

# 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の開発 Development of Multi Track Magnetic Encoder Integrated Rolling Bearing



奥村 寛\* Hiroshi OKUMURA  
伊藤 浩義\* Hiroyoshi ITO  
浜北 康之\* Yasuyuki HAMAKITA

少子高齢化や労働人口の減少による人手不足などを背景に、ロボット市場が拡大している。産業用ロボットとともに、人と作業する協働ロボットやサービスロボットも需要が増えており、市場要求はますます高度化・多様化している。NTN は、ロボットの関節機構向けに、ロータリーエンコーダに用いられる複列磁気リングの技術を応用し、「複列磁気エンコーダ付転がり軸受」を開発した。本稿では、軸の回転支持とともに、高精度な角度検出も可能な開発品の特長と評価試験結果を紹介する。

Robot industry has been expanding on the back of market demand for improved productivity and labor saving as the countermeasures of diminishing working population. Especially, the demand of small robots such as collaborative robots that work with human labors and service robots has been increasing. Through the recent trend, market requirements to the robots have been getting higher and more diversified. NTN has developed the "Multi Track Magnetic Encoder Integrated Rolling Bearing" based on the technology of the "Multi Track Magnetic Ring" for rotary encoders. The bearing is suitable for the robot joints and performs high-precision angle detection at the same time as the shaft support. This report introduces the features, structure, and performance of the bearing.

## 1. はじめに

自動車をはじめ、各種産業のもの造りでは、人の代わりに作業を行うロボットが世界中で普及している<sup>1)2)</sup>。特に近年は、少子高齢化に伴う生産年齢人口比率の低下や、新型コロナウイルス (COVID-19) の感染拡大による生産活動の鈍化などが大きな社会問題となっており、ロボットの導入が加速している。製造ラインに設置される産業用ロボットなど、人から離れた場所で作業するロボットに加え、人と作業する協働ロボットやサービスロボットなどの小型ロボットでも増えており、ロボットの構造や作業は、ますます多様化している。

ロボットは、人間の肩から手首までと同じ動きをする垂直多関節ロボットが代表的で (図 1)、ワークを高速で決められた位置に精度良く搬送することが求められる。そのため、関節機構は、モータの回転軸を支持しながら、その回転速度や回転方向、絶対角を高精度に検出して位置決めすることが必須であり、一般的には、サーボモータや減速機に加えて、回転を支持する軸受と、回転状態を検知するロータリーエンコーダが適用される<sup>3)</sup>。

また、近年の関節機構は、上述の多様化の動向に対応すべく、小型・軽量であることや、できる限り部品点数を減らして組立の工数を抑えること、様々な作業環境で使用できるよう耐環境性が高いことが求められている。

これまで NTN は、ロボットの関節機構向けに、高精度かつ小型で、絶対角や回転速度の検出に用いられる複列

磁気リングを商品化している<sup>4)</sup>。複列磁気リングは、磁気センサ IC との組み合わせで「磁気式」ロータリーエンコーダを構成し、高い耐環境性を発揮する。

この技術を応用し、ロボットの関節機構のさらなる性能向上に寄与するため、軸受、複列磁気リング、および磁気センサ IC を一体化した「複列磁気エンコーダ付転がり軸受」(以下、開発品) を新たに開発した。開発品は、軸の回転支持を行うとともに、ロータリーエンコーダとして、回転速度や回転方向、絶対角を検出する。軸受と「磁気式」ロータリーエンコーダの一体化により、ロボットの関節機構の小型化や、ロボットの製造工程における組立やセットアップの工数削減が可能となる。開発品の特長や構造、試験結果を以下に紹介する。



図 1 6 軸垂直多関節ロボット

\* 産業機械事業本部 ロボティクス・センシング技術部

2. 開発品の構造と特長

開発品は、深溝玉軸受、複列磁気リング、および、磁気センサ IC を一体化したユニットである (図 2)。

複列磁気リングは深溝玉軸受の内輪に取り付けられ、磁気センサ IC はセンサハウジングを介して深溝玉軸受の外輪に取り付けられる。図 3 に示すロボットの関節機構などに適用できる。軸の回転に伴って複列磁気リングが回転し、それと対向する磁気センサ IC が磁極の変化を読み取る。これにより、開発品は回転速度や回転方向、絶対角を検出する。磁気センサ IC が検出したデータは、ユーザで用意頂くモータドライバへ伝送された後、ロボットの関節機構の位置決めに用いられる (図 4)。



図 2 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の主要部品構成



図 3 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の適用可能部位

開発品は、運搬機械などで実績がある当社従来品の回転センサ付軸受 (図 5) で培った回転検出部と軸受の一体化技術を活かし、コンパクトなユニットを実現している<sup>5)</sup>。軸受の内径寸法、外径寸法、幅寸法、負荷容量は回転検

出部を持たない通常の軸受と同じとし、互換性を持たせている。本ユニットの特長を以下の①から④に示す。また、深溝玉軸受 6907 を用いた開発品の仕様を表 1 に示す。

①高精度な角度検出とともに、軸の回転支持も可能

開発品は、軸を回転支持しながら、回転速度、回転方向、絶対角を検出する。磁気センサ IC 内部のパラメータの設定により、最大 20 bit (分解能 約 0.00034°) の高精度な出力が可能である。

②ロボットの関節機構の小型化や軽量化に貢献

深溝玉軸受、複列磁気リング、磁気センサ IC の一体化により、関節機構とロータリーエンコーダを接続するカップリングが不要となり、関節機構の軸長さの短縮や、部品点数の削減、および、それによる関節機構の小型化や軽量化が可能となる (図 6)。

③ロボットの組立やセットアップの工数削減が可能

前項②に記載の部品一体化により、ロボットの部品点数が減り、組立の工数を削減できる。また、ユーザが磁気リングと磁気センサを組み付ける場合に必要出力信号の調整作業などのセットアップが不要となるため、工数を削減できる。

④周辺環境の影響を受けにくく、耐環境性が高い

開発品は、磁気を利用して、回転速度や回転方向、絶対角を検出する「磁気式」ロータリーエンコーダであり、光を用いて検出を行う「光学式」ロータリーエンコーダに比べ、温度変化や埃、油などの周辺環境の影響を受けにくく、耐環境性が高い<sup>6)</sup>。

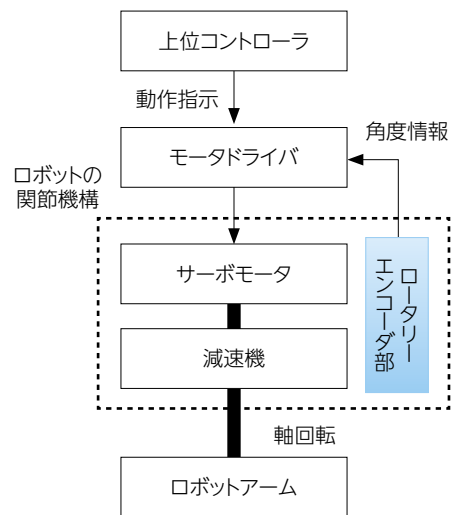


図 4 複列磁気エンコーダ付転がり軸受を用いたロボット関節機構の位置決め概念図



図5 回転センサ付軸受 (当社従来品)

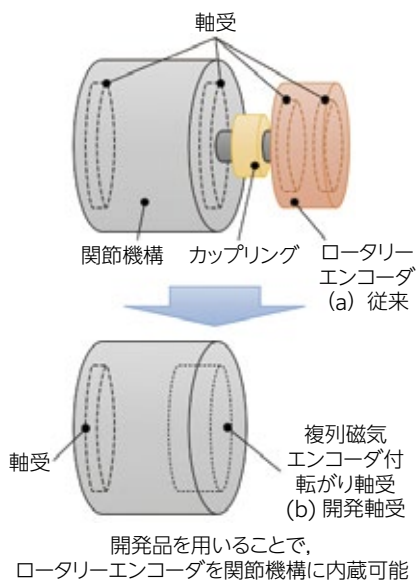


図6 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の採用による  
ロボットの関節機構の部品点数削減と小型化

表1 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の仕様  
(深溝玉軸受 6907)

項目	仕様
深溝玉軸受	6907 (φ35×φ55×10)
配線接続部高さ	6 mm (軸受外径面からの飛び出し量)
エンコーダ部幅寸法	10.5 mm
複列磁気リング	64/63 極対, 1.28 mmピッチ
磁気センサIC	iC-MU
許容回転速度	6 000 min <sup>-1</sup>
角度分解能	最大20 bit
検出情報	回転速度, 回転方向, 絶対角
角度誤差	± 0.1°
電源電圧	DC 5 V
消費電流	60 mA (typ. 値)
信号フォーマット	ABZ, SPI, BiSS, SSI
動作温度範囲	-25~+110 °C

### 3. 絶対角検出原理と分解能

#### 3.1 複列磁気リングと磁気センサ IC

複列磁気リング (図7, 図8) は、薄板鋼板をプレス成形した芯金と、磁性材料を練り込んだゴム材料 (以下、ゴム磁性体) で構成される。ゴム磁性体は、芯金に加硫接着している。ラジアル着磁タイプはゴム磁性体の外径円周面上に、また、アキシアル着磁タイプは幅面に N 極 S 極の極対数の異なる 2 列の磁気トラックを形成する。64/63 極対の複列磁気リングの場合、主トラックに N 極 S 極 64 極対、副トラックに 63 極対を着磁している。

複列磁気リングに対向配置する磁気センサ IC は、主トラックと副トラックに対向する 2 つの検出部と絶対角演算部を内蔵しており、例えば、iC-Haus 社の IC (iC-MU) (図9) を用いることができる<sup>7)</sup>。

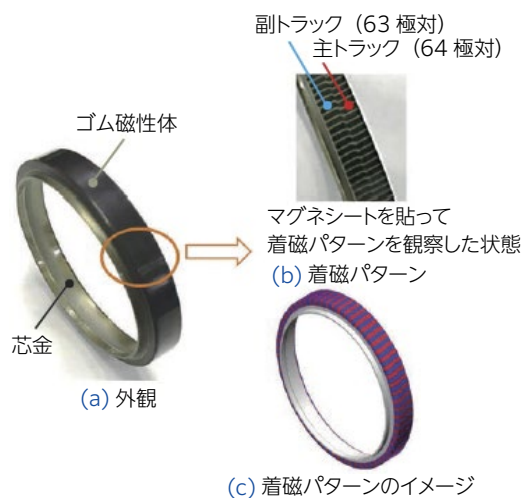


図7 複列磁気リング：ラジアル着磁タイプ

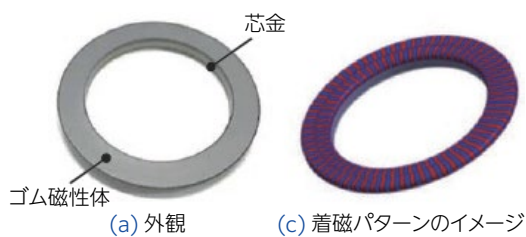


図8 複列磁気リング：アキシアル着磁タイプ



図9 複列磁気リングと iC-MU シリーズの組合せイメージ  
(イメージ図ご提供：iC-Haus GmbH 様)

### 3.2 絶対角検出原理と分解能

ここでは、64/63 極対の複列磁気リングを例に挙げ、絶対角の検出原理 (図 10) と分解能について説明する。

64/63 極対の複列磁気リングの場合、その 1 回転に対して、磁気センサ IC の検出部 1 からは 64 極対、検出部 2 からは 63 極対の着磁極対に相当する周期の出力信号が得られ、これらの出力信号は 1 回転で 1 極対分の位相差が生じるため、その位相差を計算することで絶対角を検出する。つまり、64 極対の磁気トラックにおいて、何極対目に位置しているのかを検出できる。

磁気センサ IC が極対間の磁気強度を正確に読み取ること、12 bit の逡倍が可能である。このため、1 極対分の角度情報を  $2^{12}$  分割することが可能であり、64 極対数 ( $2^6$ ) とあわせ、18 bit (分解能 約  $0.0014^\circ$ ) の角度情報を出力することができる<sup>8)</sup>。磁気センサ IC のパラメータ設定によっては、最大 20 bit (分解能 約  $0.00034^\circ$ ) の出力も可能である。

センサから出力する角度情報は着磁ピッチの精度に依存する。このように絶対角が検出可能で高い角度精度を実現するためには、着磁極対数の異なる 2 列の磁気トラックを精度よく着磁する必要がある。NTN は独自の着磁技術を開発し、複列磁気リングの各磁極の着磁ピッチを非常に高精度にコントロールしている<sup>9)</sup>。

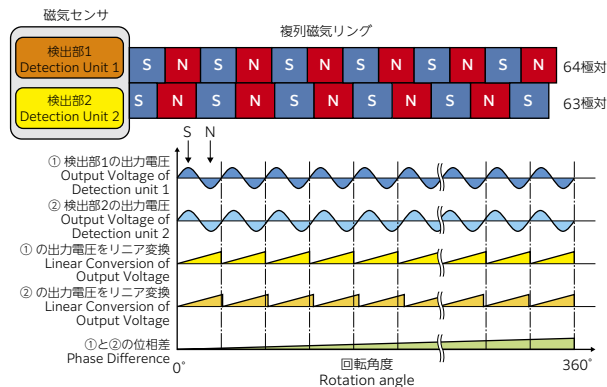


図 10 絶対角検出原理

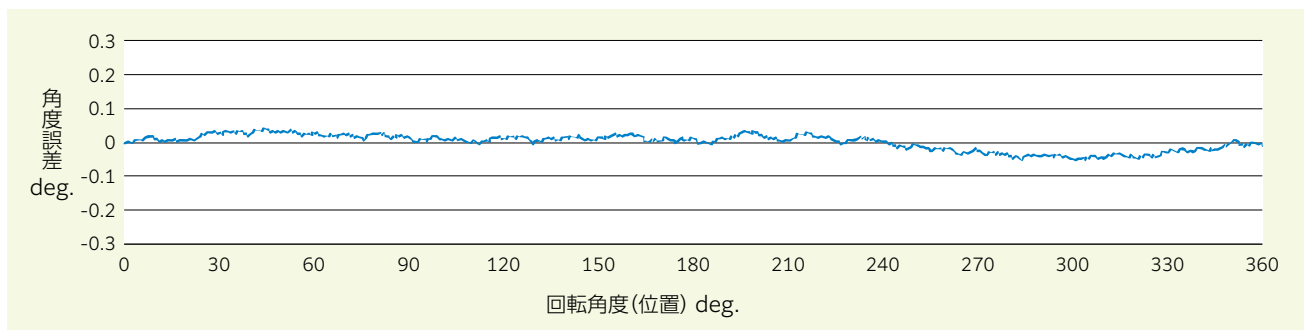


図 11 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の絶対角検出誤差の測定結果

## 4. 評価試験

### 4.1 絶対角検出誤差

深溝玉軸受 6907 を用いた開発品における絶対角検出誤差を測定した。測定条件を表 2、測定結果を図 11 に示す。開発品は、複列磁気リングと磁気センサ IC を採用するとともに、それらを深溝玉軸受に精度良く取り付けられることで、高精度な絶対角検出を実現しており、表 2 の測定条件で絶対角の検出誤差  $\pm 0.1^\circ$  以下を得た。

### 4.2 電磁ノイズに対する耐性

開発品は、ロボットの関節機構の小型化や軽量化に貢献すべく、深溝玉軸受、複列磁気リング、磁気センサ IC、回路基板など、できる限り少ない要素で構成されており、コンパクトなユニットを実現している。ロボットの関節機構で想定される各種ノイズに対する耐性を調査するため、電磁ノイズ試験を実施し、工業環境の EMC 規格 (IEC 61000-6-2) に準拠可能な耐性を有することを確認した<sup>10)</sup> (表 3, 図 12)。

表 2 複列磁気エンコーダ付転がり軸受の絶対角検出誤差の測定条件 (深溝玉軸受 6907)

項目	条件
電源電圧	DC 5 V
回転速度	$5 \text{ min}^{-1}$
測定角度	$360^\circ$
測定温度	室温
極対数	64/63 極対

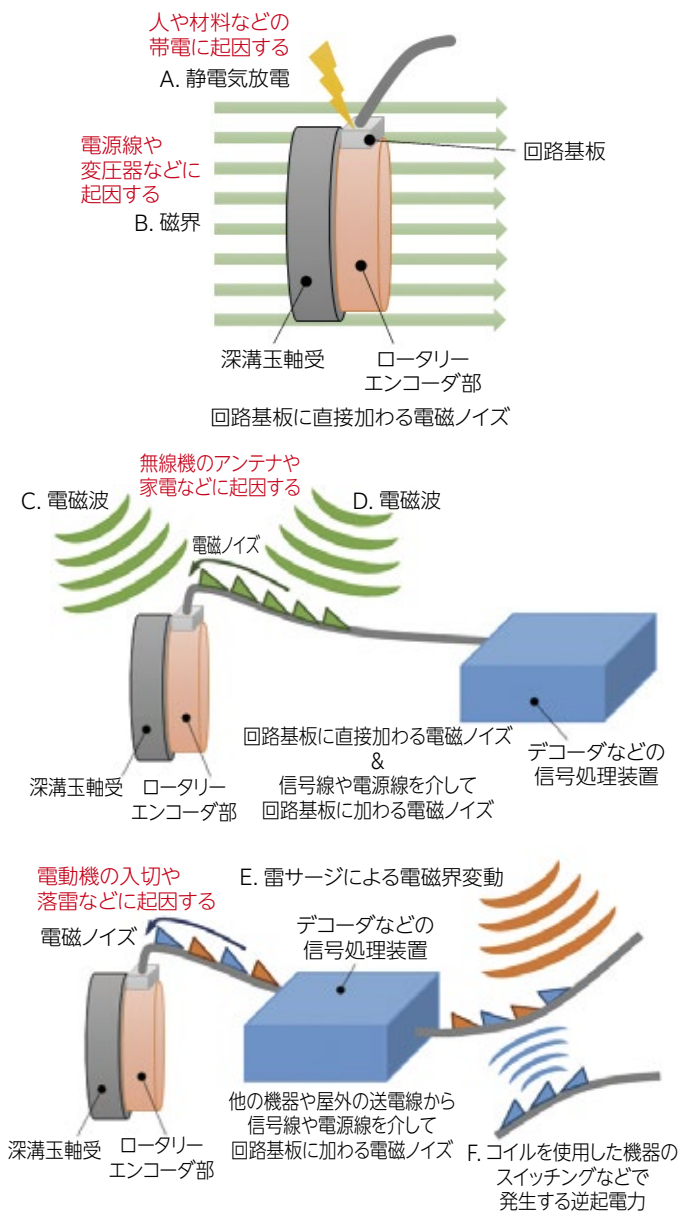


図 12 電磁ノイズの種類

## 5. 開発品の適用例

開発品は、本稿で紹介した特長を活かして、協働ロボットやサービスロボットなど、小型ロボットの関節機構に適用できる。また、光学式ロータリーエンコーダや、レゾルバなどのアナログ式ロータリーエンコーダからの置き換えとして、一般的なサーボモータにも適用できる (図 13)。

例えば、光学式ロータリーエンコーダは、発光素子や受光素子、および、内部への埃や油の侵入を防ぐ隔壁などが必要であり、小型化しにくい。また、レゾルバは、分解能を高めるために基幹部品のコイルユニットに多数のコイルを高精度に配置する必要があり、形状が複雑で小型化しにくい。さらに、レゾルバは、出力信号をデジタル変換する R/D コンバータを要する。

これに対し、開発品は複列磁気リングと磁気センサ IC だけで「磁気式」ロータリーエンコーダを構成できるので、光学式ロータリーエンコーダや、レゾルバに比べ構造がシンプルであり、ロボットの関節機構やサーボモータの小型化や軽量化に寄与できる。また、開発品は、デジタル信号を出力するので、R/D コンバータなどが不要となり、システムを小型化、軽量化しやすい。



図 13 サーボモータ

表 3 電磁ノイズに対する耐性評価試験

試験 No.	試験規格と名称	想定される電磁ノイズ	試験条件	結果
1	IEC 61000-4-2 : 2008 静電気放電イミュニティ試験	図 12 の A	4 kV	いずれも 損傷なし EMC規格 (IEC 61000-6-2) に準拠可能
2	IEC 61000-4-4 : 2012 バーストイミュニティ試験	図 12 の F	1 kV	
3	IEC 61000-4-5 : 2014 サージイミュニティ試験	図 12 の E	1 kV	
4	IEC 61000-4-8 : 2009 電源周波数磁界イミュニティ試験	図 12 の B	30 A/m (50 Hz/60 Hz)	
5	IEC 61000-4-6 : 2013 無線周波伝導妨害イミュニティ試験	図 12 の D	10 V 0.15~80 MHz	
6	IEC 61000-4-3 : 2006 放射無線周波電磁界イミュニティ試験	図 12 の C, D	10 V/m (80~1 000 MHz) 3 V/m (1.4~6.0 GHz)	

### 6. 開発品のシリーズ展開

開発品は、協働ロボットやサービスロボットなど、小型ロボットの関節機構に適用可能とするため、本稿で紹介した深溝玉軸受 6907 を用いたものを含め、軸受内径 15 mm から 45 mm までのシリーズ展開を予定している。

### 7. まとめ

協働ロボットやサービスロボットをはじめ、ロボットの需要が拡大し、市場要求は高度化・多様化している。

上記のニーズに応えるため、NTN は複列磁気リングの技術を応用し、深溝玉軸受と「磁気式」ロータリーエンコーダとを一体化した「複列磁気エンコーダ付転がり軸受」を開発した。ロボットの小型化や軽量化とともに、組立やセットアップの工数削減が可能となる。

今後も、ロボットをはじめとする産業機械のさらなる性能向上に貢献する商品の開発に取り組み、人々の暮らしをより豊かにする技術や、地球環境を守る技術の進歩を支えていく。

### 参考文献

- 1) 植田敬一, 工作機械用精密軸受の技術動向, ツールエンジニア, 第 60 巻 第 16 号, (2019) 41-43.
- 2) 大胡誠, 國米広道, 林康由, 辻橋将人, ロボット用軸受の技術動向と特長, NTN TECHNICAL REVIEW, No.86, (2018) 34-39.
- 3) 國米広道, 田中秀明, 鈴木康介, 川上雄一郎, ロボット関節部関連商品の開発への取り組み, NTN TECHNICAL REVIEW, No.88, (2020) 27-32.
- 4) 小池孝誌, 福島靖之, 澁谷勇介, 伊藤浩義, 高精度絶対角検出用複列磁気リングの開発, NTN TECHNICAL REVIEW, No.86, (2018) 45-49.
- 5) 伊藤浩義, 小池孝誌, 回転センサ付軸受について, NTN TECHNICAL REVIEW, No.69, (2001) 108-116.
- 6) 林康由, ロボット関節部関連商品の開発, ベアリング & モーション・テック, No.035, (2022) 25-27.
- 7) iC-Haus GmbH, iC-MU off-axis nonius encoder with integrated hall sensors
- 8) 糸見正二, 伊藤浩義, 建設機械向けセンサユニットの紹介, NTN TECHNICAL REVIEW, No.76, (2008) 118-125.
- 9) 小池孝誌, 福島靖之, 澁谷勇介, ロボット関節の絶対角検出に適用可能な高精度絶対角センサ, 機械設計, 第 62 巻 第 3 号, (2018) 55.
- 10) Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-2, Generic standards - Immunity standard for industrial environments IEC 61000-6-2, (2016).

### 執筆者近影



奥村 寛

産業機械事業本部  
ロボティクス・  
センシング技術部



伊藤 浩義

産業機械事業本部  
ロボティクス・  
センシング技術部



浜北 康之

産業機械事業本部  
ロボティクス・  
センシング技術部