

Research Reports of
Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 45(1) 号

2013.09

東京工業高等専門学校研究報告書 第45 (1) 号 目次

東京高専体育科の20年間の活動を振り返る —セレンディピティ的体験を求めて(その2)—	古 屋 正 俊 鈴 木 智 之 黒 田 一 寿	1
X-Z駆動機構を用いたインチワーム式ピエゾステージの基礎的研究	堤 博 貴 村 井 瑛 優 山 崎 也	9
負荷機構を有する水晶振動子式力センサの基礎的研究	堤 博 貴 福 山 聖 也 佐 藤 慶 武	15
ダイヤフラムを応用した油圧式変位拡大機構による位置決め装置の 基礎的研究	堤 博 貴 福 山 拓 也 島 山 稚 大	19
自動きさげ盤によるテクスチャ定盤面仕上げに関する基礎的研究	堤 博 貴 藤 本 舜 太 朗	25
炭素繊維強化プラスチックによる自転車用チェーンプロケットの シリコンゴム型成形と実走評価	木 村 南 堀 之 内 翔 馬 若 生 朋 宏	29
波型突き合わせ接着継手の接合部形状の最適化と引張強度向上の試み	志 村 穰 加 賀 見 拓 磨 黒 崎 茂	35
風向急変時の翼周りの流れの挙動と流体力学的特性	斉 藤 純 夫 岩 村 拓 哉 児 玉 和 也 三 原 純 一 高 橋 正 旭 志 村 穰	39
翼周りの渦構造の違いが翼面上の境界層はく離と失速特性に及ぼす影響	斉 藤 純 夫 岩 村 拓 哉 土 方 久 高 橋 正 旭 志 村 穰	47

作動流体の可視可を目的とした教材用スターリングエンジンの製作	福田昌了 筒井健太郎	57
灯油及びエタノールを代替燃料とした内燃機関の性能特性	青柳雄大 筒井健太郎	61
Prototyping of a White Line Recognition System and a Kinect Control System for Autonomus Mobile Robots	ニココスキマー 多羅尾進	65
反応性スパッタリング法による太陽電池パッシベーション膜の作製と評価	伊藤浩 川又由雄 大山昌憲	71
生活習慣に応じた独居高齢者見守りシステムの開発と評価 —社会実装プロジェクトの一つの試み—	山口祐太 小林哲也 青木宏之	77
キネクトセンサーを活用した自律走行ロボットの制御	石塚裕澄 ビレシランパー 中里優理 青木宏之	81
土壌粒子に対する銅イオン, カルシウムイオン並びに水素イオンの 競争吸着のモデリング及び熱力学的解析	庄司良 倉澤裕己	85

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 45 (1)

CONTENTS

Masatoshi FURUYA Tomoyuki SUZUKI Kazutoshi KURODA	·····A look back on 20 years of the Activities of Physical Education at the Tokyo National College of Technology –The Serendipity Experience (Part 2) – ·····	1
Hiroataka TSUTSUMI Yutaka MURAI Teruya YAMAZAKI	·····Basic Study of the Inch Worm Type Piezoelectric Positioning Stage with X-Z Positioning Mechanisms ·····	9
Hiroataka TSUTSUMI Seiya FUKUYAMA Yoshitake SATO	·····Basic Research of Quartz Crystal Type Force Sensor with a Load Support Mechanism ·····	15
Hiroataka TSUTSUMI Takuya FUKUYAMA Norihiro HATAKEYAMA	·····Basic Research of Positioning Stage with Hydraulic Displacement Expansion Mechanism Applied by Diaphragm ·····	19
Hiroataka TSUTSUMI Shuntaro FUJIMOTO	·····Basic Research of Finishing Method of the Textured Surface Plate Made by the Automatic Scraping Machine ·····	25
Minami KIMURA Shouma HORINOUCI Tomohiro WAKO	·····Development of Molding technology for Carbon Fiber Reinforced Plastics bicycle chain sprocket and real run evaluation ·····	29
Jyo SHIMURA Takuma KAGAMI Shigeru KUROSAKI	·····A Trial on Improvement of Tensile Strength and Optimal Configuration at Bonded Parts of Adhesively Waved Butt Joints ·····	35
Sumio SAITO Takuya IWAMURA Kazuya KODAMA Junichi MIHARA Masaaki TAKAHASHI Jyo SHIMURA	·····Flow Behavior around the Blades and Aerodynamic Characteristics during Sudden Wind Shifts ·····	39
Sumio SAITO Takuya IWAMURA Gaku HIJIKATA Masaaki TAKAHASHI Jyo SHIMURA	·····Effects of the Difference in Vortex Structure formed around Wind Turbine Blades on Boundary Layer Flow Separation and Stall Characteristics ·····	47

Masayoshi FUKUTA Kentaro TSUTSUI	Production of Stirling Engine for Educational Visualization of Internal Working fluid	57
Yudai AOYAGI Kentaro TSUTSUI	Performance Characteristics of an Internal Combustion Engine with Alternative Fuel Kerosene and Ethanol	61
Koskimaa NIKO Susumu TARAO	Prototyping of a White Line Recognition System and a Kinect Control System for Autonomus Mobile Robots	65
Hiroshi ITO Yoshio KAWAMATA Masanori OHYAMA	Preparation and characterization of surface passivation film of silicon solar cells by reactive sputtering method	71
Yuta YAMAGUCHI Tetsuya KOBAYASHI Hiroyuki AOKI	Development and Evaluation of a Remote Monitoring System for the Single Elderly on the basis of Their Lifestyle – A Trial of Social Implementation Project –	77
Hirosumi ISHIZUKA Ville SILLANPÄÄ Yuri NAKASATO Hiroyuki AOKI	Control of an Autonomous Mobile Robot Making Use of Kinect	81
Ryo SHOJI Hiroki KURASAWA	Modeling and thermodynamics analysis of adsorption of copper, calcium and hydrogen ions to soil.	85

東京高専体育科の20年間の活動を振り返る —セレンディピティ的体験を求めて(その2)—

古屋正俊*, 鈴木智之*, 黒田一寿*

A look back on 20 years of the Activities of Physical Education
at the Tokyo National College of Technology
—The Serendipity Experience (Part 2)—

Masatoshi FURUYA, Tomoyuki SUZUKI, Kazutoshi KURODA

Based on keyword “serendipity”, this study proposes to improve and develop the “Kunugida Forum” which has been practiced as extra-curricular activities through looking back on 20 years of its activities and reconfirming its significance.

Keywords : serendipity, extra-curricular activities, and Kunugida Forum

1. はじめに

東京高専・体育科は、たくましくエンジニアの育成を目指し、①体づくり、②健康づくり、③仲間づくり、④生きがいを具体的な目標に掲げている。特に生きがいを一環として、「くぬぎだフォーラム」の冠名で実施してきた課外活動は、自然体験型、歩行体験型、文化体験型に分類でき、この20年間で16種類、延べ75回の企画を実施してきた(表1)。

「くぬぎだフォーラム」に関しては、研究報告書等で報告してきたが^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8) 9)}、本稿では、セレンディピティといった新たなキーワードをもとに、これまでの活動を振り返り、活動の意義を再確認し、次のステップに向けてのブラッシュアップを図ることを目的とする。

2. セレンディピティ的体験を求めて

セレンディピティ (serendipity) という言葉は、広辞苑では「思わぬものを偶然に発見する力。幸運を招きよせる力。」と説明されている。何かを探しているときに、偶然に意外な出来事に出会い、ヒラメキを得て、もともと探していたものとは別の価値のある発見をすることがある。万有引力を発見したニュートンとりんごのエピソードを始め、アルキメデス、エジソン、ノーベルなど、自然科学の分野では歴史上の大発見が、偶然のヒラメキから生まれたという逸話は有名である。ノーベル賞受賞の際に、受賞者の語るセレンディピティ体験が話題になることもある。

このようなセレンディピティにまつわるエピソードは、自然科学の分野だけの特有の現象ではない。社会的にインパクトのある大発見でなくても、日常生活の中で誰しもがセレンディピティ的な体験はしてきている。たまたま見ていたTVや新聞、読書、音楽、何気ない対話や事物や景色から、「オヤッ」と何かに気づくことがある。予期せぬ細かな気づきから、何らかのヒントやアイデアを得ることがある。その思いがけないヒラメキが自分の意識や態度を変え、家庭や仕事に「幸運」を招きよせることもある。セレンディピティは、偶然の幸運を察知する能力(偶察力)とも呼ばれ¹⁰⁾、最近では、ビジネスの世界やライフスタイルの特徴をとらえるキーワードの一つにもなっている。

セレンディピティの機会を増やすには、偶然の発生頻度を上げ、「オヤッ」と何かを察知する能力を高める必要がある。偶然には、自然の成り行きに任せ、棚からぼた餅的に図らずも起こる「やってくる偶然」と、自ら偶然を生じさせる機会を増やし、偶然との出会いを求めていく「迎えに行く偶然」があるという¹¹⁾。どちらの偶然もセレンディピティ体験には不可欠である。しかし、果報を寝て待つような偶然よりも、犬も歩けば棒(偶然)に当たるように、積極的に行動することによって出会う偶然の方が発生頻度は高い。「書を捨てよ、町に出よう」の発想である。それだけ「オヤッ」と何かを察知する機会が多く、良い意味で、

*一般教育科(体育)

行きがけの駄賃のような幸運をつかむ可能性も高まる。

セレンディピティは、①行動し→②気づき→③受容するといったサイクルの中で発生する^{1,2)}。行動段階では、面白そうだと感じるワクワク感や、どうにかなりそうだとした根拠のない自信が、最初の一步を踏み出す動因となる。次の気づき段階では、行動がもたらす「子細な偶然」を見逃さない「気づきセンサー」の感度がポイントとなる。同じ経験をして、何かに気づく人と気づかない人がいる。広い周辺視野を持ち、五感の感度を研ぎ澄まし、専門知識だけでなく一般的な雑学にも関心を示し、問題意識や仮説をもって、普段から何気ない好奇心のアンテナを張り巡らして行動することで、「オヤッ」と気づく察知力は高まり、セレンディピティ体験も活性化してくる。

セレンディピティの最終段階は受容である。この段階では「オヤッ」と察知した子細な気づきを、自分にとって意味のあるものとして、その価値をどのように受け入れるかが課題となる。その気づきを見過ごさずに記憶にとどめ、「そうだったのか!」といった何らかのヒントやアイデアが生まれれば、セレンディピティの第一歩が訪れたといえる。普段の何気ない、見過ごしてしまいがちな「子細な気づき」から、着想の芽を見つけ、その芽を育て、何らかのアイデアとして結実させるには、それなりの時間も探究する努力も必要である。

「偶然のヒラメキは失敗の後にやってくる」と

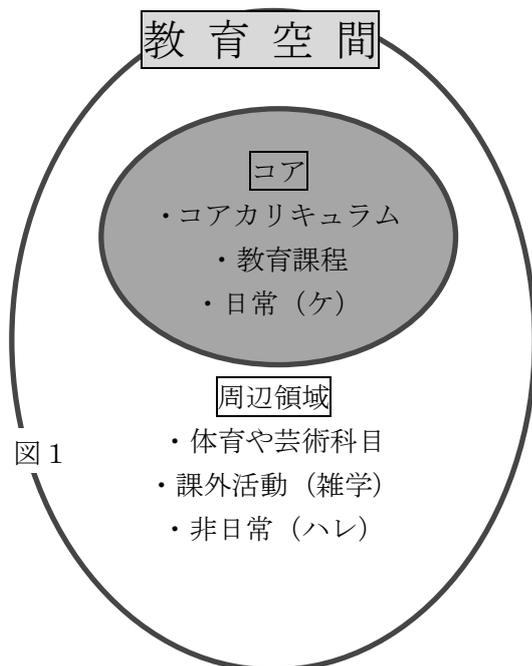
も言われるように、失敗から幸運を導き出した自然科学での事例は多い^{1,3)}。セレンディピティ体験は、個人の意識レベルに留まるものから、態度や意識、習慣の変容を促し、ライフスタイルに影響するコトやモノ、さらには社会的インパクトの大きい大発見まで、様々な水準でとらえることができる。

3. 教育空間とセレンディピティ的体験

偶然の発見を期待するようなセレンディピティの視点を、教育課程の中に取り入れことができるであろうか。高専のカリキュラムは目標設定や学習課題が明示されており、到達目標への達成レベルによって学習効果が評価される。意図的な気づきを促す授業スタイルはあっても、偶然の出会いを前提にするような授業を、カリキュラムとして導入するのはハードルが高そうである。モデルコアカリキュラムの構想では、高専生が修得すべきコア科目として最低限の専門的な能力基準や学習内容（ミニマムスタンダード）が示されており、体育や芸術科目は周辺領域の科目として図1のように位置づけられる。

教育空間をコアと周辺領域でとらえると、コアに特化した教育空間は、各種専門学校や予備校のように、明確な目標に向かって効率的に学習成果を出せるように、極カムダを排除した教育空間がイメージできる。一方、周辺領域を含む教育空間は、コアをベースに様々な回り道や雑多な道草も体験しながら、緩やかにスパイラルアップしていく教育空間をイメージできる。偶然が誘発されやすく、その発生頻度の高さも期待できる後者の教育空間の方が、予期せぬ偶然やサプライズを楽しみ、気づきや察知力が試されるセレンディピティ的体験に出会う機会は多そうである。

身体活動を伴い五感を刺激する教材を扱う体育は、実施種目や季節や天候により、体育館、武道場、グラウンド、テニスコート、プール、野外と教育空間がその都度変化し、気象条件にも左右されるため、思いがけない予期せぬ偶然に出会う可能性は高い。また教材となるスポーツ自体も、ルールが支配する非日常的な空間で、勝つか負けるかハラハラ・ドキドキしながらの身体活動であり、セレンディピティ的体験を招きやすい条件を満た



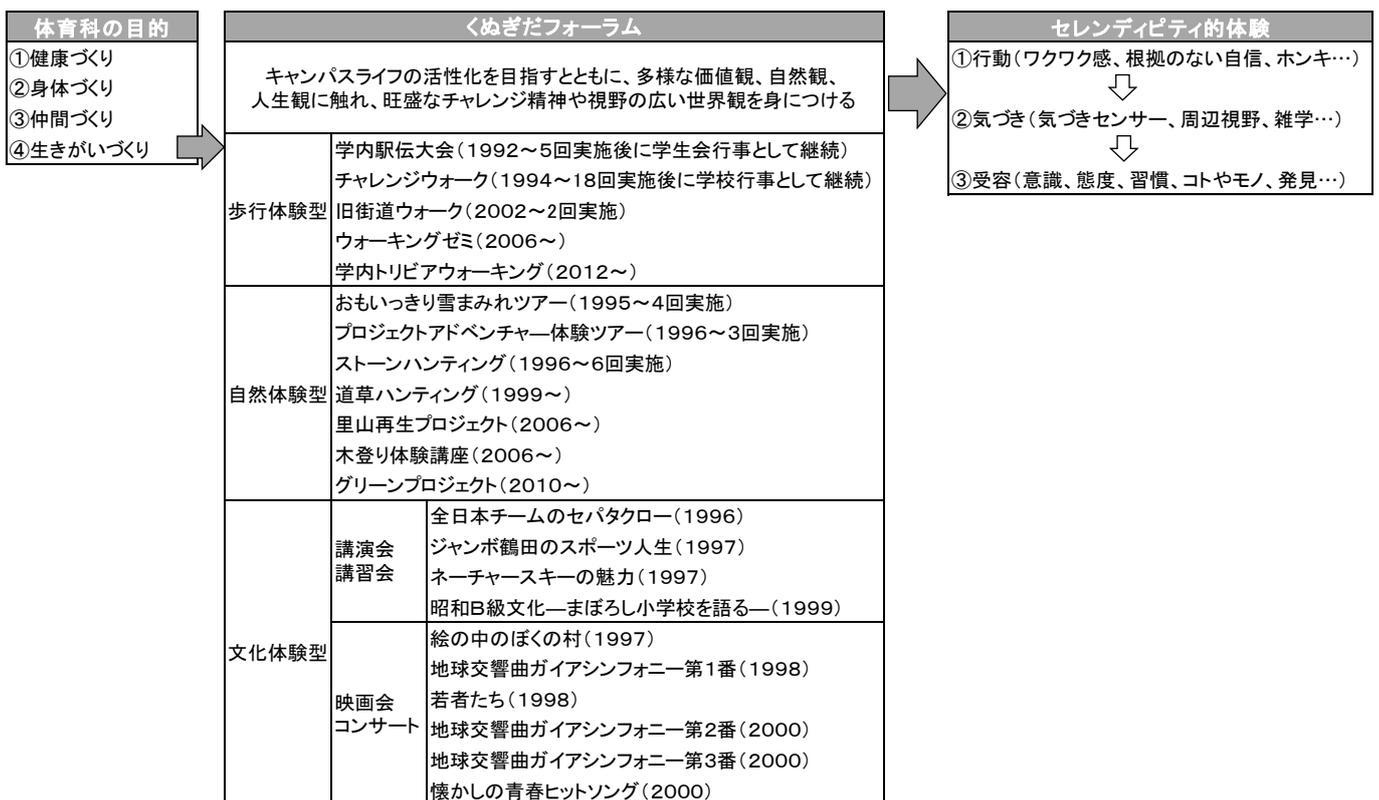
していると考えられる。

体育の授業以上に、セレンディピティの訪れを期待できそうなのが課外活動である。図1でみるように、コアな教育課程に対して、非日常空間をベースとする課外活動は周辺領域となる。民俗学では年中行事が行われる特別な日を「ハレの日」、日常を「ケの日」として分類しているが、非日常の「ハレの日」に行われる学校行事などの課外活動は、周辺領域の教育空間をベースとしており、非日常空間ゆえの開放感や高揚感が伴う。「ハレの日」は、いつもとは違う想定外の何かを予期して、期待感やワクワク感も高まる。課外活動は予期せぬ偶発的な要素も生じやすく、リスクテイクやチャレンジも要求されるが、それだけに、普段では味わえない達成感や充実感を伴って、新たな発見や気づきに出会う可能性は高いといえる。

4. くぬぎだフォーラムとセレンディピティ

くぬぎだフォーラムの目的は「キャンパスライフの活性化を目指すとともに、多様な価値観、自然観、人生観に触れ、旺盛なチャレンジ精神や視野の広い世界観を身につけること」であった。当時はセレンディピティといった言葉も知らず、学生たちと「この指とまれの企画」としてスター

表1



トしたフォーラムであるが、新たにセレンディピティの視点で再検討すると、フォーラムの目的からは、当初より我々自身の中に、セレンディピティ的な体験への潜在的な憧れや期待感があったことに気づく。

くぬぎだフォーラムの代表的企画となったチャレンジウォーク(平成24年度より学校行事)の目的は「非日常的な長距離歩行体験を通して、歩行力と忍耐力を高め、大切な何かに気付く機会とする」である。まさにセレンディピティ的体験を期待する学校行事といえる。平成25年度で第20回を迎えるチャレンジウォークの歴史は、改めて別の機会に報告したい。本稿ではこれまでにくぬぎだフォーラムで実施してきた企画の中から、とくにセレンディピティ的体験として特徴的な事例を以下に紹介する。

4.1 ストーンハンティング

ストーンハンティングとは、水晶山と呼ばれる里山に登って水晶の原石を探す企画である。この水晶山の水晶は、水晶印材や装飾品の原材料として、江戸時代後期から昭和初期まで採掘されていた。現在は坑道は閉鎖されているが、採掘跡のズリと呼ばれる残土斜面の中から、「幸運」に出会えば六角柱の鉛筆の太さほどの原石を探し出すこと

もできる。水晶の形状は様々で、単柱もあれば塊（晶族）になったものもある。無色透明なものは貴重で、多くは中に含有物を含み、特にトルマリンを含む水晶は「草入り水晶」と呼ばれ、この水晶山に特有のタイプである。

原石を求めて森の中を探索するのは午前と午後の各2時間ほどである。参加者は毎回15名程度であるが、ハンティングの様子は各人各様で面白い。周囲を歩き回り、広く浅く探すタイプ。一か所にとどまり、深く掘り進むタイプ。仲間の発掘状況を見ながら、便乗するタイプなど様々である。「幸運の女神」が誰に微笑むかはまさに「偶然」である。確かなのは、偶然の幸運に出会うために、まず森の中で感性を研ぎ澄まして積極的に歩き、自分なりに「ありそうだ」といった予感を察知し、その周囲を詳細に探すといった、セレンディピティ的な探索サイクルを回していくことである。座して待っていても、森の中では何も探すことはできない。

探し出した水晶は、見栄えのする柱状の立派な水晶から、楊枝のような細かな水晶、石英の破片のようモノまで様々であるが（写真1）、参加者それぞれにとって、どの水晶も森の中で探し出した貴重な宝物である。毎回ハンティングの最後に水晶の品評会を行い、自慢の逸品を紹介してもらうが、探し出した時の様子や「宝物」への思い入れなど、それぞれの「気づき」が語られ興味深い。普段のキャンパスと異なる森の中で、夢中になって本気で水晶を探す非日常体験を通して、参加者それぞれが、「思わぬものを偶然に発見する力。幸運を招きよせる力」を実感した一日であったといえる。



写真1：採集した水晶の原石

4.2 集え草食系！道草ハンティング

ストーンハンティングを数回継続していく中で、この種のハンティングをキャンパスの中で気軽に楽しめないかと「気づき」、新たに企画したのが「集え草食系！道草ハンティング」である。これも水晶山の鉱物ハンティングの「気づき」からヒントやアイデアを得て実現した、セレンディピティ的体験の賜物といえる（写真2）。

集え「草食系」！

**10万㎡の東京高専キャンパスは
滋養満点の「道草」の宝庫
今が旬 高専の春の恵み
ヒツジに負けるな「草食系」
大地の息吹をまるごと満喫しよう！**

平成24年5月7日道草の日のご案内（雨天中止）
5月7日（月）昼休みキャンパス内で道草の食材をゲット
各自の手摘み道草を合宿所前で確認しテンプラで食べる
※スタッフの確認した以外の道草は食べられません

道草てんぶらのオススメ食材
タラの芽、ウド、タンポポ、三つ葉、ヨモギ、ノビル
カラスノエンドウ、クスのツル、シロツメクサ…
食後はイタドリも酸味がありサッパリします。
※食材となるおすすめ道草マップは合宿所前で配布

極上の道草を味わうために
その一、「道草」を味わう旺盛な食欲（チャレンジ精神）
その二、「道草」を探す幅広い好奇心
その三、「道草」を楽しむ愉快な仲間たち

**主催：グリーンプロジェクト
協力：体育科**

写真2

道草ハンティングは、毎年4月～5月の時期に開催している。足元の雑草を採って天ぷらで食べる単純な企画である。参加者は、山菜採取に興味を持つ「本物の草食系」もいるが、足元の雑草が本当に食べられるのか半信半疑で集まってくる学生がほとんどである。食材はグラウンド周辺だけでも、ヨモギ、ミツバ、ノビル、タンポポ、シロツメクサ、カラスノエンドウ、ハルシオン、クズ、イタドリ、ヤブガラシなどがあり、裏山まで足を延ばすと、タケノコ、ウド、タラノメ、アケビの芽など、人気の山菜までゲットでき、キャンパスの道草ハンティングの食材は意外に豊富である。

自分で探して採取し、その採りたての食材を、自らアツアツの天ぷらにして、抹茶塩を振りかけて食べる醍醐味。食べるまでは恐る恐るであった

学生たちも一口味わうと、その素朴な美味さに驚き、食材の道草を探しに目を輝かしてキャンパスを徘徊し始める。今まではただの名もない足元の雑草が、その美味しさに気づくことで、大地の息吹を丸ごと満喫できるキャンパスの春の味覚として、道草ファンのターゲットになる。

道草の魅力に気づくと、東京高専の10万㎡の春のキャンパスは、道草が採り放題、食べ放題であり、まさに道草の宝庫に見えてくる。自然が豊かで雑草の多い東京高専は除草のために羊も放牧している。道草の味を覚えた本物の草食系の学生たちにとっては、この時期は美味しい道草を求めて、図らずも羊とのバトルを展開することになる。

「集え草食系! 道草ハンティング」は、普段の何気ないキャンパスの中で、好奇心を持って道草し→美味しさに気づき→キャンパスの味・魅力を再発見するといった、セレンディピティ的体験を手軽に実感する企画といえる。

4.3 森づくり・森遊び

道草ハンティングの食材の人気No.1はタケノコの天ぷらである。その竹林の裏山は、マムシが出ると噂され、以前は、人も立ち入らない昼も薄暗いうっそうとしたヤブ山であった。平成18年に裏山にマンションが建設されることとなり、森の造成、マンションの建設といった急変する事態との遭遇で(写真3)、改めて森の大切さに気づき、それをきっかけに学生たちと、残された森を整備しようと「里山再生プロジェクト」を企画することになった。必要予算を確保し、装備を整え、植生調査をし、高尾森林組合からの専門的アドバイスを得て、森づくりの活動がスタートした(写真4)。



写真3：森の造成現場



写真4：森の下草刈り

今振り返るとこのプロジェクトは、道草ハンティングでタケノコ掘りを楽しむ→森の荒廃や森の大切さに気づく→その気づきが「里山再生プロジェクト」として具体的なアイデアに結び付いた、セレンディピティ的体験と理解できそうである。

セレンディピティの「思わぬものを偶然に発見する力。幸運を招きよせる力」は、その後もこのプロジェクトから様々な森の魅力を引き出すモノやコトを生み出してきた。整備され明るい陽射しが入り込むようになった森は「森のカフェ」と命名され、居心地の良い森のセラピー空間としてオープンした(写真5)。



写真5：森のカフェオープン

秋には森のミュージアムが企画され、そのミュージアムのオブジェ作りから森の祠が完成した。森づくりの任意団体であるグリーンプロジェクトが旗揚げし、森の道の整備、伐採した竹を活用する竹炭づくりや流しソーメン、スズメバチ誘因トラップも企画した。森を遊ぼうと、木登り体験講座、ロープワーク、ハンモック体験、スラックライン(森の綱渡り)、紅葉のライトアップなども行った。森へのパスポートとして開始した木登り体験講座は、その後、東京高専の栢田祭の人気企画として、毎年継続開催されるようになった(写真6)。



写真6：木登り体験講座

5. 学生たちのセレンディピティ的体験

平成18年から継続してきた本校キャンパス内での森づくりや森遊びを通して、学生たちは様々な気づきや発見、体験、感動、森へのこだわりや愛着を、その感想文の中で語ってきた。その感想からは、前述した①行動し→②気づき→③受容する（こだわりや愛着）といった、セレンディピティ的体験が発生しやすいサイクルを読み取ることができる。以下はその抜粋である。

「新しい発見の連続でした。竹を切ったりタケノコを食べたり…。特に竹を使った流しそうめん等の自然な”食”は魅力的でした」。「東京高専は思った以上に、自然が豊かで驚いた。知らない植物や食べられる植物も多く、どれも美味しく、香りのあるもの、棘のあるもの、花や葉にもいろいろな種類があり、面白かった」。「これまでは気にしていませんでしたが、裏山での芝刈りやマイ箸づくりの材料探しを通して、学校内にある樹木の数や種類の多様さに気づきました。また裏山でどのような活動ができるのか、何を作ろうか等、いろいろ考えることは、普段はめったにできない発想なので新鮮でした」。「森のカフェの活動は創造的で、予想を上回る楽しさを感じた。そもそも竹を切る作業すら初心者の私には、その新鮮さが楽しかった」。「くぬぎだ祭で森のカフェのアピールができたと思います。今後は今以上に多くのオブジェを増やし、ここを学校のシンボルともいえる自然体験ができるスポットにしたい。マンション建設でだんだんと自然が少なくなっているため、このスポットは守っていかなければと思う」。

「竹切りや笹刈りなどは疲れるし単純な作業ですが、綺麗になった周りの景色を見ると嬉しくな

り、達成感を感じた」。「自然の中で体を動かすことは適度なストレス発散になった。普段使わないノコギリなどの工具に慣れることも良いと思った。この授業が終わるまでに木の根を切り、道を開通させるのが目標…」。「山の一角に立てられた祠は皆で協力して完成させた自慢の逸品です。前期の授業では骨組みまでの祠1号でしたが、文化祭に向けて作り直した祠2号は、支柱や壁面は裏山で入手できる竹で作り、屋根は杉皮で葺き雨対策も施し、完成度は高く文化祭では好評でした。これらの活動を通して、森への理解と竹を使った工作技術など、皆と協力しながら様々なことを学び、貴重な体験となりました」。「竹材で祠を作り始めたが、図面通りに、同じ長さ太さに竹材をそろえ、穴を開けることが非常に困難だった。最初の作品はグラグラした作品になってしまったが、図面を見直し、竹材の1つ1つの個性を踏まえて製作した第2作は良いものが出来たと思う」。「チャレンジアクティビティを通して、普段の鉄やアルミ等の素材で行うモノづくりと一味違った、温かみのあるモノづくりが行え、良い経験となった」。

「森のカフェは毎年どんどん綺麗になって居心地が良くなっている。鬱蒼としていた裏山に光が差し込むようになると、一人でも入っていける場所になった。緑の葉に包まれる6月ごろ、森のカフェのベンチに座っていると、風が森をスーッと通り抜け、騒がしい学校の中とは思えない、違う世界にいるような気持ちになったこともある」。「森のカフェの開拓？は、どこか小さい頃の秘密基地作りを思い出させた。しかし、昔の楽しさを維持しながらも、技術者として誇れるモノづくりを目指すという、難しさもあった」。「第3者が憩えるような森を作ろうとしたので、他人がくつろぐシーンを想像すると幸せな気分になった。また機会があればぜひやりたい」。「森のカフェを開拓する魅力は『未知との遭遇』である。人が立ち入りにくい森は、整備されてなく開拓が難しいが、逆に未知との遭遇に出会える可能性も高い。木を切ったり雑草を刈ったり、作業は大変だが、見違えるくらい森が綺麗になり、綺麗になるからまた開拓してしまう。その繰り返しがあるので、全て森を開拓してしまうと、この楽しみがなくなってしまう」。

6. まとめ

本稿では、セレンディピティといったキーワードをもとに、これまでの体育科の活動を振り返り、活動の意義を再確認し、ブラッシュアップを図ることであった。くぬぎだフォーラムが20年を経過したこのタイミングで、多岐にわたる企画内容をセレンディピティの視点で改めて整理・再確認し、これからの方向性を検討することは有益であった。

これまでの各企画で大切にしてきたことは、①面白そうだなと感じる「ワクワク感や遊び心」、②この指とまれの的に集まる「主体的な参加」、③教員も学生も「本気で楽しむ姿勢」、④非日常的な体験を通しての「気づき」であった。「くぬぎだフォーラム」は、ワクワク感を持って企画し、主体的参加を促し、本気で遊び、何かに気づくといったサイクルの中で、また次の新たな企画が生まれてきた。そのサイクルの連鎖の中で20年間の「くぬぎだフォーラム」が展開されてきたといえる。

セレンディピティの視点からこれまでの活動を振り返ると、まさに「くぬぎだフォーラム」の雑多で多岐にわたる企画を生み出してきたサイクルそのものが、我々にとってセレンディピティ的体験の源泉であったといえる。また学生たちの感想文からも、非日常空間の中で行動し、何かに気づき、こだわりや愛着を育む、といったセレンディピティ的体験の発生しやすいサイクルを読み取ることができた。

もちろん、本稿で取り上げたセレンディピティ的体験は、自然科学で期待されるような社会的にインパクトのあるものではない。しかし、こうした様々な気づき体験を通して、学生たちが東京高専のキャンパスにこだわりと愛着を持ち、そこに価値を見出し、キャンパスライフを存分に謳歌する中で、好奇心のアンテナを広げ、察知力や偶察力の感度を高めることは可能であろう。そのようなキャンパスライフを送る学生たちに、思いもかけないセレンディピティの訪れのあることを期待したい。

「幸運の女神は、準備を終えた者のところに訪れる」(パスツールの言葉より)。

参考文献

- 1) 古屋正俊, 佐藤義孝, 河東仁, 鈴木智之: 「高専生活の活性化に向けての試み—東京高専におけるミニ企画の実践報告—」, 高専教育第19号, pp. 338-345 (1996)
- 2) 古屋正俊, 大澤昇, 小杉暁子, 白崎由香里, 根本葉子: 「東京高専学生のキャンパスライフと意識」, 東京工業高等専門学校研究報告書第35(2)号, pp. 19-25 (2004)
- 3) 鈴木智之, 古屋正俊, 黒田一寿, 佐藤義孝: 「チャレンジウォークの13年間の経緯と『任意参加型』から『全員参加型』への移行に伴う課題」, 高専教育第31号, pp. 879-883 (2008)
- 4) 古屋正俊, 鈴木智之, 黒田一寿, 佐藤義孝: 「キャンパスの里山再生プロジェクトの実践報告」, 高専教育第31号, pp. 867-872 (2008)
- 5) 古屋正俊: 「キャンパスで森づくり・森遊び—里山再生プロジェクト in 東京高専—」, 日本高専学会誌第14号1号, pp. 36-39 (2009)
- 6) 古屋正俊: 「長距離ウォーキングの心理的効果」, 東京工業高等専門学校学生相談室報第4号, pp. 44-45 (2004)
- 7) 古屋正俊, 鈴木智之, 黒田一寿: 「プロジェクトアドベンチャーで自分探し」, 東京工業高等専門学校学生相談室報第5号, p. 34 (2006)
- 8) 古屋正俊: 「東京高専の魅力再発見! —B級キャンパスライフの実践報告—」, 高専教育フォーラム, (2012)
- 9) 古屋正俊, 鈴木智之, 黒田一寿: 「東京高専体育科の20年間の活動を振り返る」第2回関東信越地区高専体育・スポーツ研究会報告書 (2013)
- 10) 澤泉重一: 偶然からモノを見つけ出す能力, 角川書店 (2002)
- 11) 澤泉重一: セレンディピティの探究, 角川学芸出版 (2007)
- 12) 茂木健一郎: セレンディピティの時代 — 偶然の幸運に出会う方法 — 講談社文庫 (2009)
- 13) 宮永博史: 成功者の絶対法則セレンディピティ 祥伝社 (2006)

(平成25年6月20日 受理)

X-Z駆動機構を用いたインチワーム式ピエゾステージの基礎的研究

堤 博貴*, 村井 優**, 山崎瑛也***

Basic Study of the Inch Worm Type Piezoelectric Stage with X-Z Positioning Mechanisms

Hiroataka TSUTSUMI, Yutaka MURAI, Teruya YAMAZAKI

Inch worm type drive stage is used such as precision positioning machines in industrial application. In this research, the inch worm type precious positioning stage driven by piezoelectric actuators was developed. Developed stage was composed of 4 positioning mechanisms include 2 piezoelectric actuators each of them. And positioning mechanism move the slider supported by linier guide. The displacement performance of piezoelectric actuators was evaluated on the experiment. The X-Z positioning mechanism has parallel link mechanisms, and cause displacement each of X and Z direction. The design analysis of the mechanism was carried out by using the 3 D CAD software. Finally, the displacement experiment was performed, and It was confirmed positioning resolution was $2\mu\text{m}$ in 50 micrometer stroke.

Keywords : Inch worm, Piezoelectric actuator, Positioning

1. はじめに

近年の超加工精密機器や半導体製造装置の駆動機構の位置決めにおいてはナノメータオーダの分解能が望まれる¹⁾。これらのニーズに答える精密駆動用デバイスの一つとして、圧電アクチュエータがある。圧電アクチュエータは数 nm の高い分解能と数百 N の大きな発生力が得られるが、その動作範囲はせいぜい数十 μm 程度と小さい。したがって、変位を拡大する方法が必要となる。その一法案として、インチワーム型移動機構がある^{2)~11)}。この方法はいくつかの圧電素子を組み合わせることで尺取り虫のように移動する方法である。本研究では圧電素子を有する X-Z 駆動機構とスライドステージを複合したインチワーム式微小位置決めステージの開発を目的とする。

2. ピエゾステージの動作原理と基本構成

ピエゾステージの動作原理を Fig.1 に示す。ステージは駆動機構とリニアモーションガイドからなる。各々の駆動機構は X-Z 方向に微小変位することができる。駆動機構を 4 つ並列に配置しその上に置かれたリニアモーションガイドを配置する。動作は STEP 1~4 の 4 プロセスからなる。まず STEP1 において、2 つの駆動機構を Z 方向に変位させ、リニアモーションガイドのスライダをクランプする。次に STEP 2 においてスライダをクランプした状態で駆動機構を X 方向に変位させ、スライダを水平にスライドさ

せる。そして STEP 3 において別の 2 つの駆動機構を Z 方向に変位させてスライダをクランプし、他方の

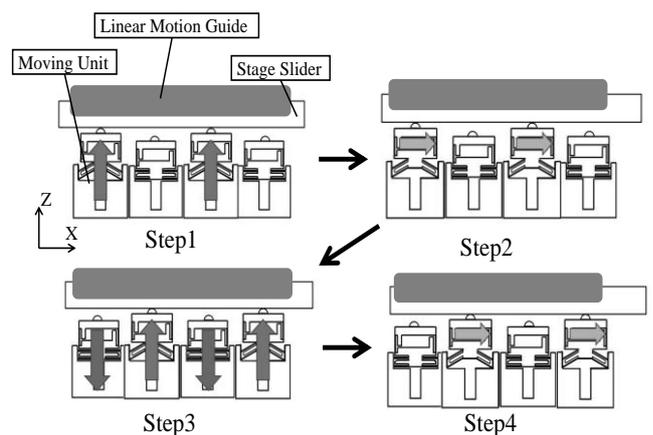


Fig.1 Moving Principle of Inch Worm Type Positioning System

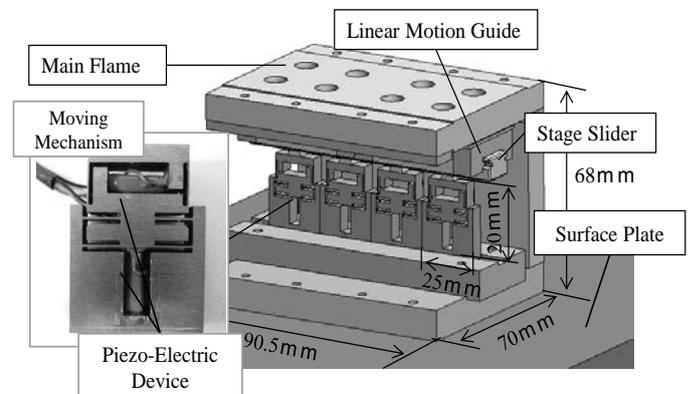


Fig.2 Construction of Inch Worm Positioning System include 4 Moving Mechanism

クランプをはずす。最後に STEP4 において、スライダを水平にスライドさせる。以上の4つの STEP にて、スライダをクランプしてはスライドさせる動作を繰り返すことで、ステージスライダの精密な駆動が可能となる。

ピエゾステージ全体の構成を Fig.2 に示す。内蔵された2つの圧電素子により、各々の駆動機構は Z、X(垂直、水平)の2方向に変位することができる。X 方向はスライド動作を Z 方向はクランプ動作である。あらかじめ駆動機構に予圧を加えることでスライド時の摩擦力を調整することができる。

3. 圧電素子の特性実験

装置を駆動させるための初等段階として、駆動機構に内蔵される圧電素子の特性を調べ、複数回駆動におけるばらつき誤差およびヒステリシスによる伸縮時の変位誤差を調べた。実験では駆動ユニットに組み込むものと同型の圧電素子に 80V の電圧を三角波形として連続的に 10 回印加し、その際の変位量を測定した。気温 20°C、湿度 30% の空調整備された部屋で実験を行った。圧電素子の変位出力結果を Fig.3 に示す。黒線で表示したものが実験値、直線で表示したものが理論波形である。変位量は最大 11.7 μm 、理論波形との誤差は 1 μm であることが確認できる。また、このときの駆動毎の変位の最大ばらつきは 0.38 μm であった。

4. 駆動機構の試作と動作実験

4.1 基本構造および設計

Fig.2 の左に駆動機構の写真を示す。駆動機構本体は一体成形にて SUS304 で製作した。ひとつの駆動機構に圧電素子 2 個を挿入した。Fig.4 に各方向に圧電素子が駆動した場合の駆動機構のモデル図を示す。圧電素子が Z 方向に駆動すると、駆動機構の溝部分が平行ばねの役割をして上方向へ変位することが可能である。また、圧電素子が X 方向に駆動すると、駆動機構上部の平行板ばねにより横方向に変位することができる。駆動機構は 3 次元 CAD ソフト (SolidWorks2011)にて設計した。

荷重 50N、要素点数 22031 個、材料をステンレスとして変位解析した結果を Fig.5 に示す。解析の結果から Z 方向の最大変位 0.08mm、X 方向の最大変位 0.17mm が得られた。このことから設計上は上述の変位まで耐えうると考えられる。さらに駆動機構の固有振動数を解析したところ、1780Hz であった。目標

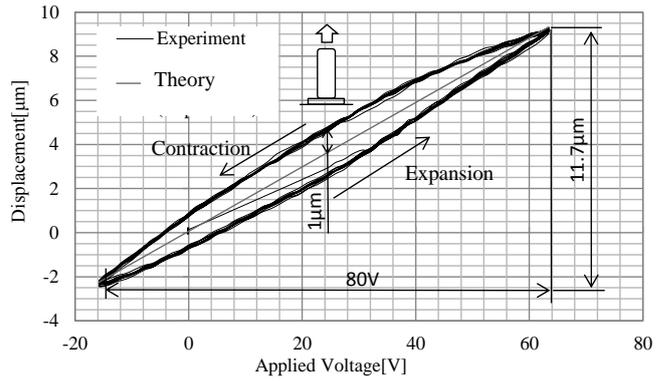


Fig.3 Piezoelectric Actuator Expansion Property Correspond to Triangle wave form input

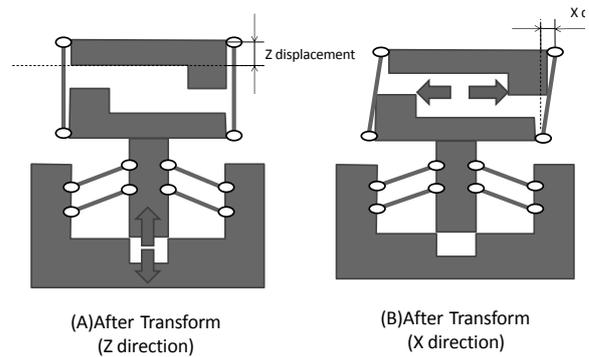


Fig.4 Moving Unit Mechanism

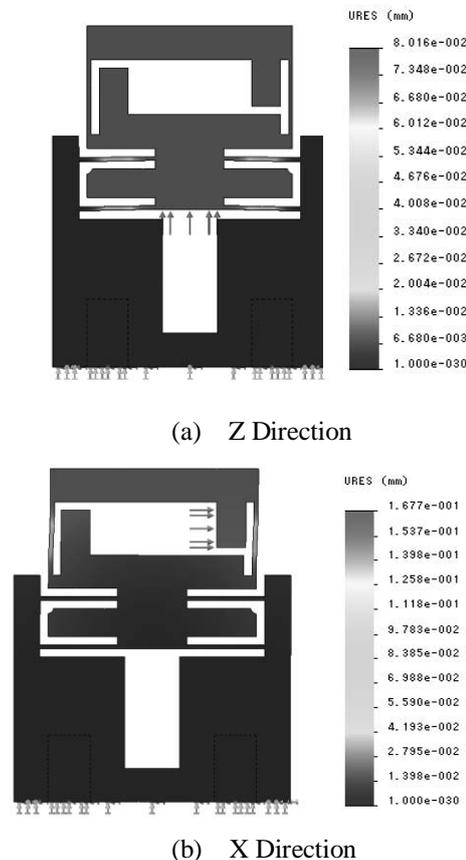


Fig.5 Displacement Analysis Result

となる圧電素子の駆動周波数を上回ることから、駆動機構は圧電素子の動作に追従可能だと考えられる。

4.2 動作実験

動作実験で駆動機構に内蔵されている圧電素子に電圧を印加し、電気マイクロメータにより Z, X 方向の変位を測定した。実験方法としては、入力電圧と出力値が同期しているか測定をするために、X,Z 方向の圧電素子に 120V, 1Hz の矩形波で表される電圧を加え、電気マイクロメータで計測した変位を測定し、入力波形と比較した。気温 26°C, 湿度 50% の空調設備された部屋で実験した。

Fig.6およびFig.7に各方向の出力変位結果を示す。この結果から Z 方向へ 5.5 μm 変位していることを確認した。また、X 方向も同様の実験を行い、3.8 μm の変位を確認した。なお、圧電素子の伸びに比べて変位が少ないのは駆動機構の剛性の影響によるものである。

5. 初等実験装置の試作と動作試験

5.1 基本構造と動作原理

前段階として初等実験装置の試作と動作試験を行った。初等実験装置を Fig.8 に示す。装置は駆動機構、スライダ、定盤、ローラーから構成される。Z (クランプ) 方向と X (スライド) 方向に変位を発生させる駆動機構を 4 つ並べる。その上にスライダを置き、さらに上からローラーで予圧をかける。ローラーは各駆動機構の上部に配置することでスライダ全体に対して均一に予圧をかけることができる。スライダは駆動機構とローラーの予圧によりクランプされることで上方向の動きに機械的拘束がかかり、駆動機構のスライド動作によって左右方向にのみ精密に位置決めすることができる。実験方法としては、駆動機構に電圧を印加して、スライダが駆動する様子を観察した。

動作原理を Fig.9 に示す。駆動のタイミングを 90 度ずらして圧電素子を駆動させる。これによりスライダは水平方向にスライド動作を行う。

5.2 動作試験

矩形波駆動によるステップ駆動時のステージの動作結果を Fig.10 に示す。Step1 から Step4 までを 1 サイクルとすると、1 サイクルあたり約 2 μm 変位していることが確認できた。動作の様子をしてみるとステップ状に等間隔で動いていることがわかる。このことから数 mm の範囲で分解能 2 μm での駆動が可能と考えられる。しかしながら、4 回に 1 回の割合で

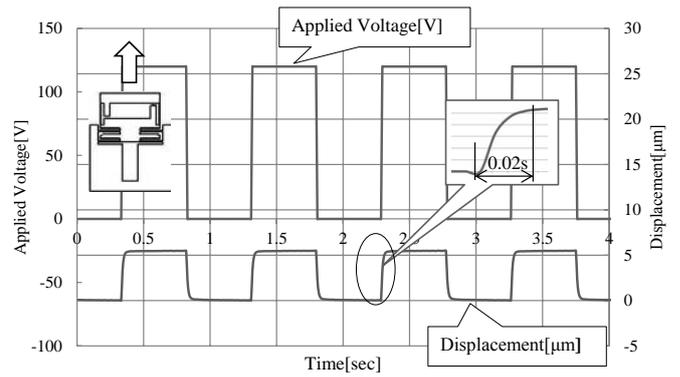


Fig.6 Z Direction Displacement Waveform of Moving Mechanism in Experimentation

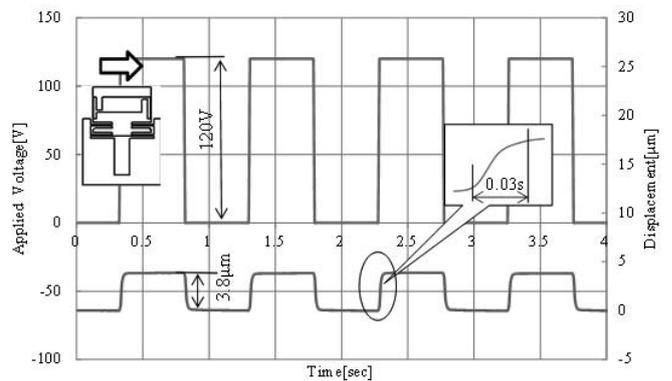


Fig.7 X Direction Displacement Waveform of Moving Mechanism in Experimentation

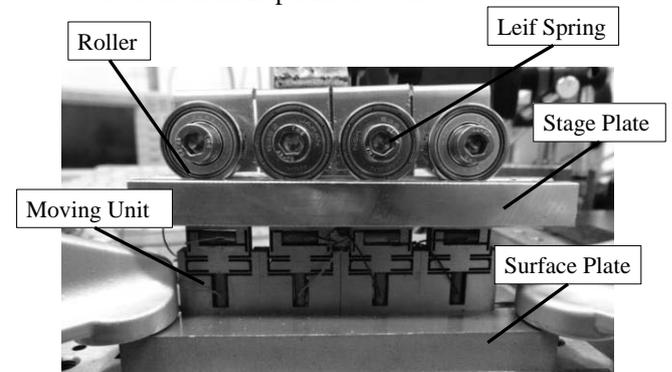


Fig.8 Appearance for Elementary Experiment System

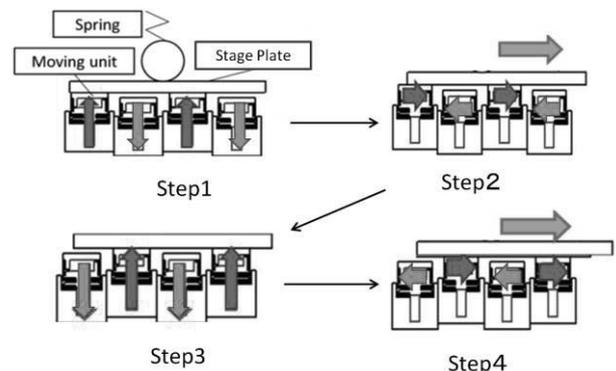


Fig.9 Moving principle of Inchworm Type positioning System in Elementary Experiment

スライダに戻りが発生していることが確認できる。戻り量は1サイクルにつき $0.8\mu\text{m}$ である。また、クランプ動作時に振動が発生していることが確認できる。これは1サイクル毎に起こっており、スライダの運動を妨げる一因となっている。

5.3 次期装置の検討

前項の実験より、初等実験装置には変位ロスと戻り動作が生じていることが確認できた。変位ロスの原因としては、1)圧電素子の駆動波形および駆動方法が良好でない。2)駆動機構と圧電素子の接着方法に問題があり、十分な変位量を得られていない。3)クランプ動作時に二次遅れが生じたためクランプの妨げになっていること。以上の3つが挙げられる。このため次期装置では矩形波以外での駆動、粘度の異なる接着剤を使用して駆動機構と圧電素子の接着方法の再検討を行う必要がある。さらに二次遅れに対してはゴムなどの弾性体を装置に用いることで、駆動機構がクランプ動作をする際にスライダへ与える衝撃を軽減することとする。

また、戻り動作の原因としては、1)駆動機構がステージプレートに対して片当たりをしていたためステージが傾いてしまい、その傾き量が戻り動作として現れた、2)ローラーからの与圧が均等にかかっていない。以上の2つが挙げられる。ステージの傾きを抑制するためには、ステージのZ方向駆動を拘束し、X方向のみに動くようにするスライド機構を用いることが考えられる。さらに、スライド機構に使用するスライドガイドはスライダ全体に与圧を均等にかけることが可能となる。

6. ステージの位置決め実験

1Hz、80Vの矩形波駆動時の動作特性をFig.11に示す。測定は静電容量型の変位計にて行った。矩形波駆動時はステップ状にステージが変位していることが確認でき、ステップ毎に良好な波形の再現性を得た。さらに、1ステップあたり $2\mu\text{m}$ の動作を確認した。しかしながら、ステージは1Stepあたり $0.1\mu\text{m}$ の微小な戻り動作を行っている。この原因はスライド部の運動時の傾斜などが影響したと考えられる。これらの結果と初等実験を比較すると変位ロスおよび戻り動作は大幅に減少していることが確認できる。

また、三角波駆動時の動作特性をFig.12に示す。矩形波駆動時と比較すると滑らかに駆動している。この時の理論波形を赤線で表示した。理論波形からの直線性に対する誤差は $1\mu\text{m}$ であった。

7. まとめ

本研究では圧電素子を有するX-Z駆動機構とスライドステージを複合したインチワーム式微小位置決めステージの開発し、以下の結論が得られた。

- 1) 80V、1Hzの印加電圧でステージを駆動させたときの位置決め分解能は $2\mu\text{m}$ であった。
- 2) ステージを改善したところ、変位ロスが1/3倍、戻り動作は1/8倍に減少した。

以上よりマイクロオーダーの位置決め精度をもつ

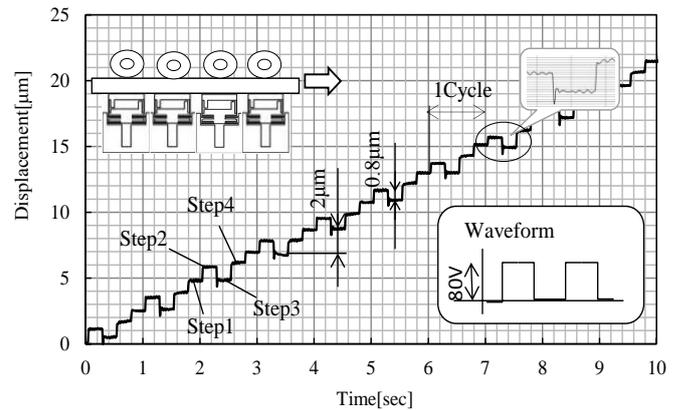


Fig.10 Behavior of Piezoelectric Stage

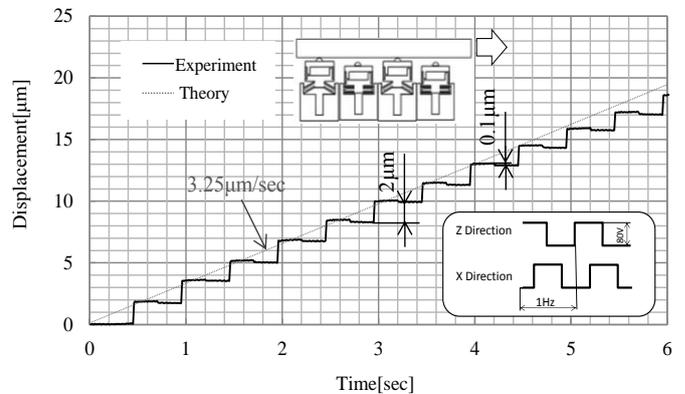


Fig.11 Piezoelectric Stage Behavior Square Wave in Sliding

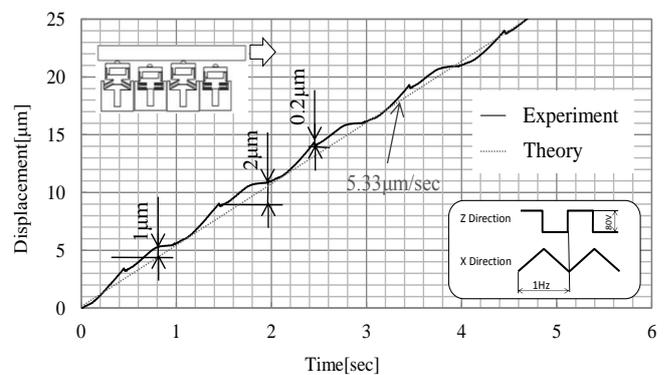


Fig.12 Piezoelectric Stage Behavior Triangular Wave in Sliding

ピエゾステージを試作することができた。今後は電波遮断時のクランプ機構の検討や駆動機構の変位誤差の改善を行う必要がある。

参考文献

- 1) 大塚二郎, 坂戸啓一郎:精密位置決め機構設計, 工業調査会, (1996), P196
- 2) 内野研二, 圧電/電歪アクチュエータ, 森北出版, (1986), P86
- 3) 丸文(株), Burleigh 微小位置決めシステムカタログ, P31, 0720M (1992)
- 4) メステック(株):技術資料, 積層ピエゾアクチュエータ, P8
- 5) 株式会社キーストンインターナショナル:ピエゾアクチュエータ, (2007.4),
- 6) Piezo Moter : PIEZO LEGS DATA AND USER INSTRUCTIONS (2003),P4
- 7) 樋口俊郎他:圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構, 精密工学会誌, 54 巻, 11 号, P2017(1998)
- 8) インチワーム駆動によるアクチュエータ, 特開 2007-116889
- 9) 久曾神煌, 西雅文, 磯部浩巳, 大岩孝彰:高分解能インチワーム式移動機構の高速化, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, 1994 号: Spring 2 , P727(1994)
- 10) 古谷克司, 太田徳幸, 太田勝:アザラシ型 3 自由度機構の粗動モードにおける位置決め特性, (2001), 日本機械学会, No 01-251 「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム講演論文集
- 11) 鳥井 昭宏:インチワーム型多自由度アクチュエータの高分解能化と精密位置計測法に関する研究, 科学研究費補助金研究成果報告書, 研究課題番号 20560245, (2010)

(平成25年5月31日 受理)

負荷機構を有する水晶振動子式力センサの基礎的研究

堤 博貴*, 福山聖也**, 佐藤慶武***

Basic Research of Quartz Crystal Type Force Sensor with a Load Support Mechanism

Hiroataka TSUTSUMI, Seiya FUKUYAMA, Yoshitake SATO

The various sensors by which it will be known that pitch will change if external force is added, and the Quartz Crystal used this characteristic are developed. In order to use as a sensor which measures force load, the mechanism in which perpendicular load is added to crystal is needed. In this research, the crystal oscillator type power sensor which used parallel leaf springs for the mechanism is proposed. Design analysis of flat spring was conducted and the load of crystal and the relation of output frequency were investigated. It checked that it could measure by the resolution of 0.27gf in the static load to 100gf by experiment.

Keywords : Quartz Crystal, Parallel Leaf Springs, Force Sensor

1. はじめに

水晶振動子は共振周波数が安定した素子であり, そのため時計や周波数発生装置などの時間や周波数を精密に管理する部品の心臓部として保持機に固定されて使用されている. この保持機に加速度が生じると慣性力により水晶振動子の共振周波数が変化し, 部品としての性能が劣化してしまう. このため, 保持機の加速度が水晶振動子の共振周波数に与える影響を最小にするための保持方法の研究が始まった. 1960年代に, C.R.Minginsら¹⁾が, 円板状 AT カット水晶振動子の外周へ摺面に平行な圧縮力を加え, 圧縮力と周波数変化量の間に直線関係があること, 周波数変化量が外力の方向の関数であることを示した. 1970年代には, C.R.Dauwalterが, AT カット水晶振動子の力センサとしての感度の温度特性を報告している²⁾.

一方で, 外力により周波数が変化することを逆に利用して水晶振動子を圧力センサに応用する研究も行われた. 現在, 水晶を利用した力センサとしては, 既に水晶圧電式力センサ等が市販されているが, センサのセンシング原理は外力により発生する電荷の検出によるものであり電氣的ドリフトの影響を受けやすいという欠点がある. 一方, 水晶に電圧を印加して振動させた状態で用いる水晶振動子は高い周波数精度の発振を起こし外力によりその出力が変化する特性がある³⁾. この特性を利用した水晶振動子式力センサの研究が進められている.

先行研究においては, 円筒内に水晶振動子を収めて二枚の円盤を重ねて負荷機構とした事例⁴⁾やパンタグラフ式の負荷機構により小型水晶振動子式力センサを開発した事例⁵⁾がある. 両者は感度が 105Hz/N , 15Hz/N である. しかしこの値は低荷重の測定においては課題があると考えられる. そこで, 本研究では負荷機構として一体型平行板ばねによりシャフトの垂直運動を用いる水晶振動子式力センサを提案する. 平行板ばねを可能な限り薄くすることにより微小荷重が測定可能になる. ここでは, 負荷機構の理論的計算及び FEM 解析による設計, 水晶振動子の荷重と出力周波数の関係の調査を行い, 本力センサの基本性能について検証したので報告する.

2. 水晶の基礎的情報

水晶は振動子として物理的・化学的に極めて安定な単結晶工業材料で, 機械的な振動損失が小さく, 周波数の安定度は群を抜いている. 1881年にキュリー兄弟により圧電気現象が発見されて以来, 水晶はエレクトロニクスの分野で広く使用されるようになった. 圧電気現象は圧電気直接効果と圧電気逆効果からなり, 前者は『誘電体結晶にひずみまたは応力を加えると応力に比例して電気分極を生ずる効果』で, 後者は『電界を加えるとひずみまたは応力を生ずる効果』である. また, 水晶には旋光性があり, 右旋光を示す水晶を右水晶, 左旋光を示す水晶を左水晶と呼んでいて, 両者は形態や物理的性質が鏡像の関係にある.

AT カットは、常温付近での周波数温度特性が比較的フラットである。AT カット水晶振動子の切断方位を Fig.1 に示す。水晶の振動は厚み振動と輪郭振動に分けられ、厚み振動の周波数は水晶版の厚さのみで決まり外形寸法にはほとんど無関係である。輪郭振動においては水晶の厚さにほとんど無関係で外形寸法のみによって決まる。水晶振動子を力センサとして用いる場合には、水晶振動子に外力を加えるため周辺部を固定する必要がある。輪郭振動は水晶振動子周辺部が振動しているため周辺部を固定すると振動が停止するが、厚み振動は振動子主面の中央部の表裏に蒸着されている電極部に振動エネルギーが集中しているため周辺部を固定しても振動は持続する。

3. カセンサの基本的構造

Fig.2に本研究で用いる一体型平行板ばねと AT カット水晶振動子の写真および板ばねの寸法を示す。本力センサは荷重により変形し水晶に力を伝達する平行板ばね機構を含む負荷機構部、水晶で負荷荷重を検知し回路へ伝達する検出部の 2 要素からなっている。負荷機構に荷重を加えることで数 g の負荷を水晶に垂直に与えられる。シャフトとして用いられるネジとナット 2 個で板ばねを挟み固定することにより、上下方向の調節が可能となる。加えて一体型平行板ばねのため、細かい部品による組み立ての際の手間を省くことも可能である。平行板ばねの材料はアルミ合金 A2024 とした。水晶振動子の共振周波数は 9MHz である。

4. 平行板ばねの理論的なたわみとばね剛性

低荷重の測定に際しては低剛性でありながら正確な垂直変位が求められる。そのために荷重伝達のロスが少なく、構造が比較的簡単な平行板ばね機構を用いることにした。設計目標は以下の通りである。

- 1) 荷重に対する変位量を比較的大きくする
- 2) 約 100gf の荷重において塑性変形しない

これらを目標にして、理論計算および FEM 解析より平行板ばね機構を設計した。ただし、荷重に対する変位量を大きくするため、先行研究で用いた平行板ばねが 1.5N の荷重に対し、変位が約 4.8 μm であったことを考慮しつつ可能な限りばね剛性を低くするものとした。本負荷機構は板ばね 2 枚を組み合わせた両端固定はりとして考えることができる。そのモデル図を Fig.3

に示す。

中心部分に加わる荷重を P 、たわみを δ 、はりの変形部の長さを l とする。ばね剛性 k は荷重とたわみの関係および両端固定はりのたわみから、次の式で示される。

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{P}{\frac{Pl^3}{192EI}} = \frac{192EI}{l^3} = 16Eb \left(\frac{h}{l}\right)^3 \quad (1)$$

E は縦弾性係数、 I は断面 2 次モーメント、 h は板厚、 b は板幅である。(1)式にそれぞれの仮値として値を代入する。縦弾性係数 $E = 73.0\text{GPa}$ 材料は A2024 材を使用している。板ばねの寸法は Fig.2 を参照する。ただし板幅 b においては板ばねを 2 枚用いているので 2 倍の値とする。

以上の結果 $k=156\text{kN/m}$ を得た。また、(1)式を変形し、中心部にかかる荷重 P を 1.5N とすると、板ばねの

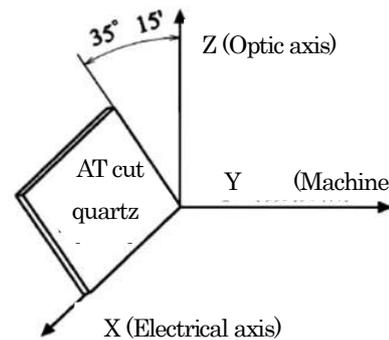


Fig.1 Relationship between AT cut quartz board and crystal axis

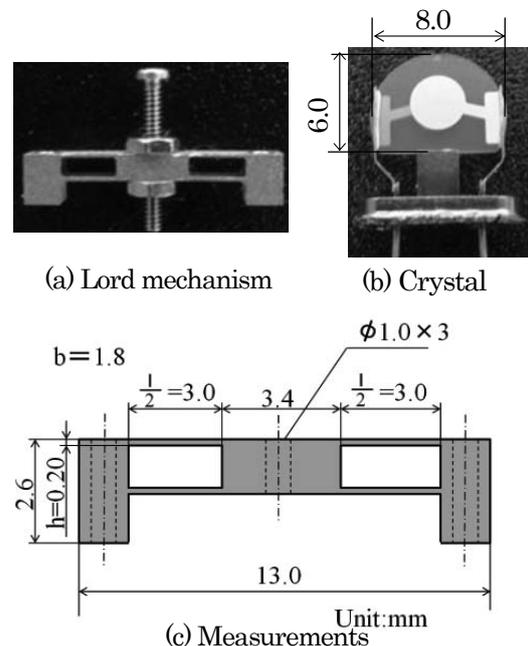


Fig.2 Measurements of Parallel Leaf Springs

たわみ量は $\delta = P/k = 9.6\text{mm}$ であることが分かる. これは目標である荷重に対する変位量を大きくすることを考えると十分にばね剛性を低くすることができたと考えられる. また, シャフトおよび機構を固定するため, 中央および両端に $\phi 1.0$ の穴をあけた. 加工の都合上, はりとはりの間には 1mm の間隔を空けてある.

5. 板ばねのFEM解析

板ばねのFEM解析ソフトSolidWorks2011を用いて本機構のFEM解析を行った. 対象条件を用いて1/4モデルを作成し板ばねの両端を固定しシャフトに1.5Nの荷重がかかったとする解析結果をFig.4に示す.

解析結果から平行板ばねがシャフトと一緒に平行変位していることがわかる. 板ばねのシャフト部分の最大変位は $10.2\mu\text{m}$ であり, 先の理論解析結果とよく一致して

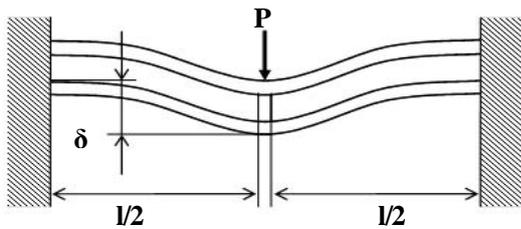


Fig.3 Displacement mechanism of parallel leaf spring

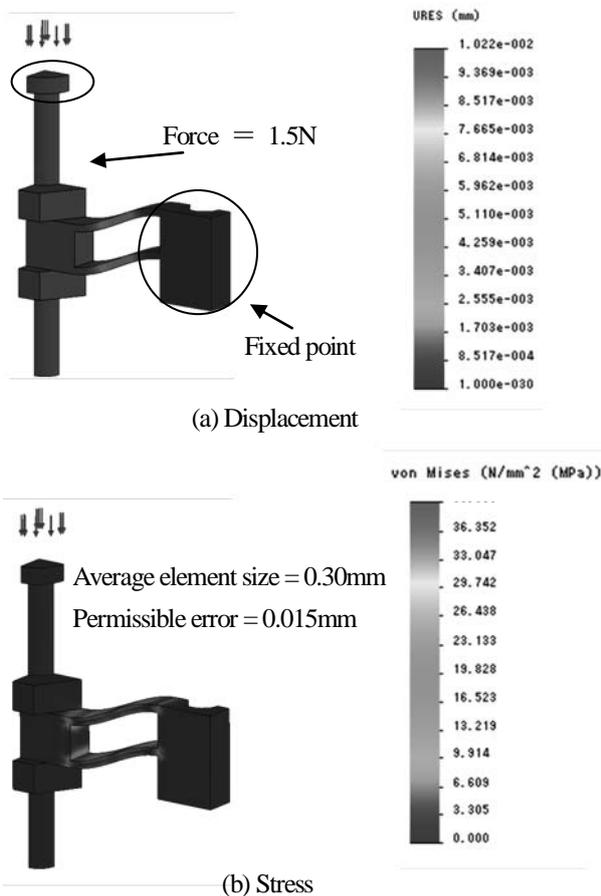


Fig.4 Analysis of Parallel Leaf Spring

いることがわかる. また, 板ばねにかかる最大応力は 39.6MPa であった. 次に荷重の値を変えて数値解析を行ったところ, 変位および荷重が線形的に変化することが分かった. このことより 100gf がかったときの最大ミーゼス応力が 26.4MPa であることが分かり, 材料の降伏応力 75.8MPa に対して十分小さいことが分かる. 以上のことから $10\mu\text{m}$ の変形に対して十分な強度を有していることが確認された.

6. 実験装置

実験装置の構成をFig.5に示す. 実験装置は, 水晶振動子と平行板ばねを一体にしたもの(荷重負荷部分), コルピッツ水晶発振回路, 周波数カウンタ(DAGATORON製FC8030U, 最小分解能 0.1Hz), 定圧電源の4つからなる. 定圧電源によりコルピッツ水晶発振回路に電圧を印加し, 水晶を発振させる, 発生した周波数は, BNCコネクタを介し周波数カウンタに表示させる. 水晶に荷重を加えながら, 周波数の変化を測定した. 荷重測定に際しては電子天秤により 10^{-3}g まで校正したおもりをを用いた.

7. 荷重測定実験

7.1 高荷重測定実験

実験装置に $0\sim 100\text{gf}$ の荷重をかけてその時の出力周波数の変化を調べた. 得られたグラフをFig.4に示す. ほぼ線形的なグラフが得られ, 近似曲線の傾きは 3.0Hz/gf で

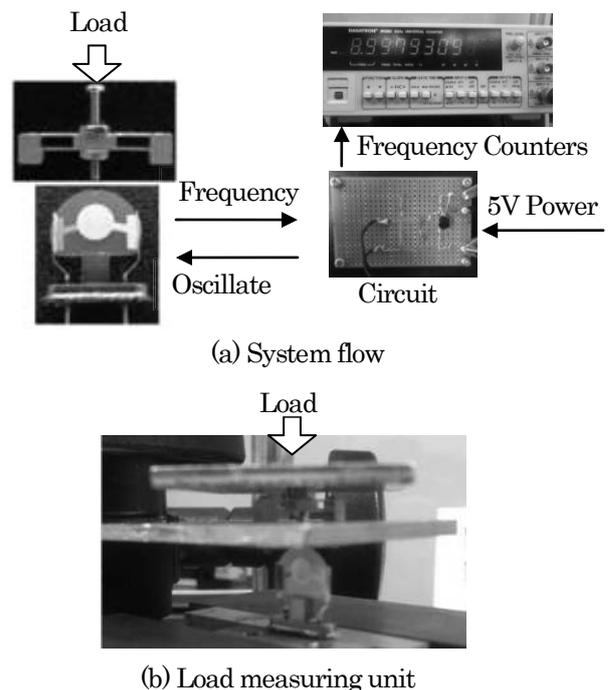


Fig.5 Crystal frequency measurement system

あった。これは N 単位に直すと $306\text{Hz}/\text{N}$ であり、先行研究と比較しても良好な感度特性を得た。プロットは直線に見えるが、近似曲線との誤差を調べると最大で 1.2Hz の誤差が確認できた。理由として、水晶は温度による影響が比較的大きいので、実験時間の経過による温度や電氣的な微小な誤差、荷重負荷位置による誤差が生じたと考えられる。

7.2 低荷重測定実験

装置の低荷重負荷での周波数特性と除荷時の特性についての実験を行った。0~10gf の荷重を負荷し、その後 0gf にまで荷重を除荷した時の周波数の変化を調べた。得られたグラフを Fig.5 に示す。前述と同じくほぼ線形なグラフが得られた。近似曲線の傾きは同じく $3.0\text{Hz}/\text{gf}$ であった。近似曲線との誤差は 0.7Hz であり、また、除荷時との誤差は 0.6Hz であった。

7.3 ばらつき測定実験

測定時のばらつきを調べるために 20gf の荷重を負荷時の周波数を 20 回測定した。ばらつきの最大誤差は 0.8Hz であった。これは前節の結果とよく一致しており妥当な結果であると考えられる。以上のことと、水晶の荷重に対する周波数特性が $3.0\text{Hz}/\text{gf}$ であることから、このセンサの測定分解能は 1Hz につき $0.8/3.0 \approx 0.27\text{gf}$ であることがわかる。

8. まとめ

本研究で構築された負荷機構を有する水晶振動子式力センサは以下の性能を有することがわかった。

- 1) 100gf の荷重に耐えることができ、 1.5N に対し $10.2\mu\text{m}$ 弾性変形する平行板ばねを設計、製作することができた。

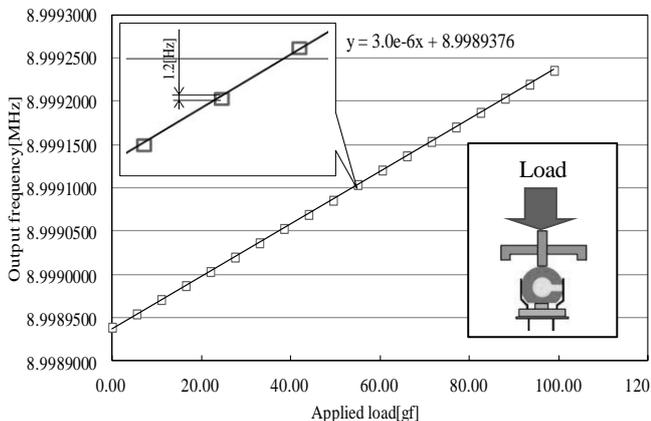


Fig.6 Relationship between applied load and frequency (Heavy load)

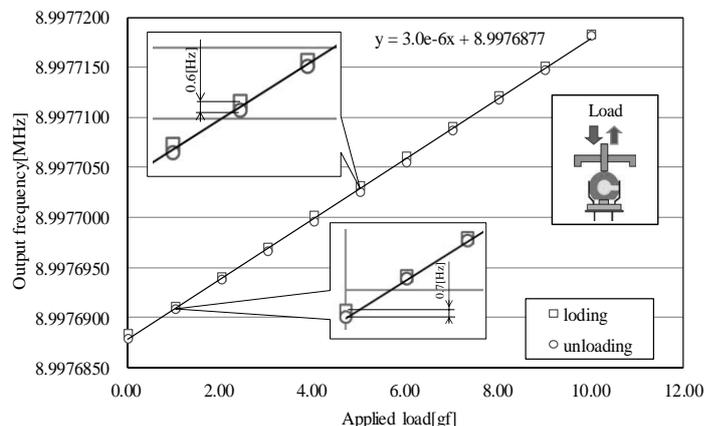


Fig.7 Relationship between applied load and frequency (light load)

2) 本水晶振動子式力センサの感度は $306\text{Hz}/\text{N}$ であり先行研究に比べ、良好な感度特性を得た。

3) センサの直線性からの誤差は 0.27gf であった。

今後の課題として、更なる微小荷重の測定実験により実際に可能な測定荷重の調査するとともに、温度補償用の参照センサを用いて誤差低減が可能であるかを確認する予定である。

参考文献

- 1) C.R.Mingins, et al: Effect of external force on the frequency of vibrating crystal plates, Proc.16th Annu.Freq.Control Symp.,46/77(1972)
- 2) C.Dauwalter: The temperature dependence of the force sensitivity of AT-cut quartz crystals, Proc.26th Annu.Freq.control Symp.,108/112 (1972)
- 3) 福島東洋通信機(株):人工水晶・水晶素板・水晶振動子 CRYSTAL GUIDE1,(1976.2.4)
- 4) 朝倉歩 他: AT カット水晶振動子による小型荷重センサの設計と製作, 日本機械学会論文集 C 編, 75 (755) pp1989~1994,2009
- 5) Zheyao Wang: Development of a High-Resolution Quartz Resonator Force and Weight Sensor With Increased Reliability, IEEE / ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 9, NO. 2, 2004
- 6) 佐藤慶武: 負荷機構を有する水晶振動子式力センサの特性評価, 2011 年度東京高専卒業論文

ダイアフラムを応用した油圧式変位拡大機構による 位置決め装置の基礎的研究

堤 博貴*, 福山拓也**, 畠山稚大***

Basic Research of Positioning Stage with Hydraulic Displacement Expansion Mechanism Applied by Diaphragm

Hiroataka TSUTSUMI, Takuya FUKUYAMA, Norihiro HATAKEYAMA

This research deals with the basic study of positioning system with hydraulic displacement expansion mechanism applied the principle of the Pascal as simple positioning system. The equipment involved in 2 disks called diaphragm on each input and output side of a cylindrical device, and hydraulic oil was in it. Expansion rate is depend on the diameters of input and output diaphragm and hydraulic oil volume moving in cylinder. Furthermore, it was enabled to change an extended direction freely applied by connected 2 expansion cylinder with a pipe. Displacement expansion of around 3 times was finally enabled.

Keywords : Micro positioning, Displacement Expansion, Diaphragm, Hydraulic

1. はじめに

近年, 生産分野, 精密測定などの分野で精密な位置決め小型の圧電アクチュエータがよく用いられている. 圧電アクチュエータは電荷を印加すると圧電素子自体が変形する現象を利用して駆動する仕組みで, それ自体の伸び量は数 μm ~数十 μm である. しかし実用的に用いるためには変位を数倍~数十倍に拡大する必要がある. 従来の変位の拡大方法に, てこの原理を応用した機構がよく用いられるが^{1)~4)}, この方法では変位の解析や設計が煩雑になり, 装置を製作するのに多大な時間を要する. また, 変位の出力方向を容易に変更できないため, 設計変更が困難である. そこで本研究では, 単純な変位の拡大方法としてパスカルの原理を用いた油圧式変位拡大機構⁵⁾の研究を行った. ダイアフラムと呼ばれる円形の板を入出力部に搭載し, 装置内に油を封入する. さらにパイプで延長することで, 拡大方向を自由に变化させることを可能にした.

2. 動作原理

Fig.1 に本研究の変位拡大機構の動作原理を示す. 本機構は主にシリンダ, ダイアフラム, 作動流体(油), 円筒状のパイプで構成される. 入力側および出力側のシリンダ外側に, ダイアフラムと呼ばれる弾性変形する板を接着し, 作動流体を封入する. 入力側か

ら圧電素子により微小な変位を与えるとダイアフラムが弾性変形し, 作動流体を押しやる. 作動流体は非圧縮性であり, 体積は一定であるので出力側のダイアフラムも同様に弾性変形するが, 入力径よりも出力径が小さいことからパスカルの原理に基づいて出力側の変位が拡大される. その関係は次の式で示される.

$$\frac{h_{out}}{h_{in}} = \frac{R_{in}^2 + R_{in}r_{in} + r_{in}^2}{R_{out}^2 + R_{out}r_{out} + r_{out}^2} \quad (1)$$

ダイアフラムは台形形状に変形し, h_{in} , h_{out} は入力および出力側のダイアフラムの変位, R_{in} , R_{out} は入力および出力側のダイアフラム可動部の半径, r_{in} , r_{out} は入力および出力側のダイアフラムの加圧部半径を示す.

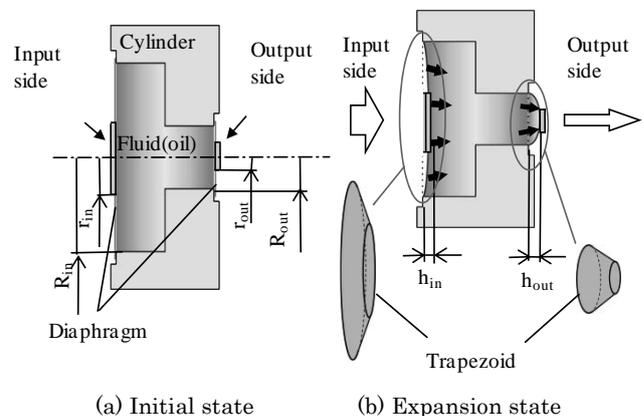


Fig.1 Displacement expansion mechanism using hydraulic

3. 実験装置および実験方法

Fig.2 に変位拡大機構の概観を示す. また, Fig.3 に実験装置の構成図を示す. ダイアフラムには厚さ 0.1mm のステンレスを使用し, 入力側および出力側ダイアフラムの径はそれぞれ $\phi 36\text{mm}$, $\phi 15\text{mm}$, 加圧部径はそれぞれ $\phi 30\text{mm}$, $\phi 8\text{mm}$ とし, 理論拡大率は 5.25 倍となるように設計した. 実験方法は, まずファンクションジェネレーターで矩形波を発生させ, ピエゾドライバで電圧を増幅して圧電素子に印加する. 圧電素子からの入力変位を本機構に入力し, 静電容量型変位センサを用いて出力変位を測定した. 入力波形と出力波形はデジタルオシロスコープを用いて測定した.

4. 変位拡大実験の結果および考察

Fig.4 に入力変位と出力変位の形状を示す. 拡大率は 2.76 倍であり, 理論に対して 53%の拡大効率を得た. また, グラフ波形から入出力の応答性が良好であり, 拡大時のタイムラグが少ないことも確認できた. 拡大効率の損失原因について調べたところ, 機構各部に数 μm の変位が見られた. このことより,

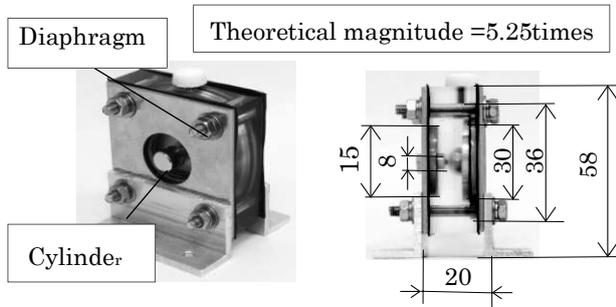


Fig.2 Photograph of expansion mechanism

機構全体の剛性が不足していることや圧電素子がダイアフラムを垂直に入力できていないことが損失原因であると考えられる.

5. パイプによる拡大機構の接続

本機構の特徴としては拡大方向を自由に变化できることが挙げられる. Fig.5 はパイプで2つの拡大機構を接続して変位拡大方向を 90° 変化させたものである. Fig.6 に本装置の入出力変位の結果を示す. 拡

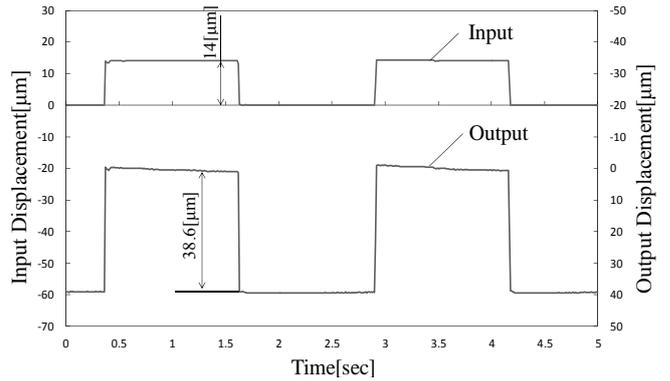


Fig.4 Magnitude of expansion mechanism

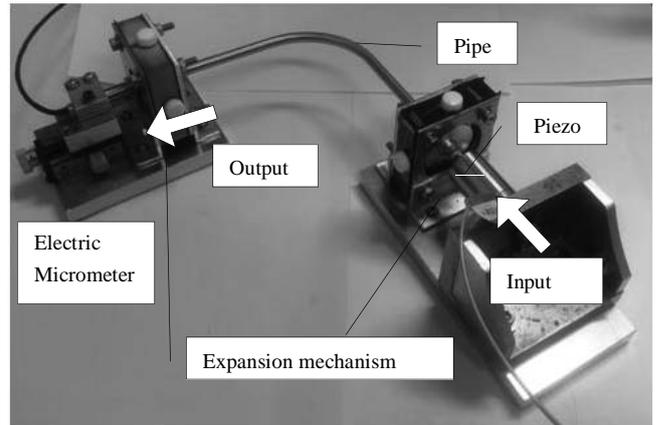


Fig.5 Photograph of expansion mechanism connected with a pipe

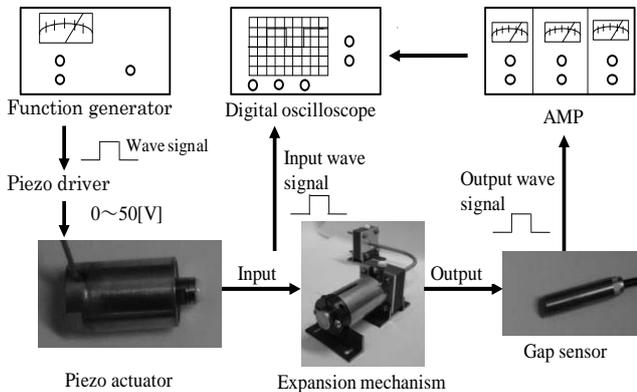


Fig.3 Constitution of the experimental device

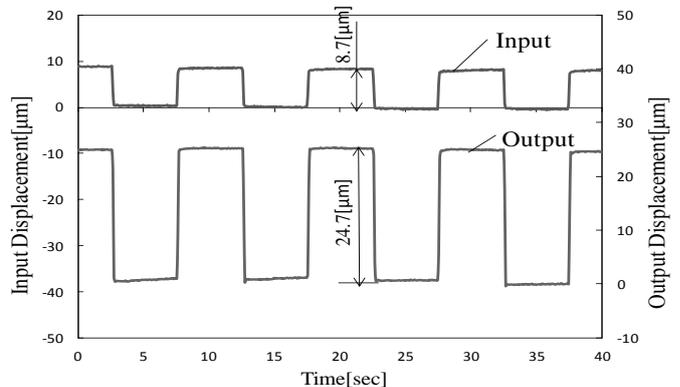


Fig.6 Magnitude of expansion mechanism connected with a pipe

大率は2.84倍で, 理論に対して54%の拡大効率を得た。これは1次, 2次が単体機構になったことで剛性が向上したためと考えられる。

6. 改良した変位拡大機構

新たに設計した油圧式変位拡大機構を Fig.7 に示す。また, 実際に製作した拡大機構を Fig.8 に示す。前節での拡大実験において, 機構が圧電素子の発生力によって傾きやシリンダが膨張し, そのことが拡大率および拡大効率の損失原因となっていることを考察した。そこで, それらの損失原因を排除し拡大率を向上させることを目的として再度設計, 製作した拡大機構について詳細を示す。

本機構は圧電素子を Fig.9 に示すような方式で固定している。圧電素子は新たに製作した円筒の内部に格納され, 円筒にねじを用いて固定したセットカラーにおいて継ぎ手を締め付けることで固定している。圧電素子および継ぎ手は円筒に対して中間ばめとなるように製作した。このことにより, ダイアフラムに対し圧電素子を垂直に入力させることで, ダイアフラムの傾きを排除した。また, シリンダは亚克力材やアルミ材から S50C 材に, 固定用 L 字治具はアルミ材から SS400 材など各部部品を比較的剛性の高い材料に変更することで傾きや膨張などの損失を排除した。また, 前拡大機構同様に二つの拡大機構をパイプによって 90° 方向に接続することで, 拡大方向に自由を持たせた。

7. 膨張量および傾き量の測定

Fig.10, 12, 14 のそれぞれに膨張・傾きによる変位を測定した箇所を赤線で示す。また, Fig.11, 13, 15 にそれぞれの変位量における測定結果を示す。青に示す before のグラフは改良前, 赤で示す after のグラフは改良後の新たに製作した拡大機構の変位測定結果である。測定にははてこ式マイクロメータを用いて測定した。

Fig.11, 15 の測定結果より, いずれの測定箇所においても拡大機構の傾きおよび膨張が 1/10 以下に低減されていることが確認できる。また, Fig.11 においては拡大機構の傾きのみではなく, パイプ接続面の

膨張においても低減されている。このことから, 内部圧力は機構内部において損失を受けることなく出力側に伝達されているものと考えられる。

Fig.13 の測定結果より, 圧電素子の加圧部の傾きについて着目すると, ダイアフラムの傾きにおいても大きく低減されていることが確認できた。このこ

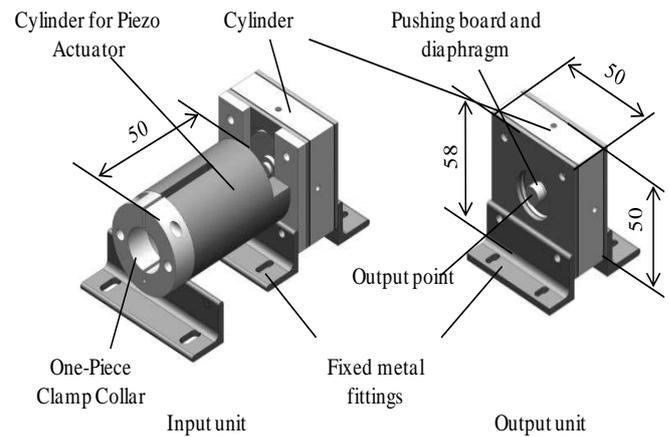


Fig.7 3D model of expansion mechanism

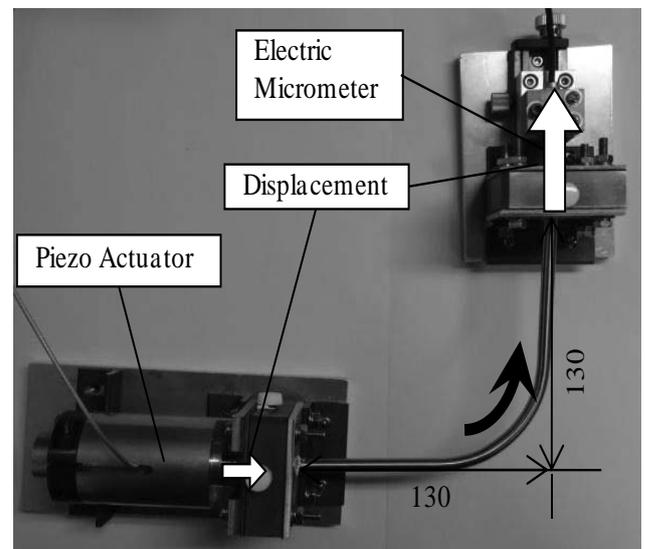


Fig.8 Overview of the experimental device

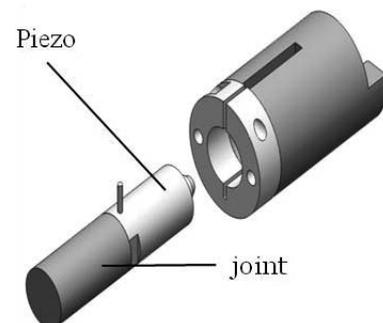


Fig.9 Fixation method of piezoelectric device

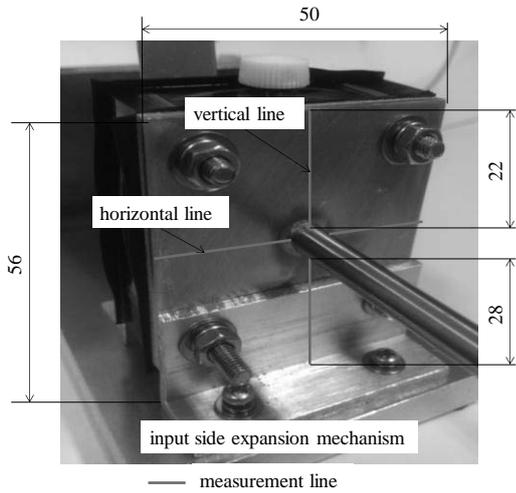


Fig.10 Measurement part of expansion mechanism

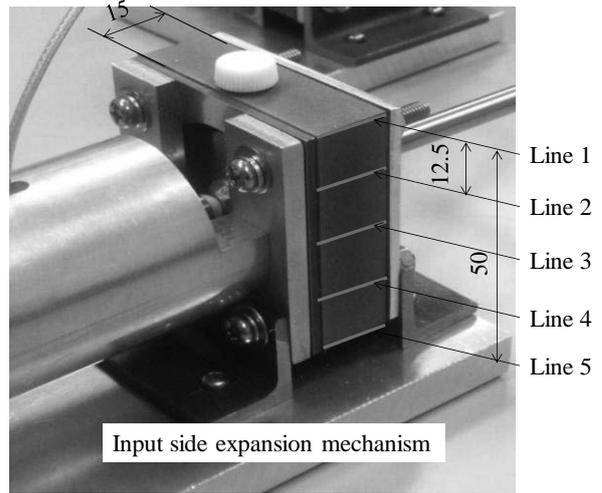


Fig.14 Measurement part of cylinder

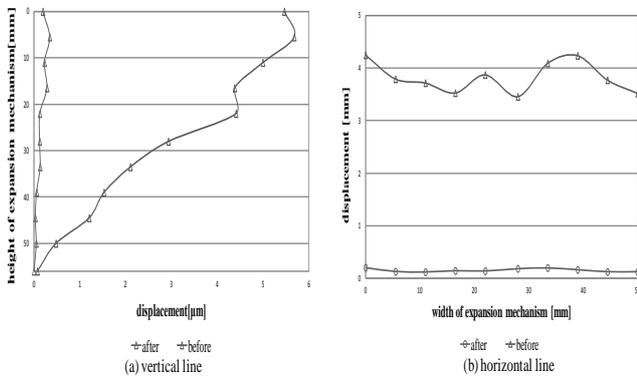
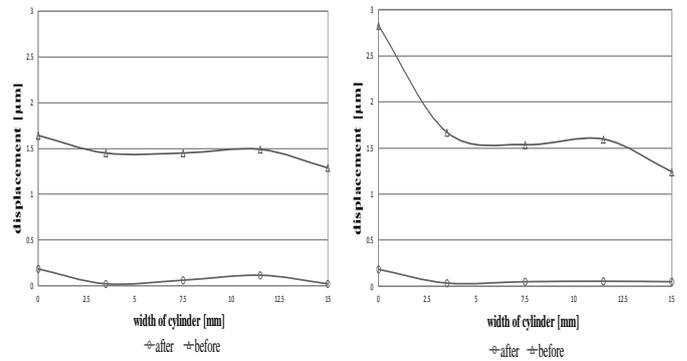


Fig.11 Result of inclination measurement



(a) Line 1

(b) Line 2

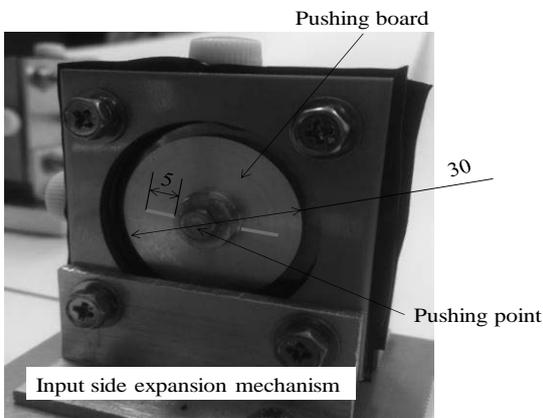
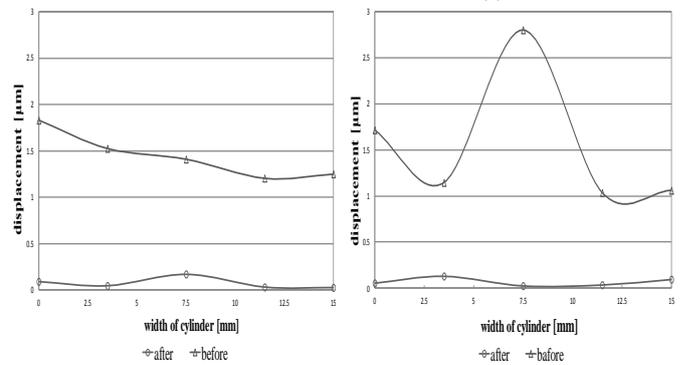


Fig.12 Measurement part of a diaphragm



(c) Line 3

(d) Line 4

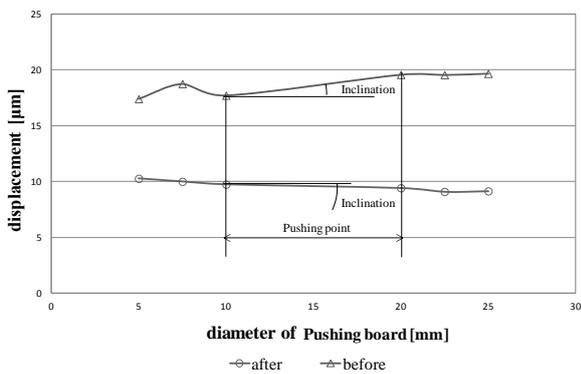
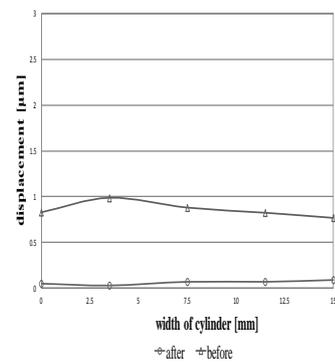


Fig.13 Result of inclination measurement



(e) Line 5

Fig.15 Result of expansion measurement

とより, ダイアフラムは前述した通り台形形状に変形させることが可能となり, ダイアフラムの傾きにおける損失は低減できたと考えられる.

以上をまとめると, 新たに製作した油圧式変位拡大機構において機構自体の傾きや膨張, ダイアフラムの傾きによる拡大率の損失原因は低減でき, 拡大率は向上すると考えられる.

8.変位拡大実験の結果および考察

Fig.16 に新たに製作した油圧式変位拡大機構での変位拡大実験の入力変位と出力変位の測定結果を示す. グラフより, 拡大率は3.17倍であり, 理論値に対して約60%の効率を得た. また, 波形より入出力の応答性も良好であり, 拡大時のタイムラグが少ないことも確認できた. 全体として振動が少なく, 位置決めに影響を及ぼすほどの振動は発生していないことを確認した. 動作の再現性は複数回の動作でほぼ同様な波形が得られた.

Fig.6 の測定結果と比較すると, 拡大率では2.84倍から3.17倍の向上を, 拡大効率では54%から60%の向上を確認した. このことから, 前拡大機構において傾きや膨張などによる損失は実際に発生しており, 本拡大機構を再製作することでそれらの損失原因は除去できたものと考えられる.

9.おわりに

本研究では油圧式変位拡大機構を製作し, 変位拡大

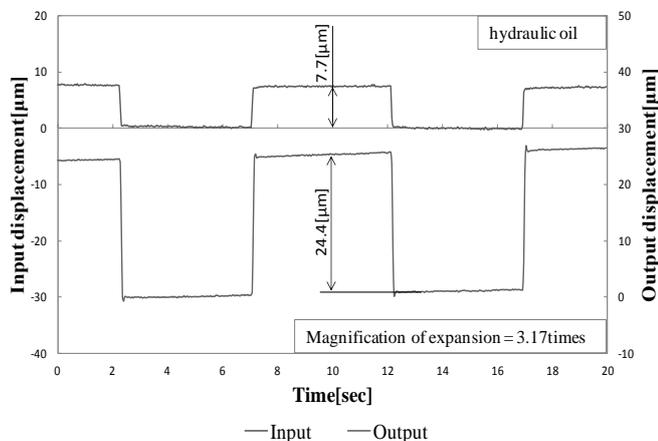


Fig.16 Experimental result of advanced expansion mechanism

大実験を行うことで以下の結論を得た.

- 1) ステンレスダイアフラムを用いた油圧式変位拡大機構において, 理論拡大率5.25倍に対して2.76倍の拡大率を確認できた.
- 2) 本拡大機構はパイプ接続により拡大方向を変化させることが可能であり, 接続後の拡大率は2.84倍が得られた.
- 3) 装置の剛性強化を図るため再度設計, 製作し, 機構各部の傾きおよび膨張による損失原因を排除した結果, 3.17倍の拡大率を得た.

今後の展望としては, 他に考える損失原因について考察, 解析をおこない, それらの排除を行うことで拡大率を向上させることが挙げられる. 具体的には, 作動流体内部に微小の気泡が存在している可能性があるため, 作動流体を低粘度のものに変更することで気泡を排除することなどが考えられる.

参考文献

- 1) 大塚二郎, 坂戸啓一郎: 図解精密位置決め機構設計, (1996), p194-p195.
- 2) Physik Instrumente 社: Catalogue Edition E.
- 3) 矢野健, 福井泉: 圧電素子の振幅拡大機構, (1991), p225.
- 4) 古川栄一郎ほか: リンク機構を利用した圧電駆動並進機構, 1991年度精密工学会講演論文集, (1991), P223
- 5) 内野研二: 圧電/電歪アクチュエータ, (1986), P85
- 6) 畠山稚大: 油圧式変位拡大機構を用いた位置決め装置の研究, 東京高専機械科卒業論文 (2012), P3-P13, P37-P51

(平成25年5月31日 受理)

自動きさげ盤によるテクスチャ定盤面仕上げに関する基礎的研究

堤 博貴*, 藤本舜太郎*

Basic Research of Finishing Method of the Textured Surface Plate Made
by the Automatic Scraping Machine

Hiroataka TSUTSUMI, Shuntaro FUJIMOTO

This paper deals with basic research of finishing method of the textured surface plate made by the automatic scraping machine. That machine consists of a large size XYZ stage for tooling and a hand scraper tool. At first the scraped marks size and mark shape were calibrated by 3D surface measuring machine. Next, textured surface pattern on the surface plate was designed by 3 dimensional CAD. Then, each of positioning and scraping pattern programming for the scraping machine was made manually. Finally, surface plate was scraped automatically in experiment, and scraped surface was compared with designed surface plate about scraped depth, mark size, shape. As a result, it was appeared good agreement in design and scraping experiment.

Keywords : Scraping, Automation, Scraped Surface

1. はじめに

きさげ作業は平面を製作する手仕上げ作業の一つであり、ノミ型の工具で金属面を削って平らにしていくものである。高精度な平面を製作できることから現在においても必要不可欠な加工法であるが¹⁾、わが国における熟練技能者数は減少の傾向にある。この問題を解決する方法として、きさげ作業の自動化が試みられてきた²⁾⁵⁾。きさげ仕上げされた定盤面には光明丹を用いてすり合せを行ったもの以外にも、フライスや研削仕上げされた面にパターン状にきさげ模様（テクスチャ）を施したものが、安価な定盤としてよく用いられる。

本研究では、上述のようにきさげ加工痕をパターン状に施した定盤面の自動仕上げ方法を検討した。三次元 CAD によって設計されたマッピングデータに基づき、所定の形状、深さの加工痕をパターン状に配置した。従来の研究で開発した自動きさげ加工機を用いて定盤を製作し、その性能を評価したので報告する。

2. 自動きさげ盤の構成

本研究で開発した自動きさげ盤の外観を Fig.1 に示す。本機は高精度なボールねじとサーボモータ⁴⁾から構成された直動機構を XYZ に組み合わせたものである。工具の位置決め分解能は 10 μ m 以下であり、各軸方向に最高 100mm/sec の速度で駆動できる。工具形状を Fig.2 に示す。この工具は熟練作業者が作業時に用いるきさげ工具を支持フレームで固定した

もので、加工時にはばねとともに工具自体が弾性的に変形し、被削物に適度な加工力(ばね力)を加える。押し付け量を変化させることで、作用切削力ときさげ痕のサイズを変えることができる。なお、実験的

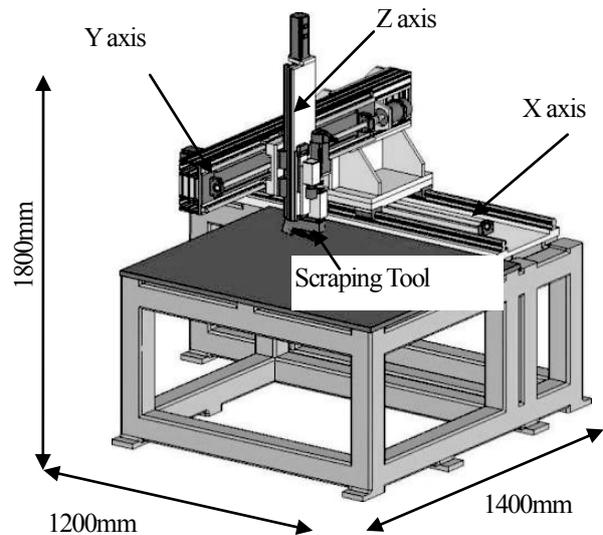


Fig.1 Automatic scraping machine

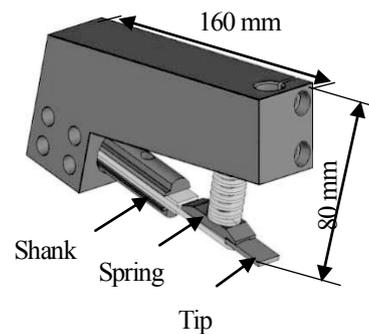


Fig.2 Scraper tool

に検討した結果、工具のばねの強さ（ばね定数）は 14N/mm とし、刃先材としては超硬チップを用いた。

加工時の工具の動きを Fig.3 に示す。加工時のモーションとしては工具を下方に押しつけた後、徐々に上方に移動するような三角形状とした。加工時の動きとしては工具を斜め下方に押しつけた後、上方に逃れるように三角形の運動をする。本研究の加工目標は、熟練作業者が作成した定盤を参考とした。加工痕の大きさは $9 \times 7\text{mm}$ ・加工深さ約 $15\mu\text{m}$ 、加工個数約 11個/in^2 加工面積率の $40 \sim 50\%$ 程度とする。このような加工を実現するために加工力や加工深さを調整しパターン状にきさげ加工を行った。試験片としては研削加工を施した FC250 を使用した。

3. きさげ加工力の測定

Fig.4 に加工力測定の様子を示す。ロードセル（A&D 社 LCB03-K060L, 最大定格容量 600N ）を水平・垂直に組み合わせて 2 方向の加工力を測定した。Fig.5 に加工力測定システムの構成を示す。加工力をロードセルにて取得し、ひずみアンプとブリッジボックスと A/D 変換器を介して PC で観察できるものとした。

Fig.6 はきさげの加工力と加工断面の形状を示す。 F_v は垂直加工力、 F_h は水平加工力である。加工がすすむにつれて加工力は徐々に大きくなるのがわかる。また、加工断面はくぼみ状になっており、加工初期は切り込みが急になっていることがわかる。 $0.15 \sim 0.25\text{s}$ の間では工具を被加工物に垂直に押し付けていることから $F_v > F_h$ となり、工具を押しつけながら横方向に切削加工が行われるため、 F_v 、 F_h ともに増加し、 $F_h > F_v$ となる。これらの傾向は熟練技能者の加工の傾向⁶⁾とよく一致している。

Fig.7 は加工力と加工深さの関係であり、水平加工力 F_h 、垂直加工力 F_v をそれぞれ示した。低い荷重では材料に対して刃が食い込む量が小さいため $F_h > F_v$ となり、高荷重では食い込み量が増えるため $F_h < F_v$ となったと考えられる。 F_v 、 F_h ともに約 60N で加工痕深さが $15\mu\text{m}$ となり、目標のテクスチャ定盤の製作可能と考えられる。

4. 加工方向による加工痕形状の変化

本装置は工具を Z 軸周りに回転させることで加工方向の変更が可能である。目標定盤を作成するのに適当な加工痕を選定するために、複数の方向から加工したときの加工痕の形状を測定した。工具回転の様子を Fig.8 に示す。それぞれの加工痕は、測定を正

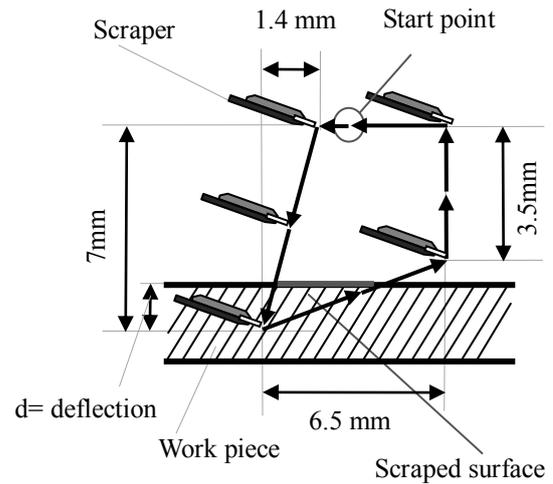


Fig.3 Scraping motion

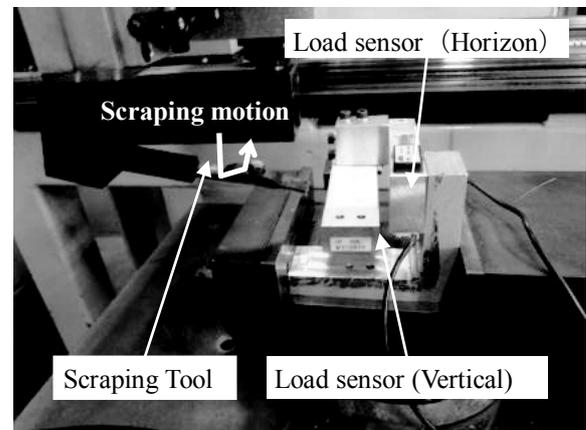


Fig.4 Measurement system

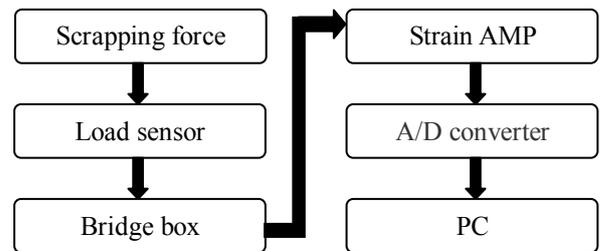


Fig.5 Measurement system

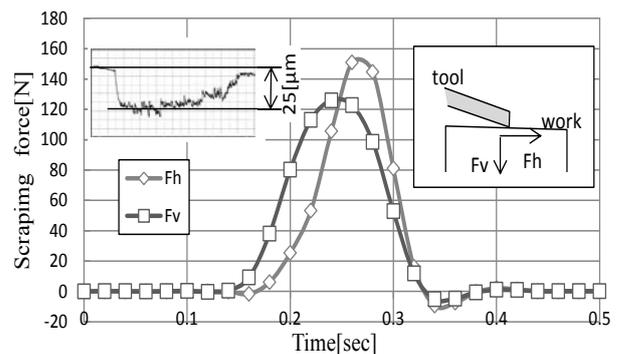


Fig.6 Scraping force and surface shape

確に行うために十分に離れた位置に加工した。加工方向は、0°、45°、90°の3方向とした。試験片は研削仕上げを行ったFC250を使用した。

Table1 に加工痕の表面形状と三次元表面形状を示す。ベース面の研削仕上げの方向性により加工痕の断面形状が各方向によって異なることがわかる。加工痕深さもそれぞれの方向で異なり、加工方向 90°が 10μm で最も小さく、加工方向 0°が 15.5μm で最も大きい値を示した。きさげ面を作成する際に使用する加工痕は形状が単純であり、設計が容易であることから 45°方向のものを用いた。

5. きさげマッピングデータの設計

前節の加工痕の測定結果を用いて三次元 CAD ソフトを用いて、加工痕形状をデジタルデータとして作成した。ソフトとしては Solidworks2011 を用いた。作成された加工痕を CAD 上でパターン状に配置することによりきさげマッピングデータを設計する。設計は 45°の加工方向を用いて、32×33mm の範囲で加工を行った。Fig.9 に 3DCAD でパターンマッピングされたきさげ表面を示す。加工痕のピッチを 8.0×6.0mm とし、全面積に占める加工痕面積率を約 40% とした。

6. きさげ面の作成

目標定盤の加工痕深さを 15μm とすれば、Fig.7 から垂直、水平切削加工力ともに 60N が適当と考えられる。工具ばね定数が 14N/mm であることから工具たわみ量を 4.3mm として実験を行った。

実験によって得られたきさげ面を Fig.10 に示す。加工痕のひとつについて大きさを測定したところ、6.8×9.3mm となった。このきさげ面の断面形状測定した結果を Fig.11 に示す。測定した箇所は Fig.10 に示す Line A である。測定結果より、加工痕深さが 15μm であることが分かった。また、3次元測定を行った結果を Fig.12 に示す。測定範囲は、1 インチ四方 (25.4×25.4mm) とし、測定箇所は、Fig.10 の Area B で示した部分である。それぞれの加工痕の形状が一樣で、加工痕深さもほぼ同じ値を示していることがわかる。測定範囲内に、加工痕が 12 個あることから、加工痕個数は、12 個/in²であることがわかる。また、このきさげ面の加工面積率を、画像処理で調べたところ、約 55%であることが分かった。

Table2 に設計時点での目標と実際に加工されたきさげ面の仕様を比較したものを示す。それぞれの値がよく一致しており、設計どおりに加工がなされた

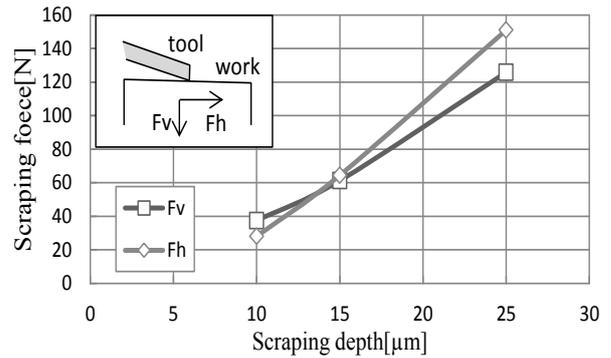


Fig.7 Relationship between scraping depth and force

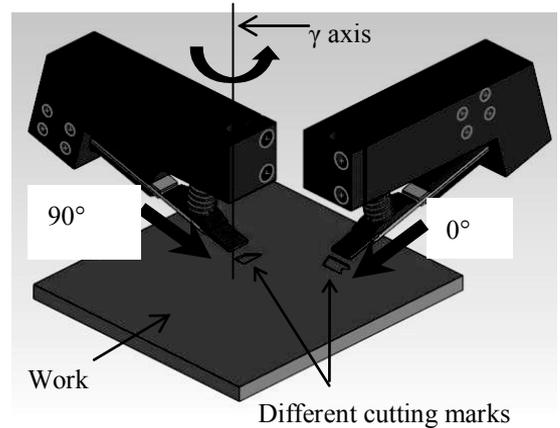
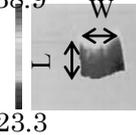
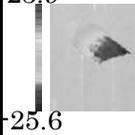
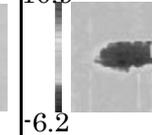


Fig 8 Turning of scraping tool

Table1 Specification of Scraping mark

	0°	45°	90°
Surface Sharp[μm]	38.9  -23.3	23.9  -25.6	10.9  -6.2
Scraped Depth[μm]	15.5	11.8	10
L [mm]	5.8	7.0	6.8
W [mm]	5.6	5.4	4.4
Area[mm ²]	20.2	17.2	13.6

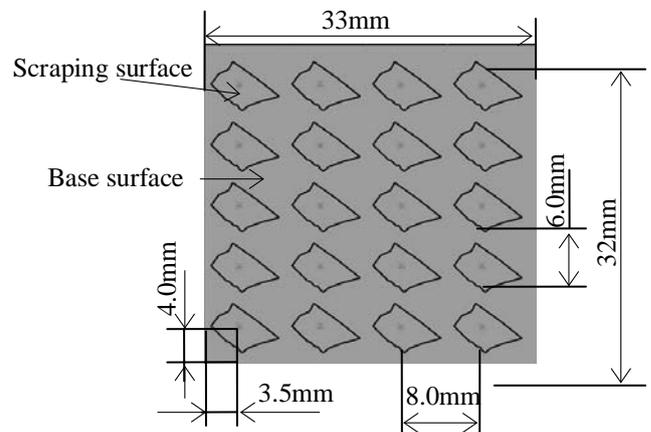


Fig.9 Textured format of scraped marks

と考えられる。

7. おわりに

自動きさげ加工機を用いて表面にテクスチャを有する定盤を自動的に創製することを目的とし、以下の結論を得た。

- 1) 加工力測定システムを構築し、加工力と加工痕深さを測定することで、関係性を明らかにした。工具の押し付け量によって加工力を20～160Nの間で変化させることができ、ひいては加工痕深さの制御が可能となった。
- 2) 加工痕の形状が加工方向によって異なることが分かった。
- 3) 数種類の加工痕形状を測定し、3DCADで再現することによって、模様きさげ面のマッピングデータを作成することが可能となった。
- 4) 実際に仕上げられた定盤は、加工痕サイズ9.3×6.8mm、加工痕深さ約15μm、加工個数約12個/in²、加工面積約55%の加工となり、目標に近い加工が可能であった。

以上より、1方向からの加工にて設計通りのテクスチャを有する定盤を作成することができた。今後の課題は、複数種類の加工痕を使用した定盤を作成し、性能評価等を行うことである。

参考文献

- 1) 西本 進：機械工作法(手仕上げ作業)，(1997)，パワー社
- 2) 堤 博貴，久曾神煌，中村輝幸：当たり面認識装置を含む自動きさげ盤の開発（第2報），精密工学会誌 62，4(1996) 554.
- 3) 堤 博貴，久曾神 煌ほか：当たり面認識装置を含む自動きさげ盤の開発(第3報)，精密工学会誌，71-3，(2005)，358-362.
- 4) 竹内芳美ほか：CCD ラインセンサによる当たりの認識ときさげ作業の自動化，精密工学会誌 52，12(1986) 2087.
- 5) 山根八洲男ほか：定盤きさげ加工への多関節型ロボットの応用，精密工学会誌 55，10(1989) 55.
- 6) 藤井 洋ほか：きさげ工具に作用する力と工具の動き，日本機械学会東海支部第41期総会講演論文集 3(1992) 37.

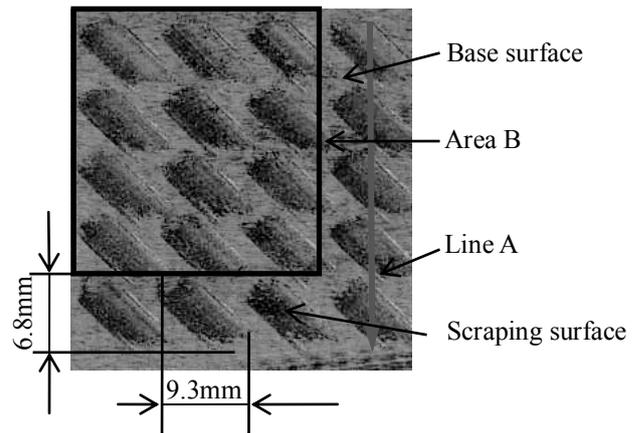


Fig.10 Scraped surface

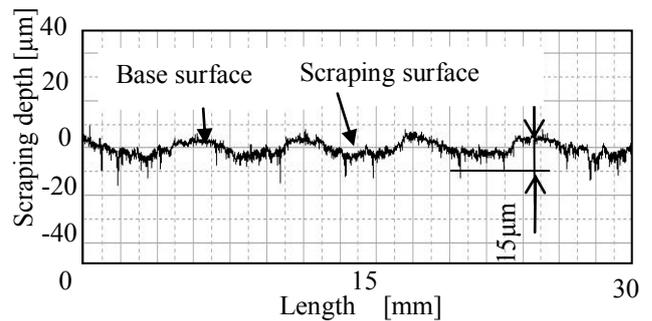


Fig.11 Profile of scraped surface

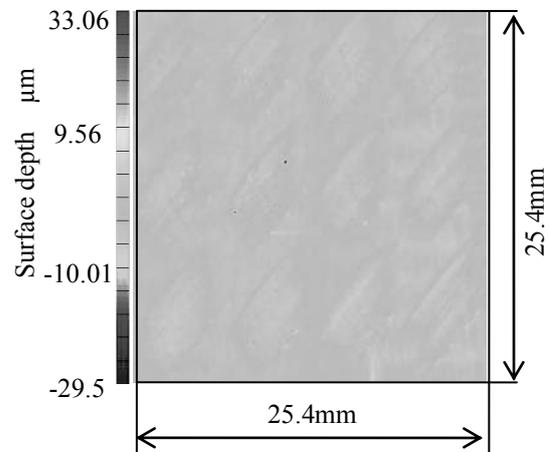


Fig.12 The surface 3D profile

Table2 Comparison of Specifications

Item	Target	Result
Scraping depth [μm]	15	15
Size of marks [mm]	9×7	9.3×6.8
Mark number [Number//in ²]	11	12
Rate of Scraping area [%]	40～50	55

(平成25年5月31日 受理)

炭素繊維強化プラスチックによる自転車用チェーン sprocket のシリコンゴム型成形と実走評価

木村 南*, 堀之内翔馬**, 若生朋宏***

Making of Sprocket Made of CFRP for Trial Purposes and Running evaluation

Minami KIMURA, Shouma HORINOUCI and Tomohiro WAKO

In order to develop lighter power transmission device, bicycle sprocket was made of CFRP using silicone rubber mold. The filling of the carbon fiber cut into 15mm to the silicone rubber type was excellent. In the normal mold method was difficult to control tooth thickness by deformation of mold, but tooth thickness control was possible that using split mold of tooth part. The sprocket made of CFRP of VF25% was made for trial purposes by using the silicone rubber mold. There was no problem on teeth though it actually run up to 5000km by installing the sprocket made of CFRP in the bicycle.

Keywords : CFRP, chain sprocket, bicycle running test, silicone rubber molding

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック (以下 CFRP) は強度に優れ、軽量なため航空機・自動車から釣竿、自転車などの身近な道具にも使用されている。歯車などの動力伝達部品への CFRP の適用例は少なく、転造のように一歯ずつ成形したものや、ホブ盤による切削法²⁾や短繊維を含有した熱可塑性樹脂による射出成形³⁾により造られたが、いずれの場合も歯先が破断しやすいという問題があった。一方 CFRP 部品は試作でもオートクレーブなどの高価な機材が必要とされることが多く低コスト化がもためられていた。著者らはシリコンゴムを用いた簡易型での低コスト成形を試みてきた^{3)④}。そこでシリコンゴム型を利用して炭素繊維クロスではなく長繊維炭素繊維束が歯先形状に沿うように全歯同時成形し、真円³⁾および楕円⁴⁾のチェーン sprocket を試作して、実走試験評価を行った⁷⁾。

2. 予備実験

2-1 材料

3K 平織炭素繊維クロス(東邦テナックス)を Fig.1 に示すようにはさみで一定長に切断して、マトリックスにはエポキシ樹脂(GH CRAFT 主剤:硬化剤=100:40)を用いた。シリコンゴム KE-12(信越シリコン)で成形用ゴム型を作製した。

CFRP の成形条件は 22°C±1°C で 24 時間静置により硬化させた。また成形中に一定圧力(0.2kPa)を付与するようにシリコンゴム型に鉄錘を載せた。



Fig.1 Cutted carbon fibser bunch (3K)

2-2 引張試験片

CFRP は繊維の配向に対して引張方向が異なると著しく強度が低下することが知られている。炭素繊維束を用いた CFRP の強度を調べるために Fig.2 に示すような JIS13 号引張試験片形状を A5052 アルミニウム合金板からワイヤカットにより作製しこれを原形として Fig.3 に示すシリコンゴム製引張試験片型を作製した(22°C±1°C, 24h)。このようにすると難切削材の CFRP 引張試験片を容易に製作できた。

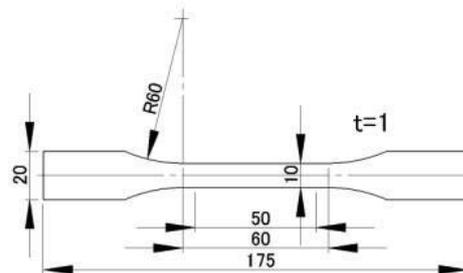


Fig.2 Tensile strength test piece (JIS13号)

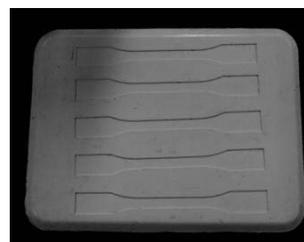


Fig.3 Silicone rubber mold for tensile strength test piece of CFRP

2-3 引張試験結果

3K 炭素繊維平織クロスを開織してはさみで炭素繊維束長さが 6mm, 15mm, 30mm になるように切断し、それぞれ T-06, T-15, T-30 とした。炭素繊維の体積含有率 $v_f=25\%$ となるように Fig.3 のシリコンゴム型にて引張試験片を作製して引張試験機(島津オートグラフ AG-100kNXplus)にて試験速度 5mm/min で各 5 本の引張試験を行い Fig.4 に破断状況を示し、

代表的な応力ひずみ曲線を Fig.5 に示した。

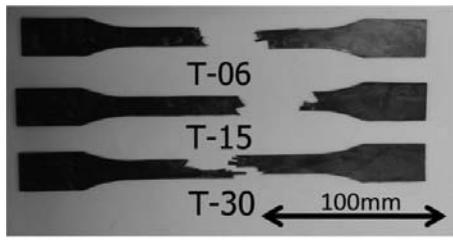


Fig.5 CFRP tensile test result

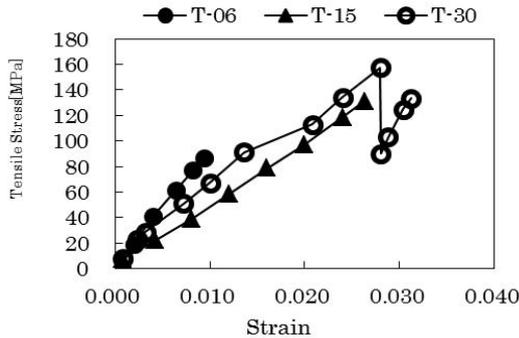


Fig.6 Stress-strain curve of CFRP tensile test

炭素繊維束長 30mm の T-30 では引張試験中に繊維束のブルアウトによる強度低下が観察された。繊維束長と引張強さの関係を Fig.7 に示した。30mm 長は引張強度が高いものの、後述するように繊維束長が長いものは歯先への充填性が低下するのでスプロケット成形では炭素繊維束長を 15mm とした。

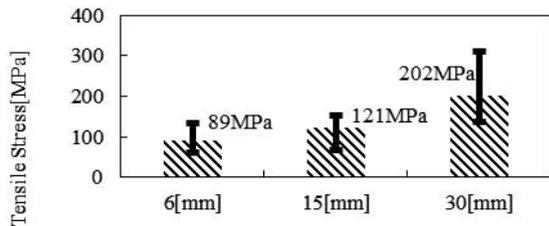


Fig.7 Tensile strength of CFRP (n=5)

つぎに繊維束の方向と引張強度を調べるために炭素繊維束長 15mm を利用して Fig.8 に示すように 0°, ±15°, ±30°, ±45°, ±60°, ±75°, 90° の 7 種類の引張試験片を Fig.3 のシリコーンゴム型で $v_f=25\%$ となるように作製した。

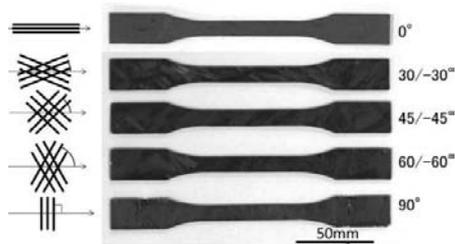


Fig.8 Tensile direction and carbon fiber bunch of tensile test piece

V_f を 30% 以上にするのは困難であった。引張試験の結果を Fig.9 に示した。引張試験方向と繊維束方向のなす角度が

0° の場合には引張強度が 200MPa であったが角度が 15° になると 70MPa に低下し、繊維束と引張方向となす角度の増加に伴って引張強度が漸減して 90° では 30MPa になった。

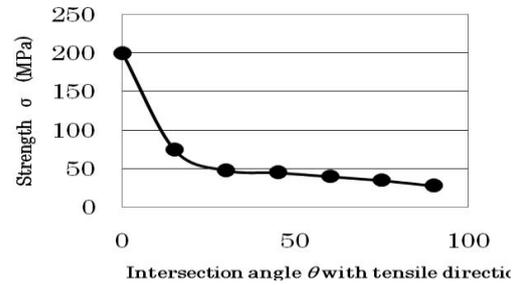


Fig.9 Tensile direction and carbon fiber bunch of tensile test piece

3. CFRP 製チェーン sprocket の成形

3-1 真円スプロケットの上下分割型成形

CFRP 製チェーン sprocket 成形用のシリコーンゴム型は 54 歯の市販ジュラルミン製チェーン sprocket を原形として歯先部を同時成形する上下分割型を Fig.10 に示した。



Fig.10 Silicone rubber molds

Fig.11 には CFRP 製チェーン sprocket 用のシリコーンゴム上下分割型(LM2)の作製手順を示した。

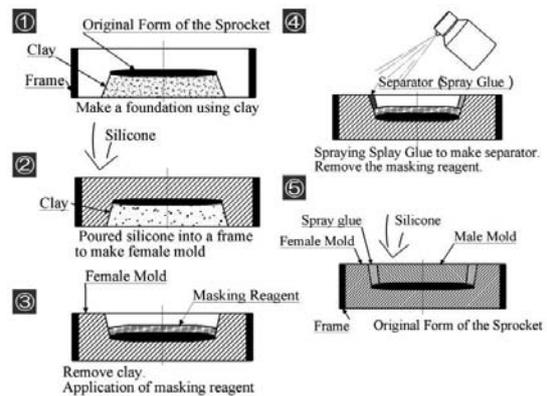


Fig.11 Molding process of CFRP chain sprocket(LM2)

- ① 粘土を敷き詰め原形の土台とし、粘土部が上型となる。
 - ② シリコーンゴムを流しこみ硬化させ、下型を作製する。
 - ③ 上下を反転し、粘土を除去し、上型下型を分割するためのセパレータの代替としてスプレーのりを用いる。スプレーのりの散布前に、原形にマスキングを行う。
 - ④ スプレーのりを散布し、マスキング剤を除去する。
 - ⑤ シリコーンゴムを流しこみ硬化させ、上型を作製する。
- このようにして作製されたシリコーンゴム型での樹脂成形

性を確認するためにエポキシ樹脂(主剤 100:硬化剤 40)で sprocket の成形具合を確認した。

CFRP 製チェーン sprocket の成形のために 15mm の長さに切断した 3K 炭素繊維束を 2 枚型の下型に、エポキシ樹脂を染みこませながら充填し、上型をかぶせ硬化させる。Fig.12 に充填時の様子を示す。



Fig.12 Molding of carbon fiber bunch

Fig.13 に 22°C±1°C,24h での硬化品(vf=20%)外観を示した。歯先への炭素繊維束の充填が難しく、そして Fig.14 に示すように 0.2kPa の低圧保持のため、炭素繊維束の充填が不十分な部分が存在することもあった。



Fig.13 CFRP chain sprocket (Vf=20%)

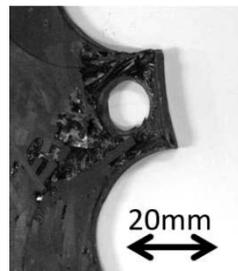


Fig.14 Unfilling part

3-2 歯先部 3 分割型による CFRP 成形

歯先部への 15mm 長の 3K 炭素繊維束の充填が難しいので歯先部を成形するリング状のシリコンゴム型を別体とする 3 分割型の作製法工程を Fig.15 に示した。

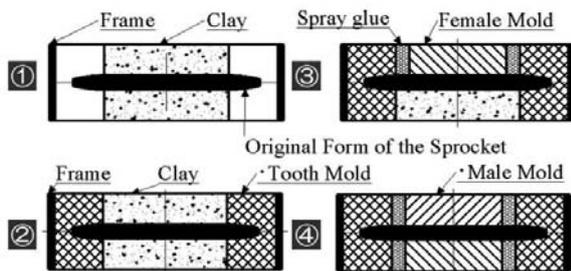


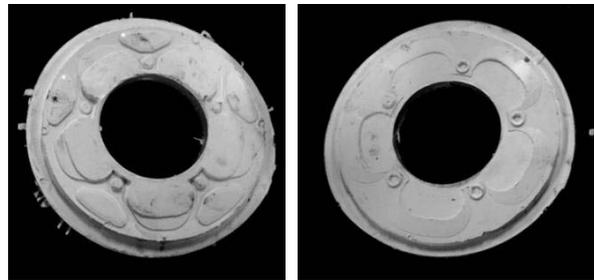
Fig.15 Making process of 3 division silicone rubber mold

3 分割型の作製工程は

- ① 粘土を用いて原形の歯部分以外を覆う
- ② シリコンゴムを流し硬化させ歯部分を成形する。
- ③ 上半分の粘土を除去した後、原形の露出している部分にマスキング剤を塗布し、歯部分のシリコンゴムのみに離型剤(スプレーのり)を散布する。シリコンゴムを流し込み硬化させる。
- ④ 上下反転し、上半分の粘土を除去し、下型と同様にシリコ

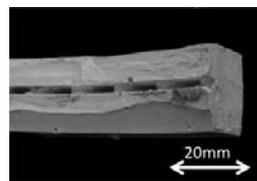
ンゴムを流し込み硬化させる。という手順で行った。

歯先部成形シリコンゴム型を型枠にセットし、CFRP 成形後にはシリコンゴムの弾性を利用して無理抜きができる。Fig.16 に 3 分割型(LM3)を示した。

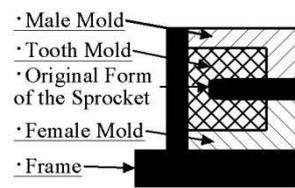


a) Male mold

b) Female mold



c) Teeth mold



d) 3 division molding structure

Fig.16 3 division molding using silicone rubber(LM3)

Fig.17 に歯先部成形用シリコンゴム型への炭素繊維束の充填状態を示し、Fig.18 に雌型と炭素繊維束を充填した歯先型を型枠に取り付けた状態を示している。



Fig.17 Filing to teeth silicone rubber mold

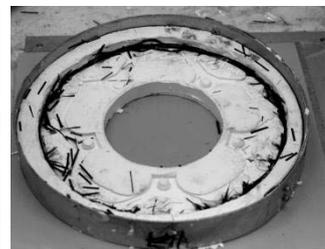


Fig.18 Silicone rubber molding process

1 歯ずつ炭素繊維束を充填するので成形途中で炭素繊維束が脱落するような充填不良が少なくなった。また歯部成形用シリコンゴム型は上下に分かれていないため炭素繊維の充填量が多くても歯幅を一定にすることが可能であった。



Fig.19 CFRP chain sprocket using 3 division silicone rubber mold
Fig.19 に 3 分割型で成形した CFRP 製チェーン sprocket の外観を示す。歯幅について Fig.20 に原形となったジュラルミン製

の市販 54 歯の歯幅 2.00mm 歯幅と上下分割型(LM2)と3分割型(LM3)の歯幅を示した.LM3 は原形とほぼ同一の 1.91mm~2.01mm の歯幅となり Vf=25%となった.

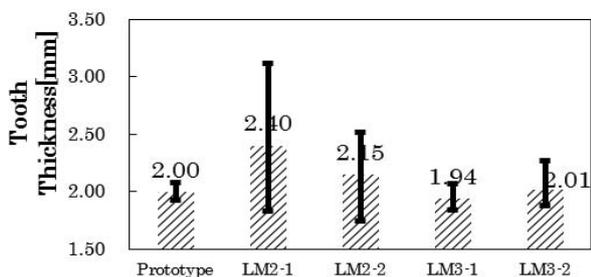


Fig.20 Chain sprocket tooth size

3-3 楕円 CFRP 製チェーン sprocket の成形

楕円チェーン sprocket はペダルの踏込力が最大となるクランクの回転角が 45° のときピッチ円が最大となるように設計されている.2010 年度の自転車世界選手権では優勝者が楕円チェーン sprocket を使用した.そこで Fig.21 に示す市販のジュラルミン製楕円チェーン sprocket を原形として,



歯先部成形型を有する 3 分割シリコーンゴム型を作製した.

a) ROTOR

b) O.SYMETRIC

Fig.21 Oval sprockets

歯先部への炭素繊維束の違いによる充填具合の影響を調べ Fig.22 に Fig.21 b) O.SYMETRIC タイプの楕円チェーン sprocket 歯先部の外観を示した. a) 15mm 長の 3K 炭素繊維束のみで積層したものと, b) 先に 6-10mm 長の 3K 炭素繊維束を積層してから 15mm 長の 3K 炭素繊維束を積層したものである.そ



の結果, 歯先部分には短い

炭素繊維束が充填率を向上させることがわかった.

a) 15mm-3K carbon fiber bunch

b) 6-10mm-3K carbon fiber
+15mm 3K carbon fiber bunch

Fig.22 Tooth molding

4. 実走評価および考察

4-1 実走試験

真円の CFRP チェーン sprocket (54 歯) を Fig.23 に示す内装 8 段変速付のシクロクロスバイクに取付て多摩川サイク

リングロードなどをのべ 21 日間で合計 650km を.平均 16.8km/h で走行した.チェーンおよび sprocket にはこの間無注油状態であったが全く問題がなかった. Fig.24 に 650km 走行後の CFRP チェーン sprocket の外観を示すが歯先の折れ欠けは全くなかった.内装変速機の場合にはチェーンラインのずれは生じないが,ロードバイクで使用されている外装変速機の場合はチェーンラインを移動させて前後の sprocket の組合せによってギヤ比を変更するので Fig.25 に示す前 3 段後 5 段の合計 15 段変速での実走テストをさらに 600km 追加したが摩耗量は約 50mg とごくわずかであった.

ロードレース参加者を含む自転車歴 5 年~45 年の 30 代から 50 代までの 6 名に CFRP 製チェーン sprocket を取付けた自転車に試乗してもらったところ「ぐんぐん踏み込みこめる」「sprocket へのチェーン喰い付きが良い」「全力が出せる」「力が逃げない」というように非常に高評価であった. CFRP フレームのロードバイクに楕円 CFRP 製チェーン sprocket を取付合計約 5000km 実走しても問題はなかった.



Fig.23 CFRP chain sprocket running test (Inner 8 speed)



Fig.24 CFRP chain sprocket (after 650km running test)



Fig.25 Oval CFRP chain sprocket running test

4-3 曲げ試験

自転車の前変速機の動作はインナーの小ギアからアウターの大ギアに変速する場合①前変速機ガイドのインナー側がチェーンのインナー側に接触してチェーンラインを外す②チェ

ーンのアウター側がアウターの大ギアに接触し摩擦で大ギアの歯先にチェーンが乗る③チェーンラインがアウターの大ギアまで移動して歯先のピッチにチェーンのピッチが適合したときにチェーンローラは歯元に落下して変速が完了する. という3段階になる.そこでチェーン sprocket の剛性を Fig.26 に示すように sprocket を治具で水平に固定し, 万能材料試験機の圧縮アンビルを利用して, sprocket の中心から 95mm の点に 20N の荷重をかける曲げ剛性試験を行った.

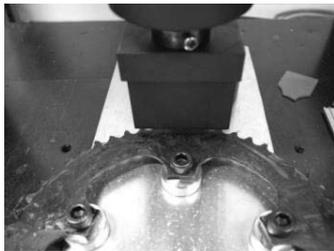


Fig.26 Chain sprocket bending test

Fig.27 に曲げ試験結果を示した. 原形(Prototype)として SHIMANO DURA-ACE 54T, 上下分割型で作製した LM2(Vf=20%)54T, 歯先型を有する 3 分割型で作製した LM3(Vf=25%)54T での変位はそれぞれ 0.14mm, 0.38mm であった. ジュラルミン製の SHIMANO に比べて CFRP 製 sprocket は曲げ剛性が 1/4~1/3 であった. 実走時に平地でクランクの回転数が 70~90rpm の場合にはジュラルミン製, CFRP 製もクランクが半回転で変速が終了したが, 5% 程度のの上り坂でインナーからアウターに変速する場合に, 上記②の段階で変速機ガイドがチェーンをアウターの CFRP 製 sprocket を大きく曲げるためにチェーンラインとアウターのチェーンラインが一致せずにガリガリと音をたてながらクランクを 3 回転して変速が完了することもあった.

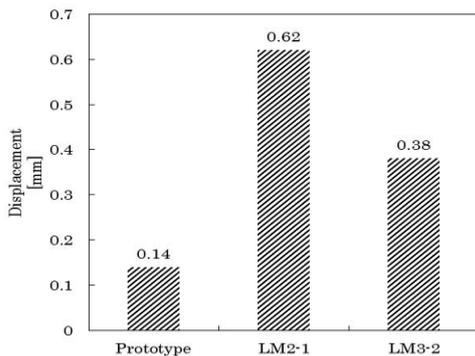


Fig.27 Chain sprocket bending test (20N)

4.4 歯先に加わるひずみ

CFRP sprocket に加わるチェーン張力によるひずみを測定するためにひずみゲージを楕円 CFRP チェーン sprocket の歯元に取付けて周方向ひずみと半径方向ひずみを測定し Fig.28 に結果を示した. 炭素繊維束が歯先形状に沿うようにしながら配向しているため, 周方向・半径方向ともチェーン張

力が 1.0kN までは増加しているチェーン張力に対してせん断ひずみが増加しやすい半径方向のひずみが大きく, 周方向のひずみはチェーン張力に対して炭素繊維束の引張りひずみが影響するために半径方向のひずみに対して 40% 程度低減されたとみられる. またチェーン張力が 1.0kN 以上ではひずみの低下が観察された. チェーン sprocket では複数の葉先がチェーン張力を分担しており, チェーンメーカーの技術資料では鋼製 sprocket では 6 歯までチェーン張力を分担しているとされているが実際の CFRP sprocket では 9 歯目までチェーン張力を分担していることが CFRP 製バイク用チェーン sprocket のひずみ測定結果から分かった⁸⁾. そのため 1.0kN 以上のひずみの低下は他の歯がチェーン張力を負担するためと考えられる. チェーン張力の負荷は 1.6kN が最大でそれ以上ではチェーンが外れたが CFRP 歯先には欠損がなく実用上問題のない強度を有していた.

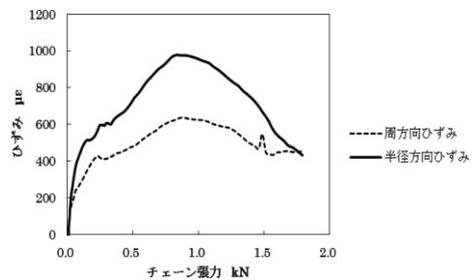
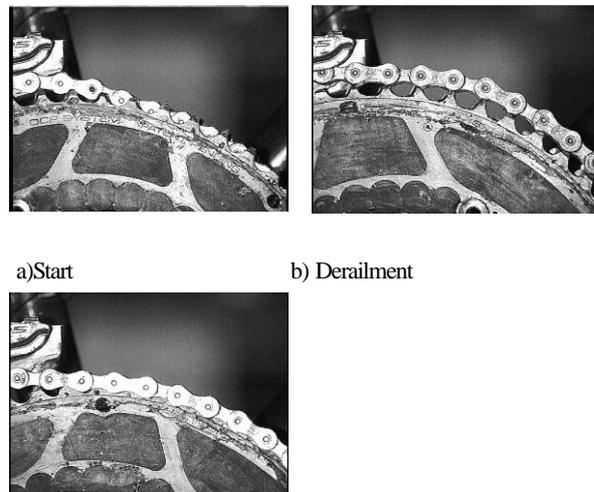


Fig.28 Relationship between strain and chain tension

4.5 変速時のチェーン移動

キーエンス社の高速ビデオカメラの VW-9000 を用いて, ジュラルミン製インナー 50T から楕円 CFRP 製アウター 54T への変速動作を撮影し Fig.29 に a) 変速開始 b) チェーンがアウターの歯先に乗る c) チェーンがアウターの歯先に収まった楕円 sprocket は真円よりも変速しにくいのでジュラルミンの原形にあつた肉抜き部分を CFRP 化し剛性を上げた..



c) Finish

Fig.29 Front derailleur operation (CFRP oval sprocket)

4-6 パワー測定

自転車用動力計を用いて真円と楕円のチェーン sprocket でのパワー測定を Fig.30 に示す実験装置で30~60km/h で100rpm になるようにギヤ比を設定し速度を基準(設定値 ± 0.5 km/h)としてパワー[W]を比較した。

自転車:SCOTT ADDICT タイヤ空気圧:700kPa

動力計:SRM/PowercontrolV

トレーナー:EliteParabolicRollers

対象:Al 真円,Al 楕円,CFRP 楕円(全て歯数 52)

測定時速/分 : 30/2, 40/1.5, 50/1, 60/0.5

測定手順

Warm-up (1~5min)→

30km/h,40km/h,50km/h,60km/h



Fig.30 Power measurement instrument

パワー測定結果を Fig.31 に示す.CFRP 楕円は50km/h~の高速域において最も消費パワーが少ない。また 40km/h までの低速域ではAl 真円の消費パワーが少ない.CFRPによる軽量化により消費パワーを最大 3.88%程度抑えることができる.CFRP 化による軽量化と高速度域における有用性が分かった。また楕円チェーン sprocket というのは高速度域において有利であり,上級者向けであると考えられる。

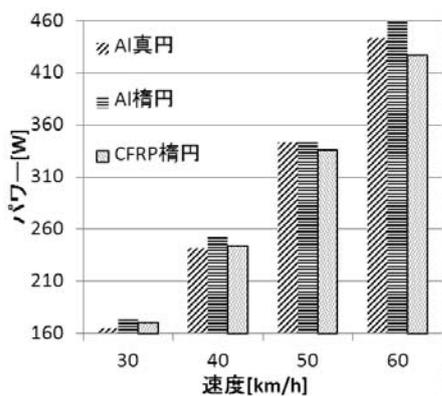


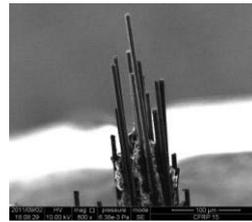
Fig.31 Power measurement result

4-7 CFRP の破断面観察

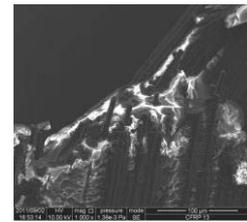
今回試作した CFRP チェーン sprocket は炭素繊維の体積含有率が20%~25%と通常のCFRPモノコックフレームなどの $V_f=50\sim 60\%$ に比べて半分程度である。また過去に試作された CFRP 製平歯車は歯車試験中に歯元に亀裂が生じたり炭素繊維の層間で剥離が生ずるなどの問題があった。本研究

では炭素繊維束を利用することで歯先部ではチェーンローラーとの耐摩耗性に優れるように歯先成型型に炭素繊維束を配向して充填することができた。また歯元部やアーム部ではランダムに配向した炭素繊維束が疑似等方性を示すために歯先の応力をうまく分散していると考えられた。そこで炭素繊維束を利用した CFRP の破断面について SEM 観察を行った。

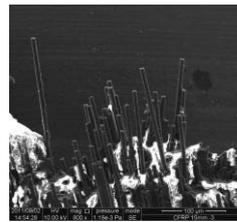
SEM(走査型電子顕微鏡)観察した結果を Fig.23 に示した.a)一番高い引張強度の 200MPa が得られた繊維束方向と引張方向が一致する 0° の場合には炭素繊維がプルアウトしている様子が観察された.b)一方一番低い引張強度の30MPaが得られた繊維束方向と引張方向が直交する 90° の場合には炭素繊維のプルアウトは見られず全ての炭素繊維がせん断されていた。



a) Fiber direction= 0°



b) Fiber direction= 90°



c) Random fiber direction

5. 結言

6~15mm 長の 3K 炭素繊維束をシリコンゴム型に配置してエポキシ樹脂を含浸させて自転車用 CFRP 製チェーン sprocket を試作した。炭素繊維の体積含有率は20%~25%と比較的少ないが無注油で走行できること,チェーンへの喰い付き性が良好であった。また楕円 CFRP 製チェーン sprocket では40km/h 以上の高速走行時にパワーメータ計測で4%程度の消費パワー低下が見られた。そして12か月で5000km以上の実走でも歯先の欠損もなく問題が生じていない。

謝辞

高速ビデオカメラを貸していただいた(株)キーエンス藍原氏に感謝する。

参考文献

- 1) 杉林俊雄ら, 機論 (C 編), 1981, 47 巻, p466-473
- 2) 青山・片山ら:機学年次講論, 2001, pp.65-66
- 3) 木村南, 堀之内翔馬:自技会 2011 春季, No32-11, (2011) pp.9-14
- 4) 木村南, 若生朋宏:62 回塑加連講論, (2011) pp555-556
- 5) 堀之内翔馬, 平成 23 年度東京高専専攻科特研論文 (2012)
- 6) 若生朋宏, 平成 23 年度東京高専卒業論文 (2012)
- 7) 木村南, 若生朋宏, 堀之内翔馬:シンポジウムスポーツアンドヒューマンダイナミクス講演論文(2012)pp.144-149
- 8) 木村南, 川名拳豊,63 回塑加連講論,(2012)pp.277-278

(平成25年6月16日 受理)

波型突き合わせ接着継手の接合部形状の最適化と引張強度向上の試み

志村 穰*, 加賀見拓磨**, 黒崎 茂***

A Trial on Improvement of Tensile Strength and Optimal Configuration at Bonded Parts of Adhesively Waved Butt Joints

Jyo SHIMURA, Takuma KAGAMI, Shigeru KUROSAKI

In this study, we have newly proposed some joint configurations to optimize the bonded part of the adhesively waved butt joint, and we named those “shallow waved butt joint”, “double-waved butt joint” and “deeply double-waved butt joint”. Mechanical properties in the presented joints subjected to static tensile load were analyzed, using Finite Element Method. FEM analyses were carried out to clarify the stress field at the bonded part. To confirm the reliability of the analytical results, strain measurement experiments using strain gauges were performed. In addition, the effects of the configurations at the bonded part on fracture load were examined by joint tensile experiments. As a numerical result, it was found that significant stress concentrations occur at both edges of the bonded part in the case of double-waved butt joint. From the joint tensile experiments, it was also found that the fracture load of deeply double-waved butt joint is maximal among other joint specimens. The strain measurement experiments proved that the strain distribution obtained by analytical results is consistent with the strain distribution measured by the strain gauges.

Keywords : Adhesively waved butt joint, Joint configuration, Stress concentration, Finite Element Method

1. 緒言

接着接合はネジやリベットなどの締結要素に比べて軽量であり、異種材料でも接合できるという利点を有している。そのため、航空機や自動車などの構造部分やICなどの電気・電子機器の製造などに用いられる重要な接合技術となっている。これまで本研究室では、新しい継手形態として波型突き合わせ接着継手を提案し、従来の突き合わせ接着継手に比べ、引張破断荷重が向上することを示した¹⁾。また、有限要素法により、各諸因子が波型突き合わせ接着継手の力学特性に及ぼす影響を明らかにした^{2), 3)}。本報告は、引張荷重下における波型突き合わせ接着継手の接合部最適形状を模索するため、新たに派生型を提案し、その力学特性を有限要素応力解析により解明することを目的としている。くわえて、解析結果の妥当性を確認するため、継手のひずみ分布測定実験により解析結果との比較、検証を行う。

2. 解析方法

Fig.1 は本研究で対象とする継手の解析モデルであり、多波型突き合わせ接着継手と呼称する。座標軸は荷重の作用する方向を x 軸とし、 x - y 直角座標を用い、原点を o とする。被着体の中心部の長さを l 、幅を W および継手の波の半径を r とする。 x 軸方向の接着層の厚さ t_x 、拘束および荷重を与える面の x 軸方向の長さを s とする。被着体の縦弾性係数を E_1 、ポアソン比を ν_1 、接着剤のそれらを E_2 、 ν_2 とする。継手形状は $l=150[\text{mm}]$ 、 $W=25[\text{mm}]$ 、 $r=3.125[\text{mm}]$ 、 $t_x=0.1[\text{mm}]$ 、 $s=26[\text{mm}]$ としている。材料定義では接

着剤にエポキシ系構造用接着剤(住友スリーエム製, Scotch-Weld 1838B/A), 被着体材料に A5052(アルミニウム合金)を想定し, Table 1 の材料定数を用いた。荷重条件として, x 軸方向に $F=1000[\text{N}]$ の引張荷重を Fig.1 の右端斜線部に付与した。拘束条件は, Fig.1 の左端斜線部における x 軸, y 軸, z 軸方向の並進拘束および x 軸, y 軸, z 軸中心の回転拘束を与えている。メッシュ生成では Fig.2 のように三角形要素を用い, 接着部周辺を細かく, それ以外の部分では粗い要素分割とした。要素数および節点数は 233940 および 117558 であり, 解析コードは NX Nastran Ver.10.0.2 を用いた。なお, 本解析は弾性解析である。Fig.3 に今回対象とした継手形状の種類を示す。(a)と(d)のモデルは波の高さ h が $6.25[\text{mm}]$, (b)と(c)のモデルは $3.125[\text{mm}]$ となっている。その他の寸法は (b)の多波型突き合わせ接着継手と同じである。

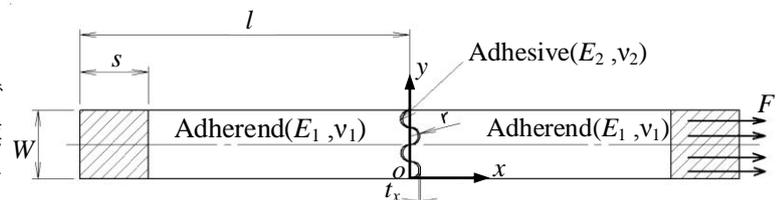


Fig.1 Model for analysis

Table 1 Material properties of adherend and adhesive

	Young's modulus E [GPa]	Poisson's ratio ν
Adherend A5052	70.0	3.40
Adhesive SW 1838B/A	0.33	0.39

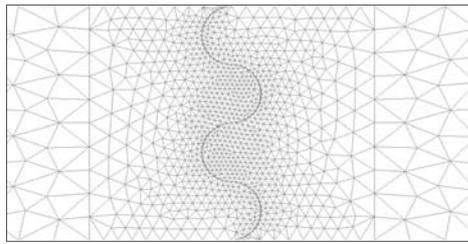


Fig.2 An example of mesh divisions in FEM analysis

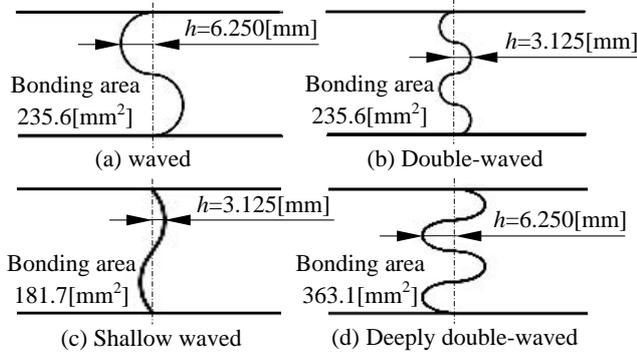


Fig.3 4-joint configurations presented in this study

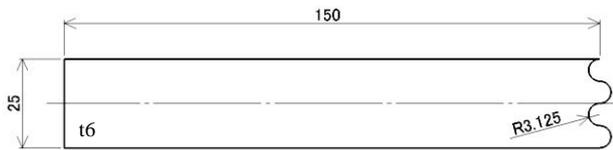


Fig.4 Dimensions and geometry of specimen in the case of double waved butt joint

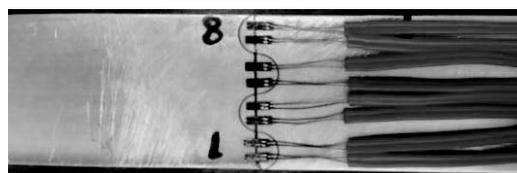
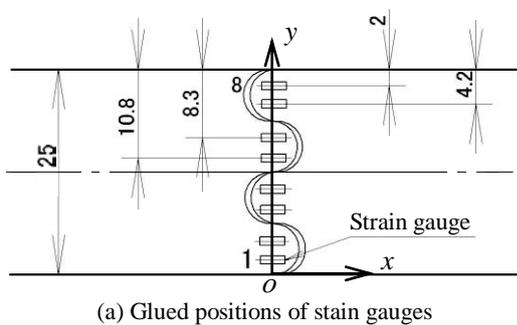


Fig.5 Detail of state glued strain gauges to jointing part

3. 実験方法

3.1 試験片

本研究では解析結果の妥当性を確認するためのひずみ分布測定ならびに引張強度測定実験を行う。被着体材料であるアルミニウム合金 A5052 を所定の寸法、形状にワイヤークットで切り出し加工し、接着面の算術平均粗さ R_a が $2[\mu\text{m}]$ 程度になるようサンドペーパーで研磨した後、エポキシ系構造用接着剤(住

友スリーエム製, Scotch-Weld 1838B/A)を塗布し、突き合わせて接合する。Fig.4 に多波型突き合わせ接着継手試験片の寸法および形状を示す。これらの寸法および形状は Fig.1 の解析モデルのそれと対応させている。

表面粗さ測定にはミットヨ製小形表面粗さ測定器サーフテスト SJ-201 を用いた。接着剤は主剤(1838-B)と硬化剤(1838-A)を重量比 1 : 1 で混合し、接着面をアセトンで脱脂、乾燥させた後に塗布した。ここで、専用特殊治具を用いて接着層厚さが $0.1[\text{mm}]$ になるよう調整している。その後、24 時間常温で硬化させ、ヤマト科学製定温乾燥機 DVS402 を用いて $80[^\circ\text{C}]$ で 2 時間、加熱養生を行った。

3.2 ひずみ分布測定実験および引張強度測定実験

共和電業製ひずみゲージ(KFG-1N-120-C1)が貼付された Fig.5 の接着継手試験片を油圧サーボ式強度試験機に取り付け、試験片が破断するまでの荷重、クロスヘッド変位およびひずみを共和電業製センサインタフェース PCD-300A, 320A を介してパーソナルコンピュータに記録した。なお、多波型突き合わせ接着継手を対象としたひずみ分布測定実験は 4 回、Fig.3 に示す 4 種類の継手の引張強度測定実験は各 6 回ずつ実施した。

4. 結果および考察

4.1 接合部の応力状態

Fig.6 は Fig.3 に示す 4 種類の継手の接合部周辺におけるミーゼス応力 σ_m コンター表示である。被着体材料はアルミニウム合金 A5052, 接着層厚さ t_x は $0.1[\text{mm}]$ を想定している。紫から赤になるにつれ応力値が大きくなることを示し、最大で $10[\text{MPa}]$, 最小で $5[\text{MPa}]$ を意味する。また、図の縦および横方向が Fig.1 の x 軸, y 軸方向にそれぞれ対応している。

これらのコンター表示より、既存の基本形である波型突き合わせ接着継手(Waved)に対し、多波型突き合わせ接着継手(Double-waved)や深多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)のように、波の数を増やすと紫色領域が目立つようになり、局所的に応力値が若干減少する傾向にある。これはすなわち、応力変動が顕著になっていることを示し、特に多波型突き合わせ接着継手では、接合両端部 $y=0, 25[\text{mm}]$ および内部の $y=6.25, 12.50, 18.75[\text{mm}]$ 付近で高い応力値を示す赤色領域の応力集中箇所を確認できる。一方、深多波型突き合わせ接着継手の場合は、波の数を増やしても接合部の応力値が減少し、かつ、接

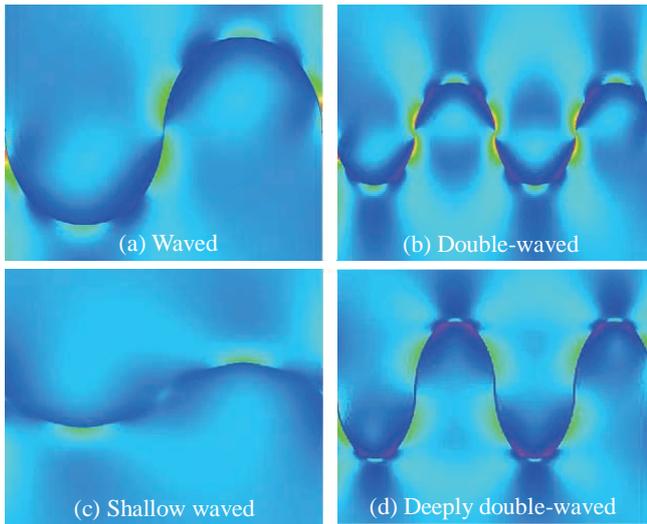


Fig.6 Contour of Mises stress σ_m at bonded part
合部両端部 $y=0$, 25[mm]の応力集中が抑制されるものと推察される。

4.2 応力集中係数

継手形態と引張強度との関係性を調査するため、まず、接着層の応力集中係数 α を算出する。算出式を以下に記すが、ここで、 σ_{xmax} は接着層の継手長手方向応力成分の最大値であり、 σ_0 は引張荷重 $F=1000$ [N]を継手の断面積 $A=150$ [mm²]で除した値を示し、これを基準応力とした。

$$\alpha = \frac{\sigma_{xmax}}{\sigma_0}$$

Table 2 に各継手接着層の応力集中係数 α を示す。接着層の最大応力値 σ_{xmax} は緩波型突き合わせ接着継手(Shallow waved)が最も大きく、次いで、波型(Waved)、多波型(Double-waved)、深多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)の順になっている。基準応力 σ_0 はいずれの継手も 6.667[MPa]で同じであることから、応力集中係数 α の大きさも前述と同様の順となり、深多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)が最も小さくなっている。継手の破断が接着層を起点に生じるものとすれば、接着層の応力集中係数 α が最も大きい緩波型突き合わせ接着継手が 4 種類の継手の中で最も破断しやすいと推察される。

4.3 ひずみ分布測定実験結果

Fig.7 にひずみ分布に関する解析結果と実験結果との比較を示す。実験結果は、Fig.5 に示すひずみゲージが貼付された多波型突き合わせ接着継手試験片を 4 本用意し、引張荷重 1000[N]を負荷させた時の弾性ひずみを測定したものである。解析結果は、有

Table 2 Stress concentration factor at adhesive layer

Joint model	Maximum stress	Stress concentration factor
	σ_{xmax} [MPa]	α [-]
Waved	6.356	0.953
Double-waved	5.753	0.863
Shallow waved	7.696	1.154
Deeply double-waved	5.541	0.831

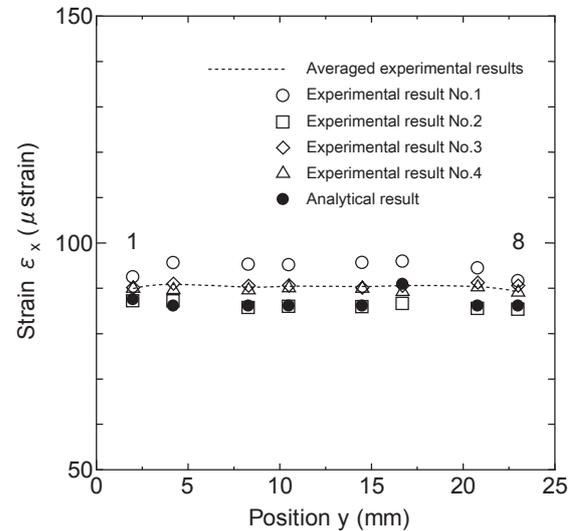


Fig.7 Comparison between analytical and experimental results
限要素モデルにおいて、ひずみゲージが貼付された箇所に対応する x 軸方向の要素ひずみ ϵ_x を意味し、 x 軸方向引張荷重 $F=1000$ [N]の時の値を用いた。

Fig.7 の縦軸は x 軸(継手の長手)方向のひずみ ϵ_x [μ strain]、横軸は位置 y [mm]を、図中の 1 と 8 は Fig.5 における 1 と 8 のひずみゲージの貼付位置を表している。これより、解析結果と実験結果の両ひずみ分布は概ね一致しており、本解析方法が妥当性を有するものと考えられる。

4.4 引張強度測定実験結果

既存の波型突き合わせ接着継手(Waved)および本研究で新たに提案した 3 種類の継手(Double-waved, Shallow waved, Deeply double-waved)について引張試験を行い、クロスヘッド変位ならびに継手の破壊荷重を測定した。各継手 6 回の実験を行い、それらの測定データをもとに近似曲線による荷重-伸び線図を作成した。Fig.8 に各継手の荷重と伸びの関係を示す。解析結果において接着層の応力集中係数 α が最も小さい深多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)の破断荷重が最も大きく、次いで、波型突き合わせ接着継手(Waved)の順となっている。この結果より、波の数を増やただけでは引張強度の向上には寄与されず、むしろ接着面積の影響が大きいものと考えられる。また、クロスヘッド変位も深

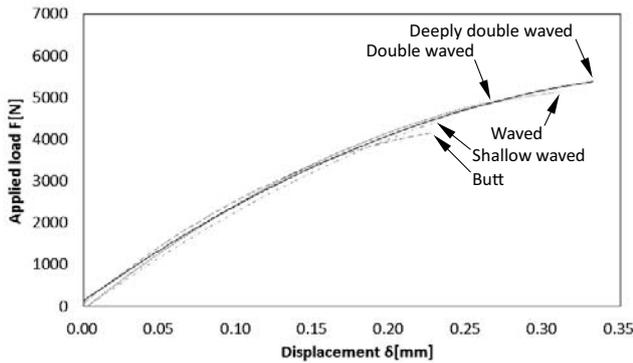


Fig.8 Applied load – Displacement diagram in each joint

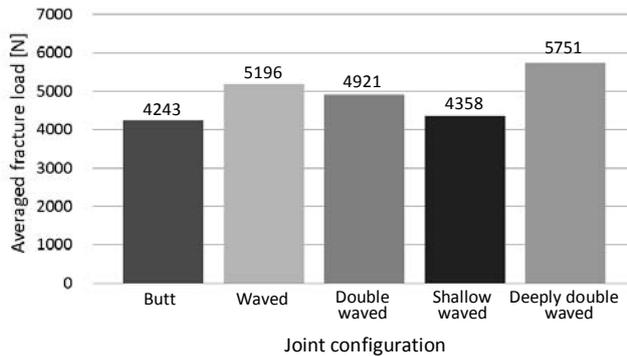


Fig.9 Relationship between averaged fracture loads and joint configurations

多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)が最も大きくなることがわかる。接着面積および破壊荷重の増加につれてクロスヘッド変位も大きくなる傾向を確認できる。また、同じ接着面積でもせん断荷重を受ける割合が大きくなる形状にする方が、破壊荷重の向上に有効であると推察される。

5. 結言

小生らが提案した波型突き合わせ接着継手における接合部最適形状の模索のため、派生型を考案し、その力学特性を有限要素応力解析により明らかにするとともに、接合部の幾何学的条件である、波の数および波の高さが継手引張強度に及ぼす影響を調べた。以下に得られた知見を示す。

- (1) 有限要素応力解析結果より、4つの継手のうち、深多波型突き合わせ接着継手(Deeply double-waved)の応力集中係数が最も小さくなると予測される。
- (2) 引張強度測定実験の結果、深多波型突き合わせ接着継手が最も破断荷重が大きくなり、応力集中係数による評価と一致することを示した。
- (3) 接着面積が同じである波型突き合わせ接着継手(Waved)と多波型突き合わせ接着継手(Double-waved)の破壊荷重の比較から、波の数よりも波の高さ、すなわち、接着面積が引張強度

に及ぼす影響が大きく、特にせん断荷重を受ける割合が大きくなるような接合部形状にすることが望ましい。

- (4) ひずみ分布に関する解析結果と実験結果の比較から、本解析方法の妥当性を確認した。

謝辞

各種試験片の切り出し加工において、ものづくり教育センターの鈴木塔二氏を初め、第一グループの皆様にも多大な御支援をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 志村 穰, 秋山和徹, 黒崎 茂, 宮川睦巳, “波型突き合わせ接着継手の引張強度特性”, 材料試験技術, Vol.54, No.3 (2009), pp.183-189.
- 2) 志村 穰, 米満駿介, 黒崎 茂, 宮川睦巳, “波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する有限要素応力解析による検討”, 材料試験技術, Vol.56, No.3 (2011), pp.115-122.
- 3) 米満駿介, 志村 穰, 黒崎 茂, “波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する解析的検討”, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol.42, No.1 (2010), pp.77-82.

(平成25年6月20日 受理)

風向急変時の翼周りの流れの挙動と流体力学的特性

齊藤純夫*, 岩村拓哉**, 児玉和也***, 三原純一****, 高橋正旭****, 志村 穰*****

Flow Behavior around the Blades and Aerodynamic Characteristics
during Sudden Wind Shifts

Sumio SAITO, Takuya IWAMURA, Kazuya KODAMA, Junichi MIHARA,
Masaaki TAKAHASHI, Jyo SHIMURA

Currently, there are vocal demands for the effective utilization of natural energy in addition to conventional energy utilization systems, resulting in the active promotion of power generation systems with wind power at a global level. Wind turbine power generation systems control the wind turbine output and generator revolution speed to optimize the power generation performance according to the wind condition. Important challenges include how to improve their operation reliability and overall system efficiency as well as how to expand the operation range of wind turbines. Previous papers have explored the aerodynamic characteristics of basic thin and thick blades, which are representative blade types in wind turbines, and examined in detail their characteristics depending on the blade surface condition. These papers also focused on the stall phenomenon caused by large angles of attack and evaluated the relationship between the stall mechanism and the flow behavior around the blades. The effectiveness of a simple device for stall suppression was also demonstrated using visualization and flow analysis methods. However, the previous studies focused mainly on evaluating the relationship between blade characteristics and flow behavior in steady flow fields. There are only a few papers on changes in the characteristics of wind turbines placed in extreme flow fields where sudden changes in wind velocity and wind direction are common. This paper examines flow behavior around the blades and aerodynamic characteristics during sudden wind shifts with the typical airfoils of thin and thick blades used for experiments in the previous papers.

Keywords : Wind Turbine Blade , Sudden Wind Shift Aerodynamic Characteristics , Angle of Attack , Pressure Distribution , Velocity Distribution , Wake Distribution

1. 緒言

現在, 従来のエネルギー利用システムに加え, 自然エネルギーの有効活用が叫ばれており, そのうち風力を利用した発電システムが地球規模で積極的に推進されている. この風力発電システムについては, 風況の変化による発電量の最適化を図るため, 風車出力および発電機回転数についての制御方式が採用されており⁽¹⁾, 運転上の信頼性向上とシステム全体の高効率化を図るとともに風車の運転領域を拡大させるよう考慮されている.

前報までに, 風車の翼型を代表する基本的な薄翼と厚翼に関し, それらの流体力学的特性を把握するとともに, 翼面状態の違いによる特性の変化についても詳細に検討した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾. さらに大きい迎え角で発生する失速現象に着目し, その発生メカニズムを翼周りの流れの挙動と対応させて評価し, あわせて可視化手法および流れ解析手法も適用して, 失速抑制のための簡易デバイス設置の有効性についても提案した⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾.

これまでの研究においては, 定常的な流れ場における翼特性と流れの挙動についての検討が主体であったため, 風車周りの流れが変化するような環境下での翼特性についての検討がさらに必要と

考えられる. しかしながら, 風速や風向が急変するような過度的な流れ場に置かれた風車特性の変化についての論文は, いくつか散見されるものの⁽⁸⁾⁽⁹⁾, 未だ多くの知見が得られていないのが現状である.

そこで本報では, 前報⁽¹⁰⁾で写像関数を利用して系統的に生成した翼型のうち, 薄翼と厚翼の二種類の代表的な翼型を対象に, 風向急変時の流れ場を想定し, 翼周りの流れの挙動と流体力学的特性の関連について検討を加えた.

2. おもな記号

A	: 翼の代表面積	$= 3.58 \times 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$
C	: 翼弦長	[mm]
C_L	: 揚力係数	$= L / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A)$
C_D	: 抗力係数	$= D / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A)$
D	: 抗力	[N]
L	: 揚力	[N]
Re	: レイノルズ数	
T	: 翼最大厚み	[mm]
U_∞	: 風洞出口における基準流速	[m/s]

*前 東京工業高等専門学校 機械工学科 **東京大学大学院 *** (株) I H I

****東京工業高等専門学校専攻科 機械情報システム工学専攻 *****横浜国立大学大学院

*****東京工業高等専門学校 機械工学科

- x : 翼前縁からの距離 [mm]
 α : 迎え角 [°]
 δ : 厚み比 = T/C
 ρ : 空気の密度 [kg/m^3]

3. 供試翼型と実験装置

3・1 供試翼型 前報⁽¹⁰⁾では写像関数を利用して系統的に翼型を生成し、表1に示す四種類の翼型を東京高専翼型と称し、光造形樹脂により製作して種々実験を行い、翼特性を評価した。

そこで本実験では、その中から薄翼として厚み比 $\delta=11\%$ の翼 (「TNCT-11」と呼称) を、また、厚翼として $\delta=30\%$ の翼 (「TNCT-30」と呼称) を供試翼型として選定し、これら二種類の翼型について、風向急変時の翼周りの流れの挙動と流体力学的特性について検討を加えた。

Table 1 TNCT airfoils⁽¹⁰⁾

Name	TNCT-11	TNCT-17	TNCT-23	TNCT-30
Thickness ratio δ [%]	11.4	16.9	23.1	29.9
Shape				

3・2 実験装置と方法

3・2・1 実験装置と風向急変装置

図1は前報⁽²⁾⁻⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾での実験に使用したのと同じ風洞装置である。風洞①は、縦 400[mm]、横 300[mm]の吹き出し断面を有し、最大風速 20[m/s]の風速範囲での実験が可能である。風洞吸い込み口に取り付けられた②のダンパを開閉することにより風速を調節することができる。

供試翼型③の取り付け用軸は、翼両側の透明アクリル側板④を貫き、揚力および抗力測定用のひずみゲージ式多分力検出器⑤に接続されている。翼が受ける揚力 L および抗力 D は、多分力検出器⑤から較正器⑧、増幅器⑨を介して多ペンレコーダ⑩およびパソコンで記録した。

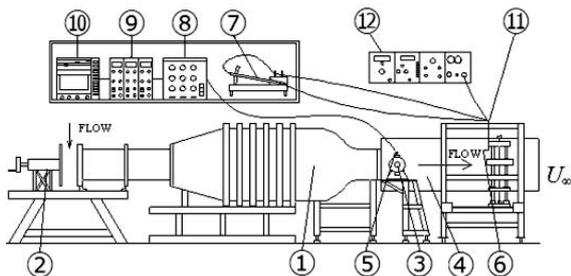


Fig.1 Experimental apparatus

基準となる流速 U_∞ の測定には、JIS ピトー管 (6mm ϕ) ⑥と傾斜マノメータ⑦を用いた。

図2は風向を急変させることができる装置を示したもので、風洞出口部において、風向を変化させることができる7枚の翼列の稼動軸と連動しており、この翼列軸を手動で操作することにより、風向を急変させることが可能である。

実験時にはこの翼列を風洞からの流れと平行になるように保持し、同時に定常時の初期の迎え角になるよう供試翼を設置した。そして風向急変後の角度の位置にピンを設定し、翼列の角度を手動で瞬時に操作することにより、供試翼を動作させずに、風向急変後の迎え角状態になるようにした。



Fig.2 Sudden wind shift device

3・2・2 翼周りの流れ場の測定方法

図3は翼上面、下面および翼後方の流速分布を測定する際の熱線プローブのトラバース範囲をTNCT-11翼を例に示したもので、TNCT-30翼の場合も同様な測定範囲となっている。

翼上面および下面側の流速分布は、翼スパン方向の中心位置において、上下面ともそれぞれ翼弦長を等分する5箇所の位置で、熱線プローブ⑪(標準直線プローブ、型式 0251R-T5, KANOMAX 製)を上下方向に 5[mm]間隔で移動させ、熱線流速計⑫により測定した。

また、翼後方の後流分布は、翼スパンの中心位置において、熱線プローブを翼後縁より 24[mm]後方(翼弦長の 20%)の位置に設置し、上下方向 ± 60 [mm]の範囲で移動させることにより、合計 21点測定した。

測定した流速値 u は, 風洞出口部における基準流速 U_∞ に対する比 u/U_∞ で表し, また, 流れの乱れ強さ T_u については, 次式により評価した.

$$T_u = \frac{\delta_u}{U_\infty} = \frac{1}{U_\infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - u)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで, δ_u : 測定流速の標準偏差
 u_i : 時系列の流速測定値
 n : 流速測定回数
 である.

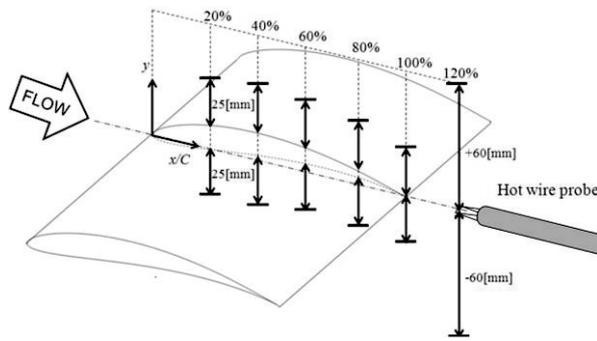


Fig. 3 Measurement range of velocity distribution (Example of TNCT-11)

4. 実験結果と考察

4・1 厚み比の異なる二種類の翼型の流体力学的特性

図4は供試翼型として選定した厚み比の異なる二種類の東京高専翼型である「TNCT-11」と「TNCT-30」について, レイノルズ数 $Re=1.4 \times 10^5$ の条件下で, 迎え角 α を 0° から 40° まで変化させた時の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示したものである.

厚み比 $\delta=11\%$ の「TNCT-11」翼の場合, 厚み比の大きい $\delta=30\%$ の「TNCT-30」翼と比べ, 揚力係

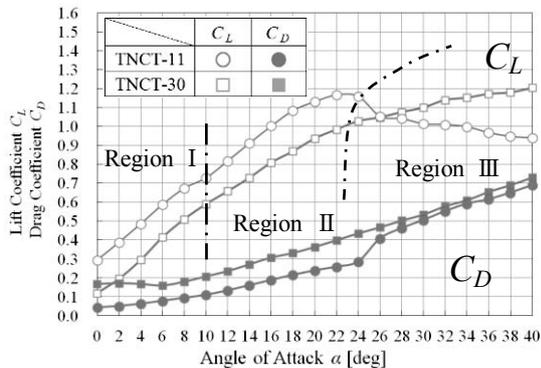


Fig. 4 Aerodynamic characteristics (Effect of thickness ratio of TNCT airfoils)

数の値は大きく, また, 抗力係数の値は小さく現れている. さらに $\alpha=26^\circ$ で揚力係数が急減し, かつ, 抗力係数が急増しており, 翼が失速していることがわかる.

一方, 厚み比が大きい「TNCT-30」翼の場合, 揚力係数 C_L の低下は見られないものの, 「TNCT-11」翼と比べ, 迎え角が約 26° 以下の領域での C_L の値は小さい. また, 抗力係数 C_D は迎え角が 40° の範囲まで一様に大きく現れている.

4・2 翼周りの流れの基本構造と風向急変時の流れの挙動

前報⁽¹⁰⁾で厚み比の異なる翼型について, 揚力係数 C_L および抗力係数 C_D で表される特性曲線の傾きの変化から三つの領域に分類できることを示したが, ここでは領域IIの迎え角 $\alpha=14^\circ$ の運転点から領域Iの $\alpha=6^\circ$ および失速直前の迎え角状態 (「TNCT-11」翼の場合は $\alpha=24^\circ$, 「TNCT-30」翼の場合は $\alpha=28^\circ$) に風向が急変した場合を想定し, 翼周りの流れの変化について検討する.

4・2・1 「TNCT-11」翼の翼周りの流れと風向急変時の流れの挙動

図5は「TNCT-11」翼の場合について, 領域IIの迎え角として $\alpha=14^\circ$ から領域Iの $\alpha=6^\circ$ および失速直前の迎え角である $\alpha=24^\circ$ まで風向を急変させた時の熱線プローブにより測定した翼周りの流速と翼後流の時間的変化の挙動をまとめて示したものである.

図中の波形のうち, 翼型より上の波形は, 翼弦長を5等分する翼面上の各位置において, 翼上面側の翼面から上方向に 5[mm] 間隔の箇所における流速変化を, また, 翼型より下の波形についても同様に, 翼下面側の翼面から下方向に 5[mm] 間隔の箇所において, 迎え角を変化させた前後の流速変化を示したものである.

また, 後流については, 翼後縁より上面側の 6[mm] から 78[mm] までの範囲で, また, 翼下面側においては, 6[mm] から 36[mm] までの代表的な位置における流速変化を示している. 図中に記載した数値はそれぞれの測定箇所を表し, 翼上面側をプラスで, 下面側をマイナスで表示した.

図5(a)の迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° に急減させた場合についてみると, 翼上面側の翼先端から後端までの各位置における流速の時間的変化は, 翼先端に近い位置ほど, 流速の減少がみられ, かつ,

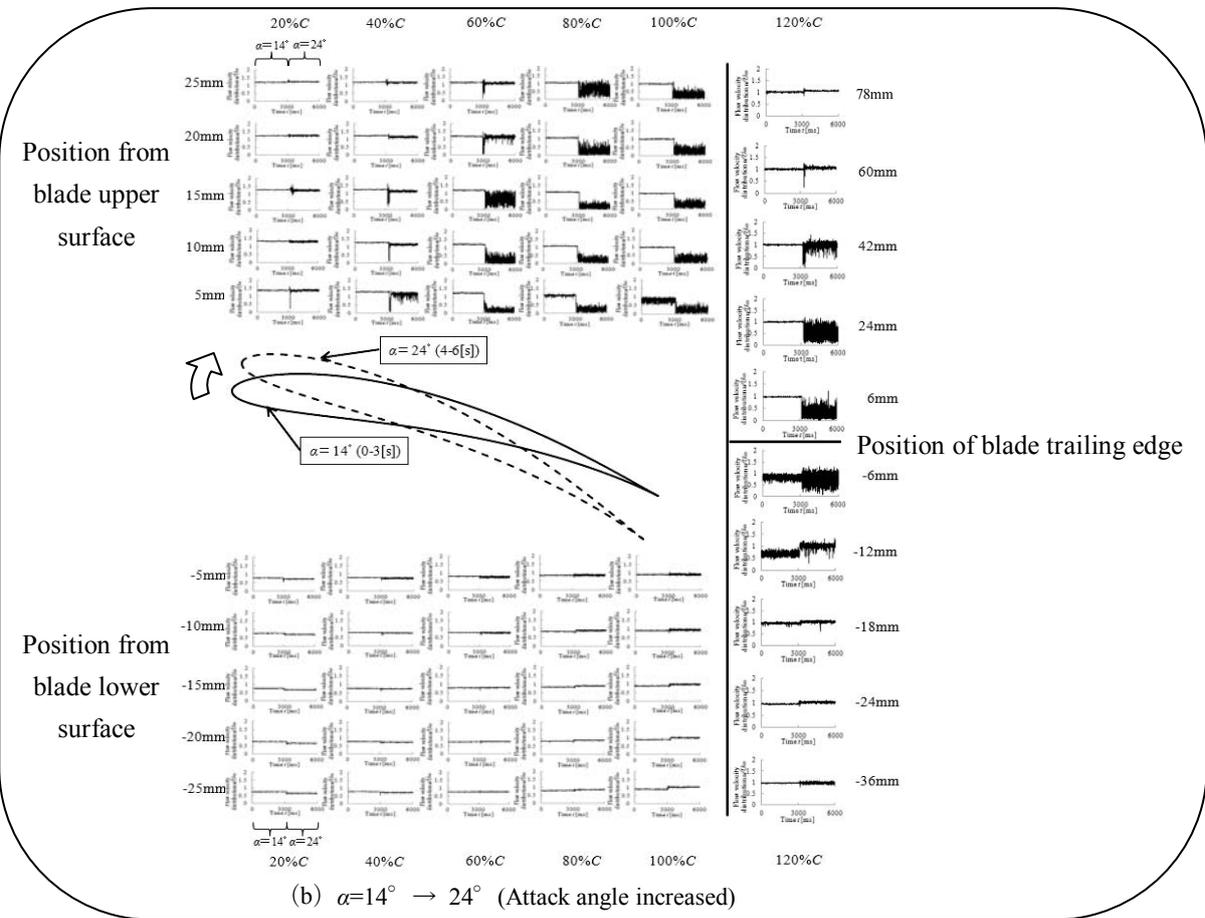
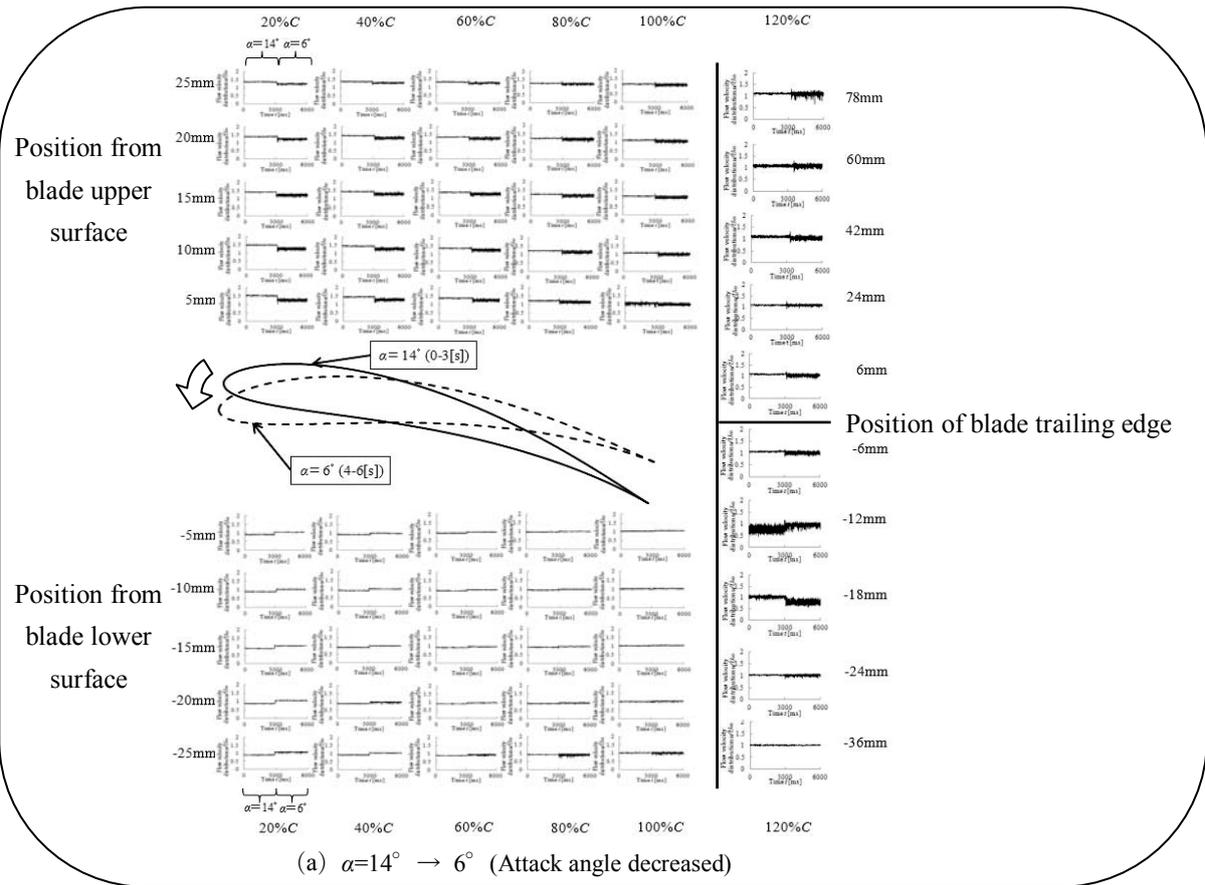


Fig.5 Temporal variation of flow behavior around the blade before and after the sudden wind shifts (TNCT-11)

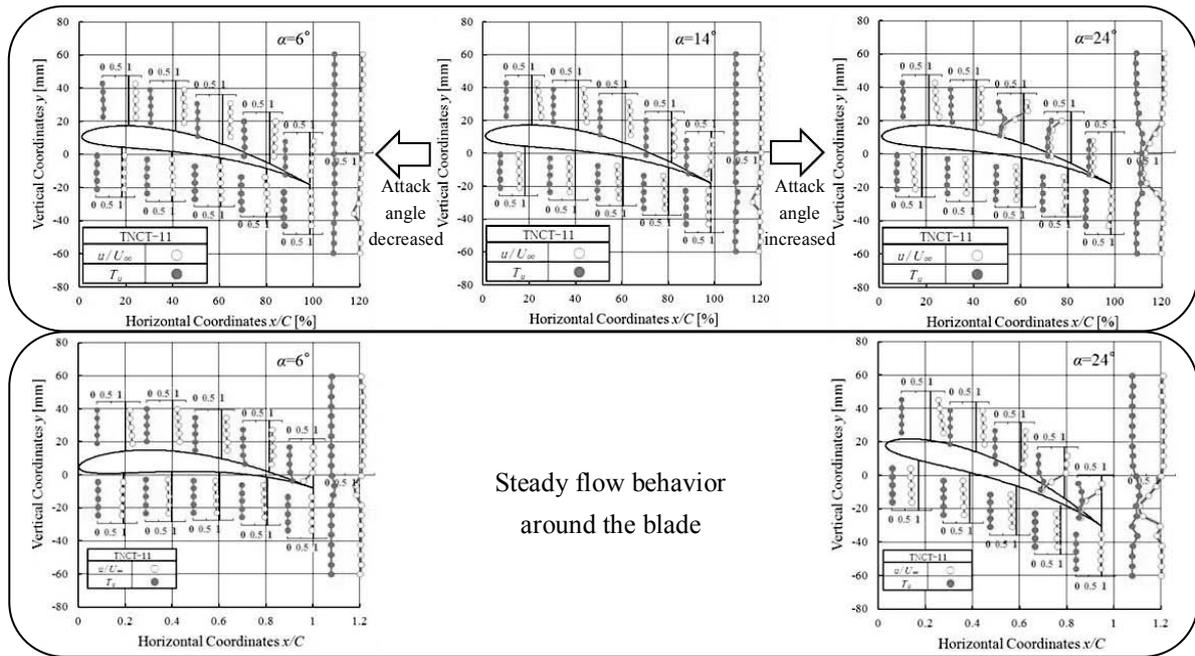


Fig. 6 Flow behavior around the blade during sudden wind shifts (TNCT-11)

その減少幅は翼表面に近づくほど大きくなっている。

一方、翼下面側については、翼先端に近い位置ほど流速が急増し、その変化は翼下面より離れた位置において大きい。また、これらの流速の変化の幅は、翼下面の下流に向かうにつれて極めて小さくなっている。

翼後流の時間的変化については、翼後縁での変化とほぼ同じような挙動を示しているが、翼下面側の位置において流速の絶対値の低下とともに流速変動の大きい箇所が見られる。

次に、図 5(b)の迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 24° まで急増させた場合、翼上面側の翼先端から 60%の位置を含め後縁までの範囲で流速が急減し、かつ、流速変動が極めて大きくなっている。

これに対し、翼下面側では、翼の先端に近いほど、流速がわずかながら低下しているが、翼の 80%より後縁にかけては、逆に流速が増加している。

後流については、翼の上面側において流速が減少し、かつ変動の極めて大きい領域が存在する。

以上のように、風向急変時における翼周りの流速と翼後流の時間的変化の基本的な挙動が明らかになったので、これらのデータを時間的平均化処理したものを図 6 に示す。図には初期状態である $\alpha=14^\circ$ から $\alpha=6^\circ$ および $\alpha=24^\circ$ の迎え角の状態に急変させた場合の翼周りの流速分布と乱れ強

さを図示し、あわせて前報⁽¹⁰⁾で提示した各迎え角の定常状態での流速分布の結果も併記した。

迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° まで急減させた場合に、翼上面側の後縁部において、定常状態での翼周りの流速値より大きく、ほぼ様な分布となっている。そのため、後流の部分も定常時の翼上面側に近い位置より翼下面側に移動しており、過渡的状态の短時間においては、流れの状態は良好なものとなっている。

次に、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 24° まで急増させた場合については、定常時には翼上面側の 80%弦長の箇所で翼面近くの流れが減速しているのに対し、迎え角を急増させた過渡的变化の場合、その減速域が翼弦長の 60%の位置において生じている。そのため、後流の範囲も翼上面側の位置に拡大しており、翼下面側の流れ状態が迎え角を急増させた直後では悪くなっていることがわかる。

4・2・2 「TNCT-30」翼の翼周りの流れと風向急変時の流れの挙動

図 7 は「TNCT-30」翼の場合について、領域 II の迎え角として $\alpha=14^\circ$ から $\alpha=6^\circ$ および $\alpha=28^\circ$ まで風向を急変させた時の熱線プローブにより測定した翼周りの流速と翼後流の時間的変化の挙動をまとめて示したものである。

図中の波形のうち、翼型より上の波形は翼上面側の翼面から上方向に向かう位置における流速変化を、また、翼型より下の波形は翼下面側の翼面

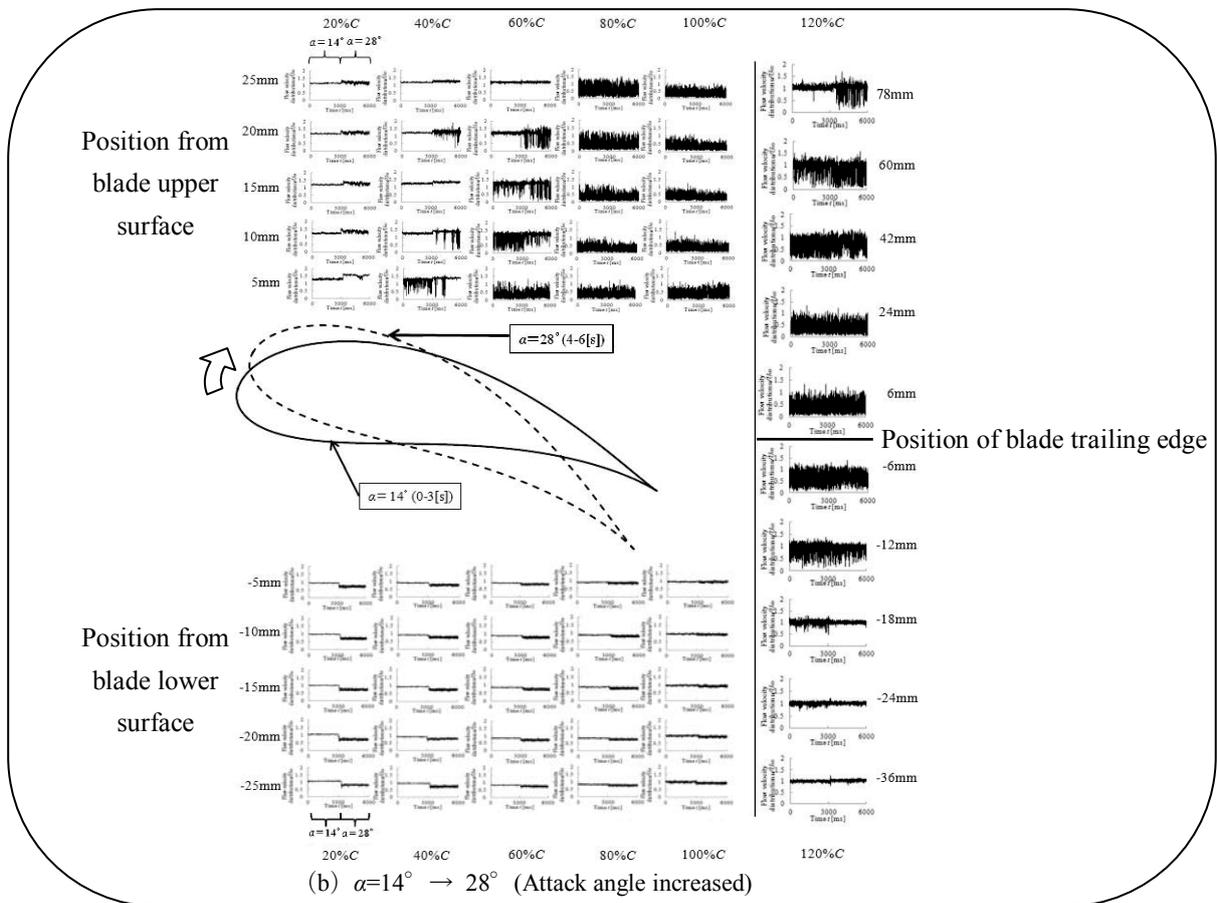
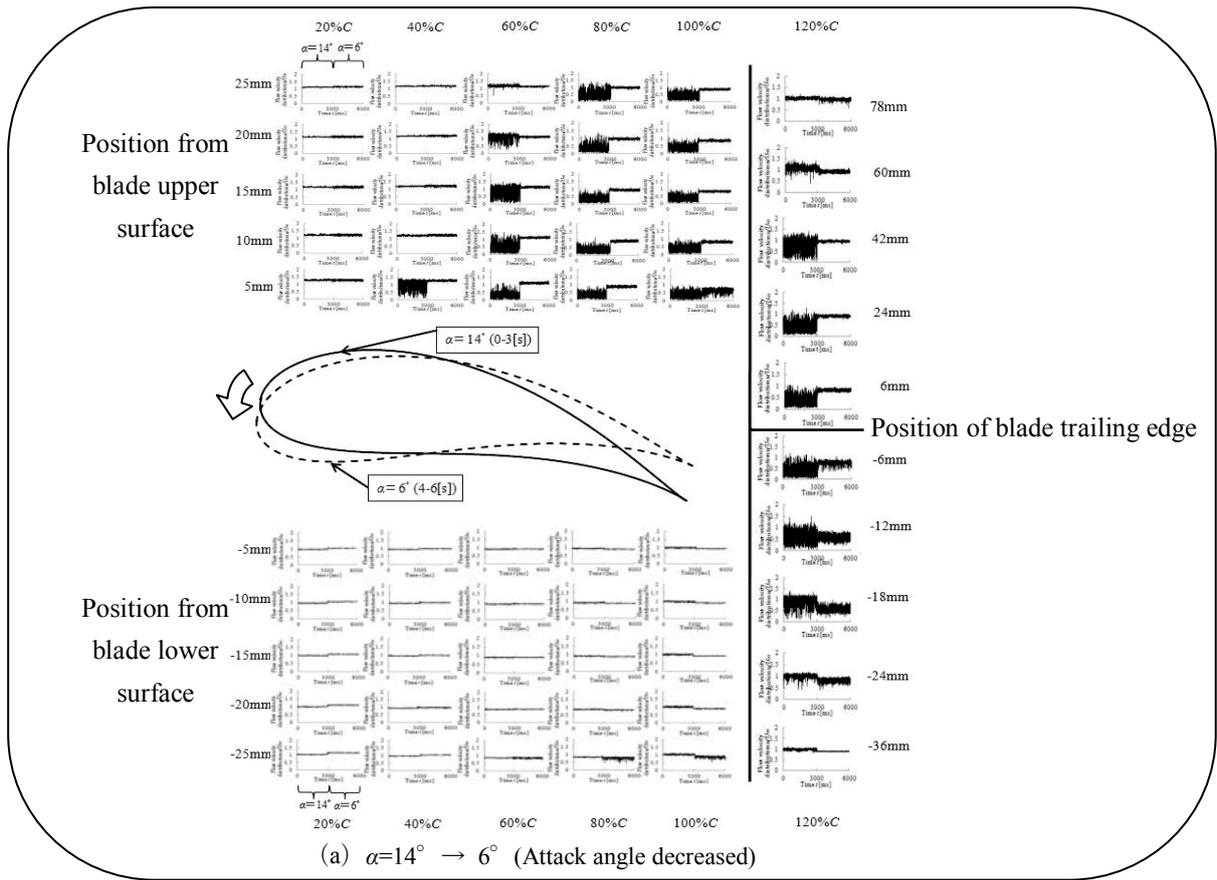


Fig.7 Temporal variation of flow behavior around the blade before and after the sudden wind shifts (TNCT-30)

から下方向に向かう位置における流速変化を示し、後流も含め、測定位置は「TNCT-11」翼の場合と同様である。

図7(a)の迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° まで急減させた場合の流速の時間的変化をみると、 $\alpha=14^\circ$ では、翼上面側の翼弦長の60%より後縁にかけて、流速変動が大きいのに対し、 $\alpha=6^\circ$ の状態に風向を急変させた場合、その変動が極めて小さくなっている。また、この時、特に翼表面付近の流速値がわずかではあるが增加しており、過渡的変化の直後では、翼周りの流れがかなり良好なものとなっている。

一方、翼下面側においては、翼先端に近い位置で一様に流速が増加しているが、翼下面の80%弦長より下流において、逆にわずかながら流速値が減少している。

翼後流の時間的変化についても、翼後縁における流速の変化とほぼ同様な挙動を示しているが、翼後流の幅とその流速変動の大きさは $\alpha=14^\circ$ の場合より大きく減少している。

次に、図7(b)に示した迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 28° まで急増させた場合、翼上面側についてみると、翼先端から約40%の位置の範囲では平均流速が増加している。

しかし、翼先端から約60%の位置より翼後縁にかけては、 $\alpha=14^\circ$ での平均流速値と流速変動の大小の違いは多少あるものの、その流速変動の大

きい状態が風向急変後もそのまま保持されている。

また、翼下面側では、翼先端に近いほど、流速低下が大きいのに対し、翼後縁に近づくに従いその流速低下の割合は小さくなっている。

これらの挙動は、前述の薄翼である「TNCT-11」翼の場合と異なっている点は興味深い。

後流については、翼後縁での流れの挙動とはほぼ同じような変化を示しており、翼上面側すべてにおいて、風向急変前の流速値がそのまま保持され、かつ、流速変動の極めて大きい流動状態を示している。

図8は以上のデータを時間的 averages 処理して示したものである。図には風向急変前の初期状態である $\alpha=14^\circ$ の状態での翼周りの流速分布と後流分布を乱れ強さも含めて示し、この状態から、 $\alpha=6^\circ$ および $\alpha=28^\circ$ の迎え角状態に急変させた後の流速変化の結果を記載した。さらに前報⁽¹⁰⁾で示した $\alpha=6^\circ$ および $\alpha=28^\circ$ の迎え角における定常状態での翼周りの流速分布と乱れ強さを後流分布も含めて併記した。

迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° まで急減させた場合、翼上面側の60%から80%において、ほぼ様な分布となっており、定常状態での翼周りの流速値と異なっている。また、翼下面側における流速も各位置において様な分布となっており、風向急変時の過渡的な短時間においては、翼周りの流れの状態は良好なものとなっている。

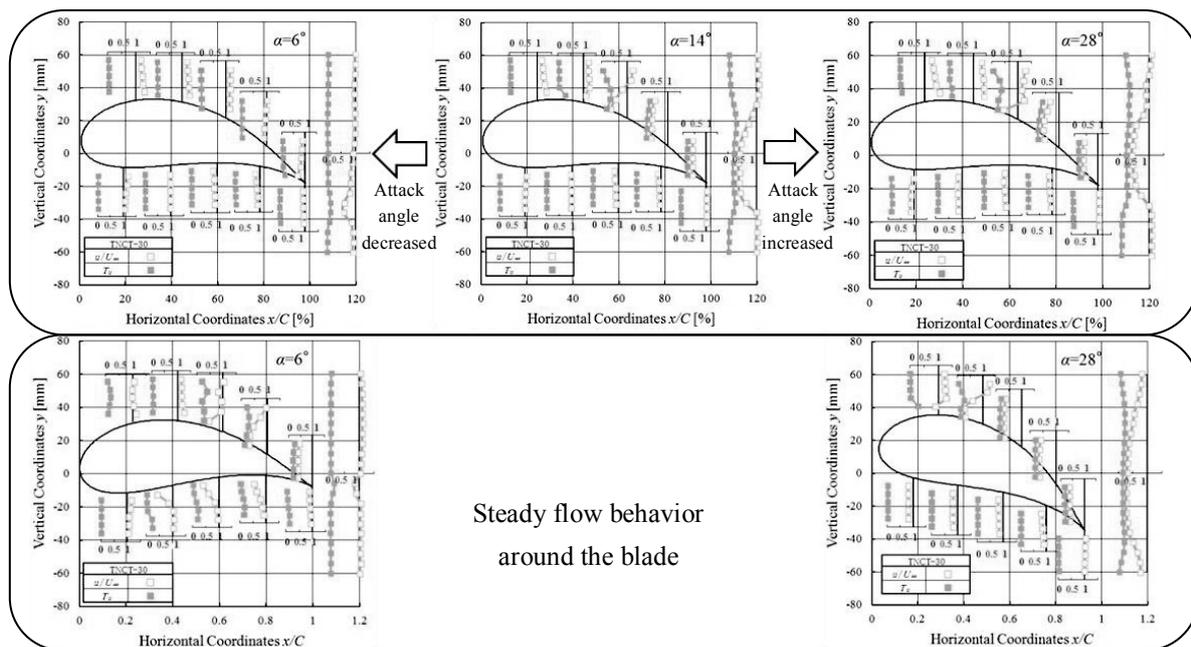


Fig. 8 Flow behavior around the blade during sudden wind shifts (TNCT-30)

また、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 28° まで急増させた場合についてみると、定常時には翼上面側の 20% から 40% 弦長の箇所まで翼面近くの流れが減速しているのに対し、それらの位置における流速分布はほぼ一様で減速域が見られない。しかし、翼弦長の 60% の位置において翼面近くの流れが減速しているものの、翼下面側の流れも含め、風向急増時の過渡的変化の直後における状態でも翼周りの流動状態が悪化することはなく、前述の薄翼の「TNCT-11」の場合の挙動とは大いに異なっていることは注目に値する。

5. 結 言

本報では、前報⁽¹⁰⁾で写像関数を利用して系統的に生成した翼型のうち、薄翼の「TNCT-11」と厚翼の「TNCT-30」の二種類の東京高専翼型を対象に、風向急変時の過渡的な翼周りの流れの挙動と流体力学的特性について検討を加えた。

その結果、明らかになった点は、以下のとおりである。

(1) 薄翼の「TNCT-11」については、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° まで急減させた場合、翼上面側の後縁部において、定常状態での翼周りの流速値より大きく、ほぼ一様な分布となり、後流部分も翼下面側に移動しており、過渡的変化後の短時間においては、流れの状態は良好なものとなっている。

一方、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 24° まで急増させた場合、定常時に生じている翼上面側の 80% 弦長での翼面近くの流れの減速域が、翼弦長の 60% の位置において生じ、後流の範囲も翼上面側の位置に拡大しており、翼下面側の流れ状態は迎え角を急増させた直後では悪化している。

(2) 厚翼の「TNCT-30」については、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 6° まで急減させた場合、翼上面側の 60% から 80% において、ほぼ一様な分布となっており、定常状態での翼周りの流速値と異なる。また、翼下面側における流速も各位置においてほぼ一様な分布となっており、風向急増時の過渡的な短時間においては、翼周りの流れの状態は良好なものとなっている。

一方、迎え角を $\alpha=14^\circ$ から 28° まで急増させた場合、定常時に生じる翼上面側の 20% から 40% 弦長の箇所での翼面近くの減速域がなくなり、翼下面側の流れも含め、風向急増時の過渡的変化の

直後の状態でも翼周りの流動状態が悪くなることはない。これは薄翼の「TNCT-11」の場合とは大いに異なる点である。

文 献

- (1) SAITO Sumio, SEKIZUKA Satoshi, Performance Comparison of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol.2, No.1, January-March 2009, pp. 92-101.
- (2) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro and ICHIKAWA Tatsuya, Research of Aerodynamic Characteristics and Flow Patterns on Thin and Thick Blades of Wind Turbines, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.41(2), 2010, pp.19-27.
- (3) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Research on Aerodynamic Characteristics of Thin and Thick Blades depending on the Presence or Absence of Streaky Features formed on the Blade Surface during Creation of Wind Turbine Airfoils with Stereolithography, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp. 77-85.
- (4) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp.63 -76.
- (5) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils and One Trial of Stall Control, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (1), 2010, pp.35 -43.
- (6) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, TAKAHASHI Masaaki and IWAMURA Takuya, Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.43 (1), 2011, pp.29 -36.
- (7) SAITO Sumio, et.al., Aerodynamic Characteristics of an Airfoil with Vortex Generators and Flow Conditions around the Blade, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.43 (1), 2011, pp.37 -44.
- (8) 齊藤, 関塚, 佐藤 (健), 佐藤 (有), 制御方式の異なる 2 種類の風力発電システムの過渡的性能, 日本機械学会論文集 (B 編) 71 巻 702 号 (論文 No.04-0362), pp.539 -545.
- (9) 鎌田ほか 4 名, 変動風に対応する風車翼の実験的研究, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集 (2), (2010-9), pp.119 -120.
- (10) Sumio SAITO, Takahiro YAMASHINA, Tatsuya ICHIKAWA, Masaaki TAKAHASHI, Takuya IWAMURA, Junichi MIHARA and Kazuya KODAMA, Systematic Creation of Wind Turbine Airfoils with Mapping Function and Evaluation of Aerodynamic Characteristics of the Created Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.44(2), 2013, pp. 41-51.

翼周りの渦構造の違いが翼面上の境界層はく離と失速特性に及ぼす影響

齊藤純夫*, 岩村拓哉**, 土方我久***, 高橋正旭****, 志村 穰*****

Effects of the Difference in Vortex Structure formed around Wind Turbine Blades
on Boundary Layer Flow Separation and Stall Characteristics

Sumio SAITO, Takuya IWAMURA, Gaku HIJIKATA,
Masaaki TAKAHASHI and Jyo SHIMURA

Previous papers focused on thin and thick blades used in typical propeller-type horizontal axis wind turbines and examined the variation of their aerodynamic characteristics by dividing into three regions according to the angle of attack depending on the presence/absence of streaky features on the blade surface generated during stereolithographic fabrication. The papers also studied the basic aerodynamic characteristics and flow conditions around the blades at different angles of attack, including those before and after stalls. For the thick blades, they clarified that the blade surface condition, including the presence/absence of streaky features generated during stereolithographic fabrication, significantly affected the flow conditions around the blades and was closely associated with stall behavior. As a simple and effective method of stall suppression through the control of flow conditions on the blade surface, placing a cylindrical rod in front of the blade was proposed. It has been suggested that the cylindrical rod placed in front of the blade generates vortices with the vortex core in the blade span direction (hereinafter referred to as "transverse vortices"), which contribute to significantly improving the flow conditions on the blade surface and extending the operable range without stalls to a higher angle of attack. By placing a vortex generator (hereinafter referred to as "VG") directly onto the blade surface, the effects of vortices with the vortex core in the flow direction generated by the VG (hereinafter referred to as "longitudinal vortices") on the blade performance and flow conditions around the blades were also examined through experiments and flow analyses. However, there is no comparative study to determine how the difference in vortex structure between transverse and longitudinal vortices on the blade surface affects the flow behavior around the blades and aerodynamic characteristics. Therefore, a comprehensive evaluation of their effectiveness in stall suppression may be somewhat difficult. Based on the findings from the previous papers, this paper examines in detail how the difference in vortex structure between transverse and longitudinal vortices around the blades affects flow separation from the blade surface and aerodynamic characteristics associated with stalls.

Keywords : Wind Turbine Blade, Aerodynamic Characteristics, Stall Control, Vortex Structure, Boundary Layer Flow Separation, Pressure Distribution, Velocity Distribution

1. 緒言

前報^{(1)~(4)}では, 薄翼と厚翼の代表的な翼型を対象として, 光造形手法により製作した際に生ずる翼表面上の積層痕の有無による流体力学的性能曲線の変化を, 迎え角の変化に応じ三つの領域に分類して考察し, あわせて失速前後を含む迎え角における基本的な流体力学的特性と翼周りの流動状態について検討を加えた。

そのうち特に厚翼に関しては, 光造形手法による製作時の積層痕の有無, すなわち, 翼の表面状態の違いが翼周りの流れ状態に大きく影響し, 失速特性の挙動に深く関与していることを明らかにした⁽³⁾⁽⁴⁾。

以上の知見から, 翼の性能曲線を任意に決定するためには, 翼周りの領域に何らかの簡易デバイスを設置することにより, 翼面上の流れを制御することが有効な手法であることが推測できる。

そこで, その一方法として, 翼の前方に円柱棒を設置し, これにより発生する翼のスパン方向に渦芯を持つ渦(本報では, これを「横渦」と呼ぶ)

の作用により翼面上の流れを大幅に改善し, 失速までの迎え角の作動領域を大きく拡大できることを提示した⁽⁵⁾。

さらに, 翼表面上にボルテックスジェネレータ(以下, 「VG」と呼ぶ)を付加し, それにより発生する流れ方向に渦芯を持つ渦(本報ではこれを「縦渦」と呼ぶ)の作用による翼の性能曲線の変化に及ぼす影響を実験的および流れ解析手法も援用して検討した⁽⁶⁾。

しかしながら, 翼面上の横渦および縦渦発生による渦構造の違いが, 翼周りの流れの挙動や特性の変化に及ぼす影響については, それぞれ個別に検討しているため, 失速抑制に及ぼす渦構造の違いの影響をより詳細に評価するためには, 両者の効果を対比させて把握することが必要である。

そこで前報までの知見を踏まえ, 本報では, 円柱棒およびVGなどの簡易デバイスを設置することにより発生する上述の翼まわりの横渦および縦渦の渦構造の違いが, 翼面上の境界層はく離と失速時の流体力学的特性に及ぼす影響を詳細に検討した。

2. おもな記号

A	: 翼の代表面積	$= 3.58 \times 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$
C	: 翼弦長	[mm]
C_L	: 揚力係数	$= L / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A \right)$
C_D	: 抗力係数	$= D / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A \right)$
C_P	: 圧力係数	$= P_S / \left(\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \right)$
D	: 抗力	[N]
L	: 揚力	[N]
P_S	: 静圧	[Pa]
Re	: レイノルズ数	
T	: 翼最大厚み	[mm]
U_∞	: 流速	[m/s]
x	: 翼前縁からの距離	[mm]
α	: 迎え角	$[\circ]$
δ	: 厚み比	$= T/C$
ρ	: 空気の密度	$\text{[kg/m}^3\text{]}$

3. 実験装置と供試翼型

3・1 実験装置 図1は前報^{(1)~(6)}での実験に使用したものと同一風洞装置である。風洞①は、縦400[mm]、横300[mm]の吹き出し断面を有し、最大風速20[m/s]の風速範囲での実験が可能な小型風洞である。風洞吸い込み口に取り付けられた②のダンパを開閉することにより風速を調節することが可能である。供試翼型③の取り付け用軸は、翼両側の透明アクリル側板④を貫き、揚力および抗力測定用のひずみゲージ式多分力検出器⑤に接続されている。翼が受ける揚力 L および抗力 D は、多分力検出器⑤から較正器⑧、増幅器⑨を介して多ペンレコーダ⑩およびパソコンで記録した。

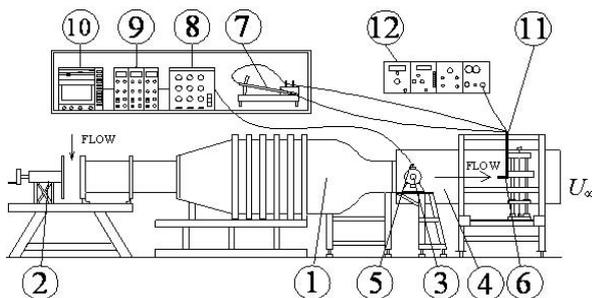


Fig.1 Experimental apparatus

基準となる流速 U_∞ の測定には、JISピトー管(6[mm] ϕ)⑥と傾斜マノメータ⑦を用いた。

翼面上の流速分布は、翼スパン方向の中心位置において、上下面ともそれぞれ翼弦長を等分する5箇所の位置で、熱線プローブ⑪(標準直線プローブ、型式0251R-T5, KANOMAX製)を上下方向に5[mm]間隔で移動させ、熱線流速計⑫により測定した。

また、翼後方の後流分布は、翼スパンの中心位置において、熱線プローブを翼後縁より後方24[mm](翼弦長の20%)の位置に設置し、上下方向 ± 60 [mm]の範囲内で移動させ、計21点の位置で測定した。

測定した流速値 u は、風洞出口部における基準流速 U_∞ に対する比 u/U_∞ で表し、また、流れの乱れ強さ T_u は、次式により評価した。

$$T_u = \frac{\delta_u}{U_\infty} = \frac{1}{U_\infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - u)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで、 δ_u : 測定流速の標準偏差

u_i : 時系列の流速測定値

n : 流速測定回数

である。

さらに、翼上面側の流れの状況を可視化するため、タフトを取り付けられる治具を用い、翼表面より鉛直方向に5[mm]離れた位置での流れの挙動を観察できるようにした。

3・2 供試翼型と渦構造の分類 供試翼型としては、前報^{(1)~(6)}と同様、オランダのデルフト工科大学で開発された「DU97-W-300⁽⁷⁾」を厚翼として選定した。翼は翼弦長 C が120[mm]、スパン方向長さが298[mm]で、光造形樹脂により製作し、その際に翼表面上に残る積層痕を除去し、流れ方向およびスパン方向の翼表面粗さをともに0.7[μm]の状態に仕上げた翼を基準の翼として「Without」翼と称した。

図2は供試翼型形状とあわせ、前報^{(5)~(6)}で明らかにした円柱棒およびボルテックスジェネレータ

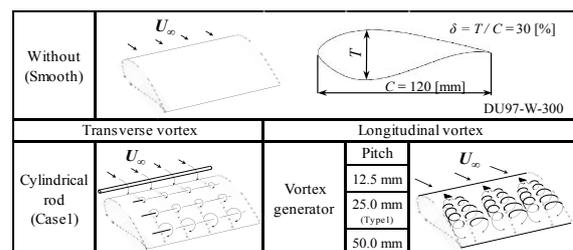


Fig.2 Schematic diagram of transverse and longitudinal vortices occurrence

を付加することにより発生する横渦および縦渦の構造を模式的に示したものである。

円柱棒設置については、翼面上の流れに及ぼす横渦の効果を評価するため、円柱棒を設置しない状態における二次失速時の迎え角 $\alpha=26^\circ$ において、翼先端部が原点 (迎え角 $\alpha=0^\circ$ における翼先端部の位置) から垂直方向に 20[mm]で、かつ、翼の前方水平方向に-10[mm] (翼の前方方向をマイナスで表示) の位置に、直径 5[mm]の円柱棒を設置した Case 1 を検討対象とした⁽⁵⁾。

また、VG を付加したことによる縦渦発生メカニズムの例としては、前報⁽⁶⁾で提示した VG の組み合わせのうち、「Without」翼の上面側に厚み 0.3[mm]の VG を翼前縁から翼弦長 C の 5% の位置 (VG の重心位置で定義) 一列に 25[mm]ピッチで配置した Type1 を選定し、あわせて VG のピッチを変化させた場合についても検討した。

以下の節では、「Without」翼を基準にして、領域 II における特性の違いと流動状態について評価し、さらに迎え角の大きい領域で発生する失速に関連し、その抑制に効果を及ぼす横渦と縦渦の影響について検討を加える。

4. 実験結果と考察

4.1 渦構造の違いが翼の流体力学的特性に及ぼす影響

図 3 は「Without」翼, 円柱棒設置の Case 1 および VG を 25[mm]ピッチで翼上面に付加した Type1 の場合の流体力学的特性を示したものである。

Case 1 および Type1 の結果を「Without」翼のそれと比較すると、すべての迎え角領域で揚力係数が大きく、かつ、抗力係数が小さくなっている。

基本的には「Without」翼の場合でも、翼のスパン方向に渦芯を持つ横渦が発生しており⁽⁸⁾、円柱

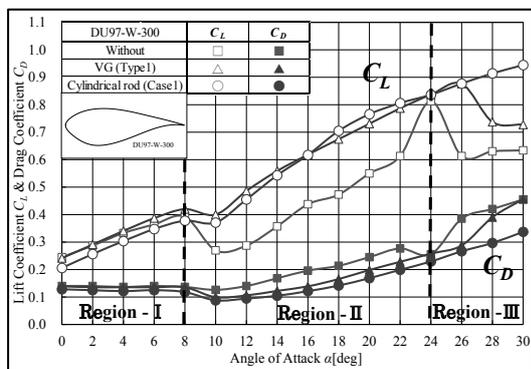


Fig.3 Aerodynamic characteristics (Without, Case1 & Type1)

棒を翼前方に置くことにより、この横渦の発生がさらに助長されることが予想される。

「Without」翼の場合に発生した迎え角の大きい領域 ($\alpha=26^\circ$) での失速による揚力係数の急減と抗力係数の急増は、翼前方に円柱棒を設置することにより発生する横渦による効果と、VG 付加により発生する縦渦の効果により、それぞれ大きく抑制されていることがわかる。

4.2 渦構造の違いによる翼周りの流動状態

4.2.1 領域 II における翼周りの流れの挙動

一例として領域 II における迎え角 $\alpha=20^\circ$ の場合について、翼面上の圧力分布を示したものが図 4 である。

Case 1 および Type1 とともに翼上面側の負圧値が「Without」翼の場合と比べ大きくなっており、図 3 の流体力学的特性の結果とも対応している。

次に、円柱棒による横渦発生および VG による縦渦発生による翼周りの流動状態に及ぼす影響を流速比と乱れ強さについて示したものが図 5 である。

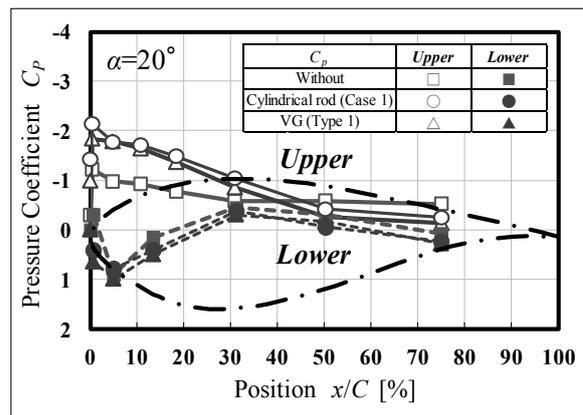


Fig.4 Pressure distribution ($\alpha=20^\circ$, Without, Case1 & Type1)

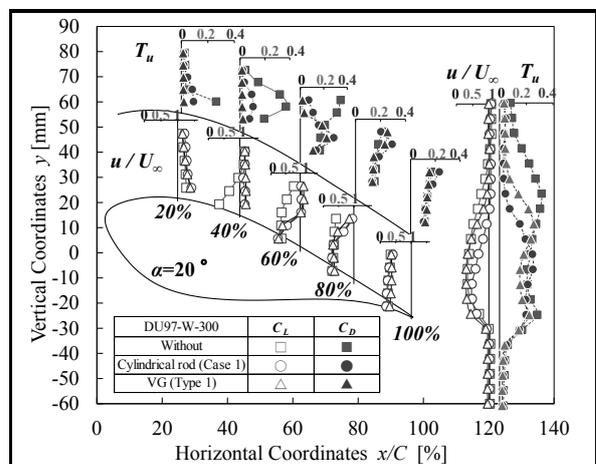


Fig.5 Velocity distribution ($\alpha=20^\circ$, Without, Case1 & Type1)

「Without」翼については、翼上面側の流速が小さくなる翼先端より40%~60%位置における乱れ強さが大きく現れており、後流についてもその幅が大きく、かつ、乱れ強さも大きくなっている。

これに対し、Case 1 および Type1 についてみると、60%位置において両者とも翼上面側の流速が小さくなっているが、円柱棒により横渦を発生させた場合、VG により発生する縦渦の場合と比べ流れの乱れが多少大きくなっている。

しかし、後流の幅については、円柱棒設置のCase 1の方が、VG 設置のType1より小さく、かつ、流れの乱れも小さくなっており、翼面上に発生した横渦の効果が翼後方において有効的に作用しているものと考えられる。

そこで、「Without」翼、Case 1 および Type1 の場合について、翼周りの速度変動の挙動を明らかにするため、図6に一例として、 $x/c=20\%$ の位置における翼上面の翼面から5[mm]、10[mm]および15[mm]の3点について、ウェーブレット解析した結果を示す。

「Without」翼については、翼面から5[mm]離れた位置における流速変動が極めて大きく、速度が急減しはく離しやすくなる領域で、ウェーブレット解析によるパワー値が大きく現われている。

さらに、翼面より離れるに従い、流速変動は小さく、かつ、その周波数も減少している。

これに対し、翼前方に円柱棒を設置したCase 1の場合には、強制的に横渦発生を起こしているため、翼面より5[mm]および10[mm]において、流速変動波形に約1.3[kHz]の高周波数成分が重畳し、そのため翼面に近いほど、そのパワー値が大きく現われている。

また、翼上面にVGを付加したType1の場合には、VGに近い翼上面の5[mm]における流速変動波形に縦渦発生の影響が見られるが、翼上方の10[mm]および15[mm]においては、その影響は極めて小さくなっている。

以上の流速変動の挙動は、図5に示した乱れ強さの値の大小とも対応しており、ウェーブレット解析結果からも横渦および縦渦発生の構造がより詳細に把握できる。

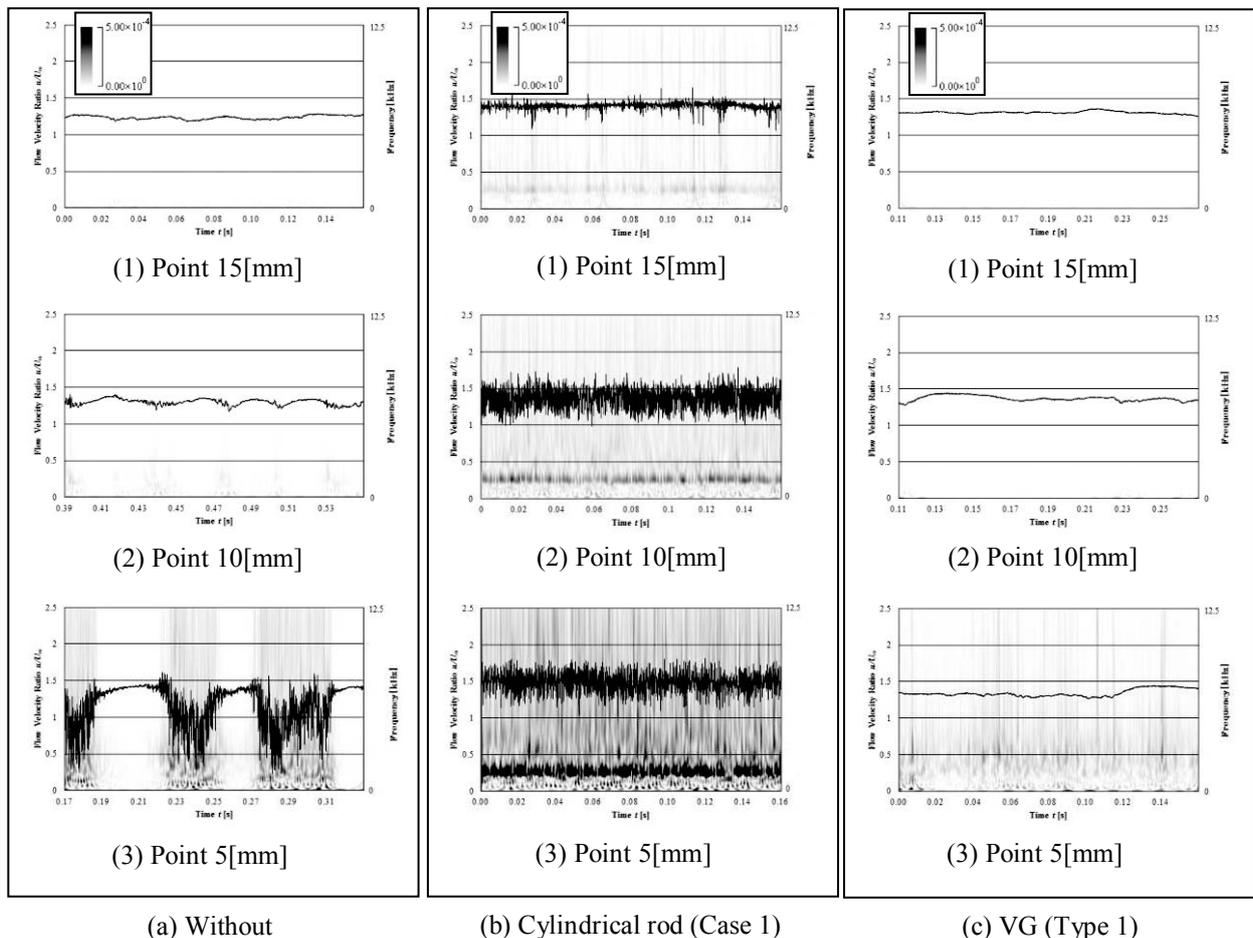


Fig.6 Wavelet analysis of velocity distribution ($x/c=20\%$, Without, Case1 & Type1)

4・2・2 迎え角の大きい領域における失速前後の流れの挙動

(a) 横渦構造が翼の失速特性に及ぼす影響

図7は「Without」翼の場合に迎え角の大きい領域において発生する失速現象に着目し、その失速前後の迎え角である $\alpha=24^\circ$ と 26° における翼周りの流速分布の実験結果と汎用流れ解析ソフト⁽⁹⁾を用いて解析した結果を、円柱棒を設置した Case 1 の場合の結果とあわせて示したものである。両者とも、 $\alpha=26^\circ$ の場合については乱れ強さについても記載した。

図7(a)の「Without」翼の場合、失速直前の迎え角である $\alpha=24^\circ$ において、翼前縁から40%における翼上面側の翼面付近の流速が減少している。

失速後の $\alpha=26^\circ$ では、低流速領域が翼の前方まで拡大しており、この状態において流れの乱れ強さ T_u は大きくなっている。さらに、翼後方の低流速域の後流領域も大きく拡大していることがわかる。

「Without」翼の場合には、失速前後の迎え角における流れ解析の流速分布は、実験結果とほぼ似たものとなっている。

これに対し、図7(b)の円柱棒を設置した Case 1 の場合、翼上面側の翼先端に近い位置での実験結果と解析結果に違いがみられるが、 $\alpha=24^\circ$ における実験結果より、翼前縁から60%の位置での翼上面の翼面付近での流速が減少していることがわかる。 $\alpha=26^\circ$ の場合もその低流速域が翼前方に多少拡大する程度で、後流領域も「Without」翼の場合と比べ、かなり小さくなっている。

図8は「Without」翼と Case 1 の $\alpha=24^\circ$ と $\alpha=26^\circ$ の場合について、翼スパン方向の3箇所(75[mm], 149[mm] (翼スパンの中心), 223[mm]) における流速コンタ図の解析結果を示したものである。

$\alpha=24^\circ$ の場合、「Without」翼と Case 1 の両者ともそれぞれ翼スパン方向においてはほぼ同じような挙動を示している。しかし、Case 1 の場合には翼上面側での大きな渦領域が翼の前方へ移動しており、 $\alpha=26^\circ$ の場合には、その領域がさらに翼の前方へ移動している。

また、図9は図7と同じ条件での翼面上の圧力分布の実験結果と流れ解析結果をあわせて示したものである。

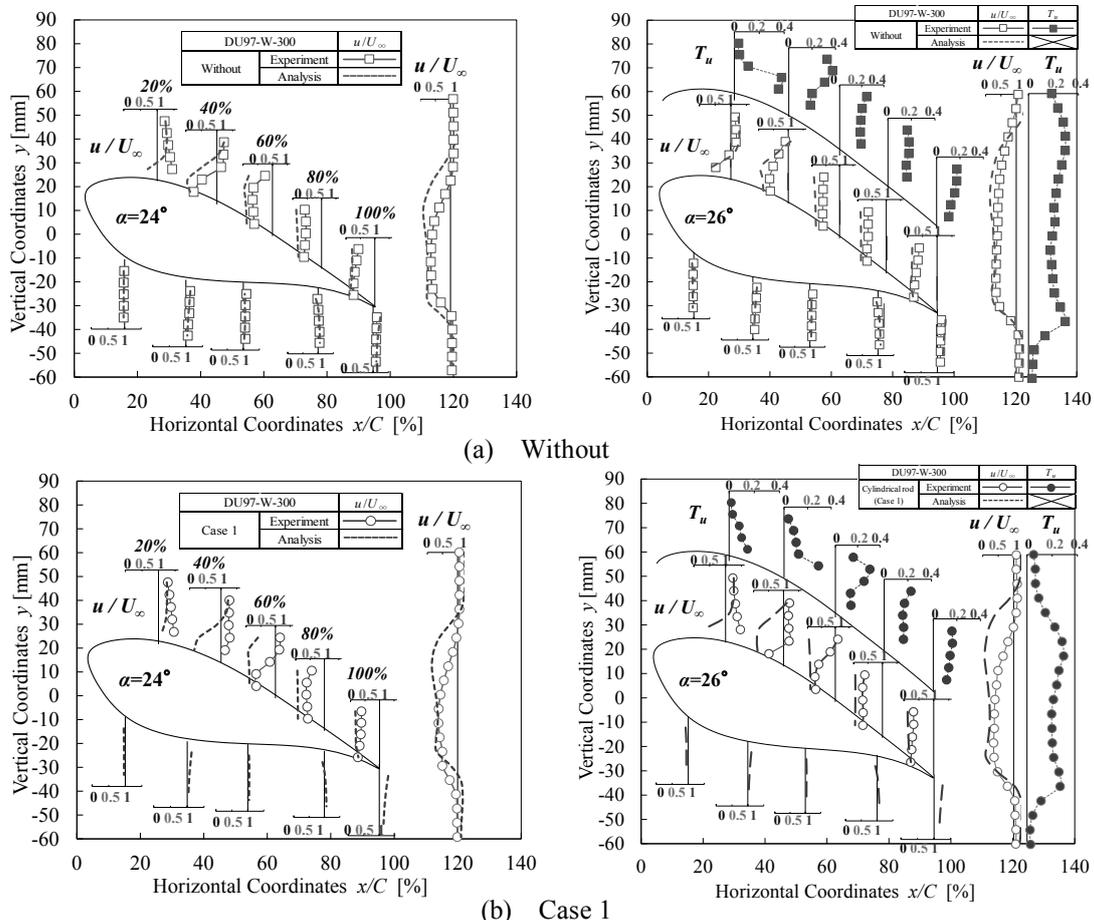


Fig.7 Velocity distribution (Without & Case 1)

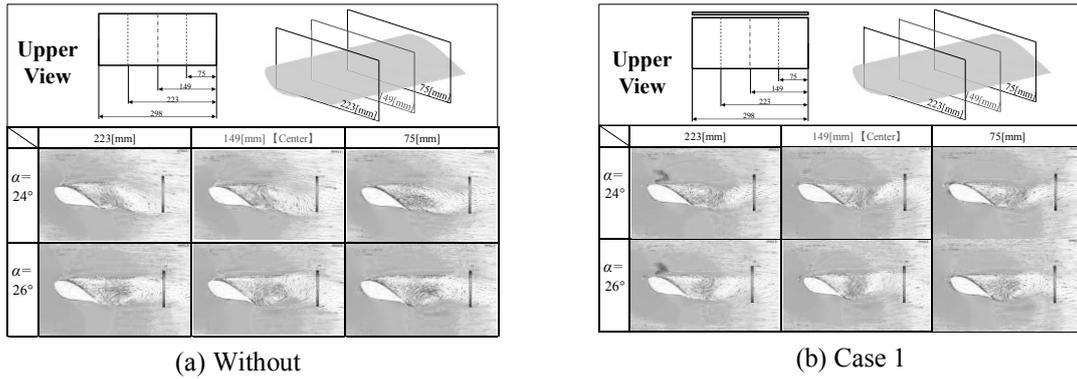
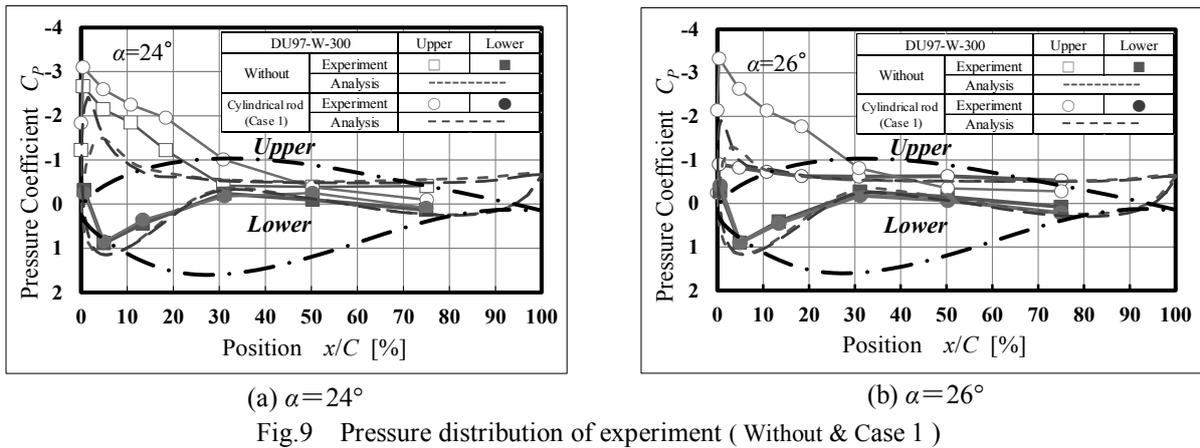


Fig.8 Velocity vector (Without & Case 1)



(a) $\alpha=24^\circ$ (b) $\alpha=26^\circ$
Fig.9 Pressure distribution of experiment (Without & Case 1)

実験結果と解析結果には違いがみられるものの、 $\alpha=24^\circ$ における実験結果についてみると、「Without」翼は失速直前の状態のため、翼上面側の負圧値が大きく現れている。Case 1 の場合には、その負圧値よりさらに大きな値となっており、図3の特性の違いとも対応している。

$\alpha=26^\circ$ についてはCase 1 の場合、さらに負圧値が大きくなっているが、「Without」翼は、翼上面全面にわたり一定の値となっており、失速状態にあることがわかる。

そこで、渦発生による翼まわりの流れの挙動を評価するため、圧縮機の渦崩壊などの評価に適用されている無次元ヘリシティ⁽¹⁰⁾により検討を加える。

無次元ヘリシティ Hn は、渦度ベクトルと速度ベクトルのなす角度の余弦値として定義され、次式により表わされる。

$$Hn = (\vec{\zeta} \cdot \vec{\omega}) / (|\vec{\zeta}| \cdot |\vec{\omega}|) = \cos \phi \quad (2)$$

$\vec{\zeta}$: 渦度ベクトル

$\vec{\omega}$: 速度ベクトル

ϕ : 渦度ベクトルと速度ベクトルのなす角度

Hn が零では横渦が、 ± 1 付近では縦渦が発生しており、正負の記号により、渦の回転方向が規定される。すなわち、 $+1$ は翼後方より見て左回転、また、 -1 は右回転の渦を示す。

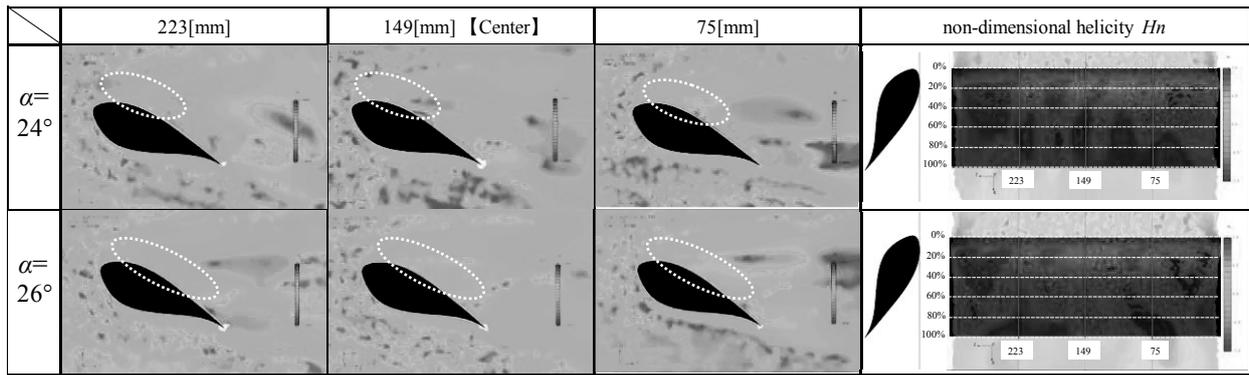
図10は「Without」翼と円柱棒を設置したCase 1の場合について、翼スパン方向の3箇所における無次元ヘリシティの解析結果を翼側面および翼上面から見た図として示したものである。

「Without」翼とCase 1の場合とも、 $\alpha=24^\circ$ と $\alpha=26^\circ$ において、翼スパン方向の3箇所(図中の○印の箇所)での無次元ヘリシティの値がほぼ零に近いことから、両者とも翼上面側において横渦が発生しているものといえる。

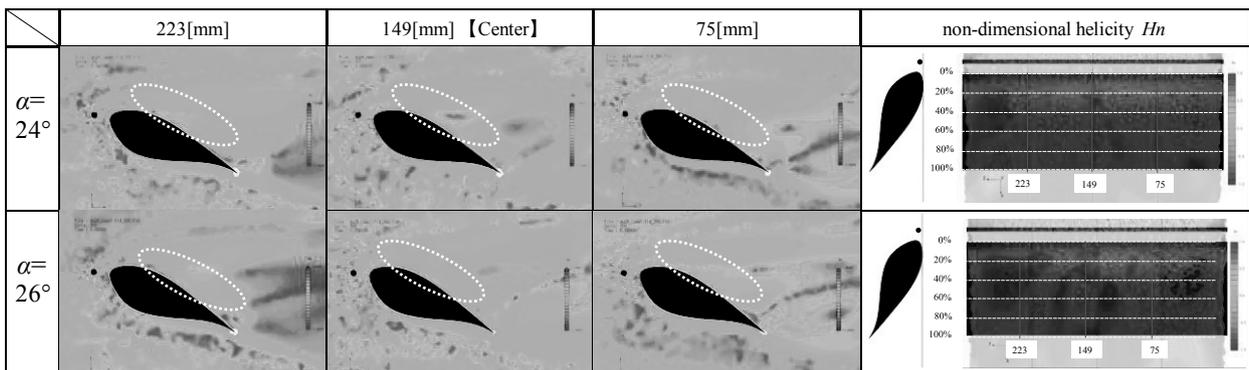
(b) 縦渦構造が翼の失速特性に及ぼす影響

図11はVGのピッチを変化させた場合の流体力学的特性を、「Without」翼の結果とあわせて比較したものである。図中のプロットには、ピッチの違いを明確にするため、番号を記載して表示した。

VGのピッチが12.5[mm]および25[mm]の場合、両者とも「Without」翼で $\alpha=26^\circ$ において発生してい



(a) Without



(b) Case 1

Fig.10 Contour of non-dimensional helicity H_n ($\alpha=24^\circ$ & 26° , Without & Case 1)

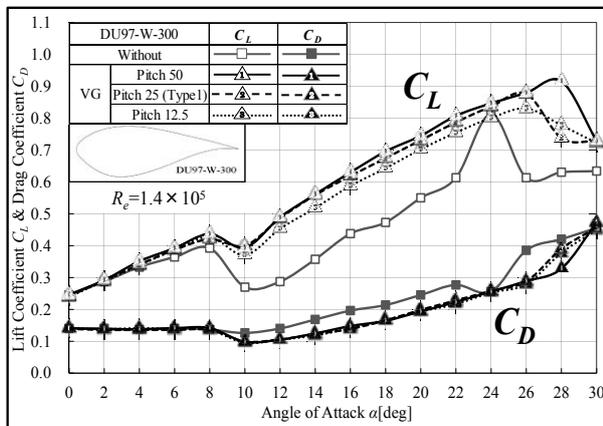


Fig.11 Aerodynamic characteristics (Without & Effect of pitch of the VG)

た失速が、 $\alpha=28^\circ$ で生じている。この時、揚力係数は大きく増加し、かつ、抗力係数は減少している。

さらに、VGのピッチが50[mm]になると、失速時の迎え角が $\alpha=30^\circ$ となり、VGのピッチが小さい12.5[mm]および25[mm]の場合と比べ、揚力係数がすべての迎え角範囲で大きくなっている。

以上のように、VGを翼上面の翼前縁付近に付加することにより発生する縦渦の効果により、翼の流体力学的特性を大きく改善することができる。

図12は $\alpha=24^\circ$ と $\alpha=26^\circ$ において、VGのピッチを変化させた3種類の場合について、翼周りと翼後流の流速分布の実験結果と流れ解析結果を示したものである。ただし、翼下面側については解析結果のみを記載した。

図7(a)の $\alpha=24^\circ$ および $\alpha=26^\circ$ の「Without」翼の結果と比較すると、VGのどのピッチの場合とも、翼の前縁に近い翼弦長の20%の位置での流速の値が全体的に大きくなっており、かつ、後流の幅も小さくなっている。

以上のことから、VGのどのピッチの場合でも、VGを付加したことにより、その後端から発生する縦渦の作用により、翼特性を改善できることがわかる。

そこで、VGの後端から発生する縦渦の効果を翼面全体における大局的観点から評価するため、図13に一例として $\alpha=24^\circ$ の場合における3種類のVG直上1[mm]の断面での翼上面側全体の無次元ヘリシティのコンタ図を示す。図中に表示した数値は、翼下流側から見て翼右端からの距離を示したもので、149[mm]は翼スパンの中央を表す。

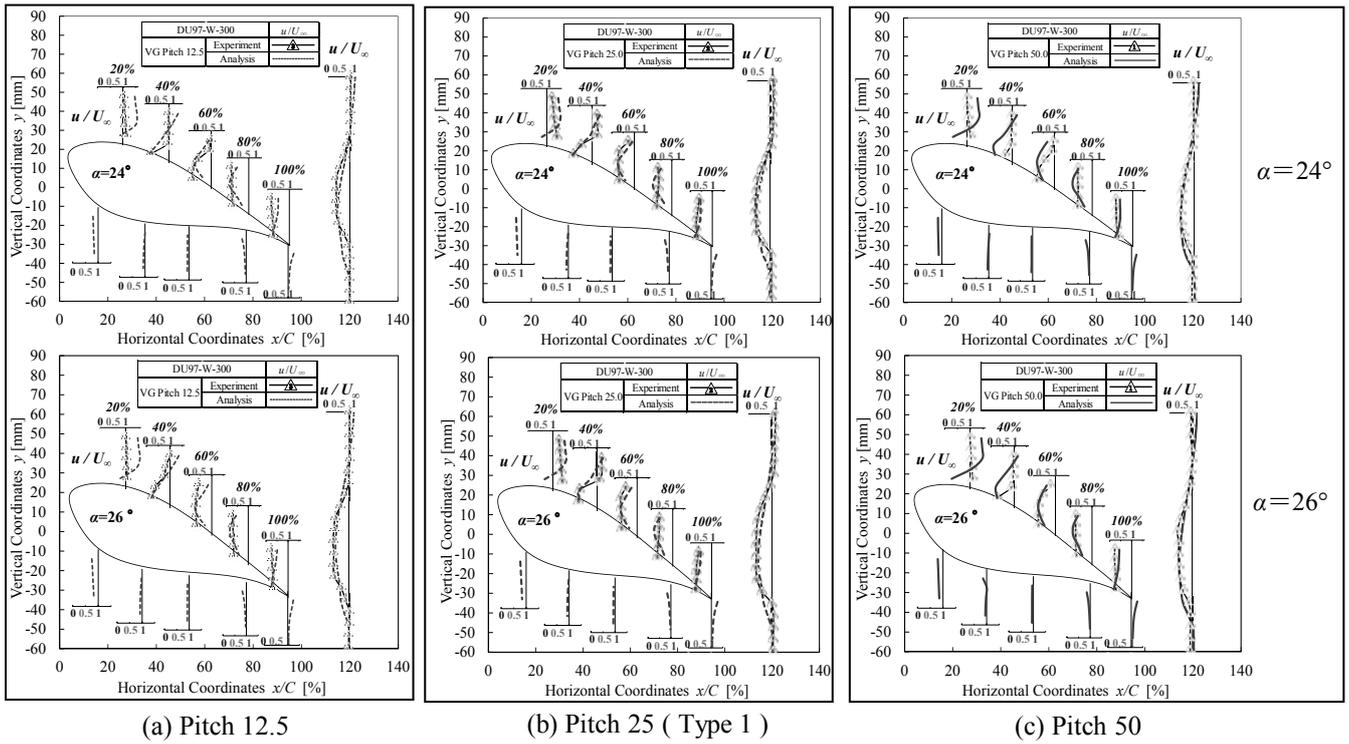


Fig.12 Velocity distribution with VG ($\alpha=24^\circ$ & 26° , Experiment & Analysis)

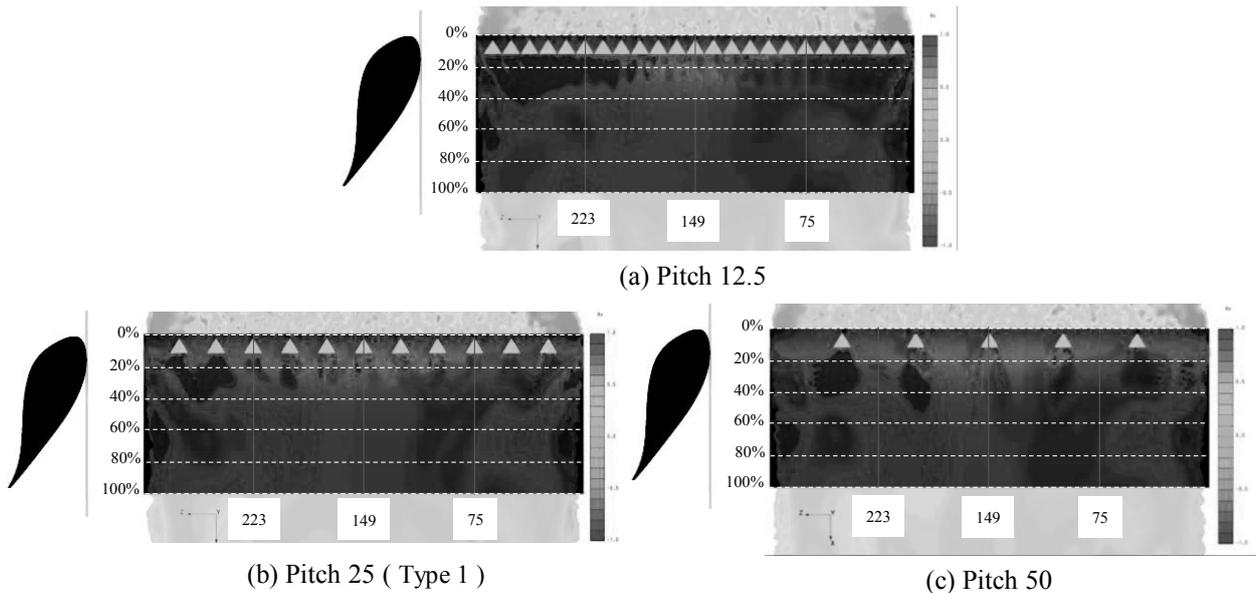


Fig.13 Contour of non-dimensional helicity Hn ($\alpha=24^\circ$, Effect of pitch of the VG)

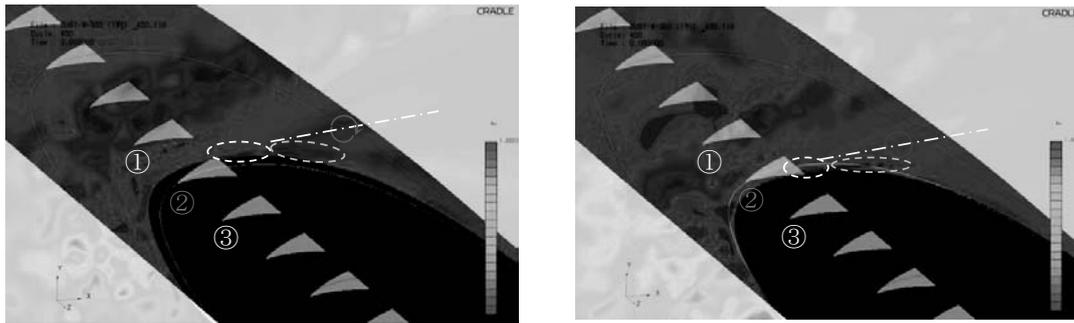
どのVGのピッチの場合とも、翼下流から見て右側に位置する75[mm]を含む範囲では、翼後方から見て右回りの渦が、一方、223[mm]を含む左側の領域では、左回りの渦が発生している。

この渦の回転領域は、VGのピッチが小さい場合には、VG間を含めた一つの領域として現れているのに対し、VGのピッチが大きくなるにつれて、その領域がVGの後方の限られた範囲に限定され、全体的に見れば、その渦領域が狭くなっていることがわかる。

図示は省略したが、上述の挙動は、 $\alpha=26^\circ$ の場合もほとんど同じであることを確認している。

さらに、VGの両後端から発生する渦の挙動を微視的観点から把握するため、一例としてピッチ25[mm]の $\alpha=24^\circ$ の場合について、無次元ヘリシティのコンタ図を示したものが図14である。

VGの右端の144[mm]の箇所からは翼の後方より見て、左回転の渦が、また、VGの左端にあたる154[mm]の箇所からは右回転の渦が発生



(a) Pitch 25 Point 144[mm]

(b) Pitch 25 Point 154[mm]

Fig.14 Contour of non-dimensional helicity Hn around the VG (Type 1, $\alpha=24^\circ$)

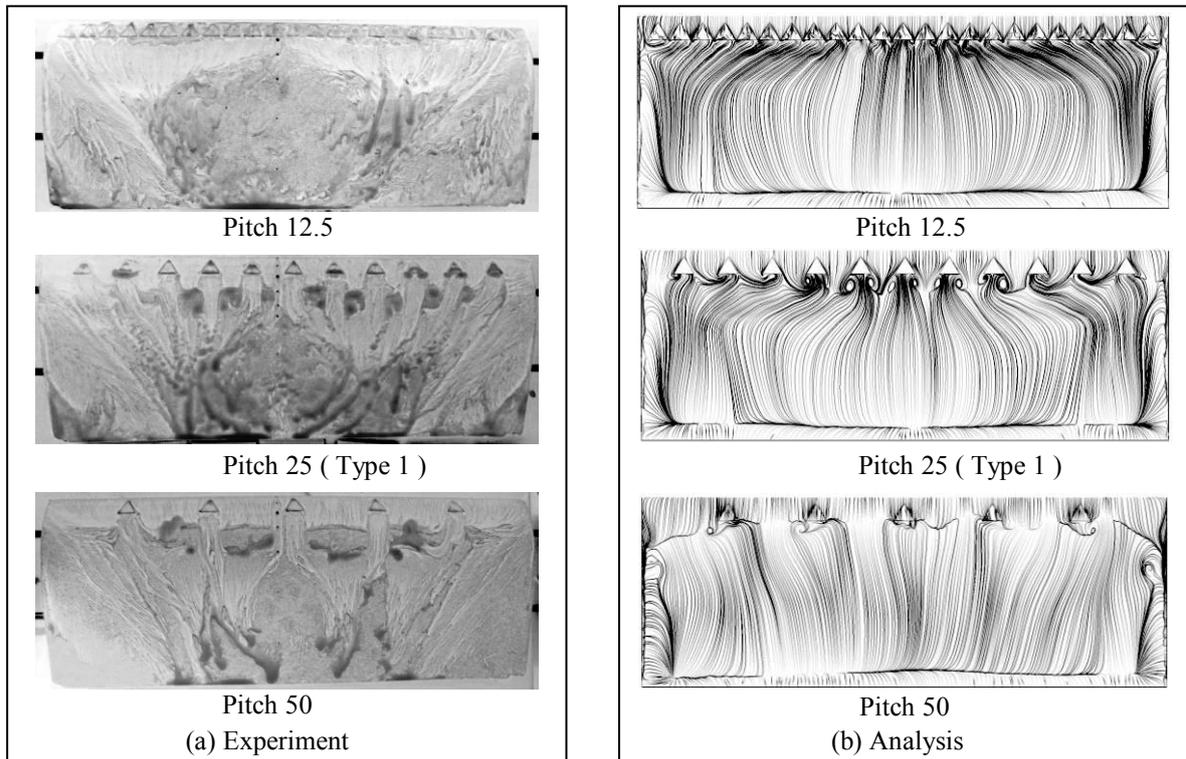


Fig.15 Flow visualization by oil film method ($\alpha=26^\circ$, Effect of pitch of the VG)

している. このためピッチが小さくなるにつれて, 近接する VG から発生する渦が打ち消しあい, 翼全体として見れば図 13 に示した結果となり, VG を付加した効果が顕著に現れないものと言える.

以上のことから, 図 11 に示したように, VG のピッチが大きくなるほど, 揚力係数が増大し, 失速を生じる時の迎え角が大きくなるものと考えられる.

上述の議論を確認するため, 油膜法⁽¹¹⁾により VG 後方の流れの挙動を調べたものが図 15 である.

図 15 は $\alpha=26^\circ$ の場合についての一例で, VG の 3 種類のピッチの場合における翼上面の流れを可視化したもので, 流れ解析による結果も併記した.

実験では VG の後縁からの渦による筋状の流れが確認でき, 解析結果もほぼ同じような挙動を示

していることがわかる.

さらに, 図 16 に「Without」翼と 25[mm]ピッチの VG を付加した場合の翼面上の圧力分布を, $\alpha=24^\circ$ と $\alpha=26^\circ$ の場合について示す.

$\alpha=24^\circ$ においては, 「Without」翼と 25[mm]ピッチの VG を付加した場合の両者の揚力係数および抗力係数はほぼ同じであるため, 翼面上の圧力分布も両者ともほぼ同じである.

一方, $\alpha=26^\circ$ では, 「Without」翼が失速状態にあるため, 翼上面の圧力は翼全体にわたり一定の値となっているのに対し, 25[mm]ピッチの VG を付加した場合には, 失速しておらず, さらに揚力係数が大きくなっているため, $\alpha=24^\circ$ の時より負圧値の大きな値となっている.

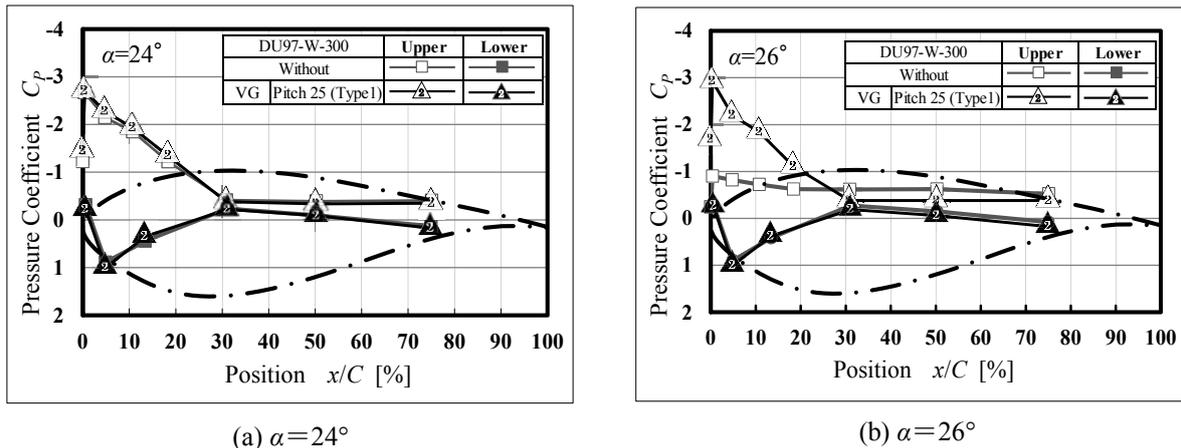


Fig.16 Pressure distribution of without and VG (Experiment)

5. 結 言

本報では、円柱棒およびボルテックスジェネレータ（「VG」）などの簡易デバイスを設置することにより発生する翼面上の横渦および縦渦による渦構造の違いが、翼面上の境界層はく離と失速時の流体力学的特性に及ぼす影響を詳細に検討した。

その結果、明らかになった点は、以下のとおりである。

- (1) 基準となる「Without」翼に対し、翼前方に円柱棒を設置した Case 1 および VG を翼上面に付加した Type1 の場合については、迎え角の大きい領域で発生する失速までの範囲を拡大することができ、これは翼面上に発生する横渦および縦渦の作用により、翼面上の流れが改善されることによることを明らかにした。
- (2) 円柱棒を設置した Case 1 の場合、迎え角の大きい $\alpha=24^\circ$ と $\alpha=26^\circ$ の場合とも、翼スパン方向全長にわたり、翼上面近傍での無次元ヘリシティの値がほぼ零に近い値を示しており、横渦の発生が確認できる。この作用により、失速までの迎え角の範囲を拡大できることを示した。
- (3) VG のピッチ変化による流体力学的特性に及ぼす影響を明らかにし、翼上面近傍での無次元ヘリシティの値から、VG 後縁より発生する左右回転方向の異なる縦渦構造が深く関連していることを翼周りの流速分布、圧力分布および油膜法による流れの可視化結果から明らかにした。

文 献

- (1) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro and ICHIKAWA Tatsuya, Research of Aerodynamic Characteristics and Flow Patterns on Thin and Thick Blades of Wind Turbines, Research Reports of

Tokyo National College of Technology No.41(2), 2010, pp.19-27.

- (2) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Research on Aerodynamic Characteristics of Thin and Thick Blades depending on the Presence or Absence of Streaky Features formed on the Blade Surface during Creation of Wind Turbine Airfoils with Stereolithography, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp. 77-85.
- (3) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils and One Trial of Stall Control, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (1), 2010, pp.35-43
- (4) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp.63-76.
- (5) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, TAKAHASHI Masaaki and IWAMURA Takuya, Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.43 (1), 2011, pp.29-36.
- (6) SAITO Sumio, et al., Aerodynamic Characteristics of an Airfoil with Vortex Generators and Flow Conditions around the Blade, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.43 (1), 2011, pp.37-44.
- (7) W.A.Timmer, R.P.J.O.M. van Rooij, Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils, Transaction of the ASME, Vol.125, November 2003, pp.488-496.
- (8) 西村, 空力騒音の発生メカニズムとその制御, 機械の研究, 第 64 巻, 第 9 号, (2012-9), pp.727-734.
- (9) SCRYU/Tetra for Windows Version 10, Software Cradle Co, [http://www.cradle.co.jp/\(2013\)](http://www.cradle.co.jp/(2013)).
- (10) 古川, 翼端漏れ渦の崩壊が圧縮機の内部流動および性能特性に及ぼす影響, ターボ機械, 第 40 巻, 第 11 号, (2012-11), pp.674-679.
- (11) 斉藤, 岩村, 流体機械の特異現象解明に対する流れ解析と実験解析手法の適用事例, 油空圧技術, 第 52 巻, 第 3 号 (通巻 646 号) (2013-3), pp.40-48.

作動流体の可視可を目的とした教材用スターリングエンジンの製作

福田昌了*, 筒井健太郎**

Production of Stirling Engine for Educational Visualization of Internal Working fluid

Masayoshi FUKUTA, Kentaro TSUTSUI

The heat engine, there are two types of the external combustion engine and an internal combustion engine, the internal combustion engine can lower manufacturing cost is obtained a high output is the mainstream at present. However, there is a limit to the use of fuel, some vibration and harmful effects of exhaust gas, problems such as noise. One of the solutions to this problem, the Stirling engine is an external combustion engine, and the like. This study, in order to facilitate a visual understanding of the Stirling engine, and produced a Stirling engine for large, low rotation speed using a Pyrex glass cylinder, and an object of the visualization of the working fluid.

Keywords : Stirling cycle, Visualization, Educational materials

1. はじめに

本研究は、今までに試作されている模型エンジンに比べ、教材用として大型で低回転のスターリングエンジンを製作し、作動流体の可視化を目的とする。

現在、原動機は内燃機関が主流となっているが、内燃機関は将来枯渇するといわれている化石燃料を使用し、有害性のあるガスを排出する。それに加え、構造上振動が激しく、確実な固定が必須であり、騒音が大きく静粛性が必要な場所では使いづらいといった問題点も挙げられる。

これらの問題点を解決する一つの方法にスターリングエンジンがあるが、このエンジンの理論サイクルであるスターリングサイクルは、式や図だけでは理解しにくい理論となっている。そのため、理論が理解しやすいよう作動流体の状態を可視化し、大型かつ低回転で作動するスターリングエンジンの製作を目的とする。

2. 設計および製作^{1), 2), 3)}

本研究では、Schmidt 理論を参考に設計を行った。Schmidt 理論とは、各空間における作動ガスの温度が常に均一かつ一定に保たれており、膨張空間と加熱装置、圧縮空間と冷却装置の温度は等しく、ピストンの変異が正弦波状であると仮定した解析手法のことをいう。

エンジンの形式は、膨張と圧縮の2つのピストンと1つの再生器からできており、構造が簡単で、ピストンや再生器を比較的自由に配置することができる α 形を採用した。

シリンダ材質には、パイレックスガラス管を採用した。パイレックス管は、普通のガラス管に比べ熱膨張率が低いため、高温となる加熱側シリンダに用いても割れることがないと考えた。これにより、エンジン内部の作動流体の動きを可視化できるようになった。シリンダにパイレックス管を使用するにあたって、膨張ピストンの材質にはホットベールを採用した。パイレックス管は低熱膨張率のため、ピストンに熱膨張率の高い材質を用いると、エンジン内部が高温になった際にピストンがつかまってしまい、エンジンが停止する可能性が考えられる。このため、鉄やアルミに比べ熱膨張率が低いホットベールを選定した。エンジンの完成外観は Fig.1 に示す配置である。また外燃機関のため、加熱パイプ部分にはシース型電熱線を巻いた。シース型電熱線の構造は、Fig.2 に示すように、外部のステンレス外皮と内部の電熱線部分が電気的に絶縁されて

いるため、感電の危険が無く、同時にスライダックによって電熱線への電気入力を変化させることで、加熱量を自由に变化させた。シース型電熱線を巻き付けた部分では、外部へ熱を逃がさないように、無機断熱材のファイバーフラックスを加熱部分に巻き付けた。加熱部-シース熱電対-ファイバーフラックスは、アルミナを主成分とした無機接着剤を用いて接着した。

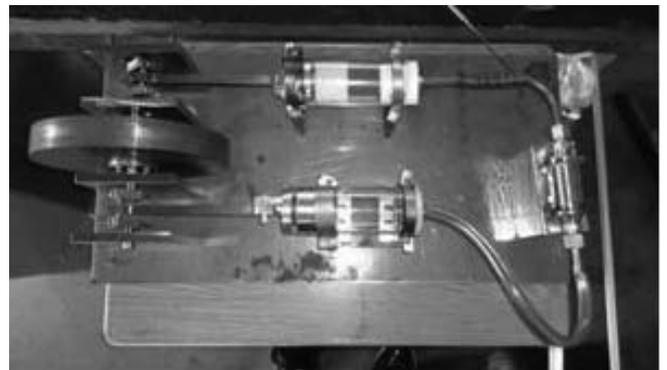


Fig.1 Finished Product

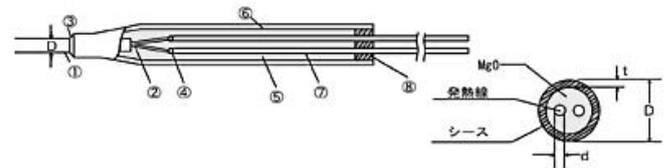


Fig.2 Sheath heating wire

設計した部品を製作し、組み立てを行いエンジンの作動確認を行った。しかし、いくら調整を行ってもエンジンを作動させることができなかった。そすべての部品の製作が終わり次第組み立てを行い、初期動作の確認を行った。しかし、製作したエンジンは始動しなかったため、原因と思われる要因を一つ一つ検討を重ね改良を試みた。

その結果、エンジンを動かすことに成功した。以下にエンジンが始動しなかった原因と改良方法を示す。

・原因

- 1) 再生交換機の内部に詰めた金属メッシュの枚数が多く、流動抵抗が増加した。
- 2) ピストンとシリンダ間からの作動ガスの漏れ。
- 3) 電熱線による外部加熱の熱伝導率の悪さ。
- 4) ピストンやコンロッド等の自重による摺動抵抗。

・改良方法

- 1) 金属メッシュの量を減らし、流動抵抗を少なくする。
- 2) ピストンとシリンダとの隙間をできる限り小さくし、潤滑剤を用いた。
- 3) 電熱線に断熱材を巻きつけることによって熱損失を少なくした。
- 4) 冷却側ピストンの材質をアルミにし、軽量化を図った。また、コンロッドの肉抜きを行うなど軽量化できる部分を軽くしていった。

以上の改良を行うことで、エンジンを始動させることができた。

3. 作動流体の可視化³⁾

作動流体の可視化には、線香の煙を用いた。ピストン内部に線香の煙を充満させ、エンジンを作動させて煙の様子を観察できるようにした。Fig.3 に可視化の様子を示す。



Fig.3 Visualization of Internal-Fluid

4. 性能試験

4.1 回転速度測定²⁾

入力電力に対する回転速度の測定を行った。電熱線の最大電力である 200[W]から、エンジンが始動する最少電力の 120[W]まで 20[W]ずつ電力を下げ、ハンドタコメータを用いて 10 秒間隔で 10 回測定を行った。平均値から Fig.4 のようなグラフが得られ、スライダックによって入力電力を調整することで、任意の回転速度でエンジンを作動させることができた。

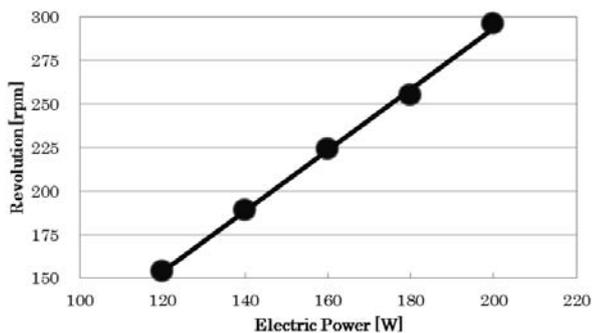


Fig.4 Revolution-Electric Power Diagram

4.2 トルクおよび軸出力の測定

フライホイールに紐でおもりを取り付け、エンジンが持ち上げられる最大の重さから、トルクおよび軸出力を求めた。初めに 5[g]のおもりを取り付けエンジンを作動させ、その後エンジンが停止するまで 5[g]ずつおもりを増やしていく。

入力電力を 200[W]から 120[W]まで 20[W]ずつ下げていき、それぞれの入力電力でエンジンが作動するおもりの最大重量を 5 回測定する。実験結果より求めたトルクおよび軸出力のグラフを Fig.5 に示す。トルク、軸出力ともに、入力電力に比例して増加することがわかった。

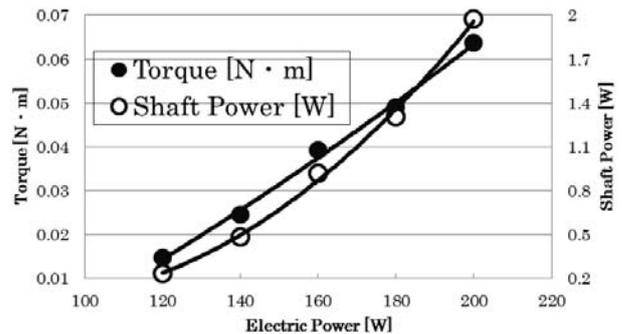


Fig.5 Torque Shaft Power-Electric Power Diagram

4.3 金属メッシュの枚数による軸出力への影響

再生熱交換器内部に積層させてある、金属メッシュの枚数を変化させることで、軸出力にどのような影響が出るか実験を行った。入力電力は 200[W]とし、金属メッシュの枚数を最大枚数の 100 枚から 0 枚まで 25 枚ずつ減らしていき、実験を行う。軸出力は、4.2 項の要領で求める。

実験結果から Fig.6 のようなグラフが得られた。入力電力は一定のため、軸出力の差が熱効率の差となる。本研究で製作したエンジンにおいては、熱効率の最小値に比べ、最大値は約 19 倍の値となっている。このことから、再生熱交換器がエンジンに与える影響が非常に大きいことがわかった。

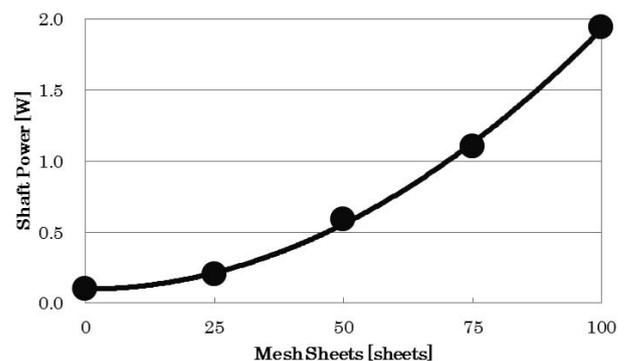


Fig.6 Shaft Power-Mesh Sheets Diagram

4. 考察

本研究で製作したスターリングエンジンの熱効率は、0.985%と非常に小さい値となってしまった。原因としては、エンジンの作動を優先して金属メッシュの枚数を減らしたことで、外燃機関であるため電熱線からの熱がすべてエンジンに伝わっていないことが考えられる。

電熱線の断熱をしっかりと行うことで、熱効率が向上すると考える。また、金属メッシュの線径を変えることで作動流体の流動抵抗を減少させ、熱効率を上げるとともに、エンジンが作動する最低回転数を下げることができると考えられる。

5. まとめ

作動流体の可視化を目的とした教材用スターリングエンジンの製作を行った。

エンジン内部に煙を充満させることで、作動流体の可視化を行うことができた。また、スライダックによって入力電力を変化させることで、任意の回転速度でエンジンを作動させることが可能となった。

教材用として、スターリングエンジンの熱効率に大きな影響を与える、再生熱交換器の性能試験を容易に行えた。

参考文献

- 1) 山下巖ほか4名: スターリングエンジンの理論と設計, 山海堂, (1999), p1-p47.
- 2) 山崎, 山之: 国立東京工業高等専門学校卒業研究論文, (2007)
- 3) 熊澤: 国立東京工業高等専門学校卒業研究論文, (2008)

(平成25年6月20日 受理)

灯油及びエタノールを代替燃料とした内燃機関の性能特性

青柳雄大*, 筒井健太郎**

Performance Characteristics of an Internal Combustion Engine with Alternative Fuel Kerosene and Ethanol

Yudai AOYAGI, Kentaro TSUTSUI

There is a gasoline shortage as one of the problems in the Great East Japan Earthquake. It is proposed that mixed with gasoline or ethanol kerosene and stored in the house as a temporary measure to solve this problem, to use as an alternative fuel to the fuel mixture. In this experiment, it is intended to reveal the optimal mixing ratio. It was found that examine the engine performance of 100% each fuel and the rotational speed at each mixing ratio, the output decreases in the order of gasoline, kerosene, ethanol, fuel economy is improved in order kerosene, gasoline, ethanol this time.

Keywords : Kerosene, Ethanol, Gasoline

1. 緒言

2011年3月11日に東日本大震災の発生直後、物資不足が各地で目立ったが、中でもガソリンはガソリンスタンドに長蛇の列ができ、売り切れが続出するほど不足し、ガソリンを盗む者が出てくるなど被災地を始め、東日本での生活に大きな支障が出た。その理由としては、Fig.1で示すように消費者が買い急いだ事に加えて、東北と関東の6製油所が操業を止めたことで合わせて日量100万バレル超の原油処理能力が一時的に失われたことがガソリン不足を招いた。

宮城県の太平洋沿岸では、大津波で貯蔵施設やタンクローリーが流され、外から運搬するための道路や港が損傷したため、ガソリンが不足し、廃材を取り除く重機や救急車両の運行や生活物資等の調達を困難にした。また、全国各地から救援物資の運搬が必要となるが、ガソリンや軽油が足りないことから輸送が出来ず、さらなる物資不足を招いた。

そこで本研究では、自宅や職場などに暖房用として貯蔵している灯油と、近年注目されているエタノールを代替燃料として使用し、ガソリンと混合させることでガソリンの消費を減らし、緊急時の移動手段としての可能性を実験的に検証を行い、最適な混合比率を明らかにする。



Fig.1 Long line from the gas station

2. 実験

2.1 実験装置

今回の実験では、被災地などで一時的に瓦礫をすり抜けて移動することを想定して原動機付自転車を用いた。Fig.2に示す世界一の販売台数を誇るカブシリーズのリトルカブのエンジンを用いて実験を行う。エンジンについての諸元はTable 1に、ガソリン、灯油、エタノールの物性はTable 2に記載する。



Fig.2 Honda Little Cub

Table 1 Specification of Engine ^{(1) (2) (3)}

通称名	リトルカブ
燃料消費率 (km/L) 30km/h 定地走行テスト値	125
エンジン型式・冷却型式	C50E・空冷4サイクル OHC 2バルブ単気筒
総排気量 (cm ³)	49
内径×行程 (mm)	39.0×41.4
圧縮比	10.0
最高出力 (PS/rpm)	4.5/7000
最大トルク (kg-m/rpm)	0.52/4500
キャブレター型式	PB3B
点火装置形式	CDI式マグネット点火
潤滑方式	圧送飛沫併用式
走行距離 (km)	10613.3
年式	1999年

Table 2 Properties of Fuels

	ガソリン	灯油	エタノール
密度 (g/cm ³)	0.783 以下	0.79~0.80	0.79
発熱量 (kJ/cc)	34.5	36.7	27.7
沸点 (°C)	30~220	170~250	78.4
引火点 (°C)	-40 以上	40 以上	13 以上

2.2 混合燃料が及ぼす回転数への影響

2.2.1 実験方法

この実験はガソリンと灯油の混合比と、ガソリンとエタノールの体積混合比それぞれ 10:0~0:10 までの整数比で 11 回行い、始動性とアイドリング時の回転数を比較する。回転数を測るためにクランクに直接繋がっているフライホイールにアルミテープを貼り、非接触式の光学ハンドタコメータを使用した。また、実験室内でのエンジン運転中排出される排気ガスは外部に通じる配管によって外部に排出される。

また、実験前にはガソリンを用いた暖気運転を十分行ってから各実験を行った。

2.2.2 実験結果

Fig. 3 に灯油, Fig. 4 にエタノールの燃料混合比とアイドリング時の回転数との関係を示す。

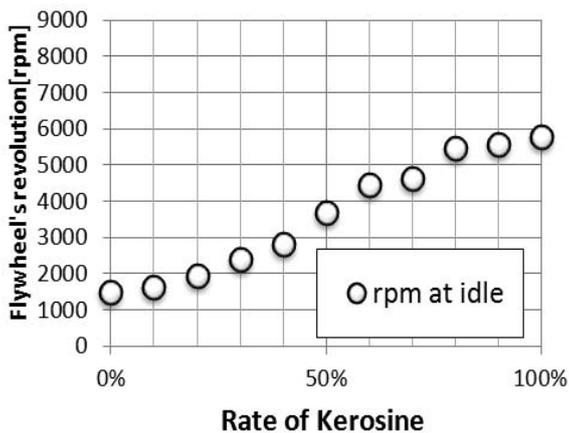


Fig.3 idol revolution [rpm] and Mixing ratio of kerosene

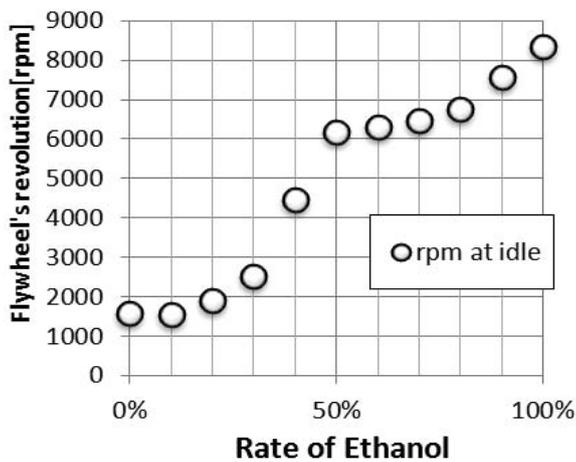


Fig.4 idol revolution [rpm] and Mixing ratio of Ethanol

2.2.3 考察

Fig. 3 のグラフから灯油の比率を増やすと回転数が上昇し, Fig. 4 のグラフからエタノールの比率を増やしても回転数が上昇することがわかる。今回の実験では、ガソリン 100%の回転数に比べると灯油の比率を上げていくにつれ、滑らかに回転数が上がっていき、エタノールの比率を上げていくとは回転数は急激に上がった。

灯油の比率を上げていくにつれマフラーから出る排気ガスが黒煙から白煙に変わり、煙の量が多くなったが、エタノールの場合は無色の煙となり、独特の匂いを発した。

両グラフから、ガソリンの比率によって回転数が変化することもわかる。

混合気の灯油が増えると回転数が上がる理由としては、灯油の発熱量が、ガソリンよりも高いことから上昇すると考えられる。この差のみに注目するとガソリン 1cc 当たりの発熱量より灯油 1cc 当たりの発熱量が大きいためガソリンよりも灯油のほうが発熱量大きく、少ない混合気でもより大きな出力がとり出せる。そのため混合気内で灯油の割合が増えるほどガソリンのみの場合に比べて燃料体積当たりの発熱量が増え、エンジン出力が上がり回転数が高くなったと考えられる。

しかし、今回の実験はエンジンを十分に暖気した状態であり、暖気を行わず、気温 10°C を下回った状況下で、灯油 70% 以上では、プラグに灯油が液体の状態で付着してしまい、エンジンが止まってしまった。エンジンが始動しなくなる理由は、揮発性の差より生ずる問題だと考えられる。Table.2 よりガソリンと灯油の低沸点を比べると、ガソリンは 30°C、灯油は 170°C と大きな差がある。キャブレターを使用しているエンジンはキャブレターのフロート室にあるガソリンがエンジンの熱が伝わることで沸騰 (パーコレーション) しないように設計されている。今回使用したエンジンの場合、パーコレーション対策として Fig.5 のように、キャブレターとマニホールドの間に耐熱樹脂でできたインシュレーターを挟むことでエンジンの熱をキャブレターに伝えないようにしている。しかし低沸点が低く、ガソリンならば熱を伝えないようにする必要はあるが、低沸点が 170°C 以上の灯油の場合、キャブレターにある程度の熱を与えなければ揮発せず、燃焼室に送り込まれる燃料が少なくなってしまう。そのためこの問題を解決する方法として、インシュレーターを取り除き、エンジンの熱をキャブレターに伝えてキャブレターを加熱するなどの工夫をして始動性を改善する方法が考えられる。また引火点の差もエンジンが始動しない要因のひとつと考えられ



Fig.5 Insulator

る。Table 2 よりガソリンは引火点が -40°C と低いが灯油は 40°C と比較的高い。引火点が低いガソリンは燃焼室内でプラグからの火花でも火が着き、燃焼が燃焼室全体に広がりやすいが、引火点が高い灯油はプラグからの火花では燃焼しにくく、燃焼が燃焼室全体に広がりにくい。しかし今回の実験ではガソリンとの混合燃料のため、プラグからの火花がガソリンに引火し、その燃焼によって引火しにくい灯油にも燃焼が広がると考えられる。そのためガソリンの割合が低くなると灯油が引火しにくくなり、結果エンジンが始動しなくなってしまう。また、排気ガスに白煙が混じっていた原因として、灯油の引火点が高いため、灯油が完全燃焼せず、排気ガスに引火前の気化した灯油が混じり、白煙として排出されていたと考えられる。

また、Fig.4 のグラフからエタノールの比率を増やしても回転数が上昇することがわかる。これはエタノールがシリンダー内に多く吸われていることから上昇すると考える。理論空燃比上、ガソリン 14.7 とエタノール 9.0 と差がある。エンジンは、ガソリンの使用を基に設計されているため、エタノールを燃料として使用した際、必要以上の空気が吸入され、それに伴いエタノール混合気が多く吸われこのような結果に結び付いたのではないかと考える。

2.3 混合燃料が及ぼすエンジン性能への影響

この実験では、ガソリンと灯油またはガソリンとエタノールの混合燃料を用いた場合、馬力やトルクなどエンジン性能にどのような影響を与えるのかを動力計を用いて測定と比較を行う。

2.3.1 実験方法

本実験では、エンジンと動力計を接続させ、エンジンの回転数一定で負荷を掛けていき馬力、トルク、燃料消費量を測定する。混合気の混合比については前回同様体積比で混合比を決定することとした。ガソリンと灯油の混合比と、ガソリンとエタノールの体積混合比それぞれ 10:0~0:10 までの整数比で 11 回行い、馬力、トルク、燃料消費量を比較する。

動力計を用いた計測方法は、機械工学科第 4 学年で行われた機械・電気工学実験 A「内燃機関の性能試験」⁴⁾を基に行った。

2.3.2 実験結果と考察

各混合比におけるエンジン性能の変化を Fig.6~Fig.9 のグラフに示す。

Fig.5, Fig.6 より混合気内の灯油またはエタノールが増えるにつれて軸トルク、軸馬力共に上がる傾向があることがわかる。これは上記の実験同様、灯油は発熱量の差から、エタノールは理論空燃比の差からなる結果と考えられる。

Fig.8 から導出される Fig.9 より燃料消費率が灯油での混合気では上がり、エタノールでの混合気では下がることが確認できる。この結果よりエタノールの割合を増やすと少ない燃料で効率よく出力していることがわかった。

3. 結言

本実験から灯油及びエタノールはそのままの状態でも代替燃料として使用することができることわかり次に述べる知見を得た。

- (1) 灯油の体積混合比 70%以上の代替燃料として使用する場合には、事前にガソリンで十分に暖気をしてからの使用が必要である。

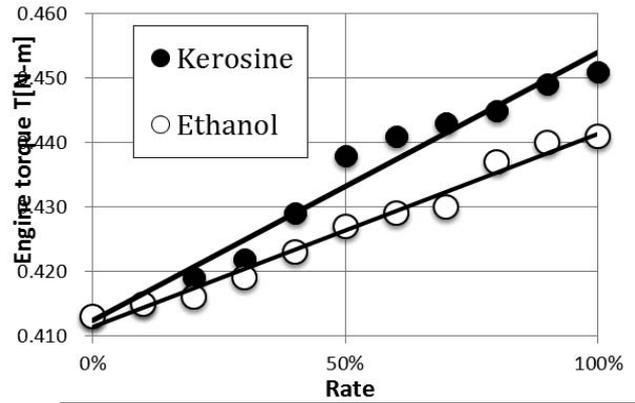


Fig.6 output torque and Mixing ratio

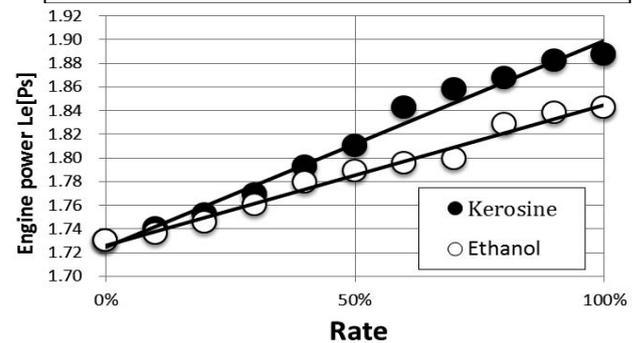


Fig.7 output power and Mixing ratio

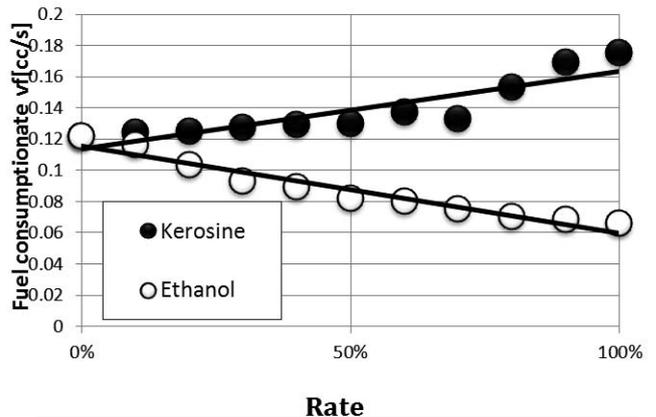


Fig.8 Fuel consumption and Mixing ratio

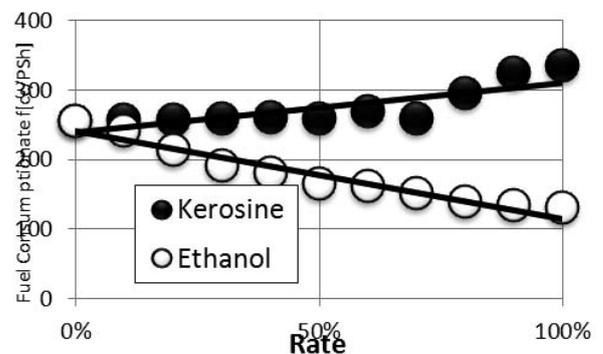


Fig.9 Fuel consumption rate and Mixing ratio

- (2) 動力計を用いた計測の結果、灯油及びエタノールの割合を上げるほど軸出力、トルクは灯油を混ぜるほど上がり、燃料消費率は灯油は悪くなり、エタノールは良くなることが判明した。

よって本実験状態においての最適な混合比として 30km/h で走行することを想定するならば、灯油の混合比率を 60%以下、エタノールはそのままでも実用上問題は無いことがわかった。

参考文献

- (1)JIS K2202 - 2007
- (2)JIS K2203 - 2009
- (3)JIS K8102 - 1994
- (4)東京工業専門学校機械工学科，機械・電気工学実験(2014)

（平成25年6月20日 受理）

Prototyping of a White Line Recognition System and a Kinect Control System for Autonomous Mobile Robots

Koskimaa NIKO and Susumu TARAO*

A white line recognition system and a Kinect control system for autonomous mobile robot were prototyped in this study. The aim of those systems of autonomous mobile robot is to function in various human robot environment interactions. The safety for humans was of major importance when developing those systems. Accordingly, safety measures were taken for use of the robot, and an interface for human intervention was embedded in the robot. The system developed was able to detect the white lines on the street and stop accordingly, and be controlled using different poses. This paper presents the development of a prototype of the robot system and the results of some experiments to evaluate its performance in terms of the autonomous control system and the semi-autonomous control system.

Keywords : Autonomous mobile robot, Human-robot-environment interaction, Kinect control system

1. Introduction

First, a white line recognition system for Takao 2 robot [1] was developed. The white line recognition system was developed for Tsukuba challenge competition [2]. One of the challenges in the competition was make the robot stop in front of white lines autonomously. The methods used in the system or white line detection algorithm are all basic image processing techniques, such as basic horizontal Sobel filter and Hough transform. No advanced methods such as machine learning or haar-like features were used. This approach was chosen because the system of image processing should be built based on only basic technique about image processing and should be imbedded to the robot in the short time. The system developed was able to detect the white lines on the racing track and stop accordingly. The track was 1.4km long and the robot was able to run around 700m before other parts of the robot failed. Meaning it only encountered few white lines on the track, but at least it didn't have any false positives. Second, a Kinect control system for an autonomous robot was developed. It is very important to use effectively the Kinect skeleton data from OpenNI [3] library for building software of Kinect control system. In the end controlling the robot with the Kinect was successful, but the solution used only static poses even though the purpose was to create a gesture recognition system and use actual gestures to control the robot.

2. Human-robot-environment interaction

The white line recognition system was developed for Tsukuba challenge, also known as the Real World Robot Challenge or RWRC. The purpose of the challenge is to build an autonomous robot that can run through the challenge track. The track has some simple obstacles on it that the robot should be able to avoid on its own. The challenge is arranged by New Technology Foundation. The robot we used in the competition is called Takao 2(Fig. 1 and Fig. 2). Takao 2 is a wheelchair-like ride-able

robot that can operate either autonomously, semi-autonomously or manually [4]. The robot has several sensors such as GPS, electronic compass and web camera that are used for autonomous operation. The web camera used is a 1.3 mega pixel camera and it is used for white line recognition. The white line recognition was one of the required features for the competition. The competition required that the robot should be able to stop in front of white lines autonomously as a safety feature. After stopping, the robot can either continue running with or without human interaction.

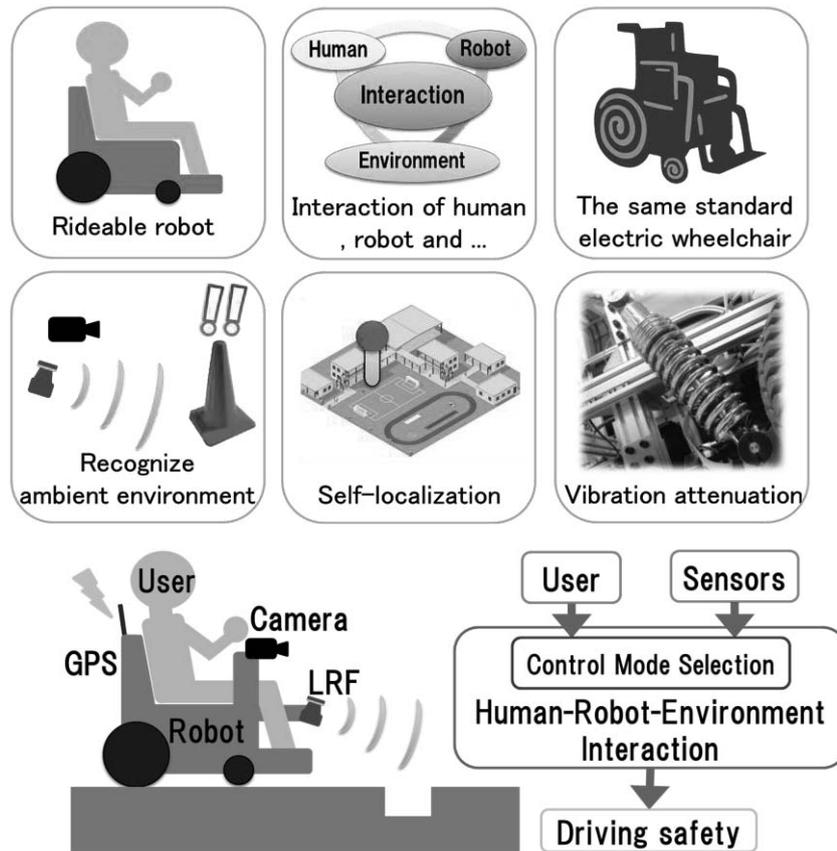


Fig. 1 Development Concept of the Rideable Autonomous mobile robot TAKAO 2

The project was done using a computer running Ubuntu 11.04 Natty Narwhal. This version was chosen because for some unknown reason the newer releases failed to install properly on the laptop used for the development. The robot is running ROS (Robot Operating System) [5]. ROS is not an actual operating system even though the name might imply so. It's an open source framework for programming robots and it is designed to work on Unix-like operating systems, but only Ubuntu is officially supported. Some other distributions are listed under experimental. ROS contains libraries and tools to help with the development of a robot. The libraries include things such as hardware drivers, basic image processing and navigation [6]. ROS's tools include visualizers, package management tools and basic development tools such as a debugger. The ROS project also has a repository for packages not included in the core. The project is around five years old, but still the core packages and other non-core packages are spread over multiple package repository services such as github [7] and Google code. One of the future plans for the project is to move all of the core packages to github. The documentation about the very basics of ROS is quite well done, but that cannot be said about the other parts of the documentation. ROS can be used with either python or C++. For most part they should work pretty much identically, they only real difference being the syntax of the languages. Besides ROS, We used OpenNI framework indirectly with some ROS packages. It was used only to obtain image from the web camera and to convert it to OpenCV [8] format. We used OpenCV (Open Computer Vision) library for the entire image

processing part of this project. The library contains all kinds of image processing algorithms and some tools to help see the results, mainly windowing capabilities for displaying the processed image.



Fig. 2 Rideable autonomous mobile robot TAKAO2

3. White line recognition

The methods or algorithms used in this project are limited to different basic filters, thresholding, resizing and flipping, probabilistic hough transform and few other basic techniques. These kind of basic methods were used, because our knowledge about image processing is limited to the basics. OpenCV contains all of the necessary functionality needed by the algorithm used in Takao 2's white line recognition system. The original image is converted to gray scale and blurred a bit with a box blur filter to reduce the effect of the noise on filters used afterwards. The first real step is to create an average intensity mask. The mask is used to clear definitely non-white objects from the image, as white is the most intense color in the gray scale image. Everything in the image that is below the average should be of some other color, but some light colors might still be present in the image even after this mask has been used. To create the mask, first the average intensity of the image is calculated. After we have the result we use it for thresholding. Every pixel that is less intense than the average is set to zero and everything else is set to one. The second important step is to detect horizontal lines in the image using the horizontal sobel filter. The original image is first filtered once and the result is stored in a temporary variable. Then the original image is flipped over its horizontal axis and the sobel filter is used again. The flipped copy is restored to its original proportion (flipped over its horizontal axis again) and summed (combined) with the first sobel filtered image. Running sobel only once does not find all of the horizontal edges in the image. The filter is used twice, first on the original image and then on the flipped image to find all of the horizontal edges. After this the sobel filtered image is masked with the average intensity mask. Now we should have an image with some white blobs, and in case there are white lines in the original image they should be clearly visible. In this final phase we use probabilistic hough transform on the image to recognize the lines (straight edges) in the image. As all the lines in the image should be of high intensity, they are most likely white or really brightly colored lines that are practically white. The system does not actually detect white lines, it detects bright edges. The detected line coordinates are then used to determine whether the robot should stop or can it still keep on moving. When the lines are detected in the bottom of the image (when the lines are physically close) the robot was programmed to stop. Below are images of the process in the sequence, in which they are done in the white line recognition system. The average intensity mask and the sobel filtered image could be created in the opposite order or at the same time, because both of them use the original image, and the result would be exactly the same.

NOTE: The original "original image" (Fig3. image 3) was corrupted and thus has been replaced with an edited version of the result image (Fig3. image 7).

3.1. Considered methods

Some other method were considered, but either they were too complicated or the results were not good or at best around the same as the current system. One of the tested methods was intensity mask using HSV color space. Unfortunately the HSV

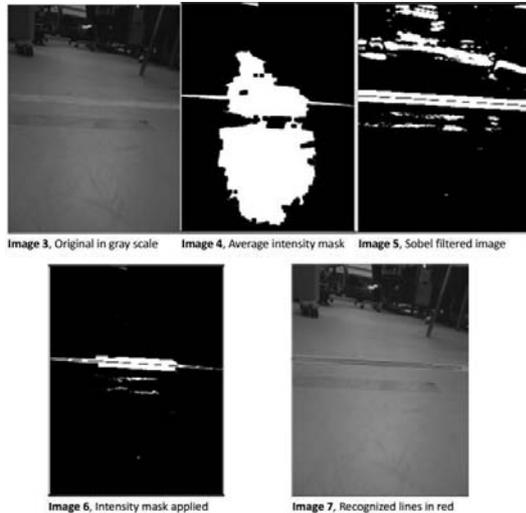


Fig. 3 Image processing of white line recognition

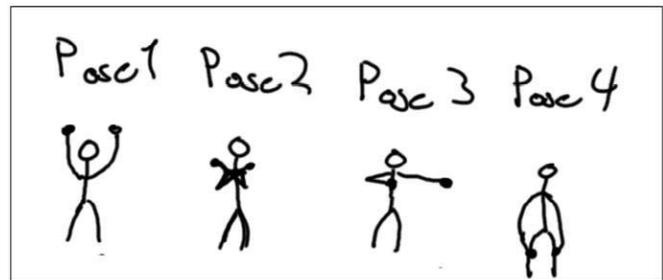


Fig. 4 Different poses

color space worked only as well as the gray scale intensity mask. The mask created when using HSV color space was at best almost identical to the one created in the gray scale. If instead of white lines, we had to recognize (for example) red lines or any other real color (hue), it would have been the choice for masking out unnecessary garbage from the image. Instead of sobel filter, laplacean filter and canny edge detection algorithms were considered. But they failed to produce good result, when the robot was moving moderately fast. It seems that the algorithms can only detect sharp edges and moving at the normal speed produced enough motion blur for the other two methods to miss some edges. Even the sobel filter had some problems with the speed first. If the camera would have been place further away from the ground, it seemed that laplacean filter and the canny edge detection algorithms would have produced good results. Some advanced methods such as haar-like features were considered too.

3.2. Results

The system was not tested excessively, but it seems to perform quite well. The testing done before the Tsukuba challenge included testing in sunlight, near shadows, in shade and indoors both in lit and unlit hallways. The test lines were also bit obstructed with leaves or other objects to make the lines non-continuous. The algorithm passed most of the test quite well. Sometimes the obstructed lines were not detected and we also got few false positives from sharp shadows in outdoor testing. In the Tsukuba challenge no false positives were detected. Unfortunately from the perspective of testing the system, there were only two white lines on the part of the track that the robot was able to run. Both of the lines were detected. The robot was able to run around 700m, which is roughly 100m better than last year. Last year the robot failed to recognize one white line and the robot was forced to forfeit. This year the electrical compass went haywire and the robot was unable to determine the direction it was heading to.

4. Kinect Controlled Robot

The purpose of the second project was to create a gesture controllable robot [9]. Original intent was to control Takao 2,

but as the robot is a bit too big to be used for testing indoors alone and others students were still developing it a Roomba was used instead.

4.1. Development Environment

The development environment for this project is for most part the same as the white line recognition project's environment. But as image processing was no longer needed in this project. OpenNI was still used for getting the skeleton data from the Kinect. The robot used for this project was Roomba iRobot 500. This meant that we had to install the drivers required by the robot. These drivers can be used in C or C++ directly.

4.2. Methods

The robot is controlled with static poses. The method used to detect the poses is just comparing the skeleton joint coordinates relative to each other. For example if the hands' y-coordinate is greater than head's y-coordinate the hands are up. The poses used in the project are illustrated in Fig. 4. In the figure, Pose 1 is used to accelerate the robot. The robot accelerates gradually as long as Pose 1 is being recognized by the Kinect. Pose 2 is for stopping the robot. It sets the current speed to zero. The hands can be crossed in anyway the user wants to, as long as the hands' x-coordinate is roughly the same as elbows' x, and hands and elbows respectively have around the same y-coordinate. The robot can be turned left or right with the Pose 3. By placing one hand on the chest area and extending the other. By extending left arm the robot turns left relative to its heading, this works the same way when extending the right arm. Pose 4 is for deceleration. It is quite hard to use and a better pose should have been tough of. This pose requires you to touch your knees. As long as this pose is being recognized the robot decelerates. If the speed is zero, the robot has stopped because of deceleration or has been stopped with Pose 2, the robot starts to reverse (move backwards).

4.3. Results

The robot can be controlled using few different poses. The robot is accelerated by lifting both hands above the head, decelerated by putting both hands on knees, turning the robot with extending either right or left hand and placing the other hand on chest, and stopped by crossing hands. The poses are recognized quickly and quite reliably.

5. Conclusions

As for the result of the project, We think it went quite well. The lines were recognized most of the time and the number of false positives was low. We had some problems during the project, besides how to apply our image processing knowledge. Most of the other problems were either compatibility problems or source code management related problems. The compatibility problems were quite a nuisance in the beginning of the project and delayed the start of the project a bit. But most of them were solvable quite easily. The Kinect controlled robot project didn't go. The robot was supposed to be controlled with gestures, but in the end it was controlled with poses. The pose recognition works quite well. The poses are recognized quickly and reliably. The system doesn't have any safety features, so in case the user walks away from the kinect the robot might go out of control. This is because either the Kinect or the OpenNI driver for it tries to keep track of the user even when the user is not visible anymore. The system might recognize some poses, if the joint points of the non-existing user are aligned like in some pose. Overall I learned some new things and got to practice C++ again. The projects were fun and interesting. I want to play around with hardware more than ever. I will try to think of an interesting simplistic hardware project and buy the necessary components before returning to Finland(Koskimaa NIKO).

References

- [1] Akira AOKI, Minoru OMORI, Satoru SASAKI and Susumu TARAO: Prototyping for Basic Control System of Rideable Autonomous Mobile Robot, Proc. of 2012 JSME Conf. on Robotics and Mechatronics (ROBOMECH 2012), 2A2-U10, 2012 (in Japanese).
- [2] Tsukuba Challenge, <http://www.tsukubachallenge.jp/>
- [3] OpenNI: Open-source SDK for 3D sensors, <http://www.openni.org/>
- [4] Akira AOKI, Satoru SASAKI, Ayumu YAMAKAWA and Susumu TARAO: Prototyping and Driving Tests of Rideable Autonomous Mobile Robot, Proc. of 13th SICE System Integration Division Annual Conf. (SI 2012), pp. 2651-2654, 2012 (in Japanese).
- [5] Documentation – ROS Wiki, <http://wiki.ros.org/>
- [6] Morgan Quigley, Brian Gerkey, Ken Conley, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Berger, Rob Wheeler and Andrew Ng, ROS: an open-source Robot Operating System, Proc. Open-Source Software Workshop of Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2009.
- [7] GitHub, Build software better, together, <https://github.com/>
- [8] OpenCV, <http://opencv.org/>
- [9] Michael Van den Bergh, Daniel Carton, Roderick De Nijs, Nikos Mitsou, Christian Landsiedel, Kolja Kuehnlitz, Dirk Wollherr, Luc Van Gool and Martin Buss, Real-time 3D Hand Gesture Interaction with a Robot for Understanding Directions from Humans, Proc. IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2011.

(Received Jun 20, 2013)

反応性スパッタリング法による太陽電池 パッシベーション膜の作製と評価

伊藤 浩*, 川又由雄**, 大山昌憲***

Preparation and characterization of surface passivation film of silicon solar cells
by reactive sputtering method

Hiroshi ITO*, Yoshio KAWAMATA**, Masanori OHYAMA***

We have deposited the surface passivation film of silicon nitride by the reactive sputtering method including a hydrogen process gas. These SiN films were analyzed the optical properties of refractive index, effective carrier life time and bonding characteristics of atomic ratio. From these results, it was obtained that the refractive index was decreasing and the velocity of film deposition was increasing at the hydrogen mixed plasma. The atomic concentration of hydrogen in the SiN film was similar to the sample deposited by CVD method from the SIMS depth profile. The effective carrier life time was increasing at the substrate temperature up to 350°C. It is noted that the SiN:H surface passivation film by reactive hydrogen sputtering method would be developing the electric generation efficiency of silicon solar cells.

Keywords : silicon solar cell, passivation film, reactive sputtering, silicon nitride, carrier life time

1. はじめに

近年の環境・エネルギー問題により、再生可能ソフトエネルギー技術が注目され、様々な研究開発が進められている。その中でも太陽電池技術は実用化技術として、急速に研究開発が進んできている^[1]。シリコン太陽電池の歴史は古く、現在広く普及し、性能向上及び低コスト化に向け研究開発が取り組まれている。シリコン太陽電池の効率向上には、入射する光を効率良く素子内部に取り込み、光電変換の効率を上げ、生成したキャリアのライフタイムを向上させることが必要である。そこで、シリコン太陽電池では素子表面を覆うパッシベーション膜技術の研究が注目されている^[2]。このパッシベーション膜には太陽光が入射する表面側と、裏面側がある。表面側のパッシベーション膜には太陽光に対して透明で、反射防止機能を持たせた窒化シリコン (SiN) 膜が注目されている^[3]。この SiN パッシベーション膜は表面準位密度を削減し表面再結合速度の抑制効果及び、界面固定電荷の電界効果による表面再結合電流の抑制効果によりキャリアライフタイムが向上すること

が報告されている。この SiN の成膜方法には主に化学気相成長 (CVD) 法が用いられている^[1]。この CVD 法ではシランガス SiH_4 を用いるため、膜中に水素が取り込まれることが分かっている。この膜中の水素によって、Si 表面及びバルク中への拡散により、ライフタイム向上を高めることが報告されている。しかし、製造プロセスの面で、 SiH_4 を用いることから安全性に問題があり、コストの面からもより簡便な工業化プロセスが必要である。

我々は、簡便な工業化プロセスとして反応性スパッタリング法を用いて、SiN 膜を作製し、基本的な成膜条件を見出してきた^[4]。本研究では、CVD 法の SiN 膜と同等のパッシベーション効果となる成膜手法を検討するために、スパッタのプロセスガスに水素添加を行い、SiN:H 膜を作製した。作製した SiN 膜の水素添加量を評価し、CVD 膜との比較を行った。さらに、実効キャリアライフタイムの評価から、太陽電池パッシベーション膜としての有用性を検討した。

2. 実験方法

2-1 SiN 薄膜作製方法

SiN 薄膜の作製には、反応性スパッタリング装置(芝浦メカトロニクス社製 CFS-4ES)を用いた。表1に成膜条件を示す。DC スパッタ出力は、400W 一定とした。ターゲットには高ドーピング P 型 Si、基板にはテクスチャエッチング処理の高抵抗 P 型 Si ウェハ ($10\Omega\text{cm}$ 以上) 及び、屈折率や組成分析用に両面研磨処理の P 型 Si ウェハを用いた。スパッタガスに高純度 Ar、 N_2 、 H_2 を用い、マスフロー制御器により圧力一定とした。成膜温度は RT から 350°C まで加熱した。

基板洗浄として、室温 5% のフッ化水素酸に 5min 間浸漬した後、純水に 5min 間流水で洗浄し、乾燥炉にて 80°C 3min 間乾燥した。プロセスガスの条件は、成膜中の全圧を 0.5Pa 一定とし、Ar と N_2 との混合ガスの窒素分圧比を 0~50% まで変化させた。成膜の前処理として、基板側へ H_2 による逆スパッタ (RF 50W、1min) を行った。水素添加実験では、Ar と N_2 の全圧 0.5Pa に対して H_2 の圧力を最大 10% 添加した。SiN の膜厚は、各条件での成膜速度を評価し、60nm 一定となるよう成膜時間を調整した。

2-2 評価・検討方法

SiN の組成比が 2:3 となる成膜条件を見出すために、屈折率の全圧依存性、窒素分圧依存性及び、基板温度依存性を調べ、 Si_2N_3 のバルク値 ($n_f=2.0$) と比較し条件を検討した。この結果、成膜圧 0.5Pa 、窒素分圧 30% で屈折率がバルク値に近い SiN の成膜条件であることを見出し、本実験ではこの条件を基に水素添加の実験を行う。SiN 薄膜の屈折率の評価には、レーザー波長 632.8nm の単波長エリプソメータのガードナー社製 LM300AE を用いた。

水素添加によるスパッタリング法で作製した SiN 膜の水素含有量を調べるために、二次イオン質量分析 (SIMS) をアルバックファイ社製 PHI6650 にて評価した。また、本手法と比較するために、CVD 法による SiN 膜の評価も同様に行った。SiN パッシベーション効果を実効キャリアライフタイム τ_{eff} の評価により検討した。マイクロ波光導電減衰法 ($\mu\text{-PCD}$)^[5]を用い、 $500\mu\text{m}$ ピッチで SiN 膜試料の面内分布を測定し、プラズマによる影響とパッシベーション効果について検討した。

3. 実験結果

3-1 水素添加による成膜特性

図1に水素添加して作製した SiN 薄膜の成膜速度及び、屈折率の水素分圧依存性を示す。窒素分圧は 30% 一定である。水素分圧が 10% 程度まで増加すると、屈折率は 1.8 程度まで減少する。また、成膜速度は増加する。さらに、水素分圧が 10% 以上では屈折率と成膜速度は一定となり、水素添加量に依存しない傾向となる。水素分圧が 10% 以下の領域では、屈折率が変化し、数値が減少していることから、SiN の膜密度が粗になっているものと考えられる。これは成膜中のプラズマにより水素が水素イオン及び水素ラジカルの状態で存在し、これらが Ar によってスパッタリングされた Si 及び SiN の飛来粒子と結合、又は基板上で SiN の未結合手と結合し、SiN の膜中に取り込まれたことにより、原子間距離が広がり、膜の密度が低下し

表1 SiN スパッタ膜の実験条件

成膜方法	反応性スパッタ法
スパッタ出力	400W
基板温度	RT~ 350°C
ターゲット	高ドーピング P 型 Si
全圧	0.5Pa
プロセスガス	Ar, N_2 , H_2
窒素分圧	30%
水素添加量	全圧の 12%
H_2 逆スパッタ	RF 50W, 1min
Si 基板	P 型 単結晶 Si (texture) P 型 単結晶 Si (mirror)

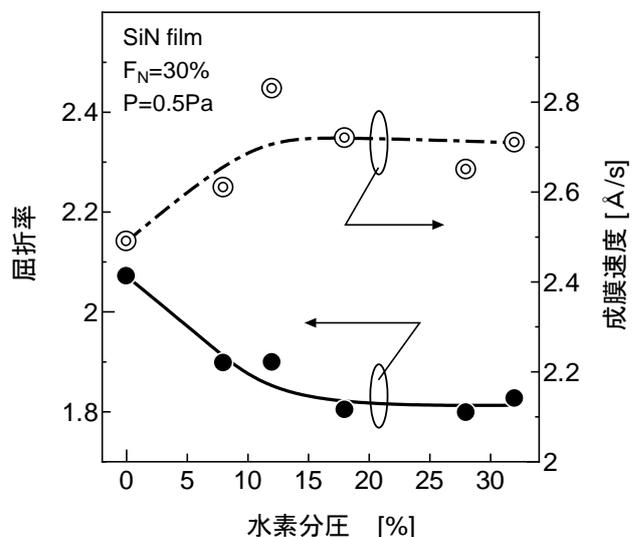


図1 水素添加スパッタ SiN 膜の水素分圧依存性

たもと推察する。また、成膜速度が増加する理由として、膜密度が低下したことから膜厚が増加したことが考えられる。また、一般的に水素を伴う化学反応プロセスにおいて、反応の活性化エネルギーが低下することが知られており、水素反応によって物質の結合力が低下し、反応がより促進することが分かっている。このことから水素ラジカルがターゲット Si 又は、窒素化した SiN 表面と反応し、スパッタリング率が増加したことに起因した結果とも考えられるが、本実験では両方の反応が作用しているものと考えている。この結果から、水素添加の影響は SiN 膜の膜密度が低下し、成膜速度を増加させ、その効果は水素圧が 10% 程度以上で飽和する。このことから本実験では、水素添加 SiN 膜の成膜条件を水素圧 12% とした。

図 2 に水素添加によるターゲット放電電圧の変化を示す。水素添加の無い放電特性は一般的な反応性スパッタの特性を示し、本結果では窒素分圧が 50% 以上で放電電圧が飽和し、ターゲット表面が窒素化した SiN 状態となり、この状態を完全窒化領域と呼ばれている。一方、50% 以下の領域は放電電圧が上昇しており、ターゲット表面が完全に窒素化していない遷移領域であることを示す不完全窒化領域である。水素を添加した放電特性では、全体的に放電特性は低電圧へシフトしている。さらに完全窒化領域となる窒素分圧が 60% 以上と上昇していることが分かる。これは、プラズマ中の水素イオンや水素ラジカルがターゲット Si 及び SiN に作用していることを示している。また、水素は電離し易いことから、本実験では、スパッタ電源は 400W 出力一定の電力制御で成膜しているため、水素から放出される電子によってプラズマ中の電子量が増え、ターゲット電流を増加し、相対的にターゲットの放電電圧が低下したものと考えることができる。しかしこの場合、水素添加量は一定で、放電電力も一定であることからプラズマ中のイオン化した水素から放出される電子の量も一定と考えられるが、窒素分圧によって変化していることが分かる。特に、窒素分圧が 0% の場合、水素添加による影響はほとんどない。このことを調べるために、図 3 には図 2 に得られた結果から、水素添加の有無による放電電圧の差 ΔV を示す。この結果から、水素による放電電圧の減少量には、窒素分圧に依存し、増加及び飽和して

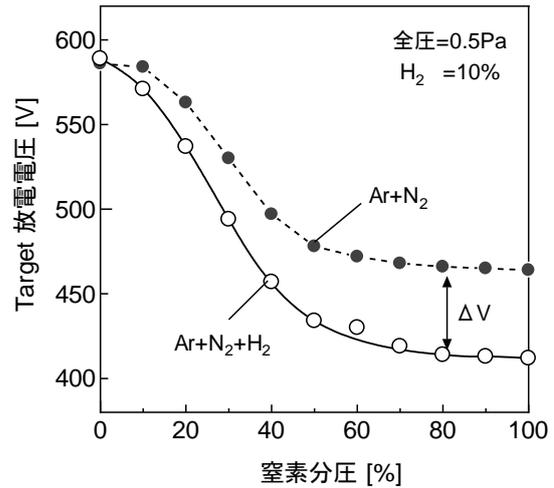
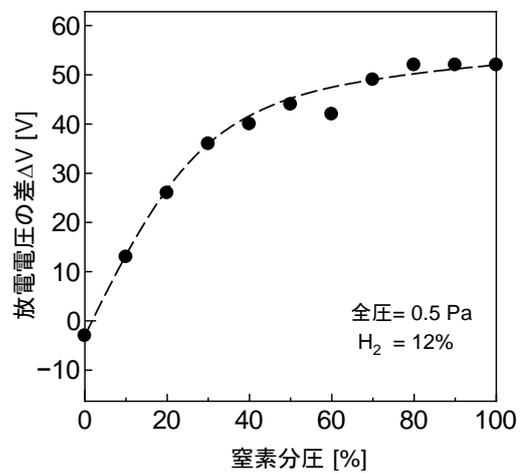


図 2 水素添加による放電電圧の変化

図 3 放電電圧の差 ΔV の変化

いることが分かる。さらに、窒素分圧が 0% の場合、放電電圧がわずかだが増加している。このことから、水素添加による放電電圧の減少効果は、窒素との反応を伴い、より反応が促進されたものと考えられる。これは水素分子のイオン化のエネルギーはアルゴンに比べ窒素分子に近く、水素分子と窒素分子との相乗効果によるものと考えている。また、この効果は本実験の成膜条件である窒素分圧 30% で飽和している傾向を示しており、水素分圧 12% の水素添加量に対しては、窒素分圧 30% 程度の窒素量でより十分な活性化反応を生じている条件であることが分った。

3-2 SiN 膜の組成分析

図4に水素添加 SiN 膜及び、CVD 法による SiN 膜の SIMS プロファイル結果を示す。表2には、水素添加の有無の結果と、CVD 法と比較した SiN 膜の組成比を示す。図4(a)に示した結果から、水素添加スパッタ SiN 膜の膜中にはほぼ一定量の水素が存在していることが分かった。また、図4(b)の CVD 法による SiN 膜と比較するとほぼ同等程度の濃度で水素が存在していることが分かる。両方の SiN 膜の組成から、界面には酸素が存在し、SiO₂ の酸化膜が存在していることが分かる。これは成膜中に酸素の混入がないことから、成膜前の時点で基板上には自然酸化膜が存在していることを示す。しかし、スパッタ法の SiN 膜では膜中にもわずかではあるが酸素が存在しているが、CVD

法の SiN 膜には存在していない。さらに、スパッタ法の SiN 膜中には炭素が一定量存在している。これらの原因として、実験に使用した成膜装置の真空系で油拡散ポンプを用いているため、真空チャンパー内に入った微量の油蒸気の影響であると考えている。そのため、真空系をターボ分子ポンプにすることで膜中の酸素及び炭素は無くなるものと考えられる。このことは表2の水素添加の無い試料 (No.2) において、成膜装置にターボ分子ポンプを用いたことで、炭素が 0.0 となっていることから明らかとなっている。また、表2の水素添加の無い No.2 の膜では、水素量は 3.2at% で水素添加した No.1 の膜に比べほとんど存在していない。このことから、水素添加プラズマの成膜手法によって、水素が SiN と結合し、膜中に取り込まれていることが分る。さらに、CVD 法の膜の 12.9at% と比べて、水素添加スパッタ膜はわずかに多い組成となった。以上の組成分析の結果から、SiN の組成比は 2:3 であることが確かめられ、また、膜中の水素添加量も CVD 法と同等であることが明らかとなった。

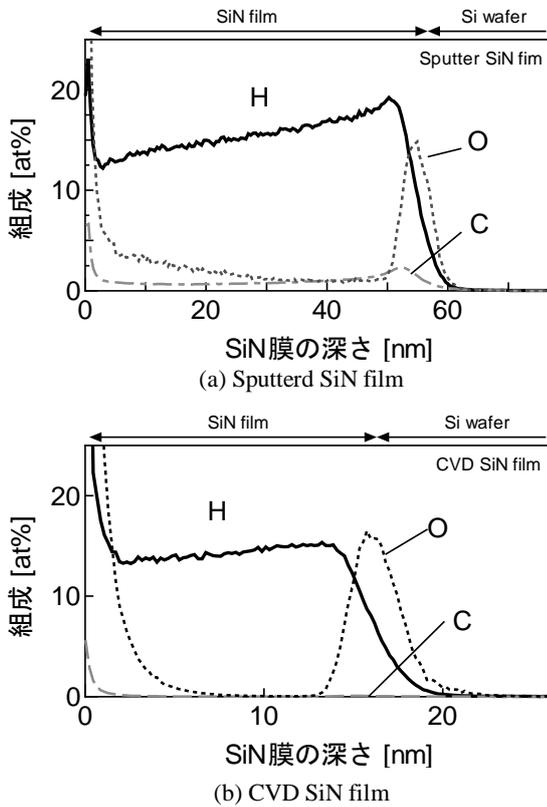


図4 SiN 膜の SIMS プロファイル

表2 SiN 膜の組成比

No	method	組成比 [at%]			
		SiN	H	O	C
1	SP:Ar+N ₂ +H ₂	84.4	14.3	0.8	0.5
2	SP:Ar+N ₂	96.1	3.2	0.6	0.0
3	CVD	87.0	12.9	0.1	0.0

3-3 実効キャリアライフタイム

図5に基板温度に対する SiN 膜の実効キャリアライフタイム τ_{eff} の測定結果を示す。図5には面内における τ_{eff} の最大値と平均値を示している。成膜温度の上昇と共に、ライフタイムは上昇していることが分かる。面内平均では、100°Cから 200°C付

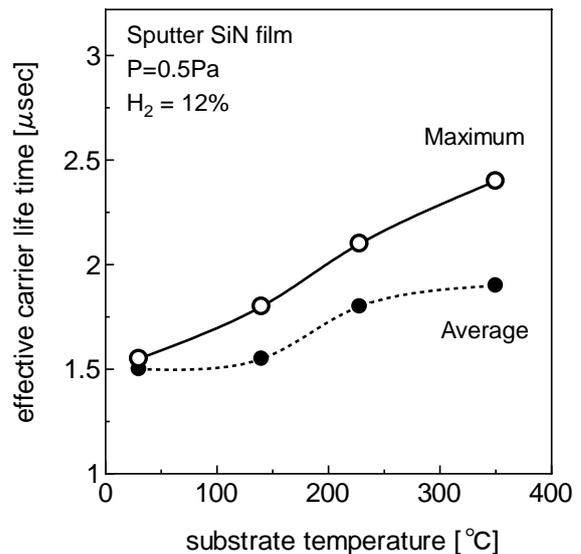


図5 SiN 膜の実効キャリアライフタイム

表3 実効キャリアライフタイム評価結果

No	method	Ts [°C]	τ_{eff} [μsec]		
			ave.	max.	$\Delta\tau_{eff}$
1	SP, H ₂ :12%	RT	1.5	1.55	0.3
2	SP, H ₂ :12%	140	1.55	1.8	0.35
3	SP, H ₂ :12%	230	1.8	2.1	0.6
4	SP, H ₂ :12%	350	1.9	2.4	0.7
5	CVD	400	2.6	3.0	1.4

近で上昇しているが、200°C以上では飽和傾向にある。このライフタイムが上昇する原因として、SiNの膜質の変化と、成膜中の水素による影響とが考えられる。一般的に、基板温度を上昇すると、膜質は緻密化し、また基板との密着力が向上することが知られている。このことから、基板温度の上昇によってSiN膜の緻密化が生じ、基板Si原子との結合が促進され、界面準位が削減したものと推察する。この界面準位の削減効果は、表面再結合の抑制効果と関係し、キャリアライフタイムを向上させることになる。また、CVD法で作製したSiN膜の水素は、アニール加熱処理により、Siとの界面又は、Si基板中に拡散し、界面準位の削減及び、格子欠陥等によるダングリングボンドを末端させることで、Si基板表面の準位密度を減少させることが言われている。本実験でもCVD法と同等程度の水素が膜中に存在していることから、基板温度の上昇と共に、膜中に存在する水素が活性化し、Si基板界面及び、Si基板中へ拡散したものと考えられる。また、この熱処理に伴う水素拡散の界面不活性化の効果は、400°C以上で逆に水素が脱離し、劣化することとも言われている。本結果の平均値の傾向では、350°Cで飽和していることから、400°Cに近い領域では、これ以上特性は改善せず、劣化する傾向になるものと推察できる。表3に各成膜温度における実効キャリアライフタイムと、CVD法で作製したSiN膜の評価結果も示している。この結果から、本実験で作製したSiN膜の最大 τ_{eff} 値が2.4 μsec に対し、CVD法では3.0 μsec であり、2割程度低い値となった。これはCVD法に比べ、スパッタ法ではプラズマを利用することから、界面ダメージの影響が大きくあると考えられる^[6]。この界面ダメージの削減については、低パワーでプラズマエネルギーを下げ成膜することで可能であり、これらの実験条件を最適化するこ

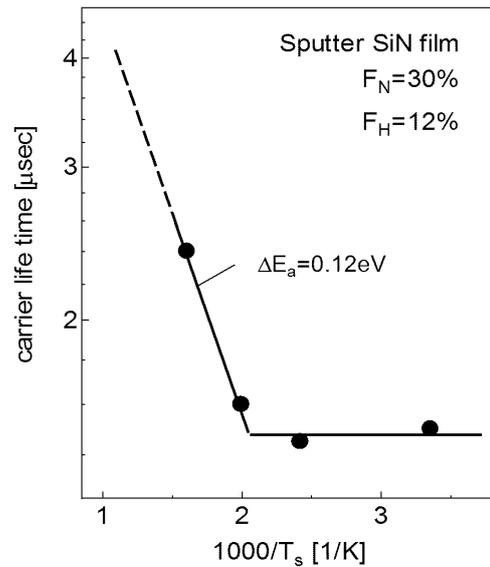


図6 水素添加SiN膜におけるライフタイム向上に起因する活性化エネルギー

とによって、CVD法と同等の値を得ることが可能であると考えている。

4. 考察

図5で得た実効キャリアライフタイムの向上に起因する活性化エネルギーを調べるために、図6のアレニウスプロットを示す。この結果から、活性化エネルギーを求めると、0.12eVであることが分かった。これは、金属中の水素拡散の活性化エネルギーが0.11~0.136eVであることが知られている。この値は、本実験で得た活性化エネルギーと近い値である。このことから、基板温度と共にキャリアライフタイムが向上したのは、SiN中を拡散する水素の活性化エネルギーに起因するものと推察している。さらに、図6の結果からライフタイムをCVDと同等の3.0 μsec となる基板温度を見積もったところ、450°Cであることが分かった。しかし、先に述べたように、400°C以上で水素の脱離が生じるため、その効果には期待できないが、加熱時間とも関係することから、成膜プロセスにおける基板加熱を一定ではなく、成膜過程で最適に温度を制御させることにより、さらなるキャリアライフタイム向上が期待できると思われる。

5. 結論

本研究では、Si太陽電池のパッシベーション膜のSiNに対して、新しい成膜手法の水素添加によ

る反応性スパッタリング法を提案し、水素化窒化シリコン SiN:H 膜を作製した。さらに、作製した SiN 膜の膜質、組成、実効ライフタイムを評価し、パッシベーション効果について検討した。この結果、水素添加による影響で、SiN 膜の屈折率は低下し、成膜速度は向上することが分かった。膜の組成を調べた結果、水素添加スパッタによる SiN 膜には CVD と同等の水素が存在することが明らかとなった。このことから、加熱処理により CVD と同様な水素拡散効果によりライフタイム改善が期待できる。 μ -PCD の実効ライフタイムの評価結果から、成膜基板の温度の上昇と共に、ライフタイムも向上し、350°C で最大値 2.4 μ sec を得た。また、CVD 法の試料と比較し、近い値であることを確かめた。また、ライフタイム向上の活性化エネルギーを検討した結果、金属中の水素拡散の活性化エネルギーに相当することが分かり、ライフタイム向上には水素が重要な働きをしていることを確かめた。

以上の結果から、提案する水素添加スパッタ SiN:H 膜は、さらに実験条件を最適化することにより CVD 法と同等性能のパッシベーション効果を得ることが期待できる。

参考文献

- [1] T. Ueno, “結晶シリコン太陽電池におけるセル製造ラインの改革,” J. Plasma Fusion Res., vol.85, no.12, pp.825-828 (2009).
- [2] A. W. Blakers, A. Wang, A. M. Milne, J. Zhao, and M. A. Green, “22.8% efficient silicon solar cell”, Appl. Phys. Lett. Vol.55, p. 1363 (1989).
- [3] S. Garcia, I. Martil, G. G. Diaz, E. Castan and S.Duenas, “Deposition of SiNx:H thin films by the electron cyclotron resonance and its application to Al/SiNx:H/Si structures”, J. Appl. Phys., Vol.83, no.1, pp.332-338(1998).
- [4] H. Ito, Y. Kawamata and M. Ohyama, “反応性スパッタリング SiNx:H 薄膜の作製と評価,” 第 59 回応用物理学会関係連合講演会, (2012).
- [5] S. Sumie and H. Takamatsu, “半導体プロセスにおける重金属汚染の検出,” 神戸製鋼技報, vol. 52, No. 2, pp. 87-93 (2002).
- [6] S. Samukawa and T. Kubota, “プラズマ誘起損傷のモニタリングと超低損傷微細加工技術”, 日本真空協会, Vol. 26, No. 3, pp. 1-11 (2011).

(平成25年6月20日 受理)

生活習慣に応じた独居高齢者見守りシステムの開発と評価 —社会実装プロジェクトの一つの試み—

山口祐太*, 小林哲也**, 青木宏之***

Development and Evaluation of a Remote Monitoring System for the Single Elderly on the basis of Their Lifestyle
—A Trial of Social Implementation Project—

Yuta YAMAGUCHI, Tetsuya KOBAYASHI, Hiroyuki AOKI

Abstract:

One of the serious problems Japan faces now is low birthrate and aging society. Varieties of remote monitoring system for single elderly and their family are developed by various vendors. Those are needed to be less stressful for elderly and provide useful information for family. This paper deals with a remote monitoring system which consists of door sensors and an Android tablet application. The system was developed as a trial of Social Implementation Project. It is necessary to test the system in actual environment to improve the quality. Therefore, after development, this system was tested at four single elderly's house as evaluation in actual environment. This paper shows the effectiveness and some problems which emerged from the result of evaluation.

Keywords : social implementation, remote monitoring, physical condition estimation

1. はじめに

少子高齢化は現代の我が国における重大な社会的問題の1つである。若年者人口に対する高齢者人口の割合が増え続けていることが明らかになっており、これに伴って子や孫といった家族と離れて暮らす独居高齢者人口も増え続けている。[1]このような高齢者単独の世帯で懸念されるのが、高齢者が体調を崩す、あるいは何らかの原因で負傷した場合に、助けを求めるために外部と連絡を取ることが困難となるケースである。

このような事態を避けることを目的として、離れて暮らす家族が独居高齢者の生活を見守るためのシステムが様々な形態で提案され、商品化されている。本研究ではこのようなシステムを見守りシステムと呼ぶ。見守りシステムの一例として、象印マホービン株式会社が提供しているみまもりほっとラインが著名である。このシステムは電気ポットの電源のON/OFF、保温、給湯といった状態の変化を記録し、これらの情報を見守りの実施者である家族に電子メールやwebサイト上のグラフ等の媒体で提供するものである。

見守りシステムの使命には、緊急時に外部に異常を知らせるための手段を確保するという側面に

加え、平常時の生活において見守りを実施する家族と見守りの対象である高齢者の双方に安心感を与えるという心理的な側面がある。ゆえに見守りシステムには見守り実施者が必要とする情報を提供するとともに、対象となる高齢者に不快感を生じさせないことが求められる。そこで本研究では、日常生活で自然に生じる動作である玄関、トイレなどの扉の開閉動作に着目した。この情報を蓄積、解析し、見守り実施者に提供することで、見守り対象者、見守り実施者の双方に安心感を与えられる見守りシステムを開発することを目標に開発を行った。本報告では、開発したシステムの概要、本システムの実社会における評価の方法および評価の結果、また評価を通じて明らかとなった課題について述べる。

2. 社会実装プロジェクト

本研究は社会実装プロジェクト (Social Implementation Project) として行われた。このプロジェクトは、人々の生活を支援するサービスを考案・開発し実社会における試用および評価を経てサービスを改良し実社会で有効なサービス提供を目指すプロジェクトである。研究室内部での

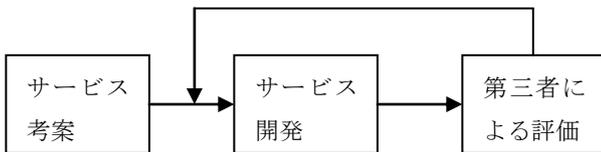


図1 社会実装プロジェクトにおけるサービス開発フロー

検証にとどまらず，第三者によるサービスの評価を行い，この評価の結果をサービスの開発へとフィードバックする．社会実装プロジェクトにおけるサービス開発のフローは図1のようになる．

3. システムの構成

見守り対象者にとって違和感が少なくその生活習慣を代表するような動作として，本研究では扉の開閉動作に着目した．見守り対象者は普段通りに扉を開閉するだけであり，自然な情報収集が期待できる．また扉の開閉動作のみにとどまらず，服薬習慣がある対象者の場合には薬を収納している箱の開閉状況も検出する，といったように，生活習慣に応じて収集する情報を変更することが容易であり，様々な生活様式に対応可能である．収集されたこれらの開閉情報は見守り実施者がインターネットを経由しAndroidタブレット端末上で確認できるようにした．図2に本システムの構成を示す．

このシステムは，見守り対象者宅に設置する開閉情報収集部と見守り実施者によって使用される開閉情報提供部に分けられる．開閉情報を収集するためには，様々な種類の扉に対応可能な小型の開閉センサが必要である．そこで図3に示す無線式の開閉センサを開発した．磁気によって開閉するスイッチを搭載しており，センサと対で設置す

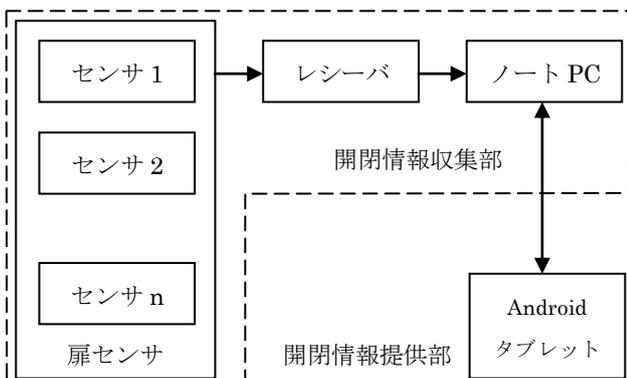


図2 開発したシステムの構成

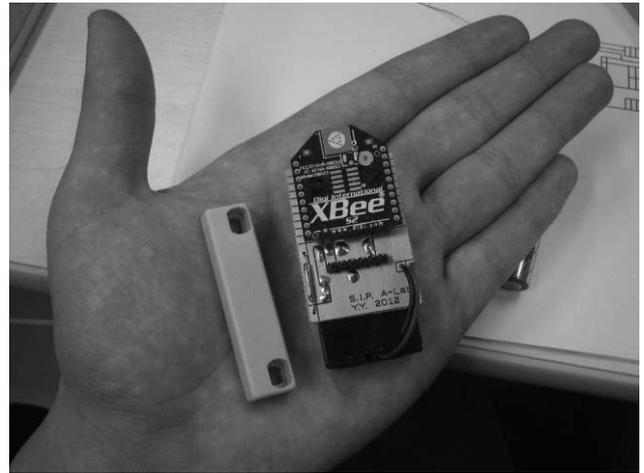


図3 開閉センサ外観

る磁石の接近状態により扉の開閉を検出する．

収集した開閉情報はインターネットを通じてAndroidタブレット端末上のアプリケーションによって見守り実施者に提供される．具体的には開閉動作があった扉の名前，開閉された時刻，開閉された回数が提供される．しかし，これらの情報が見守り実施者にそのまま提供されただけでは有益な情報提供にはならない．そこで得られた開閉情報から，見守り対象者の体調を推定することを試みた．

4. 社会実装

以上で述べたシステムを使用して実証実験，すなわち社会実装を実施した．本システムの実証実験は次の2つの目的のために実施した．

- (1) 開発段階の本システムを実社会で試用し第三者の評価を受けシステムの改良を図る．
- (2) 体調不良推定の具体的手法を検討するための実環境における扉開閉情報を収集する．

実証実験の実施に当たっては被験者の確保が必要である．そこで，研究室所属学生の近親者とその家族，および八王子市の老人クラブであるめじろ台第二むつみ会に協力を依頼して，合計4名の被験者とその家族を対象として実験を行った．

表1は，実証実験で協力を得た被験者に関する情報である．実証実験ではこの4名とその家族の協力を得た．被験者宅には扉センサおよびレシーバとノートPCを設置し，約2週間にわたって開閉情報を収集した．また，開閉情報収集の終了後にセンサを設置したことによる違和感などについてのアンケート調査を実施した．図4は被験者

表 1 実証実験の被験者

	被験者			
	A	B	C	D
年齢	90代	70代	70代	80代
性別	女性	女性	女性	女性
居住地	神奈川県	神奈川県	東京都	東京都
居住形態	一戸建て二世帯	一戸建て独居	一戸建て独居	集合住宅独居



図 4 被験者 A 宅の扉に設置した開閉センサ

宅に開閉センサを設置した様子である。一方、被験者の家族には Android タブレット上で動作する情報提供用のアプリケーションの操作性、提供される情報の分かりやすさなどに関するアンケート調査を実施した。

これらのアンケートでは設問に対する「当てはまらない:1」から「当てはまる:5」の5段階評価での回答と、自由記述による回答を得た。

5. 評価結果と改良

表 1 に示した被験者と、その家族による本システムの評価結果の一部を抜粋して示す。まず、見守り対象者による評価である。センサ設置による違和感とは 4 名で評価が分かれている。この違和感の具体的な理由として、センサが被験者の予想よりも大きく、気になったためと指摘された。

センサを設置することによって得られる安心感についても同様に評価が分かれた。続いて見守り実施者による評価である。見守り実施者による評価は、開閉情報を提供する Android タブレット端末上のアプリケーションに関して行った。この評価では、

表 2 見守り対象者による評価

設問	各被験者の回答			
	A	B	C	D
センサを設置することに違和感があった	1	1	4	2
センサを設置することで安心感を得られた	5	2	-	-

- ① ユーザーインターフェースが分かりづらい
- ② 操作方法が分かりづらい
- ③ 実際の開閉状況とアプリケーションで提供される開閉情報が一致しない

といった点を指摘された。

これらの評価の結果から、情報提供用アプリケーションの改良を実施した。

①, ②については、冗長なテキストベースの操作法等の説明に起因するものと考え、象徴的なアイコンを配置し直感的な操作性の向上を図った。また、③については、アプリケーションに不具合があることが判明したため修正した。図 5 はこれらを改良したアプリケーションのスクリーンショットである。

また、実証実験を通じて我々が想定し得なかった点も複数指摘された。その一例として、被験者の一人から、設置したノート PC から発生するノイズにより AM ラジオの聴取が困難となり、習慣のラジオ体操と深夜ラジオ聴取ができなくなったと

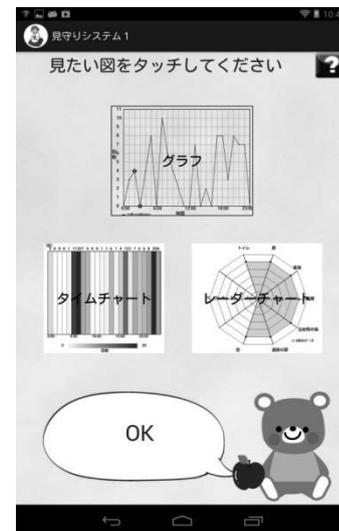


図 5 Android タブレット上の見守りシステムアプリケーションのスクリーンショット

いう指摘があった。

6. 体調不良推定手法の検討

実証実験を通じて収集した、実環境における扉開閉情報をもとに体調不良を推定する手法を検討した。本研究では、体調に変化がなければ扉開閉回数はある程度の範囲内に収まるものであり、この傾向が相当程度変化した場合に体調不良が推定されるという仮定のもとに体調不良推定手法を検討した。

収集された開閉情報は、それぞれの扉の1時間ごとの開閉回数として記録されている。この手法では体調不良を判定するために体調不良ではないことが判明している期間の10日間分の開閉情報を収集しておく。そのうち、最初の7日分のデータを用いて過去24時間における、複数の扉のセンサ反応回数の合計を成分に持つ2ないし3次元のベクトル $\vec{x}_0^{(1)}, \vec{x}_1^{(1)}, \dots, \vec{x}_{23}^{(7)}$ を求める。ここで $\vec{x}_k^{(n)}$ は第 n 日の k 時におけるベクトルを示す。そして、最初の7日分のデータより7日分の平均ベクトル \vec{a}_k を求める。すなわち、

$$\vec{a}_k = \frac{1}{7} \sum_{n=1}^7 \vec{x}_k^{(n)}$$

である。次に後半の3日分のデータ $\vec{x}_0^{(8)}, \vec{x}_1^{(8)}, \dots, \vec{x}_{23}^{(10)}$

を用いて $\vec{x}_k^{(n)}$ と \vec{a}_k との各マハラノビス距離を求め、3日分×24時間より72個分のマハラノビス距離 $d_k^{(n)}$ が得られる。これら72個のデータを要素に持つ集合を D とする。ここまでで、体調不良判別のための基礎データがそろった。

判別したい時点のベクトル、例えば11日目の0時の判定をしたい場合、 $\vec{x}_0^{(11)}$ と \vec{a}_0 とのマハラノビス距離 $d_0^{(11)}$ を計算し、それが先の集合 D の要素の中で、距離の降順で見て上位5%に入るときに体調不良と判定することにした。なお、 \vec{a}_k 、72個の $\{d_k^{(n)}\}$ すなわち D は1時間ごとに更新される。

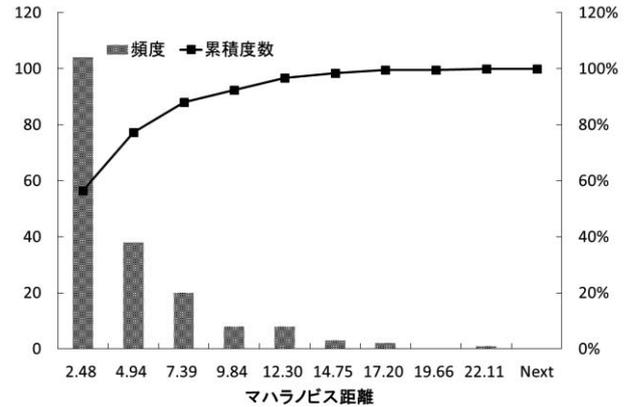


図6 マハラノビス距離の分布の一例

例として、被験者B宅におけるトイレの扉と風呂場の扉の24時間の開閉回数の合計を成分に持つ2次元ベクトル $\vec{x}_k^{(n)}$ より求められる D のヒストグラムを図6に示す。

収集できたデータ期間の制約から4名のうち被験者A、Bの2名の体調不良推定を行ったところ被験者Aの開閉情報からは2度の体調不良を検出した。これは、実際にアンケート調査により被験者Aが実験期間中に体調不良を訴えた2回に一致する。一方、被験者Bに関してはアンケート調査では体調不良を訴えていないにもかかわらず期間中に1回の体調不良があったとの判定結果が得られた。

7. まとめ

現時点において、本見守りシステムによる実証実験の件数はまだ少なく、当初の目標である見守り対象者、見守り実施者双方に安心感を与えられるシステムの開発という点については、今後更に多くのデータを収集し評価を進めていく必要がある。しかし、実社会における実証実験を実施したことにより、研究室レベルでは想定し得なかった問題点を知ることができた。また、実証実験により得られた扉開閉情報を様々な角度から分析することにより、体調不良を推定する手法を提案し、扉開閉情報による見守り手法の有効性について今後に向けた見通しを得ることができた。

参考文献

- [1] 総務省，“平成22年度国勢調査 人口等基本集計結果 結果の概要”，Oct. 2010.

(平成25年6月20日 受理)

キネクトセンサーを活用した自律走行ロボットの制御

石塚裕澄*, ビレ シランパー**, 中里優理***, 青木宏之****

Control of an Autonomous Mobile Robot Making Use of Kinect

Hirosumi ISHIZUKA, Ville SILLANPÄÄ, Yuri NAKASATO, Hiroyuki AOKI

Abstract:

There have been various problems in the aged society. For example, a lack of labor force and nursing for the elderly are critical. So transportation and delivery robots have been developed in order to solve these problems. However, an autonomous vehicle robot, for example, is not affordable because it needs a costly sensor. Meanwhile, Microsoft sells a cheap sensor for a game controller. The sensor called "Kinect" can be used to detect and track human motions, measure the distance to the target. In this study, the Kinect sensor system is applied to a development of the autonomous vehicle robot. Through experiments conducted on campus, the system embedded with the Kinect sensor showed stable movement overall. Therefore, it is suggested that the system can be alternative to shopping support systems, especially for housewives with kids.

Keywords : Kinect, autonomous mobile robot, hand signal, human motion

1. はじめに

少子高齢化社会を迎え、労働力不足や高齢者介護など様々な社会的課題が存在する。そうした課題のひとつの解決策として、人の移動や荷物の運搬等で目的地まで自律走行させることが可能なロボットの開発が行われている。しかし、通常自律走行ロボットにはLRF (Laser Range Finder)やジャイロセンサーなど高価なものが用いられる場合が多く、まだまだ一般的に普及するまでには課題も多い。一方、Microsoft社からゲーム用のコントローラーとして Kinect と呼ばれる安価なセンサーデバイスが販売されている。この Kinect は人の検出や人との距離を測ることが容易に行える特徴を持つ。そこで、本研究では Kinect を自律走行ロボットのセンサーとして組み込んだシステムを実現し、実際にその動作検証を行うことで、今後、実社会の中でどのような応用が期待できそうかを検討する。

2. 実現環境

2.1. ベースとなる移動ロボット「高尾1号」

Kinect を取り付けるベースとなる移動ロボットは「高尾1号」と呼ばれるもので、2009年度東京高専機械工学科多羅尾研究室にて開発されたものである。そのロボットの仕様を表1に、外観を図1に示す。

表 1 高尾1号仕様

W×L×H	58[cm]×84[cm]×147[cm]
重量	67.5[kg]
バッテリー	12[V],36[Ah]×2



図 1 高尾1号

2.2. Kinect

Kinectの外観を図2に示す。KinectにはRGBカメラ、IRカメラ、アレイマイク等が搭載されており、人を認識してその動きを捉えるいわゆるモーションキャプチャー機能と、人との距離を測る機能を備えている。また、Microsoft社がKinectを用いたアプリケーションを開発するためのSDK (Software Development Kit)も提供しており、Kinectのアプリ開発を容易にしている。しかし、赤外線を利用した人の検出や距離計測を行なっているため屋外環境での使用には向いていない。



図 2 Kinect

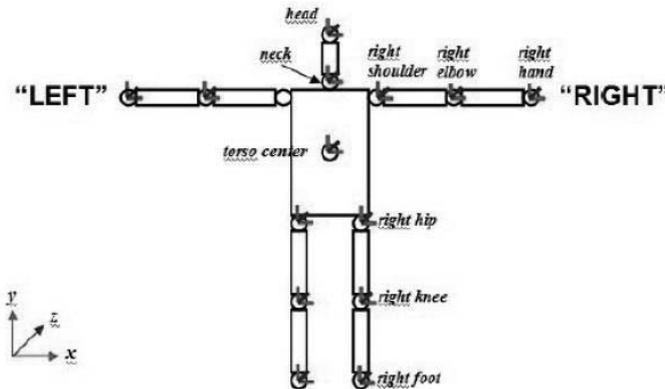


図 3 Kinect から得られる骨格情報

3. Kinect センサーを搭載した自律走行システム

Kinect を活用することにより、以下の 2 つの機能を実現した。

3.1. 人の歩行移動に追従する機能

Kinect から得られる人との距離情報を利用して、人とある一定の距離を保ちながら人の歩行移動に追従していく（図 4）。



図 4 人の歩行移動に追従するようす

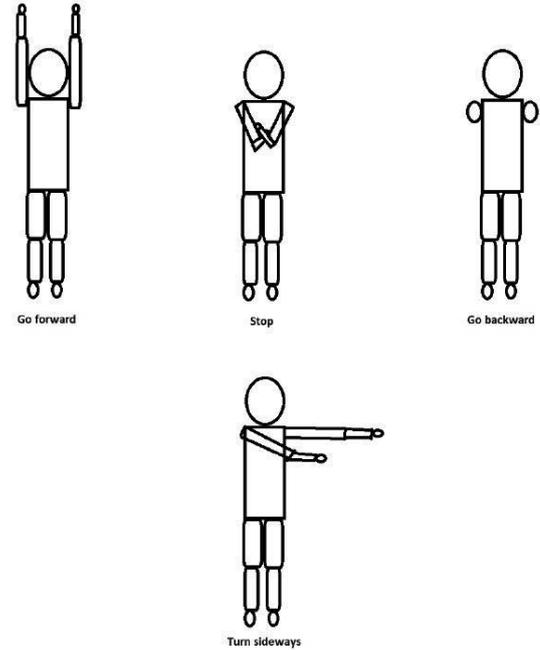


図 5 ロボット制御のためのハンドシグナル

3.2. 人のハンドシグナルに反応して動く機能

Kinect の持つ人の骨格検出機能（図 3）を利用して、図 5 に示すようなハンドシグナルを用いてロボットの前進、後退、回頭、停止などの動作を制御する。

3.3. Kinect を搭載したシステムの全体構成

本システムの開発には MATLAB/Simulink を用いている。MATLAB/Simulink はブロック線図ベースの設計手法であり、システム全体の見通しが明解になるとともに、ブロック単位での開発分担が容易であることから、複数人によるシステムの共同開発を効率的に行うことができる。また、開発環境として提供されているブロックや、自ら開発したブロックを組み合わせることでシステムの機能拡張や追加を柔軟に行うことができる。

本システムの全体構成を図 6 に示す。図 6 に示す通り本システムは、大きく Kinect から人の骨格データや、人との距離データを取得するブロックと、それらデータに対応する制御命令をロボットに送るブロックとに分けることができる。

前者のブロックでは、まず人検出を行いその骨格データを捉えてその座標データの表示を行うと共に、画像を出力することが可能である。

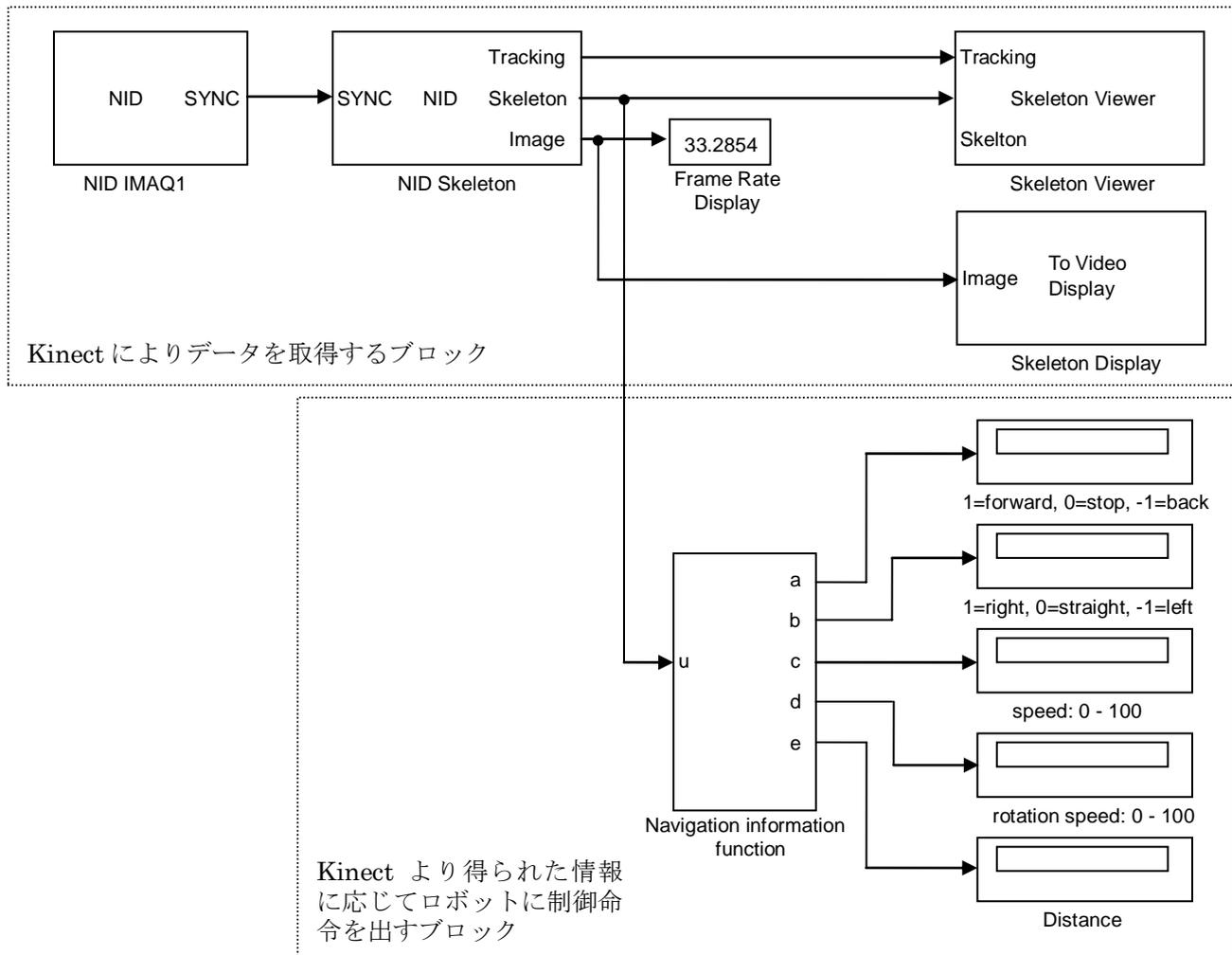


図 6 Kinect を搭載したシステムの全体構成

後者のブロックでは、一番はじめにトラッキングした人間の骨格データを認識し、① ハンドシグナルがない場合にはある一定距離を保ちながら、追従するよう制御命令を出し、② ハンドシグナルが検出された場合にはハンドシグナルに対応付けられた以下の4つの制御命令が出力される。

- 前進、後進、停止
- 回頭命令
- 前進・後進時のスピード
- 回頭スピード

4. 実験

前章にて説明したシステムを本校構内の体育館、教室、廊下の3箇所にて動作検証実験を行った。特に、以下のことに注意を払い検証を行った。

- 安全に確実に動作を行うことが可能か
- 屋内であればどのような環境でも動作することができるか

5. 実験結果及び考察

実験結果を表2に示す。また、図7、図8は体育館での実験の様子を示している。図7は人の歩行移動に追従する機能実験の様子で、図8はハンドシグナルによる制御実験の様子である。この実験は午前10時頃、屋外の天気は快晴の元で行った。体育館に若干太陽光が差し込む状態ではあったが問題なく動作した。

一方、廊下や教室など、ある程度広さが制限される場所では人と障害物とが重なると人の検出に失敗することがあった。また、この実験は午後2時頃、太陽光が強く差し込む環境下で行ったが、障害物がなければ人検出をうまく行うことができた。

これらの実験結果から、ある程度広さの環境があれば多少の太陽光が存在する場合でも安定した動作が行えることがわかった。こうした結果を踏まえて実社会でのこのシステムの応用を考えたとき、一例として買い物支援システムがあげられる。



図 7 人の歩行移動に追従する機能実験（体育館）



図 8 ハンドシグナルによる制御実験（体育館）



図 9 人の歩行移動に追従する機能実験（廊下）

スーパーマーケット等，太陽光が少ない環境で，なおかつある程度の広さのある場所であれば人の検出は容易に行えると考えられる．このシステムは利用者がベビーカーを押している場合や，子供を抱きかかえている場合などで，特に利便性が期待できると思われる．

表 2 実験結果

実験場所	人の歩行移動に追従	ハンドシグナルによる制御
体育館	◎	◎
教室	○	○
廊下	○	○

6. まとめ

Kinect を活用した自律走行システムとして人の歩行移動に追従する機能と，ハンドシグナルによる制御機能の 2 つを実現し，本校構内にて動作検証実験を行った．Kinect は IR センサーを利用しているため太陽光下での動作が行えないが，検証の結果屋内に差し込む太陽光程度なら，人検出に何ら差し障りは無いことがわかった．体育館では，2 つの機能とも問題もなく動作が行えることが確認された．一方，廊下や教室など障害物の多い場所では人と障害物が重なった場合に検出に失敗することがわかった．

こうした動作検証実験を通して，今回作成したシステムの実社会での一つの応用例として，買い物支援システムが考えられる．その実現のためには，更に多数の人がいた場合でも同一の人を捉え続ける機能等の追加・拡張が必要と考えられる．MATLAB/Simulink ベースの開発環境であれば，これら機能の追加・拡張も比較的行いやすいと考えられる．

参考文献

1. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855347.aspx> – Official site for Kinectfor Windows SDK
2. <http://www.xbox.com/xbox360/accessories/kinect> – Official site of Kinect
3. http://openkinect.org/wiki/Imaging_Information – Information about specifications of Kinect
4. http://fi.wikipedia.org/wiki/Kinect-Information_about_Kinect
5. <http://www.mathworks.co.jp/products/matlab/> – Official site of MATLAB
6. <http://www.mathworks.nl/matlabcentral/fileexchange/32318-simulink-for-naturalinteraction-device-nid> – Source of Simulink for natural interaction device

（平成25年6月20日 受理）

土壌粒子に対する銅イオン, カルシウムイオン並びに 水素イオンの競争吸着のモデリング及び熱力学的解析

庄司 良*, 倉澤裕己**

Modeling and thermodynamics analysis of adsorption of copper,
calcium and hydrogen ions to soil.

Ryo SHOJI, Hiroki KURASAWA

The amount of adsorption to soil particles should be changed with the soil solution pH and the concentration of the co-existing ions. The objectives of this study are to examine the influence of pH and competing ion on the copper adsorption to soil, and to examine the changes in the heat of adsorption of copper to soil under different pHs. The amount of copper adsorption to soil becomes smaller by the addition of calcium and decreasing in the soil solution pH. The heat of adsorption on the pH4 is the largest among the heat of adsorption on three different pHs (pH4, 5, 6).

Keywords : Van' t Hoff equation, heavy metal, adsorption isotherm, Soil Ligand Model (SLM),

1. 緒言

2011年3月に発生した東日本大震災に伴う原子力発電所事故によって放出されたセシウムにみるように、重金属による土壌汚染は現在も深刻な問題である。汚染された土壌に生育している農作物などの植物が重金属を吸収・蓄積し、ヒトが摂取することで人体への影響も懸念される。また、土壌汚染対策の一つとして、植物に重金属を吸収させ、回収・処分することで土壌中の重金属濃度を減少させるファイトレメディエーションという方法がある。このような植物への重金属の吸収の促進・抑制を考える上で、植物と密接な関係にある土壌への重金属の吸着性を考慮することが非常に重要となってくる。

土壌への重金属吸着量は、共存する他の陽イオンによる競合により、変化する¹⁾ことが知られている。また、土壌pHの変化によって重金属のイオン形態も変化する。よって、土壌への重金属の吸着量はpH及び共存イオンによって

変化すると考えられる。共存イオンの影響を考慮した多成分系の吸着モデルはLangmuirモデルを発展させたモデルをはじめ、これまで数多く検討されてきた²⁾が、土壌-植物間での重金属の挙動を考える上では土壌と植物で共通の吸着モデルを用いて整理することが望ましい。土壌-植物間での重金属の挙動を検討する指標として、土壌から植物への移行係数という数値を用いて土壌からどれだけの重金属が植物に移行するかを表すものがある。しかし、この移行係数は植物中の重金属の濃度を土壌中の重金属の濃度で規格化した値であり、農林水産省が公表している農地土壌中の放射性セシウムの野菜類及び果実類への移行係数の中には、大きいもので3桁程度移行係数にばらつきが見られる。原因の一つとして挙げられるのが、土壌中にある他の陽イオンやpHの影響である。前述の通り、共存するイオンやpHによって重金属の吸着量は変化する。よって、土壌-植物間で共通のかつ、より実環境を考慮したモデルが必要となる。

*物質工学科

**専攻科物質工学専攻

そこで、本研究では pH 及び共存イオンによる重金属イオンの吸着量変化を明らかにするとともに、吸着量の変化を表現する多成分系の吸着モデルとして、従来生物の毒性予測に用いられてきた BLM (Biotic Ligand Model) を土壌に対して適用することを試みた。また、これによって算出された結合定数の温度依存性を pH ごとと比較し、吸着現象の熱力学的解析を行った。

2. 実験方法

2.1 土壌試料

本研究では東京都八王子市の東京工業高等専門学校内の黒ボク土を主成分とする土壌を2週間風乾させ、ふるいで粒径 2mm 以下にしたものの供試土壌として用いた。

2.2 銅イオン吸着試験

共存イオン添加や pH 変化の試験結果と比較するために銅イオンのみでの土壌に対する吸着試験を行った。50ml 遠沈管 (ポリプロピレン製、Nunc) に、土壌試料 0.1g に対し銅イオン選択電極を用いて銅イオン活量を測定した CuCl₂ 溶液 (1×10⁻⁵, 5×10⁻⁵, 3×10⁻⁴, 7×10⁻⁴, 1×10⁻³ [mol/L]) を 40 ml 加え 150 rpm で 24 時間振とうを行った。振とう後、サンプルを 0.45 μm メンブランフィルター (A045H047A、ADVANTEC) を用いて吸引ろ過して得られた上澄み液を銅イオン選択電極によって測定し、上澄み液中の銅イオン活量を測定した。吸着量の算出は以下の式を用いて行った。

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{w} \quad (1)$$

q_e は平衡吸着量 [mol/kg]、 C_0 は初期濃度 [mol/L]、 C_e は平衡濃度 [mol/L]、 V は溶液の体積 [L]、 w は土壌試料の重量 [kg] を表す。銅イオン選択電極での銅イオン活量の測定では、溶液の pH によって活量は変化するため、吸着試験前と吸着試験後の溶液の pH が異なる場合、正確な吸着量の算出が行えないことが考えられるため、吸着量の算出の際には、溶液の pH による差を考慮するため、銅イオン活量を平衡計算ソフト WHAM VI (The Windermere Humic

Aqueous Model; Natural Environment Research Council) を用いて総濃度に換算して吸着量を算出した。

2.3 競合イオンによる吸着量変化

競合イオンとしてカルシウムを添加した際の土壌に対する銅の吸着量を測定した。2.2 で用いた濃度区の CuCl₂ 水溶液に 1×10⁻⁴ [mol/L] CaCl₂ を加えた混合水溶液を調製し銅イオン選択電極 (東亜 DKK) 及びカルシウムイオン選択電極 (東亜 DKK) を用いて銅イオン活量並びにカルシウムイオン活量を測定したものを供試溶液とした。得られた供試溶液を用いて 2.2 で記述した方法と同様に吸着試験を行った。

2.4 pH による吸着量変化

CuCl₂ 溶液 (1×10⁻⁵, 3×10⁻⁴, 7×10⁻⁴, 1×10⁻³ [mol/L]) を 1 M 塩酸または 1 M 水酸化ナトリウム水溶液を微量用いて pH4, 5, 6 に調整し、銅イオン選択電極を用いて銅イオン活量を測定したものを供試溶液とした。得られた供試溶液を用いて 2.2 で記述した方法と同様に吸着試験を行った。

2.5 SLM (Soil Ligand Model) による解析

SLM は BLM を土壌に対して拡張したモデルである。SLM では、土壌の持つ金属イオンと結合しうる吸着サイトである SL (Soil Ligand) と金属イオンとの結合の平衡反応を仮定したモデルである。反応を (2) 式に示す。



ここで M^{n+} は金属イオンやプロトンといった n 価の陽イオンを示し、 K_M は陽イオン M^{n+} の結合定数 [L/mol] である。全リガンドの濃度 [TSL] は対象とする陽イオンと結合した SL 濃度 [MSL] と何とも結合していない SL の濃度及び対象とする陽イオン以外の陽イオンと結合した SL の濃度の総和で表される。例として、銅イオン、カルシウムイオン、プロトンを考慮する場合、[TSL] は (3) 式で表される。

$$[TSL] = [CuSL] + [CaSL] + [HSL] + [SL]$$

(3)

(2) 式及び (3) 式より、土壌の全吸着サイト [TSL]のうち対象とする陽イオンである銅と結合している SL の割合 f_{Cu} は (4) 式で表される。

$$f_{Cu} = \frac{K_{Cu}C_{Cu}}{1+K_{Cu}C_{Cu}+K_{Ca}C_{Ca}+K_H C_H} \quad (4)$$

ここで C_M は陽イオン M の活量を表す。(4) 式からも明らかなように、 f の算出には各元素の結合定数が必要となる。SLM では土壌への吸着量の予測値と実測値の RMSE(Root Mean Square Error)が最も低くなる値に Microsoft Office Excel のソルバーを用いて結合定数の最適化を行い、 f_{Cu} を算出した。

一方、土壌に対する金属の吸着量も同様な SL と金属イオンとの結合の平衡反応を仮定して予測するモデルを Cheng らのモデル⁹⁾を基に拡張した。吸着量の予測式を (5) 式に示す。

$$Q = Q_{max} \times f_{Cu} \\ = Q_{max} \times \frac{K_{Cu}C_{Cu}}{1+K_{Cu}C_{Cu}+K_{Ca}C_{Ca}+K_H C_H} \quad (5)$$

Q [mol/kg] は吸着量、 Q_{max} [mol/kg] は最大吸着量を示す。SL と結合した重金属が土壌粒子に吸着すると仮定したモデルであり、各吸着サイトには 1 対 1 の結合を仮定している。

2.6 熱力学的解析

各 pH における吸着熱を比較することで pH の依存性について検討した。2.4 と同様に pH を 4, 5, 6、温度を 293K, 303K, 313K にそれぞれ変化させて行い、得られた吸着試験結果より、(6) に示す Van't Hoff 式を用いて吸着熱の算出を行った。

$$\ln K_{Cu} = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H_0}{R T} \quad (6)$$

K_{Cu} は SLM によって算出した結合定数、 ΔS はエントロピー変化 [J/mol・K]、 ΔH_0 は吸着熱 [J/mol]、 T は吸着温度 [K] を示す。(6) 式から明らかなように横軸に $1/T$ 、縦軸に $\ln K_{Cu}$ をとった Vant' Hoff プロットの傾きより吸着熱が算出できる。本研究では Microsoft Office Excel

によって Vant' Hoff プロットの傾きより算出された吸着熱を pH によって比較し、土壌に対する銅の吸着の pH 依存性について熱力学的観点から検討を行った。

3. 結果・考察

3.1 吸着試験と SLM による整理

Fig. 1 に 2.2, 2.3 で得られた吸着試験結果を示す。

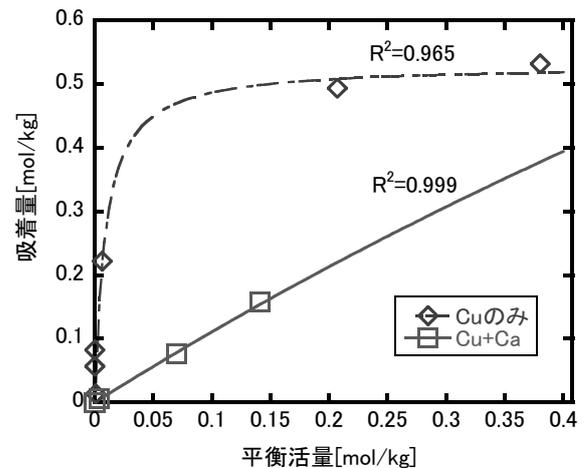


Fig. 1 銅のみ及びカルシウム共存下での土壌に対する銅の SLM による吸着等温線

土壌吸着量解析に SLM を適応するにあたって、銅のみの場合の吸着試験結果の回帰を行ったところ、 R^2 値 0.965 で相関が得られた。SLM は、SL と結合した土壌粒子に吸着すると仮定したモデルであり、リガンドには 1 対 1 で結合することを仮定しているため、数学的には単分子層吸着のモデルと同じであるといえる。つまり、単分子相吸着に一般的に用いられる Langmuir 式と数学的に同じであるといえる。よって、単分子層吸着が仮定できる吸着質濃度の範囲内に限定すれば SLM は土壌吸着量の解析への適応が可能であることが示唆された。

また、カルシウムを共存させた環境での銅の吸着量を SLM で回帰した場合、 $R^2 = 0.999$ と高い相関が得られた。よって多成分系競争吸着に SLM を適用することの妥当性が示された。

Fig. 1 において、本研究で用いた銅濃度の範囲において土壌に対する銅の吸着量は、カルシウムを添加した場合、銅のみの場合に比べて大

大きく減少していることから、カルシウム添加によって銅の土壌吸着量は抑制されることが明らかとなった。土壌中の非選択的な吸着サイトに対して Cu^{2+} と Ca^{2+} は強く競争的影響をもつ⁶⁾。非選択性陽イオン交換基に対してカルシウムイオンと競争的に吸着したために土壌に対する銅の吸着量は大きく減少したと考えられる。

また、銅のみの場合とカルシウムを添加した場合で吸着量の増加傾向が異なっている。このようになった原因として銅とカルシウムの濃度比によるものが考えられる。本研究で添加した塩化カルシウム濃度は 1×10^{-4} [mol/L] で一定であったため、添加したカルシウム濃度より銅濃度が少ない場合かほぼ同じ濃度である場合はカルシウムによる吸着量の抑制効果が顕著に現れ、銅濃度が添加したカルシウム濃度に比べ1桁以上高い場合はカルシウム添加による吸着量の抑制効果があまり見られなくなり、吸着等温線が多段階型の吸着に見られるような階段型の吸着量の変化を示したと考えられる。そのため、吸着量の増加傾向が異なると考えられる。SLM によって算出された土壌に対する各元素の結合定数を Table 1 に示す。

Table 1 SLMによって算出した各元素の土壌に対する結合定数

元素	K [kg-soil/mol-Cu]
Cu	2.66
Ca	1.76
H	18.9

算出された結合定数を比較するとカルシウムイオン、銅イオン、水素イオンの順となっている。カルシウムイオンは先に述べたように非選択的なサイトにおいて銅イオンと競争的影響を持つために銅濃度が低い領域では影響が強いが銅濃度の増加によって競争的影響が弱くなるために結合定数が小さくなったと考えられる。カルシウムイオンと比べ水素イオンの結合定数はかなり大きい値をとっている。金属イオンなどの陽イオンが吸着される主な機構は陽イオン交換によるものである。腐植が多く含まれる黒ボク土では、pH の増加に伴い、pH に依存して荷

電が変化する pH 依存性のサイトは水素イオンの解離が起こり、これによる負の電荷が発生するために陽イオン交換容量を表す CEC (Cation Exchange Capacity) が増加する⁸⁾⁹⁾。また、銅に対して選択的に吸着するサイトに対しても水素イオンが競争的に作用する¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾ことから、pH の低下によって pH 依存性の吸着サイトが減少するとともに、土壌溶液中の水素イオンが増加し、銅イオンの土壌への吸着に対して競争的に作用し、吸着量を減少させる。そのため、水素イオンの結合定数が銅イオン及びカルシウムイオンに比べて大きい値をとったと考えられる。よって、土壌に対する銅の吸着に対しては pH の依存性が高いことが示された。

3.2 被覆率 f_{Cu} による整理

吸着試験結果に SLM を適応し吸着量を f_{Cu} によって整理を行った結果を Fig. 2 に示す。

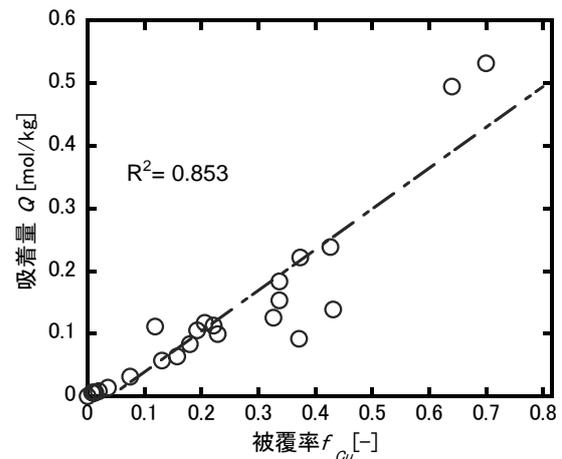


Fig. 2 SLMによって算出された被覆率に伴う土壌に対する銅イオン吸着量の変化

(5) 式より、 Q は f_{Cu} の 1 次関数であることから横軸に f_{Cu} 、縦軸に吸着量 Q をとった場合、直線関係が得られるはずである。Fig. 2 をみると、 f_{Cu} の増加に伴って吸着量 Q が直線的に増加し、 f_{Cu} と吸着量は比例関係にあるといえる。Cheng らも同様なモデルを用いて水素イオン及びカルシウムイオンとの競合の影響を考慮したレタスへの銅の蓄積量の解析を行なっている⁵⁾。また、中西らが行った、ヒョウタンゴケに対する pH 及びカルシウムの影響を考慮

した銅の蓄積量予測の研究では、 f_{Cu} と蓄積量の間に関係があり、 R^2 値も0.93と高い相関が得られ、BLMの概念に基づいた解析によって生物に対する金属の蓄積についても整理が可能であることを示している⁷⁾。本研究で得られた R^2 値は0.853であり、中西らの結果に比べて R^2 値は低いが、様々な種類の吸着サイトを持つ土壌に対する吸着を生物と同様に、同一のリガンドとみなしている点を考慮すると高い相関が得られていると考えられる。よって、土壌に対する銅の吸着をBLMと化学平衡の概念に基づくSLMを用いて整理を行えたといえる。このことより、BLMを土壌に対して拡張したSLMの妥当性が得られた。

3.3 熱力学的解析

Table 2に2.6で得られたpH及び温度変化に伴う最大吸着量の変化の結果を示す。

pHの減少に伴い最大吸着量が減少する傾向が見られるが、これは3.2で述べたような理由によるものと考えられる。温度の上昇に伴い最大吸着量が増加する傾向が見られる。これは、温度変化に伴う吸着イオン種の変化によるものと考えられる。Fig. 3に温度に伴う銅のスペシエーション変化を示す。

Table 2 pH変化及び温度変化に伴う土壌に対する銅の最大吸着量 Q_{max} [mol/kg]変化

	293 K	303 K	313 K
pH4	3.55×10^{-2}	9.13×10^{-2}	9.99×10^{-2}
pH5	8.78×10^{-2}	1.32×10^{-1}	1.80×10^{-1}
pH6	9.53×10^{-2}	1.55×10^{-1}	1.95×10^{-1}

$1 \times 10^{-4}M$ では温度上昇に伴い銅のフリーイオンである Cu^{2+} の濃度が減少し、代わって $CuOH^+$ の濃度が増加する傾向が見られる。金属の吸着機構は先に述べたように主に陽イオン交換である本実験で用いた銅イオンは2価の陽イオンであり、フリーイオンである Cu^{2+} の場合、吸着サイトの負電荷も2価である必要がある。しかし、 $CuOH^+$ が吸着種である場合、吸着する際に必要な負電荷は1価であり、 Cu^{2+} に比べて銅イオンが1つ吸着するのに必要な負電荷の数

は半分になる。よって、温度上昇にもなって $CuOH^+$ が増加したことにより、吸着量が増加したと考えられる。

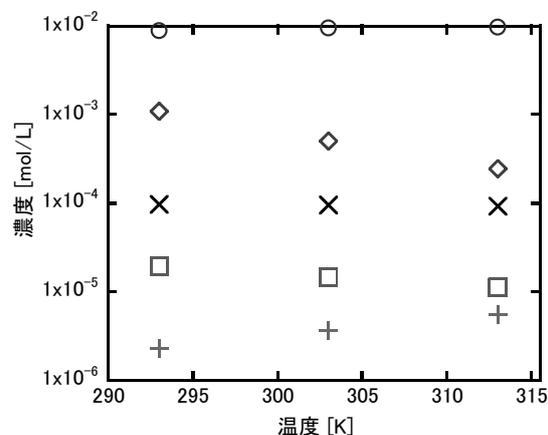


Fig. 3 温度変化に伴う銅イオンのスペシエーション変化のシミュレーション

(○ : $Cu(OH)_2$ $1 \times 10^{-2}M$, ◇ : Cu^{2+} $1 \times 10^{-2}M$, □ : $CuOH^+$ $1 \times 10^{-2}M$, × : Cu^{2+} $1 \times 10^{-4}M$, + : $CuOH^+$ $1 \times 10^{-4}M$)

また、 $1 \times 10^{-2}M$ という高濃度においては温度の上昇にもなって Cu^{2+} が減少するとともに $Cu(OH)_2$ が増加する傾向が見られる。本実験では吸着試験後、メンブランフィルターを用いて過し、土壌と水分に分離している。そのため、固体となった $Cu(OH)_2$ は土壌側に残り、 $Cu(OH)_2$ となった銅も土壌に吸着したとみなしていることから、温度上昇にもなってみかけの吸着量が増加したと考えられる。

実環境中ではこのような高濃度の汚染は考えにくいですが、土壌中に固体として存在する銅鉱物などは雨水などによって溶解せず、土壌中にとどまり、吸着しているとみなせることから本実験では $Cu(OH)_2$ となった銅も土壌に吸着しているとみなして整理を行った。

Van't Hoff式より各pHでの吸着熱を算出するためのVan't HoffプロットをFig. 4に示す。

Fig. 4より、Van't Hoffプロットの回帰直線が R^2 値がpH4, 5, 6いずれでも高く、土壌への銅イオン吸着において熱力学的な平衡論が成立することが示唆され、結合定数が温度によって変化することが明らかとなった。Van't Hoffプロットの傾きから算出されたpH4, 5, 6におけ

る吸着熱は 131, 70.6, 45.8 [kJ / mol]となり、pH の増加にともなって減少する傾向が見られた。重金属に対して選択性を示す吸着サイトは、水素イオンがかい離して負荷電を生じて陽イオン交換基となるものが多く、このような負電荷は、水素イオンを強く吸着する¹³⁾。水素イオンは銅だけでなく、鉛や亜鉛といった他の陽イオンの選択性交換基に対しても強く吸着するため、それぞれの交換基で競争的に吸着することから、土壤全体として見た場合、銅イオンと比べて水素イオンのほうがより結合しやすいといえる。また、本研究で得られた、SLM より算出された結合定数から、銅イオンに比べ水素イオンのほうが土壤粒子に対して結合しやすいことから、低 pH 域で水素イオンが多く存在している場合、結合力の弱い吸着サイトの銅イオンは水素イオンによって置き換わり、銅イオンとの結合力の強いサイトの銅イオンのみが残ったために結合の強さを表す吸着熱は低 pH であるほど高くなったと考えられる。熱力学的な解析によっても土壤に対する銅イオンの吸着に対して pH の依存性が高いことが示された。

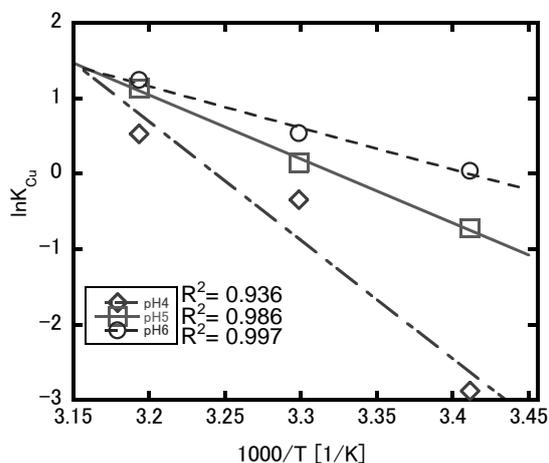


Fig. 4 吸着熱の算出のための SLM によって算出された結合定数を用いた Van' t Hoff プロット

4. 結論

土壤に対する銅の吸着量は共存イオンであるカルシウムイオン及び水素イオンによって抑制される。また、共存物質を考慮した土壤への銅の吸着量を植物と同様のモデル SLM を用いて整理できる可能性が示唆された。

SLM によって算出された結合定数の温度依存性を測定し、吸着熱を pH ごとに比較した結果 pH の低下にともなって吸着熱が増加する傾向が見られ、土壤に対する銅イオンの吸着は pH に依存することが示された。

5. 参考文献

- 1) Gast R. G., Surface and colloid chemistry. In: Dixon J. B. and Weed S. B. (Editors). Minerals in Soil Environments. *Journal of Soil Science. SOC. AM.*, Wis., 27-73 1977
- 2) Greenland D. J. and Mott C. J. B., Surfaces of soil particles. In: Greenland D. J. and Hayes M. H. B. (Editors). *The Chemistry of Soil Constituents*. John Wiley & Sons Chichester. 321-353, 1978
- 3) Arias M., Pe' rez-Novo C., Lo' pez E., Soto B., *Geoderma* 133, 151-159, 2006
- 4) Xue W. B., Yi A. H., Zhang Z. Q., Tang C. L., Zhang X. C., Gao J. M., *Pedosphere*, 19, 251-257, 2009
- 5) Cheng T. and Allen H. E., *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 2544-2551, 2001
- 6) Petruzzelli G., Guidi L., Lubrano L., *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 16, 971-986, 1985
- 7) Nakanishi H., Shoji R., Itouga M., Sakakibara H., *Journal of Water and Environment Technology*, 8, 339-345, 2010
- 8) Wada K. and Okamura Y., *Science of Soil and Manure, Japan*. Tokyo, 811-815, 1977
- 9) Wada K. and Okamura Y., *Journal of Soil Science*, 31, 307-314, 1980
- 10) Wada K. and Abd-Elfattah A., *Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 417-426, 1978
- 11) Wada K. and Adb-Elfattah A., *Journal of Soil Science*, 30, 281-290, 1979
- 12) Abd-Elfattah A. and Wada K., *Journal of Soil Science*, 32, 271-283, 1981
- 13) 和田光史, 吉田稔, 岡島秀夫, 鋤塚昭三, “土壤の吸着現象-基礎と応用-“, 博友社, 2007

(平成 25 年 6 月 20 日受理)

平成24年度教員教育研究業績

1. 研究論文・著作物・(著書・翻訳書等)

一般教育科

戦後中小企業政策における組織化政策の変容—商工協同組合法改正問題を巡る議論を中心に

『市場史研究』第32号, 2013.3, pp.1-23) 浅野敬一

「中国科学技術政策史」の試み(その2)

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012.12, pp.1-15) 河村豊

微分積分 I 問題集

(大日本図書 2013.2) 新井一道, 市川裕子, 碓氷久, 齋藤純一, 佐藤志保, 高遠節夫

Comparative study of surface recombination in hexagonal GaN and ZnO surfaces

『Journal of Applied Physics』112, 2012, pp.063509 1-7)

. Takeyoshi ONUMA, Naoyuki SAKAI, Tatsuhiro IGAKI, Tomohiro YAMAGUCHI, Atsushi A.YAMAGUCHI, Tohru HONDA

Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective —Part 4: Grammar Foundation Completed after 18 Months—

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012.12, pp.17-22) John Gates

Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective —Part 5: Reading a Finnish Newspaper Article for the First Time—

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013.3, pp.1-4) John Gates

言語文化論—「道」に関する考察

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013.3, pp.17-26) 関根紳太郎

Effects of shadowing on pronunciation

(井上・神崎編『21世紀英語研究の諸相』, 2012.9, 開拓社, pp.240-251) Tomoko HORI

「哲学的探求とは何か」にかんする一考察—哲学教育の観点から—

『子どものための哲学教育研究(山田圭一編)』, 千葉大学大学院人文社会科学研究所, 千葉大学大学院人文社会科学研究所研究プロジェクト報告書第255集, 2013.2, pp.85-98)

. 村瀬智之

商業誌における解説

日本語版解説 先生のための手引き

『中学生からの対話する哲学教室』(シャロン・ケイ, ポール・トムソン著, 河野哲也監訳) 玉川大学出版会, 2012.4, pp.149-159)

. 村瀬智之

翻訳(共訳)

『中学生からの対話する哲学教室』(シャロン・ケイ, ポール・トムソン著, 玉川大学出版部, 2012.4, 1章, 4章, 7章, 12章の翻訳を担当)

. 河野哲也監訳, 安藤道夫, 木原弘行, 土屋陽介, 松川絵里, 村瀬智之訳

「ゲームで学ぶ倫理・道徳」

『臨床哲学のメチエ』ダリル・メイサー著, 19号, 2012.7, 15章, 20章, 24章, 31章, 36章, 41章の翻訳を担当)

. 紀平知樹, 楠本瑤子, 高木遼, 辻明典, 中川雅道, 村瀬智之訳

Polynomial upper bounds on large and moderate deviations for diffeomorphisms with weak hyperbolic product structure

『Far East J Math Sci』69(1)2012. pp.1-25 Jin Hatamoto

機械工学科

自転車乗車時の加速度測定—非舗装路におけるタイヤ空気圧の影響—

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012.12, pp.85-92) 木村南

自転車通行路におけるバリア調査—多摩川サイクリングロードの場合—

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013.3, pp.71-78) 木村南

A highly sensitive and temporal visualization system for gaseous ethanol with chemiluminescence enhancer

『Luminescence』20(5), 2012.9-10, pp.328-333)

. Takahiro Arakawa, Eri Ando, Xin Wang, Kumiko Miyajima, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Tomoyo Mitani, Mitsuo Takahashi, Kohji Mitsubayashi

マイクロ領域における摩擦特性(第3報:摩擦形態の遷移過程)

『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013.3, pp.59-64)

. 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 藺牟田桂, 繁山航

材料評価のおはなし

(一般財団法人日本規格協会, 2013.3.) 福田勝己

二軸引張応力を負荷した培養神経細胞の損傷評価

『日本機械学会論文集A編』2012, Vol.78, No.791, pp.1090-1099)

. 中楯浩康, 馬橋洋人, 張月琳, 角田陽, 青村茂

固有振動モードを利用した微小部品整列機構の設計開発

- 『日本機械学会論文集C編』2013, Vol. 79, No. 798, pp. 203-214) 舘野寿丈, 角田陽, 奥井公太郎
 リフレッシュエアを周期的に導入する振動流による換気
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 12, pp. 81-84)
 清水昭博, 佐藤正樹, 清水優史, 菅原路子
- 各種荷重下における歯付軸締結要素の力学特性評価
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013. 3, pp. 53-58)
 大塚仁, 志村穰, 峯尾一幸, 平間隆之, 黒崎茂
- ローラチェーンの三次元有限要素応力解析と引張強度向上のための提案
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 12, pp. 69-75) 岩元翔太, 志村穰, 黒崎茂
- Analysis of In-Plane Problems for an Isotropic Elastic Medium with Two Circular Inclusions
 『Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering』Vol. 6, No. 12, 2012. 12, pp. 1072-1087)
 Mutsumi MIYAGAWA, Takano TAMIYA, Jyo SHIMURA, Takuo SUZUKI
- Human-assisted virtual reality for a magnetic-haptic micromanipulation platform
 『Microsystem Technologies』Vol. 18, No. 9-10, 2012. 6, pp. 1407-1415)
 Moein Mehrdash, Mir Behrad Khamesee, Susumu TARAO, Naoaki TSUDA, Jen-Yuan Chang
- ハプティックインタフェースを利用した生体シミュレータの基礎研究—多自由度ペン型インタフェースの試作—
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 12, pp. 77-80)
 多羅尾進, 佐藤政哉, 小泉岳大, 齊藤浩一
- 屋外自律走行ロボットの開発と実証実験
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013. 3, pp. 65-70) 多羅尾進, 青木宏之
- 変位拡大機構付一体型精密直動位置決めステージの開発
 『マイクロメカトロニクス』56巻(207) 2012-12・2012, pp. 22-31) 堤博貴, 若槻哲平, 吉村靖夫
- Microsoft Share Point を用いた研究室におけるソーシャルネットワーキングとプロジェクトコラボレーションサイトの構築
 『東京工業高等専門学校研究報告書』44巻(2)号, 2012. pp. 37-40) Rauno ROUHONEN, 堤博貴
- はんだの応力解析用構成モデルの調査と分類
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 12, pp. 57-67) 林文晴, 海老原理徳
- 電気工学科**
- きちんとわかる電験三種基本テキスト改訂版
 (リックテレコム, 2012. 5) 佐藤勝雄, 土井淳, 伊庭健二
- 多地域連系系統における風力発電連系可能量の評価モデルの検討
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 12, pp. 99-106) 土井淳, 安部清貴
- FRIT 法の状態フィードバック制御への応用
 『電気学会論文誌C』132巻6号, 2012. 6, pp. 851-859) 松井義弘, 赤松駿一, 木村知彦, 中野和司
- 零相電圧を利用した漏えい電流低減法の提案と検証
 『電気学会論文誌D』132巻, 12号, 2012. 12, pp. 1141-1148) 綾野秀樹, 佐藤優貴, 松井義弘
- インバータが発生する伝導性ノイズの低減法とその評価システムの構築
 『東京工業高等専門学校研究報告書』44(1), 2012. 12, pp. 107-112) 綾野秀樹, 佐藤優貴, 松井義弘
- パワーエレクトロニクス実験の教材開発
 『東京工業高等専門学校研究報告書』44(2), 2012. 3, pp. 79-84 綾野秀樹
- インバータの設計と応用
 『システムLSI設計技術者養成講座教本』福岡システムLSIカレッジ・財団法人福岡県産業科学振興財団, 2013. 3)
 船渡寛人, 伊東淳一, 綾野秀樹
- 非晶質炭化珪素薄膜の内部応力と膜破壊パターンの非線形解析
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012. 11, pp. 93-97) 伊藤浩, 川又由雄, 大山昌憲
- 層状化合物半導体の作製と評価
 『表面技術』第63(7)号, 2012, pp. 462-464) 伊藤浩
- 反応性スパッタリング法を用いた酸化シリコン膜の基板バイアスの影響
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013. 3, pp. 91-94) 伊藤浩, 川又由雄
- ヒューマンインターフェースとしての視線検出と歯クリック音に関する一考察
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013. 3, pp. 95-104) 舘泉雄治, 岡田竜太郎
- INVESTIGATION OF GAZE DIRECTION AND TOOTH-CLICK SOUND AS A TOUCH-FREE HUMAN INTERFACES FOR SMARTPHONES
 『ICIC Express Letters』Volume 7, Number 3 (B), 2013. 3, pp. 895-901) Yuji Tateizumi, Ryutaro Okada
- フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発—第2報, マイクロ光電子デバイスの実現に向けた基礎特性の評価—
 『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013. 3, pp. 85-90) 新國広幸, 伊藤浩
- Design Study of a Guided-Wave Optical Microphone with a Diaphragm
 (IEEE SENSORS 2012, Taipei, Taiwan, 2012. 8)
 Kazuya Murata, Hiroyuki Nikkuni, Masashi Ohkawa, Takashi Sato

電子工学科

高専ブランド力向上をめざした広報活動「東京高専ファンづくりプロジェクト」の試み

(『工学教育』第61巻・第1号, 2013.1, pp.184-189) **大塚友彦**

情報工学科

ヘテロジニアスマルチホップ移動体無線通信の一検討

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(2)号, 2013.3, pp.105-108) **田中晶**

スペクトル拡散を応用した長距離無線通信の研究

(『電子情報通信学会論文誌 (B), Vol. J95-B, 11, 2012.11, pp.1491-1498) 滝澤尚也, **土居信数**

マイスター及び学生教育士制度による組み込みシステム開発人材育成

(『工学教育』61巻・1号, 2013.1, pp.64-69) **松林勝志, 北越大輔, 鈴木雅人, 小坂敏文, 吉本定伸**

An Adaptation System in Unknown Environments Using a Mixture Probability Model and Clustering Distributions

(『Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics』16・6, 2012.6, pp.733-740)

. Uthai Phommasak, **Daisuke Kitakoshi**, Hiroyuki Shioya

物質工学科

Superconductive CaC₆ prepared from flexible graphite sheet

(『Solid State Communications』152, 2012, pp.767-770)

. R. Matsumoto, M. Nakajima, Y. Takano, Y. Mizoguchi, **Noboru Akuzawa**

Alkali metal-graphite intercalation compounds prepared from flexible graphite sheet exhibiting high air stability and electrical conductivity

(『Synthetic Metals』162, 2012, pp.2149-2154) R. Matsumoto, M. Arakawa, H. Yoshida, **Noboru Akuzawa**

カーボンフィルムへの分子吸着と電気抵抗変化

(『炭素』2013.No.257, pp.141-144) 丸山和音, 塩野杏奈, **玉田耕治, 阿久沢昇, 竹市力**

脱気水の家庭分野への応用

(『Material Technology』, Vol.31, No.2, 2013.3, pp.31-38) **北折典之**, 松石早矢

Forward and Backward Extraction of Methylene Blue by using AOT/Isocetane Reversed Micellar Solution

(『Separation Science and Technology』Vo.47, 2012, pp.1957-1962)

. **Takumi Kinugasa**, Hiroshi Kashima, Sakura Kumeno, Shohei Tanaka, Yasuhiro Nishii

Improvement of thermal stability of gold nanoparticles by synergistic interligand interactions

(『Chemistry Letters』41(7), 2012.7, pp.708-710.)

. Atsushi OKUMURA, Yoshitaka TSUCHIDO, Kou YAMADA, Kenji TODORI, **Shigeru MACHIDA**

Strained and Unstrained Macrocycles Composed of Carbazole and Butadiyne Units : Electronic State and Optical Properties

(『The Journal of Organic Chemistry』77(10), 2012.5, pp.4837-4841)

. Tomohito IDE, Sho SAKAMOTO, Daisuke TAKEUCHI, Kohtaro OSAKADA, **Shigeru MACHIDA**

Dissolution Rate of Noble Metals for Electrochemical Recycle in Polymer Electrolyte Fuel Cells

(『Electrochemistry』80(11), 2012.11, pp.898-903)

. **Hidenobu Shiroishi**, Shinjiro Hayashi, Minoru Yonekawa, **Ryo Shoji, Itaru Kato**, Masayuki Kunimatsu

NICA (non-ideal competitive adsorption) -Donnan model による銅のミカヅキモ生長期阻害性に対する多摩川底質フミン酸の影響の解析

(『水環境学会誌』36(1), 2013.1, pp.1-9) **庄司良**, 沖田尚久, 中西弘貴

構造活性相関を用いた重金属の生態毒性の生物間比較

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第44(1)号, 2012.12, pp.113-120) **庄司良**, 島袋将弥, 高橋萌

加硫天然ゴムの架橋点の構造解析

(『ネットワークポリマー』33(5), 2012.5, pp.259-266) 河原成元, Oraphin Chaikumpollert, **山本祥正**

Fabrication of a completely continuous nanomatrix channel and its proton conductivity

(『Kautschuk Gummi Kunststoffe』, 65 (7-8), 2012.7, pp.26-29)

. Noriyuki Kado, Patjaree Suksawad, Keiichi Akabori, **Yoshimasa Yamamoto**, Seiichi Kawahara

集束イオンビーム・走査型電子顕微鏡を用いた EPDM パッキンの劣化解析

(『成形加工』24(6), 2012.6, pp.335-340) 五野上美緒, 中村勉, **山本祥正**, 大武義人, 河原成元

天然ゴムを原料とするプロトン伝導性高分子電解質の創製

(『高分子論文集』69(5), 2012.5, pp.228-234) 角紀行, Patjaree, Suksawad, 赤堀敬一, **山本祥正**, 河原成元

Mechanical properties and cross-linking structure of cross-linked natural rubber

(『Polymer Journal』44(8), 2012.8, pp.772-777)

. Oraphin Chaikumpollert, **Yoshimasa Yamamoto**, Krisda Suchiva, Seiichi Kawahara

Preparation and characterization of natural rubber with soft nanomatrix structure

(『Colloid and Polymer Science』, 290(14), 2012.9, pp.1457-1462)

. Kenichiro Kosugi, Ratchaniwan Sutthangkul, Oraphin Chaikumpollert, **Yoshimasa Yamamoto**,

Jitladda Sakdapipanich, Yoshinobu Isono, Seiichi Kawahara

Preparation and characterization of protein-free natural rubber

(『Polymers for Advanced Technologies』, 23(4), 2012.4, pp.825-828)

. Oraphin Chaikumpollert, **Yoshimasa Yamamoto**, Krisda Suchiva, Phan Trung Nghia, Seiichi Kawahara

Protein-free natural rubber

(『Colloid and Polymer Science』, 290(4), 2012. 2, pp. 331-338)

..... Oraphin Chaikumpollert, **Yoshimasa Yamamoto**, Krisda Suchiva, Seiichi Kawahara

2. 学会における口頭発表

一般教育科

読書コミュニティとしての英語多読サークル

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012. 8.) **竹田恒美**

「新たな教育システムの構築と具体的な取り組みについて～東京高専の場合～「集え、若きエンジニア: All English サマースクール」

(平成 24 年度高専機構主催関東信越地区教員研究集会, 2012. 9) **竹田恒美**

東京高専の魅力再発見! - B 級キャンパスライフの実践報告 -

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム 2012. 8. 29) **古屋正俊**

ポアソン分布のモデルについて

(ワークショップ「効果的な統計及び数学教材の開発と利用」下関市立大学 2013. 1) **市川裕子**

数学の授業における数学教員と専門学科教員の連携

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム科目間連携ワークショップ 2012. 8) **市川裕子**

中学生・高校生の英語学習における動機減退要因調査

(第 38 回全国英語教育学会愛知研究大会, 2012. 8, pp. 164-165) **占部昌蔵**, 茅野潤一郎

高専学生の英語学習意欲減退の特徴 - 大学生と比較して -

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012. 8, pp. 25-26) **占部昌蔵**

Incident Angle Resolved Cathodoluminescence Study of ZnO Single Crystals

(The 39th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS 2012), 2012. 8)

..... **Takeyoshi ONUMA**, T. YAMAGUCHI, and T. HONDA

酸化ガリウムの CL スペクトルの温度依存性

(秋季応用物理学会, 2012. 9) **尾沼猛儀**, 藤岡秀平, 山口智広, 東脇正高, 佐々木公平, 増井建和, 本田徹

ZnO 単結晶の電子線入射角度依存カソードルミネセンス測定

(秋季応用物理学会, 2012. 9) **尾沼猛儀**, 山口智広, 本田徹

 β -Ga₂O₃ 結晶の偏光ラマンスペクトル

(春季応用物理学会, 2013. 3) **尾沼猛儀**, 藤岡秀平, 山口智広, 東脇正高, 佐々木公平, 増井建和, 本田徹

海外および国内活字メディアの東日本大震災報道にみる対日イメージ研究

(日本メディア英語学会第 2 回年次大会, 2012. 10) **関根紳太郎**

日本語コミュニケーション教育の開発 - 東京高専の挑戦 -

(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発表概要集, 2012. 8, 電子版) **松戸美智子**

第二言語スピーキングにおける発話流暢性: 日本人英語学習者による絵描写時の音声分析

(第 26 回日本音声学会全国大会, 2012. 9, pp. 280-281) **堀智子**, 斉藤倫子他 8 名

日本人英語学習者発話産出の繰り返しが流暢性に及ぼす影響: 英描写課題を通して

(第 38 回全国英語教育学会愛知研究大会, 2012. 8, pp. 73-78) 斉藤倫子, **堀智子**, 他 3 名

英語のリズム構造 - 母語話者と日本人英語学習者の相違点と共通点

(外国語教育メディア学会第 25 回全国研究大会, 2012. 8, pp. 240-241) 森庸子, **堀智子**

英語プレゼン指導の持続的発展をめざした取り組み

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012. 8, p. 357) **堀智子**, **小嶋徹也** (他 8 名)

海外インターンシップとその事前研修の効果 学生の英語学習及び英語使用モチベーション・異文化コミュニケーションへの態度への変化から

(第 36 回全国高等専門学校英語教育学会, 2012. 9, 『第 36 回全国高等専門学校英語教育学会プログラム』 p. 4)

..... **樫村真由**

Overseas internships as a motivator for learning and using English for EFL college students

(The 10th Asia TEFL International Conference, 2012. 10, The 10th Asia TEFOL International Conference Booklet, pp. 245)

..... **Mayu Kashimura**

創造性を育む哲学教育の基礎

(ラウンドテーブル「子どもとともに哲学を」教育哲学会第 55 回大会, 於早稲田大学, 2012. 9.) **村瀬智之**

小中学校での哲学対話教育の成果

(哲学教育ワークショップ「小中学校における哲学教育と教員養成」の提題発表の一つ, 日本哲学会第 71 回大会, 於大阪大学, 2012. 5)

..... **河野哲也**, 土屋陽介, **村瀬智之**

相互評価の可能性

(ワークショップ「対話型哲学教育の効果測定と評価」, 応用哲学会第四回年次研究大会, 於千葉大学, 2012. 4)

..... **村瀬智之**

機械工学科

シリコーンゴムを利用した CFRP 成形実験

- (『平成 24 年度塑性加工春季講演会迂遠論文集子』 2012. 6, pp. 383-384) **木村南**
- Web 技術情報から見た CFRTP 成形加工技術調査
(『平成 24 年度塑性加工春季講演会迂遠論文集子』 2012. 6, pp. 385-386) **木村南**
- 分解で学ぶ機能性材料
(『平成 24 年度塑性加工春季講演会迂遠論文集子』 2012. 6, pp. 387-388) **木村南**
- CFRP 製スマートフォン筐体の試作
(『マイクロメカトロニクス学術講演会論文集』 2012. 9, pp. 1-2) **木村南**
- CFRP 製チェーン sprocket の試作と実走評価
(『日本機械学会シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス講演論文集』 2012. 11, pp. 144-149)
. **木村南**
- ゴムチューブ加圧によるカート用 CFRP サンドイッチ構造パイプの試作
(『第 63 回塑性加工連合講演会講演論文集』 2012. 11, pp. 275-276) **木村南**, 横関拓真
- 短繊維／連続繊維を組合せた CFRP 製 sprocket の試作
(『第 63 回塑性加工連合講演会講演論文集』 2012. 11, pp. 277-278) **木村南**, 川名拳豊
- 炭素繊維強化プラスチック成形における繊維 / 樹脂界面の観察
(『第 63 回塑性加工連合講演会講演論文集』 2012. 11, pp. 279-280) **木村南**, 亀山耕平
- Transcutaneous vein imaging and venepuncture system for blood test
(RRiME-Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-state Science, 222nd ECS meeting, 2012.10, Honolulu, PRiME2012 meeting abstract CD-ROM, #3561)
. **Hirokazu Saito**, Syuhei Yamamoto, Hiroyuki Takagi
- 採血支援のための静脈検出・穿刺システムに関する研究
(ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会, 2013. 3, 東京, ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会予稿集, 36)
. 高木寛之, 香川亮太, 細川聖, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, **齊藤浩一**
- 福祉車両用電動シートの動作制御に関する研究
(ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会, 2013. 3, 東京, ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会予稿集, 113)
. 高田翔丸, **多羅尾進**, **齊藤浩一**
- ハプティック技術を応用した磁気制御型採血シミュレータの試作
(ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会, 2013. 3, 東京, ライフサポート学会 第 22 回フロンティア講演会予稿集, 119)
. 細川聖, 高木寛之, **多羅尾進**, **齊藤浩一**
- 採血支援のための静脈検出・穿刺システム
(次世代センサ協議会 第二回次世代センサ研究発表会, 2012. 10, 東京, 第二回次世代センサ研究発表会講演予稿集, 5)
. 高木寛之, 細川聖, **齊藤浩一**
- 採血支援システムの針制御機構に関する研究
(生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012 (ABML2012), 2012. 11, 名古屋, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2011 講演要旨集, 58 5 (CD-ROM 2GS2-5-6))
. 高木寛之, 香川亮太, 細川聖, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, **齊藤浩一**
- 近赤外線を用いた採血支援のための静脈検出方法に関する基礎的検討
(第 51 回日本生体医工学会大会, 2012. 5, 福岡, 生体医工学 50 suppl. 1, 221 (03-12-5))
. 高木寛之, 香川亮太, 佐藤政哉, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, **齊藤浩一**
- 無痛採血針の加工のための冷凍チャックに関する研究
(第 51 回日本生体医工学会大会, 2012. 5, 福岡, 生体医工学 50 suppl. 1, 221 (03-12-4))
. 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, **角田陽**, **齊藤浩一**
- 微小領域におけるトライボロジー特性
(日本機械学会年次大会, 2012. 9, S115023) **福田勝己**, 小林光男, 鈴木健司, 藺牟田桂, 繁山航
- ねじ締結体における荷重分布 (のこ歯ねじ山の場合)
(日本設計工学会 2012 年度秋季大会研究発表講演会, 2012. 9, pp. 214-217)
. 齊藤久, 小林光男, 後藤芳樹, 久保田義弘, **福田勝己**, 鈴木健司
- 高圧設備における圧力円筒ねじ端の荷重分布
(日本設計工学会 2012 年度秋季大会研究発表講演会, 2012. 9, pp. 120-123)
. 芝崎達朗, 萩谷佳大, 小林光男, 何建梅, 後藤芳樹, **福田勝己**
- 圧力円筒ねじ端の荷重分布 (テーパねじと平行ねじの比較)
(日本設計工学会 2012 年度秋季大会研究発表講演会, 2012. 9, pp. 142-143),
. 萩谷佳大, 芝崎達朗, 小林光男, 何建梅, 後藤芳樹, **福田勝己**
- Image Reconstruction of Defects 100mm deep within SN Sample using Inverse Problem Solving
(2012 IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2012. 10, pp. 1726-1729)
. Yoshihiro Nishimura, Takayuki Suzuki, **Katsumi Fukuda**, Mugito Ishii, Naoya Saito
- ねじ締結体の強度に及ぼす衝撃荷重の追加軸力 (非調質ボルトの場合)
(第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会, 2012. 10, pp. 225-226)

-小林光男, **福田勝己**, 櫻庭健一郎, 白木尚人, 後藤芳樹
- 微小領域における摩擦特性 (第4報)**
(第56回日本学術会議材料工学連合講演会, 2012.10, pp.357-358)
.....**福田勝己**, 小林光男, 鈴木健司, 藺牟田桂, 繁山航
- ねじ締結体の荷重分布に及ぼすナット高さの影響 (解析と実験の比較)**
(日本機械学会山梨講演会 2012, 2012.10, pp.218-219)
.....斉藤久, 小林光男, 何建梅, 後藤芳樹, **福田勝己**, 鈴木健司
- 高圧設備における圧力円筒ねじ端の荷重分布 (続報)**
(日本機械学会山梨講演会 2012, 2012.10, pp.214-215)
.....芝崎達朗, 萩谷佳大, 小林光男, 何建梅, 後藤芳樹, **福田勝己**
- 圧力円筒ねじ端の荷重分布 (テーパねじ構造における実験及び解析)**
(日本機械学会山梨講演会 2012, 2012.10, pp.228-229) 萩谷佳大, 吉田淳一, 芝崎達朗, 小林光男, **福田勝己**
- のこ歯ねじのかみ合いにおける荷重分布の解析**
(日本機械学会北陸信越支部第50期総会講演会, 2013.3, No.1015) 斉藤久, 小林光男, 後藤芳樹, **福田勝己**
- 圧力円筒テーパねじ端の荷重分布による設計への応用**
(日本機械学会北陸信越支部第50期総会講演会, 2013.3, No.1017) 萩谷佳大, 小林光男, 後藤芳樹, **福田勝己**
- ねじの締付けについて**
(日本機械学会北陸信越支部第50期総会講演会, 2013.3, No.1018)
.....小林光男, 吉本拓郎, 生野雅也, 斉藤久, **福田勝己**
- フラーレン薄膜の機械的特性 (第2報)**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.207-208) **福田勝己**, 小林光男, 尾上順, 梅宮涼
- ナノインデンテーション法による薄膜のヤング率測定評価**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.217-218) **福田勝己**, 小林光男, 藺牟田桂, 中山和樹
- 波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの構築 (第3報)**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.289-290)
.....**福田勝己**, 西村良弘, 鈴木隆之, 石井麦人, 齋藤直也
- 擬似骨材料のトライボロジー特性**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.315-316) **福田勝己**, 小林光男, 藺牟田桂, 茂木創
- 微小領域におけるトライボロジー特性 (第2報)**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3), PP.323-324,
.....**福田勝己**, 小林光男, 鈴木健司, 藺牟田桂, 繁山航
- Ultrasonic Vibration Stage for Microbes Alignment**
(Proceedings of the 5th International Conference on Positioning Technology (ICPT2012), 2012, pp.81-84),
..... T.Tateno, **Akira Kakuta**, S.Tokudome, K.Okui
- ひずみ及びひずみ速度に対する培養神経細胞 PC12 の衝撃耐性評価**
(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2012, CD-ROM) 馬橋洋人, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**
- 衝撃圧が内皮機能障害における透過性変化へ及ぼす影響**
(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2012, CD-ROM) 赤沼賢, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**
- 堆積薄膜面の機械的特性評価**
(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2012, CD-ROM) 関根優志, **角田陽**
- 異物検査のための振動を利用した粉体の操作**
(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2012, CD-ROM) 奥井公太郎, **角田陽**, 舘野寿丈
- 微細形状による PC12 の樹状突起伸長方向制御**
(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2012, CD-ROM) 舟木勇矢, **角田陽**, 青村茂, 中楯浩康
- 神経突起の伸長方向に対する衝撃ひずみ損傷評価**
(日本機械学会バイオフロンティア講演会講演論文集, 2012, pp.11-12)
.....金子由磨, 福村洋平, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**
- 伸長方向に沿ったひずみによる軸索損傷評価**
(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2013, pp.21-22)
.....福村洋平, 金子由磨, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**
- 衝撃圧力の振幅及び持続時間が血管内皮透過性に与える影響**
(日本機械学会バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2013, pp.23-24) 犬塚功士, 中楯浩康, 青村茂, **角田陽**
- 異物検査のための振動を利用した粉体の操作 (第2報)**
(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2013, CD-ROM) 徳留昌平, **角田陽**, 舘野寿丈
- 異方性エッチングによる規則的マイクロテクスチャ面の創成 (第2報)**
(精密工学会春季大会学術講演論文集, 2013, CD-ROM) 市橋健吾, **角田陽**
- 光合成燃料電池の性能向上に関する研究**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集, 2013, pp.333-334) **角田陽**, 宿谷篤志, 舘野寿丈
- 微生物燃料電池の長期発電のための超音波による電極振動に関する研究**
(日本機械学会関東支部第19期総会講演会論文集, 2013, pp.335-336) 舘野寿丈, **角田陽**, 高橋潤一

呼吸・吸気のツインピストンを用いた間欠振動流による生体外換気実験

(日本機械学会第25回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2013.1, pp.611-612)

.....内田敦士, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

円周方向溝付管内における間欠振動流の可視化と流れ解析

(日本機械学会第25回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2013.1, pp.613-614)

.....高島綾太, 清水昭博, 清水優史, 菅原路子

各種荷重下における歯付軸締結要素の力学特性評価

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.189-190)

.....大塚仁, 志村穰, 峯尾一幸, 平間隆之, 黒崎茂

曲げモーメントを受ける各種重ね合わせ接着継手の強度特性

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.195-196)

.....志村穰, 佐藤直季, 黒崎茂, 宮川睦巳

ピエゾフィルムを用いた欠陥検出に関する研究

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.287-288)

.....高松歩未, 有田克也, 西村大希, 黒崎茂, 志村穰

ピエゾフィルムを用いた組み合わせ荷重下における静ひずみ測定

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.295-296)

.....有田克也, 黒崎茂, 志村穰

各種耐震補強金物部材の力学特性および接合性能評価

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会, 2013.3, pp.297-298)

.....佐藤善輝, 志村穰, 峯尾一幸, 平間隆之, 鈴木拓雄

各種耐震補強金物部材の力学特性および接合性能評価

(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012.12, pp.80-81)

.....佐藤善輝, 志村穰

ピエゾフィルムを用いた欠陥検出に関する研究

(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012.12, pp.94-95)

.....高松歩未, 志村穰

ピエゾフィルムを用いたひずみ分布測定法—フィルム接触子電極形状の開発—

(山梨講演会2012, 2012.10, pp.190-191)

.....西村大希, 黒崎茂, 志村穰

ピエゾフィルムを用いた組み合わせ荷重下における静ひずみ測定

(山梨講演会2012, 2012.10, pp.192-193)

.....有田克也, 黒崎茂, 志村穰

ねじりモーメントを受ける歯付軸締結要素の力学特性の検討

(山梨講演会2012, 2012.10, pp.208-209)

.....大塚仁, 志村穰, 黒崎茂, 峯尾一幸, 平間隆之

多層偏心円形介在物が存在する媒体に各種面外荷重が作用する問題の解析

(日本機械学会 M&M2012 カンファレンス, 2012.9, CD-ROM (No.12-5 GS47))

.....宮川睦巳, 鈴木拓雄, 田宮高信, 志村穰

接合部に波型形状およびスカーフ角度を有する突き合わせ接着継手の引張強度特性

(日本機械学会2012年度年次大会, 2012.9, DVD-ROM (No.12-1 J045032))

.....志村穰, 川瀬遥平, 黒崎茂, 宮川睦巳

精密位置決め用複合板ばね機構について

(2012年度マイクロメカトロニクス学術講演会, 2012.9, pp.31-34)

.....志村穰, 小堀敏男, 白田孝, 吉村靖夫

微視組織の異方性を考慮した弾性体のFEM解析

(第31回数理科学講演会, 2012.8, pp.51-52)

.....上原真大, 鈴木拓雄, 田宮高信, 宮川睦巳, 志村穰

応力勾配が応力解放法に及ぼす影響に関する研究

(第31回数理科学講演会, 2012.8, pp.53-54)

.....山口康介, 鈴木拓雄, 田宮高信, 宮川睦巳, 志村穰

ピエゾフィルムを用いたひずみ分布測定法(フィルム接触子電極形状の開発)

(日本非破壊検査協会平成24年度春季講演大会, 2012.5, pp.163-164)

.....西村大希, 黒崎茂, 志村穰

ピエゾフィルムを用いた組み合わせ荷重下における静ひずみ測定

(日本非破壊検査協会平成24年度春季講演大会, 2012.5, pp.165-166)

.....有田克也, 黒崎茂, 志村穰

接合部に波型形状およびスカーフ角度を有する突き合わせ接着継手の強度特性に関する研究

(日本設計工学会2012年度春季大会研究発表講演会, 2012.5, pp.21-22)

.....志村穰, 川瀬遥平, 黒崎茂, 宮川睦巳

各種荷重下における歯付軸締結要素の力学特性に関する研究

(日本設計工学会2012年度春季大会研究発表講演会, 2012.5, pp.25-26)

.....大塚仁, 志村穰, 黒崎茂, 峯尾一幸, 平間隆之

Development of Training Space with Visual Instruction for Crutch Walk

(2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint Int. Conf. on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012),

2012.6, pp.23-25)

..... Naoaki TSUDA, Kota TOMINAGA, Susumu TARAO, Yoshihiko NOMURA, Norihiko KATO

Simplified measurement and visualization tool for crutch walk training

(Proceedings of 2012 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2012), 2012.7, pp.910-

915)

..... Naoaki TSUDA, Yuya SAKAI, Kosuke FUJI, Susumu TARAO, Norihiko KATO, Yoshihiko NOMURA

人搭乗型自律移動ロボットにおける基本制御システムの試作

(日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'12講演論文集, 2012.5, 2A2-U10)

.....青木彬, 大森実, 佐々木理, 多羅尾進

重心移動機構を備えたツインロータ式小型ヘリコプタの試作(2012年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集, 2012.9, pp.3-4) 及川峻尚, **多羅尾進****サービスロボットの实用化および新たな実践的エンジニア育成に向けた「社会実装インターン」の試行**

(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発表概要, 2012.8.)

. **多羅尾進, 浅野敬一, 青木宏之, 北越大輔, 齊藤浩一****サービスロボットの实用化および新たな実践的エンジニア育成に向けた「社会実装インターン」の取り組み**

(日本ロボット学会第30回記念学術講演会予稿集, 2012.9, RSJ2012AC4L2-5)

. **多羅尾進, 浅野敬一, 青木宏之, 北越大輔, 齊藤浩一, 野口健太郎****3次元測域を念頭に置いた環境地図の作成と自己位置推定の試み**(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, pp.76-77) 山川史, **多羅尾進****重心移動機構を備えたツインロータ式小型ヘリコプタに関する研究**(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, pp.86-87) 及川峻尚, **多羅尾進****全6自由度自走型モーションベース2号機の試作**(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, pp.88-89) 清野大樹, **多羅尾進****人搭乗型自律走行ロボットの試作と走行実験**

(第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 2012.12, pp.2651-2654)

. 青木彬, 佐々木理, 山川史, **多羅尾進****屋外自立走行ロボット高尾2号の開発とつくばチャレンジ2012への参加**

(つくばチャレンジ2012シンポジウム参加レポート集, 2013.1, pp.95-98)

. **多羅尾進, 青木彬, 佐々木理, 山川史, コスキマー ニコ****3次元測域による自律移動ロボット用3Dマップの作成と自己位置の推定**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.335-336)

. 山川史, 青木彬, 佐々木理, **多羅尾進****全6自由度自走型モーションベースを用いた力覚呈示に関する研究**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.353-354)

. 清野大樹, **多羅尾進****重心移動機構を備えたツインロータ式小型ヘリコプタ試作と飛行実験**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.365-366)

. 及川峻尚, **多羅尾進****ウェイポイント巡回型自律移動ロボットの目標地点に接近する一手法**

(日本機械学会関東支部第19期総会講演会講演論文集, 2013.3, pp.129-130)

. 佐々木理, 青木彬, 山川史, **多羅尾進****灯油及びエタノールを代替燃料とした内燃機関の性能特性**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.495-496)

. 青柳雄大, **筒井健太郎****LPGカセットを燃料とした小型バイクの試作**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.507-508)

. 吉村賢人, **筒井健太郎****作動流体の可視化を目的とした教材用スターリングエンジンの製作**

(日本機械学会関東学生会第52回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013.3, pp.505-506)

. 福田昌了, **筒井健太郎****Lcc研究会事例研究調査報告公的耐用寿命の延命化について—その3 耐用寿命の評価モデル**(日本信頼性学会 第25回秋季信頼性シンポジウム, 2012.11) **喜多和, 夏目武****Lcc研究会事例研究調査報告公的耐用寿命の延命化について—その2 耐用寿命と安全寿命**(日本信頼性学会 第20回春季信頼性シンポジウム, 2012.6) **喜多和, 夏目武****きさげ面の坪当たり計測のための簡易型画像計測システムの開発**

(精密工学会大会学術講演会講演論文集 Vol.2013 春季 (CD-ROM), 2012.3, Page.ROMBUNNO.A37)

. **堤博貴, 福田勝己, 山岸敬登, 磯部浩己****紙飛行機作りで学ぶ小学生向け工学教育の実践**

(日本産業技術教育学会 第55回 全国大会講演要旨集, 2012.9, pp.124)

. **堤博貴, 新國広幸, 北越大輔, 安田利貴, 三谷知世****スクレーピング加工における加工力測定**(マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集 Vol.2012, 2012.9, pp.41-42) 藤本舜太郎, **堤博貴****負荷機構を有する水晶振動子式力センサの基礎的研究**(マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集 Vol.2012, 2012.9, pp.39-40) 福山聖也, **堤博貴****インチワーム式ピエゾステージの開発**(マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集 Vol.2012, 2012.9, pp.35-36) 村井優, **堤博貴****油圧式変位拡大機構を用いた位置決め装置の研究**(マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集 Vol.2012, 2012.9, pp.27-28) 福山拓也, **堤博貴****圧電素子によるX-Z駆動機構を用いたインチワーム式ピエゾステージの開発**

- (精密工学会 2013 年度春季大会 第 20 回 学生会員卒業研究発表講演会高専論文集 2013.3) 村井優, 堤博貴
 負荷機構を有する水晶振動子式力センサの特性評価
 (精密工学会 2013 年度春季大会 第 20 回 学生会員卒業研究発表講演会高専論文集 2013.3) 福山聖也, 堤博貴
 油圧式変位拡大機構を用いた位置決め装置の研究
 (精密工学会 2013 年度春季大会 第 20 回 学生会員卒業研究発表講演会高専論文集 2013.3) 福山拓也, 堤博貴
 自動きさげ盤の開発
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, pp.180-181) 藤本舜太郎, 堤博貴
 インチワーム (尺取虫) 式精密位置決めステージの開発
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, pp.182-183) 村井優, 堤博貴
 学科を越えた全新生対象の機械系ものづくり実習としての自動車模型製作と滑走コンテスト
 (平成 24 年度全国高専教育フォーラム発表概要集, 2012.8, pp.35)
 清水昭博, 角田陽, 降矢司, 鈴木塔二, 藤野宏, 中村源一郎, 福田勝己, 志村穰, 堤博貴
 廃棄自転車を用いた, 人が搭乗可能な電池駆動三輪車に関する研究
 (第 24 回日本産業技術教育学会関東支部大会講演要旨集, 2012.11, pp.49-50) 高橋和輝, 林文晴, 高橋良彦
 簡単に使用できる時間依存型非弾性構成モデルの提案
 (第 24 回日本産業技術教育学会関東支部大会講演要旨集, 2012.11, pp.53-54) 林文晴, 海老原理徳
 歯車に生じる応力の可視化教材の提案
 (第 24 回日本産業技術教育学会関東支部大会講演要旨集, 2012.11, pp.55-56) 林文晴, 海老原理徳
 粘塑性・クリープ分離モデルの陰的時間積分
 (日本機械学会関東支部第 19 期総会講演会講演論文集, 2013.3, pp.263-264)
 林文晴, 海老原理徳, 渡邊裕彦, 浅井竜彦

電気工学科

『電磁波工学』講義要目の調査研究 - MIT 等他大学を比較して -

- (平成 24 年度高専教育フォーラム 教育研究活動発表概要集, 2012.8, pp.327-328) 伊藤彰
 FILT 法による平面回折格子からの電磁波散乱過渡応答
 (電気学会全国大会 講演論文集, 2013.3, 第一分冊 p.31) 伊藤彰
 多地域連系系統における風力発電連系可能量の評価モデルの検討
 (電気学会東京支部連合研究会学生研究発表会, 2012.9, pp.3-9) 安部清貴, 土井淳 (指導教員)
 State Feedback Gain Tuning for Inverted Pendulum in Frequency Domain Using One-Shot Transient Response Data
 (ECTI-CON 2012, 2012.5, No.1071) Yoshihiro Matsui, Tomohiko Kimura, Kazushi Nakano
 Tuning of PID Controller Added to State Feedback Control for Unstable Single-Input Multivariable Plants
 (SICE Annual Conference 2012, 2012.9, pp.2222-2225) Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano
 Direct Multivariable PI Controller Tuning from Closed-Loop Response Data
 (AROB 18th '13, 2013.1, pp.142-145) Yoshihiro Matsui, Hideki Ayano, Kazushi Nakano
 閉ループ昇温データを用いた半導体製造装置の周波数応答推定
 (『SICE 制御部門第 3 回プラントモデリング・第 12 回適応学習制御合同シンポジウム資料』2012.4, pp.93-96)
 松井義弘, 木村知彦, 中野和司, 田中雅人
 閉ループ過渡応答データを用いた不安定系のための PID 調整
 (『平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会』2012.9, pp.213-218)
 松井義弘, 赤松駿一, 木村知彦, 中野和司
 FRIT 法の変数 PI 制御器調整への応用
 (『第 55 回自動制御連合講演会』2012.11, pp.791-796) 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司
 模型用 DC モータを用いた PI 制御学習教材の開発
 (『第 55 回自動制御連合講演会』2012.11, pp.1035-1036) 松井義弘, 綾野秀樹
 閉ループ過渡応答データを用いた共振機械系のための制御器調整
 (『電気学会制御研究会資料 CT-12-041』2012.12, pp.41-46) 松井義弘, 綾野秀樹, 中野和司
 張力・速度制御装置へのデータ駆動型制御器調整法の応用
 (『計測自動制御学会第 13 回制御部門大会』2013.3, PS-013) 赤松駿一, 松井義弘
 アクロボックスの運動制御
 (『計測自動制御学会第 13 回制御部門大会』2013.3, PS-018) 松本成行, 松井義弘
 対地コンデンサの位置と漏えい電流低減法の効果の関係
 (平成 24 年度電気学会産業応用部門大会, 2012.8) 綾野秀樹, 佐藤優貴, 松井義弘
 Evaluation of THD and Switching Loss for a New Single-phase 7-level Inverter,
 (ICEMS2012 (International Conference on Electric Machines and Systems), 2012.10)
 Hideki Ayano, Yoshihiro Matsui
 回生用補助 PWM 整流器に関する検討
 (平成 25 年度電気学会全国大会, 2013.3) 綾野秀樹, 松井義弘
 反応性スパッタリング法による Al₂O₃:H 薄膜の作製と評価
 (応用物理学会春季学術講演会, 2013.3, 29a-A4-5) 伊藤浩, 川又由雄, 大山昌憲

低学年へのマイコン実習の導入—マイコンに関する体験型一貫教育に向けて—

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム 2012. 8) **木村知彦, 新國広幸, 佐川正人, 羽鳥広範, 松岡敏**

東京高専における認証 VLAN の導入

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012, 8, pp. 53-536) **館泉雄治, 溝口将吾**

Investigation of Gaze Direction and Tooth-Click Sound as a Touch-Free Human Interface for Smartphones

(Seventh International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2012 Shanghai, China), 2012. 11) **Yuji Tateizumi, Ryutaro Okada**

アーク電圧電流特性とその測定方法—開離アークの電圧電流計算に応用する立場から—

(電子情報通信学会 機構デバイス研究会, 2012. 12, 電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス, pp. 1-6) **須原啓一**

パラジウム電極間アークの電圧電流特性測定—開離電極を使用する方法による—

(電子情報通信学会 機構デバイス研究会, 2012. 12, 電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス, pp. 21-25) **鈴木貴和, 須原啓一**

タングステン電極間アークの電圧電流特性と消滅特性の測定

(電子情報通信学会 機構デバイス研究会, 2013. 1, 電子情報通信学会技術研究報告 機構デバイス, pp. 21-26) **三島悠亮, 須原啓一**

電子工学科

学生の主体的学びを引き出すマイコンものづくり教育

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究発表概要集, 2012. 8, pp. 49-50) **青木宏之, 松岡敏**

Advanced Ridge Flux Analysis for Fingerprint Minutiae Detection

(Proceedings of IAPR 21st International Conference on Pattern Recognition, 2012. 6, pp. 1225-1228) **Tomohiko Ohtsuka**

相模原市教育委員会と連携した中学校理科教員研修の試み

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究活動報告会概要集, 2012. 8, pp. 403-404) **大塚友彦, 前段眞治, 尾沼猛儀, 玉田耕治, 永吉浩, 一戸隆久, 西村亮, 石井宏幸, 庄司良, 中川修, 津田深, 雑賀章浩, 新田武父**

拡張流線解析法による指紋特徴点検出

(第 15 回画像の認識・理解シンポジウム論文集, 2012. 8, IS2-40) **井関正也, 大塚友彦**

境界点探索法による虹彩領域検出

(第 15 回画像の認識・理解シンポジウム論文集, 2012. 8, IS3-47) **大貫量孝, 大塚友彦**

FPGA の有効性を実感させる比較教材の開発

(日本工学会協会第 60 回年次大会・工学教育研究講演会論文集, 2012. 8, pp. 82-83) **小池清之, 谷津智之**

国立科学博物館夏休みサイエンススクエアにおける傘ラジオ教室出展

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012. 8, p. 157) **小池清之**

東京高専電子工学分野における新入生向け専門導入教育の授業改善

(平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究発表概要集, P0-A05, 2012. 8, pp. 297-298) **一戸隆久, 大塚友彦, 加藤格, 新田武父**

RF マグネトロンスパッタ法を用いた銅アルミニウム酸化物系薄膜の作製

(24th '12 SAS インテリジェントシンポジウム, H-9, 2012. 11) **近藤朱美, 野村文香, 福田隆太, 藤元淳, 一戸隆久, 正木進, 小栗和也**

金属/酸化物多層膜の形成と評価

(第 60 回応用物理学学会春季学術講演会, 28p-F2-7, 2013. 3, p. 06-163 (1 頁分)) **後藤佑太, 羽場洋輔, 一戸隆久**

プラズマアシスト蒸着法を用いたモリブデン酸化物薄膜の形成

(第 60 回応用物理学学会春季学術講演会, 30a-F2-4, 2013. 3, p. 06-209 (1 頁分)) **多田昂介, 斉藤由希恵, 一戸隆久**

ポリシラザンを用いた結晶シリコン表面パッシベーション

(応用物理学学会 73 回応用物理学学会学術講演会 2012. 9) **榊原裕章, 永吉浩**

改良型光微生物太陽電池セル

(73 回応用物理学学会学術講演会 2012. 9) **新崎晃大, 永吉浩**

複数センサ同時測定機能を持つ根の自動測定システム開発

(第 37 回根の研究会 2012. 11) **永吉浩, 仁木輝緒, 高橋三男**

改良型光合成微生物太陽電池セル

(電気化学会創立 80 周年記念大会 2013. 3) **新崎晃大, 永吉浩**

ポリシラザンを用いた結晶シリコン表面パッシベーションの研究

(電気化学会創立 80 周年記念大会 2013. 3) **榊原裕章, 永吉浩**

単結晶 Si ナノワイヤの形成と評価

(電気化学会創立 80 周年記念大会 2013. 3) **青柳佑海人, 永吉浩**

金属ナノ粒子による光増感太陽電池の効率向上に関する研究

- (電気化学会創立 80 周年記念大会 2013. 3) 住村あさひ, **永吉浩**
半導体に親しむ実験授業
 (24 年度全国高専教育フォーラム 2012. 8) **永吉浩**, 小池清之
ポリシラザンを用いた結晶シリコン表面パッシベーションに関する研究
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2012. 12, pp. 166-167) 榊原裕章, **永吉浩**
光合成微生物太陽電池の研究
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2012. 12, pp. 164-165) 新崎晃大, **永吉浩**
色素増感太陽電池における表面プラズモン効果の応用と高効率化に関する研究
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2012. 12, pp. 190-191) 住村あさひ, **永吉浩**
Si ナノ構造の形成と評価
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2012. 12, pp. 192-193) 青柳佑海人, **永吉浩**
Progress in Nanostructure Formation on Silicon Surfaces Using Pure Hydrogen Radical Etching Reaction
 (Workshop on Advanced Concepts in Silicon Based Photovoltaics, 2012.6) **Hiroshi Nagayoshi**
Power Conditioner with Variable Switching Frequency Control for Thermoelectric Generator Systems
 (31th International Conference on Thermoelectrics 2012.7)
 **Hiroshi Nagayoshi**, Hiroshi.Maiwa, Takenobu.Kajikawa
Surface Texturing and Nano Structure Formation on Silicon Using Pure Hydrogen Radical Etching Reaction
 (Proceeding on 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 2012.pp. 393-396)
 **Hiroshi Nagayoshi**, Spyros Diplas, John Charies Walmsley, Niels Andersen, Arne Karlsson, Joachim
 Seland Graff and Alexander Ulyashin
Design of micro channel for controlling behavior of cells in vitro
 (Proc.16th World Multi-Conference on Systemics Cybernetics and Informatics, vol.2, pp.103-108, 2012)
 F.Saito, S.Hashimoto, T.Ooshima, K.Oya, H.Fujie, **Toshitaka Yasuda**
細胞移植用肝実質細胞が受けるせん断流による損傷
 (日本機械学会 第 25 回バイオエンジニアリング講演会, p.0711, 2012)
 隅田竜秀, 小原弘道, 許懷哲, **安田利貴**, 松野直徒, 絵野沢伸, 水沼博
- 情報工学科**
猫・カラス除けロボットの開発
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012. 12, pp. 28-29) . . . 齋藤和宏, **小坂敏文**, **野口健太郎**, **吉本定伸**
東京高専におけるくくり相当入試アンケート
 (平成 24 年度全国高専教育フォーラム発表概要集, 2012. 8, pp. 391-392) . . . **小坂敏文**, **三谷知世**, **津田潔**, **大塚友彦**
部分的正規分布に基づくパタン類別法による入試採点誤り検出の検討
 (信学技報データ工学研究会, 2012. 8, DE2012-17, pp. 7-12) **鈴木雅人**, **北越大輔**
採点ミス誤り自動検出による入試採点支援システムの開発
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会予稿集, 2012. 12, pp. 22-23)
 市川詠一, **鈴木雅人**, **北越大輔**, **西村亮**
歪度最大基準に基づく特徴選別法による低品質手書き文字認識手法の検討
 (信学技報パターン・メディア理解研究会, 2013. 1, PRMU2012-110, pp. 251-256) . . . **鈴木雅人**, **北越大輔**, 松本章代
JohnsonSU 分布を用いた異字種パタン検出に関する一検討
 (情報処理学会第 75 回全国大会予稿集, 2013. 3, 5C-1) **鈴木雅人**, **北越大輔**, 松本章代
JohnsonSU 分布を用いた手書き文字認識用識別関数の改良
 (電子情報通信学会 2013 年総合大会予稿集, 2013. 3, D-12-18) **鈴木雅人**, **北越大輔**, 松本章代
ヘテロジニアスマルチホップロボット制御無線通信の一検討
 (2012 年電子情報通信学会ソサイエティ大会 (通信) 講演論文集, 2012. 9, B-5-40, p. 404) **田中晶**
ヘテロジニアスマルチホップロボット群制御無線通信の研究ー身近な素材によるマルチホップ通信の応用ー
 (電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会技術研究報告, AN2012-74, 2013. 3, pp. 137-142) **田中晶**
小学生に向けたインターネット講座の考案と実施
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012. 12, pp. 26-27)
 門脇雄治, 小林正崇, 野崎博樹, 安藤岬, 木村鉄哉, 林美友梨, **田中晶**, **三谷知世**
完全相補系列を用いた電子透かし方式の音声信号への応用ー時間領域における埋め込みー
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012. 12, pp. 146-147)
 芦名遥風, **小嶋徹也**, **土居信教**, **田中晶**
完全相補系列を用いたステガノグラフィ方式の音声信号への応用
 (第 4 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012. 12, pp. 152-153)
 岡安滉平, **小嶋徹也**, **土居信教**, **田中晶**
可視光通信を利用した省電力照明システムの開発
 (『情報処理学会第 75 回全国大会』, 2013. 3, pp. 4-703-704)
 田畑愛実, 大川水緒, 赤松駿一, Tan Tun Jie, **小嶋徹也**, **松林勝志**
Power Saving Lighting System with Visible Light Communication

- (『The 2nd International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2012)』, 2012.11, pp.497-500)
 ・ ・ ・ ・ ・ Mio OKAWA, Megumi TABATA, Shunichi AKAMATSU, Tun Jie TAN, **Tetsuya KOJIMA**, **Katsushi MATSUBAYASHI**
マイスター・学生教育士認定による学習満足度の向上 (東京高専) - 伸びこぼし防止による全体のレベルアップと高専プレゼンスの向上 -
 (『九州沖縄地区国立高専教員研究集会講演資料』, 2012.11, pp.1-9) ・ ・ ・ ・ ・ **松林勝志**
人事交流について
 (『平成24年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表概要集』, 2012.8, pp.7-8) ・ ・ ・ ・ ・ **松林勝志**
組込みシステム開発マイスター育成プロジェクトを通じた人材育成
 (『平成24年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表概要集』, 2012.8, pp.7-8)
 ・ ・ ・ ・ ・ **北越大輔, 野口健太郎, 鈴木雅人, 吉本定伸, 小坂敏文, 土居信数, 田中晶, 小嶋徹也, 平尾友一, 西村亮,**
松林勝志
- ENGLISH VOCABULARY LEARNING SUPPORT SYSTEM BASED ON STOCHASTIC WORD PROFICIENCY MODEL ESTIMATING ELUSIVE WORDS FOR STUDENTS**
 (Proceedings of the Second International Conference on Digital Enterprise and Information Systems, 2013.3, pp.12-20)
 ・ ・ ・ ・ ・ Daisuke Kitajima, **Daisuke Kitakoshi, Masato Suzuki**
- 介護予防運動における強化学習ロボットの活用に関する検討**
 (生命ソフトウェアシンポジウム2012 予稿集, 2012.11, G4-1) ・ ・ ・ ・ ・ 岡野卓矢, **北越大輔, 鈴木雅人**
苦手単語を推測する単語特徴量-習得モデルを用いた英単語学習法
 (生命ソフトウェアシンポジウム2012 予稿集, 2012.11, G4-2) ・ ・ ・ ・ ・ 北島大資, **北越大輔, 鈴木雅人**
- On Information Hiding Technologies Based on Complete Complementary Codes**
 (電子情報通信学会2012年度第1回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2012.7, vol.112, no.129, pp.17-22)
 ・ ・ ・ ・ ・ **Tetsuya Kojima, Ryusuke Mayuzumi, Naoki Ohtani**
- 2次元相補系列を用いた電子透かしの回転攻撃耐性**
 (電子情報通信学会2012年度第2回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2012.8, vol.112, no.190, pp.17-22)
 ・ ・ ・ ・ ・ 貞末克也, 松元隆博, 鳥井秀幸, **小嶋徹也, 松藤信哉**
- 高専における情報理論教育のかたち**
 (平成24年度全国高専教育フォーラム, 2012.8) ・ ・ ・ ・ ・ **小嶋徹也**
- 東京高専における海外インターンシップ事業の報告**
 (平成24年度全国高専教育フォーラム, 2012.8) ・ ・ ・ ・ ・ **小嶋徹也, 青木宏之, 竹田恒美, 村井三千男, 鈴木智之**
- An Improvement of Steganography Scheme Based on Complete Complementary Codes**
 (2012 International Symposium on Information Theory and Its Applications, 2012.10, pp.638-642)
 ・ ・ ・ ・ ・ Ryusuke Mayuzumi, **Tetsuya Kojima**
- Private and Blind Digital Fingerprinting Scheme Based upon Complete Complementary Codes**
 (2012 International Symposium on Information Theory and Its Applications, 2012.10, pp.806-810)
 ・ ・ ・ ・ ・ **Tetsuya Kojima, Naoki Ohtani**
- 回転攻撃を考慮した電子透かしの高速化手法**
 (第14回IEEE広島支部学生シンポジウム, 2012.11, B-77, pp.507-508)
 ・ ・ ・ ・ ・ 貞末克也, 松元隆博, 鳥井秀幸, **小嶋徹也, 松藤信哉**
- 完全相補系列を用いた電子透かし方式の防災サイレンへの応用**
 (第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012.12, pp.146-147) ・ ・ ・ 芦名遥風, **小嶋徹也, 土居信数, 田中晶**
- 完全相補系列を用いたステガノグラフィ方式の防災システムへの応用**
 (第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012.12, pp.152-153) ・ ・ ・ 岡安滉平, **小嶋徹也, 土居信数, 田中晶**
- 情報理論の入口で何を教えるか? ~高専における情報理論教育~**
 (電子情報通信学会2012年度ソサイエティ大会 パネルセッション招待講演, 2012.9, AP-1-2) ・ ・ ・ ・ ・ **小嶋徹也**
- 完全相補系列系の情報ハイディングへの応用**
 (山口大学理学部第13回理学部講演会招待講演, 2012.11) ・ ・ ・ ・ ・ **小嶋徹也**
- 物質工学科**
- Thermal and electrical properties of CaC₆ along the ab-plane and c-axis**
 (Carbon 2012 (Krakow) 2012.6) ・ ・ ・ ・ ・ R. Matsumoto, M. Nakajima, **Noboru Akuzawa**
- Thermoelectric properties of graphite intercalation compounds and their Possibility for use as thermoelectric materials**
 (Carbon2012 (Krakow) 2012.6) ・ ・ ・ ・ ・ R. Matsumoto, Y. Okabe, **Noboru Akuzawa**
- 乱層構造炭素へのカリウムインターカレーションとステージング**
 (日本学術振興会炭素材料第117委員会第302回研究会 (東京) 2012.7, 117-302-B-3)
 ・ ・ ・ ・ ・ **阿久沢昇, 玉田耕治, 松本里香, 曾根田靖, 押田京一**
- A unique hydrogen adsorption behavior of potassium-doped turbostratic carbons**
 (7th Int. Conf. Surf. Coatings and Nanostr. Mater. (Prague) 2012.9)
 ・ ・ ・ ・ ・ **Noboru Akuzawa, R. Matsumoto, K. Oshida, Y. Soneda**

Resistance change of carbon film by adsorption of molecules

(7th Int. Conf. Surf. Coatings and Nanostr. Mater. (Prague) 2012.9)

. Noboru Akuzawa, Y. Gotoh, Koji Tamada, T. Takeuchi

カリウム-黒鉛層間化合物の空气中安定化と電子輸送特性

(日本学術振興会炭素材料第117委員会第304回研究会(東京)2012.11, 117-304-B-1)

. 阿久沢昇, 後藤夢実, 大和田夏美, 玉田耕治, 藤重正嗣, 竹内健治, 遠藤守信, 松本里香, 曾根田靖, 竹市力

希薄なカリウムをインターカレーションしたグラファイトフィルムの電子輸送特性

(第39回炭素材料学会年会(長野)2012.11) 後藤夢実, 玉田耕治, 阿久沢昇, 松本里香, 曾根田靖

アルミナ溶融塩電解にともなうカソード黒鉛の電気抵抗率変化

(第39回炭素材料学会年会(長野)2012.11) 栗原すみ香, 玉田耕治, 阿久沢昇, 高見俊宏, 中村順一, 岡本龍也

アルカリ金属-黒鉛層間化合物による水素吸着

(第39回炭素材料学会年会(長野)2012.11)

. タンチャイシン, 阿久沢昇, 玉田耕治, 松本里香, 曾根田靖, 押田京一

層内圧力変動の解析による循環流動層の流動化状態の研究

(第18回高専シンポジウム in 仙台 2013.1, pp.358) 藤原由佳, 石井宏幸

地元中学校との教育連携講座を通じた高専生の人間形成

(平成24年度全国高専教育フォーラム, 2012.8, P0-A22)

. 石井宏幸, 阿久沢昇, 菊地章, 雑賀章浩, 間瀬直子, 佐々由紀子

フッ化水素酸を含まない金属の溶接に伴う変色部位の除去剤の開発

(2012年材料技術研究協会討論会, 2012.12, 2B-02) 松石早矢, 北折典之, 大西則彦

純水の直接電気分解法によるオゾン生成における電極材料の評価

(2012年技術研究協会討論会, 2012.12, 2B-03) 吉岡里紗, 松石早矢, 北折典之

小型オゾン水生成装置の陽極材料の検討

(2012年技術研究協会討論会, 2012.12, 2B-07) 吉岡真由子, 北折典之

ケイ素に不純物を添加した焼結体の作製とその導電率の測定

(2012年技術研究協会討論会, 2012.12, 2B-08) 外崎勇太郎, 松石早矢, 北折典之, 大西則彦

導電性ダイヤモンド電極を用いた小型オゾン水生成装置の開発(7)

(第36回電解技術討論会-ソーダ工業技術討論会, 2012.10, pp.9-12)

. 吉岡真由子, 松石早矢, 北折典之, 平尾和宏, 宇野雅晴, 錦善則

小型弱酸性電解水生成装置の開発

(日本防菌防黴学会第39回年次大会, 2012.9, 12Aa-07) 前田菜花, 北折典之, 関戸広太, 大西則彦

塩化セチルトリメチルアンモニウムによる酸性アゾ染料の抽出機構

(第15回化学工学会学生発表会, 2013.3) 大田杏, 西井靖博, 衣笠巧

ミキサーセトラータを用いたリゾチームの逆ミセル抽出

(第15回化学工学会学生発表会, 2013.3) 高橋浩二郎, 西井靖博, 衣笠巧

A Self-Consistent Iterative Calculation for the two Species of Charged Bosons Related to the Nuclear reaction in Solids

(The 17th International Conference on Cold Fusion, 2012.8, Korea) Ken-ichi TSUCHIYA

The quantum states of the system including two species of charged bosons in ion trap I

(The 13th Meeting of Japan CF Research Society, 2012.12, Nagoya)

. Ken-ichi TSUCHIYA, Soichiro ASAMI, Shinnosuke KIKUCHI

The quantum states of the system including two species of charged bosons in ion trap II

(The 13th Meeting of Japan CF Research Society, 2012.12, Nagoya)

. Shinnosuke KIKUCHI, Soichiro ASAMI, Ken-ichi TSUCHIYA

C₆₀ 含有金ナノ粒子の作製と基礎物性の評価

(第16回液晶化学研究会シンポジウム, 2012.5, P-15 (予稿集P25))

. 吉澤大輔, 西岡彩美, 石川善恵, 楠瀬尚史, 舟橋正浩, 町田茂

高耐熱性金ナノ粒子の粒径増大

(日本化学会第93春季年会講演予稿集DVD-ROM, 2013.3, 2A6-31) 奥村篤, 土戸良高, 山田紘, 都鳥頭司, 町田茂

細胞性粘菌 *Dictyostellium discoideum* を用いた金属バイオアッセイにおけるプロテオーム解析

(化学工学会横浜大会講演要旨集, 2012.8, p141) 栗原康司, 伊藤篤子, 三谷知世

阻害物質共存下における亜ヒ酸およびヒ酸の吸着特性

(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 2012.12, p114) 平敬史, 三谷知世, 柳田友隆, 江耀宗

PTC 水中ヒーターへのカルシウム成分の析出

(第18回高専シンポジウム講演要旨集, 2013.1, A-14) 畠諒英, 三谷知世, 牧野誠二, 安藤磐

生活環境中におけるNO₂曝露に関する研究

(第18回高専シンポジウム講演要旨集, 2013.1, F-09) 栗原康司, 三谷知世

鉄系吸着剤の亜ヒ酸およびヒ酸除去特性

(第18回高専シンポジウム講演要旨集, 2012.12, F-10) 平敬史, 三谷知世, 柳田友隆, 江耀宗

東京高専物質工学科の行った小学生を対象とした講座の紹介

(第18回高専シンポジウム講演要旨集, 2012.12, G-10) 上田恭維, 雑賀章浩, 菊地章, 三谷知世

アワビの陸上人工養殖における汚染物質除去に関する基礎研究

(第15回化学工学会学生発表会研究発表講演要旨集, 2013.3, D02) 上田恭維, **三谷知世**, 平間隆之, 峯尾一幸
競争的阻害物質共存における亜硫酸及びヒ酸の吸着挙動

(第15回化学工学会学生発表会研究発表講演要旨集, 2013.3, D16) 平敬史, **三谷知世**, 柳田友隆, 江耀宗
PTC 水中ヒーター連続稼働時におけるスケール成分析出に関する研究

(第15回化学工学会学生発表会研究発表講演要旨集, 2013.3, E18) 畠諒英, **三谷知世**, 牧野誠二, 安藤磐
Catalytic Hydrogenation of Heteroaromatic Polymers

(「有機金属化学の最前線」講演会招待講演, 札幌アスペンホテル, 2012.11) **Yoko Aoyama**
二枚貝類アカガイ *Anadara (Scapharca) broughtonii* におけるトロポミオシンアイソフォームの解析

(第65回動物学会関東支部大会, 東京工業大学, 2013.3) 足立成美, 藤ノ木正勝, **伊藤篤子**
マガキより検出した *Crassostrea gigas* における新規トロポミオシンアイソフォームについて

(第85回日本生化学会大会, 福岡, 2012.12.) **伊藤篤子**, 吉田薫, 藤ノ木政勝
低学年学生を対象とした「観る」生物学実習の構築

(平成24年度全国高専教育フォーラム, 2012.8) **伊藤篤子**, 城石英伸, 雑賀章浩, 石井宏幸, 庄司良, **三谷知世**
クロマト代替技術としての柿渋めっきの可能性

(第10回全国高専テクノフォーラム, 2012.8, pp.46) **庄司良**, 新井傑也
創造性を育てる PBL (Project Based Learning) 型導入教育

(平成24年度全国高専教育フォーラム, 2012.8, PO_A02)
. **阿久沢昇**, 石井宏幸, 北折典之, 高橋三男, 町田茂, **三谷知世**, 衣笠巧, 土屋賢一, 庄司良, 城石英伸,
中川修, **伊藤篤子**, 山本祥正, 中野雅之

植物の根組織並びに土壌粒子に対する銅イオンとカルシウムイオンおよび水素イオンの競争吸着のモデリング Biotic Ligand Model に
よる吸着等温モデルの応用

(日本土壌肥料学会 2012 年度鳥取大会, 2012.9, pp.11-12) 倉澤祐己, **庄司良**
環境試料等生態毒性試験の簡便化と環境教育用教材開発

(イノベーション・ジャパン 2012 - 大学見本市, 2012.9, pp.27) **庄司良**
NiCA-Donnan Model を用いた生成環境の異なるフミン酸の銅結合挙動の相違

(日本腐食物質学会第28回講演会, 2012.11, pp.39-40) 黒川輝, 沖田尚久, 中西弘貴, **庄司良**
Changes in toxicity of the leachate from the residues by low-temperature pyrolysis of industrial wastes

(SETAC North America 33rd annual meeting, 2012.11, pp.47) N.Ota, **Ryo Shoji**
Effects of humic substances extracted from river sediments and soils on the algal growth inhibition induced by copper ecotoxicity

(SETAC North America 33rd annual meeting, 2012.11, pp.59) H.Kurokawa, H.Nakanishi, N.Okita, **Ryo Shoji**
土壌粒子に対する銅イオンとカルシウムイオン並びに水素イオンの競争吸着のモデリング

(2012 年度日本土壌肥料学会関東支部大会, 2012.12, pp.11) 倉澤祐己, **庄司良**
構造活性相関と生物種間の比較による重金属の生態毒性の解析

(第4回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2012.12, pp.122-123) 島袋将弥, **庄司良**
水生生物に対する金属毒性の pH による相違

(第18回高専シンポジウム in 仙台, 2013.1) 島袋将弥, **庄司良**
重金属を使用する低コスト型燃料電池並びに太陽電池の環境安全性の評価

(第15回化学工学学生発表会, 2013.3, pp.55) 白坂亮, 太田直人, 島袋将弥, **庄司良**
Toxicity of leachates from waste rubber tires and road dusts

(3rd Thailand-Japan Rubber Symposium, 2013.3, pp.138-139)
. Hiroki Kurasawa, Yusuke Takigami, Koichi Asano, **Ryo Shoji**

各種燃料電池並びに微生物燃料電池の環境影響評価
(電気化学会創立80周年記念大会, 2013.3, 1F27) 佐藤侑男, 太田直人, **庄司良**

専攻科生の英語プレゼンテーション力強化への取り組み
(H24 年度全国高専教育フォーラム, 2012.08)
. **城石英伸**, 関根紳太郎, **Gates John Wade**, 庄司良, 町田茂, **三谷知世**

ソリューションプラズマ法による白金合金担持カーボン触媒の合成
(第110回触媒討論会 (P074), 2012.09) 加藤拓海, **城石英伸**, 中島達朗, 松田直樹

Electrochemical Oxidation of Ammonia by Multi-Walled Carbon Nanotubes-Supported Pt-Core/Ir-Shell and Pt-Core/Pd-Shell
Nanoparticles

(Prime 2012 (62), 2012.10) S.Morita, S.Azuma, **Hidenobu Shiroishi**, M.Yonekawa, K.Nagai
A Study of Photochemical Proton Reduction and Oxidation of Water Using $Pb_2Ru_2O_{7-\delta}$ Synthesized by Neutralization Method

(Prime 2012 (63), 2012.10) S.Hanyu, **Hidenobu Shiroishi**, T.Hatai, Y.Ayato, J.Kuwano
Performance of Proton Conductive Intermediate Temperature Fuel Cell Using $ZrO_2-1.6P_2O_5$ Electrolyte with 1% $CO-H_2$ and Methanol as Fuels

(Prime 2012 (64), 2012.10) Y.Houshi, M.Yonekawa, **Hidenobu Shiroishi**, M.Kunimatsu, K.Matsushima, Y.Ayato,
M.Saito, J.Kuwano

コアシェル型金属微粒子担持 MWCNT によるアンモニアの電気化学的酸化
(第5回新電極触媒シンポジウム & 宿泊セミナー, 2012.10) 森田聖太郎, **城石英伸**, 米川穰

COD の少量・迅速定量法の開発とバイオ光電池を用いた下水処理

- (化学工学会学生大会, 2013. 03) 野崎拓弥, 堀口元規, 小林昌広, **城石英伸**
 中温域プロトン導電型燃料電池における $ZrO_2-yP_2O_5$ 電解質の薄膜化と一酸化炭素の供給時の発電メカニズム
 (電気化学会創立 80 周年記念大会 (1F28), 2013. 3)
 安藤慶介, 法師優紀, **城石英伸**, 肅藤守弘, 山際清史, 綾戸勇輔, 桑野潤
 コアシェル型貴金属微粒子担持多層カーボンナノチューブによるアンモニアの電気的酸化(2)
 (電気化学会創立 80 周年記念大会 (1F29), 2013. 3) 工藤瑛士, 森田聖太郎, **城石英伸**, 米川穰, 長井圭治
 固体高分子形燃料電池用鉄コバルト担持多層カーボンナノチューブ酸素還元触媒能の向上
 (電気化学会創立 80 周年記念大会 (1F30), 2013. 3) 高橋勝國, **城石英伸**, 驚藤守弘, 米川穰, 長井圭治
 中和法によって合成した $Pb_2Ru_2O_7-\delta$ を用いた光化学的水の酸化ならびにプロトン還元能の研究(2)
 (電気化学会創立 80 周年記念大会 (1F31), 2013. 3) 羽生真也, **城石英伸**, 山際清史, 畑井健雄, 綾戸勇輔, 桑野潤
 Synthesis of Star-Shaped Polymer with Isotactic PMMA Arms via Isotactic Block Copolymer of Methyl Methacrylate and 2- (Vinylxy) ethyl Methacrylate
 (3rd Thailand-Japan Rubber Symposium, Hachioji, Tokyo, 2013. 3, pp128-129)
 Minoru Endo, **Osamu NAKAGAWA**
 ナノマトリックスチャネル構造を有するプロトン伝導性高分子電解質膜の調製
 (日本ゴム協会 2012 年年次大会, 2012. 5, 講演予稿集 pp. 88)
 角紀行, Patjaree Suksawad, 赤堀敬一, **山本祥正**, 河原成元
 ナノマトリックスチャネル構造を有するプロトン伝導性高分子電解質膜の調製
 (第 61 回高分子学会年次大会, 2012. 5, 講演予稿集 3Pc053) 角紀行, Patjaree Suksawad, **山本祥正**, 河原成元
 カーボンブラック配合加硫天然ゴムのモルフォロジーと物性
 (平成 24 年度繊維学会年次大会, 2012. 6, 講演予稿集 pp. 211)
 **山本祥正**, 河原成元, 浅野敦志, 岩井智昭, 北居寿章, 北川直之, 倉本直明, 齊藤武徳, 竹中克彦, 富永洋一, 西谷要介, 原英俊, 渡辺訓江
 水プロセスにおける陽極酸化反応による天然ゴムの臭素化
 (第 61 回高分子討論会, 2012. 9, 講演予稿集 3D07) **山本祥正**, 河原成元
 Preparation of polymer electrolyte membrane with nanomatrix channel prepared by sulfonation of natural rubber grafted with polystyrene
 (10th Fall Rubber Colloquium, 2012. 11, Abstract pp. 65)
 Noriyuki Kado, Patjaree Suksawad, **Yoshimasa Yamamoto**, Keiichi Akabori, Seiichi Kawahara
 水反応系での陽極酸化反応による天然ゴムの臭素化
 (『第 24 回日本ゴム協会エラストマー討論会』, 2012. 11, 講演予稿集 pp. 121) **山本祥正**, 河原成元
 Bromination of natural rubber by anodic oxidation in water process
 (The 28th International Conference of Polymer Processing Society, 2012. 12, Abstract pp. 667)
 **Yoshimasa Yamamoto**, Seiichi Kawahara
 Bromination of natural rubber and incorporation of phenyl group by Suzuki Miyaura Cross-coupling Reaction
 (3rd Thailand-Japan Rubber Symposium, 2013. 3, Abstract pp. 86)
 Shintaro Shioyama, **Yoshimasa Yamamoto**, Katsuhiko Takenaka, Seiichi Kawahara
 ラマン分光の物質工学実験への導入
 (平成 24 年度全国高専教育フォーラム, 2012. 8) **中野雅之**, **土屋賢一**, **高橋三男**, **阿久沢昇**
- ### 3. その他
- #### (1) 学位取得・学会賞・論文賞
- 博士論文「knowing-how と傾向性—統一的理解とその意義—」(学位 (博士 (文学)) 取得, 千葉大学, 2012. 9)
 **村瀬智之**
 平成 24 年度 ライフサポート学会奨励賞 採血支援システムの針制御機構に関する研究
 (生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2012, 2012, 11) 高木寛之, **齊藤浩一** (指導教員)
 2013 年度専攻科特別研究発表会 第 4 セッション優秀賞
 ピエゾフィルムを用いた組み合わせ荷重下における静ひずみ測定
 (専攻科特別研究発表会要旨集, 2013. 2) 有田克也, **志村穰**
 日本機械学会関東学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会 Best Presentation Award
 3 次元測域による自律移動ロボット用 3D マップの作成と自己位置の推定
 (日本機械学会関東学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013. 3, pp. 335-336)
 山川史, 青木彬, 佐々木理, **多羅尾進**
 日本機械学会関東学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会 Best Presentation Award
 重心移動機構を備えたツインロータ式小型ヘリコプタ試作と飛行実験
 (日本機械学会関東学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2013. 3, pp. 365-366)
 及川峻尚, **多羅尾進**
 学会賞: 優秀発表賞受賞講演 部活動におけるマネージメント導入による運営
 (日本工学教育協会第 60 回年次大会工学教育研究講演会 2012. 8, 8-217) 泉侃人, **筒井健太郎**
 平成 24 年電気学会全国大会優秀論文発表賞受賞 「電力流通における無効電力の価値評価手法」
 (平成 24 年電気学会全国大会, No. 6-043, 2012. 3) 橋本拓郎, **土井淳** (指導教員)

学会賞：平成23年度 第21回日本工学教育協会賞 (論文・論説賞)

小さな失敗の積み重ねを経験させるものづくり教育の試み

(日本工学教育協会, 2012. 8, 工学教育 59 巻 1 号, 2011, pp. 93-99) 小池清之

イマジンカップ 2012 選手指導

(文部科学大臣表彰, 2012. 7) 松林勝志, 小嶋徹也

電子情報通信学会基礎・境界サイエティ編集活動感謝状

(電子情報通信学会 2012 年度サイエティ大会, 2012. 9) 小嶋徹也

2012 年度材料技術研究会討論会口頭講演賞

フッ化水素酸を含まない金属の溶接に伴う変色部位の除去剤の開発

(2012 年材料技術研究協会討論会, 2012. 12, 2B-02) 松石早矢, 北折典之, 大西則彦

(2) 科学研究費補助金 (研究実績報告書、研究成果報告書) 等

高専における教育の特色と高専生の気質を考慮した英語教材の開発と実用化

基盤研究 (B) 課題番号 22320116 (平成 22 ~ 24 年度)

. 武田淳, 亀山太一, 小澤志朗, 村井三千男, 穴井孝義, 青山晶子, 大谷浩, 西野達雄, 森岡隆

窒化物半導体における表面再結合過程の解明と発光効率向上に向けた基礎研究

若手研究 (B) 課題番号 23760021 (2011 年度 ~ 2012 年度) 尾沼猛儀

部分双曲系の双曲構造とエルゴード的極限定理の関係

若手研究 (B) 課題番号 23740136 (2011 年度 ~ 2012 年度) 波止元仁

蚊ロボットの実現を目指した無痛自動採血用の微細柔軟針の開発

研究実績報告書 基盤研究 (B) 課題番号 22360110 (2010 年度 ~ 2012 年度) 齊藤浩一, 角田陽, 多羅尾進

赤血球力学特性推定システム用せん断流れ場に関する研究

(精密測定技術向上のための調査研究および研修事業, 財団法人精密測定技術振興財団, 2012. 3) 安田利貴

データマイニングを用いた日本語構文自己再編モデルによる手書き文章自動認識の研究

研究実績報告書 基盤研究 (C) 課題番号 22500170 (2013. 3) 鈴木雅人, 北越大輔, 松本章代

成績と授業評価データからなる満足度・習熟度関連性モデルを用いた学生への指導法提示

研究実績報告書 若手 (B) 課題番号 21700834 (2012. 5) 北越大輔

高性能なスペクトル拡散型電子透かしを防災サイレンに応用した防災無線システムの開発

基盤研究 (C) 課題番号 24510240 (2012 年度 ~ 2014 年度) 小嶋徹也, 松元隆博, 吉本定伸, 土居信数, 田中晶

環境試料や化学物質の生態毒性試験の簡便化と環境教育のための教材開発

JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム A-STEP フィージビリティスタディステージ探索タイプ課題平成 24

年度報告書 (2013. 3)

. 庄司良

ナノマトリックスチャネルにおけるプロトン伝導の制御機構の解明

若手研究 B, 課題番号 24750227 (2012 年度 ~ 2013 年度) 山本祥正

(3) 特許等

エレベータ 登録番号 5075947 (2012. 8)

. 森和久, 村岡一史, 深田裕紀, 綾野秀樹, 大沼直人, 保立尚史

エレベーターシステム 登録番号 5094831 (2012. 9)

. 村岡一史, 吉川敏文, 綾野秀樹, 大貫朗, 古橋昌也, 深田裕紀, 岸川孝生

エレベーターのブレーキ装置 登録番号 5124206 (2012. 11)

. 大沼直人, 蛭田清玄, 岸川孝生, 迫田友治, 三田史明, 保立尚史, 稲葉博美, 綾野秀樹, 森和久

エレベーター制御システム 登録番号 5140390 (2012. 11)

. 三田史明, 岸川孝生, 大沼直人, 迫田友治, 蛭田清玄, 保立尚史, 稲葉博美, 綾野秀樹, 森和久

エレベータ乗りかごの電力制御装置 登録番号 5155965 (2012. 12)

. 吉川敏文, 藤野篤哉, 中塚康弘, 荒川淳, 綾野秀樹, 森和久, 稲葉博美, 村岡一史, 松原正裕, 岸川孝生

血球細胞の力学的特性測定装置 特許第 5137129 号 (2012. 11, 22, 出願人: 山口大学)

. 安田利貴

膜 - 電極接合体、これを用いた電解ユニット、電解水噴出装置及び殺菌方法 特許第 5098050 号 (2012. 10)

. 北折典之, 関戸広太, 宇野雅晴, 柴田友康, 錦善則, 古田常人

ステンレス鋼溶接部のスケール除去剤とスケールの除去方法 特許公開 2012-117116 (2012. 6, 21)

. 北折典之

(4) 解説・研究ノート・エッセイ等

全国高専ハンドボール専門部

(日本ハンドボール協会創立 75 周年記念誌 2013. 2, pp. 115-116) 古屋正俊

東京高専体育科の 20 年間の活動を振り返る - セレンディピティ的体験を求めて -

(第 2 回関東信越地区高専体育・スポーツ研究会報告書 2013. 3) 古屋正俊

キリンから学ぶ呼吸の秘密

- (『SEAJ Journal』 Vol.140, 2013.1, pp.19-21) **清水昭博**
- ロボットを応用した福祉関連機器の開発に向けて**
 (たましん連携協定校研究シーズ発表会 福祉関連機器の産学連携による事業化促進, 2012.10) **多羅尾進**
- 関東工学教育協会高専部会の活動状況報告**
 (『工学教育』, 61 巻 1 号, 2013.1, pp.205-208) **土井淳, 古屋一仁**
- 東京工業高等専門学校**
 (『表面技術』 第 63(7)号, 2012.7, pp.423-425) **伊藤浩**
- ImagineCup2012 世界大会参加報告**
 (『日本高専学会誌』 Vol18 No.1, 2013.1, pp.35-36)
 大川水緒, 田畑愛実, 赤松駿一, Tan Tun Jie, **小嶋徹也, 松林勝志**
- 海外から見た高専教育**
 (『工学教育』 61 巻, 1 号, 2013.1, pp153-156) **三谷知世**
- 専攻科の軌跡と将来展望**
 (『日本高専学会誌』, 18 巻, 1 号, 2013.1, pp14-19) **三谷知世**
- 除草用に導入した羊の人材育成への貢献**
 (『未来材料』 13, 2, 2013.2, pp50-53) **三谷知世**
- Chapter 28 : Properties and Nano-observation of Natural Rubber with Nanomatrix Structure**
 (『Advances in Materials Science』, Oakville, ON, Canada (2013), 327-343)
 **Yoshimasa Yamamoto, Seiichi Kawahara**

東京工業高等専門学校研究報告書

第 45 (1) 号

平成 25 年度

平成 25 年 9 月 25 日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書委員会

発 行 者 東京工業高等専門学校

東京都八王子市柵田町 1220 の 2

TEL 八王子 (042) 668-5111

〒193-0997

印 刷 所 株式会社共同印刷所

東京都府中市寿町 3-13-8

TEL (042) 368-2001

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.