

(様式)

助成事業完了報告書

日本財団 会長 笹川 陽平 殿

報告日付:2020年 4月 13日

事業ID:2018494055

事業名:効率的な海底機器検査技術システムの開発

団体名:三菱重工株式会社

代表者:代表取締役 泉澤 清次

代理人 防衛・宇宙セグメント

艦艇・特殊機械事業部

営業部長 武中 秀樹

担当者名(技術):内堀 洋

TEL:095-808-0091

担当者名(営業):高田 祐樹

TEL:095-828-7320

事業費総額	92,132,246円	収支計算書の黄のセルの値
自己負担額	52,132,246円	収支計算書の緑のセルの値
助成金額	40,000,000円	収支計算書の赤のセルの値。千円未満は切捨
助成金返還見込額	0円	(収支計算書の青のセルの値)

1. 事業内容 (実績。700文字以内) :

1. 1 効率的な海底機器検査技術システムの開発

(1) 時期:2019年 月1日~2020年3月31日

(2) 場所:東京(日本)、スコットランド

(3) 内容:ROV (Remotely Operated Vehicle:遠隔操縦型潜水機)ドッキングステーションとAUV (Autonomous Unmanned Vehicle:自律型水中無人機)を活用した、海底パイプライン海底ケーブルの検査システムの開発

(4) 形態:スコットランド企業との連携技術開発

(5) 開発フロー

本開発は、図1に示すフローで進めることで計画している。なお、赤枠が主な日本側の開発要素、青枠がスコットランド側の開発要素である。

それぞれの担当は、表1の通り。

表1 開発技術項目と担当

	技術項目	担当	
AUV Phase1	Wide Band Sonar Cable detection Technology (広帯域ソナーによる海底ケーブル探知技術)	Hydrason Solutions 社	
	Noise Assessment (AUV ノイズ環境評価)	MHI	
	Integration (組込) Sea Trials (海上試験)	MHI	
AUV Phase2	3D Imaging Sonar ROV Tracking Technology (3D ソナーによる ROV トラッキング技術)	Coda Octopus 社	
	AUV Docking Control Technology (AUV のドッキング制御技術)	MHI	
	Integration (組込) Sea trial (海上試験)	MHI	
ROV	ROV Docking station technology (ROV ドッキングステーション技術)	長崎大学	

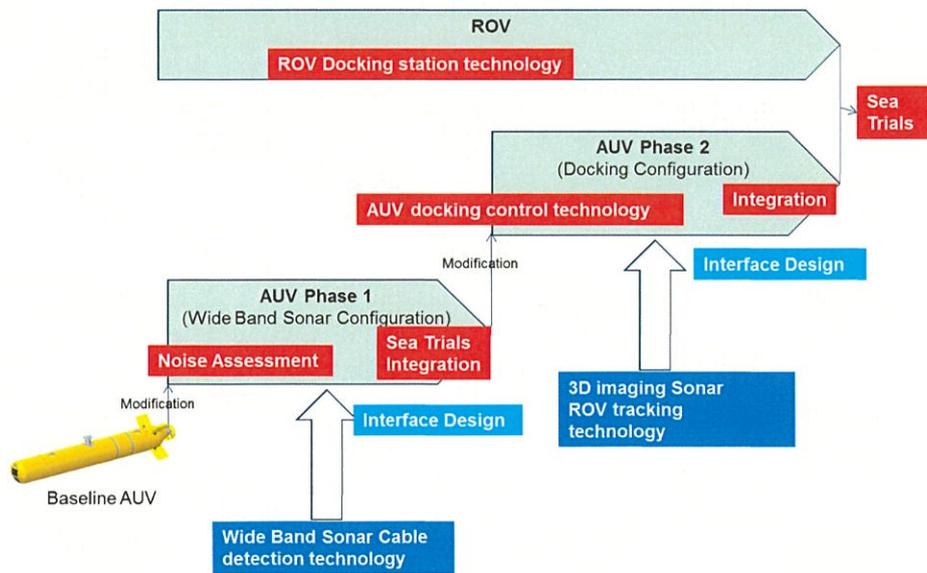


図1 開発フロー

2. 事業内容詳細

2019年度は、全体事業のうち、AUV Phase1については詳細設計と試作品製造（AUV 部分改造）および海上試験を実施する。なお、海上試験については、当初、2020年度の予定だったが、前倒しで2019年度内に実施することとした。

また、AUV Phase2については、AUVのドッキング制御に関する検討を実施する。また、スコットランド側のROVトラッキング技術の3Dイメージングソナー単体での評価試験を、日本（MHI）で実施するため、トラッキングの対象となるROV音響ダミーモデルの試作と試験実施支援を行う。

ROVドッキングステーション技術については、ROV音響ダミーモデルの試作に必要な基本設計と、構成部品の詳細設計を行う。

2. 1 対外調整

2. 1. 1 Hydrason Solutions 社

広帯域ソナー（Wide Band Sonar）（以下、WBSと称す）をAUVに搭載するため、詳細機械的インタフェース、電気的インタフェースおよびソフトウェアインタフェースを調整する。

また、海上試験の実施要領について調整する。

2. 1. 2 Coda Octopus 社

ドッキングシーケンスに係る3Dイメージングソナーのシーケンスおよび構成について調整する。

2. 1. 3 長崎大学

長崎大学のROVドッキングステーション技術開発について、進捗のフォローと支援を行う。

2. 2 AUVの設計

2. 2. 1 WBS搭載形態

WBSインタフェースに基づき、WBSを搭載するためのペイロードセクションの詳細設計を行い、関連するAUV本体部分の一部改造設計を行う。また、WBS搭載ペイロードセクションを連結したAUV全体状態での全体設計を見直し、航走性能の検討を行う。

また、AUVの内蔵組込みコンピュータに搭載されている航走制御プログラムに、WBSインタフェースに基づき、WBS制御プログラムを追加・実装する。

2. 2. 2 ドッキング形態制御系検討

ドッキングシーケンスにおいて、AUVは3Dイメージングソナーが逐次出力するROVの位置、姿勢情報に基づき、最適なドッキング経路を自律的に作成し、その経路にしたがって姿勢および針路を制御しながら、ROVドッキングステーションに接近し、最終的にROVドッキングステーションがAUVを捕獲し、ドッキングする。

この最終段階でのROVによる捕獲を容易にするためには、高精度なAUVの速度・姿勢制御が必要となるが、従来制御論理では、舵などのアクチュエータを頻繁に作動させることになり、アクチュエータの劣化や故障原因にもなりかねない。このため、従来、AUVに実装させていた姿勢制御機能に代わり、制御精度とアクチュエータ作動頻度を最適化させる新しい制御論理が必要となる。

本年度はこの制御論理について検討を行う。

2. 3 ROV ドッキングステーション設計

前年度に、ドッキング（捕獲）方式を選定した。このドッキング装置の詳細設計を進めるとともに、ROV ドッキングステーション全体の基本設計、および、制御装置、推進装置および電源装置などの構成要素についての部品選定および詳細設計を進める。

また、基本設計をベースとして、3Dイメージングソナー単体試験に供試する ROV 音響ダミーモデルの設計および試作を行う。

2. 4 試験

2. 4. 1 AUV ノイズ取得試験

WBS は、海底ケーブルという細い物体からの微小な反射波を検出するため必要な信号対雑音比を確保するために、雑音（ノイズ）の低減が必要となる。このため、AUV 側から供給される電源ノイズおよび WBS が取り付けられる部位の振動ノイズを取得して評価を行うため、AUV ノイズ取得試験を実施する。

2. 4. 2 WBS 陸上接続確認試験

WBS のインテグレーションに先立ち、事前に、電気的およびソフトウェアインタフェースを確認するために、陸上で接続確認試験を実施する。

2. 4. 3 WBS 形態海上試験

WBS を搭載した AUV により、海底に敷設した海底ケーブルの探知データを取得するため、実海面での海上試験を行う。なお、海底ケーブルとしては模擬ケーブルを試験海面に仮敷設して、実施する。

2. 4. 4 3D イメージングソナー単体試験

Coda Octopus 社の開発担当である、ROV ドッキングステーションのトラッキング技術について、3D イメージングソナー単体と ROV ドッキングステーションの形状を模擬した ROV ダミーを用いて、評価試験を実施する。

2. 4. 5 ROV スラスタ性能確認試験

長崎大学の開発担当である ROV ドッキングステーションの詳細設計の一環として、推進装置の部品選定および電源負荷を計測・確認し、全体の電源系設計に反映するために、水槽での ROV スラスタ性能確認試験を実施する。

3. 契約時事業目標の達成状況

3. 1 対外調整

3. 1. 1 Hydrason Solutions 社

同社の開発担当機器である WBS を、MHI 側の AUV に搭載するにあたり、以下の項目に関する技術調整を実施し、調整を完了した。

3. 1. 1. 1 調整項目と結果

- (1) 機械的インタフェース (MICD: Mechanical Interface Control Document) 調整
- (2) 電気的インタフェース (EICD: Electrical Interface Control Document) 調整 (ソフトウェア含む)
- (3) 海上試験実施要領
海上試験は、三菱重工業堂崎工場の試験海面で、模擬海底ケーブルを仮敷設して実施する。この試験概要について調整し、合意した。

3. 1. 1. 2 調整会の実施

調整は、E-Mail によるドキュメントの送受による他、以下の調整会を実施した。

日程：2019年6月24~25日

場所：エンジンバラ、ヘリオットワット大学内会議室

参加者：MHI 内堀、今井、田崎

Hydrason Solutions Capus 氏, Valeyrie 氏

日程：2019年10月11日

場所：三菱重工業諫早工場 会議室

参加者：MHI 内堀、若狭、他

Hydrason Solutions Capus 氏, Valeyrie 氏

日程：2020年2月26日

場所：三菱重工業諫早工場 会議室

参加者：MHI 内堀、井上、他

Hydrason Solutions Capus 氏

3. 1. 2 Coda Octopus 社

同社の3DイメージングソナーをMHI側のAUVに搭載するにあたり、以下の項目に関する技術調整を実施した。また、同社の開発担当である、3Dイメージングソナーを用いたROVドッキングステーションのトラッキングについて、3Dイメージングソナー単体でのデータ取得・評価試験について実施項目および内容について調整を行った。

3. 1. 2. 1 調整項目と結果

(1) インタフェース概要

(2) 3Dイメージングソナー単体試験

3. 1. 2. 2 調整会の実施

調整は、E-Mail によるドキュメントの送受の他、以下の調整会を実施した。

日程：6月26日

場所：エンジンバラ、Coda Octopus 社会議室

参加者：MHI 内堀、今井、田崎

Coda Octopus 社 McFadzean 氏、Sondergaard 氏、他1名

日程：9月27日

場所：諫早、三菱重工業諫早工場会議室

参加者：MHI 内堀、今井

Coda Octopus 社 Cunningham 氏

3. 1. 3 長崎大学

同校の開発担当であるROVドッキングステーションについて、その設計進捗を聴取・調整するとともに、3D imaging sonar 単体試験に供試する、音響ダミーの設計・製造について調整した。

3. 1. 3. 1 調整会の実施

概ね1か月に1回のペースで、長崎大学で実施した。

実施日実績：2019年4/26、5/16、5/31、6/14、7/12、7/26、8/23、9/9、10/17、11/21、12/20。2020年1/20、2/19、3/11

3. 2 AUV の設計状況

3. 2. 1 WBS 搭載形態

Hydrason Solutions 社との調整状況に基づき、WBS 搭載形態について全体設計およびペイロードセクションの詳細設計を実施した。また、WBS への電源供給システムおよび通信システムの電氣的接続について設計を実施した。

3. 2. 2 ドッキング形態制御系検討

ドッキング形態における制御系の検討を実施した。

3. 3 ROV ドッキングステーションの設計状況

長崎大学の ROV ドッキングステーションの設計状況として、最新の基本設計結果を図3に示す。特徴としては以下の通りである。

- ・ 下面側にドッキング装置と水中非接触充電装置を配置。
- ・ 3Dイメージングソナーによるトラッキングを容易にするために、音響反射板を配置。
- ・ オープンソースソフトウェアの利用や市販品の部材を採用し、ROVとして安価。

また、ドッキング装置、スラスタ部品選定、電源系設計、制御系設計などの詳細設計を進捗中である。

3. 4 試験の実施状況

3. 4. 1 AUV ノイズ取得試験

AUVからWBSに供給される電源ノイズおよび搭載予定位置付近の振動ノイズに関するデータを取得し、Hydrason Solutions 社に提示した。この結果、特にWBSに入力されるノイズとしては問題ないという回答を得た。

3. 4. 2 WBS 陸上接続確認試験

WBSとAUVの電氣的およびソフトウェア接続について、インテグレーションの事前確認として、WBS陸上接続確認試験を実施し、インタフェースの確認および協議を行った。結果は相互の詳細設計へフィードバックした。

3. 4. 3 WBS 形態海上試験

(1) WBS インテグレーション

AUVにWBSを組み込み、陸上でWBSを作動させることにより、機械的インタフェース、電氣的インタフェース、ソフトウェアインタフェースを確認した。

(2) 事前航走確認試験

WBSを組み込んだ状態でのAUVの航走機能および性能を確認するため、堂崎工場海面で実

際に AUV を航走させ、航法および直進・旋回・高度制御等の一連の航走機能および性能を確認した。

(3) WBS 探知データ取得試験

堂崎工場海面に模擬ケーブルを仮敷設し、海底ケーブルに対する WBS の探知データを取得するため、海上試験を実施した。

3. 4. 4 3Dイメージングソナー単体試験

Coda Octopus 社の開発担当である、3Dイメージングソナーを用いた ROV ドッキングステーションのトラッキングについて、3Dイメージングソナー単体での評価試験を実施した。なお、この試験は基本的にはスコットランド側の所掌範囲であるが、ROV ドッキングステーションを音響的に模擬した対象物が必要であることなどから、試験実施についてはスコットランドー日本共同実施として、ROV ドッキングステーションの音響ダミーモデルは長崎大学が設計・製作し、試験場所の提供と供試体の水槽内への設置を含む試験支援を MHI が行った。

3. 4. 5 スラスト性能確認試験

ROV に搭載するスラスト（推進装置）について、はじめにいくつかの候補からスラスト単体試験により推力および消費電力を確認し選定を行った。次に、選定されたスラストにより ROV を十分に動作させることが可能か、水槽で実験し確認した。結果として、前後進・左右・旋回・浮沈浮上の全ての方向に対して十分な速度を出すことができたため、スラストの採用を決定した。

4. 事業実施によって得られた成果

4. 1 WBS 形態 AUV

WBS という、これまでにない新しいソナーを搭載するために必要なインタフェース技術および、インテグレーション技術、航走制御技術を獲得できた

また、実際に、実海面で敷設電線に対する WBS の探知データについて、電線に対する距離および角度などをパラメータとして、各種データの取得ができた。データ解析は、Hydrason Solutions 社が現在実施中である。

4. 2 ドッキング形態 AUV

(1) 3Dソナー単体評価試験

一般的に、AUV のドッキング用には、ドッキングステーションの位置を検出して接近するために、水中音響測位装置を用いることが多い。この水中音響測位装置は、測定側（AUV 側）に水中音響を送信および受信する装置と、測位する対象物（ドッキングステーション）に測位側の送信音を返信するトランスポンダーを組み合わせる測位を行う。ただし、この水中音響測位装置では対象物までの距離と方位、すなわち、位置しかわからず、姿勢はわからない。ドッキングのためには、相互の姿勢も合わせる必要があるため、姿勢合わせのために、別のセンサーを用いる、あるいは、ドッキングステーション側に AUV の進入方向を感知して指向させるなどの別方式を併用するなどの、工夫が必要となる。

これに対して、本事業では、3Dイメージングソナーを用いて、ドッキングステーションの位置のみならず姿勢も検出する技術開発をスコットランド側で実施している。これにより、AUV に複数のセンサーを搭載する、あるいは、ドッキングステーション側に特別な工夫をするなどを高コスト要因を不要とすることができる。

また、一般的に、AUV には、通常の中航走用に前方の障害物を検出して回避するための

前方ソナーを搭載する。3Dイメージングソナーは、この前方障害物を検出する機能も兼用できるため、さらに搭載するセンサーを少なくすることができ、AUVの低コスト化が可能となる。

今回の事業で実施した3Dイメージングソナー単体試験で、この3Dイメージングソナーによる、ROVドッキングステーションの位置及び姿勢検出を実証できたという成果を得ることができた。また、ROVドッキングステーションの姿勢検出を向上させるための改善事項を得ることができた。

(2) ドッキング形態制御系検討

従来、広くAUVの制御に用いられているPID制御に代わり、近年、最適制御として適用が広がっているモデル予測制御の適用検討を行い、その優位性を確認できた。

4. 3 ROVドッキングステーション

必要構成部品を明らかにし、全体配置、スラスタ配置、全体寸法・質量、全体系統などに関する基本設計を完了した。

基本設計結果に基づき、3Dイメージングソナー単体試験に供試するROVダミーを試作し、試験に供試した。この結果、音響反射体としての改善点を明確化することができた。

ドッキング装置、スラスタ部品選定、電源系など回路設計、制御系などの詳細設計を進めることができた。特に、ROVとしての基幹部品である推進装置（スラスタ）について、部品選定し、スラスタ性能確認試験でその妥当性を確認できた。また、消費電力データなどを得ることができたため、電源系など周辺回路の設計に反映していく予定である。

なお、これまで、長崎大学では、一人で携行可能なポータブルサイズクラスのROVを開発した実績がある。これに対して、今回のROVドッキングステーションは、サイズ的にスケールアップしており、ROVとしてみた場合、小型観測用ROVに匹敵するサイズである。このクラスのROVは国内で製造している会社は少なく、ほぼ、海外製品で独占されている状況である。今回、長崎大学は、サイズアップに対しても、これまで開発実績を持つ低コスト制御装置技術をベースとして、安価なスラスタや汎用小型電源などを組み合わせて、このクラスのROVを低コストで実現することを目指しており、将来の低コスト小型観測用ROVのひな型としての成果も期待できると考えている。

5. 成功したこととその要因

5. 1 WBS形態AUV

WBSは新規のソナーであるにも関わらず、短時間で問題なくインテグレーションできた。これは、事前のインタフェース調整のための打ち合わせ、および、電子メールなどを用いた調整の成果である。調整に当たっての具体的な手法については、機械的インタフェースでは、三次元CADによる、視覚的にもわかりやすい図面情報のやり取りによるところが大きかったと考えている。

5. 2 ドッキング形態AUV

3DイメージングソナーのROVトラッキング技術については、Coda Octopus社がもともと保有している水中音響ソナー技術と3Dデータ処理技術を活用したことが大きい。Coda Octopus社の3Dイメージングソナーの主要な応用先は海洋土木などで、船舶からの海中をモニターする事例が多いようであるが、今後、本事業で開発しているドッキング用途のみならず、AUVの多用途の“目”としての活用が期待される。

5. 3 ROV ドッキングステーション

低コストな汎用部品の組み合わせで、小型サイズ ROV を実現できる目途が得られたが、これは、従来、高コストな専用設計品であった構成部品が、汎用設計品でも近年の電子デバイス技術の発達で小型化され、また、IOT 技術やドローンに代表されるロボティクス技術の急速な高度化と一般化により、高機能な部品が安価で容易に入手できるようになったことが大きいと考えられる。ただし、本格的な耐水圧性や耐食性など、水中ロボット分野ではまだ高コスト要因は少なくなく、さらなる普及などによる低コスト化が求められる。

6. 失敗したこととその要因

6. 1 WBS 形態 AUV (コロナウィルスの影響)

WBS 探知データ取得試験は、Hydrason Solutions 社側のエンジニアが参加して、取得データの簡易解析を同時並行的に行い、試験に反映しながら実施する計画であった。

しかし、コロナウィルス・パンデミックの影響により、参加エンジニアが1名のみとなり、また、その1名も英国本土での感染拡大の影響で、試験開始とほぼ同時に帰国することになった。

このため、MHI 単独でデータ取得し、そのデータをスコットランドに送付し、試験後データ解析を行うことになったため、WBS の設定パラメータのチューニングなどを行うことができなかった。

現在、Hydrason Solutions 社でデータ解析中であるが、この解析結果によっては、2020年度に再試験を実施する可能性がある。

6. 2 ドッキング形態 AUV

(1) Coda Octopus 社インタフェース調整

Coda Octopus 社との詳細インタフェース調整については、計画より遅れている。要因としては、Hydrason Solutions 社との調整を優先したことにより、MHI 側から具体的なインタフェース調整資料の検討が遅れているためである。来年度に、調整を促進する必要がある。

(2) ドッキング制御検討

制御系の改善検討を行う必要がある。

6. 3 ROV ドッキングステーション

特にこれまで失敗はない

7. 活動を通じて明らかになった新たな課題と対応案

7. 1 WBS 形態 AUV

WBS は従来の水中音響ソナーにない広帯域な水中音響を用いて、反射音の特徴量を抽出することにより、従来のサイドスキャンソナーなどのような海底マッピングを行うソナーとは違い、対象物体自体の材質や性状を識別するという特徴を有している。この識別のためには、予め対象物の探知データを取得し、機械学習などの手段で、特徴量のデータベース化を行う必要がある。今回、堂崎工場海面でのデータ取得を行ったが、実フィールドでのデータ取得を繰り返すなど、実用化に向けてはさらなる検討が必要である。

また、今回、海面表層に露出したケーブルを対象としたが、ケーブルは埋設してあるケースが多く、この場合は、使用周波数の低周波化が必要となる。Hydrason Solutions 社では低周波広帯域ソナーも開発しており、この TRL (Technology Readiness Levels : 技術成熟度レベル) の向上を待つ必要がある。

7. 2 ドッキング形態 AUV

特に、新たな課題はない。

7. 3 ROV ドッキングステーション

特に新たな課題はない。

事業成果物：

【成果物の名称】

国際技術ジャーナル Sensors and Materials, Vol. 31, No. 12(3) に技術論文として、以下のタイトルで発表。

“Concept of Autonomous Underwater Vehicle Docking Using 3D Imaging Sonar”

以上

日本財団助成事業 収支計算書

団体名： 三菱重工業株式会社
 事業名： 効率的な海底機器検査技術システムの開発

(収入の部)

(2019年4月1日 から 2020年3月31日まで)

(単位：円)

費目	予算額 (A)	決算額 (B)	受入済額 (C)	未収額 自動計算(A-C)	助成金返還見込額 自動計算(A-B)
①日本財団助成金収入	40,000,000	40,000,000	40,000,000		
②自己負担	50,000,000	52,132,246	52,132,246		
③収入合計	90,000,000	92,132,246	92,132,246		

(支出の部)

(単位：円)

費目	日本財団承認 済の予算額 (x)	決算額 (y)	支出済額 (z)	未払額 自動計算(y-z)	補足説明、備考
材料費	8,353,800	11,571,405	11,571,405		
加工費	5,226,480	10,571,571	10,571,571		
設計費	39,373,600	25,679,333	25,679,333		
長崎研究所費	10,370,240	6,164,058	6,164,058		
出張旅費	4,762,400	1,732,752	1,732,752		
その他経費	9,414,123	23,681,646	23,681,646		
長崎大学委託費	12,501,000	12,731,481	12,731,481		
申請時調整減額	-1,643				
④支出合計	90,000,000	92,132,246	92,132,246		