

電縫管シーム検出装置の開発

Development of the Weld Detector for Electric Resistance Welding Pipes

電縫管の製造工程では、シーム部(溶接部)の信頼性試験として、水圧試験や超音波探傷試験が行なわれているが、これらの試験を行なうに当たって、シーム部を所定位置(上側)になるように鋼管をセットする必要がある。この作業は従来、電縫管をターニングローラに積載し、検査員がシーム部を目視により検出して、ターニングローラの回転、停止を行なっている。しかし、この作業は熟練を要し、工程上のネックとなっている。このニーズに対応して、電磁超音波を利用した電縫管シーム検出装置を開発した。本装置は電磁超音波(横波)の底面エコーがシーム部で著しく減衰する現象を利用したもので、従来、検出困難とされていたシーム部焼なまし処理済みの鋼管でも検出可能である。

中野哲男* Tetsuo Nakano
新井美也** Yoshiya Arai
藤本 実*** Minoru Fujimoto
門脇孝志*** Takashi Kadowaki
佐藤式也**** Ichiya Satô

1 緒 言

電縫管などの溶接鋼管は、溶接技術の進歩により継目(シーム)の信頼性が向上し、かつシームレス鋼管に比べて低価格であることから、広く用いられるようになってきた。この電縫管の製造プロセスは図1に示したようになっていて、同図中、矢印で示したシーム部焼なまし工程、水圧試験工程及びシーム部超音波検査工程では、シーム部が所定位置になるように鋼管をセットする必要がある。すなわち、シーム部焼なまし工程では、焼なまし用の誘導加熱コイルがシーム上にくるようにセットすること、また、水圧試験では、シーム欠陥部からの水漏れを監視するためシーム部を上向きにすること、超音波試験では、超音波探触子をシーム部の所定位置にセットするためシーム部を検出することが、それぞれ必要である。従来は、検査員が目視によりシーム部を検出し、位置合わせを行っていたが、この作業は熟練を要し工程上のネックと

なっている。
このニーズに対応して電縫管シーム検出装置の開発に着手し、各種検出方式を検討した結果、横波モードの超音波が材料の応力状態に敏感なことから、これを容易に発生できる電磁超音波法が有効であることが分かった¹⁾。本方式は電磁超音波(横波)の底面エコーがシーム部で著しく減衰する現象を利用したもので、従来検出困難とされていたシーム部焼なまし処理済みの鋼管でも検出可能である。

2 検出原理

2.1 各種検出方式の検討

開発に当たり、各種検出方式を実験検討した。その結果を表1に示す。同表で超音波法は、圧電素子形の探触子を用いて鋼管に超音波(縦波)を入射させ、底面からのエコーが母材

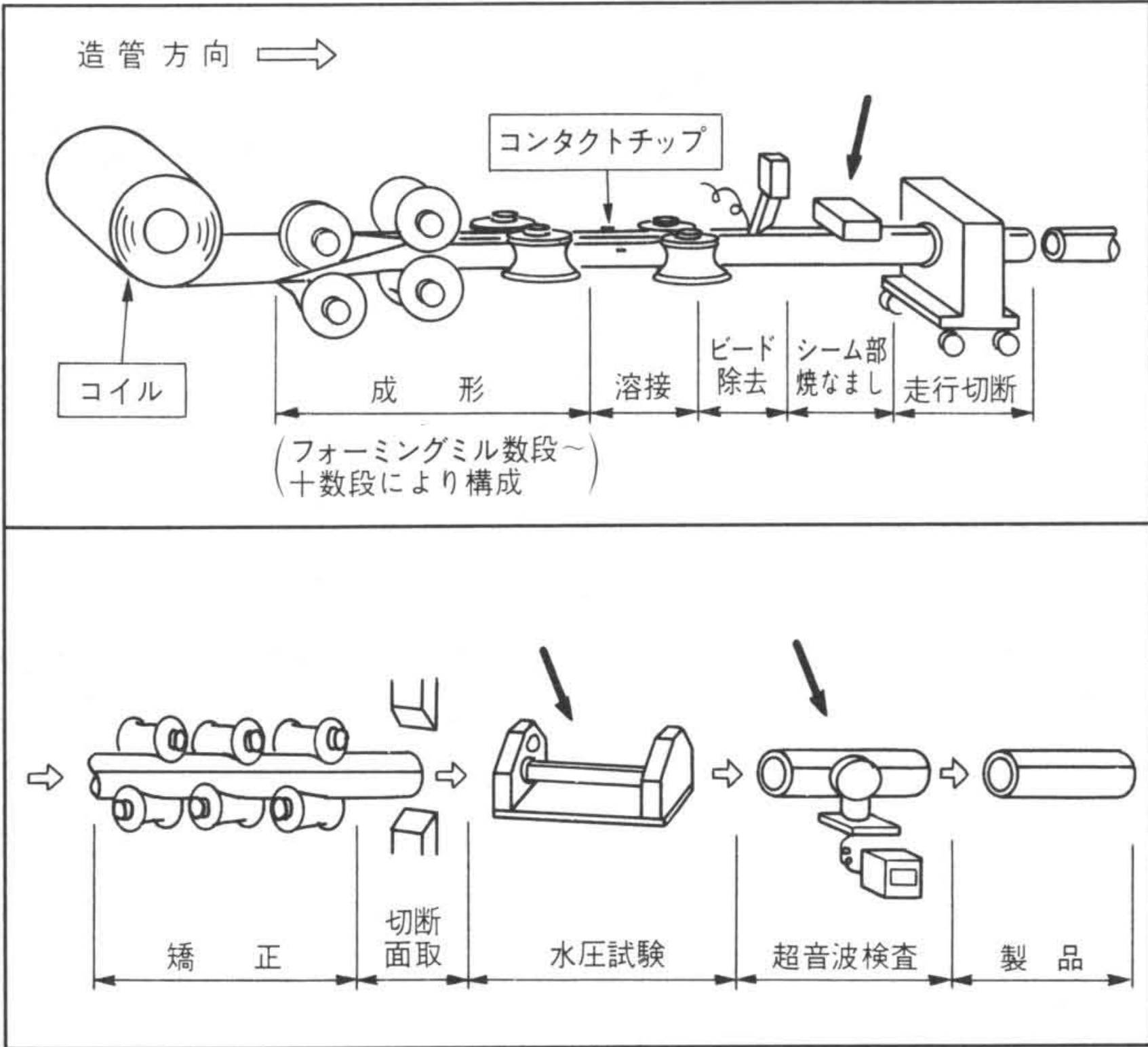


図1 電縫管の製造プロセス 電縫管の製造プロセスでのシーム検出必要箇所を示す。

表1 各種検出方式の検討結果 各種検出方式を実験、検討した結果、電磁超音波(横波)方式が有効であることが判明した。

方 式		超 音 波	渦 流	磁 歪	電磁超音波
原 理	底面エコーの変化により検出	表示装置 縦波 検出器 接触媒質	検出コイルインピーダンス変化により検出	二次コイル電圧差を検出 二次コイル 差動アンプ	底面エコーの変化により検出 表示装置 横波 検出器
	組 織	○	—	—	○
	抵抗率	—	○	—	—
	透磁率	—	○	○	—
接触又は非接触		接触 (接触媒質使用)	非 接 触	非 接 触	非 接 触
検 討 結 果		×	×	×	○

* 日本鋼管株式会社京浜製鉄所管理部 ** 日本鋼管株式会社京浜製鉄所システム部 *** 日立製作所国分工場 **** 日立製作所日立研究所

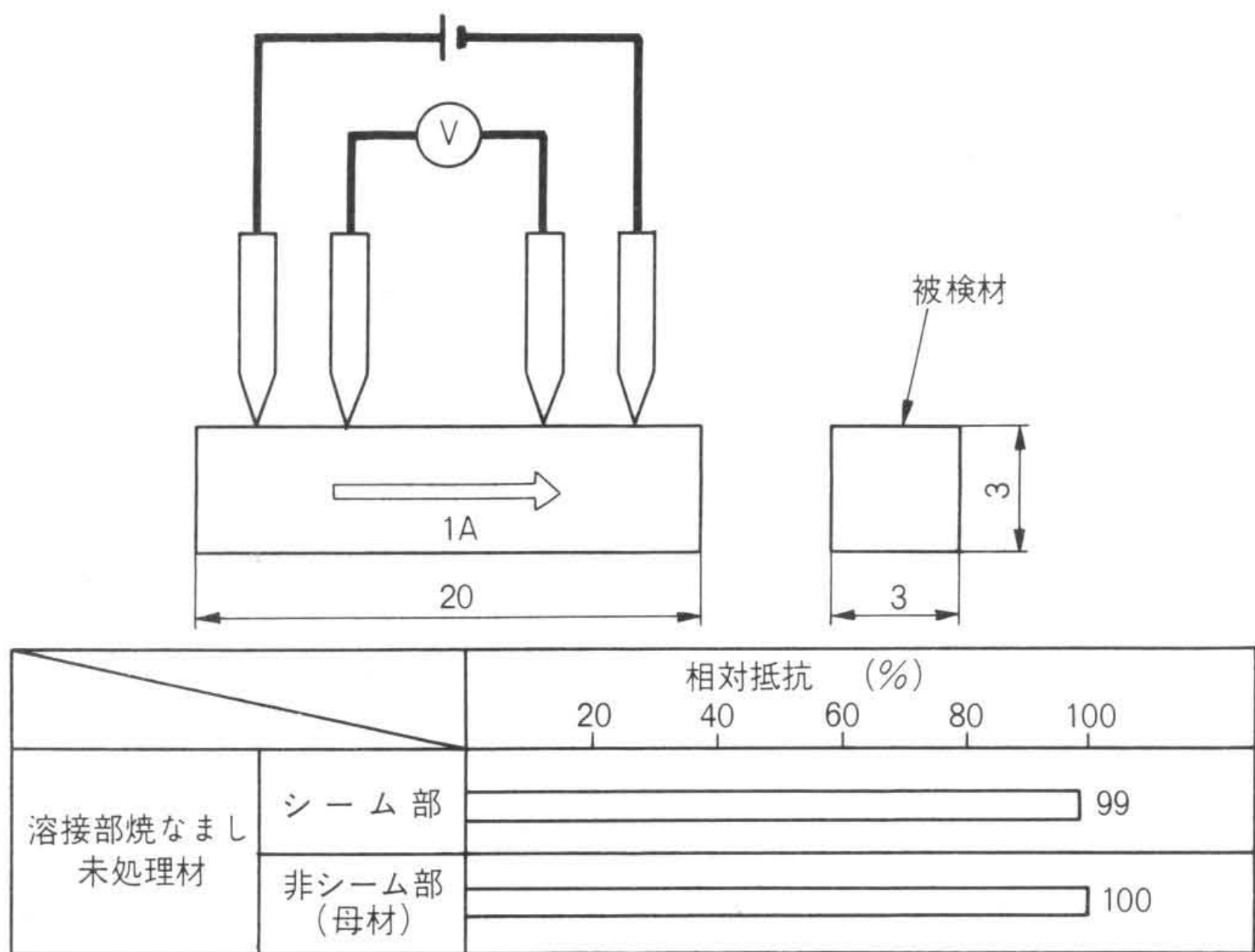


図2 母材とシーム部の抵抗率 電縫管の母材とシーム部では、抵抗率の有意差はない。

部とシーム部で変化するかどうかをみる方式である。実験の結果、母材とシームではほとんど有意差が見られず、不適であることが分かった。

次に渦流方式であるが、これはシーム部での透磁率、抵抗率変化をとらえて、シーム検出するものである。実際に鋼管から供試品を切り出し、抵抗率、透磁率を測定したところ、図2に示したように、抵抗率の変化はないと言ってもよいことが分かった。また、図3によれば、シーム部と非シーム部(母材)の比透磁率に差が見られる。渦流方式はこの透磁率、抵抗率の変化を検出コイルのインピーダンス変化としてとらえるものであるが、実験したところ、焼なまし処理済みの鋼管ではS/N比が悪く、検出不可能であった。

磁歪方式は、鋼管に一次コイルにより磁束を与えて鋼管中を通過してくる磁束を二次コイルでとらえ、鋼管の透磁率変

化を電圧変化として検出するものである。本方式も実験の結果S/N比が悪く検出不可能であった。

電磁超音波方式は、電磁力により超音波(横波)を発生させ底面からのエコー変化を検出するものである。本方式によるとシーム部で著しい底面エコー減衰現象がみられ、検出可能であることが判明した。

2.2 電磁超音波法の原理

電磁超音波法は、磁界と渦電流との相互作用により電磁的に超音波を送受信するもので、被検材に対し、本質的に非接触で、横波・縦波いずれのモードでも超音波を送受信できる。したがって、従来の超音波法に比べ、接触媒質を必要としないという大きな特長をもっている。そのメカニズムを図4を用いて説明する。

被検材(導電性材料)に磁界が与えられた状態で、送受信コイルを高周波でパルスの励磁すると被検材表面に渦電流が流れ、フレミングの左手の法則に基づく力(ローレンツ力)が働き、機械的変位(超音波)が発生する。この超音波は被検材表面から垂直に伝搬し、欠陥あるいは被検材の底面で反射して再び表面へ戻ってくる。超音波が表面へ戻ってくると静磁界中で被検材が機械的変位をすることになり、フレミングの右手の法則に基づく起電力が生じ誘導電流が発生する。誘導電流が発生すると、その誘導電流の周波数に応じた磁界が発生し、この磁界を送受信コイルで電圧信号として受信する。

ここで、磁界が渦電流の生じる面に対して垂直なときには、発生する超音波は横波モードとなり、平行なときには縦波モードとなる。

2.3 シーム検出原理

電磁超音波法を用いて電縫管に横波を発生させ、その底面エコーを観測すると、シーム部で著しくエコーが減衰するという現象がみられる。種々実験検討の結果、電縫管シーム部にはメタルフローという組織の流れがあり、これにより横波モードの超音波は散乱されることが分かった¹⁾。この減衰の様子を図5に示す。

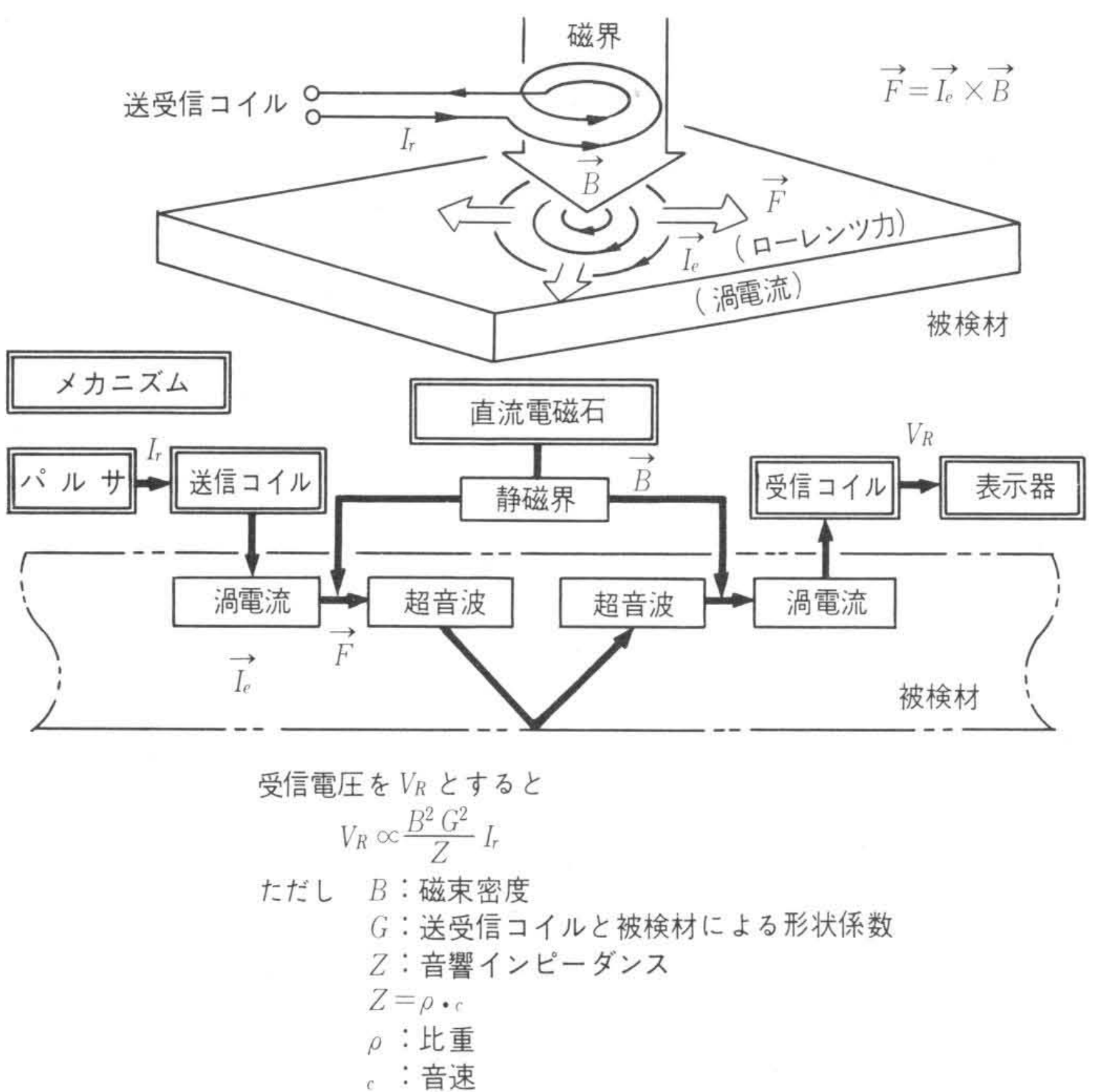


図4 電磁超音波送受信原理 被検材が導電材の場合、電磁力により超音波の発生、検出を行なうことができる。

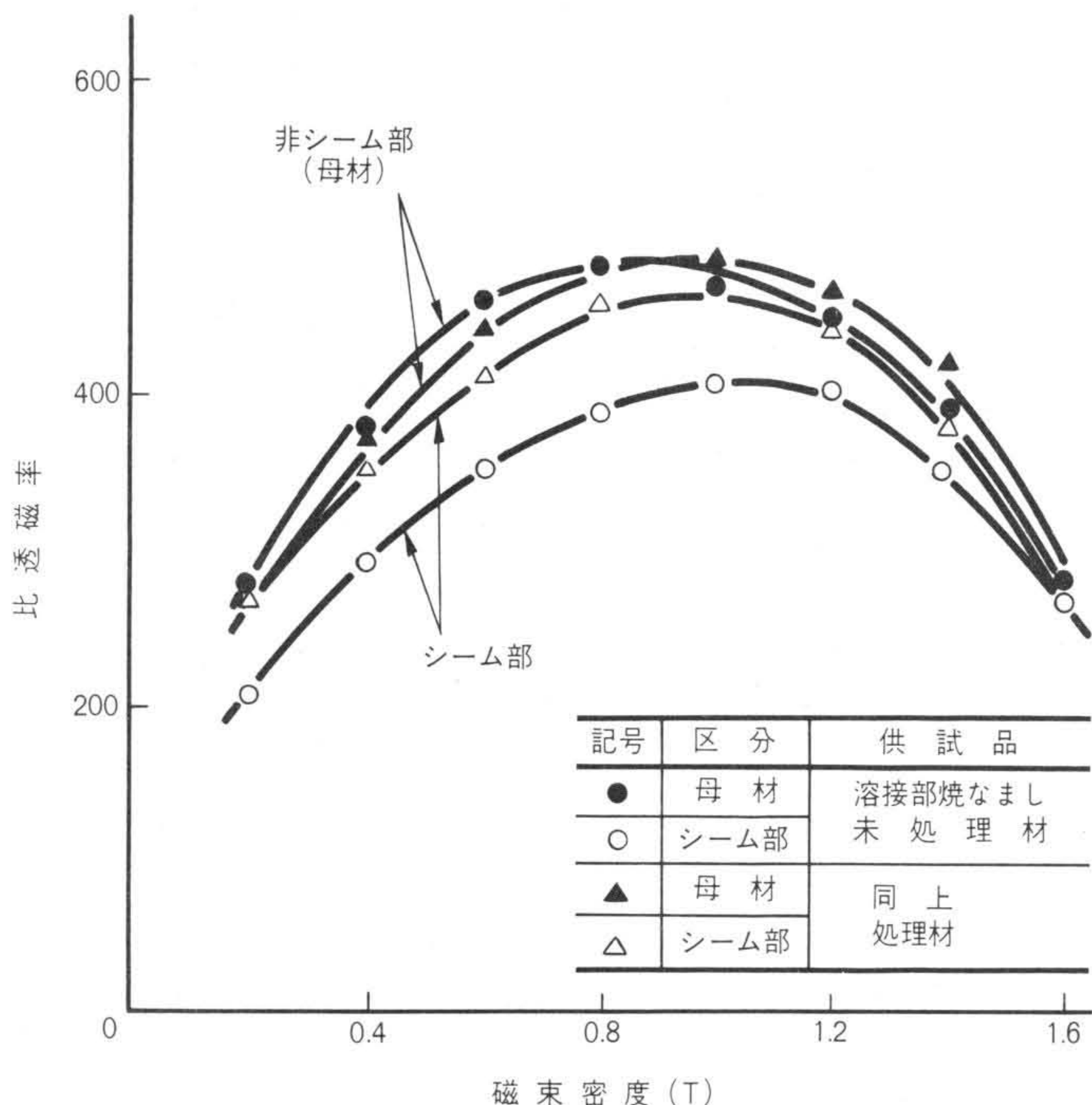


図3 母材とシーム部の透磁率 電縫管の母材とシーム部では、透磁率に有意差が認められる。

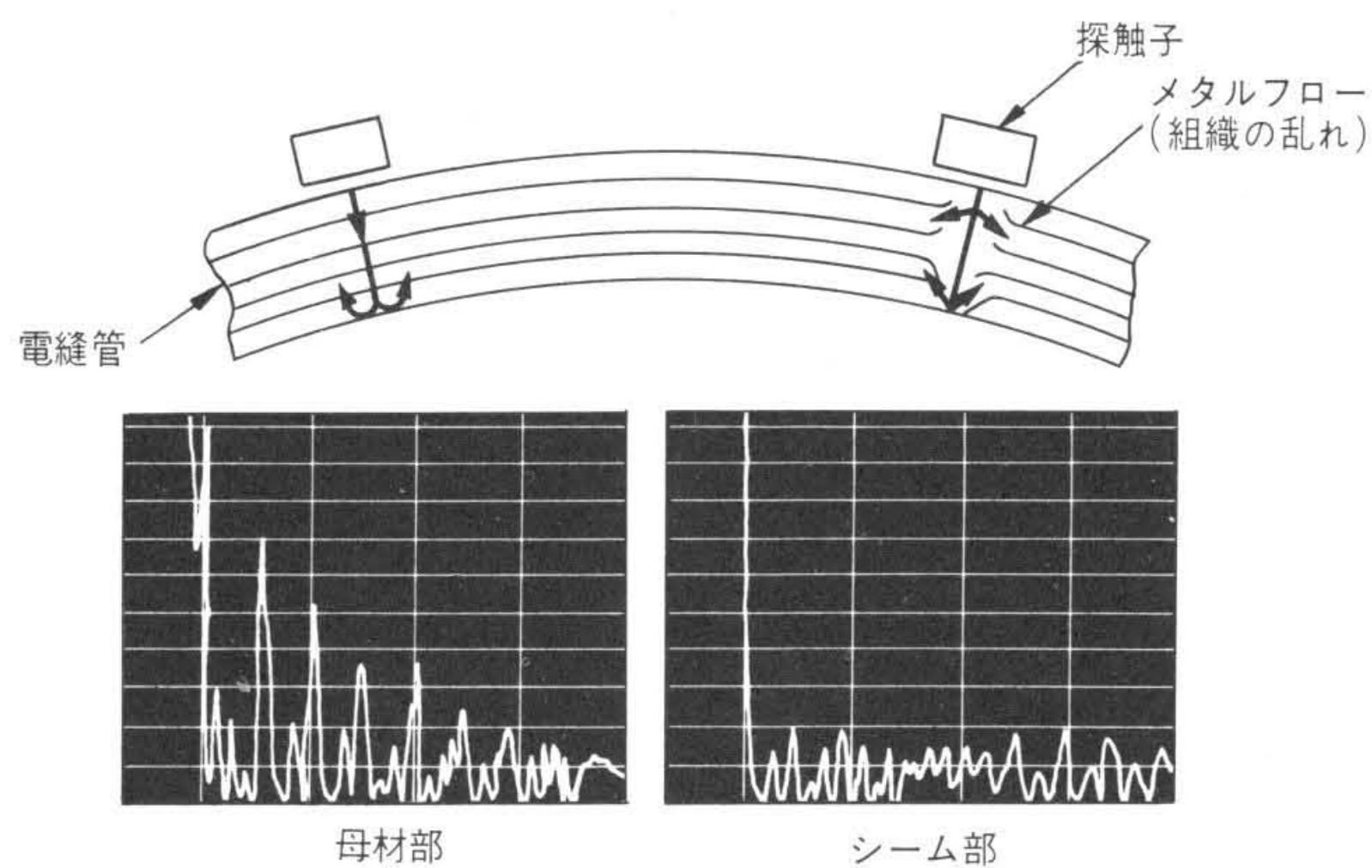


図5 シーム検出原理 横波の超音波を電縫管に入射させると、母材部では底面からの多重エコーが見られるが、シーム部ではメタルフローにより音波が散乱減衰する。

3 装置の構成

上記のような検出原理に基づき開発した電縫管シーム検出装置のブロック図を図6に示す。探触子は、磁界シミュレーションにより超音波発生効率が最大となるように設計された電磁石と送受信コイルから成っている。

また、信号処理部は探触子間の電磁石を励磁するための定電流電源、送受信コイルを励磁するパルサ、送受信コイルからの微弱信号を増幅、信号処理する同調増幅、検波、ピークホールド、サンプルホールド、フィルタ、検出演算回路など、最新の高周波アナログ技術を駆使し、微弱信号を高S/N比で取り出している。

本装置を用いて検出実験した一例を図7に示す。同図は外径139.8mm、肉厚4.5mmの鋼管を試験用ターニングローラに積載し、鋼管を周速400mm/sで回転させたときの検出波形である。シーム部でエコーが減衰するため、出力電圧がシーム部で低下しておりS/N比=12dBで検出している。

4 装置の特長と仕様

今回開発した電縫管シーム検出装置は、下記のような特長をもっている。

- (1) 従来困難であったシーム部焼なまし処理済み鋼管(PA材)でもシーム部の検出が可能である。

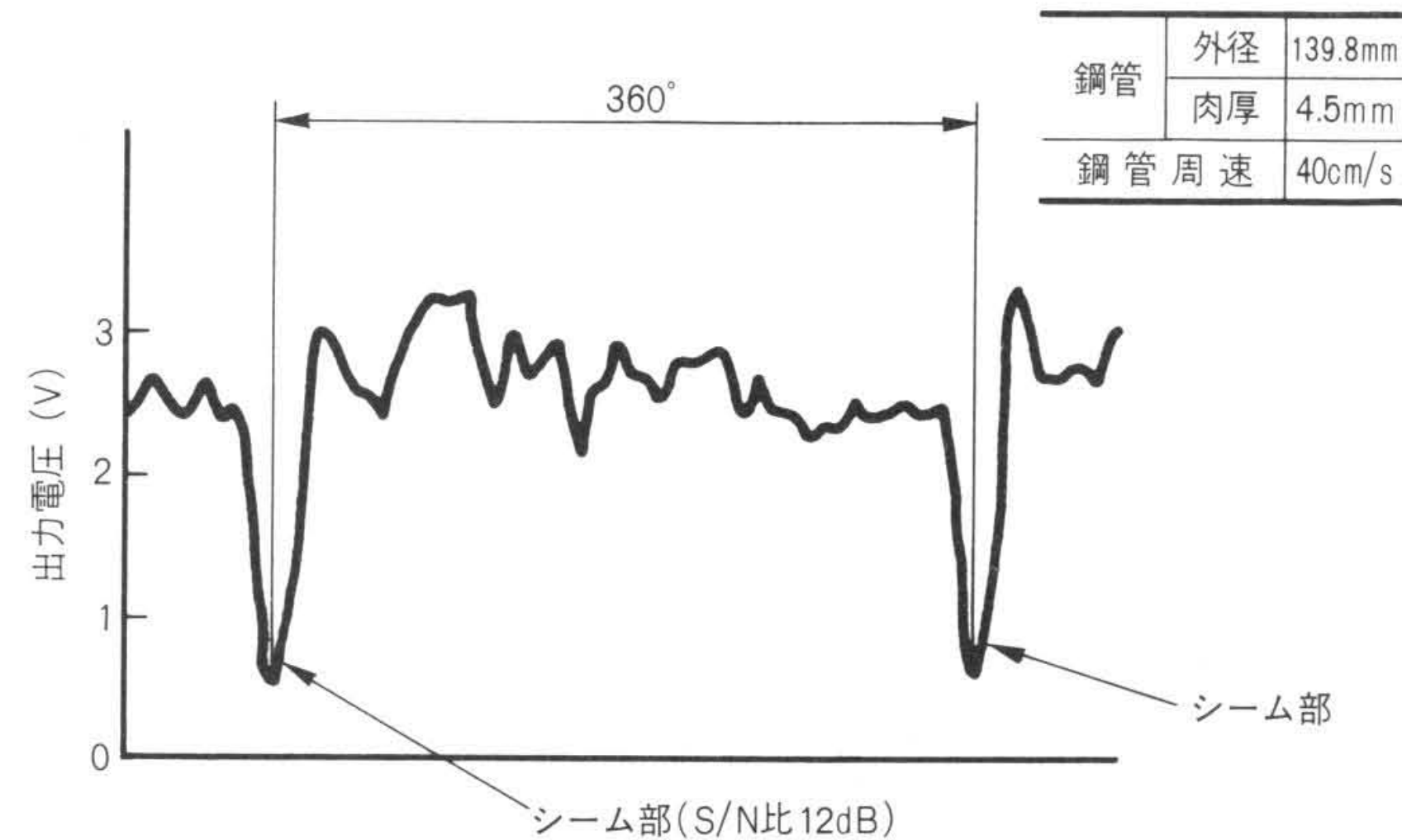


図7 シーム検出波形例 鋼管を試験用ターニングローラに積載し回転させたときの検出波形例で、シーム部でエコーが減衰するため出力電圧が低下している。

- (2) 水などの接触媒質が不要で、保守が容易である。
- (3) 高速回転の鋼管でも適用可能である。

また、表2に開発品の仕様を示す。2MHzの超音波を用いて検出精度±5mmを得ている。

5 適用例

上記のような電縫管シーム検出装置の適用例として、日本鋼管株式会社京浜製鉄所に設置された例を紹介する。本シス

表2 開発品の仕様 2MHzの横波電磁超音波により、検出精度±5mmを得ている。

品名	項目	仕様
探触子	形式	SR-I60A
	超音波周波数	2MHz
	波動モード	横波
	重量	約20kg
信号処理装置	形式	HISEAM-90
	検出出力	無電圧a接点
	精度	±5mm
対象鋼管	品名	電縫管
	温度	常温
	回転速度	Max.0.8m/s

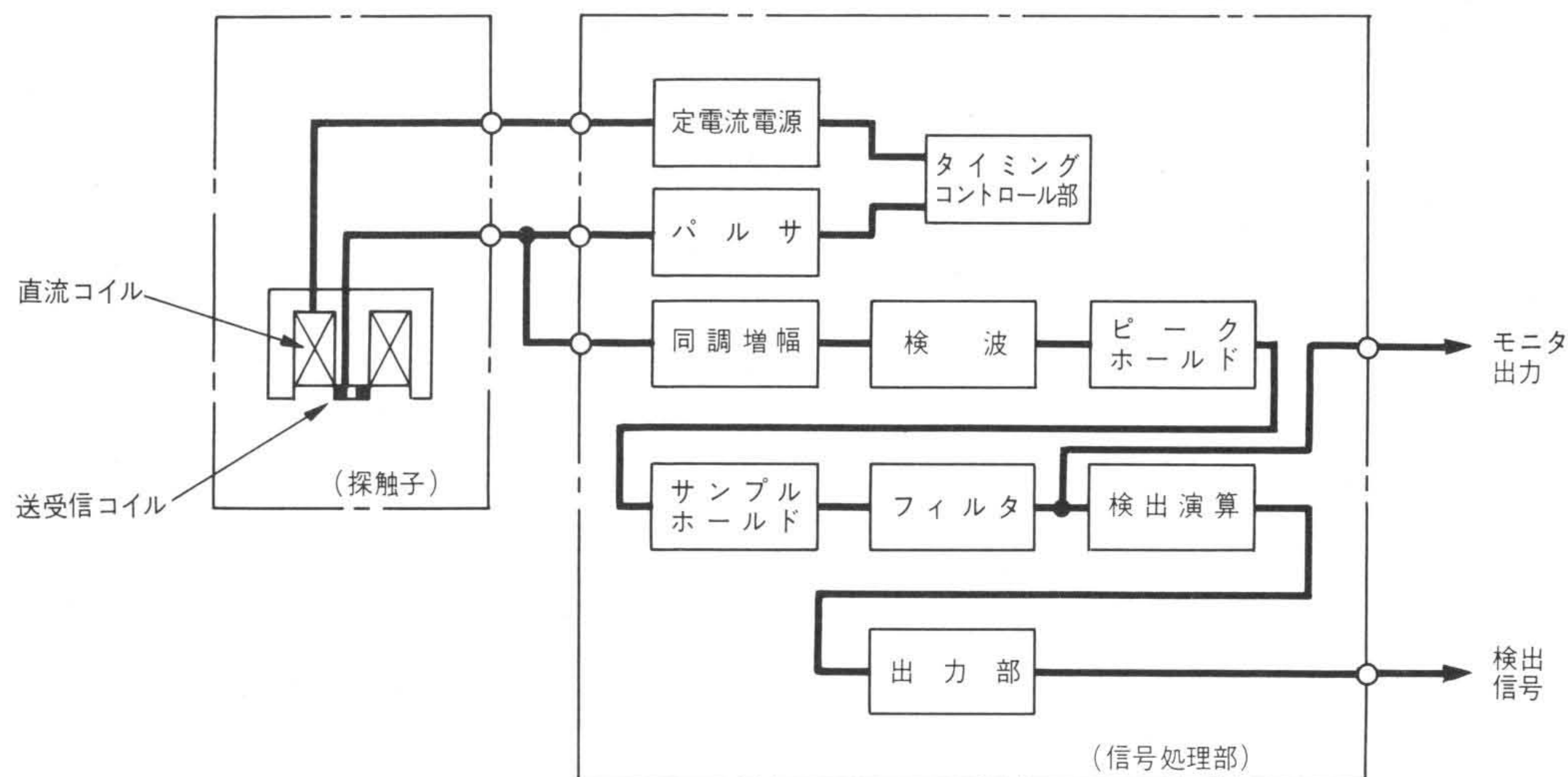


図6 シーム検出装置ブロック図 信号処理部ではS/N比を向上させるため、ピークホールド、フィルタなどのアナログ回路技術を駆使している。

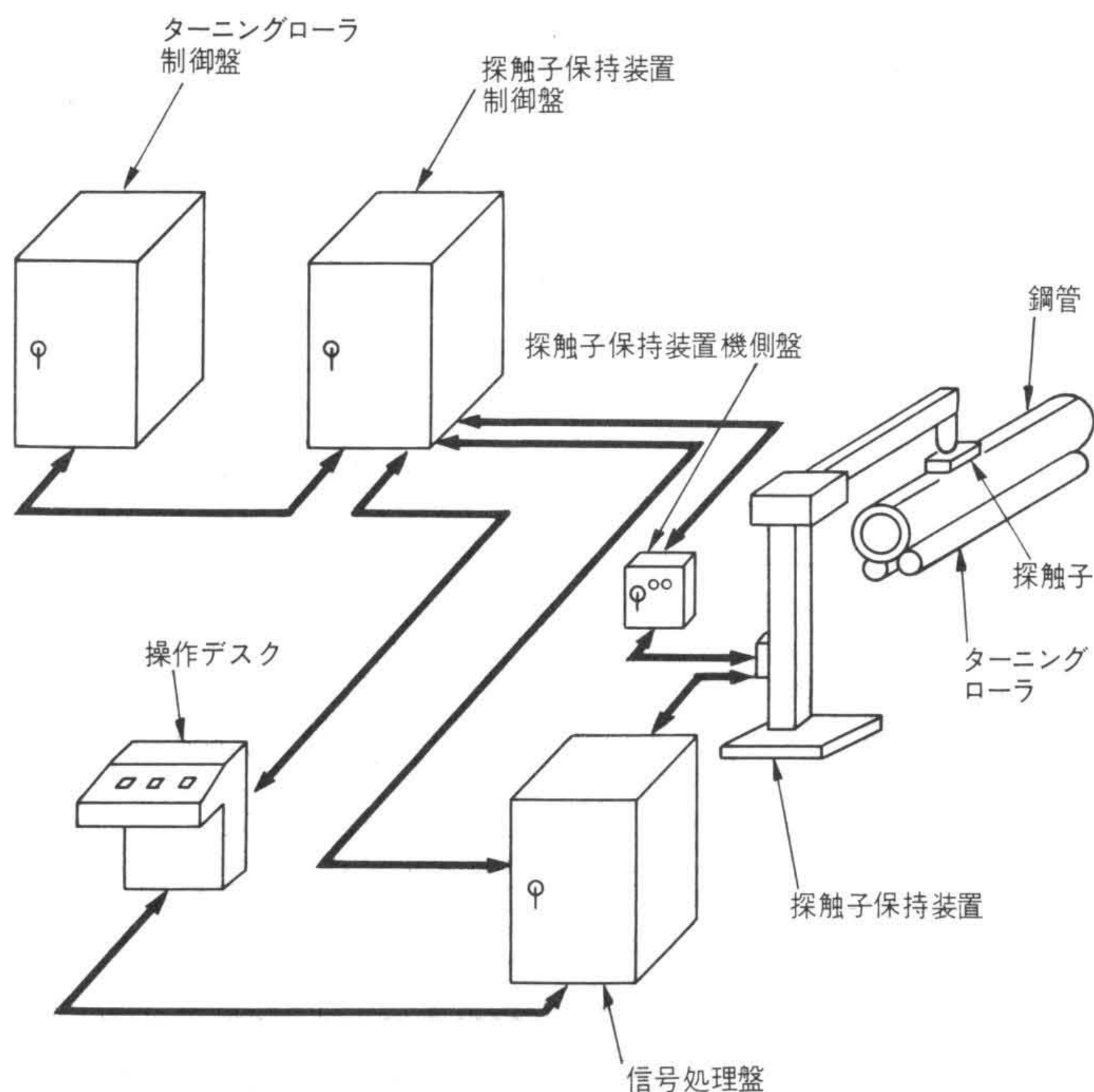


図8 電縫管シーム検出装置システム構成 シーム検出装置は、探触子、探触子保持装置機側盤、信号処理盤、探触子保持装置制御盤、操作デスクから構成され、別途準備のターンローラ制御盤と組み合わせて鋼管の自動位置合せ作業を行なう。

テムは図8に示すように構成されている。探触子保持装置制御盤は別途準備のターンローラ制御盤と信号の送受をすることによりターンローラの回転・停止を行ない、鋼管のシーム部上向け作業を自動的に行なう。

図9に探触子保持装置の外観を示す。鋼管径が変わった場合の探触子位置セットは、操作デスクから自動的に行なえる。

本システムはマーキング装置と組み合わせてシーム部にマーキングを施し、マーキング識別により鋼管の管理と水圧試験でのシーム部上向けの両方を行なうようにしたものである。図10を用いてこれを説明する。まず、鋼管をCW(時計方向)

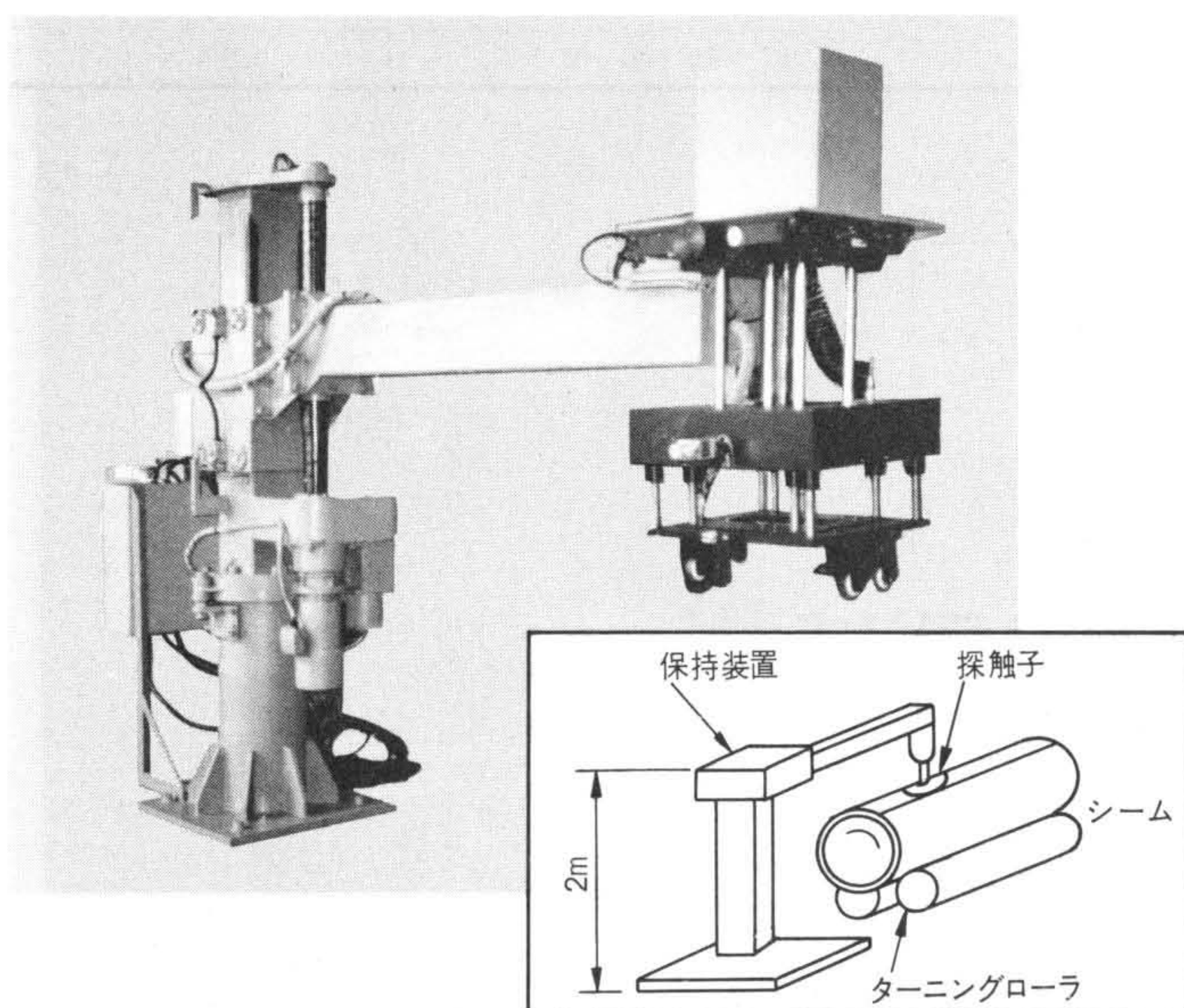
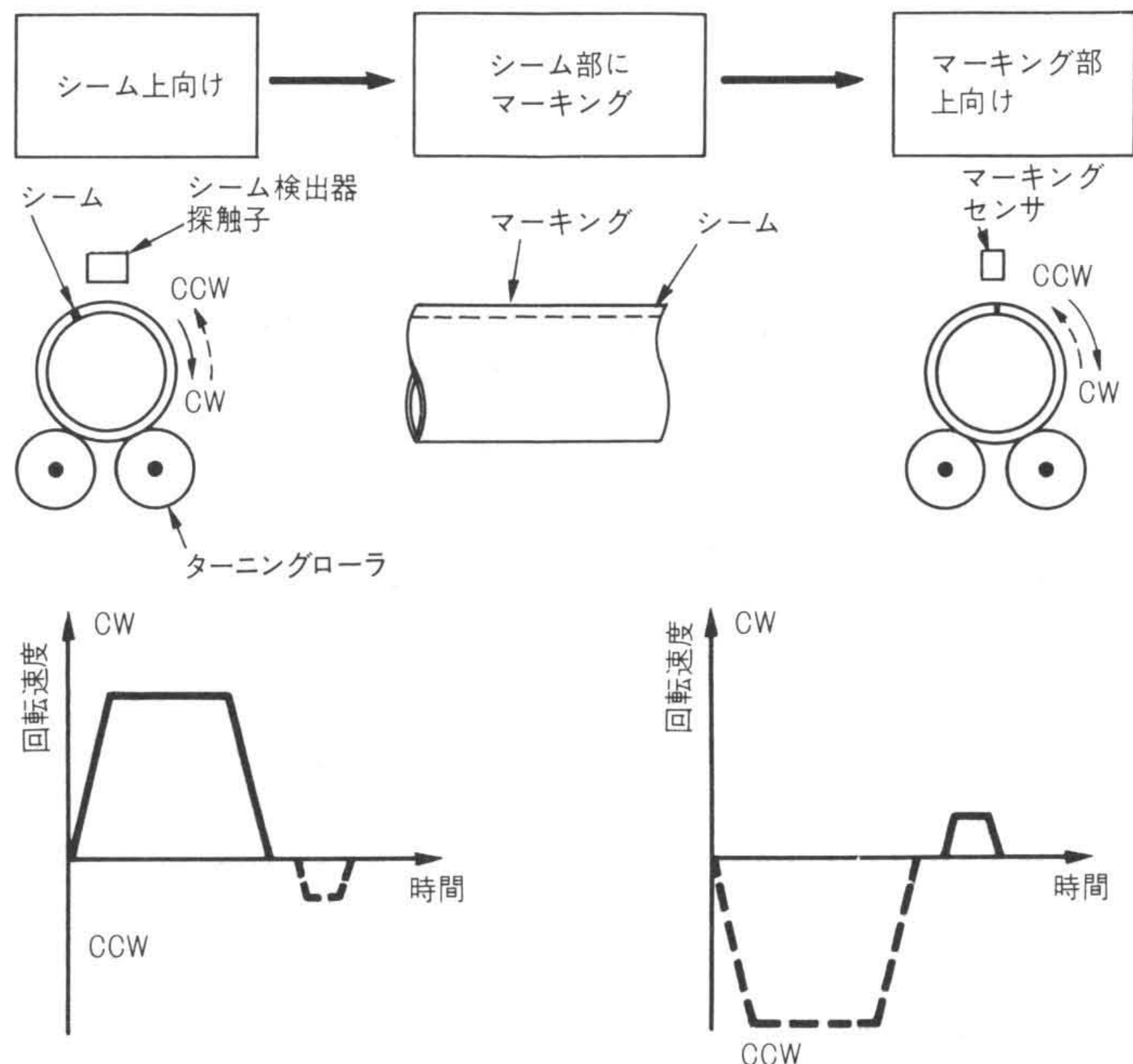


図9 探触子保持装置の外観 探触子保持装置は、鋼管径に応じて探触子の位置をセットするためのもので、操作デスクから自動セット可能である。



注：略語説明 CW(時計方向)、CCW(反時計方向)

図10 シーム位置上向け制御方法 シーム検出装置を用いてシームを検出し、シーム部にマーキングを施す。次に、マーキングセンサを用いてマーキングを検出することにより、シームが上向きになるようにする。

に回転させ、シーム検出器でシーム部を検出する。このとき、シーム検出信号が出てから鋼管が停止するまでに遅れがあるため、シーム部は真上を過ぎて停止する。このずれを小さくするため、次に $\frac{1}{5}$ の周速でCCW(反時計方向)に回転し、シーム検出信号で停止させている。シーム部にマーキングを施した後、搬送ラインで水圧試験場へ送り、ここではシーム検出時と反対方向に鋼管を回転させて、マーキング検出を行なうことによりシーム部の位置決め精度を高めている。

本システムは昭和58年6月に稼動を開始し、順調に運転されている³⁾。

6 結 言

電磁超音波を利用した電縫管シーム検出装置を開発した。これにより、従来、目視により行なわれていた水圧試験前でのシーム上向け作業の自動化が可能となった。

また、本開発品の検出精度は±5mmであるが、今後改良を図り、超音波検査ラインあるいはシーム部焼なましラインへも適用できるように精度の向上を図っていく考えである。

なお、本論文では電磁超音波法の一応用例として電縫管シーム検出装置について述べたが、電磁超音波法は他に厚さ計測あるいは探傷と用途が広く²⁾、これらについて現在、製品化が進められている。

参考文献

- 1) 藤本, 外: 電磁超音波法による溶接部検出装置の開発, (社)日本非破壊検査協会第2分科会資料, No.2920(昭57-5)
- 2) 伊東, 外: 電磁超音波法による計測センサとその応用, 計装, p.26~31(1984-3)
- 3) 中野, 外: 電縫管シーム検出装置, 日本鉄鋼協会, 第107回鉄鋼連合講演会予稿(昭59-4)