

第 6 章 海上自走試験

自動航行システムを開発し、実際のレースで有意義なものにするには、その動作と性能を確認するための自走試験を行う必要がある。自走試験は金沢工業大学穴水湾自然学苑ヨットハーバーを基地とし、同湾内にて実施した。以下に実施した試験の目的、内容について述べ、その結果を考察する。

6.1 残量計算プログラムの動作確認

第 4 章のバッテリーの性能試験を基にして、残量計算プログラムを制作した。プログラムの動作確認は、ソーラーボートをレース仕様の装備にして航行させることにより行った。図 6.1 に試験結果を示す。

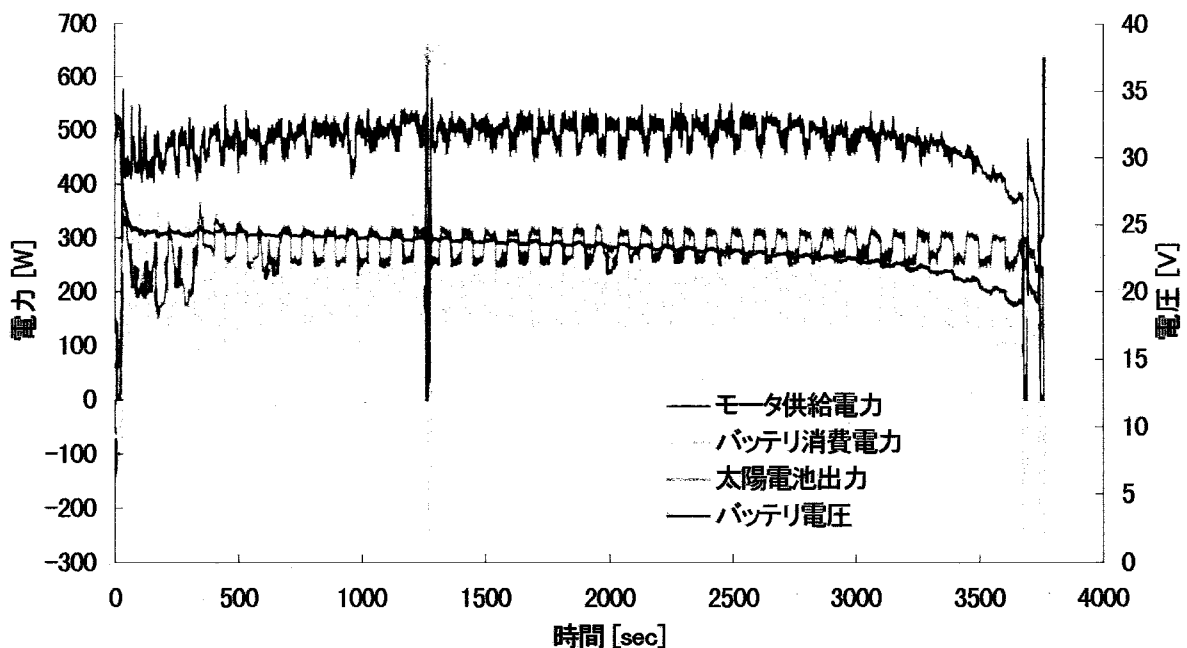


図 6.1 残量計算プログラムによるバッテリーの消費

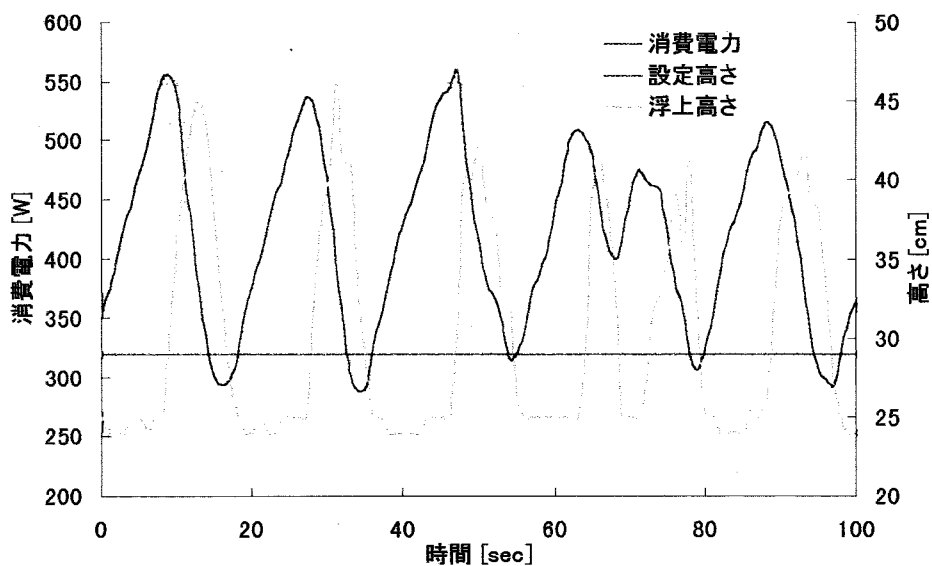
図 6.1 は残量計算プログラムにより算出した 1 時間でバッテリーを使い切る電力に、バッテリー消費電力を自動調節させた時のバッテリー電圧変化の様子である。約 3600[sec] で電圧が 20[V]まで低下している。これはバッテリーの性能試験での放電終止電圧と一致しており、制作した残量計算プログラムの信頼性を確認できる。

また、バッテリー消費電力が上下するのは、試験ではソーラーボートを 100[m]のブイ間隔を周回させるため、往路と復路では太陽電池への太陽光の入射量に変化し、出力も変化する。その結果、バッテリーの消費電力は太陽電池出力とは逆に増減を繰り返したものと考えられる。

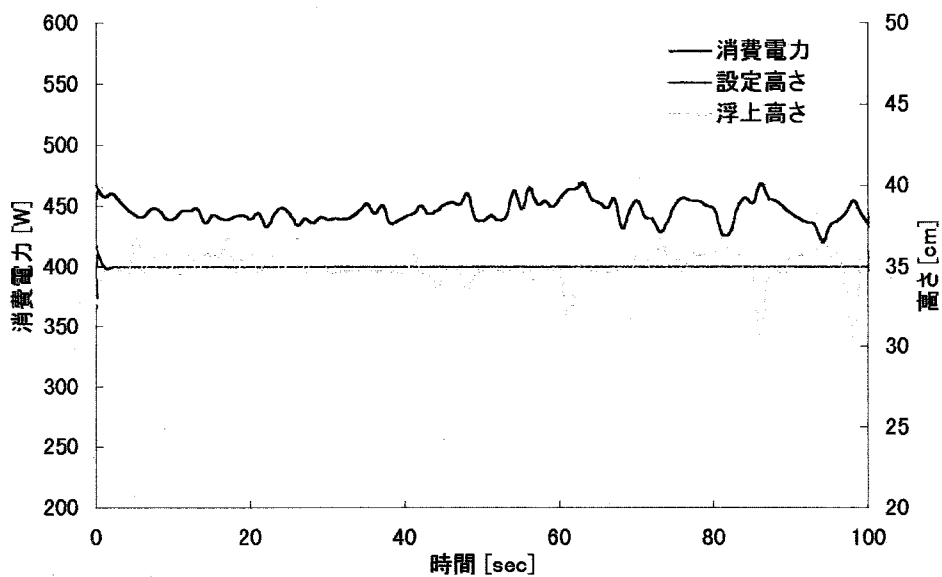
なお、バッテリー消費電力がマイナスになっているのは、ボートが停止し、その間の太陽電池出力がバッテリーに充電されたものである。

6.2 超音波センサを用いた浮上高さ制御

第4章4.3節で定電力制御を行うと安定した水中翼走が可能となることを述べた。しかし、ソーラーボートが旋回する時、風・波等の影響を受けた時は、船体抵抗が増加するため、定常航行と同様の電力を供給しても安定した浮上状態を保つことができない。そこで、安定した水中翼走を可能とすることを目的として、超音波センサを用いて浮上高さを一定に保つ制御を行った。図6.2に超音波センサを用いた浮上高さ制御の試験結果を示す。



(A) 遅れ時間無し



(B) 遅れ時間 4[sec]

図 6.2 超音波センサを用いた浮上高さ制御

図 6.2 (A) はフィードバック時間をマイコンの処理速度である約 0.3[sec]とした時のものである。消費電力と浮上高さが周期的に増減するのは、浮上高さを設定高さにするために消費電力を増加させるが、その消費電力が推進力となるまでに約 4[sec]の遅れがあり、高さが一致した時にはすでに過剰の電力を供給しているためである。その後、消費電力を減少させたとしても先の過剰な電力のため、ボートは浮上を続ける。そのため、ボートは周期的に上下運動を繰り返す。

図 6.2 (B) はプログラムでタイマを作り、4[sec]毎にフィードバック制御を行ったものであるが、上記の問題点の影響はなくなり、ほぼ一定の高さに制御できていることが分かる。しかし、4[sec]毎に制御を行うと応答速度が遅くなる等の問題があるため、水中翼を用いたソーラーボートでは完全な制御方法とは言えない。そこで次節で述べる追加試験を行った。

6.3 舵角センサを用いた電力制御

前節で述べたように超音波センサによる高さ制御は負荷（船体抵抗）が一定の時には有効だが、急激な負荷変動（旋回）に対しては応答性が悪くソーラーボートを常に安定させるには不十分な制御方法である。本節では舵を固定した状態での浮上高さ制御を行い、舵角と安定した水中翼走に必要な電力の関係を求めた。図 6.3 に舵角と消費電力の関係を示す。

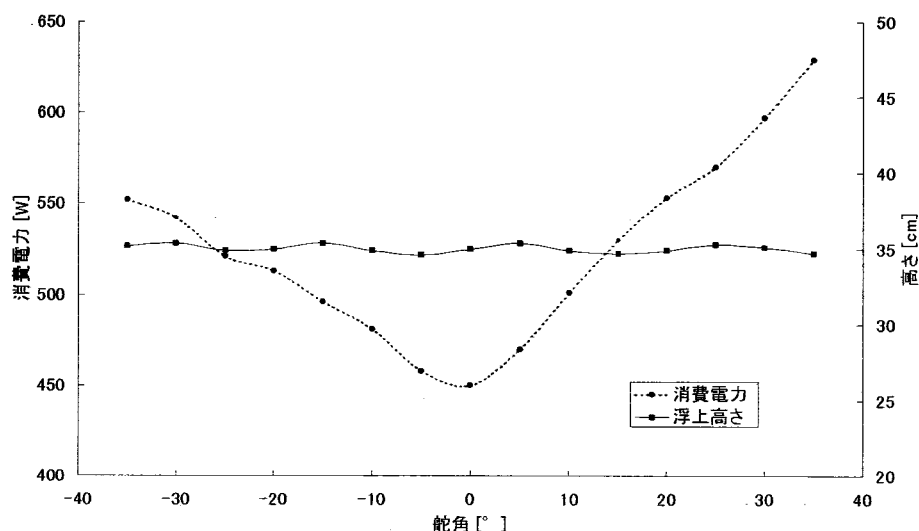


図 6.3 舵角と消費電力の関係

図 6.3 において、舵角のマイナスは左旋回、プラスは右旋回を表しており、どちらの舵角に対しても直線的に消費電力が増加することが分かる。また、右旋回は左旋回より消費電力が大きいが、これは回転方向が進行方向に対して時計周りのプロペラは船尾を右舷の方向に、船首を左舷の方向にふれ回す性質を持っているため、右旋回をさせにくくしているものと考えられる。⁽¹⁷⁾

この自走試験により、左旋回、右旋回のそれぞれに対して、舵角と消費電力の増加率の関係を求めることができ、水中翼走するために必要な最小限の消費電力を知るこ

とができた。この消費電力をマイコンで管理させ、自動的に設定電力値を調節することにより、安定した水中翼走が可能となったばかりでなく、操縦者は直線、旋回時の速度調節を行う必要がなくなり、航行中の負担が軽減された。

6.4 総合性能評価

以上の性能試験の結果より、ソーラーボート「ゴールデンイーグル」を自動航行させるための条件について考察する。

ゴールデンイーグルは水中翼走するために最低 450[w]の電力を必要とするが、補助バッテリーは 1 時間率で 222[W]の容量しかないため、補助バッテリーのみで 1 時間を航行することはできない。そのため、太陽電池と補助バッテリーの出力を足し合わせて 1 時間を航行しなければならない。しかし、太陽電池の出力は気象条件等により変動するため、この出力により翼走可能な時間は大きく左右される。図 6.4 に太陽電池出力と翼走可能時間の関係を示す。

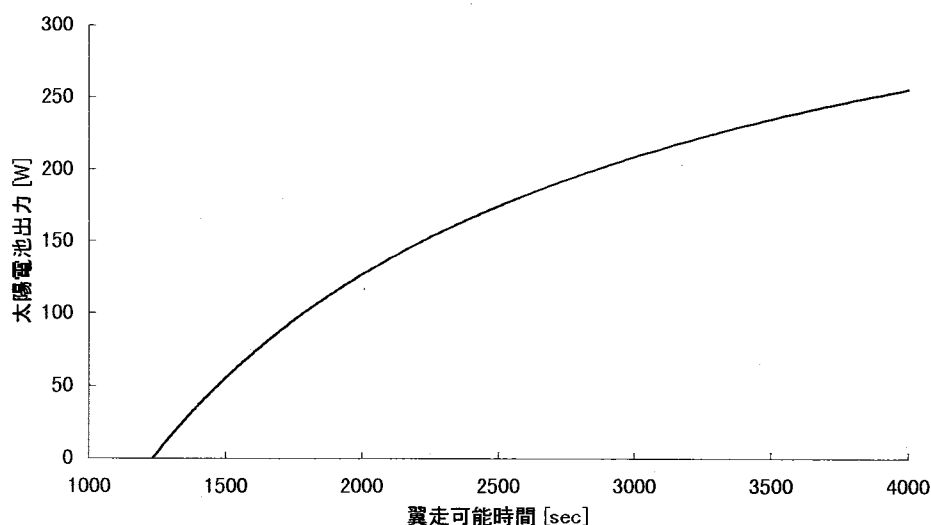


図 6.4 太陽電池出力と翼走可能時間の関係

図 6.4 は第 4 章 4.4 節で述べたバッテリーの性能試験の結果を基に、太陽電池の出力がレース中は変動せず、ソーラーボートが直線のみを航行すると仮定した時の計算結果である。計算式を以下に示す。

$$t = \frac{100}{2 \times 10^{-7} \times (450 - P_s)^2 + 9 \times 10^{-5} (450 - P_s)} \quad t: \text{翼走可能時間[sec]} \quad P_s: \text{太陽電池出力[w]}$$

図 6.4 より太陽電池の出力が 228[W]以下の時は、1 時間を水中翼走できずにバッテリーを使い切ってしまうことになる。また 228[W]以上を出力した時は、バッテリーの消費を一時的に抑えその分を後で出力が低下した時に利用する、あるいは出力がこれより低下しないと予想できる時はその分を保存せずに直ちに利用するといった選択をする必要がある。