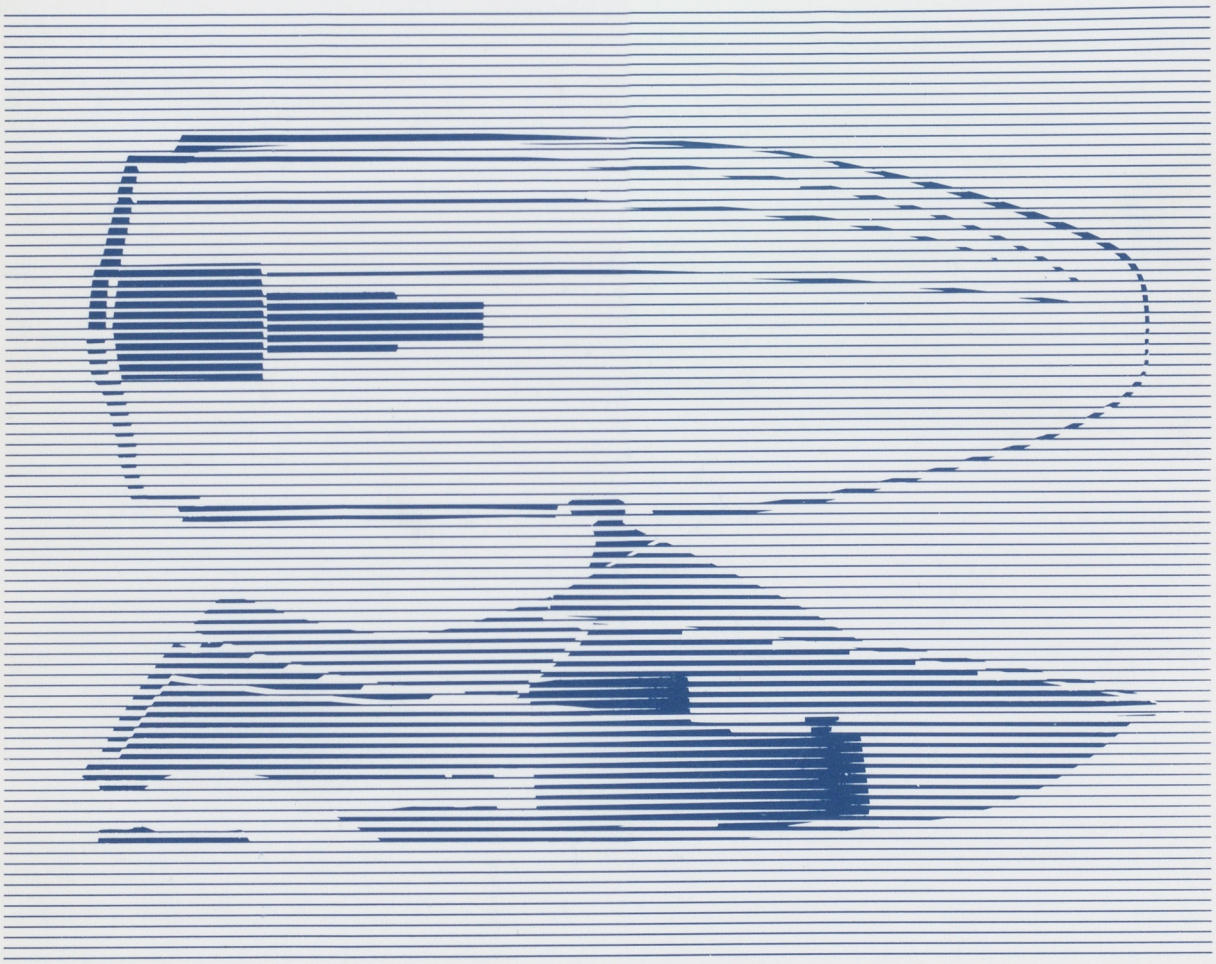
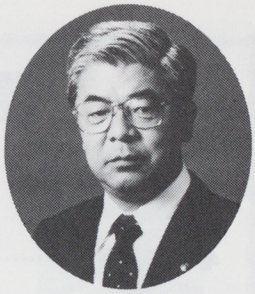
ヤマハ技術会 技報

No.5　　1988・1



ヤマハ技術会専用

巻　頭　言



ヤマハ技術会顧問
塩川信夫

明けまして新年おめでとうございます。

新らしい年を迎え今年一年はどうなって行くのか，それから将来は，とマスコミは先き行きの不透明感の中で何かビジョンを明確にしたいと努力し，情報を流してくれます。

このような変動の激しい先行き不透明な厳しい国際環境の中ではありますが，当社は中期計画という全社のベクトルを一つに合せる指針を持って進めて居ります。これを常に見つめながら情勢の変化に即応してその都度会社方針が明示され業務展開が計られて居ります。従って我々は日常業務の中で一つ一つの業務を結実させる努力をし，ＰＤＣＡを廻わしながら目標を達成して行かなければなりません。

我々は高品質とヤマハらしい創意ある製品技術を通じてＹＡＭＡＨＡブランドを築き上げて参りました。現在も世界の人々に喜ばれ，より豊かなくらしに貢献出来るヤマハ技術の創出に努力をして居ります。

しかし，物離れが起り飽食化が進み，サービス産業のウエイトが拡大して行く多様化社会を迎えて，もう一段と我々の創意工夫を重ねる必要があり，仕事の進め方の原点を見つめ直す必要があります。

今，進めている仕事のお客様は誰か。

自分の進めている仕事の下流は皆お客様であることは間違いありませんが，本当のお客様は我々が提供しようとしている技術を認め，喜んで適応の対価を支払い利用してくれるお客様一人一人であります。。我々の技術はこのお客様と真剣な会話をしていなければなりません。

このヤマハ技術会に所属する諸兄は自己研鑽により高度な，更に巾広い技術知識の修得に心掛け努力して居ります。その技術を製品やシステムに具現化させることを使命として居ります。具現化する時に常に対象となるお客様を意識し実態を調査し，本当に豊かな喜びを与えることが出来るのだろうかと自省しながら仕事を進めることが重要です。これがお客様との対話です。

コンピュータの例で説明しますと，いかに優れたスーパーコンピュータでもお客様の使うソフトが完備され，その扱い方を教えないと機能を充分発揮しません。

これと同じようにお客様を意識し日夜対話を重ねながら創り上げた優秀な製品システムでもそのままではハードなものであり，スーパーコンピュータに過ぎません。マスメディアの氾濫した現在の社会ではカタログやチラシだけでお客様を集めることは難しく，お客様との対話を通じてその商品，システムに注ぎ込まれた技術やノウハウを販売ツールとしてまとめ上げ，目標としたお客様に良く理解してもらい，機能を十二分に満足して頂くよう努力する必要があります。

兎角優れたハードウエアを創ることに専念し勝ちな技術集団はもう一歩踏み出し，この商品，システムに盛り込まれたソフトウェアはヤマハの中で貴方が一番良く知っているのですから積極的に売り込んで下さい。

新らしいマーケットを創造するためにはお客様を充分意識して創られたこのソフト＋ハードの技術がどうしても必要です。セールスエンジニアという言葉があります。今までは営業と技術の中間に位置ずけられたきらいがありますが本当にハードのわかる技術者がセールスをする時代になって来たと思います。

常日頃新らしいマーケット，商品作りを考えている一人としてこの機会を借り〝ソフトの生かせる技術者になれ〟とお願いします。

ますますヤマハ技術会が発展し，より力強い活動となることを期待します。

目　次

巻　頭　言……ヤマハ技術会顧問　塩川　信夫

1．ヤマハスノーモビル技術の変遷……車輌技術部　安井　敏裕……1
〃　高田　一良
〃　今井　哲夫
〃　石橋　直和

2．ウォータービークル(MMV)の開発と紹介……舟艇技術部設計三課　小林　昇……19

3．ヤマハＧＨＰシステムの開発……事業開発本部ＧＨＰ事業部
技術部技術課　数田　久……29

4．二輪車用４サイクルエンジンの
排気制御システムＥＸＵＰの開発……第３技術部技術31課　山辺　清貴……43
〃　上田　英明

5．エンジン異音の定量的評価手法について……第１研究部研究課　前田　修……51

6．BASE 技術部品表システムのしくみ……技術管理部設計管理課　坂本　裕之……59
技術管理部設計管理課　杉山　任
情報システム部システム開発第２課　上野　康男

7．梱包設計……生産本部生産管理部生産第３課　熊田　博仲……71

8．歯車タイプ３一貫ラインの開発……生産技術２課　小岸　宣夫……87
生産21課　鈴木　啓之
浜北・製造技術課　田中　隆

9．「材料技術における最近の話題(V)」
チタン材料編……技術本部第１研究部材料研究課　高橋　尚久……93
〃　安達　修平

10．世界一のエンジン組立工場を目指す
磐田第５工場の紹介……磐田第５工場製造技術課　塩沢　晃……105

ヤマハスノーモビル技術の変遷

車輌技術部 安井敏裕　車輌技術部 高田一良　車輌技術部 今井哲夫　車輌技術部 石橋直和

1．はじめに

ヤマハがスノーモビルを作り始めて，今年でちょうど20年が経過しました。

この間，後発メーカーとしてスタートしたにもかかわらず，性能と品質を売り物に，着々とシェアーを延ばし，現在ではトップメーカーとして，業界をリードするまでになりました。

本稿ではこの20年間の変遷を軸に，スノーモビル技術の一端を紹介したい。

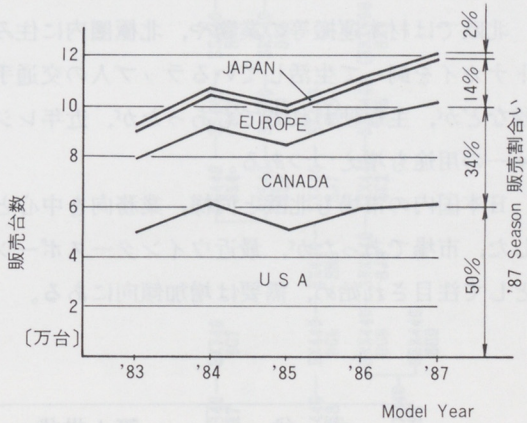


図２－１　各国の販売台数推移〔I.S.I.A資料より〕

2．スノーモビルの市場

1959年にカナダのBOMBARDIER社が最初のスノーモビルを量産して以来，アメリカ，カナダの北米を中心に市場が形成されて来た。現在はこの北米に加え，スウェーデン，ノルウェー，フィンランドの北欧三国と日本とが，スノーモビルの主な市場となっている。

図２－１に，各地域の販売台数を示す。北米市場は，販売数量は多いものの，レジャー用途主体の為，経済変動や，降雪量によって大きく変動する。一方，北欧や日本では，業務用途が多く，販売数量の安定した市場となっている。

北米地域では前述の様に，レジャーとしての用途が中心で，五大湖周辺部のスノーベルト地帯が主な市場となっている。この地域では，**写真２－１**に示す様なスノーモビル専用に整備されたトレールコースがスノーベルト全域に網羅されており，各々の自治体とスノーモビルクラブに依って管理，運営されている。スノーモビルのユーザーは，各州政府に簡単な車両登録さえすれば，自由に長距離のトレールを楽しむ事ができる。一般的には，週末に家族や友人とトレールコースを走りながら，野生動物の観察，ハンティング，魚釣，雪景色を楽しむといった使われ方が多い。又，幅広く真直ぐなトレールコースや，凍結した湖の上では，誰でも車両の最高速を出す事が出来，その爽快感はスノーモビルの魅力の１つとなっている。

北米でも人口の極端に少ないカナダ北部や，アラスカでは，降雪期の生活必需品として使われて

写真２－１　スノーモビルトレールコース

おり，ハンターやエスキモーにとって，昔の犬ゾリに代わる，重要な交通，運搬手段となっている。

北欧では材木運搬等の業務や，北極圏内に住みトナカイを飼って生活しているラップ人の交通手段などが，主な使われ方でもあったが，近年レジャーの用途も増えつつある。

日本国内の市場も北欧と同様，業務向を中心とした，市場であったが，最近ウインタースポーツとして注目され始め，需要は増加傾向にある。

３．ヤマハスノーモビルの系譜

1968年にSL350によって，スノーモビルの市場に参入以来，ヤマハは市場の各用途に合せて，商品のラインナップを整えて来た。**表３－１**は，この20年間の主な生産モデルの系譜を示す。

表３－２は，このスノーモビルの系譜を，世代別にまとめた表である。以後各々の世代の特徴や，その世代のヤマハスノーモビルの歴史の中での，役割について述べる。

世　代		第１世代	第２世代	第３世代
Model year		1968～1973	1974～1980	1981～1988
ヤマハの開発姿勢		・スノーモビル技術の確立 ・商品のラインナップ化	・ヤマハイメージの定着 ・性能優先	・ニュースタイル，ニューフィーチャーの織込 ・ニューコンセプトへの挑戦
代表的Model		SL350 GP433 GS338	GPX433／338 EX　440／340 ET　340／250	SRX440（２代目） PZ　480 EX　570
技術的特徴	Eng.	・Fan／Cool Eng. ・オートルーブの導入	・高出力化 （200PS/ℓ）	大排気量化による中低速出力の向上
	車　体	・Fe フレーム ・センターエンジン	・Aℓフレーム ・フロントエンジン	・先鋭的スタイル ・ＴＯＲＳ（暴走防止装置）
	懸架系	・リーフSp.　スキーサス ・ボギーホィールサス	・スライドレールサス ・ラバーモールドトラック	・T.S.S. ・リンク式トラックサス
市場の状況		・爆発的な市場拡大 ・多数のメーカ参入	・需要の急激な冷え込み ・メーカの淘汰 ・トレールコースの設置	・市場の回復基調 ・高出力Modelの先鋭化

表３－２　ヤマハスノーモビルの世代分類

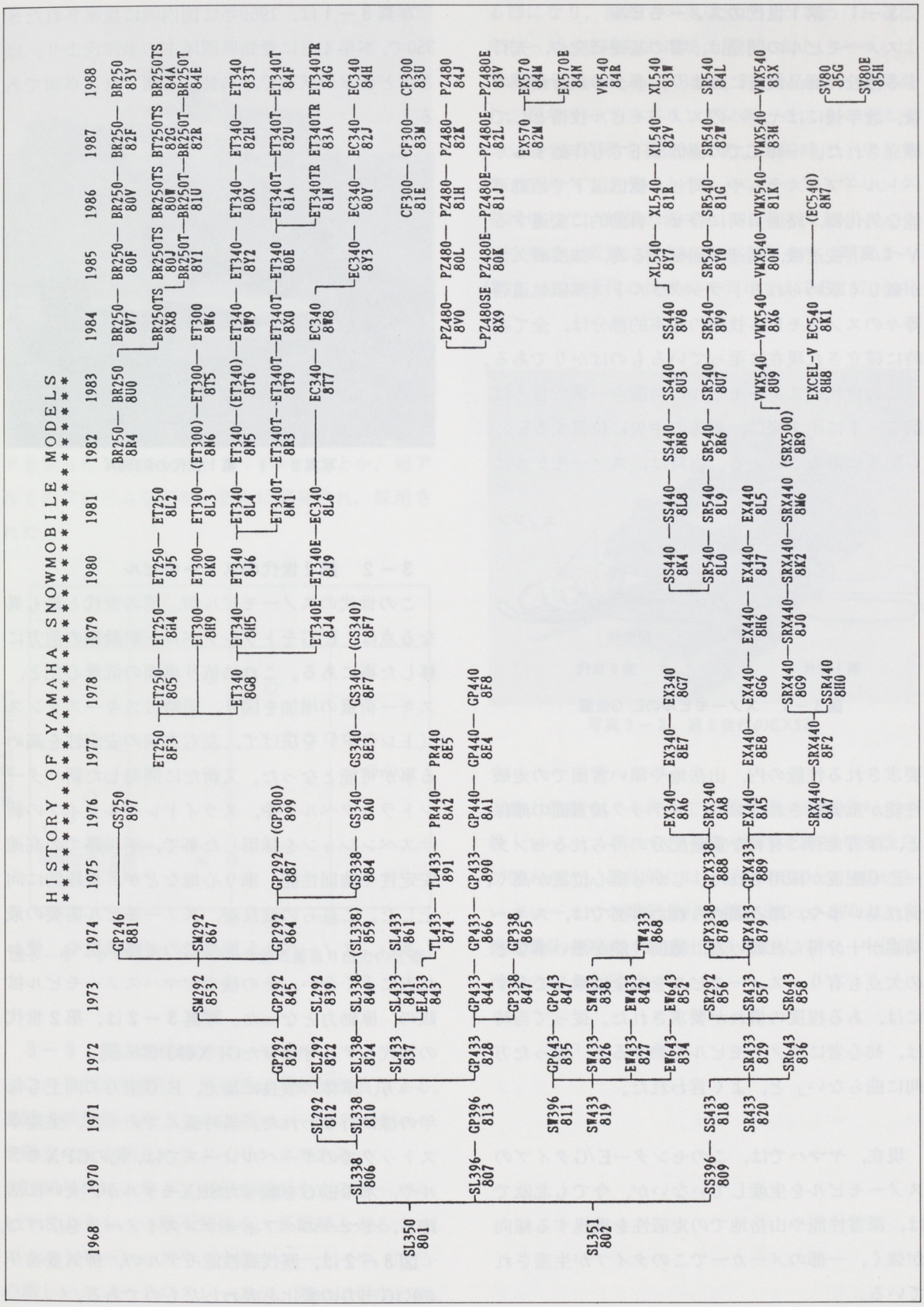
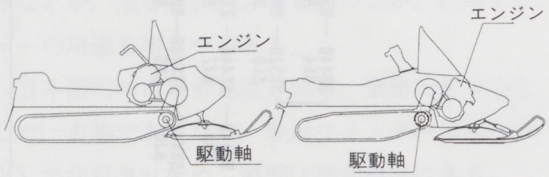


表３－１　ヤマハスノーモビルの系譜

3－1　第1世代のスノーモビル

スノーモビルの開発は，雪の基礎研究や，先行する他社の商品調査に始まり，多少の試行錯誤の後，数年後にはヤマハのスノーモビル技術として，確立された。－40°Cでの極低温下でも作動するオートルーブシステムや，同じく極低温下で始動可能な気化器，路面負荷に合せて自動的に変速するVベルト変速機，高速で回転する為，強度耐久性が厳しく求められるトラックベルト（無限軌道帯）等々のスノーモビル技術の基本的部分は，全て当時に確立され現在に至っているものばかりである。

この世代のスノーモビルの特徴を一事で言えば，**図3－1**に示す様に，車体の中央に位置するE／G配置にあると言える。当時は，スノーモビルに



第1世代　　第2世代

図3－1　スノーモビルのE/G位置

要求される性能の内，山岳地や深い雪面での走破性能が重要視されており，トラック接雪面の確保と，深雪走行に有利な重量配分の得られるセンターE/G配置が採用された。しかし重心位置が高く，倒れ易い事や，踏み固められた雪面では，スキー荷重が十分得られ難い為，施回性能が悪い事などの欠点も有り，スノーモビルを完全に乗りこなすには，ある程度の慣れが要求された。従って当時は，初心者にスノーモビルを乗せると「思った方向に曲らない」と，よく言われた。

現在，ヤマハでは，このセンターE/Gタイプのスノーモビルを生産していないが，今でも北欧では，深雪性能や山岳地での走破性を重視する傾向が強く，一部のメーカーでこのタイプが生産されている。

写真3－1は，1969年に国内向に生産されたS350で，本年4月に愛知県西尾市の米津氏より，ほとんど新車の状態で，当社に寄贈された車両である。

写真3－1　第1世代のS350A

3－2　第2世代のスノーモビル

この世代のスノーモビルが，前の世代と最も異なる点は，E/Gをトラックベルト駆動軸の前方に移した事にある。これに依り車両の低重心化と，スキー荷重の増加を図り，同時にスキースタンス（トレッド）を広げて，左右方向の安定性を高める事が可能となった。又新たに開発した新パターントラックベルトや，スライドレールタイプの新サスペンションを採用した事で，平担路での高速安定性や施回性能，乗り心地などが，飛躍的に向上した。これらの改良が，スノーモビル需要の最も多い，スノーベルト地帯での走路状況や，使われ方によく合い，その後のヤマハスノーモビル拡販の，原動力となった。**写真3－2**は，第2世代の初代モデルとなったGPX433である。

一方，車体の改良に加え，E/G出力の向上も毎年の様に行なわれた。当時盛んであった，生産車ストックでのオーバルレースでは，先のGPXモデルや，水冷E/Gを載せたSRXモデルが，大いに活躍し，ヤマハのパフォーマンスイメージを広げた。

図3－2は，歴代高性能モデルの，排気量当りのE/G出力の変化を表わしたものである。

写真３－２　第２世代のGPX433

又，E/G出力の向上に合せて，駆動系の強度向上や，車体の軽量化も行なわれた。ケブラーコードを使ったVベルトやトラックベルトとか，総アルミのフレームなどが，新たに開発され，採用された。

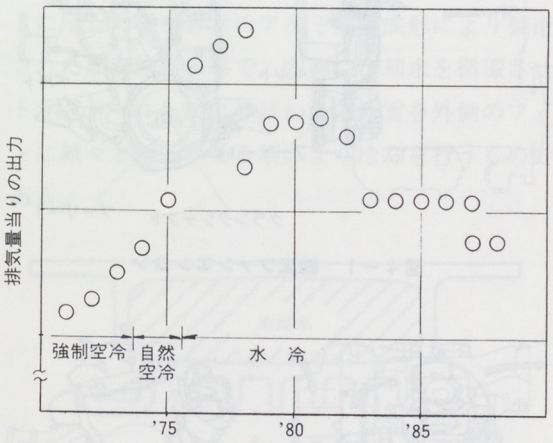


図３－２　ヤマハトップモデルの排気量当り出力の変遷

３－３　第３世代のスノーモビル

この世代の特徴は，懸架系の革新的改良による，悪路走破性能の向上と，このニューフィーチャーを際立たせる新しいスタイリングである。

1980年代に入ると，平担な雪面を走るオーバルレースよりも，一般不整地を，長距離を走るクロスカントリーレースや，小さなコーナーや，凹凸の激しいスノークロスレースが，盛んに行なわれる様になり，悪路での走破性向上が求められる様になった。こうした市場の要求に対し，ヤマハはＴＳＳ（Telescopic, Strut, Suspension）を開発し，長年リーフスプリングに頼ったスキーサスペンションに革新を持たらした。又同時に，リトラクタブルヘッドライトや，ハンドルフェアリングを採用して，外観の面でも，旧来と大きくイメージを変え，業界に新しい流れを作った。**写真３－３**は，この世代の代表的モデルであるEX570を示す。

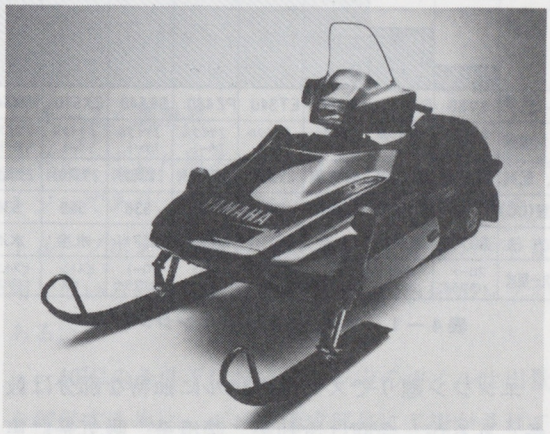
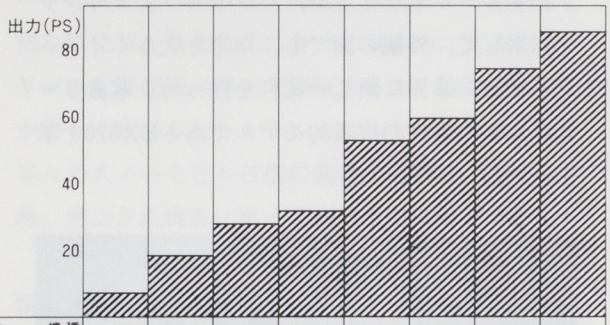


写真３－３　第３世代のEX570

動力性能も，それまでの最高速一辺倒から，一般トレールコースでの，使い勝手を重視した改良が図られた。具体的には，従来の340cc，440ccというレースでの排気量枠を離れ540cc，570ccと大排気量化を進め，最高出力を維持しつつ，中低速出力の向上を行なった。

4．エンジンの変遷

現在生産中のヤマハスノーモビルに搭載されているエンジンの内，基本となる8モデルの仕様を**表4－1**にまとめた。



項目＼機種	SV80	BR250	CF300	ET340	PZ480	SR540	EX570	VMX540
エンジン種類	2サイクル 7ポート	2サイクル 5ポート	2サイクル 5ポート	2サイクル 5ポート	2サイクル 7ポート	2サイクル 7ポート	2サイクル 5ポート	2サイクル 5ポート
気筒数，配列	単気筒	単気筒	単気筒	2気筒並列	2気筒並列	2気筒並列	2気筒並列	2気筒並列
総排気量(CC)	79	246	293	337	485	536	569	536
冷却方法	遠心ファン	遠心ファン	水冷	遠心ファン	軸流ファン	軸流ファン	水冷	水冷
キャブレター型式	フロート バタフライ	フロート バタフライ	フロート バタフライ	フロート バタフライ	フロート バタフライ	フロート バタフライ	ピストン バルブ	ピストン バルブ

表4－1　スノーモビル用エンジン仕様

エンジン廻りでスノーモビルに独特な部分は数多くあるが，今回は冷却系，潤滑系，吸気系に焦点を絞り以下に説明をする。

4－1　冷却系

スノーモビル用エンジンの冷却方式は空冷，水冷の2方式に分類する事ができる。

遠心ファンによる強制空冷方式からスタートしたスノーモビル用エンジンは，その後の高出力化，低騒音化の流れの中で自然空冷，軸流ファンによる強制空冷，水冷といった種々の方式が様々なモデルに採用され，現在では自然空冷方式は姿を消し，各社共ファンによる強制空冷エンジン及び水冷エンジンを採用している。

4－1－1　強制空冷エンジン

強制空冷用のファンとしては，軸流ファンまたは遠心ファンを採用している。軸流ファンエンジンの例を**図4－1**に，遠心ファンエンジンの例を**図4－2**に示した。図中の矢印が冷却風の流れを表わしている。

これらの両方式については，軸流ファン方式は高性能スポーツモデルに，遠心ファン方式はファミリーモデルにという使い分けを行っている。

軸流ファン方式の特徴は，冷却系全体としての効率が遠心ファン方式に比べて高い事，及びエンジン幅を狭くおさえる事ができる為，エンジンをフレームの低い位置に配置する事ができ，それにより車の重心位置を下げる事が可能になるという事であり，一方遠心ファン方式の特徴は軸流ファン方式に比べてコストが安いという事である。これらの特徴を活かした両方式の使い分けを行っている。

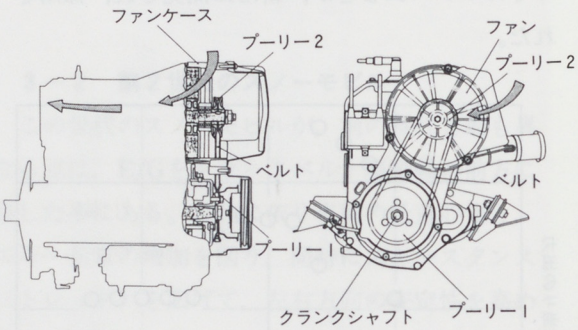


図4－1　軸流ファンエンジン

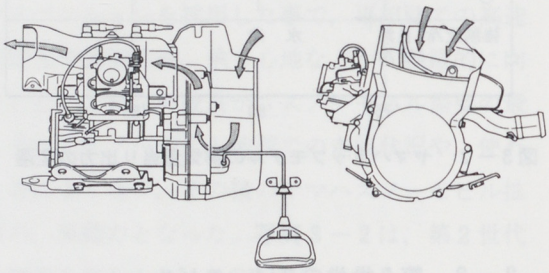


図4－2　遠心ファンエンジン

尚，長い間，冷却風の吸込口と排出口の両者がシュラウド内にある方式が採用されてきたが，この方式ではシュウラド内の熱い空気によるエンジンの冷却，及びその繰返しによる冷却風温の更なる上昇という悪循環があり，冷却方式としては問題が多かった。これらの欠点を改善する為に，最

近のモデルでは，ダクトによりシュラウド外側の空気をエンジン冷却風として導入し，またシュラウド外側へ排出する，所謂『外―外方式』が主流となっている。

4－1－2　水冷エンジン

高出力化の流れの中で生まれたスノーモビル用水冷エンジンだったが，その後その低騒音という特徴を活かすべくファミリーモデル用のエンジンにも採用され，現在では水冷エンジン＝高出力モデルと言う式は成り立たなくなっている。

水冷モデルには，冷却器としてラジエターとヒートエクスチェンジャを併用したモデル，及びヒートエクスチェンジャのみのモデルがあるが，最近の市場動向としてはヒートエクスチェンジャのみのモデルが主流を占めている。

ここで言うヒートエクスチェンジャとは**図4－3**に示した様な形状のアルミ押出成形により製造された熱交換器の事で，内側に冷却水を循環させ，トラックベルトによりはね上げた雪を外側のフィンに続々と付着させる事により冷却を行うものである。

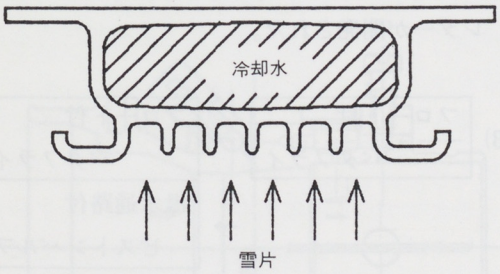


図4－3　ヒートエクスチェンジャ

図4－4にヒートエクスチェンジャのみを冷却器として使用しているEX570の冷却系図を示した。ヒートエクスチェンジャの取付位置の選定に際しては，雪の付着しやすい位置を見い出す事と同時に，フレームへの熱伝導，ヒートエクスチェンジャに付着し溶けた雪の再凍結等を考慮する事が必要となる。

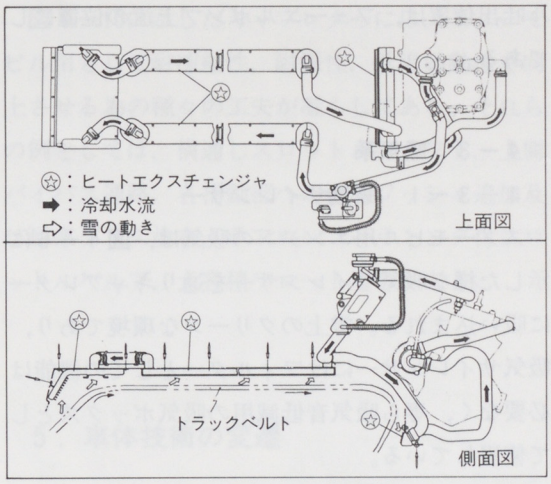


図4－4　EX570の冷却系

4－2　潤滑系

スノーモビル用エンジンはすべて2サイクルエンジンであり，潤滑用には全機種共ヤマハ製オートルーブポンプを使用している。V系ポンプを使用しているのは1機種のみで，他はS系ポンプである。

－40°Cの条件下においても一定のオイル吐出量を確保する為に，ポンプ構成部品に工夫がされており，またオイル自体の温度を高く保つことができる位置にオイルポンプ，オイルタンクを配置している。尚，使用するオイルはもちろんスノーモビル用として開発した低粘度タイプのオイルである。

またオイル吐出位置は，従来吸気マニホールドであったが，**図4－5**に示した様にフューエルタンクとフューエルポンプの間にオイルを吐出させる事によって，キャブレターのアイシング防止として効果があり，現在ではほとんどの機種のオイ

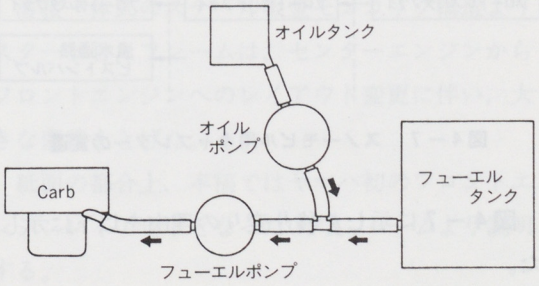


図4－5　オイルのフューエルポンプ前吐出

ル吐出位置は，フューエルポンプ上流の位置にしてある。

4－3　吸気系

4－3－1　吸気サイレンサー

スノーモビル用エンジンの吸気は，**図4－6**に示した様な吸気サイレンサーを通りキャブレターに吸い込まれる。雪上のクリーンな環境であり，吸気サイレンサーにはフィルターとしての機能は必要なく，専ら吸気音低減用の吸気ボックスとして使用している。

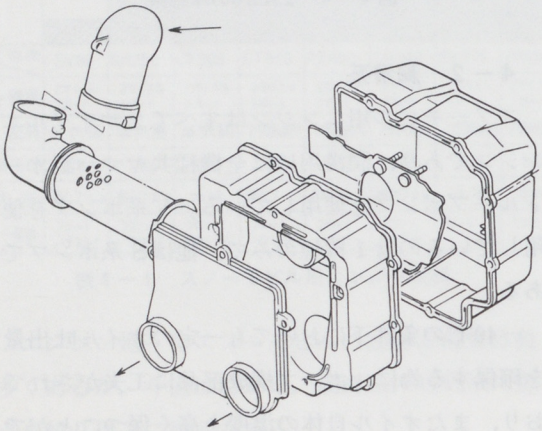


図4－6　吸気サイレンサーの1例(PZ480用)

4－3－2　キャブレター

ヤマハのスノーモビル用として使用したキャブレター形式の変遷を大きくまとめると**図4－7**の様になる。

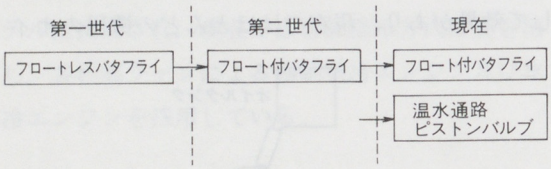


図4－7　スノーモビル用キャブレターの変遷

図4－7に示した移り変りの理由を以下に示した。

(1) フロートレスバタフライ

耐凍結性及び耐傾斜性を考慮し，フロートレスバタフライタイプを採用した。

図4－8にフロートレスバタフライキャブレターを示した。

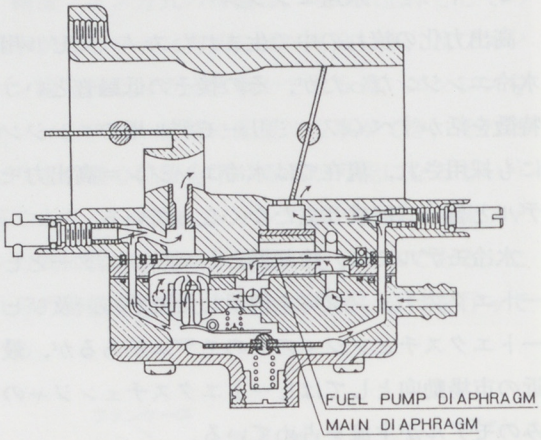


図4－8

(2) フロートレスバタフライ → フロート付バタフライ

フロートレスバタフライタイプの弱点である耐熱性の弱さを解消する為に，フロート室を持ったスノーモビル専用のバタフライキャブレターが開発された。

(3) フロート付バタフライ → フロート付バタフライ
→ 温水通路付ピストンバルブ

現在もフロート付バタフライタイプのキャブレターが主流であるが，市場の一部にはピストンバルブに対する根強い人気もある。これは，ピストンバルブタイプのセッティング要素が，フロート付バタフライタイプよりも多く，ユーザーがセッティングし易い事によるものである。これらの声に応える為，一部の高出力モデルでは，スロットルバルブの凍結防止としての温水通路を持つピス

トンバルブタイプのキャブレターを使用している。

EX570に使用している温水通路付キャブレターを図4－9に示した。

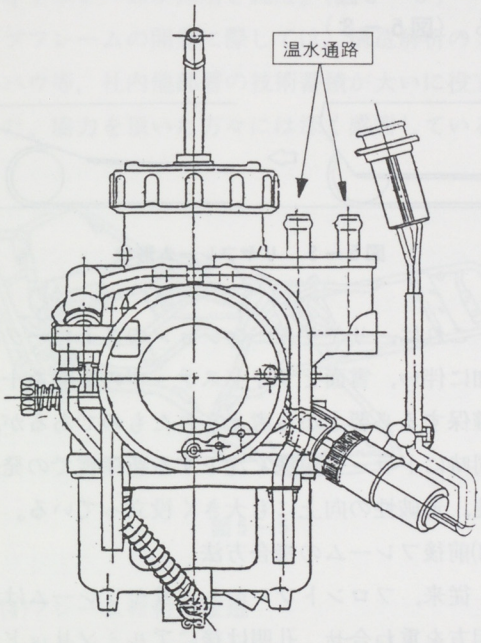


図4－9　温水通路付キャブレター

図4－10にフロート付バタフライタイプのキャブレターの1例を示した。

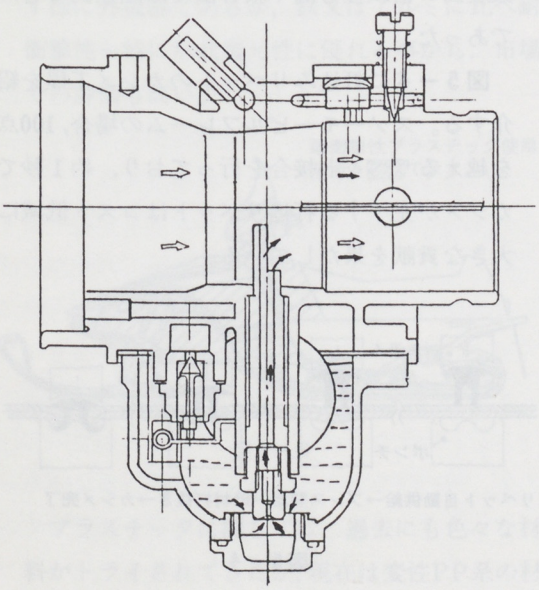


図4－10　フロート付バタフライタイプキャブレター

図4－10に示したキャブレターには，スノーモビル用として耐凍結性，耐振性，低温始動性を向上させる為の種々の工夫が凝らしてある。それらの例としては，横通しスロットルシャフト，上側バイパス通路，各摺動部への樹脂ワッシャ追加及び耐寒グリス塗布，テフロンコーティング付スロットルバルブ，大容積フロート室等がある。

5．車体技術の変遷

スノーモビルの車体技術の変遷をフレーム構造，艤装，雪害防止技術を中心に説明する。

5－1　フレーム構造の変遷

スノーモビルフレームの設計基本要件は

(1)エンジン，駆動，サスペンション，かじ取り装置等を保持し，各コンポーネントが正しく機能する上で必要な強度，剛性，寸法精度を有すること。

(2)雪上走破性向上の為，フレーム下面は適正な地上高を有し，雪面に対して抵抗とならない形状（舟底形状）であること。

(3)低重心化の為，エンジンは低い位置に搭載可能なこと。

(4)軽量，安価であること。

等に集約される。車両レイアウトの変遷に対応し，フレーム構造も変化してきたが，基本的には上記の要件をより高いレベルで成立させる為のものであったと言えよう。以下にヤマハスノーモビルのフレームの変遷を説明する。

溶接一体式のスチール板金モノコック構造よりスタートしたフレームは，センターエンジンからフロントエンジンへのレイアウト変更に伴い，大きな変貌をとげた。

紙面の都合上，本稿ではヤマハ初のフロントエンジンレイアウトとなったGPXフレームより説明する。

5－1－1　GPXフレーム

フロントエンジン式のレイアウトから生み出されたフレーム形態である。軽量化の為，ベリーパン，リヤフレームに高強度アルミ合金板を使用しスチール製フロントフレームとリベット接合する構造をとっている。以来，数々の改良は行われたが，現在のスノーモビルの基本となったフレームである。**図5－1**　にGPX433のフレームコンプリートを示す。

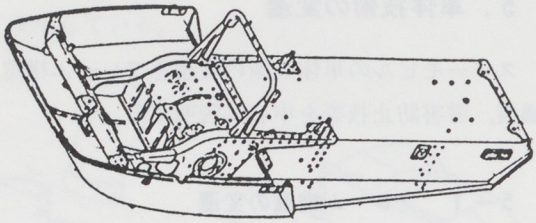


図5－1

5－1－2　最近のフレーム構造

前述のGPXフレームを基本として，強度，剛性の向上，軽量化，コスト低減等の技術を織込みより完成度の高いフレームとなっている。**図5－2**に代表的モデルとしてEX570のフレームを示し，主な特徴を説明する。

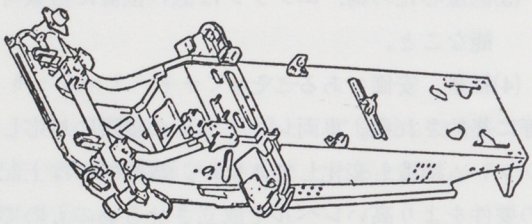


図5－2

(1)フロントフレーム

サスペンション性能の向上等より悪路走破性が増しフレーム強度，剛性に対する要求も厳しくなり，高張力鋼板，鋼管等を使用する事に依りこれに答えている。

(2)リヤフレーム

GPXフレーム以降，高強度アルミ合金板を使用してきたが，ファミリーモデルでは薄肉高張力鋼板を使用し，コスト低減しているものもある。又，形状面での特徴としては，サイドステップの切り上げ角が大きくなった事が挙げられる。(**図5－3**)

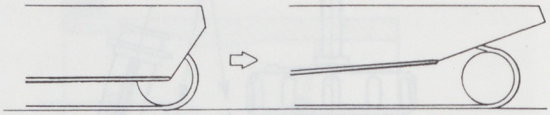


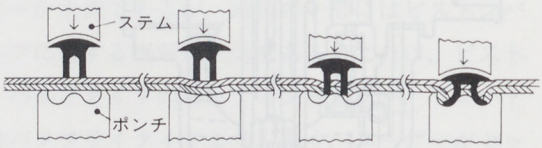
図5－3　リヤフレーム形状

これは，リヤサスペンションのストローク増加に伴い，雪面とサイドステップの距離を十分確保する必要上から考えられたものであるが，同時にトラックが深く沈下する新深雪での発進性，走破性の向上にも大きく役立っている。

(3)前後フレームの接合方法

従来，フロントフレームとリヤフレームは，相方を重ね合せ，孔明け後にアルミソリッドリベットで接合されていたが，現在では打込みリベットを工作機械メーカーと共同で開発し，使用している。これは孔明け工程を必要とせず，打込みと同時にカシメを行う特殊なリベットで，強度面の信頼性も高く接合法では画期的なものであった。

図5－4に打込みリベットのカシメ工程を紹介する。スノーモービルフレームの場合，100点を越えるリベット接合を行っており，約1秒でカシメが完了する打込リベットはコスト低減に大きな貢献を果たしている。



リベット自動供給→プレス開始→母材打抜き→カシメ完了

図5－4

フレームに関しては上記モノコックフレームとは別に新構造の研究も進められており，'88モデルSV-80では，量産モデルとしては初めてパイプフレームが採用された。（**図5－5**） パイプフレームの開発に際しては，構造解析のノウハウ等，社内他部署の技術蓄積が大いに役立った。協力を頂いた方々には深く感謝している。

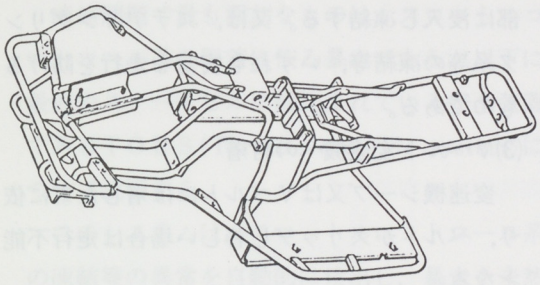


図5－5

(4)フレーム材料の変遷

従来スノーモビルフレームは，鉄とアルミの組合せが一般的であった。しかし近年は，プラスチック材料が目ざましい進歩をとげた結果，フレーム部品にもプラスチックが積極的に使用されつつある。主な使用箇所は，**図5－6**に示す様に外板部であるが，鉄又はアルミに比べ耐衝撃性—特に形状復元性に優れる事から，市場での評価も高い。

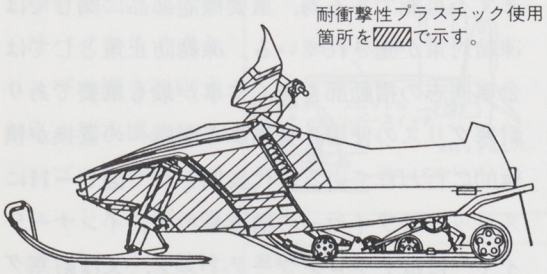


図5－6

プラスチックに関しては，過去にも色々な材料がトライされてきたが，現在は変性PP系の材料が主流となっている。−40°Cでの低温衝撃性は勿論の事，マフラーに近い箇所等では高い耐熱性も要求される為，使用可能なプラスチックも限定されている。成形はインジェクションが一般的であるが型費低減の為，生産台数の少ないモデルは真空成形で行っている。**図5－7**に真空成形ベリーパンを採用しているVK540のフレームを示す。

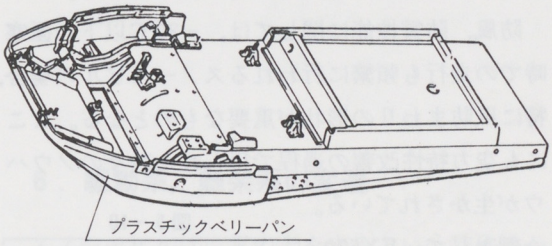


図5－7

フレーム外板に初めてプラスチックを採用した頃は，強度に対する懐疑から市場の反応も冷やかな面があった。しかし，プラスチックの評価が高まるにつれ見方も変り，最近ではスノーモビルのベリーパンはプラスチックでなければならないと言われる程になっている。

5－2　艤装の変遷

スノーモビルの完成度が高まるにつれてスタイリングに対する要求もより高度なものとなってきた。空力特性の改善，防風，防雪性の向上がスタイリングの重要テーマとなり，こうした中からリトラクタブル式ヘッドライト，ハンドル一体式ウインドシールド等の暫新なフィーチャーも生まれてきた。**図5－8**にVMX-540のリトラクタブル式

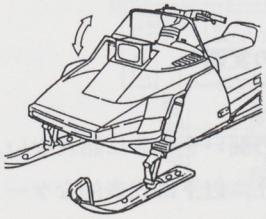


図5－8

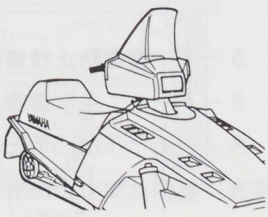


図5－9

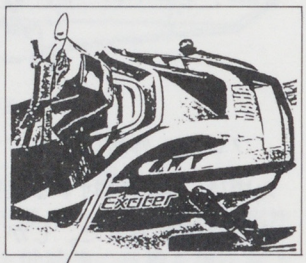
ヘッドライト，**図5－9**にPZ480のハンドル一体式ウインドシールドを示す。

特に，ハンドル一体式ウインドシールドは従来モデルに比べ前面投影面積が減少し，風洞実験で得られた低い空気抵抗と合わせて空力特性の改善に寄与した。又，ヘッドライトがハンドルにマウントされた結果，曲がる方向を照らすことになり夜間の林間走行等も楽に行える様になった。

防風，防雪性能に関しては，−30°C以下の極寒時での走行も頻繁に行われるスノーモビルの場合，特に風防まわりの形状が重要なものとなる。ここにも空力特性改善の過程で得られた数々のノウハウが生かされている。

一例として，EX570のシュラウドまわりの形状とライダー側に風を流さない為の工夫の一端を**図5－10**に示す。

図5－10



風はシュラウド形状に添って外側に流れ，運転席に流れ込まない。

さて次に，スノーモビルの車体設計のうちで最も難しい部分である「冷却」と「雪害防止，騒音低減」について説明する。エンジンルーム内を冷却する為には，シュラウド等に開口部を設け外気を導入する必要が有るが，外気と共に雪も浸入し凍結等の不具合の原因となる。又，開口部は騒音低減の面でも問題となり，これらの相反する要件をいかに成立させるかが，重要な技術課題となっている。冷却方式については，4－1　冷却系の項で触れられているので，ここでは雪害防止技術を中心に説明する。

5－4　雪害防止技術の変遷

5－4－1　主な雪害

スノーモビルは，雪との闘いを抜きに語れない。雪害にも様々なものが有り，以下に代表的なケースを挙げる。

(1)キャブレターの不具合

吸気サイレンサを通ってキャブレター内に入った雪がキャブ内に堆積もしくは氷結し，エンジン性能低下やスロットルバルブの凍結固着等を引き起す。

(2)機能部品の凍結

スロットルワイヤ，ブレーキワイヤ等のコントロールケーブル類に付着した雪が，溶けて内部に浸入し凍結する。又は，ステアリングリンク系等の凍結等，いずれも安全な走行を防げるものである。

(3)Vベルト変速機への付着

変速機シーブ又はVベルトには着した雪に依り，ベルトがスリップし著しい場合は走行不能となる。

(4)灯火類への付着

ヘッドライト，テールライト等に雪が付き，配向を防げたり，被視認性を低下させる。

上記の外にも様々な雪害が有り，これを克服する事も重要な課題である。以下にスノーモビルの車体まわりに採用されている雪害防止技術の具体例を紹介する。

5－4－1　雪害防止技術の具体例

(1)凍結防止

車体各部への雪入りを完全に遮断することはまず不可能である為，重要機能部品に関しては凍結対策が施されている。凍結防止策としては金属同志の摺動部を無くす事が最も重要であり耐寒グリスの使用，金属から樹脂への置換が積極的に行われている。代表例として**図5－11**にスロットルワイヤーの構造を示す。インナーワイヤーにはテフロンコーティング，又は耐寒グリスを含浸させ凍結しにくい構造としている。又，ケーブルエンドには樹脂カバーを被せキャブレタアームとの金属同志の接触を防止している。

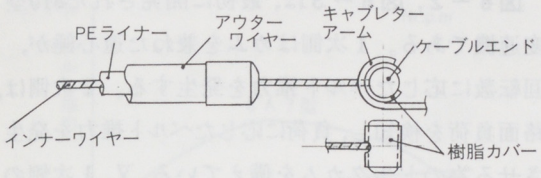


図５－11

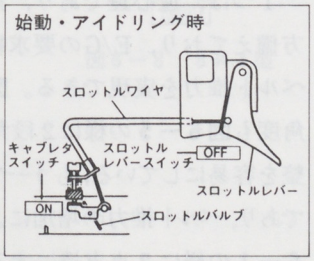
(2)安全装置

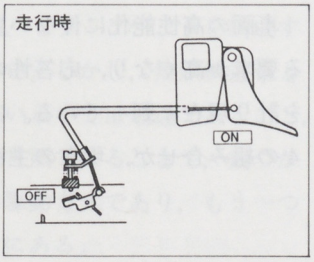
凍結問題で最も深刻なものは，スロットルコントロール系の固着に依る暴走である。以下に最近のスノーモビルに織込まれている安全装置であるＴＯＲＳ(Throttle override system)について説明する。

このシステムは，スロットルコントロール系の凍結等の異常を自動的に検出し，暴走を未然に防ぐ目的で開発され，1985年モデルより業界として装着を義務づけているものである。各社がそれぞれに工夫し，構造的にも異っているが，いずれもライダーがスロットルレバーを離した時，スロットル系に凍結，引っかかり等の異常が有る場合に自動的にエンジンが停止する仕組みになっている。**図５－12**にヤマハのＴＯＲＳを示す。

スイッチ	運転状態 始動 アイドリング	運転状態 走行	トラブル発生時 エンジン停止
キャブレタスイッチ	ON	OFF	OFF
スロットルレバースイッチ	OFF	ON	OFF

ヤマハのＴＯＲＳは，キャブレター型式に依り２種類有るが，ここではバタフライ式キャブの例を説明する。基本構造はキャブレター側，スロットルレバー側にスイッチを設け，それぞれのスイッチのON，OFFの組合せからアイドリング，正常走行異常発生を検出する仕組みである。異常発生時は，イグニッション回路を短絡させエンジンを停止する。





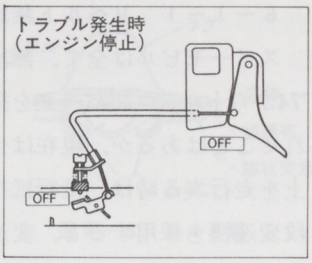


図５－12

６．駆動系，懸架系の変遷

スノーモビルは，雪の上を走るという特殊性から，特徴のある機構を有しており，それらについて説明する。

６－１　駆動系

図６－１は，代表的な駆動系統図である。（８Ａ７型）エンジンの発生する力は，Ｖベルト無段変速機を経て，チェーン，フロントアクスルへと伝達される。フロントアクスルには，スプロケットホイルが圧入されており，これがトラックベルトを駆動する。一連の駆動系部品の中でも特徴的な，Ｖベルト無段変速機とトラックベルトに関して詳述する。

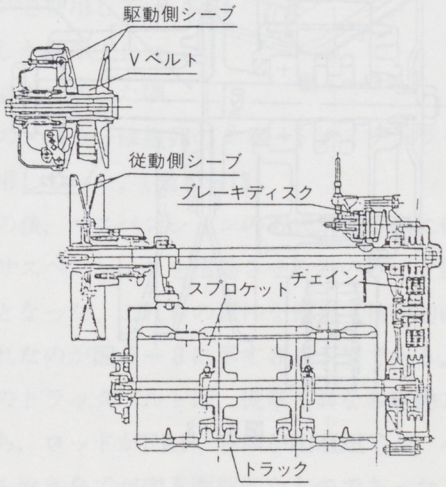


図６－１

6－1－1　Vベルト無段変速機

スノーモビルは全て，無段変速機を備えている。'74からトルクコンバータを搭載した機種が生産されたことはあるが，現在は生産されていない。雪上を走行する時は，走行抵抗が大きく，歯車式多段変速機を採用すると，変速操作を行なっているうちに車速が落ちてしまい，滑らかに走行できないからである。又，雪上走行路は非常に突起が多く，走行中に変速の為，手をハンドルから離すことが容易でないということもあり，無段変速機を備え，運転を容易に行なえるようにしている。

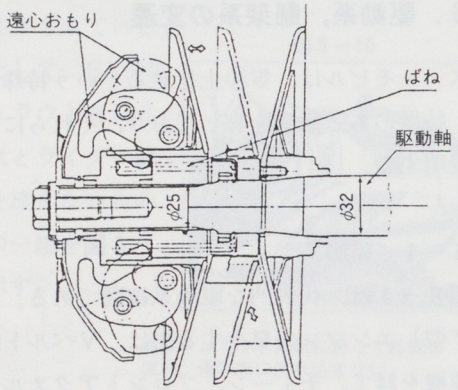


図6－2

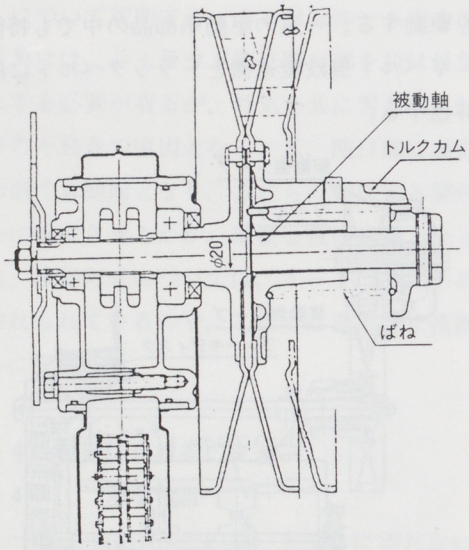


図6－3

図6－2，**図6－3**は，最初に開発された810型変速機である。1次側はカムを兼ねた遠心錘が，回転数に応じたベルト推力を発生する。2次側は，路面負荷を検知し，負荷に応じたベルト推力を発生させる為のトルクカムを備えている。又，1次側のベルトはエンジンがアイドリングの状態では動力を伝達せず，回転数が高くなりベルト推力が増える事により動力を伝達する機構となっている。その為，ベルト変速機をクラッチと表現する場合もある。

'75～76年代に入り，市場が活発になるのに伴ない，車両の高性能化が始まり，変速機も変わった。**図6－1**に示す8A7型は2つの改良点により，高性能化を実現している。

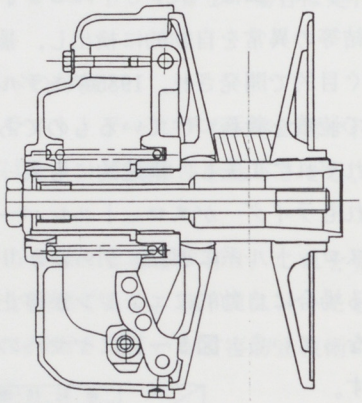


図6－4

1つは，遠心錘であり，錘とカムの役割りを両方備えており，E/Gの要求特性に合わせた複雑なベルト推力を実現できる。**図6－1**さらにシーブ角度も**図6－5**の様に2段角とし，ベルト推力の調整を容易にしている，もう一つは2次側の固定方法であり，ベルト推力の増加による軸間力の増加を**図6－1**の様に2点支持にすることで対応している。

車両の高性能化に伴ない変速機の応答性に対する要求が高くなり，応答性の改良と信頼性の向上を計り現在に到っている。次に示す8V0と8K4の組み合せが，現在の主流となっている。

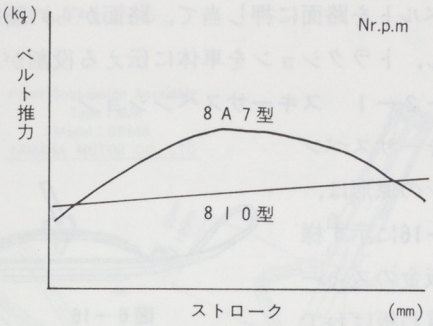


図6－5

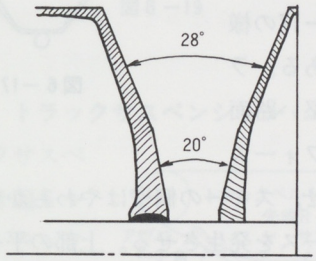


図6－6

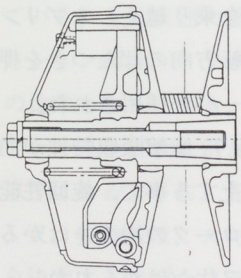


図6－7　8 V 0 型

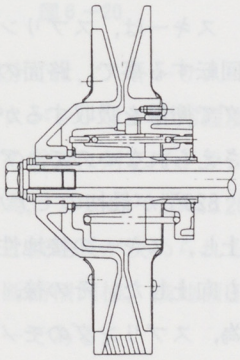


図6－8　8 K 4 型

6－1－2　トラックベルト

図6－9に示す様に，トラックベルトを構成する部品の数は極く少ない。しかし，無限軌道帯として乗り物に使われている中では最速であること，駆動力を伝える路面が雪面であることで，幾つかの特徴がある。一つは駆動方式であり，もう一つは雪面を蹴るパターンにある。

文献に残っている最も古いトラックベルトは，カナダ，ボンバーディア社のもので，**図6－10**の様であり，複列，窓駆動タイプと呼ばれる。

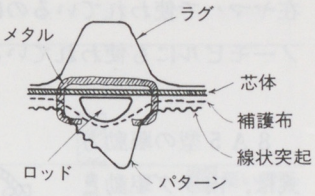


図6－9　8 A 5 型

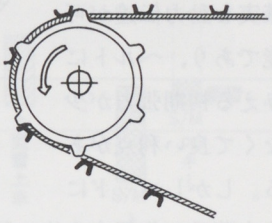


図6－10

ヤマハは，単列の窓駆動からその歴史が始まった。8 0 1 型である。しかし，ロッドに集中荷重が掛かり折れ易い事，トラクション（雪面に駆動力を伝え，反作用力として前へ進む力を得る能力）が少ない事があり，新潟大学の下田教授と共同研究が行われた。

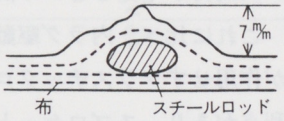


図6－11

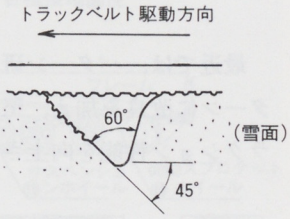


図6－12

その結果，非対称複合山高パターンが誕生した。（**図6－12**）現在生産されているトラックベルトの大多数は，このパターンを使用している。しかし氷上レースが盛んであった頃，海外のメーカーは複列のクリートタイプトラックを採用していた。（**図6－13**）

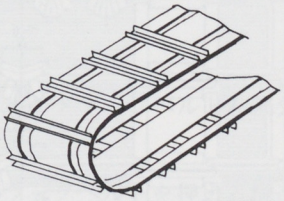


図6－13

その後，サスペンションの方式が変る事に伴なってサスペンションを摺動させる為のガイド部が必要となった。これらの要件を備えて技術的に確立されたのが**図6－8**に示す8 A 5 型である。

このトラックベルトは，従来と異なる駆動方式を持ち，ロッドがFRP，芯体がHMDETと，パターンを除き全てが変る画期的なものであった。現

在ヤマハで使われているのはもちろん，海外のスノーモビルにも使われている。

8A5型の駆動方式は，内ラグ駆動と呼ばれる。窓駆動は，確実な動力伝達が可能であり，ベルトに与える初期張力が少なくて良い利点がある。しかしロッドに集中荷重が作用する為，強度upし，重量が増大し，ロス馬力が増えるという問題を持っていた。

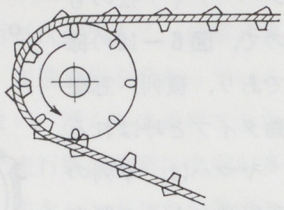


図6－14

これに比べ，内ラグ駆動は，ロッドに集中荷重が作用せずプラスチックロッドにより軽く出来る利点があり，スプロケットとの噛み合い騒音が低いという利点もある。

最近では，パターン研究の成果として従来のパターンに改良を加え，堅い雪面及び，新雪でのトラクション性能を向上させた82M型が開発された。

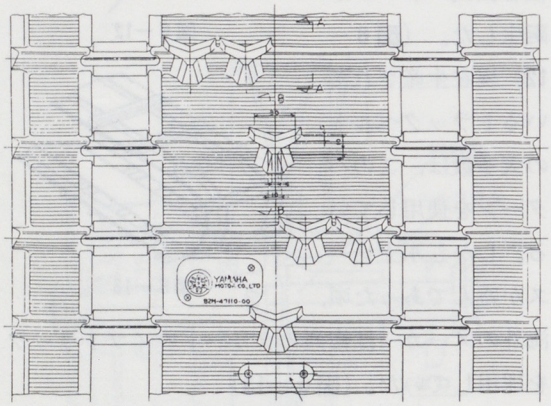


図6－15

6－2　懸架系

スノーモビルの懸架系には，スキーサスペンションとトラックサスペンションがある。前者はスキーを路面に追従させる事で，車重を支え，旋回に必要なサイドフォースを発生させ，後車はトラックベルトを路面に押し当て，路面からの衝撃を吸収し，トラクションを車体に伝える役割がある。

6－2－1　スキーサスペンション

スキーサスペンションの原形は，**図6－16**に示す様に，板金のスキーを，重ね板ばねで支持する簡単なものであった。スキーは**図6－17**の様な断面である。ランナーは堅い路面でサイドフォースを発生させ，スキーの側壁はやわらかい雪面でサイドフォースを発生させる。上部の平らな部分は，新雪時の接雪圧を低減させ，車両が雪中に洗み込まない様，工夫されている。

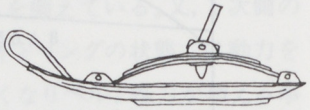


図6－16

図6－17

スキーは，スプリングの取付ボルト部を中心に回転する事で，路面の凹凸を乗り越え，スプリングで衝撃を吸収するが，回転方向のばたつきを押さえられないので，アブソーバが採用された。

829型が最初のモデルであり，衝撃吸収特性が向上し，スキーの接地性が向上する事で，旋回性能も向上した。その後，ストロークの増大をはかる為，スプリングのモノリーフ化がはかられた。

その後，R＆Dミネソタで，更にロングストロークのサスペンションが考察され，TSSサスペンションとして採用された。

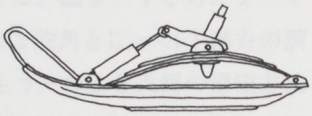


図6－18

これは，M/Cのフロントフォークを左右独立して動く様にしたものであり，現在も上級モデルに採用されている。

サスペンションが高ストロークになるにつれ，ロール剛性を補う為，スタビライザーが装備され

ているものもある。

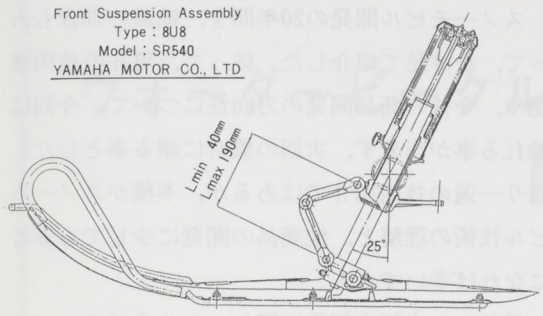


図6－19

2－2　トラックサスペンション

トラックサスペンションは図6－20の様にトラックベルトを巻き掛け，路面にトラックベルトを押さえつけている。ＩＧ状態の重量配分では，スキーサスペンション40％，トラックサスペンション60％程度の比率となっている。種々の雪質に対してトラックションを最大に引き出す為，アプローチ角は20°以下になるように，先端Ｒと接地長が決められる。

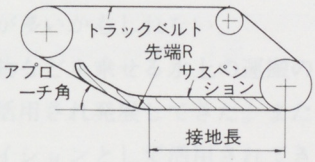


図6－20

又，接地長は，スキーの断面積同様，接地面圧を決定する重要なファクターである。

図6－21は，他の車両との比較を行なったものである。トラックベルトの面圧は，人が滑降用のスキーをはいた時と同じ程度であり，スノーモビルのスキーは，新雪ではトラックベルトと同程度の面圧で，堅い路面ではサイドフォースを得る為，高い面圧で路面に押し当てられる様子がわかる。

図6－22は，ボギーホイルサスペンションと呼ばれ，幾つも並んだホイルが，トラックベルトを押え，後端のホイルから車体に力を伝達する構造である。最も古い構造であり，各ホイルが独立しており，トラックベルトが適確にトラクションを得られない為，829型のボギーレールサスペンショ

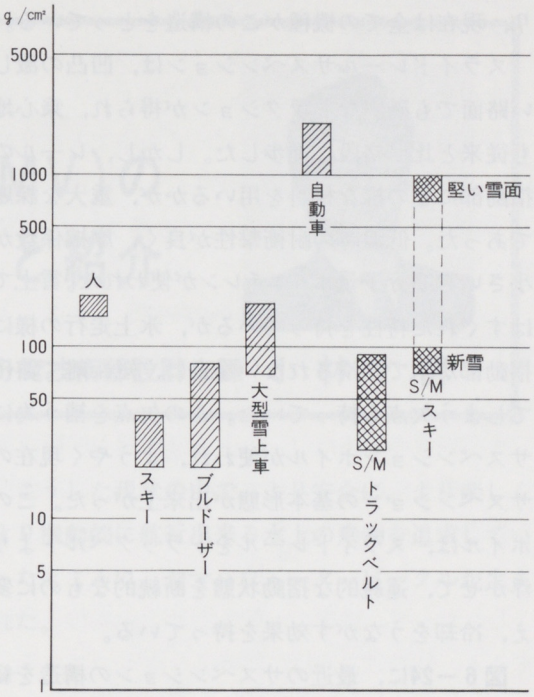


図6－21　各種接地面圧

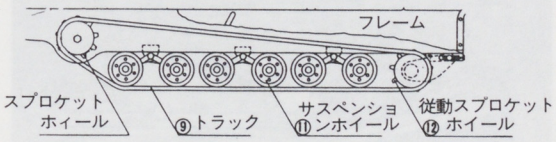


図6－22

ンが開発された。

しかしこれも，ホイルがトラックベルトを部分的に押さえる構造であった。

その後，レールでトラックベルトを押える構造が考えられ，ヤマハでは，856型で初めてスライドレールサスペンションを採用した。

856型は動力伝達用のアームを持ち，スライドレールが動く事に依り，衝撃を吸収するタイプであ

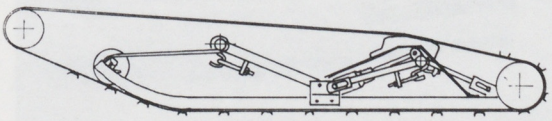


図6－23

り，現在は全ての機種がこの構造をとっている。

スライドレールサスペンションは，凹凸の激しい路面でも確実なトラクションが得られ，乗心地も従来と比べ格段に進歩した。しかし，レールの摺動部にどの様な材料を用いるかが，重大な課題であった。低温時の耐衝撃性が良く，摩擦係数が小さい起高分子量ポリエチレンが使われた。雪上ではすぐれた特性を持っているが，氷上走行の様に摺動部が水で潤滑されない場合に，短距離で溶けてしまう欠点も持っていた。この欠点を補う為にサスペンションホイルが使われ，ようやく現在のサスペンションの基本形態が出来上がった。このホイルは，スライドレールをトラックベルトより浮かせて，連続的な摺動状態を断続的なものに変え，冷却をうながす効果を持っている。

図6－24に，最近のサスペンションの構造を紹介する。

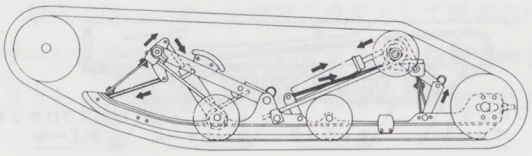


図6－24

7．おわりに

スノーモビル開発の20年間を，紙面の都合もあって，かけ足で紹介した。従って，現在の技術課題や，今後の商品開発の方向性について，今回は触れる事が出来ず，次回の機会に譲る事とした。通り一遍の技術紹介ではあるが，本稿がスノーモビル技術の理解と，他商品の開発に少しでも参考になれば幸いである。

最後に，本稿の編集に際し，これまでのスノーモビル技術の歩みを顧みて，今の技術水準を一歩進める新世代商品の必要性を痛感する次第である。

ウォータービークル(MMV)の開発と紹介

舟艇技術部設計三課　小林　昇

1. はじめに

ウォータービークル，この聞き慣れない乗物はなんだろうと思う人が多いかもしれない。

船は昔から人や荷物などを乗せる水上の運搬の道具として，幅広く活用され発展してきた。また一方では，レクリエイションとして活用されてきたのも歴史的事実として記録されている。

近年，特に小型船（ボート）は目ざましい発達を遂げてきた。これには主に二つの理由がある。

一つは船体材料として F. R. P（Fiberglass, Reinforced. Plastic. ＝強化プラスチック）を採用し，強くて軽量な船体を作りあげられるようになったことであり，もう一つは信頼性の高い，小型推進機関の開発が進んだことによることが大である。

現在，湖沼や渚を中心に活動する多くのボートは，こうした理由から隻数も非常に増加しているが，ボートそのものの形態を考えると丸木船の時代とあまりかわってはいない。つまり端的に言うと，船体が木からＦＲＰへ，櫓や櫂がエンジンに変わっただけである。したがって波をかぶればボートに水が溜り，転覆をすれば走れなくなるとか，浅瀬の岩場で船体をぶつければ沈没するとか，漂流するとか，スピードや快適性の面では飛躍的に進歩はしているものの，本質的な面ではあまり変っていないように見受けられる。

こうした現状の中で，より安全に，より楽しく，より機動的に航行出来る水上の乗物を追求していったところに，ヤマハウォータービークルが生まれた。

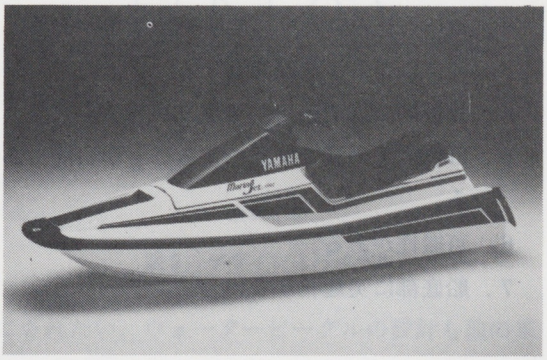


写真１　ＭＪ－500Ｔ（WAVE RUNNER）

写真２　ＭＪ－500Ｓ（WAVE JAMMER）

2．開発概要

2－1　概要

今回発表したウォータービークルは2人乗りのMJ－500T[※1]（WAVE RUNNER[※2]）と1人乗りのMJ－500S（WAVE JAMMER）の2種である。（**写真1，2**）

このウォータービークルを全体像としてとらえると，次のような乗物ということがいえる。

〝小型軽量の船体にジェット推進機関を密閉設置し，転覆を前提にした防水性能を有し，高運動性と安全性を兼ね備えた新しい水上の乗物〟

したがって，従来の一般的な水上の乗物と比較すると，特徴的な点は，次のようなものである。

1．転覆の後でも再航走が可能である。
2．波の打込みに対して自主排水能力がある。
3．浮体による不沈性を有する。
4．比較的，浅瀬航走が可能である。
5．ほぼ，その場で旋回をすることが可能である。
6．可搬性がある。
7．船底部に突起物がない。

この特徴を**図1**に表わしている。（**図1**を見る場合，初めに，横に記載されている一般的なボートと項目毎に比較し，次にウォータービークルだけ，縦に見ていくとウォータービークルの運動性能や安全性能が全体像として理解できると思う。）

※1　MJ－500T，500Sは日本国内の名称である。

※2　WAVE RUNNER，WAVE JAMMERはUSAの名称である。

図1　Convertional small Boatとの比較

2－2　仕様

MJ－500T（WAVE RUNNER）とMJ－500S（WAVE JAMMER）の仕様諸元は**表1**のとおりである。

名称	MJ-500T	MJ-500S
型式	EUO	EW 3
全長(LOA)	2.77〔m〕	2.24〔m〕
全幅(LOA)	1.02〔m〕	0.86〔m〕
船の長さ(LR)	2.39〔m〕	1.92〔m〕
船の幅(BR)	0.90〔m〕	0.73〔m〕
船の深さ(DR)	0.27〔m〕	0.31〔m〕
乾燥重量（バッテリー，燃料をのぞく）	158〔kg〕	130〔kg〕
定員	2名	1名
フュエルタンク容量	22ℓ	13ℓ
リザーブ時の容量	4.0〔ℓ〕	3.4〔ℓ〕
連続最大速力	56〔km/H〕	←
燃料消費量	13.2〔ℓ/H〕	←
最高出力	32/5500〔PS/r.p.m〕	←
種類	2サイクル	←
シリンダ数	2	←
総排気量	496〔cc〕	←
内径×行程	72×61〔mm〕	←
圧縮比	7.0	←
吸気方式	リードバルブ	←
掃気方式	シュニーレ	←
排気方式	水中排気	←

潤滑方式	混合潤滑	←
冷却方式	水冷式	←
始動方式	電動スタータ	←
点火方式	C.D.I	←
点火プラグ	B7HS(NGK)	←
気化器方式	チョーク式	←
使用燃料	混合ガソリン	←
混合比	※50：1	←
ジェットポンプ方式	斜流一段	←
インペラ駆動伝達方式	エンジン直結	←
インペラ回転方向	左(後から見て)	←

※印はならし運転後の混合比です。

表1　仕様諸元

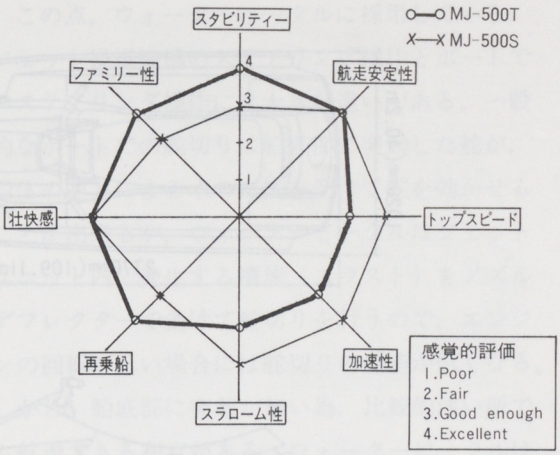


図4　比較チャート

商品特性とし比較をして見ると

MJ－500T（WAVE RUNNER）

○1名でも2名でも乗ることが出来る。

○ボート感覚とは違った，体を使うハイレベルな運動性能を有する。

○乗り易さ，安心感の反面，スキルによる向上性がある。

○ファミリーとして，新しいマリンライフを生む魅力を備えている。

（**図2**）

MJ－500S（WAVE JAMMER）

○1名で操縦することの魅力を備えている。

○500Tよりもスポーツ性が高く，スキルによる向上性も高い。

○航走か軽快でかつ華麗である。

（**図3**）

これらを**図4**の比較チャートで見ると，それぞれの商品特性の違いがはっきりする。また，本商品の開発に使用した**図5**デザインスパイラルも参考

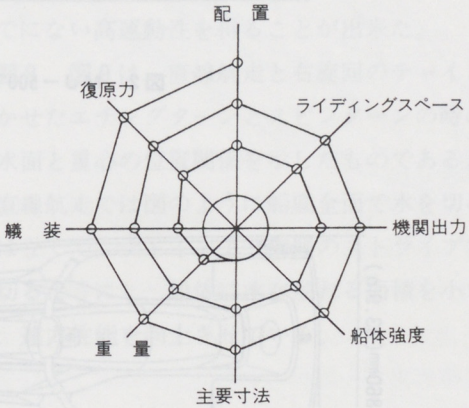


図5　デザインスパイラル

にされたい。ウォータービーグルの設計も他の乗物の設計と同じように多くの要件の釣り合いが大切で，一つの要件にとらわれて完成度を高めても無駄になることが多い。その為にこのようなデザインスパイラルをまわして行きついたところが今回の仕様である。

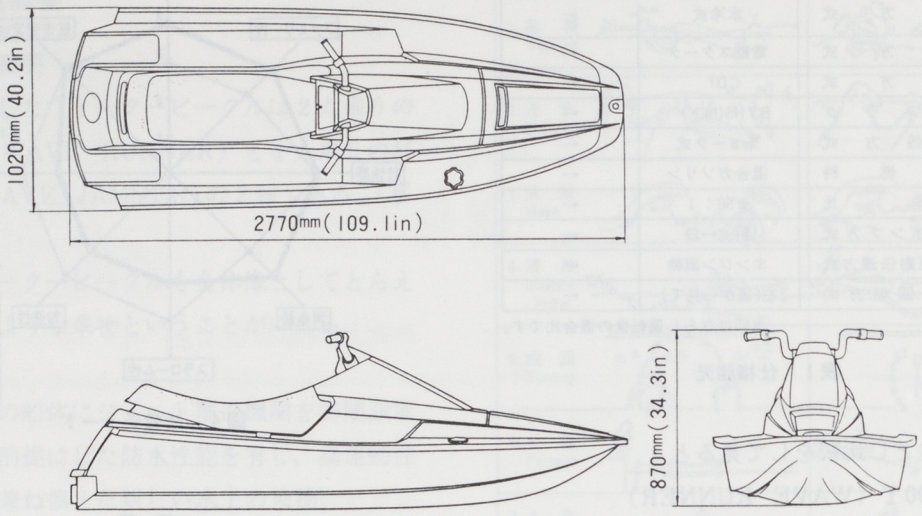


図2　MJ－500T（WAVE RUNNER）外観三面図

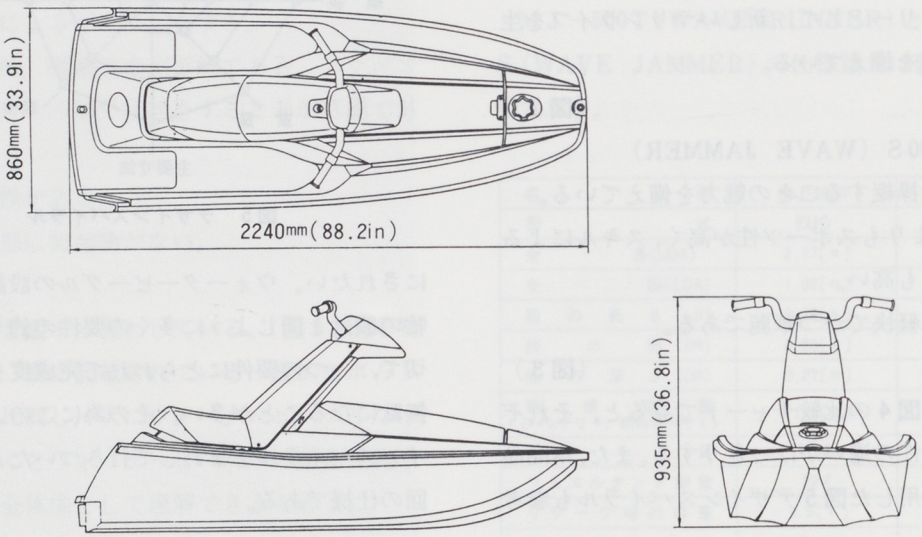


図3　MJ－500S（WAVE JAMMER）外観三面図

3．操作と運動性

ウォータービークルは比較的，簡単な操作により航走することが出来る。**図6**はステアリング系統を図解したものである。ステアリングバーの右端にはアクセルレバーが付き，左端には始動，停止の為のスタートスイッチ，ストップスイッチが付いている。またストップスイッチには操縦者が落水した場合にエンジンを停止させる為のロックプレートが付くようになっている。

スタートスイッチを押しエンジンが始動すると，プロペラの付いているジェットユニット内のシャフトは，エンジンに直結になっているのでアクセルレバーを握ることにより，そのまま最高速まで引き出すことが出来る。**図7**を参考にされたい。

ステアリングは，プシュプルケーブルにより，ノズルデフレクター(ノズル舵)に連結しておりステアリングバーを左右に操作することによって，ノズル舵が左右に動き旋回することが出来る。

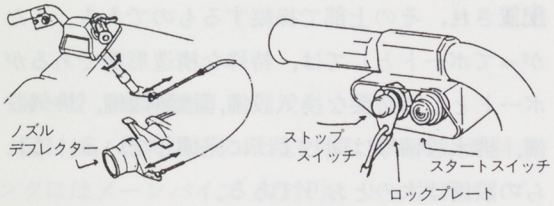
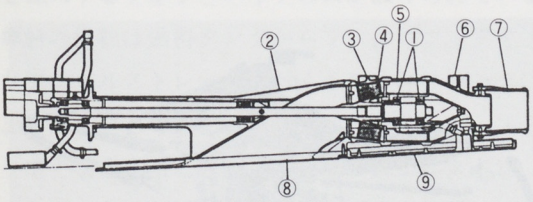


図6　ステアリング系統



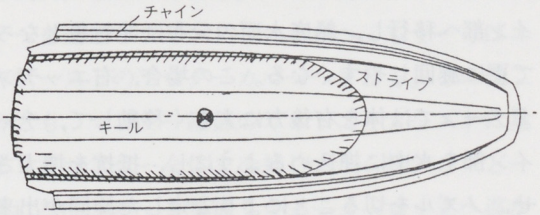
①ハウジングベアリング(ジェットカップリング部)
②ダクトインテーク
③ハウジングインペラ
④インペラ
⑤ダクトインペラ(静翼)
⑥ノズル
⑦ノズルデフレクター
⑧スクリーンインテーク
⑨プレート

図7　ジェットユニット

この点，ウォータービークルに採用している，ジェット推進機構のステアリング操作とボートでのステアリング操作には大きな違いがある。一般的なボートでの舵切りは船底部に突起した舵が，船体の速力による水の抵抗を受けて舵を効かせることが出来るが，ウォータービークルはジェットユニット内で発生する噴流（スラスト）をノズルデフレクターで受けて舵切りを行うので，エンジンの回転が低い場合には舵切りの性能が低くなる。しかし，船底部に突起が無い為，比較的浅い所でも航走できる利点がある。ウォータービークルはこの有利さを生かし，かつ舵切り性能をジェットの噴流と操縦者の体重移動によって行うことで今までにない高運動性を得ることが出来た。

図8，**図9**は，直線航走と右旋回のチャインを効かせたエヂングターンとスピンターンの時の船底水面と重心の位置関係を示したものである。

直線航走では図のように船底全面で水を切るのではなくて，チャインより内側のストライプで水を切るようにし，船体に水が触れる面積を小さくし，速力性能を向上させている。



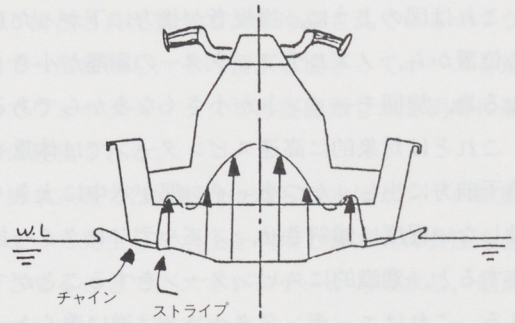
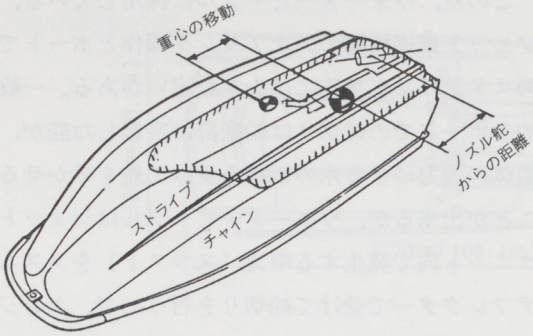
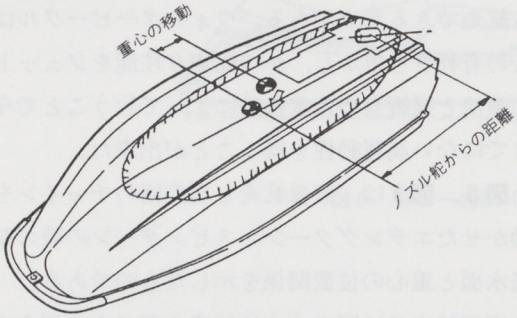


図8　直線航走時の船底水面と水圧



高速エッヂングターン時の船底水面



高速スピンターン時の船底水面

図9　旋回時の船底水面と重心位置の関係

直線航走から旋回に移りはじめると，船底水圧の高い部分が，ストライプ部を乗り超えて，チャイン部へ移行し，船底水面の分布は非対象となって更に旋回しやすくなる。この場合，右エッヂングターンでは体を右後方に大きく移動して，チャイン部を水中に押込めるようにし，抵抗を増大させ，ノズルを切ることにより安定した旋回が出来る。

これは図のように，操縦者が後方に下がった重心位置から，ノズルデフレクターの距離が小さくなる為，旋回モーメントが小さくなるからである。

これとは対象的に高速スピンターンでは体重を若干前方に出し，かつチャイン部が水中に大きく没しない程度に傾斜させ，ノズルデフレクター操作すると，意識的にスピンターンをすることができる。これはエッヂングターンとは逆に重心とノズルデフレクターとの距離が大きくなるために起きる。ウォータービークルはこうしたマリンスポーツとしての運動性能を持合わせた乗物である。

写真3　プロトタイプの試運転風景（筆者）
スピンターンをさせながら逆ハンを切り旋回径を縮める。

4．配置と構造

ウォータービークルは，セールボートやパワーボートのような居住空間や，行動空間がなく，密閉された船体内にジェット推進機関と機能部品が配置され，その上部で操縦するものである。したがってボートとしては，特殊な構造形態であるがボートとして必要な換気設備，燃料設備，排気設備，排水設備等は同じように完備している。これらの設備は次のとおりである。

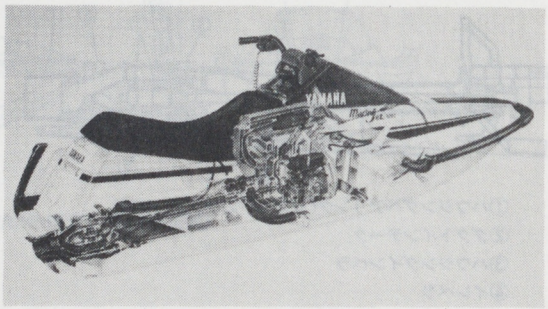


写真4　配置と構造

4－1　換気設備

図10はＭＪ－500Ｔの換気の系路を示している。空気は，船首開口部（フロントエヤーインテーク）より導入される。開口部は図のような二重構造となっている。空気はその室からエンジンルーム内に通じるパイプにより，エンジンルーム内に入る。エンジンルームではエンジンを中心に復雑な流れになるが，流れた空気は，シート下側にあるエヤーアウトレットより排出される。

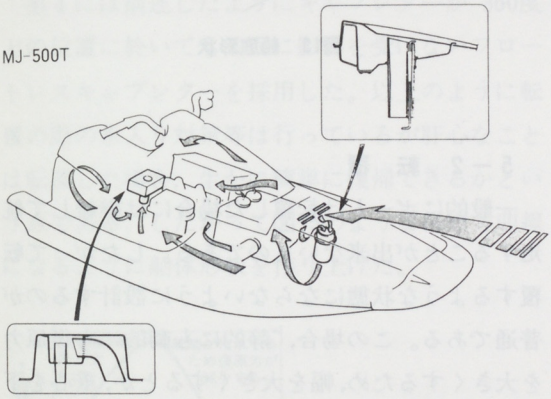


図10　換気設備

4－2　燃料設備

図11は，燃料供給の系路を示している。燃料タンクにはメーンパイプ（ON），リーザブパイプ（RES），リターンパイプ，エヤパイプと燃料油を注入するフィラーパイプの口が設けられている。燃料の供給は燃料タンクからフュエルコックを通りフュエルストレーナへ行く，フュエルコックは三方コックとなっておりメーン，リザーブ，ストップと切変えることが出来る。フュエルストレーナからはキャブレターに行き，過剰な燃料油はダイレクトに燃料タンクに戻るしくみになっている。キャブレターは360度どの位置でもエンジンに燃料を供給することが出来るフロートレスキャブレターである。このキャブレターには，インテークマニホールドから負圧を受けるダイヤフラムが設けられ常時，適正な燃料供給が送られるようになっている。

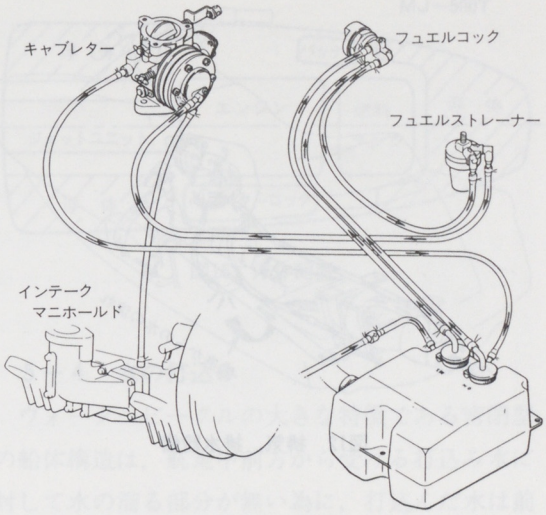


図11　燃料設備

4－3　排気，排水設備

図12は，冷却系路，排気系路，排水系路を示している。冷却水はジェットポンプの作動によりダクトインペラ部に設けた，冷却水取入口より動圧を利用し各部に強制圧送される。冷却水の流れはジェットポンプ内のホースよりエンジンブロックに流れ，二つに分れる。一つは主にボディシリンダーを通過しシリンダーヘッドへ，もう一方はエキゾーストのアウターカバーへまわる。その後二つとも，マフラー端部のガイドエキゾーストに集まり，マフラー全体を冷却してから排気ガスと一緒になり，ホースを通りウォーターロックへ導かれる。この場合排気系路で考えると，エンジンにより排出された排気ガスは冷却されているマフラ内で一度膨張し，その後水と混ざってホースを通ってウォーターロックで再度膨張し水と同時に船外に放出される。

排水系路では，船内に溜った水はポンプの駆動によって発生した水圧を利用し排水孔に負圧を生じさせることで，ストレーナーから吸水し，船底のプレートから排水する。

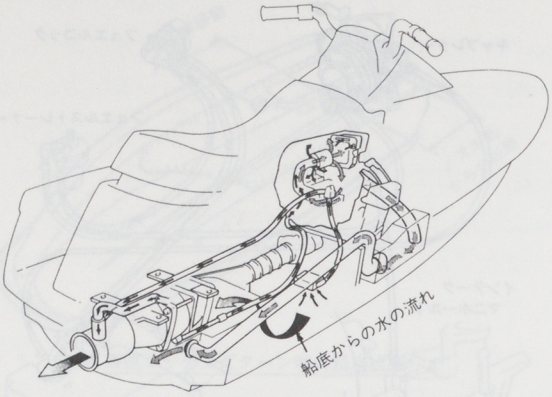


図12　排気，排水設備

5．特殊構造

ウォータービークルの配置は前述したとおり，ボートと同じ機能を有しているが，ボートと比較すると諸々の面で異なる特殊な構造を持ち合わせている。これは浅瀬での航走，転覆，沈没，水の打込みへの対処のためのものである。そして，これらは前述したウォータービークルの運動特性そのものを発揮するために考慮した特殊な構造である。

5－1　浅瀬航走

ウォータービークルはジェット推進機関を船内に設置することにより，船底部には突起が無い構造になっている。したがってボートと比較するとプロペラとプロペラを支える部分が無い分だけ浅瀬を航走することが出来る。この為に構造的には浅瀬でインペラ部に異物の吸込みを未然に防止するスクリーンを吸水口に設けている。また浅瀬でノズルデフレクターを破損させないようにする為，ノズルデフレクターを船体内に入れ，プレートでふたをし，平滑な面を形成している。
（**図13**を参照）

この浅瀬航走の特性は単に浅瀬を走れるという利点だけでなく，今までのボートが深い場所でしかボートの上下架をすることが出来ないのに対して砂浜から上下架できるという利点も持っている。

これによって港からしか出られないボートの弱点を大きくカバーすることができる。

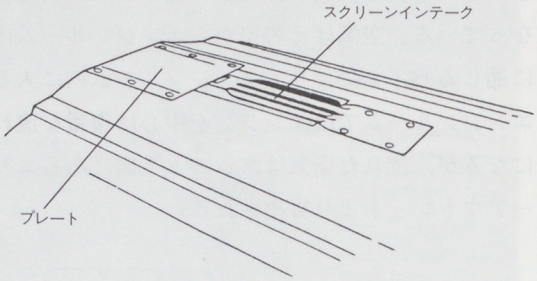


図13　船底形状

5－2　転　覆

一般的にボートは転覆した場合には継続して航走することが出来ないものである。したがって転覆するような状態にならないように設計するのが普通である。この場合，静的にも動的にも復原力を大きくするため，幅を大きくするとか，重心を下げるとかの工夫をしている。そのために操縦者の移動ぐらいではボートの運動性が変らないのが普通である。ウォータービークルは，運動性は当然として，基本的な安全性の確保から転覆しても，即，継続運転が可能であるように設計した。

その第1には，転覆してもエンジン内に水が入いり，再始動が出来ないような状態を作りださないことである。これは，転覆した場合エンジン内に排気管を通して水が逆流しないようにする為，ウォーターロックを設置した。このしくみは**図14**のようになっており転覆し，180度さかさまになってもエンジン内に水の浸入のないようにしている。

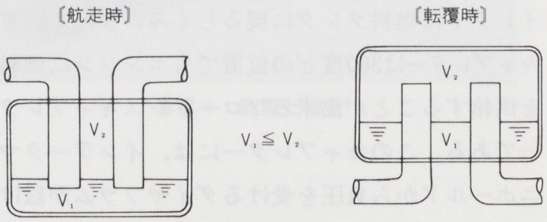


図14　ウォーターロック構造

第2にはエンジン内に水が入いらなくとも，船内に多量の水が入いっていたのでは復原力もなくなり，航走することが出来ない。そこで，水と空気の入いるエヤーインレット及びアウトレットに迷路のような水と空気を分離する工夫をしている。(図17を参照)

第3には，他の艤装品で船外に暴露している部分にも水の浸入が予想されるので，同じようにウォーターロック構造を用いている。

第4には前述したようにキャブレターが 360度どの位置に於いても油面に影響を受けないフロートレスキャブレターを採用した。以上のように転覆の際の水入り対策等は行っているが肝心なことは転覆した場合，生かに簡単に復帰できるかという点である。したがって図15のような復原力曲線になるように船体形状を作り上げた。

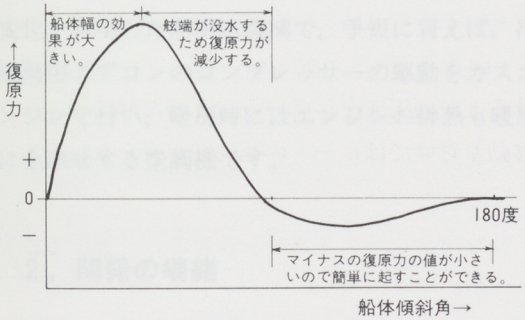


図15　復原力曲線

5－3　沈　没

不慮の事故により船内浸水をおこした場合に備え，ウォータービークルには浮体を設置している。出来る限りつかまり易い浮遊姿勢を得るために図16のような重心を浮体でかこむような浮体配置を行っている。

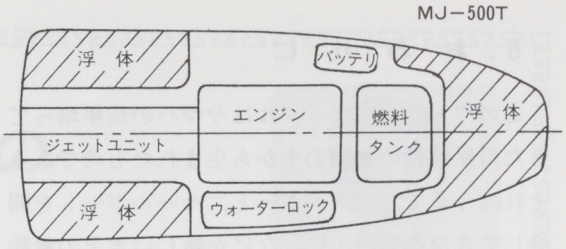


図16　浮体配置

5－4　水の打込み

ウォータービークルの大きな特徴である密閉型の船体構造は，航走中前方から受ける打込み水に対して水の溜る部分が無い為に，打込んだ水は前方から船体を走り，後方へ抜けてしまう。このような航走中打込み水があっても溜る場所を作らないという設計思想は，特に小型のボートでデッキを高くとれないものにとっては格段の優位差がある。もちろん密閉型の船体であっても，エンジンを回わすための空気は必要で空気取入口を大気に開放している。したがって航走中この空気取入れの船首開口部から，常に空気と同時に打込み水も入いる訳けであるが，これを図17の構造によって，空気はエンジン内に入いるが，水は二重構造になっている部分から船外に排水される。また迷路のようになっている船首開口部から，万一水が船内に浸入しても，船内にはエンジンが回転している間，常に作動する排水設備によって，自動的に船外へ排出するしくみになっている。

このように水上を航走する時に常に遭遇する打込み水に対して諸々の方法によって対処している。

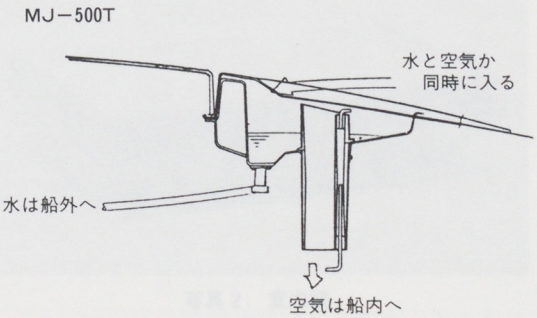


図17　エヤーインテークの構造

6．おわりに

このウォータービークルはヤマハの長年培ってきた舟艇技術の蓄積の中から生まれたものである。それは今まで，パワーボート，セールボートを開発してきた基盤の上に，なにか新しい水上の乗物を探求するという気持からである。それは，より楽しく，より安全に，より機動的にという大きなコンセプトの乗物を目ざして進んできた。この新鮮な気持は今，つかの間の休息を与えてくれると同時に，また新らたな開発心を騒ぎ立てている。

こうした社内気風のあるボート部門で開発出来た喜びと，ウォータービークルを開発して来た仲間に感謝をしたい。また，同じ気持で心血を注いでくれた三信工業㈱にもこの書面を借りて御礼申し上げます。

ヤマハGHPシステムの開発

事業開発本部GHP事業部技術部技術課　数田　久

1．はじめに

GHPとは，GAS ENGINE HEAT PUMP の頭文字を採った略称です。

ガスエンジンとは，ガスを燃料としたエンジンであり，ヒートポンプとは，フロン等の冷媒の相変化を利用した熱搬送機構で，手短に言えば，冷暖両用エアコンのコンプレッサーの駆動をガスエンジンで行い，暖房時にはエンジンの排熱も暖房に上乗せする空調機です。

2．開発の端緒

昭和56年に小型ガス冷房技術研究組合という通産プロジェクトが発足しました。目的は(a)石油代替エネルギー技術の開発。(b)夏場の冷房電力需要のピーク緩和により電力とガスのエネルギー需要を平準化し過剰設備投資を防止するといったものでした。要は冷房をGHPで肩替りして，夏の電力ピークを少なくし無駄を省こうとした訳です。

当時のメンバーは，システムメーカーとエンジンメーカーがペアになりGHPトータルシステムを開発する様に選定されておりました。我社は三菱電機㈱と組み開発に着手しました。爾後6年間ガスエンジンの開発と昭和59年度からはヒートポンプ開発を行い，この度発売にまで至ることができました。

3．GHP冷暖房機の開発

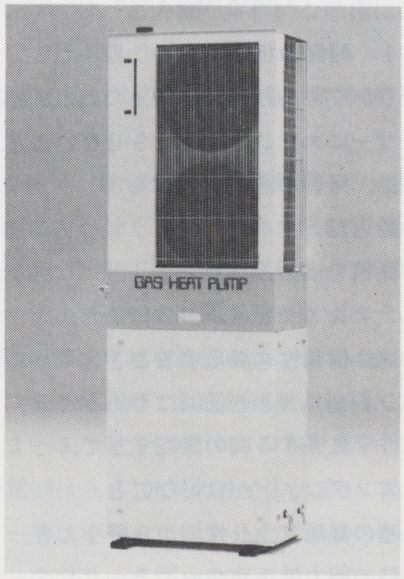


写真1　室外機

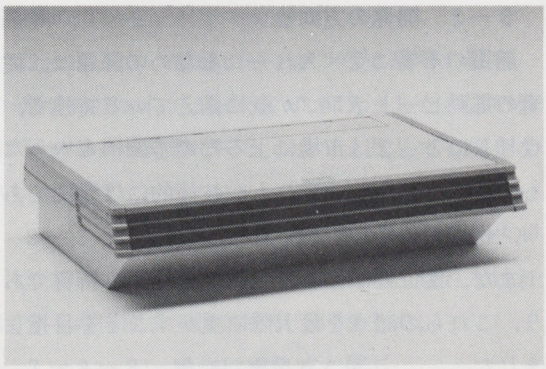


写真2　室内機

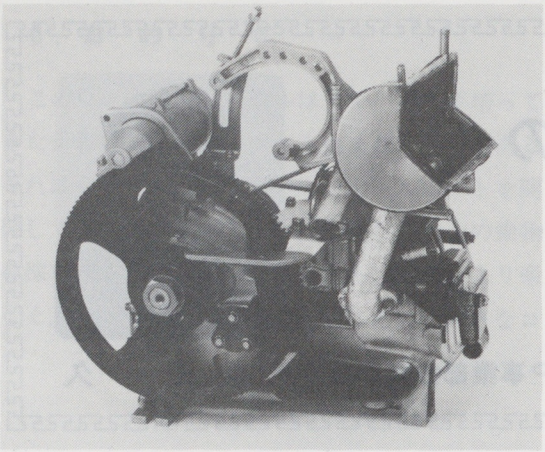


写真3　エンジンカットモデル

3．ＧＨＰ冷暖房機の開発

3－1　開発の狙い

○ＧＨＰが市場に受け入れられるための課題として，

(a)ユーザーにエンジンを感じさせないこと。

◦振動，騒音の低減

◦自動運転

(b)占有面積を抑えること。

(c)メンテナンスが容易かつ少いこと。

(d)耐久性，信頼性を満足すること。

(e)イニシャルコストの低減に努めること。

○優位性を主張する為の課題として，

(a)ランニングコストが良好なこと。

(b)寒冷時の暖房立上り性能が良好なこと。

(c)寒冷時の能力低下が少いこと。

を挙げました。

3－2　開発の方向性

前掲の市場に受け入れられるための課題は，従来の電動ヒートポンプが既に備えている特性で，ＧＨＰにとっては市場に上るための関門といったものです。しかしいずれもが技術的には難関であり，相当の苦労が予想されました。

また，優位性に係る項目は，ＧＨＰの特質であり，これらの諸点を最大限に生かすことを目指しました。

3－3　ヤマハＧＨＰの特長

各部の技術的紹介の前に本機の特長を述べます。（**表1**に仕様諸元を，**図1**に室内機外観を，**図2**に室内機外観を，**図3**に回路図を示す。）

3－3－1　強力な暖房能力

冷房：2,550～4,000 Kcal/ h

暖房：3,900～6,500 Kcal/ h

と強力かつ経済的な暖房能力が特長です（**図4**，**図5**参照）これは，ヒートポンプの能力に，エンジン排熱を上乗せできるＧＨＰの特長を如実に示したもので，この特長により，

a）暖房の立上がりが極めて早い。

b）低温時の能力低下が少い。（**図6**）

c）低温時の吹出温度低下が少く冷風感が無い。

d）消費電力が少く，受電容量が限界に達しているオフィス等にも設置可能である。

これらは電動ヒートポンプでは得がたい特長です。

3－3－2　低廉なランニングコスト

環境試験室*での試験の結果，電気ヒートポンプとの差が以下の如く分りました。

a）暖房の立上りはＧＨＰが優れておりその差は外気が低温になるほど大きくなる。

b）暖房ランニングコストはＧＨＰが大巾に優れている。

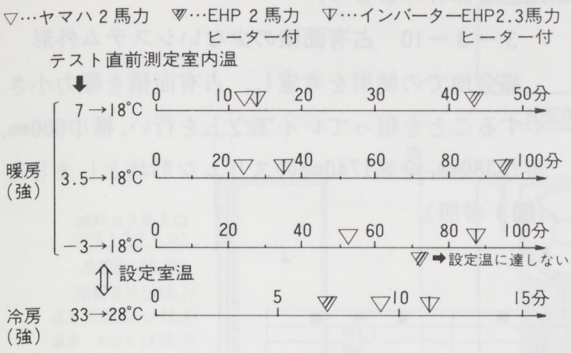
c）冷房ランニングコストでもＧＨＰは互角である。

以下は，測定結果を表にまとめたものです。

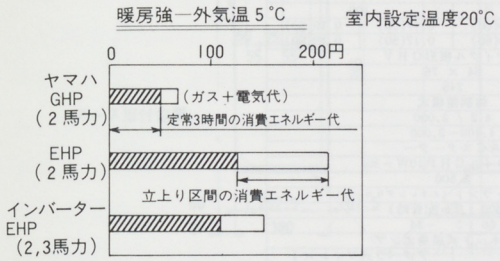
機種名			ヤマハ 2馬力GHP	EHP（インバーター無）	インバーターEHP
小売価格(円)			720,000（東,阪,名）都市ガス	540,000(本体)＋25,000(ヒーター)	615,000(本体)＋25,000(ヒーター)
型式	室内機(天吊型)		M03		
型式	室外機		M01		
能力（カタログ）	暖房	ヒーター無	3900～6500Kcal	4300Kcal	2800～6200Kcal
能力（カタログ）	暖房	ヒーター付	——	5590Kcal	4090～7490Kcal
能力（カタログ）	冷房		2550～4000Kcal	4000Kcal	2800～5000Kcal
消費エネルギー（カタログ）	暖房	ヒーター無	ガス(13A) 0.23～0.44 Nm³/h 電気 0.25KW	1.85KW	～2.76KW
消費エネルギー（カタログ）	暖房	15KW ヒーター付	——	3.35KW	～4.26KW
消費エネルギー（カタログ）	冷房		ガス(13A) 0.25～0.50 Nm³/h 電気 0.25KW	1.98KW	～2.64KW
消費エネルギー（カタログ）	始動電流		15A(100V)以下	A 53(200V)	A 8(200V)
オートルーバーの有無			有	有（上・下）	←
騒音	室内機(強風)		45	43.5	
騒音	室外機		50	48.5	

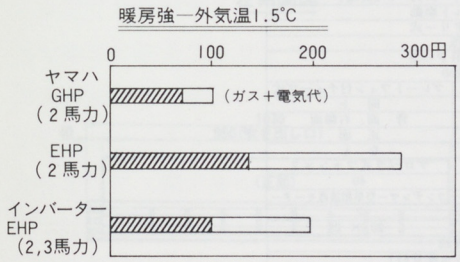
比較機種仕様表

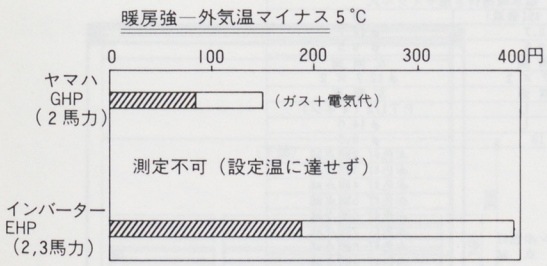
設定温度に達するまでの必要時間

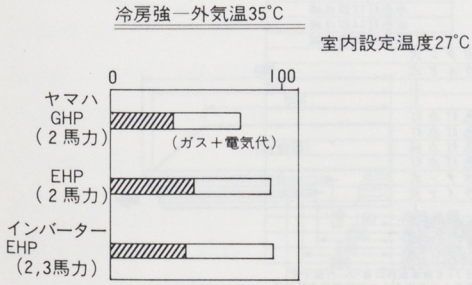


ランニングコスト比較（立上り区間＋定常３時間分）









（＊広さ25.7m²
室内機：いずれも天井吊型
測定点：吹出口前方3.9m，高さ65cm）

これらは，カタログには出て来にくい，しかし重要なＧＨＰの特長です。

（ガス料金：129.56×1.02円/m³（外気温換算）
電気代：29.56×1.05円/KW・h）

３－３－３　本格的除湿運転が可能

室内機には冷媒用の熱交換器の他，温水用の熱交換器を持っているため，冷媒側を冷房モードで運転し，温水側に排熱を回収したエンジン冷却水を流すことにより，除湿運転ができます。電動ヒートポンプでは，この様な本格的な除湿は，ヒーターなしでは困難です。

除湿能力は2.2ℓ/ｈと強力であり梅雨時でも快適です。

３－３－４　除湿中でも暖房継続

室外機に霜が付くと外気の熱を吸収できなくなり，暖房能力が低下する等の悪影響があるため，冷凍サイクルを逆転させ霜を融かします。このとき，前述の温水用熱交換器にエンジン冷却水を流すことにより除霜時でも暖房運転が継続できます。

３－３－５　電源はAC100Vのみで良い

必要電源はＡＣ100Ｖのみです。200Ｖ電源，バッテリー等は不要です。余分な工事費の削減とメンテナンスフリーを図ったもので，エンジンの起動もＡＣ100Ｖで行います。起動電流も低くおさえ通常のコンセントで十分です。

３－３－６　電動ヒートポンプと同等の騒音

騒音は１ｍにて50dB(Ａ)に抑えました。この値は同クラスの電動ヒートポンプと比しても遜色ないものです。

３－３－７　エンジンを感じさせない振動レベル

エンジンの懸架方式を新規開発し，触れなければ分らぬ程度まで振動を引下げました。

３－３－８　操作は電気式と同じ

ＧＨＰ特有の操作は不要です。スイッチを入れ

れば自動的に運転を開始します。タイマー機能，風量選定機能も備えています。

3－3－9　優れたメンテナンス性

システム正面パネルと左側面パネルをメンテナンス開口とし，メンテナンス箇所を開口部に集中させました。またエンジン個有のメンテナンス項目を減少させ，メンテナンスインターバルも長期化する様努めました。

3－3－10　占有面積の少ないシステム外形

都会地での使用を考慮し，占有面積を極力小さくすることを狙ってレイアウトを行い，横巾600mm，奥行380mm，全高1740mmのスリムな形状としました（図1参照）。

	項目		室内機		室外機	
諸元	外形寸法(mm)	高さ	220		1,740	
		幅	1,030		600	
		奥行	680		380	
	重量 (kg)		32		148	
	冷房能力 (Kcal/hr)		2,550～4,000			
	暖房能力 (Kcal/hr)		2,600～6,500			
	除湿能力 (ℓ/hr)		2.2			
	電源 (V(AC))		100		100	
	消費電力 (KW(Hz))	冷房	0.08(50)	0.09(60)	0.17(50)	0.19(60)
		暖房	0.08(50)	0.09(60)	0.17(50)	0.19(60)
	エンジン	形式	4サイクル横形OHV			
		内径×行程 (mm)	64 × 76			
		排気容積 (cm³)	245			
		潤滑方式	強制循環式			
		軸出力 (ps/rpm)	4.2 / 2,000			
		回転範囲 (rpm)	1,100～2,000			
		始動方法	ACスターター			
	潤滑油	指定油	アポロイルGHP10W－30			
		潤滑油量 (cm³)	2,500			
	冷却水	指定クーラント	ヤマハクーラント（エチレングリコール）			
		冷却水量 (cm³)	7,300（5m配管時）			
		濃度(%):凍結温度(℃)	50 : －34			
	冷却水ポンプ	形式	マグネット式渦巻ポンプ			
	換気ファン	形式×台数	なし		プロペラ式ファン×1	
	燃料	ガス種	LPG			
		ガス消費量 (Nm³/hr)	0.12～0.23(冷) / 0.11～0.20(暖)			
	動力伝	達装置	Vベルト駆動			
	圧縮機	形式	ロータリー式			
		台数	1			
		指定潤滑油	DH HP－5			
		潤滑油量 (cm³)	230			
	空気熱交換機	冷媒用	プレートフィン付チューブ式		プレートフィン付チューブ式	
		エンジン冷却水用	同上		同上	
	空気吸込口		下面		背面、右側面	
	空気吹出口		正面		正面	
	空気フィルター		水洗再生式樹脂ネット		なし	
	送風機	形式×台数	シロッコ式ファン×2		プロペラ式ファン×2	
		定格風量 (m³/min)	13		40	
	送風機用電動機	形式	コンデンサー型単相誘導モーター		コンデンサー型単相誘導モーター	
		台数	1		2	
		消費電力 (W)	38		20 × 2	
諸元	冷媒	種別	R22			
		封入量 (g)	2,200（5m配管時）			
	冷媒制御方式		外部均圧型温度式自動膨張弁			
	除霜方式		温水暖房付き逆サイクル式			
	騒音値 dB(A)		33(微風) 45(強風)		50	
	配管関係	冷媒ガス管 (mm)	φ12.7		φ12.7	
		冷媒液管 (mm)	φ9.5		φ9.5	
		冷媒配管位置	右側面		左側面	
		冷却水配管 (mm)	φ12.7 × 2		φ12.7 × 2	
		冷却水配管位置	右側面		左側面	
		燃料配管口	なし		PT1/2（オネジ）	
		排気ガス出口 (mm)	なし		φ14.0	
		ドレン配管口 (mm)	φ16		φ8.0	
異常検知・表示	エンジンオイル量不足		リモコン赤色灯連続点滅		赤色灯2回点滅	
	エンジン冷却水温異常				赤色灯3回点滅	
	エンジン起動回転数不足				赤色灯4回点滅	
	起動失敗				赤色灯5回点滅	
	エンジン過大回転				赤色灯6回点滅	
	エンジン過小回転				赤色灯7回点滅	
	制御異常				赤色灯8回点滅	
	冷媒温異常				赤色灯9回点滅	
	冷媒高圧異常				赤色灯10回点滅	
	エンジン冷却水量不足				赤色灯11回点滅	
	室内温度センサー断線				赤色灯12回点滅	
	冷媒低圧異常				赤色灯14回点滅	
	エンジン回転数異常変動				赤色灯15回点滅	
リモコン	運転/停止スイッチ		押ボタン式			
	運転モード切り替えスイッチ		スライド式			
	室温調整スイッチ		同上			
	風量切り替えスイッチ		同上			
	運転表示ランプ		緑色灯点灯			
	モニター表示ランプ(エンジン運転表示)		赤色灯点灯			
	同上 (異常表示)		赤色灯点滅			
	タイマー表示ランプ		橙色灯点灯			
	タイマースイッチ		押ボタン式			
	タイマー入・切スイッチ		スライド式			
	タイマー設定スイッチ		同上			
回路部品	漏電ブレーカー		差動変流器式			
	アース棒		炭素アース棒			
	機器取り付け備品(室外機、室内機)		一式			

御注意　1　冷房能力・暖房能力・除湿能力はJIS標準条件に基づいた値です。
　　2　①　室内機の騒音値は空気吹出し口前方1m×下方1mの位置での値です。
　　②　室外機の騒音値は空気吹出し口前方1m×高さ1mの位置での値です。

表1　仕様諸元

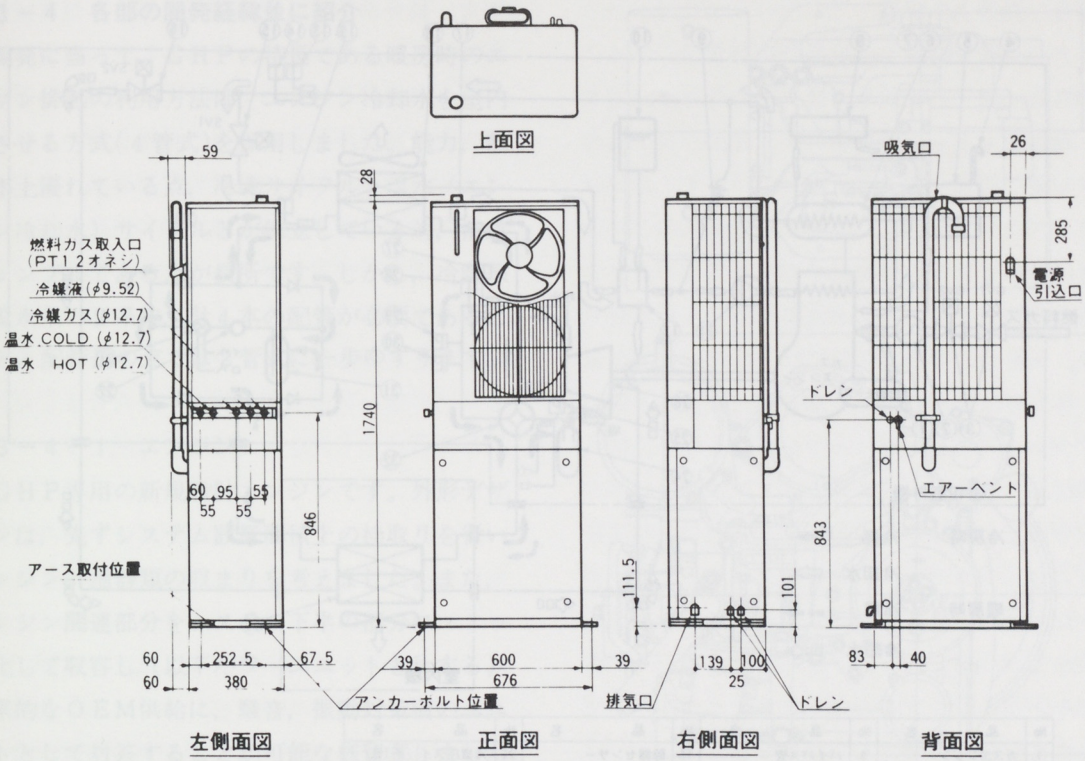


図1　室外ユニット外形寸法

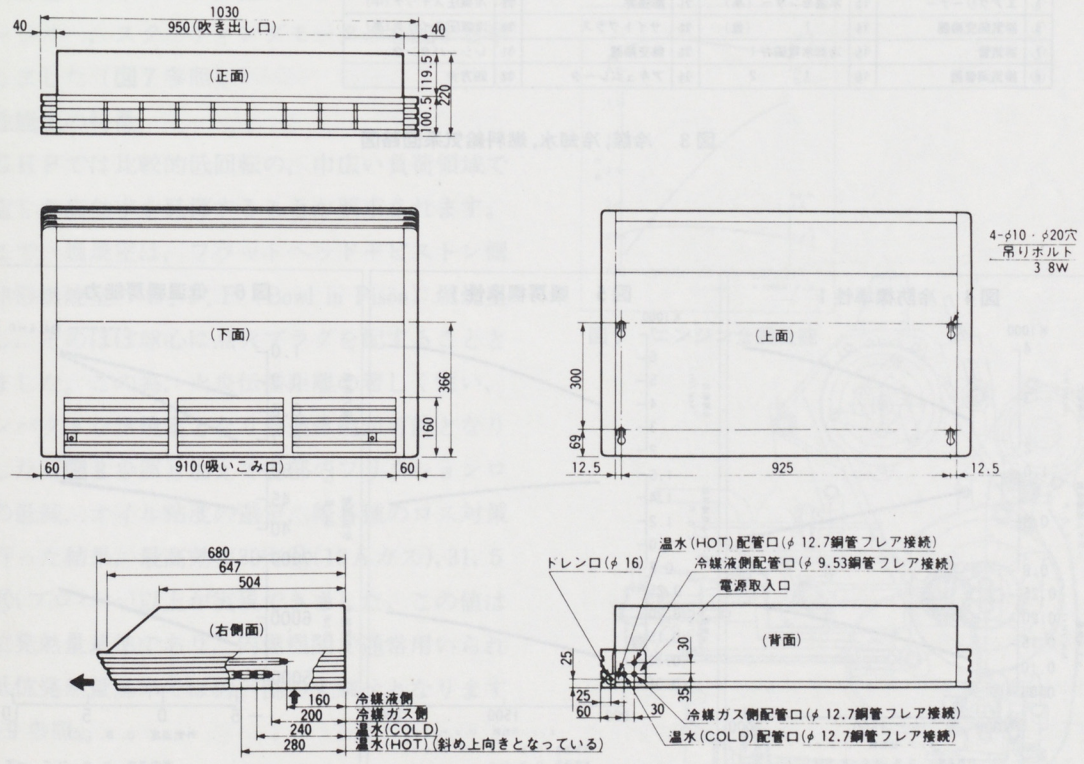
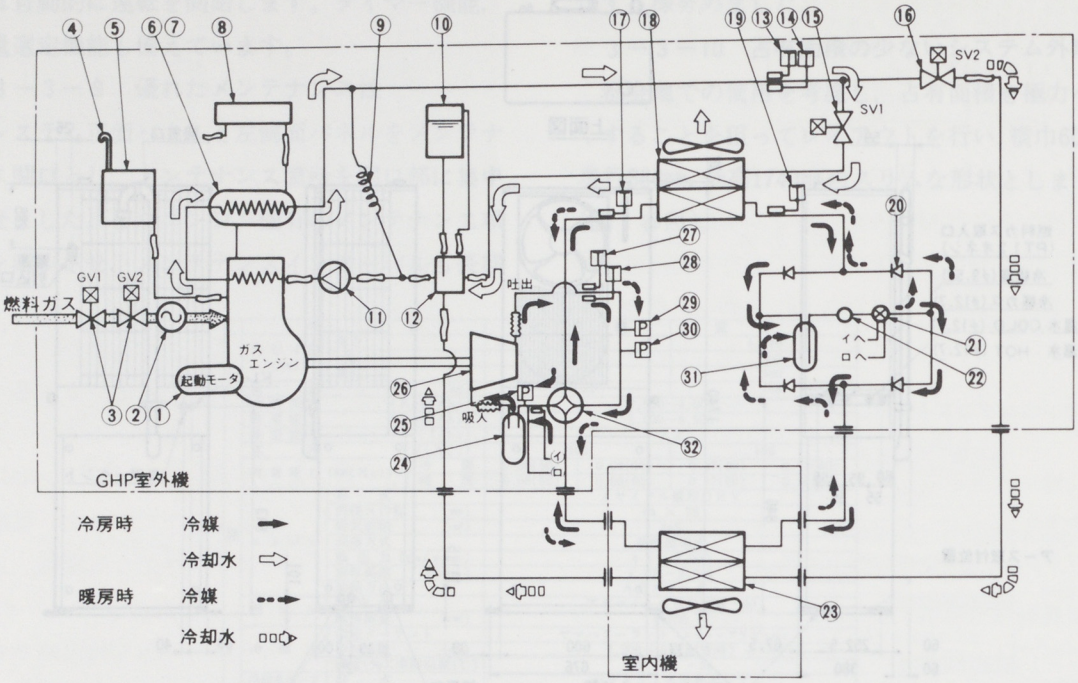
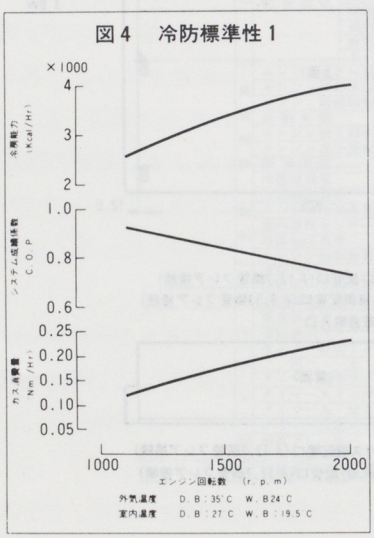


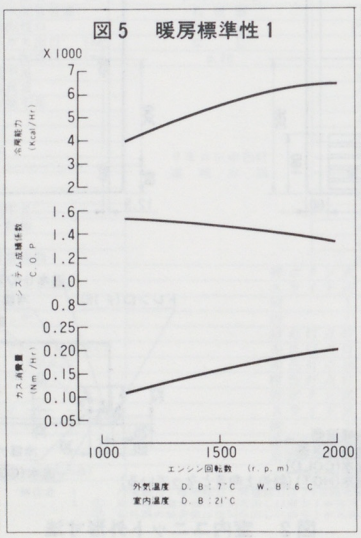
図2　室内ユニット外形寸法

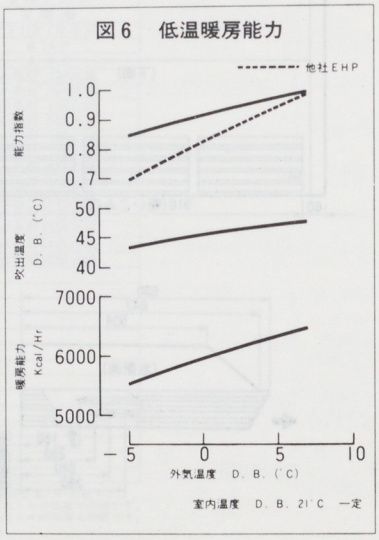


No	品名	No	品名	No	品名	No	品名
1	ガスエンジン	9	バイパス管	17	除霜センサー	25	冷媒圧スイッチ(低)
2	ゼロガバナ	10	冷却水リザーブタンク	18	熱交換器	26	コンプレッサー
3	ガス電磁弁	11	冷却水循環ポンプ	19	除霜センサー	27	冷媒温センサー(高)
4	給気管	12	エアセパレーター	20	逆止弁	28	↑ (低)
5	エアクリーナー	13	水温センサー (高)	21	膨張弁	29	冷媒圧スイッチ(中)
6	排気熱交換器	14	↑ (低)	22	サイトグラス	30	冷媒圧スイッチ(高)
7	排気管	15	冷却水電磁弁1	23	熱交換器	31	レシーバタンク
8	排気消音器	16	↑ 2	24	アキュムレータ	32	四方弁

図3　冷媒,冷却水,燃料給気系回路図







3－4　各部の開発経緯並に紹介

開発に当って，ＧＨＰの特長である暖房時のエンジン排熱の利用方法は，エンジン冷却水を室内へさせる方式（４管式）を採用しました。能力，熱効率上優れている点，冷凍サイクルと温水（エンジン冷却水）サイクルとが独立している為，構成がシンプルである点が長所です。しかし，冷媒系と温水系の２系統，計４本の配管が必要であることと，配管長の点では２管式に一歩ゆずります。

3－4－1　エンジン

ＧＨＰ専用の新規設計エンジンです。外形デザインは，先ずシステム設置面積上の枠取りを行いエンジン，補器類の収まりを考えました。また，エンジン関連部分をシステム下半の部分にユニット化して収容し（以下パワーユニットと称する）将来的なＯＥＭ供給に，騒音，振動対策済のユニットとして対答することが可能な様留意しました。種々検討の結果，シリンダーを横置とし，その下に大容量のオイルパン，上には排ガス熱交，コンプレッサー，スターティングモーターを配する事としました（**図７**参照）。

○性能上の特徴

ＧＨＰでは比較的低回転の，巾広い負荷領域で安定した高効率を発揮することが要求されます。そこで，燃焼室は，フラットヘッド＋ピストン側半球形燃焼室のＢ．Ｉ．Ｐ（Bowl in Pison）燃焼室とし，そのほぼ球心に点火プラグを配することとしました。この為，火炎伝播距離の著しく短い，コンパクトな燃焼室となり急速燃焼が可能となりました（**図８**参照）。加えて各部のフリクションロスの低減，オイル粘度の選定，等各種のロス対策を行った結果，最高効率30％Ⓗ(13Ａガス)，31，5％Ⓗ(プロパン)以上が実現できました。この値は高位発熱量基準であり，内燃機関で通常用いられる低位発熱量基準では約一割の上乗せとなります（**図９**参照）。

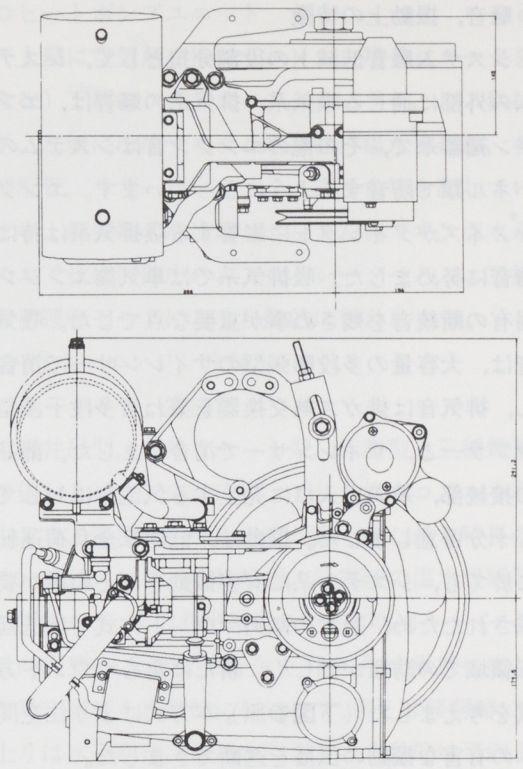


図７　エンジン外形図

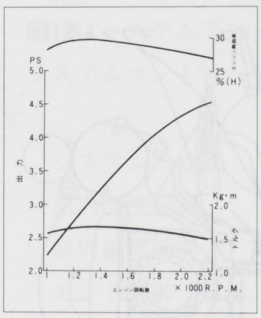


図９　エンジン全開性能

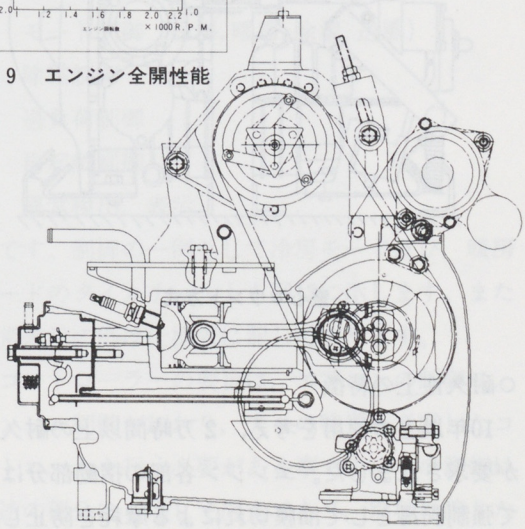
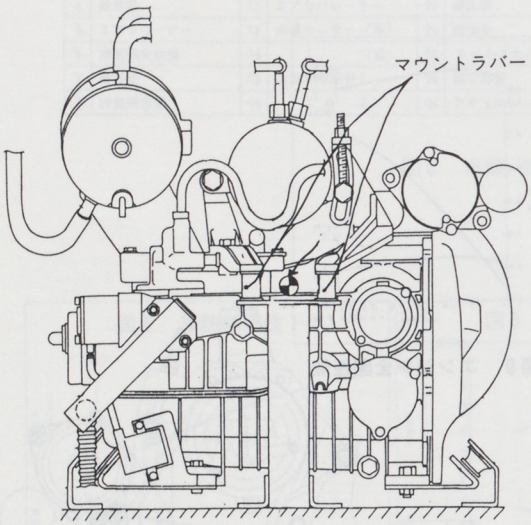


図８　エンジン断面図

○騒音，振動上の特徴

システム騒音低減上の役割分担として，システムの外部に通じる吸気系，排気系の騒音は，エンジン補器系で，その他のエンジン音はシステムのパネル類で防音するようになっています。エンジンノイズがダイレクトに影響する吸排気系は特に消音に努めました。吸排気系では単気筒エンジン固有の断続音を残さぬ事が重要な点でした。吸気音は，大容量の多段膨張型のサイレンサーで消音し，排気音は排ガス熱交換器を兼ねた多段干渉型マフラーと，サイレンサーで消音しました。部品の接続部，系の出入口に発生する気流音に対しても十分留意しました。振動は，低回転全負荷運転に於ても，システム系に有害振動を与えぬ事が要求されたため，通常の傾斜マウント方式では低回転領域での防振が難しく，新たに重心マウント方式を考えました（**下図**参照）。本方式により住空間への有害な振動の伝播を遮断できました。



重心マウント方式

○耐久性上の特徴

10年以上の使用を考え，2万時間以上の耐久性が要求されました。エンジン各部の摺動部分は全て強制潤滑として油膜切れによる摩耗を防止し，また，動弁系の耐久性は開発当初より最重要課題として，徹底的に究明を行いました。材質の選定に当ってはＦＺ400の16バルブエンジンをガスナイズし，各種の材質選定をくり返し行いました。その他，解明すべき点も研究した結果，現在では2万時間タペット調整不要レベルの耐久性が得られています（使用条件のバラツキを勘案し，チェック項目には入れてある）。また，信頼性の点で特に要求される始動性と，安定した運転を可能とするため，広い可燃空燃比範囲を持たせました。特に希薄領域でも安定した運転が可能です。

○その他

ガスエンジンでは燃焼室のデポジットの付着が少ない事に着目し，部品点数の大巾削減を狙って，シリンダヘッド，シリンダ，クランクケースを一体でダイカスト鋳造する構造を採用しました。（**図8**参照）これにより，ヒートサイクルによるガスケットトラブルの解消，オイルパン容量の増大も併せ実現できました。スリーブは鋳ぐるみ鋳鉄スリーブですが，低歪設計とした結果，オイル消費は0.3cc/hrと少量におさえる事ができ，2000時間でのオイル補給，4000時間での交換で済ませることができました。ウォータージャケット，吸排気ポートも中子等は用いず鋳抜きとなっています。

○補器類では，燃料ガスの供給圧力を調整するＯガバナー，排気ガスの排熱を回収する排ガス熱交換器，AC100Ｖ電源で駆動されるスターティングモーター，ＡＣ点火系等の開発を行いました。

３－４－２　室外機

上下２ユニット形式としました（**図10**参照）。上ユニットは，空気熱交換器，冷媒配管，システムコントローラー，ガス供給系等を備えます（以下ヒートポンプユニットと称する）。下ユニットは前述の如くパワーユニットと称し，エンジン，コンプレッサー，排ガス熱交換器，エンジン補器，換気ファン等を備えます。ヒートポンプユニットは冷凍サイクルの大部分，システム制御を構成し，

パワーユニットは冷凍サイクルの駆動を行います。両ユニットは夫々サブアッセンブリされた後，防振接続し，取管，配線類を結合し一本化されます。2ユニット構成としたのは，分離搬入設置構想があった故で，同構想は現在，設置現場におけるアッセンブリの完成検査，保証等懸案事項があり，未実施となっています。また，ＧＨＰの振動，騒音対策を進める上で，上下ニットを切離した形で夫々固有の音対策が可能であった点でもこの方式は正解でありました。これにより音，振動対策のポイントが明確になり，将来一体タイプのものを試みる時にも迷うことが無いように思います。

○パワーユニット（**図11**参照）

ユニット内の配置は，中央にエンジン（コンプレッサー，排ガス熱交，セルモータを架装する），右上に吸気サイレンサー兼エアクリーナー，右下に排気サイレンサー，左下奥に冷却水ポンプ，左上に振動吸収管並に配管取出口，上部に換気ファン並に排出側換気消音ダクト，下部に吸込側換気消音ダクトを配しています。それらを囲む防音パネルは，下部は上述の換気消音ダクトを中間に有する複板，側面は吸音材，制振材を貼付した単板，上部はフレーム一体の天板とさらに一枚遮音板を設け，中間に吸音材を介装しています。夫々の部材は，原音に対し十分な吸音，遮音特性を有します。その遮音性能を生かす為に，音の漏れ出る隙間を徹底して管理する事により，パワーユニットの音は十分低下できました。(本パワーユニットの騒音低減効果は約27dBという優れたものです）また，ユニット内のエンジンによる熱気を逃がす換気孔(前述)も，消音ダクトを介する事により有害な騒音の洩れなく設ける事ができました。ユニット内の温度分布を調整し，熱に弱い電装品の位置を決定してあります。防振の点では前述の重心マウントの他，始動時の大振巾を抑え，かつその反力が音として出る事を防ぐ為，エアーダンパーをストッパーとして用いました。冷媒用振動吸収管にはエンジン振動，特に発停時の大振巾に十分耐え得る特性を持たせました。

○ヒートポンプユニット

上部に空気熱交換器（エンジン用ラジエータを含む）下部にシステムコントローラー，ガス供給系，左側に冷凍サイクル用部品，温水*用部品，各種配管，リザーバータンク，端子台等を配しています。配管類の取出はユニット左側です。温水*系のエア抜は回路中のエアセパレーターと，エア抜専用運転モードにより自動的に行われます。

（＊温水＝エンジン冷却水）

３－４－３　室内機

天井吊型，天井カセット型，床置型と三種類基準備しました。夫々冷媒コイルと温水コイルを有する為，暖房時の吹出温度が高く保たれる特長の他，前述の如く，本格除湿，除霜時の温水暖房等が可能です。又天井吊型においては吹出ルーバーの風向調整に，形状記憶合金を用い，吹出温度に応じた風向調整を自動的に行います。例えば暖房時，立上りは水平吹出，温風が吹出すと自動的に下向とすることができ，冷風感の防止に効果があります。

３－４－４　システムコントローラー

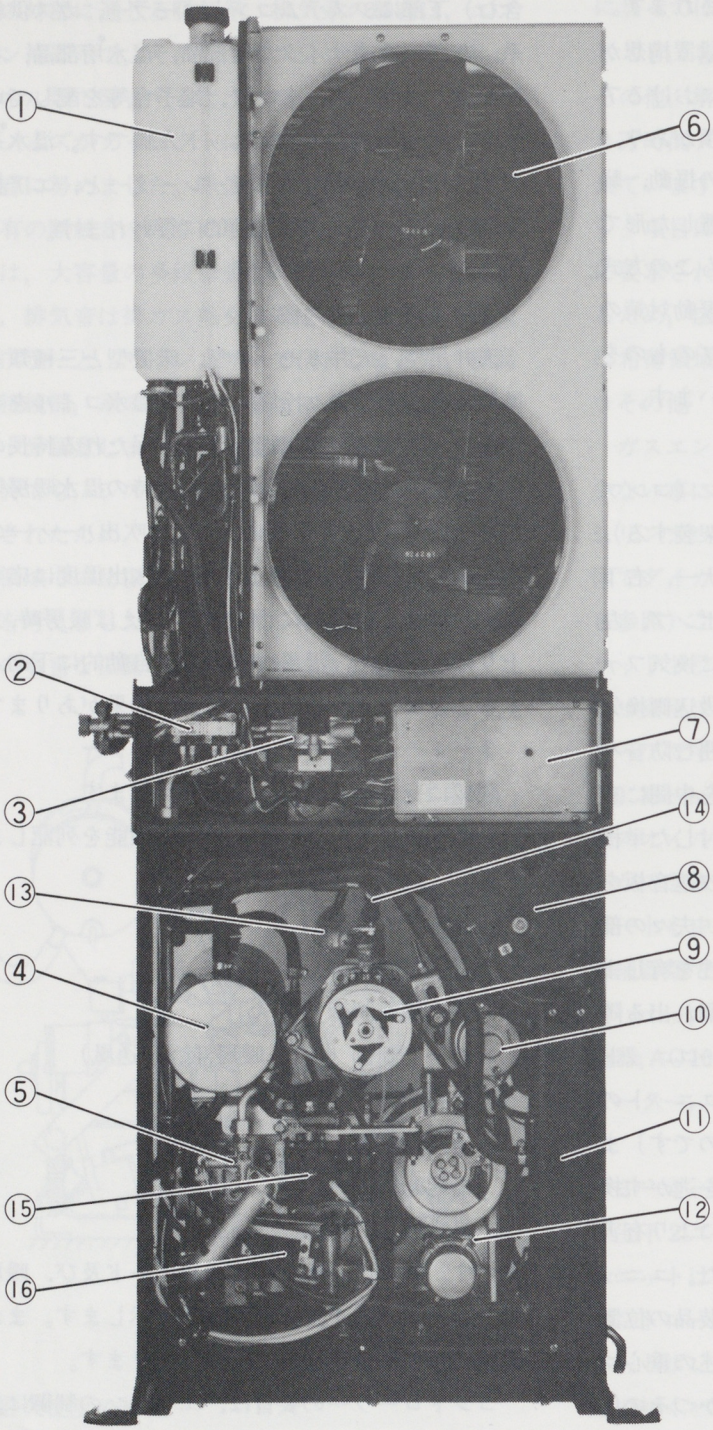
図12にシステムブロック図を示します。

システムコントローラーの主な機能を列記しますと，

システムの起動
室内温度制御
室内風量制御
モード制御（冷房，暖房，除湿，送風）
除霜制御
過負荷制御
再起動制御
異常検出，表示

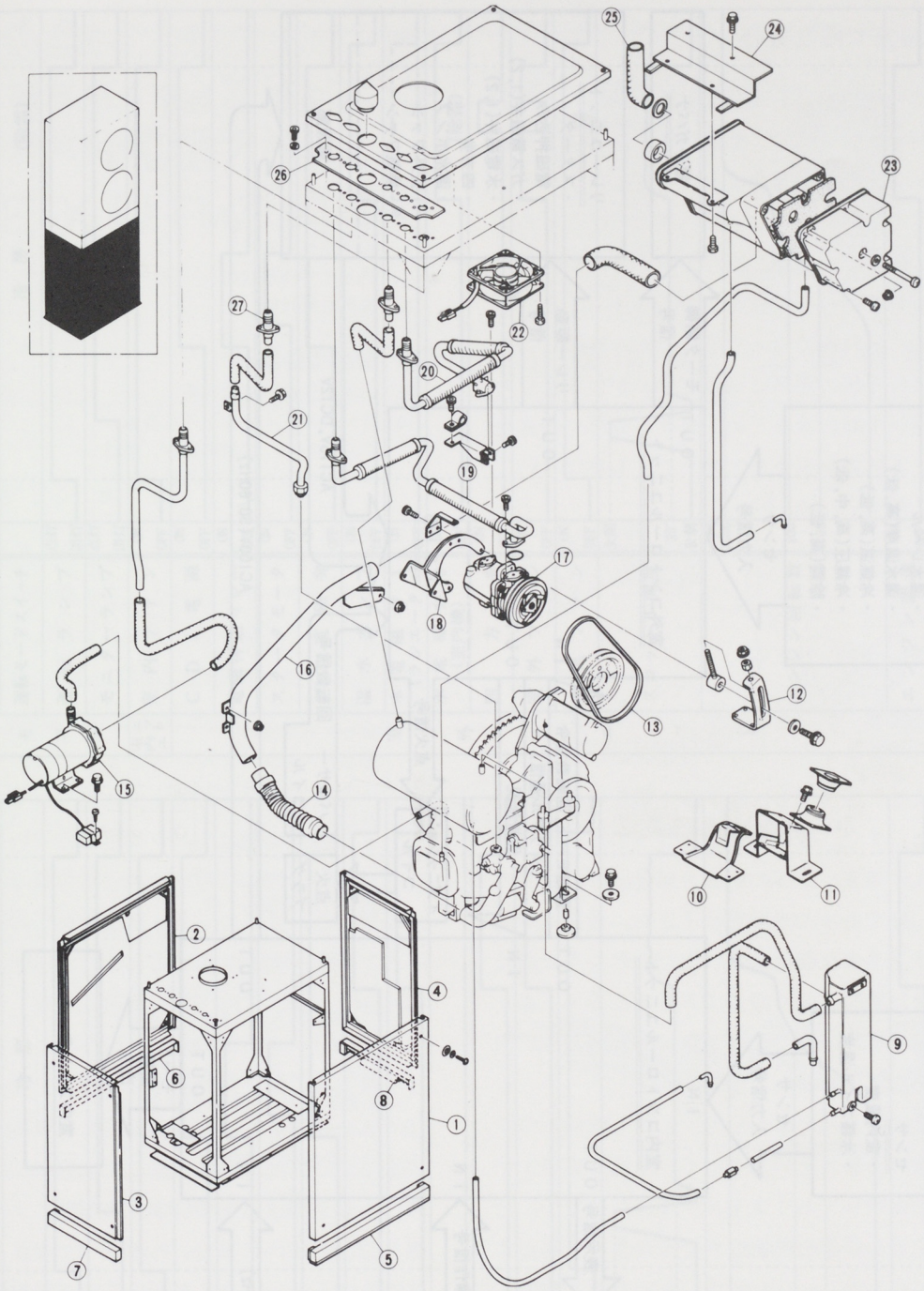
等です。制御の一例として冷房モード及び，暖房モードのタイムチャートを図**13**に示します。また異常表示の例は仕様表に記してあります。

コントローラーの要旨は，エアコンの制御に，エンジン制御が加わり，夫々の特質を考慮したコントロールを行う必要がある事です。その詳細は既述の部分にも増して厖大であり，別稿に譲りたく思います。



No.	名　称
①	温水リザーブタンク
②	ガス電磁弁
③	ゼロガバナ
④	排ガス熱交換器
⑤	ミキサー
⑥	ファン
⑦	システムコルトローラAssy
⑧	エアクリーナ
⑨	コンプレッサ
⑩	スターティングモータ
⑪	サイレンサ
⑫	エンジン
⑬	パイプサクションAssy
⑭	パイプディスチャージAssy
⑮	電子ガバナ
⑯	点火コイル

図10　システムレイアウト



パワーユニット部品名

① パネルフロント
② パネルリア
③ パネルサイド１
④ パネルサイド２
⑤ スカートフロント
⑥ スカートリア
⑦ スカートサイド１
⑧ スカートサイド２
⑨ サイレンサーエキゾーストアセンブリ
⑩ ブラケットストッパー１
⑪ ブラケットストッパー２
⑫ ステーアジャスト
⑬ ベルト
⑭ ホースフレキシブル
⑮ ポンプブラインアセンブリ
⑯ ダクトエア
⑰ コンプレッサー
⑱ ブラケットコンプレッサー
⑲ パイプサクションアッシィ
⑳ パイプディスチャージアッシィ
㉑ パイプＲＧ３
㉒ クーリングファンアッシィ
㉓ ケースエアフィルター
㉔ ステー１
㉕ ジョイントインテーク
㉖ シートアブソーバー２
㉗ ユニオン

図11　パワーユニット

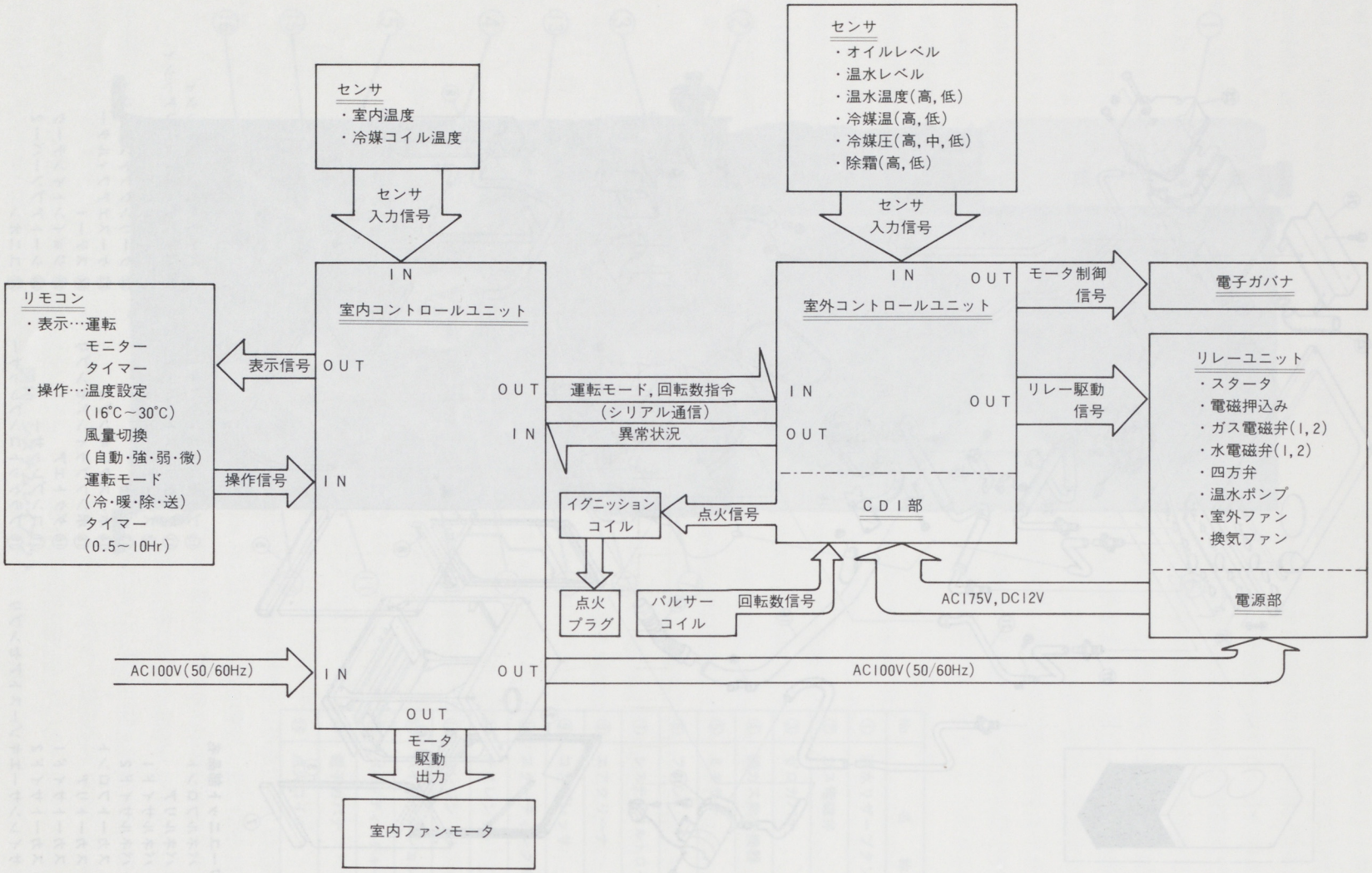
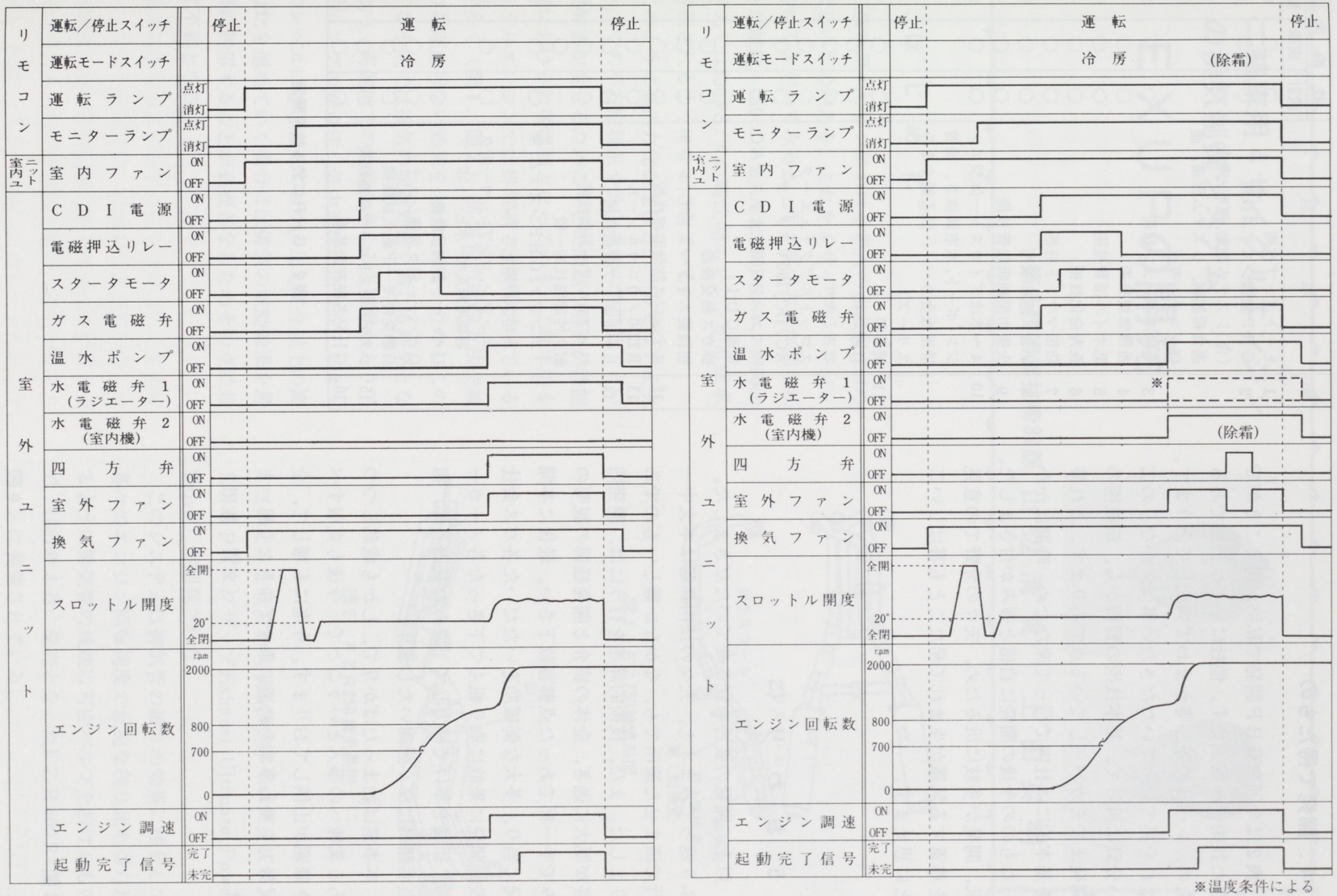


図12　システムブロック図

①冷房運転時

②暖房運転時(除霜運転も含む)



※温度条件による

図13　タイミングチャート

4．開発で得たもの

表2は今回のＧＨＰ開発で私供が得ることができた技術の一覧表です。他社に於ては公知であるもの，レベルの差，等かまわず列記してあります。これを見て分っていただきたい事は，かなりの広い分野に汎って，基本技術の習得から，新技術の開発までをカバーしている点であります。これ等を基本的には社内で行って来たため，時間はかかったものの今後の開発に自信と弾みが付きました。又，開発が多岐に汎るため，夫々の分野での意見を尊重する気風が生まれて来たことも喜ばしいことに思えます。

5．おわりに

以上，開発の要旨を記させていただきました。ふり返ってみますと，夫々の技術課題は本文中一行で済ませた箇所でも，なかなか難しいものでありました。また，技術的詳述を行うには，開発内容が厖大に過ぎ，全体の紹介と開発経緯の説明のみで手一杯であった点御容赦下さい。最後に本開発に当り，多大な御援助をいただいた各ガス会社殿，開発に果敢に取り組んで下さった各メーカー殿，組織を挙げて協力して下さった社内各部，担当者諸兄に深く感謝いたします。

本事業は始まったばかりで，しかも成熟しつつある業種への参入ということで，今後も克服すべき課題が山積しております。今迄にも増して，全員努力を重ね事業を軌道に乗せてゆきたく思います。

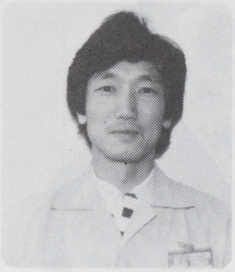
（文責　数田）

No.	項　　目	技術内容		
		設計	実験	製造
1	ヒートポンプ技術	○	○	○
2	ＧＨＰ制御システム技術 (含)システム起動，運転，停止，過負荷制御，システム保護，通信システム等々	○	○	○
3	高効率エンジン技術	○	○	○
4	希薄燃焼技術	○	○	—
5	低オイル消費技術	○	○	—
6	長寿命化技術	○	○	—
7	防振マウント技術	○	○	—
8	防音・遮音技術	○	○	○
9	大振巾振動吸収管技術	○	○	—
10	4～水冷ダイカスト一体型エンジン(ポート，水室鋳抜き。接着併用板金カバー，低歪鋳ぐるみスリーブ)	○	○	○
11	補器類	○	○	—
	Ｏガバナ	○	○	—
	ガスミキサ	○	○	—
	スロットルアクチュエータ	○	○	—
	AC/DC/100Ｖスタータ	○	○	—
	ガスエンジン用点火系（含ＡＣ電源ＣＤＩ）	○	○	—
	排ガス熱交換器	○	○	○
	樹脂製エキゾーストサイレンサ	○	○	—
12	ステンレス防蝕溶接技術	○	○	○
13	Ｒ22用メカニカルシール	○	○	—
14	ヒートポンプ評価技術	○	○	(○)
	コンプレッサー評価技術	○	○	(○)
	耐久性評価技術一般	—	○	—
	・エンジン，ＧＨＰシステム，無人耐久評価システム	○	○	○
	・エンジン，コンプレッサー耐久評価用無人水－水ヒートポンプ	○	○	○
	Ｏガバナー評価試験機	○	○	○
	Ｏガバナー耐久評価システム	○	○	○
	自動発停モード耐久試験機	○	○	○
15	システムコントローラ評価技術	○	○	(○)
16	ＧＨＰ各種評価基準	○	○	(○)

表2　ＧＨＰに於る技術開発

二輪車用4サイクルエンジンの排気制御システム

ＥＸＵＰの開発



第3技術部技術31課　山辺清貴　上田英明

1．はじめに

二輪車用エンジンにおける最近の出力向上はめざましいものがある。これを4サイクルエンジンについてながめてみると，年々高出力化が図られてきた結果，250ccクラスでは180PS/ℓ，1000ccクラスでは130PS/ℓの高性能エンジンが市販車に搭載されるようになってきている。

このように高出力化が進むと，一方ではアイドリングでの不安定現象や低中速域の性能低下といった弊害が生じるためこうした問題の解決が性能開発における技術課題となっている。二輪車用4サイクルエンジンでは排気系で改善を図っている例が多く（**図1**，**図2**），排気管の連結方法や絞りの選定を行ない効果を上げている。しかしこのような手法では排気の脈動効果を減じる結果となるため，高速域での性能を考えると限界がありアイドリングの安定性，低中速域の出力向上も今一歩のレベルにとどまっており，加えて今以上の高出力化を進めていく場合には排気の脈動効果を最大限に利用することが必要となるためその点において不利となる。

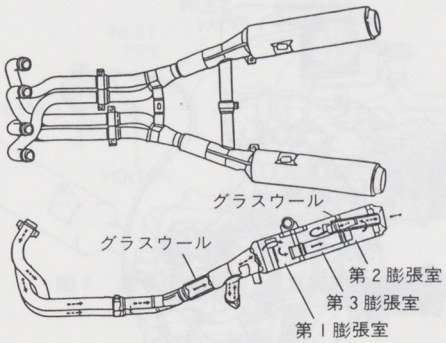


図1　ＦＺ750排気系図

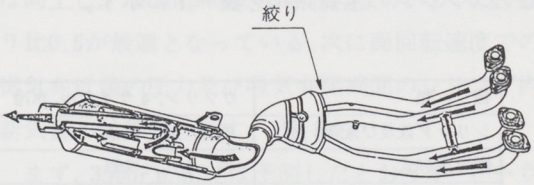


図2　ＦＺＲ250排気系図

このような状況から排気可変バルブシステムＥＸＵＰ（エグザップ Exhaust Ultimate Power Valve）が開発された。

このシステムは排気管の絞りの効果に注目して，各々のエンジン回転速度で最適な絞り比を得られるように排気管の後端に可変バルブを設けたもので，1987年4月に発売となったＦＺＲ400Ｒ（**図3**，**図4**）に装着されている。

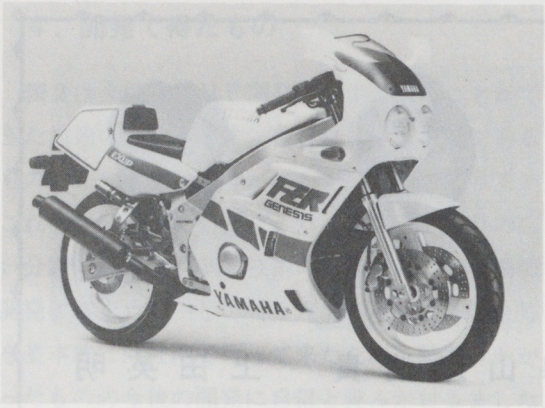


図3　ヤマハスポーツ「ＦＺＲ400Ｒ」

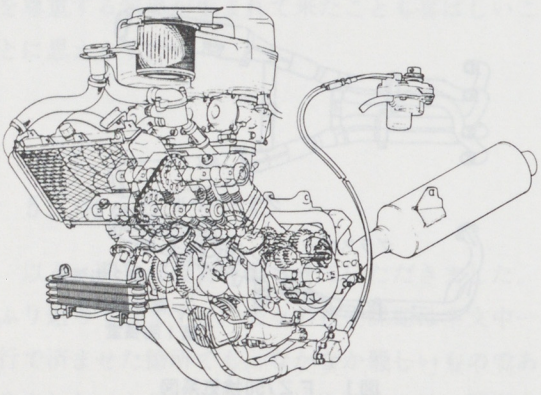


図4　ＦＺＲ400Ｒエンジン全体図

このエンジンの主要諸元を**表－1**に示す。

原動機	種　類		ガソリン，4サイクル，水冷	
	シリンダ数及び配置		直列，4，横置	
	燃焼室形式		ペントルーフ形	
	弁　機　構		DOHC，チェーン駆動，吸気2，排気2	
	内径×行程　mm		56.0×40.5	
	圧　縮　比		11.5	
	総排気量（cc）		399	
	最高出力　PS/rpm		59/12000	
	最大トルク　kgm/rpm		3.9/9500	
	燃焼消費率（全負荷）　g/PS・h（rpm）		245（8000）	
	弁開閉時期　吸　気	開き	BTDC 35°	
		閉じ	ABDC 61°	
	弁開閉時期　排　気	開き	BBDC 61°	
		閉じ	ATDC 27°	
	バルブ径（mm）IN,EX		22	19
	バルブリフト（mm）IN,EX		7.3	7.0
	無負荷回転速度　rpm		1200	

表1　エンジン主要諸元

2．排気系に起因する諸問題（図5）

一般に，二輪車用エンジンのような高速，高出力エンジンではバルブオーバーラップ期間が長く，シリンダへの新気の流入量すなわち体積効率が排気側の圧力状態により大きく影響される。バルブオーバーラップ時に排気弁部の圧力が正圧であるとシリンダ内圧が上昇し，新気の流入が阻害され，体積効率の低下，残留ガスの増加を生じ，燃焼状態の悪化，出力低下を招く。またこの時吸排気系がつながっていることから排気側の正圧が吸気系にまで影響を及ぼし，俗にいう吸き返し現象により空燃比が過濃となり上記の傾向はさらに悪化し燃費の低下にもつながる。

逆に，バルブオーバーラップ時に負圧となっている場合は，シリンダ内の燃焼ガスが吸い出され，新気の流入が助けられる事から，燃焼状態がよくなり，エンジン出力が向上する。[1)]

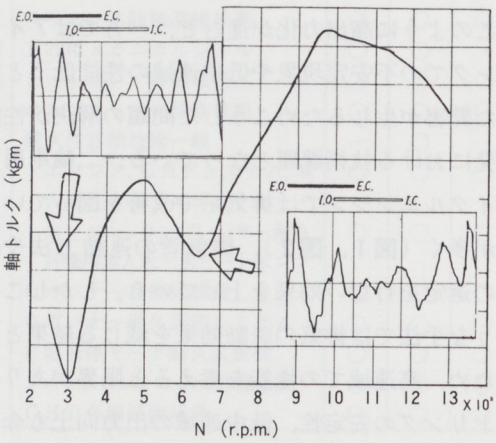


図5　従来エンジンの性能

以上の事から，最も出力を出したい速度域においてオーバーラップ期間に第1回目の負圧（1次負圧波）が戻ってくるように排気管長を選定するが，他の速度域ではオーバーラップのタイミングがずれてくるため，1次正圧波と一致する領域や2次負圧波と一致する領域ができ，それに対応してトルクカーブの山・谷が生じる。（**図6**）

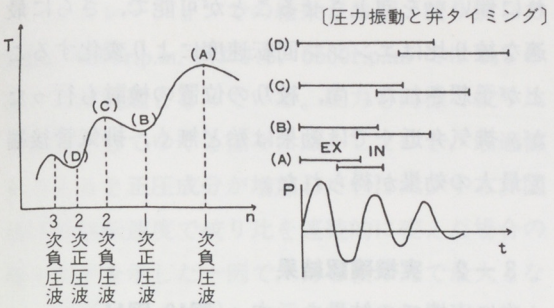


図6　排気圧力振動の影響

またアイドリングにおいても全負荷時と同様に排気圧力振動の影響により不整燃焼となり，アイドリングの不安定を引き起す。特に多気筒エンジンで排気管が集合する形態のものでは，他気筒の排気系の影響をも受けるためアイドリングの不安定現象が増す。

3．対策検討

こうした排気系に帰因する諸問題の対策を検討する。

前項までに述べた様に，オーバーラップ時の排気正圧をコントロールできれば体積効率の低下等の問題が解決できるわけである。ここではその手法として，前述したように実機での効果が確認されている絞りについて検討する。

3－1　シミュレーションによる解析

排気管内の絞りについてはすでに種々の研究がなされており[2]，絞りの有無により管内の圧力変化が異なったものになる事が報告されているが，まず管内流れを特性曲線法を用いたシミュレーション[3]で検討した。

図7に示すのは前述エンジンの単気筒モデルにおいて，排気管端に設けた絞りの絞り比，(絞り開口面積/排気管断面積)を1.0(絞り無)，0.7，0.5，0.3と変化させた場合の体積効率(ηv)である。

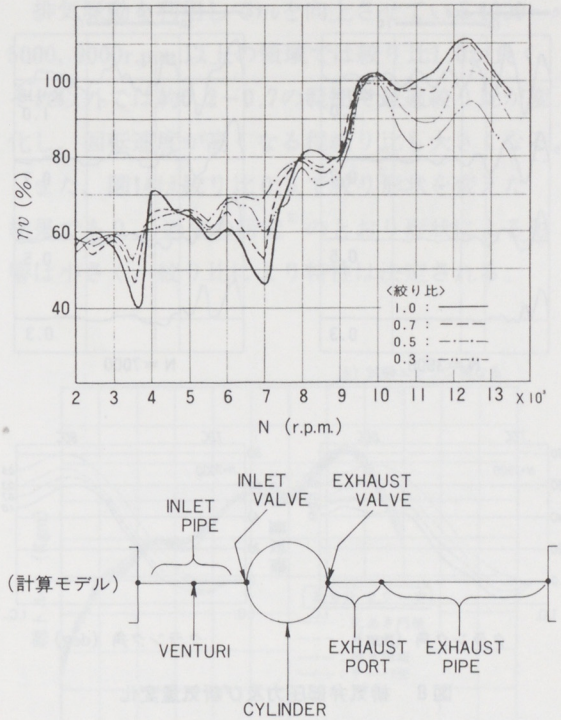


図7　絞り比の影響（単気筒計算値）

絞り無しでは，実機と同様に3500r.p.m，7000r.p.m.付近にηvが低下する点があるが，3500r.p.m.では絞り比を0.7，0.5，0.3と小さくしていく程ηvは向上し，7000r.p.m.でも絞りによりηvが向上，絞り比0.5が最適となっている。次に両回転速度での排気弁近傍の圧力及び吸気弁開期間のシリンダ内新気量の計算値を示す。(**図8**)

まず，3500r.p.m.では予測したとおりオーバーラップに排気正圧が一致しているが，絞り比を小さくしてゆくと管内圧力振動が徐々に減小していき，ηvが最大となった絞り比0.3ではオーバーラップ時の正圧は消えている。新気量のグラフでも絞り無しでは値がマイナス，つまり吹返しが生じているが，正圧部が減小するにつれ新気の流入がスムーズになりηvが増加しているのがわかる。7000r.p.m.でも同様であるが，絞り比0.3時は0.5時に対し逆に正圧が増加しηvも低下している。**図9**は4気筒での計算結果であるが，単気筒での計算結果と同じ傾向を示している。

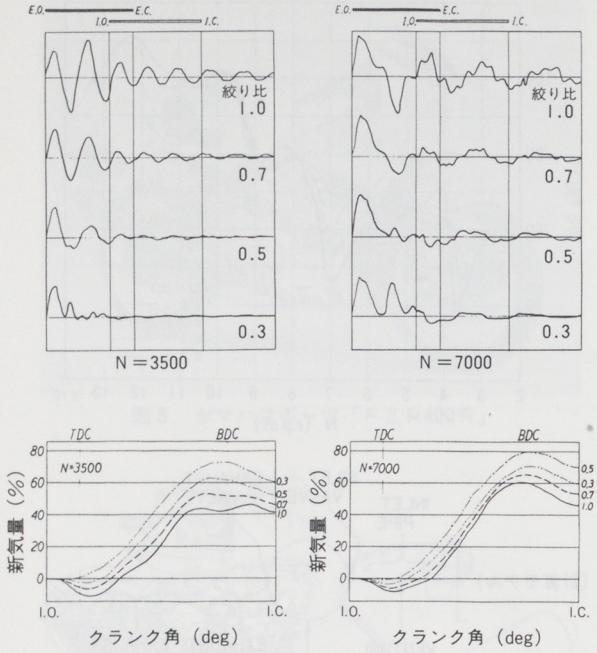


図8　排気弁部圧力及び新気量変化

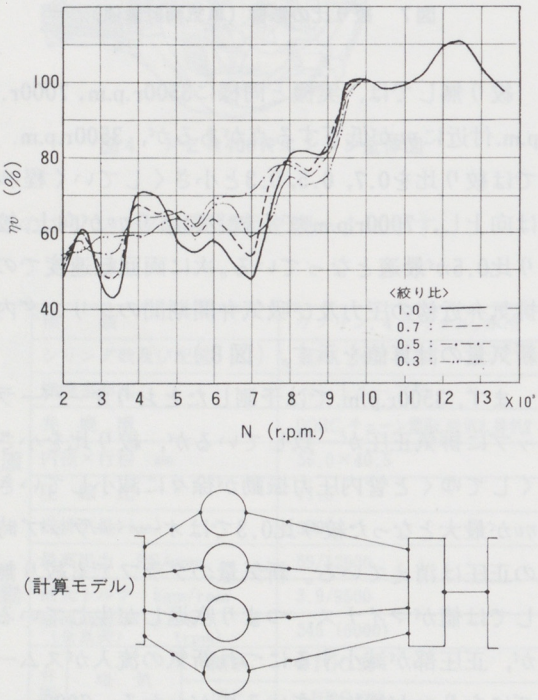


図9　絞り比の影響（4気筒計算値）

これらの事から，排気管に絞りを設けることにより排気管内の圧力振動を変えることができ，それに伴いηvを向上させることが可能で，さらに最適な絞り比はエンジン回転速度により変化することが予想された。尚，絞りの位置の検討も行ったが，排気弁近くでは効果は殆ど無く，排気管後端で最大の効果が得られた。

3－2　実機確認結果

次に実機での結果を示す。（図10，図11）

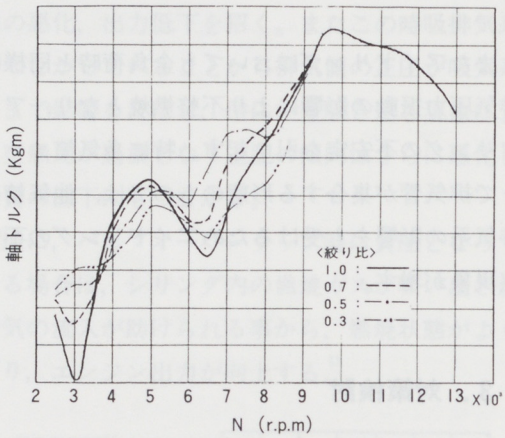


図10　絞り比の影響（軸トルク実測値）

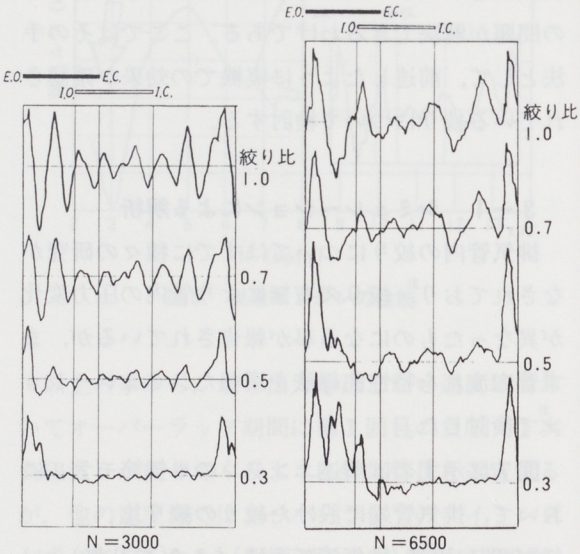


図11　絞り比の影響（排気弁部圧力実測値）

シミュレーションでの結果どおり，絞り無しで3000，6500r.p.m.では0.3，6500r.p.m. では0.5の絞り比が最適となっている。圧力も同様で絞り比を小さくしてゆくと徐々に減小してゆき，最適値をこえると正圧成分が増加してηvは減少する。**図12**は各回転速度で絞り比を連続的に変えた場合の軸トルクを示した一例で，ある絞り比で最大となり，絞り比が小さくなると背圧の上昇により軸トルクは低下してゆく。この最適絞り比をまとめたものが**図13**である。

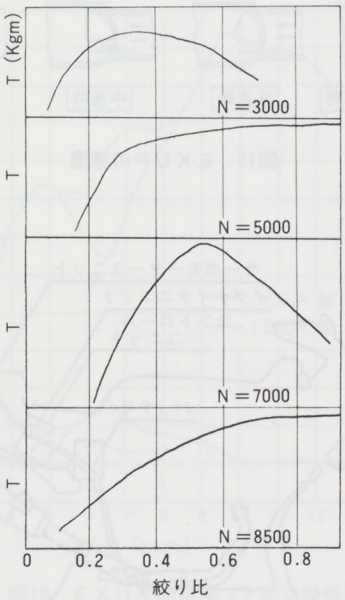


図12　エンジン回転速度一定での絞り比の影響

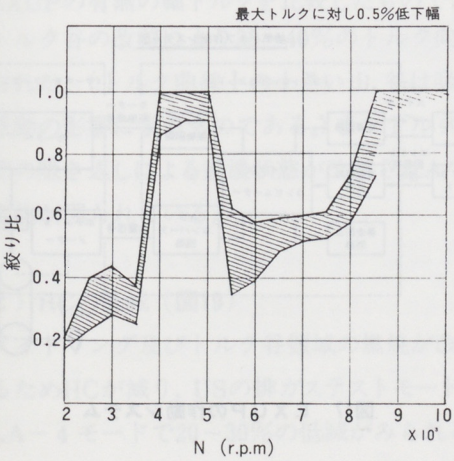


図13　最適絞り比

排気脈動を利用してηvを向上させている4000～5000，9000r.p.m.以上の領域では絞り比1.0が良く，それ以外では約0.2～0.7の範囲で最適絞り比が変化し，回転速度が高くなる程絞り比も大きくなる。

また，**図14**は絞り比0.5で絞り形状を変えた結果であり，過去の研究[2]のとおり形状による影響は小さく，絞り比により特性は決定される。

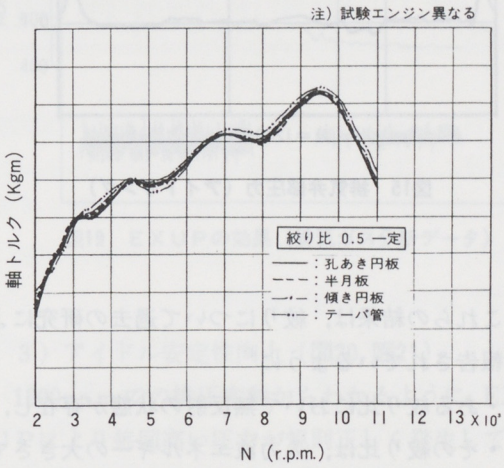


図14　絞り形状の影響

以上は全負荷運転での結果であるが，部分負荷でも同様の効果が得られた。

次にアイドリング状態について述べる。アイドリングでは，**図15**に示す圧力変化となるが，よく見るとオーバーラップ初期に180°遅れて燃焼する気筒のブローダウン圧も一致しており，この影響をあることが考えられる。

この状態での最適絞り比は，排気ガス成分（HC, CO_2の値）と回転変動率により選定した結果（両者については後述とする），0.1となった。絞り比0.1での圧力変化は他気筒の圧力も含め殆ど減衰している。

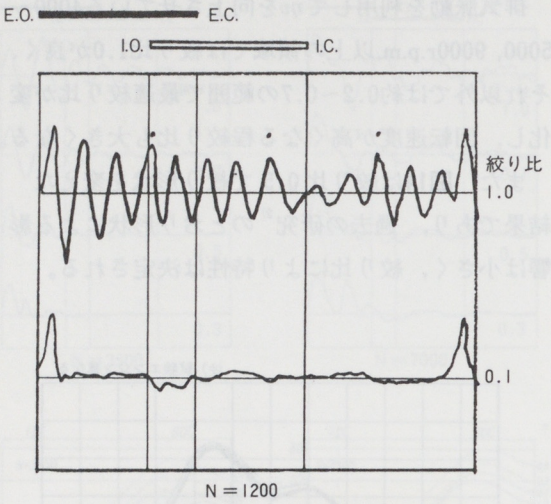


図15　排気弁部圧力（アイドリング）

これらの結果は，絞りについて過去の研究により報告されているように[4]

・ある絞り比において無反射の状態が存在し，

・その絞り比は，入力波エネルギーの大きさで管端での反射率が変わることにより変化する。

ということと一致する。

以上より，排気系に起因する問題を解決するには，排気管端に絞り比可変のバルブを設ければ良いことがわかった。

4．EXUPによる改良

4－1　EXUPの構造概要(図16)

FZR400Rの例で説明する。排気管の集合部に断面が三日月状のバルブが収納されており，一本のバルブで4本の排気管を同時に開閉し，絞り比を変化させる。

アイドリングでは絞り比0.1となっており，エンジン回転速度の上昇に応じて開度を変化させ，約9000r.p.m.で全開となる。

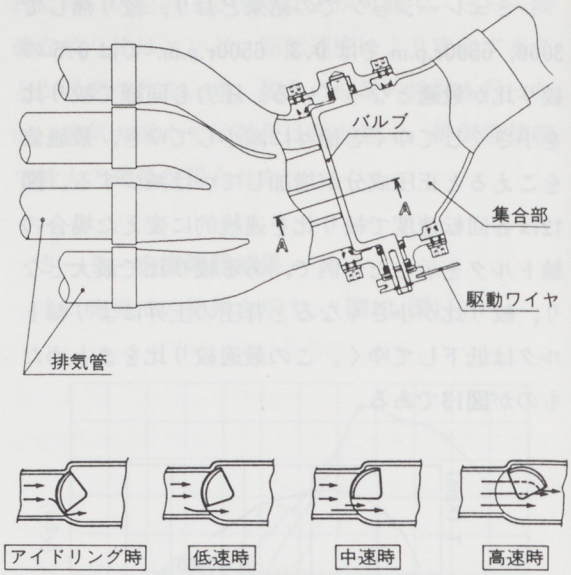
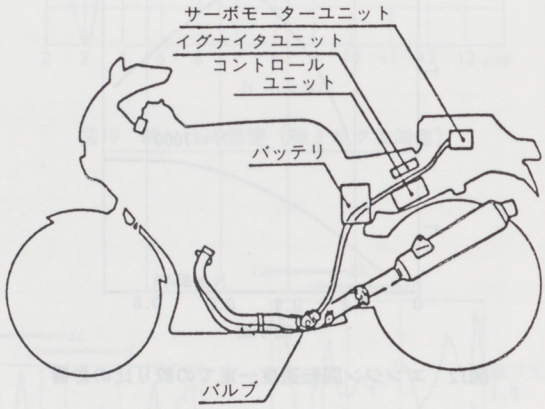


図16　ＥＸＵＰの構造



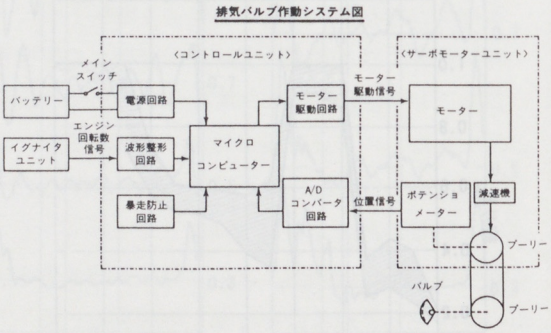


図17　ＥＸＵＰの作動システム

マイコンを内蔵したコントロールユニットがエンジン回転数を検出してサーボモーターへ信号を送り，バルブはこのサーボモーターにより2本のワイヤーを介して駆動される。(**図17**)

バルブまわりの部品は全開走行時の排ガス温度が700℃に達するため，この温度での耐酸化性，強度を考えて材料選定されている。

4－2　効果

1）低中速性能向上（**図18**）

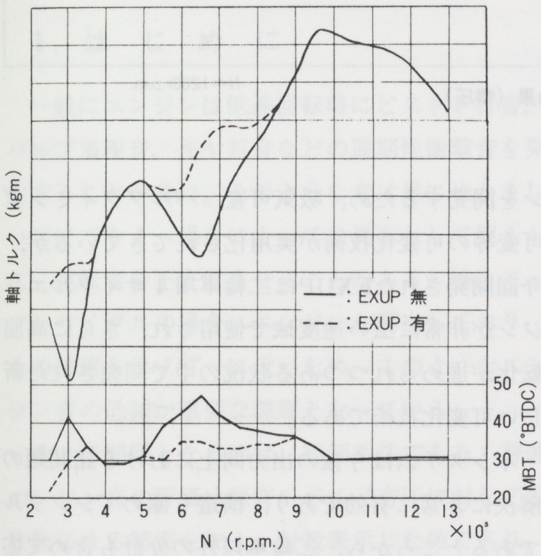


図18　ＥＸＵＰの効果（トルク特性）

EXUPの有無の軸トルクを比較したものである。トルク谷の改善により30～40%のトルク向上が図られた。(トルク曲線上の小さい山，谷は吸気系の脈動の影響によるものである。)またトルク谷領域での吸き返しによる過濃状態が改善されA/F の適正化が図られている。

2）HCの低減（**図19**）

アイドリング及びトルク谷領域の燃焼が改善されるためHCが減り，USの排ガステストモードであるLA－4モードで20～30%の低減がみられる。

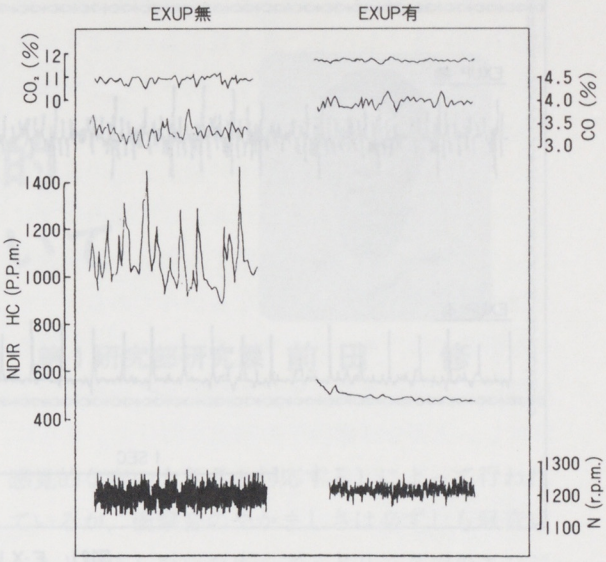
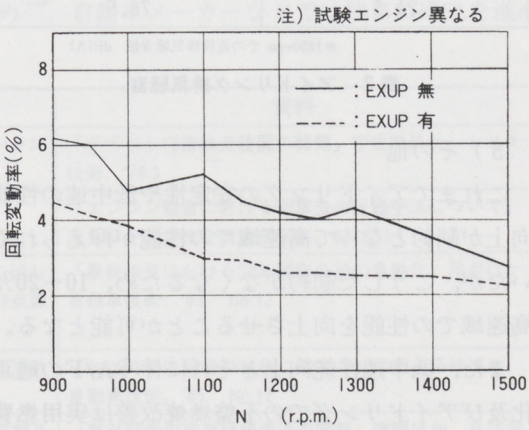


図19　ＥＸＵＰの効果（排気ガス分析データ）

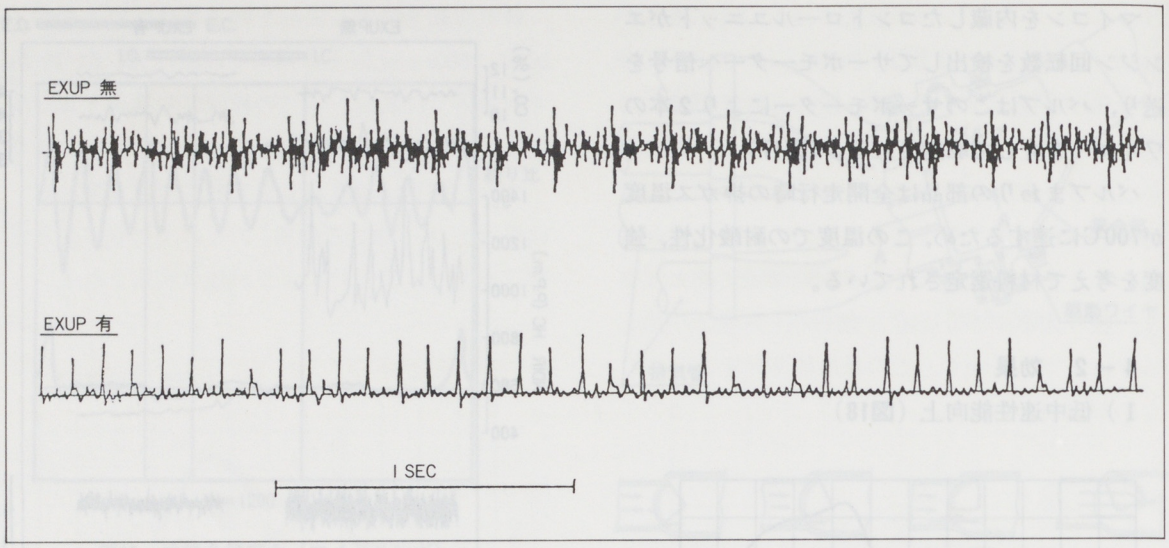
3）アイドル安定性向上（**図20, 図21**）

1200r.p.m.での排圧変動からわかるように，EXUPにより毎回高い圧力が規則正しく発生しており，不整燃焼サイクルが減少することによりＨＣが低減すると同時に回転変動巾が40～50%減っている。



$$回転変動率 = \frac{回転変動の標準偏差}{平均回転数} \times 100$$

図20　ＥＸＵＰの効果（回転変動）



N＝1200r.p.m.

図21　ＥＸＵＰの効果（排圧）

4）排気音の低減（**表2**）

アイドリングではバルブが全閉状態となっていることにより近接排気騒音値が4～5 dB（A）の排気音低減が図られる。低中速域においてもバルブの閉じている領域では同様に排気音の低減に寄与する。

FZR400R	従来モデル
71.5	76.5

※1250rpm での近接排気騒音値：dB(A)

表2　アイドリング排気騒音

5）その他

これまでアイドリングの安定性や低中速の性能向上が制約となって高速域での性能が抑えられていたが，こうした制約がなくなるため，10～20％高速域での性能を向上させることが可能となる。

また，低中速性能向上とそれに伴うA/Fの適正化及びアイドリングでの不整燃焼改善は実用燃費の低減に継がっている。

5．おわりに

低速から高速まで巾広い出力特性をもつエンジンを開発するため，吸気可変，バルブタイミング可変等の可変化技術が実用化されてきているが，今回開発されたEXUPは二輪車用4サイクルエンジンが非常に広い速度域で使用され，さらに高回転化が進められつつある状況の中で開発された新しい可変化技術である。

本システムは今後の出力向上における諸問題の解決に非常に有効であり，構造も極めてシンプルであるところから，二輪車以外の分野も含めて応用が図られていくと考える。

〈参考文献〉

1）例えば，浅沼強：内燃機関ハンドブック2.6 4サイクル機関の吸排気

2）平子，小林：内燃機関 Vol.8　No.90 1969.11月　他

3）嶋本　他：機械学会論文集43－371 昭52.7月

4）嶋本：内燃機関Vol.10 No.111 1971.6月

エンジン異音の定量的評価手法について

第1研究部研究課　前田　修

1. はじめに

一般にエンジンは低速回転時にピストン打音，バルブ着座音，ギヤ打音などの周期性衝撃音を発生することが多い。そのような音は単にやかましいだけでなく，場合によっては異音として捉えられ，運転者を不安にさせることがある。特にモーターサイクルの場合，エンジンが露出しており，その位置もライダーに近いため，このようなエンジン音の低減が重要な課題となっている。

そこで問題となるのは，評価手法である。普通，エンジン音の評価は騒音レベル（音圧に対して周波数による補正を加え，対数表示した値であり，感覚的な音の大きさと対応する）によって行われているが，衝撃音のやかましさは必ずしも騒音レベルと対応しないため，アイドリングでのエンジン音の評価は，これまで主に聴感によって行われていた。しかし，官能評価は評定の個人差や再現性などの問題があるため，正確に評価するには多人数で行わねばならず，実際にはなかなか面倒な評価手法である。そこで，エンジン音を客観的，定量的に評価するための新手法が求められていた。

今日，環境騒音などに対しては様々な評価手法があるが，周期性衝撃音のやかましさについては，残念ながら良い手法がまだ確立されていないため[1][2]，自動車メーカーなどでは独自に研究を進め，

	対象音	評価手法	資料
1	エンジンタペット打音	特定のバンドパスフィルターを通したエンジン振動波形のピーク値の大きさで評価	「タペット打音検査装置の開発」宇佐美ほか、トヨタ技術、'78.3
2	エンジン周期性衝撃音	音圧波形の波高率の対数値で評価（周期と周波数によって補正）	「エンジン騒音における衝撃音の評価手法について」三角ほか、自技会講演前刷集、822B51
3	トランスアクスル打音	音圧信号を8個のバンドパスフィルターに通し各バンド毎に基準値と比較して、その合計点数により評価	「最終検査における回転騒音分析の自動化」芹沢ほか自動車技術、'83. No.12
4	エンジンゴロゴロ音	音圧波形の包絡線形状を構成するうなり周波数成分とその倍音成分の大きさの和で評価	「加速時車内騒音の音色に関する一考察」柘植ほか、自動車技術、'85. No.12
5	ディーゼルアイドルノック音	スペクトルの包絡線の傾きとノック発生周期及び、100Hz以下の低周波音の大きさで評価	「車外騒音の音色評価手法の開発」赤間ほか、自技会講演前刷集、No.861044
6	ディーゼルアイドルノック音	音の衝撃性（クレストファクター）と高周波成分の大きさ及び、騒音レベルで評価	「Towards an Objective Estimate of the Subjective Reaction to Diesel Engine Noise」M.F.Russell et al, SAE870958

表1　エンジン異音定量評価手法の例

表1のようにいくつものエンジン音評価手法が開発されている。しかし，表を見てわかるようにそれらの内容はまちまちであり，統一された手法はないといってよい。この原因は対象となる音が異なることもあるが，評価因子の抽出方法の違いによるところが大きいと思われる。この種の研究においては，人間の感覚を構成する因子を如何にして抽出するかがポイントとなるからである。

本研究では，モーターサイクルのエンジン音を対象に，人間の聴感を多次元尺度構成法を用いて解析し，主要な評価因子の抽出を行った。さらに，これらの因子と物理量の関係を調べ，聴感を物理量で表わす評価モデルを作成した。このモデルに基づいてエンジン異音評価計を製作し，エンジン音の評価に用いたところ，聴感評価とよく一致する結果が得られたので報告する。

2．聴感の解析

2－1　実験の方法

聴感実験の方法と装置を**図1**に示す。この実験では，シリンダ近傍で録音された8種類のモーターサイクルのエンジン音が，供試音として用いられた。その内訳を**表2**に示す。尚，各音の録音

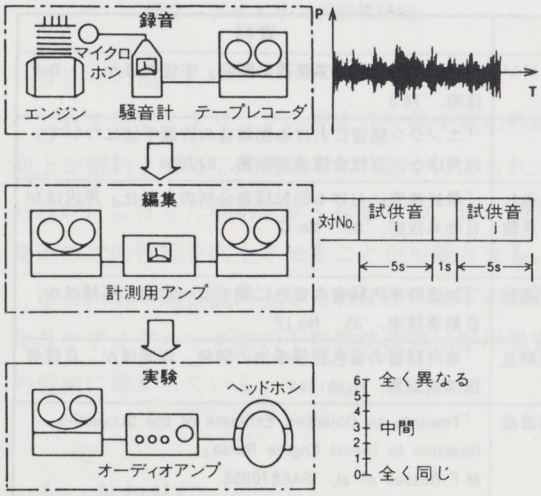


図1　聴感実験の方法と装置

番号	エンジンの種類	運転	仕　様
1	2サイクル単気筒 96cc	F	スタンダード
2	↑	F	ピストン隙間大
3	↑	M	スタンダード
4	↑	F	異音対策A
5	↑	F	↑　B
6	↑	F	↑　C
7	↑	F	↑　D
8	4サイクル単気筒499cc	F	スタンダード

F：ファイアリング、M：モータリング
（エンジン回転速度は1300r.p.m.）

表2　供試音一覧

レベルは適当な範囲に収まるよう調整した。この八つの音から，組合せの繰返しや，同じ音同士の組合せを含む64対の組合せがつくられ，テープに編集録音された。この64対の音の提示順序はランダムで，対番号を告げるアナウンスの後，提示されるようにした。各音の提示時間は5秒間で，対の間隔は1秒間である。

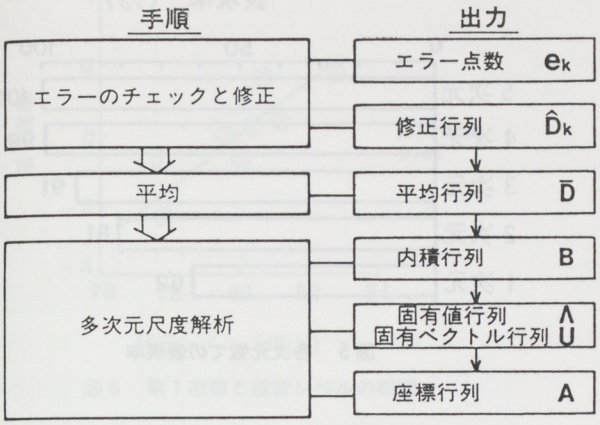
聴感実験はヘッドホンによるモノラル両耳聴で行われ，再生レベルは全供試音の平均値がほぼ80 dB(A)になるよう調整された。被験者は供試音を聞き，各対毎に音の非類似度を判定した。その評価尺度は「全く同じ」(0)から，「全く異なる」(6)までの7段階とした。

被験者の総数は34名で，その内訳は実験部門の男性が22名，生産部門の男性が7名，事務部門の男性が3名，女性が2名である。年齢は20歳から42歳までの範囲に分布する。

2－2　解析方法

まず，被験者kの評定データを行列 D_k として表わすことにする。ここで，その要素d_{ijk}は供試音iとjの対に対する非類似度の評定結果を示す。

図2は解析の手順を示したものである。最初に，非類似度行列の対称性と対角要素の値を調べることにより，各被験者の評定能力を調査した(式1)。もし被験者が完全な評定をしていれば，この行列は対称で対角要素が0になるはずであるが，実際には評定上の誤差があるため必ずしもそうはなら



式

$$e_k = \sum_{i=1}^{N} d_{iik} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{i} | d_{ijk} - d_{jik} | \quad (1)$$

$$\hat{d}_{ijk} = \hat{d}_{jik} = \frac{1}{2}(d_{ijk} \pm d_{jik}) \quad \begin{pmatrix} i \neq j, + \\ i = j, - \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{d}_{ij} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} \hat{d}_{ijk} \quad (3)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\bar{d}_{ij}^2 + \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\bar{d}_{ij}^2 - \frac{1}{N^2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\bar{d}_{ij}^2 - \bar{d}_{ij}^2\right) \quad (4)$$

$$BU = U\Lambda \quad (5)$$

$$A = U\Lambda^{1/2} \quad (6)$$

ここで　N：供試音の数
　　M：被験者の数

図2　解析方法

ず，その度合を見ることによって被験者の信頼性を確めることができるからである。

次に，各被験者の非類似度行列の上三角要素と下三角要素の平均をとって行列を対称形とし，対角要素は0として，行列の誤差を修正した(式2)。その後，全被験者の修正非類似度行列の平均を求め（式3），多次元尺度構成法によって解析を行い，心理空間における供試音の座標を求めた（式4，5，6）。尚，多次元尺度構成法の詳細については，参考文献[3][4]を参照されたい。

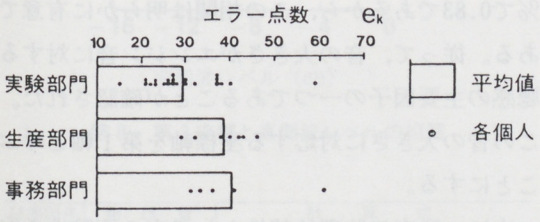


図3　被験者のエラー点数

2－3　結　果

各被験者のエラー点数を**図3**に示す。この図をみると評定の信頼性において，かなり大きな個人差や部門差があることがわかる。例えば，実験部門の平均エラー点数は明らかに他部門のそれよりも低い。このような結果となった理由は，被験者のエンジン音に対する経験の違いによるものと考えられる。

また，この図ではエラーが飛び抜けて大きい被験者が2名居ることがわかる。この2名については解析から除外することも検討したが，最終的な結果に大きな違いはなかったので，ここでは全被験者のデータを解析した結果を報告する。

なお，各供試音対に対する評定の標準偏差は最少で0.37，最大で1.41であり，音の種類によって個人差の幅に違いがあることもわかった。これをさらに詳しく調べると，被験者はその評定の特徴からいくつかのグループに分けられることがわかった。但し，その結果はここでは省略する。

解析の結果，固有値は**図4**に示すように，6番目，7番目，8番目は殆ど0になった。YoungとHouseholderの定理[5]によれば，この場合，心理

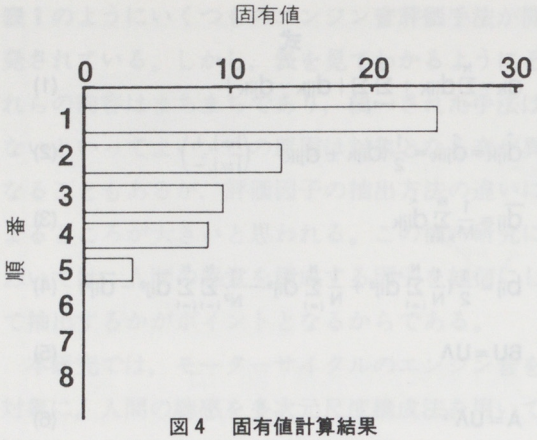


図4　固有値計算結果

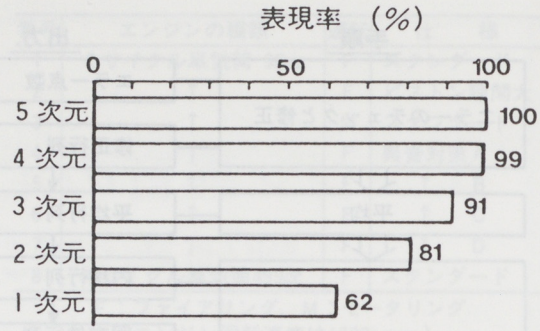


図5　各次元数での表現率

空間の次元数は5であるとみなされるので，供試音の座標は**表3**のように，8×5の行列で表わされる。

但し，この心理空間の次元数はその表現率をあまり落とさずにもっと減らすことができると考えられる。この表現率とは，ある空間に布置した供試音の距離関係が元の非類似度データをどの程度満足しているかを示すものであり，内積行列B^*の全要素の分散を行列Bのそれと比較することによって得られる。また，行列B^*はある次元数の座標行列Aにその転置行列A'を掛けることによって得られる。**図5**は様々な次元数における表現率を示したものであり，この図によると3次元空間でも元の心理的距離関係を91%まで表わせることがわかる。そこで，この後の解析を簡略にするため，供試音の心理空間は3次元空間に縮小することとし，座標行列Aの左3列をそれぞれX，Y，Z座標とした。

供試音番号	次元 1	2	3	4	5
1	1.571	2.385	−0.731	−0.167	0.855
2	3.442	−1.849	0.747	−0.844	0.066
3	−1.649	−1.779	−1.385	0.545	0.775
4	1.201	0.109	−1.214	1.659	−0.945
5	−0.588	1.084	0.056	−1.053	−0.502
6	−1.683	−0.219	0.004	−1.005	0.159
7	−1.485	−0.059	0.254	−0.681	−0.720
8	−0.807	0.329	2.270	1.547	0.314

表3　供試音の座標

2－4　物理量との対応

供試音に対する心理空間は上記のように3次元でほぼ表わすことができる。このことはアイドリングエンジン音に対する聴感の主要因子は三つであることを意味している。これらの因子はそれぞれ何らかの物理的特性と対応していると考えられ，それは供試音の特性と心理空間における座標との相関を調べることによって解明される。

ここで考える騒音の物理的特性としては，物理的意味の明確さと測定の簡便さが要求される。この観点からすると，騒音レベルと対応している「音の大きさ」がまず第一番に挙げられる。そこで，供試音の座標とその騒音レベルとの関係を調べたところ，座標系をある角度回転させたときに，X座標と騒音レベルとの相関係数が0.85となった（**図6**）。この場合の相関係数の臨界値は危険率1%で0.83であるから，この相関は明らかに有意である。従って，音の大きさがエンジン音に対する聴感の主要因子の一つであることが確認された。この音の大きさに対応する座標軸を第1軸と呼ぶことにする。

次に，騒音の物理的特性として音の衝撃性を取上げてみた。本研究では衝撃性を音圧実効値の瞬時変化の大きさの対数によって表わし，それを変動レベルと呼ぶことにした。供試音の座標とその変動レベルを比較したところ，第1軸と直交する方向において0.90という相関係数が得られた（図

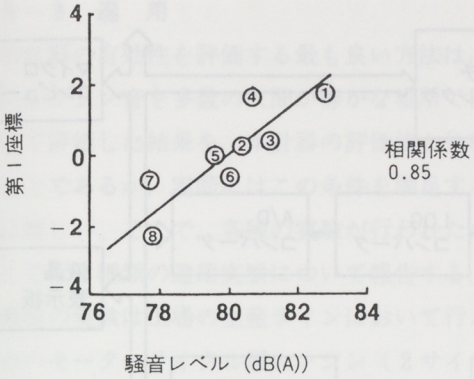


図6　第1座標と騒音レベルの相関

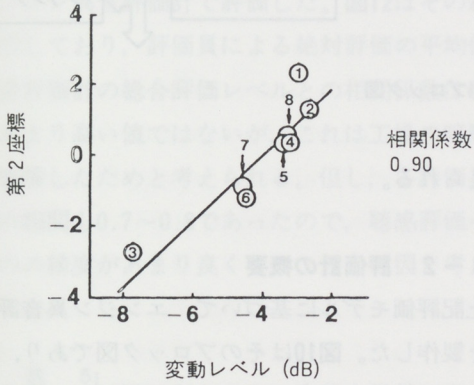


図7　第2座標と変動レベルの相関

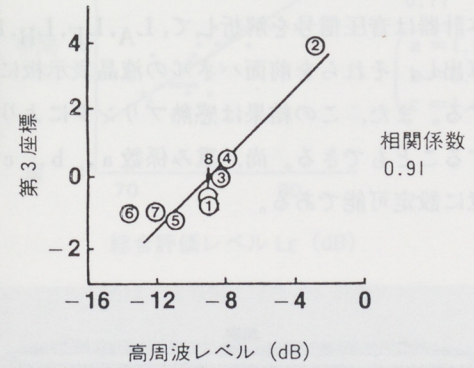


図8　第3座標と高周波レベルの相関

聴感因子	物理量	計算式	
大きさ	騒音レベル	$L_A = 20\log_{10}(P_A/P_0)$	(7)
衝撃性	変動レベル	$L_F = 20\log_{10}\left(\frac{1}{T}\int_0^T \lvert P'_A - P_A\rvert / P_A dt\right)$	(8)
かん高さ	高周波レベル	$L_H = 20\log_{10}(P_H/P_A)$	(9)

ここで　P_A ＝音圧実効値（A特性）$\tau = 1$ sec
P'_A ＝音圧実効値（A特性）$\tau = 0.02$sec
P_H ＝高周波音圧実効値（A特性）$\tau = 1$ sec
P_0 ＝最小可聴音圧実効値（20μPa）

表4　聴感因子と対応する物理量

7）。従って，衝撃性も聴感の主要因子の一つであることが確められた。ここで，変動レベルと対応する座標軸を第2軸と呼ぶことにする。

3次元空間において直交座標軸の2本が定まったので，第3軸は一義的に定まることになる。第3番目の物理的特性の条件は，音の大きさや衝撃性から独立していることであり，そのような物理的特性として考えられるのは周波数に関する特性である。そこで，供試音の周波数特性について様々な物理量を測定し，第3座標値との相関を調べたところ，高周波数成分の比率を対数で表わした

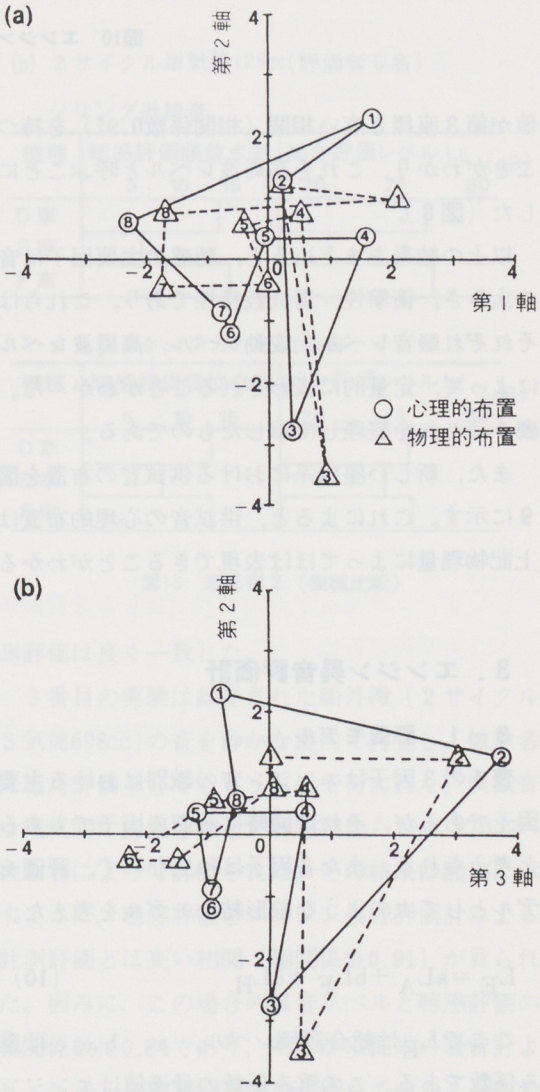


図9　供試音の空間布置

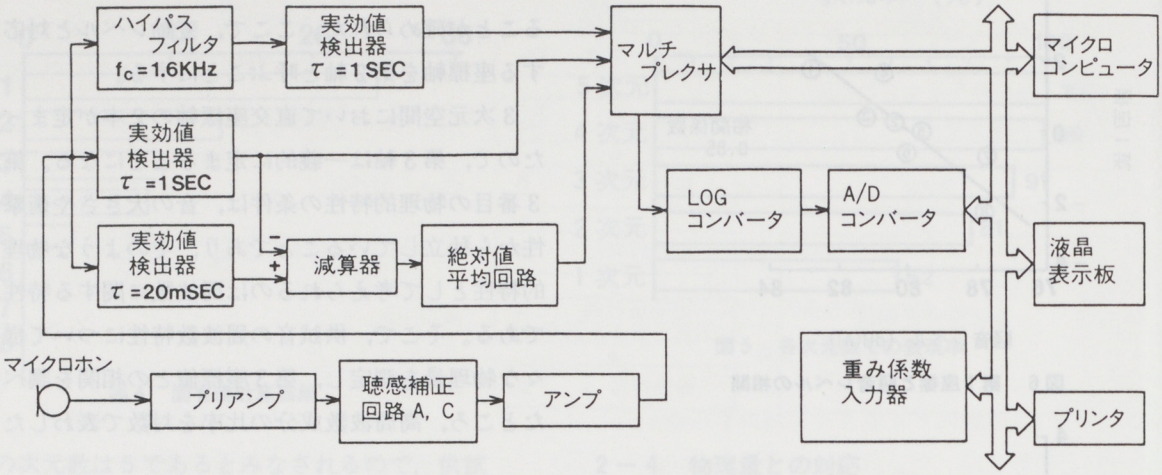


図10　エンジン異音評価計のブロック図

値が第3座標と高い相関（相関係数0.91）を持つことがわかり，これを高周波レベルと呼ぶことにした（**図8**）。

以上の結果をまとめると，聴感の主要因子は音の大きさ，衝撃性，周波数特性であり，これらはそれぞれ騒音レベル，変動レベル，高周波レベルによって，定量的に表わされることがわかった。**表4**はこれを整理して示したものである。

また，新しい座標系における供試音の布置を**図9**に示す。これによると，供試音の心理的布置は上記物理量によってほぼ表現できることがわかる。

3．エンジン異音評価計

3－1　評価モデル

表4の3因子はエンジン音の識別における主要因子であるが，それは同時に評価の因子でもあると考えられる。また各因子は独立なので，評価モデルとして次のような線形結合モデルを考えた。

$$L_E = aL_A + bL_F + cL_H \qquad (10)$$

ここでL_Eは総合評価レベル，a，b，cは重み係数である。この重み係数の最適値はエンジンのタイプや，評価者の属性などによって変わると考えられる。

3－2　評価計の概要

上記評価モデルに基づいて，エンジン異音評価計を製作した。**図10**はそのブロック図であり，**図11**はその外観を示す。その寸法は幅270mm，高さ150mm，奥行き300mmで重量は8kgである。

本計器は音圧信号を解析して，L_A, L_F, L_H, L_Eを算出し，それらを前面パネルの液晶表示板に表示する。また，この結果は感熱プリンタにより印字することもできる。尚，重み係数a，b，cは任意に設定可能である。

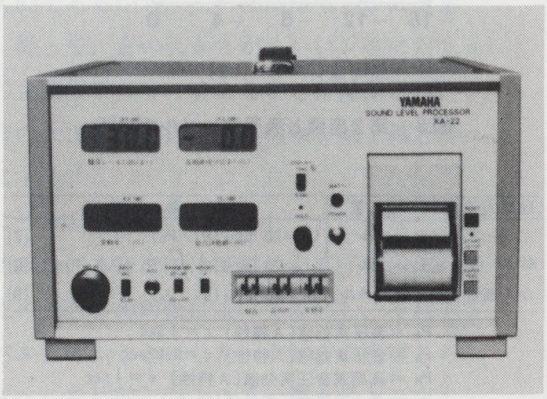


図11　エンジン異音評価計

3－3　適　用

本計器の有効性を評価する最も良い方法は，多数のエンジン音を多数の人間が静かな場所で直接聞いて評価した結果を，本計器の評価値と比較することであるが，実際にはこの条件を満足する実験は難しい。そこで，各種の実験が行われたが，ここでは3種類の適用実験について報告する。

最初の実験は工場の生産ラインにおいて行われ，32台のモーターサイクル用エンジン（2サイクル単気筒96cc）のアイドリング音を4名の評価員とエンジン異音評価計で評価した。**図12**はその結果を示しており，評価員による絶対評価の平均値と異音評価計の総合評価レベルとの相関係数は0.77とあまり高い値ではないが，これは工場の暗騒音が影響したためと考えられる。但し，各評価員同士の相関も0.7～0.8であったので，聴感評価そのものの精度があまり良くないことも原因と考えられる。

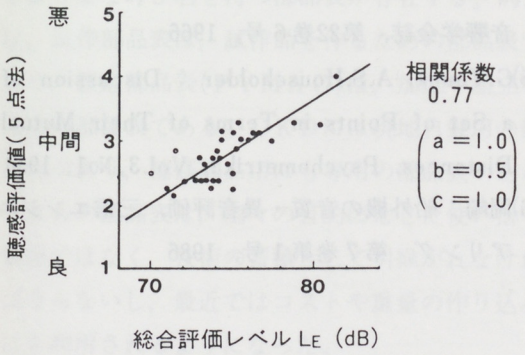


図12　適用例1（ライン評価）

この工場実験の結果を踏まえ，2番目の実験は暗騒音の小さい場所で，3機種のモーターサイクルエンジン音の相対評価により行った。**図13**は聴感評価と計測評価との比較を示したものである。ここで，聴感評価順位点数とは音の評価順位1位，2位，3位に対し，それぞれ1点，2点，3点を与え，集計したものであり，この点数が低いほど聴感が良いことを示す。相対評価は絶対評価よりも精度が高いためか，この実験では聴感評価と計測評価は良く一致した。

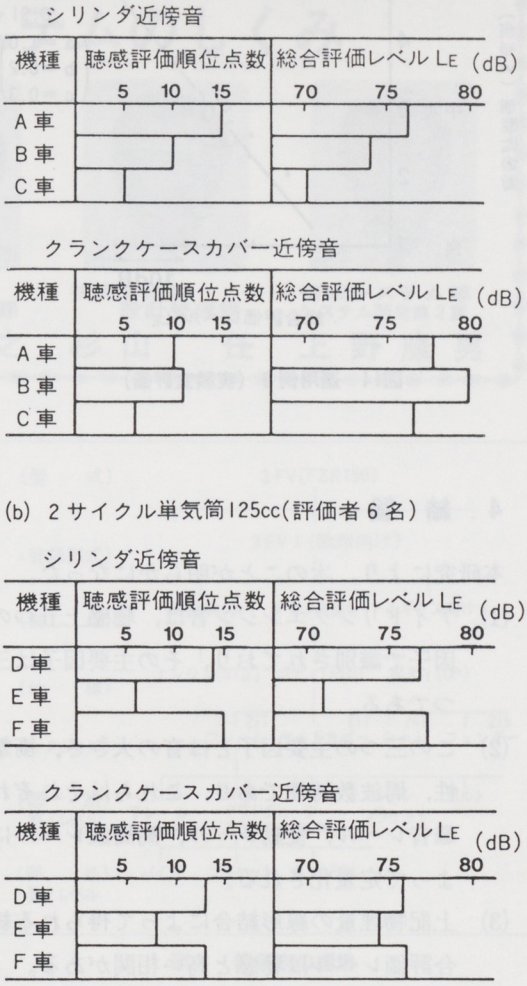


図13　適用例2（機種比較）

3番目の実験は録音された船外機（2サイクル3気筒698cc）の音を静かな室内で再生し，被験者に絶対評価をしてもらう方法で行われた。[6] 供試音は電気的に変更を加えて27種類作られ，270名の被験者によって評価された。その結果は**図14**に示すように，聴感評価とエンジン異音評価計による計測評価とは高い相関（相関係数0.91）が見られた。因みに，この場合の騒音レベルと聴感評価の相関係数は0.84であり，明らかに従来の騒音計よりエンジン異音評価計の方が優れていることがわかる。

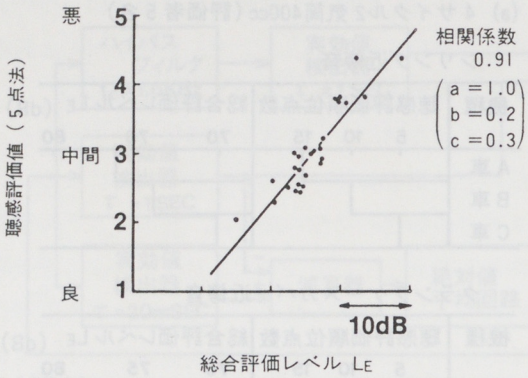


図14　適用例3（実験室評価）

4．結　論

本研究により，次のことが明らかになった。

(1) アイドリングエンジン音は，聴感上五つの因子で識別されており，その主要因子は三つである。

(2) この三つの主要因子とは音の大きさ，衝撃性，周波数特性であり，これらはそれぞれ騒音レベル，変動レベル，高周波レベルによって定量化される。

(3) 上記物理量の線形結合によって得られる総合評価レベルは聴感と高い相関がある。

(4) 今回試作したエンジン異音評価計は，アイドリングエンジン音のやかましさを客観的，定量的に評価することができる。

今後の課題としては，暗騒音の影響除去，重み係数の最適化，計器のリファインなどが挙げられる。また，アイドリングだけではなく，空吹かしなどについても対応できるようにして行きたい。

5．お わ り に

本稿は，1986年5月に自技会，1987年4月にSAEにて発表した論文を殆どそのまま転用したものですので，いささか堅苦しく分りにくい文章になったのではないかと思いますが，その点は何卒御容赦願います。

尚，本研究で用いた多次元尺度構成法は，音の分野だけでなく色々な方面で人間の感覚や感性を解析する際，強力なツールとなるものと思われます。これについては，簡単なパソコン用ソフト（因子分析，数量化理論などもある）を用意してありますので，興味をお持ちの方は是非お試し下さい。

最後に，本研究を進めるに当り，御協力，御指導を頂いた多くの方々に御礼を申上げます。

【参考文献】

(1)ISO：Guide to International Standards on the Measurement of Airborne Acoustical Noise and Evaluation of its Effects on Human Beings, ISO2204－1979

(2)日本建築学会編：騒音の評価法，彰国社

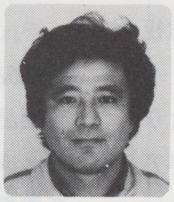
(3)林，飽戸：多次元尺度解析法，サイエンス社

(4)中山，三浦：音質評価の方法論について，日本音響学会誌，第22巻6号，1966

(5)G.Young, A.S.Householder：Discussion of a Set of Points in Terms of Their Mutual Distances, Psychometrika, Vol.3, No.1, 1938

(6)岡崎：船外機の音質・異音評価，三信エンジニアリング，第7巻第1号，1986

BASE 技術部品表システムのしくみ



技術管理部 設計管理課 坂本裕之
技術管理部 設計管理課 杉山 任
情報システム部 システム開発第2課 上野康男

1. はじめに

図面がひとつひとつの部品の形状や寸法を表わすのに対し，部品表は，これらの部品がどの様に組み合わされて製品が出来上っているかを表わしている。(**図1**)

部品表には，商品開発から生産に至る段階で，さまざまな呼び名を持つ部品表が存在する。例えば，試作部品表は，試作品を作るための部品表であり，製造部品表(PYMAC)は，加工や組立のための部品表である。CKDには現地自製用の部品表があり，補修部品用にも専用の部品表がある。これらの部品表は，個々の目的に応じた使い捨て情報ではなく，技術の蓄積として引継がれなければならないし，最近ではコストや重量の作り込みにも利用されるようになった。

この様な企業活動の中枢的な情報と言われている部品表情報を中核に置き，それを取り巻く業務への支援機能を含めて，トータルなシステムを開発することにした。(**図2**)

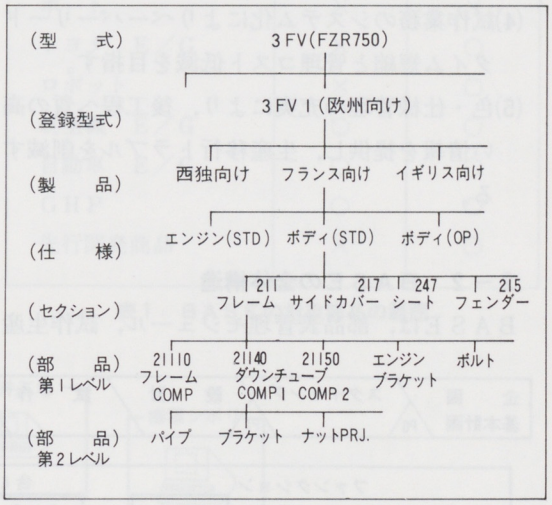


図1　部品表の構造

このシステムをBASEと名付け，3年の歳月をかけ今年5月に完成稼動させた。

以下に述べる内容は，BASEそのものを，解りやすいかたちで紹介し，より多くの皆さんに，BASEを効果的に使って頂けることを願って書いた。ぜひ読んで頂きたいと思う。

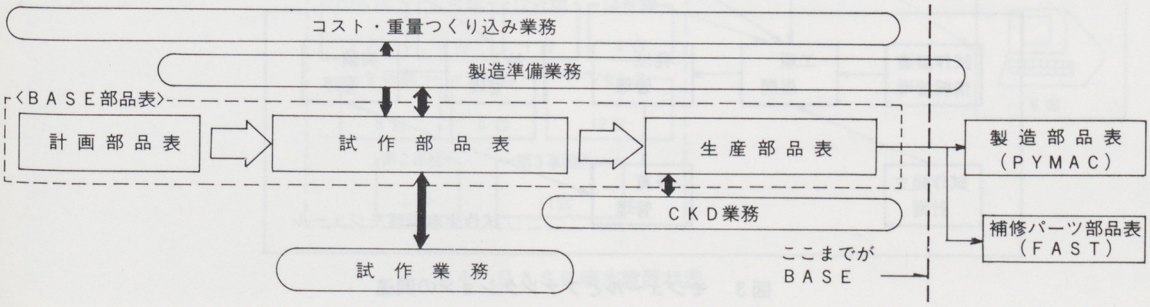


図2　BASEシステム

2．BASEの概要

2－1　BASE開発の目的

(1)計画段階から部品表構築をはかり，計画重視への体質改善を狙う。

(2)オンラインリアルタイムの全面的採用により，タイムリーな情報提供と，設計業務の効率アップを図る。

(3)部品表を通じてコスト及び重量の作り込みを支援する。これによって製品のコストダウンを実現し経営に貢献する。

(4)試作業務のシステム化によりペーパーリードタイム短縮と管理コスト低減を目指す。

(5)色・仕様管理の充実により，後工程へ質の高い情報を提供し，生産移行トラブルを削減する。

2－2　BASEの全体構造

BASEは，部品表管理モジュール，試作生産管理モジュールのふたつのモジュールで成り立つ。それぞれのモジュールは図3に示すような数個のファンクション（機能）で構成されている。

〈部品表管理モジュール〉

開発において「部品表が計画→試作→生産部品表と成熟していく過程を，ひとつの体系で一貫して管理する仕組」である。

部品表登録，改訂，コスト／重量管理，CKD管理などが主なファンクションである。

〈試作生産管理モジュール〉

「試作の組立計画に基いて試作部品表を展開し，部品手配から検収迄の作業をシステムで行う仕組」である。

試作組立計画，工順展開，発注管理などが，主なファンクションである。

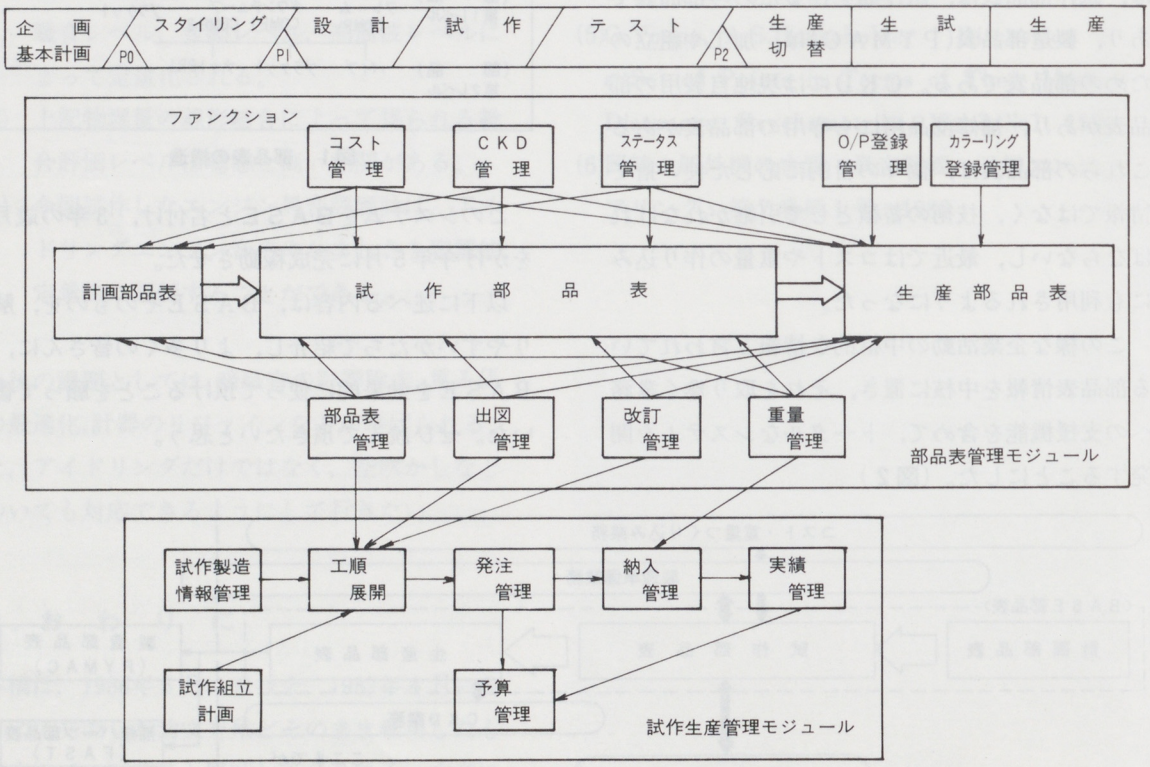


図3　モジュールとファンクションの関連

2－3　BASEの範囲

BASEの対象とする商品の範囲は，**表1**の通りである。

現在対象外となっている商品は，それぞれ別のシステムとの関連もあるので，BASEへの取り込みはむずかしいが，今後新規事業化される商品については対象としていく予定である。

またシステムの利用者は，技術部門主体となっているが，生産管理部，購買部，海外生産部をはじめとする製造部門，部品事業部，工場部門など広域にわたっている。利用者は約2000人で，個人名がシステムに登録され機密保護が図られている。

BASEは，ホストコンピューターとして日立M－280Hを使い，端末数は約180台が稼動し利用されている。(**図4**参照)

○対象　×対象外

商　　品	部品表管理	試作生産管理
M／C，ATV	○	○
S／M	○	○
G／C(L＆G含)	○	○
発電機	○	×
汎用　E／G	○	×
ポンプ	○	×
除雪機	○	×
マリンディーゼル	○	×
船外機	×	×
ボート	×	×
トヨタ　E／G	×	○
ロボット	×	○
航空機　E／G	○	○
自動車　E／G	○	○
GHP	○	○
先行開発商品	×	○

表1　BASEの対象商品の範囲

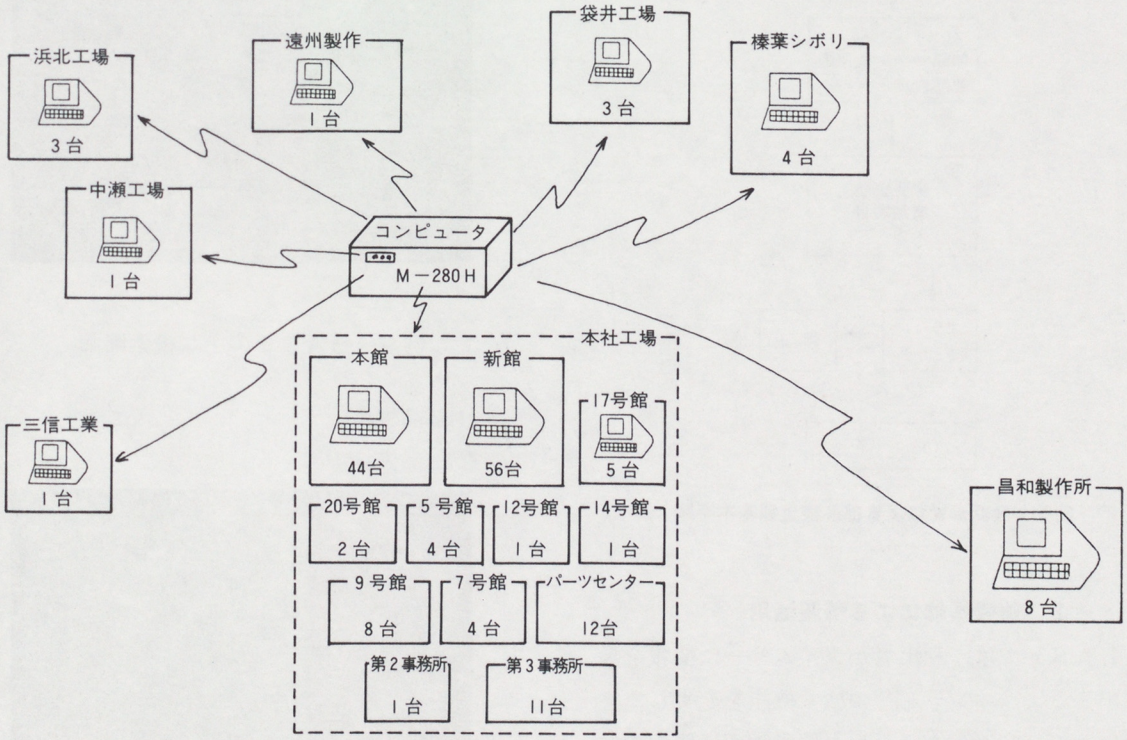


図4　BASE端末設置状況

3．技術部門でのＢＡＳＥの活用

3－1　オンラインによる部品表登録

部品表の登録は，技術者自身が各フロアに設置された端末より会話形式で行う。この方式は，現在のように類似機種を基にして新機種を開発する場合に威力を発揮する(**図5**)。勿論，ニューモデル等で類似となるものがない場合は従来と同様，登録用紙による登録も出来る。

また，計画～試作～生産と部品表が成熟していくとき，試作部品表に基いて生産部品表をシステム的に作り出す「切替登録」という機能もある。

これらの機能により従来の登録方式に比べて，ペーパーリードタイム及びエラー修正のための待ち時間を大巾に削減している。

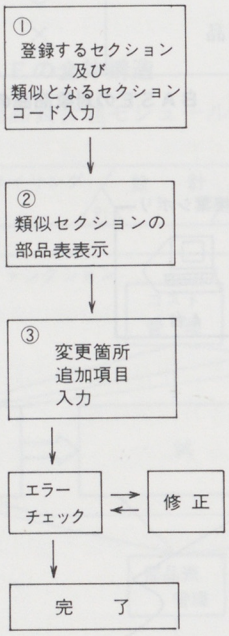


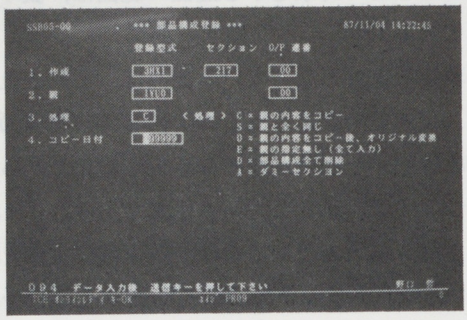
図5　会話形式による部品表登録基本手順

3－2　検索機能による情報活用

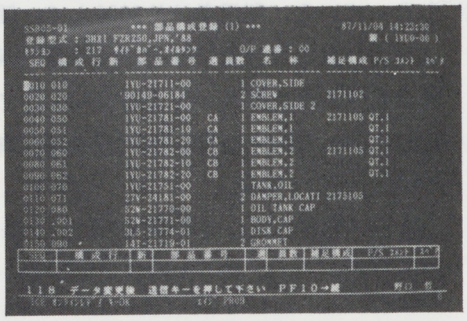
ＢＡＳＥでは，利用者がタイムリーに情報を参照出来るようオンラインの検索機能を充実した。提供画面は65画面あり，主な検索画面は例1の通りである。

画面サンプル（図5）

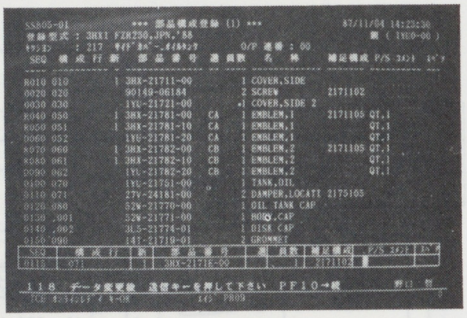
①セクション入力画面



②部品表表示



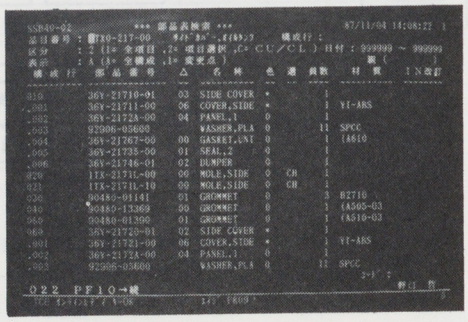
③変更・削除・追加



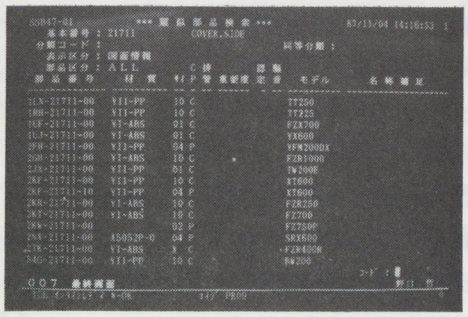
例1　ＢＡＳＥの主な検索画面

(1)部品表検索

①部品表検索

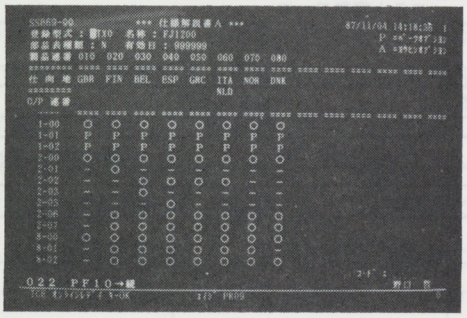


②類似部品検索

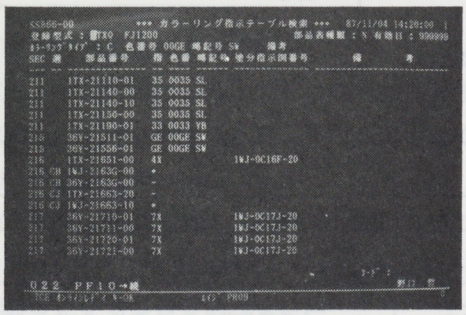


(2)オプション／カラーリング検索

①仕様解説書A

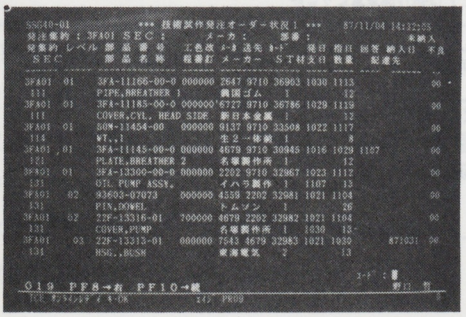


②カラーリング指示テーブル検索



(3)試作状況検索

①発注オーダー状況



この情報検索は，利用者別に検索出来る範囲を限定している。(セキュリティ管理の項参照)

また数多い項目の中から利用者が必要とする項目だけを表示する機能（部品表検索）や，相違点を表示する機能（部品構成相違点検索），条件を指定して類似品を表示する機能（類似部品検索）なども用意されている。

3－3　コスト開発支援

技術部門のコスト開発は，ＢＡＳＥを使って次のように展開される(**図６**)。製品単位のコスト開発が基本である。この段階においては，コスト開発原簿及びＰＹＭＡＣと密接な関連を持つため，原価企画部門や，購買部門の協力がぜひ共必要になってくる。

(1)設計見積コストの登録

計画部品表の登録段階（公開前）で，製品としてのトータルコストを見積る。

このステップでは技術部門が専用品について設計見積コストをＢＡＳＥに登録。次に生産共通品について画面からの指示によってＰＹＭＡＣからコストを取り込み，部品～Assy～セクション～製品とシステムを使って積上げ，製品のコストを算出する。

(2)目標コストの取り込み

計画部品表が公開されると，原価企画部門で目標コスト設定作業を行う。

原価企画部門では，計画部品表をシステム援助でコスト開発原簿に取り込み，構成等を勘案して目標コストを煮詰めていく。目標コストが正式決定するとコスト開発原簿からＢＡＳＥへ取り込み，技術部門では製品トータルでの目標コストの把握が可能となる。

(3)検討コストを基にコストの造り込み

試作段階に進み試作図が出図されると，購買部門が検討コストを設定し，コスト開発原簿に登録する。

技術部門では，ＢＡＳＥにこの検討コストを取

り込み，製品のトータルコストが目標コストを達成したか確認する。未達成のとき，設計変更や購買との話合い等で対策し，その変動分をＢＡＳＥに登録，再積上げして目標コスト達成を確認していく。

この段階での作業がいわゆるコスト造り込みであり最も重要な作業である。

(4)決定コストの確認

開発はその後，生産切替→生試→立上りと進む。

技術部門では，生産切替後，ＰＹＭＡＣに登録された決定コストをＢＡＳＥに取り込み，設変によるコスト変動を加味しながら，最終的な製品トータルコストを確認する。

これらのステップは，コスト開発モデルのコスト造り込みであるが，ＢＡＳＥでは，コスト開発モデル以外の機種についても技術部門主体でコスト造り込みが出来るようになっている。

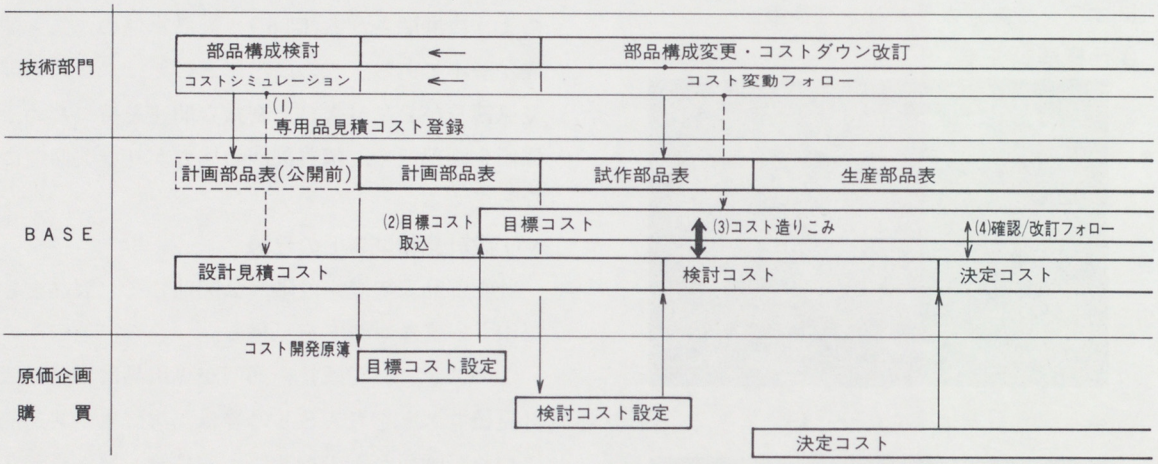


図6　コスト開発の流れ

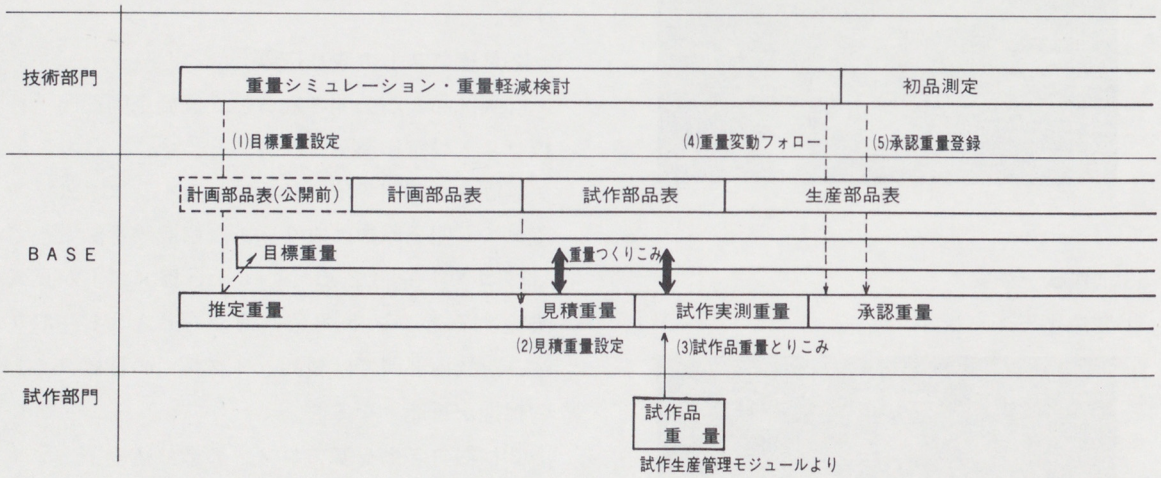


図7　重量管理の流れ

3－4　重量管理支援

重量は技術部門の主要開発目標のひとつである。すなわち重量軽減がコストダウンに直接結びつき，且つ性能等に与える影響も大きい。

しかし，従来の重量管理は，重量情報が個人管理であり，その集計も手計算に頼るという状態で効率的ではなかった。今後の技術部門での重量造り込みはＢＡＳＥを使って次の様に展開される。(図７)

(1)部品別目標重量の設定

計画部品表登録時に，部品別に推定重量を登録し，重量集計機能を使い製品トータルの推定重量を算出する。これとあらかじめ決められている製品トータルの目標重量を比較しながら，部品別に推定重量を調整して目標重量へ仕上げていく。

(2)見積重量の設定

試作段階に進み試作図に基いて，より精度の高い重量を見積り登録する。この時点で，製品トータルの見積重量が，目標重量を達成しているか確認し，未達成の場合には，具体的対策を立案実施する。

(3)試作実測重量による検討

試作品の納入が始まると，その試作品の重量(試作実測重量）が試作生産管理システムによって自動的に部品表に取り込まれる。

前項同様，集計を行い目標重量達成のための検討を行う。

(4)設変による重量変動フォロー

その後，生産切替→生試→立上りと進むが，技術部門では設変による重量変動を見積重量として登録し，常時製品トータルの重量推移をフォローする。

(5)承認重量の登録

生試又は立上りの初品は，技術部門で測定し承認重量として登録する。この時点で最終の重量把握が完了する。

承認重量は次期モデル開発の重要な情報として蓄積される。

承認重量は，初ロット納入時に製造部門又はメーカーの協力を得て，測定登録されるのが望ましい。そうすることにより，重量把握がシステム化され，洩れの防止や精度アップが図られる。そして生産設備や，搬送設備などの基礎データとして広く製造部門でも重量情報が活用出来るようになる。

4．製造部門でのＢＡＳＥの活用

4－1　製造情報登録援助

技術と製造の製品相関を維持管理するためＩ－ＤＢ(Interface Data Base)を設けて製造情報登録援助を行っている(図８)。

ＰＹＭＡＣの製品コード（６桁－４桁）が，ＢＡＳＥのどの製品に対応するかを情報として持ち，技術情報の伝達や，製造情報のフィードバックが効率よく正確に行える仕組となっている。

また，仕向地ごとの立上り，打切年月日管理を導入し，生産計画立案時の精度向上を図るほか，登録援助，部品表照合が，Ｉ－ＤＢ機能によって簡素化され，製造部門業務の効率アップ，処理コストの低減に貢献している。

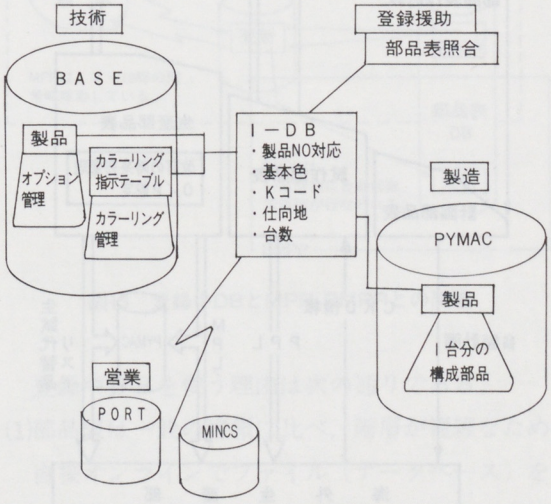


図８　Ｉ－ＤＢを使った製造情報登録援助

4－2　ＣＫＤ業務支援

海外生産部で発行している

ＰＰＬ（現地用製造検討部品表＝Parts Procurement List）

ＭＰＬ（現地用製造部品表＝Master Parts List）

ＲＯＭ（変更点リスト＝Revision Of MPL）

は試作部品表，生産部品表，改訂通報などを基に作成されているにもかかわらず，システムサポートがほとんどない。また自製変更において部品表改訂と現地での改訂織りこみにタイムラグもあって業務に支障をきたしていた。

ＢＡＳＥではＣＫＤ業務支援としてＢＡＳＥの部品表にＣＫＤ情報を追加登録して，ＰＰＬ，ＭＰＬ，ＲＯＭをシステムから自動的に作り出す機能とした(**図９**)。また，改訂については時系列管理を行い自製のタイムラグがあっても発効日，失効日機能によって矛盾なく管理がなされるようになっている。

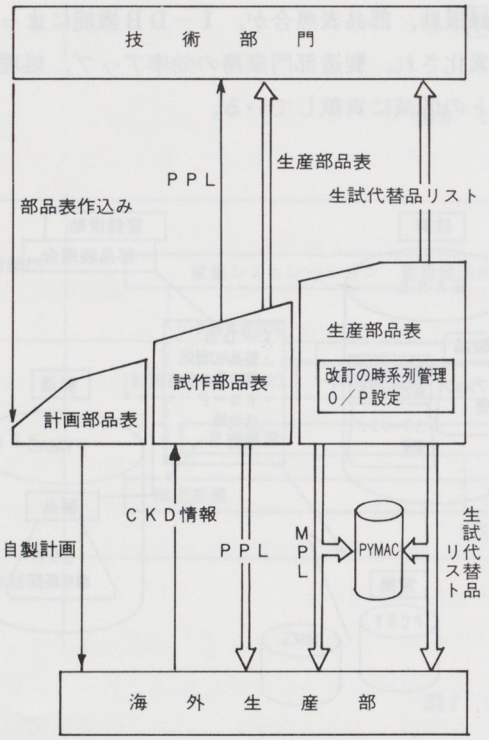


図９　ＣＫＤ支援の概念

５．試作部門でのＢＡＳＥの活用

５－１　発注所要量展開

従来ハンド処理で行われていた試作部品の発注数算出を試作部品表を使ってシステムが自動的に行う(**図10**)。一般的には，組立台数に部品毎の員数を掛け合わせて発注数が得られるが，試作部品特有の機能として，次の機能を組みこんでいる。

(1)エンジンAssyのみの所要量展開

製品全体ではなくエンジンAssyのみの所要量展開が可能である。この場合，エンジン関連の部品のほか，電装部品など関連の部品についても試作部品表を参照して所要量を自動計算する。

(2)組替試作所要量展開

試作部品表と基本車となる生産部品表を比較して異なる部品についてだけ所要量を自動計算する。

(3)スペアパーツの加算

設計者が試作部品表登録時点で入力したスペアパーツの数量を自動的に加算する。

組立計画台数３台

スペアパーツオーダーD/B

構成行	P/NO	注文数
0 1 0	A	2
0 2 0	F	3
0 3 0	G	2

構成行	P/NO	員数	組立用所要量	スペアパーツ所要量
010	A	1	3	2
01	B	1	3	2
01	C	2	6	4
02	D	2	6	4
01	E	1	6	4
020	F	2	6	3
030	G	2	6	2
01	H	1	6	2
02	I	2	12	4
01	J	1	12	4
02	K	2	24	8
040	L	1	3	0

図10　発注所要量展開

5－2　工順展開

部品は普通いくつかのメーカーや社内の工程を経て納入される場合が多い。この経路（工程順序—工順—という）を決めるのが工順展開であり，次の様にシステムでサポートしている。

(1)生産部品については，ＰＹＭＡＣ部品表の工順を自動的に割り当てる。

(2)試作部品については，過去の試作部品の発注実績あるいは，あらかじめ用意した標準的な工順を画面に表示し，発注担当者がそれを参考にして追削／変更を行い最終的に決定する。

この機能により，従来のように資料やファイルを見たり，その都度考えたりする手間がなくなりスピードアップ，精度向上が図られる。

またこの作業で工順が決定すると，この画面から引き続いて発注指示を即時にかけられる仕組になっている。(**図11**)

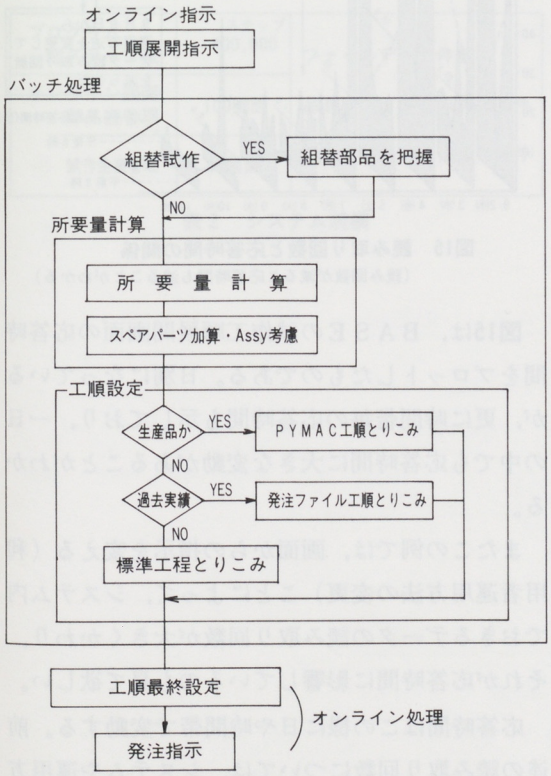


図11　試作発注の流れ

6．ＢＡＳＥシステムのメカニズム

6－1　オンラインによる部品表更新

ＢＡＳＥでは，オンラインによる部品表更新を行っているが，実際の処理はオンラインリアルタイム（ＭＰＰ）とオンライン環境下で動くバッチ処理（ＢＭＰＰ）の組合せである。(**図12**)

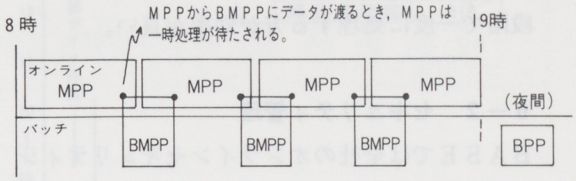


図12　ＭＰＰとＢＭＰＰの関連

ＭＰＰとＢＭＰＰを関連づけるファイルとして登録中データベース（登録中ＤＢ）を存在させ，利用者は，オンラインで必要な情報を登録中ＤＢに読み込み，そこで更新する。

一定時刻になるとＢＭＰＰに自動起動がかかり登録中ＤＢの内容で，本番のＢＡＳＥ部品表が更新される。(**図13**)

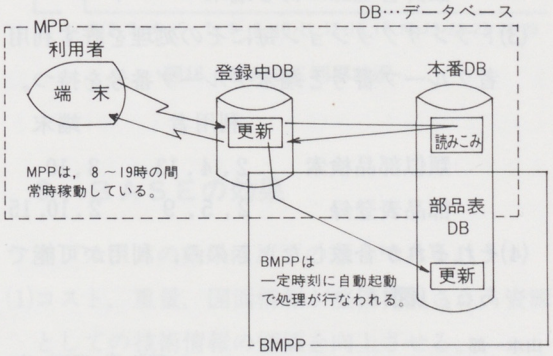


図13　登録中DBとMPP，BMPPとの関連

登録中ＤＢを使う理由は次の通りである。

(1)部品表は一般の情報に比べ，階層が複雑なため直接オンラインでファイル（データベース）を更新すると時間がかかりすぎる。

(2)部品表は，１レコードの更新よりもまとまり単位（例えばセクション単位）で作成される場合

が多く，そのまとまり単位全部が完了するまで利用者預りとした方が便利である。

(3)仕事の都合で仕掛りとなる場合，登録中ＤＢに仕掛途中のままで残せるため，正規のデータベースの中に中途半端な状態を存在させることがない。

(4)システムのメカニズム的にも複雑なデータベースをその都度更新するより，内容が落ち着いた段階で一度に処理する方が効率が良い。

６－２　セキュリティ管理

ＢＡＳＥでは全社のオンラインセキュリティシステムを活用しデータの機密保護を図っている。

セキュリティ管理の概要は次の通りである。

(1)個人個人に利用者グループ番号が与えられる。

	（利用者グループ番号）
山本一郎	5
田中花子	8

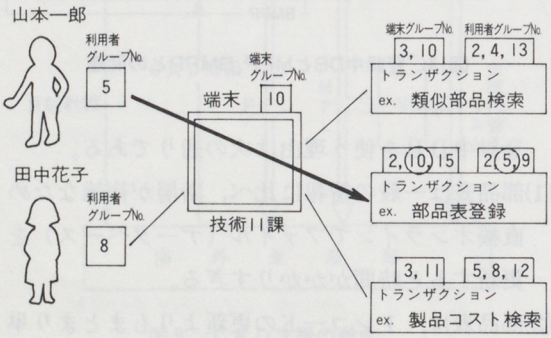
(2)各端末に端末グループ番号が与えられる。

	（端末グループ番号）
技術11課のある端末	10
設計管理課のある端末	7

(3)トランザクション毎にその処理を許す利用者グループ番号と端末グループ番号を持つ。

	利用者	端末
類似部品検索	2，4，13	3，10
部品表登録	2，5，9	2，10，15

(4)それぞれが合致したときのみ，利用が可能である。（**図14**）



上記図では，山本さんが部品表登録を実行する場合のみ可能となる。

図14　セキュリティ管理

またＢＡＳＥでは，このほか，コスト情報については，画面のハードコピーが出来ない，コストを含む画面のハードコピーはコストは印刷されない等のプリント不可機能を織りこんでいる。

６－３　ＢＡＳＥの応答時間

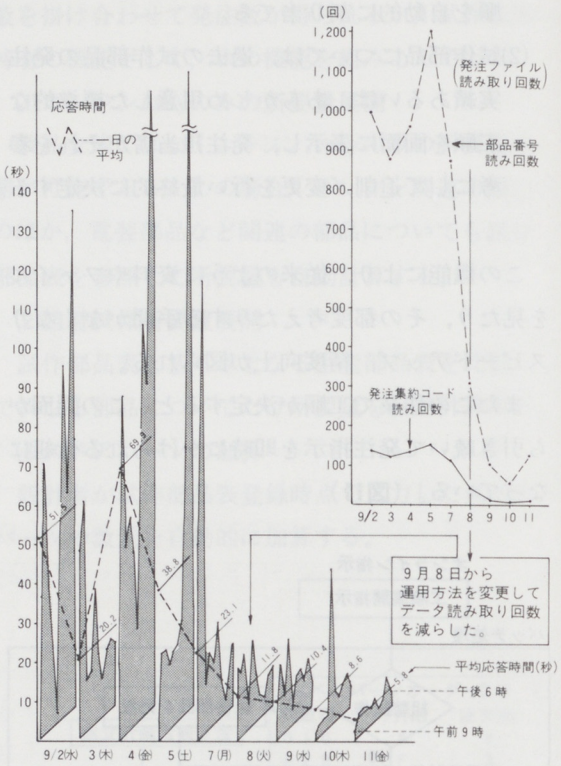


図15　読み取り回数と応答時間の関係

（読み回数が減ると応答時間も減ることがわかる）

図15は，ＢＡＳＥの試作工順展開画面の応答時間をプロットしたものである。日別になっているが，更に時間帯毎の応答時間も示しており，一日の中でも応答時間に大きな変動があることがわかる。

またこの例では，画面からの指示を変える（利用者運用方法の変更）ことによって，システム内でおきるデータの読み取り回数が大きくかわり，それが応答時間に影響しているのも見て欲しい。

応答時間はこの様に日や時間帯で変動する。前述の読み取り回数については，システムや運用方法の問題であり，解決されれば一律に応答時間は

短くなる。日や時間帯での変動の一番大きな要因は，スケジューリング待ち時間の変動である。

スケジューリング待ちは，多くの道路から，ひとつの入口しかない駐車場に入るときに，待たされるのに似ている。クルマが多ければ（情報が一時期に集中する現象）渋滞するし，駐車場の中でモタつくクルマ（処理が複雑，読み取り回数が多い）があると余計に待たされる。

ＢＡＳＥでは３本の専用道路（システム内ではパーテションという）を持っているが，この道路が渋滞してしばしば迷惑をかけることがあった。

７．システム規模と利用状況

ＢＡＳＥの規模は**表２**の通りである。プログラムの総ステップで見るとＰＹＭＡＣの４割程度の大きさである。利用状況として９月のトランザクション件数を**図16**に示す。

プログラム 総ステップ数	ステップ 400,000	ファイルデータ件数
オンライン画面 部品表管理	100画面	品目マスター　430,000件
試作生産管理	40画面	構成マスター　1,570,000件

表２　システム規模

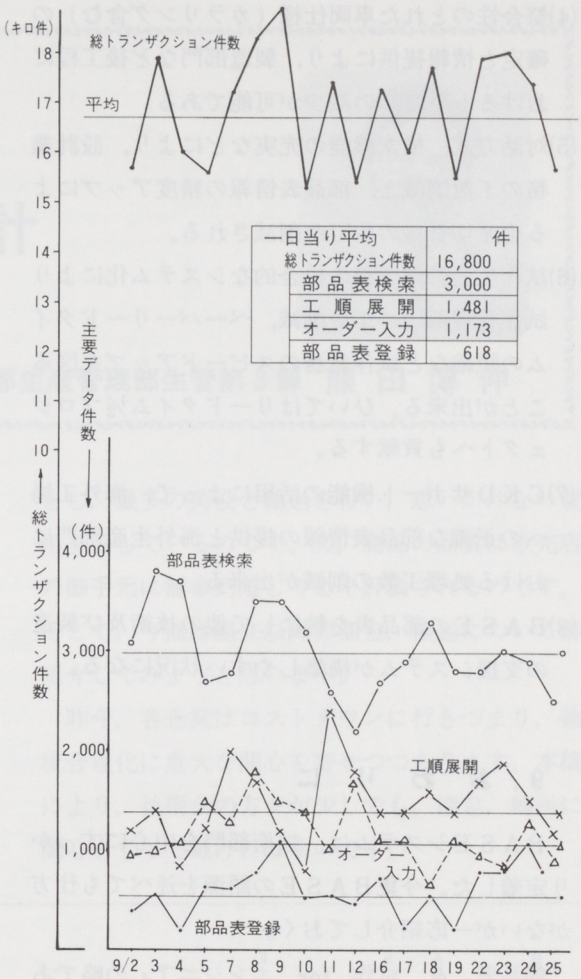


図16　ＢＡＳＥ利用状況

８．ＢＡＳＥの効果

本システムの効果は以下の通りである。

(1)コスト，重量，図面情報が整備充実され，資源としての技術情報の価値を向上させる。

(2)計画段階から部品表情報を共有化することによって，早い時期から技術／製造の両部門が並行して生産準備に入いることが出来る。これらの実現によって計画重視への体質改善の一歩となる。

(3)コスト／重量の造り込み支援によって，コスト意識の高揚を狙い，その実現によって，最終的に，製品のコストダウンへとつなげていく。

(4)整合性のとれた車両仕様（カラリング含む）の確定と情報提供により，製造部門など後工程におけるトラブルの減少が可能である。

(5)対話方式，検索機能の充実などにより，設計業務の工数削減と，部品表情報の精度アップによる生産切替後の改訂が削減される。

(6)試作生産管理業務の総合的なシステム化により試作管理部門の工数削減，ペーパーリードタイムの短縮など試作業務のスピードアップを図ることが出来る。ひいてはリードタイム½プロジェクトへも貢献する。

(7)ＣＫＤサポート機能の活用によって，海外工場への正確な部品表情報の提供と海外生産部門における処理工数の削減が出来る。

(8)ＢＡＳＥの部品表を軸にして他の技術及び製造の支援システムが構築しやすい状況になる。

9．おわりに

ＢＡＳＥシステムは，技術部門を中心にすっかり定着した。今更ＢＡＳＥの語源を述べても仕方がないが一応紹介しておく。

『部品表(B) &(A) 試作(S) for エンジニア(E)』の略である。語源はともかく，BASE部品表が企業活動の最も上流に位置する情報としてあらゆる技術情報，さまざまな技術支援システムの真の〝礎(BASE)〟とならんことを願っている。

部品表システムというのは，地味なシステムだといつでも思う。稼動しはじめてまだ数ヶ月，きわだった効果は出ていない。目的のところで掲げたメリットは，まだまだこれからの話であろう。メリットを本当に出すには，ＢＡＳＥの設計思想を，より多くの利用者が理解し，それに沿った使い方をする事から始まる。

端末の前で部品表を造り込む。入力作業を代行しているのではない。大型コンピューターを個人個人が直接使える様になったのだ。そう思って欲しい。

そして生産性向上のみならず，情報品質の向上にも役立てて頂きたい。

最後にこのＢＡＳＥシステムの開発にあたって，多大なご支援を頂いた技術部門，製造部門のタスクフォースメンバー，サポートメンバーの方々など多くの人達とその上司の方々に謝意を表したい。ありがとうございました。

梱　包　設　計

生産本部生産管理部生管第３課　熊　田　博　仲

１．は　じ　め　に

技術会に，入会されている方々の，大部分は，商品開発あるいは，生技，製造の技術部門に，携わっている事と思います。

従って，商品の組立が完了し完成検査に合格すれば，我事足れりと思われているのではないでしょうか。

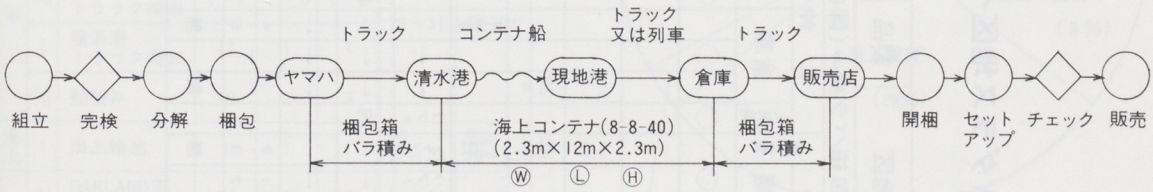
しかし，そこから販売店まで到着するには梱包をし，幾多の荷役と輸送を行い，思いがけない費用を要しているのです。又，商品の品質は販売店の御手元に無事到着してこそ評価されるのです。そこで，今回は組立以降の梱包，輸送について御紹介してみようと思います。

昨今，各企業はコストダウンに行きづまり，物流合理化に重大な関心を寄せつつあります。本稿により，技術会の方々が少しでも，梱包，輸送に関心をもって載ければ幸いです。

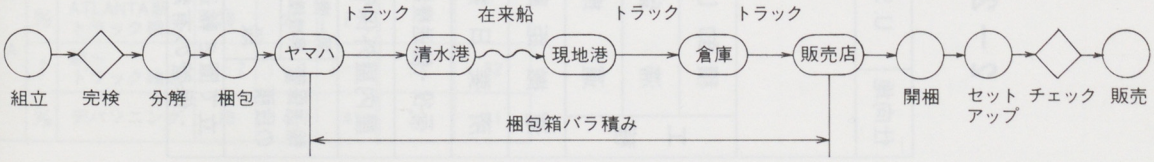
２．組立以降の物流（輸出の場合）

２－１　代表的な流通経路

先進国（ＵＳＡ・カナダ・欧州・大洋州）



後進国（アフリカ・中近東・中南米・中国）



2－2　USAダラス地区へ運ぶ詳細経路

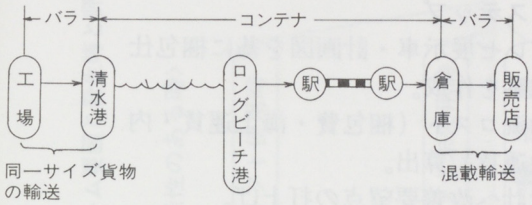
仕向地	U.S.A. ダラス地区	製品	M／C CBU. ATV

物流工程表

		梱包箱バラ積み（国内物流）														海上コンテナ単位の荷扱い																梱包箱バラ積み（現地物流）												計
		ヤマハ				東名	乙仲清水									コンテナヤード				海上輸送	ロングビーチコンテナヤード			横持ち	貨物駅			貨車輸送	最寄駅			横持ち	ダラスウェアハウス								末端輸送	デーラー倉庫			
		梱包場	出荷場				入荷場	倉庫			出荷場				コンテナ詰め	横持ち	船着場																ジバン	倉庫			出荷準備								
工程	積卸し		○		○		○		○		○		○		○		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		Ⓒ		○		○		○		○		○		○		バラ13回 コンテナ8回
工程	滞留			○						○				○				Ⓒ				Ⓒ				Ⓒ				Ⓒ						○				○			○	バラ6回 コンテナ4回
工程	運搬	○				○		○				○				Ⓒ				Ⓒ				Ⓒ				Ⓒ				Ⓒ		○				○				○			バラ7回 コンテナ5回
運搬距離		20 m				100 km		30 m				30 m				1 km				1万 km				50 km				2500 km				30 km						30 m			最長1200 km			
所要日数				0.5日		0.5日				不確定				1～2日				1～2日		10日		7～12日		1日		1～3日		5日		1～3日		1日				不確定			2日		1日		不確定	
荷役・輸送機器		リフト	←		リフト	トラック	リフト	←	←		リフト	←	←		リフト	トラック	リフト		クレーン	貨物船	クレーン		リフト	トラック	リフト		リフト	鉄道	リフト		リフト	トラック	リフト	←	←		リフト	←	←		リフト	トラック	リフト		
屋内屋外保管		内	←	←	←	←	内	←	←	←	内	←	←	内	←																		内	内	←	←	←	内	←	←	←		(外)	(外)内	
輸送保管の段積	同一機種か異機種か	同	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←																		同	←	←	同(異)	同	←	←	同(異)	同(異)	(異)	(異)	(異)	
輸送保管の段積	段数	2～3	←	←	1～2	2～3	←	←	←	4～6	2～3	←	←	←	1～4																		1～4	2～3	←	4～6	2～3	←	←	4～6	1～2	2～4	1～2	1～3	
立て置き輸送・保管の有無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		無		(有)		(有)	

2－3　USAダラス地区への流通経路及び荷扱い状況

流通経路



荷扱状況

	バラ荷	コンテナ	合計
積　卸　し	13回	8回	21回
滞留・保管	6	4	10
運搬・輸送	7	5	12

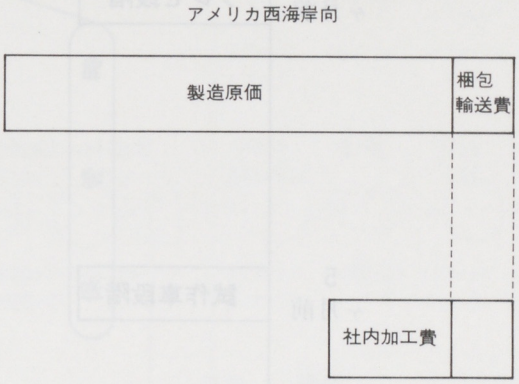
2－4　輸送中の衝撃，湿度

夏期実地輸送テストにおける衝撃値・温湿度

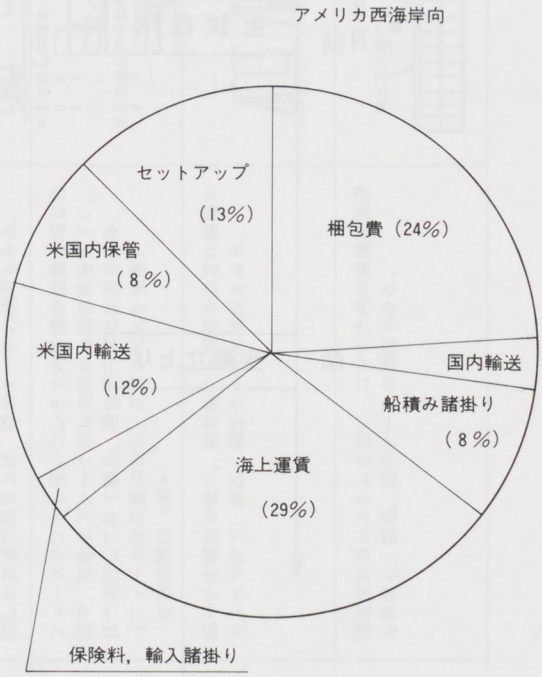
区分	日付	作業内容	衝撃値(パレット) 上下	前後	左右	温湿度(梱包内) 温度	湿度
日本	8/29	Ⓨ社内トラック積込	15G	2G	3G	31℃	74%
	8/30	Ⓨ～清水港トラック輸送	1～2	1～2	1～2	29～31	73～74
	↑	清水港トラック荷卸	13	1～2	1～2		
	9/3	清水港コンテナ詰め	14	2	1	29～31	74～80
	9/5	清水～横浜トラック輸送	1～2	1～2	1～2	29～31	74～80
	↑	横浜港トラック荷卸	17	1	1		
	9/6	船積み	19	2	3		
海上	〃	海上輸送	1	1	1	9/16 20～23	9/16 78～87
USA	9/16	OAKLAND港荷揚げ	34	5	7		
	9/17～9/26	貨車輸送	5～8 15X3回	5	2～3	9/25 26～34	Max (9/19) ⑨0
	9/26	ATLANTA駅荷卸し	10	2	2		
	9/27	ATLANTA駅トラック積込	㊳	2	2		
	↑	駅～トラック輸送	1～2	1～2	1～2	33	82
	9/30	デバソニング	10	4	4	32	81

3．組立以降の費用

3－1　製造原価と梱包輸送費との関係



3－2　梱包輸送費の内訳け



4．梱包設計の手順

7～10ヶ月前　プレゼ段階

第1ステップ
- ○プレゼ展示車・計画図を基に梱包仕様案を作成。
- ○物流コスト（梱包費・海上運賃・内陸運賃）算出。
- ○設計へ改善要望点の打上げ。

5ヶ月前　試作車段階

第2ステップ
- ○試作車による梱包仕様の検討。試作，評価。
- ○設計へコストとの関連による改善要望点打上げ。
- ○分解同梱品の大枠決定。

2ヶ月前　生試段階

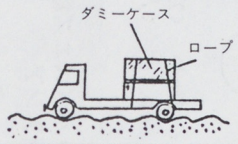
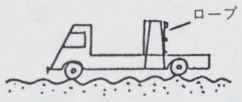
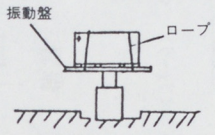
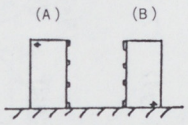
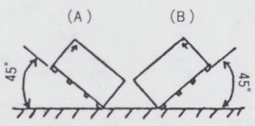
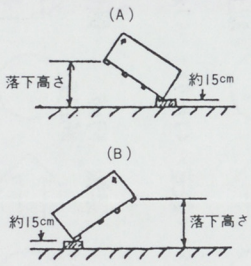
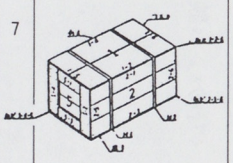
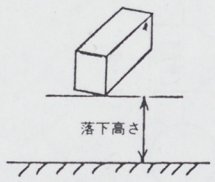
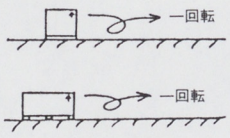
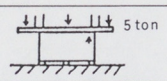
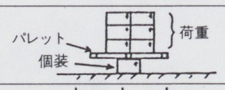
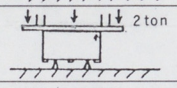
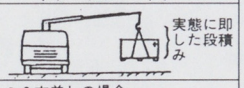
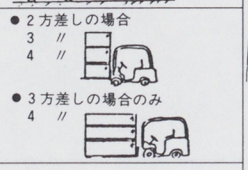
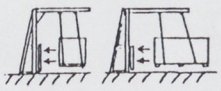
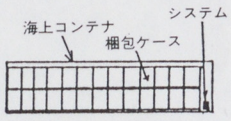
第3ステップ
- ○生試車による梱包生試・分解，梱包，開梱，セットアップ評価。
- ○分解同梱品の最終決定。
- ○強度テストによる評価。
- ○梱包仕様設計図・包装仕様書作成。
- ○関連部署への連絡・調整。

生　産　生産立上り

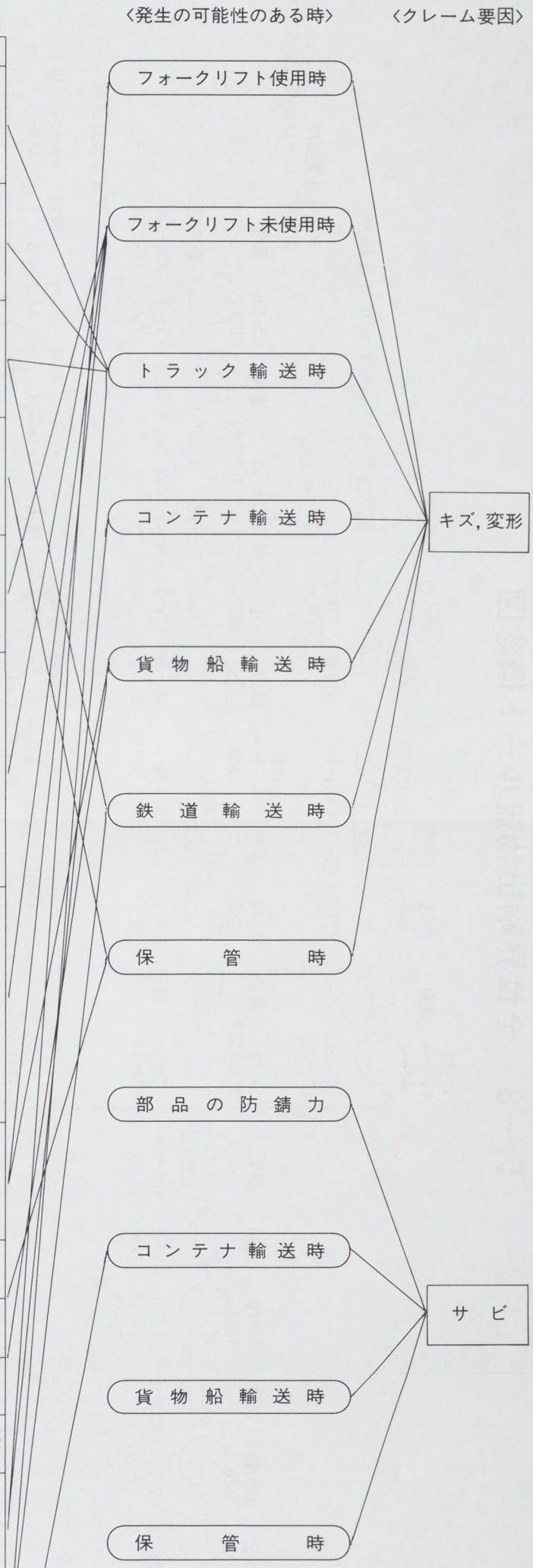
第4ステップ
- ○梱包に関係する設変の把握・折込み。
- ○生産初号機での梱包仕様最終確認。

5．梱包仕様の評価

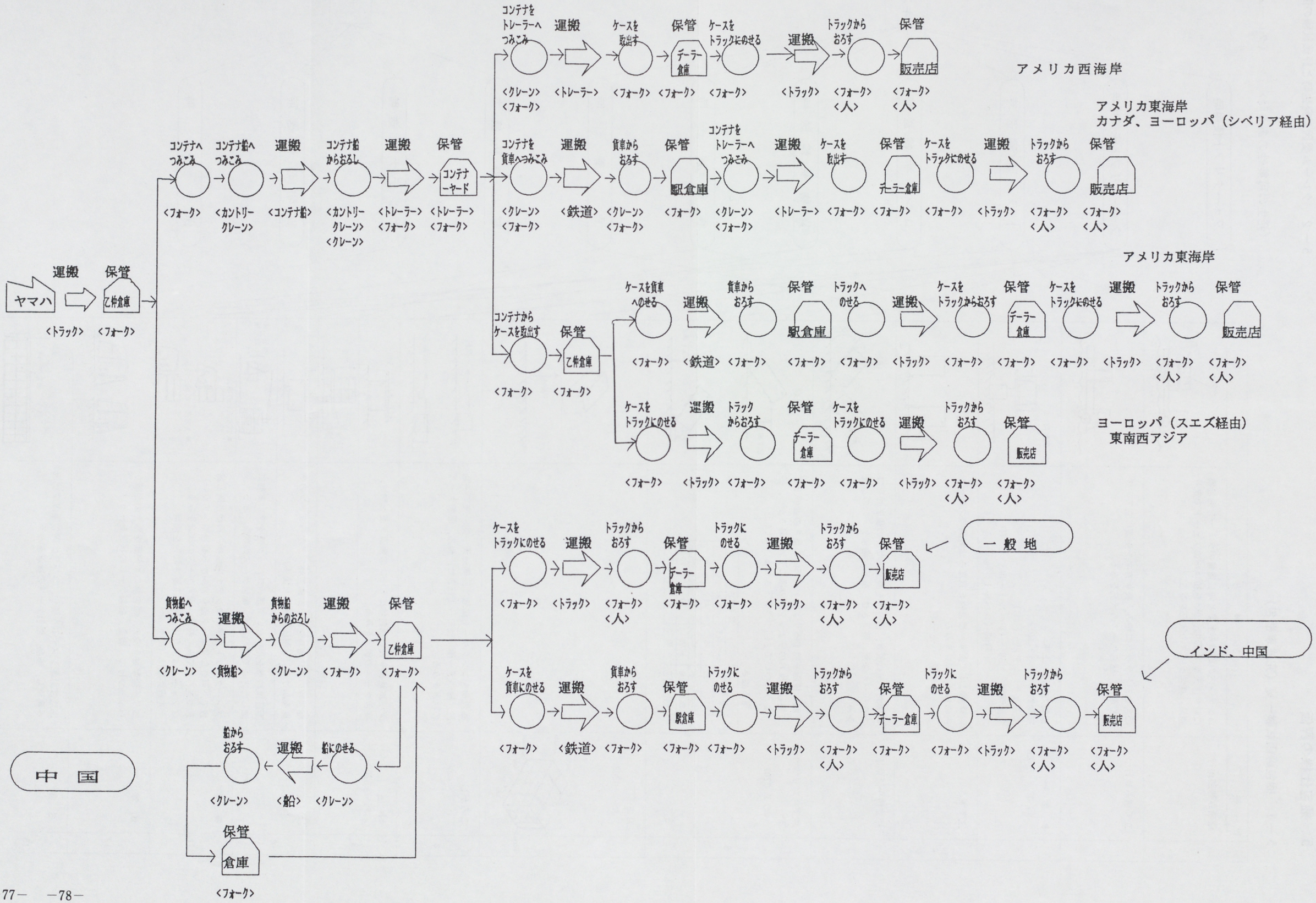
5－1　梱包評価試験一覧（完成車梱包）

	試　験　名	試　験　方　法	略　図
1	段積み悪路走行	コンテン内の段積み重量と同じ重量のダミーを梱包物に載せ，天竜川河川敷10kmを30km/Hのスピードで走り，製品，梱包ケースの状況をみる。	
2	立て積み走行	梱包物をトラックに積み，長手方向を垂直に立てて走行し製品，梱包ケースの状況をみる。	
3	振　動 JIS-0232-方法B	振動方向　上下 振動数　5～10Hz 加速度　9.8m/s（1G） 加振時間　30分（レベルⅠ・Ⅲ）　Ⅱ 1時間（レベルⅠ）	
4	立て置き	両棲面に床に置き，梱包物を直立させ製品のクレート内の移動，ズレをみる。 時間……5分間	
5	片支持平面落下	両棲面を床に置き，梱包物を直立させその後底面をコンクリート床面に落下させ，製品，梱包ケースの状況をみる。	
6	片支持対りょう落下 JIS-Z-0202	下面と棲面を接するりょうを約15cmの高さの台の上に支持し，反対のりょうを図の様に下表の高さから，各りょうについて2回づつ落下させる。（計4回） **落下高さ** 総重量kg　落下高さcm　レベルⅠ　レベルⅡ　レベルⅢ 101～125　65　45　30 125～250　55　40　25 251～500　40　30　20 501～1000　30　20　15	
7	自由落下 JIS-Z-0202 		
8	ころがし	梱包物をコンクリート床面で，側→天→側→底で一回転，棲→天→棲→底で一回転させ，製品，梱包ケースの状況をみる。	
9	耐　圧 JIS-Z-0202	耐圧試験機を使い梱包物に5トンの垂直荷重をかけ，梱包ケースの状況をみる。	 
10	スリング	梱包物の下に治具をかい，梱包物の上から5トンの荷重をかける。（耐圧試験機を使用） 耐圧試験機を用いない方法。ユニック車を使い実態に則した方法で吊り上げ，梱包ケースの状況をみる。	 
11	荷　役	フォークリフトを使いコンテナ内段積み段数と同じ段数で，可能なフォーク差し方向から梱包物をすくい，且つ走行してみて製品，梱包ケースの状況をみる。 （フォークは爪長1070m/m，爪厚さ40m/mを使用） 走行距離は 100m	
12	衝　撃	振り子衝撃台を使い，梱包物の4側面を指定の距離からぶっつけて，製品，梱包ケースの状況をみる。	
13	湿　度	温湿度計測システムを使い，コンテナ内の温湿度状況を再現し，製品，梱包ケースの状況をみる。	

5－2　クレーム要因と発生時と評価試験の関係



5－3　全世界輸出物流ルート概念図

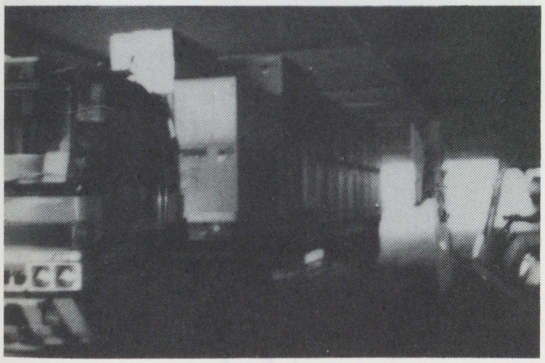


5－4　評価試験選択一覧表（完成品梱包）

	選択			M／C・CBU					
				走行	立置	衝撃	片平	荷役	
新機種		AA（新モデル）		○	○	○	○		
		A（モデルチェンジ）		○	○	○	○		
		BC	固定部変更	○	○	○			
			分解変更	○	○	○			
			固定方法変更	○	○	○			
合理化クレーム対策		新梱包材		○	○	○			
		新分解仕様		○	○	○			
		新固定方法		○	○	○			
		新輸送・荷役方法		○		○		○	

6．荷役の状況

6－1　欧　米



ヤマハでのトレーラー積込み

清水港でのコンテナへの積込み

清水港でのコンテナ船積込み

コンテナ船よりの降し

コンテナのままの列車輸送

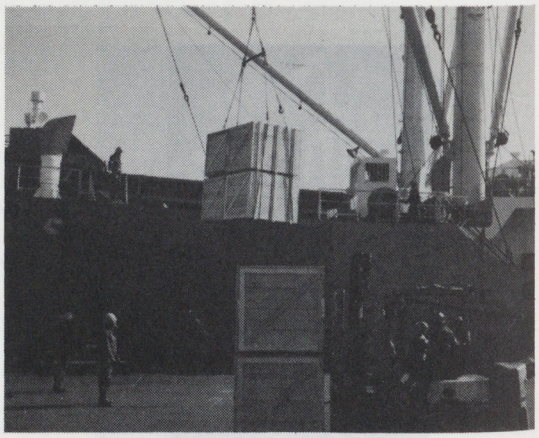
コンテナからケースを出し，貨物列車に乗せかえての輸送

販売店への輸送

コンテナのままトラックによる輸送

販売店での保管

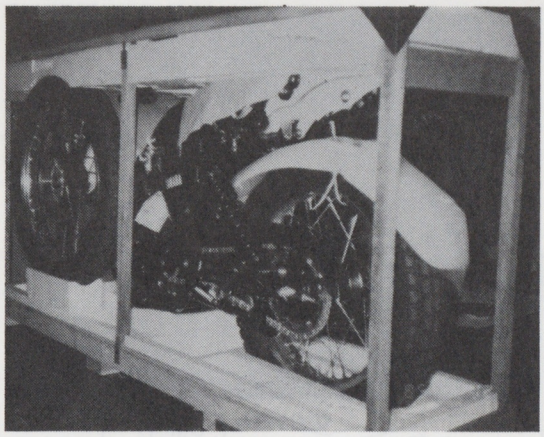
ウェアーハウスでの保管



貨物船への積込み

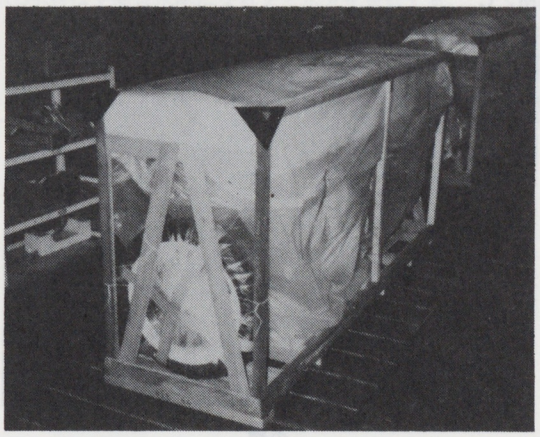
6－2　トラックによる悪路輸送

M／C



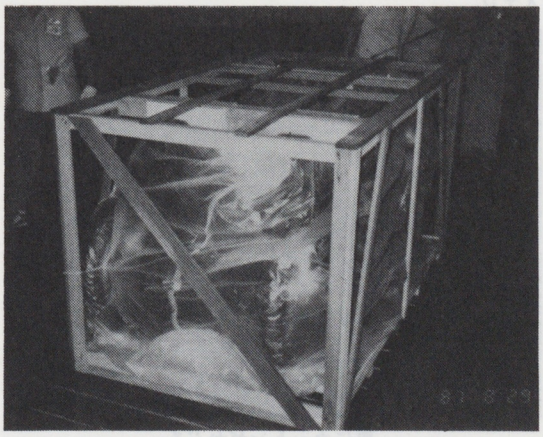
上下発泡カード(更にカートンがかぶる)

M／C



上発泡カートン(更にカートンがかぶる)

M／C



木枠カード(更にカートンがかぶる)

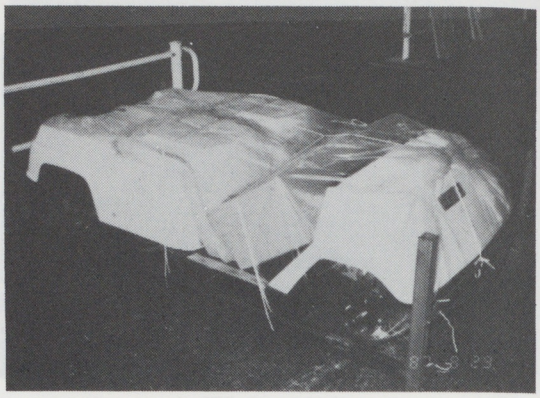
7．代表的梱包仕様

M／C		仕向地
発泡カートン	上，下発泡	コンテナ輸送地
	上発泡	
木枠カートン	1入	貨物船輸送地
	2入	
ワイヤーバンド	1入	
	2入	
	3入	
木箱		

M／C

ワイヤバンド

G／C

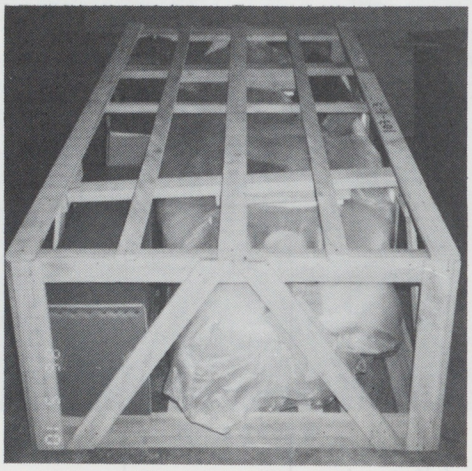


このまま出荷する

M／C

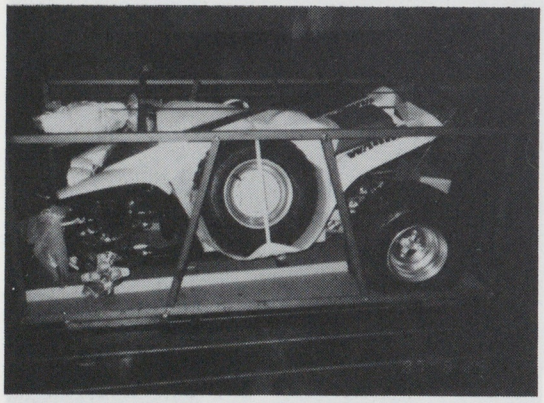
木箱

MMV



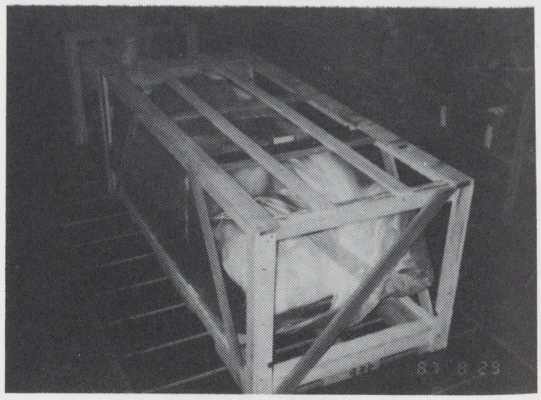
更にカートンがかぶる

ATV



更にカートンがかぶる

S／M



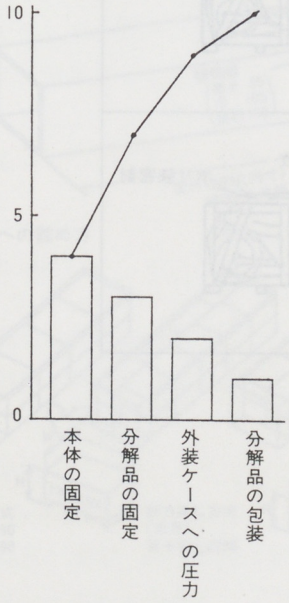
更にカートンがかぶる

輸用E／G

8．梱包設計の留意点

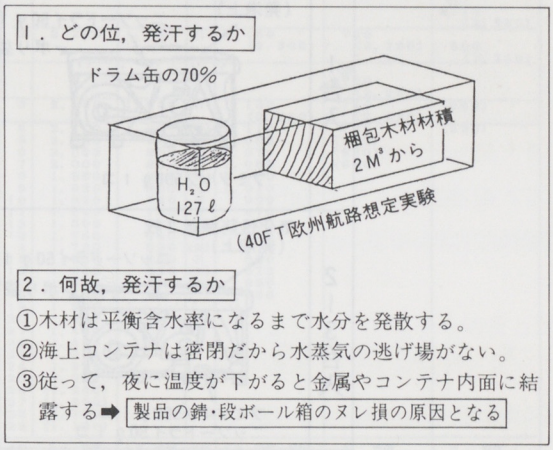
8－1　品質の保証

販売店に到着し，開梱してみた結果，破損，傷，汚れ，サビ，盗難の無き事が求められますが，我々の過去の経験からクレームの大部分は，破損，傷と，サビです。その中で破損と傷の原因は，下記の如くです。これらの発生を防ぐ為，前掲の評価テストを行っているのです。



又，サビについても，時たま問題が出ますが，その原因はコンテナ内水分の露結にあります。

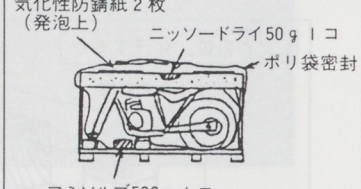
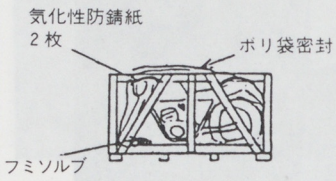
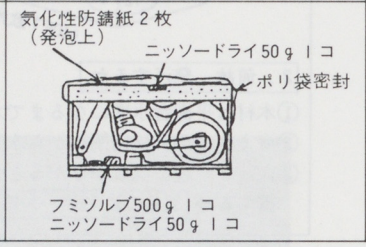
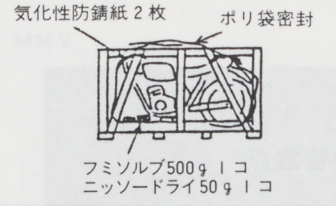
例えば40フィートコンテナに，木材主体の梱包ケースを一杯につめ，ヨーロッパに運ぶとすると，下記の様な水分の蒸発が予測されます。



当社のM／C梱包仕様は木材を多用している為，
下記の様な防湿法をとっています。

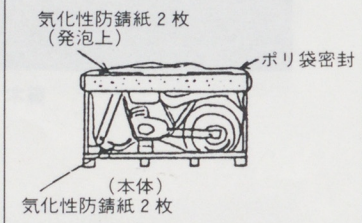
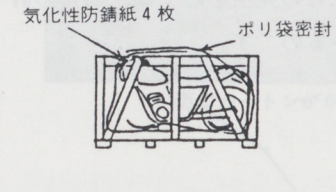
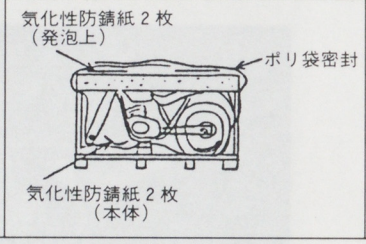
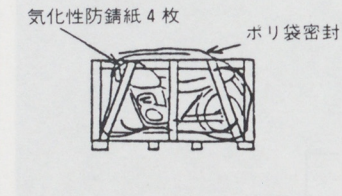
防湿包装方法 A

★仕向地――欧州，ＵＳＡ（東海岸），太平洋（パナマ経由）

	発泡カートン梱包（４）	木枠カートン梱包（６）
1台入		
2～3台入		

防湿包装方法 B

★仕向地――ＵＳＡ（西海岸），カナダ，ハワイ，グァム

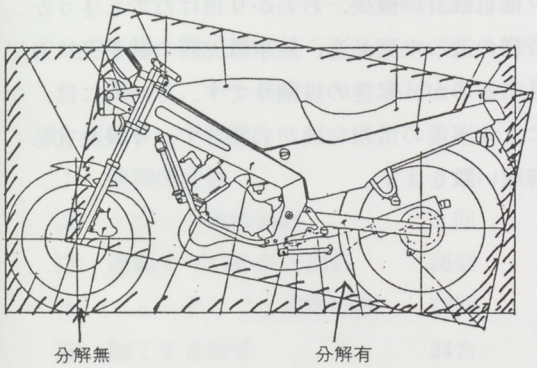
	発泡カートン梱包（４）	木枠カートン梱包（６）
1台入		
2～3台入		

8－2　輸送費の低減

国内運賃も，海上運賃も，運賃の決定要因は，立方積です。特にコンテナ輸送の場合は，どこからどこまで，1コンテナ当り，いくらと云う契約になっていますので，コンテナの中に何個の梱包ケースをいれられるかが，輸送費低減のポイントです。この為，下記の様な考えでコンパクトな設計を行なっています。

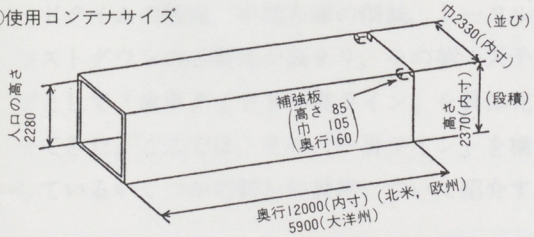
1）分解をしている。

分解しない場合と，した場合では，立方積は30％はちがいます。そこでオートバイは，一般的に完検後，分解をして梱包をしています。

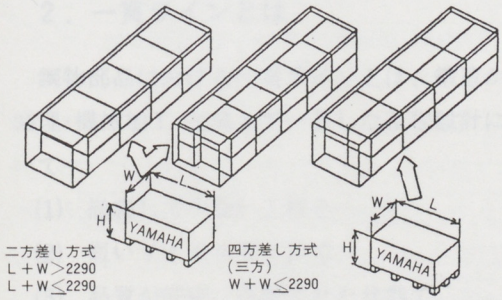


2）コンテナのつめ方のパターンをきめている。

①使用コンテナサイズ



②コンテナへの詰め方　(例)



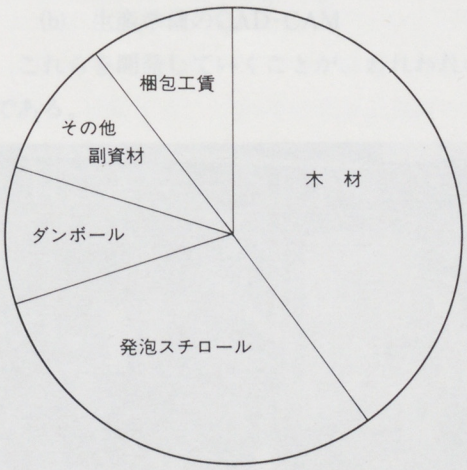
3）コンテナから割り出した下記寸法表より，ケースを選択している。

M／C－CBU外装ケース外寸設定寸法表

NO	L（長さ）	W（巾）	列数	H（高さ） 2段積／コンテナー 単 H（総 H）	3 単 H（総 H）	4 単 H（総 H）
	⑬ ★2，260					
	L	W		H	H	H
1	2，240	1，120	10	1，170 (2，340)	780 (2，340)	580 (2，320)
						⑬ ★570 (2，280)
2	2，200	1，080	11	1，150 (2，300)	760 (2，280)	560 (2，240)
					⑬ ★750 (2，250)	
3	2，160	1，040	11	1，130 (2，260)	740 (2，220)	(540)
4	2，120	1，000	(12)	1，110	720	(520)
5	2，080	960	12	1，090	(700)	
6	2，040	920	12	1，070	(680)	
7	2，000	880	13	1，050	(660)	
8	1，960	840	14	1，030		
9	1，920	800	(15)	1，010		
10	1，880	760	15	990		
11	1，840	720	16	970		
12	1，800	680	17	950		
13	1，760	640	18	930		
14	1，720	600	(20)	910		
15	1，680	560	21	890		
16	1，640	520	(23)	870		
17	1，600	480	(25)	850		
18	1，560			830		
19	1，520					
20	1，480					
21	1，440					
22	1，400					
23	1，360					
24	1，320					
25	1，280					
26	(1，240)					
27	(1，200)					
28	(1，160)					
29	(1，120)					
合計	25 実質 (29) 名目	17 実質＝名目		18 実質＝名目	4 実質 (7) 名目	2 実質 (4) 名目
				(計) 24 実質 (29) 名目		

8－3　梱包費の低減

梱包費の内訳けは，最も一般的な上発泡仕様について分析すると下記の通りである。



この中で，木材のコストダウンについては，

1）東南アジア輸入材から，米国，カナダよりの

輸入材への転用。（広葉樹から針葉樹へ）

2）合板の使用

3）スチールの使用

4）紙管等の使用

5）寸法の標準化

等により行っています。

発泡スチロールのコストダウンについては，

1）原料ビーズの輸入

2）金型設計のＣＡＤ化

3）発泡倍率の再検討

4）紙粘土の検討

5）標準化による共通化

等により行っています。

9．これからの梱包設計

商品設計及生産技術の設備設計から，比べれば梱包設計はまだまだ劣っています。

このレベルを上げるには，下記事柄が必要と思われます。

9－1　ＣＡＤを使っての梱包設計

商品設計の段階でＣＡＤを使い，梱包上の問題点をチェック出来る様にしたい。

9－2　ＣＡＭを使っての発泡金型設計

発泡の金型を図面から，造れる様にしたい。

9－3　梱包強度の理論解析

実験を中心として行っている強度評価をコンピューターを使って，理論的に解析したい。

10．お　わ　り　に

梱包設計の概要，おわかり頂けたでしょうか。皆様の造った商品を，無事販売店の御手元にお届けするのが，私達の役割りです。その為には，なにより事前の情報交換が必要です。今後共宜しく御願い致します。

歯車タイプ3一貫ラインの開発

―鋼物部品加工ラインの技術課題―

生産技術2課 小岸宣夫　生産21課 鈴木啓之　浜北・製造技術課 田中　隆

1．はじめに

これまで，ミッションギヤの製造工程は，いくつかの工場，建屋間を持ち回るなかでつくられてきた。例えば，ある歯車はその素材として，丸棒鋼を切断されて以降，

(1) 建物間移動　6回
(2) トラック運搬回数　3回
(3) 運搬カゴつめかえ回数　26回
(4) フォークリフト運搬回数　18回
(5) 加工する設備　24台

と実に多くの手間をかけてつくられている。

これを改革すると同時に，歯車の品質向上，リードタイムの短縮，中間在庫の削減，トータルのコストダウンの必要性が高まり，その第一ステップとして「歯車タイプ3一貫ライン」を具体化させてきた。ここでは，その「一貫ライン」を構成しているいくつかの新しい技術について紹介する。

2．一貫ラインとは

鋼物部品における一貫ラインとは、鍛造から熱処理・機械加工・完成まで一貫した工程設計に基づいて

(1) 徹底して少ない工程を
(2) 短いサイクルタイムで
(3) 品質が安定，保証された状態で
(4) リードタイムも短く

PYMACの思想に適合したラインとする。

その為の生産技術として次の基本的な技術開発が必要である。

(1) 機械加工を省く塑性加工の開発➡鍛造技術
(2) 高速・複合加工技術の開発➡加工技術
(3) 高い稼動を可能とする設備の開発➡設備技術
　(a) タイミングのよい搬送
　(b) シングル段取り技術(注)1
　(c) PQAラインのための計測技術(注)2
(4) 安定して生産できるよう支援するシステム➡量産技術
　(a) 故障の予防・復帰の迅速化
　(b) 生産準備のCAD・CAM

これらを開発していくことが、われわれの役割である。

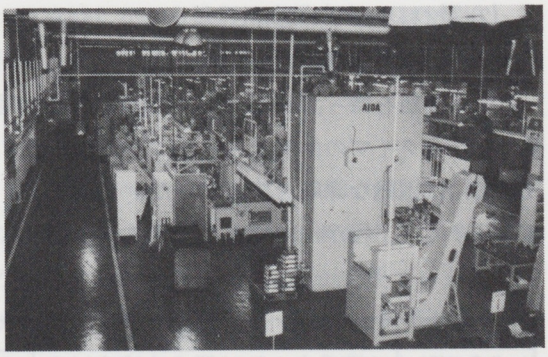


写真1　歯車タイプ3一貫ライン

注(1) シングル段取　TPM用語であり，A部品の良品を生産完了し，段取替をしてB部品の良品を生産開始するまでの時間が10分未満でできる内段取のことをいう。

注(2) PQAライン　TPM用語であり，Perfect Quality Assuranceの略であり品質を保証する為のあらゆる条件を備えたラインのことをいう。

3．歯車タイプ3一貫ライン

3－1　ラインのねらい

ミッションギヤは，形状により次の4つのタイプに分けている。

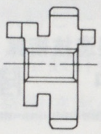
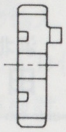
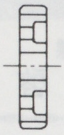
	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4
形状				
特徴	凸ドック シフター溝 内径スプライン	凸ドック 内径円筒	凹ドック 円板状	その他の歯車

図1　歯車分類

これらの各タイプの，従来の平均的な製造工程を比較すると次の**表1**のようになり

	タイプ1		タイプ2		タイプ3	
工程名	鍛造	機械加工	鍛造	機械加工	鍛造	機械加工
工程数	5	7	7	6	14	10
材料歩留り（%）	60		65		48	

表1　従来工程

なかでも，歯車タイプ3の工程は，

(1)　製造工程数が多い。

(2)　材料歩留りが悪い。

(3)　金型寿命が安定しない。

という問題を持っており，特に早期に改革を必要とされるタイプの歯車であった。またそれだけ技術的には困難な課題を持っていた。タイプ4は種類が多く，工程が一様でなく，比較からは除外した。

そこで歯車タイプ3の新しいラインを作る目標を次のように設定した。

	ねらい	方　策	効　果
Q品質	歯切精度向上	1ヶ歯切	JIS　5級 ↓ JIS　4級
Cコスト	1名/1直・1ライン 500Hr/月稼動	自動搬送・計測	管理ポイント 28点→10点
D納期	リードタイム短縮	工程数削減 （24工程→15工程）	8日短縮

表2　歯車タイプ3ラインの目標

3－2　技術課題

このような目標に向って解決すべき技術的な課題を具体的に次のように設定した。

技術課題	達成する為の手段
鍛造技術	＊ (1)　FD工法 ＊ (2)　FFD工法
加工技術	＊ (1)　Mチャック旋削 ＊ (2)　超硬ホブ切り (3)　バリ取り (4)　切粉処理 (5)　被削性を考えた熱処理
設備技術	(1)　高速旋盤6000rpm (2)　NC超硬ホブ盤 (3)　段取り技術 (4)　インライン計測 (5)　搬送装置 (6)　インライン熱処理
量産技術	(1)　故障診断 (2)　CAD・CAM技術 (3)　刃具摩耗検知補正・交換 (4)　生産モニタリング

表3　歯車タイプ3ラインの技術課題

これらのうち本稿では＊印の4つの項目について紹介する。

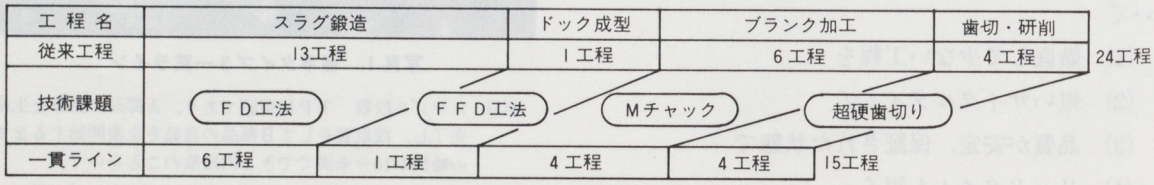


表4　歯車タイプ3ラインの工程

4．鍛造技術

4－1　ＦＤ工法（フローティング・ダイ工法）

タイプ３一貫ラインで開発した，高精度スラグを作る工法を「ＦＤ工法」とした。

(1)精度……従来との比較

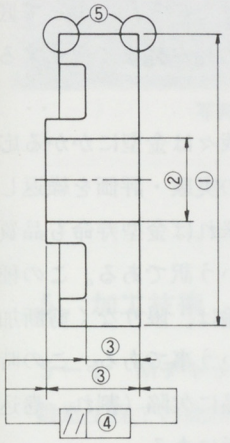


図２　スラグ形状

	従来	FD工法
①外径精度	±0.15	±0.10
②内径精度	±0.75	±0.10
③厚　み	±0.3	±0.20
④平行度	0.3	0.2
⑤外径形状	片側欠肉 片側バリ	全周均一

表５　スラグ精度

(2)ＦＤ工法の特徴

(イ)工　程

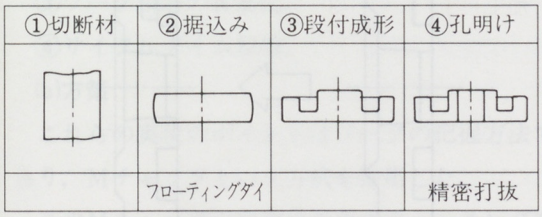


図３　新しいスラグ工程

この工程で精密スラグを製造する為のポイントとして②の据込み工程でフローティング・ダイ方式を採用した事と④の工程で精密打抜きをする為の型方案を採用した事があげられる。

以下この２方案についてその特徴を説明する。

(ロ)フローティング・ダイ方式

切断された材料の切断面は，破断面そのもので平行度，平担度は，非常に悪い。（平行度：１～3㎜ 平担度：1～1.5㎜）又剪断の際に大きな力が材料にかかる為（50～60kg／㎟）材料が押しつぶされ真円度，直角度も非常に悪くなる。（真円度1.5㎜，直角度1.5㎜）しかし，鍛造前素材の加工方法としては，最も歩留まりが良く（100%）生産性も高い（60ヶ／分）為この素材を使用している。

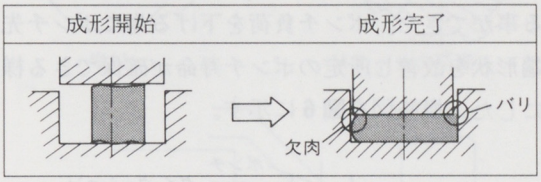


図４　従来のスラグ据込み

この様な切断材を固定された金型の中心に合わせる事は，至難の技であり，従来の鍛造方案では**図４**に示す如く極めて対称性を損ねた形状になってしまう。

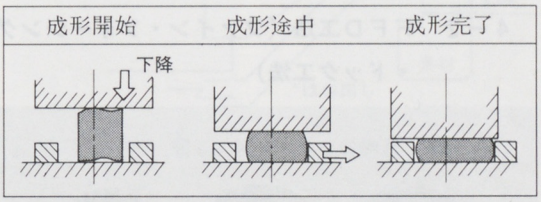


図５　フローティング・ダイによる据込み

図５に示す様に，フローティング・ダイ方式では，切断材を型の中心に合せる必要がない。加圧された材料は，塑性変形を始めプレスの下降とともに径が増大してゆき，フローティング・ダイと接触し，移動することによって加工圧力のバランスを維持しながら成形は完了する。この様にして得られた鍛造品は，外径の精度及び対称性が良く，且つ平行度の高いものとなる。

(ハ)精密打抜

精密な孔明けをするには，ポンチとダイのクリアランスを小さくし，２次破断を出さない様にしながら剪断面を大きくする事が必要である。この方案での注意点は，ワークにかかる荷重が大きく，ワークが変形する事とポンチ負荷が大となり，ポンチが破損する恐れがあるという事である。

2次破断を出さない為，及びワークの変形を防ぐ為ワーク外径を拘束し，端面はダイ・クッションにて予圧を与える方法を採用した。これに依りワークの変形はなくなり2次破断も最小限に抑える事ができた。ポンチ負荷を下げる為にポンチ先端形状を改善し所定のポンチ寿命が確保できる様にした。概略図を**図6**に示す。

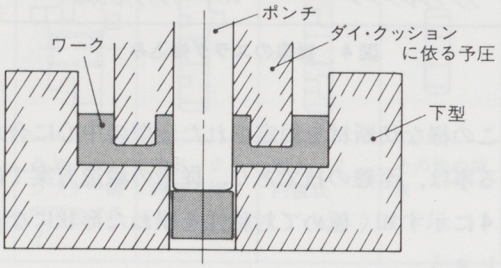
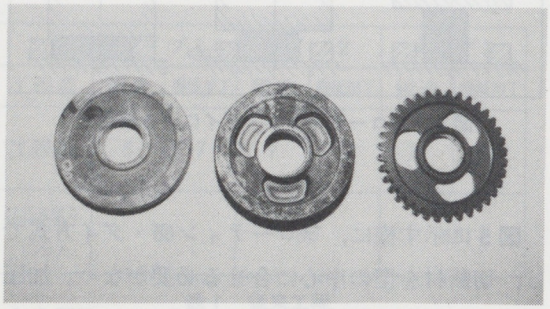


図6　精密打抜き型の構造

4－2　ＦＦＤ工法（ファイン・フォージング・ドック工法）



（ＦＤ後）　（ＦＦＤ後）　（全完成品）

写真2　製品例

(1)精　度

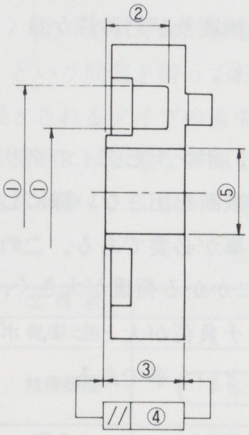


図7　ＦＦＤ形状

	従来	FFD工法
① 爪の内外径	±0.2	±0.2
② ドック深さ	±0.2	±0.15
③全　厚	±0.5	±0.2
④平行度	0.3	0.1
⑤内　径	±0.5	±0.25

表6　ＦＦＤの精度

(2)ＦＦＤ工法の特徴

ＦＦＤ工法の特徴として**表6**の精度が良いという事の他に全型寿命が安定している事があげられる。この事は生産性向上（自動化），コスト低減の重要なポイントでもある。

ＦＦＤ工法では爪型で押込む反対側に捨ボスを設け爪型にかかる応力を下げた。それによって底厚を（**図8**のＡ寸法）従来の⅓～⅕まで薄くする事ができた。

この様な製品を作る為に我々は金型にかかる応力を徹底的に下げる為種々の実験・評価を繰返した。応力さえ下げる事が出来れば金型寿命も品質も高いレベルで安定するという訳である。この種々の実験に依り得られた結論は，限りなく剪断加工に近付けられれば良いという事である。この時のチェック・ポイントは製品に欠陥（割れ，巻込み）を発生させないという所にある。

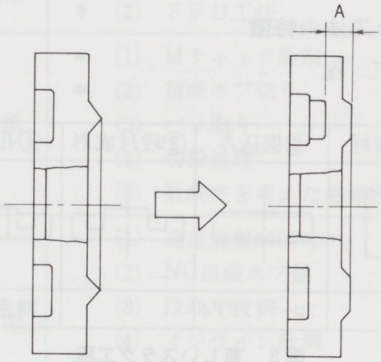


図8　従来工法

図8に示す従来工法では

①爪型にかかる応力が大きく（200～250kg／mm²）且つ前粗材の精度等により曲げが働く。

②中心孔の精度が悪い。

といった不具合が多々あり，特に型寿命が大きくバラツイていた。

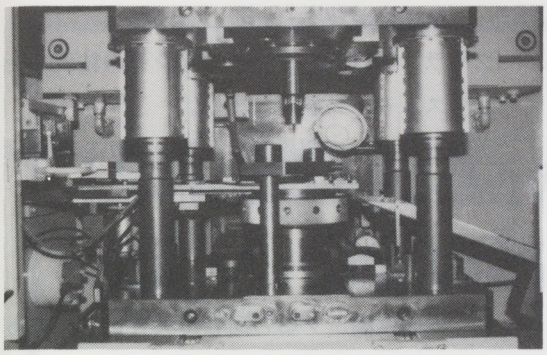


写真３　金型外観

５．加工技術

５－１　Ｍチャック旋削加工

鍛造工程での高精度素材に対応し，高能率，高生産加工を実現する為，ブランク加工では下記４点に主眼を置いた。

①加工基準は，従来の外径→内径へ。

②加工治具のコストダウン。

③ワーク脱着の容易化。

④サイクルタイム短縮。

(a)方策

これらの実現のポイントはワークの把握方法であり，Ｍチャックという方式を採用した。

このＭチャックの実用化の中でチャッキング有効長４㎜でも充分耐えうる技術を確立した。

(b)Ｍチャックの原理

Ｍチャックとは，図９の様に複数の突起片を持った棒状体のチャックを素材内径に，その突起で塑性変形固着させ回転方向に動力を伝えるものである。

トルクは，突起諸元（数，長さ，高さ，形状）設定により必要トルクに対し任意に確保できる。→現在15～30kgmで設定している。

鍛造工程の内径高精度の実現が，大きく貢献している事は，言うまでもない。

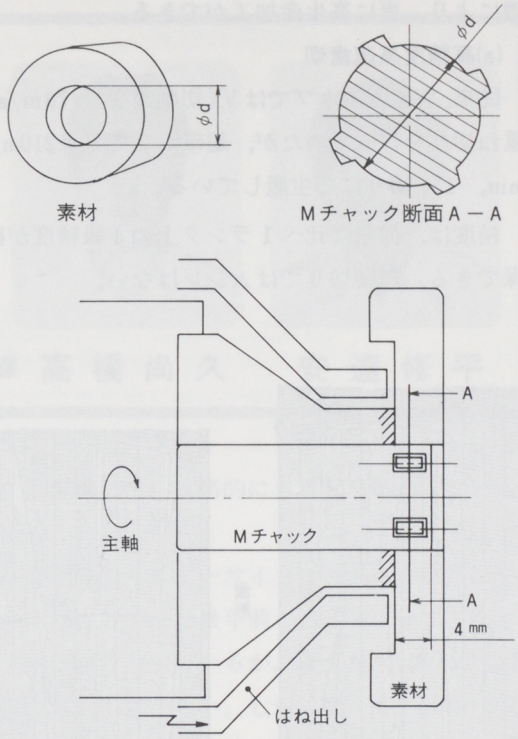


図９　Ｍチャックの構造

(c)効果として

①加工基準数＝従来の1/7程

②Ｍチャックでの加工治具の簡素化，剛性up破損防止による治具費30％コストダウン。

③ワークの圧入，はね出しによる確実チャッキング。

④主軸ノンストップでのワーク脱着。

これにより旋盤の主軸も従来の3000～4500r.p.mからオイルエアー潤滑での6000r.p.mという高速回転を実現させ，切削速度800ｍ/minでのサイクルタイム削減（0.6～0.7分→0.35～0.5分）を可能とした。

５－２　高精度・高速歯切

ホブ切りの高速化，高精度仕上を達成する為，超硬ホブ切加工を採用した。

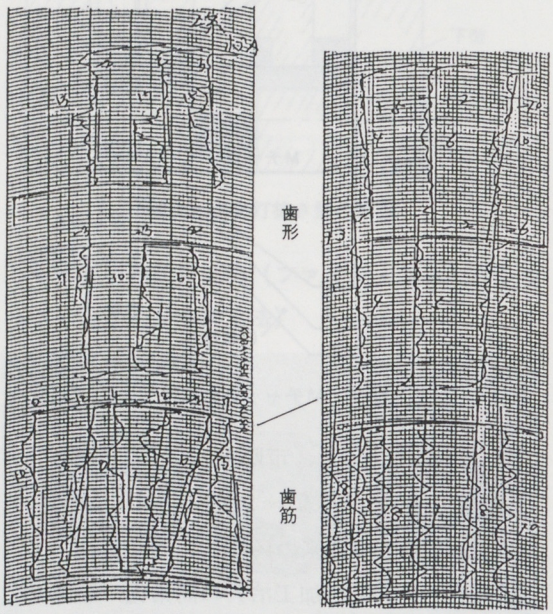
超硬ホブは，従来の高速度鋼ホブに比べ更に高速，高送り化でき，多条・チタンコーティング処

理により，更に高生産加工ができる。

(a)高精度高速歯切

従来，高速度鋼ホブではV（切削速度）＝70m/min，重ね切りを行っていたが，超硬ホブでV＝210m/min，1ヶ切りにて生産している。

精度は，従来に比べ1ランク上の4級精度が確保できる。超硬切りではムシレはない。



高速度鋼ホブ切　　超硬ホブ切

(b)歯切法

①ホブ，ホブ盤

ホブは，小径，多条，チタンコーティングホブを使用している。

ホブ盤は，ショックアブソーバー付ホブ軸直接駆動方法であり，衝撃切削，回転振動を吸収し，超硬歯切を可能とした。

又，フルNC機で，送り，割出，回転，ホブヘッド旋回etc，段取時間短縮化を考慮している。（NCプログラム入力のみ）

②歯切条件

超硬ホブ切は低速欠け領域がある為V＝200m/min以上が望ましい。

クーラントは，有機モリブデン系の粘度9センチストークス以下がよい。

送りも精度との関係でNC機を生かした荒削り部と仕上げの2段送りを行っている。

(c)刃具費，その他

現在，高速度鋼ホブ切と同じ刃具費レベルであるが，今後被削性改善により半分以下にもっていきたい。

超硬ホブ切りは，マイクロチッピング，ヒートクラック発生etc，まだまだ開発領域で再研削技術確立と合わせて，実験を繰返していく。

6．おわりに

歯車タイプ3一貫ラインで，浜北工場の高付加価値工場作りの具体的な挑戦を開始したわけである。当初の歯車製造工程が持っていた多くの問題点のうち

(1)物流の改善

(2)工程数の削減

(3)リードタイムの短縮

(4)鍛造金型寿命の改善

(5)生産準備リードタイムの短縮

は目標を達成することができた。しかしながら，現場の生産実態をわれわれが充分把握し得なくて特に

(1)シングル段取化（段取技術）

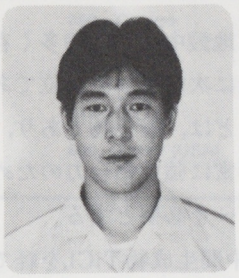
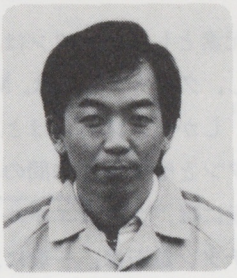
(2)材料の被削性の改善を含めた刃具技術，バリ取り技術。

(3)サイクルタイムの保証

(4)チョコ停防止

等，まだ重要な技術課題が計画レベルには未達であり，今後も生産現場と協力しながら解決を計っていきたい。

「材料技術における最近の話題(V)」チタン材料編

技術本部第1研究部材料研究課　高橋尚久　安達修平（工博）

1．はじめに

チタン材料は，大きな比強度（強度／密度）とすぐれた耐食性のため，宇宙・航空機器はもとより，化学プラントや発電設備のような陸上施設にも欠かせない材料となっている。構造用材料としてのチタン合金は，1953年以来要求に応じてその種類も増え，現在では，代表的なものだけで約30を数えるに至っている。素材となるスポンジチタンの生産量は，世界的に見て漸増を続けているが，新規の需要開拓の方は，業界の思うようには進んでいないように見える。特に国内市場では，欧米に見られるような大きな航空機産業を欠如しているため，一般機器にその使途を見い出さねばならず，量的にも，価格的にも厳しい制約をかせられている。

自動車やモーターサイクル部品への応用は，レース用として，20数年前からすでにチタン合金の使用が試みられているが，量産モデルへの応用例は，きわめて少ない。しかしながら，汎用チタン合金の価格は，年々減少してきており（**図1**），高性能化に伴なって材料への要求が厳しくなりつつあることを考えると，市販モデルへの導入は，そう遠い日のことではないと思われる。

本稿では，チタン材料の基礎的な性質について概説したのち，最近の応用例のいくつかを紹介する。

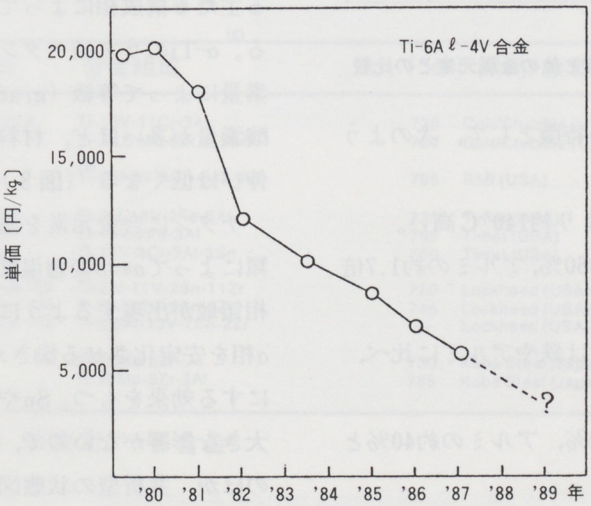


図1　チタン合金の国内における市場価格の変化

2．金属チタンの物理的性質

元素としてのチタンは，地殻中に比較的多く存在し，クラーク数では，Mgに次いで，第9位である。[1] しかし，鉱石のほとんどは，酸化物であり，チタンと酸素原子の間の非常に強い結合力のため，還元には，大きなエネルギーを必要とする。

チタン鉱石は，一般に，中間生成物$TiCl_4$を経て，クロール法（Mg還元）あるいはハンター法（Na還元）により，スポンジチタンと呼ばれる多孔質の金属チタン塊となる。このスポンジチタンが，工業材料となるには，さらに，二重真空アーク溶解による高純度インゴット化が必要であり，所定の製品形状を得るために，圧延又は鍛造および熱処理のプロセスを経なければならない。

表1に，純チタンの物理的性質を，他の代表的な金属材料と比較して示す。

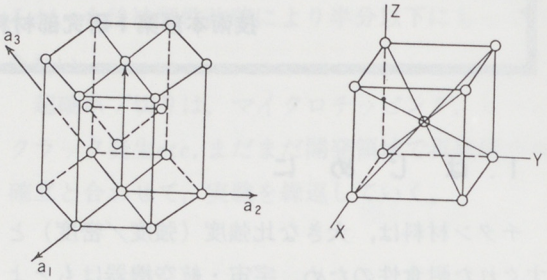
	Ti	Al	Fe	Cu
融点（°C）	1668	660	1530	1083
密度（g/cm³）	4.51	2.70	7.86	8.93
電気抵抗（μΩ·cm）	51	2.7	9.7	1.7
電気伝導度（Cuを100として）	3.1	64.0	18.0	100
熱膨張係数（/°C, 0-100°C）	8.4×10^{-6}	23.0×10^{-6}	12.0×10^{-6}	16.8×10^{-6}
透磁率	1.001	—	—	—

表1　金属チタンの物理的性質と他の金属元素との比較

上表からわかるチタンの特徴として，次のようなものが挙げられる。[2]

1）融点は1668°Cで，鉄より約140°C高い。
2）比重は4.51で，鉄の約60%，アルミの約1.7倍である。
3）電気伝導度，熱伝導度は鉄やアルミに比べ，かなり小さい。
4）熱膨張係数は，鉄の70%，アルミの約40%と小さい。
5）非磁性である。

なお，純チタンの結晶構造は，882°C以下で**図2－a**)に示すようなhcp（稠密六方格子）構造であり，それ以上の温度では，bcc（体心立方格子）構造（**図2－b**）となる。チタンでは，hcp構造のものをα相，bcc構造のものをβ相と呼ぶ。こうした特徴的な結晶構造は，チタンの変形挙動を考えるのに，きわめて重要な意味をもつ。



a）α晶（hcp）　　b）β晶（bcc）

図2　Tiの結晶構造のタイプ

3．チタンおよびチタン合金の分類と機械的性質

工業材料としてのチタン材は，室温付近における主たる構成相によって，**表2**のように分類される。[3] α-Tiのうち純チタン系のものは，含有する酸素量によって等級（grade）がつけられている。酸素量が多いほど，材料の耐力，引張強さは高く，伸びは低くなる[4]（**図3**）。

チタンに合金元素を添加してゆくと，元素の種類によって$\alpha\rightleftarrows\beta$変態温度が変化し，また$(\alpha+\beta)$ 2相領域が出現するようになる。例えば，Aℓは，α相を安定化させる働きがあり，Vは，β相を安定にする効果をもつ。SnやZrは，添加してもあまり大きな影響がないので，中性元素と呼ばれる。このほか，共析型の状態図を生じる元素を含め，4種類のグループに分類することができる（**図4**）。

呼称	合金組成	β_T〔°C〕	開発/製造	年
Grade 1	Pure-Ti (0,2 Fe; 0,18 O_2)	890	Diverse	—
Grade 2	Pure-Ti (0,3 Fe; 0,25 O_2)	915	Diverse	—
Grade 3	Pure-Ti (0,3 Fe; 0,35 O_2)	920	Diverse	—
Grade 4	Pure-Ti (0,5 Fe; 0,40 O_2)	950	Diverse	—
Grade 6	Ti-5Al-2,5Sn	1040	Diverse	1953
Grade 7	Ti-0,2 Pd	915	Diverse	1959
Grade 12 (TiCode-12)	Ti-0,3Mo-0,8Ni	880	Timet (USA)	1974

a) α－Ti合金

呼称	合金組成	β_T〔°C〕	開発/製造	年
Ti-8-1-1	Ti-8Al-1V-1Mo	1040	Timet (USA)	1960
Ti-6-2-4-2	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	995	Timet (USA)	1966
Ti-11	Ti-6Al-2Sn-1,5Zr-1Mo-0,35Bi-0,1Si	1015	Timet (USA)	1971
IMI 679	Ti-2,5Al-11Sn-5Zr-1Mo-0,2Si	945	IMI (GB)	1961
IMI 685	Ti-6Al-5Zr-0,5Mo-0,25Si	1020	IMI (GB)	1969
IMI 829	Ti-5,5Al-3,5Sn-3Zr-1Nb-0,25Mo-0,3Si	1015	IMI (GB)	1980
Ti-5621S	Ti-5Al-6Sn-2Zr-0,8Mo-0,25Si	1005	RMI (USA)	1969
Ti-6-2-4-2-S	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si	995	RMI (USA)	1970
Ti-5522S	Ti-5Al-5Sn-2Zr-2Mo-0,25Si	980	RMI (USA)	1970

b) 準安定α－Ti合金

呼称	合金組成	β_T〔°C〕	開発/製造	年
Ti-6-4	Ti-6Al-4V	995	Diverse	1954
Ti-6-6-2	Ti-6Al-6V-2Sn	945	Diverse	—
IMI 550	Ti-4Al-2Sn-4Mo-0,5Si	975	IMI (GB)	1956
Ti-5524S	Ti-5Al-5Sn-2Zr-4Mo-0,25Si	960	RMI (USA)	1970
Ti-62222S	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si	970	RMI (USA)	1970
Ti-6-2-4-6	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	935	Timet (USA)	—
—	Ti-6Al-4V-2Fe	—	Timet/Rockwell (USA)	Exp.
CORONA 5	Ti-4,5Al-5Mo-1,5Cr	935	Colt/Rockwell (USA)	1974
Ti-17	Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	890	General Electric (USA)	1972

c) (α＋β)－Ti合金

呼称	合金組成	β_T〔°C〕	開発/製造	年
B 120 VCA	Ti-13V-11Cr-3Al	720	Colt/Crucible (USA)	1960
Beta III	Ti-11,5 Mo-6Zr-4,5Sn	760	Colt/Crucible (USA)	1969
Beta C	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	795	RMI (USA)	1969
Ti-88-23	Ti-8Mo-8V-2Fe-3Al	775	Timet (USA)	1965
Ti-10-2-3	Ti-10V-2Fe-3Al	795	Timet (USA)	1976
Ti-15-3	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	760	Timet (USA)	1981
Transage 129	Ti-2Al-11V-2Sn-11Zr	720	Lockheed (USA)	1970
Transage 134	Ti-2Al-12V-2Sn-6Zr	745	Lockheed (USA)	—
Transage 175	Ti-2,5Al-13V-7Sn-2Zr	—	Lockheed (USA)	—
—	Ti-15Mo-5Zr	730	Kobe Steel (Japan)	1972
—	Ti-15Mo-5Zr-3Al	785	Kobe Steel (Japan)	1972

d) 準安定β－Ti合金

表2　チタンおよびチタン合金の分類[3]

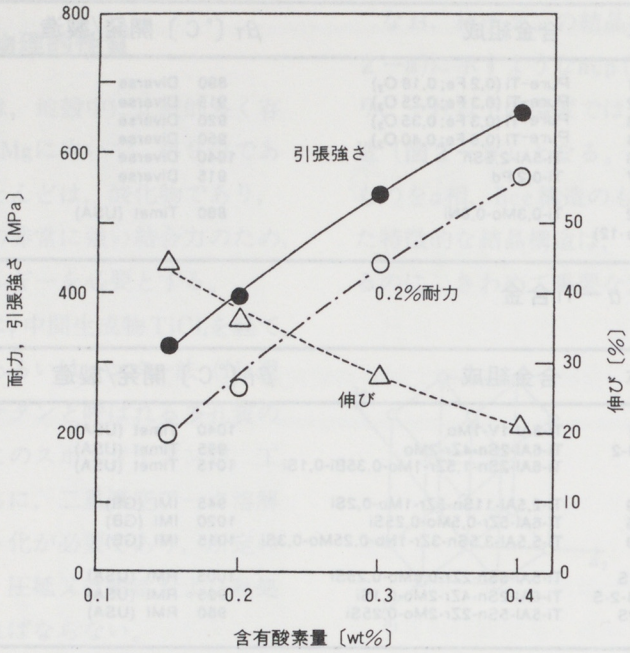


図3　工業用純Ti材の引張強さ，0 2%耐力および伸びに及ぼす含有酸素量の影響

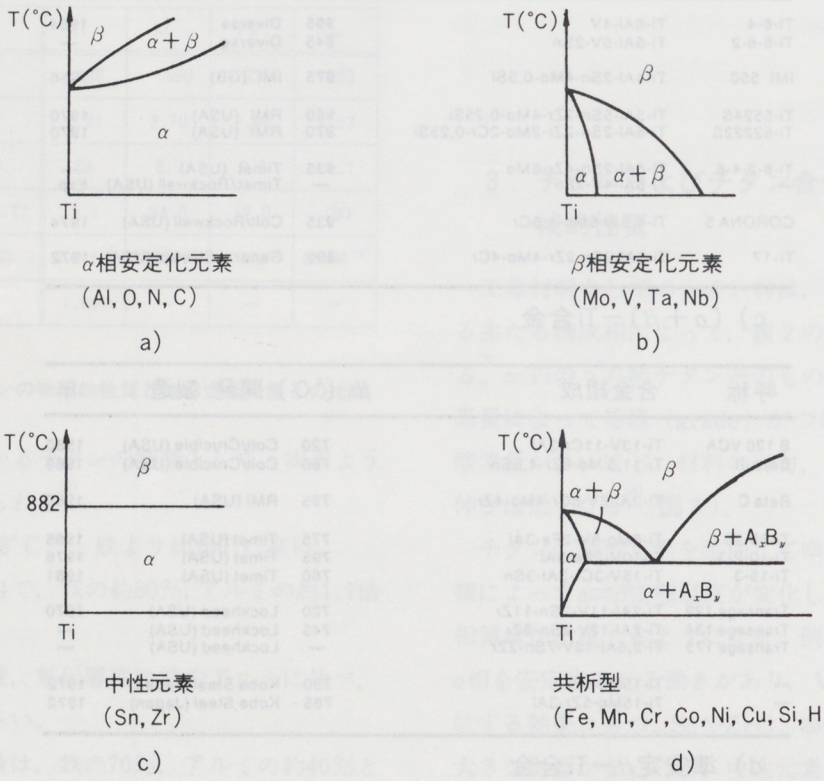


図4　Ti合金の状態図に及ぼす合金元素の影響

準α-Ti合金の機械的性質の特徴は，高温クリープに対する抵抗が大きいことで，耐熱性を要求される部材に使用される。(α+β)-Ti合金は，加工や熱処理によって微細組織が様々に変化し，機械的性質もそれに伴ない大きく変わるが，一般に強度，靱性，及び加工性の点で，バランスのとれた特性を示す材料である。中でもTi-6Aℓ-4V合金は，最も広く使われる構造用チタン合金である。準安定β-Ti合金は，比較的新しい材料で，高強度が得られ，加工性もすぐれているが，比重がやや大きいことが難点の1つである。

4．Ti-6Aℓ-4V合金の微細組織

Ti合金の中で，世界的に最も多く使われているTi-6Aℓ-4V合金をとり上げ，その微細組織の特徴について述べる。この合金がこれほどポピュラーな理由としては，その強度と靱性を広い範囲で設定でき，溶接，鋳造から超塑性に至る多様な加工法が可能であることが考えられる。こうした汎用性は，量産効果として管理の行き届いた品質と圧倒的な価格的優位性を生み出している。

ところで，この合金の強度と靱性は，その微細組織に負うところが大きい。**図5**に示したTi6Aℓ－V準二元系状態図からわかるように，この合金では，990°C以下でα相とβ相の両方が存在する。良好な靱性は，このβ相の存在によるものである。この合金の特徴のもう一つは，微細組織の多様性である。**図6**に，Ti-6Aℓ-4V合金の代表的な微細組織を示す。これらは，相の形態から，層状晶(lamellar)，等軸晶(eguiaxed)および混合晶(bi-modal）の3つに大別される。層状晶は，材料をβ相領域(900°C以上)に加熱したのち，徐冷するか，又は急冷後，(α+β)相領域の中間温度(例えば800°C)に保持することで得られる。徐冷によって得られた組織は，粗大層状晶(coarse lamellar)（**図6－a**）と呼ばれ，急冷後恒温変態によってできた組織は，微細層状晶(fine lamellar)（**図6－b**）と呼ばれる。また，加工熱処理といって，材料に圧延などの塑性加工を施した後，(α+β)相領域の適当な温度に保持すると，回復，再結晶の過程を経て，**図6－c**に示すような等軸晶を得ることができる。bi-modal（**図6－d**）は，層状組織と等軸晶組織が合成されたもので，特殊な加工熱処理により生成される。

さらに，Ti-6Aℓ-4V合金は，時効処理を施すこ

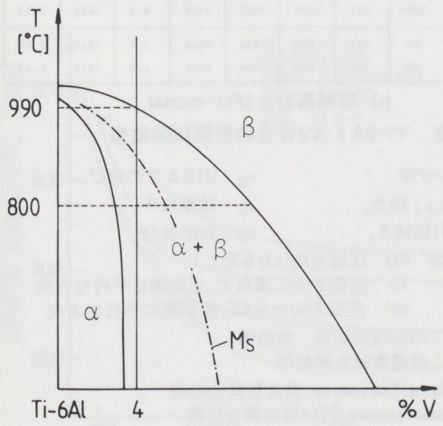


図5　Ti-6Aℓ-V準二元系状態図

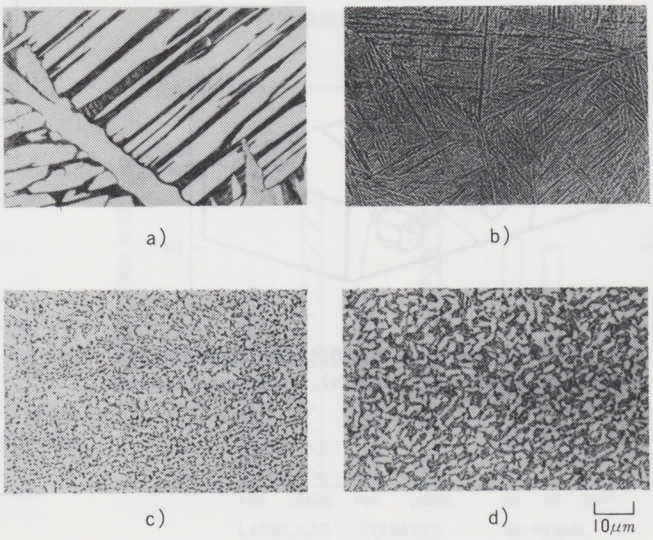


図6　Ti-6Aℓ-4V合金の代表面な微細組織

とによりα, β両相を強化することが可能である。

加工熱処理を受けたTi-6Aℓ-4V合金は，特徴的な集合組織を持つことが知られている。集合組織とは，多結晶材料において，多くの結晶粒がある特定の方位を持っている状態を示し，機械的性質に異方性を与える。**図7**に，圧延集合組織の生成過程を，また**図8**に，圧延材の典型的な集合組織を模式的に示した。

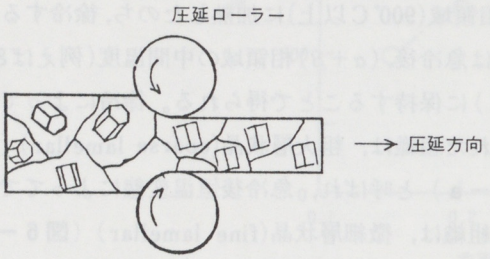


図7　圧延集合組織の生成

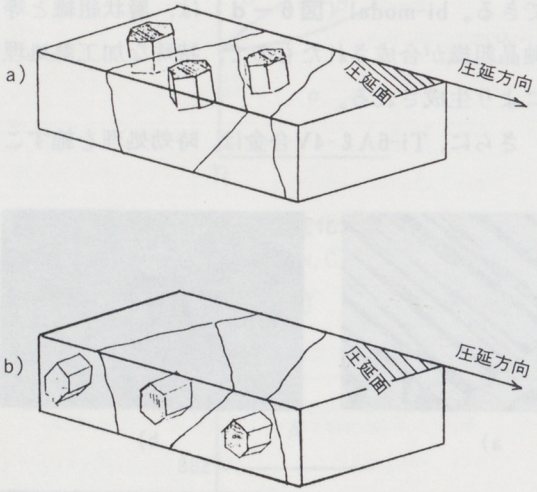


図8　Ti-6Aℓ-4V合金α晶の典型的な集合組織の模式図[5]
a) Basal texture　b) Transverse texture

5．Ti-6Aℓ-4V合金の機械的性質

表3に，Ti-6Aℓ-4V合金の様々な微細組織，集合組織について行なった，引張試験結果を示す[6]。

ヤング率Eは，微細組織や集合組織には，あまり影響されず，110～120Gpa程度である。ただ，同じ組織での比較では，圧延方向に直角方向(TD)で最も大きな値が得られる。同様の傾向は，耐力や引張強さについても言える。破断伸びε_Fは，微細組織に大きく依存し，層状晶では約0.2と低いのに対し，等軸晶を含む組織では，0.5～0.7と大きな靱性を示す。また，合金の場合，時効条件や含有酸素量によっても，機械的性質は影響を受ける。

Microstructure/ Loading direction		E [GPa]	$\sigma_{0.02}$ [MPa]	$\sigma_{0.2}$ [MPa]	UTS [MPa]	e_u [%]	σ_F [MPa]	ε_F -
fine lamellar	RD	116	936	1006	1090	5.4	1302	0.20
	TD	119	-	1042	1141	6.4	1327	0.16
coarse lamellar 1	TD	120	861	976	1039	2.3	1210	0.20
coarse lamellar 2	LD	116	844	965	1001	2.1	1122	0.14

a) 層状晶

Microstructure/ Loading direction		E [GPa]	$\sigma_{0.02}$ [MPa]	$\sigma_{0.2}$ [MPa]	UTS [MPa]	e_u [%]	σ_F [MPa]	ε_F -
equiaxed B/T	RD	110	1026	1058	1074	7.0	1422	0.56
	TD	119	-	1066	1088	7.3	1516	0.49
bi-modal B/T-2	RD	113	1030	1073	1118	7.6	1615	0.60
	45°	113	972	1050	1079	4.5	1597	0.72
	TD	123	-	1109	1158	9.8	1598	0.55
bi-modal B/T-4	RD	117	999	1068	1135	6.0	1539	0.51
	45°	115	974	1047	1110	5.1	1621	0.62
	TD	121	1007	1082	1151	7.2	1645	0.57
bi-modal B/T-5	RD	115	1000	1062	1123	7.3	1564	0.51
	TD	118	989	1073	1151	8.3	1594	0.45
bi-modal B/T-6	RD	114	1018	1061	1106	6.8	1521	0.53
	TD	119	1038	1085	1129	7.7	1743	0.70
bi-modal WT	(RD)	117	1022	1093	1126	6.3	1834	0.83
bar stock	LD	109	880	926	1029	7.9	1501	0.54
	TD	120	909	986	1051	6.6	1414	0.43

b) 等軸晶およびbi-modal

表3　Ti-6Aℓ-4V合金の引張試験結果[6]

E：ヤング率　　e_u：UTSまでの伸び，
$\sigma_{0.02}$, $\sigma_{0.2}$：耐力，　　σ_F：破断強さ，
UTS：引張強さ，　　ε_F：破断伸び
荷重方向　RD：圧延方向(LDも同じ)
TD：圧延方向に直角で，圧延面に平行な方向
45°：圧延方向から45°，圧延面に平行な方向
coarse lamellar 1：75%強圧延後，熱処理
coarse lamellar 2：鍛造素材を熱処理
B/T：Basal/Transverse 混合型集合組織
WT：Weak texture 弱い等方集合組織
B/T-2：初析α晶粒径6 μm，体積分率40%，75%圧延素材，
B/T-4：初析α晶粒径25μm，体積分率15%，75%圧延素材，
B/T-5：初析α晶粒径25μm，体積分率40%，75%圧延素材，
B/T-6：初析α晶粒径6 μm，体積分率40%，50%圧延素材，
bar stock：鍛造素材

疲労強度も，微細組織によって大きく変化する。**図10**は，様々な微細組織について行なった回転曲げ疲労試験の結果である。[7] 一般の金属材料と同様，組織が微細なほど，疲労強度は高いが，bi-modalの場合は，比較的大きな初析α 晶があるにも拘らず，高い疲労強度を示す。**図11**は，層状組織の材料について，時効条件が疲労強度に及ぼす影響を調べた結果であり，800°Cという比較的高温からの急冷が時効の前処理として重要であることを示したものである。また，集合組織をもつものでは，**図12**に示すように，圧延方向に応力軸をとった場合に，高い疲労強度が得られる。[10]

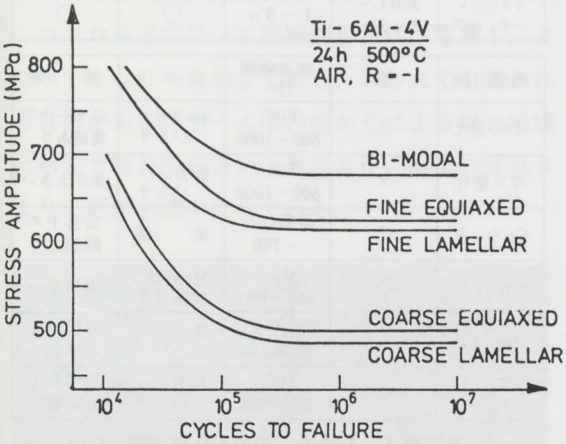


図10　疲労強度に及ぼす微細組織の影響[8]

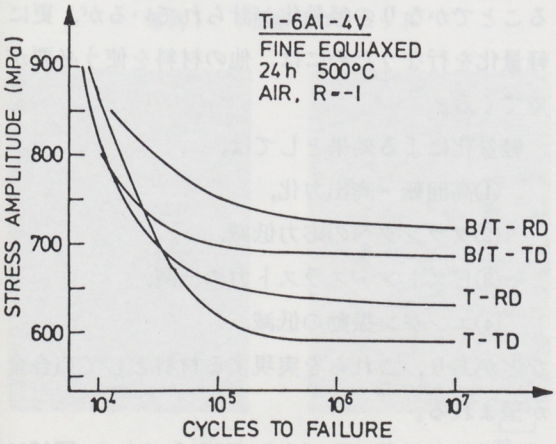


図12　疲労強度に及ぼす集合組織と荷重方向の影響[8]

次に，破壊靱性値に及ぼす微細組織の影響について述べる。破壊靱性値は，鋭い切欠の先端で，不安定破壊が起こる臨界の応力拡大係数で表わされ，この値が大きい程，破壊に対する抵抗力が大きいと考えてよい。**図13**の結果から，層状晶，等軸晶のいずれについても，組織が粗大なほど破壊靱性値は高いこと，bi-modalについては，初析α 晶の体積率が大きいほど，破壊靱性値が高いことがわかる。こうした破壊靱性の微細組織依存性は，Ti合金の特有のものであり，鋼などでは，異なった傾向が見られる。[12][13]

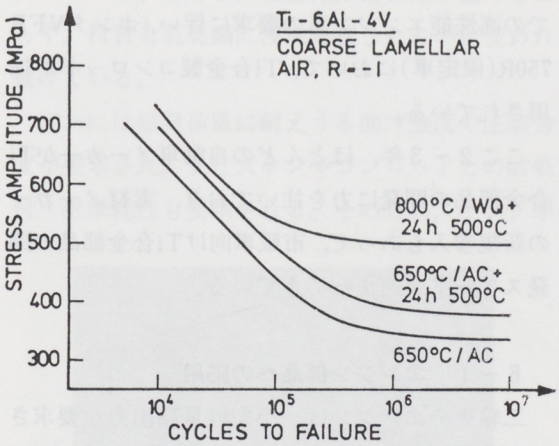


図11　疲労強度に及ぼす時効条件の影響[9]

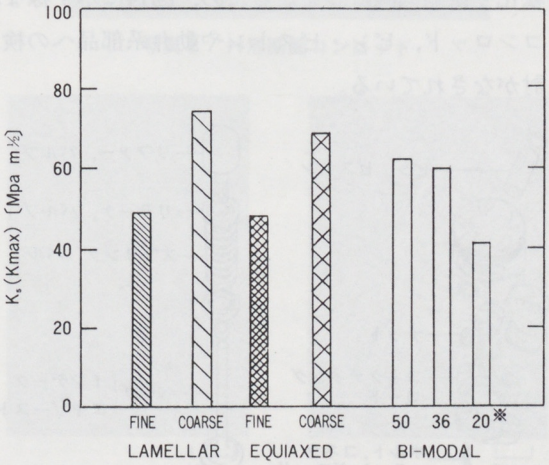


図13　Ti-6Aℓ-4V合金の各微細組織の破壊じん性値 K_s (K_s < Kmaxの場合はKmax)。※初析α晶の体積分率。[11]

6．二輪車部品への応用

Ti合金は部品の軽量化による性能アップを生じさせるため，古くからレース用部品に用いられている。国内では1965年頃より，一部のレーシングカーのコンロッドでTi合金が採用され，米国では，1981年頃より実用的な部品（コンロッド，バルブ，スプリング，etc）が製造販売されている。Del West社，Trick Titanium社及びJet Engineering社がその主なメーカーである。

量産車へのTi合金の適用は，部品のコストが大巾にアップするため，従来あまり行なわれなかった。しかし，最近材料価格の急速な低下や，市場での高性能エンジン車の要求に伴い，ホンダVFR 750R(限定車)において，Ti合金製コンロッドが採用されている。

ここ2～3年，ほとんどの自動車メーカーがTi合金部品の開発に力を注いでおり，素材メーカーの新規参入もあって，市販車向けTi合金部品の開発スピードが速まってきている。

6－1　エンジン部品への応用

二輪車のエンジンは，小型軽量高出力が要求されるため，Ti合金の使用は有効である。とりわけ4サイクルエンジンでは，往復重量の低減が高回転化や振動低減につながるため，**図14**に示す様な，コンロッド，ピン・ピストンや動弁系部品への検討がなされている。

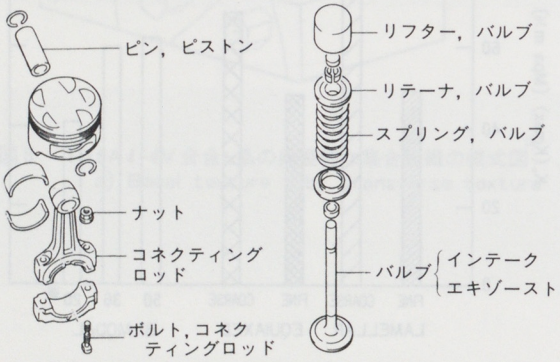


図14　Ti合金の応用部品

一般的なTi-6Aℓ-4V合金でも，引張強度は炭素鋼や合金鋼を上回るため，形状設計は易しいが，比較的焼付き易い材料であるため，表面処理にはかなりの工夫が必要である。**表4**に各種表面処理の比較を示す。

処理方法	温　度	膜　厚	密着性	耐摩耗
イオン窒化	350～600°C 3～4hr	2μ（＋拡散層）	◎	○
ガス窒化	850°C 20hr	3μ（＋拡散層）	◎	○
Crメッキ	低　温	5～50μ	△	摺動○ 衝撃×
Mo溶射	～300°C	50～300μ	△	摺動○ 衝撃×
低温CVD	300°C～	5～15μ	○	○
イオンプレーティング	350°C～ 1～3hr	1～5μ	○	○

処理方法	歪	表面硬度 Hv	コスト	備　考
イオン窒化	△	TiN 800～1000	4～5万／バッチ	リテーナで実績あり
ガス窒化	×	TiN 800～1000	20万／バッチ	歪が大きい
Crメッキ	○	硬質Cr ～700	安　価	公害上の問題あり
Mo溶射	○	Mo 500～600	Mo高価 分留り小	実績多い
低温CVD	◎	TiC,W,C 2000～2500	20～30万／バッチ	厚膜にすると弱い
イオンプレーティング	◎	TiN 1700～2000	10万／バッチ	潤滑が十分必要

表4　Ti合金への表面処理比較

(1)コンロッド

市販車のコンロッドは，炭素鋼を合金鋼に替えることでかなりの軽量化が計られているが，更に軽量化を行なうためには，他の材料を使う必要がでてくる。

軽量化による効果としては，

①高回転・高出力化，

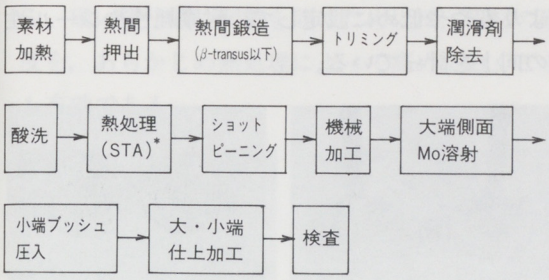
②クランクへの応力低減，

③ピストン・スラスト力の低減，

④エンジン振動の低減，

などがあり，これらを実現する材料としてTi合金が望まれる。

一般的な材質はTi-6Aℓ-4V合金であり，**図15**に製造工程を示す。



*) STA：溶体化＋時効処理
例：950℃×1hr 水冷→540℃×6hr 空冷

図15　コンロッド製造工程

設計の配慮点としては，①変形（ボルト疲労，メタル損傷，バルブ突上げ等），②耐摩耗(大端スラスト面)，③疲労強度である。

コンロッドのアーム部断面形状は，**写真1，2**に示すように一般的なI形と，レースでも使われるH形がある。アーム部の曲がりによる疲労破壊に対してはH形が良いとされるが，鍛造の容易さよりI形が主流となっている。

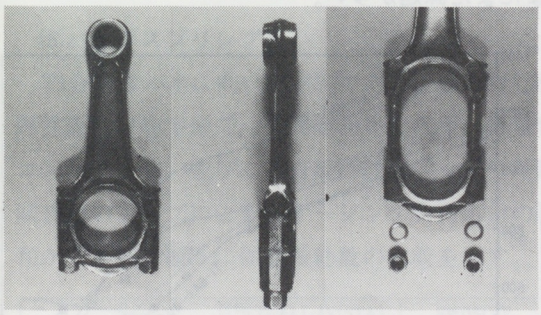


写真1　I形断面コンロッド

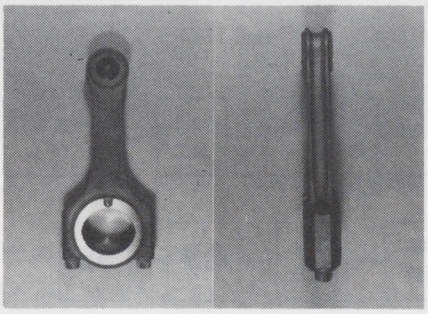


写真2　H形断面コンロッド

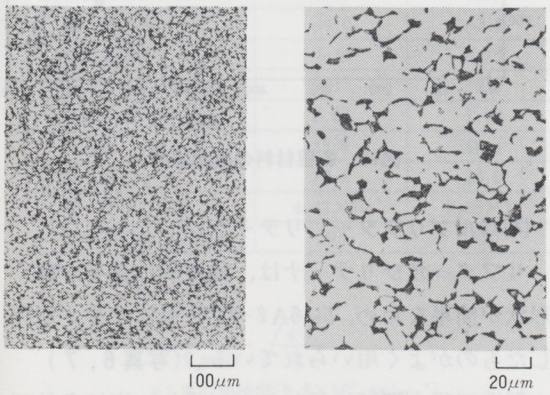


写真3　ルノー製コンロッド微細組織

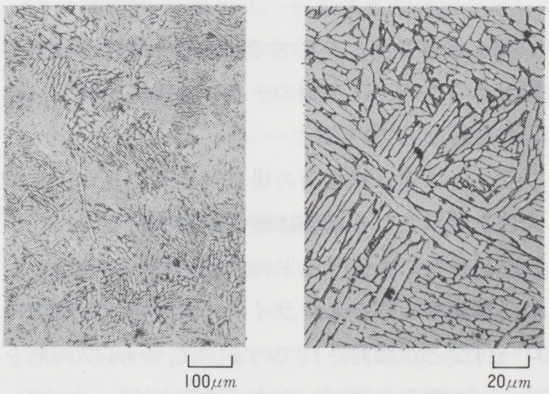


写真4　ケン・マツウラ製コンロッド微細組織

微細組織と疲労強度とは密接な関係にあるが，組織を制御することは，鍛造性・コスト及び実用化レベルにより各社いろいろである。**写真3，4**にルノー製及びケン・マツウラレーシング製コンロッドの微細組織を示す。材質はどちらもTi-6Aℓ-4V合金だが，ルノー製は$\alpha+\beta$域鍛造(995℃以下)であり，強度や靱性が重視されている。ケン・マツウラ製はβ域鍛造（995℃以上)であり，変形抵抗が小さいため，製造上有利である。

(2)ピン・ピストン

ピストン，ピン・ピストン及びコンロッド往復部を合わせた総往復重量のうち，ピンは約20%を占めている。しかし，軽量化はほとんど進んでおらず，材質も肌焼鋼に浸炭処理したものが使われ続けている。

ピンには爆発荷重に耐えうる曲げ強度や圧壊強度が要求され，又ピストンやコンロッドとの耐焼付・耐摩耗性も要求される。そのため，ヤング率

が鋼の約½であるTi合金では，肉厚や断面形状を工夫しなければならない(**図16**)。耐焼付性向上のため，ピンの表面は窒化により硬化させ，コンロッド小端には，銅ブッシュを圧入している。

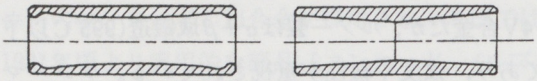


図16　ピン・ピストン

(3)バルブ

ホンダのレーシングキットパーツにある様に，インテークバルブにはTi合金がよく用いられるが，エキゾーストは使用条件が厳しいためあまり使われていない。

設計の配慮点としては，①軸部のかじり・焼付き，②軸端面の耐摩耗性，③フェース面の耐摩耗性，④高温強度，⑤熱伝導性などである。

製造工程を**図17**に示したが，インテークの材質は一般的にTi-6Aℓ-4V合金で，軸部には耐摩耗性向上のため，Mo溶射を行なっている。

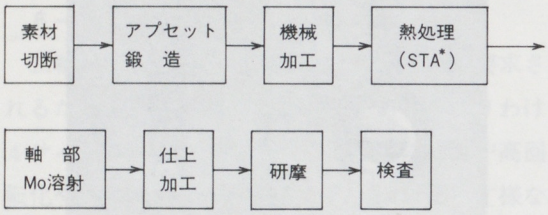


図17　バルブの製造工程

ロッカーアームタイプでは軸端を硬化させる必要があるため，SCM鋼のチップを摩擦圧接し，焼入れを行なっている。

フェース面は軽負荷の場合無処理で良いが，耐久性を要求される場合は硬化処理を行なう。しかし，Ti合金にステライトの肉盛溶接ができないため，**写真5**の様なステライトの溶射や，耐摩環のロー付などが検討されている。又，バルブの熱をフェース面より逃がしやすくするため，バルブシートにCu系を用い，硬度をバルブ（HRC33～）よりもやや低めに設定して，耐摩耗性やシール性の向上を計っている。

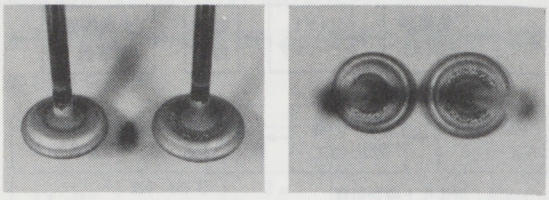


写真5　ステライト粉末をプラズマ溶射したTi合金バルブ（溶射後）

エキゾーストバルブは，高温強度の高いTi合金（Ti-6Aℓ-2Sn-4Zr-6Mo・Ti-6Aℓ-2Sn-4Zr-2Mo）を用いており，軸やフェース面には表面処理が必要である。**図18**に各種材料の高温強度を示したが，[14] 600°C以上ではTi合金の強度が急に下がるため，バルブにかかる熱をいかに多くシート・ガイドへ逃がすかが実用化へのポイントとなる。

米国のDel West社は，バルブの製造販売を行なっているが，耐久性を要する市販車への採用にはまだまだ課題が多い。

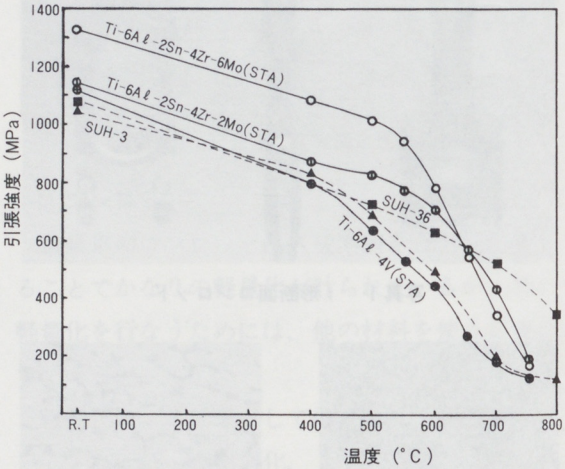


図18　各種材料の高温強度

(4)バルブリフター，リテーナ

リフター及びリテーナは，強度的に負荷が軽く形状が簡単なため，Ti-6Aℓ-4V合金にイオン窒化したものがよく用いられている。(**写真6，7**)

製造工程を**図19**に示したが，厳しい摩擦条件下で使用されるため，表面処理には十分注意を要す

る。硬い窒化層の剥離を防ぐためには，母材の硬度を，あらかじめ熱処理によって高めておくことも有効である。

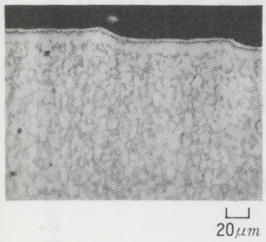


写真6　リテーナ表面
イオン窒化

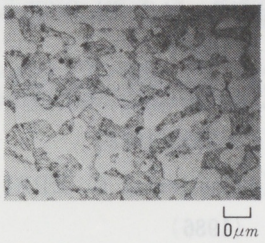


写真7　内部微細組織
(STA処理)

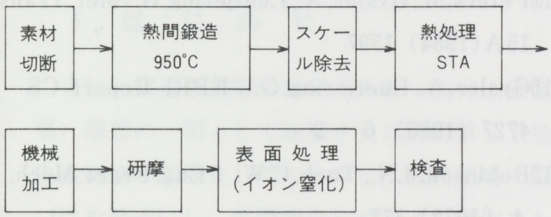


図19　バルブリフター及びリテーナの製造工程

(5)バルブスプリング

Ti合金はバネに向いた材料である。鋼に対し横弾性係数が約半分で，強度が同等なため，軽量化，コンパクト化，並びに固有振動数のアップや対数減衰率のアップによる，サージング負荷応力の緩和ができる。**表5**に固有振動数の比較を示す。[15]

材料	Ti-6Aℓ-4V(STA)	SWOSC-V
引張強さ(kgf/mm²)	120	180～200
G:横弾性係数(kgf/mm²)	4150	8000
d:線　径(mm)	φ4.0	φ3.0
n:有効巻数	5.0	5.75
D:コイル中心径(mm)	φ21	φ21
K:ばね定数(kg/mm²)	2.87	1.52
自由長(mm)	43.6	45.4
重　量(g)	23.2	28.9
:密　度(kg/mm³)	4.42×10^{-6}	7.85×10^{-6}
f:固有振動数(CPS)	995	580

$$K=\frac{Gd^4}{8nD^3}$$

$$f=\frac{d}{2\pi nD^2}\sqrt{\frac{gG}{2\gamma}}$$

g：重力加速度(9.8×10^3 mm/sec²)

表5　弁バネの設計例

設計の配慮点としては，①疲労強度（特に介在物や加工上の傷による低下），②加工性，③寸法（線径・巻数等）が挙げられる（**図20**）。

材質は，($\alpha+\beta$)型合金(Ti-6Aℓ-4V)の他に，引張強度が高く冷間加工性に優れたβ型合金(Ti-15V-3Cr-3Aℓ-3Sn等）がある。(**写真8，9**)

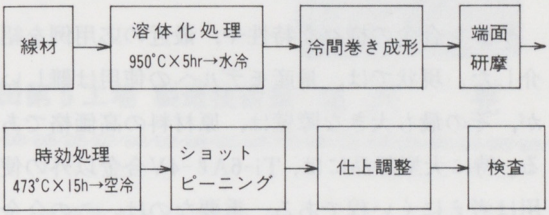


図20　スプリングの製造工程

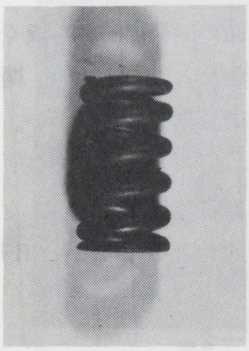


写真8　バルブスプリング

写真9　β合金の微細組織

(6)その他エンジン部品

Ti合金を使う利点としては軽量化が主となる為，効果の少ない部品に高価な材料を使う必要は無い。Aℓ合金やMg合金では，引張強度や硬度が足りない部品についてTi合金を使うべきである。その例としては，ボルト類，エキゾーストパイプ，クラッチプレートなどがレースにて実用化されている。

6－2　車体部品への応用

車体を軽量化する為には，Ti合金よりもAℓ合金の方が多く使われている。しかし，Aℓ合金のヤング率はTi合金の約⅔であり，引張強度もかなり低いため，形状の制約がある場合にはTi合金が有利である。

応用例としては，ボルト・ナット類，ブラケット類，サスペンションスプリング，ホイールハブ，燃料タンクなどがあり，材質はTi-6Aℓ-4Vあるいは純Tiが用いられている。

7．おわりに

チタン合金の様々な特性や，最近の応用例を紹介した。現状では，量産モデルへの使用は難しいが，その最も大きな障壁は，原材料の高価格である。特に大型部品には，Ti-6Aℓ-4V合金以外の使用は考えにくい程である。重要なのは，この合金の性能を充分引き出せるような工程設計であろう（**表6**）。

当社におけるチタン製部品の開発は，日も浅く，必ずしも体系的になされてきたとは言えない。関心を持たれた方には，是否，御意見を賜わりたい。

【参考文献】

(1)草道英武　他編「金属チタンとその応用」，日刊工業新聞社（1982）2

(2)神戸製鋼所　カタログデータ

(3)Peters,M.：Metall Heft 6, 37（1983）584

(4)日本ステンレス　カタログデータ

(5)Peters,M,：Ph.D.Thesis, Ruhr Univ. Bochum（1980）

(6)Adachi,S.：Ph.D.Thesis, TU Hamburg-Harburg,（1987）

(7)Peters,M.,Luetjering,G.：EPRI Report CS－2933(1983)

(8)Luetjering, G.：EPRI Report, CS－4727（1986）

(9)Daeubler,M.：Ph.D. Thesis, Ruhr Univ.Bochum（1980）

(10)Peters,M.,Gysler,A.,Luetjering,G.：Met.Trans. 15A(1984) 1597

(11)Gysler,A.,Luetjering,G.：EPRI Report CS－4727（1986）6－3

(12)Robinson,J,N.,Tuck,C.W.：Eng.Fract.Mech. 4（1972）377

(13)Gysler,A.,Bachmann,V.,Luetjering,G.：Proc. 3 th ECF,Leoben（1982）155

(14)住友金属工業　カタログデータ

(15)中央発条　カタログデータ

(16)萩原，高橋：チタニウム・ジルコニウム 35, 2（1987），69

コスト目標		コンロッド	バルブ	リテーナー
トータルコスト				
	・現状でのチタン/鉄部品のコスト比	6～10	7～10	7～9
	・適用可能なコスト比	1.2～2	1.5～2	2～3
区分別コスト目標（鉄に対する）				
	・材料費（単価×仕込み）	*8倍以下	3倍以下	5倍以下
	・熱間鍛造費：2倍以下	Must	Want	←
	・機械加工費：1.4倍以下	*Must	*←	*←
	・表面処理費：現行処理の2倍以内	*Must	*Must	窒化OK
課　題				
材　料	◎低コスト材料：2000円/kg以下	Must	Want	←
	・快削チタン材：切削速度鉄の2/3以内	Must	Want	←
製造法	◎材料歩留まりの向上目標（現状）％	60(40)	90(60)	80(65)
	検討すべき製造技術（及び設計）	精密鍛造	←	冷鍛
熱間鍛造	・材料歩留まり向上（目標％）	70(62)	90	90
	・工数の短縮：鉄の2倍以内	Must	←	—
機械加工	◎チタン用長寿命工具の開発	Must	←	←
	・加工スピードアップ：鉄の2/3以内	Must	←	←
表面処理	◎安価な耐摩耗処理	Must	Must	Want

*，◎：重要ポイント

表6　コスト目標と課題[16]

世界一のエンジン組立工場を目指す磐田第5工場の紹介

磐田第5工場 製造技術課 塩沢 晃

1．はじめに

当社，製造事業部の戦略である〈高付加価値工場〉構想の一環として建設された磐田第5工場は，生産拠点が国際化していく中で，国内工場の位置づけを明確にし，国際競争力のある工場作りを目指しており，全世界のヤマハ工場群へのエンジン供給基地としての使命を受け昭和62年5月より本格稼動を開始した。今回は世界一のエンジン組立工場を目指す，当社の最新鋭工場の紹介をしたい。

2．磐田第5工場建設の目的と狙い

第5工場建設の目的は国際競争力のあるエンジン作りであるが，これはただ単に本社工場，浜北工場，掛川に分散しているエンジン組立の集約による合理化だけでなく，複数の狙いを持っている。それは円高やアジアNICSに対する防衛のみではなく，製造事業部の持てる力の全てを結集して可能性へ賭けた挑戦である。生産技術と生産管理，工場の持つハード・ソフト技術，それにマネージメントまで含めたヤマハの総合力を世に問う場であり，ヤマハの物の作り方や製造の体質を根底から一新する壮大な構想の一実験プラントなのである。

我々，計画部門には一貫生産化による物流効率の追求と，徹底した合理化案による生産の流れの革新と，そこに働く人間を変革する為の組織設計が要求されたのである。

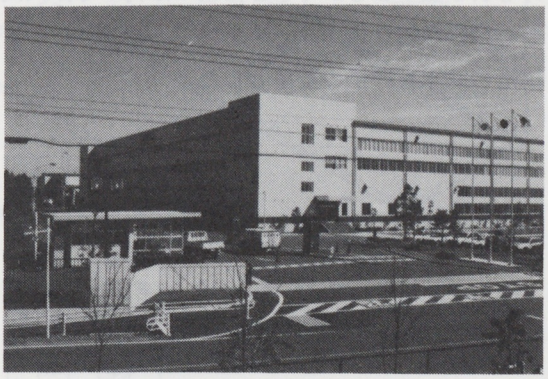


写真1　磐田第5工場全景

3．工場設計のコンセプト

ヤマハらしい工場を作ろう。それが，我々タスクチーム全員の願望であった。社長方針である，人を大切にするという人間性尊重の精神をベースに，若々しく，常に新しいものがクリエイトされているヤマハらしいイメージを具現化した工場を設計しよう，と3つのコンセプトが作られた。

1）人間性尊重の誇れるヤマハ。
（人を活かし，人にやさしい工場です。）

2）先進ＦＡの誇れるヤマハ。
（明日の技術を見ることができる工場です。）

3）高付加価値の誇れるヤマハ。
（お客様に喜ばれ，信頼されるエンジンを作る

工場です。）

以上3つのコンセプトをベースに第5工場の全ての設計が進められた。

3－1　人間性尊重への配慮

第5工場建設における主眼点は，人間尊重の環境づくりであり，時代に対応したＦＡであり，又会社，顧客に対応した高付加価値化である。ここでは人間尊重の環境づくりについて述べる。

(1)人間性尊重の機能展開

人間性尊重とは一体何か，人間の労働価値感はどのように変化して来ているのか，人間の持てる力を引き出すことができる仕組みは何か等，人間の行動科学的なアプローチを経て，マズローの5段階の欲求を評価の基準とした。

		1 生理的欲求	2 安全・安定の欲求	3 社会的欲求	4 自我・尊敬の欲求	5 自己実現の欲求
人間性尊重	物的側面					
	静かな環境		○			
	落ちついた配色		○			
	明るい採光		○			
	冷暖房完備		○			
	快適なトイレ・食堂	○				
	休息できる休憩所	○				
	自由な服装				○	
	人間と機械の仕事の分離		○			
	精神的側面					
	個性の尊重				○	
	仕事の中での生きがい					○
	人を育て生かすしくみ				○	
	リズム感			○		
	ブロック制度					○

表1　人間性尊重の評価

(2)希望の調査

先ず，組立工場の工場長以下の全管理職に人間性尊重の側面からどんな工場にしたいのか，インタビューして意見を頂いた。そして実行可能なものは全て設計に織り込んだ。工場の若人からなるヤンググループも結成され，トイレの数，休憩所の仕様，食堂への希望，工場の色彩，サイン等，種々の希望を集めてイメージ作りを行ったのである。

(3)色彩計画、サイン計画

色彩計画はＧＫへ依頼され，全体計画を踏まえて，そこで働く人間と，人間をとりまく物との関係をよりよくして行こうと設定された。

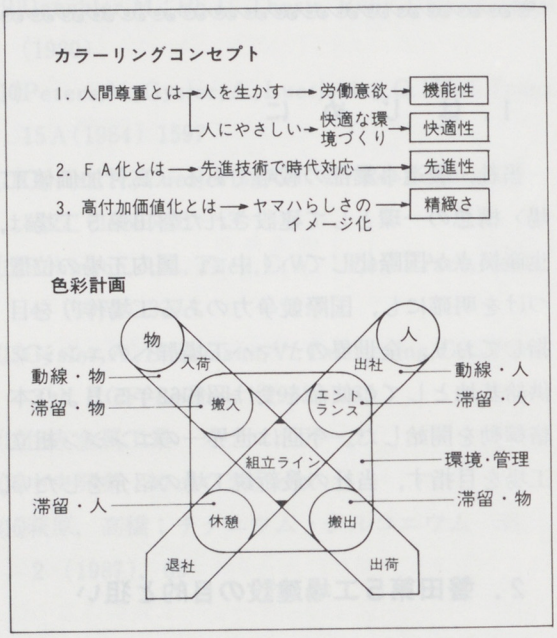


表2　色彩計画対象物の体系化

工場内の配色はコンピューターシミュレーションを行い，A・B・Cの3案が作られた。

A案――「信頼感」

・組立工場作業の信頼感の表現

・伝統，規模共に第一級企業イメージを醸し出す配色案

B案――「若々しさ」

・ニューヤマハを標傍するにふさわしい，若々しさを表現

C案――「楽しさ」

・職場の活性化，現代の多元的な感覚表現を目指し，楽しく，モダンなイメージの優先

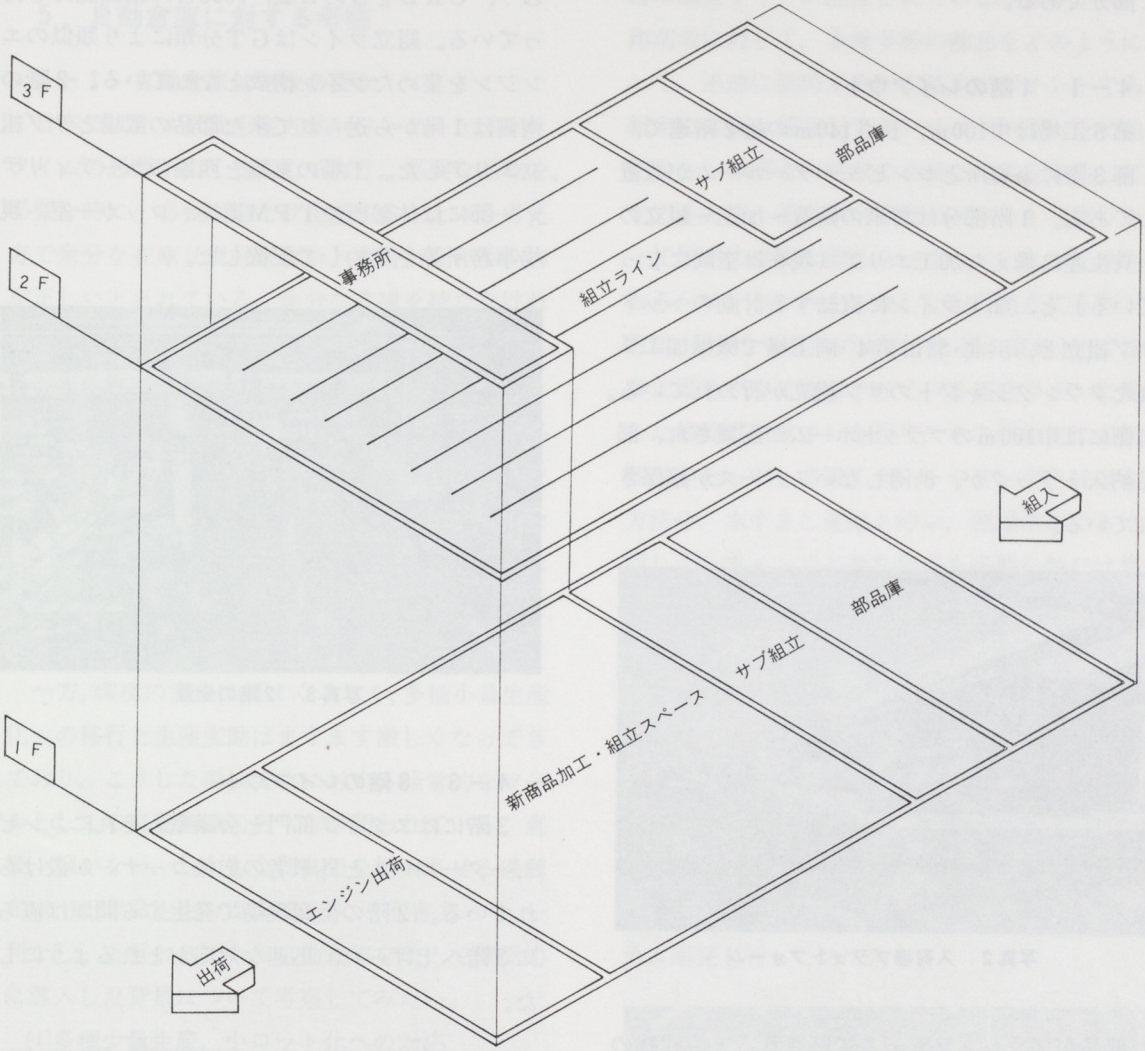


図1　第5工場レイアウト図

この中から全員一致で「B案」が選ばれ，青・緑の2色を基調として，若々しさ，クリアーな感覚をつくり出すと共に，青・緑を，物系・人系にそれぞれ対応させて構成された。

4．プラント．レイアウト

生産の要素4M（人・機械・材料・方法）の物理的集合である工場は，建て替えや大幅な変更を加える事が困難である為，基本レイアウトの思想が重要であり，その優劣は生産性に重大な影響を及ぼすことになる。特に今後自動化やFMS，FA化の方向は必然の流れであるため，最終的な工場のあるべき姿のイメージを描きつつ，段階的にそれを実行していく姿勢が必要である。

第5工場のレイアウト計画はSLP（Systematic, Layout, Planning）法により，物の流れ，アクティビティ（ある機能を持った施設の基本的な分割単位）相互関係から最終的なレイアウトへの絞り込みを科学的に行ってきた。

プラント，レイアウトは生産活動の舞台の重要なポイントであり，我々が最も時間と精力を費し

た部分である。

4－1　1階のレイアウト

第5工場は巾100m，長さ140mの総2階建で，1部3階に事務所とコンピュータールームが設置してある。1階部分は将来の鋳造～加工～組立の一貫生産に備えた加工エリア（現在は空間になっている）と，加工ラインに直結する計画のヘッドサブ組立と，浜北・磐田第4・両工場で機械加工されたクランクシャフトのサブ組立が行われている。南側には巾100mのプラットホームが配置され，部品納入トラックが，渋滞しないスペースが確保されている。

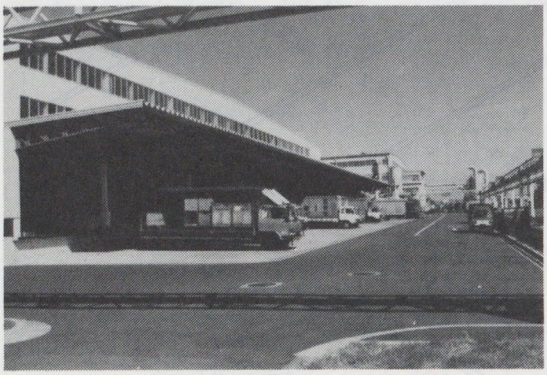


写真2　入荷場プラットフォーム

部品がプラットフォームで降されると，建物の中へ運ばれるが，中には小物部品用と中物部品用の2種類のロータリーラックと呼ばれる自動倉庫が配置され，社内や協力メーカーから納入された部品は全てこのラックに収納される。但し大物部品やヤマハ標準バケットを使用していない部品はエレベーター等の別ルートで2階に運搬される。1階北側は完成エンジン出荷場となっており，2階で組立てられたエンジンは全てこの出荷場自動倉庫へ収納され，車体工場の要求に応じて自動出荷される。

4－2　2階のレイアウト

2階には全部で11本の組立ラインが配置されており，ＣＫＤを含め日製，7000台の組立能力を持っている。組立ラインはＧＴ分類により類似のエンジンを集めたライン構成となっている。2階の南側は1階から送られて来た部品の置場とサブ組立エリアした。工場の東端と西端のユーティリティー部には休憩所やＴＰＭ道場，ロッカー室，現場事務所等を集約して配置した。

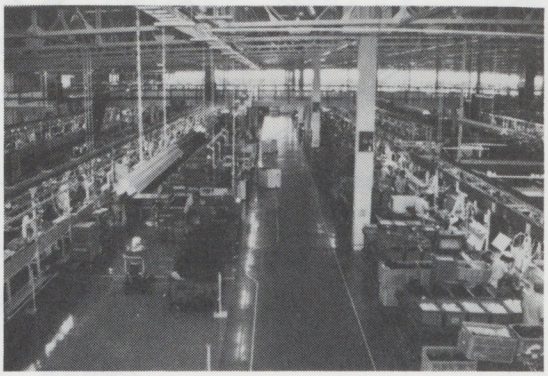


写真3　2階の全景

4－3　3階のレイアウト

3階にはスタッフ部門と会議室，それにコンピュータールームと外来者の応接コーナーが設けられている。2階の生産現場で発生する問題は直ちに3階へ上げられ，迅速な対応がとれるようにした。

写真4　3階システムコントロールセンター

5．自動倉庫に対する考察

5－1　自動倉庫は何故必要か

日本ではトヨタ式生産方式＝ジャスト・イン・タイムの思想が広く普及しており，必要な品物を，必要な時に，必要な量だけ生産する，という考え方で余分な在庫（資材を含む）は持たないやり方が正しいとされている。余分な在庫を持たなければ倉庫は不要である，という考え方は正論である。しかし，在庫を持たないノンストック生産はあくまで理想であり，現実には種々の理由により，各工程間のプラット，フォームには適正なバッファ，即ち，一定量の在庫が存在することは避けられないのである。そこにこの適正バッファを合理的に収納するハードである自動倉庫の必要性が生じてくる。

一方，環境の変化は目まぐるしく，多種小量生産化への移行と生産変動はますます激しくなってきており，こうした環境変化に対する経営的なツールとしての自動倉庫のあり方が問われている。直接，稼がない，しかも金利負担を増大させる過剰在庫や死蔵品を生む温床であり，「有害あって，一利なし」と言われている自動倉庫を敢えて積極的に導入した背景について考察してみたい。

(1)多種少量生産，小ロット化への対応

大量生産から多種少量へと言われてから久しい。特に最近はその傾向が顕著で，物を大量に作っても売れず，逆に種類は多様化の一途である。加えてモデルの寿命が短命化し，ライフサイクルはますます短くなっている。特に円の変動が激しい状況の中で，需要の予測は困難を極めており，何をどれだけ作ればよいのか誰にもわからないこの不透明な時代の中では，受注した分だけを，出来る限り小ロットで，最短のリードタイムで生産をしてゆく必要があることは十分認識されていよう。

では，工場で，特に組立工場で小ロット生産を行う為のハード的な課題は何だろうか。

それは，段取替えと，部品の供給，管理である。特に組立ラインに配置されている組立ロボットや，作業者に対して，多種多様の部品をどのように正しく，迅速に供給するかが最大のポイントである。組立に必要な部品をラインサイドの棚へ全て並べておき，作業者の判断で必要な部品を取出して組立てる方法，部品供給専用のパレット（板）を使って組立に必要な部品を一式セットにして並べておき，コンベヤー上を流しながら組立てるキット方式，（プラモデルのキットと同一意味）や，自動車工場を中心に導入されている組立ラインに同調した部品供給ラインを作り，そこに組立に必要な部品をセットして置くマーシャリングと呼ばれる方法や，水すまし運搬と呼ぶ，運搬車をぐるぐる回して，ラインで必要な部品を必要な数だけ集めてくれる方法等，各業界で種々な方法が試みられている。

要は組立作業者に振り向き動作や，歩行のムダを発生させていないか，又，誤って他の部品を組立てないような配慮がしてあるか，等を考える必要があり，こうした中から第5工場では，自動倉庫と，一部無人車との組み合せで，正しい部品をタイムリーに作業者へ供給することができるシステム開発を行ったのである。

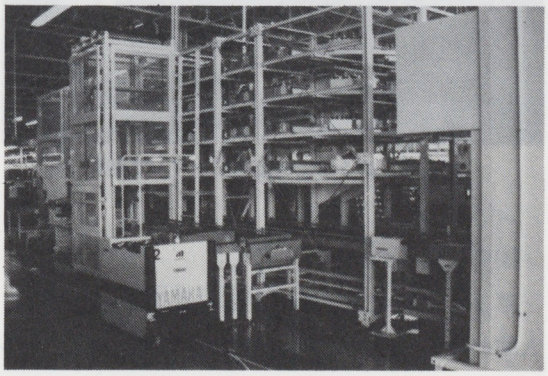


写真5　第5工場で活躍する自動倉庫と無人車

(2)ＦＡ化への対応

多種少量生産の技術として普及しているＦＭＳやロボット化に代表されるＦＡは〝受注から出荷に至るまでの生産活動における生産システム全体

の効率的な管理と制御を行うことをいう″と定義されている。要するにコンピューターにより生産工場全体の制御と情報管理を行う事を狙っているのである。

第5工場のＦＡの中で部品の情報管理面に於ては，部品庫からラインサイドまで含めて，すべての部品をビス1本に至るまで，ミクロンオーダーに在庫精度を管理している。リアルタイムに現状の在庫を正確に摑み，生産を計画通り実行し，新規発注を必要最少限にしないと在庫は低減しない。こうした管理はコンピューターが最も得意とする所であり，ここにコンピューターと連動した自動倉庫の必要性が生じてくる。そこに存在する自動倉庫は自動化された物置き場ではなく，情報ネットワークの一員としての役割りを持つハードとしての自動倉庫であり，倉庫と呼ぶより，コンピューター，コントロール，高速ピッキング装置の名称が相応しい。

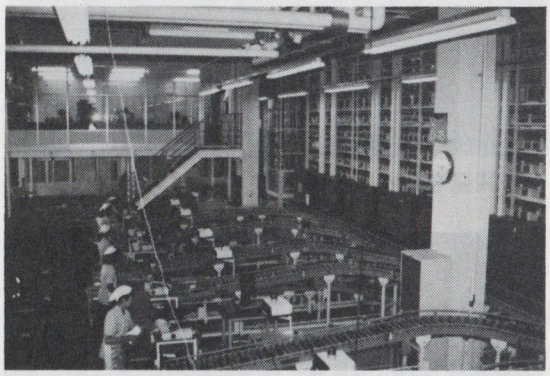


写真6　第5工場の高速ピッキング装置

(3)少人化への対応

単なるフレキシブルな生産システムを望むなら人間が最も適している。人間に勝るフレキシブルなマシンは存在しない。だが，ＦＡ化はフレキシシブル化と同時に，自動化，無人化を指向しているのであり，少人化が達成されなければ無意味である。自動倉庫のメリットを単なる少人化のみで論ずるのは誤りである。少人化もメリットの一部であると考えた方が無難ではあるが，自動倉庫はオーダーピッキング（組立ライン別に必要な部品を集める方式）を行っている入荷場の部品庫や，車体工場の要求に応じて，必要なエンジンを自動倉庫の中から呼び出して自動出荷をしている，エンジン出荷場での少人効果は½～⅓と画期的な効果を生み出している。又，ピッキング・ミスの排除効果や，素人でもピッキング作業が可能である等の効果も大きい。

(4)空間活用への対応

最近，空間を積極的に活用した工場が建設されてきている。物流経路を平面的に配置するより，立体構成にした方が効率的である，という考え方で，自動倉庫や物流機器との組み合せで，高層化を実現している。又一方では地価の高騰により，工場建設用地の確保が困難となってきており，工場の立体化と空間利用は今後，拡大してゆくと考えられる。第5工場も空間の積極的な活用を図り2階建てのメリットを活用して，物流経路を大巾に短縮すると共に，自動倉庫の導入により約30％以上のスペース・セービングを実現した。

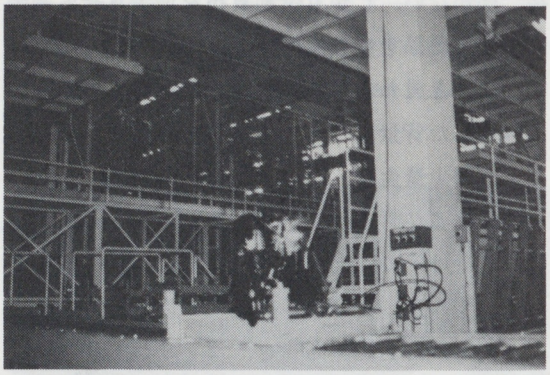


写真7　第5工場のエンジン出荷場

(5)人間性尊重への対応

高度成長期には生産の効率追求が優先で人間性の側面は後手になっていた感があった。第5工場のコンセプトは人間性尊重である。

工場内で重い部品を手で持ち上げ，運搬車へ乗せてラインサイドまで供給する毎日を送りたい，という希望者は多くない。又，高齢者対策も企業

としては重要な課題である。

いかにして人間の精神的，肉体的苦痛の少ないシステムを提供するかが今後の生産技術者の配慮すべき点であろう。その意味からも重い部品を軽々と持ち上げて収納してしまう自動倉庫の役割は大きい。

(6)第5工場の自動倉庫

以上自動倉庫に対する考察を述べて来たが，第5工場には，部品の入荷場に6基，エンジン出荷場に6基，サブ組立ストック用に1基，計13基のロータリーラックを導入している。

ロータリーラックの特徴は，水平循環型のトラックを多段式に組み合せ，各段毎の旋回機能を持ち，各段が個々に旋回するため，必要な物が載っている棚のみを旋回させて，手元へ呼び出すことができる。各段は30m／分の高速旋回をすることができ，8秒以下で必要なバケットやエンジンを取出すことができ，高速ピッキングに適している。スタッカークレーン式の場合，約100秒を必要とするのに比べ，いかに高速であるかが判る。各段毎の個別駆動である為，機械の長さも，30～35mまでの設定が可能であり，自動入出庫装置を取付けることにより，種々な組み合せのシステムを構成することができる。

第5工場の物流システムは，PYMACの情報で動く，ロータリーラックを中心とした物流機器で構成されており，この自動倉庫の果す役割は極めて大きく，かつ重大である。自動倉庫には種々のタイプがある中で，ロータリーラックに絞り込むことができたのは，ラッキーであったと思う。

6．自動組立

当社に於ける自動組立の歴史はCAMEロボット開発の歴史と考えても良い。CAMEロボットは社内の自動組立のニーズによって誕生し，育って来た。今，第5工場では108台のCAMEロボットが活躍し，生産性向上の一翼を担っている。第5工場で生かされている当社の自動組立技術について特徴を挙げてみたい。

6－1　自動組立システムの3要素

自動組立システムは3つの基本機能から成立する。それは，移送(Transfer)，組付け(Assembly)，部品供給（Parts, Feeding）である。

第5工場の自動組立システムは，全て当社で開発されたエレメントで構成されており，設計から，導入まで全て，生産技術と生産課の手で行われたのである。**図2**にその基本構成を示す。

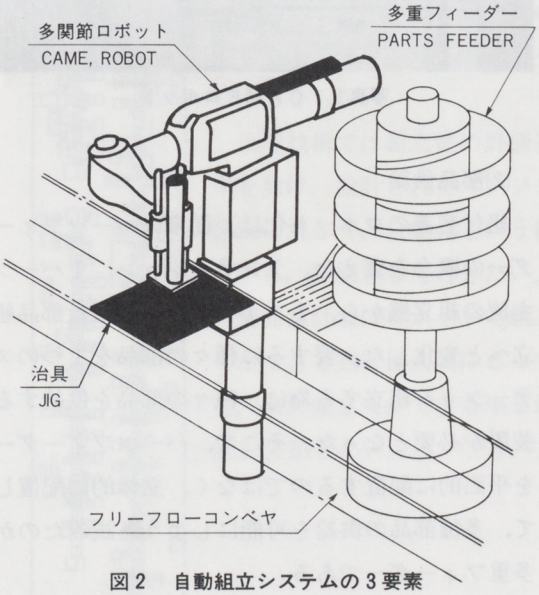


図2　自動組立システムの3要素

(1)組付寸装置

現在，世界的に組立ロボットの主流となったスカラ型と呼ばれる組立ロボットは山梨大学，牧野教授の発案であるSelective, Complaiance, Assembl, Robot, Armの頭文字から名付けられた。

牧野教授のプロト機が実験室で改善を加えられている頃，当社のＣＡＭＥが生産ラインへ導入され内外の注目を集めた。

ＣＡＭＥは人間の腕をイメージして作られた関節型ロボットで，腕の長さ＝作動範囲は人間並みで10kgまでの荷重に耐え，人間以上のスピードで作業ができる性能を目指して開発された。

生産技術部内で産声を上げた当時は，関節部分の関節炎（ガタ）や手首の中風（振動）に悩んだが，序々に改良されて，ＩＭ事業部の商品として外販されるまでに至っている。

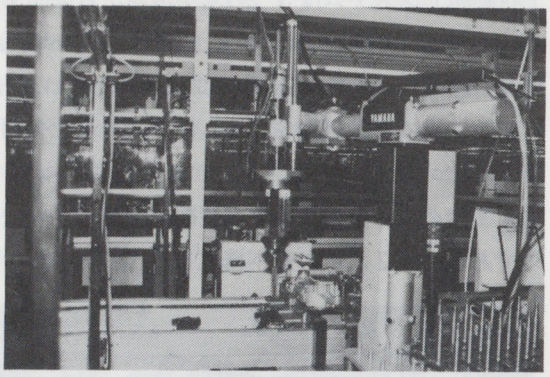


写真８　ＣＡＭＥロボット

(2)部品供給

組付装置のロボット化は，従来のパーツフィーダーの概念を変えた。１ステーション，１パーツ主流の組立機から，１ステーション，複数部品組立へと変化した。要するに種々の部品を１つのステーション組立てる為に，種々の部品を供給する装置が必要となった。そこで，パーツフィーダーを平面的に配置するのではなく，立体的に配置して，多種部品の供給を可能にしようと試みたのが多重フィーダーである。

この多重フィーダーは当社，生産技術部と，金沢大学の横山教授と共同で開発されたもので，世界的にも例のない，画期的なフィーダーである。第５工場では，全て社内製の多重フィーダーを採用しており，ロボット組立ラインの部品供給の１つの姿として注目されている。

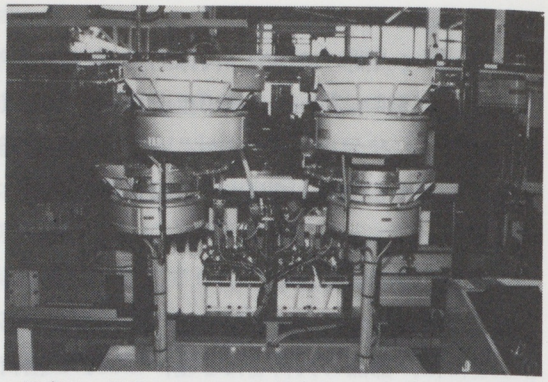


写真９　日経メカニカルに紹介された多重フィーダー

(3)移送装置

第５工場へ導入された組立ラインは全て当社で開発されたモジュール式フリーフローラインで構成されている。

コンベヤーの長さを５～10ｍ単位でモジュール化し，長さの変更やレイアウト変更に対しての自由度が大きい。照明やエアー配管，各種の配線もコンベヤと１本化されており，ピットを堀る必要もない事と合せて，フレキシブルな生産ラインを構成することが可能となっている。

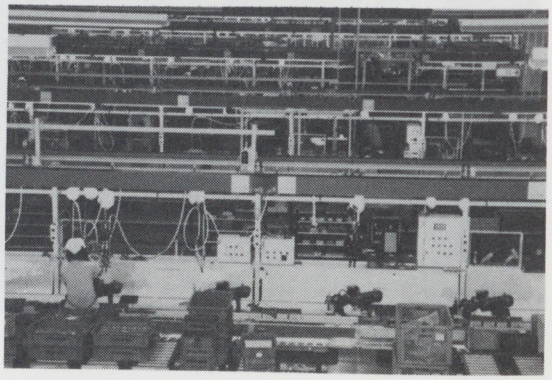


写真10　モジュール式フリーフローライン

６－２　第５工場の自動組立ライン

第５工場では自動組立ラインを３ライン導入した。中でもＤラインはＪＯＧのエンジンを中心に1000台／日を生産し，全体の60％の仕事をロボット化している。

Dラインの設計の基本思想は

1．人の仕事とロボットの仕事を分離する。
人間でなくては出来ない仕事と，ロボットの仕事を分ける。

2．離れ小島を作らない。
人とロボットのエリアを分け，ロボットとロボットの間にポツンと人を配置することを避けた。
これは人間性尊重の思想を反映したものでもあるが，生産量の変動に対する編成効率のバランスを取る意味からも有効であった。

3．ロボット工程の品質保証
ロボットが組付けた部品は，必ずロボットが全数チェックし，100％良品の保証をする。

4．ロボット用ＬＡＮ
ロボットのチョコ停管理や稼動率の分析，検査データーの集計等を，リアルタイムで行い，即，アクションが取れるようにし，稼動率の向上や，品質保証を行う。

5．部品供給の自動化拡大
従来の多重フィーダーによる部品供給にプラスして，トレー（部品を整列する為の板）による部品供給を導入する。
サブ組立職場から送られるクランクシャフトや，サブ組立機で組立られるトランスミッションはトレーに並べられ，無人車で各ステーションに自動供給をする。

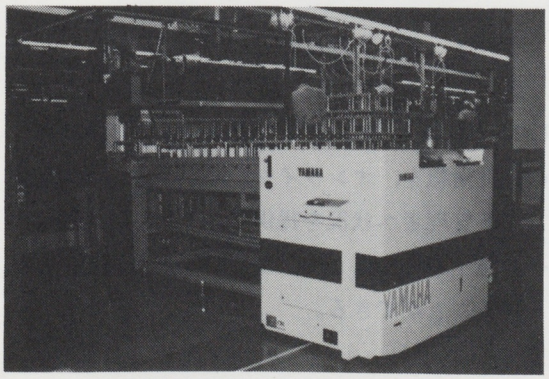


写真11　トレーによるクランクシャフト供給

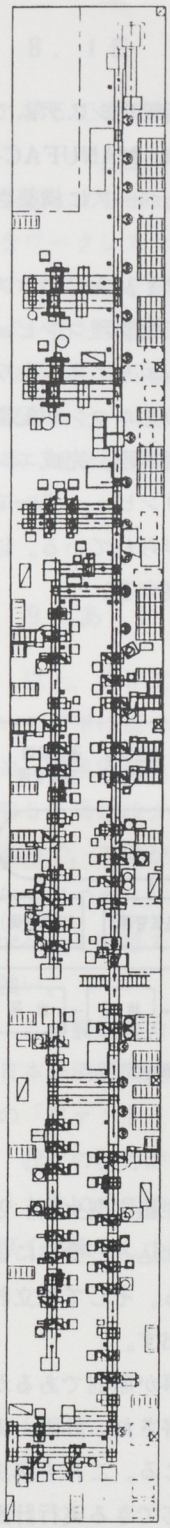


図3　ロボットラインのレイアウト

以上のような基本思想で設計されたDラインは，生産課，生産技術のチームワークに支えられて，順調に立上り，関係者を安心させたが，現状60％の自動化率を80％にまで引上げるべく，計画を進めている段階である。その為には製品設計自身を自動化に対応できるように変えて行く必要があり，自動組立の為の製品設計のあり方が問われるようになる。従来の人手に頼った組立の製品設計から，ロボットで組立ができる製品設計に設計者の頭を切り替えて行く必要があるのである。これを実現して行く為には，生産技術者と製品設計者の一心同体活動が要求され，ロボットでも組立てができる為の知恵を双方で絞らなくてはならない。

生産技術では組立性の評価基準を設け，設計されたエンジン図面に対して，自動化という観点から，評価をして行きたい。

製品設計者はロボットで組立てができる設計は人間にとっても，楽に組立てができる事を銘記して頂きたい。

7．ＦＡ化

第５工場のＦＡ化は当社の生産管理システムであるＰＹＭＡＣ(PAN YAMAHA MANUFACURING CONTROL)の考え方をベースに構築されている。

全体の概念を**図４**に示すが，ＰＹＭＡＣのホストコンピューターに直結された工場管理コンピューターを持ち，その下にローカルエリアネットワーク（ＬＡＮ）で結ばれる５台のミニコンが配置され，部品の受入，ラインの進度管理，完成エンジンの出庫，の物の流れを全て，コンピューターでコントロールできるシステムが作られている。以下第５工場のＦＡ化について考察する。

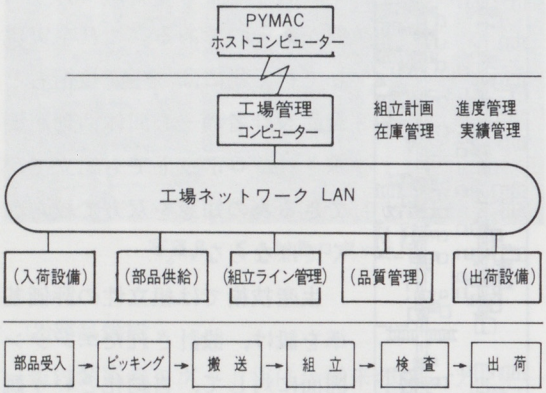


図４　ＦＡシステムの概念

７－１　生産計画管理

ＰＹＭＡＣの生産形態は「受注組立型生産」と呼ばれ，見込みによって部品を仕込み，受注によって組立，出荷をするものである。そして組立計画は直近の10日間ずつの指示を出す。

ＰＹＭＡＣの計画は厳守する事が原則であるが，現実には様々な理由でこれが阻害され，計画と実積の差異により現場に混乱が生じる。これを解決する為に，計画変更に柔軟に対応できる実行計画を工場管理コンピューターで作ることができる。

７－２　部品供給管理

第５工場で取扱う部品点数は約１万点にも及び，その集められた部品を11本の組立ラインへ，タイミング良く，間違いのないように供給する為にどうするか。共通で使う部品もあれば，設変された旧部品もある。各ラインの進度も計画通りとは行かない。これをサポートするのがＰＹＭＡＣである。

ＰＹＭＡＣでは，組立ラインを６グループに区切り，そこで組立てられる部品のリストを作る。第５工場では更に１つのグループを３つに区切りステーションと呼んでいる。結局，１本の組立ラインは18のステーションに分割され，そこで使われる部品のリストをグループリストと呼ぶ。この部品表を基に部品が製作され，納入され，最終組立ラインのステーションへ配給されるのである。

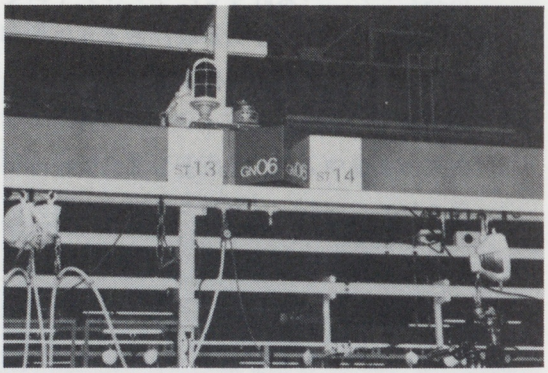


写真12　グループNo.とステーションNo.は組立ラインのサインボードに表示される。

７－３　ライン進度管理

各組立ラインの組立治具にはバーカードが取付けられており，時々，刻々と変化する組立ラインの進度情報を，オンライン，リアルタイムで収集し，各管理者へ状況を提供すると共に，部品供給への指示を出すことや，エンジン出荷場へ，情報を送ることができる。

７－４　エンジン出荷管理

完成されたエンジンは全て出荷場，ロータリー

ラックに一担，入れられ，車体工場の要求に応じて出荷をかける。

工場管理コンピューターは，20日分の出荷計画を持つが，出荷場ラックの制御コンピューターに，当日分と翌日分の計画を伝送し，下位では，その計画をベースに，トラックへの搭載計画を作り，出荷をする。

7－5　その他の機能

以上，第5工場の工場管理コンピューターの機能について述べたが，他にもサブ組計画管理，在庫管理，例外報告管理，等の機能を持ち，第5工場の間接業務の効率向上に貢献している。**写真13**は，入荷場を管理するコンピューター室である。

写真13　入荷場コンピューター室

8．IE

第5工場では撤底したＩＥ改善活動を行い，パフォーマンス100を実現することを目指している。ＩＥとはIndnstrial, Engineeringと呼ばれ，最適なワークシステムを志向するエンジニアリング・アプローチを意味する。組立ラインのショートライン化と本数の増加，ラインと同期する同期サブの実施，工程編成シミュレーションによる編成効率の向上，Ｍ３作戦と呼ぶ生産性向上活動の支援等，地味な活動ではあるが，確実に成果を上げている。

9．あとがき

以上，第5工場の概要と設計のコンセプトについて簡単に述べたが，当社の最新鋭の工場である為，抽象的な表現が多い事を，お許し願いたい。第5工場建設タスクチームが結成されたのが60年9月で，工場が部分的に操業を開始したのが，61年9月であり，設計から稼動まで1年間というヤマハらしい超スピードで，走り抜けたという感が強い。

この製造の力を結集して作られた第5工場が，日本経済新聞社から，87全国優秀事業所賞日経21の「ファクトリー部門」の10社に選出された。

我々の努力が世に認められた事を素直に喜び合うと共に，この工場建設に協力して頂いた各位に厚く感謝申し上げる次第である。

ヤマハ技術会　技報　第5号

昭和63年1月7日　印刷
昭和63年1月14日　発行
（禁無断転載）©
発行所　ヤマハ技術会
発行人　長谷川武彦
編集人　鈴木忠雄
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