

真空用ステッピングモーターとその特性

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 □42mm and □60mm 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 □28mm for high-vacuum use has been added to the lineup. This article introduces the various characteristics of these motors.

1. はじめに

近年、真空技術は半導体、新素材、宇宙、バイオテクノロジーなどの先端技術を支えるキーテクノロジーとして発展しており、真空環境中での位置決め制御の要求が、ますます高まっています。当社では、この要望にお応えして取付角寸法42mmと60mmの中真空⁽¹⁾および超高真空用5相ステッピングモーターを商品化しています（図1参照）。

今回新たに、取付角寸法28mmの高真空用5相ステッピングモーターをラインアップしましたので、その諸特性を紹介します。

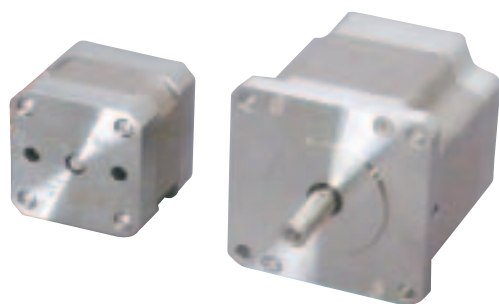


図1 真空用ステッピングモーター

2. 真空用モーター

2.1. 真空とモーター

真空とは、大気圧よりも低い圧力の気体で満たされた状態をいい、JIS Z 8126-1⁽²⁾では、表1のように分類されています。

表1 真空の分類

区分	圧力範囲	
低(粗い)真空	100kPa~100Pa	($10^5 \sim 10^2$ Pa)
中真空	100Pa~0.1Pa	($10^2 \sim 10^{-1}$ Pa)
高真空(HV)	0.1Pa~ 10μ Pa	($10^{-1} \sim 10^{-6}$ Pa)
超高真空(UHV)	10μ Pa以下	(10^{-6} Pa以下)

たとえば超高真空の 10^{-7} Paは、大気圧（ 1.0133×10^5 Pa）の約1兆分の1の圧力であり、高真空の 10^{-3} Paでも大気圧の約1億分の1という非常に低い圧力です。このような真空状態を実現するには、真空容器内の気体を、排気ポンプで容器外に排気することが必要となります。そして真空状態を維持するためには、真空容器内に持ち込める部品や部材の材質は限定され、モーターとしても真空専用のモーターが必要となります。

2.2. 真空用モーターのメリット

真空環境で、回転・直線駆動をする場合、モーターを真空容器外に設置する場合と、真空容器内に設置する場合があります。モーターを真空容器外に設置する場合には、回転導入機などを用いて、モーター動力を間接的に真空容器内に伝達する方法がとられます（図2参照）。この場合には装置が大型となり、多軸化による複雑な機構も難しくなります。多軸駆動では、軸数分の回転導入機が必要となるため、コストアップにもなります。

また導入部からの漏れにより、到達真空度が上がりにくくなることもあります。

真空用モーターを用い、モーターを真空容器内に設置することで、装置の小型化、低コスト化がはかれます(図3参照)。また機構が簡単となるため、多軸化が容易となり、複雑な動きや高精度位置決めも可能となります。

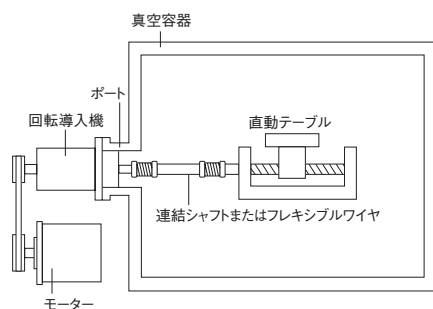


図2 回転導入機を使用した装置例

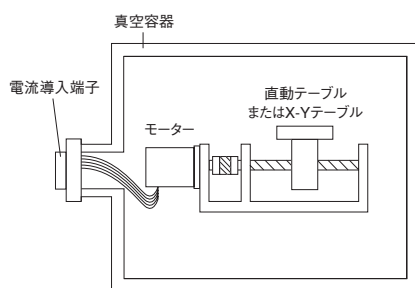


図3 真空用モーターを使用した装置例

3. 真空用モーターに要求される性能

真空中で使用可能なモーターは、以下の性能が要求されます。

① 構成部品からの放出ガスが少ないこと

真空容器内の到達圧力は、容器の内壁や装置の表面のガス放出速度に比例し、真空ポンプの排気速度に反比例します。したがって、モーターからの放出ガスが少ないことが要求されます。放出ガスは、容器の内壁や装置の表面に吸着している分子が脱離したもの、材質内部に吸蔵された分子が放出されたもの、および材質自体が熱蒸発したものです。大気圧中で使用される通常のモーターには、回転子や固定子の鉄板の防錆油や軸受用グリースなど、真空中で放出ガスの発生源となる物質が多く含まれます。また、水分(H₂O)は、部品表面や樹脂材料中に多く存在し、常温付近での放出速度が遅いため、所定の真空度に到達するまでの時間が長くなる原因となります。そのため、放出ガスが少ない部品や材料の選定が重要となります。

水分除去としては、ベーキング処理^(注1)が有効です。ベーキング処理によりガス放出が早まり、所定の圧力に早く到達できます。

② 放出ガスに真空環境を汚染する成分がないこと

放出ガス成分によっては、真空容器内の汚染が発生し、半導体ウエハーの薄膜異常や微細表面計測での測定異常などの原因となります。通常のクリーンな真空環境で見られるガス成分(H₂, H₂O, CO, N₂, CO₂等)以外が、発生しないような部品や材料の選定が必要となります。特に軸受用グリースの蒸発や飛散により、真空環境の汚染原因となる場合があるため、真空に対応したものを使うことが必要です。

③ 耐熱性に優れていること

ベーキング処理を行う場合、モーターにはその温度に耐えられる耐熱性が要求されます。また、真空中では対流による熱伝達がなくなり、モーターからの熱の放出は赤外線放射と取付をとおしての熱伝導のみとなるため、大気中よりモーター温度が高くなります。そのためモーターの耐熱クラスをHとしています。使用にあたっては、巻線の焼損に注意する必要があります。

以上のような真空用モーターとしての性能を満足させるため当社では、表2に示す材料を使用しています。なお軸受は真空用グリースや、固体潤滑を採用した真空用軸受が各種販売されており、使用真空度や使用温度、駆動条件等により選択する必要があります。

表2 使用材料例

構造部品	材質	
絶縁材料	PA(ポリアミド) PPS(ポリフェニレンサルファイド)	
マグネットワイヤ	PAI(ポリアミドイミド)樹脂	
リード線	PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)被膜	
玉軸受	大気圧~高真空	真空用グリースタイプ
	中~超高真空	固体潤滑タイプ
ケース	アルミ、ステンレス鋼	

(注1) 真空容器等を加熱することで、容器内壁や装置表面に吸着している水分を含むガス分子に、熱エネルギーを与えて、脱離させる処理です。

表3 真空用ステッピングモーターのラインアップ

真空度	取付角寸法	品名		相数	結線方式	対応真空度	耐熱クラス	ベーキング可能温度
		片軸	両軸					
中真空	42mm	PK543V-NA	PK543V-NB	5相	新ペンタゴン	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					
		PK523HPVA	PK523HPVB					
超高真空	42, 60mm	PK525HPVA	PK525HPVB	10 ⁻⁷ Pa			180°C	
		受注生産						

4. 真空用ステッピングモーターのラインアップ

各種半導体製造装置や計測装置等では、位置決め制御を求められるケースが多くなります。真空中では、電子部品を使用することが難しく、エンコーダなどの検出器を必要とするモーターの採用は難しくなります。このため真空中では、オープンループで位置決めが可能なステッピングモーターを使用するケースが多くなります。

表3に、当社の真空用ステッピングモーターのラインアップを示します。低振動で高精度位置決めが可能な5相PKステッピングモーターをベースとして、中真空用、高真空用、超高真空用があります。取付角寸法は42mm, 60mmに加え、真空容器内の狭いスペースでも取付可能な、28mm高真空用ステッピングモーターをラインアップしました。真空容器内での自動調整や位置決めが可能となります。

5. □28mm高真空用ステッピングモーターの諸特性

PK52□HPVA (図4参照) の回転速度-トルク特性と、真空評価装置を使用した諸特性を示します。

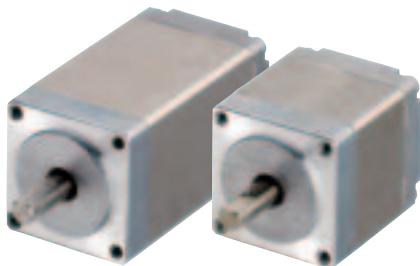


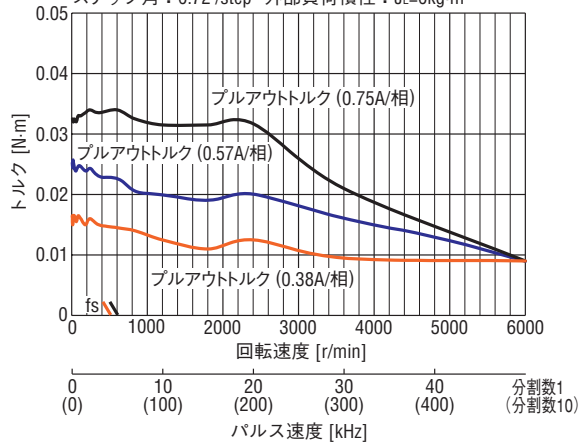
図4 □28mm高真空用ステッピングモーター

5.1. 回転速度-トルク特性

図5に、回転速度-トルク特性を示します。低~中速でのモーター発生トルクは、電流にほぼ比例することがわかります。モーターの発熱は電流の2乗に比例しますので、電流の低い方が発熱を低減できます。装置の機構を駆動できるトルクを確保し、なおかつ少ない電流で駆動させることが、モーターの発熱を抑える上で重要となります。

PK523HPVA/PK523HPVB

ドライバ品名: CRD5107HPB 電源電圧: DC24V
ステップ角: 0.72°/step 外部負荷慣性: J_L=0kg·m²



PK525HPVA/PK525HPVB

ドライバ品名: CRD5107HPB 電源電圧: DC24V
ステップ角: 0.72°/step 外部負荷慣性: J_L=0kg·m²

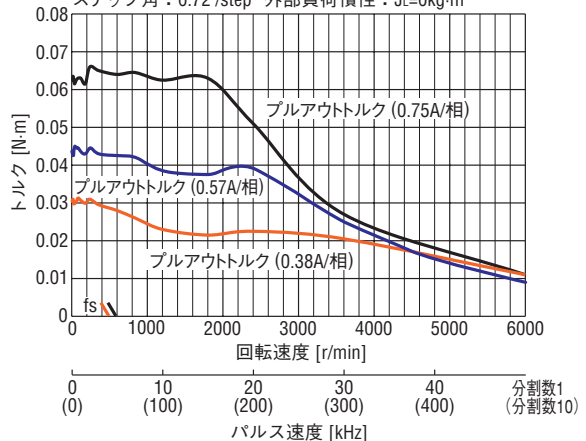


図5 回転速度-トルク特性

5.2. 真空評価装置を使用した諸特性

5.2.1. 真空評価装置の概要

図6、7に当社真空評価装置の外観と構成を示します。真空容器の周りには、容器加熱用のヒータが取り付けられており、ベーキング処理ができます。排気用ポンプは、メインポンプにターボ分子ポンプ、補助ポンプにロータリーポンプを使用しています。電離真空計により圧力(全圧)の測定を行います。放出ガス成分の分析には四重極型質量分析計を用います。



図6 真空評価装置外観

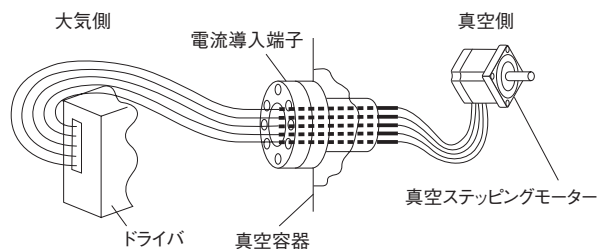


図9 電流導入端子

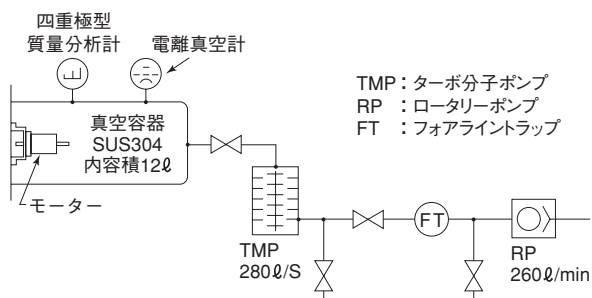


図7 真空評価装置構成図

図8に真空評価装置単体の排気特性^(注2)(ベーキングなし)を示します。約4時間で 10^{-6} Pa以下に到達していることがわかります。ベーキング処理を行った場合は 10^{-7} Pa以下まで可能です。

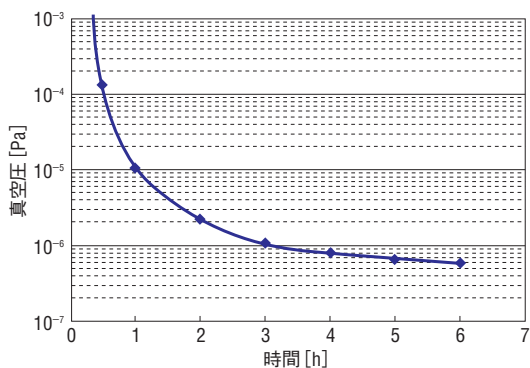


図8 真空評価装置の排気特性

モーターは真空容器内部のモーター取付板(材質:SUS304)に固定され、電流導入端子^(注3)を介して大気側のドライバと接続されています(図9参照)。モーターの外被および巻線部の温度は、熱電対により測定しています。

5.2.2. 温度特性

図10、11にPK523HPVAの停止時と、連続運転時(5秒運転、5秒停止、カレントダウン率50%)のモーター外被および巻線の温度特性を示します。巻線とモーター外被間では、約 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ の温度差があることがわかります。今回の測定条件では、停止時、連続運転時ともに 0.6A /相までモーター電流を流しても、モーター外被温度は仕様値の 100°C 以下となることがわかります。この時の評価装置の周囲温度は 30°C です。モーターの発熱を低減させるには、モーターを熱伝導性が良い材質の取付板に密着させて取り付けて容器外部に熱を逃がすことが重要です。また、ドライバのカレントダウン機能により、モーター停止時の電流値を下げて、停止時間をなるべく長くとることも有効となります。

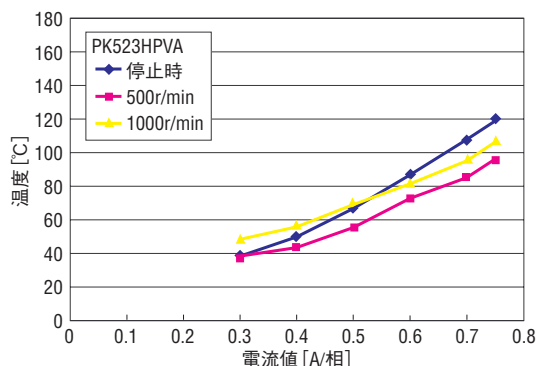


図10 モーター電流-外被温度特性

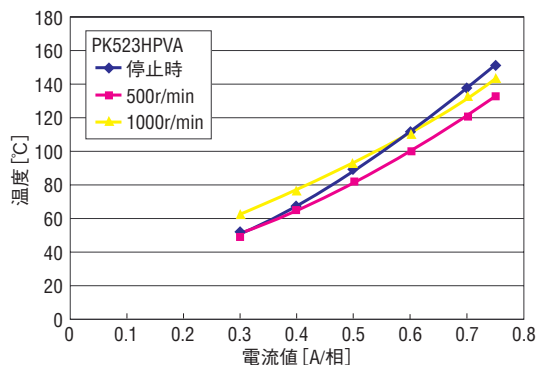


図11 モーター電流-巻線温度特性

(注2) 真空装置の排気能力を示したものです。横軸は排気時間、縦軸は到達真空圧となります。

(注3) 真空容器内と大気側を遮断したまま、電流を真空容器内のモーターに供給する端子です。

5.2.3. モーター電流-真空圧特性

図12にモーター電流-真空圧特性を示します。モーター電流が0.6A/相で、 10^{-6} Pa以下を維持できることがわかります。また0.6A/相以下ではモーターの回転による圧力上昇が確認できます。0.6A/相以上では特性が逆転しており、モーターが高温となることによる軸受グリースの蒸発や巻線からの水分蒸発の影響が大きくなっていると考えられます。

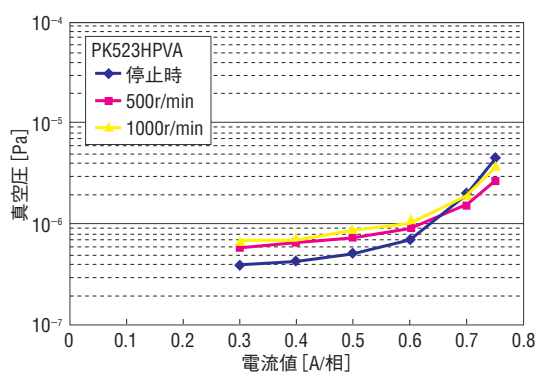


図12 モーター電流-真空圧特性

5.2.4. 残留ガススペクトル

図13にPK523HPVAに0.6A/相を流した時の運転時(500r/min)の残留ガススペクトルを示します。主な残留ガスは、 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)です。通常のクリーンな大気に含まれる成分と同じであり、モーターから汚染ガス成分の発生がないことがわかります。

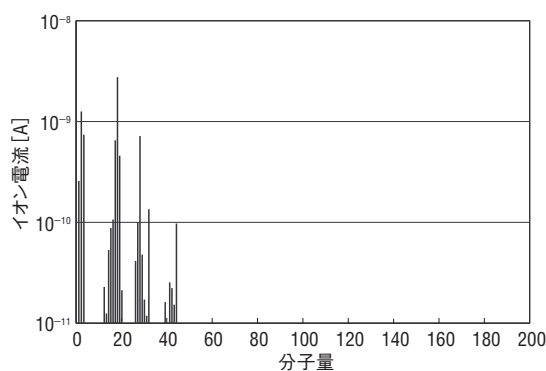


図13 残留ガススペクトル (500r/min運転時)

6. まとめ

当社では、5相ステッピングモーターPKシリーズの中真空、高真空、超高真空用モーターを提供しています。モーター取付角寸法は42mm、60mmに加え、新たに28mmをラインアップしました。狭い真空容器内での自動調整や、高精度位置決めに使えますので、真空環境下の自動化に貢献できます。

参考文献

- (1) 坂本 正人, 「真空対応モーターの評価内容とその評価装置」RENGA, No.160, (2000), p26-30
- (2) 日本規格協会, 「JIS Z 8126-1真空技術—用語—第1部:一般用語」, (1999)

筆者



平野 篤

MC事業部 技術部
モーター技術課