

研究速報

深海探査用カメラの調査研究

2015年5月11日（第1版）

竹村 裕夫

公益財団法人 電磁応用研究所

1. まえがき

深海探査用カメラの大規模なものは既に JAMSTEC(Japan Agency for Marine-Earth Science Technology : 国立研究開発法人 海洋研究開発機構)で研究開発・試作・実用化が行われており、成果も得られている。

しかしながら、今後、海底探査の用途が拡大するにつれて、手軽に調査研究が行えるような深海探査用カメラの要求が高まると予想される。

このような背景下で、公益財団法人電磁応用研究所では小型・軽量で手軽に海底の様子が撮影できるカメラが開発できないかという観点から、2014年4月から調査研究を開始し、2015年3月までに特許2件を出願したので、これを機会にこれまでの調査研究結果をまとめることにした。

2. 海底探査用カメラの状況

2.1 JAMSTEC⁽¹⁾

国立研究開発法人海洋研究開発機構は、文部科学省所管の国立研究開発法人で、略称は JAMSTEC、海洋機構。既存の調査船や潜水船などに加え、2004年の独立行政法人化の際に東京大学海洋研究所から移管された調査船を用いて、海洋、大陸棚、深海などの観測研究を行っている。

有人潜水調査船「しんかい 6500」は深度 6,500m まで潜ることができ、1989年に完成し、日本近海に限らず、太平洋、大西洋、インド洋等で、海底の地形や地質、深海生物などの調査を行っている。現在運航中の大深度まで潜ることのできる有人潜水調査船は、2015年3月現在、世界でも7隻しかない。

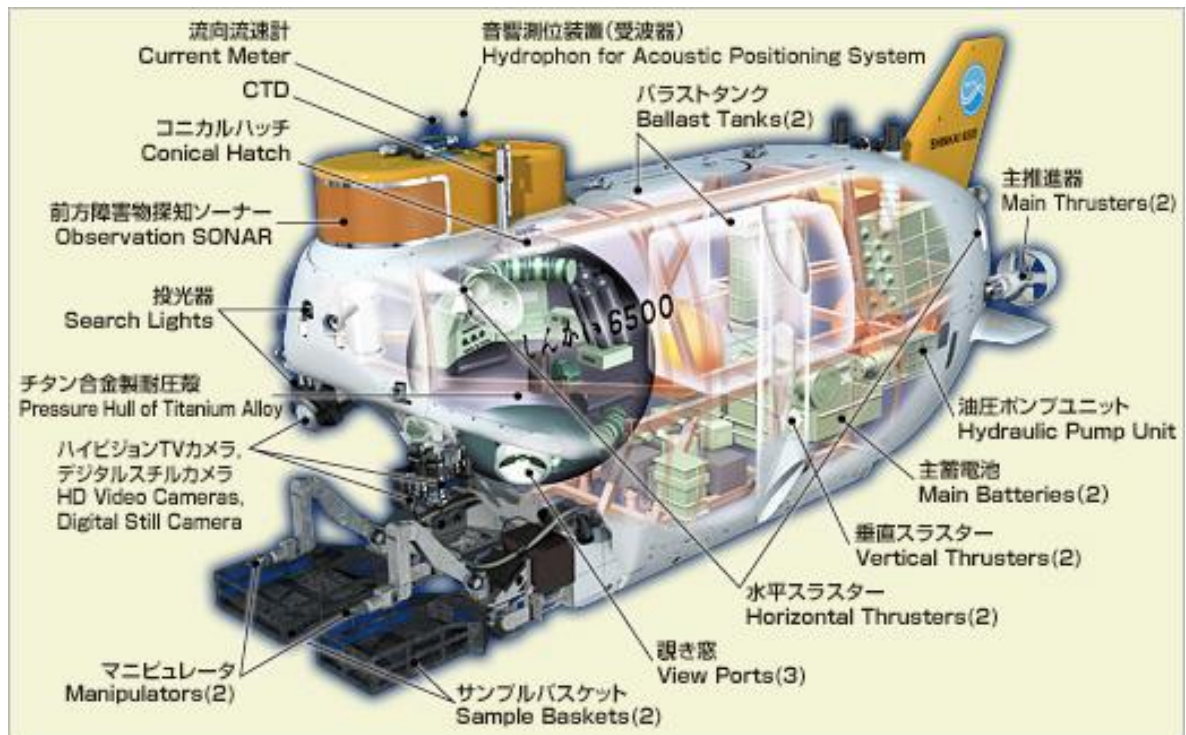


図1 しんかい 6500 の構造⁽²⁾

耐圧殻

1 平方センチメートルあたり約 680kgf という水圧がかかる深海で、3 名の乗員が安全に調査活動を行えるように、そして繰り返し何度も深海を往復できる高い信頼性を得るために、コックピットは内径 2.0m の球（耐圧殻）の中にある。この球は軽くて丈夫なチタン合金でできている。この球の真球度は 1.004、外径は僅か $\pm 2\text{mm}$ 以下の製作精度で製造されている。

浮力材

潜水調査船に使用される浮力材は海水よりも小さい比重であると同時に、高い水圧に耐えられる強度が必要である。「しんかい 6500」では、シンタクティックフォームと呼ばれる浮力材を使用している。シンタクティックフォームはガラスマイクロバルーンという中が空洞の小さなガラス球（主に直径 88～105 μm と直径 40～44 μm の 2 種類）を高強度樹脂（エポキシ樹脂）で固めたもので、これにより、高い水圧でも変形することのない強度と浮力をもっている。

覗き窓

耐圧殻の前方と左右に合計 3 つの覗き窓が付いている。耐圧殻も高い水圧によってわずかに変形するので、変形に追従できるように、透明度が高いメタクリル樹脂をしようする。厚さ 7cm の樹脂板を 2 枚貼り合わせて、計 14cm の厚さのすり鉢状の形状になっている。

投光器

水深 200m を過ぎると太陽の光はほとんど届かなくなり、深海では全くの暗闇になる。「しんかい 6500」の投光器は 1 灯で自動車の強力なヘッドライト 3～4 個分の明るさがある。しかし懸濁物が少なく海水の条件が良い海域で、全灯（7 灯）を使って照らしても視程は 10m 程しかない。

2.2 Remote Ocean Systems 社の海底カメラ⁽³⁾

Remote Ocean System 社(以下 ROS 社)は 1975 年に設立され、San Diego, CA に本社を置き、海洋学や海中カメラ、軍事用カメラ、原子炉内カメラなどの信頼性の要求の高い特殊なカメラを開発製造している。ここでは SD カメラ (Standard Camera ; いわゆるアナログ放送時代の NTSC 方式) を始め、図 1 に示すような HD カメラ (High Definition Camera : いわゆるデジタル放送方式のカメラ) も製品化していて、カメラ本体は 200 万円程度で入手可能な状況にある。

2.3 株式会社エスイーシー⁽⁵⁾

海産の生分解性素材を用いた、リアルタイム海洋投下型センサーを開発している。

平成 17 年度(2004 年)北海道経済産業局 地域新規産業創造技術開発援助事業に基づき開発したものである。



図 2 ROS 社の C600 HD Color Zoom Camera⁽³⁾

The C600 is an oceanographic HD color camera with 30x optical zoom. Several HD formats are available and it features a 6,000 meter depth rating, 12-36 VDC power, Titanium housing, and a 80° field of view. The C600 has a 2-year warranty and various connector options.

電子基板を耐圧ゲルで保護することにより、深海でも高い水密性を維持でき、センサー筐体の水密コストの低減と簡易化が容易にしている。これにより、センサーの構造が簡単になり、計測環境に合わせたカスタマイズが容易といわれている。



図3 試作投下式センサー（水深500m対応）⁽⁵⁾

図3は試作投下式センサーで、写真左側の白い砲弾状の物体がセンサー筐体、右側が通信ケーブルのポピンである。通信ケーブルの被覆は生分解性素材で、海中に投下後、速やかに溶解する仕掛けとなっている。

図4は試作したセンサー回路で、たんぱく質でできたゲル素材がプリント基板を水圧から守る構造となっている。

（青色のガチャ玉は形状を判りやすくするためのサンプル。）

この電子基板とゲル素材がセンサー筐体（オレンジ色矢印で示された場所）に収納されている。



図4 試作センサー回路⁽⁵⁾

本技術に関する特許としては特許第4221510号海中投下型センサーとこれを用いた海中通信システムがある。この特許は㈱エスイーシーと北海道大学、北海道立工業試験場の共同発明であるが、特許権者は㈱エスイーシーの単独となっている⁽⁶⁾。ここには図5に示すような説明図が示されている⁽⁷⁾。

なお、海底探査関連の特許には表1に示した3件が登録されている。

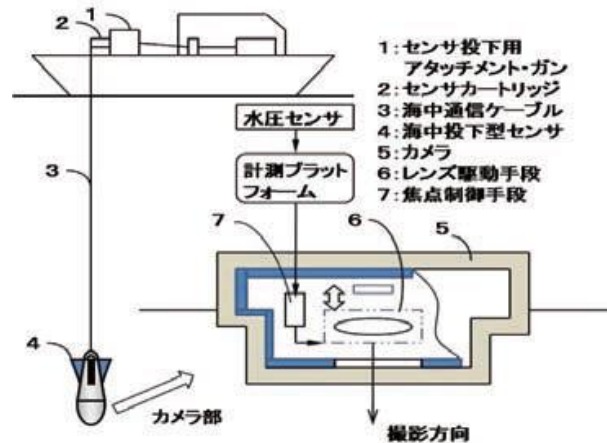


図5 本技術に関する特許の説明図⁽⁷⁾

表1 ㈱エスイーシーの海底探査関連特許

登録番号	登録日	題目	権利者	発明者	出願番号	出願日
4316650	2009.5.29	海中通信システム	㈱エスイーシー	毛内也之 鉄村光太郎 道下斉 沖崎雅樹(以上㈱エスイーシー) 木村暢夫(北海道大学大学院水産科学研究院) 波通隆 古川毅 新井浩成 可児浩 宮崎俊之(以上北海道立工業試験場)	P2008-90351	2008.3.31
4221510	2008.11.28	海中投下型センサーと、これを用いた海中通信システム	㈱エスイーシー	毛内也之 鉄村光太郎 道下斉 沖崎雅樹(以上㈱エスイーシー) 木村暢夫 高橋是太郎 関秀司 竹下まゆ 田丸修(以上北海道大学大学院水産科学研究院) 宮下和士(北海道大学北方生物園フィールド科学センター) 波通隆 古川毅 新井浩成 可児浩 宮崎俊之(以上北海道立工業試験場)	P2008-90385	2008.3.31
3936386	2007.3.30	水中投下型センサーシステム	㈱エスイーシー	毛内也之 鉄村光太郎(以上㈱エスイーシー) 高橋是太郎 関秀司(北海道大学大学院水産科学研究院) 宮下和士(北海道大学北方生物園フィールド科学センター) 波通隆 古川毅(以上北海道立工業試験場)	P2006-267057	2006.9.20

2.4 圧力緩衝ゲルについて

Aa 圧力緩衝ゲルとはシリコンを主原料とした柔らかいゲル状の素材で、 α GEL（アルファゲル）は、タイカで取り扱うゲル製品の総称。衝撃吸収や防振、放熱、電磁波吸収などの機能がある。 -40°C - $+200^{\circ}\text{C}$ の幅広い温度で利用可能。これらは株式会社タイカ、住電朝日精工株式会社などが製造している。

高水圧化において絶縁レジンで被覆した電子回路の特性を評価した結果の報告がある⁽⁸⁾。これによれば、4000m の海中圧に相当する $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ においても十分動作可能という報告がある。

一方、高水圧下で絶縁レジン被覆させると電子回路が損傷を受けないという実験結果が報告されている⁽⁷⁾。

2.5 透明レジンについて

イメージセンサや撮像レンズを充填するには光の経路にあたるので、光学的に透明な物質で充填することが必要になる。このような目的では例えば、Optical Clear Resin (OCR)がある⁽⁹⁾。

カバーガラス、透明導電部材、液晶モジュールなどを光学用透明樹脂または光学用透明粘着シートを用いて貼り合せた積層体であるタッチパネルの接合用に開発されたものである。一方、紫外線硬化型OCR は各種のカバーガラスと部材の貼り合せに適用可能で、良好な信頼性と光学特性を有している。特性の一例を表2に示す。

このような充填剤を用いることにより、高性能で、小型軽量で、かつ堅牢な海中探査用カメラの研究開発が実現性を帯びてくると考えられる。

3. 海底探査用カメラの研究開発

3.1 研究開発要件

以上、調査研究を行った結果、現状の技術レベルがある程度把握できた。その結果、この分野では従来、現存するカメラをそのまま筐体に入れて、筐体を工夫することにより、高水圧下での使用が可能ないように工夫されてきた。そのため、筐体が著しく大きくなり、簡単に海底探査を行える状況にはなっていないかった。

そこで、海底探査用に専用カメラを研究開発することにより、筐体の負担を軽減でき、全体システムとして効率の良いカメラを実現できる可能性が大きくなった。

カメラの主要部品は撮像レンズ、イメージセンサ、照明、それに電子回路から構成される。これらの要件を表3にまとめて示す。

表2 OCR(Optical Clear Resin)の特性⁽⁹⁾

		ES-1
特徴	Glass スタンダードタイプ	
貼りあわせ部材		
粘度 [m・Pa]	3200	
硬化条件 [mJ/cm ²]	3000	
硬化収縮率 [%]	2.2	
屈折率 (硬化後)	1.48	
透過率 [%]	>98	
弾性率 [$\times 10^6\text{Pa}$]	0.55	
Tg [°C]	- 20	
伸び率 [%]	280	
誘電率	2.5 ~ 3	
接着力 [N/cm ²]	G/G	280
	G/偏光フィルム	60
	G/PC	80
	G/PMMA	60

表 3 カメラに必要な要件

		要 件
カメラ		
	撮像レンズ	明るさ、焦点距離、周辺光量、歪み、
	イメージセンサ	画素数、画素サイズ
	電子回路	
	性能	カメラ回路
	機能	電子ズーム、ダイナミックレンジ、超解像処理
操 作		
	通 信	カメラと船or基地間の通信手段
	制 御	姿勢制御、移動方法・手段、
	照 明	カメラ本体組込み or カメラと別体
	記 録	HDD、DVDなど既存の映像記録装置
	その他	レンズ面の洗浄。レンズ面のごみ取り機構
筐 体		高水圧の筐体

3.2 研究開発の方向性

従来品にはなく、新規に試作が必要なのは撮像レンズとイメージセンサである。これらは通常は完成品として光学メーカや半導体メーカから購入して使ってきたもので、新規に試作を行うにはそれなりの対価と期間が必要になる。

特に、この部分はカメラにとっても key になる部分であり、開発リスクは大きいですが、成功すればメリットは多大なものがある⁽¹⁰⁾。

一方、最近の画像処理技術の進歩は著しいものがあり、これらの最新の技術を取り込むことにより、従来はできなかった数々の機能を盛り込むことが可能になる。ライトフィールド⁽¹¹⁾と超解像技術を軸に、新規なカメラ技術を電子回路に盛り込むことが必要である。

これらの技術の応用の一例としては

- (1) 光学レンズをメカニカルに移動させることなく、フォーカスの合った画像を撮像する⁽¹²⁾、
 - (2) 目的物が視野に入った時に画像を鮮明化する（省エネ、低消費電力化に効果）、
 - (3) 目的物の自動追尾（動き検出と Auto Focus の連動）、
 - (4) 水の汚れによる画像劣化の改善（霧、靄の排除技術の応用）、
 - (5) 画像の保護、盗用の防止（セキュリティカメラ技術⁽¹³⁾の応用）、
- などが考えられる。

【文献】

- (1) JAMSTEC Home page より。 <http://www.jamstec.go.jp/j/>
- (2) <http://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/ships/shinkai6500.html>
- (3) Remote Ocean System 社 Home Page より <http://www.rosys.com/>
- (4) C600 HD Color Zoom Camera Home Page <http://www.rosys.com/shop/c600-hd-color-zoom/>
- (5) <http://www.hotweb.or.jp/sec/corporate/products2.html#ras>
- (6) 特許第 4221510 号 海中投下型センサーとこれを用いた海中通信システム
- (7) http://www.iri.hro.or.jp/jyoho/irinews/09-32-03/hokkoushivol32no3_03.pdf

- (8) 庄田泰久、武田幸男、坂田弘一、黄充子：高水圧下における絶縁レジン被覆電子回路の特性、日本船用機関学会誌、Vol.26, No.2, pp.36-42, 1991年2月。
- (9) 望月 薫、齋藤 綾：光学用透明樹脂「OCR」、Origin Technical Journal No. 77, pp.IV3-IV9、2014.
- (10) 特願 2015-68853, (2015年3月30日出願)
- (11) 竹村裕夫：画像入力用光学デバイスの基礎、映像情報メディア学会誌、Vol.68, No.5, pp.399-405, 2014年。
- (12) 特願 2014-258761(2014年12月22日出願)
- (13) 藤井雄作：防犯カメラの高密度・大量設置による安全・安心な社会の実現に向けて、光技術コンタクト、Vol.50, No.9, pp29-38, 2012年9月号。