

産業用ロボット MELFA FRシリーズ“FR PLUS”

奥村誠也*
Seiya Okumura
大樂佑介*
Yusuke Dairaku
高橋浩喜*
Hiroki Takahashi

後藤隆矢*
Takaya Goto

*名古屋製作所

Industrial Robot MELFA FR Series "FR PLUS"

要 旨

顧客の製造工程で、高生産・高品質を実現するため、産業用ロボットMELFA FRシリーズ“FR PLUS”を開発した。新制御方式“MELFA High Drive”を採用し、高い軌跡精度、短い位置決め整定時間、レイアウト設計に対する柔軟性を可能にしている。軌跡精度や位置決め整定時間が向上することで、作業品質が向上し、また、タクトタイムの短縮につながる。MELFA High Driveを有効にした場合と無効にした場合で、ロボットに試験経路を動作させ、軌跡精度を比較した。その結果、MELFA High Driveによって、三菱電機の測定環境で軌跡精度が最大64%向上することを確認した。

1. ま え が き

近年、製造業で人手不足の解消のため、産業用ロボットは不可欠な存在になっており、より多くの生産現場で活用できるように多様な作業への対応が求められている。しかし、産業用ロボットはその剛性の低さから部品のピックアンドブレースなどで使用されることが多く、精密な作業に対しては、対象とする作業を専用とした直交ロボットが用いられる場合が多い。

産業用ロボットで精密な作業を実現しようとする時、振動による影響や軌跡精度が低下する懸念があるため、動作速度や加減速度を小さくする、又は、振動が整定するまでの時間を長く取るなど対策が必要である。しかし、これらの対策では生産性が低下してしまう。これらの課題を解決するためには軌跡精度、位置決め整定時間の向上が不可欠であり、実現すると産業用ロボットの活用の幅を大きく広げることが可能になる。

本稿では、これらの性能向上を実現したMELFA FRシリーズFR PLUS(図1)について述べる。

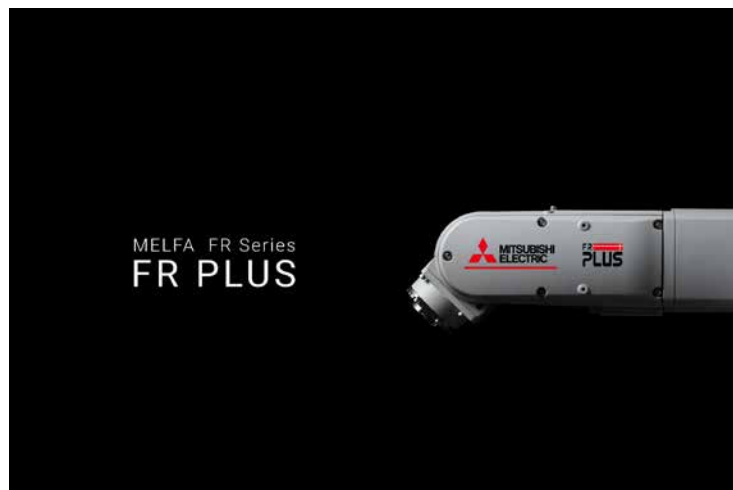


図1 -MELFA FRシリーズFR PLUS

2. MELFA FRシリーズFR PLUS

MELFA FRシリーズFR PLUSは、新制御方式MELFA High Driveによって軌跡精度の向上と位置決め時間の短縮を実現した。さらに、力覚センサーのラインアップ拡張や機器間ケーブルの別売り化によって、幅広いアプリケーションへ

の対応が可能になっている。これらの機能やオプションによって、顧客の製造工程に柔軟に対応し、高生産・高品質の実現に貢献する。

3. 新制御方式MELFA High Driveの特長

MELFA High Driveは、産業用ロボットMELFA FRシリーズの動作性能を向上させた新制御方式である。“High Precision” “High Speed” “High Flexibility”といった三つの特長を持っており、それぞれ高い軌跡精度、短い位置決め整定時間、レイアウト設計に対する高い柔軟性を表している(図2)。MELFA High Driveには、“軌跡優先モード”と“高速位置決めモード”があり、目的に応じて、動作モードを切り替えて使用する。



図2-MELFA High Driveの特長

3.1 軌跡優先モード

MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、指令経路を補正することで軌跡精度を改善している。速度や位置による軌跡変化が少なくなることで、立ち上げ調整が容易になり、シーリング加工等の作業品質の向上につながる。

図3(a)に軌跡精度を必要とする作業例として、シーリング加工を実施している例を示す。通常、図3(b)左図のように目標とする軌跡に対して、実際の軌跡が内回りしてしまい軌跡誤差が発生してしまう。MELFA High Driveが有効な場合、図3(b)右図に示すように、内回りを改善し、意図したとおりの加工ができるようになる。



図3-MELFA High Driveの軌跡優先モード

加工、組立て、シーリング又は溶接などの作業を行う産業用ロボットでは、ロボットアームの手先をあらかじめ設定された目標軌跡に追従させるように各関節軸にあるサーボモーターを制御する。この制御で、目標軌跡のコーナー部ではサーボモーターの回転速度が急激に変化するため、機械に振動が発生しやすい。そのため、一般的なサーボ制御では、この機械振動を抑制するために、位置指令に高周波数成分を減衰させるようなフィードフォワード制御をかけることによ

て、位置指令の変化を抑えている(図4)。しかし、その結果、目標軌跡の変化に対して応答軌跡が内回りしてしまい、軌跡誤差が発生する。

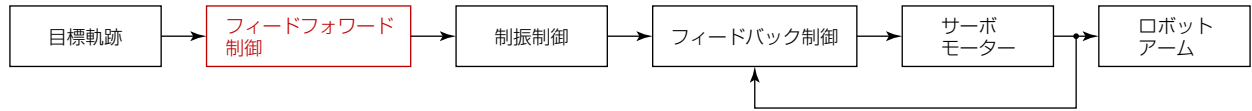


図4-MELFA High Driveのブロック図

MELFA High Driveでは、図4にあるフィードフォワード制御を改善することで、機械振動を抑制しながら、応答軌跡の内回りも抑制している。具体的な方法は、参考文献(1)を参照されたい。位置指令に対する応答の誤差には、目標軌跡の接線方向の成分である追従誤差と、垂直方向の成分である軌跡誤差がある。シーリング加工等の作業では、目標とする形状と一致させるため、軌跡誤差を発生させないことが求められている。一方、追従誤差は加工形状には直接影響を与えないため、許容される場合が多い。MELFA High Driveのポイントは、追従誤差を許容することで、振動を抑制しつつ、高い軌跡精度を実現している⁽¹⁾。

3.2 高速位置決めモード

MELFA High Driveの高速位置決めモードでは、独自の制振制御アルゴリズムで位置決め時の振動を抑制し、位置決め整定時間を短縮することを可能にしている(図5)。位置決め整定時間とは、速度指令値がゼロになってから、実際にロボットアームの手先位置の速度がゼロになって停止するまでの時間を指す。通常、速度指令値がゼロになっても実際には少し遅れてから速度がゼロになる。また、制御方法によっては停止時に振動が発生するため、振動が停止するまでの時間によって位置決め整定時間が長くなることもある。MELFA High Driveでは、三菱電機ACサーボ“MELSERVO”でも実績のある制振制御を採用し、また、産業用ロボットの剛性を補償する制振制御を追加することで、位置指令が完了した後に発生する機械振動の抑制を可能にしている。

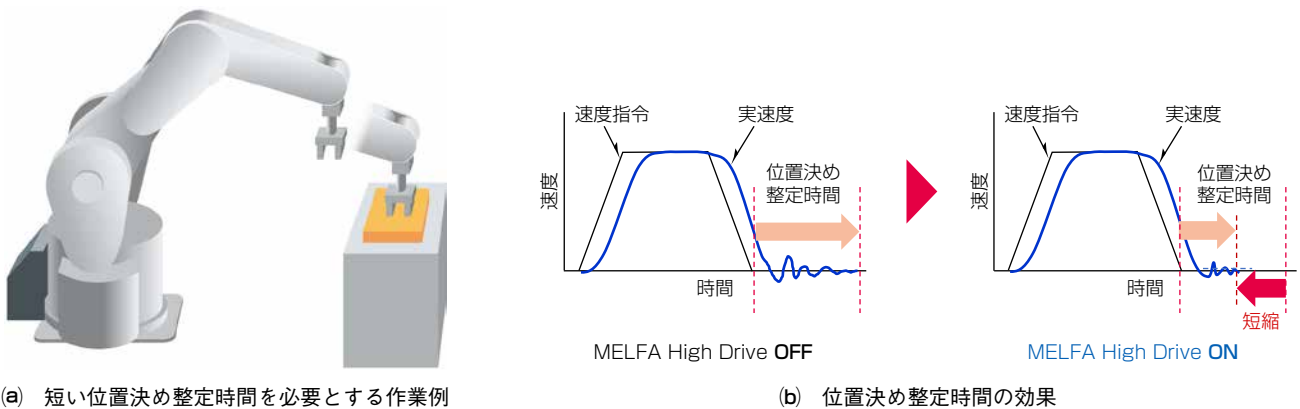


図5-MELFA High Driveの高速位置決めモード

位置決め整定時間が長いと、ロボットが指示した位置に到達した後、微小に振動する時間が長いことを意味する。したがって、ロボットに精密な作業をさせる際、誤差の原因になってしまうことから、振動が収まるまで待機しなければならない。しかし、MELFA High Driveを有効にすると、位置決め整定時間を短くできるため、ロボットが次の動作に移行するまでの待ち時間を短くすることが可能になり、タクトタイムの短縮につながる。

4. MELFA High Driveの改善効果

MELFA High Driveの有効、無効による改善効果を確認した。4.1節に円動作での比較結果を、また、4.2節にロボットに特定の経路を動作させたときの比較結果を述べる。最後に4.3節でMELFA High Driveの改善効果を述べる。

4.1 円動作での比較

MELFA High Driveを有効、無効それぞれの条件で、ロボットに異なる速度で円動作させたときの結果を図6に示す。通常、動作速度を上げるほど、指令の周波数成分が大きくなるため、振動抑制効果によって目標軌跡に対して応答軌跡が内回りしてしまい、軌跡精度の低下につながる。図6から、MELFA High Driveが無効の場合、動作速度を上げていくと内回り量が大きくなるため、速度に対する応答軌跡にばらつきがあることが確認できる。それに対して、MELFA High Driveを有効にすると、動作速度を大きくしても内回り量が少なくなっており、軌跡精度が向上していることが確認できる。

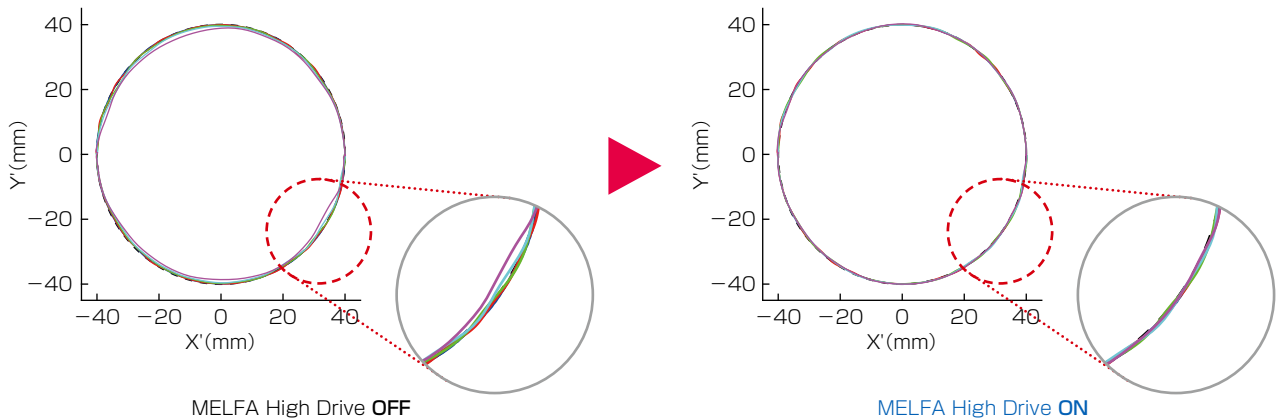


図6-円動作での比較結果

4.2 特定の経路での比較

MELFA High Driveを有効、無効それぞれの条件で、ロボットに特定の経路を動作させ、ロボットアームの手先の位置の軌跡をレーザートラッカーで測定した。その試験結果を図7に示す。

図7から、MELFA High Driveが無効の場合と比較して、有効の場合は、動作速度を上げても軌跡誤差が低下していないことが確認できる。

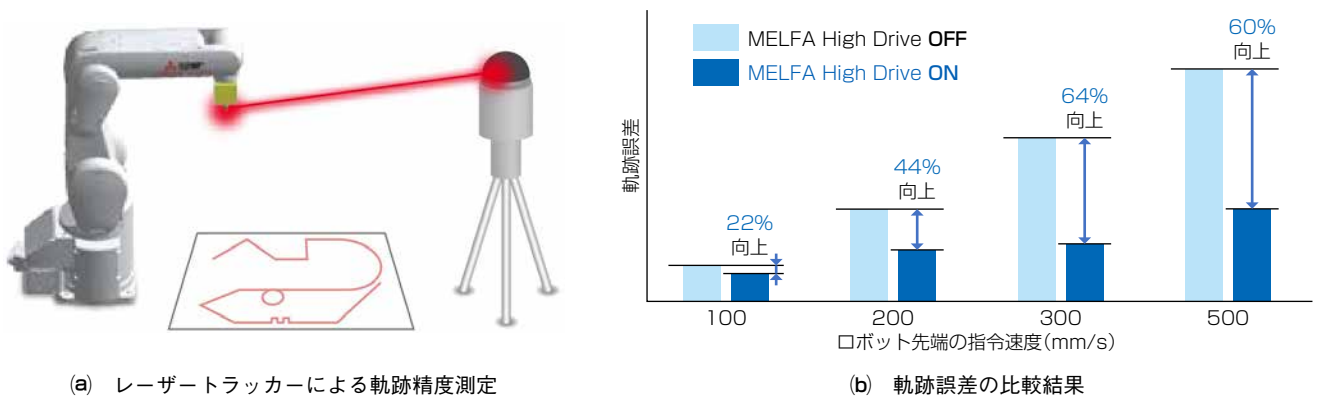


図7-特定の経路での比較結果

また、MELFA High Drive無効時に200mm/sの動作速度で動作させたときの軌跡誤差と、MELFA High Drive有効時に500mm/sの動作速度で動作させたときの軌跡誤差が同等になっている。これは、MELFA High Driveを有効にすることで、加工精度を維持しつつ従来よりも加工時間を短縮可能であることを意味している。また、同じ動作速度で軌跡誤差が低下していることが確認できる。このことは、従来と同じ動作速度で動作させた場合、加工品質を向上させることにつながる。

4.3 MELFA High Driveの改善効果

MELFA High Driveの改善効果を次に述べる。

(1) 装置立ち上げ期間の短縮

目標とする軌跡に対して高い精度でロボットを動かしたい場合、一度、実際にロボットを動作させ、軌跡誤差がある箇所の教示点を微調整する必要がある。また、通常、動作確認時は低速で動作させ、実際に加工するときは高速に動作させる。速度によって軌跡精度に違いがあると、動作確認時と異なる加工になってしまい、教示点を再度調整する必要がある。MELFA High Driveの軌跡優先モードによって、これらの問題を解決でき、ティーチングを容易にすることにつながる。

(2) 作業品質の向上

マイクロメートル単位の精度を要するような精密な作業では、目標軌跡と実際の軌跡がずれていると、意図どおりの加工にならず、製品不良を引き起こす可能性がある。MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、加工速度を変更することなく加工精度が向上するため、製品の品質向上につながる。

(3) 軌跡精度向上による加工時間の短縮

精密な作業では、応答遅れによる軌跡誤差を抑制するため、動作速度を小さくしている場合が多い。MELFA High Driveの軌跡優先モードでは、動作速度を大きくしても従来と同じ加工品質になるため、動作速度を大きくすることが可能になる。

(4) 整定時間短縮によるサイクルタイムの短縮

ビジョンによる撮像や、精密部品の組立て、搬送では、目標とした位置に動作した後の残留振動がなくなるまで、待機させる必要がある。又は、残留振動を低減するため、ロボットの加減速度を小さくして、ゆっくり動作させる必要がある。MELFA High Driveの高速位置決めモードでは、位置決め時の振動を抑制するため、目標位置に動作した後の待機時間を減少させることができる。又は、振動を抑制するために小さくしていたロボットの加減速度を大きくすることが可能である。これらはサイクルタイムの短縮につながる。

5. む す び

産業用ロボットMELFA FRシリーズの性能向上のために開発したMELFA FRシリーズFR PLUSに搭載された、新制御方式MELFA High Driveの特長について述べた。

今後も引き続き産業用ロボットの性能を改善し、自動化できていない作業の課題を解決していく。

参 考 文 献

- (1) 斎藤暁生, ほか: JP6821041B2, サーボ制御装置, 日本 (2021)
<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1801/PU/JP-6821041/15/ja>