

2 サイクル2輪ロードレーサーにおけるラム圧システムの有効利用と対策

最近注目されてきたラム圧システムを、エンジン特性重視から視点を変えてキャブレターの立場から考え、解析し疑問に答えてみたいと思う。いずれにしてもキャブレションがうまく行かなければ、いくら馬力が上がったところでマシンは、速く走らないからだ。

現在一般的に知られている内燃機関用の過給システムは、大きく分けてターボ・チャージャー、スーパー・チャージャー、ラム圧の3種と言える。但し、先の2つについては、レギュレーションで規制されている事もあり、レーサーには使われていない。

ここで、おさらいの意味でそれぞれの過給システムについて個々に簡単な説明をしておく。

1. ターボ・チャージャー

エンジンの排気圧力を利用し、タービンを回して(タービンの羽は対になっている)一方は排気圧力によって回り、他方の羽で新しい空気を取り入れ圧縮して、エンジンに強制的に空気を供給する。すなわちエンジン回転数が上がれば供給量も増えていく。動力は、大気に放出する排気ガス(圧力)なのでエンジンが発生する馬力のロスは無く高出力が得られる。

2. スーパー・チャージャー

エンジンの出力軸でポンプを回し、そこに発生した圧縮空気をエンジンに供給する。言い換えれば、4気筒エンジンの2気筒で馬力を発生させて、残りの2気筒(コンプレッサー)で消費量に見合った空気を圧縮して供給すると想像してほしい。実際には、プランジャー式ポンプでは無く、メーカーによって様々なタイプのポンプを積んでいるが自分で稼いだ馬力でポンプを駆動している事には変わりなく、ポンプ効率を無視すると何の為に取付けたのかわからなくなってしまう。過度的な特性の向上は見られるが、最高馬力は得にくい。

3. ラム圧(走行風圧)

物体が高スピードで移動する時に発生する風圧(ラム圧)をエンジンに取り入れる。物の本によると、マッハスピードの0.3以下だと*非圧縮性流体(Incompressible 縮まない流体)と言われている。従ってみんなが思っているほどBox内圧は、上がってない事が容易に想像できる。この項は、後で事例をまじえて詳しく説明する。困った事にエンジン回転数(消費空気量)とスピード(供給空気量)が比例しない。

音速0.3以下とは、車速換算でおおよそ367 Km/h(おおよそというのは、音速は温度で変わるため。)マッハは、1244Km/h

*非圧縮性流体: 縮まない流体ということとは、エンジンが風圧を消費しているときは、ピストン速度に比例した空気量が導入されるが、消費を止めた時に(スロットルが閉じて減速状態)も流体は、圧縮しない(縮まない)という

ことである。だが実際には圧力はゼロにはならないため、縮みにくいと解釈した方が良い。

ラム圧力と圧縮比の考察

先にラム圧について少し触れたが、どう考えても走行中のBox内圧は、圧力と呼ばれるほど高くなっていないと思われる。またまたターボ・チャージャーの話を持ち出して恐縮だが、ターボ用エンジンはターボ圧が効き始める0.3Kg/cm²前後までの圧縮比は低く、過給が有効になったときに初めて圧縮比が高くなるように設計されている。これがターボ・ラグになる訳だが。また、高くなりすぎてヘッドガスケットが吹き抜けないように逃がし弁(ウエストゲート・バルブ)が圧力を調整している。この時の燃焼室圧縮圧力は最大で、14Kg/cm²前後に設定される。このよう状態を考えるとラム圧は何^もぐらいなのと言う素朴な疑問が浮かんでくる。残念ながら現時点で確かな数値が入手できてないので答えることが出来ないが、ここに0.5Kg/cm²以下であろうと思われる現象はいくつか挙げられる。

- 1.ターボほどの加圧効果を得られないまでも、STDエンジンのままBoxを装着してもヘッド組み込み容積の変更がいらぬ。
- 2.ラム対応キャブのオーバー・フローの限界点は、0.35Kg/cm²でありそれ以上の燃料圧力であれば、キャブの口元までBoxの中がガソリンで水浸しの状態となるはずだが通常よりも多少多いくらいで済んでいる。また、コントローラー未使用の状態でも問題にならない場合もある。
- 3.弊社が開発したコントローラーは、0.45Kg/cm²以上の燃圧で自動的に燃料をカットする機構となっているが走行中に作動した形跡は無い。
- 4.燃料タンクは0.5Kg/cm²の圧力を掛けると簡単に变形してしまうという事実からも推定できる。
以上の様な事例を踏まえて想定すると、地球上で得られる自然大気圧の最大限に高い状態プラスが常にBoxの中に再現されていると考えた方が無難だろう。最大でもターボの利き始め程度の圧力(0.3Kg/cm²)と思われる。

では、そんな小さな圧力ではBoxを採用しても意味がないと解釈された方もおられると思うので一言付け加えさせて頂くが、決してそんなことはなく、ピストンが上昇時に空気を吸い上げる時のポンピング・ロスが、外圧によって軽減された分と(1気圧の空気を吸い上げるよりもキャブ・ファンネルの直前に加圧された空気があった方が有利である)。新鮮な空気を積極的に取り入れた結果は、確実に効果として現れているはずである。

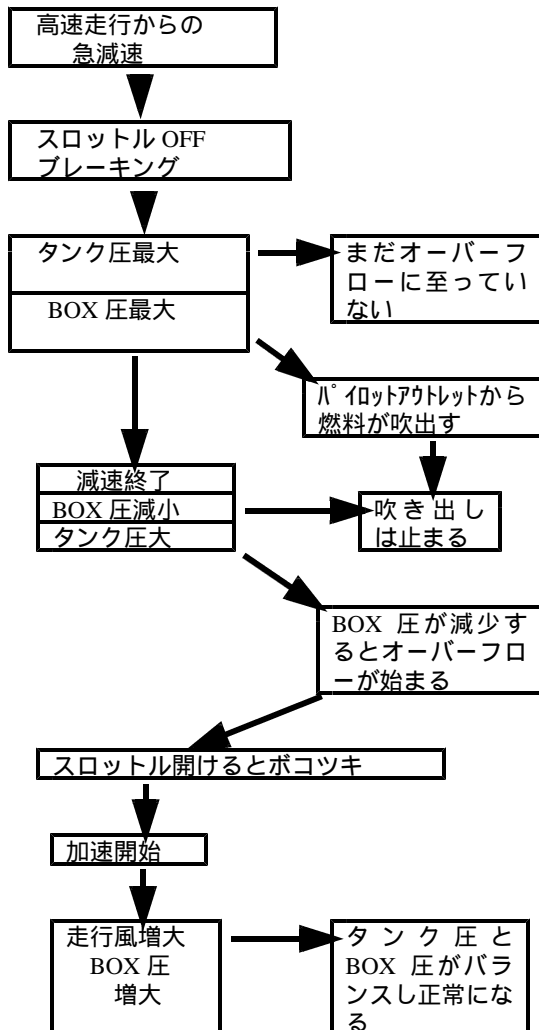
キャブレターに対する悪影響

10年以上も前に（インジェクションが普及する前）YAMAHA がキャブレター+ターボをオートバイ用に開発した事があるが、他の方法も含めてキャブレター仕様に変動する外圧が掛かる事は知られており、一般的なノーマルの状態では、キャブの機能そのものを停止させる事ともなるため様々なコントロール方法を用いていた。いずれにしても上記方法のどれをとっても、キャブに対してつらい事には違いはない。近年のターボ仕様車は例外なく影響の少ないインジェクション仕様主流となっている。

外圧を加えた時の不具合発生について現在解っている事は、次の3項目である。

1. 急減速時のオーバーフロー（スロットルは、閉じている）と燃料の過剰吸い込み。
2. エンジン停止後に燃料タンクに残圧がある場合。
3. メイン・ジェットが大きくなりすぎる（#200）を越える。

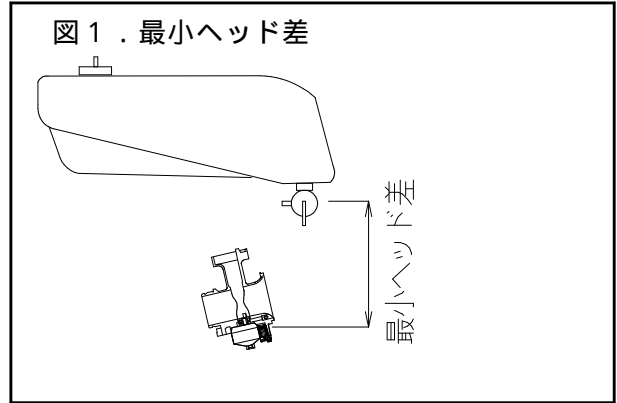
不具合が発生するプロセスをチャートで表すと以下ようになる。



基本性能 1 :

キャブレターの機能を損なわない為に最も肝心なのは、油面をいかに一定に保つかという事につける。では、どの様に燃料が流れて油面を確保しているか図で説明しよう。

図1. あたり前の事なのだがオーソドックスなレイアウトの場合は、（'84 NSR500を除く）必ずキャブレターの上に燃料タンクがあり、燃料コックの位置より下方にキャブレターの燃料取り入れ口が設定されている。

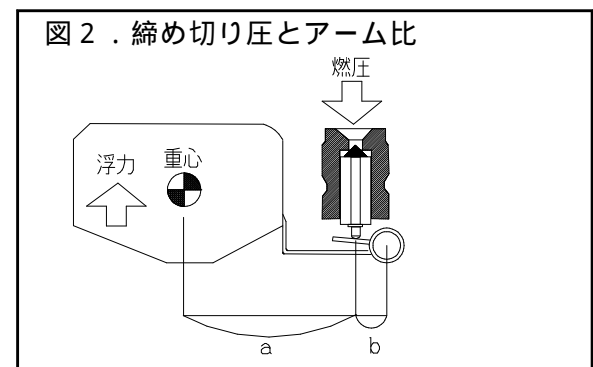


燃料コックの位置とキャブレターのフロート・バルブ（燃料開閉弁）の位置の高さの差が通常「最小ヘッド差」と言われ、この位置が重要な役目を果たし要求流量とフロート性能を決定する。

この時にフロート・バルブに加えられている燃料圧力は、燃料満タン時でおよそ*1 400mmAq弱程度であり、残量が減ってくると、その高さ分の圧力がマイナスされ流量も減少する。作業としては、フロートの体積、比重、*2 アーム比、バルブシート径の設定、燃料ホースの内径、コック流量等が決められる。当然エンジンの発生最大馬力時の要求燃料流量（最小ヘッド時に求める）もクリアしなければならない。

フロートのアーム比と締め切り圧

フロートのアーム比が大きく取れると当然*3 締め切り圧は上がるが、実際は、キャブレターのデザインや大きさ等の制約が有り（キャブは、短いほどレスポンスが良くなる傾向にある）設計やレイアウト時に一番難しい部分でも有る。



なぜ本題の前にフロートの話から入ったかという、これからラム圧システムをうまく使い、コントロールする為に切り離して考えられないからである。例を挙げると、浅い井戸から水を汲み上げるよりも、深い井戸の方が（油面が低い）多くの労力を必要とする事は明らかである。

すなわち油面が上下すると安定した燃料の供給が出来ない事になる。

* 1 1000mmAq とは、底面積 1 cm^2 の水柱が高さ 1000mm 時の底部にかかる圧力。圧力が小さいときに用いる単位。燃料圧力は高さ×比重となり 50cm の高さで 0.04 kg/cm^2 となる。

* 2 アーム比： 図 2 . (フロートの支点からバルブ位置 b とフロートの重心 a までの割合)

* 3 締め切り圧：フロートチャンバー内に燃料が溜まると油面上昇と共に、フロートがせり上がりフロート・アームの根本にあるフロートバルブが持ち上げられ燃料を止める。この時にフロート・バルブで止めることができる燃料の最大圧力。耐燃圧とも言う。バルブ・シート径を小さく (受圧面積を減らす) したり、a を長くすると耐圧は上がる。

基本性能 2 :

キャブレターに大切なもう一つの機構にエアイベント・チューブを挙げる事が出来る。この役目は、フロートチャンバー内の圧力を一定に保つ事にある。ご承知のようにチャンバー内は、燃料が入ってきたりスローやメインの通路から燃料が出て行く為、空気の体積が増減して常に外気と導通していなければならない。仮にここに動圧 (風) を当てたり、塞いだりすると一時的に流量は止まってしまうのである。

よく見かける事なのだが、P J キャブでこのチューブを上を持ち上げて縛っている人がいるが、絶対にやめてほしい。HONDA 車の場合は燃料の水滴が切れやすいようにチューブの先端が斜めに切つてあるはずである。理由は、燃料がエンジンの振動でチューブを伝わり塞いでしまう事が有る為、先端の面積を大きくし水切れが良くなるようにしてある。この様な些細な事にも気を使って設計されているのがキャブレターである。では、YAMAHA はどうなのと反論されるかもしれないが TM キャブレターは、エアイベントと併用してオーバーフロー・パイプが内蔵されていてこいつが外気と導通している為に問題が出ないのである。(P J もモトクロッサーは、付いている。) しかし、ラム圧を使用すると、こいつが落とし穴になる。

前置きが長くなったが、以上の 2 つの基本性能が急減速時に機能しなくなり、不具合が発生する。

ラム圧の使いかたは、大きく分けて 2 通りある。

現在 2 サイクルマシンの主流になっている Box でキャブレターを覆ってしまう方法。(Box 内にキャブがある。) 図 3 .

次に、4 サイクルマシンに見られるように、エアークリーナーの部分だけを加圧する方法。(Box の外にキャブがある。) 図 4 .

いずれの方法も、何かしらの対策を講じないと十分な性能は引き出せないはずである。

では、キャブレターのどの部分にどのような悪影響を及ぼしていくのか、図 3 . の方法を例

にとり実例を挙げながら、対策も含めて検証したい。

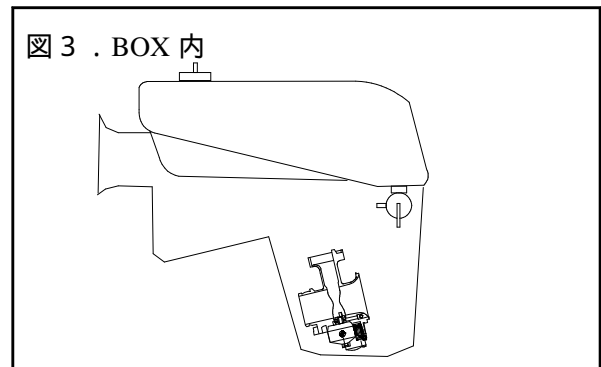


図 3 . BOX 内

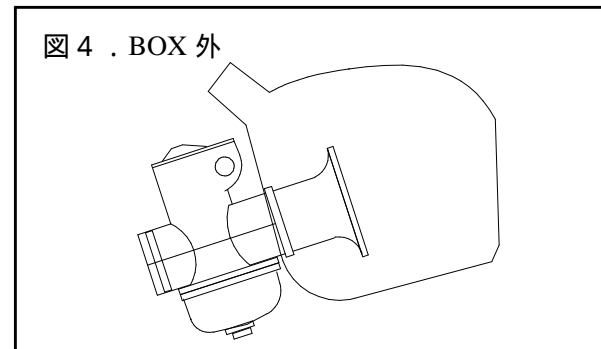


図 4 . BOX 外

現にラム圧システムを使用していて実際に効果を体感しているライダーは、どれぐらいいるのだろうか？大きく分けて次の様な意見を耳にする。

全然変わらないしセッティングが難しい。全開域でのパワーが有るような気がするので不具合は無視している。装着直後、ピット・ロードを出て行く時に加速が良かった気がしたが、タイムは縮まなかった。

それぞれの意見を総合的に見ると意見の相違は有るものの総じて優位性を感じているようである。実際には、エンジンのピストンが上死点に向かう時にピストンの裏側は、負圧になって (空気が入ってこない状態を想定するとピストンを引き戻すほどの力が働く。) いるわけだから走行風でピストンのポンピング・ロスが減らしてやると (極端な言い方をすると走行風でピストンを押し上げてやる。) 言う様に想像すると 3 番の意見は適切な表現と思われる。従って、2 番の意見の不具合を解決する事でもっともっと良くなる可能性は残されているはずである。

一番の意見については、元々エンジンの仕様、ポートタイミングや EX・チャンバー等の組み合わせや圧縮比、キャブレターの基本仕様等が適正で無かったり、Box の構造、機密性などの使用する側の問題があったかもしれない。

Box 容積と形状 :

私自身、どのメーカーの Box が良いのかと相談を受けて答えに窮すことがある。と言うのも Box の善し悪しは、一概に判断できないか

らである。選ぶ方も、整備性で選ぶか性能で選ぶか自分の意志や目的をはっきりさせるべきである。但し、Box の機能から選ぶとすれば、次の条件が満たされているか参考にしてほしい。

Boxの役目は、単にエアーを溜めるだけではなく、次の機能を併せ持っていなければならない。

許される範囲で出来るだけ大容量であって欲しい。と言うのも容積が小さすぎて、走行風が圧力に変換される前に直接キャブに風となって当たるようでは、エアーベントの機能が損なわれてしまう。当然ダクトとBOXの接続部は、キャブファンネル部から遠いところにあるに越したことはない。キャブのファンネルの側面とか直前にあるようでは論外である。但し、エアーベント・チューブの先端を風の当たらない場所に取り回してやればその限りではない。

GP3クラスの上田昇選手、斉藤明選手が走行の度にエンジン焼き付きに悩んでいたが、パイピングとパワー・ジェットの変更で克服している。('98年スズカ上田選手ポール獲得 '98 PAXPWJ仕様)

では、何故大容量なのかという全開加速から全閉減速したときに行き場の無くなった圧力のショックが容量が多いほど和らぐからである。と同時に十分な空気量を確保するだけの取り入れ口の面積と位置が設定されているかもチェックしたい。キャブに及ぼす悪影響は、この後に詳しく説明する。逆に色々な不具合が発生すると言うことは、それだけ充填効率が良いともいえる。

(重要) 先に述べたように、走行風は、スロットルを閉じている時(減速時)もBox内(キャブレター)に圧力が掛かる。これが、キャブレターにとって大敵なのである。

イ・~1・燃料流量、圧力の制御 (オーバー・フロー)

電気式コントローラーを用いた場合、減速時に燃料タンクに急激な圧力が掛からないようにエアー通路を遮断し、燃料タンクのエアーが逆流しないように制御されている(ワンウェイバルブも兼ねている)。しかし、スピードの減少に伴い Box 内圧も下がってくるので、結果的

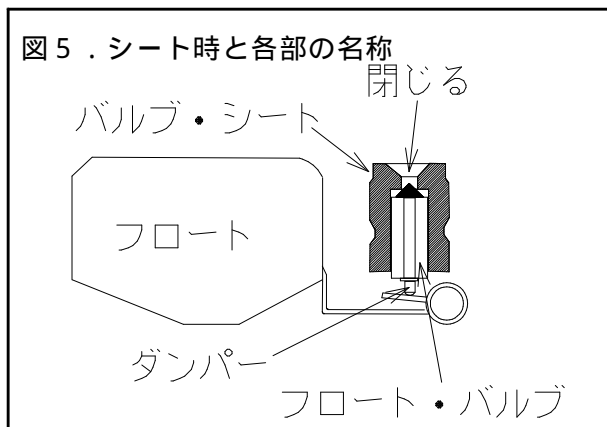


図5 . シート時と各部の名称

に燃料圧力だけが高い状態となり、キャブレターは、オーバーフローを起こすことになる。従って、コーナー立ち上がりでボコツキや、エンストに悩まされることになる。**チャート図**

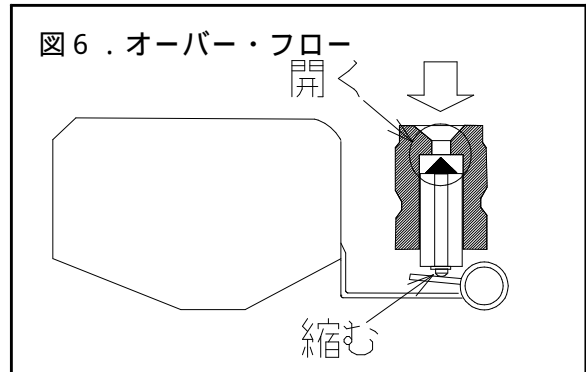


図6 . オーバー・フロー

オーバーフローのメカニズムは、フロートが油面の上昇に伴ってフロート・バルブを動かしバルブ・シートを閉じるわけだが、フロートの余剰浮力が残っていたとしてもフロート・バルブの先端にあるプッシュロッド・プリングそのものが圧力に耐えきれずに、フロートは止まった状態でフロート・バルブだけが燃料圧力に負けて(ロッド・スプリングが縮む)押し戻されるため、シート出来なくなりオーバーフローが発生する。図6 . この時の燃料圧力は、0,25 kg/c m²f 以上となる。

因みに、PJの対燃圧は、0,25 kg/c m²f である。弊社が販売しているラム圧対応キャブは、0,35 kg/c m²f となっているがコントローラーを使用しない場合、まだ十分とは言えない。

フロート・バルブ・プッシュロッド・スプリングの耐力については、震動摩耗の問題があり一概に強くできない部分である。

イ・~2・エアー・ベント圧の制御 (過剰燃料の抑制)チャート

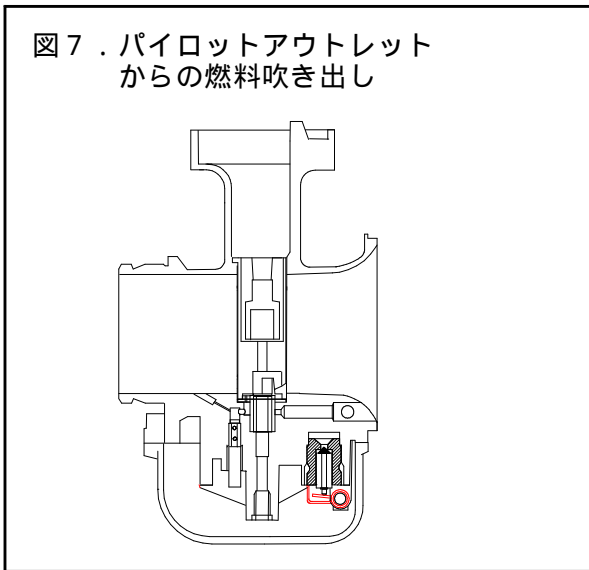
油面の上昇以外に、エアーベントもボコツキを助長させている。これは、Box の容積の件でも触れたがスロットルを戻した瞬間に圧力のショックがあると述べた。この時スロットルは、全閉状態に有るためエアーベント・チューブを通してフロート・チャンバー内に圧力が集中する。図7 . を参照して欲しいのだが、パイロット・アウトレット穴だけがエンジンにつながっていることが解ると思う。もうお解りかと思うが、フロート・チャンバー内圧が上がり、エンジンは、パイロット・アウトレット穴から燃料を吸っているためちょうど水鉄砲のごとく燃料が吹き出し、クランク室に溜まる。

ひどいオーバー・フロー状態に至らなかったとしても、当然のようにボコツキが発生しキャブセッティングが出来ない状態となる。この症状は、減速されて Box 内圧が下がってくる自然に解消される。**チャート**

GP125クラスチャンピオンの東雅雄選手が第10戦TIで酒井大作選手と大バトルの末トラブルが発生しチャンピオンを優勝で飾れなかった事は、記憶に新しい。後に当人に確認

したところシーズン中ずっと悩まされていたとのことである。

ロ・～ 1 . 燃料タンク残圧の制御



(圧力逃がし弁)

この解決策として考えられるのが燃料タンクの圧力を瞬時に抜くことである。燃料コックとキャブ位置 (ヘッド差) については、先にも触れたがこの位置関係が変わらない限り、必ず燃料は流れる。すなわち通常は、タンクにもキャブにも大気圧が高くても低くても 1 気圧の圧力が掛かっている為この関係は崩れる事は無い。

賢明な読者ならば、気づいてくれたかと思うが常に燃料タンクの内圧と Box の圧力が等しければ良いと言う事である。幸い Box 圧をリザーブ・チューブを介して燃料タンクに加圧する方法では、走行中に関しては自動的にこのバランスを保ってくれているので急激にスロットルを戻さない限り問題とはならない。ところが、Box 内圧の増減に (加速時と減速時の差圧) 反応して燃料タンク内圧をコントロールするには若干の問題が持ち上がってくる。と言うのも、走行中はタンク内の燃料の体積は減って行く為に反比例して空気の体積が増えて行く、この変化する空気量を同じ時間内に瞬時に平圧 (1 気圧) に戻したり、加圧したりしようとすると次のような弊害が出てくる。平圧に戻す時、急激にタンク内圧を下げようとすると、設定したパイプ (加圧パイプ) から燃料も一緒に排出される。

特に、減圧したい時はブレーキング時と決まっており燃料が偏り排出パイプにもっとも近くなる為、タンクを加工して影響の少ない場所にパイプを設定しなければならない。加圧する時は、タイムラグが有っては困るので最短距離で出来るだけ太いパイプを新たに贈設する必要がある。と同時にそれぞれのワンウエー・バルブ (作動圧や形状、リーク時間) の設定も必要となってくる。

段々難しくなってきたので少し話を整理して

みよう。燃料が流れるには、(ヘッド差) が必要なことは、前述の通りである。では、Box 圧力に対して平圧 (1 気圧) の燃料タンクはどのような関係になるかという図 1 . でも説明したとおりタンクがキャブよりも高い位置にあり燃料が流れている。(タンクが高い位置にある分だけキャブよりもタンクの圧力が上がっており下方に向かって流れる) ところが燃料タンクに圧力をかけない状態で Box 内圧が上昇するということは、キャブの圧力の方が高くなる。すなわち、(実際には動かないが理論的に) タンクがキャブよりも低い位置になる訳だから燃料は流れなくなる。

この対処には、次の方法が考えられる。

- ～ 1 . 燃料タンク内圧を平圧に保ち、電磁ポンプを使用し強制的に燃料を送り込む。
- ～ 2 . Box と燃料タンクをパイプで同圧にする。では、この二つの方法ののメリットとデメリットを考えてみよう。

～ 1 . メリット

電磁ポンプ自体が逆止弁の役割も果たすので燃料の逆流はない。燃圧が高いためフロート・バルブシートを小さくでき、フロートや燃料パイプ径の変更なしで耐燃圧が確保できる。

デメリット

重量物を積み込む。(電磁ポンプ、駆動用バッテリー等) エアーベントの制御がされていない。

この方法は、GP500クラスのYAMAHAプライベートが採用している。'96年度新垣敏之選手がスペインでマシンを焼失するまでは、エアーベントの制御方法の一つとして、スロットルと連動するデバイス (スロットルを閉じるとBox内圧が瞬時に抜ける) と同時にキャブにも加工を施して弊社より供給し、併用していた。鈴鹿ラウンドでは、プライベートとして新記録を更新。予選 15 位 02'10"912 (14 位伊藤真一 02'10"715) 予選最終ラップまでのポジションは、6 位だったと記憶している。(2001 年に商品化)

～ 2 . メリット

パイプ一本で加圧できるため簡便である、重量物を積む必要がない。

デメリット

燃料圧力、エアーベント、タンク圧を制御するコントローラーが必要となる。

燃料タンクが常に加圧状態となるためエンジンを停止した時の残圧の処理。(オーバーフローと再始動の悪さ)

グリッド上でエンストするのは、ほとんどがこの状態だ。

この場合は、ワンウエーバルブのルーズな物を使用して穏やかに圧力を抜いてやる。但し、電氣的にコントロールされている場合、スロットルを戻した状態でカットされたままの状態や、ブレーキレバーを握るとカットされる機構の物は、カットを解除する工夫が必要である。例えば、スロットル開度センサーが働かない位置に開度をキープするとか、ブレーキレバーは、

握らないようにして通路を確保しタンク圧力を抜いてやる。

八．～ 1．メインジェットが大きくなる

Box を使用するとメイン・ジェットが変化する。京浜のキャブで言えば、間違いなく#10 以上大きくなるのである。通常たくさんの燃料を必要とするということは、馬力が上がると解釈して間違いはない。

しかし何故、飛躍的なタイムアップに繋がらないのだろうか疑問である。同時に京浜のメイン・ジェット番数を例にとると、#200 以上は番数を通常 1 ランク変えるところを 2 ランク～ 3 ランク変えるようにとの指示がある。後で図解入りで詳しく説明するがジェットは、3 つの部分で構成されており、番数が大きくなるとこの部分のバランスが崩れ、流体の制御が出来なくなる。話を元に戻すが、メイン・ジェットが大きくなるのは、ほかの要因が有るとしか思えない。例えば、エンジンが最高回転数に達した場合回転数は限界がある。すなわち消費する空気の量は限られる、ということである。

～ 2．走行風の過剰供給

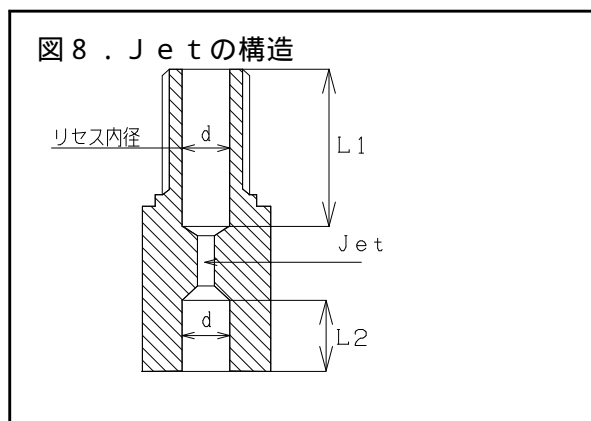
ところがエンジンが消費する空気量以上に圧力が供給された場合に、その圧力はどこに吸収されているのだろうか？そこで、弊社では簡単な装置（小型クローズド・サーキット風洞（ゲッチング式））を作り確認をしてみた。Box 状の密閉容器の中にキャブを取りつけ、キャブが吸い込んだ空気量と同じ量を Box に供給したときのメイン・ノズル負圧とさらに供給量を増やした時では、明らかに供給量を増やした時の方がノズル負圧が低くなるのである。簡単に言うと、全開で燃料がメイン・ノズルから流れている状態にさらに加圧すると（車速が上がる）出てきた燃料を押し戻す力が働くのである。結果的にキャブ・セッティングは薄くなってしまうのでそれを補うために、大きいジェットが必要になってくる。（燃料は、一度フロート・チャンバーに蓄えられそこからメイン・ノズルが燃料を吸っているため、この時の燃料タンク圧力の影響は無い）

～ 3．ベンチュリー効果の低下

通常スロットル全開でエンジンがピーク回転に達すると、キャブに発生する負圧は低くなる。アイドル時は、550 ～ 600mHg 程度の負圧が発生しており全開時には、20 ～ 30mHg 程度まで下がる。エンジンは、高回転になるほど脈動幅が狭くなる方向であり、特に高回転時はクランク室とキャブ間は直管状態に近く、（段差が無く）差圧が発生しにくい状態となる。この時に過給圧が更キャブとクランク室の差圧をなくし、燃料を吸い出しにくくしているとも（吸うが押し込むに変わる）考えられる。結果的には、エンジンに対しては偶然良い方向に働き、車速が上がるとピーク馬力以降の（レブ特性）対馬力あたりの燃料消費が押さえられるためエンドスピードの伸びが良くなる。

ジェットの構造

ジェットは、リセス a（上流側）+ ジェット部 + リセス b（下流側）+ L（長さ）の部分で



構成されており、それぞれの d（内径）と L の比率で流体を整流する。

ジェット部が大きくなると、リセスとの内径差が無くなり（ただの筒となり L の長さ分通路抵抗が増す）整流能力は薄れ、流体は流れにくくなる。きれいな整流効果を保つには、L / d の関係を崩してはならない。

通常キャブレターのセッティング・パーツを設定するには、メイン・ジェット特性がリニアに変化する部分が使えるように、ジェット・ニードル（針のテーパーや切り上がり等）やファンネル形状（ノズル特性や負圧分布）を選択する。因みに、ラム圧対応キャブのメイン・ジェットは、当社比で 2 ～ 3 ランク小さくなっている。

ここまで読んでいただいて理解していただけたと思うが、ラム圧・システムを上手に使うには、燃料流量、燃料圧力、エアー・ベント、燃料タンク圧のコントロールがいかに大事か、また適切なコントローラーを使用することでトラブルは、解消すると認識いただいたと思う。

ここに最後まで読んで頂いたことに感謝する。

株式会社 ナグ・エスイーディ
文責 代表取締役 永治 司
1998 / 08 / 31 記

追記：

4 サイクルエンジンやクリーナー付車両にラム圧を使った場合、サイクル数のインターバル時間や、クリーナー側の抵抗がレーサーに比べ多い分、よりインパクトの高い評価が得られる。

走行風を吸気に取り入れることは、吸気行程の仕事量（ポンピングロス）を減らす役割があり、充填効率アップとの相乗効果である。