



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 202118193 A

(43) 公開日：中華民國 110 (2021) 年 05 月 01 日

(21) 申請案號：109136099

(22) 申請日：中華民國 109 (2020) 年 10 月 19 日

(51) Int. Cl. : H02K1/12 (2006.01)

H02K1/16 (2006.01)

H02K1/27 (2006.01)

(30) 優先權：2019/10/25 世界智慧財產權組織 PCT/JP2019/041996

(71) 申請人：日商三菱電機股份有限公司 (日本) MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION  
(JP)

日本

(72) 發明人：阿利夫 札伊尼 ARIFF, ZAINI (MY) ; 佐佐木友矩 SASAKI, TOMONORI (JP) ;  
吉村亮哉 YOSHIMURA, RYOYA (JP) ; 坂本裕介 SAKAMOTO, YUSUKE (JP) ;  
十時詠吾 TOTOKI, EIGO (JP)

(74) 代理人：洪武雄；陳昭誠

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：6 項 圖式數：10 共 32 頁

(54) 名稱

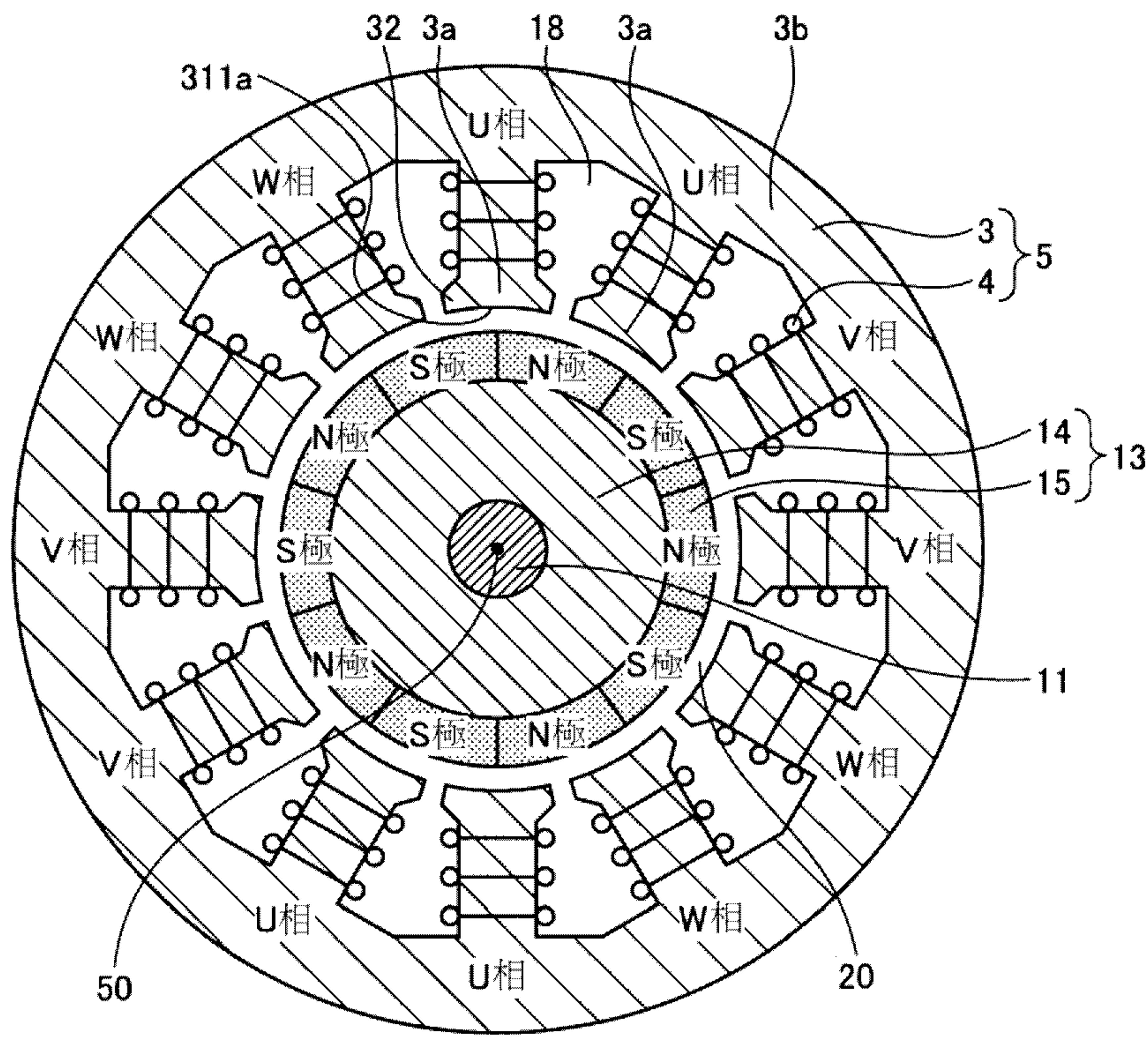
電動機

(57) 摘要

本發明的電動機係具備定子(5)及轉子(13)，定子(5)配置在轉子(13)的外側，定子(5)具有：具備環狀的芯背(3b)及從芯背(3b)往芯背(3b)的內周側突出的複數根齒(3a)之定子鐵芯(3)；及配置在相鄰的兩根齒(3a)之間的空間即槽(18)，且以集中繞組的方式捲附在複數根齒(3a)的各者之電樞繞組(4)，轉子(13)具有永久磁鐵(15)；定子(5)的外徑  $D_{out}$  與內徑  $D_{in}$  係滿足  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$  的關係；複數根齒(3a)各者的寬度  $T_w$  與芯背(3b)的寬度  $C_b$  係滿足  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$  的關係；定子鐵芯(3)的沿旋轉軸(50)之方向的長度  $L_c$  與定子(5)的內徑  $D_{in}$  係滿足  $L_c/D_{in} \geq 1.5$  的關係。

A motor system of the present invention includes a stator (5) and a rotor (13), wherein the stator (5) is disposed outside the rotor (13). The stator (5) has a stator core (3) with a ring-shaped core-back (3b) and a plurality of teeth (3a) protruding from the core-back (3b) to the inner peripheral side of the core-back (3b); a slot (18) arranged in a space between two adjacent teeth (3a), an armature winding (4) of each of the plurality of teeth (3a), which is wound in a manner of concentrated winding, and a rotor (13) which has permanent magnets (15); the outer diameter  $D_{out}$  and inner diameter  $D_{in}$  of the stator (5) satisfy the relationship of  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$ ; the width  $T_w$  of each of the plural teeth (3a) and the width  $C_b$  of the core-back (3b) satisfy the relationship of  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$ ; and the length  $L_c$  of the stator core (3) along the direction of the rotating shaft (50) and the inner diameter  $D_{in}$  of the stator (5) satisfy the relationship of  $L_c/D_{in} \geq 1.5$ .

指定代表圖：



符號簡單說明：

3:定子鐵芯

3a:齒

3b:芯背

4:電樞繞組

5:定子

11:軸

13:轉子

14:轉子鐵芯

15:永久磁鐵

18:槽

20:氣隙部

32:凸緣部

50:旋轉軸

311a:齒的前端部

【圖2】



202118193

**【發明摘要】****【中文發明名稱】** 電動機**【英文發明名稱】** ELECTRIC MOTOR**【中文】**

本發明的電動機係具備定子(5)及轉子(13)，定子(5)配置在轉子(13)的外側，定子(5)具有：具備環狀的芯背(3b)及從芯背(3b)往芯背(3b)的內周側突出的複數根齒(3a)之定子鐵芯(3)；及配置在相鄰的兩根齒(3a)之間的空間即槽(18)，且以集中繞組的方式捲附在複數根齒(3a)的各者之電樞繞組(4)，轉子(13)具有永久磁鐵(15)；定子(5)的外徑  $D_{out}$  與內徑  $D_{in}$  係滿足  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$  的關係；複數根齒(3a)各者的寬度  $T_w$  與芯背(3b)的寬度  $C_b$  係滿足  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$  的關係；定子鐵芯(3)的沿旋轉軸(50)之方向的長度  $L_c$  與定子(5)的內徑  $D_{in}$  係滿足  $L_c/D_{in} \geq 1.5$  的關係。

**【英文】**

A motor system of the present invention includes a stator (5) and a rotor (13), wherein the stator (5) is disposed outside the rotor (13). The stator (5) has a stator core (3) with a ring-shaped core-back (3b) and a plurality of teeth (3a) protruding from the core-back (3b) to the inner peripheral side of the core-back (3b); a slot (18) arranged in a space between two adjacent teeth (3a), an armature winding (4) of each of the plurality of teeth (3a), which is wound in a manner of concentrated

winding, and a rotor (13) which has permanent magnets (15); the outer diameter  $D_{out}$  and inner diameter  $D_{in}$  of the stator (5) satisfy the relationship of  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$ ; the width  $T_w$  of each of the plural teeth (3a) and the width  $C_b$  of the core-back (3b) satisfy the relationship of  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$ ; and the length  $L_c$  of the stator core (3) along the direction of the rotating shaft (50) and the inner diameter  $D_{in}$  of the stator (5) satisfy the relationship of  $L_c/D_{in} \geq 1.5$ .

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

3: 定子鐵芯

3a: 齒

3b: 芯背

4: 電樞繞組

5: 定子

11: 軸

13: 轉子

14: 轉子鐵芯

15: 永久磁鐵

18: 槽

20: 氣隙部

32: 凸緣部

50:旋轉軸

311a:齒的前端部

【特徵化學式】 無。

## 【發明說明書】

【中文發明名稱】 電動機

【英文發明名稱】 ELECTRIC MOTOR

### 【技術領域】

【0001】 本發明係有關具有具備從環狀的芯背(core-back)往芯背的內周側突出的複數根齒(teeth)之定子鐵芯。

### 【先前技術】

【0002】 電動機係具備環狀的定子及配置在定子內側的轉子。電動機的定子係具有定子鐵芯及捲繞在定子鐵芯的電樞繞組。一般而言，定子鐵芯係具有環狀的芯背及從芯背沿徑方向突出的複數根齒，電樞繞組係捲繞於齒。相鄰的兩根齒之間的空間(space)稱為槽(slot)。

【0003】 下述之專利文獻 1 所揭示的電動機係，環狀的定子鐵芯在周方向分割成具有芯背部及齒部的複數個鐵芯片，在相鄰鐵芯片的芯背部的分界部中的面向槽的部位設有凹陷。該專利文獻 1 所揭示的電動機係將齒中間部的正交於徑方向之方向的寬度設計為未達因凹陷而成為最薄處的芯背部徑方向的寬度的兩倍，藉此緩減因將定子鐵芯嵌入於框(frame)而產生在定子鐵芯的壓縮應力而抑制鐵損。

(先前技術文獻)

(專利文獻)

### 【0004】

專利文獻 1：日本國特開 2010-279126 號公報

**【發明內容】**

(發明所欲解決之課題)

**【0005】** 給振動機或射出成型機用等用途的電動機係有令旋轉方向頻繁轉向、短時間加速至高旋轉速度的要求。為了滿足該些要求，電動機的轉矩(torque)係愈大愈有利，且轉子的轉動慣量(moment of inertia)係愈小愈有利。電動機的轉矩係與轉子的直徑的平方成比例。另一方面，轉子的轉動慣量係與轉子的直徑的四次方大致上成比例。因此，轉子的轉動慣量與電動機的轉矩係存在當為了減小轉動慣量而縮小轉子的直徑，轉矩便也跟著降低的關係。因此，為了滿足上述要求係必須抑制轉矩效率降低，就算縮小了轉子的直徑仍必須設法儘可能獲得大的轉矩。上述的專利文獻 1 並未針對在謀求轉子的轉動慣量的減小時抑制轉矩效率降低之用的條件有所揭示。

**【0006】** 本發明乃係鑒於上述情事而研創，目的在於獲得既抑制轉矩降低又謀得轉子的轉動慣量的減小之電動機。

(解決課題的手段)

**【0007】** 為了解決上述課題並達成目的，本發明乃係一種電動機，係具備定子及轉子，定子配置在轉子的外側，定子具有具備環狀的芯背及從芯背往芯背的內周側突出的複數根齒之定子鐵芯、及配置在相鄰的兩根齒之間的空間即槽且以集中繞組的方式捲附在複數根齒的各者之電樞繞組，轉子具有永久磁鐵。定子的外徑  $D_{out}$  與內徑  $D_{in}$  係滿足  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$  的關

係。複數根齒各者的寬度  $T_w$  與芯背的寬度  $C_b$  係滿足  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$  的關係。定子鐵芯的沿轉子的旋轉軸之方向的長度  $L_c$  與定子的內徑  $D_{in}$  係滿足  $14.3 \geq L_c/D_{in} \geq 1.5$  的關係。

(發明的效果)

**【0008】** 本發明的電動機係達成既抑制轉矩效率降低又能夠減小轉子的轉動慣量之效果。

### **【圖式簡單說明】**

#### **【0009】**

圖 1 係本發明實施型態 1 的電動機的沿旋轉軸的剖面圖。

圖 2 係實施型態 1 的電動機的轉子及定子的垂直於旋轉軸的剖面圖。

圖 3 係顯示實施型態 1 的電動機的鐵芯片的形狀之圖。

圖 4 係顯示實施型態 1 的電動機的芯背的寬度與齒的寬度之比與轉矩效率的關係之圖。

圖 5 係顯示實施型態 1 的電動機的芯長與定子的內徑之比與轉矩效率的關係之圖。

圖 6 係顯示實施型態 1 的電動機的轉子的撓曲量與氣隙(air gap)部的大小的關係之圖。

圖 7 係顯示實施型態 1 的電動機的槽開口角的定義之圖。

圖 8 係顯示實施型態 1 的電動機的槽開口角與單一根齒的角度之比與轉矩效率的關係之圖。

圖 9 係本發明實施型態 2 的電動機的轉子及定子的垂直於旋轉軸的剖

面圖。

圖 10 係顯示本發明實施型態 1 或實施型態 2 的變形例的電動機的齒的形狀之圖。

### 【實施方式】

【0010】 以下，根據圖式，詳細說明本發明實施型態的電動機。另外，本發明並不受下述實施型態所限定。

#### 【0011】 實施型態 1.

圖 1 係本發明實施型態 1 的電動機的沿旋轉軸的剖面圖。圖 2 係實施型態 1 的電動機的轉子及定子的垂直於旋轉軸的剖面圖。電動機 1 係具有定子 5、框 6、外殼(housing)7、及轉子 13。框 6 乃係圓筒形狀，在內壁面係壓裝有定子 5。框 6 的一端部 6a 係以外殼 7 覆蓋。外殼 7 係藉由螺栓(bolt)8 而固定在框 6 的一端部 6a。框 6 的另一端部 6b 係以端蓋(end cover)19 覆蓋。在轉子 13 與定子 5 之間係形成有稱為氣隙部 20 的間隙。

【0012】 定子 5 係具有定子鐵芯 3、及隔著未圖示的絕緣體(insulator)捲附在定子鐵芯 3 的電樞繞組 4。轉子 13 係具有由第 1 軸承 9 及第 2 軸承 10 所支撐的軸(shaft)11、軸 11 貫穿過的轉子鐵芯 14、及沿轉子鐵芯 14 的周方向以等間距(pitch)貼附在轉子鐵芯 14 外周的複數個永久磁鐵 15。第 1 軸承 9 係嵌入至外殼 7。第 2 軸承 10 係嵌入至框 6 的壁部 12。軸 11 的中心軸係與轉子 13 的旋轉軸 50 一致。在實施型態 1 的電動機 1 中，轉子 13 係在轉子鐵芯 14 的外周設置有 10 個的永久磁鐵 15。永久磁鐵 15 乃係稀土類磁鐵或鐵氧體(ferrite)磁鐵。另外，亦可出於永久磁鐵 15 的保護與

防止飛散的目的，而在比永久磁鐵 15 更外周側設置將不鏽鋼或鋁等非磁性材料製成為圓筒狀的罩蓋。

【0013】此外，定子 5 係具備連接至電樞繞組 4 的接線部 16。當 U 相、V 相、W 相的三相交流電流經由接線部 16 供給至電樞繞組 4，轉子 13 便旋轉。

【0014】在軸 11 的一端部係安裝有皮帶輪(pulley)17。在皮帶輪 17 係套上三角皮帶(V-belt)等未圖示的旋轉傳遞構件，軸 11 的旋轉透過旋轉傳遞構件傳遞至未圖示的負載。

【0015】定子鐵芯 3 及轉子鐵芯 14 係藉由將電磁鋼板等磁性體芯材積層而構成。在電動機 1 組裝好的狀態中，磁性體芯材的積層方向乃係沿旋轉軸 50 之方向。定子鐵芯 3 的沿旋轉軸 50 之方向的長度  $L_c$  係與轉子鐵芯 14 的沿旋轉軸 50 之方向的長度相同。以下，將定子鐵芯 3 的沿旋轉軸 50 之方向的長度  $L_c$  稱為芯長  $L_c$ 。

【0016】定子鐵芯 3 係在垂直於旋轉軸 50 的剖面具有環狀的芯背 3b、及從芯背 3b 往內徑側突出的 12 根齒 3a。在相鄰的兩根齒 3a 間係形成有配置電樞繞組 4 的空間之槽 18。定子 5 係形成有與齒 3a 相同數目的 12 個槽 18。實施型態 1 的電動機 1 係具備有配置在轉子鐵芯 14 外周的 10 個永久磁鐵 15 及 12 個槽 18，故為 10 極 12 槽的表面型永磁馬達(motor)。電動機 1 係，永久磁鐵 15 在轉子 13 外周側形成的磁極數  $N_p$  與定子 5 的齒數  $N_t$  呈  $N_p/N_t=5/6$  的關係。

【0017】在齒 3a 的各者係捲附有電樞繞組 4。捲附在齒 3a 各者的電樞繞組 4 係分別分配為 U 相、V 相、W 相其中一者。將分配為 U 相的電樞

繞組 4 稱為 U 相配線，將分配為 V 相的電樞繞組 4 稱為 V 相配線，將分配為 W 相的電樞繞組 4 稱為 W 相配線。以相鄰的兩根齒 3a 為一組，逐組配置 U 相配線、V 相配線及 W 相配線。亦即，於 12 根齒 3a 係以 U 相配線、U 相配線、V 相配線、V 相配線、W 相配線、W 相配線、U 相配線、U 相配線、V 相配線、V 相配線、W 相配線、W 相配線的排列來配置電樞繞組 4。定子 5 係構成為一根齒 3a 捲附單一相的電樞繞組 4 的所謂集中繞組構造。

【0018】 在齒 3a 中的與轉子 13 相對面的內徑側的前端部 311a 係設有凸緣部 32。藉由在齒 3a 設置凸緣部 32，抑制了頓轉(cogging)轉矩及轉矩漣波(ripple)。此外，藉由在齒 3a 設置凸緣部 32，使得永久磁鐵 15 所產生的磁通在定子 5 有效率地被接收。

【0019】 圖 3 係顯示實施型態 1 的電動機的鐵芯片的形狀之圖。定子鐵芯 3 係藉由將沿周方向分割的複數個鐵芯片 31 排列成圓環狀而構成。複數個鐵芯片 31 係以沿周方向排列的狀態固定在框 6 的內周面，藉此相互連結而形成環狀的定子鐵芯 3。鐵芯片 31 係藉由壓裝或接著而固定在框 6 的內周面。

【0020】 鐵芯片 31 的各者係具備齒 3a 及芯背 3b。在齒 3a 中，磁通的主要方向乃係圖 3 中以箭頭 A 標示的在周方向中央的徑方向。在芯背 3b 中，磁通的主要方向乃係圖 3 中以箭頭 B 標示的周方向。齒 3a 係形成為所謂直齒(straight teeth)的形狀，齒 3a 在旋轉軸 50 的周方向的尺寸即寬度為一定，與徑方向的位置無關。在以下的說明中，設齒 3a 在以旋轉軸 50 作為中心之圓的徑方向的尺寸即長度為  $T_1$ ，設齒 3a 的寬度為  $T_w$ ，設芯背 3b

的寬度為  $C_b$ 。另外，齒 3a 的寬度  $T_w$  及芯背 3b 的寬度  $C_b$  乃係與磁通的主要方向正交之方向的尺寸。此外，在以下的說明中，設將齒 3a 的前端部 311a 連起來的圓的直徑亦即定子 5 的內徑為  $D_{in}$ ，設芯背 3b 的外周部 311b 所形成的圓的直徑亦即定子 5 的外徑為  $D_{out}$ 。

**【0021】** 電動機 1 的轉矩係與轉子 13 的側面積與半徑之積成比例，故已知係與轉子 13 的直徑的平方成比例。此外，若能夠忽略氣隙部 20 的大小，則轉子 13 的直徑係能夠視為與定子 5 的內徑大致上相等。此外，當電動機 1 全體之大小已指定時，定子 5 的外徑係藉由以電動機 1 全體之大小減去框 6 的厚度量來給定。因此，在電動機 1 全體之大小已指定的情形中，為了提高電動機 1 所產生的轉矩， $D_{out}/D_{in}$  的值較佳為愈小愈好。另一方面，直徑  $D$  的圓柱的轉動慣量  $I$  係以  $I=\rho\pi D^4h/32g$  計算，故已知轉子 13 的轉動慣量係與轉子 13 的直徑的四次方成比例。其中， $\rho$  為轉子的密度， $\pi$  為圓周率， $g$  為重力加速度。因此，在電動機 1 全體之大小已指定的情形中，為了減小轉子 13 的轉動慣量， $D_{out}/D_{in}$  的值較佳為愈大愈好。如上述，電動機 1 所產生的轉矩與轉子 13 的轉動慣量呈現抵換(trade off)的關係。

**【0022】** 定子 5 的內徑係如上所述可視為與轉子 13 的外徑相等，故電動機 1 的轉矩係與定子 5 的內徑的平方大致上成比例，轉動慣量係與定子 5 的內徑的四次方大致上成比例。電動機 1 的旋轉加速度係可藉由將轉矩除以轉動慣量來求得，故設計電動機 1 時若是注重旋轉加速度，則縮小定子 5 的內徑較有利。因此，在實施型態 1 中係將  $D_{out}/D_{in}$  的值限定在 2.1 以上。

**【0023】** 以下，針對將  $D_{out}/D_{in}$  的值限定在 2.1 以上的理由進行說明。

單一根齒 3a 的磁阻  $R_m$  係以下式(1)表示。

【0024】

$$R_m = R_g + R_c \quad \dots (1)$$

【0025】 式中， $R_g$  為氣隙部 20 的磁阻， $R_c$  為齒 3a 的磁阻。 $R_g$  係以下式(2)表示。 $R_c$  係以下式(3)表示。

【0026】

$$R_g = \frac{g_l}{\mu_0 g_w L_c} \quad \dots (2)$$

$$R_c = \frac{T_l}{\mu T_w L_c} \quad \dots (3)$$

【0027】 式中， $g_l$  為氣隙部 20 的長度， $g_w$  為氣隙部 20 的寬度。此外， $T_l$  為齒 3a 的長度， $T_w$  為齒 3a 的寬度。此外， $\mu_0$  為真空導磁係數， $\mu$  為定子鐵芯 3 的導磁係數。其中，在上述式(2)及式(3)中係將磁迴路的磁阻考慮在內，氣隙部 20 的長度  $g_l$  係在物理性的空隙的長度之外還包含永久磁鐵 15 的長度。依據霍普金森定律(Hopkinson's law)，磁迴路的磁動勢  $F_m$  及磁通  $\Phi$  係滿足下式(4)。

【0028】

$$F_m = \Phi R_m \quad \dots (4)$$

【0029】 將上述式(4)以  $\Phi$  進行微分，獲得下式(5)。

【0030】

$$\frac{\partial F_m}{\partial \Phi} = R_m + \Phi \frac{\partial R_m}{\partial \Phi} \quad \dots (5)$$

【0031】 上述式(5)的左邊係代表使磁通增加 1 個單位量所需要的電動勢的上升量，為了不使後述的轉矩線性(linearity)降低，必須儘可能減小

該值。將上述式(5)的右邊第 2 項分解，由於  $R_m$  的成分中的  $R_g$  不對磁通變化，微分的結果為 0，故成立下式(6)。

【0032】

$$\Phi \frac{\partial R_m}{\partial \Phi} = \Phi \frac{\partial R_c}{\partial \Phi} \quad \dots (6)$$

【0033】 因此，只要思考針對定子鐵芯 3 的微分即可，故上述式(5)係能夠改寫成下式(7)。

【0034】

$$\frac{\partial F_m}{\partial \Phi} = R_m + \Phi \frac{\partial R_c}{\partial \Phi} \quad \dots (7)$$

【0035】 設定子鐵芯 3 的磁通密度為  $B$ ，成立下式(8)及下式(9)。

【0036】

$$\Phi = BT_w L_c \quad \dots (8)$$

$$\frac{\partial R_c}{\partial \Phi} = \frac{1}{T_w L_c} \frac{\partial R_c}{\partial B} \quad \dots (9)$$

【0037】 此外，設定子鐵芯 3 的磁場為  $H$ ，磁場  $H$  與磁通密度  $B$  係存在下式(10)的關係。

【0038】

$$\mu H = B \quad \dots (10)$$

【0039】 將上述式(10)代入上述式(3)，對磁通密度  $B$  進行偏微分，成為下式(11)。

【0040】

$$\frac{\partial R_c}{\partial B} = \frac{T_l}{T_w L_c} \frac{\partial}{\partial B} \left( \frac{1}{\mu} \right) = \frac{T_l}{T_w L_c} \frac{\partial}{\partial B} \left( \frac{H}{B} \right) = \frac{T_l}{T_w L_c} \left( \frac{1}{B} \frac{\partial H}{\partial B} - \frac{H}{B^2} \right) \quad \dots (11)$$

【0041】 將上述式(9)及上述式(11)代入上述式(7)，使磁通增加 1 個單位量所需要的磁動勢的上升量係以下式(12)表示。

【0042】

$$\frac{\partial F_m}{\partial \Phi} = R_m + \frac{T_l}{T_w L_c} \left( \frac{\partial H}{\partial B} - \frac{H}{B} \right) = \frac{g_l}{\mu_0 g_w L_c} + \frac{T_l}{T_w L_c} \left( \frac{\partial H}{\partial B} \right) \quad \dots (12)$$

【0043】 此處，將上述式(12)的右邊第 1 項以下式(13)表示，將右邊第 2 項以下式(14)表示。

【0044】

$$R'_g = \frac{g_l}{\mu_0 g_w L_c} \quad \dots (13)$$

$$R'_c = \frac{T_l}{T_w L_c} \left( \frac{\partial H}{\partial B} \right) \quad \dots (14)$$

【0045】 若  $R'_g < R'_c$ ，代表對於使磁通增加 1 個單位量所需要的磁動勢的上升量之貢獻是定子鐵芯 3 比氣隙部 20 大。對於使磁通增加 1 個單位量所需要的磁動勢的上升量之貢獻為定子鐵芯 3 比氣隙部 20 大的馬達係藉由抑制定子鐵芯 3 的磁阻而能夠使磁通有效率增加。

【0046】 通常，如下式(15)所示，氣隙部 20 的長度  $g_l$  係設定為定子 5 的內徑  $D_{in}$  的 1/10 程度。

【0047】

$$g_l \sim D_{in} / 10 \quad \dots (15)$$

【0048】 如下式(16)所示，氣隙部 20 的寬度  $g_w$  係能夠藉由將定子 5 的內徑  $D_{in}$  的圓周長除以槽數  $N_s$  來近似。

【0049】

$$g_w \sim \frac{\pi D_{in}}{N_s} \quad \dots (16)$$

【0050】 齒 3a 的長度  $T_l$  及齒 3a 的寬度  $T_w$  係已規定有在物理上所能夠設定的上限。齒 3a 的長度  $T_l$  係最大只能夠確保到定子 5 的內徑  $D_{in}$  與定子 5 的外徑  $D_{out}$  之差的一半。此外，齒 3a 的寬度  $T_w$  係最大只能夠確保到與氣隙部 20 的寬度相同的長度。因此，成立下式(17)及下式(18)。

$$T_l = k_1 \frac{D_{out} - D_{in}}{2} \quad \dots (17)$$

$$T_w = k_2 \frac{\pi D_{in}}{N_s} \quad \dots (18)$$

【0052】 式中， $k_1$  及  $k_2$  為比 0 大比 1 小的常數。 $k_1$  及  $k_2$  的值係視設計而異，但大體上是從最大值以維持縱橫比(aspect ratio)的方式設定，故能夠以下式(19)近似。

【0053】

$$\frac{k_1}{k_2} \sim 1 \quad \dots (19)$$

【0054】 定子鐵芯 3 的 $(\partial H/\partial B)$ 的值係依磁通密度  $B$  的大小而異，而已知使用於定子 5 的磁性體芯材之鐵系芯材大多在 2T 前後的磁通密度飽和。在實施型態 1 中，為了實現低轉動慣量、高轉矩的馬達，定子鐵芯 3 係成為幾近飽和的狀態。當為鐵系芯材時，2T 附近的 $(\partial H/\partial B)$ 的值為  $1.5 \times 10^5 \text{m/H}$  程度，若以真空導磁係數  $\mu_0$  為基準，這相當於  $1/5.3 \mu_0$ 。

【0055】 將以上的結果代入對於使磁通增加 1 個單位量所需要的磁動勢的上升量之貢獻為定子鐵芯 3 比氣隙部 20 大的條件即  $R'_g < R'_c$ ，便成為下式(20)。

【0056】

$$\frac{N_s}{10\pi\mu_0 L_c} < \frac{\left(\frac{D_{out}}{D_{in}} - 1\right) N_s}{2\pi(5.3\mu_0)L_c} \quad \dots (20)$$

【0057】 整理上述式(20)，獲得下式(21)。

【0058】

$$\frac{D_{out}}{D_{in}} > 2.06 \quad \dots (21)$$

【0059】 從上述可知，只要  $D_{out}/D_{in}$  大致上為 2.1 以上，定子鐵芯 3 的磁阻對轉矩線性的降低產生的影響便比氣隙部 20 的磁阻更嚴重，故在芯形狀上下工夫所達到的線性改善效果特別好。

【0060】 當  $D_{out}/D_{in}$  的值大致上為 2.1 以上時，鐵芯片 31 的徑方向的長度係比轉子 13 的外徑大。因此，齒 3a 係成為長度  $T_l$  比寬度  $T_w$  大的形狀。齒 3a 的針對沿徑方向通過齒 3a 的磁通之磁阻，係與齒 3a 的徑方向的長度成比例、與周方向的寬度成反比，故當為齒 3a 的長度  $T_l$  比寬度  $T_w$  大的形狀的鐵芯片 31 時，齒 3a 的磁阻係變得極大。因此，產生自轉子 13 的永久磁鐵 15 且與定子 5 的電樞繞組 4 交鏈的磁通減少，相較於能夠將齒 3a 的寬度確保為寬幅時的情形，轉矩有減少的傾向。此外，當為齒 3a 的長度  $T_l$  比寬度  $T_w$  大的鐵芯片 31 時，齒 3a 係變得容易磁飽和，故轉矩增加量不會與供給至電樞繞組 4 的電流量成比例地增加，而發生電流量增加得愈多，轉矩愈不易增加的現象。電流量增加得愈多，轉矩愈不易增加的現象係稱為「轉矩線性下降」。

【0061】 當轉矩線性下降，輸出目標轉矩所需要的電流量便增加，故由於電樞繞組 4 的電阻而產生的焦耳損失(Joule loss)便變大。

【0062】 實施型態 1 的電動機 1 係藉由將  $D_{out}/D_{in}$  的值設計為 2.1 以上來謀求轉動慣量的減小，並且擴大芯背 3b 的寬度  $C_b$  使磁路的磁阻降低，而防止了轉矩線性下降。圖 4 係顯示實施型態 1 的電動機的芯背的寬度與齒的寬度之比與轉矩效率的關係之圖。為了獲得不依存於電動機 1 全體之大小的關係式，芯背 3b 的寬度  $C_b$  係藉由除以齒 3a 的寬度  $T_w$  予以正規化，轉矩係藉由除以焦耳損失予以正規化。另外，1 焦耳的焦耳損失的轉矩的大小係稱為轉矩效率。在圖 4 中，轉矩效率係顯示以最大值為「1」予以正規化。

【0063】 電動機 1 的轉矩效率係在芯背 3b 的寬度  $C_b$  與齒 3a 的寬度  $T_w$  之比  $C_b/T_w$  的值為 1.5 至 1.7 之間成為最大。轉矩效率係在峰值(peak)附近即使  $C_b/T_w$  的值有些許變化也沒有很大的變化，而在離開峰值的位置，相對於  $C_b/T_w$  的值的斜率係變大。在實施型態 1 的電動機 1 中係藉由將  $C_b/T_w$  的值採用 1.1 以上而使轉矩效率成為 90%以上。

【0064】 另外，過度擴大芯背 3b 的寬度  $C_b$ ，轉矩效率也有降低的傾向。這是因為擴大芯背 3b 的寬度  $C_b$  使得電樞繞組 4 的剖面積減少而電阻增加，焦耳損失增加之故。亦即，當因電樞繞組 4 的剖面積的減少導致的焦耳損失的增加的影響高過由於磁阻減少產生的轉矩線性改善的效果，則即便芯背 3b 的寬度  $C_b$  增加，轉矩效率也會降低。如圖 4 所示，實施型態 1 的電動機 1 係藉由將  $C_b/T_w$  的值採用 2.1 以下而使轉矩效率成為 90%以上。

【0065】 在馬達中係廣泛使用規定於 JIS C 4003 的耐熱等級(class)F 的繞組。耐熱等級 F 的繞組的容許溫度為  $155^{\circ}\text{C}$ 。此外，運轉中的馬達的

周圍溫度為  $40^{\circ}\text{C}$ ，故因損失而能夠容許的繞組的溫度上升便為  $115^{\circ}\text{C}$ 。此外，為了吸收因製造差異引起的馬達特性的差異的影響，必須有  $15^{\circ}\text{C}$  的餘裕(margin)，故實際上能夠容許的繞組溫度上升為  $100^{\circ}\text{C}$ 。實施型態 1 的電動機 1 係設計成為了使馬達輸出成為最大，通電較大的電流，但繞組溫度上升成為比容許上升溫度的  $100^{\circ}\text{C}$  稍微低的  $90^{\circ}\text{C}$ 。因此，當圖 4 所示的轉矩效率降低 10%而低於 90%，繞組溫度便上升 10%，超過繞組的容許溫度。因此，實施型態 1 的電動機 1 係以使轉矩效率成為 90%以上的方式設計。

**【0066】** 此外，電動機 1 的轉矩基本上係與芯長  $L_c$  成比例，但當芯長  $L_c$  變得非常短，轉矩便比與芯長  $L_c$  成比例之值更小。這是因為在定子鐵芯 3 的沿旋轉軸 50 之方向的兩端部，交鏈磁通沿著沿旋轉軸 50 之方向漏洩之故。另一方面，電樞繞組 4 的焦耳損失係在芯長  $L_c$  長的情形係同轉矩一樣，與芯長  $L_c$  大致上成比例。另一方面，當將芯長  $L_c$  形成為極端地短，由電樞繞組 4 中的線圈端(coil end)部的磁阻所造成的影響便無法忽略，因而不會與芯長  $L_c$  成比例地減少，會保留有一定以上的焦耳損失，該線圈端部係為電樞繞組 4 中在定子 5 的沿旋轉軸 50 之方向的兩端部沒有與永久磁鐵 15 相對向的部分。

**【0067】** 就結論而言，將轉矩除以焦耳損失而算出的轉矩效率係當芯長  $L_c$  為某值以上時係不依存於芯長  $L_c$ ，能夠視為大致上一一定的值，而當芯長  $L_c$  比某值短便會下降。圖 5 係顯示實施型態 1 的電動機的芯長與定子的內徑之比與轉矩效率的關係之圖。如圖 5 所示，只要電動機 1 的芯長  $L_c$  與定子 5 的內徑  $D_{in}$  之比即  $L_c/D_{in}$  的值為 1.5 以上，轉矩效率便成為 100%。

因此，電動機 1 係藉由將  $L_c/D_{in}$  的值設計為 1.5 以上使轉矩效率成為 100%。

【0068】 另一方面，當  $L_c/D_{in}$  的值過大時，轉子 13 撓曲，轉子 13 與定子 5 發生接觸，故必須將撓曲量  $\delta$  設定為比氣隙部 20 小。圖 6 係顯示實施型態 1 的電動機的轉子的撓曲量與氣隙部的大小的關係之圖。通常，氣隙部 20 的大小係設定為直徑  $D_{in}$  的 1/10 程度，故撓曲量  $\delta$  係必須比  $D_{in}/10$  小。關於屬於鋼鐵的軸 11 的縱向彈性模數  $E$ ，20.6 Gpa 為一般的值。當  $L_c/D_{in}$  的值為 14.3 時， $\delta/(D_{in}/10)$ 、亦即軸 11 的撓曲量相於對氣隙部 20 的大小係相同，轉子 13 係接觸定子 5。因此，在實施型態 1 中係將  $L_c/D_{in}$  的上限設為 14.3。

【0069】 圖 7 係顯示實施型態 1 的電動機的槽開口角的定義之圖。如圖 7 所示，將包夾槽 18 的兩根齒 3a 的角落部 61 連起來的弧 62 的圓心角乃係槽開口角  $S_0$ 。當槽開口角  $S_0$  過小時，弧 62 短，兩個角落部 61 的距離近，因而引起電樞繞組 4 所產生的磁通沒有通過轉子 13 而傳遞至隔壁的齒 3a 的稱為磁通漏洩的現象，導致轉矩線性下降。因此，在實施型態 1 的電動機 1 中，槽開口角  $S_0$  係採用不會發生轉矩線性下降的大小。

【0070】 較佳的槽開口角  $S_0$  的條件係亦依齒數而異。齒數多時，單一根齒 3a 所擔負的磁通量減少，各個齒 3a 的電樞繞組 4 擁有的定子磁動勢亦變小，因此便沒有將槽開口角  $S_0$  設計得太大的必要。因此，在決定較佳的槽開口角  $S_0$  時，係必須藉由將槽開口角  $S_0$  除以圖 7 所示的單一根齒 3a 的角度  $T_0$  予以正規化。另外，單一根齒 3a 的角度  $T_0$  係亦可說是相鄰的兩個槽 18 各者的周方向的中央於位在旋轉軸 50 上的旋轉中心所形成的圓心角。圖 8 係顯示實施型態 1 的電動機的槽開口角與單一根齒的角度之比

與轉矩效率的關係之圖。只要槽開口角  $S_o$  與單一根齒 3a 的角度  $T_o$  之比即  $S_o/T_o$  的值為 0.2 以上，轉矩效率便超過 90%。因此，電動機 1 係藉由將  $S_o/T_o$  的值採用 0.2 以上使轉矩效率成為 90% 以上。

【0071】 另一方面，當將  $S_o/T_o$  提高到齒前端寬度  $T_s$  比齒寬度  $T_w$  狹窄，轉矩線性便反而變小。此時，由於磁通所通過的齒 3a 的前端的剖面面積比齒 3a 的剖面面積小，故齒前端的磁飽和變得顯著。因此，必須將齒前端寬度  $T_s$  設為齒寬度  $T_w$  以上。

【0072】 就附帶的效果而言，實施型態 1 的電動機 1 係因芯背 3b 的寬度  $C_b$  比一般的電動機大，故機械的強度提升，減輕由電磁激振力造成的振動及噪音。此外，實施型態 1 的電動機 1 係因電樞繞組 4 的電感值 (inductance) 變低，故在令轉子 13 以高速旋轉時的端子間電壓下降，在驅動系統(system)的電壓有限制等之情形時，係連在更高速區都能夠維持高轉矩。

【0073】 實施型態 1 的電動機 1 係構成為藉由將  $D_{out}/D_{in}$  的值設為 2.1 以上，使複數根齒 3a 各者的長度  $T_l$  比寬度  $T_w$  大，來謀求轉子 13 的轉動慣量的減小，且以防止轉矩效率比 90% 低的方式設定  $C_b/T_w$  的值及  $S_o/T_o$  的值，故即使減小了轉動慣量仍能夠有效率地獲得轉矩。

【0074】 實施型態 2.

本發明實施型態 2 的電動機 1，定子 5 及轉子 13 的構造係不同於實施型態 1 的電動機 1。圖 9 係本發明實施型態 2 的電動機的轉子及定子的垂直於旋轉軸的剖面圖。定子 5 所具有的齒 3a 的數目為 6 根，形成在相鄰的兩根齒 3a 之間的槽 18 為 6 個。此外，轉子 13 的永久磁鐵 15 是埋入在轉

子鐵芯 14 裡。實施型態 2 的轉子 13 係在轉子鐵芯 14 埋入有合計 8 個的永久磁鐵 15。永久磁鐵 15 的各者係以 N 極磁通集中的方向與 S 極磁通集中的方向在轉子 13 與定子 5 之間的氣隙部 20 正交的方式配置。在圖 9 中係以箭頭表示各個永久磁鐵 15 的磁化方向。由於是以 N 極磁通集中的方向與 S 極磁通集中的方向正交的方式配置永久磁鐵 15，故永久磁鐵 15 係在轉子 13 的面向氣隙部 20 的表面形成有 4 個磁極。實施型態 2 的電動機 1 係具備有由埋入在轉子鐵芯 14 的 8 個永久磁鐵 15 所形成的 4 個磁極與 6 個槽 18，故為 4 極 6 槽的表面型永磁馬達。

【0075】 實施型態 2 的電動機 1 係採用來自複數個永久磁鐵 15 的磁通對轉子 13 的 1 個磁極集中的所謂海爾貝克陣列(Halbach)構造，相較於如實施型態 1 所述的表面磁鐵型馬達，能夠獲得更大的轉矩。

【0076】 在上述的實施型態 1、2 中，由永久磁鐵 15 在轉子 13 的面向氣隙部 20 的表面形成的磁極數  $N_p$ 、與定子 5 的齒數  $N_t$  並不限定為上述組合。例如，在 20 極 24 槽、8 極 6 槽或 8 極 12 槽的電動機中亦可獲得同樣的功效。亦即，由永久磁鐵 15 在轉子 13 的面向氣隙部 20 的表面形成的磁極數  $N_p$ 、與定子 5 的齒數  $N_t$  係只要滿足  $N_p/N_t=5/6$ 、 $N_p/N_t=2/3$  或  $N_p/N_t=4/3$  的關係即可。

【0077】 此外，在上述的實施型態 1、2 中，構成定子鐵芯 3 的鐵芯片 31 的齒 3a 乃係直齒，但齒 3a 係亦可為齒 3a 的寬度在內徑側與外徑側不同的錐齒(taper teeth)。圖 10 係顯示本發明實施型態 1 或實施型態 2 的變形例的電動機的齒的形狀之圖。當為錐齒時，係藉由將齒 3a 全體的平均寬度定義為齒 3a 的寬度  $T_w$  而能夠獲得同樣的功效。例如在圖 10 的情形

中，齒 3a 的寬度的最大部分為  $T_{w1}$ ，寬度的最小部分為  $T_{w2}$ ，故只要以齒 3a 全體的寬度的平均值  $(T_{w1}+T_{w2})/2$  為齒 3a 的寬度  $T_w$  來同實施型態 1、2 一樣地進行設計即可。

【0078】此外，在實施型態 1、2 中，鐵芯片 31 係藉由積層電磁鋼板而形成立體的定子鐵芯 3，但並不限定於此。例如，亦可使用藉由將磁性體粉末擠壓固化而形成立體的所謂壓粉鐵芯所構成的定子鐵芯 3。

【0079】此外，在實施型態 1、2 中係 1 個鐵芯片 31 具有 1 根齒 3a，但並不限定於此。例如，亦可為藉由組合複數個具有複數根齒 3a 的鐵芯片 31 來構成定子鐵芯 3。此外，亦可為複數個鐵芯片 31 的僅一部分彼此間、例如僅芯背 3b 彼此間一體形成而以單一零件的形式來形成定子鐵芯 3 的芯背 3b。

【0080】此外，在上述的實施型態 1、2 中，芯長  $L_c$  係與轉子鐵芯 14 的沿旋轉軸 50 之方向的長度相同，但並不限定於此。例如，亦可採用芯長  $L_c$  比轉子鐵芯 14 的沿旋轉軸 50 之方向的長度短的電動機、亦即轉子外伸 (over hang)。此外，亦可採用芯長  $L_c$  比轉子鐵芯 14 的沿旋轉軸 50 之方向的長度長的電動機、亦即轉子內縮 (under hang)。

【0081】上述的實施型態揭示的構成僅係本發明內容的例示，本發明既能夠與別的習知技術組合，在不脫離本發明主旨的範圍內，亦能夠省略、變更構成的一部分。

## 【符號說明】

### 【0082】

- 1:電動機
- 3:定子鐵芯
- 3a:齒
- 3b:芯背
- 4:電樞繞組
- 5:定子
- 6:框
- 6a:框的一端部
- 6b:框的另一端部
- 7:外殼
- 8:螺栓
- 9:第 1 軸承
- 10:第 2 軸承
- 11:軸
- 12:壁部
- 13:轉子
- 14:轉子鐵芯
- 15:永久磁鐵
- 16:接線部
- 17:皮帶輪
- 18:槽
- 19:端蓋

20:氣隙部

31:鐵芯片

32:凸緣部

50:旋轉軸

61:角落部

62:弧

311a:齒的前端部

311b:芯背的外周部

$C_b$ :芯背的寬度

$D_{in}$ :定子的內徑

$D_{out}$ : 定子的外徑

$L_c$ :芯長

$T_l$ :齒的長度

$T_s$ :齒的前端寬度

$T_o$ :單一根齒的角度

$T_w$ :齒的寬度

$T_{w1}$ :齒的寬度的最大部分

$T_{w2}$ :齒的寬度的最小部分

$S_o$ :槽開口角

$\delta$ :撓曲量

## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種電動機，係具備定子及轉子，前述定子配置在前述轉子的外側，前述定子係具有：具備環狀的芯背及從前述芯背往前述芯背的內周側突出的複數根齒之定子鐵芯；及配置在相鄰的兩根前述齒之間的空間即槽，且以集中繞組的方式捲附在複數根前述齒的各者之電樞繞組；前述轉子係具有永久磁鐵；

前述定子的外徑  $D_{out}$  與內徑  $D_{in}$  係滿足  $D_{out}/D_{in} \geq 2.1$  的關係；

複數根前述齒各者的寬度  $T_w$  與前述芯背的寬度  $C_b$  係滿足  $2.1 \geq C_b/T_w \geq 1.1$  的關係；

前述定子鐵芯的沿前述轉子的旋轉軸之方向的長度  $L_c$  與前述定子的內徑  $D_{in}$  係滿足  $14.3 \geq L_c/D_{in} \geq 1.5$  的關係。

【請求項2】 如請求項 1 所述之電動機，其中，複數根前述齒的各者乃係寬度  $T_w$  為一定的直齒。

【請求項3】 如請求項 1 所述之電動機，其中，由前述永久磁鐵在前述轉子的面向氣隙部的表面形成的磁極數  $N_p$ 、與複數根前述齒的數目  $N_t$  係滿足  $N_p/N_t=5/6$ 、 $N_p/N_t=2/3$  或  $N_p/N_t=4/3$  的關係，該氣隙部係前述轉子與前述定子之間隙。

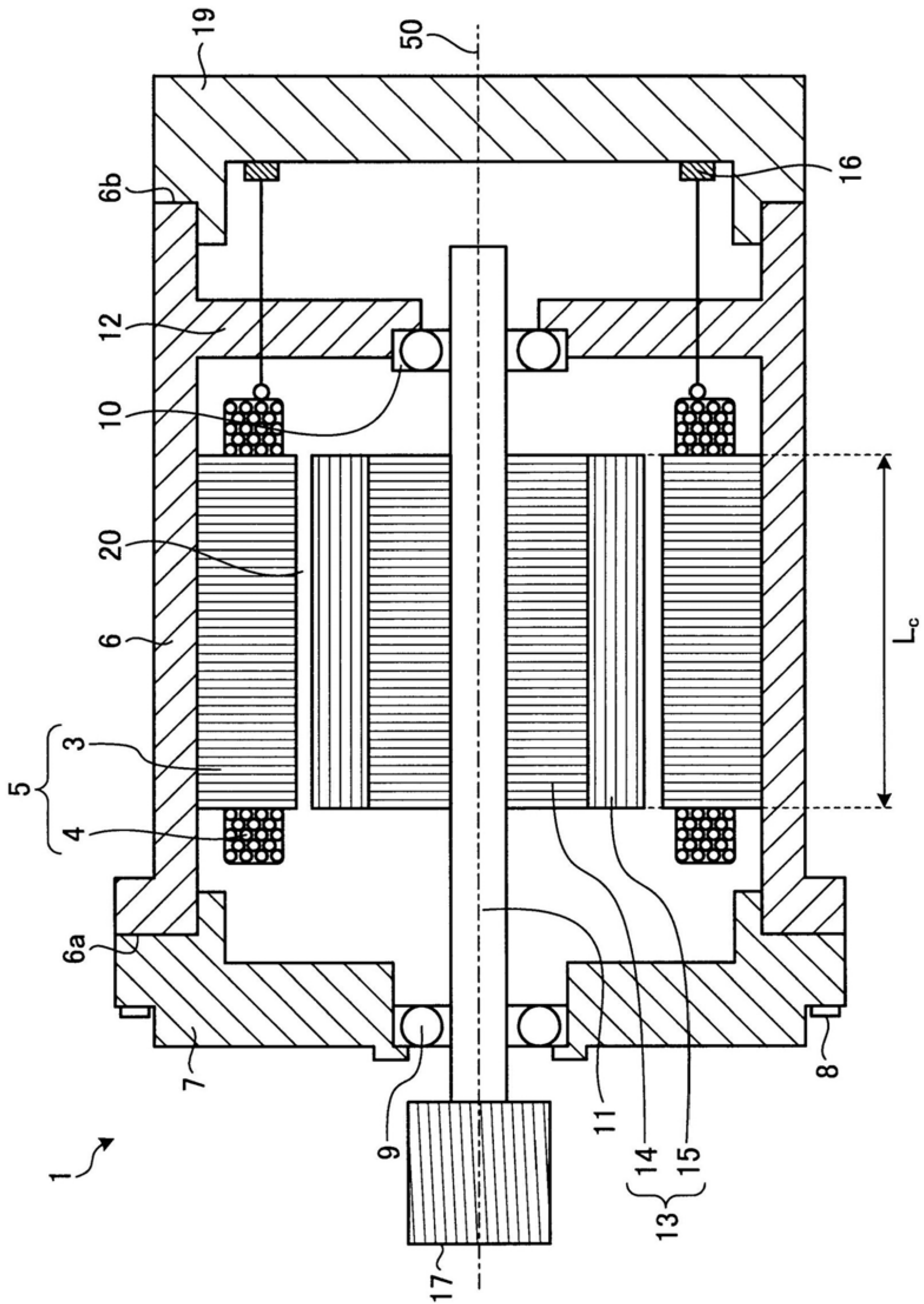
【請求項4】 如請求項 1 所述之電動機，其中，前述電樞繞組係將三相交流電流中的同相電流供給至至少一組相鄰的前述齒。

【請求項5】 如請求項 1 所述之電動機，其中，在與前述旋轉軸垂直的剖面，前述齒的前端寬度  $T_s$  與前述齒的寬度  $T_w$  係滿足  $T_s \geq T_w$  的關係，且槽開口角  $S_o$ 、與前述單一根齒的角度  $T_o$  係滿足  $S_o/T_o \geq 0.2$  的關係，該槽

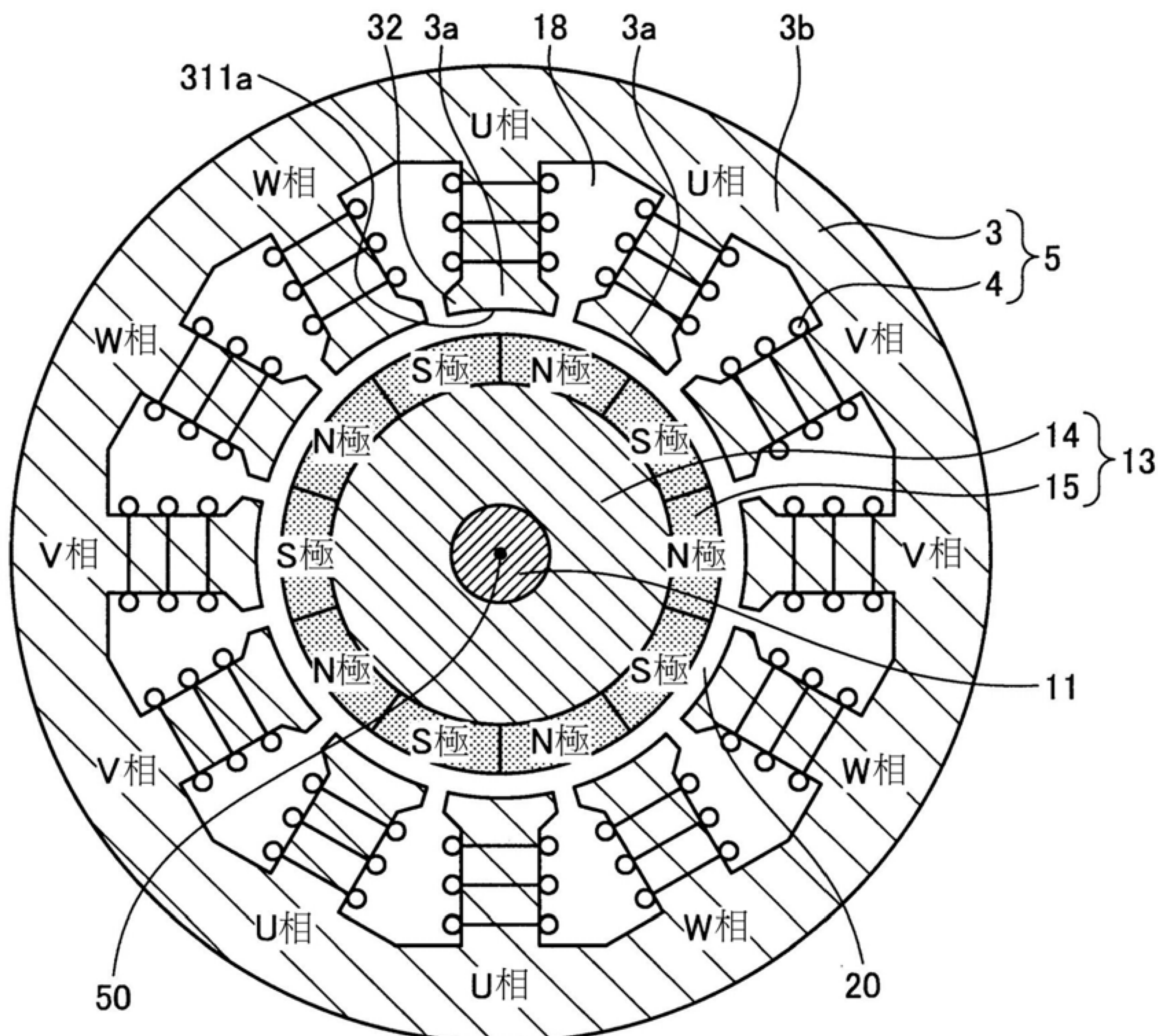
開口角  $S$ 。係將包夾前述槽的兩根前述齒的角落部連起來的弧的圓心角。

【請求項6】 如請求項 1 至 5 中任一項所述之電動機，其中，前述定子鐵芯係將磁性體芯材積層而形成。

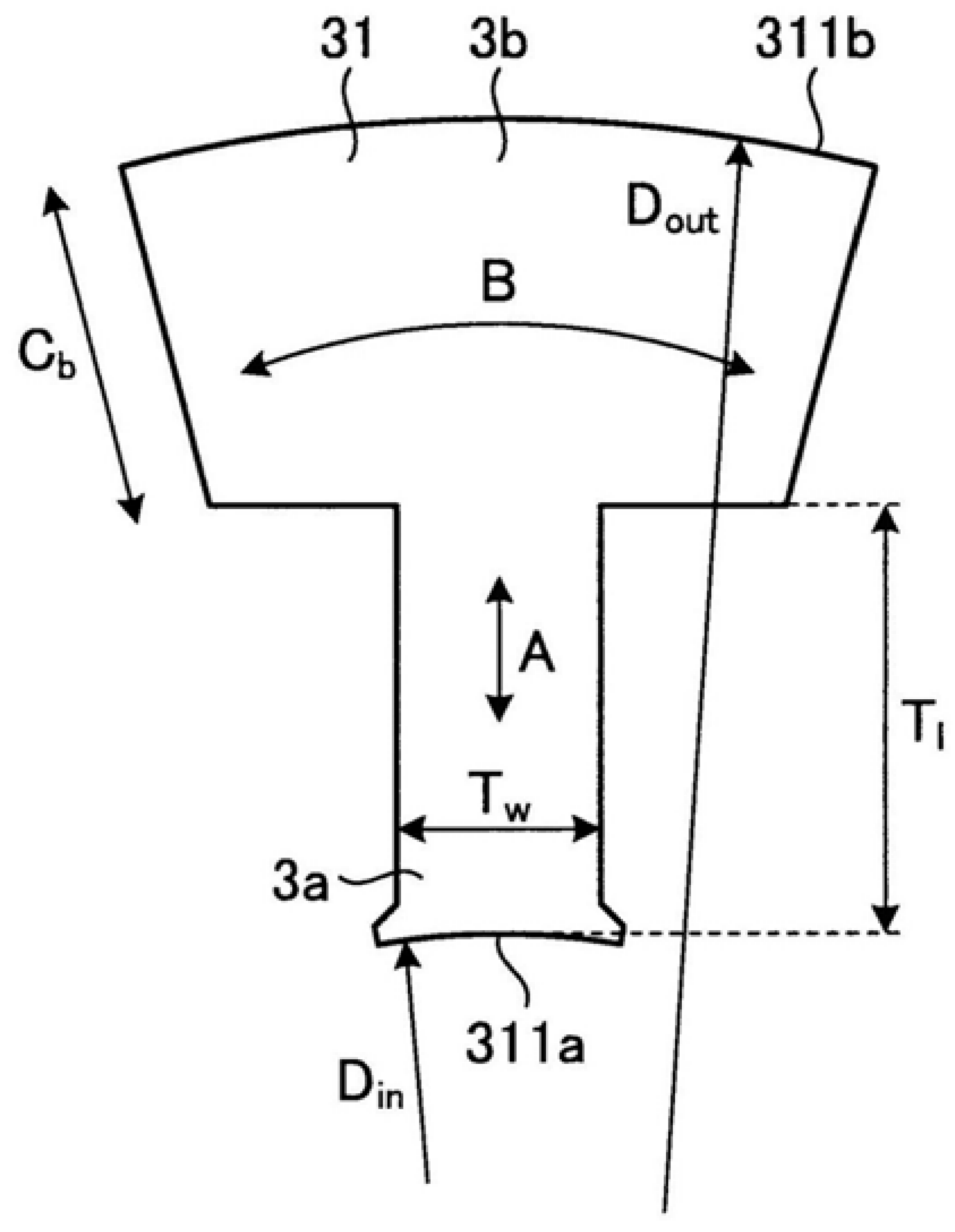
【發明圖式】



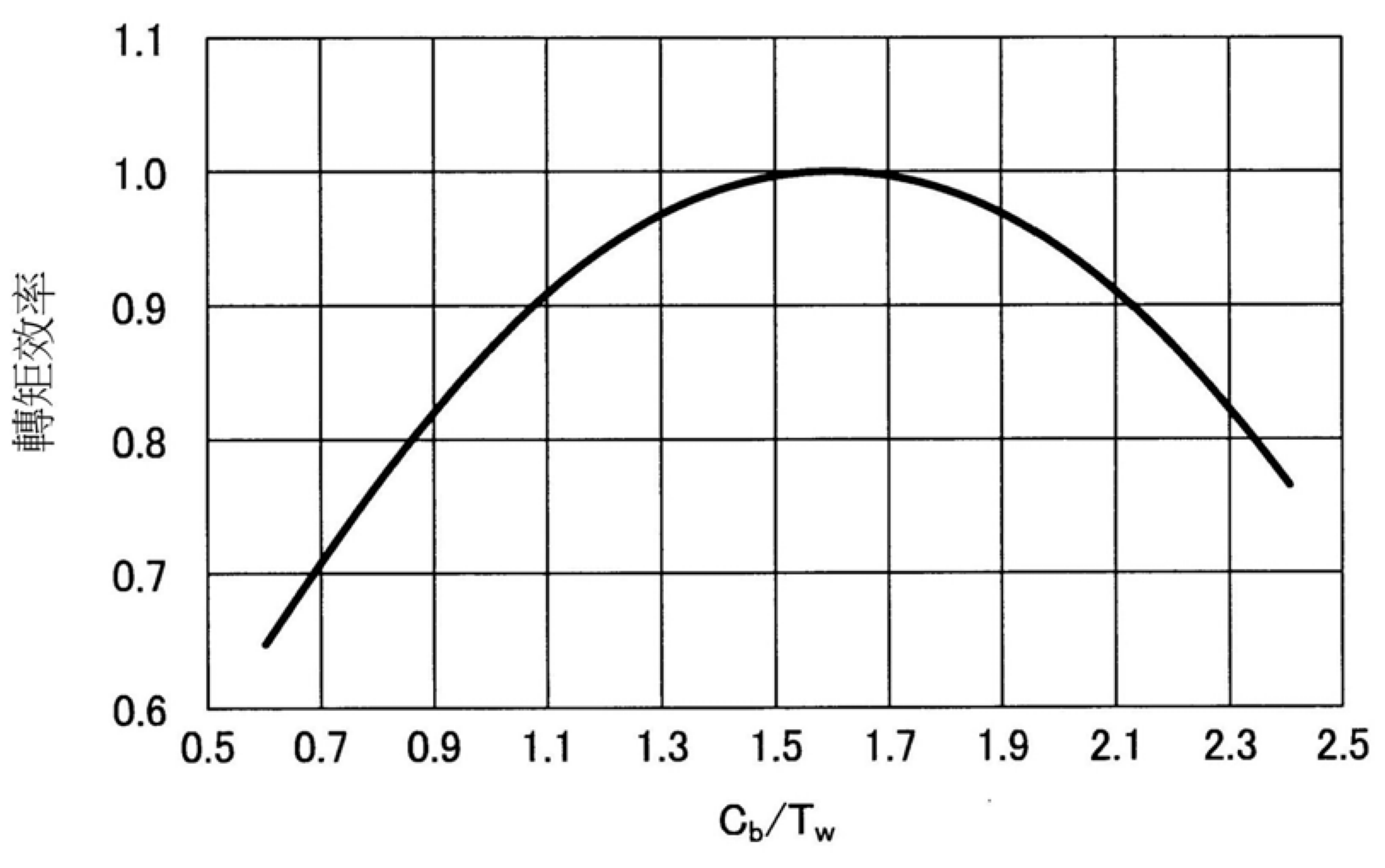
【圖1】



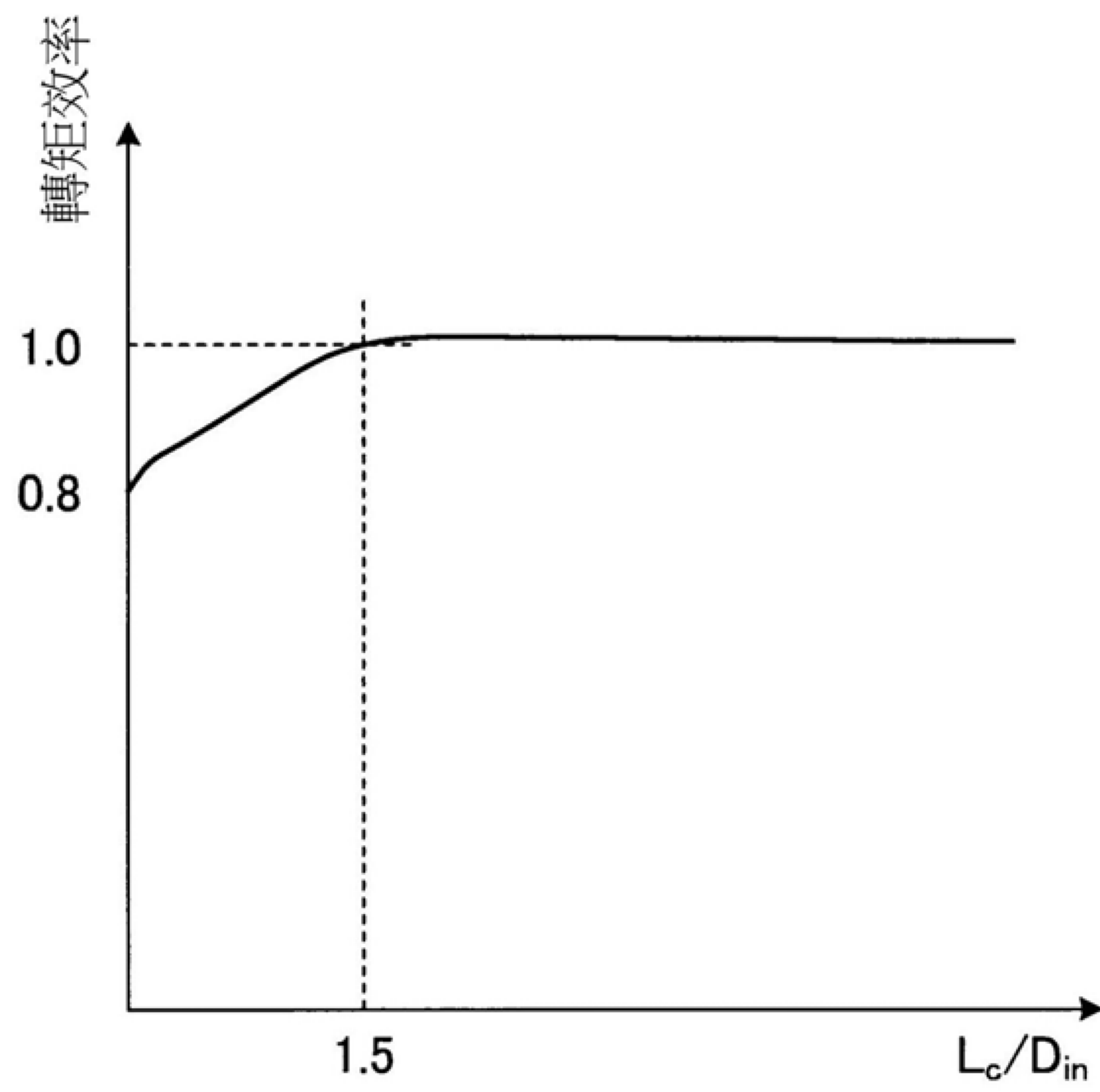
【圖2】



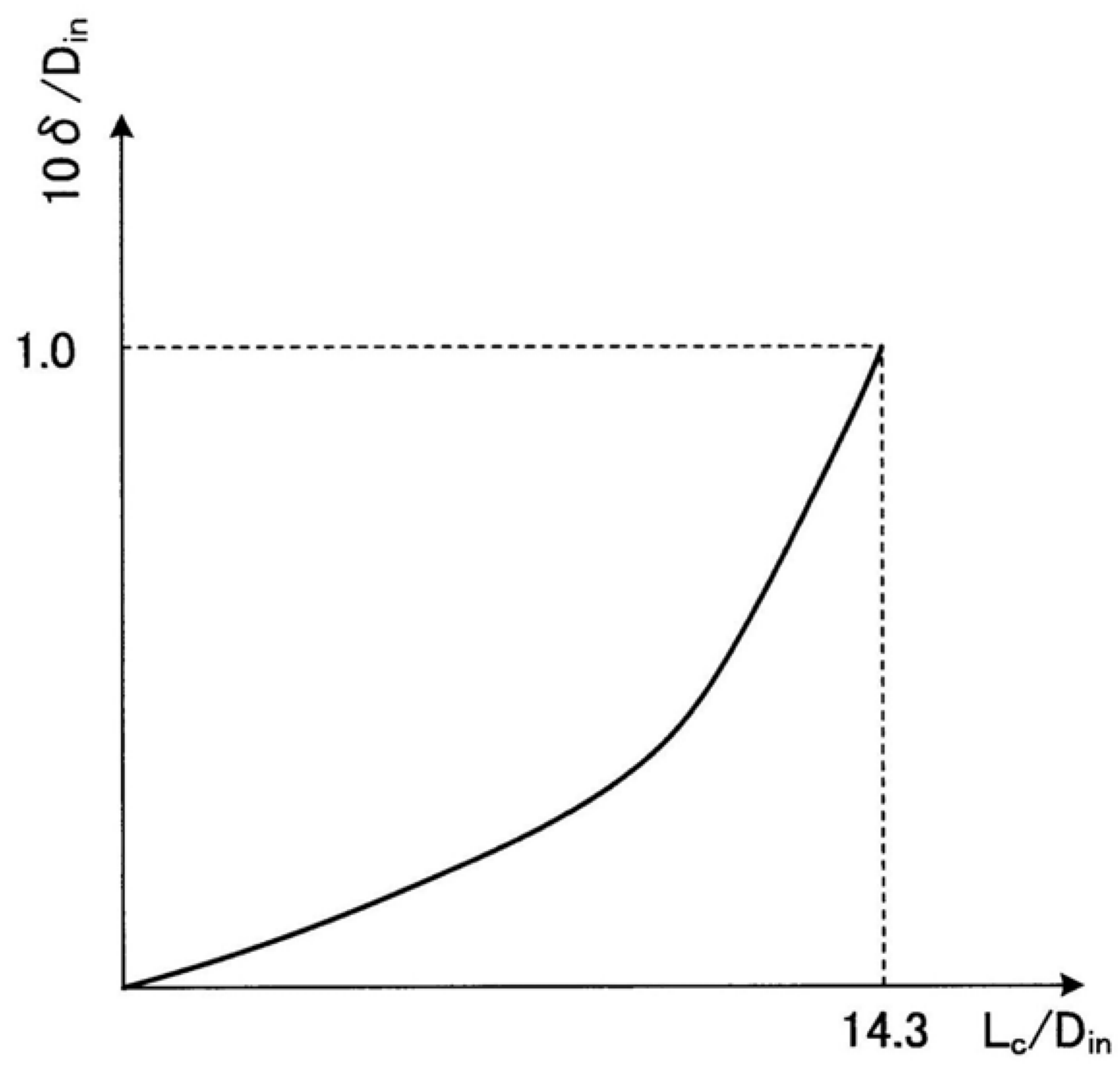
【圖3】



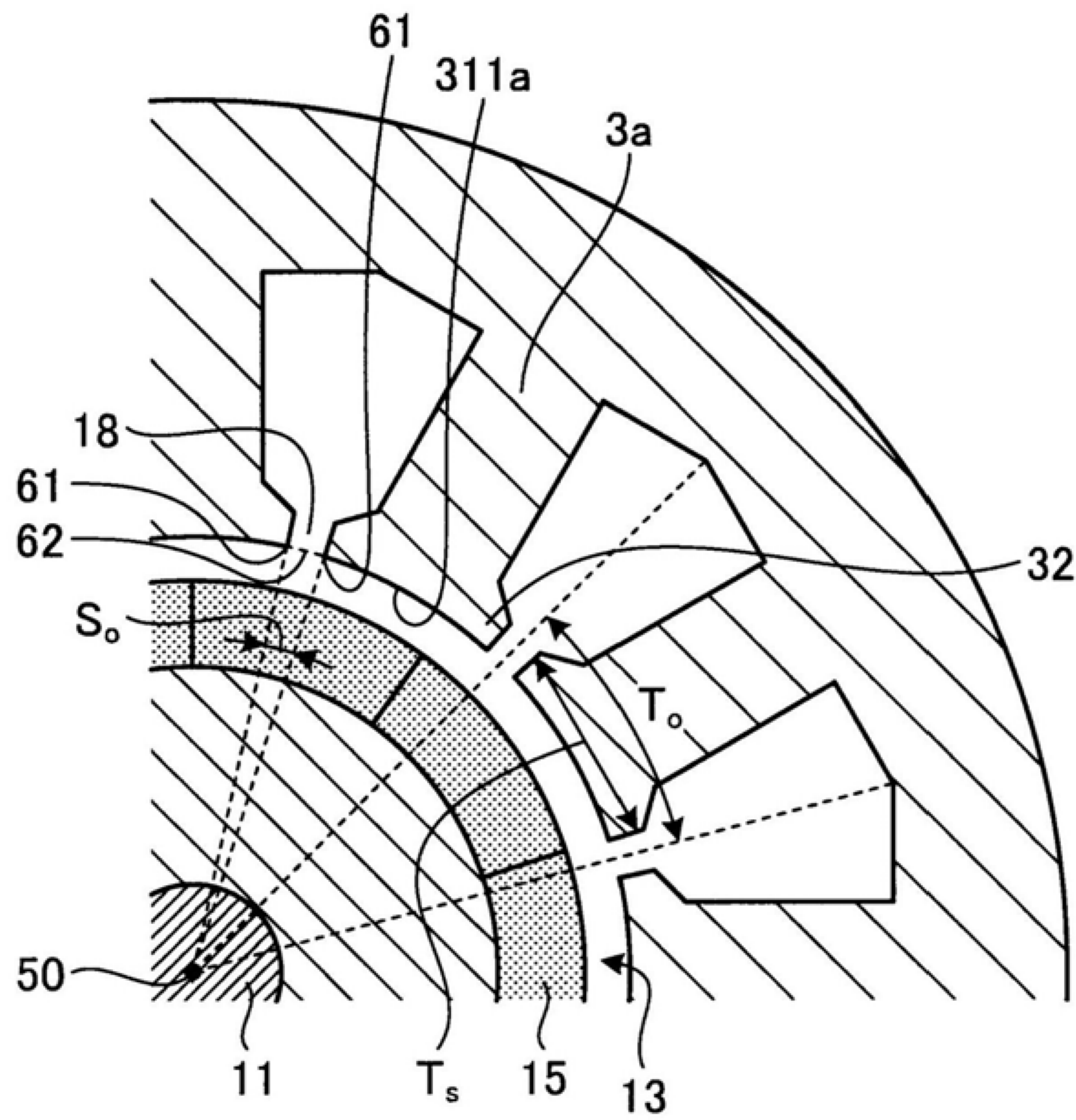
【圖4】



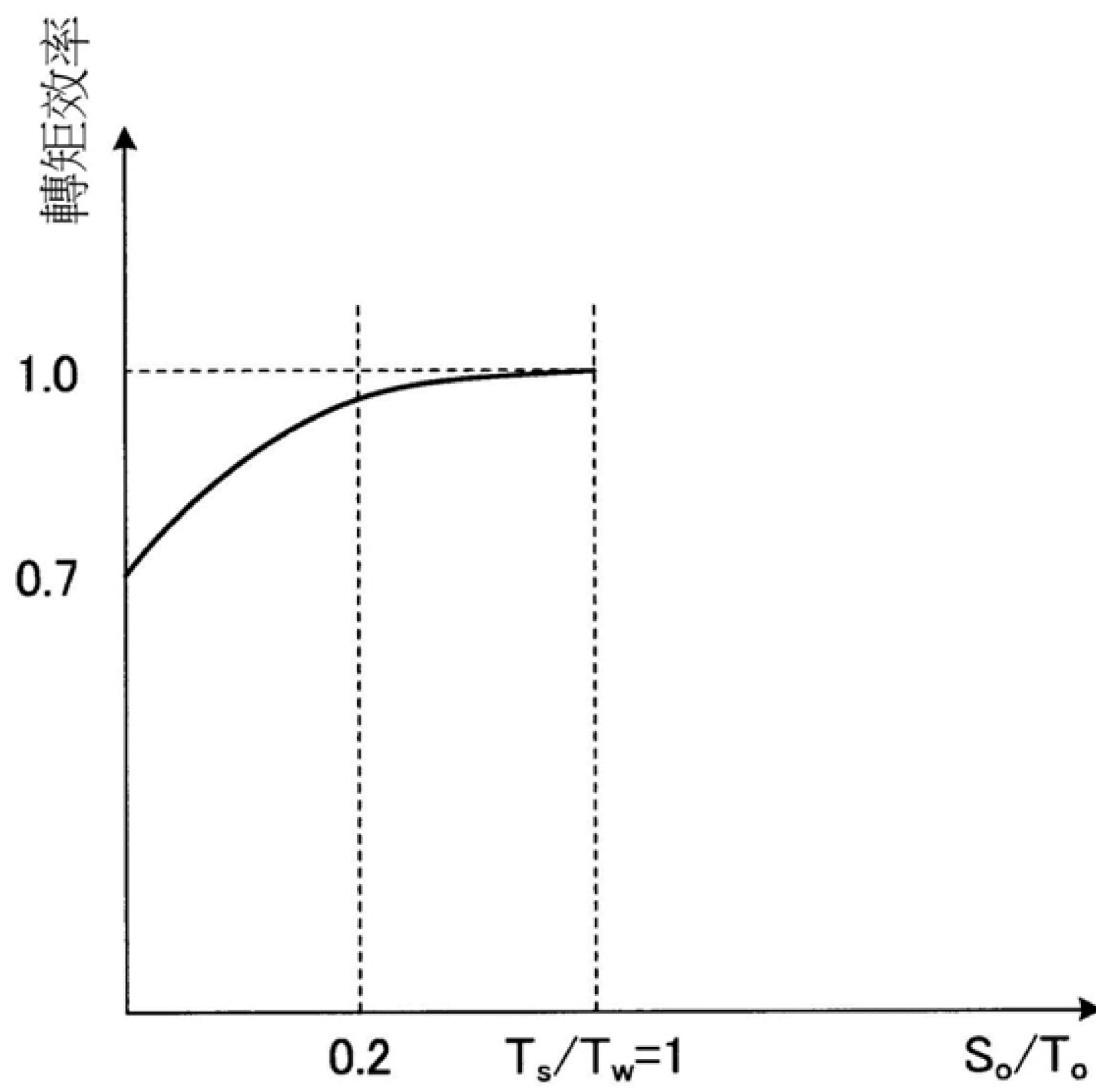
【圖5】



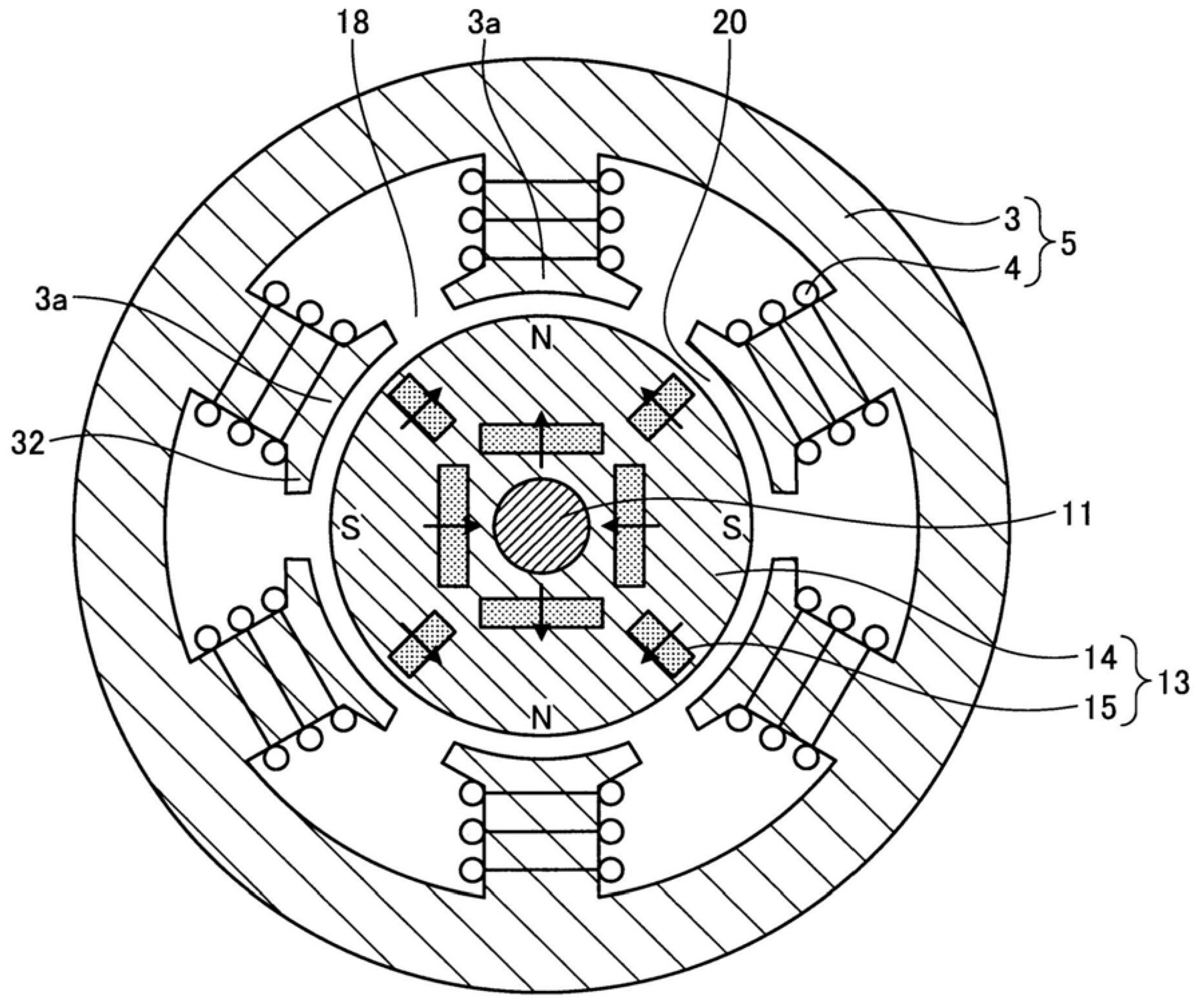
【圖6】



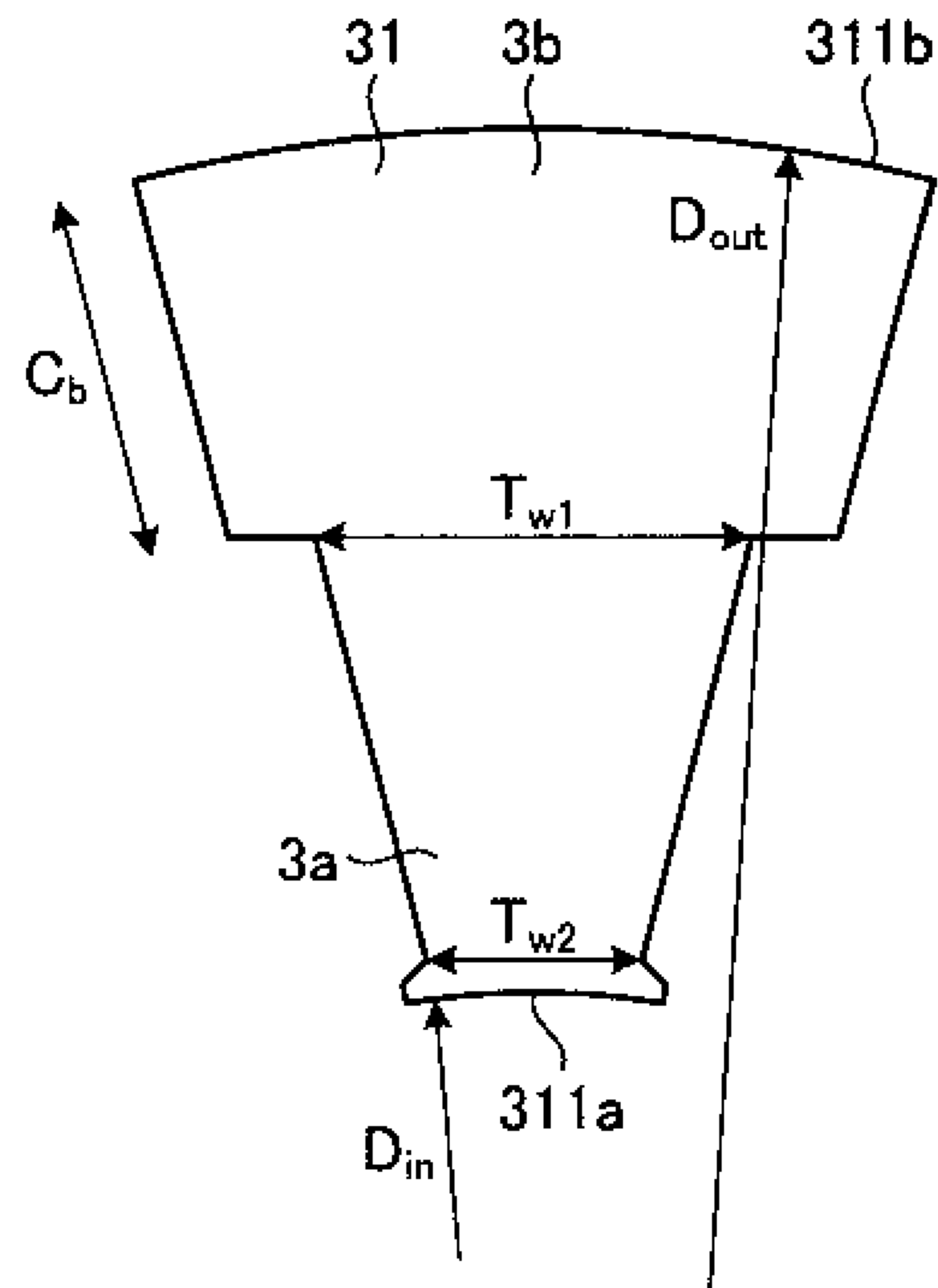
【圖7】



【圖8】



【圖9】



【圖10】