

KUBOTA CORPORATE
COMMUNICATION MAGAZINE

水道管用管内調査ロボット

1/5

水中ロボが水道を探索する

——水道管用管内調査ロボット

■ 水中ミニロボット

筒状の水槽の中を小さな潜水艇がゆっくり航行する。潜水艇にはケーブルがつながっており、その航行の様子は、海の中をイカが思いっきり全身を伸ばして泳ぐ様子にどこか似ている。潜水艇の先端からは白い光が放たれ、その行く手を照らす。

潜水艇のサイズはちょっとしたプラモデルぐらいだが、その本体外側にはスクリューもなければ、水平翼、垂直翼もない。いっさいの突起物がない。にもかかわらず潜水艇は回転している風もない。いったい、どうやってこの安定航行を維持しているのか？装置の中で泳ぐ不思議な潜水艇の様子を見ていて、まずこのことが頭に浮かんだ。

潜水艇はパイプの外からコントロールされている。潜水艇と何十mものケーブルでつながった制御装置をオペレーターが動かし、操縦しているのである。

ここはクボタ鉄管研究部の実験棟。この小さな潜水艇とは、実は、クボタが東京大学生産技術研究所の浦環教授（海中工学研究センター長）とともに共同開発した「水中ロボット」だ。もう少し正確にいうなら「水道管用管内調査ロボット」、地下を毛細血管のように走る上水道管路の内部状態を調べるために開発された水中調査ロボットである。筒状の水槽とは上水道管路を模した試験管路だ。直径30cmほどで長さは30mにものぼり、さまざまな流速、水圧条件をつくり、調査ロボットの性能試験を行う装置なのである。



ロボットの長さは286mm（下はタバコ）



ロボットから送られてくる画像をモニターで確認しながら、その動きを制御する



ロボット挿入・回収装置（試験管路にて）

KUBOTA CORPORATE
COMMUNICATION MAGAZINE

水道管用管内調査ロボット

2/5

■ 水中ロボ・その開発の背景

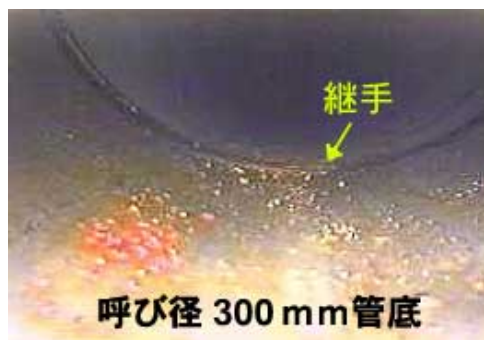
この「水道管用管内調査ロボット」の開発に携わったクボタ鉄管研究部の戸島敏雄（副部長）に、その開発背景を聞いた。

「わが国の上水道普及率は平成11年で96.3%、老朽管の更新を含めた上水道管路の維持管理が重要課題となっているわけです」

こうした老朽管の更新や維持管理においては、まず、既設管路の状況を的確に把握する必要がある。いわゆる“管路診断”である。例えば、老朽管の更新に関していうなら、そもそも更新の必要性があるのか、ないのか？ あるとしたなら、どの管路を優先的に更新すべきなのか？ 水道事業体にとってはきわめて重要なテーマである。そのためには、とにもかくにも管路の内側の状態を調べる必要があるのである。

管内面はきれいかどうか？ 管と管をつないでいる部分（継手部分）の状態がどうなっているか？ さらに出水不良や赤水などの問題が発生した時にはその原因を究明しなければならない。

「水道管用管内調査ロボット開発の背景には、こうした水道事業体からの切実なニーズがあるのです」



水中ロボットから送られてくる管内の映像
—継手部分も明瞭に映し出される

2/5

back

next

KUBOTA CORPORATE
COMMUNICATION MAGAZINE

水道管用管内調査ロボット

3/5

■管路診断のエース技術として

しかし管路の状況把握とひと口にいても、管路は地下に埋設されており、水道管路の直径は7.5cm～260cmまである。それが毛細血管のように広がっている。しかもその中は、通常、圧力がかかった状態で水が流れている。管路診断は思いのほかむずかしい技術なのである。

「従来、断水した後に管内の水を抜いて調査するというのが一般的でしたが、調査のためだけに断水するというのはちょっとマズイ、と。住民に迷惑がかかりますから。そこで、水を流したままで調査できるシステムの開発へと動いたのです」（鉄管研究部・戸島）

通水状態で管内を調査できるシステムとしては、すでに棒状テレビカメラを開発していたが、調査できる距離に限界があった。カメラは消火栓などから挿入するのだが、その周辺しか観察できない。そこで、断水することなく通水状態で、地上からの遠隔操作により管路内を自航し、管路を広範囲にわたって観察調査できる水中ロボットの開発に取り組んだわけである。

こうして水道管の管内調査を行う「小型、耐水圧構造に自航機能を持ち、目のついたロボット」が誕生した。「長い間夢には描いてきましたが、東大の浦先生と当社の電子技術センターとの共同開発により、ようやく夢を実現できました」（鉄管研究部・戸島）もちろん日本で初めて誕生したロボットである。そして、この技術は平成12年4月、科学技術庁により「注目発明」として選ばれたのである。



日本初の自航機能を持った、水道管用管内調査ロボット。
スケルトンモデル(左)と並べて見ると、その構造がよくわかる。

3/5



KUBOTA CORPORATE
COMMUNICATION MAGAZINE

水道管用管内調査ロボット

4/5

■管内調査ロボットの概要

管内調査ロボットシステムは、小型カメラを内蔵した水中ロボット、水中ロボットを遠隔操作する地上制御装置、管路にロボットを挿入・回収する装置で構成されている（図A参照）。ロボットと地上制御装置はケーブルによって結ばれている。

水中ロボット本体は直径60mm×長さ286mmの円柱形、重さは727g、比重は1。ロボットの管路への挿入は消火栓などが取り付けられているT字管部分からなされる。そのため、「とにかく小さいものにする必要があった。また、T字管周辺だけでなく遠くを見たいので、推進力を持たせる必要があった」（鉄管研究部・戸島）。

ロボットは挿入地点から約100m先まで自らの推進力で航行する。

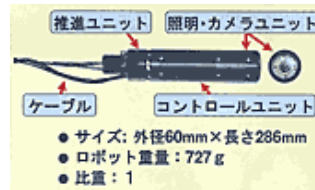
推進力としてはウォータジェット機構を採用している。管内の水を吸い込み、その水をノズルで後方に噴射する推進機構である。小型で高効率の推進方式であるというだけでなく、ロボットが管内で何かに引っかかったりしないように外側にいっさいの突起物をつくらない工夫でもある。方向制御は噴射ノズルを動かすことにより行っている。ウォータジェット機構といっても、その内部ではプロペラが回転している。普通であれば、ロボットが軽いためロボット自身が回転してしまう。そこで、ロボットの重心の位置をずらし、またステータ（案内羽根）と呼ばれる部品によってロボット自身が回転するのを防ぐ工夫も施されている。

またロボットは通水中に使用できるように0.75MPaの水圧に耐える構造を備えている。

この耐水圧構造に加え、ロボット本体に十分な堅牢性を持たせ、破壊などによる水道水の汚濁がないように細心の注意が払われている。水道水を汚濁させないこと。これは管内調査ロボット開発の前提条件だ。この前提条件から、プロペラなどの可動部を外部に露出させないウォータジェット機構が採用され、さらに機構内部の回転軸シールドに潤滑油を用いない構造も採用されている。

ロボット先端に組み込まれた照明、カメラには、低消費電力で寿命が長い白色発光ダイオード（LED）、小型カラーCCDカメラを採用している。

ケーブルに関しても様々な特性が要求され



管内調査ロボットの構成ユニット



管内調査ロボットシステムの地上制御装置



消火栓などが取り付けられているT字管にロボット挿入・回収装置が連結される

ケーブル断面

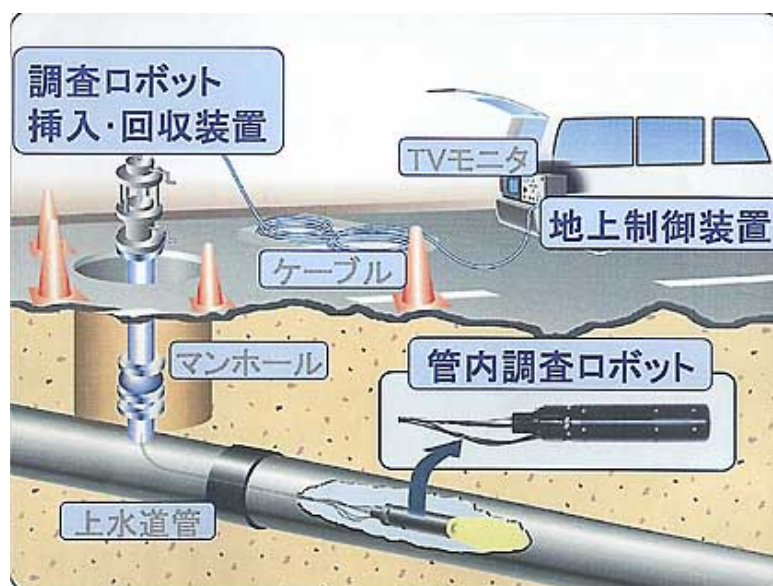


た。例えば、ケーブルが管に接触すれば摩擦力が生まれ、ロボットの推進力、方向制御に大きな影響を与える。そこで厳しい中性浮力化＝比重0.997が図られた。ケーブルの流体抵抗を減らすための細線化も図られた。制御信号線を省線化する「電力線搬送通信」もそこに投入されている。同時にロボット回収時に断線しない強度（抗張力80kg）も実現させている。断線して管内にロボットが取り残されることは絶対に許されないからだ。

試験管路の中を悠然と航行する小型水中ロボット。このミニマシンには、実は、材料技術、精密機械技術、アクチュエータ技術、通信制御技術など驚くほど多種多様な技術と工夫が施されているのである。



ロボットが水中で安定した姿勢を保つため、内部機構の一つひとつに重心への配慮がなされている



図A 管内調査ロボットの構成ユニット



KUBOTA CORPORATE
COMMUNICATION MAGAZINE

水道管用管内調査ロボット

5/5

■計測機能、サンプリング機能の付加へ

電子技術の側面から管内調査ロボット開発を支援した電子技術センターも訪ねた。このロボット開発の意義、今後の発展形などについて、同センター電子化推進室のメンバーに聞いた。

この管内調査ロボットの開発には約3年間で費やされた。これによって、当初の目標どおり、通水状態で水道管内部の状況を的確に把握することができるようになった。実管路でのフィールド評価もほぼ終わり、実際の調査業務として使用されはじめた。「この管内調査ロボットシステムが効率的な管路の更新や維持管理業務に画期的役割を果たすことは間違いない。安全で災害に強い管路を実現するうえで、このシステムは有力な武器となるだろう」（電子化推進室・泉野有司）。

また、管路に限らず、例えば地下に埋設されている耐震貯水槽の維持管理や、バルブが地上での操作どおりの開度を示しているかどうかを確認する…というような用途にも活用されるだろう、とも。

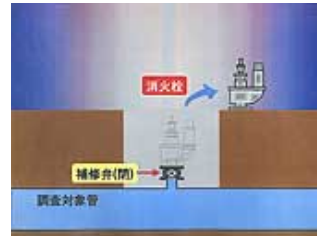
しかし電子技術センターの技術者たちはさらに先を見ている。水中ロボットの次なる発展形をすでに頭の中では描いているようだ。

「現状ではまず管路内部が見ることができるという機能、つまり胃カメラ、内視鏡としての機能を完成させた。しかし例えば、管内の堆積物の大きさや量、継手の状態、通水断面面積などを定量的に把握する機能、つまり測定機能はまだ備わっていません。サンプリング機能もこれからの課題です」（電子化推進室・池田一繁／課長）

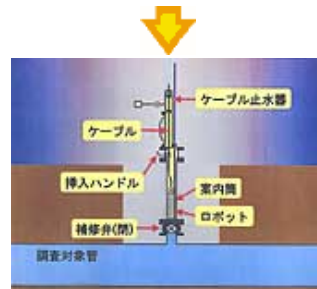
これまでの水中ロボット本体とそれを動かすシステムの開発においては、とにかく目標をシンプルに設定してきた。いきなり欲張ったもの、複雑なものを作ろうとしてもうまくいかない、と。それは東京大学生産技術研究所海洋工学センター長の浦環教授からのアドバイスでもあった。こうして管内調査ロボットシステムのベースが完成した以上、これに新たな機能を付加していくことはさほどむずかしくはないだろう。今、この管内調査ロボットシステムは高度化の段階に入ったわけだ。

「いずれにしても、水は私たちの暮らしになくてはならないものです。ある意味で水道はもっとも身近な社会基盤といってもいい。

管内調査ロボットの挿入・回収手順 （通水中の管内）



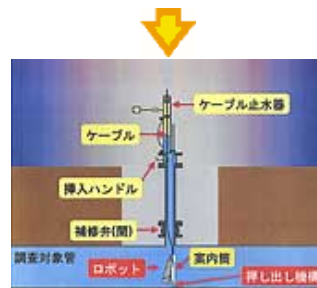
- 1) 既設の補修弁を閉じ、消火栓や空気弁を取り外す



- 2) 消火栓や空気弁が取り付けられていた補修弁のフランジ部に挿入・回収装置をセットする



- 3) 補修弁を開き、ロボットを案内筒と一緒に管内に挿入する



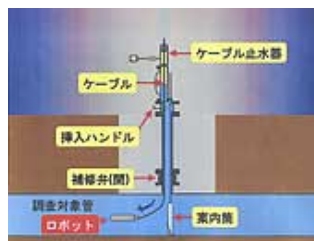
- 4) 管底に到達したロボットは、案内筒に内蔵された押し出し機構により、所定方向に発進される



この水道という社会基盤の整備に水中ロボットが登場し、活躍しようとしている。このことは、電子技術、メカトロ技術あるいはロボットという機械システムがいよいよ人間の暮らし、日常生活を支える技術になってきたことを意味しているのかもしれない」（電子化推進室・谷澤仁志／室長）



実管路での管内調査



5) ケーブルを送ってロボットを前進させ、管内の調査を行う

※ロボットの回収は5)～1)の手順で

5/5

back