

配管検査ロボットのためのモジュール化

○藤田 和友 (弓削商船), 伊藤 嘉基 (弓削商船), 前田 弘文 (弓削商船)

Modularization for a piping inspection robot

○Kazutomo FUJITA (YNCMT), and Yoshiki ITO (YNCMT),
Hirofumi MAEDA (YNCMT)

Abstract: This paper has described the piping inspection robot. Since we had the know-how of the developed rescue robot, we were able to make the small prototype. And carrying became easy. Furthermore, maintainability etc. are improving by modularizing on an electric level. Moreover, I think that the proprietary program is effective in modularization.

1. 緒言

我国では昭和 40 年代以降, 下水道事業の実施都市が急増し, 各地で下水道整備の普及が促進されてきた. これまでに全国の下水道施設は, 管路総延長約 42 万 [km], 下水処理場数約 2,100 ヶ所となっている. そのため, 管理施設の増加とともに, 長期使用施設の老朽化が顕在化している. 下水管渠の標準的耐用年数は 50 年とされており, すでにこの年数を超える下水管渠の延長は約 9,000 [km] 以上になっている. また, 管渠布設後 30 年が経過すると道路が陥没する箇所が急増する傾向もある. このような背景から, 排水管・下水管の維持管理は重要であり, 継続的に行っていかなければならない. しかし, 実際に管内を調査する作業は人が行うには過酷であり, 調査範囲も広大である.

そこで, 近年ではロボットを用いた調査が活発に行われている. ところが, これらのロボット調査にも問題があり, 有線による外部制御・外部電源が主流であることから, ロボットシステム全体が大掛かりなものとなり, メンテナンス性が悪い上, 高価なシステムとなっている.

そこで, 我々はこれまで研究してきたレスキューロボットのノウハウを活かし^{1)~3)}, 小型で持ち運びが容易な配管検査ロボットの開発を行ってきた⁴⁾. 試作初号機では直径 150 [mm]の管内探査が可能な小型モビリティロボットが製作可能であるかの検証を中心に開発を行った.

本発表では, 開発・デバッグ期間の短縮およびメンテナンス性の向上を目的としたシステム全体のモジュール化について述べる.

2. システム構成

配管検査ロボットの走行機能には, 以下の機能が最低限必要となる.

- ・走行のモータ制御
- ・カメラ位置調整のためのモータ制御
- ・配管内を照らすライト調整
- ・状態を示すための LED 表示
- ・遠隔操作のための通信機能

なお最終的には, カメラ機能等を含め, **Table 2-1** に示す機能を実現する予定である.

Table 2-1 搭載機能

	走行機能	映像機能
主機能	<ul style="list-style-type: none">・走行機能<ul style="list-style-type: none">－前進－後進－直進制御・検知機能<ul style="list-style-type: none">－障害物検知－始点終点検知	<ul style="list-style-type: none">・カメラ制御機能<ul style="list-style-type: none">－動画撮影－動画保存(MPEG出力)・カメラ調整機能<ul style="list-style-type: none">－ライト調整－カメラ位置
副機能	<ul style="list-style-type: none">・電源機能<ul style="list-style-type: none">－電源ON－電源OFF・通信機能<ul style="list-style-type: none">－開始－終了・表示機能<ul style="list-style-type: none">－バッテリー残量－電源－通信・回収機能・防水機能	<ul style="list-style-type: none">・外部保存機能(USB出力)

次に **Figure 2-1** にハードウェア構成図を示す。

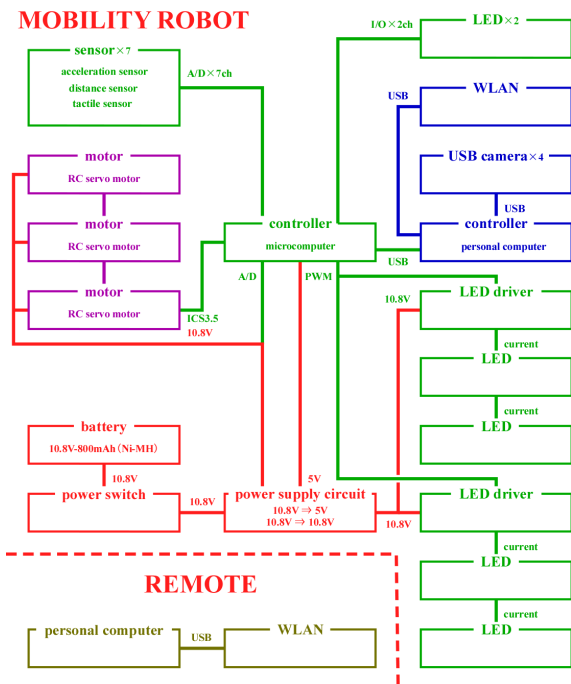


Fig. 2-1 ハードウェア構成

配管検査ロボットの走行制御にはマイコンを用いる。モータ制御には近藤科学株式会社が開発した通信規格 ICS3.5(半二重)を使用する。その他にも A/D 変換によるセンサ値の読み取り, I/O による LCD・LED 制御, PWM と LED ドライバによる照明用 LED 調整などが可能である。また, Fig. 2-1 の配管検査ロボットのハードウェアは **Figure 2-2** に示すように3つのモジュールに分けることで制御を分散する。以下にそれぞれのモジュールについて述べる。

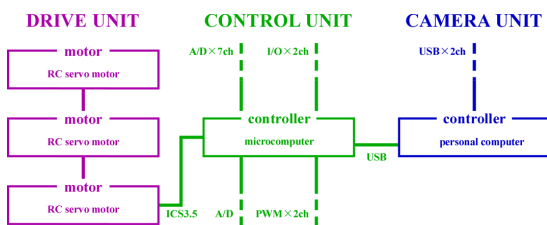


Fig. 2-2 ハードウェアのモジュール化

3. 駆動部

配管検査ロボットに使用する近藤株式会社製 KRS-4034HV ICS を **Figure 3-1** に示す。KRS-4034HV ICS はロ

ボット専用の RC サーボモータで, 通信規格 ICS3.5 を使用することで, デジタル通信によるコマンド指令により通信時に発生するノイズをカットするだけではなく, 様々な動作や設定を行うことができる。また速度フィードバックと位置フィードバックが可能で, 速度フィードバックに設定することで, 車輪の駆動部としても使用できる。

RC サーボモータは, 元々ラジコン用として使用されているモータで, モータ内に制御基板やモータドライバも内蔵したコンパクトな作りとなっている。そのため, このモータそのものがモジュールとして機能し, 電源・グラウンド・信号線を繋ぐだけで即座に使用できる。



Fig. 3-1 RC サーボモータ (KRS-4034HV ICS)

次に ICS-USB アダプターHS を使用して, PC から KRS-4034HV ICS へ直接速度フィードバック指令を送信したときのモータ特性を **Figure 3-2** に示す。Fig. 3-2 から分るように特性は 1 次式でリミットがあり, 非常に使いやすいものとなっている。

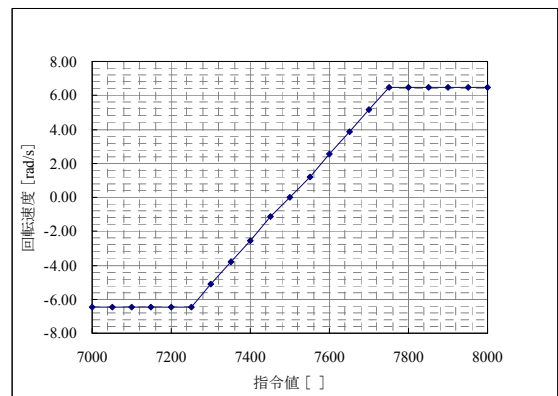


Fig. 3-2 モータ特性 (KRS-4034HV ICS)

4. 制御部

Figure 4-1 に製作した制御部を示す。制御には近藤科学株式会社が提供する専用制御基板 KCB-1 を使用しており、Fig. 2-1 に示した LCD やセンサ、モータなどの制御が可能である。

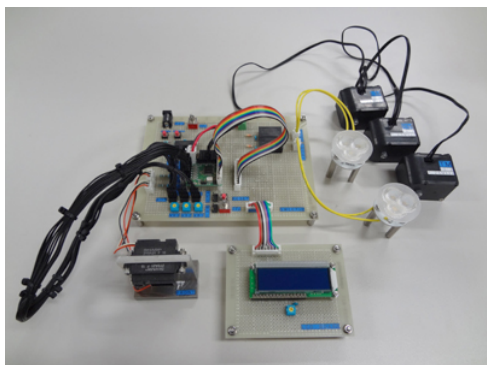


Fig. 4-1 制御部(KCB-1)

ただし、KCB-1 はすでに販売停止となっている。また、今後より複雑な制御を行っていくためには CPU の性能を上げる必要がある。そこで、CPU を SH7125F に変更して回路の再設計が可能かテストを行った。Figure 4-2 に SH7125F を使用したテスト基板を示し、プログラムのフローチャートを Figure 4-3, Figure 4-4 に、通信プロトコルのパターンを Figure 4-5 に示す。なお、SH7125F は外部からのコマンド命令によって制御される。

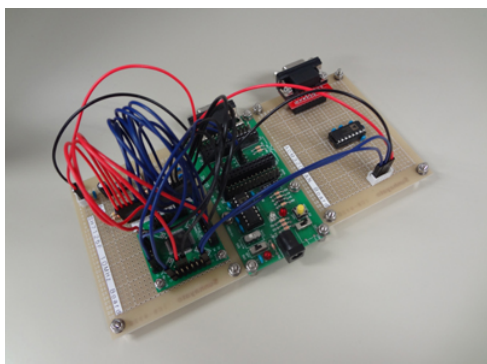


Fig. 4-2 テスト基板(SH7125F)

SH7125F は、コマンド命令に回答するために SCI の受信割り込みによって随時監視を行っている。また、コマンド命令を受信した後、コマンド命令に対応した

制御を行い、LCD にコマンドデータを表示した後、確認データを PC 側へ送信している。テストの動作の結果、Fig. 4-1 の KCB-1 と同様の機能が実現できることが確認できた。

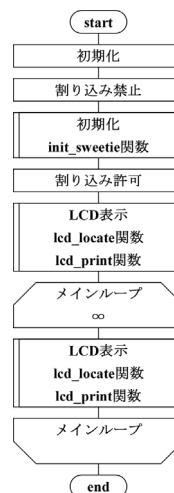


Fig. 4-3 フローチャート(メイン)

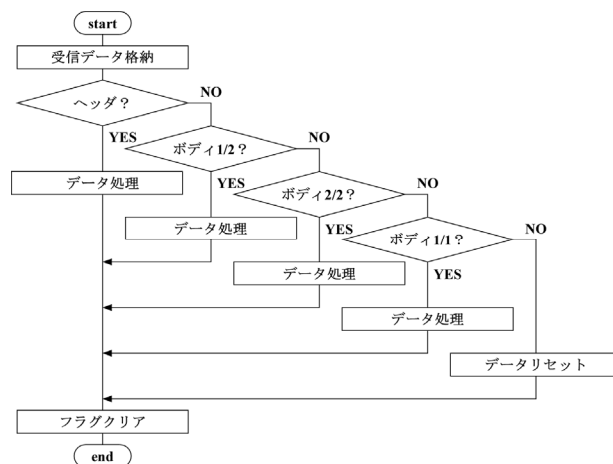


Fig. 4-4 フローチャート(受信割り込み)

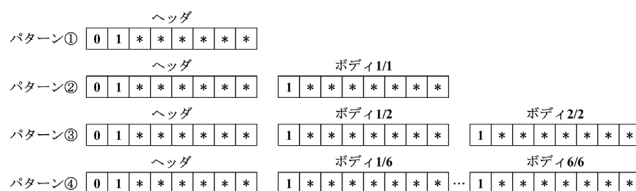


Fig. 4-5 通信プロトコルパターン

5. カメラ部

カメラ部は、カメラそのものを制御する他に、駆動部をコマンド命令によって制御する必要がある。

ここで、カメラ部の内部プログラムの構成として 2 つの方法を提示する。1 つは、一般的な手法で 2 つのプログラムを独立して、動作させる方法である。もう 1 つは 2 つのプログラムを分散処理させるものの 1 つのプログラムとして取り扱う方法である。

前者の方法はカメラ部の PC を起動した後、バックグラウンドで 2 つのプログラムを動かすことで実現が可能である。後者についてはいくつかの分散処理方法があるが、我々はこれまで独自開発してきた分散処理システム Marionette の使用を考えている⁵⁾⁶⁾。この Marionette はシンプルな構造をしており、組み込み系の PC とも相性がよい。以下に Marionette の概要について述べる。

Marionette は、操り人形を模擬しており、各プロセスと Marionette は縦糸で、各プロセス同士は横糸で接続される形をとる。これにより、一つ一つのプロセスは、人形の腕や足のように、それぞれの担当する小規模な機能を実装するだけで済み、プログラムをシンプルに構成することが可能となる (Figure 5-1)。

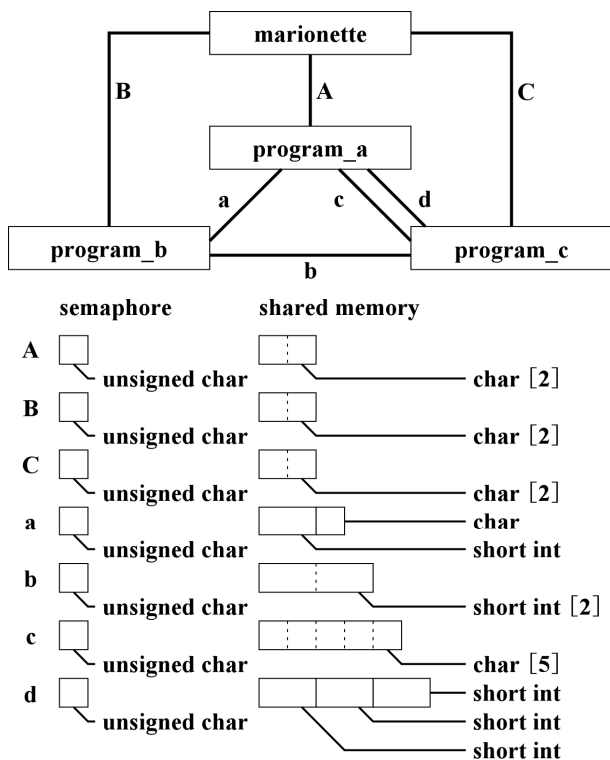


Fig. 5-1 分散処理システム Marionette のイメージ図

なお、Marionette はシステムを複雑化しないために、以下の 3 つの制約がある。

- プロセスは 1 対 1 の関係を維持する。
- 共有メモリはセマフォを使った排他制御によって管理する。
- プロセスの起動および終了は同期する。

6. 結言

今回、配管検査ロボットのためのモジュール化について述べた。今後は配管検査ロボットにモジュール化したシステムを組み込み、その有効性を検証する必要がある。また、システムをさらにコンパクト化し、同時にメンテナンス性を失わない工夫が必要である。

参考文献

- 1) 石井 良典, 大坪 義一, 小林 滋, 小林 泰弘, 山本 祥弘, 梅田 栄, 海藻 敬之, 前田 弘文, 高森 年, 田所 諭: 閉鎖空間内探索ロボットのための遠隔操縦システムの開発, 第 11 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), pp.1238~1241, (2010)
- 2) 前田 弘文, 五百井 清, 大坪 義一, 小林 滋, 高森 年: レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのミドルウェア開発, 日本機械学会講演論文集 No.115-1, p.123~124, (2011)
- 3) 前田 弘文, 小林 滋, 高森 年: レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのシステム開発, 弓削商船高等専門学校紀, 第 34 号, pp.48~53, (2012)
- 4) 二宮 綾香, 藤田 和友, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, 前田 弘文: 配管検査ロボットのための試作機設計, 日本機械学会中国四国学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 716, (2013)
- 5) 藤田 和友, 百垣 愛弓, 前田 弘文: メカトロ教育のための分散処理システム, 第 13 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2012), pp.1213~1218, (2012)
- 6) 藤田 和友, 前田 弘文: 分散処理システムを用いたロボットシステムの構築, 日本機械学会講演論文集 No.135-1, 914, (2013)