

船外機のエンジンを動力とした水圧システムの 実験的研究

松村一弘, 板東忠典*, 井上喜洋**, 村田政隆

Water Hydraulics System Using the Power of an Outboard Motor

Kazuhiro Matsumura, Tadanori Bandou*,
Yoshihiro Inoue ** and Masataka Murata

要 旨

沿岸漁業で使われている多くの船外機付船における海上作業は、作業機械類の動力源が無い場合、何れも1~2名の人力に頼る苛酷な労働となっている。この労働負荷を低減するには、小型船で使用できる動力源と作業機械類が必要である。本研究では、作業機械類の動力に、船外機のエンジンを活用した動力取り出し機構と、その動力を利用する伝達装置を試作し、実験的に検討した。試作した装置の動力伝達方法は、漁獲物と環境に配慮し水圧を用いた。重量物の吊り上げ実験の結果、2名以上の引き上げ能力があり、30~60PSの船外機付船の作業に適応可能なことが明らかとなった。

1. 緒 言

2001年における国内の漁船総隻数は、約20万隻で、その内約8万隻が船外機付船である*¹。船外機付船は、乗組員が通常1~2名であり、漁労、養殖作業及び各種海上補助作業など多岐にわたる作業に使用されている。これら船外機付船は、その規模が2t(2871t)以下が主流であり、甲板スペースの制約や小型軽量で取り扱いの容易な動力源が無い等の理由により、作業機械類を装備することが困難である。このため、海上における各種作業は、1~2名の人力のみに頼る作業形態で苛酷な労働となっており、労働環境面からも改善が望まれている。

これらの問題を解決するため、船外機付船における作業機械類を駆動するために、船外機のエンジン動力を利用することとした。そこで、船外機エンジンの動力を取り出し利用するシステムとして、動力取り出し機構、取り出した動力の伝達機

構及び伝達された動力を利用し作業機械類を駆動するための水圧モータを考案した。そして、考案した方法の実用性を検証するために、各部を試作し、性能実験を行い、実用的な機能・能力を有していることを明らかにした。

2. 方法と性能設定

船外機から動力を取り出し利用するための機構について、動力伝達方法を検討し、水圧を用いる方法を試すこととした。この試作装置の目標とする基本的性能は、実際の漁業現場の調査を参考とし決定した。

2.1 動力伝達方法

動力伝達方法としては、リンクや歯車などを用いた機械的な方法、発電などで電力を用いる方法、油圧のような流体圧力を用いる方法などがある。機械的な方法では、損失が少ないが装置が重くな

* 有限会社コムテック

** 鹿児島大学水産学部

*¹ 農林水産省統計情報平成13年度海面漁業経営体数・漁船隻数

り、電力では、高速・制御性が良いが発生トルクと効率が低く負荷変動に弱く、流体圧力では、低速・高トルクを得やすいが高速度動作に劣る等、それぞれ特徴がある。常時水に濡れることが多く、波浪などの影響で負荷が変動し、船体規模が小さいことを考慮すると、流体圧力を用いる方法が適していると考えた。一般的に流体圧力で用いる圧力媒体は、空気等の気体と油等の液体である。気体は、圧縮性があり、その特性から過負荷に強いが制御性が劣る。一方、液体は、位置制御が可能な反面、微妙な力制御性に劣り、液漏れなどの問題がある。従来から利用されている油圧の場合、油漏れは、食糧となる魚介類を汚損し、環境汚染の可能性もある。完全に漏れない構造とするには、摺動面間の隙間を無にしない限り難しく、技術的に困難である。漏れても環境汚染にならない媒体で、しかも船外機付船の最も身近にあるのは、海水である。しかし、海水を含め水圧技術は、油圧技術と比べると水準が低く、多くの不確定要素があるのが現状である²⁾。真水を使う水圧技術は、動力の起源として、様々な取り組みが行われてきた長い歴史があり、利用可能な技術も多い¹⁾。海水を使う水圧技術は、多くの金属を腐食させ、微生物が管路内に発生しやすいなどの問題もあるが、他の液体を使用する場合のような戻り管路を必要としないので、簡素な機構を採用でき、将来性も高い²⁾。本研究では、将来の海水利用を想定し、実験装置として真水による動力伝達機構を選択し、試すことにした。この機構は、水タンク、水ポンプ、水圧モータ等と配管で構成される。すなわち、水ポンプを船外機の動力で駆動し、水タンクから水圧モータへ圧力水を供給し、水圧モータが回転力を発生し、作業機械類を駆動することになる。

2.2 性能仕様設定

試作装置の基本的性能は、実際の漁業で使われる船外機付船の作業を目標とするため、コンブ養殖漁業を営む経営体の多い北海道戸井町子安漁港を調査した。コンブ養殖漁業における作業は、「持ち上げる」あるいは「引っ張る」等、多くの場合ロープ類の巻き上げに還元される作業であり、

1t以上の比較的大きな船外機付船では、省力化を図るために、バッテリー駆動や船外機とは別のエンジンによる油圧駆動のワーピング・ドラム類

の使用が見られた。

調査した港に船籍を置く垂下式コンブ養殖施設と天然コンブ採取に用いている船外機付船は約80隻あり、殆どがヤマハ製W24(0.9~1t)又はW22(0.7~0.9t)のタイプであった。そのうち港から陸に引き上げられていた24隻について搭載機器類を調べ、作業状況について漁業者から聞き取りを行った。

その結果、24隻中14隻が油圧機器を搭載していた。油圧は、船外機とは別エンジン(約5PS)を動力にしており、この動力装置及び油圧発生装置搭載位置は、船の舳先部分であった。動力装置の燃料は、灯油が1隻で、他はガソリンであった。図1に搭載されている油圧ポンプと動力装置であるエンジンの代表例を示し、図2に油圧モータと駆動されるワーピング・ドラム(ローラ)を示す。また、14隻中4隻では、このローラは、ダビッド(デリック)のウィンチとして、ロープの巻き取り作業に使用されていた。油圧モータは、手動式速度制御弁により、回転数と正逆転が制御されており、大きさから最大約2kWの出力と推定された。

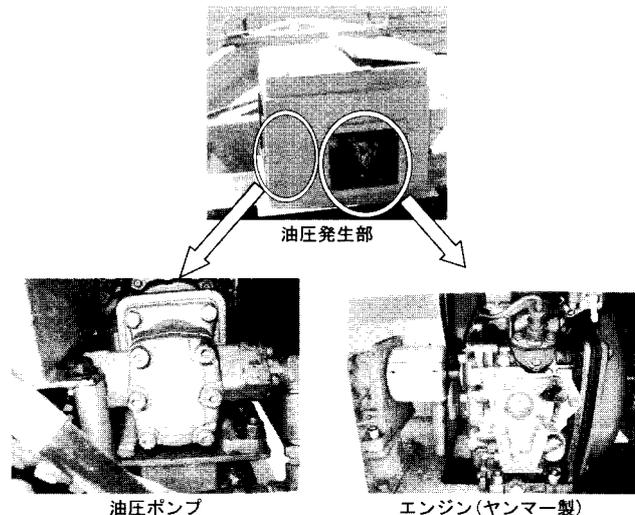


図1 船の舳先に設置された油圧発生部

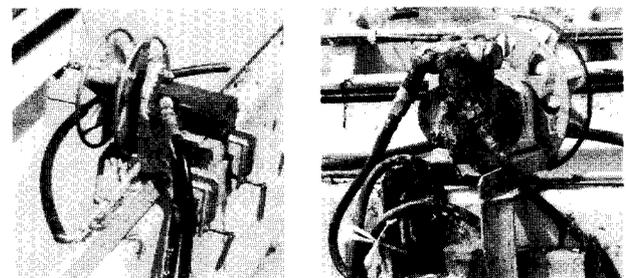


図2 油圧駆動ローラ

養殖コンブの収穫作業では、幹綱を海面まで引き上げる作業が、最も力を必要とする。このときの作業状態は、図3に示すように水深1.5~2mに幹綱があり、20~30secで引き上げられ、1操業当たりのコンブ収穫量が約300本(1.5t程度)であることが聞き取り調査で得られた。



図3 養殖コンブ収穫作業

この幹綱引き上げに要する力は、聴取した作業姿勢を「腰部負担評価&作業改善支援ソフトBless Pro」³⁾に入力し、推定した。解析条件は、年齢40歳、身長170cm、体重70kgの男性とし、船縁から重量物を持ち上げることとした。その結果、50kg(490N)の重量物では、腰部椎間板圧迫力： F_c 、腰部椎間板剪断力： F_s 、脊柱起立筋筋力： F_m 、各関節周りのモーメントが許容限界を大きく超えた。同様な姿勢で、各値が許容範囲内である重量は、10kg(98N)であった(図4参照)。ただし、船の揺動や海況等は考慮していない解析である。一方、厚生労働省の指針では、労働災害低減を図るために、人間一人が垂直に持ち上げられる重量物は、当該労働者の体重の約40%となるように定められている^{*2}。

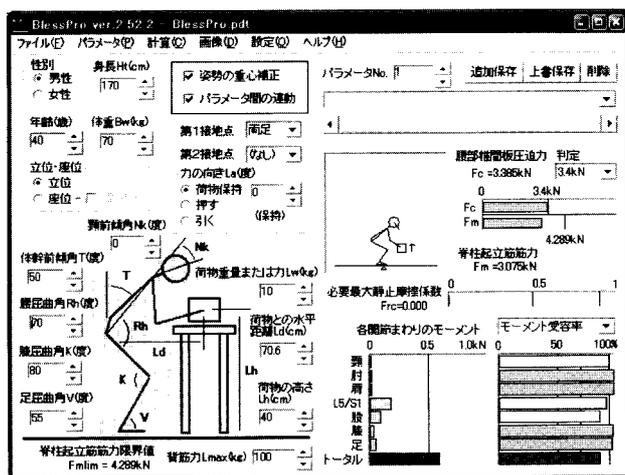


図4 作業負荷の解析結果
解析条件：男性40歳、身長170cm、体重70kg、持ち上げ荷重10kgf

以上の調査結果より、試作装置の性能仕様は、2人分の引き上げ力とし、負荷196Nの物体を水深2mから20sec、つまり0.1m/secの速度で引き上げるワーピング・ドラム類を回転させられる水圧モータと、その水圧モータに必要な圧力水を供給する水圧ポンプ及び水圧ポンプを駆動する船外機からの機械的動力取り出し機構で構成することとした。

3. 実験装置の試作

船外機付船の作業は、多岐にわたり、作業機械類の取り付け位置も作業内容により変わる。これに伴い、水圧モータも位置を変えるので、水圧発生部となる船外機からの動力取り出し部と水圧を回転力に変える水圧モータ部は、別体にすることにした。試作に当たり、船外機の故障は海難事故に繋がるため、推進機関として機能を損なわないように、船外機の改造は最小限にし、取り付ける部品の小型軽量化を図った。

設定した能力は、最大196Nの力で物体を水深2mから20secで引き上げる場合、直径60mmのドラムで引き上げ作業を行うことを想定すると、ドラムが約10.6回転で物体を引き上げられるので、回転数は約32r/minとなり、必要なトルクは5.9Nmで、水圧モータ出力動力は約0.02kWとなる。さらに水圧モータの入力動力は、水圧ポンプと管路の損失を考慮し、効率を65%とすると約0.031kWとなる。水圧モータの流量 Q_a は、一般的に排水側と給水側の圧力差を ΔP 、ポンプへの入力動力を L_a とすると、 $Q_a = (L_a \times 612) / (\Delta P \times 9.8)$ で求められる⁴⁾。ここで、水圧モータ給水側圧力をポンプの吐出圧力1MPaとし、排水側を大気開放と仮定すると、 ΔP は1MPaとなり、 Q_a は約2l/minとなる。ただし、水圧モータの損失を含んでいない。

3.1 動力取り出し部

水圧ポンプを駆動させるための船外機からの動力取り出しは、プロペラ部分は、密閉構造であり改造が難しいことと、船上までの動力伝達で損失が発生することなどから、適していないと考えられる。また、エンジンとプロペラを繋ぐ部分は、ドライブ軸が入っているのでクラッチを利用して、この軸から取り出せるが、アルミ合金ケースを改

*2 職場における腰痛予防対策指針(基発第547号/平成6年9月6日)

造する必要がある。一方、エンジンは、上部でフライホイールが回っており、クラッチを介して、動力を取り出せる。この場合、カバー部の改造が必要であるが、船外機の基本構造を改造する必要が無いので、エンジン上部から動力を取り出すこととした。

船外機エンジン上部は、ジェネレータ等の電気システムが存在する。水ポンプを直接フライホイール部に取り付けることは、漏水が発生した場合に、電気システムの故障を生じやすい。そこで、フライホイールからマイタ歯車で、クラッチを介して水ポンプを駆動する方法とした。この方法の水ポンプ取り付け位置は、船外機上部カバーの側面にする。水漏れが発生した場合、エンジン部に水がかからない構造が可能となる。この構成では、船の動力として船外機を使う場合、水ポンプクラッチを外して船外機を運転し、現場で水ポンプを回すときは、船外機のクラッチを中立にし、水ポンプクラッチを入れることで、水ポンプが駆動され、水圧が発生し、水圧モータに圧力を供給できる。動力取り出し部の機構を図5に示す。

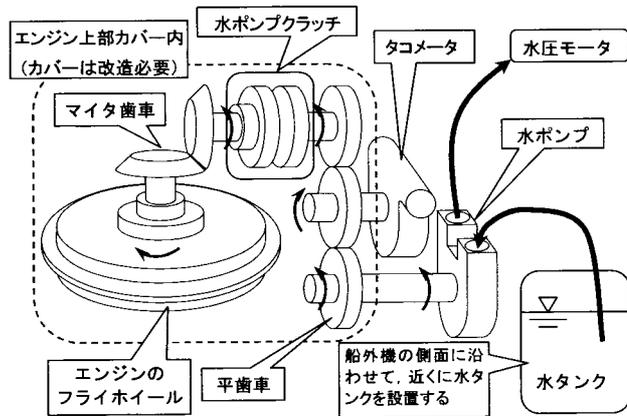


図5 動力取り出し部機構

ポンプは構造により、ピストンポンプ、歯車ポンプ、ベーンポンプ等の種類がある。このうち水用として入手可能なものは、ピストンポンプとベーンポンプである。これらのポンプは、圧力仕様が大きく異なり、ピストンポンプは最大6~35MPaであり、ベーンポンプは最大1.5MPa程度である。最大圧力の上昇に伴い、各部品の耐圧性能が要求され、価格も上昇するので、最大圧力の低いベーンポンプを選定した。選定したポンプは、回転数が1450r/minで、吐出圧力が1.4MPa(吐出流量5.6ℓ/min)の能力を持つ日本オイルポンプ製SE-2602X

である。また、クラッチは、乾式単板クラッチで、回転数が1000r/minのとき静止摩擦トルクが25Nmで、最大伝達能力が0.1kWのものを試作し用いた。試作した動力取り出し部の状況を、図6に示す。

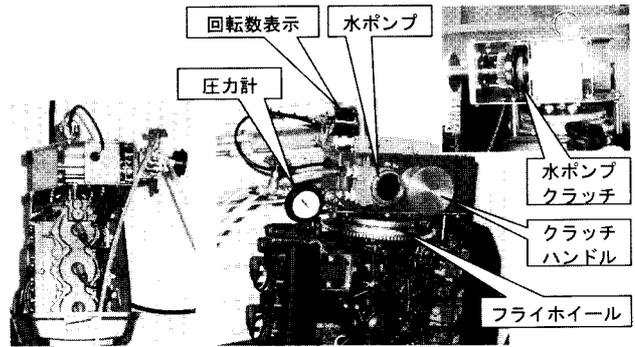


図6 動力取り出し部の状況

3.2 水圧モータ部

漁労機械に使われる多くのモータは、正逆回転が必要である。このような水圧モータは、市販されていないので、試作することとした。目標とする水圧モータは、低回転、高トルクを要求されるのでピストンモータを基に、設計検討を行った。クランク軸の等間隔三方にシリンダを配置し、シリンダを逐次動作させることでクランク軸を回転させる機構である。これは、ブラザーブット水圧機関と同種である。シリンダは内径32mm、ストローク30mmで圧力1MPaを供給したときの出力が約780Nである。動作はクランク軸の出力端逆側に取り付けられた円盤カムが、カムスイッチを動作させたとき、カムスイッチに対応するシリンダに水が供給され、シリンダが動作しクランクを回す。これを120°間隔で配置したシリンダが、逐次動作することにより、連続的な回転運動を得ている。試作した水圧モータを図7に示し、各シリンダ出力とクランク軸出力の理論的關係を、図8に示した。図8から出力軸トルクは、クランク軸角度によ

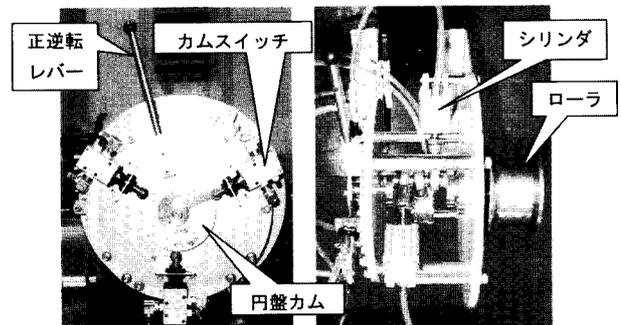


図7 水圧モータ

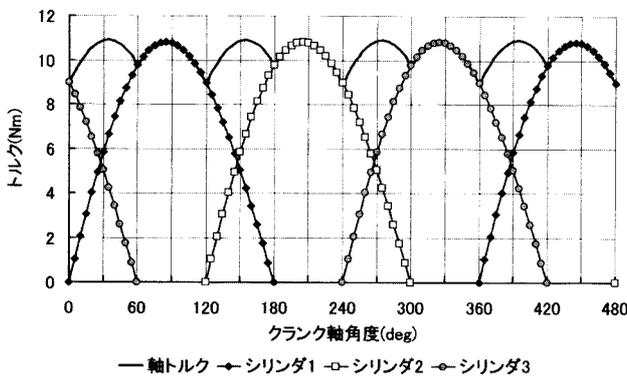


図8 水圧モータの各シリンダ出力とクランク軸出力 (理論値)

て変わるが、トルクは11~0.9Nmであり、荷重196Nを持ち上げるのに必要なトルク5.9Nm以上を得られることが分かる。1回転当たりの流量は、シリンダ容積から約72.4cm³と求められる。目標回転数が32r/minであるから、流量は約2.32 l/minとなり、選定したペーンポンプで十分である。また、流量と圧力から水圧ポンプの所要動力は、損失を無視すれば、約37Wと求められる。

4. 動作実験

試作した動力取り出し部を、ヤマハ製の型式90 AEHTO、排気量1140cc、最大出力66.2kW(90PS)の船外機に取り付け、別置きの水圧モータ部と配管で接続し、実験装置を組み立てた。水圧モータ出力軸端には、直径60mmの巻き取りドラムを固定し、その直上の直径100mmの滑車を介して、負荷となる水の入ったポリ容器を懸架した。

実験方法の概要を図9に示す。実験方法は船外機のスロットルの開度を定位置に固定し、一定回転の船外機回転数を得られるようにし、重さを測定しながら水を入れ、49N~245N(49N刻み)の重量に調整した負荷となるポリ容器をロープ先端に取り付け、水圧モータを回転させ約2m巻き上げた。荷重0Nは、水圧モータを単独で回転させることとした。測定は、エンジン1回転毎をエンジン上部に取り付けた近接センサで、水圧ポンプ吐出圧力を水圧ポンプ出口側配管に取り付けた圧力センサで、水圧モータの1回転毎を非接触回転センサで検出した。測定値は、各センサからの信号を、A/D変換ユニットを介してリアルタイムでパソコンに収録した。収録した測定値から、回転数は1回転毎の信号とそれに要した時間から求め、圧力はセンサ出力電圧から求め、計測値とした。また、

測定時間は、約2mの巻き上げ中の任意10sec間とした。

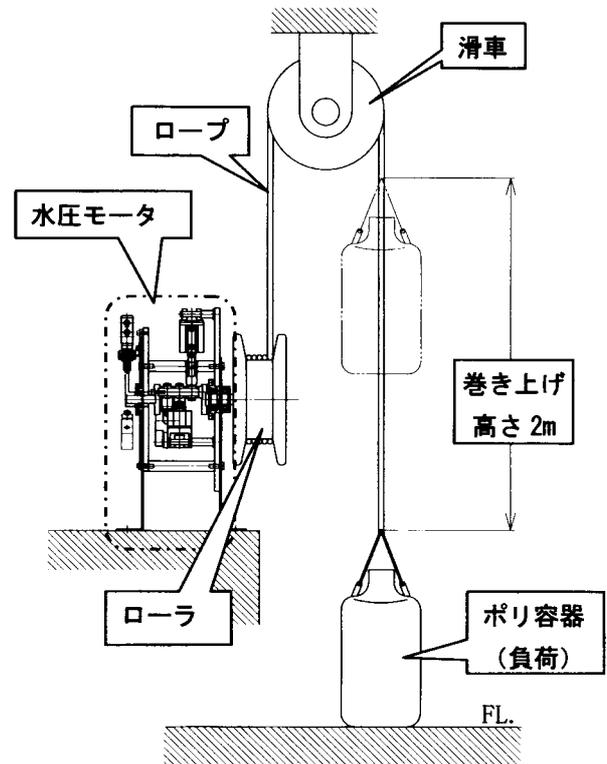


図9 実験方法概要

5. 実験結果と考察

実験結果を図10に荷重別に示した。水圧ポンプ吐出圧力は、水圧モータがピストンモータタイプであるために、各図のように変動しているが、エンジン回転数と水圧モータ回転数の変動は、平均回転数に対して3~7%であり僅かであった。この回転数の変動は、吐出圧力変動に伴う負荷変動の影響であり、ほぼ一定のエンジン回転数で実験が実施されたことを示し、実験に用いた荷重0~245Nの範囲では、大きな変動は見られなかった。また、各荷重別の平均流量は、平均モータ回転数と水圧モータのシリンダ容積から計算して求めた。

図10の各荷重の回転数と圧力の平均値を、まとめて図11に示した。同図から荷重が増えるに従い、水圧ポンプの吐出圧力は増加するが、水圧モータ回転数は変化していないことが読み取れる。本来、配管容積と水圧モータの容積は、一定であるから、流量が増加すると、水圧モータの回転数も増加する関係にあるが、水圧モータの回転数が、荷重によって大きく変化していないことから、流量の変化は僅かであったと考えられる。すなわち、荷重が増えると水圧モータを回すために必要な水圧が、増加することとなる。

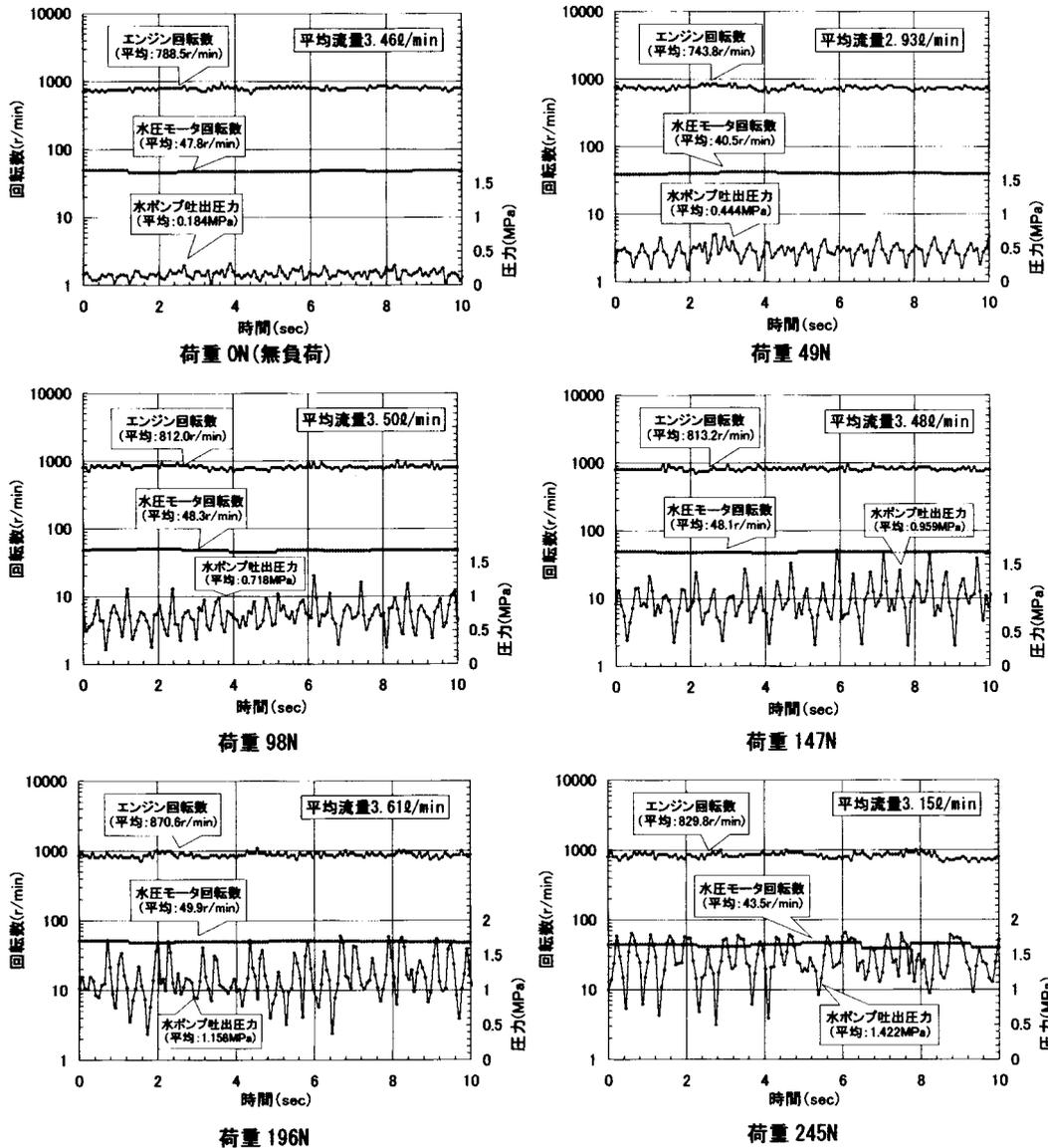


図10 荷重別実験結果

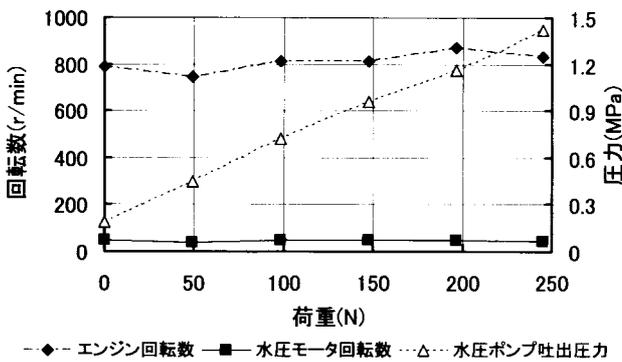


図11 荷重毎の計測結果平均

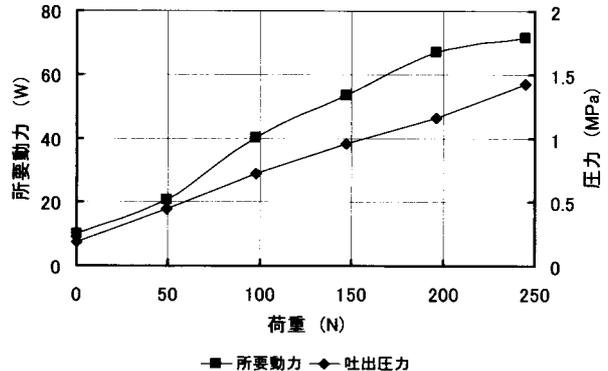


図12 荷重に対する水圧ポンプ所要動力

次に、図10の各図に示すポンプ平均吐出圧力と平均流量から水圧ポンプ所要動力を求め、荷重毎に示したのが、図12である。この図から、荷重0Nの水圧モータ空運転のとき、必要な動力は、約10Wであることが分かる。すなわち、これが水圧モータの損失部分となる。さらに、荷重が増加するに

従い、圧力も上昇し、所要動力も増加し、最大荷重245Nのときは、約72Wであった。さらに、仕様の目標値である荷重196Nのときの所要動力は、約67Wで、水圧モータの損失分10Wを除くと57Wであり、水圧モータの設計で求めた損失を無視した水圧ポンプの所要動力が37Wであることから、効率

は、65%と求められ、設計構想が妥当であったことが確かめられた。

実験から本システムは、最大荷重245Nで水圧モータ回転数から巻き上げ速度は0.14m/secであり、試作装置の仕様設定値を満足する能力を有することが確認できた。

実験では、90PSの船外機を用いたが、実験結果が示すように、最低72W以上の出力がある船外機で、本システムは利用可能である。つまり、現地調査した30～60PSの船外機で、使用できると推定できる。また、245N以上の出力増加は水圧モータのシリンダ直径を大きくすれば良く、例えば、内径を32mmから40mmに増加させれば約1.5倍のトルクを得ることができ、約370Nまで引き上げ可能となり、船外機出力も144W以上あれば理論上は良い。

6. 結 言

船外機から動力を取り出し利用するための機構について、水圧を用いた動力伝達方法を考案し、実際の漁業現場の作業能力を想定した試作装置を製作し、性能実験を実施した。その結果、負荷196Nの物体を20sec以内に2m引き上げられることが実証され、本試作装置が十分に漁業者の作業に耐える能力を持つことが分かった。また、本装置における水圧ポンプの能力を上げることで、さらに多くの動力を取り出すことが可能であることが推定され、本研究による水圧システムは、他の漁労作業にも応用できると考えられる。

今回の試作装置は従来の動力化と比較し、動力源の設置スペースが不必要で、負荷が変動しても一定の回転を保持でき、作業上、電動モータより優位である。また、動力伝達媒体が水であることから、メンテナンスはもちろんのこと、船に漁獲物を積載していても、ドラムやウィンチなど配管を切り離し、必要な場所へ移動が可能であり、海を含め環境を汚さない船外機付船の作業機械類の動力化システム構築が可能ながことが明らかとなった。

謝 辞

本研究遂行に様々な面でご尽力いただいた水産経営技術研究所所長の赤井雄次氏、本研究の趣旨を理解し船外機を提供していただいた元ヤマハ発動機(株)舟艇事業部主査の渡部巨氏、船外機の資料提供、技術検討面でご協力いただいた(株)マリナス開発常務の福原敏行氏並びにヤマハ発動機(株)技術関係者に深謝いたします。また、調査で水産改良普及員の牧本浩一氏と戸井町漁業協同組合理事の渋谷正幸氏、装置試作で(有)コムテックの広瀬克彦氏のご支援をいただいたことを記して、感謝申し上げます。

なお、本研究の一部は、平成13年度提案公募型ハイテクノロジー活性化開発事業で、実施したものである。

参考文献

- 1) 宮川新平：油空圧技術, 7巻, (1999), P29～34.
- 2) 吉灘 裕：機械の研究, 第44巻, (1992), P1233～1239.
- 3) 瀬尾明彦：産業保健人間工学研究, 第3巻, (2001), P30～31.
- 4) 例えば, 機械実用便覧改訂5版(日本機械学会), (1981), P515.