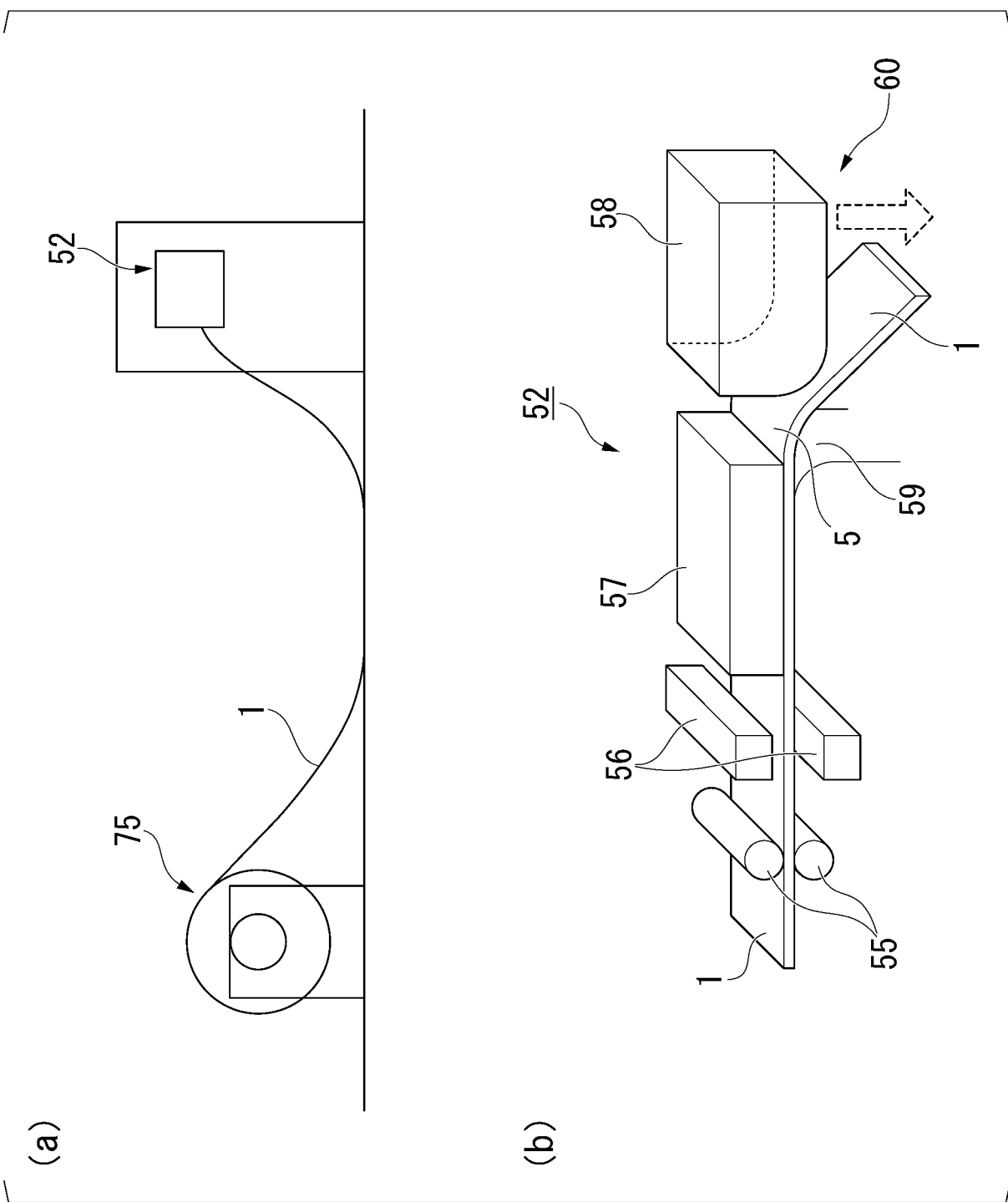
【圖4】



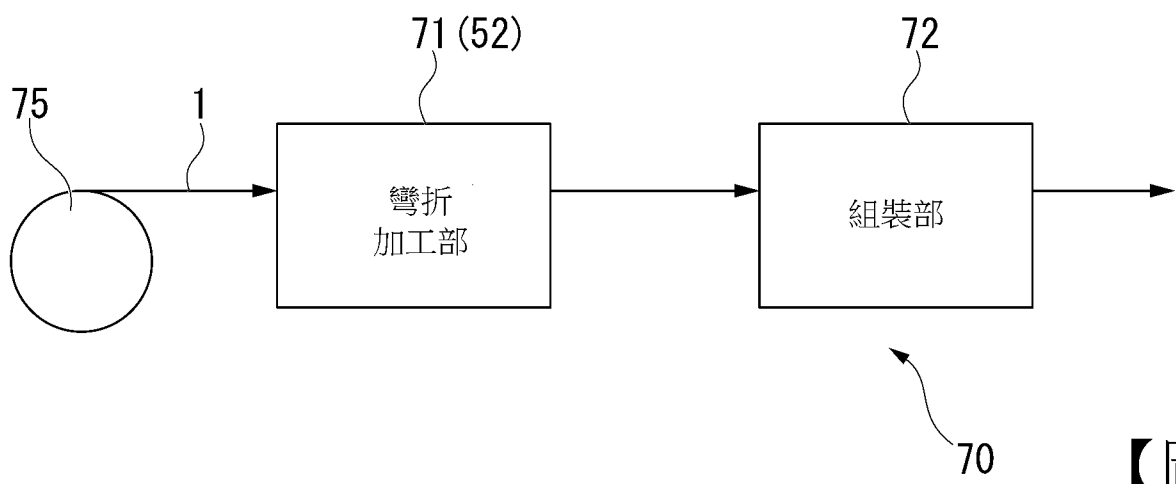
【圖5】



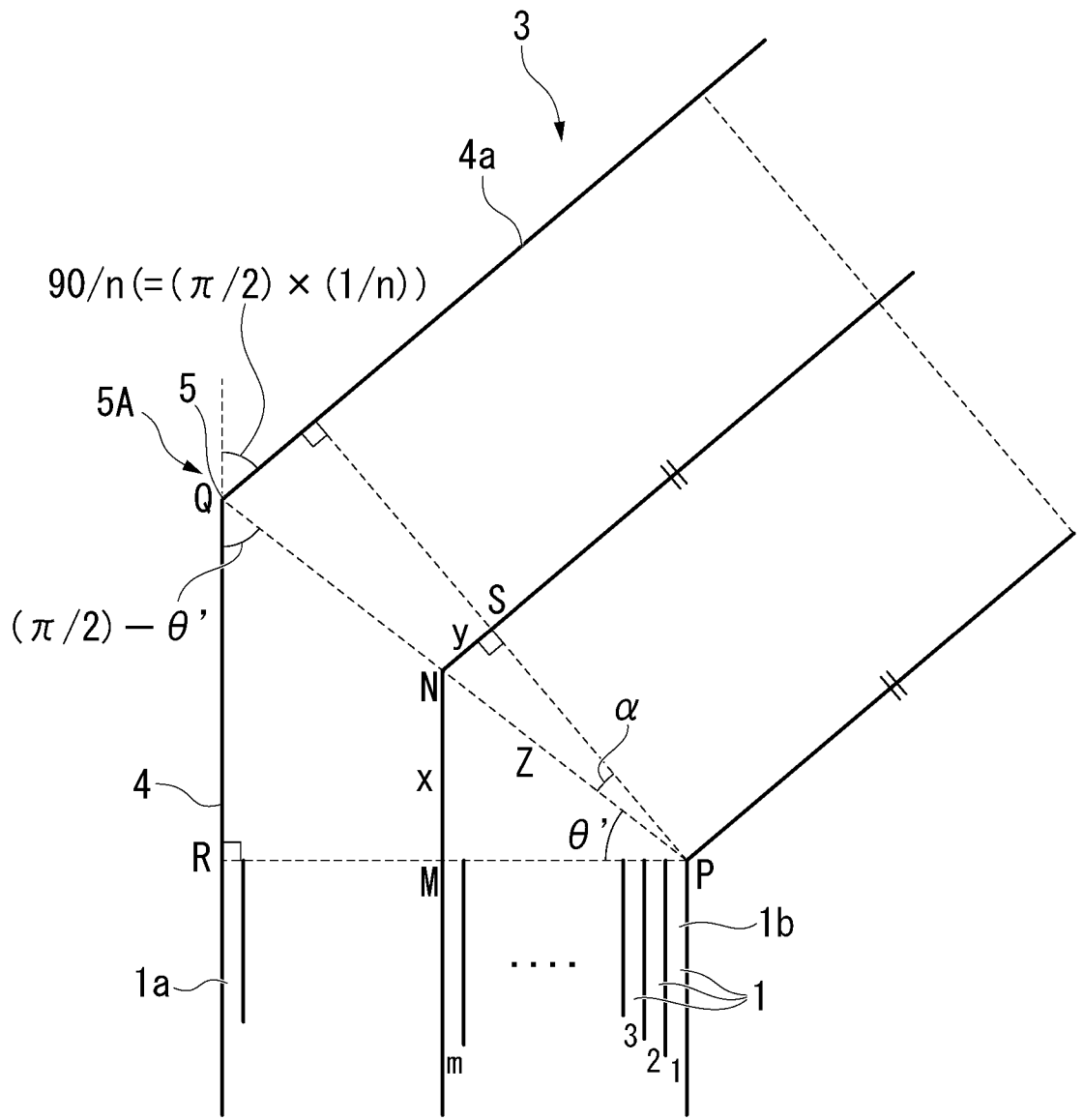
【圖6】



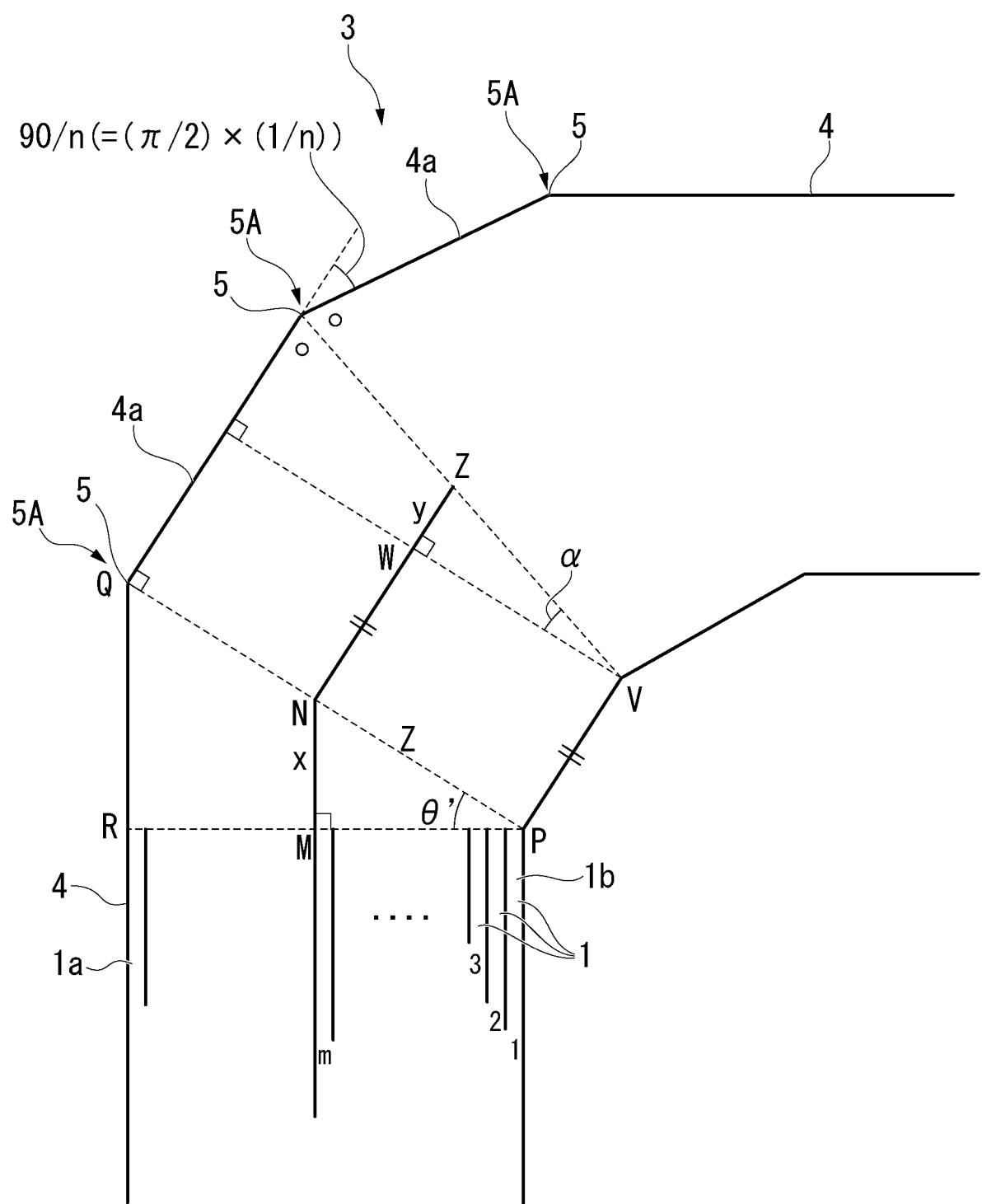
【圖7】



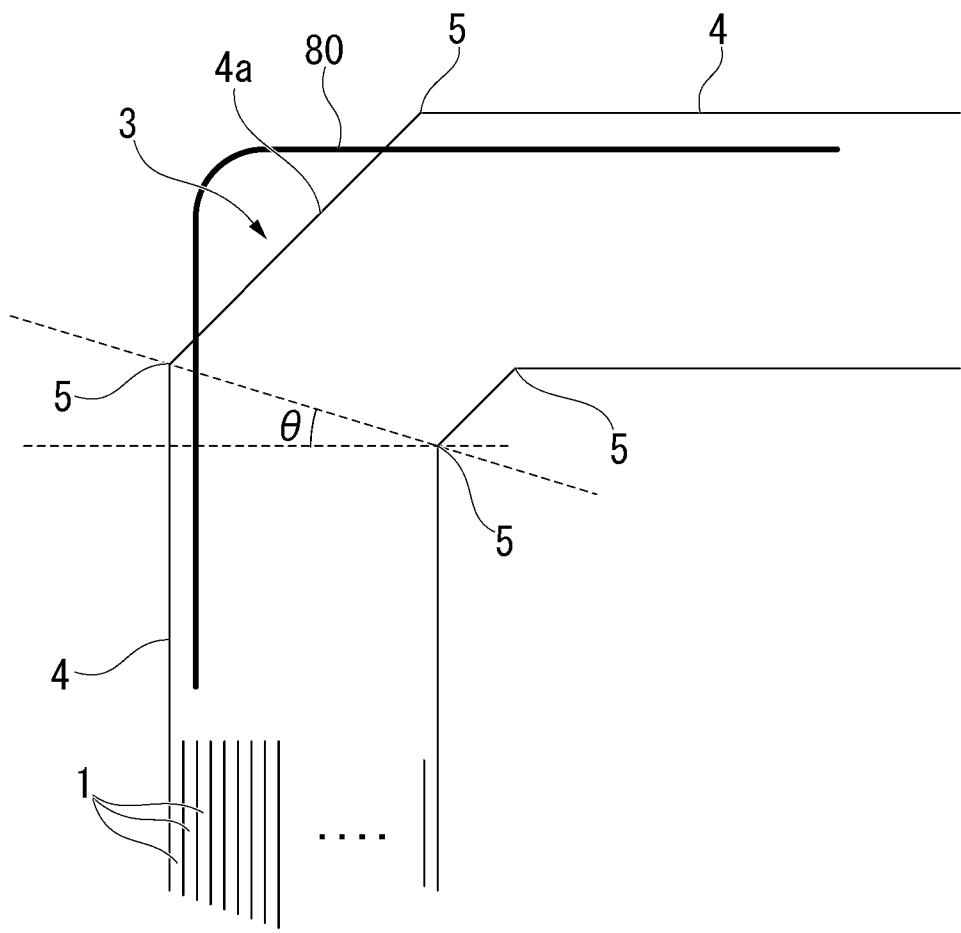
【圖8】



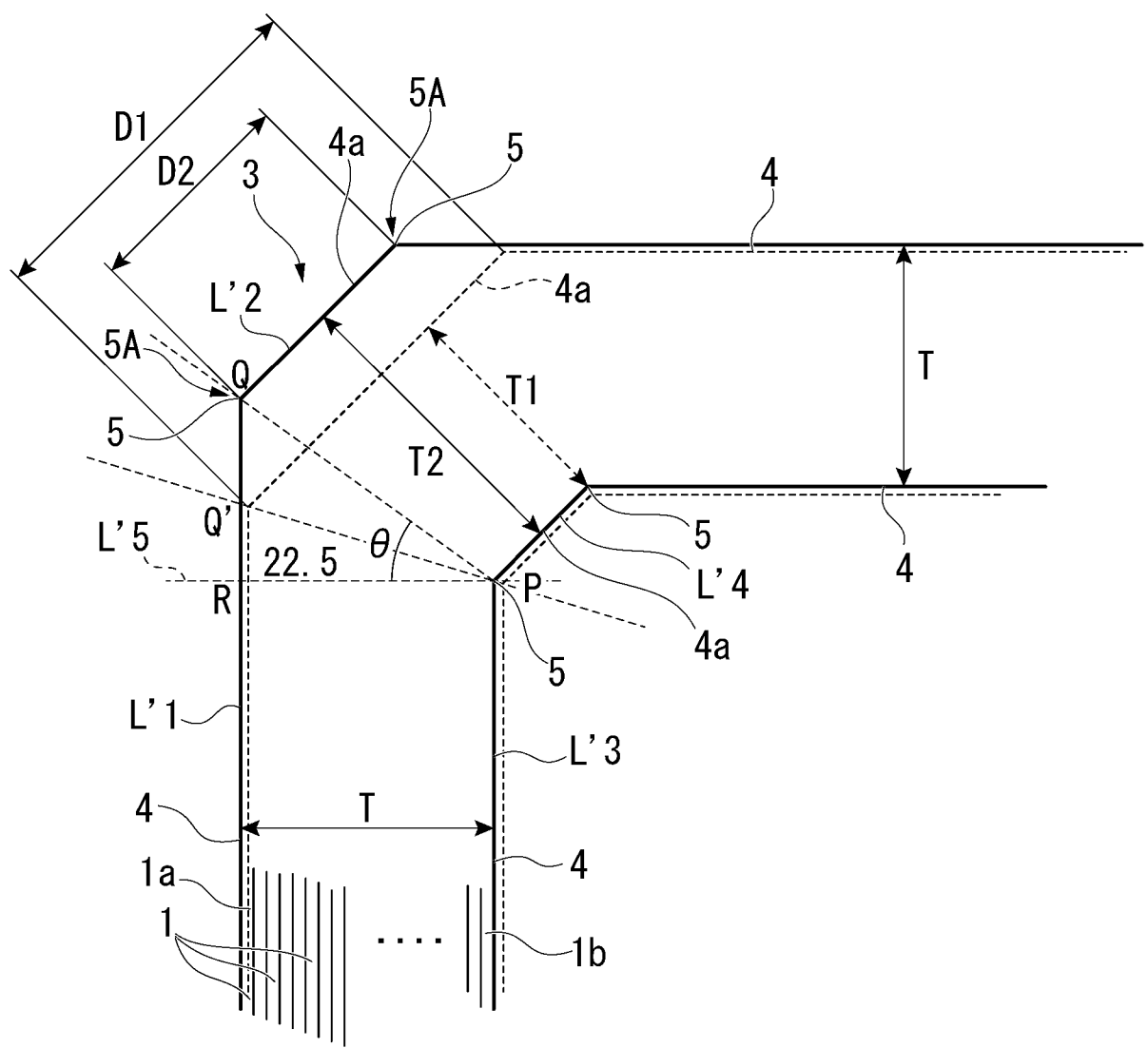
【圖9】



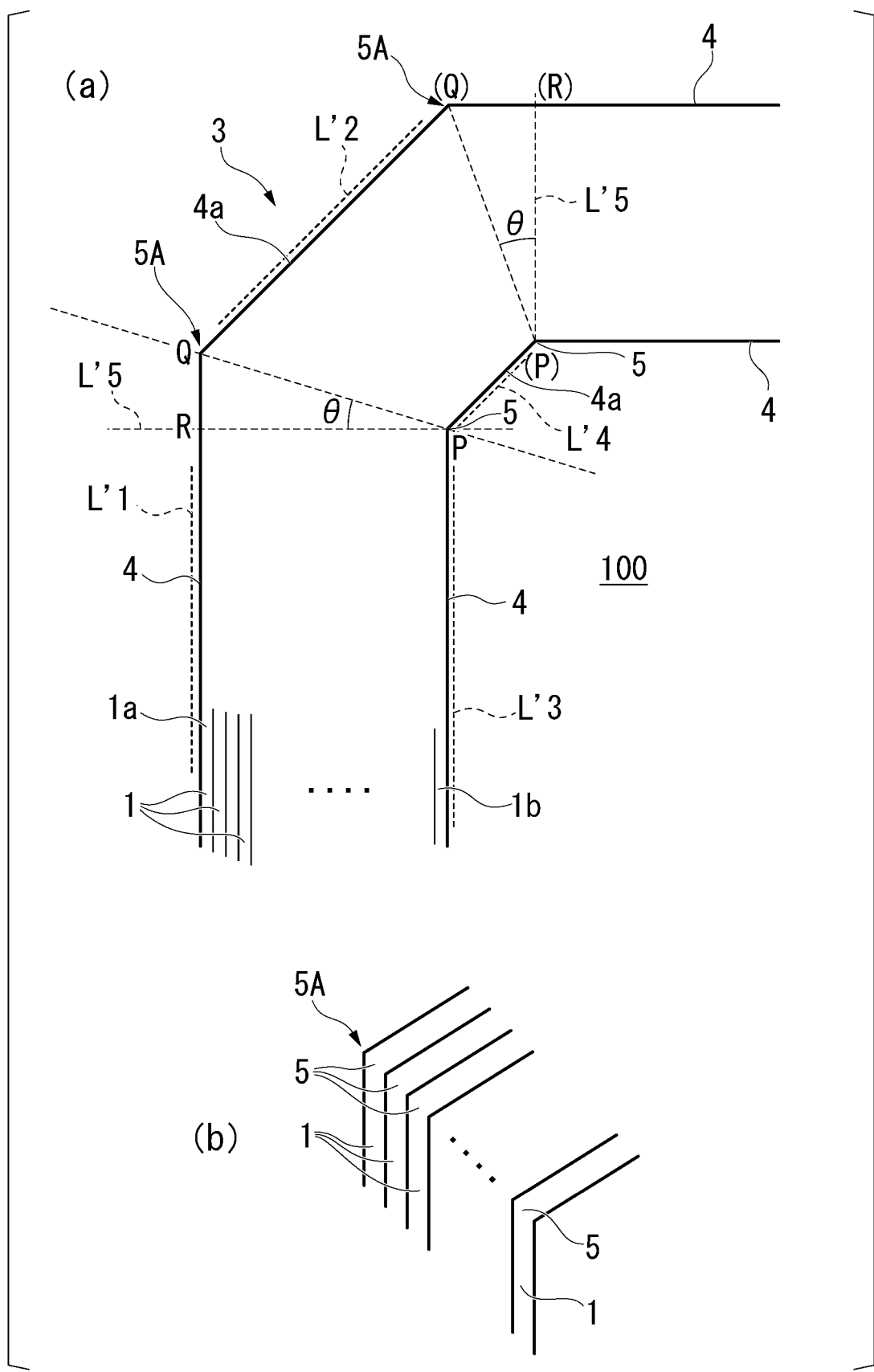
【圖10】



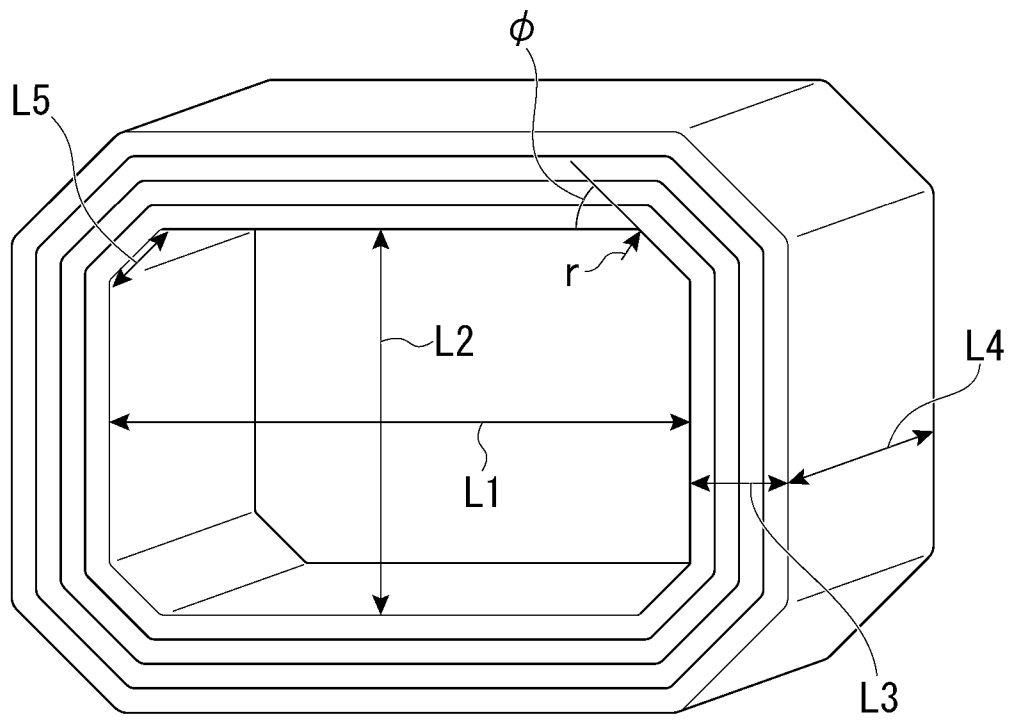
【圖11】



【圖12】



【圖13】



【圖14】