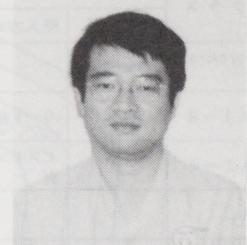
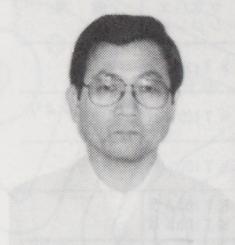


レーシングカート用 エンジン KT100AX



技術部
創輝(株) 泉沢 滋樹 水越 望

1. まえがき

アイルトン、セナ、ネルソン、ピケ、アラン、プロスト、そうそうたるF-1のエースたち、彼らがいずれも、そのレース人生のスタートをレーシングカートで始めたことは、既によく知られた事実である。また、身近な例では、日本期待のF-1ドライバー中島悟選手や、F3000の若きヒーロー鈴木亜久里選手も、そのレース活動をレーシングカートから始め、特に鈴木亜久里選手の勇姿は、エキシビションレースなどで、カーコースでも見ることができる。

実際に多彩なドライバたちのレース活動の原点となり、近年にわかつに脚光を浴びているレーシングカートの世界だが、まだまだ、その実際のレースの世界まで理解されているとはいいくらいのが現状のようである。

そこで、本論からは少しそれぞれが、簡単なレースルールなどの紹介を行ない、本論のKT100AXエンジンの開発背景の理解の一助としていただきたいと考える。

2. カートレースについて

2-1 レースの分類

現在、日本で実施されているレースは、次のように大別できる。

(1) FIA(下部組織のCIKが統轄している)ルールによる国際格式レース、これはJapan Kart GPX、1戦のみである。

(2) JAFルールによる全日本格式レース、レースは、ほぼFIAルールに準拠し、年間13戦前後が実施される。

(3) JAFルールに準拠したSLカートレース、これは、SLカートクラブ主催のクラブレースである。JAFルールをよりストック性(無改造クラス)を強くしたレースで、北海道から九州まで年間250戦前後が開催されている。このなかには、F100と呼ばれるフルカウリングで、SUGO、FISCOのような本格コースを走るスリリングなレースも存在している。

表1 日本におけるカートレースの種類

| レースの種類 | 主催者 | レースの格式 | レース数 |
|--------------------------|----------------|--------|-------------------|
| F I A (C I K) 国際レース | J A F , ヤマハ | 国際 | Japan Kart GPX 1戦 |
| J A F 全日本選手権 | J A F | 全日本 | 東西シリーズ全13戦 |
| S L カートレース | S L カー トクラブ | クラブレース | 地区シリーズ全250戦 |

レース区分の概略については、表1を参照されたい。

2-2 カート用エンジンのクラス区分

代表的なカート用エンジンのクラス分類を、JAFルール、SLルールについて整理したのが表2である。

表2 JAF, SLのレース区分

| 区分 | クラス | おもなエンジン | | 該当するヤマハエンジン | 備考 |
|-------|-----------|---------|-------|-----------------------|--------------|
| | | 排気量 | 吸込方式 | | |
| J A F | Formura K | 135cc以下 | — | K T135 | |
| | A I - R | 100cc以下 | リード弁 | K T100-R | 87シーズンより新設 |
| | A I - P | // | ピストン弁 | K T100-P | // |
| | A II | // | — | K T100AX K T100AII | |
| S L | J F | // | ピストン弁 | K T100JF | カウリング必備 |
| | Sストック | // | // | K T100 | 3クラスに区分されている |
| | F-100 | // | // | K T100S | カウリング必備 |

る。性能ランク、吸氣方法などにより、かなり細かく分類し、同一レース内での極端な性能差の生ずることを避けている。

また、いずれのクラスでも機関形式を2サイクル空冷エンジンとし、過給、燃料噴射およびギヤボックスによる変速を禁止している。このような姿で、エンジンとシャーシのみの単純明快なレースとしている。

図1に本文で扱うKT100AX(JAFのA II クラスに相当する)、また図2には、SLカートレースの最上級クラス車、RC100SSを示す。

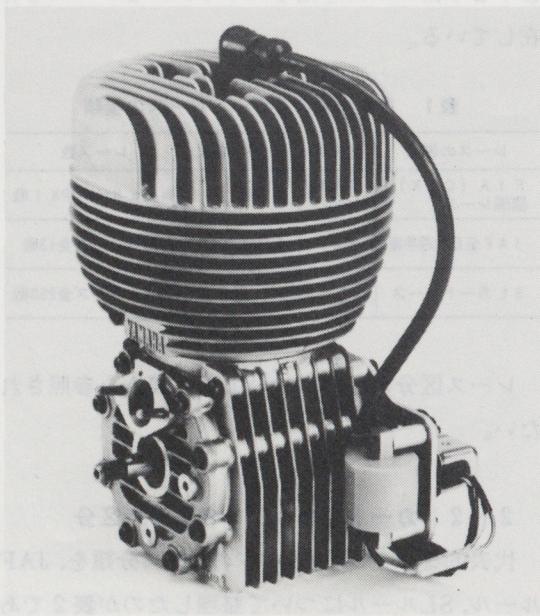


図1 KT100AX エンジン

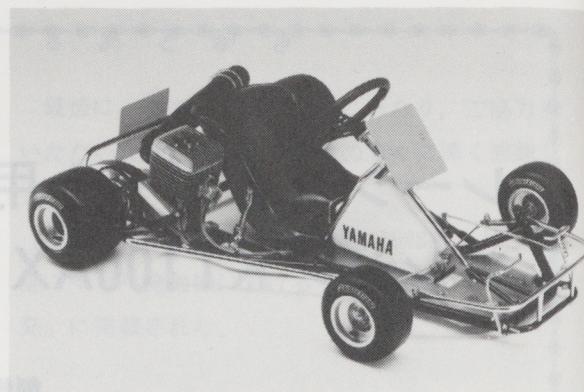


図2 RC100SS

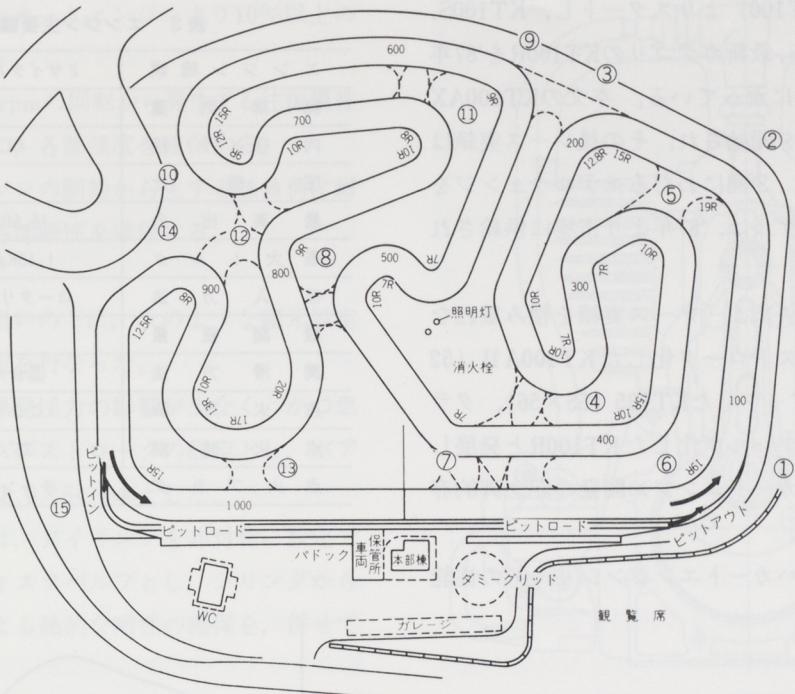
3. レーシングカート用エンジンに要求される性能

レース区分でも簡単に触れたように、最も単純な姿でモータースポーツを楽しむために、カートエンジンには各種の規制が行なわれている。特に、そのなかでもギヤ変速の規制は、カートエンジンの開発を困難にしている。全長1050mのSUGO国際カートコースを、平均時速70km強で走り抜くためには、最高速度で110~120km/hは必要であり、8Rのヘアピンコーナを、フルブレーキングから、続けてフルスロットルで走り抜けるためには、十分な低速性能が必要である。これを单一のギヤ比の下で達成するためには、使用回転域の全域にわたるフラットな馬力特性が必要となってくる。

エンジンの使用実態を理解していただくため、図3にSUGO国際カートコースのコース概要、図4には、1 Lap中のエンジン回転数の変化を示す。①~⑯の数字が、図3のコーナと、図4での回転数と対応している。

4. ヤマハカートエンジンのシリーズについて

表2のように、ヤマハはレーシングカート用エンジンを、各クラス別に7機種そろえている。開発経過としては73年度に、入門クラスのKT100JF



コース全長：最長コース1050m
 コース幅員：8.0m
 最大直線長：125.0m 第2直線長51.0m
 最小曲線半径：7.0m
 最大縦断こう配：5.0%
 最大横断こう配：5.0%

ピットロード幅：1.5m
 ピット全長：140m + II 50m
 パドック面積：2000m²
 コース舗装：密粒度アスコン
 コース外空地：グリーンベルト(洋芝吹付け)
 最小幅員6.0m

図3 SUGO国際カートコース

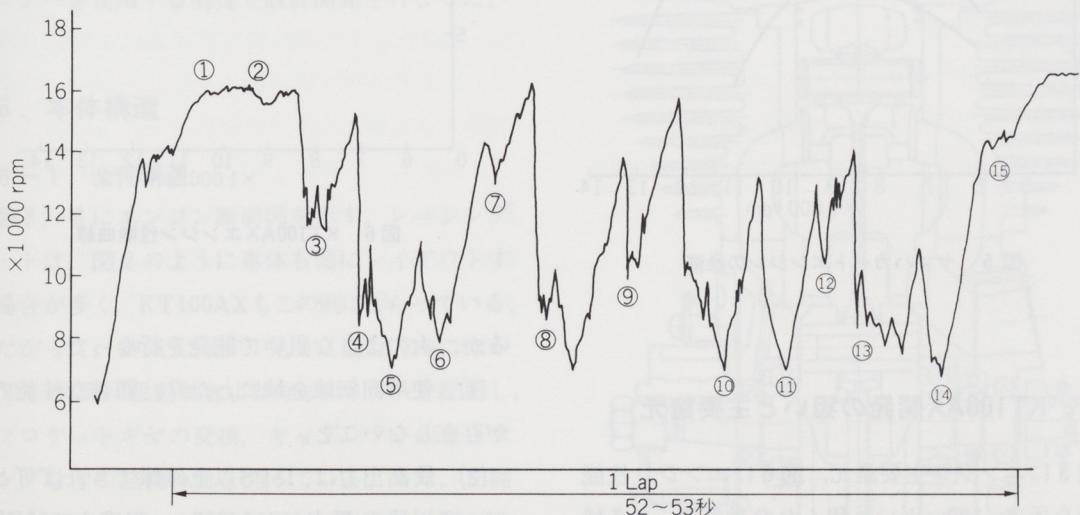


図4 SUGO カートコースにおけるエンジン使用回転域

(当時は単にKT100) よりスタートし、KT100S, KT100AXと進み、最新カテゴリのKT100Rを'87年に発売し、今日に至っている。本文のKT100AXは、'79年に発売を開始され、その後レース実績は採り入れながら、3回にわたるモデルチェンジを受けて、最新モデルは、'87年より市場に供給されている。

また、KT100AXは、レース実績を積み重ねながら、ショートストローク化したKT100A II (52×46), サイズアップしたKT135 (55×56), クランクケースリードバルブ化したKT100Rと発展していき、ヤマハカートエンジン開発の記念碑的存在となっている。

図5に、ヤマハカートエンジンシリーズの性能を示す。

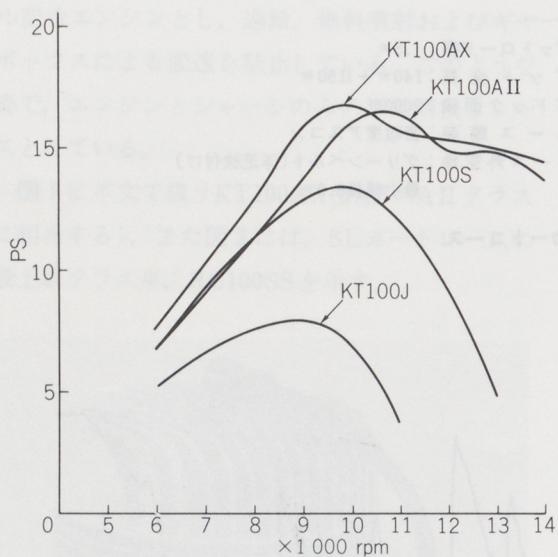


図5 ヤマハカートエンジンの性能

5. KT100AX開発の狙いと主要諸元

表3にエンジン主要諸元、図6にエンジン性能曲線を示す。100ccという限られた排気量と、各種レギュレーションの制約のなかで、いかに高性能で、高いレスポンスのエンジンを得ることができ

表3 エンジン主要諸元表

| | |
|--------|------------------|
| エンジン種類 | 2サイクル、空冷、ガソリン |
| 総排気量 | 97.7cc |
| 内径×行程 | 48.0×54.0mm |
| 圧縮比 | 11.2 |
| 最高出力 | 16.5PS/10500rpm |
| 最大トルク | 1.15Kgm/10000rpm |
| 吸入方法 | ロータリディスクバルブ |
| 機関重量 | 12kg |
| 潤滑方法 | 混合ガソリン使用 |
| 点火方法 | C D I マグネット |
| 点火時期 | 25°/10000rpm |
| 点火プラグ | チャンピオンN84G |

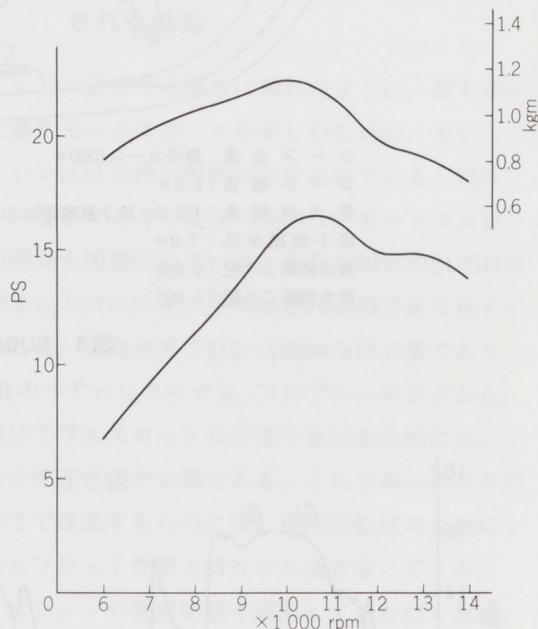


図6 KT100AXエンジン性能曲線

るか、次のような狙いで開発を行なった。

- (1) 使用回転域全域にわたり、顕著な性能の谷が存在しないこと。
- (2) 最高出力は、15PS以上確保できれば可とし、ピーク以降の馬力は、14000rpm程度まで15PSを割り込まないフラットな特性を確保する。
- (3) 出力の確保しにくい5000～7000rpmの範囲

では、現有ヤマハカートエンジンより10%以上の性能アップを狙う。

(4) 最高18000rpmの回転から発生する往復慣性力に耐えるように、各部強度を確保する。

(5) 空冷エンジンの制約から生ずる熱負荷に耐えうるように、各部剛性を確保する。

以上のような狙いの下に、次のような諸元設定と主要機構の設定を行なった。

(1) 熱負荷、爆発圧力の影響が少なく、かつ燃焼も安定するロングストロークの設定とし、ボア×ストロークを $48.0 \times 54.0\text{mm}$ とした。

(2) 吸入方式は、タイミングを非対称に設定できるロータリディスクバルブとし、シリングダから吸入孔廃止による熱的な剛性の確保を、併せて狙った。

(3) 掃気方法は、シリングダスリーブの剛性を損なわない範囲で、掃気面積を確保できる3孔式シユニーレタイプとした。

(4) 点火方式は、低速での火花性能（カートは、押しがけがほとんどである）、高速での点火時期設定などを考慮し、CDIを採用した。

(5) キャブレターは、IBAE社製スライドキャブレターを使用する前提で設計開発を行なった。

6. 本体構造

6-1 全体構造

図7、8にエンジン断面図を示す。レーシングカートは、図2のように車体右側にレイアウトする場合が多く、KT100AXもこの例にならっている。したがって、排気孔側より見て（進行方向に向かって）、右側に駆動軸およびキャブレターを配置し、スプロケットギヤの交換、キャブレターのセッティングなどの整備の便を図っている。また、左側には、CDIマグネットを配置しており、いずれも右側エンジンマウントに合わせたレイアウトとなっている。

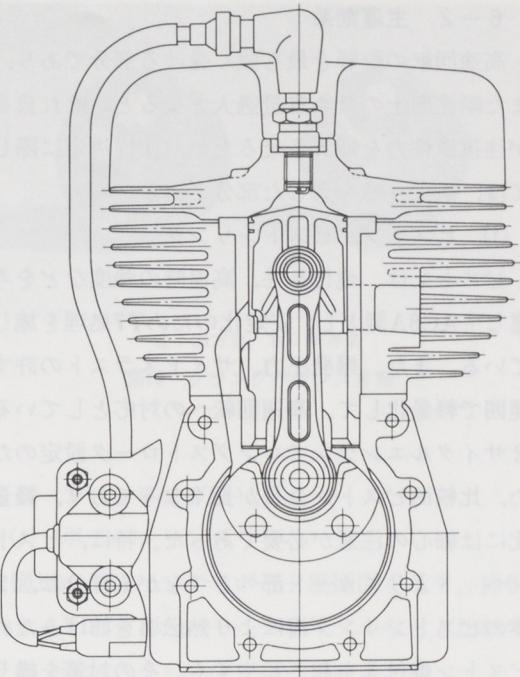


図7 エンジン正面断面図

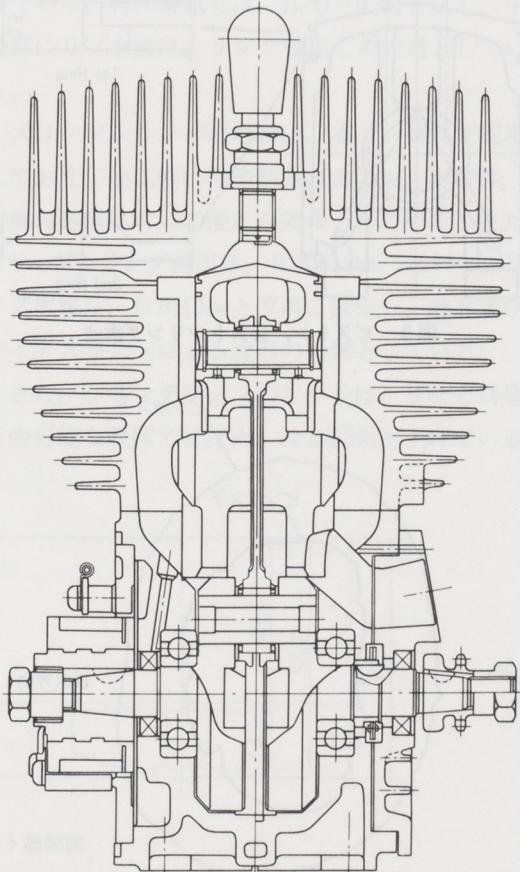


図8 エンジン側面断面図

6-2 主運動系

高速回転の影響を最も強く受ける部分であり、また剛性向上のため重量過大となると、それ自身が往復慣性力を増大させるため、仕様決定に際しては、最も注意を要した部分である。

(1) ピストン、ピストンリング

ピストンは、焼付き性、高温時の強度などを考慮してAC8A製とし、安定化のためT7処理を施している。また、爆発圧力、サイドスラストの許す範囲で軽量化して、高速回転への対応としている。2サイクルエンジンでロングストローク設定のため、比較的ピストン全長が長くなっている。軽量化には細心の注意が必要であった。特に、ピストンヘッドよりスカート部へとつながる部分は、2本のピストンリング溝により熱伝導を妨げるため、ピストン焼付きを起こしやすく、その対策を織り

込んで形状を決めている。

ピストンのサイド部断面形状は、燃焼ガス→ピストン→シリングスリーブへの熱伝導に最も影響を与える部分である。本エンジンのような高速回転エンジンの場合は、リングからの伝熱よりも影響度は高く、性能を決定する重要なファクタとなっている。本機関では、ピストン縦方向の断面では、通常の2サイクル機関同様に、1stリングに向けて、ピンボス部より0.1mm程度半径を小さくして熱膨張への対策としている。プロファイルはピストンヘッドに向けて指数関数的な変化を与えて、熱流量の変化に対応している。

また、ピストンの軸直角断面形状は真円とし、約1時間程度のならし運転によりコースや運転状態に合わせた最適形状となるように設定している。図9にピストン縦断面形状と、ピストンリング形状の概要を示す。また図10には、ならし運転後のピストン軸直角断面形状の一例を示す。

ピストンリングは、1stリングはL形リング、2ndリングはインサイドベベルリングとし、いずれも、そのねじれ効果を利用し、面圧を低く抑えてフリクションロスの低減に成功している。また、材質は特殊鋳鉄を使用し、燃焼ガスにさらされやすいL形リングの熱対策としている。リングは、1st、2ndともその摺動面をクロムメッキして高ピストンスピード対策としている。

(2) コネクティングロッド

コネクティングロッドは、本機関のような高速機関の場合、往復慣性力の影響を最も強く受ける部品である。したがって、必要以上の強度向上はそれ自身の重量に増加させ、自重により往復慣性力を増加させる結果となる注意すべき部品である。

本機関では、接続部の、特に回転面方向の断面2次モーメントを大きくとり、高速回転対策としている。また、大小端部とも、接続部を含む中心面に周囲にわたる厚肉部を設け、高速回転時に発生しやすい大小端部変形から始まるベアリング焼付きによるコンロッド破損の対策としている。

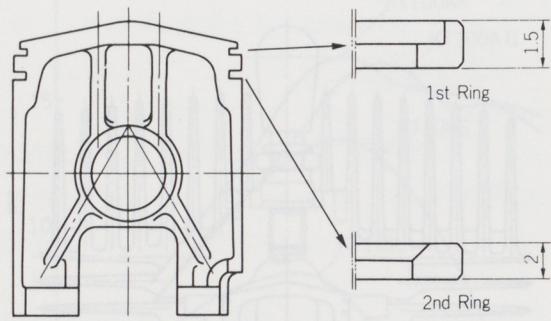


図9 ピストン、ピストンリング構成

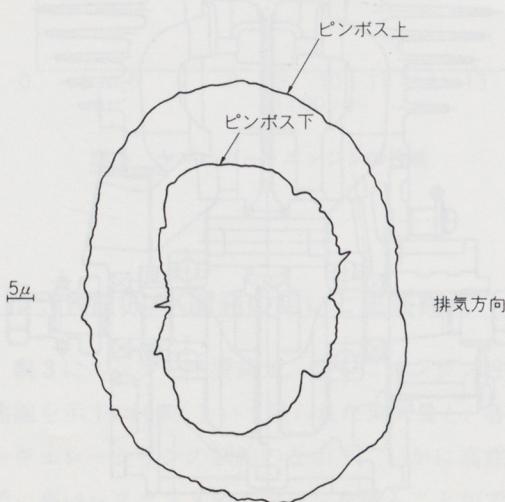


図10 ならし運転によりカム状とした一例

材質はCr-Mo鋼とし、回転面、摺動面にのみ浸炭焼入れしている。外観を図11に示す。

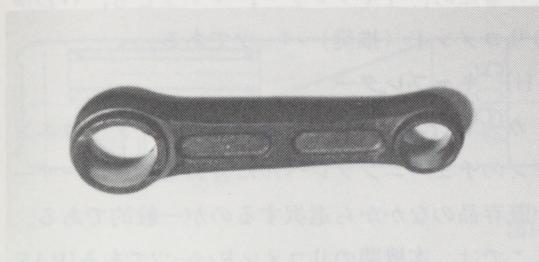


図11 コンロッド外観

(3) クランク

経験的に、往復質量の50~60%のクランクバランス率が、ドライバ一体感としてはベストである。これを確保し、かつ、クラクピン部分の剛性を確保するために、本機関では、図12のような形状のクランクバランス方法を採用している。従来は、クランクウエブのクランクピン側に、ドリル孔をあけて、所要のバランス率を得ていたが、この方法では、クランクピン周辺の剛性が低くなりやすい。その対策として、新しいバランス方式を採用した。この方法によれば、クランクピン孔周辺に必要範囲の厚肉部を確保でき、レース終了後のクランク心振れを1/100以下に抑えることに成功している。

また、材質もNi-Cr-Mo鋼を浸炭焼入れし、クランクピン部、クランクウエブ部を中心とした剛性を確保している。



左：旧方法、右：新方法

図12 クランクバランス方法

6-3 シリンダ系

(1) ボデーシリンダ

図13に、シリンダのポート展開図を示す。掃排気タイミングとも、モータサイクルなどと比較すると、遅いタイミングとなっている。

各ポートは、リング張出しの許す範囲で広くとっている。特に排気孔は、B/D=0.81と広く、中央部にリブを設け、リング張出しの対策としている。

スリーブシリンダの材質は、高リン鉄鉄を使用しており、加工性にやや難点はあるが、耐摩性、耐焼付き性において優れた効果を得ている。また、スリーブシリンダ肉厚は、片肉6.5mm、ボデーシリンダ肉厚は、片肉13mmと厚肉に設定し、熱およびサイドスラストによる変形の対策としている。

また、シリンダフィンのピッチは、9mmと铸造上の可能な範囲でせばめ、冷却効果を上げている。

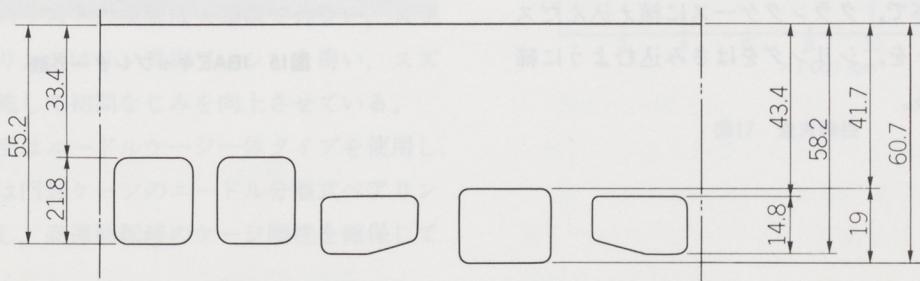


図13 シリンダポート展開図

6-4 吸排気系

本機関は、エンジン本機のみの販売が行なわれているため、キャブレター、マフラーとも、いわゆるリコメンド（推奨）パーツである。

(1) キャブレター

カート用エンジンの場合、キャブレターはエンジンのチューニングレベルに合わせて、ユーザーが既存品のなかから選択するのが一般的である。ここでは、本機関のリコメンドパーツであるIBAEキャブレターを図15に紹介する。

IBAEを含み、これらのキャブレターは、いずれも横G、過渡特性、走行状態に合わせたジェット

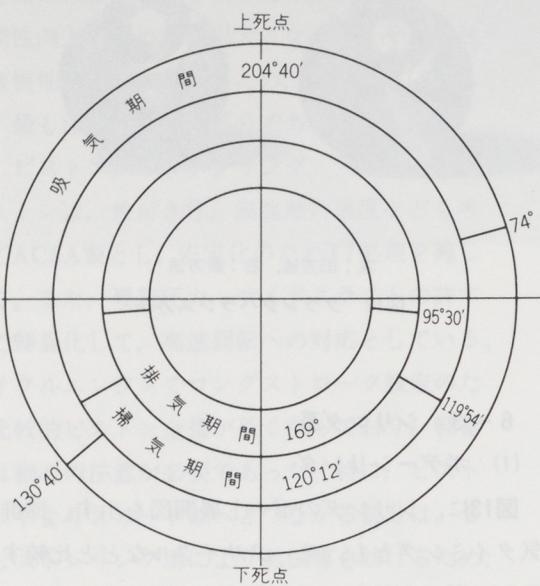


図14 各ポートタイミング図

フィン直径は、最大で195mm、同様に、鋳造上可能な最大径に設定している。

図14に、掃排気タイミング図を示す。

(2) シリンダヘッド

シリンダヘッドは、単純な半球形燃焼室と円すい形スキッシュドームを組み合わせた燃焼室形状としている。また、ベースフィンは、直径195mmに設定し、十分な冷却効果を得ている。取付けはM8ボルト4本で、クランクケースに植え込んだスタッドボルトを、シリンダをはさみ込むように締め付けている。

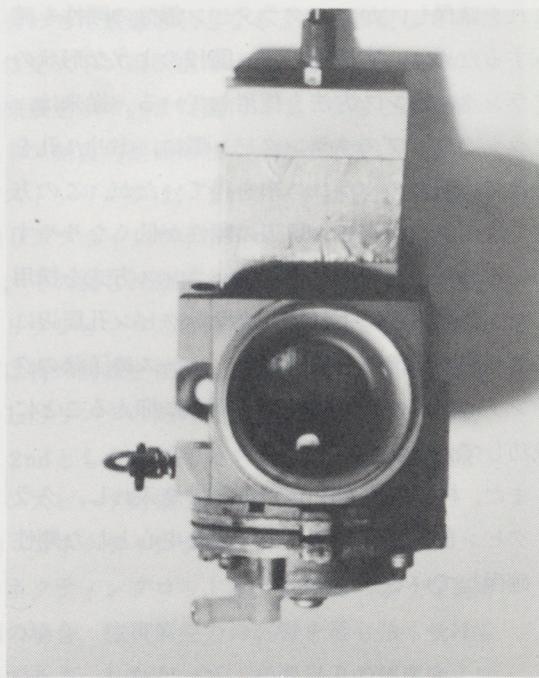


図15 IBAE キャブレター外観

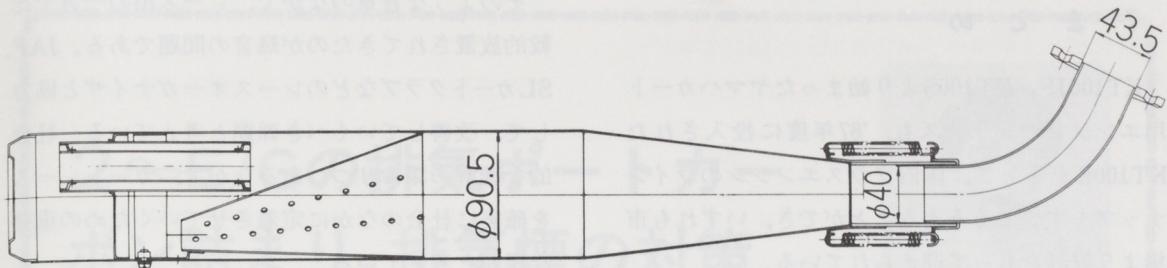


図16 排気系概要

調整などの要求から、フロートレスキャブレターが採用され、低速系、高速系のニードルともに可変式とされている。

(2) ロータリディスクバルブ

ロータリディスクバルブは、日立金属PK材を使用し、バルブに必要な平面度を得ている。インレットのタイミングは、図14に示す。ピストンバルブエンジンと異なり、上死点に対し非対称なタイミングに設定されている。

(3) エキゾーストパイプマフラ

図16に排気系概要を示す。形状は、曲げを1カ所に限定し、抵抗を低く抑えている。また、反射テープは、マフラ中心線に対しオフセットした特殊なレイアウトとし、反射効果が回転数の影響を受けにくい形状としている。排気系のリコメンドパーツはヤマハ純正品であり、図16もこの純正品を示す。

6-5 軸受

大小端軸受には、ニードルベアリングを使用している。スラストの規制は大端側で行ない、スラストベアリングはリン青銅ワッシャを用い、スズメッキを施して初期なじみを向上させている。

小端軸受はニードルケージ一体タイプを使用し、大端軸受は門形ケージのニードル分離式ベアリングを使用し、高速回転時のケージ剛性を確保している。

主軸受は6204タイプのポールベアリングを使用し、リテナは高速時のフリクション対策とし、

ガラス入りナイロンリテナを採用している。

潤滑油は、混合比15：1の混合ガソリンを使用しており、特別な回転制御は行なっていない。

6-6 点火系

点火系は、前述のように、押しがけを前提とするための低速での火花性能ピークが10000rpmとなるなどを考慮し、CDIマグネットを採用している。ロータの形式は、高速回転に耐えるようにインナーロータ方式としている。点火時期は、25°/10000 rpmに設定している。本マグネットは、始動性、耐かぶり性とも良好であり、好評を得ている。

図17に、本CDIマグネットの進角特性を示す。

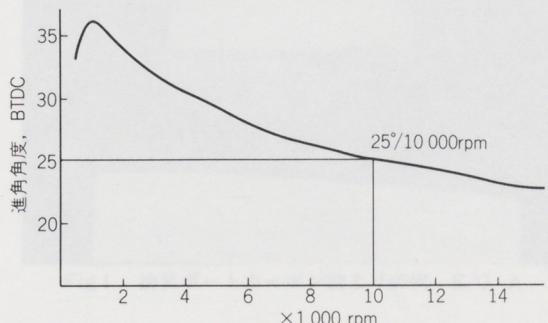


図17 進角特性

7. まとめ

KT100JF、KT100Sより始まったヤマハカート用エンジンのシリーズも、'87年度に投入されたKT100Rをもって、国内クラスエンジンのラインナップをすべてそろえることができ、いずれも市場より好評をもって迎えられている。

また、カートレースそのものも、安全に楽しむことのできるベーシックなモータースポーツとして、一般の理解も深まりつつある。

そのような背景のなかで、レース用の一言で比較的放置されてきたのが騒音の問題である。JAF、SLカートクラブなどのレースオーガナイザと協力して、改善していくべき課題と考えている。社会的な理解の深まりつつあるなかで、カートレースを確実に社会のなかに定着させていくための重要な課題と考えている。

なお本文は、雑誌「内燃機関」1988年5月号「特集：ヤマハ発動機における各種エンジンの研究開発」に掲載された。