

## 自律型海中ロボットの知的行動の研究

## —— その 1 : テストベッドの開発とソフトウェア構造 ——

A Study on Intelligent Behaviors of Autonomous Underwater Robots

—— 1st Report: Development of A Test-Bed Robot and A Software Architecture ——

藤 井 輝 夫\*・浦 環\*  
Teruo FUJII and Tamaki URA

## 1. は じ め に

環境の予測がつかない海中において行動する自律型海中ロボットを考えると、「実環境におけるロボットのロバスト性」をいかにして実現するかが最も重要な課題となる<sup>1)</sup>。すなわち、その開発にあたっては実際にロボットを製作し稼働させながらハードウェア、ソフトウェアの研究を行い、実環境において生じる問題に対処しなければならない。このような考えに基づき、筆者らは PTEROA150<sup>2)</sup> と呼ばれる航行型無索無人潜水艇の開発にともなってこれまで PTEROA60<sup>3)</sup>、PW45<sup>4)</sup> などの小型テストベッドを製作し、実際に航行させることによって運動特性や制御技術に関する検討を行ってきた。

本研究では、静止作業を含めた複雑で知的な判断を必要とする作業が可能で自律型海中ロボットを想定して、必要な行動能力を有するテストベッド“The Twin-Burger<sup>5)</sup>”を新たに設計製作し、これを用いて知的行動を実現するための技術の検討を行う。ここでは、設計をおおむね終了し現在製作中の Twin-Burger を紹介するとともに、これに搭載するソフトウェアの構造について述べる。

## 2. Twin-Burger の概要

Twin-Burger は複数のセンサによって外部環境を認識しながら航行し、目標とする地点に達するとそこに留まって作業を行うことが可能な自律型海中ロボットである。その外観図を Fig. 1 に示す。知的行動の研究用テストベッドとして利用するため、航行型のロボットのように海中の広い範囲を泳ぎ回るのではなく、定点に留まって仕事をし、自分以外の観測機器や海中ロボットと相互に情報のやりとりを行う。したがってそのミッションとしては、a) ロボット単独で行うもの、b) ダイバーや他のロボットと協調して行うもの、の 2 種類が考えられる。Fig. 2 に単独ミッションの一例として、海底観測

プラットフォームの保守および観測データの収集の概念図を示す。ミッションの内容は以下ようになる。

- 1) プラットフォームの設置地点まで航行する。
- 2) プラットフォームと交信して、観測データやプラットフォーム内部のステータス情報を得る。
- 3) 必要ならば何か所かについて同様に情報を収集する。
- 4) 支援船あるいは、初期位置に戻る。

この例において、プラットフォームが海底の広い範囲に渡って多数設置されている場合には、ダイバーあるいは複数のロボットと協力して、短い時間ですべてのプラットフォームの情報を得ることを可能とする。

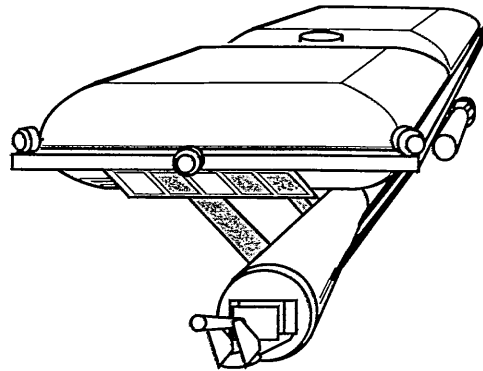


Fig. 1 Conceptual Drawing of the Twin-Burger

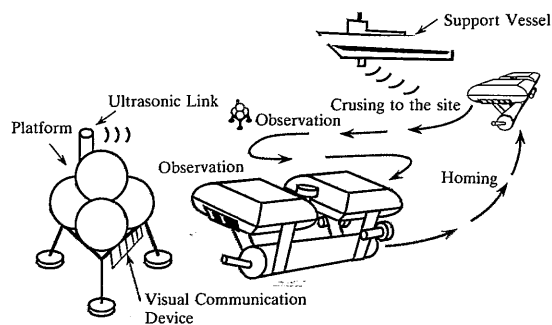


Fig. 2 An Example of the Twin-Burger's Mission

\*東京大学生産技術研究所 第2部

### 3. Twin-Burger の設計

Twin-Burger は、実用ロボットではなく研究に使用するテストベッドとしての機能を重視する方針で設計がなされている。その重要な機能は大きく分けて以下の2つのカテゴリにまとめることができる。

- カテゴリ A：知的行動を実現するために不可欠な機能
- カテゴリ B：実験を容易にするための機能

それぞれのカテゴリの中で特に重要な点は、  
 <カテゴリ A>

- 1) 完全に自律であること
- 2) 環境を認識するためのセンサを備えていること
- 3) 他のロボットやダイバーとの通信機能を有すること
- 4) 十分な計算能力を持つ CPU を搭載していること

<カテゴリ B>

- 1) 2, 3 人で容易に扱える程度に小型軽量であること
- 2) 高速で航行する必要はない代わりに定点に留まっていられること
- 3) 耐圧深度やエネルギー持続時間は水槽や浅海における実験が可能な程度で充分であること

等となる。これらをふまえて設計した Twin-Burger の一般配置図を Fig. 3 に、主要寸法および装備を Table 1 に示す。

Twin-Burger は、全長 1.3m、乾重量約 100kg で、バッテリーを格納するシリンダ、二つの FRP 製容器およびこれらを取り付けるフレームからなる。これらの形状設計は、高速での航行は考えないために流体動力学的な特性は重視せず、機器を内部に搭載する際の便を考慮して行った。フレームの上部に FRP 容器を下部にシリンダを取り付けることにより、重心位置と浮心位置間の距離を充分にとり、ピッチとロールに関する静的な安定性を確保した。

推進器として 4 機のスラスタを持ち、そのうち 2 機は前進後退および差動による回頭用に、残りの 2 機は上下および左右への平行移動用に 4 自由度に関する運動制御が可能である。また、外部環境認識用のセンサとして、8 チャンネルの超音波距離センサとパン・チルト装置を備えたカラーイメージセンサを一式搭載している。

なお、設計および各部品の製作は概ね終了し、現在はロボット全体の組み上げを行っている (Fig. 4)。

### 4. 通信システム

複数のロボットあるいは人間とロボットによる協調作業を行うためには、互いに意志を伝え合うことが必要である。海中においてこのようなコミュニケーションを行うために、Twin-Burger は 2 系統の通信システムを持つ。一つは超音波を用いたコマンドリンクシステムで、主に離れた場所にいる相手との通信に用いられる。もう一つは、新たに開発中の視覚を用いた通信システムで、これは主に至近距離にいる相手との通信に用いられる。Fig. 5 に視覚通信システムの概念を示す。

本システムは、5 枚の EL (Electro-Luminescent) パ

Table 1 Dimensions and Specifications of the Twin-Burger

Length over all	1.3 m
Breadth over all	0.65m
Depth over all	0.50m
Dry weight	70kg
Operating depth	50m max.
Maximum speed	1knot
Duration	2hours (for CPUs)
Batteries	25.2V/1A and 28.8V/1A
Structure	Twin FRP hulls and a cylinder with a frame
Actuators	4 thrusters with 40W DC motors 2 servo motors for camera pan and tilt
Sensors	Inertial navigation system 2 axes speed sensor Depth sensor CCD color imaging sensor 8ch. ultrasonic range finder
Communication	Ultrasonic transponder Electro-luminescent panels
Computer system	< Main > 10 T800 Transputers with 16Mbytes RAM < Interface > 4 T425 Transputers with 4Mbytes RAM

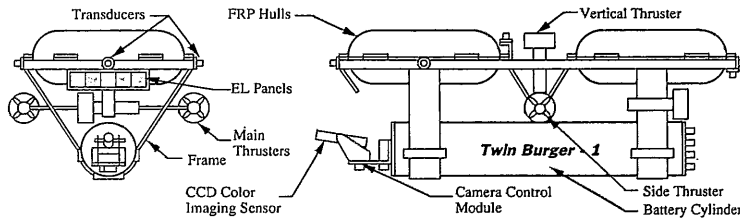


Fig. 3 General Arrangement of the Twin-Burger

ネルによって表示される4ビットのコマンドと1ビットのステータス信号をカラーイメージセンサによって読み取ることによりデータのやりとりをするシステムで、ダイバー間の意志伝達に通常用いられているハンドシグナルに対応するものである。ダイバーは、ELパネルによる表示装置によって簡単な操作でロボットに自分の意志を伝えることができ、またロボットに搭載したパネルを読み取ることによってロボットの反応を知ることができる。海中において作業をするダイバーは、高圧力環境の影響で一般に精神的に不安定な状態に陥りやすい (High Pressure Nervous Syndrome)<sup>6)</sup>。視覚による意志伝達の方法は、ダイバーとロボットとの協調作業を行う際に、ダイバーの精神的な緊張感や焦燥感を軽減させる意味で有力な通信手段となりうる。

5. コンピュータシステム

Twin-Burgerのコンピュータシステムは、INMOS社のT800トランスペュータ<sup>7)</sup>を基本としたマルチプロセッサシステムである (Fig. 6 参照)。T800は1チップに32ビットのマイクロコンピュータ、64ビット浮動小数

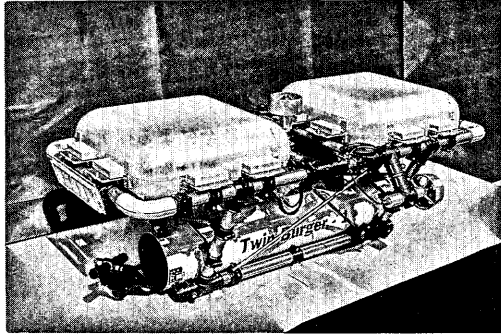


Fig. 4 The Twin-Burger under Construction

点演算器、4kbyteのオン・チップRAMおよび20Mbit/sのシリアル通信リンクをパッケージしたもので、Occam 2あるいはANSI Cのプログラミング言語を用いることで容易にマルチプロセッサシステムを構築できる。Twin-Burgerには、10個のT800をマザーボードに搭載し、それぞれFig. 6に示すような機能を分担させる。また、4個のT425をセンサやアクチュエータとのインタフェース管理用に用いている。

6. Twin-Burgerのソフトウェア構造

海中ロボットがある決められた経路に従って航行する場合、1)自分の運動の状態をセンシングし、その結果に基づいて、2)アクチュエータを適度に駆動しなければならない。このときソフトウェアに関しては、1)についてはセンサからの信号を処理するモジュール、2)については制御戦略に照らしてアクチュエータに与える制御指令を計算するモジュールが必要であり、モジュール間で相互に必要な情報をやりとりしながら、正確なタイミングで実行されなければならない。海中ロボットのような多くの処理を必要とするリアルタイムシステムにおいては、

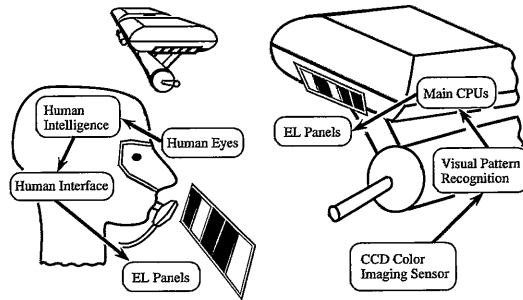


Fig. 5 A Concept of the Visual Communication System

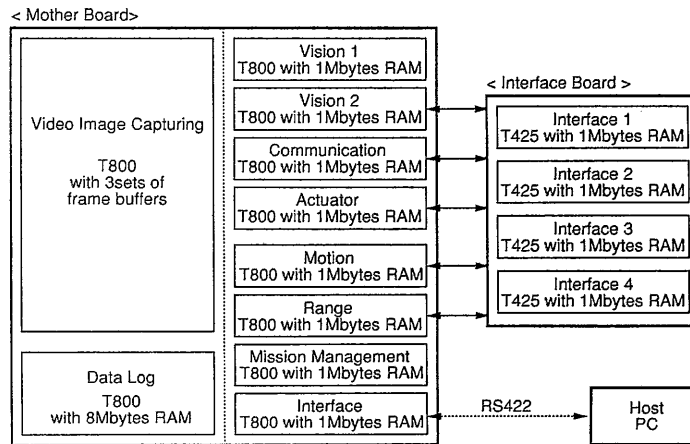


Fig. 6 Block Diagram of the Twin-Burger Computer System

## 研究速報

このようなソフトウェアモジュール間の相互通信および実行タイミングの同期を実現するようなソフトウェア構造が望ましい。

自律型海中ロボットの知的行動を実現する上で必要となるソフトウェア的な処理のうち、スライディング・コントロールやカルマンフィルタ等、多くのものは処理モジュール単独として確立されている。しかしながら、それぞれのモジュールにおいて様々な理論あるいは方法に基づいた処理を行わなければならないため、モジュール間で整合性を保ちながらシステム全体として望み通りに動作させたり、動作の状況を把握したりすることは非常に困難である。本研究では、このような問題に対処するため分散型ロボット管理アーキテクチャ (Distributed Vehicle Management Architecture: DVMA) を Twin-Burger のソフトウェア構造として提案する。

DVMA は Fig. 7 に示すように、下からハードウェアレベル、機能レベル、行動レベルの3つの層からなる。

ハードウェアレベルは、直接インタフェースを介してセンサやアクチュエータ、通信システム等を制御する処理モジュールからなり、これらのソフトウェアはロボットに搭載されているハードウェアに依存したものである。

機能レベルは、ロボットの持つべき機能、たとえば推定航法や障害物の回避、画像処理などの処理を行う機能モジュール (Functional Module) からなる。ここで注意したいのは、これらの機能モジュールはハードウェアとは直接対応しないソフトウェア群であり、ロボットの行動を実現するためのパーツとなるものである。ハードウェアとの対応関係は、ハードウェアレベルに属するソフトウェアモジュールとのインタフェースによって規定

することができる。

最上層の行動レベルに属する行動モジュール (Behavioral Module) は機能モジュールと一対一に対応したソフトウェアモジュールで、ロボット全体の行動に関して、ある機能モジュールの分担している機能が必要であるか否かに応じて機能モジュールの状態 (= Active/Inactive) を規定する。たとえば図中では、斜線で塗りつぶされている行動モジュールに対応した4つの機能モジュールが Active となっている。これらの機能モジュールは、モジュール間通信に関するとりきめの書かれた行動スクリプトをそれぞれ有しており、これに基づいて互いに必要な情報を通信しあいながら各自の処理を並列に実行する。

## 7. おわりに

本報告では、自律型海中ロボットの知的な行動を研究するためのテストベッドとして、外部環境認識のためのセンサや通信機能を備えた "The Twin-Burger" と呼ばれるロボットを紹介し、その形状や主要な装備について述べた。また、Twin-Burger のソフトウェア構造として、分散型ロボット管理アーキテクチャを提案した。今後は、専用シミュレータ上で、あるいは実際にロボットに搭載して、本アーキテクチャの有効性について検討する予定である。

本研究は文部省科学研究費補助金による研究成果の一部であり、またロボット製作の一部は生産技術研究所試作工場にて行われた。関係各位に深く感謝致します。

(1992年6月25日受理)

## 参考文献

- 1) 藤井：“自律型潜水艇研究の動向と展望”，日本造船学会誌，第739号 (1991) pp. 15-22
- 2) 浦，能勢，坂巻：“グライダー型潜水艇の設計に関する研究 (その7)”，生産研究，Vol. 43, No. 2 (1991) pp. 39-42
- 3) 浦，藤井：“グライダー型潜水艇の設計に関する研究 (その6)”，生産研究，Vol. 41, No. 9 (1989) pp. 33-36
- 4) 藤井，浦，黒田：“コントローラを自己生成する海中ロボット”，第10回海洋工学シンポジウム予稿集 (1991) pp. 237-243
- 5) T. Fujii et al.: "Multi-Sensor Based AUV with Distributed Vehicle Management Architecture", Proc. of AUV'92, Washington, DC (1992) pp. 73-78
- 6) D. Sisman ed.: "Professional Diver's Handbook", Submex Ltd. (1982)
- 7) "The Transputer Databook", Second Edition, Inmos Limited, U.K. (1989)

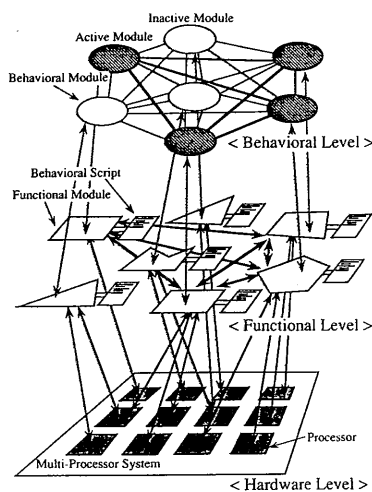


Fig. 7 The Distributed Vehicle Management Architecture