遠洋かつお釣漁業における電動自動釣機の開発実証事業

【事業実施主体】

自動かつお釣機開発実証事業共同実施機関

目　　次

Ⅰ　課題名 35

Ⅱ　実施主体名 35

Ⅲ　実証試験の内容 35

1　目的 35

2　導入技術の概要 35

（1）導入技術 35

（2）技術導入の方法（手法） 42

3　実証試験の方法 50

（1）1 航海目の釣獲試験(10 月 12 日～11 月 27 日) 51

（2）2 航海目の釣獲試験(12 月 3 日～1 月 29 日) 51

（3）防水試験 51

4　実証試験結果 52

（1）技術導入前後の比較 52

（2）評価 59

5　考察 60

（1）モータ出力の向上 60

（2）防水機能の強化 60

（3）ソフトウェアによる機能向上 60

6　今後の課題 61

実証試験報告書

Ⅰ　課題名

遠洋かつお釣漁業における電動自動釣機の開発実証事業

Ⅱ　実施主体名

自動かつお釣機開発実証事業共同実施機関

Ⅲ　実証試験の内容

１　目的

開発調査センターが開発した電動自動釣機試作機をベースに、より乗組員に近い釣獲動作等を実現するため、モータ出力の向上及び制御プログラムの改良を施した電動自動釣機を遠洋かつお釣漁船に導入し、実利用が可能であることを実証し、もって当該漁業の持続的な維持・発展に寄与することを目的とする。

２　導入技術の概要

（１）導入技術

遠洋かつお釣漁業はカツオ等を一本ずつ釣り上げる漁業であるため、高い釣獲技術を持つ乗組員を多く必要とし、良質な乗組員と人件費の確保が経営の負担となっている。国内の労働力人口の減少傾向に加え、高齢化の進行、これまで外国人乗組員を供給してきた国々の経済発展による労働環境の変化など、今後も乗組員問題は厳しい状況が続くと考えられる。こうした状況を改善するため、遠洋かつお釣業界からの要望を受け、平成 28 年度より（国研）水産研究・教育機構開発調査センター（以下、開発調査センターという）が電動式自動釣機の試作機を開発した。本事業では、開発調査センターが開発した試作機をもとに、大型魚釣獲時のモータ負荷軽減等を図るためモータ出力を向上させ、より乗組員の釣獲動作に近い制御が可能となるプログラムを搭載した自動釣機を開発し、遠洋かつお釣漁船上における実証試験等を通じて課題の解消を図り、当該機の実用化の可能性を示すものとする。

１）開発調査センターが開発した電動式自動釣機試作機

過去に実用機として一定程度普及した油圧式自動釣機は、釣獲所要時間、擬似餌を水中に保持する能力、針掛かりの検知能力、誘い(あやしとも呼ぶ)動作に課題があり、釣獲能力が低かった。これらの課題改善をするために、サーボモータを採用した電動式自動釣機(以下、試作機という)の開発が行われた。

試作機は、構造単純化及び小型化を図るとともに、乗組員の動作を基に操業状況に適した釣獲動作制御を実現するため、動力に 0.75kW のサーボモータを採用し、減速機及び釣り竿（通常乗組員が使用しているもの）と組み合わせて使用し、PLC により制御した。釣

獲尾数や釣獲時のモータに懸かる負荷等の記録も可能である。試作機の全体配置を図 1 に、試作機の全容を図 2 に、試作機本体(サーボモータ及び減速機)の構成及び使用を図 3 に、試作機ベースフレーム(架台)の仕様を図 4 に、試作機の全体構成を図 5 に、試作機の全体仕様を表 1 に、試作機のモータ仕様を表 2 に、試作機の減速機仕様を表 3 に、それぞれ示す。

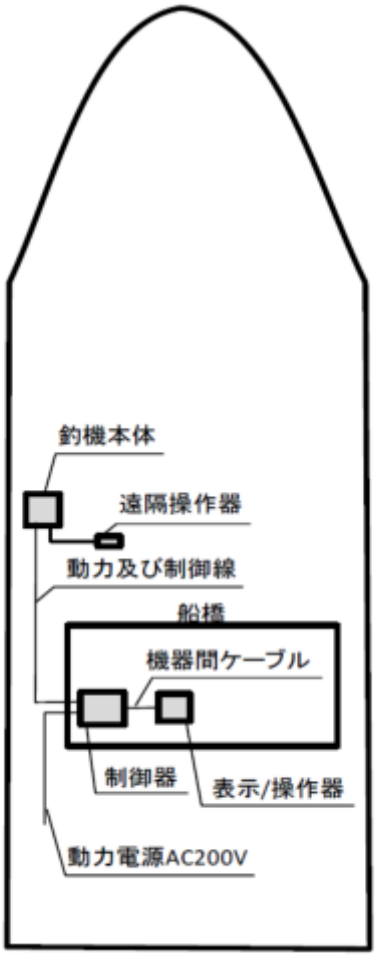


図 1　試験機の全体配置（概要）

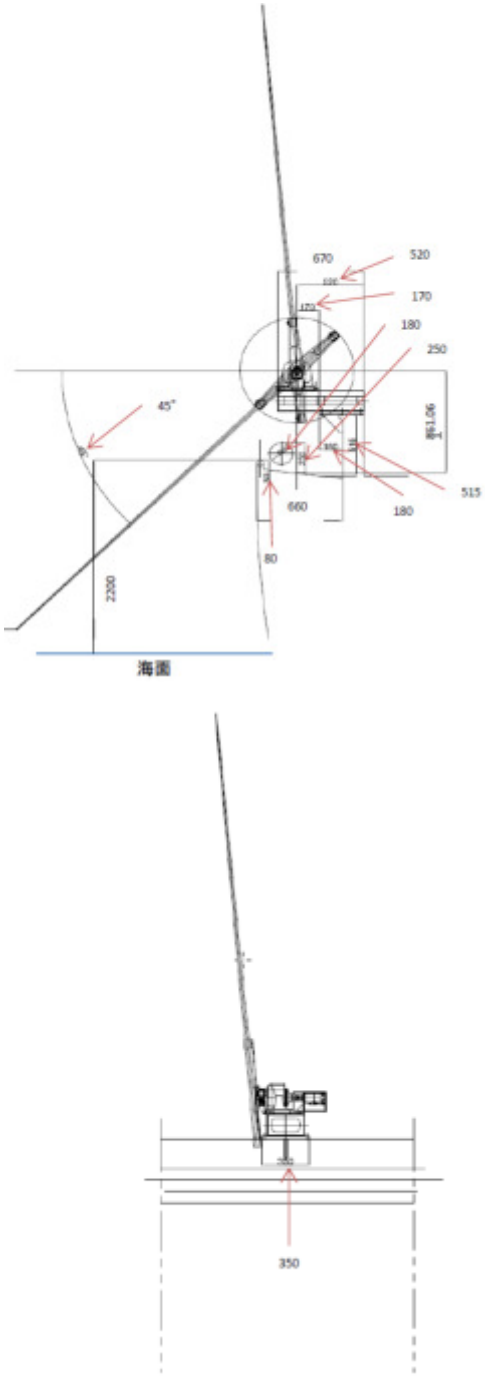


図 2　試験機の全容

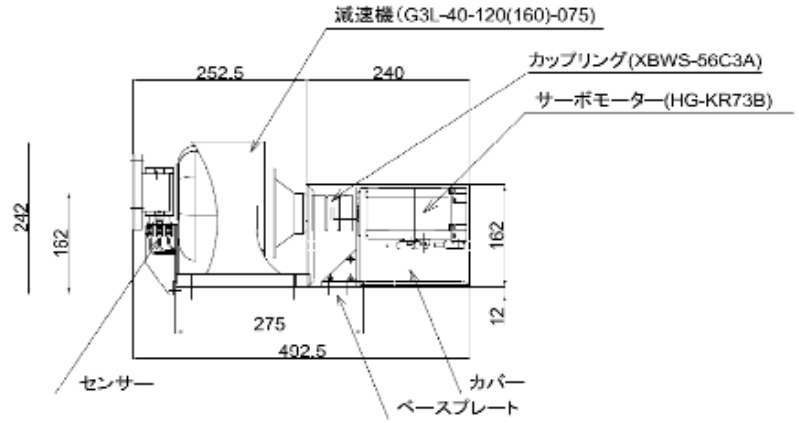


図 3　試験機本体（サーボモーター及び減速機）の構成及び仕様

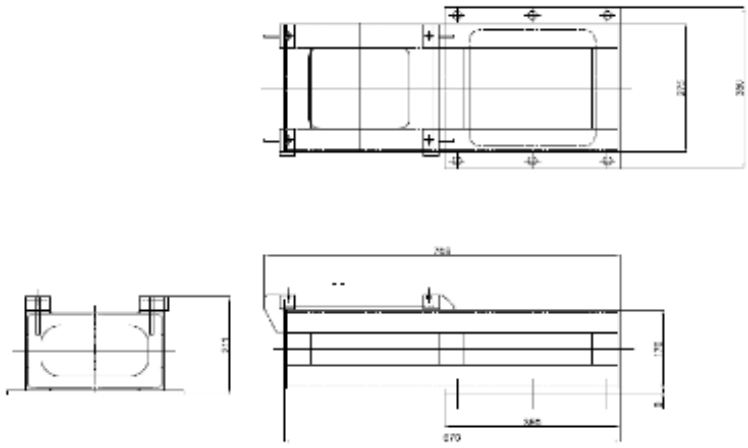


図 4　試験機ベースフレーム(架台)の仕様

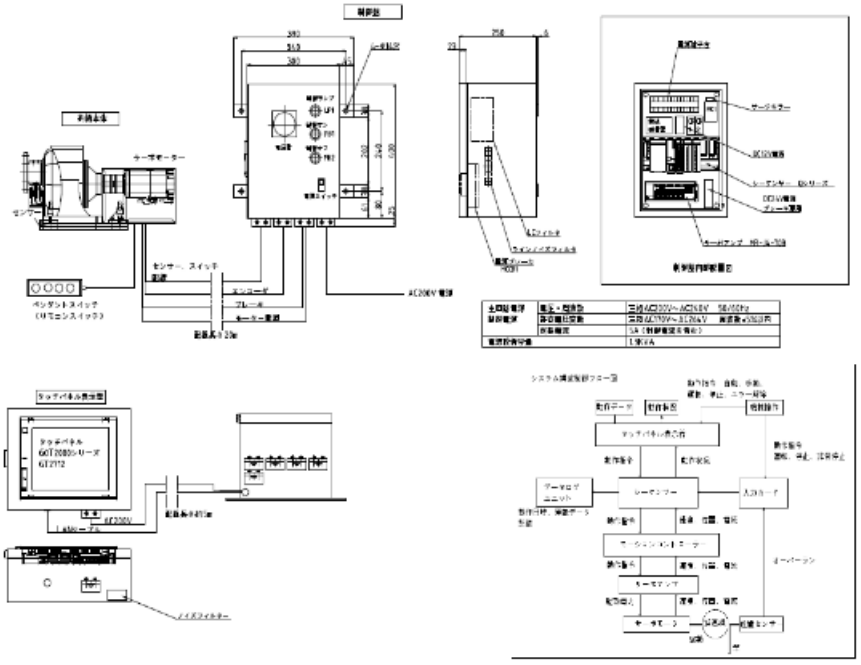


図 5　試験機の全体構成

表１　試作機の全体仕様

名称	数量	備考
釣機本体	1	サーボモータ(0,75kw)
	1	減速機(1/160)
	1	竿ホルダ
架台	1	ステンレス製
表示/操作器	1	船橋内設置
遠隔操作器	1	本体側での非常停止及び復旧用
制御器	1	船橋内設置
機器間ケーブル	1	ノイズ防止タイプ

表２　試作機のモータ仕様

項目		仕様等
種類		サーボモータHG-KR73(B)　三菱電機
電源		AC200V
連続特性	定格出力	0.75kW
	定格トルク	2.4N･m
最大トルク		8.4N･m
定格回転速度		3000r/min
最大回転速度		6000r/min
瞬時許容回転速度		6900r/min
連続定格トルク時のパワーレート	標準	45.2kW/s
	電磁ブレーキ	41.6kW/s
定格電流		4.8A
最大電流		17A
速度・位置検出器		エンコーダ
構造		全閉自冷/IP65
重量		3.8kg

表３　試作機の減速機仕様

項目	仕様等
種類	減速機G3L-40ニッセイ製
モータ容量	0.75kW
減速比	1/160
実減速比	9/1400
出力軸許容トルク入力(1500rpm)	703N･m
	71.7kgf･m
許容O.H.L	入力軸 294N／30kgf 出力軸 9170N／935kgf
重量	16kg

試作機の釣り動作は、乗組員の釣り動作を 6 つの動作に分け（①擬餌針投入、②誘い、③針掛かり検知、④釣り上げ、⑤釣針外し、⑥振り落とし）、①～⑥の順序で設定値に従い動作するプログラムを組み込んだ。各動作は、モータにおける目標位置、目標速度、加速時間、減速時間、滞留時間によって設定することとし、操業現場にてユーザーによって変更可能な機能を有している。一連の釣獲動作及び制御について下記①～⑥に、試作機の動作制御フロー(概略)を図 6 に、試作機の基本動作設定を図 7 に、それぞれ示す。

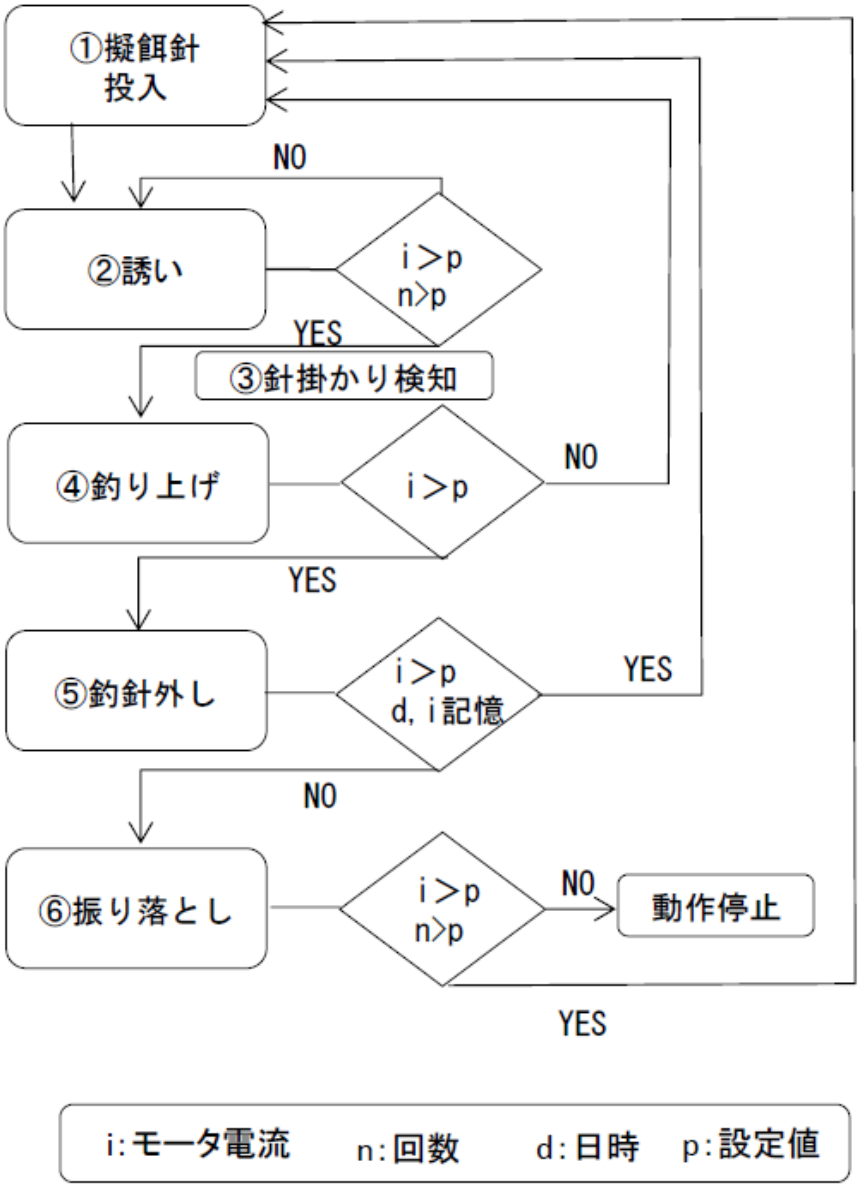


図 6　試作機の動作制御フロー（概略）

①擬餌針投入

かつお釣漁船では、釣獲作業が行われる舷側に散水器を装備し、操業時にはここから海水を散水し、餌となる小魚がカツオに追われる等して海面で狂奔する様子を

模した状況を作り出している。乗組員は散水の外側に擬似餌を投入した方が良く釣れることを経験的に把握しており、擬餌針を散水の外側に投入しているが、油圧型自動釣機ではそのような機能が組み込まれていなかった。試作機は乗組員のような擬餌針投入を実現するため、竿先を支点とした振り子運動を行い、これによって擬餌針を散水の外側に落とすことが可能となっている。

②誘い

誘いでは、舷側から放出される散水の外側に投入した擬餌針を、海中の一定深度帯を通るように舷側に引き寄せる。乗組員の場合、船体動揺や喫水の変動等に適宜対応して擬餌針の深度帯を調整するが、試作機では釣り糸に浮きを繋げておき、擬餌針を投入したら徐々に竿角度を立てていく。これにより、試作機では、動揺センサーや海面距離計、誘い軸機構を使って複雑な制御系を組むことなく、乗組員の誘いに近い動作を実現できている。

③針掛かり検知

誘いにおいて魚が釣針に掛かったことの検知は、モータ内蔵の電流センサーにより行う。電流センサーは、釣獲時のモータへの負荷増を電流値の変化として検出可能であるため、針掛かりセンサーとして活用できる。このことにより、試作機では、荷重センサー等を設置して複雑な制御系を構築する必要が無く、装置の信頼性を高めることができ、釣竿には乗組員が通常使用するものを使用できる。油圧式自動釣機では、針掛かりセンサーに荷重センサーを使用していたため、特別な釣竿を準備する必要があった。

④釣り上げ及び針外し動作

誘いにおいて針掛かりを検知すると、釣り上げに移行し、速度と位置を制御パラメータとして、釣竿及び魚に加速度が加えられる。”針外し”動作は、釣針から魚を外す位置に釣竿が来たら急激に減速させることで、釣糸が緩み魚と擬餌針に加速度差が生じることによって魚が釣針から外れる。試作機の基本設定は、釣針外し時のモータ回転数を 3,000rpm、釣針外し時の竿角度を水平から 110°とした。したがって、魚体重に関わらず釣りサイクル（１尾の釣獲に要する時間）は、一定・固定である。釣針外しにおいて魚が釣針から外れたことは、それまで懸かっていた負荷が減少するため、モータ電流値で検知することができる。この場合、次の釣獲に取り掛かるため、擬餌針投入から誘いへと動作を進める。魚が釣針から外れていない場合、トルクが再発してモータ電流で検知できるので、振り落とし動作に移行する。

⑤振り落とし動作

魚が釣針に掛かった状や、魚が釣針から外れた後に人やその他の物に引っ掛かっている状態で釣り竿を戻すと危険であるため、釣り竿を擬餌針投入位置まで戻す動作をする場合は、釣り竿及び擬餌針を投入するのに必要なトルクしか出せないようにトルク制御を行なう。

振り落としは、釣機後方に釣竿を傾けた状態のまま、竿先を少し上げて魚を吊り上げてから甲板に叩き付ける動作を行なう。2～3 回繰り返して魚から釣針を外せな

い場合は、電動式自動釣機の運転を自動停止し、乗組員が魚の場所まで移動して手で釣針を外す。魚を外したら、運転を再開し、トルク制御をしながら、擬餌針投入へと動作を進める。

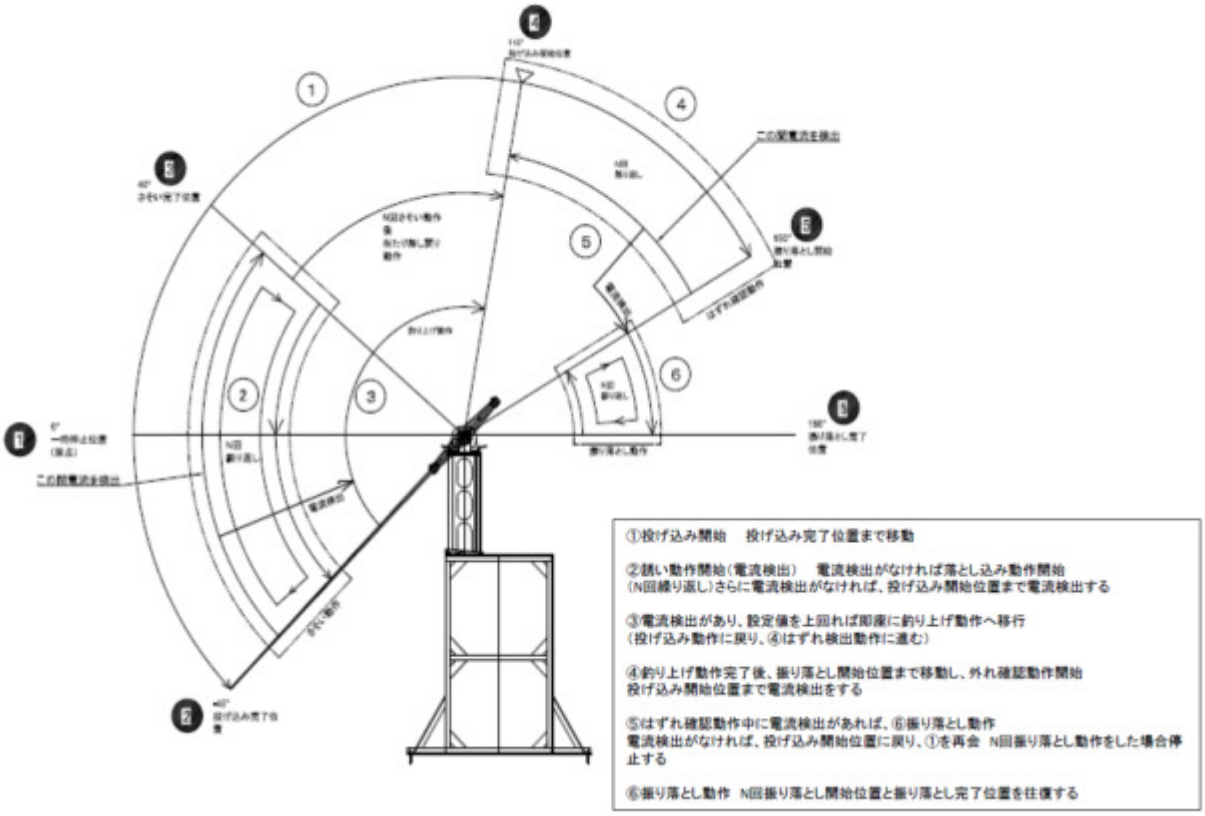


図７　試作機の基本動作設定

当該試作機を用いて平成 28 年度に開発調査センターによる釣獲調査が行われ、意図した動作が行えていること、釣獲が可能であることが確認されている。また、将来的に自動釣機に組み込むための、乗組員の釣獲データについても取得されている。一方で、大型魚の釣獲、防水性能の向上及び取得した乗組員動作の導入等に課題が残っている。

２）実証試験に用いる電動式自動釣機

実証試験に用いる電動式自動釣機（以下、実証機という）に求める性能は、開発調査センターの試作機をベースに以下の通りとした。

①釣機動作を自動化する。

②装置の小型化及び自動化を容易にするため動力は電動式とする。

③サーボモータを採用し、出力は 1.5kW(2000rpm)、減速比は 1:100 とする。

④1.5kg/尾程度のカツオから 20kg/尾のビンナガまでの針掛かりを検知し、釣獲できること。

⑤装置の設置が容易であること。

⑥構造の単純化を図り、保守管理が容易であること。

⑦防水機能を IP65 相当とすること。
⑧装置導入後もソフトウエアによる機能向上が可能であること。
⑨釣獲時のデータ（釣獲日時、針掛かり尾数、モータ電流値、竿角度等）を連続記録し、SD カード等に CSV 形式で出力できること。
安全性を確保するため、以下に配慮すること。
・釣獲した魚を釣り上げるときは、自動釣機の上を通過すること。隣で釣獲作業に従事する乗組員に当たらないようにする。
・魚を釣針に掛けた状態、あるいは釣針が何処かに掛かった状態にあるときに擬似餌投入動作に移行しない。
・自動釣機が何らかの理由で停止した後の復旧時は自動復旧をせずに使用者が周囲の安全を確認してから動作を開始する。
・大型魚が針掛かりした場合には無理に釣り上げずに停止するなどの機能を有する。

（２）技術導入の方法（手法）

実証機の全体配置を図 8 に、実証機の全容を図 9 に、実証機本体(サーボモータ及び減速機)の構成及び使用を図 10 に、実証機ベースフレーム(架台)の仕様を図 11 に、実証機の全体構成を図 12 に、実証機の全体仕様を表 4 に、実証機のモータ仕様を表 5 に、実証機の還俗機仕様を表 6 に、それぞれ示す。実証機における試作機からの主要な変更点は、モータ出力の向上、制御プログラムへの機能追加及び防水機能の強化である。

モータ出力に関しては、試作機 750W(3,000rpm)よりも高出力 1.5kW(2,000rpm)とした。これと組み合わせる減速機は減速比 1/160 とすると大型装置となってしまうことから 1/100 とした。試作機では小型軽量とパワーのバランスを考慮してモータ出力 750W、減速比 1/160 の組み合わせとしたが、実証機では上記仕様とすることで 20kg 程度の大型魚を釣獲する場合でもモータ負荷に余裕を持たせた設計とした。なお、モータ出力向上に伴い、モータ及び減速機の外寸が試作機に比べてやや大きくなるが、寸法に起因する設置場所の制限は、試作機と同様、ほとんど無いと考えられる。

試作機の動作制御フロー(概略)を図 13 に、試作機の基本動作設定を図 14 に、それぞれ示す。制御プログラムに関しては、試作機による操業試験の過程で得られた新たな知見等を参考に、試作機には組み込まれていない以下の制御を組み込む。一つは、船が停止した状態で釣獲作業を行う場合、いわゆる行き足がない状態では、誘いを入れ、行き足ありの状態で釣獲作業を行う場合は誘いを入れないという制御である。行き足があると、現状の誘いの制御では、擬似餌が船尾側に流れてしまい誘いにならず、空中に擬餌針が出ている時間が増えるため、釣獲作業時の行き足の有無でその後の動作パターンを選択できるようにする。二つめは、寄せ動作の組み込みである。寄せとは釣り上げる前に釣竿の動作を一瞬止めることにより、竿先下方から離れた位置にいる魚を竿下まで寄せてくる動作のことである。乗組員は、この動作によって魚を自分の正面に位置させてから釣り上げる作業を行い、隣で釣っている乗組員の方向に魚が飛んで行かないようにしている。この制御は、作業の安全性向上を図る上で必要であることから、実証機の制御プログラムには寄せ動作

機能を追加する。三つ目として、魚体重に応じて釣り上げ動作（釣り上げ速度及び切り離し位置等）を変える制御である。これによって、加速しやすい小型魚を釣獲した場合は、短時間で所要の速度を得て釣針外しの位置を低くすることで、一定となっている釣りサイクルを短縮できる可能性がある。この制御の可否については実地での検証が不可欠だが、試作機でも未検証であるため、実現の可能性を検討した。他の制御方法に関しても、必要に応じてプログラムの改良及び追加を行い、効果の検証を行った。

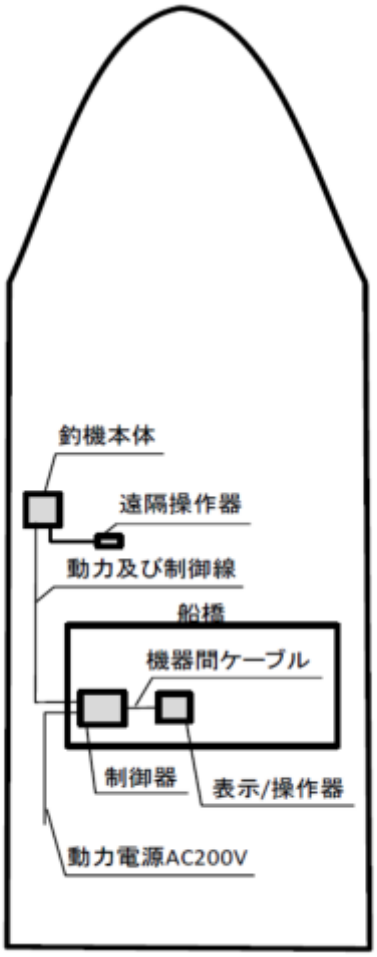


図 8　実証機の全体配置（概要）

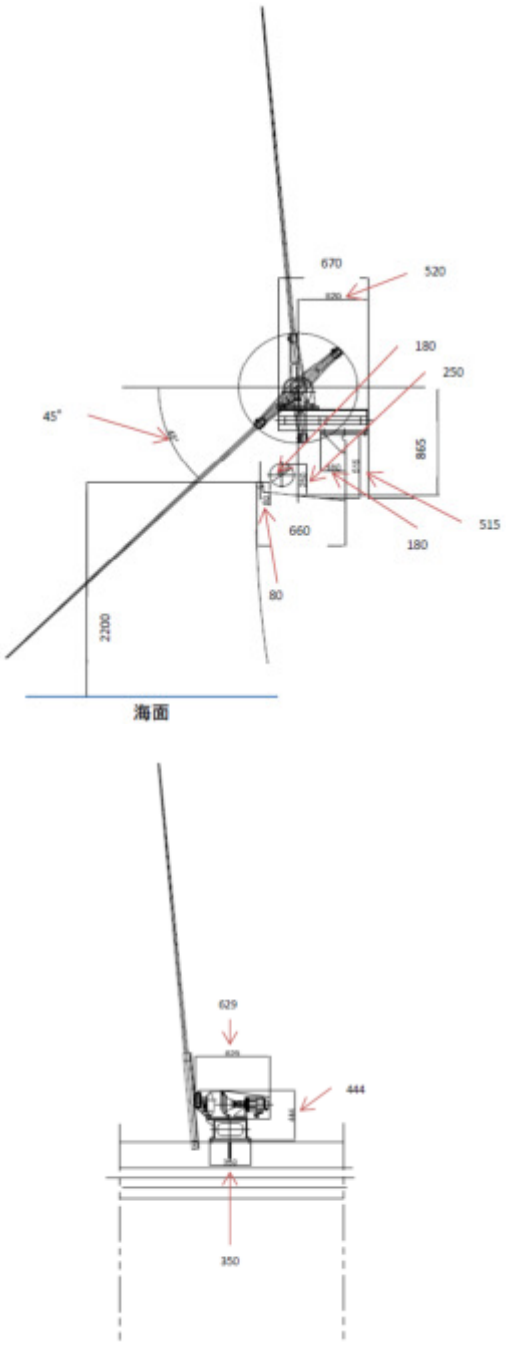


図 9　試作機の全容

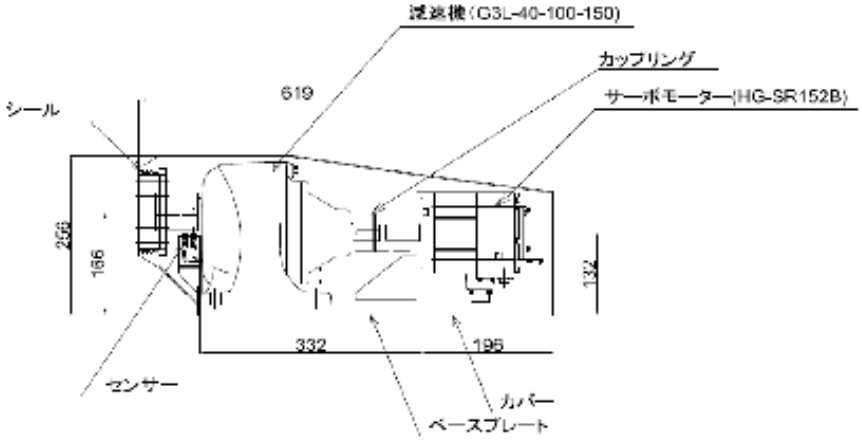


図 10　実証機本体(サーボモーター及び減速機)の構成及び仕様(試設計)

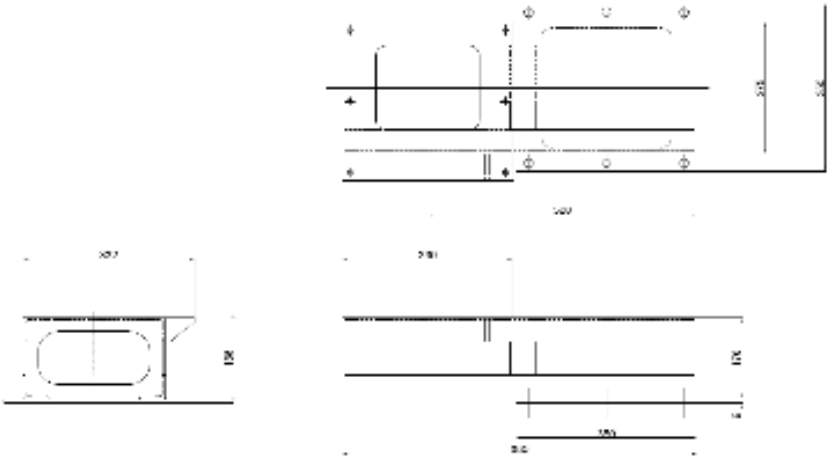


図 11　実証機ベースフレーム(架台)の仕様

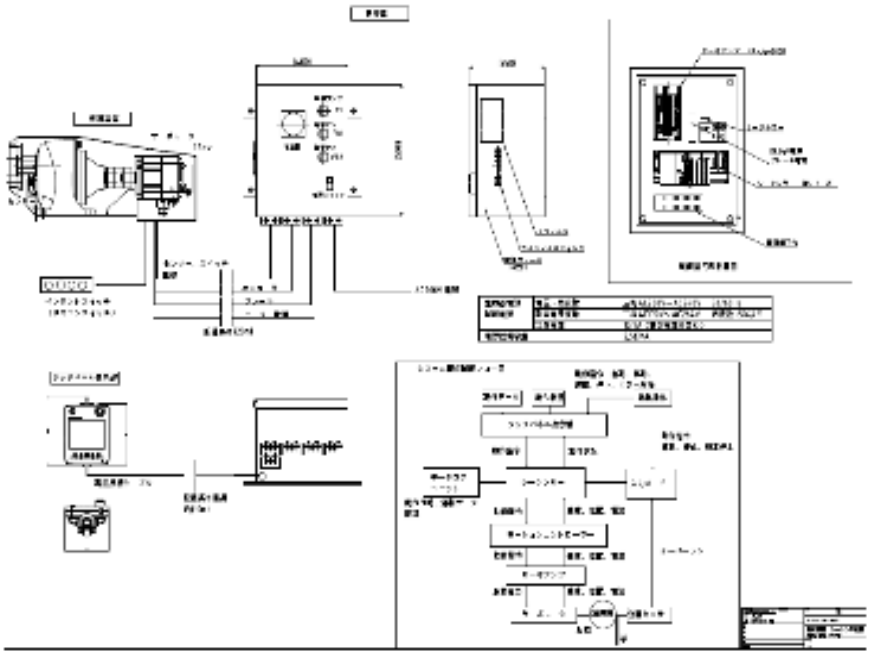


図 12　実証機の全体構成

表 4　実証機の全体仕様

名称	数量	備考
釣機本体	1	サーボモータ(1.5kw)
	1	減速機(1/100)
	1	竿ホルダ
架台	1	ステンレス製
表示/操作器	1	船橋内設置
遠隔操作器	1	本体側での非常停止及び復旧用
制御器	1	船橋内設置
機器間ケーブル	1	ノイズ防止タイプ

表 5　実証機のモータ仕様

項目		仕様等
種類		サーボモーター HG-SR152(B) 三菱電機
電源		AC200V
連続特性	定格出力	1.5kw
	定格トルク	7.2N・m
最大トルク		21.5N・m
定格回転速度		2000r/min
最大回転速度		3000r/min
瞬時許容回転速度		3450r/min
連続底角トルク時のパワーレート	標準	32.1kw/s
	電磁ブレーキ	28.2kw/s
定格電流		9.4A
最大電流		29A
速度・位置検出器		エンコーダ
構造		全閉自冷/IP67
重量		9.3kg

表 6　実証機の減速機仕様

項目	仕様等
種類	減速比G3L-40-100-(150)ニッセイ製
モータ容量	1.5kw
減速比	1/100
実減速比	11/1128
出力軸許容	724N・m
トルク入力(1500rpm)	73.9kgf・m
許容O.H.L	入力軸　343N/35kgf　出力軸　7400N/755kgf
重量	17kg

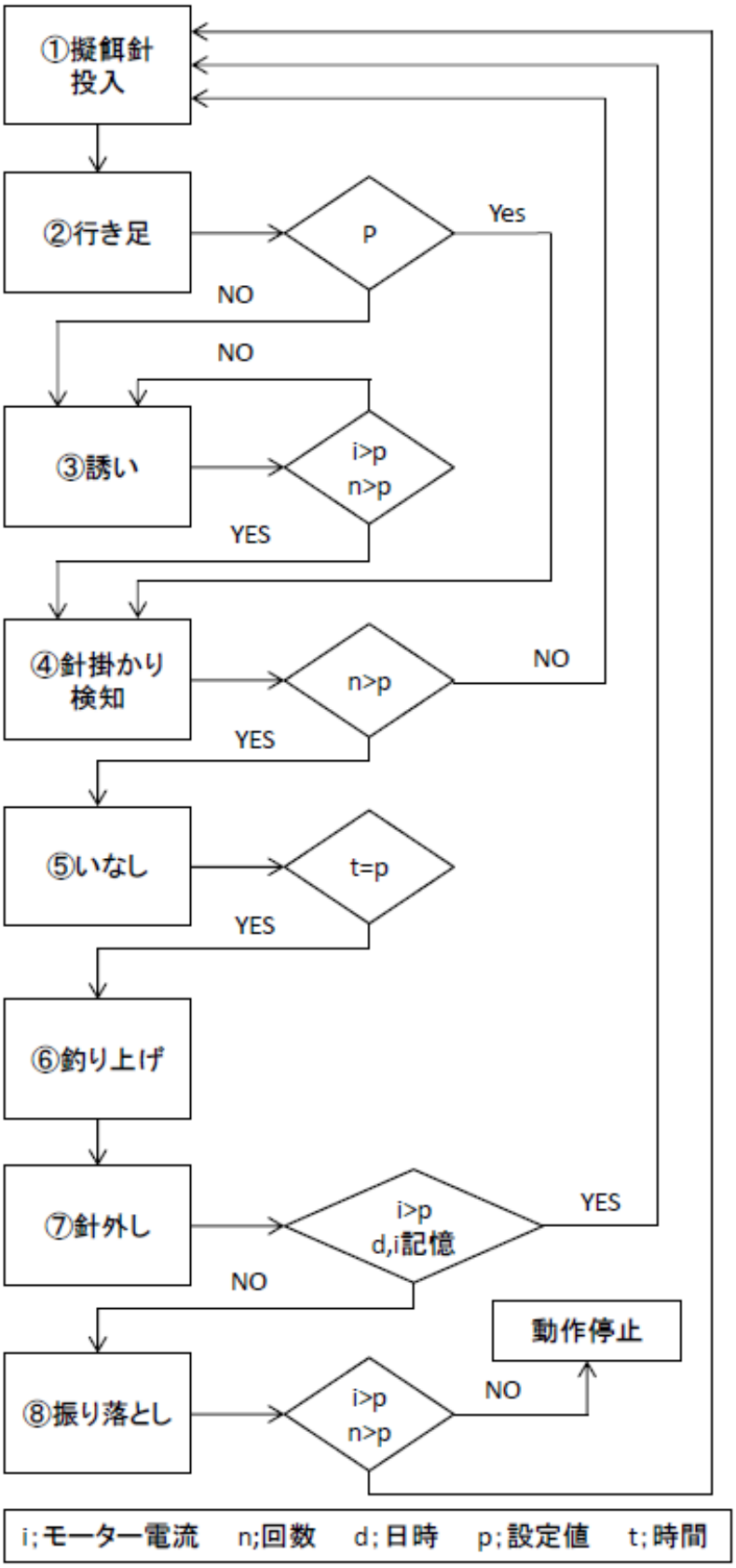


図 13　実証機の動作制御フロー(概略)

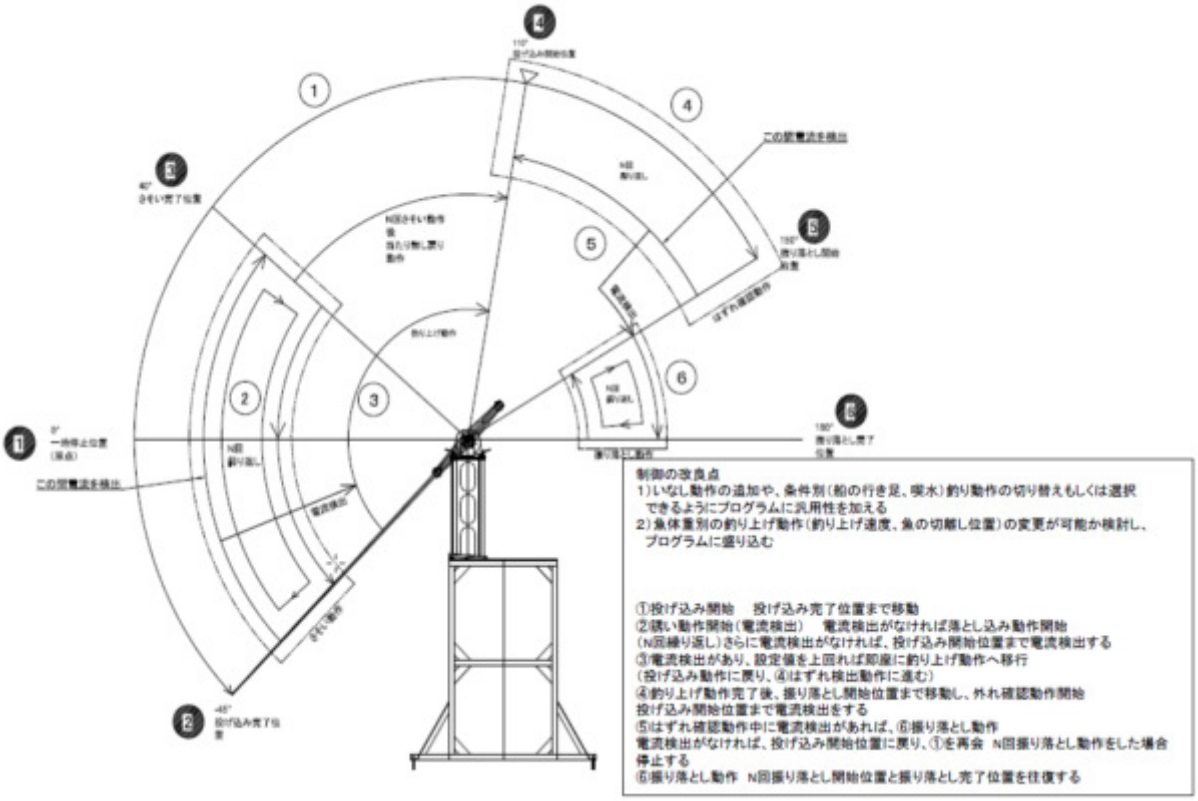


図 14　実証機の基本動作

また、防水機能に関しては、防水機能を有するパーツ(サーボモータ及び減速器等)を使用するとともに、シールド処理を施し、試作機よりも大幅に防水性能を強化させる。

実証機のモータと減速機を写真 1 に、実証機本体と防水ケースを写真 2 に、実証機の制御盤内部を写真 3 に、操作パネルを写真 4、防水試験中の釣機本体を写真 5 に、防水試験後の釣機内部を写真 6 に、それぞれ示す。実証機は 4 月から上述のような全体設計を行った後、5 月に製作を開始、8 月中旬に完成し(写真 1～4)、陸上での動作確認及び防水試験(写真 5 及び 5)等を行った。陸上での動作確認では 1.5kg～30kg の土嚢の釣り上げが可能であることを確認した。なお、35kg の土嚢の釣り上げで竿(12kg 用)が折れてしまったが，トルクに余裕があることも確認した。防水試験では、釣機本体を 30 分浸漬した後、内部を分解し、内部浸水がないことを確認した。

実証機の設置状況を写真 7 に示す。上述のような陸上試験を行った上で、平成 29 年 10 月 10 に調査船に実装した。平成 30 年 3 月 27 日までカツオを主対象とした操業を 3 航海（約 2 ヶ月/航海）実施し、実操業を通じて実証機の釣獲試験及び防水試験を行った。

釣獲試験は、調査船において、実証機、試作機及び乗組員により釣獲作業を行い、釣獲尾数及び重量を比較した。また、新たに組み込んだ制御プログラムを含め、実証機の動作状況を乗組員の釣獲動作と比較し、最適な釣獲動作を検討した。制御プログラムには、必要に応じて適宜改良を加えるものとした。なお、船上での実証試験に用いる調査船は、当業船を用船しているので、漁船並の操業能力を有しており、実証試験プラットフォームと

して適していると言える。しかし、調査の性質上、航海日程もほぼ当業船と同様としていることから航海日数が約 1.5 ヶ月と長く、在港日数は中 4 日と短い。このため、実証機 1 台では、実証試験の過程において優れた制御方法やプログラム改善案が生まれても調査船が入港してからでないと対応できず、在港日数が短いため実証機に反映させる時間が足りなくなる場合も想定される。他方、実証機が 2 台あれば、船上で生み出されたアイデアや不具合等の解消方法について、調査船が入港するまでの間に陸上で対応を検討しておくことや、プログラム化して実証機に組み込んでテストしておくことも可能となる。また、船上の過酷な使用環境の下で 1 台が故障しても、陸上で使用していた機材を使用することで、実証試験を遅滞なく進めることができる。以上から、本事業では所期の目的を達するため、実証機を 2 台 1 組として用意し、それぞれを船上と陸上で活用して実証試験を効率的に進めた。

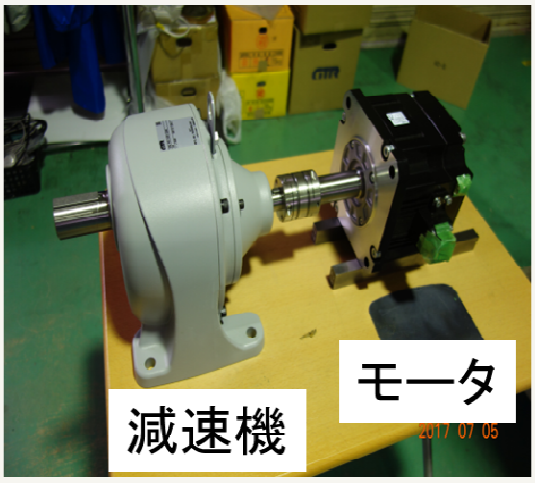


写真 1　実証機のモータ及び減速機

写真 2　実証機本体と防水ケース

写真 3　実証機の制御盤内部

写真 4　実証機の制御盤内部

写真 5　防水試験中の釣機本体

写真 6　防水試験後の釣機内部

写真 7　実証機の設置状況

3　実証試験の方法

実証試験の実施体制を図 15 に示した。船上における実証試験時のデータ収集は、実施機関と（国研）水産研究・教育機構開発調査センターとの共同研究において、開発調査センターが行った。実証試験では、釣獲試験を 2 航海、防水試験を 3 航海、それぞれ行った。

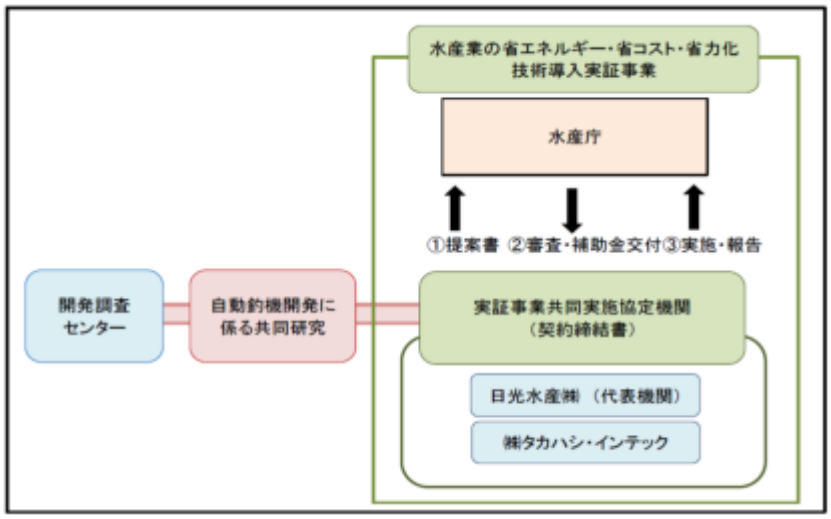


図 15　実施体制

（１）１航海目の釣獲試験(10 月 12 日～11 月 27 日)

試験は北緯中南漁場で行った。実証機の釣獲動作を評価するため、釣獲動作をデジタルビデオで録画し、実証機が制御プログラムで意図した動作を実現できているかを検証した。併せて、実証機において記録されるモータ電流値、モータトルク値及び竿の角度データ等をからも動作確認及び評価を行った。これらの記録されたデータ(モータ電流値、モータトルク値及び竿の角度データ)を定期的に陸上へ送信し、船側と陸上で情報を共有した。また，釣獲尾数を計測し、釣獲可否の判定を行った。

（２）２航海目の釣獲試験(12 月 3 日～1 月 29 日)

試験は北緯中南～南洋漁場で行い、乗組員動作等の導入効果及び釣獲能力の比較について検証した。乗組員動作等の導入効果については、釣獲動作の調整を行った 38 操業を調整前、釣獲動作の調整確定後に行った 19 操業を調整後とし、釣獲成功(針外し成功、針外し失敗)、釣獲失敗(針掛かり未検知、口切れ等)の尾数を目視で計測し、設定調整前後で比較を行った。併せて、実証機において記録されるモータ電流値、釣竿の角速度及び角度データ等をからも動作確認及び評価を行った。

釣獲能力の比較試験では、可能な限り操業条件を整えるために、実証機を左舷側の最も船橋寄りに、試作機を実証機の 1.5m 船首寄りに，それぞれ配置し、比較対象の乗組員は試作機の 1.5m 船首寄り(試作機の隣り)で釣獲する者とした。なお、操業時間が経過して船全体で釣獲率が低下し始めると、乗組員は船首側の良好な釣り座に移動するが、実証機及び試作機は移動できないため、乗組員が船首側に移動した後の釣獲結果は比較に用いないこととした。また、実証機と試作機の釣獲動作についても条件を整えるために、試作機には実証機で調整した同一の釣獲動作をプログラムに組み込んだ。このような条件で操業を行い、実証機、試作機及び乗組員の釣獲尾数及び重量を記録し、魚種別銘柄別に整理を行い、電動式自動釣機(実証機及び試作機)における釣獲能力の対人比率を算出した。本実証試験を行った 12 月～1 月の航海ではビンナガの釣獲試験は行えないことから、過去に開発調査センターの調査により算出された従来(油圧式)釣機のカツオ及びビンナガ釣獲における対人比率と比較することで、電動式自動釣機のビンナガ釣獲能力を算出した。当該手法により算出したカツオ及びビンナガの釣獲能力をもとに、電動式自動釣機の年間(ビンナガ操業 2 航海、カツオ操業 4.5 航海)釣獲能力を試算した。上記によって得られた知見とともに、調査船乗組員からの聞き取り調査及び日光水産（株）の所属船の漁労長等との意見交換等を参考に実証機の有用性を総合的に評価した。

また、加速しやすい小型魚を釣獲した場合は、短時間で所要の速度を得て釣針外しの位置を低くすることで、一定となっている釣りサイクルを短縮できる可能性がある。このことから、魚体重別の釣り上げ動作の可能性について検討した。魚体重別の釣り上げ動作を行うためには、実証機で魚体重を推定する必要がある。そのため、実証機で釣り上げた漁獲物の体重を測定し、モータトルク値から算出した漁獲物の推定重量(魚体重=モータトルク値×減速比/竿長/重力加速度)と漁獲物体重(実測値)の関係を精査した。

（３）防水試験

実証機の防水試験は北緯中南～南洋漁場にかけて、船上で 3 航海(10 月～3 月)連続して

実施した。また、比較対象となる試作機の防水試験は東側～天皇海山沖合及び北緯中南～南洋漁場にかけて、船上で 4 航海(5 月～6 月、9 月～10 月及び 12 月～3 月)実施した。試験期間中は正午位置の風力を記録し、時化の状況と故障頻度から防水性能を評価した。また、内部検証を 3 月末の航海終了時に実施した。当初計画では水没検知シールによる水没チェックを検討していたが、海水による内部浸水では塩が析出するため、塩の析出状態から内部の浸水を判断した。

4　実証試験結果

（1）技術導入前後の比較

1）1 航海目の釣獲試験結果(10 月 12 日～11 月 27 日)

釣獲動作と竿位置の関係を図 16 に、カツオを釣獲する実証機を写真 8 に、それぞれ示す。

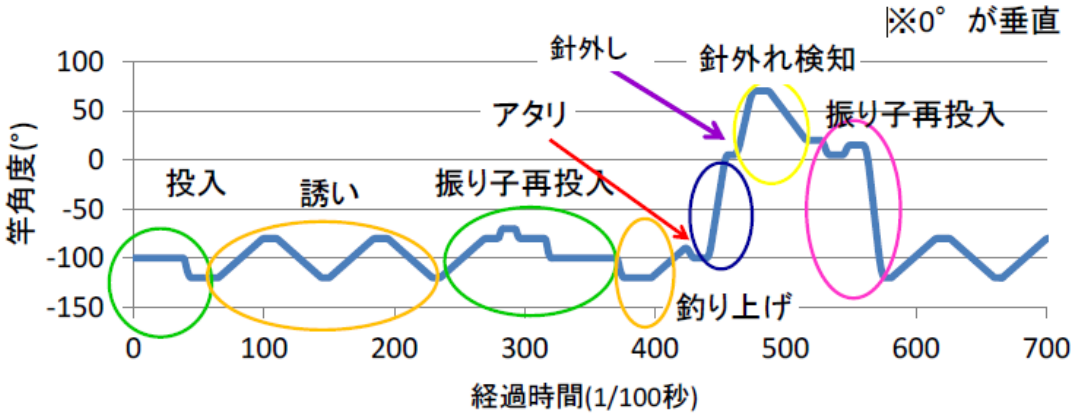


図 16　釣獲動作と竿位置の関係

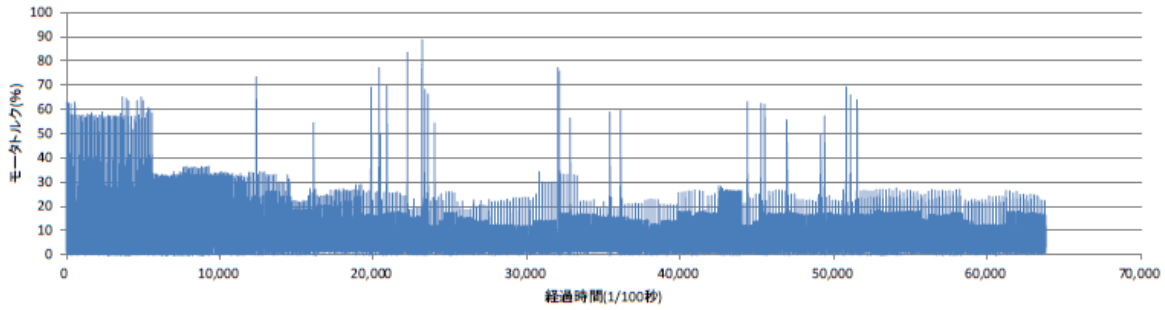
実証機の制御プログラム動作について、ビデオ及び竿角度データから検証した結果、図 16 に示したように、一連の釣獲動作(投入、誘い、針掛かり検知、寄せ、釣り上げ、針外し、針外れ検知、再投入)が設定通り正しく動作していることを確認した。また、写真 8 に示したように、カツオ(3～7kg 程度)のカツオ 38 尾を釣獲できたことから、カツオの釣獲が十分に可能であることを確認した。さらに、当該航海で記録された、モータ電流値、モータトルク値及び竿の角度データを定期的に陸上へ送信し、船側と陸上で情報を共有することで、陸上の予備機を用いたプログラムの改編が可能となった。当該手法を用い、竿を船側に動作させる時のみの針掛かり検知であったプログラムを陸上で改編し、竿を海側に動作させる時も針掛かり検知が可能な仕様に変更した。

写真 8　カツオを釣獲する実証機

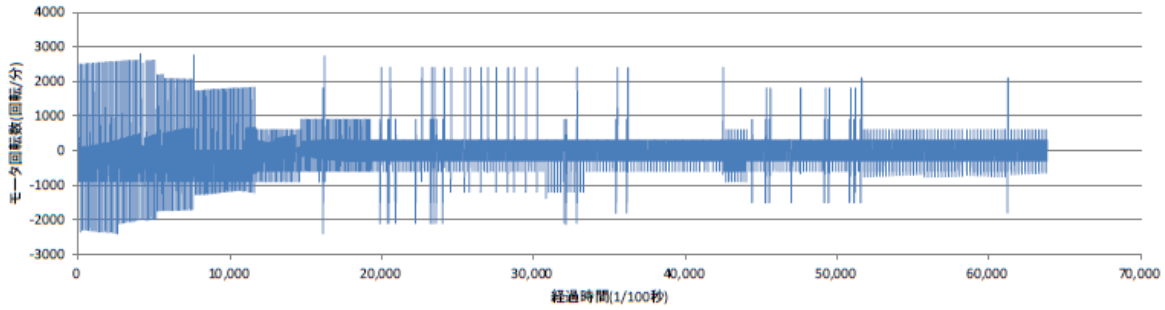
２）2 航海目の釣獲試験結果(12 月 3 日～1 月 29 日)

乗組員動作等の導入効果については、航海中に実証機で取得した数値データ(モータトルク、モータ回転数、モータ電流値及び竿角度)の変化を図 17、実証機における調整前後の釣獲状況を図 18 に、実証機における調整前後の主要な変更を表 7 に、それぞれ示す。図 17 に示したように、竿角度(竿動作の基点となる垂直方向を 0°とし、海側が正方向、船側が負方向とした)等の連続した数値データの取得が可能であることを確認した。また、当該試験において、実証機でカツオ(3～8kg)45 尾、試作機でカツオ(3～8kg)53 尾、それぞれ釣獲した。実証機の釣獲動作別内訳は、調整前にカツオ(3～8kg)17 尾、調整後にカツオ(3～8kg)28 尾であった。釣獲動作の調整前後における主要な変更点は、誘い動作、針掛かり検知感度、寄せ動作、釣り上げ動作、針外し位置、針外し検知動作である。主要な調整の変更を下記し示した。

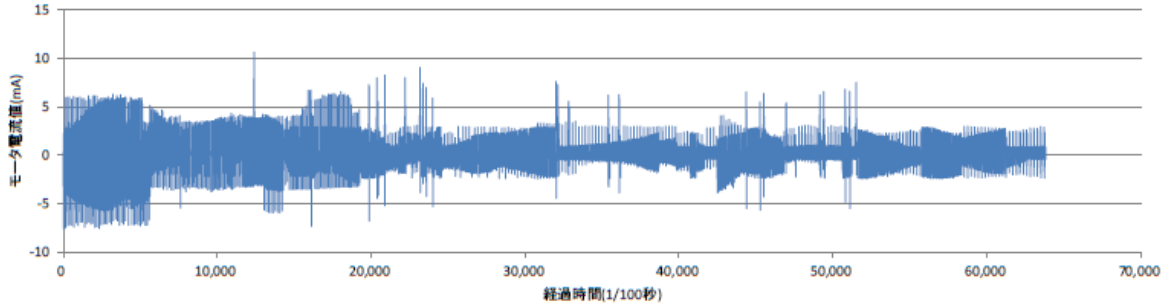
誘い動作については、空アワセ効果により針掛かり検知能力を向上させるために、擬餌針を上下に動かす動作を追加した。空アワセとは，魚が針掛かりしているか微妙な時に，針が刺さるよう竿をあおって掛け合わせる動作のことを指す。当該動作の導入により、また、擬餌針の水中に保持する時間を長くするために、散水外側に擬餌針を投入する動作を削減した。



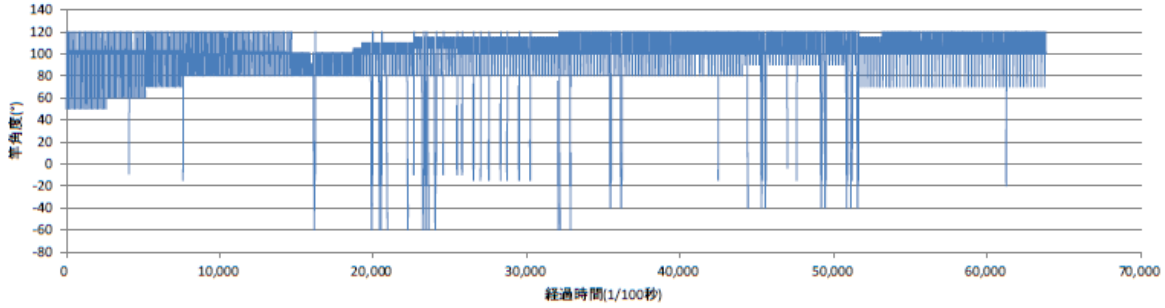
(1)モータトルク



(2)モータ回転数



(3)モータ電流値



(4)竿角度

図 18　航海中に実証機で取得した数値データ（モータトルク値、モータ回転数、モータ電流値及び竿角度）の変化

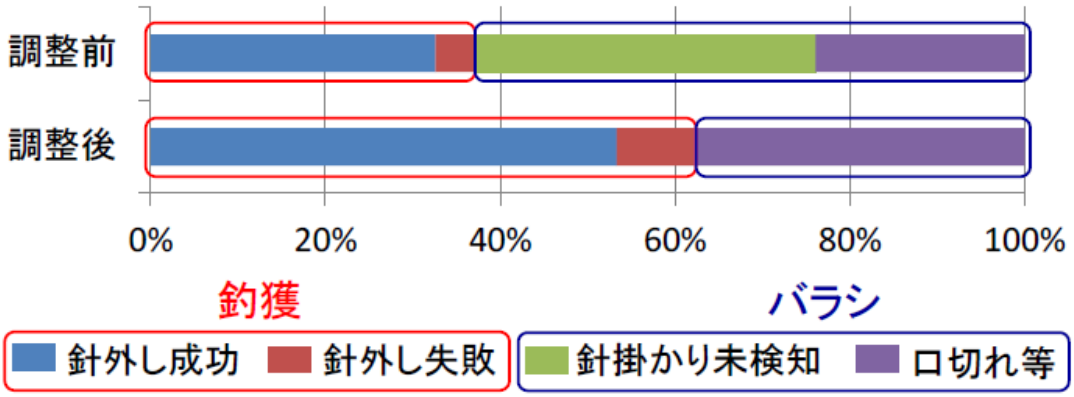


図 18　実証機における調整前後の釣獲状況

針掛かり検知感度については、風浪や竿動作トルクを誤検知しない範囲で感度が最も高くなるように検出トルク値を調整した。調整には、サーボモータで取得したモータトルク値のデータを参考として用いた。誘い動作中は針掛かり以外に、風浪や竿動作トルクの影響により、18%程度のモータトルク値の瞬時値(0.1 秒)が検出されていた。一方、針掛かりでは 20%以上のトルクを継続して検出していたことから、検出感度及び検出時間を調整することで 18%以下のトルク値に針掛かりの検知感度を設定できるものと判断し、調整作業を繰り返し行った。この結果、検出時間を 0.2 秒とすることで、検出感度のモータトルクを 30%から 13.5%まで高めることができた。

寄せ動作については、釣機後方のオーニング上に正確に漁獲物を釣り上げること、寄せ動作を短縮することに主眼を置き、目視による調整を行った。その結果、寄せ動作の時間を 2 秒から 1 秒に短縮することができた。また、寄せ動作を行う竿の角度は、魚体が水面付近に保持する角度に保つ必要があり、喫水の変化により、調整するが必要であった。

釣り上げ動作については、乗組員が手動で制御するアシスト式半自動釣機の釣獲動作を導入した。アシスト式半自動釣機の釣り上げ動作における竿速度は魚体重に関わらず 90°/秒程度である。当該竿速度で釣り上げを行うために、モータ回転数を 100%から 70%に変更した結果、魚体がオーニングを超えて、落下してしまう現象が大幅に軽減された。

針外し位置についても、アシスト式半自動釣機の釣獲動作を導入した。アシスト式半自動釣機の釣り上げ動作における針外し位置は魚体重に関わらず 0° 付近である。しかしながら、0° で竿を停止した場合、漁獲物がぶら下がる等のトラブルとなった場合に竿が折れる原因となることから、-20° から少しずつ調整を行い、最終的には-15° とした。

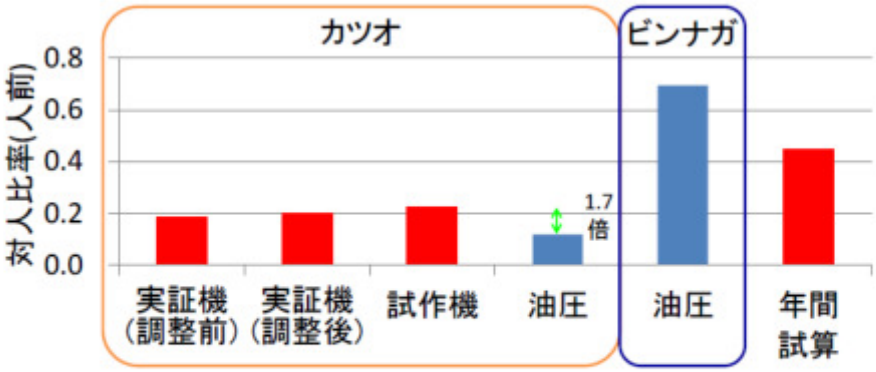
針外れ検知動作については、電動式自動釣機は針外し後、竿をオーニング側に倒し(針外れ検知開始位置)、投げ込み位置(針外れ検知終了位置)に復帰させる間のトルクを検出し、魚体からの針外れを検知する。この際、オーニング側に竿を倒す角度を投げ込み位置に近づけることができれば、釣獲時間の短縮となる。しかしながら、投げ込み位置付近に針外れ検知開始位置を設定した場合、釣機本体付近に魚体や擬餌針が絡まった際に、竿と

道糸に角度が発生しないため、サーボモータは負荷を検知することができない。このため、針外れ検知が行える範囲で調整を行い、針外れ開始位置を-60°から-40°に変更した。

上述の釣獲動作を調整することにより、調整前に 38.3%であった針掛かり未検知によるバラシを調整後には解消(0.0%)することができた。口切れ等によるバラシは 23.4%から 37.8%に増加したが、バラシ全体(針掛かり未検知及び口切れ等)の割合は 63.8%から 37.8%に低下した。また、針外し失敗率は調整前が 4.3%、調整後が 8.9%で、針外しについては概ね良好であった。

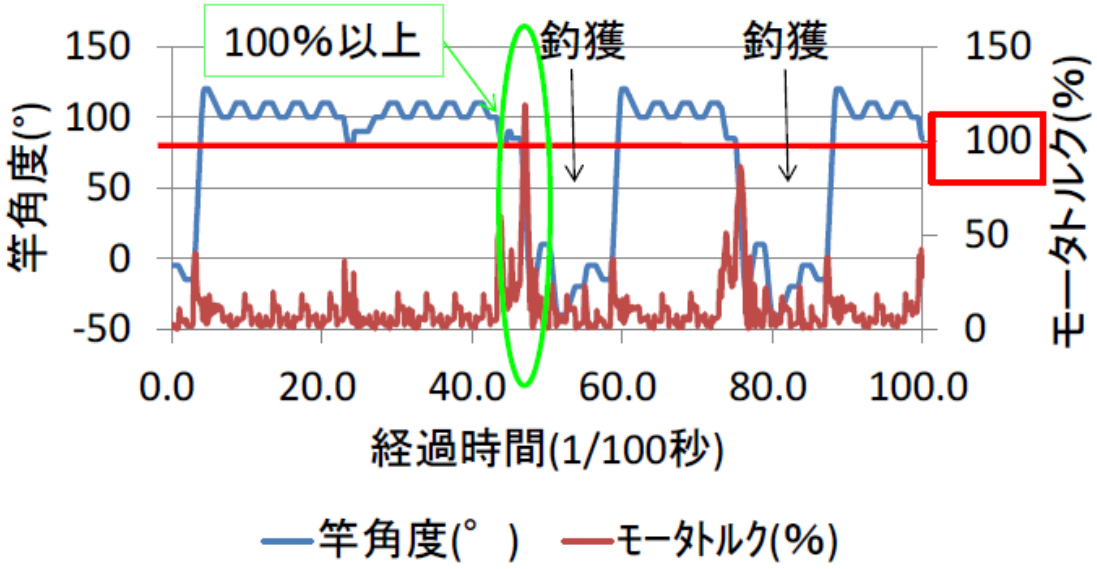
釣獲能力の比較試験については、電動式自動釣機及び従来(油圧式)自動釣機の釣獲能力を図 19 に、試作機及び実証機の竿角度とモータトルクの関係を図 20 に、それぞれ示した。

図 19 に示したようにカツオの釣獲では、電動式自動釣機の釣獲能力は約 0.2 人前(実証機(調整前)0.18 人前、実証機(調整後)0.20 人前、試作機 0.22 人前)で、過去の開発調査センターで行われた調査では従来(油圧式)釣機のカツオ釣獲能力は約 1.2 人前であったことから、約 1.7 倍釣獲能力が向上した。一方、従来(油圧式)自動釣機におけるビンナガ釣獲能力は約 0.7 人前であったことから、電動式自動釣機のビンナガ釣獲能力を約 1.17 人前(0.69 人前×1.7 倍)と試算することも可能であったが、当該実証試験では電動式自動釣機の釣獲能力は 1 人前が最大値であると仮定した。電動式自動釣機を年間使用した場合の対人比率を試算した結果、0.45 人前であった。

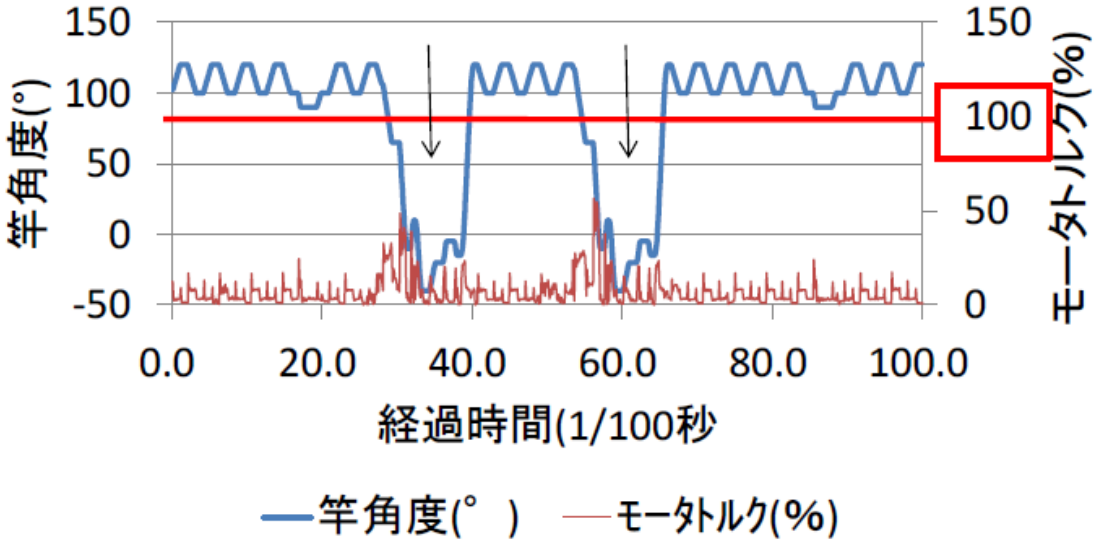


※赤は電動式自動釣機、青は従来(油圧式)自動釣機
※オレンジ枠はカツオ対象とした操業、青枠はビンナガ対象とした操業
※年間試算はカツオ対象に4.5航海(0.2人前), ビンナガ対象に2航海(1人前)で算出

図 19　電動式自動釣機及び従来(油圧式)自動釣機の釣獲能力



(1) 試作機



(2) 実証機

図 20　試作機及び実証機の竿角度とモータトルクの関係

実証機(調整後)と試作機の対人比率の比較では、釣獲能力に大きな差は認められなかったが(図 19)、試作機では釣り上げ動作において、定格トルク(100%)以上の値が記録されていた(図 20)。一方で、実証機における釣り上げ時のトルクは 50%前後で推移しており、定格トルク内で動作していることが確認された。

また、乗組員等から聞き取り調査を行った際のコメントを下記に示す。

・寄せ動作の導入により、2 航海目の試験では釣機後方に正確に漁獲物を釣り上げる回数が増えた。

・2 航海目の試験を終えた段階での一連の動作は理想的で乗組員の動作にも近づいてい

る。

・カツオの釣獲でも大型魚用の堅めの竿を使用したほうが、釣機の釣り方には適している。

・船体動揺の補正を行う必要がある。ローリング時に適正な竿位置を保持できなければ、安定した釣り上げや擬餌針の水中保持が行えない。

・モータでトルク検知をしているため、釣機に対し垂直方向のトルクしか検知されていない。船に行き足がある時は船尾方向にトルクが発生する。また、針掛かり後に船首方向や散水の外側にトルクを発生させる魚体もいる。このような水平方向のトルク検知機能も追加して欲しい。

以上のように乗組員等からも乗組員動作導入に対して、高い評価を得ることができた。一方で、船体動揺の補正等についての課題が乗組員から示された。

モータトルクと魚体重の関係については、寄せ動作トルクから算出した推定魚体重量と魚体重(実測値)の分布を図 21 に示した。寄せ動作時に検出したトルク値から算出した推定魚体重量(竿保持トルクを除く)と魚体重の実測値は概ね一致しており、寄せ動作時に検出されるトルクから魚体重を推定できる可能性が示された。

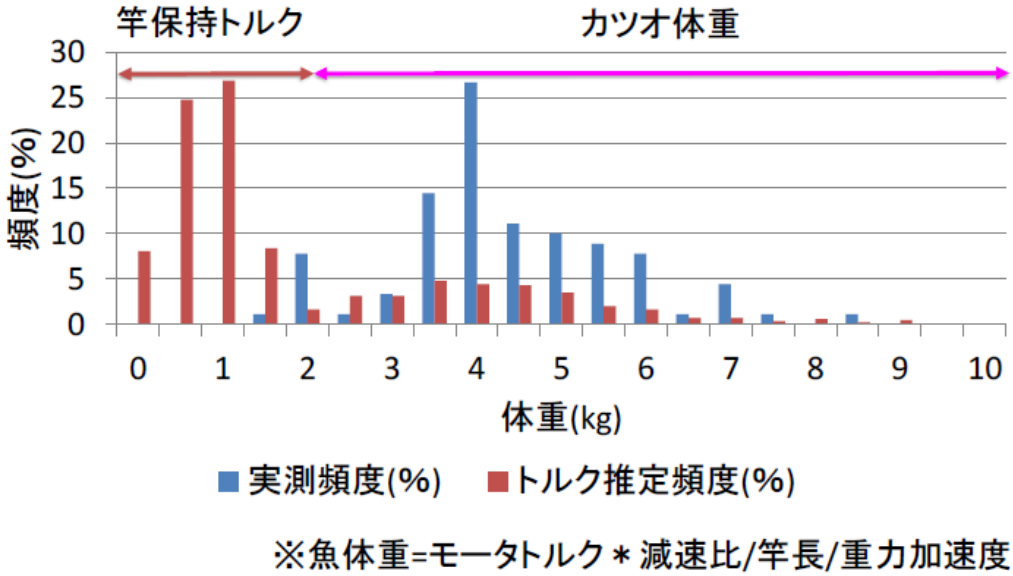


図 21　寄せ動作トルクから算出した推定魚体重量と魚体重(実測値)の分布

３）防水試験結果

実証機の試験では、試験期間(約 6 ヵ月)中における正午位置の最大風力 6(≒風速 12m)が記録されたが、故障等の発生は確認されなかった。また、3 月末に内部を分解して浸水の確認を行ったが、減速機の軸周辺に少量の浸水を確認したのみであった。

試作機の試験では、試験期間(約 8 ヵ月)中における正午位置の最大風力は実証機と同等の風力 6 であったが、3 回の故障及び修理が行われ、全ての故障において、内部浸水を確認した。

実証機はIP65相当、試作機はIPX5相当として、それぞれ開発されたが、実証機では試作機よりも配線の接続方法や本体の形状等の防水施工に改善を施したことで、防水性能の向上が可能となった。一方で、故障には至らなかったが、実証機でも少量の浸水が認められていること、同じ防水規格である試作機は故障頻度が高いことから、もう一段階高い防水規格を目指して設計する必要がある。

（２）評価

本事業において釣機の釣獲性能が乗組員の0.5人に相当すると実証できた場合の効果を以下に試算して示す。なお、本機の導入効果は、単に船上における経営合理化に対してだけでなく、陸上の事業管理部門で人員確保に要している時間や心理的な負担等の大きな軽減効果がある。

１）外国人あるいは日本人１名減らすことによる省コスト効果

【試算条件】

・釣機2台を導入、胴の間に設置、船員を１名削減。

・釣機性能は0.5人前/台とし、漁獲量は維持。

・外国人雇用に係る年間費用250万円（食費等込み）

・日本人雇用に係る年間費用　750万円（食費等込）

・釣機を5年間使用。導入費250万円/台、保守費50万円/台・年

【導入効果】

・外国人：1,250（5年間人件費）－1,000（導入費+保守費（5年間））＝250万円/5年

・日本人：3,750－1,000＝2,750万円/5年

・5年間で250～2,750万円の省コスト効果が期待できる。

２）乗組員を減らさない場合の増産効果

【試算条件】

・釣機を2台導入、胴の間に設置、乗組員は増減無し。

・乗組員１名の年間漁獲量63t/年

・釣機は5年間使用、導入費用及び保守費は250万円/台、50万円/台・年

・B1単価250円/kg

【効果試算】

・(63t×0.5人/台)×2台×250円/×5年－1,000万円（導入費+保守費）＝6,875万円(5年間)

・S1生産に乗組員1名が従事することによる釣獲減（年間8t程度）も解消。

・5年間で6,875万円の増収効果が見込まれる。

３）釣機導入による燃料消費量増加効果

【条件】

・油圧型自動釣機による年間燃油消費量（試算）

・電力消費量（油圧ポンプ、自動釣機等）0.75kW

・1 航海あたりの使用時間 57.4h(漁場滞在 29 日間でほぼ満船としたときの操業時間)

・A 重油換算率=0.286KL/1000kWh(NEDO)とし、

0.75kWh×57.4h×0.286KL/1000kWh×7 航海=0.09KL

・電動式自動釣機消費電力 50W

0.05kWh×57.4h×0.286KL/1000kWh×7 航海=0.01KL

【効果試算】

・0.01/0.09*100=11% 約 89%の省エネ効果

・従来の油圧型自動釣機に対して約 9 割の省エネ効果が試算される。

5　考察

本事業の結果、下記の（1）～（3）に示した試作機及び実証機の主要な変更点が実証機開発のコンセプトとなるが、概ね達成することができた。しかしながら、本実証事業の結果から、いくつかの普及に向けた課題の存在も明らかとなったことから、普及には課題の改善が必要である。

（1）モータ出力の向上

カツオの釣獲能力ではモータ出力向上による効果は認められなかったが、実証機が定格トルク内で動作している一方、試作機は定格トルクを超えて動作していることが確認された。このことから、大型のビンナガ等では釣獲能力に差が出る可能性があり、事業終了後も試験を継続して実施し、当該技術の普及に向けた基礎データの収集を行う。

（2）防水機能の強化

約 6 ヵ月の使用で実証機の水没による故障は認められず、試作機よりも大幅に防水性能が強化された。しかしながら、洋上の風浪を考慮するともう一段階の防水強化が必要である。

（3）ソフトウェアによる機能向上

1）安全性について

寄せ動作導入により、釣機後方のオーニング上に正確に釣り上げることが可能となった。このことにより、隣りで釣獲を行う乗組員に漁獲物を当ててしまう危険性が大幅に改善された。

2）釣獲動作について

乗組員の釣獲動作や乗組員が手動で操作するアシスト式半自動釣機の釣獲動作を実証機及び試作機に導入し、カツオの釣獲において、従来の油圧式自動釣機よりも 1.7 倍の釣獲能力の向上させることができた。特に釣り上げ時の竿速度及び針外しの位置の導入により、針外しの成功率が高まった。このことにより、年間 0.5 人前の釣獲能力を概ね達成することができ、乗組員一人を削減した場合、最大で 2,750 万円/年の導入効果が認められた。

6　今後の課題

目標の設定値を概ね達成することができたが、釣獲能力の向上及び防水施工の強化に課題が残った。釣獲能力の向上については、乗組員のコメントしも示されているように、船体動揺の影響により擬餌針を水中に保持できていない様子が観察されており、船体動揺に応じた動作制御を行い釣獲機会を増加させる必要がある。また、針掛かり後に糸に掛かる張力を一定に保つことで、バラシ率が軽減されるため，釣獲能力を向上できる可能性がある。針掛かり後のバラシの多くは、船体動揺により糸に掛かる張力が増減した時に発生する様子が観察されている。このことから，船体動揺を補正する技術を導入し、船体動揺に応じた釣獲動作をすることにより、釣獲能力の向上が可能である。

防水施工の強化についても、今年度のような風浪の影響を考慮すると、もう一段階の防水強化が必要と思われる。具体的には、小型化により海水との接水面積を低減させること、浸透性素材の利用により内部気圧を一定化させること、減速機の駆動部分のシーリングを強化すること等により、防水施工の強化が可能である。