

はじめに

エンジンの構造や作動原理、最新のメカニズムなどを知りたくって書店へ行けば、たくさんの本がならんでいる。入門書、ニューモデルのメカニズム比較、レーシングエンジンの解説、学術論文や設計技術者向けの実践的なものまで、さまざまなレベルと視点の書籍がある。モーターサイクルという視点に立った場合、そのエンジンに限定した内容のものはさほど多くないが、ふんだんにあるクルマ関係のそれが十分に参考になる。

ところが、それらの書籍は、まずほとんど4ストロークエンジンに関するものなのだ。2ストロークエンジンについてとなると、少なくとも僕たち一般人が読んで面白いとか、わかりやすいものは、皆無に等しい。せいぜい、1冊の本の中のわずかなスペースで、簡単に触れられている程度だ。

これは困った、と僕は思った。モーターサイクルでは、2ストロークモデルがたくさん存在している。自分がまたがる相手の正体を、ライダーの欲求として知りたかった。それに応える本がないなら、自分で作るしかない。これが本書を執筆することになった、そもそものキッカケである。

既存の書籍がないのだから、参考書を集めただけでは書けない。専門家に教えていただき、現実のエンジンをひねくりまわしながら勉強していくのが唯一の方法だ。そして、さまざまな機種エンジンにはそれぞれ特有のメカニズムがあるだろうが、それらを広く浅く見てまわるより、特定のエンジンに絞って探求してみたほうが、かえって2ストロークの本質に近寄れるのではないか。その機種は、レーシングマシンがいい。単純明快に速さを追求してるだけあって、答を見つけやすいはずだ。どうせなら世界最強最速がいい……。

こんな企みを抱え、世界GPロードレースを闘うホンダのワークスマシン、NSR500のエンジンに関する取材を申込んだのが1993年4月だった。デイパックに資料と器材を突っ込み、バイクでHRC教室へ通う日々が始まる。

取材では、最先端のマシンを開発している技術者諸氏に、まず「2ストロークとは、そもそも、どーなってるのか」という質問を浴びせる。最初から最後まで、基点はそこに置いた。2ストロークは新気をまずクランク室に吸い込んで……という程度の原理くらい知ってるつもりだったが、あえてそこから始めた。これがよかった。

■読者の皆様へ■

本書は1995年3月20日に刊行した『NSR500 ハイパー2スト・エンジンの探求』の内容はそのままに、カバーデザインなどを一新して刊行する新装版です。

刊行以来、版を重ね、2ストロークモデルのファンをはじめ多くの方々に読み継がれてきました。しばらくの間、品切れの状態が続いておりましたところ、再刊のご要望をいただくようになりました。

執筆にあたり、著者自らホンダレーシング教室に通い、GPマシン「NSR500」を教材として開発者に取材し、2ストロークエンジンの構造から作動原理など、基本から実際までをわかりやすく解説しています。

本書で2ストロークエンジンの仕組みとその魅力を知っていただければ幸いです。

目次

知ってるつもり、僕たちレベルでの常識が、いかにイイカゲンか、次々に露呈されていった。

まったくのトーシローを相手に、その道の敏腕プロフェッショナル諸氏がよってたかったの個人授業である。贅沢な話だ。理解できるまで何度も質問を繰り返し、原稿を書いて読んでいただいてから間違いなどを指摘していただき、ということが続けた。これが、ほぼ2年間。僕のあまりのシツコさに、敏腕諸氏は当初呆れたものの、やがてはヤケッパチ気味に「わかるまで付き合っよう」の状態に陥ってしまった。おかけした迷惑は、半端じゃない。

教材はNSR500である。世界の頂点に立つGPマシンの秘密を暴露することが主題ではなかったものの、未公開データをふんだんに教えていただいた。結果、僕も何度かの試乗で驚愕した超高性能を生み出す、その仕掛けをお伝えできることになった。ワークスマシンとは何かも本書から見えるはずだ。

それでも、NSRの構造を各種ストリートバイクなどと対比しながら、2ストロークの基本を探求するスタンスは守った。ストリートバイクは「レベルが低い」ということはなく「技術の組み立て方が違う」だけだ。また、さほどメカニズムに詳しくなくても読み進められるように心掛けた。もっとベーシックな構造や用語を知りたい方には、僕と村井 真氏の共著である「図解バイクエンジン入門」(グランプリ出版)が参考になるのではないかな。

今回の取材と執筆を通して、僕は2ストロークエンジンならではの面白さに触れることができた。この面白さを、今このページを開いている、あなたにも知ってほしい。そして明日の2ストロークエンジンへの夢を抱いてほしい。

1995年2月 つじ・つかさ

第1章 概論 17

- 1-1 驚異的な性能のレーシングエンジン 17
- 1-2 GP500用エンジンは総合性能の極致 20
- 1-3 ホンダの2ストロークエンジン 24
- 1-4 強大な馬力を生み出す組織力と意志 35

第2章 2ストロークエンジンの基本 40

- 2-1 歴史の浅い2ストローク 40
- 2-2 2ストロークの有利要素 44
- 2-3 作動の基本と掃気 48
- 2-4 排気チャンバーと給気比 56
- 2-5 2ストロークエンジンの燃焼 68
- 2-6 吸気方式とリードバルブの特性 76
- 2-7 2ストロークのV型エンジン 83

第3章 エンジン設計の基盤 89

- 3-1 要求性能の決定プロセス 89
- 3-2 ワークスの特殊性とは? 93
- 3-3 企画から実走までのプロセス 95
- 3-4 軸配置 99
- 3-5 Vバンク角の設定とその周辺要素 108
- 3-6 ボア・ストローク比 111

第4章 現代2ストロークエンジンの実際—116

4-1 クランクシャフト	116
4-2 クランクマス/バランス率/位相角	133
4-3 バランサー&プライマリーシャフト	142
4-4 コンロッド/大端&小端ベアリング/ピストンピン	146
4-5 ピストン/ピストンリング	152
4-6 クランクケース	163
4-7 シリンダー	170
4-8 シリンダーヘッド	177
4-9 燃焼室	180
4-10 各ポート	183
4-11 吸気系	200
4-12 排気系	213
4-13 冷却系	230
4-14 マシンの内部空力	239
4-15 電装系	247
4-16 駆動系	256

第5章 新世代2ストロークエンジン——263

5-1 燃料/エンジンオイル	263
5-2 電子制御機構(ECU)	268
5-3 電子制御&データ収集システム	271
5-4 燃料噴射方式の可能性	283
5-5 電子制御による可能性	291
5-6 近接爆発	302



'88



'89



'96

1-2 GP500用エンジンは総合性能の極致

93年モデルのNSR500では限りなく200馬力に近付き、ホッケンハイムのコースではついに321km/hの最高速度を記録した。バケモノ的なエンジン性能である。とはいえ、どんどん技術が進んだ結果、ストレート部分ではという但し書きは付くが、素人の僕でも全開しやすくなった。そもそも、そんな強烈なパワーなのに、勝手に前輪が浮き上がって竿立ちになるようなことがない。じつはここがポイントである。本当の意味で「凄いエンジン」とはどういうことなのかの概略を、ここで理解してもらいたい。

ロードレースの勝敗を決定づける要素のうち、何がどのくらいの比率を占めるか。これはコースによっても違うが、一般論としてまずライダーの性能が50~60%であろう。だからこそ、スポーツとして面白い。残りがマシンとチーム力だ。そしてマシンのうち、タイヤを含めた車体性能が50%、エンジンが50%といったところではないか。

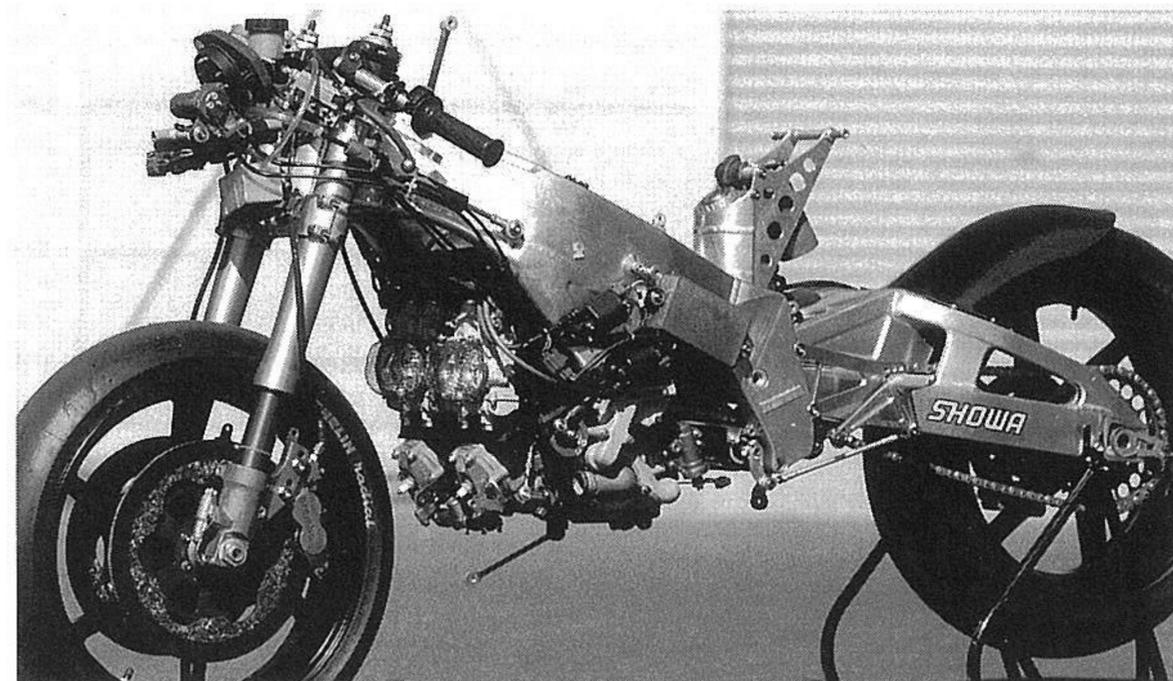
なーんだ、エンジンの占める比率なんて小さなものか、と思うかもしれない。だが、この比率分析はかなり杓子定規なもの。モーターサイクルで速く走るということのために、エンジンがどう関わるかを、よく知るべきだ。

モーターサイクルでは、エンジンの単純な馬力だけではなく、そのパワー特性が非常に重要になってくる。たとえば、スロットルを開けても一定の回転域まではモヤッと吹けてパンチがなく、その後に一転してバキューッとパワーが炸裂するようなピーキーなエンジンだったら、その特性が変化するポイントで簡単に後輪がスリップすることは、すぐに想像できるだろう。クルマと違って、こういう急激なスリップを人間が制御するのは、非常に難しい。そのため全開にできるタイミングが遅れ、それだけ速さを失うことになる。同様のことがスロットルレスポンスにもいえ、クルマのレーシングエンジンのようなオン/オフ的な発想など、絶対に通用しない。

そして、急激な変化を伴うパワー特性やレスポンスだと、ハンドリングが悪くなる。後輪が激しいスリップを起こさない場合は、そのパワーの変化点で前輪の荷重が急激に減少し、あるいはウイリーする。基本として、コーナリングに入ればスロットルを当ててマシンをコントロールするが、そこでも後輪だけで曲がっていくのではない。前輪もうまく使わないと、つまり前輪の接地荷重がある程度確保されていないと、コーナー脱出加速に備えつつ高い旋回力を発揮することはできない。たとえ直線に出てからでも、派手なウイリーとなってはスロットルを開け続けられない。

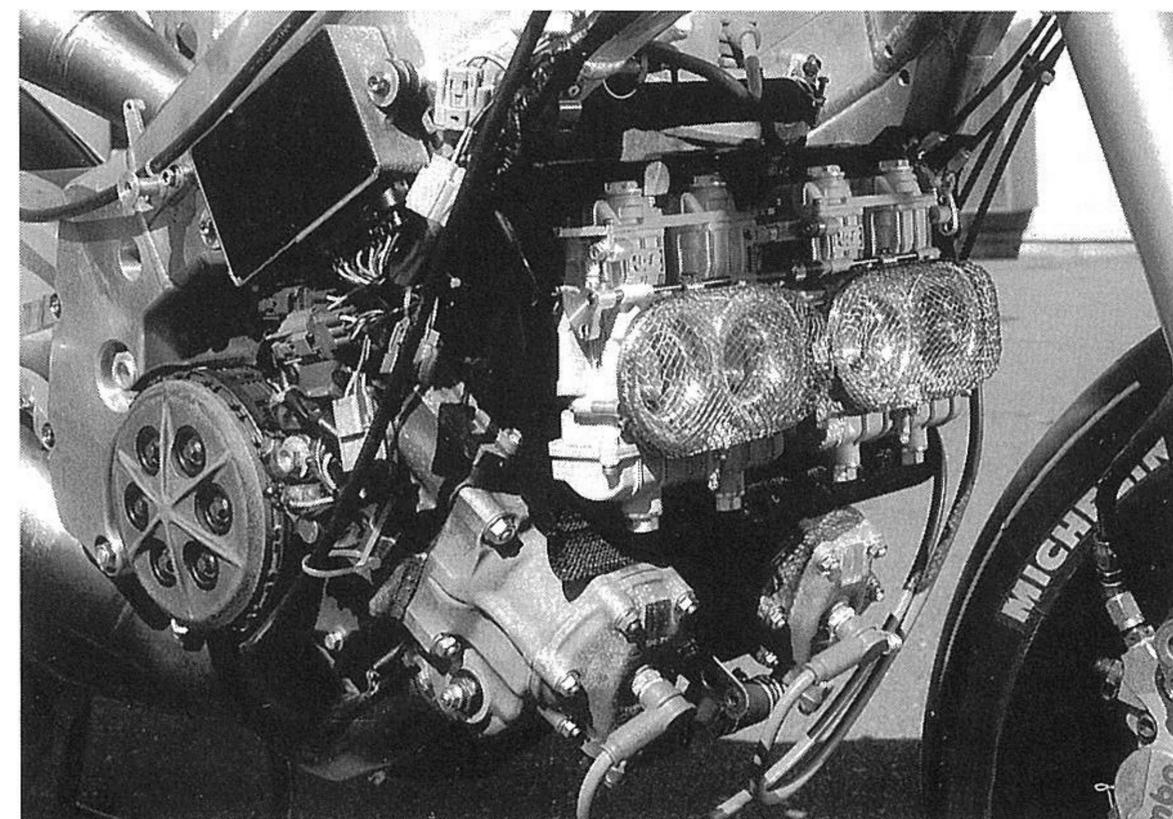
また、パワー特性とは別のところでも、エンジンはハンドリングを決定的に左右している。エンジンは一番重い部品なのだ。そのエンジンの重量と大きさ、そして形状によって、マシンの重量配分はガラリと変わってくる。もちろんエンジンは軽い方がいいが、それ以上に、いかに前後/左右/上下に圧縮された形であるかが重要である。マスの集中だ。同じ車体寸法でも、質量が車体の運動中心(ヨー/ロール/ピッチの通称運動3軸の集まるところ)に集中している方が、シャープにコーナーを攻略できる。

しかもそのエンジン形状は、効率のいいフレーム配置を可能にし、前後のホイールや



94年NSR500

このストリップ写真を見れば、徹底したマスの集中とスペース効率の追求がなされていることがわかる。モーターサイクル、中でもレーシングマシンの高性能はここに基点があり、エンジンもその中のひとつの要素なのだ。



94年NSR500のエンジン

最初にエンジンに求められる性能は、総合的な車体機能の中の一部品として、究極の効率が追求された「形状」だ。

くなく、その前後で急激にパワーが低下したとしてもレースでは関係ないのである。P67とP68のグラフのデータも参考になろう。

4ストロークは絶対トルク値が低いかわりに、回転数を上げられる。しかし逆にいえば、めいっぱいパワーを絞り出すには超高回転まで回すしかない。ところがその本領域では、フル加速してもピッと吹き上がらない。回転が上がるほど加速度的にフリクションは増大するし、4ストロークはバルブ駆動系などフリクション発生部分が多い。そのフリクションが馬力を食い、吹き上がりを鈍くする。

2ストロークはその作動原理から、あまり高回転になるとガス交換がうまくいなくなる。機械的な限界以前に、ガス交換の効率などで回転上限が決まってしまうのが普通だ。その上限は4ストロークより低い、トルクの大きさにより結果的にパワーは出て、かつ鋭く吹き上がる。

2-3 作動の基本と掃気

2ストロークエンジンとは、2ストローク1サイクルエンジンを略した言葉だ。さらに略して2ストともいう。ピストンが2ストローク(2行程=1往復)する間に、ひとつの燃焼サイクルをこなす形式のエンジンである。2サイクルという呼び方もあるが、本書では2ストロークを使うことにする。

その作動原理は、4ストロークのように単一時間軸で考えようとするとは分りにくい。ガソリンと空気の混合気を、2箇所同時に吸い込んだり圧縮したりしているためだ。ひとつはシリンダー部分。もうひとつはクランクケースである。クランクケースのうち、クランクシャフトが収まっている周辺は密閉された部屋になっていて、混合気の吸入と圧縮を行う。この部屋をクランク室と呼ぶ。

まずはクランク室の方だ。

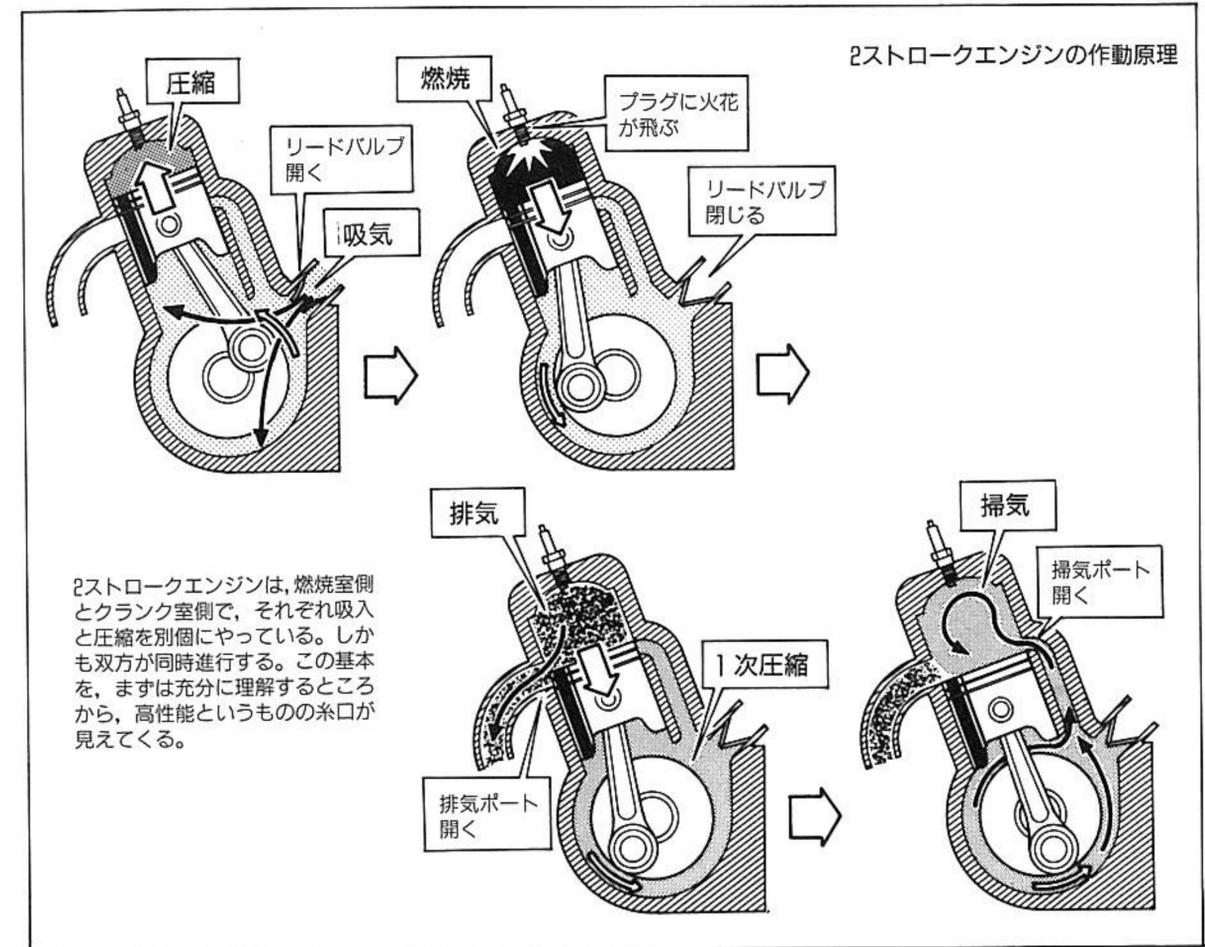
①ピストンが下死点から上昇するときには、クランク室内は負圧になり、そこに大気との圧力差で混合気が吸い込まれる。クランク室にはキャブレターから混合気を導く吸気ポートが通じている。

②ピストンが下降していくときには、吸気ポートが閉じられ、クランク室内の圧力が上昇する。これを1次圧縮という。吸気ポートの開閉は、吸気方式によって異なる。1次圧縮が進行したところで、クランク室とシリンダー内部を結ぶ掃気ポートが開く。クランク室内の混合気がシリンダー内へ押し出される。掃気ポートは、排気ポートとともにシリンダー壁に開口部がある。その開閉はピストンの側面でやっている。

次にシリンダー内の方だ。

③ピストンが上昇し、まず掃気ポートを閉じる。次に排気ポートを閉じ、シリンダー内の混合気を圧縮する。十分に圧縮したところで、点火プラグから火花が飛ぶ。

④混合気が燃焼し、その圧力でピストンが押し下げられる。ある程度下がったところで、シリンダー壁に開いている排気ポートが開き、燃焼済みのガスが排出され始める。次に



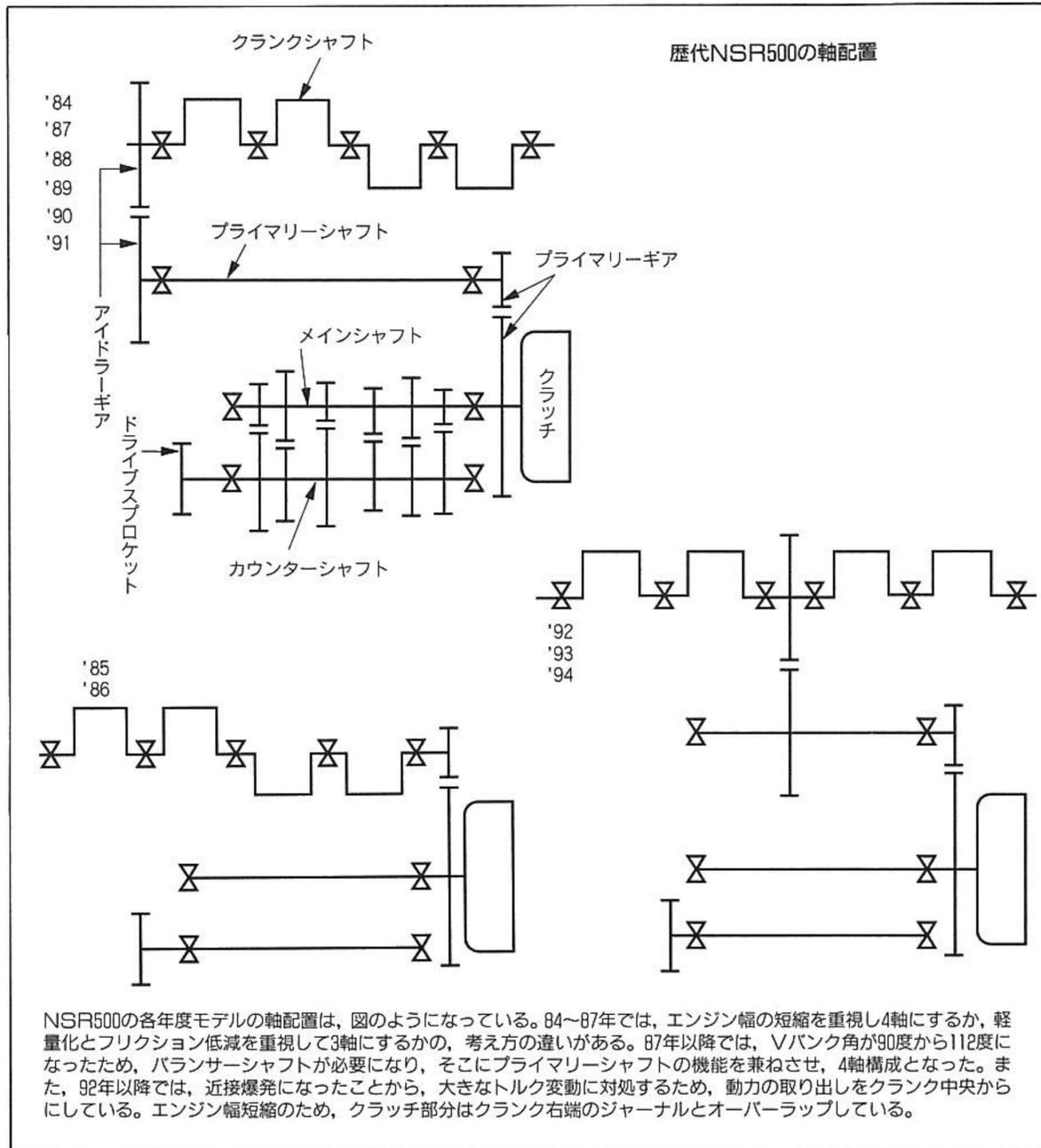
掃気ポートが開き、クランク室から新しい混合気の流れ込みながら、その新気がさらに燃焼済みのガスを追い出す=掃気(scavenging)の仕事をする。

ピストンが上昇するときにはシリンダー内部で混合気を圧縮しながら、同時にクランク室に混合気を吸い込んでいる。ピストンが下降するときは、半ばまでが4ストロークという燃焼行程といったところ。後半では排気作業と、4ストロークにはない掃気という作業が同時に進行する。そして排気と掃気はピストンが下死点を通過しても継続していくことも、記憶しておいてほしい。

混合気も燃焼済みガスも、その流れは互いの勢いを使ってやる。曲芸みたいなことをやっているのだから1回の燃焼での効率は悪いが、クランクシャフト1回転ごと、4ストロークの2倍の燃焼行程がある。

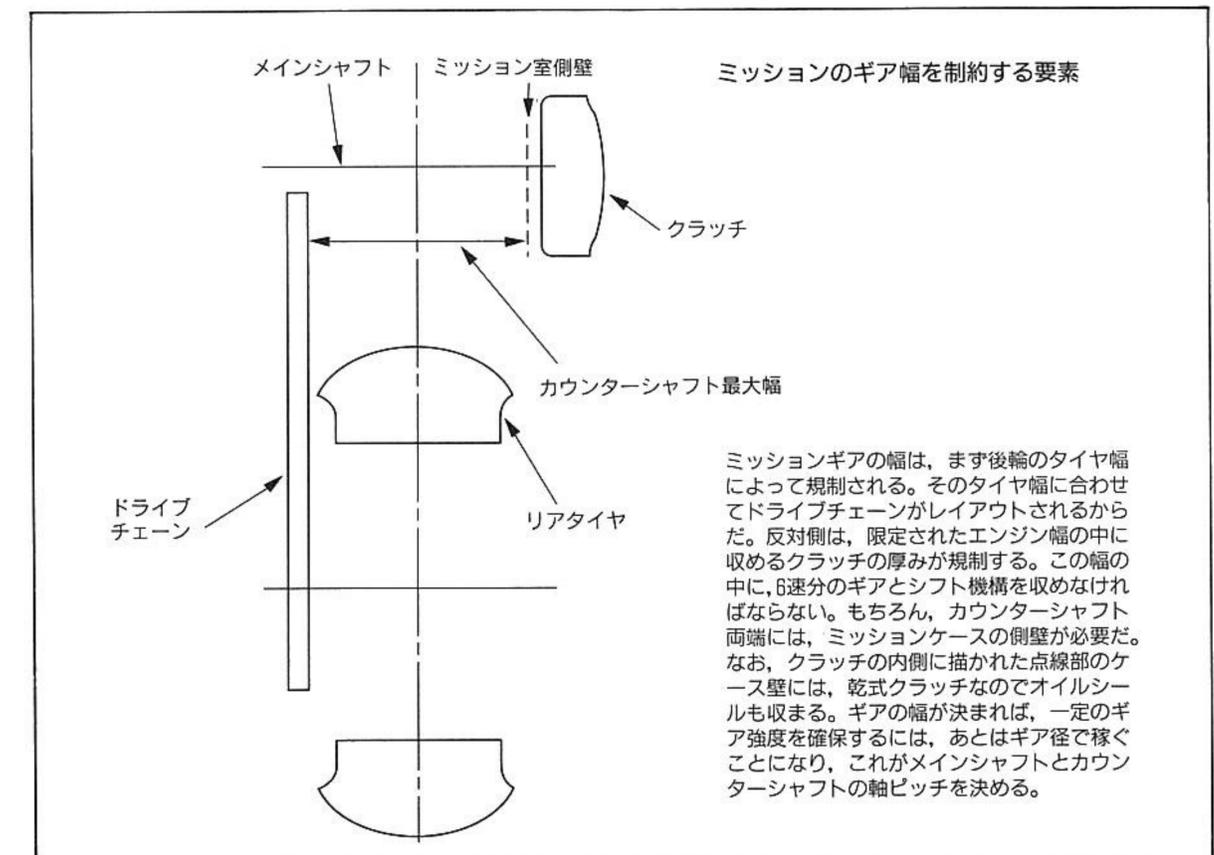
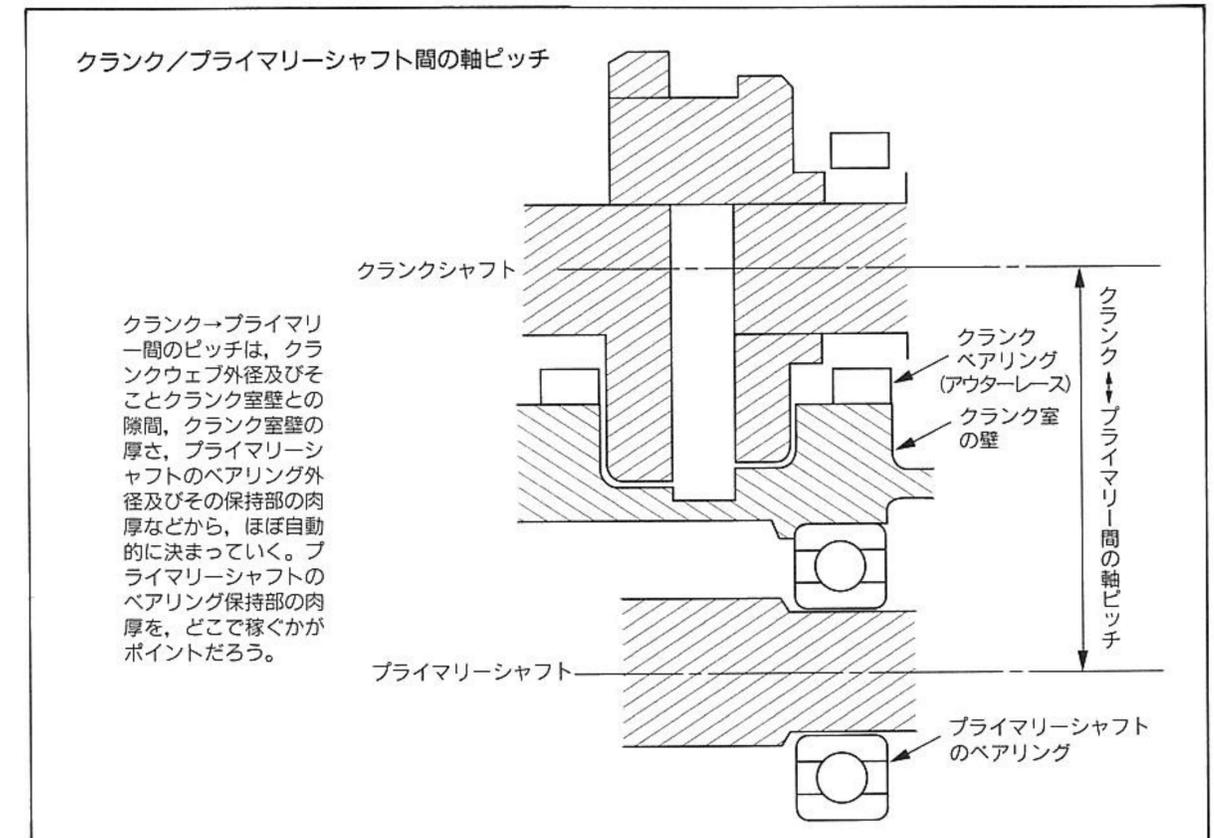
掃気ポートと排気ポートの開閉はピストン側面でやっているのだから、その開閉タイミングはシリンダーへの開口部の上端の位置で決まる。排気ポートの上端の方が高い位置にある。両ポートとも下端は、基本的にピストンが下死点のときの、ピストン上端部である。

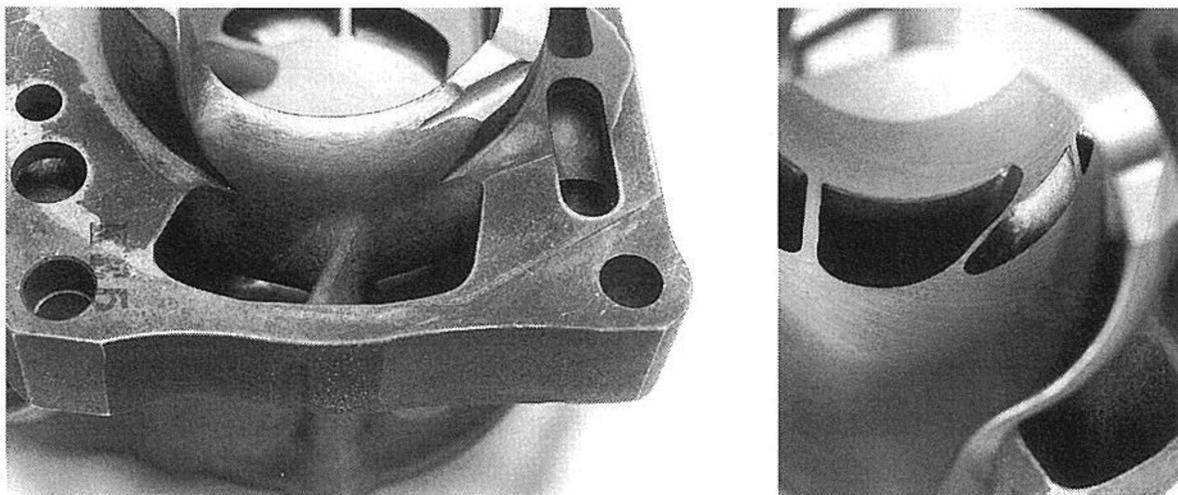
それぞれのポートの開閉時期をポートタイミングという。開き始めと閉じ終わりは、クランク回転角度で見て、ピストンの上死点(あるいは下死点)位置に対し対称になる。



後方排気になった。そして92年からは、近接爆発としたので大きなトルク変動(ねじり振動)に対処するため、動力の取り出しをクランク中央にしている。中央取り出しでは balancerの必要性以前に、どうしてもプライマリーシャフトが必要になる。

クランクと、そこに隣り合うメインシャフトあるいはプライマリーシャフトとのピッチ限界は次のような条件で決まる。まずピストンストローク等からクランクウェブ径があり、またクランク室を確保するためにミッション室との間には一定の寸法の壁が必要だ。そしてメインやプライマリーのシャフトとその軸受ベアリングは、そこにかかる荷重から外径寸法が定まる。そのベアリングを受けるケースの肉厚もいる。





ポート内壁

主掃気と補助掃気のポート内壁を撮影したもののだが、そこは鋳肌のままである。実際に使用する時もこのままであり、ピカピカにバフ仕上げするようなことはない。

という。4ストロークの吸気ポートのように、吸気の流速が音速に近付くことが回転数の上限を定めてしまう、という問題が発生するほど2ストロークの吸気流速は速くない。あるいは吸気流速を速めるような設計をしなくても性能を出せる。またケースリード吸気では、吸気ポート断面積を大きくとれるから、なおのこと吸気流速は上がりにくい。だからポート内壁の粗度が性能に与える影響は少ない。

そしてNSR500でも1シーズンに使用するシリンダーは200個ほどもあり、手加工で研磨作業をするには多くの人員と時間を必要とする。それだけの手間を、さして効果のないことに費やすのは非効率的だ。

じつは4ストロークのレーシングエンジンでも、最近ではポート内壁をほとんど手加工で仕上げない例が多い。HRCのマシンもそうである。手加工で多少とも内壁が滑らかになることより、その加工によって正確に計算されたポート形状が狂うマイナスのほうが大きい。せいぜい鋳造後にNCマシンで形状修正をするくらいだ。

2ストロークの掃気ポートなどは、NCマシンでの加工は困難である。でも現在の鋳造技術では、鋳造したままでもポート内壁の粗度はかなり低い。ただワークスマシンなどでは、研磨するという意味ではなく、形状を整えるための手加工は施す。

とくに、掃気ポートと排気ポートのシリンダー壁への開口部分は、鋳造精度に頼ることなく、手加工で設計どおりの正確な形状にする。まずシリンダーの項にもあるように、タイミングを正確に定め、またポートの縁の面取りをする。排気ポートのタイミングなど、0.1mm違って性能に差が出る。加えて開口部付近のポート角度、とくに掃気の吹き出し角度は、設計値に合わせて正確に加工する。逆にいえば、こうした手加工を前提とし、加工分の肉厚を持たせた形状に鋳造されている。肉が不足する分を盛るわけにはいかない。市販レーサーや、ストリートバイクでもNSR250Rなどは、出荷時に装着されて

いるシリンダーの面取りを手加工で行っているが、ワークスマシンではもっと細部にわたる形状調整がある。

●吸気ポート

ケースリード吸気方式の2ストロークエンジンの場合、吸気ポートはクランクケースに設けられる。クランク室へと新気を導く管であり、その外端にキャブレターインシュレーター、そしてキャブレターが付く。しかしこの吸気ポートの形状は、ポートという言葉が意味する「管」というより、リードバルブを取める部屋、リードバルブ室という感じだ。

P56にあるように2ストロークエンジンでは、まず吸気抵抗の少なさに全精力を注ぐ。そこから、吸気ポートはひたすら短くすることになる。また吸気ポートはできるだけ真っ直ぐにする。これらはクランク室容積を最小限にして1次圧縮比を稼ぐことにもつながる。この考え方に立った上で、なるべく大きなリードバルブを取めようとした結果が、現状の吸気ポートの形状だ。

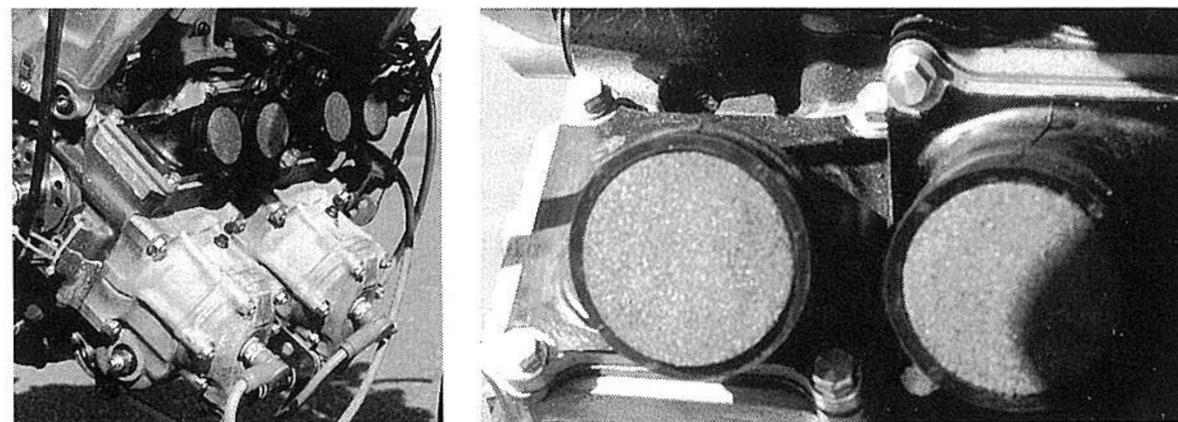
こうした太く短い吸気ポートにしていくと、吸気流速が落ちる。流速が落ちすぎると、ストリート用の4ストロークエンジンでは、燃焼室での渦流が発生しにくくなり低回転での燃焼が悪化……ということもあるが、2ストロークでは単純に吸い込めばいい。ただ、スロットレスポンスが低下する傾向なのは確かだ。キャブレターのボア径だけ絞ったのでは、段差で吸気が渦を巻いて抵抗になるので意味はない。

しかしレスポンスは、ガソリンを吸い出しやすいキャブレターの仕様にしてやれば、ほとんど解決できる。燃料の微粒化と気化については、燃焼室までに十分なチャンスがある。少なくともレーシングエンジンでは、太く短くのが考え方でことが足りる。

次に吸気ポートの角度について。吸気ポートは、クランクシャフトの大端ベアリングの潤滑と冷却、あるいはピストンクラウンの裏側を冷却する仕事もある。吸入混合気を、そこへ当てたい。だが最も重要なのは、掃気ポート入口へなるべくストレートに向ける

NSR500の吸気ポート

吸気ポートは、各気筒ごとに角度が変えられている。吸気ポートを短くし、またシリンダーの掃気ポート立ち上がり部に吸気を向けるためだ。



スキッシュドーム型	180	排気ポート	48	リアクション	85, 102	4軸構成	102
スクエアフォア	85	排気脈動	44, 58	リードバルブ	78	5ポート式	50
スパークノック	71	排気リード角	188, 199	リキッドインジェクション	224	(アルファベット順)	
隅アール	36, 122	バウダリー値	133	リッター当たり馬力	17	A/F	69
3ポート式	50	爆発	68	理論空燃比	69	AVガス	264
スリップトルク	122	爆発順序	140	リングスティック	268	BSFC	69
静圧	244	柱	174, 193	レースガス	264	CBX	278
セミオートシフター	274	柱逃がし加工	195	ロータリーバルブ吸気	52	CDI	248
総開角	198	バランス率	136	ROM(ロム)	270	CFRP	82, 202
掃気	45, 49	馬力	47, 89	YPVS	225	CPU	270
掃気効率	63	馬力当たり重量	22, 31	(数字順)		CVT	292
掃気ポート	48	反転掃気	50, 112	1次圧縮	48	ECU	249, 270, 286
ソレノイドバルブ	284	BSFC	69	1軸V	31, 85	FRP	82
(タ行)		PBセンサー	286	1軸バルンサーシャフト	137	GFRP	202
第3掃気ポート	52, 190	ピストンクリアランス	154	1次振動	85, 135	NSシリンダー	173
体積効率	63	ピストンバルブ吸気	39	2サイクル	48	PBセンサー	286
ダイバージェントコーン	58, 214	ピストンリードバルブ吸気	32, 78	2軸V	31, 85	RAM	270
タンデムツイン	85	比熱	296	2軸バルンサー	137	RCバルブ	176, 225
遅角	148	表面着火	74	2次振動	135	ROM	270
チャンバー	57	ファイアリングオーダー	140	2スト	48	S/V比	75
2サイクル	48	5ポート式	50	2ストロークエンジン	48	T型ポート方式	113
2スト	48	ブースターポート	50	3軸構成	102	YPVS	225
2ストロークエンジン	48	不整燃焼	65	3ポート式	50		
T型ポート方式	194	プライマリーギア	257				
データレコーダー	272	プライマリー室	260				
デトネーション	44, 56, 71	プライマリーシャフト	102				
デポジット	247, 268	ブラックボックス	270				
点火間隔	108, 140	ブレイグニッション	74, 247				
点火順序	140	プレーンベアリング	116				
電子制御	55	ブローダウン	59, 192				
動圧	243	閉端	58, 213				
トラップ効果	47, 65	ポートタイミング	49				
トランスファーポート	50	ポートブロック	268				
トルク	47	ポーラスメッキ	54				
(ナ行)		補助掃気ポート	50, 189				
ニカジルメッキ	54	補助排気ポート方式	195				
2軸バルンサー	137	ポストイグニッション	74				
2軸V	31, 85	(マ行)					
2次振動	135	マスの集中	20, 91				
燃圧	284	ミッションホルダー	94, 258				
燃焼	68	メインシャフト	102				
燃焼室	74	メッキシリンダー	53				
ノッキング	74	(ヤ行～)					
ノックセンサー	275	有効行程容積	193				
ノック波	73	有効ストローク	192				
(ハ行)		4軸構成	102				
パーシャル	65	ラビリンスシール	118, 128				
排気チャンバー	57	RAM(ラム)	270				
排気デバイス	55, 65	ラム圧	213, 243				

〈著者紹介〉

つじ・つかさ (辻 司)

1952年、東京生まれ。20歳代を中心に10年間ほどロードレースに没頭した経験を持つが、出発点も現在も根はツーリングライダーだと自覚、自負している。1978年からフリーのバイクジャーナリスト活動を開始。バイクの性能にとどまらず、乗り味の評価など多角的視点からの臨場感溢れる解説に定評がある。またライディングテクニクに限らず、メカニズム解説や人物インタビューも得意とする。専門誌や一般誌など各メディアにおける執筆のほか、『ベストライディングの探求』と『ライディング事始め』（ともにグランプリ出版）の両ベストセラーを筆頭に著者も多数ある。無数のバイクや走りの世界、様々な“バイク人間”に触れながら活動を続けている。

執筆活動と並行し、1984年からはインストラクション活動にも力を注いできた。バイクの操り方に限らずバイクライフ全般を、一般ライダーに伝える独自のスタイルを開拓している。

NSR500 ハイパー2スト エンジンの探求

著者 つじ・つかさ

発行者 山田国光

発行所 株式会社**グランプリ**出版

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-32

電話 03-3295-0005(代) FAX 03-3291-4418

印刷・製本 シナノ パブリッシング プレス