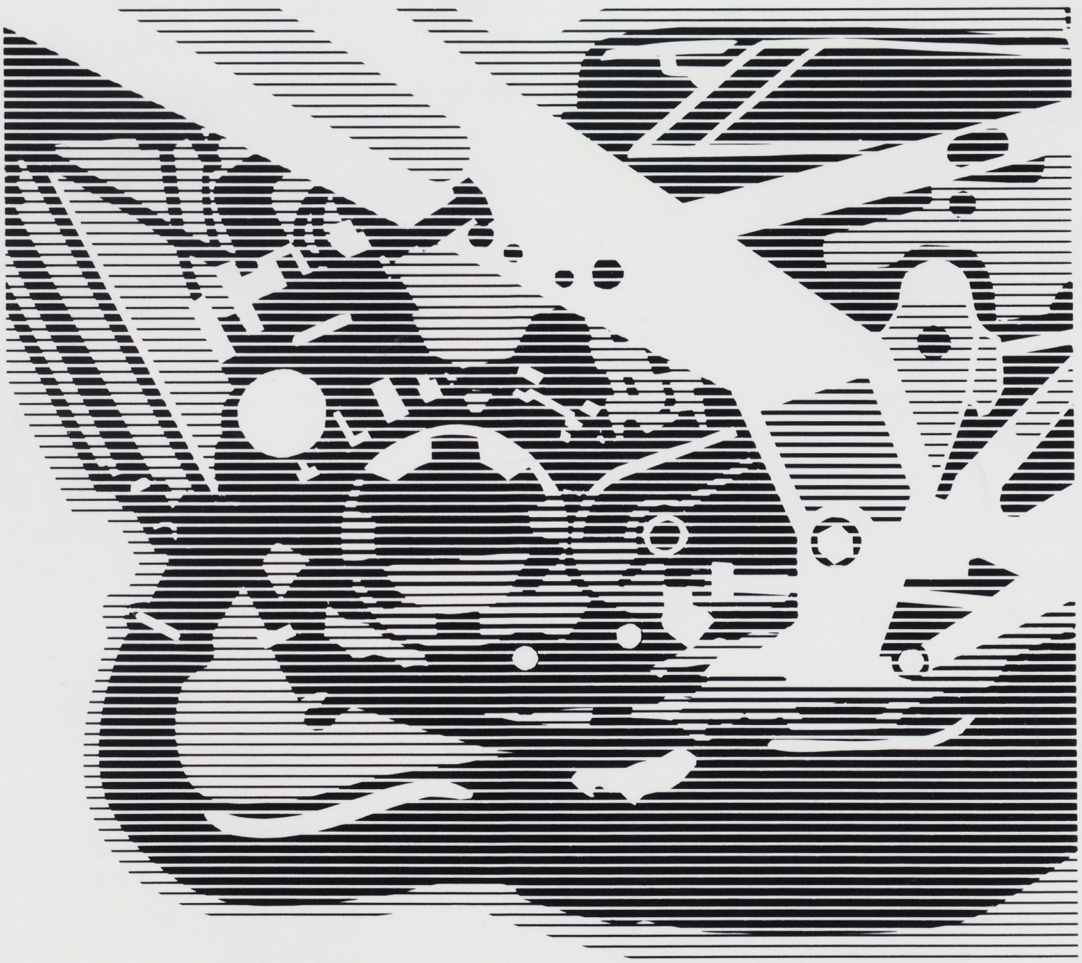
ヤマハ技術会 技報

No.3　　1987・1



技報編集委員会事務局所蔵

巻頭言

ヤマハ技術会顧問
江口秀人

会員の皆様，明けましておめでとうございます。年頭にあたり，一言所感を申し述べてみたいと思います。

現在，世界を蔽っている何とも云えない不安定感の中にあって，我社の今後進むべき途を見定め，価値のある仕事，やり甲斐のある仕事に邁進する事が，今最も重要な課題であります。

人間は，常に考え，行動するわけですが，現在，特徴的に顕われている現象，例えば，日本だけに集中し過ぎた貿易黒字から来る急激な円高，株の暴騰，東京を中心とした不動産価格の狂気じみた高騰，そして一方で予想される輸出型企業の大巾な減益，破綻，産業の空洞化・倒産・失業等，正に不安定を絵に描いた様な状況です。

これらは，すべて人災以外の何物でもありません。

ここまで来ると，「創造的破壊」なくしては，新しい秩序が生み出せない段階に来ていると思います。

我社が三年前に再建に取組み，本質的にやらねばならない事を見据えて，社を挙げて体質改善に挑戦して来た事は，今になって考えれば，まことに不幸中の幸でした。

今こそ，我社の特質である，創意・高品質・スピードの威力を発揮し，混乱の世を力強く生き抜かなければなりません。

そのエネルギーの源泉は，云うまでもなく技術力です。

今後は最終製品の質に片寄り過ぎた品質論議でなく，それを作り上げる夫々の部分の技術・品質を掘り下げて充実して行かなければなりません。その目で見れば，まだまだ手掛けるべき仕事が沢山あります。

自らの手で，自らの技術でもっと附加価値を生み出せる項目がある筈です。

外部に依存している材料や部品の品質の中にも，自分で採り上げなければ究極的には満足すべき結果が得られないものもあると思います。

「働かざる者，喰うべからず」の時代は過ぎ，「創らざる者，喰うべからず」の時代です。特に日本は，昔から云われている様に，天然資源に乏しく，加工立国でなければならないとされて来ました。然し，近時，人間という天然資源には，質・量共に極めて恵まれているという見方に変って来ています。そういう評価に値するかどうかは，我々一人一人の責任です。

開発された技術に基づいて，生産を行う場所については，ますます国際化が進みます。

御存知の様に，フランスにもアメリカにも工場が出来ます。単なる技術援助だけでなく，資本進出もふえて行きます。商品の巾も広がって行きます。品質保証の中味も，ますます細部化され高度化されます。

日本人としての常識や経験だけでは，とても律し切れません。

活眼を以って物事を視，心を闊いて情報を受けとめて下さい。

ヤマハ技術会を通じて，皆さんの交流が活発になり，相互研鑽の実が挙がるのは何よりも心強い事です。

御活躍を祈ります。

目　次

巻　頭　言……ヤマハ技術会顧問　江口　秀人

1．最近の二輪車の設計動向……商品企画部(元第1技術部)　水谷　昌司……1
第1技術部　木下　利男

2．ＴＺＲ250の開発……第3技術部　阿部　輝夫……19
第1技術部　北田　三男
〃　高田　正隆

3．水素自動車の開発……ＡＭ技術部　栗原　仙幸……35
〃　横山　達二
電子応用技術部　橋本　茂喜
〃　内山　幹康

4．実験的モード解析における剛体モード強調
と回転自由度の同定……第1研究部ＳＤグループ　古沢　政生……49
第3技術部　冨永　隆史

5．new-RTM法の紹介……マリン事業部
舟艇技術部・生産技術課　渡辺　正晃……59

6．材料技術における最近の話題(Ⅲ)……第1研究部　山田　徹……65
材料研究課

7．㈱昌和製作所紹介……製造部　高見　桂一……83
第一技術部　小平　睦人
第二技術部　泉沢　滋樹
管理部　宮本　吉種

最近の二輪車の設計動向

商品企画部(元第1技術部)　水谷昌司
第1技術部　木下利男

1. まえがき

ヤマハがモーターサイクルを作りはじめてから早くも，30余年が経過しました。(**表1**)

この間，先発の2サイクルは，業界のリーダーとしてパイオニア的役割を果たし，後発の4サイクルは，他社に追いつき追い越せで頑張ってきました。

振り返ってみるに，我々は売れるものを早くと，次々と新機種，新技術を開発してきましたが儲かるものをつくるという点で若干遅れ気味であった様です。特に今や，需要の停滞と1＄＝150円の中でいかに利益を出すかに腐心しているこの頃です。

こういう環境の中で，今，我々が開発してきたここ20年を振り返ってみて，今後，何をなすべきかを考えてみたいと思います。

	1955－69	1970－74	1975－79	1980－84	1985－89
4サイクル		第1世代 導入期 TXシリーズ	第2世代 発展期I XSシリーズ	第3世代 発展期II XJシリーズ XVシリーズ	第4世代 確立期 FZシリーズ
2サイクル	50～350cc DTシリーズ	RDシリーズ		RZシリーズ 復活2～	TZRシリーズ
開発期間		3年	2年	1.5年	1年
	2サイクルのヤマハ オフロードのヤマハ	スポーツのヤマハへ	4サイクル技術蓄積の時代 ヤマハスポーツ新時代	目標シェアNo.1 排ガス・騒音対応からチャレンジへ	ジェネシス新時代 レーサー・レプリカ全盛時代

表1　ヤマハ二輪車の系譜

2. 二輪車のニーズ

二輪車のニーズには，走る・曲がる・止まるという基本機能の向上をはじめとして，**表2**に掲げたものがあげられます。この中でも高性能化，小型・軽量化，低燃費，低騒音といった項目の技術進歩が特に大きかったようです。こうしたニーズは，時代とともに，そして国によっても大きく変ってきており，最近ではますます多様化，高度化してきており，ユーザーの趣味，嗜好に合った車づくりが求められています。

開発裏話　XS650

振動の大きさに泣かされ続けてきましたが，名車になるにしたがい，この振動もなくてはならぬものとなりました。

1．基本機能 走る 曲がる 止まる	◎安全性 ◎高性能 ◎小型・軽量 ・操縦安定性
2．経済性	◎低燃費 ・低価格
3．快適性 利便性	◎低騒音 ・低振動 ・乗りごこち ・使いやすさ ・メンテナンスフリー
4．デザイン	・スタイリング ・ユニークさ，美しさ
5．乗り味	・感性に訴える振動，音 ・遊び心，面白さ
6．社会との調和	・騒音Reg. ・排ガス，エバポReg. ・その他各国Reg.

表2　二輪車のニーズ

日　本	アメリカ	欧　州
1．性能（絶対馬力）	1．スタイリング	1．性能（最高速）
2．スタイリング	2．ゼロヨン加速性能	2．操安性
3．フィーチャー（付属物）	3．価　格	3．価　格
	4．快適性	4．耐久性
〈見かけ〉	〈先進性〉	〈合理性〉

表3　地域別プライオリティ

3．ヤマハ二輪車用エンジンの系譜

こうしたユーザーのニーズに応えるために，二輪メーカーは次々と新機種，新技術を生み出してきました。**表4**は，最近のヤマハの二輪車用エンジンの歴史を掲げたものですが，特に最近10年での種類の増加は，目をみはるものがあります。

空冷・単気筒ではじまったエンジンの種類も，現在では，空冷・水冷があり，単気筒から並列2

	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
新技術	・4〜導入	・7ポートトルクインダクション	・バランサ	・4バルブ	・CDI点火		・シャフトドライブ				・水冷化 ・YPVS	・YEIS ・YICS	・ターボ ・燃料噴射 ・YDIS			・ジェネシス ・5バルブ	・ディジタル点火 ・クランク室リードバルブ
4サイクル	XS650		TX750	TX500			XS750		XS1100		XS850			XVZ1200	FJ1100	VMAX	XVZ1300
											XJ650	XJ750		XJ900		XJ900	FJ1200
											XJ400	XJ550			FJ600		
														XJ400ZS	FZ400R		
												XV750/1000					FZR400
														XV500/400			XV1100
								XS400/250					XZ550/400				
							XT500		SR500/400				XS400/250			FZ250	
													XT550/400	XT600		SRX600/400	
											XT/SR250						YFM350
														XT250T	SRX250	XT350	
												SR185/125	XT200/125			XT225	
														XC180			XC200
															XC125		
														T80/50			
2サイクル	RX350		RD350				RD400										
	DX250			RD250							RZ250	RZ350					
																	TZR250
	AX250			RD125									RZ125				
	DT250					DT250		DT250							DT200		
	AT125				DT125								DT125				
				YZ250				YZ250	YZ250				YZ250				

表4　ヤマハ二輪車用エンジンの歴史

気筒・3気筒・4気筒，V型2気筒・4気筒と順列合わせのようにおこし，又，排気量もボアアップ，ストロークアップで次々と拡大し，数々の失敗を重ねながらも大きな技術進歩をともなって今日に至っております。

本稿では，高性能化と軽量化を中心として，我が社の最近の二輪車のエンジン・ボディの設計構造を紹介します。

4．高性能化

一般に高性能化に必要なことは，①より多くの混合気を吸い，②より良く燃焼させ，③より高回転化できるようにし，④いかにロスを減らすか，につきます。

二輪各社とも，この線に沿って高性能化を進めていった結果，最近の4サイクルスポーツ車はほとんど次のような諸元となっています。

①P4，V4の多気筒化，及びショートストローク化で高回転化を図り

②空冷→水冷，油冷へと冷却を改善することにより高圧縮化，及び混合気密度を増し

③SOHC→DOHC，2バルブ→4バルブ，5バルブで高回転化，及び吸入空気量の増大を図っています。

この高性能化の具体例を我が社の750ccの例で示すと**表3**のようになります。

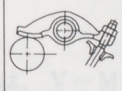
	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
機種名	TX750	XS750	XJ750	FZ750
最大出力/回転数	63Ps/6500rpm	67 ／ 8000	70 ／ 9000	100／10500
エンジン形態	並列2気筒	並列3気筒	並列4気筒	前傾・並列4気筒
ボア×ストローク	φ80×74	φ68×68.6	φ65×56.4	φ68×51.6
冷却方式	空冷	←	←	水冷
圧縮比	8.4	9.5	9.2	11.2
動弁系	OHC・2バルブ  ロッカー	DOHC・2バルブ リフタ・アウタパッド	DOHC・2バルブ ←	DOHC・5バルブ リフタ インナパッド
動弁系等価慣性重量			141g	43g

表5　750ccエンジンの高性能化

この中でも特に，FZの動弁系の軽量化が目立ちます。**図1**は，FZ750に代表される，FZシリーズの動弁系です。等価慣性重量を減らす為に，一点一点の徹底した軽量化を行い，さらにインナーパッドを採用した結果，XJに対し30%の等価慣性重量となり，より高回転が可能となりました。

インナーパッド方式は生産ラインでの組立性と市場での整備性は悪いのですが，高出力にはかえられないとの考えで踏み切ったものです。しかし，整備性につきましては，30,000km走ってもバルブクリアランスの変化はほとんどないレベルに仕上がっており問題ありませんでした。

開発裏話　TX750

谷田部で何回か，ケースからコンロッドが顔を出しました。やっとの思いで対策したものの薄幸のエンジンでした。

開発裏話　TX500

よく吹き抜け，よく油も洩れた。ポルシェもやらない空冷4バルブをやったが，周辺技術が追いつかず，早すぎた技術の見本と言われた。洩れは結局止まらずに，最後はヘッドとカムケースを一体化して止めました。

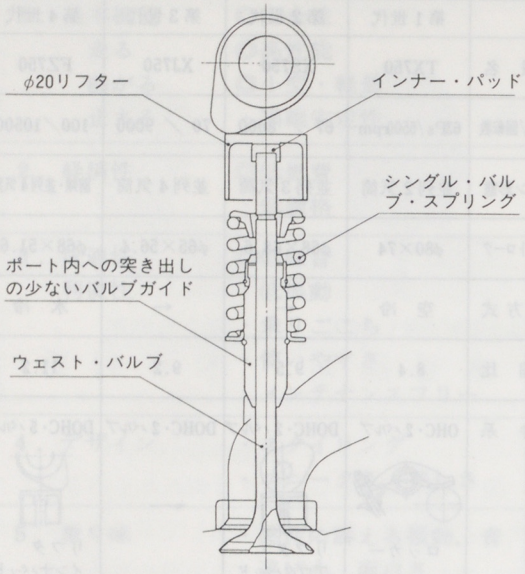


図1　ＦＺシリーズの動弁系

図2は，この10年間で4～の250cc，400cc，750ccの最大出力がどう上ってきたかを示したものです。この表はフルパワーでありまして，国内の自主規制のわくをはずした時の実力値を示してありますので御承知下さい。250ccでは2倍，400ccでは1.8倍，750ccでは1.5倍の出力向上があったことになります。

一方，図3は，2～250ccスポーツ車の最大出力の変化を表わしています。2～の高性能化も4～と考え方は同じですが，この250ccクラスでは，2気筒のままで，吸排気ポートを3ポート→5ポート→7ポート，吸気入口はピストンバルブ→ピストンリードバルブ→クランクケースリードバルブと変わり，大きくは，空冷→水冷，可変ポートタイミングデバイス，吸気脈動コントロールデバイス，キャブレターの開発で性能を上げてきたと言うことができます。

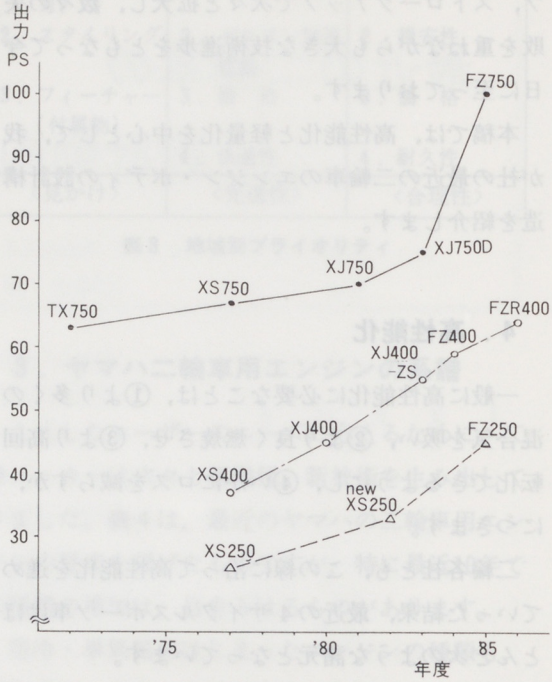


図2　最大出力の変化（4～）

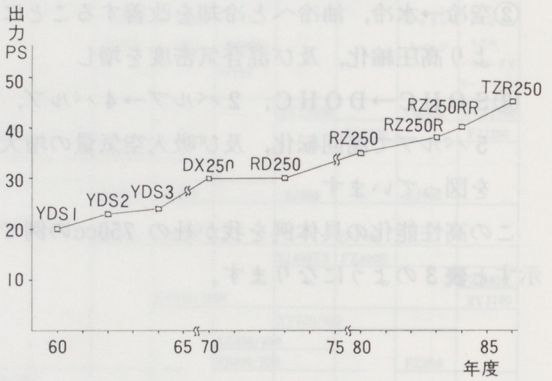


図3　最大出力の変化（2～250ccロードスポーツ）

開発裏話　ＸＳ750

3気筒を選んだのは，ホンダ，カワサキの4気筒の後を追うのではなく，ヤマハのオリジナリィを出し，かつ，名車にしたかったから。おかげで，性能と耐久性のギャップと振動に悩まされ続けました。

開発裏話　ＸＳ400

谷田部を走行中，ケースからコンコンと異音発生。よく見たら，オイルが一滴もなし。確か，この車は磐田から谷田部まで陸送したはずだけど……。あらためて，メタルの強さに感心しました。

その他には，吸排気まわり，あるいは点火系などによる性能向上のデバイスが数多くありますが，我が社のものに絞り，紹介します。

古いところではターボがあります。（**図4**）一般には燃料噴射と併用するのが普通ですが，コストを下げる為，キャブレターを使っているところに特徴があります。それでもターボのコストは高く，コストパフォーマンスから今では使われておりません。又，燃料噴射も，高速性能アップ，中低速のトルク谷改善，加速フィーリングの向上等の効果はありましたが，やはりコストパフォーマンスから今では使われておりません。しかし，今後，高回転化が一層進んできて，キャブレターでは全域のセッティングをカバーしきれなくなった時、再び復活するものと思われます。

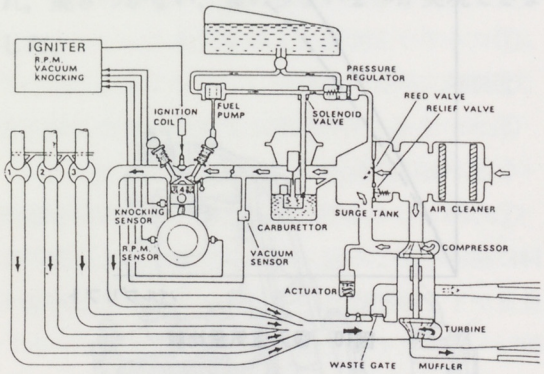


図4　ヤマハ・ターボ・システム

図5は，ＹＤＩＳ（ヤマハ・デュオ・インテーク・システム）ですが，単気筒に二つのキャブレタを使い，ＶＭキャブレタの低中速回転域における瞬発力と，ＳＵキャブレタの高速回転域におけるなめらかさの組合せで全域に優れた性能を発揮します。又，このデュアル化によりポート面積が小さくなり吸気流速が増し，さらにシリンダ中心よりオフセットしている為，スワールが発生し，燃費改善が実現できました。

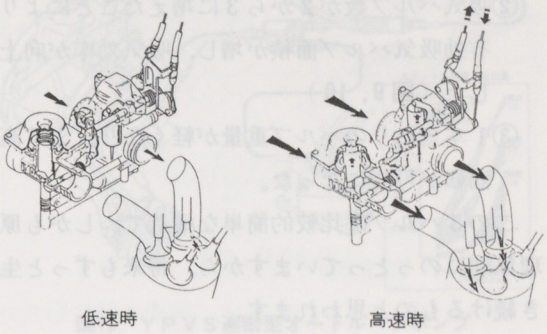


図5　ＹＤＩＳ

図6は，Ｖ－ＭＡＸに用いられているＶブースト・システムです。構造は，Ｖ型４気筒の前後のシリンダーの吸気筒を連通し，そこにバルブを設け，このバルブの開閉により低中速域は１キャブ／１気筒ですが，高速域では２キャブ／１気筒を働かせるものです。さらに吸気脈動を利用することにより，大幅な性能向上が図られました。

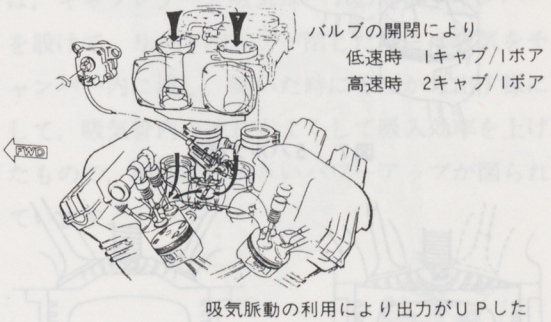


図6　Ｖブースト

図7は，５バルブの機構を示したものですが，FZ750で採用したこの５バルブは数々のメリットを生み出しています。

①高圧縮比にもかかわらず，理想とされる凸レ

開発裏話　ＸＴ500

当初，このビッグシングルのケッチンには皆が恐れをなした。社内でビッコをひいている人は，このせいによるものが多かった。しかし，改良の結果コツさえつかめば実に簡単となりました。アメリカ人は手でエンジンをかけれたそうです。

ンズ型燃焼室を得，さらにプラグは燃焼室中央に位置させた（**図8**）

②吸気バルブ数が2から3に増えたことにより，有効吸気バルブ面積が増し，吸気効率が向上した（**図9，10**）

③1本当たりのバルブ重量が軽くなり，より高回転が可能になった。

この5バルブは比較的簡単な構造で，しかも原理原則にのっとっていますから，将来もずっと生き続けるものと思われます。

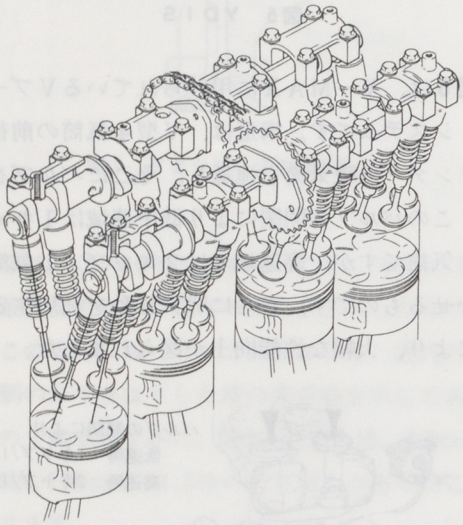


図7　5バルブ構造

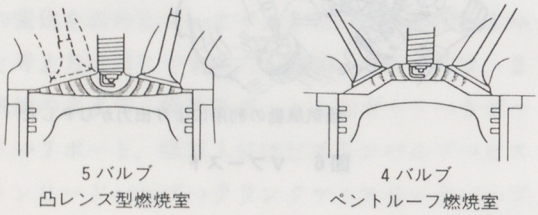


図8　燃焼室形状

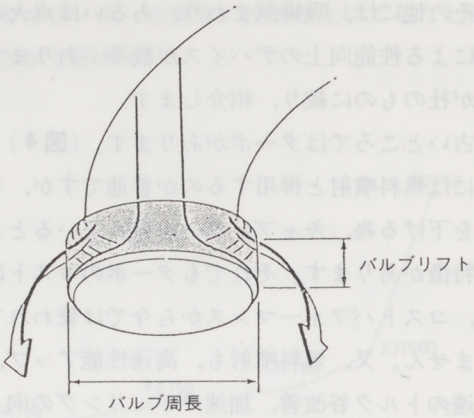


図9　有効吸気バルブ面積

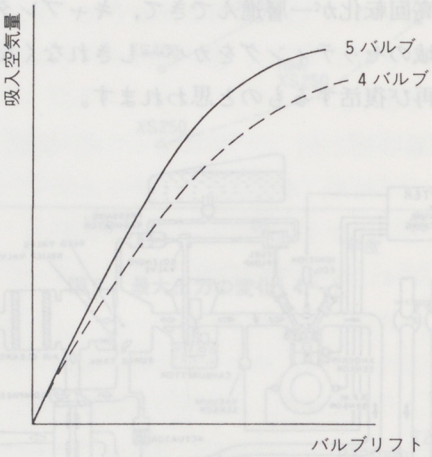


図10　吸入空気量比較

一方，2〜に目を転じると，高性能化デバイスの代表としてはＹＰＶＳがあげられます。（**図11**）これは，排気ポートに設けたパワーバルブを，マイコン内蔵のコントロール・ユニットにより，回転数に最適の排気タイミングに制御して，常に最

開発裏話　ＸＳ1100

谷田部テスト後，本社へ帰ってオイルパンのドレンをはずして驚いた。何と，オイルが一滴も出てこない。オイルパンをはずして再び驚いた。何と，黒い羊羹（ようかん）がギッシリ詰まっていました。（実は，オイルがコールタールに変身した）

開発裏話　ＸＪ650

650ccからはじまったものが，750，850，900ccともう上がらんと言いつつも，ここまできてしまった。これ以来，排気量アップは「やれば出来る」が定説となりました。

高出力を引き出すもので，世の注目をあびた画期的なデバイスです。高速では，排気タイミングを早くして高出力を得，中低速では，逆に排気タイミングを遅くして高トルクを得るという原理です。

又，これに関連して，ＹＰＶＳ連動型オートルーブポンプも採用していきます。(図12)　２〜はピストン，クランクベアリングまわりを混合気で潤滑していますが，この混合気中のオイルの量が多いと白煙をはいて皆に嫌われ，少ないとピストン，ベアリング等の焼付に至るという問題に昔から悩まされてきました。このシステムは，スロットルケーブルとＹＰＶＳのサーボモーター用のワイヤーを連動して，オイル供給量をスロットルワークとエンジン回転数の双方より制御するものです。これにより，オイルは必要最小限に押さえられ，焼きつかない，煙の少ない２〜が実現できました。

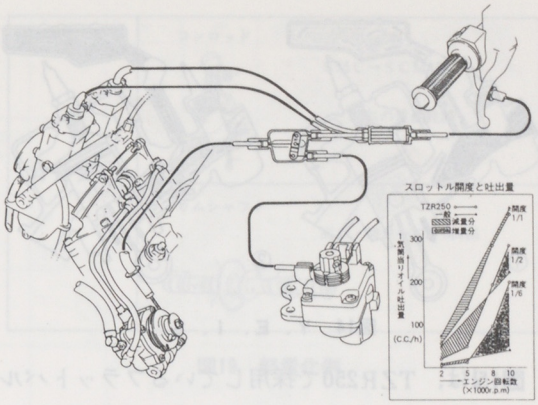


図12　ＹＰＶＳ連動型オートルーブポンプ

図13は，クランク室リードバルブです。吸入口を従来のシリンダ・ピストンの側面からクランクケースに移したもので，ピストンの位置に関係なく，高回転でより多くの混合気を吸うことができます。又，リードバルブ材質はステンレスから樹脂へ，更に枚数も多くして一枚当たりを軽量化して，高回転でも追縦できるようになりました。

その他にはＹＥＩＳがあります。(図14)　これは，キャブレターと吸気ポートの間にチャンバーを設けて，リードバルブが閉じた時には吸気をチャンバー内に流し，開いた時にそこから出す様にして，吸気管内の流れをよくして吸入効率を上げたもので，中低速の大きいパワーアップが図られています。

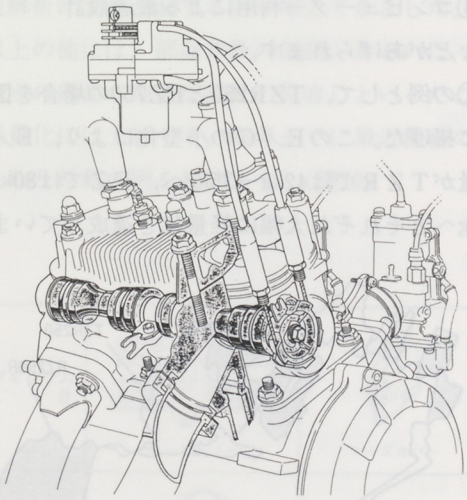


図11　ＹＰＶＳ

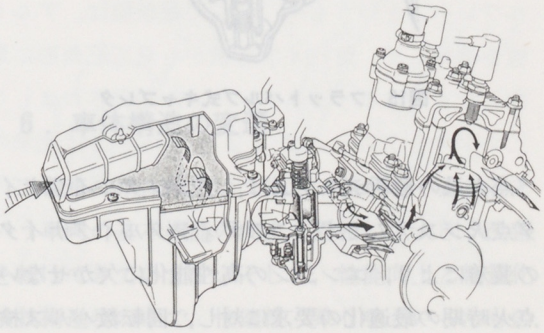


図13　クランク室リードバルブ

開発裏話　ＸＪ400

性能が出ないのはピストンスピードが低いからだ，と言われ，生産立上り前にボア・ストロークを変えては見たが……。どうも効果の程ははっきりしない様子です。

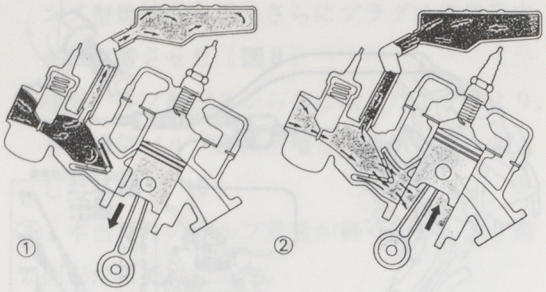


図14　Y．E．I．S．

図15は，TZR250で採用しているフラットバルブ式キャブレタです。これは，従来の円柱形スロットルバルブにかわり，板状フラットバルブを装着して吸入効率を高め，通気抵抗を少なくしています。

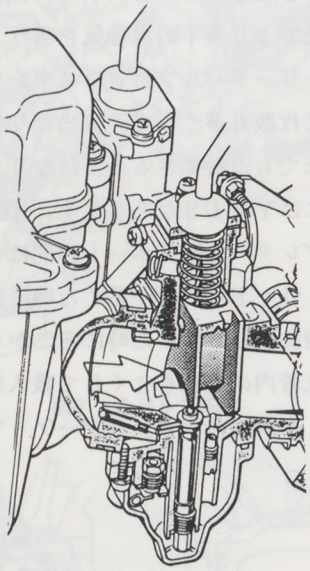


図15　フラットバルブ式キャブレタ

点火系の最新システムは，ディジタルイグナイタ点火システムです。このディジタルイグナイタの装着により，エンジンの高性能化に欠かせない点火時期の最適化の要求に対し，回転数パルス検出用ピックアップで検出された回転信号を，ディジタルイグナイタのコンピュータにより，リアルタイムで制御しています。これにより，エンジンの要求にピッタリ合った進角特性が得られました。（図16）

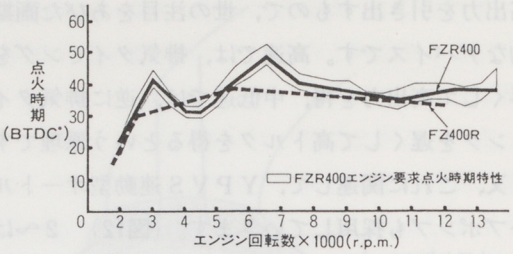


図16　FZR400進角特性

5．軽量化

二輪車の運動性能は，エンジン性能に左右されるほかに，その重量，大きさによっても大きく左右される。特に「乗り易い」という点で軽量化の要求は非常に強く，又，重要でもある。軽量化の手法は，大きく分けると，

①レイアウト変更による小型化

②材料，材質の変更

③コンピューター利用による最適設計

などがあげられます。

①の例として，TZR250とFZ750の場合を図13，14に掲げた。このE／Gの小型化により，E／G重量がTZRでは42kg→35kgへ，FZでは80kg→69kgへとそれぞれ大幅に軽量化を達成しています。

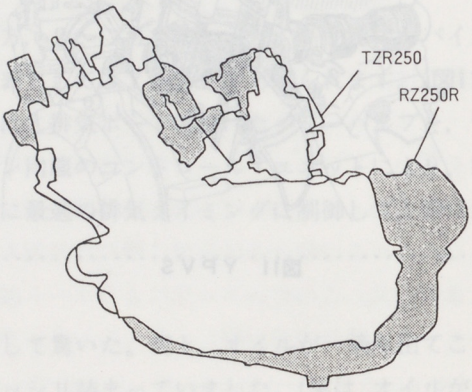


図17　TZR250 のサイドビュー

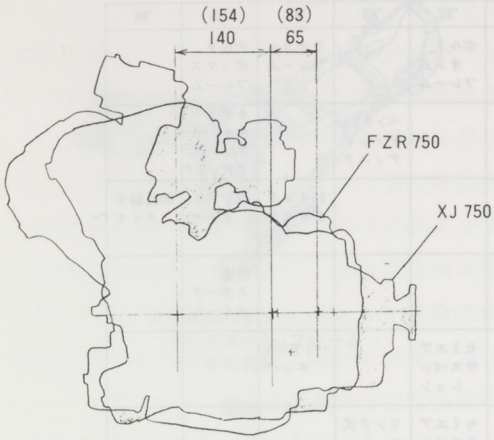


図18　ＦＺ750のサイドビュー

②の例として，材料の変更では**図19**の様な例があります。

③の例では構造解析により，強度，剛性，振動などの面から徹底的に検討し，軽量化を図る手法が普及しています。現在，フレーム，リヤアーム等の車体部品はもちろんのこと，エンジン部品も構造解析により設計する例が増えてきました。

以上の他には，部品点数の削減，あるいは，一点一点の部品の地道な設計の見直しといったことが軽量化には大切です。参考までに最近機種の車体まわり材料の例を掲げます。(**図20**)

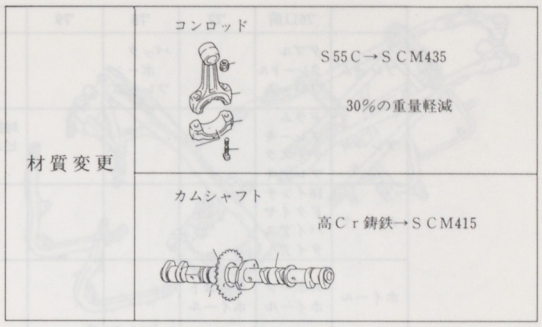


図19　軽量化例

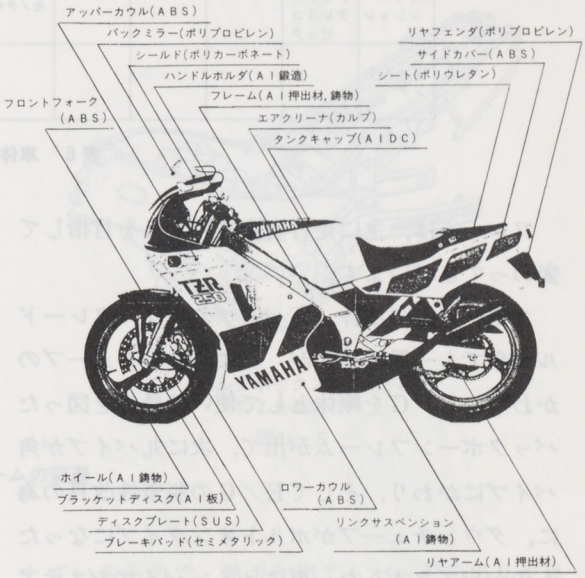


図20　最近機種の車体まわり材料

マグネシウム化	ヘッドカバー	ケースカバー
樹脂化	ケースカバー	ポンプ駆動用ギア
アルミ化	フレーム	リアアーム

6．車体構造の変遷

二輪車の車体構造は，走る・曲がる・止まるという車両の基本機能の向上を目指して大きく改善を続けてきています。そして，性能向上と軽量化の技術進歩の中で，快適性，乗り味といったものも大きく改善され，1000ccといえども，誰でも楽しく乗れる様になってきました。

表6は，主要な車体部品の構造の変遷をあらわしたものです。

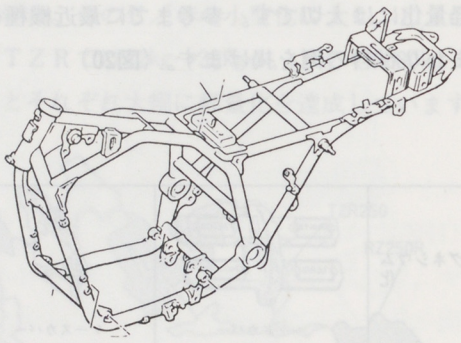
	'76以前	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86
フレーム	ダブルクレードルフレーム		バックボーンフレーム				ボルトオン式フレーム		ラテラルフレーム	デルタボックスフレーム	
ブレーキ	ドラムブレーキ ディスクブレーキ				対抗ピストン			ベンチレーティッドディスク		4ポットキャリパーフロディングディスク	
タイヤ	18インチFタイヤ バイアスタイア								16インチFタイヤ	ラジアルタイヤ	60%偏平タイヤ
ホイール	スポークホイール	キャストホイール								中空スポークホイール	
F.サスペンション	テレスコピック					アンチノーズダイブ	セミエアサスペンション		バリアブルタンパ		
R.サスペンション	コンベンショナルテレスコピック				モノクロス		セミエアサスペンション	リンク式ニューモノクロス			
フェアリング							ハンドルマウントフェアリング	フレームマウントフェアリング			

表6　車体主要部品の変遷

フレームは，主に走行安定性の改良を目指して変わってきています。

スポーツ車の場合，丸パイプのダブルクレードルが今でも一般的ですが，次にダウンチューブのかわりにE／Gを剛体として使い軽量化を図ったバックボーンフレームが出て，次に丸パイプが角パイプにかわり，そしてE／Gの脱着性改良の為に，ダウンチューブがボルトオンタイプになったものが出てきました。更にメインパイプをステアリングヘッドの前迄回し，前後から支えるラテラルフレームというもの，そして最新版は，アルミ板を溶接して，角パイプを横から見て三角形に形作ったデルタボックスフレームが開発されました。このアルミフレームは，TZR250の例では従来の鋼管パイプフレームに比べ，40%の軽量化と30%の剛性アップを実現しました。

又，これらは，ワイドフレームとも呼ばれていますが，それはメインフレームがE／Gの横を通り，ステアリングヘッドとリヤアームピボット間を横から見てほぼ一直線に結び，E／Gの入る部分を幅広くしている為，こう呼ばれています。これらは，ねじれ剛性特に横剛性が高くなり，高速安定性をより高める効果をもたらしています。

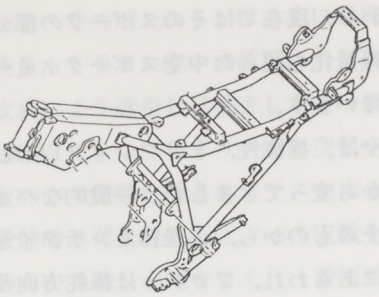


丸パイプ
ダブルクレードル・フレーム
XJ400

図21－1

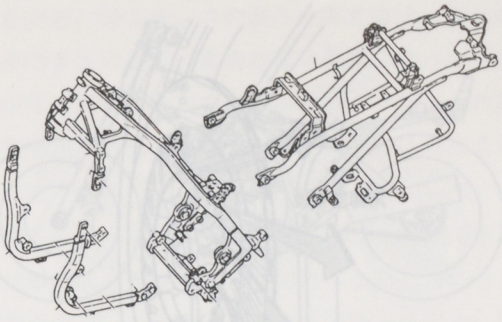
開発裏話　RZ250

名車RZ250も，立上り直後はマフラーこわれて大問題。工場内にマフラーが山となりました。この改修の苦しみを乗り越えて2サイクルが復活したのです。



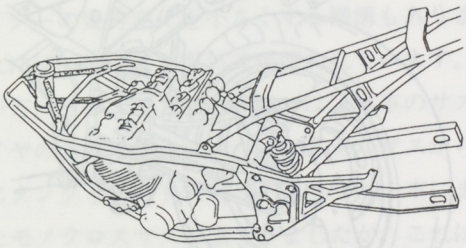
プレス＋パイプ
バックボーン・フレーム
ＸＳ400

図21－2



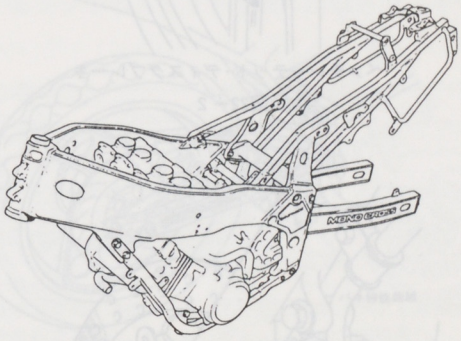
角パイプ
ボルトオン式ダブルクレードル・フレーム
ＦＺ400Ｒ

図21－3



ラテラル・フレーム
ＦＪ1100

図21－4

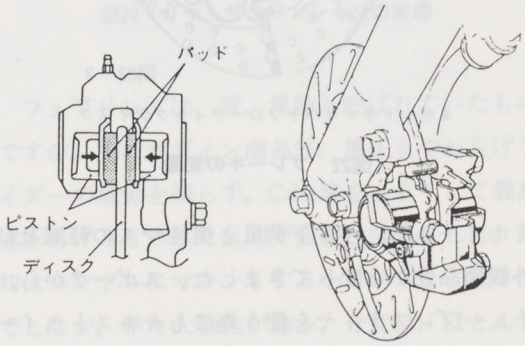


アルミ製
デルタボックス・フレーム
ＦＺＲ400

図21－5

図21　フレームの変遷

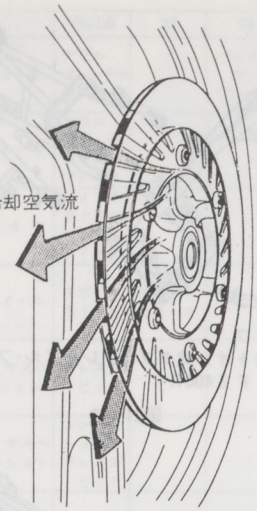
図22は，ブレーキの変遷ですが，主に制動力の向上，フェード対策，制動フィーリング向上を目指して変化してきました。通常のドラムブレーキ，ディスクブレーキから，ディスクを両側のピストンではさむ対向ピストンキャリパが出て，次に熱歪で制動力が落ちるのを空気冷却して防ぐベンチレーテッド・ディスクブレーキがあらわれました。そして，最新のスーパースポーツには，４ポットキャリパとフローティングディスク迄使われています。これは，ディスクをボルトで固定せず浮かしているもので，熱歪が出てもパッドの当りが良好に保てます。



対向ピストン型キャリパ　図22－1

開発裏話　ＸＶ750

空冷Ｖツインの温度分布が赤外線表面温度計でブラウン管に写し出された時，改めて後気筒の厳しさを痛感しました。他社が水冷に逃げるのも無理からぬことでした。



ベンチレーテッド・ディスクブレーキ

図22－2

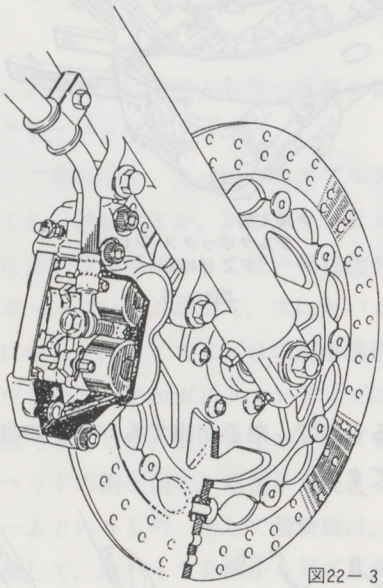


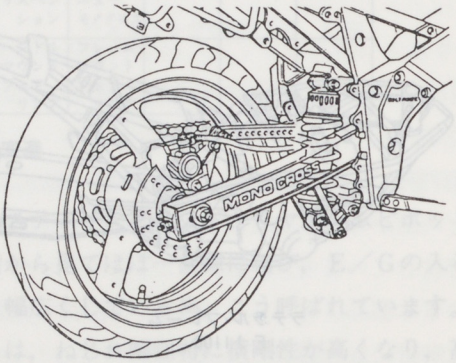
図22－3

4ポットキャリパ＋フローティングディスク

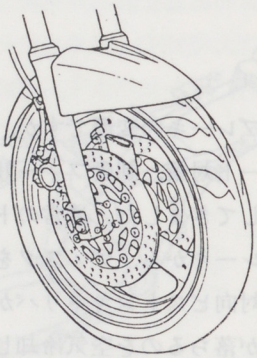
図22　ブレーキの変遷

ホイールは，バネ下荷重と慣性マスの軽減及び，外観商品性から変ってきました。スポークから，チューブレスタイヤを使う為にもキャストホイールに変わり，現在ではそのスポークの部分を中空にして軽量化を図った中空スポークホイールが採用されています。

タイヤは，操縦性，トラクション（接地性），耐摩耗性から変ってきました。一般的なバイアスの18インチのものから，小径16インチタイヤがスポーツ車にあらわれ，フロントは操舵方向及び回転方向の慣性マスが減少し，操縦性の向上に寄与しました。そして現在では，60％偏平ラジアルタイヤが使われはじめました。



60％偏平ラジアルタイヤ



中空スポークホイール

図23　最近のホイールとタイヤ

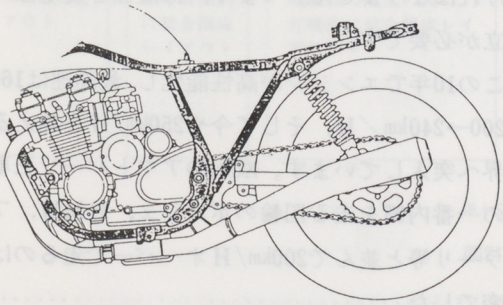
開発裏話　ＦＪ1100

大晦日，最後のベンチ耐久。朝早く，プロジェクトリーダーが無事終了を祈りつつベンチへ行くと，そこには人影すでになく，ただ，切れたカムチェーンがとぐろを巻いておいてありました。結局，全員正月出勤で対策とあいなりました。

フロント・サスペンションは，主に悪路の乗りごこち改良，トラクションの改善，コーナリング特性の改良により進歩してきました。一般的なテレスコピック式から，スプリングと空気を併用して，可変のバネ定数を得るエアサスが出ましたが，これは最伸時は荷重を低くし，バネ定数を小さくしてやわらかく乗り心地をよくし，最圧時は荷重を高くして，フルストロークでリジットにさせない，即ちコントロール不能を避けているものです。

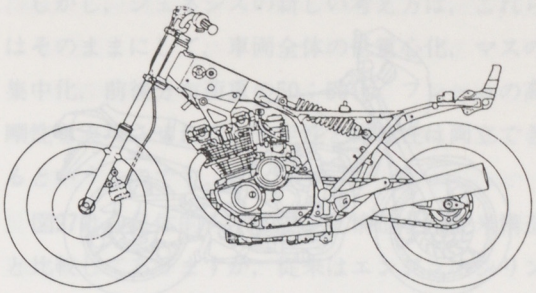
又，アンチノーズダイブといいまして，ブレーキをかけた時のフロントの沈み込みを小さくし，ライダーの姿勢変化を小さくする機構もあります。これには，油圧式と電気式が使われています。

一方，リヤ・サスペンションは，2本のサスがタイヤの両側にあるコンベンショナルサスから，次にタンクとシートの間の下あたりに一本にまとめたモノクロスサスが出てきましたが，これは，左右のバラツキが減った点とストロークが大きく取れた効果がありました。そして，現在では，リンク式ニューモノクロスサスと言いまして，やはり一本のサスを後輪の前，リヤアームピボットの後におき，リンクを使ってレバー比をかえ，可変のバネ定数とダンピングを得ているものです。



コンベンショナル
サスペンション
ＸＪ400

図24－1



モノクロス
サスペンション
ＸＳ400

図24－2

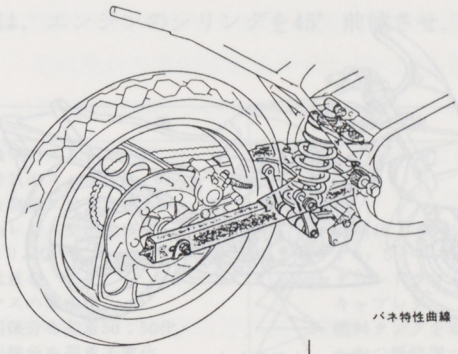
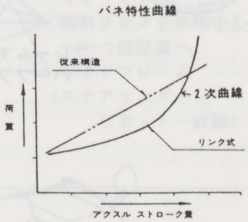


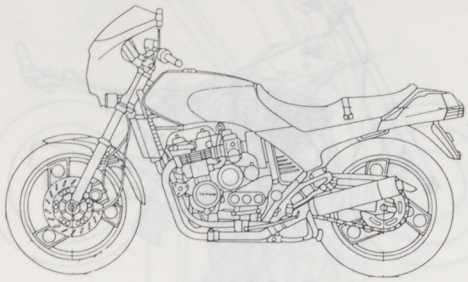
図24－3



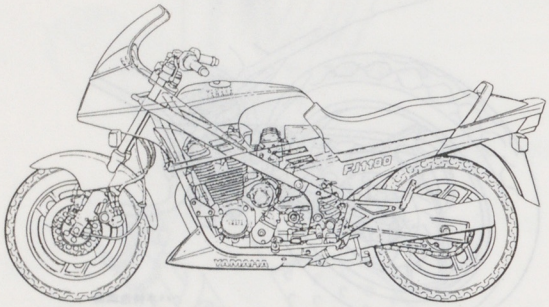
リンク式
ニューモノクロス・サスペンション
ＦＺＲ400

図24　リヤ・サスペンションの変遷

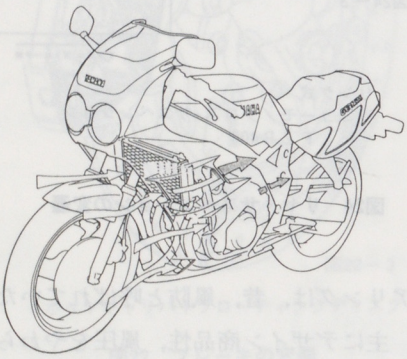
フェアリングは，昔，風防と呼ばれていたものですが，主にデザイン商品性，風圧をやわらげライダーの疲労を減らす，CdA値を小さくして最高速をあげるといった目的で変化してきました。最初はハンドルにマウントする小さいフェアリングでしたが，年々大型化が進み，今では，ほとんどのスーパースポーツ車は，フェアリングをフレームに固定するものにかわり，かつ大型化しました。さらに最近はスタイリング上からも，前部分全体をおおうフルフェアリングにかわり，ついにエンジンが見えなくなってきております。



ハンドルマウント
ハーフフェアリング



フレームマウント
ハーフフェアリング



フルフェアリング

図25　フェアリングの変遷

7．ジェネシス

ここで，ヤマハの最新の設計思想ジェネシスに，ついて御紹介します。

ジェネシスとは，起源とか創世紀という意味で，1990年代に通用する二輪車を追求した先進技術の第1歩，即ち「新世代ヤマハがはじまるんだ」ということで名づけられたものです。

それは，モーターサイクルに求められる「高性能」というものをもう一度見つめ直し，それを従来のものとは異次元とも呼ぶべき高みへと導くために生まれた，マシンづくりのコンセプト。即ち，ライダーに走ることの喜びを最大値で与えられる高性能マシンを生み出す，先進技術の思想です。

ここで言う高性能マシンとは，単に高性能なエンジンとか，あるいは高剛性のフレーム，強力なブレーキ，一流のサスペンションを持つマシンを言うのではなく，誰もが「自由に操れる」マシンを言うのです。

では，自由に操れるとは，どういうことかと言うと，①ライダーの意志通りに動かす，即ち，思い通りに左右に曲がることができる。②直線を安定して宜つ安心して走れる，即ち，外乱に対してもすばやく収束し，立ち直ることができるものでなければなりません。つまり，操縦性と安定性の両立が必要です。

この10年でエンジンが高性能化し，最高速は160→200→240km／H，そして今や250km/Hを越える世界へ突入しています。欧州のアウトバーン三車線の一番内側を走る四輪のポルシェ，BMW，フェラーリ等と並んで200km/Hオーバーで走るのは大変でした。

開発裏話　RZV500

マフラーが温度膨張で10mm近くも伸びることがわかった。このため，プロテクタは溶接ではもたず，苦肉の策でしばってしまいました。この4本マフラーは，金型の種類で200以上もあるという複雑怪奇なものです。

10年前は，操安性といえば，安定性よりも操縦性の意味合いが強かったのですが，今では安定性が不可欠であり，宜つ操縦性も要求される時代になってきました。

この操縦性と安定性を両立させる為にとった，ジェネシスのレイアウト並びにその成果を**図26**に示しました。

昔から操縦性には，狭いキャスター，小さいトレール，フロント小径タイヤ，短かいホイールベースが有効とされてきたが，これらは安定性と相矛盾する項目でもあり，悩みの種でした。

しかし，ジェネシスの新しい考え方は，これらはそのままにして，車両全体の低重心化，マスの集中化，前後分布荷重の50：50化，フレームの高剛性を実現させれば，安定性と操縦性は両立できるというものです。

図27は，具体的レイアウトと構造を，従来構造と比較してありますが，従来はエンジンのシリンダ傾きが10°前後で，その後ろにキャブレタ，更にその後ろにエアクリーナを置き，燃料タンクはエンジンの上方に位置していました。今回のものは，エンジンのシリンダを45°前傾させ，その真

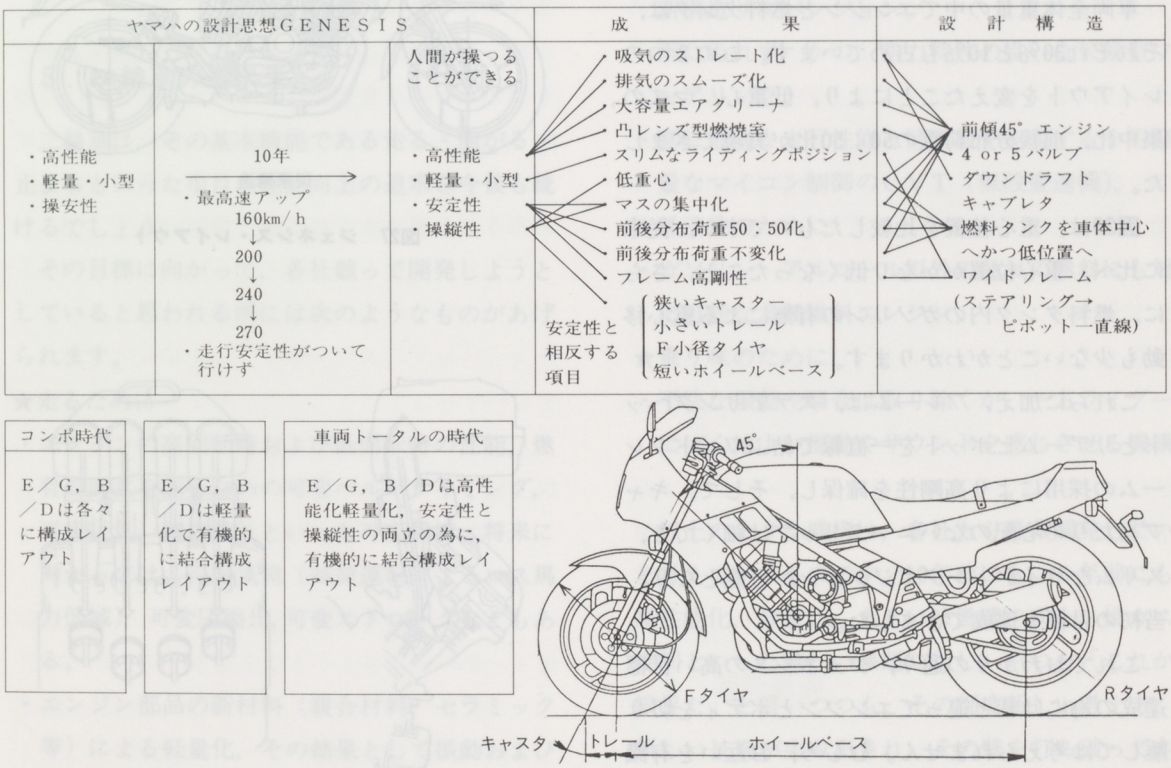


図21　ジェネシス思想

開発裏話　FZ250

4気筒250ccは，それまで何度もトライを続け，4年間くすぶっていたものが，レイアウター4人目でやっと開花しました。真似して出すのは簡単でも，新しいものを出すのは難かしいものなのです。

開発裏話　FZ750

今ではすっかり定着した〝ジェネシス〟であるが，最初は定義がよくわからず，皆とまどいを感じていた。最近ではスクターのジェネシス，単気筒のジェネシス等の言葉も使われはじめた。

上にキャブレタとエアクリーナ，その後ろに燃料タンクを低位置に配置しました。

この結果，今まで並列4気筒の泣き所であったキャブレタ，エアクリーナとライダーのニーグリップの干渉問題が解消され，エアクリーナからキャブレタ，そしてシリンダヘッドまで，横から見ても前から見ても正に真っ直ぐな吸気ポートが実現でき吸気通路低抗を小さくできました。(**図28**)

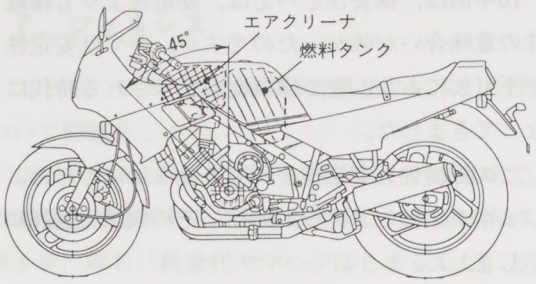
又，エアクリーナも20%以上の容量アップが可能になり，さらにエンジンやラジエタからの熱風に影響を受けない冷気を吸うことにより，充てん効率も上がりました。

車両全体重量の中でエンジンと燃料タンクは，それぞれ30%と10%も占めています。この2つのレイアウトを変えたことにより，低重心，マスの集中化，前後分布荷重の50：50化が実現できました。

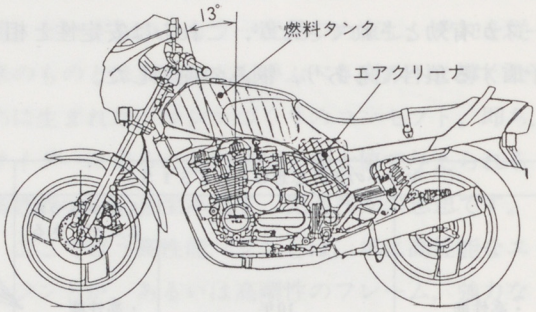
図29は，重心位置を比較したものですが，従来に比べ，重心位置がかなり低くなったこと，さらに，燃料タンク内のガソリンの有無による重心移動も少ないことがわかります。

これらに加え，フレームは，ステアリングヘッドとリアームピボットを一直線で結ぶワイドフレームの採用により高剛性を確保し，そして，キャブ当たりの心配のないニーグリップは細くでき，スリムなライディングポジションが可能となり，当初の目標を達成できました。

これでおわかりの通り，ジェネシスの高い目標達成の為には昔と違ってエンジンとボディを切り離しては考えられません。むしろ，お互いを有機的に結合して，車両トータルとしてどうあるべきかを模索する時代に入ってきているのです。



GENESIS



従来構造

図27　ジェネシス・レイアウト

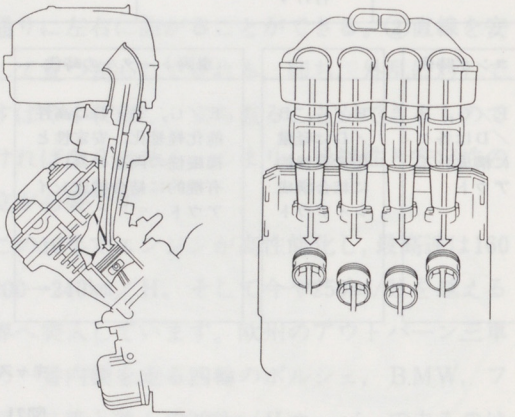


図28　ストレート・インテーク・ポート

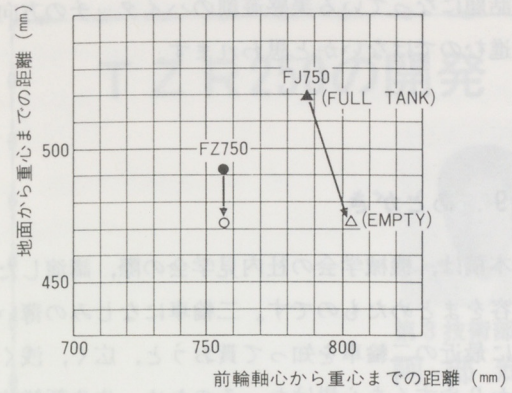


図29　重心位置比較

8．二輪車の近未来

二輪車は，その基本機能である走る・曲がる・止まるといった項目の性能向上の追求を今後も続けるでしょう。

その目標に向かって，各社競って開発しようとしていると思われる例には次のようなものがあげられます。

★走るために

・エンジンの高回転時および低回転時の性能，燃費の両立を図るための可変バルブタイミング，可変吸気，可変排気といった可変機構。将来に向かっては，可変気筒（減筒運転によるロス馬力低減），可変圧縮比，可変ストロークなどもある。

・エンジン部品の新材料（複合材料，セラミック等）による軽量化，その結果として振動およびロス馬力の低減と高回転化を得る。

・エレクトロニクス，あるいは油圧制御の動弁機構

・エレクトロニクス制御エンジン，いうならば，人工頭脳を持ったエンジン

・２ＷＤ

★曲がるために

新材料（カーボンファイバ）によるモノコック

・フレームをはじめとする車体部品の高性能化と軽量化

・二輪操舵システム

★止まるために

・悪条件の天候や路面においても，よりスムースに止まることのできるアンチロックブレーキ。

★安全性のために

・外乱にあっても車体が振られたりしないよう，速度等により変化する可変ステアリングダンパ。

★快適性のために

・路面状況や荷物の重量，速度の変化に伴なって，常に優れた操縦安定性や良い乗心地を提供する新構造サスペンション。

・雨にぬれず，かつ，空力特性の良い全天候型フェアリング。

・常に最適な走行性能と低燃費を実現する小形軽量なマイコン制御のＣＶＴ（無段変速機）。

★経済性のために

・ガソリン，アルコール以外の種々の燃料にも対応可能な多種燃料エンジン。

★乗り味のために

・不快な振動や騒音は取り除くが，一方ライダーには心地よい振動やサウンドを感じさせる機構。

以上のような機構は，各社とも是非開発したいと考えているものです。10年前にも，５年前にも，高性能化，軽量化，あるいは燃費の向上，排ガス規制といった難しい課題に対し，いつも「これが限界だ」と言いつつも，その都度新しい考え方，新しい技術が生み出され，その壁を打ち破ってきました。

こうして，250km/Ｈ以上も出る二輪車の技術を確立してきたわけですが，日本はもともと東名高速でさえ80km／Ｈ制限，アメリカも55マイル／Ｈ（88km／Ｈ）制限があり，ヨーロッパでも最近はアウトバーンに制限速度を設けつつあります。

又，安全上からもドイツに続いてフランスも，100ＰＳ規制の法規を設けるに至り，これ以上の超

高性能化が規制される方向にあります。又，高性能化は大幅なコスト上昇を招いて価格が上昇し，最近の円高と保険料のアップもあって，ユーザーが大型車を買えないというところ迄来てしまったのも事実です。

従って，これからも技術革新は無限に続くでしょうが，過去の経験から言って，社会的に，そしてユーザーに認められないものは残りません。本当にコストパフォーマンスにすぐれた原理原則に沿った技術が増々必要になるでしょう。

今後の方向性としては，一方では国内市場に代表される超スーパースポーツの世界と，他方，もっと気楽に乗れて，しかも安いバイクの世界との二極化が一層進むものと思われます。ＳＲＸやＳＲに見られるように，テイストの世界もより深く，より広がりを見せていくでしょう。又，生活の余裕，遊びの増大からもニーズは多様化し，ハードないわゆる軽薄短小のハイテクよりもむしろ，最近話題になっている美感遊創のハイタッチの方向へ進むのではないかと思われます。

９．あとがき

本稿は，機械学会の社内見学会の際，講演した内容をまとめたものです。二輪車になじみの薄い人に最近の二輪車を知って貰おうと，広く，浅く，わかりやすくを心掛けた。そのため，やや新鮮味に欠けるかも知れないが，Ｍ／Ｃ部門以外の人にＭ／Ｃを知って貰うという意味で多少とも読者の方々の参考になれば幸いです。

尚，開発裏話については，神聖なる技術会誌に不謹慎とお叱りを受けるかも知れませんが，こういうこともあったということで，独断と偏見を交えて多少誇張して書いてあります。内容に御意見あろうかと思いますが，御了承願います。

ＴＺＲ250の開発

第３技術部　阿部輝夫
第１技術部　北田三男
第１技術部　高田正隆

１．まえがき

国内の軽二輪車クラスは，50ccのスクーターを除いたモーターサイクルでは最量販のクラスです。これは多分に250ccを越える車両の車検制度と，加速度的に高額となる自賠責などの保検制度に加えて，実用上250ccで充分な性能を有するというコストパフォーマンスの高さだろうと思われます。

その為，このクラスには他に比べてデュアルパーパス，アメリカン，トライアル，スーパースポーツ，フラットトラッカー，そしてレーサーレプリカといった種類の豊富さがみられます。つまりこのクラスにはモーターサイクルの殆んど全てのカテゴリーが有るといっても良いくらいです。

その中でも２サイクルのレーサーレプリカと呼ばれるカテゴリーは，近年４サイクル・スーパースポーツと１，２位を争そう大きなマーケットを形成しています。

ところで現在のレーサーレプリカブームのキッカケは当社の初代ＲＺが作りだしたといっても過言ではありません。外観的には従来のモデルと大差はありませんが，それでもエンジンが水冷方式になり，当時ではあまり見なれないラジエターがついたりシリンダーが大変コンパクトになったりしていました。そしてその最も大きな特徴は，高出力なエンジン性能でありさらに139kgの軽量な車重と相俟った強烈な加速でした。これは多くのユーザーに少なからぬショックを与え魅了した筈です。

その後，他社より相次いでＲＧ250ガンマ，ＫＲ250，ＭＶＸ250，そしてＮＳ250と２サイクルのいわゆるレーサーレプリカが発売されました。勿論ＲＺも250Ｒにモデルチェンジし，さらにＲＲへと変更されました。しかしレーサーレプリカとして外観的にも，装備面でも過激なまでに作り込まれる他車に対して，性能・機能を重視した？ＲＺはこのカテゴリーでは，やや控えめであったと思われます。

過熱する市場に対して，２サイクルの老舗を自負するヤマハにとってＲＺ250ＲＲの販売低下は危機感をよびました。このような環境の中で劣勢を挽回するべく企画されたのがＴＺＲ250でした。

２．開発概要

初代ＲＺが開発した２サイクル・レーシー路線をさらに追求して，さすが老舗といわれる，他車と一線を画した「徹底さ」のある車を作り上げることでした。

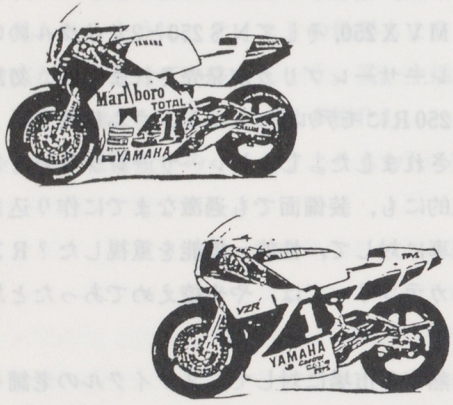
その第一として従来の250／350cc共用の設計であったエンジンその他を，国内向けの250cc専用設計として高出力のポテンシャルを増すと共に，第２の出力といわれる重量面でも同カテゴリーで最軽量を狙いました。

次に物作りの面で基本に忠実であり，外観のみにとらわれず機能優先を重視した考えが形になって見えること。

第三に会社発足以来培かってきた2サイクルレーサーのノウハウが集積され，フィードバックされていることを充分にアピールする為，最新のレーサー技術を取り入れることでした。

モデルコンセプト

「YZRの血統」
基本的な確かさが感じられ
機能が形になったレイアウト
徹底した軽量化、剛性ＵＰ、空力特性
高性能コンポーネント



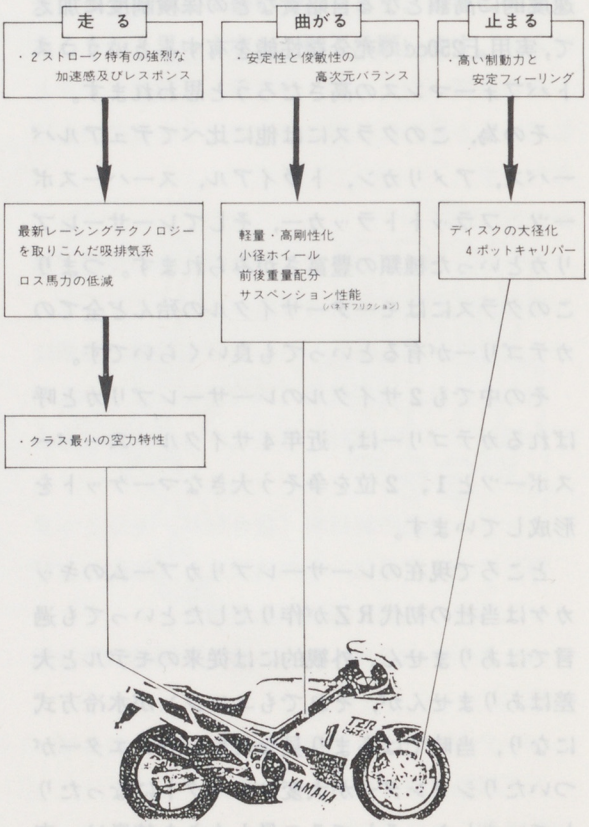
開発の狙いとしてはモーターサイクル本来の「走るオモシロサ」をユーザーに味わって頂くために基本機能である「走る，曲がる，止まる」を追求して，夫々の項目で高い次元の作り込みを行ないました。

「走る」では，クラス最高の動力性能を目指しましたがユーザーの立場にたって実用域での性能を重視して，最高速よりも強烈な加速感を得ることを目標としました。勿論レーサーレプリカである以上，最高速も他車にひけをとらないように空力特性でもこのクラスで最小値を狙いました。「曲がる」については，操縦性（俊敏性）と安定性の相反する要素を高次元でバランスさせるように，軽量・高剛性化，前後重量配分に留意し，17インチホイールの採用と，バネ下重量の軽減や各部フリクション低減によるサスペンションの性能向上を図りました。

そして「止まる」では，高い制動力は勿論，どのような状態でも安定したフィーリングを得るべく大径のフローティングディスクや対向式の4ポットキャリパーを採用しました。

TZR250設計の狙い

速く！走る，曲がる，止まる



3．エンジン関係主要諸元

エンジンの主要諸元を以下に示す。

生産型式	ＩＫＴ
エンジン形式	２サイクル水冷並列２気筒 クランク室リードバルブ
マウント方式	オーソゴナルマウント方式
総排気量	249㎤
Ｂ×Ｓ	56.4×50㎜
圧縮比	5.9：1
最高出力	45PS／9500rpm
最大トルク	3.5kg-m／9000rpm
オートルーブポンプ	ＹＰＶＳ駆動用サーボモーター連動式
キャブレター	三国　ＴＭ28ＳＳ
エアクリーナ	湿式ウレタンフォーム
始動方式	キックスターター
点火方式	ＣＤＩマグネトウ点火
スパークプラグ	ＮＧＫ　ＢＲ９ＥＳ

クラッチ形式	湿式多板，ラック＆ピニオン		
１次減速比	ギャ	56／22	2.545
ミッションギャ	１速	32／13	2.461
	２速	28／16	1.750
	３速	25／19	1.315
	４速	26／24	1.083
	５速	25／26	0.961
	６速	23／27	0.851
２次減速比	チェーン	41／14	2.928
ミッション潤滑	強制潤滑方式		
	オイル量	1000cc	

エンジン設計開発の狙い

(1)最軽量
(2)コンパクト
(3)高性能
(4)高品質　低騒音，オイル消費削減
　　信頼性，整備性向上

4．エンジン関係各部の概要

4－1　原動機廻り

原動機廻り（シリンダ，ヘッド，ピストン，クランク等）は，性能開発の効率向上，既在設備の流用，及び新規設備の投資削減もあり，先に開発されたＲＺＶ500の下気筒エンジン（クランク室リードバルブ）をベースにレイアウトを行なってきた。従って，性能プリテストも充分された上で，仕様決めが実施できた事に依り，ヘッド，シリンダ等は，変更箇所も少なく，スムーズに生産仕様を決定する事ができた。

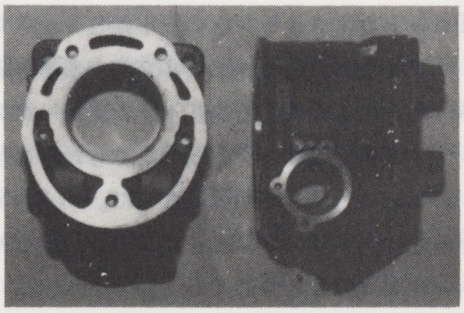
4－1－1　ヘッド，シリンダ廻り

ヘッド，シリンダは先に述べた様に，ＲＺＶ500（以下47Ｘ）の下気筒をベースに設計をスタートした。

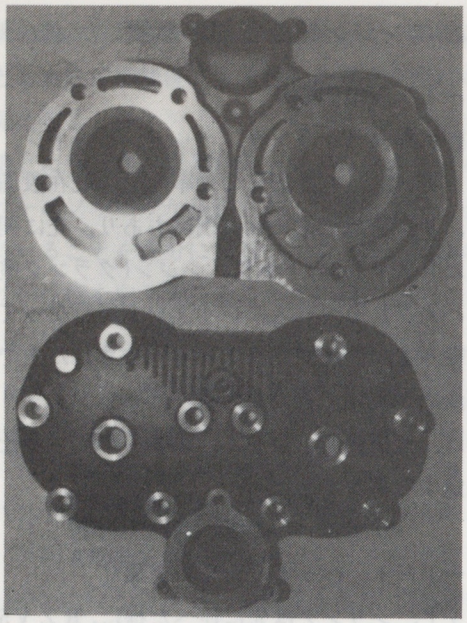
ヘッドシリンダは，中央後部にサーモスタット取付けボスを追加し，プラグはロングリーチタイプ（Ｅタイプ）仕様となるので，プラグ座高さが変更となった。（47Ｘは全高を押える為，ショートリーチタイプ（Ｈタイプ）である。）

ボディシリンダは，排気廻りの冷却性を考慮して，クランクケースのシリンダ合面部より排気下に水を入れ，ヘッドシリンダの後部からサーモスタットを通り，ラジエターへ循環させる理想的な水通路とした。

性能面では，排気，及び掃気の各ポート形状は47Ｘを踏襲した。ＹＰＶＳ部は，左右連結部は47Ｘを，左側のワイヤ取り出し部は，ＲＺ250Ｒ（以下ＲＺ）の部品を流用し，バルブ本体のみ新作とした。



ボディシリンダ



ヘッドシリンダ

写真1

4－1－2　クランク，ピストン廻り

47Xとボアストローク，及び左右シリンダ間のピッチを同じ設定にして，47Xの加工設備，及び部品の共用化を計った。

クランク廻りは，47Xより下記諸元について変更を加えた。

(1)クランクウェブのバランス仕様

47Xは，バランサーに依る振動対策であるが，今回のモデルは，RZと同様のオーソゴナルエンジンマウントに依る，振動軽減対策をとっている為，理論上のバランスが異なる。

(2)ロッドコネクティングの大小端ピッチ

47Xより大型リードバルブが装着できるスペースを確保する為，クランクケースのシリンダ合面高さを，5㎜高くした事に依り，コンロッドも5㎜長くなった。

その他，ベアリング，オイルシール，ラビリンスシール等は47Xと共通である。

次にピストンであるが，他の部品と同様，47Xベースに，若干の軽量化，ピンボス廻りの剛性及び潤滑を考慮し，一部形状変更を加え，ベンチ耐久等各種耐久テストを実施し，ピストン，クランク廻りを中心に，その耐久性について評価を行なった。結果としては，47Xで耐久性については実証済みではあったが，若干性能が上っている事で，熱的条件が厳しくなっている為か，開発初期段階では，若干のトラブルが発生したが，最終的には，開発の狙いに述べた様に，250ccクラス最大の性能を維持した上で，信頼性の高いエンジンを生み出す事ができた。

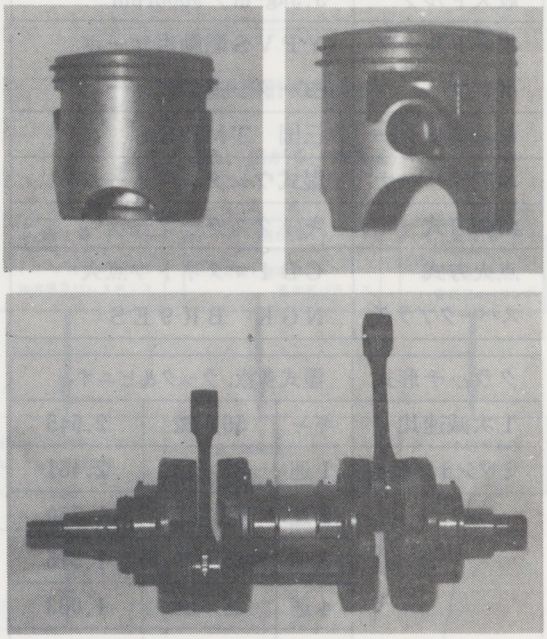
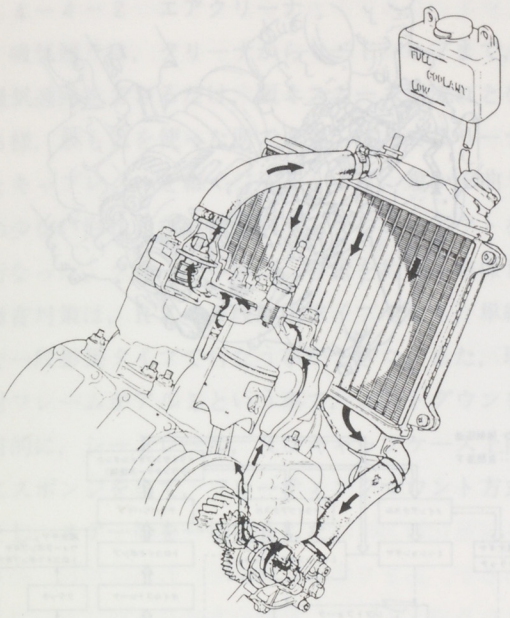
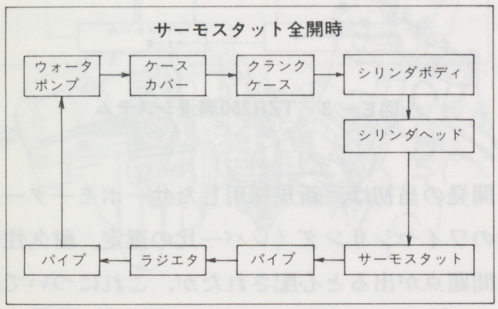


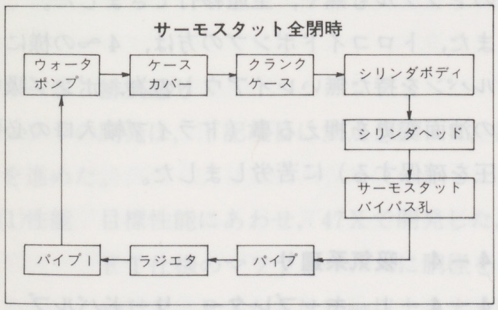
写真2（上：ピストン　左：クランク）

4－2　水冷廻り

水廻りは，ウォータポンプよりクランクケース前側の合面下を通り，シリンダの排気側合面部より水を入れ，順次上へ循環し，ヘッド後部のサーモスタットを通り，ラジエターに戻す方式とした。これに依り，シリンダの熱変形を最少限にとどめ，ケースリードに伴なう吸気ポート廃止もあって，耐焼付性の向上を計る事ができた。







図E－1　TZR250冷却システム

ウォーターポンプのインペラーはＹＺ125と共用とし，クランクからの減速比もＲＺと同じとし，新作部品点数の削減を計った。

ラジエターは，目標性能を考慮し，350ccも共通使用しているＲＺと同じコアサイズとし，コストダウンを計る為，従来のコンダクションタイプをやめ，注入キャップはタンク直付（図E－1参照）とした。また，樹脂製のラジエターカバーを廃止し，コア部保護の目的で，エキスパンドメタルを使ったプロテクターとした。

ホース類の取り廻しであるが，図E－1の通り，非常に簡素になり，締付けバンドも1種類のみで整備性の良いものとたっている。

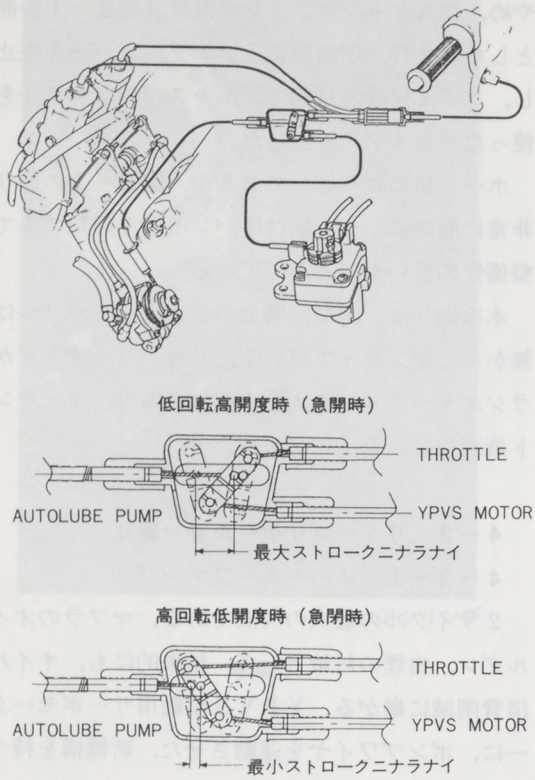
水冷廻りは，開発段階での目立ったトラブルは無かったが，レイアウト上，リカバリータンクがラジエターキャップより上部にある為，クーラント液交換時，若干難がある。

4－3　リューブリケーション廻り

4－3－1　オートルーブポンプ

2サイクルの最大の欠点である，マフラのオイルダレ，白煙の対策として，結果的にも，オイル消費削減に継がる，ＹＰＶＳ駆動用サーボモーターに，ポンプワイヤを連動させた，新機構を持つワイヤシリンダを開発しました。（当時，開発スタッフの間では，通称「ＹＯＬＳ」―YAMAHA・OIL・LINK・SYSTEM―と呼んでいました。）

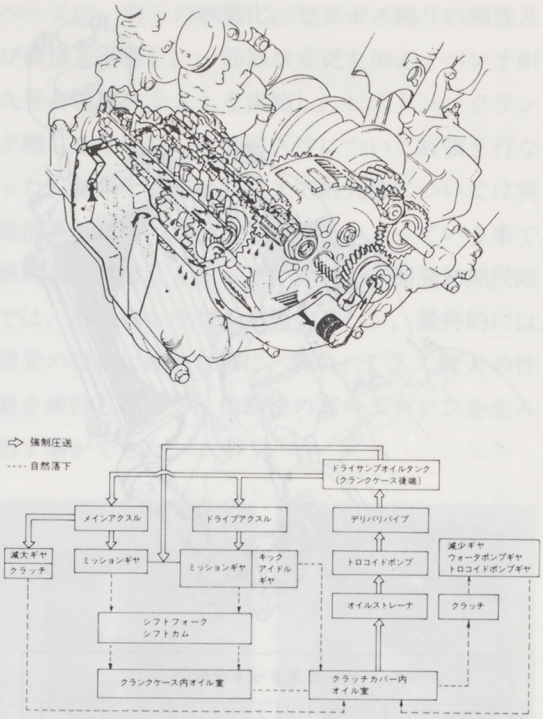
これに依れば，オイルポンプのストロークが，スロットル開度とエンジン回転数の両方で制御できるので，ＹＰＶＳの作動する高回転域にあわせ吐出量を設定しても，低回転域では，薄くできるので，従来の様に，過剰なオイルを送ってしまう事は解消されました。また，以上の定常域のみだけで無く，スロットルワークの急開閉時にも威力を発揮します。つまり，スロットルを急開した場合には，回転数が上昇して，はじめてオイル吐出量が増えるので，無駄なオイルが出ません。逆に高回転域から急閉した場合にも，回転数が落ちるまでは，適度なオイルが吐出されます。最終段階での，オイル消費測定では，2500～3000km／ℓと従来の2.5～3倍の経済性を達成できました。



図Ｅ－２　TZR250Y.P.V.S連動型
オートルーブポンプ

４－３－２　ミッション潤滑(ドライサンプ)

ＴＺＲ250では，最高速が高くなるにつれ，高速走行の機会が増える事が予想される為，ミッションオイルの攪拌に伴なうロス馬力低減を目的に，トロコイドポンプでの強制潤滑を採用しました。あわせて，オイル量もＲＺ－Ｒの1500ccに対し，1000ccと30％以上も減しました。また，オイルは劣化を防ぐ為，ミッション室後部のスペースを有効利用して，ドライサンプオイルタンク室（容量は約300cc）を設け，一度ここにオイルを溜め，ケース合面のオイル溝を通り，ドライブ軸，メイン軸のセンター孔より各ギヤに圧送する構造になっています。因みに，ドライサンプに依るロス馬力の低減は，トロコイドポンプ駆動の損失を考慮して，約0.8PS／10,000rpmです。



図Ｅ－３　TZR250潤滑システム

開発の当初は，新規採用したサーボモーター連動のワイヤシリンダ（レバー比の選定，耐久性等）に問題点が出ると心配されたが，これについては何のトラブルも無く，生産移行できました。

また，トロコイドポンプの方は，４～の様にオイルパンを持た無いレイアウトの為，ポンプ吸い口の油面変更を押える事（ドライブ軸入口の必要油圧を確保する）に苦労しました。

４－４　吸気系廻り

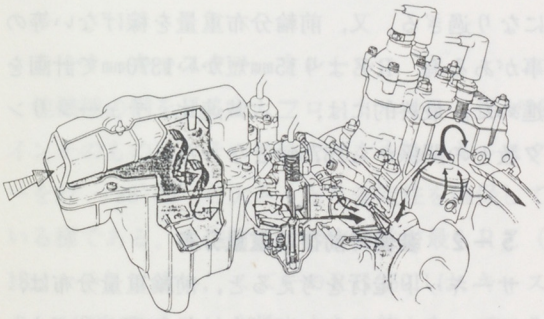
４－４－１　キャブレター，リードバルブ

キャブレターは，軽量化とレスポンス性能向上を狙い，三国工業ＫＫ製のアルミ製ＴＭ28ＳＳキャブ（フラットバルブ仕様で，メインボアが15°傾いたスラントキャブ）をベースに，ＴＺＲのレイアウトに併せ，若干の形状変更を加え，新作とした。

リードバルブは，ＴＺ250と同じサイズの６枚樹脂製リードバルブを採用した。

4－4－2　エアクリーナ

吸気廻りは，クリーナからリードバルブまで，吸気通路をできるだけ，短くスムーズな流れとなる様，最も気を使った所である。従ってクリーナとキャブレターを継ぐジョイントは，短かく曲りの少ない形状となる様，クリーナのレイアウトを行なった。クリーナ本体は，容量を約4ℓ確保し，騒音対策は，ＲＺの２段膨張タイプでなく，単純な一段膨張タイプで行なう事ができた。また，取付フレームがアルミという事で，コストダウンを目的に，シートレール，及びキャップケース上面にスポンジを当て，フローティングマウント方式とし，ステー等を一切廃止した。



図Ｅ－４　TZR250クランク室リードバルブ

4－5　排気廻り

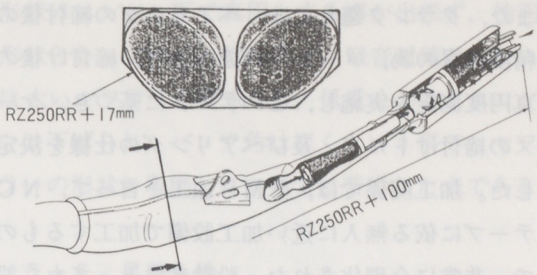
マフラの開発は，下記項目に焦点を絞って，設計を進めた。

(1)性能　目標性能にあわせ，47Ｘで開発した，Ｆ１仕様のマフラをベースに胴径を５㎜ＵＰ，ＲＺからは15㎜以上と太くし，トルクＵＰを狙った。

(2)騒音対策　国内２次規制をパスする事。

(3)耐久性　オーソゴナルマウントの影響を押え耐久性を確保する。

(4)外観　チューニングキットパーツ等で流行のチャンバー＋サイレンサとする。



図Ｅ－５　TZR250燃焼・排気システム

マフラの通し，及び断面形状であるが，これが図面を完成させる上で最も時間を費した部分である。車両コンセプトから考えて，当然コーナリング性能がＵＰする事から，従来以上の動的バンク角が要求される。この高いバンク角を確保しつつ，太くなった胴部をフレーム各部のスキマを保ちながら通しを決定していく。これら全てを満足させる為には，従来の設計手法では，不可能に近く，ＴＺＲでは，ＣＡＤＡＭ，三次元ＣＡＤシステムをフルに活用し，３次元での検討を充分に行ない，はじめてできた事である。エンジン，車体を含め，当プロジェクトは，計画～検討～設計まで，ＣＡＤＡＭを活用したわけであるが，その中でも，，マフラの設計は，以上の理由より，特に活用したセクションである。

次にマフラの強度，振動関係は，専任グループ，研究部門に，静強度解析，及びオーソゴナルマウントの共振点の振動解析について，絶大なるサポートを頂き，改めて，感謝する次第である。

4－6　クランクケース廻り

クランクケースは，エンジン全体のコンパクト化を示す部品であるが，ＲＺに対し約 300grの重量軽減が達成できた。

クランク廻りは，実績の有る47Ｘのクランクケースを参考に計画を進め，ミッション室廻り他は，現行のＲＺケースをベースに軽量化を計った。上下ケースの締付けは，ラインでの作業性，市場での整備性を考慮し，全てフランジボルトとした。

また，クランク廻りでは，ベアリングの締付後の精度確保の為，メーカーの協力も得，締付け後の真円度測定を実施し，このデータに基づき，ケースの締付けトルク，及びベアリングの仕様を決定した。加工関係では，ＦＭＳ加工と言って，ＮＣテープに依る無人に近い加工設備で加工するもので，非常に合理化された，設計者にとっても，設変に対し対応のきく(？)，ありがたい加工方法である。

4－7　駆動系

4－7－1　キックスタータ

軽量化，コンパクト化を最優先に，ＤＴ125Ｌ／Ｃのアセンブリをベースに設計した。キック関係は，始動性，耐久性とも一切問題は無く，ほとんど手のかからないセクションであった。但し，当時の事情に依り，キッククランクをＲＺの部品を共用としたが，この部品のみは，外観上，どうにも似つかわしくなく，本来なら，もっと短かいコンパクトなキックを新設する所であった。

4－7－2　クラッチ

これも，軽量化を狙い設計をスタートした。250cc専用設計という事で，現行のＲＺより一回りコンパクトなクラッチとし，操作性も考慮し，スプリングのセット荷重低減を計った。

操作方式は，作動の確実なラック＆ピニオン方式とし，ドライサンプと相まって，クラッチ切れの良い，操作性の高いクラッチに仕上った。

4－7－3　ミッション

最軽量ミッションとすべく，軸間距離を，ベアリング，締付けネジサイズを考慮に入れて，上下割りケースで可能な最小のピッチを設定した。

各遊動ギャ，及び摺動ギャは全て，軸オイル孔よりの強制潤滑方式をとっている。

ミッションレシオは，現行のＲＺと同様なクロスレシオミッションである。

2－7－4　シフター

シフトフォーク支持のガイドバーを一本方式とし，その分シフトカムを，クランク室壁側に沿わせ，コンパクト化を計った。また，チェンジフィーリング向上の為，シフトカム左側軸受にもベアリングを採用した。

5．車体関係主要諸元

主要諸元の決定は，現行のＲＺを基本に，最近の市販車，レーサーの動向を踏まえ，以下の様に行なった。(図Ｂ－１参照)(表Ｂ－１参照)

5－1　ホイールベース

軽量化の為には，可能な限り短かくしたい所であるが，あまり短かくすると，外乱に対し，敏感になり過ぎる。又，前輪分布重量を稼げない等の事がある為，ＲＺより15㎜短かい1370㎜で計画を進めた。最終的には，二次減速比　チェーンリンク数との関係から1375㎜となった。

5－2　装備時前後輪重量分布

サーキット走行を考えると，前輪重量分布は，市販レーサーＴＺ250の50％＋αは無理としても，出来る丈50％に近付ける事が，操安性上好ましい。ＲＺに比べ，フロントブレーキがダブルからシングルに，又ホイールベースが短かくなる等，前輪重量分布増加に対しては不利な要素が多い為，エンジンを極力前方へ搭載した。前車軸からクランク軸迄の寸法は，ＲＺより約25㎜短かくなっている。その他の部品レイアウトにも注意した結果，装備状態での前輪重量分は，目標通りの50％とする事ができた。

5－3　ホイール及びタイヤサイズ

フロントホイール径は，ＲＺ以外の２～250ccレーシーモデルは，全て16インチであったが，ＴＺＲの操安性の狙いに対してはフロント廻りが軽くなり過ぎると思われた。

一方ＲＺの18インチは，安定性に優れるものの，

こちらは軽快感が今一つという所であり，当時ＹＺＲ500で採用され，丁度良い特性を持つと言われた17インチを採用する事にした。

リヤホイール径は，ＲＺよりタイヤの幅は拡くしたいが，タイヤ外径はシート高，サイドカバー部容積等の点から，大きくしたくなかった為，これも17インチとした。

タイヤサイズについては，フロントが100/80－17，90／90－17，リヤが120／80－17，110／90－17の両方共成り立つ様にしておき，試作タイヤ実走評価にて決定する事とした。テスト初期の段階で，幅・高さ・プロフィルＲ等の関係から，サイズはフロント100／80－17，リヤ120／80－17に決定し，以後のタイヤ開発を進めた。

5－4　キャスター，トレール

他機種の例を見ると，フロントホイール径が16インチのものは，その特性を補なう為にキャスターを27°～28°45′と大きくとり安定性を確保している様である。直進附近での安定性が最もＲＺ（18インチ）に近い，スズキのＲＧ250Γは，キャスターが28°45′とやはり最も大きい値となっている。

又，トレールは，軽快感を出すか安定性を重視するかで，ホイール径とも合わせスポーツ車としては，95～100㎜程度の範囲内から選択するのが一般的である。

ＴＺＲは，諸元的には多少軽快感重視の設定とし，安定性はフレーム，リヤアーム，フロントフォークの剛性を上げて確保する事とし，キャスター26°　トレール96㎜とした。

5－5　バンク角

装備静止状態でのバンク角は，フートレスト部でＲＺと同じ51°であるが，実走行時により大きな意味を持つホイールストローク時のバンク角を稼ぐべく，マフラー，カウリング等はホイールストローク，バンク時の地上線に対しＲＺより10㎜以上内側に追い込んである。その為，マフラー断面形状はエンジン下で真円とする事が出来ず，楕円形状となっている。性能向上，騒音対策の面からは太いマフラーが要求され，低重心の為にエンジンは下げられ，バンク角は深くという事で，マフラーの形状・取廻しについては苦労した点である。

5－6　足着き性

ＲＺは，国内・欧州両仕向地があった為，国内向けとして見ると全体的に車両が大柄，足着き性が悪い，灯火器類のまとまりが今一つという結果になっていた。ＴＺＲは，国内専用として当初から目標を絞っていた為，シート高の設定もＲＺより30㎜低い760㎜とした。又　足着き性はシート高だけで決まるのではなく，シート，フレーム，サイドカバー部の幅も重要な要素であり，良いとされる他車の数値も参考にし，クレーモデルのチェックも充分行なった。その結果，165～170㎝の身長があれば両足のかかとがつき，もう少し背の低い女性でも両足べったりとはいかないものの，充分安心の出来る足着き性が得られた。

6．車体関係各部の概要

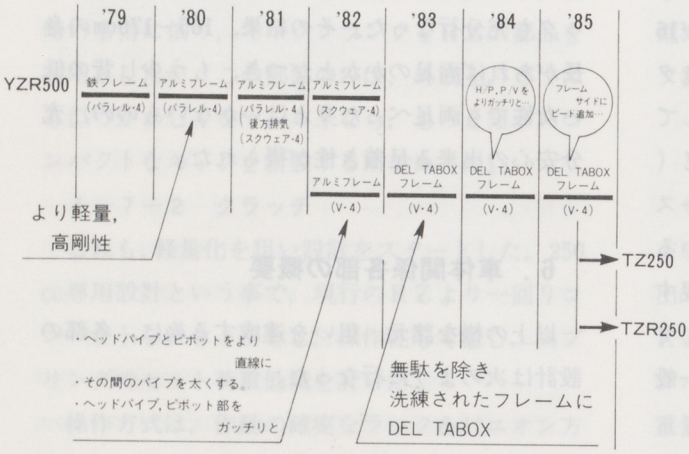
以上の様な諸元，狙いを達成する為に，各部の設計は次のように行なった。

6－1　フレーム

従来の枠組みの中で考えると，軽量化の為にアルミ材の使用が許されれば，後は殆んど自動的にアルミ押し出し管の溶接構造となるのが一般的であった。実際，当時の市販車はアルミ，鉄を問わず殆んどがこの構造であった。もちろん，パイプとパイプの接続部，ブラケットの取付け方には各車の個性があり，鍛造・鋳造といろいろ工夫を凝らしてあった。しかし，基本的にはパイプの溶接構造であり，ＴＺＲとしては，この枠を一歩飛び越えたいと思った。それは，今更他車に追随する様な物を作りたくないという事と，Ｆ－Ⅲレース

等でも通用する様な基本骨格を提供したいと考えたからである。

それでは，どんな構造にしたら良いかという事になる訳であるが，答はやはりレーサーの中から求める事になった。図B－2に示す様に，ヤマハのＹＺＲ500は，デルタボックスと呼ばれるフレーム構造を開発して来ており，大きな成果を上げていた。そこで，そのフレームを当時のモータースポーツ開発室から暫らくお借りし，毎日ながめては市販車として作るにはどうすれば良いか考えた。つまり，ＹＺＲ500のフレームは，レーサーでしか出来ない手作りを前提として設計されており，それとほぼ同じ機能を持ちながら如何に量産できる様にブレークダウンするかという事を考えた訳である。

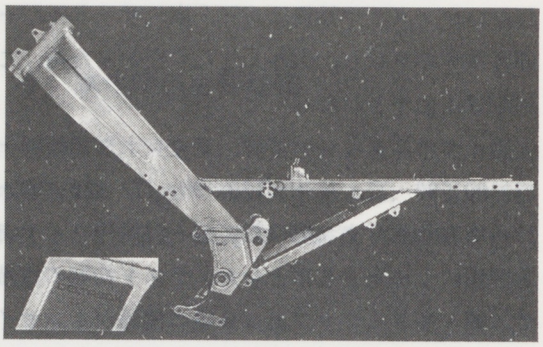


図B－2　DEL TABOXフレームのあゆみ

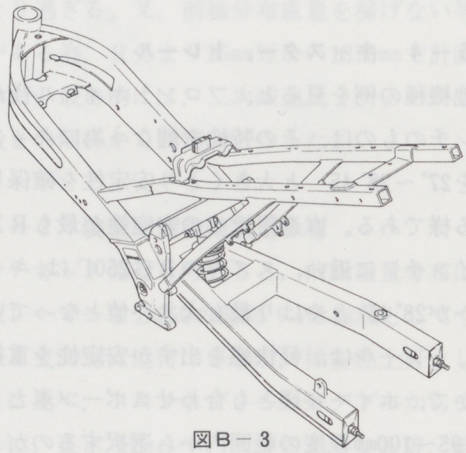
結局，フレームのヘッドパイプとピボット軸を結ぶ部分を太い閉断面構造としたもの（横から見ると，この部分が略三角形状に見える為，デルタボックスと呼ばれる）を，あらかじめ前工程で作っておき，それらをフレームのアセンブリラインで溶接・組立てる構成をとる事にした。

デルタボックス部の製造方法についても，バルジ成形，押し出し材，プレス成形等と，いろいろ考えられたが，形状の自由度も高く，剛性の調整もやり易い（板厚変更トライが容易），という事は最も軽く出来るプレス成形で作る事にした。

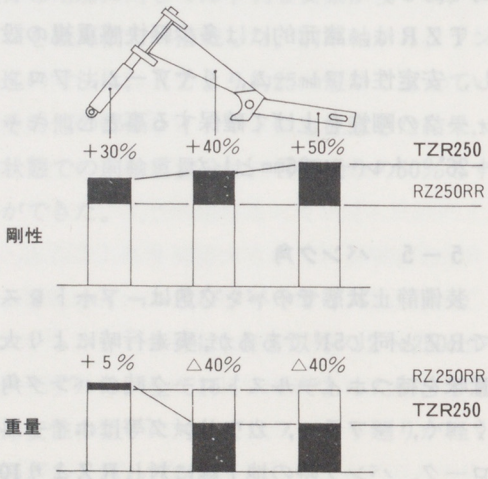
フレームの形状を写真1，図B－3に，ＲＺとの剛性・重量の比較を図B－4に示す。



写真－1



図B－3

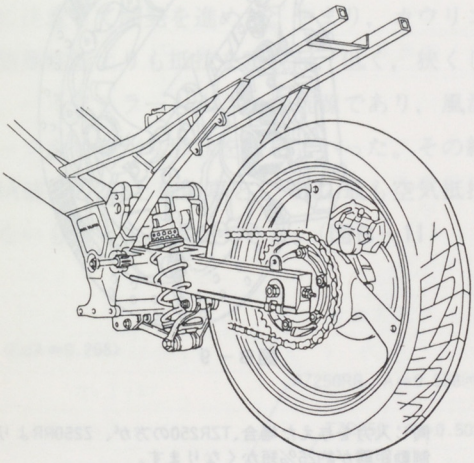


図B－4　TZR250基本骨格格の剛性と重量

6－2　リヤアーム，リヤサスペンション

軽量化の為に，リヤアームもアルミ材の使用が前提であった。レースでも通用する様な基本剛性を持たせるという車両の目標に沿わせると，リヤアームサイズも750cc並のものが欲しくなって来る。又，ピボット軸とタイヤの間に，充分な隙間を確保して，リヤクッションとリヤアームの補強メンバーを無理なく配置できた事も，リヤアームの剛性アップに大きく役立っている。（図B－4）

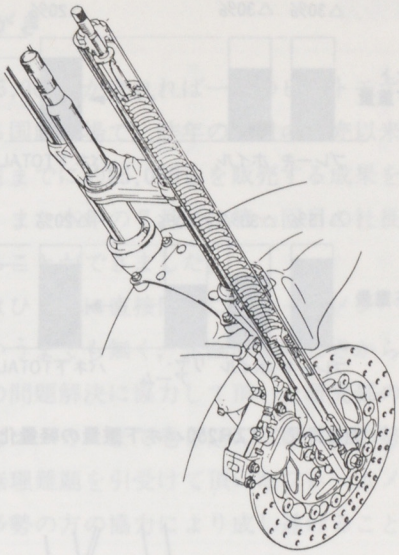
リヤサスペンションの，リンク部で特に作動性に影響の大きい部分にはニードルベアリングを採用し，作動の円滑化を図っている。



図B－5

6－3　フロントフォーク

これも，剛性確保の為に750cc並のφ39mm大径インナーチューブを採用している。（図B－4）減衰力特性はＴＺと同じ比例型であり，又　ばねの初期荷重をスクリュで無段階に調整できる等，サーキットで好みのサスセッティングを出し易い様配慮してある。（図B－6）



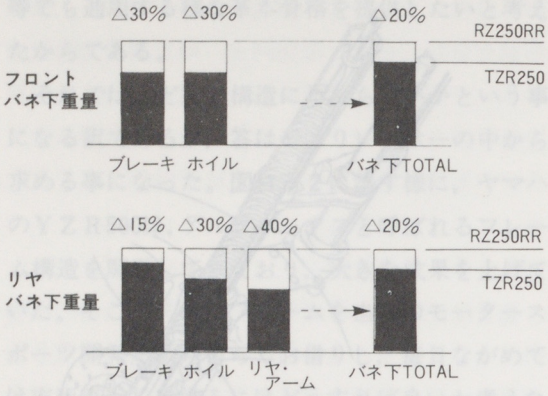
図B－6

6－4　ホイール

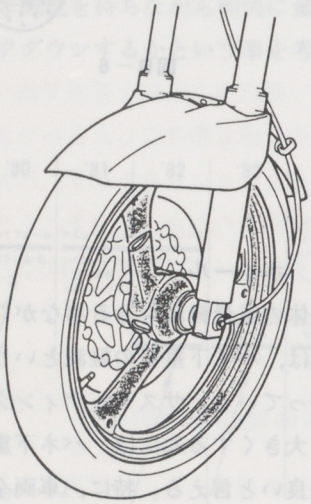
車両全体の重量軽減もさる事ながら，ホイールの軽量化は，バネ下重量の軽減という面で大きな意味を持っている。サスセッティング，操安性の自由度を大きくする為には，バネ下重量は軽ければ軽い程良いと言える。特に，車両全体が軽いもの程，バネ下重量の軽量化，サスの作動性向上（フリクションロスの低減）は，重要であり気をつけないと，開発の最後でサスセッティングに苦労する事になる。

ＴＺＲのホイールは，スポーク部を中空とする事に依り，軽量化と強度の両立を図っている。これも，市販車としては初の試みであり，中子の押さえ方，肉厚管理等は苦労した点である。

スポークの断面形状は，ＮＡＣＡの№0024という対称翼の厚みを増したものであり，実際の整流効果・空気低抗は別にして，外観イメージの向上には役立っている。（図B－7，B－8）



図B－7　TZR250バネ下重量の軽量化

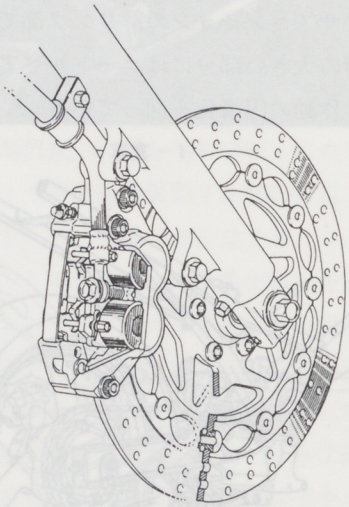


図B－8

6－5　ブレーキ

これも，制動力を確保した上で最も軽いブレーキは何かという点から出発して，得られた結論が，フロント：φ320シングルディスク，対向ピストン4ポットキャリパ，リヤ：φ210ディスク，対向ピストンキャリパであったという事であり，決してフィーチャー論議から出発したものではない。むしろ，フィーチャーとして見れば，当時の水準ではRZのダブルディスクより後退していると考えられた。(図B－7)

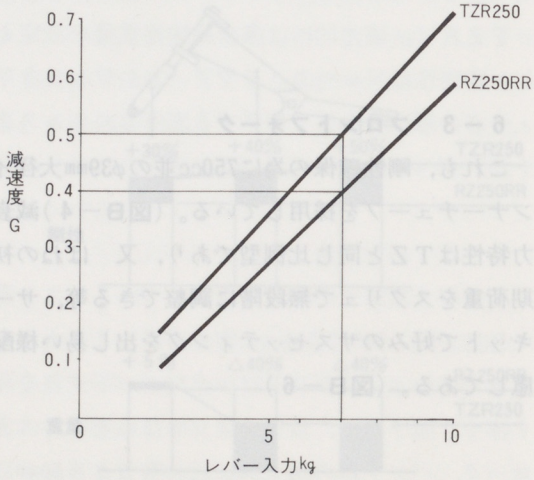
フロントブレーキは，大径の為熱歪の影響を受けやすいので，ブラケットとローターを別体とし間に入ったピンで制動トルクを伝達する，YZR500と同じ構造になっている。YZR500では，ピンしかない為，ブラケットに対してローターはガタがあるが，市販車では主に音の問題から，皿ばねでローターを押さえる構造になっている。しかし，ローターの熱膨張を逃がすという目的に対しては，皿ばねの有無は全く関係ない。(図B－9)



図B－9

同じ入力を与えた場合、TZR250の方が、Z250RRより制動距離が約25%短かくなります。

例 (TZR250　20m / RZ250RR　25m) の制動距離となる



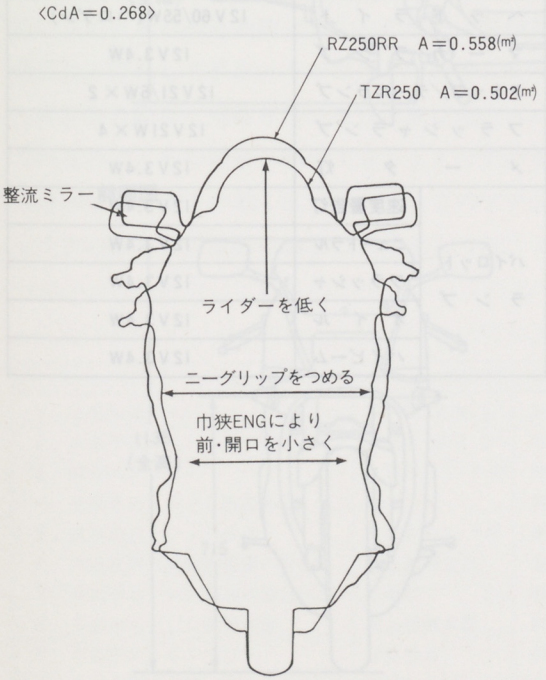
図B－10　TZR250フロントブレーキ実走性能

レバー入力に対する制動力性能は，ＲＺより向上しており，また　その絶対値ばかりでなく，コントロール性においても充分満足出来るものが得られた。（図Ｂ－10）

リヤブレーキも，制動力の絶対値を確保した上で，如何にコントロール性を良くするかという点で作り込みを行ない，パッド材質もＴＺＲとして新規に設定したものとなっている。

６－６　カウリング，バックミラー

空力特性は，あらかじめＲＺを用いて風洞テストを行ない，高さ・幅・ミラー形状の与える影響が大きい事を掴んでいた為，ＴＺＲとしてはその点に注意して開発を進めた。つまり，カウリングは防風性能よりも抵抗を重視し，低く，狭くした。又，バックミラーも大きな抵抗源であり，風洞チェックをしながら形状を決めていった。その結果，CdA値で0.268と生産車としては，最も空気抵抗の少ないものとする事ができた。（図Ｂ－11）



図Ｂ－11　TZR250空力特性

あとがき

年間15,000台が売れれば一応のヒットモデルといわれる国内市場で，昨年の11月の発売以来，本年の８月までに約25,000台を販売する成果を挙げました。また本年の７月には第一回目の社長賞も受賞することができました。

これはひとえに直接開発に携わったメンバーの努力はいうまでも無く，企画の素晴しさから，開発過程の問題解決に協力して頂いた研究部の御尽力，素材メーカーまで巻き込んだ購買部の努力，そして無理難題を引受けて頂いたフレームメーカーなど多勢の方の協力により成し遂げることができました。本紙面を借りて改めてお礼を申し上げます。

なおＴＺＲ250にはＳＰ，ＦⅢレース用のキットパーツが各種用意されており，国内の各地のレースで好成績を収めていることを申し添えておきます。

仕様諸元

寸法	全長	2005mm
	全巾	660mm
	全高	1135mm
	シート高	760mm
	軸間距離	1375mm
	最低地上高	135mm
重量	乾燥重量	126kg
	車輌重量	142kg
	前輪分布	71kg
	後輪分布	71kg
	車輌総重量	252kg
	前輪分布	95kg
	後輪分布	157kg
乗車定員		2名
性能	定地燃費(運輸省届出値)	43km/ℓ(50km/h)
	登坂能力	31
	最小回転半径	2700mm
	制動停止距離	13.5m(50km/h)
原動機	最高出力	45PS/9500r.p.m
	最大トルク	3.5kg・m/9000r.P.m
	原動機種類	ガソリン，2サイクル
	気筒数・配列	2，直横置
	総排気量	249cm³(cc)
	内径×行程	56.4×50.0mm
	圧縮比	6.4：1
	圧縮圧力	7.0kg/cm²－700r.P.m
	エアクリーナ形式	湿式ウレタンフォーム
	クラッチ形式	湿式多板
	ミッション・チェンジ方式	常時噛合式前進6段
	始動方式	キック式
	点火方式	C.D.I式，マグネット点火式

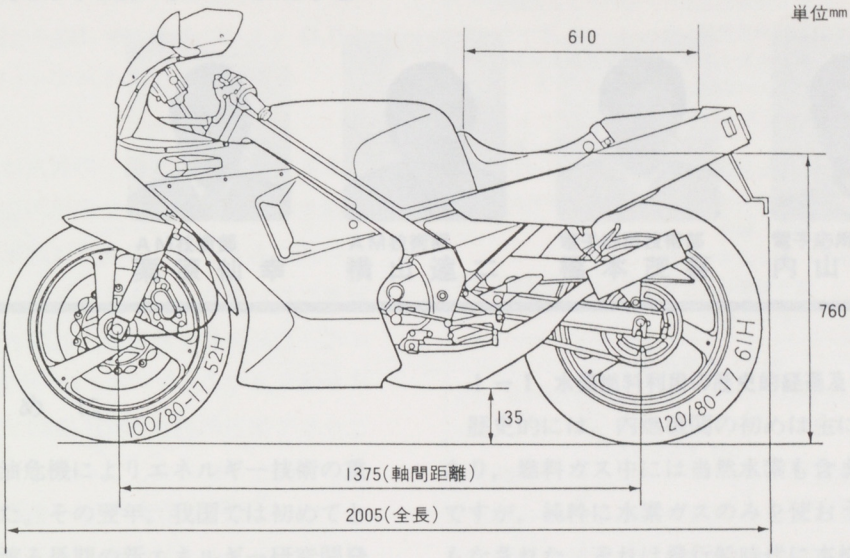
車体	フレーム形式		アルミデルタボックスセミダブルクレードル	
	キャスタ		26°00′	
	トレール		96mm	
	ハンドル切れ角		左右各35°	
	フュエルタンク容量/予備容量		16ℓ/約4ℓ	
	オイルタンク容量		1.4ℓ	
	ブレーキ形式（前）		油圧式シングルディスクブレーキ	
	〃（後）		〃	
	懸架方式（前）		テレスコピック式	
	〃（後）		スイングアーム式	
	緩衝方式（前）		オイルダンパ，コイルスプリング	
	〃（後）		ガスオイルダンパ，コイルスプリング	
	タイヤサイズ（前）		100/80-17 52H	
	〃（後）		120/80-17 61H	
減速比	第1次減速歯数・比		56／22	2.545
	変速歯数・比	1速	32／13	2.461
		2速	28／16	1.750
		3速	25／19	1.315
		4速	26／24	1.083
		5速	25／26	0.961
		6速	23／27	0.851
	第2次減速歯数・比		41／14	2.928
灯火・計器	ヘッドライト		12V60/55W(ハロゲン)	
	マーカランプ		12V3.4W	
	ストップ／テールランプ		12V21/5W×2	
	フラッシャランプ		12V21W×4	
	メータ灯		12V3.4W	
	パイロットランプ	速度警告灯	12V3.4W	
		ニュートラル	12V3.4W	
		フラッシャ	12V3.4W	
		オイル	12V3.4W	
		ハイビーム	12V3.4W	

表B－1

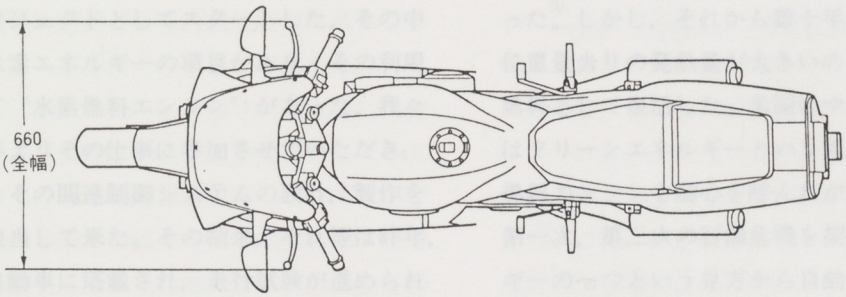
外観四面図

側面図

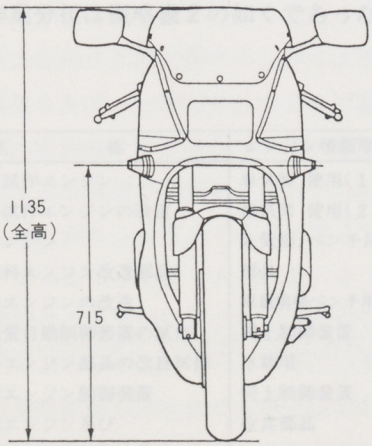
単位mm



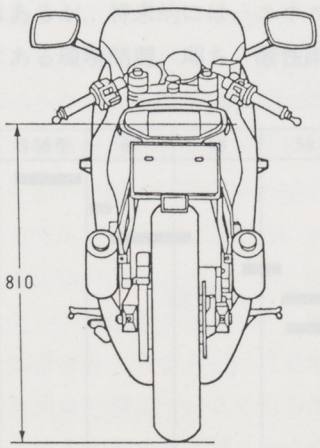
上面図



前面図



後面図



図B—1

水素自動車の開発

AM技術部 栗原仙幸　AM技術部 横山達二　電子応用技術部 橋本茂喜　電子応用技術部 内山幹康

1. はじめに

昭和48年の石油危機によりエネルギー技術の重要性が見直された。その翌年，我国では初めてという20年以上に渡る長期の新エネルギー研究開発プロジェクトが〝サンシャイン計画〟というナショナルプロジェクトとしてスタートした。その中の一つに水素エネルギーの項目があり，その利用技術として〝水素燃料エンジン〟があった。我々は昭和56年よりその仕事に参加させていただき，エンジンとその関連制御システムの設計，製作を受注し，担当して来た。その結果，それ等は昨年，水素燃料自動車に搭載され，走行試験が進められているので，その概要を報告する。まずヤマハ担当分の日程は**表1**の如く進められた。このプロジェクトの作業分担は概略**表2**の如くであった。

1－1 水素燃料利用の歴史的経過及びトピックス

歴史的には，内燃機関の初めは主にガス機関であり，燃料ガス中には当然水素も含まれていた訳ですが，純粋に水素ガスのみを使おうとする試みもなされた。それは飛行船時代に本格的に研究されたが，飛行船が消えると共に忘れ去られてしまった。[1] しかし，それから数十年を経て，水素は単位重量当りの発熱量が大きいので，まずロケット燃料として復活した。米国のマスキー法が出た時はクリーンエネルギーという見方から少しは水素燃料エンジンも関心を呼んだが，何と言っても，第一次，第二次の石油危機を契機に，代替エネルギーの一つという見方から自動車エンジンにもそれを使おうとする研究が各国で再開された。それ等も昨今の石油需給の緩みから一時的退潮傾向にはあるが，将来的には，エネルギー問題とは裏腹にある環境問題，即ち，酸性雨，大気中のCO_2濃

名　称	エンジン種類等	期　限	S56年	57	58	59	60	61
1．水素用試作エンジン	単気筒 使用(1)	56．12．22						
2．水素用試作エンジンの改造	単気筒 使用(2)	57．3．20						
3．試作エンジン	4気筒，ベンチ用	58．3．25						
4．水素燃料エンジン改造部品	部品	59．3．25						
5．試験用エンジンの改造	車載前提ベンチ用	60．2．28						
6．水素流量自動制御装置の試作	同上制御装置	60．3．15						
7．車載用エンジン部品の改良試作	車載用	60．7．1						
8．車載用エンジン制御装置	同上制御装置	60．7．10						
9．車載用エンジン及び その制御装置の改良	改良部品	61．2．28						

表1　水素燃料エンジン開発スケジュール

工業技術院・機械技術研究所：	総括，試験・研究主体，契約主体
工業技術院・化学技術研究所：	水素吸蔵合金及び，そのタンクの研究
川崎重工業㈱鉄構機器事業部：	水素吸蔵合金タンク及び水素供給操作パネルの設計，製作
㈱トヨペット サービス センター開発室：	車両搭載関係の設計・製作
ヤマハ発動機㈱ ＡＭ事業部：	水素燃料エンジン及び制御システムの設計・製作
ヤマハ発動機㈱ 電子応用技術部：	電子制御ユニット及びそのプログラムの設計・製作

表２　役割分担

化の問題等の環境面からのニーズとあいまって，水素利用技術はこれから益々研究されることとなろう。更に水素吸蔵合金と言う新材料の登場でその傾向は加速されよう。関連するトピックスとしては，昨年から今年にかけて，国内の他の二つの民間プロジェクトもその最新の成果を発表している。一つは武蔵工大の古浜教授のグループの世界的に有名になった熱面点火ディーゼルエンジンで，液体水素を利用した高圧噴射である点が特徴である。今年は水素トラック武蔵７号を完成した[2]。もう一つは鹿児島の水素エネルギー開発研究所の水噴射水素ガスエンジンで，米国の鉄道会社ユニオン　パシフィック社の鉄道機関車用エンジンとしての利用を図るテストをしていくことを発表している。まさに全く新らしい蒸気機関の誕生が期待されている[3]。彼等は昭和59年にロータリーエンジンを水素燃料用に改造して，乗用車を走らせている[4]。

２．水素エネルギーの意義

水素を燃やせば水蒸気(水)になる。水を電気分解すれば水素と酸素に戻せる。この簡単な化学反応からも重要な概念をくみ取ることができる。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \Rightarrow H_2O + \underbrace{A}_{\text{取り出せる熱量(モル発熱量)}} \text{kcal} \cdots\cdots(1)$$

$$H_2O + \underbrace{B}_{\text{分解に必要なエネルギー(モル反応熱)}} \text{kcal} \Rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2 \cdots\cdots(2)$$

水素を燃料に使う第一の利点は，反応式(1)中に表向き有害物質あるいは環境汚染物質を全く含まない点にある。第二の利点は逆反応式(2)が比較的簡単に行い得る点にある。（但し，この場合エネルギーの経済性を度外視すればの話しで，経済的にも成り立つようなプロセスが研究されている。）しこうして第三の利点は，(1),(2)のプロセスがリサイクル可能な点にある。この点が化石燃料の枯渇という暗い未来予測に対する一筋の光明をともすヒントとなりうるわけです。こうした水素をエネルギー源に使う経済体系が〝水素エネルギー経済〟と呼ばれている。現有の化石燃料が枯渇した時，水素経済社会が来るという仮説は，ここから来ている。

さてこの反応からもう一つの哲学なり経済学を学ぶとすれば，燃料水素を作るにもエネルギーが必要で，化学反応はヘスの法則（総熱量不変の法則）からＡ＝Ｂが結論できるが，[5] 実際には，加えた熱量以内でしか，熱量を利用できないことである（Ａ＞Ｂとは絶対にできないこと）。工業的には効率を考慮する必要があるので，Ａ＜Ｂの程度が問題となる。その場合加えた熱量より，取出せる熱量が少ないわけですから，加える熱量をそのまま直接使った方が有効ということになるからです。しかし，いわゆる可搬型の燃料として，いつでもどこでも使えるようにすることにより，商品性が出てくるのなら，Ａ＜Ｂでもかまわないわけです。それで経済的に成り立つかどうかの問題となります。従って不等式の意味するところは，工業的には〝Ｂ〟のもととして，安い熱源を使わないと経済的にはナンセンスということで，つまりは地球規模，宇宙時間規模で考えれば，Ｂとしては太陽

光しかなく，しかもそれが使えるエネルギーの最大限度であることを暗示しております。（但し，現実問題としては原子力あるいは核融合のエネルギーが現時点では一番あてにされている）

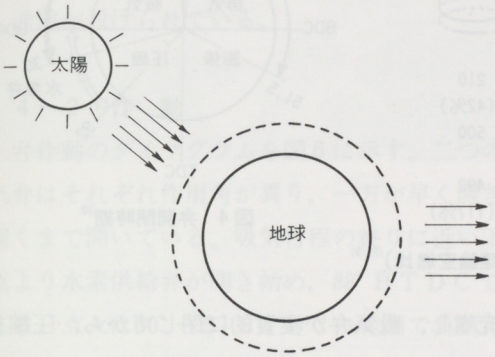


図1　地球エンジンの燃料は太陽光[6]

図1に示すようなグローバルなエネルギーの考え方で，現在の石油等の化石燃料資源の消費を考えますと，ジェレミー・リフキンの言うところの過去数億年の間に〝地下に蓄積された太陽〟の消費という考え方が理解できます。[7] その〝地下の太陽〟を使い尽せば，地球上にエネルギーの貯えは無くなり，時々刻々に降りそそぐ太陽光しか利用しえなくなることを暗示しています。過去数億年かかったエネルギーの貯えの大部分を，産業革命以降の数百年で使い尽さんばかりのエネルギー消費の勢いは，子孫の繁栄を考えるならば，もっと節約の方向に向うべきで，省エネルギーが叫ばれ，熱効率の高いエンジンが求められる由縁であります。当然，水素燃料エンジンにもそれが期待され，それを実現する所に，このプロジェクトの意味があると考えられます。

3．水素ガスの特性とその利用（問題と対策）

内燃機関と関連して，水素ガスの主な特性を4つ上げると，①火がつき易い，②燃焼速度が速い，③燃焼温度が高い，④軽い，ことである。この結果，それをエンジンに使用すると，不具合として，(1)逆火，(2)過早着火，(3)体積効率が低くなることによる出力不足を生じる。特に〝逆火〟は歴史的な問題であり，その解決に多くの努力が費やされた。それをやっと克服しても(2)番，(3)番の問題が待ちかまえている。これらの不具合は当然，水素ガスの特性に起因するものであるが，その利用も可能であり，その関係を図2に示す。

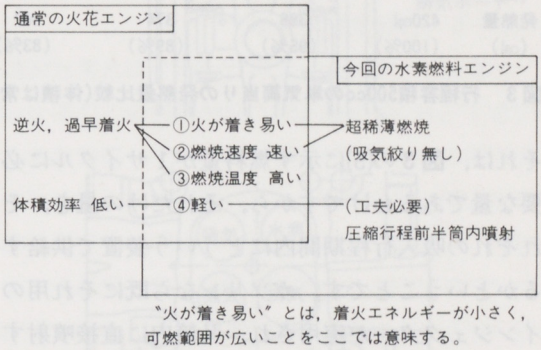
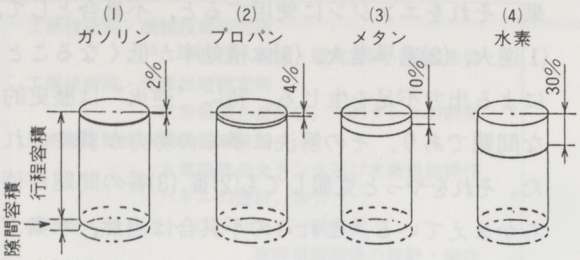


図2　水素燃料の欠点を別の視点で見る

火が着き易い①，燃焼速度が速い②という水素ガスの特性は，逆火(1)の原因となっており，非常に好ましからざる特性ではあるが，視点を変えて見ると，逆に非常に好ましい特性，つまり稀薄燃焼，しかも吸気絞り弁を無くしても良い程の稀薄燃焼の可能性を示唆していると見ることもできる。事実，今回のエンジンでは予混合併用ながら，空気過剰率λ＝5でも十分運転可能であった。

次の水素ガスが軽くて④，体積効率が低くなるという不利な点は，図3(4)に示すとおりである。この点は機構的に改善しなくてはならない。それが今回の〝圧縮行程前半の筒内噴射〟というアイデアである。これは図3(5)に示す如く空気をまず先に気筒一杯に満たし，その後，圧縮行程に入った所で，それに上乗せして水素ガスを充填しようというアイデアである。[10]　（そのバルブタイミングの一例を図4に示す。）

この点に関しては，このアイデアを具体化するために，更に，もう一つのアイデアが必要である。



	(1) ガソリン	(2) プロパン	(3) メタン	(4) 水素	(5) 水素
燃料体積 (cc)(気体)	9% (2%)	20 (4%)	48 (10%)	148 (30%)	210 (42%)
空気体積 (cc)	491cc	480	452	352	500
発熱量 (cal)	420cal (100%)	398 (95%)	374 (89%)	347 (83%)	492 (117%)

図3　行程容積500ccの単気筒当りの発熱量比較(体積は常温大気圧，理論空燃比)[8][9]

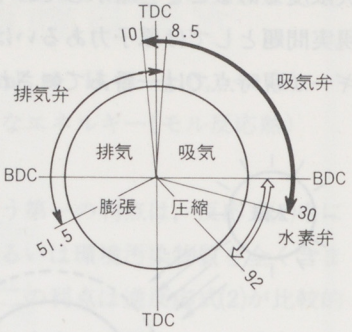


図4　弁開閉時期[10]

それは，**図3**の(5)に示す燃料量が1サイクルに必要な量であるわけですから，それだけの量を，それぞれの吸入行程期間内にどういう装置で供給するかということです。ガソリンなら既にそれ用のインジェクターが実用され，又筒内に直接噴射する必要も無く，吸気管内噴射で十分なことがわかっているわけですが，水素ガスでは，行程容積の30～40%もの体積のガスを，圧縮行程前半のわずか60°～90°ＣＡの間に筒内に直接噴射しなければならないのですから，しかもわずか3気圧程度の圧力で。使おうとしている3気圧ゲージでは，ガス体積を¼にするのみで，まだ体積がありすぎ，それでは筒内噴射を可能とする小型高速インジェクターは見つからない。電磁バルブでは大きくなればなる程，高速作動はできなくなる。そこで結局，機械式しかなくなり，実績ある方式として，一つはディーゼルの燃料噴射装置を選んで高圧噴射に進むか，もう一つの方法として，現用の吸，排気弁方式を踏しゅうして，何とか低圧噴射に止まるかの岐路となる。高圧噴射方式に迷い込むと次はポンプが必要となり，その駆動馬力の大きさに悩むこととなる。従って，吸・排気弁方式の水素供給弁をシリンダヘッドに設けることとなる。

元に戻って，逆火も〝圧縮行程前半の筒内噴射〟のアイデアで同時に対策できることを書いておかなければならない。つまり吸入行程で筒内に空気を充塡し，吸気弁が実質的に閉じてから，圧縮行程に入った時期に水素を筒内に充塡するので，筒内にもしホットスポットがあっても，吸入空気で冷やされており，ましてや排気系とは完全に遮断されているので，筒内に火種はなく，点火栓で着火されるまでは火の着きようが無いのである。かくして，水素ガスの持つ特性が生かされ，逆火も無く，体積効率の大きな低下も無い。低圧噴射の水素燃料エンジンが〝吸気絞り無し超稀薄燃焼〟のおまけ付きで，アイデア上は達成されるのである。(**図4**参照)[10]

4．水素燃料エンジン

4－1　構造

エンジンの概略構造を**図5**に示す。バルブ配置は片側に吸気弁2個，その反対側に排気弁1個と水素供給弁1個の合計4弁の配置となっている。弁駆動はＤＯＨＣ方式で，吸気弁を一本のカムシャフトで，排気弁と水素供給弁をもう一本のカムシャフトで駆動している。点火栓位置は，ほぼシリンダー中心である。吸気通路は，いわゆるＹＩＣＳ－Ⅱ方式で，一気筒当り2本の吸気通路がサージタンクまで伸びており，片側に吸気制御弁を設け，その下流で両吸気通路は連通口でつながっている。排気通路は通常エンジンと同じである。

水素供給通路はシリンダー上面に出て，水素マニホルドにより，ヘッドカバー内をシリンダヘッド後面に導かれている。水素供給弁とそのガイド部にはガスシールが設けられており，ガスシールとオイルシールの間より吸気系につながるリーク逃し通路が設けられている。

4－2　作　動

弁作動のダイヤグラムを図6に示す。二つの吸気弁はそれぞれ作用角が異り，一方が早く開き，遅くまで開いている。吸気行程の終りに近い下死点より水素供給弁が開き始め，88°ＢＴＤＣで閉じる。点火は60°～5°ＢＴＤＣの範囲で負荷に応じて変る。排気行程は通常エンジンと同様である。

4－3　設計上のポイント

本方式の隘路は吸気弁時間開度面積に制約が集中している点にあり，それをどう広げて，全体の調和を保つかにある。つまり，吸気弁の大きさは，水素供給弁が増えただけ小さくしなければならず，その開度で言えば，開き側は，逆火の防止のため排気弁とのオーバーラップはつめる方向であり，閉じ側は，水素供給弁とのオーバーラップで，これ又つめる方向である。この対策としては，今回はボア径は変えられなかったので，吸気弁を2弁として，まずその弁リフトに対する開度面積をかせぎ，更にその一方の弁の作用角を開げて，少しでも時間，開度面積を大きくする方法をとった。

水素供給弁については，水素ガスの必要流量を流せる最小弁径を選択しないと，3kg／cm²Gのガス圧がかかるため，バルブスプリングの設計が難しくなる。

4－4　安全対策

水素ガスを扱う上で忘れてはならない注意事項が二つある。一つは可燃範囲が広く，着火エネルギーが小さいことも含めて，非常に火が着き易いこと，二つめは，リーク量が思いのほか多く速い

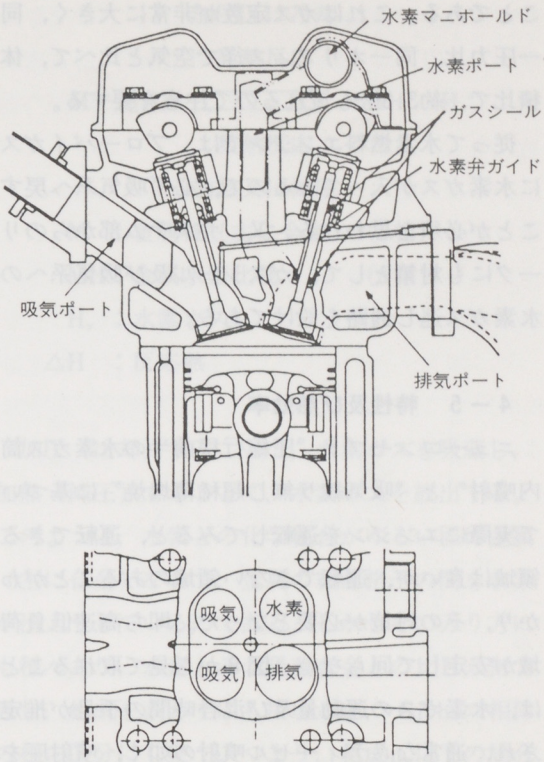


図5　試作機関[11]

形　式	水冷四サイクル火花点火機関
シリンダ配列	直列4気筒
内径×行程	88.5×80mm
排　気　量	1,968cm³
燃焼室形状	ペントルーフ
動弁機構	DOHC
圧　縮　比	8.5
吸排気方式	クロスフロー
弁　　数	4個／気筒 （吸気2，排気1，水素1）

表3　基本諸元[11]

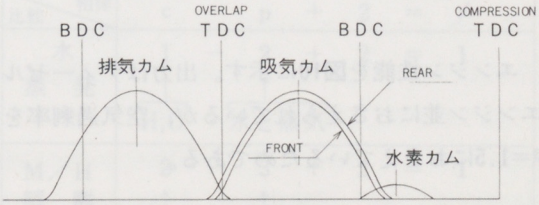


図6　カム ダイヤ グラム

ことである。これはガス定数が非常に大きく，同一圧力比，同一オリフィス径で空気と比べて，体積比で，約3.8倍も流れるので注意を要する。

従って水素燃料エンジンでは，ブローバイガスに水素ガスが入ってくるので，必ず吸気系へ戻すことが必須と思われる。又，弁ステム部からのリークにも対策として，ガスシール及び吸気系への水素ガス逃し通路を設けてある。

4－5　特性及び熱効率

ニューコンセプト〝圧縮行程前半の水素ガス筒内噴射〟と〝吸気絞り無し超稀薄燃焼〟に基づいて実際にエンジンを運転してみると，運転できる領域は良いが，運転できない領域のあることがわかり，その対策が必要となった。即ち高速低負荷域が安定して回らない。**図8**から見て取れることは，水素ガスの運動量及び混合時間の不足が推定され，通常ならディーゼル噴射の如く，噴射圧を上げて，慣通力を上げる方向の対策が取られる所ですが，このエンジンの場合は水素吸蔵合金を使用する前提があるのでそれはできない。だいたい燃料ポンプが無いので上げられる巾は大きくできない。そこで窮余の一策として，水素ガスの一部を予混合することとした。幸いにも薄いA／Fの予混合気体と水素ガス筒内噴射の組合せでは，逆火は起らず，しかも高速低負荷域でも，なんなく運転できることがわかり，これで全域運転可能となった。

吸気絞り無し超稀薄燃焼に於る熱効率については**図9**に示す。自動車のように部分負荷を多用する用途にはこのエンジンは適している。

エンジン性能を**図10**に示す。出力はディーゼルエンジン並におさえられているが，空気過剰率をλ=1.5におさえているためである。

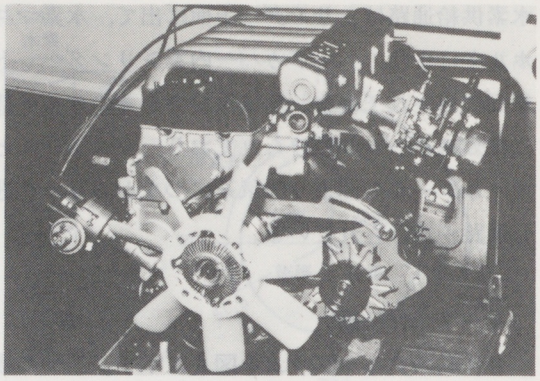


写真1　車載用燃料エンジン

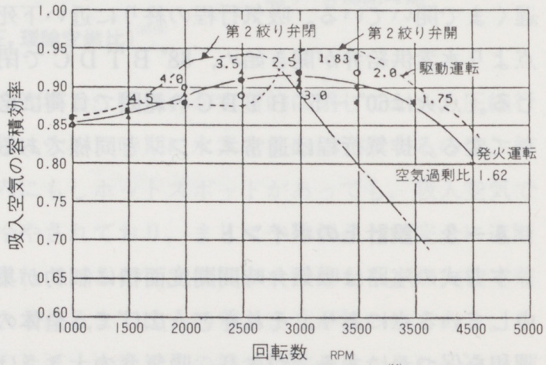


図7　吸入空気の容積効率[11]

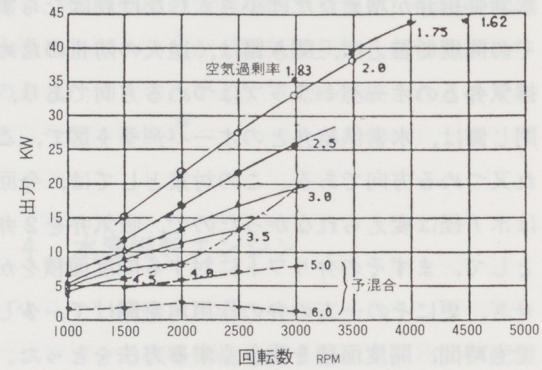


図8　出力特性[11]

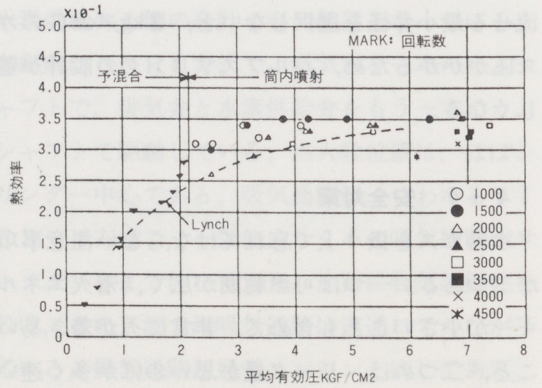


図9　熱効率[11]

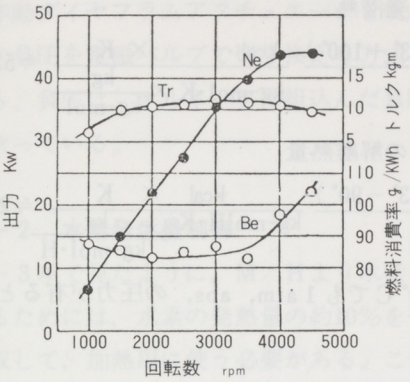


図10　エンジン性能[11]

5．水素吸蔵合金とそのタンク

5－1　燃料ポンプのかわり

今度の水素燃料自動車には燃料ポンプが付いていない。しかし，圧縮行程の前半とは言え，筒内に水素を供給しようとすれば，少なくとも2.5～3気圧程度の圧力が必要である。従って，その圧力には水素吸蔵合金の平衡解離圧の特性（温度を上げれば平衡解離圧も上る）を利用している。即ち，エンジンの排気ガスの熱（排熱）を利用して，温水を作り，それで水素吸蔵合金を加熱し，水素を放出させ，タンク内圧を上げているのである。つまり，水素吸蔵合金とそのタンク自体で，機械的可動部分の全く無いスタティック・コンプレッサーを構成しているのである。当然この場合，タンクとは言っても，水素吸蔵合金と水素ガスの単なる容器ではなく，熱交換器の機能を有する所に技術がある。

5－2　水素吸蔵合金

水素吸蔵合金は金属の水素化物（メタルハイドライド，以下M／Hと略す）で，下図の如く水素の吸蔵・放出のできる金属である。つまり，それは

加圧又は冷却

発熱反応

$$M + \frac{1}{2}H_2 \rightleftharpoons MH + \triangle H$$

吸熱反応

加熱又は減圧

M　：金属種（主に合金），（α相）

MH：金属水素化物　　（β相）

H_2　：水素ガス

△H　：反応熱

加圧（冷却）することで，水素ガスを吸蔵し，加熱（減圧）することで，水素ガスを放出する。このように，水素との化学結合がゆるい固体金属（主に合金）なので，金属の結晶格子の間を水素が出入りしているのである。しかしその入り方にも種々あり，水素とその吸蔵合金との比H／Mで表し，組成を表わすにも用いるが，Gibbsの相律の相の区分にも使う。つまり，組成n_1以下の場合，水素は単に金属に固溶している状態であり，nは$\sqrt{P}$に比例するというジーベルトの法則の適用範囲である。[11] n_2はβ相と呼ばれ，金属水素化物の組成を表わす。n_1とn_2の間がα相とβ相の混合領域で，プラトーと呼ばれる平衡状態の存する領域であり，使おうとしている領域である。プラトー領域では，理想状態ではPはnには無関係でTのみにより決る。この平衡状態は，水の蒸発の平衡状態に似ており，気・液二相の存する限り，わかり易く書け

Gibbsの相律：$f = c - p + 2$

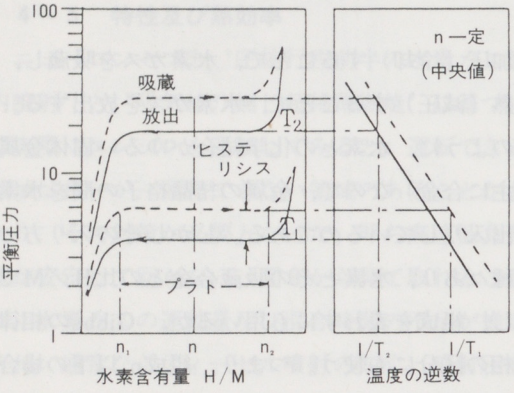
f　：自由度

c　：成分数

p　：相の数

比較＼相律	c	−	p	+	2	=	f
水蒸発	1	−	2	+	2	=	1
	↑ H_2O		↑ 水と蒸気				
M／H解離（水素放出）	2	−	3	+	2	=	1
	↑ MとH₂		↑ α相，β相，H₂ガス				

ば，水が全部蒸発してしまうまでは，P一定なら，T一定，逆にT一定なら，P一定で互に独立変数ではありえない。つまり，相律の自由度が一の状態である。水素吸蔵合金のプラント一領域も自由度が一の状態で，水素がn_1まで放出されるまでは，T一定ならP一定である。（**図11**）従って圧力を上げるには温度を上げれば良い。$\ln P \propto 1/T$の関係が熱力学的に求められる。[11]



(a)平衡圧力組成等温図　(b)圧力の温度依存性

図11　MHの特性曲線[12,13]

5－3　M／H加熱用の熱量は排熱で足りるか？

水を沸騰蒸発させるには加熱が必要だが，M／Hから水素を放出させるにも加熱が必要である。その時の水のモル蒸発エントロピーは，1気圧の時，26 kcal／kg-mol·Kであり，M／Hの水素放出時（1気圧）のモルエントロピー変化量は16 kcal／kg-mol(H)·Kである。従って水の蒸発潜熱は539 kcal／kgであり，水素の解離熱量は2900 kcal／kgである。水素を放出させるには大きな熱量がいるように思えるが，水素の低位発熱量は28,700 kcal／kgであるので，その10%である。排熱としては，発熱量の30～40%が捨てられるので，熱勘定としては，まかなえる範囲である。使用されたM／Hはランタンリッチ・ニッケル・アルミニウム合金(LR)$Ni_{5.0}Al_{0.1}$で解離熱は，2900 kcal／kgである。[13,14]

水の蒸発潜熱[15]

$$\frac{26\,(273^\circ+100^\circ)}{18}\ \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg\text{-}mol}\cdot\mathrm{K}}\times\frac{\mathrm{K}}{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kg\text{-}mol}}} \fallingdotseq 539\ \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}$$

M／Hの解離熱量

$$\frac{16\,(273^\circ-90^\circ)}{1}\ \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg\text{-}mol}\mathrm{H}\cdot\mathrm{K}}\times\frac{\mathrm{K}}{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{kg\text{-}mol}\cdot\mathrm{H}}} \fallingdotseq 2900\ \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}$$

（－90°Cでも1 atm，abs，の圧力が有ると仮定）

6．制御システム

6－1

水素燃料自動車の水素関係制御システムを下図により概説する。

- 水素燃料自動車制御
  - 水素発生量制御
  - エンジン制御
    - 出力制御
      - 流量制御
      - 点火時期制御
    - 始動
    - アイドル
    - その他制御

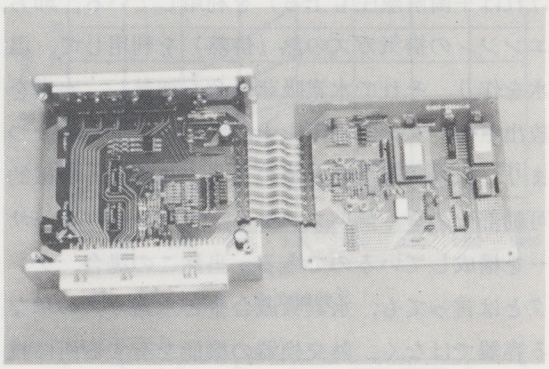


写真2　コントロール ユニット

水素関係の全ての制御にマイクロ コンピュータがかかわっており，そのシステムブロック図を**図13**に示す。試作試験車両であることを考慮して，液晶表示パネルを設け，車速，エンジン状態，システムエラーメッセージ，及び制御データが表示されるようになっている。制御プログラムの高速作動も良好である。なお，蝶弁の作動には

負圧作動ダイヤフラムアクチュエータを使用しており，負圧を電磁バルブで切り換える方式をとっている。負圧は，オルネータに組込んだ負圧ポンプに依っている。

6－2　水素発生量制御

5－3項で見たように，M／Hより水素を発生させるためには，水素の発熱量の約10％を排熱より回収して，加熱用に使う必要がある。この熱量はエンジン冷却水より回収してもよいが，今回は初めての試作車両であるため，次の理由も考慮して，排ガス中の排熱を回収する方式が取られた。

1）エンジン始動後，エンジン水温より，排ガス温度の分が立上りが早く，それだけ早くM／Hを加熱できる。（水素発生開始の応答性）
2）エンジン冷却と独立にM／Hの試験ができる。
3）冷却水中の廃熱量より，排ガス中の排熱量の方が多いとの推測。

構成としては，排気管をフロントパイプ部で二本に分け，各々に排気切換弁を設け，片方に，熱交換器を挿入して，その後流でもう一度一本にしている。（**図13**参照）温水回路として，水ポンプを介して，熱交換器とM／Hタンクを循環する回路が構成されている。制御としては，M／Hタンク内圧が設定値より下ると熱交換器側の切換弁が開き（その後，反対側の弁は閉じる），排ガスが熱交換器を通り，温水を加熱し，それがM／Hタンクに循環して，M／Hを加熱し，水素を設定圧になるまで放出させる。設定圧を越えると排気切換弁が切り替り，M／Hの加熱は止まる。このサイクルの例を**図12**に示す。（Pt：M／Hタンク内圧，$\dot{M}mh$: 発生水素流量，$\dot{M}en$: 消費水素流量）

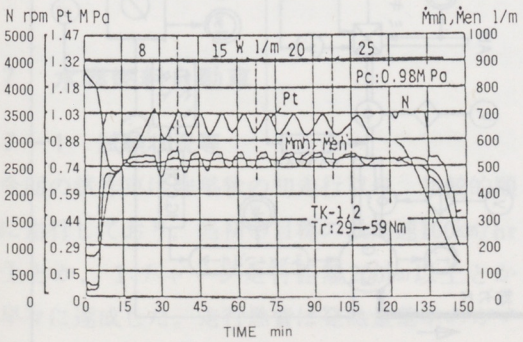


図12　1／2負荷定常運転時の水素流量特性[14]

6－3　流量制御

4－5項で述べた如く，水素は予混合系と直噴系に分けて供給している。予混合系は調圧器で大気圧に減圧調整し，燃料カットバルブを通して，混合器（ＬＰＧ用キャブレター改造）を通して，吸気系へ供給されている。流量として，空気過剰率で概略λ=5に相当する量を自動的に流している。従って，出力コントロール用にアクセルに連動して流量コントロールできるのは，直噴系のみで，構成としては，電子ガバナー機能の代用の流量リミッター（流量比例制御弁）とその下流に，アクセル連動の機械式流量制御弁を設け，その下流に直噴系の燃料シャットオフバルブを設けている。制御としては，流量リミッターは，各回転速度に於る最大流量を制限するように，コンピューターのメモリに二次元マップを持っている。このような簡単な流量制御システムで，吸気絞り無し超稀薄燃焼を実現している。

6－4　点火時期制御

前項の流量制御システムの各回転速度と水素流量に対して適切な点火時期を得るために，構成としては，機械式流量制御弁にスロットル開度センサーを設け，コンピュータのメモリーに各回転速度と各スロットル開度に対する点火時期の要求値の三次元マップを持っている。

6－5　始動，アイドル，その他制御

①　始動

始動は水素燃料エンジンでは，最も難かしいものの一つである。それは吸気系，排気系にリーク等で溜った水素ガスに，イグニッションキーをスタートにしたとたんに火が着くため，吸・排気管内で爆発が起るためである。これを避けるため，

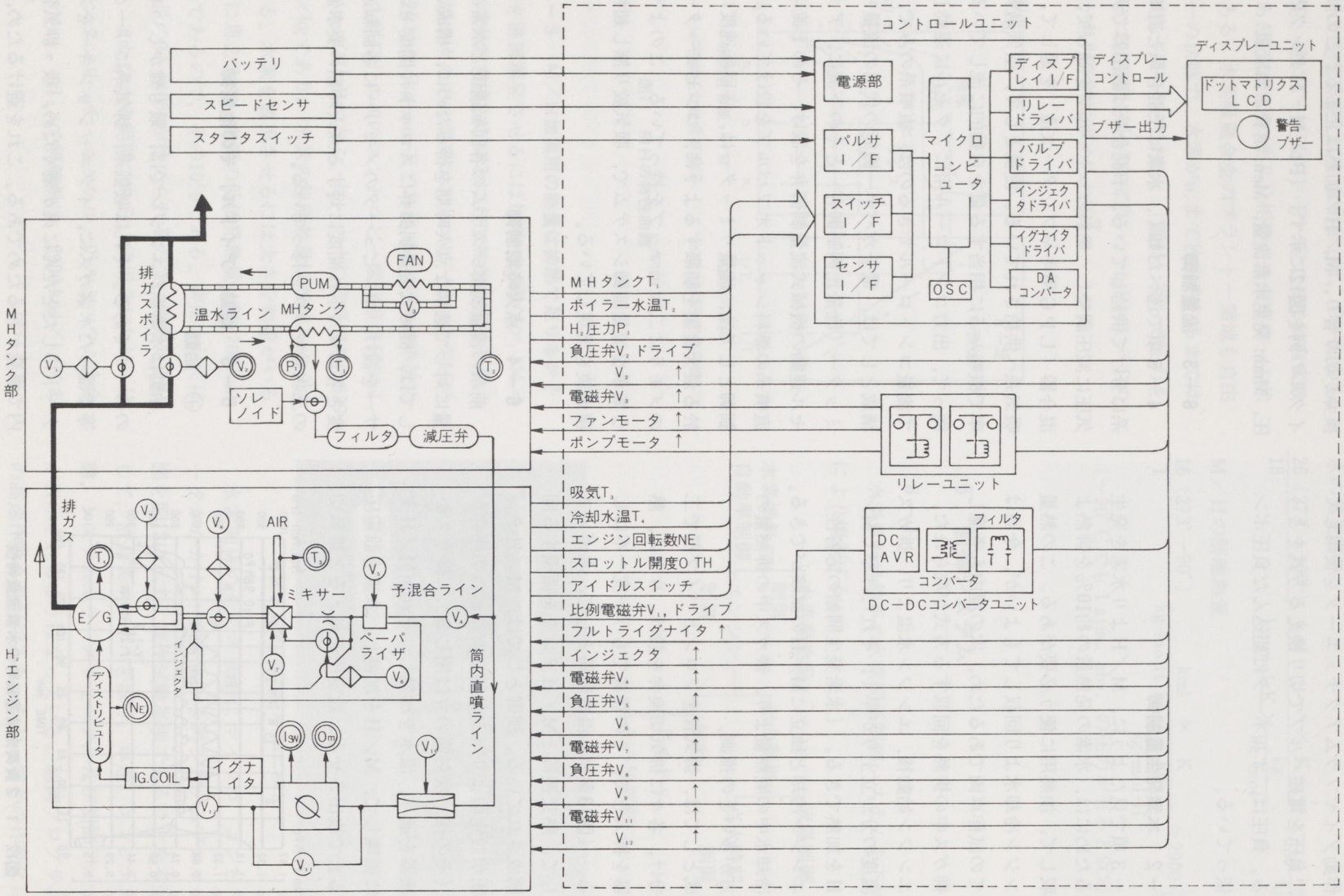


図13 水素燃料自動車制御システム

点火までの順序を次のようにする。先ずクランキングで，吸気系の水素ガスを追い出す。続いて，点火系を働かせる。その後に燃料シャットオフバルブを開いて，水素ガスを流す。これで安全に，始動が完了する。特に逆火を起しやすいエンスト直後の再始動も良好である。

② アイドル

アイドルの燃料通路は4つあり，先ずベンチュリーから，その補助としての燃料増量通路，アイドルスピードコントロール（ＩＳＣ）用の水素ガスインジェクターと，その補助としての機械式アジャスト　スクリューである。ＩＳＣはフィードバックコントロールで，コンピュータのメモリに各エンジン水温に対する，目標回転速度が記憶されている。噴射圧は0.3気圧程度である。

③ 吸気制御弁

4－1項で述べた吸気制御弁が，吸気通路の片側に付いており，低回転速度域では〝閉〟としてそこでの体積効率の改善を図っている。（**図7**参照）

④ 減速デバイス

試作車両は総重量が重いため，減速時のエンジンブレーキの能力を上げるため，設定回転速度以上の減速ではフェーエル　カット及び吸気のカット（減速時絞り弁）を実施している。

7．水素燃料自動車

7－1　試験状況等

今回の試作車は昨年秋の初走行以来，比較的順調に走行しており，当初の目標の最高速100km/hr以上とか，1チャージ走行距離200km以上とかは早々に達成した。走行燃費は発熱量基準のガソリン換算で11km／ℓ at 60km／hrである。[16]

写真3　水素燃料自動車

7－2　構造・仕様

車両としては，約700kgのM/Hタンクを搭載することから，ワンボックスのバンが選ばれ，エンジンを水素燃料エンジンに換装，車両中央にM／Hタンクを搭載する改造がほどこされた。又床下に排気の熱交換器等も装着された。改造後の主な仕様を**表4**に示す。

車　　種	ライトバン（5ドア）				
車両寸法	L4690×W1690×H1925mm				
車体総重量	2450kg				
定　　員	6名				
変速機	4段マニアル・コラムシフト				
変速比	1	2	3	4	R
	4.452	2.398	1.414	1.000	4.472
減速機	ハイポイド歯車形式				
減速比	5.286				
蓄電池	NX200－10				
タイヤ	前輪 185R14-6PR LT			後輪 185R14-8PR LT	

表4　試作自動車の仕様

7－3　キーポイント2題

この試作車には全く新らしい出力制御系が採用されている。その定常的な機能が良く働くのも必要条件ではあるが，その将来性，実用性をうらなう意味では，重大関心事は，いろいろな過渡的運

転状態での不具合の有無にある。水素燃料エンジンという言葉からはどうしても，一抹の〝不安〟というか，ある種の警戒心が起るので，何としても通常の車と比較して違和感の無いことが要求される。水素燃料自動車を扱った本では，逆火の大きな音が回りの人に脅威を与えることがエピソードとしてのっている。そういう逆火は始動時とか，過渡的運転状態で起るとされ，何ごとも急激な操作を避けるというのが常識のようであった。今やそんなことで，逆火が起るようなら，乗り心地を重視する現在では，実用に程遠いと言える。この試作車に関するかぎり，過渡状態での運転も，おおむね良好である。

もう一つのポイントは専ら技術的興味にあるのだが，熱効率改善のため採用したノンスロットル（吸気絞り無し）方式が圧縮比8.5ではエンジンブレーキ不足で減速時に，減速不良の違和感を生じないかどうかにある。ディーゼル車では同じノンスロットルとは言っても，圧縮比が20以上と高いため，減速時燃料カット時のポンピング仕事が大きいので問題にならないようだが。試験の結果は，6－5－①項の減速時絞り弁による吸気のカットは効果があることがわかった。

8．安全対策と安全性

8－1　安全対策

安全対策としては基本をまず守るのが原則で，水素ガスそのものに対して，次の如く考えている。

1）リークを無くす。

2）もし，リークしたらすぐ検知できるようにし，直ちに元栓を閉められるようにする。

3）もし検知器が不具合でも，又元栓が閉められなくても，リークした水素が，空間的に特定場所に溜らないように逃道をつくる。（水素ガスそのものは軽く，拡散が速いので，上部に吹き抜けを作れば良い。）

この原則に基づき，1）項に対しては，定期的リークチェックをする。上記2）項に対しては，テストベンチにも，車両室内にも，水素ガス検知器を備え，水素ガスの遮断弁をもうけている。車の場合は，イグニッションキーを切れば電磁弁が働き水素ガスの流れを止められるが，それとは別に，運転席にマニュアルで遮断弁が閉じられるレバーを設けている。この機構は電気的にも働く。上記3）項に対しては，テストベンチは天井部に吹き抜けが設けられており，車両に於てもM／Hタンク室は通風筒が設けられ，通風がはかられている。

8－2　安全性

新らしく採用した，出力制御系については，今しばらく実績を作らねばならないが，今の所逆火当の不具合は起きておらず，安全性上も問題を起していない。これはM／Hを使ったシステムに基本的にそなわったメリットと思われるので，そういう観点から見直して見る。

水素そのものを移動用燃料として使う場合，通常次の3つの型式がある。

1）M／Hタンク　：低圧(10気圧程度)，常温

2）水素ガスボンベ：高圧(150気圧max)，常温

3）液体水素容器　：低圧，極低温(－273°C)

この中で，取扱い上一番安全なのは，高圧でも極低温でもないM／Hタンクを使う方式である。しかし，その方式を使うためには低圧で筒内噴射できるエンジンを必要として来たわけだが，それを初めて可能にしたのが，今回の低圧噴射水素燃料エンジンである。従来のディーゼルエンジンの高圧噴射の考え方ではどうしても燃料ポンプを必要とし，それがシステムの重要部品であり，技術的にも難しく，安全上のネックとなりえるものなのだが，M／Hタンク方式の場合は，温度制御でガス圧を制御できるので，燃料ポンプは無くすことができ，そのことが，システムの安全性を高

めている。特に事故の場合，水素雰囲気内に火花を散らす恐れの有る可動部分が全く無いことは，実際上安全であり，そのことが，この試作車を運転する人の精神的緊張を大いにほぐしている。つまり，無いものは故障のしようがなく，それによる事故の起りようがないということである。

更に，M／H加熱に温水を使用している点も，排ガス直接加熱に比べると安心できる点である。（写真4）

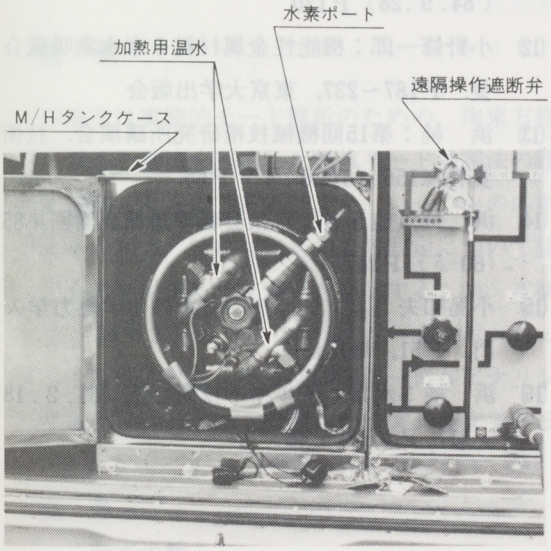


写真4　M/Hタンク及び操作パネル

9．結　論

今度の水素燃料エンジン及び同自動車のプロジェクトに協力して，次の成果及び結論が得られた。

1．速度100km/hrで連続走行できる水素燃料自動車の試作に協力できた。
2．水素ガス低圧筒内噴射型のガスエンジンが，試作，改造ながら実現でき，ノンスロットル超稀薄運転を可能とし，高い熱効率を実証した。
3．水素燃料発生量制御＋出力制御の全く新らしい一つのトータル制御システムが開発できた。
4．上記制御システムは，実車に於ても，新開発のプログラマブル電子制御装置により，プログラムを含め，良好に制御できることを実証した。
5．定常走行は勿論，始動，アイドル，加速減速，再始動等の全ての運転状態で燃料流量制御は，おおむね良好で，逆火も生じないことを実証できた。
6．低圧でも短時間に大流量の水素ガスを流せる弁機構の実用性を実証できた。

10．あとがき

この仕事は「リフト1㎜，作用角60°のカムを作って欲しい。」との要請により始まった。しかも「カムができるなら，エンジンも作って欲しい。」と言う順序で。こうなるには，それなりの理由があるわけで，その理由とは1000ℓ／minものガスを流せる小型インジェクターは電磁弁で出来るあてはなく，苦肉の策として吸気弁と同じ方式ならできるのではないか，というアイデアに基づいて，持込まれた話のようであった。水素供給弁ができるかどうかが，この仕事のキーポイントで，エンジンはそれに付いて来たわけである。そういう解決策を考え出され，ヤマハに白羽の矢を立てていただいた工業技術院，機械技術研究所，エネルギー機械部の故鈴木部長，内山課長，浜主任研究官に感謝致します。又，4バルブエンジンの利用というアイデアと共に，この仕事を指名によりまかせていただいた，山下重役にも感謝しなければなりません。

仕事を始めてからは，失敗話しも有り，成功話しも有り，又それぞれの部品についても同様な事の繰返しで，実に多くの方々のお世話になった。これ等，仕事上の協力については全て割愛させていただくとしても，燃料系部品の設計，改造，製作を担当していただいた愛三工業の技術課植村係長，それから制御システムの初回試験のため車両

貸出し等の便宜を計っていただいたトヨペットサービスセンター開発室の竹内課長にはお礼を言わなければならない。更に，電子コントロールユニットの組立て，調整，試験を担当してくれて，今は特機技術部に移った小沢さんにも感謝したい。

又全く別の所では，この仕事のため航空機器部の仕事に対しては，たぶんに期待に反し関係者には少なからず御迷惑をかけたこともあったのではないかと思いますが，何とか両立できたのは，それにもかかわらずの御協力があったためと感謝して，本稿の終りとしたいと思います。

（本項・栗原記）

参考文献

(1) Ricardo, H.R., Report of the Empire Motor Fuels Committe Vol. XVIII, Part 1, 1923-4

(2) 日刊自動車新聞，S61.6.10

(3) 渡辺賢弐：トリガー，S61年7月号，P15 日刊工業新聞社

(4) ガストピア21，P11，廣済堂情報出版

(5) 好尾学：エネルギーと乱雑さ，P30，講談社

(6) 桜井邦明：光と物質，P124，東京教学社

(7) 吉田直哉：21世紀は警告する第6巻，P19，日本放送出版協会

(8) 古浜庄一：水素エンジン，自動車工学全書8，P174，山海堂

(9) 城塚正，須藤雅夫：エネルギー化学工学，P23，昭晃堂

(10) 浜　純：ペトロテック，7巻2号(1984)P32

(11) 浜　純，内山芳忠：機学会日立地方講演会（'84.9.28）P130

(12) 小野修一郎：機能性金属材料6章水素吸蔵合金，P187～237，東京大学出版会

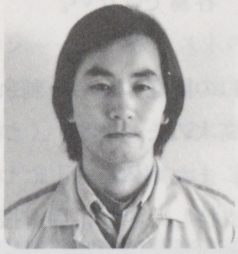
(13) 浜　純：第15回機械技術研究所講演会，技術資料№156（61.6.4）P66

(14) 浜　純，他5名：自技会春季講演会前刷集851（60-5）P247

(15) 小島和夫：エンジニアのための化学熱力学入門，P51，培風館

(16) 浜　純：水素エネルギー技術会議（61.2.18～21，P4-41～48

実験的モード解析における剛体モード強調と回転自由度の同定



第1研究部SDグループ　古沢政生
第3技術部　冨永隆史

概　要

本論文は実験的モード解析のための，拘束方程式と最小2乗法を利用した剛体モード強調法の理論を提案したものである。また，いくつかの応用例とその利点，特に回転自由度の同定について論じ，その利用法を示す実例を提示する。尚，本稿は去る'86年2月3日より8日まで米国ロサンジェルスで開催された，第4回国際モーダルアナリシス会議（ＩＭＡＣ）にて発表した論文の全文である。

記　号

ℓ　：節点の数
n　：自由度の数　（3ℓ）
[p]：測定された並進方向モードベクトル(n×1)
[ϕ]：強調された並進方向モードベクトル（n×1）
[ϕ]：座標原点の独立自由度ベクトル　(6×1)
[C]：剛体の拘束方程式の係数マトリクス（n×6）
[w]：重み係数対角マトリクス　(n×n)
[ε]：誤差ベクトル，　(n×1)
E　：誤差の2乗和
[A]：係数マトリクス（$[A]=[C]^T[w][C]$）(6×6)
[R]：右辺ベクトル　（$[R]=[C]^T[w][p]$）(6×1)
x_0　：[ϕ]のx方向並進成分
y_0　：[ϕ]のy方向並進成分
z_0　：[ϕ]のz方向並進成分
$x\theta$　：[ϕ]のx軸まわり回転成分
$y\theta$　：[ϕ]のy軸まわり回転成分
$z\theta$　：[ϕ]のz軸まわり回転成分

1．はじめに

実験的モード解析技術は，近年目覚ましい発展を遂げ，動的問題を解決するための一手法として不動の地位を得る迄に到った。しかし，一方では依然として解決していない技術的問題が残っており，モード解析によって得られたモーダルパラメータをもとに，構造変更シミュレーションやシステムアナリシスを行なう際の大きな障害となっている。

さて，その問題とは以下の2点に代表されよう。

1)対象とする周波数範囲外のモード，すなわち低周波数域の剛体モード（慣性拘束）と，高周波数域の剰余剛性を把握することが困難である。
特に，シミュレーションには欠かすことのできない剛体モードは，実験的モード解析からは得られない。[1]

2)回転自由度の応答を測定する実用的なトランスデューサがまだ出現していない。また，並

進自由度の応答から，これを推定することも容易ではない。[2]

1)の問題のうち，剰余剛性についてはとりあえず高次のモードをいくつか加えることで解決できる。また剛体モードについては，構造を完全に自由支持した場合に固有振動数が0となるため，モード解析が不可能となるのであって，実験では幸いにもラバーや空気バネで構造を支持するため，固有振動数は0とならない。したがって，低周波数域まで正確な周波数応答関数と，強力なカーブフィット技術があれば剛体モードの測定は可能である。ただし，振動ピックアップの横感度や，荒い低周波数分解能などによって歪んだ剛体モードを修正する必要が生じてくる。

次に2)の問題については，部品と部品が一点で結合され，この点でモーメントが伝達される場合に特に重要となる。通常，設計者はこのモーメントによって部品がこわれないように，剛に設計するものである。したがって，この部分を局部的に剛体と仮定し，剛体モードに強調することで回転自由度成分を取り出すことができる。

以上のような基本的考え方に基づいて，本報では，剛体の拘束方程式と最小2乗法を利用した，簡便で実用的な「剛体モード強調法」を提案するものである。

2．理論的背景

剛体の拘束方程式は次のように表される。

$$\underset{(n\times 1)}{[\phi]} = \underset{(n\times 6)}{[C]}\ \underset{(6\times 1)}{[\phi]} \tag{1}$$

ただし

$$[C]=\left[\begin{array}{ccc:ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & C_{1z} & -C_{1y} \\ 0 & 1 & 0 & -C_{1z} & 0 & C_{1x} \\ 0 & 0 & 1 & C_{1y} & -C_{1x} & 0 \\ \hdashline & & & \cdot & & \\ & & & \cdot & & \\ & & & \cdot & & \end{array}\right],\quad [\phi]=\begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \\ x\theta \\ y\theta \\ z\theta \end{bmatrix}$$

測定された振動モードの誤差ベクトルは

$$[\varepsilon] = [p] - [\phi] \tag{2}$$

重みづけされた2乗誤差の総和は

$$E = [\varepsilon]^T [w] [\varepsilon] \tag{3}$$

(2)式を(3)式を代入して

$$\begin{aligned} E &= ([p]-[\phi])^T [w] ([p]-[\phi]) \\ &= [p]^T[w][p] - 2[\phi]^T[w][p] + [\phi]^T[w][\phi] \end{aligned} \tag{4}$$

(4)式に(1)式を代入して

$$\begin{aligned} E = {} & [p]^T[w][p] - 2[\phi]^T[C]^T[w][p] \\ & + [\phi]^T[C]^T[w][C][\phi] \end{aligned} \tag{5}$$

Eを最小化するために，(5)式を$[\phi]$で偏微分して0とおく。すなわち，

$$\frac{\partial E}{\partial [\phi]} = -2[C]^T[w][p] + 2[C]^T[w][C][\phi] = [0]$$

$$[C]^T[w][C][\phi] = [C]^T[w][p] \tag{6}$$

$[A]=[C]^T[w][C]$，$[R]=[C]^T[w][p]$とおくと(6)式は

$$\underset{(6\times 6)}{[A]}\ \underset{(6\times 1)}{[\phi]} = \underset{(6\times 1)}{[R]} \tag{7}$$

となる。

6元連立方程式(7)を解いて，剛体の独立自由度ベクトル$[\phi]$が求められる。回転自由度が必要な場合は，このベクトルの下半分を取り出せばよい。

次に，測定された点の強調された剛体モードが必要な場合は，$[\phi]$を(1)式に代入することで求められる。

ところで(1)式は次のように変形しておくと便利である。

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ x_\ell & y_\ell & z_\ell \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & z_0 \\ x_0 & y_0 & z_0 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ x_0 & y_0 & z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1x & C_1y & C_1z \\ C_2x & C_2y & C_2z \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ C_\ell x & C_\ell y & C_\ell z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & z\theta & -y\theta \\ -z\theta & 0 & x\theta \\ y\theta & -x\theta & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

ここで，(8)式左辺は強調された並進方向モードマトリクス（$\ell \times 3$），右辺第一項は並進方向の独立自由度のみからなるマトリクス（$\ell \times 3$），右辺第二項の係数マトリクスは座標マトリクス（$\ell \times 3$），となっている。

3．ソフトウェア

SDRC/MODAL－PLUSを中心とした実験的モード解析の流れを**図1**に示す。このうちIMDOFは，著者が開発した強力なカーブフィットソフトウェアであり，周波数領域で250節点，40モードまでを同時に計算する能力を有している。

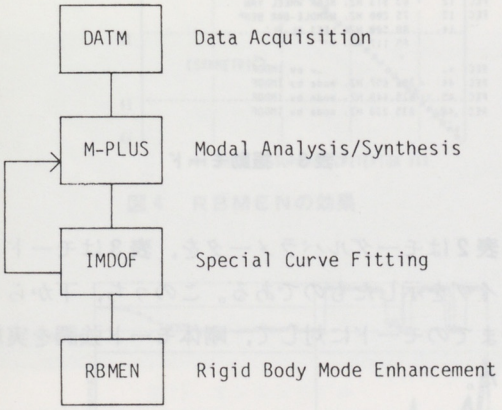


図1　データ処理の流れ

RBMENが，本報で述べている剛体モード強調法のソフトウェアである。(7)式の解法にはガウスの消去法を採用した。また，MODAL－PLUS，IMDOFとの会話をよくし，計算に使用する節点の編集や，重み係数の最適化などに工夫をこらした。

4．応用例1

図2，**図3**は二輪車のシャーシ加振テストの一例を示したものである。この例では，広い周波数範囲（0～800Hz）を必要としたため，**図2**に示す通常の周波数応答関数（FRF）測定には，電磁

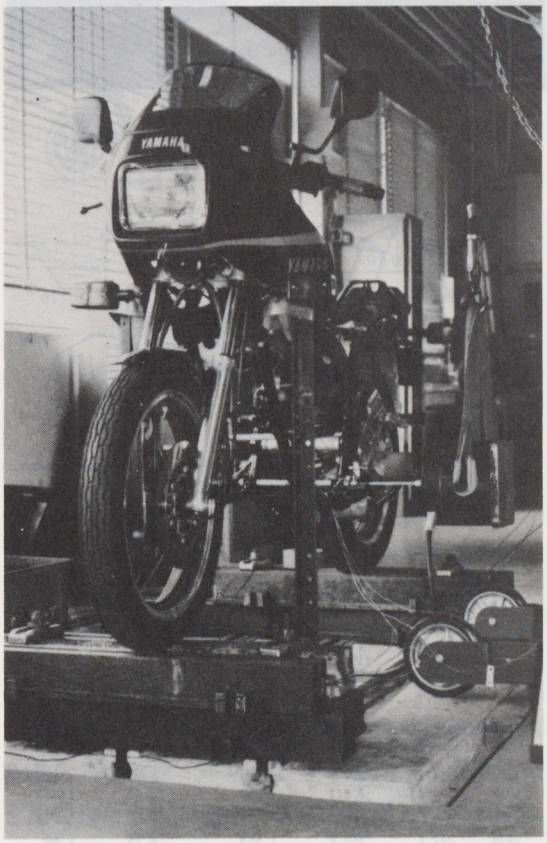
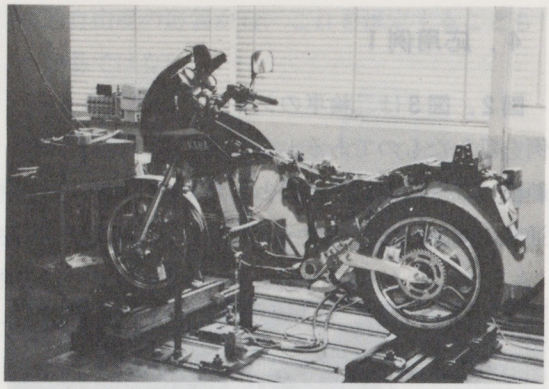


図2　弾性モード加振テスト

加振器とピエゾ式加速度ピックアップを，低周波数域FRF測定には，油圧加振器と歪ゲージ式加速度ピックアップを使用した。

また，低周波数域FRF測定については，**図3**に見るように数少ない測定点で代表し，すべての点を測定した訳ではない。これは，剛体モード強調によって，一度独立自由度が求まれば，(8)式によって任意の従属自由度を創成することができるからである。これにより，測定時間の大巾な短縮が可能となった。



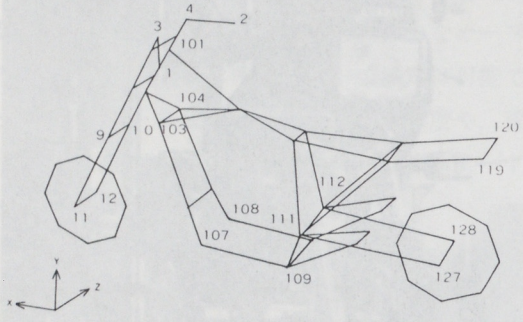


図3　剛体モード加振テスト
（図中数字は測定点を示す）

```
+-----------------------------+
! MODE NUMBER =  2            !
! FREQUENCY   =   2.901  (Hz) !
! DAMPING     =  0.1817       !
! MODAL MASS  =   2.192       !
! REFERENCE   =  119X         !
+-----------------------------+
  FORE/AFT
```

COORD	OBSERVED SHAPE	COMPUTED SHAPE	DIFFERENCES OBSD - COMP	PERCENT DIFF	WEIGHTING FACTOR
101X	254.7	261.7	-6.987	2.67	1.00
101Y	5.886	7.918	-2.032	25.67	1.00
101Z	40.11	28.85	11.27	39.06	1.00
103X	262.6	260.6	1.959	0.75	1.00
103Y	3.794	10.39	-6.592	63.47	1.00
103Z	12.54	21.80	-9.269	42.51	1.00
104X	255.1	259.9	-4.827	1.86	1.00
104Y	9.049	5.552	3.497	62.98	1.00
[illegible]	22.63	21.80	0.8264	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	258.4	[illegible]	14.53	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.07	1.00
120X	266.3	[illegible]	6.267	2.41	1.00
120Y	19.14	11.82	7.328	62.02	1.00
120Z	20.64	17.73	2.913	16.43	1.00
R.M.S.	153.3	153.2	6.931	4.52	(n = 26)

A MAXIMUM OF 1.436E+01 DIFFERENCES ON DOF 111Y

	X	Y	Z
R-DOF	2.745432E-02	-4.272765E-03	-5.628495E-03

表1　剛体モード強調例

表1は，ＲＢＭＥＮの実行例である。Ｘ方向に比較してＹ，Ｚ方向のデータに誤差が大きいのは，加速度ピックアップの横感度に起因するものと考えられる。合計26のモードシェイプ係数を使って，実行値誤差4.52％とかなり良い剛体モード強調を行なっていることが分かる。

```
#LP
MODAL PARAMETERS, FINAL
LABEL   FREQ    DAMPING AMPLITUDE   PHASE    REF    RES  MODE
  1    1.750   0.09252  579.9      1.571  109Z+    1Z+   1
  2    2.901   0.18170  919.7      1.571  119X+  111X+   2
  3    7.647   0.05187  1347.     -1.571  119X+  120Z+   3
  4   10.970   0.09720  6395.      1.571  107Y+  119Y+   4
  5   14.011   0.12800  3460.     -1.571  107Y+    1X+   5
  6   16.756   0.08228  2.0938E+04 1.571  109Z+  108Z+   6   Rigid Body Modes
  7   17.372   0.06308  5708.     -1.571  109Z+    1X+   7   ─────────
  8   19.409   0.05917  3760.      1.571  107Y+  119Z+   8   Flexible Modes
  9   25.754   0.03633  1.4137E+04 -1.571 109Z+  144Z+   9
 10   42.986   0.06300  1.4051E+04  1.571 107Y+  120Y+  10
 11   59.366   0.06226  4.0418E+04  1.571 107Y+  142Z+  11
 12   63.913   0.04855  4.7375E+04 -1.571 109Z+  139Z+  12
 13   75.200   0.05010  6.0795E+04  1.571 107Y+    1X+  13
 14   80.500   0.03655  1.2188E+05  1.571 107Y+  [illegible]
      85.117   0.05308  1.0564E+05 -1.571 [illegible]
      [illegible]537   0.07724  9.7829E+04  1.[illegible]
                        [illegible]  [illegible]
 42                                  [illegible]  107Y+  107Z+  41
 43   776.9[illegible]  [illegible]  [illegible]+06  1.571  107Y+  107Y+  43
 44   796.657  0.01653  2.3238E+06  1.571  107Y+  123Z+  44
 45   825.448  0.01330  1.5056E+06  1.571  107Y+  124Z+  45
 46   835.230  0.01287  1.5592E+06 -1.571  107Y+  124Z+  46
```

表2　モーダルパラメータ

```
FS
S RECORDS IN USE OF    60 AVAILABLE
REC  1.    1.750 HZ. LOWER CTR ROLL
REC  2.    2.901 HZ. FORE/AFT
REC  3.    7.647 HZ. YAW
REC  4.   10.970 HZ. BOUNCE
REC  5.   14.011 HZ. PITCH
REC  6.   16.756 HZ. UPPER CTR ROLL (STEER IN PHASE)      Rigid Body Modes
REC  7.   17.372 HZ. UPPER CTR ROLL (STEER OUT OF PHASE)  ─────────
REC  8.   19.409 HZ. FRONT AXIS FORE/AFT                  Flexible Modes
REC  9.   25.754 HZ. LATERAL TWIST
REC 10.   42.936 HZ. SWING ARM PITCH
REC 11.   59.366 HZ. REAR WHEEL ROLL
REC 12.   63.913 HZ. REAR WHEEL YAW
REC 13.   75.200 HZ. HANDLE-BAR BEND
    14.   80.500 HZ. LEFT AL-P[illegible]
          85.117 HZ. R[illegible]
[illegible]
REC [illegible]  [illegible] by IMDOF
REC 44.  796.657 HZ. mode by IMDOF
REC 45.  825.448 HZ. mode by IMDOF
REC 46.  835.230 HZ. mode by IMDOF
```

表3　振動モード

表2はモーダルパラメータを，**表3**はモードシェイプを示したものである。このうち，下から7つまでのモードに対して，剛体モード強調を実施した。

図4はこの7つのモードのＭＡＣが，剛体モード強調によって改善されていることを示したものである。**図5**は，これらのモーダルパラメータよりシンセシスしたＦＲＦを示す。剰余項を一切考慮していないにもかかわらず，10～600Hzの広範囲に渡って良好なフィットを示している。

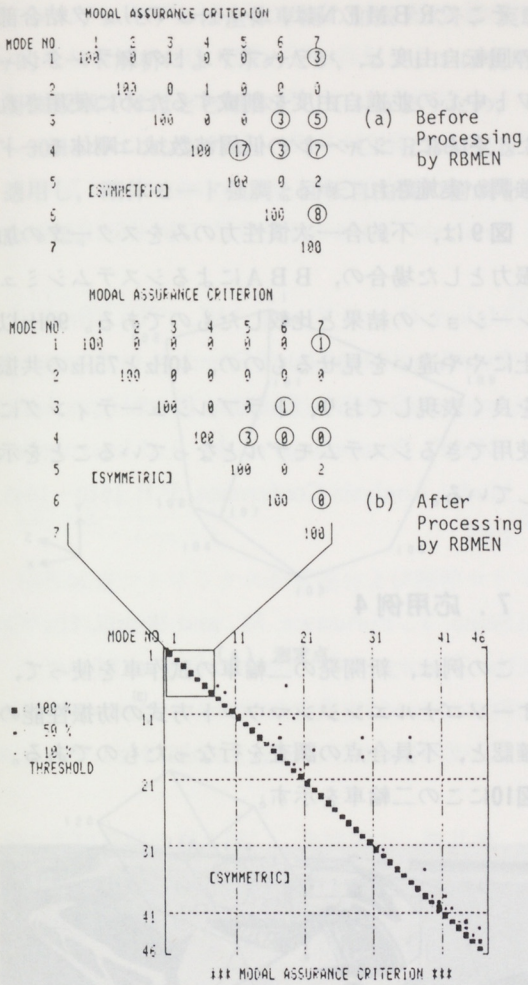


図4　RBMENの効果

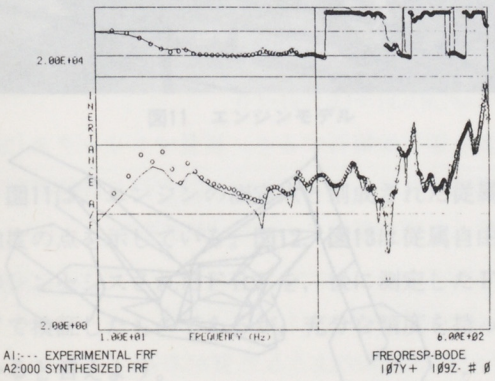


図5　剰余項なしのシンセシス結果

5．応用例2

図6は二輪車のエンジンマウント方法[3]の研究開発に使用したコンポーネントモデルを示している。この例では，シャーシの低周波数域に剛体モード強調を実施している。

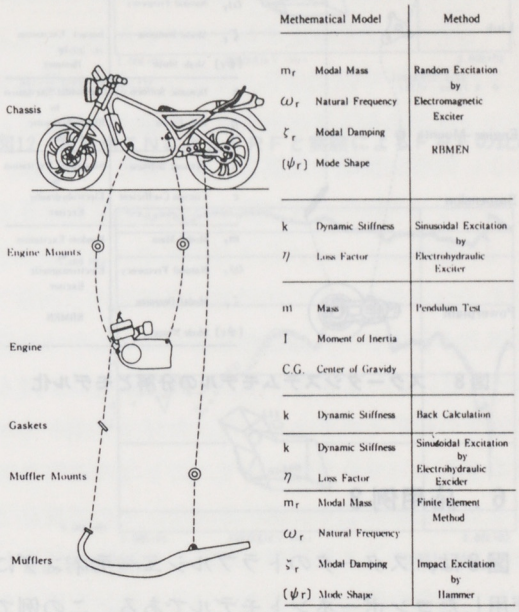


図6　2輪車システムモデルの分解とモデル化

ビルディングブロックアプローチ（BBA）によるシステムシミュレーションの結果と実験結果を比較したものが図7である。加振力は二気筒エンジンの不釣合一次慣性偶力のみとしているが，非常に良い一致が得られている。

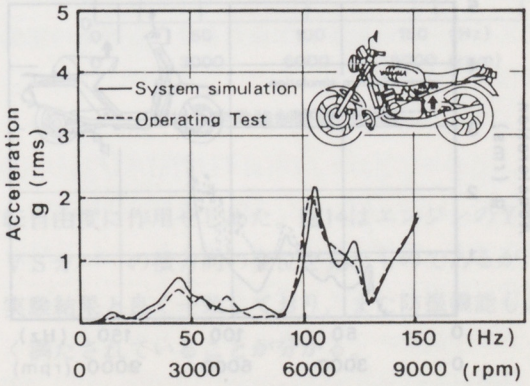


図7　定常強制応答の比較

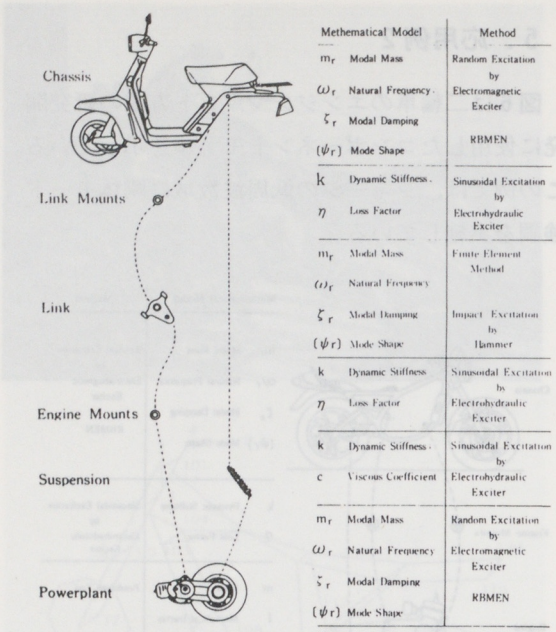


図8　スクータシステムモデルの分解とモデル化

6．応用例3

図8は，スクータのトラブルシューティングに使用したコンポーネントモデルである。この例では，シャーシとパワープラントがサスペンションとリンクで結合されるが，リンクに振りゴムを使用しているため，回転自由度が必要となる。また，システムモデルの加振力となる，単気筒エンジンの不釣合一次慣性力が作用する点，すなわちクランクシャフトの中心に加速度ピックアップを取り附けることは，事実上不可能である。

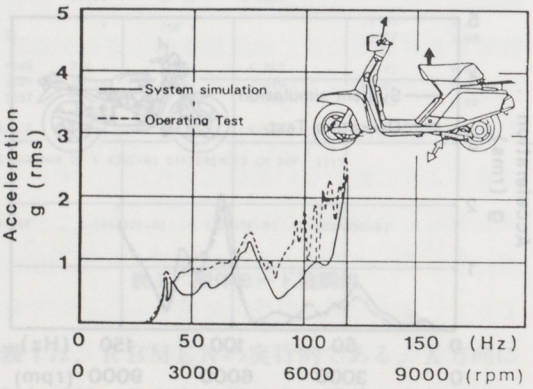


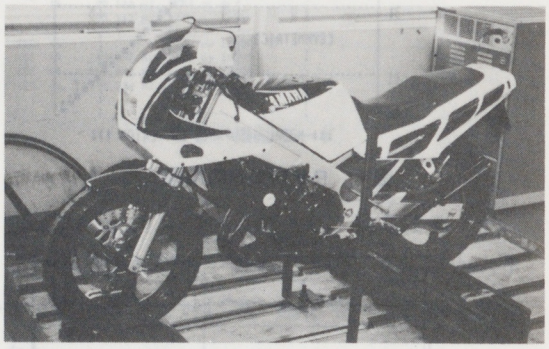
図9　定常強制応答の比較

そこでRBMENは，シャーシのリンク結合部の回転自由度と，パワープラントのクランクシャフト中心の並進自由度を創成するために使用された。さらに，シャーシの低周波数域に剛体モード強調が実施されている。

図9は，不釣合一次慣性力のみをスクータの加振力とした場合の，BBAによるシステムシミュレーションの結果と比較したものである。90Hz以上にやや違いを見せるものの，40Hzと75Hzの共振を良く表現しており，トラブルシューティングに使用できるシステムモデルとなっていることを示している。

7．応用例4

この例は，新開発の二輪車の試作車を使って，オーソゴナルエンジンマウント方式[3]の防振性能の確認と，不具合点の調査を行なったものである。図10にこの二輪車を示す。



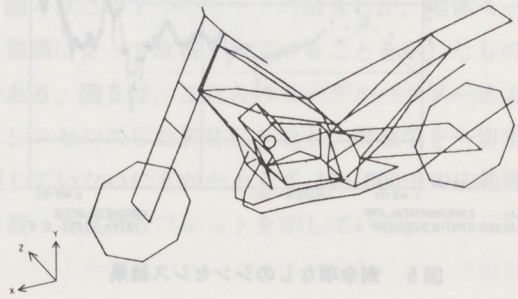
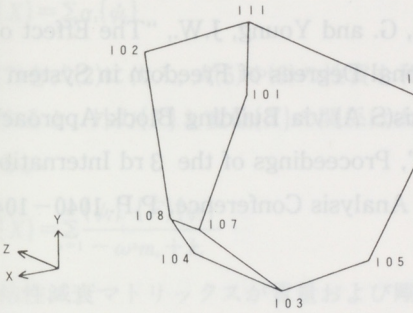
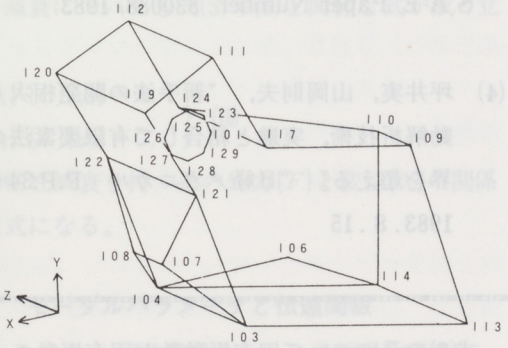


図10　二輪車

システムモデルは全体車輌の加振テスト，実験的モード解析により求めたが，エンジンは使用周波数域ではほとど剛体としてふるまうため，0～300Hzのエンジンのモードすべてに**RBMEN**を適用し，剛体モード強調と回転自由度の創成を行なった。



（a） 測定点



（b） 創成点（従属自由度）

図11 エンジンモデル

図11は，エンジンの測定点と創成された従属自由度の点を示している。**図12**，**図13**は従属自由度のシンセシスされたFRFを，後に測定したFRFで検証したものであるが，充分な精度を持っていると言えよう。

この，一つのコンポーネントによるシステムモデルを使って，システムシミュレーションを行なった。加振力は応用例2と同様に二気筒エンジンの不釣合一次慣性偶力とし，これをエンジンの回

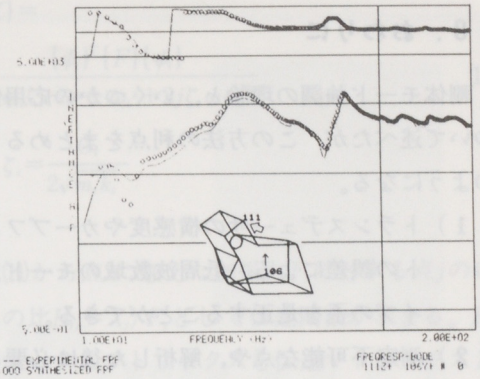


図12 RBMENによるFRFと実験によるFRFの比較

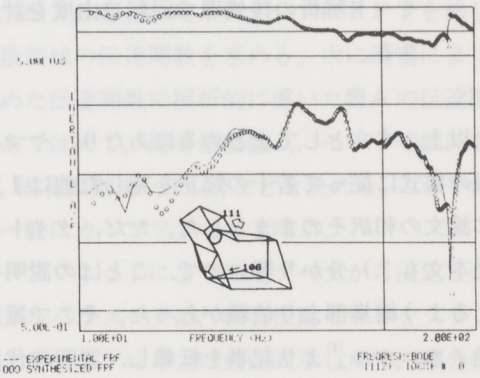


図13 RBMENによるFRFと実験によるFRFの比較

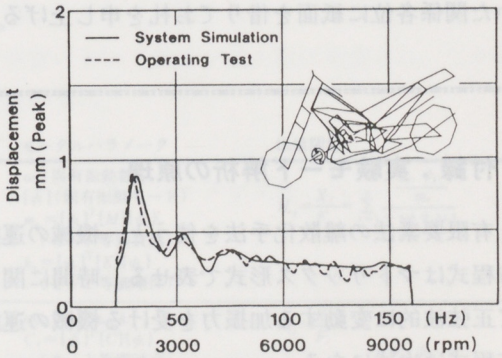


図14 定常強制応答の比較

転自由度に作用せしめた。**図14**はエンジンのYPVSカバーの横方向の変位を見たものであるが，実験結果と良く一致しており，また防振機能もよく満たされていることが分かる。

8．おわりに

剛体モード強調の理論と，いくつかの応用例について述べたが，この方法の利点をまとめると次のようになる。

1）トランスデューサの横感度やカーブフィットの誤差による，低周波数域のモードシェイプの歪を是正することができる。

2）測定不可能な点や，解析した後に必要となった点を従属自由度として創成できる。

3）特別な装置や複雑な手順を必要とせずに，モード解析の後処理で回転自由度を計算できる。

以上，本文としてまとめるにあたり，ヤマハ技報の書式に従って若干の修正を施した他はＩＭＡＣ論文の和訳そのままとした。ただ，タイトルが（本文も？）分かり難いので，ことばの説明を加えるよう編集部より依頼があった。そこで雑誌「日経メカニカル」[4]より記事を転載し，説明の代用とした。著者の悪文に加えていっそう分かり難くなったような気もするが御容赦頂きたい。御協力頂いた関係各位に紙面を借りてお礼を申し上げる。

参考文献

(1) Lamontia, M.A., "On The Determination and Use of Residual Flexibities, Inertia Restraints, and Rigid-Body Modes", Proceedings of the 1st International Modal Analysis Conference, P.P. 153－159, 1982

(2) Maleci, G. and Young, J.W., "The Effect of Rotational Degrees of Freedom in System Analysis(S A) via Building Block Approach (BBA)", Proceedings of the 3rd International Modal Analysis Conference, P.P. 1040－1045, 1985

(3) Seino, T., Furusawa, M., and Ikuma, H., "On the Theory of Orthogonal Engine Mount System and its Application to Motorcycles", S A E Paper Number 830088, 1983

(4) 坪井実，山岡則夫，〝新手法の開発相次ぐ振動解析技術，実験と結合して有限要素法の限界を超える〟〝日経メカニカル P.P.34～43, 1983.8.15

付録：実験モード解析の原理

有限要素法の離散化手法を使うと，機械の運動方程式はマトリックス形式で表せる。時間に関して正弦波的に変動する加振力を受ける機械の運動方程式は次式になる。

$$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+j[D]\{x\}+[K]\{x\}=\{F\}e^{j\omega t} \quad (1)$$

式(1)で，$[M]$，$[C]$，$[D]$，$[K]$は質量，粘性減衰，構造減衰，剛性マトリックスである。$\{x\}$，$\{F\}$は変位，荷重のベクトルである。

式(1)で減衰がない場合を考えると

$$[M]\{\ddot{x}\}+[K]\{x\}=\{F\}e^{j\omega t} \quad (2)$$

式(2)の系について固有振動数と固有振動モードを求めるには，次式の固有値解析を行う。

$$-\omega^2[M]\{x\}+[K]\{x\}=0 \quad (3)$$

式(3)を固有値解析すると，質量マトリックス$[M]$や剛性マトリックス$[K]$の次元nと同じ数の固有振動数ω_iと固有振動モード$\{\psi_i\}$が求まる。

$$\left.\begin{array}{l}\omega=\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_i,\cdots,\omega_n\\ \{x\}=\{\psi_1\},\{\psi_2\},\cdots,\{\psi_i\},\cdots,\{\psi_n\}\end{array}\right\} \quad (4)$$

$\{\psi_i\}$には次式のような性質がある。

$$\left.\begin{array}{l}\{\psi_i\}^T[M]\{\psi_i\}=0\\ \{\psi_i\}^T[M]\{\psi_i\}=m_i\end{array}\right\} \quad (5)$$

$$\left.\begin{array}{l}\{\psi_i\}^T[K]\{\psi_i\}=0\\ \{\psi_i\}^T[K]\{\psi_i\}=k_i\end{array}\right\} \quad (6)$$

式(5)や(6)の添字Tは行列の転置（行と列を入れ替える）を意味する。式(5), (6)で得られたm_iをi次のモード等価質量，K_iをi次のモード等価剛性という。ω_i, $\{\phi_i\}$, m_i, k_iをモーダルパラメータという。

$\{x\}=\{X\}e^{jwt}$とおくと，$\{X\}$は固有振動モード$\{\phi_i\}$の重ね合わせとして表現できる。

$$\{X\}=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i\{\phi_i\} \tag{7}$$

式(7)を式(2)に代入，式(5)や(6)の性質を利用して変形すると，外力$\{F\}$と変位$\{X\}$の関係は次のようになる。

$$\{X\}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\{\phi_i\}^{\mathrm{T}}\{F\}\{\phi_i\}}{-\omega^2 m_i+k_i} \tag{8}$$

粘性減衰マトリックスが質量および剛性マトリックスの線形和

$$[C]=a[M]+b[K] \tag{9}$$

として表せる場合を比例粘性減衰という。この場合は減衰についても式(5)や(6)と同様な式が成り立つ。

$$\left.\begin{aligned}\{\phi_i\}^{\mathrm{T}}[C]\{\phi_r\}&=0\\ \{\phi_i\}^{\mathrm{T}}[C]\{\phi_i\}&=C_i\end{aligned}\right\} \tag{10}$$

比例粘性減衰を持つ系の外力$\{F\}$と変位$\{X\}$の関係は次式になる。

$$\{X\}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\{\phi_i\}^{\mathrm{T}}\{F\}\{\phi_i\}}{m_i(-\omega^2+\omega_i^2+2j\zeta_i\omega\omega_i)} \tag{11}$$

$$\zeta_i=\frac{C_i}{2\sqrt{m_i k_i}}$$

式(11)から点iに加えた加振力F_iに対する点jの応答X_jの比$H_{ij}=X_j/F_i$として伝達関数が求まる。H_{ij}を要素とするマトリックスを伝達マトリックスという。**表A**に種々の減衰に対する伝達関数を示す。

実験モード解析は，最初に加振実験を行って得た，加振力と応答の時系列データにＦＦＴを施し，周波数領域の伝達関数を求める。次に測定によって求めた伝達関数に解析的に導いた**表A**の伝達関数をあてはめて，固有振動数ω_i，モード等価減衰比ζ_i，固有振動モード$\{\phi_i\}$などを決める。この手続きを一般にカーブフィットと呼ぶ。

カーブフィットにより測定データから決定したモーダルパラメータは，固有振動モードをグラフィックディスプレイ上に動画表示したり，部分構造をコンピュータ内で組み立てて機械全体の振動特性を予測する動特性シミュレーションに応用する。

表A　モーダルパラメータと伝達関数

減衰	運動方程式	固有値解析の基礎式	モーダルパラメータ	伝達関数
無減衰	$[M]\{\ddot{x}\}+[K]\{x\}=\{f\}$	$(-\omega^2[M]+[K])\{x\}=\{0\}$	ω_r（固有振動数） $\{\phi_r\}$（固有振動モード） $m_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[M]\{\phi_r\}$ （モード等価質量） $k_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[K]\{\phi_r\}$ （モード等価剛性）	$H_{ij}=\frac{X_j}{F_i}=\sum_{r=1}^{n}\frac{\frac{\phi_{ir}\phi_{jr}}{m_r}}{-\omega^2+\omega_r^2}$
比例粘性減衰	$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+[K]\{x\}=\{f\}$ $[C]=a[M]+b[K]$	$(-\omega^2[M]+[K])\{x\}=\{0\}$	ω_r, $\{\phi_r\}$, m_r, k_r $C_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[C]\{\phi_r\}$ （モード等価減衰）	$H_{ij}=\frac{X_j}{F_i}=\sum_{r=1}^{n}\frac{\frac{\phi_{ir}\phi_{jr}}{m_r}}{-\omega^2+\omega_r^2+j2\zeta_r\omega\omega_r}$
非比例粘性減衰	$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+[K]\{x\}=\{f\}$	$(P[A]+[B])\{y\}=\{0\}$ $[A]=\begin{bmatrix}[C][M]\\ [M][0]\end{bmatrix}$ $[B]=\begin{bmatrix}[K]&[0]\\ [0]&-[M]\end{bmatrix}$ $\{y\}=\begin{Bmatrix}\{x\}\\ \{\dot{x}\}\end{Bmatrix}$	S_r（複素固有値） $\{\phi_r\}$（複素固有振動モード） $a_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[A]\{\phi_r\}$ $b_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[B]\{\phi_r\}$	$H_{ij}=\frac{X_j}{F_i}=\sum_{r=1}^{n}\left\{\frac{\phi_{ir}\phi_r}{\frac{a_r}{S-S_r}}+\frac{\phi_{ir}^*\phi_{rj}^*}{\frac{a_r^*}{S-S_r^*}}\right\}$ *は複素系 $\{\phi\}$は$\{\phi\}$の下半分のベクトル
構造減衰	$[M]\{\ddot{x}\}+j[D]\{x\}+[K]\{x\}=\{f\}$	$(-\omega^2[M]+[K]+j[D])\{X\}=\{0\}$	ω_r $\{\phi_r\}$（複素固有振動モード） $m_r=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}[M]\{\phi_r\}$ $k_r(1+jg_r)$ $=\{\phi_r\}^{\mathrm{T}}([K]+j[D])\{\phi_r\}$	$H_{ij}=\frac{X_j}{F_i}=\sum_{r=1}^{n}\frac{\frac{\phi_{ir}\phi_{jr}}{m_r}}{-\omega^2+\omega_r^2+jg_r\omega_r^2}$

new-RTM法の紹介

マリン事業部
舟艇技術部・生産技術課　渡 辺 正 晃

1．は じ め に

不飽和ポリエステル樹脂を用いたＦＲＰ（ガラス繊維強化プラスチックス）成形法には，ＨＬＵ（ハンドレイアップ）法，スプレーアップ法，ＣＰ（コールドプレス）法，ＲＴＭ（レジントランスファモールディング）法，ＳＭＣ（シートモールディングコンパウンド）法，ＢＭＣ（バルクモールディングコンパウンド）法等がある。

各工法ともそれぞれ利点，欠点があり，生産数量，形状等の必要性に応じて，成形法を選択している。

例えば，ゴルフカー，スノーモービルをはじめとする特機事業部の商品のＦＲＰ部品は，生産数量も多く，主としてＳＭＣ法で成形されている。

また，マリン事業部のボート，プール等のＦＲＰ部品は，生産数量から言えばそれ程多くなく，しかも一部品がかなり大きくなるので，ＨＬＵ法またはスプレーアップ法が用いられる。

近年新商品の中には，従来のＳＭＣ法で成形するには生産数量が少なく，またＨＬＵ法またはスプレーアップ法で成形するには生産数量が多い商品が増加する傾向にあり，しかもこの中間を埋める成形技術がなかったため，その開発が急がれていた。

今回，その成形技術を確立したので報告する。

2．ＦＲＰ成形法の説明

表1に主な各工法の特徴をまとめたが，主な成形法については，以下に簡単に説明をする。

2－1　ＨＬＵ法

常温，無圧で硬化する不飽和ポリエステル樹脂のもつ特色をフルに生かし，ハケ，ヘラ，ローラなどの簡単な器具を用いて，型の上にガラス繊維に樹脂を含浸させながら順次必要な厚さまで積み重ねた後，硬化させる方法である。

特に，大型で複雑なものを少量生産する場合に，型が安いという長所が最大限に発揮され，この適用例が多い。

2－2　スプレーアップ法

型の上にスプレーガンを用いて樹脂とガラス繊維を同時に吹きつけて積層する成形をいう。型上に吹きつけられた積層品はローラで表面をならして脱泡し，通常室温で硬化させる。

ＨＬＵ法にくらべて能率は上がるが，操作に熟練を必要とし，ボート，バスタブ，浄化槽のような大型成形品の量産に適した方法である。

2－3　ＣＰ法

ガラス繊維をあらかじめセットした型に，触媒を混合した樹脂を注型し，型をクランプして硬化

		ハンドレイアップ法	スプレーアップ法	バキュームバック法	コールドプレス法	R T M 法	V A R I 法	B M C 法	S M C 法	M M D 法
作業方法		・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付	・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付	・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付 ・ガラス繊維＋樹脂積層	・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付 ・ガラス繊維セット ・樹脂注入	・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付 ・ガラス繊維セット	・離型剤塗布 ・ゲルコート吹付 ・ウレタン＋ガラス繊維積層	・BMC必要量計量 ・BMCチャージ	・SMC必要量カット ・SMCチャージ	・プリフォームガラス繊維セット ・樹脂注入
		・ガラスマットクロスセット ・樹脂含浸 ・ハンド脱泡	・ガラスロービング＋樹脂吹付 ・ハンド脱泡	・バッグフィルムで積層面シール ・真空圧で成形 ・硬化	・加圧含浸硬化	・上型と下型をボルトで締付 ・促進剤含有樹脂＋硬化剤注入	・真空圧で型締め ・樹脂注入 ・硬化	・高温高圧下で硬化	・高温高圧下で硬化	・高温高圧下で硬化
		・硬化　・脱型	・硬化　・脱型	・脱型	・脱型	・硬化　・脱型	・脱型	・脱型	・脱型	・脱型
使用型		FRP	FRP	FRP	FRP・(金属)	FRP・(金属)	FRP	鋼材	鋼材	鋼材
硬化	成形圧力	0	0	減圧力	5～10kg／cm²	1～7kg／cm²	減圧力	7～100kg／cm²	30～200kg/cm²	10～30kg／cm²
	成形温度	常温～50°C	常温～50°C	常温～140°C	常温～60°C	常温～60°C	25°C～30°C	110°C～155°C	120°C～150°C	80°C～140°C
	成形サイクル	30分～1日	30分～1日	30分～1日	10分～60分	40分～半日	40分～150分	0.5分～3分	3分～6分	1分～10分
対応製品		少量生産品	少量生産品	少量生産品 大型製品	中量生産品	中量生産品	中量生産品 大型製品	中～大量生産品 小型製品	中～大量生産品	中～大量生産品

表1　各種FRP工法

させる成形法をいう。複雑形状品には不向きである。

2－4　RTM法

ガラス繊維をあらかじめセットした型をクランプし，触媒を混合した樹脂を圧入し硬化させる成形法をいう。RI（レジンインジェクション）法とも言う。

2－5　SMC法

不飽和ポリエステル樹脂に充填材，触媒，増粘剤などを混ぜた樹脂ペーストにガラス繊維（約25ミリ長さ）を分散，含浸させたシート状の成形材料を，必要量切り取り，金型上にチャージし加熱加圧，硬化させる。

2－6　BMC法

不飽和ポリエステル樹脂に充填材，触媒，増粘剤を配合し，これにガラス繊維（チョップドストラント）を混入し，ニーダなどを用いて混練した成形材料を，圧縮成形，トランスファ成形，射出成形などにより成形する。

3．n－RTM法

n－RTM法を紹介するために，最初に今まで行なわれてきているRTM法についてその工程を

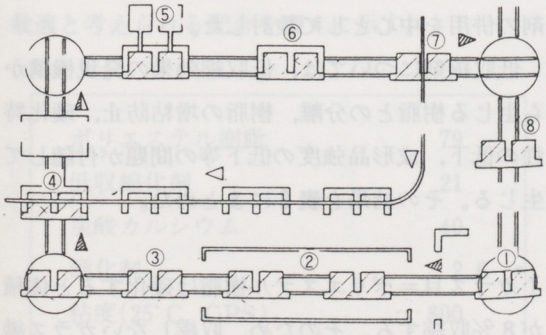


図1

図1に示し，内容を説明する。

①ゲルコート吹付

ゲルコート樹脂に硬化剤を混合し，スプレー機で下型に吹きつける。

②硬化

吹付けたゲルコート樹脂を硬化させる。

③ガラスセット

下型と同一形状のスクリーンと呼んでいる型にガラス繊維（約50ミリ長さ）とバインダーを吹付け，硬化させたプリフォームおよびインサートをセットする。

④型締め

下型と上型をガイドピンで合わせ，型締めする。

⑤注入

不飽和ポリエステル樹脂に添加剤，触媒を加え注入機により所定量注入し，その後注入栓をする。

⑥硬化

注入した樹脂を硬化させる。

⑦脱型

上型をホイストにより吊り上げ，成形品を取り出す。

⑧清掃

型についたほこり，汚れを拭い落とす。

以上の工程が，RTM法の1サイクルである。大きさにもよるが，一般にRTM法の1サイクルは2～3時間かかるのが通常であり，工程で時間を要するのはゲルコートの硬化と樹脂の硬化である。

3－2－1　n－RTM法の概要

今回，n－RTM法の成形サイクルを30分とすることを目標とし，そのための各工程の目標時間を決めた。それを表2に示す。

さらに，従来からFRP成形品の外観は良いと評価されないことが多いので，外観品質の向上も合わせてねらいとした。

ゲルコート塗布	3分
ゲルコート硬化	7
サーフェースマット	2
プリフォーム，インサート	
型締め，注入準備	1
樹脂注入	3
樹脂硬化	10
脱型	4
（計）	30

表2　成形手順と目標時間

3－2－2　電鋳型

目標時間を達成するためには，ゲルコートおよび樹脂の硬化を早くする必要があり，そのためには型を加熱する必要がある。

一方，型をＳＭＣ法で用いられている切削型や鋳造型を用いたのでは，加熱はできるがコストが合わなく，樹脂型では加熱できない。そこで，今回は表面のみ金属で内側を樹脂で構成した電鋳型（表面がニッケル，内側がエポキシ樹脂で構成されている。）を検討し，その構成を決定した。**図2**に型構造の概略を示す。

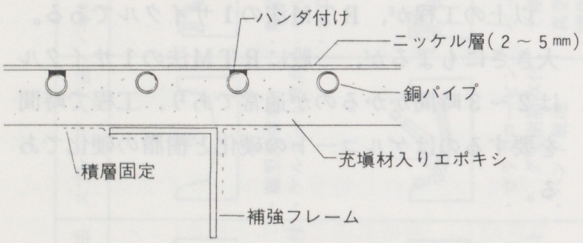


図2　型構造の概略

銅パイプの径，パイプ管のピッチ，ニッケルと銅パイプのクリアランスについてはある一定の範囲に入らないと温度の均一性が保てない。ニッケル金属もあまり薄いと成形時温度が低下しやすい。**図3**に型の構成と温度分布の一例を示した。

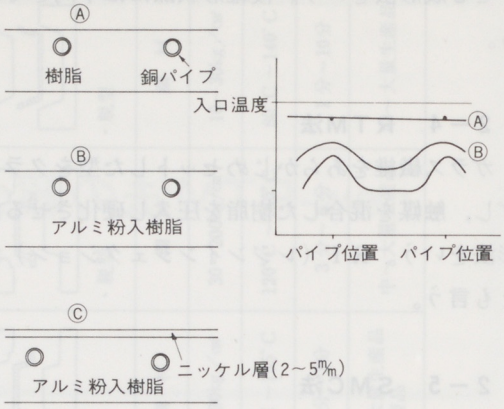


図3　型構成と温度分布

3－2－3　ゲルコート

ゲルコートの種類により，品質の安定性，成形性に差が見られた。特に，ゲルコートのゲル化時間（硬化が始まる時間）とタックフリー時間（指触してべたつきが感じなくなる時間）は，ｎ－ＲＴＭ法では重要なポイントの一つで，ゲルコートの種類により差が見られた。

3－2－4　成形樹脂

成形樹脂については，外観品質の向上，特にガラス目*が従来より問題とされていたので重要なポイントとして検討した。

ガラス目対策として有効な手段は，低収縮剤の併用，充填材の添加，成形条件，サーフェスマットの利用等が考えられたが，最も効果的な低収縮剤の併用を中心として検討した。

低収縮剤については，低収縮効果の発現機構から生じる樹脂との分離，樹脂の増粘防止，硬化特性の低下，成形品強度の低下等の問題が付随して生じる。その結果を**表3**にまとめた。

（*ガラス目＝ポリエステル樹脂は硬化すると体積が８％収縮する。そのため，収縮しないガラス繊維が成形品に浮出して見えることを言う。）

低収縮剤	分離性	増粘性	硬化特性	型汚れ	強度低下
A	不可	良	優	優	良
B	優	良	良	良	良
C	優	良	良	良	良
D	優	良	良	良	良
E	良	不可	良	良	良
F	不可	良	良	不可	優

表 3　低収縮剤の種類と特性

また，低収縮剤の併用量と樹脂の体積収縮率(収縮率が０％の時，ガラス目は消える。)の関係を**図 4** に示す。

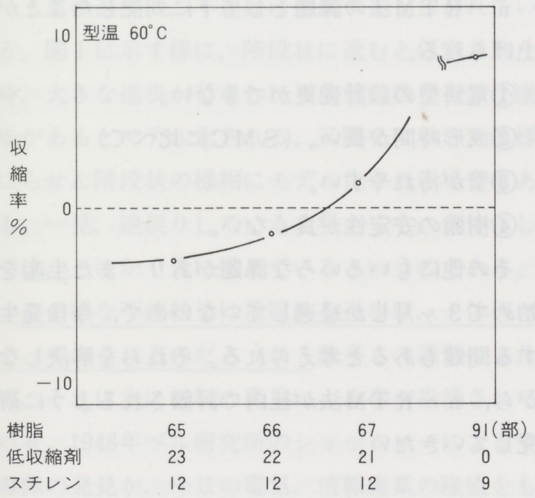


図 4　体積収縮率と低収縮剤量の関係

ガラス目を少なくし，成形条件も考慮した中で，最適と考えられる配合を**表 4** に示す。

ポリエステル樹脂	79
低収縮化剤	21
炭酸カルシウム	40
硬化剤	2.6
粘度(25°C，CPS)	800
ゲルタイム(60°C，分)	2.0

表 4　樹脂配合と物性

その時の成形品の主な特性値を**表 5** に，成形手順と所要時間を**表 6** に示す。

成形品板厚(mm)	3.0
曲げ強さ(kg/mm²)	13.6
曲げ弾性率(kg/mm²)	650
引張り強さ(kg/mm²)	7.1
引張り弾性率(kg/mm²)	800
伸び率(%)	1.6
比重	1.52
ガラス含有率(%)	30

表 5　成形板物性

型準備	1.5分
ゲルコート塗布	3
ゲルコート硬化	5
サーフェースマット	1.5
プリフォーム，インサート	
型締め，注入準備	2
樹脂注入	1
樹脂硬化	15
脱型	1
(計)	30

表 6　成形手順と所要時間

低収縮剤の併用により，外観品質のガラス目は改善されるものの，一般のＦＲＰ成形品にくらべて強度が低下すること，成形品のコストが高くなることが問題となる。

そこで，ガラス目はある程度のレベルとして，強度を従来のＦＲＰ成形品並となる配合も検討した。その配合を**表 7** に，成形品の主な特性を**表 8** に示した。

ポリエステル樹脂	100
炭酸カルシウム	60
硬化剤	1.5
粘度(25°C, CPS)	900
ゲルタイム(60°C, 分)	1.0

表7　樹脂配合と物性

成形品板厚(mm)	3.0
曲げ強さ(kg/mm²)	17.5
曲げ弾性率(kg/mm²)	7795
引張り強さ(kg/mm²)	9.1
引張り弾性率(kg/mm²)	940
伸び率(%)	1.5
比重	1.67
ガラス含有率(%)	30

表8　成形板物性

4．コスト

4－1　型費

n－RTM法は電鋳型で成形するので，切削型を用いるSMC法にくらべて型費は⅓～¼に圧縮できる。しかしながら，1型当たりの成形品の出来高がSMC法にくらべて¼～⅕にまで低下するので，量産品になるほどSMC法が有利である。

4－2　成形品のコスト

SMC法は成形サイクルがn－RTM法にくらべて短いので成形品のコストは，後塗装しても安くなる。問題となるのは，型の償却費を何台で計算するかによっている。

種々の報告および社内での検討から，ある部品をn－RTM法で成形する場合と，SMC法で成形する場合のコスト比較を，生産台数との関係で計算した例を図5に示した。

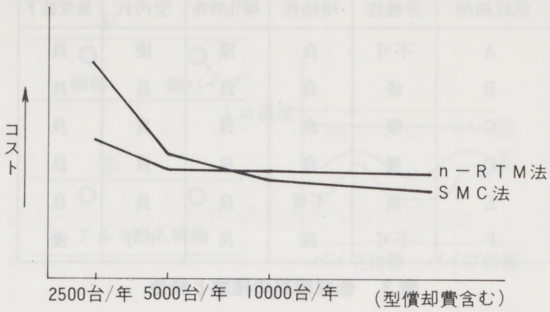


図5　生産台数と成形品コスト

5．n－RTM法の課題

n－RTM法の課題として下に列記したことが上げられる。

①電鋳型の設計変更ができない。

②成形時間が長い。(SMCに比べて)

③型が汚れやすい。

④樹脂の安定性が良くない。

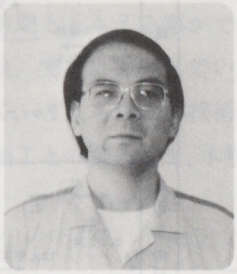
その他にもいろいろな課題があり`また生産を始めて3ヶ月しか経過していないので，今後発生する問題もあると考えられる。それらを解決しながら，n－RTM法が社内で評価されるように研究していきたい。

6．おわりに

n－RTM法の生産技術開発にあたり，特機事業部，研究部，本社生産技術部をはじめ各方面の方々から暖かい御指導をいただき何とか一部品を立上げることができました。ここに，書面をかりて御礼を申し上げるとともに，今後も引き続いて御協力下さいますように御願い申し上げます。

材料技術における最近の話題(III)

—自動車及びモーターサイクル用材料—



第1研究部　材料研究課
山田　徹

1. はじめに

工業の進歩は，不連続に進展すると云われている。**図1**に示す様に，階段状に進むと仮定された時，大きな進歩が行なわれる前後に数多くの小進歩があるとモデル化される。又**図2**に示される様にらせん階段状の様相にモデル化される場合もある。一見，逆戻りしていると見えても，全体としては，とにかく先に進んでいるというのである。

この様な不連続又は飛躍的な進歩は，一体何によって為されるのだろうか？数多くの識者によれば，それは主に材料の発見による事が指摘されている。1948年ベル研究所のショックレーによる半導体の発見が，今日の電気，情報産業の隆盛をもたらしたといっても過言ではなく，ゲルマニウムに始まり，シリコン，ガリウムひ素等の化合物半導体へと発見する度に，オーダー毎の進歩をもたらした。先端は，宇宙産業から，身近な所では，超硬工具（WC-Co系）による切削速度の高速化に至るまで，新素材が，キーテクノロジーであった例は，枚挙に暇がない。先端技術と材料の関連は，第1報に既述してあるので参照されたい。

さて翻って私達が属する輸送機器産業における材料の位置，役割はどうであろうか？

図3に，製品・材料等のg当たりの単価を示す[1]。製品面からすると，2000cc乗用車で，1.4～1.7円/gに対し，M/Cは，約1.8～3.5円/gとなり，乗用車よりも高い。M/Cを更に排気量別に分類すると，**表1**に示す様に，排気量が大きくなるにつれて，g単価は高くなっている。g単価の大きい方へ眼を移すと，電卓60円/g，旅客機BO-747は115円/g，戦闘機F-15は1,650円/gとなっている。勿論，製品g単価を見る場合，(1)生産量(2)耐久寿命（旅客機は約15～20年）(3)ランニングーコストの価値（飛行機は極めて高い）等，種々の条件を考慮に入れる必要はあるが，軽簿短少化，高付加価値化の指標として簡便である。

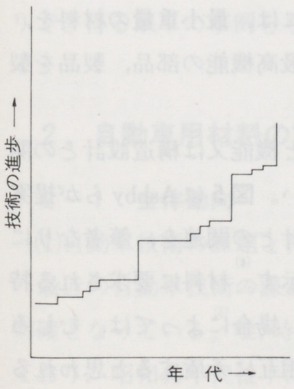


図1　技術進歩の不連続性

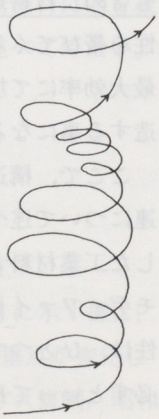


図2　技術進歩のラセン性

項目 / 排気量	g当たりの単価（円/g）	最大値(円/g)
50cc	1.8～2.2	
125～400cc	2.2～3.0	4.4
500～750cc	3.0～3.5	5.0

表1　M／Cのg当たりの単価

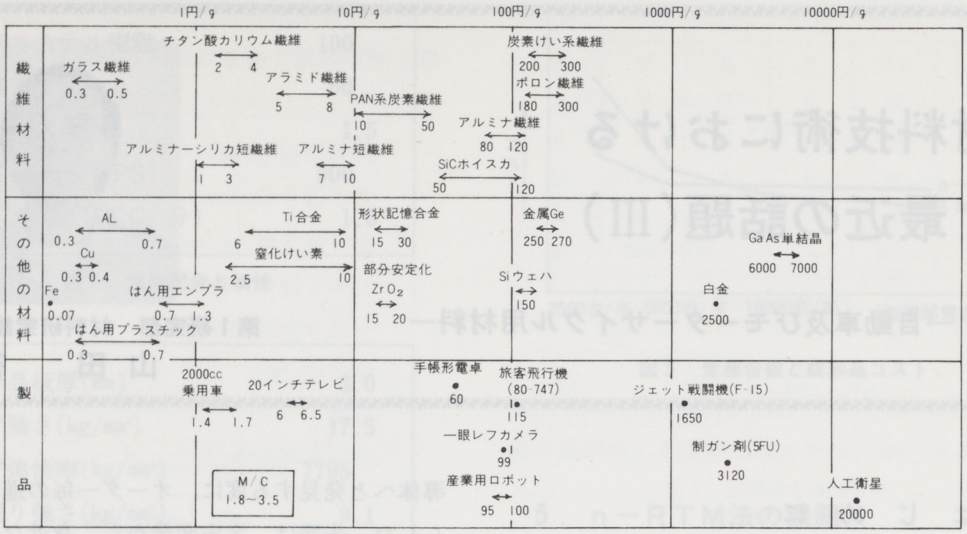


図3　繊維，材料，製品の価格マップ[1]

材料のg単価をみると，鉄鋼の0.07円/g，アルミ，汎用プラスチックの0.3～0.7円/gに始まりシリコン-ウェハ150円/g，白金2,500円/gまで散在している。

さて，製品g単価と，材料g単価の関連を調べる為に，輸送機器の中から，乗用車（トヨタマークII[2]），M/C（ヤマハTZR250），旅客機（BO-767[3]）の材料構成比を**図4**に示す。

(1)構成する材料の種類は，構造用材料が主。

(2)製品g単価が高い程，材料選択の自由度が大きくなる。

(3)製品g単価が高くなると，g単価の高い材料が増加してくる。

等の特徴が見い出せるが，(2)，(3)を逆説的に考えると私見であるが，次の推論が導かれる。

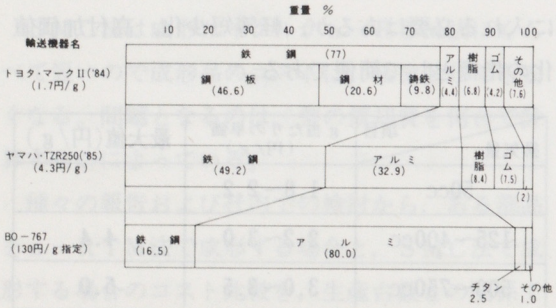


図4　各輸送機器の材料構成比

製品g単価がきまると，使用できる材料は，限定され，およそその⅙以下の材料のみが使用可能と思われる。

例えば，マークIIは，0.28円/g以下，TZRは，0.71円/g以下，BO-767は，21円/g以下の材料なら，十分採算が合う事となる。ただし，飛行機は，少量，材料費より加工費がはるかに高い事等の理由により，対象外とした方が良いかも知れない。

従って，輸送機器においては，第一に製品g単価によって，使用し得る構造用材料は限定され，これらは，大量生産による安価な材料が殆んどといって良い。これ故，第二には，材料購入—加工も含めた材料運用技術が，コスト競争力上，重要性を帯びてくる。単純には，最小重量の材料を，最大効率にて加工し，最高機能の部品，製品を製造する事になる。

ここで，構造用材料と機能又は構造設計との関連について述べてみたい。**図5**にAshbyらが提案した工業材料と構造設計との関連を，筆者なりにモディファイした図を示す。[4]材料に要求される特性は，ひとつではなく，場合によっては，むしろ必ずといって良い程，相互に矛盾すると思われる性能を同時に満足する要求が為される。材料の特

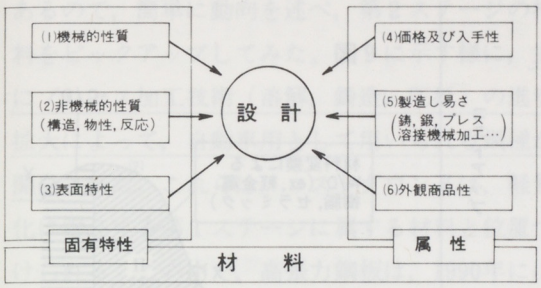


図5　工業材料の特性と構造設計との関連

性を，本来保有し変えにくい固有特性と，情況，他技術によって変動する属性に分類し，この2つを更に各々3因子に分けている。これら6因子を全て満足する材料は無いと断言でき，設計は，6因子の微妙なバランスの上に成立していると考えられる。例えば，鉄鋼材料は，最もバランスがとれた材料で(1),(4),(5)は良いが，重く（因子(2)で規定）錆び易い((2),(3))欠点を有する。これを改良すべく，軽い樹脂やAℓをサンドイッチ鋼板にしたり，表面にAℓやZnをメッキすると，加工性を著しく低下させるといった具合である。最近話題となる新材料も，同様であり，材料によって，設計が大きく影響される。従って，材料の特性を良く把握し，特性を最大限に活かした最適設計が最後に重要となってくる。これは，まさに，企業における人材についても，同様であると思われる。

最適設計は，時代の要求，流れによって変遷する。本報では，ここ3～5年における自動車，M/C等の材料動向，特に，軽金属，新素材に的を絞りでき得る限りの事例をもとに，述べてみたい。

2．自動車用材料の動向

2－1　全体動向

(1)自動車技術の課題と材料・加工

最近の自動車技術の課題は，**図6**に示す様に，明確となっている。[5] 唯，時代と共に重点が変化しており，昭和40年代後半には，排ガス規制，昭和50年代前半は，オイルショックに伴い省エネ（低燃費，軽量化）そして，ここ数年は，高性能化，高級化，高品質化等の時期ととらえる事ができる。この動きと，材料動向は，密接に連動している。詳細は後章に譲るとして，これら自動車技術の課題に対応する材料及び加工との関連性を，木村は，**図7**に示している。[6]

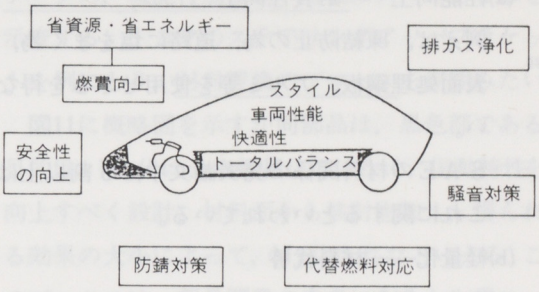


図6　最近の自動車技術の課題

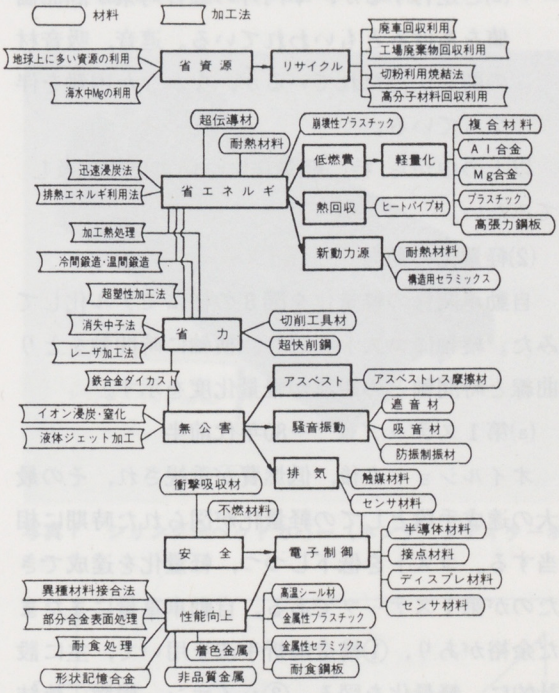


図7　自動車技術の課題と材料及び加工法の関連

木村は，同論文において，商品上の課題と生産技術上の課題（①省資源，省エネルギー型生産体系，②効率的，弾力的生産体系，③省力化，自動化）に大別し，更にその達成手段を，材料と加工法から関連づけている。又，その中で，〝自動車への課題は，ダイレクトに材料への開発課題となる

事が多い。ただ，材料開発とその加工方法が組みあわせて開発され，自動車の生産技術として完成されてはじめて，生きる技術，生きた材料となり得る″事を強調されているのは，当然といえども，傾聴に値する言である。**図7**において，最近動きが大きいのは，次の3つの様に感じられる。

(a)性能向上——耐食性向上

例えば，凍結防止の為，道路に塩をまく為，表面処理鋼板，アルミ等を使用せざるを得ない。

ＳＡＥの材料関係の発表論文中，5割以上はこれに関するといわれている。

(b)軽量化——材料代替

(c)騒音・振動

(b)と逆行するが，車内外の騒音対策が商品価値をあげるともいわれている。遮音，吸音材の開発が待たれているが，なかなか困難を伴なっている。

以上の中から，特に軽量化について更に言及してみたい。

(2)軽量化の動向

自動車関係の軽量化を**図8**の様にモデル化してみた。縦軸にコストをとり，横軸に時間軸をとり曲線と時間軸との距離が軽量化度を示す。

(a)第1ステップ　～80年代前半

オイルショック後，低燃費が重視され，その最大の達成手段としての軽量化が図られた時期に相当する。コストを低下しつつ，軽量化を達成できたのが第1ステップである。自動車重量にまだまだ余裕があり，①構造解析手法を用いて，主に設計的に，軽量化を図る。②ハイテン，樹脂，焼結等，コストアップしない範囲での材料置換が行なわれた。販売価格が上げれない制約条件もあった。

(b)第2ステップ　～80年代後半

販売価格の上昇によって，第1章で述べた様に材料選択の自由度が大きくなった（コスト・アップが吸収できる）事と，足まわり部分の塩害対策，操縦性等のメリットにより軽金属，樹脂等の材料使用が開始された。材料代替による軽量化が高級車（New RX-7，ソアラ，フェアレディＺ）を中心に採用されつつある時期といえる。現在は，この曲線のＸぐらいの位置ではないだろうか？

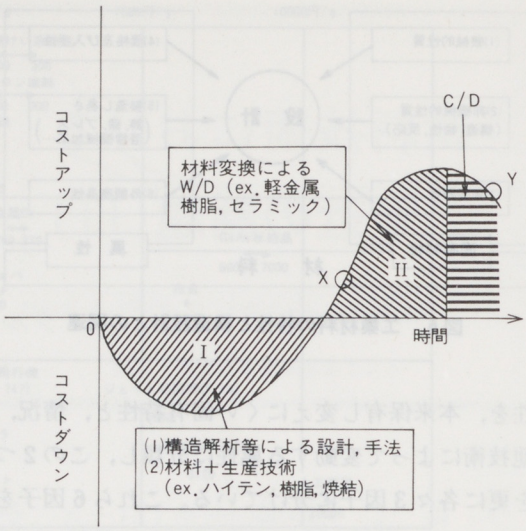


図8　軽量化とコストの動き

(c)第3ステップ　～90年以降？

同一系材料（例えば，鉄鋼→鉄鋼，アルミ→アルミ）の材料置換は，設計，製造法がほぼ同一である為大きなリスクはないが，鉄鋼材料から，アルミや樹脂への変換は，それなりのリスクを伴う為どうしても，安全サイドの材料，設計，製造を行う。軽量化度が高まり，量的増加，品質安定してくると，軽量化材のなかでのコスト・ダウンが行なわれると予測される。

M/Cは恐らく，アルミ化の進んだ機種で，Ｙ位の位置ではないだろうかと推測する。予測では，1990年でも，自動車材料構成比は，大きく変わらないとされているが，果して，そうであろうか？疑問をもつ一人である。

2－2　第2ステージとしての軽量化

前章で，全体動向を述べたが，第2ステージ，即ち材料代替期の時例を，ここでは述べたい。

(1)鉄鋼材料

図4に示した様に車重全体の約77％は，鉄鋼で

あるので，簡単に動向を述べ，第2ステージの材料をピックアップしてみた。図9に示す様に，主にプロセス加工技術（溶解，鋳造，圧延）の進歩拡大によって，自動車用として用いられる鋼種が開発された[7]。これらは，コストダウン又は，軽量化に寄与する第1ステージに属する材料と位置づけられる。この中で，高張力鋼板は，1990年には，外板の50%以上に至ると予測されている[6]。又耐食性向上から，外板，タンク，排気系を中心に，表面処理鋼板も増加するが，これは，材料費，加工費，いずれも，コストアップになるが，要求機能，商品性から，やむを得ないと考えられる。機能付加，及び軽量化の為に，表面処理高張鋼板，樹脂を軟鋼板の間に狭んだサンドイッチ鋼板の動向が注目される。

軽量・断熱性・防振・防音等から，オイルパン，サンルーフ，ボンネット等にサンドイッチ鋼板が実用化又は開発されている[8][9][10]。

鉄鋼材料については，第2報に既述しているので，詳細はそちらを参照されたい。

(2)マグネシウム（Mg合金と略す）

Mg合金は，比重が1.74と，構造用材料の中では最も軽い合金である。が，①コストが高い②錆び易い③加工上の安全性等の理由で，自動車用材料としては，多量に用いられなかった。しかし，フォードのフィエロ，ポンティアック等への採用が成功したのを契機に，GMも刺激を受け，更には，国内メーカーも採用を始めた。ホンダのシリンダーヘッドカバー（写真1，後に樹脂に変更）や，

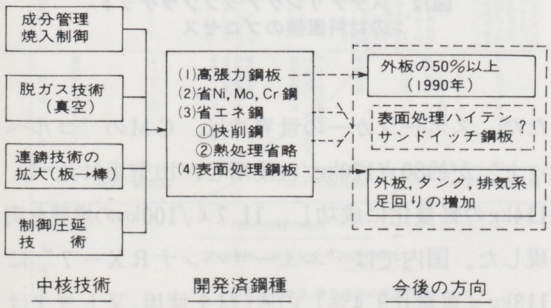


図9　鉄鋼材料の現状と動向

トヨタ，マツダのステアリング回りの部分に採用され始めた。従来，Mg合金の採用は，Mg/Aℓの地金価格比が1.4～1.7になれば採算がとれ[11]，図10に示す様[12]に採用部品が拡大されるといわれてきたが，Aℓ地金価格が低下し，約3.0の現在に採用が増加しつつあるのは，定説が崩れ始め，第2ステージの，機能付加価値の時代に入つつある事を示唆する。トヨタのステアリングアッパブラケットを例にとり，材料置換のプロセスを垣間みたい[13]。

図11に概略図を示すが同部品は，黒色部である。目的は，Mg化による軽量化ではなく，振動特性を向上すべく設計，材料面から検討を加え，得られる効果の大小によって，Mg化されたといえる。このプロセスは，部品開発の参考になるかと思い，概略を図12に示してみた。この開発のポイントは，

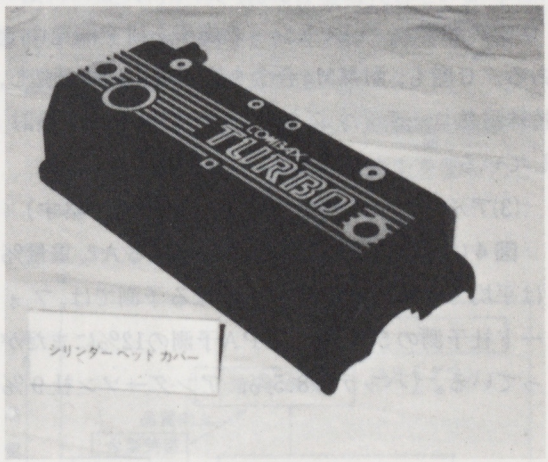


写真1　シリンダーヘッドカバー（ホンダ　シティターボ）

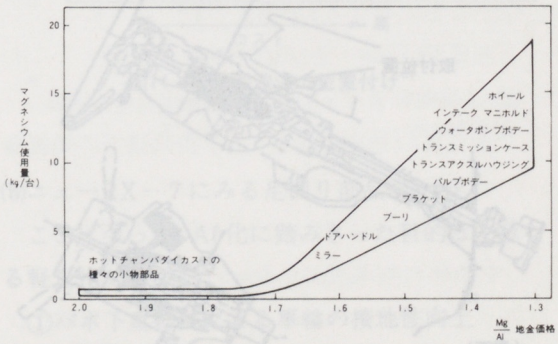


図10　Mg/Al地金価格比による自動車へのマグネシウム使用量予測[12]

(a)材料開発：Fe, Cu, Ni 等不純物を低下し，高耐食性合金を開発，表面処理なし。

(b)機能評価：応力腐食割れを予測し，2年がかりで対応。臨界応力下で使用。

(c)製造法：ホットチャンバーを使用したと思われ大量生産に始めて成功した。

(d)コスト：亜鉛ダイカストからの代替の為，材料加工費含めて，ややコストアップと推測される。

本部品は，昭和58年クラウンに採用，その後コロナへも展開され，増加しているといわれている。

本例は，機能向上を果たしながら，材料及び加工技術面でコストを最大限低下させ得た成功例といえる。

その他，R360クーペ以来，Mg化に実績のあるマツダでは，ディスクホイール，ステアリングギーロックボディ，ピストンへの応用を研究開発中である。[10] 日産も，耐熱Mg合金を高圧凝固にて製造し，特殊耐熱コーティングを施こしたピストンを検討している。[9]

(3)アルミニウム合金（以下，Aℓ合金と略す）

図4に示した様に，乗用車におけるAℓ重量%は平均で約3.5%で1990年における予測では，[5] フォード社予測の5%から，EPA予測の12%にまたがっている。（バッテル8.5%，アンダーソン社9%）

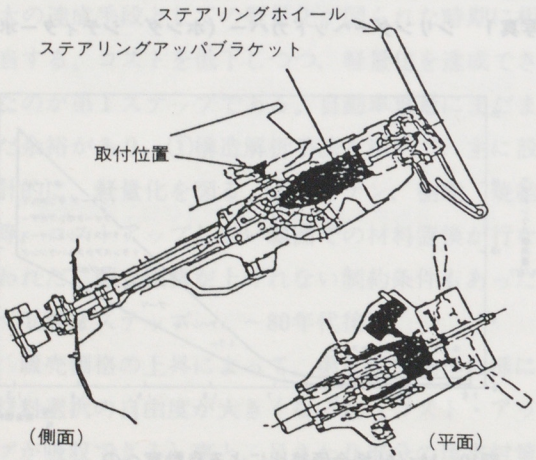


図11　ステアリングコラム概略図[13]

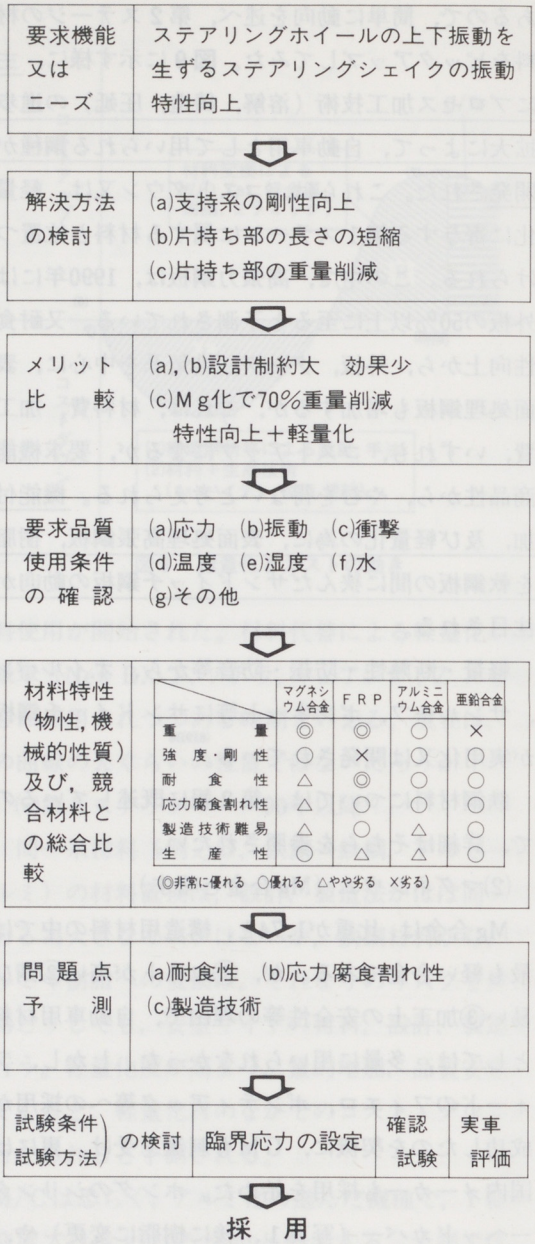


図12　ステアリングアッパブラケットの材料置換のプロセス

ただ，スポーツカーの世界では，GMの〝コルベット〟が約80点170kg/台使用し，旧型車に比べ，114kgの軽量化に成功し，11.7ℓ/100kmの燃費を実現した。国内では〝ニューサバンナRX－7〟に113kg（重量比9.4%）のAℓ材を使用，又トヨタは〝セリカ〟等のA型ロアアームに，A6061のAℓ鍛

造品を採用し，Aℓ化の動きが，活発となってきた。足回り以外では，ラジエターのAℓ化(従来は銅合金）が最大の焦点となっている。

又，製造法からみると，80年代米国車で約80kg 1台のAℓ中約70％の55kgが鋳造品で，残りが展伸材で構成され，1990年でも，量の増加はあっても比率は変化しないと予測されている。

さて，ここでは，Aℓ材の約70％を占めるAℓ鋳造化の流れと，鋳造技術との関連，それと足回り部品のAℓ化を，RX－7を例にとり述べてみたい。

(a)Aℓ鋳造化の流れ

図13に，Aℓ化の時代的変遷の図を示す。[2] 昭和50年代に入ると，高品質高級化期と定義され，昭和54年頃から，アルミ切替，軽量化時代とされている乗用車の外観に出る部品でAℓであるとはっきり判別できるのに，キャストホイールがある。キャストホイールの装着率の上昇カーブが，ある意味で高品質高級化期のひとつの流れと一致させる事はできないだろうか？足回りの軽量化という技術上のメリットは当然ながら，Aℓのもつ軽量感，デザイン性，色彩感等，技術以外の付加価値がそこには，有る様に思われる。勿論，コスト的には，鋼板製ホイールをはるかに越えるが，やはり，サッシ材はAℓであるのが当然という感覚と同じ様に，キャストホイールが時代に受け入れられていくと

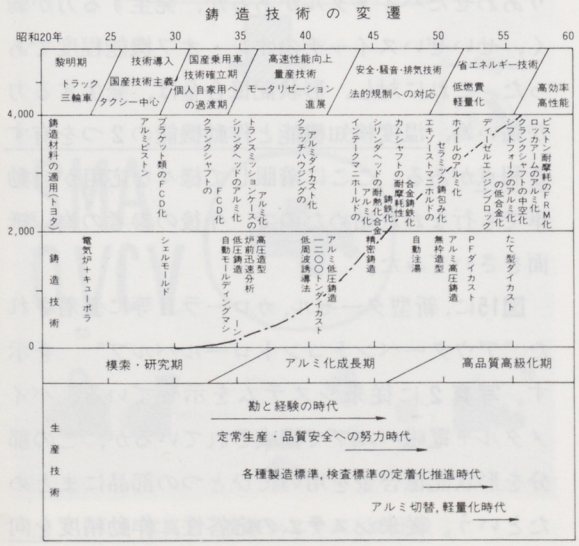


図13　自動車鋳物のアルミ化の歩み

感じられる。

乗用車のAℓ化は，主に鋳鉄　鋼板部品からの代替である。鋳造法としては，ダイカストが多いが，近年，強度，耐圧性などと高品質を必要とされる鉄製部品を代替する為，低圧鋳造法，溶湯鍛造法が使用され始めた。溶湯鍛造法は，Aℓ溶湯の凝固過程で高圧力を加える方法で，鋳造欠陥の少ないAℓ鋳造品が得られ，強度も10～20％向上する。トヨタが，キャストホイールに採用したのを始めマツダ等も，精力的に用いている。使用できる材質も，従来の鋳造材は勿論の事，展伸材も可能であり，高品質化時代の技術と伝える。他の鋳造品との相対的位置づけを，**図14**に示す。[14]

最近の話題としては，この他

①ギヤシフトフォーク

鋼材の焼入材から、A390合金に代替し，耐摩性，耐焼付性などの性能向上と共に40％軽量化。[8]

②ＦＲＭ耐摩リング入りピストン

リング溝周辺部をAl_2O_3—S_iO_2短繊維で補強し耐摩性，耐焼付性，冷却性能向上を図った。ディーゼル用に増加。[8]

③ニッケル発泡体鋳ぐるみピストン[10][15]

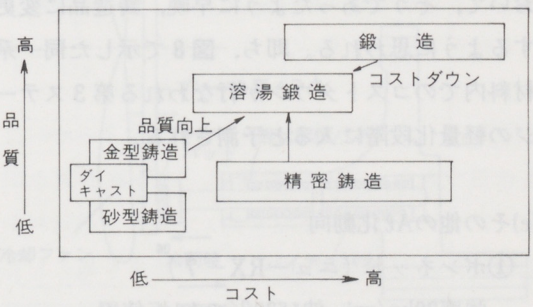


図14　溶湯鍛造法の位置付け[14]

(b)ニューRX－7にみる足回り部品のAℓ化。

ここに至って，Aℓ化に踏みきった目的は，単なる軽量化ではなく

①バネ下重軽減による車輪の接地性向上[16]

②耐食性向上による塩害対策

の二つが考えられ，1kg軽量化の為，200～300円

部品名	Al材	製造法	重量	従来材	製造法	重量
フロントホイールハブ	A6061 FD-T6	熱鍛	1.1	鋼板	プレス溶接	2.62
フロントA型アーム	A6061 FD-T6	熱鍛	1.8	鋼板	プレス溶接	2.90
フロントディスクブレーキキャンパー	AC4C-T6	溶鍛	2.25	球状黒鉛鋳鉄		5.30
トーコントロールハブ	AC4C-T6	溶鍛		球状黒鉛鋳鉄		
ブレーキペタル	AC4C-T5	溶鍛				
フロントブレーキダストカバー	A5082P-0	プレス成型		鋼板	プレス成型	
エンジンマウントブラケット	AC4C-T6	重力鋳造				
クラッチペダル	ADC10	ダイカスト				

表2　ニューRX−7 足回り部品のAl化[16]

のコストアップに抑えているという[16]。**表2**に一覧表を示す。

鍛造材として，鍛造性が良いとは云えないA6061を選んだのは，耐食性が良い為，アルマイト等の表面処理がなくとも良く，かつ，GMによって，実績があった為と思われる。又，重要保安部品でもあり，品質を優先して鍛造品を採用しているが将来，必ずや溶鍛，鋳造品へと向かうと推測する。キャリパー，パブ等は，形状からみて鍛造には不向きであり，溶鍛を採用したが，これも二輪車において，そうであったように早晩，鋳造品に変更するように思われる。即ち，**図8**で示した同一系材料内でのコストダウンが行なわれる第3ステージの軽量化段階に入ると予測される。

(c)その他のAℓ化動向

①ボンネット（ニューRX−7）[16]

強度30kg/mm²，伸び30%のAℓ板使用

②Aℓ焼結合金サイレンサー(セドリック他)[9]

多孔質Aℓ焼結合金を用い，排気後方の気流騒音を抑制

③Aℓラミネート・サンシェード（クラウン）[8]

0.2mmtのAℓ板間に0.6mmtの樹脂をサンドイッチしたラミネート材を使用し30%の軽量化，操作力の低減を図った。

2−3　機能材料の応用

従来述べてきた材料は，主に構造用材料であり，その機械的性質を利用している。これに対し，材料固有の機械的性質以外の特性を利用する材料が最近現われ始めた。これらを総称して，構造用材料と対比して，機能材料と称している。センサー材料とか，ある分子のみ透過する材料等が含まれる。このひとつに，最近新聞等でもポピュラーになった〝形状記憶合金〟がある。これは金属の相変態と呼ばれる現象を利用し，ある温度以上になると，記憶させておいた形状になり，ある温度以下になると元の形状に戻る特性を有している。従来この種の材料に，熱膨張係数の異なる材料を張りあわせたバイメタルがあるが，発生する力が弱く，せいぜいスイッチのオン・オフ機能程度であった。これに対し，形状記憶合金は，発生する力が強い為，温度検知機能と作動機能の2つを有する利点がある。ここに着眼して様々な応用が自動車でも行なわれ始めたので，今後の参考の為，紙面をさいてみた。

図15に，新型ターセル，カローラII等に装着された〝アウターベントコントロールバルブ〟[17]を示す[17]。**写真2**に従来システムを示している。バイメタル＋電磁バルブで構成されているが，この部分を形状記憶合金を用いてひとつの部品にまとめたという。従来システムの応答性，作動精度を向

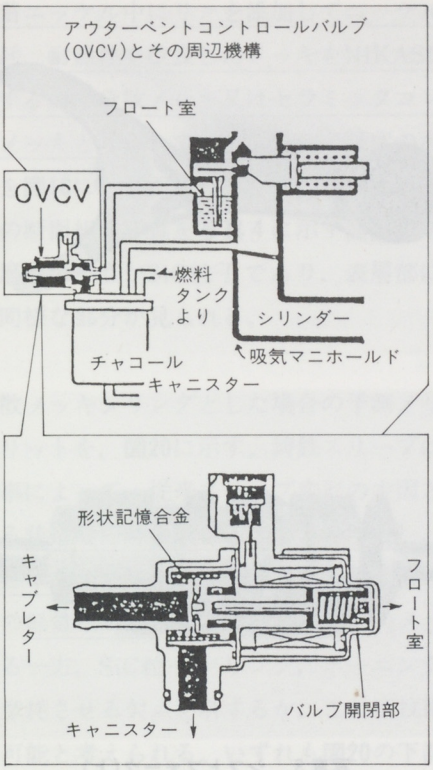


図15　OVCVの機構[17]

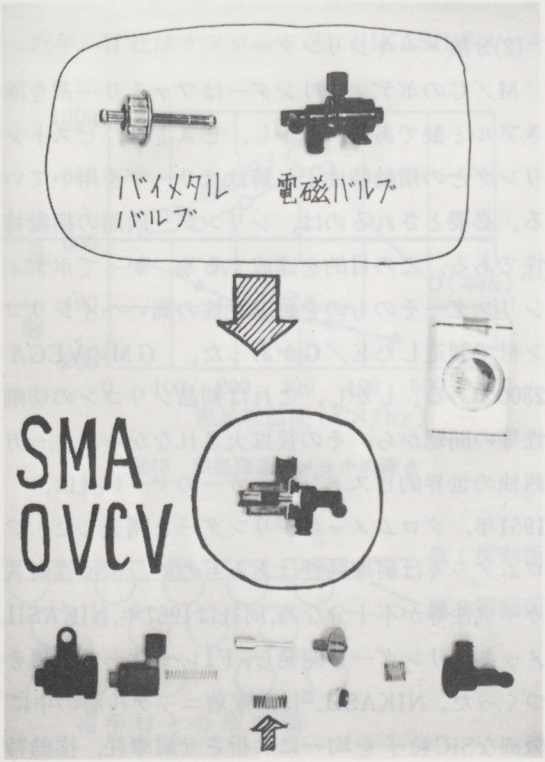


写真2　従来システムとの比較

上させた上，小型軽量化，コストダウンまで可能となった稀なケースと云われる。図3に示した様に形状記憶合金は200～300円／gであるが，使用量は数gであり，使い方を工夫すれば，この様な効果を生ずる。

この他に図16に，グリルシャッター(トヨタ)，図17に冷却ファンブレーキ（日産）を示すが，用途は，まだまだ有りそうだ。

機能材料は，一般にg単価は高いが構造用材料では到底不可能なシステムを産みだす可能性をもっており，諸兄のアイデアに期待する所大である。

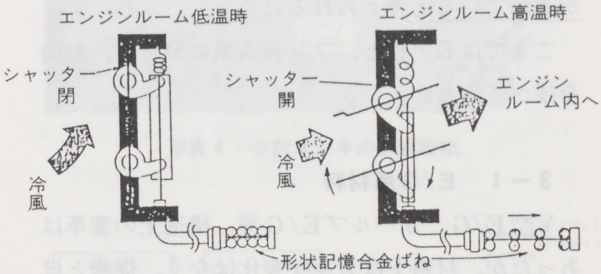


図16　グリルシャッターへの応用[8]

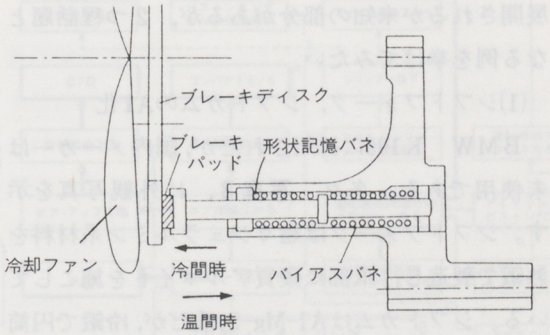


図17　形状記憶合金を用いた
エンジン冷却ファンブレーキの概念図[9]

3．M/C用材料の動向

M/C用材料は，自動車用材料と異なり，M/C固有の材料技術を構成している。第1にE／G性能が自動車の約1.5～2倍と高い為，振動応力，熱負荷等が高い事，第2に軽量・コンパクトがより要求される事，第3に構造用材料に外観商品性が要求される事，等が考えられる。従って**図4**に示した材料構成比から判る様に鉄鋼材料は50％をきっており，（更に鋳鉄の割合が極めて小），強度的にも自割車に比し，1ランク上の材料を使用している。又，軽量化の為，A1，樹脂を多用しており大量生産される陸上輸送機器の中では最も軽量化が進んでいると考えられる。

ここではE／Gと，フレーム系に分けて，動向を述べてみたい。

3－1　E/G用材料

V型E/G，5バルブE/G等，構造上の変革はあったが，材料上は大きな変化はなく，従来とほぼ同じ材料を用いている。高性能・軽量・コンパクトというニーズは不変である所から，将来どう展開されるか未知の部分があるが，2つ程話題となる例を挙げてみたい。

(1)シフトフォーク，シフトカムのA1化

BMW　K100に採用されたが，国内メーカーは未使用である。各々，**写真3**，に外観写真を示す。シフトフォークは超々ジュラルミン系材料を熱鍛で製造し，爪部に硬質アルマイトを施こしている。シフトカムはA1-Mg-Si系だが，冷鍛で円筒を製造し，溝部は切削加工を行っている。右端のフタも冷鍛で，本体とシール接着をしている。

従来，ダクタイル鋳鉄等を用いているので，約2／3の軽量化となるが，機能付加価値としてどの程度有るのか不明である。コスト的には，材料費，加工費等で大幅なコストアップが予想される為，基本的な検討が必要であろう。

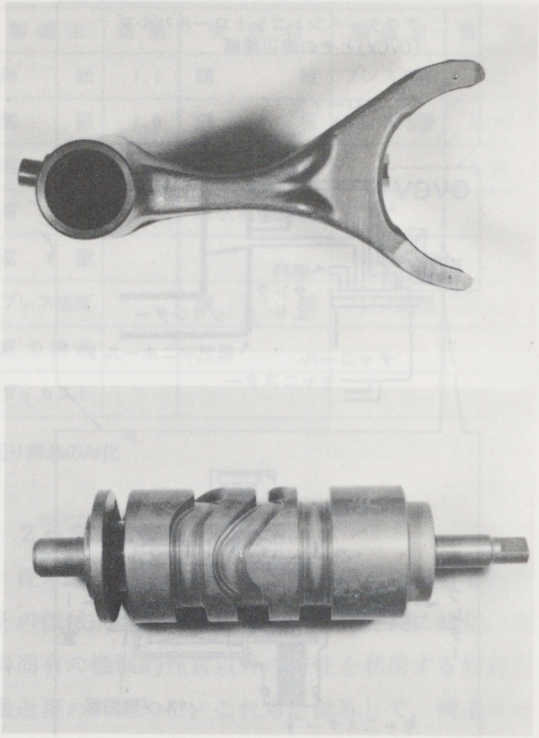


写真3　シフトフォーク（上）
シフトカム　（下）

(2)分散メッキシリンダー

M／Cのボディシリンダーはファミリー系を除きアルミ製である。しかし，ピストン，ピストンリングとの摺動特性上，鋳鉄スリーブを用いている。必要とされるのは，シリンダー内面の摺動特性である。この目的を達成する為，かってボディシリンダーそのものを耐摩耗性の高いハイシリコン材で製造したE／Gがあった。　GMのVEGA 2300である。しかし，これは初晶シリコンの切削性等の問題から，その後拡大されなかった。一方西独の世界的ピストンメーカーのマーレ社は，1951年，クロムメッキシリンダーを開発した。クロムメッキは耐摩耗性はあるものの，保油性耐スカッフ性等が不十分な為，同社は1967年，NIKASIL®メッキシリンダーを開発し，F1レーサーで実績をつくった。NIKASIL®は，電着ニッケル層の中に微細なSiC粒子を均一に共析させ耐摩耗，摺動特性がより優れたメッキ皮膜を構成する。NIKASIL®

の電着ニッケル中にリンを添加してニッケル層の耐摩耗，耐熱性を改良したメッキをNIKASIL®と区別する為，分散メッキ又はセラミックコンポジットメッキと呼称している。メッキ硬度の温度依存性を図18に[18]，表面プロフィルのモデルを図19に[18]，実際の断面組織写真を**写真4**に示す。写真中，メッキ層中の黒点がSiC粒子であり，表層部に，図19と同様な部分が見られる。

分散メッキシリンダとした場合の予測メリットデメリットを，図20に示す。鋳鉄スリーブはなくなる事によって，従来スリーブ変形の主因となっている鋳造凝固時の残留圧縮応力が消失し，変形が小さくなり，耐焼付性が向上する。他にスリーブ分の軽量化，ボアアップ品の対応等のメリットがある一方，SiC粒子がリング，ホーニング砥石をも摩耗させる欠点を有するが，これは技術的に対応可能と考えられる。いずれも図20の下記条件によって異なってくる。

近年，H社はオフロード系にNIKASIL®メッキ

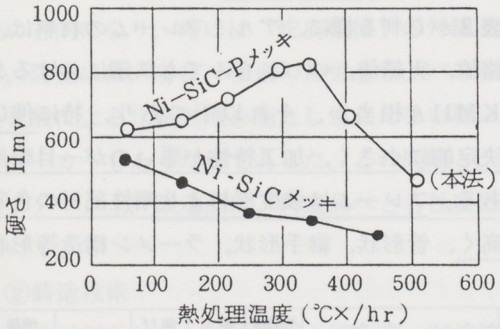


図18　熱処理後のメッキの硬さ

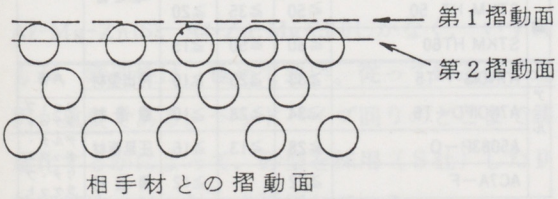


図19　分散ニッケルメッキの表面プロフィル

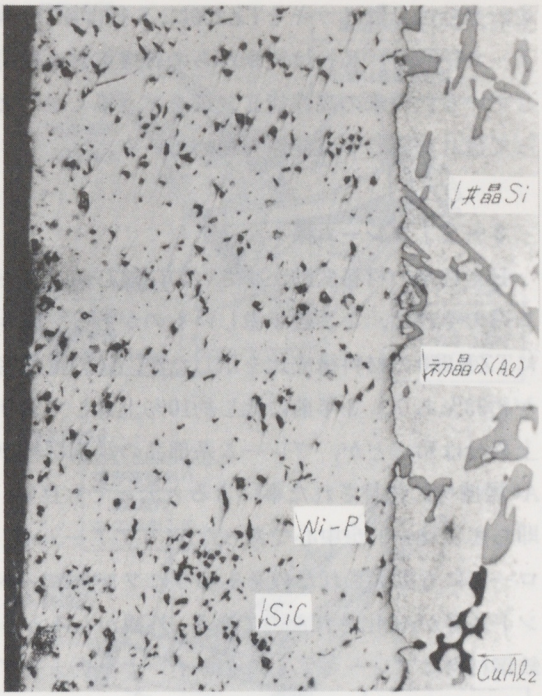


写真4　分散メッキの断面組織

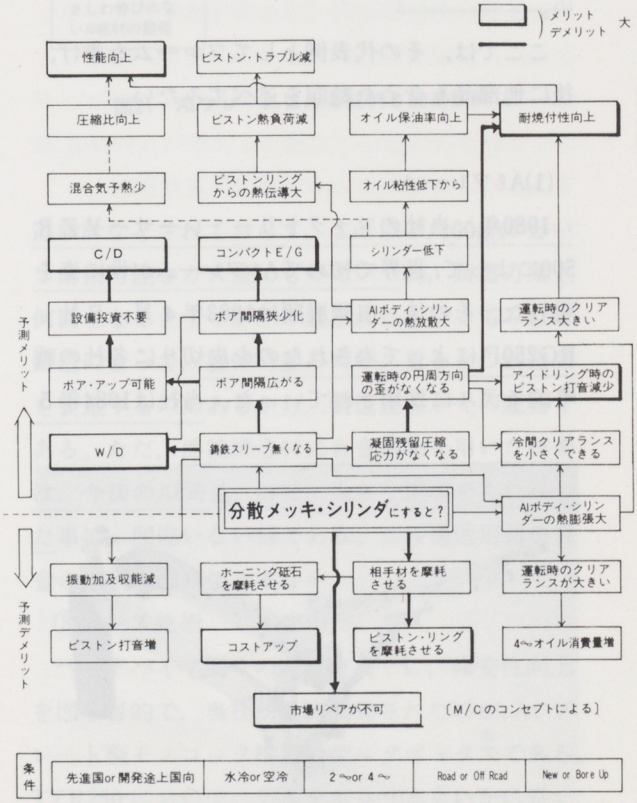


図20　分散メッキの予測メリットデメリット

を，当社は分散メッキをTZ250に，S社はBN分散メッキ(予定)，K社は従来からの線爆溶射を採用している。将来の高性能E／Gをどう描くかによって流れが変わる可能性を秘めている。

3－2　フレーム系

E／G系の材料変動が小さいのに対し，フレーム系のそれは，ここ数年激しいものがある。**図4**にTZR250の材料構成比を示したが，Aℓの重量%が約33%あり，3年前に比し約10%上昇しており，上昇分は殆んどが，フレーム系部品の鉄鋼材料がAℓ展伸材に代替された事によると云っても良い。即ちオフロードが中心であったAℓリアアームが，ロードにも拡大されたのを皮切りにフレーム，ハンドル等がAℓ化されたのである。外観からみると鉄鋼材料はブレーキディスクとインナーチューブ，タンク，マフラー程度であり，陸上用輸送機器の中では，最も軽量化が進んだと云っても過言でない。

ここでは，その代表例としてフレームを挙げ，後に他部品も含めた動向を述べてみたい。

(1)Aℓフレーム

1980年，当社のファクトリー・レーサーYZR500によって，世界で初めてAℓフレームが世に姿を現した。その後，市販展開は1983年4月，S社RG250Γによって為されたのを皮切りに各社の戦略的モデルに採用されていった。当社は1984年5月にRZV250，1985年にTZ250，及びTZR250，1986年にFZR400へと採用機種が拡大され，いずれもその洗練されたスタイルが好評を博している。Aℓフレームに関する基本的技術は，RZV500とTZR250によってほぼ完成されたと考えられ，ここでは材料技術の観点から，この2機種を中心に述べてみたい。**写真5**にTZR250のフレームを示す。

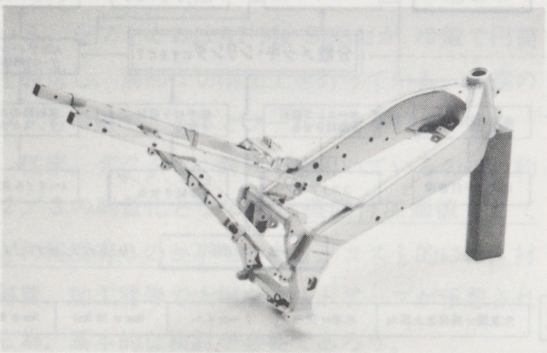


写真5　TZR250のアルミフレーム

(i)構成材料

鉄フレーム，Aℓフレームに用いている材料の機械的性質を**表3**に示す。用いたAℓ材は強度，加工特性（鋳，鍛造，プレス，溶接性）アルマイト色調が明かるく均一な事，入手性の観点から選択され，各々，規格範囲内ではあるが，フレーム用として材料開発を行っている。A7N01は色調をより明るくする為，クロム添加量を微少にしており，角管，鍛造材として使用している。A5083Pは，プレス成型時に生ずるストレッチャーストレインを抑える為，予歪を与えてある。材料も大量生産時代が終わり，ニーズ毎の多品種少量になりつつあり，S社，H社材と微妙に異なる。

表3から判る様に，アルミフレームの材料は，規格値，実績値，いづれをみても鉄鋼におけるSTKM11A相当か，それ以下であり，特に伸びが決定的に小さく，加工特性が悪いのが一目瞭然である。フレームは強度部材より剛性部材の色彩が高く，管形状，継手形状，ラーメン構造等形状

特性系	材　質	引張強度 (kg/mm)	耐力 kg/mm	伸び %	備考	使用部品
鉄鋼	STKM 11A	≧30		≧35	電隧管	
	STKM 13A	≧38	≧22	≧30		
	STKM HT 50	≧50	≧35	≧20		
	STKM HT60	≧60	≧50	≧15		
アルミ	A7NOIS －T5	≧33	≧25	≧10	押出型材	角管
	A7NOIFD－T6	≧34	≧28	≧10	鍛造材	リア・ブラケット
	A5083P－O	≧28	≧13	≧16	圧延板材	デルタ・ボックス
	AC7A－F	≧22		≧12	鋳造材	リア・ブラケット

表3　フレーム用材料の機械的性質

による剛性効果の方が，材料のもつヤング率，強度よりファクターとして大きい。H社は型材としてA7N01より強度も低く安いA7003を使用しているのも，上記の考え方による。

(ii)加工

A1・フレームの技術とは，材料の加工技術といっても良く，かってこれほどの溶接構造体が，輸送機器に用いられた例はないと思われる。基本的構造として，押出形材又は鋳造のヘッドパイプと鋳・鍛造のリァブラケットの2部品を中心として，この間を押出形材（角，マルチリブⓈ，目の字断面Ⓗ）又は，板材によるモノコック(TZR250）を溶接によって接合した構造体である。RZV500，TZR250を例にとり，加工技術をみていきたい。図21に，両者の構造と技術を例示している。

①鍛造技術

S社，K社及び当社のRZV500の計4機種のリァブラケット等に採用。材質は全てA7NO1の各社改良材。色調を明るくする為の成分調整は，鍛造時に，材料に熱と歪が加わって，結晶粒径が粗大化する，いわゆる〝結晶粒粗大化〟に対しては悪い方向になり，時には〝蛇皮模様〟の外観となる。防止には，各社，相当の苦労をし，バフ加工，リン酸による化研処理を施こし目立たない様にしたメーカーもあった程であった。この問題と，コストダウン上，鍛造品は，鋳造品へと各社変更していく。

②鋳造技術

鋳造材料として，(a)展伸材と同色調，(b)溶接性が良好，(c)強度が20kg／mm以上，伸び10％以上という要求機能を満足させる為には，Aℓ-Mg系(Y) Aℓ-Mg-Zn(S)，Aℓ-Zn-Mg系(H)しかなく，いずれもが，鋳造性は，極めて悪い。従って鋳造法の選択が重要である。ヘッドパイプ回りのどこまで鋳造化するかによって，砂型を採用（S社）したり低圧鋳造（H，Y）を採用している。

従来，鋳造合金は，溶接を前提に合金設計，鋳造設計などされておらず，1cc以下/100gAℓという溶接可能なガス量にもっていく為，鋳造方案上何回となくトライがくり返された。いってみれば鋳造によって，展伸材並みのガス量をもつ鋳造品を製造するのであるから，鋳造屋泣かせの産物である。ただ，溶接構造材に合金鋳物を用いた技術は，今後のAℓ鋳造，溶接に大きな進歩をもたらした事は，間違いない様である。溶接構造用鋳造合金の出現を願って止まない。

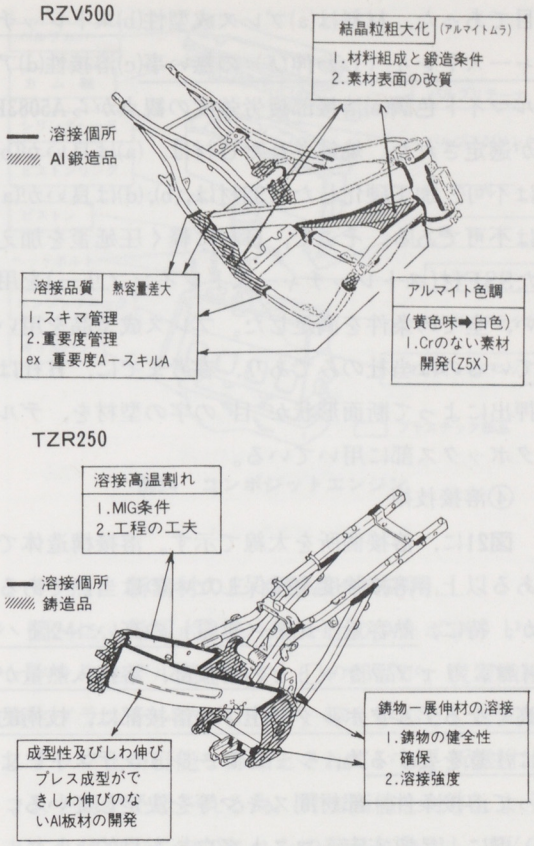


図21　Alフレームにみる材料と加工技術

③プレス技術

ヘッドパイプ回りの剛性を高くL，操安性向上を図る目的で，当社独自に開発されたのが，Aℓプレート製モノコック構造のデルタボックス®である。TZR250において，デルタボックスをいかに安く外観的に美麗に安定生産を行うかが，開発重点項

目であった。材料は(a)プレス成型性(b)ストレッチャーストレイ（しわ伸び）の無い事(c)溶接性(d)アルマイト色調(e)溶接部疲労強度の観点からA5083Pが選定された。焼鈍されたO材は，(a)は良いが(b)は不可，加工硬化したH32材は，(b),(d)は良いが(a)は不可である。そこで，O材に軽く圧延歪を加えたSSF材（ストレッチャーストレインフリー）を用い，全ての条件を満足した。プレス成型品を用いているのは当社のみであり，参考までに，H社は押出によって断面形状が〝目〟の字の型材を，デルタボックス部に用いている。

④溶接技術

図21に，溶接個所を太線で示す。溶接構造体である以上，溶接強度を確保したいのは当然であるが，特に，熱容量（比熱×重量）の高いヘットパイプ，リァブラケットとの溶接部，溶接入熱量が高くなるデルタボックス上下の溶接部は，技術的に注意を要する為，シミュレーションテストによって溶接条件，部材間スキマ等を決定している。

更に，品質安定，コストダウンを目的として，MIG溶接を増加させている。**図22**に，鉄(Fe) フレーム，Aℓフレームの溶接長，Aℓフレーム内 のTIGとMIG溶接の%を，RZ，FZ系と比較した。MIG化率は，当初のRZV500の11%から，TZR 66%，FZR79%とTIGと完全に逆転するに至る。

この動向は，各社同じであるが，当社が，工程管理による溶接品質確保，MIG化率の点では，最も進んでいるといえる。

(iii)生産技術

鋼管に比しAℓ材は数倍高く，かつ加工費（特に鍛造，溶接費）も高い。従って，鍛造材は，形状を工夫し，剛性を高くする事によって強度の弱い鋳造材で耐える様に変更していった。その時，展伸材との継手形状を溶接し易く設計するのがポイントであった。溶接については

(a)溶接長を短かくする

コスト，重量，強度，品質上すべてに有利で，**図22**に示す様に，鉄フレームの約45%～62%に縮小されている。設計，生産技術的努力の結果であるが，従来，いかに安易にに溶接を行っていたかを示している。

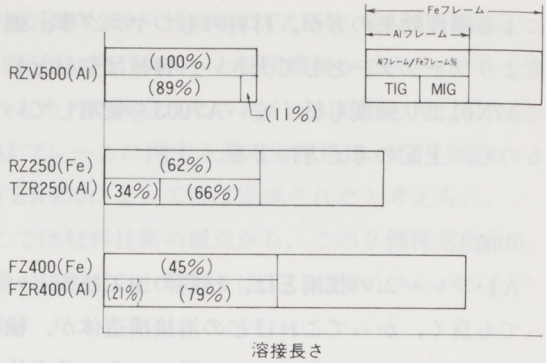


図22 FeフレームとAlフレームの溶接長比較及び，TIG，MIG溶接長の割合

(b)MIG 化率向上

MIGは，溶け込みが深く，溶接強度が高い。又手作業にのみ頼るTIGに比し，コスト的に安く，自動化し易い，条件が決まれば，品質も安定する。既述した様に年々上昇し，11%から79%へと飛躍的に増加し，コストダウンに寄与している。

(c)自動化率の向上

MIGをロボット化し，更にコストダウンを図っている。

(d)部品点数の削減

鍛造品を鋳造化するだけでなく，鋳造の造型性の良さを利用し，部品点数を削減。更に，付属品を最小限に絞っている。

(2)その他の動向

Aℓフレームに代表される材料代替の動きは，様々な面で波及効果をもたらした。即ち，Aℓフレームに鋳造品が用いられた実績，及び設計上の工夫によって，溶接長が激減できる事がわかり，鉄フレームも同様な構造，溶接長削減を実施する様になった事である。これは，強度的に低い材料，コスト的に高い材料を用いる場合，必然的に，構造的に進歩をもたらすからではないだろうか？

フレームも含むAℓ鋳造品の動向を**図23**に示す。例えば，従来鉄鋼の鍛造品と冷間打抜品を溶接で製造，又は高級機種では，Aℓ鍛造品で製造してい

たフートレストを，数機種共通化し，Aℓダイカストに変換し，コストダウンを図った。又，Aℓ鍛造品や，押出型材を鋳造品に変更し，コストダウンを図った事は，既述した通りであり，各社同様な方向に向かっている。最近，H社のリァアームへの鋳造部品採用も，一連の流れの中にある。

図8で述べた第3段階の軽量化への動きを示すものであり，M/Cはまさにこの段階に入ったといえるのではないだろうか。ただ，生産台数，構造によっては，品質上，コスト上，鋳，鍛，プレス等加工方法の再検討の動きもある。

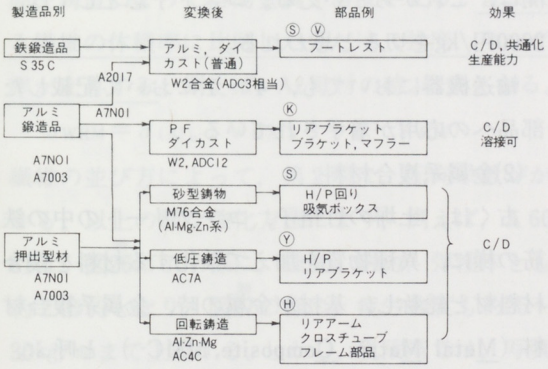


図23　動向

4．輸送機器と新素材

新素材に関するフィーバーは，マスコミによって拡大再生産された感があるが，最近，各メーカーとも，冷静に対処しようという動きに変化しつつある。それでも，研究開発段階では，やはり，し烈な開発競争が水面下で行なわれているのは，事実であり，素材メーカー間の業界地図（例えば，鉄鋼メーカーの，非鉄，複合材料への参入）ばかりでなく，カーメーカー内での素材内製化（セラミック，粉末合金，複合材料）の可能性等，大きな変動要因をはらんでいる。ここでは，新素材のE/Gへの応用及び，新素材のもつポテンシャルを簡単に紹介してみたい。

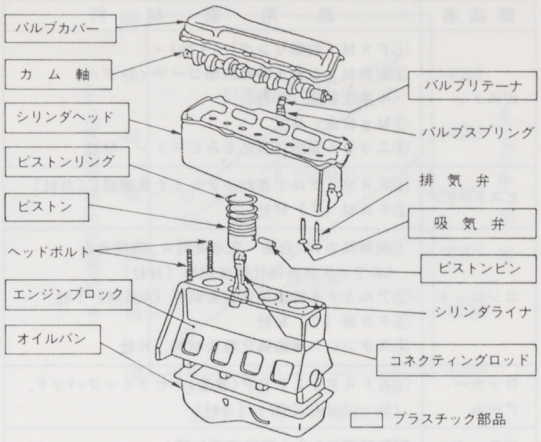


図24　コンポジットエンジン

4－1　新素材のE/G部品への応用

図24に，米国ポリモーター社のコンポジットエンジンのモデル図を示す。□の部品が，炭素繊維強化プラスチック（CFRP）等を中心としたプラスチック化が可能な部品とされている。新素材はコスト高が予想される為，付加価値を付与しようとすれば，E/G内のこれらの部品に適用し，E/Gとしての商品価値をあげようとする方向へ動くのは当然の動きである。従って，他の新素材についても，同様な部品（ピストン回り，バルブ回り）への適用が考えられる。公表されている各社の部品と新材料を，**表4**にまとめてみた。[(8)(9)(10)]

4－2　新素材のポテンシャル

従来の溶解鋳造法では，添加できる合金元素に限界があり，得られる物理・化学・機械的性質も，飛躍的向上を期待できそうもない。そこで，近年開発されつつある，①急冷粉末による新合金開発②繊維強化複合材料の2つが，大きな注目を集めているので，この2つに絞り，簡単に述べる事とする。

(1)急冷凝固粉末合金

粉末冶金によるAℓ部材の開発は，古くはSAP（Sintered Aluminm Powder）合金があったが，特性の不安定性等の理由で，実用に致らなかった。しかし近年，アモルファス合金を得る為の急冷凝

部品名	適用新材料
ピストン	①ＦＲＭ（耐摩リング）（Ｔ社） ②耐熱Ｍｇ合金＋特殊耐熱コーティング ＋高圧凝固（Ｎ社） ③Ｍｇ合金　Ｍ社 ④ニッケル発泡体鋳込るみピストン　Ｍ社
ピストンピン	①ＦＲＭ（アルミ基材＋アルミナ長繊維）（Ｎ社） ②ＦＲＭ（？）Ｍ社
コンロッド	①耐熱高力Ａｌ合金　急冷凝固Ａｌ焼結合金 SiCウィスカー強化複合材料（Ｎ社） ②アルミナ系繊維強化複合材料（Al基材）Ｔ社 ③ＦＲＭ（？）Ｍ社 ④ステンレス繊維強化複合材料　Ｈ社
ロッカーアーム	①ＧＦＲＰ＋ＣＦＲＰ(表層)＋セラミックパッド， Si　Si_3H_4, ZrO_2　（Ｎ社）
リテーナー	耐熱鍛造Al合金＋特殊表面処理 チタン合金＋表面処理　）Ｎ社
バルブスプリング	チタン合金，超清浄シルクロ鋼　Ｎ社
バルブ	チタン合金　Ｎ社

表4　カタログにみる各社の新素材と部品

固法が，発展し，新材料開発に偉力を発する様になってきた。Aℓを例にとると，溶解鋳造法で多量に添加できる元素は，Cu, Mg, Zn, Si 等に限定され，Fe, Mn, Cr, Ni 等は，有害元素であった。所が，10^3℃/sec 以上の冷却速度で溶解金属を冷する急冷凝固法では，これらの元素は，多量に固溶するか，微細な金属間化合物として晶出する為，従来にない優れた特性をもつ新合金が得られる。Fe, Cr, は12wt/%，Siは，30wt%まで固溶度が拡大するのである。

製造法を**図25**に示す。[19] 急冷凝固で製造した粉末を缶の中に入れて，脱気し熱間押出時に，せん断によって表面酸化膜を破壊し，内部のAℓ 粉末どうしを，焼結してしまうＤが最もよく用いられる。この工程は，SAP の例にみる様に，特性安定に必要とされ，一般の鉄系焼結合金と異なる点でもある。従って，できあがった素材は，ガス量が極めて少ないAℓ展伸材と同等の品質を保有する。

得られる得性は，合金添加量によって異なるが，熱膨張系数は，15～19×10^{-6}/℃，ヤング率は，10000前後，引張強度が50～60kg/mmであるが，特に優れているのは，耐熱強度と耐摩耗性である。例えば，Fe, Si 等を多量添加した合金では，300℃で100hr保持後，約20～30kg/mm²あり，耐摩耗性も従来のハイシリコン材（Ａ390, 合金）を優に上回る特性を有する。又，同一組成で製造した溶解鋳造材に比し，組織が均一かつ緻密な為，耐食性，耐応力腐食割れ性も向上しているといわれている。

加工特性も，耐熱強度が高いだけ，従来のAℓ材よりは劣るが，次に述べるＦＲＭよりは，はるかに良い。

実用例としては，耐摩耗性が評価され，コンプレッサーのベーンに使用されているが，本格的展開は，これからといえる。コスト予想としては，2000円/kgを切ると思われる。

輸送機器においても，４－１において記載した部品への応用が着手されている。

(2)金属系複合材料

古くは，土塀の竹格子，コンクリートの中の鉄筋の様に，異種物質を加えて強化する材料を複合材料材と総称し，基材が金属の時，金属系複合材料（Metal Matrix Composite, MMC ）と呼ぶ。MMC の中に，粒子分散型と，繊維強化型があり，

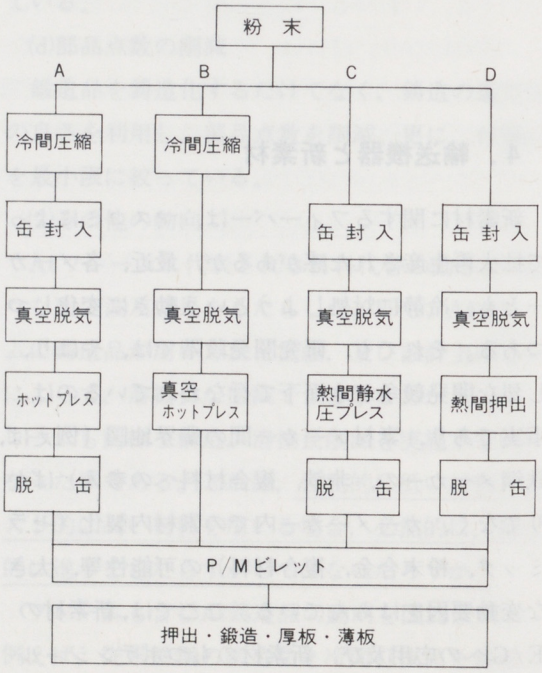


図25　アルミニウム粉末の成形固化の工程[19]

後者をFRM（Fiber Reinforced Metal）又は，直径～1μ or 1μ以下，長さ数10μの単結晶繊維ウイスカーを用いた材料を区別してWRM（Whiskar Reinforced Metal）としている。近年は，航空機等を対象とした材料としては，連続繊維を用いたFRMが多いが，民需用としては，製造法，2次加工，コスト等の点で，SiC-WRMが主流となってきている。ウィスカーは，欠陥のない単結晶でできている為，理論強度に近く，約300～1400kg/mmの強度，約40～70t/mm²のヤング率を有する。こういった繊維を金属の中に入れると、（一般には，繊維の成型体に，高圧鋳造によって溶湯金属を溶浸させる）含まれる繊維の体積率に比例した分だけ，強度，ヤング率が上昇する。例えば，Aℓ母材の時，次式となる。

$$\sigma_{WRM} = \sigma_{(Al)} \cdot V_{f(Al)} + \sigma_{W} \cdot V_{f(W)}$$

繊維の並び方によって，第2項に，配向系数がかかる。以上の様な強化方法により，例えば，A6061は、**図26**[20]に示す様に，強度，耐力，弾性率とも約2倍弱となり，**図27**[20]の様に，疲労強度も約25～30kg/mmまで上昇する。しかし，現段階では，写真6に見るように，ウィスカー（白い部分）径，長さの不均一，酸化等があり，技術的課題は多く残されている。**図28**に，次世代産業基盤技術でも取りあげられているMMCの課題を示す[21]。ウィスカーコストも，**図3**に示しているが，5～12万/kgとされ（～3万/kgになると予想）まだまだ高価である。

カーメーカーの部品例としては，圧倒的にピストン，ピン，コンロッドが多い。学会等でも，日産，日本電装等，部品を明示し，製造研究に余念がない事を伺がわせ，今後の動向が多いに注目される。

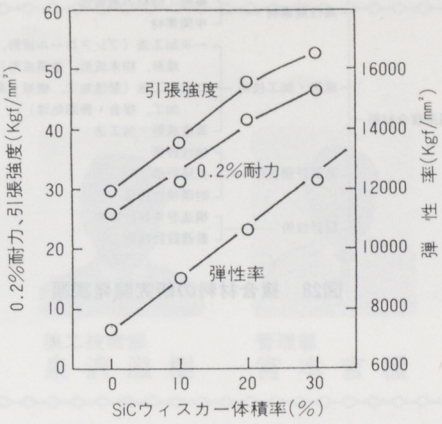


図26　SiCウィスカー/6061Al複合材料の引張特性とSiCウィスカー体積率の関係（ビレットT6材）

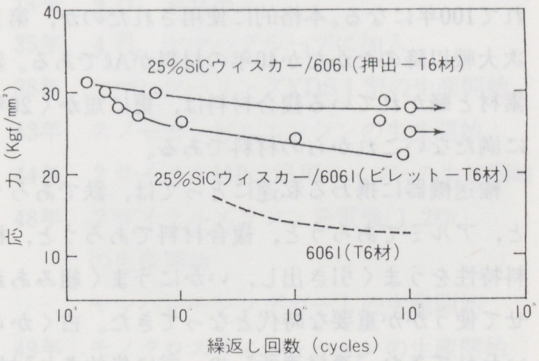


図27　25%SiCウィスカー/6061Al複合材料の小野式回転曲げ疲労特性

写真6　SiC WRMの破断面の走査電顕写真

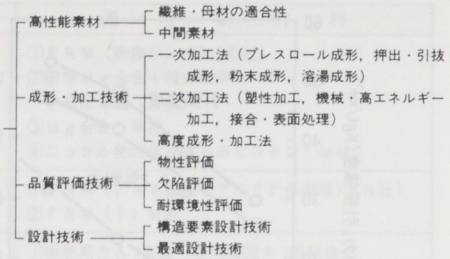


図28　複合材料の研究開発課題

5．おわりに

ホールとエルーによって，Aℓの電解法が発明されて100年になる。本格的に使用されたのが，第2次大戦以降のたかだか40年の材料がAℓである。新素材と騒がれている複合材料は，更に短かく20年に満たないこれからの材料である。

輸送機器に携わる私達にとっては，鉄であろうと，アルミであろうと，複合材料であろうと，材料特性をうまく引き出し，いかにうまく組みあわせて使うかが重要な時代となってきた。古くからいわれてきた〝適材適所〟の一言に集約され〝材〟が，近年の材料科学の発展によって，多種，多機能になってきたに過ぎない。その意味で，でき得るだけ，具体的に，材料のもつ特性，〝適所〟の考え方を述べてきたつもりであるが，一端でも伝われば，望外の喜びである。

最後に，本論文をまとめるにあたり，資料，データ等引用させて頂いた著者の方々，M/C事業部杉本氏，ヤマハ車体，大城氏，広報課の方々に，深く感謝の意を表します。

参考文献

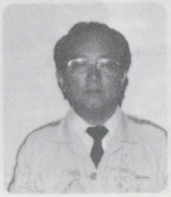
(1)堂ノ本，鉄鋼協会，秋季大会講演概要集(1986)
(2)小松，軽金属 Vol 35 No.9　P.10
(3)豊田，特殊鋼 Vol 29 No.12 P.11
(4)鈴木，日本金属学会会報 Vol 24 No.7 P.551
(5)糀谷，日本金属学会会報 Vol 24 No.7 P.555
(6)木村，自動車技術 Vol 35 No.8 P.898
(7)加藤他，自動車技術 Vol 35 No.8 P.979
(8)トヨタ広報資料，自動車と新材料
(9)日産広報資料，新素材と自動車
(10)マッダ広報資料，マツダと新材料
(11)吉田，自動車技術 Vol 35 No.8 P.971
(12)M・S・HOlland，International Conference
(13)川瀬他，トヨタ技術 Vol 35 No.2 P.209
(14)住軽金，技術資料
(15)日経産業新聞
(16)日経メカニカル　1986.2.24　P.24
(17)日経産業新聞　1986.8.7
(18)分散メッキ技術資料
(19)住軽金，技術資料
(20)東海カーボン，技術資料
(21)立石，精密機械 Vol 48 No.9 P.1184

㈱昌和製作所 紹介

製造部
高見桂一

第一技術部
小平睦人

第二技術部
泉沢滋樹



管理部
宮本吉種

1．はじめに

昌和製作所は，北に富士山を背負い，南に駿河湾・千本松原を臨む風光明媚な沼津市において，昭和14年4月22日に創設され，昭和35年ヤマハグループの一員となり，特機商品と緩衝機器を製造しています。

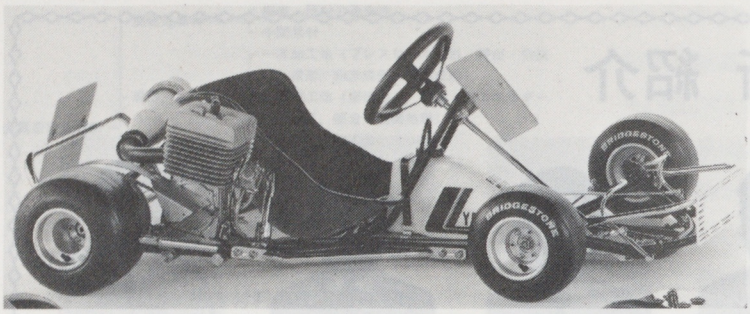
ヤマハグループに加入以来，〝昌和クルーザー〟の製造技術を生かし，ヤマハツーリングＹＤＳ１型の生産をはじめ，主にトライアル・モトクロス・トレールといったオートバイの生産を分担し，ヤマハと共に成長してきました。その間，スノーモービル・ゴルフカーの生産も手がけ，昭和48年レーシングカート，昭和49年モノクロスサスペンション，昭和52年発電機の生産を開始し，エンジンを中心とした組立・加工技術・油圧技術・オルタネータの製造技術を培ってまいりました。

現在は，除雪機・発電機・汎用エンジン・ゴルフカー・レーシングカート等の特機商品と二輪車用フロントフォーク・クッション・船外機のチルト等の緩衝機器を二本柱として生産しています。特に発電機においては，オルタネータとエンジンを一貫生産している唯一の企業です。

当社は，昭和64年には創立50周年を迎えようとしています。50周年にむかって，長年培ってきた製造技術を生かすべく，第一技術部，第二技術部を中心として全社一丸となって第三の柱づくりに取り組んでいます。

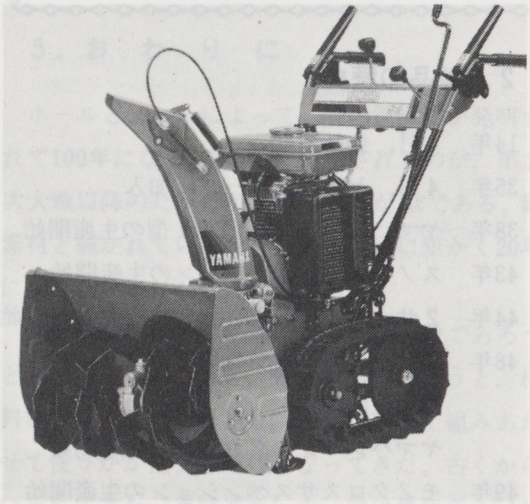
2．製品の歴史

14年　4月，会社創立
35年　4月，ヤマハグループに加入
38年　ヤマハツーリングYDS１型の生産開始
43年　スノーモービルエンジンの生産開始
44年　２サイクル110cc汎用エンジンの生産開始
48年　２サイクルエンジン発電機(1.2KW)の生産開始
　　ヤマハレーシングカートの生産開始
49年　モノクロスサスペンションの生産開始
50年　ゴルフカーYG292の生産開始
52年　４サイクルエンジン発電機(2.4KW)の生産開始
53年　エンジンポンプの生産開始
54年　モーターサイクル用リヤクッション及びファミリーバイク用フロントフォークの生産開始
　　野中方式ブラシレスジェネレーターの生産開始
57年　除雪機ヤマハスノーメイトの生産開始
58年　水冷ディーゼル発電機生産開始
59年　空冷ディーゼル発電機生産開始
　　防音型エンジン発電機生産開始
60年　小型エンジンポンプ生産開始
　　船外機チルト生産開始
61年　廉価版エンジン発電機生産開始



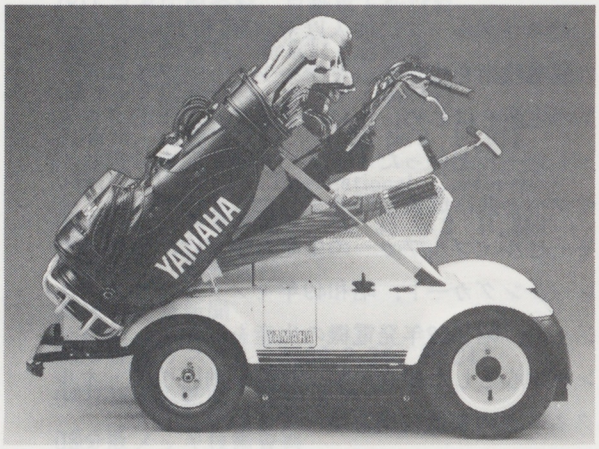
レーシングカート RC100SS

発電機 EF500S



除雪機 YSM－560

発電機 EF800S



ターフメイト

3．製造部の活動

3－1　職場紹介

〈特機関係〉

本社工場
- 機械加工……エンジン部品の加工
- 溶接加工……発電機，カート部品の溶接
- 塗　　装……発電機，カート，汎用エンジン，クッション部品塗装
- 組　　立……特機商品の組立

原工場……オルタネータ組立

〈クッション関係〉

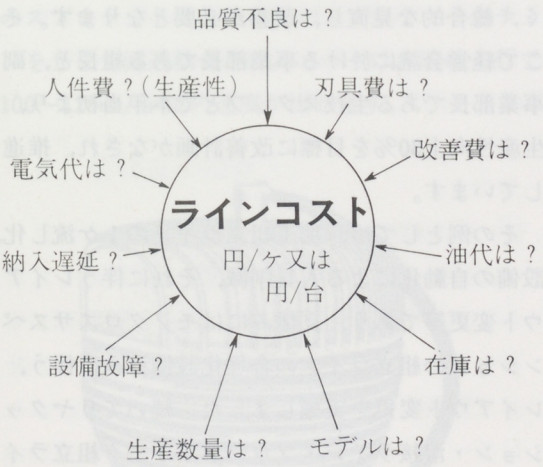
原工場
- 機械加工……クッション部品の加工
- 溶接加工……クッション部品の溶接
- メッキ……ヤマハ高速メッキ装置によるロッドの硬質クロムメッキ
- 組　　立……クッション，フロントフォーク等の組立

3－2　特機関係の活動状況

(1)　経営会議

「ラインで実際にかかっている費用，すなわちコストをあきらかにしよう。」と，58年小集団活動の1グループが取り組み始めた活動が，現在「経営会議」と称して，我々の行動の原点になっています。

事業部長は，第一線経営者である各職場の組長。副事業部長は，生産課又は生産技術のスタッフが担当し，ライン毎の単価を毎月把握して，売上に対する職場採算や利益目標の達成度合と実際の改善ポイントを発表しあい，相互に学びあう場が経営会議です。



この基準から，職場ごとに年間の利益目標が設定され，我々の諸活動の結果が，全て経営会議に集約されるシステムになっています。

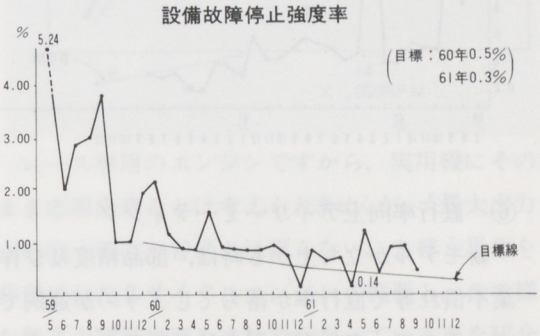
(2)　個別活動

①　刃具改善（TCS: Tool　Control　System）

切削刃具の誤使用による品質不良から端を発したこの活動は，刃具を安くする為にハード・ソフト両面から取り組んでいます。部品に占める刃具費や，生産性に占める刃具交換等の問題が，定量的に把握できるような仕組みづくりを行ない，刃具費そのものを安くするのと同時に，生産量から適正な刃具発注管理が出来ることを目指しています。

②　ＴＰＭ活動

予防保全に手を出そうとしている段階で，Ｔを冠せるまでには至っていませんが，設備不具合からくる生産への悪影響をつぶそうと，年末には設備故障停止強度率0.3を達成出来るように挑戦しています。活動の主体はオペレーターによる清掃点検と保全マンによる巡回点検です。



③　組立ラインの集約化

生産対象が変わりすぎるくらい変わるので，絶えず対象と生産数量をみながらライン構成に取り組まなければなりません。稼動の低いラインは，必ず生産性が落ちています。ハード的な対策を付加しながら，組立については集約して効率向上を計っています。こうした中で、昌和の組立は自動組立等の機械化が十分とは言えず，自由度のある機械化が今後の課題です。

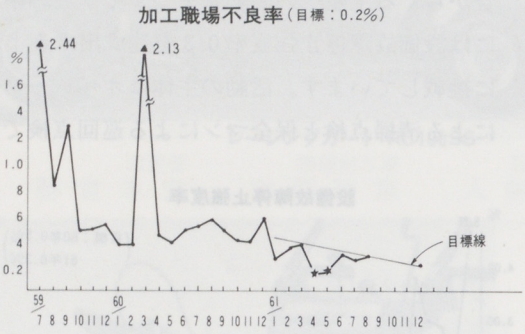
④　ＳＰＣ（Showa Performance Control）研究会

職場の効率管理を自分達の職場に合った方法で行ない，効率向上によるコスト削減を計る狙いでＳＰＣ研究会を発足させています。自責，他責の大きな区分からはじめ，職場内の稼動状況を定量的に把握し，問題発見と調査，研究，対策をしていこうという活動です。

⑤　品質改善個人テーマ

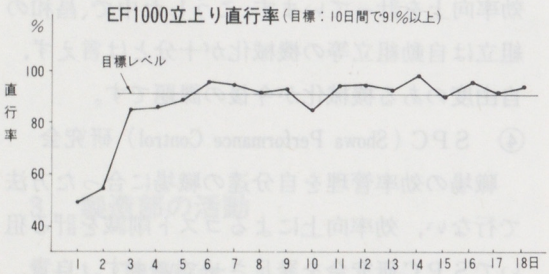
昨年の品質状況は加工部門の不良率0.4%，組立自責直行率99.3%であったのを，今年は加工0.2%，組立99.6%と決め，目標達成の為に小集団活動は全て品質テーマとしたのに加えて，生

産課のリーダー以上及び生産技術全員の47名に，年間3テーマの品質異常の改善を義務づけ，年間3回の発表会で評価しあいながら展開しています。



⑥　直行率向上デイリーミーティング

新モデルが立ち上がる時は，部品精度及び作業不慣れ等で直行率が落ちてしまうのが通例です。そこで「直行率91%を10日間達成しよう」と品管，製・技P/J，生技，生産課のメンバーが作業終了後，その日に発生した不具合を全て書きだし，原因調査と対策をその場で実施しようという活動です。発電機，除雪機の立ち上がり時に実施してきました。



(3)　これからの課題

GHPエンジン，ターフメイトと新商品も戦列に加わりましたが，量が定まりにくい現状において，我々はまだまだ人に頼った生産形態をとっています。設備と人の役割をよく見定めて，設備及びシステムづくりが，これからも続く我々の課題です。

3－3　クッション関係の活動状況

特機関係と同様，経営会議を毎月開催し，現状の製造コストを認識すると共に，利益目標の達成度合いと改善事例を発表し合い，相互研鑽に努めています。個別活動としてもTPM活動，品質改善にはQCマンによる品質状況及び品質改善の発表会を月例で開いています。

特にクッション関係は，クッション製造開始後12年になりますが，後発メーカーであるため，常に同業他社に追いつき追い越せを目標に，業務規模の拡大を図って来ました。その為，工場内はその都度拡大に合わせた設備導入，部分的なレイアウト変更で対処して来ましたので，生産効率を大巾にアップさせることは現状のままでは無理が多く，総合的な見直し，改善が必要となります。そこで経営会議に於ける事業部長である組長と，副事業部長である生技スタッフとで本年当初より，生産性向上30%を目標に改善計画がなされ，推進しています。

その例としては，加工組立ラインの1ケ流し化，設備の自動化による人員削減，それに伴うレイアウト変更等であり，夏休みにはモノクロスサスペンションの組立ラインの合理化設備導入に伴う，レイアウト変更を実施しました。続いてリヤクッション・溶接ライン・フロントフォーク組立ラインのレイアウト変更を行ない，一連の改善計画が完了する来年4月には，QCDの上で競争力のある職場に変貌したいと努力しています。

MXS 組立ライン

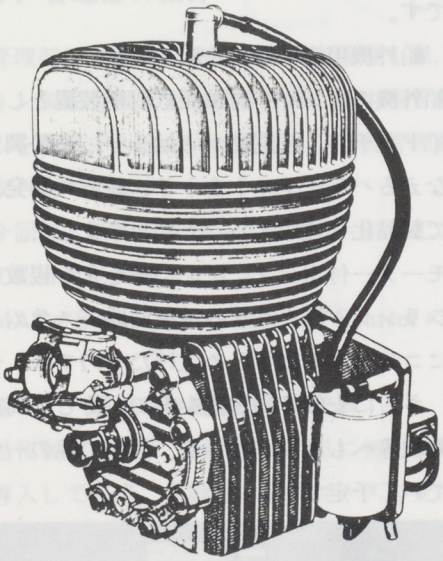
4．第一技術部の紹介

第一技術部ではスポーツカートの開発と，特機周辺の商品開発を行なっています。

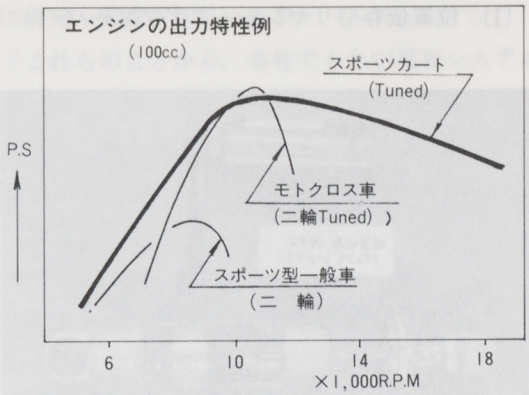
カートは需要層拡大のため，初心者や女性をターゲットにおいた開発に重点をおいていますが，レーシングカートの開発も行なっています。このカート用のエンジンは，普通のものと違った出力特性を持っている変り種ですので，この機会に紹介しておきたいと思います。

（レーシングカート用エンジン）

下図がエンジンの外観図です。2サイクル100ccの排気量ですが，250cc並みの冷却フィンと高剛性のクランクケースを持っています。クランク軸上のスプロケットは，後車軸のスプロケットとチェンを介して減速結合され，カートは，直線走行で100～120km/hr位の速度が出せます。



次の図は少々昔のデータですが，このエンジンの出力特性の比較図です。変速装置がないので高回転域までのパワーバンドが要求されます。ピークパワーはフラットな特性を得るために，多少低目になりますが，条件の良い時で約200p.s′/ℓ 近くの出力を発生することが出来ます。又実走時の瞬間最高エンジン回転数は20,000rpm を越えます。



レース専用のエンジンですから，実用機にそのまま応用出来るとは考えられませんが，「最大出力点の向う側は，谷底とは限らない」と言う思想を背景にした2サイクルエンジンの概要と，この様な製品の開発生産を当社で行なっている事を紹介させて載きました。

5．第二技術部の紹介

第二技術部はM/C，ATV，S/M等のサスペンション開発を中心に，船外機の姿勢調整や収納を目的としたパワーチルト＆トリム装置や，トラック特殊車両等のリフトダンパー，シートダンパー等の開発・製品化を行なっています。

以下各ジャンル別に開発内容を御紹介します。

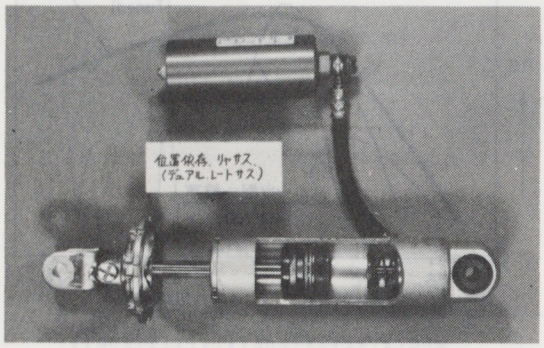
5－1　M/C，ATV等用サスペンション

サスペンション開発業務が，ヤマハ発動機より全面的に移管されて2年が過ぎ，ヤマハの技術をベースにしつつも，昌和独自の技術が着々と育ち，MXS（ガス式リヤショックアブソーバ）を中心に，ファミリーバイクから大型バイクそして，ATVに，又，オンロード，オフロードそしてコンペティションモデル用，さらには，最高の性能を要求される各種レース用までのフロント，リヤのあらゆる分野のサスペンションの開発・製品化を行

なっています。

以下に代表的な例をあげると

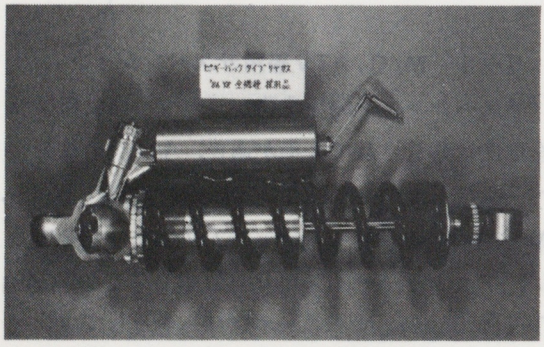
(1) 位置依存型リヤショックアブソーバ



底付き付近の衝撃を和らげる為に，ストロークの最終付近で圧側減衰力を漸増させる機構を有したもので，足廻り性能が特に重要視されるトライアルTY250Rに採用されています。

(2) ピギーバック式リヤショックアブソーバ

サスペンションとして最高の性能，耐久性を要求されるYZに採用され，ブレーキ作動に連動して圧側減衰力を調整するBASS機構を備えて，非常にシンプルに且つコンパクトにまとめ上げられた機能美あふれる昌和自慢の製品です。又，本製品は"ÖHLINS"を通してのレース活動で得られた数多くのノウハウが，機構・性能の開発や，製造に生かされています。



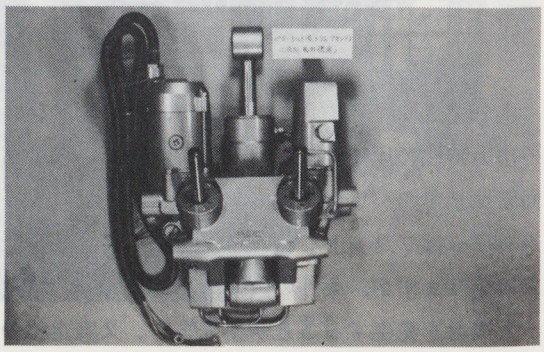
他に，要素開発として，高性能減衰力調整機構や，C/Dを目的とした低減衰力用一体型シール構造等の開発を行なっています。又，現在，最高級車両であるベンチャー・ロイヤル（XVZ1200）に採用されている車高調整エアサスペンションシステムをベースとして，中・小型車用簡易車高調整エアサスペンションシステムや，乗用車に採用され始めた電子制御エアサスペンションシステム（車高・ばね定数・減衰力の自動調整）等のシステム開発，さらに新F/Fの開発等も行ない，M/C，ATV，S/Mそしてヤマハ新商品のニーズに応えるべく，又，競合メーカーより高品質で安価なものを提供するべく努力しています。

5－2 他用途クッション及び油圧機器

M/C用のサスペンションの製造・開発のノウハウを生かして，M/C以外の分野への開発が進められています。その第一は，船外機用姿勢調整＆収納装置の開発です。第二は，特殊車両用の各種油圧シリンダーやサスペンションシート用のダンパー等です。

(1) 船外機用姿勢調整＆収納装置

船外機のダンパー付油圧式収納装置としてのハイドロチルトの開発から始まり，姿勢調整も行なえるパワーチルト＆トリム装置の開発，そして製品化を達成することが出来ました。これはモーター付ポンプ，ダンパーを含む複数の油圧シリンダー等よりなる油圧回路システムを非常にコンパクトにまとめ上げたものです。今後は，さらに安価で高性能なもの，そして高出力船外機等へも展開していき，昌和の柱の一つとしていく予定です。



(2) 大型トラック用各種油圧シリンダー等

グリスタイプショックアブソーバの技術を生かしたものとして，大型トラックのウイング用摩擦ダンパーが開発され，製品化されました。

次に，同様なウイングの昇降装置として，油圧シリンダーの開発がハイドロチルトの技術を生かして進められています。

又，コンベンショナルタイプのショックアブソーバの技術を生かして，サスペンションシート用のダンパーが製品化されています。

以上のようにM/Cのサスペンションの開発から始まって，ダンパーを足掛かりにして油圧機器・油圧システムの分野にも進出することが出来，サスペンションを主体とした油圧機器メーカーとして一歩一歩あゆみ始めています。

6．管理部の紹介

管理部は，特機製品を扱う生産管理1課，クッション製品を扱う生産管理2課，新生産管理システムを構築中のSMAC P/J，及び品質管理課から構成されています。

今回は，新生産管理システム（＝SMAC）について紹介させて戴きます。

（SMAC＝Showa MAnufacturing Control の略）

6－1　現状の生産管理システム

昌和製作所では，昭和49年11月に初めて電算機を導入して以来，各職場からのニーズを受けて，その都度システムを積み上げてきており，数種類の外部システムとのインターフェースを取りながら独自のシステムを運用しています。（1部PORTシステムとのオンライン運用）

しかしながらこのシステムは，部品発注システムとそれに係わる処理システムとが個別にリンクされている形をとっている為，運用面では不都合な場面も無いとは言えません。

又，情報化時代といわれる社会の趨勢（すうせい）から，他社ではより良い生産管理システム開発の為，各様に研究・実践されています。

これらのことから，当社でも今が現在システムを見直し，近い将来を展望した新しい生産管理システムを作る良い時期にあるとの意思が打ち出されました。

6－2　目的と狙い

新生産管理システムの構築に当っては，従来有している目的，即ち経営管理のうちの大きな要素である「生産部門の経営効率を向上させる」ことは勿論ですが，その他に現在利用しているシステムの長所はそのまま存続させた上に，新しい考え方を導入することとしました。

大きな目的は

〈昌和製作所として核となる一つのシステムを作り上げる〉

ことであり，次の狙いを織込むこととしました。

①ＭＲＰシステムを導入する。

②在庫管理をシステムで行う。

③部品表のデータベース化を拡大し，情報の一元化を図る。

④オンライン指向を取り入れた総合生産管理システムとする。

6－3　ＳＭＡＣの概略

(1) ＳＭＡＣ開発の考え方

① 最少の費用・最短の日程とする為，類似規模システムとして榛葉シボリ製作所殿の生産管理システム（ＳＰＲＯＣ）を採用・利用させて戴きました。

② ＭＲＰ手法を使って，従来の在庫ゼロ方式から在庫管理方式への転換を図っています。

③ 現在のロット化生産方式による生産管理方法は見直して，必要なものを，必要なときに，必要な量を作るという，受注対応型

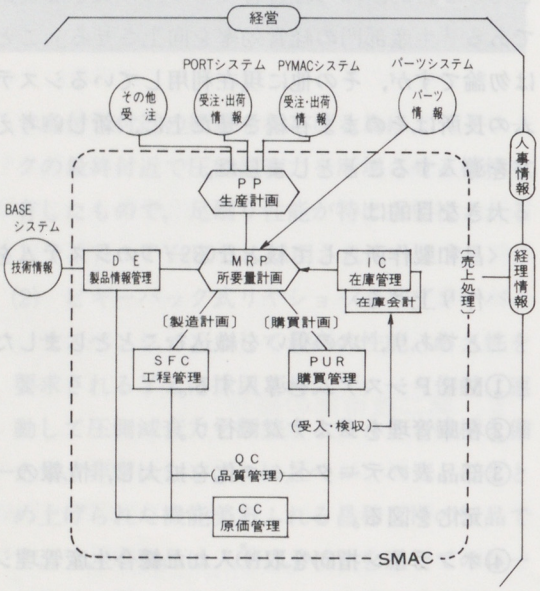
の同期化生産体制の追求であると考えました。

④　情報のネットワーク化として，オンライン網の拡大とファクシミリの利用を図っています。

(2)　ＳＭＡＣの管理範囲

ＳＭＡＣの管理範囲は下図に示すように，破線内の７つのモジュールとしています。

SMAC の基本機能関連図



(3)　ＳＭＡＣの基本モジュール

各モジュール別に紙面制約上，１項目づつ内容を紹介します。

①製品情報管理（ＤＥ）

新部品番号体系への変換

３－５－２－２－２の14桁の部品番号を，８－４－４という品目のキーに変換して，電算機と交信します。

②生産計画（ＰＰ）

バケット別生産計画の採用

受注品目により２種類，３回の処理をしていた生産計画を，バケット単位に統一した生産計画とします。

③所要量計画（ＭＲＰ）

レベル別発注方式への変更

理論在庫を引き当てた，レベル別発注を行なう方式とします。

④在庫管理（ＩＣ）

在庫と進度のリアルタイム管理

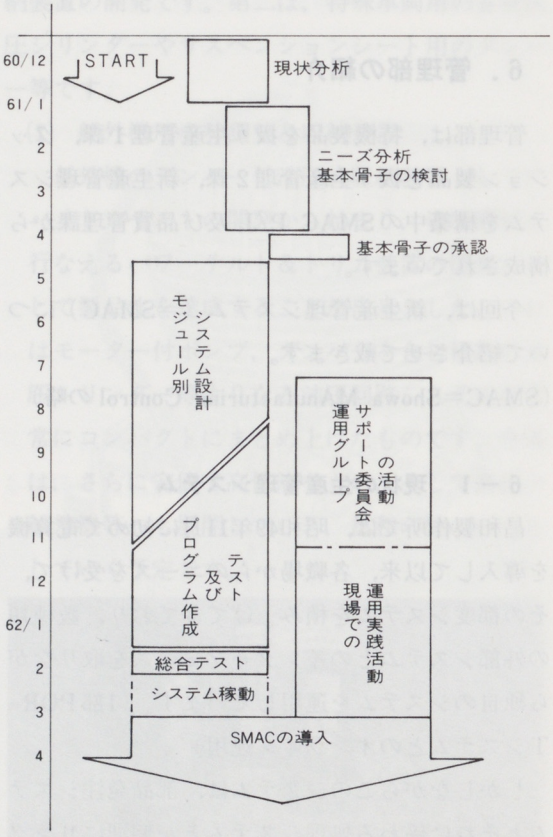
各品目を工程順に連続してデータ化し，リアルタイムに検索し，タイムリーなアクションを行なえるようにします。

⑤原価管理（ＣＣ）

副資材の原価把握精度向上

副資材マスターを整理し，新たに材料マスターとして統合し，データベース化と合わせてコスト把握を容易にします。

６－４　ＳＭＡＣ導入の日程



6－5　今後の課題

今回のプロジェクトは，種々の条件・制約の中で進められて来ましたので，極力，必要最少限の機能を満すシステムとしてまとめ上げようとしてきました。従って周辺補完の機能については，以降の個別システム開発にゆだねることとなります。

7．あとがき

経済情勢のはげしい変化の中で，各部門，コストの作り込み・品質の改善に向って一歩一歩前進すべく努力して居ります。この様な活動の中で，昌和としての〝ぴかりと光るもの〟を築き上げていきたいと思って居ります。今後共ヤマハ発動機の皆さん，ヤマハ関連企業の皆さんの御指導をお願い申し上げます。

編集後記

技報No.3は，力作が揃っていて，充実した内容のものとなったのではないかと考えております。原稿を執筆して頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

この技報により，会員の皆様方のヤマハの技術に対する相互研鑽が進み，各人の仕事の上で，少しでも御役に立つ様なことがあれば，編集委員としてこれ以上嬉しいことはありません。

こんな記事を載せて欲しいといった御希望等ありましたら，是非事務局迄御一報下さい。

ヤマハ技術会　技報

昭和61年12月20日　印刷　第3号
昭和61年12月25日　発行

（禁無断転載）©

発行所　ヤマハ技術会
発行人　執印智司
編集人　中村孜郎
表紙デザイン　YAC
印刷所　浜松市米津町1181
桐屋印刷株式会社