

鹿児島工業高等専門学校

研 究 報 告

第 48 号

RESEARCH REPORTS
OF
KAGOSHIMA NATIONAL COLLEGE
OF TECHNOLOGY
Number 48

2013

鹿児島工業高等専門学校研究報告

第48号 2013

目 次

潜水艇のモデル化と根軌跡法による深度制御	
松元 遼太, 岩本 才次, 渡辺 創, 中村 彰	1～9
準構造船とアイヌ民族のイタオマチブについて	
岩本 才次	11～26
球形タンク内液体水素の蒸発率に及ぼす Sloshing の影響	
小田原 悟	27～34
霧島地区の温泉資源を活用するエネルギー, 環境, ヘルスケアを統合した開発プロジェクトの可能性について	
須田 隆夫, 岡松 道雄, 塚本 公秀, 玉利 陽三, 鎌田 清孝, 今村 成明, 永井 翠, 奥 高洋	35～38
シンガポールにおけるポリテクニクの学生との相互交流に関する訪問調査	
植村眞一郎, 椿松伸二, 濱川恭央	39～40
インクジェット法を用いた有機透明導電膜に関する研究	
新田 敦司, 下野 和輝	41～45
高専・中学校の連携による環境気象情報ネットワークの構築その2	
武田 和大, 芝 浩二郎, 豊平 隆之, 瀬濤 喜信, 前薊 正宜, 樫根 健史, 荒巻 勇輔, 永田 亮一	47～48

平成 24 年度校内教育助成に係る建築関連講座立上げに関する成果報告 岡松 道雄, 毛利 洋子	49～52
廃石膏としらすを活用した混合セメントの開発 前野 祐二, 三原 めぐみ, 池田 正利, 福永 隆之	53～60
英国文化に関する研究—ホスト・ファミリーとの生活を通して 塚崎 香織	61～69
小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」 におけるプログラムの開発 大竹 孝明, 山下 俊一, 山田 孝行, 脇園 好光, 川越 渚, 新納 時英, 中村 哲	71～76
FM-CW レーダーによる Pc5 型地磁気脈動の観測 池田 昭大, 湯元 清文, 篠原 学, 吉川 顕正, 野崎 憲朗	77～80
公開講座「リンク機構を用いた 4 足歩行ロボット」教材の改良 上沖 司	81～83
リハビリテーションの高機能化を実現する介助器具の開発 永田 亮一, 今村 成明	85～86
平成 24 年度校内教育助成による溶接実習改善に関する報告 山田 孝行	87～89
研究業績 (2012 年 4 月 1 日～2013 年 3 月 31 日)	91～100

RESEARCH REPORTS
OF
KAGOSHIMA NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

No. 4 8 2 0 1 3

C O N T E N T S

Modeling of an Underwater Vehicle and the Depth Control with Root Locus Technique	Ryota MATSUMOTO Seiji IWAMOTO So WATANABE Akira NAKAMURA	1 ~ 9
“Jun-Kozo-Sen” and “Ita-Oma-Chip” of the Ainu Race	Seiji IWAMOTO	11~26
Effect of Sloshing on Boil off Rate of Liquid Hydrogen in Spherical Tank	Satoru ODAHARA	27~34
Development of new integration of green energy and healthcare using hot springs in Kirishima area	Takao SUDA Michio OKAMATSU Kimihide TSUKAMOTO Yozo TAMARI Kiyotaka KAMATA Nariaki IMAMURA Midori NAGAI Takahiro OKU	35~38
Survey on the Possibility of Student Mutual Exchange between Polytechnics in Singapore and Kagoshima NCT	Shinichiro UEMURA Shinji ABEMATSU Yasuo HAMAKAWA	39~40
A Study of Organic Transparent Conductive Film by Inkjet Printing	Atsushi NITTA Kazuki SHIMONO	41~45
Development of an Environmental Weather Information Network on the Basis of the Cooperation between National Colleges of Technology and Junior High Schools - part2 -	Kazuhiro, TAKEDA Kojiro, SHIBA Takayuki, TOYOHIRA Yoshinobu, SETO Masaki, MAEZONO Kenji, KASHINE Yusuke, ARAMAKI Ryoichi, NAGATA	47~48

Results Report on Starting “Architecture-related” Courses Supported by School Grant for Education in FY2012 Kagoshima National College of Technology	Michio OKAMATSU, Yoko MOURI	49~52
Development of the blended cement which made from Shirasu and gypsum which extracted from waste plasterboard	Yuji Maeno Megumi Mihara Masatoshi Ikeda Takayuki Fukunaga	53~60
A Cross-Cultural Study through Staying with Host Families in the United Kingdom	Kaori TSUKAZAKI	61~69
Development of an Educational Program for Manufacturing and Scientific Experimental Classes “Kagoshima National College of Technology Day 2012” for Schoolchildren	Takaaki OHTAKE, Shunichi YAMASHITA, Takayuki YAMADA, Yoshimitsu WAKIZONO, Nagisa KAWAGOE, Tokihide NIIRO and Satoshi NAKAMURA	71~76
Pc5 pulsations detected by an FM-CW radar	Akihiro IKEDA Kiyohumi YUMOTO Manabu SHINOHARA Akimasa YOSHIKAWA Kenro NOZAKI	77~80
Improvement of teaching materials "four-legged robot using a link mechanism" to be used in public lectures	Tsukasa KAMIOKI	81~83
Development of the assistance instrument to achieve high-performance rehabilitation	Ryouichi NAGATA Nariaki IMAMURA	85~86
Report on Improvement of Welding-Training Supported by School Grant for Education in FY 2012 Kagoshima National College of Technology	Takayuki YAMADA	87~89
Extramural Activities (Apr.1, 2012~Mar.31, 2013)		91~100

論文抄録

[原著論文]

潜水艇のモデル化と根軌跡法による 深度制御

松元遼太, 岩本才次, 渡辺 創, 中村 彰

本研究は、潜航体のうち最も単純な形状をした円筒型潜水艇のモデル化と、深度制御系の合理的な設計法の構築を目的としたものである。

まず、円筒型潜水艇の縦運動に関して、昇降舵を用いた垂直面内の旋回シミュレーションによって運動モデルの特性を調査した。次に、根軌跡法によって決定した PD 調節器を用いた潜水艇の深度制御系について過渡応答を調べた。

その結果次の結論を得た。

1. 円筒型潜水艇の縦運動モデルの非線形性は小さい。
2. 根軌跡法による合理的なゲイン設計が可能である。
3. 代表根の根軌跡に分離点が生じる場合は、その点のゲインが制御目的を達成するゲインとなる。
4. 制御系設計にあたっては操作部の性能を考慮しなければならない。

[原著論文]

準構造船とアイヌ民族のイタオマチブについて

岩本才次

日本列島ではフネは有史以前から人や物の運搬手段として、また漁労の道具としてつくられ運用されてきた。弥生式文化時代

後期に出現したといわれる準構造船は、刳舟に棚板を築き上げた比較的単純な構造の舟である。しかし、実際にどのように製作されたかは詳らかではない。

本研究は、文字文化を持たないアイヌ民族の「イタオマチブ」建造に、古代の準構造船建造の儀礼と技術が伝承されていると考えられることから、文献調査によって準構造船の建造過程や航海法について考察し、また、船体構造の変革を促したと思われる弥生式文化時代中期や室町時代中期の大工道具の発達について論考したものである。

[原著論文]

球形タンク内液体水素の蒸発率に及ぼす Sloshingの影響

小田原 悟

水素エネルギー利用技術推進のためには、海外の豊富な風力エネルギーによる水電解液体水素のタンカー輸送時の蒸発率低減が重要である。本研究ではアクリル製球形タンクの水平揺動スロッシング実験を行い、容器の揺動に伴う液面運動をカメラで撮影し、液面振幅の周波数応答特性を調べた。球形タンク内の液面振幅を第1次モードのみの線形解析で推定した。また、球形タンクのスロッシング現象に加えて、液面と壁面との強制対流伝熱による相変化が連成した場合の蒸発量を概算した。スロッシングで球形タンク内液体が激しく振動すると蒸発量が大きくなる。本校に導入される再生可能エネルギー発電設備を利用した技術開発の重要性についても論じた。

[ノート]

霧島地区の温泉資源を活用するエネルギー、環境、ヘルスケアを統合した開発プロジェクトの可能性について

須田隆夫, 岡松道雄, 塚本公秀, 玉利陽三, 鎌田清孝, 今村成明, 永井 翠, 奥 高洋

霧島地区の温泉資源を活用した、町おこしのための様々な開発プロジェクトの可能性について検討した。バイナリーサイクル発電を利用したエコハウス、エコタウンの実現が可能であることが示された。熱電素子を用いた温泉廃熱のエネルギーハーベスティングによる LED 照明が可能であることが実験的に示された。またヘルスケアへの温泉利用の観点から、温泉入浴のストレス抑制効果の評価のための方法として、筋電計による心拍・脈波計測、無線型脳波計の利用による脳波計測について検討した。携帯情報端末を利用した研究者間での情報共有の手法について検討した。

[報告]

シンガポールにおけるポリテクニクの学生との相互交流に関する訪問調査

植村眞一郎, 楠松伸二, 濱川恭央

産業構造の変化に伴い、企業においても教育機関においてもグローバル化は、もはや避けて通れない状況である。本校は国際交流委員会が語学研修などを企画しているが、電子制御工学科では平成25年度の夏期休業中に3年生をシンガポールのニース・ポリテクニクに派遣し、学生交流を計画している。そのための事前調査を実施した。対象校および学生はニース・ポリテクニク

の機械系・メカトロニクス系学科の学生である。話し合いの中で、日本からは9月に、シンガポールからは3月にそれぞれ学生交流を実施することを確認した。

[原著論文]

インクジェット法を用いた有機透明導電膜に関する研究

新田敦司, 下野和輝

近年、有機材料の電子デバイスへの応用が注目されている。有機材料を用いたデバイスの特徴は、"プリンタブル"と "フレキシブル"である。しかし、有機材料素子の特性向上が問題となっている。本研究では、有機導電性材料のPEDOT/ PSSを使用して、インクジェット印刷によって作製した透明導電膜の特性改善を行った。特性の改善には、UV/O₃洗浄によるフィルム基板の洗浄と成膜後の熱処理を行った。その結果、薄膜の抵抗値は低下した。しかし、表面状態は熱処理によって悪化し、可視光透過率が低下した。基板の表面状態や成膜後の熱処理温度が薄膜の特性に関連していることが分かった。

[ノート]

高専・中学校の連携による環境気象情報ネットワークの構築 ―その2―

武田和大, 芝 浩二郎, 豊平隆之, 瀬濤喜信, 前園正宜, 檜根健史, 荒巻勇輔, 永田亮一

既報では統合型気象センサとインターネットを利用した気象情報自動観測システムの構築についてその構成と稼働状況を報告した。本報では、システムで得られた測定

データと気象台の観測データを比較して、本システムの観測値の実用性を確認した。また、これまでとは異なる気象センサへのプロトコルに対応し、使用できる気象センサを増やした。さらに初の県外への設置をし、測定点に弓削商船高専を加え、これまでの県内とあわせ測定点は6カ所となった。

[ノート]

平成24年度校内教育助成に係る建築関連講座立上げに関する成果報告

岡松道雄，毛利洋子

鹿児島工業高等専門学校において平成22年度、土木工学科が都市環境デザイン工学科として改称され、建築系の講座を複数開設する運びとなった。

一昨年度の報告では、平成22年度に開講された「都市環境デザイン工学概論」と「基礎製図」（いずれも1年生対象の基礎科目）について、昨年度の報告では、「景観設計」（5年生対象の応用科目）について平成22年度と23年度に亘って記述した。

本稿では上記の他に23年度から24年度に亘って開講された科目をとりあげる。なお25年度には、所期の建築関連科目の開講がすべて完了することから、まずこれらの科目相互の関連と位置付けについてまとめ、検証し、今後の教育課程の修正に役立てたい。

[原著論文]

廃石膏としらすを活用した混合セメントの開発

前野祐二，三原めぐみ，池田正利，
福永隆之

本論は鹿児島に多く堆積しているしらすと建設廃棄物として排出されている廃石膏の有効利用の研究成果である。この研究ではしらすのボゾラン活性と廃石膏を混合することにより生成される水和物を明らかにし、生成特性を明らかにしている。早期にはエトリンガイト、モノサルフェートの生成、長期的にはエトリンガイト結晶が消失し、CSHが生成される可能性がある。しかし、廃石膏量が少ない時は、強度は増加し、CSHが生成され、強度もセメントのみの場合とほとんど同じ強度になるようである。

[原著論文]

英国文化に関する研究

—ホスト・ファミリーとの生活を通して

塚崎香織

2012年の英国は、エリザベス女王の即位60周年と、ロンドン・オリンピック、パラリンピックという大きなイベントがあり、世界中から注目された年であった。同じ年に、鹿児島工業高等専門学校5年生を対象とした英国文化に関する講義「比較文化概論」を担当した。しかし、英国文化に対する学生の関心は非常に高かったにもかかわらず、イギリス英語や、その文化についての知識は大変乏しいことがわかった。そこで、英国の文化について、いくつかの特徴をまとめることにした。

[原著論文]

小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」におけるプログラムの開発

大竹孝明, 山下俊一, 山田孝行, 脇園好光,
川越 渚, 新納時英, 中村 哲

地域での創造的人材の育成と、子どもたちの理科離れを食い止めるため、鹿児島市立科学館との連携により、科学実験教室等の各種イベントを通じて科学に対する興味や関心を高め、夢や創造性を育む機会を設ける事業を計画した。この事業は、独立行政法人科学技術振興機構(JST)の「平成 24 年度科学コミュニケーション推進事業 活動実施支援」に、“小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」”のテーマで採択され、鹿児島高専を地域へ広く PR し、科学技術者育成を行う本校への志願者増に向けた広報活動の一環とも位置づけ、科学実験教室や展示等を、平成 24 年 8 月 19 日(日)に鹿児島市立科学館にて実施した。

[原著論文]

FM-CWレーダーによるPc5型地磁気脈動の観測

池田昭大, 湯元清文, 篠原 学,
吉川顕正, 野崎憲朗

FM-CWレーダーによる電離圏電場観測により、昼側および夜側にて、Pc5(周期150～600秒の電磁波動現象)を捉える事に成功した。昼側のPc5は地上磁場変動と電離圏電場変動が同期しており、電離圏電場が地上の磁場変動を引き起こしていると考えられる。夜側においても、地上磁場と電離圏電

場の変動にPc5周期帯の変動が確認されたが、両者の変動のパターンから、地上磁場変動が電離圏電場(電流)によって引き起こされていないと考えられる。夜側の地上磁場Pc5を励起する要因は、太陽風の変動などの電離圏以外からの影響を調査する必要がある。

[報告]

公開講座「リンク機構を用いた4足歩行ロボット」教材の改良

上沖 司

近年、理科離れ対策の1つとしてもものづくり教育が推進されており、本校でも様々な教育改善が行われてきた。その一環として開講している公開講座の新たな試みとして、「リンク機構を用いた4足歩行ロボット」教材の設計・開発を2010年に行った。その後も、使用部品や手順の見直しを進め、より活用できる教材へと改良を重ねてきた。その状況を踏まえ、2012年度は小学校への出前講座を1件、中学生への公開講座を2件、海外学生のショートステイプログラムと4つの講座を行い、教材の有用性を検証し、その成果を報告する。

[ノート]

リハビリテーションの高機能化を実現する介助器具の開発

永田亮一, 今村成明

脳外傷や脳の病気などによる脳損傷は、命に係わる重大な損傷であるとともに、ようやく命が助かっても、さまざまな後遺障害が残ってしまう。このため、その後の生

活の質を少しでも向上させるためにリハビリテーションは回復期の大変重要な治療となる。しかし、リハビリテーションは患者と介助者の両者に大きな負担となる。そこで、脳損傷後に麻痺した下肢へのリハビリテーションを対象として、トレッドミル装置を用いた歩行訓練の介助器具を開発した。このことから、介助者の負担が軽減された。また、介助者が訓練中の患者にマッサージを施せるなど、リハビリテーションの高機能化が図られた。

[ノート]

平成24年度校内教育助成による溶接実習 改善に関する報告

山田孝行

昨今、予算の削減が著しく、学生の実験、実習においても、コストを含めた内容の見直しが必要であると感じられるようになってきた。溶接実習は、機械工学科の他の実習と比較しても高コストであったため、経費削減努力を行うべきであると判断し、消耗品や材料の見直しを行った。また、TIG溶接実習において、安価な溶接材料への置換により失われてしまう実習の新規性に代わり、より実践的な内容の導入で、教育効果の低下が起きないように配慮した。更に、電極研磨機を導入することで、時間的効率化と危険作業の低減を達成できた。

潜水艇のモデル化と根軌跡法による深度制御

松元 遼太[†] 岩本 才次^{††} 渡辺 創^{††} 中村 彰^{†††}

Modeling of an Underwater Vehicle and the Depth Control with Root Locus Technique

Ryota MATSUMOTO Seiji IWAMOTO So WATANABE Akira NAKAMURA

In recent years, the ocean attracts our attentions increasingly to investigations of natural resources and the mechanism of an active fault, etc. In the job in the sea of the large depth of water where a diver cannot do it, we have to depend on a manned submarine boat, or unmanned ROV and AUV. When controlling the motion of an unmanned underwater vehicle, it is important that the motion characteristics are understood first and that a control system is rationally designed next.

From the above backgrounds, in this paper, we derived the equations of motion of six degree-of-freedom of a cylindrical type underwater vehicle, and carried out the simulation about fundamental vertical motion (surging, heaving, pitching). Furthermore, using the root-locus method, we determined the parameters of PD controller and confirmed that a good depth control performance was obtained.

Keywords : Underwater Vehicle, Equations of Motion, Euler's Angle, Root Locus, PD Control, Depth Control

1 緒 言

近年、石油や天然ガスなどの天然資源の探査作業、あるいは地震を誘発する海底プレートや活断層のメカニズム調査など、様々な場面でますます海洋に注目が集まっている。

海中作業が必要であるにもかかわらず、ダイバーでは対応できない大水深の場合には、有人潜水船または比較的運用が容易な無人の ROV (Remotely-Operated Vehicle : 遠隔操作型潜水艇) や AUV (Autonomous Underwater Vehicle : 自律型無人潜水艇) による作業に頼ることになる。無人潜水艇の運動を制御する場合、先ず最も重要になるのはその運動特性の把握であり、次に制御系設計の問題である。

以上のような背景から本研究では、潜水艇の運動モデルの構築と合理的な制御系設計法の開発を目的とし、最も単純な形状をした円筒型潜水艇について検討した。

先ず 6 自由度の運動方程式を導出し、基本的な縦運動 (surging, heaving, pitching) に関する動作確認を計算機シミュレーションによって行った。次に潜水艇の深度制御のための PD 調節器のパラメータを根軌跡法によって決定し、良好な制御性能が得られることを計算

機シミュレーションによって確認した。

2 潜水艇の運動方程式

一様流体中を航行する潜水艇の運動について考える。潜水艇の運動を記述するための艇体固定座標系(o -xyz)

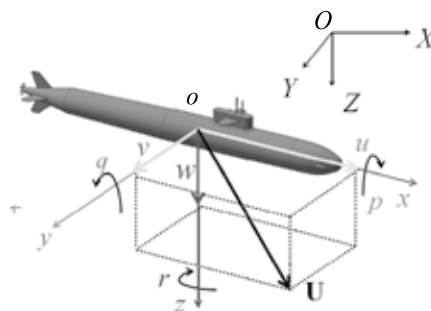


Fig. 2-1 Vehicle-fixed and space-fixed coordinate systems

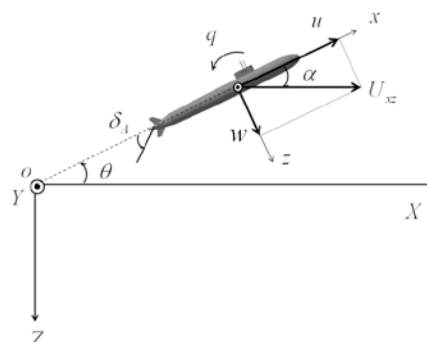


Fig. 2-2 Space-fixed coordinate system in X-Z plane

[†] 九大大学院総合理工学府大気海洋環境システム学専攻

^{††} 鹿児島工業高等専門学校 機械工学科

^{†††} 九大大学院総合理工学府先端エネルギー理工学専攻

と空間固定座標系($O-XYZ$)を Fig. 2-1 に示す. 両座標系ともいわゆる右手系¹⁾である.

縦運動, すなわち, $O-XZ$ 垂直平面内の艇体運動は, Fig. 2-2 に示す座標系を用いて定式化される. 艇体固定座標系の原点は, 艇体重心位置にあるものとする. 潜水艇の変位は, *surging* は艇体前方を正, *heaving* は艇体下方向を正, *pitching* は *bow up* を正とする. また, 艇体の姿勢を制御する *elevator* (昇降舵) は, 艇体が船首下げの潜降姿勢をとる下向き操舵を正とする.

2.1 潜水艇の非線形運動方程式

本研究では, 飛行体や浮体の最も基本的な運動である縦運動のみを検討対象とする.

Fig. 2-2 の艇体固定座標系を採用すると, 2次元空間の一樣流体中を運動する潜水艇の非線形縦運動方程式は次式で表される^{2), 3)}.

$$\left. \begin{aligned} (m + A_{11})\dot{u} + m z_G \dot{q} &= F_x(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \\ (m + A_{33})\dot{w} - m x_G \dot{q} &= F_z(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \\ (I_{yy} + A_{55})\dot{q} - m x_G \dot{w} + m z_G \dot{u} &= M_y(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

ただし, m, A_{11}, A_{33} [kg]は艇の質量及び付加質量, I_{yy}, I_{ij} [kg・m²]は慣性モーメント及び慣性乗積, A_{55} [kg・m²]は付加慣性モーメント, $r_G = (x_G, y_G, z_G)$ [m]は艇の重心座標, L [m]は艇の全長, u, w [m/s]は艇の x, z 軸方向速度, q [rad/s]は艇の y 軸回りの角速度, F_x, F_z [N]は艇に働く x, z 軸方向外力, M_y [N・m]は艇に働く y 軸回りモーメントである.

2.2 縦運動方程式の無次元化

無次元化された運動方程式は, 主要目を変更するだけで, 形状が幾何学的に相似な, 異なる大きさの潜水艇の運動計算が容易にできる便利があるので, 次の無次元量を(2-1)式に導入し無次元化する. また流体力についても同様に無次元化³⁾を行う. “・”が無次元化を表している.

$$\begin{aligned} m', A'_{11}, A'_{33} &= m, A_{11}, A_{33} / \frac{1}{2} \rho L^2 d, \\ I'_{xx}, I'_{yy}, I'_{zz}, A'_{55} &= I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, A_{55} / \frac{1}{2} \rho L^4 d, \\ F'_x, F'_z &= F_x, F_z / \frac{1}{2} \rho L d U^2, \\ M'_y &= M_y / \frac{1}{2} \rho L^2 d U^2, \\ x'_G, z'_G &= \frac{x_G, z_G}{L} \end{aligned}$$

以上の無次元値を用いると以下の式を得る.

$$\left. \begin{aligned} (m' + A'_{11}) \frac{L}{U^2} \dot{u} + m' z'_G \frac{L^2}{U^2} \dot{q} &= F'_x(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \\ (m' + A'_{33}) \frac{L}{U^2} \dot{w} - m' x'_G \frac{L^2}{U^2} \dot{q} &= F'_z(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \\ (I'_{yy} + A'_{55}) \frac{L^2}{U^2} \dot{q} - m' x'_G \frac{L}{U^2} \dot{w} + m' z'_G \frac{L}{U^2} \dot{u} &= M'_y(u, v, w, p, q, r, \phi, \theta, \psi) \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

(2-2)式の外力 F'_x, F'_z およびモーメント M'_y は次式に示すような成分に分離される.

$$\left. \begin{aligned} F'_x &= F'_{GBx} + F'_{Lx} + F'_{Dx} + F'_{ARx} + F'_p \\ F'_z &= F'_{GBz} + F'_{Lz} + F'_{Dz} + F'_{ARz} \\ M'_y &= M'_{GBy} + M'_{Ly} + M'_{Dy} + M'_{ARy} + M'_{Ty} \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

ただし, $F'_{GBx}, F'_{GBz}, M'_{GBy}$ は重力および浮力による外力及びモーメント, $F'_{Lx}, F'_{Lz}, M'_{Ly}$ は慣性流体力による外力及びモーメント, $F'_{Dx}, F'_{Dz}, M'_{Dy}$ は減衰力による外力及びモーメント, $F'_{ARx}, F'_{ARz}, M'_{ARy}$ は *elevator* による外力及びモーメント, F'_p はプロペラ推力, M'_{Ty} は重心回りの角運動量によるモーメントである.

各成分を書き下すと, 次のように表される.

$$\begin{aligned} F'_{GBx} &= -\left(m' - \frac{2V}{L^2 d}\right) g \sin \theta \frac{L}{U^2} \\ F'_{Lx} &= \left\{ -\left(m' + A'_{33}\right) q w + m' x'_G L q^2 \right\} \frac{L}{U^2} \\ F'_{Dx} &= \left(\frac{X'_{uu} u^2 + X'_{ww} w^2}{L} \right) \frac{L}{U^2} \\ F'_{ARx} &= \frac{-a_{DA} |\delta_A + \alpha| S'_A u^2}{L} \frac{L}{U^2} \\ F'_p &= \frac{F_p}{\frac{1}{2} \rho L^2 d} \frac{1}{L} \frac{L}{U^2} \\ F'_{GBz} &= \left(m' - \frac{2V}{L^2 d}\right) g \cos \phi \sin \theta \frac{L}{U^2} \\ F'_{Lz} &= m' z'_G L q^2 \frac{L}{U^2} \\ F'_{Dz} &= Z'_w w \frac{1}{U} + Z'_q q \frac{L}{U} + (m' + A'_{11}) u q \frac{L}{U^2} \\ F'_{ARz} &= \frac{-a_{DA} (\delta_A + \alpha) S'_A u^2}{L} \frac{L}{U^2} \\ M'_{GBy} &= \left\{ -\left(m' z'_G - \frac{2V}{L^2 d} z'_B\right) g \sin \theta - \left(m' x'_G - \frac{2V}{L^2 d} x'_B\right) g \cos \phi \cos \theta \right\} \frac{L}{U^2} \\ M'_{Ly} &= -m' z'_G q w \frac{L}{U^2} \\ M'_{Dy} &= M'_w w \frac{1}{U} + (A'_{33} - A'_{11}) u w \frac{1}{U^2} + M'_q L q \frac{1}{U} - m' x'_G L u q \frac{1}{U^2} \\ M'_{ARy} &= \frac{-a_{DA} (\delta_A + \alpha) S'_A u^2}{L} \frac{L}{U^2} \end{aligned}$$

また, Fig. 2-2 より, 潜水艇の速度 u と w がなす角 (迎角) α は次式で計算できる.

$$\alpha = \tan^{-1}(w/u) \quad (2-4)$$

ただし, V [m³] は潜水艇体積, $r_B = (x_B, y_B, z_B)$ [m] は浮心座標, d [m] は潜水艇直径, F_p [N] はプロペラ推力, l_p [m] はプロペラ取り付け位置, $g = 9.80665$ [m/s²] は重力加速度, $\rho = 998.23$ [kg/m³] は流体密度,

X_w, X_{ww}, Z_w, M_w は速度に関する流体力微係数,

Z_q, M_q は角速度に関する流体力微係数,

S_A [m²] はエレベータの最大投影面積,

l_A [m] はエレベータの取り付け位置,

a_{ltA}, a_{dtA} はエレベータの揚力傾斜及び抗力傾斜,

δ_A [rad] はエレベータ操舵角, X, Y, Z [m] は空間固定座標系における潜水艇の位置, ϕ, θ, ψ [rad] はオイラー角である. ただし, オイラー角はそれぞれ roll, pitch, yaw に対応する.

2.3 縦運動方程式の線形化

今, 潜水艇が一定速度 u_0 で直進していると仮定し, 微小擾乱を仮定して線形化を行うと縦方向運動方程式は(2-2)式の第 2, 3 式から以下のように表される.

$$\left. \begin{aligned} \dot{w} - a_{03}\dot{q} - a_{04}w - a_{05}q + \frac{b_{03}}{u_0}w &= -b_{03}\delta_A + b_{04} \\ \dot{q} - a_{06}\dot{w} - a_{07}q - a_{08}w + a_{09}\theta + \frac{b_{05}}{u_0}w &= -b_{05}\delta_A - b_{06} \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

(2-5)式の係数は以下のように表される.

$$\begin{aligned} a_{03} &= \frac{m'x'_G L}{(m' + A'_{33})}, \quad a_{04} = \frac{Z'_w U_0}{L(m' + A'_{33})}, \quad a_{05} = \frac{Z'_q U_0 + (m + A_{11})u_0}{(m' + A'_{33})}, \\ a_{06} &= \frac{m'x'_G}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L}, \\ a_{07} &= \frac{M'_q U_0 - m'x'_G u_0}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L}, \\ a_{08} &= \frac{M'_w U_0 + (A'_{33} - A'_{11})u_0}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L^2}, \\ a_{09} &= \frac{g}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L} \left(m'z'_G - \frac{2V}{L^2} z'_B \right), \\ b_{03} &= \frac{AS'_A u_0^2}{L(m' + A'_{33})}, \quad b_{04} = \frac{g}{(m' + A'_{33})} \left(m' - \frac{2V}{L^2} d \right), \\ b_{05} &= \frac{AS'_A l'_A u_0^2}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L}, \\ b_{06} &= \frac{g}{(I'_{yy} + A'_{55} + m'z_G'^2 + m'x_G'^2)} \frac{1}{L} \left(m'x'_G - \frac{2V}{L^2} x'_B \right) \end{aligned}$$

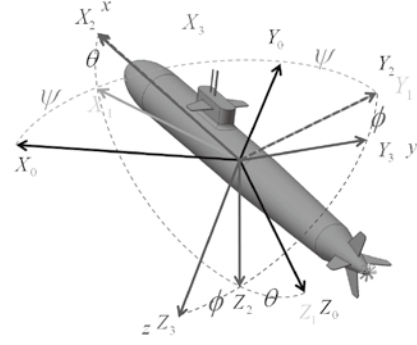


Fig. 2-3 Coordinate translation using Euler's angle

2.4 オイラー角を用いた座標変換

一般に空間における物体の運動は, 物体に固定された動座標系によって定義されるが, 物体の運動状態や姿勢を客観的に把握するためには, 空間固定座標系へ変換しなければならない.

Fig. 2-3 に示すように潜水艇の艇体回転はオイラー角 (ϕ, θ, ψ) を用いて定義することができ, 艇体固定座標系から空間固定座標系への変換^{1),4)}は次式のように表される.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = E^{-1}_{(\phi, \theta, \psi)} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2-6)$$

ここで, $E^{-1}_{(\phi, \theta, \psi)}$ は次式で表される座標変換行列である.

$$E^{-1}_{(\phi, \theta, \psi)} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{pmatrix}$$

(2-6)式を用いると潜水艇の重心の位置を空間固定座標系で表すことができる. また, 空間固定座標系における潜水艇の速度成分は次式で表される.

$$\begin{pmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{pmatrix} = E^{-1}_{(\phi, \theta, \psi)} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

また, オイラー角と艇体固定座標系の角速度 $\omega = (p, q, r)$ [rad/s] の関係から, オイラー角は次式で計算される.

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi \sec \theta & \cos \phi \sec \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} \quad (2-8)$$

(2-7), (2-8)式は6個の未知量 $X, Y, Z, \phi, \theta, \psi$ に関する一階の常微分方程式である。6個の未知量の初期条件を与えれば解を得ることができ、空間固定座標系の潜水艇の重心位置と姿勢が決定できる。ただし、ここでは X, Z, ϕ についてのみ知ればよい。また、(2-7)式と(2-8)式から Z 軸方向変位 Z および pitching 角 θ 、また(2-4)式を線形化して表すと以下ようになる。

$$\dot{Z} = -u_0\theta + w, \quad \dot{\theta} = q, \quad \alpha = w/u_0 \quad (2-9)$$

3 制御対象の運動性能

3.1 潜水艇の主要目

Fig. 3-1 に潜水艇の三面図を示す。操縦翼面である elevator および rudder は潜水艇胴体の後方に取り付けられている。また Table 1 に潜水艇の各種寸法値や流体力微係数を示す。

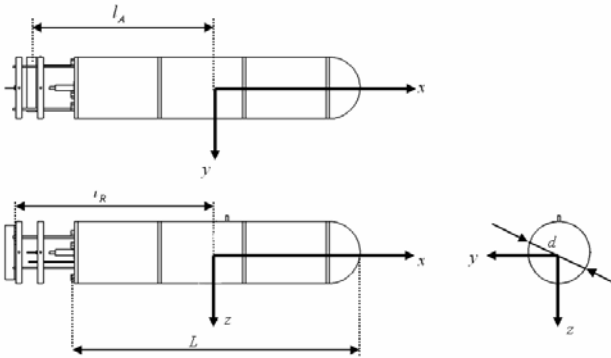


Fig. 3-1 Skeleton of UV

Table 1 Principal particulars and hydrodynamic derivatives

$V[m^3]$	0.0035	l_A'	0.018
m'	0.3491	A_{11}'	0.0209
$L[m]$	0.45	A_{33}'	0.3246
x_G'	0	A_{55}'	0.0141
y_G'	0	S_A'	0.0222
z_G'	0	X_{uu}'	-0.02
x_B'	0	X_{ww}'	0.6981
y_B'	0	Z_w'	-0.6981
z_B'	0	M_w'	-0.0887
I_{xx}'	0.018	Z_q'	-0.0887
I_{yy}'	0.3085	M_q'	-0.0394
I_{zz}'	0.3085		

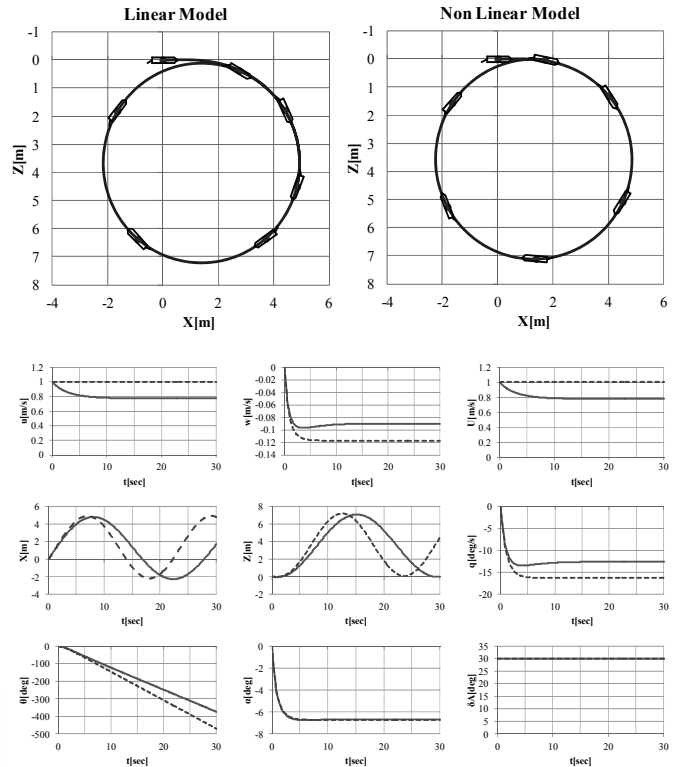


Fig. 3-2 Simulations of underwater maneuver

3.2 線形モデルと非線形モデルの運動性能

Fig. 3-2 の上段に、一定水深を船速 1.0 m/s で定常水平航行している潜水艇の重心が空間固定座標系の原点に達した時、エレベータを 30 度正方向にきった場合の艇体重心の垂直面内旋回軌跡を示す。推力は 0.0458kg で一定である。左図が線形モデル、右図が非線形モデルの重心軌跡である。

Fig. 3-2 下段に、その時の状態量を示す。破線は線形モデル、実線は非線形モデルを示す。

シミュレーション時間は 30 秒、上段の旋回軌跡では潜水艇の大きさを 2 倍に拡大して示している。

線形モデルと非線形モデルの旋回運動シミュレーションにおいて、非線形モデルは艇の速度 u が 20% 以上低下しているが、両者の旋回直径ともに 7.5m 程度でほとんど差異はない。このことから今回作成した潜水艇モデルでは、運動特性の非線形性は小さいと考えられる。

4 根軌跡法による制御系設計

4.1 線形モデルの伝達関数

根軌跡法を用いて PD 補償器のゲイン設計をするため、潜水艇の線形縦運動方程式から伝達関数を求める。

入力を elevator の操舵角 δ_A 、出力を潜航深度 Z とす

るときの伝達関数は、(2-5)式と(2-9)式をラプラス変換し次式のように求められる．ここで、 $\mathcal{L}[w]=w(s)$ 、 $\mathcal{L}[q]=q(s)$ 、 $\mathcal{L}[Z]=Z(s)$ 、 $\mathcal{L}[\theta]=\theta(s)$ 、初期条件は $w(t)|_{t=0}=0$ 、 $q(t)|_{t=0}=0$ 、 $Z(t)|_{t=0}=0$ 、 $\theta(t)|_{t=0}=0$ とする．また、 b_{04} 、 b_{06} は 0 である．

$$\left. \begin{aligned}
 &sw(s) - a_{03}sq(s) - a_{04}w(s) - a_{05}q(s) + \frac{b_{03}}{u_0}w(s) \\
 &\quad = -b_{03}\delta_A(s) \\
 &sq(s) - a_{06}sw(s) - a_{07}q(s) - a_{08}w(s) + a_{09}\theta(s) \\
 &\quad + \frac{b_{05}}{u_0}w(s) = -b_{05}\delta_A(s) \\
 &-w(s) + sZ(s) + u_0\theta(s) = 0 \\
 &-q(s) + s\theta(s) = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

(4-1)式より $\delta_A(s)$ から $Z(s)$ までの伝達関数は次のようになる．

$$G_1(s) = \frac{Z(s)}{\delta_A(s)} = \frac{Es^2 + Fs + G}{s(As^3 + Bs^2 + Cs + D)} \quad (4-2)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 A &= 1 - a_{03}a_{06}, \\
 B &= -a_{04} - a_{07} - a_{03}a_{08} - a_{05}a_{06} + a_{03}b_{05} + b_{03}/u_0, \\
 C &= a_{04}a_{07} - a_{05}a_{08} + (a_{05}b_{05} - a_{07}b_{03})/u_0 + a_{09}, \\
 D &= -a_{04}a_{09} + a_{09}b_{03}/u_0 = 0, \\
 E &= -a_{03}b_{05} - b_{03}, \\
 F &= -a_{05}b_{05} + a_{06}b_{03}u_0 + a_{07}b_{03} + b_{05}u_0, \\
 G &= -a_{04}b_{05}u_0 + a_{08}b_{03}u_0 - a_{09}b_{03}
 \end{aligned}$$

4.2 フィードバックシステムの伝達関数

一般に、PID 調節計によるフィードバック制御系は Fig. 4-1 に示すように、偏差 $E(s)$ に比例動作、積分動作および微分動作を施して操作量 $U(s)$ が生成される．

操作量 $U(s)$ は PID 調節器の特性を用いて次式で表される．

$$U(s) = \left(K_p + K_I \frac{1}{s} + K_D s \right) E(s) \quad (4-3)$$

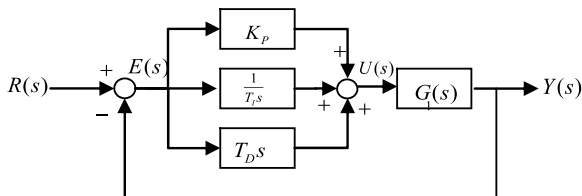


Fig. 4-1 Block diagram of PID control system

ここでは外乱を考慮しておらず定常偏差が生じないため、潜水艇の縦運動制御は P 調節器と PD 調節器を用いた制御について検討する．ここで、微分時間を $K_D = T_D$ とおき微分ゲインと呼ぶことにする．

今、比例ゲイン K_p のみの制御系を考えると、(4-2)式の D が結果的に 0 となるので、制御系の一巡伝達関数は次式で与えられる．

$$G_2(s) = K_p G_1(s) = K_p \frac{Es^2 + Fs + G}{s^2(As^2 + Bs + C)} \quad (4-4)$$

また、PD 制御においては、比例ゲイン K_p を固定し、微分ゲイン K_D を変数としたときの一巡伝達関数は次式で与えられる．

$$\begin{aligned}
 G_3(s) &= (K_p + K_D s) G_1(s) \\
 &= \frac{K_D Es^3 + (K_p E + K_D F)s^2 + (K_p F + K_D G)s + K_p G}{s^2(As^2 + Bs + C)}
 \end{aligned} \quad (4-5)$$

このとき、PD 制御におけるシステムの伝達関数は次式で与えられる．

$$G_4(s) = \frac{(K_p + K_D s) G_1(s)}{1 + (K_p + K_D s) G_1(s)} \quad (4-6)$$

4.3 根軌跡法によるゲインの決定

ここで設定する制御仕様は次の 2 点である．

1. ステップ入力に対してオーバーシュートしないこと．
2. できるだけ応答が速いこと．

エレベータで潜水艇の深度を制御する場合のゲイン設計に根軌跡法⁵⁾を用い、P 制御と PD 制御について検討する．

P 制御の場合、 K_p を 0 から ∞ まで変化させたときの

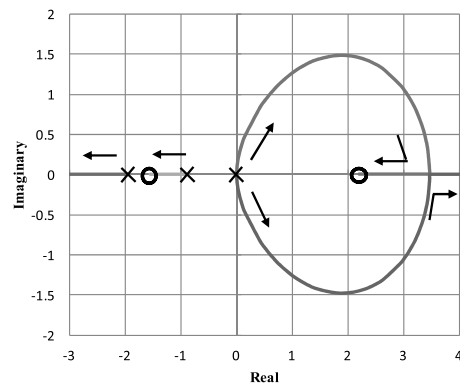


Fig. 4-2 Root loci of P action control
 ($u_0=1.0\text{m/s}$, parameter: K_p)

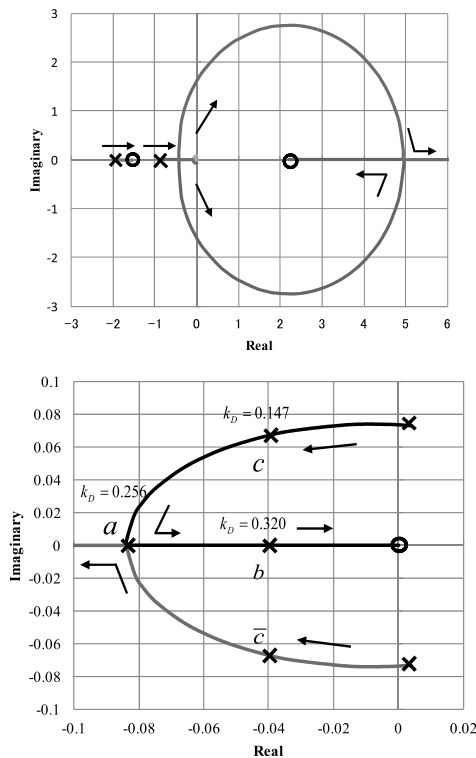


Fig. 4-3 Root loci of PD control system
($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.01$)

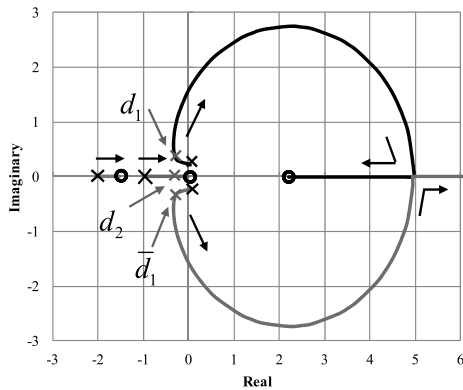


Fig. 4-4 Root loci of PD control systems
($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.1$)

根が s 平面上に描く根軌跡を Fig. 4-2 に示す. 2つの重なった極が原点から出発し、虚軸に交わることなく右半平面に根軌跡を描く. 従って艇体自身が不安定であり、比例ゲインによるフィードバックループを施しても安定な制御はできないことが分かる.

次に PD 制御の場合、比例ゲイン K_P を 0.01, 0.1, 1.0 と固定して微分ゲイン K_D を 0 から ∞ まで変化させたときの根軌跡を Fig. 4-3, Fig. 4-4, Fig. 4-5 に示す.

Fig. 4-3 の上図では、極の数は 4 つで零点は 3 つである. 上図の原点近傍の代表根を下図に拡大して示す.

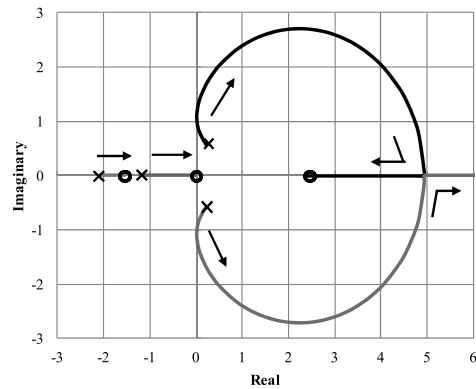


Fig. 4-5 PD control system ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=1.0$)

拡大図の右半平面の共役複素極は $0.0038 \pm j0.0732$ であり、 $K_P=0.01$, $K_D=0$ においてシステムは不安定である. 根軌跡は右半平面の共役複素極から出発し微分ゲイン K_D の増加に伴い、左半平面の安定領域へと移動する. 共役複素根は実軸上の $s = -0.0836$ (a 点) で分離点的形成し、直後に負の実軸上を左右に分かれそれぞれ零点と正の無限遠点へ向かう. この分離点 (a 点) での微分ゲインの値は $K_D=0.256$ である. 代表根であるこれらの特性根は、この分離点において最も虚軸から離れることになり、フィードバックゲイン $K_P=0.01$ と $K_D=0.256$ を用いれば、システムはオーバーシュートしない最も速い応答を示す.

Fig. 4-4 に示す $K_P=0.1$ の場合の根軌跡は、Fig. 4-3 の場合と同様に、右半平面上にある 2 つの共役複素極は、両者とも一旦左半平面へ移動した後再び虚軸と交わり不安定な右半平面へと向かう. その後、正の実軸上の分離点で会った直後に左右へ別れ、一つは正の実軸上にある零点へ、もう一つは実軸の正の無限遠点へ向かう. また負の実軸上の 2 つの極はそれぞれ負の実軸上の零点と原点にある零点へ向かう.

Fig. 4-5 は $K_P=1.0$ の場合の根軌跡を示しており、この場合、不安定領域にある共役複素極を出発した特性根は一度も安定な左半平面へ移動することがないので、どのような値の微分ゲイン K_D を設定してもシステムは安定に制御できない.

以上より、PD 調節器を用いた深度制御においては、比例ゲインが $K_P=0.01$ 及び 0.1 の場合には、特性根が左半平面を通過するときの K_D を用いれば安定な深度制御が可能である. また $0 < K_P < 1$ では特性根が左半平面を通過することが類推でき、その時の K_D を用いれば理論的には安定な深度制御の可能性はあることは論を待たない. しかし、非線形性の影響などを考慮すれば、システム安定のために K_P が取り得る範囲は小さくなる.

5 深度制御の過渡応答シミュレーション

以下に示す 5.1 から 5.4 までの目標値は、現在深度から 10m 潜降するステップ入力、5.5 での目標値は一次遅れ系の入力である。

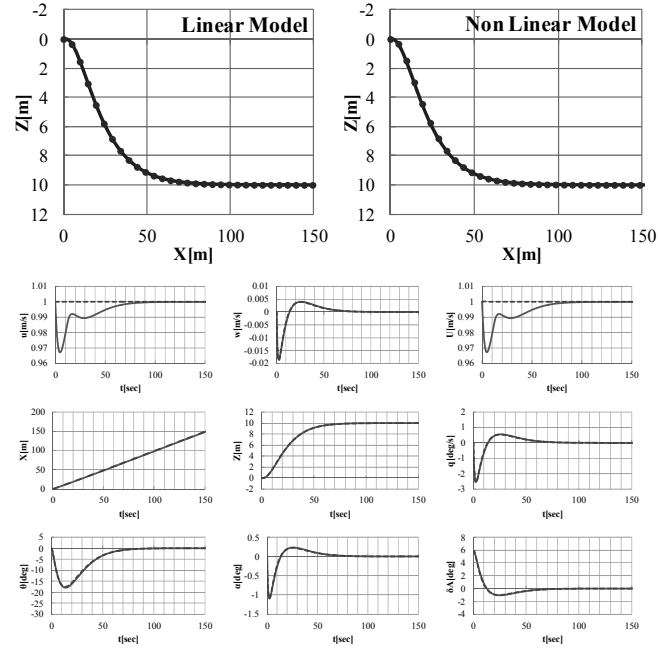


Fig. 5-1 Transient responses of UV depth control using PD controller ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.01$, $K_D=0.256$)

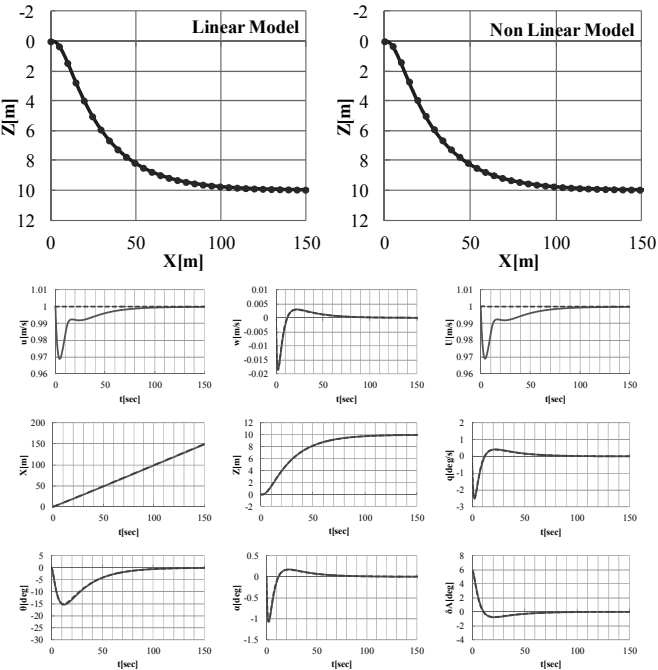


Fig. 5-2 Transient responses of UV depth control using PD controller ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.01$, $K_D=0.320$)

5.1 $K_P=0.01$, $K_D=0.256$ の場合

比例ゲイン $K_P=0.01$ の場合、代表根が分離点 $s=-0.0836$ (a 点) に達したときの微分ゲインは $K_D=0.256$ である。これらのゲインを用いて PD 調節器による深度のフィードバック制御を実施した。

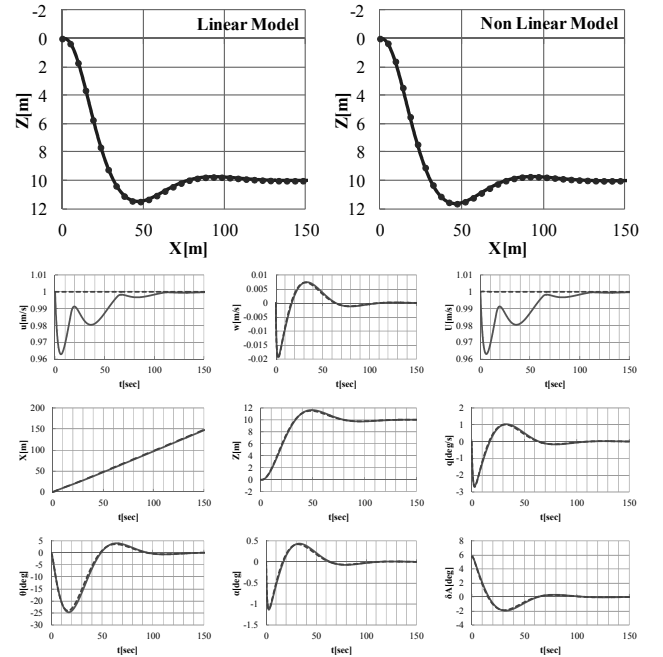


Fig. 5-3 Transient responses of UV depth control using PD controller ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.01$, $K_D=0.147$)

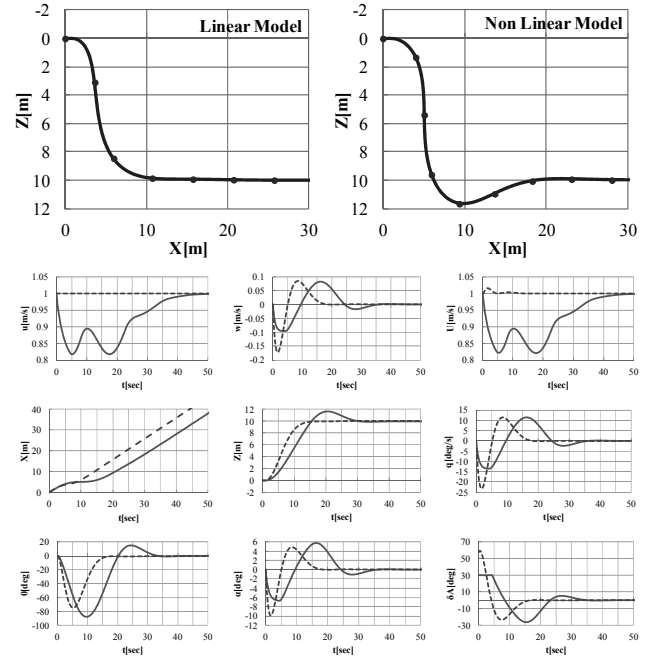


Fig. 5-4 Transient responses of UV depth control using PD controller ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.1$, $K_D=0.691$)

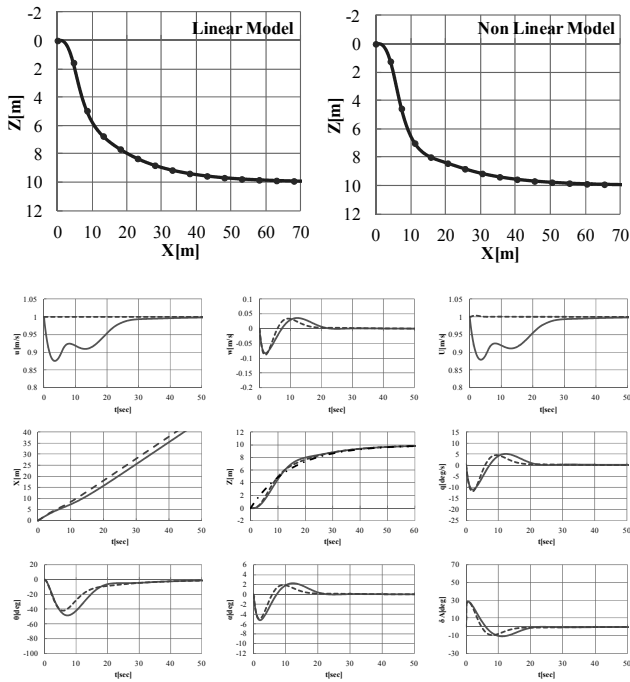


Fig. 5-5 Transient responses of depth control using PD controller to a first order lag desired value ($u_0=1.0\text{m/s}$, $K_P=0.1$, $K_D=0.691$)

線形モデルと非線形モデルによる深度制御の結果を Fig. 5-1 の最上段に示す. 状態量の時系列を下段に示す. 状態量図は左上から右へ, x 軸方向速度, z 軸方向速度, 船速, 中段左から右へ, X 軸方向変位, Z 軸方向変位, ピッチング速度, 下段左から右へ, ピッチング角, u と v がなす迎角 α , elevator の舵角 δ_a を表す. 破線は線形モデル, 実線は非線形モデルを示す. 以下, 図の配置および線種の使い分けは同様である.

5.2 $K_P=0.01$, $K_D=0.320$ の場合

比例ゲイン $K_P=0.01$ の場合の根軌跡で, 特性根が $s=-0.04$ (b 点) に到達したときの微分ゲインは $K_D=0.320$ である. これらのゲインを用いた PD 制御器による深度制御シミュレーション結果を Fig. 5-2 に示す.

5.3 $K_P=0.01$, $K_D=0.147$ の場合

比例ゲイン $K_P=0.01$ の場合の根軌跡で, 特性根が $s=-0.04\pm j0.067$ ($c, \bar{c}$ 点) に到達したときの微分ゲインは $K_D=0.147$ である. これらのゲインを用いた PD 調節器による深度制御シミュレーション結果を Fig. 5-3 に示す.

5.4 $K_P=0.1$, $K_D=0.691$ の場合

比例ゲイン $K_P=0.1$ の場合の根軌跡で, 異なる極から出発した 3 つの特性根が同じ実部を持つ $d_1, \bar{d}_1, d_2$ 点すなわち $s=-0.2777\pm j0.3330$, $s=-0.2777$ に達したとき得られる微分ゲイン $K_D=0.691$ を用いた PD 調節器に

よる深度制御シミュレーション結果を Fig. 5-4 に示す.

5.5 $K_P=0.1$, $K_D=0.691$ の場合 (目標値の調整)

ゲインは 5.4 と同じ条件である. 操作部の舵角が飽和角 30 度に達しないように, 目標値をステップから時定数 15 秒の一次遅れ系へと変更した場合の深度制御結果を Fig. 5-5 に示す. この時の目標値を艇体の深度 Z を表す図に一点鎖線で示している.

6 考察

根軌跡法を用いて決定された微分ゲインの値によって, 潜水艇の深度制御の過渡応答に差異が生じることが, 5 章のシミュレーション結果から分かる.

5.1, 5.2, 5.3 のシミュレーションは, Fig. 4-3 に示すように, $K_P=0.01$ と固定し, $K_D=0\sim\infty$ として描いた根軌跡上の a , b 点および ($c, \bar{c}$) 点に特性根があるときの微分ゲイン K_D を用いて計算したものである.

5.1 では, 分離点 a の位置 $s=-0.0836$ における微分ゲイン $K_D=0.256$ を用いている. Fig. 5-1 に示す過渡応答は, 線形, 非線形モデルともオーバーシュートすることなく約 70 秒で目標深度に達し, 定常位置偏差は 0 に収束している. 線形モデルと非線形モデルの応答にほとんど差異は認められない.

5.2 では, 分離点より虚軸に近い実数極 $s=-0.04$ (b 点) における微分ゲイン $K_D=0.320$ を採用している. Fig. 5-2 に示すように, 両者ともオーバーシュートすることなく, 約 100 秒で目標深度に収束している. この場合も, 線形モデルと非線形モデルの応答に差異はほとんど認められない. ただし, 分離点にある微分ゲインを用いた場合 (5.1 の場合) より目標値に達するまでの応答速度が遅くなっている.

5.3 では, 共役複素極 $s=-0.04\pm j0.067$ ($c, \bar{c}$ 点) での微分ゲイン $K_D=0.147$ を採用している. そのため, Fig. 5-3 に示すように線形, 非線形モデルともに応答は速くなり約 30 秒で目標値に達するが, 応答が振動的なためオーバーシュートを生じ, 結局目標値に静定するためには約 100 秒を要する. ここでも線形モデルと非線形モデルの応答に差異はほとんど認められない.

以上から, 代表根が複素平面の左半平面上で虚軸から離れるほど応答は速く減衰し, また実軸から離れるほど応答は振動的になることが理解され, 理論にかなった応答を示している.

5.4 ではゲイン $K_P=0.1$, $K_D=0.691$ ($d_1, \bar{d}_1, d_2$ 点のゲイン) を用いて深度制御を行っている. Fig. 5-4 に示すように, 線形モデルではオーバーシュートすることなく, 約 15 秒で目標値に達している. 一方, 非線形モ

デルでは応答が振動的でオーバーシュートが発生し、目標値に静定するのに約 30 秒を要している。Fig. 4-4 に示す代表根 ($d_1, \bar{d}_1, d_2$ 点) が前の三者 (Fig. 4-3 の a 点, b 点および $c, \bar{c}$ 点) よりも虚軸から離れていることが、Fig. 5-1~Fig. 5-3 の場合より速応性が良くなった原因である。ただ、特性根が共役複素極 $s = -0.2777 \pm j0.3330$ と実軸上の実数極 $s = -0.2777$ にある微分ゲインを用いているため、線形モデルの深度制御の応答に振動やオーバーシュートが発生すると予想されるが、振動成分の減衰が非常に速く、実際には視認できるような振動は現れない。一方、非線形モデルは目標深度に対して 20% 弱のオーバーシュートが発生している。これは、Fig. 5-4 の非線形モデルのエレベータ操舵角 δ_A がシミュレーション開始から 5 秒間ほど elevator の飽和角 30 度に達するため、要求された操作量を出力できずに生じた応答遅れに起因するオーバーシュートである。すなわち、非線形モデルでは、操作部(elevator)の非線形特性が操縦制御性能に影響を与えることを示している。

非線形モデル、すなわち、実際の潜水艇の制御系設計に際しては、操作部の飽和特性や駆動速度特性を考慮する必要があることを示唆している。

5.5 では 5.4 で生じたオーバーシュートを低減するため、elevator の飽和角が 30 度に達しないよう目標値を調整したものである。すなわち、目標値を時定数 15 秒の一次遅れ系 (一点鎖線) に設定し、10 メートルの深度制御シミュレーションを実施した結果である。状態量 Z の図をみると、一次遅れの目標値に対して過渡的に若干オーバーシュートが生じる部分もあるが、最終目標値 (10 m) に対してオーバーシュートは生じていない。

潜水艇が海底面に沿って航行する場合、海底衝突または接触による艇体破損の可能性やそのことが原因となって、姿勢制御不能に陥る可能性を除去する必要があることから、制御系におけるオーバーシュートは許容しないようにしなければならない。

まだ検討の余地はあるが、目標値をステップ状ではなく、一次遅れまたは二次遅れ系として設定すれば、多くの場合オーバーシュートは除去もしくは軽減できると考えられる。

7 結言

潜水艇の 6 自由度の運動方程式を導出し、そのうち基本的な 3 自由度の縦運動 (surging, heaving, pitching) に関する運動シミュレータを構築した。また、その特

性と性能を計算機シミュレーションによって調査した。

次に潜水艇の深度制御について根軌跡法を用いて PD 制御のパラメータを決定し、その制御性能を計算機シミュレーションによって調査した。

その結果以下の結論を得た。

1. 今回導出した円筒型潜水艇の操縦運動非線形モデルの非線形性は小さい。
2. 根軌跡法による合理的なゲイン設計が可能である。
3. 代表根が虚軸から離れるほど、応答速度が速くなり、代表根の根軌跡に分離点が生じる場合は、その点のゲインが制御仕様を達成するゲインとなる。
4. 潜水艇の制御系設計にあたっては、操作部の性能を考慮しなければならない。

参考文献

- 1) 加藤寛一郎, 大屋昭男, 柄沢研治: “航空機力学入門”, 東京大学出版会, 1982.
- 2) 大楠丹, 柏木 正, 小寺山 亘: “Towed Vehicle の動力学に関する基礎的研究”, 日本造船学会論文集, 第 162 号, 1987, pp.99-109.
- 3) 内藤 誉: “グライダー型水中ビークルの機体開発に関する研究”, 九州大学博士論文, 2010.
- 4) 比良二郎: “飛行の理論”, 廣川書店, 1976.
- 5) 岩本才次: “根軌跡法による船舶操縦縦運動制御システム設計の試み”, 日本船舶海洋工学会論文集第 2 号, 2005, pp.287-293.

準構造船とアイヌ民族のイタオマチブについて

岩本 才次[†]

“Jun-Kozo-Sen” and “Ita-Oma-Chip” of the Ainu Race

Seiji IWAMOTO

We can investigate the history of Japanese boats by the archeological survey, going back 10,000 years ago. Especially, the shipbuilding process of the semi-construction boat called “Jun-Kozo-Sen” that had appeared in the last part of the Yayoi Age is not known in detail, and historical relics are few except for several ship-type clay images, called “Funagata Haniwa” in Japanese, and the excavated remains.

By the way, the shipbuilding courtesy and the shipbuilding process of “Ita-Oma-Chip”, the semi-construction boat of the Ainu Race without character culture, might be handed down by oral instruction. I think to be able to obtain a lot of knowledge of “Jun-Kozo-Sen” by investigating the traditions of the Ainu Race.

This paper presents the investigation and discussion of the ship building process of the semi-construction boat mainly by reading and comprehending “Ezo Seikei Zusetsu” as life and culture records of the Ainu Race living in the Ezo district in the last part of the Edo Period.

Keywords : Shipbuilding Courtesy, Shipbuilding Process, Archeology, Jun-Kozo-Sen, Ainu Race, Ita-Oma-Chip

1 はじめに

人間が最初につくった乗り物は「フネ」とであると言われている。先史時代から移動手段として「フネ」が用いられていたことは、多くの発掘調査や文献研究によっても明らかにされており、また、現代においても物流の大半は船舶が担っている。人間の歴史の中で、フネが人間の生活手段として大きな位置を占め続けていることは周知の事実である。古来、造船技術は人間が持ち得る技術の中でも最先端の技術であり、それは口伝と徒弟制によって近代まで営々と受け継がれてきた。

日本列島におけるフネの歴史は、列島への人間の移住と定住の歴史とともに長い歴史を持つと考えられる。船の構造は、その歴史の中で考古学的には、刳舟（くりぶね）→準構造船→構造船と発達の過程をたどる¹⁾。刳舟とは、一木から刳りぬかれたいわゆる丸木舟をいい、準構造船とは、刳舟を主船体とし、その舷側にタナ（柵、棚）と呼ばれる板材を築き上げ、積載量や航海性能の向上を図った上部構造を持つ船をいう。また、構造船とは、刳舟の代わりに敷（しき）または航（かわら、瓦の字を当てる場合もある）と呼ばれる船底板材を用いた、板と梁で構成される棚板造り（たないた

づくり）の大和型船型の船をいう。「かわら」はかつて一瓦二瓦と舟の隻数を数える語としても用いられた²⁾。

日本列島における刳舟の建造技術は、先史時代から現代まで 10,000 年以上にわたって、口伝と徒弟制度的方法によって受け継がれてきた。青銅器や鉄器が大陸から伝わる弥生式文化時代中期には準構造船が出現したといわれている。それは列島各地で独自の発達を遂げるが、刳舟の材料である巨木の減少とともに次第に衰退する。替わって、板材の製材技術と接合技術の発達によって、室町時代中期には棚板造りが出現する。

その後、棚板造りは、江戸時代に入り弁財船（べざいせん）に代表される和船の建造技術として完成する。明治以降、竜骨（りゅうこつ）と肋材（ろくざい）からなる骨組みに板を張る西洋式造船法が盛んになるまでは、室町時代中期から江戸時代を経、昭和の中ごろまで約 500 年間にわたって棚板造りによる日本独特の和船建造が盛んに行われ、次第に衰退しつつも継承され、ついに消滅した。

その間準構造船は棚板造りが現れた後も生き続け、近代まで約 2000 年の歴史を持つのである。また、刳舟も昭和の時代まで漁船として細々と存在したが、今は FRP 船などによってすっかり駆逐され、博物館や民俗資料館などにその姿を止めるのみである。

刳舟の出土例は日本全国で 100 例を超えているが、準構造船の出土例は二三例に過ぎない。また、構造船

[†]鹿児島工業高等専門学校 機械工学科

である弁財船の実物は一隻も残存しておらず、実物大に復元建造されたものが二三、博物館に展示されているのみである³⁾。

弁財船の構造や航海法についてはかなり詳細に研究されているが、構造が比較的単純な準構造船の建造過程については研究例が少ない。準構造船について調査してみると、船底材である刳舟の工作法、棚板の構築法、防水法など意外に詳細が不明な点が多い。

アイヌ民族は文字を持たず、鉄器文化があまり普及しなかったため、造船儀礼や技術についても古式の伝統を色濃く継承していると考えられる。

著者は、すでに消滅した古代日本の準構造船の建造儀礼や技術が、江戸時代後期にはまだアイヌの「イタオマチ」建造過程に伝承されており、また、大きな船が作られなかったことから、航海法も古来の伝統を伝えていたと考えている。

本論文は、「日本庶民生活史料集成 第四巻」に掲載されている、江戸時代後期に編まれた「蝦夷生計圖説（えぞせいけいずせつ）」⁴⁾（以降、「圖説」と略称することがある）を中心に読み解くことによって、古代準構造船の建造儀礼と建造技術を整理・検討し、日本のフネの歴史的変遷の過程を造船学的に明らかにする足掛かりにしようとするものである。また、船体構造の変革をもたらしたと考えられる弥生式文化時代や室町時代の大工道具の発達についても触れる。

2 埴輪に見る準構造船

古代の準構造船を考える際にまず必要なのは、準構造船の構造に関する知見である。まず、古墳から出土した舟形埴輪から見ることにする¹⁾。

図1 上図は大阪市平野区長原高回り2号墳（古墳時代中期前葉4世紀後半）から出土した完形の舟形埴輪である。長さ約129cmの準構造船で、船首と船尾の正面には波除けとして豎板が取付けられ、船首尾ともワニが口を開いたような上下二股構造になっている。当初、このような二股構造の舟が果たして実在していたのか、船舶復原性の観点から疑問視されていたが、大阪府八尾市久宝寺遺跡から準構造船の一部が出土したことから、図らずもその存在が証明された。

図1 下図にその出土状況を示す。工事用の矢板に分断されているが、刳舟端部と豎板（写真左の丸みを帯びた板）が確認できる。この系統の準構造船は弥生時代後期から古墳時代前期まで主流であったと考えられている。京都府弥栄町（丹後半島）にあるニゴレ古墳（5世紀前半）でも同系等の完形の船形埴輪が出土している。



図1 長原高回り古墳の準構造船舟形埴輪と久宝寺遺跡出土の準構造船



図2 西都原古墳の準構造船舟形埴輪

図2は大正時代初期に宮崎県の西都原古墳（古墳時代中期5世紀前半）から出土した舟形埴輪である。船首尾が大きく反り上がっているのが特徴で、「ゴンドラ形式」と呼ばれている。長さ約100cm、幅約16cm、深さ約15cmの完形である。

古墳時代中期以降、二股構造の準構造船に替わりゴンドラ形式の準構造船が主流になるといわれている。

どちらの舟形埴輪も船底部は刳舟で、その上部に棚板を築き上げ積載量と凌波性の向上を図っている。刳舟と棚板、棚板と棚板の接目（はぎめ）または継目（つぎめ）に舟の長さ方向に棒状の隆起がある。これは、接目や継目に槇皮（まきはだ）や苔のような防水材を埋め込み、その上から目塞ぎの棒を当て、縄で綴るか釘によって圧着した、浸水防止のための当て木を表現したものであると考えられる。これと類似の防水法は「圖説」にも見える。

「板を接（は）ぐ」とは、板の切断面（木端：こば、木口：こぐち）を互いに突合せ接合することである。一方、板面（いたつら）を重ねて接合することを「板を継（つ）ぐ」という¹⁾。

技（わざ）は人とともにあり、特に口伝によって伝承される技芸は、モノが作られなくなればそれをつくる職人もいなくなり、技は職人とともに消滅する運命にある。木船が建造されなくなった現在、その技はすでに失われたと言っても過言ではない。

しかし、大和型船建造の設計図である木割図や板図、和漢船用集など多くの資料・文献が残されており、それらから建造技術を類推することはできる。しかし、技は獲得できない。

一方、準構造船の資料は極端に少ないが、アイヌ民族の準構造船である「イタオマチブ（板綴り船）」の造船儀礼や造船技術が、「日本庶民生活史料集成」の中の「蝦夷生計圖説」に、「造船の部 續造船の部」として掲載されているので、以下それを中心に紹介する。

日本庶民生活史料集成の記述は、現在ではいわゆる差別用語に属すると思われる表記もあるが、本論文は海事史・技術史論文であるので、正確を期すため原文をそのまま記載する。「圖説」の著者らはアイヌ民族を「夷人」と呼んでいるが、それに対する日本人を本論文では「和人」と書く。原文の引用は「」で括る。また、図の説明書きおよび引用文は「圖説」の旧漢字旧仮名遣いを使用する。3章から7章までは主に原文に沿った「圖説」の解説であり、時折著者の意見・見解を付記している。

3 アイヌの造船儀礼

「圖説」には、アイヌが船材を求めて山に入り、山の神を祭り、木の神を祭り、伐採し、粗削りした敷を山おろしし、イタオマチブを製作するまでの過程が克明に記述されているので、原文を抜粋しつつ、挿絵とともに解説し紹介する。

アイヌの舟の構造について次のように記されている。

「凡（おおよそ）夷人（いじん）の舟は敷（しき）をもて其（その）基本とす。」

現代語訳すれば『概していえば、アイヌの舟は敷が構造の基本である。』となる。敷とは、舟の船底部に当たり、この場合、刳舟を指す。従って、舟を作るためには、山に入ってまず敷とするに相応しい大木を探さなければならない。

山に入るときは、必ず山の入り口にて「イナヲ」を捧げて山の神を祭る。イナヲとは、神社の神主が神前で振るう御幣（ごへい）と同様のものである。

その時に祈る詞（ことば）は次の如くである。

「キムンカモイ、ヒリカノ、イカシ、コレ」

これは、キムン（山）カモイ（神）、ヒリカ（善）ノ、イカシ（守護）、コレ（賜れ）である。ノは助詞である。

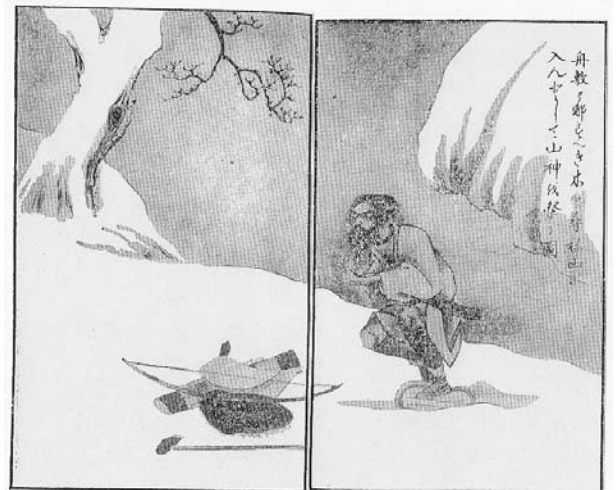


図3 舟敷となすべき木を伐（き）んとして其地の神を祭る圖

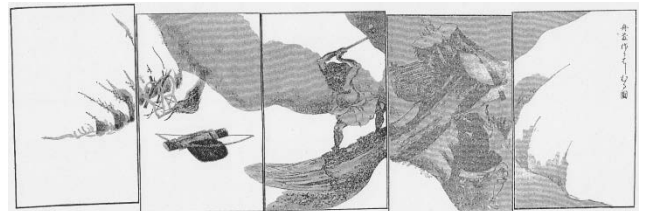


図4 舟敷作りはじむる圖



図5 割斧、切斧

和訳すれば『山の神よ、善（よ）く、守護、賜（たまわ）れ』となる。

山の神を祭り終わった後、山中に足を踏み入れる。木を伐る時だけではなく、山に分け入るときには必ず上述の祭りをするのがアイヌの習俗である。

山中に入り、舟敷（ふなしき）に相応しい良材を見出したらその木の下に行き、イナヲを捧げ、図3のように地の神に祈り、その地の神より木を請い受けるのである。

その時の祭る詞は次の如くである。

「シリコルカモイ、タンチクニ、コレ」

これは、シリ（地）コル（主）カモイ（神）、タン（これ）チクニ（木）コレ（賜れ）である。

和訳すると『地を主（つかさど）る神よ、この木を、賜れ』となる。この種の祈り詞は文献⁵⁾にも詳しい。

敷にする木だけではなく、山の木を伐る場合は大小に関係なく全て同じようにそこの地の神を祭り、祈った後に伐採する。

図4は立木を伐採した後、舟敷を作っているところである。アイヌが振るっているのは斧（おの）と思われる。

図5にアイヌも使ったであろう割斧と切斧を示す。それらの区別は判然としないが、割斧の方が斧身が直線的である。斧は別名「よき」ともいい、木を切り倒す時や木を裂く際に用いる刃渡りの短いものをいう。よく似たものに鉞（まさかり）がある。これは斧に比べ刃渡りが長く、「たづき」とも呼ばれる。これは木を裂く役割のほか木に形状を整える際に用いられる。唱歌にある「足柄山の金太郎」が担いでいたのは、正にこの鉞である。

アイヌは舟を造る時に鉄釘（てつくぎ）を使用しなかったが、立木の伐採には鉄製の斧を使っていた。江戸時代後期の大和（やまと）の地では鉄の工具は民間にも十分に普及していたので、アイヌが斧や鉞程度の限られた鉄器しか持たなかったのは、和人のアイヌ支配政策でもあったのだろうか。

舟の良し悪しは敷の出来具合に左右されるので、その削り出しは容易ではない。伐り倒した木はそのまま切り株の傍に置き、ここではとりあえず図4のように敷の概形だけを削り出す。その後はまた、切り株と梢にイナヲを捧げて木の精を祭るのである。

その祭る詞は次の如く唱える。

「チクニ、ヒリカノ、ヌウハニ、チブカモイ、キヤツカイ、ウエンアンベイシャム、ヒリカノ、イカシコレ」、これは、チクニ（木）ヒリカノ（善く）ヌウハニ（聞け）チブ（舟）カモイ（神）キ（為す）ヤツカイ（よって）ウエンアンベ（悪き事）イシャム（無き）ヒリカノ（善く）イカシ（守護）コレ（賜れ）である。

和訳すると『木よ善く聞いてくれ、これから舟の神と為すによって、悪い事が起きぬよう、善く守護賜れ』。

アイヌはこの世のものには全て魂魄（ラマチ）が存在すると考えているので、無情の木にもイナヲを捧げ祭り尊敬して、お許しを得て伐り採るのである。ましてや野山の動物や家畜など情あるものを殺すときには、その精を非常に手厚く祭るのである。

和人も新船建造時には、神々に祈りかつ祭り、進水時にも同様の儀式を行っていた。

玄界灘の漁師町で生まれ育った著者は幼少期、それは昭和2、30年代であるが、その頃はまだ各地で盛んに木船が建造されており、起工式、船下ろし、船祝い、初船出の時には村中の人々が集まり、餅播きなどで大賑わいであった。ただ、漁師は縁起を担ぐことが甚だしく、船祝いの時には女は乗船させなかった。海も船も女と見做されており、それらの女神（じょしん）の嫉妬からの海難を恐れてでもいたのだろうか。

また殊に印象深いのは、一晩中漁をして帰ってきた男たちが朝風呂に入るのだが、その風呂に、先に女が入っていようものなら、湯を全て落とし風呂を焚きなおす仕儀となるのである。

このように昔は神や怨霊が人々の心の中に生きており、仕来りを犯すことは死や厄災を意味する事でもあったから、神々を祭り祈り縁起を担ぐことは生活の中の重要な部分を占めていた。理屈ではないのである。

4 アイヌの造船技術

山中で概形が削り出された舟敷を山から下し、住居近くに移してから仕上げにかかる。

敷の削り出しがほぼ終了すると、まず、図6の上図のように敷の両舷の内側に横木を入れ、舷側が内側へ倒れ込まないようにする。また、ひびが入らないように舳艫（じくろ）を筵（むしろ）のようなもので厚く巻く。敷が完全に乾き、ゆがみや狂いが出ないようになるまで何日も天日（てんぴ）にさらしながら待つのである。舳は、「じく、へさき、おもて」などと読み、

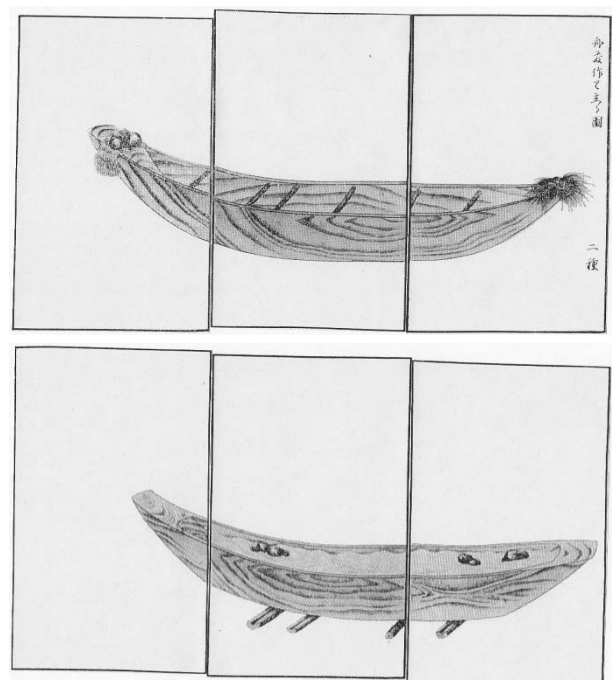


図6 舟敷作り立る圖 二種

船首部を表す。艀は、「ろ、とも」などと読み、船尾部を表す。

歪みや狂いが出ないことを見極めた後、図6の下図のように角材の上に敷を据え、敷の中に大小の石を入れ、敷の形状を矯正した後、敷の中に水を漲る。この水の水線を見て船体の高低を測り、船首船尾から工作を始め、舷側などの高低曲直を次第次第に削り直していく。このように艱難辛苦を重ね、勘と経験によってつくるので、一隻を作るのに数か月もかかる。これだけ月日

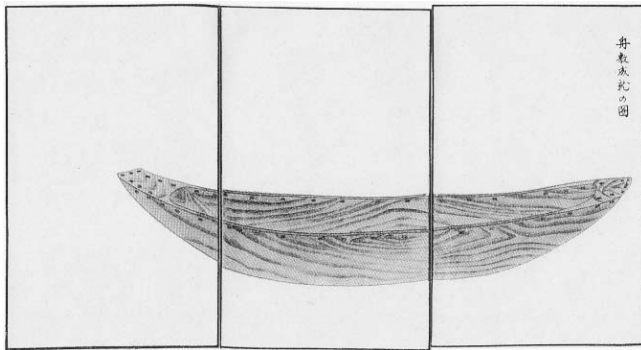


図7 舟敷成就の圖

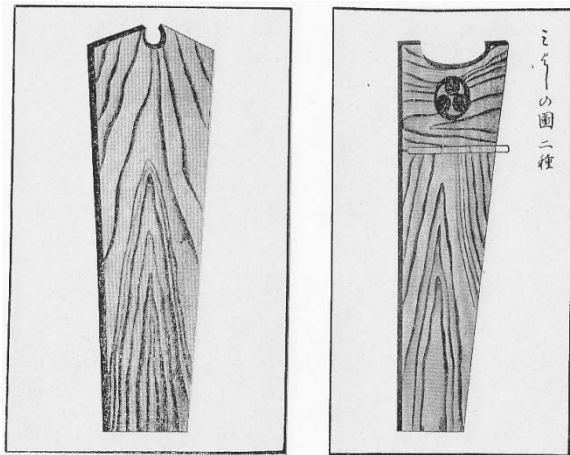


図8 みよしの圖 二種

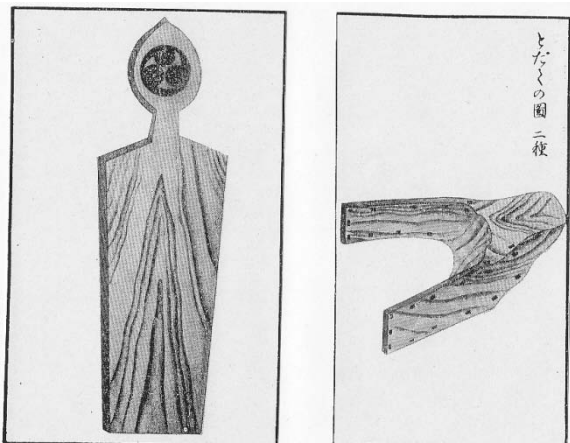


図9 とだての圖 二種

を重ね苦勞して作っても、出来が悪ければ無駄になり廃棄することもある。

図7に完成した敷を示す。この敷を主要船体として必要な板を用意して舟の製作にかかる。この敷は「イタシャキチブ」『板欠く舟』。すなわち、刳舟、または舟敷の両舷にまだ棚板を取り付けていない、準構造船になる前の刳舟のことを言う。舳艫および舷側には棚板を綴るための綴り穴が開けてある。イタシャキチブについては7章で更に詳しく解説される。

初めから川船として製作される刳舟とイタオマチブの敷として製作される刳舟では船首尾形状や船側部の削り出し角度に違いがあり、それは木取りに関わっていると、由良 勇³⁾が指摘している。イタオマチブの敷の場合、次に述べるラフショフイタやイクムを取り付けるため船首部が角張っているのに対し、川舟として使用する刳舟の場合は、船首尾の形状に細心の注意を払うという事はなく、総じて丸くなっているという。

図8にみよし（水押；船首材）を2種類示す。アイヌ語でこれをラフショフイタという。ラフ（羽）、ショフ（付けること）、イタ（板）である。これは敷舟の舳の平たく削られた所に取り付けられる。舟敷の両舷側に縫い合わせる板を羽板といい、それらを船首部で合わせて取り付ける板であることからそう呼ぶ。波除（よ）けの働きもある。二種類示したのは、アイヌの居住地によって風俗が異なり形が変わるからである。

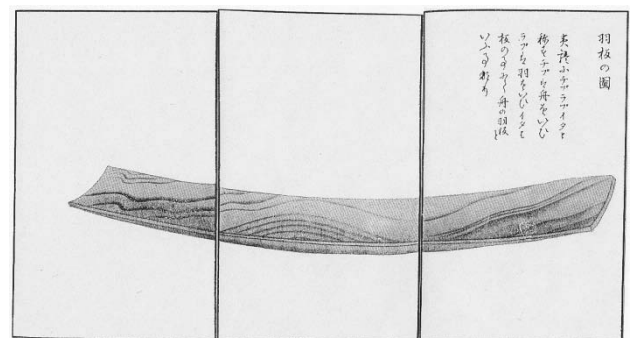


図10 羽板の圖

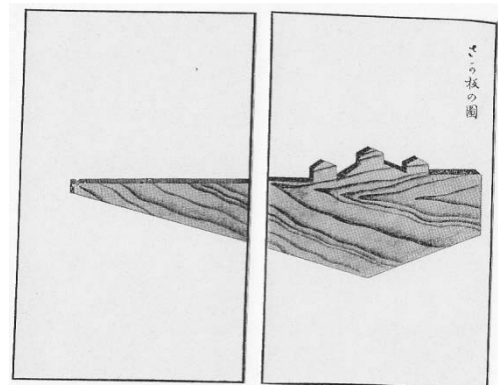


図11 さか板の圖

図9にとだて（戸立）と呼ばれる船尾材を示す。これも居住地によって形が異なり、アイヌ語でイクムと呼ぶところもあるればウカキというところもある。これらの語源は解らないとしている。

図10に羽板を示す。アイヌ語でチプラプイタという。チプ（舟）、ラブ（羽）、イタ（板）である。舟敷の両舷側に築き立てる舷側板で、いわゆる棚板である。舟の長さ方向に片舷当たり2ないし3枚で構成される。

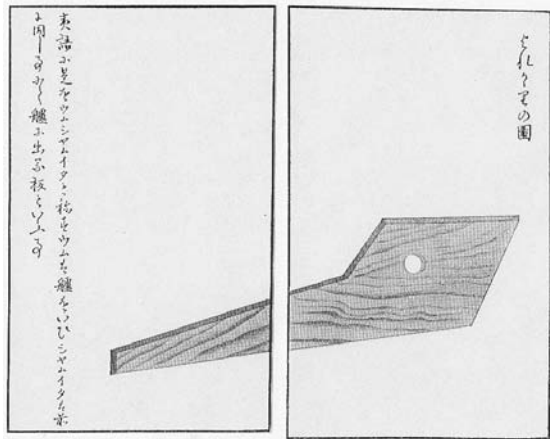


図12 よれかゝりの図

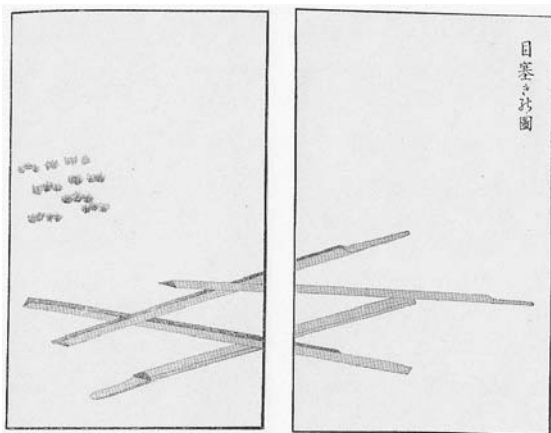


図13 目塞ぎの図



図14 槇皮（旧宗像市民俗資料館、福岡県宗像市鐘崎：H.22.3.31 閉館）



図15 槇皮打ち（熊本県天草市通詞島の歴史民俗資料館に展示、平成25年3月撮影）

図11のさか板はアイヌ語でナムシャムイタと呼ばれ、舳に突き出る板である。ナム（舳）、シャム（出る）、イタ（板）である。後で示す図31の完成したイタオマチプを見ればわかるが、ナムシャムイタは、チプラプイタとラフショフイタが結合される船首部の上に縫い合わされる波除け側板である。

図12のよれかゝりは、アイヌ語でこれをウムシャムイタという。ウム（舳、とも）、シャム（出る）、イタ（板）である。図11のナムシャムイタは船首に突き出る板であるのに対し、これは船尾部に出る板である。

図13の目塞ぎは、縫い合わされた板と板の隙間を埋め、浸水を防ぐ防水資材である。アイヌ語でこれをヒンラリップという。ヒン（物の隙間）、ラリ（塞ぐ）、プ（器）である。

アイヌの舟は釘を用いず全て縄を用いて縫い合わせる。隙間に苔（ムン）を当てその上から木を当て縄で縫い圧着する。ムンとは元々草のことを言ったが、アイヌには苔も草と同じものという認識があったのでそういう呼び名となった、という事である。

大和では古くから防水材に槇皮（まきはだ：槇や檜の樹皮から取ったやわらかい繊維）が用いられた。これは水に強く腐れにくい。

図14に槇皮を示す。図1および図2の準構造船にもこれと同じ防水法が用いられていたと考えられる。

図15に槇皮を板と板の隙間に埋めるときに用いる「槇皮打ち」を示す。

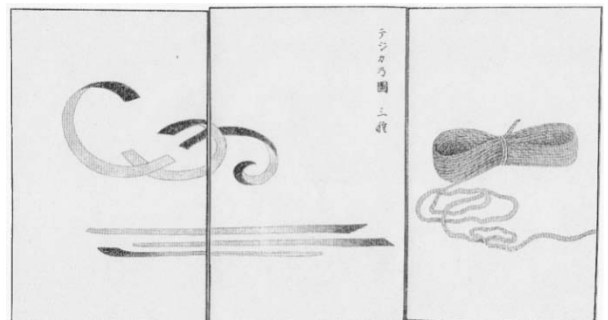


図16 テシカの図 三種

これは現代のものだが、アイヌは木製のへら様のものを使ったかもしれない。福岡県の鐘崎では槓皮打ちを「ヤトク」という。

図 16 に、舟を造るときに板を縫い合わせる縄三種を示す。

テシカのテシは木を綴じ合せることや筵

(むしろ)を編むことをいう。カは糸のこと

である。すなわち、物を綴じ合せる糸のことである。

テシカには三種あり、一種はニベシという木の皮を剥ぎ縄としたもの。一種は桜の皮を剥いでそのまま用いるもの。一種は鯨のひげを剥いでそのまま用いるもの。どれを用いるかは地方によって異なる。

イタシャキチブ（舟敷）とチナプイタを縫い付けるために、ムンとヒンラリップそしてテシカを用いた。

財団法人アイヌ文化振興・研究推進機構が出版した

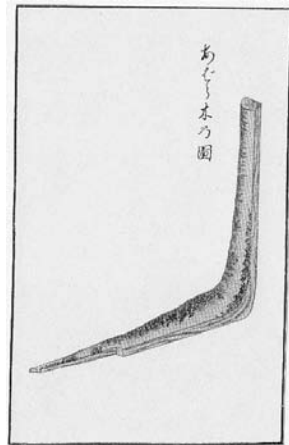


図 17 あばら木の圖

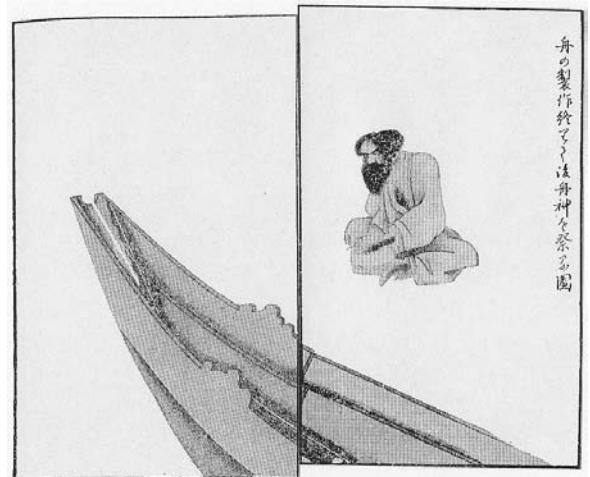


図 20 舟の製作終りて舟神を祭る圖

「アイヌ生活文化再現マニュアル」⁶⁾に板の綴り方が詳しく掲載されている。ここでの縫合は長い麻縄により連続的に綴じ付けられているが、文献⁷⁾の第三章によると、アイヌの縫合の仕方は、「当て木の上下にあけられた穴に何回も通して縛りつけ」連続的に綴じ付けない。これは「一所のほころびが全体に及ばないようにするための工夫である」とその理由を示している。この方法は造船学的にも説得力があり、かつて溶接技術が未熟であった時の鋼船建造では、溶接線に沿ってある間隔で鉚打ちをし、溶接の割れを打鉚点で食い止める措置を取っていた。また、アイヌは出航、帰港のたびに組み立て分解を繰り返す⁷⁾ことから、一本の縄で連続的に綴じ付けない方が締め具合の調節が簡単で手分け作業ができるなどの有利な点が多いと推察される。また結びも簡単に固縛でき簡単に解ける結索法でなければならない。イタオマチブの現物が残存していないため、実際にどのように綴じ付けられたかは不明である。

図 17 にあばら木を示す。アイヌ語でこれをキウリという。風波の激しい北の海では、船体強度を増すためにどの舟もこれを用いている。

図 18 に、今まで紹介した部品を集め製作しつつある舟を示す。

図 19 に舟の完成図二種を示す。上図はシリキシナイ（尻岸内：函館市の東方の亀田半島の先端部の村）よりヒロウ（広尾：襟裳岬の東側の海辺の村）まで、下図はヒロウよりクナシリ（現在の国後島）までに用いられる舟である。

舟の完成の後、イナヲを舳（船首）に立て図 20 のように舟神を祭る。舟神とは和人の言う舟霊（ふなだま）と同じものである。

その祭る詞は、

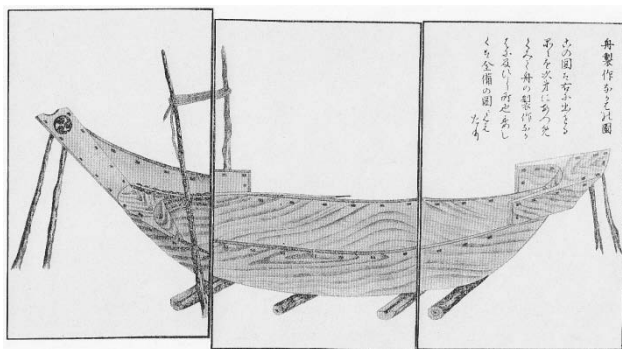


図 18 舟製造なかばの圖

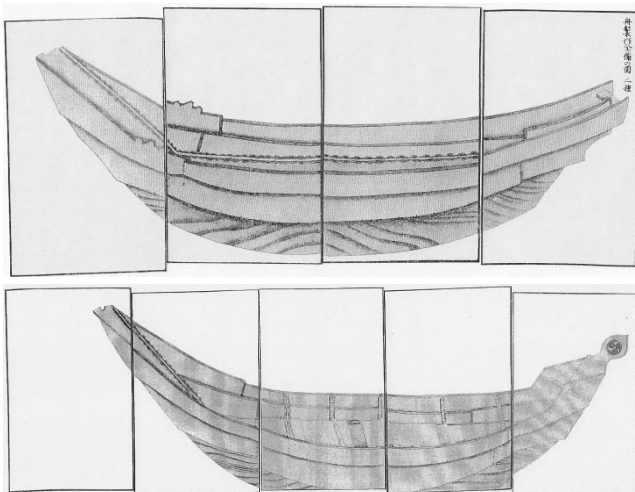


図 19 舟製造全備の圖 二種

「チブ、カシケタ、ウエン、アンベ、イシヤマ、ヒリカノ、イカシ、コレ」と唱える。

和訳すると『舟の上に、悪きこと、有ること無く、よく、守護賜れ』となる。

この舟神を祭る儀式は、舟上の安穏を願うだけでなく、新たに造った舟に神霊を招き移すという気持ちがあり、神事には全て意味がある、とある。

船体の製作については以上である。以下に示すのは船体艤装品であり、これらに取り付けられて初めて航海が可能になる。

5 舟の装具

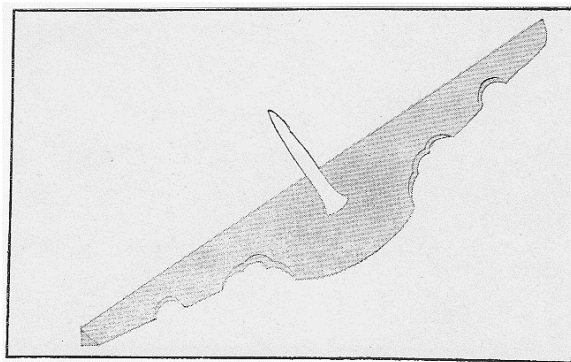


図 21 タカマヂの圖

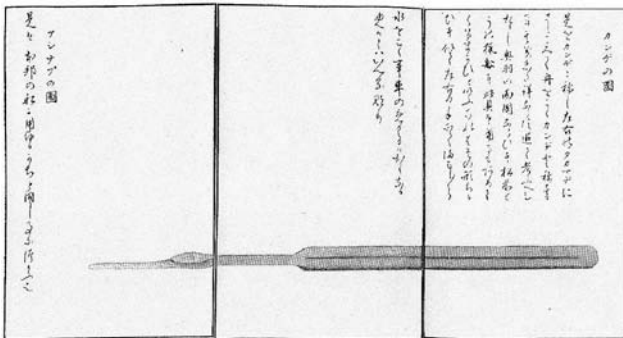


図 22 カンヂの圖

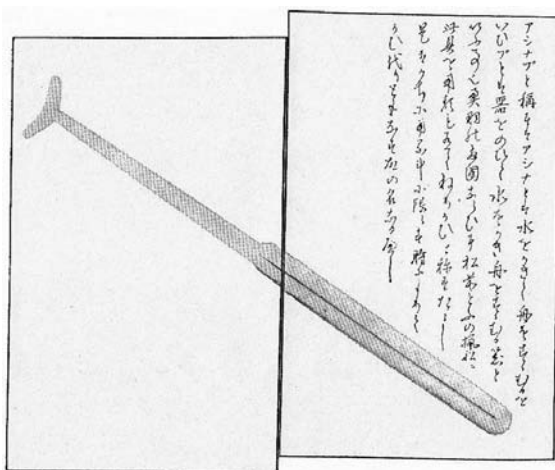


図 23 アシナプの圖

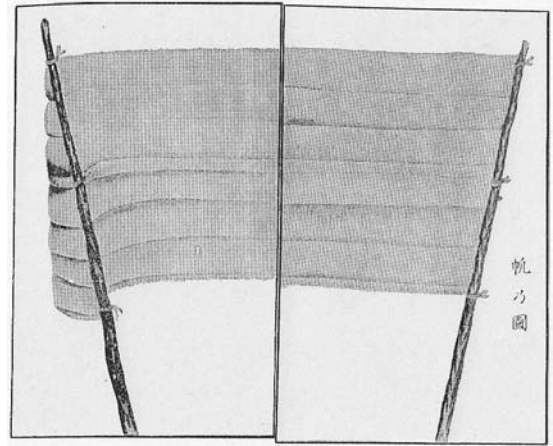


図 24 帆の圖



図 25 珍敷塚古墳の舟の壁画

図 21 の部品は櫂を漕ぐときの支点となる部品である。アイヌ語でタカマヂという。左右の船縁（ふなべり）に取り付ける。

図 22 はカンヂと呼ばれる特殊な櫂である。カンヂの穴にタカマヂの突起を差し込み、突起を中心にしてカンヂをくるりくるりと回しながら舟を漕ぐことから「くるまかひ（車櫂）」と呼ばれる。奥、羽、松前などの猟船（魚だけではなく海獣を採捕するためこのように書かれる）で用いられる。

図 23 のアシナプは大和でいうところの舵（かぢ）の役割をする櫂である。アシナ（水を掻いて舟を進めること）プ（器）であり、文字通り水を掻いて舟を進める器ということである。奥、羽、松前の猟船でこれを用いる者があり、そこでは練櫂（ねりがひ）という。このように舵として用いるだけではなく、櫂の代わりをするためアシナプという。練櫂の漕法には①スカリング②プーリング③縦漕ぎ、の3種類があるとしている⁸⁾。専用の舵が現れるまでは、アシナプのような長い舵櫂が舟の後部に装着され舵として使用された。土器に刻まれたフネの線刻画からもそのことは窺える。

「かぢ」を表す漢字には楫、舵、桡、梶、舵などが当てられる。字義の詳細は省略する。

図 24 は帆と帆柱である。アイヌ語では帆をカヤという。帆はキナ（蝦夷地に生える草）で編んだ筵のようなもので、いわゆる筵帆（むしろぼ）である。カヤの語源は不明である、としている。

図 25 は、福岡県浮羽郡吉井町の古墳時代後期（6 世紀）に築造された珍敷塚（めずらしづか）古墳に朱で描かれた壁画の一部で、両端が反り上がったゴンドラ風の舟が描かれている。船首に鳥が止まりその後方には二本の棒状の柱が立っている。これは古代の帆柱ではないかという説があるが、正にキナを両端で支える

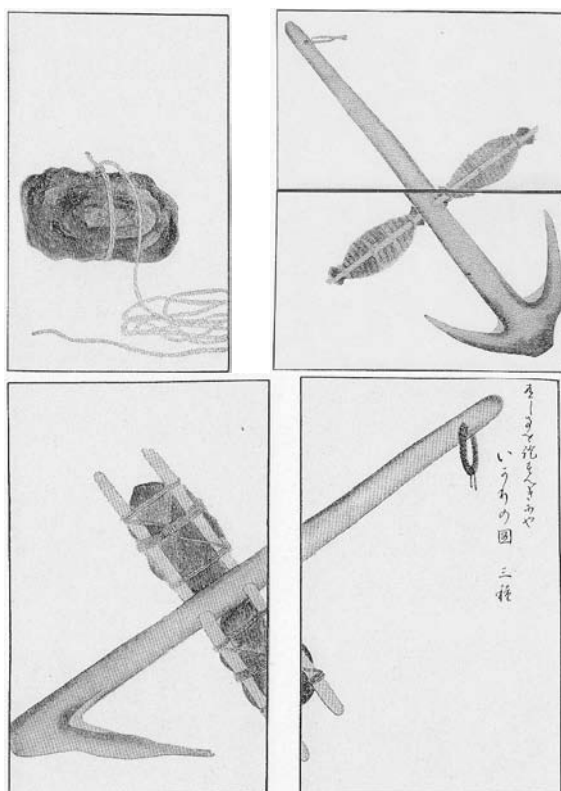


図 26 いかりの圖 三種



図 27 熊本県天草市通詞島の歴史民俗資料館に展示されている碇と錨（平成 25 年 3 月撮影）

アイヌの帆柱に酷似しているのである。また、絵の左手に人物様の線が描かれており、それが持っていると思われる長い櫂、すなわちそれはアシナブと同じく撞木（しゅもく）状の握りのある練櫂または舵櫂と考えられる。

このように江戸時代末期、19 世紀初頭のアイヌのイタオマチブに装備されていた練櫂や帆は、6 世紀に造られた装飾古墳の壁画に描かれた舟の絵と、形状、配置において酷似する点が多いのである。

図 26 は碇（いかり）である。アイヌ語でこれをカイタという。語源は不明である。ここでは木と石で作ったイカリを碇、金属製のイカリを錨と書くことにする。

左上の碇は、石塊をテシカでくくり碇とした最も原始的なものである。右上の碇は、多分、和人の碇を模して製作されたと思われるが、木の幹から出た枝を爪として巧みに成形し、筵で作った吠（かます）に小石を詰め込み、碇の重りとして横木（Stock）にくくりつけた、いわゆる Stock Anchor である。爪が海底に食い込みやすく安定した働きをする。

下図は碇の胴部（Shank）に横木を二本通し、細長く成形した碇石 2 個を横木にくくり付けたもので、このような碇は四、五十年前の昭和の時代にも手漕ぎの伝馬船（てんません）で見ることができた。いわゆる Single Arm Type であるが、海底で爪が上を向く可能性があるものの把注力は大い。

図 27 は熊本県天草市五和町二江の通詞島（つうじしま）にある五和歴史民俗資料館に展示されているイカリ三種である。上二つは正に昭和の時代まで使用された碇で、碇石として自然石を用いている。図 26 の下図にみえる碇と同種である。碇の胴部と腕木は二材構成で、連結部は針金やロープで巧みに「フの字」に工作されている。一番下は唐人型と呼ばれる鉄製の比較的新しい錨である。Stock Anchor の一種で、木製の Stock が爪とは直角に錨頭部に差し込まれている。確かに海底に食い込むように作られている。

また、碇石といえば、鎌倉時代の元寇船の碇石が有名で、北部九州各地に多くの「元寇の碇石」が展示されている。1994 年には、佐賀県伊万里湾の湾口にある長崎県鷹島の海中で、碇石が装着された状態の元寇船の碇が確認され、碇には竹索（竹で縄（な）ったロープ）が使用されていることも確認された。

図 28 は和人の言う、あか（塗）取り、すなわち船底に溜まった水を掻き出す塵取りの形状をした道具である。「あか」は、もとは仏教用語の闍伽、すなわち、仏に供える香水を盛る器の事とも仏に供える水の事ともいい、船中で汚（けが）れた言葉を使わないための忌

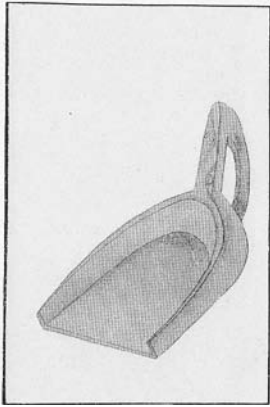


図 28 あかとの図

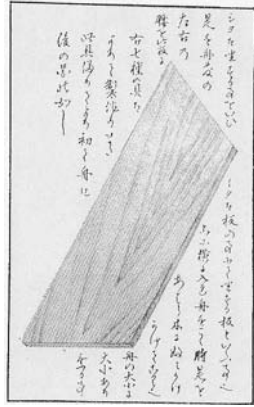


図 29 ショイタの図

み言葉と考えられる。「圖説」にも、「船中にて忌み憚るの詞もあり。」と記されている。

アイヌ語では漣取りをワッカケプという。ワッカ(水)ケ(取る事)プ(器)である。奥、羽、松前などではこのようなものをペゲともいう。アイヌでは水のことを「ワッカ」とも「ペ」ともいい、ペ(水)ゲ(取る事)、すなわち水取りであり同義語である。「ペ」は水の古語である、としている。

図 29 のショイタはショ(座する事)イタ(板)であり座する板すなわち腰掛板である。イタオマチブの舟敷の上に板を横に入れ、それに腰掛け、足を左右のあばら木に踏みかけてアシナブを漕ぐのである。イタオマチブには甲板(deck)はない。

以上の装備品が整って初めてイタシャキチブはイタオマチブとなり、海上に漕ぎ出すことができるのである。その時にも祈ることを忘れない。

6 帆走術

図 30 は舟が海上を帆走している図を示している。

船出する時も先ず、水伯(すいはく：水神のこと)に海上の安穩であることを祈願する。

その祈る詞は「アトイ・カモイ、ネト、ヒリカノ、イカシ、コレ」。これは、アトイ(海)、カモイ(神)、ネト(風のこと)、ヒリカノ(善く)、イカシ(守護)、コレ(賜れ)である。

和訳すれば『海の神よ、風波が穏やかになるよう、善く、守護賜れ』となる。

以上のように祈った後に出帆する。このような仕来りは和人も全く同じである。出帆するに当たっては、日和見(ひよりみ)、すなわち観天望気(空模様を観察して気象を予測する事)することも現代と全く同じである。また、船中での禁句や時化(しけ)に会ったときの祈願の方法もある、としている。

アイヌは陽が高いうちに帰り着けるかどうか、岸ま

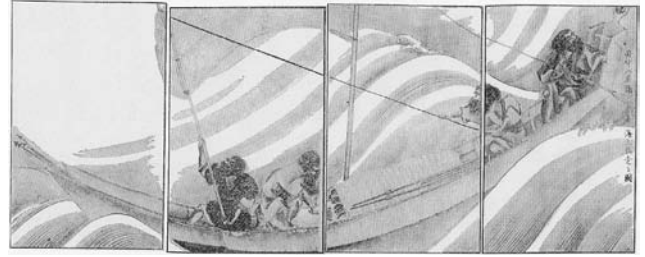


図 30 舟中の具備りて海上を走る圖

での距離を考えて航海し、常に海岸に沿って走る。

この航法は江戸時代の和人もよく用いた一般的な航法で「地乗り」⁹⁾と呼ばれる航法である。常に陸地の山や岬の方向、形を視認し、経験に照らし、自分の位置を確認しながら、日が暮れる前に陸に着けるように航海するのである。アイヌの住む北方では海上の風波が激しいため夜間の航行を恐れ嫌ったのである。それだけではなく、アイヌの舟が構造上時化に弱いことと、アイヌには文字文化がないため口伝によって航法を伝える他なく、航海術が古代からほとんど進歩を見なかったこととも無関係ではない。

和人は陸地の目印(山たて)で船位を知ること「山あて」といった⁹⁾。

図 30 の説明書きには「風の左りへ走るさま也」と書かれている。左が舳(へさき：船首の事)、右が艫(とも：船尾の事)である。すなわち、風が吹き去る方向に対して船首は左を向いて、左舷後方から風を受けて帆走している。カヤで風を正面から受けようとすれば、右舷側の縄を引き絞るか左舷側の縄を緩め、舟を真上から見たとき、2本の帆柱の下端を支点にしてカヤを右回りに振るような操作となる。

図 30 を更に解説した「圖説」の記事を紹介する。

「艫の左右に縄を以て帆を繋ぎ立て、アシナブにてかちをとり走るなり。風の右に走るとすれば左右の縄をとりかへ、帆を左にかたむけ、風を請(うけ)て走るなり。」

すなわち、帆は、左右2本の帆柱を後方から縄で繋ぎ止めることによって支えられている。練櫓で舵を取り帆走する。風の吹き去る方向に対して舳を右に向けて走る場合は、右舷側の縄を緩めかつ左舷側の縄を引き締めて、舟を真上から見たとき、カヤを左回りに振じり帆の正面から風を受けて帆走する。「左右の縄をとりかへ」とは風の左に走るときと右に走るときでは、縄の張り具合を逆にしなければならないということである。大和型船の航法でいう「ひらき走り」⁹⁾である。

カヤのような古式の帆は追い風、すなわち艫の正面から受ける風の場合のみ使用に耐えうると書かれた文献が多いが、「圖説」では斜め追い風での操船法を伝え

ており、定説を覆すものである。しかし、西洋のヨットとは異なり、深い keel を持たない刳舟は、斜め後方からの風では船体の横流れが大きく、船足（船速）は左程つかないので、やはり順風の時が一番推進効率が良い。

因みに、大和型船の操船法⁹⁾では、真後ろから風を受けて走ることを「真艦（まとも）走り」といい、その時の帆の張り具合を「真帆（まほ）」といった。真艦走りは西洋帆船の操船法では Running という。また、斜め追い風または横風を受けて走ることを「開（ひら）き走り」といい、その時の帆の張り具合を「片帆（かたほ）」といった。開き走りは西洋の操船法でいう Abeam に近い。

「あいつは真面（まとも）な人間だ」という時の「まとも」は「真艦走り」の「真艦」に由来している。

これら海上を帆走する舟をアイヌは、ホイボウチブ、パシテチブ、カヤウシチブなどという。ホイボウもパシテも「走る事」、カヤは「帆」、ウシは「立てる事」、つまり帆を立て、帆走する舟をいう。

7 船体構造と櫂漕（とうそう）

図 31 は漕ぎ舟（櫂で漕ぐイタオマチブ）である。

上図は完装した漕ぎ舟を示している。構造がよくわかる。帆走時の舟（走り舟）と何も変わらない。掲載図は小さく判然としないが、原画では詳細に読み取れる。ワッカケブ（湊取り）、カイト（碇）、そしてカンヂ（車櫂）が2丁、舟底にみえる。舟縁（ふなべり）にはカンヂが片舷につき5丁、計10丁がタカマダに挿してあり、船尾左舷側には縄の輪に通したアシナブ（練櫂）が装着されている。また、船体中央部の船底には筵が見える。カヤ（帆）かもしれない。キウリ（あば

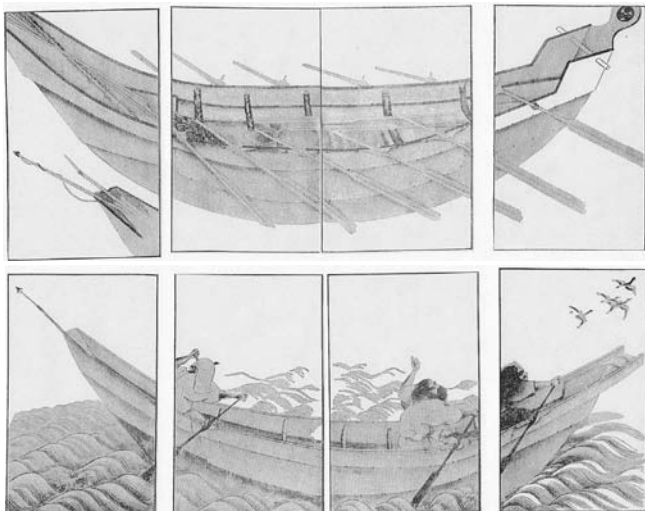


図 31 こぎ舟の圖 二種

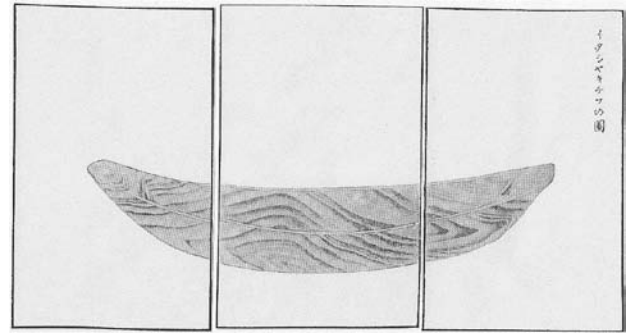


図 32 イタシャキチブの圖

ら木）は片舷に5本取り付けられ、舷側のチブラブイタ（羽板）は2段構成、1段目2段目とも前後方向に3枚構成で、チブラブイタ（羽板）がテシカ（縄）で縫い合わされている様子が明瞭に見て取れる。船首部には紐のついた狩猟用の銚（もり）もみえる。

下図は海上で櫂を漕いでいる様子である。漕ぐ時はショイタに腰掛け、左右のカンヂを両手で漕ぐ。右手に持ったカンヂが水を掻いている時は、左手は上に上がり、持ったカンヂは水から出ようとしているように見える。公園の貸ボートは左右のオールは同時に同じ動きを繰り返すが、カンヂは左右代わる代わるに水を掻く。いわばカヌーに乗ってダブルブレードのパドルで左右代わる代わるに水を掻くの に似ている。違いは櫂が single か double か、また舟の進行方向に対して漕ぎ手が前を向いているか後ろを向いているかである。現代人から見るとかなり特異な漕ぎ方に見える。相当の腕力と体力を必要とする漕法である。カンヂの数は舟の大きさによって異なる。アシナブ（練櫂）は帆走する時と同じで舵の役割を果たす。

このように舟を櫂で漕ぐことをアイヌは、チブモウという。チブ（舟）モウ（乗る事）である。ヒロウから国後辺りでは波が荒く舟も大きいので、一枚のショイタに2人ずつ腰掛け、左右別々に漕ぎ手が付く。

図 32 はイタオマチブの舟敷、すなわち船底材である。アイヌ語でこれをイタシャキチブという。イタ（板）シャキ（無い）チブ（舟）、すなわち、「板なし舟」の意である。元々はイタオマチブの舟敷となるものであるが、川舟として乗る刳舟（丸木舟）と変わらず、時にはこのままにて川で乗ることもあるので、そう言い習わしているのであろう。万葉集に「棚なし小舟」とあるのはこのこと（刳舟）であろうと推量している。また、和人の船大工が和船の敷にイタシャキチブを用いないようになったのは何時からであろうか、船大工がカシキ（加敷）、ヲモキ（面木）を用い始めた時からで、その堅固さに利があるので専らそればかり用いたので、ついにイタシャキチブは厚い板（敷）にとって

かわられたのであろう、としている。しかし、今でも奥、羽、松前などではすべて敷にイタシャキチプを用いている。これをムタマという。これはムタナ（無棚）の転語で、棚板のない舟、という意味で、イタシャキチプと同義である。

図 32 のイタシャキチプには図 7 と異なり、棚板を縫い付けるための縫い穴はまだ開けられていない。

ムタマの左右に板をつけアイヌと同じような舟に仕立てたものをモチプという。これはモウイヨップの略称で舟を指す。総じてアイヌの地では舟の事をチプと言うが、モウイヨップというのが本当の名称で、チプはその略称であると、アイヌの古老が言い伝えている。モウ（乗る事）イヨ（入れる事）プ（器）、すなわち乗ったり入れたりする器という意味で、舟のことを言う。この語が転じてモチプと称するようになったと、解説してある。

図 33 は二種類の川舟の図である。これらはいわゆる丸木舟で、作り方は図 32 のイタシャキチプと何も変わらない。上図は流れの緩い川や沼などで乗る舟である。下図は急流の川や流れに高低があって飛沫のかかると

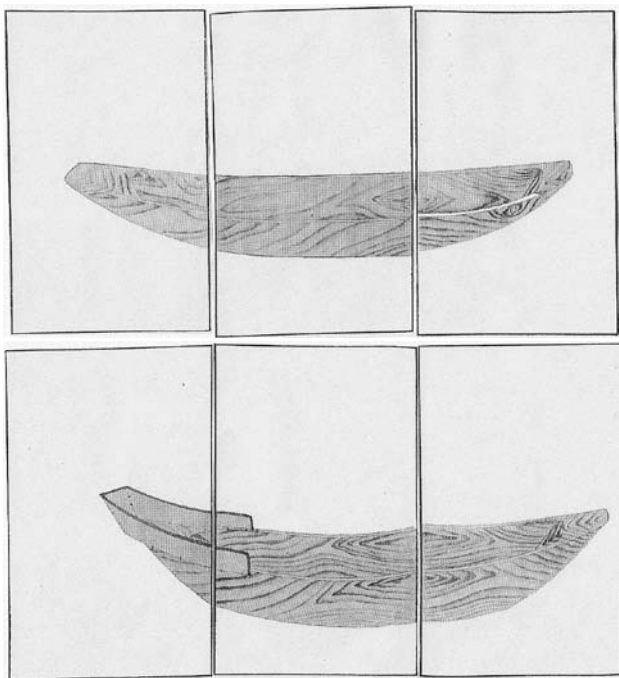


図 33 川を乗る船の圖 二種

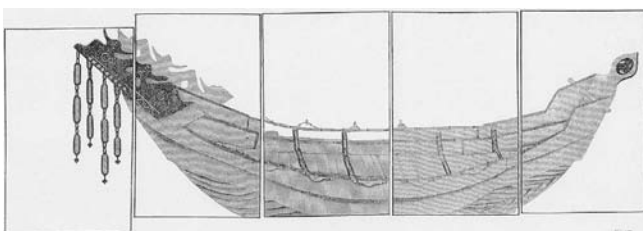


図 34 ウイマムチプの圖

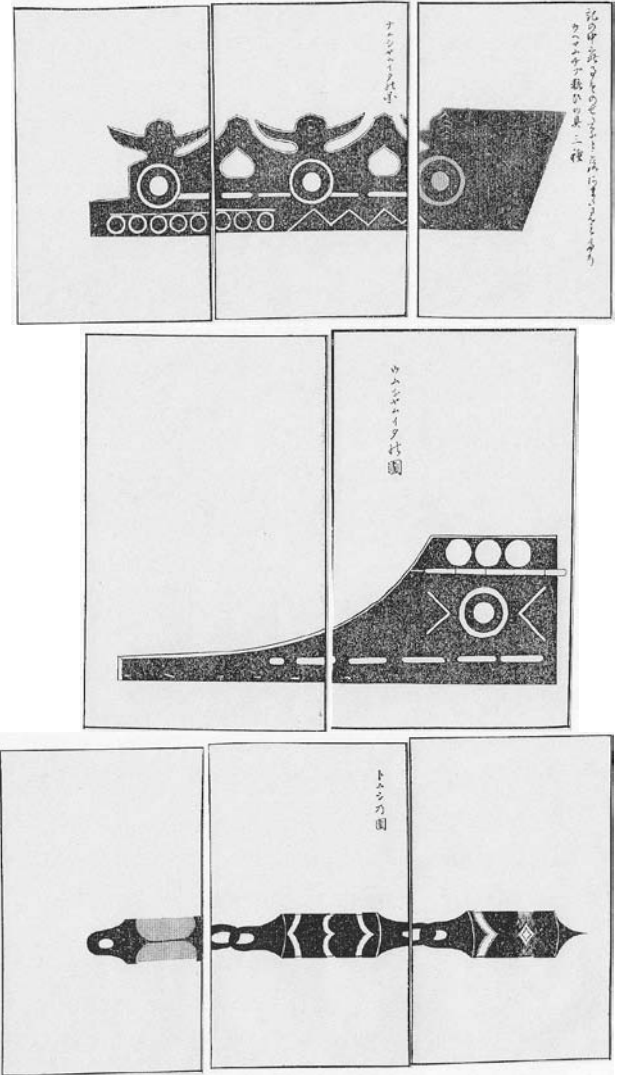


図 35 ウイマムチプ粧ひの圖

ころを遡る事などがある時、水が打ち込まないように舳に板を綴じ付けて高くした舟である。

図 34 はウイマムチプという特別な献使船である。北海道の松前氏の領地に住まうヲトナと呼ばれるアイヌが、松前氏に一代限り初めてお目見えする時、貢物を積む舟をウイマムチプという。ウイマムとは官長の人に初めて会う事をいう。従って、「官長の人に初めて会う舟」という事である。

その舟のつくりが特別であることは見ての通りである、と述べている。

その昔は、松前氏に貢物を献じたように、シャモロモシリにもウイマムチプに乗せて貢物を献じた。シャモロモシリとは大和（日本）を指す。アイヌと和人の間に権力による支配関係があったことを示している。

図 35 はウイマムチプを飾る装飾品（艀装品）である。上図はナムシャムイタ、中図はウムシャムイタ、下図はトムシという。ナムシャムイタは図 11 のものと同じで、舳に突き出る板である。また、ウムシャムイタ

も図 12 と同じで船尾部に突き出る板である。トムシは何の役割を果たしているのかその意義は不明である、としている。

ウイマムチブに用いる図の三種の飾りは大切にされており、破損してもみだりに捨てるようなことはなく大事に保管される。そうしなければ神の罰を受けると考えられており、殊に恐れ尊ばれている。罰はアイヌ語でパクという。

「蝦夷生計圖説 四 造舟の部 五 續造舟の部」の記述の概容は以上である。途中筆者の取材や意見を挿入している。

アイヌ民族の造舟儀礼と造舟技術には、その宗教観が色濃く出ており、和人が当時信仰していた仏教や神道とは異なる、いわば、原始日本人が天地山川草木全てを神とあがめ畏れた素朴な宗教感がよく表れている。和人から支配抑圧されつつも、古来の宗教観はアイヌ民族の中に脈々と生き続けていたことがわかる。

もはや熟練による職人芸の文化は廃れ、合理主義と功利主義と平準化だけに支配された物質文明が全世界を覆い尽くしている。その流行に乗り遅れまいと目先の利益に右往左往する現代人に比較し、支配され差別を受けても、アイヌの伝統文化を一途に守り抜こうとする精神の高潔さに思いを致すと同時に、抑圧される者の悲慘を思わずにはいられない。

8 木工工具と製材技術

単材刳舟（丸木舟）を大型化する方法には、①舟の長さ方向に複数の刳舟を継ぐ複材刳舟とする方法、②刳舟を左右舷別々に製作し、船体中央部に板（敷と呼ぶ）を挟んで幅を広げる方法、③刳舟の舷側上部に棚板を築き上げる方法、の3通りがある。①の方法によって造られる舟は、石井謙治¹⁰⁾が門式嵌接法（かんぬきしきかんせつほう）呼ぶ方法によって複数の刳舟を長さ方向に継ぎ長大化した複材刳舟である。長さ幅比が 10 を超える細長い舟に棚板を築き上げた準構造船の舟敷であろうと考えられている。②と③の方法は出口晶子⁷⁾によって詳細に類型分類されている。

刳舟の上部に棚板を築き上げ大型化した準構造船が出現するとみられる弥生式文化時代中期は、青銅器と鉄器文化がほぼ同時に大陸から伝来し金石併用時代¹¹⁾に入る紀元前 100 年頃とほぼ一致し、その頃、木工工具、とりわけ製材用工具の飛躍的な発達があったと思われる。

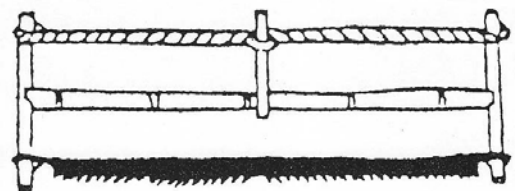
板を効率よく製材するには鋸（のこぎり）と鉋（かんな）が必要である。しかし、石器時代から、木材を繊維に沿って縦に裂く技術はすでに存在し、刳舟はそ

の技術を駆使して造られた。青銅器・鉄器文化の伝来によって丸太を裂く精度は格段に向上し、鉦（ちょうな、「手斧」の字を当てる場合もある）による木材の裁断面の成形が、容易にかつ精巧に行われるようになったと考えられる。約 2000 年前のものと思われる出土木材の中には、木材表面に鉦によって削ったと思われる独特の工作痕が見られものがある。

丹下昌之¹²⁾の研究によれば、4 世紀初頭の前方後円墳から鋸の出土が報告されている。すでにそれ以前に鋸が大陸から伝来しており、木工工具の飛躍的な進歩があったと考えるのは自然である。しかし、この鋸は製材するための縦挽き鋸とは考えにくい。

出土した鋸には鋸身の両側に鋸歯があり、「あせり」は認められない。形状は短冊状で鋸身の全長は 24 センチメートル程度、鋸身幅は 4 センチメートルに満たない。鋸身の両端には柄を付けるためとみられる目釘穴が丸く開いている。鋸を両手で持ち材木に鋸歯を強く押し当てて挽いたものと考えられている。これでは大きな板の製材には適さない。

鋸歯の「あせり」とは、鋸歯を交互に左右に曲げたものをいう。鋸に関する書物では「あさり」と書いているものも多いが、ここでは引用文献の用語に従うこ



第1図 大鋸図（注81より）

図 36 室町時代の大鋸（文献 12）より転載）

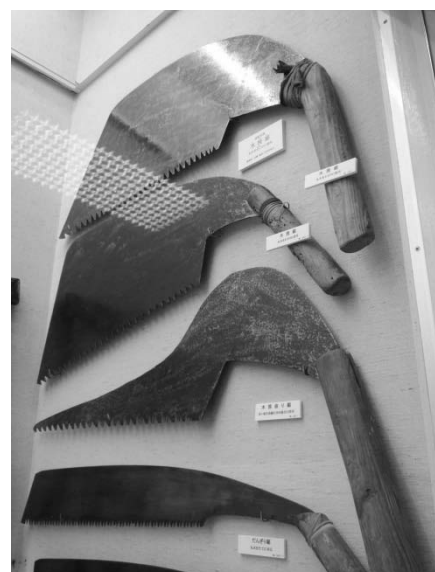


図 37 造船用の大鋸（天草通詞島）

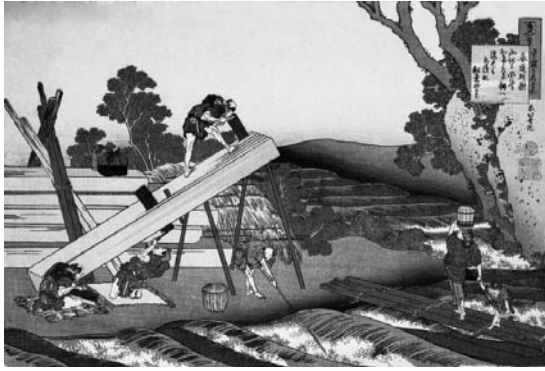


図 38 葛飾北斎の版画

とにする。

製材のための縦挽き鋸である大鋸（おが、おおが）は、室町時代に大陸から伝わったといわれているが、その頃の大鋸は図 36 に示すような形状をしており、左右から二人で挽く鋸であった。

100 年ほど時代が下ると、図 37 の上二つに示すような一人挽き用の前挽き大鋸になる。これは天草市通詞島歴史民俗資料館に展示されている船大工道具である。上二つは、「木挽き鋸（丸木をわくの用に使用）」と書かれている。「わく」とは「割く、別く」であろうと思われる。縦挽き鋸である。三つ目は、「木挽き曲り鋸（長

い板を曲線に切る場合に使用）」と書かれている。このように曲線に切る鋸は、直線裁断を専らとする指物大工（さしものだいく）ではなく、船大工特有のものと思われる。四つ目は、「だんぎり鋸（丸太をたてに切る）」と書かれているが、これは中型の横挽き鋸である。

鋸の切り屑のことをオガクズというが、そのオガは大鋸に由来している。

図 38 は葛飾北斎の海外に流出した版画の一枚である。誇張はあるが、一人は角材の上に乗り、もう一人は角材の下で膝立ちの窮屈な姿勢で上向きに大鋸を挽いている。また画面左下に男が座って鋸の目立て（磨滅した鋸歯を研ぐこと）をしている姿がみえる。電動鋸などなかった江戸時代はこのようなして製材していたのだろう。製材作業は技と体力が必要な重労働であったのがわかる。

図 39 は通詞島歴史民俗資料館に展示されている鋸、水平器、鉋、墨壺である。木船建造が盛んだった昭和まで使用された工具である。鋸歯の刃先が鋸身に沿って湾曲している上 2 本の鋸は「脇鋸」と表示されている。板を切る木工用鋸で、13 世紀ごろからある「木の葉」型鋸の一種と考えられる。その下 3 本の鋸は「すり鋸」である。2 枚の板を突き合わせて大きな板を作る時、突き合わせた板の木口にすり鋸を差し入れて挽く鋸である。こうすることによって接（は）ぎ合わされる木口がしっかりとかみ合い水漏れしにくくなるのである。普通、すり鋸は仕上げにに応じて、オオバ、チュウバ、コバの三種類を使い分けるとされている。その下の鋸歯が直線に並んだ両歯鋸（鋸身の両側面に鋸歯がある鋸）は現代の鋸で鋸身の一方に縦挽き、他方に横挽きの歯が付いている。その下の鋸身の先端が尖った 3 本の内、一番上の鋸には「穴挽鋸（横に切断する為に使う）」と説明書きがある。横挽き鋸の小型のものであろう。下 2 本は「引廻しノコ」とある。これは板に穴を開けたり曲線に挽いたりするための鋸である。簡単に言えば、学校の工作時間に使う「糸鋸」の類である。

写真の左下には鉋がみえる。木材の表面を整える鉄製の船大工道具である。その下には墨壺と墨差（すみさし）がみえる。



図 39 鋸各種、鉋、水平器および墨壺（天草通詞島、歴史民俗資料館）



図 40 槍鉋

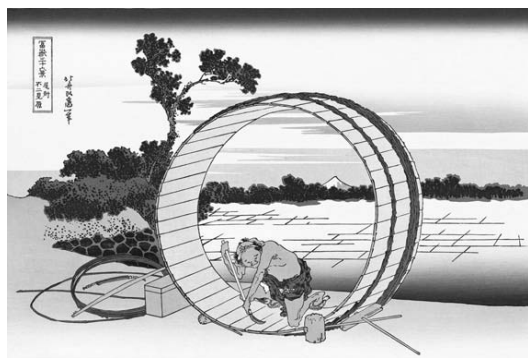


図 41 富嶽三十六景 尾州不二見原（葛飾北斎）

図 40 は槍鉋（やりがんな）である。丸太を裂いた表面を整える鉄製の大工道具で、室町時代に箱鉋（はこがんな）が現れるまでは槍鉋全盛であった。

図 41 は葛飾北斎の有名な富嶽三十六景尾州不二見原（びしゅうふじみはら）の版画である。現在の愛知県名古屋市付近である。桶職人が槍鉋で樽の内側の表面を仕上げているところである。右手を逆手にして柄を持ち、板面を滑らすように槍鉋を手前に引き寄せながら表面を削るのである。

図 42 は、福岡県宗像市鐘崎の旧宗像市民俗資料館に展示してあった船釘各種である。大小様々あり、用途によって、釘の頭の形状、釘のそりなどが異なる。

船釘は板と板を接ぐ場合や継ぐ場合に用いられ、直接に打ち込むと板が割れる危険があるため、図 43 に示すような、予め釘道を通すための専用の鑿を使用する。

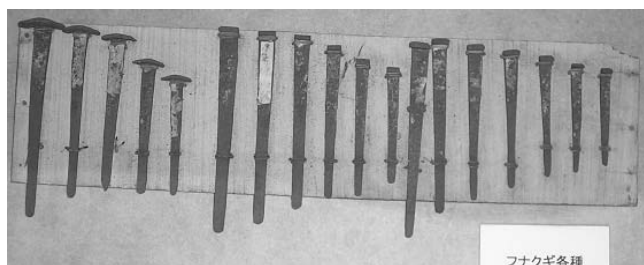


図 42 船釘各種（旧宗像市民俗資料館）



図 43 船釘用鑿各種（天草市歴史民俗資料館）

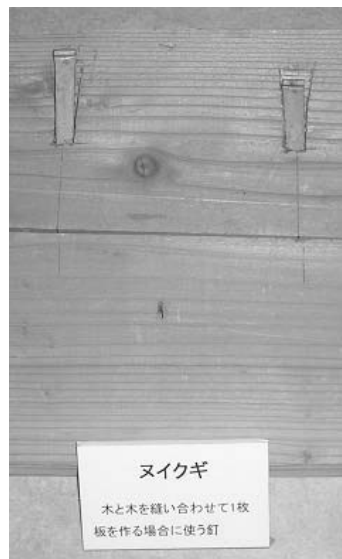


図 44 船釘の使用法（旧宗像市民俗資料館）

ここに展示されている鑿の説明書きには、「釘差（大）（小）」、「ツバのみ（釘通し）穴をあける為に使用」、「片つばのみ（穴あわせ用）」とある。船釘にはその用途によってそれぞれ名前が付けられている。

例えば、図 44 の左上の写真は、板と板の木端を突き合わせて I 型に接ぐ場合に用いられるヌイクギ（縫釘）である。縫釘を打つ前に片鑿（かたつばのみ）で釘道を通し、その後から縫釘を打ち込む。縫釘の特徴は釘身が湾曲していることであり、釘の頭は L 字型である。板と板を T 字型または L 字型に接合する場合には右上の写真のようにトオリクギを用いる。釘の頭は T 字型をしている。また、縁の取り付けなどに用いる場合はカイオレクギを用いる。釘の頭は L 字型である。

室町時代中期に準構造船から構造船へと造船法が変化する時期は、このような板材の接合技術が飛躍的に向上した時期と符合する。板の接合法に技術革新があったから建造法に大きな変化が生じたと考えてよい。

9 おわりに

蝦夷生計圖説を中心に読み解くことにより、アイヌ民族のイタオマチブ（板綴り舟）を通して古代のフネの変遷、特に準構造船の造舟儀礼と造舟技術そして木工工具の発達の歴史を見てきた。その中で判ることは造舟技術は徐々に進歩したのではなく、青銅器・鉄器文化の伝来や新たな大工道具の伝播といった文化的文明的画期が飛躍的な進歩をもたらすという事である。このことは他の技術分野にも言えることである。

丸太を板に加工する製材技術の進歩は、造舟法に多大な影響を与えたと考えることができ、木工工具、特に鋸や鉋の発達と刳舟から準構造船さらに構造船へと発達する過程とは深く関係していると推察できる。

以上のことから、アイヌ民族が何らかの理由で鉄器文化を十分に享受できなかったことが、洗練された鉄器文化が開いた江戸時代後期に至っても、板綴り舟の段階で造舟技術が停留していたことと深く関係していると考えられる。逆説的にいうと、そのお蔭で、大和では疾（と）うの昔に失われた伝統的技術技能がアイヌに温存されていたとみることもできるのである。

10 謝辞

長 洋一先生が平成 25 年 4 月 2 日に逝去された。享年 83 であった。

著者は 10 年ほど前から、福岡高等学校時代の同窓生有志（主に伊藤俊一君と奥田隆司君）が企画する「長先生と歴史を語る会」に参加するようになった。長先生（元西南学院大学教授）は著者の高等学校時代の恩師で、社会科の教諭であった。その後大学教員に転じられたが、古代史・中世史の専門家で、特に福岡市東区にある香椎宮の起源に関しては造詣が深かった。

「語る会」はいつも飲み屋の一角を借切り、先生の準備された「古事記」や「日本書紀」などの古文書の講義から始まった。苦闘すること二時間余り、そのあとはお決まりの宴会で実に楽しかった。著者はもともと歴史や地理に興味があったせいもあり、すっかり常連になってしまった。長先生と「語る会」仲間で、何度か遺跡巡りの一泊旅行をしたこともあった。

高等学校卒業以来、数十年ぶりに拝聴する先生の講義は決して簡単ではなかったが、語りかけるような口調と慈しむような笑顔を忘れることができない。私は当時から、先生の内に秘めた優しさと反骨に惹かれるものを感じていた。

「語る会」に参加するうちに、古代の文化や文物の伝播については詳細に語られるものの、それらの運搬

手段である船についてはほとんど触れられないことに気付いた。私が船舶工学を専門にしていることも、気付くきっかけになったかもしれない。

先生にそのことをお話しすると、「岩本君、是非、船舶史を学問として体系付け給え」と課題を頂いた。しかし、劣等な教え子である私には、先生の下さった課題は、背負うにはちょっと荷が重すぎた。身の周りの事情もあり研究は遅々として進まなかった。会に触発されて日本航海学会誌 NAVIGATION に「昔の日本の船事情」¹⁾を投稿したのが平成 18 年 6 月、約 8 年前である。

その頃から、アイヌ民族のイタオマチブに古代準構造船の造舟過程を解く鍵があるのではないかと、文献検索や整理をしていたが、思いもよらない訃報によって、とうとう纏まった著述を先生のお目にかかる機会を永遠に失ってしまった。痛恨の極みである。

本論文は、急遽短時間で書き上げたもので、全く不十分だと先生からお叱りを受けるかも知れないが、遅れ馳せながら、この論文を先生の御霊に捧げる次第である。感謝と尊敬の念を込めて。

参考文献

- 1) 岩本才次：「昔の日本の船事情」、日本航海学会誌 NAVIGATION、第 164 号、2006.6、pp. 24-46。
- 2) 御薗生翁甫：「二瓦三棟船論考」、巖南堂書店、1961.4。
- 3) 例えば、海事博物館 みちのく北方漁船博物館、青森県青森市沖館 2-2-1。
- 4) 秦 憶丸 撰、村上貞助・間宮林蔵 増補：「日本庶民生活史料集成 第四巻」“蝦夷生計圖説 四 造舟の部、五 續造舟の部”、三一書房、1973、pp. 571-602。
- 5) 由良 勇：「北海道の丸木舟」、マルヨシ印刷株式会社、1995.7.10 発行。
- 6) 財団法人アイヌ文化振興・研究推進機構：「アイヌ生活文化再現マニュアル 綴る イタオマチブ」【板綴り舟】“、<http://www.frpac.co.jp/manual/files/2002-06.pdf>。
- 7) 出口晶子：「丸木舟 ものと人間の文化史 98」、法政大学出版局、2001。
- 8) 大野恵三：“中世絵画史料にみる櫓・櫓操作の技法”、民具研究 第 138 号、2008.9。
- 9) 堀内雅文：「大和型船—航海技術編—」、成山堂書店、1982。
- 10) 石井謙治：“複材刳船の考察 —とくに門式嵌接法に関連して—”、稲・船・祭 松本信廣先生追悼論文集、六興出版、1982。
- 11) 児玉幸多編集：「標準日本史年表」、吉川弘文館、1968。
- 12) 丹下昌之：“古代遺跡出土鋸の研究”、民具研究 110、1995.3.30、pp.1-18。

球形タンク内液体水素の蒸発率に及ぼす Sloshing の影響

小田原 悟[†]

Effect of Sloshing on Boil Off Rate of Liquid Hydrogen in Spherical Tank

Satoru ODAHARA

In order to develop the hydrogen energy usage technology for the next generation, it is an important issue to reduce a boil off vapor rate, BOR of liquid hydrogen LH₂, in a container of a tanker, obtained by abundant wind turbine electrolysis from overseas. In this study, a swaying sloshing oscillation experiment was conducted with using an acrylic spherical container. The movement of liquid surface of the water in the half-full spherical tank was recorded by digital camera. The response of wave amplitudes for several frequency ratios was measured under the conditions of the several oscillating amplitudes. The wave amplitudes of oscillating spherical tank were able to be predicted by first modal linear analysis. In addition to the sloshing phenomenon, thermal forced convection phenomenon between the tank wall and liquid surface was roughly estimated as a coupled problem. The BOR can be larger with intense movement of liquid surface in the spherical tank under the resonant sloshing condition. The importance of carrying out the actual proof examination using renewable energy power generation equipment was also discussed.

Keywords: Liquid Hydrogen, Boil off Rate, Sloshing, Spherical Tank, Swaying, Swirling, Thermal Convection.

1. 緒 言

南米のパタゴニア地方で風力発電により製造した水素をアフリカ喜望峰、インド洋を経て日本へ 22,000km の距離をタンカー輸送することが 2030 年までに実現可能である⁽¹⁾。日本本土内陸部で最も風況の優れた場所でも年平均風速 6.0m/s 程度であるのに対し、パタゴニア地方では太田ら⁽²⁾の風況調査によると年平均風速 10m/s を超えられている。水素を製造するための電力エネルギーは風速の約 3 乗に比例するので、南米での一定期間の水素製造量は風車 1 機あたり日本の場合の $(10/6)^3=4.6$ 倍以上になる。しかも、日本では風向の著しい変化や台風のために風車には極めて大きい負荷変動が生じるが、パタゴニアでは年間を通して偏西風が比較的一定なので、風車の設計やメンテナンスが容易となる。日本国内での風車の破損事例は近年社会問題となっており、強度設計の段階で過度に部材寸法が大きくなり、発電効率の低下を招いている。したがって、国内での風力エネルギーを利用した水素製造よりも、パタゴニアで製造した水素を輸入運搬するほうが経済的にも割に合う時代が到来する⁽³⁾。近い将来、パタゴニア地方は南米のクウェートと呼ばれるようになるであろう⁽⁴⁾。

水素は燃焼の際に温室効果ガスを排出せず、水を資源とするので地球上に無尽蔵に存在する。したがって、地球温暖化防止および化石燃料枯渇の問題解決の有力な手

段として、水素エネルギーの利用技術が近年特に注目されている。

また、水素の運搬方法としてはエネルギー密度が大きい点で液体水素 LH₂ の状態でのタンカー輸送が最も有利である。LH₂ の運搬技術についての研究報告⁽⁵⁾⁻⁽¹⁰⁾のなかで、Sloshing による容器内の圧力変動および蒸発挙動に関する研究は NASA のロケット推進材としての LH₂ の研究^{(9),(10)}のほかはあまりない。水素エネルギー利用技術の開発が急がれる今日、LH₂ の Sloshing による温度上昇にともなう蒸発量の低減方法などの研究が不十分であると指摘されている⁽⁸⁾。宇宙開発分野においてロケットの液体燃料タンクはせいぜい数分程度の極めて激しい運動に耐えられるように設計すればよい⁽¹¹⁾。しかしながら、図 1 に示すようにパタゴニアからタンカーで 20 日間かけて海上輸送する間に海象によっては球形タンク内の -253℃ の LH₂ に激しい運動が生じると予想されるので、球形容器内の Sloshing による相変化現象の解明が今後の水素エネルギー技術開発にとって極めて重要である。

神谷ら⁽⁶⁾は LH₂ コンテナの陸上輸送トレーラーの Sloshing 現象に関する解析的研究を行っている。

また、LNG に比べて LH₂ の蒸発量は単位熱量あたり 10 倍にもなるので、既存の LNG 技術を参考にしながら海上輸送時の LH₂ の蒸発量をいかに低減するかが重要となる。

ところで、水の常温の Sloshing についての実験的研究^{(12),(13)}は多い。著者らの基礎的な実験的研究⁽¹⁴⁾⁻⁽¹⁷⁾

[†]鹿児島工業高等専門学校 機械工学科

Length: 330 m
 Breadth: 64 m
 Depth: 26 m
 Draft: 14 m
 Main Engine: 40,000PS×2
 Tank Capacity: 200,000 m³
 Distance: 22,000 km
 Speed: 20~25Kt
 Boil Off Rate: 0.2~0.4%/day

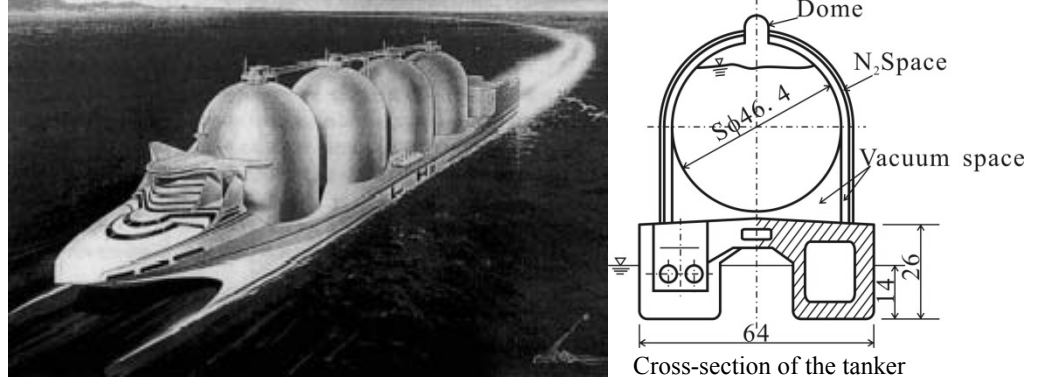


Fig. 1 General arrangement of liquid hydrogen tanker^{(3),(5)}.

によると、1 次の振動モードのみに着目した線形解析によって実験の衝撃圧力値をある範囲の精度で推定できることが明らかとなった。球形タンクの場合 Sloshing による壁面への衝撃圧はほとんど生じない。化学燃料のタンクが球形である理由の一つが Sloshing 防止である。しかし、壁面に衝撃圧は生じなくとも極低温の燃料タンクが激しく運動することによる液体が相変化や温度上昇にともなう過度の高圧など危険を予め推定することは重要と考える。

一方、宇宙開発の場合のような数分間の液体燃料の内部運動とは異なり、海上輸送タンカーの場合は数十日間の船体揺動に起因する Sloshing によってタンク内の液体運動や相変化をとらえた研究はほとんどない。また、航行中に蒸発によって積載量が減少すると液体の固有振動数が変化し、タンカーの揺動周波数と合致すると共振が起こる危険性がある。したがって、この問題は振動や構造強度のみでなく熱工学的アプローチも重要なので、構造強度・振動工学・熱工学の境界領域の連成現象としてとらえる必要がある。

そこで、本研究では南米からの LH₂ の海上輸送を想定し、運搬の際に問題となる球形タンクの Sloshing による相変化の挙動に着目し、LH₂ の周期的揺動運動に伴う蒸発率 BOR の見積もり方法を提案する。また、水半載の球形タンクの Sloshing による液面振幅を実験的に計測し、線形解析の推定方法の妥当性について検証した。

なお、風力水素の運搬技術⁽¹⁸⁾については LH₂ のみでなく圧縮水素・有機ハイドライド・アンモニアなど他の形式での手法が多く研究されているが、LH₂ が最もエネルギー密度が大きいので将来有望な技術と捉え着目することにした。

2. 球形タンク内の Sloshing による液面運動

球形タンク内液面運動の厳密な非線形解析解の計算は困難である。そこで、本研究では第1次モードのみに着目した解析法の例として以下の Budiansky (1960)⁽¹⁹⁾の等角写像に基づく数値解析の結果を利用した線形解析をする。球形タンクが水平方向に周期的強制力を受ける場合の容器液面の壁面に沿う波高 η [m] が以下の式で表される。

$$\ddot{\eta} + \omega_n^2 \eta = F \quad (1)$$

ここで、 ω_n は球形タンク内液面振動の固有角振動数 [rad/s] で以下の式で定義される。

$$\omega_n = \sqrt{\lambda_n \frac{g}{R}} \quad (2)$$

g は重力加速度[m/s²]、 R は球形タンクの内半径[m]、 λ_n は図2で水深 h [m] と直径 $2R$ との水深比 $h/2R$ によって変化する第1次モードの固有値である。また、 F は単位質量あたりの液体に作用する周期的加振力[m/s²]で

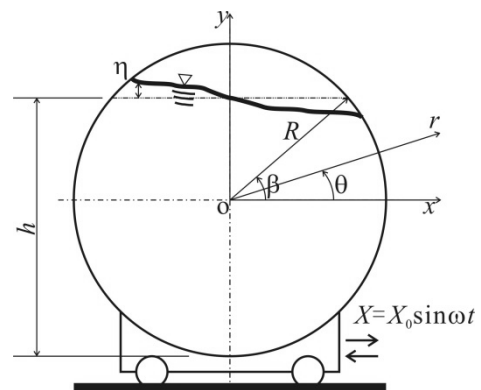


Fig. 2 Oscillated spherical tank with non-full liquid. η : Wave height amplitude[m], $h/2R$: Water depth ratio, X_0 : Oscillated amplitude [m].

ある．式(1)は液体の持つ運動エネルギーやポテンシャルエネルギーに基づく Lagrange 方程式から導かれた運動方程式である．液面の固有振動モード係数を C_n , D_n とし, 容器の揺動変位を $X = X_0 \sin \omega t$ [m], 加速度を $\ddot{X} = -\omega^2 X_0 \sin \omega t$, ω を加振角振動数 [rad/s] とすると F は以下の式で表される．

$$F = \lambda_n a \left(\frac{D_n}{C_n} \right) \ddot{X} = F_0 \sin \omega t \quad (3)$$

すなわち, $F_0 = -\lambda_n a (D_n/C_n) \omega^2 X_0$ となる．ただし, a は図 2 で定義され, $a = \cos \beta$, β : x 軸から液面・壁面の交点までの角度 [deg.] とする．

本研究では周期的外力による共振点近傍の液面の挙動に着目するので, 共振時すなわち $\omega \cong \omega_n$ でも液面の振幅 η が有限の値となるようにする．すなわち, 次式のように式(1)に減衰項を付加する．

$$\ddot{\eta} + c\dot{\eta} + \omega_n^2 \eta = F \quad (4)$$

c は波高速度 $\dot{\eta}$ に関する抵抗係数, すなわち液面振動の減衰係数である． $F=0$ のとき, すなわち, 液面の減衰自由振動の場合の減衰比を ζ とおくと $\zeta = c/(2\omega_n)$ と表される．

揺動振動数 ω と固有振動数 ω_n との比を振動数比 $\Omega = \omega/\omega_n$ とすると, 式(4)から強制振動の定常応答 $\eta(t)$ が以下のように表される．

$$\eta = \eta_0 \sin(\omega t + \psi) \quad (5)$$

$$\eta_0 = \frac{F_0/\omega_n^2}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + 4\zeta^2\Omega^2}} \quad (6)$$

$$\psi = -\tan^{-1} \left(\frac{2\zeta\Omega}{1-\Omega^2} \right) \quad (7)$$

減衰比 ζ を文献(9)から推定する．推定式は以下となる．

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \cdot 0.08347 B^{1/2} \frac{1+0.92(1-\frac{h}{2R})}{2.92(1-\frac{h}{2R})} \quad (8)$$

$$B = \frac{10}{2\sqrt{2}} \nu R^{-3/2} g^{-1/2} \quad (9)$$

式(8), (9)によると減衰比 ζ は動粘性係数 ν [m²/s] や内半径 R , 重力加速度 g , 水深比 $h/2R$ によって変化する．ただし, この関係式は液面の減衰自由振動の第 1 モードのみに着目したものである．

3. 水半載球形タンクの Swaying Sloshing 波高の計測実験

球形タンクの強制加振 Sloshing による液面波高振幅の周波数応答特性に関する実験は Budiansky⁽¹⁹⁾ や

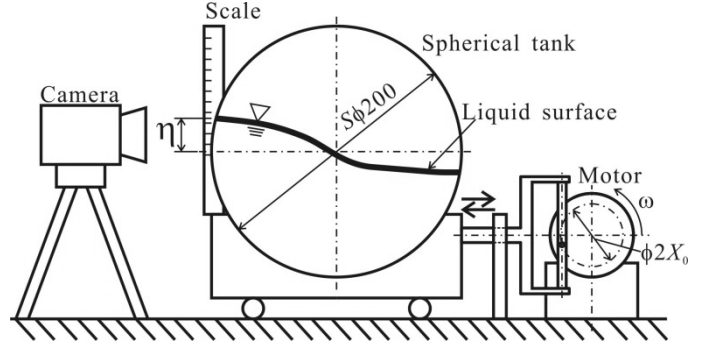


Fig. 3 Experimental equipment of swaying sloshing with half-full water spherical tank.

NASA⁽⁹⁾ 以外にはあまりない．そこで, 式(2)~(9)の妥当性の検証を目的として, 以下の実験を行った．

図 3 に示すように, モータ駆動の往復揺動機構を組み込まれた実験装置を用いて, Swaying 強制揺動による液面 Sloshing の波高計測実験を行った．揺動振幅 X_0 は $X_0=5.0$ mm または $X_0=7.5$ mm とした．内径 200 mm のアクリル製球形水半載容器の波高の変動を計測するために, ビデオカメラを図 3 のように設置した．映像から各揺動振動数 f [Hz] に対する波高の最大値 η_0 を読み取った．波高 η_0 が安定するまで数十秒間液面運動させたあと, 5~10 秒程度撮影した．液面が図 2 の z 軸方向への 3 次元的な波を含むような運動とならないように容器の揺動方向が重力方向と完全に垂直となるように水平器で装置土台を微調整した．実際の液面の様子は碎波や飛沫が多少起こって超非線形現象となっていたが, 波高 $\eta_0 < 0.1$ m のあまり激しくない液面運動の場合には第 1 次モードのみの液面運動が生じているとみなして現象を解析的にとらえることとした．装置の揺動振動数 f [Hz] はインバータによって微調整し, $f=0.8 \sim 2.8$ Hz の範囲で 0.2 Hz ごとに変化させて設定した．式(2)より固有振動数は $f_n=1.98$ Hz である．

図 4 に波高 η_0 の周波数応答特性を示す．横軸には容器の揺動振動数 f [Hz] を液体の固有振動数 $f_n = \omega_n/2\pi$ [Hz] (式(2))で除した無次元振動数比 $\Omega = f/f_n$ とする．計測値 Exp. ○, □ に対して式(2)~(9)による解析値 Cal. —, --- が小さい値であることが分かる．この原因は解析の際基礎となる液面の運動方程式において非線形項を無視しているせいである．ただし, 解析の際の減衰比 ζ は $\zeta=0.0176$ とした．この値は本実験装置による波高 η_0 減衰自由振動から得たものであり, 式(8), (9)から計算される $\zeta=2.51 \times 10^{-3}$ よりも大きい値である．その理由は減衰自由振動の波面形状に 2 次のモードが含まれており, 1 次モードとの干渉が生じたせいであることと, 容器の内面の粗さと流体粘性によって表面

に生じる境界層との相互関係による影響⁽²⁰⁾などが考えられる。なお、外力 F_0 の計算の際のモード係数は半載すなわち水深比 $h/2R=0.5$ のときの値とし、それぞれ、 $\lambda_n=1.57$, $C_n=0.476$, $D_n=0.401$ とした。 F_0 は絶対値をとった。

図 4 において共振点 $\Omega=1.0$ の近傍の波高 η_0 が $\eta_0=0.1\text{m}$ となり液面が天頂に達して Swirling が生じた。揺動振幅 X_0 が大きい場合、波高 η_0 が大きくなる傾向は計測、解析ともにほぼ同様であった。また、 $\Omega>1$ で波高 η_0 の計測値が解析値に比べてかなり大きい値となった。これは、激しい液面運動にともなう砕波により映像から読み取った波高が大きめの値になったものと考ええる。

本実験により球形容器内の液面の波高の周波数応答特性を大体推定できるものとし、以下の議論において式(2)~(9)を用いた解析の手法を利用する。

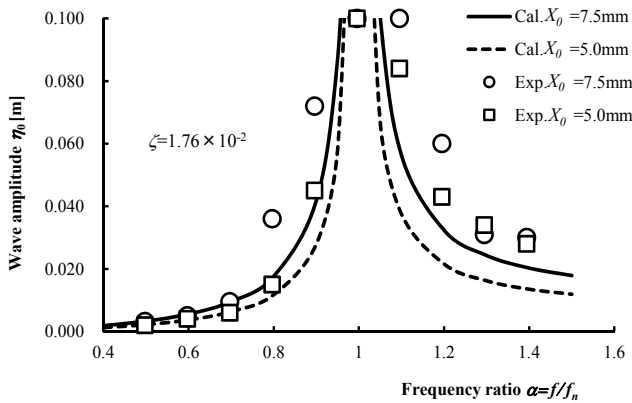


Fig. 4 Frequency response of wave amplitudes η_0 calculated and experimental values for swaying sloshing of water spherical tank, X_0 : Oscillation amplitudes, ζ : Damping ratio.

4. LH₂ 運搬船球形タンク内の Sloshing による相変化の推定

次に、LH₂ の海上輸送時のタンク内の Sloshing による相変化現象を推定する。Sloshing によって液面が激しく運動すると壁面との強制対流による伝熱で LH₂ が蒸発して水素ガスへと相変化することが予想される。タンカーは南米パタゴニアから日本までの 22,000km の距離をおよそ船速 25kt ($\approx 45\text{km/h}$) で 20 日間かけて航行する^{(1), (2), (5)}。その間に液体水素がどのような周期的外力により液面運動をするかについては海象や気象条件によって大きく変化する。そこで、液面振動と伝熱との連成シミュレーションによりどのような条件で液体水素の相変化が顕著になるかに注目し、BOR の変

化を以下のように概算してみる。

まず、初期充填時の球形タンクの液深比は $h/2R=0.90$ とする。これは初期の球形タンク内の LH₂ の充填率 $\eta_0=97.2\%$ に相当する。海象や海流の方向によって異なるが、ここでは、海上での波の周期 T_s を $T_s=4\sim 7\text{sec.}$ と想定する⁽²¹⁾。図 1 の双胴船は単胴船と比べて一般に Rolling や Pitching が生じにくい構造である⁽²²⁾。したがって、船体の振動モードとして Swaying や Surging を想定し、タンクの水平方向の揺動振幅 X_0 を $X_0=0.1\text{m}$ 程度と想定する。壁面に沿う液面の流速を v_β とすると、液深比 $h/2R=0.9$ 程度のとき、波高の速度 $\dot{\eta}$ に対して v_β が $v_\beta \cong \dot{\eta}$ となるものと仮定する。

式(5)より波高 η が $\eta = \eta_0 \sin(\omega t + \psi)$ のとき波高の速度 $\dot{\eta}$ は $\dot{\eta} = \omega \eta_0 \cos(\omega t + \psi)$ となる。ここで、 η_0 の推定の際の液面振動の減衰比 ζ は式(8), (9)より $\zeta=6.93 \times 10^{-5}$ となるが、Sloshing によって LH₂ が蒸発すれば液深比 $h/2R$ が変化するので、減衰比 ζ も時々刻々と変化する。ただし、LH₂ の動粘性係数 ν は 20K での値 $\nu = 1.93 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ (表 1) で航行中は常に一定とした。また、液面は 1 次の振動モードのみが支配的であるとして、初期の振動モード係数を $\lambda_n=3.91$, $D_n=0.488$, $C_n=0.731$ として波高 η_0 を推定した。なお、これらの値は LH₂ の蒸発で液深比 $h/2R$ が変化すれば時々刻々と変動する。共振時の揺動周期 T_n が $T_n=2\pi/\omega_n=4.89\text{sec.}$ なので、海上の波の周期を $T_s=4.88, 6.50\text{sec.}$ の場合を想定する。 $T_s=4.88\text{sec.}$ の場合、初期の振動数比 Ω が $\Omega=1.00$ で共振により Sloshing が生じて、液面波高 η_0 が初期の静液面から天頂までの距離 $2R-h$ を大きく上回り Swirling が起こりタンク天頂壁面のほぼ全面を濡らすことになる。このときの速度 $\dot{\eta}$ は $\dot{\eta}=59.4\text{m/s}$ である。

Table 1 Chemical properties of liquid hydrogen at 20K temperature⁽²⁷⁾

Boiling point [K]	20.3
Density, ρ [kg/m^3]	71.3
Kinematic Viscosity, ν [m^2/s]	1.93×10^{-7}
Prandtl number, Pr	1.14
Thermal conductivity, λ [W/mK]	0.103
Latent heat, L [kJ/kg]	446

ここで、本研究では最も厳しい環境を想定しているので、Swirling によって蒸発した LH₂ が再び液化する現象⁽²³⁾については考えないこととする。

図 5 に Sloshing による液面運動のイメージを示す。断熱構造として PUF やアルミ層、真空空間などが利用される⁽⁵⁾。Swirling が生じるときは砕波とともに飛沫が

天頂壁面を廻る。

次に、球形タンク気相部壁面からの熱伝達を考える。まず、 $-\pi/2 < \theta < \beta$ の液相部の範囲では壁面から液体へ伝わる熱量は小さいものとみなし蒸発はないものとする^{(23), (24)}。Sloshing による液面の運動によって壁面からどの程度の熱量が液体に伝わるかに注目する。レイノルズ数 Re を以下の式で定義する。

$$Re = \frac{L_0 v \beta}{\nu} \quad (10)$$

代表寸法 L_0 は波高 η_0 が気相部 $2R-h$ より小さいときは $L_0 = \eta_0$ とし、波高 η_0 が $2R-h$ より大きいときは $L_0 = 2R-h$ としてみる。一方、伝熱工学資料など^{(25), (26)}によると平板の強制対流熱伝達のヌセルト数 N_u が以下の式で表される。

$$N_u = 0.332 P_r^{1/3} Re^{1/2} \quad (11)$$

表 1 に LH_2 の液温 20K における物性値⁽²⁷⁾を示す。 LH_2 のプラントル数は $P_r = 1.14$ なので、初期のヌセルト数 N_u は $N_u = 1.31 \times 10^4$ となる。天頂壁面の平均熱伝達係数を $\alpha_m [W/m^2K]$ とすると、 $\alpha_m = N_u \lambda / L_0$ より $\alpha_m = 2.92 \times 10^2 W/m^2K$ となる。ここで、 LH_2 の熱伝導率は航行中常に一定で $\lambda = 0.103 W/mK$ とした。

ところで、液面が運動しない静的な場合、気体に接している天頂壁面の温度 T_w が液面の温度 $T_L = 20K$ に比べて $\Delta T = T_w - T_L = 30K$ ほど高いことが計測実験から得られている^{(10), (28)}。本研究のように動的な液面運動の場合、Swirling が生じるような共振時は天頂壁面がほぼ常時濡れている状態である。図 5 に示すように、1.0m 厚の発砲体ポリウレタンフォーム(PUF)で外面真空断熱とし、内面が 20K で LH_2 への瞬間的極低温の繰り返し暴露の条件でタンク天頂部壁温 T_w の時間的变化をたどると、 T_w は数回の Swirling で T_L とほぼ同じになると考える。なぜなら、 LH_2 タンク断熱構造の外部からの入熱は高々 $0.005 W/m^2K$ とされている^{(23), (24), (29)} から

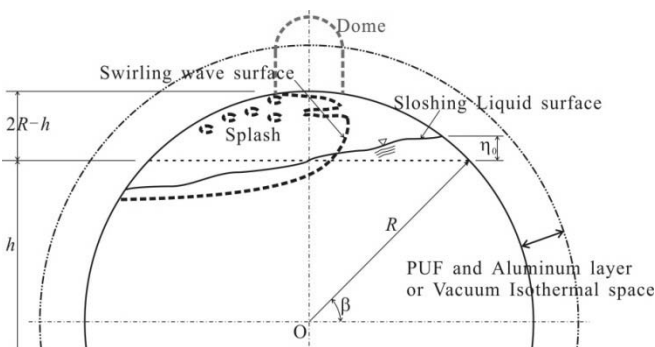


Fig. 5 Image of the wave movement of sloshing and swirling phenomenon in the spherical tank. PUF: Polyurethane foam.

である。そこで、ここでは計算上実機において最も過酷な厳しい環境を想定し天頂壁面に断熱破損部など予期しえない要因により温度差が生じるとし、 $\Delta T \cong 0.5K$ としてみる。

液面が Swirling によって壁面天頂を廻るときの伝熱面積 A を $A = 2\pi R L_0$ とする。1 日目の共振時の壁面からの伝熱量 q は $q = \alpha_m A \Delta T = 9.88 \times 10^4 W$ となる。また、液体水素の蒸発潜熱 L が $L = 446 \times 10^3 J/kg$ なので⁽²⁷⁾、単位時間の LH_2 の蒸発量 w は $w = q/L = 9.88 \times 10^4 / (446 \times 10^3) = 0.221 kg/s$ となる。ただし、この値は液深比 $h/2R$ や加振振幅 X_0 によっても大きく変化する。仮に、この状態が 24 時間継続すると 1 日目の蒸発量は $w = 1.91 \times 10^4 kg/day = 269 m^3/day$ となる。球形タンク内の液体の全容積が $V = 5.08 \times 10^4 m^3$ なので、結局 1 日目の BOR は $269 / (5.08 \times 10^4) = 0.515\%/day$ となる。

2 日目以降は LH_2 の量が減少して液体の固有周期 T_n が変化することで Ω が共振点 $\Omega = 1.00$ より大きくなるので蒸発量は減少する。

図 6 に南米パタゴニアから日本までの 20 日間のタンカーの航行中の Sloshing の周期比 $\Omega = T_n/T_s$ と液面波高 η_0 の変動を 1 日ごとにプロットしたものを示す。海上の波の周期 T_s が $T_s = 4.88 sec$ のとき 1 日目に共振が起こり蒸発によって LH_2 量が大きく減少するので固有周期 T_n が変化して周期比 Ω が $\Omega = 1.0$ から日ごとに増加している。また、右軸の波高 η_0 は初期の共振時に天頂に達して Swirling を起こしたが、蒸発によって液体の固有周期 T_n が変化することで Ω が共振点 $\Omega = 1.0$ から徐々に増加している。

図 7 には BOR と充填率 γ の推移を示す。海上の波の周期 T_s が $T_s = 4.88 sec$ のときは初期の BOR が 0.515% とかなり大きい。それに伴い、充填率 γ は初期の $\gamma_0 = 97.2\%$ が徐々に減少して、結局日本に到着する 20 日後には $\gamma = 95.5\%$ となり 2% 程度減少した。 LH_2 タンカーの概念設計時の BOR の目標値は $0.4\%/day$ 以下である^{(2), (5)} ので、初日は設計限界を上回る。海上の波の周期が一定でなく、時々刻々と変動すると BOR はさらに高い値を長期間示す危険性がある。また、波の速度 $\dot{\eta}$ は線形解析により推定した値であり、非線形項も含めた場合の $\dot{\eta}$ はさらに大きい値となり蒸発がさらに促進される。一方、海上の波の周期 T_s が $T_s = 6.5 sec$ のときは振動数比 Ω が初期段階から共振点より遠いので、 Ω や波高 η_0 は変動しない。したがって、BOR は極めて小さいので初期の充填率 γ はほぼ一定に保たれる。このように、条件によっては Sloshing によって著しい量の LH_2 が蒸発してしまうが、海上の波の周期が一定であれば、蒸発現象はある期間に限定

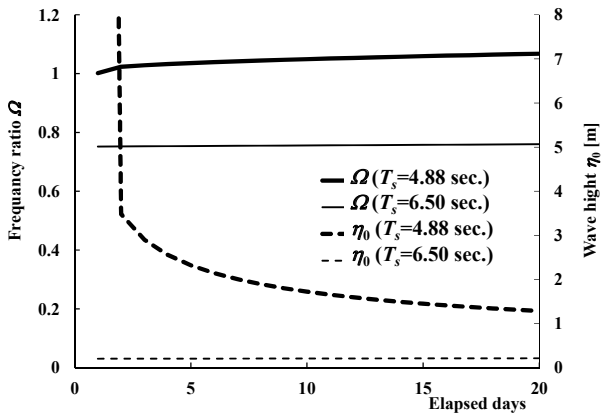


Fig. 6 Simulated variation of periodic ratio Ω and wave height η_0 [m], T_s : Sea wave period [sec.].

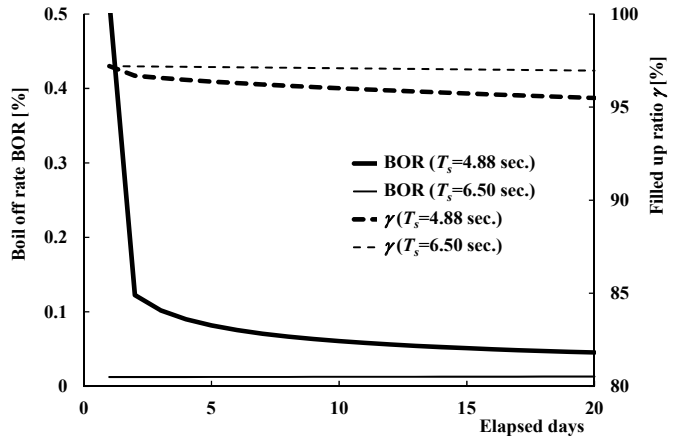


Fig. 7 Simulated variation of boil off vapor rate, BOR, and filled up ratio, γ .

されて生じるものと考える。

また、同様の手法で液深比 $h/2R=0.95$ 、初期振動数比 $\Omega \cong 1.0$ の場合のシミュレーションを行ったところ、やはり図 6, 7 と同じような傾向となった。液深によって共振点が変わることは、初期の LH_2 積み込みの量を決めるときに考慮すべきことを示唆しており、運航者の留意点として重要である⁽²⁹⁾。

一方、本実験によって得られた Swirling の画像観察によると、Sloshing によって砕波された液粒子が飛散し分散した液の表面積が増加する。そうすると、 LH_2 タンク天頂球面部から見た場合、低温液面が見かけ上増加して外部からの入熱が促される⁽²⁴⁾。さらに、飛散した液粒子は実際には図 5 に示すようにタンク上部の Dome 部の壁面にも達する。Dome 部は球形タンク上部から突出しているので、通常一般のタンクの気相部に比べて壁面の温度上昇は比較的大きい。そこへの砕波飛沫液滴はより蒸発しやすい。さらに、Dome 部には甲板から突入したステンレスかアルミ製のパイプ類が数本貫通しており、このパイプは外部からの伝導熱を有しているために温度レベルはかなり高い。そこに当たった液滴、波は即蒸発する。したがって、本研究で概算した BOR は実機で起こる現象において決して過度な危険予測ではないと考える。

ただし、各数値の妥当性についての検証は不十分である。一部、スロッシングによって液体がどの程度温度上昇するかについては水やエタノールをいれた魔法瓶の内部の温度上昇の実験を行い、24 時間で $2\sim 3^\circ\text{C}$ ほど上昇した⁽¹⁷⁾。今後、重要と考えられる新エネルギー技術に関する研究であるので現時点で客観性や妥当性が乏しくともひとまず実用化の可能性について議論すべきと考える。

いずれにしても、球形容器での LH_2 タンカー輸送で

Sloshing によって液面に激しい運動が生じると蒸発量が大きくなり、パタゴニアからの海上輸送時に LH_2 の量が大幅に減少してしまう可能性があることが分かった。さらに、もし、液体水素タンクとしてメムレン型を採用すると、上記に加えて壁面への Sloshing 衝撃圧で熱エネルギーが放出され蒸発がますます促進される^{(3), (7)}。

また、本研究では船体の運動として Swaying, Surging を想定したが、実際の LPG タンカーの運航海域では Pitching や Rolling の船体運動が顕著である⁽²¹⁾。Pitching の場合のタンク内の液面運動には揺動回転軸とタンクとの位置関係が大きく影響する^{(30), (15)}。したがって、この点に着目して球形タンク内の液体運動および相変化現象を捉えることも重要である。さらに、常温の水ではなく LH_2 の状態での Sloshing の実験的研究は多くの困難がともなう⁽²⁸⁾ が、今後、上記の熱工学的解析結果を検証するために詳細な実証実験を行う必要がある。この点については神戸大学海事科学研究科武田実氏が系統的な研究を実施中⁽³¹⁾であり、著者も研究分担者としてそのプロジェクトに参加している。

最後に、水電解水素の発生効率をいかに高めるかについても深く議論すべきである。この効率が高まればもはやパタゴニア風力水素に頼らずとも日本近海に設置される洋上レンズ風車⁽³²⁾⁻⁽³⁴⁾による水素が有力なエネルギー源となりうる。この点については九州大学応用力学研究所との共同研究として継続して実施中であり、さらに平成 24 年補正予算で本校に導入予定の再生可エネルギー発電設備を用いた電力による水素の発生効率向上および貯蔵運搬技術に関する研究開発を実施していく。

5. 結 論

次世代の水素エネルギー利用技術の推進のためには液体水素 LH_2 の輸送時の蒸発率 BOR をいかに低減するかが重要である。本研究ではアクリル製球形タンクの揺動実験・線形解析を行い、 LH_2 の BOR を振動・熱の連成シミュレーションにより概算し以下の結論を得た。

- 1) LH_2 の相変化による BOR の概算の根拠となる球形タンク内の液体運動についての力学的法則の妥当性を検証する実験として Swaying による Sloshing を行ったところ、球形タンク内の液面振幅を第 1 次モードのみの線形解析で推定できることが分かった。
- 2) 実船の球形タンク内で生じる相変化現象をシミュレーションするために、Sloshing にともない液面と壁面との伝熱現象が連成した場合の BOR を概算した。Swirling によって球形タンク内の液体が激しく運動すると BOR が著しく大きくなる可能性があり、条件によっては初期の積載量の 2% 程度が蒸発することが分かった。

謝 辞

本研究は佐世保重工業(株)との共同研究として行った。また、コモテクノ古林 義弘 氏から多くの助言を頂いた。さらに、科学研究費補助金 No. 24246143 「海洋と水素エネルギー：超伝導現象の水素製造・貯蔵・輸送」(研究代表者：神戸大学大学院 武田 実 教授)の補助により実験を行った。関係者各位に深く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 村田 謙二：”特集 多様な水素製造及びセンサー技術 アルゼンチン・パタゴニアの風力を利用する水素製造”，燃料電池，Vol.6, No.2, (2006), pp. 27-33.
- (2) 太田 健一郎 ほか 5 名：”平成 17 年度調査報告書 05003143-0 「南米の再生化エネルギーを利用した水素の生産に関する調査 第Ⅱ部 アルゼンチンの風力/水素エネルギー生産の可能性調査」”，NEDO, (2006).
- (3) A. Abe, M. Nakamura, I. Sato, H. Uetani and T. Fujitani: “Studies of the Large-Scale Sea Transportation of Liquid Hydrogen”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 23, No. 2, (1998), pp.115-121.
- (4) 横山 稔: “トピックス 最近のパタゴニアの状況(風速計設置に関して)”，水素エネルギーシステム，Vol.33, No.1, (2008), pp. 63-66.
- (5) 山下 巖 ほか: “平成 10 年度成果報告書「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET) サブタスク 5. 水素輸送・貯蔵技術の開発 第Ⅱ編液体水素輸送タンカーの開発」”，NEDO-WE-NET 9852, (1999).
- (6) 神谷 祥二: “解説 液体水素コンテナの開発—液体水素の長所と短所—”，圧力技術，Vol. 42, No. 3, (2004), pp. 146-153.
- (7) Y. Rotenberg, M. Burrows and R. McNeil: “Vibration Effects of Boil-off Rate from a Small Liquid Hydrogen Tank”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol.11, No.11, (1986), pp.729-735.
- (8) S. A. Sherif, N. Zeytinoglu and T. N. Veziroglu: “Liquid Hydrogen: Potential, Problems, and a Proposed Research Program”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 22, No. 7, (1997), pp. 683-688.
- (9) H. Norman Abramson: “The Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers with Applications to Space Vehicle Technology”, NASA SP-106, (1966), pp. 111-113.
- (10) Matthew E. Moran, Nancy B. McNelis and Maureen T. Kudlac: “Experimental Results of Hydrogen Slosh in a 62 Cubic Foot (1750 Liter) Tank”, NASA Technical Memorandum 106625 AIAA-94-3259, (1994).
- (11) 姫野 武洋, 梅村 悠, 野中 聡, 渡辺 紀徳, 鶴沢 聖治: ”特集3:熱流体解析 伝熱を伴う Sloshing 現象の数値解析”，日本マイクログラビティ応用学会誌，Vol. 26, No. 3, (2009), pp. 232-236.
- (12) 日本機械学会編: “事例に学ぶ流体関連振動 第2版”，技報堂出版, (2008), pp. 334-356.
- (13) Raouf A. Ibrahim: “Liquid Sloshing Dynamics -Theory and Applications-”, (2004), Cambridge University Press.
- (14) 小田原 悟, 岩本 才次: “Sloshing による圧力変動に及ぼす気体の性質の影響”，可視化情報学会全国講演会(鹿児島 2010)講演論文集, (2010), pp. 371-372.
- (15) 小田原 悟, 岩本 才次: “Sloshing による圧力変動に及ぼす回転中心の影響”，日本機械学会九州支部 64 期総会講演会論文集 No.118-1, (2011), pp. 231-232.
- (16) 小田原 悟: “Sloshing による衝撃圧力の推定”，日本機械学会年次大会講演論文集 CD-ROM, G100044, (2011).
- (17) 堂免 健太, 西村 隼人, “スロッシングの実験的研究”，2012 年度鹿児島高専機械工学科卒業研究, (2013-3).
- (18) 石本 祐樹: 海外再生可能エネルギーの大陸間輸送技術の経済性評価, 季報エネルギー総合工学, 34-2, pp. 42-52, (2011).
- (19) B. Budiansky: “Sloshing of Liquids in Circular Canals and Spherical Tanks”, *Journal of Aero Space Sciences*, Vol.27, No. 3., (1960)
- (20) Utsumi, M., 2011, "Theoretical Determination of Modal Damping Ratio of Sloshing Using a Variational Method," ASME J. Pressure Vessel Technology, 133, February, p.011301.
- (21) 井上 武彦, 村田 征一郎, 平松 良忠, 今北 文夫, 堀 徹, 新田 顕, 熊野 厚: “セミメンブレン LPG 船の就航中計測”，日本造船学会論文集, 第 150 号, (1982), pp. 333-340.

- (22)池田 良穂:”図解雑学 船のしくみ”,(2006), ナツメ社, pp. 148-149.
- (23)古林 義弘:“液体水素輸送船のタンクシステムの研究”, 日本造船学会論文集 第178号,(1995), pp.649-656.
- (24)古林 義弘:“低沸点液体タンクの圧力上昇について”, 西部造船会会報 第77号,(1989), pp. 147-159.
- (25)西川 兼康, 藤田 恭伸:“機械工学基礎講座 伝熱学”, (1982), pp. 110-181, 理工学社.
- (26)日本機械学会:“伝熱工学資料 改訂第5版”, 日本機械学会, p. 28, (2009).
- (27)National Institute of Standards and Technology, NIST: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>, (2010).
- (28)武田 実, 赤澤 輝彦, 岩本 雄二, 前川 政範, 風間 力: “水素エネルギー海上輸送のための基盤技術の開発研究—工学観測用液体水素実験装置の構築—”, 神戸大学海事科学部紀要 第2号, (2005), pp. 171-177.
- (29)古林 義弘 私信, (2011).
- (30)木村 康治, 高原 弘樹, 坂田 勝:”ピッチング励振を受ける容器内液面の振動解析(液面揺動の発生しない条件)”, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 59, No. 565, (1993), pp. 2606-2612.
- (31)武田 実:海洋と水素エネルギー:超伝導応用の水素製造・貯蔵・輸送技術への新展開, KAKEN, <http://kaken.nii.ac.jp/d/p/24246143.ja.html>.
- (32)胡 長洪, 劉 成, 末吉 誠, 経塚 雄策, 大屋 裕二:波浪中洋上風力発電用浮体のCFDシミュレーション. 日本船舶海洋学会平成25年春季講演会, pp. 2013年5月, 広島.
- (33)末吉 誠, 胡 長洪, 原田 智広, 経塚 雄策, 大屋 裕二, 小林 正典, 安澤 幸隆, 岩下 英嗣, 肥後 靖, 池田 浩基, 柏木 正:洋上風力発電用セミサブ型三角形浮体の水槽実験, 日本船舶海洋学会平成25年春季講演会, 2013年5月, 広島.
- (34)経塚 雄策, 澤井 大介, 張 宏亮, 松原 監壮, 末吉 誠, 大屋 裕二:2012年台風16号来襲時の博多湾海上風力発電浮体の動揺と係留力, 日本船舶海洋学会平成25年春季講演会, 2013年5月, 広島.

霧島地区の温泉資源を活用するエネルギー、環境、ヘルスケアを 統合した開発プロジェクトの可能性について

須田 隆夫[†] 岡松 道雄^{†2} 塚本 公秀^{†3} 玉利 陽三^{†4} 鎌田 清孝^{†5} 今村 成明[†]
永井 翠[†] 奥 高洋[†]

Development of new integration of green energy and healthcare using hot springs in Kirishima area

Takao SUDA Michio OKAMATSU Kimihide TSUKAMOTO Yozo TAMARI Kiyotaka
KAMATA Nariaki IMAMURA Midori NAGAI Takahiro OKU

The possibility of various development projects for promotion of the activity of town which utilized the hot spring resources in the Kirishima area was examined. Realization of eco-houses and the eco-town by the binary cycle power generation using hot spring heat was discussed. It was shown that the harvested energy from the waste heat of hot springs by using thermoelectric transducer was able to drive the LED (Light Emitting Diode) illuminations. For evaluation of the stress reduction effect of the hot spring, some measuring methods were investigated. It was shown that a pulse wave measured by using electromyograph for fluctuation analysis of heartbeats. The method for information sharing between the researchers using a portable information terminal was also examined.

Keywords : hot spring, eco-house, binary cycle generation, health care, pulse wave, electromyograph, electroencephalograph

1 はじめに

世界規模の課題である CO₂ 排出量削減のため、自然エネルギー（再生可能エネルギー）利用の拡大と、環境への配慮、エネルギーの効率的利用（所謂エコ）が求められている。特に我が国においては、2011 年 3 月の東日本大震災に伴う東京電力福島第 1 原子力発電所の事故を契機とした安全性見直しのため、定期点検後ほとんどの原子力発電所が停止しており、電力エネルギーの問題は大きな課題である。

様々な再生可能エネルギーの中で、火山国である我が国においては地熱発電への期待が大きい。しかしながら、地熱発電の調査・立地候補地の多くは温泉地であり、専用の井戸を掘り高温高压の熱水蒸気を利用する大規模な発電開発は、温泉資源保護の点から容易に進められない状況である。これは鹿児島工業高等専

門学校が位置する霧島市においても同様である。一方、小規模・分散型の発電により生活に必要な電力を得るローカルエネルギーの考え方も見直されてきている。温泉熱利用におけるこのような例として、霧島国際ホテルでは温泉井の蒸気を利用する 100kW の発電設備を稼働させ館内の約 4 分の 1 の電力を賄っていること、2006 年より 220kW のバイナリー発電の実証実験が行われたこと¹⁾などが挙げられる。また、排熱など「捨てているエネルギー」を少しでも回収、利用するエネルギーハーベスティングの考え方も注目されてきている。

温泉は観光資源、エネルギー資源であるだけでなく、古来からの健康法や、湯治に見られる治癒促進・リハビリ用途などヘルスケアへ活用できる資源である。特にストレスの多い現在社会において「心のヘルスケア」という点からの活用も見逃せない。

以上のような霧島地区の温泉資源の活用について、本校の教員の持つ技術シーズとの関連を見た時、以下のような様々な開発テーマが考えられる。

- 1) 資源温泉を保護しながら、エネルギーを得る熱電変換やバイナリー発電によるローカルエネルギー利用やエネルギーハーベスティング
- 2) 自然環境と温泉熱を利用した暖房及び吸収式冷房

[†] 鹿児島工業高等専門学校 電気電子工学科

^{†2} 都市環境デザイン工学科

^{†3} 機械工学科

^{†4} 情報工学科

^{†5} 電子制御工学科

によるエコハウス，エコタウン

3) 温泉入浴によるストレス低減，疲労回復，免疫力アップ等のヘルスケア

4) 障害者等のリハビリテーションへの利用法

さらに、「町おこし」の観点から上記のような個々のテーマを統合した新たな開発プロジェクトの可能性が考えられる。

本稿においては，上記のような個別の課題について専門的な見地から，その可能性を検討した上で統合的開発の可能性について考察する。まず，2章においては，エコハウス，エコタウンの可能性について述べ，熱電半導体素子による温泉水や温排水によるエネルギーハーベスティングの可能性について検討する。3章においては身体と心のヘルスケアのために評価方法について検討し，脈波と脳波計測について述べる。4章においては，今や地域開発においても欠かせない情報発信，情報共有の手法について検討した結果を述べ，5章において，統合的開発の可能性について検討する。

2 温泉熱利用のエコハウス，エコタウン

2.2 温泉熱を利用した，エコハウス，エコタウンの可能性について

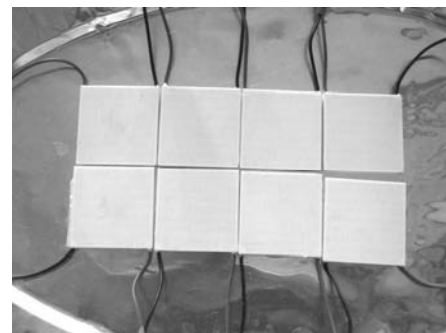
我が国の総 CO_2 排出量のなかで，建築関連の CO_2 排出量は約 $1/3$ を占めている。中でも住宅運用エネルギーの占める割合は，総排出量に対して 12.5% となっている。住宅運用エネルギーの熱源の多くは化石燃料に頼っており，この分野に温泉熱を利用することは，日本社会全体の CO_2 削減に有効であると考えられる。

一方で，これまで大規模な地中熱利用発電で顕在化していた過度の熱利用や泉質の保証等の課題がある。また，高温の泉源をもつ地域は限られており，一般に波及効果が薄いととも考えられる。これらの課題に対して，比較的低温の泉源や湧出量の少ない地域など，多様な熱源に対応可能でより効率的な，環境調和型マイクロ発電システムの開発と実用化が求められる。

所謂バイナリーサイクル発電がこの可能性を秘めており，有機媒体を使ったランキンサイクル発電やアンモニア混合媒体を使ったカーナサイクル発電が注目されている。また熱電変換素子による低温度差発電については，すでに実証実験を行っている自治体もある²⁾ など，小規模で多様な発電方式が実用化されつつある。これらの技術とヒートポンプ，コージェネ等既存技術を組合せることで，個々の住宅から一定の広さの街区を対象としたエコハウス・エコタウン実現の可能性は高いと言える。

2.1 熱電素子による温泉熱のエネルギーハーベスティング

2種類の導体ないし半導体で作られた閉回路において，2つの接点間に温度差があるとき，起電力が発生する（ゼーベック（Seebeck）効果）。一方，異種金属（半導体）の接合部に電流を流すと発熱，吸熱が生じる（ペルチェ（Peltier）効果）。これらは同一の構造で生じる。ペルチェ素子はCPUの電子冷却用として安価なものが市販されており，これを利用して熱電発電について検討した。4cm×4cm×3.82mmのセラミックパッケージ型ペルチェ素子（秋月電子 TEC1-12708，内部抵抗 1.5Ω ）を8～10個，直列に接続したものをアルミ容器に貼り付け（図1(a)），この上に冷却水を入



(a)



(b)



(c)

図1 ペルチェ素子による熱電発電
(a) 素子をアルミ容器に装着，(b) コンバータにより白色LEDを点灯，(c) 青色LEDを直接点灯，の各様子

れたアルミ容器を置いた。これを湯船に浮かべて発光ダイオード（LED）点灯実験を行った。図 1(b),(c)に実験の様子を示す。8 個直列において温度差 20℃弱で 1.2 ～1.5[V] の起電力が得られ、昇圧コンバータを用いて白色 LED ($V_F=3.3[V]$) を点灯する事ができた。また、10 個直列で温度差約 24℃で青色 LED ($V_F=2.5[V]$) を直接点灯することができた。以上より電子素子を組み合わせる事で、入浴後の温排水からのエネルギーハーベスティングが可能であることが分かった。

3 温泉利用におけるヘルスケアの評価法

3.1 脈波揺らぎの HF/LF 解析について

脈波とは、心臓より送出される血液により血管に振動現象がおこり、これによって発生する波形のことで心拍を反映している。脈波は、呼吸に由来する 3 秒から 4 秒程度の周期の変動と、血圧変化に由来する約 10 秒周期の変動（メイヤー波）を持ち、周波数領域におけるこれらの成分をそれぞれ、高周波成分 HF（High Frequency）、低周波成分 LF（Low Frequency）と呼ぶ。これらは交感神経と副交感神経の緊張状態のバランスによって現れる大きさが変わってくるため、これを利用して脈波変動から自律神経のバランス（ストレスの指標）を推定しようとする方法がある。

脈波の HF と LF の大きさを計測するには幾つか方法があるが、一般的には、パワースペクトルの LF 領域（0.05～0.15Hz）、及び HF 領域（0.15～0.40Hz）それぞれの強度の積分値を用いて LF/HF を「ストレスの指標」とする。リラックス状態（副交感神経が活性化）では、呼吸変動を反映した HF 成分と血圧変動を反映した LF 成分が共に現れるが、ストレス状態にある場合（交感神経が活性化）、LF 成分が現れる一方、HF 成分が減少する。従って、LF/HF の値はリラックス状態にあると小さくなり、ストレス状態にあると大きくなる。但しストレス状態の判定基準値は、個人差や測定条件等により変わってくる。

3.2 脈波測定法についての提案

脈波測定には様々な方法があるが、筋電図計測用 IC アンプ（ナブテスコ株式会社 NB6101HS）を用いる手法について検討を行った。筋電図計測用 IC アンプを使用することで小型化でき持ち運びが可能となる。図 2 に作製した脈波計測アンプによる計測風景を示す。手首に電極、手首の裏に GND を装着すると脈波が記録できることが確認できた。また、図 2 のように電極を左右の手首に装着し、GND を手首の裏に装着した

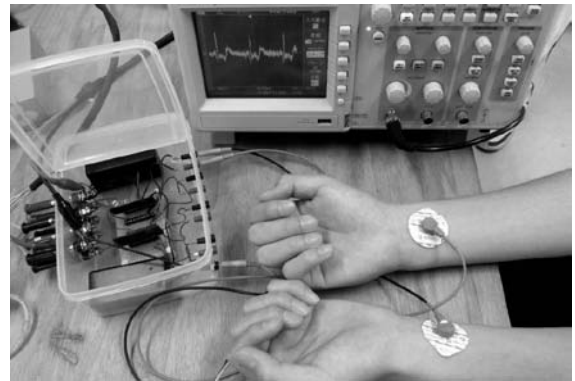


図 2 筋電計測用アンプによる心拍・脈波計測

場合、心拍を記録することも確認できた。心拍も脈波も同じタイミングで起こる。心拍は、脈波より周波数が高く、正確に計測が可能である。計測を行った脈波・心拍の波形データはノート PC に保存し解析が可能とした。この筋電図計測用 IC アンプを用いた計測装置により、脈波、心拍ともにどこでも計測し、解析することが可能となった。

3.3 温泉入浴中の脳波計測の可能性について

温泉入浴中に脳波を計測するためには、計測機器が軽量で被験者に負担がかからないこと、及び、計測機器を装着しながら十数メートル程度の移動が可能であることが要求される。そのような要求を満たす機器として、B-Bridge 社が開発した小型で軽量の脳波計である B3-Band が挙げられる。図 3 に B3-Band を装着した様子を示す。B3-Band はリチウムイオン電池を搭載して約 100g と小型・軽量で装着時の負荷が少ない。サンプリングレートは 512Hz、AD 変換の分解能は 12bit、S/N 比は 70dB 以上である。また、Bluetooth を搭載しており、計測した脳波データは、PC やタブレットに無線で送信可能である。これにより、B3-Band を装着



図 3 B3-Band を装着した様子

し、脳波計測を行いながら、浴室内を移動することが可能である。現在、計測した脳波データを PC へ取り込むことに成功している。今後は、計測した脳波データを周波数解析し、リラクセス度を調べる予定である。

4 タブレット型情報端末を利用した情報

共有方法について

4.1 NAS(Network Attached Storage)とタブレット型情報端末によるグループ内情報共有

本プロジェクトにおいては、調査活動、地元自治体や温泉業者への紹介ならびにアピール、さらには実験を実施する必要があった。そのために、軽量、コンパクトで持ち運びしやすいという利点をもった iPad (Apple 社) を始めとする携帯情報端末を導入した。また、複数人でプロジェクトを進めるため、重要となるのは、プロジェクトメンバー内の情報共有である。そこで、情報共有のために、NAS を導入した。学内 LAN に接続された PC はもちろんのこと、iPad 等の情報端末でもプロジェクトのメンバーであれば利用できる環境となった。今回は、無料で導入できる iPad のアプリケーションに絞り動作を確認した。PC により NAS 上へアップロードしたファイルを iPad 等の情報端末より閲覧ができ、プロジェクトメンバー内では情報共有できた。しかし、iPad 等の情報端末より直接 NAS 上へアップロードできるアプリケーションを導入するまでには至らなかった。数多くあるアプリケーションの中で、利用目的に合致したものを選択し、導入することは大変困難である。今後は、プロジェクト内の情報共有のために一般的なアプリケーション (Web ブラウザ等) でも利用できるファイルの管理システムの導入が必要とされる。

4.2 携帯情報端末と個人利用パソコンとの情報共有

携帯情報端末の利用方法について、教員個人レベルでのパソコンと iPad (Apple 社) との電子書類の共有あるいは情報転送について検討した。様々なアプリケーションの中で個人用ドキュメント管理ソフト Evernote(Evernote Corporation)を試用した。これはテキスト、Word や Excel ファイル、PDF ファイル、web のページ、加えて、音声、画像、動画ファイルを Evernote 社のサーバーに保管することで、ネット上の端末からいつでも閲覧や書換えができるものである。外部の共同研究者と共同プロジェクトを勧める上で有効なツールである。また、iPad から avi へのコネクタを用い

て液晶プロジェクタに写真や PDF ファイルを表示できことも多人数の打合せなどでは有効である。

5 まとめ

霧島地区の温泉資源の活用について、エコハウス、エコタウンへの応用ならびにエネルギーとヘルスケア、ネットワーク上での情報発信・共有の点から主に各専門分野の教員により検討を行った。

エネルギー利用については、温排水のエネルギーハーベスティングにより LED 照明が可能であることが示された。これは温泉内での照明への利用だけでなく、日当山地区などのように温泉地であるとともに市民の居住地における夜間の外灯への応用も考えられる。

ヘルスケアの観点から、今後益々注目されるであろう温泉の心身への効用、特にストレス緩和や所謂「癒し」効果の評価方法について、心拍・脈波や脳波計測の応用を検討した。今回は、温泉における in situ 計測の手法について提案した。今後は温泉でのデータ取得と解析により、新たな温泉の付加価値獲得へ繋げたい。

携帯情報端末の利用を想定した情報発信、共有については市販アプリケーションの試験利用への制約から十分な検討ができなかった。町おこし、地域おこしには情報発信は欠かせない。また情報共有は異なる分野を統合する要である。今後は、公開性と非公開性の使い分けの容易な環境構築を目指したい。

謝 辞

熱電素子によるエネルギーハーベスティング実験において、ご自宅の温泉の利用をご快諾下さり、ご協力頂きました、本校元教授 赤澤正治氏に、この場を借りて、心より感謝いたします。

本研究は平成 24 年度校内助成の研究助成(プロジェクト研究)により実現した。チャレンジングなテーマを採択して頂いた赤坂裕校長に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 web ページ (以下) など
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/renewable/geothermal/>
- 2) 例えば熱海市における 15W の発電例 (以下)
http://www.city.atami.shizuoka.jp/page.php?p_id=948

シンガポールにおけるポリテクニクの学生との相互交流に関する 訪問調査

植村眞一郎[†] 楠松伸二^{††} 濱川恭央^{†††}

Survey on the Possibility of Student Mutual Exchange between Polytechnics in Singapore and Kagoshima NCT

Shinichiro UEMURA Shinji ABEMATSU Yasuo HAMAKAWA

In recent years the status of an industrial activity has come to change significantly with the innovation of ICT technology and the changes in the industrial structure of our country. Furthermore, the economic commitment and especially the economic exchange between the South East Asian countries and Japan have been increasing. Recently Japan, due to the change of the situation, has directed a lot of efforts toward globalization not only in the field of the company but also in education. We visited Singapore to investigate the possibility of the mutual exchange between the third-grade students of Electronic Control engineering in Kagoshima NCT and the students of Ngee Ann Polytechnic. As a result of consultation, making a student exchange in September has been confirmed.

Keywords : Singapore, Polytechnic, Globalization, Exchange, South East Asia

1 はじめに

近年、我が国における産業構造の変化や ICT 技術の革新に伴って産業活動の形態が大きく変化し、特に東アジア諸国との経済的なつながりが大きくなってきている¹⁾。海外進出を進めている経済界において企業内でのグローバル化が議論されており²⁾、さらには当然のごとく教育機関におけるグローバル化教育について、特に近年提言されている^{3), 4)}。高度な知識と技術を有する技術者を育成する高専においては、学生さらには学内全体に対するグローバル化はもはや避けて通れない状況にあり、多くの高専でグローバル化に向けて真剣に取り組んでいる⁵⁾。本校においても、これまで国際交流委員会が国際交流について企画し、カナダのバンクーバー、オーストラリアのパースに加えて、シンガポールのポリテク等との学生交流を進めてきた。加えて新たに、平成 25 年度に電子制御工学科の 3 年生が学生交流について計画しており、その事前調査を行う必要が出てきた。本報告ではシンガポールのニーアン・ポリテクにおける学生交流の可能性に関して訪問調査してきたので概要を述べる。

2 訪問調査の目的

九州沖縄地区の高専では、以前から熊本高専熊本キャンパスが先駆けて、全学科でシンガポールを始めとする海外の大学・ポリテクニク等との学生交流を実施している。本校では、平成 17 年度よりカナダで 2 年生を対象とした語学研修旅行を開始したが、その後平成 21 年度より、新たにシンガポールのテマセク・ポリテクニクと間で学生交流が始まった。本校の学生は 3, 4 年生が対象である。ただ、テマセク・ポリテクニクとの学生交流はエンジニアリング系学科の学生ではないため、本校の機械系、電気情報系学科の学生が交流するにあたり、学生間の専門性が異なっている状況である。出来れば同じエンジニアリング系の学生との交流を希望するところである。そこで今回、平成 25 年度に計画している電子制御工学科 3 年生のシンガポールでの学生交流に関して、平成 24 年 9 月にシンガポールへ訪問調査を行い、対象校として機械系およびメカトロニクス系学科の学生との交流を希望していることから、9 月 5 日にニーアン・ポリテクの機械系学科の先生と相互学生交流について協議した。

[†]鹿児島工業高等専門学校 電子制御工学科

^{††}鹿児島工業高等専門学校 一般科目文系英語科

^{†††}鹿児島工業高等専門学校 情報工学科

3 ニーアン・ポリテクニクとの学生交流

ニーン・ポリテクニクは 1963 年に設立されたポリテクニクで 16,000 人の学生が学んでおり、ビジネス、メディア、人文・社会科学から、工学、生命科学、健康科学に至るまで幅広い分野をカバーする 48 のフルタイムのコースを開講している学校である。その中で、Engineering コースにある Automation & Mechatronic Systems および Mechanical Engineering の学科長を務めている Tang Soon Leong 先生ほか数名の先生と学生交流に向けた話しを持った。先ずは、Tang 先生によるニーン・ポリテクニクの紹介があった後、交流についてこちらの希望を説明した。本校が海外へ派遣する対象学年は 3 年生で参加者はおよそ 40 名である。また、本校が希望する交流時期と期間は 9 月中旬で約 5 日程度の期間である。対象は機械系・メカトロニクス系学科の学生との交流を提案し、これらが可能か協議した。我々が希望していた 9 月中旬は、ニーンではちょうど学期末試験が終わり休暇に入った時期で学生

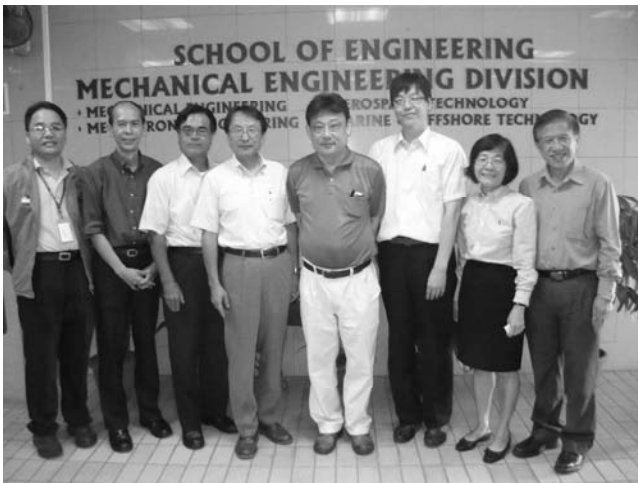


写真1 ニーアン・ポリテクニクにて



写真2 プロジェクトによるエコラン参加車

は休みであるが、Tang 先生からは学生交流に参加を希望する学生に来て貰うとの説明があった。また、交流内容は、双方の学校ならびに文化の紹介や学生同士による市内見学などを計画するとのことであった。一方、ニーアン・ポリテクニクの学生も日本訪問を希望しており、日本へは3月に来て頂くことで基本的に合意した。協議が終わった後、学内施設及び研究室を見学したが、ちょうど高専における卒研等と同じような様々なプロジェクトが行われている状況を説明して貰い、電子制御工学科に近い学科であることがわかった。

4 おわりに

シンガポールには5つのポリテクニクがあるが、今回の訪問調査でその中の一つのニース・ポリテクニクの機械系・メカトロニクス系学科の学生と本校電子制御工学科の3年生との学生交流について、平成25年9月に始められることが確認された。

本校における海外学生との相互の交流はまだ始まったばかりである。学生のグローバル化教育は海外体験をさせることが目的ではなく、海外の学生達と交流することで、今後如何にして海外の人と協力しながら作業ができるか、そのためには何が必要かを学ばせることである。この相互交流がそのきっかけとなって欲しい。

謝 辭

本調査は平成 24 年度の校内助成（教育研究推進経費）を受けて実施されたものであり、ニーアン・ポリテクニクとの有意義な協議を経て、平成 25 年度の電子制御工学科 3 年の学生交流に向けた進展が見られた。この場を借りて謝意を表す。

参考文献

- 1) 中央教育審議会：「東アジア地域を見据えたグローバル人材育成の考え方～質の保証を伴った大学間交流推進の重要性～」(大学分科会報告)，2010.
- 2) 久間和生：「グローバル・イノベーション人材の育成」，工学教育 Vol. 61, No. 2, p. 1, 2013.
- 3) 米澤彰純：「工学教育と高等教育の国際協力・連携」，工学教育 Vol. 56, No. 3, pp. 13-17, 2008.
- 4) 黒田孝春：「高専の国際交流の現状と今後期待される国際支援」，工学教育 Vol. 61, No. 1, pp. 74-77, 2013.
- 5) 松本 勉，他：「もの作りコンテストを活用した国際化教育」，平成 23 年度全国高専協育フォーラム論文集，pp141-142, 2011.

インクジェット法を用いた有機透明導電膜に関する研究

新田 敦司[†] 下野 和輝^{††}

A Study of Organic Transparent Conductive Film by Inkjet Printing

Atsushi NITTA Kazuki SHIMONO

In recent years, the application of organic materials to electronic devices has been paid attention to. The features of the devices using organic materials are “printable” and “flexible”. However, improving the characteristics of organic material devices has become a problem. This study dealt with the property improvement of transparent conductive films produced by inkjet printing, using the PEDOT/PSS of organic conductive material. To improve the characteristics, a cleaning of the film substrate by UV/O₃ and post-deposition annealing were conducted. As a result, the resistance value of the thin films was reduced. But, the surface condition was worsened by post-deposition annealing and the visible light transmittance was reduced. It has been found that the surface state of the substrate and the temperature of the post-deposition annealing are related to the characteristics of the thin films.

Keywords : Organic electronics, Transparent conductive film, Inkjet printing, PEDOT/PSS

1 はじめに

近年、有機材料の電子デバイスへの応用が注目を集めている。有機 EL(Electroluminescence)や有機薄膜太陽電池、有機トランジスタなどにおいて盛んに研究が行われ、その実用性が認識されつつある。その一例として、ソニーは曲率半径 4 mm で巻き取れるフレキシブル有機 EL ディスプレイを実現した¹⁾。また、有機材料の持つ生体親和性の高さから医療分野での応用も期待されている^{2,3)}。

有機エレクトロニクスの大きな特徴は、「プリンタブル」と「フレキシブル」である。デバイス材料に有機材料を用いることで、低温プロセスでの製造が実現でき、印刷や塗布などによる安価なデバイス製造が可能となる。印刷技術を用いたデバイス製造技術は、「プリンテッドエレクトロニクス技術」と呼ばれ研究が進められている^{4,5)}。プリンテッドエレクトロニクスには、製造コストが大幅に抑えられる、環境負荷の低減が可能である、デバイスの大面積化に対応できるなどの利点がある。また、有機材料は無機材料に比べ軽量で柔軟性があるため、基板をプラスチックフィル

ムとすることでフレキシブルなデバイスが実現できる。一方、印刷技術を用いる上で材料のインク化やインクの最適化といった課題点がある。さらに、得られたデバイスの特性向上も実用化への課題となっている。

本研究では、有機導電材料の PEDOT/PSS[ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン) / ポリ(4-スチレンスルホン酸)]を使用し、市販のインクジェットプリンタでフィルム基板上に透明導電膜を作製した。透明導電膜は「透明であり、電気を流す」という性質を持ち、ディスプレイや太陽電池などに使用されている⁶⁾。これまでの研究で、添加剤の種類や割合を変えインクの最適化を行い、得られた薄膜の導電性と透明性を評価してきた⁷⁾。本研究は、これらの特性改善を目的に UV/O₃(Ultraviolet/Ozone)洗浄、成膜後の熱処理を行い、その効果について検討した。

2 インク材料

2.1 PEDOT/PSS

PEDOT は高分子導電材料の一種であり、その中でも高い電気伝導度および良好な耐久性を有している。PEDOT は本来不溶性であるが、PSS のドーブにより溶液化が可能となった。この PEDOT と PSS の分散体を PEDOT/PSS と呼んでいる。本実験では、Heraeus 社製の CLEVIOS PH500 を使用した。これは導電性高分子

[†]鹿児島工業高等専門学校 電子制御工学科

^{††}機械・電子システム工学専攻

の中でも、高導電性、高透明性、高耐熱性などの特徴をもっている。PEDOT/PSS 比は 1 : 2.5、沸点は約 100 °C、粘度は 25 mPa・s 以下、粒径は 50 nm 以下となっている。市販のインクジェットプリンタのノズル直径は約 25 μm であるため、PEDOT/PSS はインクジェット法での使用が可能である。図 1 に PEDOT/PSS の分子構造を示す。

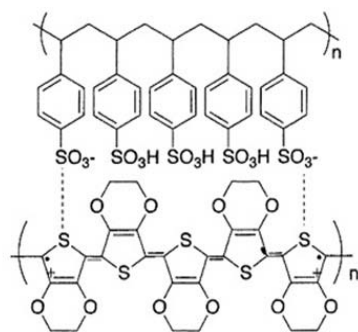


図 1 PEDOT/PSS の分子構造

PEDOT/PSS に低沸点溶媒を添加すると、インクの表面張力の低下や基板の濡れ性が向上する。また、高沸点溶媒を用いることで薄膜の導電率が向上することが知られている。本実験で使用した添加剤を以下に示す。

2.2 エタノール

インクジェット法により成膜を行う場合、インクの粘性や表面張力が重要な要素となる。インクジェットプリンタのインクの粘度は 5~15 mPa・s であるのに対し、PEDOT/PSS は 25 mPa・s 程度であるため、低沸点溶媒により粘度を調整する必要がある。エタノールは沸点 78 °C、粘度 1.078 mPa・s の揮発性の液体である。

2.3 エチレングリコール

PEDOT/PSS 薄膜の導電率向上のため、高沸点溶媒であるエチレングリコールを添加している⁸⁾。エチレングリコールは沸点 198 °C、粘度 16.1 mPa・s の液体である。高沸点溶媒による導電性の向上は、二次ドーピング、導電領域の結合などに起因すると考えられている。エチレングリコールを添加すると、絶縁性の PSS が除去され導電性の PEDOT による導電領域が形成されるという報告がある^{9, 10)}。

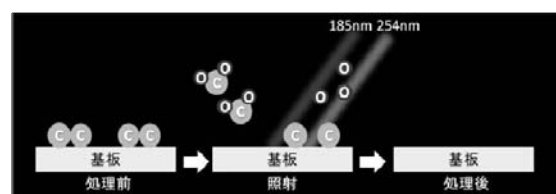
3 実験

PEDOT/PSS 薄膜の作製には、ピエゾ方式の顔料用インクジェットプリンタ(セイコーエプソン社製 PX-101)を用いた。基板は耐熱透明フィルム(帝人デュポンフィルム社製テオネックス Q65-FA)を使用した。Q65-FA は PEN(二軸延伸ポリエチレンナフタレート)フィルムであり、優れた熱的安定性、耐薬品性、高い透明性を有する。電気電子材料、光学関連用途(有機 EL や太陽電池など)への利用に向け開発されたフィルムである。

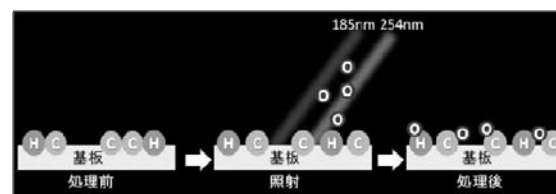
インク組成はこれまでの研究結果で最も低抵抗が得られた、PEDOT/PSS:エタノール:エチレングリコール = 70 : 20 : 10 wt%とした⁷⁾。

3.1 UV/O₃ 洗浄によるフィルム表面の改善

UV/O₃ 洗浄には、UV 洗浄と UV 表面改質の二つの効果がある。UV 洗浄は、紫外線の短波長光エネルギーにより、基板表面上の有機汚染物質の結合を分解する[図 2(a)]。UV 表面改質は、紫外線により基板表面層の分子鎖を切断し、活性酸素(O₃)がそれらと反応することで新たな官能基を生成する[図 2(b)]。これらにより、基板上的不純物が減少する。生成された官能基は親水性が高く、塗料との相性が良いため、インク液滴の付着力が向上する。UV/O₃ 洗浄改質装置(あすみ技研社製 ASM401N)を用い、洗浄時間は 20 分で行った。



(a) UV 洗浄の仕組み



(b) UV 表面改質の仕組み

図 2 UV/O₃ 洗浄の効果

3.2 熱処理による透明性と抵抗値の検討

インクの粘性や表面張力などを改善するために添加剤を加えたが、成膜後は不純物として薄膜中に残ってしまう。これが薄膜の抵抗値を上昇させると考えられている¹¹⁾。乾燥過程で熱を加え、添加剤を蒸発させることで抵抗値の減少が期待できる。乾燥には定温乾燥

機(アズワン社製 EOP-300B)を使用した。温度条件はエタノールの沸点以上である 80 °C, 100 °C, 150 °Cとし、1 回印刷するたびに 5 分間乾燥を行った。得られた薄膜の透明性と抵抗値を比較し、熱処理温度による検討を行った。

4 結果および考察

4.1 印刷回数による透明性と抵抗値の検討

図 3 に重ね塗りをを行った薄膜の透明性の变化を示す。印刷回数の増加に伴い、薄膜の透明性が悪くなった。PEDOT/PSS は濃紺の液体であるため、得られた薄膜にも色味が残る、印刷回数を増やしたことでその影響が顕著になったと考えられる。

図 4 に重ね塗りによる抵抗値の変化を示す。印刷回数の増加に伴い、薄膜の抵抗値は減少した。印刷パターンが密となり、PEDOT/PSS 粒子間の接触面積が増大したことが推察される。重ね塗りにより、抵抗値は 10.2 k Ω となった。

重ね塗りは抵抗値の減少に有効であるが、透明性を考慮すると限界があると考えられる。

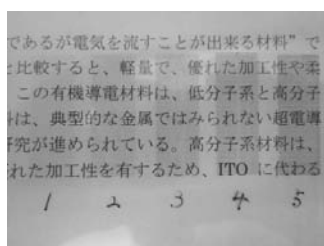


図 3 重ね塗りによる透明性の变化

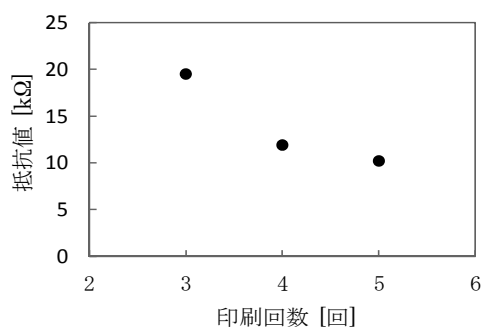


図 4 印刷回数による抵抗値の変化

表 1 印刷回数による抵抗値の変化

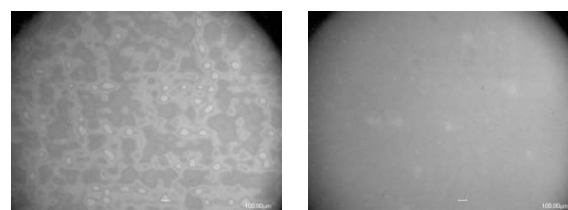
	3 回印刷	4 回印刷	5 回印刷
抵抗値 [kΩ]	19.5	11.9	10.2

4.2 UV/O₃ 洗浄によるフィルム表面の改善

図 5 にマイクロスコープ(KEYENCE 社製 VHX-1000)で薄膜表面を観察した画像を示す。UV/O₃ 洗浄により、インクの広がり良くなり、薄膜の均一性が向上している。

図 6 に得られた薄膜の抵抗値を示す。UV/O₃ 洗浄により抵抗値は減少した。UV 洗浄と UV 表面改質により不純物が減少し、液滴の付着力が向上したためであると考えられる。UV/O₃ 洗浄により抵抗値は 5.8 k Ω となった。また、洗浄なしの場合と比較すると、印刷回数による抵抗値の変化が少なく安定している。フィルムの濡れ性が向上し、均一な薄膜を得られたことが推察される。UV/O₃ 洗浄は印刷回数が少なくても抵抗値が抑えられる、すなわち、重ね塗りによる透明性の減少を抑えられる可能性がある。

フィルムの表面状態が薄膜の特性に大きく関係することが分かった。



(a) 洗浄なし (b) 洗浄あり

図 5 UV/O₃ 洗浄の効果(5 回印刷, 100 倍)

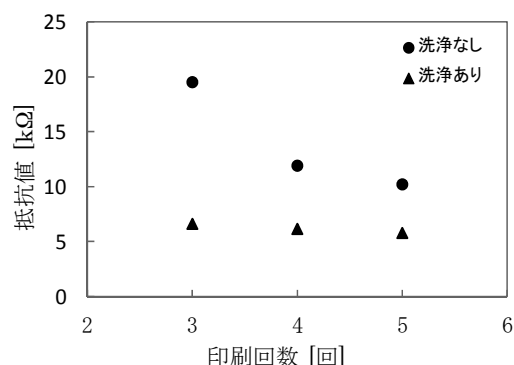


図 6 UV/O₃ 洗浄と印刷回数による抵抗値の変化

表 2 UV/O₃ 洗浄による抵抗値の変化

	抵抗値 [kΩ]		
	3 回印刷	4 回印刷	5 回印刷
洗浄なし	19.5	11.9	10.2
洗浄あり	6.6	6.1	5.8

4.3 熱処理による透明性と抵抗値の検討

図 7 に熱処理温度と印刷回数による可視光透過率の変化を示す。可視光透過率は、自然乾燥、3 回刷りの薄膜で 81 % となり最も高かった。透過率の減少は、印刷回数による影響が大きいことが分かった。印刷回数を増やすと、膜が厚くなり光を透過しにくくなると考えられる。熱処理温度による透過率の減少は比較的小さいものであった。しかし、自然乾燥で透過率が高くなり、乾燥温度が高くなるにつれて低くなっていった。

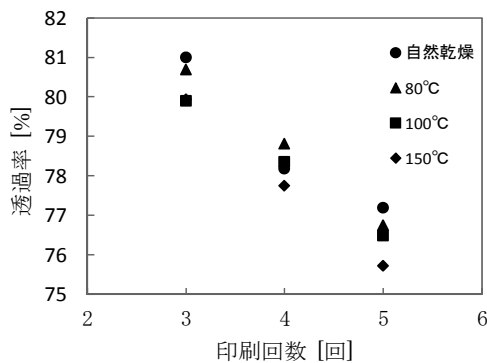


図 7 熱処理温度と印刷回数による可視光透過率の変化

表 3 可視光透過率の測定結果

	透過率 [%]		
	3 回刷り	4 回刷り	5 回刷り
自然乾燥	81.00	78.17	77.19
80 ℃	80.68	78.81	76.74
100 ℃	79.90	78.35	76.48
150 ℃	79.93	77.74	75.72

図 8 に各熱処理温度での薄膜の表面状態を示す。熱処理温度が高くなるにつれ、薄膜の付着状態がまばらになっていた。成膜中でのエタノールの蒸発はそれほど激しくなく、均一な膜ができている。乾燥の過程で PEDOT/PSS 粒子が移動、凝集し付着のムラにつながったと考えられる。温度が高くなるとエタノールの蒸発速度が速くなり、この現象が促進される。前述の熱処理温度が高い場合に可視光透過率が低下した原因として、この凝集が考えられる。温度が高いほど激しい凝集が起き、薄膜の表面状態が不均一となり、透過率の低下を招いたと推察できる。

透明導電膜には 80 % 以上の透過率が求められるため、透過率の改善も今後の重要な課題である。

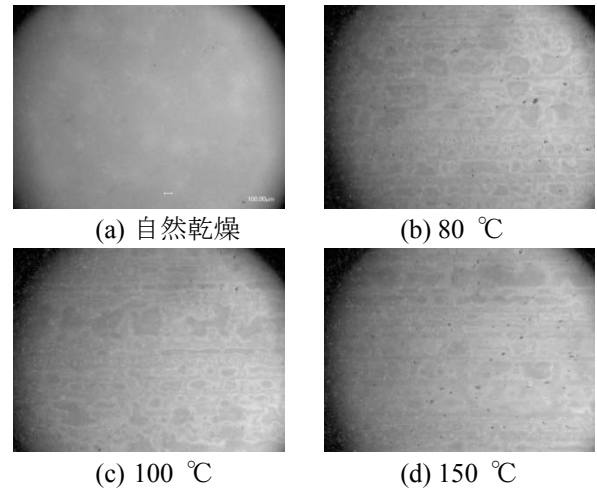


図 8 熱処理温度による表面状態の変化 (3 回刷り, 100 倍)

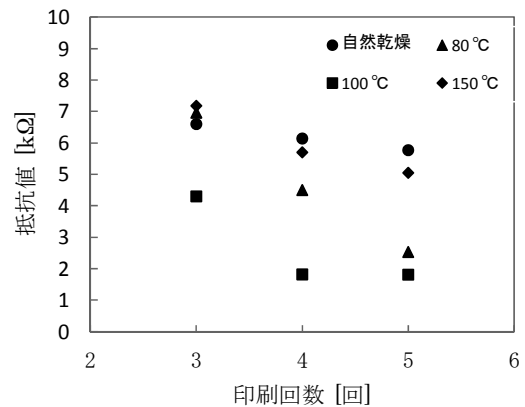


図 9 熱処理温度と印刷回数による抵抗値の変化

表 4 熱処理温度による抵抗値の変化

	抵抗値 [kΩ]		
	3 回刷り	4 回刷り	5 回刷り
自然乾燥	6.60	6.14	5.77
80 ℃	6.96	4.50	2.53
100 ℃	4.30	1.82	1.81
150 ℃	7.18	5.70	5.05

図 9 に熱処理温度と印刷回数による抵抗値の変化を示す。抵抗値の減少傾向には、熱処理温度による違いが表れた。100 ℃ の場合については、抵抗値の大きな減少がみられた。80 ℃ の場合でも抵抗値の減少傾向はみられたが、100 ℃ の場合より抵抗値が高くなった。80 ℃ はエタノールの沸点に近いので、添加剤が蒸発しきれず薄膜中に残った可能性がある。150 ℃ の場合では他の条件と比べ抵抗値の減少が小さく、測定値のばらつきが大きくなった。PEDOT/PSS の沸点は約

100 °Cである。このことから、PEDOT/PSS まで蒸発してしまった可能性が考えられる。

抵抗値が最も低くなったのは、熱処理温度 100 °C、5 回刷りの薄膜で、1.81 k Ω であった。

成膜後の熱処理は薄膜の抵抗値や表面状態、透過率に大きく関係していることが分かった。80 °Cと 100 °Cの場合については、乾燥時間を長くすることで蒸発が進み、さらに抵抗値が低下すると推察される。

5 まとめ

これまでは添加剤の種類や割合を変えることで、市販のインクジェットプリンタでの成膜を可能とし、インクの最適化を行ってきた。本研究では、得られた PEDOT/PSS 薄膜の特性改善に取り組んだ。重ね塗りにより、薄膜の抵抗値は減少したが、透明性が悪くなった。膜厚がこれらの特性に関係していると推察される。フィルム基板に対し UV/O₃ 洗浄を行うことで、薄膜の均一化、抵抗値の減少が得られた。抵抗値の減少は、少ない印刷回数でも顕著に表れており、導電性を保ったまま印刷回数を減らせる可能性がある。成膜後の薄膜に熱を加えることで、抵抗値が減少した。薄膜中の添加剤が蒸発し、不純物が少なくなったことが要因と考えられる。しかし、薄膜の表面状態は悪化しており、これが高温乾燥時における可視光透過率の低下につながったと推察される。以上のことから、フィルムの表面状態や成膜後の熱処理温度が薄膜の抵抗値や表面状態、透過率に大きく関係することが分かった。最も低抵抗値が得られた条件は、UV/O₃ 洗浄後、100 °Cで 5 分間熱処理を行った場合であった。熱処理や表面洗浄をしない場合は 10.2 k Ω であったが、1.81 k Ω まで低下した。

謝 辞

本研究は、平成 24 年度高専一長岡技科大連携教育研究の研究助成、および、平成 24 年度鹿児島工業高等専門学校校内助成による援助を受けて行った。この場を借りて謝意を表す。

参考文献

1) 安田亮一ほか: “有機 TFT で駆動するフレキシブルな有機 EL ディスプレイ”, 電子情報通信学会誌, Vol.94, No.8, 2011, pp.716-719.

2) 塚田信吾: “導電性高分子 PEDOT-PSS とシルクの複合素材による神経活動の長期計測”, 第 60 回応用物理学会春期学術講演会講演予稿集, 2013.

3) Ido Levy. et al.: “Potential induced pH change: Towards electrochemical coating of medical implants by organic nanoparticles,” *Electrochimica Acta* 55, 2010, pp.8590-8594.

4) 菅沼克昭, 能木雅也: “プリンテッドエレクトロニクスと材料科学”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J93-C, No.11, 2010, pp.399-405.

5) A.C. Hübner. et al.: “Three-dimensional integrated circuit using printed electronics”, *Organic Electronics* 12, 2011, pp.419-423.

6) 石川明生: “有機導電材料(PEDOT)”, プリンテッドエレクトロニクス技術最前線, 菅沼克昭監修, 東京, 株式会社シーエムシー出版, 2010, pp.57-63.

7) 下野和輝, 新田敦司: “インクジェット法を用いた有機透明導電膜に関する研究”, 電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集, C-22, 2012.

8) Ziyang Hu. et al.: “Influence of doped PEDOT:PSS on the performance of polymer solar cells”, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 95, 2011, pp.2763-2767.

9) S.K.M. Jönsson. et al.: “The effects of solvents on the morphology and sheet resistance in poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-polystyrenesulfonic acid (PEDOT_PSS) films”, *Synthetic Metals* 139, 2003, pp.1-10.

10) Hu Yan, Hidenori Okuzaki: “Effect of solvent on PEDOT/PSS nanometer-scaled thin films:XPS and STEM/AFM studies”, *Synthetic Metals* 159, 2009, pp.2225-2228.

11) 大向正人, 齋藤俊之, 堤保雄: “有機物電極のバーコード法による成膜”, 明石工業高等専門学校研究紀要, No.50, 2007, pp.5-8.

高専・中学校の連携による環境気象情報ネットワークの構築 その2

武田 和大[†] 芝 浩二郎[†] 豊平 隆之[†] 瀬濤 喜信^{††}
前薊 正宜^{††} 樫根 健史^{†††} 荒巻 勇輔^{††††} 永田 亮一^{††††}

Development of an Environmental Weather Information Network on the Basis of the Cooperation between National Colleges of Technology and Junior High Schools - part2 -

Kazuhiro, TAKEDA Kojiro, SHIBA Takayuki, TOYOHIRA Yoshinobu, SETO
Masaki, MAEZONO Kenji, KASHINE Yusuke, ARAMAKI Ryoichi, NAGATA

Simplified weather observation systems were installed at Kagoshima National College of Technology (KNCT) and some junior high schools in Kagoshima prefecture. We checked the accuracy of the measurement data by comparing with the data measured by Kagoshima Local Meteorological Observatory. The quality of the data of our system is good for educational use.

The system supported a new kind of weather sensor. The new sensor is cheaper than that we used. And the accuracy of it is tolerable.

In January, 2013, we started observation at Yuge National College of Maritime Technology (YNCMT). The Area YNCMT is located has Seto Inland Sea climate.

Keywords : Weather Data, Meteorological Observation, Science Education, Computer Network, Web Service

1 まえがき

既報で統合型気象センサとインターネットを利用した気象情報自動観測システムの構築についてその構成と稼働状況を報告した。本報では、システムで得られた測定データと気象台の観測データを比較して、本システムの観測値の実用性を確認する。また、これまでとは異なる気象センサへのプロトコルに対応し、使用できる気象センサを増やした。さらに初の県外への設置をし、測定点に弓削商船高専を加えた。

2 観測網

前報までに、鹿児島高専、霧島市立国分中学校、霧島市立霧島中学校、鹿児島市立南中学校、いちき串木野市立串木野中学校の5カ所で観測を行い、継続している。観測は1日に288回、5分間隔で行われており、観測値はその都度鹿児島高専に設置したデータベースに蓄積されている。測定要素は、気温、相対湿度、風向、風速、降雨量、気圧であり、鹿児島高専ではこれ

に水平面全天日射量も加わる。観測開始が最も早いのは鹿児島高専で、およそ5年となる。

3 観測値の確認

測定点の間隔を狭くする場合、近傍の測定点同士の測定値に近い値となるため、より計器の精度が求められる。測定誤差が大きいと、地点間の立地の差が測定誤差に飲み込まれてしまい、地点間の正しい比較ができない。そこで、鹿児島地方気象台の観測値を用意し、鹿児島地方気象台から200m以内の立地である鹿児島南中学校のデータと比較し、測定値の信頼性を確かめる。鹿児島地方気象台と南中学校の気温と湿度を図1、気圧と降水量を図2、風速を図3、風向を図4に示す。青色が気象台、赤色が南中学校である。南中学校のセンサ位置は地上約16mの校舎屋上(コンクリート)、気象台は百葉箱が地上1.2m(芝地)であり、気圧は27.8m、風向風速は40.9mの高さでそれぞれ測定している¹⁾。

図より、気温はほぼ同じ値を取っているのがわかる。湿度もほぼ同じ値を取るが、昼間に南中学校が少し低い値を示す。南中学校はコンクリートの屋上、気象台は地上付近の芝地で計測している事を考えると、乾き

[†] 鹿児島工業高等専門学校情報工学科
^{††} 鹿児島工業高等専門学校電気電子工学科
^{†††} 弓削商船高等専門学校電子機械工学科
^{††††} 鹿児島工業高等専門学校技術室

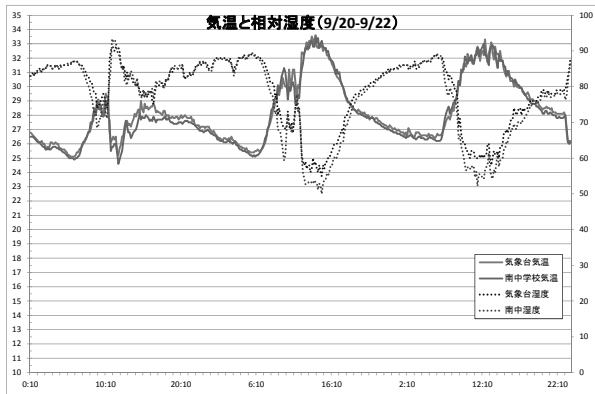


図1 気温と相対湿度

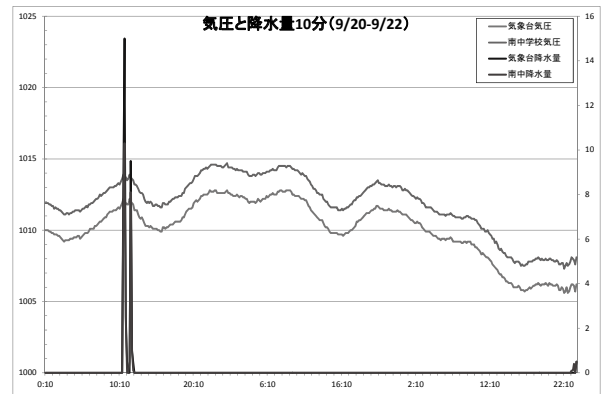


図2 気圧と降水量

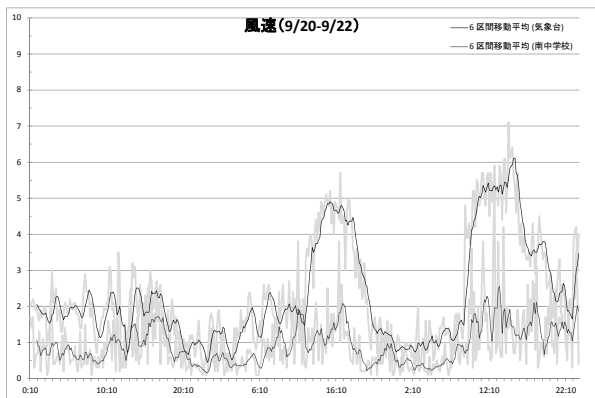


図3 風速

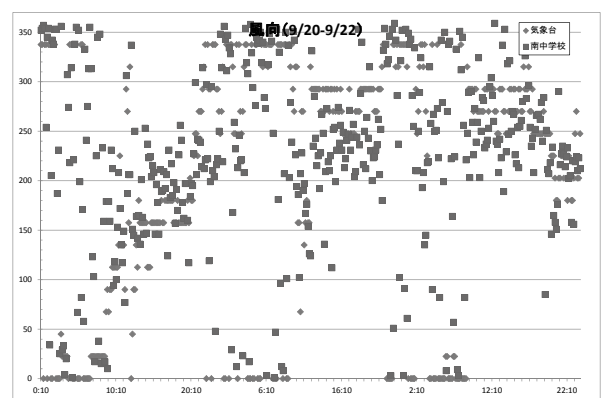


図4 風向

やすい時間に南中学校が低い値をとる事は説明できる。気圧は、一定の差をもって同じ変化をしている。気圧計設置高さを考慮すると両者の測定は一致しているといえる。降雨は非常に短時間であったため、転倒弁式の気象台と衝撃感知式の南中学校で差が出ている。長時間の降雨については、この差は小さくなる。風速についても明らかに設置高さの影響が出ている。上空にある気象台の値が大きいが両者とも傾向は同じである。風向はばらつきがあるように見えるが、気象台は16方位、南中学校は360方位で測定しているため、360方位を16方位に丸めると、風向はほぼ一致する。

また、図に示したものと別のデータ区間でも同様の傾向が見られた。以上のことより教育用として十分な精度を持っていると結論づける。

4 異なるセンサへの対応

昨年までは特定のセンサのみに対応したシステムであった。そのセンサは精度は良いが、数多く設置するには価格が高いものである。今回、安価な別の気象センサにも対応した。新しいセンサもこれまでのセンサほどではないものの、これまでのセンサに準じる精度を予備測定で確認している。対応にあたって、センサとのプロトコルやデータフォーマットが異なるため、これまでのシステムに対応させるよう変換接続プログラムの作成を行った。その後センサをシステムに接続

し、正しく情報が取得できることを確認した。

5 県外への設置

2013年1月に愛媛県の弓削商船高専にセンサを設置した。設置後は測定データが正しく鹿児島島のサーバに送られている。弓削商船高専は瀬戸内海式気候区であり特徴のある気象データが期待できる。



図5 愛媛県設置のセンサ

5 今後の課題

現状の観測点では、太陽電池による電源の独立化の試みできているが、通信網が設置場所のネットワークに依存し、有線LANで接続している。今後はネットワークの独立を含め、設置場所の制約を少なくすることを課題としたい。

参考文献

- 1) 気象庁：気象庁年報 2010 年号, 2010

平成 24 年度校内教育助成に係る 建築関連講座立上げに関する成果報告

岡松 道雄[†] 毛利 洋子[†]

Results Report on Starting “Architecture-related” Courses Supported by
School Grant for Education in FY2012 Kagoshima National College of Technology

Michio OKAMATSU, Yoko MOURI

This report describes how Architecture-related courses were started in FY2010 and how these courses have been developed in FY2011 and 2012 at Department of Urban Environmental Design and Engineering, Kagoshima National College of Technology (KNCT). This report introduces several subjects which have been started within these two years, considering their relationship for each other and their roles of themselves. Simultaneously, looking at each subject, the report introduces the outlines as well as the results of them. After these introductions, the report analyzes the issues of the subjects' management and its solution strategy. The education grant of KNCT by the school principal discretion in FY2012 supported these activities.

Keywords : Architecture, Education, School grants, start up,

はじめに

鹿児島工業高等専門学校では平成 22 年度、土木工学科が都市環境デザイン工学科に改称され、建築系の講座を複数開設する運びとなった。

一昨年度の報告では、平成 22 年度に開講された「都市環境デザイン工学概論」と「基礎製図Ⅰ」（いずれも 1 年生対象の基礎科目）について、昨年度の報告では、「景観設計」（5 年生対象の応用科目）について平成 22 年度と 23 年度に亘って記述した。

本稿では上記の他に 23 年度から 24 年度に亘って開講された科目を取りあげる。なお 25 年度には、所期の建築関連科目の開講がすべて完了することから、まずこれらの科目相互の関連と位置付けについてまとめ、検証し、今後の教育課程の修正に役立てたい。

1. 建築関連科目概要と開講時期

本校で開講される建築関連科目について、開講学年ごとにまとめ図 1 に示す。これらの科目の中には、一部土木工学科からの継続科目があるため、学年進行に伴って 1 年次から順次開講されたわけではない。また、22 年度から 23 年度にかけて半期ずつ漸次内容を移行した科目もあるので、移行過程も併せて示した。

全体に低学年においては、製図を中心とした科目を配し、高学年になるに従って、建築の専門性の高い科目や提案型の科目を配している。いずれも土木系の科目との関連に配慮しながら講義内容を構成している。

開講年度	学 年	H22		H23		H24		H25	
		前	後	前	後	前	後	前	後
都市環境 デザイン工学概論	1								
基礎製図Ⅰ	1								
基礎製図Ⅱ	2								
設計演習	3								
建築計画	3								
構造物設計	4								
施工学	4								
景観設計	5								
建築設備	5								
建築環境工学	5								
建築法規	5								
土木・建築史	5								

継続科目の内容・担当教員の変更前  変更後 
新設科目の開講 

図 1 : 開講科目の変遷

1 年次に開講されるのは「都市環境デザイン工学概論」と「基礎製図Ⅰ」の 2 科目である。「概論」では、建築学の位置づけや、他の土木系科目との関連について紹介する。同時に卒業後の進路、職業形態など、学生のキャリアデザインに役立つ情報の提供を行う。「基礎製図Ⅰ」では、基本的な作図方法から立体表現まで、手描きを主体とした実習を行う。

[†]都市環境デザイン工学科

2 年次は、「基礎製図Ⅱ」1 科目のみの開講である。内容は基礎的な CAD の実習である。23 年度から建築物を作図の題材として採用している。作図手順として、基礎製図Ⅰで学習した内容が活かされることとなる。

3 年次には、提案型の「設計演習」と設計の基礎知識を学習する「建築計画」の 2 科目が開講される。

4 年次では、より実践的な応用科目としての「構造物設計」と、建設実務上欠かせない知識として「施工学」を開講する。これら 2 科目に共通する点は、前期は土木系教員が担当し、後期に建築系教員が講義にあたることである。

5 年次では、4 年次と同様に土木建築に共通する科目として、「景観設計」と「土木・建築史」の 2 科目を開講する。加えて建築系の科目として専門性が高いと考えられる「建築設備」、「建築環境工学」、「建築法規」の 3 科目が開講され、合計 5 科目となる。

2. 各科目相互の関連と位置づけ

建築系の科目は、導入の役割を果たす科目から、より高度な思考が必要な提案型科目となるように年次に従って前項の様に配しているが、それらの科目の相互関連と位置付け図 2 の様に考えている。

本学科での建築教育の目標は、本校の教育理念を踏まえ「社会に存在する問題の解決手段として空間デザインが出来る学生を育成する」こととする。デザインを「問題の発見から解決にいたるプロセス」と捉え、社会のしくみや都市空間の諸問題を解決できる人材を輩出することが目的である。

この目標に沿って問題解決型の実践的演習を行う科目として、3 年次の設計演習、4 年次の構造物設計、5 年次の景観設計があげられる。これらは建築系科目を横断的に関連づける応用科目として、統合的な創造・

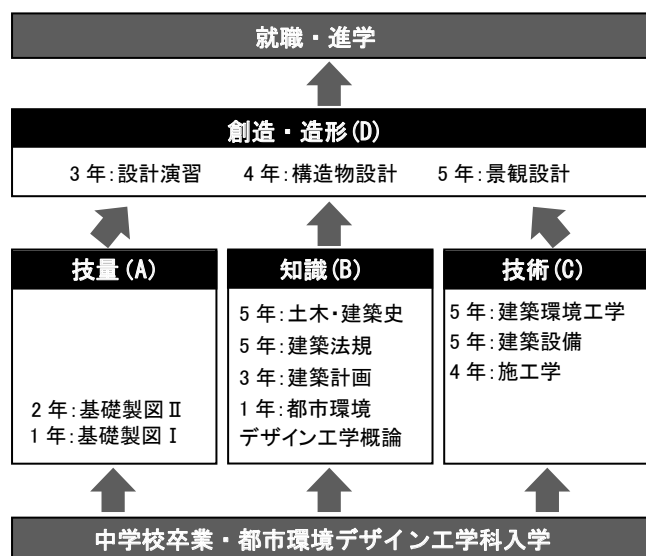


図 2: 各科目の位置づけ

造形科目群 (D) として位置づける。

これらの科目群で課される問題は、図 2 に示す建築の技術 (C) や知識 (B) を身につけることでより深く実践的に解決できる。また製図という表現手段 (スキル: 技量) (A) によって他者に伝達され、問題と解決手法が共有されると考える。

このように各科目を位置づけ、相互の関連・役割を考慮しながら各科目の年次配置・内容を決定している。

3. 平成 23 年度の開講科目

(1) 基礎製図Ⅰ

平成 22 年度報告で報告した基礎製図では、建築の課題は後期のみであった。平成 23 年度には基礎製図Ⅰとして、通年に亘り建築の講座として本格的に開講し、前年度の課題をベースに通年のスケジュールを組んだ。表 1 に 23 年度基礎製図Ⅰの講義スケジュールを示す。22 年度との違いがわかるように、23 年度に付加した課題についてはテーマ欄に●を表示している。

既存の部屋（寮室）の実測と図面化、透視図（1 点透視）の作成が付加された。同時に各課題にかける時間数も増やしている。

表 1: 平成 23 年度基礎製図Ⅰスケジュール

回	日付	テーマ	主な内容
1/3	4/7,21	紙コップ描画	フリーハンド図の作成
4/5	5/12,19	線と文字の練習	ドラフターの使い方 線の練習
6/7	5/26,6/2	キューブ造形	模型作成・立体構成
8/9	6/16,23	三面図と断面図	各自の立体作品を図面化
10/11	6/30,7/7	立体図を描く	各種投影図による立体表現
12/13	7/14,7/21	透視図の作成	遠近法を用いた立体表現
14/15	7/28,9/29	製図規約, 返却	製図規約の説明, 返却講評
16/17	10/3,17	平面・配置図	1/100 平面・配置図の作成
18/19	10/24,11/7	立・断面図	1/100 立・断面図の作成
20-22	11/14-28	住宅模型	1/100 住宅模型の作成
23/24	12/12,19	●寮室実測平面	実測, 1/30 実測図の作成
25/26	1/16,23	●寮室実測展開	1/30 展開図の作成
27	1/30	●寮室の模型	1/30 模型作成
28/29	2/6,13	●寮室透視図	寮室インテリア一点透視図
30	2/27	図面返却	返却解説, 講評

(2) 基礎製図Ⅱ

通年科目であるが前期で 2 次元、後期で 3 次元の CAD 機能や操作を習得する。前年度までと比べ、その修得内容に変更は無いが、課題内容を変更した。2 次元の課題を変更した点は、作図手順と作図表現である。1 年次で手描きによって習得した作図の手順・表現を、CAD を用いて作図し一貫させた。また、窓や建具等の

位置を自由に配置させ、作図のみならず、空間としてイメージするきっかけをつくっている。3次元では、最終課題を1年次に手作業で製作した「森の家」の模型と同じ形をデジタルで製作する課題へ変更した。既にイメージできている形を題材とすることによって、CADの機能・操作性の修得に重点を置いた。

一方で、手作業で行った模型作成では細か過ぎて作製が難しく行き着く学生が少なかった家具等の設置をデジタルでは追加した。また、進捗の早い学生には、自由に家具をデザインすることも促し自ら提案するという段階へ繋がる様に配慮した。

この通年科目を終えた3年時、デザコンに参加した学生の中には、提案する作品をCADで表現していた。提案力を持ち始めた際に、表現方法等の技量が伴っていることの重要性が感じられた。

(3) 建築同好会（課外活動）

この活動は教育課程には無いが、建築関連講座を補う重要な課外活動として本稿で取り上げる。

本学科の教育課程表のなかで、2年生において建築デザインに関する科目が1科目しかない。また1年生に比べて2年生では時間割に余裕があることを踏まえ、「建築同好会」の設立を呼び掛けた。学生たちから積極的な賛同を得たので、設立手続きを指導し学校より許可を取らせた。23年度から活動を開始し、活動内容は教員から以下を提案した。この活動方針を軸に、学生たちの自主運営を促した。

- ・建築・まちづくりに関する見学会
- ・筆者を含め、講師を招いてのレクチャー
- ・コンペ・コンテストへの参加
- ・実習および成果発表会の開催

表2:平成23年度建築同好会活動記録

発足当時の参加者は本学科2年生11名である。顧

問は筆者と23年度着任した毛利助教の2名であった。1年間は試行錯誤しながら、教員主導で活動したが、2年目(24年度)以降は新しい2年生を迎え入れ、平成25年3月現在16名が在籍している。学生間で上下の交流を交え、自主的な活動へと展開しつつある。

平成23年度の活動記録を表2に示す。平成24年度は前年度とほぼ同様の活動のほか、「全国高専デザインコンペティション2012 in 小山」に出場したこと、「本校創立50周年記念モニュメントデザインコンクール」に、同好会メンバーから最優秀賞・優秀賞および佳作の3名が入選したこと、そして日本工学校主催の第4回「夢のマイルームコンテスト」に2名参加し、1名が奨励賞を受賞したことなどが特筆される。

4. 平成24年度の開講科目

(1) 設計演習

1・2年次の基礎製図Ⅰ・Ⅱで習得する表現技術を駆使して、自ら考え造り上げる通年の演習科目である。自らの案を練るにあたり、①必要な情報の調査・検索・まとめ、それに基づく②発想・コンセプト・草案作成、そして③作図・プレゼンテーションの3段階を意識して課題を構成している。

第一課題「気になる言葉」では、上記①および③に重点を置き、第二課題「自分の部屋のBefore/After」では②・③を意識しながら提案をまとめるよう促すなど、課題ごとに提案のための必要なステップと作業の目的を伝えた。特に各課題において、学生が草案を作成した段階で、「誰が」「どのように」「どのような気持ちで」生活するのか?という問いかけをした。学生の気づきと、着眼点を意識させることが狙いである。

発想の難しさを経験させた後に、第三課題では優れた設計者による名作を模写させた。ここでは「発案者の目をもって図面を読み込むこと」を学生に求めた。

後期では前期の演習内容と、知識科目である建築計画(通年)の学修内容を踏まえて、別荘(第四課題)

	活動項目	主催	助成・支援・協力等	活動主体	活動日	活動内容	参加人数
1	演劇「六月燈の三姉妹」舞台設置	霧島市教育委員会		建築同好会	2011/5/28・29	標記舞台設置・解体の支援および学習 舞台裏・天井裏設備の見学	10名
2	材木工場見学会	建築同好会	株式会社野元「南風館」	建築同好会	2011/6/9	木材の種類・加工方法・製作ライン・製品の 見学	10名
3	建築見学会	建築同好会	かごしま県民交流センター	建築同好会	2011/6/9	県民交流センター・県政記念館の見学	10名
4	かごしま県民交流センター内に置く 木製ベンチのデザイン応募	鹿児島県環境林務部		建築同好会	2011/6/30(提出)	標記デザイン募集(コンペ)に対して、提案応募 (2名2作品)	2名
5	霧島市民音楽祭舞台変更支援	霧島市教育委員会		建築同好会	2011/7/18	標記音楽祭の舞台設置・変更の支援 および学習・施設全体の見学	9名
6	高専の日2011	鹿児島高専 鹿児島市立科学館	広報委員会	建築同好会 本科5年生	2011/8/11	小中学生対象工作教室 折り紙建築でつくる世界遺産	12名
7	中高生を対象とした霧島市周辺の「環 境配慮型建築」および「歴史的建造 物」見学講習会	都市環境デザイン工学科	(財)建築技術教育普及センター かごしま環境未来館 霧島市教育委員会 上野原純文の森展示館	建築同好会	第1回:2011/10/1 第2回:2011/11/6 第3回:2011/12/10	かごしま環境未来館 妙見発電所・嘉例川駅・鹿児島神宮 上野原純文の森展示館	22名 22名 18名
10	内装工事見学会	建築同好会	本校施設課	建築同好会	2011/11/22	本校管理棟更衣室便所の改装工事見学	
11	霧島チャレンジャー	鹿児島高専 霧島市教育委員会		建築同好会	2011/12/17	小中学生対象工作教室 折り紙建築でつくる世界遺産	8名
12	ペットボトルイルミネーション	霧島商工会議所青年部	地域共同テクノセンター 一般教育科 機械工学科	建築同好会	2011/10～2012/1/14	ペットボトル2万個と太陽光発電を用いたイル ミネーションの作成展示	16名

と住宅（第五課題）の設計にあたらせた。最低限の敷地形状を示し、敷地周辺の状況や住まい手の構成などの設計条件を、各学生に自ら想定させ、その条件に沿った案を作成する。第五課題では、本校近くに実在する敷地を設計対象地として選定し、学生が現地を見て気付いたことを設計案に盛り込めるよう意図した。

設計案をまとめる過程で、考えることを諦めずに、粘り強くエスキースを繰り返し、最善の案を創造する姿勢を学んでほしいと考えた。図 3 にそれぞれの課題で高評価を得た作品を示す。

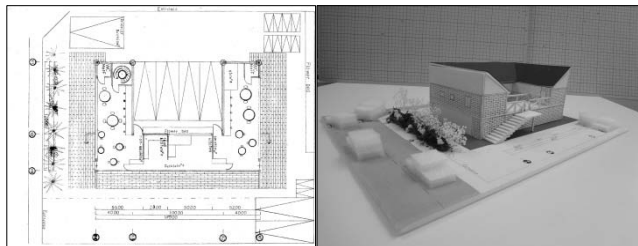


図 3:3 年生 設計演習 課題作品

（3）建築計画

本科目は通年の座学である。設計作業から少し距離を置き、人間の生活やそれを取り巻く環境、そして建築のあり方を考えることに重点を置く。建築計画学が対象とする範囲は広く、アプローチの方法も様々である。工業高校では、住宅の設計に焦点を当て、計画案の造り方を具体的に解説する形の教科書¹⁾を採用している。一方大学では住宅のみならず大規模な建築物までをカバーするため、総論と各論に分けより専門的な部分にまで踏み込んでいる例が多い。

本科目では、上記の目的を踏まえると同時に、土木分野との複合学科であることを考え、大学で採用される教科書の総論の部分を中心に講義する方針とした。将来卒業生が住宅以外の大規模な構造物を対象とする場合が多いと考えられるからである。一方本学科の 3 年次に各論に入って、例えば図書館計画などを扱うには、専門性が高すぎると判断した。各学生が人間の生活と環境を見つめ、基礎的な知識を踏まえることで、将来実際の構造物に対峙した時、基礎知識を応用し根本的なところから解決策を見出せることを望む。

（2）構造物設計

4 年次に開講されるこの科目では、前期に土木系の教員による擁壁の設計を学んだあと、本校の南側に実在する真孝公園を対象に、コミュニティセンターを計画する。擁壁設計の知識を活かし、起伏のある公園に、どのような構造物を計画できるかが求められる。また、土木工学をベースとする本学科の特性を考え、建築物のみならず外構の設計(ランドスケープデザイン)をデ

ザインの対象とすることを意図している。

3 年次までの製図・演習との違いは、グループワークで課題に取り組むことである。現地調査から問題点の抽出、エスキースを経て最終案にたどり着くまで、メンバーで協力し、役割分担をすることが求められる。また、発想から案の作成まで、互いのアイデアを発展させ、一つの形に収斂させることが重要である。各チーム其々発表まで漕ぎ着けた事は評価できる一方、斜面の利用を避け、平坦な部分を使った案しか見られなかったのは残念である。図 4 に演習の様子を示す。



図 4:4 年生 構造物設計 演習の様子

（4）施工学

前期を土木系教員による施工、後期を建築系の教員による施工の講義を行う。建築系の教員は第一工業大学の建築デザイン学科から非常勤講師を招いた。この講師は、民間の建設会社で施工に関する技術開発に長く携わった経験を持ち、実務経験に裏打ちされた講義を提供して頂いている。学生たちの就職先に総合建設業も多いことから、非常に実践的な講義である。

5. 今後の展望

（1）平成 25 年度開校予定の科目

図 1 に示したように、25 年度では前期に建築設備（通年）と建築環境工学が開講する。

（2）今後の課題・展望

今後は特に土木系の教員との連絡・連携を深め、複合的学科の特色を出すことが重要である。その議論を深め、平成 27 年度に対応すべきモデルコアや新教育課程の策定に取り掛かる必要がある。またそれに伴って建築系科目の開講年次の見直しも行う予定である。

6. 謝辞

校内助成に採択下さった赤坂校長、筆者らが赴任する以前に科目編成を作成して下さいった内容名誉教授ほか本学科の教員に感謝する。

7. 参考文献

1) 柏原士郎ほか著、文部科学省検定済教科書、7 実教、工業 050 高等学校工業科用「建築計画」、実教出版

廃石膏としらすを活用した混合セメントの開発

前野 祐二 三原 めぐみ 池田 正利 福永 隆之

Development of the blended cement which made from Shirasu and gypsum which extracted from waste plasterboard

Yuji Maeno Megumi Mihara Masatoshi Ikeda Takayuki Fukunaga

Waste gypsum is discharged in large quantities from the Japan whole country. However, since hydrogen sulfide etc. may be waste charged, gypsum in plasterboard cannot be used for land reclamation easily. Then, the problem is that this research uses this waste gypsum effectively. The blended cement which can be manufactured only by mixing waste gypsum, cement, and Shirasu deposited on Kagoshima in large quantities to this effective use is developed. and It has the effect of suppressing the elution of fluorine. This paper clarifies the suitable mixed rate of three materials. Furthermore, the characteristic of the hydration reaction of the blended cement made as an experiment is clarified.

Keywords : Shirasu Gypsum Blended Cement Fluorine

1 はじめに

しらすは、天然のポゾラン質材料として、新しい混和材料としての活用が考えられている。しらすの主な構成物は、多くの火山ガラスと数種類の鉱物である。一方、一般的に使用されている混和材料はフライアッシュや高炉スラグ等がある。フライアッシュは結晶相とガラス相で構成され、結晶相に石英(SiO_2)、ムライト(一般式 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)、石膏(CaSO_4)、マグネタイト(Fe_3O_4)、ヘマタイト(Fe_2O_3)などである。ポゾラン反応するのは主にガラス相である。一般的にフライアッシュには自硬性がないと言われ、ガラス相に含まれる SiO_2 が $\text{Ca}(\text{OH})_2$ やアルカリとの共存下でポゾラン反応を生じる。このため、ポゾラン反応速度や水和生成物量にはガラス相の組成の影響が大きい。また、ガラス相中のアルミナ成分(Al_2O_3) はエトリンガイトやモノサルフェート、 C_4AH_x などのアルミネート系水和物の生成に寄与する¹⁾。高炉スラグは、 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO を主成分とする。また、高炉スラグを大量の水で急冷した水砕スラグは、結晶化されずにガラス質となる。高炉スラグは潜在的水硬性があると言われ、ガラス構造体に CaO が含有しているので、 CaO と SiO_2 、 Al_2O_3 が水和反により硬化が始まるというのが一般的

である²⁾。フライアッシュ、高炉スラグともに大きく硬化反応に影響しているのは結晶質ではなくガラス質である。そこで、火山ガラスを多く含むしらすを混和材料として活用することを研究した。しらす、セメントに、廃石膏として排出されている石膏ボードから得られる廃石膏や、土壌の地盤改良や土壌中和剤かつカルシウム補給などに用いられる消石灰を混合した混合セメントで硬化体を作製し、この硬化体の強度特性、硬化特性を明らかにした。

2 しらすと廃石膏について

表1 しらすの化学組成(重量%)

	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	CaO	SO_3
しらす A	69.4	20.7	1.45	5.81	1.22	0.188
しらす B	74.1	17.6	2.34	3.91	1.24	0.02
しらす C	81.3	11.2	2.85	1.92	1.66	0.079
しらす D	76.9	12.9	1.89	4.55	1.3	1.26
しらす E	81.6	10.6	3.47	2.23	1.6	0.02
しらす F	81.7	10.4	3.41	2.29	1.6	0.03
廃石膏	1.48	—	0.039	—	77.9	20.2
しらす A	加久藤火砕流の堆積物 溝辺町のしらす(入戸火砕流) 吉田町の水成しらす(入戸火砕流) 吉田町の水成しらすの風化したしらす 川辺町のしらす(入戸火砕流) 東串良町のしらす(入戸火砕流)					
しらす B						
しらす C						
しらす D						
しらす E						
しらす F						

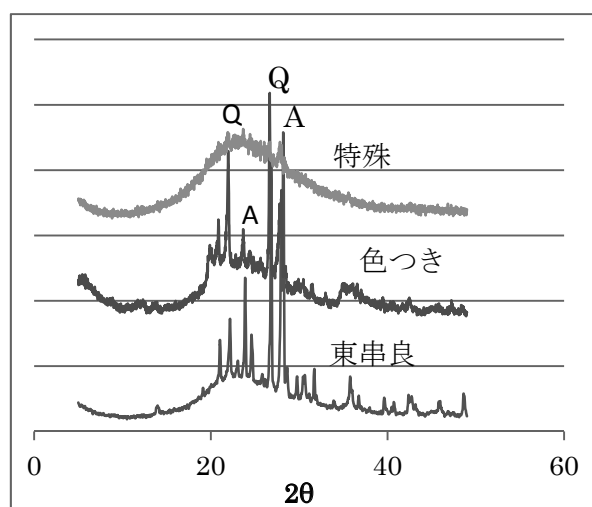


図1 しらすのX線回折パターン
Q:Quartz A:Anorthite

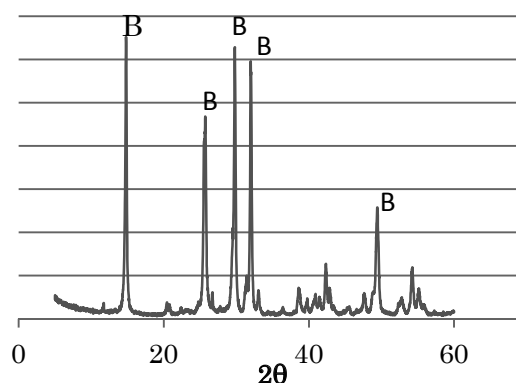


図3 廃石膏のX線回折図
B:Bassanite

串良しらすは、これらの結晶質の鉱物をはっきりと定性することができた。それに対し特殊しらすは、X線回折のピークが現れず、なだらかな曲線を描くような回折図となった。これは、結晶質が少なくガラス質に富んでいることに起因すると思われる。ガラス質に富んでいるということはそれだけポゾラン活性も大きいと考えられる。次に、粒度分布比較表を示す。図2は東串良しらす、特殊しらす、川辺しらすの粒度分布を表したものである。東串良の平均粒径は東串良しらすが $327.6\mu\text{m}$ であった。それに対し特殊しらすは平均粒径 $23.9\mu\text{m}$ と非常に細かい粒子で構成されていた。粒子が細かいということは比表面積が大きくなり、反応性が良くなることが期待できる。以上のことから今回の実験ではガラス質に富み、粒子の細かい特殊しらすを主に用い、色つきしらすは特殊しらすよりアルミナ成分や硫黄成分が多いことからそれらの補給の為に添加するような形で用いることにした。

2.3 廃石膏について

廃石膏のX線回折図を図3に示す。廃石膏の主な鉱物組成は $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (半水石膏)である。半水石膏が水と化学反応することで Gypsum : 二水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)となる。廃石膏はセメントの凝結を制御する目的とエトリンサイト生成のために使用した。

混合セメントの試作

表2は特殊しらす、廃石膏とセメントを混合した混合セメント作製するときの混合割合を示す。作製した硬化体は気中養生とし、材齢毎(3日、7日、28日)に

表2 混合セメント配合表(%)

	特殊しらす	OPC	分散剤	W/C(%)
No.1	50	50	0.5	50
No.2	60	40	0.6	50
No.3	70	30	0.7	50
No.4	80	20	0.8	50
No.5	90	10	0.9	50
Opc	0	100	0	50

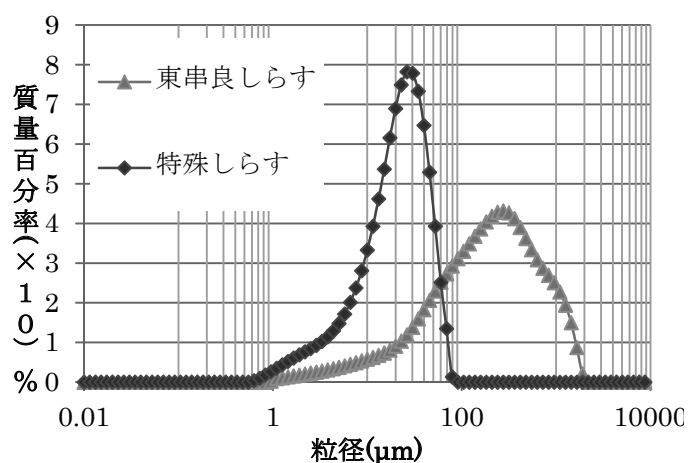


図2 しらすの粒度分布

南九州にしらすは、広く堆積している。その多くは入戸火砕流が堆積したしらすだが、多い。その他に加久藤火砕流、鬼界カルデラから噴出火砕流等がある。本試験で用いたしらすは、鹿児島市東佐多町の山道で採取したしらす(以下特殊しらす)と、色の濃いしらすD(以下色つきしらす)を使用した。消石灰は農業用に市販で販売されているものを使用し、廃石膏は廃棄された石膏ボードを微粉碎したものを使用した。表1に主な化学組成を示す。また、特殊しらす、色つきしらすと東串良しらす(しらすF)のX線回折パターンを図1に示す。表1で示したようにしらすは、採取した地域で化学組成に多少の差があり、風化することにより SiO_2 が減少し、 Al_2O_3 が相対的な割合が増加するようである。同様に鉱物組成にも採取地域で違いが見られた。しらすの主な鉱物組成は SiO_2 (クォーツ)と $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (アノーサイト)である。色つきしらすと東

圧縮強度を計測した。また、圧縮強度に関しては JIS R 5201 に準じて行った。また、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。以後普通ポルトランドセメントは OPC と略記する。混練直後、材齢 1 日、材齢 3 日、材齢 7 日で X 線回折による測定を行った。なお、養生室での気中養生とした。

図 3 に表 2 の混合割合で作製した混合セメントで作製した硬化体の圧縮強度を示す。密度は No 1 が 1.7g/cm^3 程度で、No5 では 1.5 g/cm^3 となり、かなり軽いことが分かる。しらすの混合割合が 50,60% のときの圧縮強度は、材齢 7 日では、OPC だけとほとんど変わらないが、28 日養生では、約半分程度となった。しらすの混合割合が 70% 以上では、強度は、材齢 7 日でも強度は OPC と比較すると小さく、混合割合が多いほど強度は小さい。材齢 28 日の圧縮強度は、いずれの供試体でも強度は増加しているが、OPC の強度と比較するとかなり、小さい。最もしらす混合割合が多い No.5 (OPC : しらす=10 : 90) は、材齢 28 日強度が 2.82 N/mm^2 であり、強度が小さいことが分かる。

図 5 から図 8 までに No1~No5 の練混ぜ直後から材

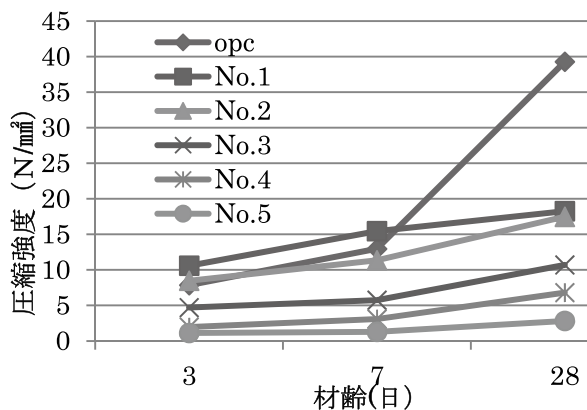


図 4 混合セメント硬化体の圧縮強度

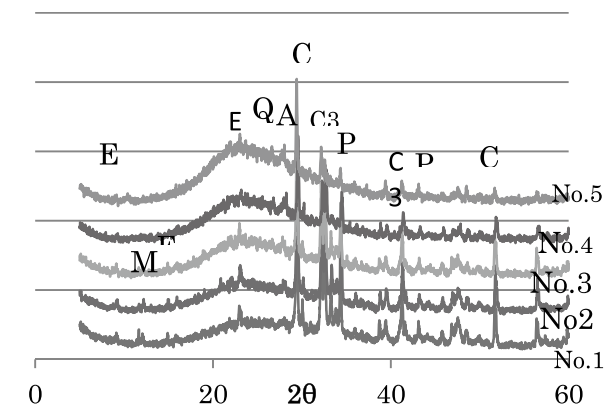


図 5 混合セメント混練直後の X 線回折パターン

齢 28 日までの X 線回折パターンを示す。図に示すように No5 は最も特殊シラスが多いため $2\theta = 23^\circ$ 付近を頂点としたブロードなハローが最も高いことが分かる。そして、アノーサイト(A)、クォーツ(Q)のピークがある。また、カルシウムシリケート水和物(CSH)が生成されていることが分かる。また、No.1 と No.2 の供試体には、モノサルフェート(M)が生成されていることが特徴的である。石膏が消費されると、エトリンガイトがモノサルフェート化されると記載されている³⁾。石膏量が少ないのでモノサルフェートが生成されると考えるべきである。

図 5 に示すように主な鉱物組成として、 $2\theta = 32.2^\circ$, 34.4° , 51.6° のピークが検出され、 C_3S と定性した。また、 $2\theta = 32.2^\circ$, 34.4° には C_2S も同様に定性できた。No.4 はしらすの鉱物であるアノーサイトも $2\theta = 27.7^\circ$ で若干定性できた。 $2\theta = 18.1^\circ$, 34.2° のピークが検出されていることから、 C_3S , C_2S の水和の際に析出する CSH(ケイ酸カルシウム水和物)と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ポルトランドイト)も生成していると考察で

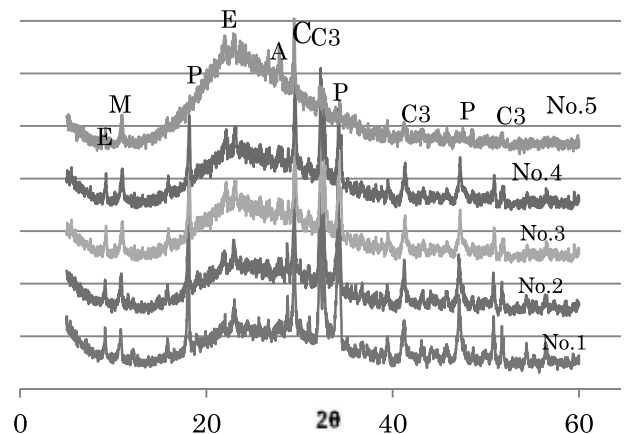


図 6 材齢 1 日 X 線回折パターン

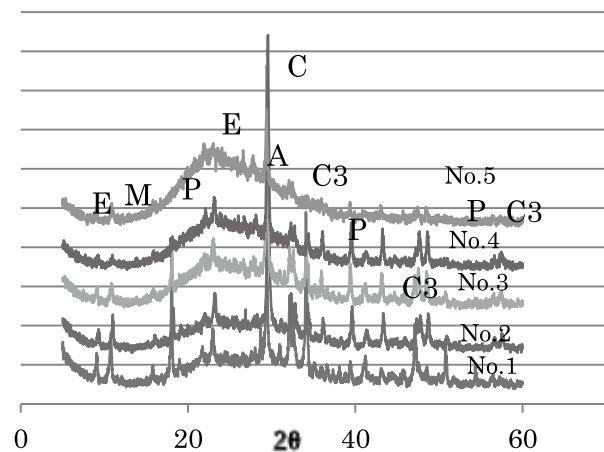


図 7 材齢 3 日 X 線回折パターン

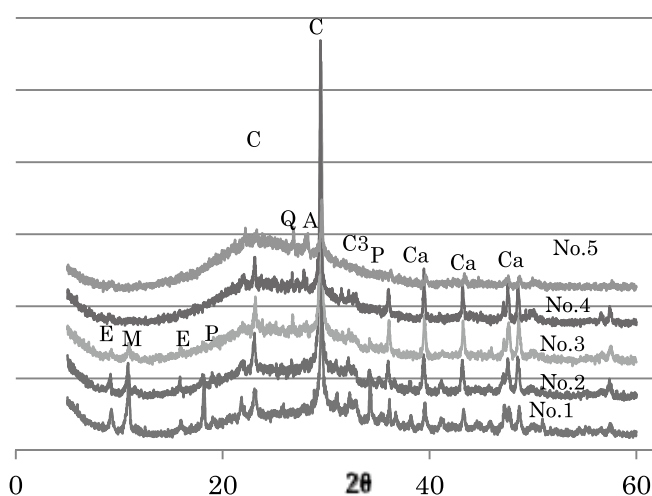
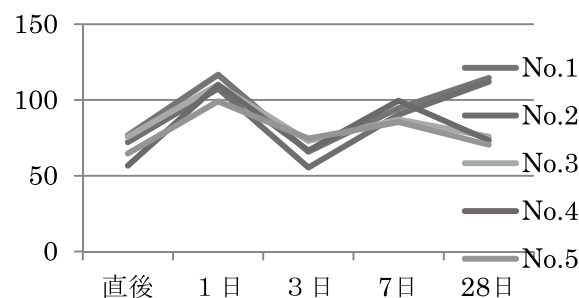
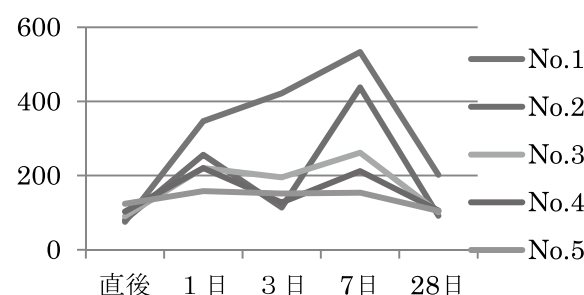
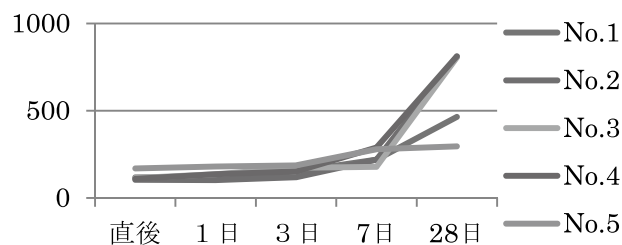


図8 材齢28日X線回折パターン

きる。また、図中のCはCSH、C3は C_3S 、Pは $Ca(OH)_2$ 、Aはアノーサイトを示している。 $2\theta = 23^\circ$ 付近のブロードな凸部はNo5が最も値は大きく、No1が最も低い値となっている。これはしらすの混合量が多いほど値が高い。すなわち、非結晶のシリカが多いほど高いと考えることができる。 $Ca(OH)_2$ は、No5では低い値であるが、No4が最も高い値となっている。

図6に混合セメント硬化体の材齢1日のX線回折パターンを示す。混練直後と比較すると、 $2\theta = 32.2^\circ$ 、 34.4° 、 51.6° にピークが検出され定性した C_3S が減少し、 $2\theta = 29^\circ$ に検出されるピークからCSHを定性した。CSHは、 C_3S の水和により生成される。No.1はセメント量が最も多く $Ca(OH)_2$ の生成量が最も多くなるはずであるが、セメント量の少ないNo.2の方が $Ca(OH)_2$ のピーク値が高い。一方CSHのピーク値はNo.1の方が高い。これは C_3S が SiO_2 と水和してCSHの生成量が多くなったと考えることができる。No.1、No.2には微量ながら $2\theta = 9.1^\circ$ にピークが検出され、エトリンガイトが定性できた。表1より、特殊しらすには若干ながら SO_3 が存在しているため、その硫黄成分と特殊しらす中のアルミナ成分、セメント中のカルシウム成分が反応し生成されたと推定できる。また図中のEはエトリンガイトを示している。

図7に混合セメント硬化体の材齢3日のX線回折パターンを示す。継続的に C_3S 、 C_2S が水和し $Ca(OH)_2$ が析出されていることがグラフより読み取れる。一方CSHのピーク値は養生1日と比べるとピーク値は小さくなっている。これは、CSHが $Ca(OH)_2$ とゲル化した SiO_2 に分解したと考えられる。そのため、さらに

図9 $2\theta = 9.1$ のピーク値の推移図10 $2\theta = 18.12$ のピーク値の推移図11 $2\theta = 29.1$ のピーク値の推移

$Ca(OH)_2$ のピーク値は高くなったと推察できる。エトリンガイトも継続的に生成されている。No.1、No.2では $2\theta = 9.9^\circ$ 、 31.1° にはモノサルフェートを定性することができた。モノサルフェートがNo.2とNo.1に生成されるが、No.3~No.5では生成されていない。石膏が消費されると、エトリンガイトがモノサルフェート化されると記載されている³⁾。石膏量が少ないのでモノサルフェートが生成されたと考えるべきである。

図8に混合セメント硬化体の材齢28日のX線回折パターンを示す。材齢3日と比較すると、No.2~No.5は $2\theta = 29.1^\circ$ にピークが検出でき、 $CaCO_3$ (カルサイトCa)と定性した。CSHが空気中の CO_2 と反応し、 $CaCO_3$ が生成したと推定できる。図中のCaは $CaCO_3$ を示している。

次にこのX線回折パターンを 2θ 毎に整理した。

図9に $2\theta=9.1^\circ$ のピーク値(エトリンガイトを示す)の推移を示す。

図に示すように直後から7日までは、同じ傾向を示すが、28日でNo1とNo2のピーク値は増加している。また、No3,4,5はピーク値逆に減少している。

図10に $2\theta=18.12^\circ$ のピーク値(Ca(OH)_2)の推移を示す。

図中のNo2の3日の値が急激に減少しているがほぼ他は同じパターンを示す。すなわち、材齢7日までは値は増加するが、その値はNo.1が最も大きくNo.5が最も小さい。また、材齢28日ではそのピーク値はいずれ日までは、 Ca(OH)_2 が生成されていたが、その後はその反応が少なくなったことを示す。

図11に $2\theta=29.1^\circ$ のピーク値(カルサイト)の推移を示す。図に示すように材齢日数7日までは、ほとんど増加しないが、7日～8日に急激に増加する。れも減少する。これは、OPCが水和反応して小林、宇野は空隙の増大が炭酸化を促進することを明らかにしている⁴⁾

1968年に九州工業技術試験所の松田、山田⁵⁾が、消石灰 Ca(OH)_2 の炭酸化速度に及ぼす共存水分ならびに雰囲気相対湿度(以下、RHと略す)の影響に関する報告をしている。これによれば、共存水分が低い(3%)場合、雰囲気相対湿度が炭酸化速度に影響し、RH = 100%では80%に比べて速度が倍増し、2gの消石灰が7日でほぼ100%炭酸化し、更にこのRH = 100%の条件下で消石灰に水を添加すると速が増加し、水分量25%近傍で最も炭酸化が速く、反応完了が7日から3日にまで短縮する、20%の水分量を含む Ca(OH)_2 が、約120分で約8割が炭酸化することを示している⁶⁾。

表3 廃石膏を混合した場合の混合割合(%)

	特殊しらす	OPC	廃石膏	W/C(%)
No.6	47.5	47.5	5	50
No.7	57	38	5	50
No.8	66.5	28.5	5	50
No.9	76	19	5	50
No.10	85.5	9.5	5	50

これらの文献から推察すると、本実験の供試体は、養生室に気中で静置していたので急激な炭酸化の可能性が高い。

Ca(OH)_2 の密度は 2.21 g/cm^3 、 CaCO_3 の密度は、 2.71 g/cm^3 であり、一般に密な状態になるといわれている。

Ca(OH)_2 は CaCO_3 に炭酸化することにより、約11.7%体積が増加することで空隙率が減少することになることを示している⁷⁾。

廃石膏と特殊しらすを混合材とした混合セメント

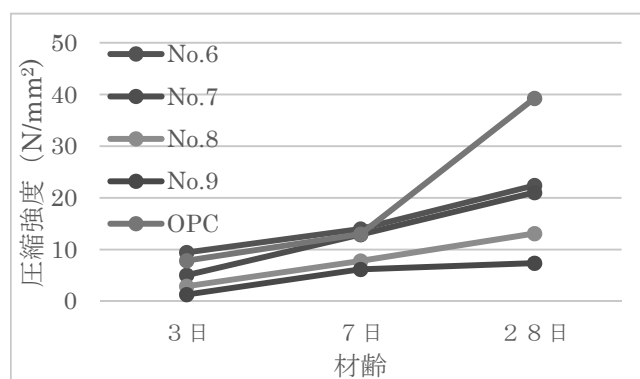


図12 混合セメント硬化体の圧縮強度

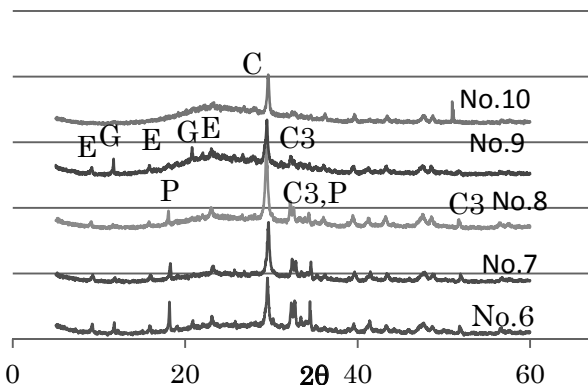


図13 混合セメント混練直後のX線回折パターン

廃石膏ボードを混合することにより強度増加を図るために表4に表3に示した混合割合と比較すると内割りで5%の灰石膏を混合した割合で強度試験、X線回折による分析を行った。

図12に表4の混合割合で作製した混合セメントによる硬化体の強度試験を示す。なお、供試体は直径5cmの円形供試体である。なお、No.10はセメントと石膏量がほぼ同じのため、硬化せず、強度試験が実施

できなかった。他の供試体は図のように強度を有する硬化体となった。図に示すように強度は、No.6,7の強度は、材齢が1週間はOPCと同様であるが、材齢が28日では強度は、増加するが、OPCの強度の約半分程度である。また、No.8,9の強度はセメント量が少なくなるほど強度は低下した。しかし、No.8,9の強度は、No.3,4の強度と比較するとかなり強度は増加しており、廃石膏が混合されることにより強度は増加していると考えられる。

図13～16にNo.6～No.10の練混ぜ直後～材齢28日までのX線回折図を示す。

図に示すように No.10 は 23° のブロードなハローがもっとも大きく, CSH のピークだけ直後と 1 日にはあるが, 7 日 28 日には, そのピークはかなり小さくなる. また, No.10 は, 材齢が 28 日でも他の鉱物のピークは出現せず, 反応物質が生成されていないことが推測できる. その他の試料でも練り混ぜ直後 CSH のピークが見られる. それ以外には $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のピークと C_3S のピークが見られる. No.1(OPC : しらす : 廃石膏 = 47.5 : 47.5 : 5) が材齢 3 日, 材齢 7 日の圧縮強度が OPC よりも大きい圧縮強度であった. しかし, その後の強度の伸びが良くなく, 材齢 28 日の圧縮強度は 22.4N/mm^2 であり, OPC との圧縮強度比は 57.1% であった. No.7, 8, 9, 10 はセメント混合量が低くなるごとに圧縮強度は小さくなる. また, この硬化体も表 2 の混合セメント硬化体と同様の理由で No.10 は強度計測が行えなかった.

図 13 に表 3 の混合セメント混練直後の X 線回折パターンを示す. $2\theta = 9.1^\circ$, 15.6° に若干ピークが検出

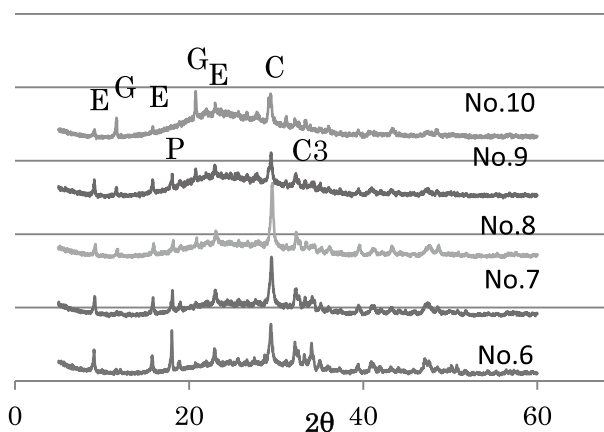


図 14 材齢 1 日の X 線回折パターン

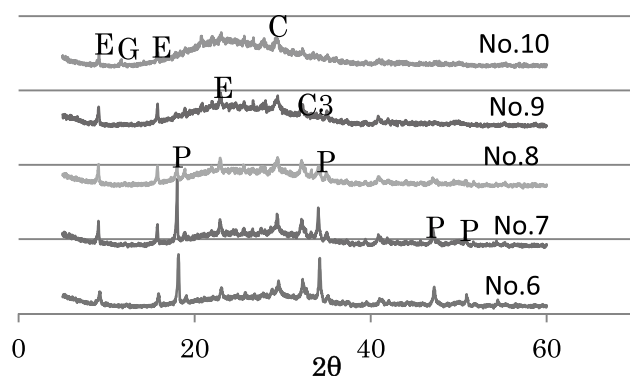


図 15 材齢 7 日 X 線回折パターン

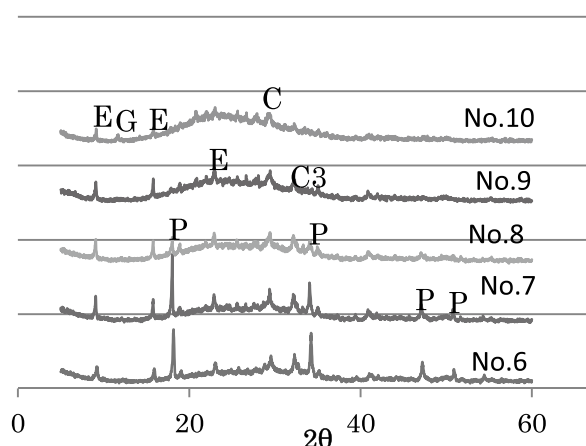


図 16 材齢 7 日 X 線回折パターン

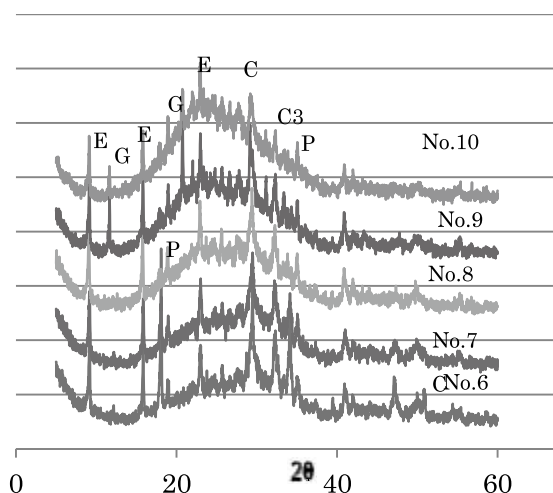


図 17 混合セメント材齢 28 日 X 線回折パターン

され, エトリンガイトが定性できた. また, $2\theta = 11.6^\circ$, 21° にピークが検出され, これは廃石膏 (半水石膏) と水が反応し二水石膏が生成されている. また, $2\theta = 29^\circ$ に CSH が定性できた. $2\theta = 32.2^\circ$, 34.4° , 51.6° には C_3S のピークも確認できる. $2\theta = 18.1^\circ$, 34.2° には $\text{Ca}(\text{OH})_2$ のピークも確認できる. そのため, $2\theta = 34^\circ$ 付近で重なって検出されている. 図中の E はエトリンガイト, G は二水石膏, P は $\text{Ca}(\text{OH})_2$, C は CSH, C3 は C_3S を示している. CSH のピーク値がいずれの試料でも高いことが特徴的である. No.9 でエトリンガイトのピーク値が高いのは, しらす中に含まれるアルミナが原因とかがえられる.

図 14 に混合セメント硬化体の材齢 1 日の X 線回折パターンを示す. どの配合でも混練直後に比べ $2\theta = 9.1^\circ$, 15.6° に検出されるエトリンガイトのピークが鮮明に確認できる. $2\theta = 32.2^\circ$, 34.4° にみられる

C₃S のピークが混練直後に比べ小さく検出されている。これは、それらが水和していることに起因する。しかし、それらが水和する際に析出される Ca(OH)₂ (2θ = 18.1° , 34.2°) のピークがあまり変化しない。これは、析出された Ca(OH)₂ が特殊しらすのアルミナ成分や、廃石膏の硫黄成分と反応し、2θ = 9.1° , 15.6° にピークが検出されるエトリンガイトを生成したことや、特殊しらすの SiO₂ と反応し 2θ = 29° にピークが検出される CSH を生成したことで、増えなかったことに起因する。

図 15 は、表 3 の混合セメント硬化体材齢 3 日の X 線回折パターンである。材齢 1 日と比較すると引き続き 2θ = 32.2° , 34.4° に検出される C₃S のピークが小さくなっている。また、2θ = 11.6° , 21° に検出される二水石膏はほとんどピークが検出されず、2θ = 18.1° , 34.2° に検出される Ca(OH)₂ のピークが大きく検出されている。二水石膏は 2θ = 9.1° , 15.6° に検出されるエトリンガイトの生成のための原料となり、C₃S 水和の際に析出される Ca(OH)₂ はそのまま残り、その量は増加したと考えられる。また 2θ = 29° に検出される CSH のピークが小さく検出されているので、CSH が分解し、Ca(OH)₂ と SiO₂ となり、SiO₂ がゲル化して 2θ = 23° あたりに混練直後よりも膨らみのある波形ができていると考察できる。

図 16 に表 3 の混合セメント硬化体材齢 7 日の X 線回折パターンを示す。材齢 3 日と比較すると、No.3~No.5 の硬化体は 2θ = 9.1° , 15.6° に検出されるエトリンガイトと 2θ = 29° に検出される CSH と以外はピークが検出されず、No.6, No.7 の硬化体は検出されるピークが全体的に小さくなった。2θ = 18.1° , 34.2° の Ca(OH)₂ のピークが No.6,7,8 にあるが、No.9,10 にピークは見られない。これは水和物がなにかしらの影響で分解していると考えられる。この配合は特殊しらす、セメント、廃石膏を混合することで、表 2 の配合よりエトリンガイトを多く生成した。また、No.8~No.10 硬化体にピークあまり検出されなかった。養生 3 日で生成された水和物が分解したと考えるべきであろう。材齢 7 日 No.6, No.7 の圧縮強度は OPC よりも強度大きかった。しかし、材齢 28 日の強度は OPC と比較すると、No.6 が 57.1% の強度比となり、かなり低くなっている。No.6 の材齢 7 日の密度が 1.71g/cm³ 程度であり、強度が伸びなかった原因の可能性として炭酸化の可能性はある。

図 17 に表 3 の混合セメント硬化体材齢 28 日の X 線回折パターンを示す。材齢 7 日と比較すると、No.6~No.10 の硬化体は 2θ = 9.1° , 15.6° に検出され

るエトリンガイトと 2θ = 29° に検出される CSH のピークも検出される。

この配合は特殊しらす、セメント、廃石膏を混合することで、表 2 の配合よりエトリンガイトを多く生成した。また、No.8~No.10 硬化体にピークあまり検出されなかった。養生 3 日で生成された水和物が分解したと考えるべきであろう。材齢 7 日 No.6, No.7 の圧縮強度は OPC よりも強度大きかった。しかし、材齢 28 日の強度は OPC と比較すると、No.6 が 57.1% の強度比となり、かなり低くなっている。No.6 の材齢 7 日の密度が 1.71g/cm³ 程度であり、強度が伸びなかった原因の可能性として炭酸化の可能性はある。

本研究の結果を以下に示す。

- (1) 特殊しらす、セメントを混合した混合セメントで作製した硬化体は、セメントクリンカーの C₃S の水和により析出される Ca(OH)₂ がしらすの SiO₂ と水和反応し、CSH を生成する。OPC で生成される CSH より多くの CSH が生成される。水和反応によりエトリンガイトが生成されるが、その生成量は少なく、早期にモノサルフェート化している。石膏量が少ないためであろう。
- (2) 特殊しらす、セメント、廃石膏を混合した混合セメントで作製した硬化体は、石膏混合によりエトリンガイトを生成量が増加する。廃石膏混合量が多いとエトリンガイトは早期に生成されるが、長期的には分解し、強度増加に寄与できなくなる。
- (3) しらすとセメントを混合した混合セメントで作製した硬化体は、密度が小さいことから炭酸化が早く進む傾向があり、強度増進が小さいようである。

以上のことからしらすを混合した混合セメントで作製した硬化体は、セメント量が比較的少なくても汚泥処理用の硬化材として活用できる可能性がある。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、平成 24 年度卒業研究生、小野 昂輝、久木野 誠太、西島 康貴、丸山 僚太、専攻科生、中野 大樹には、多大な努力で実験、考察を行った。この場を借りて謝意を表す。

参考文献

- 1) 伊代田岳史, 佐川孝広, 混和材料を使用したコンク

リートの物性変化と性能評価研究小委員会報告書ならびにシンポジウム講演概要集，土木学会，pp.153-158，2007.

2) 宮原茂禎，混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会報告書ならびにシンポジウム講演概要集，土木学会，pp.159-165，2007.

3) H.F.W.Taylor: Cement chemistry 2nd edition, Thomas Telford Publishing, pp.187-225, 1997.

4) 小林 一輔他 3 名：“コンクリート炭酸化のメカニズム”，コンクリート工学論文集，Vol.11, No.1, pp.26-32, 1990.1

5) 松田応作，山田英夫：“石灰の炭酸化反応”，石膏と石灰. (97), 245 , pp.3-10, (1968)

6) 堤 直人，田中 誠，田崎 智晶，天田 克己：“製鋼スラグの迅速炭酸化処理技術の開発”，新日鉄技報 第 388 号 2008

7) 李 春鶴・石田 哲也：“微細空隙構造と物質平衡・移動の強連成に立脚したセメント水和生成の炭酸化反応モデル”，コンクリート工学年次論文集，Vol.28, No.1, 2006

英国文化に関する研究—ホスト・ファミリーとの生活を通して

塚崎 香織[†]

A Cross-Cultural Study through Staying with Host Families in the United Kingdom

Kaori TSUKAZAKI

2012 appeared to be a particularly special year for most British people in the sense that within a few months they had a chance to celebrate the Diamond Jubilee of Queen Elizabeth II as well as enjoying events at the Olympic and Paralympic Games in London. During that year, I happened to take over a class on aspects of British culture at Kagoshima National College of Technology and I realised how interested Japanese students were in the United Kingdom. However, I was equally aware that they were neither accustomed to British English itself nor to the culture of the inhabitants. The purpose of this paper is to outline some aspects of the language and culture of Britain in order for Japanese students to better comprehend them.

Keywords : The United Kingdom, British English, international communication, TOEIC

1 はじめに

2012年の英国は、エリザベス女王の即位60周年 (the Diamond Jubilee) と、ロンドン・オリンピック、パラリンピックという大きなイベントがあり、世界中から注目された年であった(図1と図2参照)¹⁾。お祝いムードで英国中にユニオン・ジャックが溢れたのと同時期に、鹿児島工業高等専門学校5年生を対象とした講義「比較文化概論」(ヨーロッパ文化、とりわけ英国文化について)を4月から9月まで担当する機会に恵まれた(図3参照)。英国文化に対する学生の関心は非常に高かったが、イギリス英語や、英国で暮らす人々についての知識は大変乏しいことがわかった。そこで、小論では、筆者が2010年8月から10回にわたる渡英中に、英国人のホスト・ファミリーとの生活や、教員を対象とした英国の大学のサマー・コースを通して学んだことの中から、英国の文化について、いくつかの特徴をまとめることにした。これから英国をはじめ海外で勉強や仕事をする日本人にとって、英語でコミュニケーションを図り、異文化を理解する上で、参考になれば幸いである。

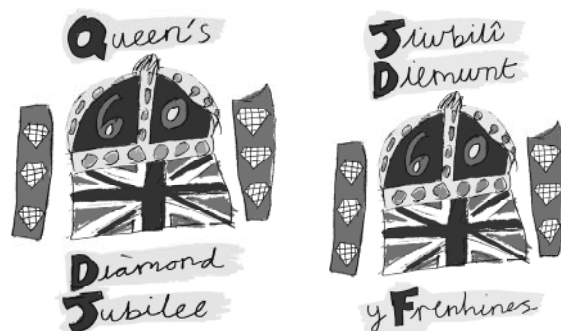


図1 エリザベス女王即位60周年記念エンブレム
(左が英語版、右がウェールズ語版)



図2 街で見かけたケーキ(2012年5月)

[†]一般教育科文系



図3 レストランのユニオン・ジャック（2012年8月）

2 イギリス英語

イギリス英語とアメリカ英語は、発音、語彙、文法、つづり、句読法などが異なる。^{2) 3)} 日本の英語教育では、教科書の英語はすべてアメリカ英語で書かれ、アメリカ英語の音声 CD を聞いて学習する。従って、渡英して初めて驚くのは、聞き慣れないイギリス英語の発音ではないだろうか。日本で出版されている英和辞典においても、アメリカ式とイギリス式で単語の発音が異なる場合、イギリス式の発音は紹介されている。しかし、アメリカ式、イギリス式の順で表記されており、日本人の英語学習者がその違いを意識して学習しているとは考えにくい。ホーム・ステイ先の食卓やレストランで必要な ‘Could I have some water please?’ (お水いただけますか。) における ‘water’ の発音ひとつを例にあげても、アメリカ式とイギリス式の発音の違いに驚くであろう。しかし、「郷に入っては郷に従え」で、アメリカではアメリカ式に、イギリスではイギリス式に発音した方が、話は早く、理解してもらいやすい。

高等専門学校生にとって必須ともいえる TOEIC 試験 (Test of English for International Communication) のリスニングにおいても、英語の変種 (アメリカ英語以外の英語) が扱われており、例えば、過去の試験では、イギリス英語の口語表現である ‘peckish’ (小腹がすいた) が出題されたことがある。また、‘schedule’ (スケジュール) という単語がアメリカ式の発音 /skédʒu:l/ ではなく、イギリス式の発音 /ʃédju:l/ で発音され、出題されたこともある。従って、アメリカ英語に加えて、イギリス英語の語彙や音声に親しむことは、TOEIC 試験のスコアを上げるための対策としても、有用であると思われる。

次に、語彙について、アメリカ英語とイギリス英語では、同じものを異なる語彙で表現することがある。‘chips’ は、アメリカでは「ポテトチップス」を指すが、イギリスでは「フライドポテト」を指すことは有名である (図4のフィッシュ・アンド・チップス参照)。ちなみに、アメリカ英語では「フライドポテト」を ‘French fries’、イギリス英語では「ポテトチップス」を ‘crisps’ と言うので、自分が食べたいものを的確に伝えるためには、覚えておく方がよいかもしれない。

その他、イギリス英語で「エレベーター」は、‘elevator’ の代わりに ‘lift’、「街の中心地」は、‘downtown’ の代わりに ‘city centre’ (‘center’ はアメリカ式のつづり) が使われる。また、例えば、‘centre’ や ‘woollen’ のように、アメリカ英語とイギリス英語では、同じ語彙でもつづりが異なることがある (図5と図6参照)。その他たくさんあるが、ここでは紙面の都合上、詳細にはふれない。



図4 英国料理として有名な Fish and Chips

さらに、イギリス英語の文法では、‘have’ (持っている) の代わりに、‘have got’ を使う。従って、「～がありますか」と尋ねる時、‘Do you have ~?’ の代わりに、‘Have you got ~?’ が使われる。熟語表現でも、アメリカ英語とイギリス英語では、使われる前置詞が異なることがある。例えば、アメリカ英語では、「週末に」を ‘on the weekend’ と表現するが、イギリス英語では ‘at the weekend’ となる。また、英国人は、男性も女性も ‘lovely’ (美しい、すばらしい、すてきな、楽しい) という形容詞を頻繁に使うが、アメリカ人であるウォームズレー⁴⁾によると、アメリカ人の男性は、この言葉は決して使わないということである。筆者がお世話になったイングランド人のホスト・マザー

や女性の大学の先生は、「ありがとう」という場面で、
‘Lovely, thank you’. (どうもありがとう。) という表現
を使っていて、お礼を言う場面での ‘lovely’ の表現は
初めて聞いたので、とても印象的に残っている。

また、英国を含めて、ヨーロッパでは建物の階の数
え方が、アメリカとは異なる (図 7 参照)。アメリカは
日本と同じように、1 階から、‘first floor’、‘second floor’
と数えるが、英国では、1 階を ‘ground floor’ (地上階)、
2 階を ‘first floor’、3 階を ‘second floor’ と数える。従
って、この慣習に不慣れな場合にはしばしば混乱する
ので、ロンドンのデパート内の案内板で、不慣れな旅
行者のためなのか、‘Ground floor’ の表記に加えて、
‘this floor’ (この階) という説明を見かけたことがあ
る。地階は通常 ‘basement floor’ というが、日本人が
国際線の飛行機で到着するロンドン・ヒースロー空港
における表示には特徴がある (図 7 参照)。一階が
‘ground level’ と表記され、数字だけの場合は、‘0’ (ゼ
ロ) と表示される。さらに、地下一階は ‘Level minus 1’
(マイナス 1 階) というように、マイナス表示されて
おり大変興味深い (図 7 の右下を参照)。

3 英語のコミュニケーション

英国に限らず、日常の生活の中で、見知らぬ人に挨拶
をすることや、どんな人に対しても敬意を表すこと
は、コミュニケーションを円滑にする。例えば、レジ
で精算をする時、あるいは、バスで運転手さんや駅の
切符売り場で駅員さんからキップを買う時、自分の要
件を話し始める前に、必ず、‘Good morning!’ や ‘Hello!’
や ‘Hi!’ などの挨拶で始める。要件が終わったら、
‘Thanks’. または ‘Thanks very much’. とお礼を言った
後、必ず、‘(I hope you) Have a good / nice / lovely day!’
(よい一日を!) で会話を締めくくる。このような会話
は、相手にも心地よく、にっこりと笑顔を見せてくれ
ることも多い。「よい一日を。」と、こちらが言う前に、
相手から言ってくれることも多い。その場合は、‘You
too!’ (あなたも!) と返答する。どんな人にも丁寧な表
現で話しかけることは、相手を尊重することになる。
このことは、自分が丁寧に対応してもらうことにつな
がり、お互いに気持ちがいい。



図 5 イギリス英語のつづり (1) ‘centre’



図 6 イギリス英語のつづり (2) ‘woollen’



図 7 ロンドン・ヒースロー空港駐車場の表示
(1 階と地下 1 階の表示)

道ですれ違う人、エレベーターなどの狭い場所で居合わせた人に、簡単な挨拶、例えば、‘Good morning!’ や ‘Hello!’ や ‘Hi!’ などと声をかけることは大切である。大勢の人が行き交うような場所では、いちいち声をかける必要はないが、このような挨拶は「私はあなたの敵ではありません。あなたを傷つけません。」と伝える意図がある。「敵ではない」という姿勢を見せることは、特に、アメリカなどの銃社会においては、相手から誤解によって攻撃されることを避ける、即ち、自分の身を守ることに繋がると考えられる。

海外のマナーとして、ドアを開けたら後ろの人が入りやすいように手を添えて待つことや、レディーファーストなどの配慮も必要である。また、狭い場所ですれ違う時には道を譲り、‘Sorry’. や ‘Excuse me’. や ‘Thank you’. など、一言声を掛けると、お互いに気持ちがいい。

厳密には、場面に応じて求められる表現（丁寧さの度合い）は変わってくるが、片言の英語でも構わないので、なるべく丁寧な表現を話すことを心がけたい。特に、日本人は英語が苦手であるので、文法を一生懸命考えながら話すうちに、知らず知らずにぶっきらぼうな表現になってしまい、相手に不快な思いをさせてしまうことがある。‘please’ は 表現を丁寧にする「魔法の言葉」であり、ネイティブ・スピーカーは幼少の頃より ‘please’ を使うように厳しく躾けられるそうである。また、下がり調子でいうと命令のように聞こえるので、上がり調子で言うなど、音調にも気をつけなければならない。

周りのネイティブ・スピーカーがどのように話しているのかを聞いて、まずは真似をすることから始めるとよいと思う。次第に、場面にあふさわしい表現が身についてくる。例えば、マクドナルドやスターバックスのような店で注文する場合には、‘Can I have ~?’ でも良いが、座ってサービスを受ける店では、より丁寧な表現である ‘Could I have ~?’ で注文する。日本では「サービス」という言葉は「無料」を意味するが、欧米では「サービス」とはお金を払って受けるものであり、「チップ」はその一例である。私たちが心地よく食事し、お茶を飲むためにしてくれる「サービス」に対して、対価を支払わなければならないし、その場面に相応しい言葉遣いを心掛けなければならない。

4 英国における生活

4.1 ホーム・ステイ

日本人の学生が英国で生活する場合、ホーム・ステイ、あるいは、大学の寮に滞在することが考えられる。英国には、ヨーロッパ中、あるいは世界中から語学留学する人を対象に、ホーム・ステイを有償で受け入れる家庭が多い。EU（欧州連合、European Union）には補助金の制度があるため、ヨーロッパ各国から、職業訓練の一環として英語を学ぶためや、大学の A レベル（高等教育機関に入るための資格試験）のために語学留学をする人が多い。ヨーロッパ大陸からは、飛行機に加えて、ユーロスター、フェリー、バスなど、さまざまな交通手段で入国できる。フェリーを使って車で海を渡る学生もいる。

ホーム・ステイは、学生の希望（家族構成・ペット・宗教・食事・アレルギーなど）と、受け入れ先の家庭でマッチングを行い、現地の一般家庭に有償で住むことである（図 8 参照）。ホーム・ステイ終了時にはアンケートがあり、留学生の感想がホスト・ファミリーにフィードバックされるような仕組みになっている。従って、留学生ができるだけ心地よく過ごせるようにホスト・ファミリー側も配慮する。1 年の間に入れ替わり何十人もの留学生を受け入れるような家庭では、国も文化も違う留学生とのトラブルを前もって避けるため、細かく生活のルール（house rules）が定められているところがある（図 9 参照）。例えば、図 9 では、ホスト・ファミリーが留学生に対してどのような援助が可能かという説明に加えて、食事、入浴時間、洗濯物に関するルールが細かく説明されている。



図 8 ホーム・ステイの部屋の様子（ベッド、勉強机など）

Some information about our home:

- Dinner is usually around 6pm but if you intend to eat out, please inform us the day before.
- Breakfast will be available in the kitchen each morning, please help yourself.
- If you have an excursion/trip booked at the weekend and would like a packed lunch please ask.
- If there are any foods that you don't like or are allergic to, please advise us.
- You are free to use the shower daily, but please limit the time the water is running to around 5 minutes to conserve water. Also others maybe waiting.
- Please do not shower after 9.30pm as the pump is quite loud.
- Please feel free to make tea and coffee whenever you would like one.
- If you are having trouble with your homework please ask for assistance.
- A TV is provided in your room but you are more than welcome to join us downstairs.
- There are many things to see and do in the local area if you require any information please ask.
- Please keep any laundry in your room until Karen asks for it.

図9 ある家庭におけるホーム・ステイのルール

ホーム・ステイは、ホテルに滞在するのとは異なるので、部屋に閉じこもるのではなく、家族の一員として、食事の準備や後片付け、洗濯などの家事を手伝う。起床時間や出勤・登校時間が異なるので朝食は家族と一緒にとらないこともあるが、基本的には、夕食は家族と一緒にとる。一日の出来事について話したり、大学の授業でわからなかったことや宿題を教えてもらったり、居間で一緒にテレビを見たりする。このように、現地の家庭で生活を共にしながら、旅行者としてホテルに数日間滞在するだけではわからない言葉や文化を学ぶ。海外で生活してみると、日本では当たり前のことが、実際には世界で当たり前でなく、日本文化と外国文化の違いに改めて気づかされることも多い。

特に、長期間滞在する場合には、ホーム・ステイ先との相性も重要であると思われる。どうしても相性が悪くホーム・ステイ先を変更したい場合には、学校などに変更を依頼するが、前もって届けなければならず、違約金のような形でお金を余分に取られることもあるため、容易ではない。しかし、留学生が学校で友人関係のトラブルに見舞われた時に、ホスト・ファミリーが留学生の家族としてサポートにまわり、学校側に状況を説明して援助を依頼してくれた例もある。これは、留学生と日々会話をする中で留学生が置かれている状況をよく理解し、学校側に何度も掛け合ってくれたいい例であり、親元を離れている留学生にとっては、大変心強かったに違いない。

4.2 生活習慣の違い

ホーム・ステイ生活において、おそらく日本人が一

番困ることは、言語の違いによるコミュニケーションを除けば、トイレ、お風呂、洗濯であると思われる。特に、ホーム・ステイ先でまず驚くのは、トイレの便座の冷たさと、トイレと同じ空間にあるお風呂の寒さである。英国文化や生活をユーモアたっぷりに描いた *The How To Be British Collection*⁵⁾ においても紹介されているが、英国のユニットバスは、英国人も認めている通り、少々悪名が高いようである。おそらく大部分の日本人は、日本では毎晩風呂に入る習慣があると思われるが、日本より緯度が北にあって1年の大半が寒い英国で、家人が誰も入らずに冷え冷えとした風呂(シャワー)に入るのは、大変勇気がいるのである。

ホーム・ステイ先によっては、入浴時間が厳しく制限されている場合があり、例えば、夜9時半まで大学講義や現地の文化を学ぶ活動(‘social activities’)に参加する場合には、風呂を諦めなければならないことがある。夜がダメならば朝入ろうとすると、出勤前にシャワーを浴びる家人と同時刻になり、これも困るのである。また、別の家庭では、蛇口をひねればすぐにお湯が出るのではなく、スイッチを入れ、青い大きなタンクにお湯が溜まるのを待ってから風呂に入る。タンクのお湯を使い切ると、再び溜まるまで待たなければならない。次に入浴する人のことを考えると、自分が使うお湯の量を考えなければならない。

高等専門学校の寮生活において、どれぐらいの頻度で洗濯をしているのか鹿児島工業高等専門学校の学生に尋ねたところ、性別やクラブ活動の有無に関係なく、毎日洗濯していると答えた人が多かった。英国においては、キッチンのシンクの下に洗濯機が置いてあることが多く、ホーム・ステイ先で初めて見た時は大変驚いた。洗濯の頻度も、日本人に比べると多くはなく、例えば、一週間に一回程度、家人と留学生の分をまとめて洗う。その場合、うっかり声をかけてもらえないと、靴下が足りなくなることがある。また、恥ずかしいという理由で洗濯物をホーム・ステイ先をお願いできない人もいるが、自分で手洗いして部屋干しすることは、湿気が家を傷めるという観点から大変嫌がられるのでしない方がよい。

‘English weather’ と言えば、世界的に有名な「天気が悪いこと」の代名詞で、アメリカのニュー・イングランド地方で連日天気が悪かった時にも、クラスメートと、「やっぱり(New) Englandだからね。」と笑いあったことを覚えている。世界でも有名なぐらい天気が変わりやすい英国では、毎日傘を持ち歩かなければならないが、洗濯物を乾燥機にかけるのではなく、日光に干すことを好む家庭もある。日光に干す場合は、

‘revolving line’ または ‘rotary washing line’ と呼ばれる風が吹くと回転する物干しに干す（図 10 参照）。このタイプの物干しは、英国と同じヨーロッパのスペインから来た同級生にとっても珍しいものであるようだった。



図 10 ホーム・ステイ先の回転式の物干し

次に、ホーム・ステイ先でタオルが借りられる場合においても、どれぐらいの頻度でタオルを取り換えるのか（洗うのか）という感覚が異なることがある。同じ日本人の間でも生活習慣に違いがあるが、文化が違うとその差が大きくなることもある。そのような場合は、相手の都合を聞いて、こちらの希望をお願いするという姿勢が必要である。日本人は「察する」という文化があるが、海外においては言葉で話さなければ伝わらない。気づいてもらうことを期待せずに、こちらから尋ねて、お願いしてみることが必要である。

ロンドンに出かける際に、ホスト・マザーからアドバイスされたのは、「公共トイレ（city loo）に入る際には小銭が必要だから、準備するように。」ということだった。イングランド人のお母さんも、初めてロンドンに行った時に、トイレが有料でびっくりした経験があるとのことであった。なるほど、ロンドンのテムズ川沿いにある公共トイレは有料で、小銭を入れるとバーが開く方式であった。入り口には、必要な小銭を持っていない人のために、両替スタッフが待機していた。ロンドンのような大都会と比較すると安価であるが、英国の観光地として日本人に有名なコッツウォルズでは、旅行者向けのインフォメーション・センターの隣の公衆トイレは、10 ペンスであった。また、バス停前の教会に設けられた公衆トイレ（‘public conveniences’ との表示があった）は、20 ペンスであった。必要なコ

インがない場合には、近くの店で買い物をするなどして、小銭を用意する必要がある。また、駅にトイレの標識があっても、安全上の理由からか、鍵がかけられていたり、トイレットペーパーが切れていたり、使えないこともある。

ショッピングの時にも、デパートや書店では建物の最上階に行かない限り、トイレはなく、どこでも比較的簡単にトイレが見つかる日本とは事情が違う。同じヨーロッパのオランダにおいても、駅のトイレは小銭を入れる方式であり、カフェのトイレの入り口には、チップを入れる皿が置いてあった。アメリカのニューヨークのデパートでも、最上階に一箇所しかトイレがなかったと記憶している。このように、外国では、いつでもどこでもトイレに入れるわけではないので、観光施設を見学したり、食事をしたり、カフェで休憩する際に、必ず済ませておかなければならない。英国をはじめ海外では、日本で当たり前のことが当たり前ではなく、トイレは無料でいつでもどこでも入れる場所ではない。

5 英国の風景

英国人は古いものを大切にする。何百年も変わらず、同じ姿で保存されている建物は、決して歩きやすいものではなく、頭を打ちそうになるような場所には、‘Mind your head’.（頭にご注意ください。）、思いがけなく段差や階段があるところには、‘Mind your step’.（足元にご注意ください。）という表示を見かける。

2013 年は、英国が世界で一番早く地下鉄を走らせた 1863 年から 150 周年記念である。ロンドンの地下鉄（The Tube）でよく聞く表現に ‘Mind the gap’.（すき間にご注意ください。）がある。世界で一番早く走らせたということは、世界で一番古いということである。ロンドンの地下鉄の構内は丸く、車両がぎりぎりに走るような大きさで、走行中に電気がチカチカする（図 11 参照）。オリンピックの際には、会場までいかに早く選手や観客を移動させるかということが問題になり、日本の日立の高速鉄道（Javelin trains）が導入された。

英国では、古い建物はリストに載り、勝手に外観を変えることは許されない。内装に関してはリフォームし、時代に合わせて快適に暮らしているが、外装を修理するなど手を加える場合には、その地域の役所の許可が必要である。英国では、古いという理由で、建築物の価値が下がることはない。筆者がホーム・ステイでお世話になったアパート（イギリス英語では、‘apartment’ は、‘flat’ という）も、築 150 年以上の建

物であった（図 12 参照）。このように英国では、長い年月を経た建築物は価値があり保存される。木造建築で、20 年から 30 年すると建物の価値がなくなり、新しい家やマンションほど値段が高い日本とは、全く逆の価値観である。



図 1 1 ロンドン地下鉄（The Tube）の駅構内



図 1 2 築 150 年以上のアパート（Flat）の外観

英国人に人気の高い趣味に、‘DIY’（‘Do It Yourself’、日曜大工）とガーデニングがあるが、両方とも家に手を加えることである。散歩しながら、季節ごとの花木で手入れされたイングリッシュ・ガーデンを見ることは、英国訪問の一番の楽しみである（図 13 と図 14 参照）。例えば、日本では外来種で、雑草のセイタカアワダチソウ（‘goldenrod’）が観賞用の花として、一般家庭やお城のイングリッシュ・ガーデンに植えられているのを見た時は大変驚いた。しかし、イングリッシュ・ガーデンの中では、セイタカアワダチソウも、それな

りに趣があるものである（図 14 参照）。



図 1 3 イングリッシュ・ガーデン
（5 月、忘れな草とピオニー）



図 1 4 イングリッシュ・ガーデン
（8 月、あじさいと goldenrod [セイトカアワダチソウ]）

英国人は家を手に入ると、趣味の DIY で内装をリフォームする（図 15 参照）。例えば、古くなった壁紙を剥ぎ（stripping）、サンドペーパーでならし（sanding）、2 種類のペンキを塗る（priming & painting）。さらに、‘beading’ と呼ばれる模様のある装飾用の木片で飾る（図 15 の右の写真参照）。ホームセンターに行くと、いろいろな模様の ‘beading’ が売られていて、お城のような立派な建築物で用いられるような装飾を、自らの手で家に施すことも出来る。英国では、家に手を加えることにより、家の価値はさらに高まり、「価値を高めてから売る」という不動産の投資の意味合いも強い。



図 15 DIYの様子

(DIY用のペンキと beading で装飾を施している壁)

英国の田舎町では、路上駐車のために車の離合がままならない通りを見かける。道路をよく見ると、歩道と道路の間に、オレンジ色の線が一本引いてある道路と、二本引いてある道路がある。二重線の部分は「駐車禁止」で、一本の場所は「駐車可」の意味である。よって、駐車可の場所を取り合って車がひしめき合うことになる。英国には古い建物が多く、古い建物が並んでいる通り自体も古い。従って、車が發明される以前の都市計画のために、家に駐車場がないところも多い。町の中心部では、日本でよく見かけるような有料の駐車スペースが路上にあるが、中心部からはずれると、路上が駐車場になっていることも多い。

最後に、英国の郵便は‘Royal mail’と呼ばれ、ポストには王冠と共に、ポストが設置された当時の君主の頭文字が書いてある(‘royal ciphers’) ⁶⁾。例えば、‘E II R’とは、‘Elizabeth II Regina’ (エリザベス II 世) のことであり一番よく見かける。‘VR’とは、‘Victoria Regina’ (ヴィクトリア女王) のことであり、治世は 1837 年から 1901 年である。郵便ポストはヴィクトリア女王の時代に初めて作られ、そのポストが現在でも普通に使われていることに驚く。さらに、‘GR’と書かれたポストを見かけることがあるが、これは ‘George Rex’ (ジョージ王) のことである。君主の性別によって ‘Rex’ と ‘Regina’ を使い分ける。英国にはこれまで 6 名のジョージ王がいるので、何世と明記がない ‘GR’ は、英国人にとっては、どのジョージ王なのか気になるようであるが、‘GR’ とは郵便ポストが創設されてから最初のジョージ王である、ジョージ 5 世 (治世は 1910 年から 1936 年) のことである。エリザベス女王の父、ジョージ 6 世 (治世は 1936 年から 1952 年) とは、‘royal cipher’ は区別される (図 16 参照)。恋人のために王位を捨てたエドワード 8 世の治世 (1936 年) は大変短いので、エドワード 8 世の ‘royal cipher’ がついたポストを見つけることは難しいと思われるので、見つけた人はラッキーと言えるかもしれない。



図 16 郵便ポストの Royal Ciphers

左上: V R, ヴィクトリア女王 (1901 年まで)

右上: E VII R, エドワード 7 世 (1901 年から 1910 年)

左下: G R, ジョージ 5 世 (1910 年から 1936 年)

右下: G VI R, ジョージ 6 世 (1936 年から 1952 年)

ポストの形については、細く丸いものもあれば、大容量の郵便を扱うことができる、やや太めの楕円形のものもある。さらに、図 16 の左上の写真のような、角柱もあれば、塀に埋め込まれた四角のものなど、さまざまである。また、ポストの色については、通常見かけるポストは赤であるが、エリザベス女王が住むウィンザー城近くには、緑色のポストも見かける。同じウィンザーには、かつてエアメール用として使われていた青いポストが、メモリアルとして赤いポストの隣に残されている (図 17 参照)。



図 17 ウィンザーにあるポスト (赤い E II R と青い GR)

ロンドン・オリンピックの折には、金メダルをとった選手の出身地にはゴールドのポストが置かれると話題になっていたので、今後、運が良ければ、金色に塗り替えられたポストに出会うことがあるかもしれない。

6 おわりに

これまでずっとアメリカ英語を勉強してきたので、筆者にとってイギリス英語は目新しく、英国に出掛けるたびに、何かしらの新しい発見がある。また、英国では、見るもの聞くもの、そのすべてが大変興味深い。特に、2012 年はエリザベス女王の即位 60 周年とロンドン・オリンピック、パラリンピックの年であり、日本に居ても英国のニュースを見聞きすることが多く、特別な年であった。

海外に行く楽しみのひとつは、生まれも育ちも、国も母語も違う者同士がたまたま出会い、ほんのわずかな間ではあるが交流できることである。このような交流を可能にするのが「英語」という共通の言語である。コミュニケーションの手段としての「英語」を身につければ、仕事や勉強の幅が広がるように思われる。加えて、言語と文化は切り離すことが出来ないのも、英語で円滑なコミュニケーションを図るためには、その言葉が話されている文化も理解しなければならない。自らの文化と英語の文化の両方を理解した上で、日本人は日本人なりの英語で、自らの意思を伝えられるようになりたいものである。

謝 辞

いつも快く英国へ送り出していただきました鹿児島工業高等専門学校教授の鞍掛哲治先生に、心からお礼申し上げます。英国文化に関する数々の講義に出席することを許可していただいたヒルダーストン・カレッジのローソン先生に、この場を借りてお礼申し上げます。最後に、渡英に際していろいろな助言をいただきました帝京中学校・高等学校の曾我直美先生にも、心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) <http://www.royal.gov.uk/MonarchUK/Symbols/DiamondJubileemblem.aspx>
- 2) カール・R・トゥーヒグ：「イギリス英語 Total Book」ベレ出版, 2001.

- 3) 小川直樹：「イギリス英語でしゃべりたい！」研究社, 2009.
- 4) ジェーン・ウォームズレー：「イギリス的生活とアメリカ的生活」河出書房新社, 1995.
- 5) Martyn FORD, Peter LEGON: *The How To Be British Collection*, Lee Gone Publications, 2003.
- 6) <http://www.wicks.org/pulp/stats.html>

小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」 におけるプログラムの開発

大竹 孝明[†] 山下 俊一^{†2} 山田 孝行^{†2} 脇園 好光^{†3} 川越 渚^{†3} 新納 時英^{†4} 中村 哲^{†4}

Development of an Educational Program for Manufacturing and Scientific Experimental Classes
“Kagoshima National College of Technology Day 2012” for Schoolchildren

Takaaki OHTAKE, Shunichi YAMASHITA, Takayuki YAMADA, Yoshimitsu WAKIZONO,
Nagisa KAWAGOE, Tokihide NIRO and Satoshi NAKAMURA

Kagoshima National College of Technology (KNCT) offers various manufacturing and scientific experimental classes for elementary and junior high school students in Kagoshima in order to develop creative human resources in the region and to raise children's interest in science. KNCT initiates community support activities, in partnership with educational institutions in the region, by holding open lectures on topics such as robot making and operation experience.

This paper reports the results of manufacturing and scientific experimental classes held in collaboration with Kagoshima Municipal Science Hall as one of the regional cooperation activities. This event is regarded as a part of KNCT's PR activity.

Keywords : Schoolchildren, Manufacturing, Scientific Experimental Class, Regional Cooperation,
Kagoshima National College of Technology, Kagoshima Municipal Science Hall

1 緒 言

鹿児島高専では、地域での創造的人材の育成と、子どもたちの理科離れを食い止めるための方策として、県下の小中学生を対象としたものづくり・科学講座を毎年多数開講している。これまでに、ロボットの製作・操作体験等の公開講座等、地域の教育界等と様々な形での連携による地域支援活動を実施してきた。

鹿児島市立科学館とも、共催事業である「鹿児島高専のロボットがやってきた」という行事等を行っている。

このようにして、平成 21 年度より、鹿児島市立科学館との連携（共催）により、科学工作実験教室やロボットの動作説明等の各種イベントを通じて科学に対す

る興味や関心を高め、夢や創造性を育む機会を設ける事業を計画し、独立行政法人科学技術振興機構(JST)の「平成 24 年度科学コミュニケーション推進事業 活動実施支援」に、“小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」”のテーマで、平成 21 年度より連続して採択された。

本企画を、鹿児島高専を地域へ広く PR し、科学技術者育成を行う本校への志願者増に向けた広報活動の一環とも位置づけ、科学実験教室や展示等を計画し、平成 24 年 8 月 19 日（日）に鹿児島市立科学館にて実施した^{1), 2)}。

2 本企画の目的、周知活動と各機関の役割

本企画の目的を、次のように設定した。

地域での創造的人材の育成と、子どもたちの理科離れを食い止めるための方策として、小中学生の多い鹿

[†] 鹿児島工業高等専門学校 一般教育科理系

^{†2} 技術室

^{†3} 総務課

^{†4} 鹿児島市立科学館

児島市に立地する鹿児島市立科学館との連携（共催）により、工作実験教室や科学実験教室及びロボットの動作説明等の各種イベントを通じて科学に対する興味や関心を高め、夢や創造性を育む機会を設ける。

また、本企画により、工学系の高等教育機関である鹿児島高専を地域へ広くPRし、科学技術者育成を行う鹿児島高専への志願者増に向けた広報活動の一環に位置づける。

これらの目的を達成するために、展示・実験及び科学実験教室等の企画を次のような事業内容で実施した。

事業名：独立行政法人科学技術振興機構(JST)平成24年度科学コミュニケーション推進事業 活動実施支援採択

小中学生のためのものづくり・科学教室

「鹿児島高専の日2012」

主催：鹿児島工業高等専門学校、鹿児島市立科学館

開催日時：平成24年8月19日（日）10:00～16:00

実施場所：鹿児島市立科学館（鹿児島市）

対象者：小中学生、一般

担当者：鹿児島高専教職員他50名、学生49名、

鹿児島市立科学館職員10名

イベントの開催日や実施内容及び工作教室等の応募方法については、鹿児島市立科学館により、新聞や市民広報誌への掲載によって広く案内し、より多くの参加

者を募る広報を行った。鹿児島高専は、図1及び図2に示すようなポスター、チラシを作成し、会場の鹿児島市立科学館が位置する鹿児島市内、鹿児島高専の所在地である霧島市内及び隣接する姶良市の小中学校へ配布し広く案内した。

また、鹿児島市立科学館及び鹿児島高専とも、それぞれのホームページ上にイベント開催の案内を掲載し、広く一般に周知した。

なお、当日使用するテキスト、パンフレット類も、学内の各学科及び技術室で作成して当日配布した。

鹿児島高専は、平成15年に日本技術者教育認定機構(JABEE)の認定審査「教育プログラム名：環境創造工学」に合格し、JABEEの認定校となっている。その中で国際性を持った教養豊かな人間を育て、個性的で創造性に富んだ開発型技術者を育成している。また、産業と社会を持続的に発展させていくために、地域での創造的人材の育成と、子どもたちの理科離れを食い止めるための方策がぜひとも必要であり、地域の産業界や教育界等と様々な形での連携による公開講座や人材育成事業を実施している。今回の事業については、科学実験教室等の講師や助手等、企画及び運営全般を担当した。

鹿児島市立科学館は、各種展示物や特別イベント、工作教室、実験教室を通じて、科学に対する青少年育成を行っており、会場や設備の提供及び小中学校等への周知活動を担当した。



鹿児島工業高等専門学校
Kagoshima National College of Technology

鹿児島高専の日2012

in 鹿児島市立科学館

小中学生のためのものづくり・科学教室

8/19日 10:00～16:00

- ▶**機械工学科**
コンピュータでロボットを動かそう！
スターリングエンジンの世界！
★ポンプ船を作って走らせよう！
- ▶**電気電子工学科**
体験！エネルギーとエレクトロニクスショー
★体験！超電導エレクトロニクス工作
- ▶**電子制御工学科**
体験しよう！電子制御の世界
★板道を下るトコトロボットを作ろう
- ▶**情報工学科**
体験、情報工学。
- ▶**都市環境デザイン工学科**
目に見えない世界を観察してみよう！
★折り紙建築
- ▶**一般教育科理系**
★アルコールケットで宇宙へ！
★サッカーボールを作ろう！
- ▶**都城高専一般化学**
★立体ジャポン玉、使い捨てカイロ

※参加費は無料です。中学生は科学実験教室に別途参加費がかかります。

主催：鹿児島工業高等専門学校・鹿児島市立科学館

TEL 099-250-8511 FAX 099-256-1319

図1 開催案内のポスター



小中学生のためのものづくり・科学教室
「鹿児島高専の日2012」科学実験教室募集

●募集期間 平成24年8月2日(木)～
●受付機関 鹿児島市立科学館
TEL 099 (250) 8511

※お電話にてお申込みください。
申し込み順に受け付けます。
定数になり次第、締め切ります。
※入館料・材料費は無料です。

テーマ① 紙トンボを作ろう 紙トンボを作ってみよう。紙と竹ひし。接着剤、ホッチキスを用いてバランスのとれた紙トンボを作ってみよう。	●実施時間／ 10:00～11:30 ●対象者／小学5・6年生 中学生 ●募集人数／10名
テーマ② あなたもUFOキャッチャーの名手 モーターと電磁石をコントロールして、UFOキャッチャーの動きをさせるプログラムを作成し、実際に動かしてみよう。最初はスイッチボックスで自動作動の動きを制御し、その後コンピュータを用いてUFOキャッチャーの制御プログラムを作成しよう。	●実施時間／ 10:00～11:30 ●対象者／中学生 ●募集人数／15名
テーマ③ ～電呼！簡単、電子回路工作～ 電気で音と光を操ろう。電気で音と光を操ろう。電気で音と光を操ろう。電気で音と光を操ろう。	●実施時間／ 12:30～14:00 ●対象者／小学5・6年生 中学生 ●募集人数／12名
テーマ④ 安心・安全・美味しい水 先ず、安心・安全・美味しい水について学ぶ。実際に試飲した水に美味しい水の味を付けて、なぜ美味しく感じるかを試飲水の性質から知る。	●実施時間／ 12:30～14:00 ●対象者／小学5・6年生 中学生 ●募集人数／20名
テーマ⑤ 4足歩行ロボットを作ろう 電池で回るモーターの回転を違う動きに変えてみよう。たった1個のモーターで4本の足を動かして、のびのびと歩かせるロボットを作ってみよう。	●実施時間／ 14:30～16:00 ●対象者／中学生 ●募集人数／10名
テーマ⑥ ライトレーザロボットを作ろう ライトレーザロボットを目的の動きに動かすプログラムをパソコンで作ってロボットにインストールして動かしてみよう。誰のロボットが早く、間違いなく目的地に着くか競争しよう。	●実施時間／ 14:30～16:00 ●対象者／中学生 ●募集人数／10名

図2 科学実験教室受講者募集チラシ

3 科学実験教室等の活動内容と成果

活動内容(対象者, 時間帯)については, 表 1 に示すように, 科学実験教室とロボットによる演奏・紹介や各科の科学実験, 学校紹介等を企画した。

I の科学実験工作教室では, 事前応募した小・中学生に対して, 電子工作, ロボット制御プログラム操作等の六つのテーマを設定した。

なお, 図 3 に, 「あなたも UFO キャッチャーの名人」と「ライントレーサロボットを作ろう」の科学実験工作教室で利用した装置及び作成した工作物を示す。

II のロボットによる演奏・紹介や各科の科学実験, 学校紹介等については, 鹿児島市立科学館の一般来館者を対象とし自由見学・体験操作としたが, 高専で製作した音楽ロボットによる演奏会, 学生が製作した高専ロボコン大会出場ロボットの展示・紹介, 学校紹介(学校説明会, パネル展示や資料配付), 一般来館者(小中学生)向け科学実験工作教室並びに学内の 5 学科による科学実験や展示の五つの企画を実施した。

一般来館者の内訳は, 大人 710 名, 子供 480 名の合計 1,190 名であった。

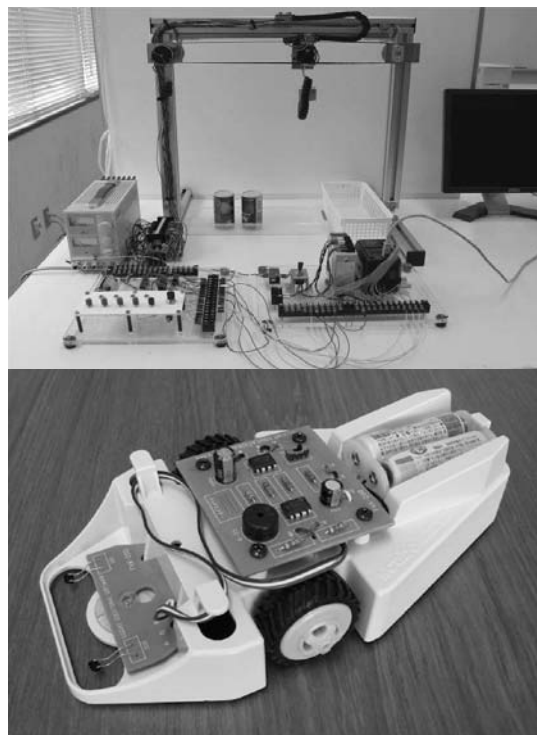


図 3 科学実験工作教室の装置及び工作物
(上: あなたも UFO キャッチャーの名人
下: ライントレーサロボットを作ろう)

表 1 活動内容と対象者及び実施時間帯

I 科学実験工作教室	小学校 5,6 年生及び中学生 計 75 名 (事前応募)
①紙トンボを作ろう	小学校 5,6 年生及び中学生 10 名, 10:00~11:30,
②あなたも UFO キャッチャーの名人	中学生 16 名 10:00~11:30
③～嗚呼! 簡単, 電子回路工作～	小学校 5,6 年生及び中学生 12 名, 12:30~14:00
④安心・安全・美味しい水	小学校 5,6 年生及び中学生 17 名, 12:30~14:00
⑤4 足歩行ロボットを作ろう	中学生 10 名, 14:30~16:00
⑥ライントレーサロボットを作ろう	中学生 10 名, 14:30~16:00
II ロボットによる演奏や各科の科学実験工作等	鹿児島市立科学館の一般来館者 計 1,190 名
①演奏ロボットの展示及び演奏	10:00~16:00(演奏 13:00~), フルートとロボット演奏
②学生が製作したロボットのパネル展示及び紹介	10:00~16:00, 高専ロボコン全国大会出場ロボット
③鹿児島高専学校紹介 (学校説明会)	11:00~12:00, 14:00~15:00, 資料配付, パネル展示
④一般来館者(小中学生)向け科学実験工作教室 (機械, 電気電子, 電子制御, 都市環境デザイン 工学科, 一般教育科(物理・数学)及び都城高専・ 一般化学)	10:00~16:00, ポンポン船を作って走らせよう!, 体験! 超簡単エレクトロニクス工作, 坂道を下るトコトコロボットを作ろう, 折り紙建築, アルコールロケットで宇宙へ!, サッカーボールを作ろう!, 立体シャボン玉, 使い捨てカイロ
⑤機械, 電気電子, 電子制御, 情報, 都市環境デザインの各工学科による展示及び科学実験	10:00~16:00, コンピュータでレゴロボットを動かそう!・スターリングエンジンの世界!, 体験! エネルギーとエレクトロニクスショー, 体験しよう! 電子制御の世界, 体験 情報工学, 人が憩えるまちづくりをめざして, 目に見えない世界を観察してみよう

一方、六つの科学実験工作教室は、公開講座形式で小学校 5、6 年及び中学生の応募者に対して実施した。

75 名の受講者があり、小学校 5、6 年が 26 名、中学生が 49 名であった。

イベント終了時の 16 時には、1,190 名の入館者があり、市立科学館及び本校の担当教職員並びに学生等各方面の協力により、計画していたイベントは全て予定通り無事に終了することが出来た。

図 4 には、公開講座型の科学実験工作教室の「ライトレーサロボットを作ろう」、図 5 には、電気電子工学科による実験や展示の「体験！エネルギーとエレクトロニクスショー」、図 6 には、都城高専一般化学の森教授による小中学生向けの工作教室の「立体シャボン玉」、図 7 には「演奏ロボットの展示及び演奏」の様子を示した。来場者も多く、小中学生ばかりではなく引率の保護者等も興味を示し、また、本校学生による説明等も有意義なものとなり、科学技術教育の推進及び理科離れ対策に貢献できたと思われる。

受講者及び一般来館者へのアンケートでも、良い企画であり、来年度の継続を希望するという意見が多かったが、参加者へのアンケート用紙が小学生以下と中学生以上で若干異なっていたので、それぞれについて集計し検討した。総数が 82 名で、小学生以下が 51 名、中学生以上が 31 名であったので、数の多い小学生の結果について、以下に述べる。

アンケート項目の中で重要と思われる「参加した感想」、「また参加したいか」、及び「誰から聞いたか」について検討を行った。

なお、中学生以上のアンケート結果については、設問がやや異なっているため正確には比較できないが、本事業の満足度等やや厳しい結果が出ているものの、ほぼ同じような結果が得られた。

小学生以下については、アンケート数が 51 名であったが、半数以上が 5、6 年生の高学年であった。

まず、図 8 に示したように、「参加した感想」については、「とても楽しかった」と「まあまあ楽しかった」



図 4 公開講座型の科学実験工作教室
「ライトレーサロボットを作ろう」



図 6 一般来館者向けの科学実験工作教室
「立体シャボン玉(都城高専一般化学)」



図 5 電気電子工学科の展示及び科学実験
「体験！エネルギーとエレクトロニクスショー」



図 7 演奏ロボットの展示及び演奏
「演奏ロボットとの共演(フルート)」

を合わせると 100% となり、ほとんどの園児や児童が楽しいと感じたようである。ただ、自由記述欄で「工作の種類を増やして下さい。」との回答もあり、科学工作実験等をさらに検討することが必要である。

次に、「また、参加してみたいか」については、図 9 に示したように、「とてもやってみしたい」と「まあやってみしたい」を合わせると約 98% とほとんどの参加者が今回の催し物に満足し、来年度の開催を楽しみにしているようであるが、「あまりやりたくない」が約 2% あり、これは、中学生向けの実験工作教室が多く、内容が小学生には少し難しかったのではないと思われる。対象年齢についても、再検討していきたい。

最後に、図 10 に示したように、「今日の活動のことを誰から聞いたか」との質問に対しては、「家の人から」が約 67%、「学校の先生から」が約 10%、「お友達から」が約 8%、その他で、「チラシ」、「来館して知った」、「友達の母親から」や「インターネット(本校のホームページ)」等があった。このように、多くが何らかの方法で開催を知り参加しており、県内の学校へのチラシ・ポスターの配布や新聞への記事掲載や案内などの PR 活動の成果が出たようで、広報活動の効果が伺える。「家族から」が半数以上であるが、「学校の先生から」と「友人から」を合わせると約 85% となり、県内の学校へのチラシ・ポスターの配布の効果が大きかったようである。また、本校及び鹿児島市立科学館のホームページを見て尋ねてきた参加者も多かったと思われる。インターネットからの発信の影響は大きく、これからも多いに活用していく必要があると思われる。

「やってみたいことや気づいたことについての自由記述」では、ロボットや動力紙飛行機等を作ってみたいとの具体的な希望も多かったが(特にロボット)、「電子工作やプログラミングを行いたい」との意見もあり、工作教室、科学教室の要望が強いようである。また、「かなり専門的に教えてくれて嬉しかったです。」等、十分に手応えを感じてもらえたようである。

市立科学館と言う公設の施設との連携により、それぞれの特徴を補い合いながらお互いの強みを十分に発揮することができ、理科離れや科学技術教育の推進に大きく寄与できたことを実感した。

4 今後の課題

4.1 広報

ポスターについては県内全域(離島を除く)の小中学校に配布したが、チラシについては、予算の関係もあり、鹿児島市や霧島市など限られた地区にのみ配布し、

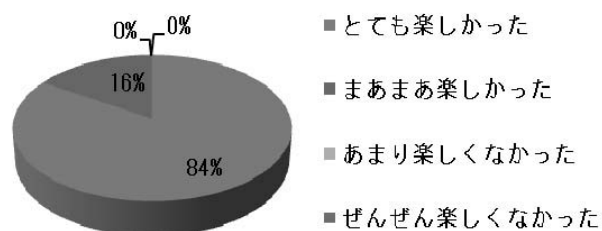


図 8 参加した感想 (小学生以下)

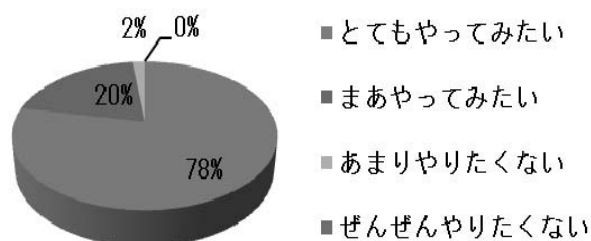


図 9 また、参加してみたいか (小学生以下)

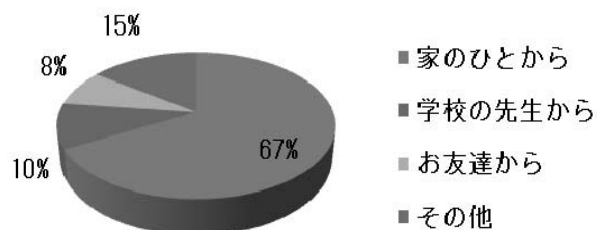


図 10 誰から聞きましたか (小学生以下)

事前応募型の実験教室の案内が十分ではなかった。ポスターだけではなく、チラシも鹿児島県全域の小中学校に配布できるようにする。

4.2 市立科学館内のイベント会場

実験工作教室のテーマをかなり増やしたため、担当者及び参加者も多くなり、非常に混み合った状況であった。

鹿児島市立科学館が本年3月にリニューアルオープンしたこともあり、会場のスペースと実験テーマの数等を再検討する。

4.3 実行委員会

実験教室のテーマを増やしたため担当者も昨年度より多くなり、実行委員会を立ち上げたが、確認等が十分でなかった面がある。一部の大きな設備以外、会場設営も当日の朝となり準備等が慌ただしくなった。

会場の鹿児島市立科学館への荷物の搬入及び設営等の日程を早くする等、再検討を行う。

実行委員会についても、前年度末に立ち上げる等早めに取り組み、確実に連携が取れるようにする。

5 結 言

平成 23 年度に引き続き、鹿児島市立科学館との共催事業として取り組んだ「鹿児島高専の日 2012」については、学内及び市立科学館等、各方面の協力で無事に終了することが出来た。多くの入館者、科学実験教室の受講者があり、報道機関については、地元の南日本放送(MBC)、鹿児島テレビ放送(KTS)及び南日本新聞社の取材を受け、後日、ニュースで放映され、記事が掲載された。

本事業は、前年度に引き続き、JST の地域活動支援の「平成 24 年度科学コミュニケーション推進事業 活動実施支援」に採択されたこともあり、各学科と技術室の広報委員会委員及び企画係で実行委員会を昨年度と同じように立ち上げ、準備段階から各学科、技術室及び事務部にご協力を頂いた。

鹿児島市立科学館からの依頼もあり、来年度以降も今回支援を受けた JST へ申請をしながら、開催の準備を進めていくつもりである。今回 4 回目の開催であったが問題点もあり改善すべき点も多く、今後も学内及び鹿児島市立科学館の協力を得ながらさらに検討していく予定である。

謝 辞

本事業については、本学の校長を初め、各科の実行委員（広報委員会委員）を中心とした科学実験教室、演奏、実験ならびに展示等の多くの担当者の協力、技術長を初めとした技術室の全面的な協力、企画係等の事務部門と本学の学生並びに鹿児島市立科学館と都城高専一般化学の森教授の協力、更に JST からの財政的面等多くの支援を頂いた。ここに、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大竹孝明, 山下俊一, 山田孝行, 脇園好光, 川越渚, 新納時英, 中村 哲: “小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」による地域連携活動”, 平成 25 年度全国高専教育フォーラム 教育研究活動発表概要集, (2013)AP321.
- 2) 大竹孝明, 山下俊一, 山田孝行, 脇園好光, 川越渚, 新納時英, 中村 哲: “小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」について”, 第 18 回高専シンポジウム in 仙台 講演要旨集, (2013)305.

FM-CW レーダーによる Pc5 型地磁気脈動の観測

池田 昭大[†] 湯元 清文^{††} 篠原 学[†] 吉川 顕正^{†††} 野崎 憲朗^{††††}

Pc5 pulsations detected by an FM-CW radar

Akihiro IKEDA[†] Kiyohumi YUMOTO^{††} Manabu SHINOHARA[†]
Akimasa YOSHIKAWA^{†††} Kenro NOZAKI^{††††}

Pc5-range oscillations were observed in daytime and nighttime by a low-latitude FM-CW (Frequency Modulated Continuous Wave) HF (High Frequency) radar at Sasaguri, Japan (M. Lat. = 23.9 degree, M. Lon. = 200.1 degree) and a ground magnetometer at Kuju, Japan (M. Lat = 23.4 degree, M. Lon. = 201.0 degree). In the case of the daytime Pc5 pulsation on 30 Oct. 2003, the ionospheric Ey (eastward electric field) was correlated with ground magnetic Pc5 pulsation. From the variation of the Ey and the H (ground magnetic field variation in horizontal northward component), we suggest that the ground H is caused by the ionospheric electric field which drives ionospheric current. This feature is explained in terms of DP2 type current system. In contrast to the daytime Pc5, the nighttime Pc5 on 31 Oct. 2003 showed that the H is not seemed to be excited by an ionospheric electric field (current).

Keywords : HF radar, Magnetosphere, Ionosphere, geomagnetic pulsation

1 はじめに

磁気圏内で発生する 10mHz 以下の電磁波動は地磁気脈動と呼ばれ、太陽風の状態と密接に関わる現象として、古くから注目されてきた。近年では脈動を用いた磁気圏のプラズマ密度推定や¹⁾、脈動の放射線帯の粒子加速への影響²⁾なども報告されており、今もなお脈動の研究は磁気圏の構造及び環境の変化を知る上で非常に重要であると位置付けられている。

Pc5 型地磁気脈動(以降 Pc5)は 150 秒から 600 秒の周期を持つ地上磁場の変動現象である。Ziesolleck and Chamalaun [1993] は低緯度で観測される Pc5 の特性を調査し、地上磁場で観測される Pc5 の強度が高緯度ほど強く、緯度が低くなるにつれて弱くなることを発見した³⁾。この事実は、global compressional wave が地上磁場 Pc5 を励起していると結論付けることができる。一方 Motoba et al.(2002)は数多くの地上磁場観測点のデータを用いて解析し、Pc5 は高緯度電離圏に朝-夕方向の電場が侵入し、侵入した電場が低緯度まで伝搬しているものであると結論付けている⁴⁾。

短波帯レーダーを用いた観測からも、電離圏での Pc5 が報告されている。Reddy et al. [1994] は赤道域で観測される昼時間帯の電離圏変動は高緯度の地上磁場変動と同期していることを発見した⁵⁾。さらに、Motoba et al. [2004] は電離圏電場として観測される Pc5 は朝-夕方向の極域に侵入した電場が低緯度まで到達したものであると報告している⁶⁾。以上のように、電離圏で観測される Pc5 は磁気圏から極域電離圏に侵入した電場が低緯度電離圏まで伝搬する DP2 型の変動⁷⁾を反映していると考えられている。地上の磁場変動は電離圏に Pc5 周期帯で侵入した電場が電離圏の電流を励起し、その電流が Biot-Savart 則に従って地上磁場を変動させると解釈できる。

しかし電離圏での Pc5 の報告例はまだ十分とは言えず、さらに詳細な調査を進める必要がある。特に昼側と夜側では電離圏の電気伝導度が大きく異なるため、昼夜での電離圏での観測を含めた議論から低緯度 Pc5 がどのように励起されているかを確認することを本研究の目的とする。

本研究では、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター、情報通信研究機構、鹿児島工業高等専門学校の連携により観測を展開してきた FM-CW (Frequency Modulated Continuous Wave) レーダーにより捉えられた昼側および夜側の Pc5 を調査する。

[†]鹿児島工業高等専門学校一般教育科

^{††}九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

^{†††}九州大学理学府地球惑星科学科

^{††††}情報通信研究機構

2 データ

2.1 FM-CW レーダー

FM-CW レーダーは送信電波の周波数を掃引しながら観測ができる短波帯レーダーであり, Barrick により開発されたドップラー観測の手法を用いることによって, 対象物の高度及びドップラー速度を測定することができる⁸⁾. 本研究で使用している FM-CW レーダーについては Nozaki et al. [1987, 1988, 2009]に詳しい⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾. また, 本研究グループの観測展開及び観測システムは Ikeda et al., [2010a,b]に紹介されている¹²⁾¹³⁾.

観測されるドップラー周波数 Δf はレーダーの送信周波数 f_0 , 電離圏の鉛直上方のドリフト速度 V と以下の式により結び付けられる.

$$\Delta f = f_0 \times 2V/c$$

電離圏 F 領域では磁気凍結原理

$$\mathbf{E} = -\mathbf{V} \times \mathbf{B}$$

が成り立つため($\mathbf{V}$:ドリフト速度, $\mathbf{B}$:磁場強度, $\mathbf{E}$:電場強度), 観測される電離圏の鉛直上方のドリフト速度は北向きの地球の背景磁場と電離圏の東西向き電場 E_y によって生じることになる(図 1).

本研究では SAS(福岡県篠栗町, 磁気緯度: 23.9° 磁気経度: 200.1°)で取得された電離圏電場東向き成分 E_y を用いた.

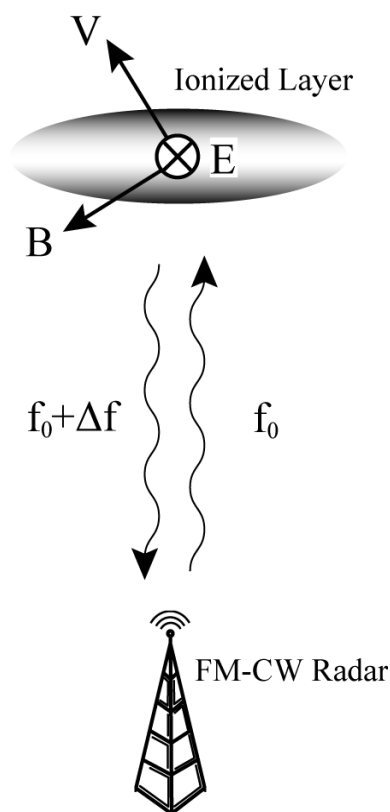


図1 ドップラー観測の観測原理
(Ikeda et al., 2010 より)

2.2 地上磁場データ

電離圏電場変動との比較には, 九州大学国際宇宙天気科学・教育センターが展開する MAGDAS/CPMN 地磁気観測網¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾のデータのうち, KUJ(大分県九重町, 磁気緯度: 23.4° 磁気経度: 201.0°)で取得されたデータから, 地上磁場データは水平北向き成分(H 成分)を使用した.

3 観測結果

3.1 昼側 Pc5

図2は2003年10月30日のPc5イベントを示している. 00:30-03:30UT(世界標準時)はSAS, KUJは昼側時間帯に位置する時間帯である. 図2のパネル上下はSASの電離圏電場 E_y , KUJの地上磁場 H 成分(水平北向き成分)を表す.

SASの E_y の変動は最大振幅 1.1mV/m, KUJの H は最大で 40nT 程度の振幅を持っている(02:40UT 頃). このイベントでは, E_y と H が同じタイミングで変動しており, E_y がプラスに変動するタイミングで地上磁場が増加していることがわかる. 同様に E_y がマイナスに変動するタイミングでは地上磁場が減少している. つまり東向きの電場によって励起される東向きの電流は地上磁場を北向きに変動させ(H を増加させ), 西向きの電場は H を減少させていると考えられる. 電離圏に侵入した東向きの電場が電離圏電流を励起し, その電流によって生じる磁場変動を地上の磁力計が捉えていると推定される.

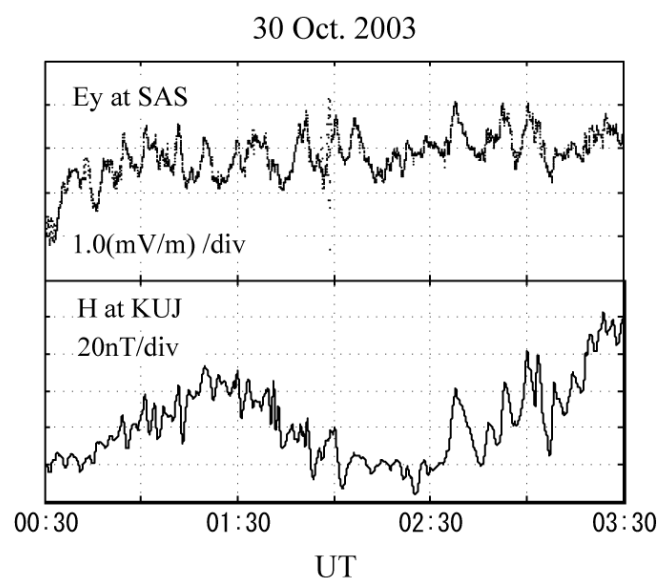


図2 2003年10月30日の昼側Pc5

3.2 夜側 Pc5

図3は2003年10月31日の10:45-11:45UTのPc5イベントである。この時間帯はSAS, KUJが夜側に位置していた。電離圏東向き電場 E_y のデータにはノイズが多く混じっているが、Pc5 周期帯の変動を確認することができる。

11:30UT 頃のピークに着目すると、 E_y が増加したタイミングで H が減少している。これは電離圏で東向きの電場が観測されたタイミングで地上磁場の北向き成分が増加したことを示しており、Biot-Savart 則に従って電離圏電流が地上磁場を変動させていない事がわかる。

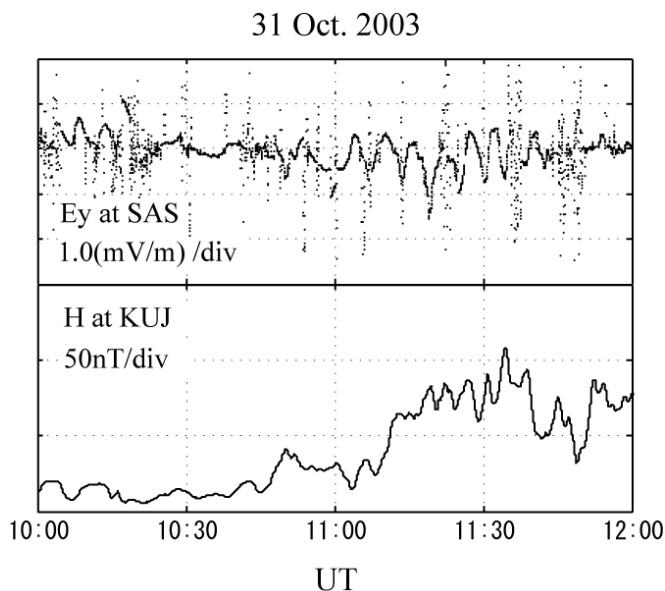


図3 2003年10月31日の夜側 Pc5

4 議論

本研究の FM-CW レーダーによる電離圏電場データおよび MAGDAS/CPMN 地磁気観測網の地上磁場データを併せた解析により、低緯度の SAS と KUJ において、電離圏電場変動 E_y と地上磁場変動 H から Pc5 が捉えられた。昼側で観測された Pc5 は、 H と E_y が同期した振動が明瞭に見られた。両者の変動からは、電離圏に侵入した電場が電離圏の電流を励起し、その電流が生じさせる Biot-Savart 則に従った磁場変化が地上磁場変動として表れていると考えられる。

以上の結果は、Motoba et al. [2005]で報告された結果⁴⁾を支持するものであり、昼側の Pc5 は極域電離圏に侵入した電場が低緯度域まで伝搬し、電離圏電流を励起した結果、地上磁場変動を引き起こすという DP2 型の変動であると考えられる。

夜側の Pc5 は SAS の E_y および KUJ の H の変動に Pc5 周期帯の変動が確認されたが、昼側ほど明瞭な一対一の対応は見られなかった。また電離圏電場が東向きに変動するタイミングで地上磁場北向き成分が減少しており、この事実は地上磁場の変動は電離圏電流によるものではない事を示唆している。夜側の電離圏では電気伝導度が低く、電離圏に侵入した電場によって励起される電流の強度が弱いため、地上には Biot-Savart 則に従った磁場変化が現れなかったものと思われる。

夜側の地上磁場変動の原因については他の発生要因を検討する必要がある。例えば、Kepko et al. [2003]では太陽風の動圧変動が Pc5 を励起させる原因として報告されており¹⁾、太陽風データとの比較解析も必要となる。

5 まとめ

FM-CW レーダーによる電離圏電場観測により、昼側および夜側にて、Pc5 を捉える事に成功した。昼側の Pc5 は地上磁場と電離圏電場が同期しており、電離圏電場が地上の磁場変動を引き起こしていると考えられる。夜側では地上磁場と電離圏電場の変動に Pc5 周期帯の変動が確認されたが、両者の変動から、地上磁場変動が電離圏電場（電流）によって引き起こされていないと考えられる。夜側の地上磁場 Pc5 を励起する要因として、電離圏以外の影響を考える必要がある。

謝辞

本研究は平成24年度校内研究助成(一般研究部門)を受けて行われたことを記して謝意を表します。本研究により使用されたデータの取得に携わられた九州大学国際宇宙天気科学・教育センター、情報通信研究機構、鹿児島工業高等専門学校の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) Takahashi, K., R. E. Denton, and H. J. Singer: "Solar cycle variation of geosynchronous plasma mass density derived from the frequency of standing Alfvén waves", J. Geophys. Res., 115, A07207, doi:10.1029/2009JA015243 (2010)
- 2) Elkington, S. R., M. K. Hudson, and A. A. Chan: "Acceleration of relativistic electrons via drift-resonant interaction with toroidal-mode Pc-5 oscillations", Geophys. Res. Lett., 26(21), 3273-3276 (1999)

- 3) Ziesolleck, C. W. S., and F. H. Chamalaun: "A two-dimensional array study of low-latitude Pc5 geomagnetic pulsations", *J. Geophys. Res.*, 98, 703 (1993)
- 4) Motoba, T., T. Kikuchi, H. Luhr, T.-I. Kitamura, H. Tachihara, K. Hayashi, and T. Okuzawa: "Global Pc5 caused by a DP2-type ionospheric current system", *J. Geophys. Res.*, 107(A2), 1032, doi:10.1029/2001JA900156 (2002)
- 5) Reddy, C. A., S. Ravindran, K. S. Viswanathan, B. V. K. Murthy, D. R. K. Rao, and T. Araki: "Observations of Pc5 micropulsation-related electric field oscillations in the equatorial ionosphere", *Ann. Geophys.*, 12, 565 (1994)
- 6) Motoba, T., T. Kikuchi, T. F. Shibata, and K. Yumoto: "HF Doppler oscillations in the low-latitude ionosphere coherent with equatorial longperiod geomagnetic field oscillations", *J. Geophys. Res.*, 109, A06214, doi:10.1029/2004JA010442 (2004)
- 7) Kikuchi, T., H. Luhr, T. Kitamura, O. Saka, and K. Schlegel: "Direct penetration of the polar electric field to the equator during a DP2 event as detected by the auroral and equatorial magnetometer chains and the EISCAT radar", *J. Geophys. Res.*, 101, 17,161-17,173 (1996)
- 8) Barrick, D. E.: "FM/CW radar signals and digital processing", NOAA Technical Rep. ERL 283-WPL 26 (1973)
- 9) Nozaki, K., and T. Kikuchi: "A new multimode FM/CW ionosonde", *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 47, 217-224 (1987)
- 10) Nozaki, K., and T. Kikuchi: "Preliminary results of the multimode FM/CW ionosonde experiment", *Proc. NIPR Symp. Upper Atmos. Phys.*, 1, 204-209 (1988)
- 11) 野崎憲朗: "FMCW イオノゾンデの開発", *情報通信研究機構季報*, Vol 55, 1-4, Nov., (2009)
- 12) Ikeda, A., K. Yumoto, T. Uozumi, M. Shinohara, K. Nozaki, A. Yoshikawa, V. V. Bychkov, and B. M. Shevtsov: "Phase relation between Pi2-associated ionospheric Doppler velocity and magnetic pulsations observed at a midlatitude MAGDAS station", *J. Geophys. Res.*, 115, A02215, doi:10.1029/2009JA014397 (2010)
- 13) Ikeda A., A. Yoshikawa, M. G. Cardinal, K. Yumoto, M. Shinohara, K. Nozaki, B. M. Shevtsov, V. V. Bychkov, Q. M. Sugon, and D. McNamara: "Ionospheric observation using FM-CW radar array", *Advances in Geosciences*, Vol.21: Solar & Terrestrial Science, Ed. Marc Duldig, 2010.05. (2010)
- 14) Yumoto, K., and the CPMN Group: "Characteristics of Pi 2 magnetic pulsations observed at the CPMN stations: A review of the STEP results", *Earth Planets Space*, 53, 981-992 (2001)
- 15) Yumoto, K., and the MAGDAS Group: "MAGDAS project and its application for space weather, in *The Solar Influence on the Heliosphere and Earth's Environment: Recent Progress and Prospects*", edited by N. Gopalswamy and A. Bhattacharyya, Quest, Mumbai, India (2006)
- 16) Yumoto, K., and the MAGDAS Group: "Space weather activities at SERC for IHY: MAGDAS", *Bull. Astron. Soc. India*, 35, 511-522 (2007)
- 17) Kepko, L., H. E. Spence, and H. J. Singer: "ULF waves in the solar wind as direct drivers of magnetospheric pulsations", *Geophys. Res. Lett.*, 29(8), 1197, doi:10.1029/2001GL014405 (2002)

公開講座「リンク機構を用いた4足歩行ロボット」教材の改良

上沖 司[†]

Improvement of teaching materials "four-legged robot using a link mechanism" to be used in public lectures

Tsukasa KAMIOKI[†]

I have developed a "four-legged robot using a link mechanism" in 2011. It is intended for use as a teaching tool of public lectures. However, initially I could not very well take advantage of it.

So, I have made improvements. Specifically, the reconsideration of the parts you are using. In addition, there was a need to update the manufacturing steps corresponding to the skills of participants. After making such improvements, this year I have carried out four times a public lecture by using their materials. Its contents, has been adjusted to match the skills of the student.

I will report the outcome.

Keywords : four-legged robot, link mechanism, public lectures, teaching materials

1 緒言

近年、理科離れ対策の1つとして「ものづくり教育」が推進されている。これを受けて、本校でも様々な教育改善の1つとして「ものづくり」を軸としたカリキュラム開発を行ってきた。また、社会貢献の一環として「ものづくり」を取り入れた講座の開発を行ってきた。筆者は、これらの開発に対する企画立案・講座支援を行って来た。

本稿では、2012年度校内助成金で2010年に開発した公開講座教材の改良を行ったので報告する。

2 開発経緯

対象となる教材は、①安価に製作が可能で、②受講生が持ち帰ることができ、③身近に手に入るもので構成され、④小学生でも参加可能な講座を開講するため、簡単な作業工程で高い教育効果を持つ教材の開発を目的とした「リンク機構を用いた4足歩行ロボット」である。

1) 開発初期 (2010.02~2011.08)

語学研修(2010.03:オーストラリア)の一環として、現地学生との交流を図る目的で開設する講座用の教材として設計・開発を始めた。教材は、部品を組み立て

ることで「リンク機構」を学ぶことができる仕様とした。また、本校学生と現地学生が協力して製作できるよう部品毎に色分けを行う等、コミュニケーションをとりながら部品を組み立てられる構造とした。

しかし、時間内に全体の2割程度しか教材を完成させられず、今後課題を残した。

この後、電子制御工学科での体験入学(2011.08:本校)でも本教材を使用した。その際は時間の都合もあり、リンク機構(両足の構成)の組み立てのみを実施することとしたが、それでも製作時間が足らず、受講者の5割が完成させるにとどまった。



写真1 運用初期教材

原因としては、部品点数の多さによる組み立て工程の多さと複雑さが大きく関わっていると考えられる。しかし、リンク機構の性質上、部品点数を少なくすることは不可能であるため、リンク機構を簡易に組み立

[†]技術室

てられる手法の模索を行った。

2) 開発中期 (2011. 09～2012. 03)

開発当時は、“③身近に手に入るもの”の観点から、なべこねじと網戸用のゴムをナット代わりに使用していた。ナットだと、締め過ぎると部品間の摩擦が大きくなり、リンク動作に支障が出てしまうのと、安価に抑えるために代用した。しかし、締結点数が多いため、その度にねじを適度の遊びを持たせて締結するのは大きな労力と時間を要した。

そこで、この条件を満たす部品を模索した結果、図1に示すプッシュリベットを採用した。

リベットは、押し込むことで単純に締結可能になり、適度な遊びを持たせることが出来る為、作業効率が大幅に向上した。欠点としては、現状より若干費用が上がる（1部品5円）ことである。

また、接続箇所に応じてねじの長さを使い分けていたが、スペーサーを適所に配置することで、リンク間の干渉する面積を少なくすると共に、リベットの種類（長さ）を抑え、部品選定の時間短縮を狙った。

その結果、平成23年度の語学研修（2011. 03：オーストラリア）では、現地の学生の8割が完成にこぎつけ、またその完成時の再現性も向上した。

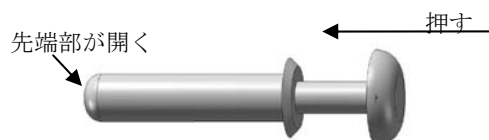


図1 プッシュリベット

3) 開発後期 (2012. 04～2013. 03)

完成度の向上と、完成した教材の精度を均一にするため、製作手順の精査を行った。

また、過去の実施データを基に、各工程の目安となる作業時間を割り出すことで、受講対象や実施状況に柔軟に対応出来る資料を作成した。

3 実施成果

過去の状況を踏まえ、平成24年度には以下の4つの講座を行い、成果を確認した。

1) 中学生対象講座 (2012. 08：体験入学、高専の日)

中学2・3年生を対象に行う「一日体験入学」と、鹿児島市立科学館との連携（共催）で行う「高専の日」の中学生向け講座の一環として行った。

講座の流れとしては両講座共、90分の時間が与えられ、受講者は一日体験入学で24名、高専の日は10名であった。機構の概要を20分程度説明した後、リンク

機構の組み立て工程を60分かけて実施した。

結果としては、時間内に全ての受講生が製作を終える事が出来た。

以下は、その際に受講した生徒のアンケート結果である。

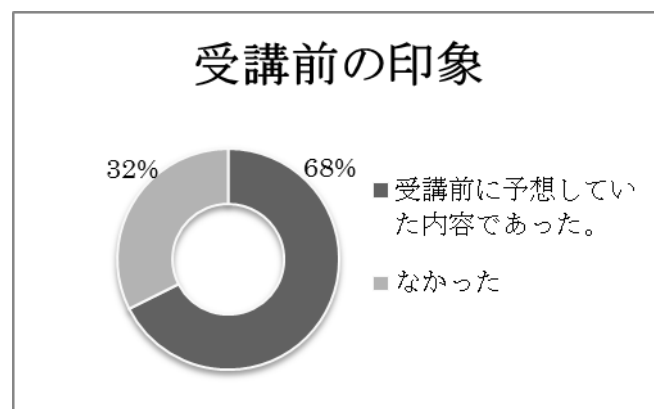
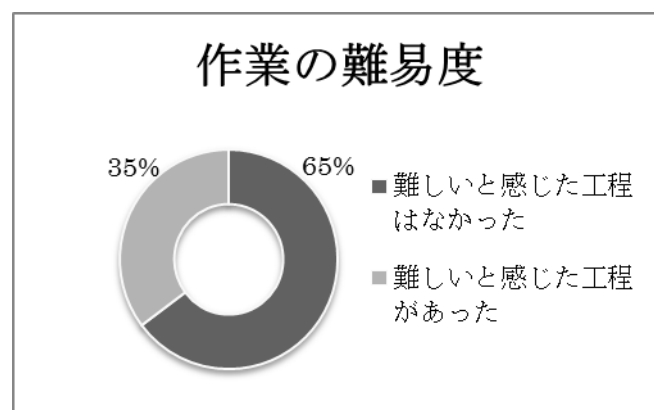
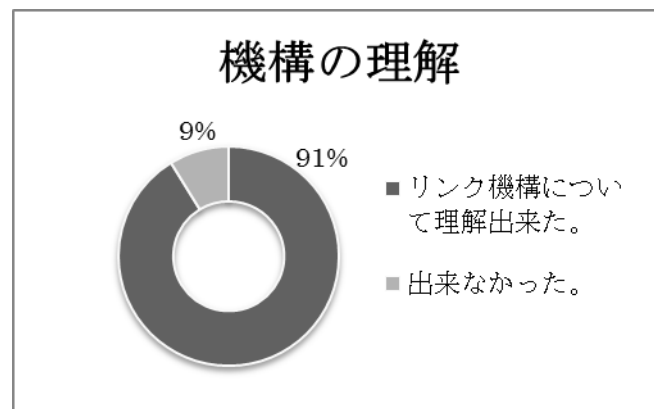


図2 アンケート結果1

難易度で難しいと答えた受講生の半数以上が、リンク機構の組み立てを挙げている。

2) 小学生対象講座 (2013. 03：出張訪問)

本校の部活動「メカトロニクス研究部」が例年実施している、小学校に出向いてNHKロボコンに出場したロボットを実演する出前講座を行っており、その一環

として行った。

講座の流れとしては、80 分の時間が与えられ、受講者は小学生 8 名であった。

機構の概要を 10 分程度説明した後、リンク機構の組み立て工程を 60 分かけて実施した。

結果としては、時間内に全ての受講生が余裕を持って製作を終える事が出来た。受講生 8 名に対し、本校学生をマンツーマンで対応させたことも効果を発揮したと考える。



写真2 製作風景

3) 国際交流プログラム (2013.03: 香港 VTC/IVE)

本校を会場に、香港からのインターンシップ学生を受け入れ、そのカリキュラムの一環として行った。

今回は2日間で、①3D-CAD による設計、②レーザ加工機での部品加工、③それらを組み立てる一連の製作工程を体験してもらう内容である。受講者は、香港 VTC/IVE に所属する学生 (19~24 歳) 17 名であった。

講座のおおまかな流れとしては、1 日目は 3D-CAD 基本講習と加工部品の設計、レーザ加工機の概要説明を行った。

2 日目は2班に分け、レーザ加工と本教材の組み立てを行った。ここで行った作業は、各パーツの組み立て (ギヤボックス、電池ボックス、リンク取り付け金具の加工) に 60 分、パーツの本体への取り付けに 30 分の計 90 分を2回行った。

午後より、はんだ付けに 20 分とリンク機構の組み立てを 60 分かけて実施した。

結果としては、時間内に全ての受講生が製作を終える事が出来た。

以下は、その際に受講した生徒のアンケート結果である。

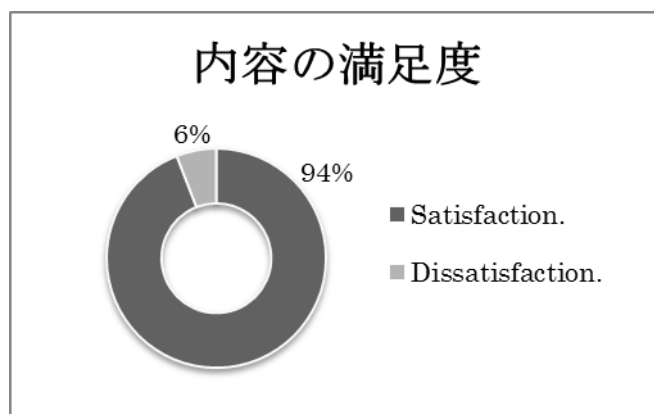
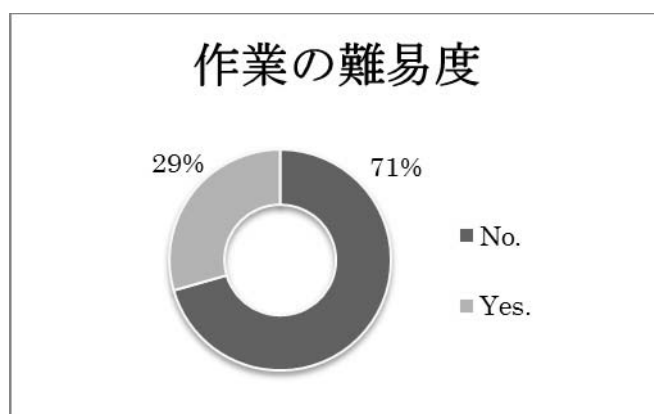
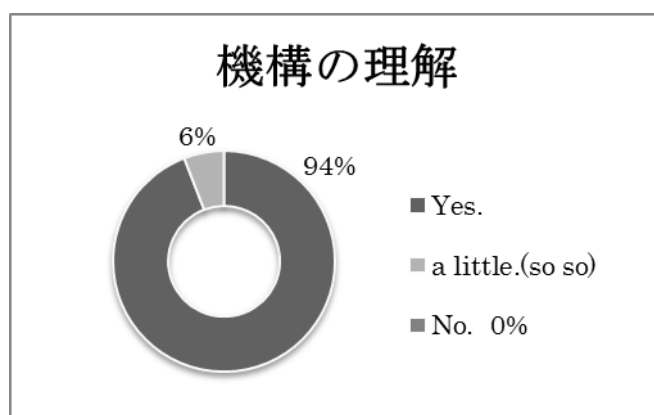


図3 アンケート結果2

4 結言

2つのアンケートを比較すると同じような傾向が見受けられた。リンク機構の特性上、部品点数の多さと組み立て手順の複雑さについては、根本的な解決が難しいが、実施時間内での製作達成が可能な状況となった。

謝辞

本報告内容は、平成 24 年度鹿児島高専校内教育助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

リハビリテーションの高機能化を実現する介助器具の開発

永田 亮一[†] 今村 成明^{††}

Development of the assistance instrument to achieve high-performance rehabilitation

Ryouichi NAGATA Nariaki IMAMURA

The brain damage caused by disease of the brain and brain injury is a serious injury life-threatening. In addition, life is even survived finally, a variety of disability may remain. Therefore, rehabilitation is a very important treatment recovery period to improve a little the quality of later life. However, rehabilitation is a big burden to both the caregiver and patient. So we have developed a walking assistance instrument of training as for rehabilitation of the lower limbs, paralyzed in the brain after injury, using a treadmill instrument. Therefore, we have to reduce the burden of caregivers. In addition, including the ability to massage the part paralyzed during training of patients by caregivers, high functionality of the rehabilitation efforts were made.

Keywords : Rehabilitation, Development, Assistance instrument, Welfare

1 はじめに

脳外傷や脳の病気などによる脳損傷は、命に係わる重大な損傷であるとともに、ようやく命が助かって、さまざまな後遺障害が残ってしまう。また、脳血管障害等による脳損傷の場合は、再発の可能性が非常に高い点も問題となってくる。このため、後遺症を軽減して、その後の生活の質を少しでも向上させるためにリハビリテーションは回復期の大変重要な治療となっている。近年、脳損傷後の機能回復に脳の可塑性が重要な役割を果たすことが知られるようになった。共同運動の分離や連合反応抑制による随意性の向上と可塑性との関連は未だ明らかではないが、両者に何らかの関連性があると仮定すると、随意性を高めるための運動療法を集中的に行うことで、さらに高い機能的回復を期待できる。

本稿では、鹿児島大学病院霧島リハビリテーションセンターで実施されている集中運動療法の介助器具を開発・製作したので報告する。

2 集中運動療法の実施と安全への課題

脳損傷後の片麻痺側下肢への集中運動療法として、

トレッドミル装置を用いた歩行訓練がある。トレッドミル装置とは、中央にゴム製の歩行用ベルトを持ち、このベルトが利用者の前方から後方へ任意の速度で移動する仕様となっている。さらに、本研究開発の対象としたトレッドミル装置は、リハビリテーションの成果を数値として評価するために、歩行場所にセンサを設置して歩行の間隔やペースなどを記録できる仕様となっている。このトレッドミル装置を用いた歩行訓練の様子を図1に示す。患者は、トレッドミル装置の中央付近に立ち、ベルトの移動速度に合わせて一定時間歩行する。また、歩行と同時に左右の歩行ペース及び強度を記録して、機能回復の程度を評価する。この評価に合わせて運動療法の負荷を高める。

健常者の場合は、ほとんどリスクのない状態でこれらの訓練を実施できるが、片麻痺側下肢患者の場合は患者の安全確保のためにどうしても介助が必要となる。この時、介助者が患者と一緒に患者を支えながら歩行訓練を行うと、介助者の分測定に誤差が生じてしまう。また、介助者がトレッドミルに乗らずに介助しようとする、側面からの不安定な形での介助となってしまう、安全性の確保が難しくなるとともに、介助者への負担も大きくなってしまう。

これらの課題から、患者の訓練の妨げとならず、介助者の負担を軽減するための「介助用の足場」の開発・製作を行った。また、トレッドミル利用時に患者が前方に転倒してしまった場合でも怪我をしないようにトレッドミル前方に設置する「パイプ手すり」の開発・

[†] 鹿児島工業高等専門学校技術室

^{††} 鹿児島工業高等専門学校電気電子工学科

製作を行った。



図1 トレッドミル歩行訓練

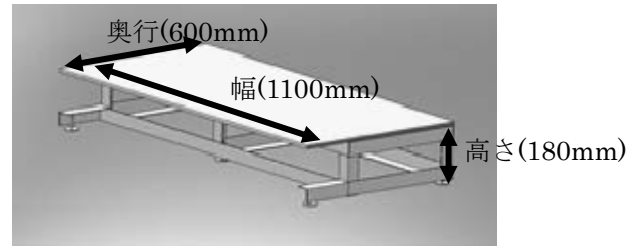


図2 介助用足場の設計図面



図3 介助器具設置の様子

3 介助器具の開発

3.1 介助用の足場の開発

介助用の足場は、1100×600×180 mm（幅×奥行×高さ）の寸法とした。これは、歩行ベルトより 10 mm 程度高い位置で、かつ患者の介助をしやすいように内側にオフセットして、さらに歩行の妨げとならない位置に介助者用の台を設置できるように設計したためである。図2は、その設計図面である。天板は、人の重量でたわむと、天板がトレッドミル台に接触してしまい、訓練の妨げになってしまう。このため、100 kg 以上の人に乗っても変形しない仕様とした。また、患者の左右から介助できるように、足場は2台製作した。

3.2 パイプ手すりの製作

トレッドミル台には、患者の転倒防止のため、転倒時に患者の体を支える釣り金具と左右に手すりを設けている。しかし、患者によっては介助を必要とするため、手すりを取り外す必要が生じる。この時、左右への転倒は介助者が支えることができるが、前方への転倒は、それに遅れが生じてしまう。また、付属の手すり設置用のパイプが残っているため、転倒により頭部への重大な衝撃が加わってしまう虞もある。このことから、患者より前方に患者と介助者の妨げにならない位置に手すりを設置できるように設計・製作した。

4 開発機器の評価

図3に介助器具を設置した様子を示す。介助用の足場を利用することで、従来と比べて 240 mm 介助者が患者に近づいて介助できるようになり、歩行訓練中に下肢へのマッサージが可能となった。このことは、患者の重心動揺の減少、重心移動の円滑化、歩幅や歩隔の拡大など患者への回復期の治療効果にも期待ができるため、リハビリテーションの高機能化へも繋がった。開発・製作したパイプ手すりは、万が一の際に患者が手すりですり怪我をしないように柔らかな部材で覆った。このことで、訓練中の安心感が増したとの評価を得た。

5 おわりに

本研究により開発された介助器具は、鹿児島大学病院霧島リハビリテーションセンターで継続して利用中である。リハビリテーションの高機能化により患者の社会生活への復帰がスムーズになることを期待する。

謝 辞

本研究を遂行するに当たりご助言を頂いた鹿児島大学病院霧島リハビリテーションセンターの川平和美教授を始めとした皆様はこの場を借りて感謝の意を表します。また、本研究は平成 23 年度校内研究助成金を受けて実施されたことを記して感謝の意を表します。

平成 24 年度校内教育助成による溶接実習改善に関する報告

山田 孝行[†]

Report on Improvement of Welding-Training Supported by School Grant for Education in
FY 2012 Kagoshima National College of Technology

Takayuki YAMADA

After the Great East Japan Earthquake, drastically budget cuts were enforced for post-earthquake reconstruction and severe economic situation. Even educational institutions were no exception, and we had to make every effort to cut down the expenses. Therefore, it was necessary to reconsider contents of Hands-on Trainings based on economic circumstances. This report describes about modification of welding training, which has high cost of raw materials, for reducing the cost. Certain initial investment cost was required to organize economical, effective and safety welding training, but total cost could be expected to become low-price in a long run. This plan was funded by School Grant for Education in FY2012 Kagoshima National College of Technology. As a result, the material cost for our welding training was reduced by about 40%.

Keywords : School Grant, Hands-on Training, welding training, cost reduction

1 はじめに

近年、東日本大震災の復興予算や厳しい財政状況への対応のため、大規模な経費削減が行われてきた。これまでは、学生実験や実習のための経費が大幅に減額されることはなかったが、将来も同様の予算で実験、実習が行える保証はない。我々を取り巻く経済状況から、可能な限りの経費削減努力を行うべきことは明白であり、今後は、教育効果のみならずコスト面を含めた実験、実習内容の見直しを行う必要があると考えられる。

機械工学科および電子制御工学科で行われている溶接実習は、他の工作実習と比較しても経費のかかる実習であり、学科からの予算だけでは不足、実習工場経費にて補填している現状である。本報告では、筆者が実習を担当している機械工学科 2 年生の溶接実習において、予算の削減を目的とした実習内容の見直しを検討した。

2 従来の溶接実習

機械工学科 2 年生の溶接実習では、TIG 溶接機によ

るアルミニウムの溶接技術を習得する実習を行っていた。図 1 は実習で製作するものと同様に溶接したアルミニウム板であり、4 枚のアルミ板を溶接でひとつにつないでいるが、見本のため意図的に溶接不良箇所を作っている。実習でアルミニウムの溶接を行っていた理由は、アークの極性(プラス・マイナス)に重要な意味があり、アルミニウムのような軽合金を溶接するためには交流 TIG 溶接が最適であることを学生に説明するためであった。しかし、アルミニウムは鋼材と比較して非常に高価であるため、実習における予算を圧迫していた。

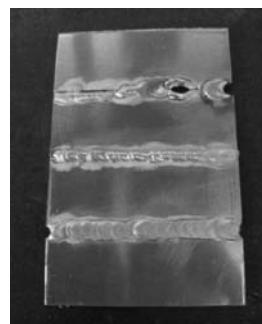


図 1 溶接したアルミニウム板

[†] 技術室

3 実習内容の見直し

溶接実習の費用が大となるのは、溶接が部品同士を接合する付加加工であるためと考えられる。練習するためには材料を小さく削れば良い除去加工と異なり、学生が意欲的に取り組むほど多量の材料を必要とする。しかしながら、溶接技術の習熟はどれだけの長さを溶接したかで決まると言っても過言ではなく、意義のある実習にするためには消費する材料の量をそれほど大きく減じることとはできないと考えられる。そこで、溶接実習の経費を抑えるために溶接材料を安価な鋼材へと変更することを検討した。

実習予算の低減にあたっては、教育効果の低下を可能な限り起こさないように注意する必要がある。鋼材での単純な突合せ溶接は難易度もやや低く、他の溶接実習(アセチレンガス溶接、被覆アーク溶接、MAG 溶接)でも同様の実習が行われているため、新規性も薄い。そこで、図2に示したような、円筒材料の溶接実習を行う事とした。これは、溶接素材の新規性はないが、突合せ溶接と隅肉溶接を複合した実践的な内容となっている。



図2 円筒鋼管の溶接

4 新規実習の問題点とその改善

新規のTIG 溶接実習へ移行するためには、溶接材料の変更に伴い、電極と溶加棒も適合するものへ変更する必要があった。また、新規実習では溶接の難易度が上がったことで、実習生が電極に溶融金属を付着させてしまう事態が頻発した。電極が溶融金属で汚損した場合、グラインダで汚損箇所を研磨する必要がある。この電極研磨作業には危険を伴い、更に、研磨時間が増加することで溶接実習の時間的な効率も悪化した。

そこで、本校の校内教育助成を利用し実習の準備と問題の改善を行った。電極と溶加棒は適合品を、電極の研磨については専用の研磨機を新規に導入した。電

極研磨機は初心者である学生でも安全で素早く作業でき、誰が研磨しても同等の品質で仕上げる事ができる。これにより、電極研磨時間の短縮と作業の安全性を得ることができた。

5 成果

本報告における実習改善の第一目的は、溶接実習の材料費の削減であった。表1に溶接実習における改変前後での主な消耗品の金額を示す。表1中の溶接材料については1年間で使用する金額であり、その他は単価を示している。なお、各金額は時期によって変動するためおよその額である。計画通り材料費の大幅な削減が達成できた。また、副次的な効果として溶加棒や電極も安価に抑えることができた。ただし、溶加棒の年間消費量はそれほど多くなく、電極は研磨による消費量増加のため、表1の差額ほど大きな効果は得られなかった。総計ではTIG 溶接実習での消耗品にかかる経費は40%以上削減できた。

表1 溶接実習の主な消耗品の金額 /円

品目	改変前	改変後	金額差
溶接材料	40,000 (アルミ板)	16,000 (鋼板・鋼管)	▲24,000
溶加棒	10,000 (アルミ材用)	5,000 (鋼材用)	▲ 5,000
電極	6,000 (純タン電極)	4,000 (セリタン電極)	▲ 2,000

図3(a)および(b)は学生に実施したアンケート結果である。アンケートは新規実習を受けた学生を対象としており、半数の学生が実習の難易度を「やや難しい」と回答していた。これは、溶接箇所がより複雑な形状になった事に起因していると思われる。また、電極研磨機に関するアンケート(図3(b))では、否定的な意見は全く見られず、特に研磨が速やかに行えるという意見が80%を超えていた。作業の安全性についても、危険を感じたという回答はなかったため、電極研磨機を導入したことで作業時間の短縮と安全作業を両立させることができたと考えられる。

図3に示した項目以外でアンケートに多かった回答としては、「アルミニウムの溶接をやってみたかった」というものがあつた。この意見が多かったことから、学生は溶接実習に対して、意欲的で高い関心を持っているものと推測できる。

7 おわりに

機械工学科2年生の溶接実習の経済的な効率化を目指して内容変更を検討した。TIG 溶接における溶接材料を安価なものへと変更したことにより、消耗品の経費を年間で40%以上削減することができた。また、内容変更に伴い増加した電極研磨時間を、専用の研磨機の導入で短縮することができた。

本報告では、主にTIG 溶接実習に関する報告を行ったが、他の溶接実習(被覆アーク溶接, MAG 溶接)の見直しも行っており、大幅な経費の削減を達成できる見込みである。今後も経費削減努力は続けていく予定であり、アンケートなどのフィードバックで経済面だけでなく教育効果や安全性を向上させ、学生が興味を持てるような実習内容や教材を開発して行きたいと考える。

謝 辞

本取り組みは平成24年度鹿児島高専校内教育助成を受け実施された。この場を借りて謝意を表す。

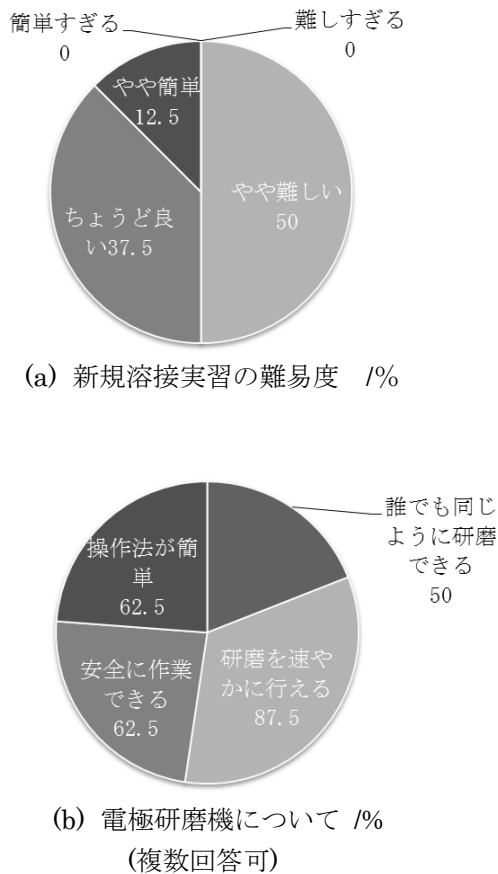


図3 アンケート結果

6 今後の展望

今回の新規溶接実習では、従来までの実習と比較して電極の研磨回数が増加した。電極研磨機の導入で時間的な効率が損なわれることを抑えたが、電極の消費量は大きくなった。これらの電極消費の大部分は作業者が電極に溶融金属を付着させてしまった事による。そのため、電極への溶融金属付着を防ぐような溶接治具の製作や溶接法案の確立ができれば更なる時間的、経済的な効率化を図ることができるものと思われる。

また、アンケートによりアルミニウムの溶接を希望している学生が多数存在することが分かった。溶接素材としてのアルミニウムは非常に高価であるので、多量の実習教材を準備することは困難である。そのため、例えば、他の実習で使用した後のアルミ材を溶接するなど、わずかずつでも実習へ取り入れる努力をしたい。

研 究 業 績

2012 年 4 月 1 日～2013 年 3 月 31 日
ゴシック 本校の発表者 *印 講演発表者

校長

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
齊藤孝一郎* 木下泰斗* 塩崎智子* 石橋健太郎* 赤坂裕	窓のエネルギー性能評価に関する ISO 規格の日本の住宅への適用に関 する研究 (その 5) ～ (その 8)	CD-ROM 日本建築学会 学術講演会 (建築デザイン) pp.67～74 (8) 2012-09

機械工学科

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
江崎秀司* 伊良皆数恭 小林崇浩 大能正之 金子敏之 曾我孝	多段吸収を用いた低温水吸収冷凍機 のサイクルシミュレーション	冊子 2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集 北海 道工業大学 pp.195～198 (4) 2012-09
石田 崇* 江崎秀司	管群の基盤目配列における圧力損失 特性	冊子 第 22 回九州沖縄地区高専フォーラム講演要旨集 都城高 専 pp.25～ (1) 2012-12
江崎秀司* 山田孝行 大竹孝明	課外活動を活用した実践的な制御工 学教育	冊子 第 22 回九州沖縄地区高専フォーラム講演要旨集 都城高 専 pp.26～ (1) 2012-12
川崎 雄太郎* 江崎 秀司	曲がりを伴う長方形管内の急収縮急 拡大損失特性	冊子 日本機械学会第 44 回卒業研究発表講演会論文集 熊本県 阿蘇市 pp.225～226 No.138-2 2013-03
山田孝行* 池田英幸 岡林巧	容器内に積層した粒子における底面 荷重の挙動	冊子 粉体工学会 2012 年度春期研究発表会講演論文集 京都市 pp.21～22 (2) 2012-05
樋口 藍* 佐多 竜斎 久富木 翔 池田 英幸	積層ガラスビーズの側壁移動による 崩壊過程	冊子 第 22 回九州沖縄地区高専フォーラム講演要旨集 都城高 専 pp.28～ (1) 2012-12
岩本才次 渡辺 創	操縦性指数を利用したゲイン設定時 の極配置	日本船舶海洋工学会講演会論文集 14 号 pp.467～470 2012-05
岩本才次 渡辺 創 中村 彰 松元遼太	古典的手法による非干渉化と自動着 棧制御	日本航海学会論文集 128 号 pp.243～250 2013-03
Akira NAKAMURA* Seiji IWAMOTO	Decoupling with Classical Technique and Automatic Berthing Maneuver Control	冊子 2nd International Join Seminar on Engineering Education in Asia Kumamoto University, Kumamoto, Japan pp.14～15 (2) 2012-12
Takuya MURAKAMI* Seiji IWAMOTO	Design of the Compensation System for Wind Disturbance	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia Kumamoto University, Kumamoto, Japan pp.18～19 (2) 2012-12
Ryota MATSUMOTO* Seiji IWAMOTO	Mathematical Modeling of a Cylinder Type Underwater Vehicle and Depth Control	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia Kumamoto University, Kumamoto, Japan pp.22～23 (2) 2012-12
岩本才次* 渡辺 創	操縦性指数を利用したゲイン設定時 の極配置	日本船舶海洋工学会 兵庫県神戸市 pp.467～470 2012-05
岩本才次 渡辺 創 中村 彰* 松元遼太	古典的手法による非干渉化と自動着 棧制御	日本航海学会 長崎労働会館, 長崎 2012-11

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
今村 成明 中村 格* 楠原 良人 小田原 悟 永井 翠 島名 賢児 新田 敦司 武田 和大 永田 亮一 清水 勇喜	鹿児島高専における県内技術者向け 新技術セミナーの取組み ~地域の 技術力向上を目指して~	一般社団法人電気学会 教育フロンティア研究会 福島高専 2013-03
椎保幸 塚本公秀 岡林巧 植村眞一郎 堂込一秀 上野孝行 檜根健史	鹿児島高専ソーラーカープロジェクト 最終報告	鹿児島工業高等専門学校研究報告 47号 pp.1~4 2013-02
田畑 隆英* 李鹿 輝 東 悠樹	変形するノズルから流出する噴流に 関する研究	冊子 可視化情報学会第 40 回可視化情報シンポジウム 工学院 大学新宿校舎 (東京都) pp.219~220 (2) 2012-07
田畑 隆英* 李鹿 輝 大坪 純也	5 角形ダクトから流出する噴流に関 する研究	冊子 可視化情報学会第 40 回可視化情報シンポジウム 工学院 大学新宿校舎 (東京都) pp.221~222 (2) 2012-07
田畑 隆英* 大坪 純也	5 角形ダクトから流出する噴流	日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集 金沢大学 (金沢市) 2012-09
田畑 隆英* 東 悠樹	変形するノズルから流出する噴流	冊子 日本機械学会九州支部福岡講演会講演論文集 福岡工業大 学 (福岡市) pp.163~164 (2) 2012-09
田畑 隆英* 大坪 純也	5 角形ダクトから流出する噴流の可 視化	冊子 可視化情報学会全国講演会 (姫路 2012) 講演論文集 姫路 商工会議所 (姫路市) pp.173~174 (2) 2012-10
田畑 隆英* 大坪 純也	5 角形ダクトから流出する噴流	日本機械学会第 90 期流体工学部門会講演会講演論文集 同志社大 学今出川キャンパス (京都市) 2012-11
Hiroshi Shimotsumagari* Kimihide Tsukamoto	A Measurement of Cutting tool vibration on the lathe	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia 熊本 pp.51~52 (2) 2012-12
Ryoji Kato* Kimihide Tsukamoto	A Study of the Process on Making a Product from an Idea at the Student Competition	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia 熊本 pp.55~56 (2) 2012-12
Yuki Kamikubo* Kimihide Tsukamoto	A Measurement of the Natural Frequency on Violin's Sound-box	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia 熊本 pp.59~60 (2) 2012-12
Yuto Shimowada* Kimihide Tsukamoto	The analysis of Stress Distributions with violin using Finite Element Method	冊子 2nd International Joint Seminar on Engineering Education in Asia 熊本 pp.63~64 (2) 2012-12
上久保 裕樹* 塚本 公秀	バイオリン胴の振動の計測	冊子 日本機械学会第 44 回卒業研究発表\講演会論文集 熊本県 阿蘇市 pp.133~134 (2) 2013-03
岩本才次* 渡辺創	操縦性指数を利用したゲイン設定時 の極配置	日本船舶海洋工学会 兵庫県神戸市 pp.467~470 2012-05
渡辺 創*	機械工学科におけるメカトロニクス 教育 一回路製作実習による体験型 学習一	CD-ROM 平成 24 年度工学教育研究講演会講演論文集 芝浦工 業大学豊洲キャンパス(東京都江東区) pp.42~43 (2) 2012-08
岩本才次* 渡辺創 中村彰 松元遼太	古典的手法による非干渉化と自動着 棧制御	日本航海学会 長崎労働会館, 長崎 2012-11
塚本 公秀 加藤 良治 大淵 慶史 坂本 英俊	工学実験用解説資料の学生との共同 開発	CD-ROM 平成 24 年度工学教育研究講演会講演論文集 芝浦工 業大学豊洲キャンパス(東京都江東区) pp.556~557 (2) 2012-08
高橋 明宏 南金山 裕弘 椎 保幸 塚本 公秀 濱田 次男 湯地 敏史	グローバル教育と学生の意識調査	鹿児島工業高等専門学校研究報告 47号 pp.5~12 2013-02

研 究 業 績

電気電子工学科

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
Hiroyuki Miyashita Mamiko Inamori Yukitoshi Sanada Teruji Ide	IQ Imbalance Estimation Scheme with Inter-carrier Interference Self-Cancellation Pilot Symbols in OFDM Direct Conversion Receivers	冊子 Proc. the 75th IEEE Vehicular Technology Conference 2012-05
前 園 正 宜* 武 宮 魁	遺伝的プログラミングにおける 2 分岐螺旋交叉の研究	情報文化学会九州支部研究会 熊本県立大学 2013-02
中 村 格 檜 根 健 史 永 田 亮 一 小 迫 雅 裕 匹 田 政 幸 小 出 英 延	油中の巻線を考慮した変圧器モデルの超音波伝搬特性の考察	鹿児島工業高等専門学校研究報告 47 号 pp.13~14 2013-02
Masahiro Kozako* Hiroki Murayama Masayuki Hikita Hidenobu Koide Kenji Kashine Itaru Nakamura	New Partial Discharge Location Method in Power Transformer based on Acoustic Wave Propagation Characteristics using Numerical Simulation	CD-ROM 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis Bali, Indonesia pp.854~857 (4) 2012-09
小 迫 雅 裕* 匹 田 政 幸 鍛 冶 屋 毅 永 田 亮 一 檜 根 健 史 中 村 格 小 出 英 延	油入変圧器内の部分放電放射超音波伝搬特性における模擬巻線が及ぼす影響	冊子 電気学会 静止器研究会 東京 pp.13 ~ 17 (5) 2012-12
今 村 成 明 中 村 格* 楠 原 良 人 小 田 原 悟 永 井 翠 島 名 賢 児 新 田 敦 司 武 田 和 大 永 田 亮 一 清 水 勇 喜	鹿児島高専における県内技術者向け新技術セミナーの取組み～地域の技術力向上を目指して～	冊子 電気学会教育フロンティア研究会 福島 pp.57~62 (6) 2013-03
大 久 保 勇 佑* 池 田 優 弥 古 川 幸 貴 子 中 村 格 田 井 裕 己 小 迫 雅 裕 匹 田 政 幸 山 村 尚 広 水 津 明 日 香	模擬油入変圧器における部分放電検出壁面センサの特性比較	CD-ROM 電気学会 全国大会 名古屋 pp.311~311 (1) 2013-03
宮 里 友 斗* 須 田 隆 夫 井 上 貴 仁	電圧可変平面電気四重極による負の誘電泳動を利用したセルソーター	CD-ROM 平成 24 年度 電気関係学会九州支部連合大会 予稿集 長崎大学 (長崎市) pp.96~96 (1) 2012-09
須 田 隆 夫* 宮 里 友 斗 井 上 貴 仁	非対称平面電気四重極による誘電泳動セルソーター	CD-ROM 第 60 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 (2013 春 神奈川工科大学) 神奈川県厚木市 pp.193~193 (1) 2013-03
米 盛 諒* 楠 原 良 人 清 水 勇 喜	パルスリンク方式 DC-AC コンバータを用いた燃料電池発電装置の開発	平成 24 年度電気学会産業応用部門大会, 千葉, Y-43, 2012-8
Y. Gotoh* N. Takahashi, M. Izumi Y. Kusuhara	Proposal of Non-contacting Static Magnetic Measurement Method of Generation Current inside Membrane Electrode Assembly in Polymer Electrolyte Fuel Cell"	Digests of IEEE International Magnetics Conference, 2012-9.
増 山 翔* 楠 原 良 人 清 水 勇 喜 後 藤 雄 治 泉 政 明	固体高分子形燃料電池の発電磁場を利用した電流分布の推定	冊子 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112No.396, pp.111-115, 2013-1.

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
増山翔* 楠原良人	固体高分子形燃料電池の発電磁場を利用した電流分布の推定	電気学会九州支部高専部会, 長崎, 2013-3.
矢野 誉征* 楠原 良人	PR 法を用いた桜島火山灰による太陽光発電の発電減少の評価	電気学会九州支部高専部会, 長崎, 2013-3.

電子制御工学科

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
原田治行 岡林 巧	専門工学(融合複合)と ED 教育に対する卒業研究の適合性の問題点と対応策	冊子 工学教育 60 巻 5 号 pp.79～80 (2) 2012-09
岩元謙介* 原田治行	眼電図を用いたスイッチ入力システムの検討	CD-ROM 2012 年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 2012-09
引地 力男 精松 伸二 鎌田 清孝 田中 智樹	キャリア教育を目指した離島小学校へのものづくり教育支援	冊子 工学教育 60 巻 6 号 pp.150～155 (5) 2012-12
鎌田 清孝* 中島 佑太朗	エレベータに起因する変動磁場を低減する シャフト壁の遮蔽方法の検討	冊子 第 6 5 回電気関係学会九州支部連合会論文 長崎 (1) 2012-09
川野 ひろ和* 宮田千加良	NIRS データの解析に関する研究	CD-ROM 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会 長崎大学(文教キャンパス) (1) 2012-09
坂元隆寛* 室屋光宏	表計算ソフトによる DC モータ駆動シミュレーション	CD-ROM 平成 2 4 年電気学会産業応用部門大会 千葉工業大学 pp.109～109 (1) 2012-08
新田敦司 青笹正夫	ZnS:Mn 発光層の発光中心に対するスパッタ雰囲気中微量不純物ガスの影響	冊子 J. Vac. Soc. Jpn. http://www.vacuum-jp.org/ 55 巻 4 号 pp.191～197 (7) 2012-04
下野和輝* 新田敦司	インクジェット法を用いた有機透明導電膜に関する研究	CD-ROM 2012 年度電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 2012-09
Kenji Shimana Eiji Kondo Hiroko Karashima Norio Kawagoishi	Fast Detection of Chatter in End-Milling using Pseudo Auto-Correlation Function	冊子 International Journal of Automation Technology 6 巻 6 号 pp.728～735 (8) 2012-11
Kenji Shimana* Eiji Kondo Daichi Shigemori Shunichi Yamashita Yoshihiro Kawano Norio Kawagoishi	An Approach to Compensation of Machining Error Caused by Deflection of End Mill	5th CIRP International Conference on High Performance Cutting, 2012 Zurich, Switzerland pp.706～707 2012-06
Eiji Kondo* Kenji Shimana	Monitoring of prefailure phase and detection of tool breakage in micro-drilling operations	5th CIRP International Conference on High Performance Cutting, 2012 Zurich, Switzerland pp.598～603 (6) 2012-06
辛島紘子* 近藤英二 島名賢児 山下俊一 中尾光博	工具たわみに起因するエンドミル加工の加工誤差のリアルタイム補正-1 枚刃の直刃エンドミルを用いた基礎的検討-	2012 年度精密工学会秋季大会 福岡県北九州市 pp.157～158 2012-09
島名賢児* 河野良弘 芝浩二郎 室屋光宏 山下俊一 町田依里	ものづくり企業の設計系・制御系の多能技術者の育成	第 18 回高専シンポジウム 宮城県名取市 pp.308～308 2013-01
今村成明 中村格* 楠原良人 小田原悟 永井翠 島名賢児 新田敦司 武田和大 永田亮一 清水勇喜	鹿児島高専における県内技術者向け新技術セミナーの取組み ～地域の技術力向上を目指して～	一般社団法人電気学会 教育フロンティア研究会 福島県いわき市 2013-03

研究業績

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
植村眞一郎 中野 人夢*	足指の動きを取り入れた人型サイズロボットの姿勢制御	CD-ROM 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集 http://www.jsme.or.jp/2012am/local/program.html 金沢大学 (4) 2012-09
吉満 真一 里中 忍 河野 良弘 左 敦穂 山下 俊一	小径エンドミルの二次元モニタリング計測システムと工具挙動 (第2報) -側面加工における工具挙動の特徴-	精密工学会誌 78 巻 8 号 pp.689~694 2012-08
Shinichi Yoshimitsu* Shinobu Satonaka Yoshihiro Kawano Chihito Iwamoto Dunwen Zuo Shunichi Yamashita	In-process Monitoring of Tool Behavior and Tool Wear in End Milling by Use of Projection Image	ICPE2012 Emerging Technology in Precision Engineering XIV 淡路ゆめ舞台国際会議場 pp.433~438 2012-11
松山寛亮 福留光徳 河野良弘 吉満真一 山下俊一 松尾征一郎	工作機械構造における CAE 解析に関する研究	精密工学会九州支部 第 13 回学生研究発表会講演論文集 福岡工業大学 pp.30~ 2012-12

情報工学科

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
堂込一秀 小川信之 金山典世 長尾和彦 岡根正樹	国立高専における ICT 活用教育の現状と課題	冊子 高専教育 36 号 pp.55~60 (6) 2013-03
脇田靖弘* 濱川恭央	連想記憶における系列パターンの学習法に関する考察	CD-ROM 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 (1) 2012-09
Kayoko Hayashi Toru Yamamoto Kazuo Kawada	Modeling of Nonlinear Systems using Genetic Algorithm	冊子 The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. C, A publication of Electronics, 132 巻 6 号 pp.913~918 (5) 2012-06
加治佐 清光	JPEG, JPEG-LS 及び JPEG XR における色変換の効果	冊子 鹿児島工業高等専門学校研究報告 第 47 号号 pp.17~25 (9) 2013-03
谷 聡史* 加治佐清光	カラー画像圧縮における色変換の考察	CD-ROM 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 (1) 2012-09
市野拓郎* 新徳健	歩行者支援のための障害物検出の検討	CD-ROM 第 20 回 電子情報通信学会九州支部 学生会講演会 長崎大学 (1) 2012-09
小野智司 武田和大 中山茂	ユーザシステム協調型進化計算を用いた日本語アナグラム作成支援	冊子 進化計算学会論文誌 3 巻 3 号 pp.85~97 (13) 2012-12
Ichiro Iimura* Kazuhiro Takeda Shigeru Nakayama	A Basic Study on Cooperative Behavior in Swarm Intelligence Inspired by Quantum Entanglement State	冊子 Proceedings of the 2013 RISP Int. Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2013) The Island of Hawaii (USA) pp.69~72 (4) 2013-03
小野智司* 武田和大 中山茂	ユーザシステム協調型進化計算を用いた日本語アナグラム作成支援	冊子 第 3 回進化計算学会研究会 広島大学 東広島キャンパス (東広島市) pp.1~12 (12) 2012-09
武田 和大*	Java における未知クラスのオブジェクト転送の試み	2012 年度情報文化学会九州支部研究会 熊本県立大学(熊本市) 2013-02
湯ノ口万友 塗木淳夫 大岩孝輔 玉利陽三	生体磁気刺激における局在性と深部刺激	Web 電気学会論文誌 C 133 巻 3 号 pp.532~535 (4) 2013-03
今村成明 濱川恭央 玉利陽三*	鹿児島高専の医療ならびにリハビリテーション分野への取り組み	冊子 第 10 回全国テクノフォーラム報告書 国立京都国際会館 pp.157~157 (1) 2012-08

2012年4月1日~2013年3月31日

西園健吾* 玉利陽三	生体磁気刺激における有限モデル内誘導電流分布の推定	CD-ROM 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 D-59 (1) 2012-09
崎田智文* 玉利陽三	BIA 法に基づいたサツマイモの生体インピーダンスモデルの構築	CD-ROM 第 20 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会・講演論文集 長崎大学 D-16 (1) 2012-09
大岩孝輔* 塗木淳夫 加藤龍蔵 湯ノ口万友 玉利陽三	モデルを用いた経頭蓋磁気刺激における組織の形状の影響に関する検討	冊子 平成 24 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会論文集 鹿児島大学 pp.40~40 (1) 2012-12

都市環境デザイン工学科

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
毛利洋子 岡松道雄 野澤宏大 前野祐二	コミュニティデザインを導くペットボトルリユースデザインへの試み	Design シンポジウム 2012 講演論文集 pp.575~579 2012-10
岡松道雄 毛利洋子	平成 23 年度校内教育助成に係る建築関連講座の立上げに関する成果報告	冊子 鹿児島工業高等専門学校 研究報告 47 号 pp.27~30 (4) 2013-02
Yamauchi, M* Yamada, M Yagi, F. Okamatsu, M. Mihara, M. Sakamoto, M.	Development of a dried-shochu-lees multipurpose recycling technology centering on mushroom production	CD-ROM The ISWA World Solid Waste Congress 2012 http://www.iswa2012.org/final-program/ Florence, Italy (8) 2012-09
山内正仁 松元皓隆 山田真義 八木史郎 村山陵 山口善敬 山口隆司	きのこ培地（焼酎粕・でん粉粕）に含まれる臭気物質の同定とヤマブシタケ菌糸による消臭に関する基礎研究	CD-ROM 土木学会論文集 G (環境) 68 巻 2 号 pp.85~92 (8) 2012-04
Matsuda, T. Shii, Y Yamauchi, M. Uchida, I. Yamada, M. Dabrowski, B.	Initiatives underway to improve engineering education at Kagoshima Kosen in Japan	冊子 Canadian Civil Engineer pp.20 ~ 22 (3) 2012-10
大久保努 山田真義 角野晴彦 多川正 山内正仁 山崎慎一 上村繁樹 荒木信夫	高専間と産官学の連携による新規排水処理技術「DHS」の開発	冊子 環境技術 pp.675~678 (4) 2012-12
Murayama, R.* Yamada, M. Okamatsu, M. Uchida, I. Yamaguchi, T. Yamauchi, M.	1. Murayama, R., Yamada, M., Okamatsu, M., Uchida, I., Yamaguchi, T., Yamauchi, M.: Development of a dried-Shochu-lees multipurpose recycling technology to benefit mushroom production	CD-ROM The Second International Symposium on Technology for Sustainability 2012 Bangkok, Thailand pp.99~102 (4) 2012-11
石神宏朗* 八木史郎 南 雄二 山田真義 山内正仁	きのこ廃培地の酵素について	冊子 平成 24 年度日本農芸化学会西日本支部および日本栄養食糧学会九州・沖縄支部 合同大会 鹿児島大学 (1) 2012-09
草原大貴* 原口健一郎 山田真義 山内正仁 村山陵 八木史郎 是枝清上 三谷紘明	麦焼酎乾燥固形物を用いたヒラタケ子実体の機能性向上に関する研究	CD-ROM 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会 熊本大学 pp.983~984 (2) 2013-03

研究業績

氏 名	課 題	雑誌，講演会，または発行所等
上田橋克* 村山陵 山内正仁 山田真義 木原正人 是枝清上	きのこ廃培地を利用したきのこ（ヒラタケ）栽培に関する研究	CD-ROM 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会 熊本大学 pp.985～986 (2) 2013-03
五十嵐慧 久保田健吾 山田真義 原田秀樹	フェノール廃水処理 UASB グラニューール汚泥微生物群集の空間構造解析	CD-ROM 平成 24 年度土木学会全国大会第 67 回年次学術講演会 2012-09
山田真義 上潟口知世 福元慎吾 山内正仁	酸性廃水を対象とした多点分散供給方式による中温及び高温 UASB リアクターの連続処理実験	冊子 第 15 回日本水環境学会シンポジウム講演集 佐賀大学 p.82 2012-09
利光凌 佐野博昭 山田幹雄・ 尾形公一郎 前野祐二 袋布昌幹	加熱法を用いた廃石膏ボード由来再生石膏の半水石膏含有率試験に関する一考察	CD-ROM 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会 熊本大学 pp.563～564 (2) 2013-03
杉元良成 前野祐二 三原めぐみ 長山昭夫	廃石膏ボードから分離した石膏をしらすで活用するための基礎的試験について	CD-ROM 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会 熊本大学 pp.565～566 (2) 2013-03
福永 隆之 大即 信明 斉藤 豪 前野 祐二	実焼却廃棄物を混入した OPC - BFS - AH 系材料の重金属固定化に関する研究	セメント・コンクリート論文集 Vol.66 pp.600-606 (7) 2013-02

一般理系

氏 名	課 題	雑誌，講演会，または発行所等
Atsuki Shinbori Yuji Tsuji Takashi Kikuchi Tohru Araki Akihiro Ikeda Teiji Uozumi Dmitry Baishev Boris M. Shevtsov Tsutomu Nagatsuma Kiyohumi Yumoto	Magnetic local time and latitude dependence of amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements and its seasonal variation	冊 子 J. Geophys. Res. http://www.agu.org/pubs/crossref/2012/2012JA018006 2012-08
野澤 宏大*	Energy Education by Using Bicycle-Type Generators	Web 6th International Symposium on Advances in Technology Education 2012 http://www.isate2012.jp/ Kitakyushu, Fukuoka, JAPAN (2) 2012-09
野澤 宏大*	太陽光発電を利用した池の環境整備	冊子 平成 24 年度是国高専教育フォーラム 代々木オリンピックセンター（東京） 2012-08
野澤 宏大*	太陽光発電システムの転用～学生への還元～	冊子 第 18 回高専シンポジウム in 仙台 仙台高専名取キャンパス（宮城県名取市） 2013-01
大竹孝明* 山下俊一 脇園好光 新納時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2011」による地域連携活動	Web 平成 24 年度 全国高専教育フォーラム 教育研究活動発表会 http://www.kosenforum.kosen-k.go.jp 東京都渋谷区 pp.1～2 (2) 2012-08
大竹 孝明*	鹿児島高専の活動報告（鹿児島市立科学館との「小中学生のためのものづくり・科学教室“鹿児島高専の日 2012”」等による地域連携活動を中心に）	冊子 平成 24 年度「高専サイエンス支援ネット in 九州沖縄」第 5 回会議 霧島市 pp.1～5 (5) 2012-09
山田孝行* 大竹孝明 山下俊一 脇園好光 川越 渚 新納時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」による地域連携活動	第 22 回九州沖縄地区高専フォーラム「持続可能社会・九州・地方の未来をデザインする」講演要旨集 都城市 pp.30～30 2012-12

2012年4月1日~2013年3月31日

氏 名	課 題	雑誌, 講演会, または発行所等
江崎秀司* 山田孝行 大竹孝明	課外活動を活用した実践的な制御工学教育(第2報、エコラン専用インジェクションコントローラーの回路設計)	冊子 第22回九州沖縄地区高専フォーラム「持続可能社会・九州・地方の未来をデザインする」講演要旨集 都城市 pp.26~26 (1) 2012-12
大竹 孝明* 野澤 宏大*	鹿児島高専における科学技術教育支援の取組	冊子 平成24年度 国立高専機構\高専改革推進事業 高専サイエンス支援ネット in 九州沖縄シンポジウム 「地域の 福岡市 pp.60~60 (1) 2012-12
大竹 孝明* 山下 俊一 山田 孝行 脇園好光 川越 渚 新納 時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」について	第18回高専シンポジウム in 仙台 講演要旨集 名取市 pp.305~305 2013-01
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-04
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-05
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-06
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-07
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-08
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-09
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-10
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~2 2012-10
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-11
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-11
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-12
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2012-12
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-01
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-01
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-02
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-02
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「宇宙天気」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-03
篠原 学	月刊天文ガイド連載記事「オーロラ予想」	書籍 誠文堂新光社 pp.1~1 2013-03
篠原 学* 北村健太郎 成行泰裕 野澤宏大	一般向け宇宙天気情報サイトの活動状況および桜島の観測協力について	地域ネットワークによる宇宙天気の観測・教育活動に関する研究集会 福岡 2013-03
篠原 学*	宇宙天気の長期変化の概況	STE 現象報告会 福岡 2013-03
白坂 繁*	三角関数の適当なグラフ	冊子 第94回全国算数・数学教育研究(福岡)大会 福岡県立戸畑高等学校 2012-08
池田昭大* 湯元清文 篠原学 吉川顕正 野崎憲朗 阿部修司 松下拓輝 Maria Gracita Cardinal	FM-CW レーダー観測の展開について	STE 現象報告会 福岡 2013-03

研 究 業 績

氏 名	課 題	雑誌，講演会，または発行所等
池田昭大* 湯元清文 篠原学 吉川顕正 野崎憲朗 B.M.Shevtsov V.V.Bychkov Q.M.Sugon D.McNamara	FM-CW レーダーによる電離圏電場観測	第 18 回高専シンポジウム in 仙台 講演要旨集 名取市 pp.296～296 2013-01

一般文系

氏 名	課 題	雑誌，講演会，または発行所等
小松研治 小郷直言 林良平	痕跡学序説－痕跡を読み、痕跡に語らせる－	冊子 富山大学芸術文化学部紀要 7 巻 pp.70～85 (16) 2013-02
林 良平*	うちの選手は伸びているか？－競泳選手の記録の伸びとチーム効果－	発表 日本体育学会第 63 回大会 東海大学湘南キャンパス pp.209～209 2012-08
林良平* 山根承子	競泳の種目間記録関係	パネル発表 2012 年日本水泳水中運動学会年次大会 福岡大学 60 周年記念館（ヘリオスプラザ） 予稿集 p.106 2012-10 学会奨励賞受賞
山根承子 林良平*	Gender Differences in Competition: Evidence from Swimming Data	講演 クラスターセミナー(経済政策 I 系) 名古屋市立大学滝子キャンパス 2012-10
保坂 直之*	ルートヴィヒ・フォン・フィッকারの Rauch Villa とトラークル	冊子 トラークル協会 2012 年度春季研究発表会 東京都豊島区雑司が谷地域文化創造館 2012-05
鞍掛 哲治*	英語宅習ノートを導入して：内発的動機づけをめざして	冊子 日本リメディアル教育学会第 8 回全国大会発表\予\稿集立命館大学 衣笠キャンパス pp.38～39 (2) 2012-08

技術室

氏名	課題	雑誌、講演会または発行所等
松山寛亮* 福留光徳 河野良弘 吉満真一 山下俊一 松尾征一郎	工作機械構造における CAE 解析に関する研究	精密工学会九州支部第 13 回学生研究発表会 福岡工業大学 2012-12
大竹 孝明 山下 俊一 脇園 好光 新納 時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2011」におけるプログラムの開発	鹿児島工業高等専門学校研究報告 47 号 pp.31～36 2013-02
. Kenji Shimana* Eiji Kondo Daichi Shigemori Shunichi Yamashita Yoshihiro Kawano Norio Kawagoishi	An Approach to Compensation of Machining Error Caused by Deflection of End Mill	5th CIRP International Conference on High Performance Cutting, 2012 Zurich, Switzerland 2012-06
河野良弘 山下俊一* 島名賢児 松尾征一郎 吉満真一 桜庭肇	工作機械構造における熱変位 補正制御に関する研究	日本機械学会第 9 回生産加工・工作機械部門講演会 秋田県由利本荘市 pp.251～252 2012-10
大竹孝明* 山下俊一 脇園好光 新納時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」による地域連携活動	第 22 回九州沖縄地区高専フォーラム「持続可能\社会・九州・地方の未来をデザインする」講演要旨集 都城市 pp.30～30 2012-12

2012年4月1日~2013年3月31日

上田橋克* 村山陵 山内正仁 山田真義 木原正人 是枝清上	きこの廃地を利用したきこの（ヒラタケ）栽培に関する研究	CD-ROM 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会 熊本大学 pp.985~986 (2) 2013-03
椎保幸 塚本公秀 岡林巧 植村眞一郎 堂込一秀 上野孝行 樫根健史	鹿児島高専ソーラーカープロジェクト 最終報告	冊子 鹿児島工業高等専門学校研究報告 47 号 pp.1~4 (4) 2013-02
中村格 樫根健史 永田亮一 小迫雅裕 匹田政幸 小出英延	油中の巻線を考慮した変圧器モデルの超音波伝搬特性の考察	冊子 鹿児島工業高等専門学校研究報告 47 号 pp.13~14 (2) 2013-02
小迫雅裕* 匹田政幸 鍛冶屋毅 永田亮一 樫根健史 中村格 小出英延	油入変圧器内の部分放電放射超音波伝搬特性における模擬巻線が及ぼす影響	冊子 電気学会静止器研究会 東京 pp.13~17 (5) 2012-12
今村成明 中村格* 楠原良人 小田原悟 永井翠 島名賢児 新田敦司 武田和大 永田亮一 清水勇喜	鹿児島高専における県内技術者向け新技術セミナーの取組み～地域の技術力向上を目指して～	冊子 電気学会教育フロンティア研究会 福島 pp.57~62 (6) 2013-03
吉満 真一* 里中 忍 .河野 良弘 左 敦穂 .山下 俊一	小径エンドミルの二次元モニタリング計測システムと工具挙動（第2報）-側面加工における工具挙動の特徴-	冊子 精密工学会誌 78-8 号 pp.689~694 (6) 2012-08
Shinichi Yoshimitsu* Shinobu Satonaka .Yoshihiro Kawano Chihiro Iwamoto Dunwen Zuo .Shunichi Yamashita	In-process Monitoring of Tool Behavior and Tool Wear in End Milling by Use of Projection Image	冊子 ICPE2012 Emerging Technology in Precision Engineering XIV 淡路ゆめ舞台国際会議場 pp.433~438 (6) 2012-11
辛島絃子* 近藤英二 .島名賢児 .山下俊一 中尾光博	工具たわみに起因するエンドミル加工の加工誤差のリアルタイム補正-1枚刃の直刃エンドミルを用いた基礎的検討-	CD-ROM 2012 年度精密工学会秋季大会 北九州市 pp.157~158 (2) 2012-09
島名賢児* .河野良弘 .芝浩二郎 .室屋光宏 .山下俊一 町田依里	ものづくり企業の設計系・制御系の多能技術者の育成	冊子 第 18 回高専シンポジウム 宮城県名取市 pp.308 - 308 (1) 2013-01
大竹 孝明* .山下 俊一 .山田 孝行 .脇園好光 .川越 渚 新納 時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2012」について	冊子 第 18 回高専シンポジウム 宮城県名取市 pp.305 - 305 (1) 2013-01
大竹孝明 .山下俊一 .脇園好光 新納時英 中村 哲	小中学生のためのものづくり・科学教室「鹿児島高専の日 2011」による地域連携活動	Web 平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会 東京都渋谷区 pp.1-2 (2) 2012-08

研究・知財委員会委員

委員長

宮 田 千加良 地域共同テクノセンター長
(電子制御工学科)

委員

豊 平 隆 之	地域共同テクノセンター研究促進部門長 (情報工学科)
中 村 隆 文	一般教育科文系
池 田 昭 大	一般教育科理系
岩 本 才 次	機械工学科
井 手 輝 二	電気電子工学科
島 名 賢 児	電子制御工学科
新 徳 健	情報工学科
山 内 正 仁	都市環境デザイン工学科
鎌 田 清 孝	専攻科 (電子制御工学科)
今 村 文 昭	総務課長
安 楽 四 郎	総務課長補佐 (総務担当)
宇都山 清 孝	総務課長補佐 (財務担当)

鹿児島工業高等専門学校研究報告 第48号

平成26年(2014)2月28日印刷

平成26年(2014)2月28日発行

発行人

赤 坂 裕

発行所

鹿児島工業高等専門学校

Kagoshima National College of Technology

〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460番1

1460-1 Shinko, Hayato-cho, Kirishima-shi

Kagoshima-ken 899-5193 Japan