

ツイストドリルによる深穴加工機械の歩みと展望

—クランクシャフト油穴加工事例から—

Progress and Feature Development of Deep-Hole Drilling Machine

キーワード

ツイストドリル、深穴加工、クランクシャフト、深穴ボール盤、
トランスファーマシン、インラインセンタ、MQL、ドライ加工、高速化、
高能率

機械工具事業部
工作機製造所 技術部
林 広明

開発本部
岩上 良行

■ 摘要

自動車のクランクシャフト油穴に代表される深穴加工はツイストドリルによる加工が最も一般的な加工法であるが、切り屑排出、使用するドリルの工具寿命および折損防止などが課題の加工である。

当社はツイストドリルの技術開発で得たノウハウを深穴加工技術に適用し、クランクシャフト油穴加工用として加工システムを具備した深穴ボール盤を開発・商品化して半世紀あまり経過した。初号機開発以来、深穴加工機械の開発・改良を継続しお客様へ最適なシステムを提供してきた。

本稿ではこれまで当社が培ってきたツイストドリルによる深穴加工技術のうち主に加工機械についての歩みと今後取組む課題・展望について述べる。

■ Abstract

In the deep hole processing represented in crank shaft oil hole of the automobile, the processing by twist drill is the most general working method.

However, there is the many problem to be solved chip discharge, tool life of using drill and breakage prevention, etc. in the deep hole processing.

Our company the know-how got in the development of the twist drill was applied to the deep hole processing technology, and by developing and commercializing deep hole drilling machine which possessed the processing system for the crank shaft oil hole processing, it passed half century very much.

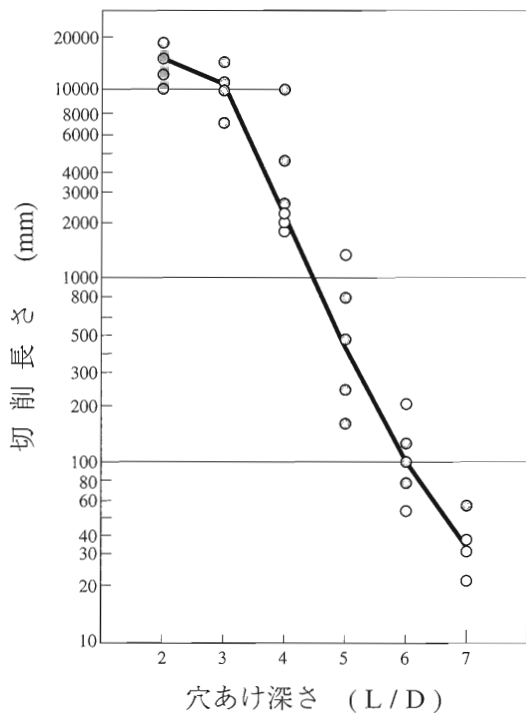
Development and improvement of the deep hole processing machine are continued since the first issue machine development, and the optimum system to the customer has been offered.

1. はじめに

ツイストドリル(以下ドリルという)による深穴加工とは一般にドリルの直径に対して穴深さが3倍以上の穴加工をいう。ドリル直径を D 、穴深さを L とすると L/D が3を越えるとドリル寿命が急激に落ちることが知られている。図1に穴あけ深さとドリル寿命の関係を示す。

切り屑はドリル溝と穴の間を通過して排出されるが、穴が深くなると排出時の抵抗が大きくなりドリル剛性を越えると折損に至ることと刃先に発生する熱が切れ味を低下させるためと考えられている。

自動車などに搭載されるガソリン、ディーゼルエンジンのクランクシャフトには一般に潤滑用油穴がある。油穴径はエンジンのサイズにより異なるが、通常 $\phi 6$ 前後であり、その油穴のパターンは図2に



ドリル：直径 6mm
 切削条件：B.S 条件による
 切削長さ＝ステップなしでドリル寿命に達するまでに切削した穴深さ

図1 穴あけ深さとドリル寿命の関係

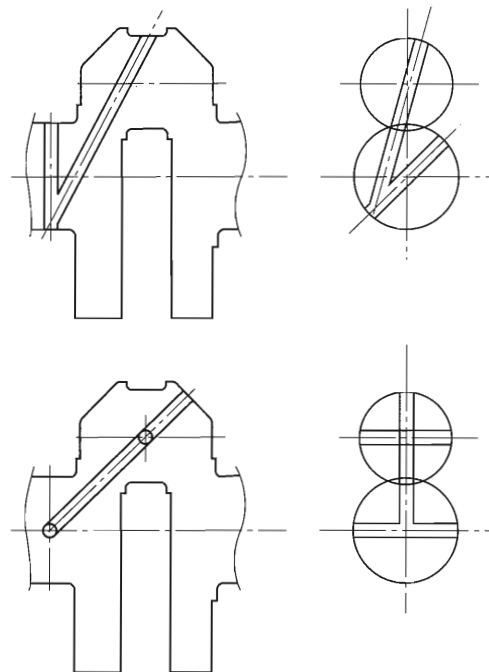


図2 クランクシャフト油穴種類

示す大別2種であり、いずれのパターンも特にジャーナル部とピン部を繋ぐ斜め穴は $L/D \approx 20$ の深穴であることが多い。したがってクランクシャフトの油穴あけは深穴中の深穴として、自動車ラインにおいて特に生産性が求められてきた工程である。

ドリルによる穴あけ性能に影響を及ぼすファクターは図3の特性要因図に示すように被削材、使用するドリル、切削条件、工作機械、切削油剤など多

くあり、より良い加工システムの構築は機械、工具の両面から考える必要がある。

当社の機械工具部門は古くからそれらのニーズに対応した研究・技術開発を行ってきたが、本稿では主に加工機械に関する歩みと今後取組みべき課題・展望について述べ、工具に関する詳細は次の機会に紹介したい。

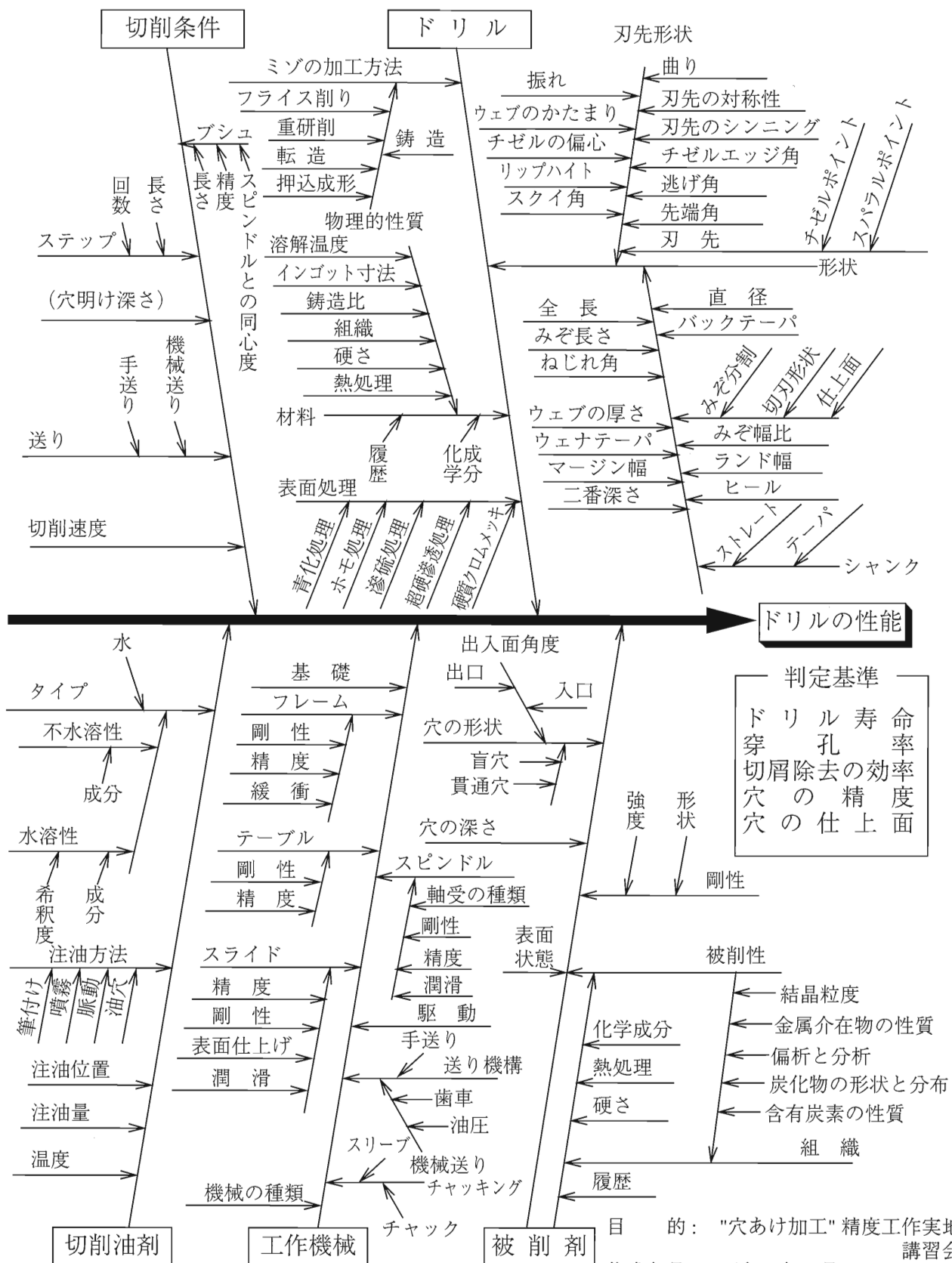


図3 ドリル性能の特性要因図

目的: "穴あけ加工" 精度工作実地講習会
 作成年月日: 昭和37年10月
 昭和43年9月13日追加・訂正
 (切削工具技術講習会)
 作成者: 板

2. 深穴加工機械の開発の歩み

当社が開発商品化した深穴加工機械を年代順に紹介する。

(1) 深穴ボール盤 (1950年代から)

当社が1949年開発したクランクシャフト加工用深穴ボール盤初号機の外観写真を図4に示す。本機はドリルの回転と送りは自動でそれ以外手作業であるが、

当社の古い資料によれば、本機の開発にあたって多くのノウハウを積み重ね、深穴用ドリルの設計製作とあいまって完成させ、本機によりクランクシャフトの油穴加工は加工能率向上と正確な穴あけ精度維持が得られたとある。当時、画期的技術だったことがうかがわれる。

この深穴ボール盤には深穴作業用として設計された「深穴ドリルユニット」を搭載していることが特徴である。図5にその後改良された深穴ド

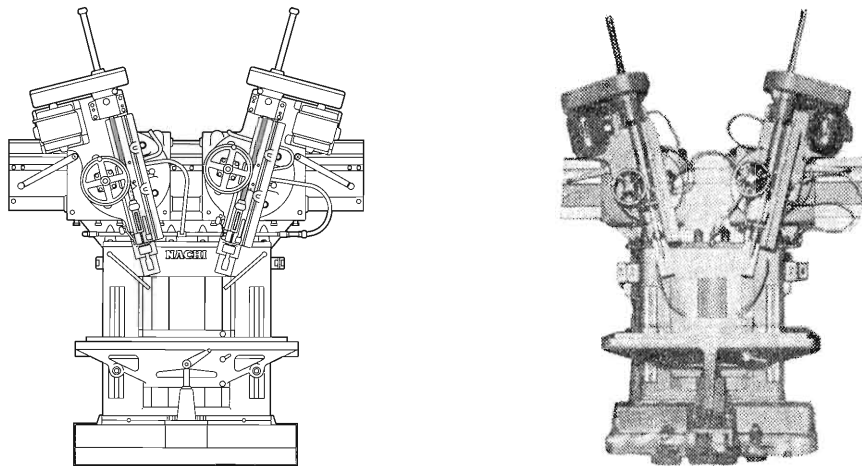


図4 深穴ボール盤

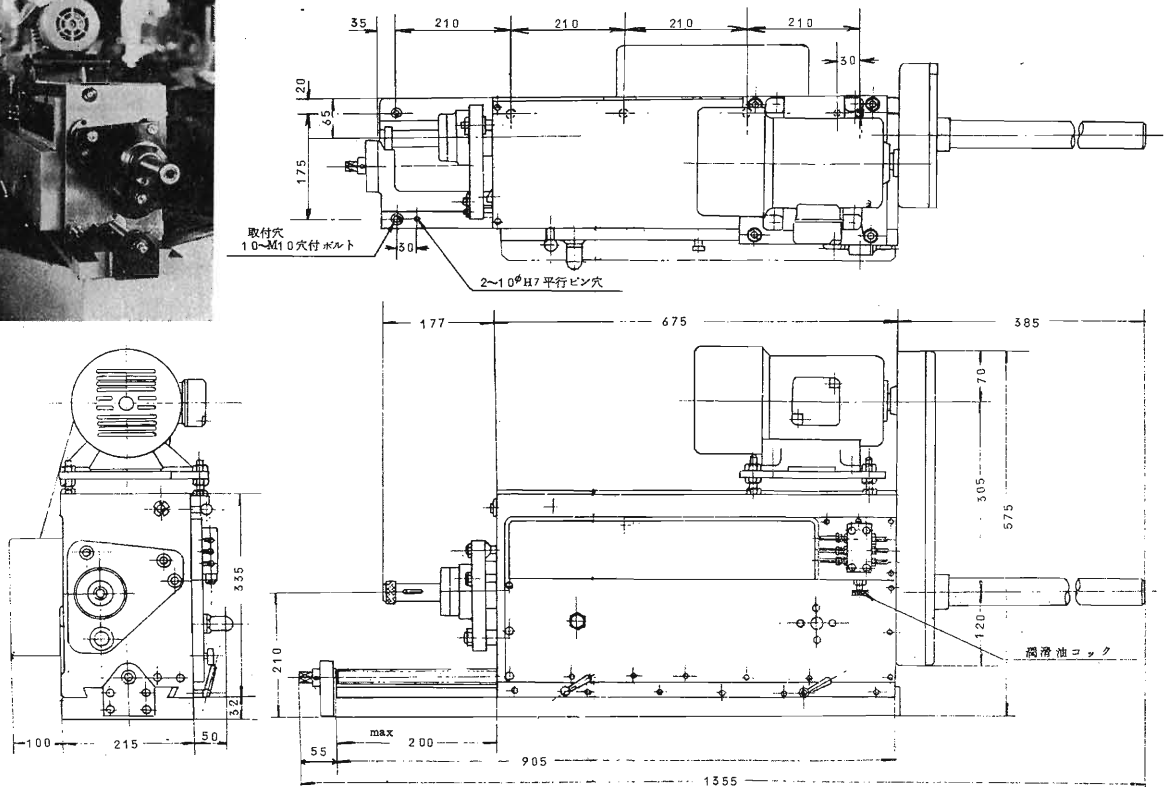
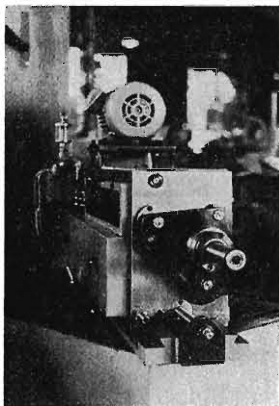


図5 深穴ドリルユニット

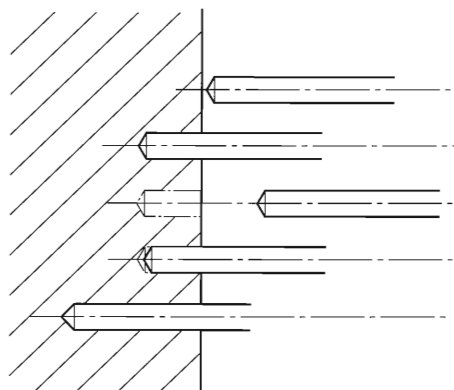


図6 ステップフィードダイヤグラム

リルユニットの外観写真と3面図を示す。本ユニットは油圧式階段送り方式で、ドリルを加工物に対して一定の深さまで送り、次にドリルを完全に加工物の穴より抜け出した後、また次の段階で一定の深さまで送り込む様作動し所定の深さになれば送り動作が停止する「ステップフィード機構」を具備している。現在ではNC制御によりこれらの動作は難なく行われるが当時としては非常に高い技術であり、現在もこのステップフィードのコンセプトは深穴加工に生かされている。図6にステップフィードダイヤグラムを示す。

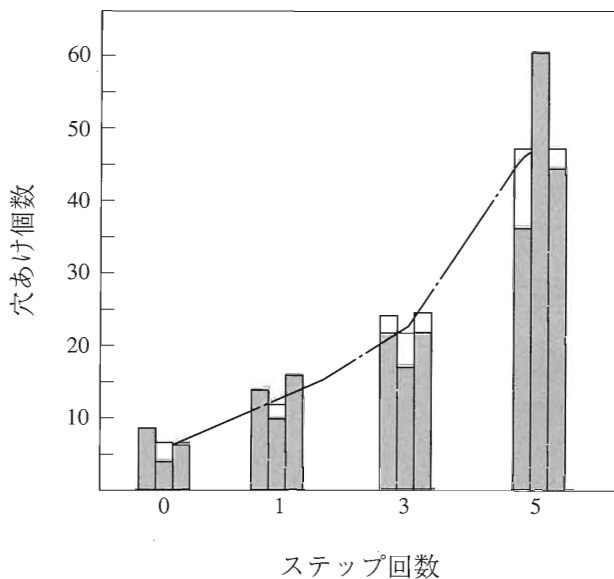
ドリルを加工物の直前まで早送り前進させ、次に切削送りに入り適当な深さまで前進させる。次にドリルを早戻しさせドリルを加工物から抜き出し切削油をドリルに拭きつけ切り屑を流すとともにドリルを冷却させ続いて第2ステップの早送りに入る。第1ステップの前進位置と第2ステップの切削送り開始位置との差を「ラップ量」と呼ぶ。ラップ量を限りなくゼロに近づけることが切削送り時間の短縮になりサイクルタイムの短縮につながる。

ステップフィード機構により、切り屑排出が間歇となり、ドリルが切削油により冷却され、また穴に切削油を供給する配慮をすればドリルを潤滑する効果が出てドリル寿命は飛躍的に向上する。

図7にステップ回数がドリル寿命に及ぼす影響を示す。

その後深穴ボール盤はステップフィード機構の信頼性向上、ラップ量の最小化・調整容易化、ドリル折損防止安全装置など改良を重ねほとんどの自動車メーカーに使用されるに至った。

図8に改良された深穴ボール盤の外観写真を示す。



ドリル：φ9 テーパーシャンクドリル
 回転数：600r.p.m
 切削速度：17m/min
 送り量：60mm/min
 穴あけ深さ：70mm 通り穴
 被削材：S50C HB250～270

図7 ステップ回数とドリル寿命の関係

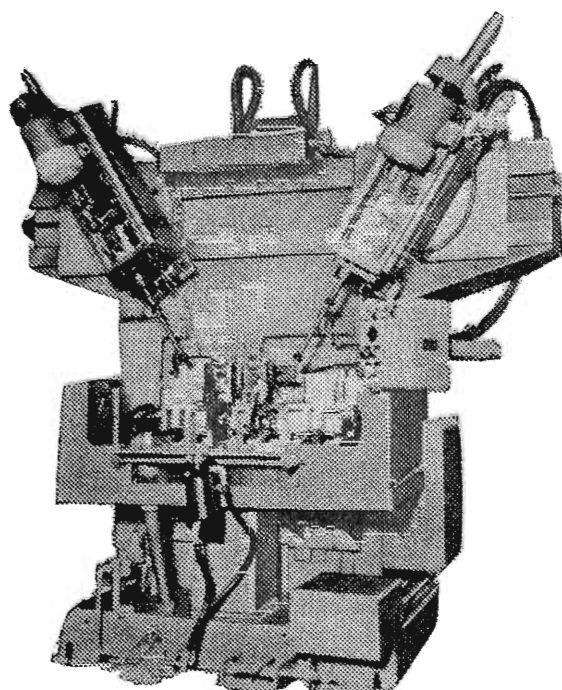


図8 改良型深穴ボール盤

その後、深穴ボール盤は特定ワーク用の専用機として多くのお客様で使用され、後述のインラインセンタのシーズ技術となった。

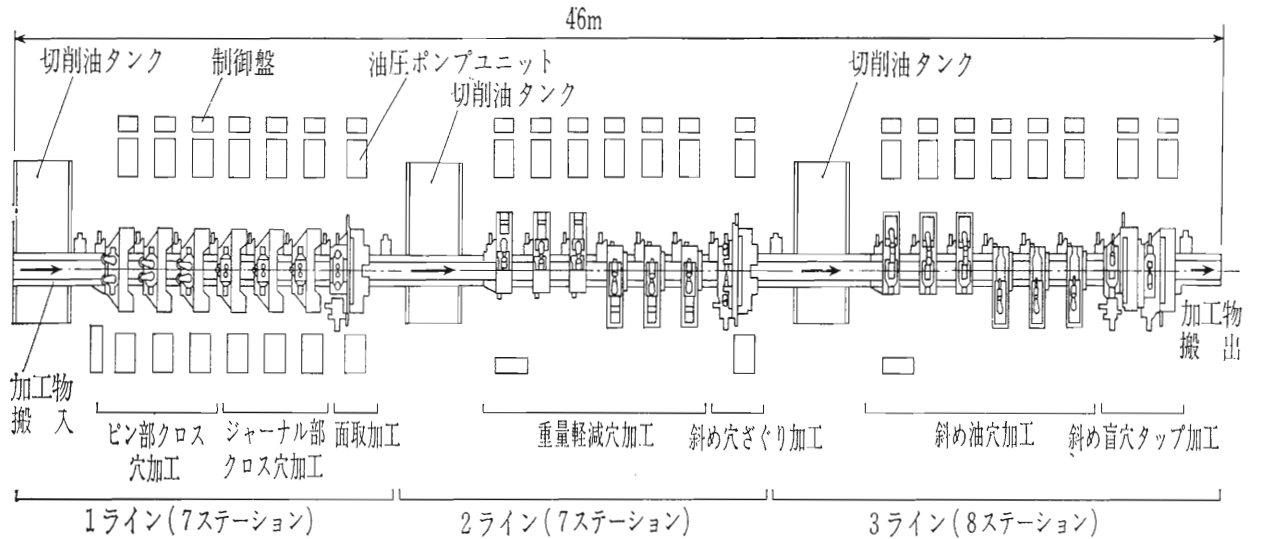


図9A クランクシャフト油穴加工トランスファマシン

(2) トランスファーマシン (1960年代から)

自動車用クランクシャフトの油穴加工のトランスファーマシンは材質的に被削性および切り屑排出が悪いうえ斜め穴があり極めて難しいとされていたが、当社はドリルに関連して深穴加工技術を積み重ね、クランクシャフト以外のワークで培ったトランスファーマシン製造技術との融合により、1964年全長46m工程数22ステーション直送型トランスファーマシンを完成させた。

本トランスファーマシンはクランクシャフトを、天板にクランプしワークの下は開放状態として切り屑を真下に排出する配慮を施した。併せて各工程のサイクルタイムの平準化と工具寿命の均一化を図りトランスファーマシンとしての稼働率向上を図った。このトランスファーマシンの深穴加工には前述の深穴ユニットが搭載されている。図9にそのトランスファーマシンの外観写真とレイアウト図を示す。

その後、トランスファーマシンはエレクトロニクスの進歩により高度の技術が組入れられ現在に至っている。一部を紹介すると深穴ユニットではNC化、突発のドリル折れ防止のため負荷検知機能の追加、主軸の電力値と送り用サーボモータのトルクが許容値をオーバーした場合一旦戻した後自動で再加工などの制御方法の改善などがあり、ドリルの保護・寿命延長が図れた。併せて深穴ユニット用ATC装置を開発しドリルの設定寿命になったら別のドリルに自動交換することでドリル交換による停止頻度を減らしライン稼働率の向上を

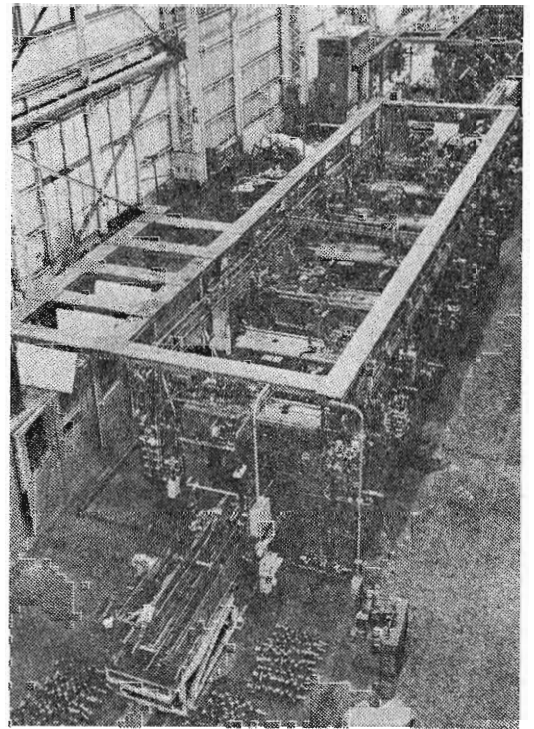


図9B クランクシャフト油穴加工トランスファーマシン

実現した。本ATC装置はドリル用クイックチェンジホルダーを交換するもので通常のマシニングセンタのBTシャンク用とは異なり構造・機構は簡単なものである。

トランスファーマシンは少種多量生産用に有効な機械であり、現在でも多く採用されている。

図10に最近のクランクシャフト油穴加工トランスファーマシンを示す。

(3) 第一世代インラインセンタ (1980年代から)

前項のトランスファーマシンは量産用のものであるが、スペアパーツなど多種少量のワークを一台で加工する要望が増えてきた。それらのニーズに対応するため当社開発のコラムトラバース式横型マシンニングセンタ (当社商品名: インラインセンタ) と NC チルト&ターンテーブルの組合せで自動車用クランクシャフトの油穴加工をほぼカバーできる深穴加工機械を開発した。図 11 に外観を示す。

本機はコラム側 (スピンドル側) に XYZ 軸をもたせジグ側 (ワーク側) にチルトとターンテーブルを独立してもたせた構造のため、ワークサイズにより XYZ 軸ストロークの設定およびワーク形状によりジグの設計が可能であり非常に自由度

が高い。斜め穴加工は通常ドリルブシュを付属する方法が一般的であるが、自由度を上げるためドリル加工の前に喰い付き部にガイド穴を加工することでドリルブシュを廃止し更に自由度を上げることが可能になった。

図 12 にドリルブシュ付属方式とガイド穴方式を示す。



図 10 最近のクランクシャフト油穴加工トランスファーマシン

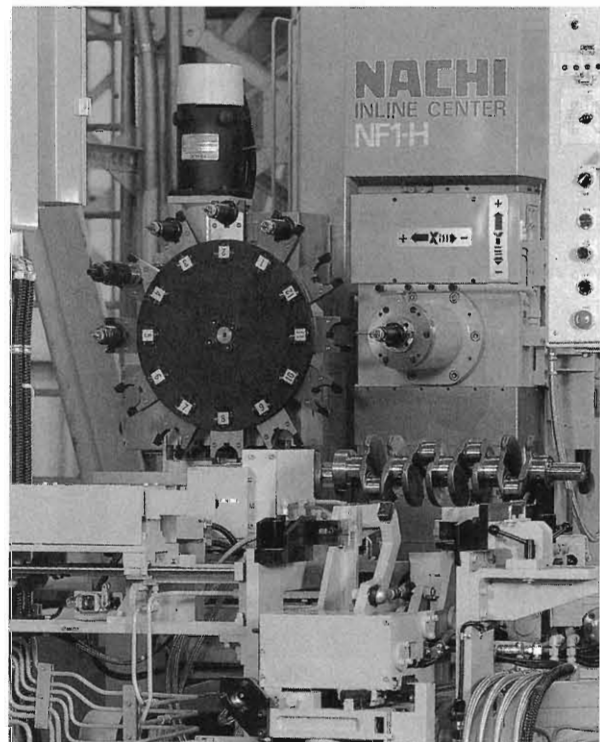


図 11 クランクシャフト油穴加工インラインセンタ

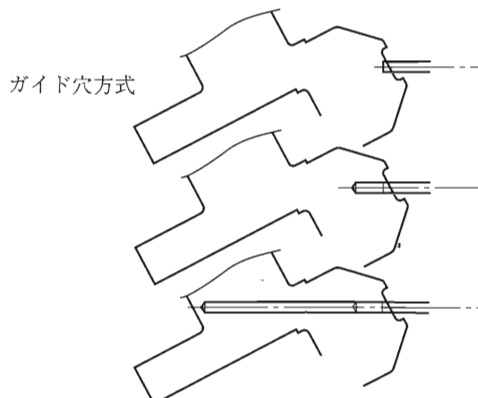
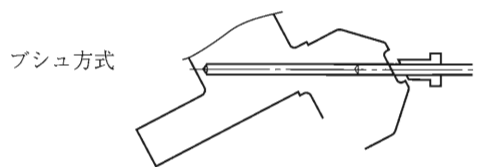


図 12 ドリル案内方式

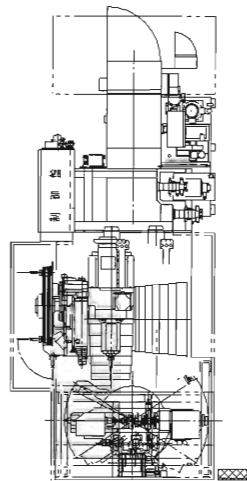
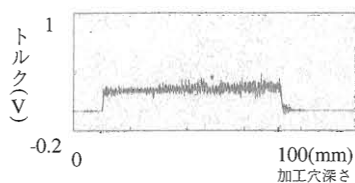
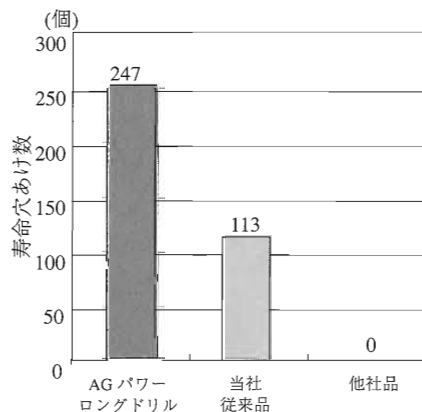
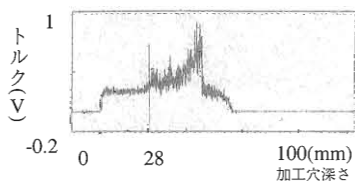


図 13 第二世代インラインセンタ

AG パワーロングドリル



従来コーティングドリル



送り速度：240mm/min
(0.15mm/rev)
切削油剤：水溶性
使用機械：横型マシニングセンタ
深さ：100mm ステップなし
ドリル：φ6×222×165
被削材：S50C(180HB)
切削速度：30m/min
(1600min⁻¹)

図 14 AG パワーロングドリルの穴明け

(4) 第二世代インラインセンタ (1990 年代後半から)
第一世代インラインセンタはあらゆる工程・ワークを対象とした汎用機として開発した機種でありクランクシャフト油穴加工に対する問題はないが仕様の過剰部もあり、クランクシャフト油穴加工を対象としたインラインセンタを標準化した。第一世代機の品質機能展開を実施し必要な機能に絞った結果、信頼性向上、低価格化、短納期対応などが図れた。図 13 に第二世代インラインセンタを示す。

特筆すべきことはスチール材質のクランクシャフトの穴加工時発生する長いカール状切り屑排出のためベッドを最適な形状とするため CAE 解析を行い、剛性を損なうことなく機能維持を図った。エレクトロニクスの進歩を取入れ機械各部のメカニズムの改良と併せて送り速度や各動作時間の高速化を実現した。

3. 深穴加工における課題と展望

工作機械には他の機械にみられないニーズとして大別すれば高精度、高能率、融通性に最近の環境対策を加えた4つがあり、深穴加工機に対しても当然それらのニーズがある。ここでは代表的なニーズの課題と当社の対応事例および展望について述べる。

(1) 高能率化

工作機械にとって高能率すなわち生産性の向上は永遠のテーマである。エレクトロニクスの進歩により機械の動作時間は高速化されてきたが切削時間の短縮も重要なテーマである。深穴加工はこれまでステップフィード機構を付属することがなかば当然とされてきたが、当社は発想を変えノンステップにより加工する研究を行ってきた。その結果、当社商品名：AG パワーロングドリルを開発しノンステップで深穴加工を可能にした。図 14

に従来のドリルと AG パワーロングドリルで穴明けしたデータを示す。

ンクシャフト油穴工程用のユニットを標準化し対

(2) フレキシブル化

工作機械に要求されるニーズに融通性すなわちフレキシビリティがある。クランクシャフト油穴はクランクシャフトごとにその諸元が異なり、一台で複数種のワークを加工する場合段取り替えを必要とする。クランクシャフト油穴加工は一般にジャーナル外径が基準で長手方向（軸方向）と位相方向を決める必要がある。図 15 にワークの全長違いを段取り替えする事例を示す。手回しハンドルによりシングル段取り化した。本事例は手動であるが自動段取りも可能である。

図 16 に位相方向基準位置違いを主轴に装着した基準ツールによりフレキシブルに対応した例を示す。斜め穴角度違いは A および B 軸のチルト & ターンテーブル割り出しで容易に対応できる。

自動車開発期間の短縮化に伴い、設備の調達リードタイムも短縮化要求がある中で、いかにフレキシビリティのある設備を早く低コストで提供できるかがメーカーとしての課題である。当社はクラ

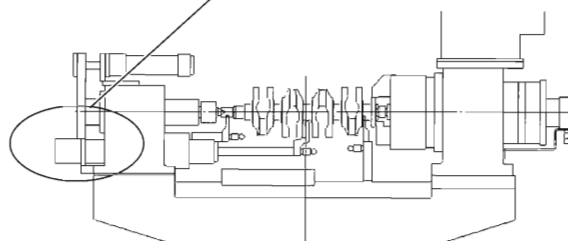
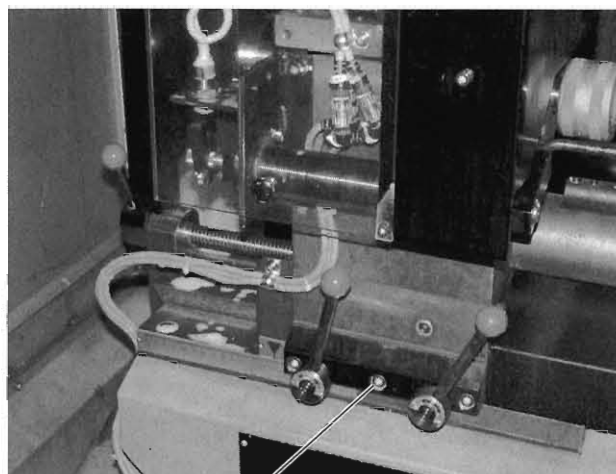


図 15 全長違い段取り替え事例

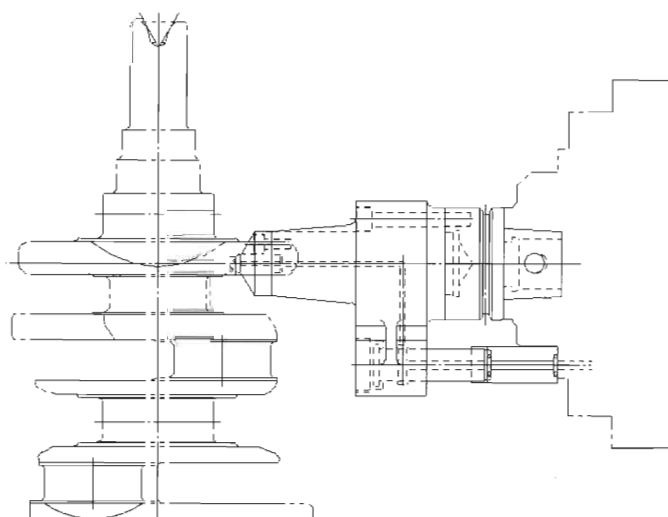
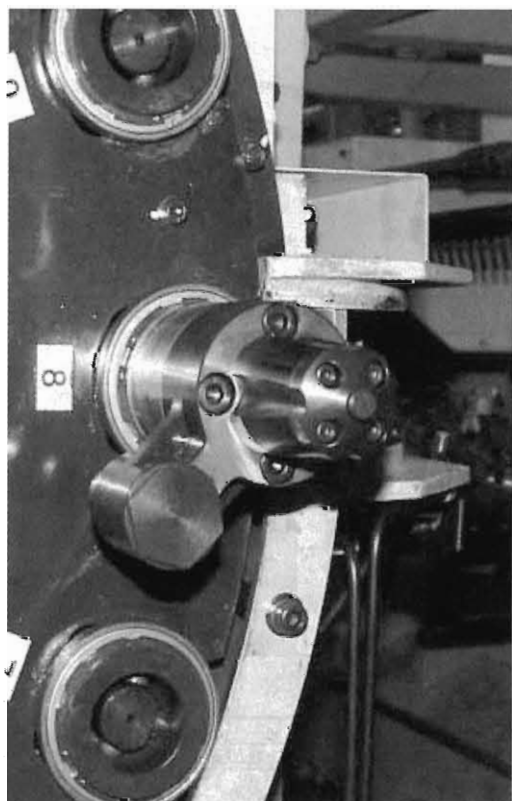


図 16 位相方向基準ツール

応している。図 17 にその事例を示す。

(3) 環境対策

ツイストドリルによる深穴加工には切り屑排出、ドリルの冷却、潤滑効果のためクーラントを使用してきた。クーラントは油性から水溶性へ移行し

塩素フリー化も実現している。最近では環境対策の一環として MQL (Minimum Quantity Lubrication) すなわち最少量のミスト潤滑で加工をする研究を行っている。図 18 に MQL で加工試験したデータを示す。

MQL に使用するドリルの材質は超硬であり工

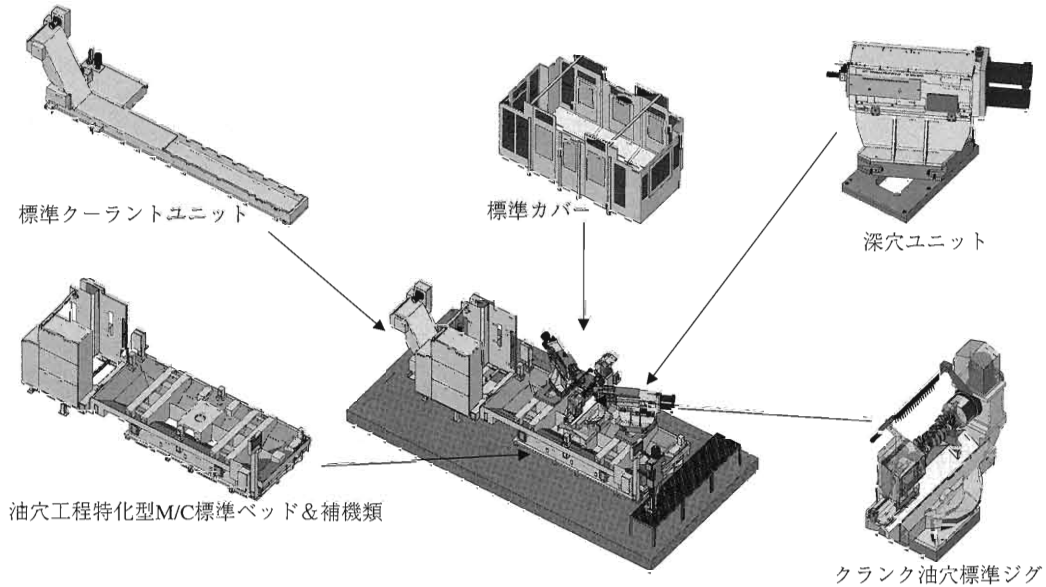
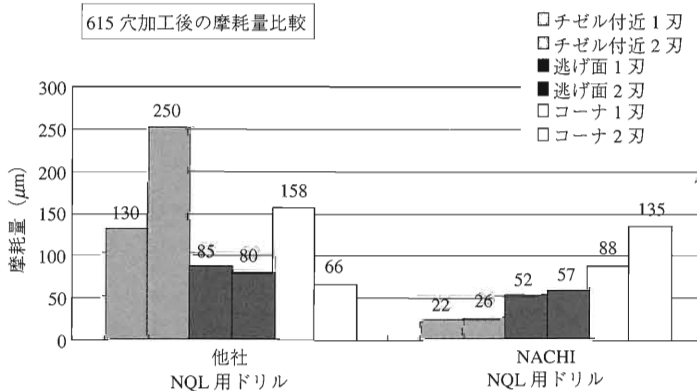


図 17 クランシャフト油穴工程用標準ユニット

MQL=Minimum Quantity Lubrication
=ミスト加工=セミドライ加工



加工事例



項目	NACHI	他社
加工用ドリル	MQL 加工用ドリル	MQL 加工用ドリル
切削速度 (V)	78.5m/min (500min ⁻¹)	100m/min (6400min ⁻¹)
送り (f)	0.12mm/rev (600mm/min)	0.08mm/rev (510mm/min)
MIST 吐出量	0.26cc/h	0.26cc/h

ドリル	切削速度	送り	穴深さ	パイロット穴	ミスト吐出量
NACHI MQL 用ドリル	V78m/min S5000min ⁻¹	f0.12mm/rev F600mm/min	106mm	φ5×10	0.85cc/h
他社 MQL 用ドリル	V100m/min S6400min ⁻¹	f0.08mm/rev F510mm/min			0.26cc/h

図 18 MQL による加工データ

具費だけの比較では現状割高であるが、ノンステップで超硬域での切削条件による加工時間の短縮、クーラント装置のイニシャルコストとクーラントのランニングコストを合わせたトレードオフを実施し最適なシステムを選択すべきと考える。当社は工作機械メーカーでありかつドリルをはじめとする工具メーカーであるためお客様に最適なシステムを提案していきたいと考えている。

究極の目標はドライ加工であるが、工具に関する課題と切り屑処理をはじめとする機械の課題で今後解決しなければならないアイテムがある。これらの課題を速やかに解決し近い将来お客様にドライ深穴加工機を提供していく所存である。

4. おわりに

以上、当社がこれまで取組んできた深穴加工システムのうち主に自動車用クランクシャフト油穴加工機械の歩みと展望について述べた。工具については簡単にしか触れなかったが次の機会に詳しく紹介したい。

本稿が関係するお客様の参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 不二越五十年史 (1978)
- (2) 切削油技術協会：穴加工ハンドブック p156, p166 (1979)
- (3) 米津 栄：工作機械 p91 (1957)
- (4) 板正二：切削工具技術講習会資料 (1968)



林 広明

1986年 入社
工作機部門の技術部、2002年より同部門 M&E チームに従事し、現在に至る



岩上 良行

1970年 入社
工作機部門の技術部、99年より技術開発部門に従事し、現在に至る