

# 真空対応レゾルバセンサを搭載した AR シリーズ真空タイプの開発

平野 篤

## Development of **AR** Series vacuum type equipped with vacuum-applicable resolver sensor

Atsushi HIRANO

The vacuum rated stepping motor is commonly used for semiconductor manufacturing equipment, FPD (Flat Panel Display) manufacturing equipment, and various analysis equipment that demand high-accuracy positioning control in a vacuum. However, the normal vacuum rated stepping motor cannot detect the misstep of the motor that might have occurred in a vacuum chamber due to an overload, etc, because it uses open-loop control. To solve the problem, and to improve the reliability, the vacuum type **AR** Series that uses a unique closed loop control technology was developed. A vacuum-capable sensor is equipped with the motor, and it can be used under high vacuum ( $10^{-1}$ ~ $10^{-5}$ Pa). In addition, a great reduction of the heat generation was achieved by lowering the motor loss and by adding a new driver current control method. It can improve the driving cycle time, and decrease the outgassing from the motor.

### 1. はじめに

半導体製造装置やFPD製造装置、各種分析装置などでは、真空中で高精度な位置決め制御が要求されるため、真空用ステッピングモーターが使用されています。しかし、従来の真空用ステッピングモーターは、オープンループ制御のため、密閉された真空容器内で過負荷などによる位置ずれが発生しても、わかりませんでした。

クローズドループ制御を行うためには、モーターにロータ位置検出用のセンサが必要です。一般にサーボモーターでは、エンコーダを使用しますが、通常のエンコーダは、センサ部に各種検出素子や電子部品など、真空中で使用困難な部品が使われており、真空中で使用可能な高性能エンコーダはほとんどありません。このため、真空用サーボモーターも、ほとんど発売されていません。

以上の問題を解決するため、当社独自のフィードバック制御技術を搭載した、AR シリーズ真空タイプ（図1）を開発しました。



図1 ARシリーズ真空タイプ

### 2. 真空対応技術

AR シリーズ真空タイプは、モーターに真空対応センサを搭載し、高真空（ $10^{-1}$ ~ $10^{-5}$ Pa）で使用可能です。さらに、モーターの低損失化と、ドライバの新しい電流制御方式の追加により、モーターの大幅な発熱低減を実現しました。そのため、運転タクトタイムの向上や、発生アウトガスの低減が可能です。以下に詳細を説明します。

#### 2.1. 真空対応センサ

今回開発した真空対応レゾルバセンサ（図2）は、電磁鋼板を積層した鉄心に巻線をほどこしたセンサステータと、シャフトに鉄心を締結したセンサロータで構成

されます。

センサロータとセンサステータの位置関係により、巻線のインダクタンスが変化し、センサからの出力電圧が変化します。この出力電圧にドライバ内で各種信号処理を加えることで、モーターのロータ位置を検出します。

センサ部に電子部品を搭載する必要がないため、真空中で使用可能な材料を使用することで、真空中で動作可能なセンサが構成できます。高温環境でも安定した動作が行えるため、モーター温度が高くなりやすい真空中のセンサとして適しています。

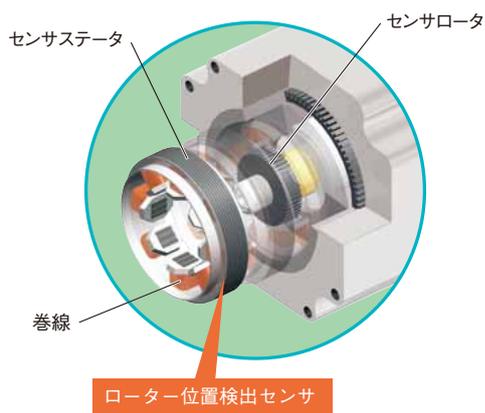


図2 レゾルバセンサ

## 2.2. モーターの発熱低減

真空中では大気による対流放熱がないため、モーターの熱の伝わり方は、モーター取付面からの熱伝導か、モーター表面からの放射のみとなります。そのため、モーターの熱が真空容器の外部に伝わりにくく、モーター温度は大気中より高くなります。これが、モーターの運転デューティやトルクを制限しなければならない原因でした。

ARシリーズ真空タイプは、モーターの低損失化により発熱を低減したARシリーズ<sup>(1)</sup>をベースとしていますので、真空中でモーターを駆動しても発熱が抑えられます。従来の真空用ステッピングモーターより、運転デューティやトルクのアップが図れます。以下に、詳細を説明します。

### 2.2.1. モーターの低損失化と発熱低減

モーターの発熱は、ステータやロータの鉄心で発生する損失（鉄損）と、ステータ巻線で発生する損失（銅損）に大別されます。ARシリーズは、鉄心材料の見直しや磁気回路の最適設計を行って、鉄損を大幅に低減し、低発熱を可能としました。<sup>(2)</sup>

図3に、ARシリーズと従来品を大気中で運転した時の、モーター外被温度の比較データを示します。従来品が同条件で約100℃に達した場合でも、ARシリーズ（AR66AC）は約50℃となり、発熱量が少ないこと

がわかります。真空中では大気中に比べモーター温度が高くなりますが、従来品に比べ低発熱である点は変わりません。

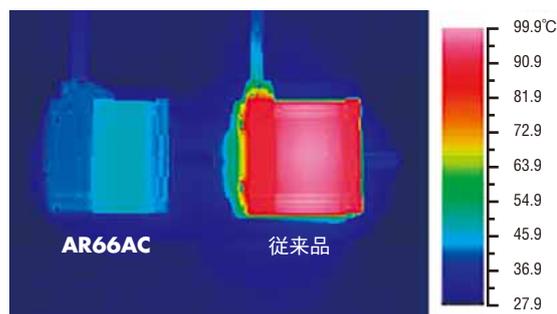


図3 サーモグラフィによるモーター外被温度比較

(大気中、周囲温度25℃、回転速度1600 r/min、2秒運転・3秒停止、デューティ運転)

### 2.2.2. ドライバによる発熱低減技術

ARシリーズのドライバは、電流制御方式をステッピングモード（以下STモード）と、新方式の電流制御モード（以下CCモード）の2種類の選択が可能です。

STモードでは、従来のドライバと同様に、外部負荷トルクに関係なく、ドライバで設定された電流が、常時モーターに流れるように電流を制御します。これに対しCCモードでは、モーターに掛かる負荷トルクの大きさに応じてドライバがモーター電流を調整します。STモードに比べモーター電流が抑えられるため、ステータ巻線部の発熱（銅損）が低減できます。外部負荷トルクが小さく加減速が少ない場合に、特に効果を発揮します。電流制御方式は、ドライバ前面パネルのスイッチで簡単に変更可能です。

CCモード運転時は常時クローズドループ制御となるため、サーボモーターと同様に、ゲイン調整が必要な場合があります。オプションの設定器などで、調整が可能です。

### 3. AR シリーズ真空タイプの諸特性

#### 3.1. 速度-トルク特性

図 4 に、代表として AR66VAK、AR69VAK の電流値を変化させた時の、速度-トルク特性を示します。モータートルクは、モーター電流値にほぼ比例します。

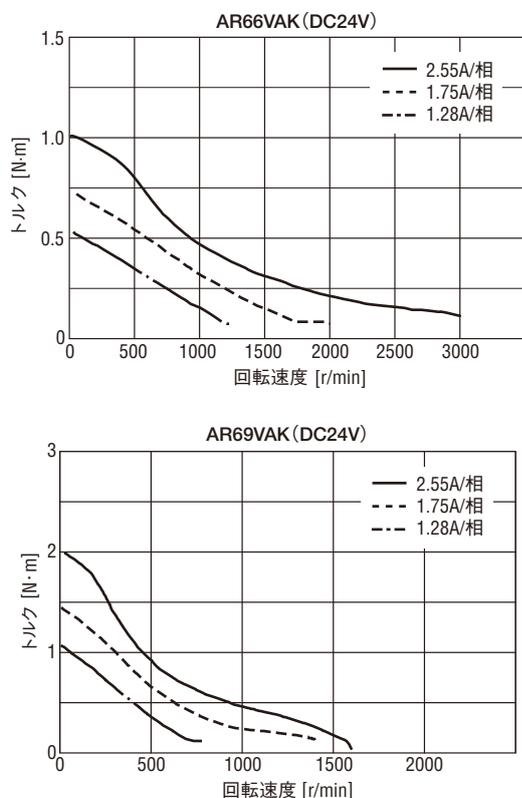


図 4 速度-トルク特性

#### 3.2. 真空評価装置

図 5 に、当社の真空評価装置の構成を示します。モーターは、真空容器内の取付板 (SUS304) に固定しています。ベーキングを実施することで、 $10^{-7}$  Pa 台まで到達可能です。

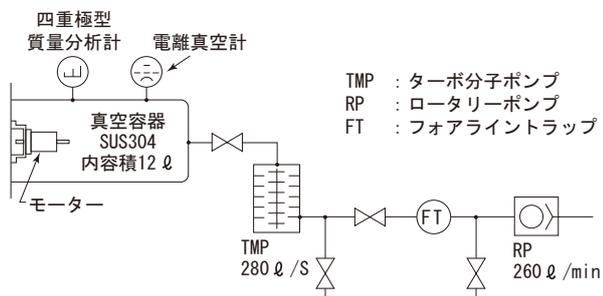


図 5 真空評価装置構成

#### 3.3. 真空評価装置による諸特性

以下に、当社真空評価装置で測定した、AR69VAK の諸特性を示します。運転条件は、500r/min、2 秒運転、8 秒停止、カレントダウン率 50% のデューティ運転です。

#### 3.3.1. モーター電流-真空圧特性 (STモード)

図 6 に、STモード設定時の、モーター電流-真空圧特性を示します。モーター停止時に比べ回転時は、ベアリンググリスからのアウトガスが増加するため、真空圧は高くなります。図 6 は、回転時と停止時の真空圧の平均値を示しています。定格電流 (2.55A/相) を流した時でも、 $10^{-7}$  Pa 台を維持できることがわかります。

モーター電流値の増加に伴い、真空圧は高くなりますが、これはモーター温度が上昇し、主に巻線や樹脂材料からの水分の蒸発が増えたためです。真空圧を低く保つには、モーター温度を低く保つことが重要です。

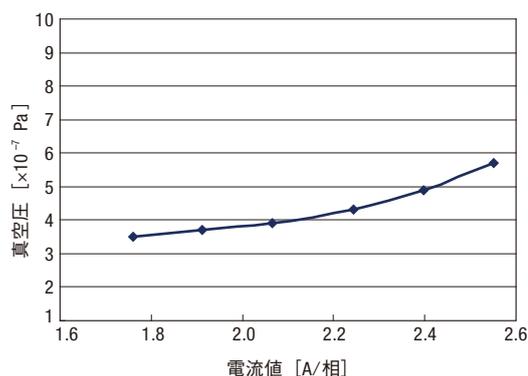


図 6 モーター電流-真空圧特性 (STモード)

#### 3.3.2. モーター電流-温度特性 (STモード)

図 7 に、STモード設定時の、モーター電流とモーター外被および巻線の温度特性を示します。今回の条件では、定格電流で運転しても、モーター外被温度は仕様値の  $100^{\circ}\text{C}$  以下に収まります。

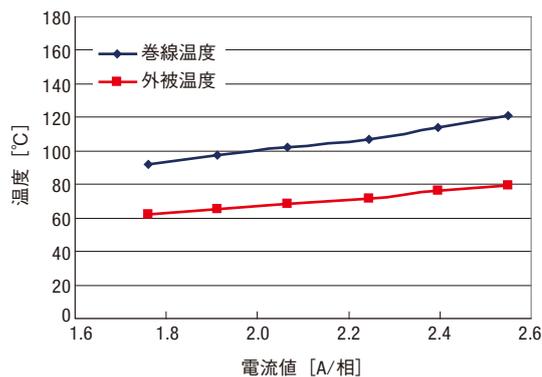


図 7 モーター電流-温度特性 (STモード)

#### 3.3.3. 回転速度-温度特性 (CCモード)

図 8 に、CCモード、ドライバ電流 2.55A/相 (出荷時設定) で連続運転とデューティ運転した時の、回転速度-温度特性を示します。温度が高くなりやすい連続運転でも、900 r/min 以下ならば、外被温度は  $100^{\circ}\text{C}$  を超えません。CCモードとSTモードを比較すると、電流値 2.55A/相、500r/min、デューティ運転の場合、

CCモードではモーター外被温度が46℃（図8）に対し、STモードは80℃（図7）です。CCモードの方が34℃温度が低くなります。

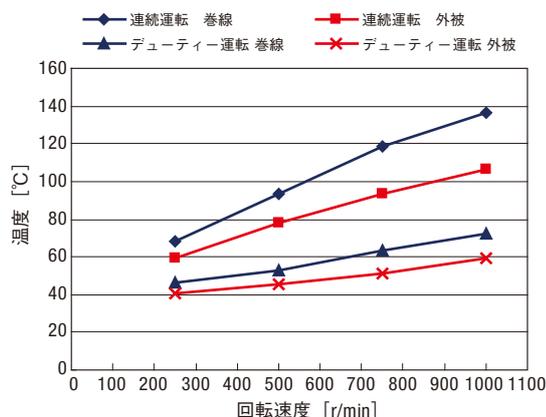


図8 回転速度-温度特性 (CCモード)

AR シリーズ真空タイプは、従来の真空用ステッピングモーターより低発熱なモーターです。

しかし、周囲温度が高い場合や、高頻度な位置決め運転を行うと、モーター外被温度が仕様値の100℃を超えてしまう場合があります。その場合は、次の対策が必要となります。

- ①モーター取付板より外部に熱を逃がす
- ②モーター設定電流を下げる
- ③運転デューティを下げる（オートカレントダウン機能の活用）
- ④モーター側面や取付板などに冷却装置（水冷ジャケットなど）を設置し、強制冷却する

### 3.3.4. 残留ガススペクトル

図9に、AR69VAKを連続運転した時の、残留ガススペクトルを示します。主な残留ガスは、H<sub>2</sub>（分子量2）、H<sub>2</sub>O（分子量18）、COまたはN<sub>2</sub>（分子量28）、CO<sub>2</sub>（分子量44）で、通常の大気に含まれる成分と同じです。汚染ガスとなる高分子ガスは、検出されませんでした。

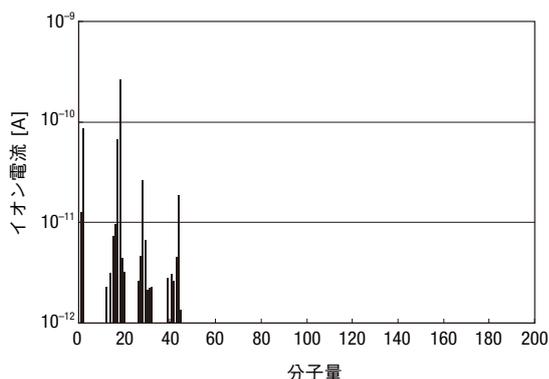


図9 残留ガススペクトル (500r/min 連続運転)

## 4. 真空モーターの配線方法

図10に、真空排気装置への接続例を示します。真空容器壁に、市販の電流導入端子（図11）を設置します。ケーブルのリード線に真空用ピン端子を圧着などで接続し、電流導入端子に差し込みます。

AR シリーズ真空タイプは、モーターに真空対応ケーブルを採用しています。電流導入端子への配線が容易に行えるように、モーターケーブルとセンサケーブルは分かれています。

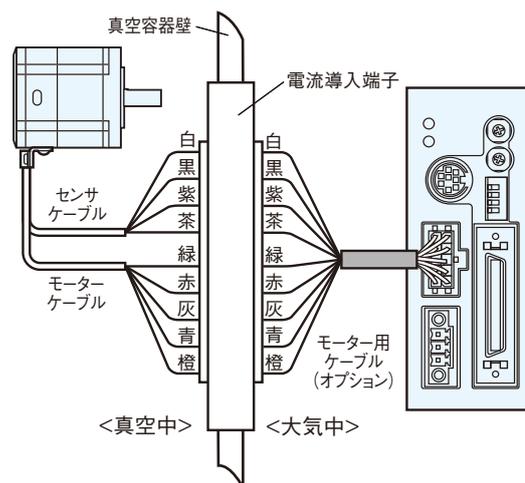


図10 電流導入端子接続例



図11 電流導入端子

真空容器内でモーター線やセンサ線の延長が必要な場合は、それぞれにオプションとしてモーターと同仕様の真空対応延長ケーブルをラインアップしています。モーターケーブルとリード線が同配色のため、接続が容易です。モーターケーブルとは、市販の真空用コネクタなどで接続してください。

## 5. アラーム機能

ドライバには、各種アラーム機能を搭載しています（表1）。真空容器内でモーター異常が発生すると、モーターが自動停止し、真空容器外に設置されたドライバのLED点滅回数でアラームの原因が確認できます。

表1 アラーム機能一覧（DC電源対応ドライバ）

アラーム機能	原因
過熱保護	ドライバ内部温度が85℃を超えた
過負荷	最大トルクを超える負荷の累積値が設定値を超えた
速度過剰	モーターの回転速度が4500r/minを超えた
指令パルス異常	指令パルス速度が仕様値を超えた
過電圧保護	印加電圧が仕様値を越えた
不足電圧	主電源が瞬間的に遮断、または電圧不足
カレントオン時位置偏差過大	カレントオン時の指令位置と実位置の偏差が設定値を超えた
カレントオフ時位置偏差過大	カレントオフ時位置偏差過大ワーニングが発生しているときにC-ON入力をONにした
運転データ異常	運転データ異常ワーニング発生時に、電気原点復帰運転をおこなった
電子ギヤ設定異常	電子ギヤ設定分解能が仕様範囲を超えた
運転時センサエラー	モーター回転中にセンサに異常が発生した
初期時センサエラー	電源投入時、センサに異常が発生した
初期時ロータ回転エラー	電源投入時に外力でモーターが回転した
EEPROMエラー	ドライバ保存データが破損した

## 6. 製品ラインアップ

表2に、ARシリーズ真空タイプの製品ラインアップを記載します。モーター取付角は、□42mm、□60mmの2種類をラインアップしています。ドライバは、電源電圧の違いにより、DC24V/48Vから三相200-230Vまで4種類をラインアップしています。

表2 ARシリーズ真空タイプのラインアップ

真空度 [Pa]	取付角寸法 [mm]	ユニット品名	励磁最大静止トルク（注1） [N·m]	ドライバ電源電圧（注2） [V]
10 <sup>-5</sup>	42	AR46VAK	0.25	DC24/48
		AR46VAA		単相 100-115
		AR46VAC		単相 200-230
		AR46VAS		三相 200-230
	60	AR66VAK	0.8	DC24/48
		AR66VAA		単相 100-115
		AR66VAC	1	単相 200-230
		AR66VAS		三相 200-230
		AR69VAK	1.8	DC24/48
		AR69VAA		単相 100-115
		AR69VAC		単相 200-230
		AR69VAS		三相 200-230

当社では、ARシリーズ真空タイプの他に、5相真空用ステッピングモーター（オープンループ制御）をラインアップしています<sup>(3)</sup>（表3）。高真空（10<sup>-1</sup>～10<sup>-5</sup>Pa）、超高真空（10<sup>-5</sup>Pa以下）領域の、幅広い真空圧に対応しています。

表3 5相真空ステッピングモーターラインアップ

真空度 [Pa]	取付角寸法 [mm]	モーター品名		励磁最大静止トルク（注1） [N·m]
		片軸	両軸	
10 <sup>-5</sup>	28	PK523HPVA	PK523HPVB	0.027
		PK525HPVA	PK525HPVB	0.053
10 <sup>-4</sup>	42	PK543V-NA	PK543V-NB	0.13
		PK544V-NA	PK544V-NB	0.18
	60	PK545V-NA	PK545V-NB	0.24
		PK566V-NA	PK566V-NB	0.83
10 <sup>-7</sup>	42, 60	PK569V-NA	PK569V-NB	1.66
		受注生産		

## 7. まとめ

ARシリーズ真空タイプの特徴や特性、製品ラインアップなどご紹介しました。真空中で各種プロセスを行う装置が増えており、真空技術は、最先端テクノロジーと切り離せないものとなっています。今後、真空装置の機構の複雑化、高精度位置決めや低価格化の要求が、ますます増加するものと予想されます。

ARシリーズ真空タイプは、今まで要望が多かった真空中のクローズドループ制御や、低発熱化を実現しました。真空中の自動化技術の向上に、貢献できる製品です。ぜひご検討ください。

（注1）大気中で、モーターに定格電流を流した場合の参考値です。真空中のモーター発熱を低減するため、オートカレントダウン機能を使用したり、モーター設定電流を下げた場合は、トルクも低下しますのでご注意ください。

（注2）AC電源入力ドライバ（単相100-115V、単相または三相200-230V）は、モーターの線間に280Vの電圧が発生します。このため、真空ポンプによる排気途中の低～中真空領域では、真空容器内の電流導入端子間などで放電が起り、アラームの発生やモーター、ドライバ破損などの恐れがあります。AC電源対応ドライバをご使用の際は、大気中および高真空領域において、ドライバ電源を入れるようにしてください。

参考文献

---

- (1) 小松澤誠一,「脱調レスステッピングモーターユニット AR シリーズの開発」, RENGA, No.169, (2007), p4-12
- (2) 佐藤靖雄,「脱調レスステッピングモーターユニット AR シリーズの低損失化技術」, RENGA, No.170,(2008) p4-10
- (3) 平野 篤,「真空用ステッピングモーターとその特性」, RENGA, No.171, (2008), p13-17

筆者



平野 篤

MC事業部  
技術部 モーター技術課