
はじめに

4ストロークエンジンの性格を決定づける要因のなかでカムシャフトとバルブタイミングが占める割合は想像以上に大きく、エンジンを設計するうえでもチューニングするうえでも頭を悩ませる問題として浮上してくるもので、避けて通れない大きな壁として立ち塞がる。逆に見れば、それだけ自分の描いた理想のエンジン性能を発揮させる最高の楽しみと奥の深さが味わえる作業と言うことができる。

日本の自動車産業の歴史はそう長くはない。ましてチューニングアップの歴史は、それ以上に長くはないから誤った解釈などが雑誌に解説されることが多く見受けられる。バルブタイミングひとつとっても初心者には難解な話とならざるを得ない。からまった釣り糸がほどけるに従い元に戻すのが楽になってゆくのと同じ理屈で、カムシャフトとバルブタイミングの基本から応用までが本書によって明らかになり、自動車産業に携わる人やモータースポーツを楽しむ人達の助けとなれば何よりの喜びである。

技術の基本の基本は永久に変わることがなくても、新しい発明や時代の進歩、周辺技術の進歩により、それまで正しいとされていた技術論が、そのまま通用しない側面を持つ。チューニング初期の頃は大きな作用角を持つカムシャフトを組み込み、大きなオーバーラップ、太い吸排気ポートが高性能を生むといった考え方が支配した時代があった。いつまでも進化を知らずに時代遅れの解説をそのまま信じ込むことは危険である。それと同時に、馬力崇拜思想も相変わらずで、何かと言うと『何馬力上がるの?』という質問となって返ってくる。たとえ最高馬力を数馬力落としても、性能曲線的に優れたエンジン特性が得られる場合が多い。つまり高馬力、高トルクの両立は難しい問題で、あちら立てればこちらが立たずということになる。エンジニアはそこで新しい技術を開発する必要にせまられ、吸気管開閉バルブ装置や可変バルブタイミングシステムなどを開発し両立を図ろうとするのである。

吸排気関係をつかさどる構成部品はカムシャフト、ロッカーアーム(リフター)、バルブ、バルブスプリング、バルブシート、タペット隙間とたくさんあり、互いに関連している。そのあたりの微妙な部分を含め、エンジン性能との関係を見ながら、最大限掘り下げて解説してみたいと考えている。

目次

第1章 動弁系に関する基礎知識	7
1-1 エンジンの作動とカムシャフトの役割	7
1-2 カムシャフトの位置と数の変遷	15
1-3 動弁系の基礎知識	20
1-4 ロッカーアーム式と直動式	24
1-5 タペット調整について	30
1-6 油圧隙間自動調整(HLA)	38
1-7 カムシャフトの基礎知識	40
第2章 バルブタイミングとは何か	46
2-1 バルブタイミングの基本	46
2-2 2ストロークのポートタイミング	54
2-3 バルブタイミングの狂う原因	62
2-4 バルブタイミングが狂ったときの症状	66
第3章 実際のバルブタイミングの測定	72
3-1 バルブタイミング測定のための道具	72
3-2 車載エンジンでの測定	80
3-3 エンジン単品での測定と調整	88
3-4 エンジン分解組み立て時の測定	98
第4章 バルブタイミング調整	105
4-1 バルブタイミング調整の基礎知識	105
4-2 車載エンジンでの変更	108
4-3 単品エンジンでの調整	129
第5章 バルブタイミングとチューニングの関係	140
5-1 バルブタイミング変更によるチューニング	140
5-2 バルブタイミング図	155
5-3 カムプロフィール図	160
第6章 バルブタイミングと性能	169
6-1 実践バルブタイミングのテクニック	169
6-2 可変動弁システム	174

第7章 バルブタイミング関連事項	184
7-1 バルブセット寸法	184
7-2 圧縮比と圧縮圧力	192
7-3 圧縮圧力の測定	195
7-4 圧縮比の測定と算出	199
7-5 圧縮比と点火時期の関係	207

第1章 動弁系に関する基礎知識

1-1 エンジンの作動とカムシャフトの役割

カムシャフトの話に入る前に、まずエンジンの基礎を知る必要がある。エンジンの分類方法は、いろいろある。冷却方法によれば空冷式と水冷式に分けられる。シリンダー配列方法によって直列式、対向式、V型とに大別される。使用燃料の種類によってガソリン、ディーゼル、LPGなどに分けられる。エンジン搭載位置と駆動方式の組み合わせではFF方式(フロントエンジン前輪駆動)、FR方式(フロントエンジン後輪駆動)、RR方式(リアエンジン後輪駆動)、ミッドシップ方式とに大別される。

このように分類方法により表現は変わってくるが、今回のカムシャフトとバルブタイミングの話に大きく関係してくるのはサイクルの問題である。ここから話を始めないとカムシャフトとバルブタイミングの意味が理解しにくいと考える。まずレシプロエンジンとしての2ストロークと4ストロークの作動についてみてみよう。

1) 2ストロークエンジンの作動

2ストロークは別名2サイクルとか2ストと呼ばれている。オートバイやカート、草刈機、模型用などの小型エンジンに使用されることが多い。2ストロークの意味はピストンがシリンダーの中を一往復するたびに燃焼・膨脹が行われることを意味している。この方式の長所は小排気量の単気筒エンジンでも高い出力が得られ、部品点数

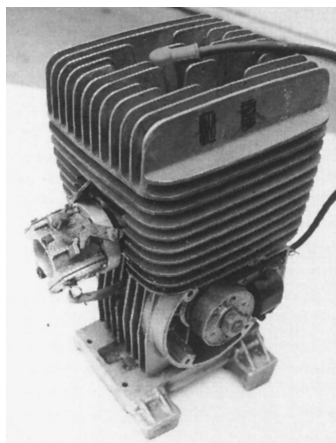


図1-1 2ストロークのカート用エンジン

バイクやカートの小型エンジンは、2ストローク採用が多く見受けられる。

が少なくてすみ、構造も簡単なことから生産コストも安くなり、小型軽量化も達成できるというメリットを持つ。何ごとも長所の裏側に短所が隠されている。代表的な構造をした2ストロークエンジンの作動を理解してゆくと、短所が理解しやすいと思われる。2ストロークの大きな特徴としてシリンダーヘッド部分にカムシャフトが見当たらず、シリンダー壁に吸気穴と掃気穴と排気穴が設けられていること。このポートが大きな意味を持つ。ピストンが上下に一往復(クランクシャフト一回転)するだけで吸入⇒圧縮⇒燃焼・膨張⇒排気の四つの作業を完了してしまうことだ。そのサイクルを解説すると、次のようになる。

①圧縮&吸入

ピストンが上昇して混合気の圧縮を始めるとシリンダー側面の吸入ポートが開き、クランクケースに発生した負圧により混合気はクランクケース内に導かれる。混合燃料の中に含まれた潤滑油はクランクシャフト軸受けやピストンピンなどの可動部分の潤滑を行う。4ストロークエンジンの混合気が直接燃焼室に導かれるのと大きく異なっている部分がここにある。

②燃焼・膨張

ピストンがほぼ上死点に達すると点火・燃焼が行われ、それにより発生した燃焼圧力でピストンは下降を始める。

③予圧

ピストン下降により気密に作られたクランクケースに吸引された混合気は、ピスト

第2章 バルブタイミングとは何か

2-1 バルブタイミングの基本

バルブタイミングに対して誤った情報が多い。たとえばバルブタイミングの測定といいながらカムシャフト単品だけで測定するものがあったりするが、これはバルブタイミングの測定ではない。しかも、カムシャフトには360°の全円分度器が取り付けられ

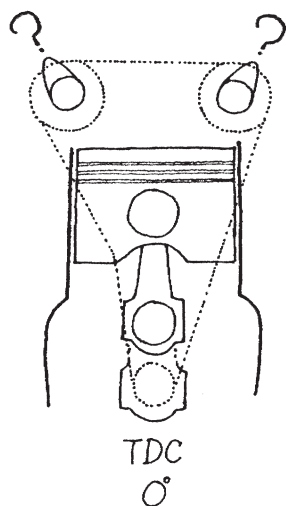
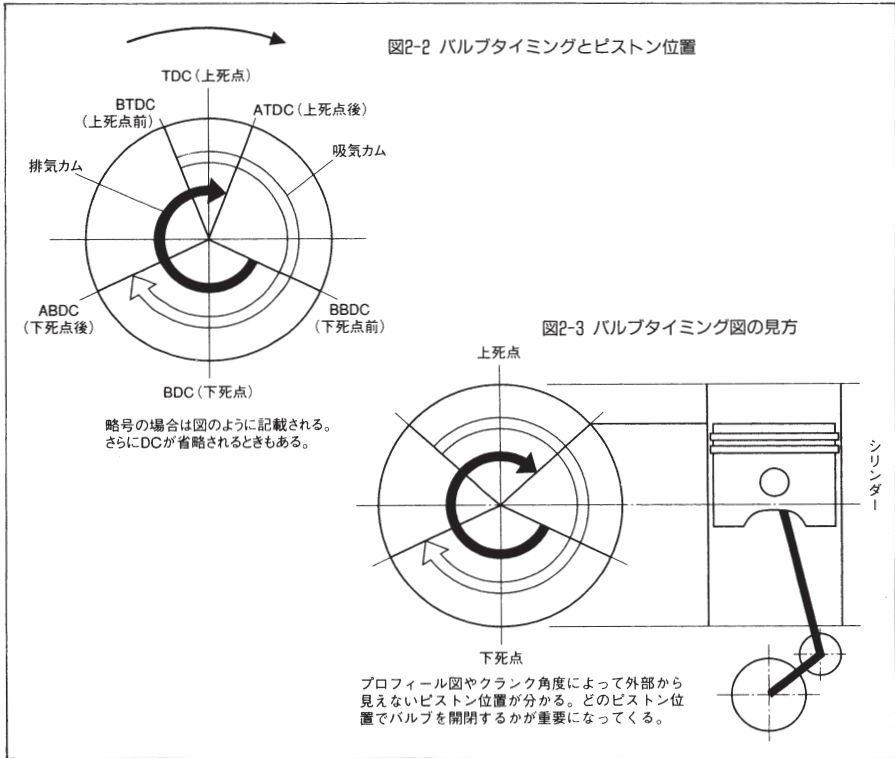


図2-1 カムシャフトとピストンの関係



ていた。どうやって 0° を出したのだろうか？ バルブタイミングの 0° の意味はピストン上死点を表わしている。バルブタイミングとは文字通りバルブが開閉するタイミングを表し、その基本となるものはピストン位置である。ピストン位置とバルブの開閉時期とは密接な関係があり、とても重要な要素である。また、これはいろいろな要因で狂ったりするので、測定や調整が必要となってくる。

したがって、カムシャフトにピストン位置を合わせるのではなく、あくまでピストンが基準であり、これを主人とすればカムシャフトは家来の関係ということになる。この2つの部品がタイミングよく連動したとき、燃焼エネルギーを最大に取り出すことが可能となってくる。

点火タイミングを合わせるとき、クランクプーリーやフライホイールに刻印されたマークを頼りにする。この意味は、見えないシリンダーの中でピストンがどのあたりにあるかを知ることができるからである。ピストンが最も上昇した位置を上死点(TDC)

安全な加工になる。しかし、実際の加工では削り過ぎると水穴とつながってしまうことになりかねないので、大幅な加工は避けたほうが賢明といえるだろう。

2-3 バルブタイミングの狂う原因

カムシャフトがシリンダーブロック側に組み込まれるOHV型エンジンでは、バルブタイミングは大きく狂わない。反対にカムシャフトがシリンダーヘッド側に組み込まれるOHC, DOHC方式はいろいろな原因や要因でバルブタイミングは大きく狂ってしまう。チューニングエンジンでバルブタイミング測定・調整が重要問題として浮かび上がってくる真の原因はここにある。ピストンが主人でカムシャフトが家来の関係であることから、上側と下側と離れてしまったことに狂う原因の大半は隠されている。

1) ベルト&チェーンなどの伸びや張り具合による狂い

クランクシャフトにはカムシャフト駆動用ギアが組み込まれ、タイミングベルトやタイミングチェーン、ギアなどによってカムシャフトを回転させている。純粋なレーシングエンジンはギア駆動採用例を多く見受ける。タイミングベルトやチェーンは伸びによる狂いも大きくなることと、耐久性を考慮した結果のギア駆動方式。コスト的には数十倍と高くなり、静粛性の面でも不利となるが確実な伝達を得られる。

燃焼と膨張によりピストンがガーンと押し下げられクランクシャフトが回転すると、

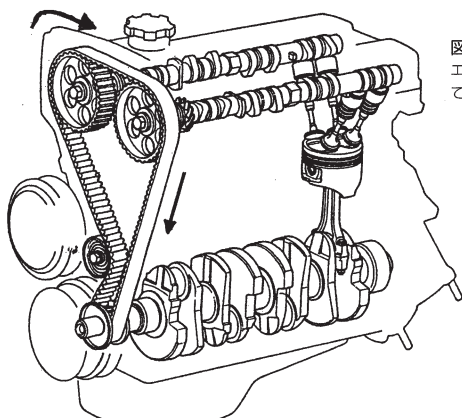
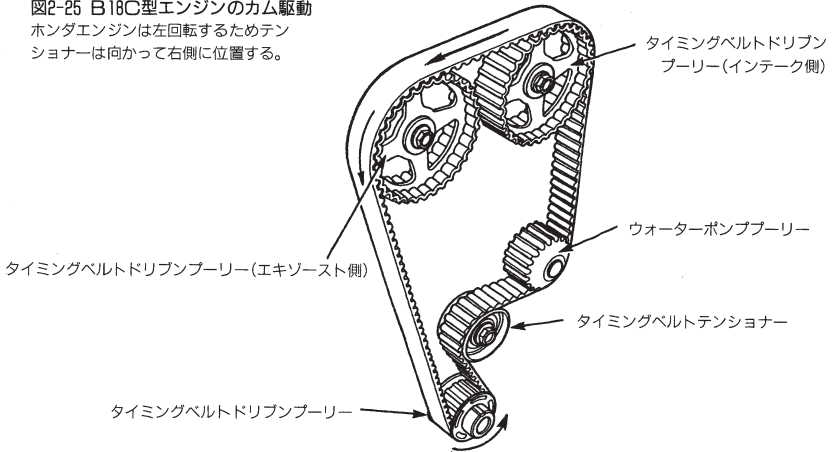


図2-24 トヨタ4A-GELUエンジンのカム駆動
エンジンは右回転するため、テンショナーは向かって左側に設けられて、ベルト張りを調整している。

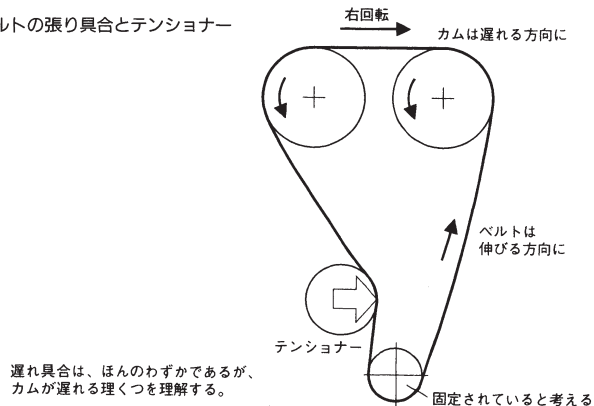
図2-25 B18C型エンジンのカム駆動
ホンダエンジンは左回転するためテン
ショナーは向かって右側に位置する。



ベルト&チェーンは瞬間的に伸びるので、カムシャフトは少し遅れて回ることになる。走行距離が増大するにつれて、ベルト&チェーンの伸びは増えてゆく。最近のエンジンの中には、自動調整式テンショナー(ベルト&チェーンを張る役目)を装着し、伸びた分を自動的に調整するものが多くなっている。しかし、自動調整がスムーズに働かずトラブルが起きるケースも稀に発生する。

エンジン組み付け時のベルト&チェーンの張りについて、整備要領書に記載されている。トヨタ4A-Gを例にとると、吸気カムプーリーと排気カムプーリーの中間を

図2-26 タイミングベルトの張り具合とテンショナー



カムギアを加工しなければ、基本的にバルブタイミングは変更できない。図4-12に示すように、丸ヤスリを用いてノックピンの当たるところを削れば、多少のガタができて、バルブタイミングが変更できる。ほんの少し動かすだけで大きく変わる。と言っても、この方法はせいぜい5°以内が限度である。なぜなら、センターの取り付けボルトを締め付けるとき、ギアは動いてしまう。それに遅らせる方向に調整したいケースはめったになくて、進ませる方向に調整する。そうするには、ギアに向かってピンの右側を削ることになる。取り付けボルトを締めるときは右に回すわけだから、ギアを左にふっっておいても右方向に戻ってしまう理屈となる。それを防止するには、ガタをなくすための鉄板をかませておき、ボルトのワッシャーで押さえておく方法も有効である。

◆ギアの改造

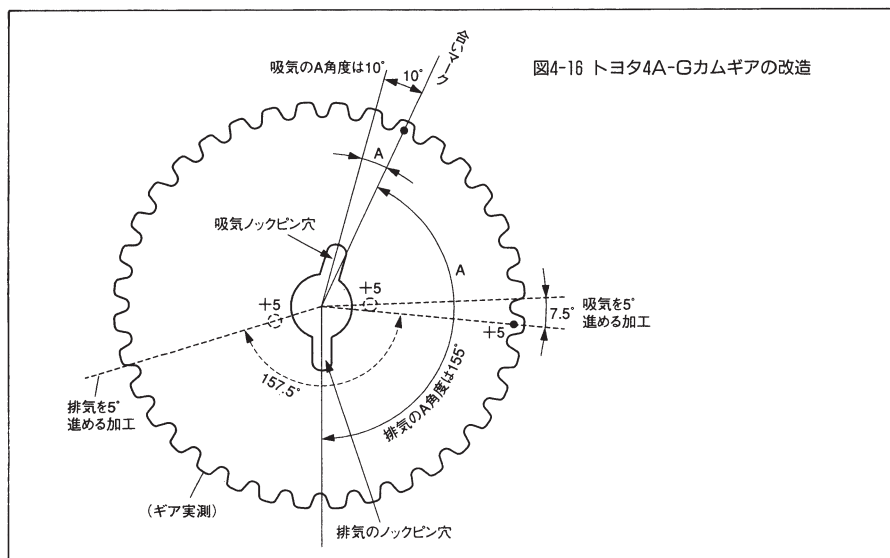
4A-Gカムギアの基本的合わせ方を知っておく必要がある。図4-15に示すように、1番圧縮上死点のとき、インテークカムのノックピンはギア上側の溝穴に入る。エキゾーストカムのノックピンはカムギア下側の溝穴に入る。ギア山の合いマークから合いマークのベルトコマ数は14山。

インテーク側から考えてみよう。外側の合いマークは向かって右側、ノックピンは左側に位置し、その角度は10°。ギアの歯数は36個なので山から山の、ひと山は10°。ひと山ずらせば、バルブタイミングは20°変化することが分かる。

自分で加工するにはA型やL型などの穴式に改造する方法が加工も簡単になるし、強度的にも好ましい。右か左のどちらか8山くらいのところに新しい合いマークをつける。バルブタイミングはノーマルに対して5°と10°進められる合いマークが欲しくなる。その理由はTRDの0.8mmや0.5mmの薄いメタルガスケット組み込み。ヘッド面研磨



図4-14 トヨタ4A-Gエンジンの合いマーク
クランク目盛りを0°(1番圧縮上死点)に合わせるとき、ギアの合いマークはバックプレートのタテの凸部と一致する。これを合わせる。



自分で加工すれば市販の改造ギアを購入するより、はるかに格安にできる。何よりもバルブタイミングを深く理解することが可能となってくる。問題は、調整のときに一度タイミングベルトの張りをゆるめ、カムギア取り付けボルトをゆるめ、カムギアのノックピン位置をその都度、入れ替えるという手間暇は避けられない。

◆市販スライドギア組み込みによる調整

ノーマルギアを取り外し、市販のスライドギアに交換する方法が理想的。市販のスライドギアは各社から発売されているが、重要なことは調整用の合いマークが刻印されたものを選択しないと、後で後悔することになる。特にノックピン穴が1か所に簡

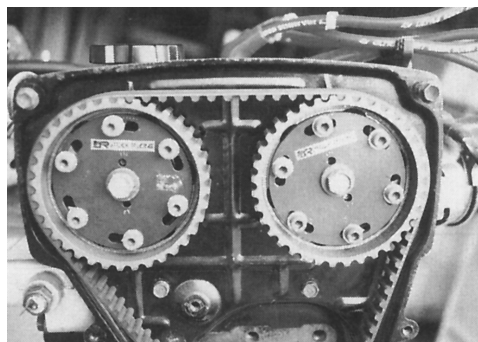


図4-17 トヨタ4A-Gエンジンにスライドギアを組み込んだところ
ノックピンに比べて簡単に調整できるのが利点である。

第5章 バルブタイミングとチューニングの関係

5-1 バルブタイミング変更によるチューニング

バルブタイミング測定と調整が理解できたことを前提として、もう少し奥の話をしよう。これもシングルカムとツインカムではポイントが異なってくるので、シングルカムから話を始める。

私は市販されたエンジンを改造するなどチューニングの経験を積んできた。当然のことながら、チューニングするために市販されているカムシャフトの中から価格や作動角を考えて購入する。ここでは、開発側の難しい理論など知らなくても、何の問題も起こらない。たとえ理論を知っていて、自分だけのスペシャルカムシャフトを特注すれば、いくら請求されるか分からないし、値段に見合った効果を発揮するとは限らない。重要なのは、いかにカムシャフトが持っている潜在性能を導き出すかにかかっている。良いカムシャフトを手に入れても、最適なバルブタイミングと最適なタペットクリアランスで使用しなければ、その良さを十分に生かすことができない。その辺の話を詳細に伝えたい。

前にも述べたようにカムシャフトは度数だけで表現しているが、それでカムシャフト全体を表している訳ではない。プロフィールやバルブリフトが違っている場合も多い。A型、ミニ、L型などのシングルカムシャフトのバルブタイミングには限界があることは前に述べた。具体的な詳しい話になると、残念ながら日産の古いエンジンの

データや経験しか私は持っていない。ただ、名機と呼ばれた日産A型を始めL型、S20、FJ20と幅広く携わってきた。逆に古くなったのでデータを公表することができるし、進化の過程として新しいエンジンに活用できる部分も多く含んでいると思う。

1) 日産A型エンジンの実例

まず日産A型は1300TS仕様(1200ccのボアアップ)が一時代を築き、多くの有名チューナーが育った。カロラ、シビック、スターレットと激しいデッドヒートを幾度となく繰り返し、最終的には1300ccながら170~175馬力を発揮、最後の一周は1万回転まで回して一気に勝負をかけた。富士スピードウェイで行われた富士GCレースの前座として行われたマイナーツーリングレースは、魅力あふれるレースとして多くのファンがかたずを吞んで見守ったものである。

当時のノーマルカム及びオプションカムシャフトの比較表を紹介するので、興味のある方はじっくり検討してみるとおもしろい。B110型サニー1200のキャブ仕様の作用角は248°(日産式呼称62°)。GXと呼ばれるSUツインキャブ仕様標準カムシャフト作動角は256°(64°)。主にラリーなどに使用する場合のオプションカムは280°(70°)、ジムカ

日産A型エンジンのノーマルカムとオプションカム比較

部品名	部品番号	作用角	バルブ開閉時期						バルブクリアランス(mm)	バルブクリアランス(mm)
			A	B	C	D	α	β		
80°カム	13001-H2312	320°	58°	82°	85°	55°	12°	15°	9.4	0.25
74°カム	13001-H2311	296°	46°	70°	73°	43°	12°	15°	9.4	0.25
70°カム	13001-H2310	280°	38°	62°	65°	35°	12°	15°	9.4	0.25
GX用標準カム	13001-H2300	256°	20°	56°	58°	18°	18°	20°	8.4	0.35
標準カム	13001-H1000	248°	14°	54°	56°	12°	20°	22°	8.0	0.35

A:吸気バルブ開時期(上死点前)

D:排気バルブ閉時期(上死点后)

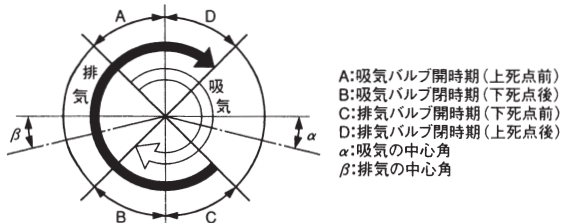
B:吸気バルブ閉時期(下死点后)

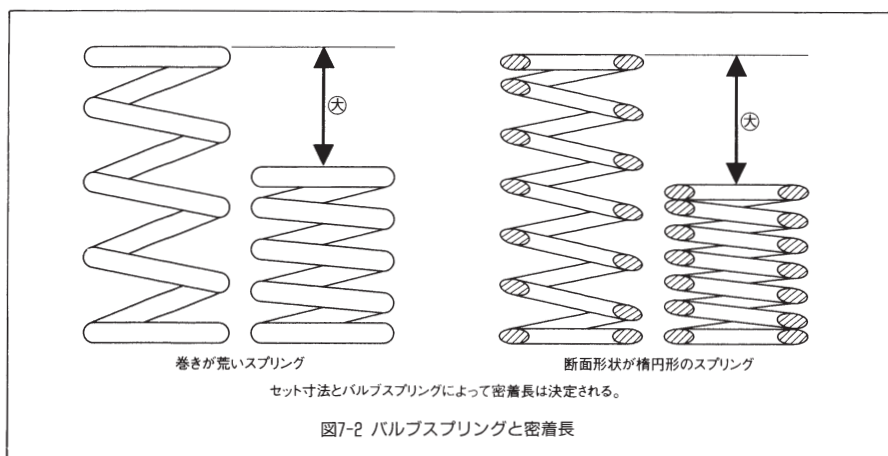
α :吸気の中心角

C:排気バルブ開時期(下死点前)

β :排気の中心角

図5-1 日産A型エンジンのノーマルカムとオプションカム比較





合がある。

- ④バルブシートを厚みの薄いものに交換する。流用パーツが活用できる場合がある。
- ⑤バルブシートの入る座面を切削加工する。加工屋さんに依頼する。
- ⑥コッターの形状の違うものを使用する。流用パーツを活用できる場合がある。また、リテーナーとセット交換で可能となるケースもある。

上記セット寸法加工の他に、バルブスプリング密着長(スプリングを完全に圧縮したときの寸法)の短くなるものを使用する方法が非常に有効的となる。物理的に言えば、密着長が短くなるスプリングの要素は、次のようなものが挙げられる。

- 1) スプリング巻が荒いもの。巻が荒ければバルブサージングにも強いことを意味するが、耐用時間は少し短くなる傾向を示す。
- 2) スプリングの線径が細いもの。細ければ荷重は少ない値になるのが普通なのでサージングが発生しやすくなる。
- 3) スプリングの断面形状が楕円形をしたもの。これだと荷重は同一でも密着長は短くなるが、特別につくるなどしないと入手しにくい。

実際の調整では、バルブセット荷重の問題や加工の問題や、部品入手の問題などのからみから、複数の解決策を盛り込んでセット寸法を確保することになる。カムシャフトの性能を生かすも殺すも、バルブセット寸法とバルブセット荷重いかににかかってくるのである。

◆バルブセット寸法の測定

バルブセット寸法を別の言葉で言い表せば“バルブ突き出し寸法”である。カムシャ

あとがき

バルブタイミングを文書で伝授するには、多くの困難が伴いました。場合によっては難し過ぎて理解できない部分も多くあったかもしれません。バルブタイミングに対して長年の疑問点が本書によって解き明かされ、スッキリとした気分になった人がいれば幸いです。この本を何度も何度も読み返し、実際にバルブタイミング測定調整にチャレンジする人がいれば、最初に分からなかった言葉の意味も次第に深く理解できるようになることでしょう。何ごとも自分から最初の一步踏み出さなくては何も始まりません。実践派の私は、理論的な話は得意ではありません。本書を読んだ読者の中にはそのことを感じとった人がいるかもしれません。理論的なことは設計者に任せておき、与えられたエンジンを自分勝手に料理しようではありませんか。

バルブタイミングは、どんなエンジンでも基本的には変わりありませんが、今後は可変バルブタイミング制御がますます不可欠となってくるでしょう。そんな複雑なエンジンを整備するときに、基本的なバルブタイミングが完全に理解できているのと理解できていないのとでは、大きな違いとなるでしょう。高度な可変バルブタイミングを理解するためにも、まず普通のエンジンのバルブタイミングを完全に理解することが重要なことです。

本書はバルブタイミングのみを深く追求して書きましたが、当然エンジン性能はこれだけで決定される訳ではありません。クルマもエンジン単体で走る訳ではありません。最終的には、すべての要素のバランスが取れているかどうかだと私は思っています。その中のひとつの重要な要素としてバルブタイミングがあると言うだけです。

本書で書いた基本の話は、今後に変化することはありません。しかしながら、技術革新の進歩は目覚ましく、周辺部分の技術は絶えず変化することを忘れてはならないと思います。そんな訳で、今までの通説を覆す新しい技術に絶えず興味を抱いて追求している今日この頃です。

そこで掴んだ最新の情報は、各部のフリクションは予想以上にクルマの走りをスポイルしていることと、振動の真の原因は燃焼の不揃いが原因だと掴めたことです。そのために高性能燃料添加剤を研究し、市販しています。これらについては機会があったらいろいろと書きたいと考えています。

藤沢 公男

〈著者紹介〉

藤沢公男 (ふじさわ・きみお)

1946年神奈川県生まれ。1967年日産自動車入社。モータースポーツ担当の大森分室に配属され、レース用サニーなどの開発やサービスを担当。1984年ニスモに出向、鈴木亜久里選手のF3エンジンを担当。1987年オーテックジャパンに出向、星野一義選手のグループCカーエンジンを担当。1988年に退社し、有限会社アタックレーシングを設立。この間、メカニック通信教育、テクニカルビデオ制作、ケミカルチューンなど時代を先取りする業務を行う。著書に『くるまのメンテナンス』（高橋書店）、『工具・実践的活用法』『新しいメンテ&ファインチューン』『日産大森ワークスの時代 いちメカニックが見た20年』（いずれもグランプリ出版）などがある。

バルブタイミング エンジン性能の決め手	
著 者	藤沢公男
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 振替 00160-2-14691
印刷・製本	モリモト印刷株式会社