

小口径導管検査ロボットの開発

Development of Inspection Robots for Small Pipe Lines

全国の都市ガス業者の埋設導管の総延長は約15万kmに及び、この埋設ガス配管の安全を確保するためには、配管内外壁の欠陥、腐食などの異常を検出し、ガス漏れによる事故を未然に防ぐ必要がある。この見地から、ガス配管の内部を走行する種々の検査ロボットの研究開発が進められてきているが、特に、我が国での主要ガス配管の一つである口径2B用の小口径配管検査ロボットの实用機の早期開発が大きな課題となっている。

このような状況下で、このたび東京ガス株式会社と日立製作所の共同開発により、分岐エルボなどを含む複雑なガス配管系内に検査装置を自動挿入する口径2B用導管検査ロボットの实用機を開発するとともに、小口径ガス導管の自動検査技術を確立した。

富田鏡二* *Kyôji Tomita*
高木 淳* *Atsushi Takagi*
栗田真一** *Shin'ichi Kurita*
坂本清詩** *Kiyoshi Sakamoto*
内藤紳司*** *Shinji Naitô*

1 緒言

配管の保全を目的として、配管内外壁のき裂、欠陥、腐食などを検査するというニーズは古くから高く、超音波や磁気によって水平直管内外部を探傷する技術は昭和30年代から実用化されている。しかし、曲管や垂直管などを含む口径2B(2inガス配管)の複雑な配管系の検査は、エルボなどの曲管部の通過技術の難しさからその対応が遅れていた。一方、最近、各プラントシステムの高信頼性の要求は高まりつつあり、とりわけ、ガスや石油など輸送用の配管系でも、万一の場合の大きな被害も想定され、これらの配管系の検査装置の実用化がクローズアップされてきている。この分野の内外の実情を見ると、英国ではBGC(British Gas Corporation)が大径管用導管検査装置を完成、実用化し、西ドイツでもRICO社が大中径管用導管ロボットを開発し実用化が進められている。しかし一方、小径管については国内外で研究開発段階にあるのが現状である。

2 開発の背景とねらい

現在、全国の都市ガスの埋設導管の総延長は約15万kmに及んでいる。この導管資産を維持、管理し、配管の保全を確保するためには、埋設導管の健全性を診断し、特に腐食などが進行した導管については入替作業などの対策を行なう必要がある。しかし、住宅の密集化、道路舗装の高級化、交通量の

増加などの環境要因による社会的影響度及び保全費用の増大は、配管診断のための新しい検査技術を求めるに至っている。

図1は、導管が埋設された状態で健全性を診断し評価するための技術テーマと開発項目を示すが、これらの要請にこたえるシステムとして導管検査ロボットの開発に着手するに至った。

3 導管検査ロボットの特徴と構成

前述のような都市ガス業界のニーズに基づき、以下の基本開発仕様を満たす導管検査ロボットの開発を進めた。

- (1) 走行配管は、2Bガス配管とし、配管途中のソケット、T形分岐管、90度エルボ管などの継手管の通過走行を可能とする(図2)。
- (2) 超音波センサ、渦流センサなどの探傷センサを搭載し、上記(1)の走行を可能とする。
- (3) 管の一端からの装置の挿入を可能とし、1箇所掘削によ

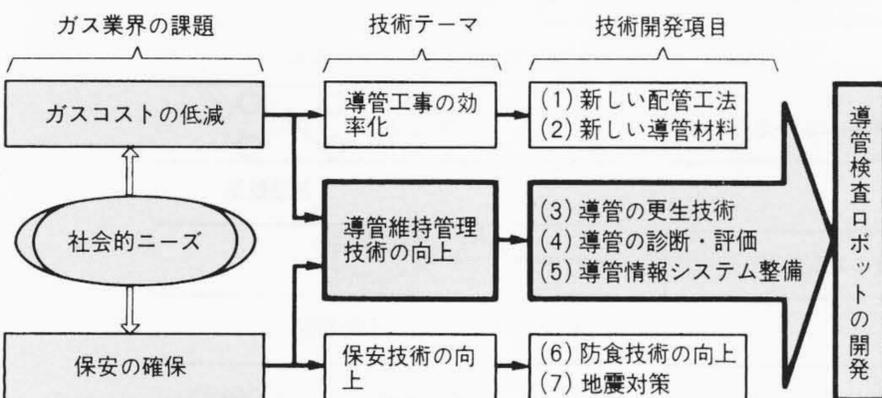


図1 ガス供給技術テーマ 最近のガス業界の技術開発テーマを示す。導管ロボットの開発ニーズは本技術テーマから生まれた。

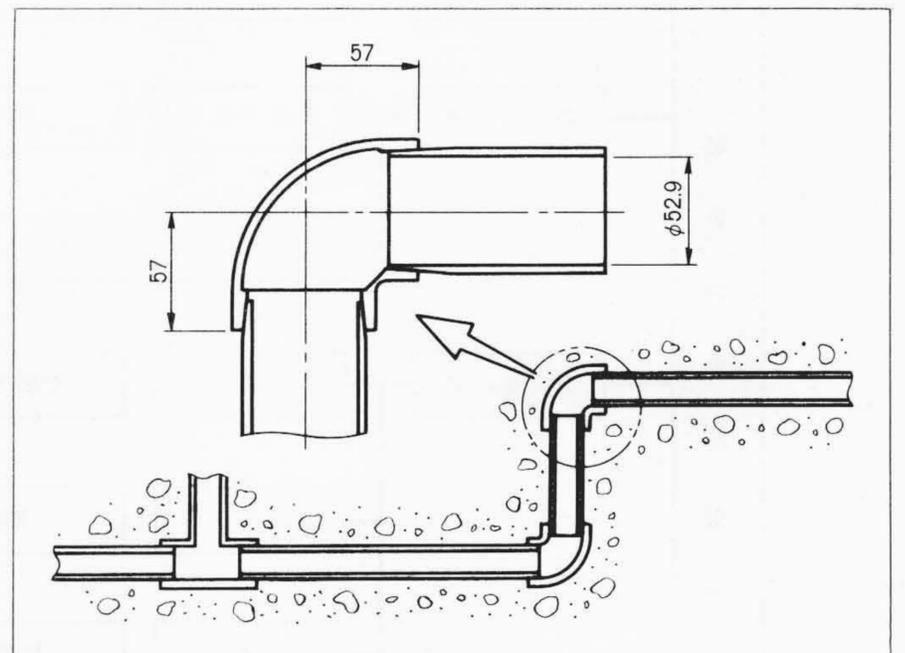


図2 都市ガス配管継手例 2in90度ねじエルボの敷設例を示す。

* 東京ガス株式会社SIP2部 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所エネルギー研究所

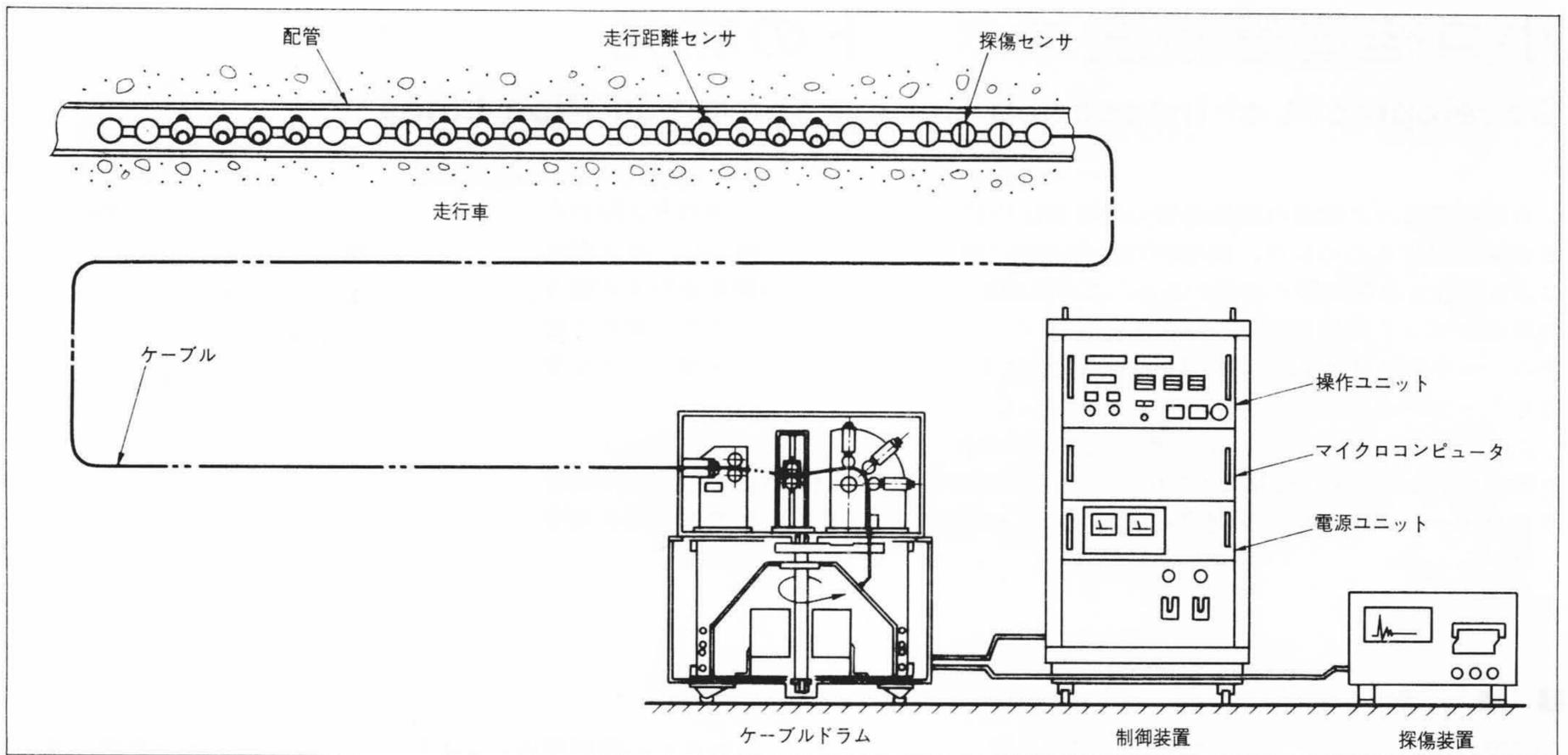


図3 導管検査ロボット構成 配管の探傷を目的とする導管検査ロボットのシステム構成を示す。

る検査を可能とする。

(4) 管内走行距離の検出を可能とし、管内探傷データとともに位置情報を記録することを可能とする。

以上の基本仕様を備えた導管検査ロボットの構成を図3に示す。

導管検査ロボットは、探傷センサを搭載し管内を移動する走行車、探傷及び走行車制御通信用ケーブル、ケーブルドラム、制御装置、探傷装置から構成されている。

4 ロボットの構造

4.1 走行方式

小径配管内に超音波センサ、渦流センサなどの管内検査装

置を挿入する方式には、図4に示すように、自走式、押込式などの機械的な走行方式と、管内の作動流体を積極的に利用した圧送方式が考えられる。更に、自走式による管内走行形態としては車輪形、クローラ形、ぜん(蠕)動形、歩行形などの各方式が挙げられる。

このように、原理的にはさまざまな管内移動方式が考えられるが基本開発仕様を示したように、1箇所の開口部からの自動走行が可能で、かつ探傷センサの搭載性及び位置決め性の良い管内移動方式としては、機械的な自走式が最適と考えられ、これを採用した。

設計では、走行能力の評価とともに、機構の信頼性、保守取扱いなど、実際の配管検査現場での実用性をポイントとし

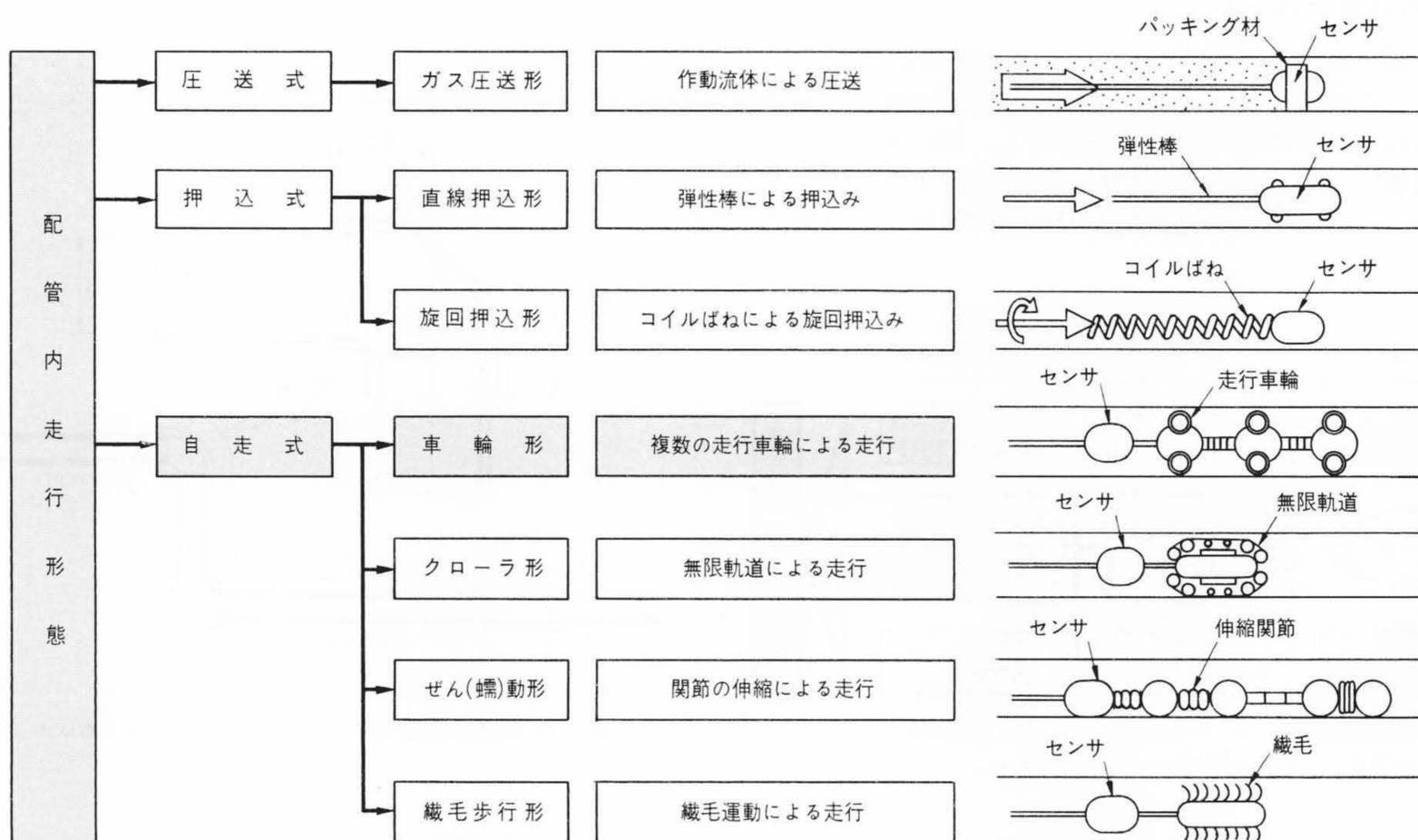


図4 配管内走行形態の検討 小径配管内に管内検査センサを挿入するための管内走行形態を示す。

て、図5に示す要因について総合的に評価した結果、特に下記の点で優れている車輪形走行方式を採用した。

- (1) 構造が他の方式に比較して簡素、堅ろうである。
- (2) 全姿勢の走行が可能で、走行の制御が容易である。
- (3) 1台のアクチュエータに複数の駆動車を設けることにより牽引力の増加が可能で、アクチュエータ出力を効率よく利用できる。
- (4) 複数の駆動車を設けることにより、他の方式に比較して継手の通過性に優れている。

4.2 走行機構

ロボットの構造は図6に示すように、大別すれば複数個の球体とこれらを互いに連結するフレキシブルカップリングから構成されている。球体には、走行駆動電動機を搭載する電動車、走行車輪を駆動する駆動車、減肉検知用渦流センサを搭載するセンサ車など、機能の異なる球体が各々連結されており、外形寸法は90度エルボの通過性を考慮し、配管内径に対して最適の寸法に各部が適合するように設計されている。

また、フレキシブルカップリングは、走行車が90度エルボを通過できる十分な弾性をもって球体間を連結するとともに、走行駆動電動機の出カトルクを駆動車に伝達する機能を併せ

て備えた構成が必要であり、トルク伝達用とトルク反力保持用の二つの円筒コイルばねを同軸上に組み合わせた構造を採用した。

このフレキシブルカップリングの長さ、直径、素線径などの諸元は、球体と連結した状態で、90度エルボの通過性が最適となる曲げ剛性を得るように設計されており、かつトルク伝達及びけん引力によるばねの引張荷重を考慮して、ばねの塑性変形を防止するために、ばねの伸びを規制するストッパを設けた構造を採用した。

走行車のけん引力は、車輪の粘着係数、押付力及び走行駆動車数によって決まるが、このうち粘着係数の大きさは車輪の材質によって定まるため、けん引力の向上を図るためには、押付力又は走行駆動車数を増加させる方法が考えられる。しかし、押付力を強化した場合、段差乗り越え時の所要けん引力も同時に増加するために、押付力を強める方法には限界があり、高けん引力を得るためには駆動車数を増やすことが有効である。

そこで、本機構の走行車は、1台の電動車に4台の駆動車を連結した構成を1編成とし、所要けん引力に応じて任意の編成数に接続可能な構成としている。また、探傷センサ車も同様に、コネクタ車により容易に脱着交換が可能な構造を採用しており、管内検査の目的によってセンサを選択することができる。

また、ケーブルについては、探傷データ、制御信号の通信線及び給電線をすべて金属ら(螺)線管で被覆したフレキシブルケーブルを開発し、電線の保護とケーブルけん引時の摩擦抵抗力を低減する構造を採用した。

4.3 ロボット仕様

表1に導管検査ロボットの基本性能を示す。

本装置は走行車を3編成連結で構成した場合、15kg以上のけん引力を発揮し、90度エルボ4個を含む曲管50m以上を走行速度約1m/minで点検走行することが可能である(図7)。

また、先頭車に搭載した障害物検出センサにより、90度エルボの検出が可能で、更に、2台の走行駆動車に各々搭載した走行距離センサにより、配管内に継手などの段差があっても、いずれか一方のセンサで走行速度及び走行距離の検出が

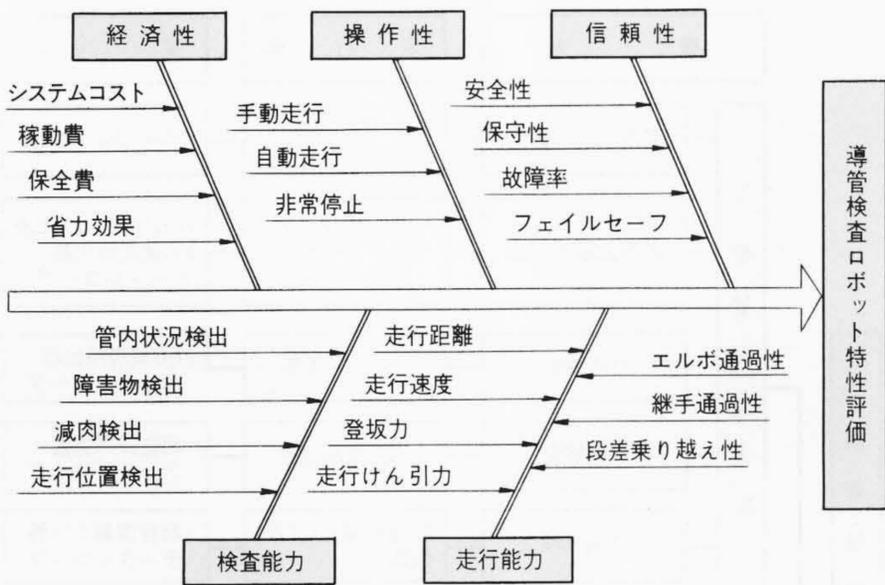


図5 導管検査ロボット特性要因 導管検査ロボットのシステム評価要因を示す。

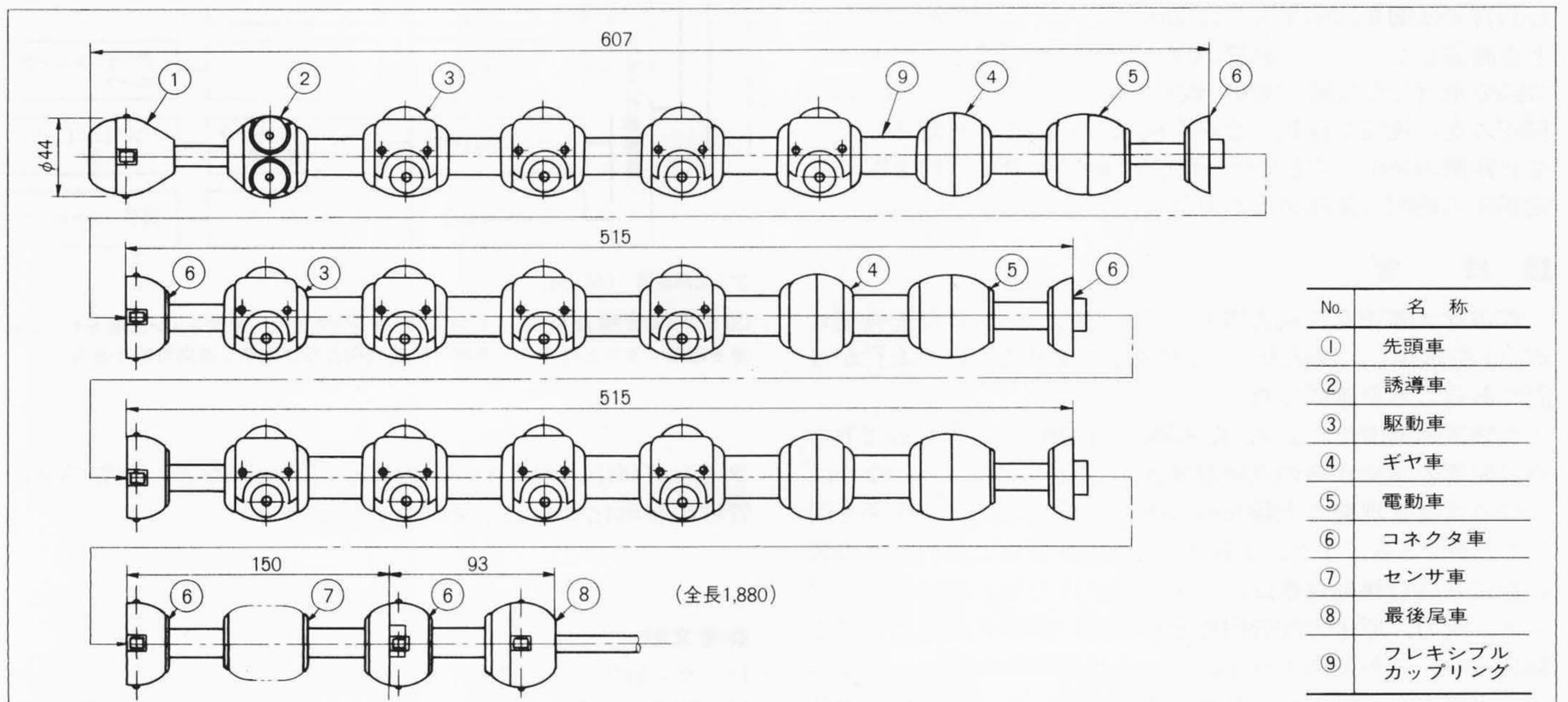


図6 走行車構成 車輪形走行方式による管内走行車構成を示す。3台の直流電動機、12台の駆動車及びセンサ車により構成されている。

表1 ロボット基本性能 機械継手の90度エルボを除く配管系を走行可能である。また、水平直管では100m以上の走行能力をもっている。

No.	項目	性能
1	対象配管	(1)管径：SGP50A(内径52.9mm) (2)継手 ねじ継手：ソケット，チーズ，P管，エルボ 機械継手：ソケット，チーズ
2	走行距離	50m以上(水平)
3	エルボ通過数	90度ねじエルボ4個以上
4	総けん引力	15kg以上
5	走行速度	1 m/min以上

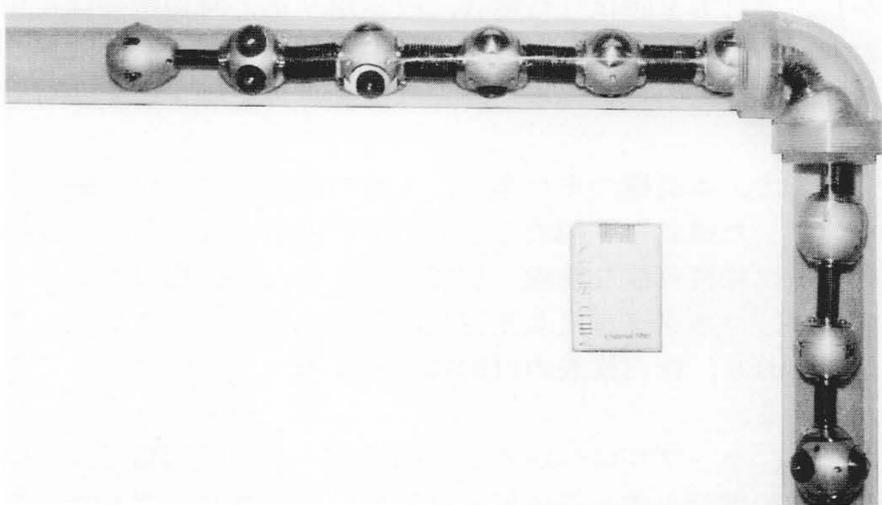


図7 走行試験状況 90度エルボ通過試験状況を示す。すべての姿勢で90度エルボの通過が可能である。

可能である。

ケーブルドラムは、マイクロコンピュータ制御により、走行車の走行に同期してケーブルの送り出し及び巻取りを行なう機能を具備している。

5 試験結果及び評価

走行車に渦流センサを搭載し、2 B模擬配管内を走行させた試験の結果、直管では100m以上、また90度エルボ4箇所を含む曲管では図8に示すように50m以上の走行が可能であることを確認した。また、配管の腐食状況については、掘上げ管で部分走行した結果、減肉の激しい箇所については、1 m/min程度の走行速度で移動しながら検知可能なことを確認した。走行距離の検出に関しては、直管100mの配管で、約2%の測定誤差の範囲で距離検出が可能であることを確認した。

6 結 言

都市ガス導管支管検査用として、車輪走行形の導管検査ロボットを試作し、渦流センサを搭載して2 B曲管内の走行が可能であることを確認した。

本装置の実用化により、従来極めて困難であった口径2 Bの埋設配管の腐食状態の点検が非掘削で行なえることになり、導管の維持管理費の大幅な節減と、効果的な保安の確保を図ることができる。また、2 Bガス配管内を自由に走行し検査装置を送り込む移動技術は、ガス導管だけでなく石油化学プラント、火力、原子力配管内などの検査、補修作業用としても幅広いニーズが見込まれる。このような移動技術は、図9に示すオプション機能をもたせることによって、導管の腐食状態のチェックばかりでなく、ライニング検査、配管内部のグ

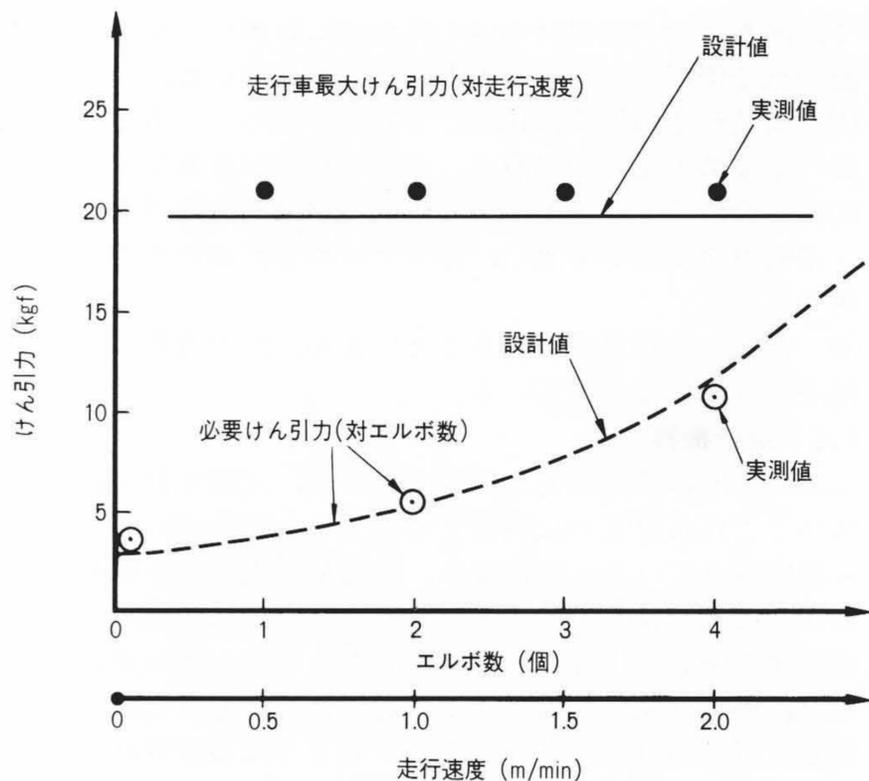
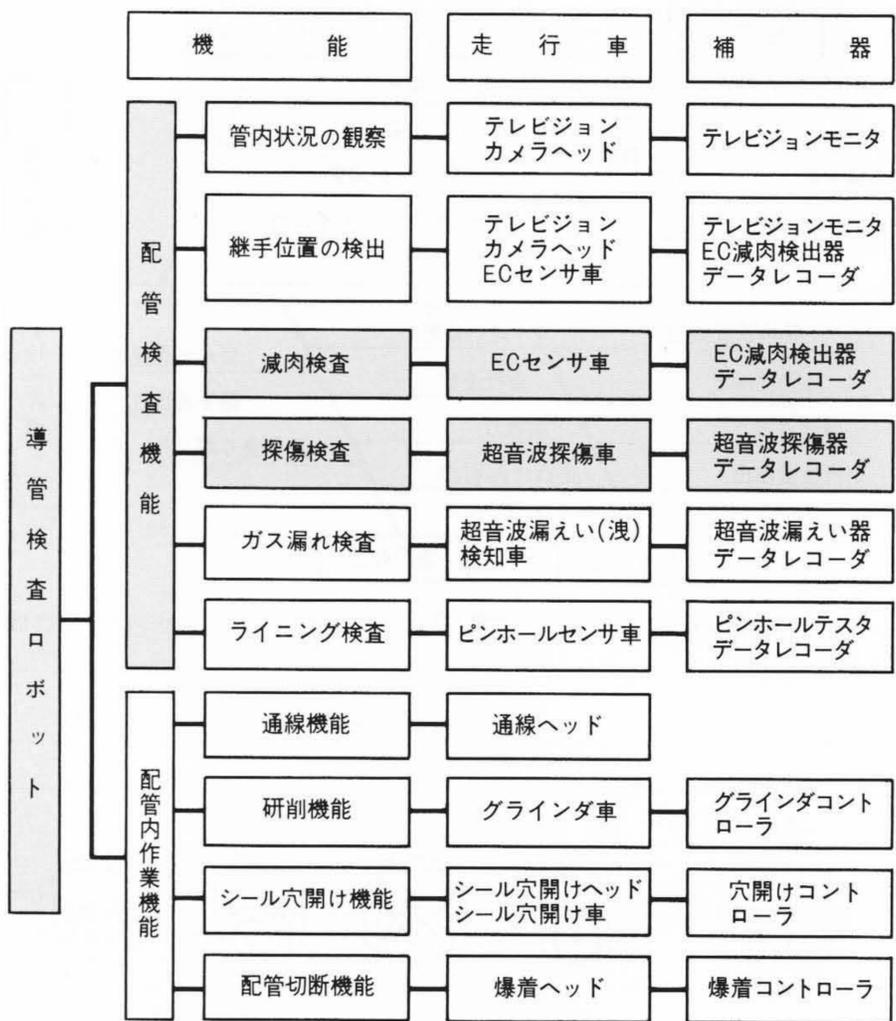


図8 走行車けん引力測定結果 50m配管での必要けん引力及び走行車最大けん引力を示す。



注：略語説明 EC(Eddy Current)

図9 導管検査ロボットオプション機能 オプション機能をもつ走行車を連結することにより、多様な配管内検査及び作業に適応可能である。

ライニング研削、解体配管の内側からの切断など、導管の維持管理の自動化に幅広い適用が可能である。

参考文献

- 1) ガス事業便覧，日本ガス協会(昭59)
- 2) 配管内を自由に移動するロボット，日経メカニカル(昭59-4)
- 3) 知能移動ロボットシンポジウム資料，日本ロボット学会(昭59-6)