

<報文>

鋼管自動穴開け装置の開発

高度職業能力開発促進センター 芹澤 幸一
沖縄職業能力開発大学校 仲宗根 喜長

Development of an Automatic Boring Machine for Steel Pipes

Koichi Serizawa, Yoshinaga Nakasone

要約 近年、製造業に求められることは、高品質・低コスト・短納期と、ますます厳しいものとなり、生産性の向上や、他社との差別化を図るために生産設備の自社開発も不可欠となっている。本開発については、沖縄県内で鋼管や鉄線などを製造する拓南伸線株式会社（以下、拓南伸線㈱と略称）から生産設備開発の相談を受け、沖縄職業能力開発大学校（以下、当大学校と略称）応用課程・生産機械システム技術科の学生が中心になり開発を進め、工場内で稼働できる装置を完成させたものである。開発した装置は、フェンスや農業用ハウスに使用される鋼管（丸パイプ）に自動で穴開け加工する装置であり、最大積載量 1ton の鋼管をストックでき、それらを一本ずつ穴開け加工し、搬出収納までを自動化した装置である。開発した装置を導入した拓南伸線㈱では、今まで 3～4 人の手作業で行っていた穴開け作業を、作業員 1 人で行えるようになり、大幅な作業効率と作業人員の削減に繋がった。

本報は、企業より相談を受け完成させた鋼管自動穴開け装置の開発についてまとめたものである。

I はじめに

フェンスや農業用ハウスなどに使用される鋼管は、組立て用のピン穴が必要となるため、長手方向の複数箇所に貫通穴が開けられる。このような鋼管を製造している拓南伸線㈱では、鋼帯から鋼管へ成形する成形工程、所定の長さに切断する切断工程が自動化されている。所定の長さに切断された鋼管は、次の穴開け工程で、複数台用意されている卓上ボール盤をそれぞれの穴開け位置に設置し、作業員 3～4 人（7 穴の場合に 7 人就く場合もある）の共同作業で加工されていた（図 1）。



図 1 手作業による従来の穴開け作業

穴開けをする鋼管の種類と 1 日の加工本数は、鋼管長さ 1200～6100mm、鋼管径 $\phi 38.1 \sim \phi 60.5\text{mm}$ 、約 300～400 本である。

拓南伸線㈱では、この穴開け工程が危険を伴う共同作業と、繰り返し単純作業であることなどから、長時間に渡りこの作業に従事させられず、この工程がボトルネックとなっていた。このボトルネックを解消するために、鋼管自動穴開け装置の開発に取り組んだ¹⁾。

II 要求仕様

拓南伸線㈱から受けた要求仕様は以下の通りであった。

- ・作業員 1 人で穴開け工程を行えること
- ・サイクルタイム：従来の手作業時間以内
（目安：4 穴／鋼管 6m の場合、約 60 秒以内／1 本）
- ・鋼管長さ：1200～6100mm
- ・鋼管径： $\phi 38.1 \sim \phi 60.5\text{mm}$ （呼び径 5 種類）
- ・加工穴径： $\phi 6 \sim \phi 16\text{mm}$
- ・加工穴位置精度： $\pm 1\text{mm}$
- ・加工穴数：7 穴以内で設定できること
- ・加工穴位置：任意の位置に設定できること
- ・鋼管の溶接継目部（図 2）を避けて穴開けをすること

- ・バリ対策を施すこと（外面にバリを出さない）
- ・工場内の指定スペースに装置を収めること

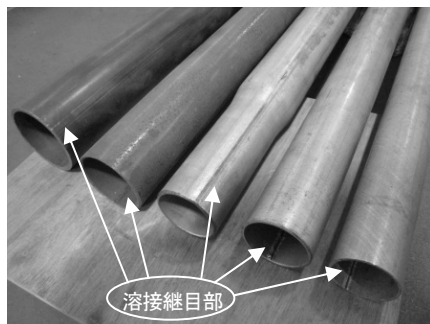


図2 鋼管の溶接継目部

III 装置の概要

1 装置の仕様

本装置の主な仕様を表1に示す。本装置の仕様については、拓南伸線㈱からの要求仕様を基に、開発予算、コスト、生産量などを踏まえ、構想設計、実験などを繰り返しながら決定した。

表1の「穴開け方法」が「同時2」とは、同時に2箇所貫通穴開け加工を行うことを表わす。なお本装置には、1箇所の貫通穴開け加工にスピンドルモータを上下1台ずつ配置し、鋼管の上下から同時に穴開け加工することで、貫通穴開け加工時間の短縮及び外面へのバリ防止対策をしている。これらを左右2組配置し、2箇所同時に穴開け加工を行う。

2 全体構成

開発した本装置の写真を図3に示す。本装置は、搬入搬出部、

加工部、制御部として制御盤、電磁弁収納盤に分類される。搬入搬出部では、鋼管積載量1tonまでの複数本の鋼管を収納でき、

表1 本装置の主な仕様

項目	摘要	単位
作業員数	1人による操作	人
サイクルタイム	60以内（4穴/鋼管6m）	sec/本
鋼管長さ	1200～6100	mm
鋼管径（規格サイズ）	φ38.1～φ60.5（5種類）	mm
加工穴径	φ6～φ16	mm
加工穴位置精度	±0.5	mm
加工穴数	7穴/1本（Max）	穴
加工穴位置	任意位置に設定可	—
スピンドルモータ容量	0.55	kw
穴開け送りサーボモータ容量	0.4	kw
穴位置決め送りサーボモータ容量	0.4	kw
穴位置決め機構	ラック&ピニオン	—
穴開け方法	同時2	穴
制御方式	PLC、タッチパネル、サーボシステム、空圧	—
溶接継目部検出（検出方式）	非接触検出（渦電流式継目検出）	—
最大積載量（搬入ストック）	1（30～80本）	ton
寸法	7.9(L)×4(W)×2(H)	m
質量	約4,000	kg
電源	3相200(5k)	V(W)
空圧	0.5	MPa

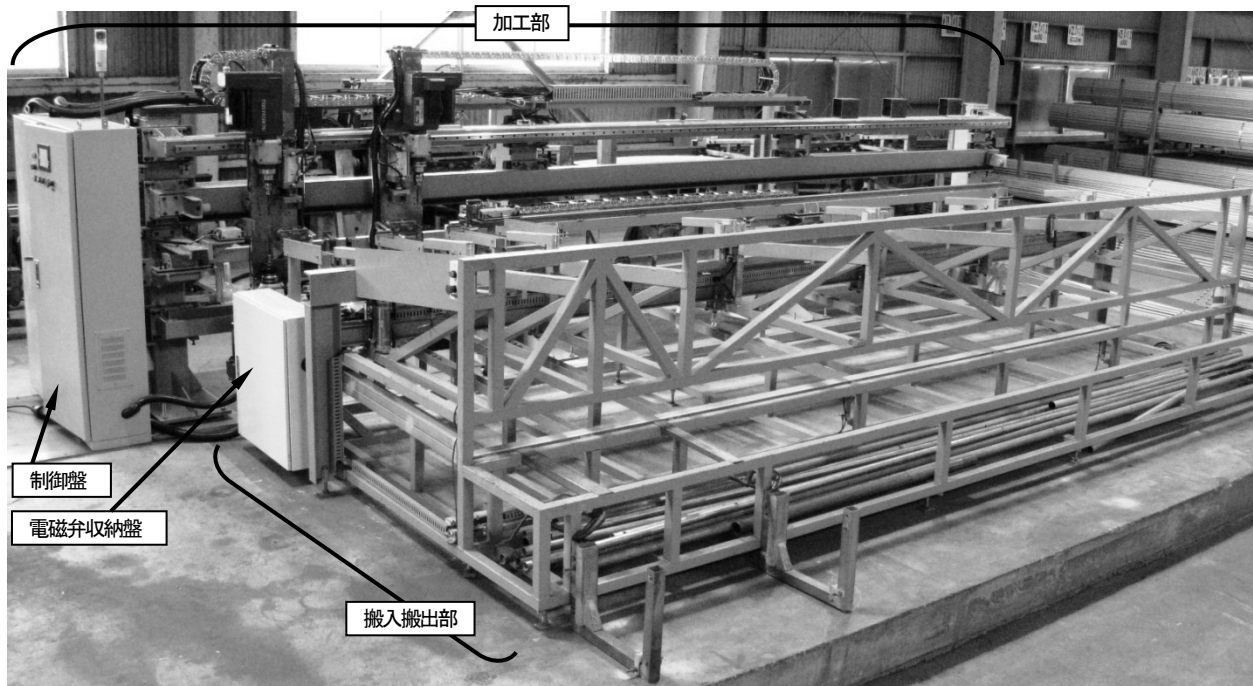


図3 開発した鋼管自動穴開け装置

1 本ずつ整列、鋼管の溶接継目部の検出を行い、溶接継目部を避けた位置を保持したまま加工部へ搬送する。加工部では、受け取った鋼管の左端面の原点合わせ、穴開け箇所へのドリル位置決め、鋼管のクランプ及びドリル穴開け加工が行われ、その後鋼管は搬入搬出部へ搬出される。

また制御盤には、電源、PLC、各モータ用制御装置、操作パネルなどの制御機器が納められ、電磁弁収納盤には、空気圧シリンダ用の電磁弁、レギュレータなどの空圧機器が収納されている。

3 搬入搬出部

搬入搬出部（図4）には、構造の上部に、鋼管を加工部へ搬入する際に必要な機構を配置させ、構造の下部に加工部から加工後の製品を搬出できるように鋼管の通路を設置した。搬入と搬出を上下に配置したことで、装置全体の省スペース化に繋がった。搬入搬出部の機能と動作を以下に説明する。

鋼管をストックできる最大積載量は、1ton（鋼管の規格（直径）によるが30～80本）である。ストックした鋼管は、エアシリンダの押し上げ動作で一本ずつ整列搬送される。鋼管を加工部へ受け渡す前に溶接継目部を検出し、その後、加工部へ受け渡す。また、穴開け加工を行っている間に、次に加工する鋼管の溶接継目部検出を済ませておく（サイクルタイムの短縮）ため、溶接継目部検出機構については、加工部に設置せず、その前工程となる搬入搬出部に設置した。

次に加工の完了した鋼管を、加工部から落下排出させ、搬入搬出部の下部に設けた鋼管の搬出通路を通過させ、ストックさせる。

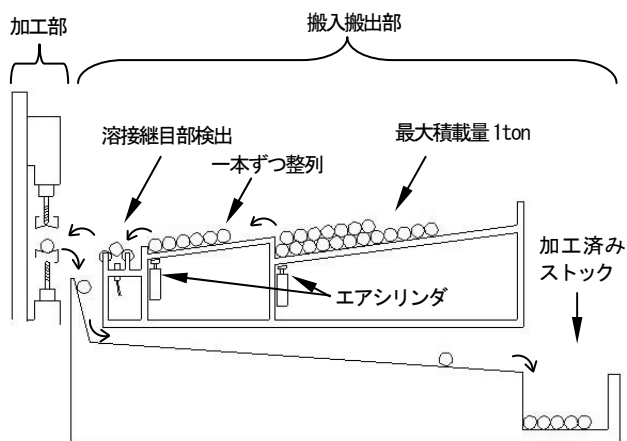


図4 鋼管の搬入から搬出までの流れ

3-1 溶接継目部検出

鋼管の溶接継目部検出機構では、ステッピングモータとローラで鋼管を回転させながら、渦電流センサで非接触にて溶接継目部を検出する（図5）。検出した溶接継目部を90度回転した位置（水平方向）に位置決めし、その位置を保持したまま加工部へ受け渡す。ドリルは、上下垂直方向に配置されているため、溶接継目部を避けた位置に穴開け加工することができる。

また、鋼管を回転させながら渦電流センサで検出する際、鋼管は真円、真直ではないため、回転すると偏芯する。それに対し渦電流センサの位置を固定して使用すると、センサと鋼管の距離が一定にならないため継目の検出ができない。そのため溶接継目部検出機構では、回転する鋼管にローラ部分を常に押し当て、センサをローラと共に上下する機構で構成させ、回転する鋼管の偏芯をばねで吸収することによって、センサと鋼管の距離を常に一定に保つようにした。この機構で溶接継目部の検出が可能となった。

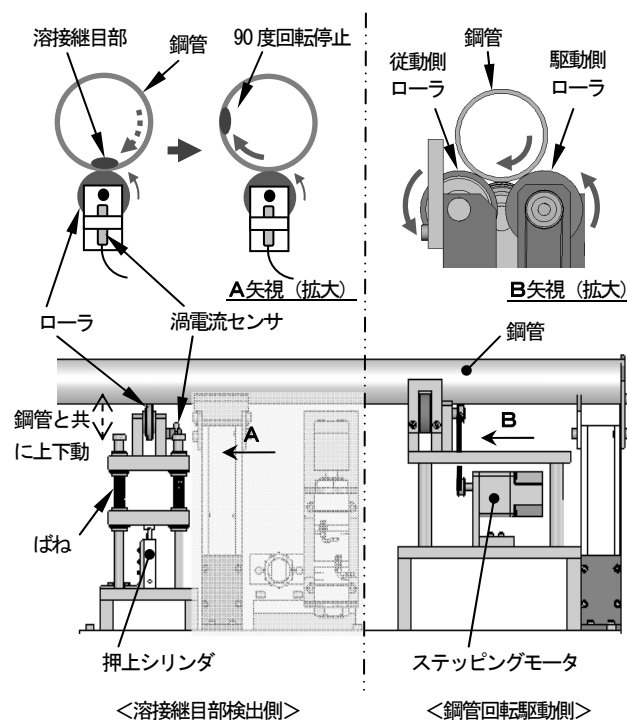


図5 溶接継目部検出の機構

3-2 加工部への鋼管搬送

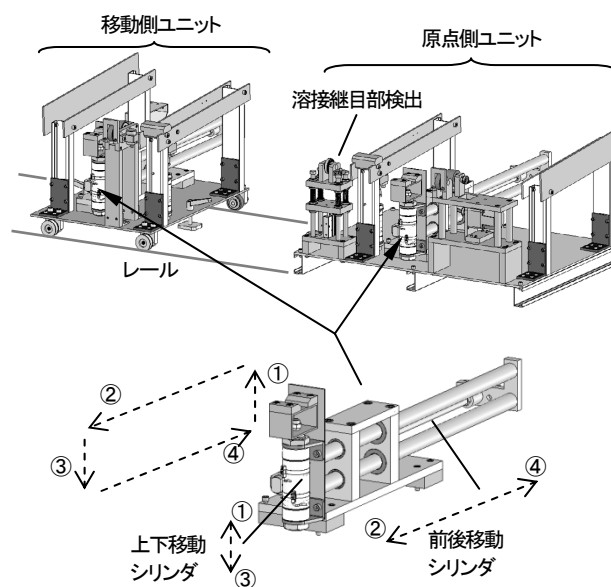


図6 加工部へ受け渡す鋼管搬送の構造

最大 1ton まで積載される鋼管は、エアシリンダの押し上げ動作で、図 6 に示す原点側ユニット及び移動側ユニット間の上に一本ずつ整列して載せられる。なお、両ユニットは搬入搬出部装置内に組み込まれている。移動側ユニットは、鋼管の長さに合わせてレール上を移動させ固定される。また、原点側ユニット内には、溶接継目部検出機構が設置されている。鋼管を加工部へ受け渡すための搬送動作は、上下、前後移動をさせる 2 組のエアシリンダの動きの組み合わせにより実現される。

4 加工部

加工部の構成を図 7～11 に、加工部の基本動作を以下に示す。加工部は、搬入搬出部から搬送される鋼管を鋼管受け台 (図 11) で受け取る。次に鋼管の端面を原点押し部 (図 9) のエアシリンダにより原点位置決め部 (図 8) へ押し当て、鋼管の両端をクランプする。次に左右の加工台 (図 7) を穴開け位置にそれぞれ位置決めし、鋼管の外周面をクランプシリンダ (図 10) でクランプした後、上下から穴開け加工を行う。穴開けの完了後、外周面のクランプを外し、次の穴開け位置へ加工台を移動し、同様の穴開け加工を繰り返す。全ての穴開けが完了すると、両端のクランプを外し、加工部から搬入搬出部へ鋼管を送り出す。送り出された鋼管は、図 4 の鋼管の搬出の流れに沿ってストックされる。

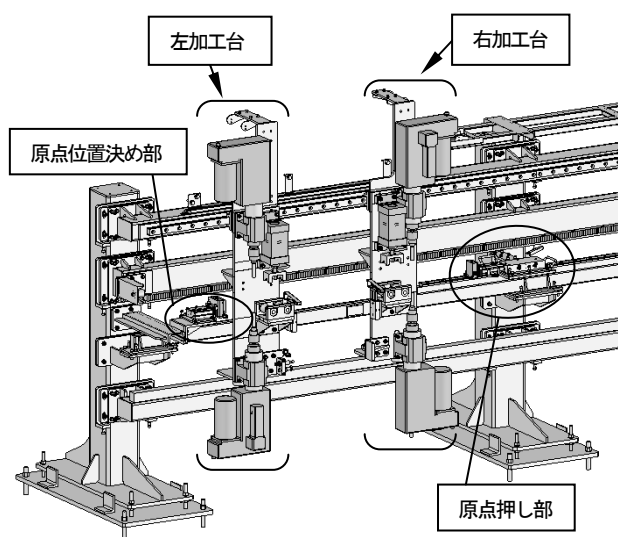


図 7 加工部の構成

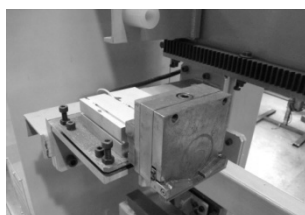


図 8 原点位置決め部

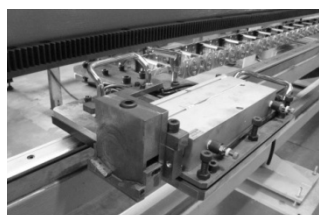


図 9 原点押し部

加工台は左右 2 台設置され、複数の穴開け箇所を左右 2 台で同時に加工を行う。加工台には、ドリル回転用スピンドルとドリル

送り用サーボモータがセットとなったメカ送りドリルユニット、加工台移動用サーボモータ、鋼管を載せる鋼管受け台、鋼管を固定するクランプシリンダ、加工済み鋼管を搬出する鋼管搬出シリンダが組み込まれている。また、加工台はリニアガイドに取り付けられ、加工台背面に配置したラック&ピニオンの機構により左右に移動、穴開け位置へ位置決めされる。その際、鋼管受け台は 2 本の V 型ローラ構造になっているため、鋼管との接触は、転がり接触で移動可能となる。

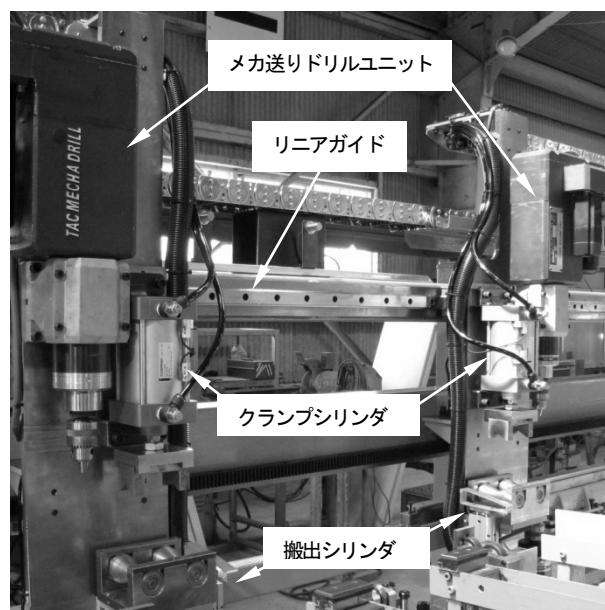


図 10 加工台の構成(表側)

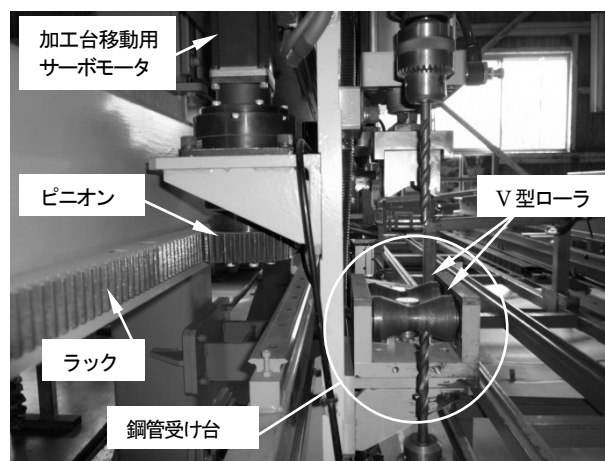


図 11 加工台の構成(側面)

5 制御部

制御部では、制御盤及び電磁弁収納盤を本体の左側面に配置し、操作パネルを制御盤のドアに設けた (図 12)。また、非常停止スイッチについては、装置の全長 7.9m と大きいことから操作パネル以外に装置の搬入搬出部の左右にそれぞれ配置した。

操作パネルには、電源 SW、電源ランプ、レディ SW、原点復帰 SW、起動 SW、停止 SW、非常停止 SW、タッチパネルを配

置した。なお、タッチパネル画面には、穴開けモード、メンテナンスモード、鋼管径・ドリル長設定モードの3モードを設定した。

穴開けモードには、自動運転時の鋼管長、穴位置、穴数、加工本数等を入力し、自動運転の際に使用する。メンテナンスモードでは、各アクチュエータの単動運転が使用でき、各部のメンテナンス時に使用する。鋼管径・ドリル長設定モードでは、自動運転時の鋼管径及びドリル突き出し長を選択する際に必要となる機械パラメータを設定できる。



図12 制御部の構成

本装置の制御システムは図13の通りで、コントローラにPLC、操作部にタッチパネルを用いている。主な出力装置は、スピンドルモータ・メカ送りドリルユニット・位置決め用サーボモータ・エアシリンダ等である。また、本装置の制御フローは図14に示す通りである。

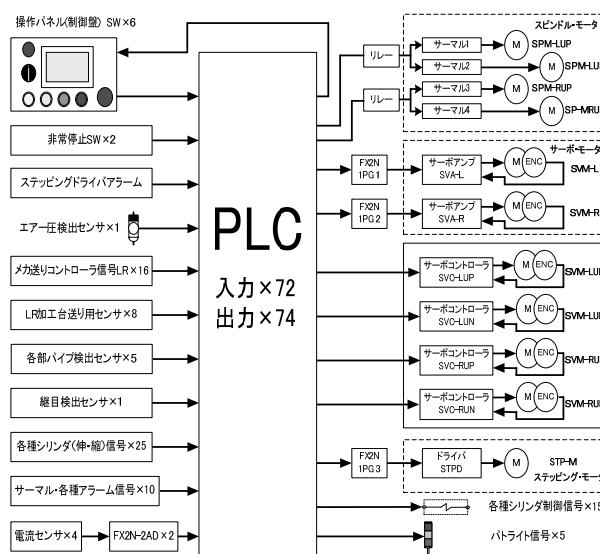


図13 制御システム構成

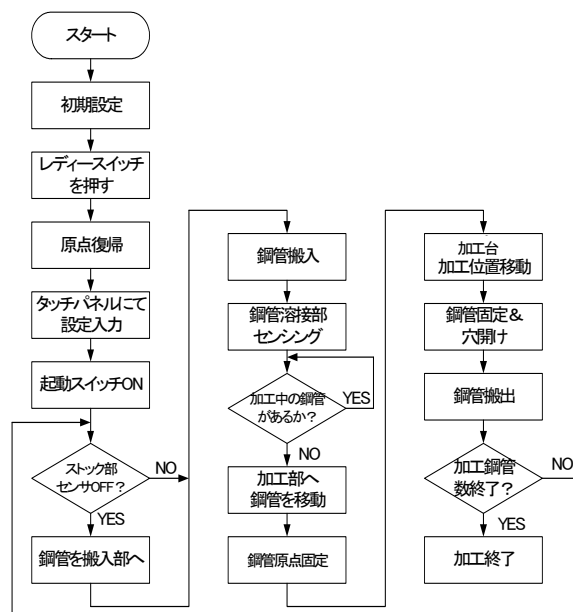


図14 制御フローチャート

6 安全設計

本装置では作業員の判断による非常停止 SW のみでなく各種センサによる停止等の安全設計がされている。以下にその主な項目を挙げる。

- ①レディ SW 入力による有接点回路での各制御装置への電源供給及び停電復旧時の再起動防止対策
- ②非常停止 SW の複数箇所設置 (3箇所)
- ③サーマルリレー出力(スピンドルモータ異常)による非常停止
- ④サーボモータ・steppingモータ・メカ送りサーボモータのエラー出力による非常停止
- ⑤エア圧不足信号出力による非常停止

⑥パトライト・ブザー音による異常・正常表示

⑦左右加工台の異常接近時のセンサまたはプログラムによる非常停止

また、上記各項目による停止時には、タッチパネル画面にアラーム内容とその対応内容を表示させ、作業員が直ぐに対応できるようにした。

IV 評価

1 装置の性能

1-1 装置の位置決め精度

ドリル穴開け位置の位置決めには、安定した位置決めが行えるようにサーボモータとラック&ピニオンの構成を用いている。位置決め寸法に偏りがある場合は、原点位置の微調整で調整可能である。そのため位置決め精度については、繰り返し位置決めをしたときのばらつきで評価した。その方法は、位置決め位置 500mm から 1000mm の位置へ繰り返し移動させ、その時の加工台の位置決め位置をダイヤルゲージによる比較測定で行った (図 15)。測定値のばらつきの大きさを表すため、式 (1) により平均値、式 (2) により標準偏差を求めたところ、下記の通りの結果となった。これにより位置決め精度が、 $\pm 0.004\text{mm}$ 以内に入る確率が 99.74%で、精度良く位置決めされていることが確認された。

データ数 : $n = 40$

($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$)

平均値 : $\bar{Y} = 0.0016\text{mm}$

$$\left(\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} \right) \quad \dots (1)$$

標準偏差 : $\sigma = 0.0015\text{mm}$

$$\left(\sigma = \sqrt{\frac{(Y_1 - \bar{Y})^2 + (Y_2 - \bar{Y})^2 + \dots + (Y_n - \bar{Y})^2}{n-1}} \right) \quad \dots (2)$$

3σ : $3\sigma = 0.004\text{mm}$



図 15 位置決め精度の測定

1-2 加工穴位置の精度

鋼管の加工穴位置精度については、装置の位置決め精度と同様に穴位置に偏りがある場合は、原点位置の微調整で調整できるため、加工穴位置のばらつきで評価した。その方法は、受注を受けて加工した鋼管 300 本を対象とし、端面から距離 30mm に $\phi 11\text{mm}$ で穴開けされた加工穴位置の測定で行った。結果は下記の通りであり、 $\pm 0.459\text{mm}$ 以内に入る確率が 99.74%で、装置仕様の加工穴位置精度 $\pm 0.5\text{mm}$ に対しては 3σ 以内に入っている。また、 $\pm 0.918\text{mm}$ 以内に入る確率が 99.99%で、企業からの要求仕様である加工穴位置精度 $\pm 1.0\text{mm}$ に対しては 6σ 以内に収まっている。測定結果からも、装置導入から現在 (5 年間) まで不良発生が無かったことを理解できる。

しかし、ドリル位置決め精度のばらつき (標準偏差) が $\sigma = 0.0015\text{mm}$ に対して、加工穴位置の精度のばらつき (標準偏差) が $\sigma = 0.153\text{mm}$ と大きい原因は、ドリル加工時に穴開け加工開始点となる鋼管円周上の頂点で、ドリルが加工位置で滑ってしまうからである。ドリル刃先形状の工夫や、ドリル案内用のガイドを設置することで加工穴位置のばらつきは抑えられると考えられる。特に、使用していたドリルは、作業員が手研ぎをした工具であるためドリル先端の芯が正確に出ていないことと、シンニングが施されていないことが、穴開け位置のばらつきに影響を与えていると考えられる。

データ数 : $n = 300$

平均値 : $\bar{Y} = 30.123\text{mm}$

標準偏差 : $\sigma = 0.153\text{mm}$

3σ : $3\sigma = 0.459\text{mm}$

6σ : $6\sigma = 0.918\text{mm}$

1-3 サイクルタイム

生産効率に直結する 1 サイクル当たりの加工時間については、要求仕様の 60 秒以内/1 本 (4 穴/6m 鋼管) に対して、約 50 秒/1 本で加工できている (現在の運転稼働状況)。また、その他の加工についての 1 サイクル当たりの加工時間は、1~2 穴/6m 鋼管で約 30 秒、5~6 穴/6m 鋼管で約 65 秒であった。なお、サイクルタイムを決める各部の動作速度は、制御パラメータにより可変が可能である。測定は実際に通常運転している速度で行った。通常運転では、生産能力を必要以上に上げる必要が無いため、装置の寿命を優先させ、低速運転に設定している。

2 従来の手作業と本装置による作業の比較

農業用ハウス 1 棟分の資材加工を想定して作業工程を構成し、従来の手作業 (以下、手作業と略称) と本装置による作業 (以下、本装置作業と略称) の作業能力を比較した⁽²⁾ (表 2)。各資材の供試本数については 10 本とした。

表2 作業時間の比較

加工 順番	加工内容 直径×肉厚×長さ (加工穴数)	手作業の所 要時間	作業 員数	本装置作業 の所要時間	作業 員数
①	φ48.6×2.3×2500 (3穴)	44分	1人	22分	1人
②	φ48.6×2.3×5000 (5穴)	49分	3人	38分	
③	φ42.7×2.3×4900 (4穴)	27分		25分	
④	φ42.7×2.3×4900 (3穴)	13分		18分	
	所要時間合計	2時間13分		1時間43分	

手作業（図16）は、ボール盤設置→鋼管搬入→穴開け→後処理（バリ取り・防錆剤塗布）→搬出の順番で行われた。手作業時の穴開け作業は3人で行われたが、表2の加工順番①においては、ボール盤の設置間隔からボール盤による穴開けが困難なため、プレス機を用いての作業であり、その際の作業員数は1人であった。また、ボール盤設置作業については責任者が1人で行った。

一方、本装置作業（図17）は、鋼管搬入→装置設定（原点押し部設定+タッチパネル操作）→穴開け→搬出→後処理（防錆剤塗布）の順番で行われた。

測定の結果、所要時間の合計は本装置作業の方が手作業に比べて30分短縮された。手作業では、ボール盤の設置作業（段取り）に多くの時間を要した。また、本装置作業における後処理は、穴開け加工をしている間に行えるため、手作業よりも所要時間が短縮された。しかし、加工順番④においては、本装置作業よりも手作業の方が所要時間は短かった。この理由には、ボール盤設置作業を行なう必要が無かったことや穴の数だけ作業人員が配置されたことが挙げられる。

実験は各資材10本、計40本の作業で比較した結果であり、実際の作業では本装置作業で1日に400本程加工する。また、

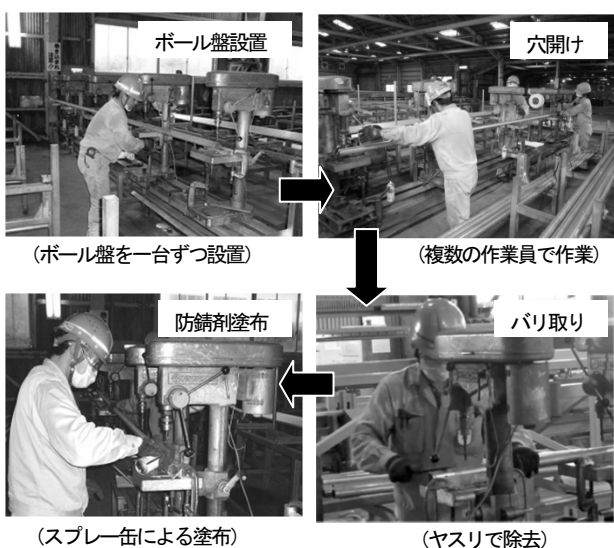


図16 ボール盤による従来の穴開け作業(手作業)

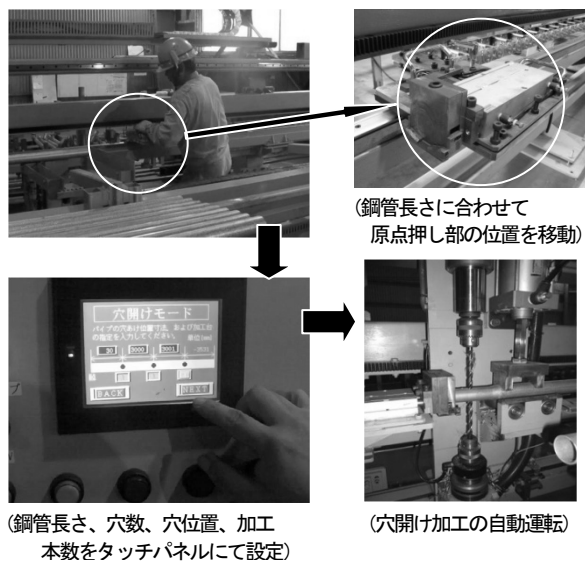


図17 装置による穴開け加工(装置作業)

本装置作業では、装置稼働中に防錆剤塗布作業やクレーンによる鋼管資材運搬供給などの別作業も行えるため、実際の運用面での装置導入による効果は、比較実験した結果以上に大きくなる。

3 企業への貢献

開発した本装置は、拓南伸線㈱から要望のあった要求仕様を全て満たすことができた。そのため、従来3〜4人で行っていた穴開け工程は、要求仕様通り、作業員1人で行えるようになり、複数の作業員を長時間にわたり本作業に従事させずに済むようになった。さらには、手作業による穴開け作業から本装置操作作業に代わったことで、危険を伴う繰り返し単純の複数人による共同作業から解放された。

本装置の作業に携わっている拓南伸線㈱の現場社員からは、沖縄工連ニュースにおいて次のように報告されている^③。「ボール盤を複数台配置させ、3〜4人で作業していた以前の作業から本装置完成後は、操作員1人での作業に変わり、穴開け位置調整のためのボール盤配置調整の必要も無くなり、作業が軽減され、さらに作業効率も上がりました。共同開発として取り組んだことで弊社の望んでいた装置が完成でき、とても良かったと実感しています。」

以上のことなどから、本装置の導入でボトルネックが解消され、また品質面においても、装置導入から現在まで（5年間）、不良品は一本も発生していない。装置の耐久面については、24時間運転を数日間継続した実績もあり（北部振興策関連受注時の本装置実績より）、さらに装置の故障は、5年間一度も無く運転できているとの報告も受けている。

また、生産工程の改善だけでなく、共同開発による装置開発の経験や本装置導入に際しての装置の取り扱い、装置の構造、プログラムも含めたメンテナンスなどの導入教育セミナーも含め、拓南伸線㈱社員の人材育成にも大きく貢献することができた。

4 学生の教育訓練

本開発は大規模な装置開発であったが、当大学校の教育訓練「開発課題」の中で展開することを最優先し、実施することができた。それは、共同開発を進める中で拓南伸線株の理解があったことが大きい。そのお陰で、単年度ごとに、企業からの要求仕様が始まり、企画開発、構想設計、詳細設計、製作、評価といった開発課題に必要な一連の工程で課題を構成して取り組むことができた⁽⁴⁾。また、取り組みの中で行った学生主体による企業とのミーティングや報告会（図18）、製作段階における企業の方々と共同作業（図19）、そして完成し目標を達成した経験は、開発に携わった学生達にとって大きな自信になったと思われる。



図18 学生主体の企業との合同ミーティング



図19 製作段階での共同作業

V おわりに

本装置開発による自動穴開け装置の導入で、冒頭に述べたボトルネックを以下の通り解消することができた。

- ①作業員1人で作業が可能となり、他の加工作業へ人員を配置することができた。
- ②作業員の肉体的・精神的な負担を軽減することができた。
- ③穴開け作業時間が短縮できた。特に段取り作業時間を大幅に短縮することができた。（複数台のボール盤のセッティング作業から、タッチパネルによる入力作業、原点押し部セッティング作業だけで済むようになった。）

また、本開発に取り組んだことで、企業にとっても当大学校にとっても、以下のような有効性があつたと考えられる。

- ①装置開発による企業への貢献
- ②社員の技術力向上
- ③学生の教育訓練効果向上
- ④当大学校のPR

最後に、本開発には開発期間の5年間（実質4年間）で企業6名、学生延べ26名、当大学校職員2名が取り組んだ。完成後の2009年5月には、本装置の完成発表会をマスコミ始め、県内関係企業に対し行い、本装置開発に携わった卒業生が集まり、完成を喜んだ。本装置は現在、拓南伸線株には無くてはならない自社専用の生産設備として稼働しており、月産約4,200本、年間約50,000本、5年経過した現在で約25万本の生産を行っていることを報告する。

謝 辞

本開発に際し、ご指導ご協力頂いた拓南伸線株、客員教授、マスコミ発表の段取りをして頂いた沖縄工業連合会に感謝の意を表します。図20に新聞掲載記事を示す。また、本装置の開発に熱い思いで取り組んでくれた学生達の努力に敬意を表します。



図20 本開発の新聞掲載記事

【参考文献】

- (1) 芹澤幸一、仲宗根喜長、「鋼管自動穴開けシステムの開発」、沖縄職業能力開発大学校紀要、第8号、2011年、pp.52-62
- (2) 金城翔一ほか、園芸施設に利用する丸型鋼管自動穴あけ装置の開発、農業環境工学関連学会合同大会講演要旨集、2009年、p.44
- (3) 沖縄工連ニュース Vol.549、2010.8月号、p.20
- (4) 鋼管自動穴開け装置の開発、沖縄職業能力開発大学校応用課程開発課題予稿、2004年、pp.13-16、2005年、pp.17-20、2007年、pp.29-32