

真空用步進馬達及其特性

平野 篤

The stepping motor designed for a vacuum environment and its characteristics

Atsushi HIRANO

In recent years, vacuum technology has emerged as a key technology that supports advanced technologies such as semiconductor, new materials, space, and biotechnology and the demand for positioning control in a vacuum environment has increased. Our company is manufacturing 5-phase stepping motors with mounting frame sizes of $\square 42\text{mm}$ and $\square 60\text{mm}$ for medium-vacuum and ultra-high vacuum use in response to this increased demand. Recently, a newly added 5-phase stepping motor with a mounting frame size of $\square 28\text{mm}$ for high-vacuum use has been added to the lineup. This article introduces the various characteristics of these motors.

1. 前言

近年，真空技術做為支持半導體、新材料、宇宙、生物技術等先進科技的關鍵技術，不斷發展，且對於真空環境中的定位控制要求，日益升高。本公司為因應這類需求，將安裝尺寸 42mm 與 60mm 的中真空⁽¹⁾及超真空用 5 相步進馬達商品化（參照圖 1）。

本此產品種類新增加了安裝尺寸 28mm 的高真空用 5 相步進馬達，在此介紹其諸特性。

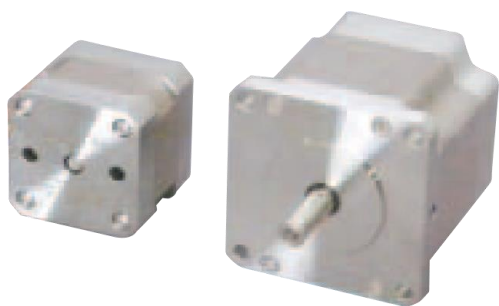


圖 1 真空用步進馬達

2. 真空用馬達

2.1. 真空與馬達

真空是指被比低於大氣壓力氣體充滿的狀態，依據 JIS Z 8126-1⁽²⁾ 分類如表 1。

表 1 真空的分類

區分	壓力範圍
低(粗)真空	100kPa ~ 100Pa ($10^5 \sim 10^2\text{Pa}$)
中真空	100Pa ~ 0.1Pa ($10^2 \sim 10^{-1}\text{Pa}$)
高真空 (HV)	0.1Pa ~ 10 μ Pa ($10^{-1} \sim 10^{-5}\text{Pa}$)
超高真空 (UHV)	10 μ Pa 以下 (10^{-5}Pa 以下)

比方說，超高真空的 10^{-7}Pa 是大氣壓 ($1.0133 \times 10^5\text{Pa}$) 約 1 兆分之 1 的壓力，高真空的 10^{-3}Pa 也僅有大氣壓約 1 億分之 1 的壓力，壓力非常低。為了達到這樣的真空狀態，必須使用排氣幫浦將真空容器內的氣體排氣到容器外。為了維持真空狀態，真空容器中使用的零件或部件的材質受到限制，馬達也必須使用真空專用馬達。

2.2. 真空用馬達的優點

在真空環境下，若要進行運轉、直線驅動時，可以考慮將馬達設置在真空容器外或真空容器內。將馬達設置在真空容器外時，須使用運轉導入機等設備，將馬達的動力間接傳導至真空容器內（參照圖 2）。此時，設備的體積會變大，也難以採用多軸化的複雜機構。採用多軸驅動時，必

須依照軸數設置運轉導入機，會造成成本增加。此外，導入部若發生洩漏，便會導致難以提升至到達真空度。

若使用真空用馬達，將馬達設置於真空容器內，可以讓設備小型化，並可降低成本（參照圖 3）。此外，由於機構變得簡單，因此容易多軸化，可進行複雜的動作或高精度定位。

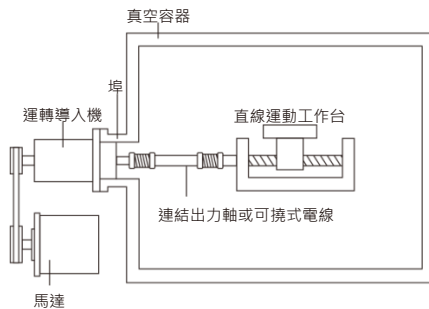


圖 2 使用運轉導入機的設備例

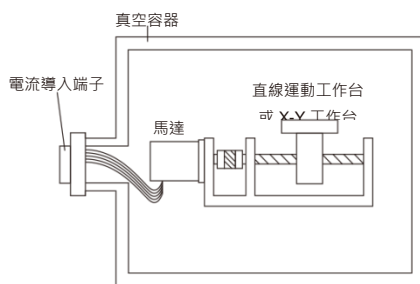


圖 3 使用真空用馬達的設備例

3. 真空用馬達應有的性能

可在真空中使用的馬達，應有以下性能。

① 構成零件的釋放氣體少

真空容器內的到達壓力，與容器內壁或設備表面的氣體釋放速度成正比，與真空幫浦的排氣速度成反比。因此，馬達的釋放氣體必須要很少。釋放氣體有可能是容器內壁或設備表面吸附的分子脫離，或材質內部吸藏的分子被釋放出，或者是材質本身因熱蒸發而產生。在大氣壓中使用的一般馬達，在轉子和定子鐵板上的防鏽油或軸承用潤滑油等，包含許多會在真空中釋放氣體的物質。此外，零件表面及樹脂材料中存在許多水分（H₂O），水分在常溫下釋放速度較慢，導致達到目標真空度的時間變長。因此，重點在於選用釋放氣體少的零件或材料。

熱處理^(註 1)可有效除去水分。透過熱處理，可使氣體加快釋出，更快到達目標壓力。

② 釋放氣體不可以有污染真空環境的成分

釋放氣體的成分，可能會造成真空容器內產生污染、半導體晶圓的薄膜異常或微細表面計測的測量異常。因此，選用的零件或材料只能釋出通常潔淨真空環境常見氣體成分（H₂、H₂O、CO、N₂、CO₂等）。特別是軸承用的潤滑油因蒸發或飛散，會造成真空環境污染，因此必須使用對應真空的產品。

③ 耐熱性優異

實施熱處理時，馬達必須具備承受熱處理溫度的耐熱性。此外，真空環境下不會因對流而進行熱傳導，馬達發出的熱量只能透過紅外線輻射及安裝部進行熱傳導，因此馬達的溫度會比大氣中還高。因此，馬達的耐熱等級為 H，使用時必須注意線圈燒損。

為了能達到上述真空用馬達的性能，本公司採用如表 2 所示的材料。另有販售各種軸承用真空潤滑油，或採用固體潤滑的真空用軸承，必須依據使用真空度或使用溫度、驅動條件等進行選擇。

表 2 使用材料例

構造零件		材 質
絕緣材料		PA (聚酰胺) PPS (聚苯硫醚)
永久磁鐵電線		PA (I 聚酰胺酰亞胺) 樹脂
導線		PTFE (聚四氟乙烯) 薄膜
滾珠軸承	大氣壓 ~ 高真空	真空用潤滑油型
	中 ~ 超高真空	固體潤滑型
外殼		鋁、不鏽鋼

(註 1) 透過對真空容器等加熱處理，施以熱能，可讓吸著於容器內壁或設備表面富含水分的氣體分子脫離。

表 3 真空用步進馬達的產品種類

真空度	安裝尺寸	品名		相數	接線方式	對應真空度	耐熱等級	可熟處理溫度
		單出力軸	雙出力軸					
中真空	42mm	PK543V-NA	PK543V-NB	5 相	新五角	10^{-4} Pa	H (180°C)	100°C
		PK544V-NA	PK544V-NB					
		PK545V-NA	PK545V-NB					
	60mm	PK566V-NA	PK566V-NB					
高真空	28mm	PK569V-NA	PK569V-NB	5 相	新五角	10^{-5} Pa	H (180°C)	100°C
		PK523HPVA	PK523HPVB					
超高真空	42、60mm	PK525HPVA	PK525HPVB	5 相	新五角	10^{-7} Pa	H (180°C)	180°C
		接單生產						

4. 真空用步進馬達的產品種類

各種半導體製造設備或測量設備等，要求定位控制的案例變得更多。由於真空中難以使用電子零件，因此無法採用須使用編碼器等檢知器的馬達。因此，許多案例都使用可在真空中進行開回路定位的步進馬達。

表 3 為本公司真空用步進馬達的產品種類。以低振動且可高精度定位的 5 相 PK 步進馬達為基礎，分別有中真空用、高真空用及超高真空用等類型。除了安裝尺寸 42mm、60mm 之外，產品種類中還有可安裝在狹窄真空容器空間的 28mm 高真空用步進馬達。使在真空容器內自動調整或定位變為可能。

5. □28mm 真空用步進馬達的諸特性

PK52□HPVA (參照圖 4) 的轉速－轉矩特性及使用真空評估設備的諸特性。

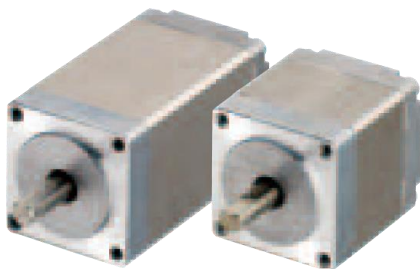
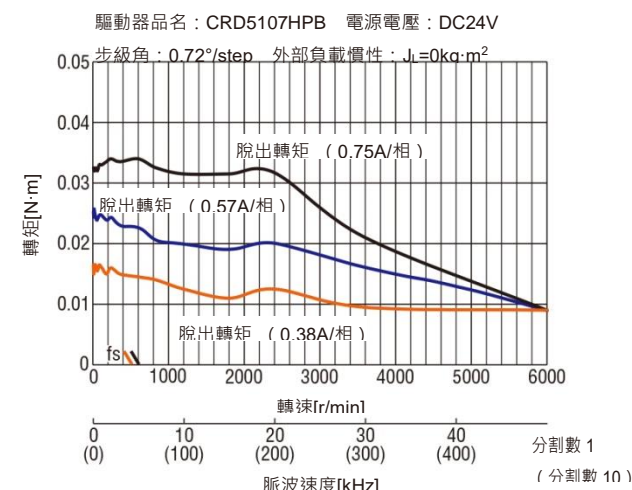


圖 4 □28mm 高真空用步進馬達

5.1. 轉速 - 轉矩特性

圖 5 為轉速－轉矩特性例。馬達在低～中速的發生轉矩幾乎與電流成比例。由於馬達的發熱與電流的平方成比例，電流降低可減低發熱。重點在確保足以驅動設備機構之轉矩的前提下，盡可能以較低的電流驅動馬達，以抑制發熱。

PK523HPVA/PK523HPVB



PK525HPVA/PK525HPVB

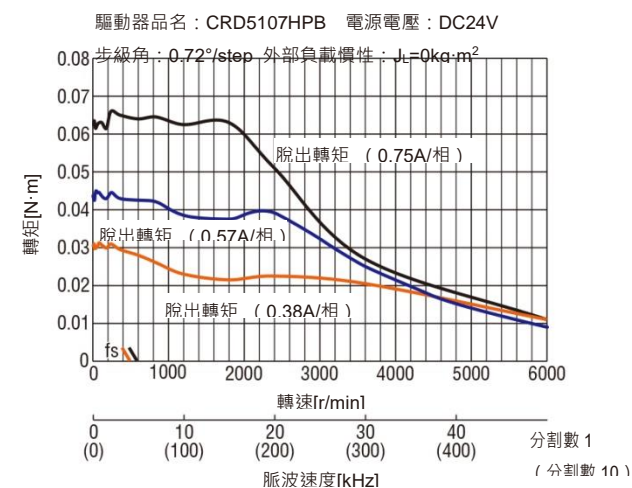


圖 5 轉速 - 轉矩特性

5.2. 使用真空評估設備的諸特性

5.2.1. 真空評估設備的概要

圖 6、7 為本公司真空評估設備的外觀及構成。真空容器四周安裝有對容器加熱用的加熱器，可實施熱處理。排氣用幫浦的主幫浦使用渦輪分子幫浦，輔助幫浦使用旋轉幫浦。使用電離真空計測量壓力（全壓）。使用四極柱式質譜儀分析釋放氣體成分。



圖 6 真空評估設備外觀

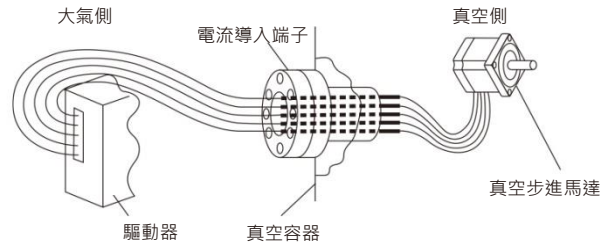


圖 9 電流導入端子

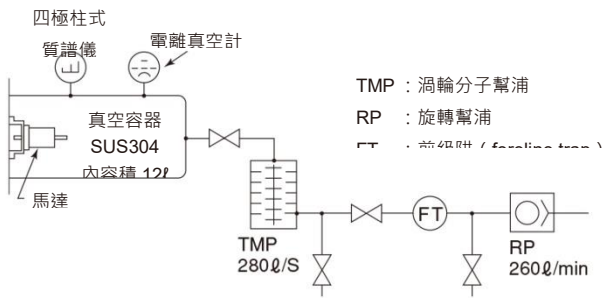


圖 7 真空評估設備構成圖

圖 8 為真空評估設備單體排氣特性^(註2)(無熱處理)。可得知約 4 小時能到達 10^{-6} Pa 以下。若進行熱處理，則可達到 10^{-7} Pa 以下。

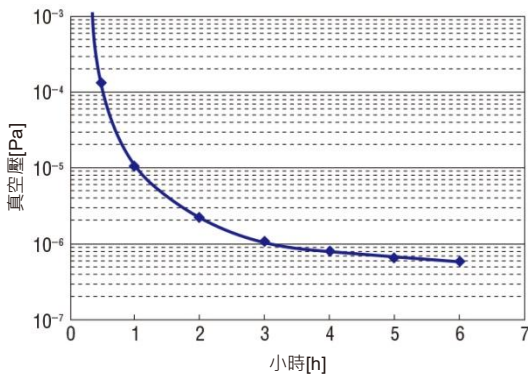


圖 8 真空評估設備的排氣特性

馬達固定於真空容器內部的馬達安裝板(材質: SUS304)，透過電流導入端子^(註3)連接大氣端的驅動器(參照圖 9)。馬達外表及線圈部的溫度，以熱電偶測量。

5.2.2. 溫度特性

圖 10、11 為 PK523HPVA 停止時及連續運轉時(5 秒運轉、5 秒停止、電流下降率 50%)的馬達外表及線圈的溫度特性。可看出線圈及馬達外表間的溫度差約 10~30°C。本次的測量條件下，不論停止時或連續運轉時，即使流過 0.6A/相的馬達電流，馬達外表溫度皆在規格值 100°C 以下。此時評估設備的環境溫度為 30°C。為了減低馬達發熱，重點在於將馬達緊密安裝在使用高導熱性材質的安裝板上，使熱量散至容器外部。此外，透過驅動器的電流下降功能，降低馬達停止時的電流值，讓停止時間盡量拉長也是有效的方法。

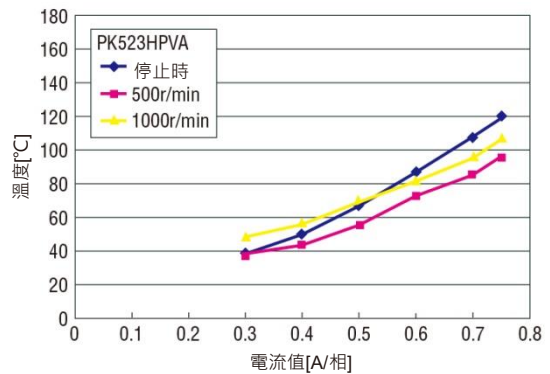


圖 10 馬達電流 - 外表溫度特性

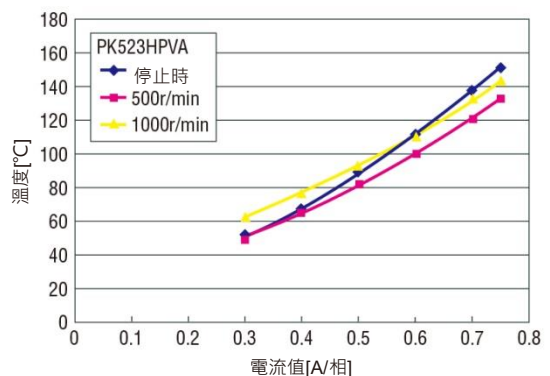


圖 11 馬達電流 - 線圈溫度特性

(註 2) 表示真空設備的排氣能力。橫軸為排氣時間、縱軸為到達真空壓。

(註 3) 真空容器內與大氣側阻隔狀態下，可將電流供給至真空容器內馬達的端子。

5.2.3. 馬達電流 - 真空壓特性

圖 12 為馬達電流 - 真空壓特性。可得知馬達電流為 0.6A/相時，能維持在 10^{-6} Pa 以下。此外，可確認 0.6A/相以下，可透過馬達運轉讓壓力上升。若 0.6A/相以上，特性則會逆轉，有可能是因為馬達高溫，導致軸承潤滑油蒸發或線圈水分蒸發而導致。

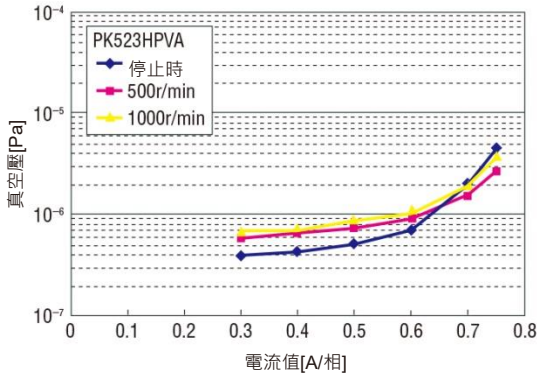


圖 12 馬達電流 - 真空壓特性

5.2.4. 殘留氣體圖譜

圖 13 為 PK523HPVA 以 0.6A/相通電時的運轉(500r/min) 殘留氣體圖譜。主要的殘留氣體為 H_2 (分子量 2)、 H_2O (分子量 18)、 $CO+N_2$ (分子量 28)、 CO_2 (分子量 44)。由於與一般潔淨大氣包含的成分相同，可得知馬達未產生污染氣體成分。

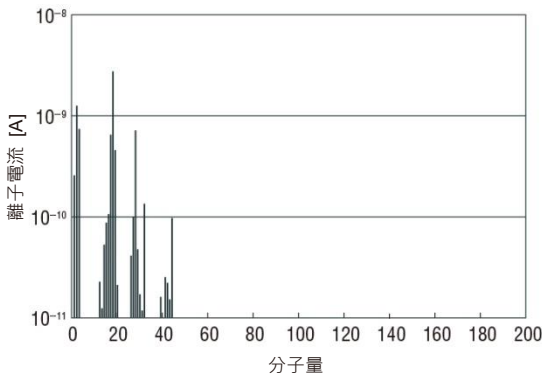


圖 13 殘留氣體圖譜 (500r/min 運轉)

6. 總結

本公司提供 5 相步進馬達 PK 系列真空、高真空、超真空用馬達。除了馬達的安裝尺寸 42mm、60mm 之外，更新增 28mm 產品種類。可用在狹小的真空容器內，進行自動調整或高精度定位，有助於真空環境下的自動化。

參考文獻

- (1) 坂本 正人,「對應真空馬達的評估內容及其評估設備」RENGA, No.160, (2000), p26-30
- (2) 日本規格協會,「JISZ8126-1 真空技術-用語-第1部:一般用語」, (1999)

作者



平野 篤

MC 事業部 技術部
馬達技術課