

水中ロボットのための 電源内蔵型ワイヤレススラストモジュールの開発

Development of a wireless smart thruster module for underwater robots

大室拓哉, 高橋隆行

Takuya Omuro, Takayuki Takahashi

福島大学

Fukushima University

キーワード: 水中ロボット (underwater robots), スラスト (thruster),
モジュール (module), 小型 (small)

連絡先: 〒 960-1296 福島県福島市金谷川 1 福島大学 理工学群共生システム理工学類 高橋研究室
大室拓哉 Tel.: (024)548-5259, Fax.: (024)548-5259, E-mail: omu@rb.sss.fukushima-u.ac.jp

1. はじめに

環境調査や水中構造物の保守, 点検など, 人間が水中で作業を行わなければならない場面は多く存在する. しかし, 水中という過酷な環境下で人間が作業を行うには高い危険性を伴う. また, 危険性を回避するために水上から作業を行ったのでは多くの制約を受ける. このような実状を踏まえ, 近年ではこれらの危険や不便を伴う作業を補佐, もしくは完全に置き換えることを目的とした水中ロボットの開発が盛んに行われている¹⁾.

一般的に, これらの水中ロボットは ROV (Remotely Operated Vehicle) と AUV (Autonomous Underwater Vehicle) で比較, 分類されるが, 他の分類方法として

- (1) 大型で高機能なロボット
- (2) 小型で機能を絞ったロボット

という 2 種類に分類することができる.

(1) のロボットは様々な機能を有しており, 1 回の航行で複数の作業をこなすことができる. しかし, このようなロボットは専用の母船を必要とするうえ運用に専門のオペレータが必要であるなど, 高い技術や大きなコストを要するといった側面がある²⁾. 反対に (2) のロボットは小型で運用しやすいという特徴を持っている. その反面, 搭載可能な機器の数や種類が限定されてしまうため作業内容が制限されてしまうという側面がある³⁾. さらに両者に共通して, 現場では容易に搭載機器の交換や内部のメンテナンスを行うことができないという欠点が挙げられる. これは, 高い水圧からロボット内部の機器を守るために筐体の蓋が強固に固定されていることに加え, 現場で繰り返し蓋の開閉を行うことで浸水のリスクを高めてしまうからである.

本研究ではこの問題を解決するため, モジュー

ル構造を採用したロボットの開発を目指している。水中ロボットの構造をモジュール化することで、必要に応じてロボットの機能を拡張することが可能となる。また、モジュールを小型化することで維持や運用が容易になる。本論文では、モジュール型水中ロボットの概要、およびその第一段階としての電源内蔵型ワイヤレスラスタモジュールの開発について述べる。

2. モジュール型水中ロボットの概要

モジュール型水中ロボットの構成は大きく3つに分類することができる。1つめは地上のメインコンピューターとケーブルで接続されているメインモジュールである。このモジュールにはロボットの制御に関する姿勢センサや方位計などのセンサ類を搭載する。また、地上からの指令はメインモジュール内のマイコンで受け取り、それを無線で各モジュールに伝達する。2つめはサンプリングモジュールである。このモジュールについては、藻類などの資料を回収するサンプル回収モジュールと、水質などを計測するセンサーモジュールのふたつを開発する予定である。そして3つめはロボットの動力を司るラスタモジュールである。各モジュールは制御のためのマイコンと通信をおこなうための無線通信モジュール、電源としてバッテリーを搭載している。ロボットのイメージを Fig. 1 に示す。

ロボットをモジュール型にすることの利点として、

- (1) 予備のモジュールと交換することで容易にアクシデントに対応することができる
- (2) 対応可能なミッションの幅が広がる
- (3) 従来のように電源が集中していないので、様々なリスクを分散させることができる

といったことが挙げられる (1) については強固に固定された防水部分を開閉してバッテリーや

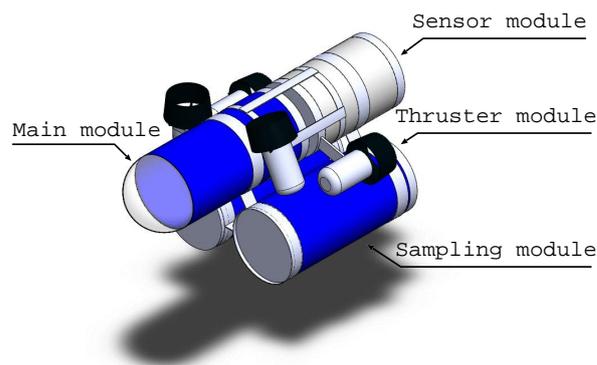


Fig. 1 Schematic diagram of the conceptual model of proposed underwater robot

機器を交換、修理する手間を省くことができるということである。(2)については、必要に応じてモジュールを追加、取り外しすることによって、その場で臨機応変に作業を行うことができるということを意味している。さらに(3)については、従来の水中ロボットはひとつの筐体に電源が集中して配置されていたため、浸水によって一度にすべての電源が被害を受ける可能性があった。しかし、各モジュールに電源を分散することでこのリスクを低減することができる。さらに、非接触給電の技術を応用することで、緊急時に他のモジュールと電源を共有することができるようなシステムの構築を目指している。

3. 無線通信モジュールおよびマイコンの選定

3.1 無線通信モジュールの選定

各モジュール間の通信に必要な無線通信モジュールの選定を行った。無線通信の媒体としては光や超音波、電波が考えられる。一般的に水中での通信には光や超音波を用いるが、マルチポイント通信や、水中浮遊物の影響、さらには拡張性や開発環境を考慮すると適さない。そこで本論文では、水中での通信はごく短い距離に限定されてしまうものの、光や超音波通信で生じる問題を解決できると考え電波通信に着目した。

Table 1 XBee specifications

Indoor/Urban Range	Up to 30[m]
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 90[m]
RF Data Rate	250[kbps]
Supply Voltage	2.8-3.4[V]
Operating Frequency	ISM 2.4[GHz]
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels

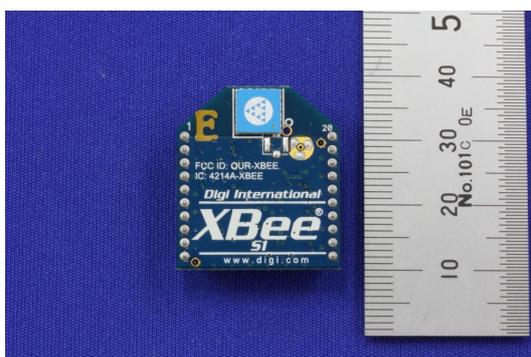


Fig. 2 XBee RF module

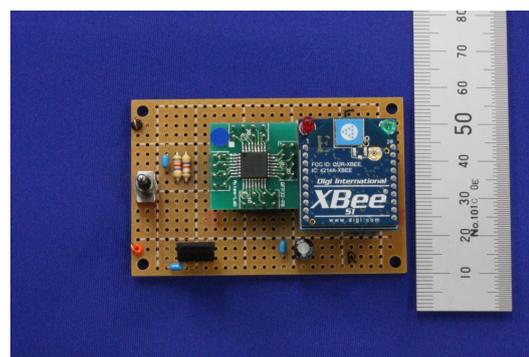


Fig. 3 R8C connected XBee

その結果，DigiInternational社のXBeeを選定した．Fig. 2に写真を示す．またTable 1にXBeeの主な仕様を示す⁴⁾．

XBeeの特徴としては，AD変換ポートやPWMポートを備えており拡張性があること，シリアルポートを備えており複雑な設定なしに既存のシリアルケーブルをワイヤレスに置き換えられることが挙げられる．さらには販売元からリリースされているフリーソフトX-CTUを使って様々な設定を自由に変更できることから，開発環境も十分に整っている．

3.2 マイコンの選定

無線通信モジュールと合わせてロボットの各モジュール内に組み込むマイコンとして，ルネサスエレクトロニクス製8ビットマイコンのR8C/2Lを選定した．選定した理由としては，AD変換ポートやPWMポート，シリアルポートを備えていることに加え，開発環境が整っていることが挙げられる．Table 2にR8C/2Lの基本的な仕様を示す．また，XBeeと接続された状態の

R8C/2LをFig. 3に示す．

4. 水中通信実験

4.1 実験目的

一般的に，水中では電波の減衰が著しいため，超長波以上の波長の電波を除き水中での実用的な通信はごく短い距離に限られていた．また，使用する電波帯域や送信出力などで通信距離は変化する．そこで，選定したXBeeが水中でどの程度の距離まで通信が可能であるか検証することを目的として実験を行った．

4.2 実験条件

研究室内に幅650mm×奥行400mm×高さ350mmの水槽を仮設して2台のXBeeとR8C，それらを格納するプラスチック製円筒容器2本を用いて実験を行った．2台のXBeeおよびR8Cはそれぞれ単4電池×4本の6Vを電源とし，回路中に三端子レギュレーターを組み込み3.3Vに電圧を降下させて供給した．また，容器付近に

Table 2 R8C/2L specifications

Item	Function	Specifications
CPU	Central processing unit	Multiplier:16bits × 16bits 32bits Multiply-accumulate instruction: 16bits × 16bits+32bits 32bits
Interrupts		External:4sources,Initial:15sources,Software:4sources Priority levels:7 levels
Operating Erequency		20MHz(VCC = 3.0 to 5.5[V]) 10MHz(VCC = 2.7 to 5.5[V]) 5MHz(VCC = 2.2 to 5.5[V])
Timer		Watchdog 2 × 8bit,2 × 16bits
Serial Interface	UART0 UART2	Clock synchronous serial I/O/UART × 2

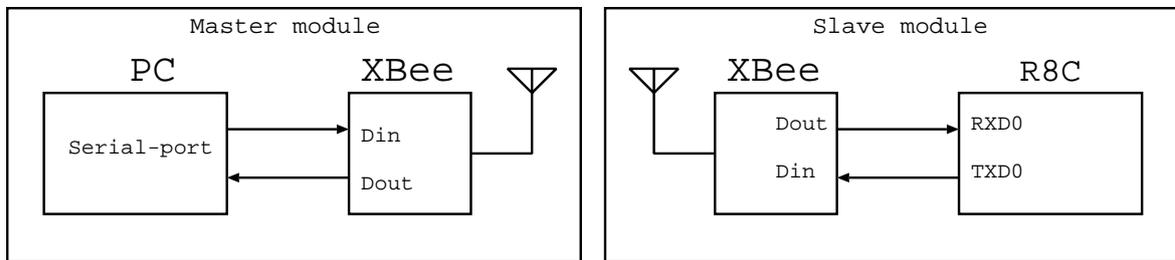


Fig. 4 Set up for loop back test

金属が存在した場合，アンテナの役割をしてしまうことが懸念されたため，容器を固定する台などは非金属製のものを用いた．さらに，空気を介して通信してしまうことを防ぐため，予備実験で得られた結果をもとに，容器上端から水面までの距離を 50mm として実験を行った．

4.3 実験方法

実験に用いたシステムのモデルを Fig. 4 に示す．1 台の XBee は Fig. 5 に示すように有線で外部 PC と接続し，X-CTU のレンジ測定機能を用いて 32bytes の文字列データを連続的に 100 回送信した．他方の XBee はモジュールを想定して Fig. 6 に示すように R8C と接続されており，電波によって受け取ったデータは R8C に入力されたのち，同じデータを再び XBee を介して PC へとループバックさせた．PC 側は送信したデータが既知のため，受信したデータと比

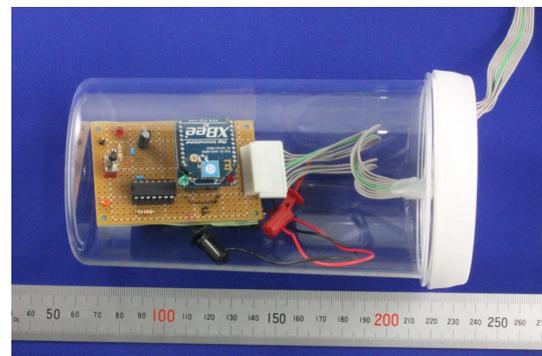


Fig. 5 PC connected XBee in waterproof container

較することでエラーの有無を検知している．

2 台の XBee はそれぞれ円筒容器に格納されており，確実に通信が行える距離から徐々に距離を離し，通信可能な距離を計測した．ここで，計測距離とは円筒容器間の水が存在する部分を指す．実験の様子を Fig. 7 と Fig. 8 に示す．

Table 3 Experimental data

Distance[mm]	Signal Strength[dB]	Receive Error Rate[times]	Success Rate[%]
100	-53	0	100
120	-76	0	100
130	-85	0	100
135	-88	15	85.0
140	-94	96	4.0
145	-94	100	0

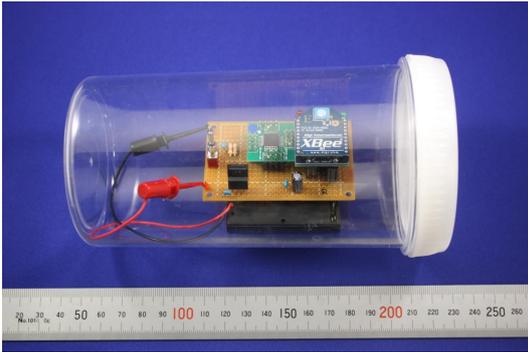


Fig. 6 R8C connected XBee in waterproof container

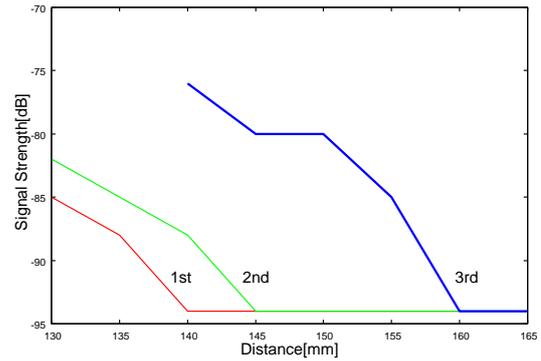


Fig. 9 Experimental result of RF signal strength detected by the master module

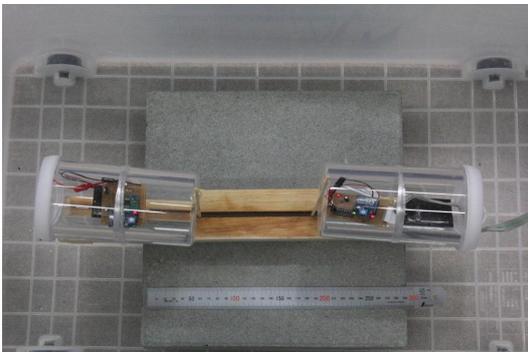


Fig. 7 Experimental set up (Top view)

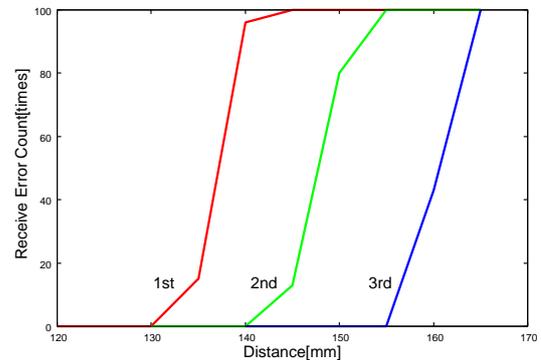


Fig. 10 Experimental result of the received data error rate



Fig. 8 Experimental set up (Side view)

4.4 実験結果

同じ条件下で3回の実験を行った．各実験の結果を Fig. 9 と Fig. 10 に示す．また，得られた結果の中で最も通信距離が短かった結果を Table 3 に示す． Table 3 において距離 140mm と 145mm における Signal Strength の値が同じであるのは，測定限界に達したためと考えられる．

この実験より，通信速度 9600bps では距離 130 mm ，送受信回数 100 回という条件において受

信成功率が100%という結果を得ることができた。水中では電波が非常に不安定であるため、モジュール間の距離が概ね100mm程度であれば確実に通信が行えるものと考えられる。

5. 電源内蔵型ワイヤレススラストモジュールの概要

XBeeを用いた電源内蔵型スラストモジュールの概要をFig. 11に示す。スラストをモジュール化することで、手間のかかる現場でのバッテリーの交換作業を省き、予備のモジュールと交換することでより迅速に作業に復帰させることができる。

モジュールの電源としては、リチウムポリマーバッテリーを搭載する。リチウムポリマーバッテリーは従来のバッテリーと比較してエネルギー密度が高いことが特徴である。よって、スラストモジュールのような容積の少ない場所に小型のバッテリーを搭載する場合であっても、十分な容量を確保することができる。また、モータ制御のためのマイコンとしてモジュール内にR8Cを搭載する。モジュール内にもマイコンを搭載することで、分散処理によるメインモジュール内のマイコンの負荷軽減と、XBeeのPWMポートを使用した場合に比べより高度な制御を実現することが可能となる。そして、モータからの動力をスクリュープロペラに伝達する部分については、マグネットカップリングを用いた非貫通型のもの、Oリングによるシールを用いた貫通型の2種類を製作し、その性能について比較する予定である。

6. おわりに

本論文では、モジュール型水中ロボットの提案と、スラストモジュールの開発状況の報告、およびモジュールに搭載する無線通信モジュールの選定と実験を行った。実験の結果、水中での

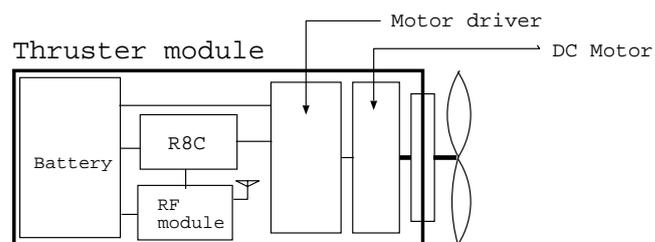


Fig. 11 Designed thruster Module

電波通信が本研究の目的を達成するには十分であることが確認された。

今後は、本論文の実験で得られた結果と淡水中での通信実験の結果を考慮し、XBeeを搭載したモジュールの具体的な設計、製作を行う。また、提案したロボットについてもさらに詳しく検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 浦環, 高川 真一 (編著): 海中ロボット総覧, 1/102, 成山堂書店 (1994)
- 2) 坂上 憲光, 池田 貴明, 井端 大輔, 柴田 瑞穂, 川村 貞夫: 小型水中ロボットに着脱可能な多自由度マニピュレータの開発, 第28回日本ロボット学会学術講演回, RSJ2010AC1G2-6, 1/3 (2010)
- 3) 大畑 智海, 江里口 優, 石井 和男: 沿岸域における観測を目的とした小型水中ロボットシステム”AquaBox”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A2-D03, 1/4 (2007)
- 4) DigiInternational, <http://www.digi-int.co.jp>, 12.November(2010)