

## 様々な濁度/照度環境における発光 3D マーカーの改良と評価

### Development and Evaluation of Active/Lighting Marker in Turbidity and Illumination Variation Environments

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

Yoshiki KANDA, Okayama University, pw1w867s@s.okayama-u.ac.jp  
 Daiki YAMADA, Okayama University  
 Sho NAKAMURA, Okayama University  
 Kouhei YAMASHITA, Okayama University  
 Naoki MUKADA, Okayama University  
 Takayuki MATSUNO, Okayama University  
 Mamoru MINAMI, Okayama University

The development of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) is essential for the sea bed resources exploration. Vision-based underwater vehicle to robustly detect the underwater target especially in high turbid and low illumination. Visual-based underwater vehicle using 3D perception based move on sensing (3D-MoS) system with dual-eye cameras and 3D marker has been developed. We designed and constructed the active/lighting 3D marker to improve the recognition accuracy for the real time 3D pose estimation. The recognition experiments were conducted in an indoor pool against different turbidity and illumination by adjusting the LED's brightness under day and night environments. The purpose of this research is to choose appropriate currents of LED that was installed in the active/lighting 3D marker for real-time pose recognition against different turbidity and illumination.

**Key Words:** Dual-eyes, Genetic Algorithm, Turbidity

#### 1 緒言

近年、海底探索のために様々なロボットの研究・開発が行われている。海底探索の目的はメタンハイドレードなどの海底資源の発見である。海底資源は海底火山など地形の特異点に存在しているためロボットを用いて海底地形のマッピングを行い埋蔵地の特定をしている。マッピングを効率的に行うためにはロボットが水中で長時間活動できることが必要不可欠であり、ロボットの水中作業時間を延長するため、水中に給電設備を設置しバッテリー容量が少なくなるとロボットが自動で帰還・充電するといったシステムの研究が行われている。私たちの研究の目的はロボットに取り付けたカメラによって給電設備を認識し自動で嵌合を行い充電するロボットシステムの構築である。

現在、海を模したプールや実海域等において給電設備への充電を想定した嵌合実験を行い、成功した [1]-[3]。しかし、ある一定以上の濁度、ある一定以下の照度においては認識が不安定になり、嵌合実験が成功しない場合があった。そこで、従来の認識対象物（以下 3D マーカーと表記）に改良を加え、3D マーカーの内部に 3 色の LED を内蔵し、新たな認識対象物（以下発光 3D マーカーと表記）を作成した。この発光 3D マーカーを発光させることによって様々な濁度、照度環境において認識可能な環境の拡張をはかった。内蔵されている LED の電流値を変更することで、LED の光量の調整を可能にしている。従来行ってきた実験では LED に流す電流値の決定は画面の発光 3D マーカーの色の様子を見て行っており、実験データは用いていなかった。本報告では、発光 3D マーカーに内蔵されている LED の電流値と様々な濁度、照度環境における適切な LED の電流値を確認するための実験について報告する。これにより、様々な環境に対応できる自動給電動作システムの構築を目指す。

#### 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。

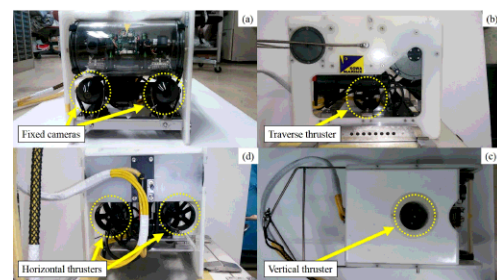


Fig.1 Overview of ROV (a) Front view (b) Side view (c) Top view (d) Back view

### 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3Dマーカー (Fig. 2) 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 [4] を組み合わせて3Dマーカーとの相対的位置・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 [5] は、まったく同様の手法である。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3Dマーカーの位置・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。一致度は色相、彩度、明度、輝度差を用いて判断している。これにより、提案システムでは3Dマーカーの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. 3に示すGA探索空間内で獲得される。

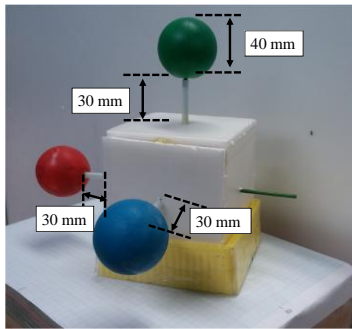


Fig.2 Target object

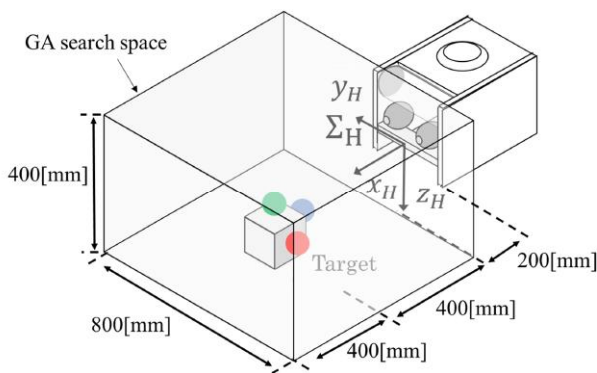


Fig.3 Underwater target and GA searching area

### 4 発光3Dマーカー

Fig. 4に今回作成した発光3Dマーカーを示す。主に本体部分、LEDを点灯させるための回路部分、電源部分から構成されている。

それぞれの球体部分に内蔵されているLEDを点灯させるための回路をFig. 5に示す。この回路は赤、青、緑の3色のLEDを

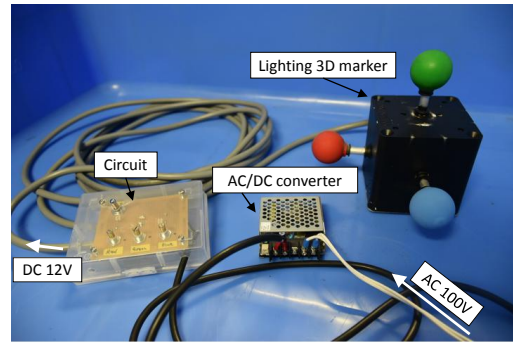


Fig.4 Active/Lighting 3D marker

使用し、可変抵抗器を用いて抵抗値の調整を行うことができる。また時間経過によるLEDの光量を一定に保つために電池は用いず、AC100V電源から変換器によって直流に変換したものを電源とした。

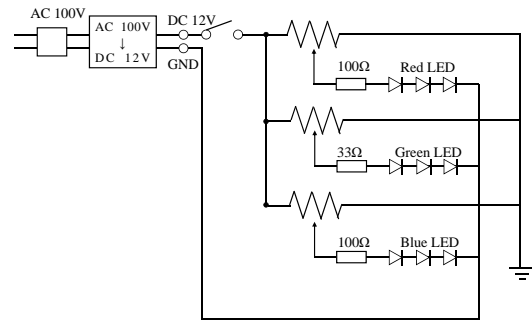


Fig.5 Circuit for active 3D marker

## 5 認識実験

### 5.1 実験目的

現在、海で嵌合実験を行う際、認識対象物に発光3Dマーカーを用いている。発光3Dマーカーの赤、青、緑の各球の内部にはLEDが内蔵されており、それを用いて発光する。LEDに流す電流値を変更することで、発光3Dマーカーの光量を変更することが可能であるが、従来行ってきた実験ではLEDに流す電流値の決定は画面の発光3Dマーカーの色の様子を見て行っており、実験データは用いていなかった。そこで今回の実験では、様々な濁度において電流値、照度を変更しながら認識実験を行い、適切な電流値の確認を目的として行った。

### 5.2 実験環境

実験環境をFig. 6に示す。室内プールの四隅に光源となるハロゲンライトを置き、発光3DマーカーとROVの距離が600 [mm] になるように置き、固定する。また、発光3Dマーカーの後ろに海の背景を印刷したシートを設置した。ROVと3Dマーカーの座標系はFig. 7に示す。ROVの座標系は $\Sigma_H$ 、3Dマーカーの座標系は $\Sigma_M$ で表す。

### 5.3 実験内容

濁度一定の環境下で照度、LEDに流す電流値を変化させた。濁度は0~12 [FTU]の範囲で4 [FTU] ずつ、照度は0~1400 [lx]の範囲で200 [lx] ずつ、電流は0~16 [mA]の範囲で2 [mA] ずつ変化させた。ここで、濁度 (Formazine Turbidity Unit, FTU) は水の濁りの程度を表し、照度 (Lux, lx) は光の明るさを表している。濁度はポータブル濁度センサ (OPTeX, TD-M500) を、

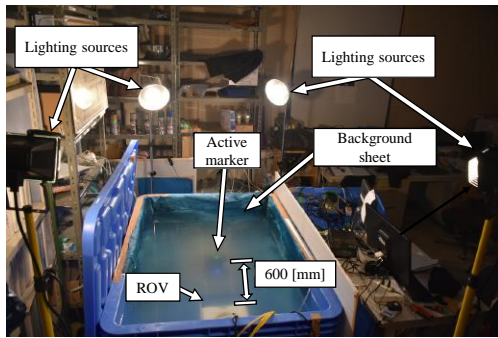


Fig.6 Experiment environment

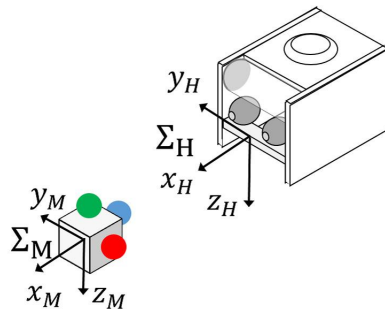


Fig.7 Coordinate system provided in the experiments

照度はポータブル防水照度計 (Milwaukee, MW-700) を用いて、電流値 (milli Ampere, mA) はデジタルマルチメータ (株式会社マザーツール, MT-2060) を用いて計測した。Fig. 8 の (A) にポータブル濁度センサを、(B) にポータブル防水照度計を示す。適合度は 60 [s] の平均値をとり、適合度の計算には色相、彩度、明度、輝度差を用いた適合度関数を使用した。



Fig.8 Measuring instrument ((A) Portable monitoring sensor TDM500, (B) Portable Waterproof LUX Meter MW-700).

#### 5.4 実験結果・考察

各 LED の電流値における各照度ごとの適合度の平均値と標準偏差を Fig. 9 に示す。縦軸が適合度、横軸が LED に流れる電流値 (mA) で、(A), (B), (C), (D) はそれぞれ濁度が 0 [FTU], 4 [FTU], 8 [FTU], 12 [FTU] の場合である。Fig. 9 より、適合度の平均が高く、標準偏差が低い 10 [mA] が適していると考え

た。適していると判断した 10 [mA] の優位性を確認するために 8 [FTU], 400 [lx] の環境下で 0 [mA], 10 [mA], 16 [mA] において色相、輝度、適合度関数分布の確認を行った。Fig. 10 に、濁度が 8 [FTU], 照度が 400 [lx] の環境下で各電流値 ((I) 0 [mA], (II) 10 [mA], (III) 16 [mA]) における左右カメラ画像を一番上に、左右カメラ画像の輝度分布、色相分布を真ん中、一番下に示す。色相分布において、赤、緑、青、白の点はそれぞれ我々のシステムが赤、緑、青、その他の色と認識したことを示している。輝度分布において、白色に近いほど輝度が高く、黒色に近いほど輝度が低い。Fig. 11 に、濁度 8 [FTU], 照度 400 [lx] の環境下で各電流値 ((I) 0 [mA], (II) 10 [mA], (III) 16 [mA]) における  $x, y$  軸間の適合度関数分布を示す。 $F_{max}$  はそれぞれの条件における適合度関数分布内で適合度が最も大きい値を示し、指し示す円は  $F_{max}$  が存在する場所を示している。

色相、輝度分布から 16 [mA] の場合において青色の球部分の HSV 値が我々が定めた青の範囲から出ており青と認識されていないこと、球部分と背景との輝度差が大きいことがわかる、また、0 [mA] の場合では、各球の色が認識されていないこと、球部分と背景との輝度差が小さいことがわかった。10 [mA] の場合では、各球の色が認識されていること、球部分と背景との輝度差が大きいことがわかった。適合度関数分布の結果からは  $F_{max}$  が 0 [mA], 10 [mA], 16 [mA] の場合それぞれ、0.066, 0.472, 0.458 であり、10 [mA] の場合が最も高くピークが存在することがわかった。ピークがより高く存在すると、GA が最適解に収束する際に、より早く、安定的に収束する。以上の結果から、10 [mA] の優位性が確認できた。

## 6 結言

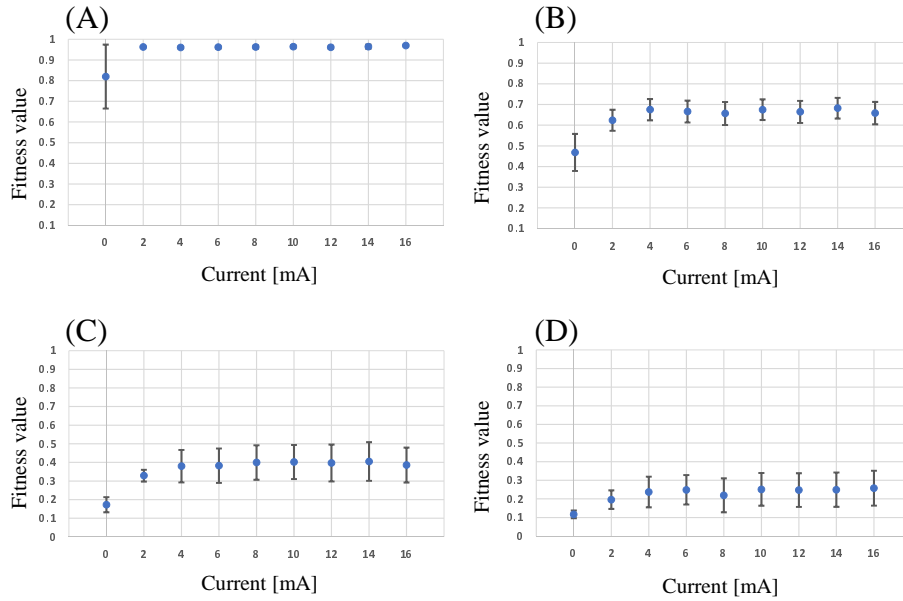
本論文では、発光 3D マーカーに内蔵された LED に流れる電流値の選定を提案した。室内プールにおいて様々な濁度、照度環境における認識実験を行い、適している電流値を 10 [mA] と判断した。今後、海においても適していることを確認し、様々な環境に対応できるシステムの構築を目指す。

## 謝辞

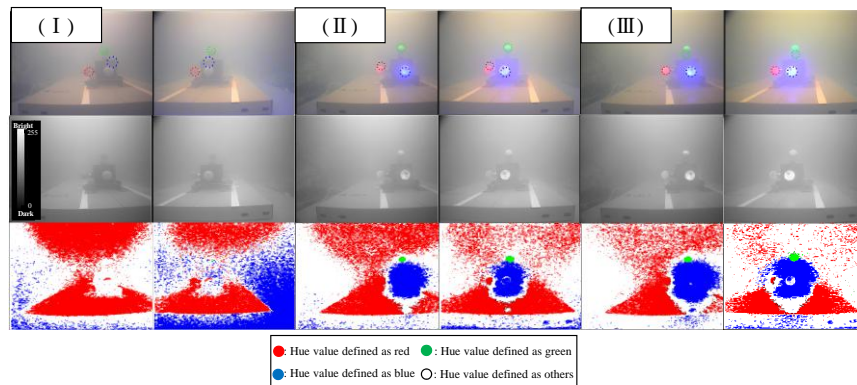
本研究では広和株式会社マリンシステム部の協力を得ました。ここに謝意を表します。

## References

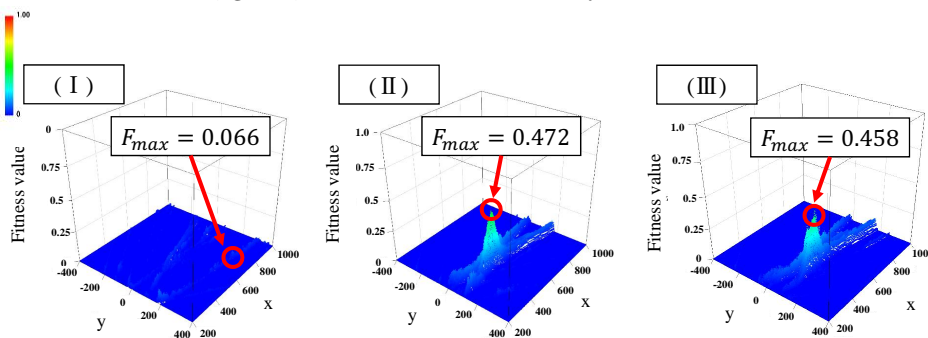
- [1] Myint, M., Yonemori, K., Yanou, A., Ishiyama, S., Minami, M., "Robustness of visual-servo against air bubble disturbance of underwater vehicle system using three-dimensional marker and dual-eye cameras", In OCEANS 2015-MTS/IEEE, Washington DC, USA (2015), pp. 1-8.
- [2] Myint, M., Yonemori, K., Yanou, A., Lwin, K N., Minami, M., Ishiyama, S., "Visual-based deep sea docking simulation of underwater vehicle using dual-eyes cameras with lighting adaptation", Proceedings of OCEAN 2016-Shanghai, (2016), pp. 1-8.
- [3] Xiang Li, Yuya Nishida, Myo Myint, Kenta Yonemori, Naoki Mukada, Khin Nwe Lwin, Matsuno Takayuki, Mamoru Minami, "Dual-eyes Vision-based Docking Experiment of AUV for Sea Bottom Battery Recharging," MTS / IEEE OCEANS '17, Aberdeen Scotland, June 19-22, 2017.
- [4] 大西洋太, 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.
- [5] 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.



**Fig.9** Average fitness value and standard deviation for different currents of LEDs inside the active marker in turbid water ((A) 0 [FTU], (B) 4 [FTU], (C) 8 [FTU], (D) 12 [FTU]).



**Fig.10** Left and right cameras images(Top) and results of brightness(Middle) and hue(Bottom) distributions for different LED's current of balls((I) 0 [mA],(II) 10 [mA], (III) 16 [mA]) in 8 [FTU] and 400 [lx]. In the top images, dotted circles show the 3D marker's posture estimated by GA. In brightness distribution(Middle), more pixel become white, more brightness become high. In hue distribution(Bottom), red, green, blue and white dots are defined as red, green, blue and others in our system.



**Fig.11** Fitness value distribution between x-direction and y-direction for different LED's current of balls((I) 0 [mA],(I I) 10 [mA], (III) 16 [mA]) in 8 [FTU] and 400 [lx] at the distance 600 [mm] between ROV and 3D marker.  $F_{max}$  is the biggest fitness value in each fitness value distribution.