

Newly Developed Marking Robot



桜田 和之
Kazuyuki Sakurada
知多製造所 設備部設
備技術室 主査(掛長)



船生 豊
Yutaka Funyu
知多製造所 設備部設
備技術室 主査(部長
補)



美浦 一彦
Kazuhiko Miura
千葉製鉄所 熱延部造
管課 課長

1 緒 言

鉄鋼プロセスにおける自動化は他産業に比べ先行していたが、対象物が大型かつ重量物であることから位置決めおよびハンドリングが困難なために、安価な市販の汎用ロボットの利用という点で他産業よりも導入が遅れていた。しかし近年、産業用ロボットの利用技術と制御技術が進歩したことにより、徐々に適用範囲が拡大しつつある¹⁾。

従来、マーキング装置は鉄鋼分野に限らず各種方式²⁾のものが実用化されてきたが、いずれもマーキング対象物が限定されており、いわゆる可変シーケンスロボットに属するものであった。今回開発したマーキングロボットはマーキング分野における汎用ロボットの適用という意味では初めてのものであって、鋼管などの任意曲面上に文字や記号が印字できるという特徴を有している。

本マーキングロボットの1号機は、知多製造所中径継目なし鋼管工場に鋼管内面印字を目的に設置され、昭和59年12月から順調に稼動を続けている。以下に本装置の機能と特徴を紹介する。

2 本マーキングロボットの位置付け

2.1 中径継目なし鋼管製造プロセス

中径継目なし鋼管工場の製造プロセスは圧延ライン、熱処理ライン、一次精整ライン、二次精整ラインに大きく分けられる。圧延はマンネスマンブラグミル方式によって行われる³⁾。圧延ラインを経て半製品となった鋼管は無人の自動ラックに一時保管され、用途に応じて熱処理ライン、一次精整ライン、二次精整ラインに送られる。圧延ラインから熱処理ラインおよび一次精整ラインまでは連続化されており、プロセスコンピュータによって管1本毎の自動トラ

要旨

鋼管のピース管理を目的として鋼管の内面に文字を書くマーキングロボットを開発し、知多製造所中径継目なし鋼管工場で実用化した。このロボットは、ドットスプレー方式による高速応答で小型の印字装置を多関節ロボットの手首に取り付けたものである。このため内径 150 mm 以上の鋼管であれば管の内面に任意の文字が非接触で印字できる。鋼管の端部をセンサが自動検出して印字動作が行われるので、印字位置のばらつきはほとんどない。また、鋼管の外径や厚みなどの印字内容はプロセスコンピュータより指示されるので、全自動での印字が可能である。市販の汎用ロボットを用いているのでソフトウェアの変更が簡単で、印字対象物の変化にも容易に対応できる。

Synopsis:

For the precise tracking of the pipe, a robot which is automatically imprinting the code figures on the inside of the pipe end has newly developed and used at Chita Works' medium-diameter seamless pipe mill. A compact dot-spray painter plugged into the robot's wrist permits the high-speed imprinting of the identification code, without touching the pipe, on the inner surface of the pipe of 150 mm or larger in inner diameter. The robot is also equipped with a sensor that enables it to locate the exact place on the pipe's hem for marking. The robotized marking is automatic, from start to finish, by dint of the link-up with a process computer which keeps the the robot informed of the outer diameter and wall thickness of the incoming pipes, as well as the code numbers and characters. With software changeover, it's possible to use it in robotizing other phases of marking.

ッキングが行われている。プロセスコンピュータは加熱炉や圧延機の制御⁴⁾、物流の最適化制御⁵⁾、鋼管の最適切断制御⁶⁾などを行うと共に多くの実績収集データを知多製造所のセントラルコンピュータにリアルタイムでデータ伝送している。セントラルコンピュータ側には生産管理システムが構築されており、プロセスコンピュータおよび各端末とのデータ送受信結果に基づいて工場内全域の操業管理と品質管理が行われる。自動ラック以降の下流工程の計算機制御システムを Fig. 1 に示す。

一次精整ラインは、Fig. 1 に示すアマログ・ソノスコープ(漏洩磁束探傷)工程から目視・寸法検査工程までの連続工程をいう。一次精整ラインの最終まで搬送された鋼管は、今回開発設置されたマーキングロボットによって管内面に管理ナンバを1本毎に自動印字されたのち数本ずつ束ねられて天井クレーンでオフライン・ラックに保管される。オフライン・ラックに一時的に保管された鋼管は用途に応じて下流側の二次精整ラインに運搬されて所定の検査と加工が行われる。二次精整ラインには超音波探傷試験工程、磁粉探傷試験工程、ねじ切り工程などがある。

* 昭和60年7月17日原稿受付

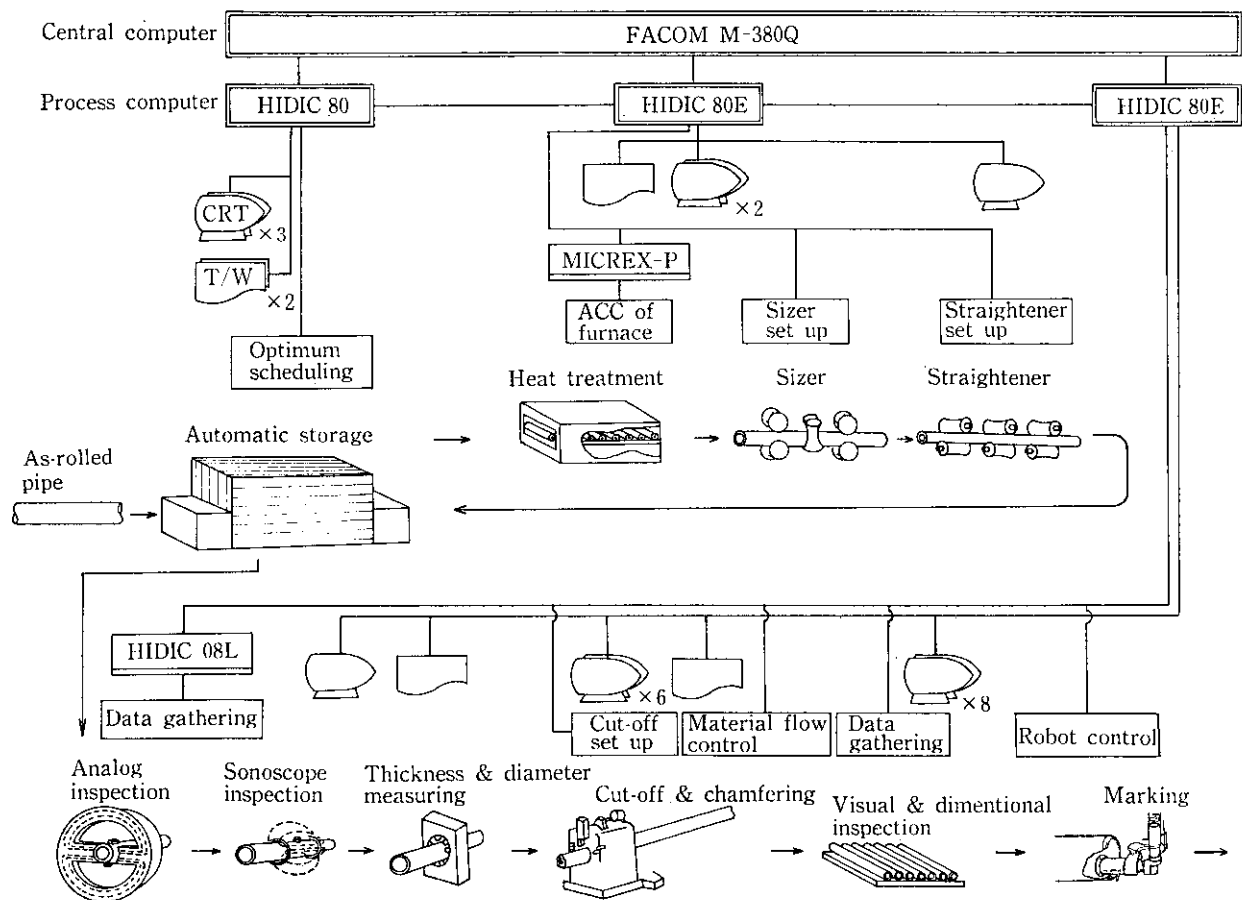


Fig. 1 Control system of pipe finishing process

2.2 管理ナンバー印字の必要性

継目なし鋼管は、石油やガス等のエネルギー資源開発、機械工業界、各種プラント業界などにおいて極めて重要な役割を果たしており、製品品質保証の要求は近年ますます厳しくなっている。このため近年建設された継目なし鋼管工場では、鋼管製造メーカー各社とも、工場稼働の当初からプロセスコンピュータによる自動トラッキングを実施しており、鋼管1本毎の品質管理が可能であるように考えられている。

しかしながら精整工程の中の一部の特殊な工程においては、生産能力上の問題などで連続化できない工程もあって、オフライン・ラックに鋼管を一時保管せざるを得ないものがある。当社の中径継目なし鋼管製造プロセスもその例外ではなく、先に述べたように一次精整ライン後において鋼管はオフライン・ラックに一時保管される。

一時的にオフライン化される鋼管はプロセスコンピュータによる自動トラッキングの範囲からはずれるため、異ロット混入防止のために何らかのロット識別手段を必要とする。それゆえ従来は、作業員が型紙の上からハンドスプレーで塗料を吹きつけて識別コードを管にマーキングするなどしていた。

このような人手に頼る方式は正確さと迅速性の面で問題があるばかりでなく、作業の安全性でも危険を含んでおり、従来から自動化の要求が強かった。

また、鋼管を積み上げたときでも管理ナンバーが容易に判読できるためには、マーキングは管の外面に行われるよりも管端部付近の

内面に行われるのが望ましい。

一方、管内面にバーコードや文字記号を印刷したラベルを貼付するなどして管の識別を行う方法も考えられるが、これでは後工程でラベルを剥がす作業が発生するので、余計な手間がかかり不都合である。

鋼管内面印字ロボットは、このような課題に対応して印字作業の無人化と異材混入防止を実現すると共に、鋼管1本毎に異なるピースナンバーを印字して、オフライン設備においても一貫したピース管理が継続できることを目的として開発されたものである。

3 システム概要

中径継目なし鋼管工場に取り付けられたマーキングロボットの全体概観図を Fig. 2 に、そのシステム構成を Fig. 3 に示す。多関節ロボットのアーム先端部に取り付けられた小型の印字ヘッドが被印字鋼管の内側に挿入されて鋼管内面印字が行われる。

鋼管1本の印字文字は全部で12桁あり、その内訳はロットナンバー8桁、ピースナンバー4桁である。

印字される鋼管の寸法は公称外径 7~17 in でかつ内径 150 mm 以上である。

印字は、鋼管の搬送ルートに応じて以下に述べる2箇所の印字ポジションのいずれかで実行される。ローラテーブル上を縦搬送されてくる鋼管はマーキングロボットの印字動作範囲内で減速停止され、マーキングロボットによる印字が行われ、再び搬送されて下流工程に送られる。また、スキッドテーブル上を上流側より横送り搬送

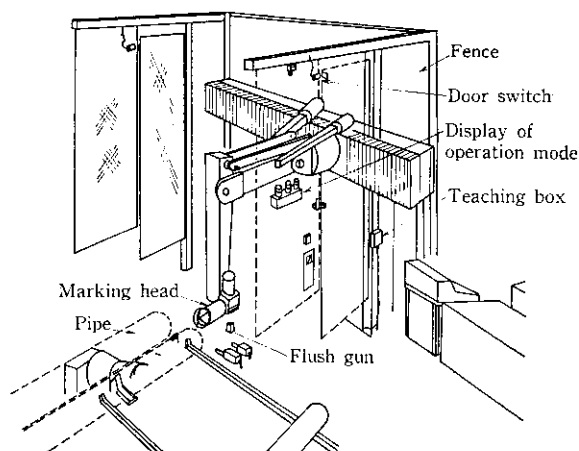


Fig. 2 Illustration of the marking robot

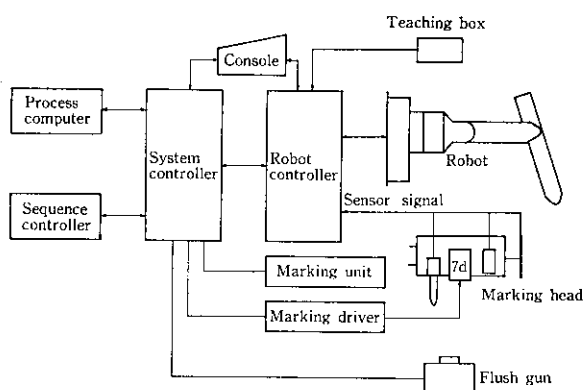


Fig. 3 System configuration of marking robot

されてくる鋼管はローラコンベア入側のストッパーにて停止され、ここで印字が行われ、ローラテーブルに搬出されて下流工程に送られる。すなわち、別々の経路で搬送されてくる鋼管はマーキングロボットのところで合流するが、各々の搬送経路に応じて印字ポジションは異なっている。これはマーキングロボットが設備能力上ボトルネックにならないための必要措置であるが、ソフトウェアに融通性のある汎用ロボットを用いたことにより、このような設備制約も特に問題にはならなかった。

搬送制御を行うシーケンスコントローラによって、印字される側の鋼管端面はほぼ均一な位置に制御されるようになっているが、鋼管1本毎に多少のばらつきは生ずる。このばらつき量は多くの場合 ± 100 mmの範囲内である。しかし、万一大幅なばらつきがあった場合には、搬送設備側に設置されているオーバーラン検出センサによって端面位置の異常が検出されて警報が出され、ロボットが鋼管に衝突しないように配慮されている。

鋼管端面位置が所定のばらつきの範囲内であれば、印字ヘッドに取り付けられた管端検出センサで端面位置が自動検出され、管端より所定距離だけ内側に目的の印字が行われる。

自動搬送される鋼管の全ては、プロセスコンピュータによってピース単位に自動トラッキングされており、ロボット動作に必要な鋼管の外径、肉厚などの寸法や印字データはプロセスコンピュータからマーキングロボットにピース単位に伝送される。

鋼管がマーキング位置に搬送されて停止すると、印字動作要求信号がシーケンスコントローラからシステムコントローラに対して出

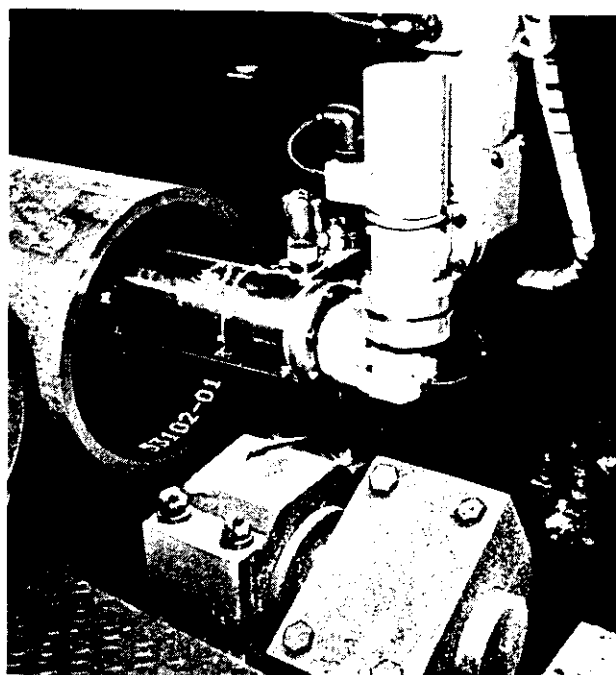


Photo 1 Marking robot

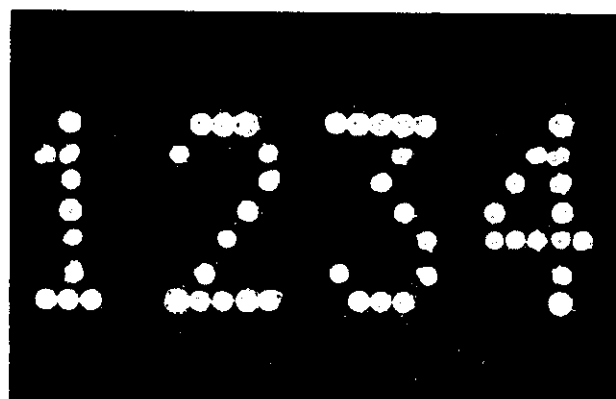


Photo 2 Full-sized marking example

力される。このとき既に、システムコントローラにはプロセスコンピュータより印字ポジションおよび鋼管寸法、印字データが伝送されている。システムコントローラは与えられた印字ポジションと鋼管寸法に応じて所定のロボット動作プログラムコードを選択して、ロボットコントローラにプログラムコードと起動指令を伝送する。当システムの場合、システムコントローラとロボットコントローラの間の距離はおおよそ150 m離れているので、耐ノイズ性に優れるRS 422 回線仕様でその間のデータ伝送を行っている。

ロボットが動作開始して印字ヘッドが鋼管の内側に入っていく、印字ヘッドに組み込まれたセンサが管端位置を検出すると、ロボットは自動的に円弧動作に入る。印字ノズルと鋼管内面との距離が一定になるように円弧動作は管内面に倣うようにして行われる。円弧動作速度が一定速さに達すると、ロボットコントローラからシステムコントローラに印字スタート指令が出力される。システムコントローラからは、望みの印字文字パターンに合ったドットスプレーパターンが印字ヘッドに組み込まれた7個の電磁バルブに印字ドライバ装置経由で伝達され、印字が行われる。印字動作中のマーキングロボットを Photo 1 に、印字された文字のサンプルを Photo 2 に示す。

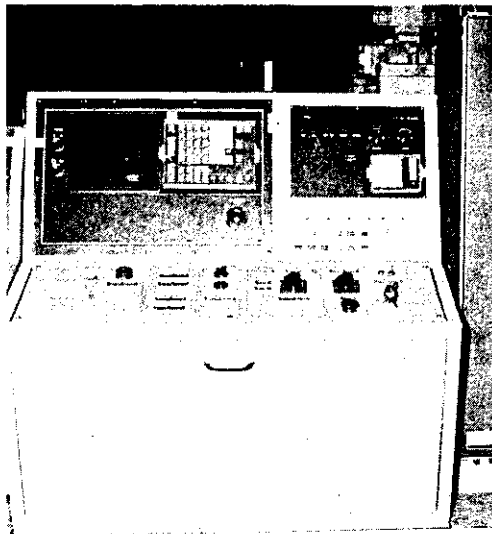


Photo 3 Operation console

印字が終了すると印字ヘッドは鋼管から引き抜かれ、次回印字のために待機位置まで戻る。待機位置にて、印字ノズル部は洗浄ガンから射出される洗浄液（主成分は、1,1,1-トリクロロエタン）によって約 0.3 秒の短時間で洗浄される。

以上の印字シーケンスはロボットの動作時間も含めて 7 秒以内に全て完了する。

マーキングロボットの動作状況および印字情報は現場に設置された操作デスクに表示され、システムの稼動状態が容易にチェックできる。また操作デスクからは、プロセスコンピュータとマーキングロボットの信号回路を切り離して、マーキングロボットをオペレータが手動運転することもできる。マーキングロボットは無人運転されるのが通常であるので、操作デスクが使用されるのは運転の開始と終了時もしくは異常発生時、調整時などに限られる。Photo 3 に操作デスクの外観を示す。

4 ロボット本体

ロボット本体は、Fig. 4 に示すファナック(株)社製の S-MODEL 1 (Y軸走行型 6軸タイプ、総重量 650 kg)を用いている。U, W, Y の 3 軸は空間上の一点に印字ヘッドを位置決めし、 α, β, γ の 3 軸は印字ヘッドの姿勢(方向)を制御する。各軸をコントロールするサーボモータの総出力は 1 410 W である。ロボット本体部の主な仕様を Table 1 に示す。

このロボットは自立型として用いるのが一般的な使い方であるが、壁掛け取り付けで使用することも可能である。本マーキングロボットは周辺機械レイアウトの制約から壁掛け取り付けで用いている。

5 印字ヘッド

印字ヘッドはロボット手首先端に Fig. 5 のように取り付けられて鋼管の内側に挿入され、旋回動作しながら印字を行う小型の印字装置(総重量 8 kg)である。

印字ヘッドの構造を Fig. 6 に示す。印字ヘッドは円筒形をしており、その最大径部分は最先端部に取り付けられた衝突防止センサ(直径 130 mm)である。したがって、運用上内径 150 mm 以上の鋼管を印字対象にしている。

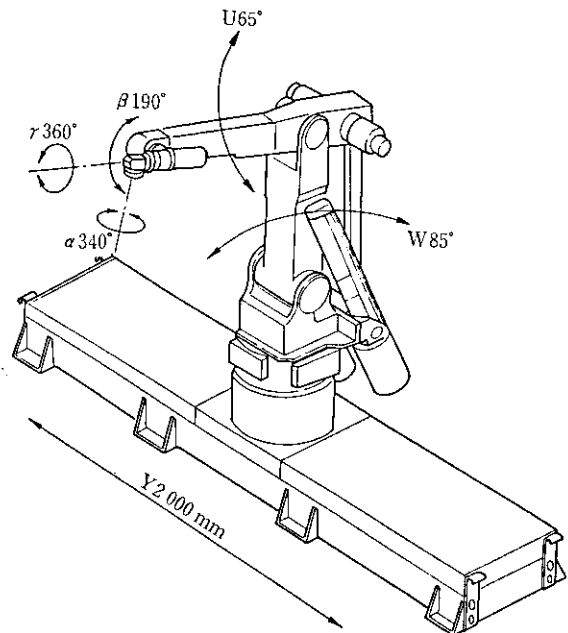


Fig. 4 Main body of robot

Table 1 Specifications of robot

Items		Specifications
Coordinate type		Articulated type
Controlled axis		6 axis (Y, W, U, α , β , γ)
Operation range [max. motion speed]	Y-axis	2 000 mm
	W-axis	85° (90°/s)
	U-axis	65° (90°/s)
	α -axis	340° (120°/s)
	β -axis	190° (120°/s)
	γ -axis	360° (120°/s)
Max. load capacity at wrist		10 kg
Drive method		Electrical servo drive by DC servo motor
Repeatability		± 0.2 mm
Positioning		6 axis simultaneous control

5.1 センサ

印字ヘッドには各種のセンサが組み込まれているが、これらのセンサ信号はロボットコントローラに直結されている。

印字ヘッドの最先端にはリング状の衝突防止センサが取り付けられている。このセンサは接触抵抗 1 k Ω 以下もしくは対地容量 100 pF 以上にて障害物との干渉を検知するものである。このセンサが鋼管や人体に接触すると、ロボットサーボ電源が即時遮断して、ロボットが非常停止するようになっている。

印字ノズル近傍には位置決めセンサが取り付けられている。位置決めセンサは反射型の光電スイッチであり、鋼管への印字ヘッド挿入動作中に管端部を検出して、その挿入位置をコントロールするためのものである。位置決めセンサは印字ノズル近くにあるため、長時間

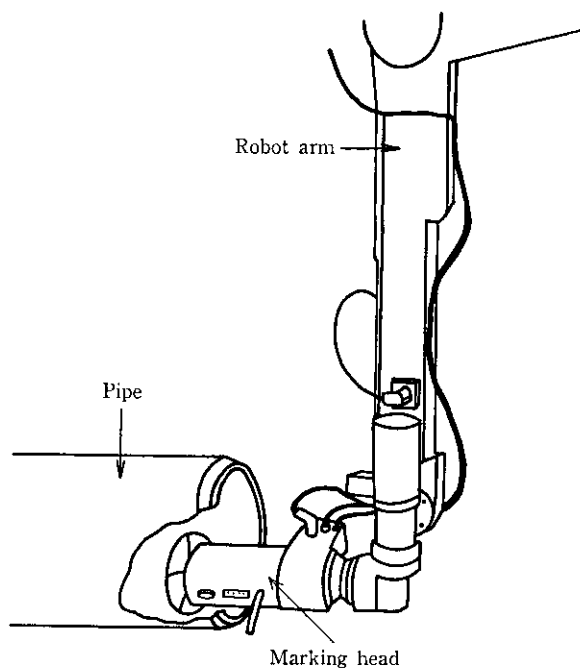


Fig. 5 Robot arm with marking head

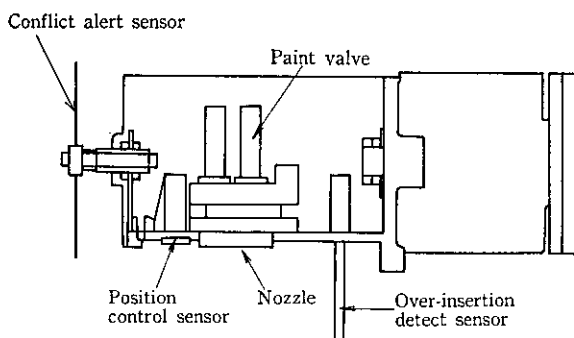


Fig. 6 Construction of marking head

使用すると、センサの投受光面が印字塗料によって汚れて誤動作するという問題が当初に発生した。これについては、センサの投受光面をエアバージするなどの改良を行って解決している。

過進入防止センサは、位置決めセンサ故障時の管内への印字ヘッド過進入を防止するためのものである。センサの検知レバーに管端部が当たると、内部のマイクロスイッチが動作して、ロボットが非常停止するようになっている。

以上述べたような安全装置を印字ヘッドに組み込んだことにより、安定した稼動が継続されている。

5.2 ペイントバルブ

印字ヘッドの中心部分には7台の小型ペイントバルブがあって、その各々から内径が0.1mmないし0.2mmの金属製ペイントチューブが印字ヘッドの外表面に向かって延びている。ペイントバルブの構造をFig. 7に示す。バルブケースの中にはソレノイドがあって、その励磁によって固定鉄芯が磁化されると、可動鉄芯が吸引され、シートと球形プラグの間に間隙が生じ、ペイントチューブにペイントが圧送される。ソレノイドの励磁が切られると、固定鉄芯の磁力はなくなるので、スプリング力によって球形プラグはシート

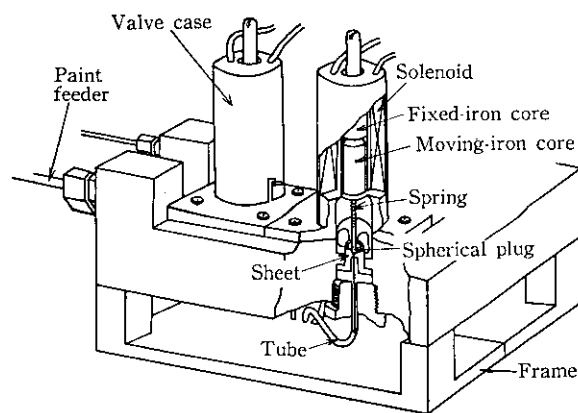


Fig. 7 Construction of paint valve

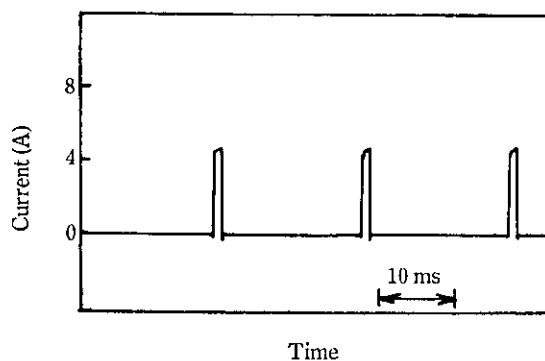


Fig. 8 High-speed responses of solenoid

に押し付けられ、ペイントの吐出が遮断される。したがって、ソレノイドが通電されている間だけペイントがノズルから吐出され、被印字対象物の表面にドット状のマーキングが行われることになる。

Fig. 8は、マーキングロボットが実際に印字動作中に、ソレノイド電流を測定して記録したものである。ペイントバルブは(株)マークテックにより開発されたものであるが、1ms以内の高速応答性を有するものであり、その応答性が最大の特徴である。

印字文字の横幅寸法は印字ヘッドの旋回速度とソレノイドの通電周期によって決まるが、印字文字の高さ寸法は一列に並んだノズル列の長さによって機械的に決まる。そのため、文字高さを適当な寸法にして判読し易くするため、Fig. 7にも示されているように、7本のペイントチューブのうち4本については曲げ加工したものを用いている。曲げ加工したものとしていないものではチューブの長さも異なっている。

設計の当初においては、ペイントチューブの曲げ形状と長さの差異は印字文字の品質には顕著に影響しないものと予想していたが、マーキングされたドットの径のばらつきとマーキングの安定性はペイントチューブの寸法と形状に依存することが事前実験によって明らかとなった。そして、ペイントチューブの内径および先端部形状、ソレノイドの通電時間、スプリングのバネ定数に最適値のあることがわかった。また、ペイントの供給圧力を所定の範囲にコントロールすることによってマーキングの安定性が増すこともわかった。したがって、実機マーキングヘッドにはこのような対策がなされたものを用いている。

5.3 ペイント

本マーキングロボットに用いている印字用ペイントの成分を

Table 2 Ingredient of the paint

Ingredient	Concentration (%)
1, 1, 1-trichloroethane	80
Stabilizer	6
Cellulosic resin	9
Pigment { Titanium oxide	4
Prussian blue	1

Table 2 に示す。ペイントは青味を帯びた白色の顔料系ペイントである。ペイント色としてはこれ以外にも各種のものの選択が可能である。

6 教 示

本マーキングロボットは汎用の数値制御ロボットであるので、使用前に教示（ティーチング）が必要である。しかし、印字対象とする管の寸法（外径，肉厚）が変更される都度教示を行うことは、無人化設備として適当でない。したがって、製造される鋼管の全ての寸法をカバーできるように、複数の動作プログラムをロボットコントローラに事前登録しておいて、必要に応じて対象とするプログラムを自動選択するようにしている。

ロボットの動作経路は、基本的に Fig. 9 のようになっている。鋼管内での円弧動作は、管端位置の変化に応じて空間内で相対的に変化する。これまでの汎用ロボットには、空間内に固定された円弧を描く機能はあったが、移動中にセンサ信号を受けて円弧動作開始点を変更する機能はなかった。今回のように管の内面印字を目的とするマーキングロボットでは、安定したマーキングを行う上でこの相対円弧動作機能は必要不可欠である。本機能のプログラム開発はフナック（株）にて行われた。

印字対象材の外径と肉厚の組み合わせを 53 種類のグループに分類し、さらに 2 箇所の印字ポジションを考慮した上で、ホームポジション移動動作を加え、107 個の教示プログラムを組み込んでいる。

ロボットアームを人が実際に動かして、107 個の教示プログラムを直接教示することは、大変に時間を要する作業である。そこでロボット動作の計算機シミュレーションを事前に行い、教示のための空間座標を求めておいてから、ロボットアームを実際に動作させることなくロボットコントローラに数値をキーボード入力するようにした。このような間接教示方式の採用によって、直接教示方式の約

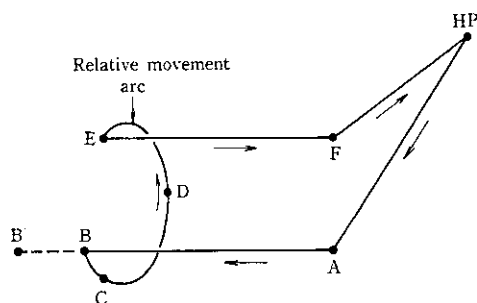


Fig. 9 Approach sequence of marking robot

1/10 の時間で全ての教示作業を完了することができた。

7 安全対策

労働省は、産業用ロボットによる作業の安全を目的として、昭和 58 年 6 月、労働安全衛生規則の一部を改正する省令を公布し、同年 9 月には「産業用ロボットの使用等の安全基準に関する技術上の指針」を公示している。

したがって、マーキングロボットの設計と運用においても各種の安全対策を以下のように実施している。

- (1) 鉄製の安全さくをロボットの周囲に設置して、出入口以外の箇所から可動範囲内に人が立入れないようにする。
- (2) 自動運転中に安全さくの出入扉が万一開くようなことがあれば、ロボットが自動停止するようにする。
- (3) 教示運転中にはロボット速度を強制的に低速化する。
- (4) ロボット運転状態が明確にわかるように状態表示灯を設置する。
- (5) 安全さくの内外に非常停止スイッチを取り付ける。
- (6) 印字ヘッド先端部の衝突防止センサ（5.1 参照）には人が触れても検知してロボットが非常停止できるものを用いる。
- (7) 検査および教示の作業が第三者にもわかるように、「作業中」札を作成して使用を義務付けた。
- (8) 検査、教示および点検に関して作業規定を設定すると共に、操作教育と保全教育を徹底した。

8 結 言

多関節ロボットのアーム先端に小型の印字装置を取り付けたマーキングロボットを開発し、知多製造所中径継目なし鋼管工場にて実用化した。ドットスプレイ方式によって非接触で印字する方式であるため、鋼管などの曲面であっても問題なくマーキングできるのが特徴である。

中径継目なし鋼管工場ではピース管理を目的に、鋼管の内面に文字をマーキングする用途に用いているが、無人化運転によって 3 人の省力を達成し、現在順調に稼働を続けている。

ただし、現状のものは印字ヘッドの寸法の制約があって、管内径が 150 mm 以下のものには適用できない。さらに小径サイズの鋼管にも適用するには、印字ヘッドの小型化を進める必要がある。

一方、適用範囲を大径鋼管にも拡大するべく、UOE 鋼管（外径 20~64 in）の出荷マーク印字用にも既に開発を完了している。これは千葉製鉄所 UOE 鋼管工場にて実機化の予定である。UOE 鋼管のマーキングロボットは、鋼管の内外面に、寸法の異なる文字・記号を多段式に最大 800 文字まで印字できるようにしたもので、印字のためのソフトウェアが非常に充実したものになっている。中径継目なし鋼管工場と UOE 鋼管工場の両者の基本的なロボット構成は全く同等である。

同様に、ロボットのプログラムを変更すれば管以外の形状を有するものへの印字も可能である。

今回のロボット開発では多くの貴重な経験と技術を得たが、これを今後活用して工場の FA 化をさらに図っていきたい。

おわりに、当システムの開発にあたり、多くの助言とご支援をいただいた（株）マークテックおよびフナック（株）の関係者各位に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) たとえば井内和義, 上岡正治, 田辺哲夫, 山崎訓由, 広川登志男, 浅沼真二, 清水 信, 石川博章, 古川 隆: 鉄と鋼, 71 (1985) 5, S 369
- 2) 実用産業用ロボット技術便覧編集委員会: 「実用産業用ロボット技術便覧」, (1985), 213-231, (産業技術調査会)
- 3) 安藤次雄, 上杉 斉, 田口芳男, 野沢健吾, 間口龍郎: 川崎製鉄技報, 11 (1979) 2, 228-239
- 4) 佐山泰弘, 富樫房夫, 江島彬夫, 阿部英夫, 船生 豊, 桜田和之, 間口龍郎, 田口芳男: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 1-13
- 5) 船生 豊, 藤原高矩, 桜田和之, 新玉幹夫, 山本清美, 莊司吉信: 川崎製鉄技報, 15 (1983) 4, 288-295
- 6) 伊賀和博, 桜田和之, 船生 豊, 相山茂樹, 野沢健吾, 笠原博二: 鉄と鋼, 71 (1985) 5, S 309
- 7) マークテック: 実用昭 58-128658