

第2回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト 優秀賞受賞

# 高専生が提案する ぬかるみを歩きやすくする長靴

～人のための技術開発に挑戦した学生と教員の日常風景～

津山工業高等専門学校 総合理工学科 機械システム系 教授 細谷 和範  
ほそたに かずのり

## 1. はじめに

この度、インフラマネジメントテクノロジーコンテスト（以下、「インフラテクコン」という）にて栄えある優秀賞をいただくに至りました津山高専“田んぼの安全守り隊”の学生たち（写真-1）は、ぬかるみ（泥濘）での歩行を楽にする長靴として、靴底から空気をブクブク出すアイデア（図-1）を提案しました。

本稿では、アイデアの構想からコンテストに至るまでに練り上げられた、学生と教員との行き当たりばった…バッチシな取り組みと、成長の過程を包み隠さず記したいと思います。



図-1 ぬかるみを歩きやすくする長靴

靴底から能動的に空気を噴出する仕組み。平常時は水田等での作業に、豪雨災害等の緊急時は泥かき作業や避難・捜索活動での活用を想定しています。



左から奥くん、高木くん、小原くん、高元くん



2021年度（令和3年度）5年卒研究生

左から教員の細谷、素顔の高木くん、高元くん、リーダーの奥くん、小原くん

写真-1 田んぼの安全守り隊のメンバー

## (1) ところで高専って？

高専（高等専門学校）といえば、ロボコンやAIを用いた発明コンテストなどで知られている技術系の学校ですが、今ひとつピンとこないという方も多いように思います。高専は中学校を卒業して入学した学生（生徒にあらず）に5年間の一貫教育を行い、実践的な技術者を養成する高等教育機関です。国立高専は現在全国に51校あります。

筆者の所属する岡山県北部にある津山高専には機械、電気電子、情報、理学のコースがあり、学生は自身の専門分野だけでなく、他の専門も横断的に学びます。これがなかなか大変で、筆者も機械以外の学生に、流体力学（！）をあの手この手を駆使して教えています。学生たちは4年生（大学1年生と同じ年齢）の後期になると卒研室に所属し、5年生で卒論を完成させます。国内外の学会や展示会で発表する学生も少なくなく、さらに卒研とは別に技術系コンテストに出る学生もいます。

ここまで書くと、高専に入る子は若くしてエンジニアになるぞという強い意志を持ち、修行に励み…と思われるかもしれませんが、実際のところ、学生の多くは部活や趣味に青春をささげ、研究室に所属して初めて工学技術の妙に目覚めるといった様子が見受けられます。このため、卒研室配属前の学生はおっかなびっくり（あそこのラボはガチだとか、こっちはゼミが大変らしいとか、さまざまな噂が飛び交います）。

確かに、大学2年生の年齢の学生にとって研究は未知の領域。科学の深淵な世界を探究したい学生もいれば、なんだか面白そうという軽いノリで入った方が生き生きする学生もいます。いずれにしましても、若い学生がその有り余るパワーで猪突猛進する様子は、いつ見てもまぶしく映ります。

## (2) 「流体の研究室ですよ？ここは」

筆者は機械システム系にて、主に流体力学や環境工学とメカトロニクスとを融合したテーマを扱っています。配属されるのはヒトクセありそうな

学生が多く（なぜでしょう？）、しかも“流体力学が好きという学生は稀”という悲しい特徴を持っています。

毎年、配属初日には新入りがこわばった表情で、「流体、わかんないっす、苦手っす」と吐露し、「うんうん、お前もか！」とニッコリとする先輩、そして頭をかかえる教員のコントが繰り広げられます。

ここだけの話ですが、筆者も学生時代、流体力学はたいそう苦手でした。彼らの気持ちは痛いほどよくわかります。当時は浅はかにも、「先生、抽象的表現よりも我らに具体例を！HOW TO的な教えを！ついでに単位ちょうだい！」と心で叫びながら、呪文の如く黒板を埋め尽くす方程式をノートに取ったものです（教員になって初めて、先生は理論をごまかさずに忠実に教えてくれたんだと気付きましたというのは秘密です）。

そんなこともあり、卒研テーマ設定はレベルや関心の有無など気を遣うわけですが、学生たちは関心のあるテーマなら苦手でもやりますと言います。ならばと、「減災関連はどう？世のため人のためになるよ」と提示すると、何人かに1人は一瞬目つきが変わります。これを見逃してはなりません。間髪入れずに「じゃ、やってみようか～」と導きます。

蛇足ですが、筆者の研究室では卒研は1人1テーマとして指導しています。実験の多くは1人ではできませんので、研究室では学生間のコミュニケーションを重要視しています。実験の都度、その場にいる学生で即席チームを編成して達成するように指導しています。実は“田んぼの安全守り隊”も即席チームとして生まれました。

## 2. 「なんかコンテストとか？出てみたいっすね」軽いノリですが実はいろいろ考えていた田んぼの安全守り隊の学生たち

### (1) 田んぼの安全守り隊のメンバーたち

田んぼの安全守り隊は、当時5年生になって卒研をスタートしたばかりの奥くんを筆頭に、同じラボの5年生4名で結成した“即席チーム”です

(写真-1)。各学生はそれぞれの卒研テーマを持っており、高木くんはヒトの脊椎を模したロボット、小原くんはMRIを使った流体計測とAI推論、高元くんはバナナ型水車と、まったくもってバラバラ。奥くんは前年度の先輩が挑戦していた水路をスイスイ歩ける長靴開発の続きを始めたところでした。

筆者らの住む岡山県でも、近年豪雨災害が発生しており、奥くんは世のため人のためになる長靴に関心を寄せていました。しかしながら、流体力学に苦手意識のある学生の目標設定は慎重さが必要です。泥長靴のテーマが決まるまでの過程を学生と教員の会話から見てみましょう。

(教員)「昨年は水の中をスイスイ歩ける長靴に挑戦したけど、靴を流線形にしたら揚力が大きくて、足があらぬ方向に進んでうまくいかなかった。今年は違うことしない？」

(奥くん)「いいっすよ。でも何したらいいっすか？」←受け身態勢発動

(教員)「今年も豪雨災害ありそうだ…。泥かきや搜索はホント大変だと思う。そこで、泥にはまった足をスルスルッと抜ける長靴に挑戦ってどう？」←昨夜夜なべして下調べしたことを悟られないように、あくまで自然に…さりげなく…

(奥くん)「あー、いいかもですね。実はうち、じいちゃん田んぼやってて、水田の草取りの時とか大変ですもん。なんかこっちも使えそうっすね。」←ナイスアイデア！

(教員)「じゃ、やってみようか。」←あとはヨロシクね

(奥くん)「いいっすね、それ。でも何したらいいっすか？わかかんないっすよ。」←受け身態勢再起動

(教員)「(ムムム…手ごわい) じゃ、教科書で習った知識でいいから解決のアプローチを考えようか」←勉強しろい

(奥くん)「無理くないですか？」←拒否反応

(教員)「フッフ、秘策があるんやけど聞きたい？」←ハツタリである

(奥くん)「…(コクリ)」

(教員)「泡を靴底からブクブク出してみたらどうなる？」←実は割と思いつきだったりする。確証はもちろんない。

(奥くん)「おおーいい感じかもっすね」←ノッてきた

(教員)「やってみる？じゃ、あとは自分たちで進めてよ」←最後の一押し

(奥くん)「わかりました。やりますよ！俺。じいちゃん・ばあちゃんにもいい感じに使ってもらえたら～」←どうやら“決断”した模様

高専では、学生と教員との距離が非常に近いのが特徴です。このテーマでは学生が水田作業を経験しており、泥にはまった際の足腰にかかる負担と解決の必要性を認識していたことが好奇心を駆動させたと思います。しかしながら、田んぼの安全守り隊として活動するには、もう一つポイントがありました。奥くんいわく、「なんか自分、高専入って部活やってきたんすけど(彼は野球部である)、他のこと、研究とか？打ち込みたかったんすよ」と、ふと語ったことを覚えています。彼はロボコンなどのいわゆるギークな学生ではないのですが、高専入学時に抱いていた技術へのあこがれのようなものが、ここにきて浮上してきたのかもしれない。そして、自身の言葉で“決断”したのですから最強です。

### (2) ブクブク長靴のアイデア

こうして、学生と教員の発案により、“平時は水田作業に、豪雨災害時は泥かき作業等に使えること”を設計要件として、泥から抜けやすくする空気ブクブク長靴の研究が始まりました。

このアイデアのからくりは次のようなものです。粘度が大きい泥の中に埋め込まれた靴を引き上げようとする、靴底に負圧場が生じて大きな圧力抵抗を生みます。粘度が大きい泥は上げようとする靴底に流れ込みにくく、真空に近い状態が作り出されてしまうと、これに打ち勝つために大気圧相当の圧力が必要になります(この結果、吸

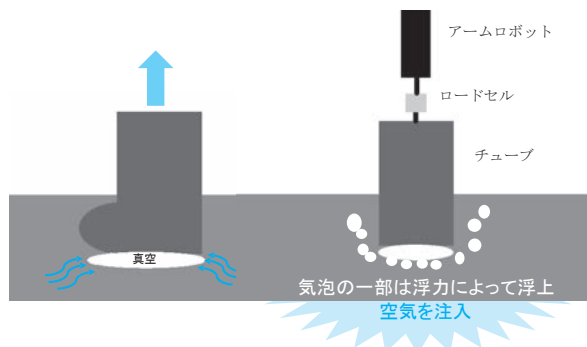


図-2 靴底から空気を噴出して引上げ時の圧力抵抗を減じるアイデア

盤のように吸いついた靴だけを残して足がスポンと抜けるお馴染みの状態になります)。

この課題を解決するには、流動性の良い流体を靴底の負圧場に流し込めばよく、きっと靴をスルスルと引き上げることができるはずです。流し込む流体は泥と似た比重で低粘度の液体が適していますが、供給タンクが必要になりますので、今回は空気を送り込む方法を採用しました(図-2)。

### (3) 「コンテスト出てみたいっすね」、即席チーム“田んぼの安全守り隊”結成

当初、空気をブクブク噴出する長靴の情報を調べたところ、国内に類似研究がなく、安心していましたが、学生と国外の先行研究を調べると…ありました。そのアイデアは我々が考えた靴そのもので、靴底に発生する負圧を使って周囲の空気や水を靴底に誘導する仕組みです。しかも特許申請が米国や韓国等でなされていました。しかしながら、一向に製品化された様子が見えません。また計測データも見当たりません。さてどうするか?ゼミでの会話を見てみましょう。

(教員)「なんで実用化されてないんだろね～。空気ブクブクは使えないのかな?」

(奥くん、高木くん)「都合よく入ってくれないでしょうね。」←なるほど!かしこいなあ…君たち

(教員)「じゃあ空気を自然に吸引させるんじゃなくて、強制的に加圧したらいいかも。これなら特許にも引っかからないし。マイコン制御なんかで

タイミング良く、カッコよく…」←制御も勉強しよう

(学生たち)「それ、いいんじゃないですか。あ、でも装置でかくなりませんか?」←マイコン制御拒否か?

(教員)「むむ、確かに繊細な装置は現場で使ってもらえないだろうな。私も震災ボランティアに参加した時思ったわ。」←そうです。シンプルイズベストです。

(学生の誰か)「ポンプとかを靴に仕込むとか?」  
(奥くん)「なるほど…それいいっすね」←経験からでしょうか。直感的にイケると思ったようです。

こうして活路を見出した我々ですが、ここにきて教員は欲を出し、コンテストに出ようと誘います。

(教員)「じゃあ、室内実験とフィールド試験を試してみよう。ついでに、なんかコンテスト出ない?いろいろあるんだけど。ダ○○○発明コンテストとか、防○コンテストとか、昨年先輩が参加したインフラマネジメントコンテストとか?」

(奥くん)「あ～、いいっすね。自分ら、高専にいる間にコンテストとか出てみたかったんすよ。昨年、研究室の先輩が出たインフラマネジメントコンテスト?水路調査ロボ出したじゃないですか。ああいうやつ。」

(教員)「ああ、水路展開図作る移動ロボットと水の抵抗を減らす長靴を提案した“水路の安全守り隊”ね。あれは2人の卒研を組み合わせたチームだったなあ。今回は奥くんだけの卒研テーマだしなあ…他のみんな別テーマで忙しいしねえ、チームとしてできるかなあ?」

(学生たち)「いいっすよ。みんなで手伝いますよ。忙しいですけど、なんとかありますよ。なんと僕たちは、締め切り直前にあわてて徹夜するような計画性のない学生じゃなく、“前もって徹夜する学生”です(キリッ!)」←注:本校では徹夜は推奨していません

(教員)「うち、機械システム系やで?建築でも土木でもないんやで、昨年もアウェー感半端なかったで。」←徹夜と聞いて、ビビっている教員

(学生)「なんとかなるんじゃないですか。この靴面白いと思いますし。」←なんて前向きな(感涙)

こうして奥くんをリーダーとするチームとして、インフラテクコンに参加することになりました。ここからの展開は非常に速かったことを記憶しています。といいますか、学生が教員の手を離れ、自分たちでどんどん実験を進めていたため、教員は彼らの作業を見ていないという方が正しいかもしれません。教員は、計測のアドバイスと実験用の長靴(娘の靴を拝借)を準備したくらいです。

室内実験では粘性流体中の長靴や柱状体を引き上げる際にかかる力と仕事の負荷を調べるために、図-3と写真-2の試験装置を作りました。この実験では泥の代わりに医療用のゲル剤(超音波プローブに使うぬるぬるした液体)を用い、ロードセルを取り付けたアームロボットの先端に円柱や小児用長靴を取り付けて上下させました。空気を噴出するチューブは靴の両側に2本取り付け、引き上げのタイミングを見計らって1リットル

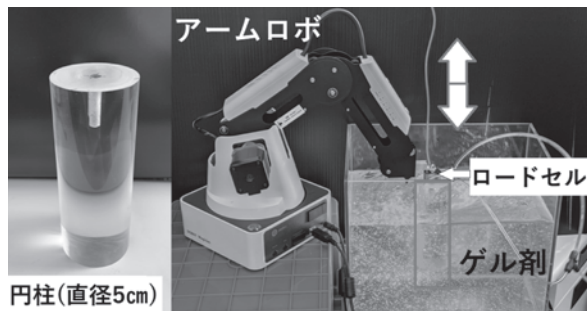


図-3 室内実験装置



写真-2 小児用長靴

ほどの空気をコンプレッサーにより供給しました。

5 cm 径の円柱を用いた実験結果を図-4に示します。図の上段は上下する円柱の位置を示し、下段に0.3MPaの圧力で空気を吐き出した場合としない場合のロードセルにかかる力(折れ線グラフ)と動力の差(棒グラフ)を示しています。この図を見ますと、円柱を引き上げ始めてから引き上げが終了するまでの間に、若干ながらパワーアシストを得ていることがわかります。

この実験を長靴でも行った結果、空気を噴出させることで引き上げにかかる仕事の1~2割が軽減されることがわかりました。しかし、この技術にすごく期待していた我々は「え?それだけ?」とガッカリ。しかも印加する空気圧やタイミングを変えてもあまり変化がありません。なぜだなぜだ?と奥くんと筆者はうろたえましたが、流れの可視化を行ったところ原因がわかりました。噴出した空気はそのほとんどが浮力によって水面に浮上してしましますが、靴底に形成されるよどみ領域に一部の空気が吸い込まれていき、これが引き抜き抵抗を低減しているようです。

### 3. コンテストに応募だ! 田んぼで実験だ! もう秋だけだ

室内実験の結果、靴底から空気を噴出させることで多少の引き抜きアシストが可能のようです。奥くんたちはダメ元でインフラテクコンに企画を送ったのでした(そして、すぐに書式が違くと突っ返されました。実に我が研究室らしい)。

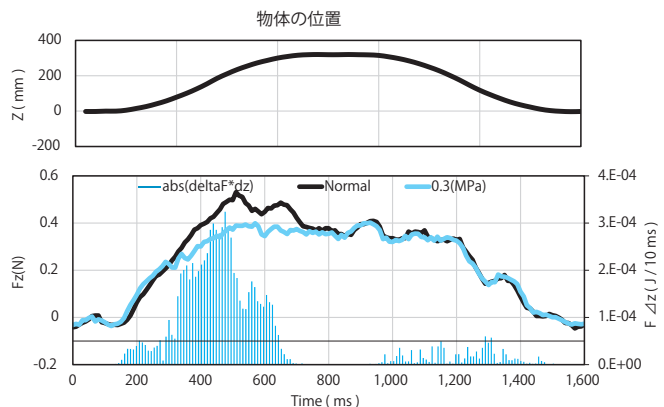


図-4 上下する円柱にかかる力と軽減される仕事

コンテストではチームプレーが重要になるわけですが、ご覧のとおり、ここまでの泥長靴実験は主に奥くんの卒業研究の作業です。他のメンバーは関心を持ち続けているのか心配になりましたが、杞憂でした。一次審査結果でのまさかの予選通過に、一同は驚きをもってとても喜びました。チーム意識は健在のようです。

さて、急ぎ最終プレゼンを作る必要があります。プレゼンでは是が非でもフィールド試験が必要だろうとなり、学生たちはその辺にあったプラスチック段ボールに、100円ショップで買ってきた足踏み空気入れを二つ脇に取り付けた図-5のカッコイイ装置を作りました（チューブが伸びるその姿は某ロボットアニメの“ザクⅡ”では!?とテンションの上がる教員に対して、学生の薄いリアクションが忘れられません）。

ともかくも装置を泥濘地でテストしようとなったものの、またも困難発生。季節はすでに秋に入り、津山の田んぼには水がありません。ご存じの方も多いかと思いますが、シーズンオフの田んぼに水を引くのは大変です。しかもコロナ禍、頼みにくい。あきらめかけたその時、日ごろお世話になっている「ふくふくファーム」様が救いの手を差し伸べてくださり、水を引いてくださいました。

学生たちは急いで田んぼに急行、歩行テストを行いました（写真-3）。筆者は多忙で現地に行きできなかったのですが、どうやらリーダーの奥くんは開発者による過大評価を避けるため、歩行試験を他のメンバーに任せたようです（素晴らしい！ホントに成長しました）。テストを行ったメンバーの学生によると、確かに靴底から噴き出す空気により足が泥に吸いつかれにくくなって、歩きやすかったといえます。

信頼する仲間の評価は、今ひとつ自信が持てなかったチームに勢いを与えたようです。フィールド試験を終え、急ぎコンテスト最終動画を作って投稿しました。

学生たちは自分たちの技術に自信は持てたものの、入賞の自信は全くありません。というのも予選を通過した各高専のプレゼンはどれも独創性が



図-5 ポンプを使った泥長靴システム



写真-3 水田での試験風景

あり、その作り込みのすごさに我々は圧倒されました。ただ、学生の表情には「やれることはやった」という技術屋としての安定感のようなものが漂っており、どうやら“何か”を乗り越えたようでした。

#### 4. 田んぼの安全守り隊が示すインフラマネジメント

「田んぼの安全守り隊、優秀賞って書いてあります…」全く予想していなかった最終審査結果に学生たちは、あたふた。授賞式で褒めていただいたり、ローカル紙に載ったり。奥くんなどはご近所でちょっとした有名人になったようです。祖父も喜ばれたとのことでした。

このプロジェクトがコンテストで入賞することを目的としていたならば、ここでハッピーエンドなのですが、田んぼの安全守り隊の活動はこれで終わりではありません。実用化には解決しなければならない課題がたくさんありそうです。

改めて田んぼの安全守り隊の提案を見ると、インフラマネジメントに貢献できるいくつかの示唆があるように思います。まずは、ぬかるみという

フィールドをバブリングにより歩きやすくする技術の仕様をマルチパーパスとしたことが挙げられます。平常時の水田や泥地、湿地での作業と、水害発生時の復旧作業を想定したことはコスト面だけでなく、日常生活の中に減災意識が溶け込む効果を有します。次いで、提案アイデアが対象者を選ばない、単純な構造を求めた点もインフラマネジメントにおいて重要かと思います（コンテストの審査においてもこれらの点を評価いただいたと伺いました）。

さらに学生たちが、楽しみながらインフラ維持の重要性に思いを巡らせ、幼少期の田んぼでの経験を活かして、自分たちでも手が出せる領域を見出して取り組んだことは技術者教育上、非常に重要かと思います。

### 5. おわりに

本稿を執筆している現在、メンバーの学生たちは卒業し、それぞれの道を歩んでいます。今回の学生指導を振り返ると苦労も多かったのですが、予想を超えた学生の成長の傍らに立てたことは教員冥利に尽きます。とりわけ、「ああ、彼らはこの先大丈夫だ」と思える瞬間はたまりません。本誌の読者の中にも後進の育成にご尽力され、同様の感慨を覚える方もいらっしゃるのではないのでしょうか。人と技術のどちらかが欠けてもインフラマネジメントは成り立たないように感じます。

彼らはきっと水田を見るたび、あるいは水害のニュースが流れるたびに、あのホースの生えた長靴を思い出し、将来、多少なりとも技術屋として人々の安全のために尽力してくれるように思います。人手不足が心配されるインフラマネジメントですが、技術と関わる人の心の持ちようが大きく変化しそうです。今回のコンテストを通じて各校

の学生同士が互いに刺激しあい、本気度MAXで作上げた渾身の動画コンテンツは、次に続く後輩たちが新風を巻き起こすきっかけになりそうです。

研究室では提案技術の次の展開として、図-6に示すようなぬかるみ歩行が可能な多脚ロボットを検討しています。近い将来、過酷な環境でヒトとロボットが協調して作業できれば、新たなインフラマネジメントの展開が可能になります。そして、我が研究室には今年も「流体ですか？苦手っすね」と表明する学生が配属され、ただいまその有り余るパワーを解放しはじめました。彼らもまた奇想天外な発想で面白い学生に育ちそうです。ここで彼らの奮闘をご紹介したいところではございますが、誌面が尽きたようですのでまたの機会に。

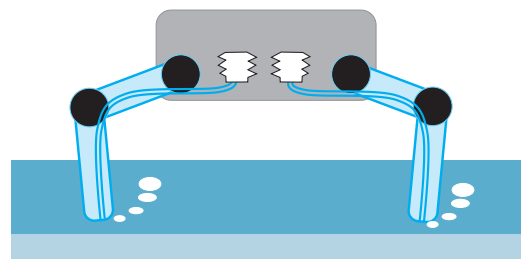


図-6 泥地を走破できる多脚ロボット

今回紹介しました“田んぼの安全守り隊”の提案動画は、こちらでご覧になれます。収録にテイク10以上かかった渾身の作をお楽しみください。



[https://www.youtube.com/watch?v=RFBHEC\\_Xthc](https://www.youtube.com/watch?v=RFBHEC_Xthc)