技術論文

鉄管内走行ロボットの開発

川口圭史* 吉田乙雄* 車谷治通* 菊田 隆*

Development of an In-pipe Inspection Robot for Iron Pipes

Yoshifumi Kawaguchi*, Itsuo Yoshida*, Harumichi Kurumatani* and Takashi Kikuta*

This paper describes a new mechanism, communication system, and vision system of an in-pipe inspection robot. To date, inspection robots have had such limitations as mobility of the robot to turn in a T-shaped pipe or move in a plug valve. The new mechanism based on our dual magnetic wheels overcomes these limitations without difficulty in control. This dual mechanism, resembling a crawler, enables the robot to climb over sharp obstacles like sleeve and dresser joints. Another drawback of earlier robots is that the friction between the pipe and the cables for communication and power supply makes it difficult to move a long distance. A fiber-optic communication system can reduce friction. The spooler of the fiber-optic communication cables and batteries are mounted on the robot and the cables are rolled and unrolled when the robot is going forward and backward, respectively. The new vision system has been significantly miniaturized, enabling it to clearly view and inspect the pipe welds underneath the robot while gazing ahead for navigation. The reflection of slit light made by a light-emitting diode and a cylindrical lens is used to diagnose the pipe weld.

An experimental inspection robot has been successfully made to confirm the efficiency of the new mechanism and the vision system.

Key Words: Vehicle in Pipe, Magnetic Wheels, Fiber-Optic Cable, Vision System, Inspection

1. はじめに

ガス導管に代表される地下埋設管の外面検査は地上にある管と異なり掘削・埋め戻し作業を伴うため効率的に行うことができない。それはまず1.2[m]以上の深さに埋設されている検査部分全体が露出するまで掘削し、検査終了後は検査前と同じ状態に土を埋め戻す作業が必要なためである（路面沈下対策として添圧機で数回の締め固めも行う）。さらに埋め戻し土は一定の基準を満足させるため、掘り起こした土砂は用いず埋め戻し用の土砂（山砂・改良土）を用いる。これらの土砂を運搬するためにはトラック等も必要になる。以上の作業は実際の検査以上に時間・費用がかかる。

掘削作業の効率化に関しては地下埋設物探査[1]により予め地下の状態を把握し、他埋設物を避けて目的の管まで高速に掘削することが可能になりつつある。しかし、それだけでは掘削効率のある程度の向上は望めても掘削時間の抜本的な削減は望めない。そこで検査方法自体の見直しが重要になってくる。検査

方法としては前述の外面検査以外に管内部から検査を行う内面検査がある。内面検査の掘削量は検査器挿入ピット分だけあり、そのため掘削・埋め戻し作業は外面検査と比べて時間・費用とも少ない。さらに掘削量の減少は工事に伴う埋設管上の道路の占有時間・占有面積の減少となり、歩行者・車の移動を妨げないという公共的な利点も大きい。特に検査箇所に通量の多い道路・交差点が含まれる場合はそこを避けてピットを掘って検査できる。

現在内面検査として管内テレビカメラでの目視[2]は既に実用化されている。また内面からの外面腐食検査は渦流探傷法[3]、リモートフィールド渦流法[4]などが確立している。さらにライブジョイントシール工法[5]と呼ばれる管の簡易修繕方法や管内溶接ロボット[6]も実用化されている。したがって内管検査・修繕に関する技術はある程度整えられていると考えて良い。しかしこの内面検査にもまだ問題が残されている。その1つとして挿入ピットから検査箇所まで管内を移動する装置（ロボット）の性能不足が挙げられる。現在までに様々な管内走行ロボットに関する機構が提案されており、その中でも実用化レベルのものも幾つか見られる[2][7]~[9]。しかし直径150[mm]から600[mm]の鉄管を対象とする実用機には次の問

原稿受付 1995年2月6日

*大阪ガス株式会社

*Osaka Gas Co., Ltd

題点が残っている[†]。

(問題点1) 管に対する占有断面積が大きい

占有断面積が大きいとバルブ等の狭路の通過やプラグ弁等の突起物の回避ができない。さらにレギュレータでつながれた異径管(設定した管径以外)内の移動も難しい。

(問題点2) 管の曲がり沿った移動しかできない

現状の実用機ではL字管を走行する場合、管の曲がりに応じて自然にロボット自体が曲がる機構を採用している。このためT字管を直進せずに曲がり込むことができない。T字管は埋設管によく用いられるため大きな適用範囲の制約になる。

(問題点3) 移動距離が短い

ロボットが牽引するケーブルと管体の摩擦が移動距離延長に大きな支障となる(現状のロボットでは100[m]程度が限界)。特にL字管ではケーブルと管体との摩擦が大きくなるのでL字管の走行回数が増えると移動距離はさらに減少する。

これらの問題点は内面検査を適用範囲の狭いものにしており、これらの解決により内面検査技術を向上し外面検査量を減らすことが望まれている。そこで本論文ではこのような問題点を解決した管内走行ロボット(150[mm]~600[mm]用鉄管)の概念を構築し、試作機を開発したので報告する。

2. 移動機構(二重磁石車輪)

前述の問題点を解決するような移動機構に関する検討[10]を行う。まず費用効果からこのロボットは500[m]以上の区間を1日(8時間)で作業することが求められている。この場合作業時間等を考慮すると移動時間は長くとも3~4時間であり移動速度として3~5[m/min]が要求される。現在研究の行われている尺取り虫型[11]や歩行型はこれを満たすのは難しい。またガス流に乗った機構[12]ではガス流が十分でない場合に適用ができない上に適宜停止する必要のある作業への適用にも問題がある。したがってここでは移動速度の速い車輪型の移動機構が適当と判断した。ただし単純に車輪型[8]とすると垂直管内の昇降に問題が残るのでバネ車輪[2][9]や磁石車輪を用いる必要がある。バネ車輪の場合管に対する占有断面積が大きく、曲がり沿った移動になるため(問題点1)(問題点2)を解決するのが難しい。これに対して磁石車輪の場合その性質から利用範囲が鉄管に限定されるが、占有断面積が小さく(問題点1)を解決できる。さらにFig. 1に示すような平面的な移動方法を採用すると複雑な機構や複雑な制御を用いずに(問題点2)を解決し、L字管、T字管内での移動ができる。したがってここでは磁石車輪型の機構を採用する。しかし普通の磁石車輪では継ぎ手などの段差部分での乗り越えが難しい。即ちFig. 2に示すような状態で車輪は管に2点で接触するためA・B点で付着力が働き、B点を支点とした乗り越え動作をA点での付着力が妨げる。

Fig. 1 Magnetic wheel robot

Fig. 2 Problem of magnetic wheel

Fig. 3 Magnetic wheel concept

一般に段差走行に関してはクローラ型[13]が有効であるが車輪の数が多くなるとFig. 1に示すL字管やT字管内の走行に支障をきたす。またクローラの車輪を小さくすると乗り越えられる段差が小さいものになる。そこでクローラ型の原理を残した二重磁石車輪を開発した。即ちFig. 3に示すように磁石を車輪軸として用い磁性体の内輪及び外輪(剛体)を設ける(磁石を内輪ではなく車輪軸にすることにより管体と閉磁路を生成し強力な磁力を発生できる)。この二重磁石車輪によりロボットはFig. 4に示すように外輪の半径以下の段差を走行できる。つまりFig. 2においてはB点が支点となる乗り越えになったがFig. 4の1では支点とならずに内輪が外輪内を移動していく。そして3に示すようにB点が支点になった場合には妨げる付着力が小さくなるため段差を乗り越えることができ

[†]ガス導管の場合ガスの供給を停止させるという問題が発生する。供給したままのガス導管への挿入装置は既に類似の実用装置があり開発に大きな障害はない。しかしロボットの形状及びケーブル等の制約から埋設管を切断しその区間のガスを不燃物(窒素)と入れ換えている。また挿入できたとしても占有断面積が大きいと管断面の急縮小・拡大によるガス供給圧力の渦流損失を招き供給に影響を与える。これよりガス供給停止問題のためには(問題点1)(問題点3)を解決させる必要があることがわかる。

Fig. 4 Magnetic wheels climb a sharp obstacle

Fig. 5 Configuration of robot system

る。さらに二重であれば通常磁石車輪で問題になる錆付着も錆が内輪から離れるときに除去しやすいという利点もある。以上二重磁石車輪により（問題点 1）（問題点 2）を複雑な制御を行わず解決することができる。

3. 通信・制御ケーブルの検討

次に（問題点 3）を解決するため通信・制御ケーブルの検討を行う。理想的には電源・通信ケーブルをなくした自立走行ロボットであればよい。まずバッテリーを搭載することで電源ケーブルの除去は可能である。しかし通信ケーブルの除去は直進用ロボットでは可能[14]であるが無線通信の減衰が大きいので T 字管を含めた長距離での適用は難しい。逆に通信ケーブルを用いる場合でも移動距離の増大に伴い電圧降下の影響が大きくなり 500[m]の通信は難しい。そこでここでは信号の減衰の小さい光ファイバーを用いる（500[m]でファイバー巻き取り径 20[mm]の場合、信号の減衰は 10%以下）。この場合 Fig. 5 に示すように制御信号は地上コンピュータから E/O 変換器により光信号に変換され光ファイバーケーブルでロボットに送られ、ロボット内で O/E 変換器により電気信号に戻される。また画像データや検査データはロボットに搭載してある E/O 変換器を介して光信号となり光ファイバーケーブル、地上の O/E 変換器からモニターへと送られる。さらに管体との摩擦を避けるためにケーブルをローラーに巻きロボット側に搭載する。このローラーを前進時に巻きだし、後退時に巻き戻しすることにより常にケーブルに張力のかからない状態、即ちケーブルと管体との摩擦のない状態、を維持できるので（問題点 3）を解決できる。ケーブルは直径 250[μm]でありローラーのサイズを外径 30[mm]、幅 107[mm]とすると 500[m]巻き付け後の外径は 36[mm]となる。このローラーと E/O 変換器、O/E 変換器、CCU（画像データがある場合）、コントローラーはロボッ

ットに搭載することがスペース的に可能である。これによると地上設備はパソコンと O/E 変換器、E/O 変換器、モニターだけになり運搬等が容易に行えるという利点もある。

4. 溶接線検査システム

内面検査の 1 つとしてカメラ検査（溶接線）がある。ここではロボット搭載用溶接線検査システム開発について述べる[15]。

まずロボットは走行時に約 30[cm]前方を観察する必要がある（管内ロボットの前方環境認識の自動化に関する研究[16]も行われているがここではオペレーターによる判断に基づく）。この前方観察用のカメラを溶接線検査へそのまま併用することは検査精度から考えると不可能であり、上、下または横向きの溶接線専用カメラが必要になる。しかしカメラを増設することはスペースの問題上望ましくない。また 1 台のカメラで前方・側方と向きを変えることは可能であるが、向きを変えるための装置及び焦点を変更するための装置の追加を考えるとあまり効果がない。そこでここでは 1 台のカメラで前方及び溶接線を同時に観察できる装置を開発した。

具体的には Fig. 6 に示すようにカメラをまず下方向きに設定する。カメラを前方としないのは導管の前方環境が比較的単純であり詳細な情報を必要としないためである。また下向きに設置するのは上方や側方では走行管径が違ふと溶接線までの距離が異なり焦点の調整が必要となるためである。そして 4[cm]程度下方にある溶接線の状態を詳しく観察するために CCD カメラに接写リングを挿入し Fig. 7 のように画面を拡大する（画面に縦 30[mm]×横 42[mm]が写る）。次にプリズムミラーを検出画像の一角に前方を映し出すようにカメラと溶接線の間設置した。この場合限られたスペース内での前方の焦点の調整が重要になる。ここでは前方用のプリズムミラーの反射

延長上に非球面レンズを設置することにより焦点の調整を行った。

また溶接線へはスリット光を照射し、その反射光のずれにより状態を検知する。照射角度は斜め $\pi/12$ であり、管に段差があった場合、Fig. 7 に示すように反射光がずれる。そのずれを d とすると段差 x は

$$x = kd / \tan(\pi/12) \quad (1)$$

と計算できる。ただし k は管の状態により異なる変数である。溶接線検査においては直管部分にロボットがいてと考えてよいので k は 1 と見なすことができる。Fig. 8 に段差における検出画像を示す。図から $d=6[\text{mm}]$ と測定され式(1)より段差は $2.4[\text{mm}]$ となる。この製作した段差は $2.5[\text{mm}]$ でありほぼ正確に測定できていることがわかる。このスリット光は発光ダイオードをシリンドリカルレンズに通すことにより発生させる。スリット光の幅は約 $0.8[\text{mm}]$ であり、これは溶接線の状態を知るのに十分な細さである。さらに全面照射用光源として発光ダイオードを下方に 1 つ、前方に 2 つ照射している。ここで全て発光ダイオードを用いたのはバッテリーへの負担を軽減するためである(消費電力:発光ダイオード 4 つ計 $0.4[\text{W}]$)。

次に溶接線及び通常部分の検出画像を Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 に示す。Fig. 9 は溶接線上の走行であり溶接線の状態が観察できる(管前方に写っているのは実験者の手である)。Fig.

Fig. 6 Vision system

Fig. 7 Camera image

Fig. 8 Image of both forward and beneath the robot (1)

Fig. 9 Image of both forward and beneath the robot (2)

Fig. 10 Image of both forward and beneath the robot (3)

Fig. 11 Image of both forward and beneath the robot (4)

Fig. 12 Crabbing for inspection

10, Fig. 11 は溶接線以外の部分を走行している。Fig. 10 の前方は T 字管 (管径 150[mm]) の突き当たり部分であり中心部に横に広がった強い反射が見られる。また Fig. 11 では右曲がりの L 字管 (管径 200[mm]) であり左から右へ反射光が弱くなっているのがわかる。これらから操作者は全面照射の反射光の状態から前方の管の形状を判断できることがわかる。なお実際の検出画像も白黒である。これは発光ダイオードが赤色光でありカラー画像では逆に地上モニターで見にくいためである。

この検査装置では溶接線全周を検査するためにはロボット自身が溶接線に沿って走行する必要がある。基本的にこれは Fig. 12(a) から (b) のようにロボットが $\pi/2$ 車輪を回転させることによって可能になる (ロボットは駆動用以外に操舵用のモーターが必要になる)。しかしこの場合管に対して 4 つの車輪の接地点が一直線上にのるため振動、加速度等の影響を受けて転倒する可能性が高い。そこで (c) に示す状態になるように $\pi/2$ 以下に車輪を回転させ、その後で車体を斜化させ、(e) に示す状態にすることによりさらに安定な円周方向走行方法が考えられる。ただしこの場合には確実に車輪が管に対して平行になっている (安定な吸着力を得る) ことが重要である。このためには操舵角を検出するだけではなく吸着の程度を知りフィードバック制御を施す必要がある。

5. 試作ロボット開発

以上の移動機構・通信制御装置・小型視覚装置を搭載したロボットを試作した。

ロボットは Table 1 に示すように全長 410[mm]、幅

Table 1 Specifications of the Robot

Size	410×90×140[mm]
Weight	4.25[kg]
Diameter of Wheel	59[mm]…Outer Rigid Tire 46[mm]…Inner Wheel
Clamping Force	30~43[kg/wheel]
Motors	2 for Drive, 2 for Steering 1 for Cable Roller
Max. Speed	5[m/min]
Max. Torque	6.4[kg-cm]
Sensor	CCD Camera

Fig. 13 Conceptual configuration of robot

Fig. 14 Picture of pipe inspection robot

90[mm]、高さ 140[mm]でありバルブなどの狭路の通過、プラグ弁の回避も行えるサイズである。形状は Fig. 13, Fig. 14 に示すように 150[mm]の L 字管走行ができるようにロボットの底の部分、前方及び後方の上部が削られている。また内輪、外輪の直径はそれぞれ 46[mm]、59[mm]である。磁石は直径 31.75[mm]、高さ 44.0[mm]の円柱型ネオジム鉄製であり、1 車軸で 30~43[kgf]程度の付着力 (外輪ありの状態) を有している。フレームの材質はアルミで本体カバーとしてプラスチックを用いて全体として 4.25[kg]と軽量化している。

バッテリーは 8.4[V]×1.5[A] (Normal)、16.8[V]×3.0[A] (Turbo) の 2 通りのモードを前後輪の操舵・駆動モー

Fig. 15 Control monitor

Fig. 16 Clamping force

Fig. 17 Clamping force and gap

ターに供給することができる。それぞれのモードでの牽引力 (駆動前後輪和) は 1.8[kgf], 5.1[kgf], トルク (駆動一輪) は 2.3[kg-cm], 6.4[kg-cm], 最高速度は 3[m/min], 5[m/min] である。段差走行, 垂直管走行などトルクが必要な場合のみ Turbo を使用して効率的に走行できる。またケーブルローラー用モーターには 16.8[V] × 0.50[A] を供給できる。

基本的な制御はロボット搭載の制御回路で行うため外部コンピュータからの指令は前後輪の速度, 角速度, 照明, Turbo/Normal の切り替え, ローラーの巻取りなど 10 種類をパソコ

ン (IBM-PC 33[MHz], NEC PC-98 Note 33[MHz]) で実験からパルスとして送信するだけである (Fig. 15 に操作 CRT の出力を示す)。各パルスは 0.8~2.0[ms] の幅であり次の 10 種類のパルスまでの間隔は 20[ms] 開いている。これは移動ロボットの制御指令としては十分実用的な長さである。

実際に直管, T 字管, L 字管, バルブ内通過実験を行い良好な実験結果が得られた。また移動中のカメラ画像は振動の影響もなくモーターからのノイズも見られなかった。このことから本移動機構が管内移動に有効な手段であることが判断できる。

錆などで磁石車輪と鉄管の間にギャップが存在する場合には付着力の減少が予想される。そこでギャップと付着力の関係についての実験結果 (1 車輪軸あたり・車輪軸 700[g] は含まず) について Fig. 16 に示す。それぞれのグラフは管径が 150[mm], 200[mm], 300[mm] の場合である。これよりギャップ 1[mm] があつた場合でも付着力 10[kg/車輪], 4[mm] があつた場合でも付着力 2.5[kg/車輪] が得られることがわかる。

この付着力は天井走行が十分可能であるだけでなく垂直管昇降等において何らかの理由で前輪 (又は後輪) がはずれた場合にも転落しないことを保証する。ここで付着力が管径により異なるのは外輪と管体の接触状態が異なるためである。

段差部分においては Fig. 17 に示すように内輪, 外輪の半径をそれぞれ r, R とし, 外輪が停止している際に内輪のみが走行していく角度を α とする。このとき内輪と管との距離 g は

$$g = (R - r)(1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

となる。いま $r = 46$ [mm], $R = 59$ [mm] であり $\alpha = \pi/4$ の場合でもこの距離は約 3.89[mm] となるため段差乗り越えでも自重を支えるのには十分な値である。ただし (外輪の約半分の) 29.5[mm] 程度の段差は乗り越えることができるはずであったが実験では 9[mm] (両輪), 14[mm] (前輪のみ) となった。これはモーターが減速ギアを含めた搭載スペース・消費電力などにより制約されており, 磁石車輪の磁力に比べて不十分であったためと考えられる。今後はモーターの高性能化・付着力の見直しが必要になる。さらに前後輪の速度差を調整することによって性能向上も考えられるためこれについても検討を行う。

6. ま と め

本論文では従来の管内ロボットの問題点を解決した二重磁石車輪型ロボットを提案し実機を試作した。これにより本ロボットが管内走行に有効な手段であることが示せた。また溶接線検査システムがロボット搭載に際しても十分適用できることが示せた。ただし耐久性を含めたシステム設計という観点から今後のさらなる検討が必要である。特に 2 章で示したように二重磁石車輪は通常の磁石車輪と比べて錆などの影響は小さいが長距離走行に伴い錆が累積したり, 回避しきれずに管内の鉄片が付着した場合には走行に支障をきたす可能性がある。そこでそれを積極的に剝離するような機構も今後検討する必要がある。

本試作機においてはその機構の有効性を確認することを主目的としたため移動距離・姿勢・付着力を知るためのエンコーダー・ジャイロ・傾斜計などのセンサーを設置するまで及ばなかった。特に付着力の測定は非常に難しく搭載可能なセンサーを

提案することができなかった。このため周方向走行については本論文では方法の提案だけに留まっている。安定な周方向走行を実現するためには適切なセンサー情報に基づくフィードバック制御が必要であり今後の重要な課題である。

本試作ロボットにおいてはバッテリーに関して十分なスペースを確保することができず 30 分程度の実働時間しか得ることができなかった。これに関しては電池の高性能化・搭載スペースの確保が重要になる。特に搭載スペースに関連しては多両連結も検討する必要がある。またケーブルの巻き取り巻き戻しはケーブルの残量によって変化させる必要があり、その制御に関しても今後検討する必要がある。さらに認識・検査・制御の自動化も本ロボットの重要な課題である。

参考文献

- [1] 北村, 中山, 川中, 高木: “2 次元 FFT 処理によるレーダーロケータ探査画像の画質改善”, 第 24 回画像工学カンファレンス, pp. 179-182, 1993.
- [2] 岡島, 中村, 末沢, 城, 藤原, 金原, 池田, 白石, 岡田: “鋼管溶接部検査用管内 TV カメラの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, pp. 655-660, 1994.
- [3] 平岡, 坂本: “渦流探傷法によるガス導管の診断について”, 非破壊検査, 35(2 A), pp. 156/157, 1986.
- [4] 菊田: “鋼管検査用リモートフィールド渦流法のモデル化”, 非破壊検査, no. 40, pp. 658-665, 1991.
- [5] 尾上, 松井, 秋田, 細野, 佐藤, 大日向: “ライブジョイントシール工法の開発”, 配管技術, vol. 36, no. 8, pp. 133-140, 1994.
- [6] 中村, 黒田, 堤之, 矢野: “既設鋼管溶接部の補修用内面溶接ロボット(特殊環境下におけるロボット技術)”, MOTION ENGINEERING JAPAN '94 シンポジウム, D 6-1-1/D 6-1-8, 1994.
- [7] 佐藤: “実用ロボット技術に必要なもの一壁面ロボット, 管内ロボットを例に一”, 日本ロボット学会誌, vol. 12, no. 8, pp. 1132-1136, 1994.
- [8] 仕入, 石川, 瀧口, 水野, 津坂: “大口径管内堆積物回収ロボットの開発—第 1 報: 機構—”, 第 11 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 1013-1014, 1993.
- [9] 小堀, 藤田: “小口径ガス導管検査ロボット”, 第 2 回ロボットシンポジウム, pp. 193-198, 1992.
- [10] 吉田, 車谷, 川口, 菊田: “導管内走行ロボット—移動機構に関する提案—”, 第 4 回ロボットシンポジウム, pp. 239-244, 1994.
- [11] 広瀬, 三井: “Whole Stem Drive 型配管内移動機構(螺旋回転型としゃくとり虫型の提案)”, 第 11 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 1111-1114, 1993.
- [12] Y. Okajima: “Automatic Inspection Robot Surveying Pipeline for Loss of Wall Thickness,” 1995 International Gas Research Conference, vol. III, pp. 343-351, 1995.
- [13] 内藤, 佐藤, 藤井: “負荷分散クローラ機構の開発”, 日本ロボット学会誌, vol. 5, no. 5, pp. 335-338, 1987.
- [14] 陶山, 細原: “インテリジェント検査ロボットの開発”, 第 12 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 445-446, 1994.
- [15] 川口, 吉田, 車谷, 菊田: “導管内走行ロボット—視覚装置の開発—”, 第 12 回日本ロボット学会学術講演会, pp. 447-448, 1994.
- [16] 川口, 坪内, 山田, 菊田, 有本: “自己組織化データベースを用いたガス導管環境認識”, 第 2 回ロボットシンポジウム, pp. 181-186, 1992.

川口圭史 (Yoshifumi Kawaguchi)

1964 年 4 月 7 日生。1989 年神戸大学大学院修士課程修了。同年より大阪ガス(株)基盤研究所に勤務。1992 年～1993 年オハイオ州立大学客員研究員。現在導管内走行ロボットの開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)

吉田乙雄 (Itsuo Yoshida)

1966 年 7 月 5 日生。1992 年, 京都大学大学院修士課程修了。同年より大阪ガス(株)供給部供給技術センターに勤務。現在導管内走行ロボットの開発に従事。

(日本ロボット学会正会員)

車谷治通 (Harumichi Kurumatani)

1948 年 9 月 23 日生。1974 年, 岡山大学卒業。同年より大阪ガス(株)供給部に勤務。現在導管維持管理技術の開発に従事。

菊田 隆 (Takashi Kikuta)

1948 年 2 月 8 日生。1972 年, 名古屋大学大学院修士課程修了。同年より大阪ガス(株)開発研究所に勤務。現在導管内走行ロボットの開発に従事。工学博士。日本非破壊検査協会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)