

課題解決能力育成のための適切なミッションの設定

－「東京大学の研究者に学ぶ講座」での実践－

教科研究センター 理科教育課

澤大輔 今澤泰秀

理科教育課では、「東京大学の研究者に学ぶ講座」（以下、「東大講座」）として、東京大学の中須賀真一教授と連携し、高校生を対象に課題解決能力の育成を目的として、缶サット製作を題材にした講座を行っている。東大講座において受講生が達成すべきミッションの設定は、課題解決能力の育成に大きくかかわっているため講座設計において最も重要なポイントとなっている。そこで、最近4年間の東大講座で設定してきたミッション内容および得点設定、成果について報告し、課題解決能力を育成するための有効な講座を設計するために得た経験知をまとめる。

<キーワード> 缶サット 人工衛星 トレードオフ ミッション 課題解決 探究

I はじめに

東大講座で題材としている「缶サット」とは小型模擬人工衛星のことである。空き缶に布で作ったパラシュートを糸で付けたものを基本とし、これを上空50mから落下させる。缶サットが地面に着くまでの十数秒の間に、与えられたミッションを達成するために受講生は缶サット本体に様々な工夫をし、ミッションの達成度を得点化して競う。この「缶サット」は実際に人工衛星開発に携わる研究者や技術者、学生たちが初めに取り組む教育プログラムとして用いられている。

東大講座は、平成29年度から毎年1回開催しており、令和4年度までに計6回開催してきた。毎回3日間のスケジュールで実施している。受講生は3～4人でチームを組み、2日目までにオリジナルの缶サットを製作し、3日目に行うフライトコンテストで得点を競う講座である。以下に東大講座3日間のスケジュール概要を示した。

1日目 午前	東京大学中須賀教授による講義、中須賀研究室学生による缶サットの説明とミッションの発表、フライトコンテストでの基本ルールの確認、製作計画の作成
1日目 午後	各班での製作作業 室内の吹き抜け場所や体育館での小実験
2日目	各班での製作作業、グラウンドでのフライト実験
3日目 午前	各班での最終調整、グラウンドでのフライト実験 フライトコンテスト本番
3日目 午後	成果報告会 講師講評

ミッションの設定は、課題解決能力の育成に大きく関わることから、東大講座の実施において最重要ポイントである。受講生は与えられた素材と道具で自由に製作を行う。ミッションに対する明確な答えはなく、受講生は試行錯誤しながらミッションの達成度を磨く。よって、ミッションは簡単に達成できるものでも達成が困難すぎるものでもいけない。また、グラウンドの広さやフライト装置の大きさなど、本研究所の環境

要素も考慮しなければならない。1回の講座で設定するミッションは3～4つで構成しているが、ミッション同士の関係も重要である。1つのミッションを達成すると、自ずと2つ目、3つ目のミッションも同時に達成できてしまうようなミッションの組み合わせではなく、一方を立てれば他方は立たないという「トレードオフ」の関係があるミッションを組み立てる。ミッション同士にトレードオフの関係があると、それぞれのミッションの解決方法を考えるときに、ミッション達成度のバランスを考えることが大切になり、チームとしてどのような方針で缶サットを組み立てるかを話し合い、分担し、協力し合うことが必要となる。トレードオフの関係は実際の人工衛星開発でも直面する課題であり、課題解決能力を育成するためのミッションとして必要不可欠である。

過去6年間のうち、直近4年間で行ってきた東大講座のミッションを紹介し、その成果について考察し、経験知をまとめる。

II 課題解決能力育成を目指したミッション

1 基本的なミッションと制限事項

一般的に缶サットを題材とした講座で設定するミッション項目には、主に次のものがある。

(1) フライト時間（放出から着地までの時間）の制御

パラシュート面積の大きさ、缶サット本体の重量、パラシュートが開くまでの時間（開傘時間という）の調整で制御できる。基準となる時間を設定し、得点は基準点からの減点によって決めることが多い。風に流された場合にもグラウンド外に着地してしまうことがないよう安全面を考慮して、フライト時間に関するミッションは必ず設ける必要がある。

(2) 着地時に缶サットが自立していること（図1）

重心位置の調整、缶サット本体の外形の工夫で制御するのが一般的である。自立着地に成功したら加点する形で得点を決めることが多い。

(3) フライト中に何らかのアクションをすること（搭載している風船を割るなど）

フライト中、開傘が起きた時（図2）には落下速度が一気に低下するため衝撃がある（開傘衝撃という）。このようなフライト中に起こる事象を利用して、仕込んでおいた針が風船に刺さって風船を割るなど、ねらい通りのアクションを起こさせる。このミッションがメインミッションになることがほとんどで、探査機が惑星に着陸することをイメージしたミッションにしている。得点は、内容によって加点法または基準点からの減点法で決める。



図1 缶サットが着地したところ



図2 放出された缶サットが開傘する瞬間

(4) ミッション以外で制限される事項

ドローンに装着して缶サットを上空に持ち上げるフライト装置（図3）は内径 180mm×高 260 mm のアクリル円筒であるため、缶サットをその中に収まるサイズで製作しなければならない。このことにより、ミッションを成功させるための機構の大きさが制限され、アクリル円筒から放出された後に展開される機構を考えるなどの工夫が必要となる。東大講座では、令和2年度までは縦型、令和3年度以降は横型を使用した。



図3 ドローンに装着したアクリル円筒のフライト装置（左：縦型、右：横型）

2 これまでに行ってきたミッションとそのねらい

(1) 令和元年度（2019年7月20, 21, 27日実施）のミッション

① テーマ「衛星を分離し、遠くまで飛ばそう」

	ミッションの内容	採点方法
④	缶サットは親機(350mL 缶)と子機(190mL 缶)の2機を製作し、両機が接続された状態で放出し、フライト中に分離させる	放出前には親機のみを支持した状態で子機が分離しない状態であり、放出後着地までに2機が分離したら+10点
⑤	子機を親機からなるべく遠く離れた位置まで到達させる	2機の着地位置の差が、1m離れるごとに+1点
⑥	親機と子機のフライト時間の差を5秒に制御し、両機のフライト時間は30秒を超えないように制御する	基準点を20点とし、両機のフライト時間の差が5秒から1秒ずれるごとに-5点 どちらかの機体のフライト時間が30秒を超えた場合、1秒につき-1点
⑦	放出から着地までの間に、一方の機体に搭載したカメラで他方の機体を撮影する	カメラははじめから動画撮影状態にしておき、落下中の映像に他方のパラシュートの25%以上が画面に入っている状態が、1秒あるごとに+2点

その他…缶サットの重量は2機合わせて500g以内とする

2機ともにパラシュートをつけること

② ミッション設定のねらい

ミッション④の空き缶を接続した状態から分離させることを成功しないと他のミッションは達成することは不可能な設計になっている。したがって、受講生は何らかの分離機構を製作する必要がある。また、ミッション⑤を成功させるには、勢いよく子機が分離することが必要であり、分離機構により親機が子機を押し出したりはじき出したりするといった、弾性力を応用した機構を考案することが必要である。しかし、ミッション⑦では、一方の機体から他方の機体を撮影するというので、勢いよく放出しすぎるとカメラの画角に機体が入り込む確率が下がるため、ミッション⑤と⑦はトレードオフの関係になっている。ミッション⑥と⑦もトレードオフの関係になっており、他方の缶サットを撮影できる確率を増やすためには長時間フライトしていた方がよい、ということになるが時間をオーバーすると減点されてしまう。

(2) 令和2年度（2020年11月21, 22, 23日実施）のミッション

① テーマ「衛星分離と軟着陸を成功させよう」

	ミッションの内容	採点方法
④	缶サットは親機と子機の2機を製作し、両機が接続された状態で放出し、フライト中に分離させる	放出前には親機のみを支持した状態で子機が分離しない状態であり、放出後着地までに2機が分離したら+5点
⑤	放出から着地までの間に、一方の機体に搭載したカメラで他方の機体を撮影する	カメラははじめから動画撮影状態にしておき、フライト中の映像に他方のパラシュートの25%以上が画面に入っていたら+2点
⑥	親機のフライト時間を12秒に制御し、両機のフライト時間は20秒を超えないように制御する	基準点を8点とし、親機のフライト時間が12秒から1秒ずれるごとに-1点 どちらかの機体のフライト時間が20秒を超えた場合、1秒につき-1点
⑦	子機の軟着陸を成功させ、自作の衝撃測定装置※を破損させないようにする	子機に搭載した衝撃測定装置は、6本の乾麺が内部に固定してあり、着地時にそれが折れなかった本数によって、+1点～+10点

その他…缶サットの重量は2機で500g以内とする

2機ともにパラシュートをつけること

※フィルムケース2つの口を合わせて接着して作った円柱形容器にビー玉を入れる。さらにこの円柱形容器の側面から径方向に乾麺（素麺4本、パスタ麺2本）を貫通させて固定する（図4）。着地の衝撃が大きいとビー玉が動くことで乾麺を折る仕組みになっている。折れずに残った素麺を1点、パスタ麺を3点としてカウントする。

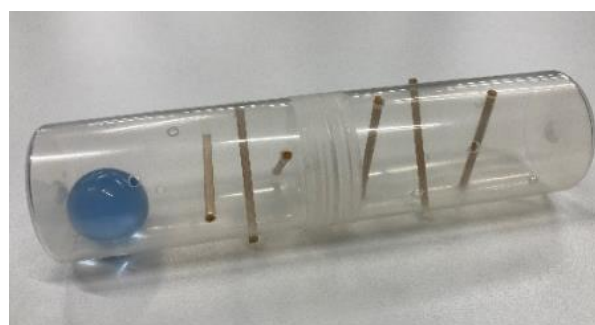


図4 衝撃測定装置（自作）

② ミッション設定のねらい

前年のミッションと内容は大きく変えなかったが、採点方法を変更した。画像の撮影では撮影に成功した時間によって得点が入る仕組みではなく、一瞬でも撮影できれば得点が入る仕組みにした。これによってカメラの設置方向や分離機構に様々なアイデアが生まれると見込まれる。また、子機を遠距離まで飛ばすことに成功したチームが多かったことと、フライト時の風によって到達距離が大きく変わることで運要素が強いということでそのミッションをミッション⑦の軟着陸に変更した。前年では着地衝撃を緩和させるミッションが設定されていなかったため、実験中に缶サットが破損することが見受けられた。また、実際の惑星探査機などでも逆噴射を利用して速度を落としながら着陸するなどの工夫がされており、機体自身を守るという基本的なことをミッションにしようというねらいである。ゆっくりと落下することで着地衝撃を緩和できるが、そうするとフライト時間は長くなってしまふ。フライト時間20秒以上で減点として、短い時間設定にすることでミッション⑥と⑦がトレードオフの関係になっている。

また、図4に示した衝撃測定装置の考案にも時間をかけた。缶サットに収まるサイズであり、中の乾麺が簡単には折れないが、それなりの衝撃で折れる構造にする必要がある。内部に装着する乾麺の種類および太さ、ビー玉の大きさや個数を様々な組み合わせにして製作し、フライト実験を何度も行って開発した装置である。

(3) 令和3年度（2021年9月25,26日,10月3日実施）のミッション

① テーマ「小型探査機を放出しよう」

	ミッションの内容	採点方法
④	缶サットに接続した状態の小型探査機をフライト中に放出する※	放出前には缶サットのみ支持した状態で探査機が分離しない状態であり、放出後着地までに探査機が離れたら+20点
⑤	缶サットからなるべく遠くに小型探査機を到達させる	缶サットの着地位置から探査機の着地位置までの距離が1m離れるごとに+0.5点（最大値は25点）
⑥	フライト時間を15秒に制御する	基準点を35点とし、フライト時間が15秒から1秒ずれるごとに-5点
⑦	缶サットが自立した状態で着地する	着地後自立した状態であれば+20点 自立＝缶サットの鉛直軸が30°以内とする

その他…消しゴムは加工してよいが、もとの体積の半分以上は残すこと

缶サットの重量は200g～400gとする

※消しゴム(80mm×30mm×10mm)を小型探査機に見立てて使用する

② ミッション設定のねらい

実際の惑星探査などでも本体から小型の装置を放出してミッションを行うことが多いため、このことを意識したミッション設定を行った。前年まではもう一体の缶サットを分離するミッションだったが、今回は小型探査機に見立てた消しゴムを放出するということで、ばねなどの弾性力を利用して弾き出す機構を考えさせたいというねらいがある。また、令和3年度からフライト装置の円筒の向きを縦置きから横置きに変更した(図3)ため、缶サット放出時の姿勢が直立状態ではなく横置き状態になった。このことで、フライト中に姿勢を変える工夫を考えさせたいというねらいから、自立着地ミッションを設定した。自立着地を制御するためには、重心をなるべく下方にし、倒れても起き上がる工夫をすることが簡単で手っ取り早い方法であるが、探査機放出機構も同時に搭載する必要があるため、このような簡単な方法がとりにくい。よって、ミッション④と⑦がトレードオフの関係になっている。

(4) 令和4年度（2022年7月30,31日,8月6日実施）のミッション

① テーマ「フライト中に缶サットを回転させ、周囲を見渡そう」

	ミッションの内容	採点方法
⑧	開傘してから着陸までの間に、缶サットの鉛直軸に対して垂直な面でより多く回転させる	開傘後の回転数Nを地上から撮影した動画でカウントし、 $(N-2) \times 7$ 点を加算する（最大値は35点）
⑨	缶サットが自立した状態で着陸する	着地後の缶サットの鉛直軸の傾きが 45°～30°のとき、+10点 30°～15°のとき、+20点 15°～0°のとき、+30点
⑩	フライト時間を10秒以内に制御する	基準点を35点とし、フライト時間が10秒から0.1秒長くなるごとに-1点（10秒より早く落下しても減点なし）

その他…パラシュートの回転がわかるように色を付けるなどの工夫をすること

缶サットの重量は200g～400gとする

② ミッション設定のねらい

過去の東大講座ではフライト中に何かを放出する機構を搭載することが多かったが、初めてフライト中の姿勢制御をミッションに取り入れた。缶サットが様々な方向を向き上空からの撮影などに活用できるミッションである。回転数の多さを加点する方式にしてあり、2回転以下では無得点となるため、偶然に回転した場合の得点は入らない仕組みになっている。空気抵抗を利用したり、ねじれた糸の復元力を利用したりといった工夫が考えられ、空気の流れを利用するなどの科学的な思考が求められる。また、回転数を稼ぐためには長時間のフライトをしていけばよいことになるが、基準のフライト時間を10秒と短く設定することでトレードオフ関係を成立させている。同様に回転しながら落下する場合には遠心力のために自立した状態の着地が難しくなるため、ミッション④と⑤でもトレードオフの関係が成り立っている。前年でも自立着地のミッションを設定したが、今回は着地姿勢の角度によって段階的に得点を配分することで、チームごとに目指す着地姿勢を決めやすくすることをねらいとした。

3 受講生が直面した課題および解決した結果

(1) 令和元年度

令和元年度のミッションでは、分離機構を考えることが必須であった。円柱型の缶を接着状態にすること自体難しく、同時に子機を遠くに飛ばすことも考える必要があるため、この機構製作にとっても苦勞していた。ばねやゴムといった弾性力がある素材や、蝶番やフックなどの金具をグルーガンで固定したり、缶を切ったり、缶に穴をあけたりといった加工を行っていた。ミッション④のためにどちらかの機体にカメラを搭載する必要があり、どちらの機体に搭載するか、向きは上向き、下向き、横向きのどの向きで撮影するか作戦を立てていたが、風の影響などで思うように撮影できず苦勞していた。

受講生たちは、分離機構を考える者、子機の飛ばし方を考える者、時間制御をするためにパラシュートの形や本体の重量を調整する者、などのようにチーム内で役割分担をして臨んでいた。リーダーはそれぞれの進行具合を管理し、例えば「ミッション④はある程度諦めて⑤は確実に達成し、⑤でできるだけ点を取るようにしましょう」などと製作の方向性を考えながら進めていた。結果として分離に成功しなかったチームもある中で、子機を親機の中に仕込み、親機の開傘衝撃で親機の底面を固定しているピンが抜けて子機が放出される機構を作ったチームがあった(図5)。カメラは親機に下向きに搭載されているため確実に子機を撮影でき、親機には磁石を利用した開閉式の翼がついて、風を受けて遠くに飛び距離を稼ぐ仕組みで、再現性も高い見事な機体であった。



図5 開閉式の蓋と翼を搭載した缶サット

(2) 令和2年度

多くのチームが軟着陸を実現する機構を中心に考えていた。室内で落としてみてうまくいっても、2階などの少し高い場所から落下させると衝撃に耐えられないことが多く、最も苦労していた。分離機構に関しては、前年同様に円柱形の物体同士の接続と分離は難易度が高く、とても苦労していた。どのチームもミッション③と④のトレードオフにはかなり苦労しており、軟着陸に成功してもフライト時間がオーバーするといったことが起き、フライト実験を繰り返すたびに試行錯誤をしていた。

ミッション⑧のカメラによる撮影については、前年は映っていた秒数で得点が変わるため、半ばあきらめて「運任せ」のチームもあったが、採点方法を変えたため、放出直後に確実に撮影できるように取り付け位置を工夫していた。軟着陸を成功させたチームは、衝撃測定装置を固定するのではなく、缶サット内と装置の間に輪ゴムなどでスペースを作ることで解決した(図6)。

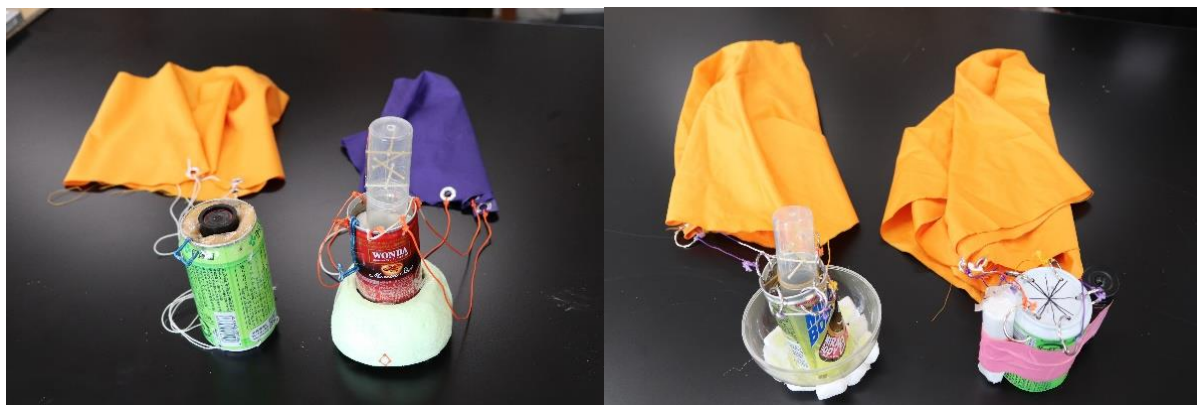


図6 衝撃測定装置と缶の間に輪ゴムやスポンジで装置が動けるスペースがある缶サット

(3) 令和3年度

ミッション⑨の探査機放出については、消しゴムが缶サットに対して小さいため比較的容易に解決できていたが、ミッション⑩の自立着地に特に苦労していた。得点としても成功で+20点、失敗で0点であり、この成功がカギとなると考えたチームが多かったと予想される。重心を下げることで着地時に底面から接地するようにしていたが、接地後にパラシュートが風を受けて、それに引っ張られるようにして倒れてしまうケースが多かった。

ミッション⑩に対して、ばねの弾性力を使って弾き飛ばす機構が多く見られた。また、消しゴムを丸く加工(図7)し、着地後消しゴムが転がることで移動距離を稼ぐというチームもあった。ミッション⑩の自立については、着地後パラシュート紐が引っ張っていることに気づき、缶の高さを低くしてパラシュート紐によるモーメントを小さくすることで解決していた。さらに、缶の側面に固定した4本の金属プレートの脚が開傘時に開く機構(図8)を作ることで自立着地を確実なものにしていた。

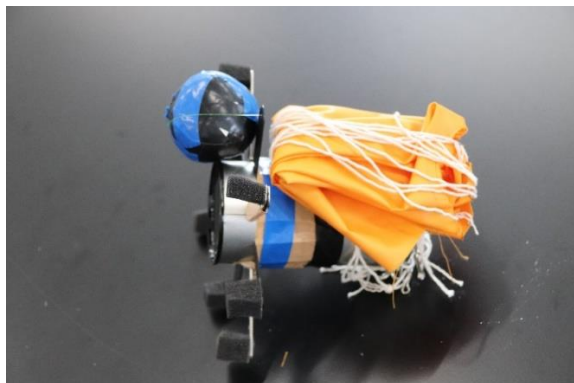


図7 消しゴムを丸く加工した缶サット



図8 缶の高さが低く脚が開く機構を搭載した缶サット

(4) 令和 4 年度

ミッション④の回転の実現にかなり苦勞していた。缶に羽根をつけたり、パラシュート紐の長さバランスを変えてみたりと様々なことに取り組んでいたが、缶だけが回って紐がねじれてしまったり、羽根に紐が絡まってパラシュートが開かなかったりと、机上で想定していた通りにはならず、難しい課題であった。

ミッション⑤に関して、完全に直立しなくても得点が入る仕組みなので、最低 20 点以上をねらった設計にするなど、ほかのミッションとのバランスを考えた設計が見られた。ミッション④については、缶に羽根をつけて缶を回転させ、紐がねじれないように紐を硬いストローなどで補強したりすること（図 9）で解決していた。また、パラシュートの裏側にスポンジで空気の流れ道を渦巻き状に作る（図 10）で缶サット全体を回転させていた。



図 9 羽根を付け紐は硬くした缶サット



図 10 パラシュート裏にスポンジを付け気流を調整した缶サット

Ⅲ 今後の取組み

東大講座でのミッション設定をとおして、受講生に課題解決を考えさせるためには、達成難易度とトレードオフ関係の設定だけが重要なのではなく、得点設定も重要だということがよくわかった。単にトレードオフの関係だけ成り立たせても、一方の占める得点比重が高ければ低い方を捨てることにつながりやすいし、あるミッションさえ達成できれば優勝できる、といった結果になってしまえば、受講生に達成感が残りにくいし、トレードオフを解決するための試行錯誤を体験させることができない。実際に、同様のミッション（R1①と R2②、R3③と R4④など）でも採点方法や得点比重を変えることで、ミッションへの取り組み方が変わり、受講生がミッション達成に向けて具体的に作戦を立てやすくなるケースが見られた。毎年、私たちは前年までのミッション設定を見直しながら講座設計を進めており、特に令和 4 年度では単純ながらも細かい得点設定であるミッションにしたため、各チームが製作した缶サットにはそれぞれに考えられた別々の方法で高得点を目指す工夫があり、実りある講座になったと感じている。

東大講座のように、製作物の成果を得点化しコンテスト形式にすることでモチベーションアップをねらい、決められた時間、人員を考慮した上でチームとしてどの点数を目指す作戦を取るかを考えさせることは、実際の人工衛星開発に限らず工学分野において重要なチームワークと課題解決能力を育成することにつながる。

この東大講座でのミッション設定は、各学校で行っている科学実験や探究活動でも生かせるのではないかと考えている。理科で学ぶ内容は科学技術の基本となっており、その有用性を知るためにも、例えば理科で学んだことを生かしてある機材を製作するといったミッションを与えて、製作した機材の性能を得点化してコンテスト形式にするといった探究活動を行うことも課題解決能力の育成に効果的だと考えている。