

# ライン同期型パイプ穴あけ装置の開発

沖縄職業能力開発大学校 仲宗根 喜 長  
沖縄職業能力開発大学校 田 上 晴 久  
九州職業能力開発大学校 吉 本 俊 二  
沖縄職業能力開発大学校非常勤 松 尾 智 士

## Development of Line Synchronous Pipe Boring Machine

Yoshinaga NAKASONE, Haruhisa TAGAMI, Syunji YOSHIMOTO, Satoshi MATSUO

**要約** 沖縄県内における製造業の多くは、製品の製造技術や生産設備の開発・保守技術が県外からの移入に頼っている。また、これらの技術を支える人材も県内の企業には不足している。当校の応用課程では、これらの企業へ貢献、さらに学生の士気高揚などの目的で、開発課題の数テーマを企業からのニーズに応じて設定している。このように設定した開発課題を製品開発と位置付けて取り組み、完成した装置を企業に搬入し、評価を依頼している。本報告は、塩化ビニルパイプを製造している沖水化成(株)より提案されたテーマで、オフラインで手作業により行なっているパイプ穴あけ加工を、既存のパイプ製造ラインの中に配置し、全自動で穴あけ加工を行う装置の開発について報告したものである。開発した装置は、既存のパイプ製造ラインと同期を取りながら動作し、穴の位置決めはサーボ機構のようなプログラムに大きく依存するのではなく、機構的に解決したことなどが特長となっている。

## 1. はじめに

工業製品として広く利用されている塩化ビニルパイプ（以下塩ビ管と呼ぶ）は、図1に示すような押出し成形ラインにより製造されている。製品の中には、図2のような穴をあけた有孔管があり、これらはグラウンドなどの暗渠や農業用の配水管として利用される。

沖水化成(株)ではこの有孔管の穴あけ加工を、切断後のオフラインで、図3のような装置を用い、手作業により行っていた。

これらの工程は、以下に列挙するような問題点があり、生産工程のボトルネックになっていた。また、他

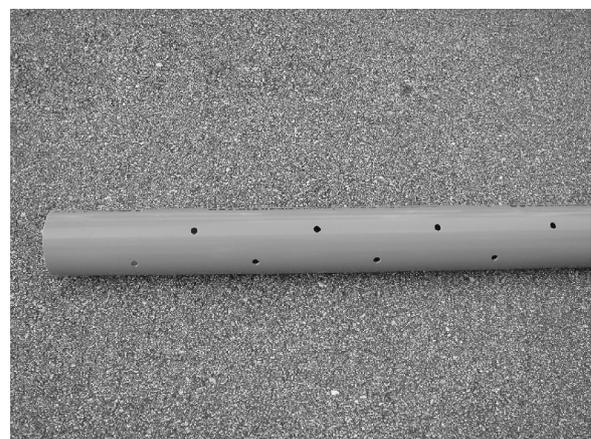


図2 有孔管の外観

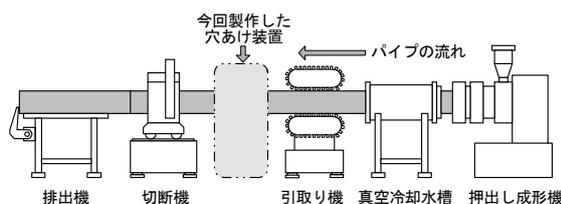


図1 塩ビ管製造ライン

製造メーカーの製造工程を視察した結果からも、これらは共通の問題点であった。

- ① 別工程のため、穴あけ作業員が必要。
- ② 別工程のため、穴あけ加工時間が別に必要。
- ③ 別工程のため、穴あけ加工作業スペースやパイプのストックスペースが必要。(図3、図4参照)

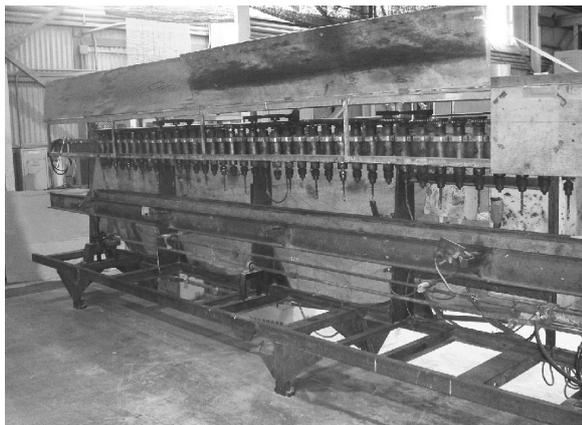


図3 従来の穴あけ装置



図4 穴あけ作業およびパイプストック

本開発テーマは、この問題点の解決を目的としたものであり、その概要は、オフラインの手作業による穴あけに替わり、図1に示す既存ラインの引き取り機と切断機の上に組込んだインライン方式で、全自動で穴あけを行う装置の開発である。

## 2. 沖水化成機からの要求仕様

沖水化成機から依頼された本装置への主な要求仕様は、以下のとおりである<sup>(1)</sup>。

- ① 装置は、パイプ引取り機と切断機の上に設置し、既存ラインと同期して全自動で穴あけを行う。
- ② パイプの呼径75、100、125、150、200 (mm) の5種類に対応可能とする。
- ③ 製品となる有孔管の規格は、図5に示す穴位置、穴ピッチ、穴径、パイプ長とする。
- ④ 連続稼働時間を最大10日とする。

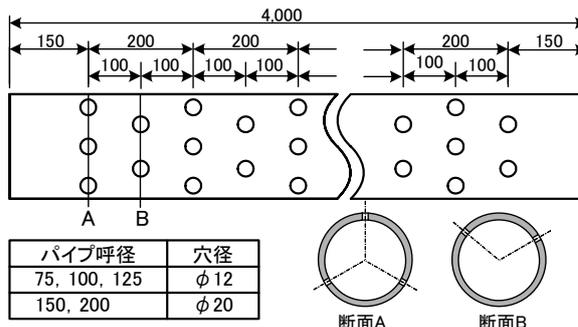


図5 有孔管の規格 (単位mm)

## 3. 装置の概要

### 3.1 装置の仕様

本装置の仕様の決定は、沖水化成機からの要求仕様、塩ビ管製造ラインの仕様、パイプの規格、実験結果などを基に行った<sup>(2)</sup>。主な仕様を表1に、開発した本装置の写真を図6に示す。

表1の備考欄は、仕様決定に関わった事項を列挙した。また、穴あけ方法が同時5穴とは、穴あけ用スピンドルモータを5台配置し、同時に5つの穴あけを行うという意味である。その穴位置は、図5の断面A、Bに示す。

表1 本装置の主な仕様

項目	摘要	単位	備考
穴位置精度	±3	mm	パイプ規格
穴あけサイクルタイム	6.5	SEC	ライン速度
穴径	12 or 20	mm	パイプ規格
連続稼働時間	最大10	日	生産体制
スピンドルモータ容量	0.55 (3.4)	kw (Nm)	切削実験
穴あけ送りサボモータ容量	0.1 (0.32)	kw (Nm)	容量計算
クランプ力	約600	N	摩擦実験
穴あけ方法	同時5	穴	設計
制御方式	PLC、タッチパネル、サーボシステム	—	設計
寸法	2.5 (L) - 2 (W) - 2 (H)	m	ライン仕様
質量	約1400	kg	
電源	3相200 (1k)	V (W)	
空圧	0.5 (300)	MPa (L/min)	



図6 開発したパイプ穴あけ装置

### 3.2 機構部

#### 3.2.1 装置の動作

塩ビ管は、図1に示した押し出し成形ラインにより製造されることから、パイプは一定速度で流れている。そのスピードはパイプ径によって異なり、表2のとおりである。

表2 製造ラインのパイプ送り速度

呼径(mm)	75	100	125	150	200
パイプ送り速度 (m/min)	1.4	1.1	0.8	0.5	0.3

この流れているパイプに穴あけ加工を行う必要があることから、穴あけ機構部とパイプの相対速度を0にする必要がある。これを実現するために、図7に示す機構を開発した<sup>(3)</sup>。その概要は、5つの穴あけ機構を搭載したメインフレームと、ガイドポストを通じて接続された両側の尺取フレームがあり、それぞれにパイプ抱き付き機構を有し、これらがパイプに抱き付くことにより装置がパイプと一緒に移動し、相対速度0となる。この間に穴あけを行い、穴あけ完了後には次の穴位置に移動するというルール上を往復運動する機構である。具体的には以下の動作を行う。

- ① メインフレームの抱き付き機構によりパイプに抱き付き、装置全体をパイプと一緒に移動しながら5個同時に穴あけ加工を行う。この時同期補助シリンダは、パイプの流れる方向にメインフレームを押し出し、移動の補助を行う。
- ② その間に、次の穴位置移動準備のため、尺取フレームを尺取シリンダにより200mm押し出し（図7では右方向）、抱き付き機構によりパイプに抱き付く。
- ③ 穴あけ加工完了後、メインフレームの抱き付き機構を開放し、尺取シリンダと同期補助シリンダでメインフレームを200mm引き寄せ動作（図7では右方向。以下尺取動作と呼ぶ。）を行い、再びパイプへ抱き付く。
- ④ 以下①～③の動作を繰り返す。

穴あけ機構部とパイプの相対速度を0にする機構は、本テーマの重要なポイントの一つである。設計段階では、今回採用した機構以外に、サーボシステムを用いる案もあったが、大きなメインフレーム部を動作させるには費用が割高となること、プログラム依存性が高いことなどの理由から、エアーシリンダを用い、機構的に解決した。

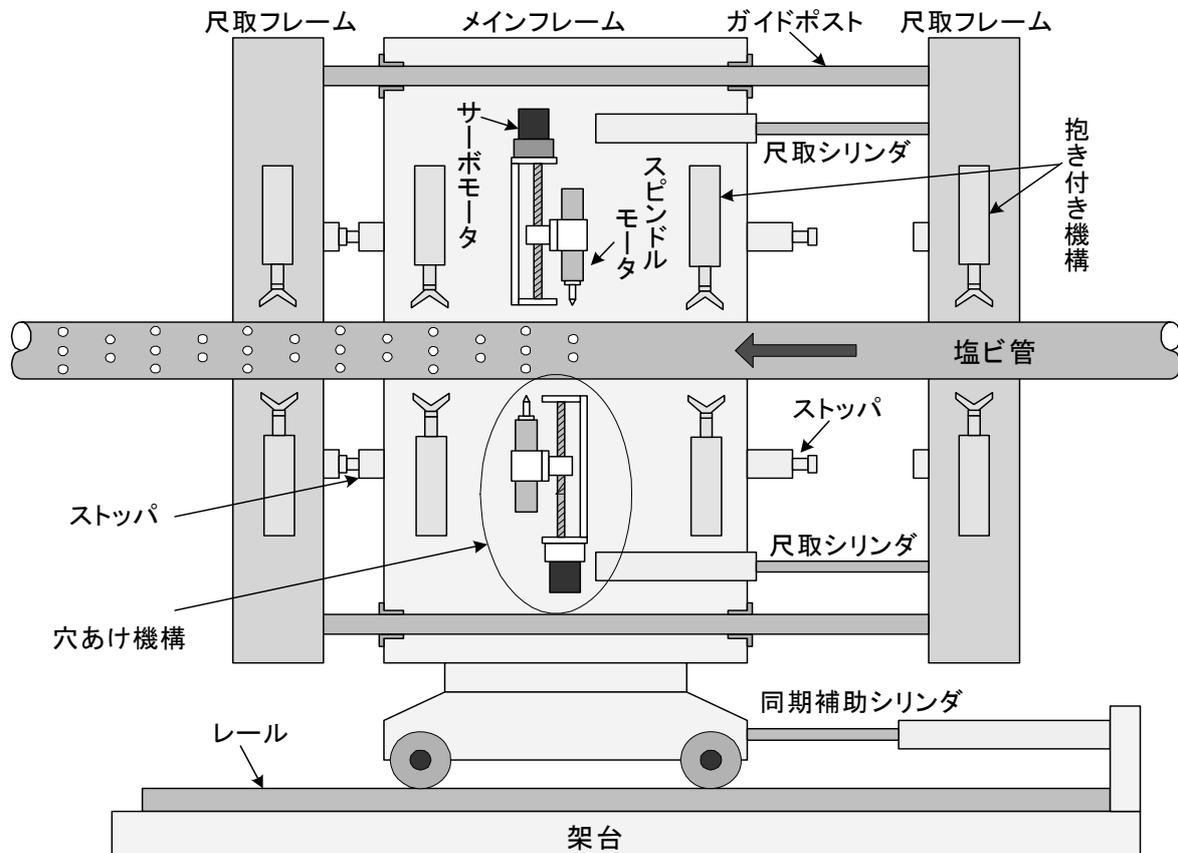


図7 本装置の機構概要

### 3.2.2 メインフレーム・穴あけ機構部

メインフレームは鋼板を溶接、機械加工した14個のブロックで構成され、その組み立てた構造を図8に示す<sup>(4)</sup>。その中の5個のブロックには、それぞれ直動テーブル、送り用サーボモータ、穴あけ用スピンドルモータが組み込まれていて、パイプへの穴あけ加工はこの穴あけ機構部で行う。

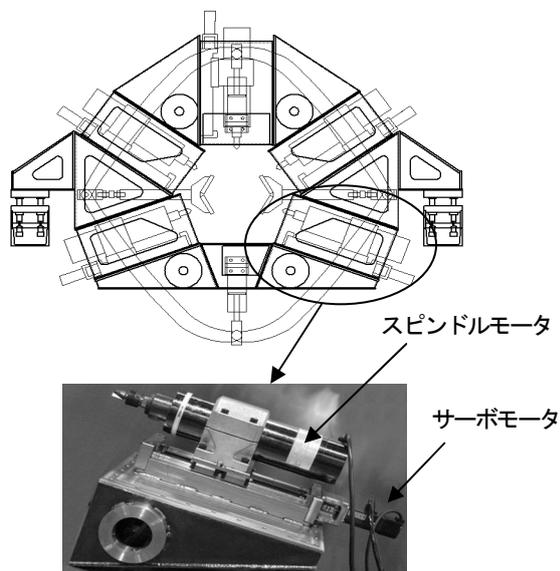


図8 メインフレーム・穴あけ機構部

### 3.2.3 尺取フレーム部

尺取フレームは、メインフレーム同様、鋼板を溶接・機械加工した構造で、図9に示したとおりメインフレームの前後に配置し、メインフレームを貫通した4本のガイドポストに取り付けられる<sup>(4)</sup>。前述したとおり、尺取シリンダで前後に移動することによって、穴あけピッチ200mm分の尺取動作を行う。

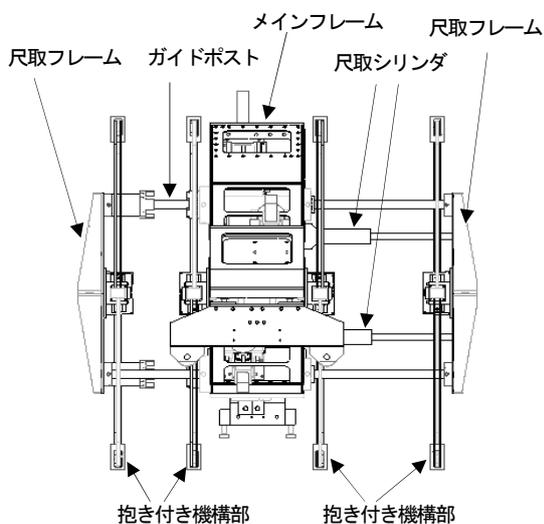


図9 尺取フレーム部の配置

### 3.2.4 抱き付き機構部

抱き付き機構部は、図10のように4本のリンクを連結したパンタグラフ機構で、2個の抱き付きシリンダによって2個のアームが前進し、パイプに抱き付く機構となっている<sup>(4)</sup>。図9に示したとおり、メインフレームの前後に各1組、尺取フレームにそれぞれ1組、合計4組を配置した。

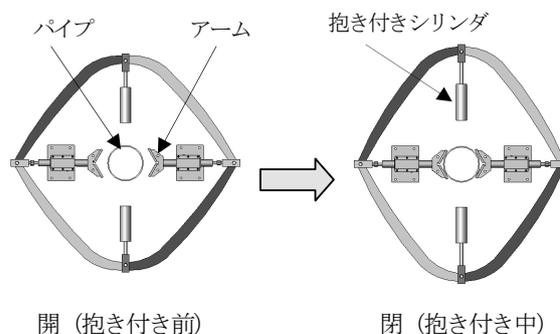


図10 抱き付き機構部

## 3.3 制御部

### 3.3.1 制御システム構成

本装置の制御システムを図11に示す。コントローラにPLC、操作部にタッチパネルを用いた<sup>(3)</sup>。

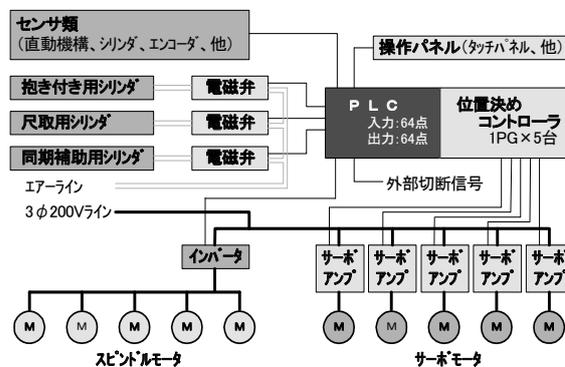


図11 制御システム構成

出力は、穴あけ用スピンドルモータ、穴あけ直動機構用サーボモータ、その他機構部用のエアシリンダなどとなっている<sup>(4)</sup>。

#### ① スピンドルモータ

穴径はφ12またはφ20であることから、インバータを用いて回転数を変更することで、必要な切削速度を得た。スピンドルモータは5台あり、5個の穴を同時に加工する仕様としたことから、一台のインバータで並列駆動させている。

#### ② サーボモータ

穴あけ時のZ軸方向の位置決め制御は、ボールね

じを用いた直動機構に、サーボモータ駆動で行なっている。5台のサーボモータは、PLCに接続された5台の位置決めコントローラを用いて制御している、パイプ径に応じた位置決めや速度制御を行なっている。

③ エアーシリンダ

エアーシリンダは、抱き付き用、尺取用、同期補助用を使用し、PLCと電磁弁を用いて制御する。

④ 操作パネル

操作パネルは、図12に示すタッチパネルを用いた。これにより操作SWを最小限にし、操作手順を階層的に表示することにより、操作性が向上した。



図12 操作パネル

3.3.2 本装置と既存ラインとの同期

冒頭に述べた本装置の特徴の一つで、本装置は既存のパイプ製造ラインの中に配置し、ラインから何らかの信号を得て、同期を取りながら動作する必要がある。

図5で示したとおり、パイプの長さは4,000mm、パイプ端から最初の穴位置までの長さは150mmにする必要があり、この最初の穴の位置決めが実現できれば、後は200mmの尺取動作の繰り返しで、位置決め可能である。そこで、最初の穴あけ位置を決める方法として、図13のようなシステムを考案した<sup>(5)</sup>。

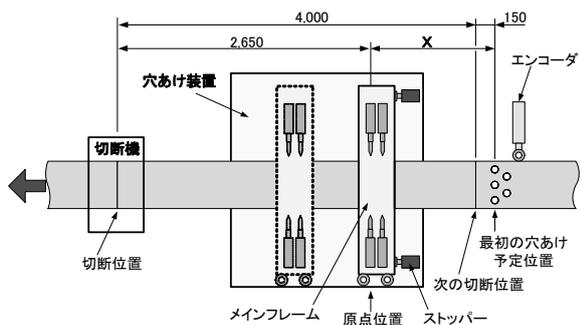


図13 既存ラインとの同期システム

システムの概要は、以下のとおりである。

- ① 既存装置である切断機と、メインフレームの原点位置との距離は2,650mmとした。
- ② エンコーダを接続したローラは、常にパイプ上を回転し、プログラム上で長さの読み取り、リセットを可能とした。
- ③ 切断機が駆動した信号をコントローラへ送り、その瞬間にエンコーダ読み取りカウンタがリセットされ、そこからパイプの送り長さが測定される。
- ④ 最初の穴あけ予定位置が、メインフレームの原点位置にきた瞬間、抱き付き機構部が駆動し、穴あけを開始する。この時のパイプの送り長さXの値は、以下の計算より1,500mmとなる。  

$$X = 4,000 + 150 - 2,650 = 1,500 \text{ [mm]}$$
- ⑤ 以降は、200mmピッチの尺取動作の繰り返しで、穴あけを継続する。
- ⑥ 所定の回数、穴あけが完了すると、メインフレームは原点位置に戻り、次パイプの穴あけに備えて待機する。
- ⑦ 上記④での1,500mmは、タッチパネル上に設けたメンテナンスモードで、1mm単位で微調整が可能である。さらには、ストッパーのねじによる位置調整により、メインフレームの原点位置の微調整も可能である。

本同期システムは、パイプを切断する毎に穴あけ開始位置を検出するため、穴位置の累積誤差は、パイプ一本毎にリセットされる設計となっている。

3.3.3 タッチパネル画面のフローチャート

タッチパネル画面のフローチャートを図14に示す。

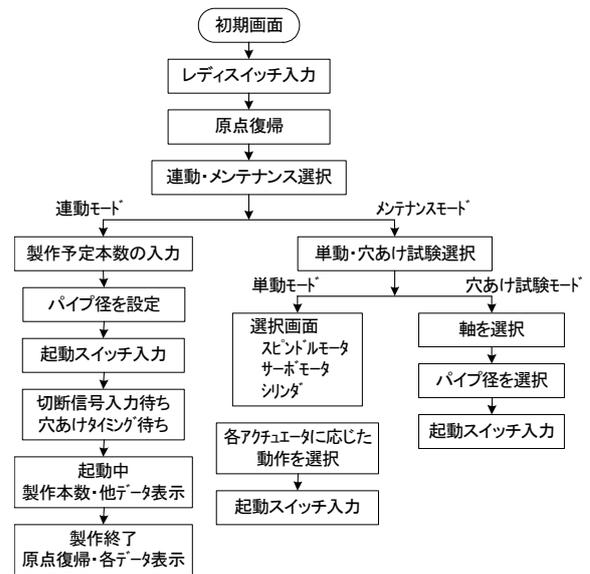


図14 タッチパネル画面のフローチャート

その概要は、連動モードとメンテナンスモードに大別され<sup>(4)</sup>、連動モードは、既存の製造ラインに同期して、自動で穴あけを行うモードで、製品の加工はこのモードで行う。メンテナンスモードは、さらに単動モードおよび穴あけ試験モードに分けられる。ここでは、各アクチュエータの動作チェックや穴あけ確認を行うことができる。

### 3.3.4 安全設計

本装置は、大きなメインフレーム部の往復移動、サーボシステムによる刃物の直動機構、空圧による抱き付きや移動機構など、装置全体がメカニカルな動きがあることから、安全面についてはいくつかの対策を行なった。その概要は、機械に故障が発生した場合、暴走することなく、作業員の安全確保・機械装置の保護を目的に安全に停止する仕組みで、機械設備や制御システムに関するフェールセーフが組み込まれている<sup>(5)</sup>。

#### ① 非常停止スイッチ・ライン離脱スイッチ

非常停止スイッチは、人命の安全を第一とし、投入されたらシステムのどの運転状態でも直ちに動作を停止し、人命の安全を確保する。またその動作システムは、コントローラ暴走の可能性も考慮し、プログラム処理ではなく、有接点による動作システムとなっている。ただし、投入された瞬間、全てのアクチュエータの電源を遮断するため、例えば刃物がパイプに切り込んだ状態の場合は、メインフレームがパイプの移動によって引きずられてしまい、人への危険および装置破損の恐れがある。そのため本スイッチが投入されたら、既存装置である引き取り機も停止させることにより、パイプの移動も停止する仕様とした。

ライン離脱スイッチは、本穴あけ装置及び既存ラインの装置の破損防止を目的としたもので、投入されたら各アクチュエータは全て原点復帰を行い、既存ラインから離脱した状態で停止し、各装置の破損防止を行う。この場合の動作システムは、プログラム処理による動作システムとなっている。

上記2つのスイッチは、作業員がライン前後のどの位置からでも操作できるように、2箇所を設置した。

#### ② 各制御装置やセンサの信号による停止

上記非常停止スイッチやライン離脱スイッチは、作業員の目視・判断により操作するものであるが、全自動での運転を前提とすることから、作業員のみ目視・判断に頼るのは危険である。そこで各制御

装置やセンサの信号による停止システムも組み込み、人とソフトウェアが協調したより安全なシステムを構築した。その概要を表3に示す。アラーム内容は作業員が把握できるようタッチパネルに表示する仕様となっている。

表3 各制御装置やセンサ信号によるアラーム

アラーム	内容	処理	
1	サーボアラーム	サーボモータ5台からのアラーム信号	非常停止
2	インバータアラーム	インバータからのアラーム信号	ライン離脱
3	サーマルアラーム	スピンドルモータの連続運転による発熱防止。サーマルリレーからの信号	ライン離脱
4	空圧低下アラーム	空気圧低下の検出。空気圧レギュレータ接続の圧力センサからの信号	ライン離脱
5	オーバーランアラーム	メインフレームのオーバーラン検出。同期補助シリンダ付属の近接センサからの信号	ライン離脱

## 4. 評価

本装置の完成後、基本的な各機構部の動作確認を学内で終え、パイプを流しての連動運転の確認は、沖水化成<sup>(株)</sup>に搬入して行った。数項目の機構的な調整やプログラムデバッグが必要であったが、機構の基本的な動作であるパイプへの抱き付き動作、穴あけ動作、尺取動作は問題なく動作することが確認できた。以下に、不具合点の解決、穴位置精度、連続稼働、その他の評価について述べる。

### 4.1 パイプ内のシワ

尺取動作では、質量約800kgもあるメインフレームをパイプの流れとは反対方向に動作させるため、大きな慣性モーメントを停止させる際に発生する衝撃により、パイプ内面にシワが発生してしまう不具合があった。これはエアシリンダの速度調整や衝撃緩和の処置で解決できた。

### 4.2 穴位置精度

既存ラインに同期しての動作は、先に示した同期システムによって問題ないことを確認したが、穴位置精

度については、当初バラツキが大きく、その原因究明までに時間を要した。その原因は4.1で述べたメインフレームの尺取動作による衝撃で、これによりエンコーダが正確なカウントができないためであった。これは、衝撃緩和の処置、エンコーダ取り付けジグの改良、カウント方式の変更により解決した。

以下に呼径100mmのパイプに連動モードによる穴あけ加工を行ない、穴位置を測定した結果を示す。パイプの長さ4,000mmの切断は、既存装置の切断機で正確に切断されるという前提で、図15に示すa、bが精度以内であれば、その間の穴位置も精度以内であると判断し、このa、bの測定を行なった。測定データのサンプルを表4に示す。

- ① パイプ呼径：100mm
- ② 測定箇所：a、b mm（パイプ端からの穴位置）
- ③ 測定回数：30分毎に58h連続測定（116回）

図16のグラフは、測定値と150mmの誤差をグラフ表示した結果で、紙面の都合上30個までのデータを表示した。穴位置精度±3mmはクリアしているが、全体的に目標の150mmより下降気味である。これは、尺取幅や原点位置の微調整で調整可能である。

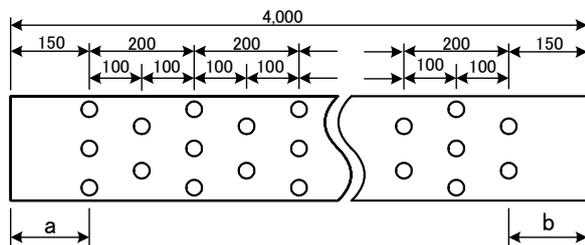


図15 穴位置の測定箇所

表4 測定データサンプル

NO	パイプ端から穴位置までの測定値(mm)		測定日	測定時刻	150.0からの誤差±3以内(mm)	
	a	b			Δa	Δb
	1	149.5			151.0	2007.2.1
2	148.6	148.3	"	15:00	-1.4	-1.7
3	150.2	147.8	"	15:30	0.2	-2.2
4						

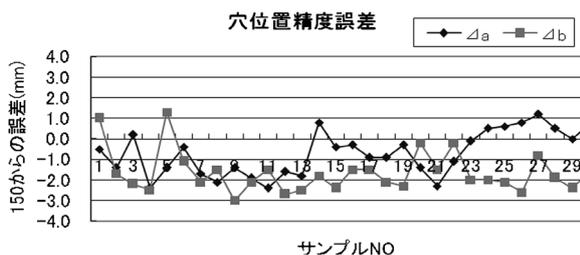


図16 測定データのグラフ表示

また、測定値のばらつき度合いを表すため、式(1)により測定値の平均、式(2)により標準偏差および3σを求めたところ、以下の結果となった。

データ点（測定値）：X1, X2, X3・・・

データ数：n=116個

$$\text{平均値} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

平均値：m=148.78mm

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\frac{(X_1 - m)^2 + (X_2 - m)^2 + \dots + (X_n - m)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

標準偏差：σ=0.55mm

3σ：3σ=1.65mm

計算結果より、148.78mm（平均値）±1.65mmの範囲、つまり147.13mm～150.43mmの範囲に入る確率が、99.7%で非常に安定していることがわかる<sup>(6)</sup>。

### 4.3 連続稼働

要求仕様の連続稼働時間最大10日間については、製品の受注事情に関係することから確認に至っていないが、これまでに、3日間の連続運転は10回以上行なっていて、特に問題は発生してない。表5はこれまでに穴あけ加工・出荷したパイプの本数を示す。ちなみに、従来の手作業では、1日あたり100本の穴あけ加工しかできなかったのに対し、本装置を用いると200～250本の加工が可能である<sup>(5)</sup>。

表5 穴あけ加工総本数

加工期間：2004.10～2007.1

呼径(mm)	穴あけ加工本数	備考
75	5,049	約250本/日
100	4,634	約200本/日

以上の評価より、全自動で穴あけを行う本装置の開発は、ほぼ完結したことになる。これにより冒頭に述べた以下の生産工程のボトルネックをすべて解消することができたことは、大きな評価といえる<sup>(4)</sup>。

- ① 別工程での穴あけ作業員が不要となった。
- ② 穴あけ加工に要する時間が不要となった。
- ③ 別工程の穴あけ加工作業スペースやパイプストックスペースが不要となった。

## 5 おわりに

現在本装置は、沖水化成㈱の工場内ラインにおいて、実際に製品の穴あけ加工に使用されている。本開発の過程においては、定例ミーティングに沖水化成㈱も参加してもらい、要求仕様、仕様決定、設計を進めてきた。しかし、今後は沖水化成㈱の社員が自ら装置のメンテナンスや装置の改良を行う必要があることから、沖水化成㈱の社員や関連企業の社員を対象に、本装置の設計内容及びプログラムも含めたメンテナンス技術の講座を実施し、習得してもらった。実際その後、装置の動作変更が必要となったことがあり、担当した社員自らプログラム変更を行なった。また、本開発を機に、色々な技術講習の受講も増えた。これらのことから社員のモチベーションの向上、これまで入れなかった分野への自主的な参画が実現できた。本取り組みが、今後沖水化成㈱において、新たな製品開発・生産設備開発・メンテナンス技術の発展につながることを期待する。

## 謝 辞

本装置の開発に当たり、御指導・協力して頂いた沖水化成㈱、客員教授、また、マスコミ記者発表の段取りをして頂いた沖縄県工業連合会に感謝の意を表します。図17に新聞掲載の記事を示す。また、本開発課題は、3年間をかけ、学生延べ25名、職員4名が取組んだ大掛かりな開発課題であった。学生の熱心な取り組み、努力にも敬意を表したい。

## 【参考文献】

- (1) 又吉重徳他7名、「ライン同期型パイプ穴あけ装置の設計・製作」、開発課題発表会予稿、2004.2、P1-P4
- (2) 吉本俊二、「パイプ製造ラインにおける同期型5軸穴あけ装置の開発」、第1回九州ブロックポリテクビジョン予稿、2003.2、P55-P56
- (3) 仲宗根喜長、「開発課題の実践報告(ライン同期型パイプ穴あけ装置の開発)」、第3回九州ブロックポリテクビジョン予稿、2005.2、P11-P12
- (4) 仲宗根喜長、「ライン同期型パイプ穴あけ装置の開発」、沖縄職業能力開発大学校紀要、第6号、2005.11、P33-P38
- (5) 仲宗根喜長、「塩化ビニルパイプ製造ラインにおける同期型穴あけ装置の開発」、経済産業省「第2回ものづくり日本大賞」応募原稿、2007.5
- (6) インターネット URL

<http://www.meti.go.jp/committee/materials/g60327dj.html>

<http://kogolab.jp/elearn/hamburger/chap1/sec4.html>



図17 マスコミ記者発表