

# 世界の航行型海中ロボットと R1 計画

Trends of R & D of Cruising Type Underwater Robots and R1 Project at Institute of Industrial Science

浦 環  
Tamaki URA

海中作業を無人化し、自立したロボットにおこなわせる研究は、世界中で広くなされている。また、このようなロボットを用いた海洋観測は21世紀の地球環境計測にとって不可欠なものとなる。しかし、試作機を作り実海域での試験までをおこなっているロボット開発研究は少ない。ここでは世界の代表的なロボットを紹介し、東京大学生産技術研究所でおこなわれているプロテア計画と R1 計画とがどのように位置づけられるかについて述べる。

## 1. 海中ロボット

なんらかの作業をおこなう無人の海中機械は、表1に示すように分類される。このうちで、狭義の海中ロボットに対応する無索無人潜水機は AUV (Autonomous Underwater Vehicles) と呼ばれる。しかし、英語の意味は、「自律水中機」であるので ROV (Remotely Operated Vehicles) [1] と呼ばれる有索無人機の高度に自律化したものも含まれてしまう。そこで単に AUV といったときに定義の混乱が起きる。それに対して UUS (Unmanned Untethered Submersibles) は、無索で無人であるというきわめてわかりやすい定義になっているので混乱はおこらない。そこで、無索無人潜水機を UUS と略称する。

UUS の歴史は、フランスの CNEXO (現 IFREMER) が1979年に製作した「EPAULARD」(図1) [2]、英国の Heriot-Watt 大学が製作した「Angus Rover」[3]、および米国の New Hampshire 大学が製

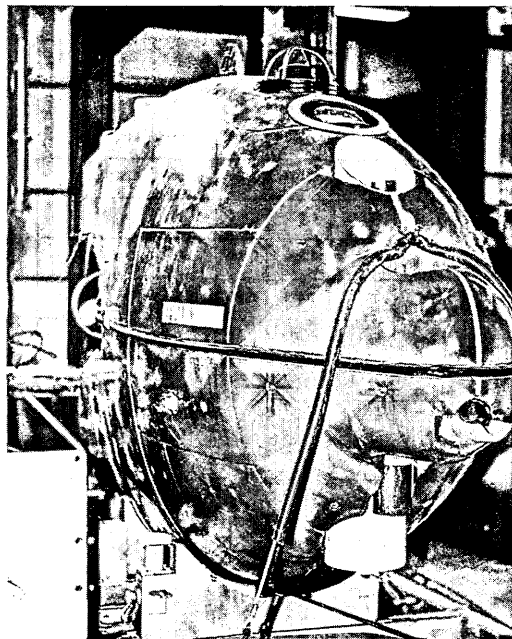


図1 IFREMERの「EPAULARD」

表1 無人の海中機械の分類と代表例

有索潜水機	
— 自航水中移動型 (ROV)	
└ 軽作業用 (LC-ROV)	MINI-ROVER, RTV-100, PHANTOM
└ 重作業用 (HD-ROV)	CURV-111, TRITON, トリトン3k
— 自航海底クローラ型	
└ ライン作業用	PONTUNUS
└ 土木作業用	77706, RUM-111
— 構造物依存型	MMS, SCIMITAR
— 曳航型	
└ 海中曳航型	いざなぎ, DEEP TOW, AROGO
└ 海底曳航型	KDD-PLOUGH, SUBMERSIBLE PLOUGH SYSTEM
無索潜水機 (UUS)	
— 超音波リンク遠隔操縦型	EPAULARD, ANGUS-ROVER, XP21
— 完全自立型	PTEROA150, R1, EAVE-III, SEA SQUIRT

\*東京大学生産技術研究所 第2部

作した「EAVE EAST」(図2) [4] や Washington 大学の「SPURV」などに始まるというよい。現在では、表2のような UUS が作られており、また、研究開発がおこなわれている。

## 2. わが国の UUS

わが国では、機械振興協会からの援助を受けた、渡辺茂東京大学教授を中心とするグループが1974年に「OSR-V」(図3) [5, 6] を作り、沼津沖で実海域試験を行ったが、単発的な研究に終わった。

1986年に著者等のグループが、「プロテア計画

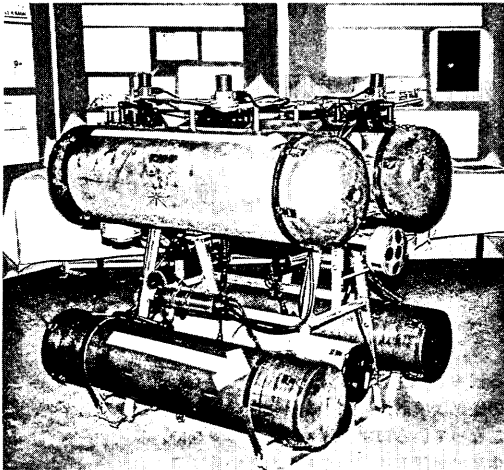


図2 New Hampshire 大学の最新の「EAVE III」

表2 航行型の UUS の例(プロトタイプ)

UUV (開発組織)	国	長さ (m)	重量 (kg)	潜水深度 (m)	電源	進水
ARCS (I. S. E.)	CANADA	5,200	1,360	300	Ni-Cd	1984
AUSS (NOSC)	USA	4,260	1,300	6,000	Ag-Zn	1983
AUTOSUB/DTV (NERC)	UK	8,000	5,000	6,000	LiSO <sub>2</sub>	?
EPAULARD (IFREMER)	FRANCE	4,000	2,910	6,000	Pb	1983
MT-88 (ACAD. SCI.)	USSR	3,800	1,000	6,000	Pb	1989
MUST (MARTIN MARIETTA)	USA	9,000	8,800	600	Pb	1988
NO NAME (MARCONI)	UK	6,500	1,316	300	Na-S	(1992)
PTEROA150 (IIS)	JAPAN	1,500	220	2,000	Ni-Cd	1990
R1 (IIS/MITSUI)	JAPAN	7,000	5,600	400	CCDE	(1995)
XP21 (ART)	USA	4,880	550	600	Pb	1988

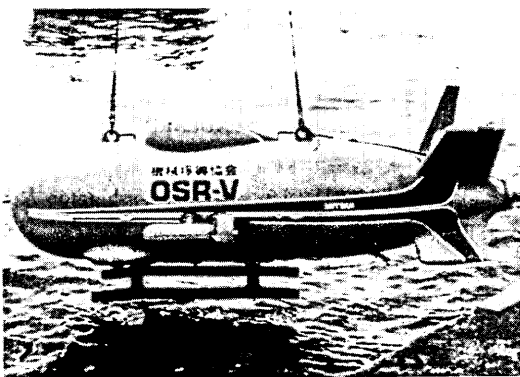


図3 日本で試作された第1号の UUS「OSR-V」[6]

(PTEROA PROJECT)」を開始し、1989年に「PTEROA150」(図4) [7, 8, 9] を作り、実海域試験をおこなっている。また、ほぼ同じ時期に、西日本流体

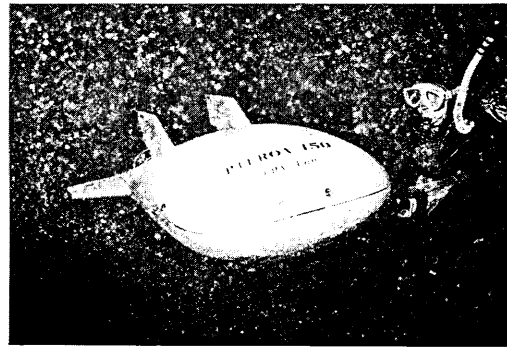


図4 東京大学生産技術研究所で開発中の「PTEROA 150」

技術研究所を中心としたグループが「ウォーターバード」[10] を作り、1992年には国際電信電話株が「Aqua Explore 1000」[11] を作った。著者等のグループは、1990年より「R1計画」を開始し、1995年に24時間航行可能な UUS を建造する予定である。

### 3. 現在の UUS の研究開発の傾向

UUS がその能力を発揮できるか否かを決めるキーワードは

- 1) ミッションは何
- 2) 稼働持続時間は
- 3) 深さは

である。

1980年代の初期においては、EAVE や Angus Rover などに代表される小型で数100mの短い距離を移動する UUS が主流であった。その考え方は現在の MIT のプロジェクトに受け継がれている。しかし、有索潜水機や有人潜水機に機能的に勝る形式として

- 1) 長時間長距離の航行可能な航行型

2) 長時間に亘って深海の海底に留まる海底停留型の2種類が有望であることに考え方の方向が変化してきた。

前者の代表は、米国 Martin Marietta 社の「MUST」(図5) [12]、カナダ ISE 社の「ARCS」(図6) [13]、英国 Marconi 社の「No Name」(図7) [14]、あるいは著者らのグループが開発している「R1」[15, 16, 17] である。海水の下の調査、海底光ケーブルの設置、中央海嶺の調査などのミッションにおいて UUS としての利点を発揮することができる。このようなミッションではエネルギーの重量が UUS の総重量の大部分を占めるようになり、UUS は数トンの大型なものになる。

このように長期に亘る航行を可能にするには、高密度で安価なエネルギーの開発が必要である。両者を同時に満足させるものはない。たとえば銀亜鉛電池は高密度であるが、製造コスト(群電池として)は、120 kWh で

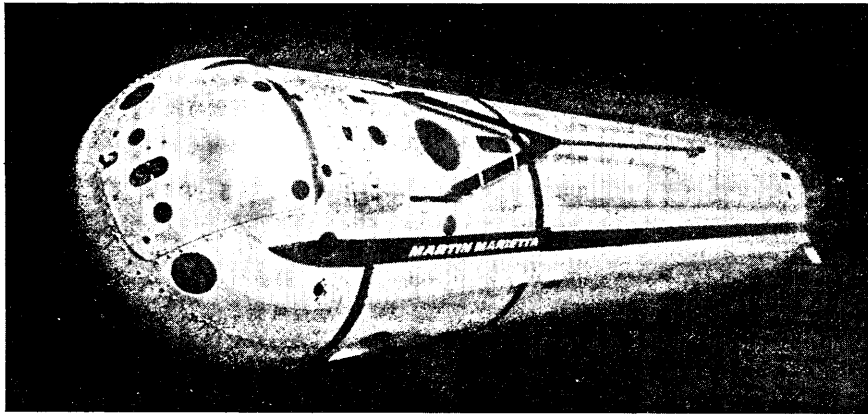


図 5 米国の「MUST」

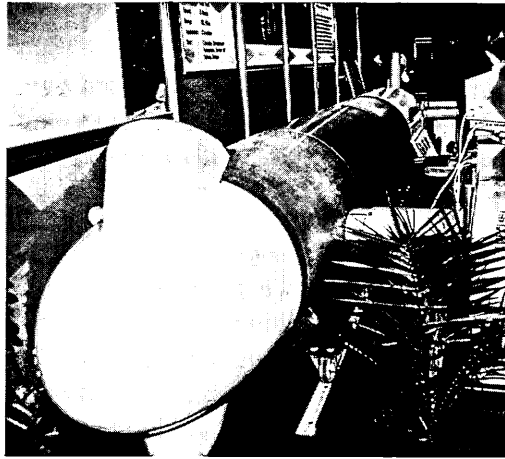


図 6 カナダの「ARCS」

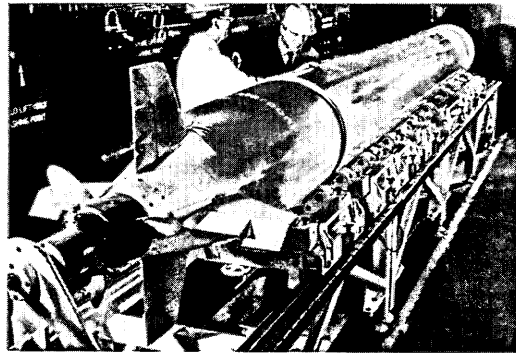


図 7 英国の Marconi 社が中心になって開発している UUS (No Name)

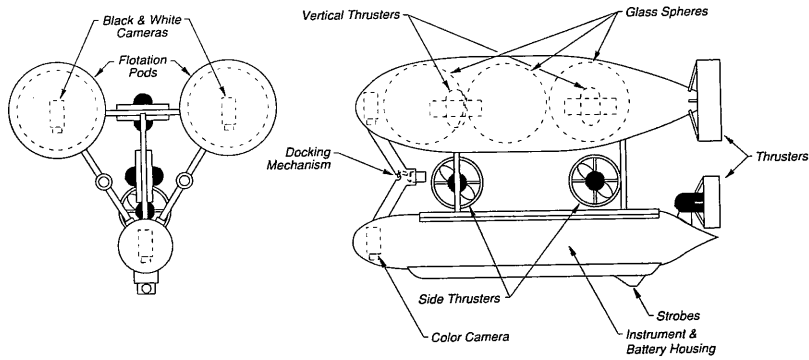


図 8 ウッズホール海洋研究所の「ABE」[18]

約 2 億円である、40 回の充電が可能であるので、1 航海当たりのエネルギーコストは 1 千万円にも上る。

熱水の噴出するアクティブな海底においては広域ではなく長期間の連続的な計測・観測活動が必要である。これはもはや有索潜水機のできるミッションではない。こ

の目的のための UUS 「ABE」(図 8) [18] が米国のウッズホール海洋研究所において進められている。

#### 4. エネルギー源

UUS のエネルギー源の選択の基準は、

表 3 各種電池のコスト, 重量, 容積の比較.  
仕様は 5 kW × 24 h, 48 V ± 10 %

一次電池					
種類	製造コスト* (万円)	使用回数 (回)	重量** (ton)	容積*** (m³)	備考
Al/Mg/NaCl	400	1	6	8	電池個数大
貯水	5,000	4	3	4	自己放電小
海水電池	2,500	1	4	7	自己放電0
二次電池					
種類	製造コスト* (万円)	充放電回数 (回)	重量** (ton)	容積*** (m³)	備考
Pb	2,000	300	6	7	安価
Ni-Cd	9,000	1,000	4	6	長寿命
Ni-Zn	8,000	1,000	3	4	軽量
AgO-Zn	20,000	50	2	3	軽量

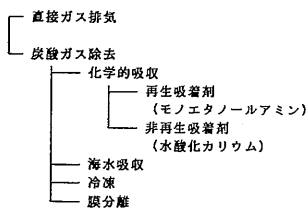
注 \* 海水電池を除き、単電池価格×個数  
 \*\* 1.2×単電池重量×個数  
 \*\*\* 海水電池を除き、3×単電池体積×個数

- 1) 単位重量当たりのエネルギー
- 2) 単位体積当たりのエネルギー
- 3) 油漬にできるか
- 4) 製造コスト
- 5) ランニングコスト
- 6) 信頼性
- 7) 管理

が上げられる。表3は海中機械に使用している、あるいは使用する可能性のある一次および二次電池のエネルギー源である。ここではR1のミッションを想定して120kWh (5 kW, 48V ± 10%, 100A) の仕様での性能と価格を比較している。価格は単電池価格に個数をかけたもので、組電池にする費用は省略してある。重量および体積は、組電池の構造を考慮してそれぞれ単電池の1.2倍、3倍としている(海水電池を除く)。ただし、耐圧容器については考慮されておらず、また、二次電池の多くは、油漬けにできることを注意しておく。

単位重量当たりのエネルギー量が多く、同時に単位体積当たりのエネルギー量が多いことが求められる。しかし、数回の実験航海ではなく、数百回にもおよぶ海中行動をおこなうには、電池の充電回数が経費として問題になる。ランニングコスト = 製造コスト / 使用回数 + α であり (αは充電に要する費用)、原価消却に対応する第1項がきわめて高価になる。一方で、稼働時間が長くなればUUSの固定設備を強化することが可能になる。そこで、

表 4 排ガスの処理方法



安定したエネルギーを作り出すために、内燃機関を採用する可能性がでてくる。内燃機関の場合の問題点は、排ガスの処理である。排ガス処理は、表4に示す方法が研究されていて、これも稼働時間によって適当なシステムが決まる。

### 5. R1 計画

著者 [15, 16, 17] らは、中央海嶺 (Mid-Ocean Ridge) の長時間航行調査を最終目的とした (図9参照) 24時間航行可能な海中ロボット-R1ロボット (注: Rとは中央海嶺を表わす Ridge System から取った) を1990年より研究開発している [19]。そのエネルギー源として、信頼性の高さでランニングコストの安さから閉鎖型ディーゼルエンジン (CCDE: Closed Cycle Diesel Engine) を採用し、ロボットを含めた開発研究を三井造船(株)と共同でおこなっている。

#### (1) R1 計画の想定しているミッション

活動が盛んで科学的にも、また、熱水性鉱床などで資源的にも興味深い中央海嶺を選んでいる。そこを低高度で航行して、温度、電導度などを計測し、写真、ビデオ撮影をおこなう。

#### (2) 年度計画

##### 第1期 (1990年度~1995年度)

最大潜降水深400mの実用機を作り、CCDEならびにハードウェア・ソフトウェアシステムのパイロットモデルをつくり、基本的な技術を完成させる。これをテストベッドとして、自律性の研究をおこなう。

##### 第2期 (1996年度~1998年度)

最大潜降水深3000mの実用機を作る。

#### (3) 第1期に製作するR1の主要目等 (図10参照)

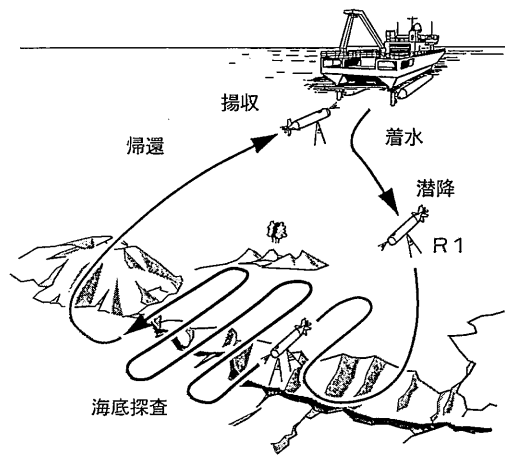


図 9 R1 計画のミッション

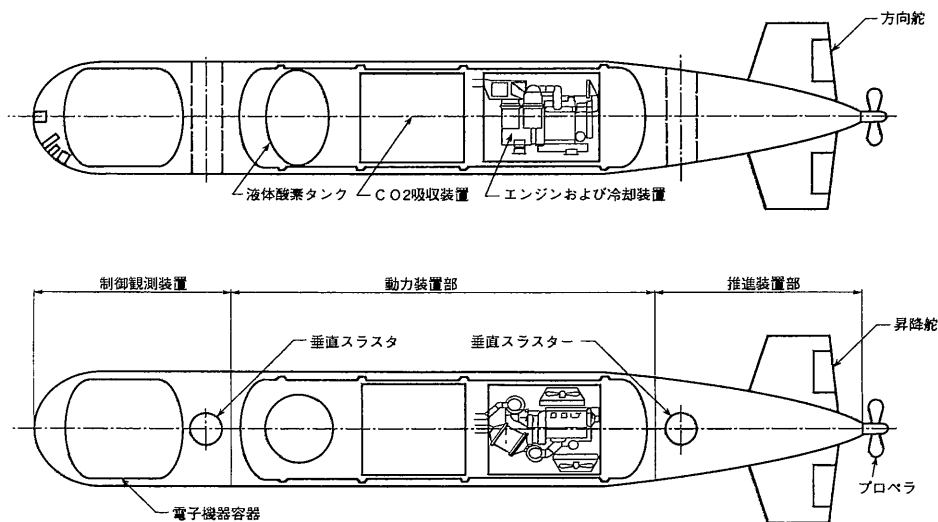


図10 400 m 潜水可能な R1 の概念図

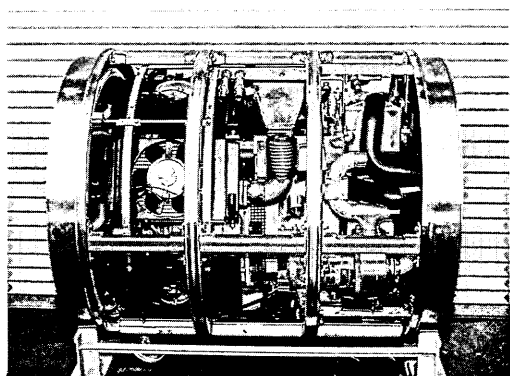


図11 R1 に搭載用の 5 kW 出力のディーゼルエンジン。外径約 900 mm

全長 約 7 m  
 胴体直径 約 1 m  
 空中重量 約 5.6 ton  
 潜降深度 400 m  
 最大航行速度 3.6 knots  
 航続時間 24 時間

CCDE 出力 5 kW

(4) CCDE

ディーゼルエンジンの歴史は、約70年あり、この長年の実績がエネルギー源としての信頼性を保証している。これを閉鎖系にした CCDE や外燃機関は固定システムが大きいために短時間の航行システムに適用することは重量・容積的に困難であるが、24時間を越えて運転される場合には、二次電池を凌ぐ性能のものとなる。排ガス処理法では、稼動時間が24時間であることを考えると水酸

化カリウムを吸収媒体とした非再生方式が良いと結論された。図11は、第1期の R1 に搭載する予定の CCDE のエンジン部分であり、直径約900mm の枠の中におさめられている。7 kW の発電量のうち、2 kW はエンジン操作に消費され、5 kW が供給されることになる。本 CCDE のシステムの諸性能、たとえば自動発停、負荷変動への対処性能、酸素濃度の変化等は、16kW 出力のテストプラントで1991年度に試験済みである [15, 16]。

6. おわりに

UUS の研究開発は、海洋調査あるいは海洋研究という旗の下でおこなわれる。大型の UUS のプロトタイプ の設計建造は、産官学の共同研究の産物となるわけで、今後の三者の連携がその基礎研究の発展のためには極めて重要である。 (1992年 6月24日受理)

参 考 文 献

[1] 浦環：“無人潜水艇の現状”，日本造船学会誌，Vol. 725，(1989. 11)，pp. 2-8  
 [2] Durantou, R., Michel, J.-L., and Grandvaux, B.: "EPAULARD = An Unmanned, Untethered Vehicle for Deep Ocean Survey", Proc. OTC, Houston, OTC3680, (1980. 5), pp. 41-48  
 [3] Dunbar, R.M., Roberts, S.J., and Wells, S.C.: "Communications, Bandwidth Reduction, and System Studies for a Tetherless Unmanned Submersible", Proc. OCEANS81, Boston, (1981. 9), pp. 127-131.  
 [4] Glynn, J., and Blidberg, D.R.: "The UNH Eave-East Vehicle", Proc. OCEANS81, Boston, (1981. 9), pp. 104-108  
 [5] "ロボットによる海洋計測システムの総合海域試験報告書”，(財)機械振興協会新機械システムセンター，(1975. 2)

- [6] “海中実験の成果”, OSR News, 4, (財機械振興協会新機械システムセンター, (1975. 2)
- [7] 浦環・前田久明・石谷久: “深海調査のための自律型潜水艇の研究開発”, 第9回海洋工学シンポジウム, (1989. 7), pp. 203-207
- [8] 浦環: “Free Swimming Vehicle ‘PTEROA’ for Deep Sea Survey”, Proc. ROV’89, (1989. 3), pp. 263-268
- [9] 浦環・能勢義昭・坂巻隆: “グライダー型潜水艇の設計に関する研究 (その7) —PTEROA150の建造と実海域試験—”, 生産研究, Vol. 43, No. 2, (1991. 2), pp. 133-136
- [10] 橋詰泰久: “無索式水中ロボットの開発 (WATER BIRDの実海域での無索航行まで)”, ROBOMECH’92講演論文集, 日本機械学会, Vol. B, (1992. 6), pp. 211-216
- [11] 浅川賢一他: “海底ケーブル調査用自律走行式水中ロボットの開発”, ROBOMECH’92講演論文集, 日本機械学会, Vol. B, (1992. 6), pp. 205-210
- [12] “MUST Mobile Undersea Systems Test Laboratory”, Martin Marietta, 1991
- [13] Hartley, P. and Butler, B.: “AUV Fiber Optic Cable Laying - From Concept to Reality”, Proc. Unmanned Untethered Submersible Technology’91, Durham, (1991. 9), pp. 20-27
- [14] Tonge, A.M.: “An Incremental Approach to AUVs”, Proc. Oceanology International, Brighton, (1992. 3)
- [15] 小原敬史・浦環: “Development of Depth Independent Closed Cycle Diesel Engine for an Autonomous Underwater Vehicle”, Proc. Unmanned Untethered Submersible Technology’91, Durham, (1991. 9), pp. 1-9
- [16] 浦環・田淵寛・小原敬史・前田久明: “R1 Project of an Autonomous Vehicle Equipped Closed Cycle Diesel Engine for One-Day Investigation of Mid-Ocean Ridge”, Proc. Oceanology International, Brighton, (1992. 3)
- [17] 小原敬史・前田伸一・下津正輝: “水中動力用クローズドサーキットディーゼル機関の開発”, 海洋, 253, (1991. 7), pp. 379-383
- [18] Yoerger, D.R., Bradley, A.M., and Walden, B.B.: “The Autonomous Benthic Explorer (ABE): An AUV Optimized for Deep Seafloor Studies”, Proc. Unmanned Untethered Submersible Technology’91, Durham, (1991. 9), pp. 60-70
- [19] 浦環・前田久明: “海中ロボット研究グループ”, 生産研究, Vol. 44, No. 7, (1992. 7), pp. 327-328