

海底調査ロボットにおけるコンピュータの応用

本州四国連絡橋公団

工藤 良範

小松製作所 電気研究所

島田 智

電子機器センタ ○ 上野 三郎

1. はじめに

近年、資源問題等で海洋開発が重要な研究テーマとなっているが、海洋環境の特殊性ゆえに、幾多の技術的困難性がある。小松製作所では海底作業のできる歩行ロボットを開発し、海底調査用として、本州四国連絡橋公団に納入したので、その概要を報告する。

2. 開発の経緯

小松製作所では、さまざまな海洋土木用の水中機械の研究開発を進めてきたが、昭和52年度より本州四国連絡橋公団と共同で、海底を安定に歩行し、精度の良い海底写真と撮影できる作業ロボットの開発に着手した。

開発に際して、海洋作業という困難な環境条件に対し、コンピュータを主とするメカトロニクス技術を採用し、従来の水中機械にない新しい海洋ロボットの開発を目指した。

3. システムの構成

本システムは観測機器（スチル写真、TV、地形測量）と搭載したロボット、位置計測用のトランスポンダ2基、船上においては、ロボットをリモートコントロールするための制御卓、観察卓、電力を供給する受電盤や給電ケーブルから構成されている。図-1は本システムの全体構成図である。

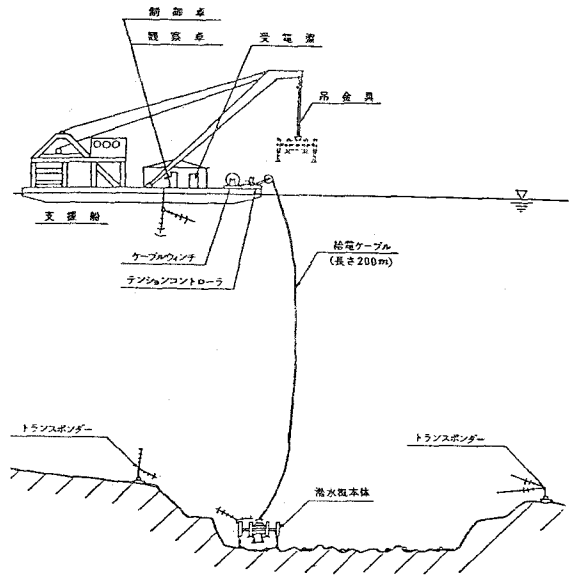
次に、このシステムの特徴として、図-2に示すような中央のコンピュータによる集中管理方式を採用しており、制御、計測、演算等のサブシステムを時分割で処理している。又、通信には専用のコンピュータと備えた階層構造である。

3-1. サブシステム構成

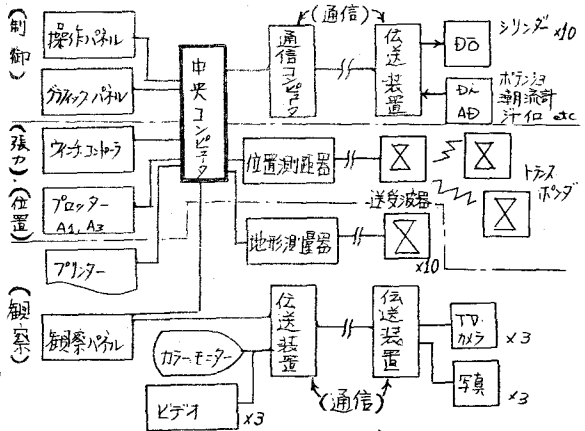
本システムを運用、機能の面から展開すると次のサブシステムから構成される。

- ロボットの制御システム
- ロボットと支援船との通信システム
- ロボットの位置計測システム
- 給電ケーブルの張力コントロール
- 観察（撮影、地形測量）システム

以下、これらのサブシステムについて述べる



(図-1) 全体構成図



(図-2) 信号系統図

3-2 ロボットの制御システム

海底での作業はコンピュータ制御により、大幅な自動化がはかられている。このサブシステムは、ロボット動作の制御と、こからの挙動を表示するシステムからなる。

(3-2-1) 制御

1. 直進：前進、後進歩行シーケンスの制御
2. 旋回：ロボットの歩行方向をかわる制御
3. 基本姿勢：ロボットが如何なる姿勢にあっても、歩行観察作業に必要な初期姿勢に戻すための制御。
4. 水平姿勢：ロボットが観察作業を行なうためには、常に水平な姿勢を保つことが不可欠である。
本システムでは、ロボット本体のピッチ、ロール角とも常に、 ± 0.5 度以内に制御される。
5. 脚長制御：凹凸の激しい海底で歩行する場合、脚長（本体の高さ）を設定しなくてはならない。
本システムでは、ロボットが水平姿勢をとった時点で4脚のうち最も長い脚が一定値になるように制御される。一定値とは、0.3, 1, 1.5, 2 (m) の4種類である。

(3-2-2) 表示

ロボットの状態がオペレータに正確に伝わるように工夫されている。

1. ロボット各部のストローク、スイッチの状態、動作シーケンスの表示。
2. 方位、水深、潮流等の環境条件の表示。
3. 各部アクチュエータの作動不良等の異常表示

3-3 通信システム

ロボットと通信用コンピュータとデータ伝送は電力線との複合ケーブルで接続されている。その構成は図-2の信号系統図を示すような4系統からなる。

(3-3-1) ロボットの制御情報、環境情報の通信

情報量は450ビット。通信方式は両方向性バスによるダイコード変調で通信速度は19.6Kボーズである。通信用コンピュータと中央コンピュータとは8ビット並列伝送である。中央のコンピュータは制御情報を最優先信号として処理し、実効伝送速度を速くしている。これは、ロボットをフィードバック方式で遠隔制御しているため、伝送の遅れが位置決め等の制御性能に影響するためである。

(3-3-2) 映像信号の通信

TVの映像信号は、FM変調され、3チャンネルを帯域分割して伝送される。

またTVカメラの制御信号はFD変調され、映像信号と同じケーブルで伝送される。

(3-3-3) 超音波信号の通信

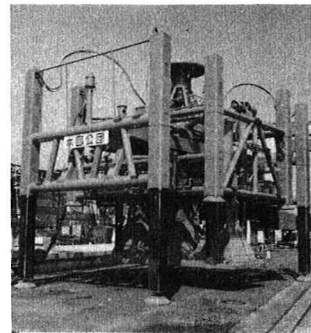
トランスポンダ測距信号2チャンネルと、地形測量信号

10チャンネルは、それぞれ時分割で伝送される。

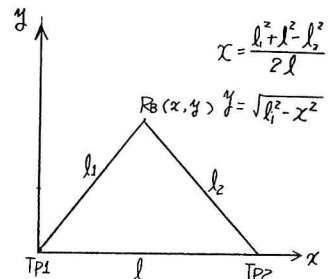
3-4 位置計測システム

海底に2つのトランスポンダを布設し、こからとロボット本体の超音波送受波器との測距データから三角測量方式によりロボットの位置をコンピュータにより計算、表示する。

超音波振動子は、無指向性で、周波数は75kHz、到達距離は300mである。



(写真-1) ロボット本体



(図-3) 三角測量の基本式

(3-4-1) 超音波信号処理

超音波信号はAGC, STC, 雑音除去, 平均化等の処理がなされている。また温度による超音波伝播速度誤差補正や, トランスポンジ間との高低差を水深計で検出し, 補正演算を行なっている。

(3-4-2) 軌跡の表示

X-Yプロッタ(A1サイズ)上にロボットの軌跡を表示する。この際, 任意の作業域への座標回転や移動が可能であり, 搭載した方位センサーから進行ベクトルを計算し, 磁北を描くこともできる。

一方, 超音波振動子は, 構造上, ロボットの先端部に設置されているので, 軌跡がロボットを中心位置と表示するような補正演算が行われる。

(3-4-3) 絶対位置

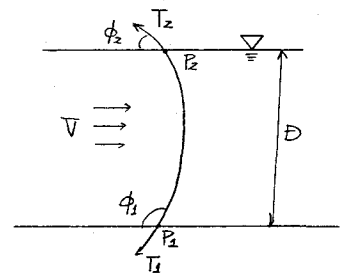
本方式は, トランスポンジを基準とする相対計測であるが, 実際の運用では岸上の固定点からの測量で, トランスポンジの設置位置を求め, 海面上の絶対位置とすることができるとしている。

3-5 テーブルテンションコントロール

給電ケーブルの張力をコントロールするシステムである。

これは, 海底のロボットに給電するケーブルのたるみすぎによる損傷の防止を主な目的とする。

本システムは, あらかじめ計算した理想的なケーブル張力(Kg)をコンピュータのメモリにケーブルとしてストアし, 水深(D), 潮流速(V)の2つをパラメータとして引き出して, 指令する方式である。



(図-4) 張力のモデル

3-6 観察システム

(3-6-1) 撮影

写真, TVカメラ各3台により, フリアサイト(透明な水を入れ水槽)を通して海底の地形を観察する。

スチールカメラは固定焦点で800枚の連続撮影ができる。

また, TVカメラは, 絞り, ズーム, 焦点の制御が可能でこれらの撮影はすべてリモートコントロールされる。

水中照明には600Wのハロゲンランプが40燈用いられている。

(3-6-2) 測量

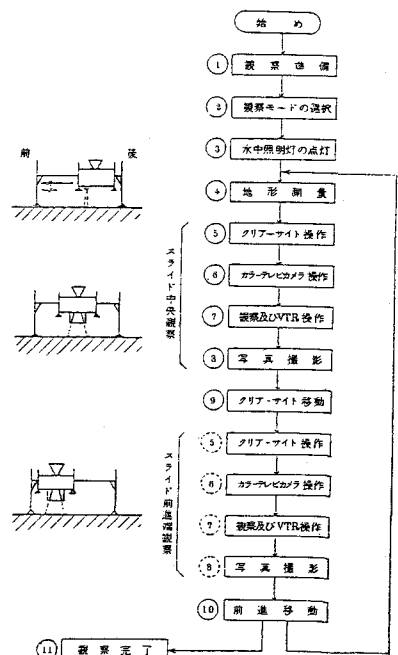
海底を10個の超音波センサーによって, 走査・測量し, ファクシミリに断面地形を表示させる。またこの測量値を計算し, フリアサイトの衝突を防止する。

(3-6-3) 操作

操作フローを図-5に示す。操作は自動歩けシーテンスにより自動化されている。

(3-6-4) データ

観察データは写真, ビデオ, ファクシミリに収録されるが, 写真を撮影したときの環境条件, ロボットの状態, 時刻等が同時にプリンタに打ち出される。



(図-5) 観察シーケンス

4. コンピュータ

4-1 ハードウェア

情報の流れと、それを実現するためのハードウェアの構成を図-6に示す。

CPUには16ビットのマイクロコンピュータが用いられている。処理速度、情報量(223バイト)から8ビットマシンでは処理できない。メモリにコアを用いているのは、プログラムの変更により対応するためである。

4-2 ソフトウェア

プログラム容量は64Kバイトで、そのうち、制御、観察、通信、システムモニタがそれぞれ8K、位置の計算処理に32Kである。

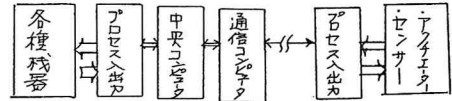
システムモニタの機能は、F/B(FOREGROUND, BACKGROUND)方式で、2レベルの分割処理と管理している。常時処理すべきジョブ群をF処理、特定の操作モードで処理するジョブをB処理としている。

(4-2-1) F処理(FOREGROUND)

通信ジョブ(ホーリング等)、入出力ジョブ、パネル表示ジョブからなり、CPU負荷の90%を占めている。

(4-2-2) B処理(BACKGROUND)

制御ジョブ(ロボット制御の各シーケンス)、位置計算ジョブ(座標、作図)及び、観察ジョブ(観察シーケンス、データ編集)である。これはCPU負荷の10%である。



〔中央コンピュータ〕

- ・LSI-11/03
- ・メモリ 64Kコア
- ・入出力 1296ビット
- ・割込 5レベル

〔通信コンピュータ〕

- ・8080
- ・メモリ 8KROM
- ・入出力 20ビット
- ・伝送データ 450ビット

(図-6) ハード構成

5. おわりに

本システムではロボットの制御、データ処理にコンピュータを使用したが、今後は通信データ雑音除去のためのデジタル処理、地形やロボットの3次元動画表示等に、更に高性能なコンピュータシステムが望まれることになる。

また、各種センサにもマイコンを内蔵し自動校正や高精度化をほかる必要がある。

海洋研究においては、今後ともコンピュータのニーズは多くなると思われる。

最後に、写真-2は、本システムによって撮影された海底写真である。

写真-2

