

# 水中嵌合実験に用いる発光3次元マーカの光量と位置姿勢推定の関係

## Relation of Pose Estimation and Lighting Intensity of Light-Emitting-3D Marker

○山下 耕平 (岡山大)      山田 大喜 (岡山大)  
 神田 佳希 (岡山大)      中村 翔 (岡山大)  
 向田 直樹 (岡山大) 正 松野 隆幸 (岡山大)  
 正 見浪 護 (岡山大)

Kohei YAMASHITA, Okayama University, p7kw2h27@s.okayama-u.ac.jp  
 Daiki YAMADA, Okayama University  
 Yoshiki KANDA, Okayama University  
 Sho NAKAMURA, Okayama University  
 Naoki MUKADA, Okayama University  
 Takayuki MATSUNO, Okayama University  
 Mamoru MINAMI, Okayama University

Nowadays, autonomous underwater vehicles (AUVs) have been studied and developed for undersea exploration in order to discover an abundant seabed resources. It is necessary for the robot to work long time in deep sea in order to efficiently perform such a novel work. We have developed a dual-eye based docking approach for underwater battery recharging to enable the AUV to operate for extended period without returning sea surface for recharging. The 3D pose estimation for real time docking performance was improved by using active/lighting 3D marker against turbidity under dark environment. In this paper, we analyzed the effectiveness of the light intensity of the active 3D marker by changing the current of each LED that was installed in 3D marker. The experimental results have confirmed that the recognition accuracy of the proposed system was improved by using optimized lighting intensity.

**Key Words:** Dual-eyes 3D recognition, Genetic Algorithm, Underwaer vehicles

### 1 緒言

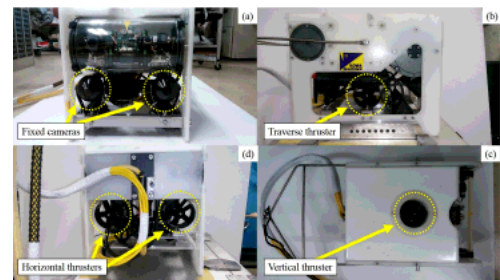
現在、海底にはメタンハイドレード等の様々な海底資源が存在している。しかし海は広大であり、それらを人の手で探索・発掘するには、時間とコストが大きくかかってしまう。そこで近年、海底に存在する資源の探索等に水中ロボットの研究・開発が行われている。水中ロボットの海底での長時間連続運用が実現できれば、作業の効率化に大きく貢献する。しかし、長時間連続運用にはロボットへの電力供給方法が問題となっている。電力供給方法としては主に有線と内蔵バッテリーが挙げられるが、どちらも活動範囲や活動時間などに制限がかかってしまう。そこで内蔵バッテリーに着目し、ロボットの水中作業時間を延長するため、水中の給電設備にロボットが自動で帰還し充電するシステムの研究が行われている。私たちの研究チームは、ロボットに取り付けたカメラによって、給電設備に取り付けた認識対象物を認識することで、給電を想定した嵌合動作を行なうロボットシステムの構築を目指している。先行研究では、認識対象物をカメラ画像から確認できる環境下において、実海域での嵌合に成功している。しかし、暗闇・濁水等によって認識が困難になり、嵌合が行えない場合があった。そこで認識対象物を発光させることで、暗闇・濁水環境での嵌合を実現した。しかし、認識対象物の光量によって認識結果に違いが出てくるのが確認された。本論文では、嵌合実験に用いる認識対象物の光量が認識結果に対してどのように影響を与えるのかを解析した。また認識に適した光量を決定し、その光量での認識精度を検証した。

### 2 ROV (Remotely Operated Vehicle)

本実験では、広和株式会社マリンシステム部製水中 TV カメラロボット ROV (Remotely Operated Vehicle) を使用する (Fig. 1)。本ロボットは両眼視覚センサーとして、遠隔操縦用チャルト機構付きカメラ 1 台 (撮像素子 CCD, 画素数 38 万画素, 信号方

式 NTSC, 最低被写体照度 1.5 [lx], ズーム光学 10 倍) と、制御用として前方 2 台および下方 2 台 (撮像素子 CCD, 画素数 38 万画素, 信号方式 NTSC, 最低被写体照度 0.8 [lx], ズームなし) を搭載しており, MOS 制御で対象物の立体認識を行うため, 前方 2 台を同時使用した。

水中動力系では, 水平スラスタ 2 基 (最大推力 9.8 [N], 以下同様), 垂直スラスタ 1 基 (4.9 [N]), 横スラスタ 1 基 (4.9 [N]) を搭載している。また, 照度確保のため LED ライト (5.8 W) を 2 基搭載している。



**Fig.1** Overview of ROV (a)Front view (b)Side view (c)Top view (d)Back view

### 3 3次元位置・姿勢認識

ロボット前方に搭載された 2 基の固定カメラから取得した画像情報をもとに対象物の 3 次元位置・姿勢認識を行う。提案するシステムでは, 両眼カメラから取得した画像を PC に転送し, Real-Time Multi-Step GA と Model-based Matching 法 [1] を組み合わせて対象物との相対的位置・姿勢を認識している。本報

告における Real-Time Multi-Step GA と 1-Step GA[2] は、まったく同様の手法である。また、Model-based Matching 法において、先行研究では HSV での評価のみを用いていた。しかし本論文では Brightness を用いた評価も適合度関数に用いている。最終的な適合度については、式 (1) から算出している。式 (1) の  $F_{HSV}$  が色相情報から得た適合度、 $F_{Bd}$  が輝度情報から得た適合度となる。

$$F_{union} = F_{HSV} + F_{Bd} - F_{HSV} \cdot F_{Bd} \quad (1)$$

一般的に、GA (遺伝的アルゴリズム) を用いた最適解探索では、GA が最適解を決定する際ある程度の時間を要するため、最適解が得られた時には周囲の環境が大きく変化している可能性が高い。そこで本研究では、Real-Time Multi-Step GA を採用した。Real-Time Multi-Step GA とは、入力された画像に対し、ビデオレート (33 [ms]) で次の画像が入力されるまでの間だけ GA 遺伝子の進化を進め、その時点で最大適合度を与える遺伝子情報を最新の対象物の位置・姿勢として出力する方法で、これにより実時間での認識を可能としている。また、このとき評価に使用する適合度とは、Model-based Matching 法で定義される対象物とモデルとの一致度合いを示す適合度関数から得られる値である。これにより、提案システムでは対象物の 3 次元位置・姿勢の実時間認識を可能としている。また、提案システムによる対象物の位置・姿勢の認識情報は、Fig. 2 に示す GA 探索空間内で獲得される。

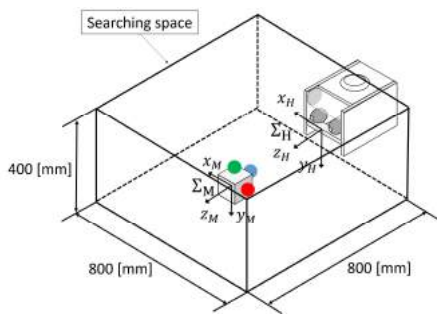


Fig.2 GA Searching Area

#### 4 発光 3 次元マーカーの提案

海底の状況は暗闇環境である。また、スラスタにより海底の砂が巻き上げられることによって、濁水環境になる場合も考えられる。そのような環境においても認識を可能にする方法として、発光 3 次元マーカーを提案する。暗闇、混濁環境で認識を行なった時のカメラ画像を、Fig. 3 に示す。従来は ROV 前方のライトで 3 次元マーカーを照らすことにより認識を行なっていた。しかし、Fig. 3 (A) のように画像全体が白くになってしまう現象が見られた。そこでマーカー自体を発光させることで、Fig. 3 (B) のように画像から 3 色が確認できる状況を実現した。



Fig.3 Image of 3D Marker Viewed from ROV Camera. (A)Passive 3D Marker (B)Light Emitting 3D Marker

#### 5 発光 3 次元マーカーの光量と認識値の関係

私たちの研究グループは、現在岡山県瀬戸内市にある牛窓臨海実験場にて実海域での嵌合実験 [3] を行なっている。その時の実験環境と ROV カメラ画像を Fig. 4, Table 1 に示す。実海域での嵌合実験を行なう前に、発光 3 次元マーカーの LED に加える電流値を実験室での実験で決定した。その時のカメラ画像が Fig. 4 (A) である。しかし、実海域では青色マーカーの認識がずれ、嵌合実験に失敗した。そこで、各マーカーの LED に加える電流値を感覚的に決定したところ、嵌合実験に成功した。カメラ画像については Fig. 4 (B) に示す。また、(A), (B) のカメラ画像での適合度を Fig. 5 に示す。このグラフを比較してみると、嵌合に成功した (B) の方が適合度が高いことがわかる。

しかし、この電流値での光量については実験的に決定したのではないため、認識に適しているか妥当性に欠ける。そこで、本論文では認識に適した光量の決定を行なった。

Table 1 Experiment Environment at Ushimado on November 17th 2017

		5 : 12 PM	5 : 16 PM
Turbidity [FTU]		9.8	9.6
Depth [m]		1.8	1.8
Wave height [cm]		2.0	2.0
Illumination (surface) [lx] (at 5 : 15 PM)		0	0
Illumination (in water) [lx] (at 5 : 15 PM)		0	0
Current value [mA]	Red	10	8
	Green	10	8
	Blue	10	2



Fig.4 Image Viewed From ROV Camera at The Time of Ushimado Experiments of November 17th

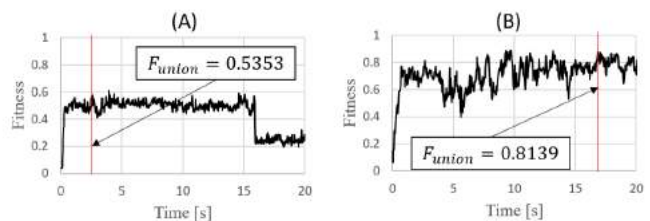


Fig.5 Fitness Value of Ushimado Experiments on November 17th 2017. (A)at 5:12 PM (B)at 5:16 PM

## 6 認識に適した光量の決定

実験条件を Table 2 に示す。濁度は純水を 0.0 [FTU:Formazin Turbidity Unit] としたときに、どれだけ水が濁っているのかを表す指標である。これは牛窓での実験の数値を参考に、牛乳を加えることで濁水環境を作り出している [4]。水中照度については海底を模すため 0 [Lx] である。また電流初期値は、カメラ画像を見て、人間の感覚的に色のはっきり見え、なおかつ拡散光の少ない電流値である。

実験方法としては各色ついて、0~16 [mA] の範囲で電流値を 1 [mA] 毎に変化させ認識を行なった。その時、他の 2 色については初期電流値を与えた。

Table 2 Experiment Environment in The Pool

Turbidity [FTU]		8.6
Illumination [lx] (in the water)		0
Distance x [mm]		600
Initial current value [mA]	Red	6
	Green	6
	Blue	1
Range of current value to be changed [mA]		0 ~ 16

### 6.1 適した光量の評価方法

本論文での実験は発光 3 次元マーカーの位置、姿勢は変化させない。そのため、認識に適しているかの検証は認識が対象物に一致したときの適合度を用いて評価する。しかし、認識値が明らかに実際の数値と異なる、または、GA の収束までの時間が長い場合、認識に適していない光量とする。

### 6.2 実験結果

赤色のマーカーに加える電流値を 0~16 [mA] 変え、認識を 60 [s] 間行なった時の各適合度の平均値のグラフを Fig. 6 (A), (B), (C) に示す。(A) は色相情報、(B) は輝度情報から得られた適合度である。また、(C) は最終的に得られた適合度である。(A) より、電流値が 4 [mA] の時が最も適合度が高いことが分かる。よって、4 [mA] 周辺の時々の光量が認識に適していると考えられる。次に (B) より、電流値が 7 [mA] まで、適合度の平均が上昇していることが分かる。すなわち、7 [mA] 以上の時の光量が認識に適していると考えられる。以上のことを踏まえると、7 [mA] の時が認識に適していると考えられる。そこで (C) のグラフを見てみると、7 [mA] が最も高い適合度を示していることが分かる。

### 6.3 実験的に得られた認識に適した光量

赤色マーカーについての実験結果と同様に、他の 2 色の実験結果についても解析を行なった。その結果、認識に適している光量は各マーカー内 LED に加える電流値が赤色が 7 [mA]、緑色が 9~11 [mA]、青色が 2~5 [mA] の時となった。また、本論文では 2017.11.17 の牛窓実験で嵌合に成功した光量との比較実験を行なう。そのため、認識に適している光量は LED に加える電流値が、赤色が 7 [mA]、緑色が 10 [mA]、青色が 4 [mA] の時とする。

本論文では、新しく決定した光量を「新たに決定した光量」、2017.11.17 の牛窓実験で嵌合に成功した光量を「従来の光量」と呼称する。

## 7 決定した光量の妥当性

### 7.1 実験方法

新たに決定した光量と従来の光量の比較実験を行なう。実験環境は Table 3 に示す。濁水環境については光量決定の実験と同じく牛乳を加えることで作り出した。また、水中照度についても海底を模すために 0 [Lx] とした。

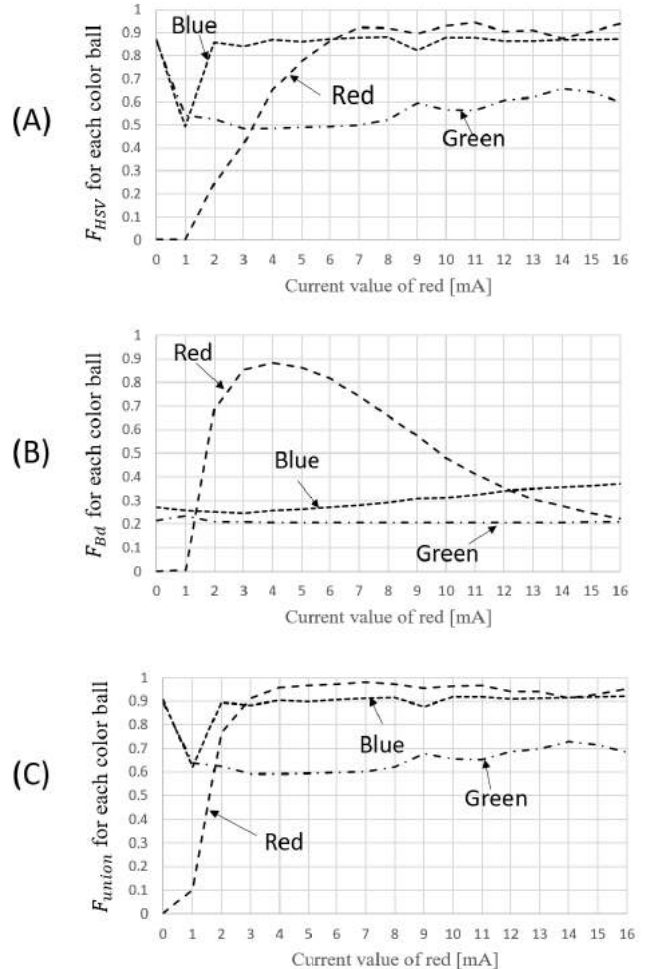


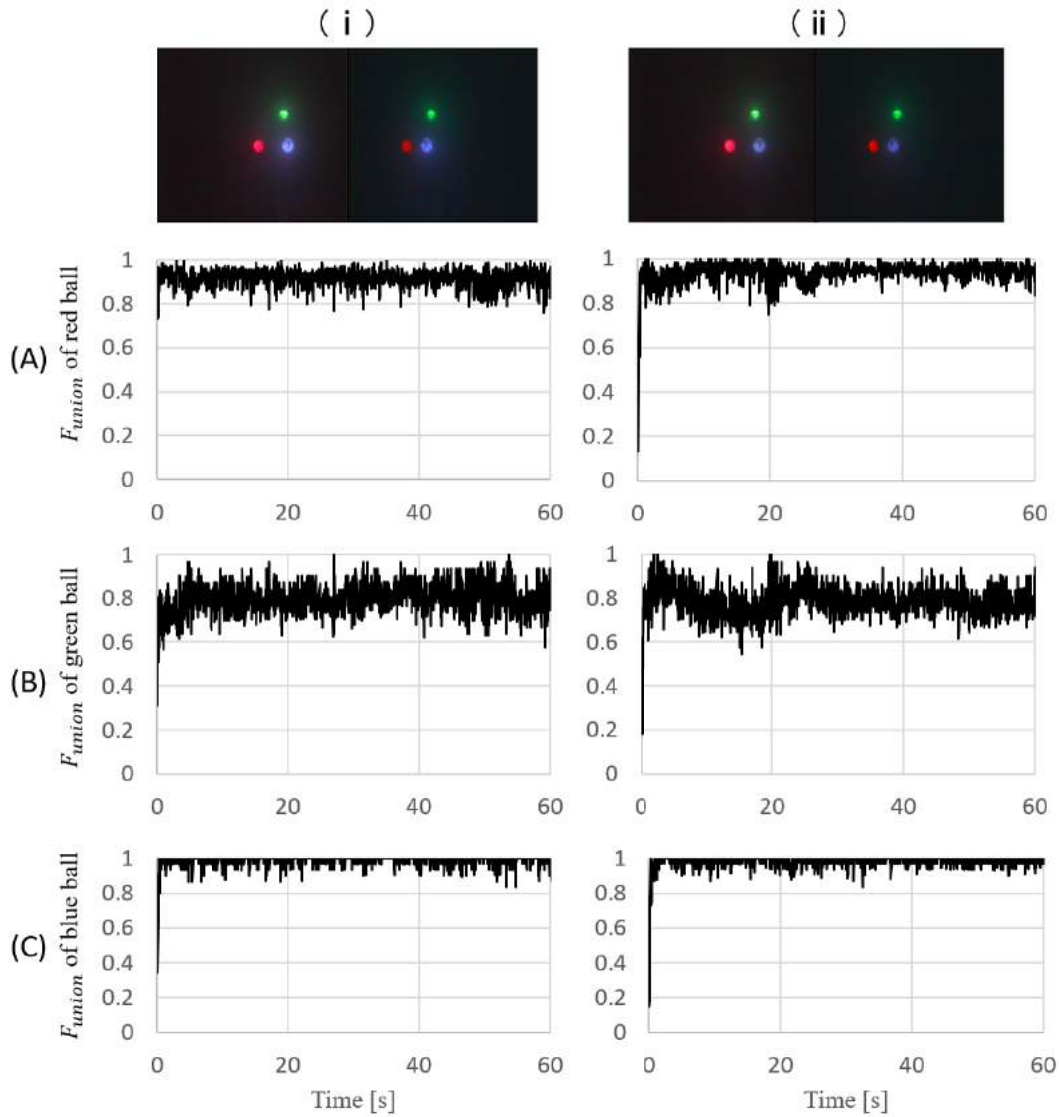
Fig.6 Average of Fitness for each color ball When Changing The Red Current Value. (A)Fitness of Hue (B)Fitness of Brightness (C)Fitness

### 7.2 比較実験結果

各色の最終的な適合度についてのグラフを Fig. 7 (A), (B), (C) に示す。(i) 列は新たに決定した光量、(ii) 列は従来の光量についての情報である。また、(A) 行は赤色マーカー、(B) 行は緑色マーカー、(C) 行は青色マーカーの適合度である。新たに決定した光量 (Fig. 7(i) 列) と従来の光量 (Fig. 7(ii) 列) を比べると、各色、適合度には大きな違いは見られない。ここで、従来の光量は実海域での連続嵌合実験に成功していることを考えると、新たに決定した光量の妥当性が考えられる。

## 8 結言

私たちは海底探査の効率化を目的に、水中ロボットの自動給電システムの開発を進めている。現在、夜間・混濁環境下での嵌合動作に成功している。本論文では、嵌合動作に用いる発光 3 次元マーカーの光量について、適合度を指標に数値的に解析を行なった。その結果、認識に適している光量を決定することができた。次は、決定した光量を用いて、実海域での嵌合動作を行なっていく予定である。



**Fig.7** Fitness Value for each color ball of Light Intensity Determined Newly and Conventional. Column (i) Current Value of Red = 7 [mA], Green = 10 [mA], Blue = 4 [mA] (ii) Current Value of Red and Green = 8 [mA], Blue = 2 [mA] Row (A) Red (B) Green (C) Blue

**Table 3** Experiment Environment in The Pool

		New light intensity	Conventional light intensity
Turbidity [FTU]		8.6	
Distance x [mm]		600	
Illumination [lx] (in water)		0	
Current value [mA]	Red	7	8
	Green	10	8
	Blue	4	2

### 謝辞

本研究では広和株式会社マリンシステム部の協力を得ました。ここに謝意を表します。

### References

- [1] 大西祥太, 須浪唯介, 西村健太, 矢納陽, 石山新太郎, 見浪護 (岡山大), 藤本勝樹 (広和 (株))” MOS 制御知能を搭載した遠隔操作型水中ロボット (ROV) の自律制御化 (AUV) 技術”, 第 57 回自動制御連合講演会, 1B08-2, 2014.
- [2] W. Song, M. Minami, S. Aoyagi, “On-line Stable Evolutionary Recognition Based on Unit Quaternion Representation by Motion-Feedforward Compensation”, International Journal of Intelligent Computing in Medical Sciences and Image Processing (IC-MED) Vol. 2, No. 2, pp 127-139, 2007.
- [3] 米森健太, 矢野陽, Myo MYINT, Khin Nwe LWIN, 見浪護, ” 複眼ビジュアルサーボによる水中ロボットの実海域嵌合実験”, 日本機械学会論文集 Vol. 83, No. 848, 2017.
- [4] Myo Myint, Khin Nwe Lwin, Naoki Mukada, Matsuno Takayuki, Mamoru Minami ”Stereo Vision-based 3D Pose Estimation under Turbid Water for Underwater Vehicles”, 第 35 回 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ 2017), C1C3-02, 2017.9.11-14