

教育研究報告

久留米高専におけるソーラーボート大会への取り組み

熊丸 憲 男*

The Participation in the Yanagawa Solar Boat Festival from Kurume National College of Technology

Norio KUMAMARU*

In recent years, the concern about environmental protection is increasing. Use of energy sources such as solar energy etc, is attracts attention. Kurume National College of Technology, has been participating in the Yanagawa solar boat Festival since 1996. This is the report on the student's efforts in boat construction and results in the competition, together with teacher's considerations on the guidance to students and their reactions.

1. ま え が き

環境保護に対する関心が高まっている近年、ソーラーエネルギー等のクリーンなエネルギーの利用が注目されている。

久留米高専がある久留米市の南に位置する柳川市でも、平成8年度より、ソーラーボート大会(以下、柳川ソーラーボート大会)が開催されており、全国の企業、高等学校、大学、専門学校、そして高等専門学校が参加している。

久留米高専の学生も、第1回大会より積極的に参加し、毎年、改良若しくは船体の新造を行ってきた。結果、第2回大会では周回レース4位入賞、学生の部が設立された第3回大会からは5年連続2~5位に入賞しており、学生の部では有力チームとなっている。しかし、大会に参加した学生は、卒業研究、クラブ活動、希望者等、年度によってばらばらであり、そのボート製作に対する取り組み方も年度によって異なっている。

本論文では、指導の方法、学生の取り組み方、製作の過程、結果等について報告と考察を行う。

2. 柳川ソーラーボート大会レギュレーション

柳川ソーラーボート大会は、掘割という柳川特有の水路を利用して行われる、太陽の光を電気に変換して走る船のレースである。場所によってはかなり水路が細く、また低い橋が存在する。よって、レギュレーションもそれに応じたものになっている。

レギュレーション

全長：4000mm 以下

全幅：1500mm 以下

高さ：水面上 500mm 以下 (ゼッケン等を含む)

水面下 500mm 以下 (スクリューを含む)

蓄電池：2 個以内 (大会実行委員会より 4 個支給される)

ユアサ小型シール鉛電池

NPH16-12・12・16Ah

ソーラーパネル出力：100W 以下 (25)

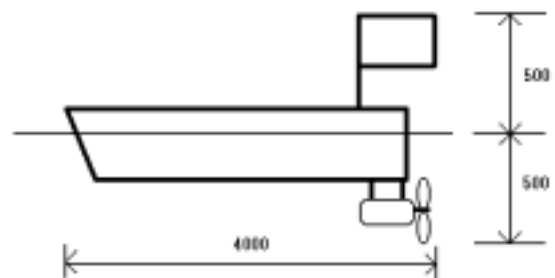


図1 船体図

- ・ドライバーが運転席より離れる際は、自動的にメインスイッチが切れること
- ・水中翼船は不可
- ・蓄電池の充電は、船体に取り付けてある太陽電池及び周回レース決勝に出場するチームに大会実行委員会が貸与する地上太陽光発電設備でのみ行える。

3. 柳川ソーラーボート大会競技内容

柳川ソーラーボート大会の競技内容は、以下のと

おりである。平成10年度(第3回大会)以降は、一般の部と学生の部に分けられている。

・周回レース(予選)

2艇ないし3艇を1組とし、1周(3.1km)のタイムを競う。

決勝には、各部門の上位20艇(平成8~9年度は上位25艇,平成10~12年度は各部門の上位15艇)が出場できる。

・周回レース(決勝)

予選通過タイム順に5艇ずつ横一線にならび、全艇一斉にスタートし3周(9.3km)のタイムを競う。

出場チームには400Wの地上太陽光発電設備が貸与され、競技中に使用できる。1周ごとにピット作業を行い、バッテリー、部品の交換を行ってもよい。

・スラロームコンテスト

10m間隔で備え付けられた11本のブイをスラロームしてそのタイムを競う。

・フリースタイルコンテスト

約60mの区間を各チームが準備したBGMに合わせて1分間で走行し、走行時間の正確さ、パフォーマンス、船体装飾、演技力、そして操船技術を競う。

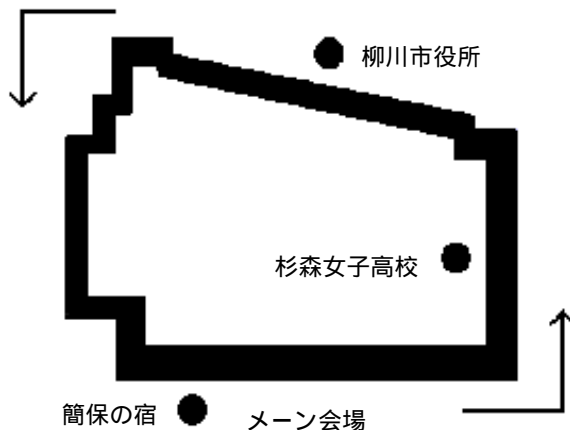


図2 周回レースコース概略図

4. ソーラーボート製作時の指導

大きく分けて、ソーラーボートは2つの過程によって製作される。1つは、船体を完成させるまでの過程。もう1つが、完成させた船体の調整を行い、船の性能がもっとも発揮されるようにするまでの過程である。

ここでは、その指導を行う上で発生した問題点、重点的に指導した点について報告と考察を行う。

船体を製作する手順は、大きく分けて次の4つの過程に分けられる。

- (1) 船体の設計
- (2) 船体の製作
- (3) 推進系の選定と調整
- (4) 艤装及び電装系の製作

4.1 船体の設計

船体の設計は、もっとも経験を要する工程で、かつ、重要な部分である。

造船関係出身の高橋教官(元久留米高専制御情報工学科教授)が在任中は、卒業研究の学生が船体断面の製図から始めた年度もあった。しかし、技術の継承が難しい面もあり、筆者も習ってはみたが造船に対する経験の不足と、本来は情報系の教官である為に製図の基礎知識が足りず、ついに習得することができなかった。残念なことではあるが、今後は、一から型から作るのではなく、既成の船体の流用、若しくは既成の船体から作成した型を使用することになるであろう。

4.2 船体の製作

船体の製作は、もっとも多くの時間を必要とする部分である。

船体製作の基本素材としては、木材、発泡材、FRP等を用いているが、木材製や発泡材製の場合も、船体表面はFRPの皮膜で固めている。これらの素材を用いて製作を行う作業の中ではFRPを貼る作業がもっとも重要である。しかし、ほとんどの学生が、はじめて行う作業であり、なれるまでに、数回の作業を必要とした。FRPを使用する際の指導でもっとも重要なことは、いかにして不飽和ポリエステル樹脂を塗るかよりも、いかに塗るための道具の管理を行うかである。塗り方は、手本を見せることにより容易に習得できるが、道具の管理の指導を徹底させる必要がある。これは、作業に使用する道具のほとんどが、使用後の手入れを怠った場合には再使用ができなくなってしまうことにある。道具を大量に準備すると作業が速くなる反面、道具を大切にしない傾向が多々ある。このような、道具、材料の与えすぎがもたらす弊害が、ロボットコンテストや卒業研究等でもよくみられ、特に経験が不足している学生に多い。指導の際に、重点的な説明と、繰り返しの指導を必要とする点である。

4.3 推進系の選定と調整

推進系の選定と調整は、船体製作と同時に行う。選定すべき項目は、モーター、スクリューギア比、スクリューシャフトの取り付け方法となる。

ここで重要な点は、学生に推進器の仕組みを理解させ、どのような推進形が良いのか、そして正確で丁寧な作業を行う必要性を徹底させることである。はじめての作業であり、船体に推進器を取り付ける際は船体内部の曲面の上に据え付けるため、どうしても雑になる傾向がある。正確で丁寧な工作を必要とすることを十分認識させた後に作業を行うことが重要である。

4.4 艦装及び電装系の製作

艦装及び電装系を製作する場合、もっとも注意すべき点は電装系の製作についてである。

ソーラーボートの電装系には極端に多い電流が流れるといことを、常に注意させるという点である。制御情報工学科では4年次に電気電子工学実験を開講しているが、実験装置を使用した屋内での実験にすぎず、手順を間違えなければ身体に危険が及ぶことはない。しかし、ソーラーボートの場合、水上での使用、こと故による浸水、転覆時の安全性、瞬間的な大電流等、乗員の安全を確保するために考慮すべき点が多々ある。それらのことをよく認識させ、製作時はもちろんのこと試運転時にも必ず同伴し、安全性に対する注意を促す必要がある。

4.5 製作時の指導についてのまとめ

以下に、筆者が経験した製作時の指導についての注意点をまとめる。

- ・仕組みをよく理解させる
- ・安全についての注意を促す
- ・道具、材料の管理を徹底する

7年間で20名以上の学生と共にボートの製作を行ってきた。様々な性格、行動の学生がいた。自ら率先して作業を行い、指導を行わずとも上記の注意点にも気付く学生には、ほとんど指導を必要としない。作業の安全に気を配るだけで、過度の指導は自主性とやる気を損なう。それ以外の、上記の注意点について繰り返しの指導を必要とする学生は、大きく分けて2つの種類に分かれる。ひとつはすべての作業が雑な学生。もう1つは、作業自体は真面目に行うが注意力に欠け、失敗してから気付く学生である。前者は成績が下位の学生に多く、後者は成績が上位の学生に多い。作業が雑な学生には、仕組みの理解

と、道具の管理を徹底して行えばよいが、注意力が不足している学生への指導は長い時間が必要となる。記憶するのではなく、考えることへ思考を変化させることを目的とした指導を根気良く行う必要がある。

4.6 船体の調整

完成した船体がもっとも性能を發揮できる状態にするための調整を行う箇所は、主に2箇所ある。それは、モーターからスクリューに動力を伝達するためのギア比と、スクリューそのものである。実際には、設計段階である程度決っており大幅な変更はできないが、スクリュー、ギア、ともに数種類を準備してもっとも目的にあったものを選択する必要がある。しかし、参加した学生によっては、調整、そして調整後の作り直しを嫌がる傾向がある。学生がこれまでに製作したものの多くは既製品であり、ある程度の調整が行われているものが大半である。しかし、実際は調整にこそ時間、知識、経験、そして熱意が必要とされる。製作以前にそのことを理解させ、目標速度等を設定し、製作が終了した段階で満足させない指導が必要になる。卒業研究として参加した場合、データの記録が必要となるため、調整時の熱意も失われ難い。しかし、本来の教育的効果を考えて、義務ではなく意志によって行うべきことである。少しでも速く、少しでもエネルギーを効率的に使おうという努力こそが知識と経験を産み出す行為になる。残念ながら、経験が浅い学生達に自発的に行うことを要求するのは難しく、熱意があっても無駄に発散させてしまうことが多々ある。ボートを完成させるまでに、筆者がもっとも重要視して指導を行った部分であり、今後の学生指導に対しても、もっとも重要であると考察する。

5. 他校との交流

数回にわたって参加しているうち、他の高等専門学校、高等学校との交流が生まれてきた。大会会場での情報交換がほとんどであるが、推進方法や使用する部品等各校の特色があり、貴重な情報を得ることもある。有明工業高等専門学校、佐世保工業高等専門学校とは同じ九州の高等専門学校であり、毎年参加をしているので特に情報交換を行うことが多い。高等学校では、鳥栖工業高等学校が、もっとも親密に交流をしている。鳥栖工業高等学校は久留米高専から近く、練習場所も同じで良く顔を合わせるためである。高等学校と高等専門学校の違いはあるものの、同じ大会に参加する者同士が練習を行えること

は、大変に効果がある。少なくとも、自分達の船が、どの程度の物なのかを知ることができ、良い意味でのライバルとなっている。今後は、調整段階での交流のみならず、製作段階からの交流を行い、学生達に製作意欲を与えるようにしたい。

6. 各年度の取り組み

6.1 平成8年度

この年より、柳川市主催によるボート大会が開催された。久留米高専からは、自然エネルギーの有効利用をテーマとした卒業研究の一環として、高橋教官指導のチームと松本教官（元久留米高専制御情報工学科教授）指導のチームの2チームが出場した。筆者は高橋教官チームの助手として参加した。この年、はじめての参加ということもあり、ほとんどが手探りの状況での作業となった。

船体は木製の骨組みに木の板を貼りつけ、表面をFRPで覆ったものを製作した。木製のフレームが重く、更にFRPを貼る技術が未熟だったために浸水が止まらず、3枚を重ねて貼ったために予定の重量を大きく超え、5人で持つのがやっとの重量になった。推進器はヤマハ製の250Wの船外機を前後に1台ずつ搭載し、合計500Wとした。プロペラは、船外機に装備されているものをそのまま使用した。この年のもっとも大きな失敗がこれであった。本来、電気式の船外機は釣り場での短距離の移動や位置の修正に使用するためのもので、トルクを重視した設計で、高速の移動には不向きであった。模型飛行機用のプロペラを使用することも検討したが、強度上の問題が大きく使用しなかった。しかし、上位のチームは

いずれも飛行機用のプロペラを使用しており、製作時の判断ミスが惜しまれた。

試合の結果は散々なもので、周回レース予選時には船体に藻が絡むトラブルで、予選落ち。スラローム時も舵の故障でリタイヤだった。

この年、参加した学生達は卒業研究として参加したのであるが、競技に対する姿勢は真面目で製作、大会ともに意欲的に取り組んだ。初日の周回レース予選落ちの後も、2日目の競技のために精力的に準備を行う等の行動が見られた。教官、学生共に、はじめての大会であったために、結果を出すことが出来ずに残念であった。しかし、本年度の経験が以後のソーラーボート製作への大きな指針となった。

6.2 平成9年度

平成9年度も、前年度に引き続き卒業研究の一環として、高橋教官指導のチームと松本教官指導のチームが柳川ソーラーボート大会に出場した。筆者は高橋教官チームの助手として参加した。

前年度はソーラーボートを船体から製作したが、あまりにも重すぎたため、この年は既製品のカヌーを流用して製作した。翌年度以降の船体の製作に利用できるように、船体の型を取った後に加工を開始した。推進系は、前年度の大会で好成績を残している模型飛行機のプロペラを使用することも検討したが、卒業研究の一環として環境問題に取り組むために、サーフェイス型と呼ばれる半没式のスクリュウを用いた推進系を採用した。一部の高速船で採用されている推進方式であり、水面を攪拌し、空気を混入させながら航行するので、多少の浄化作用も期待でき、柳川の掘割に適した推進方法である。モーターは前年度に採用した船外機ではなく、ツシマエレクトリック製400Wを採用した。定格の出力は低下したが、実際には過負荷で使用するので750Wの出力がある。完成した船は、最高速力5.2ノットで前年度とほぼ同じであった。加速が遅い、操舵性能が悪い等のサーフェイス特有の欠点が出て、少々不満は残るものの、巡航速力4.8ノットで1時間以上の航行が可能な効率の良い船となった。

試合結果は、ほぼ満足できるものであった。周回レース予選は12位で通過した。社会人を含めての12位で、前年度まで全く歯が立たなかったチームを抜いての12位で、高く評価したい。周回レース決勝では、2周目にモーターのコントローラーが熱暴走によって停止し、12位に終わった。大型のヒートシンクを搭載していたが、夏の日差しは予想以上に強かった。



SUMMER ENDEAVOR

全長：3500mm

全幅：540mm（船体）

1200mm（補助浮体を含む）

推進器：船外機 YAMAHA M-15 × 2基

プロペラ：船外機付属

久留米高専より同一のコントローラーを搭載して出場している松本教官（元久留米高専制御情報工学科教授）チームの船は、空冷を行っていたために停止しなかった。冷却用のファンを付けておかなかったことが惜まれる。スラロームコンテストでは加速の悪さがあり入賞できず、フリースタイルも入賞できなかった。前年度に比べれば、ある程度の結果は出たものの結果には満足できずに、次年度、さらなる船体の新造を行った。

前年度と違い、男子学生1名、女子学生1名での参加であった。この年のボートは既製品のカーヌーの改造なので、前年度よりは作業が少なく、この程度の作業であれば女子学生でも十分に行えた。卒業研究ということでもあり、大会終了後も(株)三菱重工長崎佐世造船所に推進機を持ちこんで実験を行う等、大会終了後も次年度以降に向けてのデータ収集等を行った。



さっちん
全長：3990 mm
全幅：600 mm
推進器：ツシマ 400W
プロペラ：50 馬力船外機用

6.3 平成 10 年度

平成 10 年度も、前年度に引き続き卒業研究の一環として、柳川ソーラーボート大会に出場した。この年が卒業研究としては、最後の出場になる。

前年度、ある程度の成果が得られた。しかし、周回レース優勝艇との差はコース1周で約8分。速度にして2ノット以上の開きがあった。周回レース優勝を目指して、さらに新しい船体と推進器の製作を行った。船体は、前年度に作っておいた型を整形して作った雌型を使用し、FRPで製作した。前年度、前々年度と安定感はあるが、速度が出ない船体であったため、平成10年度は腰が入るぎりぎりの横幅で船体を製作した。プロペラは20馬力船外機用の全没式とした。これは、前年度の(株)三菱重工長崎佐世保

造船所での計測により、前年度のプロペラがほぼ最大効率で回転していることが判明し、これ以上の速度の向上が難しいと判断したためと、柳川ソーラーボート大会に出場する船が搭載できる大きさのサーフェイス推進専用のプロペラが入手出来なかったためである。モーターは特殊電装製450Wに変更。スピードコントローラーも変更し、過負荷で1100Wの出力がある。前年度、ギアによりモーターからスクリュウへ動力を伝達していたものをチェーン式に変更し調整を容易にする等の各種の改良を行った。完成した船は縦横比が8:1、重量93kg（バッテリー、乗員を含む）、最高速力7.0ノットの軽量な高速船となった。

大会の結果は、周回レース予選が学生の部3位（総合9位）、スラローム学生の部2位の好成績をあげた。周回レース決勝では残念ながらスタート直後の転覆によりリタイヤとなった。

この年はロボットコンテストの校内選考に落ちた学生も手伝って、5人体制で作業を行った。この年の特徴は、勝つためのボート作りに専念したことにある。前年度までのデータを参考にし、そのすべてをフィードバックして製作を行った。学生もソーラーボートの仕組みと、勝つということについて十分な理解をもって望んだ。



緋炎（ひえん）
全長全長：3990 mm
全幅：500 mm
推進器：特殊電装 450W
プロペラ：20 馬力船外機用

6.4 平成 11 年度

平成 11 年度からは、卒業研究ではなく、学生の有志による参加を行った。前年度の、大会終了後の実験で、スクリュウはほぼ最大の効率を発揮していることが判明した。よって、スクリュウへの空気吸いこみを防ぐための板を取り付ける、補助浮体の設置等の、小規模な改造のみで出場した。改造の結果、

速度性能が10%ほど上昇し、安定性が大きく向上している。

大会は前年度とほぼ同等で、周回レース決勝で学生の部2位に入賞する等、安定した成績を残した。

この年は、卒業研究としてではなく、制御情報工学4年生2名と卒業生の混成での参加となった。作業量が少なく、卒業生主導での参加となったために評価が難しいが、2年続けて参加するという事による製作、調整、会場での行動等にみられる態度の変化は大きく、指導するの必要を感じさせないほどの



緋炎改(ひえん・かい)
全長全長: 3990 mm
全幅: 500 mm
1100 mm (補助浮体を含む)
推進器: 特殊電装 450W
プロペラ: 20馬力船外機用
・補助浮体増設
・空気吸いこみ防止板増設

自主性があった。

6.5 平成12年度

平成12年度は、前年度参加した学生2名に同じクラスから4名を加えた制御情報工学科5年生チームで出場した。この年は、模型飛行機用のプロペラを使用するために、船体の新造を行ったが目標とした速力が出ず、前年度の船での出場となった。前年度との変更点は、電装系の部品の配置換えを行い、操作性を向上させたにとどまった。

大会では、前年度と同様に周回レース学生の部2位に入賞。成績は変わっていない。しかし、大会に取り組む姿勢等にチームとしての弱さが目立った。

この年、はじめての卒業研究以外の学生によるチームでの参加となった。船体の製作に付いては、前年度までと同様に積極的に取り組んだ。しかし、その後の調整段階になると、急速に熱意が冷めて行った。原因としては、卒業研究が開始され時間が取れなくなったこと、調整は製作と比べて単調な作業が多いこと等が考えられる。このことは、他のイベント、例えばロボットコンテスト等でも起こりやすい問題である。

6.6 平成13年度

カリキュラムの変更や、JABEE対応の学年暦等の為に、この年は学生がイベントに参加しにくい状況の年であった。制御情報工学科からは参加する学生は無く、模型同好会のみが参加を行った。大会結果は周回レース学生の部5位入賞。参加した様子等については、指導教官でもなく、外から見ていた立場であるので感想、意見等は割愛する。

6.7 平成14年度

平成14年度も、久留米高専からは模型同好会の参加となった。この年は、筆者も製作段階から加わり、一緒に作業を行った。船体は、平成9年度に松本教官のチームが製作したものを改造した。FRPが弱くなっており、多少の浸水、ヒビ等が見られ、補強を行っての出場となった。前年度からの改良点は、スクリューの取り付け角度の変更等である。

大会の結果は、周回レース学生の部で4位入賞。スタート直後での他の船にぶつかられるアクシデントが無ければ、優勝もありえただけに残念であった。

この年も平成14年度と同様に、調整段階でのやる気の低下が見られた。特に、プールでの船を固定しての実験を嫌がった。変化が起きたのは、目標速力(7.5ノット)を大きく上回る速度(8.0ノット)を記録してからである。それ以降は、率先して実験、調整を行い、速力を0.1ノットでも引き上げるべく努力を重ね、これが効を奏して上記のように入賞を維持することができた。



ALGA
全長全長: 3700 mm
全幅: 500 mm
推進器: 特殊電装 450W
プロペラ: 模型飛行機用

6.8 周回レース順位

本校が柳川ソーラーボート大会に参加する際に、

もっとも力を入れているのが周回レースである。

その周回レース予選タイムと、決勝での順位を表に示す。なお、周回予選タイム、決勝順位は周回レース決勝における筆者が指導したチームの結果で、久留米高専順位は、複数のチームが参加した際の、最上位のチームの成績である。

表 周回レース結果

年度	周回予選タイム	決勝順位	久留米高専順位
H8	0:50:24	-	14位
H9	0:23:00	12位	4位
H10	0:18:14	-	学生2位
H11	0:15:14	学生2位	学生2位
H12	0:16:06	学生2位	学生2位
H13	0:50:29	学生5位	学生5位
H14	0:14:28	学生4位	学生4位

7. ソーラーボート大会に参加する意義

以前より言われているように、柳川ソーラーボート大会に限らず、ロボットコンテスト等の創造的な競技に参加する意義は、大会そのものへの参加ではなく、大部分はその製作過程にある。学生達が授業で行っている工学実験等の要素実験とは異なり、船体系、推進器系、電気系等の様々な分野を全体システムとしてまとめ上げ、調整を行い、1つの製品とするための機械電気系の応用力が要求される。しかし、卒業研究以外で、それらの応用力を身につける機会は少ない。よって、卒業研究以外にこのような大会に参加する機会を与えることは、優秀な技術者を育成するのに必要不可欠と言える。

指導教官として、少なくとも、希望する学生がこれらの創造的な競技に、自由に参加することができる体制を維持する必要性があると考察する。

8. 次年度への継承

現在、久留米高専が継続して参加を行っている創造的な競技は、柳川ソーラーボート大会の他に、ホンダ・エコラン（以下、エコラン）、NHK アイデア対決ロボットコンテスト（以下、ロボコン）、高専プログラミングコンテスト（以下、プロコン）がある。これらを分類する場合、もっとも大きな相違点は、その競技の性質にある。柳川ソーラーボート大会、そしてエコランは、ほぼ同じ競技内容が繰り返され、ロボコン、そしてプロコンは競技の内容が年度によって異なっている。この相違点は、次年度以降に参

加する学生への、技術等の継承に影響を与えることになる。柳川ソーラーボート大会とエコランでは、主に技術の継承を行う。それに対し、ロボコンとプロコンは、技術の他に競技に対する考え方、取り組み方も重要となる。筆者は、前述した4つの競技の指導をすべて行ったことがあり、特にロボコンと柳川ソーラーボート大会は、共に7年間と長期で指導を行ってきた。知識を伝える際に難しいのは、知識よりも考え方の伝達にある。知識は、論文、資料等により、継承を行いやすい。しかし、考え方、取り組み方は文章で伝達することは難しい。もちろん、競技に対する考え方の継承が少ないソーラーボート製作の指導が、簡単ということでは無い。考え方の継承は無くとも、取り組み方の継承が存在するからである。取り組み方がよければ、必ずしも結果が残せるわけでは無い。しかし、強いソーラーボートを作ることができるグループは、取り組み方の時点で既に抜きん出ているのである。結果が残せるチームにするためにはもちろんのこと、競技に参加した学生達に、久留米高専に所属して競技に参加したことを満足させるためには、指導教官が技術を継承するための指導を行う以上に、重点的な指導を行うべき点である。

9. 最後に

柳川ソーラーボート大会に7年間参加して、その際に行った指導についての結果報告と考察を行った。7年間で、筆者も含めて、教官と学生達が技術者としてのレベルアップを行えた年が多かった。しかし、筆者の指導が不十分であったために、残念な結果に終わってしまったこともあり、学生達に申し訳無く感じている。また、それ以上に大切な、物作りに対する考え方や努力のありかたを、必ずしも十分に伝えることができなかつたこともあり、その点は非常に心残りである。今後は、その経験も指導を行う上での糧としていきたい。最後になったが、長い間指導をしてくださった、高橋元久留米高専教授、松本元久留米高専教授、ボート製作時からお世話をして下さった山下技官をはじめとする久留米高専の方々、他校の先生方、そして貴重な時間を共有してくれた学生達に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 遠藤， 館：ボートコンテストへの挑戦， 論文集「高専教育」， Vol.18， PP327-334（1995）
- 2) 吉田文二：船の一生， BLUE BACKS

-
- 3) 吉田文二：船の科学，BLUE BACKS 果について」，西武造船会会報第47号
 - 4) 永井，田中：「サーフェイスプロペラの系統模型試作結 (2002年11月20日 受理)

~