

## 長時間撮影に対応した水中デジタルカメラ KG-6 の開発と性能評価

伊藤麻美,<sup>1\*</sup> 井上喜洋,<sup>1</sup> 五島正哲<sup>2</sup>

### Development and Evaluation of a System to Take Underwater Photographs for Long Periods of Time Using Digital Camera KG-6

Asami Ito,<sup>1\*</sup> Yoshihiro Inoue,<sup>1</sup> and Masaaki Goto<sup>2</sup>

**Key words** : underwater digital camera, housing, dry cell battery, voltage controller.

#### Abstract

Underwater photographs of fishing gears and fish behavior are helpful for fishery technical developments and natural environment investigations. Although the spread of digital cameras is progressing, there are few which are easy to handle and have a reasonable price, and can be used for taking underwater images for a long period of time. We designed and engineered an underwater digital camera which combines a commercial digital camera and stroboscopes and can be used for observations in coastal fisheries surveys. The housing that stored the digital camera and stroboscopes could withstand underwater pressure to a depth of 400m. We used a voltage controller to extend battery duration time and be able to take photographs for longer time. Maximum performance lasted 19 hours, taking photographs every 60 seconds interval. Photography experiments were conducted using a trawl net which was towed at a 160m depth and a small set net located at a 10m depth. In both we succeeded to take the good photographs at intervals of 30 seconds or 60 seconds.

近年、デジタルカメラ（以下、デジカメと称する）の普及に伴い、個々のデジカメに対応した水中撮影用耐圧容器（以下、ハウジングと称する）が作製され、水中での撮影が容易になっている。しかし、これらの水中撮影装置はレジャー潜水等での使用が主であるため調査研究用としての設置や長時間撮影等には向いていない。

漁業現場における水中映像は魚の魚網への出入りや生態等の観察におおいに役立つ<sup>1)</sup>。魚網への水中撮影装置の設置によって網内での魚の行動が明らかとなれば、魚網の改良や投網場所の改善等の技術向上につながる<sup>2)</sup>。

これまでに水中撮影用ビデオカメラの開発はおこなわれてきたが<sup>3)</sup>、これらのビデオカメラは非常に高価であ

りその静止画像は一般のデジカメより劣ることが多かった。デジカメによる水中撮影はビデオカメラでの撮影に比べ安価で、かつ鮮明な静止画像を得ることができる。しかし、調査研究用に作られたハウジングを使用したデジカメでも数時間程度の撮影しかおこなえず、長時間の撮影ができるデジカメは少ないのが現状であった。本研究で使用したデジカメも当初専用の電池が長持ちしないため、数時間の撮影が限界であった。長時間撮影が可能なシステムをハウジング内に搭載すれば、より多くの画像を取得できるだけでなく他のデジカメへの応用の可能性もある。

本研究では市販のデジカメの長時間撮影を実現させる

1 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 4-50-20 Shimoarata, Kagoshima, 890-0056 Japan)  
(\*Email:a-ito@fish.kagoshima-u.ac.jp)

2 後藤アクアティックス (株) (Goto Aquatics Co.LTD., 1160-5 Manazuru, Ashigarashimogun, Kanagawa, 259-0201 Japan)

ため、電池の増設とこれに伴って必要な電力制御回路の開発をおこなった。また、撮影システムの性能を評価するために撮影可能時間、距離および画角を求める実験をおこなった。さらに、研究に供することが可能な画像が得られるかを確認する実験もおこなった。

### 材料と方法

本研究では、デジカメを沿岸域で使われる漁具および底曳網等に取り付けて、一定時間の間隔でデジカメの撮影をおこない、かつ長時間使用を可能とする装置の開発を目標とした。開発したシステムは市販されているデジカメおよびストロボに今回開発したハウジングと電源を組み合わせたものから構成されている。

#### デジカメ

本研究で使用したデジカメは RICOH 社製の「GR DIGITAL」である。このデジカメを選択した理由は外付けフラッシュ用の接続端子が備わっていること、電池が持続する限り一定時間間隔でシャッターが切れるインターバル撮影が継続して可能であること、および安価であることが挙げられる。また、広い画角で撮影するために広角コンバージョンレンズ (RICOH 社製: GW-1 および GH-1) を使用した。広角レンズを取り付けたデジカメを Fig.1 の A に示す。

#### ストロボ

一般にデジカメの純正ストロボは高価であるため安価で入手が容易なストロボ (モーリス社製: ヒカル小町 6) を 2 台使用した。本研究で使用したストロボの画像を Fig.1 の B に示す。このストロボの電源には 1 台につき単三乾電池 4 本を使用するので合計 8 本の乾電池を使用した。

#### ハウジング

本研究で作製したハウジングを Fig.2 および Fig.3 に示す。Fig.2 の A はハウジング正面を、B は後方を示している。ハウジングはデジカメとストロボをそれぞれ収納する円筒容器をステンレス鋼板でつないだ構造とした。

Fig.3 の A に示したデジカメ収納部はカメラの正面レンズ側の蓋を不透明な MC ナイロン 801, 円筒容器をステンレス鋼, 後方側の蓋を透明ポリカーボネート樹脂でそれぞれ作製した。また、レンズ側の蓋にはレンズ前面に磨きガラスをはめ込んだ窓を取り付けた。カメラ前面蓋にガラス窓を組み込んだのは色差や歪みを回避するためである。また、デジカメを固定するアタッチメントを塩化ビニル角材で作製し取り付けた。

Fig.3 の B に示したストロボ収納部は、正面発光側の

蓋を透明ポリカーボネート樹脂, 円筒容器をステンレス鋼, 後方側の蓋を MC ナイロン 801 でそれぞれ作製した。この中にストロボ 2 個を取り付けた。

ストロボの発光とデジカメのシャッターを同期させるため、両者をシンクロケーブルで電氣的に接続する必要がある。ウレタン樹脂で作製した水密コネクタをハウジングのデジカメ収納部とストロボ収納部の後方に取り付けた。様々な実験深度に対応できるように、ハウジングおよび水密コネクタは耐圧水深が 400 m となるように設計した。

#### 電源

使用したデジカメは内蔵電源として専用充電電池 (DB-60, リチウムイオン充電電池) または単四乾電池 2 本 (アルカリ乾電池, オキシライド乾電池またはニッケル水素充電電池) を通常使用する。このデジカメを使用して 12 時間以上の長時間撮影を可能にすることを目標とした。ハウジング内の空きスペースを有効に活用して多数の乾電池を搭載し、その電力を効率的に使用できるような電子回路の開発をおこなった。乾電池はストロボに使用する電池と同種類であることおよび場所に関わらず入手が容易なことから単三乾電池とし、長時間の使用が可能なリチウム乾電池 (FUJIFILM, 起電力 1.5 V) とオキシライド乾電池 (Panasonic, 起電力 1.5 V) を選択した。

本研究で用いたデジカメをハウジングに装着すると単三乾電池 6 本をハウジング内に収めることができたため、これら乾電池 6 本を直列に接続した。直列に接続したのは、並列につないでそれぞれの乾電池に電圧差があった場合に電圧の低い電池に電流が流れ込んで発熱する可能性がありこれを回避するためである。しかし、乾電池 6 本の接続により電圧が 9 V と高くなる。専用充電電池の起電力は 3.7 V であることから同程度の電圧での電力供給が必要と考えた。以上のことから、電圧を 3.7 V に調整し、かつ電力を効率的に供給できる電子回路の作製が必要となった。

電圧制御装置として 9 V の入力電圧を約 3.7 V で出力することが可能なステップダウンコンバータを組み込んだ電子回路を用いた<sup>\*1</sup>。このことにより電力を効率的に利用することが可能となった。ここで使用したステップダウンコンバータはマキシム・インテグレートッド・プロダクツ社製の MAX1776 である<sup>\*1</sup>。MAX1776 は入力時の 4.5 V から 24 V の電圧を出力時に 1.25 V から 24 V に調整可能な電子部品である (最大出力 600mA, 内部

<sup>\*1</sup> Maxim Integrated Products.(2003). 24V, 600mA internal switch, 100% Duty Cycle, Step-Down Converter, 2:1-13.

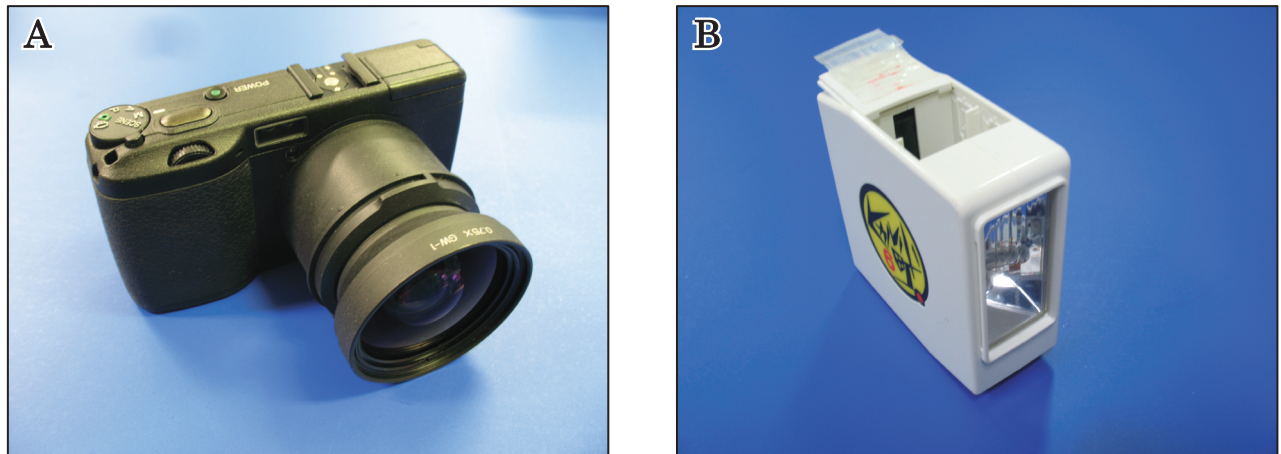


Fig. 1. Digital camera and electronic flash.  
A shows the digital camera with wide-angle lens and B shows the electronic flash.

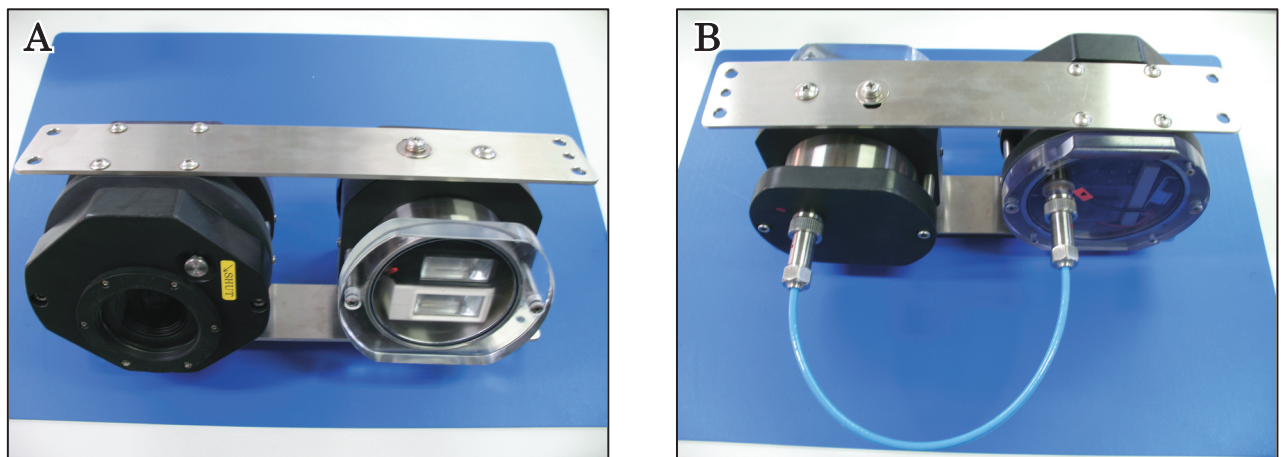


Fig. 2. Housing.  
A shows the front of the housing and B shows the back.

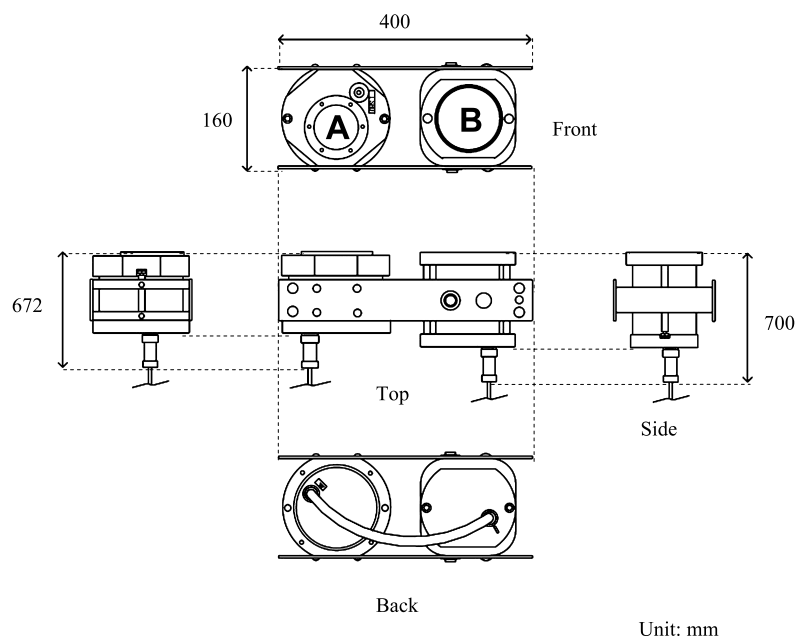


Fig. 3. Illustration showing digital camera housing.  
A shows the waterproofed box of the digital camera and B shows the waterproofed box of the electronic flash.



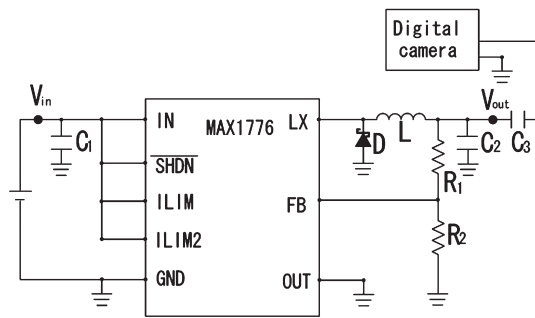


Fig. 4. Design of electronic circuit.

$C_1$  and  $C_2$  show condensers of  $100\mu\text{F}$ ,  $C_3$  shows a condenser of  $1\text{F}$ ,  $R_1$  and  $R_2$  show a variable condensers of  $50\text{k}\Omega$ ,  $L$  shows a coil of  $4.7\mu\text{H}$  and  $D$  shows a shot-key diode,  $V_{in}$  and  $V_{out}$  shows a voltage at each point.

抵抗  $0.4\ \Omega$ )。電子回路は MAX1776 の製品情報に掲載されている回路図を参考とし、Fig.4 に示すものとした。MAX1776 の IN 端子と GND 端子の間に  $9\text{V}$  の電圧を入力した時に、 $V_{out}$  と GND 端子間の電圧が約  $3.7\text{V}$  になるよう可変抵抗  $R_1$  と  $R_2$  を調整した。

電子回路の基板は感光基板を加工して作製し、電子部品をこれに取り付けた。感光基板の加工および電子部品の取り付け作業は鹿児島大学工学部中央実習工場でおこなった。この電圧制御装置から出力する電圧をより安定供給させるため、作製した電子回路とデジカメとの間に電気二重層コンデンサ  $C_3$  を接続した。Fig.5 に示すように、アタッチメントに電子回路を収納し電池ホルダー 6 個を接続した。これにデジカメをネジで固定した。

### 撮影実験

撮影システムの性能を評価するために撮影可能時間、距離および画角を求める実験をおこなった。また、実験に供することが可能な画像が得られるかを確認する実験もおこなった。

撮影可能時間の評価実験では、一般的に使用する電池をデジカメに装着した場合と今回開発したものを比較した。前者においては、専用充電電池 (DB-60) または単四オキシライド乾電池 2 個を使い、撮影間隔を 30 秒と 60 秒に設定して、撮影可能な最大時間を求めた。後者においては、単三リチウム乾電池を 6 個使った場合については撮影間隔を 30 秒と 60 秒に設定し、単三オキシライド乾電池を 6 個使った場合については撮影間隔を 60 秒に設定して求めた。

撮影可能距離計測実験は定置網を対象としておこない、運動場側網部とデジカメとの距離を変化させながら網目を撮影して漁網の目数がはっきりと確認できる限界の距離である撮影可能距離を推定した。また、得られた

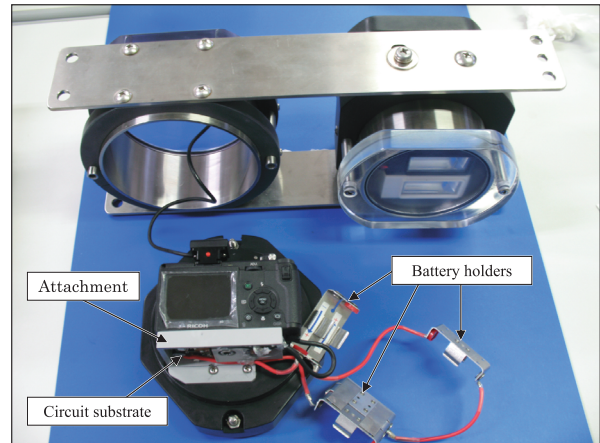


Fig. 5. Electronic circuit and battery holders with the housing.

画像に写された水平方向の目数から水平方向の撮影可能幅  $W$  を推定し、この時の撮影対象物までの距離  $D$  から次式により画角  $\theta$  を求めた。

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{W}{2D} \quad (1)$$

なお、対象とした定置網は鹿児島県南さつま市の片浦漁港沖に設置した教育実習用小型定置網とした。

設置型の漁具として定置網、移動型の漁具としてトロール網にそれぞれ撮影システムを取り付けて撮影をおこないその画像を評価した。

ここで対象とした定置網は撮影可能距離計測実験と同様のものとした。撮影システムは Fig.6 に示すように、定置網羽口障子裏側の海底近くに取り付け、網内を回遊する魚および羽口から網内外へ入出網する魚を撮影対象とした。電源は開発した電源に単三リチウム乾電池 6 本を接続したものをを使用した。

トロール網での撮影は、鹿児島大学附属練習船「かごしま丸」の南西諸島における実習航海でのトロール網操業でおこなった。撮影システムは Fig.7 に示すように水深約  $160\text{m}$  を曳網されるトロール網の左舷側上段袖網部内側に取り付け、反対側の袖網を目標に撮影をおこなった。トロール網操業時間が 1 回 2 時間程度であるので、電源は市販の専用充電電池を使用した。

### 結果および考察

本実験で求めた撮影可能時間を Table 1 に示した。一般的に使用する電池を用いた場合、専用充電電池ではいずれの撮影間隔でも 3.5 時間から 4 時間の撮影が可能であり、単四オキシライド乾電池では同様に約 1 時間程度の撮影が可能であった。これらに対して今回開発した電



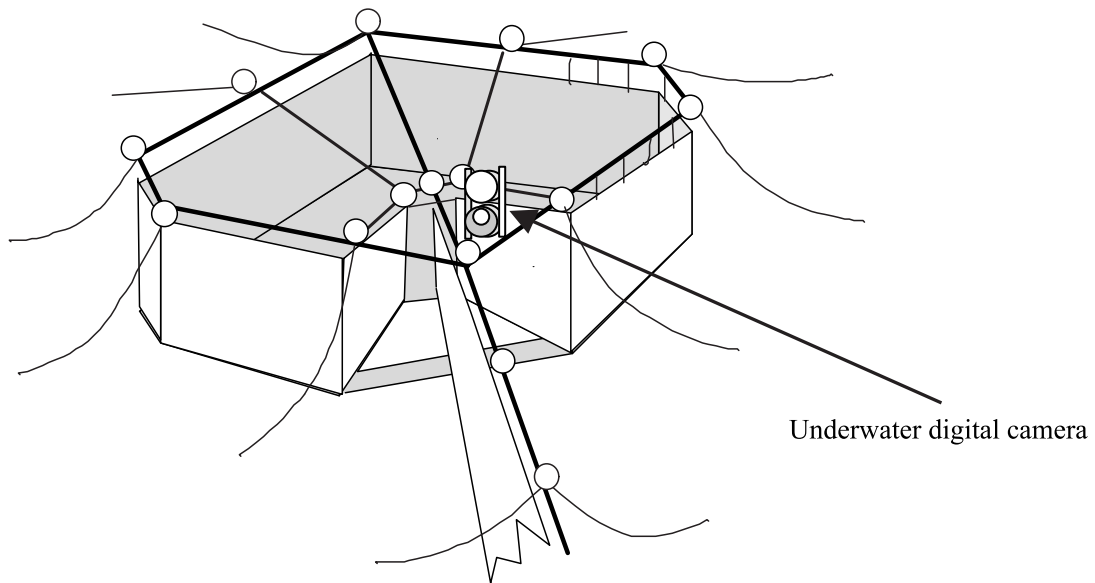


Fig. 6. Position of underwater digital camera and housing on a "Kago-type" set-net.

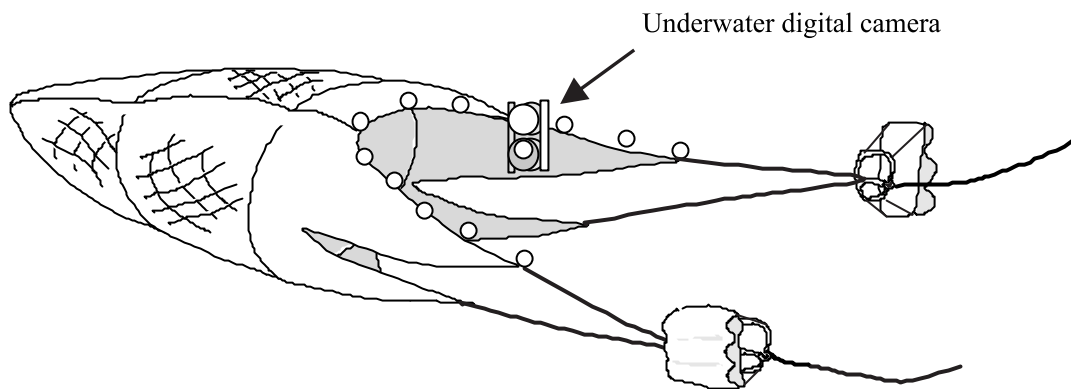


Fig. 7. Position of underwater digital camera and housing on a trawl net.

**Table 1.** Comparison of duration times of batteries used in the underwater digital camera

Condition	Type of battery	Interval between photos (sec)	Duration time (hour : min)	Number of pictures
Before Improvement	Rechargeable lithium battery (DB-60)	30	3:32	422
	Rechargeable lithium battery (DB-60)	60	3:48	230
	Lithium battery ('AAA' size battery)	30	0:62	126
	Lithium battery ('AAA' size battery)	60	0:65	230
After Improvement	Lithium battery ('AA' size battery)	30	12:57	1556
	Lithium battery ('AA' size battery)	60	19:40	1182
	Oxyride battery ('AA' size battery)	60	11:44	706



Fig. 8. Striped catfish (*Plotosus lineatus*) inside a set net.

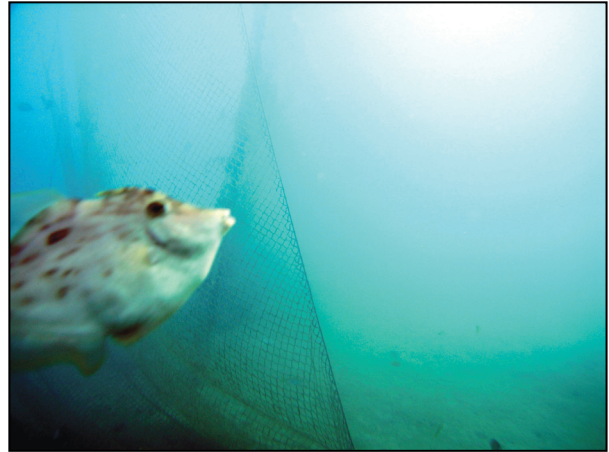


Fig. 9. Thread-sail filefish (*Stephanolepis cirrhifer*) inside a set net.

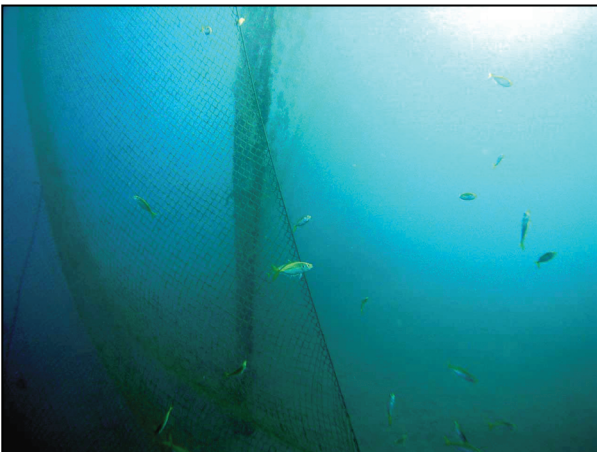


Fig. 10. Japanese jack mackerels (*Trachurus japonicus*) inside a set net.



Fig. 11. Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) inside a set net.

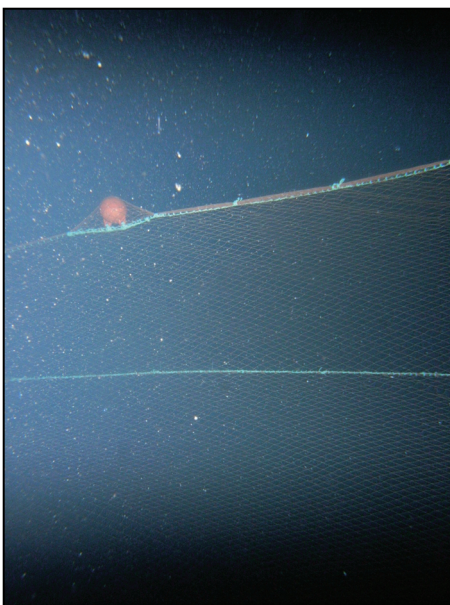


Fig. 12. Trawl net pulled along the water column.

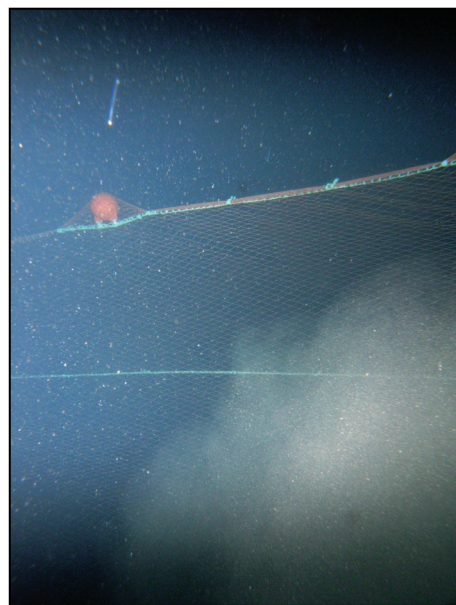


Fig. 13. Trawl net pulled on the sea bed.

源を接続した場合の連続撮影時間は撮影間隔 30 秒および 60 秒の場合でそれぞれ、リチウム乾電池の使用で 12 時間 57 分および 19 時間 40 分であり、撮影間隔 60 秒でオキシライド乾電池を使用した場合には 11 時間 44 分であった。今回開発した電源を接続した場合、専用充電電池を電源とした場合と比較して撮影可能時間は約 3 倍以上となった。これらのことから当初の目標であった 12 時間以上の連続撮影が可能となった。また、定置網で求めた撮影可能距離は 3 m から 4 m と推定され、撮影可能な画角は (1) 式より水平方向について  $60^{\circ}$  から  $80^{\circ}$  であることがわかった。

撮影で得られた画像の例を Fig.8 から Fig.13 に示す。設置型の漁具である定置網では Fig.8 および Fig.9 に示すようにゴンズイやカワハギ等の個体が撮影され、Fig.10 および Fig.11 に示すようにマアジやカタクチイワシの群遊も撮影された。夜間から明け方にかけては比較的鮮明な映像が撮影できたが、昼間の撮影では光力が大きすぎるためハレーションが起り、対象物の映像が不鮮明になることがあった。また、移動型の漁具であるトロール網で撮影された曳網の様子を Fig.12 と Fig.13 に示す。Fig.12 では網が着底していないが Fig.13 では着底して砂が舞い上がる状態がわかる。また、ハレーションが発生せず反対側の袖網が鮮明に撮影された。このことから 10 m 以上離れた対象物が撮影できたといえる。

今回の撮影システムの開発により撮影時間の延長が可能になったが、連続撮影が 10 時間を超えるあたりからストロボの発光がない画像が得られ始めた。原因として電源電力が減少し、設定した撮影時間間隔内にストロボ内のコンデンサへの充電が充分でなく発光回数が減少したものと考えた。当初はデジカメの撮影可能時間の延長が課題であったが、撮影時間を延長することができたためストロボ発光可能時間の延長の必要性も出てきた。今後、撮影間隔とストロボ発光可能時間の関連を調べストロボの外部電源の開発および大容量コンデンサの利用等を検討する予定である。また、ハレーション対策としては昼夜の自動切り替え、あるいは発光面への拡散不透明板の利用等が必要である。

定置網とトロール網の撮影距離の違いは、トロール網の曳網水深が 160 m で撮影時の透明度が高かったのに対し、定置網の場合は透明度が低いといった大きな差が起因しているものと考えられる。このことから比較的透明度の低い沿岸漁場での撮影可能距離は 3 m 程度といえる。一方、透明度が高い漁場での撮影可能距離は今回の実験から 10 m 以上であると推定されるが明確に示すことができない。また、透明度が高く照度が低い場合はス

トロボ光の到達可能距離に依存すると考えられるが、本実験ではストロボ光の到達可能距離を求めていることからこの点についても明確にできない。今後、これらの透明度や照度をパラメータとした撮影可能距離の評価に取り組む予定である。

#### 謝辞

本研究にご協力頂いた鹿児島大学水産学部石崎宗周准教授、バスケス・アーチディル・ミゲル・フェデリコ講師および宇野誠一助教に感謝の意を表す。また、重要な改良点の一つであるデジカメ電源の作製にご協力頂いた鹿児島大学工学部中村和夫技術専門職員、坂本武司技術職員ならびに撮影実験にご協力頂いた鹿児島大学水産学部技術部並松実技術長、丸儀雅孝技術班長、福倉勝広総務主任、長野章一技術主任および東輝技術職員に感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) Y. Inoue, Y. Matsushita and T. Arimoto (1993). The reaction behavior of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in a deep / low temperature trawl fishing ground. ICES Marine Science Symposia, 196: 77-79.
- 2) 井上喜洋 (1992) . キンコ網へ入るサケの行動. 日本定置漁業協会, ていち 81:1-14.
- 3) 井上喜洋, 松下吉樹, 五島正哲 (1998). タイマー録画式水中ビデオカメラ・バックの開発, 水産工学研究所技報, 20:23-31.



