

特 集 論 文

航空機アルミ部品用 門型 5 軸加工機
MVR30S-5H の開発Development of 5-Axis Controlled Vertical
Precision Milling Machine MVR30S-5H for
Machining Aircraft Aluminum Parts中 村 克 己^{*1}
Katsumi Nakamura今 村 裕 幸^{*2}
Hiroyuki Imamura

今後更なる伸長が見込まれる航空機部品加工において機体部品の大半を占める長尺薄物アルミ部品加工をターゲットとした門型 5 軸加工機 MVR30S-5H を開発した。本機は荒加工と仕上加工を 1 台でこなせる切削能力に加え、従来生産現場において苦慮してきた切粉やクーラントの処理について自動清掃装置を開発することで上記ターゲット部品に対する最適な生産システムとしてお客様に広く提案するものである。

1. は じ め に

ボーイング社の予測では 2006 年から 2026 年までの 20 年間で、世界の航空機旅客数は 2 倍に増加し、航空機の販売総額は 300 兆円に達するとされている。この世界的な航空機の需要増に対応するため、国内の航空機部品生産量は今後ますます増加していくことが予想される。

航空機は自動車などに比較して部品点数が多い上に、高品質・高信頼性の観点から複雑形状の一体部品が多く採用されている。

特に主要な機体部品は薄型・長尺ワークの削り出し加工が大半を占めることから、高速でパワフル、かつ高精度な 5 軸加工機による高能率な加工が望まれる。また加工の際は多量の切粉が発生し、逃げ場のないポケット状であるワークに多量に堆積することから、生産現場においては清掃に多大な工数を費やしてきた。

このような状況から、長尺薄物アルミワークを荒加工から仕上加工まで高能率で加工し、さらに切粉処理を含めた生産システムとして最適な 5 軸加工機が求められていた。このニーズに応えるべく、航空機アルミ部品用門型 5 軸加工機 MVR30S-5H を開発したので報告する。

2. 開発のねらい

2. 1 MVR30S-5H のターゲット

インスパイリブを始めとする主翼系や胴体系の航空機機体部品に多数使用される長尺薄物のアルミ部品の

多量生産をターゲットとした。

図 1 に代表的な長尺薄物アルミ部品を示す。開発に当たっては、以下の 3 点を重点課題として定め、検討と工夫を重ねた。

- ① 高品質・高信頼性
- ② 高速・高精度・パワフルな切削能力
- ③ 切粉・クーラント処理

2. 2 高品質・高信頼性

2003 年 5 月に市場投入以来その高速性、パワフルな加工能力、高精度、使い易さを高く評価頂き、500 台を超える納入実績のあるベストセラー機 MVR シリーズを母機として採用した。主要部品を MVR と共通化し、モジュラ化された各装置を積極的に採用することで MVR シリーズの高品質・高信頼性をそのまま

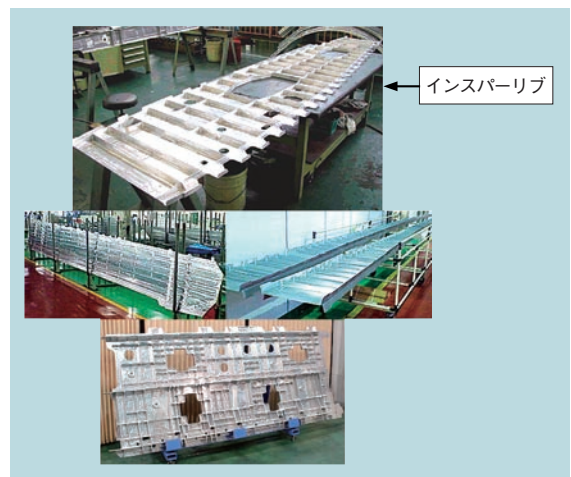


図 1 航空機の主要な長尺薄物部品

^{*1} 工作機械事業部技術部専用機設計課主席

^{*2} 工作機械事業部技術部専用機設計課

に生産性の高い5軸加工機として構成した。

2. 3 高速・高精度・パワフルな切削能力

アルミ部品を高速・高能率で加工するために必要な高速主軸、B軸及びC軸の駆動剛性を高め、荒加工から仕上加工まで幅広い加工用途に対応可能な高精度2軸チルトヘッドを新規に開発した。

2. 4 切粉・クーラント処理

高能率加工により多量に発生する切粉やクーラント処理への対策として、加工エリアのみをカバーするクーラントガードと新規開発した切粉・クーラント清掃装置、水流式チップシュートの採用により外部への飛散を防止しながらワーク上を自動的に清掃できるようにした。

2. 5 MVR30S-5Hの機械構成

機械構成としてはヘッド側に回転軸（C軸）及び傾斜軸（B軸）を有したヘッド2軸タイプ5軸加工機とした。ヘッド2軸タイプはワークを直接積載するテーブルを傾斜させることがなく、ワーク質量変化の影響を受けにくい。また、回転軸や傾斜軸の移動質量が小さくなり高速かつ高精度に制御可能となるメリットがある。

本機の構成を図2に示す。

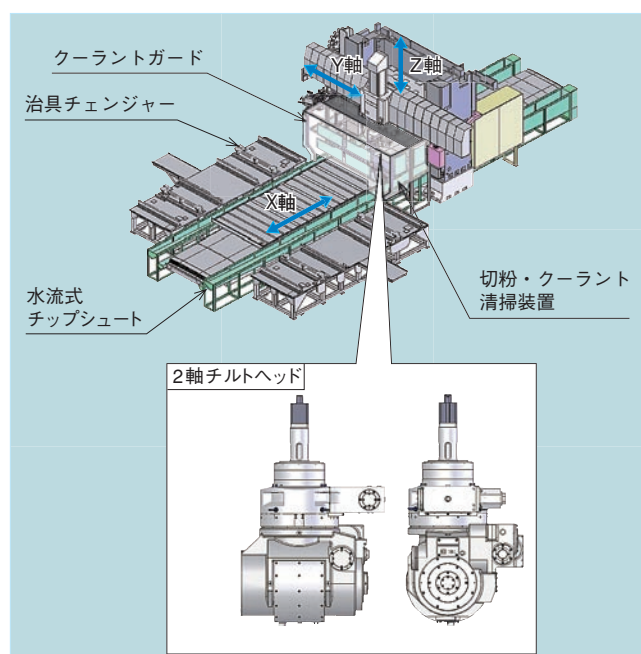


図2 MVR30S-5Hの機械構成

3. 技術紹介

3. 1 高速・高精度・パワフルな2軸チルトヘッド

主軸は#50 テーパー主軸としてはトップクラスの最高回転数 $15\,000\text{ min}^{-1}$ を誇り、B軸揺動ユニット内にビルトインモータを内蔵してダイレクトドライブ構

造とし、低振動でコンパクトな構成とした。ビルトインモータは連続加工が可能な出力を 37 kW、短時間加工に対応可能な最大出力を 68 kW 発生させる高出力なモータを採用し、高剛性な#50主軸と組み合わせて荒加工から高速仕上加工まで対応可能とした。

チルトヘッドを駆動するB軸、C軸駆動系は複リードタイプのウォーム減速機と歯車列を組み合わせた構成とし、高減速比による駆動剛性向上、駆動力向上に加えてバックラッシュ調整機構による高精度化をねらった。またB軸、C軸はそれぞれ当社製高分解能タイプのロータリスケールを標準装備し、割出加工においても点群プログラムによる同時5軸加工においても高精度な加工を実現した。

3. 2 切粉・クーラント清掃装置（特許出願中）

ワークを加工した際に発生した切粉やクーラントは加工によって生成されたポケット部に多量に堆積する。従来はこの堆積した切粉やクーラントをバキューム装置や、オペレータが直接清掃するなどの対応をしてきた。

ところがバキューム式は吸い込み口と相手面との距離が離れると吸い込み能力が極端に落ちてしまい、複雑形状のワークに対してはほとんど効果がなく、またクーラント（切削水）を吸い込むことができない。オペレータによる清掃に至っては1ワーク当たり、数時間を要する場合がある。

そこでMVR30S-5Hではクーラントガードに可動式のエアブローノズルを設け、大風量のエアを膜状に吐出しワーク上を清掃する装置によってこの問題を解決した。エアブローノズルは排出方向への往復動作に加えてワーク高さに合わせて任意に位置決めできるNC軸構造とすることでエアブローノズルとワーク上面との距離を一定に保ち、かつ加工しながらワーク上を自動清掃することが可能となった。エアブローにより吹き飛ばされた切粉とクーラントは左右のチップシュートに排出され、迅速に機外に排出される。

本装置の構造を図3に示す。

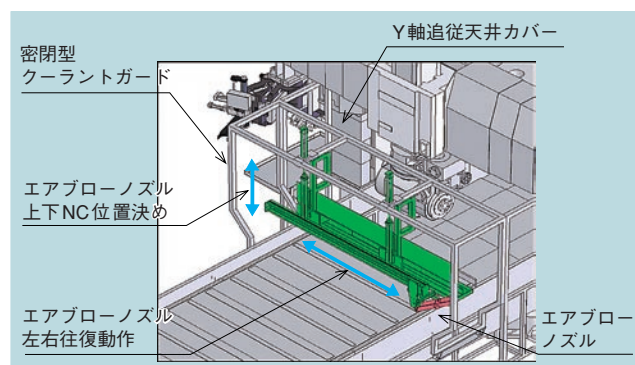


図3 クーラントガードと切粉・清掃装置

本装置は、サンプルワークを用いた実機テストにおいて十分な清掃能力を有することが確認できた。このテストの結果を図4に示す。

薄物ワークで切粉堆積に苦慮しているお客様に効果的な装置として広く使っていただきたい。

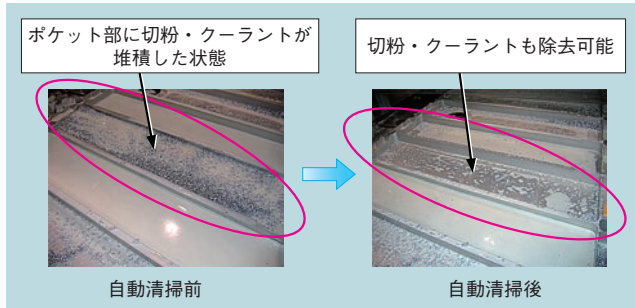


図4 切粉・クーラント清掃装置実機テスト結果
サンプルワーク（インスパーク）を用いたテストにおいて、ポケットに堆積した切粉・クーラントが清掃不要なほど、除去出来ている。

3.3 加工能力

3.3.1 重切削

以下に示す条件で実加工試験を行い、良好な結果を得た。

① φ80 ミーリング（4枚刃）による重切削加工

＜切削条件＞

- 主軸回転数： $S = 15\,000\text{ min}^{-1}$
- 切削送り速度： $F = 15\,000\text{ mm/min}$
- 切削幅：70 mm
- 切り込み深さ：6.0 mm
- 切削量：6 300 cc/min

② φ25 ラフィングエンドミル（3枚刃）による重切削加工

＜切削条件＞

- 主軸回転数： $S = 15\,000\text{ min}^{-1}$
- 切削送り速度： $F = 12\,000\text{ mm/min}$
- 切削幅：20 mm
- 切り込み深さ：25 mm
- 切削量：6 000 cc/min

3.3.2 高精度加工

同時5軸加工精度の評価として広く用いられる、NAS979に準拠した傾斜円錐加工試験を実施した。φ230円錐部の真円度が従来機の保証値 $30\mu\text{m}$ に対して本機は $8\mu\text{m}$ を達成した。

図5に加工試験の様子と切削条件を、図6に加工試験結果の真円度チャートを示す。

3.4 MVR30S-5Hによる生産能力向上の効果

荒加工から高精度仕上加工まで1台でやりきる汎用性の高さに加え、大出力・高速性能をいかした加工に

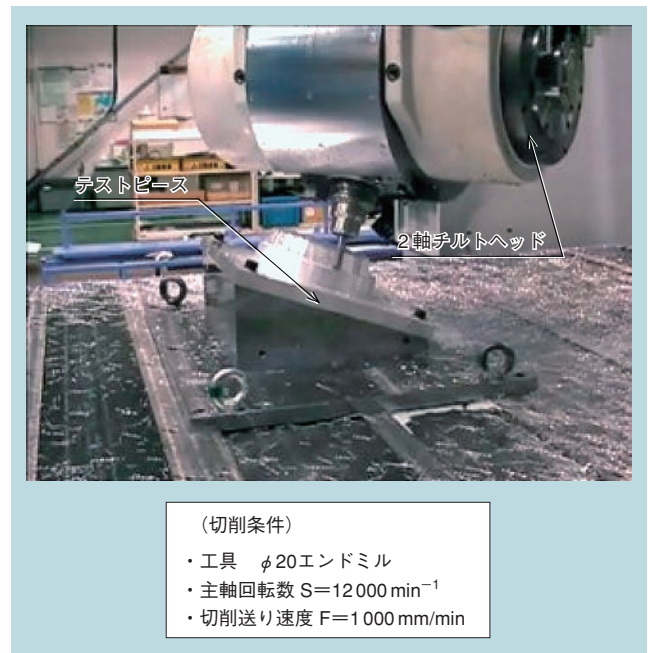


図5 2軸チルトヘッドによる傾斜円錐加工

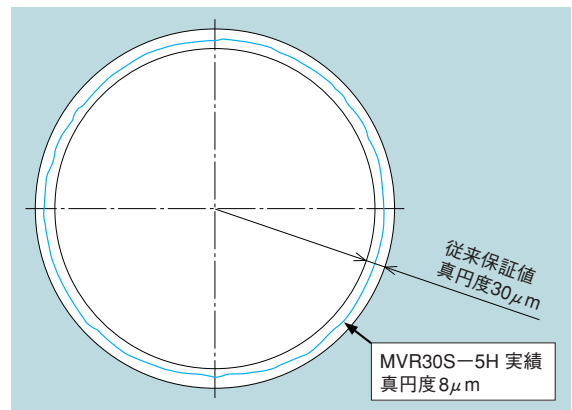


図6 傾斜円錐加工真円度チャート

より、特に荒加工において大幅な加工時間の短縮が見込める。また、仕上加工においてはその高速性による加工時間短縮が見込める。

図7は出力25/30 kW、主軸最高回転数 $10\,000\text{ min}^{-1}$ の他社製5軸加工機とMVR30S-5Hの生産能力を比較するために代表的なインスパークの切削時間を試算した結果である。

4. MVR30S-5Hの仕様

4.1 主な仕様

本機の主な仕様を表1に示す。

4.2 アルミ部品の多量生産に適した豊富なオプション

前述した切粉・クーラント清掃装置及びクーラントガードに加え、アルミ部品の多量生産に適した豊富なオプションを準備した。

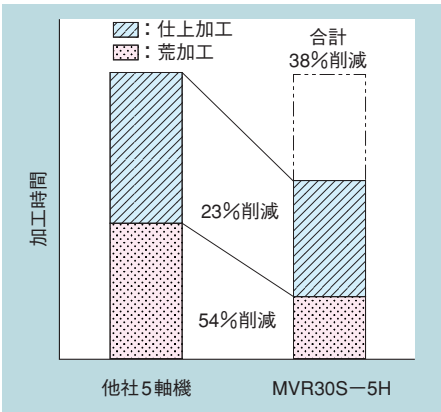


図7 インスパーク全加工における加工時間比較
特に荒加工における大幅な加工時間短縮効果が分かる。

① 水流式チップシュート

多量に発生する切粉に対し、従来のコンベア式ではなく、シュートの各部からクーラントを流し、効率よく機外に切粉を排出するとともに機械部品がなくなることからメンテナンス性も向上する。

② 高速治具チェンジャ

加工完了した治具と段取が完了した治具を自動交換する装置である。本装置により加工中に次のワークを段取することが可能になる。

③ その他自動化・省人化装置

ワークの自動計測・芯出し装置や工具長の自動計測装置

複数の加工機を管理・スケジューリングするシステムなど、自社で航空機部品を生産している強みをいかした豊富なオプションを準備している。

5. ま と め

長尺・薄物アルミ部品の荒加工から高精度仕上加工まで1台で対応可能な高速・高精度・パワフルな5軸

表1 MVR30S-5Hの主な仕様

項 目		MVR30S-5H
テーブル作業面の大きさ	幅 (mm)	1 800
	長さ (mm)	5 200
コラム門内幅 (mm)		2 550
各軸の移動量	X 軸：テーブル前後 (mm)	6 200
	Y 軸：ヘッド左右 (mm)	2 000 + 490
	Z 軸：ラム上下 (mm)	626
	B 軸：主軸揺動 (deg)	135 (−30〜+105)
	C 軸：主軸旋回 (deg)	± 190
主 軸	主軸ターボ	BT50 (2面拘束)
	主軸最高回転数 (min ^{−1})	15 000
	主軸出力 連続／短時間 (kW)	37/68
早送り速度	X 軸 (mm/min)	22 000
	Y 軸 (mm/min)	20 000
	Z 軸 (mm/min)	10 000
	B・C 軸 (deg/min)	1 440
切削送り速度	X・Y 軸 (mm/min)	15 000
	Z 軸 (mm/min)	10 000
	B・C 軸 (deg/min)	1 440
ATC	工具収納本数 (本)	50

加工機を開発することができた。また、本機は従来の加工能力向上に留まらず、切粉処理など従来解决困難な課題に対して効果的な解決策を示し、アルミ部品加工用の生産システムとして最適な工作機械として今後の航空機部品加工業界に自信を持って提案できる機械となった。

初号機は 2008 年 8 月より稼動開始の予定である。



中村克己



今村裕幸