

# 10 000 m 級無人探査機 “かいこう” ランチャーシステムの開発・建造

Development and Construction of Launcher System  
of 10 000 m-Class Remotely Operated Vehicle “KAIKO”

神戸造船所 渡辺 昶彦\*1 野田 博昭\*2  
高橋 憲二\*3 石黒 慎二\*4  
広川 潔\*5

平成7年3月24日“かいこう”はマリアナ海溝最深部への潜航に成功、10 911 mの最大潜航深度記録を樹立した。“かいこう”ランチャーはビークルの安定なプラットフォームとしての役目と曳(えい)航調査装置としての役目の二つの役目を持つ。“かいこう”ランチャーの開発・建造においてはこの二つの役目を果たすため、ランチャー機体形状及び結合装置、2次ケーブルハンドリング装置、音響調査装置(サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラ)等の主要装置について詳細な検討が加えられた。海上試験では、ビークルの分離・結合試験、曳航調査試験等が行われ、その優れた性能を検証した。

10 000 m-Class Remotely Operated Vehicle “KAIKO” dived successfully in the deepest area of Mariana trench and made the deepest diving record of 10 911 m on March 24th 1995. “KAIKO launcher” has two major missions, one is as a stable platform for the vehicle and the other is as a towed research vehicle. During the development and construction of “KAIKO launcher”, precise studies had been made of launcher's configuration and main equipment-docking equipment, secondary cable handling equipment and acoustic investigation equipment, etc., to achieve the two missions. In sea trials it was confirmed that the launcher's functions were quite well attained while the vehicle docking test and the towing test.

## 1. はじめに

“かいこう”は世界で唯一11 000 mの最深部へ潜れる最新鋭の水中無人探査機である。本機は平成7年3月に海上試験を終え、海洋科学技術センターに引渡された。今後、1960年の米国トリエステ1号の潜航以来、未踏の地であった深海底の探査に活躍することが期待される。

図1に“かいこう”ランチャーとビークルを示す。当社は“かいこう”の開発においてランチャー、運動制御システム、オペレーション判断支援システム、ビークル浮力材を担当した。

“かいこう”のミッションは大きく以下の三つに分けられる。

(1) 潜水調査船“しんかい6500”の救難作業 “しんかい

6500”トラブル時に救難作業に当たる。

(2) 自航調査 ビークルにて海底面付近を自航し調査する。

(3) 曳(えい)航調査 ランチャー単独又はランチャー/ビークルが分離した状態で曳航し、サイドスキャンソナー及びサブボトムプロファイラによる広域音響調査及びビークルによる光学調査を行う。

## 2. “かいこう”システム構成とランチャーの特徴

### 2.1 システム構成

“かいこう”のシステム構成を図2に示す。“かいこう”システムはランチャー、ビークル、その両者間を結ぶ2次ケーブル、母船とランチャー間を結ぶ1次ケーブル、1次ケーブルハンドリング装置、着水揚収装置及び制御室内の操縦装置から構成される。

#### 2.1.1 ランチャー

トップハット型のランチャーであり、下部にビークルを格納する。ビークルの水中発着台として2次ケーブルハンドリング装置、ビークル結合装置を有する。調査装置としてサイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラ及びCTDを有する。

#### 2.1.2 ビークル

ランチャーとともに11 000 mまで潜れる世界最深度のビークルである。電子回路収納のチタン合金製の耐圧容器を2個搭載している。ビークル上部に搭載の浮力材は比重0.63の高強度浮力材を用いている。ビークルは水平4台、垂直3台の7台の油圧駆動のスラストを持ち、高度、深度、方位、トリム、ヒール、水平位置保持、ランチャーとの相対位置保持の高度な自動操縦機能を有している。油圧ポンプの出力は45 kWであり、低雑音化のためスクリューポンプ型を採用している。また冷却用海水ポンプを装備している。調査・観察用の装置としては放送局級カラーTVカメラ、パノラマカラーTVカメラ(3台)、後方監視用白黒

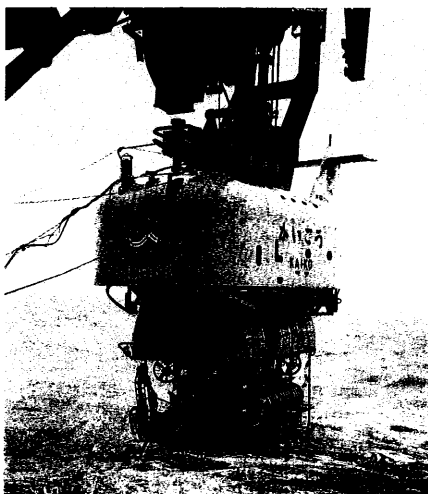


図1 ランチャーとビークル 水切り着後のAフレームクレーンに吊下げられた状態。  
Photo of launcher and vehicle

\*1 潜水艦部次長

\*2 潜水艦部主務

\*3 潜水艦部システム計画課主務

\*4 潜水艦部システム計画課

\*5 潜水艦部電武装設計課

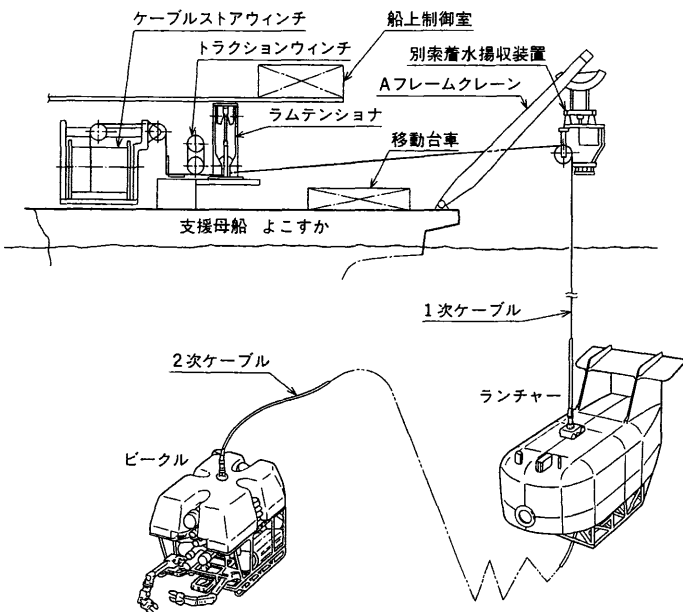


図2 “かいこう”システム構成 全体システムはランチャー、ビークル、ケーブル系、ケーブルハンドリング装置、着水揚収装置、船上制御室から成る。

Whole system of KAICO

TVカメラ、スチルカメラ、ストロボを有している。作業装置としては7軸マニピュレータを2本持ち、救難作業用にロータリカッタ等も装備できるようになっている。ビークルの測位はランチャーからSSBL測位によって行われる。

### 2.1.3 2次ケーブル

2次ケーブルはランチャーとビークルをつなぐ光電力複合ケーブル( $\phi 29\text{ mm} \times 250\text{ m}$ )である。導体は銅を使用している。光ファイバはGI型3本を設け、そのうち1本を用いてマルチモードでの信号伝送を行い、残りの2本を予備としている。2次ケーブルは破断強度3tfであり、その強度メンバはケブラ繊維である。ケブラ繊維は編組構造とし、外側にEPゴムのシースをかぶせ、ほぼ中正浮量としている。

### 2.1.4 1次ケーブル

母船とランチャーを結ぶ光電力複合ケーブルであり、文字どおりの生命線である。細径化のため、送電電圧は母船送電端でAC約3500Vと高圧化している。光ファイバはシングルモード型4本のうち2本を常用とし、2本を予備としている。強度メンバはケブラロッドの二重がい装であり、外側を編組で覆っている。1次ケーブルの寸法、強度は以下のとおりである。

外径 45 mm  $\times$  12 000 m 破断強度 40 tf 以上

### 2.1.5 1次ケーブルハンドリング装置

1次ケーブルの母船側端末にはランチャーの水中重量とケーブルの水中重量が加わる。最深部においては1次ケーブル上端に10tf近い張力が加わる。この力を受け持つのがトラクションウィンチであり、12000mのケーブルを取納するケーブルストアウィンチとともに1次ケーブルの繰出、巻取を行っている。その最大速度は75m/minである。1次ケーブルハンドリング装置にはもう一つラムテンションと呼ばれる重要な装置がある。本装置は空気ばねによって母船のピッチング、ヒービングによりケーブルに生じる上下動揺を吸収するものでその吸収範囲は $\pm 6\text{ m}$ である。ランチャー/ビークルの着水揚収、下降、上昇、ビークルとランチャーの離脱・結合等のオペレーションを行ううえで本装置は必要不可欠である。

### 2.1.6 着水揚収装置

AフレームクレーンとAフレームクレーン上のペンダントに装備された別索着水揚収装置及び移動台車から構成されている。ランチャー/ビークルの着水揚収は1次ケーブルをガイドとして別索に取付けられた結合金具を水深7m付近でランチャーに嵌合(かんごう)・離脱させることによって行われる。この別索着水揚収装置は着水揚収時の波浪荷重の補償のため高速のオートテンション機能を有している。

### 2.1.7 船上制御装置

母船上の制御室に船上制御装置として以下の装置を設けている。“かいこう”操縦盤、テレメトリシステム、データ処理制御装置、1次ケーブルハンドリング装置制御装置、着水揚収装置制御部、オペレーション判断支援システム等。ランチャー/ビークルと船上の制御装置間はPCM光通信により840MBPSという高速でのデータ通信が行われている。

### 2.2 ランチャーの特徴

従来の2000~3000mクラスまでのROVにはランチャー(中継機)のないタイプが多い。これはシステムがシンプルとなること及び行動範囲がランチャー方式より大きくなること、ケーブルに加わる荷重が小さくなるといった理由等による。しかしながら3000mを超えるような水深、特に11000mの水深ではランチャーがなければ系統的に成立たないことになる。

これは水深が深くなればなるほどケーブルへの潮流の影響が大きくなり、ビークルの行動が制約されることになるためである。このケーブルに加わる大きな流体力をランチャーにて受け持つことにより海底でのビークルの自由な動きを確保することができる。また、下降・上昇もランチャーの水中重量で行うため、ビークルの上下スラストにより下降・上昇を行う単独方式より、はるかに高速で短時間で行うことができる。

“かいこう”ランチャーの特徴を以下に示す。

- (a) 世界最大の潜航深度、(b) ビークルのプラットフォームとしての役目と曳航調査装置としての役目の二つの役目を持つ、(c) 調査性能及びビークルの安定なプラットフォームであるため水中での動揺を抑ええる設計となっている、(d) 曳航を考慮した流力設計となっている、(e) 外皮を有すること、(f) 海底地形調査のためサイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラを装備している、(g) ビークルとの確実なドッキング機能、(h) 音響調査器の性能確保のための低雑音化対策、(i) 1次ケーブル長制御、2次ケーブル長制御の自動制御機能。

表1にランチャーの主要目、図3にランチャーの配置図を示す。

### 3. ランチャーの主要装置

#### 3.1 機体形状

特徴においても述べたが、ランチャーはビークルの安定なプラットフォームでなければならない。また、調査性能を確保するためにも水中での上下動、ピッチングを極力抑えなければならない。この性能を実現するためには船上のラムテンションの性能が重要であるが、ランチャーの機体形状についても2度にわたる水槽試験とシミュレーション計算により詳細な検討が加えられた。機体の満たすべき要求性能は以下のとおりである。

- (a) 曳航時の針路安定性、(b) 曳航時のピッチング動揺を1.4°以内に抑える、(c) 曳航により機体に傾斜(トリム)が生じないこと、(d) ビークルの結合・離脱が着実に行えること。

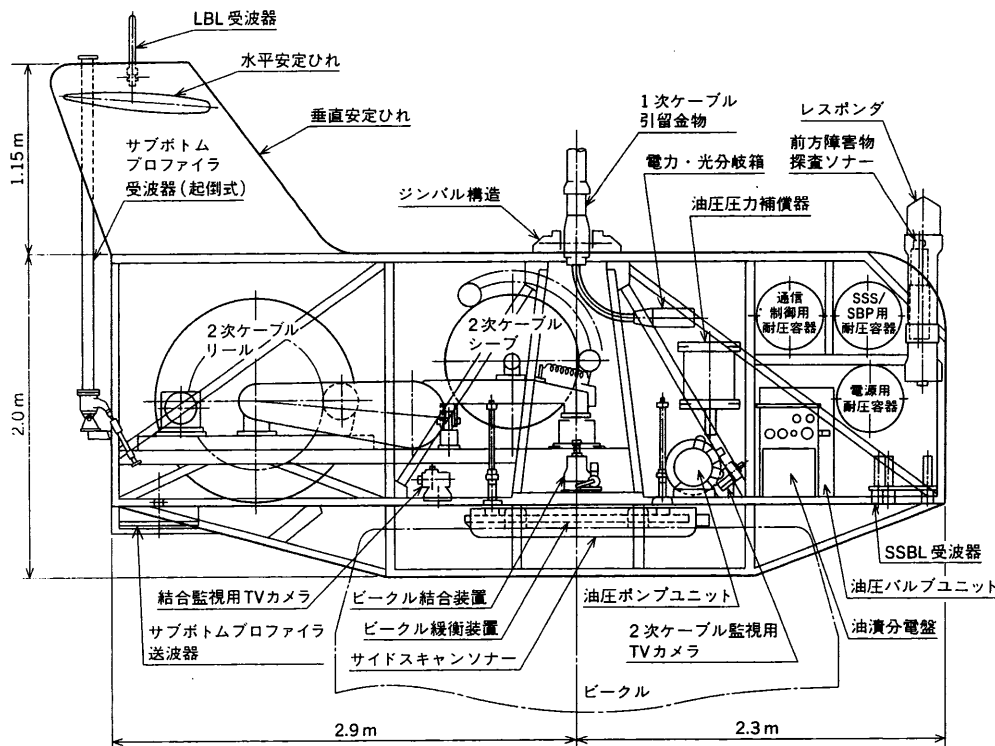


図3 ランチャー配置図 ランチャーの主要寸法及び配置。  
General arrangement of KAIKO launcher

表1 ランチャー主要目  
Principal particulars of KAIKO launcher

項目	要目
主要寸法	L5.2×W2.6×H2.0m (*3.15m) *安定ひれ頂部まで
空中重量/水中重量	約5.1t/約3.1t
最大潜航深度	11000m
油圧装置	15 HP
調査観測装置	サイドスキャンソナー 1台 周波数: 42 kHz/38 kHz 送信ビーム幅: 左右 2.0°, 上下 54° 探知性能: 500~1000m (片舷) サブボトムプロファイラ 1台 周波数: 1次波 60 kHz, 2次波 2.5~5.0 kHz 探知性能: 海底下 30m CTD センサ 1台
航海装置	前方障害物探査ソナー, ジャイロコンパス 各1 深度計, 高度計, 姿勢センサ 各1 音響側位装置 (LBL&SSBL) 1式
2次ケーブルハンドリング装置	ケーブルドラムウィンチ (リバースドラム式) 1台 シープ及びピンチローラ 1式 ケーブル長センサ及び張力計 各1
ビークル結合装置	結合装置 油圧スライダ式 1式 緩衝装置 ばね及び油圧シリング式 1式 結合監視用白黒TVカメラ 2台 結合監視用センサ 1式

3.1.1 針路安定性

曳航体の針路安定性においては曳航索の吊点の位置は重要な要素である。曳航索の前進方向分力は外乱が生じたとき、吊点が機体の前方にあれば復元方向に、後方にあれば外乱を拡大する方向に働くため、曳航索の吊点は前方に位置させる必要がある。一方、吊点があまり前方にいくと前後非対称性が増し、上下動揺時のピッチング動揺が大きくなることになる。吊点位置は垂直安定ひれと合わせて針路安定性検討のうえ必要十分な位置(約44%の位置)に決定した。

3.1.2 曳航時の動揺

“かいこう”ランチャーには外皮を設けている。外皮を設けているランチャーはまれであるが、“かいこう”ランチャーでは曳

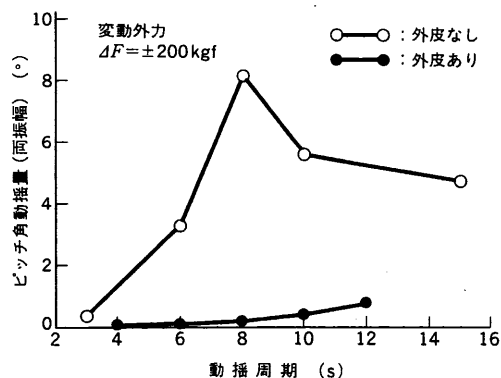


図4 外皮の有無による動揺量の比較 上下方向に同一の変動外力を受けたときのピッチング動揺の周波数応答。  
Comparison of pitch motion between with and without fairing-cover

航体としての性格を重視し、外皮を設けることにより動揺を低減させている。外皮を設けることによる流力的な特性の違いを以下に示す。

- (a) 上下方向の見掛け質量が約4倍になる(付加質量の違い),
- (b) 上記に伴う機体ピッチングの固有周期の変化(6→10s),
- (c) 前進抵抗及び前進抵抗に伴うピッチングモーメントが小さくなる。

この付加質量の増加により、母船の動揺により生じるランチャーの上下動は外皮がない場合に比べて約1/4となる。また、上下動によるランチャーのピッチングも固有周期の長周期化とともに大きく減少することになる。図4に同じ上下方向の変動外力を受けたときのピッチ角動揺量のシミュレーション計算結果を示す。また、母船の動揺周期は6~8秒であり、この周期を避けられたことも動揺低減に効果があった。上下動揺を考えた場合、機体の前後非対称性、特に付加質量分布の非対称性がピッチング起振力となる。本機は針路安定性のため吊点が前方にあり、前後対称に

近づけるため後部の外皮の一部を開口率の良いグレーチングに置き換えている。

3.1.3 曳航時のトリム傾斜

曳航時に機体が受ける抵抗から生じるピッチングモーメントを補償するため、水平安定ひれを前傾させ取付けている。これにより速力がある場合にもその大小によらず機体に傾斜が生じない。

3.2 構造

“かいこう”ランチャーには通信制御用、電源用、サイドスキャンソナー/サブボトムプロファイラ用の三つの耐圧容器がある。これらの容器には11000m深度で1160 kgf/cm<sup>2</sup>というすさまじい圧力が加わる。耐圧容器はチタン合金製の内径φ280mmの補強円筒殻であり、その設計は有限要素法を用いた弾塑性大変形解析によって行われた。また耐圧容器の固定及び内部収納電子機器の固定は、大深度圧による変形を考慮し、変形を吸収し得るよう配慮してある。ランチャーのフレーム構造はチタン型材のラーメン構造である。その頂部には1次ケーブル引留めのジンバル構造を設けてある。構造設計に際してはFEM構造解析を行い、軽量かつ強度効率の良い小骨構造様式を採用した。荷重条件の最も厳しいのは着水揚取時であるが、ランチャー/ビークルの空中重量に対し2倍以上の安全率を確保している。外皮及び安定ひれはスチフナ付のFRP板である。外皮には波浪外力が加わるが、この波浪外力による変形及び変形に伴う応力をFEM計算で検討し、外皮取付フレームのスカントリングを決定している。

3.3 音響調査観測装置

ランチャーには音響調査観測装置としてサイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラを搭載している。図5にサイドスキャンソナー及びサブボトムプロファイラによる海底探査の概念図を示す。サイドスキャンソナーによる調査は図に示すようにランチャーの両舷から扇状の音波を放射し、海底からの散乱された音波の強度により海底表面の微地形及び海底のターゲットを探査するものである。送受波器はランチャーの両舷に装備されており、左右の受信波の干渉を防ぐため周波数は左舷が38kHz、右舷が42kHzと左右で異なっている。送波ビームは前後方向が2°、左右方向が50°であり、受波ビーム幅は2°となっている。ランチャーは海底から高度100~200mで曳航され、底質にもよるが片舷500~1000mの探査が可能である。サイドスキャンソナーの送受波の素子は50×12mmのサイズであり、これを数十個2段に並べることにより約1.2mのアレイを形成している。この素子

配列において素子間隔が1波長(約4cm)以上離れると指向特性にグレーティングローブが生じ、ソナー画像に影響が生じる。これを防止するため素子を斜めに配列して素子間隔を1波長以下に抑えている。

サブボトムプロファイラは海底に向けて放射した音波の反射波を受信することにより、海底下の地層を探査する装置である。送波器は小型軽量であること及びビーム幅がシャープであることが必要であり、パラメトリック音源方式を採用している。パラメトリック音源とは音源から二つの近接する周波数の音波を放射することにより差の周波数を持つ2次波を発生させるものであり、従来にないシャープなビームを得るものである。従来の方式の送波器で周波数3.5kHz、ビーム幅4°の音源を得ようとする直径数mの巨大なものとなるが、“かいこう”ランチャーでは直径40cm、数10kgの質量で実現している。1次波の周波数は60kHzであり、これから2.5、3.5、5.0kHzの単一パルス及び2.5~5.0kHzのFMシャープパルスの2次波を発生させている。なお、1次波は海底高度計の音源を兼用している。サブボトムプロファイラの受波器は長さ2mの直線アレイであり、使用時にはランチャー機体後部から後方へ振出す機構となっており、ランチャーのノイズ影響を最小とする配置としている。

3.4. 2次ケーブルハンドリング装置及び結合装置

ランチャーは着水揚取作業中及び下降上昇中ビークルを抱えて行動する。このときビークルはその2次ケーブルの引留部でランチャーの結合装置により固定されており、海底付近でビークルはランチャーから離脱し調査活動を行い、作業終了後再びランチャーと結合する。ランチャー/ビークル結合装置及び結合装置システムは以下に示す性能を満足しなければならない。

- (1) 着水揚取作業時の動揺、荷重に対してビークルを固定する、
- (2) 海中でランチャーがある程度動揺しても安全に結合できる、
- (3) 結合作業時の2次ケーブルやビークルが損傷しない、
- (4) 結合時にランチャーとビークルの方位を合致させる。

図6にランチャー/ビークル結合装置システムの構成図を示す。システムは大きく、結合装置、緩衝装置、結合監視用TVカメラ及び2次ケーブルハンドリング装置から構成されている。

結合装置は2次ケーブルの引留部に設けられた座面を油圧シリンダにて駆動されるスライダにて支えるようになっている。結合後スライダはばね式のストップピンにより固定され、ランチャー

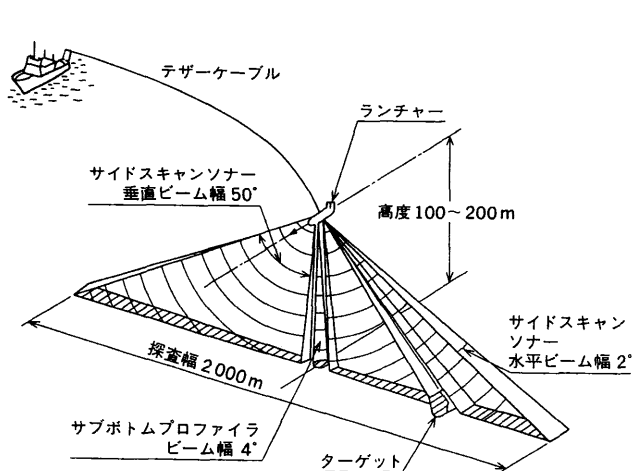


図5 海底探査概念図 サイドスキャンソナー及びサブボトムプロファイラによる海底地形地層探査の概念図。  
Concept figure of seabed investigation

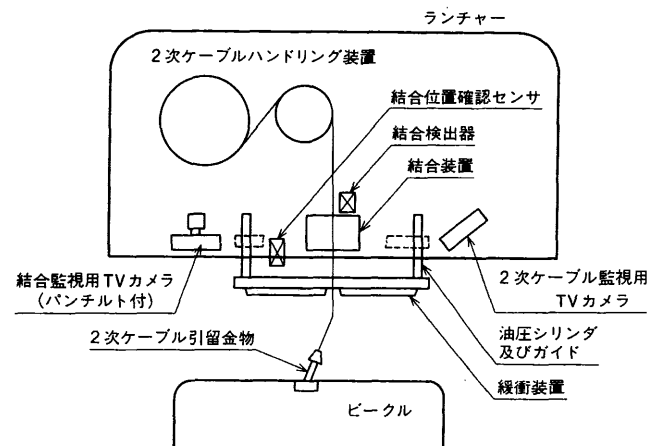


図6 ランチャー/ビークル結合装置システム構成図 結合装置システムは結合装置、結合監視用センサ類、緩衝装置、2次ケーブルハンドリング装置から構成される。  
Launcher/vehicle docking system

の油圧がなくなっても結合が外れることがないようにしている。2次ケーブルの引留部の座にはつばが設けられており、結合時にはこのつばがスライダで挟み込まれることによりピークルの方位はランチャーと強制的に合致する。結合の監視は結合監視用TVカメラによって行われる。バックアップ用及び2次ケーブルの監視用としてもう1台TVカメラが設けられている。結合の位置の監視は結合位置確認センサによっても行われ、ランチャーに対してピークルがどの位置にあるかがTVカメラとともに確認することができる。また最終的な結合・離脱の確認は左右のスライダごとに設けられた結合検出器によって行われる。結合は2次ケーブルを巻取りピークルを引寄せることによって行う。このとき、ランチャーの動揺によりピークルと2次ケーブルが損傷しないようにランチャーには緩衝装置が設けられている。緩衝装置は油圧シリンダとばね付きのガイドで支えられたランチャー側とピークル側にゴムパンパを持つフレームである。本装置は結合時には着水揚取等の作業時のピークル/ランチャー間の動揺及び動揺による荷重を軽減するとともに結合作業時にはピークルを迎えにいき、ランチャーの動揺によりピークルと2次ケーブルが損傷しないように相対運動を抑える。また結合に際してランチャー/ピークルの相対位置を合わせる役割を持つ。

2次ケーブルハンドリング装置は2次ケーブルの繰出・巻取を行う装置で、ケーブルリール、シーブ/圧着ローラ、油圧モータ及びケーブル張力検出器とケーブル長センサから構成されている。2次ケーブルハンドリング装置の主要性能を以下に示す。

繰出・巻取速度：3～30 m/s 無段連続、最大巻取張力：約180 kgf、最大保持力：約350 kgf、ブレーキ力：約2 tf（メカニカルストップによる）。

ケーブルリールはシフト付であり、整列巻きのためリバースドラム仕様となっている。軸受には海水潤滑で使用可能なセラミック製転がり軸受を採用している。ケーブルの保持力は約350 kgfであり、結合作業時等において2次ケーブルに過大な張力が加わった場合、自動的に2次ケーブルが繰出されることにより2次ケーブルの張力を緩和し保護している。

ピークル結合時には、2次ケーブルハンドリング装置でピークルを引込みながら緩衝装置により押えつけることによりピークルの位置を保持するが、設計段階でランチャーが1 m近く上下動した場合でも、本システム構成によりランチャー/ピークルの相対変位は2～3 mm程度に納まることをシミュレーション計算にて確認している。また万一ランチャーの油圧が断となった場合、ピークルを喪失することがないように、2次ケーブルがある制限長以上繰出された場合、油圧によらず自動的にケーブルリールを固定する装置を設けている。

### 3.5 油圧装置

ランチャーは15 HPの油圧ポンプユニットを有しており、2次ケーブルハンドリング装置、結合装置ほかに油圧を供給している。油圧ポンプは可変容量型のアキシアルプランジャポンプであり、駆動用電動機と均圧油を充てんしたランタンピース内で軸継手で結合している。ランチャーによる3.3節に示す音響調査観測装置のほか、ランチャーからピークルを測位するSSBL受波器アレイ、ランチャーのLBL測位のためのLBL受波器などの音響装置があり、これら音響装置の性能を確保するため許容レベルを設定し、雑音予測を行った。その結果、油圧ポンプについてはその雑音レベルを低減する必要があることが分かった。油圧ポンプ単体での雑音低減は量産品であり困難である。また、高圧下で

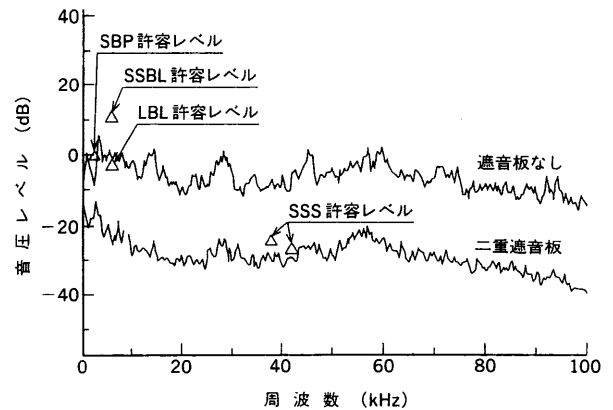


図7 二重遮音による雑音低減 二重遮音により油圧ポンプノイズが音響機器の許容レベルまで低減できた。  
(0 dB=1  $\mu$ bar/ $\sqrt{\text{Hz}}$ )  
Acoustic noise insulation by two layers cover

の使用のためゴム製の吸音材等の性能を期待できない。このため、油圧ポンプを金属のカバーで遮音する方法とし、一重と比較して軽量で効果の期待できる二重遮音を最終的に採用した。

図7に対策前後の油圧ポンプ雑音レベルを比較して示す。

### 3.6 自動制御

“かいこう”システムには効率的なオペレーションのための様々な自動制御機能が設けられている。その中でランチャーに関連する制御として1次ケーブル長制御と2次ケーブル長制御がある。

1次ケーブル長制御の機能として、ランチャーの高度保持及び深度保持の機能がある。これは曳航開始又は終了時等のケーブルカテナリーが大きく変化するとき、ランチャーの深度計、高度計の信号により自動的に1次ケーブルを繰出しその深度/高度を保持するものである。制御はPD制御で1次ケーブルハンドリング装置が頻繁に発停を繰返さないよう、制御開始の不感帯幅を制御停止の不感帯幅より大きくとり、入れこ構造としてある。1次ケーブルハンドリング装置には安全上の装置として緊急停止の機能がある。通常は停止であれば問題ないが、緊急停止の場合極めて短時間に停止が行われるため、ランチャーの運動エネルギーが衝撃力となって1次ケーブルに加わることになる。この衝撃力は深深度の場合にはラムテンションに吸収されるが、1500 m以浅の浅深度ではラムテンションの空気ばね力が弱いため、吸収範囲を超え1次ケーブルに過大な衝撃荷重が発生する。このため1500 m以浅の浅深度ではケーブルハンドリング装置の最大速度75 m/mimに対し速度制限を設けている。

2次ケーブル長制御ではランチャーに装備されているSSBL測位装置により計測されるピークルとの相対距離に基づき、ピークルの自由な航走を妨げないように、2次ケーブル長を張りすぎずかつ弛(ゆる)みすぎないように自動的に調整している。制御はPD制御であり、1次ケーブル長制御と同様の不感帯としている。

### 4. オペレーション判断支援システム

“かいこう”の12000 mの1次ケーブルの総重量は約21 tであり、そのケーブル全長の潮流に対する抵抗係数はランチャーのその300倍以上にもなる。このケーブルの動的応答特性はケーブル先端のランチャー/ピークルに比べてはるかに大きく、その時定数は整定まで数時間を要する大きなものである。ランチャー/ピークルの位置を制御するためにはこのケーブルの形状、ケーブルカテナリーを制御する必要がある。前述したように動的応

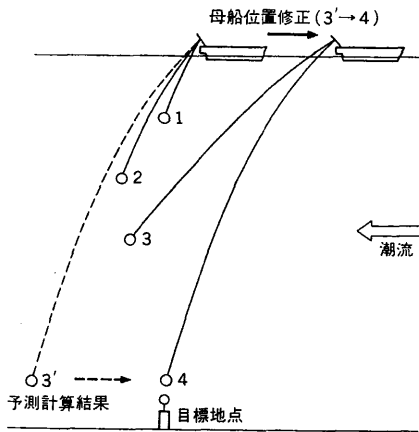


図8 下降誘導概念図 オペレーション判断支援システムによる下降誘導の概念を示す。  
Concept of diving guidance

答特性が大きいため、一度 10 000 m 近いケーブルを繰出すと、その修正は非常に時間がかかるうえに難しい。このため、ランチャー/ビークルの下降においては目標から 200 m 以内に（ビークルの行動範囲）誘導することが要求される。海底の目標位置にランチャー/ビークルを正確に誘導するためには着水時点から下降位置を予測して母船をコントロールしなければならない。この予測を人間に代わって行い、オペレータ/船長の判断を助ける計算機システムがオペレーション判断支援システムである。図8に下降誘導の概念図を示す。下降誘導の手順は以下による。

(1) 下降の状況から潮流分布を予想する、(2) 予想した潮流分布にて下降位置を予測する、(3) 予測した下降位置から最終的な下降位置が目標位置となるよう母船の位置を修正する。

また、ランチャーの曳航においても 6 000 m 深度での曳航には整定に数時間を要し、人間の予測によりがたい面がある。このためオペレーション判断支援システムには下降誘導の機能とともに曳航状態の予測機能が設けられている。

5. 海上試験

平成7年3月24日“かいこう”はマリアナ海溝最深部への潜航に成功、10 911 m の最大潜航深度記録を樹立した。1 000 m 深度から始まった海上試験は思わぬ深度の壁もあり、決して平坦なものではなかったが、最深部へのピンポイントの潜航を果たし、“かいこう”システムの完成度の高さを実証した。

ランチャーの曳航試験は沖縄近海の 6 500 m 海域で数回行われた。ランチャーの曳航時のピッチング動揺は曳航のスピードがあがるにつれ小さくなり、最終的には両振幅で 1.0° 以下のレベルとなった。図9に曳航時のサブボトムプロファイラによる海底地質状況の調査結果を示す。海底下 30 m 以上の地層がくっきりととらえられている。図10にはランチャー単独曳航時の運動記録を示す。試験開始後 4 h、母船速度約 1 kt で曳航しているが、ランチャーの運動はまだ整定していない。効率良く曳航調査を行うためには曳航しながら下降させることが望ましいと思われる。図中にはオペレーション判断支援システムによる 1 kt 曳航のシミュレーション結果との比較を示している。両者の結果を比較するとシミュレーション計算では水平距離が若干小さめに計算されており、今後実海域における運用データからの評価が必要である。ランチャー/ビークルの分離曳航試験では、曳航中における分離結合を行い、曳航中でも問題なく分離・結合ができることを確認

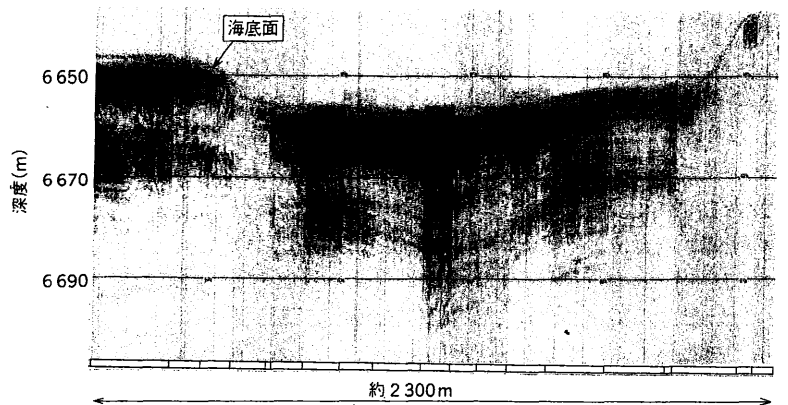


図9 サブボトムプロファイラによる海底地質探査結果 海底面及び海底下約 30 m の地層がサブボトムプロファイラにより探査されている。  
Investigation result of sub-bottom profiler

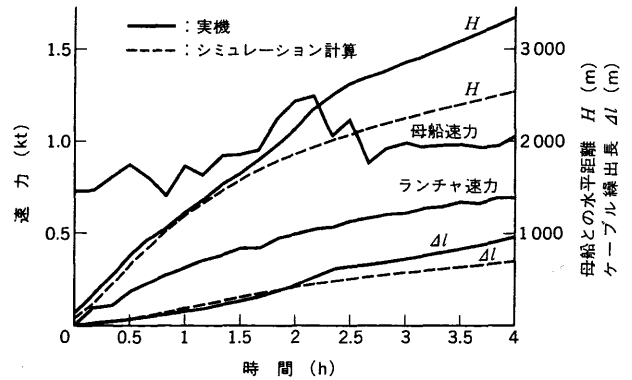


図10 ランチャー単独曳航時の運動 ランチャー単独曳航試験時のデータとシミュレーション計算との比較。  
Motion of launcher at towing test

した。また、1次ケーブル長制御、2次ケーブル長制御ほか、相対位置制御、方位制御、高度制御、トリム制御、ロール制御等のビークルを含めた運動制御機能についても性能を確認し満足すべき結果を得ている。

6. む す び

マリアナ海溝での潜航では短い時間ながら数匹の生物を発見している。世界最深部でも生物が存在し得るといふ学問上の発見という成果を既に挙げており、今後の本格的な調査活動による生物学上、地球物理学上の成果に大いに期待するところである。最後に“かいこう”ランチャーシステムの開発に当たり、当初から御指導いただいた海洋科学技術センターをはじめ、本プロジェクトに参加された三井造船(株)ほか各社の方々の御協力、御努力に深く謝意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 高川真一、1万m級無人探査機“かいこう”システムの開発について、第13回海洋工学シンポジウム 平成7年7月
- (2) 青木太郎、10 000 m 級無人探査機“かいこう”システム、日本造船学会誌 第775号 平成6年6月
- (3) 横田公男ほか、一様外圧を受ける耐圧補強円筒殻の全体圧壊強度に関する検討(第1報)、日本造船学会論文集 第158号
- (4) 森鼻英征ほか、一様外圧を受ける耐圧補強円筒殻の全体圧壊強度に関する検討(第2報)、日本造船学会論文集 第168号
- (5) 大楠 丹ほか、Towed Vehicleの動力学に関する基礎的研究、日本造船学会論文集 第162号
- (6) 網谷泰孝ほか、10 000 m 級無人探査機“かいこう”システム搭載の深海用パラメトリックサブボトムプロファイラ、第13回海洋工学シンポジウム 平成7年7月