

Focus 01 廃炉創造ロボコン

廃炉に挑む高専生とロボットの苦闘

東日本大震災と大津波で大破した東京電力・福島第一原子力発電所の廃炉作業に、どう切り込むか——。高レベルの放射線ではまったく近づけず、ロボットに頼らざるを得ないが、半導体を使った機器は放射線でしばらくすると壊れてしまう。コンクリートの厚い壁があり、内部まで電波が届かない。遠隔操作をするにも照明もなく、ロボットの動きを目視する手立てもない。

こんな未踏の難関に、全国の高等専門学校から13校、15チームの学生たちが挑んだ「第1回廃炉創造ロボコン」。文部科学省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」の一環として、昨年12月、被災地の福島県楢葉町にある日本原子力研究開発機構(JAEA) 楢葉遠隔技術開発センターで開かれた。最優秀賞の文部科学大臣賞に輝いた大阪府立大学工業高等専門学校のチームに思いを聞いた。

2台のロボットが互いに助け合う

ものづくりの街・大阪で、同高専は創造力のある実践的技術者の養成を目的に、ちょうど50年前に設立された。

研究室の作業スペースに、コンテストで実際に使われるステップフィールドをまねて作られた練習用の模擬フィールドがあった。

ウィーンというモーター音とともに、ワイヤーでつながれた8輪の台車型ロボット2台が1列になって動き出した。ロボットは平らな床をするすると進み、ステップ状に組み上げた木材の山を登り始めた。先行ロボットがステップを上がり、山の中腹にさしかかると、後

続ロボットが下からツノ状の突起でグイと押し上げる。先行ロボットが登り切ると、ウインチでワイヤーを巻き上げ、後続ロボットを引き上げる。相互に助け合い、まるで仲の良い兄弟のようだ。

「TAPPAR」の名前の由来は、どこにでもあるプラスチック容器の意味で、配線など納めるケースにちなんでつけた。

チームのメンバーは、キャプテンでロボット製作や改良の中心となった船津達矢さん、先行ロボットを操縦した山口湧也さん、後続ロボットを操縦した村上大介さん、模擬フィールドを製作した菅尾旭史さんの4人。コンテストの会場に入れるのは3人までと決められ

ていたため、菅尾さんは裏方として支えた。全員、総合工学システム学科メカトロニクスコースの5年生で、土井智晴准教授の研究室に所属している。

できなかった課題を克服したい

土井研究室は、災害現場で役立つレスキューロボットをテーマにしている。これまでも災害救助ロボットの技術を競う「ロボカップレスキュー実機リーグ」や、「レスキューロボットコンテスト」に参戦してきた。

廃炉創造ロボコンの競技要項には、選択課題の1つにステップフィールドがある。ロボ

カップレスキューでは登らずに迂回した経緯があったが、「再挑戦して克服したいという、熱い思いから参加を決めました」と船津さんは話してくれた。

これまで登れなかった原因は、車輪の大きさがあると山口さんは考えている。「ステップフィールドの段差の幅や高さに対して、ロボットの車輪のサイズが小さいことが一番の問題でした。それなら単純に車輪を大型化すればいいのですが、研究室のロボットは先輩が開発し、製作して代々受け継いできた『受動型8輪駆動式車輪』を足回りに採用しているので、その部分は変えたくなかった」。そこで工夫して考え出したのが2台で相互協力することだった。

このロボットの特徴は、車輪2つに1つのモーターで動力を伝えながら車輪部分の自由度を高め、段差にぶつかると自然に角度を変えて乗り越える点にある。理論上は車輪の直径の70%の段差なら越えられるという。段差や起伏の多い路面でも機動的、かつ安定的に走行できる。特許も取得済の優れた機構だが、ステップフィールドでは大きな段差が何段も続くことから、車体が途中で引っかかってしまい、1台では越えることが難しかった。

模擬フィールド作りがカギ

足回りを変えない制約の中で考え出した2台連携の画期的なアイデアだったが、最初はまったく登ることができなかった。

「どの角度でどう押せばうまく力が伝わって登るのか、実際に操縦して問題点を見つけ出しては改良を何度も重ねました。後続ロボットが押しやすいように、先行ロボットに支柱を取りついたり、ワイヤーで引っ張って押す角度を調整できるようにしたり、操縦しやすいようにカメラの位置を調整したり、とにかく試行錯誤の繰り返しで、やっと登れるようになったのが本番の2週間前です」と船津さんは苦



テストコースは本番の図面を基に学生が手作りでした。



2台が助け合って動く「TAPPAR」

笑いする。

そこから模擬フィールドでの走行練習を重ねた。「操縦自体は単純ですが、僕と村上さんの息をぴったり合わせるのに練習が必要でした」と山口さん。村上さんも、「後続ロボットが押す角度は、先行ロボットのワイヤーの巻き上げ具合で決まります。ロボットに取りつけたカメラの画像を見ながら、『もう少し巻いて』と声をかけながら操縦しました。そうした練習ができたのも、模擬フィールドを作ったのが役立ちました」と振り返る。

チームは幾多のロボコン参加の経験から、実際の競技フィールドに近い環境で事前に練習しておくことの重要性を知っていた。そこで廃炉創造ロボコン向けに、実際のステップフィールドの約4分の1を切り取った模擬フィールドを作った。

「2～3週間、ひたすら木を切っていました」と笑うのは、製作を担当した菅尾さん。「船津くんにも手伝ってもらいながら、手に入るサイズの角材を組み合わせ、実際には複数ある山の1つを再現しました。参加チームの中で模擬フィールドまで作って練習したのは僕たちだけと聞いています。これが他のチームより優位に立てた理由でしょう」。

コンテストに先立ち、楢葉遠隔技術開発センターでサマースクールが開催されたのが9月。その直後に期末テストもあり、準備は実

質2か月しかなかった。ロボットがほぼ完成し本格練習ができたのは2週間程度。短期間ながらも練習を繰り返し、ステップに対して斜めに角度をつけて進入すれば登りやすいとの攻略のコツも見つけ出した。

廃炉作業の難しさを実感する

コンテスト本番で、TAPPARはステップフィールドの最初の山を無事に越えた。だが模擬フィールドで練習できなかった2つ目の山の途中で、2台をつなぐワイヤーが予期しない部分に引っかかって身動きがとれなくなり、時間切れになった。

「カメラの画像では見えなくて、何が起きているのかつかめませんでした。肉眼で見れないもどかしさを痛感しました」と山口さんは悔しがる。

課題は達成できなかったものの、プレゼンテーションの内容、アイデアや実際のロボットの動きなどが総合的に評価され、最優秀賞に選ばれた。

「これで賞をいただいていたのかなと思いましたが、せめてフィールドを1周できていたら、胸を張れたのですけど」。メンバーは結果に決して納得していない。それでも数か月前にはまったく歯が立たなかったステップフィールドの山を越えるほどに進歩したのは誇っていいことだろう。TAPPAR同様に、みんなが力を合わせて乗り越えてきた。

サマースクールに参加した船津さんは、「福島第一原子力発電所の見学では、僕らが入れた部分についてはテレビなどの報道から想像していたのに比べ安全そうに感じました。東京電力の方の話から、廃炉への道のりの難しさも理解しました」と実感を話す。

進学、就職と4人の進み道はまちまちだ。これから廃炉に直接関わる訳ではない。だが技術者として生きていくには、廃炉創造ロボコンでの成功と失敗の経験は大きかったはずだ。



左から、菅尾旭史さん、山口湧也さん、村上大介さん、船津達也さん



指導にあたった土井智晴准教授

細工は流々、失敗は貴重な教訓に

若者たちの新鮮なアイデアを引き出し、人材育成を狙って開催されたロボコン。会場では工夫を凝らしたロボットやドローンが繰り出したものの、課題を達成したロボットはなかった。入賞した他の高専の取り組みと、この企画を提案した福島工業高等専門学校の鈴木茂和准教授の狙いや思いを紹介する。

(文とイラストは佐藤勝昭 JST 研究広報主監)

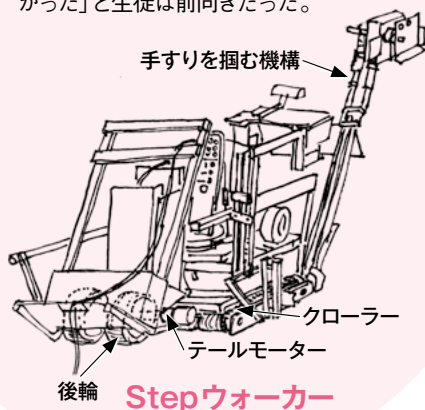
👑 優秀賞:奈良高専

「モックアップ階段」に挑戦したロボットは9台あったが、踊り場のすぐ近くの高さまで登ることができたのはStepウォーカーと旭川高専のU-boだけだ。

このロボットは、クローラーに加え、電動モーター付きの後輪を組み合わせた構造。階段を登れたのは、後輪あればこそ。また、手すりを掴む機構も付けた。クローラーは、市販のタイミングベルトにゴムを結束バンドでくっつけて凹凸にした。

本番では、ベルトに貼り付けたゴムがはがれ落ち、滑って傾いたり、ずり落ちそうになったり。あと少しで踊り場というところで5kgの荷物を下ろし、さっと下降して時間終了。

「学校と違い、この階段は41度の急勾配なのでテストで登れず、応急措置でゴムを切ってベルトに貼り付けました。本番では、登っているうちに取れてしまい、手すり機能もだめでした。でも、階段をあの高さまで登れてよかった」と生徒は前向きだった。



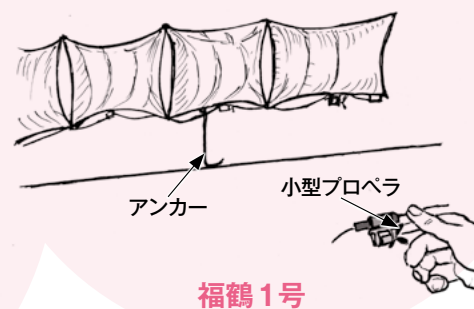
👑 アイデア賞:舞鶴高専

建物内の瓦礫や段差など未知の障害物のある中でどう進むか検討し、「飛行による解決」を考え、飛行船(ヘリウムバルーン)を連結したロボットを製作した。

推進力はバルーン底部の超小型のプロペラ。地上との高さはアンカーの重さとバルーンの浮力の釣り合いで一定に保たれる。親機にスコープカメラ、無線が使えないので何台もの子機の間をLANケーブルで連結した。

本番では、ステップフィールド入口から先に進めなかった。空調や人の移動によるわずかな気流の動きでバルーンが壁にぶつかり、小さなプロペラの推力では突破できなかったのだ。豊かな発想とアイデアは審査員に評価された。

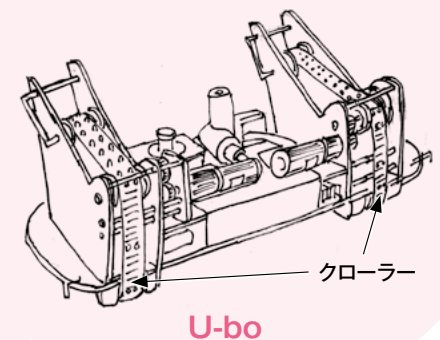
実演後「取り組んだのはたった1ヶ月。小さなプロペラでは、推進力が足りませんでした。建物の微風は想定外でした。この点を改善してまた挑戦します」と明るく語った。



👑 IHI賞:旭川高専

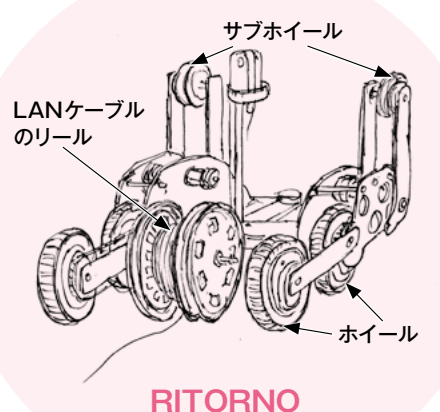
U-boは完全自律走行ロボットだ。走行制御は、リミットスイッチと傾斜センサのみ、クローラーは1対のみのシンプル設計だ。カメラ、照明、リモコンは搭載していないが、90度の旋回はできる。

本番では、踊り場のそばまで行ったが、プログラムが機体姿勢を誤認識してしまい、荷物を踊り場に下ろし、滑らかに階段を降りて時間切れとなった。



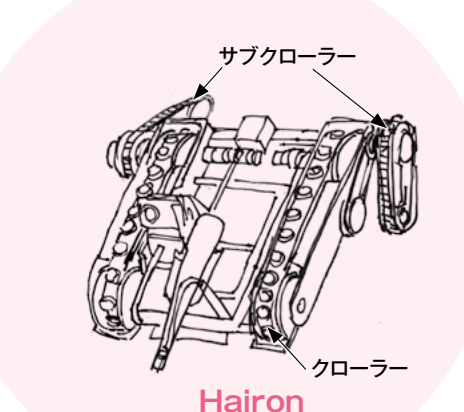
👑 日立GEニュークリアエネルギー賞:富山高専

RITORNOは、安価で入手しやすいホイールロボットだ。接地面が少ないのでサブホイールを追加。直接電波を飛ばせないでスタートは有線で、近くまで行って無線基地局を形成して無線通信するハイブリッドシステム。LANケーブルのリールを引っ張りながら進む。半導体回路を使うので厚さ2mmの鉛で上部のみ放射線を遮蔽した。本番では、階段のそばまで移動したが、ホイールで階段を上れず断念した。



👑 アトックス賞:福島高専

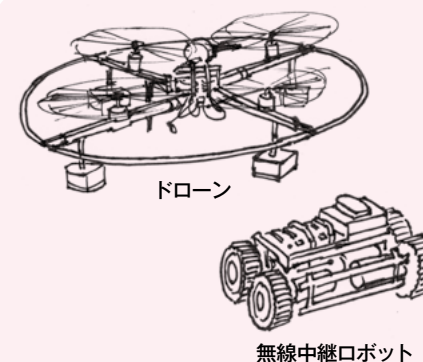
Haironは、メインクローラーとサブクローラーを使用して階段を登り降りする自走ロボットだ。自作の銅粉添加4mm厚FRP板で回路基板を放射線遮蔽することで競技時間は7分に延長。カメラを前後に搭載して遠隔操縦した。本番では、サブクローラーが小さすぎて、1段目は登れたが2段目が登れない。何度も試みたが無理だった。遠隔操縦の難しさもあった。



👑 常磐エンジニアリング賞:熊本高専

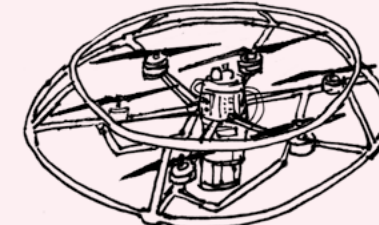
SANREDは、クローラー型ロボットとドローンの協働型。当初折りたためる変形ドローンを目指したが、重量が増え飛行が安定しないため断念。とりあえず組み合わせロボットでやることに。本番では、ドローンを遠隔操縦で何度飛ばしても思う方向に行かず、ぶつかって羽根が折れてしまった。

実演後「電波環境が悪くて移動方向が制御できず、ドローンが飛びませんでした。原子炉内を考えると、改善が必要です。来年も頑張ります」と明るく語ってくれた。



👑 パシフィックコンサルタン ト賞:北九州高専

「できるんばい」は、ローターを6個備えたドローン。全方位にバンパーがあり、墜落してもローターは壊れない。ドローンの様子は360度カメラから把握し、その映像を見ながら手元の操縦器から無線でドローンを遠隔操作した。本番ではドローンが操縦不能となり、横向きに墜落し、課題は果たせなかった。「電波障害により信号が遅れが発生し、6つのローターのタイミングが制御できませんでした」と肩を落とした。



できるんばい

ロボコンに立ち会って

廃炉創造ロボコンの取り組みを通じて、高専生は廃炉に向けた作業の困難さを実感するとともに、技術開発としての重要性を認識したようだ。参加者の1人は関係機関に就職するとも聞いた。人材育成の道に薄明かりが見えた。

「廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」はロボコン以外にも、廃炉研究に携わる学生向けのイベントで人材育成に取り組んでいる。次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス(NDEC)という学生だけが発表するシンポジウムもその一つ。廃炉研究に取り組む学生たちが、互いの成果を発表し、優れた発表には賞を出したり、実際の現場で働いている研究者や技術者と直接意見交換をしたりする中で、廃炉への取り組みに対するモチベーションを高めている。今年のNDEC-2は、3月7日(火)9時から東京工業大学 大岡山キャンパスで開催される。この機会に廃炉に取り組む次世代人材への支援を頂きたい。

<http://www.jst.go.jp/nuclear/training/>



昨年のNDEC-1での表彰式の様子

廃炉を通じて、技術と人を育てる



鈴木 茂和
福島工業高等専門学校 機械工学科 准教授

福島第一原子力発電所の廃炉は、終了までに長い年月がかかる困難な作業です。だからこそ、前向きな姿勢で取り組み、技術と人材を育てる機会として生かすことが大切です。

私たち福島高専には、廃炉や震災からの復興に対する強い思いを持つ生徒も多いことから、文部科学省の原子力科学技術・人材育成推進事業に採択され、「廃炉に関する基盤研究を通じた創造的人材育成プログラム」を進めています。福島高専が中心となって全国の高専が連携し、大学やJAEA(日本原子力研究開発機構)、企業にも協力いただきながら技術開発などに取り組んでおり、その一環として、未来を担う技術者の卵たちに廃炉に関心を持ってもらおうと、「廃炉創造ロボコン」を企画しました。

廃炉作業に役立つロボットを開発するといっても、高専生たちは、廃炉作業の実態や現場を知りません。そこで昨年9月、コンテス

トに参加する生徒を対象に、福島県楡葉町の遠隔技術開発センターや福島第一原子力発電所を見学するサマースクールを行いました。実際に現場を見て、その様子を肌で感じることは、ロボット製作のヒントになるだけでなく、福島の実状を知ってもらう、よい機会になったはずだ。

今回は第1回目準備期間が短かったこともあり、ほとんどのチームが課題をクリアできませんでしたが、失敗を通じて学ぶことも多かったはずだ。この経験を糧に、みずから考えて課題を見つけ出し、解決する力をつけてほしいと願っています。

廃炉で求められる放射線対策や遠隔操作などの技術は宇宙開発と共通するものも多く、技術者として挑戦がいのあるテーマだと思います。廃炉創造ロボコンがこれから回を重ねていく中で、たくさんの斬新なアイデアや技術が生まれることを期待しています。