

第5章 自動航行システムの開発

本章では、自動航行システムの必要性について述べ、マイコン制御による電力制御を可能とし、自動航行を構築するためのプログラムを制作する。

5.1 自動航行システム

水中翼を搭載したソーラーボートでは、気象条件による太陽電池の出力変動や、バッテリーの消費による電圧低下、さらには波・風等の物理的外乱による負荷変動に影響されることなく、常に安定した水中翼走を維持させると同時に、レース終了時には完全にバッテリーを使い切るといった相反する条件が課せられる。したがって、その制御には、高速・緻密・正確の3要素が求められ、操縦者の手動によるアナログ制御では、これらの要素を実現することに限界がある。⁽¹⁵⁾

本研究ではマイコン制御による電力制御システムに安定した水中翼走の維持、バッテリーの残存容量管理を自動的に行う機能等を付加した自動航行システムを開発することを目的とする。図5.1に自動航行システムの構成図を示す。

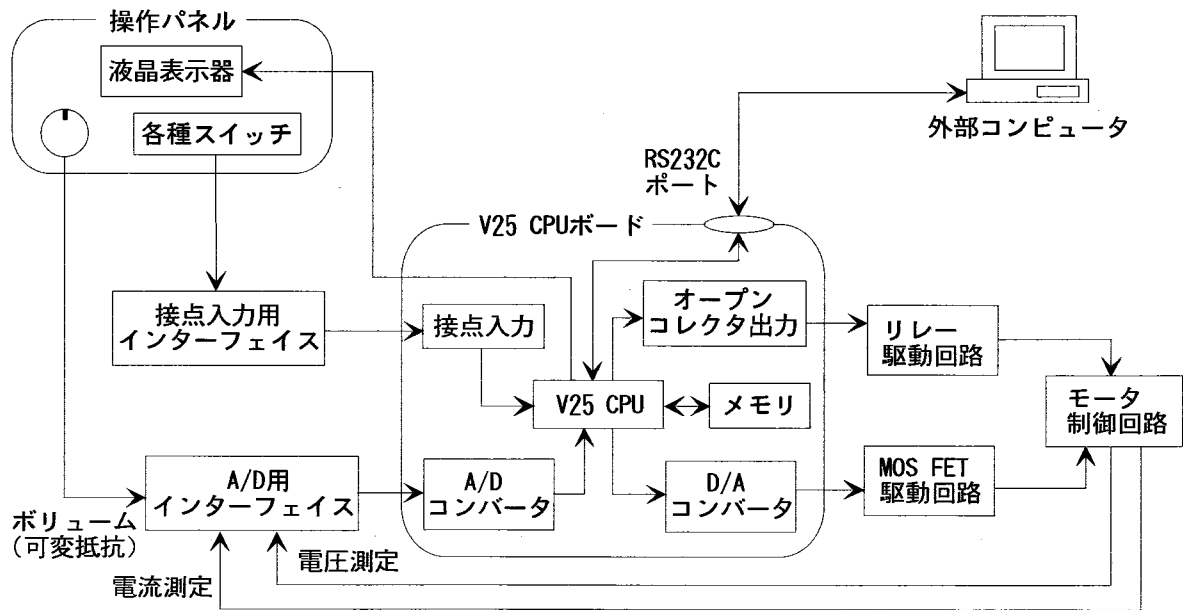


図 5.1 自動航行システム構成図

5.2 V25 CPU ボード

マイコンは有限会社サーキットデザイン製のROM・DOS-V25CPUボード（MS-DOS Ver5.0互換OS標準搭載）を使用した。このマイコンはCPUに8086系のV25を使い、MS-DOS Ver5.0互換のROM-DOSであるDatalight社製のROM-DOSを載せ、組込用として考えられる主要なI/Oを標準搭載したワンボード・マイコンである。仕様を表5.1、外観を写真5.1にそれぞれ示す。⁽¹⁶⁾

表 5.1 マイコンの仕様

CPU	MPD70320GT-8 8[MHz] (V30 互換)
ROM	64+64[Kbyte] (ROM DOS エリア) 128[Kbyte]実装 128[Kbyte]、512[Kbyte]ROM 使用可能*
RAM	512[Kbyte]実装 (任意のエリアを RAM ディスクとして使用可能)
E ² ROM	1[Kbit]実装
DOS	MS-DOS Ver5.0 コンパチブル ROM-DOS 内蔵
RS232C	4 チャンネル (1: コンソール 2: COM 3,4: 出力のみ)
プリンタ	LTP1、LTP2 の 2 チャンネルサポート
時計	スーパー・キャパシタ・バックアップ +31[byte]RAM
D/A コンバータ	8[bit] 8 チャンネル (0~5[V])
A/D コンバータ	12[bit] 8 チャンネル (0~4.095[V]、-2.048~2.047[V]の 2 レンジ)
オープンコレクタ出力	8 チャンネル
接点入力	24 チャンネル
タイマー IC	8254 (ユーザー開放)
P10	8255 (ユーザー開放)
割り込み	外部 (INTP0、INTP1 ユーザー開放)
電源	5[V] 100[mA] (基板内部で-5[V]、±10[V]作成)
寸法	115×160[mm]

※ 本研究では、レース中に何らかのトラブルが発生してマイコンが止まった場合、電源を再投入することでマイコンを初期化し、レースに復帰できるようにプログラムを ROM 化して再起動できるようにした。ROM には 27C4001 (448[Kbyte]) を標準の ROM と取り替えて使用した。

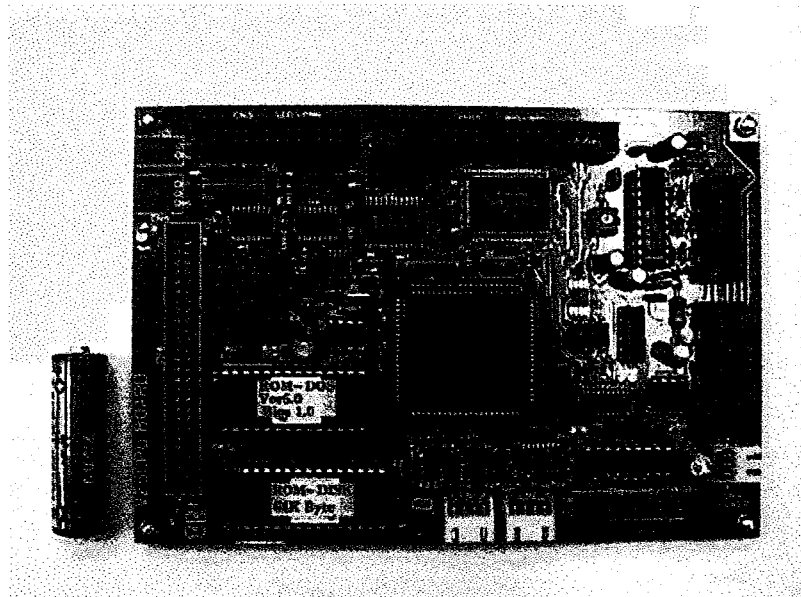


写真 5.1 マイコンの外観

5.3 インターフェイスの設計

5.3.1 A/D コンバータ

V25 CPU ボードに標準装備されている A/D コンバータは 0~4.095[V]、-2.048~2.047[V]の 2 つ入力レンジを持っている。この入力レンジはプログラムにより 8 チャネルを個々に選択できるが、今回使用したセンサ類にはマイナス出力するものがないため、0~4.095[V]の入力範囲で A/D コンバータ用のインターフェイスの設計を行った。以下に各インターフェイスについて説明する。

1. 電圧測定

電圧はバッテリーの端子間電圧を測定した。バッテリーは定格 12[V]のものを 2 直列 2 並列に接続して使用するため定格値は 24[V]となる。しかし、太陽電池を使って充電する際、バッテリーが満充電状態になると電圧は約 40[V]付近まで上昇する。そのため、バッテリー電圧を A/D コンバータの入力電圧にするため抵抗による分圧回路を用いて減圧した。

2. 電流測定

電流の測定には株式会社タムラ製作所製のホール電流検出器 (CSM-A050A、CSM-A200A) を使用した。この検出器は定格値以下の電流に対し直線的に 0 から 5[V]の電圧を出力するため、特別なインターフェイスを用いず直接 A/D コンバータへ入力した。表 5.2 に電流検出器の仕様を示す。

3. 高さ測定

水中翼走中の船体と水面の高さを一定に保つために高さを測定する必要がある。高さの測定にはエレクトロ社製の超音波センサ (PCUA30M(P)30AV(AI)) を使用した。この超音波センサは定格値以内の高さでは 0 から 5[V]の電圧を出力するが、高さが無限大になると約 8[V]の電圧を出力する。そのため、直接 A/D コンバータへ入力すると、他のセンサ類が正確に A/D 変換されないため、1.の方法と同様に分圧回路を用いて減圧を行った。表 5.3 に超音波センサの仕様を示す。

4. 温度測定

モータ・コントローラが非常に高温になった際、冷却用のファンを作動させるために温度を測定する。温度の測定にはアナログデバイス社製の IC 化温度センサ (AD590) を使用した。このセンサからの出力は 1.0[mV/K]であるため 273~423[K] (0~150[°C]) の範囲で A/D コンバータの入力電圧になるように OP アンプを用いて増幅した。図 5.2 に増幅回路を示す。

5. 舵角測定

ラダー（舵）の角度（舵角）と船体抵抗の増減による速度の関係を求めるため、ポテンショメータを利用して舵角を測定した。ポテンショメータには4.095[V]の電圧を与え、A/Dコンバータの入力電圧以内の出力を得ている。

表 5.2 電流検出器の仕様

型名	CSM-A050A	CSM-A200A
定格電流	50[A]	200[A]
飽和電流	150[A]	600[A]
出力電圧	4[V]±1[%]	
出力直線性	±1[%]以下（電圧変動率±1[%]以下）	
補助電源	±15[V] ±5[%]	
応答速度	TYP. 5[μsec]、MAX. 10[μsec]	
出力温度係数	±0.08[%]以下	±0.04[%]以下
耐電圧	AC2000[V]	
使用温度範囲	-10～80[°C]	

表 5.3 超音波センサの仕様

測定範囲	100～760[mm]（任意の距離に設定可能）
検出体	固体、液体、粉体等
分解能	1.0[mm]
電源電圧	DC10～30[V]、
出力電圧	アナログ出力 0～5[V]
使用温度範囲	0～50[°C]
使用湿度範囲	0～95[%]（結露無し）
応答速度	35[msec]
くり返し精度	設定点の±1.5[%]以内
ビーム角	10[°]（TYP）

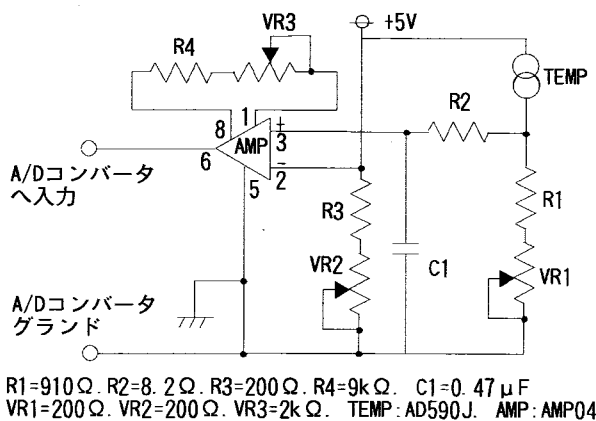
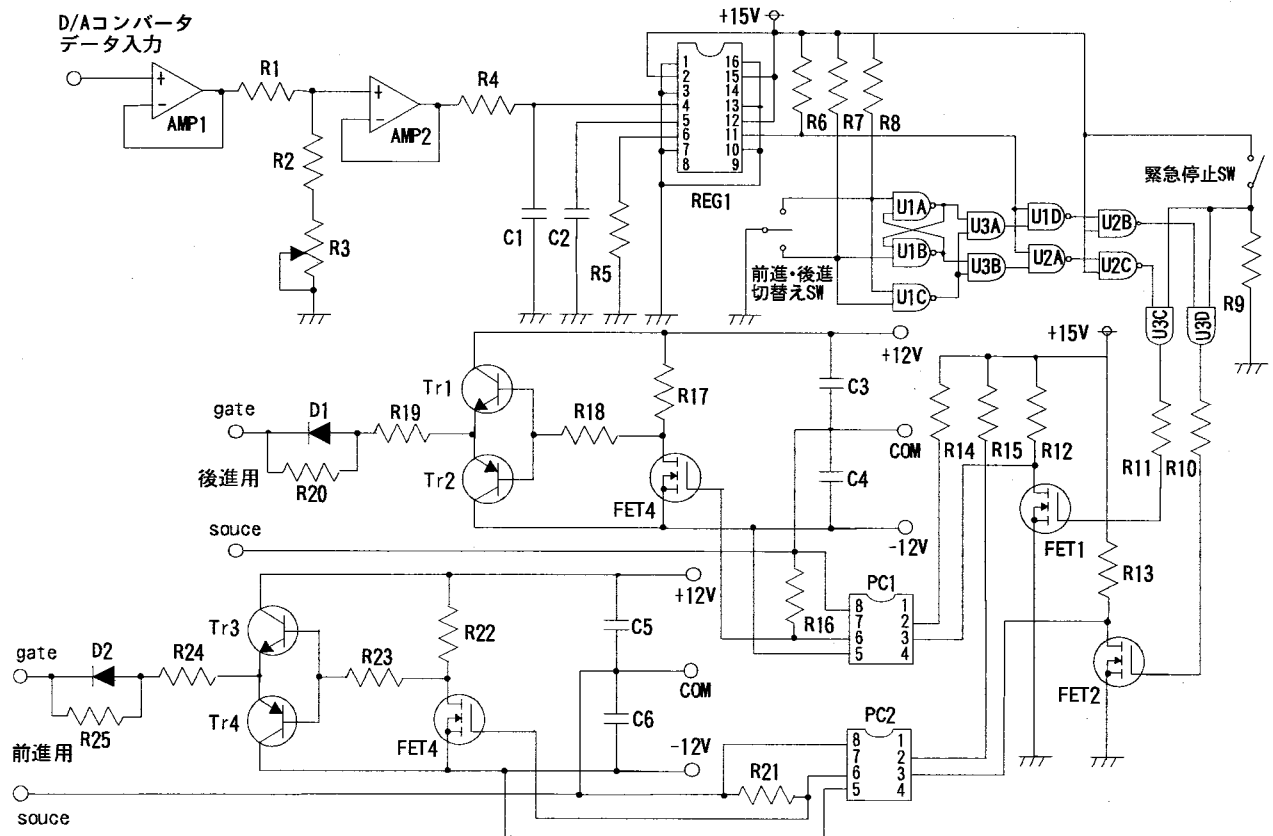


図 5.2 増幅回路

5.3.2 D/A コンバータ

D/A コンバータは第 3 章で述べたパワー MOS FET の駆動回路において、PWM 制御でのデューティ比を変化させる信号電圧を出力している。図 5.3 にパワー MOS FET の駆動回路を示す。



R1=1.5k Ω . R2=2k Ω . R3=2k Ω . R4=8.2 Ω . R5=2k Ω . R6=300. R7=10k Ω . R8=10k Ω . R9=10k Ω . R10=1.5k Ω . R11=1.5k Ω . R12=4.7k Ω . R13=4.7k Ω . R14=630 Ω . R15=630 Ω . R16=1.5k Ω . R17=470 Ω . R18=240 Ω . R19=20 Ω . R20=29 Ω . R21=1.5k Ω . R22=470 Ω . R23=240 Ω . R24=20 Ω . R25=29 Ω . C1=0.47 μ F. C2=0.047 μ F. C3=470 μ F. C4=470 μ F. C5=470 μ F. C6=470 μ F. D1-D2:F14J. AMP1-AMP2:LM358. REG1:MB3759. PC1-PC2:TLP559. U1-U2:4011. U3:4081. FET1-FET2-FET3-FET4:2SK1132. Tr1-Tr3:2SC1173. Tr2-Tr4:2SA473.

図 5.3 パワー MOS FET の駆動回路

図 5.3 に示すスイッチングレギュレータ (MB3759) は 0~2.8[V]の三角波と入力電圧を比較してパルス波を発生する。そこで、デューティ比の分解能と直線性を高めるため D/A コンバータは 0~5[V]を出力し、その後、電圧フォロワ回路を利用して 0~2.8[V]まで減圧した。また、図 3. 2 に示す H ブリッジ回路において前進用と後進用のパワー MOS FET が同時に ON すると短絡により回路が壊れるため、論理回路によって同時に ON することを避けた。さらにマイコンからの駆動信号は緊急停止スイッチにより手動で OFF にできる。サージ電圧対策として、ゲート抵抗にダイオード (D1、D2) を組み込むことにより MOS FET がターン OFF する際の電流変化率を下げた。フォトカプラ (TLP559) によりマイコンと駆動回路を電氣的に絶縁し、モータより発生するノイズからマイコンが影響を受けないようにした。

5.3.3 接点入力

本研究ではマイコン制御によるモータ・コントローラの開発を行うため、第3章3.4節で述べたリレーの開閉等の制御はスイッチを使ってマイコンへ入力している。V25 CPU ボードは8チャンネルまたは24チャンネル（切替え）の接点状態監視機能を標準で搭載しているため、インターフェイスの設計はローパスフィルタのみを回路に組み込んだ。ただし、ローパスフィルタのカットオフ周波数はPWM周波数の40[kHz]とし、次式により求めた。図5.4に接点入力用の回路図を示す。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1}$$

f_0 : カットオフ周波数

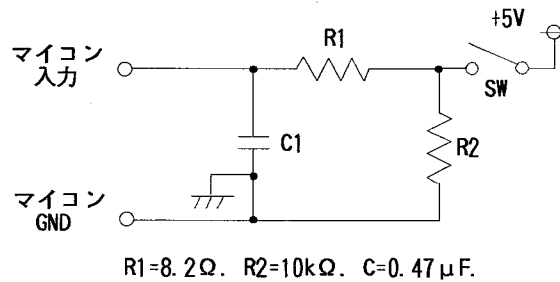


図 5.4. 接点入力回路

5.3.4 オープンコレクタ出力

V25 CPU ボードはトランジスタ・アレー (TD62083) を搭載し、8チャンネルのオープンコレクタ出力があるため、200[mA]までの負荷を直接接続できる。しかし、この容量ではモータの制御回路（図3.4）で使用するリレーの定格コイル電流以下のため直接駆動できない。そこで、このリレーを駆動でき、かつ、コイル消費電流が200[mA]以下のDIPリレーを用いてモータの制御回路用リレーの駆動回路を設計した。図5.5にリレー駆動回路を示す。

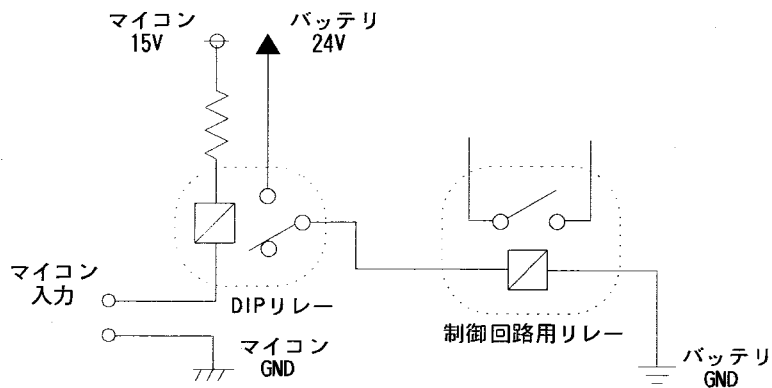


図 5.5 リレー駆動回路

5.4 プログラムの開発

V25 CPU ボードには標準で装備されている専用 I/O があり、この I/O 用の BIOS は、プログラムをコンパイルして制作した実行ファイルを通信用ソフト (WTERM) を用いて RAM に転送することにより操作できる。プログラム言語は C 言語とした。制作した自動航行プログラムのフローチャートを図 5.6 に示す。また、C 言語によるプログラムを付録 2 に示す。

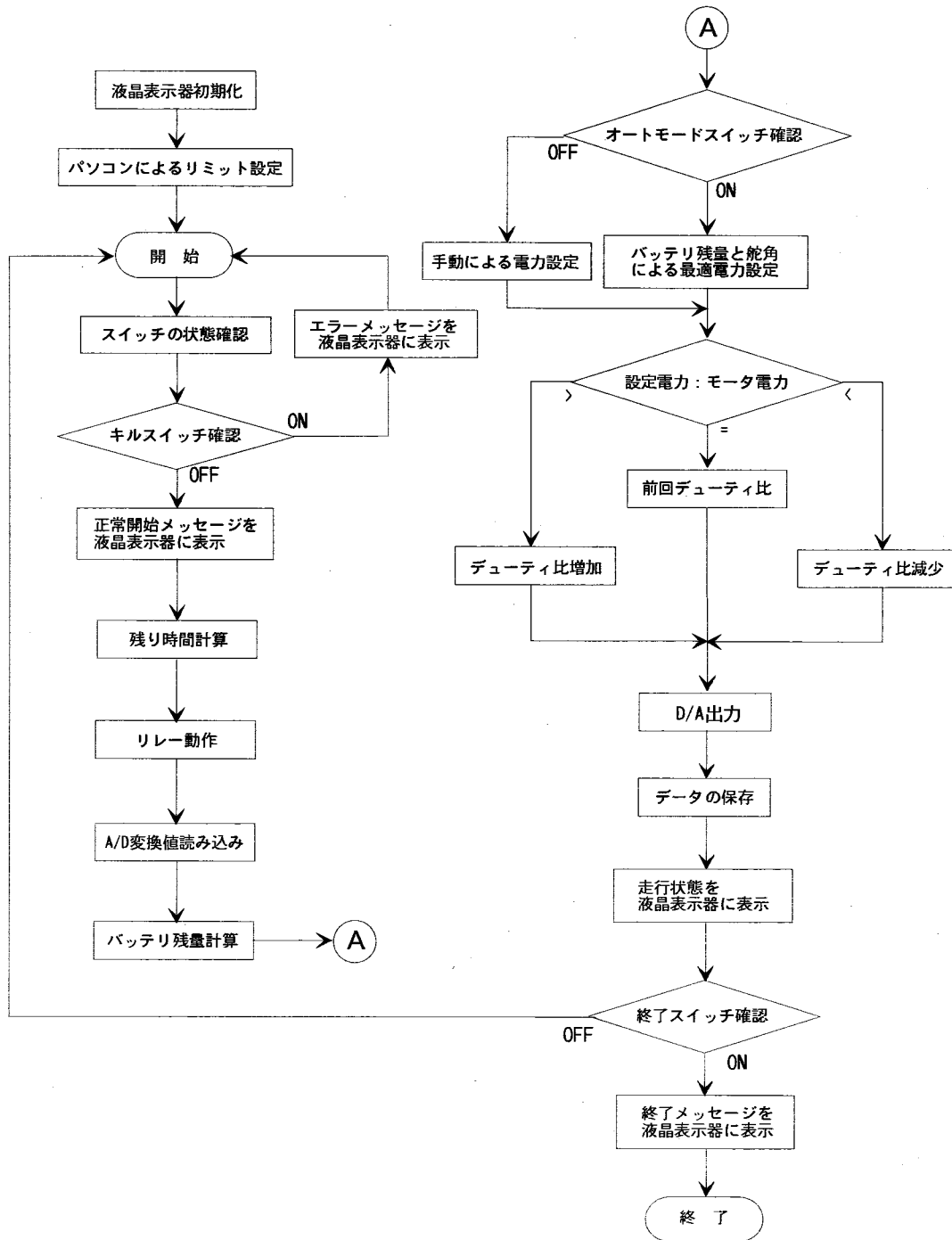


図 5.6 自動航行プログラムのフローチャート

5.5 航行支援機能

マイコンを利用することにより、自動化は言うまでもなく、制御の自由度も広がり、従来の手動では不可能だった機能をモータ・コントローラに付加することができた。以下にその機能について簡単に説明する。

1.液晶表示機能

V25 CPU ボードはオプトレックス社製の液晶表示器（DMC16129）をオプションとして装備できる。この液晶表示器は16文字1行表示で文字高が9.66[mm]と大きく見易いタイプである。これにより、操縦者は制御モード、バッテリー残量、残り時間等のデータを読み取ることができる。

2.データログメモリ

航行中のデータはすべてメモリに保存しているため、パソコン等の解析機器へ出力することができる。この機能により、ソーラーボートの性能向上に必要な実験データの収集を、迅速、且つ、正確に行うことができる。

3.キルスイッチ

ハードウェアによる安全装置とは別に、ソフトウェアでも安全にボートを停止できるようにした。このスイッチは操作パネルに取り付けてあり、万一のトラブル発生時には全ての制御を強制的に終了させる。

4.パワーブースト

ブーストボタンを押している間、設定した電力値に対して予めプログラムでセットしてある割合で、一時的にその制御値を増加する機能である。この機能はボートが着水し再び浮上する時や、他艇を追い越すために加速する際など、設定電力を変えることなく速度制御ができる。

5.オートスタート

この機能は特にスピードレースにおいて、スタート開始から定常航行になるまでの操作を自動的に行うものである。プログラムにセットしてある加速度で電流を増加させ、加速終了の数秒後、バイパスリレーをONにする。これにより操縦者はボートの操縦だけに専念でき、負担が軽減される。

6.ソフトウェアリミット

安全性と信頼性の向上のためソフトウェアリミットを設けた。1つはハードウェア保護用として過電流によるパワー MOS FET の破壊を防止するため設定した。もう1つは、過度な操作を抑えるためボリュームにより指示する設定電力値に上限を設けた。これにより、操縦者は多少乱暴にボリューム操作を行っても、安全に操船することができる。