

水中作業ロボット用多関節グリップの開発*

吉田和哉*¹, 安孫子聡子*², Jeffrey M. OTA*³

Development of an Articulated Gripper for an Underwater ROV

Kazuya YOSHIDA*⁴, Satoko ABIKO and Jeffrey M. OTA*⁴ Department of Aeronautics and Space Engineering, Tohoku University,
01 Aramaki-aza-aoba, Sendai-shi, Miyagi, 980-8579 Japan

An adaptive multifinger gripper system was developed for underwater ROV. The system, named The Artifact 'K' apture Operator (TAKO) gripper, provides soft and adaptive envelope grasp with three articulated fingers. Each finger comprises five segments and performs like an octopus tentacle. The gripper has 15 segments in total, yet they are coordinately driven by one single motor and tendon mechanisms. This design allows the gripper system compact, light weight, and less expensive. The TAKO gripper is mounted on an underwater ROV named Triton that is a research oriented test platform developed at Santa Clara University. The TAKO-Triton integrated test was carried out successfully for the artifact pick-up operation from the bottom of the water.

Key Words: Envelope Grasp, Soft Gripper, Tendon Drive, Water Proofing, Magnet Coupling

1. はじめに

器用でロバストな作業を行うことができるロボットハンドもしくはグリップの開発は、水中や宇宙のような極限環境用ロボットにとって重要な課題である。ハンドリングの性能を上げるためには、一般に手指の関節自由度数を多くする必要があるが、関節個々にアクチュエータを配することは小型化の妨げとなる。また、伝達機構を使ってアクチュエータを根元に配置する工夫も可能であるが、伝達機構の設計が複雑なものとなる。

これに対して、複数の関節の運動を機構的に連動させ、関節数よりも少ない数のアクチュエータで駆動させる工夫が考えられる。特に、水中ロボットの場合、アクチュエータの耐水性、耐腐食性を確保することは大きな課題であり、アクチュエータは小型化が難しくまた高コストになりがちである。このような水中ロボットにおいて、より少ない個数のアクチュエータを使って、多関節のハンド機構を器用に操作することができれば、そのメリットは大きい。

本論文では、水中作業用ロボットにおいて、最小個数のアクチュエータとシンプルな機構を用いて、実用

的に十分な器用さを発揮できる多関節グリップの開発を行う。

これまでに実用化されている水中作業ロボットの例をみると、海洋科学技術センター (JAMSTEC) の遠隔無人探査機 (Remotely Operated Vehicle: ROV) である「かいこう」「ドルフィン3K」「ハイパードルフィン」などが挙げられる⁽¹⁾。これらはいずれも空中重量が数トン級の大型機であり、産業用に使われているような5~7自由度の本格的なマニピュレータが装備されている。その他商用ベースでも、ROVはサルベージや、海中構造物の建設やメンテナンスの支援に使われているが、マニピュレータやグリップが搭載されているものは、いずれもトン級のものである。

空中重量が100 [kg]程度の小型ROVを考えると、本格的なマニピュレータを取り付けることは困難であり、もっと別な形態の小型、高性能なマニピュレーションシステムの開発が求められる。本研究では、小型ROVの前方下部に直接取り付けることのできるグリップシステムを考える。

水中ロボット用小型高性能グリップの例としては、英国 Heriot-Watt University にて開発された AMADEUS グリップが挙げられる⁽²⁾⁽³⁾。これは、3本の金属ベローズを平行に並べて1本の指を構成し、それぞれのベローズ内に送り込む油圧を制御して、指全体を屈曲させるものである。指にひずみゲージを取り付け、把持力を制御するなどの高度なシステムを構

* 原稿受付 2002年1月23日。

¹ 正員, 東北大学大学院工学研究科(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01)。² 東北大学大学院工学研究科。³ サンタクララ大学工学部(米国カリフォルニア州)。

E-mail: yoshida@astro.mech.tohoku.ac.jp

築しているが、ROV上に油圧系を装備する必要があり、小型ROVよりはむしろ本格的なマニピュレータシステムのエンドエフェクタとしてふさわしいものであると言えよう。

本研究では、油圧系を使用せず、DCモータをアクチュエータとして使用することを考える。

ところで、ロボットハンドの研究を概括すると、器用さを追及する指先把持と、把握の頑丈さを追及する包み込み把握に分類することができる⁽⁴⁾。ロボットハンド開発の草分けとして、1980年代前半にUTAH-MITハンド⁽⁵⁾などが相次いで開発され、指先把持を中心に研究が展開された。これに対して、指先のみでなく指の腹や手のひらなどの多数の点で対象物に接触し、包み込むように把持する方法は、包み込み把握(Envelope Grasp)、あるいはPower Graspと呼ばれる。この把持形態では、把握力を指全体に分散させることができるので、関節個々の発生力を小さく抑えることができ、またロバストに対象物を保持できるといった利点がある⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

ハンドの機構に関しては、UTAH-MITハンドでは1つの関節あたりに2つのアクチュエータを用い、全てのアクチュエータを根元に配しているため、腕や指の中に非常に多くの駆動伝達用のワイヤが張り巡らされた複雑なものとなっている。これに対して、機構的な複雑さを避け、ロバストな包み込み把握に専念するグリップとして、広瀬によってSoft Gripper⁽⁸⁾⁽⁹⁾が開発されている。Soft Gripperでは、指の本数や関節数にかかわらず、指を開く動作、閉じる動作にそれぞれ1個ずつ、計2個のみのアクチュエータを用い、各関節はワイヤ・プーリ機構を用いて連動させている。その際、プーリ径の配置を工夫することによって、等圧把握を実現する機構設計を行い、さまざまな形状の対象物を安定的に把握することに成功している。

少ない個数のアクチュエータでロバストな包み込み把握ができるという点で、Soft Gripperの考え方は、水中作業用の小型ROVに搭載するグリップシステムに非常に適したものである。よって、本研究では、Soft Gripperの設計原理を適用し、いくつかの改良を加えたTAKOグリップを開発した。

本研究は、東北大と米国Santa Clara大学との共同研究として行われた。東北大にてTAKOグリップを開発し、Santa Clara大学が開発したTritonという名のROVに取り付けた上で、作業実証試験をおこなった結果について報告する。

2. TAKO グリップ

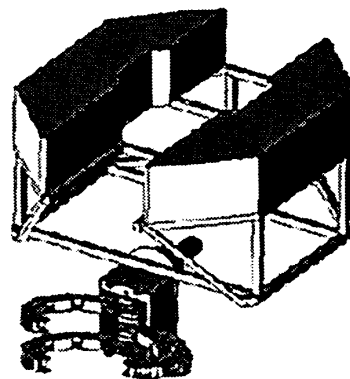


Fig. 1 The TAKO Gripper, a tentacle like gripper mounted on Triton, an underwater ROV

本研究で開発するグリップをTAKOグリップと名づける。これはThe Artifact Capture Operatorの頭文字のうちCをKに置き換えたものであり、グリップの動きが蛸の触手に似ていることに由来する。

TAKOグリップは、Tritonと名づけられた水中作業用小型ROVにFig.1のような形態で取り付けられる。

本研究では以下の点に留意してグリップを設計・製作した。

1. 対象物の形状や大きさに対する適応性が高い包み込み把握ができること。
2. 位置決め誤差があっても対象物を把握できること。
3. 把握力が十分に大きく、外乱に対してロバストであること。
4. 最小個数のアクチュエータで駆動できること
5. 操作が容易であること。

2.1 把握機構の原理 TAKOグリップの把握機構には、機構的に等圧包み込み把握を可能とするSoft Gripperの設計原理を用いる。以下にその概要を示す。

Fig.2にSoft Gripperの基本構成を示す。各関節に2組のプーリを取り付け、図のようにワイヤを巻きつける。指を構成するリンク、プーリ、関節軸の3者はいずれも自由に回転するものとする。いま、Grasp Wireと名づけられた把握用ワイヤを引っ張ると、各関節は反時計回りに回転する。指リンクに把持対象物が触れると、それより根元の関節の回転は拘束されるが、指先は反時計周りの回転を続け、対象物を包み込むように把握することができる。一方、Release Wireと名づけられた開放用のワイヤを引っ張ると、各関節は時計回りに回転し、把握の状態が解除される。

次に、把握力について考察する。Fig.3において、左端が指の付け根で右端が指先とする。Grasp Wire

を引くことにより、各関節は時計回りに回転し、図の下方に向かって押し付け力を生じる状況を考える。いま、指を連続的な一本の片持ち梁と考え、指から対象物に加わる押し付け力、すなわち把握力を $f(s)$ とする。ここで s は、指の長さ方向に測った距離である。このとき、把握力 $f(s)$ と指の各部分の曲げモーメント $M(s)$ との間には次のような関係式が成り立つ。

$$\frac{d^2 M(s)}{ds^2} = f(s) \quad (1)$$

いま、指の有効長を L とし、把握力を $f(s) = f_g$ のように一定の値で分布させることを考えると、その際の曲げモーメントは

$$M(s) = \frac{f_g}{2}(L-s)^2 \quad (2)$$

のように s についての2次関数的な分布となる。この分布の様子を Fig.3 のグラフに点線で模式的に示す。グラフの縦軸は曲げモーメントの大きさである。

実際には、指は Grasp と Release の2つのワイヤの拮抗力によって操作される。Release 側では握力を等圧分布させる必要は無く、曲げモーメントを一定とするように、

$$M_r(s) = -M_r \quad (3)$$

と設計する。ここで、 $M_r(s)$ は Release の向きに作用する曲げモーメントであり、その分布の様子は、Fig.3 のグラフに Release Side として模式的に示される。これに拮抗するために、Grasp 側の曲げモーメントの分布は、

$$M(s) = \frac{f_g}{2}(L-s)^2 + M_r \quad (4)$$

でなければならない。この分布の様子を、Fig.3 のグラフに Grasp Side として模式的に示す。

ここで、連続体として考えていた指を、有限個の剛体リンクに置き換えると、関節の位置は s_i 、ただし $i = 1, 2, \dots, n$ で表され、 $M(s_i)$ は関節 i に加えるべきトルクである。ワイヤの張力を T とすると、この関節トルクは張力とプーリ半径 $R(s_i)$ の積で表される。

$$M(s_i) = T \cdot R(s_i) \quad (5)$$

なお、実際にはワイヤとプーリの間に摩擦損失を生じ、指先にいくにしたがって T の値が小さくなることが考えられるが、ここではその影響については無視し、 T は全区間に渡って一定であるとみなす。

(5) 式を (4) 式に代入すると、一定力 f_g で等圧把握をおこなうためには、Grasp 側のプーリ半径を、次式に示す関係に従って変えてゆけばよいことがわかる。

$$R(s_i) = \frac{f_g}{2T}(L-s_i)^2 + \frac{M_r}{T} \quad (6)$$

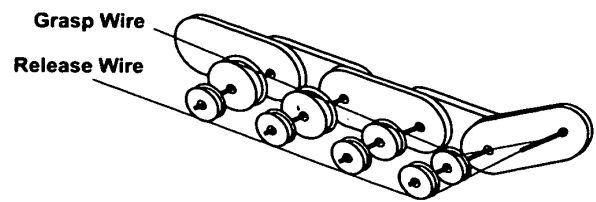


Fig. 2 A basic wire-pulley mechanism

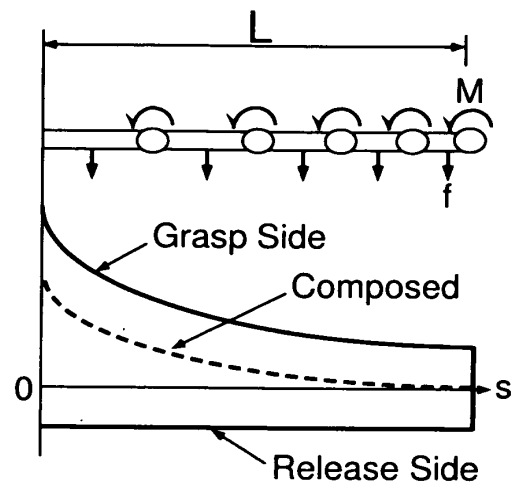


Fig. 3 Bending moment distribution obtained by the quadratic pulley radii on the grasp side and the constant pulley radii on the release side.

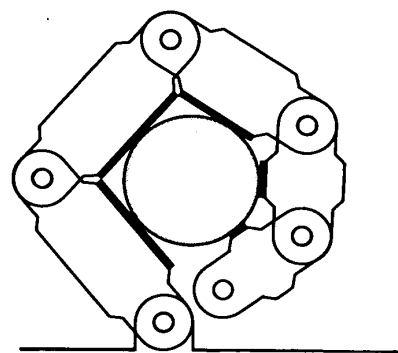


Fig. 4 Finger kinematics when holding an object with circular cross-section at the diameter of 0.07 [m]

Table 1 Design specification of TAKO fingers

	link length L_i [$\times 10^{-3}$ m]	pulley position s_i [$\times 10^{-3}$ m]	pulley diameter D_i [$\times 10^{-3}$ m]
1	100	0	35.7
2	100	100	23.0
3	85	200	15.5
4	60	285	10.8
5	50	345	10.0

このとき、Release 側のプーリ径 $R_r(s_i)$ は一定でよく、Release 張力を T_r とすると、

$$R_r(s_i) = \frac{M_r}{T_r} \quad (7)$$

の関係が成り立つ。

なお、以上の定式化は、指が屈曲する形態をとっていても近似的に成立する。

2.2 指の設計 今回開発した TAKO グリップは、多関節連結駆動方式によって包み込み把握をおこなうグリップの、水中作業用ハンドとしての可能性を確認する試作モデルと位置づける。ハンドの大きさや指の長さなどは、本来、ミッションの目的に応じて設計されるべきであるが、今回はミッションを特定せず、しかしながら断面の外周が 0.3~0.8 [m] 程度の物体把持を想定して、指の全長を約 0.4 [m] (ワイヤの固定点まで 0.395 [m]) とした。指は 0.04 [m] (幅) \times 0.05 [m] (高さ) の矩形断面とする。対象物の断面が円である場合、本グリップが囲むことのできる最小半径は 0.035 [m] であり、このとき各関節の屈曲角が 90 度を越えないこと、および指先にいくほどリンク長を短くする構成とすることを考えて関節数を 5 と定めた (Fig.4 参照)。指の断面内におさまる大きさとして、関節プーリ直径 D_i を第 1 関節 ($s_1 = 0$) において 0.0357 [m]、第 5 関節 ($s_5 = 0.345$) において 0.01 [m] と設定した。以上の値を (6) 式に代入すると、

$$\frac{f_g}{2T} = 0.108 \quad (8)$$

$$\frac{M_r}{T} = 0.005 \quad (9)$$

を得る。ただし、この場合 L は第 1 関節から第 5 関節までのプーリ間距離となり、 $L = 0.345$ である。これらの条件を用いてプーリ径を算出した。得られた設計値を Table 1 に示す。また、Release 側のプーリ直径は全て 0.01 [m] とした。

また、指の数は、把持対象物に偶力を与えないようにすることを考え計 3 本とし、1 本と 2 本が対抗する配置とした。今回の試作では、次に述べるように 3 本の指を完全に同期させているが、3 本の指を独立に操作することができれば、対象物の持ち替え (握り直し) を行うことが可能となる。

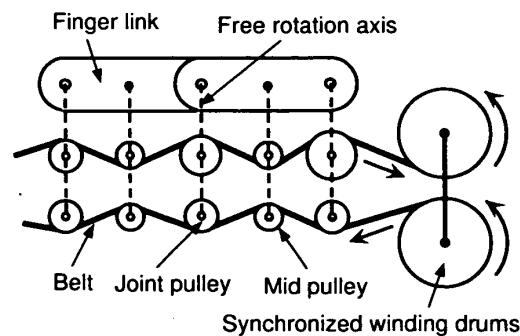


Fig. 5 Schematic illustration of belt drive system

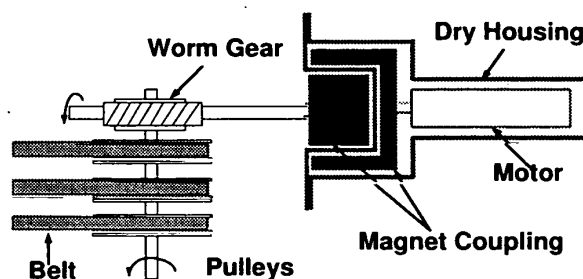


Fig. 6 Cross section diagram of the actuator and transmission mechanism

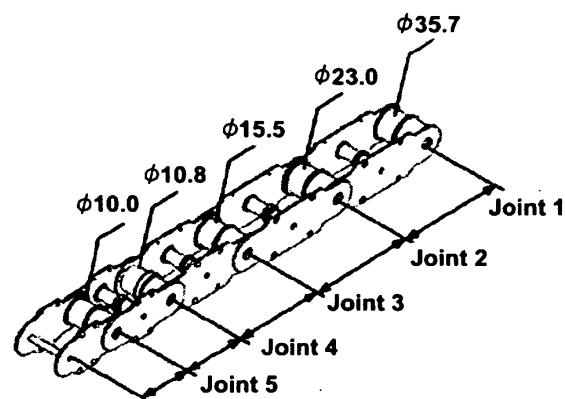


Fig. 7 Single finger design

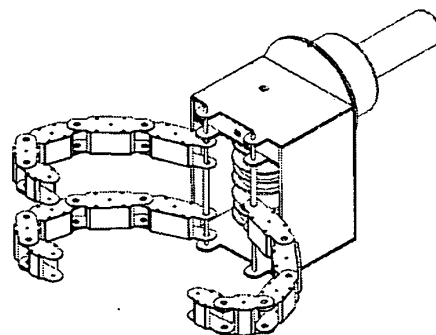


Fig. 8 The TAKO gripper

2.3 駆動系の設計 水中で機能するシステムの設計において、防水対策は非常に重要な課題である。特に、ここで考えているグリップは、3本指計15個の関節をもっており、このすべてに防水シールを設けることは容易なことではない。ここでは、15個のすべての関節をひとつのアクチュエータで協調的に駆動し、防水対策はこの1個のアクチュエータのみに対して行うこととした。関節を含む指部分は、すべてオープンフレームとし、プーリも含めて直接水に浸る構成とした。

水中での動作の確実性と、堅牢性、耐腐食性などを考慮し、関節の駆動にはワイヤではなくプラスチックベルトを用いた。ベルトを用いると、Fig.2のようにプーリのまわりに1回転巻きつけることはできなくなるが、Fig.5に模式図を示すように中間プーリ(mid pulley)を介してベルトを配置することによって、ワイヤを巻きつける場合と同様の効果を得ることができる。

Fig.5では、左が指先側で、上段がGrasp側、下段がRelease側である。右端にベルト巻き取り用ドラムを置き、各指あたりGraspとReleaseの2個、計6個のドラムを1個のモータで同時に回転させる。GraspとReleaseでベルトを巻き取る向きを反対にしておき、Grasp側を巻き取る際にはRelease側ではベルトが繰り出される。

(7)(9)式にRelease側のプーリ半径 $R_r = 0.005$ を用いると、Fig.3に点線で示されるような理想的な把握モーメントを実現するためには、 $T = T_r$ でなければならず、張力の釣り合いを保ちながらベルトを繰り出す必要がある。しかしながら、張力制御無しですべての T に対して $T = T_r$ を実現することは困難であり、実用的に多用する T の値に拮抗する T_r を、バネにより初期張力として与えてやる方法が現実的である。ここでは、具体的な張力計測は行わず、指の動作試験の過程で、滑らかな開閉ができるように初期張力の調整を行った¹。

Fig.6に、アクチュエータ周辺の模式図を示す。一般に水中では、専用の油浸アクチュエータが用いられるが、ここでは低コスト性を考え、大気中で普通に使われているDCモータを水に濡らさないように耐圧容器の中に格納して使用した。容器は完全に密封され、軸の回転運動は、磁気カップリングを介して非接触的に外部に伝達される。モータの出力は約15[W]である。磁気カップリングの磁石間クリアランスは約

3×10^{-3} [m]であり、この間にアルミ製容器の隔壁がはさまれているが、最大伝達トルクは約0.3 [Nm]である。後述するように本グリップを搭載するROVは最大潜航水深300 [m]を想定したものであるが、本グリップは機能試験機との位置付けから、水深10 [m]での耐圧を想定して細部の設計を行った。

磁気カップリングの出力軸は、ギア比50:1のウォームギアを介して、上述のベルト巻き上げドラムを回転する。ドラムの有効半径は0.04 [m]であり、ベルトの最大張力は375 [N]となる。この値を(8)式の T に代入すると、把握力の最大値は約80 [N]となる。

ウォームギアにはバックドライバビリティがないので、モータをOFFにしても把握状態を維持することができる。

2.4 グリップの全体構成 以上の考察のもとに、TAKOグリップを設計した。Fig.7に指の構成を、Fig.8にグリップの全体構成を示す。耐腐食性を考慮し、構成部品には可能な限り樹脂系の素材を使用した。金属部品としては、回転軸およびねじ類をステンレス製とし、モータハウジング(耐圧容器)にはアルミ系の耐食合金を用いた。また、指の内側には、把握される対象物とのなじみをよくするために、厚さ約 5×10^{-3} [m]の発泡ウレタンを貼り付けた。

グリップ全体の空中重量は約3 [kg]であり、水中では浮力が働き、みかけの重量はほぼ0となる。

2.5 グリップの操作 TAKOグリップは、特に複雑な制御を必要としないことが特徴である。操作のために、モータの正転、逆転、停止の3モード切替スイッチを使用した。各モードは、それぞれ、把握(Grasp)、開放(Release)、保持(Hold)に対応する。また、把持の状態はTritonに搭載されたカメラを使って目視によって行い、その他のセンサは装備していない。

3. Triton ROV

Tritonは、米国Santa Clara大学にて開発された水中用遠隔無人探査の技術実証機であり、水深300 [m]までの潜行を想定している⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

その大きさは、高さ0.55 [m]、幅0.8 [m]、長さ1.1 [m]、空中重量約110 [kg]である。機体は、四角形断面の耐食アルミニウムのフレームからなる、オープンフレーム構造とし、搭載機器は個々にシールをした上で、同フレーム内に取り付けられる。オープンフレームにすることにより、機体全体を耐圧構造とする必要がなくなるので、この形態は無人ROVにおいてしばしば採用されている。

Tritonの搭載機器は、4機のスラスタ、カメラ、照明用ライト、電源および制御ボックス、そしてTAKO

¹初期張力が小さいと指先が先に回転を始める。初期張力が大きいと根元から先に回転を始める傾向にある。

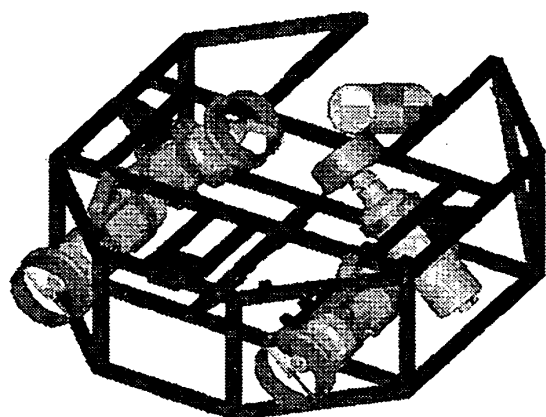


Fig. 9 Triton's frame with 4 thrusters and a camera: a rear view

Table 2 Triton's overall specification

Overall Size	0.8 [m] × 1.1 [m] × 0.55 [m]
Weight	Approx. 110 [kg]
Weight in Water	Approx. +10 [kg]
Horizontal Thrust	(2) 0.5 hp 240V DC motors
Vertical Thrust	(2) 0.25 hp 240V DC motors
Lights	(2) 250W 12V AC
Camera	(1) Color 12:1 zoom

グリッパである。その他、必要に応じて観測機器等の搭載が可能である。機体の上面には浮きを取り付け、水中重量は約 10 [kg] である。

Triton の諸元を Table 2 に示す。

Fig.9 に機体フレームを後方から見た図を示す。図に示されるように、2機のスラスタは水平に取り付けられ、前後進およびヨー方向の制御に用いられる。他の2機は、水平面に対して 45 [deg] の傾きをもち、互いに直交するように配置されている。このような配置は Vertran 配置と呼ばれ、2つのスラスタの推力を調整することにより、機体の上下（浮上・潜行）、左右方向の並進運動およびロール軸まわりの回転運動の計 3 自由度の制御が可能である。

機体の前方には、12倍ズームレンズをもつカラー CCD カメラと、照明用ランプが取り付けられている。Triton は全長 400 [mm] のテザーを用いて水面上の母船とつながれ、TAKO グリッパの開閉指令を含めて、機体の操縦は、母船上のオペレータがカメラモニタを見ながら遠隔操作する。

4. 動作試験

4.1 グリッパ単体試験 Triton への搭載に先立ち、開発した TAKO グリッパの把持能力について確認す

る実験を行った。

Fig.10 は、断面形状が 0.1 × 0.1 [m] (外周 0.4 [m]) のプラスチック容器を把握するシーケンスを示している。左下のカットに示されているように、対象物を、ひとたび指がつくる closure 内に閉じこむことができれば、右下カットのように確実な包み込み把握状態へ至ることができる。最終把握状態においては、等圧把握に近い状態が実現されているので、すべての指の内側が対象物に触れ、ほぼ均等に押し当てられている様子がわかる。

Fig.11 はさまざまな形状の対象物を把握した例を示している。左上は断面が 0.13 × 0.17 [m] (外周 0.6 [m]) の紙箱である。このような矩形断面の対象物に対しても、しっくりとした把握ができる点が等圧把握の特徴であり、特にこの例の場合、先端の短いリンクが効果的にはたらいっている様子がわかる。右上は、直径 0.08 [m] (外周 0.25 [m]) のプラスチック円筒を把握する場合である。Fig. 4 でも考察したように、このサイズは本グリッパが把握できる最小限界に近い大きさである。左下は直径 0.15 [m] (外周 0.47 [m]) の円筒、右下は直径 0.25 [m] (外周 0.79 [m]) の円筒である。対象物の直径が 0.25 [m] を越えると、幾何学的な closure を構成することはできなくなるが、対象物への作用力ベクトルの force closure が閉じている限り、対象物の把握、保持は可能であると考えられる。

4.2 TAKO-Triton 統合試験 TAKO グリッパを Triton に取り付けの様子を Fig.12 に示す。Triton 前方下部の水平フレームに、簡単な治具を介して取り付けられた。なお、同図では、カメラ（写真中央部の円筒形の物）が正面を向いているが、実際のオペレーションの際には、次の図に示されるように、指を見下ろすようにカメラを下に向けた。

Fig.13 に、水深 3 [m] のプールにて試験を行っている写真を示す。試験では、プールの底に立てられた直径約 0.1 [m] のプラスチックボトルを拾い上げる動作を確認した。指を開いた状態（写真上）で Triton を操作し、把握対象物が指の直前にくるように位置制御する。ついで、指を閉じ、対象物を水底から拾い上げることができた。TAKO, Triton ともに操縦は容易であり、この操作を行うにあたって特別な訓練は必要とせず、立っているボトルの拾い上げ実験は、毎回成功した。

TAKO グリッパは指を水平方向に曲げて対象物を包み込む構成としているので、水底から棒状に突き出ている対象物の把握を得意とする。一方、ボトル状のものが横倒しになっている場合の把握は苦手である。

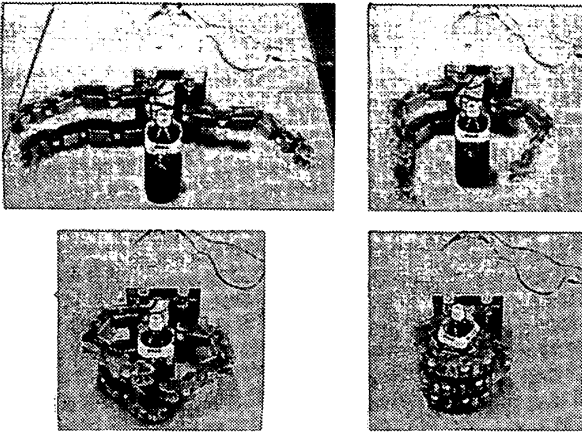


Fig. 10 Holding sequence of a PET bottle

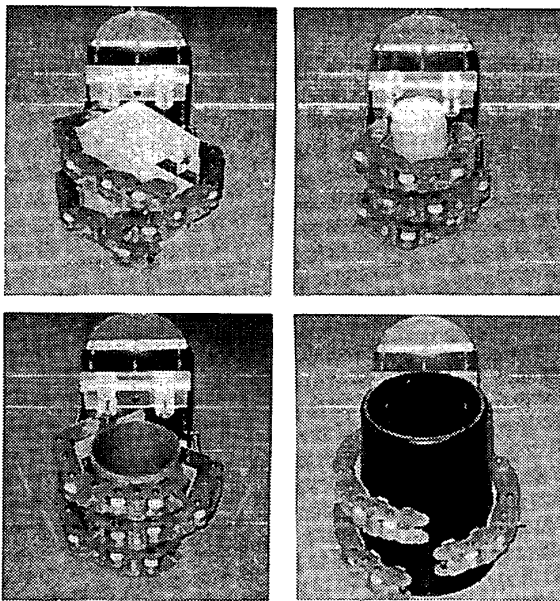


Fig. 11 Grasp of various objects

このような場合には、Tritonの機体全体をロール軸周りに傾けることによりある程度は対応可能であるが、グリップ自体を回転させることができる自由度を追加することが望まれる。

今回開発したTAKO-Tritonの構成では、3本の指の下面から上面までの幅が0.2[m]であるので、砂地のような水平な海底面に直立する高さ0.2[m]以上の柱状の物体を拾い上げる作業が、もっとも適していると考えられる。

5. まとめおよび今後の課題

本論文では、水中作業ロボット(ROV)用に開発した多関節グリップについて述べた。実用的なマニピュレーションシステムを搭載した小型水中作業用ロボット(ROV)はこれまでほとんど例がないが、空中重量

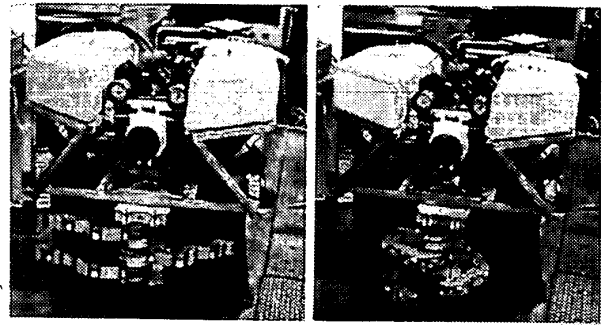


Fig. 12 Integration of TAKO gripper on Triton ROV

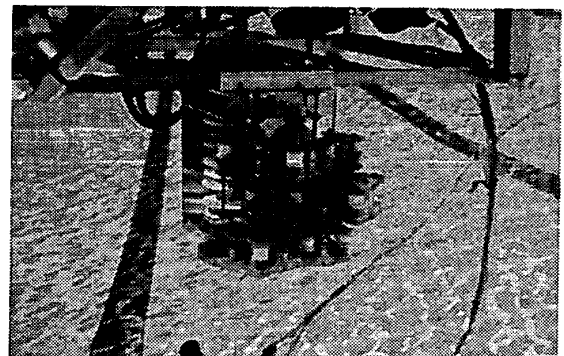
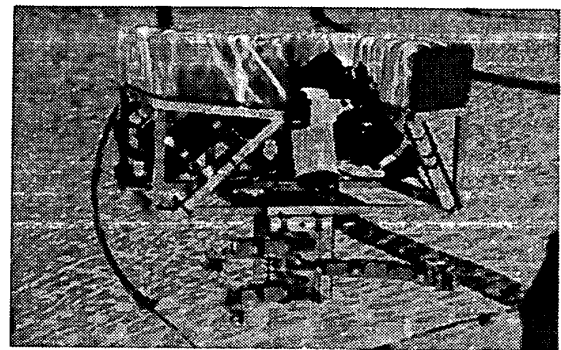


Fig. 13 Pooltest: a pick-up and retrieve demonstration

わずか3[kg]の小型高性能なグリップを設計・製作した。グリップは、水平対抗型の3本指とし、計15の関節をもつ。ベルト・プーリ機構を用いて各関節を干渉させて駆動することにより、15の関節をわずかに1個のアクチュエータで駆動する設計とした。その結果、耐水・耐圧の処置をすべき部分を1個所に集約することができ、このことは、設計上大きなメリットであるということができる。

1個のアクチュエータで多数の関節を協調駆動して対象物を包み込み把握するために、Soft Gripperの設計原理を適用した。アクチュエータには、大気中で使用される通常のDCモータを耐圧容器に密封し、磁気カップリングを用いて動力を伝達する方式を工夫した。把握の制御はきわめて簡単であり、把握(モータ

正転), 保持(停止), 開放(逆転)の3つのモードの操作を行うのみで, さまざまな大きさ(外周0.25~0.8[m])や断面形状(円形, 矩形)の対象物を把持可能であることが確認された。

開発されたグリップは, 空中重量100[kg]級の小型ROVに搭載され, 簡単な操作で, 水底に置かれた対象物を拾い上げる作業が可能なが確認された。

なお, 今後の課題として以下の点が挙げられる。

1. 今回はモータ個数を1個にすることを優先的に考え, グリップとしての最小限の機能を実現する設計としたが, 各指を独立に開閉できれば, 対象物の握りなおしなどの簡単なハンドリングが可能となる。また, グリップの向きを変えるための自由度を追加すれば, さらに操作性が向上するものと考えられる。
2. Soft Gripperの原理に基づく干涉駆動は, 対象物に触れた後については非常に効果的であるが, 指が対象物に触れるまでの動作において, 各指の屈曲角や折り曲げ順序を制御することはできない。そのため, 対象物を包み込む動作が円滑にはいかないケースが観察された。これを改善するため, 対象物に触れるまでは指の開閉角度を指定し, かつ触れた後には等圧把握へと機構的に切り替えることができる方式を考案し, 新しいグリップを現在, 試作・評価中である。評価データが揃い次第, 別稿に報告する予定である。

文 献

- (1) <http://www.jamstec.go.jp/rov/index.html>
- (2) D.M. Lane, J.B.C. Davies, G. Casalino, G. Veruggio, M. Canals, C. Smith et al; "AMADEUS: Advanced Manipulation for Deep Underwater Sampling," IEEE Robotics and Automation Magazine, December 1997, pp.34-45.
- (3) D.M. Lane, J.B.C. Davies, G. Robinson, D.J. O'Brien, J. Sneddon, E. Seaton, and A. Elfstorm; "The AMADEUS Dexterous Subsea Hand: Design, Modeling, and Sensor Processing," IEEE J. of Oceanic Eng., Vol.24, No.1, pp.96-111, 1999.
- (4) 金子: "包み込み把握", 日本ロボット学会誌, vol.18, no.6, pp.782-785, 2000.
- (5) S. Jacobson et al.; "The MIT/UTAH Dexterous Hand: Work in Progress," Int. J. of Robotics Research, pp.21-50, 1984.
- (6) J. K. Salisbury: "Whole-Arm Manipulation," Proc. of the 4th Int. Symp. of Robotics Research, 1987.
- (7) J. C. Trinkle, J. M. Abel, R. P. Paul: "Enveloping, Frictionless Planar Grasping," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1987.
- (8) S.Hirose, Y.Umetani; "The Development of Soft Gripper for the Versatile Robot Hand," Mechanism and Machine Theory, Pergamon Press, 13, pp.351-359, 1978.
- (9) 広瀬茂男: 生物機械工学, 工業調査会, pp.192-199, 1987.
- (10) A.Weast, C.A.Kitts, J.Ota, C.Bulich, A.Laurence, C.Lwin, and T.Wigle; "Integrating Digital Stereo Cameras with Mars Pathfinder Technology for 3D Regional Mapping Underwater," IEEE Aerospace Conference, March 6-13, 1999, Snowmass, Colorado.
- (11) C.Bulich, D.Davis, C.Kitts, J.Ota; "Exeter II: Developing and Preparing for Santa Clara University's Second Underwater Research Vessel," OCEANS '99, Marine Technology Society/IEEE, September 13-16, 1999.