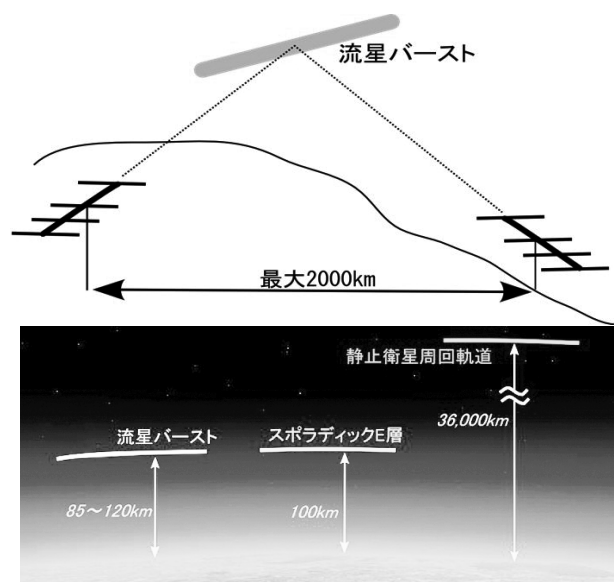


流星バースト通信路観測網の構築 ～ 星に願いを ～

流れ星が流れている間に願い事を3回唱えると叶うというが、成功した人はあまりいないでしょう。この流れ星を使って遠くの地と無線通信しようというのが流星バースト通信である。流れ星は願いを叶えてくれないかもしれないが、遠くの人に願いを伝えることはできるのである。本当に通信が可能なのかと疑義を抱く方、可能だとしてもとても流れ星が落ちるのを待ってられないという方がほとんどだと思うが、実は意外と多くの通信ができる。我々の研究グループ*1はこの流れ星を使って効率よく通信する方法を研究している。2007年から2009年にかけて科学研究費*2の助成を受けて日本国内の数か所に観測網を構築し観測を行った。卒業研究および専攻科研究の一環として多くの学生が観測網の構築に関わり成果を上げている。現在も観測は引き続き行われている。本稿では初めに流星バースト通信について述べ、次に学生たちの奮闘ぶりについて述べる。

沼津工業高等専門学校・電子制御工学科
長澤 正氏（ながさわ まさうじ）



流星バースト通信
流れ星の飛跡に電波を反射させて最大2000kmの見通し外通信

流星バースト通信

(Meteor Bust Communication, MBC) とは

流れ星は宇宙に散在している塵が地球に落下する現象である。塵が地球に落下する際にその摩擦熱で大気を電離させプラズマ状態の飛跡を形成する。飛跡は太さ数 m、長さ数 km の円柱状となり、これを流星バースト (Meteor burst) と呼んでいる。流星バーストは空気がある程度濃くなる 120km あたりから、塵が燃え尽きる 80km 位の間に形成され、電離層の E 層とほぼ同じ高さで VHF 帯の電波をよく反射する。流星バースト通信 (以下 MBC) は、この流星バーストを反射体に使った見通し外 (Beyond Line Of Sight, BLOS) 通信である。ごく短時間ではあるが人工衛星と同じ働きをすることになる。アマチュア無線では流星散乱通信 (Meteor scatter communication) と呼ばれて 50MHz 帯には流星散乱用に使うように指定された帯域さえある。

流星となる塵の質量は大小さまざまで、その数の分布は質量に反比例することが知られている。数十 mg 程度以上の塵による流星が肉眼で観測でき、これがい

わゆる流れ星である。一方 MBC では数 mg の小さなものから利用できる。したがって、数も多くそのほとんどが肉眼で確認できない流星である。もちろん、昼間でも流星バーストは発生している。送信局と受信局の二地点を決めたとき、電力や周囲ノイズにもよるが、通信路は平均で数分に一回発生し、数百 m 秒間続く。これは日常的な統計値であって流星群のような特別な時はさらに多くなる。近年の PACKET 通信技術の進歩によりこのような短時間で多くの情報が送れるようになった。会話のように即時性を要する通信には不向きであるが、僻地での気象データ観測など即時性を要さない小容量の通信には十分利用できる。

歴史

最初に流星群の出現と電波伝搬になんらかの関係があることを掴んだのは RCA 社の Pickard G.W. であった。彼は 1931 年にそれを発表 [1] している。その冒頭で我が国の物理学者長岡半太郎の論文を引用している。流星バースト研究初期の段階から日本人が関与していることは、MBC 研究に携わる者としてなんとなく誇らしい。

1950 年代に盛んに MBC の研究が行われたが、そ

*1: 現在は 4 学校。静岡大の椋本技術専門職員、産技高専の若林教授、
防衛大学校の亀井准教授が参加している

*2: 文部科学省科学研究費補助金 19560404

の後、衛星通信の発達とともに MBC の研究は衰退した。1980 年代になってマイクロプロセッサが登場するとパケット通信技術が飛躍的に発達し、再び MBC がブームとなる。各国で気象・海洋・河川水量などのデータ収集システムが構築された。中でもロッキーマウンテンに 600 個もの端末を設置し降雪量を観測する SNOTEL は現在も稼働している。

静岡大と沼津高専は 1992 年に実験用無線局を開設し通信路の観測およびプロトコルの実験を行っている [2]。また、2002 年から約 3 年間南極でのデータ収集への応用を検討するため、中国の中山基地と昭和基地間で通信路の観測実験を行っている [3]。

原理と特徴

通信に有効な流星バースト

流星バーストは円柱状の電離気体であることを先に述べた。送信局の電波が受信局に到達するには入射角と反射角が等しくなるように流星バーストが発生しなければならない (図 1)。また、図 2 に示すように通信可能な距離はバーストの生成される高度 100 km と地球の曲率から最大約 2000 km となる。

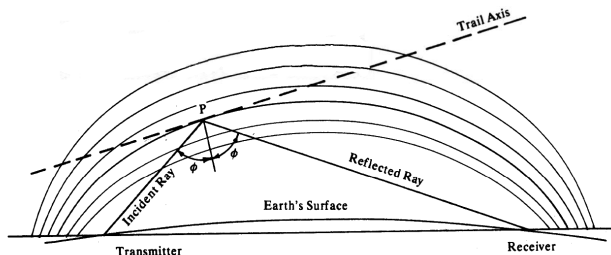


図 1 流星バースト通信路の発生

周波数

流星バーストの反射を観測できる周波数は最高で 150MHz 程度である。流星バーストからの反射も電離層と同じように周波数が高いほど反射強度が弱い。しかし、アンテナのサイズ、偏波面の回転、D 層による吸収、電離層散乱波との干渉などの点では高い周波数が有利である。そのような理由から多くの MBC の実験では 30MHz ~ 50MHz が用いられている。

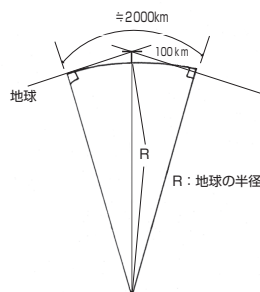


図 2 最大通信距離

通信機器

アマチュア無線で使われるような簡単な装置で実現可能である。我々の実験も送信電力 100W、5 素子八木アンテナで行っている。このように人工衛星を用いた通信装置に比べ極めて安価に構築できる。

季節変動、時刻変動

図 3 は後述の我々が構築した観測網での観測結果より求めた季節変動である。縦軸の Duty cycle とは、トーン送信時間に対する通信路の発生している割合である。年間を通じて 0.1 [%] 前後で推移していることがわかる。この観測では SN 比 3 dB での信号検出を行った場合、発生間隔は約 100 秒、継続時間の平均は 0.1 秒であった。図 4 にみられるように明け方が多く夕方が少ない。これは、地球の表面が公転方向にある時間が明け方であることによる。自動車のフロントガラスに雨粒が多く当たるのと同じ原理である (図 5)。

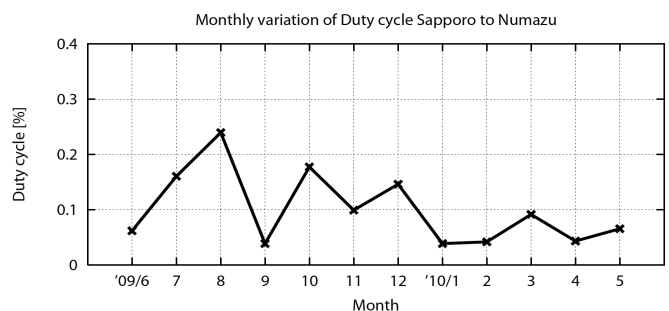


図 3 流星バースト通信路の季節変動 (札幌・沼津間)

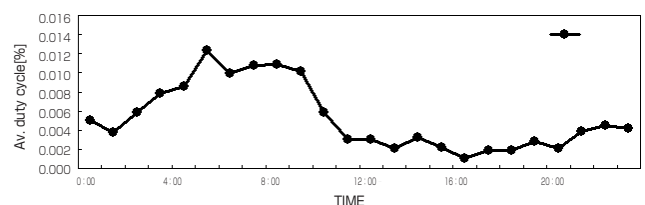


図 4 Duty cycle の時刻変動

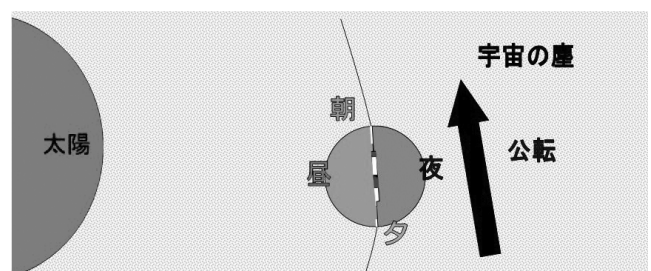


図 5 公転と流星の日変動

データ伝送方式

気象データを収集するような MBC データ収集システムでは、データの集積地にマスター局、観測地にリモート局を置き、リモート局が観測した気象データをマスター局へ伝送する。このようなシステムのデータの伝送は図 6 のような手順で行われる。マスター局はプローブと呼ばれるごく短いパケットをリモート局に向かって繰り返し送信し、流星バーストが発生してリモート局にプローブが届くと、リモート局は間髪入れずにデータパケットをマスター局に向かって送信する。データパケットの受信に成功したマスター局は確認応答 (Ack) パケットをリモート局に送る。Ack が受信できて一つの通信が完結する。

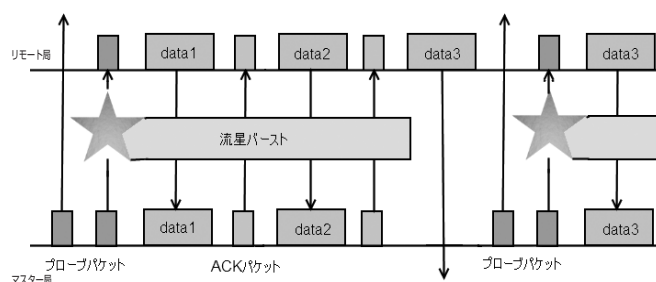


図6 流星バースト通信のデータ伝送手順

国内における流星バースト通信路観測網の構築

2007年3月まで静岡大学を中心として、北海道大学、宮崎大学等に実験局を設置し、流星バースト通信の実験を行ってきた。しかし、人員の異動に伴い静岡大学中心の観測体制が存続できなくなり、実験は休止状態にあった。そこで沼津高専が無線局（試験実験局）の免許を取得し全国高専の協力を得て、高専と大学での流星バースト通信路の実験および観測網の構築を計画した。

観測実験概要

1,250Hz の正弦波信号を USB (Upper Single Side Band) 変調して北海道大学低温科学研究所から南方向に送信し、各地で受信する。試験実験局に与えられた周波数は 48.375MHz で、このトーン信号は結果的に 48.37145MHz の単一正弦波として送信される^{*3}。送信時間は毎正時から 10 分間隔で 3 分間、24 時間送信する。この信号を各地で受信し受信時刻と継続時間および受信波形を記録する。

観測場所

取得した免許は 3 つの局からなり、既に免許を取得している静岡大学の局と合計 6 局が観測に利用できる

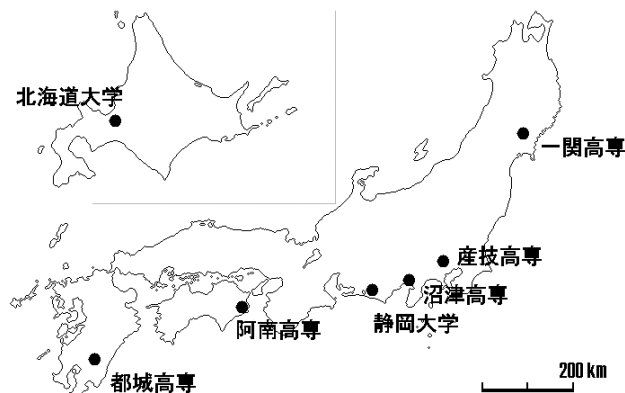


図7 通信路の観測地点

ようになった。観測は一関高専、産技高専、防衛大学校、沼津高専、静岡大学、阿南高専、都城高専で行った。都城高専は 2010 年 1 月で終了しているが、そのほかは継続して観測を行っている。

学生の活躍・予備実験と設営

卒研で私の研究室に配属になった学生は、全国の観測地に行ってアンテナ設置工事を手伝わなければならない。当時学生の間では「長澤研へ行くと旅行ができるが、力仕事あり深夜作業ありでけっこうきつい。」という評判だったそうだ。それでも何人かが希望し長澤研にやってきた。中でも本科卒業後も専攻科^{*4}に残ってこの研究を手伝ってくれた善養寺君と梅原君の活躍は特筆に値する。二人は性質も特質もずいぶん違っており、それぞれに有能だった。善養寺君は電子工作が趣味でプログラミングも得意だった。他人の書いたプログラムを読むのは嫌なものであるが、彼はほんと簡単に私のプログラムを解説し改良した。私が、我ながらほれほれするような美しいプログラムを書いたとき、彼に見せて「どうだ、きれいだよ」と



写真1 一関高専
アンテナ設営 梅原君

^{*3}：試験実験局の流星バースト用通信機は、48000Hz の搬送波の PSK 変調波をアップコンバージョンして中心周波数が 48.375MHz になるように設計されている。この装置に 1250Hz の無変調波を入力すると 48.37145MHz の単一正弦波となる。

^{*4}：高専には 5 年間の本科課程を卒業後、2 年間の専攻科が設置されている。本校の専攻科を卒業すると大学と同じ学士の称号が取得できる。



写真2 阿南高専予備実験 善養寺君

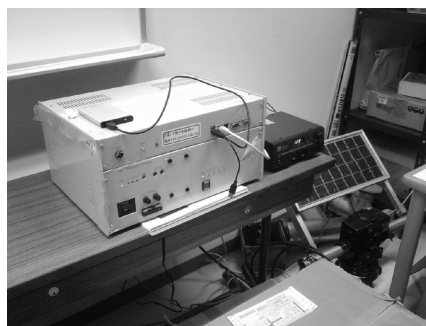


写真3 流星バースト通信用無線機
IT5000N

自慢した。そんな会話のできる学生であった。梅原君は作業の準備や段取りに格別なものがあつた。「いついつ XX 高専で予備実験を行うから準備を頼む」と指示すると、搬入搬出リスト、作業手順をまとめ、「先生、ターンバックルを3つ購入してください。」とくる。送付日までに搬出物はまとめられて、私は梱包前に確認するだけでよかった。そんな彼らだが、善養寺君は方向音痴で列車の時刻などあまり頓着ない。梅原君はプログラム作成にだいぶ苦勞したようである。ちなみに、私の研究室にきた専攻科学生は卒業までに、プログラミング言語は最低でも5種類ぐらい使いこなせるようになる。他に産技高専の専攻科学生藤木君も実験には欠かせない存在であつた。

2008年10月によりやく総務省から試験実験局の免許が下りた。2008年12月静大の椋本氏と私で北海道大学の送信局を立ち上げ、その足で一関高専へ移動し梅原君と予備実験、善養寺君と産技高専の若林先生および藤木君が都城高専の設営にあたるという一大イベントを挙行政した。

北大の送信局は順調に立ち上がり、都城高専の設営も若干の問題を解決して軌道に乗ったころ、一関高専でトラブルが発生した。初日の午後に一関高専に到着した後、暗くなるまで作業してアンテナを設営、一昼夜の観測実験を開始した。夕食を済ましてホテルに到着就寝、しかし朝食時に梅原君が来ない。電話をすると「腹痛で起きられない。」という。トラブルは機械

でなく学生の体に発生したのである。軽い食あたりかと彼をホテルに残して私は実験の状況を確認に一関高専へ向かう。実験の結果は芳しくなく、アンテナの方向を変えたり機器の調整をしたり悪戦苦闘、学生がいないので簡単な作業もずいぶん勞力と時間がかかる。改めて学生の存在に感謝の念が生まれた。彼はその日も快復せず、夜間に一関市内の救急病院へ行き急性腸炎の診断を受ける。翌日も快復せず、一関高専の先生に手伝ってもらって撤収し、彼を連れて沼津に戻った。予備実験も散々な結果であつた。その後、彼は翌2009年の実際の設営時に再度一関に行きリベンジを果たすことになる。

2010年3月に都城高専の実験機器の撤収を行う。この時は善養寺君に同行してもらった。あいにくの雨だったが、飛行機の予約もあつて日程を変えるわけにもいかない。都城高専の屋上に登るととんでもないことになっていた。屋上の排水が悪く水が溜まってプール状態だったのである。都城の先生が長靴を調達してくれた。私は履けたが善養寺君の足は標準よりかなり大きく合うサイズはなかった。都城の方々の協力もあつて排水口に詰まった落ち葉などを取り除くと一気に排水し、屋上の床面が現れる。靴も体もびしょびしょになりながらアンテナを撤収した。善養寺君はこの年の3月で卒業、帰宅するとすぐに社員寮への引っ越しが待っているという。最後まで大変な思いをさせてしまった。まったく感謝の念に堪えない。

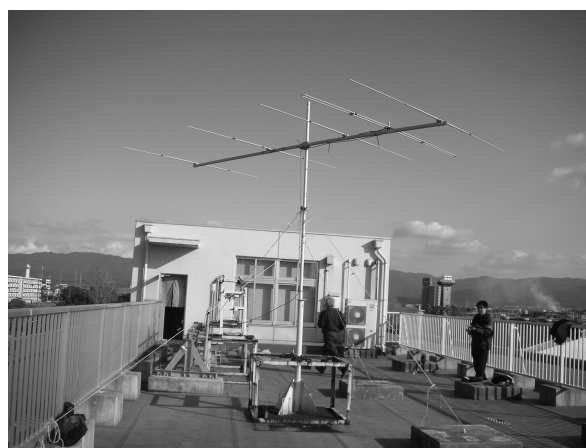


写真4 都城高専の屋上アンテナ
(撤収時には雨でプール状態になった)

おわりに

本研究に関わつた学生たちは研究の成果を学会等で発表している[4~12]。最初は学会の学生発表会や高専のシンポジウムで発表し、慣れてきたところで本格的な学会で講演した。最初は緊張のあまりたどたどし

かった彼らも、これだけの数をこなすと最後にはだいぶ慣れてきて、ジョークさえも交えるようになる。それでも、質問の回答に窮すると、ちらちらとこちらを見て助けを求めるのであるが、助け船を出した後はこっぴどく絞られる。

観測網の構築には機器の設置場所に多くの学校と各校の先生方に協力をいただいている。北海道大学・低温研の白澤邦男教授、一関高専の管隆寿講師、阿南高専の松本高志准教授、都城高専の樋渡幸次准教授に深く感謝する。

国内での流星バースト通信の研究を本格的に行ったのは私の恩師である元静岡大学教授の福田明先生である。流星バースト通信の詳しい解説や福田先生とともにに行った数々の実験の結果などは文献 [2] に述べられている。わかりやすく書かれているので興味を持たれた方はご一読されたい。

観測は現在も続けられており、札幌から 400km 位離れたところで 50MHz のアマチュア無線機があれば流れ星の音を聞くことができる。48.3702MHz USB に合わせて 1 時間くらい我慢して聞いていれば 1,250Hz のピーという音が何度か聞こえるはずである。

参考文献

- [1] Pickard, G. W.: A note on the relation of meteor showers and radio reception, Proc. IRE, 19, 17, pp.1166-1170 (July 1931)
- [2] 福田 明、流星バースト通信、コロナ社 (1997)
- [3] 椛本介士、福田明、長沢正氏他、YANG Huigen, 第 43,44 次南極地域観測隊における流星バースト通信設備を用いたデータ伝送実験, 電子情報通信学会論文誌 B, ol.J88-B No.9 Page.1875-1885 (2005.09.01)
- [4] 梅原直也、善養寺薫、長澤正氏、札幌-沼津間流星バースト通信路の観測、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2008
- [5] 善養寺薫、梅原直也、池田慶太、齋藤孝平、河野哲也、長澤正氏、若林良二、流星バースト通信路観測システムの構築、沼津高専研究報告 第 43 号, pp.97-102, 2009
- [6] 善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、樋渡幸次、若林良二、高専を拠点とした流星バースト通信路観測網の構築、第 14 回 高専シンポジウム in 高知, 2009.1
- [7] 善養寺薫、梅原直也、椛本介士、若林良二、長澤正氏、国内における流星バースト通信網観測システムの概、2009 年電子情報通信学会大会講演論文集、Vol.2009, 通信 1, Page.315, 2009.3
- [8] 藤本雄大、若林良二、善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、椛本介士、産技高専における流星バースト通信システムの構築、平成 20 年度電子情報通信学会東京支部学生会, 2009.3
- [9] 梅原直也、善養寺薫、若林良二、椛本介士、長澤正氏、国内における VHF 帯伝搬路の性質、成 20 年度電子情報通信学会東京支部学生会, 2009.3
- [10] 善養寺薫、梅原直也、若林良二、椛本介士、長澤正氏、流星バースト通信路特性の南極と中緯度の比較、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010, 通信 1, Page.260, 2010.3
- [11] 善養寺薫、梅原直也、若林良二、椛本介士、長澤正氏、流星バースト通信によるサロマ湖-札幌間気象データ伝送、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010 通信 1 Page.259, 2010.3
- [12] 藤本雄大、若林良二、善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、亀井利久、椛本介士、トーン信号伝送による中緯度地域の流星バースト通信路比較、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010 通信 1 Page.258, 2010.3



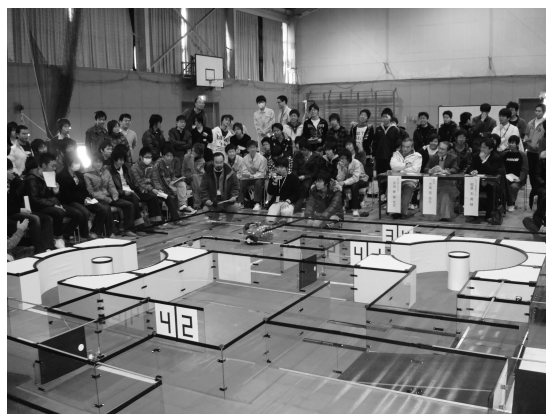
高専制度発足から今年で 50 年になります。創立以来、各校の各学科においてそれぞれにユニークな教育が行われてきました。その卒業生たちが技術立国日本を支えてきたといっても過言ではないと思います。

沼津高専・電子制御工学科では、システム開発教育の一環として MIRS (Micro Intelligent Robot system) と呼ばれる小型自律移動ロボットの製作をカリキュラムに取り入れています。MIRS 開発は、3 年生までに学習した全ての科目と実験の総決算となります。例年その成果発表の場となる MIRS 競技会は、学科を挙げた一大イベントになっています。

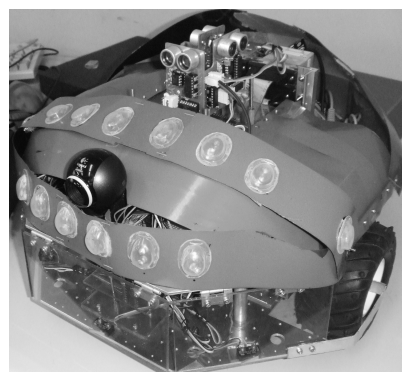
20 年以上にわたる MIRS 開発教育の歴史を振り返りますと、1988 ~ 97 年は相手の後尾に取り付けられたスイッチを早く押した方が勝者となる「対戦型競技」、1998 ~ 2008 年は所定の時間内にフィールドに置かれたボスのスイッチを押してその獲得数を競う「オリエンタリング競技」が実施されてきました。2009 年から画像認識機能を搭載した新型の基本モジュールを導入、競技も「迷路の脱出」となりました。

4 年生の 6 チーム (8 人 / チーム) が一年間をかけて競技に挑みます。走行ルートの途中には「段差」、「鍵と扉」といった難所が設けられ、走行ルートの分岐点には、「道しるべ」があり画像認識で解読すれば有利に道を選ぶことができます。例年のことですが、競技会直前には、工作室で夜を徹して作業する学生も少なくありません。

22 年度の競技会は 2 月に開催されました。各班 4 分間のプレゼンテーションでオリジナルの機能について紹介した後、競技に挑みます。結果は惨憺たるもので、ゴールにたどり着いたチームが 1 つもないという状況でした。4 年生はモノづくりの楽しさと挫折を味わい、1 年生は「もっともっと勉強して、自分たちのときには立派な MIRS を作るぞ。」と闘志を燃やします。



競技会の様子



審査員特別賞 MIRS0904