

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はばらばらと壊れてしまう。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頼りなく、ロボットの動きを監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、被災地の福島県福島市にある日本原子力研究開発機構（JAEA）福島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

ものつくりの都・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60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わっ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走るのを喜び、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、山の頂上からと、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。先行ロボットが降り切ると、ウィーンとワイヤーを巻き上げ、後続ロボットを引き上げる。互いに助け合い、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もなっていた。

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也さん、先行ロボットを操縦した山口清也さん、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原史さんの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、菅原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、土井智博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。これまで災害救助ロボットの技術を継ぐ「ロボポップレスキュー実用グループ」や、レスキューロボットコンテストにも参加してきた。

廃炉創造ロボコンの競技要項には、遠隔操作の1つにステップフィールドがある。ロボ

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

これまで登れなかった原因は、車輪の大きさと山の高さとの兼ね合いで、ステップフィールドの段差の高さに対して、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。それなら車輪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がれてきた「変動型8輪駆動式車輪」を足回りに採用しているもので、その部分を変えたくなかった。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。

このロボットの特長は、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、段差に応じて自然に角度を変えて乗り越える点にある。理論上は車輪の自重の70%の段差を乗り越えられるという。段差や起伏の多い道でも機動的、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度も続くことから、車体が途中で引っかかってしまい、1台では乗り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、最初はまったく異なることができなかった。

「どの角度でどう登れ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付けたり、ワイヤーで引っ張って押し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した。やっと登れるようになったのが本番の2週間前です」と船津さんは語



テストコースは本番の課題を基に学生が手作りした。



2台が助け合って動く「TAPPAR」

笑いました。

そこから模擬フィールドでの走行練習を始めた。「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、「後続ロボットが押し角度は、先行ロボットのワイヤーの巻き上げ具合で決まります。ロボットに取り付けたカメラの画像を見ながら、「もう少し悪い」と声をかけながら操縦しました。そうした練習でできたのも、模擬フィールドを作ったのが役に立ちました」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、製作を担当した菅原さん。「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、福島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。その最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番練習ができたのは2週間程度。短期間ながらも練習を繰り返して、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功利的コツを見つけ出した。

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できなくなり、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。内部で見えないもどかしさを感銘しました」と山口さんは悔しがる。

難関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。

「これでやりたいだいたいあるかなと思います。せめてフィールドを1層できたら、胸を張れるんですけど。メンバーは結果に決して納得していない。それでも数か月前はまったく登が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りに感じたいことだろう。TAPPAR同様、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とは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」と実感を語った。

進学、就職と4人の道は違いますが、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けるには、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。



本から、菅原史さん、山口清也さん、村上大介さん、船津達也さん



指導にあたった土井智博准教授

細工は流々、失敗は貴重な教訓に

若者たちの斬新なアイデアを引き出し、人材育成を促す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特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昭彦 JST 研究広報監製)

👑 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固定した。

本書では、ベルトに貼り付けたゴムがはがれ落ち、滑って傾いたし、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5gの乗物を下ろし、さっと下降りして時間終了。

「学校と違い、この階段は41度の急な傾斜なのでテストで受れず、応募段階でゴムを切ってベルトに貼り付けました。本書では、滑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たよかったです」と生徒は朗らかに話した。



👑 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立ロボットだ。自作の鋼板追加4mm厚FRP板で回路基板を放射線遮蔽することで放射線量は7分に低減。カメラを前後に搭載して遠隔操作した。本書では、サブクローラーが小さすぎて、1段階は登れたが2段階が登れない、何度も試み方が加算だった。遠隔操作の難しさもあった。

👑 アイデア賞: 興誠高専

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。地上との高さに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。旋回にはスコープカメラ、無線が使えないので何台も子機の間をLANケーブルで連結した。

本書では、ステップフィールド入口から先に進めなかった。空機や人の移動によるわずかな気流の動きでバルーンが揺らぎ、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。建物の傾斜は想定外でした。この点を改善してまた挑戦します」と明るく話した。



👑 日立賞: 旭川高専

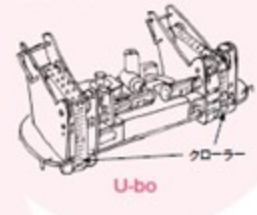
U-boは完全自律走行ロボットだ。走行制御は、リミットスイッチと傾斜センサのみ。クローラーは1対1のみのシンプル設計だ。カメラ、照明、リモコンは搭載していないが、90度の旋回はできる。

本書では、踊り場のそばまで行ったが、プログラムが機体姿勢を調整しきれず、乗物を踊り場を下ろし、滑らかに階段を降りて時間切れとなった。

👑 日立賞: 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1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。

本書では、踊り場のそばまで行ったが、プログラムが機体姿勢を調整しきれず、乗物を踊り場を下ろし、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 エナジー賞: 富山高専

RITORNOは、安価で人しやすいホイールロボットだ。傾斜面が少ないのでサブホイールを追加。放射線を飛ばさ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。本書では、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。



👑 常盤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。当道折れたため変形ドローンを計画したが、重量が増え飛行が安定しないため断念。とりえず組み合わせたロボットでやることに。本書では、ドローンを遠隔操作で何度飛ばしても思う方向に進まず、ぶつかりて羽根が折れてしまった。

実演後「電波障害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」と明るく話してくれた。



👑 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。全方位にパンバーがあり、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作盤から無線でドローンを遠隔操作した。本書ではドローンが機体不能となり、横向きに墜落し、試験は果たせなかった。「電波障害により信号に遅れが発生し、6つのローターのタイミングが制御できませんでした」と責を落とした。



ロボコンに立ち会って

廃炉建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人は関係機関へ相談するとも話した。人材育成の道に弾みが見えた。

「廃止施設研究・人材育成強化プログラム」はロボコン以外にも、廃炉研究に関わる学生向けのイベントで人材育成に取り組んでいる。次世代エンジニアティブ賞が技術者カンファレンス(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高専生たちが、高い成果を発表し、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意見交換をしながら、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。この機会に廃炉に関心の高専生や一般の学生もぜひ参加してほしい。
<http://www.jst.go.jp/nuclear/training/>



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。私も福島高専には、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ため、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、「廃炉に関する基礎研究を通じた創発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うと、「廃炉建造ロボコン」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しても、高専生たちは、廃炉作業の実例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、福島県産品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、高専生の現状を知ってもらう、よい機会になったはずです。

今回は第1回目で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。この経験に糧に、みずから考え課題を見つけて出し、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、技術者としての挑戦がいのあるテーマだと思います。廃炉建造ロボコンがこれから豊かになっていく中で、たくさんのおもしろいアイデアや技術が生まれることを期待しています。