

平成18年度 学術創成研究費 研究終了報告書 (事後評価用)

平成18年3月31日

ふりがな	うら たまき	②所属研究機関・ 部局・職		東京大学・生産技術研究所・教授				
①研究代表者	浦 環							
③研究課題名 (英訳名)	深海知能ロボットの開発研究 Development of Intelligent Autonomous Underwater Vehicle for Ridge System Survey in Deep Ocean							
④研究経費 (千円未満切捨)	年度	研究経費 (千円)		使用内訳 (千円)				
		交付額	支出額	設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成13年度	81,000	81,006	71,998	4,972	1,092	0	2,943
	平成14年度	80,000	80,000	71,926	514	679	0	6,879
	平成15年度	80,000	80,000	53,824	730	1,099	0	24,344
	平成16年度	71,000	71,000		22,557	1,306	7,233	39,902
	平成17年度	68,000	68,000		5,687	2,317	8,565	51,429
	総計	380,000	380,006					
⑤研究組織 (研究代表者及び研究分担者)								
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担 (研究実施計画に対する分担事項)					
浦 環	東京大学・生産技術研究所・教授	海中ロボット学	<ul style="list-style-type: none"> 研究の総括 自律型海中ロボットの展開研究 					
浅田 昭	東京大学・生産技術研究所・教授	海中音響システム工学	<ul style="list-style-type: none"> ロボット音響システムの研究 					
藤井 輝夫	東京大学・生産技術研究所・助教授	海中バイオメカトロニクス	<ul style="list-style-type: none"> 知的制御の研究 深海化学分析用マイクロデバイスの研究 					
能勢 義昭	東京大学・生産技術研究所・助手	海中ロボット学	<ul style="list-style-type: none"> 深海ロボットの機械機能の研究 					
蒲生 俊敬	東京大学・海洋研究所・教授	海洋地球化学	<ul style="list-style-type: none"> 熱水地帯の化学観測装置の研究 					
藤本 博己	東北大学・理学系研究科・教授	海底物理学	<ul style="list-style-type: none"> 海底磁化構造解析 					
中村 光一	(独)産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究官	海洋地質学	<ul style="list-style-type: none"> 熱水地帯の化学観測装置の研究 					
岡村 慶	京都大学・化学研究所・助手	海洋化学	<ul style="list-style-type: none"> 現場型小型マンガンイオン濃度計の開発研究 					

⑥当初の研究目的

海は地球環境に大きな影響を与えているが、陸上あるいは空中に較べて困難な環境にあり、観測は容易ではない。船舶による海表面の面的観測あるいは有索潜水機（ROV）による点的観測などが技術的に可能になってきたが、海中の広領域をカバーできるような3次元的観測体制は難しい。だが、近年の電子技術やロボット技術あるいは海底ケーブル技術などの飛躍的進歩がそこに転機をもたらしつつある。すなわち、人の操作を必要としない自律型海中ロボット（AUV）を移動型観測プラットフォームとして海中に展開し、海洋底の広い領域にわたり3次元的観測をおこなう技術の可能性が見えてきたのである。

本プロジェクトでは、大型母船を必要とせず特定の技術者ではなく観測者自身で展開可能な、4,000m級大深度を3次元的に航行できる高度に知能化された信頼性の高い自律型海中ロボットと呼ばれる深海知能ロボット「r2D4」を研究開発し、海底観測ステーションと共同して海中を3次元的に常時観測できるロボットシステムのプロトタイプを作り、これをマリアナ海域や日本近海の熱帯地帯などに展開して熱水活動等の観測をおこない、深海の諸現象を観測する新たな深海観測システムを構築することを目指す。深海観測に新たな観測手法を提示することで、地球環境の維持のための新しい手段を提供することができるとともに、その成果を工学へフィードバックさせることにより新たな研究の萌芽を生み出す、すなわちここに工学と理学の融合した新しい深海知能工学が創生されることになる。

⑦研究成果の概要

研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。

本プロジェクトは2001年度からの5年計画で開始。初年度である2001年度は、「r2D4」ロボットの行動ミッション計画、ロボット設計のための基本計画と基本設計、搭載するセンサの計画などをおこない、ロボット仕様を策定した。ロボットは空中重量1トン未満、マリアナ背弧海盆の熱水地帯を観測できる4,000m深度に潜航可能で、3ノットで60kmを航行できる。海底地形はサイドスキャンソナーやインターフェロメトリソナーにより計測、海水のCTDO、酸化還元電位、およびマンガンイオン濃度を計測し、磁場を観測する。水中画像はTVビデオカメラにより撮影する。ロボットの運動性能および航行に必要なセンサ類は、1990年度から開発された先行する自律型海中ロボット「アールワン・ロボット」と同じ仕様にするすることで、ロボットの信頼性と最短時間での建造を可能とした。ここに本ロボット開発計画の最大の特色がある。ただしエネルギー源は、「アールワン・ロボット」の閉鎖式ディーゼルエンジン・システムに代えてリチウムイオン二次電池とし、1セットのみで毎日の潜航が可能な充電システムを採用している。CFDなどの技術を用いてロボットの運動性能の検討をおこない基本設計を固め、建造に着手した。なお、本プロジェクトに関する記者会見を2001年12月19日におこない、新聞等を通じて最先端の開発研究として周知された。

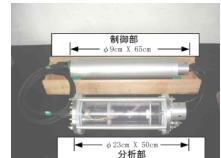
2002年度は、「r2D4」ロボットの船体の建造を中心として、その航法の研究、また2003年度以降の試験潜航および本格潜航のターゲット観測海域と潜航計画について検討をおこなった。また小型AUV「Tri-Dog1号」を利用した画像情報からのフィードバックをもとにした行動決定様式の研究を進めるとともに、環境を認識する小型化学センサの開発に取り組み、第四与那国海山の熱水地帯においてマンガンイオン計測をおこない、イオン濃度の空気差分による熱水噴出口探索の糸口を得た。なお、本プロジェクトに関連するワークショップ「第一回深海知能ロボットワークショップ-深海知能工学の創出を目指して-」を2002年6月17日に開催、関連する研究者のみならず広く一般とともに深海知能ロボットプロジェクトの今後についての論議を深めた。

2003年度には、研究の核となる「r2D4」ロボットのFull Scale Modelが完成した。2003年6月24日に玉野沖で最初の試験潜航をおこない、7月2日からは駿河湾において本格的な潜航試験をおこなった。これに先立ち、海洋科学者との共同研究として2003年度の淡青丸、2004年度から2006年度の白鳳丸の航海において「r2D4」を用いて先鋭的な海底観測をおこなうプログラムが採択された。その一環として、2003年7月14日から20日まで淡青丸を母船とする日本海佐渡沖における本格的な海底観測をおこなった。これは、断層に沿って約300mの間隔で4本の測線を設定し、サイドスキャンソナーを用いて海底面形状を観測するもので、3回で合計約11時間の全自動観測に成功、位置精度のきわめて高いデータを取得した。AUVによる断層観測は日本では初めてのものであり、AUVをプラットフォームとして用いる観測手法の有効性が示されたことになり、今後の海中観測への応用に道を拓いたことになる。なお、「r2D4」による佐渡沖断層観測の後、この地は活断層のすべりによる地震災害に見舞われている。このため代表者らは、「r2D4」のようなAUVによる都市近郊の海底活断層の定期的観測プロジェクトを新たに立案し、現在提案中である。

⑦研究成果の概要 つづき

さらに2003年12月、JAMSTEC等との共同研究で沖縄石垣島南方約25kmのメタンハイドレード地帯にある黒島海丘において4回の潜航をおこなった。次年度のマリアナ海域での潜航に向けた潜航の目的は、1) ロボットの自律機能の向上、2) 搭載する各種観測センサによる環境認識つまり「発見」プロセスの知的システム化を図った。また搭載されている6個のハイドロフォンからの音響データにより高解像度の海底地形図を求める手法を研究開発した。

2004年度は、プロジェクト開始当初からの目標であったマリアナの熱水地帯での観測潜航を実現、5月下旬から6月にかけて、「r2D4」はマグマ活動が活発化している北西ロタ第一海底火山を中心に計7回の潜航をおこない、東側の崖付近で搭載するマンガンイオン濃度計が高いマンガンイオン濃度を検出するなど、熱水の湧出を裏付ける箇所を発見した。また、最終潜航では、海山頭頂付近で搭載するTVカメラによる熱水ブルームのビデオ撮影に成功している。なお、潜航開始深度200mを超える海域での展開時にロボットの慣性航法装置（INS）に蓄積される対水流速誤差の修正方法を開発、高精度ロボット位置情報を得ることができるようになった。さらに熱水湧出を裏付ける主力化学センサであるマンガンイオン濃度計の小型化に取り組み、容積が従来の半分にまでサイズダウンしたものを開発した。

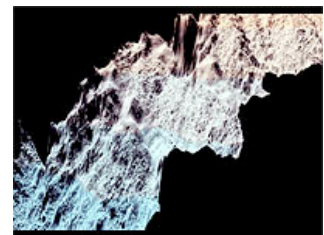


同時に小型AUV「Tri-Dog1号」を利用した対象物認識システムの研究も進め、シートレーザの別に新たなレンジセンサを導入、画像情報と合わせたセンサーフュージョンによる対象物の3次元形状計測による対象物に沿った移動をおこなうロボットシステムを開発し、「Tri-Dog1号」による釜石湾口防波堤の観測に成功した。また、将来のAUV像を見据え、テストベッドロボットを用いてAUV用の2自由度のマニピュレータの開発をおこなっている。これらの実績をもとにJAMSTECおよび東京大学の研究船公募に応募し、2005年4月の鳩間海丘における化学計測器の試験、8月の「かいいい」を母船とする「r2D4」の伊豆小笠原背弧海盆に潜航させ銅やニッケルを含む熱水鉱床の観測、3月に「淡青丸」を母船とした鹿児島湾での「Tri-Dog1」による「たぎり」の観測が認められた。



本プロジェクト最終年度となる2005年度8月、「r2D4」は、熱水鉱床発見のために伊豆小笠原海域の明神礁カルデラに潜航。「r2D4」はカルデラ底の水深1,100mからカルデラ縁水深500mの間を測線に沿って往復し、搭載するマンガンイオン濃度計の計測データによりカルデラ内に熱水活動がある確証を得、中央火口丘の北西斜面の形をインターフェロメトリソナーにより詳細に観測し、取得したデータの解析により極めて精度の高いカルデラ内傾斜面の画像を取得した。明神礁周辺は海況が悪いことが多く、海底火山爆発の危険もあるため、ROVの展開もおこなわれた事はない。「r2D4」の明神礁潜航成功が示唆することは、「r2D4」

のような無人機が多様で複雑な海域の観測に有効なことを証明しており、今後の海洋観測における無人機の活躍の可能性の拡大を意味する。記者会見により新聞等多くのメディアに取り上げられ、実用AUVとしての認知度がさらに高まった。本プロジェクトの研究期間は、2005年度で終了するが、持続的海洋観測システムとしてのAUVの本格的活動はこれからであり、「r2D4」は来年度以降も、伊東沖での海底地殻変動観測への応用展開、インド洋のロドリゲス諸島にて熱水鉱床の発見・観測を目的とした観測潜航等を予定しており、深海知能ロボットの一層の活躍と研究の展開が期待される。



並行して取り組んできたロボット知能の向上を目的としたロボットの航法の研究については、ロボットが熱水鉱床などの発見のために海底面から湧出するメタンガスなどの自然物を自己位置確認のためのランドマークとして利用する水中航法を小型AUV「Tri-Dog1」により開発し、2006年3月、東京大学の「淡青丸」を母船に鹿児島湾「たぎり」において湧出するガス近傍に棲息するサツマハオリムシの観測をおこなった。また、ロボットに搭載する化学センサについては、マンガンイオン濃度計の小型化のみならず超小型現場型化学分析機器の開発を進め、2005年4月に鳩間海丘における化学計測器の試験をおこないデータ取得に成功している。深海知能ロボット「r2D4」という海中プラットフォームの実現が、新たな航法やセンサ開発を促進し、海洋に新しい学術創成の芽を生み出したことは間違いない。日本における海洋観測の将来のためにも、AUVの更なる開発と展開とが加速することを期待して、本プロジェクト期間の終わりとしていたい。



⑧特記事項

この研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。

深海知能ロボット「r2D4」の Full Scale Model を 2 年という短期間で完成させ、かつ、これを用いた観測を持続的にこなしている。これまで、2003 年 7 月の駿河湾での試験潜航に始まり、同年 7 月佐渡沖の海底観測、12 月黒島海丘のメタンハイドレード地帯観測、2004 年 5 月マリアナ海域の北西ロタ第一海底火山の観測、2005 年 8 月伊豆小笠原海域の明神礁カルデラへの潜航観測と、本プロジェクト期間内にすでに 5 シリーズの潜航を経験している。これらの成果については、潜航後の記者会見により大手新聞社や NHK などにより報道され、海洋観測の重要性を社会に認識させる契機となった。なお、2003 年の「r2D4」による佐渡沖断層観測の後、この地は活断層のすべりによる地震災害に見舞われている。日本近海の海底活断層の定期的観測を「r2D4」のような AUV により重点的にこなうことで地震の被害を最小限に食い止めることはできないか、という思いから研究代表者を中心に地震学者や理学者と共同して AUV による重要なミッション展開のひとつとして新たな活断層観測プロジェクトを企画・提案している。また、明神礁カルデラの観測では、3 ノットを超える強い潮流の流れる中を「r2D4」を展開させている。このことは AUV が多様で複雑な海域の観測に有効なことの証明であり、今後の海洋観測における無人機の活躍の可能性の拡大を意味するものである。海洋関係の専門紙である日本海事新聞が 2005 年 9 月 12 日の紙面一面すべてを「r2D4」による明神礁カルデラ潜航のために割くなど、海洋の専門家の評価と関心の高さがうかがわれる。

観測プラットフォームの提案がなされれば、必然的にその航法に関わるセンサあるいは搭載して観測するセンサ類の研究開発が盛んになる。AUV のような総合的観測プラットフォームの発展には、センサの開発が不可欠なのである。本プロジェクトでは開始当初より、熱水地帯等の科学観測を専門とする理学者と共同して研究を進めており、「r2D4」には観測センサ用のペイロードスペースを十分に取ってある。そこに、海底地形計測のためのサイドスキャンソナーやインターフェロメトリソナー、海水の計測には、CTDO、酸化還元電位計、マンガンイオン濃度計、磁場を観測する三成分磁力計を搭載して観測をおこなうことができる。インターフェロメトリソナーについては、合成開口手法を適用して高分解能のスワス測量を可能とし、2005 年の明神礁カルデラ潜航時には、高解像度の斜面の画像を取得している。また、センサの小型化およびリアルタイム計測の実現により、より多くの観測機器の搭載が可能になる。このため、熱水湧出を裏付ける重要なセンサであるマンガンイオン濃度計の小型化に取り組みとともに超小型現場型化学分析機器の開発を進めた。また、AUV の知的航法の開発のためのセンサ類の研究にも取り組み、小型 AUV 「Tri-Dog1 号」を用いた航法センサの開発研究に力を注いできた。深海知能ロボット「r2D4」という海中プラットフォームの実現が、新たな航法やセンサ開発を促進し、海洋にいくつもの新しい学術創成の芽を生み出したことは間違いない。

新しいプラットフォームの創出はそれに関わる要素技術の進化をもたらすだけでなく、利用する理学者等からの要請を受けてより斬新な観測手法の提案を生み出していくことになる。本プロジェクト研究期間は終了したが、2006 年度には、固体地球物理学者および化学地球学者との共同研究の一環として、東京大学の「白鳳丸」によるインド洋中央海嶺の観測およびロドリゲス諸島での熱水鉱床の観測が決まっている。また、AUV の地震観測への応用の一歩として、海上保安庁の測量船「天洋」を母船に伊東沖での海底地殻変動観測試験をおこなうことも決まっている。さらに、AUV 技術の他分野との学際的な応用展開のひとつとして、鯨類観測、あるいはサツマハオリムシなど熱水性の生物観測など生物学へも道が拓けた。

以上のように、「r2D4」プロジェクトによって新たに構築された AUV による海底観測新システムは今後さらなる進化・発展を遂げ、AUV が海洋観測に果たす役割はますます増大していくと思われる。海外でも米国を中心にネプチューンなど総合的観測ステーションシステムの実現に向けて開発が進められているが、海底ケーブルによって繋がれた観測ステーションの中心は AUV とセンサであるとして、これらの開発を重点的に進めている。このような世界の趨勢にあって、「r2D4」がこれまで成し遂げてきた観測実績は、さまざまな国際学会などでも高く評価され、日本を代表する実用 AUV として世界的に認知されている。今後も日本がこの分野で世界のトップリーダーとして活躍を続けていくには、これまでの本プロジェクトの歩みを振り返りながら、しっかりと AUV の将来ビジョンを見据えた上で、国家戦略としての次世代型 AUV プロジェクトの開発研究に本腰で取り組んでいく必要がある。そのためにできることのすべてを「r2D4」プロジェクトにおいては遂行してきたものと確信しつつ、さらに未来へと道を繋げていきたい。

⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

1. 「r2D4」ロボット技術関係

- 1) 浦環・巻俊宏:”水中移動体のポジショニング技術と航法”, 精密工学会誌, Vol.72, No.3,(2006.3), pp.295-299
- 2) 浦環・玉木賢策・浅田昭・岡村慶・永橋賢司・坂巻隆・飯笹幸吉・山口裕司・KR05-11 乗船研究者:”自律型海中ロボットによる明神礁カルデラ観測”, Blue Earth'05 第 22 回しんかいシンポジウム予稿集, 横浜, (2006.2), pp.62-63
- 3) 永橋賢司・小原敬史・浦環・浅田昭・坂巻隆・玉木賢策・岡村慶:”自律型海中ロボット “r2D4” による小笠原明神礁調査 “,SICE2005 熊本,講演論文集 (2005,12) ,pp.647-648
- 4)浦環:” TWO SERIES OF DIVING FOR OBSERVATION BY AUVs -r2D4 TO ROTA UNDERWATER VOLCANO AND TRI-DOG 1 TO CAISSONS AT KAMAISHI BAY-“, Proc. International Workshop on Underwater Robotics 2005, Genoa, Italy, (2005.11), pp.31-39
- 5)浦環:”Diving to Myojin-sho Submarine Crater”, Abstracts of APuuRobo2005, Tokyo, Japan, (2005.10), CD-Rom
- 6)浅田昭・浦環・小山寿史・坂巻隆・永橋賢司:”L アレイ・インターフェロメトリによる AUV-r2D4 の熱水地帯詳細海底地形調査 ‘, 海洋調査技術学会第 17 回研究成果発表会講演集, 東京, (2005.10), pp.52-53
- 7)浦環・永橋賢司・岡村慶・小原敬史・玉木賢策・坂巻隆・かいいい KR05-11 次航海乗船 AUV チーム:”自律型海中ロボット「r2D4」の明神礁カルデラ内への潜航とマンガンイオン濃度の計測’,海洋調査技術学会第 17 回研究成果発表会講演集, 東京, (2005.10), pp50-51
- 8)浦環・小原敬史:”海底を観測する自律型海中ロボット-r2D4 のロタ海底火山観測と将来展望-“, 月刊地球号外「特集：沈み込み帯の科学と海洋観測技術」, No. 51, (2005.3), pp.213-219
- 9)永橋賢司・浦環・浅田昭・小原敬史・坂巻隆・金岡秀・岡村慶:”Underwater Volcano Observaiton by Autonomous Underwater Vehicle "r2D4"“, Proc.OCEANS'05, Brest, France, (2005.6), CD-Rom 論文集
- 10)浦環・永橋賢司・小原敬史:”Tracking Underwater Volcanoes with "r2D4" AUV”, Unmanned Systems, Vol.23, No. 3, (2005.5), pp.24-27
- 11)浅田昭・浦環・小山寿史・坂巻隆・能勢義昭・小原敬史・永橋賢司・中川拓郎・田中照喜:”黒島海丘の合成開口インターフェロメトリ海底地形計測”, 生産研究, Vol.56, No. 6, (2004.12), pp.423-428
- 12)浦環・浅田昭・小原敬史・永橋賢司・坂巻隆・能勢義昭・金岡秀・大藪佑司・杉松治美・小山寿史:”自律型海中ロボット「r2D4」のロタ海山への潜航”, 生産研究, Vol.56, No. 6, (2004.12), pp.419-422
- 13) 岡村慶・柳井健太郎・Yoshiki Sohrin・石橋純一郎・渡辺正晴・浦環:”In situ Observations of Dissolved Manganese in Hydrothermal Vent Plumes at Mariana Trough”, Proc.Eos Trans AGU 85(47), San Francisco, USA, (2004.12), V44A-05
- 14)金岡秀・浦環:”自律型海中ビークルの流れ外乱中における最適誘導及び追従制御”,日本機械学会論文集（C編）, Vol.70, No.699, (2004.11), pp.184-191
- 15) 小山寿史・浅田昭・浦環・坂巻隆・小原敬史・永橋賢司:”AUV”r2D4 “搭載インターフェロメトリック・サイドスキャンソナーによる熱水活動域の観測結果および海底地形マッピング”, 海洋調査技術学会第 16 回研究成果発表会予講演要旨集,東京, (2004.11), pp.18
- 16)田村千織・野田裕美子・島伸和・玉木賢策・藤本博巳・浦環:”自律型海中ロボット r2D4 の深海地磁気三成分観測”, 海洋調査技術学会第 16 回研究成果発表会予講演要旨集,東京, (2004.11), pp.17
- 17)浦環・小原敬史・許正憲・永橋賢司・浅田昭・坂巻隆・金岡秀・小山寿史・白鳳丸 KH-04-2 次航海乗船研究者一同:”黒島海丘と北西ロタ第一海底火山への自律型海中ロボットの潜航”, 海洋調査技術学会第 16 回研究成果発表会予講演要旨集,東京, (2004.11), pp.16
- 18)浦環・金岡秀:”On-Site INS Update of an AUV “r2D4” by SSBL based Position Estimation”, Proc. OCEANS'04(OTO'04), Kobe, Japan,(2004.11), pp.1606-161
- 19) 浦環:”自律型海中ロボット r2D4 の製作と佐渡沖および黒島海丘海底観測”,日本ロボット学会誌, Vol.22,No.6, (2004.9), pp.709-713
- 20) 金岡秀・浦環:”自律型海中ロボットの環境外乱中における最適誘導及び運動制御”,日本造船学会論文集, Vol.195,(2004.6), pp.195-202

- 21) 浅田昭・浦環・小山寿史・坂巻隆・能勢義昭・小原敬史・永橋賢司:"Expanded interferometry and synthetic aperture applied to a side scanning sonar for seafloor bathymetry mapping", Proc. UT'2004, Taipei, Taiwan, (2004.4), pp.47-50
- 22) 金岡秀:"AUV「r2D4」の開発における CAE 手法の適用, Abstracts of UVW-2004, Tokyo, Japan, (2004.2), p.17
- 23) 永橋賢司・小原敬史・中根健志・浦環・坂巻隆:"海底熱水地帯を調査する 4000m級 AUV「r2D4」を建造:"三井造船技報, No.181, (2004.2), pp.1-8
- 24) 小山寿史・浅田昭・浦環・坂巻隆・小原敬史・永橋賢司:"海中ロボット用インターフェロメトリソナーの開発", 第 15 回海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集, (2003.11), pp.50-51
- 25) 浦環・小原敬史・浅田昭・永橋賢司・坂巻隆・能勢義昭:"自律型海中ロボット「r2D4」による佐渡島沖断層の観測", 第 15 回海洋調査技術学会研究成果発表会講演要旨集, (2003.11), pp. 48-51
- 26) 金岡秀・浦環:"自律型海中航行ビークルの環境外乱中における燃料最適誘導及び運動制御", 日本造船学会講演会論文集, 神戸, (2003.11), 第 2 号 pp. 153-154
- 27) 浦環:"海底を観測する深海知能ロボット「2D4」の開発", はかる((社) 日本計量機器工業連語会季刊誌), No.71, (2003.10), pp.12-15
- 28) 金岡秀・浦環:"Fuel-Optical Guided Navigation and Tracking Control of AUV under Current Interaction", Proc. OCEANS'03, San Diego, USA, (2003.9), pp.663-670
- 29) 永橋賢司・小原敬史・浦環・坂巻隆:"Autonomous Underwater Vehicle "R2D4" -Autonomous Route Change System in Response to Environmental Anomaly -", Proc. SSC'2003, (2003.6), pp.152-155
- 30) 金岡秀・浦環:"Fuel-Optimal Guidance and Tracking Control of AUV under Current Interaction", Proc. ISOPE2003, Hawaii, USA, (2003.5), pp.191-196
- 31) 金岡秀・浦環:"自律型海中ロボットの潮流中における燃料最適誘導航法", Proc. Robomec'03, 函館, (2003.5), CD-ROM 論文集, 2A1-2F-A7
- 32) 永橋賢司・浦環・小原敬史・坂巻隆:"海底熱水地帯調査用 AUV"R2D4"-特異現象を観測して自律的に行動計画を変更する-", Proc. Robomec'03, 函館, (2003.5), CD-ROM 論文集, 2A1-2F-A1
- 33) 浦環・近藤逸人:"熱水チムニーを観測するロボット", SICE2002 講演論文集(I), 神戸, (2002.12), pp.285-286
- 34) 小原敬史・中根健志・永橋賢司・浦環:"3500m級ロボット「R2D4」", SICE2002 講演論文集(I), 神戸, (2002.12), pp.277-278
- 35) 浦環・藤井輝夫・杉松治美:"深海知能ロボットプロジェクトの概要-深海ロボットが見いだす熱水地帯-", SICE2002 講演論文集(I), 神戸, (2002.12), pp.275-276
- 36) 浦環:"新しい自律型海中ロボットで熱水地帯をくまなく探る-ここに至るまでの成果と音響工学的な課題-", 海洋音響学会誌, Vol. 29, No. 4, (2002.10), pp.225-232
- 37) 浦環:"Construction of AUV R2D4 based on the Success of Full-Autonomous Exploration of Teisi Knoll by R-one Robot", AUV ShowCase, UK, (2002.9), pp. 23-28

2. 「r2D4」化学センサ関係

- 38) 福場辰洋, 山本貴富喜, 長沼毅, 藤井輝夫: "極限環境微生物学のための現場型微生物遺伝子解析装置の開発", 海の研究, 2005, 14, pp.361-368
- 39) T.Fujii:"Processing and Analyzing Biological Samples in Microchannels", Proceedings of 3rd International Conference on Microchannels and Minichannels (ICMM2005), Toronto, Canada (2005.7), pp.ICMM2005-75083
- 40) T. Fukuba・A. Imhof・M. Matsunaga・N. Takagi, T Yamamoto・K. Okamura・T. Naganuma・T. Fujii:"Development of Miniaturized *In situ* Analysis Devices for Biological and Chemical Oceanography", The 3rd Annual International IEEE EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology, Hawaii, USA (2005.5), pp.56-59
- 41) T. Fukuba, T. Yamamoto, T. Naganuma and T. Fujii:"Microfabricated Flow-through PCR Device for DNA Amplification-Towards *In Situ* Gene Analysis", Chemical Engineering Journal, 2004, 101, pp.151-156
- 42) M. Matsunaga, T. Fukuba, T. Yamamoto, T. Fujii:"Microfabricated Devices for DNA Extraction toward Realization of Deep-sea *in situ* Gene Analysis", OCEANS'04, Kobe, Japan (2004.11), pp. 89-94
- 43) 西来寺正彦, 下島公紀, 小池祐一, 許正憲, 福場辰洋, 藤井輝夫:"深海現場計測用 ISFET-pH センサーの温度・圧力特性の調査及び応用に関する研究", 海洋調査技術, 2004, 15, pp.29-35
- 44) 岡村 慶, 畑中 弘, 宗林由樹, マイクロ・ダイアフラムポンプを用いた海水中マンガンの現場フロー

スルー式分析法の微量分析化及び省電力化 分析化学 53,pp.331-337 (2004).

45) T. Fujii: "PDMS-based Microfluidic Devices for Biomedical Applications", *Microelectronic Engineering*, (2002.7), 61-62C, pp.907-914

46) Okamura K, Kimoto H, Saeki K, Ishibashi J, Obata H, Maruo M, Gamo T, Nakayama E, Nozaki Y: "Development of a deep-sea in situ Mn analyzer and its application for hydrothermal plume observation.", *Mar. Chem.* 76, pp.17-26, (2001).

3. 「r2D4」科学観測関係

47) 蒲生俊敬: "海水中の溶存気体をトレーサーとする海洋学的研究", *海の研究*, Vol.15, No. 2, (2006.3), pp.127-142

48) Ko-ichi Nakamura, Deborah S. Kelley, Deborah A. Glickson, Marvin D. Lilley, Giora Proskurowski, Eric J. Olson, Dana R. Yoerger, Albert M. Bradley, Michael Jakuba: "Where does fluid go in the seawater from the Lost City Hydrothermal Field?", 2005 AGU Fall Meeting, San Francisco (U. S. A.), 2005/12/09

49) Edward T. Baker, Garry J. Massoth, Ko-ichi Nakamura, Robert W. Embley, Cornel E. J. de Ronde, Richard J. Arculus: "Hydrothermal activity on near-arc sections of back-arc ridges: Results from the Mariana Trough and Lau Basin, *GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS*, 6-Q09001, pp.doi:10.1029/2005GC00-,2005/09

50) T. Gamo, H. Masuda, T. Yamanaka, K. Okamura, J. Ishibashi, E. Nakayama, H. Obata, K. Shitashima, Y. Nishio, H. Hasumoto, M. Watanabe, K. Mitsuzawa, N. Seama, U. Tsunogai, F. Kouzuma and Y. Sano: "Discovery of a new hydrothermal venting site in the southernmost Mariana Arc: Al-rich hydrothermal plumes and white smoker activity associated with biogenic methane.", *Geochemical Journal*, Vol. 38, (2004), pp.527-534

51) Takai, K., T. Gamo, U. Tsunogai, N. Nakayama, H. Hirayama, K. Nealson, and K. Horikoshi: "Geochemical and microbiological evidence for a hydrogen-based hyperthermophilic subsurface lithoautotrophic microbial ecosystem (HyperSLiME) beneath an active deep-sea hydrothermal field.", *Extremophiles*, 8, (2004), pp.269-282

52) Robert W. Embley, Edward T. Baker, William W. Chadwick, Jr., John E. Lupton, Joseph E. Resing, Garry J. Massoth, Ko-ichi Nakamura: "Explorations of Mariana Arc Volcanoes Reveal New Hydrothermal Systems", *EOS, TRANSACTIONS, AMERICAN GEOPHYSICAL UNION*, 85-4, pp.37-40, 2004/01

53) Fujimoto, H., M. Mochizuki, K. Mitsuzawa, T. Tamaki, and T. Sato, : "Ocean bottom pressure variations in the southeastern Pacific following the 1997-98 El Niño event.", *Geophys. Res. Lett.*, 30 (9), 1456, doi:10.1029/2002GL016677, 2003

54) Osada, Y., H. Fujimoto, S. Miura, A. Sweeney, T. Kanazawa, S. Nakao, S. Sakai, J. A. Hildebrand, and C. D. Chadwell, Estimation and correction for the effect of sound velocity variation on GPS/Acoustic seafloor positioning: An experiment off Hawaii Island, *Earth, Planet. Space*, 55, e17-e20, 2003.

55) T. Gamo and G. Glasby: Submarine hydrothermal activity in coastal zones. In: *Land and Marine Hydrogeology* (M. Taniguchi, K. Wang and T. Gamo eds.), Elsevier, (2003), pp.151-163

56) Ko-ichi Nakamura, Urumu Tsunogai, Stephane Mazzotti, Kazuo Kobayashi: "Surface expression of fluid venting at the toe of the Nankai wedge and implications for flow paths", *Pierre Henry, Siegfried Lallemand, MARINE GEOLOGY*, 187-1-2, pp.119-14, 2002/07

57) T. Gamo, H. Chiba, T. Yamanaka, T. Okudaira, J. Hashimoto, S. Tsuchida, J. Ishibashi, S. Kataoka, U. Tsunogai, K. Okamura, Y. Sano, and R. Shinjyo: "Chemical characteristics of newly discovered black-smoker fluids and associated hydrothermal plumes at the Rodriguez Triple Junction.", *Central Indian Ridge. Earth Planet. Sci. Lett.*, 193, (2001), pp.371-379

4. 「Tri-Dog1」号による知能化関係

58) 巻俊宏・近藤逸人・浦環・能勢義昭・坂巻隆: "自律型水中ロボットによる人工構造物の観測", *日本船舶海洋工学会論文集*, Vol. 1, (2005.6), pp.17-26

59) 近藤逸人・浦環: "Navigation of an AUV for investigation of underwater structures", *Control Engineering Practice* 12, (2004.12), pp.1551-1559

60) 近藤逸人・巻俊宏・浦環・能勢義昭・坂巻隆・稲石正明: "Relative Navigation of an Autonomous Underwater Vehicle Using a Light-Section Profiling System", *Proc. IROS'04, Sendai, Japan*, (2004.9), PP.1103-1108