

超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」と それを用いた航空機部品の生産

Ultra-high Payload, High Rigidity Robot MG10HL and Its Use in Production of Airplane Parts



北村 伸 二① Shinji Kitamura
 小山 雅 隆② Masataka Koyama
 堀内 悠 平③ Yuhei Horiuchi
 入江 響④ Kyou Irie
 木下 智 裕⑤ Tomohiro Kinoshita

世界人口の増加や新興国経済の発展に伴って航空機の需要増が見込まれているが、その生産においては人手による作業が多く、生産能力の増強のため、自動化の推進が求められている。そこで、ロボットによって自動化することで生産効率を上げて、需要増加に対応するとともに生産コストの削減を図るため、「MG10HL」を航空機の大型パネル生産に適用するべく取り組んでいる。

As the global population increases and developing economies expand, the demand for airplanes are expected to increase. However, the majority of their production is still carried out manually and thus, it is required to promote automatization in order to strengthen productivity. In these circumstances, we are working on introducing MG10HL in the production of large airplane panels in order to increase production efficiency to meet the increasing demand and reduce production costs by using automated robots.

まえがき

世界人口の増加やアジア、南米、アフリカなどの新興国の経済発展に伴い、今後20年間で40,000機近い新造航空機の需要があると予測されている。一方で航空機生産の現場では、未だ人手による作業が多く、今後の需要増加に対応できる生産能力を確保できていない。

1 背景

航空機の需要増加に対応する手段として、ロボットによる生産の自動化が期待されている。ロボット化することで、生産効率の向上、生産コストの削減、品質の安定化、生産スペース削減など、さまざまなメリットが得られる。

2 ロボットによる航空機部品生産の課題

航空機の部品には小さなものから大きなものまでさまざまなサイズの部品があるが、特に大きな部品においては部分的に大型の専用機が適用されているだけで自動化は限定的である。ロボットによって自動化していくためには、ロボットが、大きな動作範囲を持つこと、作業用ツールの重量と発生する力に耐えられる可搬能力を持つことが必要となる。

一方、大型のロボットは動作範囲が広い反面、リンク機構の組み合わせで構成されていることから、空間位置に対する絶対的な位置精度が上がりやすく、可動部のたわみも大きい。また、絶対的な精度を上げるためには、搬送装置などのロボット以外の設備や部品のセッティング精度も上げる必要があり、ロボットシステムの選択の範囲が狭くなってしまふ。

これらの課題に対応するためには、ロボットアームの剛性をハードウェア的に向上させるとともに、部品のもつ誤差や可動部のたわみをソフトウェアで補正して空間に対する精度を向上させ、さらにワークとの相対位置関係を補正する仕組みをもつことが合理的である。

3 超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」による航空機部品生産

航空機の大型胴体パネル生産においては、高さが約3mのパネル全体にアクセスできる広い動作範囲、決められた加工箇所へ正確に移動する高い位置決め精度、加工反力が作用したときにも位置を維持する高い剛性、さらに作用する加工反力に耐えられる耐荷重能力がロボットに対して求められる。新しいパネル接合方法として当社が提案している対向式FSJ（Friction Spot Joining：摩擦攪拌点接合）では、10kNを超える大きな加工反力が発生する。当社の

超重量可搬・高剛性ロボット「MG10HL」は、これにも対応できるものとなっている。

(1) ハードウェアの高剛性化

「MG10HL」の構造と動作領域を図1と図2にそれぞれ示す。「MG10HL」は、1,000kgの可搬能力、15kNの耐反力、および反力作用時のたわみを極力抑える剛性を持つ必要がある。このため、たわみへの影響の大きい第2軸と第3軸に剛性の高いボールネジを当社独自の固定平行リンク構造と組み合わせて用いることで、大型パネルに対応する動作範囲と剛性の確保を実現している。大型サイズのロボットに通常使用されている差動式減速機に比べて直動機構のボールネジは第2軸と第3軸の関節剛性が約2倍となると同時に、カウンターウェイトを用いないことでクラス最小のサイズと本体質量を実現した。

さらに第1、2、3軸は、当社ロボットにおいて標準的に使用されているモータを2個ずつ使用したデュアル制御

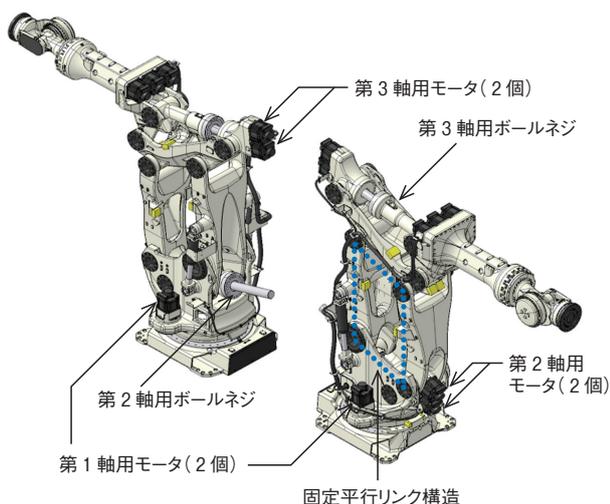


図1 「MG10HL」の構造
Fig. 1 Structure of MG10HL

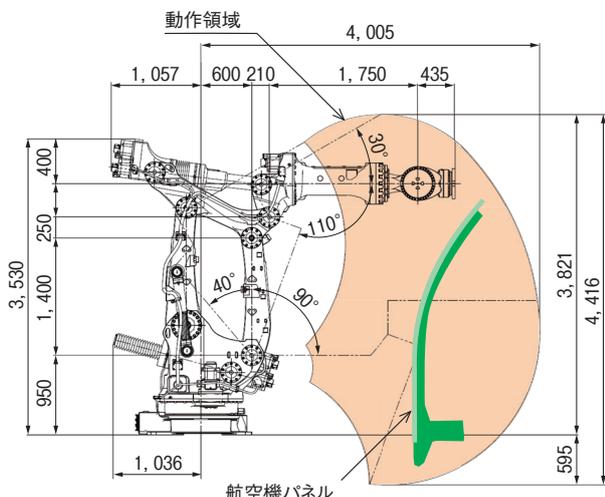


図2 「MG10HL」の動作領域
Fig. 2 Operating range of MG10HL

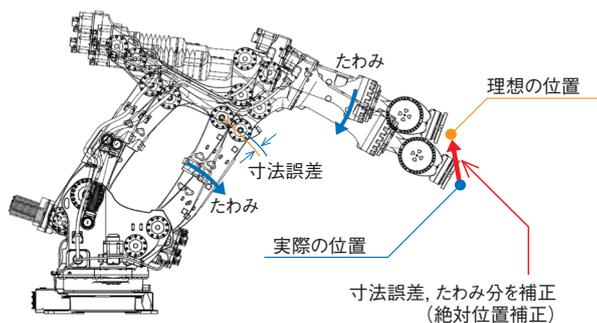


図3 位置・たわみ補正
Fig. 3 Compensating for location and deflection

を行うことで、高い可搬能力を実現しつつコストを低減し、さらに従来通りのメンテナンス性も確保している。

(2) ソフトウェアによる絶対位置精度の向上

「MG10HL」は高剛性なアーム構造としているが、実際にはツールや自重によるたわみが生じる。これに加えて、部品の寸法誤差や組立誤差が存在するため、理想位置からズレが生じる。理想位置とは、オフライン教示などで指定される空間上の座標値であり、これに対する精度はいわゆる絶対位置精度と呼ばれる。絶対位置精度を向上させるためにソフトウェアによる位置・たわみ補正機能を用意している。個々のロボットに対して、いくつかの姿勢でロボット手首先端の位置を計測して理想位置との差を算出することで、部品寸法と関節およびアームのバネ定数を同定している。そして、同定された値を用いて図3に示すように位置補正を行う。この絶対位置補正機能により、通常使用される動作範囲では、理想位置に対して $\pm 0.7\text{mm}$ という高い位置精度を実現している。

4 航空機部品生産への適用事例

(1) 航空機パネルの穴あけ

航空機パネルの構成部品は、リベットなどで結合されており、主翼の固定部は大径の締結部品で結合する。主翼付け根などの剛性が必要な部分では、約75mmと板厚が大きいパネルに対して直径約20mmの大径穴をあけることもある。これらの大径穴の加工時は、ドリルを持つ作業者に大きな加工反力が発生するため自動化が求められている。

航空機パネルに、部品を組み付けるための大径穴あけ加工を行うロボットを図4に示す。本適用では高い位置精度が要求されるが、これはロボット自身の位置精度に加えて、ワークの加工精度、およびロボットとワークの相対位置関係に影響される。このため、前述の絶対位置補正機能に加えて、次に示す2種類のセンサによる位置補正技術を用いてワークに対する相対位置精度を確保している。

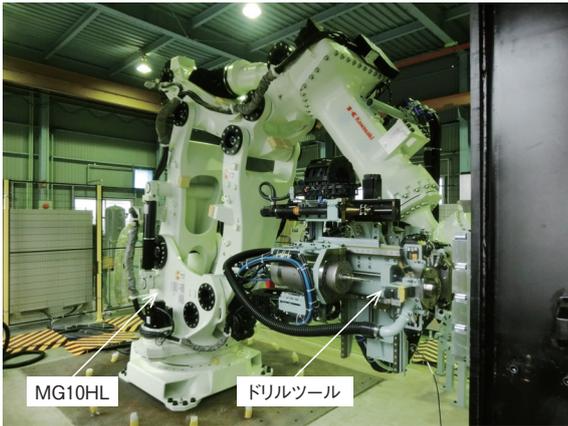


図4 大径穴あけロボットシステム (試験機)
Fig. 4 Drilling robot

① 2次元センサによる穴位置補正

まず、図5に示すように、穴位置付近にあらかじめ設けた基準穴の位置を、ドリルツールに取り付けた2次元センサで検出する。そして、検出した基準穴の位置を基に加工する穴位置を算出し、ワークに対する穴あけ位置の精度を確保している。

② 力センサによる滑り補正

加工の際、ドリルツールを航空機パネルに押し付けた時に生じる、ドリルツールの滑りを補正するものである。図6に示すようにドリルツールとロボットの間力センサを取り付けて、押付反力でドリルツールが

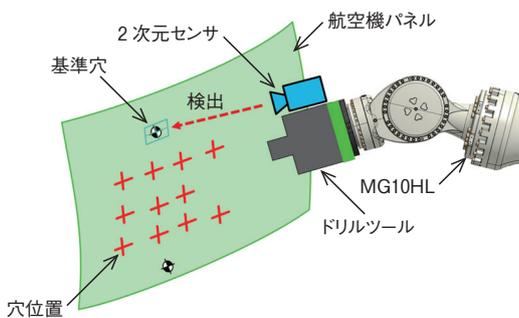


図5 センサによる穴位置検出
Fig. 5 Sensing base hole positions

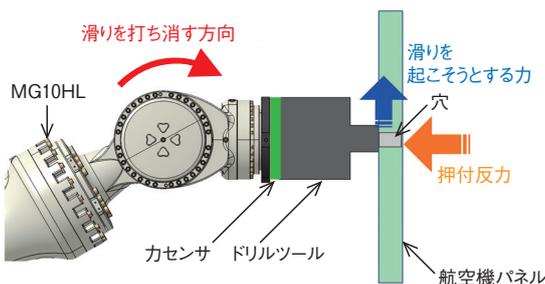


図6 滑り補正の仕組み
Fig. 6 Mechanism of slip compensation

滑りを起こそうとする力を検出する。そして、力センサの値を基に、滑りを打ち消す方向にロボットを動作させることで位置ズレを防いでいる。

上記①②の補正により、ロボットのドリルによる加工穴の位置精度は図7に示すように要求精度を達成している。

(2) 航空機パネルの対向式FSJ接合

前述のように、航空機パネルの構成部品は現在リベットで結合されているが、将来的にはこのようなりベット結合を当社が開発したFSJに置き換えることで、機体のコストダウンが大いに期待できる。

ロボット適用においては、図8に示すように、航空機パネルの機内側に接合ガンを持ったロボットを配置し、機外側に裏当てガンを持ったロボットを配置する。これら2台の対向したロボットを協調動作させ、航空機パネルの内外面から接合ガンと裏当てガンでスキン材とフレーム材を挟んでFSJを行う。接合ガンと裏当てガンは10kNを超える加圧力で押し付けあうが、同時にフレーム材に対して高い面

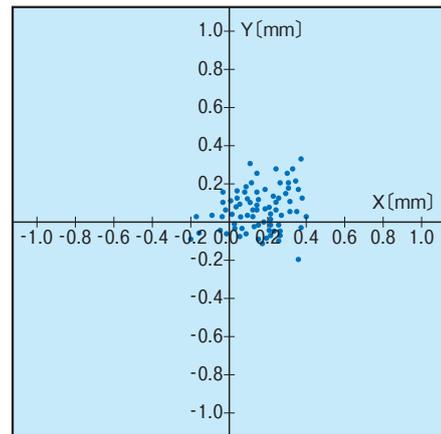


図7 加工穴の位置精度
Fig. 7 Repeatability accuracy of positioning

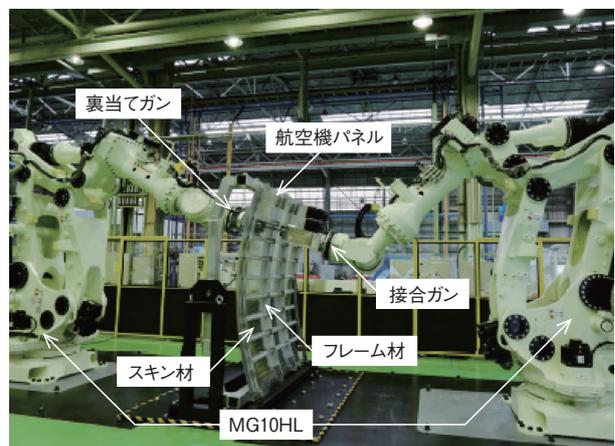


図8 対向式FSJロボットシステム
Fig. 8 FSJ System using opposed robots

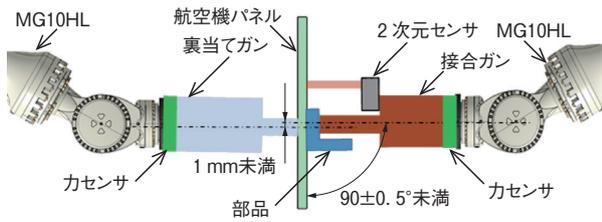


図9 対向式ロボットの面直補正
Fig.9 Compensating for gradient of opposed robots

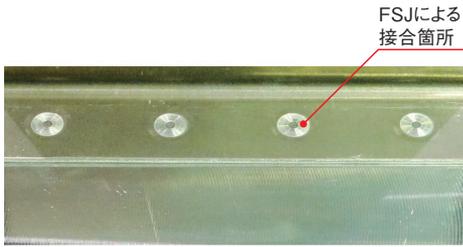


図10 FSJによる接合サンプル (航空機パネル内面)
Fig.10 Work sample of FSJ

直度が要求される。また、ガン同士の軸芯の位置精度を1mm未満にすることも要求される。

この実現のため、ドリル穴あけと同様に、次に述べる2種類のセンサにより位置補正している。

① 2次元センサによる位置補正

図9に示すように、フレーム材の部品の接合面を2次元センサで検出し、接合ガンが所定の面直度±0.5°未満になるように面直補正を行っている

② カセンサによる滑り補正

接合時にガンを航空機パネルに押し付けた時に発生するガンの滑りを補正している

航空機パネル内面のFSJによる接合箇所を図10に示す。パネル外面についても実用に際して十分に平滑な外面が得られており、航空機の空力性能の向上に寄与するものとなっている。

あ と が き

これまでロボット化が進んでいなかった航空機生産分野においてもロボット化の取り組みが始まっている。当社は航空機事業とロボット事業を共にもつメーカーであり、互いの分野で培ってきた技術を融合させることで、航空機生産の自動化を推進するとともに、それにより生み出された技術を自動車分野など他の分野にも応用していく。



北村伸二



小山雅隆



堀内悠平



入江響



木下智裕