

車両製作へのヒント

2021/12/12 小林義行

1. はじめに

クラスは幅 35mm のサイズ制限があります。長さ 50mm のサイズ制限もありましたが、第 24 回から長さの制限を無くしました。車両の幅は クラスの 3 分の 1 です。従来のサイズ、例えば クラスの車を単に縮小して製作すれば良いのかというと、そうではありません。サイズが小さいことで熱的にも、力学的にも様子が変わります。 クラスに独特の特徴があるのです。

2. 主なサイズ効果

サイズ(長さ)の縮小率を x として、小さな模型エンジンにとって気になる量の縮小率がどうなるか、大まかに見積もりましょう。温度差や圧力変化は同程度として、ミニクラスのエンジンと同じ材質で $1/3$ の長さ、厚さに縮小して作るとします。

気になる量	関連式	倍	$x=1/3$ なら
エンジンの軸仕事 (1 回転分の仕事)	$P \cdot V$	x^3	$1/27$
円盤フライホイールの慣性モーメント	mR^2	x^5	$1/243$
重力原因の摩擦力のする仕事	mgx	x^4	$1/81$
運動量, 力積	Mv	x^4	$1/81$
熱伝導	S/d	x^1	$1/3$

明らかに慣性モーメントと熱伝導が極端だと分かります。これを無視して、クラス等と同じ感覚で作ると、次のような不具合で上手く行かないかも知れません。

フライホイールが不足して回転が脈動する、または始動しにくい、または回転が続かない。

熱の伝導が速いので、ヒートキャップの高温部と低温部の温度差がすぐに無くなる。

つまり、小さなエンジンの設計で次の点に気をつけるべきだと分かります。

フライホイールの効果が激減するので、それを考慮することが必要。

熱伝導が相対的に大きくなる。

ヒータ壁から内部気体への熱伝達は有利になる。

一方で壁の低温側に伝導で流れる熱が増えるので温度差を維持する対策が必要。

3. 具体的にはどんな工夫が？

まず、熱の伝わりに関して、実際の車両を見ながら具体的に、どんな考え方で設計されているのか見て行きましょう。今のところ周回できている車両はステンレスキャップ式とガラスキャップ式の 2 種類見られます。

ステンレス製キャップ

右の写真の車両はヒートキャップ式の2ピストン形エンジンで、Mクラスをそのまま小さくしたような構成になっています。ヒートキャップの端を小さなアルコールランプで加熱します。クーラープレートに放熱用のフィンがありますが、しばらく走行するとかなり熱くなります。

ヒートキャップの役割を考えましょう。キャップ式エンジンのキャップ全体が内部気体を加熱し、アルミのクーラープレートに触れて内部気体を冷却される、とっていませんか？

実は、キャップには温度勾配があります。バーナーで加熱するキャップの先端部分が最も高温、一方キャップの根元部分はアルミプレートに接しているため低温です。金属としては比較的熱伝導が悪いステンレス製のキャップでは、先端から根元に行くにつれて徐々に温度が下がっています。つまり温度勾配が生じています。内部の空気はキャップの温度勾配に接触しながら移動することで加熱・冷却が行われています。若干ですが、熱再生器としても動作しているのでしょうか。

しかし、比較的熱伝導が悪いステンレスといえども金属なので、どうしても高温部から低温部の方向に壁ぞいに熱伝導で熱が流れます。多量の熱が低温側に流れ込むと温度差が無くなってしまいます。それを防ぎ、温度勾配を保つためには、ステンレスキャップの壁厚をなるべく薄くして、壁ぞいの熱伝導を少なくするという方法があります。写真の車両はキャップの壁厚を0.1mmより薄く仕上げていると思われます。また、キャップと内部の注射器ピストンとのクリアランスが大きいと温度勾配での熱交換が不十分になるので、流動抵抗が大きくなならない範囲でなるべく狭くした方が、壁と流れる空気との熱接触が促進されます。

ガラス製キャップ

右は耐熱ガラス（硼ケイ酸ガラス）製の試験管をキャップに用いた車両です。ガラスの熱伝導率はステンレスに比べてケタ違いに小さいので、キャップ壁を流れる熱の伝導は少なく、温度勾配を保ちやすくなります。

その一方で、バーナー炎からガラス壁、ガラス壁から内部気体へという熱伝達の性能は金属より劣ります。写真のものはガラス壁の厚みがなるべく薄いものを使っていますが、それでも0.5mmほどあるので、特に始動時、周回できる温度に達するまで数十秒間かかるのはガラスの熱抵抗が原因の一つだと思います。ただ、定常走行時には、火炎に接する面積に応じて、定常的に熱をガラス壁に伝えることができます。

また、ガラス壁から内部気体への熱伝達については、それを補うため、注射器ピストンの外側にスチ

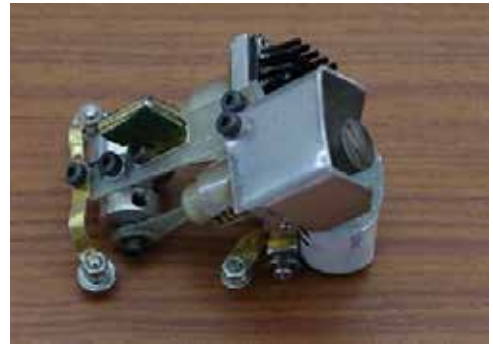


図1 ステンレス製ヒートキャップ式の車両

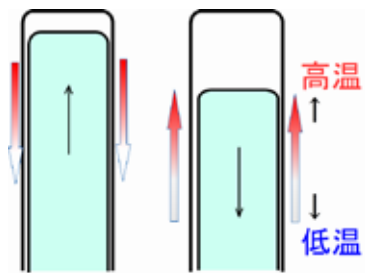


図2 ヒートキャップに温度勾配がある

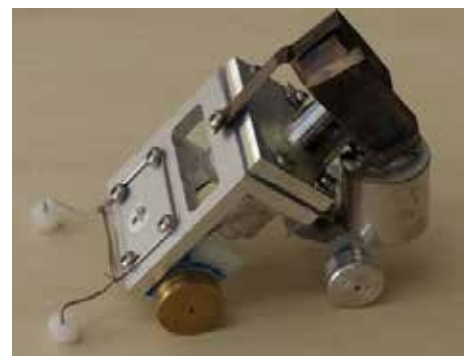


図3 ガラス製ヒートキャップ式の車両

ールウールを巻き付けてあります。これがガラス壁に軽く接触しながら動くので、スチールウール自体に温度勾配が生じます。これが空気の高温部と低温部を断熱し、大きい表面積によって気体の深い加熱・冷却を助け、熱再生器として働きます。

ガラスは数百 で軟化し始めるので、温度差をあまり大きくすることはできませんが、小さなアルコールランプでの加熱源には十分耐えられます。

ステンレキャップ式はキャップ端をなるべく高温にして、なるべく高速走行させ、短い時間で周回数を稼ぐ走り方になるでしょう。一方、ガラスキャップ式ではキャップ端をあまり高温にはできないが、熱効率の良さを生かして長距離を走行します。今のところは、熱伝導ロスが少ない分ガラスキャップ式の方が優位のようにです。

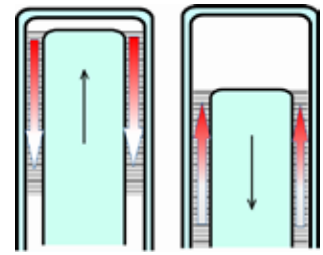


図4 スチールウールが加熱・冷却器、再生器

共通する設計

摩擦力の影響

サイズ効果のため、重量・重力による摩擦力の影響はやや小さくなります。なので、ピストンシリンダを垂直に配置しなくても大丈夫です。極端な例としては、図5のようにシリンダの振動で斜めに床をキックして前進するような乱暴な駆動方法も許されてしまいます。



図5 キック式の車両

同様な理由で、カーブを旋回する方法についても、比較的速い車両はガイドローラーを持っている方が有利ですが、HW クラス車両のようなローラーに連動させて前輪の向きを変えるような仕組みは無くても、車輪が滑ることで旋回します。

車軸・軸受け

例えば図1の車両では、車輪軸やコンロッド用などで数個のボールベアリング（以下 BB）が使われています。クラスで多用される内径2mmのミニチュアBBは、クラスのサイズ感からするとやはりちょっと大きい。狭いスペースにハウジングを作らなくてはならない。より小さいBBも無いわけではないが...。用途が特殊なので値段が高いです。

もっとも、サイズ効果によって摩擦力は相対的にやや軽減するので、BBを省けるところもあります。図1の車両でもガイドローラーにはBBがありません。ワッシャをネジで止めているだけで済ましています。

図3の車両に至ってはBBを全く使っていません。クランク軸（前輪軸を兼ねる）や後輪軸はそれぞれ径0.6mmと1.0mmの硬質ステンレス棒、軸受けはどちらもポリアセタールです。図6に示すようにコンロッドもやはり同じ材料で構成されています。

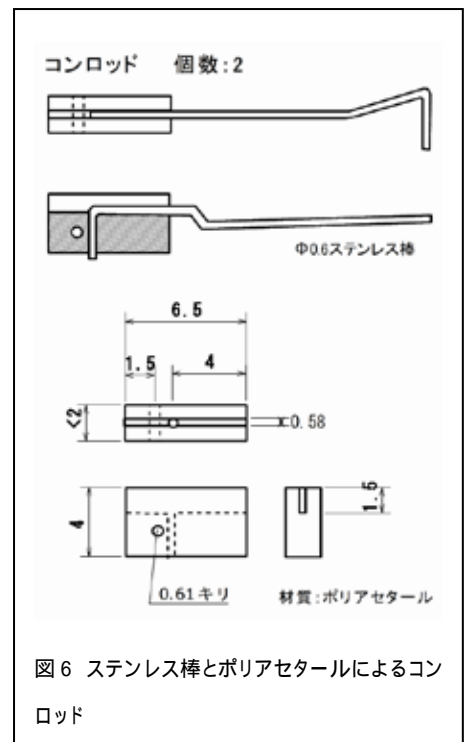


図6 ステンレス棒とポリアセタールによるコンロッド

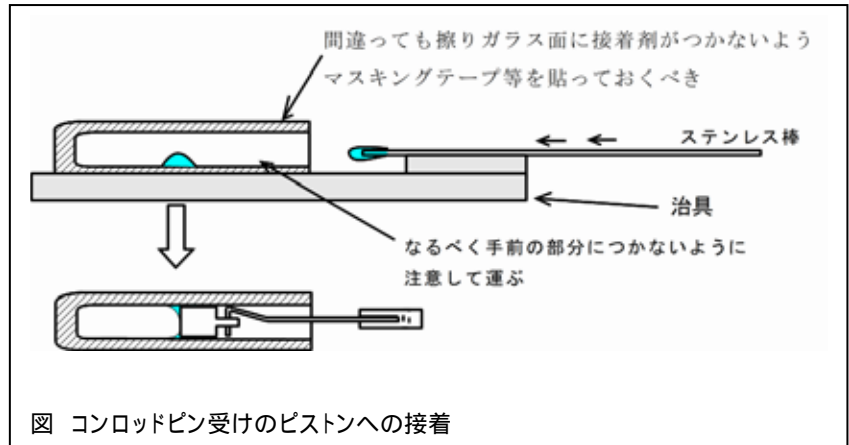
ワークの小ささ

加工対象が小さいことに対応しなければなりません。例えば、図3の車両製作では細い径のドリル穴をあけ作業が何回もあり、ドリル刃が細過ぎてドリルチャックで掴めないようなことが起こります。仕方がないので、ピンバイスを介して掴んだり、エンドミルを利用したりします。

また、例えば、図6のポリアセタール部品の加工で、生徒が不完全な段階で材料の母材から切り離してしまい、残る加工のためにワークを固定する方法に困ったりします。段取りが大事なことを思い知ります。

図はコンロッドピン受けを注射器ピストンの中央部へ弾性エポキシ接着剤で接着する作業です。図のような専用治具に固定して、内径4mmの筒の内壁に触らないよう気をつけて「イライラ棒」のように接着剤をねらった位置に運んでは置いて来ます。

このようにワークが小さいための段取りや治具や工夫をすることも、クラスの楽しさ？です。



4. おわりに

クラスの車はミニ四駆コースやトーチバーナーも必要とせず、机上のチョロQコースや小さなお盆の中でも走らせることが出来るので、いつでもどこでも誰かに走行を見せることが出来ます。また、サイズが小さいエンジンを大きな模型と比較しながら、熱の流れや機械にかかる力を考えることになるので、熱や機械については広い理解に役立ちます。特に クラスを製作したことがある方は、ぜひ クラスの製作に挑戦してみてください。

謝辞

MM車両の例として、都立府中工業高の石井先生、茨城県立土浦第三高校の石原・石引君の車両写真を使用しました。

以上の内容について質問等あれば、下記まで電子メールでご連絡下さい。

小林義行(スターリングテクノラリー事務局)

office@stirling-tech.sakura.ne.jp (@を1つ除いてお使い下さい)