



缶サット用モデルロケットの設計

The New Model Rocket Design for Cansat

秋山 演亮¹，林 美由貴¹

¹ 和歌山大学宇宙教育研究所

当研究所ではこれまで、1kg級の缶サットを打ち上げるためのモデルロケットとして、H型エンジンを利用した比較的大きなロケットを開発、運用してきた。しかし搭載機のみならず輸送系も併せて一体として検討・運用を実施する教育的効果の重要性や、高コストの是正などの目的から、新しく缶サット用モデルロケットを設計・開発した。

キーワード：モデルロケット，缶サット，宇宙教育

1. 缶サット競技用モデルロケットの変遷

缶サットとは衛星を模した空き缶サイズの自律型飛行ロボットのことである。ロケットやバルーン等で上空より放出され、地上への落下までの間に環境計測や撮影・通信、目標点を目指した飛行など、様々なアクティビティーを設定して実現を目指す競技(図1)が実施されている。「決められたサイズ・重量内に機器を詰め込む」「目標を定めチームメンバーと限られた期間内で実現する」など、ものづくり技術に留まらず、プロジェクトマネジメントを学ぶきっかけとしての教育意義がある¹⁾。また実際、缶サットを通じて学んだ学生メンバーが、キューブサット等の超小型衛星の製

造・運用を行うことも多く、衛星を学ぶ入り口としての意義も高い。

缶サット実験を行うツールとして上空へ運ぶロケットは非常に重要な存在である。しかしながら缶サット教育が電子・電気、宇宙工学(衛星系)の研究室を中心に行われる事が多かったため、これまで大学の研究室等として恒常的にロケットの開発・供給が行われることはなかった(一部学生団体による取り組みは実施されていたが、継続的には行われていない)。そのため実験はAero Pack等の海外のモデルロケット愛好家団体の協力を得て行われているが、渡航費用等の問題もあり、国内での実験機会の提供が強く求められていた。

当研究所では他の大学研究室と違い、「宇宙教育の開発・実施」をその活動の主目的の一つとしていること、また高校生を対象に実施されている「缶サット甲子園」の事務局を務めていることもあり、これまで長年にわたって、缶サット実験用のロケット開発を行い、供給を行ってきた。下記にその変遷を紹介する。またこれらの機体以外にも、後期になり、カムイロケットを開発している(株)植松電機により缶サット実験用のロケットが開発・供給されている。このことは、本稿の範囲ではないため割愛するが、カムイロケットもまた、現在も高校生・大学生の缶サット競技にこのロケットも重要な役割を果たしている。

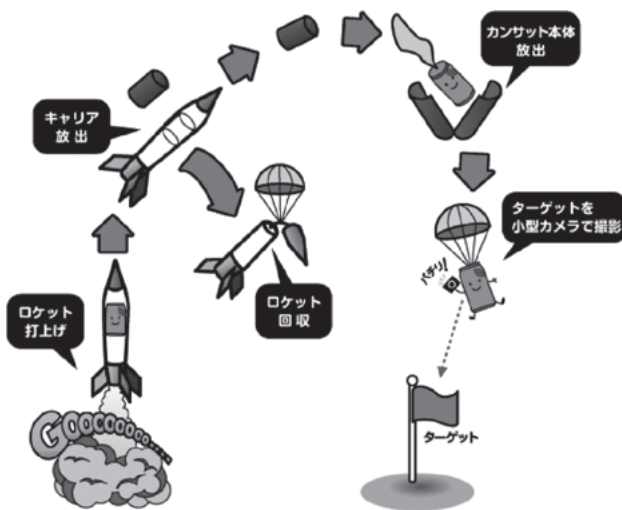


図1 缶サット競技のイメージ図

1.1 モデルロケット協会製機体

高校生を対象とした「缶サット甲子園」の実施に先立ち、当研究所では、長年にわたりモデルロケットによる教育と普及に努めてきた特定非営利活動法人日本モデルロケット協会に協力を依頼、缶サット放出用の機体の設計・開発を行った（図2、図3）。H型モデルロケットエンジンを利用した当モデルは、バネによって開放圧力を持つ扉を、フックにより固定する方式が採用された。最高高度まで上昇後、延時薬によって点火時間を調整された噴出薬が発するガス圧により、ピストンによってフックが持ち上げられ扉が開放、ロケット本体のパラシュートと共に、缶サットが放出される機構である。

その後、和歌山県内の（有）エアロベースにより数十機の機体製造が行われ、缶サット甲子園や海外の教員を対象として実施されたCLTP（Cansat leader Training Program）²⁾で利用された。一部機体は海外メンバーにプレゼントされ、日本の宇宙教育素材とし

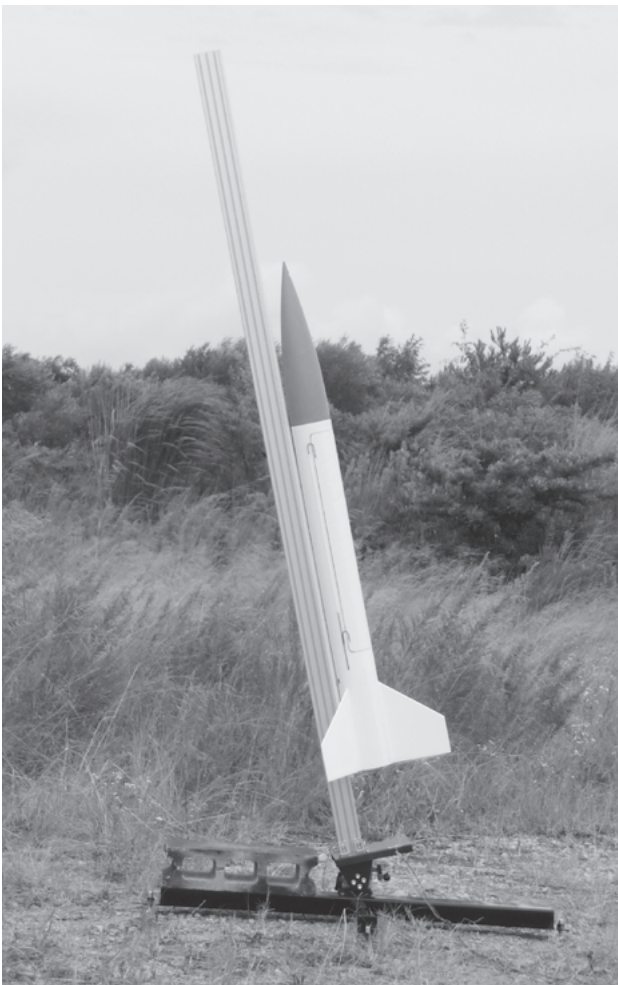


図2 缶サット用モデルロケット
（日本モデルロケット協会設計・製造）

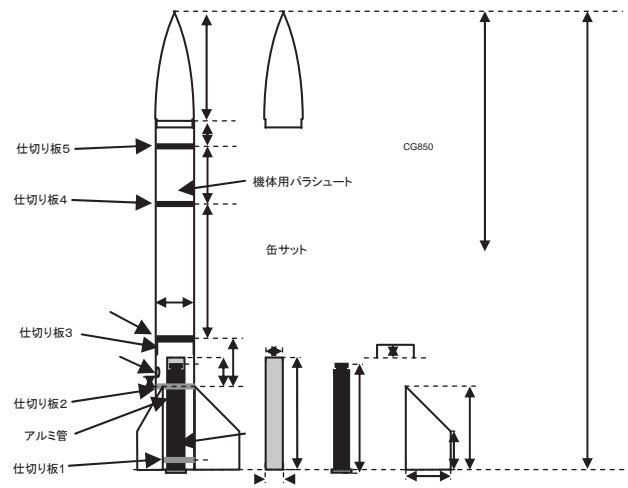


図3 同設計概略図



図4 ガス抜き穴

て広く紹介された。

本機体は紙と木材を主成分として製造される軽量機体であり、H型エンジンを利用して1kgの缶サットを300m近く運ぶことが出来た。しかし一体成形される構造であったため、機体の一部に破損があると再利用できなくなる問題があった。例えば落下時にパラシュートの開傘が不十分等の原因で落下速度が速くなり、フィンの一部が欠損した場合等でも、フィンのみを修復することが出来無かった。またガス圧で扉を開くシステムであるが、ガス圧は放出薬のごくわずかな量変化で大きく変化するため、その調整が困難であった。そのため、放出薬量が少なく、上手に扉が開かず缶サットを放出できないまま落下する例があった。機体にはガス圧を逃すための工夫として（図4）ピストンの上昇によりガス抜き穴が開栓、余分なガスが逃れる仕組みとなっていた。しかし放出には成功したもののピストンの上昇速度が速すぎて、開放機構が破損する例なども見られた。この場合にもやはり、機体を

再利用することは難しく、運用コスト（1機製造費約10万円）を増加させる原因となった。

1.2 既存モデルロケット改造型機体

このような問題点を解決すべく、当研究所では市販されている既存のモデルロケット（G-force）を改造した打上機体の開発を実施した。

市販品のG-force（図5）³⁾ではロケットが放出薬により上下に分離、上段の下部に装填されていたパラシュートが引きずり出される構造となっている。当研究所では上段の上に取り付けられていたノーズコーンもさらに分離される構造として改造を行った（図6）。

これにより、ロケット打ち上げ後に上段と下部が放出薬により分離され、上段・下段を繋ぐゴム紐に取り付けられたパラシュートによりゆっくりと落下を開始する。この際、必ず上段ノーズコーン側は下を向く。従来は、ノーズコーンは上段に固定され外れない構造であったが、改造によりノーズコーンは刺さっているだけの状態としているため、重力により上段より抜け

落ち（上段とノーズコーンもゴム紐により繋がっているので上下段と一体として落下する）、上段ノーズコーン下に装填された缶サットが落下する仕組みである。

本モデルロケットはH型（国内販売価格約3~4万円）よりコストの安いG型エンジン（国内販売価格約1万円）を利用することにより、ランニングコストも低減できた。また機体価格も1~2万円と安く押さえることができた。しかし搭載する缶サットの重量は350gを上限とするため、缶サット甲子園やARLISSオープンクラスを目指す機体には利用できず、3機ほどが製造されたが試験的に利用されるに留まった。

1.3 創機システムズ製機体

1kgサイズの缶サット機体を打ち上げることができ、放出機構が確実に動作し、機体の一部破損等にも部品交換だけで対応できることを目標として、当研究所は（株）創機システムズと協力し、新機体（図7）の設計・開発を実施した。初期型は放出薬によるガス圧を利用

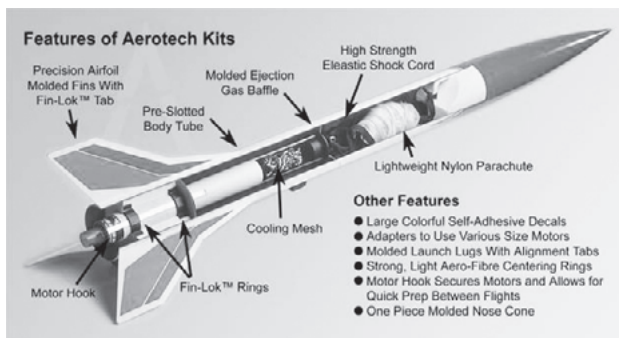


図5 Aero tech 社製 G-Fore ロケット

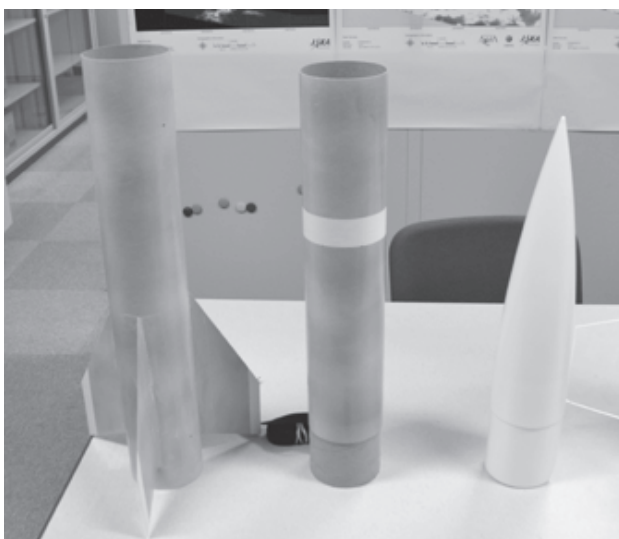


図6 G-Force ロケット分離状況



図7 創機システムズ社製 機体

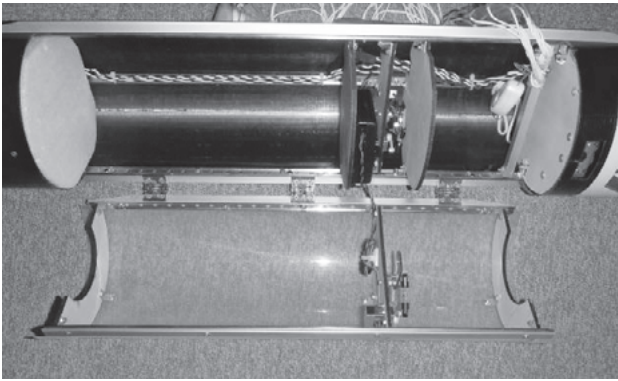


図8 創機ロケット後期型 開放機構

した開放機構としたが、前述と同様の理由にて安定しなかったため、電子機器を使ったタイマー制御による開放機構（図8）を後期型では採用した。これにより、安定した運用が可能となった。

創機ロケットは製造費が1機約10万円と、モデルロケット協会ロケットとイニシャルコストはあまり変わらなかったが、完全分解式で部品の取り替えも可能であるため、メンテナンス費用は平均して1回1万円以下に抑えられ、また機体の再利用回数も2~3回から10回以上と飛躍的に増加した。一方で構造にアルミやCFRP等を利用し、開放制御用の電子機器等も搭載しているため機体重量が重く、打ち上げ高度は150m程度と低く留まっている。

本機体は国内での缶サット競技の開催を目指すベトナムにも3機輸出されるなど、宇宙教育の海外輸出にも成功した機体となった。

2. 従来の問題点と新ロケットのコンセプト

このように1kgサイズの缶サット打ち上げの機体開発と運用が長年にわたり行われてきたが、下記のような問題点がクローズアップされるようになってきた。

・高コスト

費用が低下したとはいえ、イニシャルコストが10万円、ランニングコストが1回3~4万円（火薬代）+1万円（整備費）と非常に高価である。アメリカでの打ち上げは3kmまで運んでわずか400ドルであり、内外格差が大きい。

・実験場の制限

150mを越える打ち上げになると、300m四方程度の平坦地を立ち入り制限が出来る実験場として確保する必要があるが、国内でこのような場

所を見つけることは困難である。

・専門の打ち上げ技術

H型エンジンの打ち上げに際しては、国内でも10名しかライセンス保持者のいない、2級モデルロケットライセンスが必要である。

・缶サットの肥大化/輸送系と乖離した設計

缶サットを用いた教育では、ただ物を作るだけではなく、何のためのどのように製造するかが重要である。しかし実験の重要な一要素であるロケット部分を外部に委託するため、ロケットとのインターフェース部分がおろそかになりがちとの指摘が出るようになった。また製造技術の向上に伴い、1kgというサイズは大きすぎるようになってきた。

そこで当研究所では次のようなコンセプトに基づき、新ロケットの設計を開始した。

・高校生が簡単に製造/打ち上げできること。

そのためにエンジンは3級ライセンスで打ち上げが可能なC型までとし、飛行高度も数十mとすること

・費用の低減

機体は紙と木材を主成分とし、安価に製造できることとした。またエンジンにはC型3本クラスタを利用する事とした（従来のH型は3~4万円に対し、C型3本の場合は数千円以下）。

3. 新ロケットの構造

新型ロケット（図9）は全長705mm、直径70mmで



図9 新ロケット

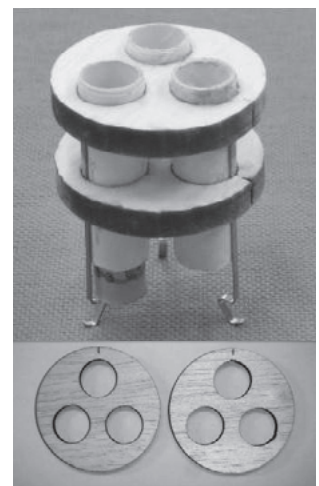


図10 エンジンマウント

あり、丁度、空き缶サイズの300～350g重量の缶サットを搭載することが出来る。パイロード部分には缶サイズのほか、パラシュートを上部あるいは下部に搭載できるスペースを有する。エンジンは3本クラスタとなっており、B型あるいはC型エンジンにより、それぞれ30～40m、60～80mの飛翔が可能である。

エンジンマウント部分(図10)はバルサ材と板バネによって構成されており、エンジンの脱着が可能となっており、ロケットの再利用を行うことが出来る。エンジンマウント部分のバルサ材は、レーザーカッターにより、CAD図面に基づいて加工されている。

本ロケットは、エンジンマウント部分の部品は供給される必要があるが、その他は紙製となっており、高校生でも自作が可能である。

4. 今後の課題

缶サット甲子園はスポンサー確保の問題等もあり、平成27年度の開催方式は、従来とは異なった形態となることが予測されている。当研究所では製造コスト・運用コストが低減でき、またロケットと缶サットの一体設計・製造が可能となる新型ロケットを利用した競技を今後、提案していく方針である。

一方で、缶サットに加えてロケット製造まで加わることに對する不安の声もある。缶サットの設計・製造を行うための時間の確保にもこれまで四苦八苦していた状況に、モデルロケットの製造まで加わると、自由な発想を取り込むに十分な時間が取れないとの考えである。結局は従来のロボコン等と同様、技術力だけに勝る参加校有利に働き、缶サット教育の長所が失われるとすれば、本末転倒であり、検討が必要である。

しかし缶サットのみを作ってきた生徒・学生には、新型ロケットのようなモデルロケットの製造・打ち上げは未知であり、あまり想像も出来ないかも知れないが、当研究所で設計した機体は、(エンジンマウント等の一部部品さえ供給されれば)比較的安易に製造が出来る構造となっている。また学校のグラウンド等でも十分に打上実験が行えるため、缶サットと組み合わせ、システム全体としてインテグレートすることにより、新しい知識・経験も増加するのではないかと考えている。

教育理論は重要であるが、実際の生徒・学生と面して実践し、その結果をフィードバックすることが何よ

りも重要である。そこで当研究所では、来年度以降、この新型ロケットを使った缶サット教育を試験的に実施し、問題点の洗い出しと改良に努めたい。

謝辞

缶サット用モデルロケットの開発に当たっては、(特非)日本モデルロケット協会・(有)エアロベース・(株)創機システムズのみなさんに、大変御世話になりました。特にモデルロケット協会の山田会長には、多数のアドバイスとアイデアの提供を戴きました。この場をお借りして、お礼申し上げます。またロケットの実運用に関しては、同時期に開発を行った(株)植松電機の皆様とのディスカッションが大変参考となりました。ありがとうございます。

缶サット教育に関しては、秋田大学土岐先生、北海道大学永田先生、植松電機の植松専務、九州工業大学の趙先生ほか、多数の皆様とのディスカッションと御協力により、進めることができました。今後も全国的な取り組みとして、是非、一緒に進めさせていただけますよう、お願いいたします。

本研究所がサポートする国内の宇宙教育は、国内の多くの大学の先生・高校の先生方、JAXA宇宙教育センターの協力を戴き、実践されています。心からの感謝を申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 秋山演亮,土岐仁,“高校生の宇宙教育”,第54回宇宙科学技術連合講演会,2p,2010.11.17
- 2) 安藤 恵美子,“缶サット活動を通じた海外連携協力にみる教育的効果”,第57回宇宙科学技術連合講演会,6p,2013.10.09 "
- 3) Aero tech, "G force manual",
[http:// www.aerotech-rocketry.com](http://www.aerotech-rocketry.com), 1992 rev 2004.12.8

付録 新型モデルロケットの作り方

【用意するもの】

ジョイント用芯=空き缶に不要なカレンダーなどを何重にも巻いてφ68.4にしたもの

胴（ボディチューブ）用芯=同上の方法で、φ69.1にしたもの

エンジンチューブ製作用芯=使用済みエンジンにコピー用紙を1重に巻いたもの

ノーズコーン型紙=半径125mm, 中心角99.5度

【手順】

①円盤を作る

(a. エンジンマウント下1枚・同上1枚, b. 缶ストッパー1枚, c. 上部仕切り板1枚)

バルサ材 厚10mm, φ69mm[1]

a: エンジンチューブ用穴φ20.8mm 3箇所, 下用は板バネ用切り欠き深さ0.5mm・幅3mm, 合い印1箇所

b: 真ん中にφ40mmの穴をあけリング状にする

②エンジンチューブを作る

エンジンチューブ用芯に粘着テープを何重にも巻く。最内の粘着テープは粘着面を外向きに巻き、最外の粘着テープはビニールフィルムを薄くはがす。外径φ20.8mmにする。

上から15mmに幅3mmのスリットをあけ、板バネを付ける

下から25mmに円盤取り付け位置の印をつける

③ジョイントを作る

ケント紙 厚0.3mm, タテ90mm, 幅約217mm (φ68.4芯できっちりに作る)

下から30mmに胴下への取り付けの目印線を書く

接合部は切り端を付き合わせにし、紙テープ[2]で貼り合わせる。

④胴下を作る

工作用紙 厚0.4mm, タテ350mm, 幅約219mm (φ69.1芯できっちりに作る)

下部内側に、エンジンマウント円盤の合い印を合わせるための垂直線をタテに1本書く

外側に幅を三等分(約73mmずつ)の線を、フィンの付け位置の目安として、下端より200mm書く

外側のフィン付け目安線より35mm程度離し、ストロー取り付け位置の目安として線を1本書く

内側上端より90mmに、缶ストッパー円盤取り付け

位置として、水平線を書く

内側下端より55mmに、エンジンマウント上円盤取り付け位置として水平線を書く

内側下端より25mmに、エンジンマウント下円盤取り付け位置として水平線を書く

円筒状にしてから、フィン付け目安線が、120度ずつになっているかを確認する

筒の接合部は、ジョイントの作り方と同じ

⑤ノーズコーンを作る

ケント紙こな雪210 A4サイズ

半径125mmの円を書く(片側ははみ出て問題ない)

次に半径127mmで中心点を先ほどの円中心から下に1mmずらして円を半分まで書く

反対側の半円に8mmの糊しろをつくる

ノーズコーン型紙で、99.5度ずつ3個分の線を引く(余り61.5度分は不要)

3つ目の端が切れているところ(糊しろのある方)を内側にして円錐形に巻く

糊しろに鋸歯状の切り込みを入れ、上仕切り板円盤に垂直に接着する(付録図1参照)

⑥胴上を作る

工作用紙 厚0.4mm タテ110mm 幅: 約219mm (φ69.1芯でほんの少し緩めに作る)

内側上端より10mmに、仕切り板円盤取り付け位置として水平線を書く

ノーズコーンの付いた仕切り板円盤に巻きつけて、円筒状にする

筒の接合部は、ジョイントの作り方と同じ

⑦フィンを作る

工作用紙 厚0.4mm, タテ320mm, ヨコ95mmを6枚

付録図2のサイズの翼面に糊しろを幅25mm加えたものをつくる

糊しろの幅25mmを、翼面の際から幅9mm, 11mm, 5mmの間隔で垂直の折線を入れ、ステーになるように△に折る(付録図3, 付録図4参照)

2枚ずつスティック糊で外表に貼り合わせ、3枚のフィンを作る。たわまないように糊が乾くまで重石をしておく。

糊しろ幅9mmの部分にのみ糊を付け、胴下の下端に合わせて接着する。十分に固定されたら、幅5mm分に糊を付け三角に折り返し、ステーを作る。

⑧胴下に円盤を付ける

缶ストッパー、エンジンマウント上、エンジンマウント下の順で付ける。

いずれも手順は胴上の仕切り板の付け方と同じ。

缶ストッパーは円盤の上端が取り付け線に重なる。

エンジンマウント上およびエンジンマウント下は、円盤の下端が取り付け線に重なる。

⑨胴下にジョイントを付ける

ジョイントの下端から30mmに木工用接着剤を薄く塗り、胴下上端内側に貼る。ジョイント用芯を差し込んで、しっかりと接着させる。

⑩エンジンマウントにエンジンチューブを付ける

エンジンマウント用円盤の3つの穴の内側に木工用接着剤を塗り、板バネ付きのエンジンチューブを差し込む。このとき、エンジンチューブにある円盤取り付け位置の印が、エンジンマウント下円盤の下端に重なる。

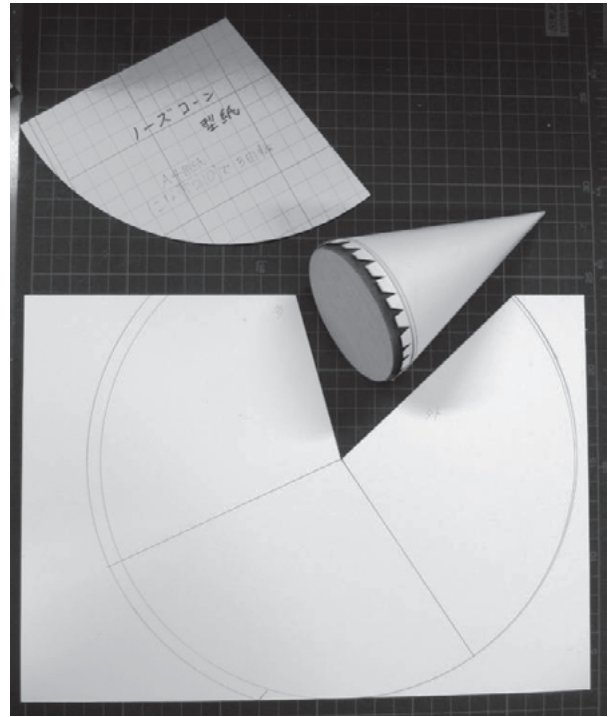
⑪ストローを付ける

2枚のフィンの中間、胴下の下端に合わせてストローをテープで貼る

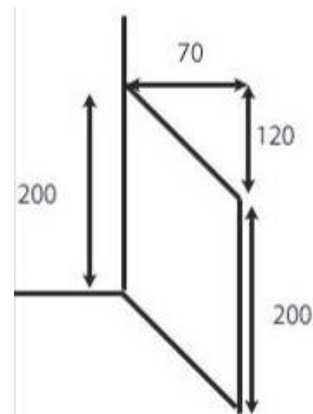
ストロー下端部の胴下チューブ内側（ランチャーに置く部分）に、10mm角の工作用紙を貼りつけ、補強する。

注

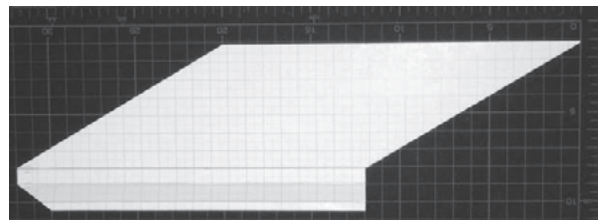
- [1] レーザーカッターの設計図はφ69.5mm・極細線とし、焦げを紙やすりなどで軽く落とし径を調整。接着剤は必ず焦げを落としてから塗布する。
- [2] 紙テープ 再生コピー用紙を幅約15mmの帯状に切りスティック糊を塗りヘラで延ばしたもの
胴下接合部は、放出薬の衝撃で破損する恐れがあるため、接合線に沿ってフィンまたはストローを取り付けることで、強度を補うことができる。



付録図1 ノーズコーン



付録図2 フィンのサイズ



付録図3 フィンの糊しろ



付録図4 フィンのステー