

# 水中ロボコンの歩みと今後\*

## ー持ち運べる水中ビークル開発の奨め

西村 一\*\*

### 1. はじめに

水中技術の関係者の念願であった全国規模の水中ロボコンは、2006年10月にTechno-Oceanの一環として神戸大学深江キャンパスで「第1回水中ロボットフェスティバル」(水中ロボフェス 2006)が開催されたのを最初として、その翌2007年3月に「水泳の聖地」とも呼ばれている東京辰巳国際水泳場で「'07 水中ロボットコンベンション in 東京辰巳国際水泳場」(水中ロボコン in 辰巳'07)が開催された(図1)。その際に浦環東京大学教授のリーダーシップのもと、水中ロボコンを継続的に主催していく母体として「水中ロボコン推進会議」が設立された<sup>1)</sup>。

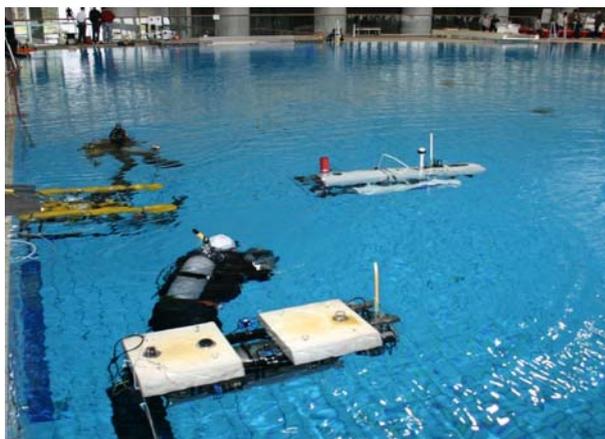


図1 水中ロボコン in 辰巳'07

2007年12月には再び神戸大学深江キャンパスで初めて競技ルールを導入した「第2回水中ロボットフェスティバル」(水中ロボフェス 2007)が開催され、本年2008年4月にOceans/Techno-Oceanの一環として神戸市立ポートアイランドスポーツセンターで「Aqua Robot Competition」が開催され、台湾が参加して初の国際競技会となった。

筆者は2003年頃よりメーリングリストで水中ロボコンの人的ネットワーク作りと企画検討を行い、水中ロボフェス2006の実行委員長を務め、その後も公式サ

\*原稿受付 平成20年4月21日。

\*\*海洋研究開発機構(神奈川県横須賀市夏島町2-15)。

イトの作成者として開催に協力してきた立場から、水中ロボコン/ロボフェスのこれまでの歩みを振り返り、今後の方向について私見を述べる。

### 2. これまでの歩み

水中ロボコン/ロボフェス以前の取り組みを振り返ると、岡山商科大学附属高校の小山実教諭が岡山県玉野市渋川海岸で開催している「全国海岸清掃ロボットコンテスト」は今年で11年目を数え、自然環境の中で行われる唯一のロボコンとして定評がある。そもそも筆者がメーリングリストを立ち上げたのは小山先生から海岸清掃ロボットの全国化の相談を受け、主催者やスポンサーになりそうな機関の人に声を掛けていったのがきっかけであった。

その後、名古屋工業大学ものづくりセンター長の藤本英雄教授が中心となって、2004年に小中学生向けエコロボット講習会・競技会が名古屋市堀川で開催され、翌年より堀川エコロボットコンテストとなって今年で4年目となる。

それに前後して、米国での取り組みが伝わってきて、その充実ぶりに驚かされた。

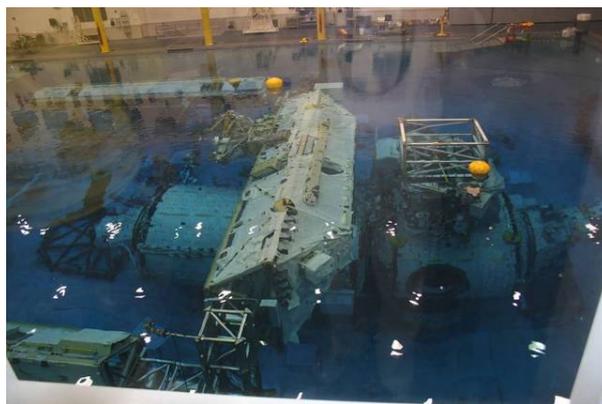


図2 ROV 競技会場となったNASA ジョンソン宇宙センターの宇宙遊泳訓練プール

高校生を対象とした有索式ロボット ROV (Remotely Operated Vehicle) の競技会「International ROV Competition」(7年目、図2)<sup>2)</sup>と、大学生を対象と

した自律型ロボット AUV (Autonomous Undersea Vehicle) の競技会「International AUV Competition」(11年目)<sup>3)</sup>については、それぞれ石油産業と海軍の後盾があるからなのか、とても手本とするには差がありすぎることを痛感したものである。

その中でささやかながら注目されたのは、2006年にシンガポールの Oceans と同時開催された「Underwater Robotics Competition」<sup>4)</sup>。これは多数の Micro-AUV を陸上のホストコンピュータで統合する小型・低価格の半自律システムをモチーフとしている。製作の参考資料となる各種情報のリンクが充実しており、展示会場内に特設された小型水槽で競技が行われ、アジア発の競技会として学ぶべき点が多いが、継続的開催には至っていない。

以上の国内・国外の状況については、日本深海技術協会の会報<sup>5)</sup>にやや詳しく紹介したので参考とされたい。

その後の情報としては、欧州で「Student Autonomous Underwater Challenge - Europe」(SAUS-E)<sup>6)</sup>が2006年から始まっている。これはなぜか英国の防衛省防衛科学技術研究所のサイトに各種情報が掲載されており、競技ルールなどは International AUV Competition にほぼ準じたものになっている。

水中ではなく海上を航行する自律型ロボットヨットによる海洋観測システム(図3)を踏まえた「Autonomous Robotic Sailboat Competition」(SailBot)<sup>7)</sup>が2006年に開催され、2007年にサンディエゴ開催が決まっていたが中止された。完全自律の帆走ヨットによる大西洋横断レース「MicroTransat 2007」の方は無事終了したようである。2008年は日本への開催誘致の構想もあるようなので、動向に注目したい。



図3 英Aber大学 Dr. Mark Neal の autonomous sailing robot boat<sup>8)</sup>

### 3. 環境作り

当初、メーリングリストで議論されていたのは、いきなり全国大会を開催しても裾野が狭く活発な大会にはならないだろうということである。ただでさえ難易度が高く、そのうえ、一般の高校等には手軽に試験できるプールや水槽がなく、指導者もほとんどいないというハンデがある。まずは気楽にテストできる場所を確保し、水中ロボット作りに取り組み人たちが日ごろ集まれる場所を作っていこうと考えた。

当時、神戸市のポートアイランドの人工河川リバーモール(水深60cm)が沈没・亡失の心配がない絶好の場所として、社会人ラジコン潜水艦模型の愛好者が毎週集まっていた。

一方、東京都練馬区の石神井池も同様にラジコン艦船模型の愛好者が集まる場となっていたが、透明度が悪く、いったん浮上不能となったらどこに沈んだか分からなくなる場所であった。この池でラジコン潜水艦を潜らせていた勇気ある社会人と始めたのが、現在の水中ビークル・フリーミーティング<sup>9)</sup>である。

これは開催方式にいろいろ紆余曲折があったが、現在は水中ロボコン推進会議の地域活動支援の一環として、市民グループのアクアモデラーズ・ミーティングと共同開催している。推進会議からJAMSTECに使用料金減免願いが提出され、成果報告書の提出を条件として通常の30%の料金で借りることができる。それを社会人参加者が分担し、先生と生徒は無料である。この潜水訓練プールとオフシーズンの横浜プールセンターまたは本牧市民プールのいずれかで毎月開催するに至っている。

残念ながら、土日の交通の便の悪さもあって、学生参加はまだ少数に留まっているが、四千人規模の見学者が来るJAMSTEC一般公開では、この市民グループの協力のもと、水中デモンストレーションと子供向け体験操縦を行い、関心を持つ子供が増えるよう努めている。この潜水訓練プールでのさまざまな工夫のうちに水中ロボコン/ロボフェスの開催ノウハウとなっている。

予定外の効果として、NHK「熱中時代」にも取り上げられるなど、大人の生き方/ものづくりの観点から各方面より関心が寄せられており、ものづくり振興を子供だけのものとする必要はないのかもしれない。

この取り組みのなかで痛感されるのは、やはり水中ロボットは難しいということ。社会人たちは主にラジコン自動車やラジコン飛行機を極めた達人であり、ラジコン用パーツや技術を駆使し、また外殻に市販のプラモデルも利用しているが、それでも水中を自由に動き回る作品を仕上げるのに1年以上掛かるのが普通である。それを高校生活の限られた期間内に取り組ませるのは簡単ではないだろう。

なぜか参加者自身の子供がミーティングになかなか参加してこない。これは自分の親と競いたくないという子供の心理があるのかもしれないが、社会全体でもTVゲームや便利な製品に取り囲まれた中で、子供のものづくりの能力を育てにくい環境への危機感が親としてもひしひしと感じられる。このようなことを仲間内で議論しつつ、高校等で取り組み可能な工作事例を作るなど、手軽に取り組める技術的ノウハウの取りまとめに努めている。

#### 4. 現実の技術開発との関係

陸上ロボコンが盛況な背景には、介護ロボットや四肢の機能を補う強化スーツなど新たな技術的可能性が拓けてきて、市場的にも高齢化社会における有望性が見え始めてきたことと無関係ではないだろう。水中ロボコンも現実の水中ロボット開発と無関係ではなく、むしろ水中ロボット作りに取り組もうとする学生のモチベーションとなるよう、関係者は今後の水中ロボットの進む方向を積極的に社会に発信していくべきであろう。

石油の右上がり続きの時代にあって、海底石油は水深3000m時代に突入して久しいが、大深度石油リグの建造ブームは依然として続いている。中国の積極的な経済活動の結果、かつての深海底レアメタル・ブームが再来する気配も感じられる。

他方、人間活動の急激な拡大は、一つの惑星の大気組成に影響を与えるまでになった。その環境変動を予測することは国際社会の重要な課題と認識され、高価な各種の地球観測衛星がいまや定常的に軌道上を周回し、観測ブイなどのデータとともに並列スーパーコンピュータでグローバルな予測を行う時代の幕開けとなった。

このように大局的に見れば海洋資源探査や地球環境変動予測のため、海洋という領域で活躍する水中ロボットの前途は洋々であり、日本がその開発のリーダーシップを取るべく積極的に取り組んで当然といえる。タイミングよく「国家基盤技術」のひとつとして「海洋地球観測探査システム」の開発が国家プロジェクトとして位置づけられるようにもなった。

しかしながら、日本の海洋工学分野がそれほど意気揚々には見えず、水中技術者の育成にも臆病に見えるのは、バブル時代の積極的投資が裏目に出たトラウマ、後遺症であろうか。かつてと同じやり方が正しいとは限らないが、少なくとも我々関係者はこのあたらしい状況について社会にアピールし、水中技術に関心を持つ子供の裾野を広げることにしっかり取り組まなければならない。

例えば、2007年11月1日は水中ロボットにとってエポックメイキングな日となったことはあまり知られていない。この日はArgo計画のもと、自動浮沈しながら漂流する水中ロボットであるアルゴフロートが世界で3000基を超えた日である(図4)。これによって水深2000mまでの水温・塩分分布が平均間隔300kmで計測され、それが衛星経由で世界に配信されて中期予報などの予測精度の向上に役立てられるようになった。

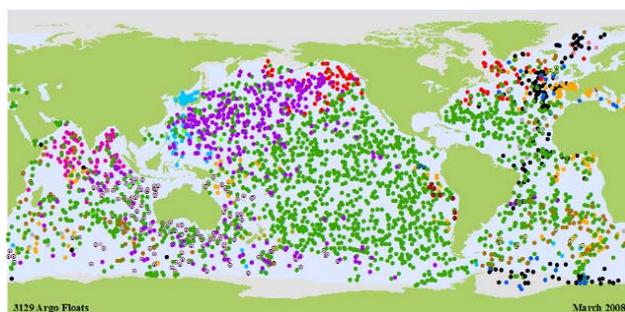


図4 アルゴフロートの分布(2008年3月、3,129基)<sup>10)</sup>

この画期的なシステムが成立した背景には各種の衛星マイクロ波センサーを搭載した地球観測衛星の充実と、並列スーパーコンピュータによる海洋大循環モデルと4次元データ同化技術の発達があるが、それとともにアルゴフロートの開発過程におけるごく少数の研究者と技術者の卓越した着想と地道な努力があったことを見逃してはならない。1基あたり100万円台の価格で4年以上にわたって100回もの浮沈を繰り返すことができるシステムが技術的に成立することがなければ、従来の海面ブイを展開する方法を細々と拡張していくしかなかっただろう。

海面ブイについては、現在、熱帯太平洋に日米の係留ブイによるTriton/TAOアレイが展開・維持され、それに大西洋とインド洋に若干展開されている。この係留ブイの回収・再設置のためにはある程度の大きさの船を派遣する必要があり、そのコストはバカにならない。これをさらに中緯度から高緯度にも設置しようとすると、台風などにより係留系が想定外の方向に迷走したり、ブイが沈没・圧壊することが避けられない。

それに対してアルゴフロートは発想を転換し、海上気象の観測をあきらめることで、あつというまに全世界を巻き込む国際共同プロジェクトとなり、全海洋を観測網で覆うことに成功してしまった。

日本にこのような個人の着想を国際プロジェクトにまで育てる土壌はあるのだろうか。

実は、海洋観測機器の開発について日本には優れた前例がある。海洋観測機器というと米海軍という巨大な顧客を持つ米企業に日本の中小企業が勝るとはとても思えないが、XCTDという投げ捨て式塩分水温計に

関しては、日本の鶴見精機が Lockheed Martin Sippican という大企業を打ち負かして、世界市場をほぼ独占している。同社の XCTD が世界のデファクト・スタンダードになれたのは、かつて JAMSTEC のプロジェクトとして投下式センサファミリという飛行機用投げ捨て型塩分水温計の開発に取り組んでいた頃の試行錯誤があったからだという。

このアルゴフロートにはそろそろ次の段階が見え隠れしてきた。IPCC (気候変動政府間パネル) 第4次レポートは地球温暖化が現実に行進していることをより明確に表明するとともに、台風の凶暴化など極端な気象現象と、生態系・物質循環と気候変動の間のフィードバックの問題も初めて指摘した。これらが次の第5次レポートの主要研究課題になると思われる。

それに取り組むには地球システムモデルの高解像度シミュレーションでその威力を世界に示した地球シミュレータとその後継機が5次レポートでの主役になると予想される。それに対応して、観測システムもより高い解像度で生物・化学的なデータが取得できるようになる必要があるだろう。計算手法では「階層連結シミュレーション」という支配方程式に適した解像度のシミュレーションを組み合わせることで効率的に計算する方法が開発されてきたが、これにあわせて観測システムの方も重要な海域に高密度に展開できる機動性を持つものが必要となろう。

そういう意味で注目されているのが自律型の水中グライダー (図5) と前述のセイルボートである。アルゴフロートと同様に小型軽量のビークルをさまざまな船で海域に投入し、双方向衛星通信により沿岸近くや強潮流海域にまで展開し、アルゴフロートと違って一般の船舶で回収することも想定したもの。



図5 Webb Research 社の Thermal Glider<sup>11)</sup>

国内では高機能な水中ロボットの開発には関心が集まる一方、このような小型軽量の自律型ビークルへの関心はまだ顕在化していないように見える。ぜひ水中ロボコンのモチーフとしてPRしていきたい。<sup>13)</sup>

話題を変えて、有索式ロボット ROV は、なぜか新たな開発課題として取り組んでいる国内の大学・研究機関は多くない。国内メーカーも、せっかく「ドルフィン3K」や「かいこう」という先駆的な ROV を開発してもその後は外国メーカーの作業用 ROV の活躍の影に埋没してしまっている。確立した技術と思われがちであるが、実は作業対象となる相手の機器が、現行の ROV で操作可能なようにあらかじめ設計されているか、あるいは必要なツールや治具を設計し製作しているのである。

坑井機器や海底地震計などあらかじめ ROV にあわせて設計された人工物が相手であればそれでも十分かもしれないが、沈没船のサルベージや油流出の封じ込めなどの緊急オペレーションには間に合わないし、ハンマーをふるって岩石サンプルを採取するという陸上では簡単な作業もいまだ可能とはなっていない。

再び話題を変えて、ヒレ推進など海洋生物の運動メカニズムを取り入れたアクアバイオロボットについてはまだまだ黎明期と呼ぶべき段階かもしれないが、グローバルな海洋生態系を理解するうえでは海洋生物の効率のよい静かな推進方法はぜひ手に入れたいものである。

たとえばマッコウクジラの餌食となっているダイオウイカについて、我々は餌に仕掛けたカメラで一瞬の姿を垣間見るだけである。マッコウクジラは 1000m まで潜ってエコーロケーションでダイオウイカを見つけると、逃げるダイオウイカに追いついて食いつくという。このような芸当は今の潜水調査船の技術の延長線上でいくら改良しても実現できそうにない。

近年、理学系の研究者が定年制ではなく任期制が一般的となり、短期間で成果を出さなければいけなくなって、定評のある測器や分析器の購入で済ませようとする。財政局も安ければよいと国産ではなく外国製品の購入でよしとする。このような傾向が国内の技術開発力にどれだけダメージを及ぼしているだろう。「技術立国」が叫ばれるなかでこのような悪い状況が進行していることに歯止めをかけることも、次の世代を育てる大人の責務である。

## 5. 誰をターゲットにするのか？

一般に、ロボコンのターゲットというと工業高校や高専が中心である。なにはともかく製作する設備や工具や資材や場所が必要であり、その条件が揃っているのは工学系の大学と高専、工業高校だからである。しかしながら、これまで開催してきた水中ロボコン/ロボフェスで参加した高校等は岡山商科大学附属高校、倉敷工業高校、東京工業大学附属科学技術高校の3校

に留まっている。ポスターを多くの高校等に配布するようになったがなかなか参加校の増加に結びつかない。その理由として、高専、工業高校の多くがNHKロボコンなど既存のロボコン出場場で手一杯だからといわれている。TV中継される決勝戦まで勝ち進めば大手への就職に有利という状況のなかで、水中ロボコン/ロボフェスに引き寄せることは容易ではない。

実は、筆者はあまり高専、工業高校にばかりこだわってはいない。大学からの参加も、海洋工学系に限らず、まだまだ拡大していく必要があるし、水中ロボットに関しては工学系だけでなく理系の学生にも関心を持ってもらいたい想いもある。もっぱら人工的な環境の中でのみ活動する陸上ロボットと比べて、自然を相手にする水中ロボットは、壊れた家や町を相手にする災害用ロボットにも共通する面がある。

親子で水中ロボコン/ロボフェスを見て体験操縦して、それらが相手にしようとする自然環境についてもなにかを感じてもらえるようなイベントでもあることを私は願っている。

## 6. スイミングプールでの工作事例

以下については、高校生だけが対象ではなく、大学生や研究者にも呼びかけたい。なにかのアイデア・工夫をブラッシュアップして成立しうることを立証するために、実海域に出かける以上に、もっとスイミングプールを活用しよう。水深1~2mのプールに必要な技術は、ポイントさえ抑えておけばかなりの略式で済む。なによりも自らシュノーケルを身に付けて水中の世界に馴染むことも大切なことのように思える。

スイミングプールでの技術開発というと海域実験を主体に開発を行っている研究者からすると後ろ向きのように見えるかもしれないが、実海域ではまずは亡失防止が重要であり、水密性・耐圧性・信頼性にかなり神経を尖らさざるを得ず、アイデアを存分に育てるような開発がやりにくいことはないだろうか。

他方、これまでの水中ロボコン/ロボフェスで大学等の参加作品の稼働率は低い。プールではポイントさえ押さえておけば、意外に簡単な方法で解決できるものであるが、それが見えないまま自己流で取り組んで苦労していることはないだろうか。そんな点も踏まえて、水中ロボコン/ロボフェスの運営サイドで基本的な技術情報の提供と、重要なパーツの供給ができれば、水中ロボコンとしても、水中ロボット開発の面でも、もっと活性化できるのではないだろうか。

ここでは自律型制御などの心臓部は避けて、その周辺の共通技術的なものについて、水中ビークル・フリーミーティングの面々から得た耳学問もあわせて素人

考えを述べる。

まず水密容器について、本格的には透明なアクリルパイプの両端にOリング付きキャップをはめるが、このキャップはなかなか手が掛かりコツもいるので、パーツ供給されるとよいかもしれない。貫通部が片側のみであればネジ締め用のピンでも事足りる。パッキン付きのランチボックスを使う例をよく見掛けるが、圧力でフタが変形してパッキンが用をなさなくなることが多い。フタの剛性が十分にあるものを選ぶというところさえ押さえておけば問題なく使えるのではないだろうか。

推進装置については、プロペラ軸が水密容器を貫通する部分の水密で苦勞する人が多い。ラジコン潜水艦愛好者の間では「すべるゴム」のOリング等と転がり軸受を組み合わせた水密シールを使う人が多いが、これを自作するのは大変かと思われる。磁石カップリングはトルクによって回らない場合もあるという。実はそれほど手のこんだものを作らなくても水深5mまでなら簡単な構造のもので大丈夫らしい。太めのパイプの両端に樹脂製スリーブを瞬間接着剤で固着し、中にシリコン・グリスを充填する。スリーブ間の長ささえ十分あれば(数cm以上)、グリスの粘性でもって水密が確保されるようだ。

スクリュープロペラを自作するには、切り抜いたプラバンを何枚もずらして接着のうえ削り出したり、高温のロウ付け作業が必要なのだが、今では市販品が良心的な価格で買うことができる。

このプロペラを水中に適したトルクと回転数で回すためにはギアボックスが必要だが、ラジコン自動車や飛行機用のものはトルクと回転数が違うので使えない。タミヤ工作シリーズなどのパーツを利用して自分で設計・製作する必要がある。

このプロペラやギアボックスの製作を省略できるのが市販の風呂ポンプや灯油ポンプを利用する方法である。このパーツ供給があると便利である。

水中ビークルの運動方向を変えるには、前進速度がなくても方向転換できるサイドスラストなどを設けるのが水中ビークルの流儀であるが、小型の水中ビークルでサイドスラストを自作するのは大変である。玩具用の水中モーターを利用したパーツを供給できるとよい。

舵をサーボとリンケージロッドで操作する方式の場合、リンケージロッドが水密容器を貫通する部分はラジコンボート用の防水ブーツが使えるが、それを使わなくても、ロッドの外径と同じ内径のパイプに十分な長さがあれば、シリコン・グリスで水密性が保てるらしい。風呂用ポンプの場合は、流路を切り替えたり、同じくリンケージロッドで射出口の向きを変える方法

もある。

浮力を変化させる仕組みは最も難しい。圧縮空気をバラストタンクに注入する方式ではブローできる回数に限度がある。シリンダー／ピストン方式で浮力を変化させるものをパーツ供給できるとよい。

中性浮力と水中姿勢を微調整するための浮力材について、スチレンボードを浮力材に使うと水圧で縮んで浮力が減少し、プール底に着底すると浮上できなくなってしまう。アクリサンデー製の FOREX（低発泡塩ビ板）の 5mm 厚のものがなんと比重 0.5 で、しかも水深 5 m 程度の水圧でも平気である。

流体抵抗を少なくするための流線型の外殻を作ろうとすると、一般にはスタイルフォームなどでメス型を作り、石膏などでオス型を作り、それに樹脂とガラス繊維マットを重ねる FRP 成形が必要。しかしガラス繊維が飛散するなど一般には奨められるものではない。社会人は自分の好きな市販プラモデルを使うが、学校では資金的に厳しいし、同じ外観ばかりでは個性がない。

例えば図 6 のような丈夫な炭酸飲料系のペットボトルを繋ぐことで簡単に流線型とすることができる。これは動力なし、制御なし。釣り糸を船尾に結び付けておき、水中を滑空させてその距離を競い、どのような翼形状、翼の配置が有利かを試行錯誤させる。中学生レベルで学校のオフシーズンのプールを使って実験できる。釣り糸が抵抗になるように思えるかもしれないが、この釣り糸を適宜操ることによって方向やトリム角を調整できる。回収時はリールを巻き取る<sup>12)</sup>。



図 6 ペットボトル製水中グライダー

以上、筆者が分かる部分だけを述べたが、実際にはもっとさまざまな技術が必要であろう。International ROV Competition と Underwater Robotics Competition の公式サイトにはさまざまな技術情報やパーツ等の入手先情報がリンクされており、それを日本で入手できるものに改訂する必要があるだろう。

## 7. 水中ロボコンの運営方法

水中ロボコンにしる普通の試験場所にしる、人が泳ぐスイミングプールを使うのはまずプール管理者の理解を得るのに苦労する。

グリスについては、水圧が掛かっているので、適切な構造である限り、グリスは水密容器内に漏れることはあれ、水密容器から外に漏れることはない。もちろん、充填時に水密容器外にはみ出た余分なグリスを温水シャワー等で流すなどの措置は必要である。このように適切に作られた水中ビークルに比べれば、むしろ遊泳者の方が水中に長くいると当然の生理的反応として尿意も催すし、汗やアカも出る。とはいえ、これまでの開催経験からして、入水前の温水風呂検査は必須である。水面にキラキラが広がって入水が禁じられた作品も実際にあった。あるいは大学の試験水槽の汚れとか、研磨ダストなどが完全に除去しきれない場合もあるかもしれない。

作品の搬入時に人間の足裏にくっついてプールサイドに持ち込まれるダストもありうる。プール表面にはこうしたダストの方が目立つ。オーバーフローで除去可能ではあるが、水中ロボコン運営側としては神経をすり減らす。

次に安全にも関係する重量物の搬入について、試験水槽と違って天井クレーンはないのが普通である。水深が 1.5m 程度までであれば、門型クレーンが利用できる (図 7)。

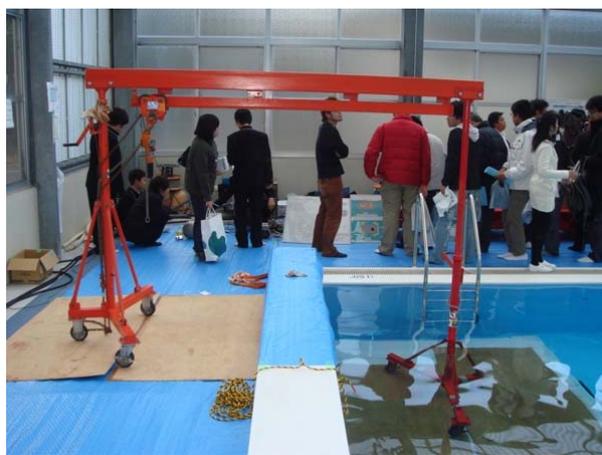


図 7 門型クレーン (神戸大学深江キャンパス)

辰巳国際水泳場にある水深 5 m のダイビングプールでは深すぎてこれが使えず、高飛び込み台に強度的に十分に許容しうる吊上げ用具を設計したが、遊泳者、競技者への配慮から使用を見送り、アルミ棒を 6 人で担ぐ方法で東大生産研の Tri-Dog 1 (200kg) の着水・揚収が行われた。これが人力による上限と思われ、安

全性も考えれば次回開催にあたってなんらかの手立てが必要である。

さて、観客への配慮について述べる。

水中ロボコンである限り水中が見えなければ魅力は半減する。水中窓があればそれを観客に開放することが必須だが、水中窓を覗ける人数は限られる。より多くの観客に水中を見てもらえるよう、プールサイドの目立つ場所に大型ディスプレイを置いて水中映像を見せることを基本とした。

神戸大学深江キャンパスでは温室式の透明な天井であり、強い日光のため、映像の表示が難しいが、辰巳国際水泳場ではアストロビジョン（図8）という立派な映像表示装置がある。しかしこれを生かすにはさらにいろんな工夫が必要である。



図8 辰巳国際水泳場アストロビジョン

まず、アナウンス中の作品にカメラが向いていなければならない。それにはアナウンスが水中のダイバーに聞こえなければならず、水中スピーカから音声が行くようにしておく必要がある。おそらく辰巳国際水泳場のダイビングプールはシンクロナイズド・スイミングに使用されるので、音楽が水中に流れるようになっているはずだが、当時はそこまで思いが至らなかった。

何もダイバーに撮影させなくても、プールの底に固定式TVカメラを置き、首振りやズームを操作すればよいかもしれないが、水中ビークルの移動速度が速いと追従できないので、ダイバーがハンドキャリアの有線式TVカメラを対象に向けるようにしたいところ。それにはTVカメラのケーブルがダイバーに絡まないように、プールサイドに余分なケーブルを手繰り寄せ者を配置する必要もある。さらにTV画像のズームイン/ズームアウトを操作する者も配置する必要がある。

ずいぶん面倒な話ではあるが、ほかの陸上ロボコンでも実はTVカメラ映像を大型ディスプレイやスクリーンに映している。よほど大きなロボットでもない限

り、競技中のロボットは出場チームの人垣が邪魔で観客席からは見えない。

もう一つの問題がアナウンスの音声である。プール屋内では反響したり、音声がすみずみまで届かなかったり、場所によって音声が大きすぎて苦痛だったりする。プールサイドのどんな場所でも適当な音量で明瞭に聞こえるようにするためには、スピーカをいくつか分散して配置するとともに、話す者が変わるときにマイク音量を調整する者も配置する必要がある。さらに、最初に観客の注意を惹くのは女性の声が良い。

以上の映像と音声については次の水中ロボコンでは万全を期待したい。

そのほか触れておくべき運営上の問題として、ラジコン電波の割り当てがある。使用可能なのは陸上及び水上用に割り当てられた27 MHzの12バンドと、40 MHz帯の8バンドに限られている。40 MHz帯を使う操縦者が多いので、結局、同時に動かせる作品は10程度に限られる。

ラジコン電波はラジコン潜水艦模型だけでなく、アクアバイオロボットのデモンストレーションに使われることも多い。子供向けの体験操縦にも使うので、この周波数の割り当てをちゃんと考慮して時間割を考えないと思うようにいかないことに注意する。

意外だったのはトイラジと呼ばれる玩具ラジコンは27 MHzと40 MHzの2種類しかなく、バンドの区別もない。通常バンド割当てされているラジコン作品を動かしている間は、トイラジは一切動かさないと思っていたが、近距離でしか働かないことが幸いしてか、実際には他のラジコンが動いている間もプールサイドの小型水槽の中でトイラジが操縦できることが判明した。制約なく子供の体験操縦を続けられることが分かって好都合である。

もうひとつ時間割を考えるうえで注意しなければならないのはROVとダイバーの感電防止である。淡水のプールでは万一テザーケーブルから漏電すると、ダイバーに感電する。漏電ブレーカーが設けられていても、ブレーカーが働くまでの一瞬、ダイバーはショックを受ける。命に別状はなくても、二度と受けたくないと思う程度だそう。

しかし今やROVの操縦時にダイバーなしの状態を作るのは難しい。十分な信頼性がある商用ROVについてはテザーケーブルの損傷を招きかねないROV同士が交錯するような操縦は行わないことを条件にダイバーとの共存を認めざるを得ない。アマチュアの作品で100ボルト電源を用いる作品についてはダイバーをプールサイドに上げる必要があるが、前回の辰巳では水中のダイバーへの連絡方法を用意していなかったため、万一のことがあれば危ないところであった。

アマチュアのROV競技である International ROV Competition では、使用する電源を直流（最大 48 ボルト、40 アンペア）に制限している。普通の感電では交流より直流の方がダメージが大きいと聞かすが、水中では直流の方が人体に流れにくいのだろうか？ ご存知の方がおられればご教示願いたい。

## 8. 水中ロボコンの演出

当初の水中ロボコン/ロボフェスでは水中ラジコン、自律型、有索式、アクアバイオなど方式別に時間割を決め、その時間帯は自由に各自、勝手気ままに航走する水族館方式であった。もともと、JAMSTEC 一般公開で水中デモンストラーションを見学者に見せる場合、当然のことながら輪くぐりとか、水面に浮く風船割りとかさせたかったが、とてもそのような演出ができるほどの操縦性はないことが分かったので、水族館方式とせざるを得なかったのである。

この方式だと、プール内をある程度賑やかにするために、水中ビークルを多数航走させたいところであるが、これも当初は操縦者にとって高価な作品を壊さないように大変な冒険であった。今ではラジコン周波数が割り当て可能な数の作品を目一杯走らせることにも応じてもらえるようになった。

しかしこの水族館方式は観る方にとって賑やかであるものの、ある程度見慣れてしまえば技術的にどう苦労した作品かを観客に伝えることは難しい。自律型や ROV など同時航走が難しい作品もある。

そこで本来の競技会の姿として、部門ごとに競技ルールを設定し、一作品ごとに与えられた課題を演じるという方式に転換していく段階となってきた。それを初めて試みたのが水中ロボフェス 2007 である。実際に課題をこなせた作品は少なく、また水中映像とアナウンスの連携もまだ実現できていない段階であるが、参加者アンケートによれば自律型などの技術的難度の高さが観客に伝わり、一方、稼働率が悪く水中を動く作品が少ない寂しさを問題にする参加者はいなかった。

基本的にはこの個人演技方式が受け入れられたものと思う。もちろん、いくつもの高速艇がプール全体を使って抜きつ抜かれつの競争を行うアクアレーサー・デモも印象的であった。このように個人演技や団体競争を組み合わせ、それに水中映像とアナウンスが連携するような演出ができ、さらに子供たちに体験操縦を十分楽しんでもらえるようにすることが、足を運んでくれる観客への責任を果たす最低合格ラインであると筆者は考えている。

もちろん、高校生等の参加とか、工作教室の実施とか、水中ロボコンとしては考えなければいけない課題

はいくつもあるかとは思いますが、まずは作品の製作者が参加して喜びが得られるようなものであることが大会の発展の基本条件であり、製作者の立場・視点を忘れないようにすることが運営者の務めと思う。

## 参考文献

- 1) 水中ロボコン推進会議  
<http://aquarobo.com/>
- 2) International ROV Competition  
[http://www.marinetech.org/rov\\_competition/](http://www.marinetech.org/rov_competition/)
- 3) International AUV Competition  
<http://www.auvsi.org/competitions/water.cfm>
- 4) Underwater Robotics Competition  
<http://www.arl.nus.edu.sg/urc/>
- 5) 西村, 日本深海技術協会会報, 52-1(平 19-1), 31-38.
- 6) Student Autonomous Underwater Challenge - Europe (SAUS-E)  
[http://www.dstl.gov.uk/news\\_events/competitions/sauce/index.php](http://www.dstl.gov.uk/news_events/competitions/sauce/index.php)
- 7) Autonomous Robotic Sailboat Competition (SailBot)  
<http://engsoc.queensu.ca/sailboat/competition/index.htm>
- 8) Mark Neal, AROO: The autonomous sailing robot boat  
<http://users.aber.ac.uk/mjn/Autonomous%20Sailing%20Robot.htm>
- 9) 水中ビークル・フリーミーティング  
<http://aquarobo.com/oppama/>
- 10) Argo Information Center  
<http://wo.jcommops.org/cgi-bin/WebObjects/Argo>
- 11) Webb Research Corporation - Thermal Glider  
[http://www.webbresearch.com/thermal\\_glider.htm](http://www.webbresearch.com/thermal_glider.htm)
- 12) 君も作ろう, 海中観測グライダー  
<http://chikyu-to-umi.com/robocon/Glider/index.htm>
- 13) 動的適合多点観測システム: DAMOS 構想  
<http://chikyu-to-umi.com/robocon/damos.htm>

## 著者紹介



西村 一

- ・1955 年生.
- ・海洋研究開発機構安全・環境管理室長.
- ・大阪府立大学工学研究科船舶工学専攻修了.
- ・船舶工学.