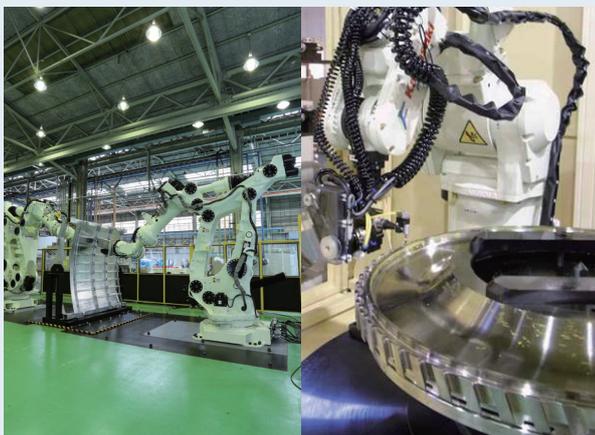


ロボットを活用した航空機の機体・エンジンへの新接合技術 および仕上げ技術の開発

Development of New Joining and Finishing Technologies for Aircraft Fuselages and Engines Using Robots



上 向 賢 一①※	Kenichi Kamimuki
吉 田 友 祐②	Yusuke Yoshida
岡 田 豪 生③	Hideki Okada
長 船 克 巳④	Katsumi Osafune
福 原 一 美⑤	Kazumi Fukuhara
北 村 伸 二⑥	Shinji Kitamura
深 田 慎太郎⑦	Shintaro Fukada
堀 内 悠 平⑧	Yuhei Horiuchi

今後、航空旅客需要の増加に伴い新規製造ジェット旅客機の増加が予想されている。

航空機製造においては厳しい品質要求を満足しつつ、一層の低コスト・高レート生産が求められており、ロボットによる自動化が注目されている。そこで、航空機の機体・エンジンの製造において、自動化に適したロボットやシステムおよび加工プロセスを開発して実機適用を推進している。

More jetliners are expected to be manufactured in the future in line with an increase in the demand of plane passengers.

Automation using robots is garnering attention in the field of aircraft manufacturing since it is required to further reduce production costs and accelerate the production rate while satisfying stringent quality requirements. In this context, we are developing robots, systems and production processes suitable for automation and are moving ahead to apply them to actual parts of aircraft fuselages and engines.

まえがき

今後20年間で、航空旅客需要は年平均伸び率4.6%、ジェット旅客機の新規製造機数は33,000機と予想されている。一方、その価格競争が激しくなっており、顧客から製造コストの低減を求められている。

1 背景

近年、「ボーイング777X」(777X)や「エアバスA350」(A350)の航空機機体とともにそれらの機体用エンジンの開発が進められており、さらに将来旅客機の新規開発も予想されている。当社は航空機機体やエンジンの共同開発・生産のパートナーとなっており、高度な品質管理や低コスト化・高レート化・軽量化を求められている。これらに対応するために自動化技術や新生産技術の開発を進めており、特に専用設備より安価で汎用性の高いロボットによる自動化に注目している。

2 新接合技術および仕上げ技術へのロボット適用方針

(1) 機体製造

航空機機体では、新接合技術として当社が開発した複動式FSJ (Friction Spot Joining: 摩擦攪拌点接合) の適用検討を行っており、これまで標準的なC型の接合ガンを搭載したロボットによる部品試作や継手を製作し評価してきた¹⁾。しかしながら、標準的な接合ガンでは部品の形状によってはアクセスが困難な場合があるため、大型一次構造を含むさまざまな部品形状を接合可能にするためのロボットおよびその制御技術の開発が必要であった。

そこで、図1に示すような接合ガンと裏当てガンを独立して持たせたロボットを対向配置して接合する方法や装置を開発している²⁾。これにより、たとえば「777X」での当社分担製造部位である大型部品の機体胴体外板に取り付ける部品の接合が可能となる。このロボットは、接合時の反力によるたわみを極力抑えるために新規開発した高剛性のロボット「MG10HL」であり、2台のロボットの協調動作と接合時の加圧による滑り補正の機能を有している。

このように、複動式FSJの適用について、ロボットおよ

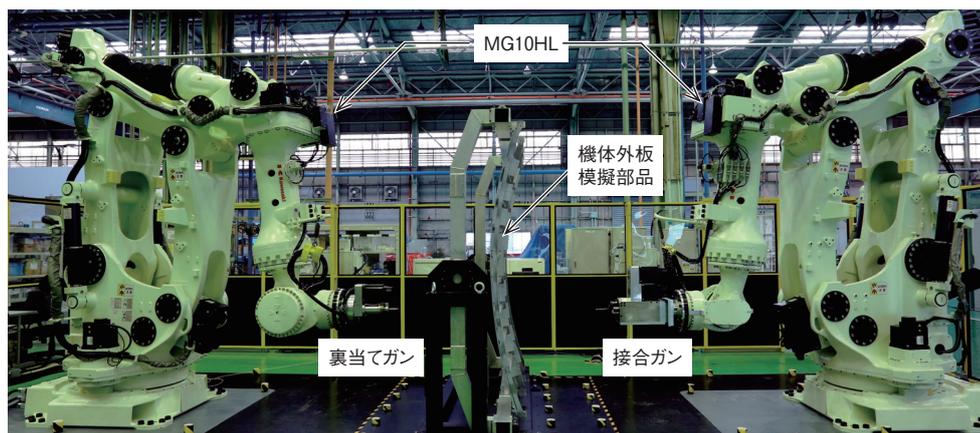


図1 対向式FSJロボットシステム
Fig. 1 Coordinated refill FSJ robot system

びその制御技術を開発するとともに、接合部品の配置や保持も含めたロボットシステムを検討している。

(2) エンジン製造

航空エンジンは、ケースや静翼に代表される静止体部品と、ディスクや動翼に代表される回転体部品とに分けられる。特に回転体部品は非常に高速で回転するため、部品にわずかな傷や打痕があった場合でも、それが起点となつて一気にき裂が進展して、最悪の場合にはエンジンバーストに至ることもある。このようにわずかな傷でも大事故に繋がるため、手仕上げにおいても非常に厳しい要求基準があり、それを満たすために高度な品質管理・高精度な加工技術・安定した製造品質が求められる。

これまで、このような重要回転体部品のエッジの仕上げは熟練者の技能に依存してきたが、顧客要求に応える自動化を実現するため、ロボットを駆使した独自技術を開発して要求基準を満足するまでに至った。現在では20台以上のロボット仕上げ設備が稼働しており、ディスク部品のみならずギア部品やケースなどの静止体部品にも適用を拡大して、複数顧客の製品向けの自動化を実現している。

将来的には、仕上げ加工だけではなく、組立作業や部品の配膳や加工機へのワークのロード／アンロードといった分野へもロボットの適用を広げていく方針である。

3 ロボットの適用検討

(1) 機体製造

(i) 対向式ロボットによる複動式FSJプロセスの開発

複動式FSJによる接合プロセスを図2に示す。プローブとショルダーを一緒に回転させながら材料に押付けることで摩擦熱を発生させて材料を軟化させ、プローブを引き上げて軟化した材料を逃がしながらショルダーの先端部を材料中に圧入する。その周辺に塑性流動を生じさせて上下の材料を一体化させ、その後、プローブを押し下げて逃がし

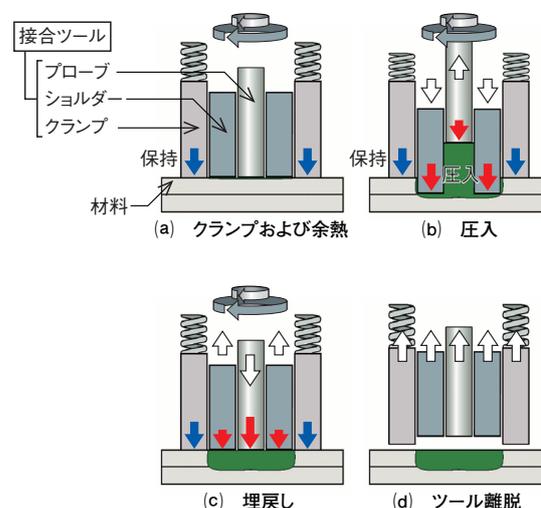


図2 複動式FSJによる接合プロセス
Fig. 2 Joining process of refill FSJ

た材料を埋戻しながらショルダーを引き上げる。

良好な接合品質を得るために、各プロセスにおけるプローブ位置・ツール荷重・ショルダーとプローブの回転速度・ショルダーの圧入深さなどのパラメータを制御している。また、対向式ロボットによる接合を実現するために、各プロセスの開始・終了および圧入・埋戻しなどのタイミングを2台のロボットで同期させている。

(ii) 腐食防止処理した材料の接合プロセス開発

航空機部品の多くは、部品と部品の合わせ面の腐食防止のために、防水のためのシーラントが塗布されている。つまり、航空機部品の組立に複動式FSJを適用する場合には、シーラントが塗布された部品を接合しなければならない。しかし、前述した接合プロセスで複動式FSJを行うと、接合部にシーラントを巻き込み、内部欠陥および強度低下の原因になる。

そこで、シーラント塗布材の接合プロセスを開発した³⁾。複動式FSJによる接合プロセスの前に、接合ツールで材料

⑤ 精密機械・ロボットカンパニー ロボットビジネスセンター FAソリューション第一総括部 エンジニアリング部

⑥ 精密機械・ロボットカンパニー ロボットビジネスセンター 技術総括部 開発部

を加圧して合わせ面に塗布されたシーラントを外部に排出（スクイズアウト）するものである。このプロセスにより接合した継手の断面図を図3に示す。接合部へのシーラントの巻き込みがほとんどない良好な接合断面となっている。継手強度はスクイズアウト無しのものに比べて大きく改善し、シーラントが塗布されていない継手とほぼ同等の強度であることが確認できた。

(iii) 部品の配置の自動化

部品製造工程全体を自動化するため、ロボットによる部品の自動配置・位置決め・保持を行う方法を検討するとともに装置の試作を行った。

接合ガンと部品との干渉を避けるため、図4に示すように10kg可搬の小型ロボット「RS10N」に軽量の真空吸着ハンドを搭載して部品を保持する構成とし、接合ガンと裏当てガンを持つ2台のロボットとこの部品配置ロボットの合計3台を協調して制御するシステムを試作した。その際、接合部に接合ガンがアクセスできる空間を確保すること、接合中の反力に対して位置を保持すること、部品へのキズを防止することを考慮した。部品を真空吸着によって把持し、接合部近傍の空間を確保して接合ガンのアクセスを可能とした。またスキンも含めて真空吸着とすることで、接合中の反力に対しても位置を保持できるようにした。さらに、図5に示すようにスキンと真空パッドの接触面に樹脂ブロックを配置してキズを防止した。

今後は、航空機に求められる高精度な部品配置を実現するための、センシングや補正技術について検討する。

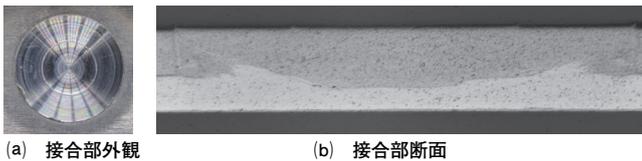


図3 シーラント排出接合プロセスによる接合部外観および断面
Fig. 3 Joint appearance and cross-section in the joining process with the sealant squeeze-out

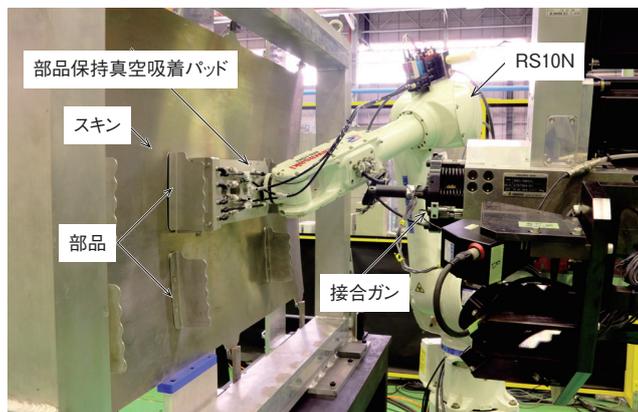


図4 部品配置ロボット
Fig. 4 Parts layout robot



図5 部品保持部
Fig. 5 End effector for holding the part

(2) エンジン製造

(i) オフライン教示システム「KCONG」

通常、ロボットにオンラインで動作を教示する場合は人がティーチペンダントを用いて実際にロボットを動かすことで行うが、0.1ミリ単位の高精度が求められる動作を実現することは困難である。カワサキロボットには「KCONG」という独自のオフライン教示システムがあり、これを用いることで複雑な動作を高精度に教示することが可能である。

たとえば、ロボットに取り付けられた刃具によりワークを加工する場合、「KCONG」では、まず対象ワークの3Dモデルを取り込み、図6に示すようにパソコン上で教示点を作成して刃具の加工パスを生成する。これによって正確な加工位置の教示と理想的な刃具の動作が得られる。

(ii) タッチセンシングシステム

「KCONG」によりロボットに対する理想的な教示点を得ることができるが、実際に動作させる上ではさまざまな問題がある。ロボット自身を持つ絶対精度誤差や加工姿勢によるアームのたわみなどにより理想的な動作とのズレが発生する。ワーク自身も3Dモデル通りの形状とは限らず、公差内において個体差を有している。また、ワークを治具にセッティングする際の誤差などもズレの原因となる。

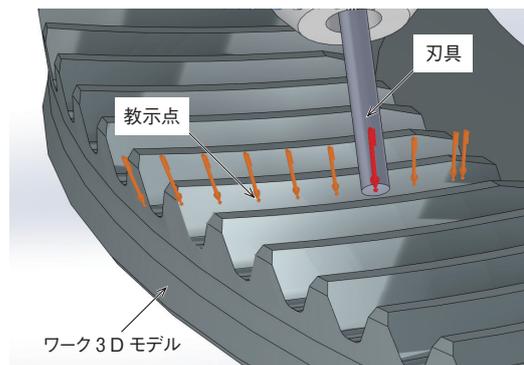


図6 KCONGによるオフライン教示例
Fig. 6 Example of offline teaching with KCONG

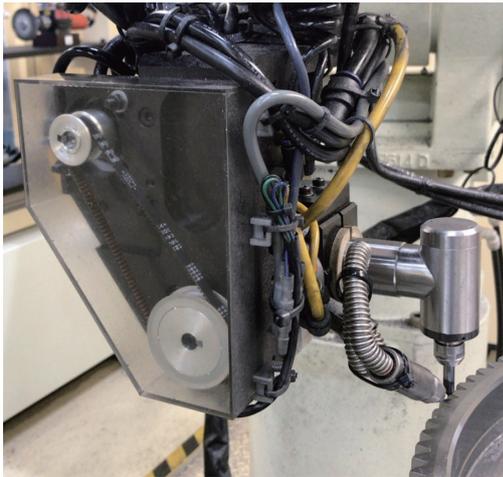


図7 タッチセンシングシステムを有した定圧装置
Fig.7 Constant-pressure device with touch sensing system

以上のような問題に対処するため、タッチセンシングシステムを開発した。これは、ワークをセットした状態でその一部分を3点計測し、構成される交点と理論値との差を導き出して補正するシステムである。

(iii) 定圧装置

理想的な加工パスが得られ、さらに実体との位置ズレが補正されても、すべての加工パスにおいて一様な面取り形状が得られるとは限らない。これは、ロボットの動作自体がスムーズでなかったり、刃具の摩耗状況によっては一様性に問題が残ることがあるためである。人間が加工する場合は熟練者の技能によって一様性が保たれるが、ロボットの場合は別のしくみが必要となる。

このために開発した装置が図7に示す定圧装置である。サーボモーターのトルク制御により刃具の押し付け力を一定に保つ装置で、加工パスにおいて面取り形状の不均質をなくし、さらなる品質向上を実現することができる。

このように、ロボットによる仕上げ加工を実現するにあたり、さまざまな技術開発と適用における工夫を実施することで、熟練者に劣らない品質を安定して実現することが可能となった。これにより、非常に厳しい品質基準が求められる重要回転体においても顧客要求を満足することができた。現在では、量産部品への適用を通して作業工数の削減にも寄与している。

航空エンジンでは圧縮機の回転体部品への適用が進んでおり、すでに多くの種類の量産機種へロボット仕上げを適用している。また、ロボットと回転テーブルの協調動作や芯出しレスなどの技術により、1メートルの直径を超えるようなケースやハウジング部品のエッジ仕上げも実現している。さらには、より硬度の高い鉄系ギヤ部品の歯先仕上げにも、超硬刃具やベルトサンダーの適用で量産加工を実現している。

今後は、エッジの仕上げ加工だけではなく、プリスク形状部品の翼面の粗度向上を狙った研磨加工やギヤボックスの組立、さらには加工機械へのワークのロード／アンロードといった分野にも適用を拡大していく。

あとがき

航空機の機体・エンジンにおいて、当社がロボットの開発および製造部門を有しているという強みを生かして、製造技術に適したロボットの開発、またロボットの制御技術や加工技術を活用して全社のシナジーにより製造技術も開発している。

航空機分野は今後の成長産業であるが、競争も非常に厳しくなっている。事業の拡大を図るためには、品質要求を満足しつつ低コスト化を図る必要がある。そのためにロボットを中心とした自動化が必須であり、ロボットやそのシステム、そして加工プロセス開発力を持つ当社の強みを生かして、品質向上と製造コスト削減に取り組んでいく。

参考文献

- 1) H.Okada, K.Kamimuki, S.Yoshikawa, S.Fukada, "Refill Friction Spot Joining for Aerospace Application", SAE Technical Paper 2015-01-2614 (2015)
- 2) 北村, 小山, 堀内, 入江, 木下: "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", 川崎重工技報, No178, pp.14-17 (2017)
- 3) 特許第6182280号, "摩擦攪拌点接合装置及び摩擦攪拌点接合方法"



上 向 賢 一



吉 田 友 祐



岡 田 豪 生



長 船 克 巳



福 原 一 美



北 村 伸 二



深 田 慎 太 郎



堀 内 悠 平