

## 海洋探査ロボット用多関節グripperの開発

### Development of a Multi-Finger Gripper System for Underwater Exploration Robots

吉田 和哉, 安孫子 聡子

Kazuya Yoshida, Satoko Abiko

東北大学

Tohoku University

キーワード: 小型無人探査機 (Remotely Operated Vehicle: ROV), 多指グripper (Multi-Finger Gripper),  
ソフトグripper (Soft Gripper), 全体把持 (Whole Grasp), 等圧把持 (Grasping with Uniform Forces)

連絡先: 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01 東北大学工学部 機械航空工学科  
安孫子 聡子, Tel.: (022)217-6993, Fax.: (022)217-6992, E-mail: abiko@astro.mech.tohoku.ac.jp

#### 1. はじめに

1998年11月, USSS (University Space Systems Symposium) という日米の学生を主体とするシンポジウムが行われた。そこでは, 人工衛星の開発と打ち上げに代表される先端技術分野において, 日米の学生が共同で研究プロジェクトを行うことを最終目的にしている。本研究室では, カリフォルニア州の Santa Clara 大学と共同で, TAKO-Triton プロジェクトを行うことになった。Triton とは Santa Clara 大学において開発が進められている海洋探査ロボットであり, これに搭載するマニピュレーションシステムを本研究室で開発することとなった。同シンポジウムでのブレーンストーミングの結果, TAKO と名付ける多指多関節グripperを基本設計とすることが合意され, 1999年11月までの1年間で完成させることを約束した。

本稿では開発したグripperを紹介する。

#### 2. 海洋探査用ロボットアームの開発例

現在, 使用されている潜水調査船の例として, 海洋科学技術センター (JAMSTEC)[1] の有人調査船「しんかい2000」, 「しんかい6500」, また, 小型無人探査機として「かいこう」や「ドルフィン3K」などが挙げられる。これらの探査機は小型のものでも空中重量が4トン程もある大規模なものであり, いずれにも6もしくは7自由度のマニピュレータが搭載され, 海洋探査に大きく貢献している。

しかし, 空中重量が100kg程度の小型探査ロボットを考えた場合, 従来型の多関節マニピュレータを搭載することは困難となってくる。なぜならば, 海中での耐水圧性や潤滑などを考えると, 関節やアクチュエータを小型化することは難しく, 開発コストも高いものになってしまうからである。

### 3. TAKO

#### -The Artifact 'K'apture Operator

ここでは、100kg級の探査ロボットに搭載可能な10kg級のマニピュレーションシステムを考える。防水および耐水圧性に注意しなければならないアクチュエータの数を最小限とし、なおかつ様々な形状の対象物の把持が可能であることを目標とする。

以上の条件を満たすシステムとして、多関節形状のアームをベルトとプーリを用いて駆動するグリッパーを開発した。そのグリッパーは、たこの触手のような形状、動きから TAKO-The Artifact 'K'apture Operator と名づけた。以下、TAKO グリッパーと呼ぶ。

TAKO グリッパーは任意形状の物体を全体を包み込むように均一な力で把持するメカニズムを持ち、2本対1本の対向3本指型の形状をしている。全部で15の関節をもつが、これを1つのモーターで駆動する。

TAKO グリッパーの原型は東工大の広瀬教授が開発した 'Soft Gripper'[2] である。そこで、まず Soft Gripper の紹介をする。

#### 4. The Soft Gripper [2]

Soft Gripper は、その名のとおり「柔らかな把持」を可能にするグリッパーである。柔らかな把持には「任意の形状の物体になるべく接触面積が大きくなるようになじみ」「物体をその把持物全体で均一な力によって把持する」ことが必要である (Fig.1)。その機能を簡潔な機構で実現するため、ワイヤ・プーリで駆動される多リンク機構が用いられている (Fig.2)。

この機構は、各関節部に2組のプーリが回転自在に装備されている。一方が把握力発生用であり、もう一方が解除用である。この把握用プーリには、アームの先端節に固定した1本の把握力発生用のワイヤが、順に巻き付きながら根元まで引かれている。このワイヤを牽引することで把握動作を生

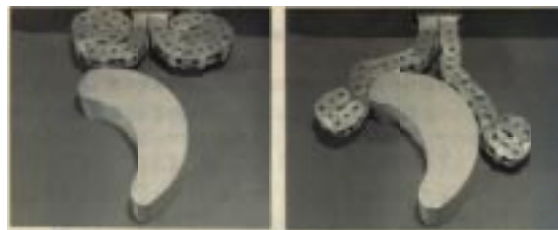


Fig. 1 Soft Gripper

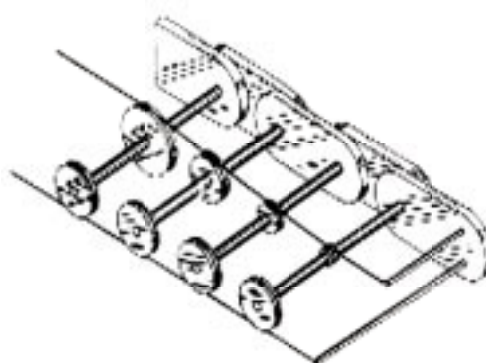


Fig. 2 Wire-pulley system design

じる。解除用ワイヤは把握用ワイヤと逆向きに巻き付けられている。このワイヤを牽引し、把握用ワイヤを緩めると把握を解除する動作を行うようになっている。また同様の方法を、より強力な張力を発生できるベルトを用いて作成した例が Fig.3 である。

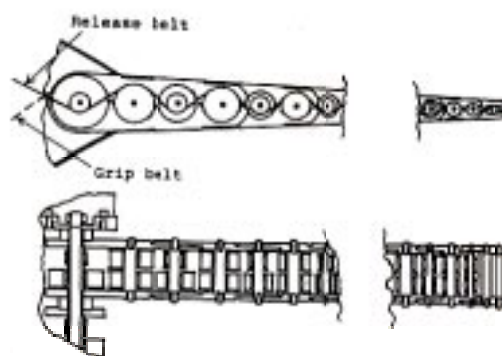


Fig. 3 Belt-pulley system design

いずれの場合も、プーリ径を工夫することによって把持物全体を均一な力によって把握するこ

とが可能となる．以下にその原理を示す．

いま，Fig.4に示すように1本のアームを片持ち梁と考える．

片持ち梁にかかるモーメント  $M$  と力  $f$  との関係式は以下のようなになる．

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

ここで， $f(s)$  は把持物体に及ぼす力であり，アーム全体で等圧把握を行うことを考えると，アームに沿って一定値で分布しなければならない． $f(s)=f_0$  (一定) とすると，モーメント  $M$  は

$$M(s) = \frac{l^2 f_0}{2} \left(1 - \frac{s}{l}\right)^2 \quad (2)$$

のように，片持ち梁の長さ方向  $s$  の2次関数として表される．

ここで，モーメント  $M$  は各関節に働くトルクに相当する．その大きさは，関節部におけるワイヤ張力  $T$ ，プーリ半径  $r$  とすると，

$$M = Tr \quad (3)$$

と書くことができる．プーリの回転抵抗を無視できるとすれば，ワイヤ張力  $T$  はグリッパー全長にわたって一様である．そこで，各関節におけるプーリ半径を

$$r(s) = \left(1 - \frac{s}{l}\right)^2 \quad (4)$$

のようにアームの根元から先端に向かって2次関数的に減少するように設計すれば，発生トルクは2次関数的分布となり，グリッパーに生じる把握力は一様となる．

## 5. TAKO Gripper の設計

以上の原理をもとづいて，Fig.5に示すようにTAKOグリッパーを設計した．

すべての関節で完全に一様な把持力を出すためには，先端プーリ径をゼロにしなければならな

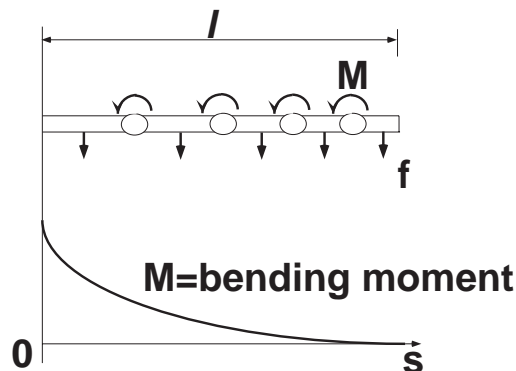


Fig. 4 Relationship between the grasping force  $f$  and the bending moment  $M$

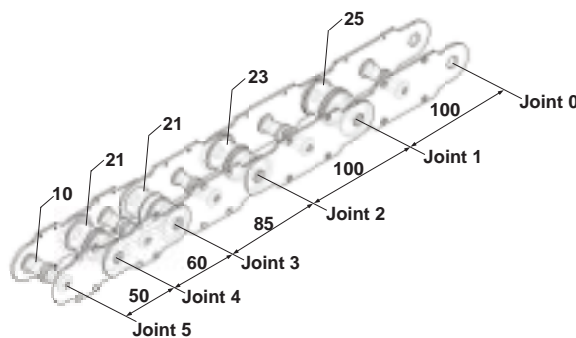


Fig. 5 Design of a finger

い。しかし、現実的にこれは不可能であり、有限径のプーリを用いると先端に集中荷重がかかる状態と同等の状態となり、先端節のみ力が大きくなってしまふ。Soft Gripper では、解除用のモータを用いて一定トルクを発生させこの力をキャンセルしていた。ここで設計した TAKO Gripper においては解除用モータを省くことを考え、パネ(ゴム)によりこの先端節の力の不均一をキャンセルすることとした。設計・作成したグリッパーの全体図を以下に示す。

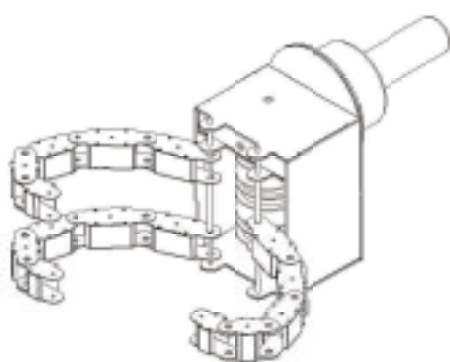


Fig. 6 Design of the TAKO Gripper

把握用・解除用の動きを1つのモータで実現し、前述したように、3本の指はわずか1つのモータで同時に動かされる。また、同グリッパーは水圧のかかる海中で使用されることから、Fig.7に示すようにモータをOリングで完全にシールしたドライハウジングにおさめ、マグネットカップリングを介してトルクを伝達している。この時、マグネットカップリングはスリップクラッチとしても働き、過剰なアームの締め付けを防ぐことができる。

## 6. Triton の概要

探査ロボット Triton は Santa Clara 大学において1999年5月に完成し、プールおよびカリフォルニア州モンレーの近海において潜水試験が行われた [3]。

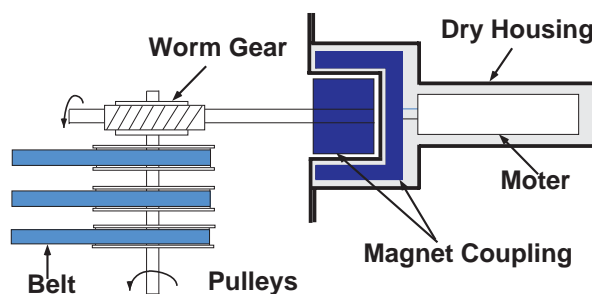


Fig. 7 Actuator and transmission mechanism

Triton の概要を以下に示す。

- 大きさ：0.915m × 1.17m × 0.76m
- 空中重量：100kg
- 推進・潜航用スクリュー数：4個
- 最大推進速度：3.6 ノット
- 可搬ペイロード：15kg (水中)
- 潜航深度：330m (1000ft)

## 7. TAKO Gripper の動作試験

TAKO Gripper は1999年9月上旬に完成した。完成直後の動作試験の様子を Fig.8に示す。

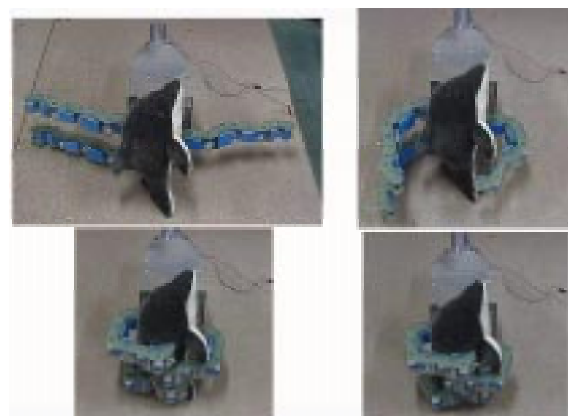


Fig. 8 Test of the TAKO Gripper

9月中旬に Santa Clara 大学に搬入し、海洋探査ロボット Triton の下面に取り付けられた (Fig.9)。

水中での動作試験は、10月上旬に Santa Clara 大学のプールにおいて実施された (Fig.10) . プールの底におかれたペットボトルを容易に把持することが確認された .

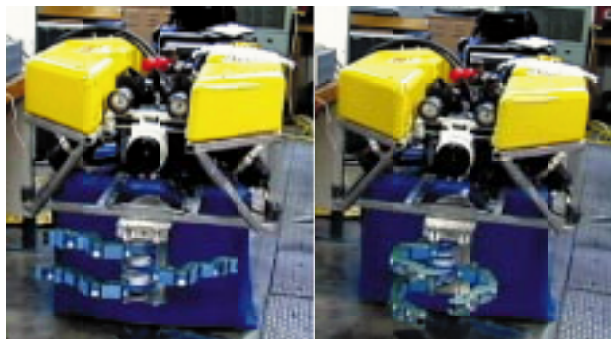


Fig. 9 TAKO-Triton の取り付け

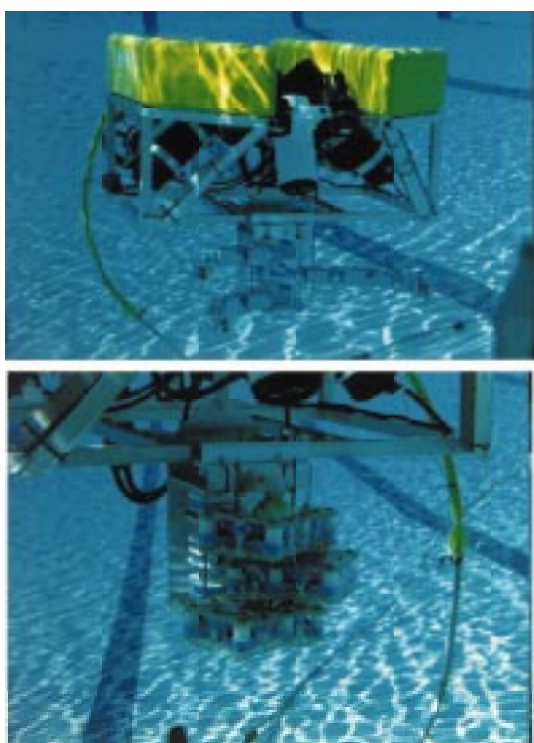


Fig. 10 Pool Test

## 8. TAKO-Triton の特徴と応用分野

マニピュレータアームを搭載した海洋探査ロボットは、これまでも多く開発されている . し

かしここで開発した TAKO Gripper は駆動用モータがわずかに 1 つであり、小形化に適し製作コストを低く押えることができる . またメンテナンスも容易であり、操作も簡単である . にもかかわらず、不定形状の対象物をやわらかく把持することができるという優れた性能を発揮することができる . よって、以下のような様々な分野に適用することが可能であると考えられる .

- 考古学分野 : 古代の沈没船より考古学的遺品などの拾いあげ、回収 .
- 自然科学分野 : 海底火山や熱鉱床付近からの岩石サンプルの採集、移動速度の遅い生物や珊瑚、海藻類などの採集 .
- 漁業分野 : 海産の貝類、甲殻類や海藻類などの捕獲 .
- 建設・港湾事業分野 : 港湾等の竣設作業、船舶の妨げとなる障害物の排除、海洋投棄物の回収、石油プランとなどのメンテナンス .

## 9. おわりに

本稿では、海洋探査ロボット用に開発した TAKO Gripper について、開発の経緯、設計および動作試験について述べた .

TAKO Gripper は 1998 年 11 月の第 1 回 USSS シンポジウムにて提案され、1 年後の 1999 年 11 月の第 2 回 USSS シンポジウムにおいて約束通り、開発の報告を行うことができた .

この成果を受けて、Santa Clara 大学ではより大型の海洋ロボット Mantaris の設計が開始され、本研究室においても今回製作したグリッパーの機能を拡張し、また耐久性の高い構造とした TAKO2000 (T2K) の設計へと進んでいく予定である .

## 参考文献

- 1) <http://www.jamstec.go.jp/ships/index.html>
- 2) 広瀬 茂男: 生物機械工学, 工業調査会 (1987)
- 3) <http://screcm.eng.scu.edu/triron/index.html>