

# PKP 系列 搭載小型、薄型連接器的馬達之開發

住田 翔

許多客戶對舊有的 **PKP** 系列提出需求，希望讓導線繞線更容易、降低連接器部突出度，為改善上述問題，我們在不改變馬達尺寸的前提下開發了 **PKP** 系列搭載小型、薄型連接器的馬達。我們調整了馬達構造以降低連接器部突出度，並重新檢視連接器端子的材質及形狀，使其對應高電流。此外，我們改善磁氣設計，力求提升轉矩及振動特性、以及提高對於出力軸的推力、軸心垂直方向容許載重。在此說明搭載 **PKP** 系列小型、薄型連接器的馬達之構造與特性。

## 1. 前言

步進馬達可藉開回路進行定位控制、速度控制。因此常用於自動剪票機及監視攝影機等各種用途。特別是東方馬達的混合型步進馬達，具有高轉矩與高精度等特色。

舊有的 **PKP** 系列（以下稱舊有產品）在提升 **PK** 系列特性的同時，為改善馬達拆裝的作業效率，不採用從馬達直接拉出導線（以下稱導線型）的構造，而是在馬達上搭載連接器，使用連接用電纜線與驅動器配線的方式（以下稱連接器型）。

新開發的 **PKP** 系列搭載小型、薄型連接器的馬達（以下稱新產品。參閱圖 1）更致力調整眾多對舊有產品的需求，包括降低連接器部突出度、高轉矩化、提高出力軸容許載重等。



圖 1 從導線型至連接器型的變遷過程

## 2. 搭載小型、薄型連接器的馬達

### 2.1. 連接器型的優點

關於馬達與驅動器的配線，導線型一般使用中繼用端子台或連接器等，然而連接器型只需準備連接用電纜線，即可直接連接馬達與驅動器。（參照圖 2）

連接器型可從馬達拆卸連接用電纜線，其優點如表 1 所示。無論是連接或零件調配、更換作業的方便程度、庫存管理等方面都相當出色。（參閱圖 2~圖 5）

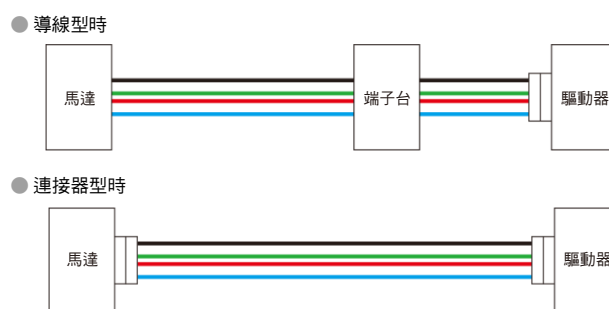


圖 2 馬達和驅動器的連接

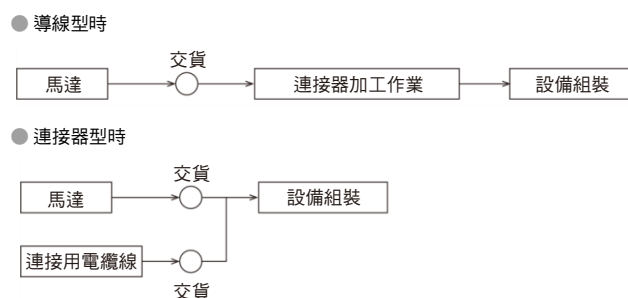
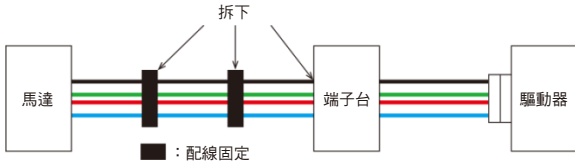


圖 3 馬達、連接用電纜線之安排

表 1 導線型與連接器型之比較

	參閱圖	導線型	連接器型
連接	圖 2	馬達與驅動器間使用中繼端子台	直接安裝馬達與驅動器即可配線
零件調配	圖 3	馬達交貨後在導線端加工	同時安排馬達與連接用電纜線
更換作業	圖 4	導線必須重新配線	可僅更換馬達
馬達庫存	圖 5	相同尺寸的馬達也須依導線種類管理	依尺寸管理馬達

● 導線型時



● 連接器型時

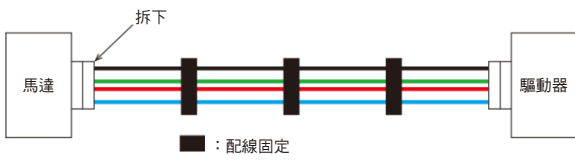


圖 4 馬達更換作業

● 導線型

必須依導線長度管理馬達的庫存

● 連接器型

管理單一種類馬達的庫存

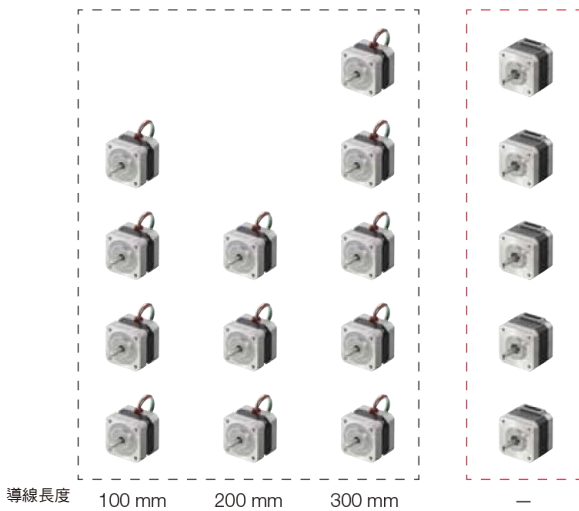


圖 5 馬達庫存的集中管理

2.2. 對應高電流的小型、薄型連接器

我們收到客戶的需求，希望可以改善舊有產品連接器的插拔與繞線方向。加上近年步進馬達的用途廣泛，在高速運轉下提高轉矩的需求增加，連接器也必須對應馬達的高電流化。

由於使用市售的連接器，難以同時縮小連接器又對應高電流，因此本公司與廣瀨電機株式會社共同開發適合此馬達的連接器。

開發出的連接器採用易於插拔的側邊卡榫構造，成功實現小型、薄型化。(參照圖 6)

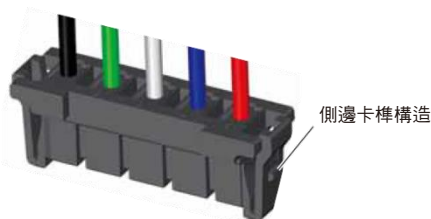


圖 6 附小型、薄型連接器的連接用電纜線

端子材質採用低電阻的銅合金，確保端子與針腳有足夠接觸面積，降低接觸電阻。因此成功開發小型、薄型且可對應高電流的連接器。舊有產品依電流規格區分使用不同的連接器，而新開發的連接器只需一種，就能對應電流規格不同的馬達。

2.3. 連接器部構造與特色

新產品將連接器本體小型、薄型化，並將連接器嵌入馬達內部，成功降低突出度。另外，將連接用電纜線的出線方向調整為出力軸的垂直方向，以提升配線的作業效率。(參照圖 7)

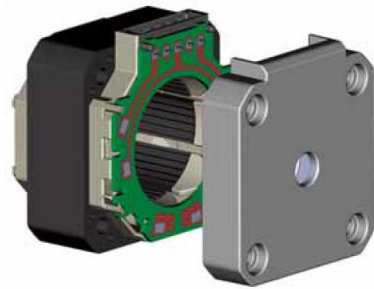


圖 7 連接器部構造

以舊有產品的構造為基礎、將新款連接器嵌入馬達後，總長反而加長了(圖 8 之 a)。

為確保捲繞線圈的空间，我們追求托架的薄件成型，加上降低連接器部突出度，成功維持舊有產品的總長(圖 8 之 b)。我們也改良了基板與線圈的連接方式，以對應高電流。

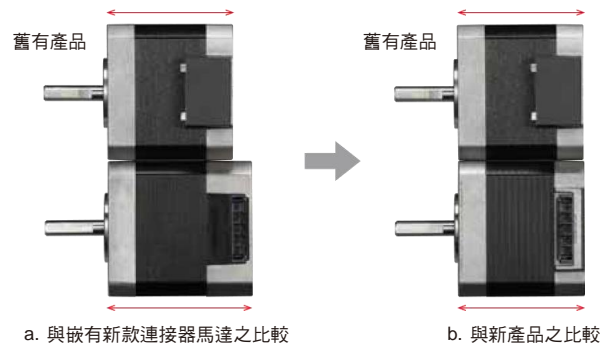


圖 8 馬達總長

舊有產品的連接用電纜線從出力軸方向出線，是適合配線的構造，但連接器的插拔方向也被限制在馬達出力軸方向，使得連接用電纜線的繞線受限（參閱圖 9）。此外，馬達總長較短時，安裝板與連接器的縫隙會變得狹窄，使得插拔困難（參閱圖 10）。

新產品將連接用電纜線的出線方向調整至馬達側面的垂直方向，藉此提升連接用電纜線的繞線自由度，使插拔更容易。

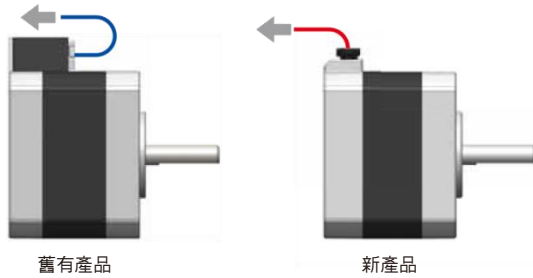


圖 9 連接用電纜線繞線之比較

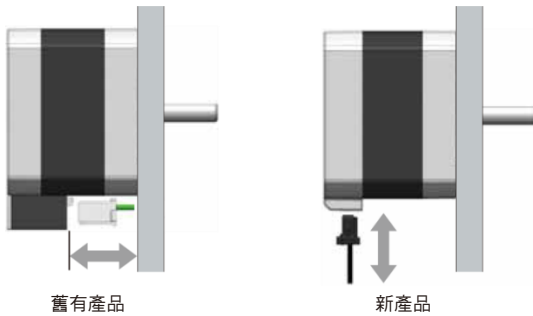


圖 10 連接器插拔方向與空間之比較

表 2 為各公司馬達的連接器高度與出線方向。新的連接器產品實現了安裝尺寸 42mm 時 3.0mm、安裝尺寸 56.4mm 時 2.0mm 的高度。

表 2 連接器高度與連接用電纜線出線方向一覽表

比較各公司 產品	連接器高度[mm]		出線方向
	安裝尺寸 42mm	安裝尺寸 56.4mm	
新產品	3.0	2.0	垂直方向
舊有產品	9.0	12.0	水平方向
A 公司	6.0	5.0	垂直方向
B 公司	7.0	5.5	垂直方向
C 公司	6.7	10.0	水平方向
D 公司	7.0	-	水平方向

※ 根據東方馬達 2018 年 7 月時之調查

### 3. 改善磁氣設計以提升馬達特性

步進馬達的驅動增加了雙極驅動，線圈利用率高於單極驅動。再加上，主流已經改變，從全步級驅動或半步級驅動，維持各相的電流於一定值並切換激磁，變成微步級驅動，使各相的電流值緩慢變化並同時細分化角度。新產品的設計目標是要在微步級驅動下實現高轉矩、低振動。

馬達的基本構造如圖 11 所示。轉子構造是以轉子核心包夾圓板狀永久磁鐵，永久磁鐵朝出力軸的軸向磁化。一般而言，永久磁鐵越大、轉子核心越長，則轉矩越高。然而，磁束量與永久磁鐵的大小成正比，因此過度加長轉子鐵芯也不會提高轉矩。

此外，維持馬達的安裝尺寸卻加大永久磁鐵的話，則必須縮小出力軸徑，造成出力軸強度下降。在上述限制下，我們還是完成了磁氣設計的改善。

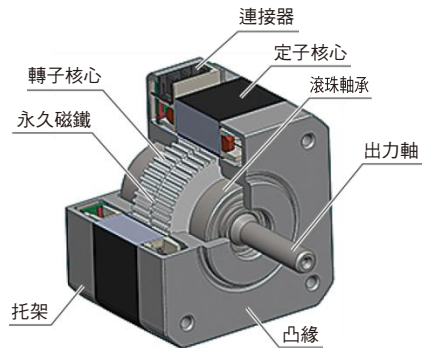


圖 11 馬達構造

#### 3.1. 提升轉矩特性

##### 3.1.1. 不同驅動方式中脫出轉矩的變化

步進馬達藉由切換線圈的激磁來運轉。將使用角度-轉矩特性（ $\theta$ -T 特性）來說明不同驅動方式中的步級動作與轉矩<sup>(2)</sup>。

2 相步進馬達一般以 2 相激磁驅動。2 相激磁下的  $\theta$ -T 特性如圖 12 所示。此特性的最大值稱為激磁最大靜止轉矩。A 相與 B 相電流通以  $AB$  表示，A 相的反方向電流通則以  $\bar{A}$  表示。在  $AB$  激磁狀態中切換至  $\bar{A}B$ ，轉子就會受激磁相的安定點牽動。

切換激磁會使安定點以 1.8°為間隔移動。此種驅動稱為全步級驅動，重複執行此動作以使轉子連續運轉。施加負載時，負載轉矩與  $\theta$ -T 特性的交點會成為動作點。可承受 AB 與  $\bar{A}\bar{B}$  的  $\theta$ -T 特性交點為止之負載轉矩。此交點為運轉時可產生的最大轉矩，稱為脫出轉矩。2 相馬達全步級驅動的脫出轉矩，約為 70%的激磁最大靜止轉矩。

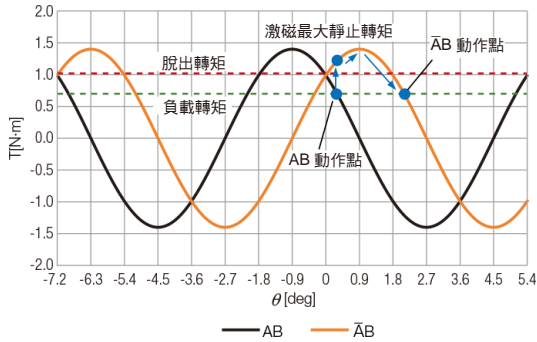


圖 12 2 相激磁 (全步級驅動) 的  $\theta$ -T 特性

1-2 相激磁為 1 相激磁與 2 相激磁交互重複，稱為半步級驅動，間隔 0.9°進行運轉 (表示為 0.9°/step)。此時的  $\theta$ -T 特性如圖 13 所示。半步級驅動的脫出轉矩為 1 相激磁的激磁最大靜止轉矩。

由上述可知，全步級驅動與半步級驅動的脫出轉矩相同。

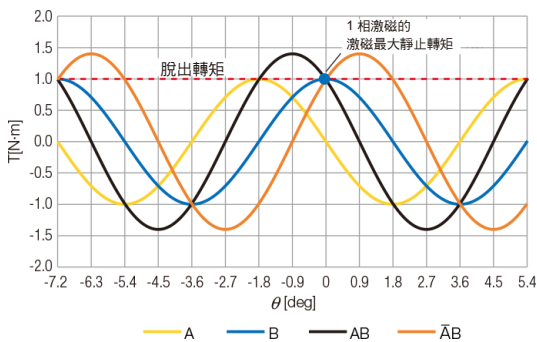


圖 13 1-2 相激磁 (半步級驅動) 的  $\theta$ -T 特性

馬達的輸入電力根據線圈損失 (銅損) 造成的溫度上升決定。銅損與電流的平方成正比，因此可將 1 相激磁的電流乘以  $\sqrt{2}$  倍，使 2 相激磁與 1 相激磁的銅損相等。1 相激磁的電流乘以  $\sqrt{2}$  倍時的  $\theta$ -T 特性如圖 14 所示。以此驅動時，脫出轉矩會升高。

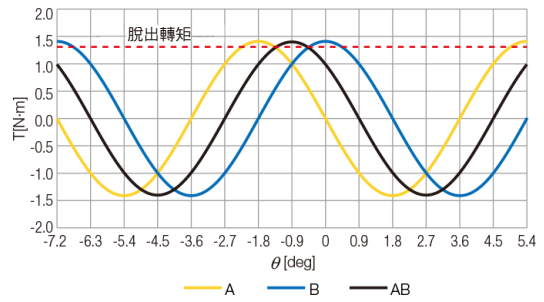


圖 14 微步級 (0.9°/step) 驅動的  $\theta$ -T 特性

更進一步提高解析度 (細分步級角) 的驅動即為微步級驅動。在電流的切換點中設定中位，就能改變電流值同時細分化步級角。

步級角細分成 0.45°時的  $\theta$ -T 特性如圖 15 所示。提升解析度時，脫出轉矩會隨解析度升高，漸漸接近 2 相激磁的激磁最大靜止轉矩。電流接近正弦波，因此也稱做正弦波驅動。

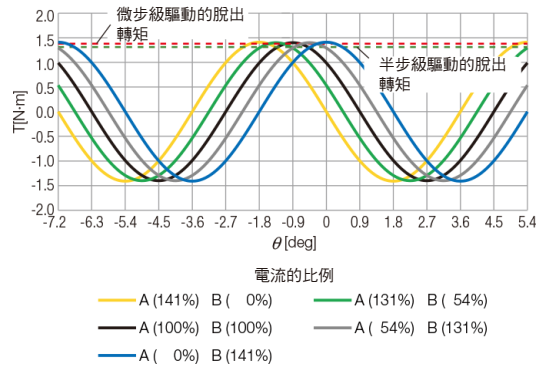


圖 15 微步級 (0.45°/step) 驅動的  $\theta$ -T 特性

### 3.1.2. 提升轉矩特性

理論上，轉矩與馬達輸入電流成正比，以式 (1) 表示。

$$T = k_t \cdot I \quad \text{..... (1)}$$

$T$  : 轉矩 [N·m]

$I$  : 馬達輸入電流 [A]

$k_t$  : 常數

然而，實際上如圖 16 所示，電流與轉矩並非正比關係，轉矩有飽和的傾向。此為使用定子核心與轉子核心的電磁鋼板，其磁氣特性所致。因此在微步級驅動下將 1 相激磁狀態的電流增大時，1 相激磁的轉矩會低於 2 相激磁，即使將電流乘以 $\sqrt{2}$ 倍，轉矩也不會變成 $\sqrt{2}$ 倍。

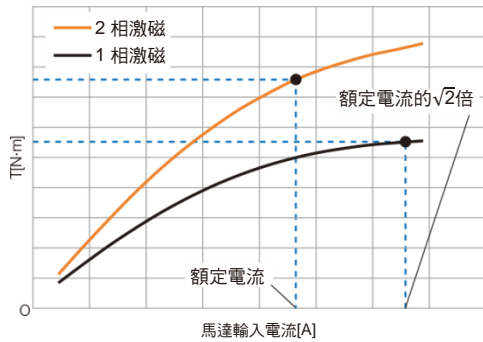


圖 16 輸入電流-轉矩

由上述可知，舊有產品之中，比起 2 相激磁，1 相激磁轉矩的飽和更大，相較於 2 相激磁的轉矩，1 相激磁的轉矩較低。考量到轉矩飽和的  $\theta$ -T 特性如圖 17 所示。脫出轉矩為 1 相激磁的激磁最大靜止轉矩。

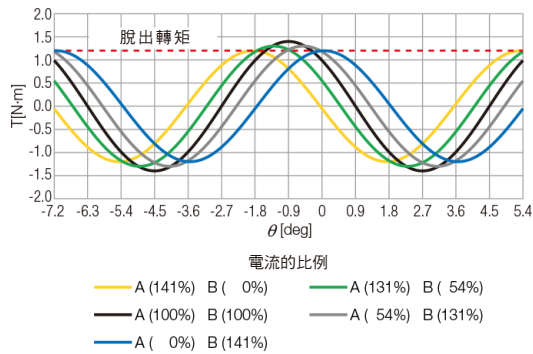


圖 17 1 相激磁轉矩飽和的  $\theta$ -T 特性

圖 18 比較了新產品與舊有產品的 1 相激磁輸入電流-轉矩特性。新產品使用的磁氣設計適合微步級驅動，減少了舊有產品對馬達輸入電流的轉矩飽和，使比例更接近線性。

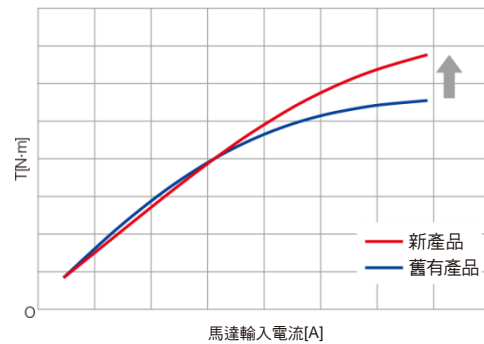


圖 18 輸入電流-1 相激磁轉矩特性之比較

CVK 系列用驅動器在所有速度範圍皆進行微步級驅動，圖 19 為新產品與該驅動器組合時的速度-轉矩特性。比起舊有產品，新產品在所有速度範圍都實現了轉矩提升。

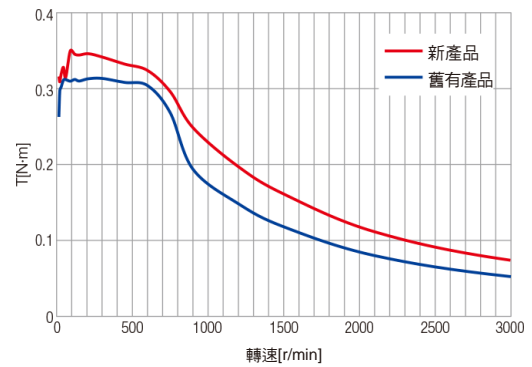


圖 19 速度-轉矩特性（脫出轉矩）比較

### 3.2. 減低共振現象產生的振動

一般而言，步進馬達在轉矩變動增加時，振動也有跟著變大的傾向。振動可能造成失步或噪音。

理論上，微步級驅動時各激磁狀態下的  $\theta$ -T 特性會呈現等間隔排列。安定點的間隔為步級角。微步級驅動會使 A 相與 B 相的電流緩慢變化，因此安定點由 A 相與 B 相的轉矩平衡決定。舊有產品因磁氣飽和，A 相與 B 相的合成轉矩與理論不同，安定點的間隔並非呈現等間隔（參閱圖 20）。

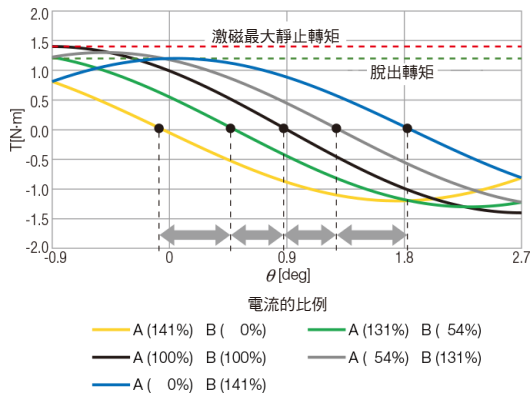


圖 20 轉矩飽和較大時的安定點間隔

安定點間隔不同，表示安定點的移動速度有所變動。安定點的移動速度變動會發生轉矩變動，若轉矩變動的頻率與馬達的固有振動數一致，出力軸的速度變動會急遽增大。此現象稱為共振。

圖 21 為舊有產品與新產品的振動特性。80r/min 左右的大幅振動即為共振造成的振動。新產品的電流-轉矩特性更接近線性，因此可抑制轉矩變動，減低振動。

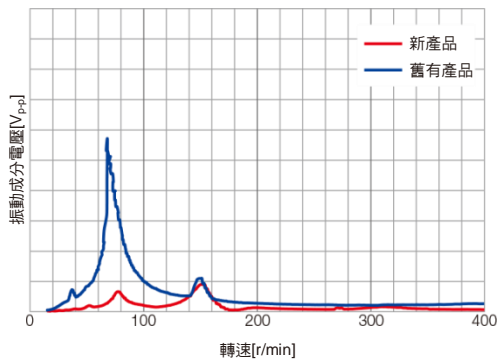


圖 21 振動特性的比較

### 3.3. 提升容許載重

由於步進馬達的特性提升、用途變得更加廣泛，提升馬達出力軸容許載重的需求也隨之增加。

如圖 22 所示，容許載重包含容許懸吊載重及容許推力載重。新產品加大了滾珠軸承部分的出力軸徑，以提升容許懸吊載重，並採用基本動額定載重較大的滾珠軸承，以提升容許推力載重。另外關於客戶使用的軸連結處，考量到與舊有產品的互換性，新產品的出力軸徑與舊有產品相同。

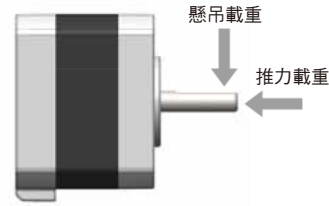


圖 22 懸吊載重與推力載重

光是加大出力軸徑，會縮小轉子內永久磁鐵的體積，造成轉矩下降。新產品以加大出力軸徑為前提，進行磁氣設計。

圖 23 為比較安裝尺寸 42mm 的新產品與舊有產品之容許載重。

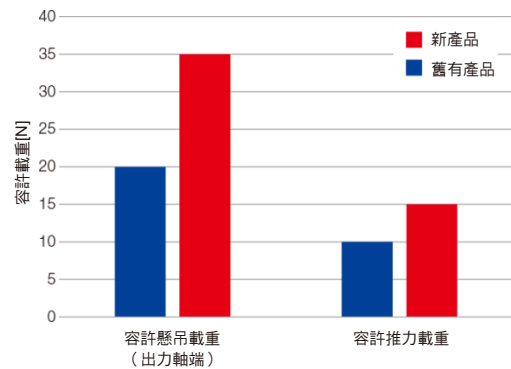


圖 23 容許載重之比較 安裝尺寸 42mm

#### 4. 總結

新產品的馬達總長與舊有產品相同，並降低了連接器部的突出度，提升了連接用電纜線繞線方向自由度。亦改善了磁氣設計，實現了高轉矩與低振動化，也提升了出力軸容許載重。造就了用途更加廣泛的馬達。

今後我們也會持續致力於開發馬達，以協助提升客戶設備性能。

---

#### 參考文獻

- (1) 金子 貴志《高轉矩2相步進馬達 PKP 系列的特色》，RENGA, No. 177 (2013)
- (2) 東方馬達 技術手冊 步進馬達編

#### 作者



住田 翔

步進馬達事業部