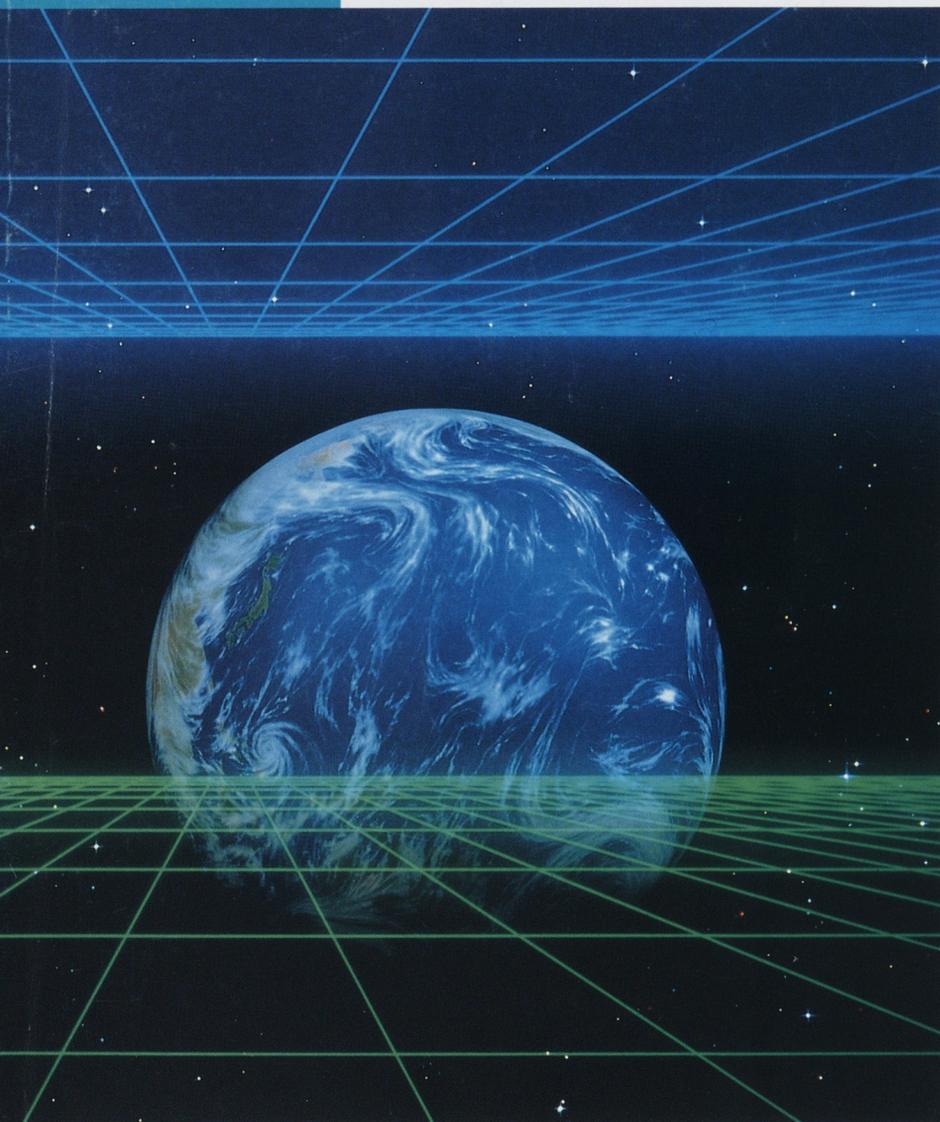


# YAMAHA MOTOR ヤマハ技術会 技報

# TECHNICAL REPORTS

No.14

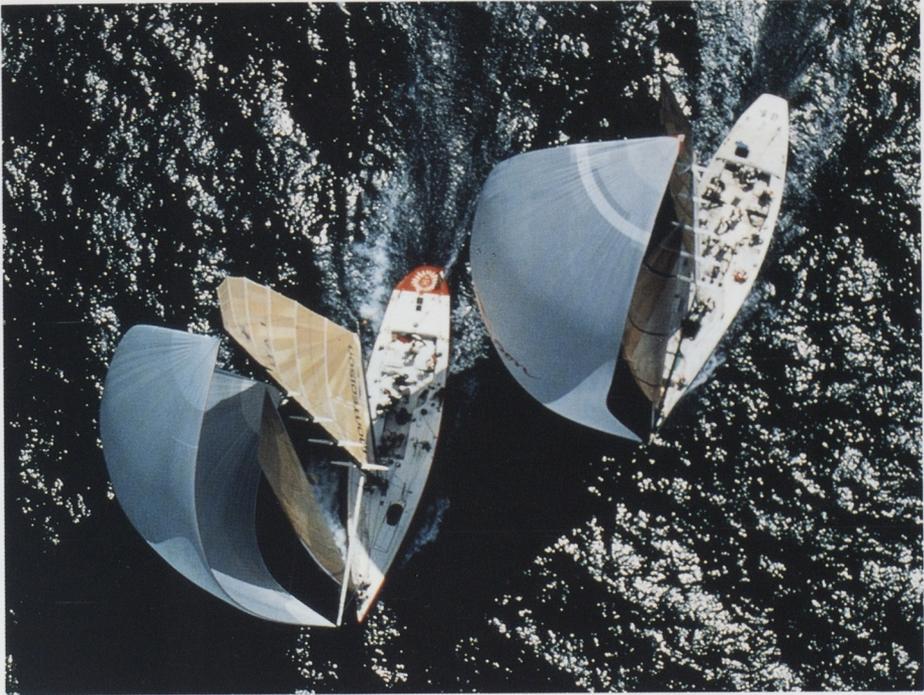


ヤマハ技術会専用

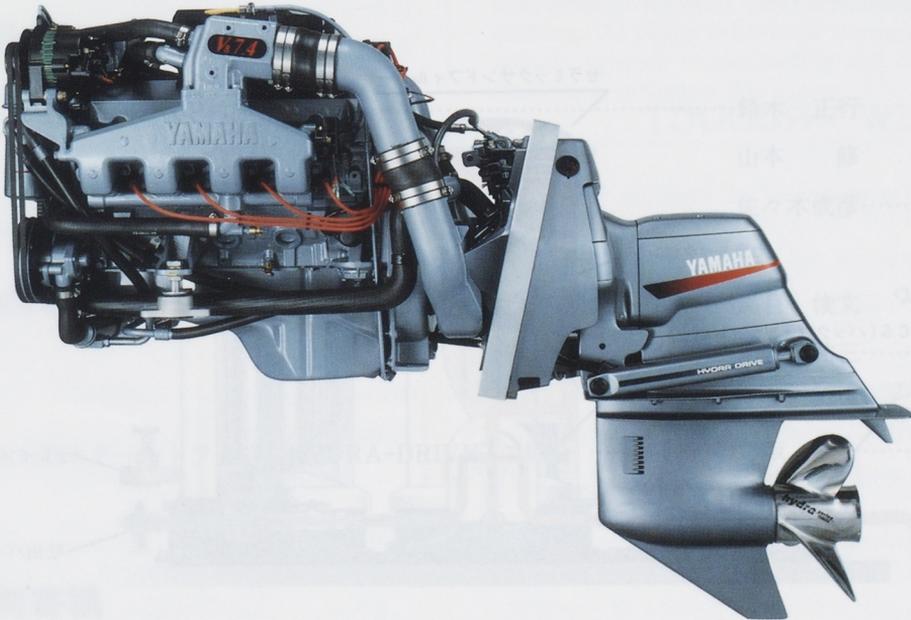
1992-9

### 地球ふたたび

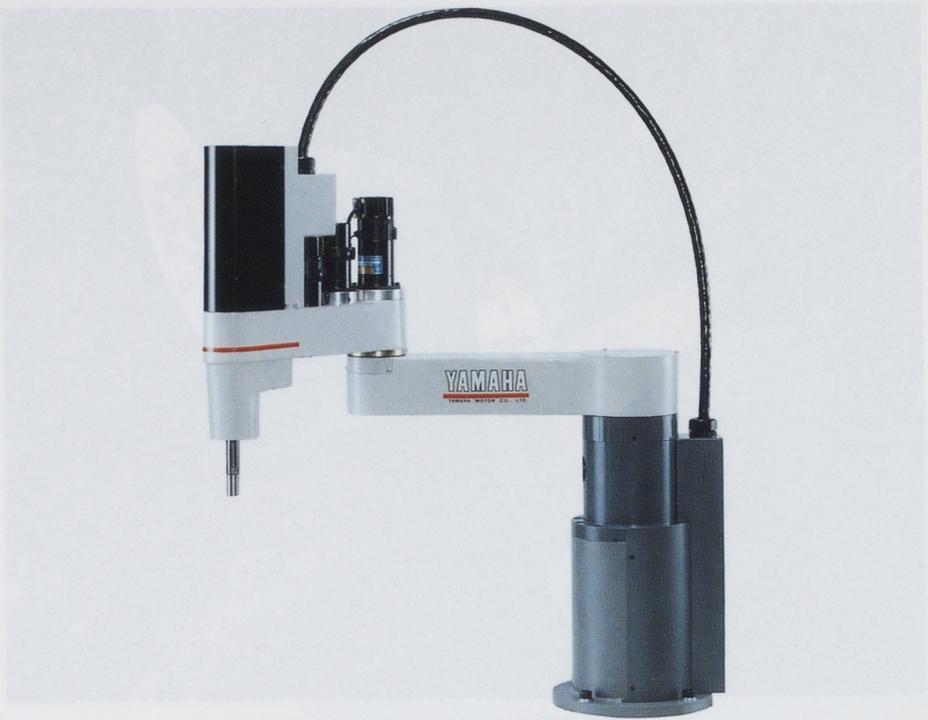
「地球は青かった」。人類がはじめて宇宙から地球を見たとき、それは、希望に満ちた美しい青い星だった。いま、苦悩に満ちたこの星の色は、憂鬱を表わすブルーへと変わってしまった。さて、再び地球は、光明を見出すことはできるだろうか。それを可能にするもの、それは人類の愛と英知に裏打ちされた技術のネットワーク。地球が甦る時、この星は、知性を表わすブルーに輝いていることだろう。



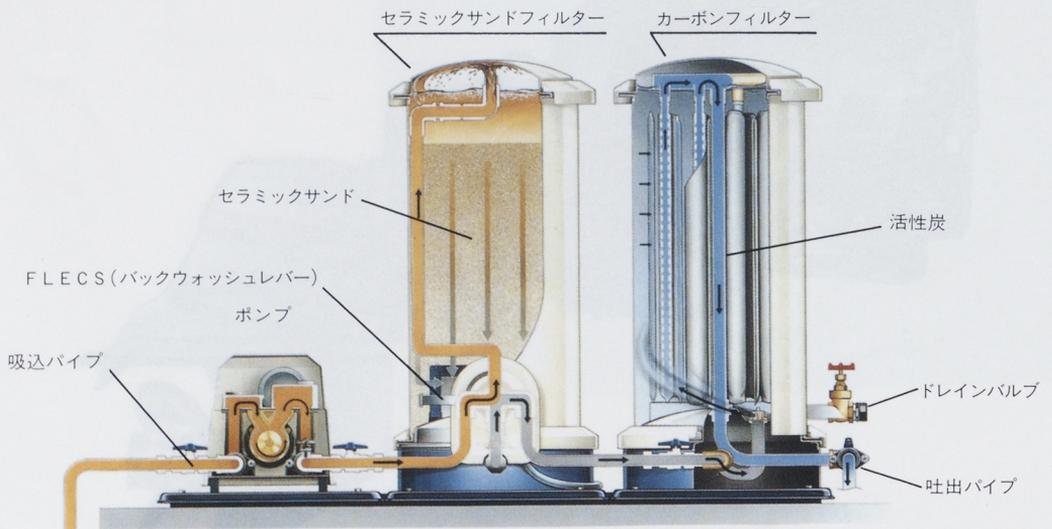
イタリア艇とせり合うニッポン艇  
(57頁の本文参照)



業界初の油圧クラッチシステムを採用した“HYDRA-DRIVE”  
(49頁の本文参照)



低価格・高性能を実現したニューモデル“YK640”  
(41頁の本文参照)



中型浄水器 OH300P の内部構造  
(34頁の本文参照)

# 目次

## 技術論文

1. 2サイクルエンジンのアイドル時の異音低減……………後藤 亨  
前田 修……………1
2. スノーモービル先行開発における品質機能展開の活用……………佐々木 郭  
及び加速フィーリングの定量化……………中川 伝一……………9
3. エンジン部品への工程設計システムの適用……………鈴木 雅晴 150 899  
井口 利治 020 653  
小栗 律志……………20  
264 679
4. 2段ショットピーニングによる駆動系部品の疲労強度向上……………小野 晴七  
安達 修平……………28

## 製品紹介

1. 中型浄水器OH300Pの開発……………鈴木 正行  
山本 修  
佐々木成彦……………33
2. 高速水平多関節ロボット YK640, YK840シリーズの開発……………馬目 俊文 298 329  
木宮 祐三……………41  
251 307
3. 新大型スターンドライブ“HYDRA-DRIVE”の紹介……………早坂 謙一……………49

## 特別寄稿

1. アメリカズカップにおけるレース支援……………永海 義博……………57

# INDEX

## TECHICAL REPORTS

1. Reduction of Disagreeable Idle Sound in Two-stroke Engines  
T. Gotoh  
O. Maeda ..... 1
2. Utilization of QFD (Quality Function Development) in Preliminary  
Development Stage for Snowmobiles and Establishment of Quantitative  
Method for Evaluating Accelerating Impression  
H. Sasaki  
D. Nakagawa ..... 9
3. Application of Process Design System to Engine Parts  
M. Suzuki  
T. Iguchi  
R. Oguri .....20
4. Improved Fatigue Strength of Power Train Parts by  
2-Stage Shot Peening Proceaa  
H. Ono  
S. Adachi .....28

## NEW PRODUCT

1. Development of Medium-Size Water Purifier OH300P  
M. Suzuki  
O. Yamamoto  
S. Sasaki .....33
2. Development of Series K640 and YK840 Horizontal  
Articulated High Speed Robots  
T. Manome  
Y. Kimiya .....41
3. Introduction of New Large Stern Drive "HYDRA-DRIVE"  
K. Hayasaka .....49

## GUEST FORUM

1. Suppor in America's Cap Race  
Y. Nagami .....57

## 2 サイクルエンジンのアイドル時の異音低減

## Reduction Of Disagreeable Idle Sound in Two-stroke Engines

後藤 亨\*  
Tohru Gotoh前田 修\*\*  
Osamu Maeda

## 要 旨

2 サイクルエンジンのアイドル運転時の周期性衝撃音が異音として問題となることがある。現象を明らかにするために、燃焼状態とピストン振動および異音との関係を調べた。そして、異音低減策として、燃焼の安定化、音の伝達系の剛性アップ、ピストンの形状改善による方法をしめし、これらが異音評価の3大因子である音の大きさ、変動、かん高さに与える影響を明らかにした。また、ピストン挙動を実測し、行程中のピストンの動きと異音との関連を調査した。

## Abstract

Periodic impulsive sound at idle is occasionally discussed as a disagreeable sound problem in 2-stroke engines. The relation between combustion conditions, piston vibrations, and the disagreeable sound is analyzed in order to clarify the phenomenon. Some means against disagreeable sound are then proposed with stabilized combustions, high rigidity sound transfer systems, and improved skirt profiles. The experimental results are shown for the effect on main three factors evaluating disagreeable sound, loudness, impulsiveness and frequency characteristics. In addition, the piston behavior is measured, and the relation between piston motion and disagreeable sound is described in this paper.

## 1. ま え が き

環境との調和を考えた物作りを行う上で、エンジンの音に関しても、いわゆる騒音低減の他に異音対策や音質改善が重要となってきた。2 サイクルエンジンではアイドル運転時の周期性衝撃音が異音として問題になることがある。特にエンジンが露出している二輪車などでは、音が直接人間の耳に入ることもあり改善が望まれている。

この周期性衝撃音の原因としては、リング音、ピストンスラップ音などが挙げられるが<sup>(1)</sup>この異

音の大小は必ずしも音の大きさのみとは対応せず、われわれの研究では、音の大きさに加えて、変動とかん高さの3つの聴感因子で評価できることが分かっている<sup>(2)</sup>。

本研究ではピストン振動と音および燃焼状態の関係を調べ、現象を明らかにすると共に、異音低減策として、燃焼の安定化、音の伝達系の剛性増、そしてピストンの形状改善による方法をしめし、それぞれの聴感因子への影響を定量化した。さらに変位センサーをシリンダーライナーに7個取り付け、ピストンの行程中の動きを計測してアニメーション化し、ピストンの形状変更によるピストンの挙動の違いを調べた。

\*, \*\* 技術本部動力研究部

## 2. アイドル時の異音

テストエンジンはクランク室圧縮、シュニーレ式掃気、空冷単シリンダで、諸元とテスト条件を表1に、カット図を図1に示す。加速度センサーを直接ピストンのスラスト側(排気ポートと逆側)に取り付けピストンの振動を計測した<sup>(3)</sup>。

Table.1 Test engine parameters

Engine type	2-stroke, air cooled, single-cylinder
Intake system	Rotary disc valve
Scavenging system	Schnule
Bore and stroke	52 × 45.6 mm
Displacement	96 cm <sup>3</sup>
Compression ratio	7.2
Test conditions	1300rpm, Idling, Air fuel ratio: 13

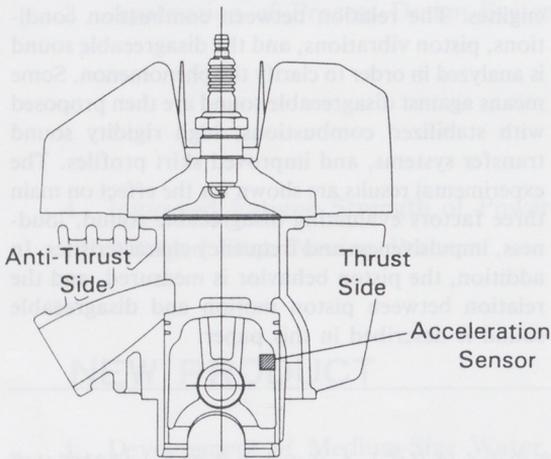


Fig. 1 Test engine

同時に燃焼圧とスラスト側シリンダフィンから50mmのエンジン近傍音を測定した。

図2に燃焼圧、ピストン振動、音圧の関係を示す。横軸は時間で、連続した5サイクル分を表している。第1サイクルは正常燃焼、第2、3、4サイクルは失火、第5サイクルは後燃えをしているのが燃焼圧より分かる。これは2サイクルエンジンの低負荷時の典型的な不整燃焼である<sup>(4)</sup>。

ピストン振動については、第1サイクルでは上死点后20~30°で200m/s<sup>2</sup>程度のマイナスの振動の後400m/s<sup>2</sup>位のプラスの振動がみられる。これはピストンが反スラスト側からスラスト側へ移動し、衝突したものと考えられる。次に上死点后80~85°で振動がみられ、排気ブローダウン後130°付近(掃気ポート開付近)で上下に600m/s<sup>2</sup>ほどの大きな振動が生じている。

第2サイクルでは、上死点后20~30°で第1サイクルと同じような振動がみられ、その後100°あたりで上下に比較的大きな振動が現れている。第3、4サイクルでは、やはり上死点后20~30°で振動がみられるが、その大きさは200m/s<sup>2</sup>程度と小さくなっている。一方、その後の振動はほとんどみられず、同じ失火サイクルでも第2サイクルとは異なった振動の現れ方をしている。

後燃えをしている第5サイクルでは上死点后20~30°で第1サイクルと同じような振動がみられるが、その大きさはやや小さくなっている。80°付近の振動も若干みられ、その後130°あたりでは550m/s<sup>2</sup>

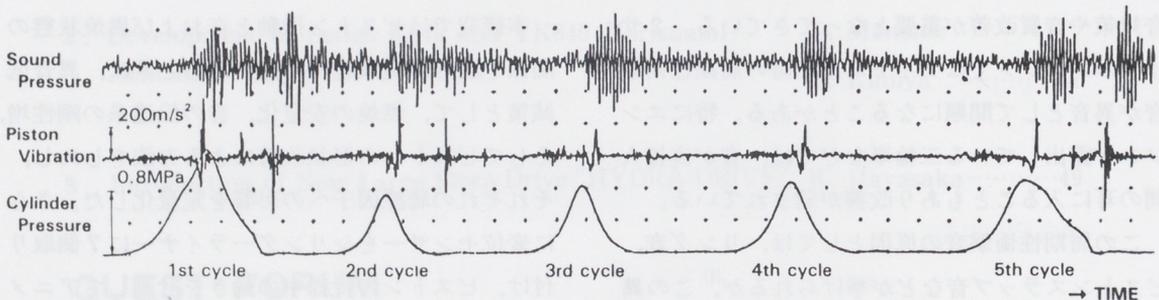


Fig. 2 Relationship between cylinder pressure, piston vibration, and engine noise for the original test engine

位の大きな振動がある。

このようにピストン振動の現れ方はサイクル毎に異なっているが、おおむね、正常燃焼、後燃え、失火の3種類の燃焼状態のときの現れ方に分類できる。それぞれの燃焼時のピストン振動について100サイクルの平均をとったものをまとめると表2のようになる。

エンジンの近傍の音圧については、上死点後20°付近と130°付近のピストン振動に対応した音圧が明確に現れている。一方、上死点後80°付近の振動による音圧はそれほどはっきりしていない。ピストンの挙動計測（後述）から、このタイミングでのスラップは観察されないこと、また上死点後80°付近はピストンリングが排気ポート上端を通過するタイミングであることを勘案すると、これら振動と音圧はリングの張り出しによると推測される。

Table.2 Piston vibration levels for various combustion cycles

Combustion cycle type	Piston vibration level (m/s <sup>2</sup> )		
	ATDC 20°	ATDC 80°	ATDC 130°
Normal combustion	390	180	600
Retarded burning	310	200	570
Misfiring	200	0 or 400 (Sometimes observed)	

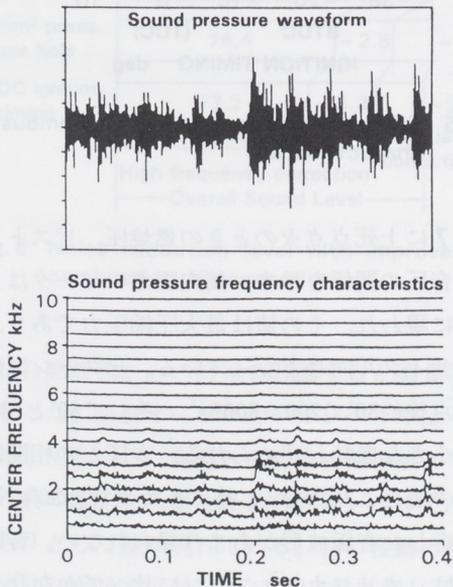


Fig.3 Engine noise frequency characteristics

以上のことからテストエンジンのアイドル時の異音はピストンのスラップによるシリンダへの衝突が最大要因となっていると考えられる。

図3はエンジン近傍音の周波数分析結果を時系列にみたものである。横軸は時間で0.4秒、約8サイクル分を示している。2K~4KHzの高周波成分が不規則に出現しており、音圧レベルの変動も大きい。

Table.3 Hearing factors and physical quantities

Hearing factor	Physical quantity
Loudness	Sound level ; L <sub>A</sub>
Impulsiveness	Fluctuation level ; L <sub>F</sub>
Frequency characteristics	High frequency level ; L <sub>H</sub>

$$L_A = 20 \log_{10} (P_A / P_0)$$

$$L_F = 20 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T |P'_A - P_A| / P_A dt \right)$$

$$L_H = 20 \log_{10} (P_H / P_A)$$

Where

P<sub>A</sub> : The RMS value of A-weighted sound pressure (τ=1 sec)

P'<sub>A</sub> : The RMS value of A-weighted sound pressure (τ=20 msec)

P<sub>H</sub> : The RMS value of A-weighted sound pressure of high frequency (τ=1 sec)

P<sub>0</sub> : The reference sound pressure (20μPa)

## 2.2 異音評価法

従来、アイドル時の異音のように周期性衝撃音を含むエンジン音に関しては聴感評価が主な評価法であった。多次元尺度構成法により解析したわれわれの研究<sup>(2)</sup>では、以下のように数量化し総合評価できることが分かっている。

$$L_E = a L_A + b L_F + c L_H$$

ここでL<sub>E</sub>は総合評価レベル、L<sub>A</sub>、L<sub>F</sub>、L<sub>H</sub>はそれぞれ騒音レベル、変動レベル、高周波レベルで、a、b、cは重み係数である。表3は聴感因子と物理量との関係および計算式である。これにより求めたテストエンジンの評価結果を図8に示す。重み係数はa=1.0、b=0.5、c=0.8を用いた。

### 3. 異音低減法

#### 3.1 燃焼面での異音低減法

ピストン打音に大きな影響を与えているのが、アイドル時特有の不整燃焼である。不整燃焼対策としては古くから以下の方法が有効であることが分かっている。

- (1)排気ポート上方に圧抜き穴を設ける
- (2)点火遅角を行う<sup>(5)</sup>

上記対策は共に給気比を増す方向なり、燃費とのトレードオフの関係にある。

図4に圧抜き穴面積による燃焼・燃費特性を示す。圧抜き穴は排気ポートの真上、上死点より57°のところを中心としてあけ、排気通路に通じている。穴面積を大きくするに従い、図示平均有効圧の変動率（標準偏差／平均値） $\delta P_i$ は小さくなっている。12.6mm<sup>2</sup>（φ4相当）で、穴のないオリジナルテストエンジンに比べて $\delta P_i$ は約半分となっているが、燃費は15%程度悪化している。

図5に点火時期による燃焼・燃費特性を示す。オリジナルの点火時期は上死点前20°である。 $\delta P_i$ は遅角すれば小さくなる方向にあるが、上死点以降さらに遅角してもあまり変わっていない。上死点点火で約40%の $\delta P_i$ の低減がみられるが、燃費は10%程度悪化している。ちなみに上死点后10°より遅角すると、このエンジンは運転不能となった。

図6に圧抜き穴12.6mm<sup>2</sup>のときの燃焼圧、ピストン振動、音圧の関係を示す。燃焼のピーク圧はまだサイクル間のばらつきがみられるが、燃焼サイクル、失火サイクル共にオリジナルエンジンよりはピーク圧は低くなっている。上死点后30°付近に200~300m/s<sup>2</sup>ほどのピストン振動があるが、その他のタイミングでは顕著な振動はみられない。音圧レベルはピストン振動の大きいときにやはり小さくなっているが、第2、5サイクルの失火サイクルにみられるように、ピストン振動はあっても音圧に明確に現れてこない場合もある。

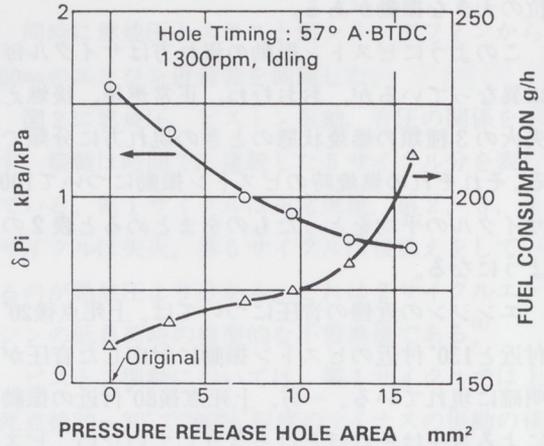


Fig. 4 Effect of pressure release hole area on combustion characteristics

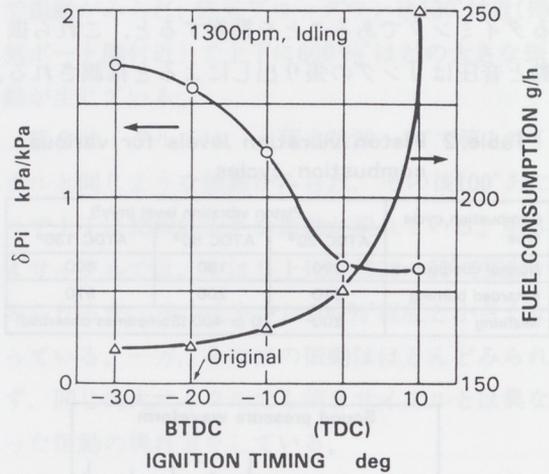


Fig. 5 Effect of ignition timing on combustion characteristics

図7に上死点点火のときの燃焼圧、ピストン振動、音圧の関係を示す。筒内圧力のピークは上死点時に現われ、その値は最大圧縮圧力であり、ほぼ毎サイクル同じとなっている。ピストン振動は上死点后約30°で200~300m/s<sup>2</sup>、そして80°と130°付近に小さな振動が認められる。音圧との相関は今までの場合より少なく、特に上死点后約30°の振動に対応した音圧波形があまり見られない。音圧の振動は、オリジナルエンジンに比べてかなり少なくなっている。

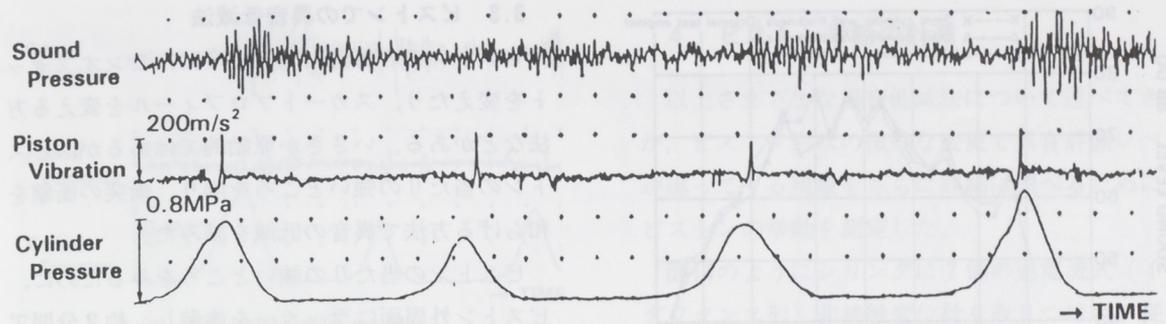


Fig. 6 Relationship between cylinder pressure, piston vibration, and engine noise for a 12.6mm<sup>2</sup> pressure release hole

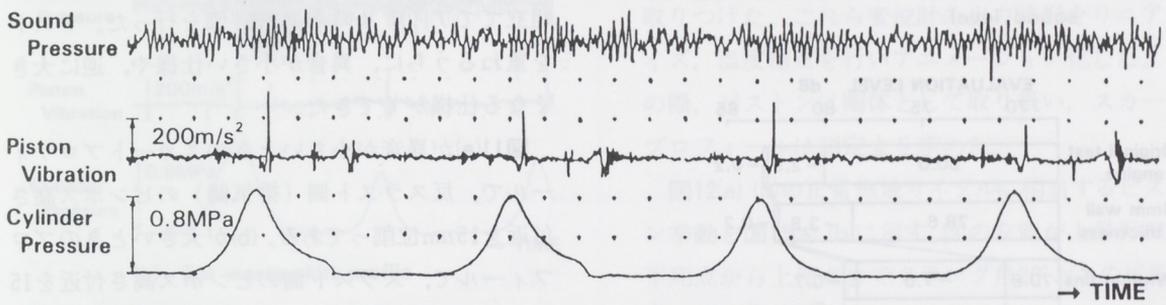


Fig. 7 Relationship between cylinder pressure, piston vibration, and engine noise at TDC ignition timing

	EVALUATION LEVEL		dB	
	70	75		
Original test engine		80.0	-2.9	-0.2
12.6mm <sup>2</sup> press. release hole		78.4	-2.8	-1.9
TDC ignition timing		77.2	-3.2	-2.3
	Total evaluation level		Fluctuation correction	
	High frequency correction			
	Overall Sound Level			

Fig. 8 Noise reduction level with improved combustion characteristics

これら燃焼面からの対策を評価すると図8のようになった。騒音オーバーオールレベルではそれほど差がでないが、変動と高周波の補正值（今回は共に負の値）を考慮した総合評価レベルでは、はっきりとした差が現れている。特に変動の補正值はオリジナルエンジンの-0.2 dBに対し、圧抜き、点火遅角の両対策共に約-2 dBあり、総合

評価レベルを改善している。このように燃焼の安定化による異音低減策は、主に変動レベルを下げて総合評価を良くしている。

### 3.2 シリンダまわりでの異音低減法

ピストンが衝突して音を発生する場合、ピストンがシリンダ内壁をたたいてフィンを振動させ音を放射する場合と、ピストンが自由振動して音を放射しシリンダ壁を透過する場合の2つのパターンが考えられる。前者に関する異音低減法として容易に考えつくのが、シリンダの剛性アップである。

ボディ-シリンダの基本肉厚をオリジナルエンジンの3 mmから、6 mmそして10mmとしたときの、1/3オクターブ周波数分析結果を図9に示す。2 K ~ 5 KHzの騒音レベルが特に下がっている。

基本肉厚6 mmの異音評価結果を図10に示す。また、フィンの振動低減の極端な例として、ボディ

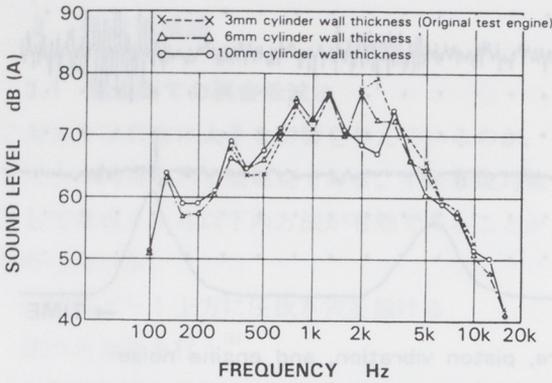


Fig. 9 Effect of cylinder wall thickness on sound level

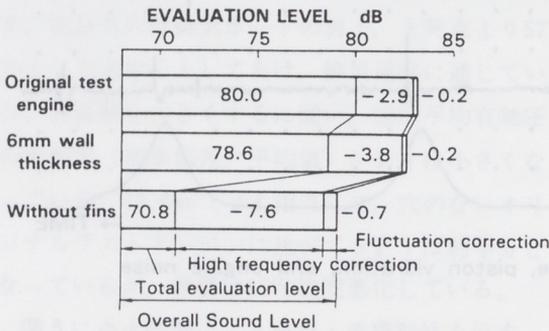


Fig. 10 Noise reduction level with improved cylinder rigidity

およびヘッドシリンダのフィンをすべて削ったものを併せて載せる。

基本肉厚 6 mm の場合、オリジナルエンジンに比べ総合評価で 1.4 dB 良くなっている。高周波レベルの補正が大きく効いている。フィンなしでは騒音オーバーオールレベルが 4 dB、高周波補正値が 4.7 dB オリジナルエンジンより改善されており、総合評価レベルを大幅に低減する結果となっている。現実にはエンジンの冷却のためフィンなしにするのは無理であるが、例えば水冷化によるフィンの削除により、異音を下げられる可能性があるのをこの結果は示唆している。このように、シリンダまわりの剛性増による異音低減策は、主に高周波成分を少なくして総合評価を良くしている。

### 3.3 ピストンでの異音低減法

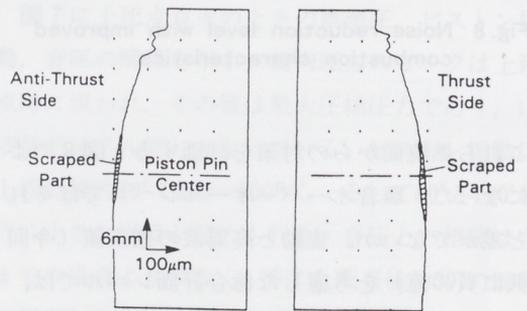
ピストンでの打音対策としては、ピンオフセットを変えたり、スカートプロフィールを変える方法などがある。いささか原始的ではあるが、ピストンの当たりの強いところを削り、衝突の衝撃を和らげる方法で異音の低減を試みた。

ピストンの当たりの強いところをみるために、ピストン外周面にラッカーを塗装し、約 2 分間アイドル運転を行い、塗料の落ち具合をみた。次に、強く当たっているところをペーパーで削り、再度組立ててアイドル時の異音評価を行った。テストを重ねるうちに、異音が小さい仕様や、逆に大きくなる仕様がでてきた。

図11(a)が異音が小さいときのスカートプロフィールで、反スラスト側（排気側）のピンボス高さ付近を 15 $\mu$ m 削り削ってある。(b)が大きいときのプロフィールで、スラスト側のピンボス高さ付近を 15 $\mu$ m 削り削ったものである。

図12に両仕様の燃焼圧、ピストン振動、音圧レベルを示す。(a)反スラスト側削りは、(b)スラスト側削りよりピストン振動、音圧レベル共に小さくなっている。

図13は異音評価レベルで、スカートプロフィールの変更は、騒音オーバーオールレベルの若干の低減と、高周波レベルの大幅な低減をもたらしている。



(a) Profile with less noise (b) Profile with more noise

Fig. 11 piston skirt profiles

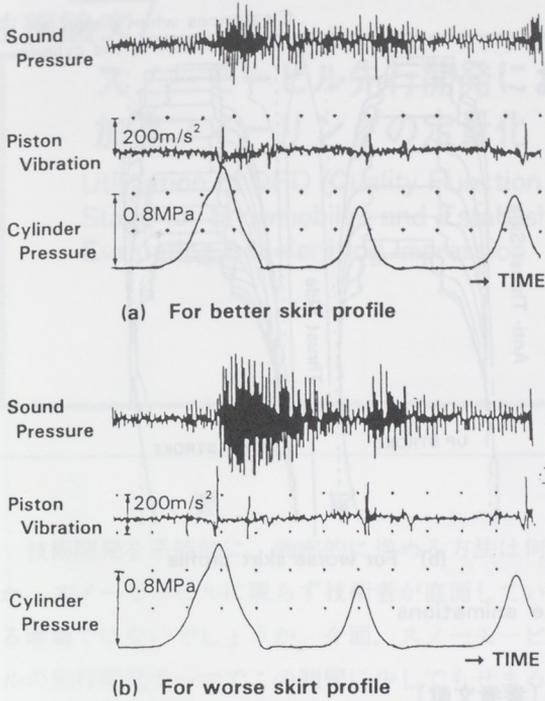


Fig.12 Relationship between pressure, vibration, and noise with changed skirt profile

#### 4. ピストン挙動の計測

以上さまざまな異音低減法について述べてきたが、ピストン形状の微妙な変更で異音評価レベルが違って来る現象をさらに詳細に調べるために、ピストンの挙動を測定した。

図14のようにシリンダに7個の過電流式（インダクタンス形）非接触変位計を取りつけた。従来ピストンにセンサーを取りつけた例が多いが、<sup>(6)</sup> 挙動に影響を与えないことなどから、シリンダ側に取りつけた。これら変位計の出力波形をリニアライズ、温度補正を行いアニメーション化した。この際、ピストンは剛体として取り扱い、スカートプロフィールは測定より求めた。

図12(a) (b)の正常燃焼サイクルに相当するピストン挙動を図15(a) (b)に示す。図の左側が上昇行程で、下死点から上死点までクランク角 $20^\circ$ おきのピストンの挙動を示し、右側が下降行程で、上死点後 $10^\circ$ から下死点まで $10^\circ$ おきに示している。

(a)は異音を改善した場合（反スラスト側削り）で、上昇行程ではピストン頂部がやや左（反スラスト側）に傾き上昇している。下降行程では上死点後 $20\sim 30^\circ$ でスラスト側にスラップし、 $40\sim 70^\circ$ でピストンがピンまわりに左回転しているのが見受けられる。これはスラップした後、衝突した点を始点として、スカートプロフィールに沿った軸運動を行い、衝突のエネルギーを和らげていると考えられる。その後、ほぼ真っすぐな姿勢で下降し、上死点後 $130^\circ$ で反スラスト側にスラップしている。

(b)は異音を改悪した場合（スラスト側削り）で、上昇行程では(a)とは反対にピストン頂部がやや右に傾き上昇している。下降行程では早いタイミングでスラップが始まり、上死点後 $10^\circ$ で既に反スラスト側から離れている。その後、 $20\sim 30^\circ$ でスラスト側に衝突しているが、(a)の場合と比べると衝突時の姿勢はピストン頂部が右に傾いており、スカートの上の方で衝突している。 $130^\circ$ で反スラ

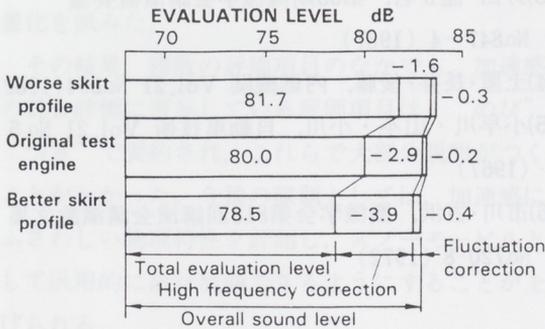


Fig.13 Noise level for different piston skirt profiles

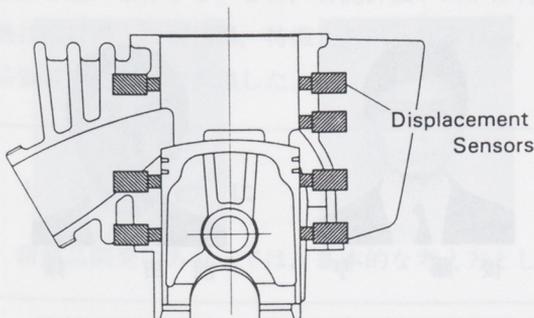


Fig.14 Displacement sensor layout

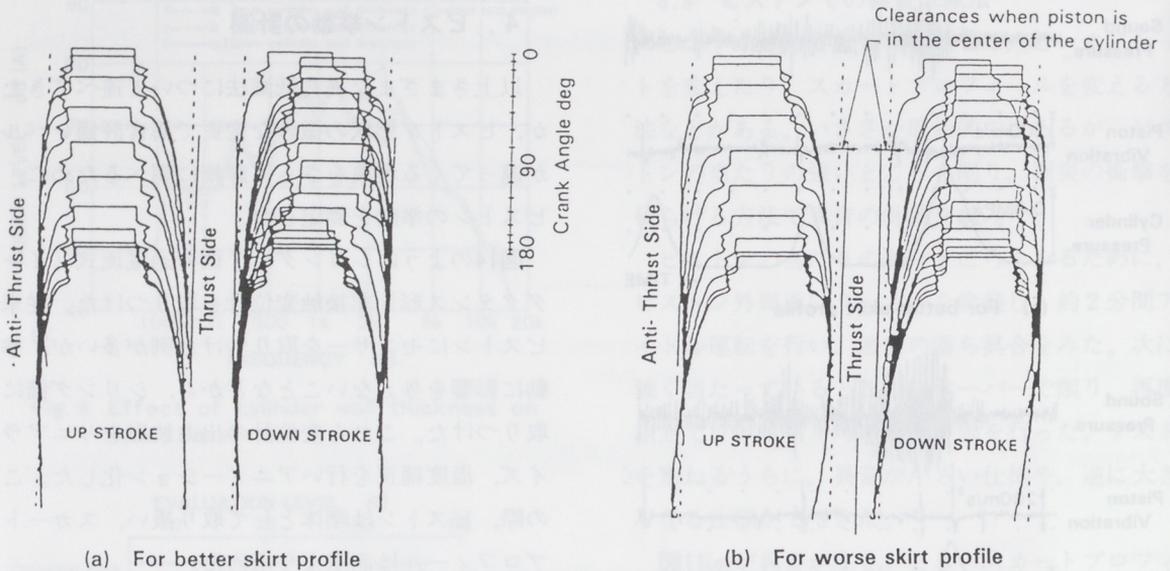


Fig.15 Piston stroke animations

ト側にスラップしているが、ピストンの姿勢は頂部が右に傾いたままである。

### 5. ま と め

2サイクルエンジンのアイドル時の異音の現象把握を行い、いろいろな面からの異音低減策を試み解析を行った。まとめると以下になる。

- (1)ピストンスラップによるシリンダへの衝撃が、2サイクルエンジン特有の不整燃焼とあいまって、不規則にかつ高周波成分を伴ってアイドル時の異音となっている。
- (2)この異音は騒音レベル、変動レベルそして高周波レベルの3因子で評価できる。燃焼の安定化は、変動レベルと高周波レベルを抑え、シリンダまわりの剛性増及びピストンスカートプロフィールの変更による対策は、主に高周波レベルを抑えて、総合評価レベルを改善している。
- (3)ピストン挙動の計測システムを作り、ピストンの行程中の動きを観察した結果、スカートプロフィールの変更による挙動の違いが明確となった。

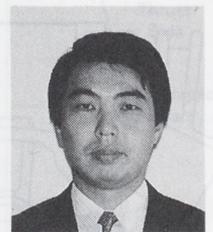
### 〔参考文献〕

- (1)白鷺・美和・稲田, 内燃機関 Vol.6 No60(1967)
- (2)前田・前川・野村, 自技会前刷集 861043(1896)
- (3)野田・他5名, 第65期機械学会講演概要集 No.847-4 (1987)
- (4)土屋・長井・後藤, 内燃機関 Vol.21 No.264(1982)
- (5)小早川・山本・小川, 自動車技術 Vol.21 No.5 (1967)
- (6)市川・古浜, 機械学会第818回講演会講演論文集 No.720-8 (1972)

### ■ 著 者 ■



後藤 亨



前田 修

技術論文

# スノーモービル先行開発における品質機能展開の活用 及び 加速フィーリングの定量化

Utilization of QFD (Quality Function Development) in Preliminary Development Stage for Snowmobiles and Establishment of Quantitative Method for Evaluating Accelerating Impression

佐々木 郭\*  
Hiroshi Sasaki

中川 伝一\*\*  
Denichi Nakagawa

## 要 旨

技術開発を系統的に、効率的に進める方法は何か。スノーモービルに限らず技術者が直面している課題ではないでしょうか。今回、スノーモービルの先行開発テーマでこの問題に少しでもせまろうと、開発初期段階より、品質機能展開(QFD)を行ってきた。また、重要要求品質として取り上げた加速感については、官能評価を実施しその定量化を試みた。

その結果、複数の評価項目のなかでも、加速感の総合評価に寄与している評価項目は、“のび”“つき”で要約され、これらで大部分説明がつかうことがわかった。今後の課題としては、加速感にふさわしい物理特性を計測し、スノーモービルとして汎用的に設計展開できるようにすることが上げられる。

本稿ではQFDの全体の流れと、加速感の官能評価を主に紹介する。なお、官能評価テストは特機技術11課・技術12課、特機企画課、R&Dmin、品質推進課共同で実施した。

## Abstract

What does an efficient technical development system look like? This is a question to which engineers who are engaged in the development of snowmobiles and other vehicles are trying to find an answer. In an attempt to realize such an efficient system, we have adopted the QFD (Quality Function Development) method, which is implemented in all stages of development. In addition, we have made an attempt to establish, through a sensory test, a quantitative method of evaluating the accelerating impression which is selected as an important quality requirement.

As a result, we found that the evaluation items which affect and represent the overall accelerating quality can be reduced to the following two items: “acceleration persistency” and “throttle response”. Our future target is to establish a system which, together with measured physical characteristics concerning accelerating impression, can be generally used in designing snowmobiles.

This paper describes mainly the entire process of QFD implementation and the sensory test for accelerating impression. The sensory test was conducted with the cooperation of Power Product Engineering Depts. 11 and 12, Power Product Planning Dept., R&Dmin., and Quality Promotion Dept.

## 1. はじめに

新商品開発にあたっては、基本的な考え方とし

て、マーケットインの思想でとか、CS（顧客満足）などが言われている。この考え方を具現化する方法として、固有技術もさることながら管理技術が上げられる。その中でも、開発全体の品質展開を系統的に行うという意味で、品質機能展開

\* 特機事業部特機第1技術部

\*\* COS推進本部品質管理室

(QFD・・・Quality Function Deployment)を行った。QFDを実施した(目標展開)中で、重点的にフォローする項目を重点保証特性として取り上げ、これらは、随時必要に応じ、品質管理技術の多変量解析、実験計画法を活用していった。

品質管理技術は、固有技術を最大限活かす道具として、商品(技術)開発を系統的、効率的に進めるのに有効であると考ええる。

## 2. 開発経過

開発ステップ概要を図1に示す。

## 3. 目標設定

商品の基本コンセプトを受け、開発初期段階での全体的目標として

### 3.1 重要要求品質を明確にし、重点化を図り開発を進める。

(重点項目以外は現状把握レベルとする)

### 3.2 開発目標を明確にし、設計展開する。

## 4. 品質展開

### 4.1 品質展開の考え方

- ・全要求品質を網羅的に、同じレベルで品質展開するのではなく重点保証特性に的を絞って、品質展開する。(重点保証特性は7特性で、当面の開発特性は2特性、他は現状把握レベルとした)

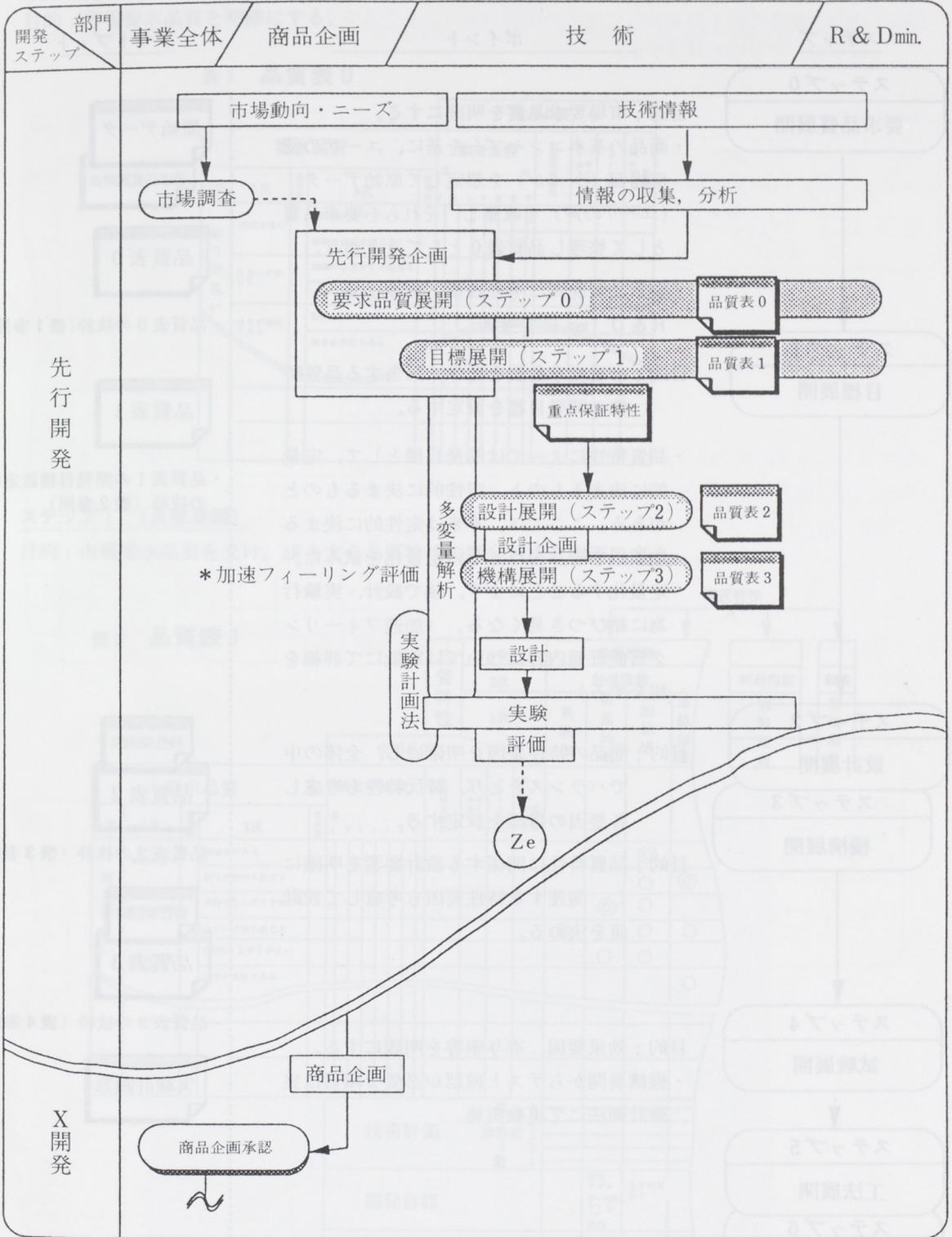
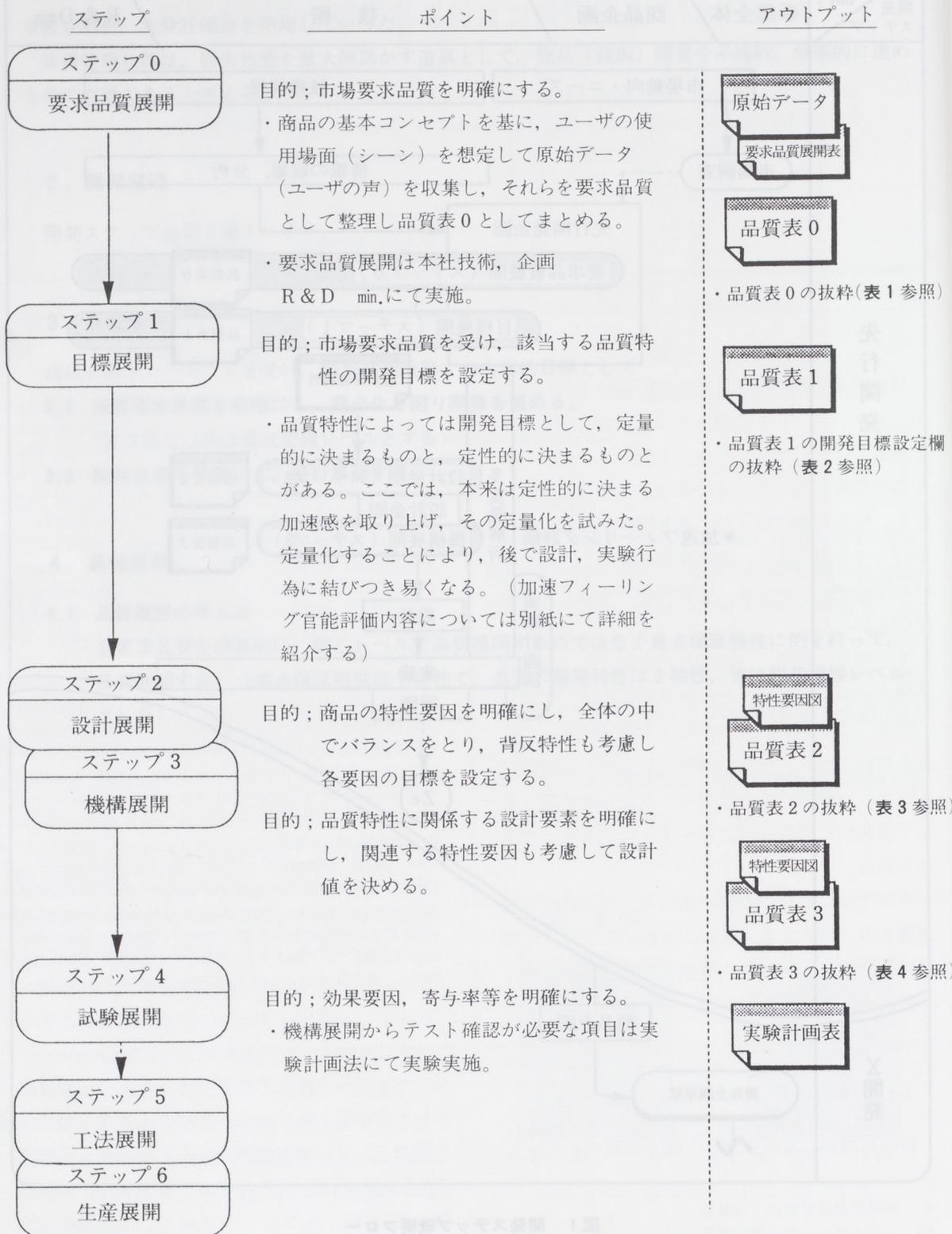


図1 開発ステップ概要フロー

4.2 品質展開のステップ&ポイント



ステップ0 (要求品質展開)

目的；市場要求品質を明確にする。

表1 品質表0

要求品質				企画品質													
1次	2次	要求度	3次	要求度	競合比較							重要要求品質	セムポイント	クレーム対応	レベルアップ		
					1	2	3	4	5	6	7						
走りが良い	加速が良い		加速感がある														
			加速に余裕を感じる														
	スピードがでる		加速の上上がりを感じる														
			スピード感を感じる														
	変りが軽快である		EJC吹き上がりが良い														
		騒音が低減である															

ステップ1 (目標展開)

目的；市場要求品質を受け、該当する品質特性の開発目標を明確にする。

表2 品質表1

要求品質				企画品質											品質特性		背反特性										
1次	2次	要求度	3次	要求度	競合車比較							重要要求品質	セムポイント	クレーム対応	レベルアップ	1次	2次	3次	最高速	発進加速	加速感	追越加速	制動性能	騒音			
					1	2	3	4	5	6	7																
走りが良い	加速が良い		加速感がある																								
			加速に余裕を感じる																								
	スピードがでる		加速の上上がりを感じる																								
			スピード感を感じる																								
	変りが軽快である		EJC吹き上がりが良い																								
		騒音が低減である																									
																		技術評価		5 4 3 2 1							
																		開発目標		到達タイム 0-400m以内 ST同等以上							
																		開発難易度									
																		重点保証特性		● ●							

ステップ2 (設計展開)

目的 ; 商品の特性要因を明確にし、全体の中でバランスをとり背反特性も考慮し、各要因（下位要因）の目標を設定する。

表3 品質表2

要因区分		負荷					伝達	
		重量		回転質量	路面抵抗			空気抵抗
要因		E/G	B/D	E/L	スキー	ペリ ー バ ン ド	トラ ッ ク	
下位要因 (部位)								
重点保証特性	加速性能	最高速	を越える □ km/h以上		—	—	◎	△
		発達加速	1 ~ 400m □ m差以上	0 ~ 800m □ m差以上	◎	○	◎	△
		追越加速	60 ~ 100km/h □ sec以内		◎	○	◎	△
背反特性	直進安定性	進路ズレ量 □ m以内(□ m (100 k/h)		△	—	△		
	制動性能	制動距離 □ m以下 (□ km/h)		◎	○	◎	△	
品質特性	騒音	加速騒音	□ db以下	—	—	—	—	
	目標値	□ kg □ kg □ kg			□ kg □ kg □ kg			
目標設定根拠度				2	3	3	3	
開発難易度				1	3	2	3	
重点目標		◎			◎	◎		

ステップ3 (機構展開)

目的 ; 品質特性に関係する設計要素を明確にし、関連する特性要因も考慮して設計値を決める。

表4 品質表3

品質特性		部位	目標値	スキー				トラ
				面圧	ア プ ロ ー チ	断 面 形 状	表 面 処 理	面圧
重点特性	路面抵抗	スキー	□ kg以下 (□ km/h)	◎	○	○	◎	
		トラック	□ kg以下 (□ km/h)					◎
関連特性								
設計値			□ kg/m <sup>2</sup> 以下					□ kg/m <sup>2</sup> 以下
設計根拠度				2	2	3	3	2
製造難易度				1	1	2	4	1
重点管理値							◎	

## 〈加速フィーリング官能評価〉

重点保証特性の一つである加速感の官能評価を行った。実験概要、結果の一部を紹介する。

### 5. 実験概要

#### 5.1 サンプル

開発モデル（X）、基準モデル（ST）、関連モデル（Y1、Y2）の計4台

#### 5.2 パネル

開発パネル（開発担当、及び関係者）7名

#### 5.3 評価

##### 5.3.1 評価内容

ゼロ加速……車両停止状態よりフル加速（（図2参照）

##### 5.3.2 評価項目

評価項目選定にあたっては、まず、テスト員が使っている言葉を出し整理した。（17の言葉が出た）次にそれらで評価シートを作り、R & D min.にて予備テストを実施した。その結果、充分評価しきれないことがわかり、最終的に、つき、パンチ力、パワー感、伸び、吹き上がり感、及び総合評価の6つの評価項目とした。（図3参照）

##### 5.3.3 評価方法

1～7の7段階評価。基準モデルを4とする。



図2 走行風景

**加速フィーリング 評価シート**

評価条件

評価日:            /            /            評価車:            所属:           

ライダー経験:            年    身長:            cm    体重:            kg

評価地:            気温:            °C    湿度:            %    風速:            m

風向:            風力:            m

評価車両:            加速状態: ゼロ加速 定常 (    ) MPH (    ) rpm

評価項目イメージ

注> 吹き上がりは、EG回転の吹き上がりを買う。

評価項目

	非常に							高性							非常に						
	悪い							1 2 3 4 5 6 7							悪い						
1. ツキがよい	悪い							1 2 3 4 5 6 7							よい						
2. パンチ力がある	ない							1 2 3 4 5 6 7							ある						
3. パワー感がある	ない							1 2 3 4 5 6 7							ある						
4. 伸びがよい	悪い							1 2 3 4 5 6 7							よい						
5. ふき上がり感がある	ない							1 2 3 4 5 6 7							ある						
(加速フィーリング 総合評価)	悪い							1 2 3 4 5 6 7							よい						

コメント

図3 評価シート

## 6. 解析方法

解析フローを図4に示す。

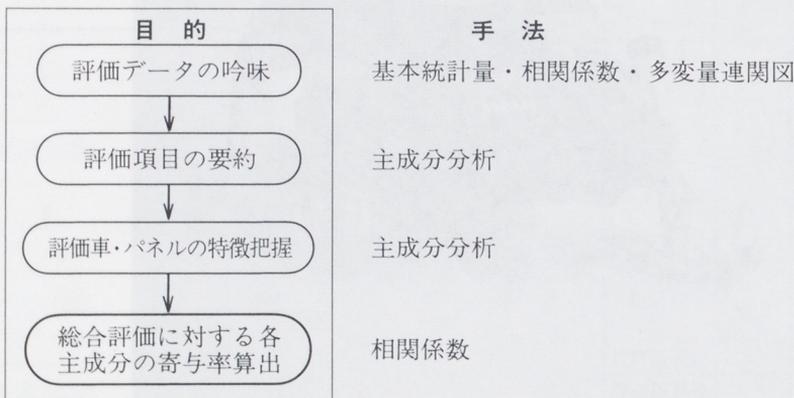


図4 解析フロー

## 7. 解析結果及び考察

### 7.1 評価データの吟味

基本統計量, 相関係数, 多変量連関図を図5に示す。

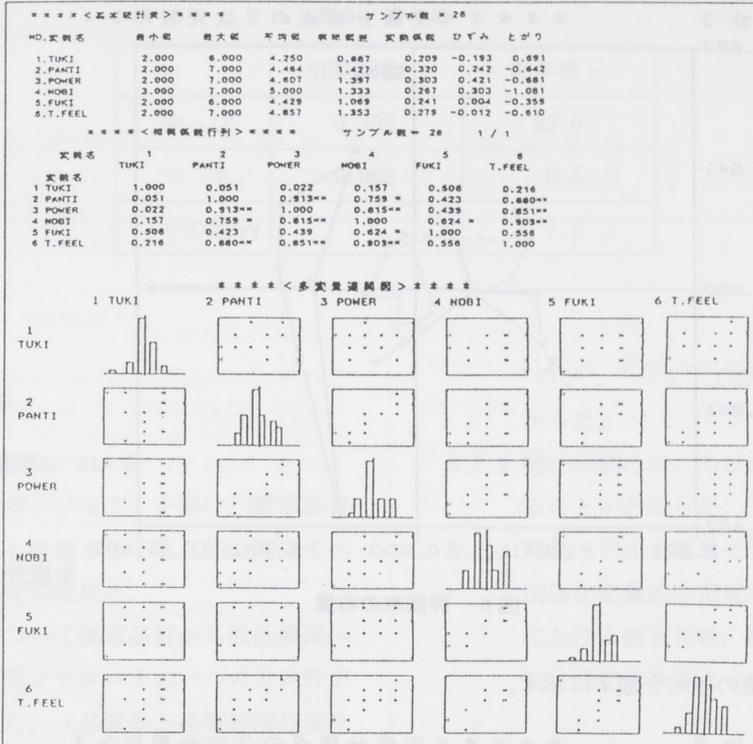


図5 基本統計量, 相関係数, 多変量連関図

### 7.2 評価用語の要約

7段階評価した評価データを主成分分析した結果, 固有値, 因子負荷量を表5に示す。固有値の累積寄与率が主成分1, 主成分2で約87%とかなり説明がつくことがわかる。

また, 因子負荷量から主成分1を「伸び」, 主成分2を「つき」という用語で代表して意味づけした。

表5 固有値, 因子負荷量

\*\*\*\*\*<固有値>\*\*\*\*\*

NO	固有値	寄与率	累積寄与率
1	3.969	0.661	0.661
2	1.269	0.211	0.873
3	0.404	0.067	0.940
4	0.211	0.035	0.975
5	0.108	0.018	0.993

\*\*\*\*\*<因子負荷量>\*\*\*\*\*

	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5
1 TUKI	0.258	0.894	-0.361	0.029	0.045
2 PANTI	0.904	-0.270	-0.192	-0.210	-0.131
3 POWER	0.912	-0.285	-0.100	-0.140	0.233
4 HOBI	0.931	-0.045	0.159	0.302	0.079
5 FUKI	0.683	0.555	0.439	-0.176	-0.031
6 T.FEEL	0.959	-0.068	-0.094	0.156	-0.165

7.3 評価車・パネルの特徴把握

評価車の特徴把握のため、主成分1、主成分2で2次元表示した結果を図6に示す。その結果から、開発モデルXはモデルY1に似ており、モデルY2は、伸びの評価が全体的によいが、つきについては意見が分かれた。

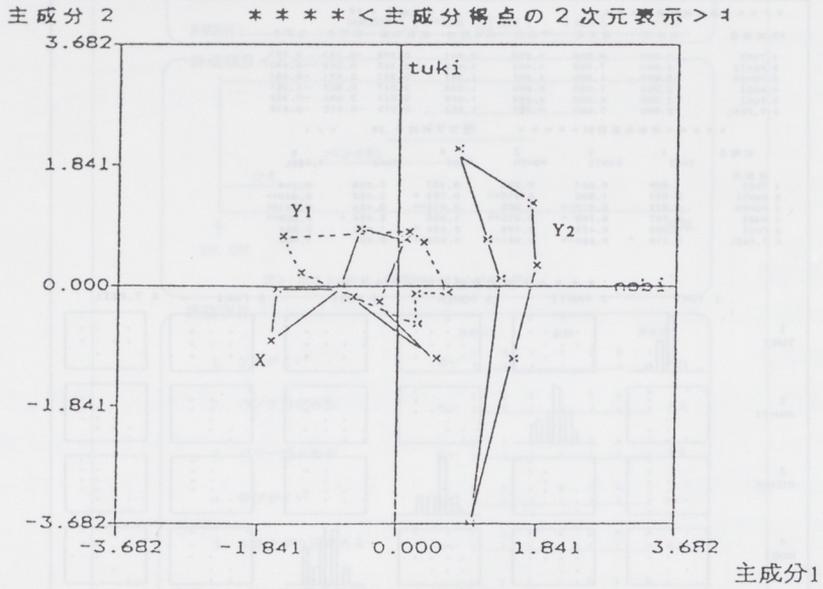


図6 評価車の布置

パネルの評価の傾向を図7に示す。

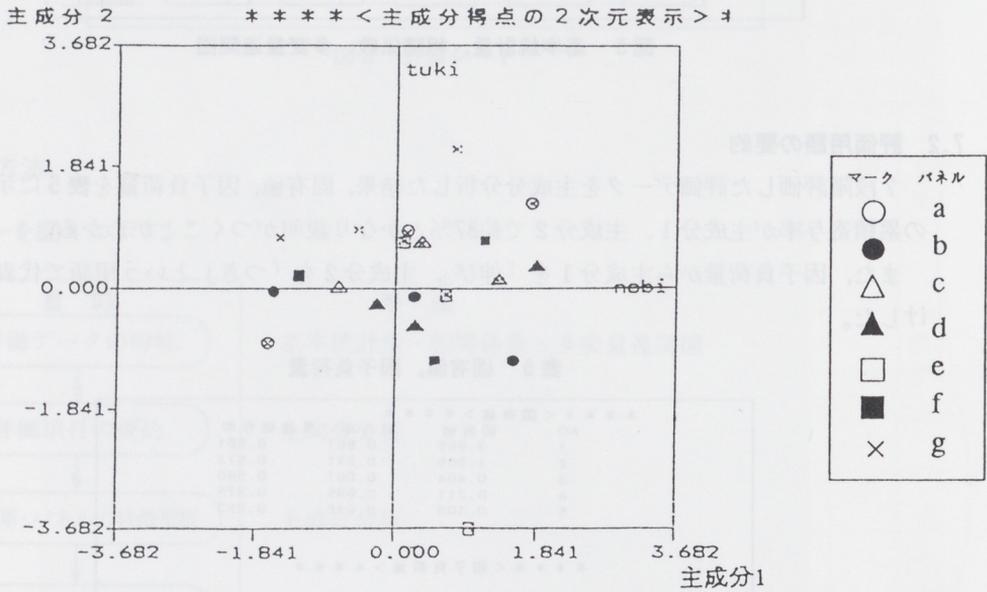


図7 パネルの布置

## 7.4 総合評価に対する各主成分の寄与率算出

総合評価の評点と各主成分の主成分得点から相関係数を求め、総合評価に対する各主成分の寄与率を求めた結果を表6に示す。その結果、主成分1が92.0%でほとんど説明できることがわかる。

表6 寄与率

	相関係数 r	寄与率 r <sup>2</sup>
伸び	0.959	92.0
つき	0.068	0.5
その他		7.5

## 8. ま と め

### 8.1 品質機能展開について

8.1.1 商品の基本コンセプトを受け、要求品質の重点化と技術として重点的に開発すべき品質特性が絞れた。

8.1.2 加速感について要求品質から設計展開への技術開発アプローチの一つの方向性が見えてきた。(品質表と品質管理技術を組み合わせ活用することにより)

### 8.2 加速フィーリング官能評価について

8.2.1 加速フィーリングの評価項目として主に

“のび”、“つき”で評価していることがわかった。

8.2.2 総合評価には、のびが大部分寄与していることがわかった。

8.2.3 開発モデルと基準モデルとの相対的位置関係が定量的に把握でき、品質機能展開における競合比較、開発目標設定が客観的に設定できるようになった。

### 【参考文献】

- (1) 第19回官能検査シンポジウム発表報文集
- (2) 標準化と品質管理 Vol.44 1991.6

### ■ 著 者 ■



佐々木 郭



中川 伝一

## 技術論文

## エンジン部品への工程設計システムの適用

## Application of Process Design System to Engine Parts

鈴木雅晴\*  
Masaharu Suzuki

井口利治\*\*  
Toshiharu Iguchi

小栗律志\*\*\*  
Ritushi Oguri

## 要 旨

磐田第4工場の機械加工部門では、モーターサイクル等の市場から要請されている多種中(少量)生産への対応手段として、NC化・FMS化を進めている。その基幹設備であるマシニングセンタに関連する生産準備業務のリードタイム短縮と、工数低減を目的としてCAMシステムを導入した。

当システムは、2次元CADデータを活用しての工程設計からNCプログラム作成までの一貫CAMシステムであるが、単にその間におけるデータの一貫化にとどまらず工程設計のアウトプット資料としての工作図や使用刃具一覧表の作成も、システムデータを使って自動作成できるようにして、信頼性向上と工数低減に努めた。

その結果、従来に比較して生産準備の工数は、平均48%削減でき、リードタイムは約1/2に短縮できた。

今後の課題としては、CAD/CAM間のより精度の高いデータの連結とNCデバッグによるライン停止時間の短縮がある。

## Abstract

The Machining Division of Iwata Plant 4 is introducing NC and FMS systems as a means to meet the demands of the motorcycle market and others for various types of models of middle or small size production. The CAM system is also introduced for the reduction of lead time and labor for production preparation as to machining centers which form main part of the NC and FMS systems. This is not only a through system which includes steps ranging from the process design by utilization of two-dimensional CAD data to the preparation of NC programs and uses the same system data through the steps, but a system which prepares automatically documents such as manufacturing drawings or cutting tool lists from the system data.

As a result, this system enables us to reduce, as compared with the traditional systems, the production preparation labor by 48% in average and the production preparation lead time by about 50%.

Our future targets are to realize more accurate data communication between the CAD/CAM systems and to reduce system down time through NC debugging.

## 1. はじめに

モーターサイクルの市場動向として、1985年頃

より顧客ニーズが多様化し、かつメーカー間競争もより激しくなっている。

その結果として

- (1) モデル数の増大
- (2) ライフサイクルの短命化

\*, \*\*, \*\*\* M/C事業部 磐田第4工場

(3) モデル開発期間の短縮

への対応をはかることが急務であった。

そこで我々は、それらに対処する為の一手段として、生産準備の工数削減およびリードタイム短縮をめざし、CAMシステムを導入してきた。本稿では、このCAMシステムについて報告する。

2. CAMシステム導入のねらい

2.1 生産準備業務の流れと

リードタイム短縮の課題

エンジンの主要部品であるクランクケース、ヘッドシリンダといったアルミ材箱物部品の機械加工における生産準備業務の流れを図1に示す。大きく分類して3つの業務ステップにわかれ、それぞれのステップにおいて表1に示すようにリードタイムを短縮していく為の課題を持って取組んだ。

表1 業務ステップと課題

業務ステップ	リードタイム短縮の課題
① 工程設計～NCプログラム作成	工程設計～NCプログラム作成までの一貫したCAMシステムの構築
② 設備・治具の設計製作	治具標準化により、CADでの自動設計を行ない設計時間短縮
③ 設備調整	ツールと治具、ワークとの干渉問題の事前チェック

今回導入したCAMシステムは①の業務ステップに対するものであり、本稿においては②、③の部分の説明は省略させていただく。

2.2 CAMシステム導入の目標

工程設計からNCプログラム作成までの業務において、従来の仕事の流れとシステム導入後の仕事の流れについて図2に示す。従来は、CADで書かれた製品図から加工箇所を抜き出し、加工順序を決め、各工程に加工箇所を割りつけて加工時間の計算をする。必要精度を満足し、かつ設備能力が最大に発揮できる所までこれを繰り返す。各工程での加工が定まったら、それを表現する為の工作図や使用刀具一覧を書き、それらをベースにNCプログラムを作成するという仕事にあってそれぞれの段階でパソコンやCADを使ってはいたが、それぞれの業務展開毎に必ず人間が介在しデータに一貫性がなく、工数も多大であった。それを、CADの画面にむかって加工箇所の抜き出しと、高度な判断を必要とする各工程への加工箇所の割りつけを行なえば、あとの計算や図、表ならびにNCプログラムの作成は総て電算が自動処理するCAMシステムを導入し、この間のリードタイムを1/2にすることをめざした。

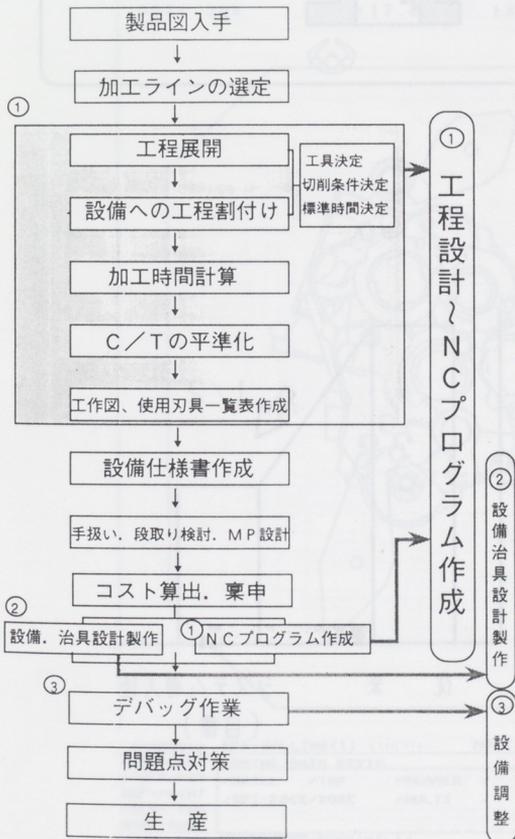


図1 生産準備業務の流れ

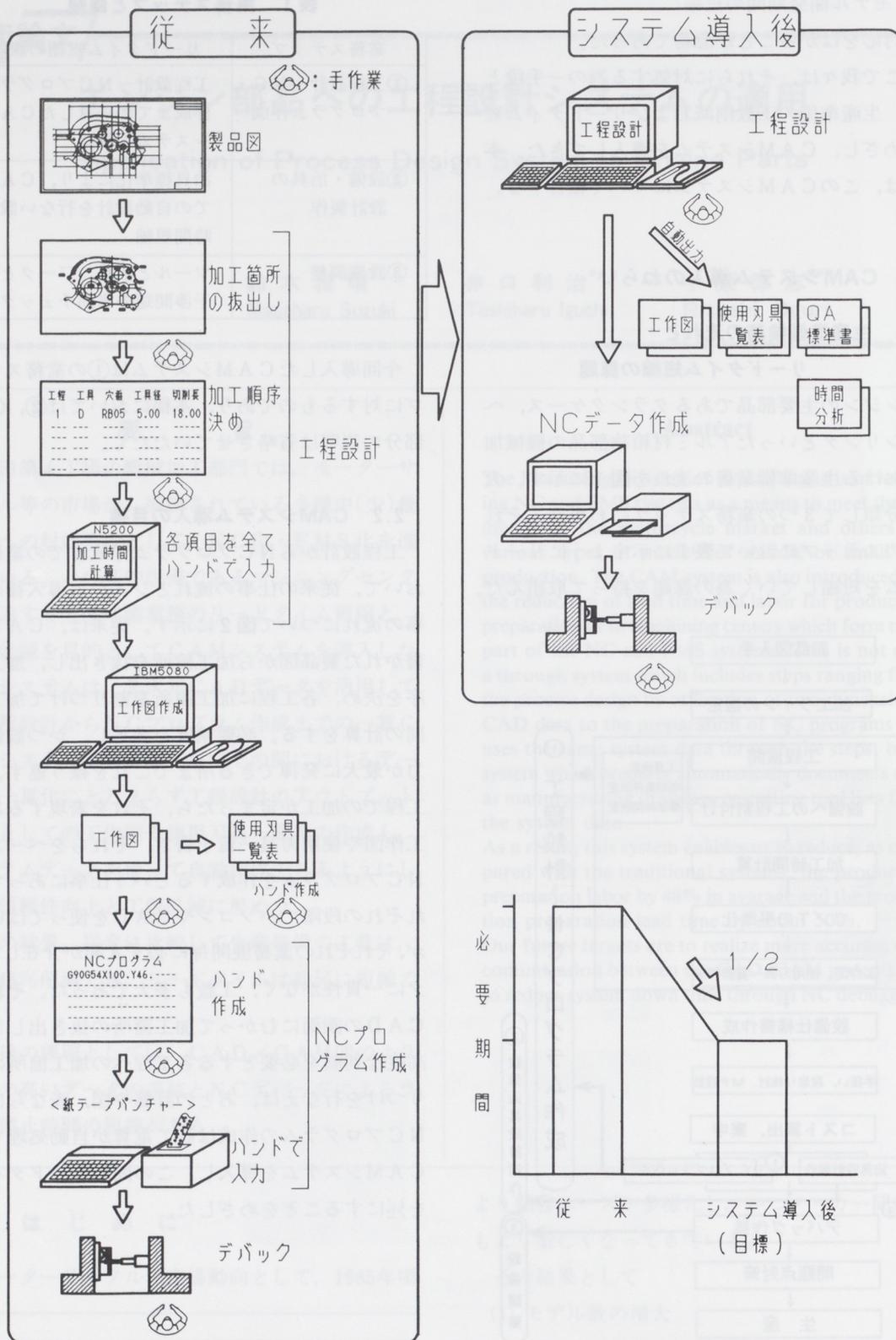


図2 仕事の流れ(従来⇒システム導入後)

### 3. CAMシステム

#### 3.1 システムの構築

工程設計からNCプログラム作成までの期間における業務の分析を十分にして、CAMシステムのあるべき姿を築いた。それにそってシステムを自社開発することも考えたが、開発期間ならびに労力の点から既存するシステムを活用し、それを我々の業務展開に合った形、ならびに我々の製品と加工形態に合った形に修正、機能の追加をして本システムの導入を行なった。

#### 3.2 システムの内容

本システムでの作業展開を以下に述べる。

#### ① CAM用加工仕様入力

設計部門にて2次元CADシステムより作成された製品図面データをそのまま利用して、図形データに対し加工径、加工開始・終了位置等の加工仕様を入力していく。加工仕様入力の画面例を図3にて示す。

#### ② 工程設計

加工ラインを設備ファイルにて設定すると、作業展開ファイルをもとに各加工仕様が作業要素に自動展開される。各作業要素についてマシタイムの平準化を考慮しながら、各工程へ割振ることをCAD画面に向かって人が行なう。

工程割振り終了後、各工程毎に工具選択、切削条件設定が行なわれ、加工時間の算出が行なわれ

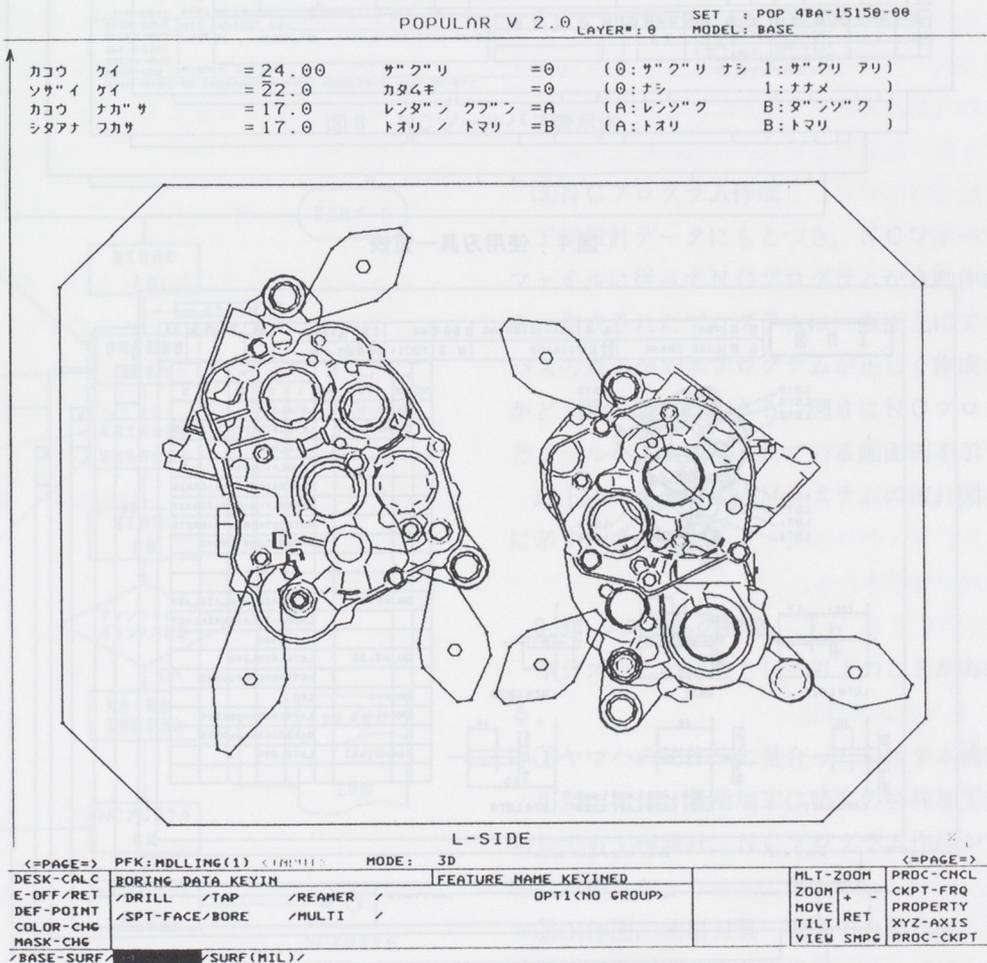


図3 CAM用加工仕様入力画面



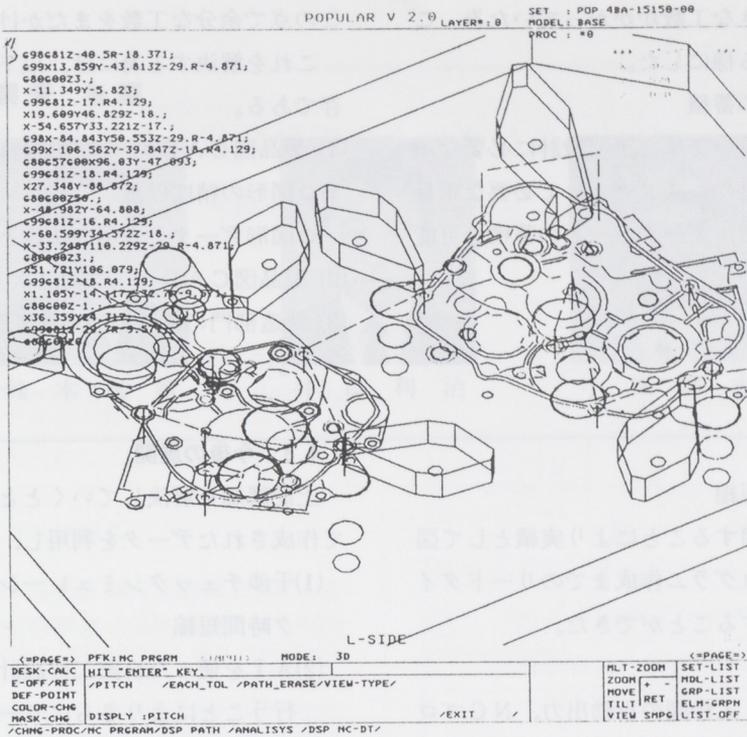


図6 NCツールパス表示例

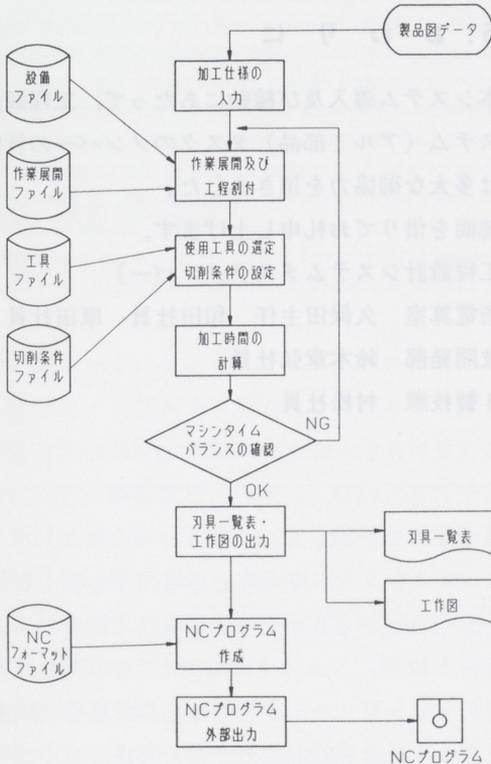


図7 システムの流れ図

### ③NCプログラム作成

工程設計データにもとづき、NCフォーマットファイルに従ってNCプログラムが自動作成される。作成されたプログラムは、画面上にてツールパスの表示ができプログラムが正しく作成されたかどうかの確認ができる。図6にNCプログラムとツールパスが表示されている画面例を示す。

以上述べてきたCAMシステムの流れ図を図7に示す。

### 3.3 システムの特徴

本システムの特徴として以下のことがあげられる。

①ヤマハの物作りに見合ったシステム構成  
 小型エンジン量産加工に特有の特殊加工方法に対しても工程設計、NCプログラム作成ができる様に対応した。

②工作図、使用刃具一覧表の自動作成  
 工程設計結果を表わす書類については、量も多

く作成するのに大きな工数がかかっていた為、これを自動作成できる様にした。

### ③データベースの蓄積

工具ファイルにおいて単に工程設計に必要な項目だけでなく、工具のマスターとして必要な項目も登録できる様にし、データベースの蓄積を可能にした。

## 4. 導入結果

### 4.1 導入成果

#### ①リードタイム短縮

本システムを使用することにより実績として図面入手からNCプログラム作成までのリードタイムをほぼ $\frac{1}{2}$ に短縮することができた。

#### ②工数削減

使用刃具一覧表・工作図の自動出力、NCプログラムの自動作成により従来に対し48%の工数削減ができた。結果としてモデル数の増大に対して既存人数で対応することができた。

#### ③その他の効果

またリードタイム短縮以外の効果としては、

- 1) 工作図がCADにて作成される為、生産課で作成しているQA標準書に簡単に転用できる。
  - 2) 工程毎の加工時間が計算される為、工程間平準化の検討が容易にできる。
  - 3) NCデータの作成ミスが減少し、デバッグ時間が短縮される。
- 等があげられる。

### 4.2 システムの課題

以上述べたように、工数低減ひいてはリードタイム短縮といった面で成果を出してはきたが、まだまだ解決しさらに発展させるべき課題もかかえている。それは、CADデータをCAMデータに置き換える時、CADデータの精度確認と、2次元から3次元データへの翻訳を行なう必要があり、

この点で余分な工数をまだかけている点である。

これを解決する為には、以下の3点に取組む所存である。

#### (1) 製品図CADデータ作成時における

- 図形の精度保証
- 図形データと表示寸法値との一致

#### (2) 製品図CADデータの3次元化

#### (3) 鋳造部門の鋳造型用CAMデータとのドッキング。

### 4.3 今後の展開

上記課題を解決していくとともに本システムにて作成されたデータを利用し、

- (1)干渉チェックシミュレーションによるデバッグ時間短縮
- (2)AIを使った自動工程設計システムの開発を行うことによりさらにリードタイム短縮を進めていきたいと考えている。

## 5. おわりに

本システム導入及び稼働にあたって、工程設計システム(アルミ部品)タスクのメンバーの皆様には多大な御協力を頂きました。

誌面を借りてお礼申し上げます。

[工程設計システムタスクメンバー]

技術電算室 久保田主任 和田社員 原田社員  
生技開発部 鈴木章弘社員  
第4製技課 村松社員



## 技術論文

## 2段ショットピーニングによる駆動系部品の疲労強度向上

## Improved Fatigue Strength of Power Train Parts by 2-Staged Shot Peening Process

小野晴七\*  
Haruhichi Ono安達修平\*\*  
Shuhei Adachi

## 要 旨

浸炭焼入れ処理したドッグクラッチの歯元疲労強度を向上させる目的で、材質と種々のショットピーニング条件を組み合わせた仕様を作製し、各仕様について実体による比較評価を行なった。従来のショットピーニング条件では、高強度鋼を用いても、現行材に対する疲労強度の向上効果は、数%にすぎなかった。これに対し、現行材に特殊な2段ショットピーニングを施したものにおいて、現行仕様比へ約30%の大巾な疲労強度の向上が確認された。この改善のメカニズムを調査するため、表面から深さ方向への残留応力分布を計測したところ、最終段に直径0.04mmの硬質粒子を高速で投射した条件で2段ショットピーニングを施した仕様において、表面近傍に約1500MPaの著しく高い圧縮残留応力が発生しており、これが表面における疲労き裂の発生を遅延させた結果、疲労強度が著しく向上したものと推察された。

## Abstract

In order to improve the fatigue strength of tooth root of a dog-clutch effect of material and shot peening condition was investigated using the bench testing equipment. In the results the high-strength-steel showed only a little improvement of fatigue strength compared with the conventional material peened in the same mild condition. In contrast the specification treated in the special dual peening condition revealed a drastically large improvement of 30% in fatigue strength compared with the conventional one. The residual stress profiles measured in the depth direction showed that a enormously high value of compressive residual stress of about 1,500 MPa at surface had been generated by the dual peening condition in which the hard media in diameter of 0.04 mm were shot in a very high velocity. It was supposed that the high compressive residual stress retarded fatigue crack initiation at the surface resulting the improvement of fatigue strength.

## 1. 緒 言

エンジンの大型化、高出力化に伴いギア、シャフト、ドッグクラッチ等の駆動系部品の高強度化

が要求されている。

ドッグクラッチの歯元疲労強度向上を計る目的で、種々のショットピーニング条件（投射方式、ショット粒径、ショット粒硬さ）<sup>(1)</sup>を組合わせた2段ショットピーニングを施し、歯元疲労強度向上のメカニズムと残留応力分布の関係について考察した。

\* 三信工業(株)製造部

\*\* 技術本部要素研究部

2. 実験方法

図1にドッグクラッチ歯元の略図を示す。

表1に試験に供した材質の成分を示す。

材質はJIS-SNCM220, 高強度鋼STEEL-Xに浸炭焼入れを施したもので, 表1に示す種々のショットピーニング条件にて残留応力を付与した仕様を作成し, 試験に供した。

表2にショットピーニング条件を示す。

2段ショットピーニング処理は, 1段目及び2段目にそれぞれ(A+B), (B+C), (A+C)の組合わせを用いた。

疲労試験は, 電気油圧式疲労試験機を使用し, ドッグクラッチ噛み合い部の歯元の曲げ疲労強度を求めた。

荷重条件は, 応力比 $R=0.1$  繰り返し周波数30 Hzで, 常温, 大気雰囲気中において試験を行った。

残留応力分布の測定は, ドッグクラッチ荷重負荷面について歯丈方向の応力として, X線応力測定法(側傾法)により行った。

3. 疲労試験結果

図2にドッグクラッチの歯元の疲労強度を示す。

1) 図2-1にショットピーニング条件Aのみを施したドッグクラッチの疲労強度を示す。

従来材のSNCM220の疲労限が9KNであるのに対し, 高強度材STEEL-Xは9.5KNであり, 高強度材を用いることによる疲労限の向上は僅か5%に停どまった。

より低サイクル域の疲労強度もSTEEL-Xのほうが長寿命である。

2) 図2-2に各種2段ショットピーニングを施したドッグクラッチの疲労強度を示す。

1段目に条件B, 2段目に条件C: マイクロハ

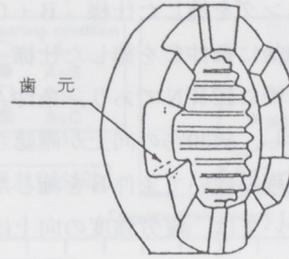


Fig.1 Illustration of dog clutch

Table.1 Chemical composition of the tested steels

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
SNCM220	0.22	0.31	0.82	0.38	0.57	0.17
Steel-X	0.18	0.09	0.27	2.82	0.28	0.38

Table 2. Peening conditions

Single peening condition	Shot media diameter [mm]	Media hardness (HRC)		Type of equipment	
		40~45	60<	Impeller	Air nozzele
A	0.8	○	—	○	—
B	0.3	○	—	—	○
C	0.04	—	○	—	○

Single	A
	B
	C
Dual	A + B
	B + C
	A + C

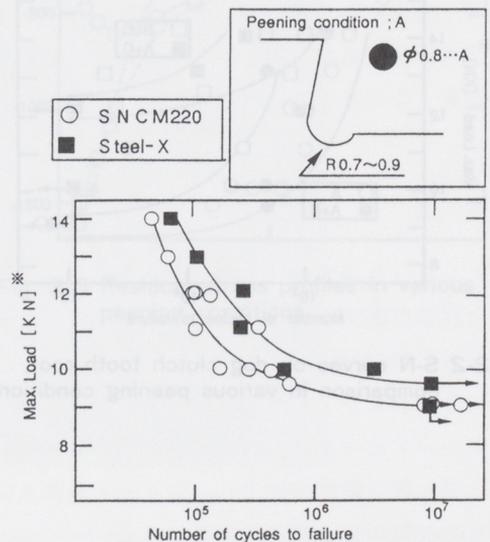


Fig.2-1 S-N curves on dog clutch tooth root, comparison between the conventional steel and the high strength steel

ートピーニングを施した仕様 (B+C) と同様に条件Aの後に条件Cを施した仕様 (A+C) の疲労限は共に12KNであり, 条件Aの疲労限9KNに対し, 約30%の向上が確認された。

条件Aの処理に続いて条件Bを施した仕様 (A+B) については, 疲労強度の向上は見られなかった。

3) 図2-3にショットピーニング条件C: マイクロハードピーニングのみを施した場合の疲労強度を示す。

マイクロハードピーニングのみでも2段ショットピーニングと同様, 疲労限が向上することが確認された。

しかし, より低サイクル域での疲労強度は2段ショットピーニングに比べ劣る。

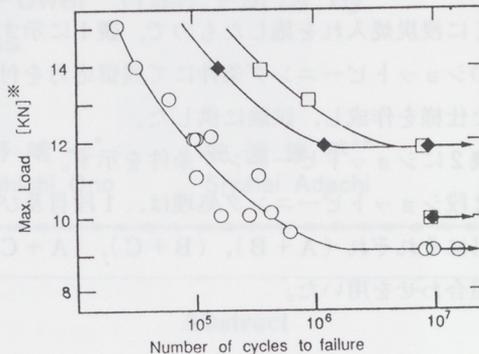
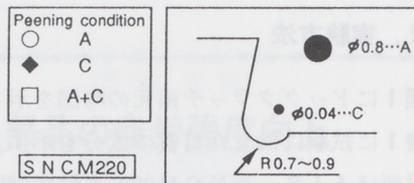


Fig.2-3 S-N curves on dog clutch tooth root, comparison in various peening conditions

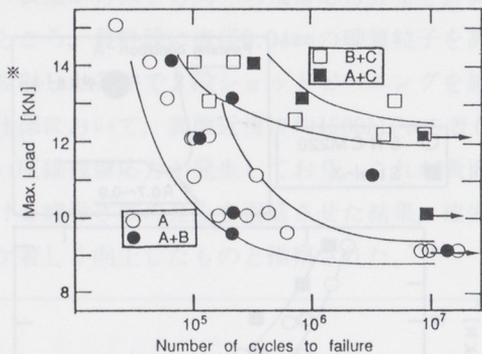
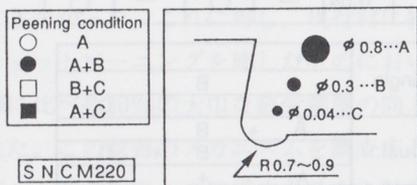


Fig.2-2 S-N curves on dog clutch tooth root, comparison in various peening conditions

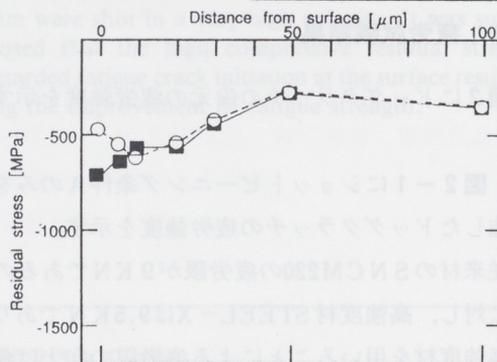
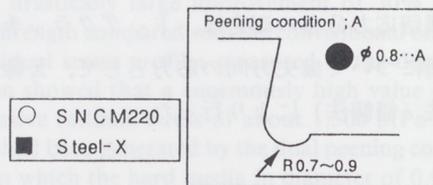


Fig. 3-1 Residual stress profiles, comparison between the conventional steel and the high strength steel

4. 残留応力分布

図3にドッグクラッチ荷重負荷面からの残留応力分布を示す。

1) 図3-1はショットピーニング条件Aを施したS N C M220とSTEEL-Xの残留応力分布である。

STEEL-Xの最表面の残留応力は、 $-700\text{MPa}$ でありS N C M220よりも $200\text{MPa}$ ほど圧縮残留応力が高い。

内部においては残留応力分布に差は見られない。

2) 図3-2に2段ショットピーニングを施したドッグクラッチの残留応力分布を示す。

2段目に条件Cを施した仕様(B+C)、(A+C)では表面付近の圧縮残留応力が著しく高い。ショット条件(A+B)の最表面の残留応力は、 $-300\text{MPa}$ で条件Aと同様、低い圧縮残留応力で内部に圧縮残留応力のピークが見られる。

3) 図3-3にショット条件Cの残留応力分布を示す。

ショット条件Cのみでも2段ショットピーニングと同様、最表面に著しく高い圧縮残留応力が発生している。

しかし、内部の残留応力プロファイルは2段ショットピーニングに比べ瘦せている。

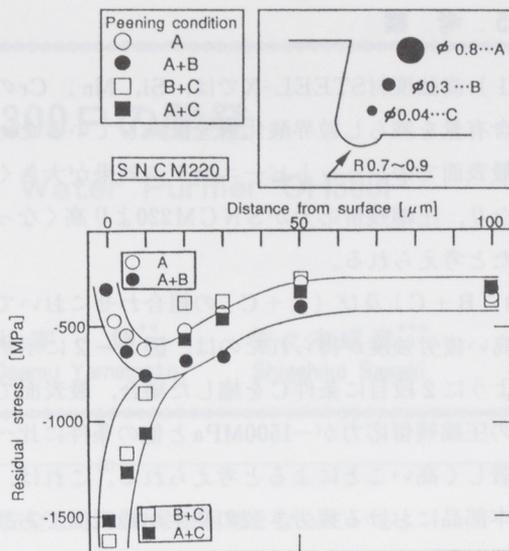


Fig. 3-2 Residual stress profiles in various peening conditions

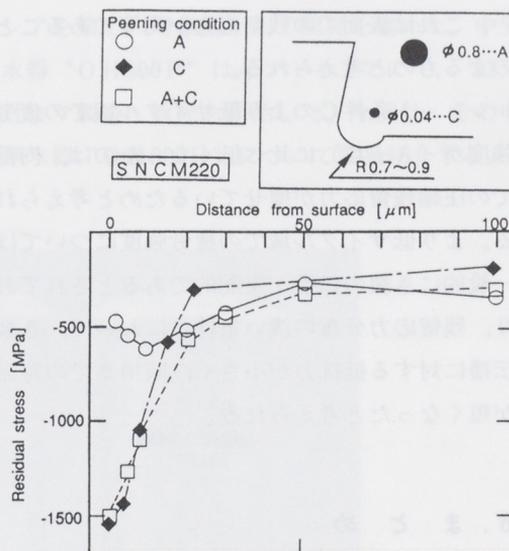


Fig. 3-3 Residual stress profiles in various peening conditions

## 5. 考 察

- 1) 高強度材STEEL-Xでは、Si, Mn, Crの含有量を減らし粒界酸化層を低減しているため、最表面でのショットピーニングの効果が大きくなり、圧縮残留応力がSNCM220より高くなったと考えられる。
- 2) (B+C)及び(A+C)の組合せにおいて、高い疲労強度が得られたのは、図3-2に示すように2段目に条件Cを施した場合、最表面での圧縮残留応力が $-1500\text{MPa}$ と他の条件に比べ著しく高いことによると考えられる<sup>(2)</sup>。これは、本部品における疲労き裂の発生が最表面であり、最表面の残留応力が疲労き裂の発生を遅延させる効果をもたらしたと推測される。

条件Aと(A+B)では、残留応力分布のプロファイルに相異があるものの、疲労限は等しい。これは表面での残留応力が同等であることによるものと考えられる。

- 3) ショット条件Cのより低サイクル域での疲労強度が(A+C)に比べ低くなったのは、内部での圧縮残留応力が瘦せているためと考えられる。より低サイクル域での疲労強度については、一般的にき裂の伝播が支配的であるとされており、残留応力分布の浅い条件Cにおいて、き裂伝播に対する抵抗力が小さく、破損までの寿命が短くなったと考えられる。

## 6. ま と め

- 1) ショット条件A(1段ショットのみ)を施した高強度鋼STEEL-Xの疲労限向上は、従来材SNCM220の約5%であった。
- 2) 2段ショットピーニングの2段目に、マイクロハードピーニング(ショット条件C)を施すと最も疲労強度が向上し、ショット条件Aに対し約30%の疲労限向上効果がある。

また、マイクロハードピーニングのみによっ

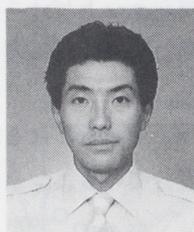
ても同様に疲労限が向上するが、より低サイクル域での疲労強度は2段ショットピーニングに比べ劣る。

- 3) 2段ショットピーニングおよびマイクロハードピーニング処理による疲労限の向上は、最表面に生じた著しく高い圧縮残留応力により、疲労き裂の発生が遅延させられるためと考えられる。

### 【参考文献】

- (1) 広瀬正吉, "工業技術全書ショットピーニング" 株式会社誠文堂新光社, (1955)
- (2) 米谷 茂, "残留応力の発生と対策", 株式会社養賢堂, (1975) 254.

### ■ 著 者 ■



小 野 晴 七



安 達 修 平

製品紹介

## 中型浄水器OH300Pの開発

### Development of Medium-Size Water Purifier OH300P

鈴木正行\*  
Masayuki Suzuki

山本 修\*\*  
Osamu Yamamoto

佐々木成彦\*\*\*  
Shigehiko Sasaki

#### 1. はじめに

日本では水道の整備が良く、蛇口をひねれば豊富な水を得る事ができる水に恵まれた国である。近年では水に対する関心が高まり、更に一歩進んだおいしい水、健康に良い水への要求が出て、小型家庭用浄水器・イオン整水器・ミネラルウォーター（ボトルウォーター）の需要が延びている。その反面、世界の各地では多くの人々が、水の色・濁り・臭いがする等の問題に困っており、且つ

安全な水の確保が困難となっている。

これらの問題を解消し、水に困っている人々に安全な水を提供する事に依り、彼らの生活の向上に、わずかでも貢献したいとの考えで、中型浄水器の開発に着手した。要望が強かった、インドネシアを第1の対象国として開発を進めた。中型浄水器“OH300P”はインドネシアにて、'91/6月より製造・販売を開始した。今回は、その中型浄水器“OH300P”について製品紹介する。

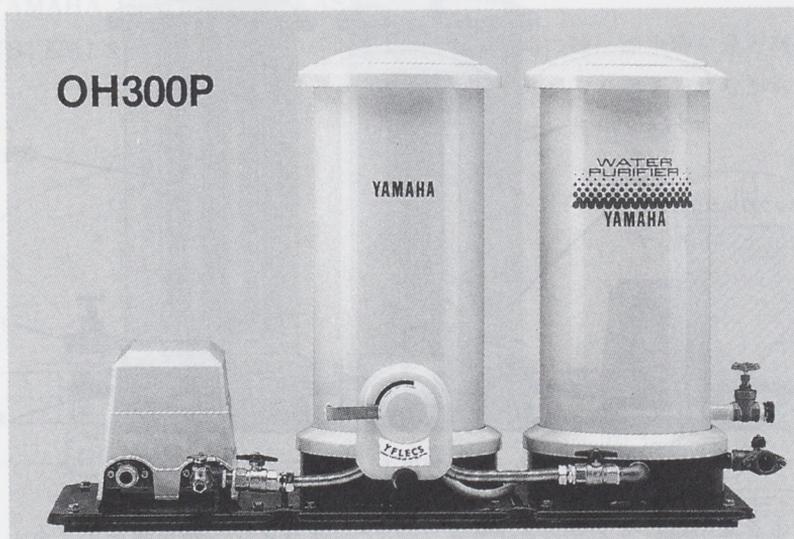


写真1

\*, \*\*, \*\*\* (株)アイアイシー 技術部

## 2. 商品の狙い

一般家庭で使用する生活用水（台所用・風呂用・洗濯用）の全てを対象にする事を考慮に入れ、浄水器の基本である。以下の点を狙って開発した。

- (1) 色・濁り・臭いの無い水の提供
- (2) 豊富な水量
- (3) フィルターの長寿命化
- (4) メンテナンスの容易化

## 3. 商品の特徴

### 3.1 システムと構造図

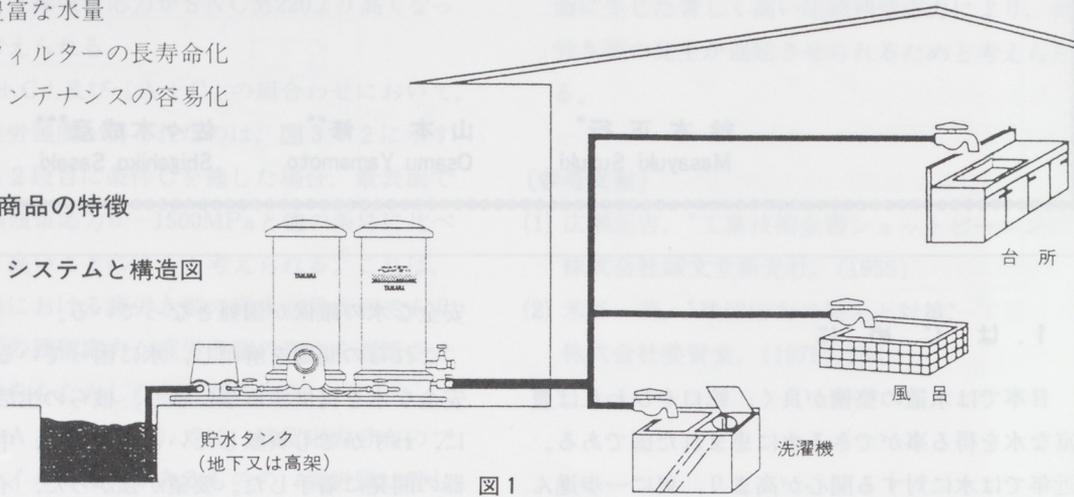


図 1

インドネシアに於いては、水道水又は井戸水を、断水対策等の理由で貯水タンクに、貯めて使用するのが一般的である。

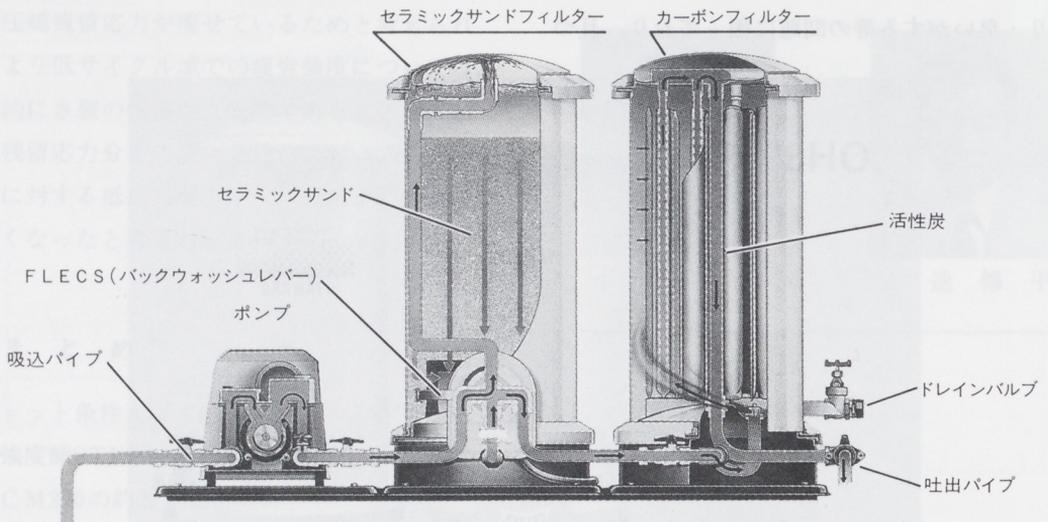


写真 1

セラミックサンドを使用したセラミックサンドフィルターと、粉末活性炭を使用したカーボンフィルターの2筒式の構造になっている。セラミックフィルターで比較的荒い濁分を除去し、カーボ

ンフィルターで精密濾過をする。

安定した流量を確保する為に、ポンプを採用した。最終的に、カーボンフィルターで濾過された水は、家庭で使用する全ての用途に供給する。

### 3.2 セラミックサンドフィルター

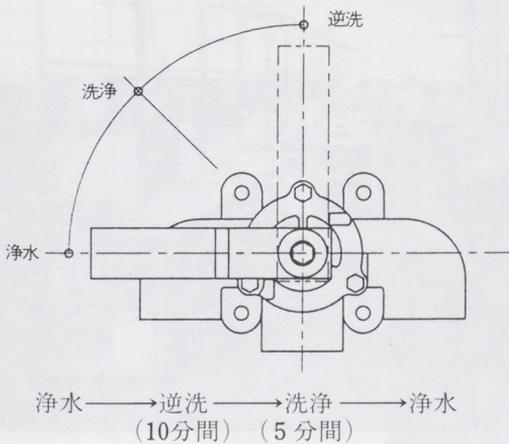
セラミックサンドを使用した濾過機で、カーボンフィルターへの負荷低減の目的で、比較的粗い濁分を除去する。又一つのレバー操作で、逆洗・洗浄ができるバルブを装着し、カスタマーのメンテナンスの容易化を計っている。

#### (1) セラミックサンド

凹凸の多孔質構造になっている戸材を採用する事に依り、濾過面積が広くなり、高流速の濾過が可能である。

#### (2) 逆洗・洗浄

セラミックサンドフィルターの濾過能力を維持する為、セラミックサンド上層部に溜った濁分を外に排出する逆洗操作と、濾過機内の洗浄操作が必要である。通常このクラスの戸過機では、数個のバルブの開閉操作にて、逆洗・洗浄操作を実施している。この為バルブ開閉の煩わしさや、バルブ開閉手順の誤操作に依る濾過能力の低下等の不具合が有った。これを解消する為に、1本のレバーの操作で、逆洗・洗浄が切替可能なバルブ“Y FLECS” (YAMAHA FLOW LINE EASY CONTROL SYSTEM)を開発した。逆洗・洗浄操作は次のフローで示す。



毎日1回の操作を実施する。

図2 操作レバー位置

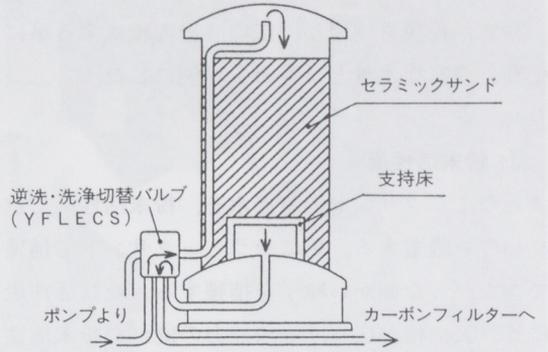


図3 浄水時

浄水時(通常)は、矢印の方向へ水が流れ、セラミックサンドで濾過する。

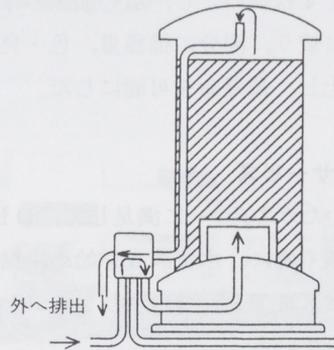


図4 逆洗時

逆洗時には、浄水時を逆方向に水を流し、セラミックサンドを巻き上げながら、上層部に溜った濁分を外へ排出する。

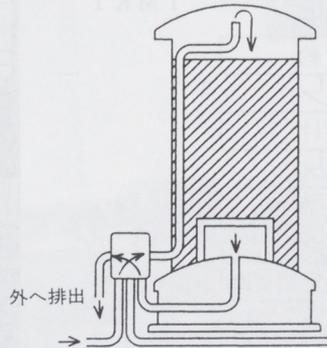


図5 洗浄時

逆洗操作後、支持床・配管等に溜った濁分を、外へ排出する。

### 3.3 カーボンフィルター

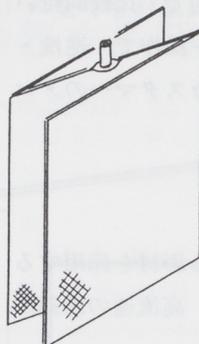
粉末活性炭を使用し、広い濾過面積にする事に依り、豊富な水量と長寿命を可能にした。

#### (1) 粉末活性炭

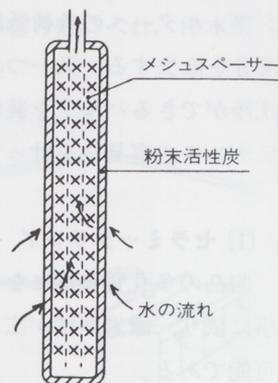
セラミックサンドの濾過水を、粉末活性炭で色臭い等を吸着する。更にセラミックサンドで捕獲できなかった細かい粒子を捕獲する。粒状活性炭に比べ表面積が広く、吸着能力の優れた粉末活性炭を採用し、豊富な水量を可能にした。

#### (2) 濾過布

粉末活性炭の支持材である濾過布（P・Pの織物）は、1㎡を4枚使いとし、広い面積の確保を計った。これに依り、濁分の捕獲量、色・臭い等の吸着量も向上し、長寿命を可能にした。



上図形状濾過布を4枚使用し、カーボンフィルター内に収めている。



断面図  
粉末活性炭は濾過布の上に均一にプレコートされている。

図6

### 3.4 販売とサービス

購入して頂いたカスタマーに満足して、OH300 Pを利用して頂く為に、水質調査を始め、据付け、アフターサービスまでを一つのパッケージとした一貫体制となっている。

#### ・製造

Y I M Mにて部品の製造・組立をしている。

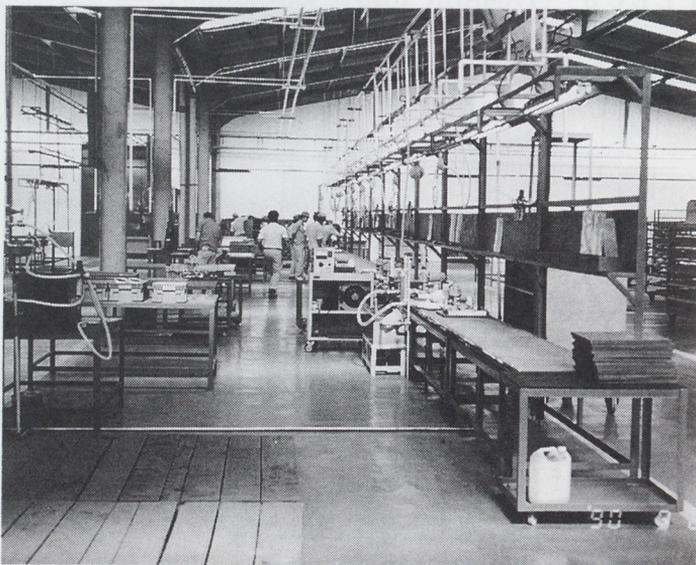
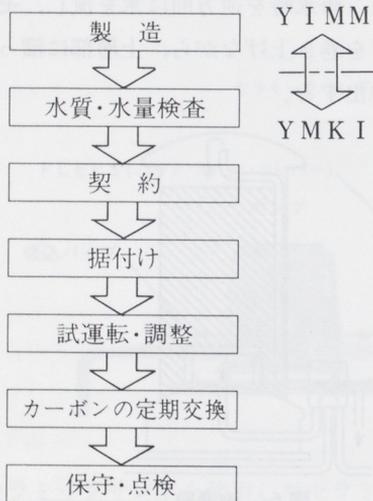


写真3 浄水器組立工場風景

・水質調査

浄水器を扱うメーカーとして、水質分析する事が不可欠であり、その体制としてI I C本社内及びYMK L内に、水質分析室を設置している。YMK Iの分析室としては、設置前・後の水質調査を実施し、OH300Pが設置可能かどうかの判断と、定期メンテナンスサービスに活用している。



写真4 YMK Iの分析室

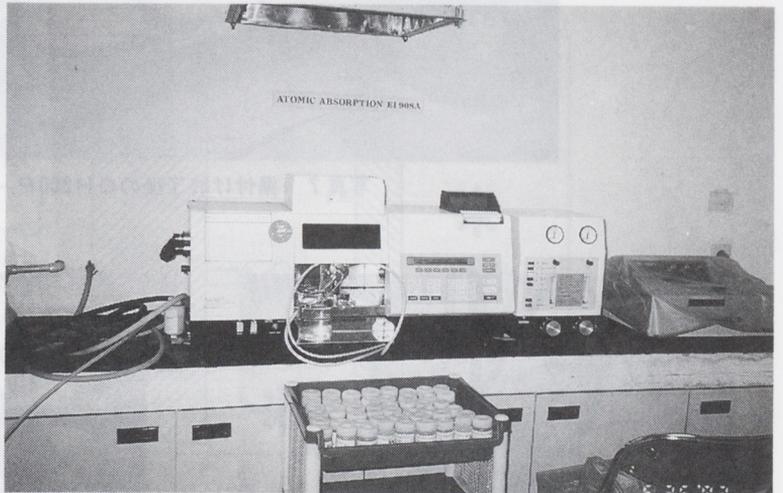


写真5 YMK Iの分析室

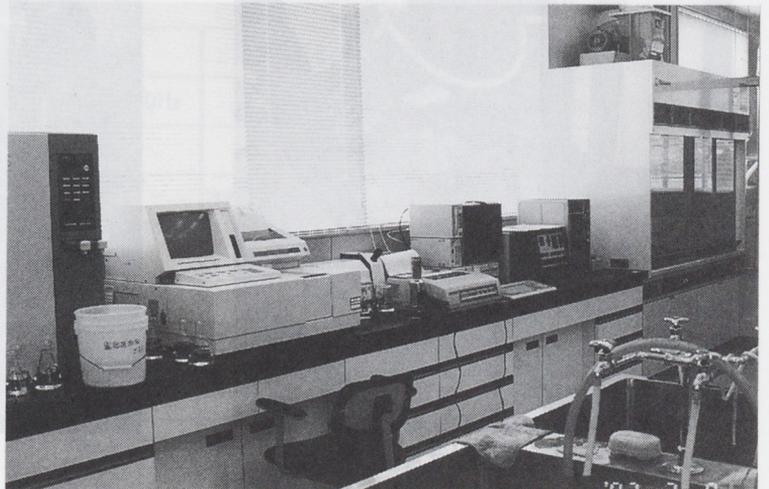


写真6 I I Cの分析室

### ・据付け・定期メンテナンス

据付け場所や配管レイアウトは、カスタマーの要求を考慮し、事前に充分調査した上で、最適状態で据付を行なう。

又原水と浄水の状態を把握して、浄水器の水質・水量等の維持・管理の為に、定期メンテナンスを実施する。



写真7 据付け終了後のOH300P



写真8 定期メンテナンス風景(水量測定)

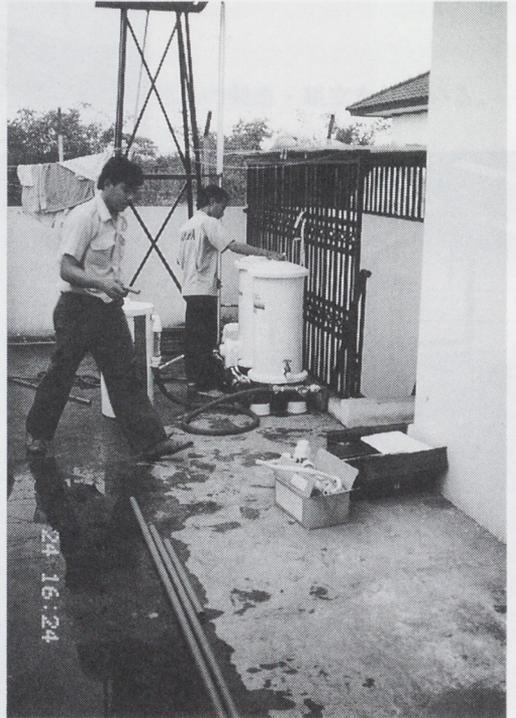


写真9

## 5. 性能

- (1) 初期濾過水量：30ℓ/分以上
  - (2) 逆洗水量：30ℓ/分以上
  - (3) 洗浄水量：15ℓ/分以上
  - (4) 色・濁濾過性能
    - ・総通水可能水量：60m<sup>3</sup>以上
    - ・浄水色度：5度以下
    - ・浄水濁度：2度以下
- ◎対象とする原水水質
- ・色度：20度以下
  - ・濁度：10度以下



写真10

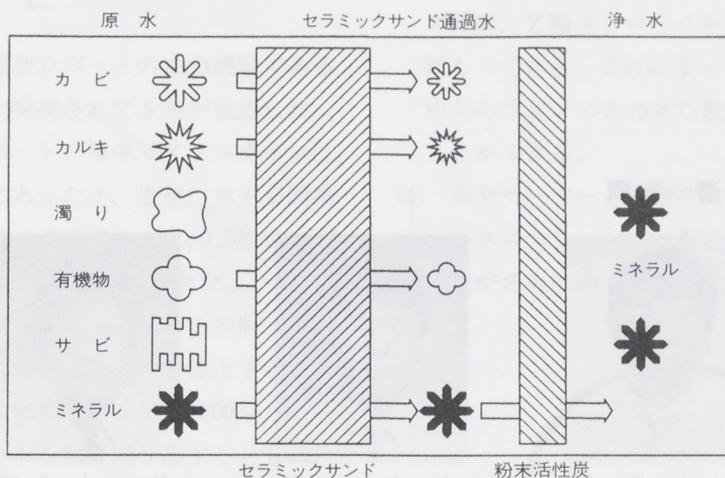


図7

## 6. 諸元

ポ ン プ		セラミックサンドフィルター	
電 源	単相220V 50Hz	濾 過 材	セラミックサンド30ℓ
全 揚 程	22m	タンク容量	58ℓ
吸 上 揚 程	8 m	容器本体サイズ(W・H・L)	437×894×496mm
押 上 揚 程	14m	乾 燥 重 量	70kg
揚 水 量	31ℓ/分(12m時)	カーボンフィルター	
圧力スイッチ	ON : 1.5kgf/cm <sup>2</sup>	濾 過 材	粉末活性炭 5kg
流量スイッチ	OFF : 2ℓ/分	タンク容量	58ℓ
寸法(W・H・L)	255×280×371mm	容器本体サイズ(W・H・L)	437×894×496mm
乾 燥 重 量	11.5kg	乾 燥 重 量	40kg

## 7. おわりに

今回、新たな分野への商品開発ということで色々としり錯誤しながらも、世の中へ送る事が出来ました。実際に使用頂いているカスタマーからの声は、風呂のヌメヌメ感がなくなり気持ちが良い、洗濯物が黄ばまない等OH300Pを、高く評価して頂き、開発メンバーとしても満足しています。ここまで到達できたのも、御協力を頂いた工場・営業・サービス・間連部署のお陰と思っています。まだ諸々の課題が残されていますが、今後、更に皆様の御協力を頂き、課題に向けて努力していきます。

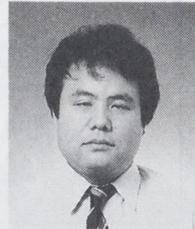
### ■ 著 者 ■



鈴木正行



山本修



佐々木成彦

製品紹介

## 高速水平多関節ロボット YK640, YK840シリーズの開発

### Development of Series K640 and YK840 Horizontal Articulated High Speed Robots

馬目俊文\*  
Toshihumi Manome

木宮祐三\*\*  
Yuhzo Kimiya

#### 1. はじめに

ヤマハ水平多関節型ロボットの主力機種である YK8000シリーズが発売されて5年が経過した。発売当時、このロボットの標準サイクルタイムは、世界最速の0.98秒であったが、近年、水平多関節型ロボットの標準サイクルタイムは、0.8秒台に到達し、中には0.8秒を切るものも現れた。

ヤマハ水平多関節型ロボットは、この間、大型高可搬重量の YK1200シリーズ、全体上下の YK5000シリーズ、低価格で小型の YK4000シリーズと特徴のあるロボットを世に送り出すとともに、ロボットの高速化のための研究を続けてきた。そして、平成4年1月、高速水平多関節型ロボット YK640シリーズ(写真1)と YK840シリーズを発売した。

このシリーズの特徴は次のとおりである。

- (1) 標準サイクルタイムは、YK640シリーズが0.7秒台、YK840シリーズが0.8秒台と高速動作が可能である。
- (2) 他社の水平多関節型ロボットよりも低価格で、しかも、高性能である。
- (3) 表1に示すように、YK640シリーズ、YK840シリーズとも X 軸アームの選択によって、2

種類の動作範囲を選べる。また、YK640シリーズでは、Z軸ストロークを100mmと200mmの2種類もっている。これによってユーザーは、この中からラインに合わせた最適なロボットを選ぶことができる。

- (4) 新型モーターと高剛性減速機の採用、及び、ハーネスマシンの一本化により、耐久性と信頼性がさらに向上している。

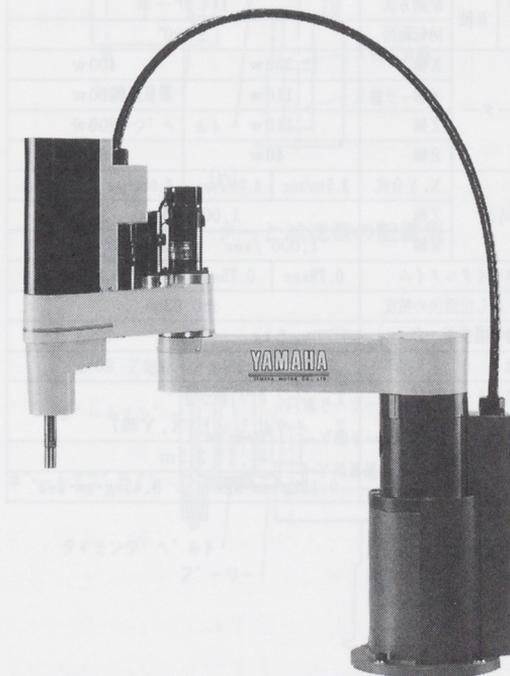


写真1 YK640シリーズ

\*, \*\* IM事業部技術部

(5) シミュレーションによる最適設計を行い、軽量、コンパクトで、剛性のあるロボットである。

以下にYK640を中心に、開発上のポイント、特に、ロボットの高速化について説明する。

図1に標準サイクルタイムポイントを示す。標準サイクルタイムは25mmの上下移動、300mmの左右移動の往復時間である。また、図2にYK640 (YK540) の外観図を示す。

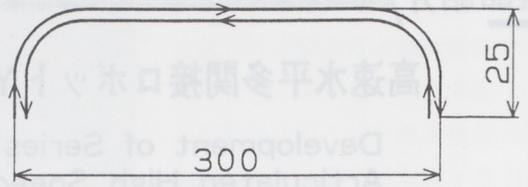


図1 標準サイクルタイムポイント

表1 基本仕様

		YK540	YK640	YK740	YK840	
DC サーボモータ軸数		4軸				
軸仕様	X軸	アーム長	250mm	350mm	350mm	450mm
		回転範囲	±110°			
	Y軸	アーム長	250mm		350mm	
		回転範囲	±145°		±140°	
	Z軸	駆動方法	DCサーボ			
		ストローク	100, 200mm		200mm	
R軸	駆動方法	DCサーボ				
	回転範囲	±180°				
モーター	X軸	300w		400w		
	Y軸	110w		200w		
	Z軸	110w		200w		
	R軸	40w		60w		
最高速	X, Y合成	3.5m/sec	4.0m/sec	5.0m/sec	5.5m/sec	
	Z軸	1,000mm/sec				
	R軸	1,000°/sec		667°/sec		
標準サイクルタイム	0.79sec	0.75sec	0.8sec			
繰り返し位置決め精度	±0.03mm					
先端可搬重量	5kg			10kg		
重量	34kg	35kg	80kg			
動作リミット設定	1. ソフトリミット 2. メカリミット (X, Y軸)					
ロボットケーブル	3.5m					
R軸許容イナーシャ	0.12kg・cm・sec <sup>2</sup>		0.45kg・cm・sec <sup>2</sup>			

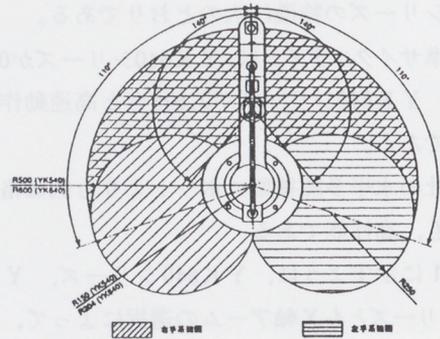
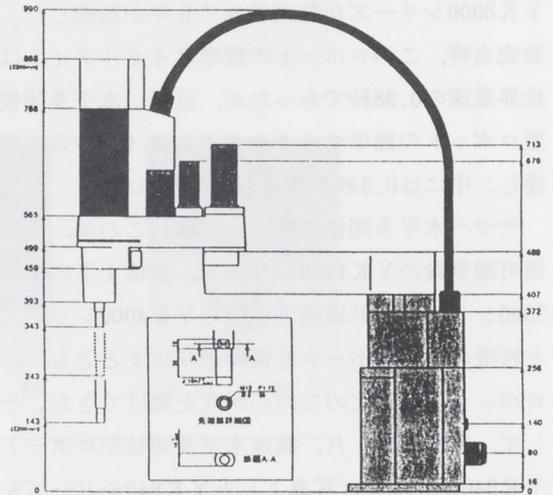
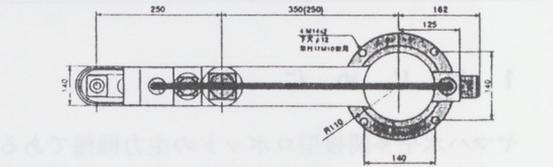


図2 YK640 (YK540) の外観図

## 2. ロボットの構造の最適化

### 2.1 駆動モーター、及び減速機の配置位置

各軸のモーターと減速機をロボットのどの位置に配置するかによって、ロボットの性能、メンテナンス性、価格、外観は著しく異なってくる。特に、ロボットの動作性能に対する影響が大きい。

ここでいう動作性能とは、図3のようにロボットの先端軸がポイントAからポイントBへ移動する時間がいかに短いという意味である。移動時間を短くするには、一般に、モーターの加速度を上げれば良い。しかし、モーターに流せる最大電流及び、減速機の許容トルク等には限界があるので、モーター軸まわりの負荷の慣性モーメントができるだけ小さくなるよう設計する必要がある。

たとえば、図4に示すようにX軸、Y軸のモーターと減速機が配置された2つのタイプのロボットを考えてみる。(a)は従来型のロボットであり、X軸、Y軸のモーターと減速機は関節に直結している。(b)はX軸モーターと減速機をベース内におさめ、Y軸モーターをX軸アームのX軸に置き、タイミングベルトでY軸の減速機を駆動している。(b)は(a)に比べ、X軸まわりの慣性モーメントは小さく、X軸の加速度を上げることができる。しかし、X軸のモーターと減速機、及び、Y軸の減速機のメンテナンスがやりにくく、部品数が増えるためロボットの価格は高くなる。

このように、各軸モーターと減速機等のいろいろな配置パターンにおけるX軸とY軸まわりのアームの慣性モーメントを比較し、コストとメンテナンス性を検討した結果、図5に示す構造を採用することにした。

この構造の特徴を以下に説明する。

### 2.2 X軸

X軸のモーターと減速機は、従来型のX軸アームのX軸上からベース内へ移し、X軸まわりのX軸アームの慣性モーメントの低減をはかっている。

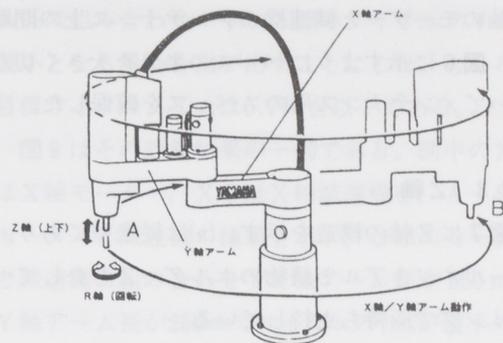
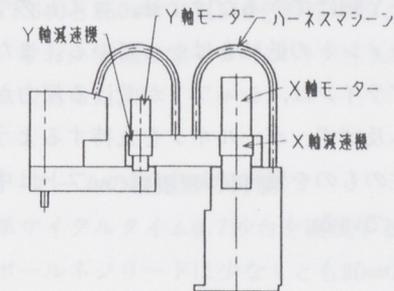
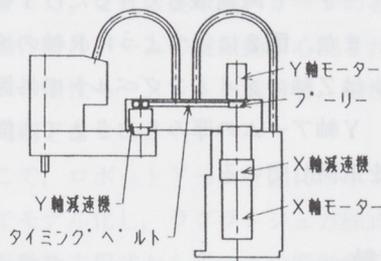


図3 ロボットの動作



(a)



(b)

図4 モーターと減速機の配置例

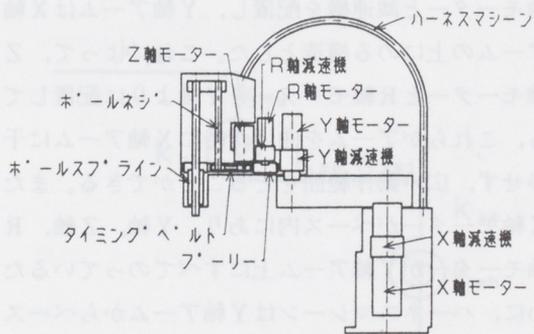


図5 YK640のモーターと減速機の配置

X軸のモーターと減速機のメンテナンス上の問題は、**図6**に示すようにベースの半分を大きく切り欠いてメンテナンス用のスペースを確保した。

### 2.3 Z軸

**図7**にZ軸の構造を示す。(a)は従来型であり、ボールネジをアルミ鑄物のホルダーZを介してベアリングで両持ち支持している。

今回、採用した(b)では、ホルダーZをなくし、ボールネジを片持ち支持している。さらにZ軸モーターをY軸にできるだけよせ、コストダウンと慣性モーメントの低減をはかっている。また、ホールスプラインは、シャフトが受ける反力がボールネジへ及ばず、ボールネジを支持するよう大口径高剛性のものを使っており、シャフトは中空構造となっている。

### 2.4 R軸

R軸のモーターと減速機もできるだけY軸によせている。また、**図8**に示すようにR軸のタイミングベルトはZ軸のタイミングベルトの外側を通っており、Y軸アームの厚みをおさえて、慣性モーメントを低減している。

### 2.5 Y軸

**図5**に示すように、Y軸のモーターと減速機はメンテナンス性とコストを考慮して、Y軸関節部に直結したが、従来型と比べてY軸アーム上にY軸モーターと減速機を配置し、Y軸アームはX軸アームの上の構造とした。これによって、Z軸モーターとR軸モーターをY軸よりに配置しても、これらがアームを曲げた時にX軸アームに干渉せず、広い動作範囲をとることができる。またX軸モーターがベース内にあり、Y軸、Z軸、R軸モーターがY軸アーム上にすべてのっているために、ハーネスマシンはY軸アームからベースまでの一本ですみ、コストダウンとハーネスマシンの信頼性をより向上させることができた。

### 2.6 X軸アーム

X軸駆動系をベース内に、Y軸駆動系をY軸アームに配置したことにより、X軸アームの交換だけでロボットのアーム長を変えることができる。これによって、ロボットの生産工場では、X軸ベースアッシーとY軸アームアッシーをあらかじめ組み立てておき、ユーザーからの発注に応じてX軸アームを選んで迅速に出荷することもできる。

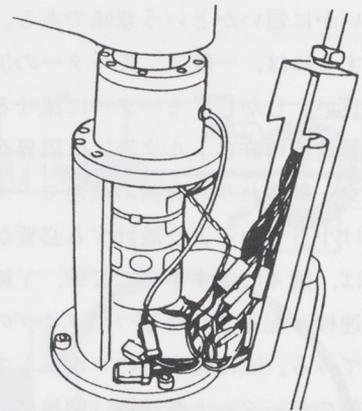


図6 ロボットのベース部

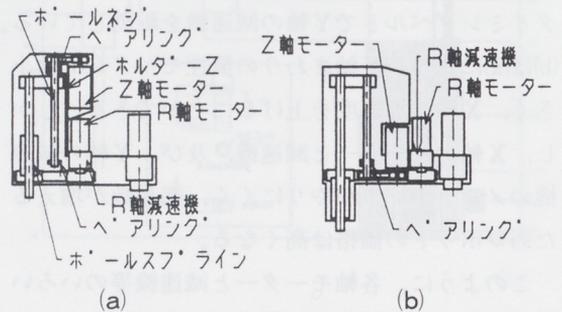


図7 Z軸の構造

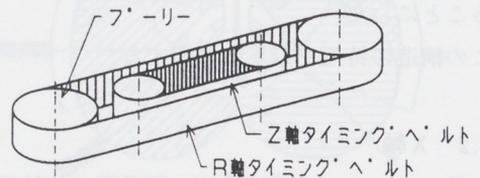


図8 R軸の構造

### 3. 機械要素の最適化

#### 3.1 X軸, Y軸のモーターと減速機の容量, 及び, アーム長の決定

モーターと減速機の容量を上げれば加速度は容易に上げられるように思われる。しかし, 容量を上げると, モーターと減速機のローターの慣性モーメントが増え, モーターの電流値の半分以上がその加速に使われてしまい, 思ったほど加速度は上げられない。また, コストも上昇する。Y軸のモーターと減速機の容量をいたずらに上げれば, 重量増によってX軸の負荷が増えてしまう。

従って, 性能をフルに使ってロボットの目標性能を引き出せるような, 決してオーバースペックでないモーターと減速機の組み合わせを選ぶ必要がある。さらに, X軸, Y軸のモーターと減速機にかかる負荷のバランスを最適にするX軸とY軸のアーム長がある。これらの最適な組み合わせは, 以前は設計者の勘にたよるところが多く, ロボットの評価の段階で, モーターと減速機容量の不足, 及びバランスの悪さによって目標性能が出ない場合もあった。

そこで, ロボットアームの運動方程式をラグランジェ方程式で定式化したシミュレーションを用いて, X軸, Y軸のモーター, 減速機, 及びアーム

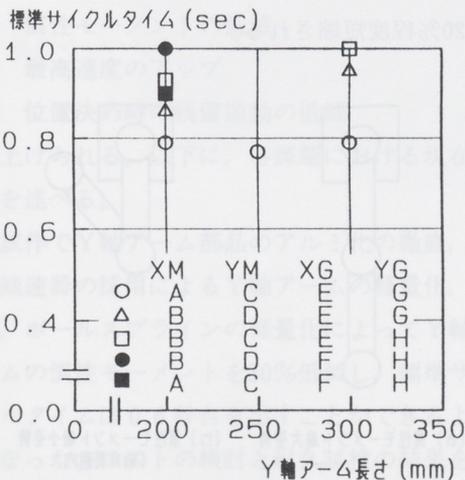


図9 標準サイクルタイム (X軸アーム長=350mm)

ム長の組み合わせの中から標準サイクルタイムが最小となる場合を選び出すことにした。もちろん目標サイクルタイムは0.7秒台以下である。

図9はその計算結果の一例である。図中のXMはX軸モーター, XGはX軸減速機を, A~Hはモーターと減速機の種類を示す。O印のモーターと減速機の組み合わせでX軸アーム長が350mm, Y軸アーム長が250mmでサイクルタイムが最小の0.77秒となった。これよりYK640シリーズは, Y軸アーム長は共通の250mmで, X軸アーム長が350mmのYK640と250mmのYK540を製作することに決めた。なお, 実機によるサイクルタイムはほぼ同タイムであった。

#### 3.2 アームの縦振動の抑制

標準サイクルタイム0.7秒台を実現するには, Z軸のボールネジリードは少なくとも20mm以上でなければならないことがシミュレーションより明らかになった。これは従来機のリードの2倍であり, Z軸動作時のアームの縦振動が心配され, いかにかアームの慣性モーメントを減らし, 剛性を上げるかが問題となった。

そこで, ロボットアームを図10に示す7つのばね系でモデル化し, ラグランジェ方程式で定式化した振動数方程式からアームの振動数を求めて検討を行った。計算結果からアーム振動数はX軸ベアリングのばね定数 $k_{xb}$ に最も影響を受け, Y軸アームのはり部, Y軸のベアリング, 及びシャフ

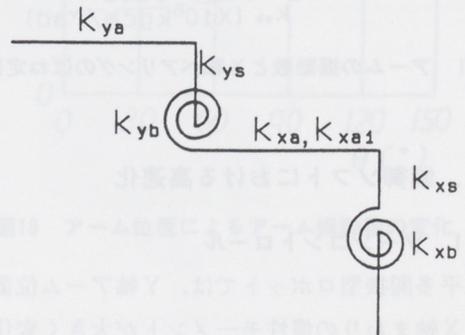


図10 ロボットアームの縦振動モデル

トのばね定数 $k_{ya}$ ,  $k_{ys}$ ,  $k_{yb}$ にはあまり影響を受けないことがわかった。

図11にX軸ベアリングのばね定数 $k_{xb}$ を変えた時のアームの第1振動モード周波数 $f$ の計算の結果を示す。従来機の実験結果から最大負荷重量5kgで周波数は20Hz以上確保しなければならないこと、計算値が実験値よりやや高めの値を示す傾向があることから、X軸ベアリングはBを選ぶこととした。また、Y軸のアーム、シャフト、ベアリングは周波数が20Hzより低下しない範囲で軽量化を行い、慣性モーメントの低減をはかった。

図11には実機によるアームの振動数の実験値が示されているが、X軸ベアリングにBを使用した場合の周波数は23Hzであり、Z軸の位置決めは良好であった。また、オーバースペックでない適切なベアリングを選ぶことでコストダウンにもつなげた。

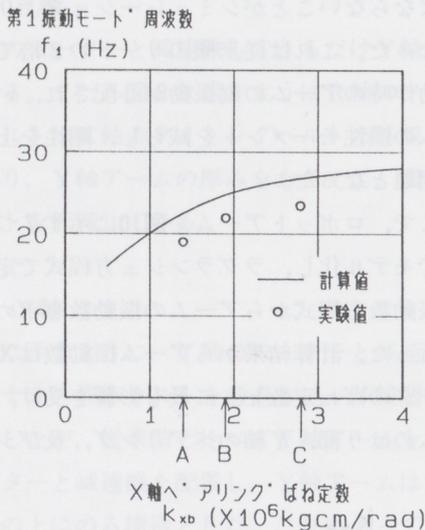


図11 アームの振動数とX軸ベアリングのばね定数

#### 4. 制御ソフトにおける高速化

##### 4.1 ゾーンコントロール

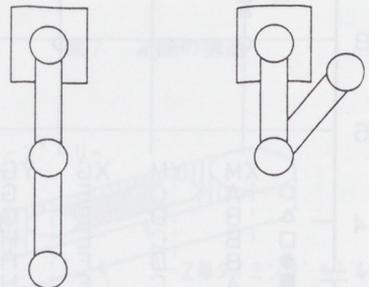
水平多関節型ロボットでは、Y軸アーム位置によりX軸まわりの慣性モーメントが大きく変化する。図12に示すように、慣性モーメントが最大に

なるのはY軸アームがX軸アームに対して真直ぐな場合であり、逆に慣性モーメントが最小になるのはY軸アームを最も内側に曲げた場合である。

従って、モーターの最大電流値と減速機の許容トルクを一定とすれば、Y軸アームが内側へ曲げられるほど慣性モーメントが小さくなるので、大きな加速度を出すことができる。ただし、水平多関節型ロボットでは、動作中にアーム自身の慣性モーメントによって生じる有効慣性力以外に、X軸とY軸が干渉し合うために生じる相互慣性力、さらに遠心力やコリオリ力を受けるので、これらの影響を考慮して出し得る加速度を正確に計算で求める必要がある。もし、有効慣性力のみを考慮して計算した加速度を用いると、動作中に軸に相互慣性力等による予想外のトルクが生じ、減速機の破損、モーターのオーバーロード等のトラブルが発生する場合がありますので注意を要する。

さて、ロボットの制御では、アームの移動前にあらかじめ上記の計算によって求められた動作パターンに合った加速度値を拾い出して、アームを高速動作させている。

この方法をゾーンコントロールと呼んでおり、水平多関節型ロボットのサイクルタイムの短縮に大きな効果を上げている。ゾーンコントロールの効果はY軸アームが曲げられるほど、大きくなるが、通常使用される条件下ではサイクルタイムが10~20%程度短縮される。



(a) 慣性モーメント最大姿勢 (b) 慣性モーメント最小姿勢 (動作範囲内)

図12 慣性モーメントの変化

## 4.2 位置決め時間の短縮

一般に、生産現場でロボットが使われる場合は200mm以下の短距離移動を行なわせることが多い。この短距離移動を繰り返すような使い方においてロボットのサイクルタイムを短縮するには、位置決め時間を短くすることが重要である。

ロボットの位置決め時の挙動を詳細に検討すると、目標点の近傍で指令速度に対するモーターの追従性が悪くなることが実験的に確認された。これはメカ系の摩擦が悪影響を与えているためと考えられる。

そこで、メカ系の摩擦を見込んだ指令速度を従来の指令速度に上乘せすることにより、すばやい位置決めを可能とした。この方法をクイックポジショニングと呼んでおり、これを実行するためのコマンドが用意されている。クイックポジショニングを使用することにより、ロボットのサイクルタイムが20~30%程度短縮できる。

## 5. おわりに

ロボットの構造の最適化と制御ソフトにおける高速化によってYK640では標準サイクルタイムは0.75秒を出すことができ、当初の目標を達成した。

今後の課題としては、標準サイクルタイムのさらなる短縮をめざして、

- (1) 慣性モーメントの低減
- (2) 最高速度のアップ
- (3) 位置決め時の残留振動の低減

が上げられる。以下に、各課題における現在の動向を述べる。

- (1) 試作でY軸アーム部品のアルミ化の徹底、薄型減速器の採用によるY軸アームの軽量化、及び、ボールスプラインの軽量化によってY軸アームの慣性モーメントを30%低減し、標準サイクルタイムは0.6秒台を出すことができるようになった。コストの検討と耐久試験の結果をみて生産移管する予定である。

- (2) 最高速度のアップはロボットの長距離移動時のサイクルタイム向上につながる。ただし、DCモーターの定格回転数以上の運転はブラシ寿命の低下をもたらすので、どれぐらいの回転数まで実用上問題がないのか現在評価中である。また、水平多関節型ロボットACモーター化も平行して行っている。
- (3) 高剛性減速機の採用とアームの慣性モーメントの低減によりアームの固有振動数は従来のロボットに比べかなり向上している。しかし、モーター電流と減速機トルクが許容値内にありながら残留振動により加速度が上げられないといった問題はまだ残っており、特に短距離移動時に顕著である。

図13にロボットアームの振動数方程式を解いた計算結果を示す。 $f_1$ は第1振動モード周波数、 $\theta$ はX軸アームとY軸アームのなす角度、 $W$ は負荷重量である。これより振動数はわかるのだが、その減衰性は従来機のデータとの比較で予測するのがせいぜいである。また、制御系の影響も考慮されていない。

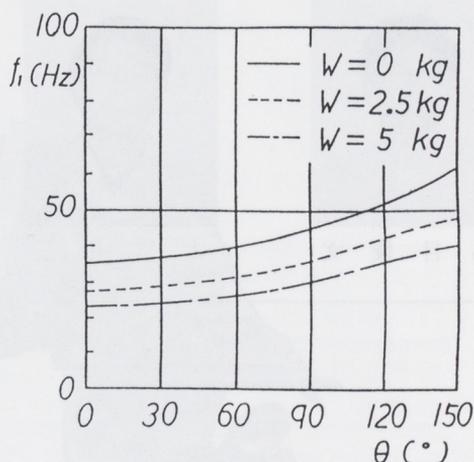


図13 アーム位置によるアーム振動数の変化

現在、X軸とY軸のアームの運動方程式とモーターの運動方程式を連立して解いてアームの振動の様子をシミュレートするプログラムを開発中である。図14に位置決め時におけるアームの振動の計算結果を示す。 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ はX軸、Y軸の出力軸の回転角、 $\Phi_1$ 、 $\Phi_2$ はX軸、Y軸のモーターの回転角、 $\delta$ はアーム先端における位置決めポイントとの偏差を示している。この計算ではモーターの運動方程式中に制御モデルをとり込んでおり、位置ループゲイン $K_p$ と速度ループゲイン $K_v$ による振動の減衰性までも調べることができる。このシミュレーションの完成度を上げて残留振動を押える制御方法を見つけようとしているところである。

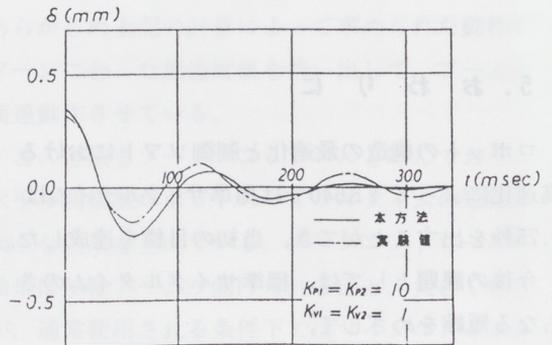
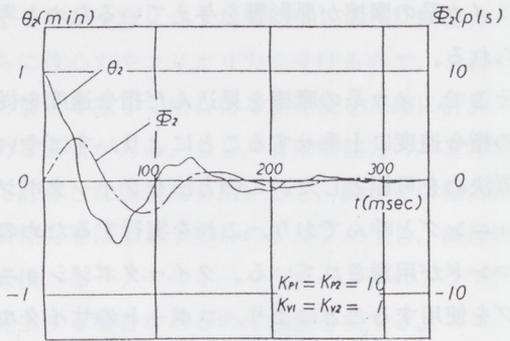
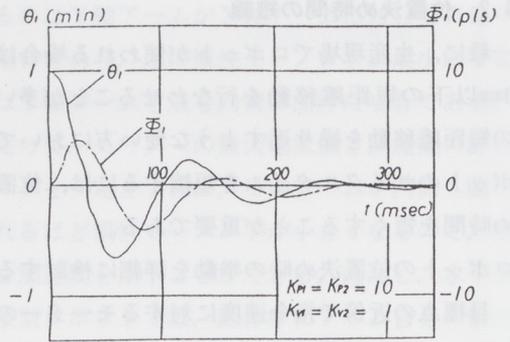
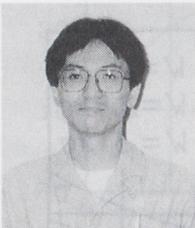
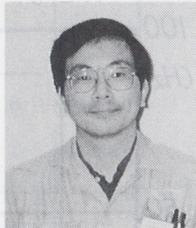


図14 アームの振動のシミュレーション結果

■ 著 者 ■



馬 目 俊 文



木 宮 祐 三

製品紹介

## 新大型スターンドライブ“HYDRA-DRIVE”の紹介

### Introduction of New Large Stern Drive “HYDRA-DRIVE”

早坂 謙一\*

Keniti Hayasaka

#### 1. 概要

スターンドライブまたは船内外機で総称される船用推進システムは、写真1に示すように、船内に設置されるエンジンと船のトランサム内外に設置されるドライブ部分とから成るものとして一般的に知られている。

このスターンドライブに使用されているエンジンにはガソリンエンジンとディーゼルエンジンが

あるが、主流はガソリンエンジンで、当社も含めてスターンドライブメーカー各社はコスト上の理由からほとんどGM製のベースエンジンを共通して採用し、メーカー各社でマリナイズを行っている。これに対してドライブは各メーカー独自のもので、各メーカーが最大限に自己主張できる部分となっている。このエンジンの種類は3.0リットル130馬力から8.2リットル420馬力まで約11機種あり、概略、300馬力以下が小型スターンドライブ、これ

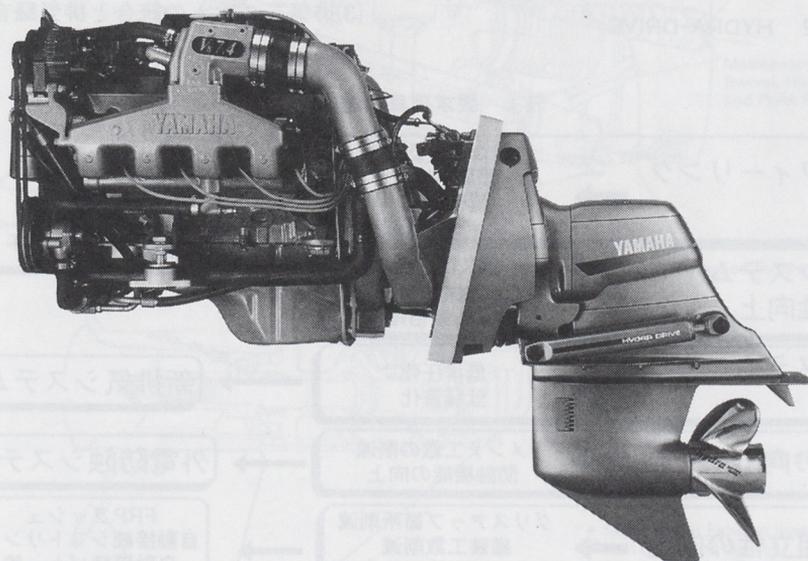


写真1 7.4 Litre HYDRA-DRIVE

\* 三信工業第2技術部  
(現事業開発本部プロジェクト開発部)

を超えるものが大型スターンドライブと呼ばれている。この中でもメーカー各社において近年誕生した300馬力を超えるエンジンに装着される大型ドライブは、それまでの既存モデルに大幅な改良を加えた各社のトップモデルとなっている。こうした中で、1988年に小型モデルを発売してスターン

ドライブ事業に参入した当社は、昨年この大型スターンドライブを初めて市場に導入した訳であるが、今回はこの大型スターンドライブの推進機部分にあたる新型ドライブの、"HYDRA-DRIVE (写真2参照)" についての紹介を行う。

## 2. 開発の背景と狙い

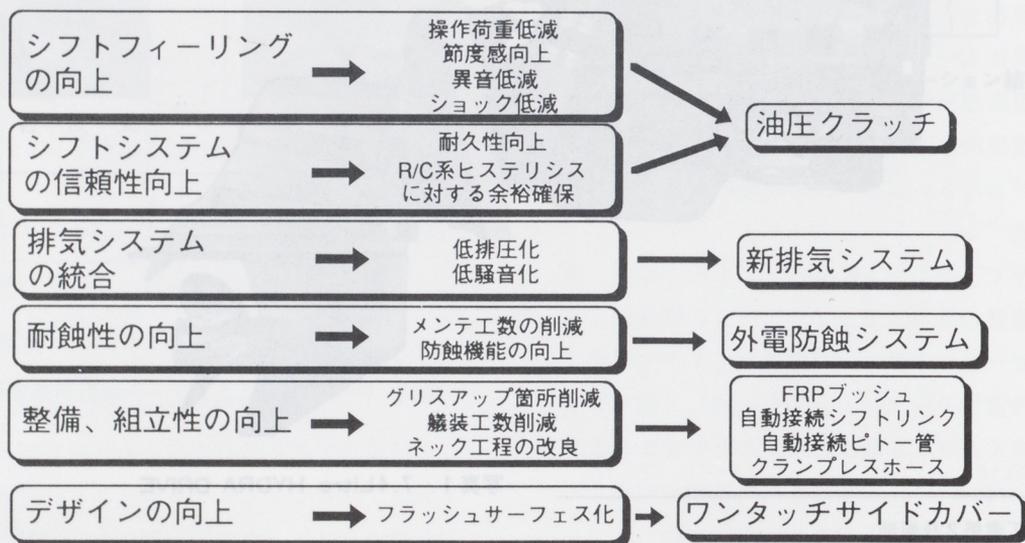
近年のスターンドライブの大型化に伴ってメーカー各社の大型ドライブが相次いで誕生したが、これら各社の大型モデルは既存のモデルに大幅な改良を加えたとはいえ、ボートビルダー、ディーラー、カスタマーという各ユーザーの従来からの要求を満足させた物とは言えず、未だ、既存モデルの延長線上にあった。そこで当社の大型スターンドライブの開発に当たっては、初心に帰って、再度これらユーザーニーズの顕在化と把握を行うために、市場調査、過去のクレーム問題調査等を実施した。この結果から大きく浮び上がった要求項目の主なものとしては、

- (1)シフトのフィーリングと耐久性の改良
- (2)クラッチの耐久性の改良
- (3)排気システムの統合と排気騒音の低減



写真2 HYDRA-DRIVE

表1 要求項目と達成策



- (4)耐蝕性の改良
- (5)艤装性と整備性の改良
- (6)デザインの改良

の六項目があった。今回の大型スターンドライブの商品企画と技術企画においては、これらの要求を十二分に実現すべくあらゆる検討が行われた訳であるが、結論として表1に示す達成策を決定した。

### 3. “HYDRA-DRIVE” の特徴

以上のユーザー要求項目を表1に示す通りに実

現させたのが、今回、市場導入した大型ドライブ“HYDRA-DRIVE”であるが、その特徴を表わしたものが図1である。このドライブは図2に示す様に、入力軸上に設けられた油圧クラッチシステムが大きな特徴である。入力軸上に前進用と後進用の油圧湿式多板クラッチを配置し、かつこの油圧クラッチを制御する切換弁アセンブリをギヤポンプと共に軸端に設けてある。このシステムの油圧回路を図3に示すが、オイルはギヤポンプによりアッパーケースとローケース間を全量循環され、常に水と接しているローケース部において冷却される。また、クラッチ室を形成する入力

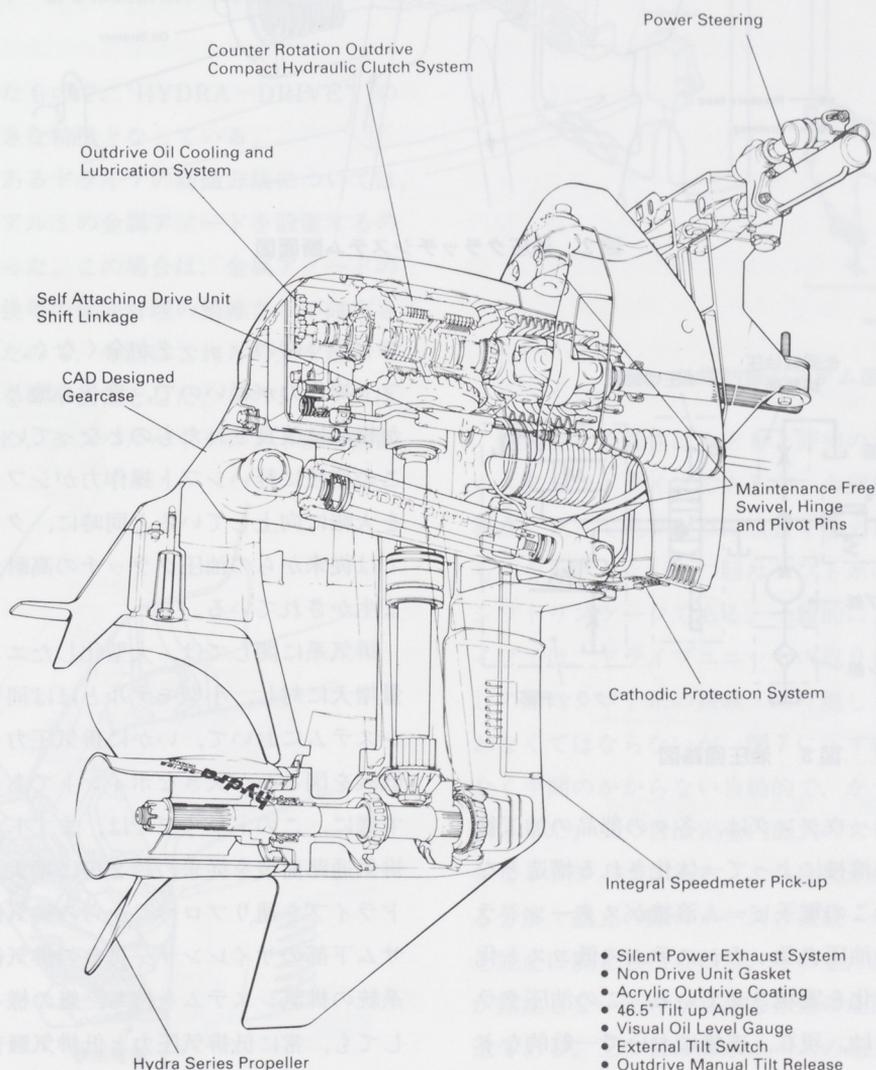


図1 HYDRA-DRIVE 全体特徴図

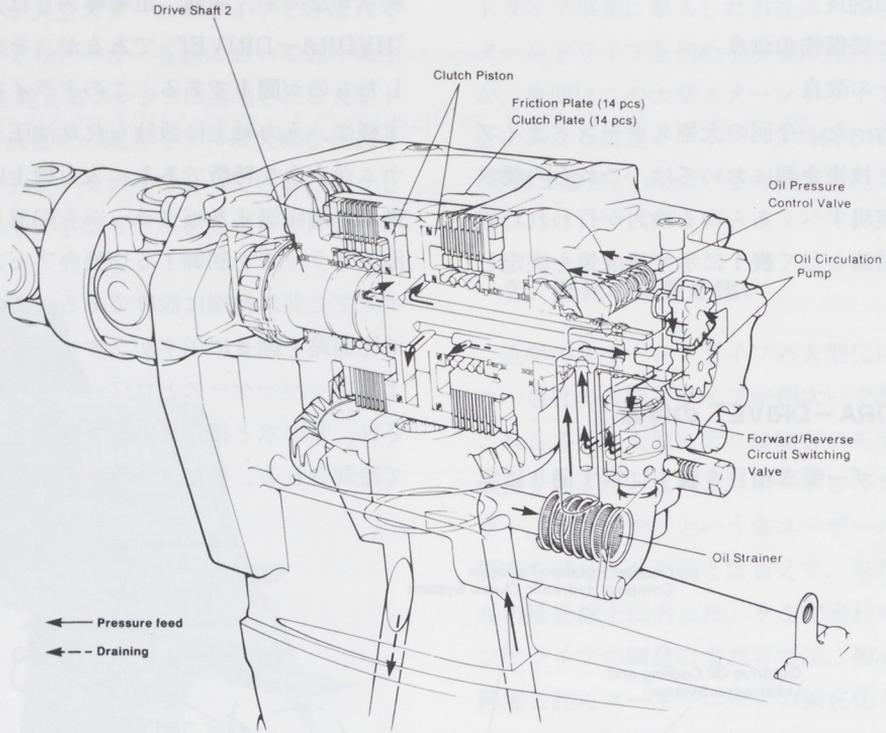


図2 油圧クラッチシステム断面図

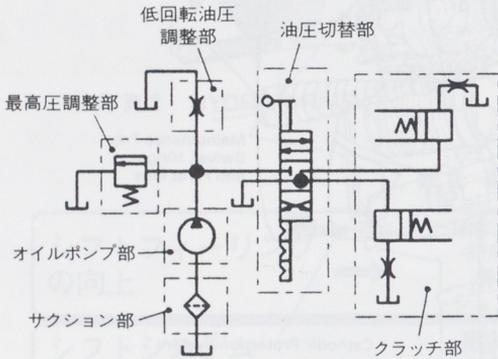


図3 油圧回路図

軸とクラッチハウジングは、各々の部品の加工後に電子ビーム溶接によって一体化される構造となっているが、この電子ビーム溶接がスターンドライブにおける油圧クラッチシステムの低コスト化とコンパクト化を実現させている。この油圧クラッチシステムは、現在、市場において一般的なドッグクラッチやコーンクラッチと比べてクラッチ

つながり時のショックが全くなく、又、同時にシフト操作力が軽いので、乗り心地とシフト操作性が格段に改良されたものとなっている。さらに、この格段に軽いシフト操作力がシフト系の耐久性を大幅に向上していると同時に、クラッチにおいては従来からの油圧クラッチの高耐久性がそのまま生かされている。

排気系に関しては、大型化したエンジンの排気量増大に対し、小型モデルとほぼ同等のドライブシステムにおいて、いかに排気圧力と排気騒音の低減を図るかが大きなポイントである。図4に示す様に、このドライブでは、まずトランサム部の排気通路面積を従来の約2倍に増大させ、かつ、ドライブを通りプロペラからの排気径路とトランサム下部のサイレンサー付きの排気径路という2系統の排気システムを持ち、艇の様々な状況に対しても、常に低排気圧力と低排気騒音を実現している。この排気システムは従来の排気システムと

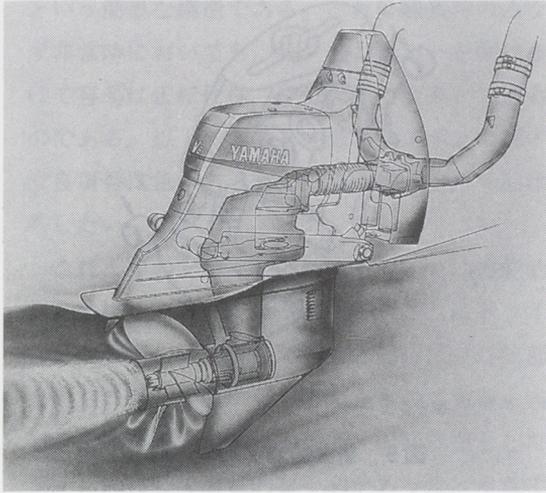


図4 新2系統排気システム

は全く異なったもので、“HYDRA-DRIVE”のもう一つの大きな特徴となっている。

常時水中にあるドライブの防蝕方法については、従来は亜鉛やアルミの金属アノードを設置するのが一般的であった。この場合は、金属アノードの性能劣化と交換等の保守管理の複雑さ・不確かさが問題であったので、今回はこれらの点を鑑みて外電防蝕装置を標準装備とした。このシステムは図5に示す様に、ジンバルハウジング下部に設置

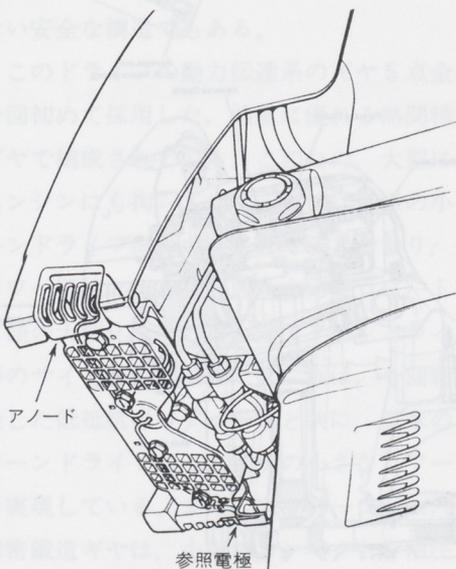


図5 外電防蝕システムのアノードアセンブリ

された参照電極（塩化銀線）とアノード（プラチナメッキチタン板）から成るアノードアセンブリとエンジン側に設置されるコントロールユニットで構成され、バッテリーを電源とするシステムである（図5参照）。その作動は、参照電極によって水質とドライブの電位差を感知し、コントロールユニットによって制御された適切な電流をアノードから流すことによりドライブ全体を防蝕電位に保ち、半永久的なドライブの防蝕を可能にするものである。

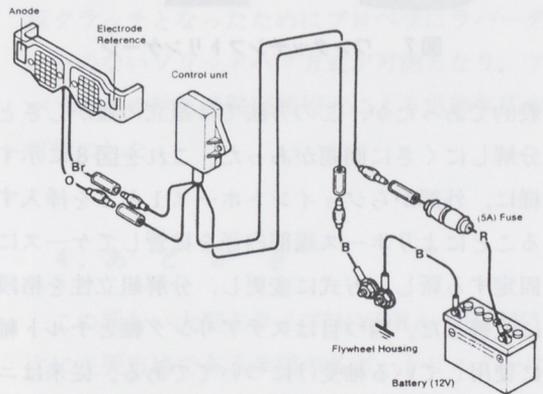


図6 外電防蝕システム図

犠牲性・整備性はもともと評判のあまり良くないスターンドライブであるが、今回はユーザーの視点に立って色々な点で改良を加えた。その主なものを上げると、一つ目はシフト系のワンタッチシフトリンケージである。一般的にスターンドライブでは、ドライブユニットの取り付け・取り外しの際にシフト系の接続・切り離しを同時に行なわなくてはならないが、図7に示す様に、これを全く手間のかからない自動的で、かつ、確実な機構とした。二つ目は完全内蔵式のスピードセンサーピックアップである。これは従来機種で見られる分解・組立の際のホースの接続・切り離し作業を完全に廃止したもので、その上、外部にホースが露出しないという点から損傷の危険性がない構造である。三つ目は海水ホースの組立・固定方法で、従来はホースクランプで行っていたのが一

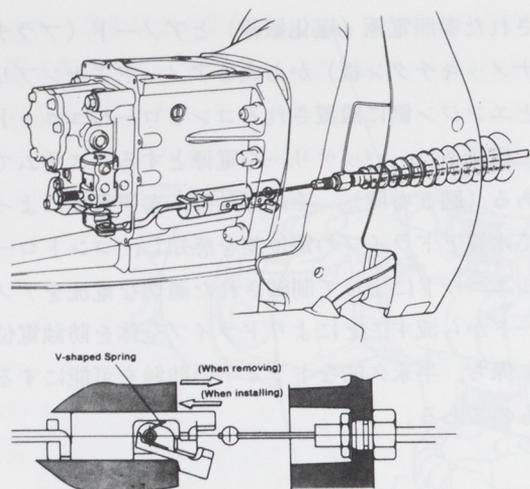


図7 ワンタッチシフトリンケージ

一般的であったが、この方法では組立の難かしさと分解しにくさに問題があった。これを図8に示す様に、外部からジョイントホース1と2を挿入することによりホース端部内径を拡管してケースに固定する新しい方式に変更し、分解組立性を格段に改善した。四つ目はステアリング軸とチルト軸に使用している軸受けについてである。従来はニードルベアリングや給油タイプのブッシュを使用していたが、図9に示す様に、今回初めてグリス

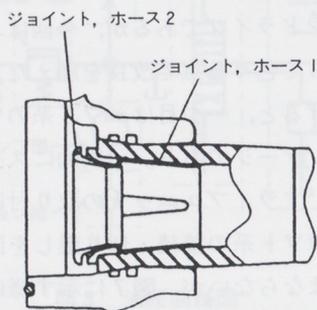


図8 海水ホース固定方法

不要の高強度樹脂製ブッシュの採用に成功し、全てのグリスニップルを廃止できたが、これによってブッシュの保守管理不要化を実現させた。五つ目はドライブの正転仕様と逆転仕様の変換構造についてである。従来のシステムでは、まずドライブ自体が専用のドライブで、かつ、その仕様に伴

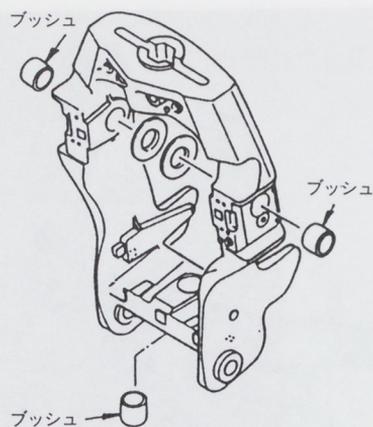


図9 新無給油タイプブッシュ

ってリモコン自体またはリモコン内部の変更が必要という大変めんどうなものであった。今回の大型ドライブは正転仕様、逆転仕様の区別のない共用のドライブであり、この利点を最大限に活かすために最も簡便なシフト変換システムを考案した。その仕様の選定は図10に示す様に、エンジン上部に設置されたシフトアシストにおいてシフトケーブルのシフトレバーへの取り付け位置によるのみ

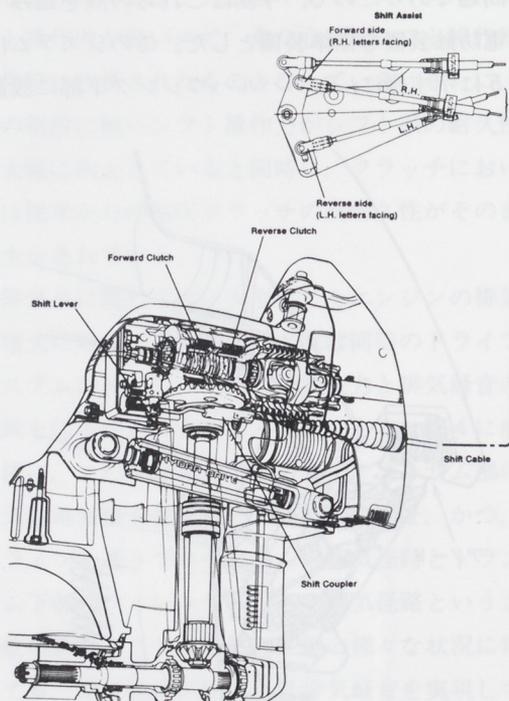


図10 正転・逆転仕様変更システム

という簡単な構造である。これは艀装時のみならず非常時においても、エンジンカバーを開けるだけで容易に正転仕様、逆転仕様の変換ができるものである。以上の他にも従来のシステムに対する改良項目は色々あるが、紙面の都合上、今回は省略したい。

これまでのドライブの外観デザインは機能的な面を重視したものが多かったが、これはドライブ自身が機能・強度部品であると同時に、外観部品そのものという所から来ているものである。当社の小型機種もその例にもれず、旧態依然としたデザインに対して潜在的な不満があった。そこで今回のドライブにおいては従来のデザインに対する考え方を一新して、計画当初より「外観デザインと機能・強度部品形状の融合」をテーマとして取り組み、徹底的なフラッシュサーフェスデザインを図ることで全体的に一体感を持たせることとした。そこで必然的に、従来のドライブでは外部に露出していたドライブ取り付けナットとネジ部を完全に隠す必要が生じた訳であるが、これを実現する為に考案したのが樹脂製のサイドカバーである（写真1、写真2参照）。写真1、写真2で明らかな様に、外観的には完全に改善されたと言うことができ、また、外部にナットやネジの露出のない安全な構造でもある。

このドライブの動力伝達系のギヤ5点全ては、今回初めて採用した、強度に優れる熱間精密鍛造ギヤで構成されている。このため、大型になったエンジンにも拘らずローギヤは従来の小型スターンドライブ同等の大ききで済んでおり、これがロー抵抗に大きな要因を占めるロートローピード径の大型化を防いで小型スターンドライブと同等のサイズを可能にした。これは、今回新しく開発した低抵抗のロー形状と共に、従来の小型スターンドライブよりも抵抗の小さなローケースを実現している。また、アッパーケース内の熱間精密鍛造ギヤは、小型でコンパクトな油圧クラッチシステムを可能にした。一般的に、熱間精密鍛

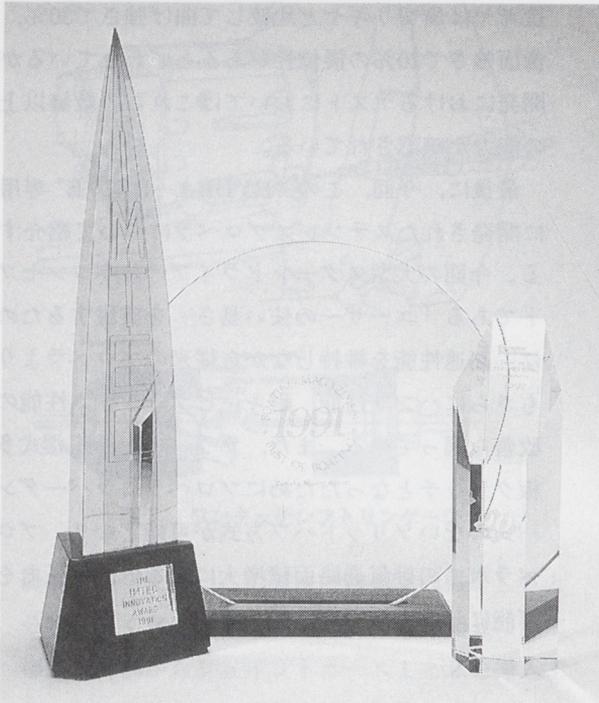
造ギヤは歯切りギヤと比較して曲げ強さで30%、歯面強さで20%の優位性があるといわれているが、開発におけるテストにおいてはこれらの数値以上の能力が確認されている。

最後に、今回、この“HYDRA-DRIVE”専用開発されたステンレスプロペラについて紹介する。今回の大型スターンドライブの基本コンセプトである「ユーザーの使い易さ」を実現するために、高速性能を維持しながら従来のプロペラよりもさらにハンプ性能、耐キャビテーション性能の改善を図っている。また、クラッチが油圧湿式多板クラッチとなったためにプロペラにラバーダンパーのないソリッドハブ方式が可能となり、プロペラボスの排気通路面積増大による低排気圧力を可能にした。

#### 4. あ と が き

この新しい大型ドライブ“HYDRA-DRIVE”は主に主要市場である米国の各ボートビルダーにおいて評価が行われて好評をもって受け入れられ、昨年八月より本格生産が開始された。現在は市場においてユーザーによる使用が本格的に始まった所で、本当の意味での市場評価はこれからであるが、各ユーザーの利益重視のこの新しいドライブシステムが正しく評価され、市場に定着して行くのは間違いのないものと確信する。勿論、今後共、各ユーザーの評価や意見を聞きながら、さらなる改良を加えて行くのは当然のことではあるが。

最後に、この“HYDRA-DRIVE”が昨年シカゴで行なわれたIMTEC（シカゴボートショー）において“INTERNATIONAL INNOVATION AWARD”を、さらにPOPULAR MECHANICS誌からは“DESIGN & ENGINEERING AWARD”，BOATING誌より“BEST OF BOATING”，METSにおいては“DESIGN AWARD METS”の四つの賞を受賞したことを追記する。（写真3参照）



INTERNATIONAL INNOVATION AWARD

BEST OF BOATING

DESIGN & ENGINEERING AWARD

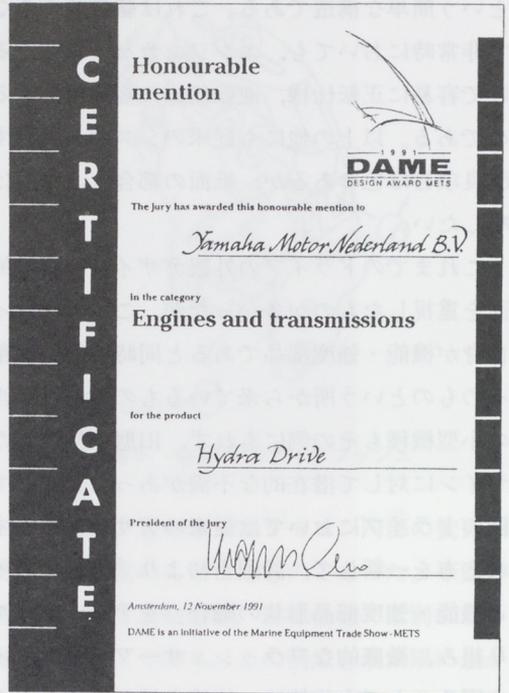


写真3 HYDRA-DRIVE が獲得した四技術表彰

■ 著 者 ■

example of precision



早坂謙一

## 特別寄稿

## アメリカズカップにおけるレース支援

## Support in America's Cap Race

永海義博\*  
Yoshihiro Nagami

## 1. はじめに

1987年の春に、アメリカズカップ初挑戦に向けて活動を開始したニッポンチャレンジは、蒲郡でのテスト、トレーニングを終え、91年2月にサンディエゴへ乗り込んだ。ここで私たちは1年3ヶ月にわたり、アメリカズカップと戦いその素晴らしさと恐しさを肌で感じるようになった。

レースの世界はどこも同じと思うが、クルーの戦いであると同時にスタッフの戦いでもある。

今回はニッポンチャレンジのスタッフが現地でのどのような活躍をしたかを紹介する。

## 2. 3ヶ月以上に及びレース日程

アメリカズカップ予選ラウンドは、1月25日に始ったが、予選・準決勝で3ヶ月、本戦まで戦ったイタリアは、実に4ヶ月にわたりレースをした

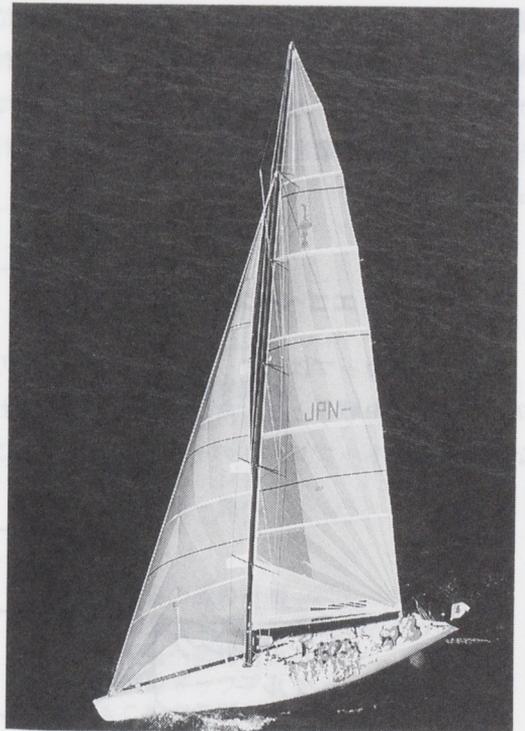


写真1

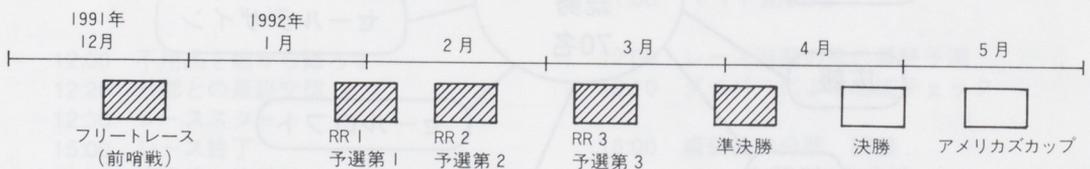


図1 レーススケジュール

\* マリン事業本部 アメリカズカップ室

ことになる。この間、途中でレース艇を交換することは、ルールで禁止されていた。ニッポンチャレンジも3隻のAC艇を保有していたがレースに出られるのは、一隻だけである。もし、レース中に、キールが折れて沈没すれば、どうなるのか。もちろん、その時点で敗退となるのである。

各レースとレースの間には10日から、2週間あるが、この間、艇を改造することは許されていた。そこで各チームは、相手より1秒でも速くしようとキールを交換したり、舵を新作したり、マストを変えたりしたのである。キールの交換と言うと簡単に思えるかもしれないが、20トン以上ある重量物を取りはずして、次に新しいものを正確な位置に、しかも水洩れや、強度不足がないように付けなければならず、大変な労力を必要としたのである。この交換作業をショアチームは、3日で行ったのである。

### 3. サンディエゴベースキャンプの組織

アメリカズカップは、ヨットレースというよりヨットを使った戦争と言ったほうがよいかもしれない。世界のトップレベルのチームが参加するこ

の戦いでは、チーム作りがまず基盤となる。私たちサンディエゴでは、約70名の専任メンバーが各部署で働いていた。

#### (a) クルー

乗り手のことで一軍補欠計26名。レース艇に乗り込むのは、16名である。レース以外の時は実艇試験を行ったり、艇の整備の手伝いをする。

#### (b) ショアチーム

車やバイクのレースで言えば、ピット、メカニックにあたる。艇の修理、調整を行う。改造作業も、ショアの重要な仕事。ショアの力量でレース結果が大きく変わる。

#### (c) 設計・技術

私の所属したセクションは、実艇試験結果の分析、レースの分析、改造プラン&設計を担当。複雑な構造計算は、マリン技術電算へ依頼。時差を利用できるので、翌朝には解析結果を見ることができた。又、現地で使っているプログラムの変更は、コンピュータネットワークを利用してやりとりした。これも貴重な時間を節約でき重宝した。

#### (d) セール

ニッポンチャレンジで使うセールの設計と製作はすべてベースキャンプ内で行っていた。ジェノ

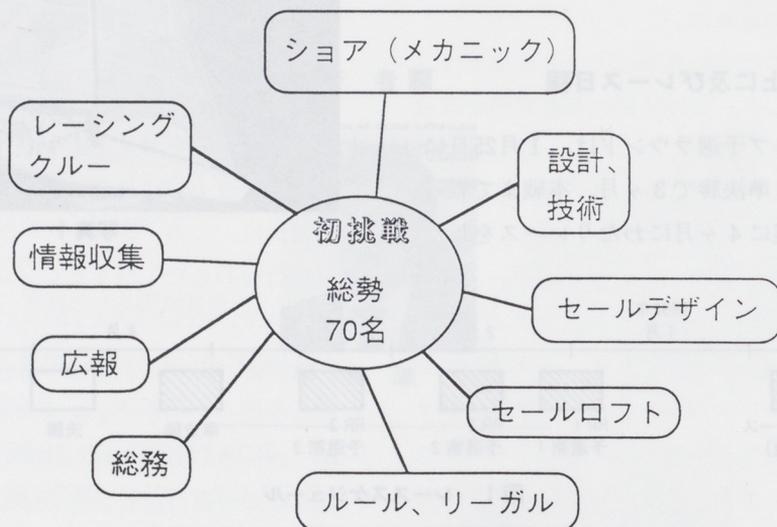


図2 サンディエゴベースキャンプの組織

アセールなら1日で作ってしまう。

(e) ルール

艇がルールの範囲内で出来上がっていることをチェックしたり、レースに対する抗議を行ったり相手からの抗議に反論したりする。弁護士のような役目を果たす。

(f) 総務

クルーの食事や健康管理。末客の対応、購売、経理など、なくてはならない存在。

(g) 広報

世界各国から千人以上集まる、メディア関係者の対応、日本へのレース状況報告。ニッポンチャレンジのイメージアップは、ここに負う所が大きい。

(h) 情報収集

他チームの動向、艇の改造情報や性能を探る、スパイ部門。今回、カップを防衛したアメリカキューブは、ここに最も力を入れていたようだ。

(i) 気象

レース海面の風向風速を予測する。その日、1週間、1ヶ月単位の予報をする。サンディエゴの海面は、気まぐれで予測が非常に難しく、私たちも予測と違う風がたびたび吹き泣かされた。

4. レースデイのタイムテーブル

レース期間中は、ベースキャンプは24時間体制で運営されていた。下の図は、レースデイのタイムテーブルを示したものである。実際は、各セク

レースデイのタイムテーブル

クルー

- 06:15 朝食
- 07:30 ミーティング (朝礼)
- 08:00 出港準備
- 09:30 ドックアウト
- 10:30 テストセーリング  
 艀装品チェック
- 12:00 不用品を艇から降ろす
- 12:20 外部との最終交信
- 12:30 レーススタート
- 15:00 レース終了
- 16:00 帰港後 片付け
- 17:00 レース反省会
- 18:30 帰宅

スタッフ

- 5:00 気象予測作業開始
- 5:00 朝食、弁当の準備 (キッチン)
- 6:30 船底磨き (ショア)
- 7:20 艇の下架一海へ
- 8:30 その日の風の予測  
 風速設定に対応した艀装品のセット
- 9:00 伴走艇へ荷物積み込み
- 9:30 曳航船ドックアウト
- 9:30 AC艇の見送り
- 9:45 夜勤ショアチーム帰宅
- 10:30 テンダー、ラバー出港
- 11:00 VIP艇出港
- 12:00 レース海面の風の最終予測
- 12:10 ダイバーによる船底チェック
- 16:00 艀装品の分解、調整  
 レースデータの分析
- 19:30 スタッフ帰宅

図3 レースデイのタイムテーブル

ション毎に、分刻みの細かい時間表が設定され、各チームがレースの勝利へ向けて、最も効率よく働けるようになっていた。これらは、去年の世界選手権の前に、クリスティクソンが前回のアメリカズカップの経験を基に原案を作った。その後、何度か変更し、ニッポンチャレンジ独自のものを作り上げた。「レーシングモード」と呼んでいた。この時間表を遂行するには、何よりも体力と精神力が必要であることは容易に理解していただけたと思う。接触事故や、ラダー破損があれば、これにさらに仕事が追加されるのである。

### 5. 海上支援体制

レース海面でも、下図のように多くの支援艇が活躍していた。

#### (a) チェイサー

AC艇にはエンジンが搭載されていない為、港

の出入等自力で行えない。この艇が、タグボートの役目をする。この艇は、ヤマハの50ftの漁船を改造したもので、後ろに広いデッキスペースを持っている。ここに、予備のセール、ブーム、スピンプール、ラダー、電装品等を積み、レース前の最終風速予想により、強風用のセール、ポールなど、海上で交換できるようになっている。又、レース海面へ行くまでに、発見された故障を直せるようにもなっていた。

#### (b) ラバー

長さ9mの大型ラバーボートに、200PS 2機の船外機を取り付けてあり、40Kt以上のスピードが出せる。この艇だけが、レース中もAC艇のすぐ後ろを伴走する。レース中の万一の事故に備えているのだが、通常は、相手が不正なことをしないか見張ったり、レース状況を観察して、後の反省会の資料にしたりする。レース前は敵の偵察艇が来たら追い払ったり、ダイバーによる船底チェック（藻がついていないか）の足船になる。

#### (c) テンダー (51ftパワーボート)

ベースはヤマハのSF51である。レース前は、風上マーク付近にいて、風向風速の観測、予測を行う。艇には、多くの電子機器、コンピュータが搭載されている。気象用としては、風向風速計、気象Fax、沖合の気象観測ブイからのデータを収集するテレメータ（無線式データ転送）及び、モニター用コンピュータ、気象オンラインサービス用、無線電話&モデム等。しかし、風の予想は、これらの機器で決まるのではなく、気象家の能力による所がやはり大きかったようだ。

#### (d) ヘリコプター

ニッポンチャレンジは、セミファイナルから使用した。ニュージーランドは、専用ヘリを持っていて、サンディエゴへ来てからずっと、他チームの情報収集を続けていた。私たちは他チームの情報収集も行ったが、主たる任務は、上空からレース海面の風の状況を観察することだった。上空から見れば、どの方向から風が吹いているか、

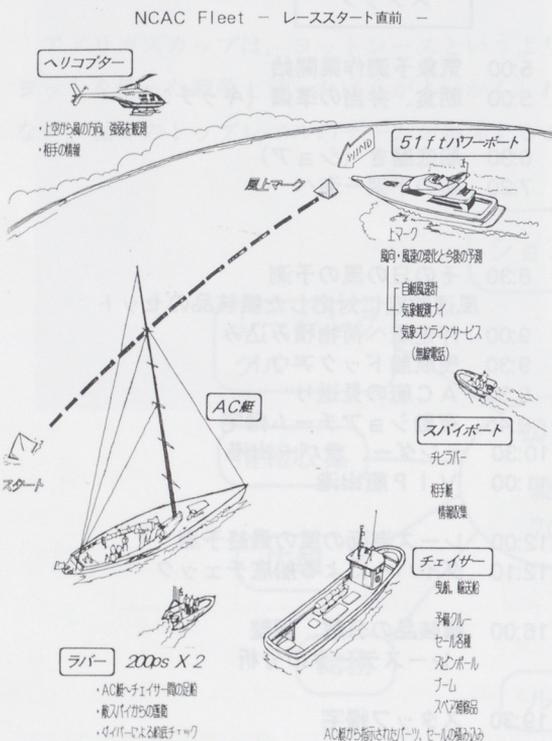


図4 海上支援体制

どの海域が風が強いかなど、マクロ的観察が効率良く出来た。

(e) 偵察艇

相手の艇に近づいて、デッキ上の変更点、セールなど、目視と望遠カメラで偵察、私たちのチームは、収集データの分析法、信頼性の問題で、あまり力を入れていなかった。

6. オンボードコンピュータシステム

アメリカズカップで船上でのデータを分析するようになったのは、1980年代になってからである。最初は紙と鉛筆で、艇上のメーターの数字を記録し、そのデータを、プログラム電卓（たとえば、HP-80）で計算するという程度であった。1987年のパースでは、小型のコンピュータを艇に積めるようになり、急速に進歩していった。

1人乗りのディンギーなら、風の強弱、艇の傾き、加速など、すぐに肌で感じとることが出来る

が、セールのラフの長さが30m、排水量が25トンを超えるAC艇では、どうしてもメーターの助けが必要となる。メーターがあれば、乗り手と技術者の間で定量的な話が出来、性能改良も、非常にしやすくなる。

図5は、ニッポン艇のレース時のオンボードコンピュータシステムを表わしたものである。

風向風速、速度、方位、傾き、舵角のセンサー信号は、GPSの位置情報とともに、計器用コンピュータ（OCKAM社）に入る。そこで、真の風向風速、VMG（風上に切り上がる速度）などが計算される。マストトップにつけられた風向風速計は、艇速、ヒールの影響を受けた相対風速を測っているのので、ウィンドトライアングルという計算式の真の風向、風速を計算する必要がある。

OCKAMで計算された諸数値は、ジャンボと呼ばれる大型表示器にデジタル表示される。各チームとも大型メータは、5~6ヶ有りマスト下に取り付けられていた。図中、右のレーザー距離計と

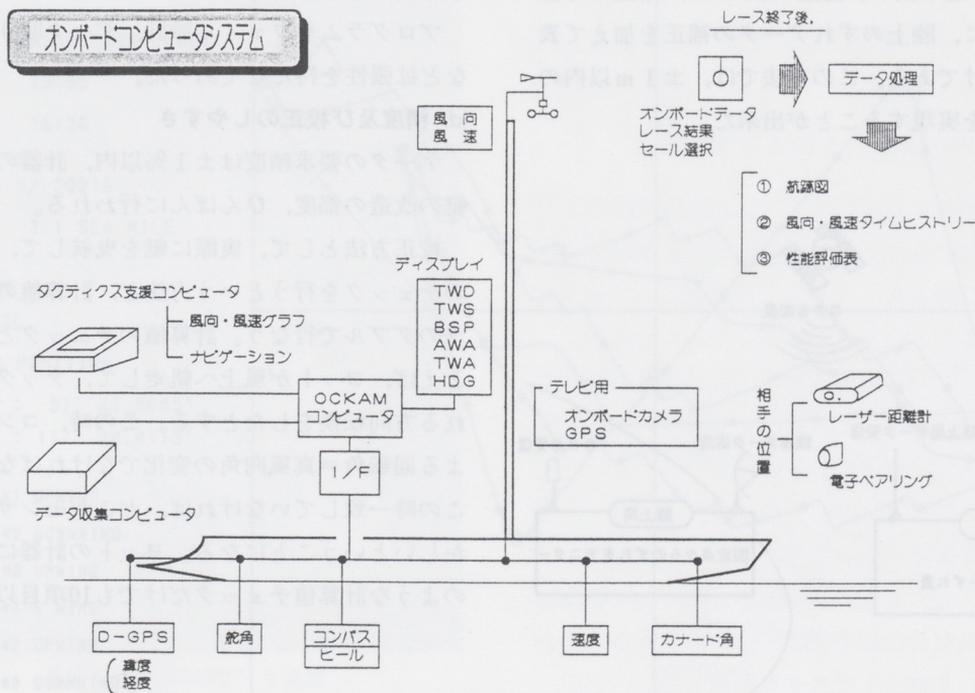


図5 オンボードコンピュータシステム

電子ペアリングは、相手艇までの距離と方位を測り、今どれくらい勝っているか、どちらが良い風を受けているかを判断するデータとなる。

私たちの使っていたレーザーは、自然物体反射型で10kmまで±5mの精度で測ることができるタイプであった。もちろん、揺れる艇上で10km先の標的に当てるのは不可能だが、AC艇の場合なら2kmぐらいまで、充分測定可能であった。

図5のDGPSはディファレンシャルGPSの事である。GPSは衛星を使って位置を出す装置だが安定受信状態でも±30m程度の誤差が生じる。

ロングレースのナビゲーションなら十分の精度だが、アメリカズカップのような短いコースでは、数mでマークを廻れる、廻れないか、勝負を決めることもあり、より高い精度が必要とされる。

図6はディファレンシャルGPSの概要を示したものです。陸上に固定の基地局を設け、そこで衛星信号から計算した位置を計算する。基地局は固定だから、位置も固定されるはずだが、実際は、時間とともにずれていく。このずれを無線で艇上のGPSへ送り出す。艇上のGPSは、衛星から出した位置に、陸上のずれデータの補正を加えて表示するわけである。この方法では、±1m以内の位置精度を実現することが出来た。

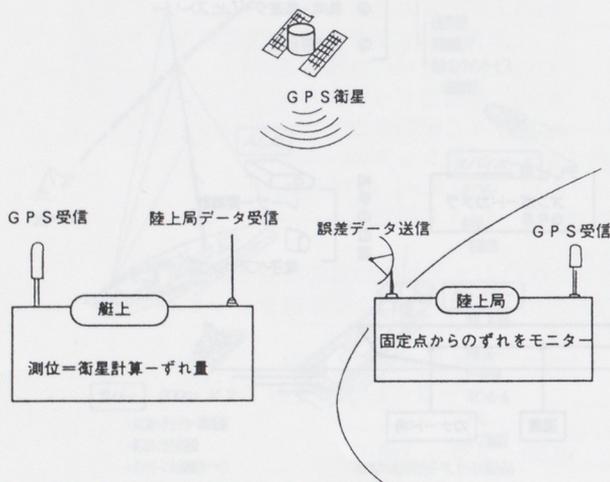


図6 ディファレンシャルGPS

## 6.2 システムに求められるもの

オンボードコンピュータシステムは、海上での使用、ヨットレース等の特殊性があり、システムには、下記のような要件が必要とされる。

### (a) 軽量である

重量増加=抵抗増加を意味する。メータブラケット、バッテリー、ケーブル等、少しでも軽くしなければいけない。

### (b) 故障しにくい

海上での使用は電子機器には最悪の環境である。しかし、メーターのトラブルは、1日の実験が無駄になったり、レースに負けたりと被害は大きい。そこで、システムを極力単純化し、信頼性を上げる様にする。

### (c) フレキシビリティ

データの処理方法、取り込むデータなど、毎日変わっていく。そこで、ハード・ソフトとも、迅速に変更できる様に柔軟性を持たせる。

OCKAM計器は、1データに1つのインターフェース。しかも配線はBNC端子1ヶでどこからでも分岐できるようになっていた。

プログラムもファイル設計、データ取り込み部など拡張性を持たせてあった。

### (d) 精度及び校正のしやすさ

データの要求精度は±1%以内、計器の校正は艇の改造の都度、ひんばんに行われる。

校正方法として、実際に艇を曳航して、速度計のチェックを行うという方法と、計算値のチェックのダブルで行なう。計算値のチェックとは、たとえば、ヨットが風上へ帆走して、タックと呼ばれる方向転換をしたとする。この時、コンパスによる回転角=真風向角の変化でなければならない。この時一致していなければ、どこかセンサーがおかしいということになる。ヨットの計器には、このような計算値チェックだけでも10項目以上ある。

6.3 タクティカルコンピュータ

レース中の艇上には、タクティクスコンピュータと呼ばれるコンピュータも積み込まれている。これはOCKAMのコンピュータとつながっていて、より高度な情報を提供し、タクティシャンナビゲータの支援を行っている。その主なものとして

(a) 風向風速の時間変化

風向風速がどう変化しているかをグラフ表示し今後風がどうなりそうかを予想する。

(b) ナビゲーション

現在レースコースのどこにいるのか、次のマークまであと何mか。潮流の強さ、方向など。

(c) NEXT LEG

マークを回ったあと、風は艇のどの方向から吹いてくるか、次に上げるべきセールはどれか。

(d) タクティクス

相手艇は自分に対して、どの位置にいるのか。どちらの艇が何mリードしているのか。

(e) パフォーマンス

現在の風では、何ノットで帆走するのが最も良いか。

(f) メーターチェック

現在各メーターは正常に作動しているか。各センサー情報の信頼性はどうか。

艇上の情報で最も重要なものは、風の予測である。特に、サンディエゴのように、200m離れると、違う風が吹くような海面ではなおさらである。もし、数百m先の風向風速を測れる装置があれば強力な武器になることは間違いない。

COURSE PLOTTING

DATE : APR.07 1992 (TUE)

START : 13:55

END : 16:26

SCALE : 1/ 30216

SPAN : 3.1 SEA MILE

COMMENT :

VS NZL

CENTER POSITION

LAT : 32° 41.5005'

LONG : 117° 20.8113'

- #1 UPWIND
- #2 DOWNWIND
- #3 UPWIND
- #4-6 WING
- #7 UPWIND
- #8 DOWNWIND

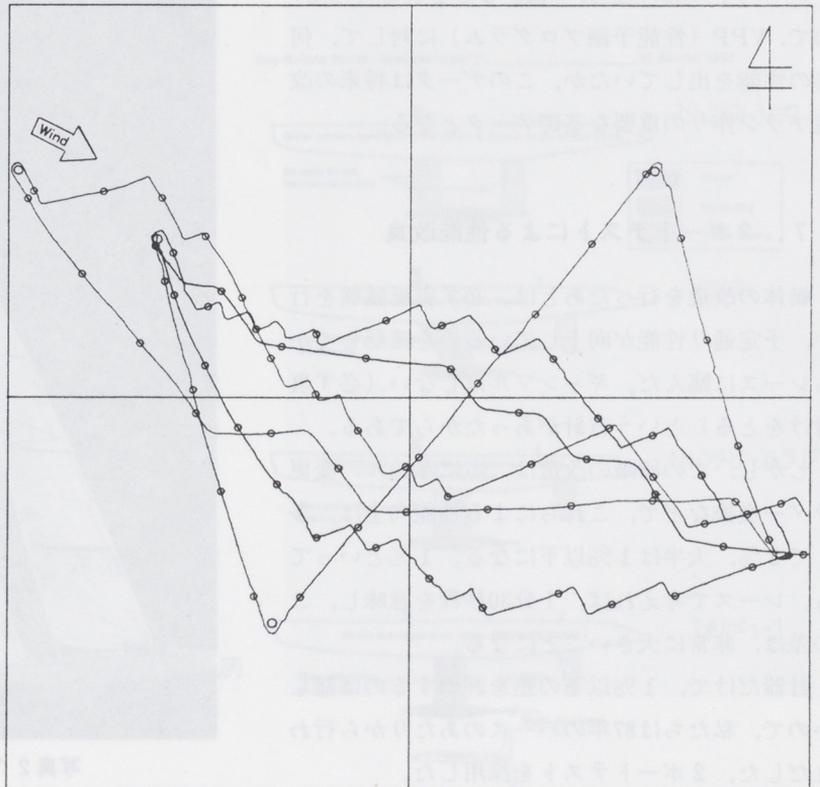


図7 航跡図サンプル

## 6.4 レース後のデータ分析

レース終了後、艇に積んであるデータ収集コンピュータのデータを使って、性能分析を行う。

### (a) 航跡図

レース時の航跡をカラープロットし、コースは良かったか、タック、ジャイブなど動性能は良かったかなどに使われた。また、おもしろい例として、予選第2ラウンドで、運営側のミスでマークが、潮で少し流されるトラブルがあった。私達はこの航跡図を証拠として抗議を申し立て、これが認められて、翌日再レースになったことがあった。

図7は、航跡図サンプルである。

### (b) 風向風速グラフ

レース中風向風速がどう変化したかをグラフにする。これを見て、その予測と比較してどうであったかを反省したり、将来の予報の為のデータベースとした。

### (c) 性能評価表

レース中の艇の速力、VMGなどをまとめたもので、VPP（性能予測プログラム）に対して、何%の性能を出していたか。このデータは将来の改造プラン作りの重要な基礎データとなる。

## 7. 2ポートテストによる性能改良

艇体の改造を行ったあとは、必ず実艇試験を行い、予定通り性能が向上しているのを確認してからレースに臨んだ。ギャンブルはしない（必ず裏付けをとる）という方針があったからである。

しかし、この段階の改造は、主にキールの変更ラダー交換などで、これらによる性能向上は、多くて2%、大半は1%以下になる。1%といっても、レースで考えれば、1分30秒程を意味し、この差は、非常に大きいことになる。

計器だけで、1%以下の差を評価するのは難しいので、私たちは87年のパースのあたりから行われた、2ポートテストを採用した。

これは全く同型の2隻を作り、セールも同一に

して、キールやラダーなど一部を変更して走り比べをするのである。2艇間の跡離は、セールの風の流れの相互干渉のない最少（約150m）とし、10分間、直進帆走する。そして、スタート時の位置関係と、終了時の位置関係から、どちらが何m勝ったかを測る。この方法なら、風が安定していれば、0.2%程度の差まで評価することができる。もちろん、テスト中は常時2艇の位置をモニターして、テストの信頼性もチェックする。又、この時オンボードコンピュータに取り込んだデータは、テレメータと呼ばれる無線式データ転送装置で、伴走艇のコンピュータへ送られた。伴走艇上では、2艇の風向風速の変化、位置関係、艇速をチェックし、クルーからのコメントなどから、総合的に改良の効果を評価する。これらはリアルタイム処理なので、多くの実験を効率良く行うことができた。



写真2 2ポートテスト風景

8. 果てしなく続く改良

艇の性能改良は、新艇が届いた91年12月から始まり、セミファイナルで敗退する4月まで続けた。

世界のトップレベルの設計陣、造船所で作られた、各チームのAC艇は、レースが始まってみるとどこも、性能差がわずかで、紙一重の所に集中していることがわかった。相手より1秒速ければ良いわけだから、考えられる全てのことは、実験し、性能向上が認められれば、レースに折り込んでいった。当然主眼はキール、ラダー、マスト、セール等、差の出やすいものに置いたが、併せて重箱の隅も徹底的につつきまわした。

下にそのいくつかを列挙してみた。中には、1秒速くなるかならないかというものもあったが、「レースに勝つ」という、唯一の目標達成に向けて、膨大な労力が注がれたのである。

こんなことまでやっていた

- \* ステンの工具は重いのでチタン製特注工具を使用。
- \* クルーの風圧抵抗を減らすため、姿勢を変更。
- \* からまった藻をとる装置を考案。
- \* 艇は毎日上架し、出港前に#1200ペーパーで表面仕上げ。
- \* レース1時間前に、最小限必要な要量のバッテリーと交換(軽量化)。
- \* ステアリングケーブルは、ワイヤーでなくケーブラーを使用(軽量化)。
- \* マスト重量検査時、シート(ロープ)は濡らしておく。
- \* テレビカメラ用アンテナベースはカーボンで製作(200gの軽量化)。
- \* 市販のアンカーを削ってルールミニマムにした。

図 8

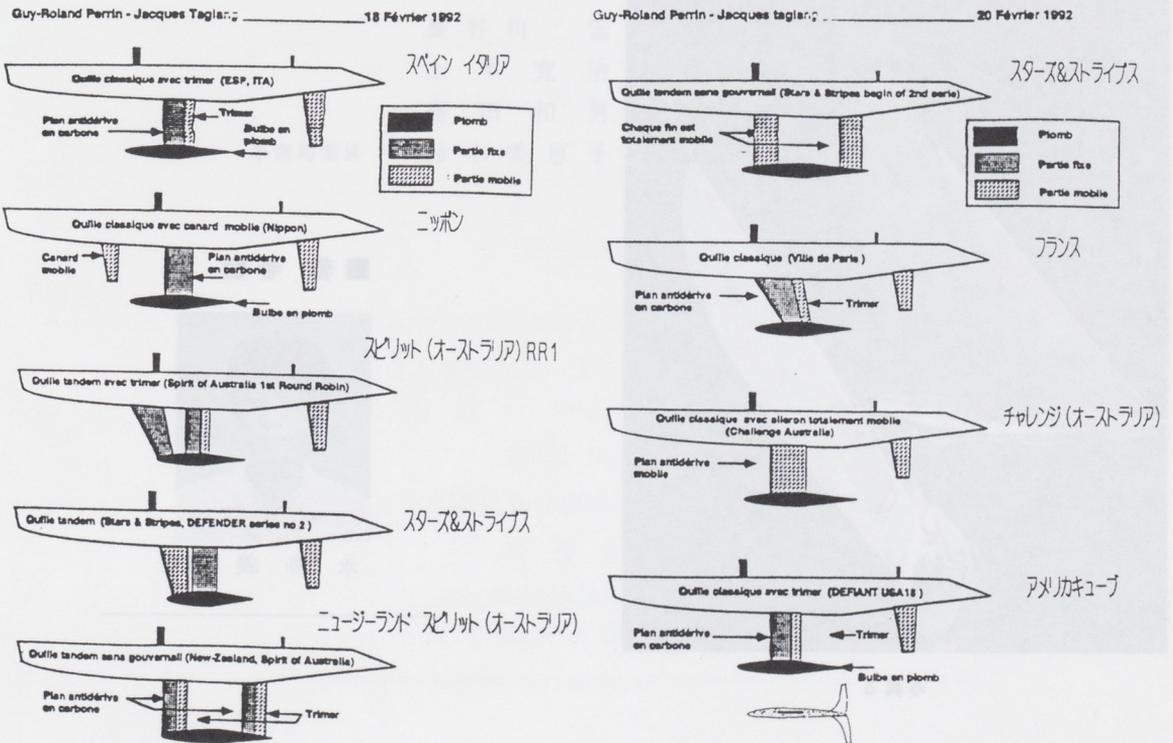


図 9 いくら隠しても、このような水面下のイラストが出回ってくる。

## 9. こんなものいらないーセキュリティー

サンディエゴベースキャンプにいて、最後まで納得できなかったものの1つが機密保持である。

水面下を隠す為に、上下架の毎に300kgもあるスカートを開着しなければならなかった。

キール交換もスカート付きで換気も悪いし、作業の能率も落ちる。レース前の開発段階ならわからなくもないが、この機密保持に費される労力と金を考えれば、ばからしくなってしまう。

次回からスカートはやめようという動きがあり私は大賛成である。

技術的に見れば、スカートが廃止になれば、キールの開発方法も、もう少し慎重になり、少ない費用で質の高いものが生まれるのではと考えている。



写真3

## 10. おわりに

5年以上に及ぶ長いキャンペーンでしたが、最初は、初挑戦ということもあり、見るもの聞くこと驚きの連続で、外人経験者のアドバイス、文献情報などに過剰に反応し、多くの失敗もしました。終わってみて振り返ると、勝てるヨットを開発するには、何が必要か見えてきたような気がします。

しかし、勝負を決めたポイントは、ハイテク技術ではなく、各個人の能力、人柄、そしてそれらの集合体である組織の能力という、人間くさい所にあったのではないかとというのが私の感想です。

最後に、無理難題に快く協力していただいたヤマハの関係者の皆様、そして心強い声援や励ましの言葉を下さった皆様に誌面をかりて、お礼を申し上げます。

### ■ 著 者 ■



永海 義博

## 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	富本史郎	技術本部技術管理部
〃	伊藤和徳	I M事業部技術部
委員	鈴木晴久	MC事業部生産管理部
	阿部輝夫	MC事業部第1開発部
	中村和朗	特機事業部企画部
	長谷川宏	舟艇事業部技術部
	土本寛治	三信工業(株)技術管理部
	島田和男	A M事業部A M第3技術部
事務局委員	鈴木美恵子	技術本部技術管理部

9. こんなものいらないー女キョリティー

「サジディエゴバースキニングについて、最近まで  
納得できなかったものの1つが数分以内である。

水面下を隠す海に、上下船の間に泳ぐ海を泳ぐ  
スカートを脱着しなければならなかった。

「キール交換もスカート付まで脱着を要した。作業  
の効率も落ちる。レース船の開発技術は高くなる  
からなくもないが、この脱着時に費やせる労力と  
金を考えれば、ばからしくなってしまう。

「次回からスカートは中めよりという事が決まり  
私は大賛成である。

「技術的に見れば、スカートが脱着ができれば、キ  
ールの開発方法も、もう少し簡単になり、少ない  
費用で買の高いのを造製済許承諾本面並品造

る。

10. 船のり

「去年以上は船のりが増えましたが、一航  
路は、船のりが増えることもあり、見るもの関心  
と乗るものも増え、各社船客のサービス、文書  
情報などで船のりに対応し、多くの乗客もしました  
船のりも増え、船のりも増え、船のりも増え

「船のりも増え、船のりも増え、船のりも増え

ヤマハ技術会 技報 第14号

平成4年9月17日 印刷

平成4年9月26日 発行

(禁無断転載) ©

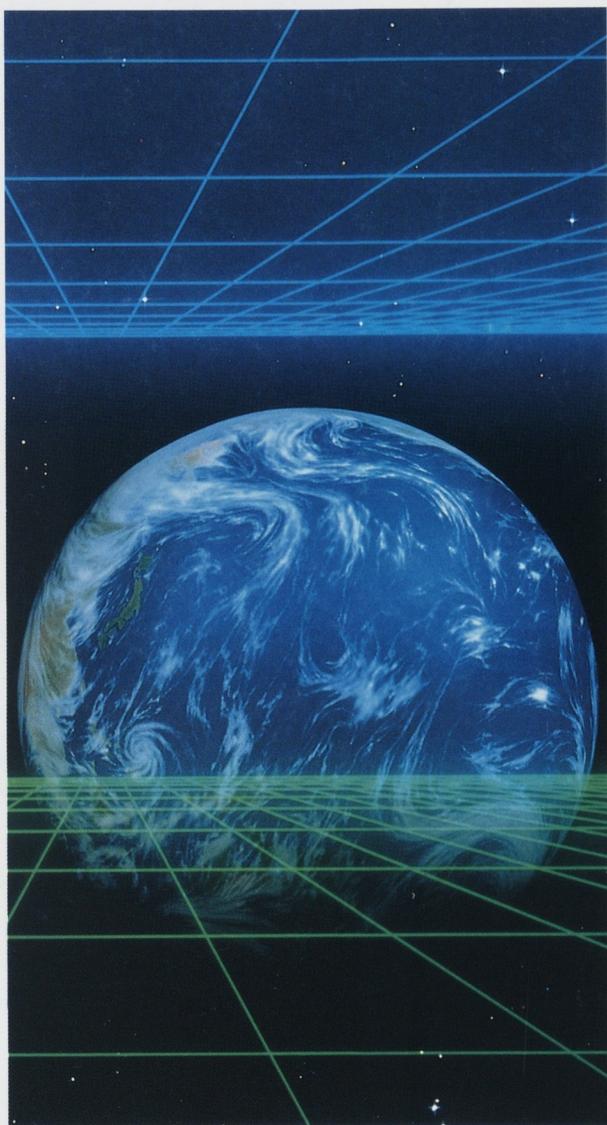
発行所 〒438 静岡県磐田市新貝2500  
ヤマハ発動機株式会社  
ヤマハ技術会

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