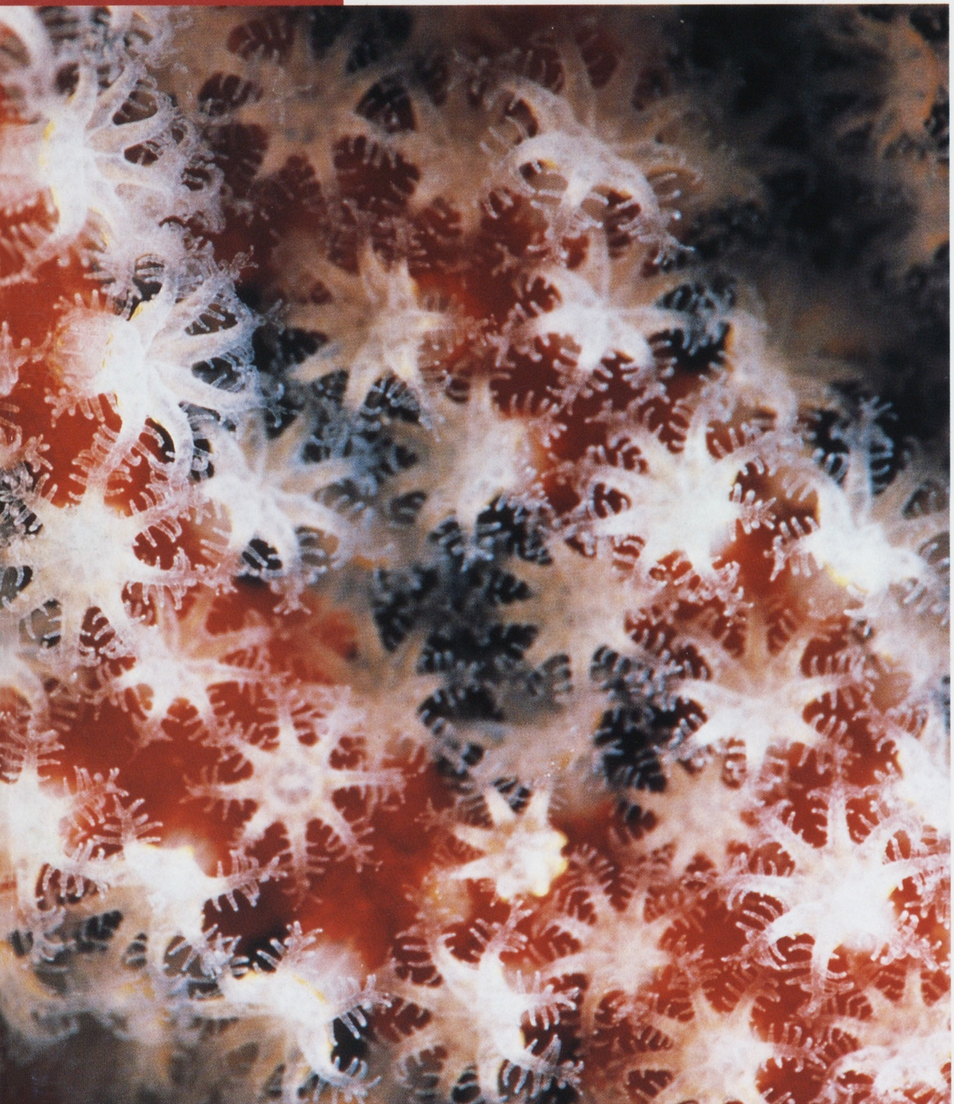
# YAMAHA MOTOR TECHNICAL REPORTS

## ヤマハ技術会 技報

No.17



1994-3

## 「珊瑚からのメッセージ」

海の底に一面敷き詰められている模様、一見ひとつの物体に見えるが、本当は小さな細胞がいくつもいくつも集まって美しい形をつくりあげている生物である。―― 広大な宇宙からみたらとても小さな存在である人間、一人一人の力を合わせそれが一体となった時、未知の成果を成し遂げるだろう。いつの時代にも探求心と熱意ある研究が地球を守る要素となるだろう。

# 目　次

## 技術論文


風力発電用電力変換装置の開発……日比野由貴夫……1

野外走行可能なレーザ位置計測式無人走行車両……望月　博文
村井　孝之
溝川　隆司………8

自動車E/Gをベースにした低NOx, 高信頼性GHP用E/Gの開発……前田　　徹
鈴木　茂人……14

小型船舶における複合材料の構造解析手法……小杉　隆司
柏川　政巳
高須賀利江………20

W. V(ウォータービークル)の低騒音化の研究……伊藤　和正
小谷野　敏………28

2ストローク船外機におけるクランク室内圧による空気重量検知……加藤　雅彦
野中　公裕………34


## 技術紹介


当社物流技術の新動向……熊田　博仲……42

硬質ウレタン発泡にノンフロン発泡システムの導入……伊藤　　博……45

YCLS(Yamaha Computerized Lubrion System)……矢代　善伸
高橋　邦男………46

TZR50R用エンジンの紹介……鈴木　　守……47

TT250R用エンジンの紹介……高橋　克至……48

XJR400用エンジンの紹介……鈴木　正人……49

台湾排ガス規制適合排気系の開発……奈良　　弘
式部　光兼
石田　洋介
鈴木　勝美
足立　竹司
鈴木　洋未………50


## 製品紹介


電磁誘導式立ち乗りカートターフエースの開発……仲井　政雄……51

# INDEX

## TECHNICAL REPORTS


Development of Electric Power Converter for Wind Power Generation Y.Hibino………1

An Autonomous Vehicle Using Laser Scanners for the spacious rolling field H.Mochizuki……8
T.Murai
T.Mizokawa……8

Development of Car Engine-Based, Low NOx, Highly Relisble GHP Engine T.Maeda
S.Suzuki………14

Structural Analysis Approach for Composite Material of Small Boat T.Kosugi
M.Kashikawa
R.Takasuka……20

Study on Technigue of Lowering Water Vehicle Noise Level K.Itoo
S.Koyano………28

Sensing of Air Mass in a Two-Stroke Outboard Engine Using Crankcase Pressure M.Kato
K.Nonaka………34


## TECHNICAL INTRODUCTIONS


YAMAHA New Logistics Technology H.Kumada………42

Introduction of Non-Flon Foaming System for Hard Urethane Foam H.Itou…………45

YCLS (Yamaha Computerized Lubrion System) Y.Yashiro
K.Takahashi……46

Introduction of Engine for TZR50R M.Suzuki………47

Introduction of Engine for TT250R K.Takahashi……48

Introduction of Engine for XJR400 M.Suzuki………49

Development of Exhaust System Conforming to Emission Regulations of Taiwan K.Nara
M.Sikibe
Y.Ishida
K.Suzuki
T.Adachi
H.Suzuki………50


## NEW PRODUCTS


Development of TURF ACE M.Nakai………51

ヤマハ技術会技報
1994-3 No.17

# 風力発電用電力変換装置の開発

## Development of Electric Power Converter for Wind Power Generation

日比野　由貴夫*
Yukio Hibino

**要旨**

風力発電はクリーンで無尽蔵なエネルギー源として，近年地球環境問題の高まりとともに太陽光発電や燃料電池発電等と同様に新エネルギー発電の一翼を担うものであり，海外では既に商用ベースで電力の一部を供給している状況にある．本稿ではプロペラ型風車を原動機とする発電装置として近年産業，民生両分野において多方面で活用されているインバータの技術を応用することにより変動する風力エネルギーを安定した電力として利用できるようにすると同時に効率良くエネルギーを取得することを狙いとして開発された電力変換装置についてその概要，制御方式及び試験データ等について報告する．

**Abstract**

Like solare power generation and fuel cell generation, the wind power generation which is considered to be a clean, inexhaustible energy source serves as one of the new power generation systems to meet the current situation where the global environmental problem is drawing greater attention, and in overseas countries, it supplies some of the electric power on a commercial basis.

Inverter technology has recently found many aplications in the industry and consumer fields and is used for the generator driven by the propeller type wind mill.

The inverter technology is utilized in a power converter which has been developed to use varying wind energy as a stable electric power source and to acquire energy efficiently. This paper describes the outline and control system of the power converter and shows the test data for it.

## 1　はじめに

図1は現状商用機として多用されている風力発電システムの概要である．自然風によって変動する電力と負荷が要求する電力との過不足分を商用電源が補完するものであり，系統連系システムという．（商用電源を一般に系統という．）図2に発電の原理を示す．この方式は発電機として汎用のカゴ型誘導電動機を用い，その回転子が風車によって駆動されるとその回転数に相当する周波数と系統の周波数との差（スベリ周波数）に比例して電力が系統に逆流（回生）する特性を利用したものであり，非常にシンプルな構成であることが特長である反面，次のような問題点が有る．

①スベリ周波数は通常系統周波数の数%以下であるので，風車はほぼ一定回転数で運転される．そのため翼の周速と風速との比が変化し，最大効率を維持できない．（翼の性能を最大限に引

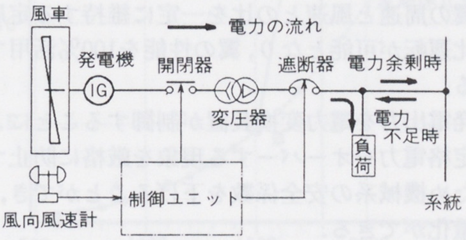



図1　一般的な風力発電システム

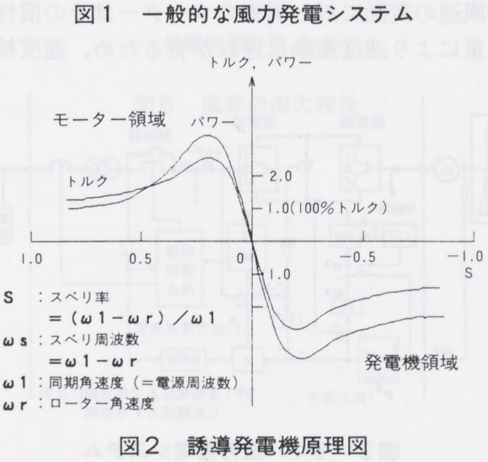



図2　誘導発電機原理図

* 技術本部 制御技術部

きだせない.)

②数%のスベリで定格電力に達するため，定格を越える風速に対し，定格電力を大幅にオーバーしてしまう．またそれによるピーク荷重の繰り返し回数が多く，主軸，増速機等の安全係数を大きくとる必要が有り，重量が増える.

③風速の急変を遅らせる要素が無く，風速の変動に伴う電圧変動によるフリッカー（照明機器のちらつき）が生ずる場合が有る.

④連系する系統が停電した場合，受電設備の進相コンデンサーや対地静電容量による誘導電動機の自己励磁現象によって単独で発電を継続する場合が有り保安上の問題が残る．（この現象は海外では通常問題にされない.)

これらの諸問題を改善することを狙いとして本装置を開発した.

## 2 システムの概要

図3にヤマハ風力発電システムの概要，**表1**に仕様を示す．一般的な方式との違いは誘導発電機と系統との間に二種類の半導体電力変換装置を設け，一方を順変換（交流／直流）装置，他方を逆変換（直流／交流）装置として機能させることにより，風車を広範囲に可変速運転可能としたことであり，これにより次のような特長を持つ.

①翼の周速と風速との比を一定に維持する定周速比運転が可能となり，翼の性能を100%活用できる.

②発電出力を電力変換装置が制御することにより定格電力をオーバーする現象を厳格に防止するため機械系の安全係数を下げることができ，軽量化ができる.

③風速の変動に対し風車のローターはその慣性質量により速度変動に遅れが有るため，速度検出後発電出力を決める制御法を採用することによりフィルタリング効果が生じ繰返し荷重の低減，フリッカーの抑制効果が大きい.

④電力変換装置に停電検出機能を付加することにより，単独運転を確実に防止できる.

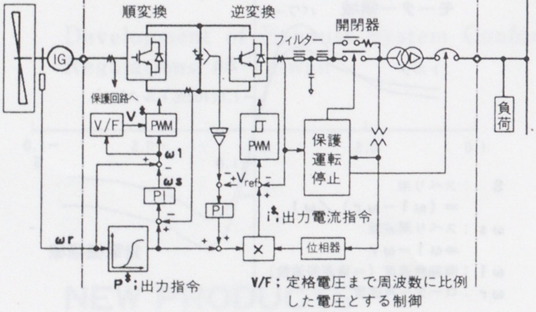



図3 ヤマハ風力発電システム

表1 風力発電装置仕様諸元

| | | |
|---|---|---|
| 風　車 | 種　類 | ダウンウィンド式プロペラ型風車 |
| | 出　力 | 21.5KW |
| | 回転数 | 81rpm |
| | 調速機の種類 | メカニカルガバナ方式,ピッチ変換 |
| | タワー形式 | モノポール起倒式 |
| | ローター外径 | 15ｍ |
| | ブレード枚数 | ２枚 |
| | ローター取付高 | 14.7ｍ |
| 発電機 | 種　類 | カゴ型誘導発電機 |
| | 容　量 | 18.5KW |
| | 電　圧 | 220Ｖ |
| | 相　数 | 3 |
| | 周波数 | 60Hz |
| | 回転数 | 1800rpm |
| 順変換装置 | 種　類 | トランジスタPWM 自励式コンバータ |
| | 入力電圧 | AC220V |
| | 出力電圧 | DC310V |
| | 定格周波数 | 60Hz |
| | 周波数 | 22.5～112.5Hz |
| | 最大入力 | 23KW |
| 逆変換装置 | 種　類 | トランジスタPWM他制自励式インバータ |
| | 入力電圧 | DC310V |
| | 出力電圧 | AC170V |
| | 周波数 | 60Hz |
| | 相　数 | 3 |
| | 定格出力 | 16.5KW |
| | 最大出力 | 20.4KW |
| | 力　率 | 0.95以上 |

## 3 風車の出力特性と発電機の制御

図4は風車の性能を示すものであり，翼端周速比$\mu$に対する出力係数$C_P$で表されている．$\beta$は翼のピッチ角である．今一定のピッチ角で風車を運転した場合，周速比$\mu$を一定にして$C_P$を最大点に維持できれば常に最大効率で運転でき，これを定周速比運転という[1]．この運転を行うためには$\mu$の定義から，風速Ｖの変動に比例して大幅に速度$\omega$を調整する必要が有る．これをカゴ型誘導電動機で実現するには周波数と電圧を自由に制御できる可変速インバータを用いて常時回生運転を行えばよい．**図5**に動作時の電圧電流分布を示した．この結果発電電力は一旦直流に変換され，系統に送電するために再度定電圧定周波数の交流に変換する．定周速比運転は種々の方式が報告されているが[2]，本方式は以下の基本式が示すように周速比一定の場合，風車の出力が回転数$\omega$の３乗に比例することに着目し，制御信号として$\omega$を検出する

だけで実現したものである．

$$P = (1/2)\,\rho\,\pi R^2 V^3 \cdot C_P \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

$\mu_0 = R\,\omega / V =$ Const より

$$P = (1/2)\,\rho\,\pi R^2 (R^3/\mu_0{}^3)\,\omega^3 \cdot C_P \cdots\cdots ②$$

ただし，Pはローター出力，Rはローター半径，$\rho$は空気密度である．図6は②式を用いて計算した出力特性である．運転領域全てを3乗特性通りに制御すると風車の回転数が危険領域となるため実際の特性は多少異なるが図4に示すように$C_P$としては0.4以上を確保している．また定格回転数を超えてローターのガバナが作動するピッチ制御領域においても出力を取得するようにしておきローターの慣性エネルギーを吸収する．この特性をメモリに記憶しておき，風車の回転数を検出することにより発電可能な出力を知り，順変換装置の出力指令として直流電流信号との誤差増幅信号を発電機のスベリ周波数として操作することにより，励磁電流の周波数 $\omega_1$ 及びそれに比例した電圧指令V* を決め，V* に比例した正弦波PWM信号 (Pulse Width Modulation)により主回路を構成するパワートランジスタを駆動することにより出力を制御する．図7に正弦波PWM信号の動作状況を示す．

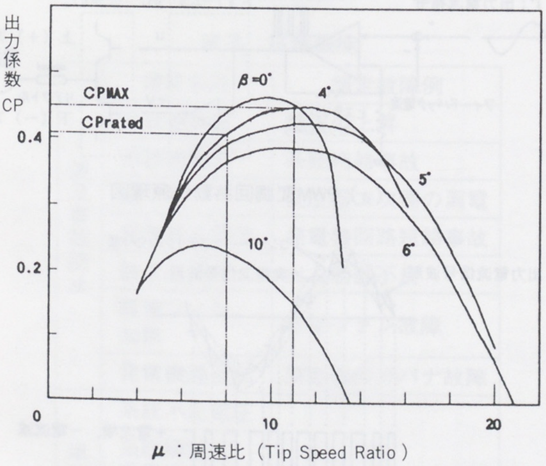



図4　風車の出力係数

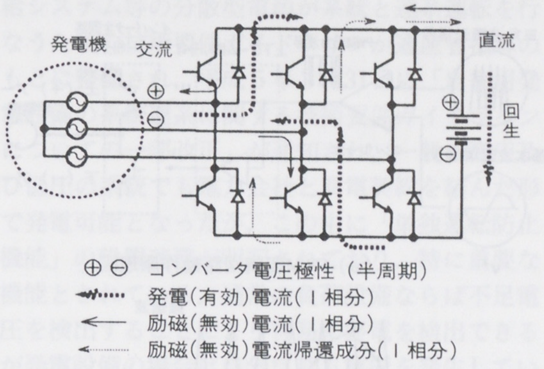



図5　順変換装置電圧，電流分布

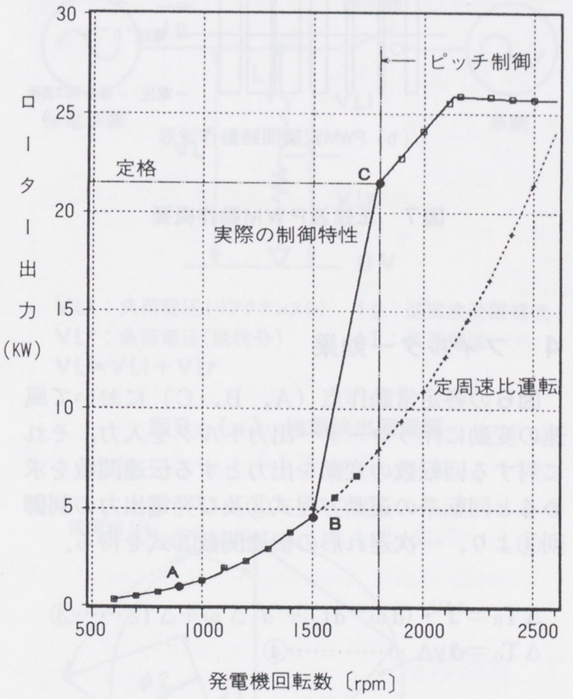
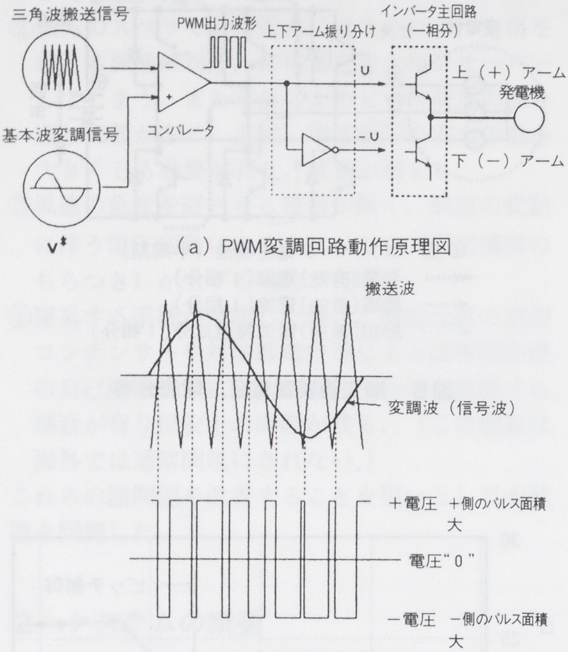



図6　風車の出力特性




（a）PWM変調回路動作原理図

（b）PWM変調回路動作波形

図7　正弦波PWM動作概要

## 4　フィルター効果

図6の各定常動作点（A，B，C）において風速の変動に伴うローター出力トルクを入力，それに対する回転数の変動を出力とする伝達関数を求めると回転系の運動方程式③及び発電出力の制御則④より，一次遅れ形の伝達関数⑤式を得る．

$$\Delta T_R = J\cdot(d\omega/dt) + \delta_1\Delta\omega + \Delta T_G \cdots\cdots ③$$

$$\Delta T_G = \delta_2\Delta\omega \cdots\cdots\cdots\cdots ④$$

$$\Omega = \frac{1}{\tau S + 1}\cdot\frac{T_R}{\delta}\cdots\cdots\cdots ⑤$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \cdots\cdots\cdots ⑥$$

$$\tau = J/\delta \cdots\cdots\cdots ⑦$$

$\Delta T_R$：ローター発生トルク
$T_R$：$\Delta T_R$のラプラス変換
J：慣性モーメント（系全体）
$\delta_1$：シャフトダンパー定数
$\Delta\omega$：発電機角速度
$\Omega$：$\Delta\omega$のラプラス変換
$\Delta T_G$：発電機トルク
$\delta_2$：出力ダンパー定数
S：ラプラス演算子

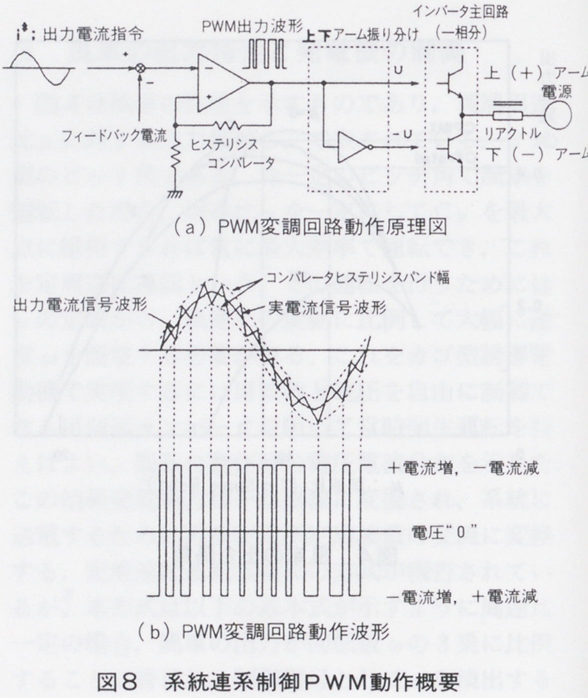
⑦式から時定数$\tau$を各動作点について求め，また同じ発電機を一定回転で運転させた場合と比較した結果を**表2**に示す．これにより，出力変動が比較的大きいB点においても変動周期1秒の変動風速に対して，出力の変動が約1/10程度に緩和することが判る．これにより，機械部品に加わる荷重の繰返し回数の低減及び出力変動に伴う電圧変動が抑制され，フリッカーが防止できる．

**表2　時定数$\tau$の比較**

| 動作点 | $\delta$2 | $\tau$ |
|---|---|---|
| A点 | 0.346 | 10.3 sec |
| B点 | 2.919 | 1.23 |
| C点 | 0.149 | 23.4 |
| 定回転数方式 | 47.53 | 0.076 |

## 5　系統連系制御

系統連系制御は，まず直流電圧一定制御を基本に据え，順変換装置の出力指令をフィードフォワ




（a）PWM変調回路動作原理図

（b）PWM変調回路動作波形

図8　系統連系制御PWM動作概要

ード信号としてこれに加え逆変換装置のピーク電流指令とする．これにより取得電力と送出電力との平衡を維持し，また風速の急変に対しても安定した制御が可能となる．一方系統との同期を行うために，線間電圧波形を検出し，これをローパスフィルターにより相電圧の位相に合わせ，これにより得られた正弦波波形をピーク電流指令に重畳させる．これを逆変換装置の各相ごとの出力電流指令として，フィードバックした瞬時電流との誤差信号をヒステリシスコンパレータに入力することにより，主回路を構成するパワートランジスタを駆動する正弦波ＰＷＭ信号を得る．動作の概要を図８に示す．

## ６　保護機能

本システムは系統と連系して運用するため保安面，電力の供給信頼度確保の観点から充分な保護機能を備える必要がある．表３に本システムが備えている保護機能を示す．機能を大別すると装置の故障や系統事故等に対する保護と単独運転防止対策とがあり，故障や事故検出は波及事故を防止するため，単独運転防止対策は系統の保守を行なう際に不特定の開閉器を開放することによる停電に対し，本システムが確実にそれを検出し発電を停止させるために設けたものである．近年太陽光，風力，燃料電池等の新エネルギー発電及び熱電併

表３　保護機能

| | 機能名称 | 想定故障例 |
|---|---|---|
| 波及事故防止 | 系統過電圧 | 電圧の上昇 |
| | 系統過電流 | 系統短絡事故 |
| | 漏　電 | 変圧器二次側の漏電 |
| | 発電機過電流 | 発電機回路短絡事故 |
| | 直流過電圧 | 出力制御不良 |
| | 放電フィン加熱 | 冷却ファン故障 |
| | 発電機過回転 | 原動機のガバナ故障 |
| 単独運転防止 | 系統不足電圧 | 作業停電等の系統無電圧 |
| | 系統瞬時過電圧 | |
| | 周波数上昇 | |
| | 周波数低下 | |
| | 電圧電流位相異常 | |

給システム等の分散型電源が系統と連系運転を行なうための技術要件ガイドラインが通産省指導のもとに整備され，平成５年３月31日に「自家用発電設備の系統連系に関する技術要件ガイドラインについての一部改正」が通知され，一般の高圧及び低圧の系統でも電力会社と買電契約を結んだ形で発電可能となったが，この中に「単独運転防止機能」の設置義務が明記されており，特に重要な機能とされている．通常の負荷設備ならば不足電圧を検出することにより容易に停電を検出できるが発電設備の場合は自分自身も電圧を発生しているので，特別な工夫が必要である．図９に本システムの検出原理を示す．

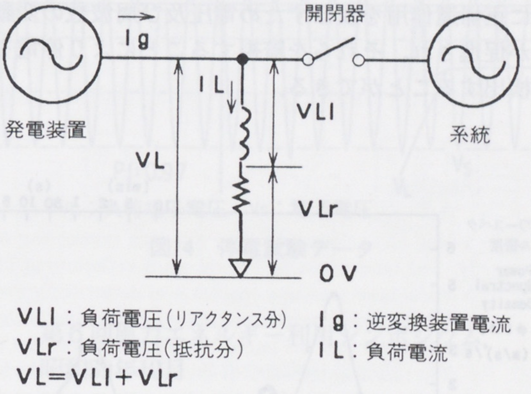



図９－（ａ）　停電検出原理図

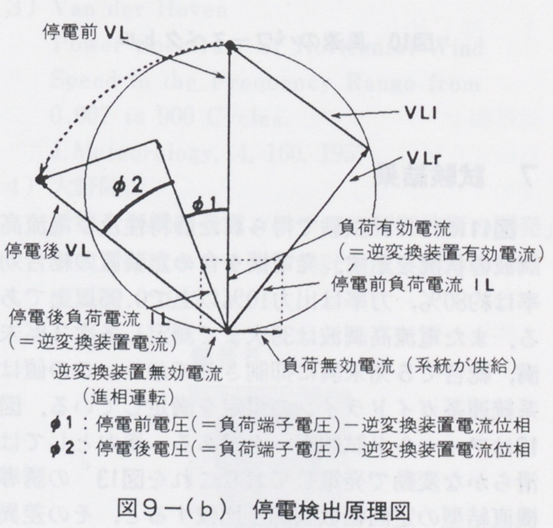



図９－（ｂ）　停電検出原理図

図９－(ａ) において開閉器を開放した時点で逆変換装置が供給する有効電流と負荷が消費する有効電流とが等しく無効電流が異なる（この場合は負荷が要求する遅相電流に対し供給不足）場合，逆変換装置は電流制御を行っているので，負荷との需給バランスがとれず，負荷電圧の位相が進み側（図の左側）に急変する．逆変換装置はこの電圧位相に追従して電流を流そうとするため，その正帰還作用により周波数が上昇する．遅相電流が供給過剰の場合は逆の現象（周波数低下）となる．有効電流と無効電流とも負荷とバランスしている場合は上記の現象が生じないが風力発電の場合は図10[3] に示すように周期10秒以下の変動成分が存在するため，それにより有効電流のバランスが崩れ前述の場合と同様に逆変換装置の出力電流指令に正帰還作用を及ぼすため電圧及び周波数の変動が促進され，それらを監視することにより停電を検出することができる．

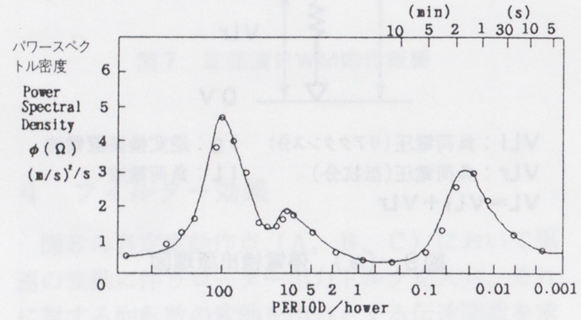


図10　風速のパワースペクトル

## 7　試験結果

図11にベンチ試験で得られた静特性及び電流高調波の状況を示す．発電機を含めた装置の総合効率は約80%，力率は出力10%以上で0.95以上である．また電流高調波は39次まで測定し各次３％未満，総合で５％未満に抑制されており，この値は系統連系ガイドラインの規定を満足している．図12はフィールド試験データである．風力としては滑らかな変動で発電しておりこれを図13[4] の誘導機直結型の定回転数制御と比較すると，その差異は明かである．図14はベンチ試験で得られた停電時の単独運転試験データである．負荷との電力需給バランスがとれていない場合は特に問題無く停止できるので省略し，ここでは無効電流即ち負荷力率のみを微少に不平衡状態にしたものを示す．これによると，無効電流不平衡状態の場合は周波数が上昇もしくは低下していることがわかり可能な限りバランスさせた場合でも10サイクル程度で停止していることが判る．

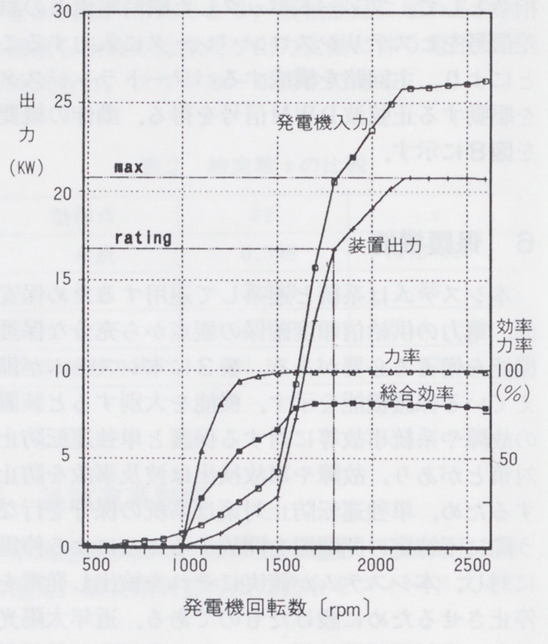


図11－(ａ)　ベンチ試験静特性

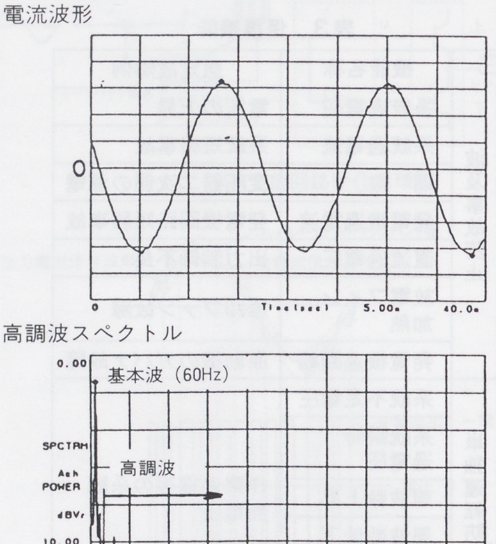


図11－(ｂ)　電流波形，高調波スペクトル

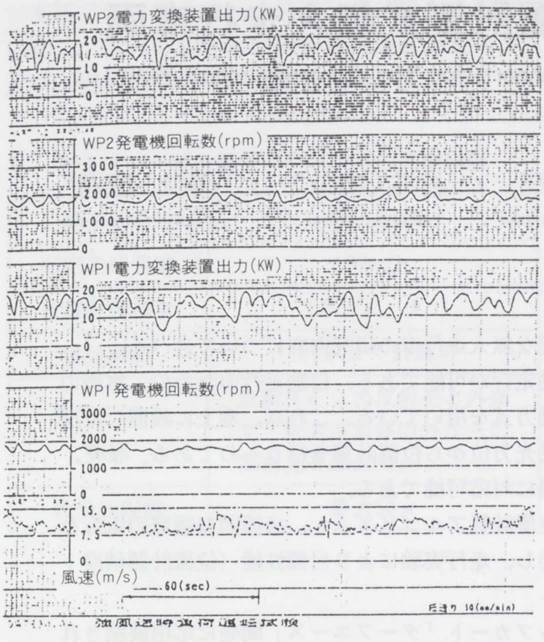



図12 フィールド試験結果

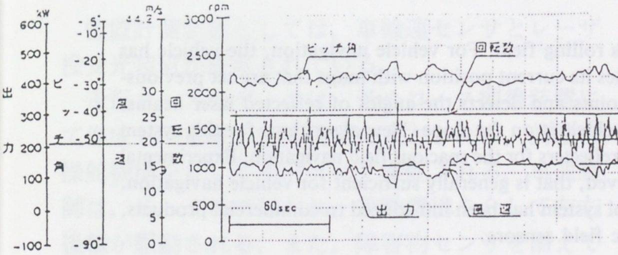
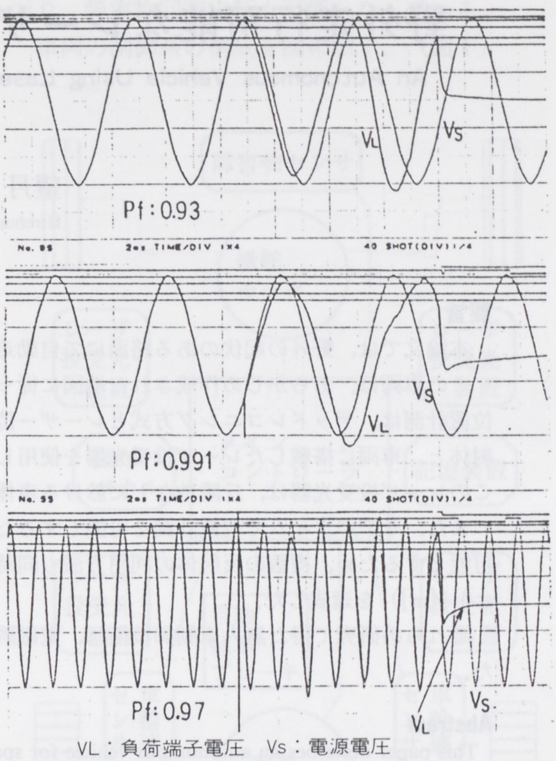



図13 誘導機直接接続方式出力例




VL：負荷端子電圧 Vs：電源電圧

図14 停電試験データ

## 8 おわりに

誘導発電機と系統との間にインバータ技術を応用した電力変換装置を挿入することにより，従来方式に無い特長を持った風力発電装置とすることができた．現在国内において10台ほど実証試験的に稼働中であり，今後これらの運転実績を踏まえて性能，品質及びコストの作り込みを行っていく予定である．インバータの技術は近年太陽光発電や燃料電池発電等の分散型直流発電機を系統に連系する新エネルギー発電分野への応用が開拓されているが今回開発された電力変換装置もそれらと同じ分野に属するものであり，今後石油代替エネルギー利用技術の一つとして普及していくものと思われる．

■参考文献

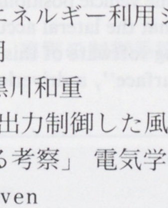
1）西本登「風車発電機の制御」
第６回風力エネルギー利用シンポジウム
昭和59年12月

2）鈴木茂行，黒川和重
「風速により出力制御した風力発電システムの特性に関する考察」 電気学会研究会 1984

3）Van der Hoven
Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in the Frequency Range from 0.007 to 900 Cycles.
J.Meteorology, 14, 160, 1957

4）大野隆彦
「集合型風力発電システムの制御技術の開発」
平成３年度サンシャイン計画成果報告書
概要集 1992

■著者



日比野 由貴夫

ヤマハ技術会技報
1994-3 No.17

# 野外走行可能なレーザ位置計測式無人走行車両

## An Autonomous Vehicle Using Laser Scanners for the spacious rolling field

望月 博文* Hirohumi Mochizuki
村井 孝之* Takayuki Murai
溝川 隆司* Takashi Mizokawa

**要旨**

本論文では，野外の起伏のある路面にて自動走行可能な無人走行車の研究内容について述べる．

この車両は，あらかじめ作成された地図に従って自動走行が可能である．自動走行のための，車両の位置計測は，デッドレコニング方式とレーザー位置計測方式を用いている．これは，地上に設置した反射体と，車両に搭載したレーザ投受光器を使用して，受光方位から位置計算を行うものである．また，このレーザ投受光器は，丘陵地などに於ける車体の傾斜に対応可能である．

また，リアルタイムで位置計測を可能とするための位置計算アルゴリズムと，広範囲な領域の走行を可能とするため，複数の反射体の利用方法も同時に開発し，走行実験により目標性能（位置計測精度：±0.1[m]）を達成した．

これらの研究で得た無人車制御技術は，電磁誘導ゴルフカート「ターフエース」開発に応用展開された．

**Abstract**

This paper describes an autonomous vehicle for spacious rolling field. For vehicle navigation, the vehicle has a dead reckoning and a laser scanning system that determines its current position with maps that are set previously. The laser scanning system scans reflecters of known points and detects the angles of reflected laser beams. Vertical laser scanning enables it to detect them when the vehicle is on the slope. New algorithms for this system provide real-time vehicle positioning and proper selections of reflecters for the spacious field navigation. Experimental results show that the lateral accuracy of 0.1 m can be achieved, that is generally sufficient for vehicle navigation.

The resulting software of this autonomous vehicle control system has been introduced to commercial products, including ''Turface'', a driverless golf cart using magnetic field sensors.

## 1 はじめに

ゴルフ場等の野外の広範囲かつ起伏のある未舗装路面を，レールや誘導線等のガイドを用いずに自動走行可能な車両の実現を目的として，研究を進めてきた．

無人走行車両を自動走行させる方法として，従来，デッドレコニング方式がよく用いられてきた.[1] しかし，この方式は，
⑴路面の傾斜などによるタイヤの変形．
⑵タイヤのスリップ．
等の問題により，計測される位置の累積誤差が大きく，この方式だけでは，起伏のある未舗装路面での無人走行の実現は難しい．また，デッドレコニング方式の問題点を解決する方法として，地上に設置した反射体と車両に搭載したレーザ投受光装置を使用して，受光方位から三角測量の原理により位置を計測する．レーザ位置計測システムが研究されてきたが，ゴルフ場のような野外の広い丘陵地に適用するには，以下に示す問題点があった．

⑴ 車体が傾斜すると投受光が不可能となる場合が発生する．

⑵ 外来光等によるレーザ投受光装置の誤動作の発生．

⑶ 走行が可能な領域が一組の基準となる反射体の範囲内に限定される．

そこで，これらの問題点を解決する新しいレーザ位置計測システムを考案し，未舗装で起伏のある路面でも使用可能な無人走行車両を実現すべくテスト・改良を繰り返し，所定の目標性能(**表１**)を達成した．

＊ 技術本部制御技術部

本稿では，このレーザ位置計測式無人走行車両に関し，車両システムの概要と位置計測システム，及び，実験結果について報告する．

表1　レーザ位置計測システムの目標性能

| 項　目 | 目　標 |
|---|---|
| 対応走行速度 | 6 km/h |
| 位置計測精度 | ±0.1 m，±1° |
| 車体傾斜 | ±20°まで計測可 |
| 受光光線の識別 | 反射体からの反射光と外来光・所定反射体以外からの反射光を識別可． |
| 投受光距離 | 最大50 m |

## 2　車両システムの概要

位置計測装置としては，車輪速センサとレーザ投受光装置が搭載されている．

走行コースのデータは，予めコース編集装置にて作成し，車載の記憶装置に入力される．前輪は，操舵機構を介してモータにて操舵される．車速制御は，モータにて行われ，差動機構を介して左右後輪が駆動される．また，障害物センサを備えており，障害物回避走行も可能となっている．

車両の制御系の構成を図に示す．（図1）

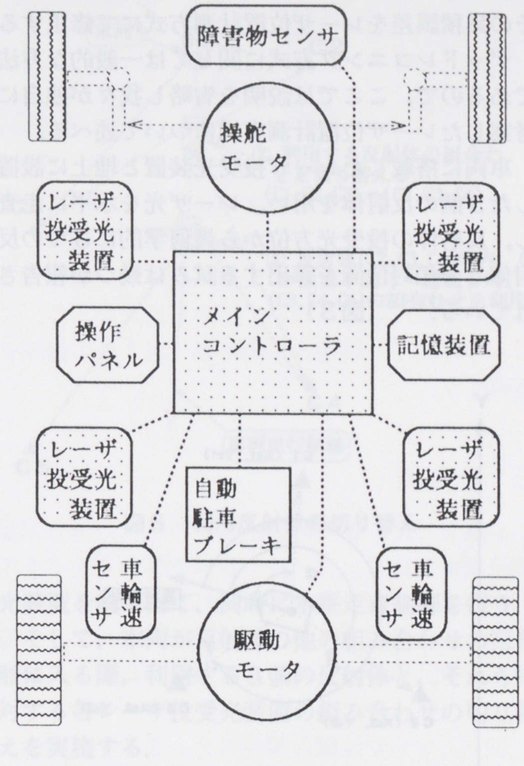



図1　車両の制御系構成図

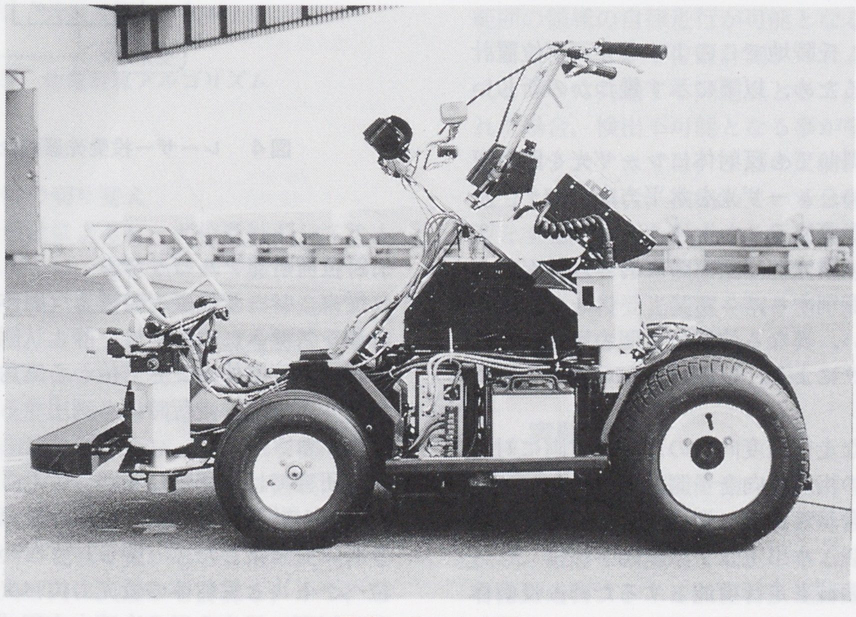


図2　テスト車両

## 3 レーザ位置計測方式

車両の位置は，基本的には左右の車輪速センサを使用してデッドレコニング方式により計測し，その累積誤差をレーザ位置計測方式にて修正する．

デッドレコニング方式に関しては一般的な方法であるので，ここでは説明を省略し我々が独自に考案したレーザ位置計測方式について述べる．

車両に搭載したレーザ投受光装置と地上に設置した3個の反射体を用い，レーザ光を水平に走査し，反射体の投受光方位から幾何学的に3つの反射体との相対位置を算出する試みは幾つか報告されている.[2],[3] (図3)

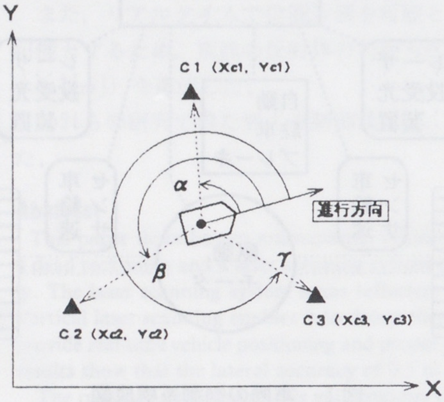



図3 従来の位置計算原理（静止状態）

本研究では，丘陵地でこのようなレーザ位置計測を可能とするため，以下に示す幾つかの新しい試みを行った．

(1) 車体が傾斜しても反射体にレーザ光を照射可能とするため，レーザ光を水平方向に加え，垂直方向にも走査する．

(2) 外来光（太陽光線や所定の反射体以外からの反射光）を識別する．

(3) 走行に伴い，異なる位置で3個の反射体の受光方位データにより，位置計算が可能なアルゴリズム．

(4) 計測可能な走行速度向上のため，車両に対する各反射体の相対方向を予測計算し，レーザ投受光装置3台がそれぞれ担当する反射体(3個)を同時に狙い，水平走査する制御手法．

(5) 広範囲な領域を走行可能とするため，反射体の組み合わせを，順次切り替えられる．

### 3.1 レーザ投受光装置の仕組み

レーザ投受光装置の構成（図4）について述べる．投受光装置は，モータにより水平方向に走査され，かつ，装置内部のポリゴンミラーによりレーザ光は上下にも走査される．反射体からの光を受光するとコントローラに受光信号が送られ，コントローラは投受光装置の水平回転軸に取り付けられたロータリーエンコーダの値から受光方位を計測する．

外来光による誤動作を防止するため，反射体（コーナキューブ）表面の偏光板と投受光装置内部の受光光線の偏光状態を検出する仕組みにより，所定の反射体からの受光の場合のみコントローラに受光信号を送る．

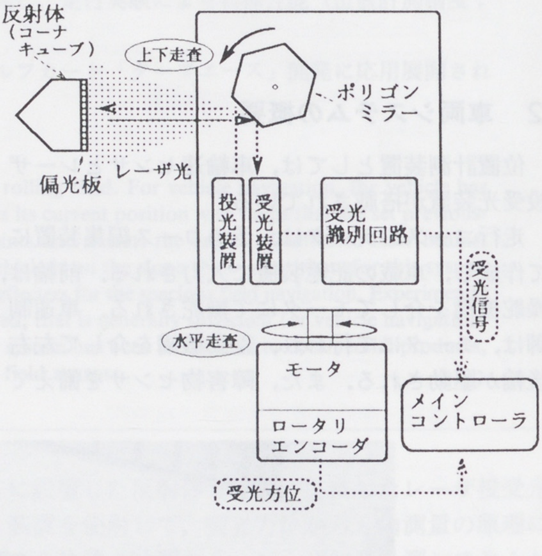



図4 レーザー投受光器の仕組み

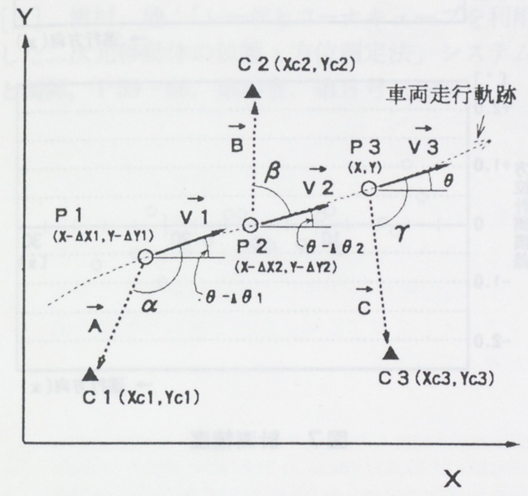
### 3.2 位置計算アルゴリズム

従来，レーザ投受光装置と反射体を用いた位置計測システムにおいては，静止状態での1地点での3個の反射体の受光方位から三角測量の原理で計算する方法を走行時にも適用する事例が報告されている.[3]

本研究では，移動しながらでも3ヶ所の反射体の方位が計測できれば，位置が計算できるアルゴリズムを考案した．（図5）すなわち，車両の方位ベクトルと反射体の受光方位ベクトルの内積から，以下に示す3元2次連立方程式を立て，数値

計算により最終受光時点での位置を計算するものである．

$$\vec{A}\cdot\vec{V1} = |\vec{A}|\cdot|\vec{V1}|\cos\alpha$$
$$\vec{B}\cdot\vec{V2} = |\vec{B}|\cdot|\vec{V2}|\cos\beta$$
$$\vec{C}\cdot\vec{V3} = |\vec{C}|\cdot|\vec{V3}|\cos\gamma$$




P 1, P 2, P 3：受光位置
C 1, C 2, C 3：反射体位置
$\theta-\Delta\theta_1$, $\theta-\Delta\theta_2$, $\theta$：車両進行方位
$\alpha$, $\beta$, $\gamma$：受光方位(車両との相対角度)
$\vec{V1}$, $\vec{V2}$, $\vec{V3}$：車両進行方位ベクトル
$\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$：受光方位ベクトル

図5　位置計算アルゴリズム

### 3.3 利用反射体の切り替え

従来の三角測量によるレーザ位置計測システムを用いた無人車では，走行領域が一組の反射体の範囲内に限定され，広範囲の領域の自律走行には不向きであった．そこで，本問題点を解決するため，利用する反射体を順次切り替えて，広範囲の走行の実現を可能とする方式を考案した．(図6)

各反射体の設置位置，及び，三角形を構成する3個の反射体の組み合わせは，無人に搭載の記憶装置に入力されている．

走行時，車両の現在位置がどの3個の反射体で形成される三角形内に入るかを計算し，かつ，3ヶ所の反射体に対して3台の内最適なレーザ投受光装置を割り当て，同時に水平走査制御を行う．

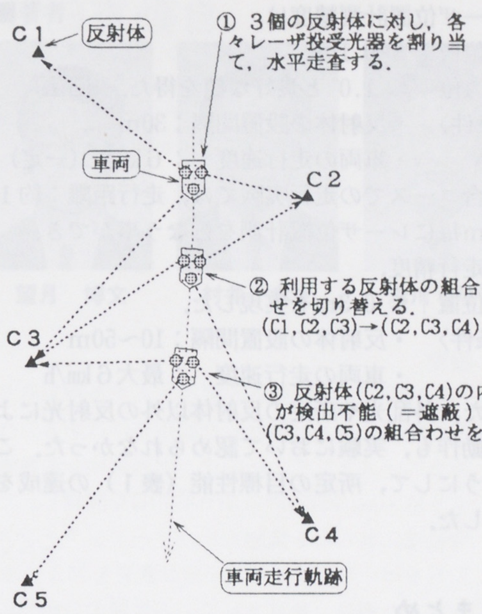



図6　利用反射体の切り替え

そして，車両が反射体の他の組み合わせの三角形に入る際，利用する3個の反射体と，それらに対する各レーザ投受光装置の組み合わせの切り替えを実施する．

この様にして，走行に伴い利用する反射体の組み合わせを順次切り替えていく事により，反射体—レーザ投受光装置間の許容距離に関わらず，広範囲の領域の自律走行が可能となる．

さらに，レーザ位置計測システム，及び，光学式センサに共通する問題点として，光路を遮蔽された場合，検出不可能となる事が挙げられる．そこで本システムでは，1個の反射体が一定時間検出できない場合，検出している2個の反射体を一辺とする三角形を形成する反射体の内，最適な物を選定し，この3個の反射体に対して新たに担当するレーザ投受光装置を割り当て，位置計測を行う手法を試みた．

## 4 実験結果

前述のレーザ位置計測システムを搭載した無人走行車両を製作し，レーザ位置計測精度の検証，及び，野外の未舗装で起伏のある路面と舗装路面を含む走行コースを設定し，走行実験を実施した．

結果は，以下の通りである．

レーザ位置計測精度は，
｜位置｜≦ 0.1m,
｜方位｜≦ 1.0°と良好な値を得た．（図7）
〈条件〉　・反射体の設置間隔：30m
　　　　　・車両の走行速度　：6km/h（一定）

複合コースでの走行実験では，走行距離：約1～2m毎にレーザ位置計測を行なう事ができ，
走行精度，
｜位置｜≦ 0.3mを実現した．
〈条件〉　・反射体の設置間隔：10～50m
　　　　　・車両の走行速度　：最大6km/h

また，外乱光や所定の反射体以外の反射光による誤動作も，実験において認められなかった．このようにして，所定の目標性能（表1）の達成を確認した．

## 5　まとめ

本論文では，野外の広範囲かつ起状のある未舗装路面において，レールや誘導線等のガイドを用いずに自動走行可能な無人走行車両に関し，車両システムの概要と，レーザ位置計測システムの原理・位置計算手法，及び，実験結果について述べた．

以上，レーザ位置計測システムを中心に述べたが，本研究を通じて得た無人走行技術は，電磁誘導ゴルフカート「ターフエース」開発に応用展開され（図8），'93年10月に発売となった．

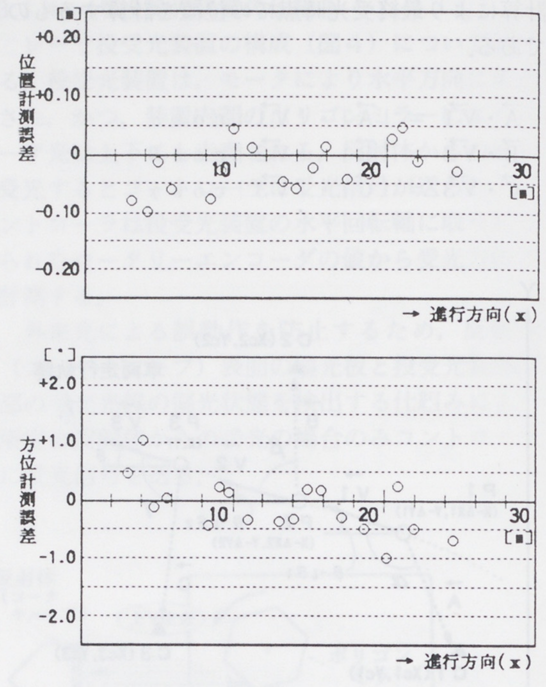



図7　計測精度

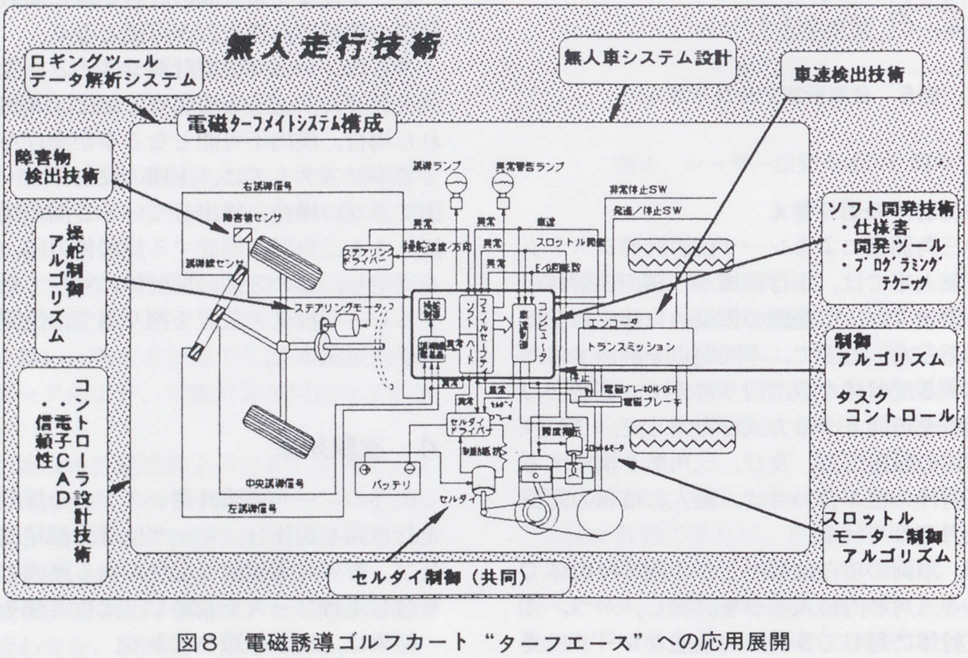
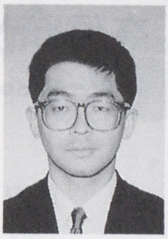



図8　電磁誘導ゴルフカート“ターフエース”への応用展開

■参考文献
［1］ 津村，他：「移動体の現在位置・進行方位計測の一方法」日本機械学会論文集，VOL. 47，№421，
PP. 1153−1160（1981）
［2］ 西出，津村，他：「２次元移動体姿勢測定装置（レーザ・ナビゲータ）」第３回アドバンティ・シンポジウム，Ｐ31−34（1990）
［3］ 津村，他：「レーザとコーナキューブを利用した二次元移動体の位置・方位測定法」システムと制御，Ｐ59−66，第29巻，第８号（1985）

■著者


望月　博文

村井　孝之

溝川　隆司

# 自動車E/Gをベースにした低NOx，高信頼性GHP用E/Gの開発

Development of Car Engine-Based, Low NOx, Highly Relisble GHP Engine

前田　徹* Tooru Maeda
岡田　雄三** Yuuzoo Okada
鈴木　茂人*** Sigeto Suzuki

**要旨**

GHP用E/Gは，燃料が都市ガスで多種類有り，一定低速運転に近く20000 Hrの長寿命が要求されるなど自動車E/Gとは異なった使用条件にある．今回，量産されているLPGを燃料とするタクシー用E/G技術をベースとして，圧縮比，燃料供給システム，動弁系，ブローバイシステムなどを設計変更する事により低NOx，高信頼性GHP用E/Gを開発し，このE/Gを搭載したGHPの市場展開を近々予定しています．今後は，さらなる低NOx化，ノーメンテナンス化，さらなる長寿命化を図る事が課題です．また自動車E/Gをベースとして適切な設計変更を加える事により低NOx，高信頼性GHP用E/Gを実用化できる事を実証した事は，量産されている多種の自動車E/Gをモディファイしてガス E/Gに転換できる可能性を示し，この事は，エネルギーの有効利用の一つの形であると考えています．

**Abstract**

A GHP engine differs from a car engine in opeerating conditions in that it burns various types of city gases, runs at a constant low speed, and is required to have a long service life of 20,000 hours. A low NOx, highly reliable engine has been achieved by redesigning compression ratio, fuel supply system, valve gear and blow-by system on a production LPG taxi engine. In the near future, the GHP units equipped with this engine will be placed in the market. Our future targets are to achieve a lower NOx concentration, to establish a maintenance-free system and to design for a longer service life.

The fact that a practical, low NOx, highly reliable GHP engine is developed by properly redesigning a car engine indicates the possibility that various production car engines can be converted into gas engines. It also indicates the way towards effective use of energy.

## 1　はじめに

エネルギーセキュリティー，エネルギーの有効利用等の目的により都市ガス，LPGを燃料とするヒートポンプ(GHP)が実用化され，市場で好評を得ている．現在日本では，'85年より生産が開始されて以来100000台稼働しており，その重要性は益々増してきている．ヤマハは，現在マツダ㈱の自動車用FE(2.0ℓ)E/GをベースとしGHP用として開発し生産をしている．近年環境保護の面より低EM(特に低NOx)化が強く要望されており，ここに自動車E/Gをベースにした，20HP低NOx，高信頼性GHP用ガスE/G(F2)を開発したので報告する．

*, **　マツダ産業㈱ 設計部
***　ＧＨＰ事業部技術部

## 2　GHPの紹介

GHPは，電気の空調機がモーターを使う代りに，ガス燃料を使用したE/Gでコンプレッサーを駆動し，冷，暖房を行うものである．更にE/Gの排気熱の有効利用もはかるものである．具体的なGHPのシステム例をFig 1に示す．

## 3　GHP用E/Gの開発目標

GHPはモーターでコンプレッサーを駆動するEHPと競合できるユニットである必要がある．そのためには，EHPは殆どメンテナンスが不要であるため，GHPユニットの寿命は10年（実働時間20000Hr）以上，E/Gのメンテナンスインターバルは，少なくとも1年（実働2000Hr）毎でなければならない．従来のGHP（FE　E/G 使用）は，

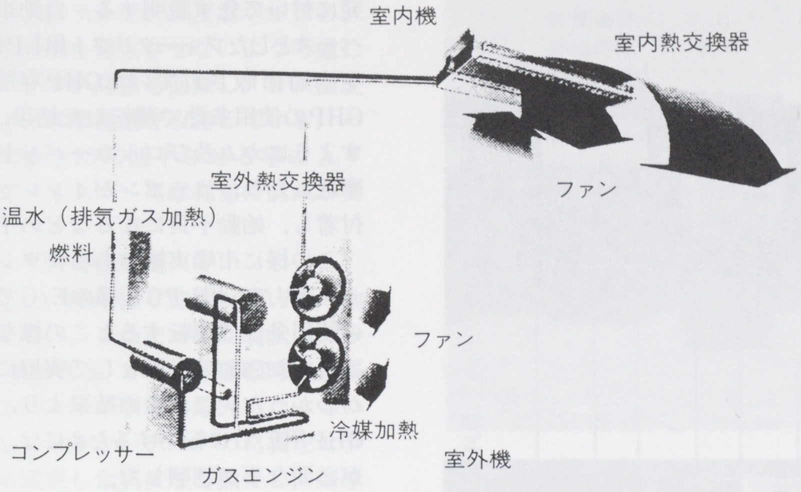



Fig 1　GHPシステム

Table 1　GHP用エンジンの主要開発目標及び主要諸元

| 項　目 | 現量産中のFEエンジン | 新開発 低NOx F2エンジン | （参考）<br>タクシー用FEエンジン |
|---|---|---|---|
| **主要開発目標** | | | |
| 1）性　能 | | | |
| a　トルク | 127Nm/1400rpm(13A) | 137Nm/1600rpm(13A) | |
| b　使用回転数範囲 | 700～2000rpm | 700～2400rpm | |
| c　排熱回収率 | （入力ー軸出力）×0.85 以上 | （入力ー軸出力）×0.85 以上 | |
| d　EM値(NOx値) | | 500ppm 以下<br>（実用領域トルク70Nm以下） | |
| e　エンジン制御 | 運転制御の無人化 | | |
| 2）耐久信頼性エンジン寿命 | 20000Hr | 20000Hr | |
| 3）サービス性<br>（交換インターバル） | | | |
| a　オイル | 2000Hr | 4000Hr | |
| b　オイルフィルター | 2000Hr | 4000Hr | |
| c　点火プラグ | 4000Hr | 4000Hr | |
| d　エアークリーナエレメント | 4000Hr | 4000Hr | |
| **主要諸元** | | | |
| 1）機関名 | 4サイクルエンジン | 4サイクルエンジン | 4サイクルエンジン |
| 2）シリンダー数　径×行程 | 直4　86.0×86.0 | 直4　86.0×94.0 | 直4　86.0×86.0 |
| 3）行程容積 | 1998 | 2184 | 1998 |
| 4）圧縮比 | 9.8 | 8.4 | 10.3 |
| 5）バルブタイミング | 2 / -2<br>53 / 57 | 2 / -2<br>53 / 57 | 10 / 10<br>40 / 40 |
| 6）バルブリフト | 8.0 | 8.0 | 10.0 |
| 7）燃料供給系 | ダウンドラフト シングルボア式 | ダウンドラフト シングルボア式<br>パワーバルブ付 | ダウンドラフト 2ボア式<br>パワーバルブ付 |
| 8）点火プラグ | 標準タイプ，ギャップ0.5mm | 白金タイプ，ギャップ0.5mm | 標準タイプ，ギャップ1.1mm |

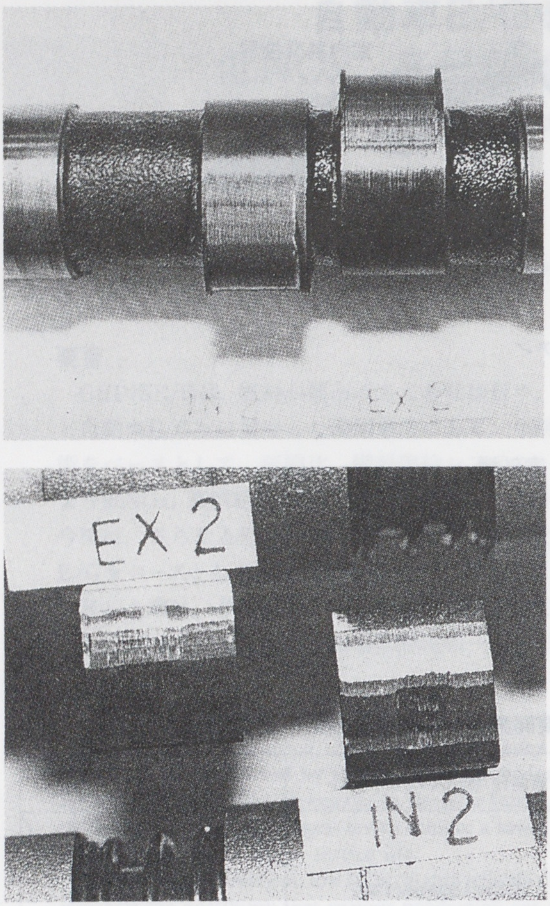



写真1　カムノーズとロッカーパッドのスカッフィング

1年メンテナンスを最低インターバルとして実用化されている．更に，環境保護の面から以下に報告するような技術開発が必要であった．低NOx，高信頼性E/G開発に於いては，市場要求を受け商品力を高めるために2年（実働時間4000Hr）インターバルを開発目標とした．更に，環境保護の面からEM値（特にNOx値）の低減が，厳しく要求されるようになってきており，NOx値500ppm以下をF2　E/Gの開発目標とした．以上のようにして設定した低NOx，高信頼性GHP用E/Gの主要開発目標及び主要諸元をTable 1に示す．

## 4　GHP　E/Gの開発項目

### (1)GHP用E/Gにおける信頼性開発

F2　E/Gの信頼性開発は，FEの信頼性開発がベースになっている．そこでFE　E/Gの信頼性開発に付いて先ず説明する．自動車(タクシー)用をベースとしたフォークリフト用LPG仕様E/G(FE)を当時市販されていたGHP専用オイルを使用しGHPの使用条件で運転した結果，**写真1，2**に示すようにカム及びロッカーパッドが異常スカッフ摩耗したり，カーボンがインレットバルブ傘部に付着し，始動不良になるなどの不具合が発生した．

この様に市場実績のあるタクシー用あるいはフォークリフト用LPG仕様のE/Gであっても，GHPの使用条件で運転するとこの様な不具合が発生しこのままではGHP用として実用に耐えられない事がわかった．これらの結果より，自動車用E/GをGHP用E/Gに転用するためには，下記の開発項目が必要な事が判明した．

①動弁系摩耗対策（カムシャフト，ロッカーアーム）
②オイル劣化改善
③インレットバルブのカーボン付着対策
④点火プラグ寿命向上

此処では，そのうち動弁系の摩耗とインレットバルブのカーボン付着の対策例に付いて詳細説明をする．

(a)動弁系摩耗対策

カムノーズ及びロッカーチップ摩耗は出力低下の原因となるため，下記対策を実施し改善を図った．

ｉ）オイル改善

E/G動弁系，特にカムノーズ摩耗には，E/Gオイルに古くから多目的添加剤として使用されているZnDTP（Zinc Dialkyl diThio Phosphate）のタイプが大きく影響する事はよく知られている．開発当初，既にGHP専用E/Gオイルとして推奨市販されていたオイルを使用したところ，**写真1**の様にカムノーズ及びロッカーチップが著しく摩耗した．これらのオイルは，ピッチングに対する耐摩耗性のあるZnDTP（セカンダリー／プライマリー）タイプでありスカフィングに対する耐摩耗性が問題となるO.H.C　E/Gには有効では無かった．この為，ZnDTPを耐スカッフ性のあるタイプ（セカンダリー単独）に変更しスカッフィングに対する耐摩耗性を向上させた．Fig2にオイル変更によるカムノーズ摩耗量の低減を示す．

ii）カム面圧の低下(バルブスプリング荷重の低減)

バルブスプリングのサージング及びバルブのジャンピング，バウンスを発生させないよう考慮しつつ，バルブスプリング荷重を低減し，カム面圧を低下させカムノーズ摩耗量を改善している．バルブスプリング荷重を25%低下させる事によりFig2に示すように，カムノーズ摩耗量の低減が実現できた．

iii）ロッカーチップの材質変更

カムノーズ付近は，相対滑り速度が遅いため油膜厚さが薄くなり易い．そのため特に現状のロッカーチップ材質（焼結合金）では低速運転時に金属接触が起り易くカムノーズ摩耗の原因になっている．この対策としてロッカーチップの材質をセラミック（Si3N4）に変更し金属接触を無くし，耐摩耗性の向上を図った．Fig2にロッカーチップ材のセラミック化によるカムノーズ摩耗量の低減を示す．

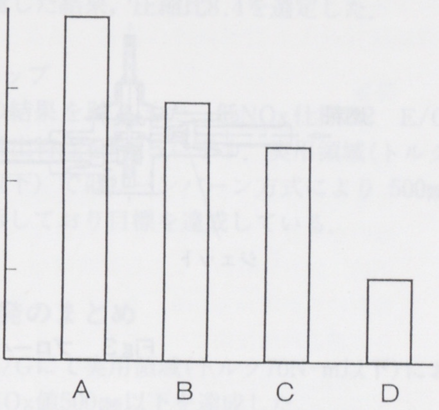



Fig2 カムシャフト摩耗

(b)インレットカーボン付着対策

ガスE/Gでは，ガソリンE/Gの様に燃料によるインレットバルブの洗浄が行われないため，写真2に示すようにバルブ傘部にカーボンが付着する．このカーボンがE/G停止中に剥離する事があり，始動時に剥離したカーボンがインレットバルブとバルブシートの間に咬み込んで，コンプレッションが低下し，始動不良につながる．カーボン付着の主要因は，ブローバイガスに含まれているオイルミストがバルブ傘部に付着し，燃焼熱で炭化されて次第に堆積した結果である事が各種のテスト

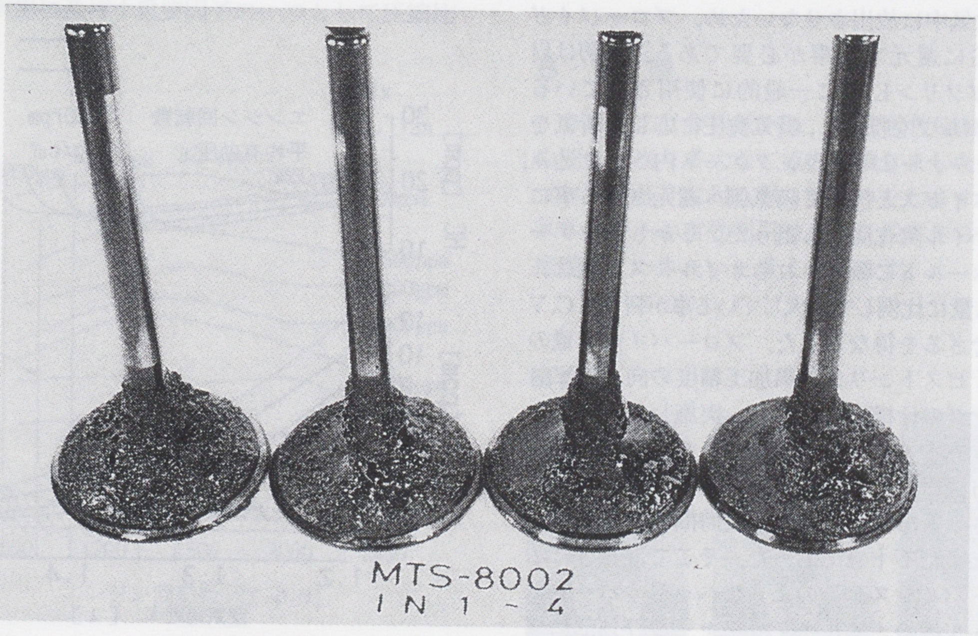



写真2 インテークバルブの付着したカーボン

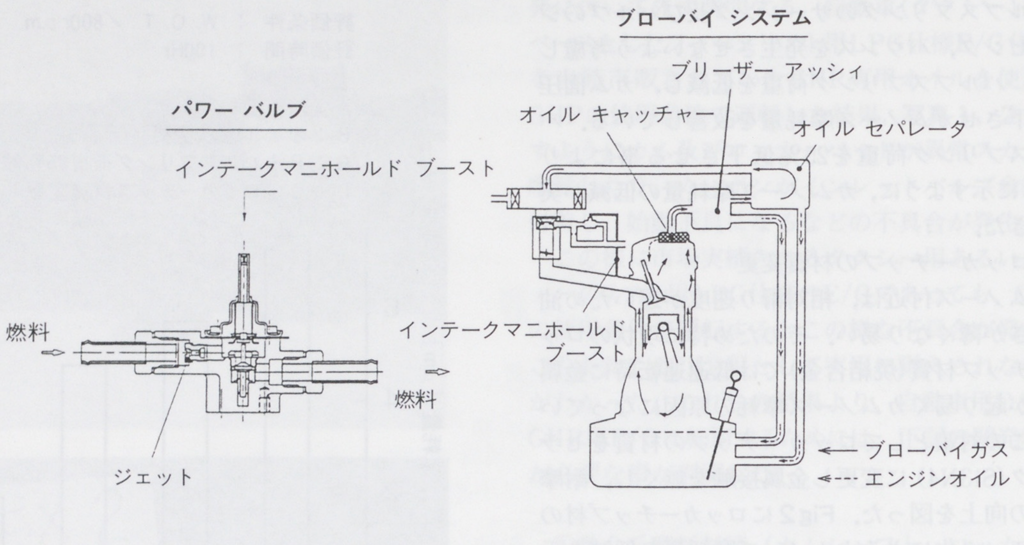



Fig３　ブローバイシステム(FE)と燃料供給システム(F2)

結果で解明された．従って，ブローバイガス中のオイルミストを除去する事がカーボン付着の防止に有効でありブローバイガスからのオイルミスト量の低減とオイルミストの分離の二通りの対策を実施した．

ｉ）ブローバイガス量の低減（オイルミスト量の低減）

環境保護の面から未燃焼ガス中の有害物質（HC等）を多く含んだクランクケース内のブローバイガスを大気中に放出させないため，ブローバイガスをE/Gに還元する事が必要である．当初は自動車用ガソリンE/Gに一般的に使用されているP.C.Vバルブを採用し，吸気負圧に応じた新気をエアクリーナーよりクランクケース内へ送り込み，ブローバイガスと併せて吸気側へ還元させる事により，オイル劣化防止も狙った．しかしインテークマニホールドに吸入されるオイルミスト量は，循環ガス量に比例して増大している事が判りP.C.Vを廃止せざるを得なかった．ブローバイガス量の低減は，ピストンリング溝加工精度の向上とピストンリングの仕様変更により，実施した．

ii）ブローバイガス中のオイルミストの分離

i）の方法により吸気に戻されるオイルミスト量を低減させる事はできたが，長時間の使用条件を考えるとまだ不十分であった．そこで，Fig３に示すブローバイシステムのようにヘッドカバー内にSUSウール入のオイルキャッチャー及び外部にブリーザーアッシィ，オイルセパレーターをもうけブローバイガス中のオイルミストを分離するようにした．これにより，吸気に戻されるオイルミストをほぼ100％除去できるようになった．

この様な対策を積重ねFE E/Gの信頼性を確立している．F2 E/Gの信頼性は，以上の技術の横展開とメンテナンスインターバル4000Hrを達成す

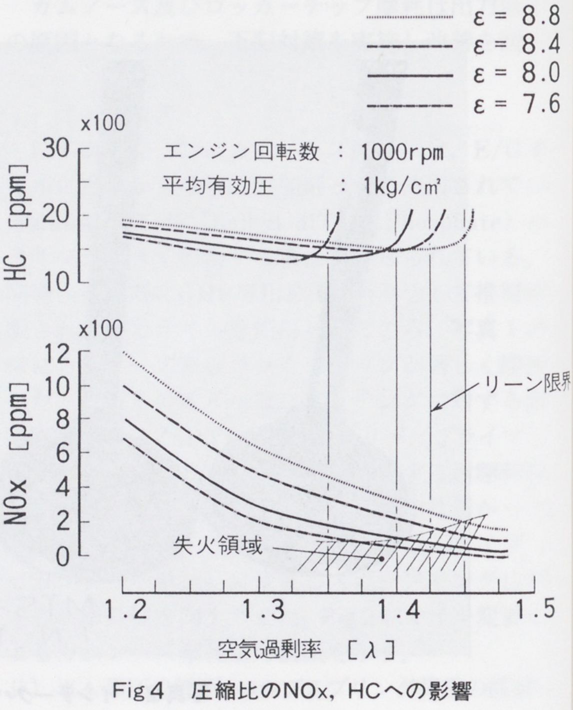



Fig４　圧縮比のNOx，HCへの影響

るためにオイルの改善とオイル量のUp，さらに白金プラグを採用している．

(2)低NOxF2 E/Gの開発

前述したように，環境保護の面から低NOx化がGHP用FE E/Gへの課題であった．低NOx化手法は，コスト及び信頼性の面からリーンバーン方式を採用した．FE E/Gでのプリテストの結果，リーンバーンによる出力低下が大きく，コンプレッサーの要求出力を満足できなかった．そのためFE E/Gと同シリーズである10%排気量が大きいF2 (2.2ℓ)E/Gを採用している．

(a)リーンバーン方式

実用運転領域においてリーンバーンさせ低NOx化を図るとともに，過負荷に対しては空燃比をリッチ化して出力を確保する考えの基に，Fig3に示すような燃料供給系のシステムを採用した．本システムは，実用運転領域(トルク70N-m以下)では吸気管負圧によりパワーバルブをoffして，リーンセットによりNOx低減を達成している．また，吸気管負圧が－85mmHg以下となる過負荷領域では，パワーバルブをOnとして，メインジェットに加えてバイパス通路からも燃料を供給し，空燃比を適切に補正し，出力を確保するシステムとしている．

(b)最適圧縮比の選定

NOx排出に及ぼす重要因子の一つとして圧縮比があり，最適化を図った．Fig4に圧縮比を変化させた場合のNOx排出濃度，HC排出濃度を示す．NOx濃度は空気過剰率を上げるほど低下するが，ある程度リーン化すると失火が発生して急激にHCが排出するようになるとともに，運転が不安定となる(リーン限界)．圧縮比のバラツキ，熱効率などを考慮した結果，圧縮比8.4を選定した．

(c)NOxマップ

以上の結果を踏まえた，低NOx仕様F2 E/GのNOx排出特性をFig5に示す．実用領域(トルク70N-m以下)ではリーンバーン方式により500ppm以下を示しており目標を達成している．

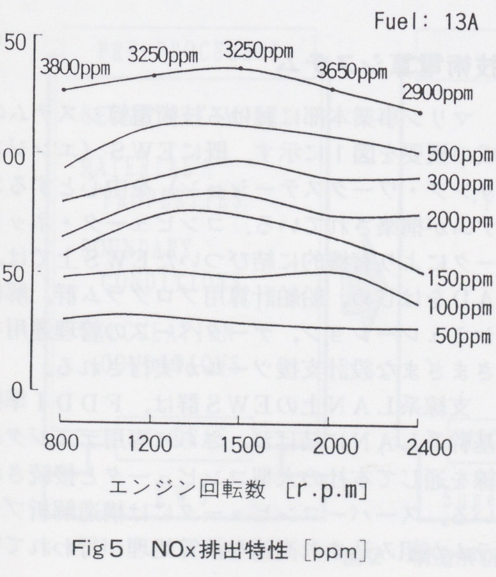



Fig5 NOx排出特性 [ppm]

## 5 開発のまとめ

(1)F2 E/Gにて実用領域(トルク70N-m以下)におけるNOx値500ppm以下を達成した．

(2)定期交換部品メンテナンスインターバル4000Hrを実現した．

(3)GHP使用条件下においてE/G寿命20000Hrを実現した．

以上のの品質を折込んだ低NOx E/Gを搭載したGHPを'93 5月より生産しています．今後の課題としては，a)さらなる低NOx化 b)ノーメンテナンス化 c)さらなる長寿命化を図る事である．

## 6 謝 辞

おわりに，今回低NOx，高信頼性GHP用 E/Gの開発に当り多大なご協力を頂きましたガス会社，マツダ㈱各社に対し厚く感謝いたします．今後もエネルギーの有効利用のため，鋭意さらに開発を推進していきたいと考えています．

■著者

前田 徹

岡田 雄三

鈴木 茂人

# 小型船舶における複合材料の構造解析手法

## Structural Analysis Approach for Composite Material of Small Boat

小杉 隆司* 柏川 政巳* 高須賀 利江*
Takashi Kosugi Masami Kashikawa Rie Takasuka

**要旨**

小型船舶の開発における構造設計の果す役割はその安定性や信頼性などの観点から極めて大きい．その一方で，いかに合理的で有利な最適設計を図るかが課題となる．この構造設計を進める上での指標となる有限要素法を中心とした構造解析がさまざまな分野で活用されている．さらに，対象とする領域も静的な荷重下での変形・応力問題ばかりでなく，非線形解析による大変形問題，伝熱解析による熱応力問題，固有値解析による振動問題など多岐にわたる．また，小型船舶ではＦＲＰをはじめ，さまざまな複合材料が用いられる．そのため，異方性材料の解析手法も開発しなければならない．本稿では，これらの構造解析技術について電算システムから適用事例までを紹介する．

なお，本稿は1993年12月13日から16日にわたり，横浜で開催されたＦＡＳＴ'93（高速海上輸送に関する国際会議）での講演論文の抜粋版である．

**Abstract**

The role played by structure design in the development of a small watercraft is extremely important from the veiwpoint of the safety and reliability of the watercraft. Moreover, the important target in the development is to achieve reasonable, advantageous, optimum design. The structure analyses which use the finite element method as a chief tool to provide information on structure design are utilized in various fields. The areas covered by the structure analyses include not only the problem of deformation and stress under a static load but also many other problems such as the large deformation problem for the non-linear analysis, the thermal stress problem for the thermal anlysis, and the vibration problem for the eigen-value analysis. FRP and many other composite materials are used for small watercrafts. Therefore, an analysis approach for anisotropic materials should also be developed. In this paper, these structure analysis technologies are introduced by citing many examples ranging from computer systems to applications.

This paper is a selection from the paper used for the lecture in the FAST '93 (international conference on fast sea transportation) held in Yokohama from Dec.13 to 16, 1993.

## はじめに

小型船舶において安全性，信頼性および快適性は，その走航性能とともに重要な評価項目であり，構造のもつ剛性や強度を把握することが不可欠である．一方，小型船舶ではＦＲＰなどが多く用いられるので，複合材料のための構造解析手法も開発しなければならない．

本稿では，この構造解析を行うための技術電算システムの概要を述べ，次にいくつかの解析手法を紹介する．さらに，これらの適用事例を挙げ，その有用性を明らかにする．

* マリン事業本部舟艇技術部

## 技術電算システム

マリン事業本部における技術電算システムの構成の概要を図１に示す．既にＥＷＳ（エンジニアリング・ワークステーション）を中心とするシステムが構築されている．コンピュータ・ネットワークにより有機的に結びついたＥＷＳ上では，ＣＡＤをはじめ，船舶計算用プログラム群，解析・シミュレーション，データベースの管理運用などさまざまな設計支援ツールが実行される．

支線系ＬＡＮ上のＥＷＳ群は，ＦＤＤＩ準拠の基幹系ＬＡＮに結ばれ，さらに専用ディジタル回線を通じて本社の大型コンピュータと接続されている．スーパーコンピュータには構造解析プログラムが組み込まれ高速な演算処理が行われている．

図２に構造解析プログラムの処理フローを示す．ＥＷＳ上のプリプロセッサにより作成されたデータに基づいて，ＦＥＭ（有限要素法）計算が実行され，再びＥＷＳ上のポストプロセッサにより計算結果を処理して，変形図や応力分布図などが出力される．なお，プログラムは主として，プリおよびポストプロセッサにI-DEAS，ソルバーにMSC-NASTRANを使用している．

## 構造解析手法

ＣＦＲＰの単一方向性カーボン繊維を用いた積層複合材に対するＦＥＭによる構造解析では図３に示す計算モデルが用いられる．これは直交異方性の材料特性をもつ各々の層を積分して等価な単板に置換するものである．この方法は簡便で実用的ではあるが，各層の材料特性を予め材料試験な

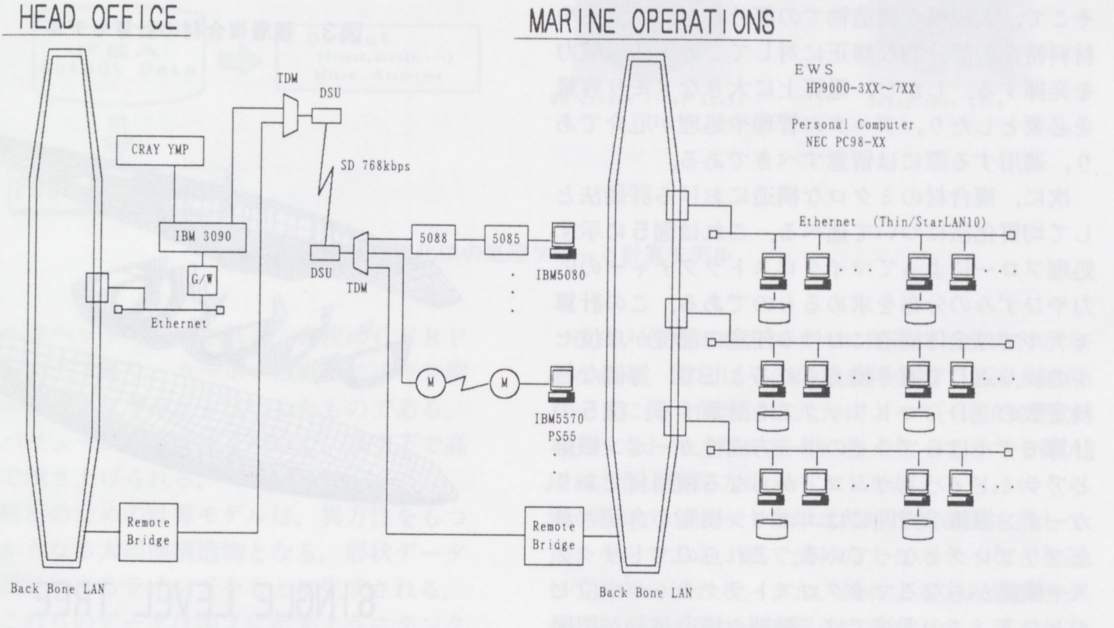



図１　技術電算システムの構成

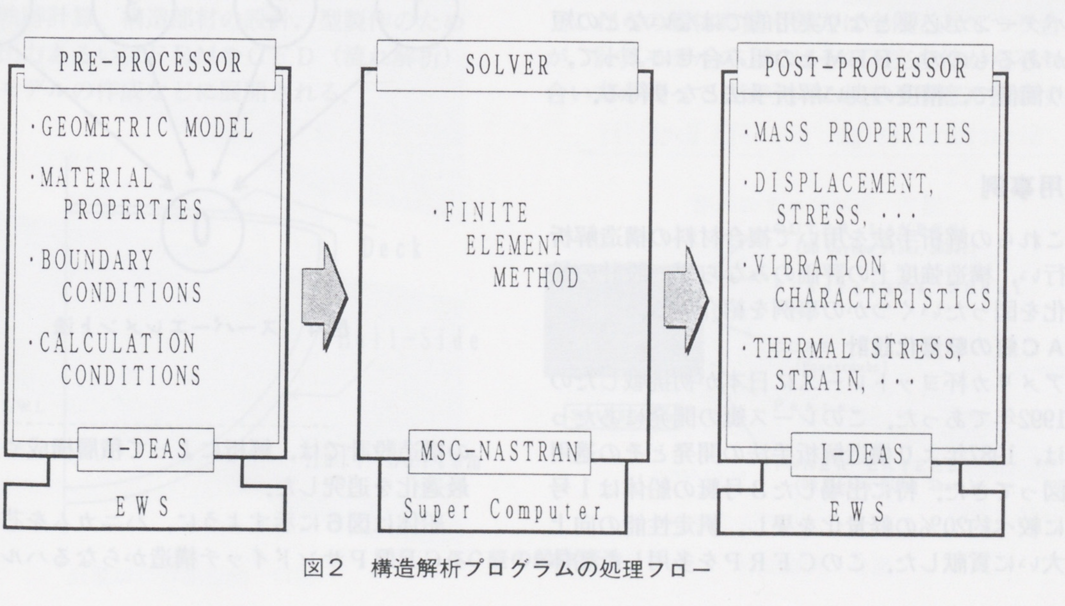



図２　構造解析プログラムの処理フロー

どにより把握しておく必要があり，多種多様な複合材への対応が難しいという欠点をもつ．

また，大規模であったり，複雑な構造物などのように大きな自由度をもつモデルに対しては図4に示すスーパーエレメント法が有効である．この方法では，予め全体構造物をいくつかの部分構造に分割し，各々の部分構造に自由度を設定して境界領域の変位などを求める．次にデータリカバリーを行って全体構造物の変位や応力分布などを算出する．このように剛性マトリックスと荷重ベクトルの縮退が行われて電算処理時間を短縮できる．そこで，大規模な構造物での部分的な形状変更や材料特性の部分的な修正に対してこの手法は威力を発揮する．しかし，電算上に大きなメモリ容量を必要としたり，データの管理や処理が厄介であり，適用する際には留意すべきである．

次に，複合材のミクロな構造における評価法として均質化法について述べる．これは図5に示す処理フローによってマイクロストラクチャーの応力やひずみの分布を求めるものである．この計算モデルでは全体構造における任意の部位が単位セルの繰り返しで置き換えられるとして，等価な材料定数の〔D〕マトリックスを計算する．図5の計算モデルは6プライの単一方向性カーボン繊維とアラミド・ハニカムコアからなる積層材であり，カーボン繊維の周囲にはエポキシ樹脂が含浸されたプリプレグとなっている．これらのマトリックスや繊維からなるマイクロストラクチャが単位セルとなる．この手法では，微細な構造挙動が把握できる反面，実際の構造物では数多くの単位セルのパターンが必要となり実用的ではないなどの短所があるものの，ＦＥＭとの組み合せによって，より簡便で，精度の良い解析手法となり得る．

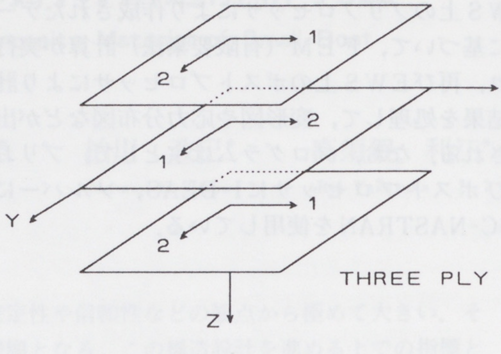


図3　積層複合材の計算モデル

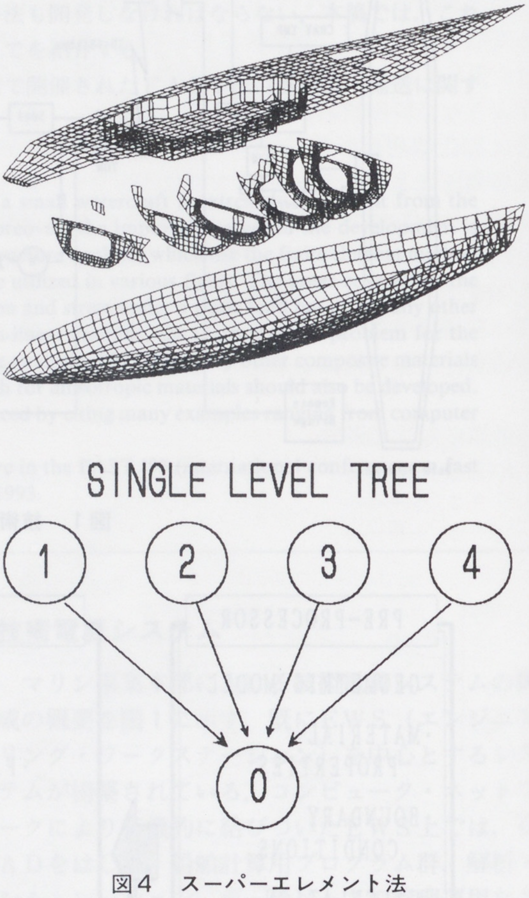


図4　スーパーエレメント法

## 適用事例

これらの解析手法を用いて複合材料の構造解析を行い，構造強度上の評価のみならず，設計の最適化を図ったいくつかの事例を紹介する．

①ＡＣ艇の軽量化設計

アメリカ杯ヨットレースに日本が初挑戦したのは1992年であった．このレース艇の開発にあたっては，1987年より構造解析手法の開発とその適用を図ってきた．特に出場した３号艇の船体は１号艇に較べ約20％の軽量化を果し，帆走性能の向上に大いに貢献した．このＣＦＲＰを多用した船体の構造設計では，解析によって積層構成や形状の最適化を追究した．

船体は図６に示すように，ハニカムを芯材とするＣＦＲＰサンドイッチ構造からなるハル，デッ

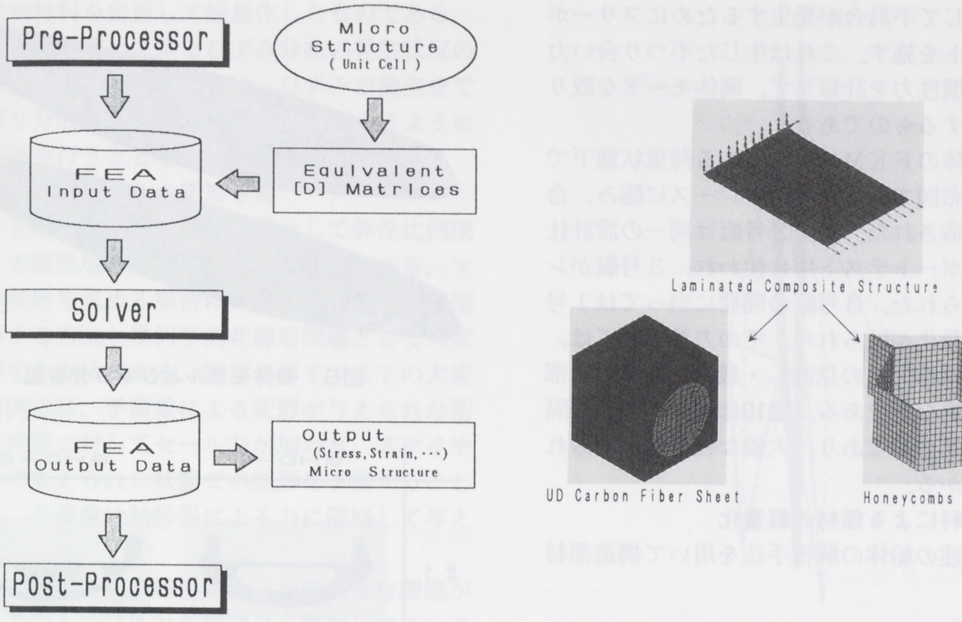



図５　均質化法の処理フローと計算モデル

キやバルクヘッドで構成される．表皮のＣＦＲＰはプリプレグであり，カーボン繊維にエポキシ樹脂を予め含浸させてシート状にしたものである．工法はバキュームバック法を用いて，真空下で高温状態で焼き上げられる．

構造解析のための計算モデルは，異方性をもつ積層材からなる大規模構造物となる．形状データは船型設計によるラインズをもとに生成される．なお，これらのデータは図７に示すようにタンクテスト用のスケールモデル製作のためのＮＣ加工用工具軌跡計算，構造部材の設計，型製作のための現図出力あるいはＦＥＭやＣＦＤ（流れ解析）の計算モデルの作成などに展開される．

次に，作成されたモデルに対して境界条件が与えられる．図８はその荷重条件の例である．通常ヨットに働く荷重は復元力によって一義的に決まる．すなわち，風が徐々に強くなってきても踏んばれる最大復原力のポイントを超えると，いくら風が吹いてもヨットは単に傾いて帆は風を逃してしまうのである．帆で受けた力はステイなどを通じて船体に伝わる．また，風による力以外にラダーに生じる力やキール部の自重などさまざまな力が加わる．

これらの船体に働く外力は全体としてつり合うが，計算モデルの上ではその不完全性から不つり合い力が残ってしまう．これを不用意に拘束する

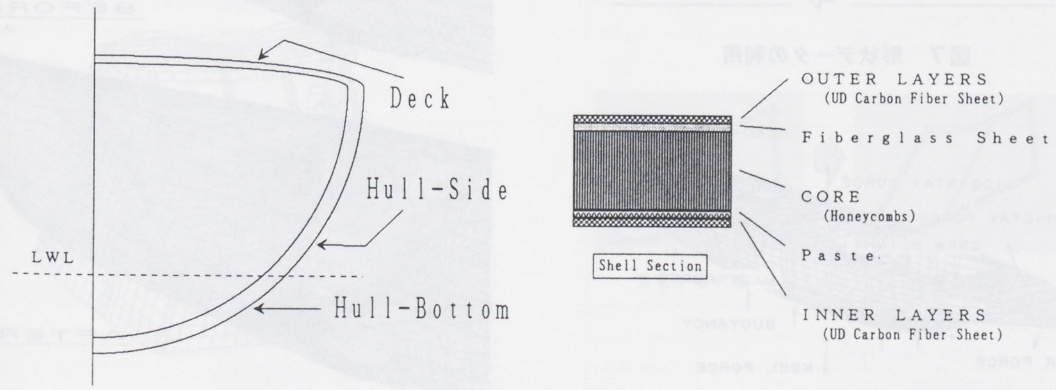



図６　ＡＣ艇の船体構造

と反力を生じて不具合が発生するためにフリーボディサポートを施す．これは生じた不つり合い力を打ち消す慣性力を計算して，剛体モードを取り除く処理をするものである．

図９は船体のＦＥＭモデルとある荷重状態下でのひずみ分布図である．今回のレースに臨み，合計３艇が建造された．１，２号艇は同一の設計仕様諸元で２ボートテスト用に使われ，３号艇がレースに用いられた．３号艇の開発に当っては１号艇よりも軽量化が図られた．その方策としては，積層構成や繊維配向の見直し・最適化あるいは部材形状の変更などである．図10はバルクヘッド（隔壁）の形状変更例であり，大幅な軽量化が図られたことがわかる．

**②異方性材料による部材の軽量化**

これは先述の船体の解析手法を用いて構造部材

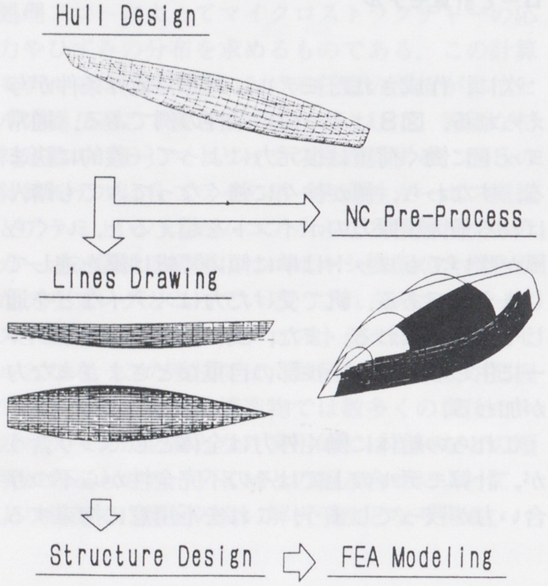



図７　形状データの利用

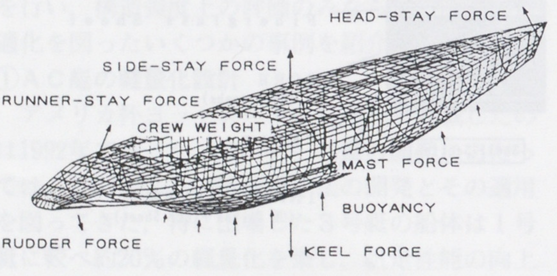



図８　荷重条件

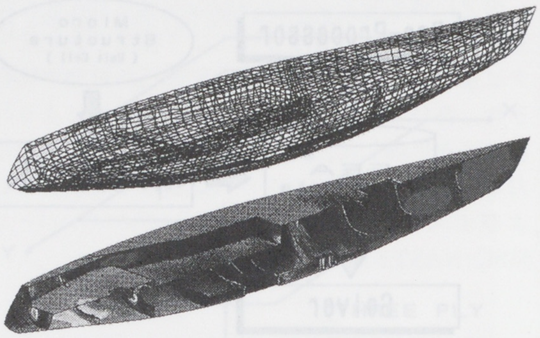


図９　船体モデルとひずみ分布図

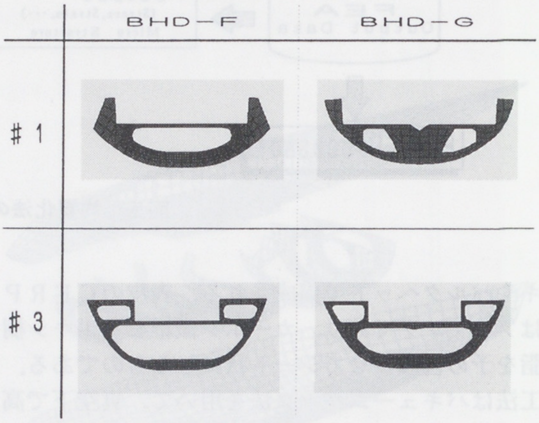



図10　バルクヘッドの形状変更例

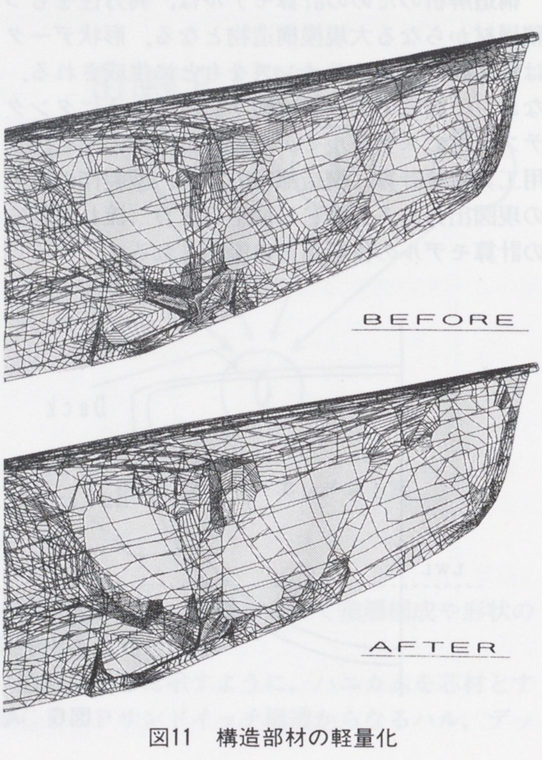



図11　構造部材の軽量化

の形状や材料を変更して軽量化したものである．図11は形状の違いによるひずみ分布の発生状況の相違を表している．ここでは，ひずみの発生をできる限り分散させて局所的な変形を抑えるように形状変更を行うとともに軽量化を図っている．

**③非線形解析による大変形予測**

ヨットのマストの変形は，時として弾性比例限を越えて塑性域に入り破壊に到ることがある．マストの変形を求める場合には固有値問題として座屈解析する方法と幾何学的非線形問題として大変形解析する方法がある．図12に示すマストの大変形解析例では，予荷重による変形が与えられた初期荷重状態に対してセール力が加わり，ステイやリギンで支えられた状態での変形を予測することになる．予荷重は熱膨張による力に置換して与えられる．

このマストの変形解析には2つの大きな課題がある．その1つは外力を精度良く把握しにくいことである．実測によって各部位に働く外力を時系列に得て計算に反映しなければならない．もう1つは計算モデルが縦長な形状であり，板要素にてモデル化するとアスペクト比により大きな自由度をもつことになる．これは固有値解析での多数の局所モードを発生させることになる．はり要素でのモデル化では変形評価はできるものの強度評価が難しくなる．

**④熱応力解析による変形予測**

図13は窓用部材として用いられるアクリル板の熱変形の計算例である．熱伝導率を材料特性データとして与えて表面と裏面の温度差を境界条件とする．さらに，板周辺の数個所を固定して熱ひずみや応力分布を求める．

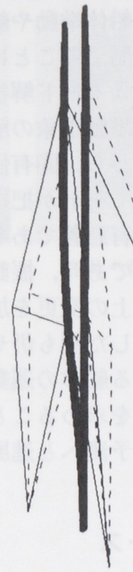


図12　マストの大変形問題

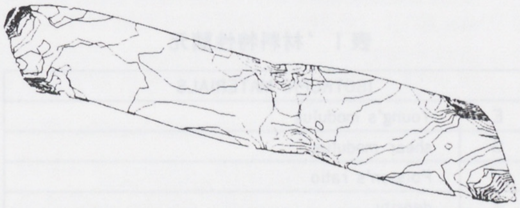


図13　熱応力解析による変形予測

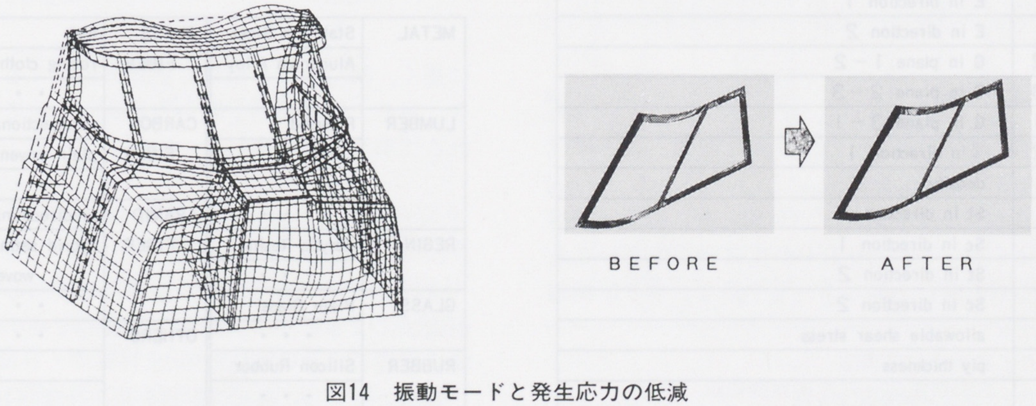



図14　振動モードと発生応力の低減

⑤**振動解析による動的な発生応力予測**

高速域での波浪中の船体挙動や船体に加わる動的な力やその伝播を実測することは厄介である．しかし，実測による振動モード解析と計算モデルとの比較検証は動的な挙動現象の解明への１つの糸口となり得る．すなわち，固有値解析によって共振周波数とその固有モードが把握できれば，振動強度を評価する上で有意義である．**図14**はキャビンの固有値解析結果であり，振動モードを表している．さらに，構造上の変更を加えて構成部材に生じる応力を低減化した例も併せて示す．

今後，波浪中における船体の運動シミュレーションができ，応答関数を求めることによって精度の良い動的な強度評価予測へと進展できよう．

## 材料特性データベース

先述の構造解析手法の開発やその適用とともに重要なのが材料特性データベースである．これは**表１**に示す特性値からなる．すなわち，等方性および直交異方性材料に対する縦弾性係数，ポアソン比や許容引張強度などの材料力学上の特性データである．また，船舶に用いられる材料は**表２**に示すように鉄鋼をはじめ，アルミニウム合金などの非鉄金属，木材や合板，プラスチックやガラスなど多種多様である．

これらの数多くの種類の材料に対する材料特性値は文献資料やカタログあるいは材料試験から得ている．さらに，集められた各種の諸元値は整理され電算上の共通データベースに登録される．そして，ＦＥＭデータの作成時には材料名の指定によって自動的にその特性データが割り付けられる．また，解析結果での強度評価においても許容応力を参考に構造物の安全性・信頼性の検証が行われ，より精度の高い設計ができる．

表１ ‘材料特性諸元

| | |
|---|---|
| ISOTROPIC MATERIALS | |
| E | Young's modulus |
| G | shear modulus |
| ν | Poisson's ratio |
| ρ | density |
| St | allowable tension stress |
| Sc | allowable comprssion stress |
| Ss | allowable shear stress |
| t | thickness |
| | |
| ORTHOTROPIC MATERIALS | |
| E1 | E in birection 1 |
| E2 | E in direction 2 |
| G12 | G in plane 1－2 |
| G23 | G in plane 2－3 |
| G31 | G in plane 3－1 |
| ν12 | ν in direction 1 |
| ρ | density |
| St1 | St in direction 1 |
| Sc1 | Sc in direction 1 |
| St2 | St in direction 2 |
| Sc2 | Sc in direction 2 |
| Ss | allowable shear stress |
| t | ply thickness |
| | |

## おわりに

小型船舶の開発のための構造解析における技術的な課題をまとめておく．

①**解析モデル作成時間の短縮**

解析所要時間の中，約80%はプリプロセッサでの解析モデルの作成時間である．従来より，この作業時間の短縮化を目指してＣＡＤデータの流用や自動メッシュ生成機能の向上が図られてきたが，より一層の推進が必要である．

また，複合材料の場合，積層パターンが数多くなり材料特性データの作成が極めて繁雑となる．そこで，材料設定を要素単位でなく，実際の積層パターンによる指定で自動化されれば，大幅な作成時間の短縮と労力の低減が期待できる．

②**解析結果の信頼性・精度の向上**

特に，構造部材間の結合部における疲労破壊強

表２　船舶に用いられる材料

| | | | |
|---|---|---|---|
| METAL | Stainless Steel | GLASS | mat |
| | Aluminum Alloy | FIBER | roving cloth |
| | ・・・ | | ・・・ |
| LUMBER | Plywood | CARBON | unidirectional mat |
| | Lauan | FIBER | plain woven cloth |
| | Teak | | ・・・ |
| | ・・・ | ARAMID | unidirectional mat |
| RESIN | Acrylic Resin | FIBER | hybrid satin woven cloth |
| | ・・・ | | |
| GLASS | Plate Glass | | ・・・ |
| | ・・・ | OTHERS | ・・・ |
| RUBBER | Silicon Rubber | | |
| | ・・・ | | |

度の予測精度を向上したい．このために今後さまざまな結合に対して強度試験と併行して計算を行い両者の整合を取っていく．

また，自由曲面上における異方性材料の配向を実際の積層方向と一致させて精度の向上を図っていきたい．

③最適化設計の推進

構造物の軽量化を進める上で，形状の最適化あるいは異方性材料での繊維配向や積層構成の最適化が重要である．これらの処理を電算上で自動的に行って構造設計の最適化を図りたい．

■著者

小杉　隆司

柏川　政巳

高須賀　利江

# W. V(ウォータービークル)の低騒音化の研究

## Study on Tecknigue of Lowering Water Vehicle Noise Level

伊藤　和正* 小谷野　敏**
Kazumasa Itoo Satoshi Koyano

**要旨**

WVはモーターボートなどと異なり，岸辺に非常に接近した運転が可能な乗り物の為，岸にいる第3者に対する音への配慮を充分行う事が大切になって来ている.

WVの騒音が大きいと言われる要因には大きくわけて，〝ハード面(WVの音圧の絶対値)とソフト面(使われ方による騒がしさ)〟の2つがある.

我々はこの2つの騒音の要因と低減方法を明確にするため，〝現状把握・要因分析・改良手段の模索・改良手段の検証・騒音値と聴感の関係調査・今後の展開検討〟というステップを踏んで先行開発に取り組み，その内容の一部を1993年のＳＥＴＣにて発表した．ここではその中から，音圧の絶対値の現状把握および要因調査について紹介させていただく.

**Abstract**

Unlike motorboats, water vehicles can be driven close to the shore at a high speed. It is, therefore, becoming increasingly important that we give enough consideration to the people on the shore who might get bothered by the noise.

The noise problem that people often complain about water vehicles can be attributed to roughly two factors; one is the absolute noise level of the water craft, and the other is the noise level depending on the way the driver operates it.

In order to identify the exact cause of noise and find solutions to reduce it, we pursued the following steps in designing new models;
a) measure noise levels of current models,
b) analyze noise factors,
c) explore new methods to reduce noise,
d) verify newly discovered noise-reduction methods,
e) study correlations between actual noise level and auditory impression,
and
f) examine future plans.

We presented some parts of this study at SETC held in 1993. In this report, we will explain the part where we measured absolute values of sound pressures and analyzed different factors of noise problem.

## 1　はじめに

WVの概略を説明する．図1に構造，表1に代表的なWVの諸元を示す.

E/Gとジェットポンプ（以後J/P）の間は減速機がなく1：1でありJ/Pが負荷吸収しているため，E/Gの回転上昇はボートや車などより圧倒的に速く，初心者でも簡単に全開運転できることから，車や二輪に比べ全開かつ最高回転数で使用される比率が非常に高い.

## 2　寄与率調査

全体音に対する各部の発生割合を求めるべく，消去法による寄与率測定を，代表的なモデルで全開の通過音において行なった.

方法としては，各モデルで全遮音仕様（100%遮

*　三信工業㈱ 第3技術部
**　マリンエンジン事業部 WV部

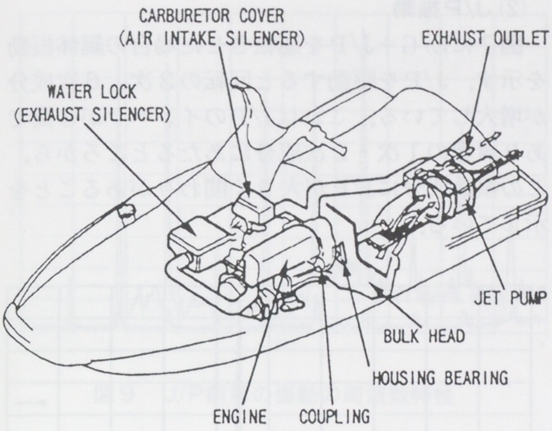



図1　WVの構造概略図

表1　代表的WVの諸元

| | ITEM | SPECS |
|---|---|---|
| Hull | Length | 2.77 m |
| | Dryweight | 172 kg |
| | Max Speed | 60.5 km/h |
| Engine | Type/cylinders | 2 cycle/2 cyl. |
| | Displacement | 633 cm³ |
| | Max output | 36.8kw/6000rpm |
| Jet Pump | Impeller blades | 3 |

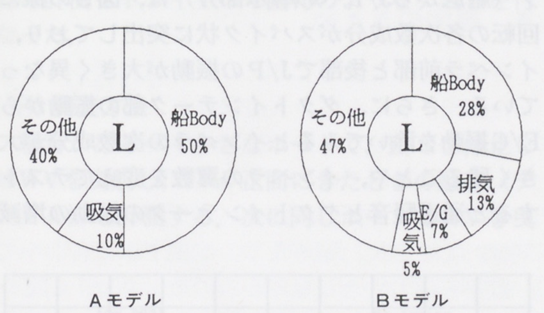



図2　寄与率の結果

音可能ではないが）から遮音部位を１つ１つ取り除き寄与率を求めた．ちなみに，全遮音仕様とはE/Gを鉛遮音し，吸気・排気にはそれぞれ消音ＢＯＸを追加，艇体においては水上に出ている全面に，制振材・吸音材を貼付けた仕様である．

図２に寄与率の結果を示す．円グラフからわかる様に，低減できる音の中で艇体BODYからの音の比率が一番高い．次に高いのは，吸・排気系からの音であるが，それほど比率は高くなくＢモデルの排気音の比率はほとんどなかった．

又，最も注目すべき点は，どちらのモデルも低減できないその音の比率が50%近くもあることである．

## 3　要因調査

上の寄与率調査からわかった艇体BODYからの音，およびその他の音について行なった調査結果の一部を述べる．

### 3.1 艇体BODYからの音の調査

制振材の有無で，騒音レベルの大巾な変化があることから，艇体が振動して音を出しているという推測をたて加振源調査のために，E/G，J/Pと艇体各部の振動の関係を調査した．

#### (1) E/G振動

調査方法としては，E/GのみをWVに載せて運転した場合と，E/Gと動力伝達軸をつないだ状態（J/Pは接続）で運転した場合，E/G，J/Pを正規につなぎ両方の加振力がある状態で運転した場合３つのパターンに分けて艇体の振動がどのように変化するか調べてみた．

図４にE/G振動，図５にE/GのみをWVに載せた場合の艇体振動，図６にE/Gと動力伝達軸（カップリング）をつないだ場合の艇体振動を示す．

これらよりE/Gの加振周波数に対し艇体の振動

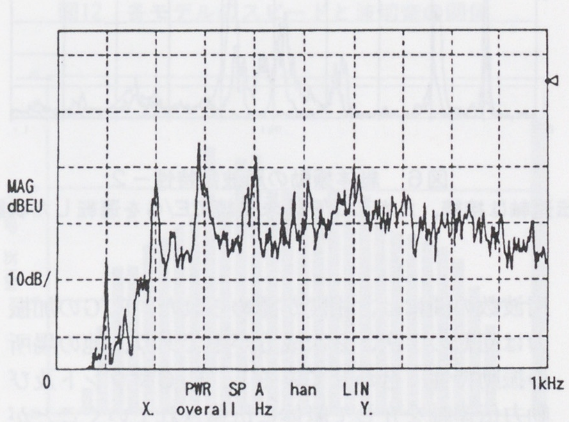



図3　通過騒音のナロー周波数特性

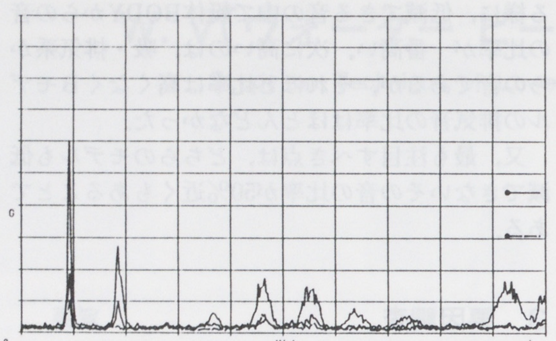



図４　E/G振動の周波数特性

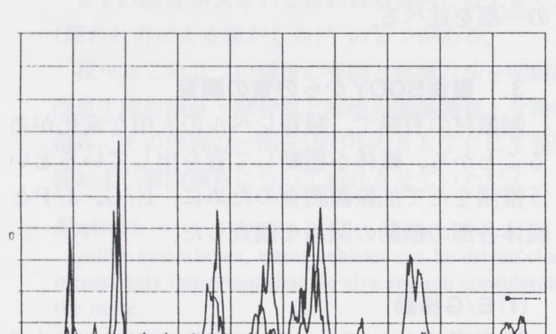



図５　艇体振動の周波数特性－１
（伝達軸を接続せずE/Gのみ運転した状態）

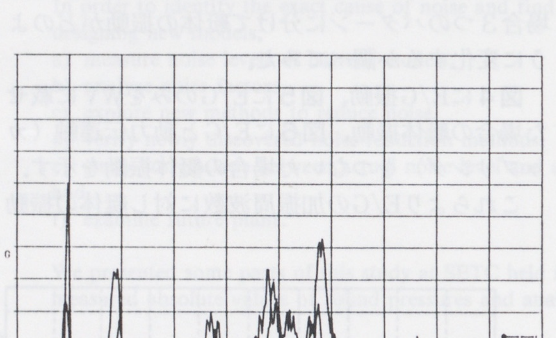



図６　艇体振動の周波数特性－２
（伝達軸は接続，ただしJ/Pは未接続でE/Gを運転した状態）

周波数の間には，相関が認められた．E/Gの加振力は回転の１次，２次成分が主であり，他の場所の振動特性　合わせてみると，E/Gマウント及び動力伝達軸を介して艇体に伝達されていくことがわかり，通過騒音の100，200Hzには，E/G振動が関わりがあることがわかった．

⑵ J/P振動

図７にE/G＋J/Pを運転させた場合の艇体振動を示す．J/Pを駆動すると回転の３次，６次成分が増大している．これはJ/Pのインペラが３翼であり翼数の１次・２次成分にあたるところから，この振動成分にJ/Pが大きく関わりがあることを示している．

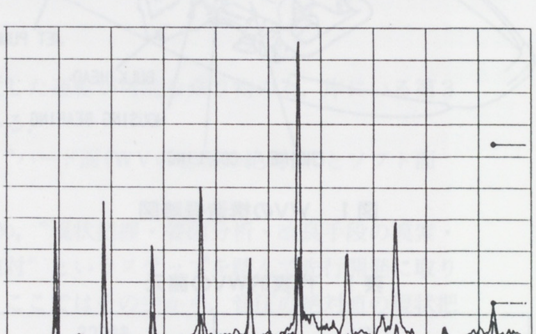



図７　艇体振動の周波数特性－３
（E/G，J/Pを駆動させた状態）

そこでJ/Pの振動計測を行なったところ，インペラ後部のJ/P本体は図８の様に主成分は，ホワイトノイズであり，所々に小さなスパイク状の成分が含まれる振動である．

それに対して，インペラ前部のダクトインテーク（船底からJ/Pへの導水部分）は，図９の様に回転の各次数成分がスパイク状に突出しており，インペラ前部と後部でJ/Pの振動が大きく異なっている．さらに，ダクトインテーク部の振動からE/G振動を除いてみるとインペラの次数成分が大きく残ることや，インペラの翼数を変えてテストすると通過騒音とダクトインテークの振動の増減

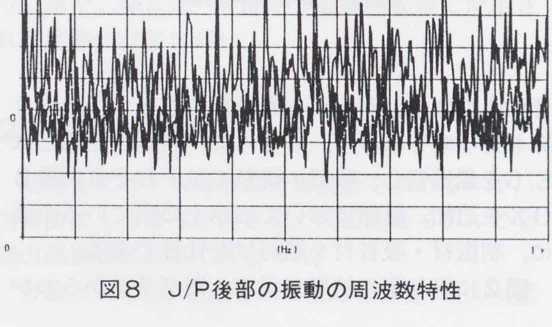



図８　J/P後部の振動の周波数特性

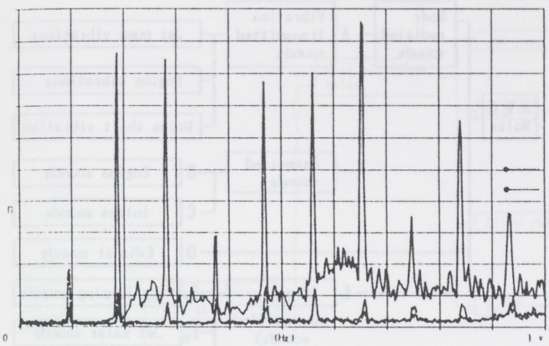


図９　J/P前部の振動の周波数特性

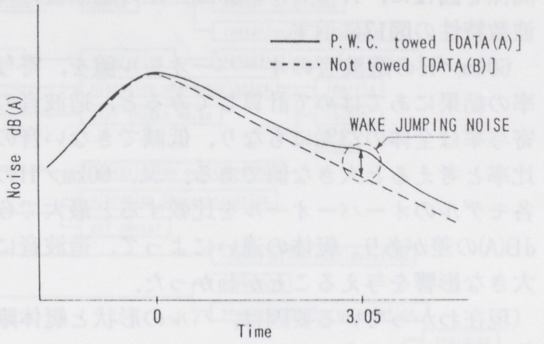



図11　WV曳航の有無によるO.Aの違い

する周波数に相関がみられ，これらからJ/Pの振動としては，ダクトインテーク部からのインペラ翼数の次数成分の要素が大きく影響していることがわかった．

### 3.2 その他（低減できない）の音の調査

本来ならば要因がつかめた成分の改良に取り組むのであるが，寄与度調査であまりにも比率が高いことがわかり低減できなかった音について調査したところ，おもしろい結果が得られた．

先にも述べたように，WVは水面を滑走しているため水を切りスプレーを上げて走っている．我々はこの水を切るときの音（造波音又は，波切音）が，低減できない音ではないかと推測をし，造波音の計測をトライすべく図10のようなテストを行なった．

#### (1) 調査方法

騒音がなるべく小さなボートで，E/Gを停止しはWVを曳航し，WVが正面にきたときの騒音（データA）を計測する．次に同じボートでWVを曳航せずに，同一スピード，同一位置の騒音（データB）を計測する．これらを数回行ない平均をし，データAからデータBを引いた値を求め，これを造波音と考えた．

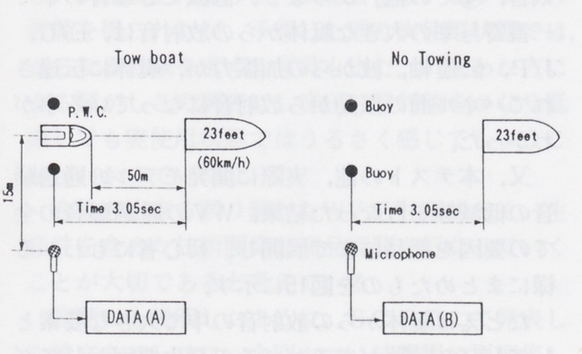



図10　造波音測定方法の概略

#### (2) 結果

代表的な３モデルのスピードに対する造波音の

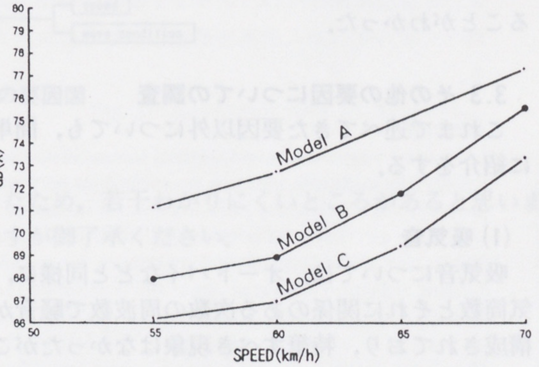



図12　各モデルのスピードと波切音の関係

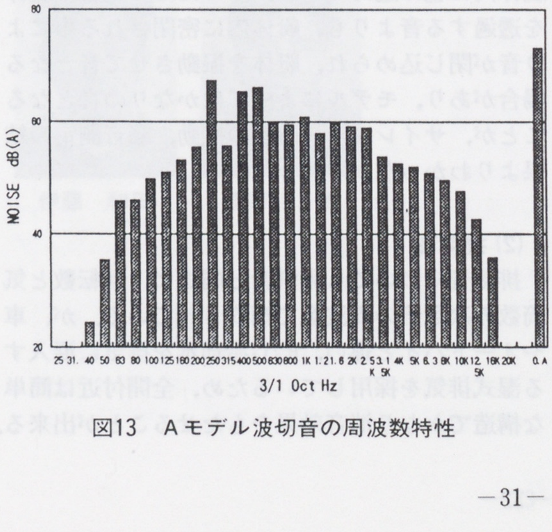



図13　Aモデル波切音の周波数特性

関係を図12に，Aモデルの60km／Hの造波音の周波数特性の図13に示す.

60km／Hの造波音のオーバーオール値を，寄与率の結果にあてはめて計算してみると，造波音の寄与率は全体の23%にもなり，低減できない音の比率と考えると大きな値である．又，60km／Hの各モデルのオーバーオールを比較すると最大で6dB(A)の差があり，縦体の違いによって，造波音に大きな影響を与えることがわかった.

（現在わかっている要因は，ハルの形状と艇体剛性の違いである。）

又，このテスト方法からわかるように，ここで述べている造波音には，波を切ったときの音（水の音）と，波からの加振力によって艇体が発する音の両方が含まれている．ちなみに図13を見ると，中心周波数で250，400，500Hzのレベルが他に比べ突出しており，これは，波からの加振力によって艇体がパネル共振して音を発している可能性を示している.

上記の調査結果より，低減できない音の半分近くは，WVがただ走るだけで発生する造波音であることがわかった.

### 3.3 その他の要因についての調査

これまで述べてきた要因以外についても，簡単に紹介をする.

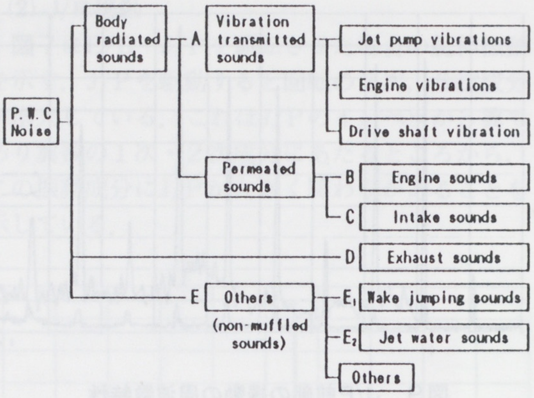
#### (1) 吸気音

吸気音については，オートバイなどと同様に，気筒数とそれに関係のある次数の周波数で騒音が構成されており，特筆すべき現象はなかったがここでは興味をひいたところを記述しておく.

WVは，吸気サイレンサーを含むE/G全体を，艇体内に包み込んでいる．このため吸気音が艇体を透過する音よりも，艇体内に密閉される事により音が閉じ込められ，艇体を振動させて音となる場合があり，モデルによってはかなりの音となることが，サイレンサー有無の振動，騒音測定の結果よりわかった.

#### (2) 排気音

排気音についても吸気音と同様に，回転数と気筒数の次数倍の周波数で構成されている．が，車やオートバイと違い，E/G冷却水を排気に混入する湿式排気を採用しているため，全開付近は簡単な構造でかなり消音効果をもたせることが出来る.



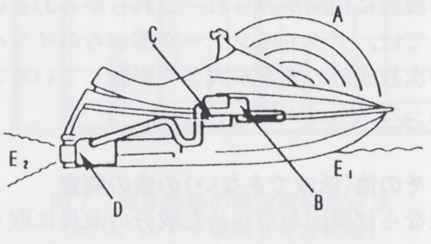




図14 WV騒音の概略図

寄与度調査からわかる様に，現在生産しているWVの騒音レベル程度では，排気音の通過騒音への寄与率はかなり少ないことがわかった.

## 4 要因のまとめ

今回紹介した内容に加え，各種要因調査を行なった結果，WV本体から放射される音の伝達経路を模式図に表したものが図14である.

WVの通過騒音は，大きく分けて『①艇体パネルの放射音，②艇体内部からの透過音，③吸・排気音，④その他』からなり，低減できる音の中で一番寄与率の大きな艇体からの放射音は，E/G，J/P，伝達軸，波からの加振力が，艇体に伝達されてパネル面の振動から放射音になっている事がわかった.

又，本テストの他，実際に開発モデルの通過騒音の低減等を行なった結果，WVの通過騒音の全ての要因を部品にまで展開し，初心者にもわかる様にまとめたものを図15に示す.

たとえば艇体からの放射音の中で大きな要素としてJ/Pの振動があるが，その発生要因としてダクトインテークの水の脈動があり，関係のある部

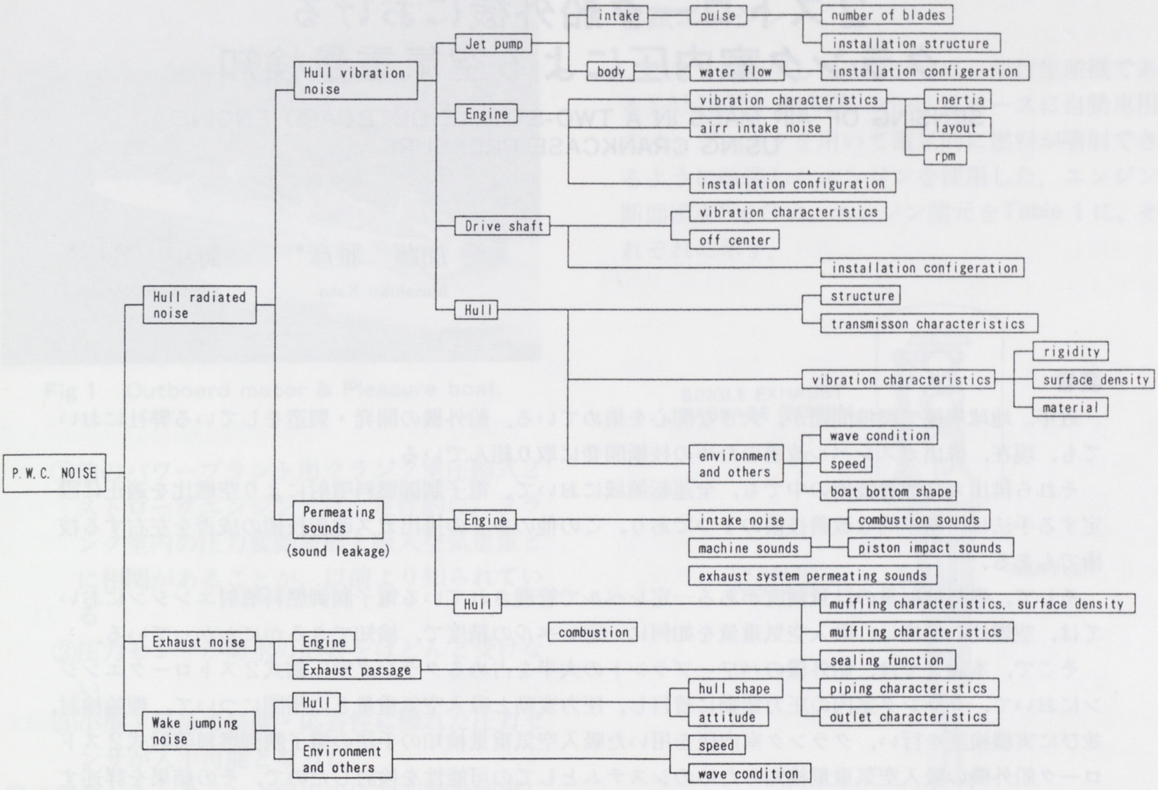



図15　WV騒音の要因図

品及び要件として「インペラの翼数」とダクトインテークの構造」がわかる．

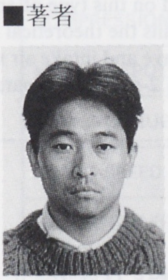
## 5　おわりに

我々は要因調査結果をもとに，いくつかの効率的な騒音低減手段をみつけだし，かつその検証として実際に通過騒音を5dB(A)低減したWVを試作し，試聴会を行なった．試聴会では，まずまずの評価を得られたが，予想した通り実使用状態では，さらなる低減を求める意見も出た．（使われ方による騒がしさの調査で，音圧の絶対値をかなり低減しても実使用状態ではうるさく感じてしまうことがわかっていた.）

今後も出来る限り静かなWVを生産すべく，生産性を含めた技術開発と商品展開を行なっていくことが大切であると考えている．

冒頭にも説明したように，ＳＴＥＣにて発表した論文をベースに，今回ヤマハ技報用に再編集したため，若干わかりにくいところがあると思いますが御了承ください．

■著者


伊藤　和正

小野谷　敏

ヤマハ技術会技報
1994-3 No.17

# 2ストローク船外機における クランク室内圧による空気重量検知

## SENSING OF AIR MASS IN A TWO-STROKE OUTBOARD ENGINE USING CRANKCASE PRESSURE

加藤　雅彦*　　野中　公裕*
Masahiko Kato　Kimihiro Nonaka

**要旨**

近年，地球規模で環境問題が，大きな関心を集めている．船外機の開発・製造をしている弊社においても，現在，排出ガスレベル改善のための技術開発に取り組んでいる．

それら排出ガス改善技術の中でも，全運転領域において，電子制御燃料噴射により空燃比を適正に設定する手法は，基本的な改善技術の１つであり，この他の多くの排出ガス改善技術の成否を左右する技術でもある．

そして，燃料噴射量の計量精度がある一定レベルで管理されている電子制御燃料噴射エンジンにおいては，空燃比の精度は，吸入空気重量を如何に一定レベルの精度で，検知できるかにかかっている．

そこで，本論文では，船外機のパワープラントの大半を占めるクランク室圧縮式２ストロークエンジンにおいて，クランク室内の圧力変動に着目し，圧力変動と吸入空気重量との相関について，理論検討，並びに実機検証を行い，クランク室内圧を用いた吸入空気重量検知の手法の電子制御燃料噴射式２ストローク船外機の吸入空気重量検知のためのシステムとしての可能性を検討したので，その結果を詳述する．

**Abstract**

In recent years, the environmental issues, including exhaust emissions, have drawn wide attention all over the world. The outboard motor is no exception. As a manufacturer of the outboard motors, we are performing the development of effective emission control measures with higher priority. Electronic fuel injection is a system in which the air/fuel ratio is controled to an appropriate predetermined value throughout whole operating range. This is one of the fundamental techniques for emission control, and is the basis for the success of various other exhaust reduction measures. Since the amount of fuel injected can be metered with certain accuracy, the precise control of air/fuel ratio in an electronic fuel injection system largely depends on the accurate detection of intake air mass. The crankcase compression 2-stroke engine is the dominant powerplant in outboard motor industry. Crankcase pressure waves observed on this type of engine is attractive as a prospective device for accurate intake air mass detection. This paper details the theoretical study and engine testing performed to establish the correlation between crankcase pressure wave and intake air mass. It also discusses the possible application of this system for intake air mass detection on a 2-stroke outboard motor with electronically-controlled fuel injection.

## はじめに

船外機は，Fig１に見られるように，各種ボートのパワープラントとして，プレジャーからコマーシャルまで幅広く使われているが，他のパワープラントと異なる最大のポイントは，

・使用環境が水上（海水，淡水）である
・コンパクト・軽量である（Fig２参照）

ことである．このことは，同時に，船外機開発上の制約条件でもあり，開発の難しさにつながっている．

これらの厳しい制約条件を踏まえた上で，２ストローク船外機の運転中の吸入空気重量の検知に有効な手法（吸入空気量センサ等）を検討したが，制約条件を満足するものを見つけるに至っていない．

そこで，クランク室圧縮式２ストローク船外機の吸入空気重量の検知にあたり，

* 三信工業㈱　技術部

Fig 1　Outboard motor & Pleasure boat.

①他のパワープラント用クランク室圧縮式2ストロークエンジンでは，定性的に，クランク室内の圧力変動波形と吸入空気重量とに相関があることが，以前より知られている

②圧力センサが海水の影響をほとんど受けない

③小型・軽量で精度・応答性に優れた圧力センサが入手可能となった

等の理由から，クランク室内の圧力変動を利用した手法には可能性があると考え，実機で使えるかどうかを確認するために，以下の記述の通り，理論検討・実機検証から始めた．

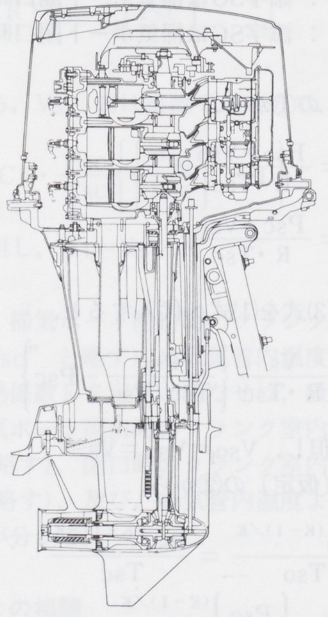


Fig 2　Vertical Section of the model YAMAHA 90ATE.

## 供試エンジン

テストに使用したエンジンは，現行生産機であるYAMAHA 90ATE (90ps) をベースに自動車用のインジェクタを用いて電気的に燃料が噴射できるように改造したエンジンを使用した．エンジン断面図をFig 3に，エンジン諸元をTable 1に，それぞれに示す．

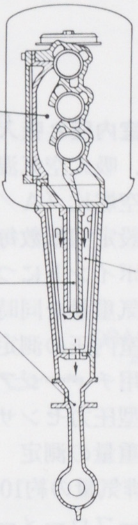




Fig 3　Sectional view of exhaust.

| | |
|---|---|
| ENGINE TYPE | 2-STROKE, GASOLINE |
| NUMBER OF CYLINDERS | IN-LINE 3 |
| DISPLACEMENT | 1140cc |
| BORE × STROKE | 82 mm × 72 mm |
| COMPRESSION RATIO | ① 6.0　② 5.9　③ 5.8 |
| MAX. OUTPUT POWER | 69kw/5500rpm |
| MAX. TORQUE | 130N-m/4300rpm |
| IDLING SPEED | 700rpm |
| INTAKE SYSTEM | REED VALVE |
| EXHAUST SYSTEM | THROUGH-HUB EXHAUST |
| COOLING SYSTEM | WATER-COOLED |
| FUEL SYSTEM | ELECTRONIC FUEL INJECTION |
| IGNITION SYSTEM | ELECTRONICALLY CONTROLLED CDI IGNITION |

Table 1　Test Engine Specification.

ここで，Fig３からも分かるように，他の２ストロークエンジンを使ったパワープラントと船外機とが，構造的に，大きく異なる特徴の１つとして，集合排気（各気筒の排気が一本の排気通路に列状に接続されている）を採用していることが上げられる。この集合排気は，他の気筒の排気を干渉させることで，中低速域のトルクUp,燃費向上を実現しているが，後述する通り，排気干渉によるデメリットも抱えている．

## テスト方法

### １．クランク室内圧と吸入空気重量との相関

動力計上で，吸入空気温度（20℃±1℃）及び，運転時の空燃比（A／F＝13.9±0.1）を一定に管理し，設定回転数毎に，スロットル開度を変化させ，各ポイントについてクランク室内圧，及び，吸入空気重量を同時に測定する．

・クランク室内圧の測定
　センサ専用チャージアンプを介したキスラー社製圧電型圧力センサにて測定
・吸入空気重量の測定
　エンジン排気量の約100倍のチャンバーを介したラミナーフローメータの差圧をマノメータで読むことで測定

### ２．実機自動制御運転時の設定空燃比と実空燃比との相関

回流水槽にて，スロットル開度を所定の回転数になるように調整し，各ポイントについて設定空燃比を記録し，吸入空気重量及び，燃料流量を同時に測定する．

・クランク室内圧の測定
　小型半導体圧力センサにて測定
・吸入空気重量の測定
　エンジン排気量の約100倍のチャンバーを介したラミナーフローメータの差圧をマノメータで読むことで測定

## 基本原理

### １．基本原理

エンジンに吸入された空気の重量Gは，次の仮定のもとでは，Fig４に示すように，掃気行程中にクランク室内からシリンダ内へ流出した空気の重量と等しい．言い換えれば，掃気行程開始時（掃気ポート開口時）にクランク室内にある空気重量$G_1$から掃気行程終了時（掃気ポート閉口時）にクランク室内に残っている空気重量$G_2$を減じたものとなる．

〔仮定〕

①クランク室内において，吸入された気体には，理想気体の状態方程式が成り立つ
②クランク室内において，気体は，断熱変化する
③掃気ポート開口から閉口の期間，インテーク（リードバルブ）からクランク室内への気体の流入が無い
④測定されたクランク室内圧値は，クランク室内の平均的な値である
（あるクランク角度であれば，クランク室内では，圧力が均一である）

$$G = G_1 - G_2 \qquad (1)$$

### ２．理論式

さらに，(1)式を次のパラメータを用いて展開する．

R：ガス定数
P：クランク室内圧（絶対圧）
V：クランク室内容積
T：クランク室内温度（絶対温度）
K：断熱係数
SO：添字SOは掃気ポート開口時を表す
SC：添字SCは掃気ポート閉口時を表す

〔仮定〕の①から，

$$G_1 = \frac{P_{SO} \cdot V_{SO}}{R \cdot T_{SO}}$$

$$G_2 = \frac{P_{SC} \cdot V_{SC}}{R \cdot T_{SC}}$$

(2)式，(3)式を(1)式へ代入すると，

$$G = \frac{V_S}{R \cdot T_{SC}} \left\{ \frac{P_{SO}}{T_{SO}/T_{SC}} - P_{SC} \right\} \qquad (2)$$

となる．但し，$V_{SO} = V_{SC} = V_S$

次に，〔仮定〕の②から，

$$\frac{P_{SO}{}^{(K-1)/K}}{T_{SO}} = \frac{P_{SC}{}^{(K-1)/K}}{T_{SC}}$$

$$\frac{T_{SO}}{T_{SC}} = \left\{ \frac{P_{SO}}{P_{SC}} \right\}^{(K-1)/K} \qquad (5)$$

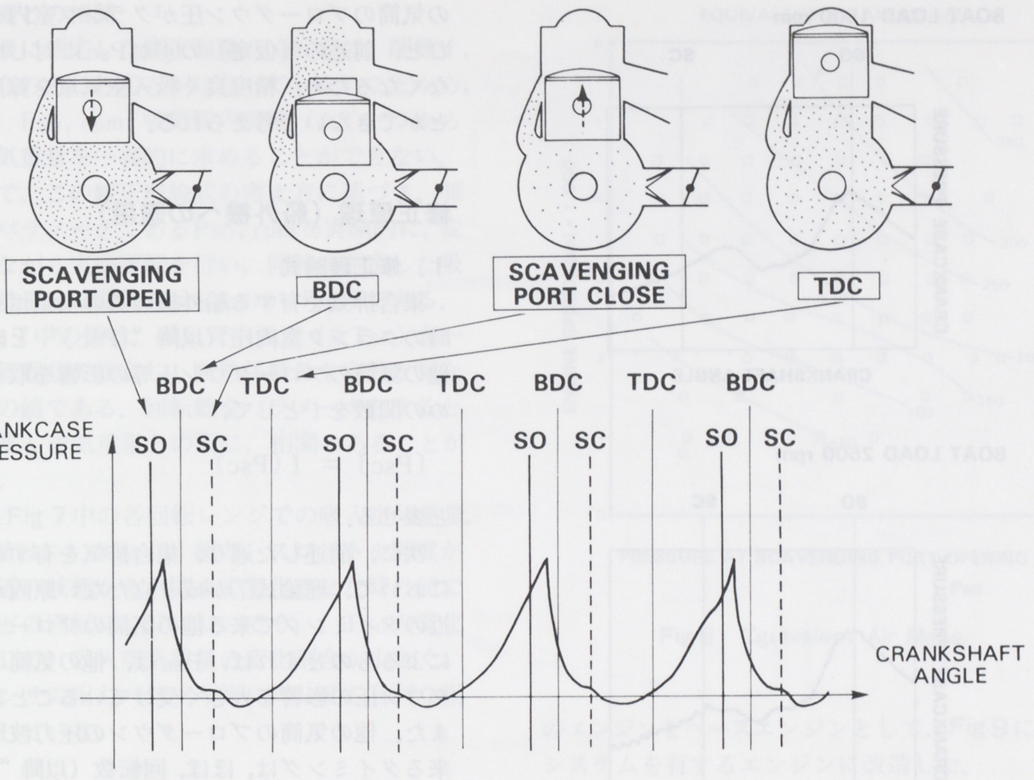



Fig 4 Basic Theory.

となり，(5)式を(4)式へ代入すると，

$$G=\frac{V_S \cdot P_{SC}}{R \cdot T_{SC}}\left\{\left(\frac{P_{SO}}{P_{SC}}\right)^{1/K}-1\right\} \qquad (6)$$

となる．

(6)式から，$V_S$，Rは定数であるので，

$$G= C_1 \cdot \frac{P_{SC}}{T_{SC}}\left\{\left(\frac{P_{SO}}{P_{SC}}\right)^{1/K}-1\right\} \qquad (7)$$

となる．但し，$C_1=V_S／R$

従って，掃気ポート閉口時のクランク室内温度（以降“$T_{SC}$”と略す）は吸気管内温度にほぼ等しく，断熱係数Kを定数と見なせば，吸入空気重量は，掃気ポート開口時のクランク室内圧（以降“$P_{SO}$”と略す），閉口時のクランク室内圧（以降“$P_{SC}$”と略す），及び，吸気管内温度より求められることが分かる．

## 3．実機との相関

Fig5は，理論式(7)に基づく吸入空気重量と実測

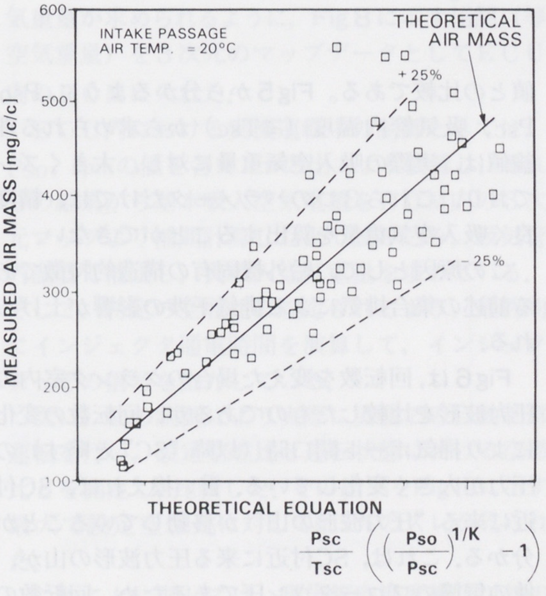



Fig 5 Correlation between theory and Measured Data.

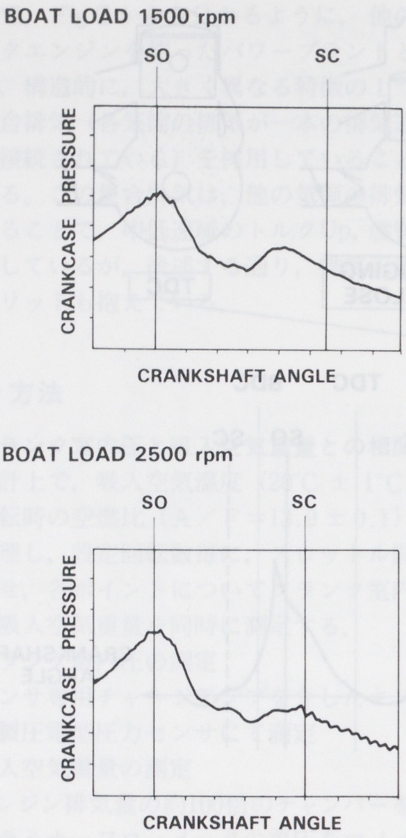



Fig 6　Crankcase Pressure Waveform.

値との比較である。Fig5から分かるように，Pso，Psc，吸気管内温度（≅Tsc）から求められる理論値は，実際の吸入空気重量に対し，大きくズレており，これら3つのパラメータだけでは，精度良く吸入空気重量を算出することができない．

この原因として，船外機固有の構造的特徴である前述の集合排気による排気干渉の影響が上げられる．

Fig6は，回転数を変えた場合のクランク室内の圧力波形を比較したものであるが，回転数の変化により掃気ポート閉口時（以降“SC”と略す）の圧力が大きく変化している．言い換えれば，SC付近に来る“圧力波形の山”が移動していることが分かる．これは，SC付近に来る圧力波形の山が，他の気筒のブローダウン圧であるため，回転数の変化によってこの圧力波形の山の到達するタイミングが変化するからである．この現象は集合排気特有のものである．ブローダウン圧は衝撃的な圧力波であることから，SC付近のタイミングで，他の気筒のブローダウン圧がクランク室内へ入り込むと，前述の〔仮定〕の④がPscに対し成り立たなくなるため，精度良く吸入空気量を算出することができないと考えられる．

## 修正原理（船外機への適用）

### 1．修正理論式

集合排気を有する船外機の真の掃気ポート閉口時のクランク室内圧（以降“〔Psc〕”と略す）は，他の気筒のブローダウン圧等の影響を取り除くための関数をｆとして，

$$〔\mathrm{Psc}〕= f(\mathrm{Psc}) \tag{8}$$

と表せる．

次に，前述した通り，集合排気を有する船外機において，理論式(7)が成り立たない原因が，SC付近のタイミングで来る他の気筒のブローダウン圧によるものとすれば，Pscは，他の気筒のブローダウン圧の影響を大きく受けていることになる．また，他の気筒のブローダウンの圧力波形の山の来るタイミングは，ほぼ，回転数（以降“rpm”と略す）のパラメータにより決まるので，ブローダウン圧は適当な関数ｇを用いて，g（rpm）と表せるとすれば，Pscは，

$$\mathrm{Psc} = g(\mathrm{rpm}) + 〔\mathrm{Psc}〕+ \cdots$$

と表せると考えるが，この式の右辺の項のうちg（rpm）の項は，他の項に比べ圧倒的に大きい値であると考えられることから，

$$\mathrm{Psc} = g(\mathrm{rpm})$$

とほぼ，表せる．この式を(8)に代入すれば，

$$〔\mathrm{Psc}〕= f\{g(\mathrm{rpm})\} \tag{9}$$

となるので，船外機に適応した修正理論式は，(7)式より，

$$G = C_1 \cdot \frac{〔\mathrm{Psc}〕}{\mathrm{Tsc}} \left\{ \left( \frac{\mathrm{Pso}}{〔\mathrm{Psc}〕} \right)^{1/K} - 1 \right\}$$

$$G = C_1 \cdot \frac{f\{g(\mathrm{rpm})\}}{\mathrm{Tsc}} \cdot \left\{ \left( \frac{\mathrm{Pso}}{f\{g(\mathrm{rpm})\}} \right)^{1/K} - 1 \right\} \tag{10}$$

となる．

### 2．実機との相関

船外機に適応した修正理論式 (10) では，関数 f，g が現在のところ明らかになっていないことから，単純に，Pso，rpm，吸気管内温度（≅Tsc），から吸入空気重量を一義的に求めることができない．

そこで，この修正理論式の考え方に基づき，(10) 式中のパラメータであるPso，rpm を実験的に，変化させながら実機運転を行い，同時に測定した吸入空気重量との関係を示したのが，Fig 7である．なおFig 7中の値は，吸気管内温度（≅Tsc）を一定値に管理して測定し，断熱係数Kを定数と見なした時の値である．回転数をパラメータとするとPsoと吸入空気重量との間に，相関のあることが分かる．

また，Fig 7中の各回転レンジでの吸入空気重量，Psoの値は，いずれも，極力，スロットル開度が全閉に近い状態から全開まで変化させた時の値である．どの回転レンジにおいても，Psoの変化量に対して，吸入空気重量の変化割合が小さく，圧力センサの出力バラツキ等に対しても有利な相関を示している．

## 実機への織り込み

実際に，実機エンジンにPso，rpm，吸気管内温度から吸入空気重量を求めるシステムを織り込んで，運転するために，前述のTable 1 に示した諸元

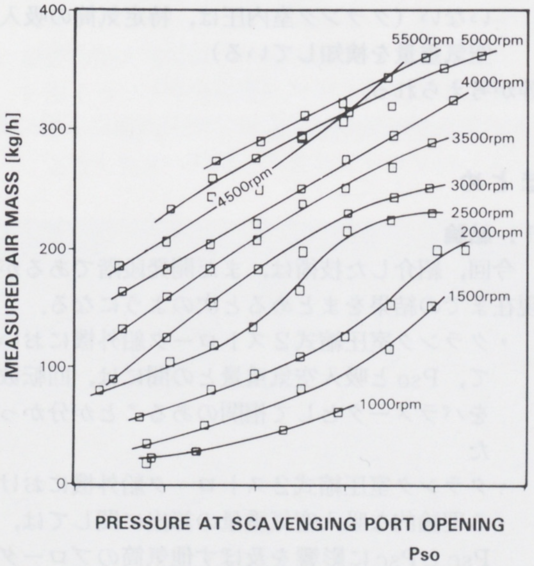



Fig 7 Correlation between corrected theory and Measured Data.

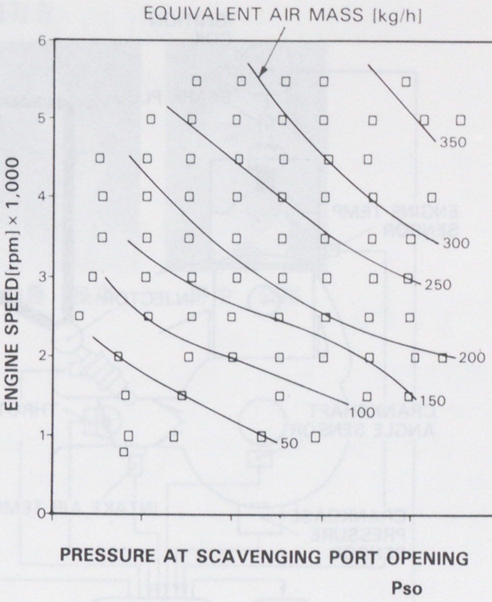



Fig 8 Eguivalent Air Mass.

のエンジンをベースエンジンとして，Fig 9に示すシステムを有するエンジンに改造した．

Fig 7に示す相関を，改造した電子制御エンジンへ制御的に織り込むためには，マップ化する必要があり，Fig 7を変形し，Psoとrpmとから吸入空気重量が求められるように，Fig 8に示す相関（等空気重量）を3次元のマップデータとしてＥＣＵ内のＲＯＭに入れた．

ＥＣＵ内における実機運転中の制御としては，Pso，rpmの値を各センサの出力より演算し，それらの結果から基本吸入空気重量をＲＯＭ内の3次元マップより補間計算した上で読み込み，吸気管内温度で補正し，実吸入空気重量を求めている．そして，特定の空燃比に設定されるよう，最終的にインジェクタ通電時間を演算して，インジェクタへその信号を出力している．

次に，この制御により実際に実機での自動制御運転を行い，設定空燃比と運転状態における空燃比とを測定し，比較した．その結果をFig10に示す．最大で設定空燃比に対して6.5％のズレが見られた．

このことに関しては，吸気管内温度補正以外の補正制御が入っていない簡潔な制御の結果としては，開発の初期段階の結果であることを考慮すれば，まずまずの精度であると言える．

このズレの原因としては，

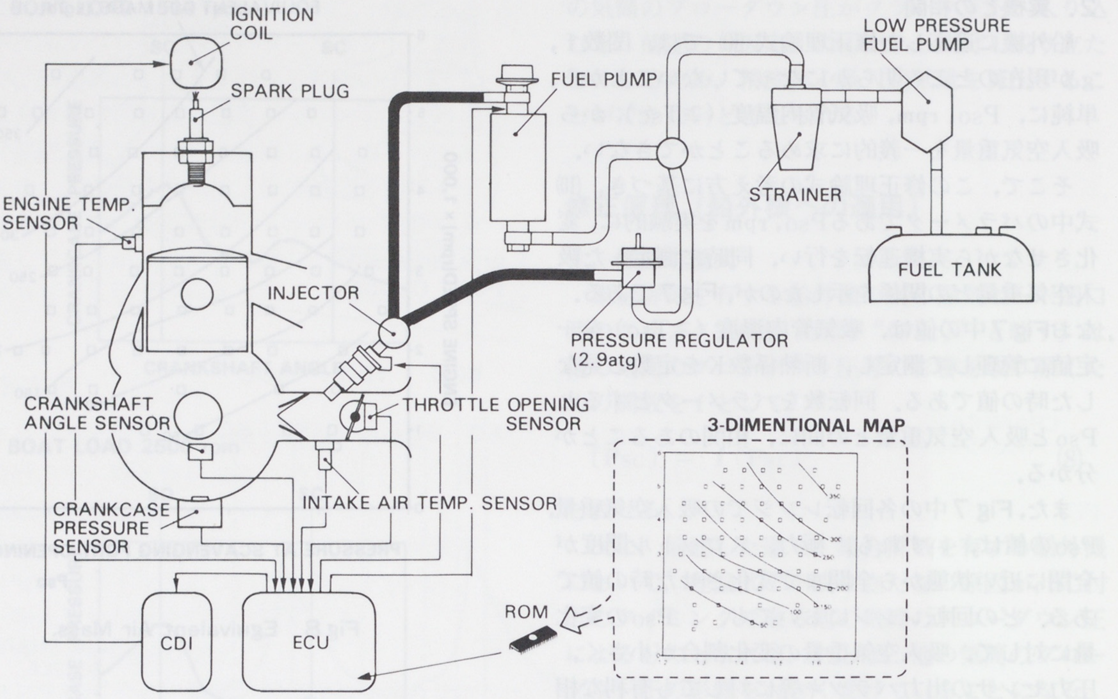



Fig９　Control System

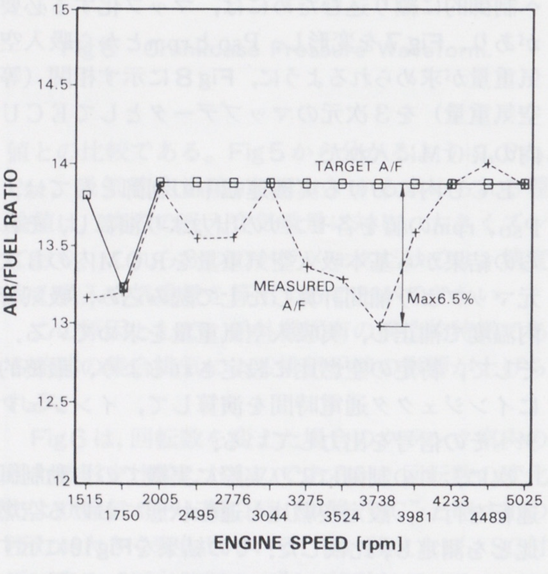



Fig10　System Accuracy Air/Fuel Ratio

・Fig８の相関を表すＲＯＭ内の３次元マップは，実際には16×16の格子状にデータが納められており，完全にFig８と３次元マップとが，同一にならない（マップデータ間の４点補間が完全でない)．

・センサ類，インジェクタ等のバラツキ背圧等の諸補正がなされていない

・集合排気による排気干渉に大きく起因している吸入空気重量の気筒間ばらつきを考慮していない（クランク室内圧は，特定気筒の吸入空気重量を検知している)

等が考えられる．

## まとめ

### 1．結論

今回，紹介した技術は，まだ開発段階であるが，現在までの結果をまとめると次のようになる．

・クランク室圧縮式２ストローク船外機において，Psoと吸入空気重量との間には，回転数をパラメータとして相関のあることが分かった

・クランク室圧縮式２ストローク船外機における理論的な吸入空気重量の算出に関しては，PscとPscに影響を及ぼす他気筒のブローダウン圧等の因子との相関が，定量的に解明できていないので，現状，理論的な算出は困難

である

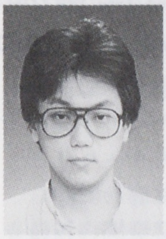
・クランク室圧縮式2ストローク船外機において，Pso，及び回転数と吸入空気重量との実験的な相関をマップ化した単純な自動制御による運転を行っただけでも，ほぼ，設定通りの空燃比で運転することが可能で，クランク室内圧による吸入空気重量検知の手法を電子制御システムとして，織り込める見通しがついた

## 2．今後の課題

今後，現行の開発段階において，次の課題を解決していきたいと考えている．

・クランク室内圧を用いた吸入空気重量の限界精度の見極め
・更なる精度向上に必須となる諸補正（例えば，背圧補正，大気圧補正等）の見極め
・失火・不整燃焼領域における対応

■著者



加藤　雅彦　　野中　公裕

ヤマハ技術会技報
1994-3　No.17

# 当社物流技術の新動向

## YAMAHA NEW LOGISTICS TECHNOLOGY

熊田　博仲*
Hironaka Kumada

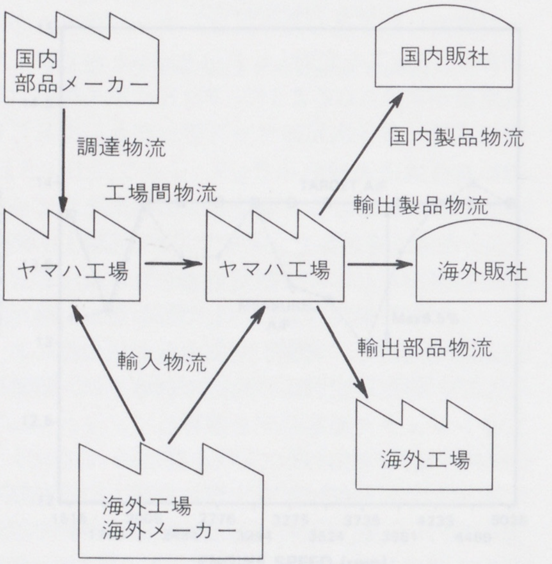
## 1　まえがき

商品を開発し，製造し，販売して行く為には，種々の技術が必要である．

その中で物流に関する技術は，当社の様に商品の種類，生産工場，仕向地がいずれも多様化している場合，発生する費用も膨大な為，特に重要である．そこで今回は当社物流技術の新しい動向について御紹介したい．

## 2　概要

物流には下記種類があり，各々に求められる技術の動向は異る．




又，その技術には管理システムの様なソフトと容器，梱包仕様等のハードがあるが，今回は当社が新しく開発導入したハードを中心に紹介する．

## 3　調達物流

☆求められている技術動向

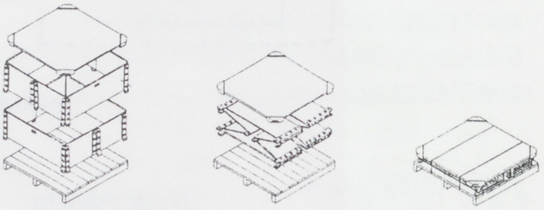
○部品輸送荷姿の汎用化，モジュール化

○一貫パレチゼーション

○リタナブル化

☆最近の開発導入事例（物流企画）

PASSの部品輸送に導入した折畳みコンテナ．これで森⇄福岡を往復．



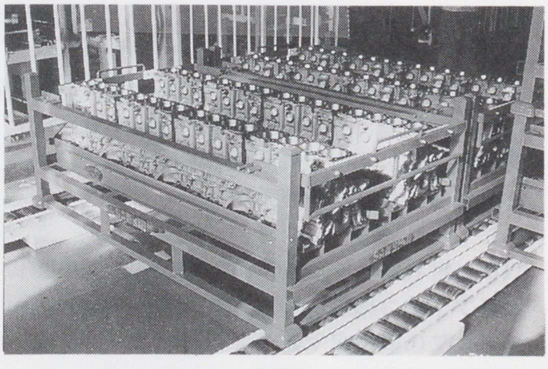
## 4　工場間物流

☆求められている技術動向

○出荷側，入荷側の自動積載装置との連動

☆最近の開発導入事例（物流企画）

浜北及び三信の加工工場⇄磐田の組立工場に導入したブロッシリンダー輸送パレット．



* 生産企画本部生産企画部

## 5　国内製品物流

☆求められている技術動向

○トラック運転手に女性の進出が，多くなっているので人力の積み降しをやめて，フォークリフトの積み降しにしたい.

○専用車から汎用車への転換

☆最近の開発導入事例（物流企画）

国内のスクーター輸送を，従来のマンモス車への人力積み込みから，ウイング車へのフォークリフトによるパレット積み込みとした.

## 6　輸出製品物流

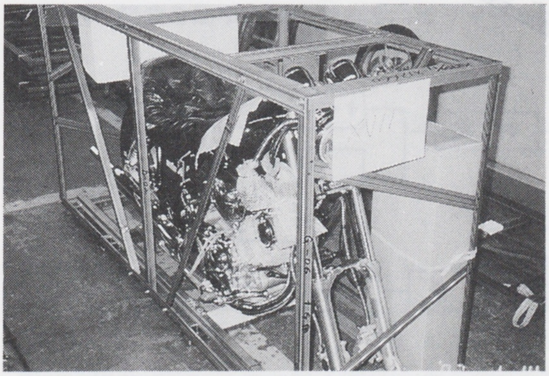
☆求められている技術動向

○地球環境保護の為の脱木材，脱発泡スチロールの梱包仕様

○海上コンテナ寸法とのモジュール化

☆最近の開発導入事例（購三課）

○海上コンテナ寸法からモジュール化されたスチール梱包（これにより梱包の自動化も可能となった。）



## 7　輸出部品物流

☆求められている技術動向

○地球環境保護の為脱木材仕様

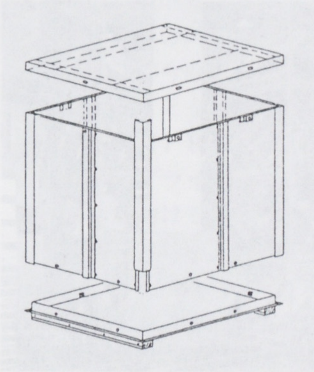
○海上コンテナ寸法とのモジュール化

○リターナブル化

○開梱の容易さ

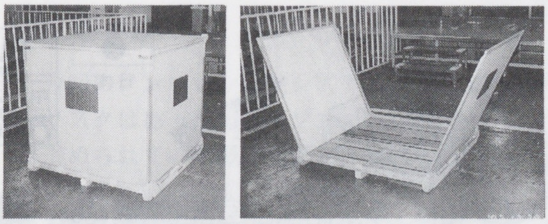
☆最近の開発導入事例

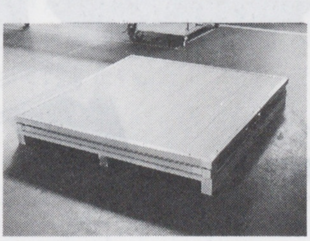
1. ＣＫＤ部品ワンウェイ用ワンタッチ組立式スチールボックス（購三課）



マレーシア工場向
中国工場向

2. ＣＫＤ部品リターナブル用ワンタッチ組立式合板ボックス（物流企画）





アメリカ工場向

## 8 輸入物流

☆求められている技術動向

○開梱の容易さ

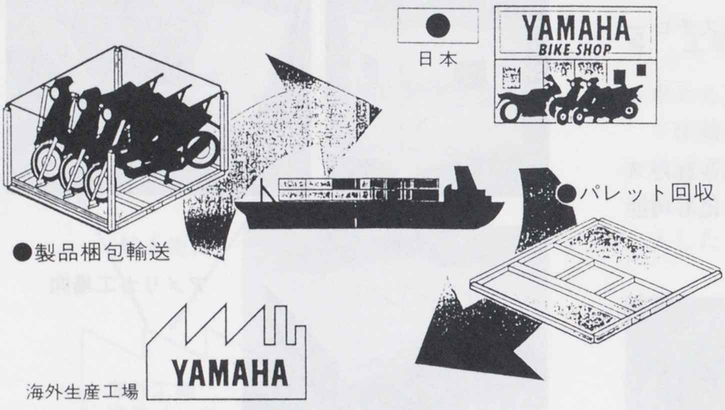
○梱包の廃止

○リターナブル化

☆最近の開発導入事例（物流企画）

台湾ＹＭＴ⇄ＹＭＣのスクーター輸入用のリターナブルパレット

●リターナブルパレットによる物流システム




## 9 むすび

物流技術はこれから増々重要性を増すと思われる．若き技術者の参加を願ってやまない．

■著者

熊田　博仲

# 硬質ウレタン発泡にノンフロン発泡システムの導入

Introduction of Non-Flon Foaming System for Hard Urethane Foam

伊藤 博*
Hiroshi Itou

## 1 まえがき

硬質ウレタン発泡（以下ウレタン発泡）は舟艇の浮力体及び断熱材に多く使われている．その施行は発泡圧に耐える受型に二液を混合攪拌し，型内に注入するだけで現場でも簡易に行なうことができる．このウレタン発泡には発泡剤としてフロン11が長い間使用されてきた．その理由として低毒性，不燃性，化学的安定性等に優れており，また発泡体となったものは電気絶縁性および断熱性はもとより接触する材料に与える影響が少ない等の特徴を持っているからである．しかし近年フロン11を含む特定フロンはオゾン層の保護問題で，国際的には'95年全廃が決定しており，マリンに於いてはヤマハ発動機全体方針の'93年12月末日以降の全廃に合わせるべく準備が進められ，代替フロン或いはノンフロンの対応計画が材料メーカーから出され，代替フロン処方ではフロン11とほぼ同等の発泡性及び物性のものが開発され，工程も何ら変えることなく'94年からの切替えは可能となった．一方ノンフロン処方は技術的課題は多少残っていたが，発泡条件でカバーすれば使用できる見通しが立ち，'93年10月に生産開始となったウォータービークルに導入した．

## 2 ノンフロン発泡システムの概要

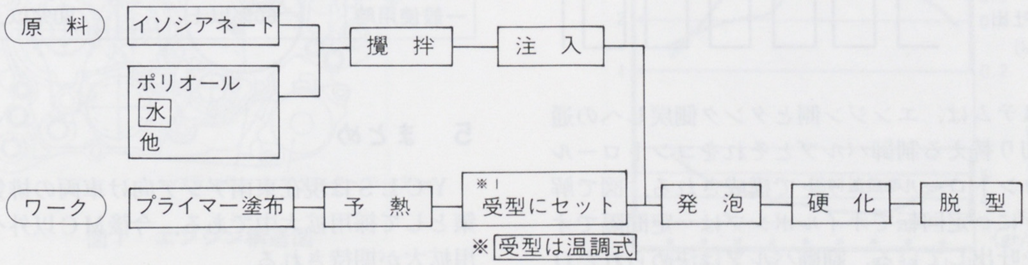
図はノンフロン処方で発泡させる工程で，ハッチングの部分が特定フロン及び代替フロン処方より増えた工程を表わす．ここでノンフロン処方での発泡の概要を簡単に説明すると，ポリオール側に従来はフロン11が発泡剤として使われていたが，代わりに「水」が使われ，この水がイソシアネートと反応し炭酸ガスを生成し，発泡剤の役割りを果たすが，この時に発泡を助ける為に熱が必要である．そこで今回ノンフロン処方を導入するにあたり，次のことを行なった．

1)ワーク（ＦＲＰ）との接着強度の確保
………プライマー塗布仕様
2)発泡を助ける予熱条件……加熱炉で事前加熱
3)受型でのワークの保熱……温調型

以上三つの仕様をウォータービークルの開発艇に織り込んだので生産は，特に問題もなく立ち上がることができた．しかし比較的生産数量の少ない大型ボートでは，上記の2)，3)を織り込むにはコスト負担が大き過ぎるため，導入は困難であり，これを解決することが大きな課題である．

## 3 むすび

今回のノンフロン発泡システム導入には技術的なリスクはあったが，オゾン層保護対策が国際的に進められていたので関係者としては必ず達成しなければならないと言う使命感があったからこそできた．今後は発泡条件解除ができる様材料メーカーに要請し，大型ボートへの導入を早急に行なって行きたい．




* マリン事業本部舟艇事業部生産技術部

ヤマハ技術会技報
1994-3　No.17

# YCLS(Yamaha Computerized Lubrion System)

矢代　善伸*　　高橋　邦男*
Yoshinobu Yashiro　Kunio Takahashi

## 1　はじめに

近年，環境意識の世界的高まりもあり，２サイクルエンジンの排気煙が注目されている．排気煙は２サイクルエンジンの持病と言われてきた．今回，世界に先駆けて開発したＹＣＬＳは排気煙だけでなく，マフラーからのオイル飛散等，２サイクルエンジンの“ダーティーイメージ”を大幅に改善するシステムである．

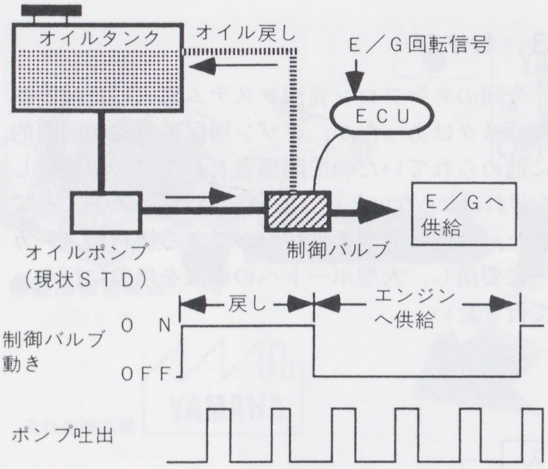
## 2　ＹＣＬＳの考え方，構造

### 2−1　ＹＣＬＳの考え方

排気煙の発生原因は低回転時に過剰に供給されているオイル分である．ＹＣＬＳは過剰に給油されているオイル分を回収，再利用するシステムである．ＹＣＬＳは現在生産している車両に後付け装着できる事を念頭に開発した．

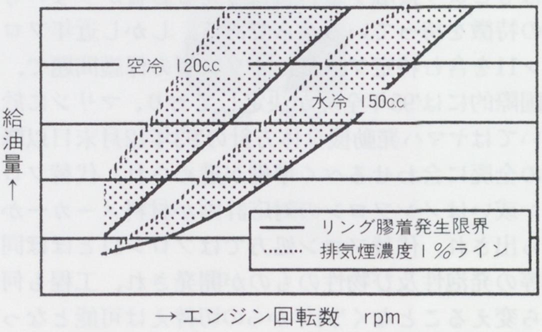
### 2−2　ＹＣＬＳ構造

基本構造および制御の基本を下図に示す．




システムは，エンジン側とタンク側戻しへの通路を切り替える制御バルブとそれをコントロールするコントロールユニットで構成される．図で解るように一定回転でオイルポンプは一定間隔でオイルを吐出している．制御バルブは決められたＯＮ−ＯＦＦ時間割合で作動している．ここでＯＮ（通電）時にオイル戻し通路が開き，エンジン側への通路は遮断され，この間にポンプから吐出されるオイルはオイルタンクへもどされる．

## 3　オイル吐出量の設定




上のグラフにＹＣＬＳでの設定例をしめす．基本的に排気煙も見えずリング膠着も発生しない給油量領域がある．この中に給油量を合わせるのがＹＣＬＳである．心配される潤滑トラブル（ピストン焼き付き等）発生限界はリング膠着発生限界より更に給油量が少ない領域である．

## 4　ＹＣＬＳ装着効果

| | オイル消費削減効果 | 排気煙低減効果 |
|---|---|---|
| 最悪使用時 | 50%以上 | 70%以上 |
| 一般使用時 | 60%以上 | 80%以上 |

## 5　まとめ

ＹＣＬＳは現在東南アジア向け車両の排気煙対策として採用拡大中である．今後ＭＣ以外への採用拡大が期待される．

ＹＣＬＳは排気煙だけでなく，マフラーカーボン詰まり，オイル飛散等も同時に対策出来る．

* モータサイクル事業本部 第４開発部

# TZR50R用エンジンの紹介

Introduction of Engine for TZR50R

鈴木　守*
Mamoru Suzuki

## 1　まえがき

'93年3月，フルサイズの車格と本格的な動力性能により人気のＴＺＲ50に，レースで高い評価を得ている'93ＹＺ80のエンジンをベースとして，セルフ式スターターとバランサーを装備した４ＥＵ型エンジンを搭載し，「ＴＺＲ50Ｒ」として発売した．以下に４ＥＵ型エンジンの概要を述べる．

## 2　概要

ＴＺＲ50Ｒの開発コンセプト「フルサイズ50cc.ピュアスポーツと利便性の両立」を実現するために，４ＥＵ型エンジンは，以下の４項目を開発の狙いとして設計している．

1) 高回転での伸び感の向上.
2) スロットルレスポンスの向上.
3) 低振動の実現.
4) 利便性の向上.

図１にエンジン構造図を，図２にエンジンの性能曲線を示す．

吸気形態は，吸入効率の向上と，スロットルレスポンスの向上を目的として，クランクケースリードバルブ方式を採用している．尚，バランサー機構をエンジン下部に設置することにより，吸気通路を直線的に，クランクウェブに干渉されることなく，最短距離にて掃気通路につながるように配置している．更にＹＥＩＳの採用や，８ビットマイコンのデジタルＣＤＩ点火の採用により，低中回転域から高回転域への伸びのあるエンジン特性と，スロットルレスポンスを実現している．

バランサー機構は，１軸１次バランサーであり組立式の両端面にウェイトを配置したバランサーとし，クランクとバランサーの軸間距離を少なくし，偶力の発生を少なくしている．

尚，始動操作を容易にするため，小型軽量モーターを採用したセルフ式スターターをエンジン下部に備える．

## 3　むすび

以上，４ＥＵ型エンジンの概要を紹介した．市場でも，好評をいただいており，開発の狙いを十分満足したものに仕上っているものと考えている．今後とも，さらなるポテンシャルアップを狙い，改良をかさねていきたいと思う．

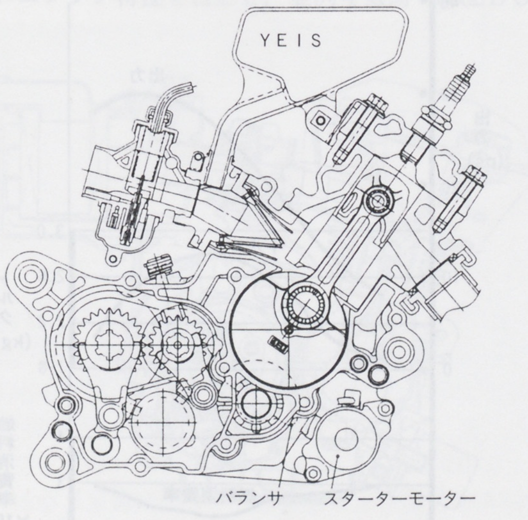



図１　エンジン構造図

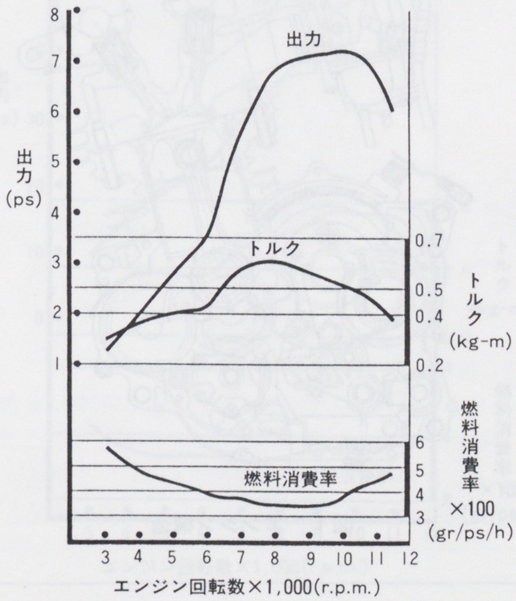



図２　エンジン性能曲線

* モータサイクル事業本部 第４開発部

ヤマハ技術会技報
1994-3 No.17

# TT250R用エンジンの紹介

Introduction of Engine for TT250R

高橋 克至*
Katsushi Takahashi

## 1 まえがき

当社は，XT250T以来，長い間沈黙を続けてきた250cc.フルサイズの4サイクルトレールモデルに，'93年4月，TT250Rを投入した.「ピュア・オープン・エンデューロ」をキーワードとし，走破性，取扱い性，信頼性といった各項目を根本から見直し，"本物"をめざしたモデルである．以下に，このモデルを実現する為に新設計したエンジンについて紹介する．

## 2 概要

エンジン構造を図1に示す．エンデューロに適した軽快なハンドリングを得る為，徹底したコンパクト設計を行ない，理想的な車体ディメンジョンの成立を実現した．軸配置の見直しで，前後長を大幅に短縮したクランクケースや，カムスプロケットの小径化とカム軸受の配置の工夫で実現した小形のシリンダヘッドは，この代表例である．

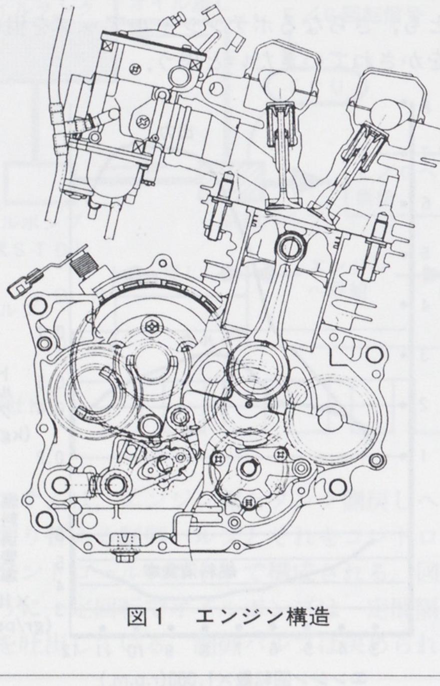


図1 エンジン構造

性能曲線を図2に示す．最高出力のみを求めるのではなく，エンデューロマシンとして重要なトラクション，ねばり，レスポンスなどに重点を置いた性能特性としている．ポートや燃焼室の形状，各部軸径の見直し等による効率の追求や，新設計したキャブレターのベンチュリー形状の選定，加速ポンプの最適セッティングなどによって，この特性を実現している．

更にこのエンジンでは，ライダーの疲労低減も重要な項目と考え，エンジンマウントの選定による振動低減や，セルフスタータの採用による始動操作の容易化も計っている．

## 3 むすび

発売以来，市場でも好評を博しているが，これに満足することなく今後も熟成を続け，進化する息の長いエンジンにしたいと考えている．

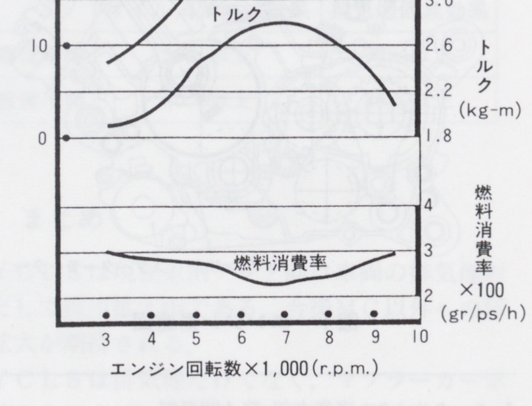



図2 エンジン性能曲線

* モータサイクル事業本部第4開発部

# XJR400用エンジンの紹介

Introduction of Engine for XJR400

鈴木　正人*
Masato Suzuki

## 1　まえがき

1 1989年頃よりネイキッドと呼ばれるスポーツバイクの人気が盛り上がって来た．こうした背景をうけて，我社として多くの議論を重ね「新時代のネイキッドスポーツ」として新設計の空冷エンジンを搭載したXJR400を開発した．

このモデルでは

(1)ファイティングスピリッツのあるモーターサイクルらしいスタイリングであること．

(2)走りが楽しいこと

をキーワードに開発を行なった．

## 2　概要

エンジン構造は図１に示す．外観は力強い機能美と迫力あるデザインを意識し，シリンダ前傾角14°の空冷を選択した．

性能は図２に示す．高回転，高出力で元気の良いエンジン特性を目ざし，並例４気筒 400cc.DOHC４バブルを選択した．

通気抵抗の少ない左右対称形のエアクリーナ，優れた流量係数を誇る吸排気ポート，空冷として高めの圧縮比10.7，動弁系はφ20小径インナーパッド用リフタを採用し軽量化をはかり，クラス上限の53$^{PS}$を実現した．

「走りの開発」においては，コンセプトに沿ったエンジンフィーリングを実現するために，感性の定量化手法を用い，走行フィーリング評価データを多変量解析プログラムで処理したデータをもとに作り込みを行なった．

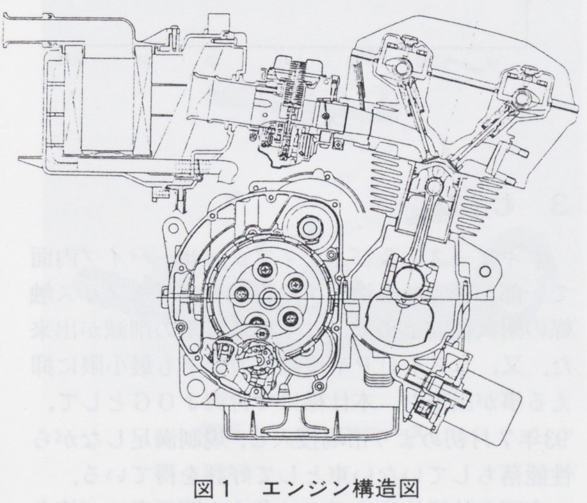


図１　エンジン構造図

## 3　むすび

1993年のネイキッドスポーツ市場では，かなり高い評価が得られた．今後は市場での情報をもとに，さらに熟成をはかって行こうと思う．

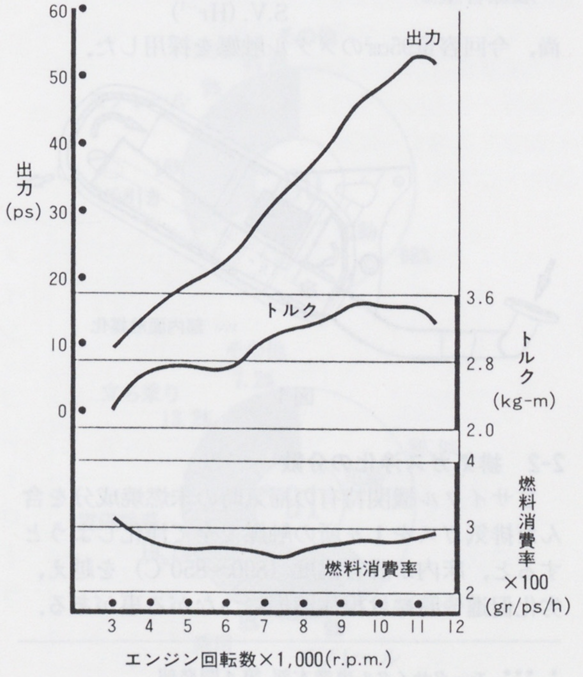



図２　エンジン性能曲線

*　モータサイクル事業本部 第４開発部

# 台湾排ガス規制適合排気系の開発

Development of Exhaust System Conforming to Emission Regulations of Taiwan

奈良 一弘*
Kazuhiro Nara
式部 光兼*
Mitukane Sikibe
石田 洋介*
Yousuke Ishida
鈴木 勝美**
Katumi Suzuki
足立 竹司***
Takezi Adachi
鈴木 洋未***
Hiromi Suzuki

## 1 まえがき

CO 4.5g/km，HC＋NOx 3.0g/kmの台湾２期排気ガス規制に適合する触媒付き排気系の開発を行なった．４サイクル機関より比較的高濃度の２サイクル機関で，新機構採用により後輪出力維持しつつ浄化性能と耐久性を満足した．

## 2 概要

図１に，規制クリヤーしたマフラー図を示す．

### 2-1 出力落ちしにくい触媒位置と容量の開発

触媒付加は出力ダウンに成り易い．しかし，第１膨張室以後の設置なら出力落ちも最小限に抑えられる事が分かった．

一方，触媒容量は周知の下式で求められる．式に関する詳細は文献等を参照されたい．

$$触媒容量(\ell)=\frac{排気ガスボリューム(\ell/Hr)}{S.V.(Hr^{-1})}$$

尚，今回容量95㎤のメタル触媒を採用した．

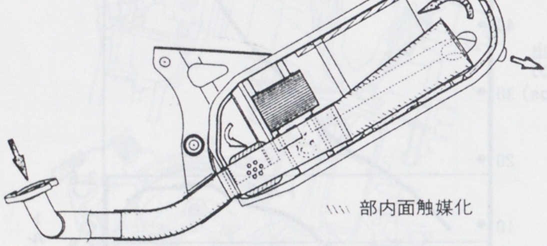



図１

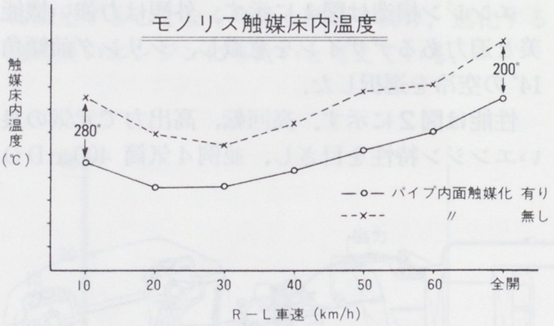
### 2-2 排気ガス浄化の分散

２サイクル機関特有の掃気時の未燃焼成分を含んだ排気ガスを１ヶ所の触媒で全て浄化しようとすると，床内が許容温度（800～850°C）を越え，劣化促進や時には担体溶損につながる事がある．

これら問題発生防止策とし，浄化作用を数ヶ所に分散させる事を考えた．エキゾーストパイプやディフューザーパイプ内面を担持し，触媒化する事で排ガスの一部を浄化させる事を試みた．

結果モノリス触媒で受け持つ浄化量軽減となり床内温度上昇を最小限に抑える事に成功した．さらには，モノリス触媒への入ガス温度上昇でエンジン始動後早期活性開始を促したり，モノリス触媒の浄化効率向上にも貢献した．担持した貴金属種は，各所Pt系がベストであった．こうして，台湾２期排ガス規制を満足する機構を構築した．

グラフ１は，パイプ内面触媒化有無時のモノリス触媒床内温度差を示す．




グラフ１

## 3 むすび

エキゾースト及び，ディフューザーパイプ内面で一部の排ガスを浄化する事により，モノリス触媒の耐久性向上やモノリス担体容量の削減が出来た．又，コストＵＰや後輪出力低下も最小限に抑える事が出来た．本仕様にて台湾ＪＯＧとして，'93年７月初めより市場投入し，規制満足しながら性能落ちしていない車として好評を得ている．

今回の仕様決定までには多くの関係者にご協力いただいた事を感謝いたします．

今後はさらに改良を重ねていく所存です．

*, *** モータサイクル事業本部 第４開発部
** 〃 第３開発部

# 電磁誘導式立ち乗りカートターフエースの開発

Development of TURF ACE

仲井　政雄*
Masao Nakai

## 1　はじめに

日本国内には，現在約2000箇所のゴルフ場があり，これらのゴルフ場ではゴルフカーを始めとして各種のバッグ搬送具が使われている．ヤマハは1978年に乗用ゴルフカーを発売して以来乗用タイプ，立ち乗りタイプ合わせて約６万台を生産，販売してきた．

このうち立ち乗りカートはプレーヤーと共にフェアウェイ上を移動できるため質の高いプレーヤサービスに適していると共にキャディの労力軽減にも寄与できる事より高い評価を得ている．一方，誘導線を埋設したカートパスを自動走行する誘導カートは芝生の保護や安全性を重視するゴルフ場に歓迎されている．さらに近年では立ち乗りカートの機能を有し必要時には誘導走行もできるゴルフカーの開発が嘱望されてきた．

そのような中で“人にやさしく,芝にやさしく”をテーマに開発したのが“ターフエース”である．

写真１　ターフエース

## 2　市場動向

図１にバッグ搬送具のタイプ別採用ゴルフ場率推移，また図２に販売台数推移を示す．

80年には電動カートがシェア68％を占めていたが91年には36.9％に迄減少し，代わって電磁誘導カート・立ち乗りカートが伸長してきた．電動カートは価格が安く，また取扱いも簡単な事からキャディ付きのゴルフ場で幅広く使用されていた．しかし85年頃よりキャディの高齢化，慢性的なキャディ不足，セルフ化等への対応として立ち乗りカートや電磁誘導カートが取り入れられてきた．

また乗用タイプは主にセルフプレー用に用いられ２人乗り・４人乗りがあるが，最近では４人乗りの需要が高まってきている．

なお，立ち乗り，乗用分野では90％以上をヤマハが占めている．

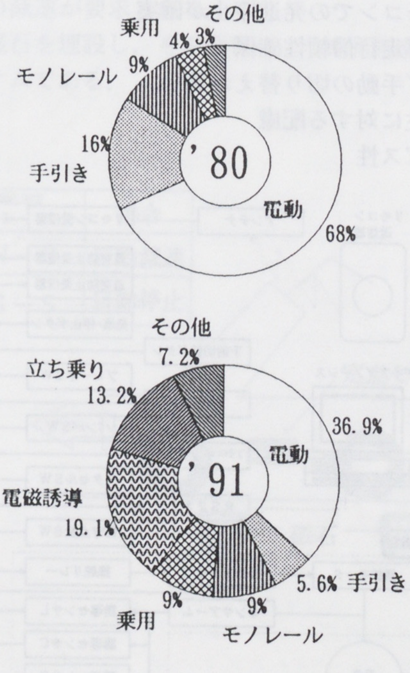



図１

* 特機事業部 特機第２技術部

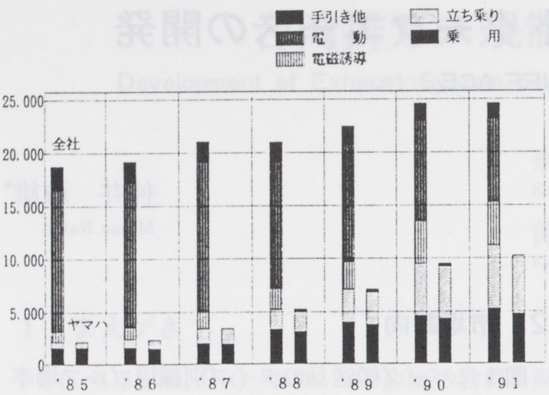



図2　タイプ別販売台数推移

## 3　開発の狙い

基本的には立ち乗りカートであり手動走行時には現行立ち乗りカート“ターフメイト”の感覚で運転できる事，電磁誘導時にはエンジン車である事を意識させない手軽さである事，をねらいとし以下の点に留意して開発を行なった．

①立ち乗り時の機動性確保
　軽快感を損なわない事
　ラフ路走行時のセンサ類の保護，信頼性
②誘導時の操作性は電気車並を確保
　リモコンでの発進停止が確実
　誘導走行信頼性確保
③誘導／手動の切り替えが簡単
④安全性に対する配慮
⑤サービス性

## 4　制御システム

走行コースに埋設した誘導線に交流電流を流すことにより発生する磁界を検出して，自動操舵走行する車両を電磁誘導車という．(図3)

これ以外の誘導方式としては，誘導線のかわりにフェライト磁石や磁気テープを使用したものもあるが，誘導ゴルフカーの多くは前述の電磁誘導方式をとっている．

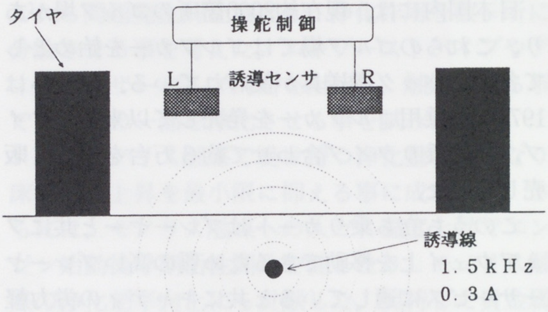



図3　電磁誘導のしくみ

図4にユニット構成を示す．

大きく，操舵，走行，制動，リモコン，定点，追突防止の各制御と安全監視，ダイアグノーシスといったシステムに分類され，それぞれメインコントローラにより制御されている．

・メインコントローラ

ＣＰＵは１チップマイコン（日立H8／536）とし，プログラム容量は42Kバイトにも達する．

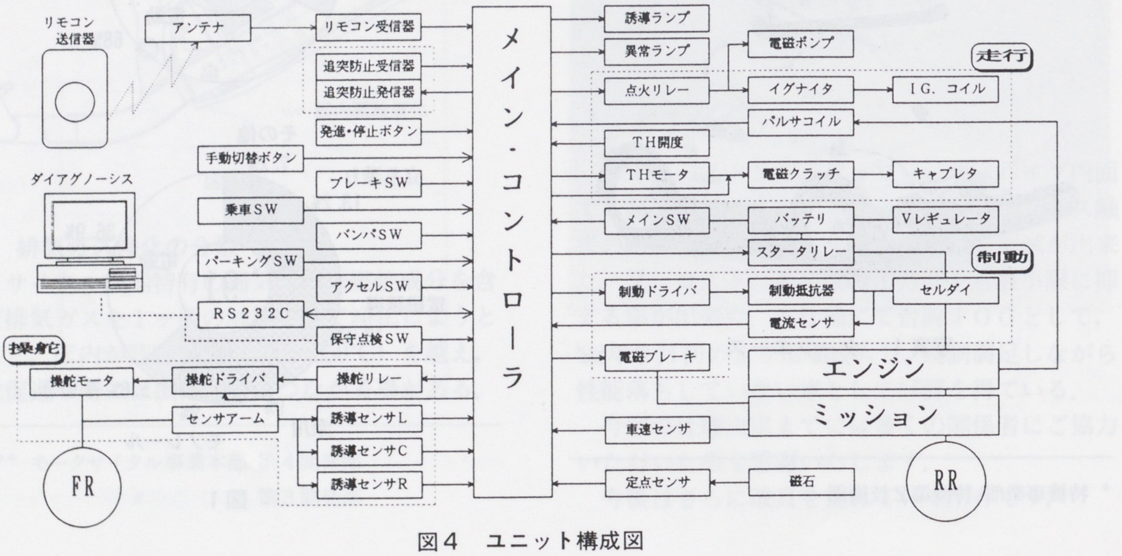



図4　ユニット構成図

プログラムはC言語による開発としモジュール構成化したことにより，複数のメンバーでのプログラミングが可能となった．

ハード回路はチップ部品を多用することで小型化できた．（全部品438点中チップ部品377点，チップ化率86%）

何らかの原因でマイコンが不作動になっても，ハード回路により手動走行は可能とした．

また，ゴルフカーは走行中以外はエンジンを停止させているのでメインSWの切り忘れが懸念される．その対応として，車両停止後1時間にて自動的に電源OFFするオートパワーオフ機構を織り込みバッテリ上がりを防止した．

### 4.1 操舵制御

前述の磁界の強さを左右の誘導センサにより検出し，誘導線からの偏差量（ズレ量）を計算し，

$$\text{偏差量} = \frac{\text{左センサ出力} - \text{右センサ出力}}{\text{左センサ出力} + \text{右センサ出力}} \times \text{係数}$$

偏差量に応じた電流をステアリングモーターに流すことにより，誘導線を的確にトレースする．

PID制御により±30㎜の精度で走行可能である．

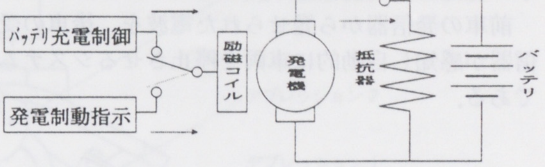
（PID：Proportional, Integral and Derivativeの略でフィードバック制御の一種である．）

### 4.2 走行，制動制御

従来の電磁誘導車は電気車であったため，速度制御はモータ電流を制御すればダイレクトに車速コントロール可能だが，ターフエースはVベルト変速機付きのエンジン車であるので，キャブ開度≠E/G回転数≠車速となるため，開発の中でも特に時間をかけた．

定常走行6㎞/hを維持するため車速センサからの車速データを基にCPUにて計算された最適なキャブ開度になる様にステッピングモータにて開度コントロールを行ない，走行制御している．

降坂時はE/Gブレーキだけでは車速を抑えきれないため，発電制動によりブレーキ力をUPさせている．発電機は通常はバッテリ充電のために使われているが，制動時には抵抗器に切り替えることでCPU指示通りの安定したブレーキ力を得ることができる．




車両停止時も同様に発電ブレーキにより制動を行ない，停止後は電磁ブレーキによりパーキングロックさせている．

以上により±0.4㎞/hの精度で走行，0.3G以下の滑らかな加減速を可能とした．

### 4.3 リモコン

自動走行させるには当然遠隔操作も必要になってくる．

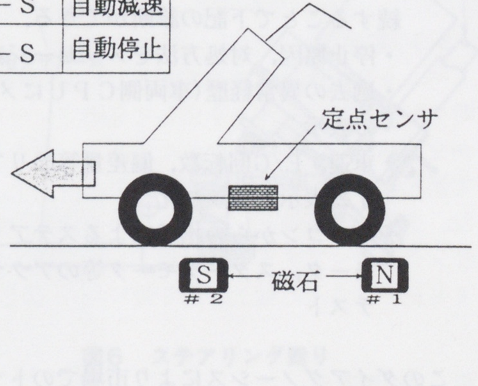
操作を容易にするため送信器はボタン1つとし停止中に押せば発進，走行中に押せば停止するシステムとした．FM40MHz帯を採用し256台の識別ができ，80m以上の遠隔操作が可能である．

### 4.4 定点制御

指定された地点での自動停止，指定された範囲での減速が要求される．

磁石を埋設し，その極性により車両制御するシステムである．

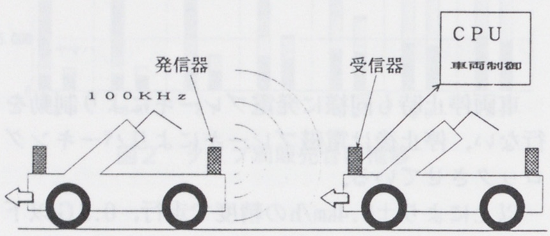
| 磁石 #1-#2 | 指令 |
|---|---|
| N－S | 自動減速 |
| S－S | 自動停止 |



### 4.5 追突防止システム

誘導線上を何台ものカートが走行するため，前車に追突する可能性が十分に考えられる.

前車の発信器から発せられた電波を，後車の受信器が感知し自動的に車両を停止させるシステムである.




### 4.6 安全監視

誘導走行中には人を乗せない設計のためマイコンにて各種センサ情報を分析し，誤操作した場合は自動的に車両を停止させる.（警告）

また，車両に異常が生じた場合にも検出し自動停止させるシステムとしている.

警告，異常を合わせて30項目におよぶ監視を行ない，常に制御システムの安全性を確保している.

### 4.7 ダイアグノーシス

以上の様に誤操作，異常時には自動停止するが停止原因を究明することは困難であるため自己診断機能も同時に開発した.

①オンボード診断…インパネ警告灯の点滅回数により停止原因を表示

②オフボード診断…RS232Cを使いパソコンを接続することで下記の診断ができる.

- 停止原因，対処方法をメッセージ表示
- 過去の異常経歴（車両側CPUにメモリ）の表示
- 車速，E/G回転数，偏差量等のリアルタイム表示とグラフ化
- パソコンからの指示によるステアリングモータ，スタータモータ等のアクティブテスト

このダイアグノーシスにより市場でのトラブルシューティングはもちろんの事，車両開発においても非常に有用であった.

## 5 構造

### 5.1 エンジン関係

ターフメイト（ＪＪ４）の４サイクル125cc.エンジンをベースとし，始動性改善，低速運転時のエンジン信頼性向上を図った.

#### 5.1.1 始動性改善

ゴルフカーは発進停止のたびにエンジンの始動停止を繰り返すため低温から高温まで始動性の確実さを要求される．従来モデルは，冷機時はマニュアルチョークに頼っているが，本モデルは無人状態で始動させる必要もありオートチョークを採用する事とした.

当初は発電機用E/Gに使用しているヒーター付きバイメタルとデプレッションの組み合わせタイプにてスタートしたが，プラグかぶり問題が懸念されたためバイメタルと２段デプレッションの組み合わせタイプに変更した.（図５）

スクーター等に使用しているスタータタイプはスロットル全開にて始動する事の多いゴルフカーには向かないため採用しなかった.

- バイメタル
  E/Gルーム温を感知し初期開度を設定する
- デプレッション１
  吸気マニホールドの負圧により持続可能な開度まで開く
- デプレッション２
  吸気マニホールドの負圧により全開まで開く
- チェックバルブ
  エキパイの温度を検出しE/G暖機時，負圧通路を開きデプレッション２を作動させる
- バキュームコントロールバルブ
  吸気マニホールド負圧を増幅してデプレッションに伝える

#### 5.1.2 低速運転時エンジン信頼性向上

手動走行時定常10km/hに対し誘導走行時は６km/hと低くそれにともないE/G回転数も低下するためプラグ汚損，シリンダヘッド廻りのカーボン堆積等が懸念された．対応としてオートチョークを含めてのキャブセッティングの見直し，プラグの変更を行ない目標を達成した.

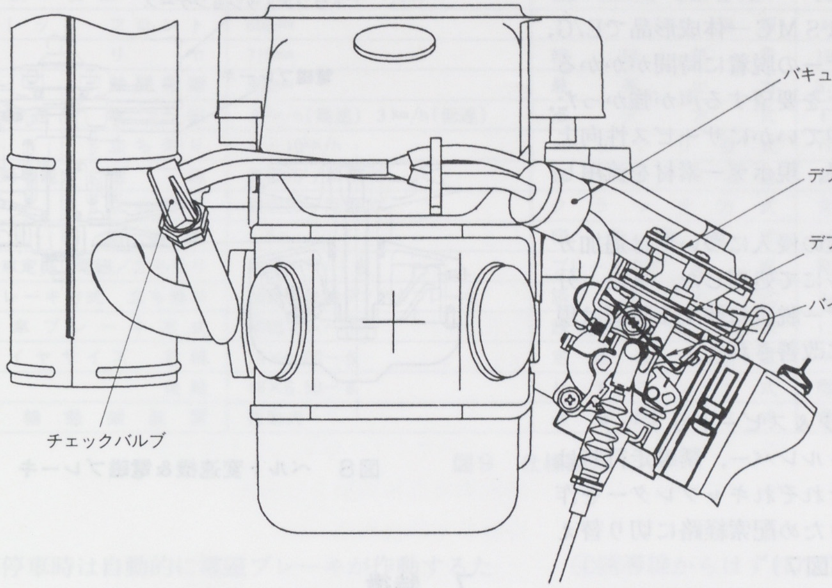


図５　オートチョークシステム

5.2　車体関係
ＪＪ４並の機動性を確保するために車両は同サイズにする事を基本としてレイアウトした．メインコントローラを始めとする制御関連部品はステアリングシャフト廻りに集中配置する事によりメインテナンス性を良くすると共に，埃，泥水に対する配慮をした．また誘導センサ，定点センサ等はラフ路での立ち乗り走行を考慮し他社電磁車より高い位置にレイアウトした．

5.2.1　ステアリング
誘導走行時はセンサアームに取り付けられた誘導センサにて誘導線を検出しステアリングモーターにて操舵を行なう．（図６）

・ステアリングモーター
ギヤ減速機付きＤＣモーター使用．手動走行時には逆駆動され操作の抵抗となるため，アーマチャーにスキューを付ける事により滑らかな操作感が得られた．
・センサアーム
ステアリングシャフトに連動して左右に揺動し誘導線をトレースしていく．センサアーム廻りのガタは操舵性能（車両のふらつき，発振，脱輪等）に悪影響を及ぼすため軸受け部はボールベアリング支持とした．

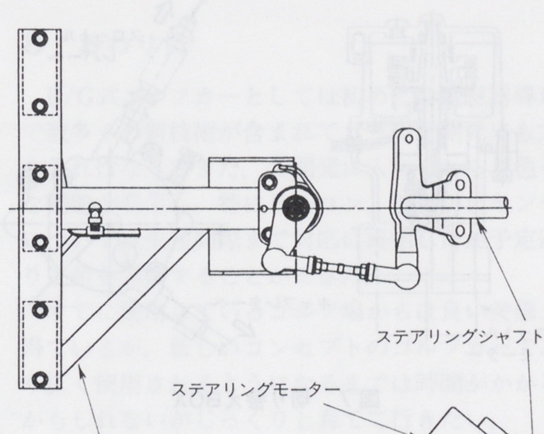


図６　ステアリング廻り

5.2.2　ボデー

ＪＪ４ボデーパネルはＳＭＣ一体成形品でE/G,駆動系等の整備時はボデーの脱着に時間がかかるため，サービス性の向上を要望する声が強かった.ボデー形状を変えない中でいかにサービス性向上を図るかを検討した結果，現ボデー素材を流用しての分割案に決定した.

分割部の外観，水・埃の侵入については追加カバーのデザイン，モールにて処理した．また，分割ボデー採用によりボデー脱着に要する時間は現行の約40%以下と大幅に改善された.

5.2.3　アクセルレータ＆スピードリミッタ

手動走行時はスロットルレバー，誘導走行時はスロットルモーターでそれぞれキャブレターを作動させ車速調整を行なうため配索経路に切り替え用BOXを設けている.（図７）

手動走行時の車速制御はＪＪ４と同様の機械式のガバナを使用している.

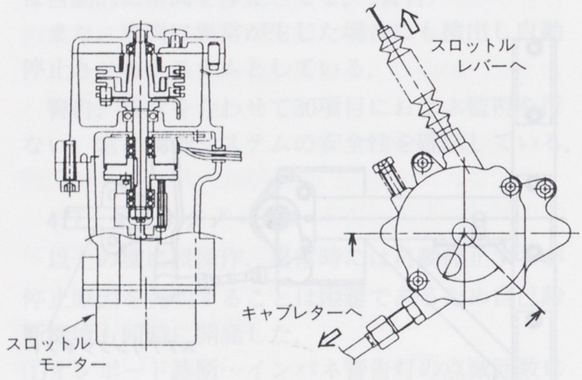



図７　切り替えBOX

5.3　駆動系

ベルト変速機はＪＪ４を基本としているが降坂時や制御時にはベルトを介して発電ブレーキを効かせる構造としているためセッティングを変更して低回転域までクラッチ切れがおきないようにした．また，緊急停止，駐車ブレーキ用としてスプリングクローズタイプの電磁ブレーキをトランスミッションの入力軸上に取り付けた.（図８）

## 6　仕様諸元

図９に仕様諸元を示す.

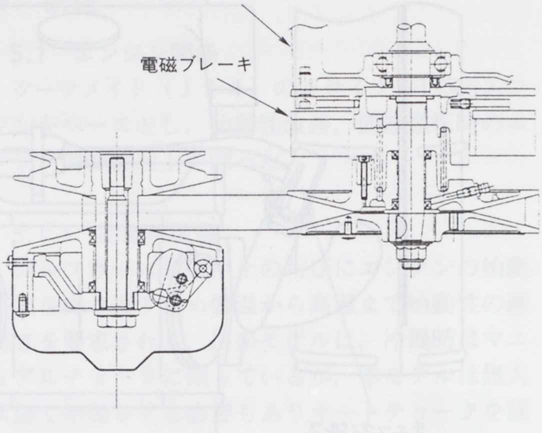



図８　ベルト変速機＆電磁ブレーキ

## 7　特徴

### 7.1　特徴

①手動立ち乗り走行によりフェアウェイ上をプレーヤーの近くまでいく事ができプレーヤーサービスの向上，プレーのスピーディー化がはかれ，またキャディの労力軽減にもつながる.

②グリーン廻りは誘導にて先送りができキャディワークに余裕が生まれる.

③急カーブ，橋，狭い道等は誘導走行で安心.

④芝への影響が心配される雨天時はカートパス誘導走行のみで使用できる.

⑤誘導走行のみとする事でセルフプレーでも安心して使用できる.

### 7.2　操作性

①メインスイッチで使用モードの選択ができる.（写真２）

・ＯＦＦ…すべての回路が切れる
・ＯＮ……電磁誘導，立ち乗りの両運転が可能
・ノンストップ…電磁誘導時自動停止定点を通過
・セルフ…電磁誘導でのセルフプレー専用モード，キーを抜きモードを固定できる

②電磁誘導から立ち乗りへの切り替えはインパネの手動切り替えボタンを押すだけ，また誘導走行するときは誘導線上に車両を乗せリモコンのボタンを押せば発進可能

③電磁誘導可能な線上にくると緑色の誘導ランプが点灯して知らせる

④立ち乗り走行時の操作はターフメイトと同じだ

| | | | |
|---|---|---|---|
| 全長×全幅×全高 | 1,760×1,060×1,080mm | 舗装平担路燃費 電磁/立ち乗り | 20ホール/ℓ　30ホール/ℓ |
| トレッド　フロント | 600mm | エンジン種類 | 4サイクル単気筒OHC |
| リヤ | 710mm | 総排気量 | 125cc |
| 軸間距離 | 900mm | 最高出力 | 3.5ps/3500rpm |
| 走行速度　電磁 | 6km/h(高速)　3km/h(低速) | 点火方式 | トランジスタ点火 |
| 立ち乗り | 0～10km/h | バッテリ型式 | YB14L－A2(12V/14AH) |
| 登降坂能力　電磁 | 登坂15°/降坂10° | 燃料タンク容量 | 6リットル |
| 立ち乗り | 登坂20°/降坂20° | クラッチ方式 | 自動遠心クラッチ |
| 最小回転半径 | 1.8m | 変速機型式 | Vベルト自動無段変速 |
| 乗車定員　電磁/立ち乗り | 乗車不可/1名 | ブレーキ方式　電磁 | 発電ブレーキ |
| ブレーキ方式　立ち乗り | 機械式後輪ディスクブレーキ | 誘導方式 | ループ線埋設式電磁誘導 |
| 駐車ブレーキ方式 | 電磁ブレーキ | 誘導周波数・電流 | 1.5KHz・300mA |
| タイヤサイズ　前輪 | 14×6.00－6 | 定点信号装置 | マグネト埋設式 |
| 後輪 | 16×6.50－8 | リモコン方式 | 電波方式(FM変調) |
| 前輪懸架装置 | 揺動式 | 追突防止方式 | 電波方式 |

図9　仕様諸元

が停車時は自動的に電磁ブレーキが作動するためパーキングレバー操作は不要である

⑤前後進切り替えレバーを“手押し”位置にすればトランスミッションがニュートラルとなり手で軽く押す事ができる.

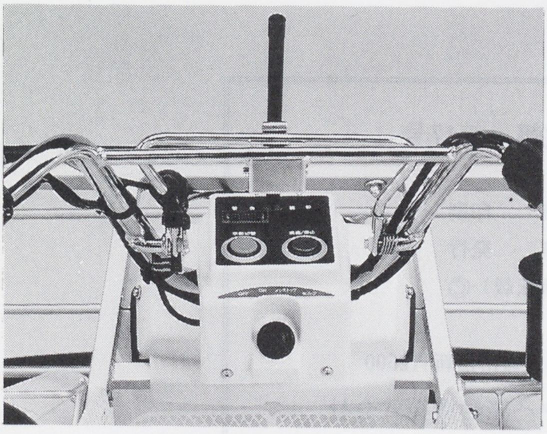


写真2　インパネ廻り

### 7.3　安定性

誘導走行時は当然の事ながら人による操作ができないため様々な安全機構を織り込んでいる.

①急カーブ，急な下り坂では3km/hに自動減速し走行

②前車の発信する電波を感知して停止させる追突防止センサ

③衝突時にはバンパの作動によりスイッチが入り自動停止

④誘導線からはずれたり車両に異常が生じた場合は自動停止

⑤誘導走行中ステップに人が乗るとステップスイッチが作動し自動停止

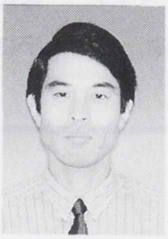
## 8　おわりに

E/G式ゴルフカーとしては初めての電磁誘導車で数多くの新技術が含まれており先行開発にも力を入れ行なってきた．X開発に入ってからも色々な問題が発生し，特にリモコン，追突防止センサについては生産間際まで対応に終始したが予定通り生産を開始することができた.

すでに使用しているゴルフ場からは良い評価を得ているが，新しいコンセプトのゴルフカーであり広く使用されるようになるまでは時間がかかるかもしれないがじっくりと育てて行きたい.

最後になりましたが先行開発当初より共同開発頂きました第1研究部，制御技術部の皆様はじめ関係部署の方々に深く感謝いたします.

■著者



仲井　政雄

## 技報編集委員会


| | | |
|---|---|---|
| 委員長 | 寺井康晴 | 生産企画本部生技開発部 |
| 副委員長 | 加藤昌平 | 技術本部技術管理部 |
| 〃 | 鈴木勇 | 生産企画本部生産企画部 |
| 委員 | 伊藤和徳 | ＩＭ事業部技術部 |
| | 鈴木晴久 | モーターサイクル事業部生産管理部 |
| | 阿部輝夫 | モーターサイクル事業部第１開発部 |
| | 中村和朗 | 特機事業部特機第２技術部 |
| | 長谷川宏 | 舟艇事業部技術部 |
| | 土本寛治 | 三信工業㈱技術管理部 |
| | 島田和男 | 自動車エンジン事業部ＡＭ第１技術部 |
| 事務局委員 | 鈴木美恵子 | 技術本部技術管理部 |



**ヤマハ技術会　技報　第17号**

平成６年３月24日　印刷
平成６年３月30日　発行



（禁無断転載）©



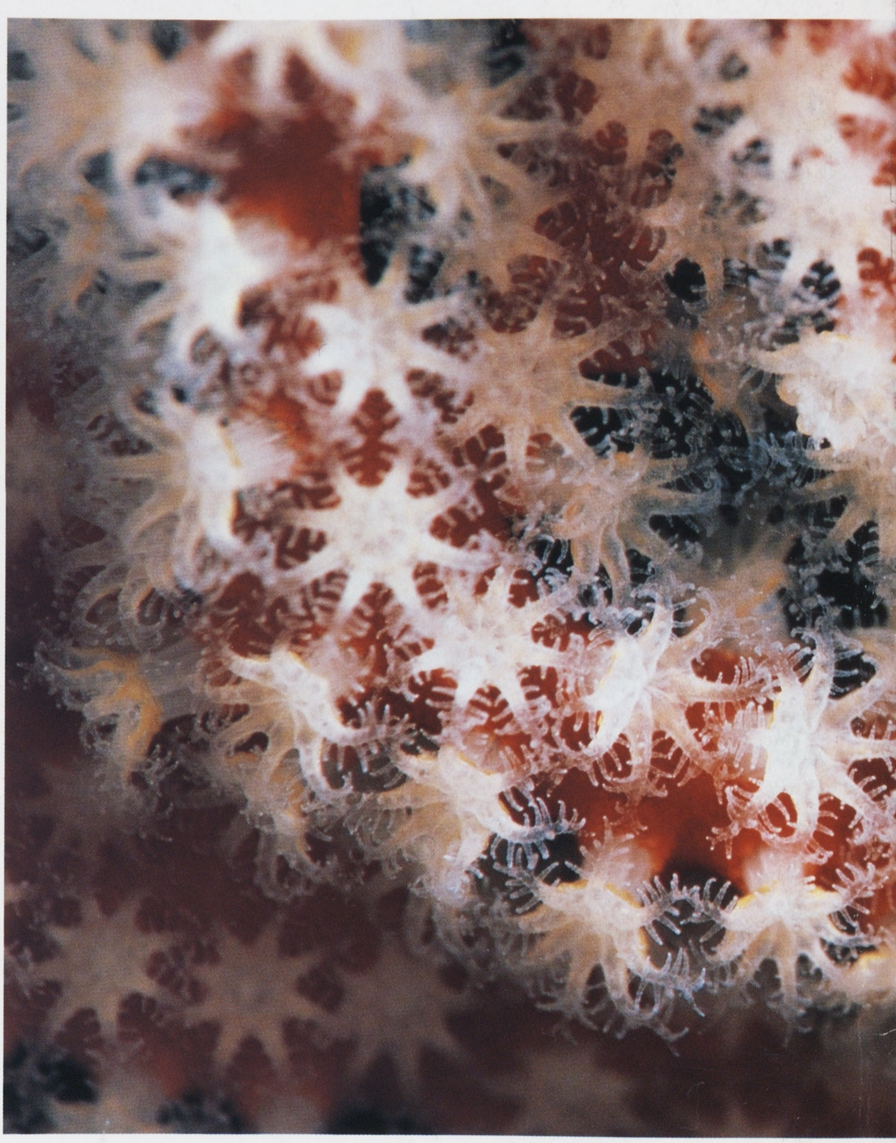
発行所　〒438 静岡県磐田市新貝2500
ヤマハ発動機株式会社
ヤマハ技術会

発行人　長谷川武彦

編集人　ヤマハ技術会技報編集委員会

表紙デザイン　株式会社　亜興

印刷所　〒432 浜松市米津町1181
桐屋印刷株式会社



YAMAHA

ヤマハ発動機株式会社