

ACサーボモータ用ロータAssyの生産技術

木村行宏*
相馬雄介*
原賀康介**

Production Technology of Rotor Assy for AC Servo Motor

Yukihiko Kimura, Yusuke Soma, Kosuke Haraga

要 旨

AC(Alternating Current)サーボモータは、液晶・半導体製造装置、工作機械等の高速・高精度化への要求にマッチして、市場規模はますます拡大する環境にある。三菱電機のACサーボモータは、独自のステータ生産技術を開発し小型化・高性能化を遂げてきたが、ロータ生産技術は、磁石の高性能化以外にはほとんど変化がなく、自動化の適用拡大が課題であった。

ロータ製造工程において、自動化のネック工程はコアへの磁石接着工程である。当社のサーボモータは特定ユーザー対応の軸端特殊仕様が多く、従来のコア一体シャフトではシャフトの種類が多くなり自動化が困難であった。そこで、コア部分をシャフトから分離・標準化し、コアへの磁石接着工程の自動化を検討したが、そのために、次の2つの生産技術開発が必要であった。

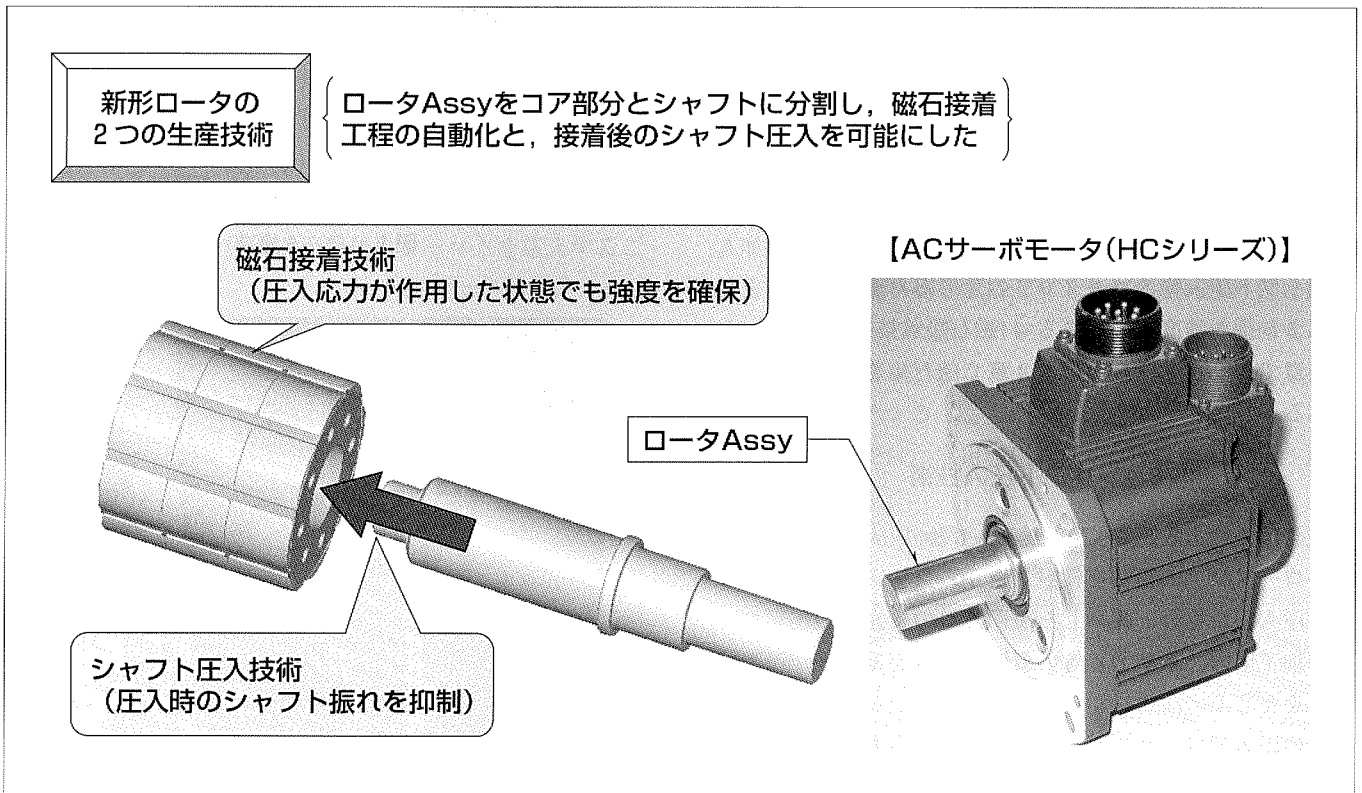
(1) コアをシャフトへ圧入・組立てる際、シャフトの振れを抑制するシャフト圧入技術

(2) 接着・硬化後に圧入による応力が作用しても必要な強度が得られる磁石接着技術

シャフト圧入技術では、振れを抑制するため、コア・シャフトの生産設計、及びフレキシブルパレットを備えた圧入機の開発を行った。

磁石接着技術では、接着部にかかる応力を緩和できるように、強度を保ったまま弾性係数を低下させた新接着剤の開発と、その接着剤を量産に適用した磁石接着装置の開発を行った。

上記2つの生産技術開発の達成によりロータ製造工程の自動化が達成され、大幅に生産性を向上させることができた。



新形ロータ生産のための2つの生産技術

ACサーボモータに使用する新形ロータは、外周に磁石が接着されたコアにシャフトを圧入して形成する。これにより、これまでネック工程であった磁石接着工程を自動化した。この生産方法を可能とするため2つの生産技術開発を行った。1つは、シャフトの圧入によって接着部に応力が加わっても必要な接着強度が確保できる磁石接着技術である。2つ目は、圧入によるシャフトの振れを抑制し、ロータの精度を確保するシャフト圧入技術である。

1. ま え が き

近年、IT関連製造装置及び自動車・精密機器向け機械装置等の需要が増え、サーボモータの市場規模はますます拡大する環境にある。当社のACサーボモータは通称“ボキボキモータ”と呼ぶ独自のステータ構造の開発により小型・高性能化が進められてきたが、ロータはネオジウム系磁石を採用する以外は従来から構造の変更がほとんどなく、製品競争力強化のための自動化が課題であった。

本稿では、新たにロータ構造を見直し、自動化に結び付けた主要な生産技術について述べる。

2. ロータ構造の見直し、及び技術課題

ロータ製造工程の自動化における最大のネック工程は磁石接着工程である。当社のACサーボモータは特定ユーザー向けを中心とした軸端特殊機種が多く、従来のコア一体シャフトを用いた構造では、対象機種が広範囲にわたるため、磁石接着工程の自動化が困難であった。

そこで、図1に示すとおり、従来のコア一体シャフトを積層鋼板化したロータコアとシャフトに分割し、磁石接着後にシャフトを組み立てる(圧入する)構造に変えることで、磁石接着部分であるロータコアを標準化して、磁石接着工程の自動化を可能とした。

しかし、この構造では以下のような課題があるため、その実現に向けて生産技術開発を行った。

- (1) シャフト組立てにおいては、磁石及び接着剤にかけることができる上限温度の制約から、焼きばめは不可能であり、圧入ではシャフトの振れが発生しやすい⇒(シャフト圧入技術の開発)
- (2) 磁石接着においては、接着剤硬化時の収縮応力に加え、シャフト圧入時のロータコアの変形応力が作用することにより接着強度が低下する⇒(磁石接着技術の開発)

3章でシャフト圧入技術、4章で磁石接着技術について述べる。

3. シャフト圧入技術

焼きばめによる組立てができないため圧入によるシャフトとロータコアの締結を検討したが、ロータコアにシャフトを圧入した場合、締めしろや両部材の接合面の面粗度・残留加工応力、形状公差等の要因によりシャフトが変形し振れを生じる。設計指示寸法で製作したシャフトとロータコアの圧入では、必要締結強度は得られるものの、シャフトの振れ量が、従来のコア一体シャフトよりも悪化した。

このため、キー方式など、他の締結方法も含めて再検討した結果、シャフトの振れを抑制する圧入方法を開発することとなり、以下のアプローチを行った。

- (1) 圧入によるシャフトの振れを抑えるロータコア及びシ

ャフトの寸法・形状の検討(生産設計)

- (2) シャフト振れを抑制する圧入機の開発

3.1 生産設計

まず、ロータコアとシャフトの必要締結強度が確保できる最小締めしろを評価試験によって検証した。その後、ロータコア内径及びシャフト外径の各製造工程能力から寸法精度を算出し、その範囲で得られる最大締めしろでのシャフト振れ量を確認する手順とした。

また、ロータコアの倒れ量を抑えるために板厚偏差を規定するとともに、圧入開始時の案内となるようにシャフト先端の面取り形状を鋭角にした。

3.2 シャフト圧入機の開発

図2は新形ロータの組立てに使用している圧入機である。

新形ロータの組立てを可能にするため、この圧入機には次のような特徴を持たせている。

- (1) 圧入によるシャフトの振れを抑制するため、ロータコアの受けにフレキシブルパレットを備える。
- (2) 圧入時に発生する圧入軸の螺旋(らせん)動作を抑制し、剛性・精度を向上させるための4本ポスト構造とする。

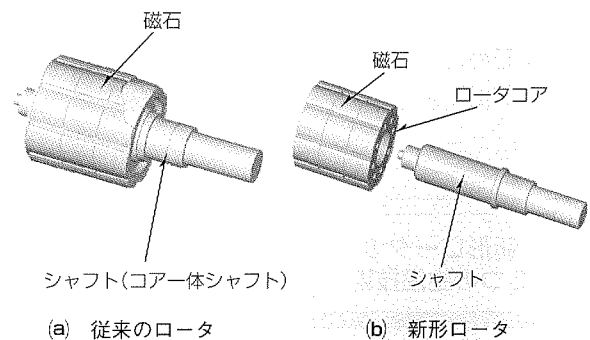


図1. ロータ構造

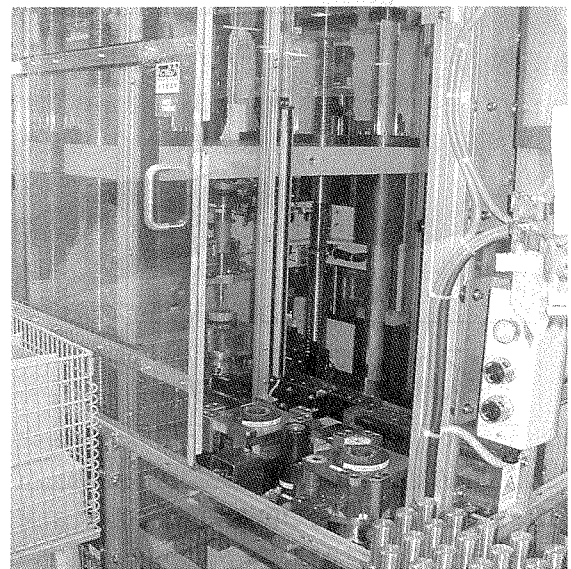


図2. シャフト圧入機

- (3) サーボモータによる2軸同期制御で荷重中心をワーク中心に合わせる。
- (4) 圧入時、シャフトに対するロータコアの位置を検出するセンサを備える。
- (5) 最大・最小締めしろでの圧入荷重値を基に荷重管理を実施する。

シャフトの振れ抑制のために導入したフレキシブルパレットの構造を図3に示す。圧入初期はばねによってロータコア受けがロータコア端面にならって傾斜するため、コアの内径軸が圧入軸に対して平行になる。圧入荷重の増大に伴い、ばねが圧縮されてロータコア受けは球面滑り軸受に押し当てられるが、ロータコア受けの傾斜に球面滑り軸受がならうため、前述の状態を保持したままリジッドに荷重を受ける状態に移行する。このため、シャフトにかかる曲げ応力が緩和されてシャフトの振れが抑制される。

また、ロータコア受けの形状もシャフトの振れが少なくなるよう工夫している。

以上の対策を反映し、3.1節で算出した最大締めしろのロータコアとシャフトの組み合わせで圧入を実施した結果、シャフト振れ量は設計要求仕様値内に抑えられ、従来のコア一体シャフトと同等のレベルになった。また、この新形ロータを使用して組み立てたサーボモータの精度も仕様を達成できた。

4. 磁石接着技術

従来から使用している接着剤は、モータ運転時の温度上昇を考慮した耐熱性の高いものであり、弾性係数が高かった。したがって、シャフト圧入工程のない従来ロータのコア一体シャフトの場合は十分な接着強度が得られていたものの、新形ロータの場合は接着後にシャフトを圧入するこ

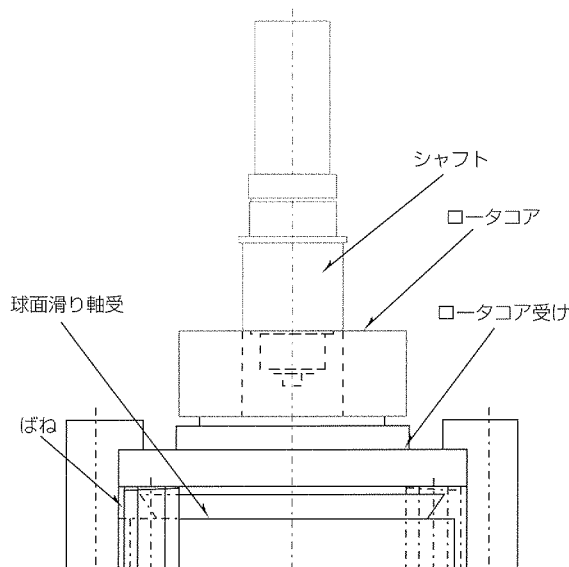


図3. フレキシブルパレット

とから、その際発生する応力により接着強度の低下が顕著であったため適用できなかった。

このため、接着硬化後に圧入時の応力が作用しても十分な接着強度の得られる新接着剤の開発と、その接着剤を量産に適用できる磁石接着装置の開発を行った。

4.1 磁石用新接着剤の開発と寿命評価

新接着剤の開発は、既存の接着剤をベースにして必要なスペックを付加し、後述の寿命評価を実施して必要な強度が得られていることを確認する手順で行った。

ベースとなる既存の接着剤は短時間硬化型の接着剤を選定し、付加するスペックは以下の方針とした。

- (1) 接着部の応力を緩和できるよう、硬化後の弾性係数を低下させる(軟らかくする)。
- (2) 高温強度を保持する(一般的に弾性係数が低下すると高温強度が下がる)。

寿命評価方法は、表1に示す接着強度と各係数によって算出した安全率を指標とする方法を取り入れた。

この評価方法は、初期の接着強度($F_{\mu R0}$)に対して、接着条件によるばらつきやシャフト圧入締めしろといったロータ製造条件のばらつき(D_z)と、サーボモータの使用環境や応力等の環境の経年変化に対する強度保持率(n_y)を掛け合わせて算出した実効接着強度(F_y)が最大発生応力(P_{max})を上回っていることを確認する方法である。

この評価によって、開発した新接着剤が、接着硬化後に圧入応力が作用した状態で耐用年数を経過した後も、十分な接着強度を持つことを理論的に確認した。

4.2 磁石接着装置の開発

図4はロータコアに自動で磁石を接着する磁石接着装置である。磁石接着装置は治具パレット・パレットコンベア・磁石供給部・磁石張り付け部から構成されており、ロータコアは治具パレットにセットされて磁石張り付け部で磁石の接着を行った後、パレットコンベア上を周回する。接着剤はロータコアがコンベアを周回する間に硬化し必要な接着強度に達する。

磁石供給部では、専用の磁石パレットに整列収納された

表1. 寿命評価方法

静的な平均接着強度	$F_{\mu R0}$
製造条件によるばらつき係数	D_z
環境・経年変化による係数 ($n_y = n_1 \times n_2 \times n_3 \times \dots \times n_n$) n_i : 個別の環境・応力因子における劣化係数	n_y
実効接着強度 ($F_y = F_{\mu R0} \times D_z \times n_y$)	F_y
最大発生応力 (使用中に接着部に加わる応力の最大値)	P_{max}
耐用年数経過後の安全率 ($S_y = F_y / P_{max}$)	S_y

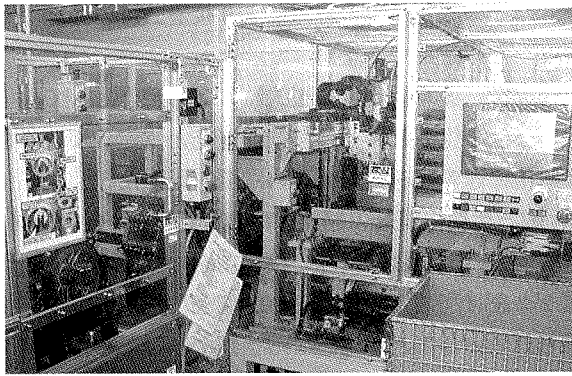


図4. 磁石接着装置

磁石をロボットが機種に対応した必要数だけ取り出し、磁石張り付け部に供給している。

磁石張り付け部では、4.1節で述べた新接着剤を磁石に塗布後、1列ずつロータコアに接着している。塗布方法、及び塗布条件は接着剤の粘度・広がり性を考慮し、接着した際に塗布面積が一定比率以上となるよう事前に検証した。

また、磁石張り付け部には電子はかりがセットされ、規定間隔で接着剤の吐出量を計量し、接着剤の塗布状態を管理している。

新接着剤は短時間硬化型であるため、一定時間を経過すると急速に硬化が進み接着ができなくなる。このため、磁石接着装置では、設備の異常発生停止時に一定時間が経過すると自動で接着剤を排出する機能を持たせている。

装置構成を検討するに当たり、接着剤の硬化時間と接着強度の関係を検証した。これを基に、ロータコアが装置内を周回する時間内に必要な強度が得られる構成としている。また、硬化中は接着層の厚さを一定に管理するため、磁石を規定荷重で加圧する必要がある。1台のロータには数枚～数十枚の磁石を接着するが、磁石を個別に加圧できる治具パレットを導入した(図5)。

5. む す び

今回取り組んだシャフト圧入技術・磁石接着技術の2つ

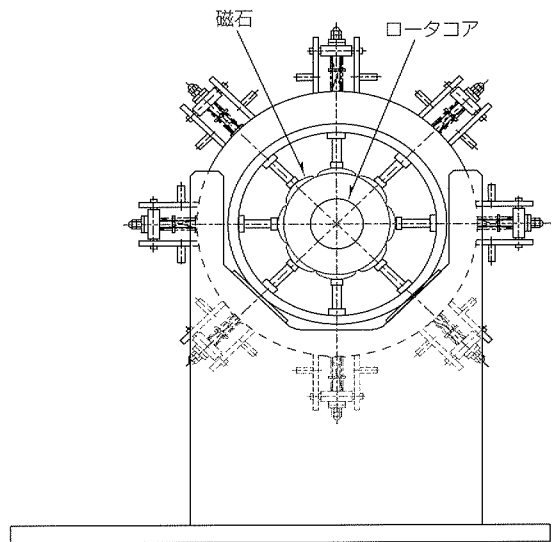


図5. 治具パレットと磁石の加圧

の生産技術開発の達成によって、これまでネック工程だった磁石接着工程の自動化が実現できた。これにより、ACサーボモータ用ロータの生産性が大幅に向上している。

また、これら生産技術と併せて、接着剤の使用環境や応力の負荷状況、経年変化、ロータの製造方法等の因子を加味した接着強度を定量的に算出することができた。今回実施した評価方法を新形ACサーボモータ用のロータで使用する接着剤の開発に適用し、接着強度を評価中である。

今後は、他機種への水平展開を図るとともに、今回得た開発ノウハウを生かし、他工程の自動化達成のため新しい生産技術開発に取り組み、世界一のACサーボモータ工場を目指す所存である。

参考文献

- (1) 原賀康介：耐用年数経過後の安全率の定量化による接着接合の設計品質の創り込み，(財)日本科学技術連盟第33回信頼性・保全性シンポジウム(日本の新しいものづくり－源流からの信頼性の創り込み－)発表報文集，117～122 (2003)

MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.78 No.10

2004 10

特集「モノづくり力の強化」

