

福山大学
安全安心防災教育研究センター

2019年度 活動報告書

2020年10月

活動報告書発行にあたって

福山大学 安全安心防災教育研究センター
センター長 仲嶋 一

2019年度末を以て、文部科学省「私立大学研究ブランディング事業」が完了となりました。この事業は、本学が全学を挙げて取り組む、ブランディング推進のための研究プロジェクト「瀬戸内の里山・里海学」の里海に関わるエッセンスを抽出したものであり、本センターが統括する工学部横断型研究プロジェクトである「ひと・まち・くらしプロジェクト」の中で全面的に協力してきたものです。上記文部科学省事業は完了しましたが、大学としては研究プロジェクトを継続しており、本センターとしても引き続き里海の生態系の解明のためのテクノロジーの開発を本学生命工学部と連携して推進していきます。本報告書には2019年度の活動成果が記載されていますが、3年間の私立大学研究ブランディング事業を通しての成果が、「私立大学研究ブランディング事業成果報告書」内にまとめられています。

「ひと・まち・くらしプロジェクト」では上記の私立大学研究ブランディング事業以外の「瀬戸内の里山・里海学」に関連するプロジェクトやその他工学部独自の研究プロジェクトを支援しています。その範囲は、防災・避難や交通安全など安全安心防災に関わるものをはじめ、地域遺産や介護・看護に関わるものなど多岐に亘り、それらの活動内容を掲載しました。

本研究センターは建築構造物の強度向上や評価を目的としたハイテクリサーチセンターを発祥としており、西日本最大級を誇る構造試験設備をはじめ、種々の構造・材料に関わる研究・試験施設を有しています。これら施設を活用した鉄筋やコンクリート構造の強度評価、木造建造物の耐力特性評価など様々な研究が活発に行われており、センターの施設を活用した研究として掲載しました。

一方、本センターは、地域防災リーダー養成講座（地域防災基礎，地域防災応用），みらい工学プロジェクト「防災について考える」といった防災教育を継続して実施しています。例年各学部より多くの受講があり，毎年地域防災リーダーを輩出しています。

安全安心防災教育研究センター

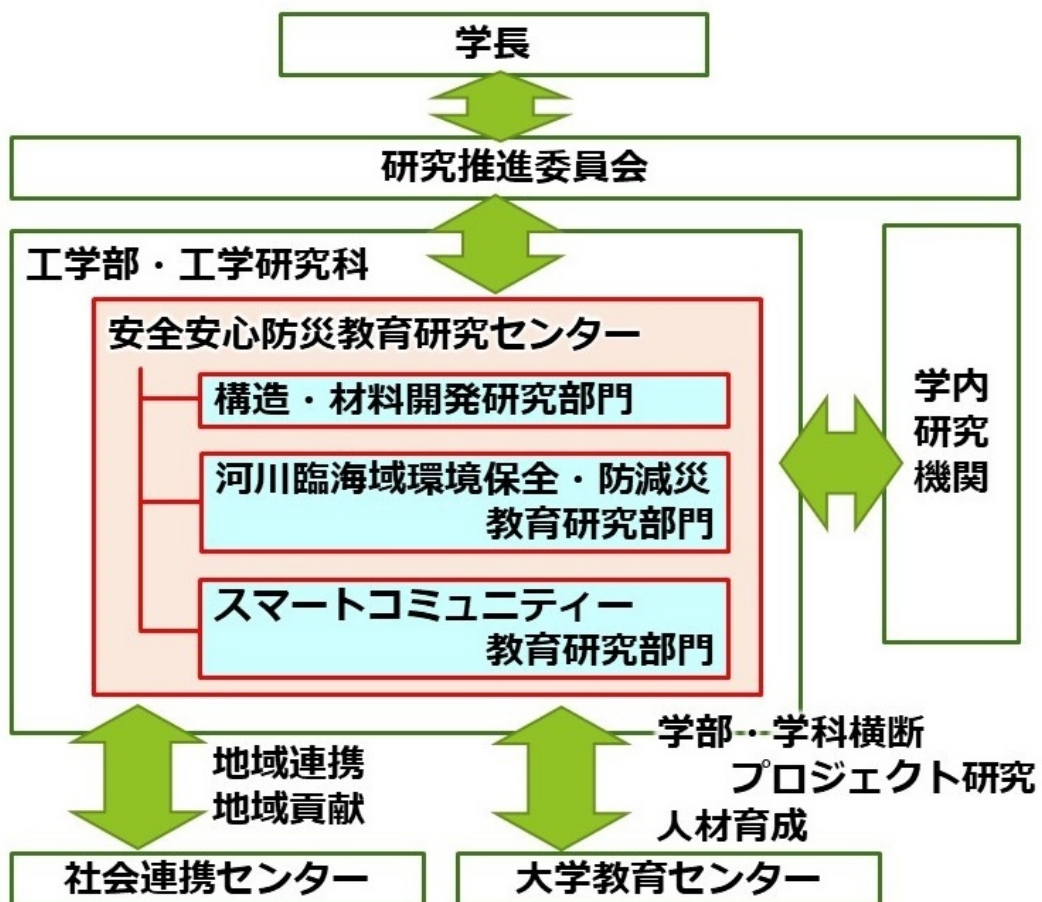
2019年度 活動報告書 目次

巻頭言 活動報告書発行にあたって：センター長 仲嶋 一

1. 組織および運営	1
1.1 組織図	2
1.2 運営委員会（兼 自己点検評価委員会）	3
1.3 センター構成員（各部門構成員）	4
2. 研究活動	5
2.1 ひと・まち・暮らしプロジェクト	12
(A) 瀬戸内の里山・里海学（私立大学研究ブランディング事業関連研究テーマ）	12
(B) 瀬戸内の里山・里海学（その他研究テーマ）	25
(C) 一般研究テーマ	56
2.2 各教員による研究プロジェクト	67
(A) センター施設を利用した研究	67
(B) その他研究テーマ	86
2.3 研究資金獲得一覧	80
2.4 研究業績一覧	89
2.5 特許一覧	97
3. 教育活動	98
3.1 みらい工学プロジェクト	99
3.2 防災士関連	101
3.3 その他	104

1. 組織および運営

1. 1 組織図



1. 2 運営委員会（兼 自己点検評価委員会）

役職名	氏名	所属	担当業務
委員長	仲嶋 一	スマートシステム学科	センター運営、部門運営、 ひと・まち・くらしPJ再編、予算申請
	都祭 弘幸	建築学科	部門運営、成果報告、(予算申請)
	中村 雅樹	社会連携センター	社会連携、知財
	山之上 卓	情報工学科	アドバイザー
	加藤 昌彦	機械システム工学科	アドバイザー
	山田 明	建築学科	HP、教務
	津田 将行	大学教育センター	安全、教務
	中道 上	情報工学科	HP
	関田 隆一	スマートシステム学科	部門運営、安全
	伊澤 康一	建築学科	成果報告
	小林 正明	機械システム工学科	コンプライアンス
	松野 宣英	工学部・生命工学部事務室	事務
幹事	山崎 護	工学部・生命工学部事務室	事務

1. 3 センター構成員（各部門構成員）

	氏名	所属	職位
センター長	仲嶋 一	スマートシステム学科	教授
副センター長	都祭 弘幸	建築学科	教授
	中村 雅樹	社会連携センター	助教
	山之上 卓	情報工学科	教授
	加藤 昌彦	機械システム工学科	教授

◇ 構造・材料開発部門

	氏名	所属	職位
部門長	都祭 弘幸	建築学科	教授
	宮内 克之	スマートシステム学科	教授
	山田 明	建築学科	准教授
	中東 潤	機械システム工学科	准教授

◇ 河川臨海域環境保全・防減災教育研究部門

	氏名	所属	職位
部門長	仲嶋 一	スマートシステム学科	教授
	津田 将行	大学教育センター	講師
	中越 信和	グリーンサイエンス研究センター	客員教授
	尾島 勝	社会連携推進センター	名誉教授
	香川 直己	スマートシステム学科	教授

◇ スマートコミュニティ教育研究部門

	氏名	所属	職位
部門長	関田 隆一	スマートシステム学科	准教授
	伊澤 康一	建築学科	准教授
	佐藤 圭一	建築学科	教授
	中道 上	情報工学科	教授
	内田 博志	機械システム工学科	教授
	小林 正明	機械システム工学科	講師

	氏名	所属	職位
	松野 宣英	工学部・生命工学部事務室	事務部長
幹事	山崎 護	工学部・生命工学部事務室	事務長

2. 研究活動

ひと・まち・くらしプロジェクト

瀬戸内の里山・里海学（私立大学研究ブランディング事業関連研究テーマ）

アブストラクト

■里山の災害対策のためのIoTシステムに関する研究

／工学部・スマートシステム学科 香川直己、
工学部・情報工学科 山之上 卓、
工学部・情報工学科 金子邦彦 森田翔太..... 12

光通信と無線通信を組み合わせることで里山にセンサネットワークを張り巡らせ、これをインターネットと接続した災害対策用IoTシステムを研究開発している。里山をきれいに保つための、廃棄物再生への応用も模索している。令和元年度はIoTシステムのハードウェアのコンパクト化、レーザー送受信光学系の自動化、データベース、人工知能、コンピュータビジョンのフリーソフトウェア類の徹底的調査、聴覚的印象として音質評価指標を導入した新しいイベント検出技術法を構築した。

■衛星画像藻場分布

／安全安心防災教育研究センター スマートコミュニティ教育研究部門 関田隆一..... 15

里海の豊かさを藻場の状態（色や面積）で地球観測衛星によるリモートセンシングデータを使って定量化し、持続的な状態モニターにより藻場の経年変化を把握する技術確立を目的の研究である。本研究では、藻場識別の精度向上を狙って海水の塩分、透明度を解析アルゴリズムへ組み込んでいる。また藻場が海岸周辺の人々の活動により受ける影響及び里山から河川を伝って排出する砂等で受ける影響をモデル化する技術まで踏み込む従来にない意義の大きな研究である。

■海底カメラのための海そう画像の認識技術の開発

／工学部・スマートシステム学科 田中 聡..... 19

藻場に設置された海底カメラにより撮影された画像中の生物相を分析するために、海底の海そう（海草と海藻を含めた表現とする）を分類するCNN(Convolutional Neural Network)を作成し、実際に海中で撮影された海そう画像を学習させて分類性能を評価した。海そうでないものを含めて5つのクラスの分類を行ったところ60%から80%の認識率を得た。

■海中探査プロジェクト

／工学部・機械システム工学科 内田 博志..... 21

昨年度までに試作した海中ロボットは、推進力が弱く、水漏れによる動作不良を頻発する欠点があったため、改良型の海中ロボットを製作した。また海中ロボットと連動させる海上ロボットを新たに作製した。加えて藻場探査を目的とする海中ロボット制御技術開発を効率的に進めるため、海中ロボットシミュレータの開発を行った。シミュレータとしての最適な機能を模索するため、4種類の異なるプラットフォーム上で開発を進めた。

■水槽環境シミュレーションモデルの開発 —瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究—

／工学部・建築学科 伊澤康一..... 23

成魚用の20トン水槽を対象にしてCFD(Computational Fluid Dynamics)解析を実施した。給餌装置の直下付近の水槽底面へ餌が重力沈降して溜まってしまいう状況を改善することを目的に、給餌装置の位置等について検討した。給餌装置を注水口の背後に設置することによって、誘引流と吐出流の両方の水流に餌を載せることができ、餌が重力沈降しながら水中に比較的長い時間滞留することが確認できた。

ひと・まち・くらしプロジェクト

瀬戸内の里山・里海学（一般研究テーマ）

アブストラクト

■衛星ミッション変更

／安全安心防災教育研究センター スマートコミュニティ教育研究部門 関田隆一 25
昨年度の研究により、新しい衛星通信の Store & Forward (S&F) 技術を活用し、かつ将来の小型衛星による藻場研究を含む海洋科学研究に活かせる福山大学独自のミッションを設定した。具体的には、藻場付近の海洋ローカルデータロギングと、海上モジュールから衛星へのオンデマンド撮像により、福山大学オリジナルの衛星ミッションである。本研究ではミッション実現に必要な機能からシステムを設計し、主要コンポーネントリスト及びそれに基づく超小型衛星システムダイアグラムを明確にするものである。

■看護・介護を支援するスマートシステムに関するプロジェクト

／工学部・スマートシステム学科 仲嶋一、香川直己、田中聡、伍賀正典 42
患者や被介護者の発する音によりベッド内行動を把握し、病院や施設の看護・介護品質を向上することを目的としている。その行動把握方法としては、発生する音の周波数特性、音源位置およびその移動を複数の音波検出器アレイにより特定し、再帰ニューラルネットワークの入力として学習により行動種類を弁別することを計画している。昨年度は移動する擦過音源を用い、真の音源に対して偽音源の時間的変動が激しいことを利用して、偽音源除去する手法を提案した。

■透析患者向け医療ベッドの開発

／工学部・情報工学科 中道上 46
指差しジェスチャによるマウスカーソルの移動を利用したポインティングシステムとして、Remote Touch Pointing の研究を進めている。現在、これまでに開発したポインティング技術を応用して、透析患者が人工透析中においても仕事が可能な医療ベッドの開発を進めている。天井ディスプレイとそれに対して非接触操作が可能なベッドを試作している。

■移動型光センサーネットワークのための光軸自動追尾装置の開発

／工学部スマートシステム学科 香川直己 48
アブストラクト 近年、多数の被災者が土砂等に埋没する災害が多く、通信インフラ喪失の中で捜索救助作業が求められ、通信インフラを構築する手段と被災者の捜索支援や二次災害の兆候を捉えるための検出技術の確立が望まれる。そこで通信と計測のハイブリッド機構を用いた通信網により被災者の捜索支援や都市ガスの漏えいを検出するシステムを開発している。本稿では、プローブ光の送受信とステアリング機構を要する光軸自動追尾装置の開発と高精度化を図ったので報告する。

■センサーネットワークを用いた地表付近 CO₂ 濃度の多地点連続計測

／工学部スマートシステム学科 香川直己 50
アブストラクト 植物が通常の生育環境とは異なる環境に置かれたときに植物に係るストレスが大気中二酸化炭素濃度の経時変化の傾向に影響を与えるのではないかと仮定し、福山市（福山大学）、広島市に設置した CO₂ センサからの濃度データのヒストグラムに着目し、取得した CO₂ 濃度データの持つ、時間的、空間的变化には、気候、気象、地形、人為活動など様々な要素に起因すると思われる複合的な特徴を明らかにする事を試みた。これを逆問題として分析することで先の要素の変異や異常を検知することも期待できる。本稿は、その端緒の結果を示す。

■「地域遺産」としての福山市西部地域 ー備後地域遺産研究会 2019 活動報告ー	
／工学部・建築学科 佐藤圭一.....	52

本稿は、2016 年度から福山大学ひと・まち・暮らしプロジェクトの一環となった「備後地域遺産研究会」（代表：佐藤圭一、活動拠点：まちづくり PJ 室 03204 号室）の 2019 年度活動報告である。2019 年度は、教育振興助成金、ブランディング推進事業研究助成、研究助成寄付金を得て、教育・研究・社会活動を展開した。研究会の中心メンバーは、著者の指導する学部 3・4 年、大学院修士課程のゼミ学生である。

ひと・まち・くらしプロジェクト

一般研究テーマ

アブストラクト

■行動分析と誘導支援

／工学部・情報工学科 中道上、山之上卓、宮崎光二、池岡宏、森田翔太 56

ひとの行動分析や誘導支援に関する研究や新たな技術の紹介、またそれらを体験する環境の整備を進めている。とくに防災への適用を進めており、その成果を発表するとともに企画や提言をおこなっている。学校などの屋内施設におけるセンサーネットワーク環境についても研究を進め、わかりやすい避難誘導インターフェースの開発・評価なども行っている。

■交通安心プロジェクト

／工学部・機械システム工学科 内田 博志 58

見通しの良い道路における重大事故発生原因の究明を目的として、運転中のドライバーの視点を非侵襲で推定する方法を開発した。顔特徴量推定ソフトである OpenFace と重回帰分析を組み合わせ、ある程度注視点の追跡が可能であることを示した。また整備の悪い地方道での自動運転についてシミュレーションで検討した。運転ミス発生箇所の訓練データを追加して再学習することにより、運転ミスの発生を抑制できることがわかった。

■高齢運転者のペダル操作と自動車のペダル配置の関係についての分析

／工学部・機械システム工学科 関根康史 60

最近では、高齢運転者によるブレーキとアクセルペダルの踏み間違い事故が社会的な問題となっている。筆者らは、ブレーキとアクセルのペダル段差に着目、高齢者のペダル踏み換え時の足先の挙動について分析を行った。ペダル踏み間違い事故においては、高齢化による身体的な衰えだけでなく、ペダル段差やペダルへの足の置き方が重要な要因の一つであることを明らかにした。

■幹線道路の渋滞が周辺地域の交通環境に及ぼす影響に関する研究

／工学部・機械システム工学科 関根康史 62

交通量の多い幹線道路の混雑時には、周辺の生活道路に自動車が流入することにより、その安全性に良くない影響を及ぼすことが考えられる。本研究では、福山市内の明神町から東手城町、引野町周辺を調査対象地域として、交通量観測、中学生へのアンケート、交通事故の発生状況およびETC2.0 データの分析を行い、幹線道路の渋滞長が長くなる時に、並行する生活道路の交通量が増えることを確認した。また、この並行生活道路において、中学生が「危険な体験をした」と回答した場所は、ETC2.0 の急ブレーキ多発箇所とよく一致し、事故も多く発生していることを明らかにした。

■携帯型線香着火装置の開発

／工学部・機械システム工学科 小林正明 64

寺院での線香着火装置は初詣などでの混雑を少しでも軽減するために開発してきた。四国八十八カ所巡礼は年間約 15 万～20 万人の人がお遍路さんとなり四国を巡っている。お遍路さんが礼所で線香を供えるとき着火に困る場面が多く確認できた。より簡単に、また安全に線香に着火するための装置を開発していった。基本的な構造は寺院での線香着火装置と同じだがお遍路さんがいつも携帯している頭陀袋に収納できる携帯型の装置を考えた。

各教員による研究プロジェクト センター施設を利用した研究 アブストラクト

■エネルギー吸収性能改善型RC梁部材に関する実験的研究

／工学部・建築学科 都祭弘幸..... 67

2018年度に引き続きヒンジ部損傷抑制コアを設けたRC梁部材について、せん断応力度レベルが高い場合($\tau_u/\sigma_B \cong 0.1$)の繰返し曲げせん断実験を行った。その結果、エネルギー吸収量の増大率は、せん断応力度レベル $\tau_u/\sigma_B \cong 0.05$ 試験体よりも効果が低下した。ヒンジ部損傷抑制コアの効果はせん断応力度レベル(τ_u/σ_B)が高い場合について実験結果分析を行い、 τ_u/σ_B が高い場合の改善方法を検討した。

■木芯コンクリート柱の圧縮特性に関する実験的研究

／工学部・建築学科 都祭弘幸..... 72

本研究で言う“木芯コンクリート柱”とは、石膏ボードの代わりに鉄筋コンクリート(以下、RC)で木質部材を被覆し、耐火性能とともに構造強度を持たせることを考えた部材であり、木材の使用機会を少しでも増やす構造事例の1つとなることを目的とする。最大圧縮耐力は、集成材の有無および集成材の断面に関係なく、累加強度式で求めた値に対して1.1倍程度となった。

■損傷を考慮した半間土壁の剛性低下率と耐力低下率の定式化

／工学部・建築学科 山田 明..... 74

本研究では、最大経験変形角と累積変形角の2種類の損傷レベルが既知の4体の半間幅の土壁供試体を研究対象とした。それらの補修後の正負交番繰返し載荷試験の結果から、補修後の耐力特性について検討した。補修にあたっては、実務と研究の間に乖離が生じないように配慮した。補修前の復元力特性の包絡線と補修後のそれを比較し、補修前に対する補修後の剛性低下率と耐力低下率の実験式を示した。

■生体用 $\alpha + \beta$ 型Ti-6Al-7Nb合金への水素処理の適用

／工学部・機械システム工学科 中東潤..... 83

チタン合金の結晶粒微細化法の一つに水素処理法がある。Ti-6Al-4V合金などの多くの構造用 $\alpha + \beta$ 型チタン合金で水素処理によって結晶粒が微細化して高強度化ことが分かっているが、生体用チタン合金については適用例が存在しない。そこで本研究では、近年需要の増している生体用Ti-6Al-7Nb合金のさらなる高性能化を目的として、生体用 $\alpha + \beta$ 型Ti-6Al-7Nb合金に水素処理の適用を試みた。

各教員による研究プロジェクト

一般研究テーマ

アブストラクト

- 避難所体育館における太陽熱温水床暖房システムの基礎的検討
／工学部・建築学科 伊澤康一 86
既存小学校体育館に太陽熱温水床暖房システムを導入した場合を対象とし、供給する温水の温度・流量や補助熱源による加熱量の関係を試算した。その結果、集熱面積 382 m^2 、蓄熱槽容量 20 m^3 の条件で計算した場合、循環流量 50 L/min 、入口温度約 30°C 、出口温度約 20°C 、補助熱源加熱 90kW で運用できることを確認した。今後、実際の太陽熱利用システムが設置されている学校体育館を対象建物として研究を進める。

キーワード：IoT, レーザー, Big Data, 音響解析

里山の災害対策のための IoT システムに関する研究

工学部 スマートシステム学科、情報工学科

香川直己 山之上卓 金子邦彦 森田翔太

専門分野：電子機器学、情報工学

E-mail : kagawa@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

■ 研究の背景

2018年7月に中国地方で発生したような豪雨災害により里山で被害が発生している。有害鳥獣による農産物の被害も発生している。我々はIoT(物のインターネット)、レーザー光線を使った環境測定、音声処理、ビッグデータ解析などの技術を持っており、里山のこれらの被害を小さくするために我々の持つ技術が役立つ可能性があり、今後の発生する可能性のある被害を緩和するためにも、緊急な研究推進が必要となる。豪雨災害では多くの廃棄物も発生した。この廃棄物の処理を加速し、資源として有効利用することも我々の技術を使って支援できる可能性がある。

■ 研究内容

光通信と無線通信を組み合わせて里山にセンサネットワークを張り巡らせ、これをインターネットと接続した災害対策用IoTシステムを研究開発する。また、里山をきれいに保つために、廃棄物再生への応用も模索する。光通信は様々な種類の気体のセンサとしても機能し、これを他のセンサと組み合わせて里山の様々な情報を収集し、インターネット上のデータベースに集める。データベースに集められた情報はBig Data解析や音響分析により解析され、災害の発生や予兆の発見、人命救助のための情報の抽出などが行われる。センサネットワークのノードやセンサネットワークとインターネットを接続するゲートウェイでもデータ解析を行う。

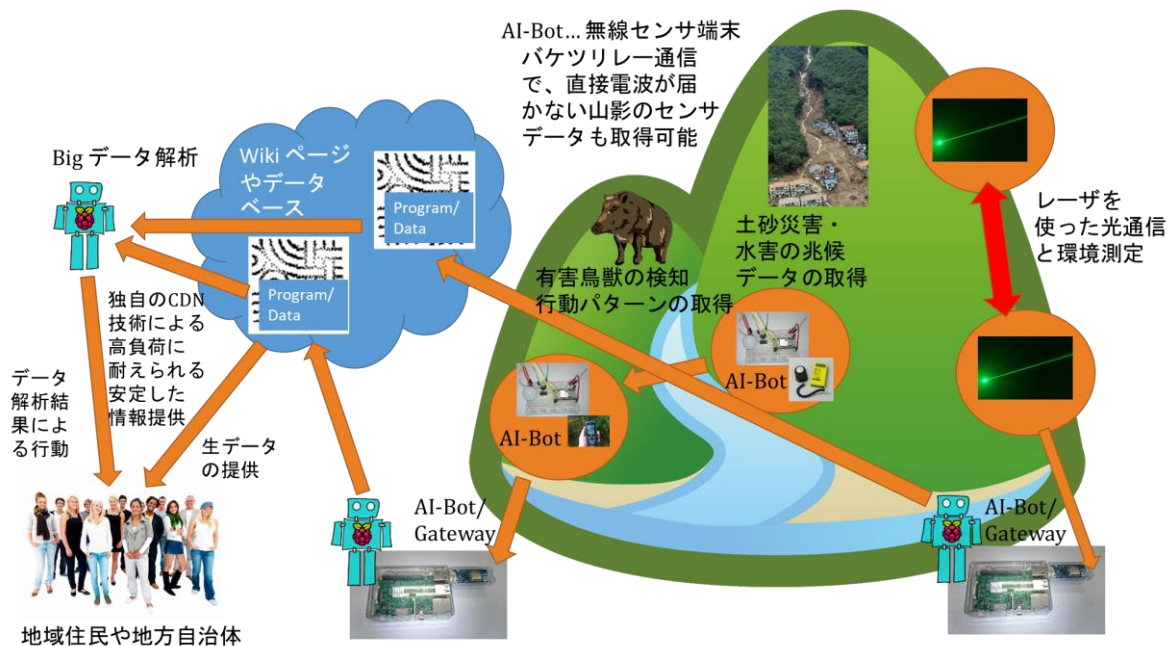


図1 本研究プロジェクトの概要図

■成果

【香川】光通信とそれによる環境情報獲得については、昨年度購入した超音波ステージを利用した送信光学系を設計製作し、これを用いて受信光学系の光軸追跡性能を標準化し、続いて、その精度向上の考察と改良を行い、次の成果を得た[1][2][4][5]。(図2)

- ① 送信光学系は、 4×10^{-4} [rad/s]の一定の角速度を維持することができる。
- ② 受信光学系は光軸（ビーム）の並進、回転双方の追従が可能となり、任意の光路長（曲率半径）に対応して、円弧追従が可能である。
- ③ 選択したビームスプリッタは波長依存がなく、送受信の一体化が可能。

また、当該研究の今後の適応の可能性を探るために、別のセンサネットワークを用いた、多地点 CO₂ 濃度計測結果と気象現象の関連性についても検討した[3][6]。

【山之上】IoT システムについては、無線センサネットワーク（WSN）のノードである AI-Bot の PCB 基板を山之上と香川研究室と協力して開発した。関連研究として2つの学術論文誌（Web版）[7],[8]に論文を掲載したほか数件の口頭発表([9],[10]他)を行った。

【金子】AI や IoT のシステムでは、関連フリーソフトウェアの活用が欠かせない。このとき、種々の装置が混在するシステムで、各々フリーソフトウェアの設定を行うが、設定が一致していないと運用に混乱をもたらす。そして、設定の自動化は難しい。Windows, Linux(RaspberryPi および Ubuntu) におけるデータベース、人工知能、コンピュータビジョンのフリーソフトウェア類の徹底的調査を行い、種々の実験や応用に足るフリーソフトウェア設定手順の文書化を行った。成果の一部は、工学部パソコン教室にも活用している。

【森田】将来的に里山における土砂災害などの自然災害の音や害獣の鳴き声などといったイベントに起因する音の検出を目的に、聴覚的印象として音質評価指標を導入した新しいイベント検出技術法を構築した[11]。提案法では、音響特徴量のみでなくシャープネスとラフネスといった音質評価指標を導入し、Support Vector Machin (SVM)により学習することで検出した。イベント検出技術を笑い声検出法として評価し、音響特徴量のみでは検出率が低かった鼻笑いや愛想笑いの検出率が向上し、全体の笑い声の検出率を向上させる結果が得られた。今後、里山の音のイベント検出に発展させる。

一方で、災害予測のための実音としての「雨音」の装置については、香川研究室と共同で検討し実音測定装置製作のための予備実験を開始している。

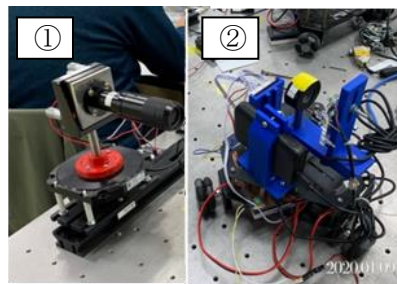


図 2 製作した送受信光学系



図 3 製作した AI-Bot 基板

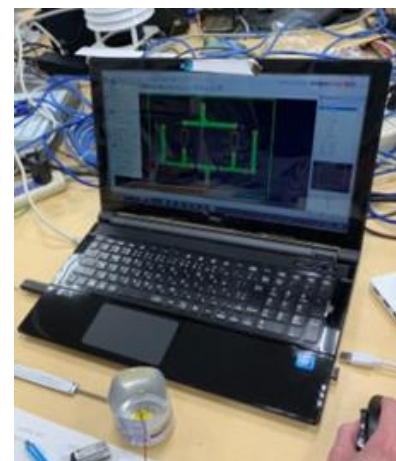


図 4 実音測定のための予備実験

特許・論文等

[1] 新木智博、香川直己、"光リンクセンサーネットワークのためのビームトラッキングシステムの開発"、第 37 回レーザセンシングシンポジウム予稿集 pp.47-48 (2019 年 9 月千葉大)

[2] 新木智博、香川直己、"光リンクセンサーネットワークのための光軸トラッカーの開発とその課題"、令和元年度電気・情報関連学科中国支部連合大会(2019 年 10 月鳥取大)

- [3] 新木智博、香川直己、"センサーネットワークを用いた地表付近 CO₂ 濃度の多地点連続計測データから見えるもの"、第 28 回計測自動制御学会中国支部学術講演会 (2019 年 11 月岡山大)
- [4] 香川直己、新木智博、椎名達雄、"レーザーを用いたセンサーネットワークのための光軸追尾システムの開発"、第 22 回環境リモートセンシングシンポジウム、p.8 (2020 年 2 月千葉大)
- [5] 香川直己、新木智博、"移動型光リンクセンサーネットワークのための光軸追尾装置の開発"、電子情報通信学科令和 2 年総合大会 (2020 年 3 月広島大) (オンライン)
- [6] 香川直己、安原 諒、新木智博、"センサーネットワークを用いた大気中二酸化炭素濃度変動の多地点連続測定データと気象データの関連性に関する考察"、福山大学工学部紀要、Vol.43,pp.7-14 (2020 年 3 月)
- [7] Takashi Yamanoue, "Monitoring of Servers and Server Rooms by IoT System that Can Configure and Control its Terminal Sensors Behind a NAT Using a Wiki Page on the Internet" Journal of Information Processing(JIP), 2020 Volume 28 Pages 204-213 (2020)
- [8] Takashi Yamanoue, Daichi Yokoyama, Ryoya Umeda, Shota Morita, Takashi Ozeki and Noboru Nakamichi, "A Remotely Reconfigurable IoT System using Wiki Software," Information Engineering Express, Vol 5, No 2, pp.18-35 (2019).
- [9] 山之上卓,田中 始男, 原 裕樹, 中川 裕貴,矢嶋 辰伍, 増野 治哉, 森重 太智, 「簡便な大型幅広デジタルサイネージシステムと その自動運用システム」, 情報処理学会 研究報告インターネットと運用技術 (IOT) , 2019-IOT-47(10),1-8 (2019-09-20).
- [10] 山之上卓「mbed OS で苦労している話」, オープンセミナー2020@広島 懇親会 LT (2020-02-08) (<https://www.slideshare.net/takashiyamanoue/troublewithmboedos>)
- [11] 田中聡一郎, 森田翔太, 鵜木祐史, 「聴覚的印象に着目した笑い声検出の検討」, 2020 年春季日本音響学会講演論文集, pp. 829-832, 2020.

研究室等ホームページ

香川直己 <https://www.fukuyama-u.ac.jp/eng/smart-system/kagawa-naoki/>

山之上研究室 <http://www.yama-lab.org/~yamanoue/wiki/>

金子邦彦 <https://www.kkaneko.jp/index.html>

森田翔太 <https://www.fukuyama-u.ac.jp/eng/information-engineering/morita-shota/>

キーワード：リモートセンシング、海洋観測、画像分析、持続可能性

里海の海中探査プロジェクト 衛星画像藻場分布

安全安心防災教育研究センター スマートコミュニティ教育研究部門

関田 隆一 部門長 Ryuichi Sekita 博士(システム・マネジメント)

専門分野：システム工学、システム安全、マネジメント、宇宙機推進系

E-mail : sekita@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

里海の豊かさを持続可能性を伴って維持するには、海の状態やその植生を表すパラメータについて季節や経年化変化を計測することが不可欠となる。本研究は地球観測衛星によるリモートセンシングデータから瀬戸内海の藻場の分布状況を精度付きで観測し、里海の豊さを定量的に把握するものである。

1. 研究目的

里海の豊かさを藻場の状態（色や面積）で地球観測衛星によるリモートセンシングデータを使って定量化し、持続的な状態モニターにより藻場の経年変化を把握する技術を確認することが本研究の目的である。特に本研究では、藻場が海岸周辺の人々の活動により受ける影響及び里山から河川を伝って排出する砂等で受ける影響をモデル化する技術の確立まで踏み込む計画であり、これは従来研究にないもので意義が大きいと言える。

2. 研究計画

目的を達成するための2017年度からの研究計画は以下の流れである。

- ① リモートセンシングと沿岸観測の現状を知る（2017、2018上期）
- ② 地球観測衛星データから藻場を識別する解析技法の研究（2018～）
- ③ リモートセンシングの位置付けと対象衛星の研究（2018、2019）
- ④ 地球観測衛星データ収集、解析及び現地観測による検証（2018～）
- ⑤ 藻場増減要因の研究とモデル化に向けた考察（2019～）
- ⑥ 藻場の持続的発展に向けた陸域の活動と藻場増減モデル化（2020～）

後述するが、開始から2年間で藻場解析技法を構築したが、精度が60%と低いことが課題として2019年度に残った。

上記④～⑥の実行として、以下3項目を2019年度から行う研究目標とし、特に2019年度はⅢを達成するために必要なⅠとⅡを実行することとした。

- I. 地球観測衛星データから藻場を識別する解析精度の向上
- II. 藻場増減に影響を及ぼす主要なパラメータの特定
- III. 陸域の活動及び自然環境による藻場増減モデル化

3. 研究成果

3.1 研究計画①と③の成果

海洋リモートセンシング研究は、グローバルな気象変動を解明する大気と水の循環が主であり、一地域に絞って沿岸域のデータ解析を行う研究は少ない。海洋観測に比べて沿岸域観測に困難が加わる点は以下の2点である。

- ✓ 複雑な地形の沿岸域を解析するため「高解像度の画像」が必要
- ✓ 川からの土砂による影響を知るため「高い波長の分解能画像」が必要

現在、沿岸域観測に適した地球観測衛星がなく、陸域用地球観測衛星のデータを使わざるを得ない。その中で広島上空の周回頻度が高く、データを無料で得られるアメリカのLandsat-8と欧州のSentinel-2を選定した。2018年度はLandsat-8データ（30m画素）が画像補正済で使いやすいという理由で使用していたが、2019年2月以降、原因はわからないが消散係数比を算出できなくなり、この課題を解決できない。そこで後述する

相対大気補正を行うことで、画像補正のかかっていない Sentinel-2 衛星データ（10m 画素）も活用可能となったことと、他に大きな解析上の技術課題がないこと、毎月 1 回程度は晴天の因島周辺データを得られることから、現在は Sentinel-2 を使っている。

3.2 研究計画②の成果

本研究では広島大学の研究成果を基に、Bottom Index (BI) による藻場分布解析技法について MATLAB 上でアルゴリズムを構築した。BI は Lyzenga が提案した技法で、異なる 2 バンド（青と緑）の画像を比演算し、両バンド画像の間で反射率が異なる藻類を抽出するもので、その原理を図 1 に示す。

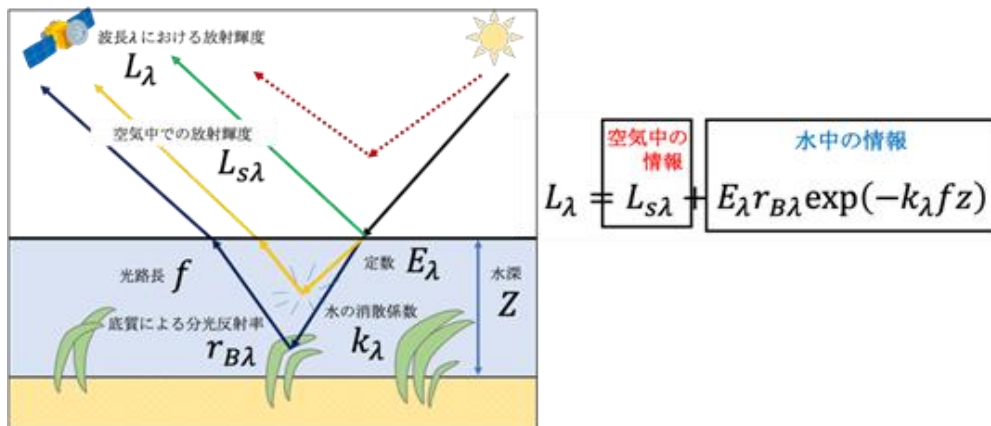


図 1 地球観測衛星センサーが検出する放射輝度による藻場識別の原理

3.3 2019 年度の研究成果

2 章に示した目標 I として、2018 年度までに得た藻場解析精度 60%を環境省で達成している解析精度 71%を越えるまで向上させることとした。そのために以下 3 項目に取り組んだ。

(1) 大気補正

2018 年度は、デジタル画像で最も暗く写る画素を引く簡易な大気補正法（暗画素法）だけを適用していた。これに加えて、時間的に不変と仮定できる海表面の反射率が、異なる大気下において線形となる理論に基づいて相対的に大気の影響を除去する相対大気補正法を適用した。

(2) 海中補正

- 重要パラメータである消散係数比の算出が衛星データ撮像日によりばらつくという問題がある。そこで消散係数比算出の基本に戻り、目視で一様な砂地を確認できる箇所を選び直し、その中で生口島北 島の駅「しまなみ」前がばらつきが小さくなると判明した。さらに、解析を $3 \times 3 = 9$ メッシュの値を平均化させることで、消散係数比を安定して解析できるようになっている。
- 先行研究サーベイの成果から「塩分が低く濁り度が高い（透明度が低い）沿岸域は、藻の生育度が低くなり、地球観測衛星で識別が困難」という仮説を立てている。現在、仮説立証の一環で、地球観測衛星データの青緑バンドと緑バンドの反射率比から塩分も透明度も推定することが可能になっている。この塩分、透明度の推定は、因島の現地観測データ及び広島県水産海洋技術センターのデータと合わせこむとで、一般式化を実行中である。

(3) Lyzenga の式の修正

上記(2)-b を反映して、塩分 32.5%以下、透明度 0.9m 以下の沿岸域で BI の閾値を下げれば、これまで識別できなかった藻場を識別できる可能性がある。この塩分と透明度の閾値の設定とアルゴリズムへの反映はさらに研究を継続している。

表 1 に地球観測衛星データの取得状況と現地観測データ取得状況をまとめる。Sentinel-2 データとして図 2 - 1 に 2019 年 12 月 25 日、図 2 - 2 に 2020 年 2 月 18

日撮像データによる藻場識別解析結果、図2-3に同2月18日撮像データによる塩分推定、図2-4に同日の透明度推定の結果を示す。

現在、前述した相対大気補正の追加で、藻場識別解析精度は66%まで向上している。図2-1と図2-2により藻場の季節変化が良くわかる。現状、図2-1に示す①、⑤、⑩、⑫は藻場があるのに地球観測衛星データから常に識別ができず解析精度に影響している。また図2-3と図2-4で、前述の仮説を実証できるデータになっているかについては、考察を継続している。塩分と透明度の推定を詳細化して、前述4点の藻場を識別できるようにすれば、解析精度は80%まで向上する。

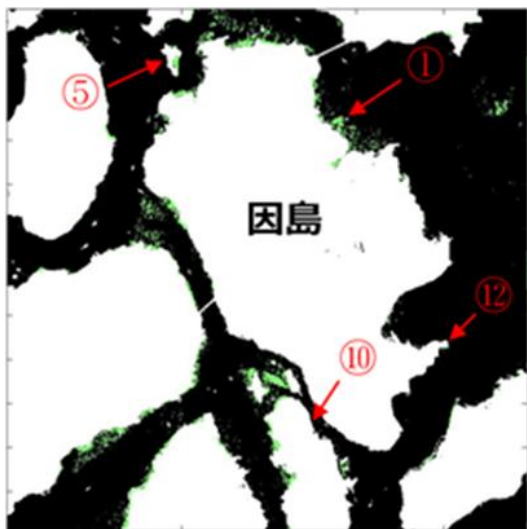


図2-1 藻場識別結果(2019年12月25日)

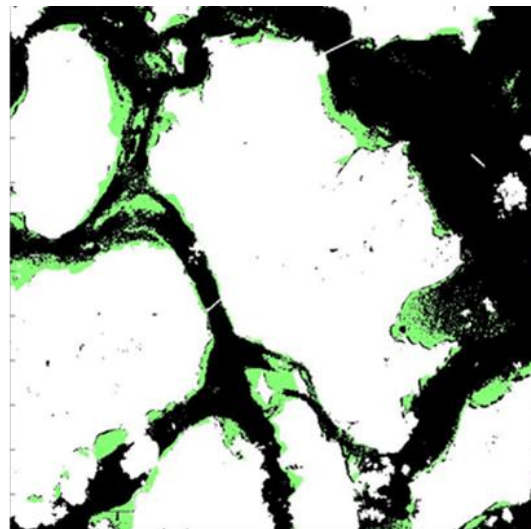


図2-2 藻場識別結果(2020年2月18日)

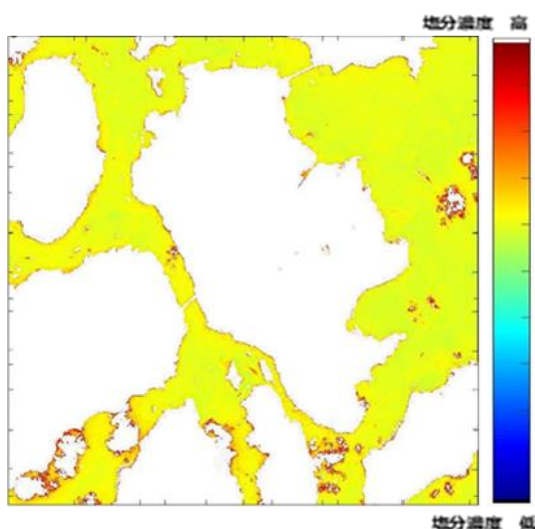


図2-3 塩分推定結果(2020年2月18日)

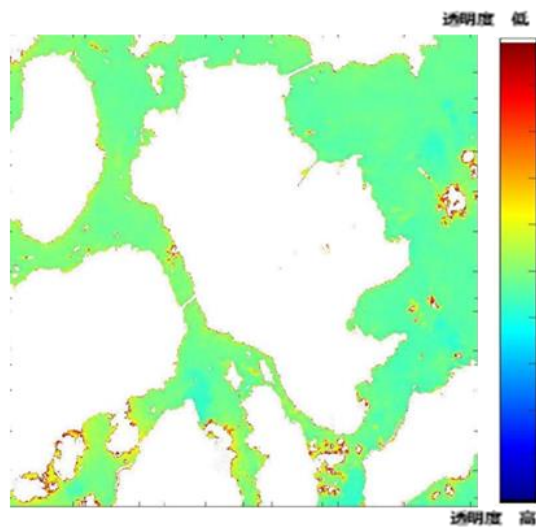


図2-4 透明度推定結果(2020年2月18日)

4. 今後の研究計画

2020年度の研究は以下のとおり実施する計画で、前述した研究目標Ⅰ~Ⅲを達成する。

- ① 塩分・濁り度の推定を確立し、藻場生育度との相関を分析(研究目標Ⅱ)
- ② 塩分と濁り度を反映する Lyzenga の式による独自の解析アルゴリズムを確立し、藻場識別精度71%以上を達成(研究目標Ⅰ)
- ③ 陸域の活動(因島の一大産業である造船会社の活動をメインとする)と藻場生育の相関を分析し、藻場増減をモデル化(研究目標Ⅲ)

この①と②により、地球観測衛星データによる藻場識別の独自解析技法をアメリカ航空宇宙学会へ学術論文投稿し、更に全成果をアメリカ航空宇宙学会の Science and Technology Forum and Exposition2021 で発表する。

表1 藻場識別データ取得状況

年	月	Landsat-8	Sentinel-2	現地観測	解析精度		濁り度推定	塩分推定	海洋データ取得	備考 (合わないポイント)
					Landsat-8	Sentinel-2				
2018	4	○	○		63% (2019・3比較) 56% (2019・5比較)	56% (2019・3比較) 56% (2019・5比較)				4,5,9,11,13,15
	10	○	○	○	60% (2018・10比較) 57% (2018・12比較)	60% (2018・10比較)				1,4,10,11,12,14
	12			○						
2019	2	×		○						
	3		○	○		69% (2019・3比較)				1,3,4,10,12
	4	×								
	5	×	○	○		67% (2019・5比較)	○	○		1,5,10,11,12,16
	6		○			67% (2019・5比較)				1,5,6,10,12,15
	7			○						
	10			○						
	11								○	
	12		○	○			61% (2019・12比較)	○	○	
2020	1	×								
	2		○	○			○	○	○	

合わないポイント 赤：実際は藻場があるのに解析結果では無しと判断 青：実際は藻場がないのに解析結果では有りだと判断

特許・論文等

■特許

1. アクチュエータ 特許公開 2003-11899 三菱重工業と共同
2. 出力軸固定用ブレーキ付き電動アクチュエータ 特許公開 2003-18791 三菱重工業と共同

■論文受賞

平成21年度 日本工学教育協会賞 論文・論説賞
航空宇宙開発でシステム安全活性化を図るエンジニア教育効果の定量的測定

研究室等ホームページ

<http://www.fukuyama-u.ac.jp/smart-system/>
<https://www.facebook.com/FUSmartSystem/>

キーワード：藻場、画像、CNN

海底カメラのための海そう画像の認識技術の開発

工学部 スマートシステム学科

田中 聡

工学 スマートシステム学科

准教授



専門分野：通信システム、ロボティクス

E-mail : tanaka3n@fukuyama-u.ac.jp

研究概要

海底カメラでは数日間海底で動画記録を行うため、大容量の動画記録が蓄積されるが、海中画像から物体認識を自動化することにより運用を支援する。今回の研究では実験海域である因島周辺でよくみられる4種類の海そう(海草と海藻の両者を含めて表記する)の海底画像を認識するシステムをCNN(Convolutional Neural Network)を用いて作成し、実際の海底画像を用いて学習させた。システムは海そうの分類に対して60%から80%の認識率が得られた。

■研究の背景[1,2]

藻場における生物相の変転をリアルタイムで捉えることにより、藻場の役割を解明することを目的として、「藻場環境探査システムの開発」を進めている。海中ドローンや海底カメラはその目的のためのシステムであり、瀬戸内海の海底に設置して運用実験を進めている。図1は海底カメラ2号機の外観である。上部にステレオカメラを搭載し推進10mでおよそ1日から1週間のデータは内部に搭載するものと外部に展開する2系統があり、外部電池とができる。温度センサや水深センサなどが搭載されているが海中に届く太陽光で1日あたり15分程度の運用ができる程度の発電が可能である。

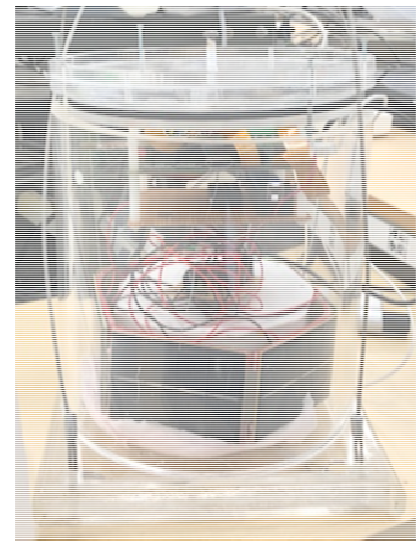


図1 海底カメラ2号機

■研究内容

画像による物体認識の対象としたものは(a)オモダカ目アマモ科アマモ、(b)ヒバマタ目ホンダワラ科フシスジモク、(c)テングサ目テングサ科オオブサ、(d)アオサ目アオサ科ウスバアオノリの4種類だが、このほかにも海底の泡や砂地、海底カメラのロープを一つのクラス(Extra)として学習の対象とした。これらの海そう画像は因島周辺で撮影した海中画像から取得している。図2は海中画像の一例です。海中の画像は海水濁りでぼやけており、また海水動きでゆがんでいる。また、海そうは群生しているものが多く画像の境界はあいまいである。



図2 海そう画像の例

これらの画像を各クラス100枚程度を学習用に用意した。また、学習用データを増やす(N増し)のために、回転処理、ガウスノイズ、ごま塩ノイズを混入した画像を作りクラス400枚の画像データで学習した。

今回作成したCNN(図3)は入力画像が32*32ピクセルのRGB画像を入力し、畳み込み層とプーリング層が各2層から成っている。出力層は全結合となっており、先の4つの海そうのクラスと海中物体をまとめたExtraクラスの5つに分類される。畳み込み層とプーリング層の相間の結合ではゼロパディングを行ない、識別性能の向上を図った。CNNはtensorflowで書かれており、Cudaを用いて、学習を200ステップ以内、10バッチで実行する。

CNN(Convolutional Neural Network)

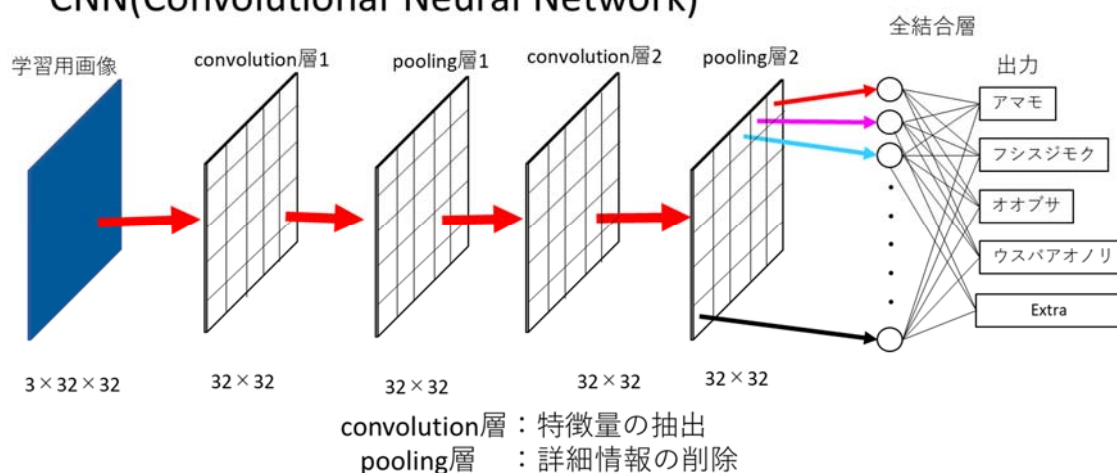


図3 海そう画像分類CNN

■結果

フシスジモクのように単体の境界がはっきりするものは100%の認識率があるが、群生していて境界があいまいなものは認識率が低下した。また、表1にN増しによる認識率の効果を確かめたところ、回転や雑音の混入はある程度の効果があることが分かった。しかし、雑音が多すぎると低下することから適度なN増しが重要であることがわかる。

表1 学習方法と認識率（平均値）の差異

No	学習画像	学習枚数	学習回数	認識率
1	N増しなし	900枚	200回	60.4%
2	回転処理	2100枚	200回	79.6%
3	回転処理& ガウシアンノイズ	4200枚	200回	79.5%
4	回転処理& ごま塩ノイズ	4200枚	150回	79.2%
5	回転処理& ガウシアンノイズ& ごま塩ノイズ	6300枚	100回	77.2%

■実用化に向けて

海底に設置する小型の探査カメラに搭載できる程度のAIプロセッサを用いた画像認識システムを目標としている。大規模なCNNを搭載することは現実的ではなく、多くのオブジェクトを同時に認識するのではなく、複数のCNNを切り替えながら時間をかけて周囲の情報を解析する現実的なシステムを構築する。

論文等

- [1]田中 聡他、「藻場観測のための海底カメラの開発」,福山大学工学部紀要 第41巻 2018年2月.
- [2]田中 聡他,「瀬戸内海の藻場探査を行う海底カメラの運用に関する研究」,福山大学工学部紀要, 第42巻 2020年2月.
- [3]桑田他,“CNNを用いた海藻画像の分類に関する研究”, 第28回計測自動制御学会中国支部学術講演会, 2c-2,pp.43-44.2019年11月23日.

キーワード：里山里海、海中探査、水中ロボット、音響ビーコン、人工知能

ひとまちくらしプロジェクト：海中探査プロジェクト

工学部 機械システム工学科

内田 博志 教授 Hiroshi Uchida 博士（工学）

専門分野：最適制御、最適設計、信号処理、統計解析、品質工学
E-mail : uchidah@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

海中探査を目的とする海中ロボットシステム（図1）を開発している。現在は安心安全防災教育研究センター優先プロジェクト「里海の中探査プロジェクト」と一体の活動を行い、藻場内部に生息する魚類の生態解明、藻場の分布の調査を目的とする探査システムの実現を目指している。2019年度は主に下記の①～③に取り組んだ。

① 海中探査ロボットシステム製作

- 2018年度までに試作した海中ロボットは、推進力が弱く運動性能に欠け、また内部への水漏れを原因とする動作不良を頻発するなどの欠点があったため、改良型の海中ロボットを新たに製作し（図3上）、水槽内でスラスタの動作確認を行った。テストの結果、水漏れはないことを確認した。
- 海中ロボットは、メインコントローラとして Arduino Uno を用い、内界センサとしてのデジタルコンパス、加速度センサ（ジャイロを含む）、外界センサとしての小型デジタルカメラ、超音波センサ6個、アクチュエータとしてのスラスタ3基などを備えている。スラスタを高出力型に変更したために新たにドライバ基板を6ch分搭載するなど、電気回路の実装密度を上げた。
- 構想段階では、海中ロボットは完全無線での自律動作を行う考えであったが、電力供給および海中ロボットとの通信を直ちに無線化できるめどが立たないため、いずれも海上ロボットとの間の電線を介して行うことにした。海上ロボットに搭載した大容量バッテリーから給電することで、長時間の自律海中航行が期待できる。
- 海中ロボットと連動させる海上ロボットを新たに作製した。遠距離通信モジュール、IoTモジュール、みちびき対応GPSなどを備え、遠隔海域での自律航行が可能な構成とした。底部には浅域海中探査用カメラを配置した（図3中および下）。

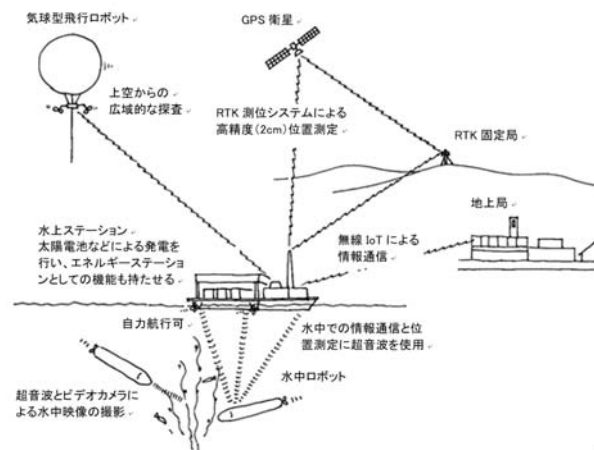


図1 海中探査ロボットシステム

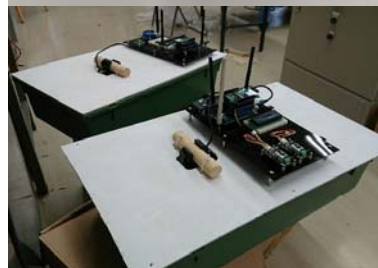
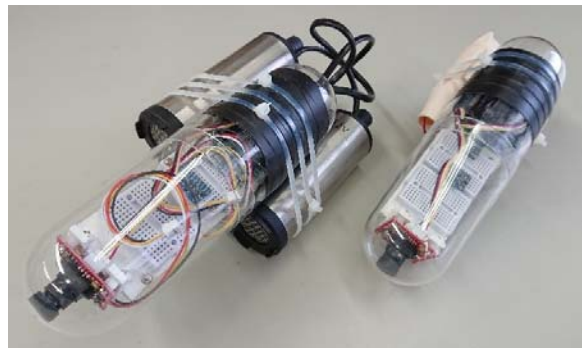


図3 改良型海中ロボット(上)と海上ロボット(中、下)

② 海中ロボットシミュレータ

- 藻場探査を目的とする海中ロボット制御技術開発を効率的に進めるため、海中ロボットシミュレータの開発を行った。同シミュレータとしての最適な機能を模索するため、4種類の異なるプラットフォーム上で開発を進めている。
 - 図3は、オープンソースの水中ロボットシミュレータに藻場環境モデルを組み合わせたものである。ロボットはビデオカメラを備えており、このカメラ映像（図3下図の左下隅）を利用した水中ロボットの自律制御を検討中である。なおこれと類似の他の水中ロボットシミュレータについてもトライアルを進めている。
 - 図4上・下は、オープンソースのドローン・シミュレータに海中環境モデルを組み合わせたものである。ドローン形状のロボットは、今後水中ロボット型のモデルに置き換える。これらのロボットは、通常のビデオカメラのほかに、デプス・センサ（距離を映像教示、図4下の左下部に表示）など多彩なセンサを備えており、海中ロボットにおけるそれらセンサの利用を検討する目的で、このシミュレータを活用する。
- これらのシミュレータは、現段階ではキーボードやゲーム・コントローラを介して手動操作しているが、いずれも動作をプログラミングすることが可能であるため、今後、カメラ映像などのセンサ情報をもとに自律探査行動を行う制御アルゴリズム開発を進める。生物の動きを模した探索アルゴリズムが多数提案されており、それらを応用する。（図5）

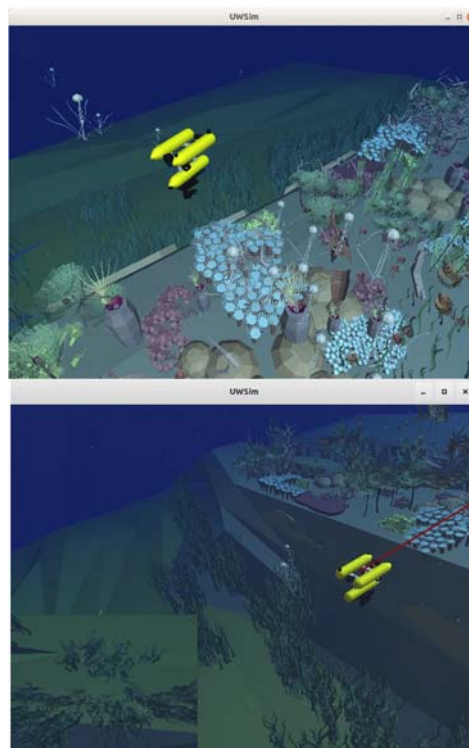


図3 海中ロボットシミュレータ

③ ソナーシミュレータ

- 透明度の悪い海中水域ではカメラ映像が利用しにくいいため、ソナーによる環境認識が有用である。そのことをシミュレーションで検証するため、ソナーのシミュレーションを行っている（図6）。将来的には海中ロボットシミュレータのロボットに組み込み、ロボット用センサとして動作させる。

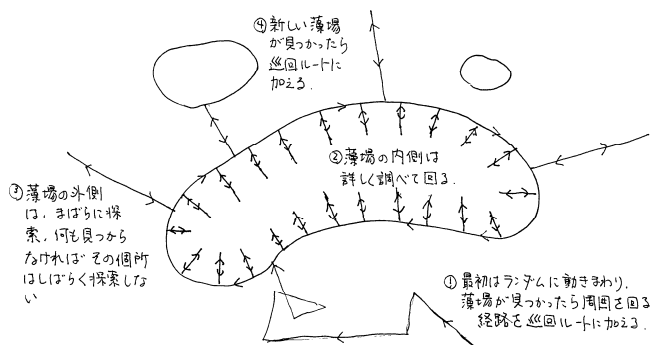


図5 藻場探査行動の概念図
(蜂アルゴリズムに基づくイメージ図)

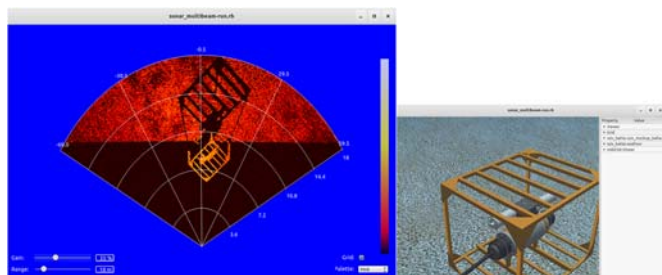


図6 ソナーのシミュレーション
(左：受像映像、右：測定対象)

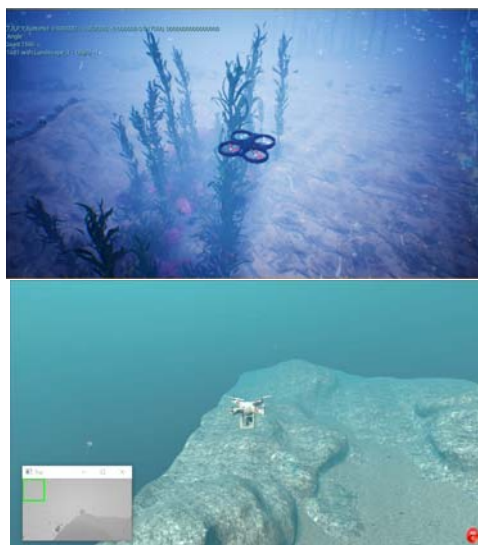


図4 ドローン・シミュレータを利用した海中ロボットシミュレータ

キーワード：里海、養殖、水槽環境システム、給餌システム、シミュレーション

水槽環境シミュレーションモデルの開発 —瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究—

安全安心防災教育研究センター 工学部

伊澤 康一 准教授 Koichi Isawa 博士（工学）

専門分野：建築環境・建築設備

E-mail：koichi.isawa@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

1. 背景・目的・方法

人が手入れすることによって自然環境をより豊かにできる「里山・里海」の考え方・取組みの重要性が再認識されており、養殖は「里海」の取組みの1つとして位置付けている。

開発課題として「質」と「量」の双方に加えて、給餌量の必要最小化が求められている。本研究では、それらの課題を「AIを用いた自発給餌システム」によって解決することに着目した。具体的には、「教師データ」を使って人工知能学習を進め、魚が餌を“食べたいときに・食べたいだけ”食べることができる「自発給餌システム」を構築することを目標としている。

システム開発は、サブタスクA「AIの開発」（担当：情報工学科 池岡宏准教授）とサブタスクB「水槽環境シミュレーションモデルの開発」の2つによって実施している。本報では、サブタスクBの2019年度実施内容を報告する。

サブタスクBでは、水槽環境を実測し、実測値に基づきシミュレーションモデルを構築することを目的とした。実測値と計算値の双方を、サブタスクAと連携してAI学習に用いるとともに、実水槽環境の環境制御に用いる準備を行なっている（図1）。

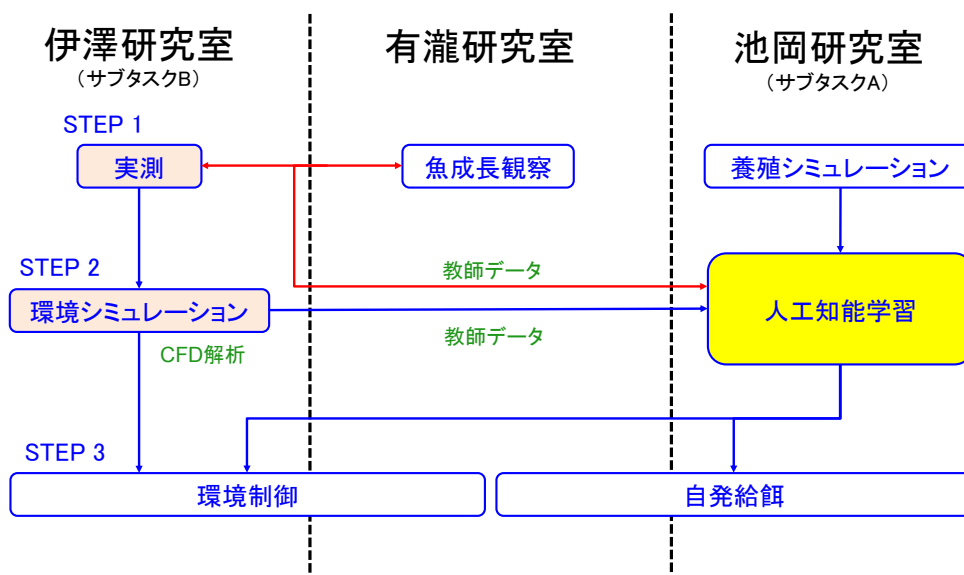


図1 プロジェクトのワークフロー

2. CFD 解析

成魚用の20トン水槽（水量16トン）を対象にしてCFD（Computational Fluid Dynamics）解析を実施した。給餌装置の直下付近の水槽底面へ餌が重力沈降して溜まってしまう状況を改善することを目的に、給餌装置の位置等について検討した。給餌装置の台数は、文献1の結果を反映させて3台とした。表1に、解析条件を示す。

給餌装置を注水口の背後に設置することによって、誘引流と吐出流の両方の水流に餌を載せることができ、餌が重力沈降しながら水中に比較的長い時間滞留することが確認できた（図2）。

表1 CFD解析条件表

流れ場	入力	注水口 (2個)	流入流量		7	L/min
					0.007	m ³ /min
					0.000117	m ³ /sec
			流入口断面積(φ30)		0.0007065	m ²
			流入速度		0.165	m/s
	吹出し角度 :斜め吹き出し	平面角	45°, -135	°		
		仰角	-45	°		
出力	排水口 (1個)	流出量		14	L/min	
				0.014	m ³ /min	
				0.000233	m ³ /sec	
		流入口断面積(φ60)		0.002826	m ²	
流入速度		0.083	m/s			
温度場	入力	ヒーター	ヒーター加熱量	0	W	
	出力	熱貫流	周壁の熱通過率(熱貫流率)	7.37	W/(m ² ・K)	
濃度場	入力	給餌	給餌速度		5	g/min
					300	g/h
			給餌時間		10	min/回
	出力	換水	換水(注水・排水)によって餌を排出・除去 (ろ過装置の餌除去率は100%とした)			

00:01:00

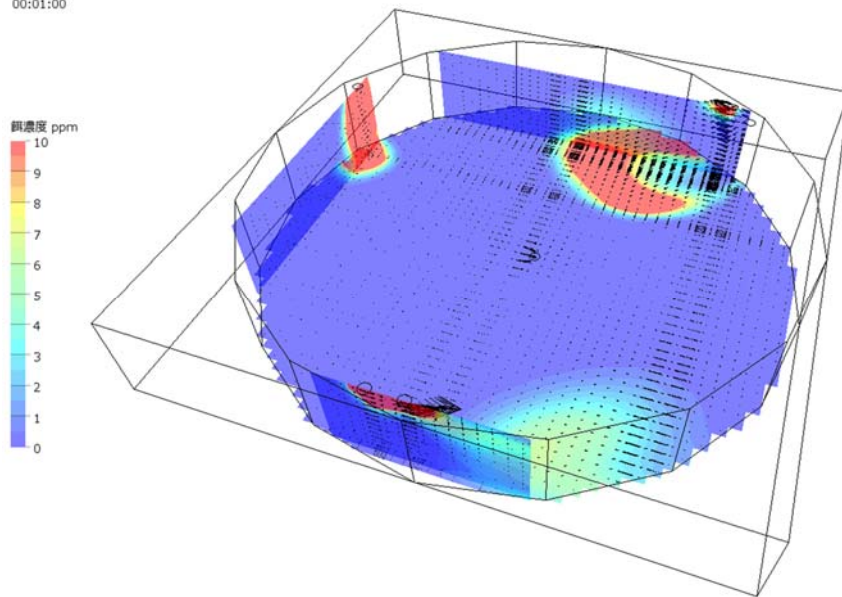


図2 餌濃度分布(20トン水槽)

3. 今後の予定

画像測定系と温度・照度測定系を福山大学内海生物資源研究所の養殖水槽に設置して対照区実験を実施し、「測定データ」と「魚の成長」の関係を解明するとともに、大量の教師データを入手して人工知能の精度向上を図る。

文献1 Haruki Kuroki, Hiroshi Ikeoka, Koichi Isawa: Development of simulator for efficient aquaculture of *Sillago japonica* using reinforcement learning, Proceeding of International Conference on Image Processing and Robotics (ICIPRob), 2020.3.

謝辞 シロギス養殖水槽の運用データ入手と画像撮影にあたり、本学海洋生物科学科の有瀧真人教授、藤川さん、学生の皆さんにご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

里海の海中探査プロジェクト 衛星ミッション変更

安全安心防災教育研究センター スマートコミュニティ教育研究部門

関田 隆一 部門長 Ryuichi Sekita 博士(システム・マネジメント)

専門分野：システム工学、システム安全、マネジメント、宇宙機推進系

E-mail : sekita@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

スマートシステム学科で 2015 年度から開始した「超小型衛星研究プロジェクト 不転軌」は、2017 年度に土砂崩れ予測ミッションの基本設計続行が地上ミッション研究の困難さから不可能との判断に至った。そこで大学ブランディング研究プロジェクトとして里海の豊かさを持続可能性を伴って維持する研究の一環での活用につながる新しい超小型衛星ミッションを研究している。

1. 研究目的

昨年度の研究により、新しい衛星通信の Store & Forward (S&F) 技術を活用し、かつ将来の小型衛星による藻場研究を含む海洋科学研究に活かせるミッションを設定した。

具体的には、藻場付近の海洋ローカルデータロギングと、海上モジュールから衛星へのオンデマンド撮像により、福山大学オリジナルの衛星ミッションである。

本年度は本ミッションを実現させるために必要な機能からシステムを設計し、主要コンポーネントリスト及びそれに基づく超小型衛星システムダイアグラムの明確化が研究目的である。

2. 2018 年度に設定したミッションと運用

昨年度に設定した超小型衛星システムのミッションと運用コンセプトは以下である。

(1) ミッション

藻場研究に活かすため、モニタリング対象となるいくつかの藻場に、固定された海上モジュール（各種センサ、GPS 受信機、S&F 通信機、電源）で平常時は水温・塩分など藻場の調査研究に必要な物理量と、位置情報を取得しロギングする。海上モジュールは衛星からのデータリクエスト信号に反応し、S&F で位置情報と取得物理量ログを送信する。衛星はそれを受信できると、その位置方向を狙って画像撮像を行う。これらにより藻場周辺のローカルに取得した物理量と、その周辺の衛星画像を藻場側からのリクエストに応じて撮像できるというミッションである。

(2) 運用コンセプト

藻場に設置する海洋モジュール付近での超小型衛星の運用コンセプトを図 1 に示す。

海上モジュールは藻場に固定されて常に海水の物理データを計測し記録する。

①衛星が軌道上において海上モジュール上空付近を通過する際に、データリクエスト信号を一定間隔で衛星から送り始める。

②それを受けた海上モジュールは、それまでに記録したデータの内、直近のデータを衛星へ送信する。

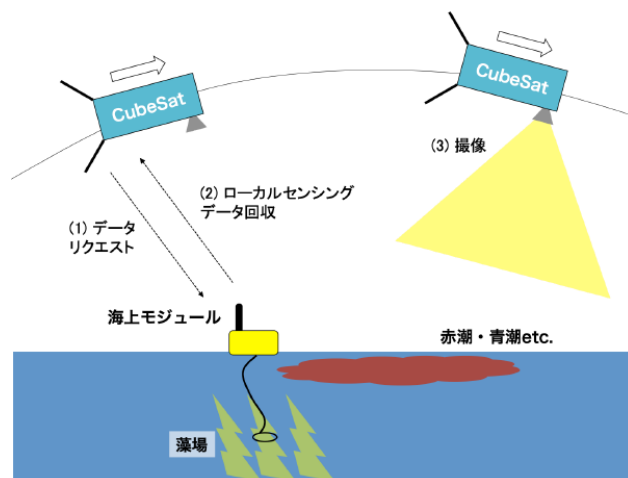


図 1 超小型衛星の運用コンセプト

③衛星はデータ受信後に、回収したデータに含まれる位置情報を基に、海上モジュールの方向に姿勢を向けて周辺を撮像する。

図2にグローバルに収集する海洋データのS&F運用コンセプトを示す。

ある周回で世界各地に設定した海上モジュールから収集した海水データと撮像したリモートセンシングデータは、次の周回で衛星が福山大学地上局上空を通過する際に一括ダウンリンクが行われる。

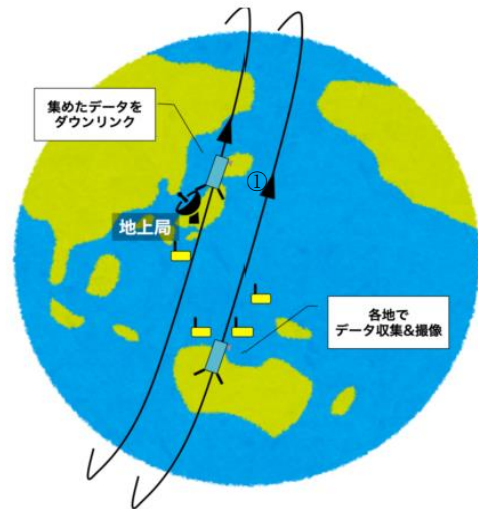


図2 S&F運用コンセプト

3. 2019年度の実施目標及び実施計画

瀬戸内海の解明のみならず、グローバルな海洋データ収集を将来実用化させることを目標で開発する超小型衛星の基本設計の一環で、以下に示すI~Ⅲの順に具体化してある。

- I. 制約条件とミッションを実現させる設計要求の明確化
- II. 衛星システムアーキテクチャ設計
- III. 構成コンポーネントの選定

4. 2019年度の研究成果

I. 制約条件とミッションを実現させる設計要求の明確化

本ミッションでは、コストを抑え必要十分な機能に絞り込んだシステムを目指す。そのため、衛星本体のサイズは3UのCubeSatに抑え、軌道も国際宇宙ステーションからの放出方式にすることで、コストを下げかつ打ち上げ機会を増やせるようにする。これらより、衛星のフォームファクターは3U CubeSatの標準に従うこと、軌道が国際宇宙ステーション軌道をとること、の2点が制約条件となる。また、CubeSatの標準に従ったコンポーネント及びサブシステムは多くCOTS品として存在するため、それらを活用することとする。それにより宇宙実績があり信頼性の高いものを使用しつつも低価格に抑えたシステムの実現を狙う。

2章でレビューした衛星ミッションをもとに、設計要求項目を以下にまとめる。

- ① 衛星構造は3Uのフォームファクターであること
- ② 投入する軌道は国際宇宙ステーション軌道とすること
- ③ 衛星コンポーネントは、信頼性も考慮できるCOTS品で構成すること
- ④ 衛星にはカラー画像を撮像できるマルチスペクトルカメラを搭載すること
- ⑤ 海上モジュール側には、免許のいらぬ特定小電力無線（LoRa）を用い、衛星側にはそれと相互通信できる送受信機およびアンテナを搭載すること
- ⑥ 海域の任意の方向を向いての撮像を実現するために3軸姿勢制御を行えること
- ⑦ 撮像データおよび海上モジュールからのミッションデータを保存できること
- ⑧ 保存したミッションデータを地上局へ一括送信できること
- ⑨ 地上局へ衛星のHouse Keepingデータをテレメトリとして送信し、地上からのコマンドを受信できる送受信機およびアンテナを搭載すること
- ⑩ 衛星として必要な基本機能（計算、充電・蓄電・電力分配）を有すること

II. 衛星システムアーキテクチャ設計

COTS品を用いてCubeSatのシステムを構築する場合は、接続性及び全体としての運用のしやすさを担保できるよう、極力同じメーカーが作っているコンポーネントを集めて組み上げることとした。そのため本衛星では、各サブシステムのラインナップが一通り揃っているGomSpace社のコンポーネントを主に使用する。また、例外となる地上センサで使用するLoRaと通信できる送受信機およびアンテナのみは、別途開発したもの（他大学において、研究レベルで実証済み）を搭載する。

前述の制約・要求を満たす衛星システムは、以下の5つのサブシステムで構成する。

1. ミッション系 (MSS)
2. 通信系 (COM)
3. データ処理系 (C&DH)
4. 姿勢制御系 (ADCS)
5. 電源系 (EPS)

各サブシステムの詳細を述べる前に、後述する各コンポーネントの一覧とシステムダイアグラムを示す。

表 1 コンポーネント一覧

サブシステム	コンポーネント (略称)	コンポーネント名	コンポーネント名 (訳)
COM: 通信系 Communication	S-ANT	S-band Antenna	Sバンドアンテナ
	U-ANT	UHF Antenna	UHFアンテナ
	STX	S-band Transmitter	Sバンド送信機
	UTRX	UHF Transmitter and Receiver	UHF送受信機
C&DH: データ処理系 Command and Data Handling	OBC	Onboard Computer	オンボードコンピューター
	NanoUtil	Interstage Utility Module	ユニット間ユーティリティモジュール
	FPP Top-S	Flight Preparation Panel	外部インターフェースモジュール
ADCS: 姿勢制御系 Attitude Determination and Control	OBC	Onboard Computer	オンボードコンピューター
	GPSR	GPS Receiver	GPS受信機
	RW-C	Reaction Wheel Controller	リアクションホイールコントローラー
	RWs	Reaction Wheels	リアクションホイール
	MTQZ	Magnetic Torquer Z-axis	磁気トルカ (Z軸用)
	SUN	Sun Sensor	太陽センサ
EPS: 電源系 Electrical Power Subsystem	MAG	Magnetic Sensor	地磁気センサ
	EPS	Electrical Power System	電源システム
	BAT	Battery	バッテリー
MSS: ミッション系 Mission	PV	Photovoltaics	太陽電池
	MultiCam	Multi-spectrum Camera	マルチスペクトルカメラ
	LoRa ANT	LoRa Antenna	LoRaアンテナ
	LoRa RX	LoRa Receiver	LoRa受信機

System Diagram - Signal Interface

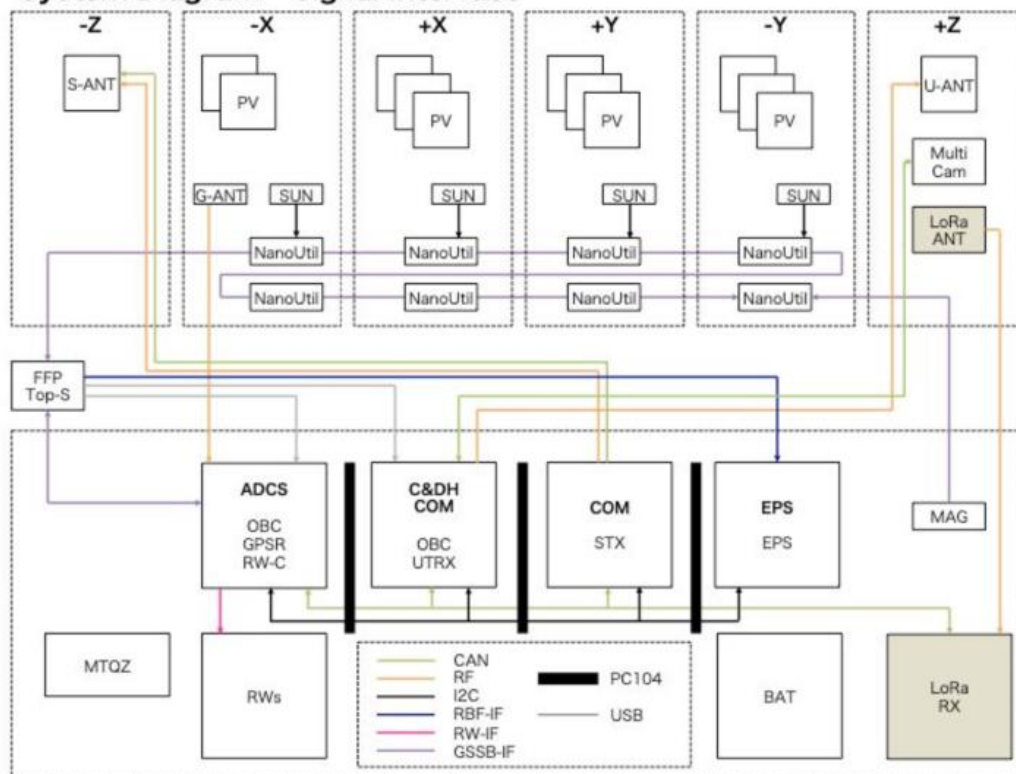


図 3 システムダイアグラム (信号系)

カメラで撮影したデータはカメラ内部にもつメモリに保存される。データダウンリンクの際は、OBC を経由して、COM 系の STX からダウンリンクされる。S&F のデータについても、詳細は S&F モジュール側との調整が必要だが、モジュール内でデータをためたものを OBC を経由してダウンリンクするあるいは、OBC のメモリにためておき、ダウンリンクすることになる。

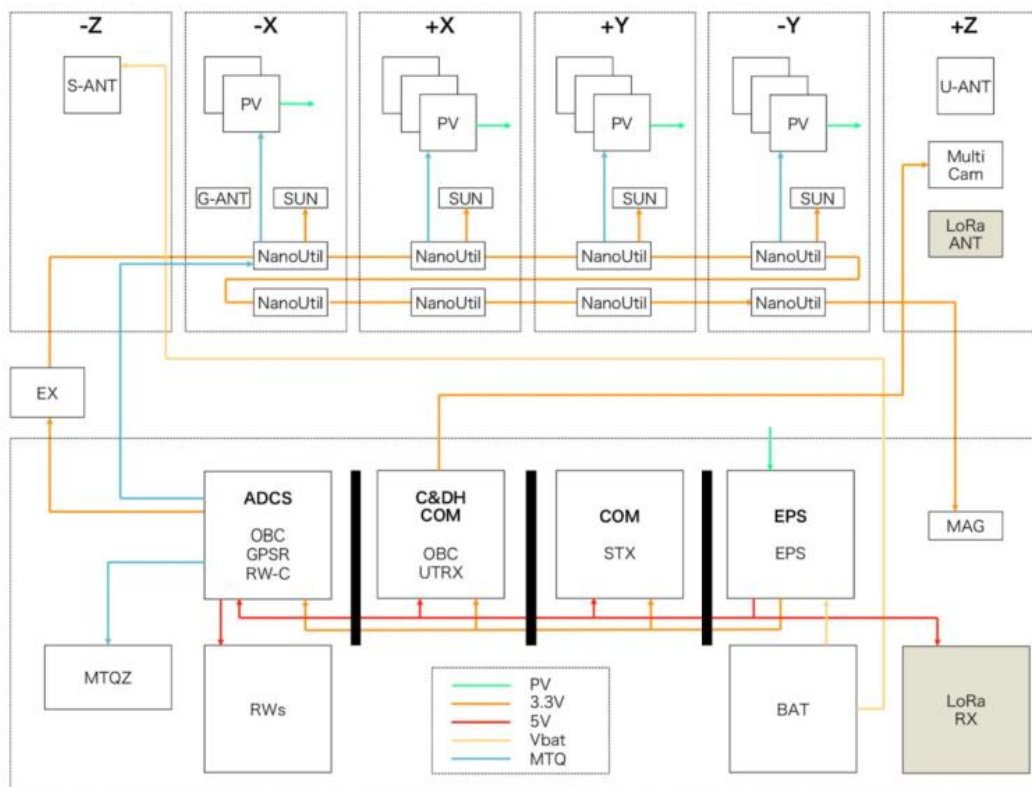


図4 システムダイアグラム (エネルギー系)

表2 インターフェース一覧

インターフェース名	説明
PC104	ピンヘッダ/ソケットにより接続される規格。 このピンに電源やI2CやCANなど様々なインターフェースが含まれる
CAN(Controller Area Network)	CAN規格の通信インターフェース
USB(Universal Serial Bus)	USB規格の通信インターフェース
RF(Radio Frequency)	同軸ケーブル
I2C(Inter-Integrated Circuit)	I2C規格の通信インターフェース
RBF-IF(Remove Before Flight)	衛星打ち上げ時に外すピンのインターフェース
RW-IF(Reaction Wheel)	Reaction Wheel制御用インターフェース
GSSB-IF(GomSpace Sensor Bus)	GomSpace社独自規格のインターフェース
PV(PhotoVolatics)	太陽電池出力
3.3V	3.3V電源
5V	5V電源
Vbat(V battery)	バッテリー電圧 (非安定)
MTQ drive	MTQ制御電源

3U のフォームファクター内で、これらのコンポーネントが接続される際には、3U のフレームを用い、その中に各基盤モジュールをスタックしている形をとる。姿勢制御系、データ処理系、通信系、電源系はそれぞれ一つの基板の上に表面実装部品や表面に小さな筐体モジュールを搭載することで、ひとかたまりとして扱えるようになっている。それらは PC104 という CubeSat でよく用いられるインターフェースを使用し基板同士をスタック

することで電氣的・構造的なインテグレーションができるようになっている。カメラ開口部は 3U の長軸方向を向くように配置される。

なお、CubeSat の内部ではハーネスの取り回しが煩雑になり、インテグレーションの際に大変であるが、この PC104 インターフェースを採用している本衛星では、その労力はかなり削減されている。しかしながら、それでも衛星の外側に位置する太陽電池や太陽センサから内部の電源系の基板へ接続するためのケーブルや、カメラと基板の間など、搭載位置の制約上離れて配置せざるを得ないモジュール間のケーブルなど、ケーブルを使用しなくてはならないインターフェースも多く存在するため、ある程度の煩雑さは避けられないものとなっている。

以上について、GOMSPACE 社で製作した 3U 衛星の例を図 5 に示す。

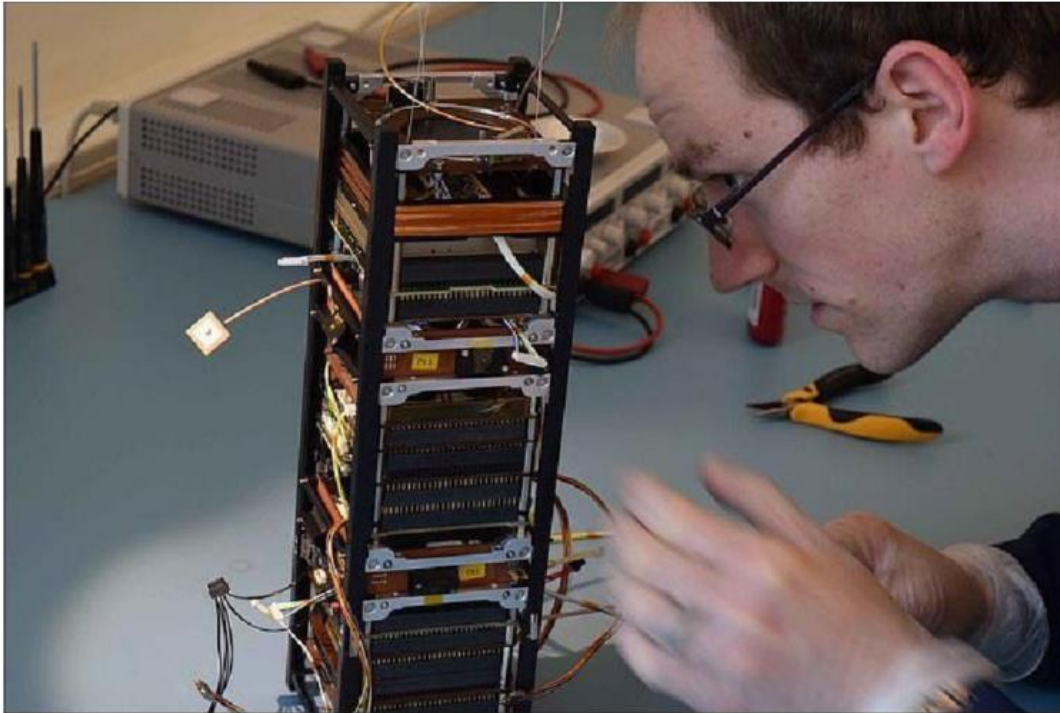


図 5 GOMX 3 衛星の艤装状況（手前のピンヘッダ・ソケットが PC104）

III. 構成コンポーネントの選定

サブシステム毎に満たすべき機能と、それを実現するコンポーネントの選定結果を以下に説明する。

(1) ミッション系

ミッション系は、前述したマルチスペクトルカメラと海上 LoRa との送受信機及びアンテナで構成する。

① カメラ

マルチスペクトルカメラは NanoCam C1U を搭載する。このカメラは RGB の可視カメラであり、近赤外などの波長は含まない。そういった特殊な波長も撮れるカメラは COTS 品として入手できるものは限られる。少なくとも GomSpace のシステムとそのまま Plug-and-Play で使用できるものは存在しないため、このカメラ以外を採用する場合、開発がある程度必要になってしまい、もともとのコンセプトから外れてしまう。したがって、本衛星ではこの RGB のみ撮像できる GomSpace 社製のカメラとした。

NanoCam C1U システムは、要件に基づいてカスタマイズされたイメージングシステムを迅速に実装するための柔軟なモジュール式システムである。レンズ、レンズテーブル、画像取得、処理ボード、およびソフトウェアで構成されている。GomSpace のオンボードコンピューター、姿勢制御システム、無線トランシーバー、電力製品とともに標準の 1U CubeSat 構造に実装できるように設計されており、CubeSats を使用した低コストの地球観測が可能である。



図 5. NanoCam C1U

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/payloads/earth-observation.aspx>)

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Integrated System:
 - Industrial Lens
 - 3-megapixel color sensor
 - Advanced data processing and storage on-board
- Image Acquisition:
 - 1/2" (4:3) format color CMOS sensor
 - 2048 x 1536 pixels
 - 10-bit RGB Bayer pattern
- Lens Performance (for each lens version):
 - 8 mm lens: <260 m/pixel from 650 km
 - 35 mm lens: <60 m/pixel from 650 km
 - 70 mm lens: <30 m/pixel from 650 km
 - 400-750 nm spectral transmission
- Data Processing:
 - High performance ARM processor
 - 512 MB on-board DDR2 RAM
 - 2 GB solid state image storage
 - RAW, BMP and JPEG output format
- Interface:
 - CSP-enable CAN, I2C and TTL level serial interfaces
 - Serial port with text-based console for debugging
- Mechanical Features:
 - Standard PC/104 size, 96 mm x 90 mm
 - Mass: from 169 g with the 8 or 35 mm lens
 - Mass: from 277 g with the 70 mm len

② S&F 通信機

LoRa の送受信機及びアンテナは以下を搭載する。衛星側受信機、海上側送信機それぞれ、東京大学が開発し、2018年2月3日に打ち上げられた TRICOM-1R のものである。それぞれの写真と諸元を以下に示す。

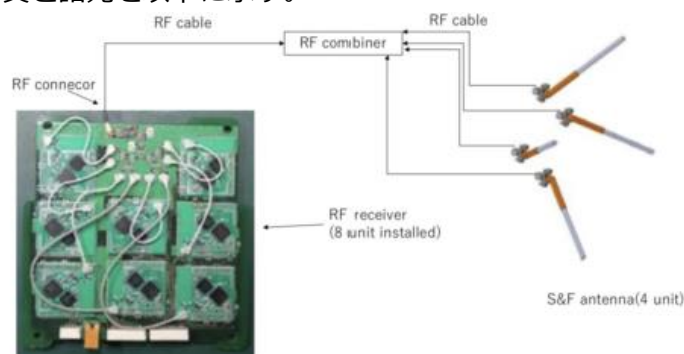


図 6 S&F モジュール (衛星側)

表3 衛星側 S&F 受信機の諸元

	実効伝送速度(bps)	受信感度(dBm)
速度と感度	45	-145
	146	-139
	293	-136
電源	5V,350mA 以下	
重量	約 50g	アンテナは含まない



図7 S&F モジュール (海上側)

表4 海上側 S&F 送信機の諸元

送信電力 [mW]	20	
ビットレート [bps]	293	可変 (45, 146, 293bps)
サイズ [mm]	100x100x30	バッテリーや箱のサイズにもよる
重量 [g]	200~400	
変調方式	LoRa	

(2) 通信系

通信系は、テレメトリ・コマンド通信に用いる UHF の送受信機及びアンテナと、ミッションデータの通信に用いる S バンドの送受信機及びアンテナで構成する。

① UHF 受信機

テレメトリ・コマンド通信には、AX100 UHF 送受信機を使う。



図8. AX100

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/communication-systems/nanocom-ax100.aspx>)

AX100 は多くのクラスの宇宙ミッションに統合するための高度に小型化されたフォームファクターである。モジュール設計により、アップダウン周波数の冗長性と柔軟な構成が可能となっている。インターフェースはチェックアウト/テストコンソール (GOSH) および Cubesat Space Protocol (CSP) ネットワーキングを備えた共通インターフェースを有する。GomSpace NanoDock の上に取り付けて使用する。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

RF Features:

- UHF and VHF versions available in the following frequency range versions:
 - VHF: 143-150 MHz
 - UHF low: 395-405 MHz
 - UHF: 430-440 MHz
- Data rates from 0.1 kbps to 38.4 kbps
- Sensitivity down to -137 dBm
- Transmitter with 30 dBm output power at > 45 % PAE
- RF parameters are fully configurable on-orbit e.g. carrier frequency programmable in 1 Hz steps

Baseband and Protocol:

- Multiple frame and FEC formats:
 - HDLC (noFEC)
 - HDLC with convolutional FEC
 - AX.25
 - 32-bit syncword
 - Reed-Solomon FEC
- GFSK/GMSK modulation options
- Interfaces:
 - GOSH Interface for check-out, test and debugging
 - Cubesat Space Protocol (CSP)
 - I2C, UART, CAN-Bus

② UHF アンテナ

UHF アンテナは、4つの折りたたみ式ポールアンテナを使う。



図9 UHF アンテナ

ターンスタイルアンテナは、単一の円偏波アンテナを形成するために、位相ネットワークで組み合わされた4つのモノポールアンテナで構成されている。アンテナパターンはほぼ全方向性であり、タンプリング中でもフェージングを引き起こす可能性のある死角がない。

アンテナは他のベンダーの構造と互換性があり、ナノ衛星の上部または下部のパネルに取り付けることができる。アンテナ PCB は、上部または下部に取り付けられたペイロードまたはパネルに対して最も邪魔にならないように設計されている。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Omnidirectional canted turnstile cubesat antenna
- Gain: 1.5 dBi to -1 dBi
- Frequency range: 435 +/- 5 MHz
- Rigid antenna tubes (no risk of antenna deformation while stowed)
- Matched to 50 Ω
- Available in 1U and a 2-3U version

③ S バンド送信機

ミッションデータをダウンリンクするための S バンド送信機は、NanoCom SR2000 を使う。



図 10. SR2000

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/communication-systems/nanocom-sr2000.aspx>)

SR2000 は、GomSpace SDR プラットフォーム上に構築され、必要なファームウェアを備え、すぐに使用できる S バンド無線として実装されている。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- S-band radio firmware (cannot be modified) based on GomSpace Software Defined Radio
- Transceiver compatible with the GomSpace S-band patch antennae module(s)
- Flexible layer-3 bandwidth up to 1.25 Mbps (FDD)
- Fully configurable in-orbit
- Compliant with GomSpace CSP
- Consist of:
 - NanoDock SDR
 - NanoCom TR600
 - NanoMind Z7000
 - S-band radio firmware
- Radio System
 - High-speed QPSK transceiver for point-to-point S-band communications
 - Frequency and time division duplex support
 - Symbol rate 500 kBd to 2 MBd
 - S-band operation (1980-2290 MHz)
 - Dual-modem support allows two simultaneous RF links
 - Adjustable output power
 - PC104 form factor
 - Interfaces: CAN, LVDS, I2C and SSMCX antenna connectors
 - Operational temperature: -40°C to +85°C

④ S バンドアンテナ

S バンドアンテナは、NanoCom ANT2000 を使う。

ANT2000 は、GomSpace SDR トランシーバーおよび S バンド無線とのインターフェース用に特別に設計されたアクティブアンテナのファミリーとなる。アクティブアンテナは、シールド/取り付けプレートの周りにサンドイッチとして構築される。アンテナと電子機器 PCB 間の RF 信号接続は、RF 圧縮コネクタで行われます。この構造により、シールド/取り付けプレートを変更するだけで、複数の異なる衛星構造に柔軟に取り付けることができます。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Integrated antenna and PA/LNA results in low loss and optimum RF performance

- Duplex filter based design results in optimum co-existence with other RF transceivers on-board.
- Flexible sandwich construction allows flexible mounting on different satellite structures – just by changing the shield/mounting plate.
- Flexible power interface (8-18 V)
- Default CAN-bus control interface (I2C option)
- Medium gain (8 dBi) patch antenna with RHCP polarization (LHCP option)
- Temperature sensors
- Current sensor
- PCB material: Glass/Polyimide IPC 6012C cl. 3/A
- IPC-A-610 Class 3 assembly

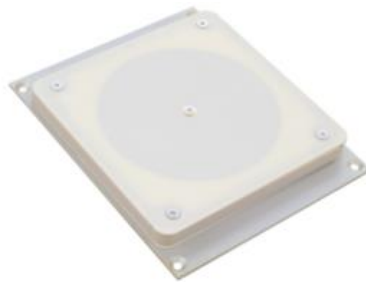


図 11. ANT2000

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/communication-systems/nanocom-ant2000.aspx>)

(3) データ処理系

データ処理系は、メインのオンボードコンピューターと、ユニット間に配置するユーティリティモジュール、及び外部インタフェースモジュールからなる。

① オンボードコンピューター

オンボードコンピューターは、NanoMind A3200 を使う。



図 12. A3200

(<https://docs.google.com/document/d/15VzVNIu6RoEhKrbQ-k5YxGMzKoecZhcVUGUxOIT2TnE>)

NanoMind A3200 は、ほとんどの GomSpace NanoDock プラットフォームの上に取り付けることができる。

主な特徴と仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Highly miniaturised form-factor for integration in many classes of space missions
- Modular design and networked architecture allows for redundancy and distribution of functions
- Common interfaces with check-out console (GOSH) and Cubesat Space Protocol (CSP) networking
- Hardware features:

- High-performance AVR32 MCU with advanced power saving features
 - 512 KB build-in flash
 - 128 MB NOR flash (On two dies of 64 MB each)
 - 32 kB FRAM for persistent configuration storage
 - 32 MB SDRAM
 - RTC clock
 - On-board temperature sensors
 - Interfaces:
 - I2C, UART, CAN-Bus
 - 8 external ADC channels that can also be used as GPIO
 - External SPI with 3 chip selects
 - Cubesat Space Protocol (CSP)
 - GOSH interface for check-out
 - Attitude control system features:
 - 3-Axis magneto resistive sensor
 - 3-Axis gyroscope
 - 3 bidirectional PWM outputs with current measurements
 - I2C interface for GomSpace Sensor Bus (GSSB)
 - Electrical features:
 - 2 x 20-position hard-gold plated FSI one-piece connector
- ② ユニット間ユーティリティモジュール
 GomSpace のシステムを使用する上で必要な、CubeSat のユニット間に配置するユーティリティモジュールとして、NanoUtil Interstage GSSB を使う。



図 13. NanoUtil Interstage GSSB
 (<https://gomspace.com/shop/support/interstage-gssb.aspx>)

GomSpace NanoUtil Interstages GSSB (GomSpace Sensor Bus) の主な機能は、衛星の外部部分を内部に接続することである。たとえば、ソーラーパネルの出力を内部の EPS へ、または太陽センサー出力を ADCS へ接続させる機能を担う。主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- USB, I2C, UART, CAN-Bus
 - GOSH interface for check out
 - CubeSat Space Protocol (CSP)
 - Sensor bus (GSSB)
 - Connector to a Fine Sun Sensor
 - Connector to a external magnetorquer
 - Parallel PV power
 - Optional antenna release
- ③ 外部インタフェースモジュール
 衛星がインテグレーションされた状態でも外部から内部機器へアクセスしたり、バッテリーの充電状態を調べたり、衛星の起動を行えるようにするためのインタフェースモジュールとして、NanoUtil FPP Top-S を使う。
 図 14 に見えるピンヘッダは、バッテリーの電圧確認や充電、キルスイッチや RBF ピンの接続などに使われる。USB のコネクタは、内部の OBC に接続されており、内部のパラメータ変更などに使用される。2 つあるうち、一つはデータ処理系の OBC、もう一つは姿勢制御系の OBC に接続される。

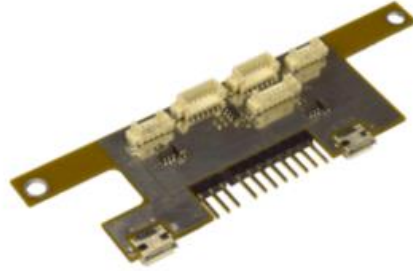


図 14. NanoUtil FPP Top-S (<https://gomspace.com/shop/support/fpp-top.aspx>)

(4) 姿勢制御系

姿勢制御系は、姿勢制御用のオンボードコンピュータ、GPS 受信機、リアクションホイールとそのコントローラ、磁気トルカ、太陽センサ、地磁気センサからなる。このうち、姿勢制御用のオンボードコンピュータは前述したメインのオンボードコンピュータとハードウェアとしては全く同じものである。

① GPS 受信機

GPS 受信機は、NovAtel OEM719 GPS receiver を使う。位置と速度のデータを改善するために、GNSS 受信機を NovAtel OEM719 GPS 受信機の形式で ADCS セットアップに統合することができる。



図 15. NovAtel OEM719 GPS receiver

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/attitude-orbit-control-systems/gps-kit.aspx>)

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Available in two versions customised for the GomSpace NanoDock ADCS-3 and NanoDock ADCS-6
- No COCOM limitations (export restrictions may apply for some markets)

② リアクションホイール

リアクションホイールは、Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH 社の RW1 というホイールを 4 スキュー状に配置し搭載したものをを用いる。コントローラも専用のものをを用いるが、その詳細は公開されていないため、ここではリアクションホイール本体のみについて記述する。



図 16. RW1 (<https://www.astrofein.com/2728/dwnld/RW1-18oB.pdf>)

主な仕様は以下のとおりである。本衛星は Type A (Web サイトより引用)

Parameter	Data	
Performance:	Type A	Type B
Angular momentum (@ 8000 rpm)	$5.8 \cdot 10^{-4}$ Nms	$1.0 \cdot 10^{-4}$ Nms
Nominal rotation speed	8 000 rpm	
Max. rotation speed	approx. 16380 rpm	
Nominal torque (max. commendable)	$23 \cdot 10^{-6}$ Nm	$4 \cdot 10^{-6}$ Nm
Mechanical:		
Mass		
wheel	≤ 24 g	≤ 12 g
WDE	≤ 45 g	
Dimension		
wheel with flange	21 mm x 21 mm x 12 mm	
WDE	95 mm x 50 mm x 15 mm	
Moment of inertia (rotating mass)	$694.5 \cdot 10^{-9}$ kgm ²	$119.5 \cdot 10^{-9}$ kgm ²
Electrical:		
Voltage	5 V	
Power consumption		
Standby (WDE only)	< 0.50 W (WDE for 4 wheels) < 0.35 W (WDE for 3 wheels) < 0.25 W (WDE for 1 wheel)	
Nominal speed (WDE + single wheel)	< 0.525 W	< 0.45 W
Maximum (WDE + single wheel)	< 0.625 W	< 0.55 W
Data Interfaces:	CAN, SPI, RS-232, RS-485 (others on request)	
General:		
Operation temperature range	-20°C to +50°C	
Non-operation temperature range	-40°C to +65°C	
Design lifetime	1 year in low earth orbit	
Storage time	2 years (incl. up to 240 h of ground operation)	
All rights are reserved. Subject to change without prior notice.		

③ 磁気トルカ

磁気トルカの機能は搭載するいくつかのソーラーパネルに実装されている。しかし Z 方向だけソーラーパネルが無いため、コイル状の磁気トルカ Nano Torque Z を搭載する必要がある。

主な使用は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Single axis magnetometer
- Small, reliable, light
- Dipole moment 139 mAm²
- Physical size 90.5 x 96.9 x 17.2 mm
- Mass 106 g
- Flight proven

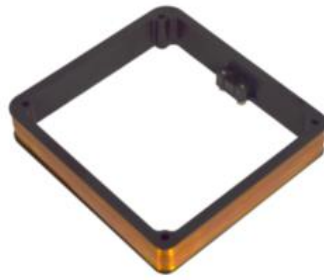


図 17. NanoTorque Z

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/attitude-orbit-control-systems/nanotorque-z-axis-internal.aspx>)

④ 太陽センサ

太陽センサは衛星に対する太陽の方向を検出する機能を有し、ユニット間ユーティリティモジュール上に搭載する。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Small, light, low power
- Digital interface (I2C)
- Wide Field-Of-View
- High temperature range
- Flexible mounting (either rear or front mount)
- Delivered with calibration data.
- Elevator unit
- Mass: 3 g
- Size 22 x 11 x 5.5 mm



図 18. FSS

([https://gomspace.com/shop/subsystems/attitude-orbit-control-systems/nanosense-fss-\(1\).aspx](https://gomspace.com/shop/subsystems/attitude-orbit-control-systems/nanosense-fss-(1).aspx))

⑤ 地磁気センサ

地磁気センサは、オンボードコンピューター内部にも搭載されている。しかし本衛星ではノイズの少ない環境に配置し、より高精度に地磁気ベクトルを検出する目的として、別途 NanoSense M315 を搭載する。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- 3-axis magnetometer with a range of up to $\pm 800 \mu\text{T}$
- Small, reliable, light
- Low power
- Digital interface (I2C slave)
- Very low noise
- Integrated temperature sensor
- Mass: 8 g
- Size 23 mm x 20 mm x 8 mm
- Flight proven



図 19. NanoSense M315

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/attitude-orbit-control-systems/nanosense-m315.aspx>)

(5) 電源系

電源系は電源周りのモニタおよび制御を行う電源システムと、バッテリー、太陽電池で構成する。

① 電源システム

太陽電池の MPPT 制御、リチウムイオンバッテリーの充電制御、電源入出力の監視と制御、電源レギュレートなどの機能を有する電源システムとして、NanoPower P31u を使う。いくつかのオプション設定があるが、その中で図 20 に示すようにバッテリーがボード上に積まれているものではなく、ボードだけのものを用い、バッテリーは後述するバッテリーモジュールを使うこととする。



図 20. NanoPower P31u

(<https://gomspace.com/shop/subsystems/power/nanopower-p31u.aspx>)

NanoPower P31u は、1~30 W の電力需要を持つ小型で低コストの衛星向けに設計されている。トリプルジャンクション太陽電池に接続し、高効率のブーストコンバーターを使用しリチウムイオン電池を充電する。

主な仕様は以下のとおりである。(Web サイトより引用)

- Main Features

- Optimal for 1U and 2U platforms
- Battery voltage 8V
- 20 Wh battery onboard
- Photovoltaic power conversion up to 30 W
- ISS launch compliant version available

Key functionality

- 3 input channels with independent power point setting
- Three different photovoltaic power point options
- Battery under-voltage and over-voltage protection
- Two regulated power buses
- 6 user-controlled output switches w. latching current limiter
- Discrete control of output switches
- Onboard housekeeping measurements
- Interface to battery board NanoPower BP4 and BPX

- Separation-switch interface with latching mechanism
- Remove-Before-Flight-pin interface
- Onboard lithium ion battery pack
- Onboard microcontroller with I2C interface
- CSP network protocol for seamless integration with other GomSpace products

② バッテリー

バッテリーは、リチウムイオンバッテリーの4直2並列構成としてモジュールとなっているBPXを使う。

主な仕様は以下のとおりである。(Webサイトより引用)

- Lithium-ion battery pack for space applications
- Utilizes 18650 lithium-ion cells, 2600 mAh cell (nominal)
- 3 configurations from 2600 to 10400 mAh
- Expandable: Any number of BPX packs can be coupled in parallel or serial
- Can be configured for nominal voltage ranging up to 29.6 V
- Provides telemetry over I2C (CSP protocol) - voltage, current and temperature
- Autonomous heater system
- Fits standard PC104

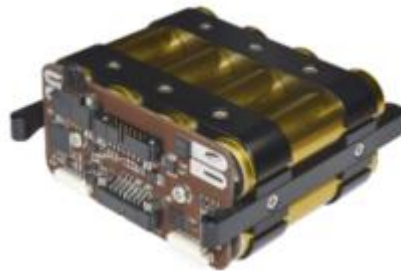


図 21. BPX (<https://gomspace.com/shop/subsystems/power/nanopower-bpx.aspx>)

③ 太陽電池

太陽電池は、トリプルジャンクションで高効率のセル P110 を 1U の 1 面あたり 2 枚貼り付けたものを、各面に配置する。S バンドアンテナやカメラ開口部、UHF および S&F 用のアンテナが配置されない面全てにこれを配置することによって、発電量の最大化を狙う。

主な仕様は、以下のとおりである。(Webサイトより引用)

- 30% efficiency solar cells
- Up to 2.3 Watt in LEO
- Available in 10 variants with
- Integrated magnetorquer of 0.038 Am²
- Coarse sun sensor
- Temperature sensor
- Operational temperature: -40 °C to +85 °C
- Integrate seamlessly with other GomSpace products
- Multiple panels can be connected in parallel or series.
- Compatible with other vendors CubeSat structures

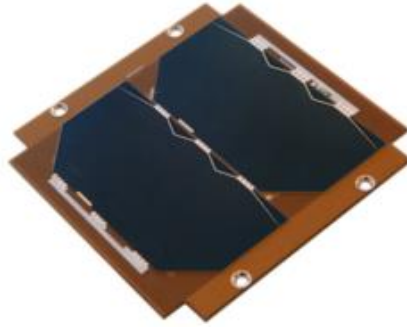


図 22. P110 (<https://gomspace.com/shop/subsystems/power/p110-solar-panel.aspx>)

(電力収支について)

これまで説明してきたコンポーネント構成による電力収支に関して概略を以下のように考察してある。

GomSpace 社製の 3U 衛星である GOMX-3 が本衛星と同様の内部機器と太陽電池の配置を持ち、国際宇宙ステーション軌道で成立していることから、成立の見込みは十分にある。

オーダーとして、ノミナル運用時において、日照時平均 6W の発電を行いながら、2.5W の電力消費を続けることになる。90 分のうち、50 分間はこの差分の最大 3.5W で日照中充電可能で、40 分は日陰中に 2.5W で消費され、収支としてはマージンを持った正の値を取るようになる。

まとめ

ローカルオンデマンド撮像による藻場と周辺の海域状況モニタリングミッションを実現できるシステム基本設計を実施した。3U の CubeSat を ISS から放出する機会の活用を前提として、GomSpace 社の COTS 品を中心としたシステムに S&F システムをオリジナルペイロードとして搭載する設計である。

設計結果としてシステムダイアグラムとコンポーネント一覧を作成し、コンポーネントの主な仕様もまとめた。

今後、残る基本設計は、S&F モジュールと GomSpace 社製品の電氣的インターフェースの調整や、コンポーネント、部品の全体を 3U のフレームの中でどのように配置しケーブルを接続するかなどの艦装設計及び衛星ソフトウェアの設計がある。これらは、大学とメーカーで共同の体制を敷いての検討が必須となり、更に、電力収支の詳細計算、信頼性設計及びシステム安全にも着手する必要がある。

以上、2019 年度に計画した研究計画はすべて実行して目標を達成した。

特許・論文等

■特許

1. アクチュエータ 特許公開 2003-11899 三菱重工業と共同
2. 出力軸固定用ブレーキ付き電動アクチュエータ 特許公開 2003-18791 三菱重工業と共同

■論文受賞

平成 21 年度 日本工学教育協会賞 論文・論説賞
航空宇宙開発でシステム安全活性化を図るエンジニア教育効果の定量的測定

研究室等ホームページ

<http://www.fukuyama-u.ac.jp/smart-system/>
<https://www.facebook.com/FUSmartSystem/>

看護・介護を支援するスマートシステムに関するプロジェクト 音によるベッド内行動認識のための音源像の生成

工学部 スマートシステム学科

仲嶋一（代表）、香川直己、田中聡、伍賀正典

専門分野：計測技術、光応用技術、波動応用技術、センサ情報処理技術

E-mail：nakajima.hajime@fukuyama-u.ac.jp / 084-936-2112 (ext. 4135)



研究概要

■ 研究の背景

病院での入院患者や高齢の要介護者（以下対象者）はベッドを中心とした生活を送っているが、せん妄や認知による離床徘徊といったトラブルが発生しており、各種センサや監視モニタの設置による対策が行われている。しかし、センサは個々の行動に対してほぼ 1 対 1 に対応するため対象者の全ての行動を網羅するには多くのセンサの設置必要になる。また、監視モニタでは照明光が必要なため、完全に消灯して就寝する場合には赤外線カメラ、赤外線照明が必要となるうえ、プライバシーの問題から設置ができない可能性や、設置が許諾されても対象者にとっての心理的圧迫になる可能性がある。一方、音は対象者が発するもので、完全に受動的計測が可能であり、対象者にとってもプライバシーに関わる抵抗感は比較的少ない。更に、病院におけるナースコールや遠隔介護では看護師、介護士とのコミュニケーションとして音声情報機器は必須であることから、音声情報から対象者の状態や行動が推測できれば、看護、介護の品質を飛躍的に向上できると期待される。

我々は、このようなコンセプトに基づき、対象者に限定されたプライベート音空間を形成して音による高度な看護・介護環境を実現するスマートベッドシステムの開発を行っている。図 1 に開発中のスマートベッドシステムの概念図を示す。本システムは、プライベート音空間を主要素とする対話ハードウェア系と、対話ハードウェア系の構成要素である音源特定マイクからの情報を用いる認識処理系に大別される。対話ハードウェア系は、対象者の耳の周辺の限定された空間に音響場を生成するシステムと、複数個のマルチピックアップから音響信号を取得してアレイ信号処理により特定話者の音声を抽出する音源特定マイクロホンシステムから構成される。後者は特定話者の音声のピックアップに加えて、2次元または3次元の音源マップを形成して以下に述べる認識システムに入力し、対象者の状態を推定する。

この対象者状態推測系では、例えば腰位置の移動によるベッド軋み音や手足の移動による擦れ音、呼吸音、咳といった対象者の発する音の 2次元音源分布を形成し、その時系列的な変化から対象者の動きを推測する。この処理では、動きの推測によりせん妄や認知症によるベッド離床・徘徊の予備動作の推定や脳梗塞による鼾、喘息発作等対象者の発呼の無い要看護状態の検出を目標としており、実現時の看護支援効果は非常に大きいと期待される。

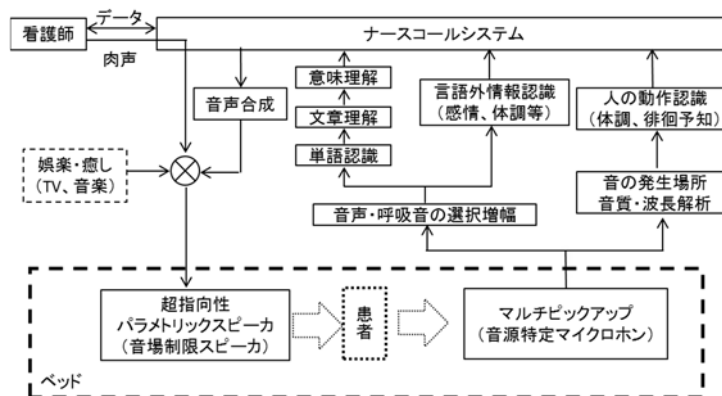


図 1 システムの基本構成図

■ 研究内容

1. 音による行動認識のコンセプト 人工知能を含むほぼすべての視覚認識システムがスペクトル（カラー）情報を含む光学的像の強度情報の 2次元分布の特徴量により物体の認識を行っている。この場合、カラー情報は補助的役割であることが多く我々はモノクロームの画像であってもほぼ正確に物体を把握する事が出来るが、類似形状の識別などで識別精度を向上するにはカラーの情報が必要になる。音信号の場合は音源種別の探査分解能が粗いこともあり、主にスペクトルの情報により認識が行われる。しかしながら、視覚の場合と同様に類似音が多く存在しスペクトル情報だけか

らの特定が困難な場合には音源位置情報が補助として使われており、例えばエンジン音や水流の発する音などもスピーカーから本来の位置と異なる方向から再生すると認識を誤る場合もある。このような事から、音源の特定においては、スペクトル方向に細かい階層を持つ2次元の多重スペクトル音源像を形成して、これに深層学習等を用いた認識処理を行えば、対象者の行動に伴う擦過音のような音信号もどのような行動の中の発生音であるかをある程度推測できるものと思われる。さらに、行動音は時間と共に位置及びスペクトル成分が変化するため、Recurrent Neural Network等を用いて時系列学習処理を行うことで対象者のベッド内行動の良好な推定ができるものと考えられる。そのためには、多数の音源の存在する環境下において良好な2次元音源像の強度とスペクトル分布を取得し、深層学習の入力とする必要がある。

2. 音伝搬モデル 一般に音源特定では検出系から離れた位置にある音源に対して行われることが多くアレイ配置したマイク群の外部に存在する音源の特定が行われているが、音源を特定するという目的には3個以上のマイクが音源を取り囲むように配列することが望ましい。一方、本研究のシステムでは音源の推定対象がベッド内に限定されており、ベッドの前後にはヘッドボードとフットボードが設置されているため、音源を取り囲むマイク配置を容易に構成することができる。このため、本研究では図2に示すように複数のマイクをヘッド/フット両ボード上に配置した構成により、直線状のマイクアレイでは困難であった、アレイに対し奥行き方向、つまりベッドの長手方向の検出分解能を向上した音源推定を行うことを目指している。音源に対する各マイクの信号波形は、一般的な音波の伝搬式により式(1)のように表される。ここで S 及び M は式(2)のように、メッシュ点上の音源を総数 $L \cdot W$ のベクトル S とし、マイクを総数 $2N$ のベクトルで M 表現したものである。マイクへの入力はいずれもアレイマニホールド行列を式(3)のように定義して式(4)で算出できる。ここで、 $a_{n,lw}$ はベッド長手方向に l 番目、幅方向に w 番目の音源メッシュ点の点音源から n 番目のマイクへの音波の伝達関数であり、座標 $(p(l-1), p(w-1))$ の点音源とマイク M_n との距離 $d_{n,lw}$ に対して、振幅は逆数に比例し、伝搬遅れに伴う位相シフトが発生する。一般の遅延和法では音源が十分に遠方にあると仮定して到来方向を推定するので、伝搬遅延時間のみを補正して信号を足し合わせている。

$$\mathbf{M} = \mathbf{A}\mathbf{S} \quad \dots (1)$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_{LW} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_{2N} \end{bmatrix} \quad \dots (2), \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,LW} \\ \vdots & a_{n,lw} & \vdots \\ a_{2N,1} & \dots & a_{2N,LW} \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

$$a_{n,lw} = \frac{P_0}{d_{n,lw}} \exp(jkd_{n,lw}) \quad \dots (4)$$

補正ゲインと空間相関行列の適用 前節で述べた遅延和法では伝搬に伴う振幅の減衰が考慮されないため、マイクより遠方でも近方でも伝搬距離差の一致する場所では同一の相関強度となり、音源の遠方側に強いゴーストが現れる。これを避けるため、既報[7]にて補正ゲインを用いる方法を提案した。この手法は、音源メッシュ点から各マイクまでの距離に依存した補正として、受信信号に式(5)による補正ゲインを乗じた遅延和を行う手法である。

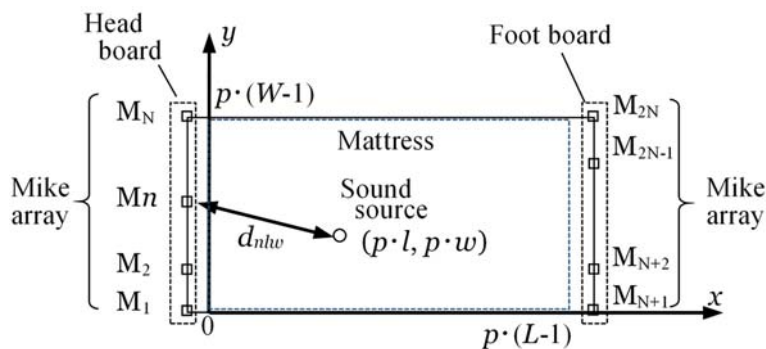


図2 マイク及び音源の配置

$$b_{n,lw} = \frac{1}{\gamma + \alpha \left(\frac{d_{n,lw}}{d_0} \right)^\beta} \exp(jkd_{n,lw}) \quad \dots \quad (5)$$

ここで、 d_0 はベッド中心から各マイクまでの距離である。既報ではシミュレーション実験により、推定位置誤差の小さくなる条件として、 $\alpha = 0.15$ 、 $\beta = 3$ 、 $\gamma = 0.5$ を抽出した。また、位置選択性を鋭くするため、式(6)~(8)に示す受信信号の空間相関行列の各要素の加算または乗算による手法を提案した。ベッドで発生する主要音である擦過音に着目して評価し、そのスペクトルの特性から、2kHz をカットオフとする IIR フィルタを用い、比較的良好な音源抽出特性を得た。但し、各マイクの信号 S は、式(5)により遅延時間、ゲイン補正を行ったものである。

3. 移動擦過音源の評価及び時間変化によるゴースト像低減 既報では評価の再現性のためスピーカを音源とし、ベッド内の特定位置に設置して位置の特定精度を評価した。この構成ではスピーカは点音源となるが、実際の擦過音は有限の発生領域を持つ面音源であり、移動しつつ音量、音質が変化していくと考えられる。そこで、実際に物体を移動させつつ擦過音を発生させ、音源特定の可否を評価した。音の取得にはコンデンサーマイク Behringer B1 (Sensitivity:20mV/Pa, S/N:81 dB A-weighted)を1m×2mの四隅に用い、プリアンプ TubeMP (Equivalent input noise:-130dB A-weighted) を介して ADC (National Instrument USB6361)でPCに取り込むようにした。ADCは同期サンプリングであり、44.1ksample/secに設定した。擦過音は、本来であればベッド素材と身体または衣服で発生させるべきであるが、音量が小さく上記の収音機器では信号が回路系のノイズに埋もれてしまったため、比較的大きな擦過音を発生させるものとして、発泡スチロール板を樹脂製ブラシ擦ることにより擦過音を発生させた。

図3にベッドの中央を幅方向に横断(図2の座標系における(1.0, 0.0)→(1.0, 1.0))して擦過音を発生させてデータを取得し、2kdataの範囲で相関演算を行った音源像生成結果を示す。マイク M1 を基準として所定位置の2kdataを取り出し、各音源メッシュにおけるマイクへの伝搬遅延に基づいてシフトした M2~M4 の信号と相関演算を行っている。空間相関行列要素の演算は全要素の加算とた。図の最大位置を中心とした小円を記入しており、最大値が図下(1.0, 0.0)から図上(1.0, 1.0)に向けて移動していくのが判る。図は、各図の最大値で規格化

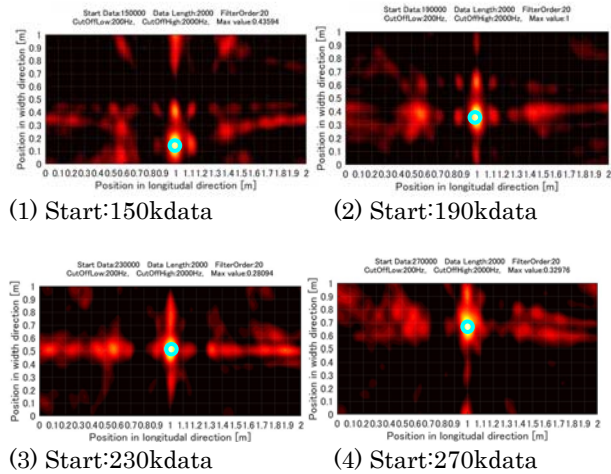


図3 空間相関行列要素の和による移動擦過音源像

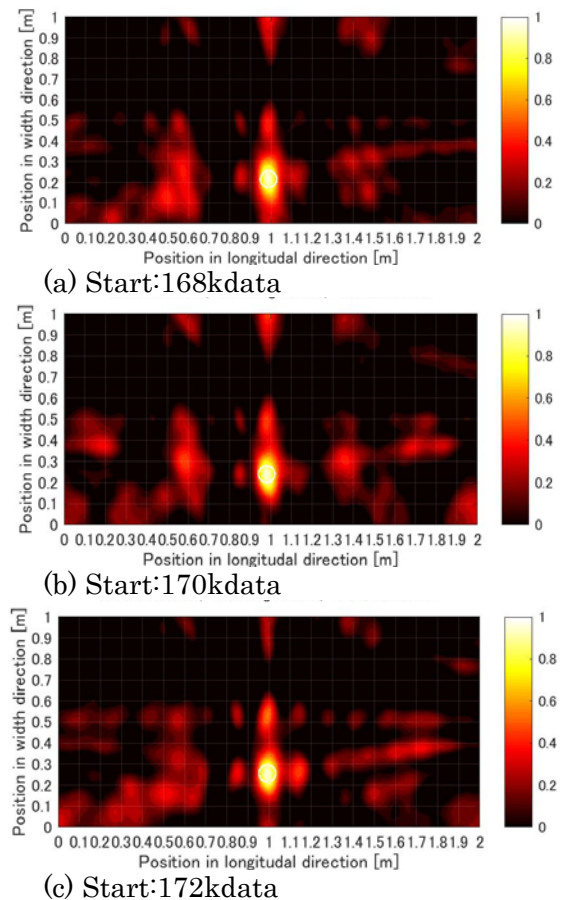


図4 音源画像の時間的強度変化

して描画しており、上記最大値が 1 となっているが、実際は時間に伴って擦過音の発生音量が変化している。図上部に記載した MaxValue は、全体の最大値に対する各図の最大値の比率を示しており、データ位置 190kdata の時に最大となっている。

図より明らかなように、相関ピークは音源を追従して連続的に移動していくが、その他のゴースト像は分布が大きく変動している。これは、擦過音が物体表面に形成される多数の振動音源の互いに独立な振動によるものであり、時間によってスペクトルが変化する。その中の振幅の大きい一部のスペクトルがその波長の整数倍の距離差の位置での干渉によってゴースト像を形成する。そして、そのゴースト像がスペクトルの変動に伴って発生位置を変化させると考えられる。つまり、実音源像に対し、ゴースト像は時間的変動量が大きく、これを利用したゴースト像の低減が考えられる。図 4 は図 3 におけるデータ位置 170kdata に対し、その前後 2kdata の相関強度分布を示したものである。また、各音源メッシュ点の相関強度のフレーム間の分散を計算したものが図 5 であり、データ始点 170kdata での相関強度分布の最大位置を小円で示している。この分散値 V について、

$$\xi = \frac{1}{1 + gV} \dots (6)$$

を補正值とし、元のデータ位置 170kdata の相関強度分布に乗じたものを図 6 に示す。周辺のゴースト像が相当量抑圧されていることが判る。 g は分散値の大きな音源メッシュ点の強度が十分に抑圧されるように設定した係数で、分散が 0.01~0.03 程度の値を取っていたことから 100 に設定したが、特に最適化したものではなく、今後多様な音源のデータを解析することにより検討していく予定である。また、図 7 の強度分布では実音源周辺の、特に上下方向に抑圧が見られ、音源の範囲が縮小している。これは音源の移動による相関強度の変化により分散が増大して抑圧が行われたもので、より鋭く音源が絞り込まれたとも言えるが、オプティカルフローを計算して全体的なフローを音源の移動と考え、この移動分を補正すれば実音源の抑圧を少なくすることができると思われる。

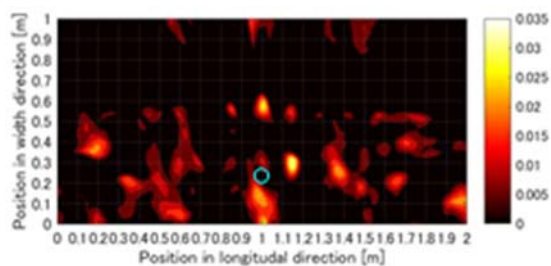


図 5 3 枚の音源像の時間的分散

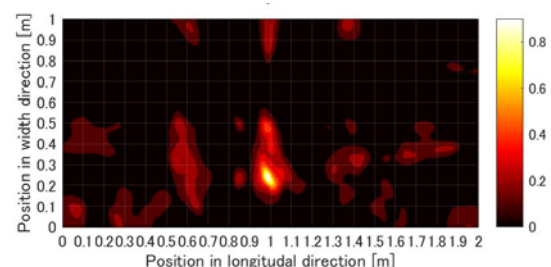


図 6 時間的分散値に基づいて補正した音源像

■ 成果

音を利用しベッド内の対象者や被介護者の看護、介護環境を向上するスマートベッドシステムにおいて重要な機能である音によるベッド内の行動推定を行うためのデータ入力としての音源像を、空間相関行列要素の和をとる方式について、対象物体を移動させつつ発生した擦過音について評価を行った。真の音源位置に相当する音源像のピーク位置は連続的に移動するが、その他のゴーストは比較的急峻に変化する。この特徴を使用し、連続する音源像強度の時間的な分散に基づいた補正によりゴーストが抑圧することを試み、その効果を確認した。

■ その他

本研究の一部は公益財団法人サタケ技術振興財団 2019 年度大学研究助成金の援助を受けたものであり、ここに謝意を表します。

キーワード：非接触操作，行動解析，UX デザイン，サービスデザイン

透析患者向け医療ベッドの開発

－ ポインティング技術の開発と応用 －

工学部 情報工学科

中道 上

教授

Noboru Nakamichi

博士 (工学)

専門分野：HCI (ヒューマンコンピュータインタラクション), UX デザイン, サービスデザイン, ソフトウェア工学

E-mail : nakamichi@fukuyama-u.ac.jp / 084-936-2112 (ext. 4157)



研究概要

指差しジェスチャによるマウスカーソルの移動を利用したポインティングシステムとして、Remote Touch Pointing の研究を進めています。Remote Touch Pointing は指差しジェスチャの延長線上をポインティング位置としてマウスカーソルを表示しています。そのため、直観的にポインティングを行うことが可能となります。

■ 研究の背景

日本では「少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少」「育児や介護との両立など、働く方のニーズの多様化」などの状況に直面しており、働き方改革が注目されています。「働き方改革実現会議」において2017年3月に「働き方改革実行計画」が決定され、今後実行すべき政策の1つとして、「**病気の治療と仕事の両立**」が掲げられています。

透析患者の患者数は年々増加しており約32万人もの患者がいます。透析患者は1回平均4時間かかる人工透析を1週間に3回する必要があり、1週間に合計で12時間ベッドの上で過ごさなければなりません。

■ 研究内容

これまでに開発したポインティング技術を応用して、透析患者が人工透析中においても仕事が可能な医療ベッドの開発を進めています。天井ディスプレイとそれに対して非接触操作が可能なベッドを試作しました。

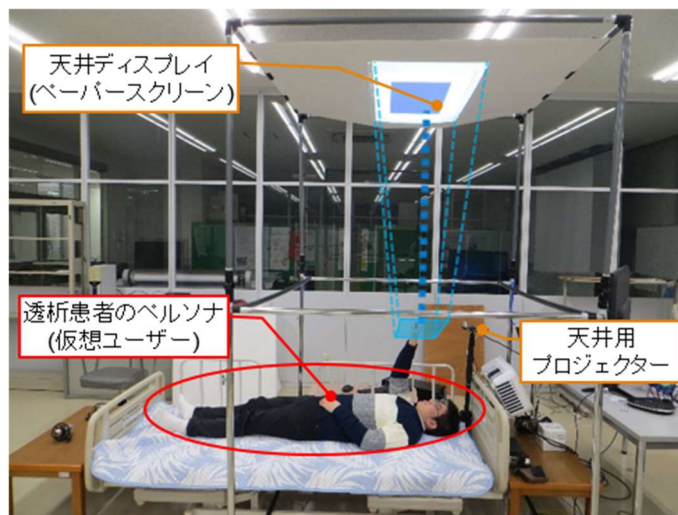


図1 試作した透析患者向けベッド

非接触操作として仮想的なタッチパネルを実現した Remote Touch Panel を利用していますが、タッチパネル面を視認することができない課題があります。仮想的なタッチパネルの可視化に向けて、指先へのプロジェクションマッピングの適用を検討し、開発を進めております。

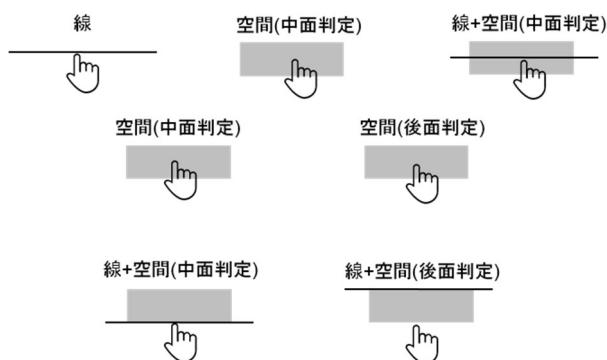


図2 照射する光の7種類の形状

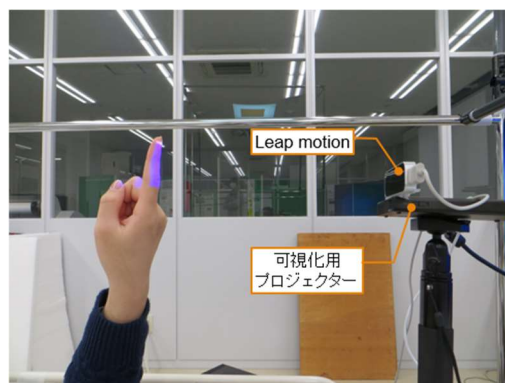


図3 線(白)+空間(青)を指にあてた様子

本研究では、光による仮想タッチパネルの可視化の検証をするために、可視化用プロジェクターによって指に光を照射し、形状と色についての実験を行いました。実験は大学生54名(男性:31名, 女性:23名)に対して実験を実施しました。最も選ばれた光フィードバックは図3の線(白)+空間(青)の組み合わせでした。線には仮想タッチパネルの判定面としての役割があり、空間には判定面に近づいたことを示す役割があると考えられます。

■ その他の応用例

現在、特許も取得し皆様に技術公開が可能となりました。さらに教育分野(スクリーンやテーブル、床面に対するポインティング技術)、自動車分野(カーナビゲーション操作や外の世界とのやり取りへの応用)への応用技術の開発を進めております。

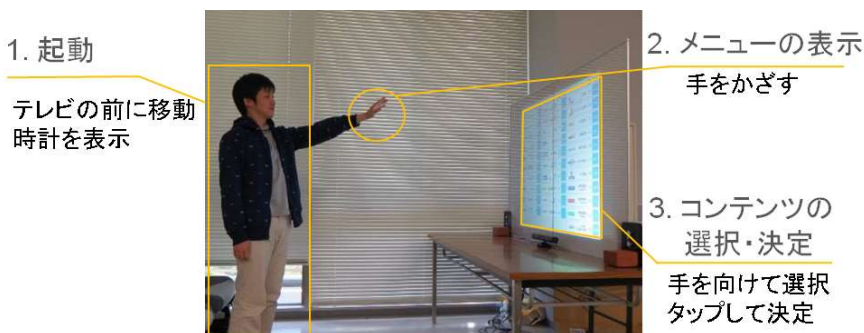


図4 リモコンのいないテレビ

特許・論文等

■ 特許

特許第6472252号「仮想タッチパネルポインティングシステム」

■ 論文

武田祐樹, 横山大知, 中道上, 稲葉利江子, 渡辺恵太, 山田俊哉, "透析患者の仮想タッチパネルにおける光フィードバックの効果", 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.282-287, Mar. 2020.

■ 研究費

日本学術振興会の科学研究費補助金(若手研究(B)15K16108)の助成, 昭特科学振興財団の一般研究, 電気通信普及財団の研究調査助成により実施しております, 厚く御礼申し上げます。

研究室等ホームページ

■ <http://n2lab.com/>

移動型光センサーネットワークのための 光軸自動追尾装置の開発

工学部 スマートシステム学科

香川 直己 教授 Naoki Kagawa 博士（工学）

専門分野：電子機器学，光応用計測

E-mail : kagawa@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

■ 研究の背景

二酸化炭素、メタン等の大気中の温室効果ガスを非接触、かつ、リアルタイムで測定するための手法として、赤外レーザ光線を解放大気に伝搬させるときに生じる共鳴吸収を利用した分光分析法の研究を継続的に続けている。これを屋外の通信ネットワークに適用できれば、同時にセンサーネットワークとしても活用でき各種のセンシングに活用が可能であると考えている。

このシステムは、ネットワーク（ノード）を移動させながら計測し、広範囲を計測エリアにすることを想定している（図1）。そのため、レーザの光軸を追尾するトラッキング機能が必要となる。



図1 ネットワークシステムの概念

■ 研究内容

そこで、光軸検出に画像処理を用いたシステムを設計し、光軸追尾機能の実現を得るための実機に近づけた動作実験を行っている。

今年度、超音波ステージを利用した送信光学系を設計製作し、これを用いてオムニホイールベースの受信光学系の光軸追跡性能を標準化し、受信光学系が光軸（ビーム）の並進、回転双方を追従し、任意の光路長（曲率半径）に対応して円弧追従が可能であるかを検証した。

■ 成果の詳細

レーザ光線を最も効率よく受光するためには、光軸と受光素子面の法線が一致し、かつ、ビーム中心と受光素子の重心が一致することである。これら2つの状態を観測するために、取得したビーム断面画像のモーメントと境界形状を利用した。

これらの検出は、画像処理、画像解析の機能を持つライブラリである OpenCV を用いたソフトウェアで行った。

ビーム分布の検出は、HSV だけで行った場合、光軸に安定に追従しない異常動作がしばしば認められ、この原因追求と対応が求められてきた。そこで撮像面への集光条件を変え光軸中心を移動させた時のモーメントの指示座標を調べた。その一例を図3に緑の丸で示す。この図より、撮像面における光軸の位置によってはヒステリシスを有する異常なモーメント検出をすることがある事が判る。精査の結果、撮像面の境界付近における回折現象で発生した光分布に反応するためであることが分かった。そこで、グレースケールを用いた領域フィルタリングとの併用を試みた。図3中の赤丸が中心検出を HSV とグレースケールとの併用とした場合の追従結果である。理想的な軌跡で



図2 2020年度版 実験用トラッカー

ある破線に概ね沿った結果となったことが確認できる。

この成果は、中心検出だけでなく、ビームの境界形状の検出にも効果を発揮し、次に示すようにビームの安定な円弧追従を可能にした。

中心検出と形状抽出の双方の追従性度が問われるビームの円弧追従を調べた結果を図4に示す。円弧半径は光源から撮像素子までの光路長に相当し、デジタル的に記録されることなくトラックの初期位置で物理的に与えられる。図4に於いては、光軸長を350mmとした場合(上)と、2.75mとした場合の2例を示しており、理論円弧からの誤差を標準偏差で示している。いずれの曲率半径(光軸長)においても、HSVとグレースケールの併用で標準偏差が最小になっており、円弧追従においても双方の併用が最も良好に円弧追従をしていることが示された。ただし、その状況を分析すると、曲率半径が小さい場合はHSVが有利、他方、曲率半径が大きい場合はグレースケールが有利である傾向も見られ、円弧運動の2つの要素である、回転運動にはHSV、併進運動にはグレースケールが有利であるということも推定される。

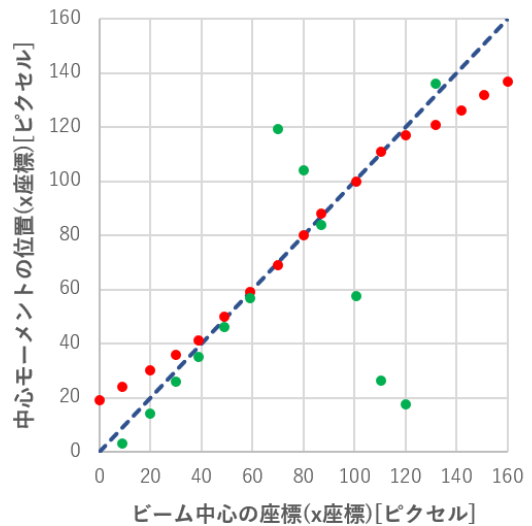


図3 ビーム中心の移動軌跡(緑丸: HSV だけ, 赤丸: グレースケールとの併用)

特許・論文等

■ 関連論文

[1]新木智博、香川直己,"光リンクセンサーネットワークのための光軸トラッカーの開発とその課題",令和元年度電気・情報関連学科中国支部連合大会(2020年10月)

[2]香川直己、新木智博,"移動型光リンクセンサーネットワークのための光軸追尾装置の開発",電子情報通信学科令和2年総合大会(2020年3月)

研究室等ホームページ

■ 研究室: <https://www.fukuyama-u.ac.jp/eng/smart-system/kagawa-naoki>

■ 研究者: <http://rdbv.fukuyama-u.ac.jp/view/n2fwI/>

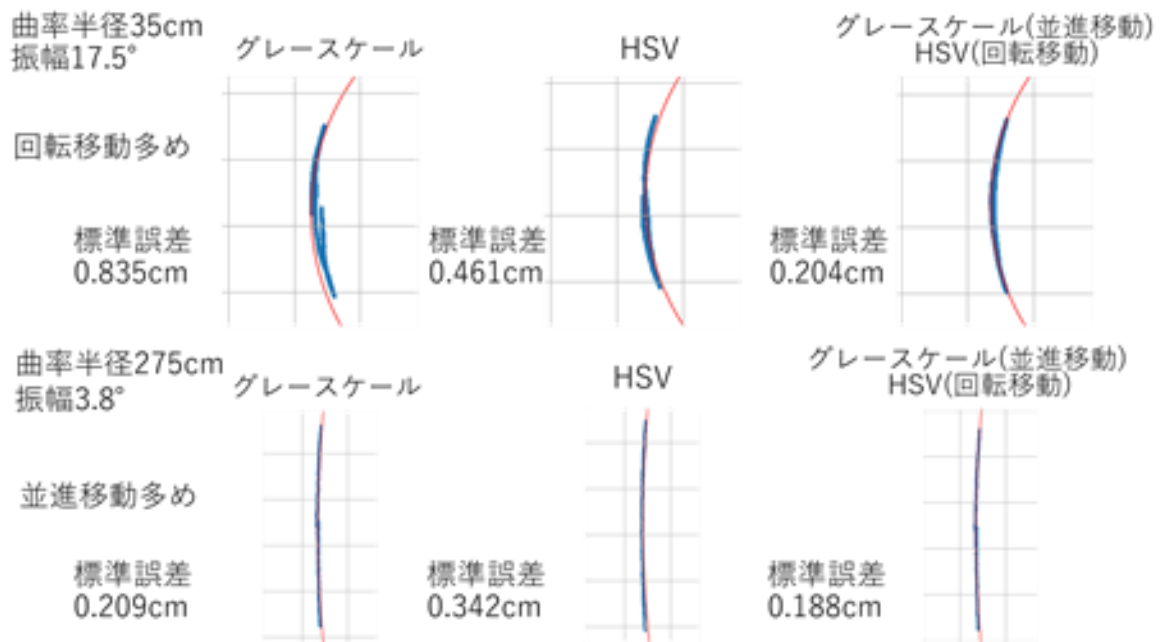


図4 二種類の光路長(曲率半径)の追尾結果

センサーネットワークを用いた地表付近 CO₂ 濃度の多地点連続計測

工学部 スマートシステム学科

香川 直己 教授 Naoki Kagawa 博士（工学）

専門分野：電子機器学，光応用計測
E-mail : kagawa@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

■ 研究の背景

著者が協働する NPO 法人「co2sos」は、地球温暖化問題の解決のために世界中の人々が協働する持続可能な社会の実現を目指す組織であり、全国で 16 か所の地表付近に NDIR 型の CO₂ センサーを現地在住者の協力を得て設置し、同時リアルタイム測定を続け、インターネット経由でデータの収集、蓄積を行うとともに管理するウェブサイトで経年変化を公開している。取得した CO₂ 濃度データの持つ、時間的、空間的变化には、気候、気象、地形、人為活動など様々な要素に起因すると思われる複合的な特徴が含まれ、これを逆問題として分析することで先の要素の変異や異常を検知することも期待できる。本原稿は、その可能性を示す。

■ 研究内容

図 1 にセンサーネットワークの概略を示す。CO₂ 濃度の測定には、NDIR 型の MCH-383SDJ を用いている。この装置は、CO₂ 濃度と、温度[deg.]、湿度[%]を 30 秒周期で取得し出力する。

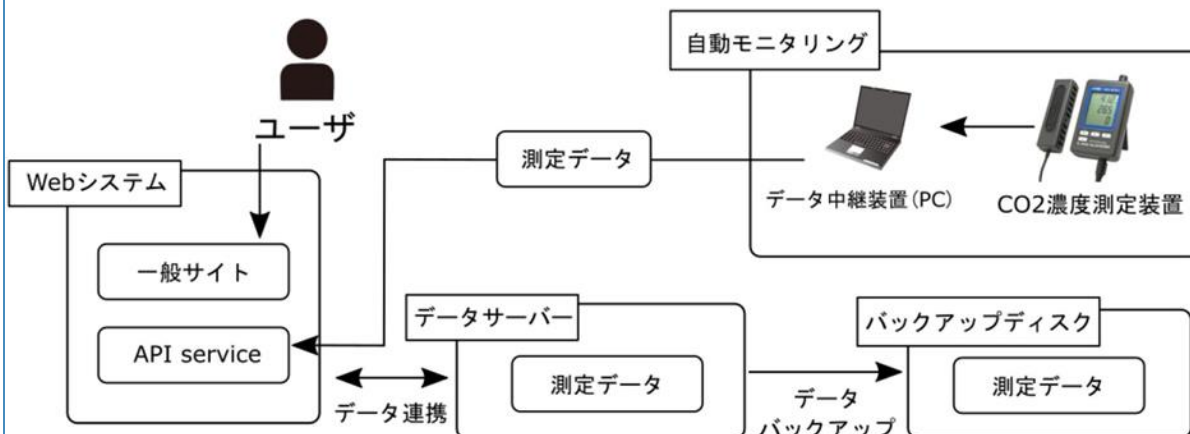


図 1 CO₂ センサーネットワークの構成

取得した測定データは Web システムにアクセスし、ブラウザの GUI で確認することができる。

測定地点と日付を指定すれば、一日の 30 秒毎の CO₂ 濃度、気温、湿度の測定データが得られる。また、どの時刻のデータが欠損しているのかも分かるようになっている。

設置個所は現在、沖縄県浦添市、鹿児島県の加計呂麻島、宮崎県宮崎市、広島県広島市、広島県福山市（図 2）、岡山県井原市、岡山県岡山市（3 カ所）、岡山県倉敷市（2 カ所）、東京都中央区、京都府亀岡市、京都府南丹市、韓国トンヨン市、パラオ共和国の計 16 カ所である（図 3）。複数地点で同時測定を行うため、複数地域による測定データの比較が可能となる。



図 2 福山大学工学部屋上のセンサーユニット

■ 検討内容

2018年の1月、2月と5月、6月の福山市（福山大学）と広島市街で収集したCO₂濃度データの30秒毎の時系列データから1時間毎の平均を算出し、1か月分のデータの毎時平均CO₂濃度データを5ppm刻みでヒストグラムに表したものを、それぞれ図4、図5に示す。

各図のヒストグラムのピークの状態に着目すると、福山市、広島市も1月と2月に比べて、5月と6月と進むに従いピークの数が増えている。広島市の5月のヒストグラムは、大小二つの顕著なピークがあり、高いピークはCO₂濃度が低い方に偏っている。それは、出現頻度が高いことを示し、かつ、1月のピーク濃度値にも近いことから、広島市固有のCO₂発生源の能力を示している可能性がある。

一方で、福山市の5月のヒストグラムには、大小二つのピークのうち、大きなピークの濃度値は福山市の1月のピークに近い値を示している。冬季と夏季のピークの濃度値の差が少ないのが福山市の特徴の可能性もある。

このことから、1月と2月には影響が小さかった両方の地域に共通の要因が5月と6月と進むにつれて支配的な要因に変化していることが考えられる。地域に関係なくCO₂濃度の変動に影響を与えるものと言えば、植生が考えられる。故に、1月と2月は気温が低い季節なので、光合成と呼吸の要因が低下し、基本的なCO₂濃度変動に起因する単峰性が表れたのではないかと考える。さらに、ヒストグラムの分布においては、両地域とも1月、2月の方が5月、6月と比較して、ばらつきが小さい。大気中のCO₂濃度分布の拡がりの要因にも前述の光合成などの規則を持った自然現象に起因していると推測している。

■ 研究成果

多地点、同時計測から得られた測定データを用いた分析の一例として、月毎での地域特有の特徴と植生による可能性について時系列データのヒストグラムを提示し、分布形状から明らかになる情報を推定した。センサーネットワークを用いた多地点連続計測で得たCO₂濃度のデータをWebサイトで提供する事により、様々な研究に貢献可能であると考えている。

特許・論文等

■ 関連論文：新木智弘,香川直己,令和元年SICE中国支部学術講演会,pp.93-94, 2019年11月。

研究室等ホームページ

■ 研究室：<https://www.fukuyama-u.ac.jp/eng/smart-system/kagawa-naoki/>

■ 研究者：<http://rdbv.fukuyama-u.ac.jp/view/n2fwI/>

■ NPO法人co2sos:<http://www.co2sos.net/index.html>



図3 co2sosの測定ノードの分布図

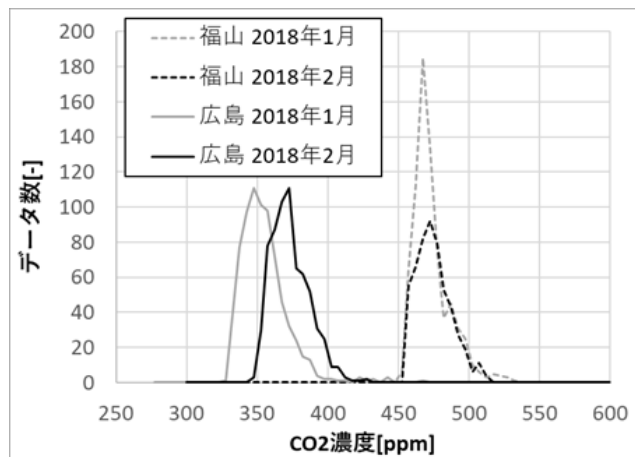


図4 福山市（福山大学）と広島市街の冬季のCO₂濃度のヒストグラム

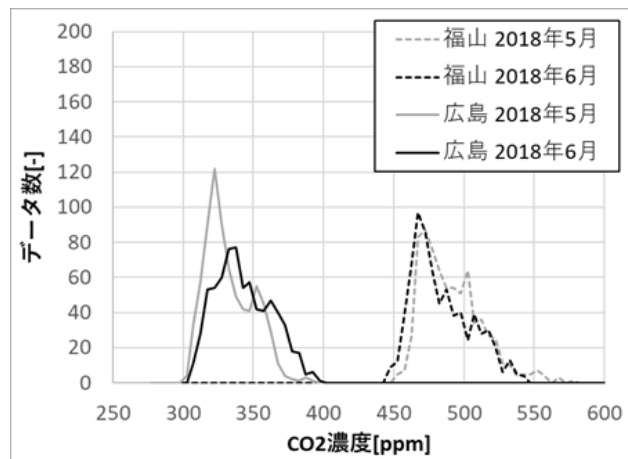


図5 福山市（福山大学）と広島市街の初夏のCO₂濃度のヒストグラム

キーワード：福山市西部地域、地域遺産フォーラム、立神の丸（いちぢく）、備後柿渋

「地域遺産」としての福山市西部地域 —備後地域遺産研究会 2019 活動報告—

工学部 建築学科

佐藤 圭一 教授 Keiichi Sato 博士（工学）

専門分野：地域生活空間計画

E-mail : keis@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

1. 背景と目的

本稿は、2016 年度から福山大学ひと・まち・くらしプロジェクトの一環となった「備後地域遺産研究会」（代表：佐藤圭一、活動拠点：まちづくり PJ 室 03204 号室）の 2019 年度活動報告である。2019 年度は、教育振興助成金、ブランディング推進事業研究助成、研究助成寄付金を得て、教育・研究・社会活動を展開した。2019 年度の備後地域遺産研究会（以後、研究会とする）の中心メンバーは、著者の指導する建築学科 1 年生「教養ゼミ」、3 年生「ゼミナール演習」、4 年生「卒業研究」、大学院修士課程のゼミ学生であり、それら演習等の活動と成果の一部も含まれる。

地域遺産とは、「有形無形を問わず、地域の人々が守り、後世に伝えたい地域の至宝」である。事例調査から著者が導いたものであり、ユネスコの世界遺産が、人類が共有すべき「顕著な普遍的価値」を掲げることへの批判的考察から提示したものである。しかし、この「地域遺産」の規定は仮説であり、研究会の継続的な教育・研究・社会活動を通じて常に再構築し、地域遺産の保全と継承、そして活用に資する理念構築を行うことが大きな活動目的である。現在は、暫定規定に加えて、「地域自らの遺したいという意味と、自発・自律的な保全活動があること」をその要件に加えている。備後地域の歴史と文化、生活に深く根ざした空間計画を方法として、地域のヒト・モノ・コトをデザインする実践を通じて、今まさに危機にある地域遺産を保全、継承することを第一義的な活動目的とする。

2016 年度の主要活動テーマは「備後表、明王院、別所砂留」、2017 年度は「備後表、無花果＋蔵、備後柿渋（尾道市浦崎町）、能舞台」、2018 年度は「沼隈半島～瀬戸内島嶼部」であり、各年次報告書において報告済みであるが、これらのテーマについても、2019 年度も継続活動を行っている。地域遺産の「発掘」そのものが、研究会の活動目的の重要な部分であり、本稿では、地域遺産研究の原点とも言える、本学のある福山市西部地域を主テーマとして、2019 年度の取り組みについて報告する。

2. 主な活動概要

2.1 2019 年度教育振興助成金による活動

2016 年度は独自の活動資金はなかったが、2017 年度はそれまでの活動実績が認められ、福山大学教育振興助成金「『地域遺産』としての備後表、明王院、別所砂留の保全と継承」（学生の参加する社会連携活動に対する助成金）、2018 年度は「ギャラリー蔵を拠点とした福山市西部の地域デザイン」と題して、同助成金を得ることができた。2019 年度も引き続き、「備後地域遺産研究会によるギャラリー蔵フォーラムの開催」という包括テーマで継続できたが、本助成金による活動は当年度で一端の区切りとした。2019 年 2 月の第 1 回から半年ごとに開催している「地域遺産フォーラム（ギャラリー蔵フォーラム）」を 9 月と 2 月に福山市松永町のギャラリー蔵において開催した。

当該フォーラムは、研究会の活動成果を、地域住民に対してプレゼンし、地域の課題に対し街場で直接対話するものである。福山市との合併から半世紀を経て、地域のアイデンティティが失われつつある福山市西部地域に焦点をあてた課題である。外部講師もお招きして、基調講演、講評、鼎談などを行った。研究会の学生が地域と共に企画運営から行き、学生プレゼンだけでなく、模型やポスター製作・展示を行った。世界遺産検定やコンサートも同時開催するなど、多様な視座から地域を考える重層的で刺激的なプログラムを毎回編成している。次ページが当日プログラムである。9 月フォーラムでは、研究会がブランディングを手伝った「立神の丸（いちぢく）」を発表した。福山市本郷町で採れる地域の至宝のイチジクである。2019 年 2 月の第 1 回に関しては、「地域遺産としてのギャラリー蔵 - 指定・登録未満の空間を遺す仕組み-」として、昨年度報告済みである。

2019.9.15 第2回ギャラリー蔵フォーラム プログラム

地域の意思として遺る「地域遺産」－文化財を観る・撮る－

プレ開催事業

- 2019年8月25日(日) 14:00~17:00 (検定試験受検者他)
世界遺産検定講習会「世界遺産条約と文化財保護法を知る」(講師:佐藤圭一)
2019年9月8日(日) 10:30~11:30 (事前申込者のみ)
第37回世界遺産検定(NPO法人世界遺産アカデミー主催, 文部科学省後援)

第1部 ギャラリー蔵を拠点とした福山市西部の地域デザイン

- 13:30~13:50 開催趣旨説明:佐藤圭一
(福山大学建築学科・教授/備後地域遺産研究会・主宰)
13:50~15:00 基調講演:佐藤大規(広島大学総合博物館・学芸職員)
「文化財を観る－福山城伏見櫓・鞆の近世社寺建築調査を通じて－」
15:10~15:50 リレー講演:中嶋健明(福山大学メディア・映像学科・教授)
「文化財を撮る－鞆の浦・広島爆心地の3DCG復元を通じて－」
16:00~17:00
研究成果発表(福山大学備後地域遺産研究会/地域生活空間計画研究室&映像制作研究室)
「最新3DCG技術 福山大学未来創造館2020」三好紘平他(福山大学メディア・映像学科4年)
「備後地域における映画撮影 松永の街2019」メディア女子(福山大学メディア・映像学科3年)
「備後畳表を活かした百島商店再生－瀬戸内島嶼部の地域遺産－」大岩智之
(福山大学大学院建築学専攻修士2年生)
「備後畳表によるオリンピックデザイン」河田陽依菜(福山大学大学院建築学専攻修士1年生)
17:00~17:20 講評(佐藤大規)
17:20~18:00 鼎談「地域くを・で>デザインするということ」佐藤大規×中嶋健明×佐藤圭一
展示企画(模型・ポスター) 2019.9.15~9.30
百島商店&ゲストハウス(建築学科3年), 透明感のある幼稚園(石口智奈月), 鞆の浦CGなど

第2部 総合ディスカッション「Fish Swimming in Wine & Beer with Piano」

- 18:00~21:00 ギャラリー蔵主宰者あいさつ
「蔵を維持して－大規模修繕とクラウドファンディング－」
ショートムービー(チームKN)「鞆の浦2019」、立神の丸(いちぢく)ブランド発表

2020.2.9 第3回ギャラリー蔵フォーラム プログラム

「地域遺産」に触れる－備後柿渋の採・搾・塗・染－

プレ開催事業

- 2020年2月9日(日)(世界遺産検定試験受検者他, 参加自由)
13:30~16:30 世界遺産検定講習会(講師:西森正明, 世界遺産アカデミー認定講師)
17:00~ 講師を囲って世界遺産談義

第1部 第39回世界遺産検定(NPO法人世界遺産アカデミー主催, 文部科学省後援)

- 10:30~11:40 (2,3,4級実施, 事前申込者のみ)

第2部 ギャラリー蔵を拠点とした福山市西部の地域デザイン

- 13:30~13:50 開催趣旨説明:佐藤圭一
(福山大学建築学科・教授/備後地域遺産研究会・主宰)
13:50~14:50 基調講演:黒木香苗(NPO法人ぬまくま民家を大切にす会・理事)
「備後柿渋を搾る－備後渋の生産実態と保全活動－」
15:00~15:40 リレー講演:前岡範行(高橋工芸株式会社・常務取締役)
「備後柿渋を塗る－府中家具の来し方・行く末－」

15:50~17:00

研究成果発表（福山大学備後地域遺産研究会／地域生活空間計画研究室&映像制作研究室）

「鞆の浦の防潮堤における柿渋塗り提案 – 瀬戸内沿岸部の景観保全 –」

河田陽依菜（福山大学大学院建築学専攻修士 1 年）

「備後豊表を活かした百島商店再生 – 瀬戸内島嶼部の地域遺産 – その 2」

（+ 「備後三蔵動力中継織機」 動画）

岡田紘汰（福山大学建築学科 3 年）

「The Creek – 松永クリーク活用計画 –」

片山マリヤ（福山大学建築学科 4 年）

「福山旧城下町に現存する能舞台の復元的研究 – 阿部神社と三蔵稲荷神社能舞台の保存と継承 –」

大岩智之（福山大学大学院建築学専攻修士 2 年）

「最新 3DCG 技術 – 福山大学未来創造館 2020 – その 2」 (+ 備後三蔵動力中継表施工計画)

三好紘平 + 中村大樹（福山大学メディア・映像学科 4 年）

17:00~17:20 講評（黒木香苗）

17:20~18:00 鼎談「地域くを・で>デザインするということ」

杉原一正（Issey Studio 主宰）×前岡範行×佐藤圭一

展示企画（実作・模型・ポスター） 2020.2.23~3.1

The Creek – 松永クリーク活用計画 –（片山マリヤ）、幼稚園・集合住宅・オフィスビル（石口智奈月）、カキシブ・チェア実作（三島千乃・平田ゆう）、三畳茶室、鞆の浦防潮堤、備後三蔵中継織機の再生

第 3 部 総合ディスカッション「Fish Swimming in Wine & Beer with Piano」

18:00~21:00 ギャラリー蔵主あいさつ「蔵を維持して – 10 年は東の間、11 年目の新た –」

Jazzy Nights（HiNA とゆかいな仲間たち）Cl. / A Sax / T Sax

ショートムービー上映「とらエモン concept」（レナート佐藤）

2.2 ブランディング推進のための研究プロジェクト

『「地域遺産」の理念構築とその保全・継承に関する研究』（代表：佐藤圭一、2018~2020 年度）と題する福山大学ブランディング事業関連研究助成を得て、地域協働で、下記(1)~(8)をテーマとした調査研究を行っている。2019 年度は、2018 年度から着手した (6)能舞台研究に関して、わずか 2 年間でまとまった研究成果を得た。福山を拠点とする活動する喜多流大島家による現存能舞台の保存・活用の提案がきっかけとなり、研究協力もいただいている。いずれも旧福山藩ゆかりの、阿部神社（備後護国神社）と三蔵稲荷神社に現存する能舞台が主な対象である。2018 年度の建築学科 4 年生の卒業論文「旧阿部神社能舞台の実測と記録」（橋高弘憲著）に続き、2019 年度は比較・発展研究である建築学専攻修士論文「福山旧城下町に現存する能舞台の復元的研究 – 阿部神社と三蔵稲荷神社能舞台の保存と継承 –」（大岩智之著）が提出された。

(4)に関連する瀬戸内島嶼部の百島において、備後表を活かした建築リノベーションプロジェクトに関わった。3 年生後期のゼミナール演習のテーマとも関連し、島の生活を支えてきた古い商店併用住宅を商店併用のゲストハウスにリノベするものである。研究会で栽培を手伝った藺草を用い、「動力織中継六配表」（有限会社佐野商店登録商標）を 8 畳 + 6 畳導入した。プロジェクトに関わった学部生が、2020 年 9 月の日本建築学会大会デザイン発表会に投稿し、採択された（大会は中止となった）。同じく(4)に関して、尾道市浦崎町で備後柿渋の収穫や製造体験を 3 年生中心に行って予備調査し、次年度の卒業論文テーマに繋げた。さらに、(3)に関する動力中継織機の再生に成功し、三蔵祭で一般公開・実演すると共に、「備後三蔵動力中継織機（三蔵中継）」と命名した。研究成果やメディア発表は、文末や巻末に記載の通りである。

- (1) 明王院、別所砂留などの先行事例の地域協働による臨地調査
- (2) 藺草栽培実践（本郷町・熊野町）による備後表の保全と継承
- (3) 備後地域発祥の中継表の技術継承と織機復元
- (4) 鞆町を含む沼隈半島および島嶼部における地域遺産の「発掘」
- (5) 福山市西部地域における地域遺産の「発掘」と地域デザイン
- (6) 備後地域内外に残る能舞台や能楽堂の予備調査と復元
- (7) 備後地域外での建築、集落、風習など地域遺産比較調査
- (8) その他、地域遺産に関する史資料収集と聞き取り

2.3 協働事業・研究助成寄付金

2018年度は研究会活動に関連して3件の協働事業契約を行った。2019年度は新たに5件の協働事業契約を行い、1件の研究助成寄付金を得た。

協働事業：有限会社佐野商店（福山市芦田町）、農事組合法人ファーム立神（福山市本郷町）、
公益社団法人広島県建築士会（広島市）、株式会社MNAアトリエ（兵庫県姫路市）
株式会社メディカ・ライン

研究助成寄付金：株式会社メディカ・ライン

協働事業契約や百島（尾道市）でのリノベプロジェクトがきっかけとなり、著者の「地域遺産研究」に対して、研究費を寄付いただいた。島民と研究会との交流を図りつつ、コミュニティのあり方について意見交換し、過疎化が進む百島全体の将来計画を構想することとなった。

3. 今後の展開

上述した研究会の活動実績と成果が認められ、2020年度も、2018年度から継続して「福山大学ブランディング推進のための研究プロジェクト」に関する学内研究助成金（優先課題2）「『地域遺産』の理念構築とその保全・継承」を得ることができた。さらに、これらの実践的研究成果が認められ、2020～2024年度JSPS科研費「蘭草栽培を通じた備後表の生産・流通・設計・施工プロセスの解明」という長期の基礎研究費獲得にも繋げることができた。また、動力中継織機の再生プロジェクトでは、住総研研究・実践選奨を受賞した。これらを活かして、これまでに「発掘」した地域遺産の保全と継承に資する教育・研究・社会活動を展開したい。

本学のある福山市西部地域は沼隈半島の西端の付け根に位置し、半島東に草戸（明王院）、南に鞆の浦、中央に熊野町（蘭草栽培のかつての中心地）、西に浦崎（現存唯一の備後柿渋工場）、その対岸に百島があるなど、地域遺産の宝庫である。2020年度も本学のブランディングにも寄与できる成果をまとめたい。

フォーラム主催・メディア掲載・学生会発表等

■2019年度

- ・4/3 NHK福山支局 「お好みワイドひろしま：鞆の浦の能舞台がピンチ！」、保存継承インタビュー放映（佐藤圭一）
- ・6/27 福山大学研究成果発表会「絵図・古写真分析による阿部神社能舞台の建築年代推定 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究」, 福山市ものづくり交流館（エフピコRiM）
- ・7/11 中国新聞掲載記事 「イグサ収穫 長さ・色『良質』 福山市熊野 連作避け3年ぶり」
- ・7/12 山陽新聞掲載記事 「『備後表』伝統つなごう 福山大生ら継承会と作業 イグサ刈り取る」
- ・9/2 中国新聞掲載記事 「備後渋 魅力に触れる」
- ・9/6 日本建築学会大会口頭発表 大岩智之(修士課程2年生), 佐藤圭一「阿部神社能舞台の復元図面(構造図)作製 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究 その3」
- ・9/6 日本建築学会大会 デザイン発表会 河田陽依菜(修士課程1年生), 佐藤圭一(設計指導)「都市の逃げ道 広島県福山市伏見町うっかり交流空間」
- ・9/15 第2回地域遺産フォーラム開催(ギャラリー蔵フォーラム、福山市松永町)「文化財を観る・撮る」(2019年度教育振興助成金事業)
- ・9/24 中国新聞掲載記事「規格外イチジク ブランド化に力 福山・本郷特産」(HP・ロゴマーク制作などアートディレクションを研究会が担当)
- ・10/12 中国新聞掲載記事 「『中継織』技術継承へ 備後表研究 福山大教授ら修理」
- ・10/26-27 三蔵祭企画 再生動力中継織機のお披露目式(命名)・解説・実演
- ・11/28 山陽新聞掲載記事 「中継織の動力織機復活」
- ・12/1 中国新聞掲載記事 「イグサ苗植え豊文化理解」
- ・2/23 第3回地域遺産フォーラム開催(ギャラリー蔵フォーラム、福山市松永町)「『地域遺産』に触れる -備後柿渋の採・搾・塗・染-」(2019年度教育振興助成金事業)
- ・3/3 日本建築学会中国支部研究発表会、大岩智之(修士課程2年生), 佐藤圭一「旧両社八幡宮能舞台の変遷過程と復元 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究 その4」(採択済・発表会は中止)
- ・3/28 中国新聞掲載記事 「神社能舞台修士論文に 福山大学大学院今月修了の大岩さん 起源や構造2年かけ調査」

キーワード：行動解析，UX デザイン，サービスデザイン

避難誘導を認知しやすいインターフェースの開発

－ 避難行動分析と誘導支援 －

工学部 情報工学科

中道 上 教授 Noboru Nakamichi 博士 (工学)

専門分野：HCI (ヒューマンコンピュータインタラクション)，UX デザイン，サービスデザイン，ソフトウェア工学

E-mail : nakamichi@fukuyama-u.ac.jp / 084-936-2112 (ext. 4157)



研究概要

屋内施設で崩落や火災などが発生した場合、発生個所を把握できなければ二次災害に巻き込まれてしまう可能性があります。そのような可能性を少しでも減らすため、本研究では、避難誘導のためのインターフェースを提案し、その避難誘導効果について視線の動きを分析し検証を進めています。屋内から避難する際に、3方向分岐路の内、1方向が通行禁止になった場合を想定し、円滑な避難を実現できるよう、携帯端末に「方向指示」と「禁止提示」を表示するインターフェースを検討し、避難方向を意思決定するまでの認知時間を分析しました。その結果、「1方向指示+禁止提示」のアイコン提示パターンが最も認知時間が短いことを明らかにしました。

■ 研究の背景

世界有数の自然災害大国と呼ばれる日本において学校施設は、児童生徒等の学習・生活の場であるとともに、災害時には地域住民の避難所としての役割も果たすことから、防災機能の強化は極めて重要です。東日本大震災では、津波等により学校施設に多くの被害が生じたり、応急避難場所としての施設機能に支障が生じたりするなど、従来想定していなかった新たな課題が見られました[1]。また、平成26年8月豪雨や平成30年7月豪雨において、広島県では土砂崩れや浸水による被害が相次いでいる状況にあります。

[1]文部科学省：「東日本大震災の被害を踏まえた学校施設の整備について」の取りまとめについて； http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/017/toushin/1308045.htm (2011)。

■ 研究内容

災害発生時、屋内施設にいる可能性は高く、屋内施設において崩落や火災などが発生した場合、発生個所を把握することは困難であり、二次災害に巻き込まれてしまう可能性がある。そのような可能性を少しでも減らすため、本研究では、災害発生時に屋内から避難する際に、分岐路に差し掛かった際にどちらの方向に避難すればよいかの判断を支援するインターフェースについて研究を進めている。

具体的には3方向分岐路の内、1方向が通行禁止になった場合を想定し、円滑な避難を実現できるよう、携帯端末に提示するインターフェースを検討する。すでに認知度が高い道路標識を参考に携帯端末の画面に表示される方向指示アイコンと禁止提示アイコンを使用している。



図1 左方向が通行禁止の場合のアイコン提示パターン

実験には視線計測装置を使用して、避難方向を意思決定するまでの認知時間や画面上のどこを見ているかといった注視点の分析により提案インターフェースを評価しています。下の表は、190タスクの認知時間データをアイコン提示パターンごとにまとめた結果とt検定の結果です。この結果から「1方向指示+禁止提示」のアイコン提示パターンが最も意思決定までの認知時間が短く、避難誘導支援に有効であることを明らかにしています。

表1 各アイコン提示パターンの認知時間(ms)とt検定結果

	禁止提示	2方向指示	1方向指示 +禁止提示	2方向指示 +禁止提示
平均	3777.5	3637.1	1849.9	4270.8
標準偏差	3791.5	2399.8	1292.2	4943.7
P値	0.002018	4.3×10^{-5}	-	0.002519

印象評価においても同様に、「1方向指示+禁止提示」のアイコン提示パターンがもっとも良く、指示の方向がわかりやすく、進行方向を早く判断できることが明らかとなっています。避難方向を判断するまでの時間と避難指示方法のわかりやすさの二つの点を評価してもらいました。評価は5段階あり1が最もよく、5が最も悪い。それぞれのアイコン提示パターンの平均値、中央値を表2、表3に示します。

表2 進行方向をどの程度早く判断できたと感じたか

	禁止提示	2方向指示	1方向指示 +禁止提示	2方向指示 +禁止提示
平均値	2.16	2.45	1.26	2.12
中央値	2.00	2.33	1.00	2.00

表3 指示方向は分かりやすいと感じたか

	禁止提示	2方向指示	1方向指示 +禁止提示	2方向指示 +禁止提示
平均値	2.15	2.55	1.30	1.80
中央値	2.00	2.33	1.00	1.67

■ その他の応用例

本研究は、Beaconなどの活用したセンサーネットワーク環境の整備研究の一部として進められています。今回は、おもに避難誘導を認知しやすいインターフェースの開発について紹介しましたが、その他にも下記のような避難誘導に関する研究もおこなっています。

- 評価者と参加者がペアとなって行動解析をおこなうペアテスト
- センサーをもとに進路禁止エリアに近づくと仮想的な壁にぶつかったように携帯に通知する Virtual Wall
- VR 避難訓練に向けた現実空間と仮想空間 (VR 環境) における避難行動の差異の分析

特許・論文等

■ 論文

中園龍次, 部谷泰生, 中道上, "避難誘導を認知しやすい画面設計案の提案と評価", The 21th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.397-398, Nov. 2019.

山本拓真, 中園龍次, 部谷泰正, 中道上, "避難誘導インターフェースの認知性評価", 電子情報通信学会 2020 年総合大会情報・システムソサイエティ 特別企画学生ポスターセッション予稿集, No.ISS-SP-054, pp.212, Mar. 2020.

研究室等ホームページ

- <http://n2lab.com/>

ひとまちくらしプロジェクト：交通安全プロジェクト

工学部 機械システム工学科

内田 博志 教授 Hiroshi Uchida 博士（工学）

専門分野：自動車工学、最適制御、最適設計、振動音響、品質工学

E-mail : uchidah@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

交通安全や交通弱者（交通難民）等の、自動車社会が生み出した負の側面の問題を解決し、人々が安心して生活できる地域社会を実現していくための研究を行っている。2019年度の取り組みとして、下記(1)(2)の研究を行った。

(1) ドライバー行動解析のための非侵襲生体センシング

1) 背景と目的

福山市内の国道486号線は、見通しのよい直線的な道路であるにもかかわらず、重大交通事故が多発しており、事故発生原因の究明が望まれる。そのために運転中のドライバーの注視点を分析したいが、アイカメラなど身体装着型の装置では、注視点推定精度への影響が無視できない。そこで、アイカメラなどを用いずに非侵襲で注視点を推定する方法を開発した。

2) 研究内容

映像から顔特徴量を推定するオープンソースソフトである OpenFace（南カリフォルニア大ほかによる）を利用した注視点推定方法を開発した。推定は下記のステップで行った。

Step1 推定式導出用映像の収録：複数の試験場所で、車両に乗車した被験者が、あらかじめ定めた参照点を順に注視しながら、ドライブレコーダで映像を収録する（図1）。

Step2 推定式の導出：一部の試験場所を除いた映像から注視点推定式を作成する。そのために映像のフレーム毎に、既知の参照点の画像座標を決定すると同時に、OpenFaceを用いて被験者の顔特徴量（480項目）を抽出する（図2）。顔特徴量から画像座標を推定する重回帰式を求める。

Step3 推定精度の検証：先に一部除いた映像を用いて、参照点の画像座標と注視点座標推定値の相関から、上記推定方法の推定精度を確認する。

実験の結果、両者の相関は良好とは言えず推定精度の面で課題を残すものの、ある程度注視点の追跡が可能であることが示された。

実際に国道486号線を走行した際の映像から、運転中のドライバーの注視点を推定する実験も行った（図3）。この実験では参照点の情報がなく推定精度は未確認であるが、運転中のドライバーの視点が信号機や道路わきの看板などに移動する様子が把握できた。



図1. 参照点を注視しながらの顔映像撮影



図2. OpenFaceによる顔特徴量抽出



図3. 運転中における注視点推定

3) 結論と今後の課題

ドライブレコーダとオープンソースソフトを利用して非侵襲でドライバーの注視点を推定する方法を考案し、テストによりその推定精度を確認した。現状では推定精度が不十分であるため、今後、重回帰式による推定を機械学習による推定式に置き換えることなどで推定精度を高めてゆく。

(2) オープンソース技術を利用したリージョナル自動運転技術

1) 背景と目的

現在、自動車メーカー各社において自動運転の研究が進められているが、高速道路などの良好に整備された道路環境を想定している場合が多い。地域の交通問題を解決するためには、整備状態の悪い地方道などでも十分に機能する自動運転を実現することが必要である。本研究テーマではオープンソース技術の導入・活用を手始めに、地域の交通安全問題の解消に寄与する自動運転技術の研究を行う。

2) アプローチ

深層学習（ディープ・ラーニング）は、大量のデータでディープニューラルネットワーク（DNN）を学習させる人工知能の手法である。本研究では模倣学習による深層学習を行うDNNを用いて自動運転を行うシミュレーションを行った。実験者が自動車シミュレータ上で運転を行い、ソフトウェアTensorflowを通じてDNNに運転データを学習させ、自動車シミュレータ上で自動運転シミュレーションを行う。自動車シミュレータとしてはマイクロソフト社製のAirSimを用いる。このシミュレーションの構成を図1に示す。

シミュレーションは、整備状態の悪い地方道を想定して山岳路のシーンで行った。本シミュレーションにおけるAirSimの画面を、図2および図3に示す。オリジナルの運転データで学習させて走行シミュレーションを行ったところ、走行開始後すぐに道路脇の側壁に衝突するエラーが多発した。（図2）

そこでこの状況を改善するため、エラー発生箇所付近の範囲で30回の運転を行い、そのデータを追加して改めて学習を行うと、上記のエラーの発生が見られなくなった（図3）。

3) 結論と今後の課題

自動運転シミュレーションを通じて、運転ミス発生箇所の訓練データを追加してDNNを再学習させることにより、運転ミスの発生を抑制できることがわかった。実際の自動運転でも同様の方法により、自動運転のミスを低減できる可能性があるといえる。ただし現実の車両で意図的に運転ミスを起こす実験はできないため、再学習させるべき道路箇所を選択するうえでどのようにシミュレータを活用するかが一つの課題であると考えられる。

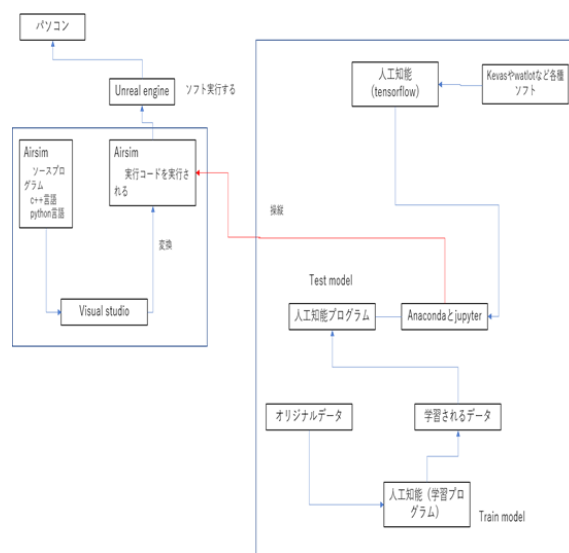


図1. 自動運転シミュレーションの構成



図2. データ追加前（衝突エラー発生）



図3. データ追加後（衝突エラーなし）

キーワード：人間工学，事故要因分析，ヒューマンエラー，高齢者

高齢運転者のペダル操作と自動車のペダル配置の関係についての分析

工学部 機械システム工学科

関根康史

准教授 Yasufumi Sekine

博士 (工学)

専門分野：自動車の安全，道路交通の安全，高齢化社会，など

E-mail : sekine_y@fukuyama-u.ac.jp



研究概要 (注1)

内閣府の令和元年版高齢社会白書によると，我が国の総人口に占める65歳以上人口の割合（高齢化率）は増え続け，2065年には高齢化率は38.4%に達すると予測されている。これに伴い，高齢者が係わる交通事故の増加が危惧されており，高齢運転者の操作ミスによる事故を防ぐための対策となる安全技術が求められている。このような状況の下，最近では，高齢運転者によるブレーキとアクセルペダルの踏み間違い事故が社会的な問題となっている。筆者らは，ブレーキとアクセルペダルのペダル配置のうち，垂直方向のペダル段差に着目，ペダル段差が異なる3種類の自動車を試験車として，高齢運転者のアクセルからブレーキへのペダル踏み換え操作時の足先の挙動について分析を行った。ペダルの踏み間違い事故においては，高齢化による身体的な衰えだけでなく，ペダル段差や足先の置き方が，重要な要因となる。すなわち，ペダルの段差が大きい車種（40mm以上）よりも段差が小さい車種（段差：20mm）の方が踏み間違いを起こしにくい。さらに，ペダルの段差が小さい車種にあっても，右足のかかとをブレーキに近い位置（例えばアクセルとブレーキの真ん中あたり）に置いた方が安全といったことを明らかにした。高齢運転者のペダル踏み間違い事故の発生を低減するためには，ペダル段差を少なくする設計とすることが望ましいと共に，高齢運転者に適切な位置に足先を置くことを教える等，安全運転教育の場を設けることも大切である。

試験車No. 2 被験者：62歳男性 ペダル段差が45mmの試験車No. 2では太腿を高く持ち上げてアクセルからブレーキに足先を移動する操作が確認された。

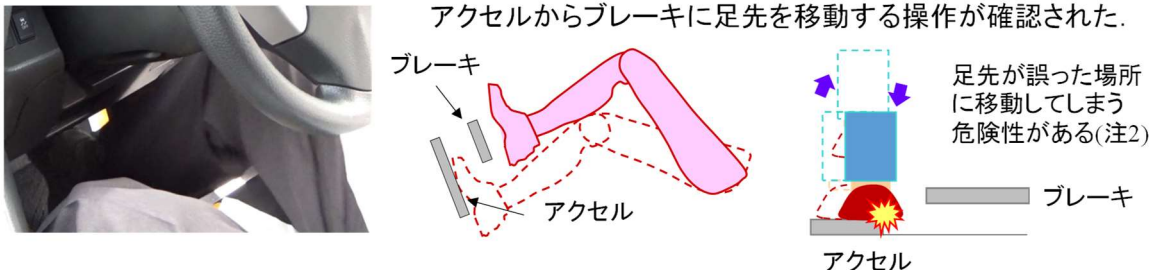


図1 試験車 No. 2 で確認された「太腿を高く持ち上げて足先を移動する」ペダル操作

試験車No. 3 被験者：79歳男性 ペダル段差が40mmの試験車No. 3ではブレーキの右端に足先がわずかに触れただけの場所で足先を下げたためアクセルを踏んでしまう操作が確認された。

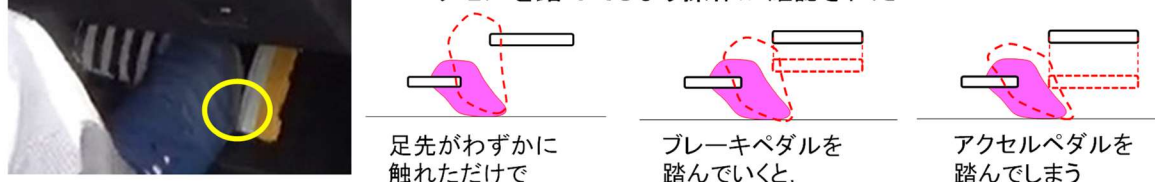
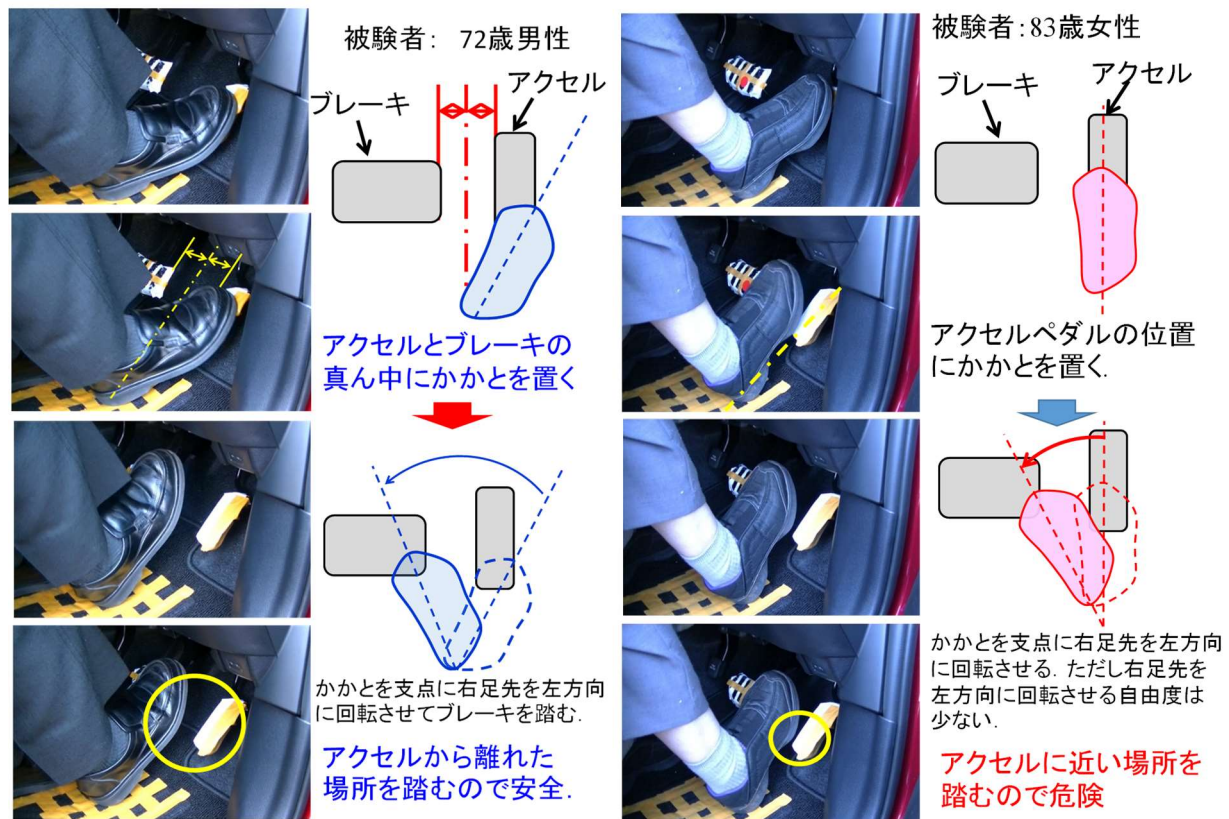


図2 試験車 No. 3 で確認された「足先がブレーキにわずかに触れただけの場所で足先を下げてしまう」ペダル操作

(注1) 本研究は広島県警との共同研究として実施したものである。

(注2) 篠原一光，木村貴彦：自動車ペダル操作時の足の動きとペダル踏み間違いの経験，日本交通科学学会，交通科学 Vol. 49，No.1 (2018) pp. 33-40.



(a) 「ペダル踏み間違い」が発生しにくい
安全なペダル操作の事例

(b) 「ペダル踏み間違い」を発生しやすい
危険なペダル操作の事例

図3 ペダル段差が 20mm の試験車 No. 1 で確認されたペダル操作の事例

特許・論文等

関根康史, 広島県における車両単独事故事例での安全運転サポート車による被害軽減効果の推定, 自動車技術会論文集, Vol.51, No.3 (2020)

関根康史, 大型トラック同士の衝突における乗員傷害の分析 - 前面对前面衝突および前面对後面衝突における運転者の傷害内容 -, 自動車技術会論文集, Vol. 48, No. 6 (2017)

関根康史, 乗用車の前面と衝突した原動機付自転車乗員の傷害の詳細分析, 自動車技術会論文集, Vol. 48, No. 2 (2017)

関根康史, SUV と中型セダン型乗用車の前面衝突事故における乗員の傷害内容の分析, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.845 (2017)

Sekine, Y., Takahashi, K., Hayamizu, H., Kawamoto, D. Nakagawa, D., Compatibility between SUVs and Sedan-Type Vehicles, International Journal of Crashworthiness, Vol. 13, No. 5, p.551-558 (2008)

関根康史, 高橋邦弘, 乗員傷害の分析による SUV とセダンの前面衝突におけるコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 4, pp.165-170 (2008)

関根康史, 高橋邦弘, 交通事故統計分析による SUV とセダンとの衝突に関するコンパティビリティの検討, 自動車技術会論文集, Vol. 34, No. 2, pp.137-142 (2003)

Maki, T., Kajzer, J., Mizuno, K., Sekine, Y., Comparative Analysis of Vehicle-Bicyclist and Vehicle-Pedestrian Accidents in Japan, Accident Analysis and Prevention, Vol.35, pp.927-940 (2003)

榎徹雄, 水野幸治, 関根康史, Janusz Kajzer, 自転車乗員の頭部衝突位置に関する考察, 自動車技術会論文集, Vol. 33, No. 2, pp.95-100 (2002)

キーワード：道路交通，安全性評価，事故要因分析，運転支援

幹線道路の渋滞が周辺地域の交通環境に及ぼす影響に関する研究

工学部 機械システム工学科

関根康史

准教授 Yasufumi Sekine

博士 (工学)

専門分野：自動車の安全，道路交通の安全，高齢化社会，など

E-mail : sekine_y@fukuyama-u.ac.jp



研究概要 (注1)

広島県福山市には，市内を東西に横断する国道2号と南北を縦断する県道244号の幹線道路が存在する。国道2号は福山市と東西方向にある都市を連絡する役目を担い，県道244号は福山市南部にある工業地域への物流の動脈となっている。このような幹線道路が混雑した場合，通行する自動車が，周辺の生活道路に流入し，安全性に良くない影響を及ぼすことが考えられる。生活道路での事故発生箇所を図1に，一ツ橋中学校の生徒からの「危険な体験」や「危険だと思う」場所についてのアンケート回答を図2に，ETC2.0データ分析から求めた急ブレーキ発生箇所を図3に示す。これらは共通して，梶島山交差点から一ツ橋中学校東のT字路までの区間や，手城小学校東交差点から手城堂交差点を経て東手城4丁目交差点に至る区間で多く発生している。

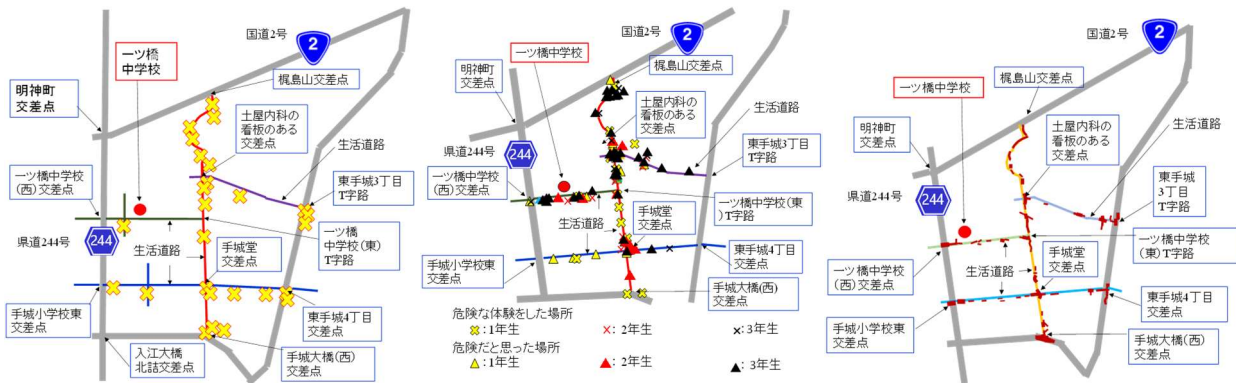


図1 調査地域内の事故発生地点 図2 アンケートで危険を体験した場所 図3 ETC2.0での急ブレーキ発生場所

調査地域における生活道路の通行状況(一ツ橋中学校(東)T字路)を図4に，幹線道路(国道2号・明神町交差点)の渋滞状況を図5に示す。生活道路は，狭い道路であるにもかかわらず，通勤時間帯には多くの自動車が走行しており，歩行者等にとって，事故に遭い易い危険な状況に晒されていることが窺える。国道2号は通行する自動車が非常に多く，長い渋滞は発生している。



図4 一ツ橋中学校(東)T字路, 7:18
(観測日: 2019年10月17日(木))



図5 国道2号・明神町交差点, 17:19
(観測日: 2019年10月17日(木))

(注1) 本研究は国土交通省中国整備局福山河川国道事務所 包括的連携・協力に関する協定書に基づく令和元年度 受託研として実施したものである。

ETC2.0 データからは交通量（ETC2.0 データサンプル数（注 2））の時間変動を分析することも可能である。生活道路（一ツ橋中学校（東）T 字路）の南北方向の交通量の時間変動を図 6 に示す。朝夕の通勤時間帯の交通量が多く、昼間の時間帯の交通量が少ない。国道 2 号（梶島山交差点）での東西方向の交通量の時間編を図 7 に示す。生活道路とは異なり、朝の通勤時間帯よりも、日中の時間帯において交通量が多い。したがって、ETC2.0 データによる交通量分析だけでは幹線道路から生活道路に自動車が入る理由を説明することは難しい。

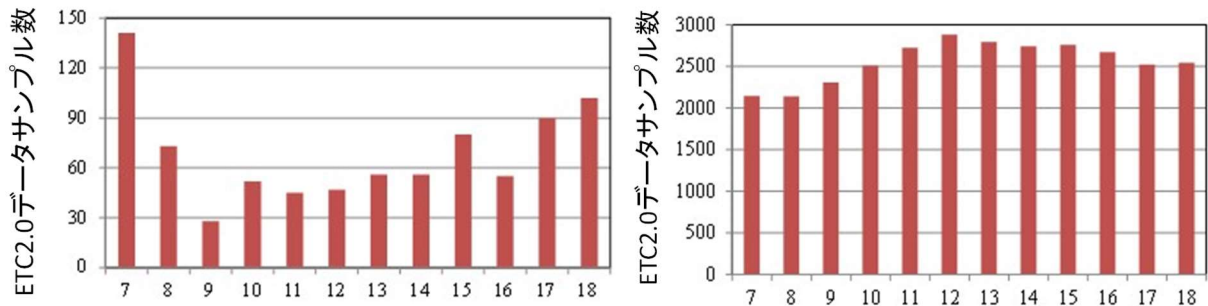


図 6 一ツ橋中学校（東）T 字路，南北方向の交通量 図 7 国道 2 号・明神町交差点，東西方向の交通量

そこで、幹線道路の渋滞長の観測調査も実施した。明神町交差点における国道 2 号および県道 244 号の渋滞長の時間変動を図 8 に示す。なお、国道 2 号の渋滞長は明神町交差点の東から西方向へ向かう自動車の渋滞長であり、県道 244 号の渋滞長は明神町交差点の南から北方向へ向かう自動車の渋滞長である。国道 2 号、県道 244 号共に、朝夕の通勤時間帯に渋滞長は長くなるが、昼間の時間帯では渋滞の発生は少ない（生活道路の交通量が増えている通勤時間帯に渋滞長が長くなり、生活道路の交通量が少ない日中の時間帯に渋滞長は短くなる）。このことから、幹線道路の渋滞長が長くなった場合に、これを回避するため生活道路に流入する自動車が増えるのではないかと推測する。したがって、生活道路の安全性を確保するためには、通勤時間帯に生活道路に流入する自動車を減らすことも、有効な対策の一つと考えられる。そして、そのためには、国道 2 号や県道 244 号の渋滞を改善する必要もあるように考える。

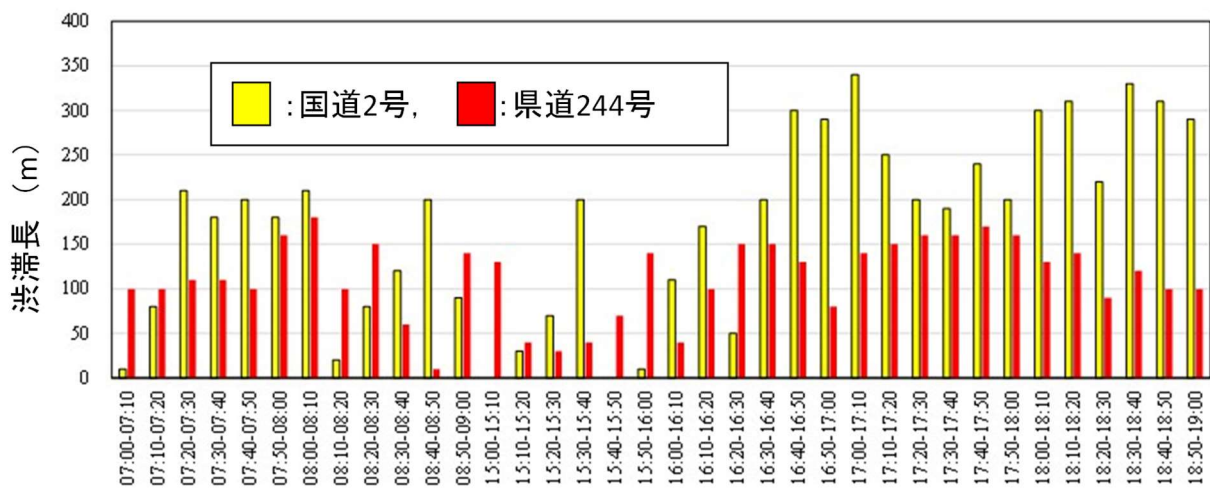


図 8 明神町交差点における国道 2 号と県道 244 号の渋滞長の時間変動

(観測日：2019 年 10 月 17 日(木))

(注 2) ETC2.0 データサンプル数とは、ETC2.0 を搭載した自動車が走行した台数。(実際の走行台数ではないが、通行量を推測するために使用する。)

携帯型線香着火装置の開発

小林正明*1

*1 工学部機械システム工学科



本文

■研究の背景・目的

ひと・まち・くらしプロジェクトの工業デザインプロジェクトでは、身近な問題に着目し新しい製品の開発を行っている。昨年までは寺院における線香着火装置の開発を行ってきた。寺院における線香着火装置は、寺院での一般的な参拝手順を分析し初詣などでの混雑を少しでも軽減することを目的に開発してきた。開発した線香着火装置は一般的なローソクから線香に着火するより簡単にまた素早く着火することが可能になった。

寺院への参拝は初詣だけでなくいろいろな方がいろいろな目的で参拝している。全国には霊場を参拝して巡礼をする参拝者は多い。その中でも毎年多くの参拝者が巡礼するものに四国八十八ヶ所の巡礼がある。四国八十八ヶ所の巡礼は、1 番札所霊山寺から 88 番札所大窪寺まで巡る約 1,300 ～1,400 kmを年間約 15 万～20 万人の人がお遍路となり四国を巡っている。札所での参拝では大師堂や本堂で線香をあげている。線香への着火は巡礼者が携帯しているマッチやライターなどで着火するか札所に置かれているマッチやライターで着火している。本プロジェクトは、巡礼者が携帯できる線香着火装置の開発を行っている。

■線香着火装置の開発

寺院では図 1 のようにローソクから線香に着火する方法が多く多く用いられている。ローソクでの着火では、「ローソクの燃焼が進むにつれ火の位置が下がり一定の条件での着火が困難である。」「ローソクの燃焼時間には限界があり長時間の使用が困難である。」「ローソクの火は風などの影響を受けやすく線香に火をつけるのに個人差がでやすい。」などがあり着火するための熱源に電熱線を用いた。線香の先端に着火するためには線香の先端を確実に熱源に接触させる必要がある。ローソクの火のから着火する場合は炎を目で確認し線香の先端を炎に近づける必要がある。炎の温度分布は一応ではなく炎に近づける場所によって着火までの時間は異なる。そのため確実に線香の先端が熱源に同じ条件で接触する方法を考える必要がある。



図 1 ローソクでの着火

■寺院で用いる線香着火装置

線香着火実験の結果より風などの影響を受けずだれでも簡単に短時間で線香に着火できる装置を開発すれば参拝にかかる時間を短縮できると考え、新しい線香着火装置を開発した。線香着火装置の条件は以下の通りとした。

- 風の影響を受けない
- 誰でも同じ条件で着火することが可能である
- 連続で長時間使用することができる
- 安全に線香に着火することが可能である
- 寺院で使用しても違和感がない
- 使用方法が簡単である
- 安価に製作することができる

開発した線香着火装置を図2に示す。



図2 線香着火装置

図2の線香着火装置は、熱源には電気コンロを使用することにより風の影響を受けず安定的に熱源を確保できることになる。また、線香の先端を熱源に確実に接触させるために線香の位置決め装置（線香ガイド）を考えた。図2の線香着火装置を使用することによって誰でも簡単に線香を短時間に着火することができるようになった。

■四国八十八ヶ所巡礼

四国八十八ヶ所の巡礼は、図3に示しように1番札所霊山寺から88番札所大窪寺まで約1,300～1,400kmの行程である。年間約150,000～200,000人の人がお遍路となつて四国を巡っている。巡礼する方法は、歩き、自家用車、ツアーなど方法はさまざまである。（一社）四国八十八ヶ所霊場会 - 公式ホームページに札所参拝手順は以下のように紹介されている。

- 一. 山門で合掌，一礼して境内に入る
- 二. 手洗い所で身を清める
- 三. 鐘打ち
- 四. 本堂へお参り
- 五. 大師堂へお参り
- 六. 納経所でお納経（ご朱印）をいただく
- 七. 山門で合掌，一礼して境内を出る

本堂・大師堂でのお参りは、献灯，献香をし，納札を納め，鐘を打ち，お賽銭を納め，礼拝し，お経（読経，写経等）を奉納とされている。

本堂，大師堂でのお参りでは図4の様にローソクや線香を用いてお参りしている。

ローソクや線香，着火するためのマッチなどは（一社）四国八十八ヶ所霊場会 - 公式ホームページにも紹介されている図5に示す線香入れに入れてしている。

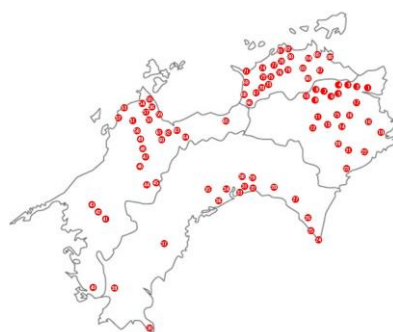


図3 四国八十八ヶ所札



図4 線香の着火



図5 線香入れ

■携帯用線香着火装置

札所での線香の着火はローソクの火から行っている。簡単に線香に着火できる装置として寺院で使用される線香着火装置を携帯型にした新しい線香着火装置を開発していく。携帯型を考える場合、お遍路さんが線香を入れている図5の線香入れに着目した。線香入れのローソクを入れているところに着火装置を考えた。考えた装置の図を図6に線香ガイドを図7に示す。

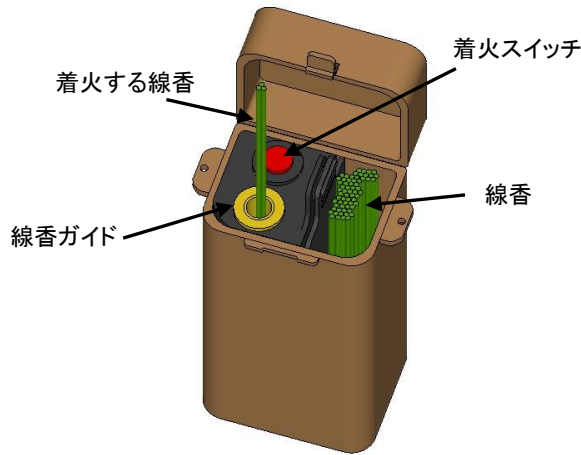


図6 携帯型線香着火装置

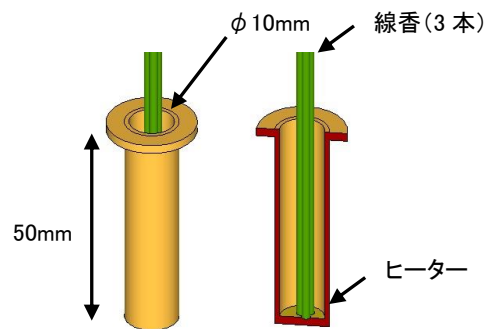


図6 線香ガイド

今回、線香を入れるガイドの径を直径10mmとした。しかし、(一社)四国八十八ヶ所霊場会 - 公式ホームページによると一般的に線香は3本使用することが分かった。線香の直径は約2mmなので着火装置のガイドは熱源に確実に接触できるように図8のように変更した。また、図6に示すように着火装置を線香入れに搭載することは可能となったがローソクを入れるところがなくなってしまった。(一社)四国八十八ヶ所霊場会 - 公式ホームページによると線香は3本使用することが分かった。線香の直径は約2mmなので着火装置のガイドは熱源に確実に接触できるように図8のように変更した。

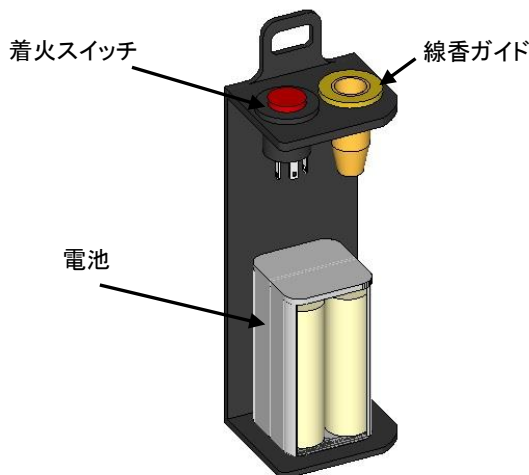


図7 着火ユニット

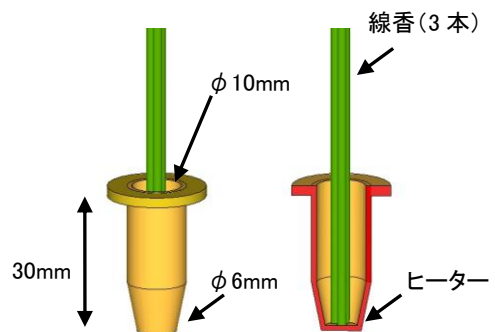


図8 改良型線香ガイド

■まとめ

寺院で使用する線香着火装置での実験では線香に火をつけるという機能には問題ない結果を得ることができた。今回の携帯型線香着火装置は、線香に着火する機能はそのままにお遍路さんが携帯する線香入れに組み込むことでいつでも簡単に線香に着火することが可能になる装置だと考えた。お遍路さんの札所での参拝の方法を確認すると線香だけでなくローソクも使用していた。図6、図8の着火装置にはローソクへの着火を考えていない。今後は、線香だけでなくローソクへの着火やローソクを携帯する場所なども検討していく。

エネルギー吸収性能改善型RC梁部材に関する実験的研究

工学部 建築学科

都祭 弘幸 教授 Hiroyuki Tomatsuri 博士 (工学)

専門分野：建築構造，鉄筋コンクリート構造，損傷制御，合成構造
E-mail : tomatsuri@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

■ 研究の背景

RC 造建築物の保有水平耐力時メカニズムは，一般的に 1 階脚部・最上階柱頭を除き梁が曲げ破壊する全体崩壊系が計画される。部材種別 FA の靱性に富む梁部材であっても繰り返し载荷を受けると，耐力低下や除荷剛性の減少，スリップ変形の増加等によりエネルギー吸収量が低下する。本研究の狙いは，梁ヒンジ領域における断面コア部を補強することにより図 1 (a)に示すようなエネルギー吸収性能改善型 RC 梁を開発することである。

■ 研究内容

RC 梁の曲げ降伏後におけるコンクリート劣化に伴うせん断変形成分が増加すると，荷重変形関係における全体の剛性が劣化し，図 1 (b)に示すように再載荷時の剛性が低下する。この再載荷時剛性の低下を抑え履歴ループを改善するために曲げ強度を増大させることなくせん断応力が大きいコア部を補強する方法として図 2 に示す“ヒンジ部損傷抑制コア”¹⁾を提案した。本研究は，提案したコアの効果を実験により検討するものである。

■ 2019 年度実験計画

1) 実験目的

本実験は，せん断応力レベル $\tau/\sigma_B \approx 0.1$ で，多数繰返し加力を受ける RC 梁における損傷抑制コアのエネルギー吸収性能改善効果を確認することを主目的として計画した。

2018 年度の研究では，損傷抑制コアの性能改善効果を定性的に把握したものの，そのメカニズムを明らかにできなかった。そこで，本実験では，損傷抑制コアを構成する軸方向筋（以下，ダボ筋と表す）の効果も確認することとした。

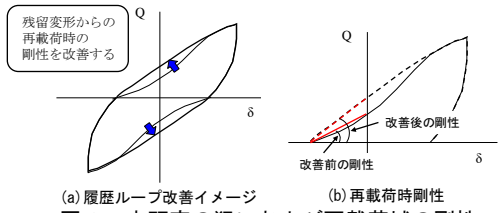


図 1 本研究の狙いおよび再載荷域の剛性

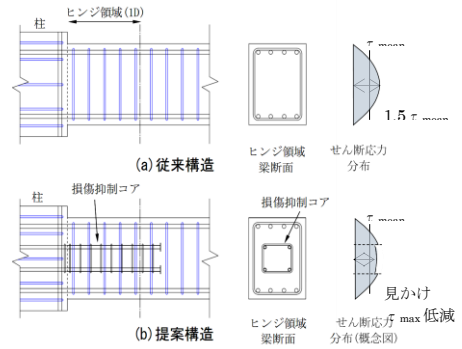


図 2 ヒンジ部損傷抑制コアの配筋例と τ 分布

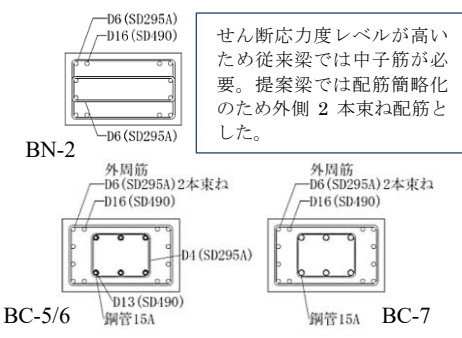


図 3 試験体梁断面

表 1 試験体一覧

試験体名	断面形状		F_c N/mm ²	主筋	stirrup	P_w (%)	コア形状		ダボ筋	コア拘束筋			パラメータ
	b	D					b'	d'		配筋	P_{wc} (%)	P_{wc}/P_w	
	mm	mm											
BN-2	250	400	24	上下とも 6-D16 (SD490)	4-D6@75 (SD295A)	0.68	—	—	—	—	—	—	従来梁 履歴B
BC-5							150	200	6-D13 (SD390)	D4@25	0.67	1.0	履歴B
BC-6							履歴A						
BC-7							ダボ無し 履歴B						

注：1) 試験体記号

2) b', d' は拘束筋で囲まれた損傷抑制コアの幅とせい

3) P_{wc} は損傷抑制コアの拘束筋比で次式より算出。 $P_{wc} = a_{wc}(b'x)$

a_{wc}, x は，損傷抑制コアの 1 組のコア拘束筋断面積およびコア拘束筋のピッチ

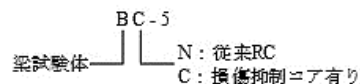


表2 コンクリート強度試験結果

試験体	試験部		
	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
BN-2	20.9	2.2	28.3
BC-5	20.7	2.2	27.0
BC-6	20.6	2.2	28.5
BC-7	21.0	2.2	28.3

表3 鉄筋および鋼管の引張強度試験結果

	鉄筋種別	降伏応力度 N/mm ²	引張応力度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	伸び率 %	降伏比	降伏 ひずみ
主筋	D16 (SD490)	517.6	698.4	186.4	13.4	0.74	2777
あばら筋	D6 (SD295A)	341.7	516.3	190.2	14.9	0.66	1797
コアダボ筋	D13 (SD490)	533.9	753.2	193.4	9.8	0.71	2761
コア拘束筋	D4 (SD295A)	360.7	497.2	188.8	14.3	0.73	1911
鋼管	15A (SPG)	322.0	—	204.6	—	—	1574

鋼管は試験片支持部が変形し、破断まで載荷できなかった

2) 試験体

試験体の一覧を表1に、配筋図を図3に示す。また、各試験体の損傷抑制コアを図4に示す。試験体は、損傷抑制コアの有無、ダボ筋の有無、および加力履歴を実験要因とするRC梁4体で、試験体縮尺率は約1/2とした。

BN-2は基準となる従来構造の試験体であり、BC-5はBN-2に損傷抑制コアを設けたものである。BC-6はBC-5と同一の配筋で加力履歴のみ異なる試験体である。加力履歴は次項に示す。また、BC-7は、ダボ筋の効果を確認するため、ダボ筋無しとした。従来構造のBN-2は、中子筋を配筋することで、所要のせん断強度を得ている。これに対して、損傷抑制コアを有する各試験体は中子筋の配筋を簡略化するため、外周筋を2本束ねて配筋することで、BN-2と同等のせん断補強筋比となるように配筋した。材料試験結果を表2~3に示す。

3) 加力装置・測定方法

加力装置を図5に示す。加力は片持ち梁形式であり、上スタブに取り付けた1000kN油圧ジャッキにより正負交番繰返し加力を行った。加力履歴を図6に示す。BC-6のみ履歴Aとし、BC-6以外は履歴Bとした。加力履歴は、部材角R=±1/1600radを1回、±1/800, ±1/400radを各2回载荷し、±1/200, ±1/133, ±1/100radを履歴Aでは各3回、履歴Bでは各10回繰り返した後、±1/67, ±1/50, ±1/25, ±1/20radを各2回ずつ载荷した。

測定項目は、試験区間の水平変位および軸方向変位、曲率分布、せん断変形などである。試験体の主筋、せん断補強筋、ダボ筋、コア拘束筋、および鋼管にひずみゲージを貼付した。

凡例 ○：曲げひび割れ発生、△：せん断ひび割れ発生、◇：主筋降伏、●：最大荷重

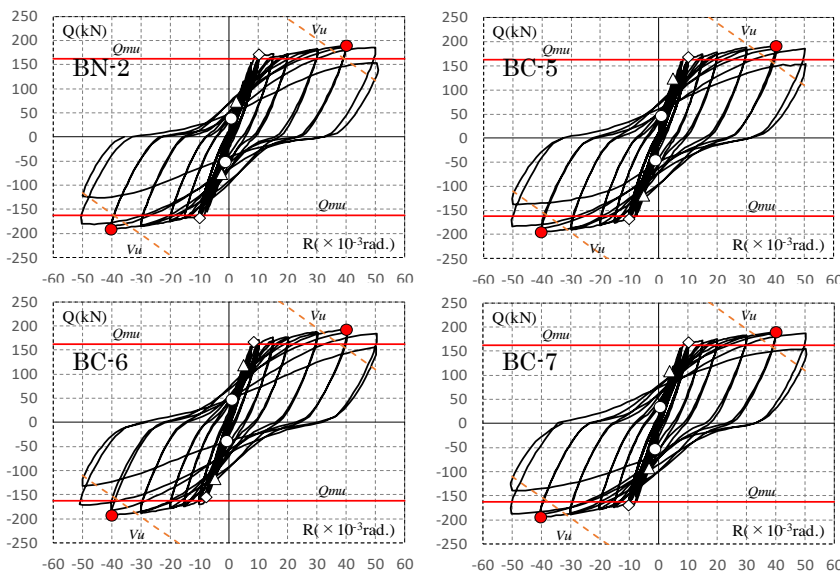
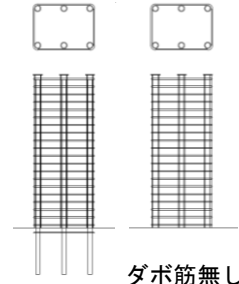


図7 Q-R関係



ダボ筋無し
BC-5/BC-6 BC-7
図4 損傷抑制コアの配筋

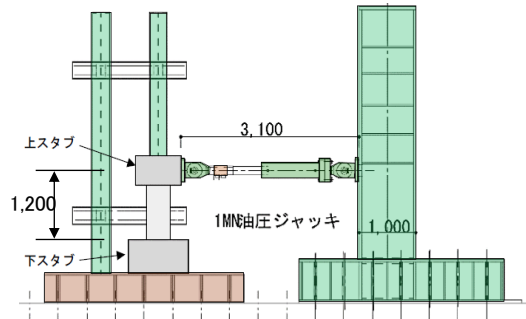


図5 加力装置

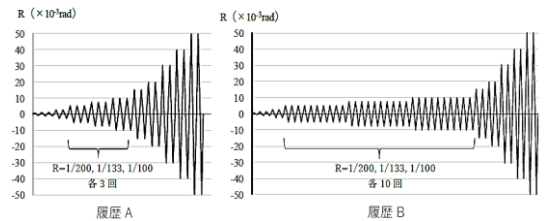


図6 加力履歴

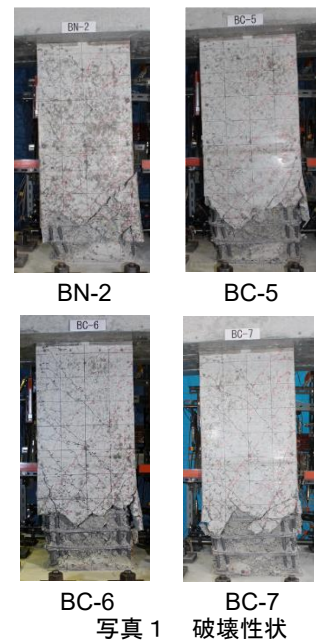


表 4 諸強度の実験値と計算値の比較

試験体名	初期剛性			曲げひび割れ強度			せん断ひび割れ強度			曲げ終局強度		
	$E K_0$ kN/mm	K_0 kN/mm	$\frac{E K_0}{K_0}$	$E Q_{mc}$ kN	$c Q_{mc}$ kN	$\frac{E Q_{mc}}{c Q_{mc}}$	$E Q_{sc}$ kN	$c Q_{sc}$ kN	$\frac{E Q_{sc}}{c Q_{sc}}$	$E Q_{mu}$ kN	$c Q_{mc}$ kN	$\frac{E Q_{mu}}{c Q_{mc}}$
BN-2	45.4	39.0	1.16	45.0	18.1	2.49	75.0	81.3	0.92	190.5	162.4	1.17
BC-5	45.5	37.6	1.21	45.8	18.2	2.52	121.5	82.4	1.47	193.8		1.19
BC-6	47.4	39.2	1.21	50.0	17.9	2.79	118.5	82.4	1.44	193.2		1.19
BC-7	45.4	39.0	1.16	43.5	18.2	2.40	100.9	84.2	1.20	192.5		1.19

■ 実験結果

1) 荷重部材角関係および破壊経過

各試験体の荷重(Q) – 部材角(R)関係を図 7 に、最終破壊状況を写真 1 に示す。図 7 中の赤実線は曲げ終局強度計算値 Q_{mu} であり、点線は文献 2) によるトラス機構・アーチ機構を考慮した理論式によるせん断強度計算値 V_u である。その他の図中のシンボルは凡例の通りである。

各試験体のひび割れ発生現象や主筋の降伏部材角に顕著な違いは見られなかった。初期曲げせん断ひび割れは $R=1/1600rad. \sim 1/800rad.$ の間で現れ、 $R=1/100rad.$ のサイクルで主筋が降伏し、曲げ終局強度に達した。 $R=1/25rad.$ のサイクルで最大耐力に達し、圧壊が見られた。 $R=1/20rad.$ のサイクル 2 回目の載荷で、コアの有無にかかわらず、全ての試験体の荷重が曲げ終局強度 Q_{mu} を下回る結果になった。

2) 諸強度の検討

表 4 に諸強度の実験値と計算値の比較を示す。初期剛性の実験値 $E K_0$ は、最初に曲げひび割れが生じる前のサイクルである $R=1/1600rad.$ のピーク値を採用した。曲げひび割れ強度・せん断ひび割れ強度・曲げ終局強度それぞれの実験値である $E Q_{mc}$, $E Q_{sc}$, $E Q_{mu}$ は、事象が発生した正負の平均値とした。初期剛性・曲げひび割れ強度・せん断ひび割れ強度それぞれの計算値 K_0 , $c Q_{mc}$, $c Q_{sc}$ は、文献 3) より算出した。

$E K_0 / K_0$ は 1.16~1.21 であり、実験値が約 2 割高くなっていた。 $E Q_{mc} / c Q_{mc}$ は 2.40~2.79 であり、実験値が大幅に高くなっていた。また $E Q_{sc} / c Q_{sc}$ は 0.92~1.47 であるが、コアのない BN-2 で 0.92 となった以外、コアを有する試験体では、2 割以上実験値が大きい結果となった。更に $E Q_{mu} / c Q_{mu}$ は 1.17~1.19 であり、実験値が計算値より約 2 割程度高くなった。

3) エネルギー吸収量の比較

履歴 B における 10 回繰返し部材角におけるエネルギー吸収量の比較を図 8 に、 $R=1/400rad.$ から $R=1/33rad.$ における従来梁とコア有り梁の定常ループのエネルギー吸収量の比較を図 9 に示す。

(a),(b),(c) が各試験体 2 回目のエネルギー吸収量の推移で、(d),(e),(f) が BN-2 の 2 回目のエネルギー吸収量で基準化したエネルギー吸収量の推移である。10 回繰返しを行ったサイクルでは、3 回目と 10 回目を代表して図に掲載している。

図 8(a),(b),(c) より、コアの有無に関係なく、各変形段階におけるエネルギー吸収量の推移は 2 回目以降、繰返すことにより徐々にエネルギー吸収量は低下していく。また、定常ループのエネルギー吸収量は、コアの有無に係わらず $R=1/200rad.$ で約 0.65, $R=1/133rad.$ で約 0.70, $R=1/100rad.$ で約 0.70 程度に収束する傾向が見られた。

図 8(d),(e),(f) より、BN-2 の各変形段階 2 回目で基準化するとコア有りのエネルギー吸収量が大きいことが分かる。その傾向は、部材角 $R=1/133, 1/100rad.$ と部材角が大きくなるにつれて差が拡大している。

繰返しによるエネルギー吸収量の比率は、BN-2 に対して $R=1/200rad.$ で 0.70, $R=1/133rad.$ で

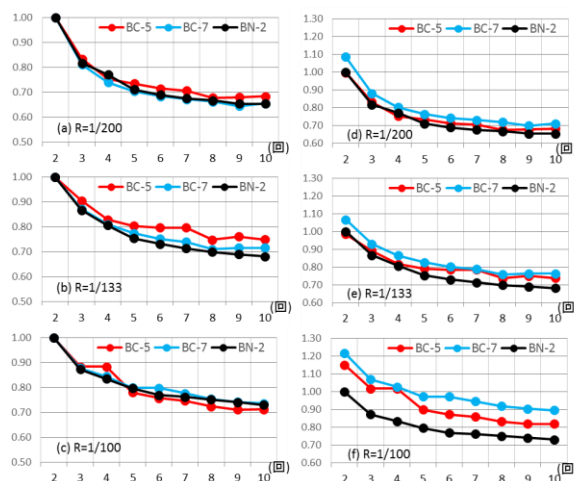


図 8 10 回繰返し部材角におけるエネルギー吸収量の推移

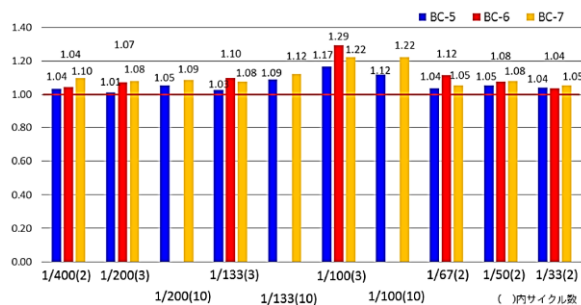


図 9 エネルギー吸収量の比較 (定常ループ)

0.75, $R=1/100\text{rad}$.で 0.80~0.90 に収束する結果になった。

繰返しによるエネルギー吸収量の低下割合はコアの有無に関係ないが、コアが有ることにより、 $R=1/200\text{rad}$.および $R=1/133\text{rad}$.で 5%, $R=1/100\text{rad}$.で 10~20%ほど従来梁に対してエネルギー吸収量が増える。

図 9 よりコア有り試験体は、せん断ひび割れが発生する $R=1/400\text{rad}$. でも従来梁よりも若干エネルギー吸収量が多い。部材角が $R=1/200, 1/133, 1/100\text{rad}$. と進むにつれて 3 回目・10 回目のエネルギー吸収量が増加する比率は大きくなっていく。主筋が降伏する $R=1/100\text{rad}$. においてもコアが有る方が、3 回目で約 2 割、10 回目の繰返し時でもエネルギー吸収量が多い。BC-6 は、BC-5 および BC-7 よりも $R=1/200, 1/133, 1/100\text{rad}$. の繰返し回数が各 3 回と少ないため、新しい変形段階ではエネルギー吸収量が他の 2 体よりも大きくなる傾向が見られた。破壊が進んだ $R=1/50\text{rad}$. 以降では、中子筋が無いことの影響が現われ、エネルギー吸収量の増加は 5%前後となった。ダボ筋の有無は、定常ループのエネルギー吸収量に対して顕著な影響が見られなかった。

4) ヒンジ領域せん断変形角の推移

ヒンジ領域におけるせん断変形角 Rs_h の推移を図 10 に示す。図 10(a)は既往の試験体 τ_u/σ_B が 0.05 の実験結果¹⁾であり、図 4(b)が τ_u/σ_B が約 0.1 試験体(BN-2, BC-5, BC-7)である。なお、BC-6 は測定不良が生じたため除外した。縦軸は全体部材角に対するヒンジ領域のせん断変形成分を表している。 Rs_h は次式により算出した。

$$Rs_h = \frac{\sqrt{h^2 + l^2}}{2hl} (d_1 + d_2) \quad (1)$$

ここに、 Rs_h : ヒンジ領域のせん断変形角(rad), h : 計測高さ(mm), l : 計測幅(mm), d_1, d_2 : 斜め方向に設置した変位計による変形量(mm)である。

BN-2 は $R=1/200\text{rad}$.の 10 回繰返しで約 4 割が、 $R=1/50\text{rad}$. で約 5 割がせん断変形成分となった。コア有りの BC-5 と BC-7 は $R=1/200\text{rad}$.の繰返しでもせん断変形成分が 3 割程度で、以降、徐々に増加するが従来梁よりもせん断変形成分は少ない。ダボ筋の有無では、ダボ筋の無い BC-7 の方が若干せん断変形成分が小さくなる傾向が見られた。

$\tau_u/\sigma_B=0.05$ 試験体と 0.1 試験体のせん断変形成分は、 $\tau_u/\sigma_B=0.1$ 試験体の方が初期からせん断変形成分が多い。ヒンジ領域のせん断変形成分は τ_u/σ_B と比例関係にあることが確認できた。コアは τ_u/σ_B が高い場合、初期からせん断変形成分の増加を抑制する効果がある。

5) 再載荷時剛性

図 11 に各試験体の再載荷時剛性倍率の推移を示す。図 11(a)が既往の試験体($\tau_u/\sigma_B=0.05$)¹⁾の実験結果であり、図 11(b)が今回の試験体($\tau_u/\sigma_B=0.1$)の実験結果である。 τ_u/σ_B が高くなると主筋降伏部材角が大きくなった。

$\tau_u/\sigma_B=0.05$ 試験体は、曲げ降伏以降の再載荷時剛性倍率が部材角増加に伴い増えるが、 $\tau_u/\sigma_B=0.1$ 試験体では曲げ降伏以降、再載荷時剛性倍率が増加傾向にはない。

6) 損傷抑制コアとトラス機構

コアの存在によりトラス機構の傾きが変化することが考えられる。図 12 はひび割れ状況から推定したトラス機構である。コア有り試験体は、コア外側とコア部のトラス機構形成部との複合機構となる。コア拘束筋量が多いほどコア部の影響が強くなると考えられる。コアによりトラスのストラット角度がコア内部で変わるため、ストラット角度が小さくなり、ストラット下端が 3 段

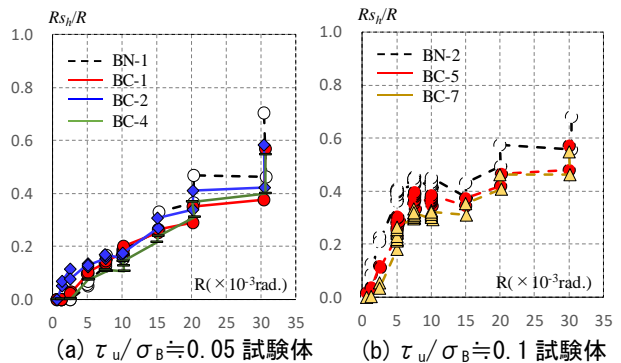


図 10 ヒンジ領域のせん断変形角の推移

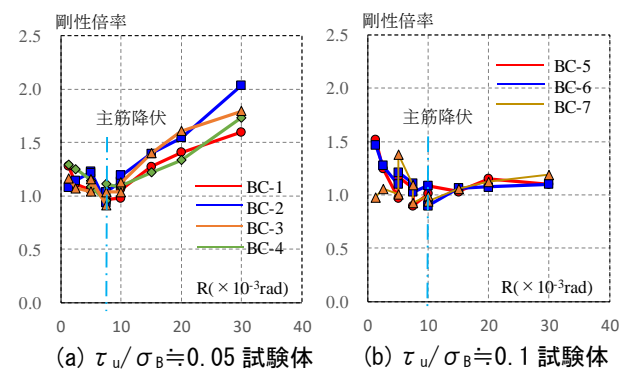


図 11 再載荷時剛性倍率の推移

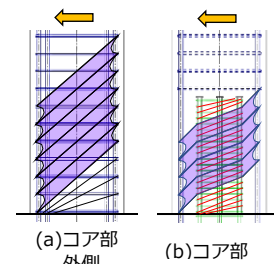
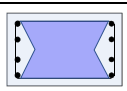
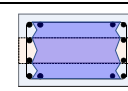
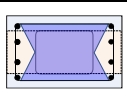
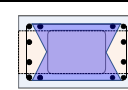


図 12 推定トラス機構

表 5 トラス機構断面

	$\tau_u / \sigma_B = 0.05$	$\tau_u / \sigma_B = 0.1$
従来梁	 $\lambda = 0.75$	 $\lambda = 0.85$
提案梁	 $\lambda = 0.75$	 $\lambda = 0.75$

目せん断補強筋位置になったと考えられる。

表 5 に既往の試験体($\tau_u/\sigma_B \doteq 0.05$)¹⁾と今回の試験体($\tau_u/\sigma_B \doteq 0.1$)のトラス機構断面を示す。この断面はトラス側面における最小領域である。せん断補強筋ピッチが小さく、中子筋が多いほど断面積は大きくなり、トラス機構の有効係数 λ は大きくなる²⁾。既往の試験体は有効係数 λ が同じ断面の実験であったが、今回の実験では従来梁の有効係数の方が大きかった。BC-5~7 のコア有り試験体が主筋降伏以降、再載荷時剛性倍率が増加せず、せん断補強筋フックが外れるような現象発生要因は、このトラス機構断面が影響し、コアと主筋との間のコンクリートが付着劣化を伴って圧壊したためだと考えられる。

トラス機構断面を改善できる配筋とすることにより、損傷抑制コアの効果が発揮できると推察される。

■まとめ

2018 年度に引き続きヒンジ部損傷抑制コアを設けた RC 梁部材について、せん断応力度レベルが高い場合($\tau_u/\sigma_B \doteq 0.1$)の繰返し曲げせん断実験を行った。その結果、以下のことが確認できた。

・ヒンジ部損傷抑制コアの性能目標である a) せん断余裕度を下げる要因となる曲げ強度を上昇させない、b)見かけ上のせん断応力を低下させる、c)せん断ひび割れの拡大を抑えせん断変形の増大を抑制する、d)従来構造よりも履歴ループを改善しエネルギー吸収量が增大する、のうち a)から c)については、せん断応力度レベル $\tau_u/\sigma_B \doteq 0.05$ と同様に構造性能を有することが確認された。ただし、d)についてはエネルギー吸収量の増大率は、せん断応力度レベル $\tau_u/\sigma_B \doteq 0.05$ 試験体よりも効果が低下した。

・ヒンジ部損傷抑制コアの効果はせん断応力度レベル(τ_u/σ_B)が高い場合について実験結果分析を行い、 τ_u/σ_B が高い場合の改善方法を検討した。

【謝辞】 本研究は JSPS 科研費 18K04451 の助成を受けたものです。また、構造実験に関して ExRC 梁研究開発 WG ((株)熊谷組, 大日本土木 (株), 鉄建建設 (株), 飛鳥建設 (株), (株)長谷工コーポレーション) のご支援を頂きました。ここに深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1)都祭弘幸：ヒンジ部損傷抑制コアの効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.41, No.2, pp.181-186, 2019.7
- 2)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，2013.7
- 3)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016.4

特許・論文等

■特許：特願 2019-87687 「配筋構造」

■論文：2019 年度 日本コンクリート工学会年次大会，日本建築学会大会（北陸）
2019 年・2020 年 日本建築学会大会学術講演梗概集

木芯コンクリート柱の圧縮特性に関する実験的研究

工学部 建築学科

都祭 弘幸 教授 Hiroyuki Tomatsuri 博士 (工学)

専門分野：建築構造，鉄筋コンクリート構造，損傷制御，合成構造
E-mail : tomatsuri@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

■ 研究の背景

現代は環境に配慮した建築構造とすべき時代であり，世界的に木材を建築物の構造や仕上げに使用・活用した事例が多数見られるようになった。木材を表面に使用し，柔らかさ・暖かさを醸し出した事例もありが，耐火建築とするために，木材を石膏ボードなどで被覆しなければならないことが多い。燃えしろ設計もできるが，準耐火建築物に限定されている。本研究で言う“木芯コンクリート柱”とは，石膏ボードの代わりに鉄筋コンクリート（以下，RC）で木質部材を被覆し，耐火性能とともに構造強度を持たせることを考えた部材であり，木材の使用機会を少しでも増やす構造事例の1つとなることを目的とする。

■ 試験体計画

木芯コンクリート柱とは，木質部材を RC で被覆した部材である。本研究では，その圧縮特性を検討するために4体の中心圧縮試験体を実施した。

試験体一覧を表1に，試験体断面図および配筋詳細図を図1に示す。試験体の柱断面(300×300mm)および主筋・せん断補強筋の配筋は共通である。パラメータは，柱中心部の木質部材断面であり，比較のため木無し，105角，120角，150角とした。木質部材は，同一等級構成構造用集成材(ヒノキ)E95-F315(4~5層)¹⁾を使用した。

試験体の全長 600mm のうち中央部 300mm ($p_w=0.38\%$) が試験区間となる。なお，試験体上下部(150mm 区間)についてはせん断補強筋を密に配筋し，この部分では圧縮破壊しないように配慮した。使用した鉄筋の材料試験結果を表2に示す。集成材単体の圧縮特性を確認するために，105角，120角，150角の圧縮試験を行った。

■ 実験方法

図2に荷重装置を，図3に試験部拡大図を示す。荷重は5MN 万能試験機を用い，試験体両端部に35mm厚の鉄板，クロスヘッド側に球座を設置した状態で圧縮力を加えた。荷重履歴は最大圧縮耐力計算値 N_u の1/3で3回，同2/3で3回繰返した後，荷重が低下するまで圧縮力を作用させた。測定は，柱せい区間の軸変位を測定したほか，主筋・せん断補強筋，集成材のひずみをWSGにより計測した。

■ 木芯コンクリート柱の最大圧縮軸力

RC造柱および木芯コンクリート柱の最大圧縮耐力計算式を，それぞれ式(1)²⁾，式(2)に示す。式(2)は式(1)に集成材部の強度を累加した提案式である。

$$N_u = 0.85A_c f_c + A_s f_y \quad (1)$$

$$N_u = 0.85A_c f_c + A_s f_y + A_w f_w \quad (2)$$

ここで， A_c :コンクリートの断面積(mm²)， A_s :鉄筋の断面積(mm²)， A_w :集成材の断面積(mm²)， f_c :コンクリートの圧縮強度(N/mm²)， f_y :主筋の降伏強度(N/mm²)， f_w :集成材の圧縮強度

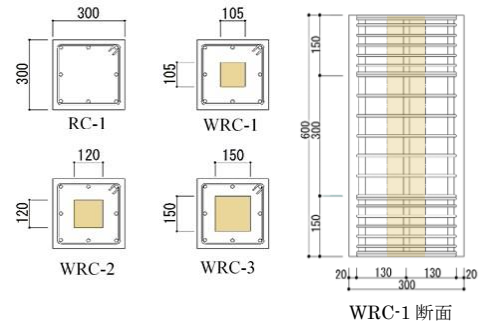


図1 断面図および配筋詳細図

表1 試験体一覧

試験体名	断面 (mm)	主筋	せん断補強筋	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
RC-1	300×300	8-D16 (SD390)	2-D6@50 (SD295A) $p_w=0.38$	31.7	31.3	4.86
WRC-1						
WRC-2						
WRC-3						

表2 鉄筋材料試験結果

種別	径	材質	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び (%)
主筋	D16	SD390	437.6	593.5	203.4	17.6
せん断補強筋	D6	SD295A	341.7	516.3	190.2	14.9

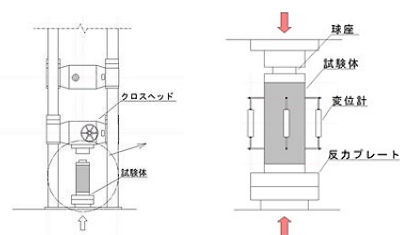


図2 荷重装置

図3 試験部拡大図

(N/mm^2), f_c および f_y は, それぞれ材料試験結果を用いる。 f_w は, 実際の強度上昇を考慮し, 集成材の強度等級 E95-F315 の圧縮強度公称値 $25.8(\text{N}/\text{mm}^2)$ の 1.2 倍とした。

■ 実験結果

各試験体の荷重(P) – 鉛直ひずみ(ϵ)関係を図 4 に示す。横軸は軸方向変位を測定した 375mm に対するひずみ $\epsilon(\%)$ である。図 4 よりいずれの試験体もひずみ約 0.2% で最大圧縮耐力となり, その後 WRC-2 や WRC-3 は急激に耐力低下するが, RC-1 および WRC-1 は緩やかに荷重が低下していることが分かる。

■ 最大耐力

各試験体の最大圧縮耐力実験値と式(1)・(2)から求めた計算値との比較を表 3 に示す。表より, RC 柱および木芯コンクリート柱の実験値/計算値の比は全て 1.1 程度となった。これより木芯コンクリート柱であっても RC 柱と同様に累加強度式(2)により最大圧縮耐力の推定が可能であることが確認できた。また, 累加強度の考え方は木質部材の断面比は本実験の範囲で適用できる。

■ 木芯コンクリートのモデル化

木芯コンクリート柱のモデル化を検討するために, P – ϵ 関係を弾性範囲と弾性限界以降ピークまでを剛性評価する。図 5 に例として WRC-1 の P – ϵ 関係を示す。材料特性から算出できる断面剛性 K の比例限界を弾性限界とし, それ以降から最大圧縮耐力までを第 2 勾配とした。第 2 勾配の弾性剛性に対する比を α_2 としている。

同様の方法で検討した結果を表 4 に示す。表 4 の各試験体の α_2 から, 柱断面における集成材が占めるが大きくなるほど数値が小さくなることが分かった。

■ 弾性範囲における荷重分担割合

木芯コンクリート柱のコンクリートと集成材の荷重分担割合を検討する。表 5 は各試験体の弾性剛性比から算出した荷重分担割合である。図 6 に WRC-1 に埋設した集成材に作用する荷重 (全荷重×分担割合) とひずみの関係, および集成材単体実験から得られた荷重 – ひずみ関係を重ねて示す。算出された割合を試験体の値に乗じたものと集成材単体の試験結果と比較すると数値がほぼ一致していることが分かる。

■ まとめ

- ・最大圧縮耐力は, 集成材の有無および集成材の断面に関係なく, 累加強度式(1), (2)の式で求めた値に対して 1.1 倍程度となった。
- ・弾性時に対する弾性限界以降からピークにかけての勾配は, 集成材断面が大きくなるほど小さくなる傾向がある。
- ・弾性範囲におけるコンクリートと集成材の荷重分担割合は, それぞれのヤング係数×断面積の比に比例し, 集成材のひずみはその荷重から概ね推察できる。

【謝辞】本研究の実施にあたり, 令和元年度福山大学工学部建築学科卒業生の大上拓海氏には多大な支援を頂きました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 菊池重昭：建築木質構造, オーム社, p.241, 2001.12
- 2) 小阪義夫, 森田司朗：鉄筋コンクリート構造, 丸善, p.72, 1975.12

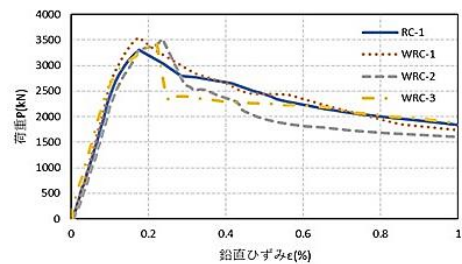


図 4 P – ϵ 関係 (実験値)

表 3 実験値/計算値

試験体名	N_u (kN)		実験値 / 計算値
	実験値	計算値	
RC-1	3382.0	3077.7	1.10
WRC-1	3542.5	3122.9	1.13
WRC-2	3529.5	3136.8	1.13
WRC-3	3450.0	3170.0	1.09

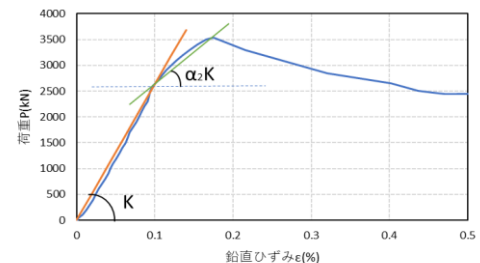


図 5 弾性域を超える領域のモデル

表 4 各試験体の勾配数値

試験体名	E_c (kN/mm^2)	E_w (kN/mm^2)	K (kN/mm)	$\alpha_2 K$ (kN/mm)	α_2
RC-1	31.3	0.0	7501.7	3000.0	0.40
WRC-1		15.0	7022.8	3126.2	0.45
WRC-2		15.3	6887.8	2267.6	0.33
WRC-3		16.7	6630.4	1849.8	0.28

表 5 コンクリート・集成材の荷重分担割合

コンクリート割合			集成材割合		
WRC-1	WRC-2	WRC-3	105角	120角	150角
0.937	0.915	0.849	0.063	0.085	0.151

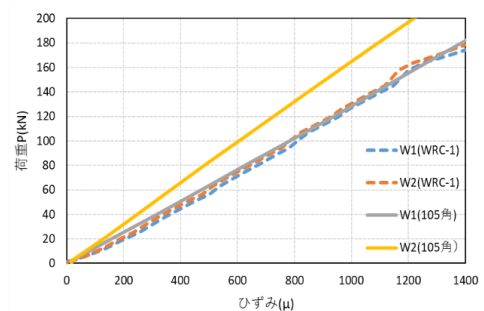


図 6 荷重分担割合

損傷を考慮した半間土壁の 剛性低下率と耐力低下率の定式化

工学部 建築学科

山田 明

准教授 Akira Yamada

博士(工学)

専門分野：耐震工学，建築振動学，木構造学

E-mail : yamada@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

1. はじめに

現在の建築物の耐震設計では，中地震と大地震の2つのレベルの地震動が想定され，数十年に一度生じる中地震に対しては建築物を修復せずに継続使用できることが，数百年に一度生じる大地震に対しては人命を確保することが優先され，大地震後の建築物の継続使用は要求されていない。このような耐震設計の思想は，建築物の供用期間が数十年で，かつ，大地震は共用期間内に1度生じるか，あるいは生じないか，と言う場合においては十分であると考えられる。

ところで，文化的価値を有する建築物の多くは木造である。それらの築後年数は数十年を超え，中には数百年に至るものも数多くある。建築後に地震を経験している建築物もあり，損傷したときには，維持のための補修が施され，継続使用される場合もある。

伝統木造建築物の主要な耐震要素は土壁である。その耐震性能は，建築基準法第46条の中の壁倍率で規定され，現在，土壁の壁倍率は最大1.5とすることができる。以前は壁倍率0.5までしか取れなかったことからすると，土壁を耐震要素として積極的に採用することができるようになり，伝統木造建築物の新築や耐震補強の機運が高まったと言える。

しかし，壁倍率は，もともと新設耐力壁を対象とするものであって，地震による損傷を経験した既存耐力壁の剛性・耐力の劣化や，損傷修復による耐震性の回復までが考慮されている訳ではない。地震等の外乱を経験した後に修復された土壁の耐震性能を評価するための研究事例は筆者の知る限りでは非常に少なく，データの蓄積が望まれるところである。これまでの先駆的な研究事例を列挙すると，青野ら，森迫ら¹⁻²⁾は，京土壁の正負交番漸増繰り返し载荷を行ったのち，壁土の修復を行ない，再度繰り返し载荷を行うことで，補修効果を検証している。村石ら³⁾は飛騨高山地方の，山之内ら⁴⁾は北関東の土壁を対象にして，同様の検証を行っている。これらの事例では，補修前に微小から大変形までの繰り返し载荷が行われている。したがって，修復前の試験体が経験した損傷は，最大振幅，すなわち，地震動に対する最大変形角とは直接的には対応しない。東條らは⁵⁻⁶⁾，先に損傷を与えた土壁の縮小試験体を補修し，正負交番漸増繰り返し载荷することで，補修後の構造性能を確認している。この事例では，修復前の損傷レベルがパラメータとなっている点において，想定する損傷が明瞭であるが，縮小試験体であるため，壁としての挙動を確認する必要があると考えられる。何れの事例においても，試験体を再利用したり，縮小試験体を用いたりすることは，研究の制約上致し方ないところもあると考えられる。

そのような中，筆者は，半間の土壁について，一定振幅による多数回の正負交番繰り返し载荷を実施し，繰り返し载荷が耐力劣化に及ぼす影響について報告した⁷⁾。この研究では，振幅を設計における限界変形角や被害レベルに対応させており，载荷回数には，地震時に想定される揺れの回数を考慮している。

本研究では，これらの試験体を修復し，再度正負交番繰り返し载荷を実施することで，既存の伝統木造建築物が補修前に経験したであろう地震動に対する損傷レベルと補修効果の関係をより明らかにすることを目的とする。このようなアプローチからの研究事例は筆者の知る限りでは見当たらず，実験データの集積の観点からも，意義があると考えられる。

2. 実験

2.1 既報の概要（補修前実験時の損傷）

本研究では，前述のように，既報⁷⁾で用いた半間の土壁供試体を補修して用いるため，既報の概要を簡単に説明しておく。

供試体は，図1に示す半間の土壁であり，同じものを4体製作した。形状は柱心間910mm(1P)，

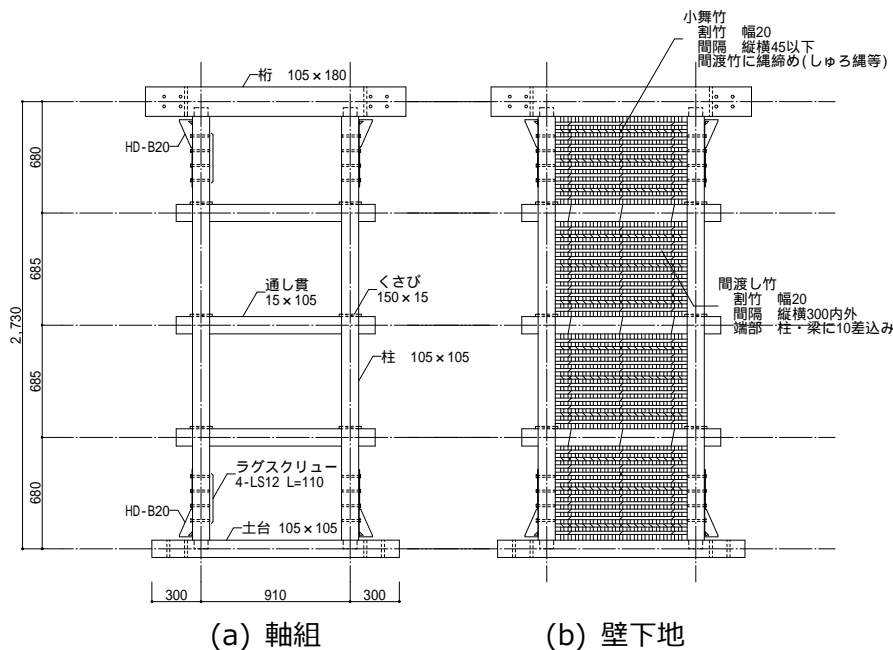


図1 試験体

土台梁心間 2,730mm である。部材断面は柱・土台とも 105×105mm (無等級スギ) とし、柱仕口は短ほぞとした。梁断面は 105×180mm (無等級ベイマツ) である。壁下地は 15×105mm (無等級スギ) の 3 段の通し貫に小舞竹を固定し、その上に荒壁・中塗り壁を塗り、総厚 60mm とした。柱頭・柱脚には短期許容引抜き力 20kN のホールダウン金物を取り付け、実験中の柱の引抜を防止した。ただし、接合部の回転を拘束しないように、ナットは手締め程度にとどめている。

なお、壁土・壁下地等の材料・施工法には地域差が表れると考えられるが、建築基準法上の耐力壁の条件を満足する仕様で発注することで、できる限り一般性が保てるように配慮した。

各供試体には、4 種の振幅 (No.1 : 1/120rad (損傷限界レベル), No.2 : 1/60rad (小・中破レベル), No.3 : 1/30rad (安全限界レベル), No.4 : 1/15rad (倒壊レベル)) による多数回の正負交載荷を行った。載荷回数は 1/120, 1/60rad では 100 回, 1/30rad では 50 回, 1/15rad では 10 回である。鉛直方向は無載荷とした。

実験終了時の供試体の損傷状態については、No.1 では目立った損傷はなく、壁四隅の壁土が粉状になるだけで、貫端部の楔もほとんどめり込んでおらず、手では抜けなかった。No.2 では、壁全体にひび割れが入り、楔のめり込みが楔孔から目視できた。No.3 では、貫側の壁土が部分的に剥落し、小舞が露出した。楔はめり込んでおり、手で引っ張ると抜ける状態であった。No.4 では、貫側の壁土が全体的に剥落した。楔はめり込んで容易に抜くことができ、やや曲がっていた。ホールダウン金物についても、No.3, 4 ではナットに緩みが生じ、柱梁の仕口に 1~2mm の隙間が空いた。

既報では、実験結果について、繰り返し載荷による耐力低下率 a を累積変形角 R_a に関連づけた。累積変形角とは、加力方向における加力側の変形角の累積値であり、例えば、正加力時であれば、直立状態から正側に変形しているときの変形角の増分を累積したものであり、除荷時は考慮しない。

これらについてまとめたものを表 1 に、実験終了時の供試体の損傷状況写真を表 2 の上段に示す。なお、補修前実験では貫側を表側 (写真手前側) にしているが、後述の修復後実験では、実験場の管理の都合で、小舞側を表側にしていることを付記しておく。

2.2 補修

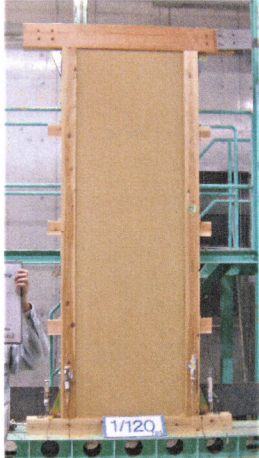
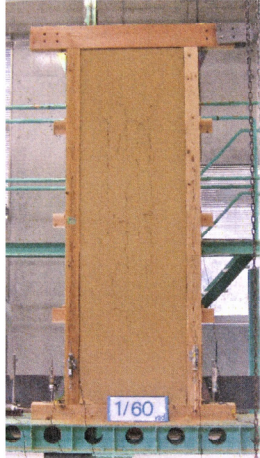





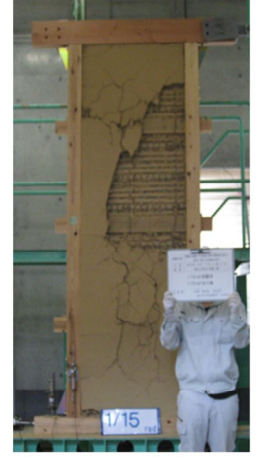

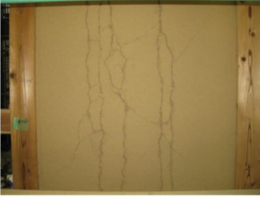
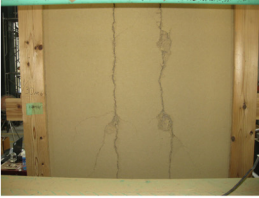
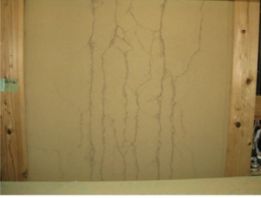
補修にあたっては、研究と実務の間に乖離が生じないことに注意を払いつつ、施工者の意見をヒアリングし、方針を決定した。

No.1 については、補修しなくても十分継続使用できる程度であったが、四隅の補修だけは行うことにした。その場合、四隅の壁土を部分的に電動カッターで切り取り、壁土を充填する方法が考えられたが、実務上は経年劣化で自然に剥落してしまう可能性が高いと考えられたため、壁全面にわたって中塗りだけを削り取り、再度塗り直すことにした。その際、壁四隅の中塗りを削り取るときに荒壁も一緒に落ちてしまったため、その部分には荒壁を充填した。

表 1 補修前実験の概要, 損傷状況, および補修方法

試験体名称	振幅 R_{max} (rad)	設計・被害のレベル	載荷回数 M (往復)	累積変形角 R_c (rad)	実験後の損傷			補修方法		
					壁	楔	ホールダウン金物	壁	楔	金物
No.1	1/120	損傷限界	100	1.67	壁四隅が粉状	ほとんどめり込んでない 手では抜けない	ほとんど変化なし	中塗り壁のみ 撤去・塗り直し	存置	存置
No.2	1/60	小・中破	100	3.33	壁全体にひび割れ	めり込んでいるのが分かる 手では抜けない		荒壁・中塗り壁とも 撤去・塗り直し		
No.3	1/30	安全限界	50	3.33	壁士の部分的剥落 小舞の露出	明らかにめり込んでいる 引張ると抜ける	ナットがやや緩む			
No.4	1/15	倒壊	10	1.33	壁士の全体的剥落 小舞の露出	明らかにめり込んでいる 簡単に抜け、曲がっている				

表 2 実験終了時の供試体の損傷状況

	No.1	No.2	No.3	No.4
補修前 実験				
	小舞側	小舞側	小舞側 ※貫側の壁士は部分的に剥落	小舞側 ※裏側の壁士は全体的に剥落
補修後 実験				
	貫側	貫側	貫側	貫側
				
	小舞側	小舞側	小舞側	小舞側

No.2~No.4 については荒壁・中塗り壁を木槌でたたき落とし、小舞だけの状態にした。その後、通常の中塗り壁と同様に、下地の荒壁を塗り、その後、中塗りを行った。なお、養生期間は荒壁・中塗り壁とも約 2 週間とし、目視によって乾燥していることを確認した。
なお、補修に用いた壁士は、既報と全く同じとは言えないが、施工者と材料の購入先は既報と同じ

である。配合仕様も既報と同じであり、建築基準法の耐力壁の条件を満足する仕様で製作することで、一般性のある土壁になるよう配慮した。

楔の緩みについては、木槌で叩いて締め直すことを考えたが、実在の住宅では叩き込む時の振動で他の壁に損傷が及ぶことが考えられたこと、また、楔が壁内に隠れて叩き込むことができない場合もあると考えられたことから、楔は存置した。同様に、ホールダウン金物についても、現場では手が届かない場合もあることを想定し、締め直さず存置した。以上をまとめたものを、表 1 の右方に示す。

2.3 加力方法

供試体の土台を鉄骨架台にアンカーボルトで固定し、梁をモートルシリンダーで水平方向に加力する。No.1~4 の加力スケジュールは同一で、見かけのせん断変形角で 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50, 1/40, 1/30, 1/25, 1/20, 1/15rad の振幅で、各振幅につき 3 往復の正負交番载荷を行なう。鉛直荷重の载荷は行わない。

2.4 計測方法

実験中における供試体の変位を測定するため、梁小口 1 力所、梁側面 1 力所、土台小口 1 力所に水平方向の変位計を、柱頭・柱脚のそれぞれ 1 力所に鉛直方向の変位計を取り付ける。

3. 実験結果

3.1 損傷状況

実験中の目視観察の限りでは、No.1~4 の損傷過程に特別な違いは認められなかったので、全供試体について概括的に説明する。

加力の振幅が 1/200rad 以下では視覚的な変化は見られなかった。1/150~1/100rad になると、壁の隅角にひびが入り始めた。

振幅が 1/75rad になると、壁の損傷範囲が次第に大きくなり、1/50rad 時には貫側に斜めのひび割れが生じた。1/40~1/25rad 時には、振幅が大きくなるにつれて壁のひび割れも拡大し、1/25rad 時にはひび割れた部分の壁が小舞から浮きあがった。

1/20, 1/15rad 時には、貫側のひび割れが全体に広がり、少しずつ壁土が剥落し、1/15rad 時には壁土が全面に亘って小舞から浮いている状態であった。加力中に貫側の壁土の大部分が剥落し、3 回目の加力後に実験を終了した。

実験終了時において、貫側では、壁土が全体の半分以上は剥落し、あるいは浮き上がっていた。他方、小舞側では、壁土の剥落や浮きは貫側に比べると少なく、縦方向のひび割れが顕著であった。実験終了時の供試体の損傷状況写真を表 2 の下段に示す。表には、補修前に実験との比較のため、貫・小舞両側の写真を示した。

No.2~4 の損傷状況はほぼ同じであった。補修方法が同じであるから当然の結果のようにも思われるが、経験した損傷が異なっても、補修すればその後の損傷の仕方に差が出てこないということでもあり、これは、本実験で得られた知見のひとつである。

他方、No.1 の補修方法は No.2~4 と異なるものの、損傷過程には大きな違いが認められなかった。しかし、目視観察の限りでは、No.1 の実験後の小舞に対する荒壁の食いつきは No.2~4 のそれと比べると悪く、荒壁が小舞から綺麗に剥落していた。荒壁の施工時期が No.1 と 2~4 では異なっており、壁土の材料が全く同じものではなかったものの、材料の購入先・配合・施工者は変えておらず、補修前後で出来る限り同じ状態になるように管理したことから、この原因は、材料・施工の違いよりも、むしろ補修前実験の損傷により、荒壁の小舞への付着が弱まっていたことが考えられる。したがって、損傷が目視では確認されなかったとしても、内部に損傷が生じている可能性は否定できない。事実、既報では 1/120rad の一定振幅繰り返し载荷による耐力低下が確認されている。

3.2 荷重変形角関係

図 2(a)~(d)に、実験で得られた No.1~4 の荷重変形角関係を示す。なお、変形角については、土台の浮き上がり・水平移動、柱の引抜けが生じなかったことから、見かけのせん断変形角を真のせん断変形角とみなした。

図より、視覚的には(a)~(d)の荷重変形角関係に顕著な違いは認められないが、(a)の No.1 では変形角が進むにつれて、最大耐力の低下が認められる。

3.3 剛性・耐力低下の定性的考察

補修前後の剛性と耐力の違いを確認するために、図 2 の各変形角における 1 回目加力の最大耐力と変形角を抽出し、包絡線を作成する。包絡線の構成点は実験時の加力スケジュールと同一とし、実験時の操作誤差については、線形補間により変位・耐力を修正した。図 3(a)~(d)に、得られた

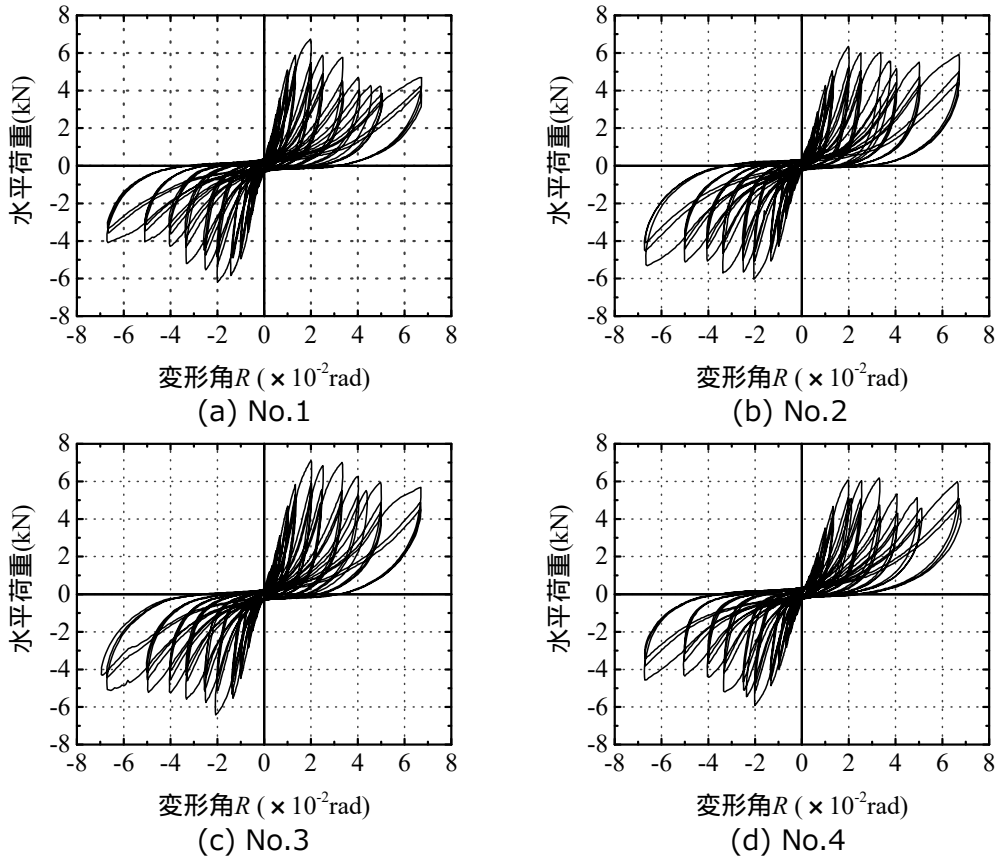


图2 荷重变形角關係

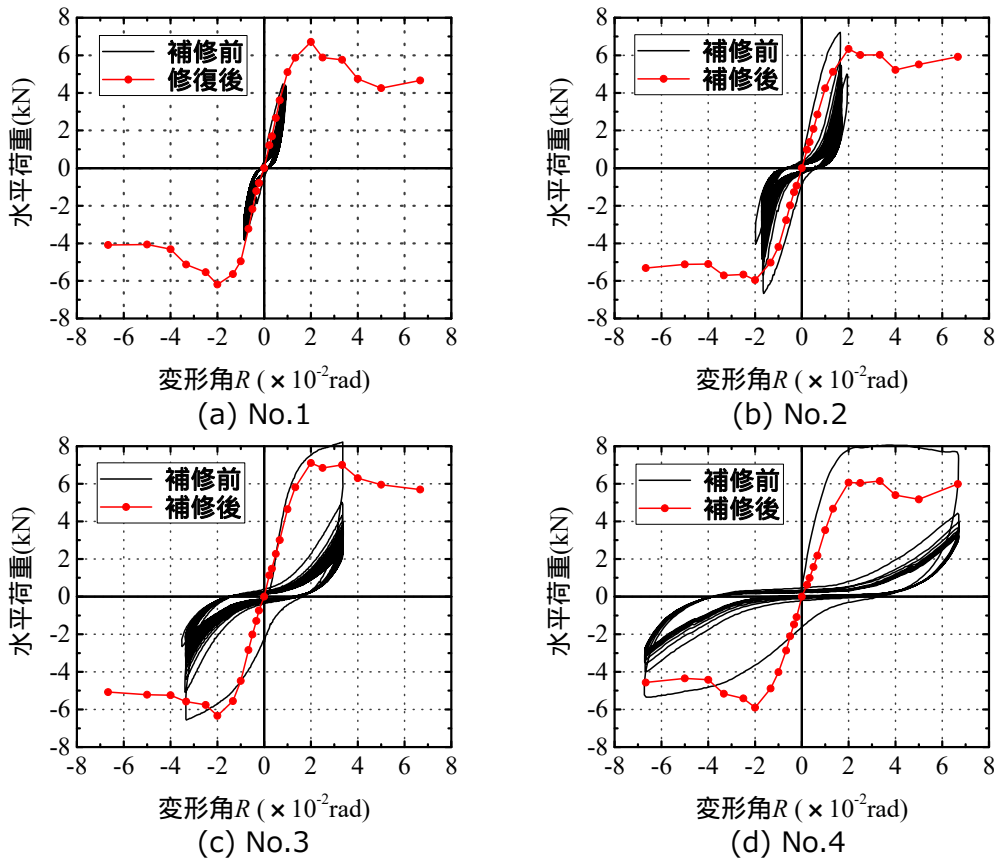


图3 包絡線

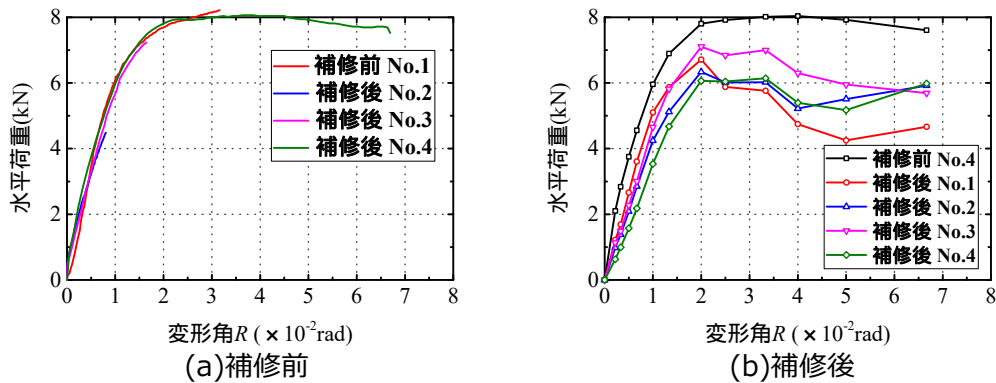


図4 包絡線の比較

No.1~4の包絡線を示す。補修前後の比較のために、同図には既報に掲載した補修前の履歴ループも併記する。

同図(a)より、補修前の履歴形状は概ね弾性であることが分かるが、包絡線はその履歴ループよりも若干内側にある。したがって、補修後は補修前と比べて若干の剛性低下が生じたと判断できる。他方、同図(b)~(d)の第1象限について、補修前1回目の履歴と包絡線を見比べると、包絡線が明らかに履歴ループの内側になっていることから、剛性・耐力とも低下したと判断できる。

これらについてさらに検討するため、まず、既報に掲載した補修前実験の包絡線を再度確認しておく。図4(a)には補修前のNo.1~4の1回目加力の荷重変形角関係を示しており、これは、一方向の単調載荷による荷重変形関係と同じ意味を持っている。他方、補修後に実施した本実験は正負交番繰返し載荷によるものであるから、載荷方法の異なるもの同士を比較することに些かの無理はあるが、単調載荷による荷重変形関係が、供試体の取り得る最大の包絡線とみなせば、比較の対象にすることができる。

図4(a)より、No.1~4の包絡線はほぼ同じであることが分かり、したがって、補修前には、供試体の違いによる施工と耐力特性のばらつきはほとんどなかったとすることができる。また、 $1/120\text{rad}$ ($0.08 \times 10^{-2}\text{rad}$)程度まではほぼ弾性状態にあると言える。

つぎに、補修前後の包絡線を比較するため、図4(b)に、本実験で得られたNo.1~4の正側の包絡線を示す。図中には、補修前を代表してNo.4の包絡線を併記した。同図より、No.1~4の包絡線は、それらの構成点である $1/150\text{rad}$ までは、やはり弾性状態にあると判断できるが、その時の耐力は補修前と比べて明らかに低くなっており、すなわち弾性剛性の低下が生じていることが改めて確認できる。剛性の大小については、No.1が最大、No.4が最小、No.2, 3はその中間かつ同程度の剛性である。No.2~4では壁土全体を塗り直したにも関わらず、No.1よりも剛性が低い。No.2, 3では最大経験変形角に2倍の違いがあるにも関わらず剛性は同程度で、かつNo.1よりは小さい。No.4の累積変形角は4体の中で最も小さいが、剛性は最も低い。したがって、定性的には、壁の補修方法の違いや累積変形角の違いよりも、むしろ最大経験変形角の違いが補修後の剛性に影響を及ぼしていると言ったことができ、これは、楔や接合部の緩みの違いに起因していると考えられる。

さらに、耐力の違いについて確認する。補修後のNo.1~4の最大耐力は、概ね $1/50\text{rad}$ ($2.00 \times 10^{-2}\text{rad}$)時に生じており、変形角が進むにつれてNo.1では低下、No.3ではやや低下、No.2, 4ではほぼ一定となっていることが分かる。補修前No.4の塑性域の耐力が約8kNであるのに対し、補修後No.1~4のそれは4~7kNになっていることから、補修前に対して耐力低下が生じたと判断することができる。

No.1では最大経験変形角が最も小さいにも関わらず、耐力低下が顕著であるが、これは、荒壁の塗り直しを行わなかったことに起因すると考えられる。No.1とNo.2~4の壁土の剥落状況の違いは前述のとおりであり、中塗り壁だけを塗り直したことがNo.1の耐力低下の要因になっていると考えられる。

No.2, 4では塑性域の耐力はほとんど同じである。No.3の耐力だけが大きい理由は判然とはしないが、壁の塗り直しを行えば、最大経験変形角が異なっても、耐力上の補修効果は期待できると言える。

以上より、土壁の補修前後の剛性の違いは、補修方法の違いや累積変形角の違いよりも最大経験変形角の違いが支配的である。一方、耐力に関しては、補修方法の違いが支配的である。

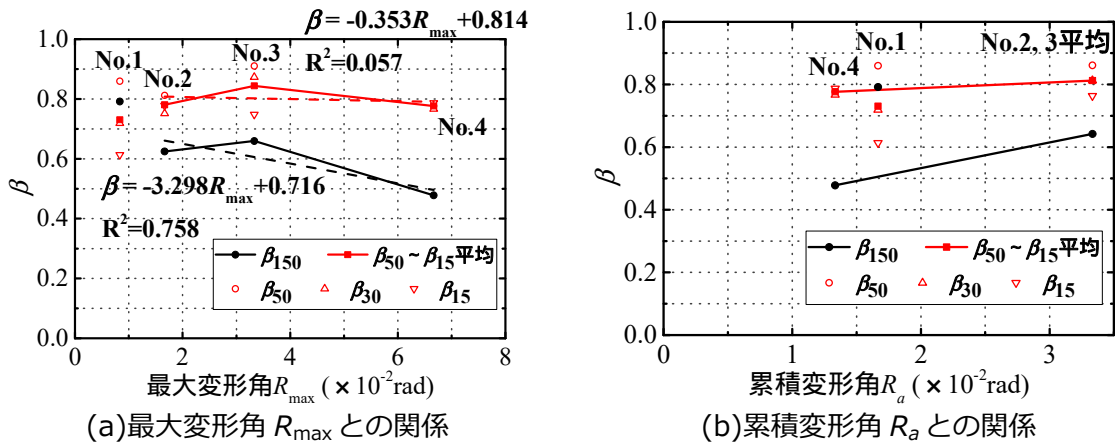


図5 剛性・耐力の低下率 β

3.4 剛性低下率・耐力低下率の実験式

前節では、補修前後の剛性・耐力の低下に関し、定性的な考察を行った。ここでは、定量的な考察を試みる。

本研究では、各供試体の最大経験変形角 R_{max} と累積変形角 R_a が明らかである。そこで、補修前に対する補修後の剛性低下率・耐力低下率を、 R_{max} 、 R_a に関連づける。

包絡線の構成点の耐力比 β を定義する。 β は図4(b)の補修前 No.4 の耐力 ${}_0P$ に対する補修後 No.1 ~4 の耐力 P の比であり、 r を包絡線の構成点として、

$$\beta_r = P_r / {}_0P_r \quad (1)$$

である。 β は弾性域では剛性低下率に、塑性域では耐力低下率に、それぞれ対応する。

最大経験変形角 R_{max} と β の関係を図5(a)に、累積変形角 R_a と β の関係を図5(b)に示す。 β を計算する変形角については、弾性域では $1/150$ rad (β_{150})、塑性域では $1/50$ rad (β_{50})、 $1/30$ rad (β_{30})、 $1/15$ rad (β_{15}) とした。

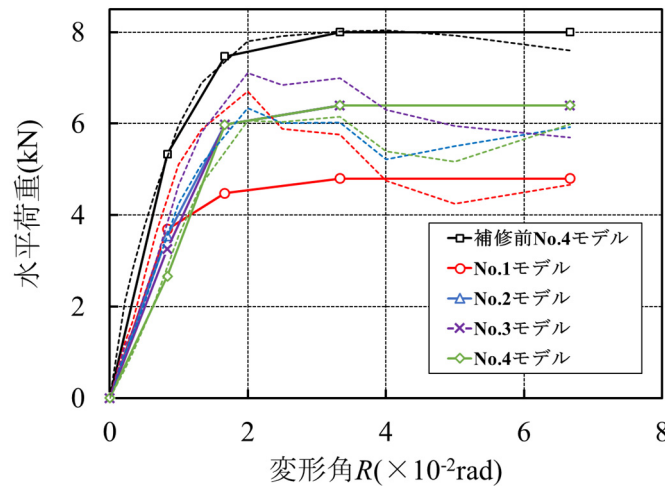
図中には No.1~4 のすべての結果をプロットしているが、まず、補修方法が同じである No.2~4 について検討する。

まず、図5(a)の R_{max} と β の関係について確認する。同図の横軸は R_{max} の違いだけでなく、供試体の違いでもある。同図の β_{150} を見ると、 $R_{max} \sim \beta_{15}$ は R_{max} には無関係で $\beta=0.8$ 程度にあることが分かる。そこで、剛性低下率を β_{150} に、耐力低下率を $\beta_{50} \sim \beta_{15}$ の平均値にそれぞれ対応させ、 R_{max} に対して線形回帰すると、図中の破線に示す回帰直線が得られた。耐力低下率については、回帰直線の勾配がほとんどないため、式を丸めて $\beta=0.8$ と見てよい。

つぎに、図5(b)の R_a と β の関係について確認する。同図中の左側は No.4 に、右側は No.2, 3 にそれぞれ対応するが、No.2, 3 では R_a が等しく、図(a)から分かるように No.2, 3 では β に大きな違いが見られないことから、図(b)には No.2, 3 の平均値をプロットした。図(b)より、耐力低下率に対応する $\beta_{50} \sim \beta_{15}$ については、図(a)と同様に、 R_a には無関係で $\beta=0.8$ 程度になっていることが分かる。したがって、耐力低下率は、補修前に受けた最大経験変形角 R_{max} にも累積変形角 R_a にも無関係である。一方、剛性低下率に対応する β_{150} は、 R_a の増大に対して増大しており、直感とは一致しない。これは、壁全体を塗り直すことで剛性低下率に対する R_a の寄与が解消され、接合部の緩みの程度に関係する R_{max} の寄与が支配的になることを示している。

さらに、No.1 について検討する。No.1 と同じ補修方法を採用した供試体がないため、比較検討するのは些か難しいが、図5(a)より、No.1 では $\beta_{150}=0.79$ であり、No.2~4 の回帰式をそのまま適用しても β は低めに評価されるので、回帰式を No.1 に適用しても安全側になっていると言える。 $\beta_{50} \sim \beta_{15}$ については、No.2~4 の傾向とは異なってばらつきが目立ち、平均値 0.73、最小値 $\beta_{15}=0.61$ であり、No.2~4 の平均値約 0.8 をそのまま用いることには無理がある。また、図5(b)より、No.1 の R_a は No.2~4 のその中間にあるにも関わらず、No.2~4 との関係性を読み取ることは難しい。したがって、補修方法の異なる No.1 の剛性低下率は、No.2~4 から得られた R_{max} に対する回帰式を用いても安全側になるが、耐力低下率については、最小値 ($\beta=0.6$) を用いることが妥当と考えられる。

以上をまとめると、土壁の補修を行ったときの、補修前に対する補修後の剛性低下率と耐力低下



註) 破線は図 4(b)の包絡線を示し、色の違いは図中の凡例に同じ。
 図 6 復元力特性モデル

率は、図 5 中の回帰式を丸めて、次のようになる。

(1) 剛性低下率 γ_1

①壁土全体の撤去・塗り直し、②中塗りのみの塗り直しの双方に共通で、最大経験変形角 R_{max} に対し、

$$\gamma_r = \beta_{150} = -3.3R_{max} + 0.72 \quad (2)$$

(2) 耐力低下率 γ_2

R_{max} , 累積変形角 R_a に対して無関係に

①の場合 $\gamma_2 = \beta_{50,30,15}$ の平均 = 0.8 (一定) (3)

②の場合 $\gamma_2 = \beta_{50,30,15}$ の最小 = 0.6 (一定) (4)

これらを用い、図 4(b)に記載した補修前 No.4 の包絡線に、剛性低下と耐力低下を考慮した No.1 ~No.4 の復元力特性モデルを図 6 に示す。同図中の補修前 No.4 モデルは、1/120, 1/60, 1/30, 1/15rad の 4 つの変形角時の復元力で構成され、1/120rad 時耐力を 1.0 として、1/60, 1/30, 1/15rad 時のそれらがそれぞれ 1.4, 1.5, 1.5 となっている。ここでは、1/30, 1/15rad 時の復元力を 8.0kN とした。No.1~4 モデルの γ_1 については、それぞれ $R_{max} = 1/120, 1/60, 1/30, 1/15rad$ を考慮し、 γ_2 については No.1 では 0.6, No.2~4 では 0.8 とした。

図より、No.1 では剛性・耐力とも過小評価のきらいがあるが No.2~4 モデルには剛性・耐力とも、概括的には実験結果と整合していると言える。

4. おわりに

本研究では、最大経験変形角と累積変形角の 2 つの損傷レベルが既知の 4 体の半間幅の土壁供試体を対象に、補修後の正負交番繰り返し載荷試験の結果から、補修後の剛性・耐力について検討した。補修にあたっては、実務と研究の間に乖離が生じないように配慮し、損傷状態に応じて壁土全体を撤去して塗り直す方法と、中塗りだけ撤去して塗り直す方法の 2 つの方法を採用した。楔と金物は、実際の施工状況を想定し、あえて締め直さなかった。

得られた結果から、結論をつぎのようにまとめる。

- (1) 補修方法が同じである No.2~4 では、最大経験変形角と累積変形角は異なるが、実験中の損傷過程、実験後の損傷状態はほぼ同じであった。したがって、補修前に経験した変形角が異なっても、補修すれば、その後の損傷の仕方に差は出ない。
- (2) No.1 の補修方法は No.2~4 のそれと異なるが、損傷過程には大きな違いが認められなかった。他方、No.1 の実験後の小舞に対する荒壁の食いつきは No.2~4 のそれと比べると悪く、荒壁が小舞から綺麗に剥落した。これは、補修前の損傷により、荒壁の小舞への付着が弱まってい

たことが考えられる。したがって、壁土の表面を塗り直す場合には、目視では確認できない内部の損傷に注意を払う必要がある。

- (3) 補修後の包絡線は、 $1/150\text{rad}$ までは弾性状態にあるが、その時の耐力は補修前と比べて明らかに低く、弾性剛性の低下が生じた。定性的には、壁の塗り直し方の違いよりも、むしろ補修前に経験した最大変形角の違いが補修後の剛性に影響を及ぼしていると言え、これは、楔や接合部の緩みの違いに起因していると考えられる。
- (4) 補修後の最大耐力は概ね $1/50\text{rad}$ 時に生じ、補修前と比べて耐力低下が生じた。No.1 では最大経験変形角が最も小さいにも関わらず、耐力低下が顕著だった。これは、荒壁の塗り直しを行わなかったことに起因する。No.2, 4 では塑性域の耐力はほとんど同じで、壁の塗り直しを行えば、最大経験変形角が異なっても、耐力上の補修効果は期待できる。
- (5) 以上より、土壁の補修前後の剛性の違いは、補修方法の違いよりも最大経験変形角の違いが支配的である。一方、耐力に関しては、補修方法の違いが支配的である。
- (6) 剛性低下率を最大経験変形角の関数として、実験式に示した。耐力低下率は、最大経験変形角・累積経験変形角に無関係に 0.8 あるいは 0.6 になった。

参考文献

- 1)青野弘和, 松本(嶋瀬) 裕之, 佐藤ひろゆき, 森迫清貴: 補修された京土壁の繰り返し載荷実験, 構造工学論文集, Vol.56B, pp.335-342, 2010.3
- 2)青野弘和, 松本(嶋瀬) 裕之, 佐藤ひろゆき, 森迫清貴: 京土壁の荷重変形関係モデルの検討, 構造工学論文集, Vol.56B, pp.335-342, 2010.3
- 3)村石一明, 田中邦明, 森迫清貴: 飛騨高山伝統構法土壁の繰り返し載荷実験, 構造工学論文集, Vol.60B, pp.357-362, 2014.3
- 4)山之内隆志, 國分直輝, 野村佳亮, 横内基, 大橋好光: 歴史的町並みの地震防災対策に関する研究 その8 大変形を受けた土塗壁の補修効果に関する実験的検証, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.497-498, 2015.9
- 5)東條有希子, 松浦恒久, 西正晃, 清井宗孝, 増田隆行, 増田一眞, 山田憲明: 塗り土壁の補修技術に関する実験的研究 その1 材料試験, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.487-488, 2016.8
- 6)大谷昌史, 増田隆行, 松浦恒久, 古谷祐希, 増田一眞, 山田憲明: 塗り土壁の補修技術に関する実験的研究 その2 塗り土壁のせん断加力試験, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.489-490, 2016.8
- 7)山田明: 繰り返し載荷を受ける木造土壁の耐力劣化に関する実験的研究—半間の土壁の場合—, 日本建築学会技術報告集, 第26巻, 第63号, pp.508-513, 2020.6

キーワード：生体材料，結晶粒微細化，水素，チタン合金

生体用 $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-7Nb 合金への水素処理の適用

工学部 機械システム工学科

中東 潤

准教授 Jun Nakahigashi

博士 (工学)



専門分野：材料工学

E-mail : jnakahi@fukuyama-u.ac.jp

研究概要

1. 緒論

チタン合金は比重が鉄の6割と非常に軽量であり、強度特性や耐食性、耐熱性にも優れている。このことから、腕時計や自転車などの民生品をはじめ、各種分野の構造用材料、そして生体親和性が良いことから生体用材料として幅広く利用されている。チタン合金の高性能化の手法として結晶粒微細化があり、その方法の一つに水素処理法⁽¹⁾がある。いわゆる水素吸蔵—溶体化・マルテンサイト (α') 化—熱間圧延—脱水素処理 (水素処理の模式的履歴線図を図1に示す) である。この処理により主に構造用材料として使用されている $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-4V 合金や同じ $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-6V-2Sn 合金の結晶粒径は α 粒径：約 $0.5\mu\text{m}$ となり、優れた常温強度と超塑性を示すことがこれまでの研究⁽¹⁾で明らかになっている。一方、チタン系の生体用材料に注目すると、その代表例として毒性の強いVをNbに置き換えたTi-6Al-7Nb合金がある。この合金についても高性能化の観点から結晶粒の微細化の試み⁽²⁾が行われているが、水素処理の適用例はまだない。そこで本研究では、この生体用 $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-7Nb 合金への水素処理を試みることにした。

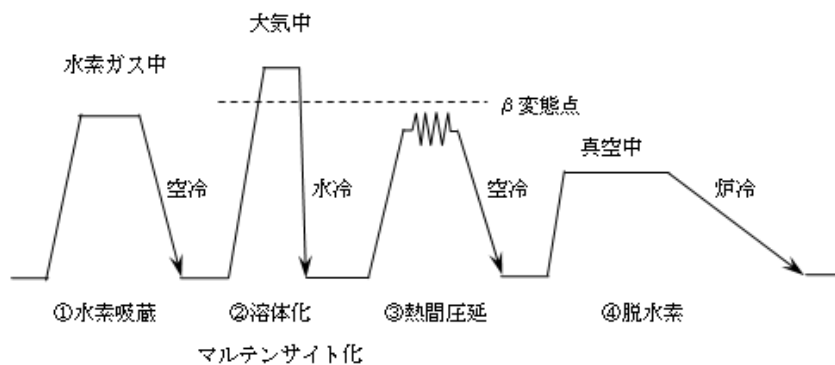


図1 水素処理の模式的熱履歴線図

2. 実験方法

供試材である $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-7Nb 合金の熱間押出材 (直径 20 mm) から、サイズ：7×7×50 mmの試料を切り出した。そして水素吸蔵を行うために、この試料を Ar ガス気流中にて加熱、1073K に到達後、水素ガス気流に変えて保持した。この時の保持時間 (吸蔵時間) は種々の水素吸蔵量の試験片を作製して熱間圧延特性や組織への影響を調べるために、0.06~5.4ks に変化させて行った。水素吸蔵後は再度 Ar ガス気流に切り替えて空冷した。次に、各水素吸蔵量の試料 (0.27wt.%、0.49wt.%、0.72wt.%、0.82wt.%) を大気中で β 変態点よりも 100K 高い温度に加熱、1.2ks 保持後水冷し溶体化・ α' 化を行った。そして次の熱間圧延を大気中にて温度を 923K 及び 823K、圧下率 80%で行った。最終工程の脱水素処理は真空中にて温度 873K、保持時間 3.6ks とし、冷却は炉冷で行った。なお、水素は β 相安定化元素のため、チタン合金に水素が吸蔵されると β 変態点は低下する。そこで水素吸蔵後の β 変態点を組織観察法にて調べた。また、微細組織化した合金の常温引張試験を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 水素吸蔵特性

Ti-6Al-7Nb 合金の水素吸蔵特性を図2示す。また比較として α 型 Ti-3Al 合金、 $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-4V 合金も同時に示す。

吸蔵時間が 0.06ks の時、Ti-6Al-7Nb 合金の水素吸蔵量は 0.27wt.%だったが、吸蔵時間の増加につれ水素吸蔵量も増加した。また、本合金の水素吸蔵量は同じ吸蔵時間でも α 型 Ti-3V 合金よりは少ないが、 $\alpha + \beta$ 型 Ti-6Al-4V 合金よりは多くなることが分かった。

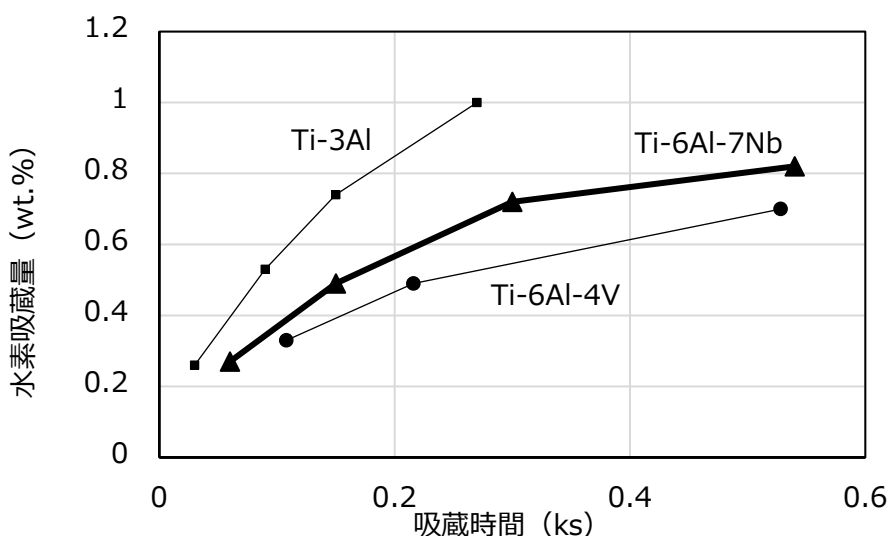


図 2 Ti-6Al-7Nb 合金の水素吸蔵特性 (水素吸蔵温度 1073K)

3.2 水素吸蔵後の β 変態点

水素吸蔵量後 (0.5wt.%) の Ti-6Al-7Nb 合金の β 変態点を調べた結果、おおむね 1123K 付近であることが分かった。

3.3 水素処理後の組織に及ぼす水素吸蔵量の影響

種々の水素吸蔵量を有する試料に溶体化・ α' 化を行い、温度 923K 及び 823K で熱間圧延を行った結果を表 1 に示す。熱間圧延温度 923K の場合、水素吸蔵量 0.27wt.%、0.49wt.%、0.82wt.% の試料については、圧下率 80%までの圧延は可能であったが、圧延材に耳割れ等の微小の割れが確認され、この温度での熱間圧延は不可能であることが分かった。しかしながら、水素吸蔵量 0.72wt.%については割れは確認されず、健全な熱間圧延材の製作が可能であることが分かった。

次に、入手まま及び水素吸蔵量 0.27wt.%、0.49wt.%、0.82wt.%の試料に溶体化・マルテンサイト化処理を施し、温度 923K での熱間圧延 (圧下率 80%) 及び温度 873K (真空中) での脱水素処理をした後の組織を光学顕微鏡で観察したものを図 3 に示す。入手ままだ α 粒径 5 μ m 程度の等軸組織であるが (図 3(a))、水素処理を行うと微細組織化することが分かった。詳細に観察すると、水素吸蔵量 0.49wt.%材は微細な組織が確認できるものの、後述する 0.72wt.%材に比べやや均一性に欠け、線状の組織が散見された (図 3(b))。0.72wt.%材については均一で微細な組織が観察された (図 3(c))。0.82wt.%材については微細な組織が確認できるものの、0.72wt.%材に比べ均一性に欠ける組織となっていた。(図 3(d))。以上のことから、最適な水素吸蔵量は 0.7wt.%程度であることがわかった。

表 1 水素吸蔵-溶体化・ α' 化材の熱間圧延特性 (圧下率 80%)

水素吸蔵量	熱間圧延温度	
	923K	823K
0.82wt.%	△	△
0.72wt.%	◎	△
0.49wt.%	△	△
0.27wt.%	△	×

◎ : 圧延可 △ : 微小なひび割れが発生 × : 圧延中に破断

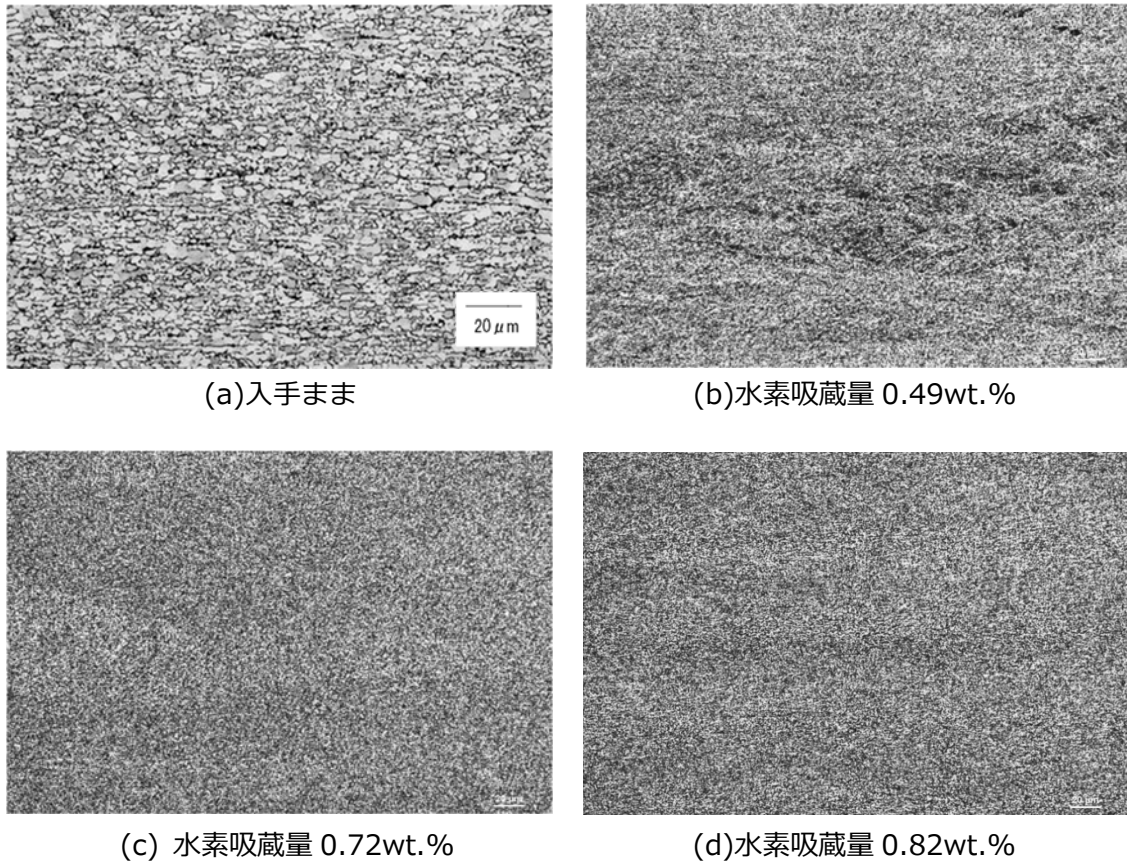


図3 水素処理後の組織に及ぼす水素吸蔵量の影響

3.4 常温引張特性

最適水素処理条件にて処理を行い、微細粒化した Ti-6Al-7Nb 合金（微細粒材）と入手まま材（粗粒材）の常温引張試験を行った結果、0.2%耐力は粗粒材が 1017MPa であるのに対して微細粒材は 1317MPa と、超細粒化と共に高強度化することがわかった。しかしながら、伸びは粗粒材が 16%であるのに対し、微細粒材は 1%であった。脱水素処理条件のさらなる最適化が必要と考えられる。

4. まとめ

生体用 $\alpha+\beta$ 型 Ti-6Al-7Nb 合金は水素吸蔵量：0.7%程度、熱間圧延温度：923K で水素処理を行うことにより、均一微細な組織になることが分かった。また、結晶粒微細化に伴い、大幅に高強度化することもわかった。

■参考文献

- (1)中東潤、水素処理による微細粒チタン合金の引張特性と歯科分野への応用、チタン、64-3、pp.40-44 (2016)
- (2)渡部ら、高圧スライド加工法を用いた Ti-6Al-7Nb 合金の結晶粒微細化と超塑性発現、軽金属、68-1、pp.9-15(2018)

■関連特許

- (1) 特許第 6214217 号、チタン合金の製造方法、発明者：中東潤、高橋恭 ((株)本田技術研究所)、2017
- (2) Patent No.: US 10,006,114 B2, TITANIUM ALLOY, METHOD OF MANUFACTURING HIGH-STRENGTH TITANIUM ALLOY, AND METHOD OF PROCESSING TITANIUM ALLOY, Inventors: Jun Nakahigashi, Kyo Takahashi, 2018

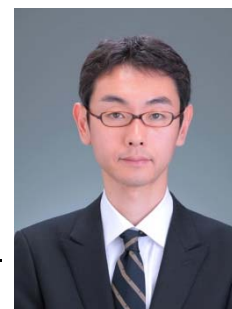
避難所体育館における 太陽熱温水床暖房システムの基礎的検討

工学部・建築学科

伊澤 康一 准教授 Koichi Isawa 博士 (工学)

専門分野：建築環境・建築設備

E-mail : koichi.isawa@fukuyama-u.ac.jp



研究概要

1. 背景・目的・方法

学校施設には地域コミュニティの防災拠点（避難所）としての役割が求められているが、断熱性が低く、温熱環境が劣悪である。これから予想される南海トラフ地震など災害に対応するためには、建築外皮性能を高くして熱環境改善を図るとともに、積極的に再生可能エネルギーを活用することが重要と考えられる。

本研究では、防災拠点として学校体育館のZEB（Net Zero Energy Building）化を目指し、高断熱化した体育館において太陽熱利用システムに求められるデザインを数値解析によって検討することを目的とした。

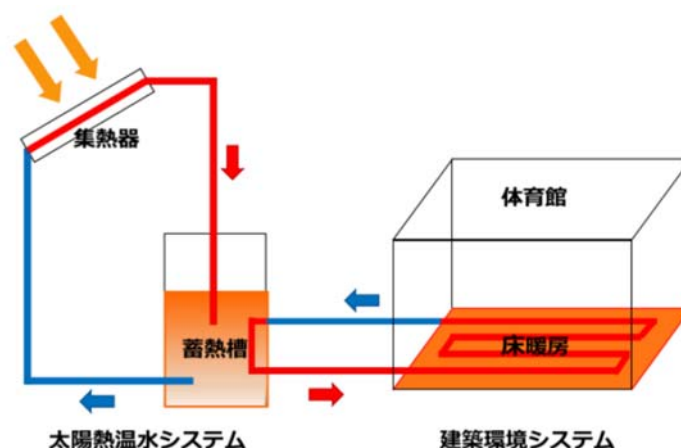


図1 太陽熱温水床暖房システム

2. 数値解析

2019年度では、高断熱化した避難所体育館に太陽熱温水床暖房システムを導入する場合に求められるデザインを明らかにしていくための基礎的検討として、既存小学校体育館に太陽熱温水床暖房システムを導入した場合を対象とし、供給する温水の温度・流量や補助熱源による加熱量の関係を試算した。その結果、集熱面積 382 m²、蓄熱槽容量 20 m³の条件で計算した場合、循環流量 50 L/min、入口温度約 30℃、出口温度約 20℃、補助熱源加熱 90kW で運用できることを確認した。

表1 計算条件（温水床暖房システム）

T_r	目標室温	15	℃
q	温水パネルからの放熱量	50	W/m ²
A_f	床暖房パネル面積	761	m ²
K_p	温水配管から室内空気までの熱貫流率	5.23	W/(m ² ・K)

表2 計算条件 (太陽熱温水システム)

ジオメトリ	$XLAT$	計算地点の緯度	34.22	°
	$XLNG$	計算地点の経度	132.20	°
	WO	受照面の方位角	0	°
	WTA	受照面の傾斜角	30	°
集熱器	f_s	天空の長波長実効放射が集熱面へ入射する割合 (形態係数)	0.83	—
	RG	地表面日射反射率 (アルベド)	0.1	—
	$\tau \cdot \alpha$	集熱器の実効日射透過吸収係数	0.77	—
	ε	集熱器の長波長放射率	0.1	—
	K_c	集熱器の熱貫流率	3.84	W/(m ² ・K)
	K_o	集熱器の熱損失係数	5.0	W/(m ² ・K)
	A_c	集熱器の面積	※	m ²
蓄熱槽	V_t	蓄熱槽の有効容積	※	m ³
	S_t	蓄熱槽の表面積	—	m ²
	K_t	蓄熱槽の熱損失係数	4.0	W/(m ² ・K)
	t_{ox}	蓄熱槽の周囲温度	—	°C
	t_w	給水温度	8.4	°C
ポンプ 流量	V_c	集熱器流量	$V_c=50 A_c$	L/min
	V_{DHW}	床暖房流量	※	L/min

※検討パラメータ

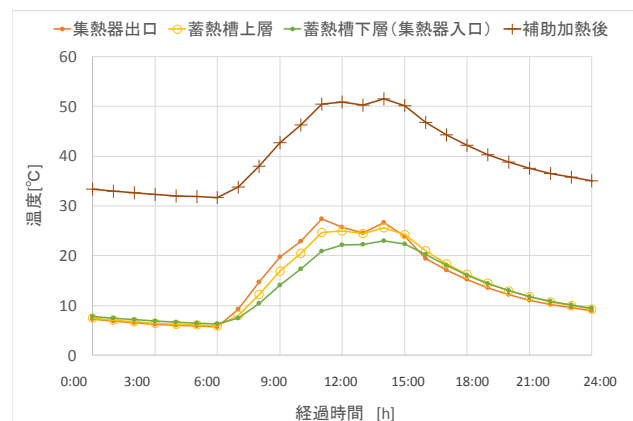


図2 温水温度 (流量 50 L/min + 補助加熱 90kW)

3. 今後の予定

2020年度では、実際の太陽熱利用システムが設置されている学校体育館を対象建物として、まず、実測調査によってシステムの運用実態を把握する。次いで、実測データに基づいて数値解析モデルを構築する。そして、熱需要を全て太陽熱で賄うにはどの程度の外皮性能向上と集熱面積・貯湯槽容量が必要になるかを、数値解析によって検討する。以上によって、防災機能を具備した「コミュニティ・シェルター」としての健全な防災拠点体育館の創生を図りたい。

謝辞 本研究は、大熊誠司さんの卒業研究 (2019年度) によるところが大きいです。ここに記して謝意を表します。

2. 3 研究資金獲得一覧

(1) 科学研究費（代表）

1. 基盤（C）、スマートシステム、宮内克己、100,000
2. 基盤（C）、建築、都祭弘幸、1,300,000
3. 基盤（C）、情報工、尾関孝史、1,600,000
4. 基盤（C）、情報工、池岡宏、1,200,000
5. 基盤（C）、機械システム工、加藤昌彦、300,000

(2) 科学研究費（分担）

1. 基盤（S）、情報工、金子邦彦、500,000
2. 基盤（C）、情報工、尾関孝史、100,000

(3) 共同研究

1. 三島産業(株)、建築、山田明、540,000
2. (株)長谷工コーポレーション他4社、建築、都祭弘幸、1,800,000
3. アサヒタクシー(株)、スマートシステム、関田隆一、1,080,000
4. 常石商事(株)、機械システム工、加藤昌彦、333,000
5. デルタ工業(株)、機械システム工、内田博志、450,000

(4) 受託研究

1. 国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所、安全安心防災教育研究センター、仲嶋一、5,499,000
2. 国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所、機械システム工、関根康史、3,278,700

(5) 研究助成金

1. (公財)サタケ技術振興財団、スマートシステム、仲嶋一、500,000
2. (公財)電気通信普及財団、情報工、中道上、750,000
3. (公財)天田財団、機械システム工、加藤昌彦、2,000,000
4. 富士電機(株)、スマートシステム、菅原聡、490,000
5. (株)メディカ・ライン、建築、佐藤圭一、300,000
6. オリエンタル白石(株)、建築、都祭弘幸、500,000

2. 4 研究業績一覧 (2019年度)

【スマートシステム学科】 -----

<香川直己>

1. 香川直己：小型衛星プロジェクトにおける光リンクセンサネットワークのためのビームステアリング光学系の開発、2019年度 福山大学研究成果発表集、p.19 (2019.06) (査読無)
2. 香川直己：センサーネットワークを用いた大気中二酸化炭素濃度変動の測定と競うデータの関連性の検討、2019年度 福山大学研究成果発表集、p.20 (2019.06) (査読無)
3. 香川直己：リモートセンシングにおけるスマートシステムの導入と展開、千葉大学 環境リモートセンシング研究センター年報,第 24 号, p.46 (2019.07) (査読無)
4. 新木智博, 香川直己：光センサーネットワークのためのビームトラッキングシステムの開発、第 37 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, pp.47-48 (2019.09) (査読無)
5. 新木智博, 香川直己：光リンクセンサーネットワークのための光軸トラッカーの開発とその課題,令和元年度電気・情報関連学科中国支部連合大会、19-15-01-01(2019.10) (査読無)
6. 新木智博, 香川直己：センサーネットワークを用いた地表付近 CO₂濃度の多地点連続計測データから見えるもの、第 28 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集、pp.93-94 (2019.11) (査読無)
7. 坂根 陽介, 原 拓海, 山根ゆりえ, 香川直己：倒立振子を用いたロボット競技会への mruby での挑戦、第 28 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集、pp.95-96(2019.11) (査読無)
8. 香川直己、新木智博、椎名達雄：レーザーを用いたセンサーネットワークのための光軸追尾システムの開発、第 22 回環境リモートセンシングシンポジウム (2020.02)
9. 香川直己、新木智博：移動型光リンクセンサーネットワークのための光軸追尾装置の開発、電子情報通信学会令和 2 年総合大会、B-35-02 (2020.03)
10. 香川直己、安原 諒、新木智博：センサーネットワークを用いた大気中二酸化炭素濃度変動の多地点連続測定データと気象データの関連性に関する考察、福山大学工学部紀要、Vol.43,pp.7-14 (2020.03)

<関田隆一>

1. Satellite Remote Sensing Data Analysis for Sustainable Growth Model of the Seagrass Beds in Seto Inland Sea, 共著 Yuuske Katsube, Ryuichi Sekita, 32nd International Symposium on Space Technology and Science 査読付き国際学会 2019年6月19日, 日本航空宇宙学会
2. 平成30年度 アサヒタクシー 共同研究 タクシー事故情報の定量解析(その2) 研究成果報告書, 単著 関田隆一, アサヒタクシー共同研究 2019年6月28日納入
3. 瀬戸内海の藻場を識別するリモートセンシングデータ解析, 単著 関田隆一、電気学会、2019年度計測研究会, 2019年7月5日, 電気学会研究資料, Vol.2019, No.24, pp 13-18
4. 瀬戸内海沿岸域の藻場分布状況を知る地球観測衛星データの定量解析, 共著 勝部雄介, 関田隆一,第27回瀬戸内海研究フォーラムin広島, 査読なし, 2019年9月6日, 瀬戸内海環境保全協会

5. 木材製材業へのリスクマネジメント導入による作業環境と作業効率の向上, 単著 関田隆一, 福山大学工学部紀要第43巻, pp19-26, (2020-2) (査読なし)

< 仲嶋一 >

1. 西日本豪雨時の芦田川流域水文データの認識と下流部試験地被災状況の UAV 空撮による考察, 津田 将行, 尾島 勝, 仲嶋一, 中越 信和, 土木学会論文集 B1(水工学), 75 巻 1 号 p. 332-339 (2020-02) (査読付)
2. 音によるベッド内行動認識のための音源像の生成, 仲嶋一, 電気学会計測研究会, LM-20, LM-20-005, (2020) (査読無)
3. 藻場観測機用海中音響ビーコン/通信システムの検討, 仲嶋一, 松若 泰大, 福山大学工学部紀要 No.43 採録予定

< 田中聡 >

1. 田中聡・仲嶋一・伍賀 正典, 「瀬戸内海の藻場探査を行う海底カメラの運用に関する研究」, 福山大学工学部紀要, 第42巻2020年2月. (査読無)
2. 田中聡・伍賀 正典・仲嶋一, 「海底カメラによる海中観測実験」 令和元年度福山大学研究成果発表会, 令和元年6月26日. (査読無)
3. 田中聡, "海底カメラのための同期性能を向上させたステレオカメラシステム", 令和元年 (第70回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, R19-22-03-02, 2019年10月26日. (査読無)
4. 桑田 航平, 田中聡, "CNNを用いた海藻画像の分類に関する研究", 第28回計測自動制御学会中国支部学術講演会, pp.43-44, 2019年11月23日. (査読無)
5. 桑田 航平, 田中聡, "海底カメラにおけるオブジェクト分類に関する研究", 2020年度電子情報通信学会総合大会, D-12-13, 2020年3月17日. (査読無)

< 伍賀正典 >

1. 伍賀正典: ロボティックスワームを指向した小型実機ロボットの行動獲得に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019 予稿集, 1P2-I05, (2019-6) (査読無)
2. 伍賀正典, 田中幹人: 実機ロボティックスワームを指向した小型実機移動ロボットの改良と製作, 第28回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.35-36 (2019,11) (査読無)
3. 行平 将望, 伍賀正典, 山本 正史, 佐々井 陸: 飛行及び陸上ロボットを用いた災害救助シミュレーションに関する研究, 第28回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.101-102 (2019,11) (査読無)
4. 田中 聡, 伍賀正典, 仲嶋 一: 瀬戸内海の藻場探査を行う海底カメラの運用に関する研究,

福山大学工学部紀要第 43 卷, pp.15-18, (2020-2) (査読なし)

5. 伍賀正典：初年次教育におけるロボット競技実習の取り組みとロボット製作・研究, 福山大学工学部紀要第 43 卷, pp.39-44, (2020-2) (査読なし)

【建築学科】 -----

<都祭弘幸>

1. 都祭弘幸：ヒンジ部損傷抑制コアの効果に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.2, pp. 181-186, 2019.7 (査読有り)
2. 都祭弘幸, 坂本啓太, 平田延明, 吉田敏之, 野畑茂雄, 野田亜久里：エネルギー吸収性能改善型RC梁部材に関する実験的研究 その 1. ヒンジ部損傷抑制コア詳細および試験体概要, (ア) 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.461-462, 2019.9 (査読無し)
3. 野田亜久里, 都祭弘幸, 平田延明, 石渡康弘, 阿部隆英, 吉田敏之：エネルギー吸収性能改善型RC梁部材に関する実験的研究 その 2. 実験計画および実験結果概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.465-466, 2019.9 (査読無し)
4. 長山浩二, 都祭弘幸, 野畑茂雄, 前川利雄, 久保田雅春, 平田延明：エネルギー吸収性能改善型RC梁部材に関する実験的研究 その 3. 実験結果の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.465-466, 2019.9 (査読無し)

<佐藤圭一>

1. 佐藤圭一：動力中継織機の再生（修理・復元・改良） 藺草栽培を通じた備後表の生産・流通・設計・施工プロセスの解明 その 6, 日本建築学会大会（北陸）, 学術講演梗概集 pp.127-128, 2019.9
2. 大岩智之, 佐藤圭一：阿部神社能舞台の復元図面（構造図）作製 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究 その 3, 日本建築学会大会（北陸）, 学術講演梗概集 pp.81-82, 2019.9
3. 佐藤圭一, 大岩智之：旧両社八幡宮能舞台の変遷過程と復元 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究 その 4, 日本建築学会中国支部研究報告集, pp.863-866, 2020.2
4. 大岩智之, 佐藤圭一：三蔵稲荷神社能舞台の実測図面作製とその保存・活用 福山市に現存する能舞台と能楽堂の空間構成に関する研究 その 5, 日本建築学会中国支部研究報告集, pp.867-870, 2020.2

<山田明>

1. 山田明, 三島弘敬：多数回の一定振幅繰り返し荷重を受ける土壁の耐力特性、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 59 号・構造系、pp.445-448、2019.6 (査読なし)
2. 山田明, 三島弘敬：多数回の繰り返し荷重を受ける土壁の構造劣化特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.567-568、2019.9 (査読なし)
3. 山田明, 金野章子：常時微動計測を活用した擬洋風建築物の耐震性能評価、日本建築学会技

術報告集、第 25 巻、第 61 号、pp.1079-1084、2019.10（査読あり）

4. 山田明、金野章子：鉄骨－木造併用軸組の水平変形性能と P Δ 効果、日本建築学会技術報告集、第 25 巻、第 61 号、pp.1085-1089、2019.10（査読あり）
5. 山田明：損傷経験がある木造土壁の修復後の耐力特性に関する実験的研究、福山大学工学部紀要、第 43 巻、2020.3（掲載決定）（査読なし）
6. 山田明、三島弘敬：多数回の繰り返し載荷を受ける木造小壁の耐力特性、福山大学工学部紀要、第 43 巻、2020.3（掲載決定）（査読なし）
7. 山田明：繰り返し載荷を受ける木造土壁の耐力劣化に関する実験的研究－半間の土壁の場合－、日本建築学会技術報告集、第 26 巻、第 63 号、pp.508-513、2020.6（掲載決定）（査読あり）
8. 山田明：Experimental study on deformability and P- Δ effect of a wooden framework comprising steel lintel, 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan, Paper No.C000379, 2020.9（掲載決定）（査読あり）

<伊澤康一>

1. Koichi Isawa: Human body exergy consumption in the thermal environment of shelter gymnasium in winter, International Journal of Exergy, Vol. 31, No. 1, pp.34-48, 2020（査読有）
2. 伊澤康一：避難所体育館冬季熱環境における人体のエクセルギー消費とエントロピー廃棄、日本建築学会大会学術講演梗概集（金沢）、pp.109-110, 2019 年 9 月（査読無）
3. 伊澤康一：避難所体育館冬季熱環境における人体のエクセルギー消費とエントロピー排出効率空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（札幌）、第 6 巻、pp.93-96, 2019 年 9 月（査読無）
4. 伊澤康一・池岡宏：瀬戸内里海の次世代養殖システムの開発研究－CFD解析によるグラデーション給餌の検討－、日本太陽エネルギー学会講演論文集（青森）、pp.226-227, 2019 年 10 月。（査読無）
5. 原大介・中村きらら・辻原万規彦・伊澤康一・斉藤雅也：夏季の気候特性や熱的履歴が想像温度に与える影響～札幌・福山・熊本における被験者実験～、日本太陽エネルギー学会講演論文集（青森）、pp.254-257, 2019 年 10 月（査読無）
6. 中村きらら・原大介・中谷航平・斉藤雅也・伊澤康一・岡本孝美：室内熱環境における「温度想像力」養成に関する研究～札幌・福山・熊本における夏季と秋季の被験者実験～、日本建築学会九州支部研究報告、第 59 号、pp.257-260, 2020 年 3 月（査読無）
7. 伊澤康一・難波陸・秋山駿太・中村きらら・原大介・中谷航平・斉藤雅也・辻原万規彦・岡本孝美：室内熱環境における「温度想像力」養成に関する研究～福山における夏季・秋季調査～、日本建築学会中国支部研究報告集、第 43 巻、pp.365-368, 2020.3（査読無）
8. 中谷航平・原大介・中村きらら・難波陸・秋山駿太・斉藤雅也・辻原万規彦・伊澤康一：室内熱環境における「温度想像力」養成に関する研究～札幌における夏季と秋季の被験者実験～、日本感性工学会、感性フォーラム札幌 2020、講演番号 01（査読無）
9. 伊澤康一・大熊 誠司：避難所体育館における太陽熱温水床暖房システムの基礎的検討、福山大学工学部紀要、Vol.43, 2020.03（査読なし）

<山之上卓>

1. Bot Computing using the Power of Wiki Collaboration, Takashi Yamanoue, 10th International Conference on E-Service and Knowledge Management (ESKM 2019). (2019-7)
2. 4年間に渡る Raspberry Pi を使った情報工学科の学部学生向けの英語の授業とその改善, 山之上卓, 情報教育シンポジウム 2019 (SSS2019)論文集, pp.91-97. (2019-8)
3. 簡便な大型幅広デジタルサイネージシステムとその自動運用システム, 山之上卓, 田中 始男, 原 裕樹, 中川 裕貴, 矢嶋 辰伍, 増野 治哉, 森重 太智, 情報処理学会 研究報告インターネットと運用技術 (IOT) , Vol. 2019-IOT-47, No. 10, pp. 1-8. (2019-9)
4. Automating a Part of the Assessment of a University using Excel, Yoshitaka Kihira, Takashi Yamanoue, Motoo Tanaka, Eiji Sato, Yutaka Otsuka, SIGUCCS'19 Proceedings of the 2019 ACM on SIGUCCS Annual Conference, pp. 76-81. (2019-11)
5. A Remotely Reconfigurable IoT System using Wiki Software, Takashi Yamanoue, Daichi Yokoyama, Ryoya Umeda, Shota Morita, Takashi Ozeki, Noboru Nakamichi, Information Engineering Express, Vol. 5, No. 2, pp. 18-35. (2019-11)
6. マイニングマルウェアの通信の特徴抽出の試行, 村上順也, 山之上卓, 情報処理学会 研究報告インターネットと運用技術 (IOT) , Vol. 2020-IOT-48, No. 6, pp. 1-6. (2020-2)
7. Monitoring of Servers and Server Rooms by IoT System that Can Configure and Control its Terminal Sensors Behind a NAT Using a Wiki Page on the Internet, Takashi Yamanoue, Journal of Information Processing (JIP), 2020 Volume 28, pp. 204-213. (2020-3)

<池岡宏>

1. 人工知能を活用した自発給餌システムによるシロギス養殖の高効率化および低コスト化に関する検討, 黒木 春樹, 池岡 宏, FIT2019 (第 18 回情報科学技術フォーラム) , pp. 295-296. (2019-9)
2. RGB-NIR 動画間の敵対的転移学習に基づく夜間歩行者検出, 伊藤 直人, 亀田 裕介, 池岡 宏, 浜本 隆之, 第 34 回画像符号化シンポジウム(PCSJ 2019)・第 24 回映像メディア処理シンポジウム(IMPS 2019), 2 pages. (2019-11)
3. Depth Estimation with Tilted Optics by Multi-Aperture Using Color Filter, Hiroshi Ikeoka, Takayuki Hamamoto, Proceedings of IWAIT2019, 4 pages. (2020-1)
4. Development of simulator for efficient aquaculture of Sillago japonica using reinforcement learning, Haruki Kuroki, Hiroshi Ikeoka, Koichi Isawa, Proceedings of ICIPRob2020, 4 pages. (2020-3)

<中道上>

1. 情報倫理ビデオ小作品集 7 の共感度評価, 中道上, 森田翔太, 山之上卓, 日本教育情報学会第 35 回年会論文集, pp.258-259. (2019-8)
2. アクティブラーニング環境における非接触操作の即応性評価, 横山大知, 武田祐樹, 中道上, 山之上卓, 渡辺恵太, FIT2019 (第 18 回情報科学技術フォーラム) 第 4 分冊, pp.265-268. (2019-9)

3. 透析患者向けベッドにおける仮想タッチパネルの可視化, 武田祐樹, 横山大知, 中道上, 稲葉利江子, 渡辺恵太, 山田俊哉, 第 39 回医療情報学連合大会論文集, pp.942-945. (2019-11)
4. 情報共有テーブルにおける床方向ポインティングジェスチャーの検証, 坪見宏人, 武田祐樹, 中道上, The 21th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.130-133. (2019-11)
5. 避難誘導を認知しやすい画面設計案の提案と評価, 中園龍次, 部谷泰生, 中道上, The 21th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.397-398. (2019-11)
6. 屋内避難誘導のための Virtual Wall の提案, 部谷泰生, 中園龍次, 中道上, The 21th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.134-135. (2019-11)
7. アクティブラーニング環境における非接触操作の即応性の検討, 横山大知, 武田祐樹, 中道上, 山之上卓, 渡辺恵太, The 21th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.484-487. (2019-11)
8. アクティブラーニング環境における非接触操作の評価指標の検討, 横山大知, 武田祐樹, 中道上, 山之上卓, 渡辺恵太, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2019 論文集, 6 ページ. (2019-11)
9. 透析患者向けベッドにおいて光フィードバックが仮想タッチパネルの操作性に及ぼす影響, 武田祐樹, 横山大知, 中道上, 稲葉利江子, 渡辺恵太, 山田俊哉, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2019 論文集, 6 ページ. (2019-12)
10. アクティブラーニング環境における非接触操作の評価指標の検討, 横山大知, 武田祐樹, 中道上, 山之上卓, 渡辺恵太, 福山大学工学部紀要, Vol.43, pp.109-116. (2020-2)
11. 透析患者の仮想タッチパネルにおける光フィードバックの効果, 武田祐樹, 横山大知, 中道上, 稲葉利江子, 渡辺恵太, 山田俊哉, 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.282-287. (2020-3)
12. Visualization of Remote Touch Panel for Dialysis Patient on Prototype Bed, Yuki Takeda, Daichi Yokoyama, Noboru Nakamichi, Reiko Inaba, Keita Watanabe, Toshiya Yamada, Proc. IEEE 2nd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2020), pp.54-57. (2020-3)
13. 360 度カメラ画像を用いた顔検出可能な距離の検証, 大和永樹, 中川駿, 金子邦彦, 中道上, 電子情報通信学会 2020 年総合大会情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集, No.ISS-P-070, pp.149. (2020-3)
14. 避難誘導インターフェースの認知性評価, 山本拓真, 中園龍次, 部谷泰正, 中道上, 電子情報通信学会 2020 年総合大会情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集, No.ISS-SP-054, pp.212. (2020-3)
15. 操作効率化のための Scale Gesture SpotLighting, 正畑智徳, 武田祐樹, 横山大知, 中道上, 電子情報通信学会 2020 年総合大会情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集, No.ISS-SP-055, pp.213. (2020-3)
16. 仮想空間における Virtual Wall の誘導効果の検証, 山上誠人, 黒木春樹, 部谷泰生, 中園龍次, 池岡宏, 中道上, 電子情報通信学会 2020 年総合大会情報・システムソサイエティ特別企画学生ポスターセッション予稿集, No.ISS-SP-056, pp.214. (2020-3)

<森田翔太>

1. 会話の盛り上がりと感情の関係についての検討, 森田翔太, 上岡 優希, 中道 上, 山之上 卓, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-SLP-127, No. 57, pp. 1-4. (2019-6)
2. 気導音と骨導音会話の盛り上がりと感情の関係についての検討, 森田翔太, 川本 大貴, 鳥

- 谷 輝樹, 日本音響学会 聴覚研究会資料, Vol. 49, No. 5, pp. 301-305. (2019-8)
3. Voice conversion model for estimation of transfer characteristic in auditory feedback, Shota MORITA, Daiki KAWAMOTO, Teruki TOYA, Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics, pp. 6630-6636. (2019-9)
 4. 気導音と骨導音を考慮した音声合成モデルの検討, 森田 翔太, 川本 大貴, 鳥谷 輝樹, 日本音響学会 2019 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 597-600. (2019-9)
 5. 聴覚的印象に着目した笑い声検出の検討, 田中聡一郎, 森田翔太, 鶴木祐史, 2020 年春季日本音響学会講演論文集, pp. 829-832. (2020-3)

【機械システム工学科】 -----

<内田博志>

1. ハイブリッド電気自動車の自動運転へのエネルギー最適制御の適用 シミュレーションによる安定性の検証, 内田博志, 福島直人, 萩原一郎, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2019 講演論文集, 536, (2019.8) (査読無)
2. 折紙工学に基づく高効率人工筋肉とそれを応用した軽量柔軟ロボットの実現可能性についての検討, 内田博志, 福山大学工学部紀要第43巻, pp.141-147, (2020.3) (査読無)

<関根康史>

1. 関根康史: 広島県における自動二輪車・原付事故の安全運転サポート車による傷害低減効果の推定, 日本機械学会2019年度年次大会講演論文集, J18102 in DVD, (2019-9) (査読無)
2. 関根康史: 広島県における車両単独事件事例での乗員傷害の全国統計上の位置付けとその考察 - 車線逸脱防止装置および被害軽減ブレーキからの被害低減効果の推測 -, 自動車技術会2019年秋季大会学術講演会予稿集, CD-ROM, (2019-10) (査読無)
3. 関根康史, 関戸 崇, 岡本 脩: アクセルとブレーキのペダル段差がペダル踏み間違いに及ぼす影響の分析, 日本機械学会 第 28 回交通・物流部門大会 講演論文集, 2108 in USBメモリ, (2019-11) (査読無)
4. 関根康史, 平松 祐治: ペーパー製模型を使用した大型トラック追突時の乗員救出性の検討, 日本機械学会 技術と社会部門 2019年度講演論文集, G190319 in USBメモリ, (2019-11) (査読無)

<中東潤>

1. 水素処理 $\alpha+\beta$ 型Ti-6Al-4V合金の超塑性特性に及ぼす熱間圧延温度の影響, 中東潤, 日本機械学会第27回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, 講演番号407 (PDF), (2019-11)

<小林正明>

1. 小林正明, 高原沙起, 岩村充希子: モデルロケットを用いたモノづくり教育の実施, 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol. 33 No. 6 p.9-12 (2019-6) (査読無)

2. 小林正明, 岩村充希子, 高原沙起: モノづくりに関する意識調査の分析 – モノづくりに関わる経験頻度について –、日本科学教育学会年会論文集 43 p.445-446 (2019-8) (査読無)
3. 小林正明, 岩村充希子, 高原沙起: モノづくりに関する意識調査の分析 – モノづくりに関わる要因について –、日本教育工学会2019年秋季全国大会講演論文集 p 141-142 (2018-9) (査読無)
4. 小林正明, 高原沙起, 岩村充希子: モデルロケットを用いたモノづくりカリキュラムの検証、
5. 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol.34, No.3, p.123-126 (2019-12) (査読無)

【大学教育センター】 -----

<津田将行>

1. 津田将行, 尾島 勝, 仲嶋 一, 中越 信和, 西日本豪雨時の芦田川流域水文データの認識と下流部試験地被災状況の UAV 空撮による考察, 土木学会論文集 B1(水工学), 75 巻 1 号 p. 332-339 (2020-02) (査読有)
2. 津田将行, 尾島勝, 芦田川下流現地実験域における UAV による調査解析, 土木学会中国支部第71回研究発表会, II-20, pp.121-124 (2019.6) (査読無)

【グリーンサイエンス研究センター】 -----

<中越信和> (客員教授)

1. Yoshinori Tokuoka, Kentaro Ohigashi, Koji Watanabe, Hiroshi Yamaguchi, Takahiro Ara, Nobukazu Nakagoshi: Interactions among dwarf bamboo, litter and consumption by small vertebrates place multiple constraints on the establishment of native tree seedlings in a Japanese agricultural landscape. *Journal of Plant Ecology* 12: 292-305, 2019. 4 (査読あり)
2. Eko Prasondita, Nobukazu Nakagoshi, Endan Suwandana: Ecological study of aboveground biomass and plant species diversity in complex agroforestry sites, Lampung, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 363, 012005, 2019. 8 (査読あり)
3. Nobukazu Nakagoshi: Biocultural landscape of *Charpinus tshonoskii* var. *torta*, A national natural monument in Japan. In *Symposium for Biocultural Landscape, 10th IALE World Congress, 2019. 7. Milan, Italy* (査読あり)

以上

2. 5 特許一覧

- 出願番号：特願 2019-087687
- 出願人：福山大学、(株)熊谷組、鉄建建設(株)、飛島建設(株)、(株)長谷工コーポレーション、大日本土木(株)
- 発明名称：配筋構造
- 発明者：都祭弘幸、他

- 出願番号：特願 2020-083941
- 発明名称：触覚センサ（透明柔軟樹脂を用いた光学式多軸触覚力覚センサ）
- 発明者：伍賀正典

3. 教育活動

みらい工学プロジェクト「防災について考える」の実施

宮内 克之*1・山田 明*2・中村 雅樹*3

*1 工学部スマートシステム学科、*2 工学部建築学科、*3 社会連携センター



1. はじめに

みらい工学プロジェクトは、与えられたプロダクト（成果物）あるいは、そのコンセプトを学科横断のプロジェクトチームにより、完成させる。その過程において、ものづくりの手順を知り、積極性、即ち、企画力、行動力、コミュニケーション力の礎を築くことを目的として、2012年度からスタートした。また、2014年度からは授業科目として単位化されている。

センターでも、2012年度から「防災について考える」というテーマで、自ら作製した耐力壁の模型の強さを競うことにより、木造家屋を構成する耐力壁の役割および機能の理解を勧めてきた。

2. 講義の内容

講義内容の概要は、以下のようなものである。

- (1) 地震とその被害（主に木造建築物）に関して知る。
- (2) 木造構造物における耐力壁の役割について知る。
- (3) 各自、耐力壁に関するアイデアを練る、アイデアの具体化、設計図面の作成
- (4) 耐力壁の作製
- (5) 耐力壁綱引き大会
- (6) レポート作成、まとめ

3. 耐力壁の作製風景（過年度の写真より）



4. 決勝戦に進んだ歴代の耐震壁



2012 年度



2013 年度



2014 年度



2015 年度



2016 年度



2017 年度



2018 年度



2019 年度

4. 対戦を終えて



みらい工学プロジェクト
～ 防災について考える ～
担当：安全安心防災教育研究センター
宮内、山田、中村

テーマ：耐震壁綱引き大会
<目的>
自ら作製した耐震壁の模型の強さを競うことにより、木造家屋を構成する耐震壁の役割および機能を理解する。

<競技方法>
同じ重りを引張り合い、横への変形量が少ない方を勝者とする。

優勝を囲んで？(笑)！
みんな、いい笑顔！
ほくが工夫した点は…
え〜と…

ようやく準備だ！

決勝トーナメントを勝ち抜いた二人による決勝戦！
どちらが栄冠を勝ち取るか！

地震に強い構造は…？
え〜と…

あでもない、こうでもないっ！

まだまだ道半ば

プロジェクト紹介パネ

「地域防災リーダー養成講座」の実施

宮内 克之

工学部スマートシステム学科



1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震以降も大地震、大雨による水害、土砂災害が頻繁に発生し、多くの人命と財産が失われた。そのような状況の中、2018年7月の西日本の豪雨により広島県、愛媛県を中心とした土砂災害、および岡山県を中心とした浸水害は、近年比較的自然災害が少ないとされていた備前、備中、備後地域においては極めて強烈に印象に残るものとなった。また、自然災害が少ないがゆえに様々な問題が残された。

福山大学では2013年度より、「地域防災基礎」および「地域防災応用」の2科目の一般教育科目からなる「地域防災リーダー養成講座」を開講している。この講座は、福山大学が特定非営利活動法人日本防災士機構から防災士養成研修実施法人としての認証を受け開講するもので、講座を修了した学生は日本防災士機構が実施する「防災士資格取得試験」の受験資格を得ることができる。

2. カリキュラム

防災に関する正しい知識と技能を有し、災害発生時には自助、共助の中心として活躍できるだけでなく、平常時においては地域の防災・減災力向上のための一員として協働できる人材となるために必要な防災・減災に関する基礎的な知識を有する「地域防災リーダー」を育成するために、地域防災リーダー養成講座は、以下の2科目で構成されている。また、教養教育科目として開講されているため、履修登録し、一定の要件（出席、成績）を満たせば、単位認定される。表-3に2019年度のカリキュラムを示す。また、写真-1に講義風景を示す。

前期：「地域防災基礎」 選択 2 単位 種別：教養教育科目
後期：「地域防災応用」 選択 2 単位 種別：教養教育科目

3. 受講者数および単位取得者数

表-1に2019年度の受講者数等を示す。

表-1 受講者数等（名）

	講義科目	履修登録者	平均出席者	定期試験受験者	単位取得者
前期	地域防災基礎	282	255	269	247
後期	地域防災応用	294	261	281	274

4. 普通救命講習

防災士資格取得試験合格者が防災士として認証登録を行うためには、「普通救命講習Ⅰ」を受講することが必要である。そのため、福山地区消防組合の協力を得て、11/9（土）に普通救命講習を実施した。写真-2に講習会の様子を示す。

5. 防災士資格取得試験

防災士資格取得試験は、毎年、福山大学で2月中旬に実施している。試験は日本防災士機構から派遣された2名の試験官で実施される。表-2に、2019年度の受験者数および合格者数を示す。

表-2 防災士資格取得試験の結果（名）

	合計	人間文化学学部	経済学	工学部	生命工学部	薬学部	大学院
受験者	36	3	2	19	2	0	0
合格者	26	3	4	2	1	0	0

表-3 「地域防災リーダー養成講座」のカリキュラム(2019年度)

(a) 前期:「地域防災基礎」:2単位

回	日付	講義内容	講師(所属)
1	4/10	概説、防災士の役割	宮内 克之(工学部教授)
2	4/17	近年の自然災害に学ぶ	山本 雅治(広島県危機管理監危機管理課防災担当監)
3	4/24	川・水が語る日本の近代史	尾島 勝(福山大学名誉教授 宮地茂記念館長)
4	5/8	風水害と対策	尾島 勝(福山大学名誉教授 宮地茂記念館長)
5	5/18	地震・津波のしくみと被害	宮内 克之(工学部教授)
6	5/22	最新の地震活動、地震危険情報	中村 雅樹(福山大学社会連携センター助教)
7	5/29	災害情報と災害報道	菊本 孟(中国新聞社 備後本社編集部 記者)
8	6/ 5	防災気象情報の知識と活用	熊谷 智代(気象予報士:日本気象予報士会広島支部)
9	6/12	意思決定訓練	磯打 千雅子(香川大学地域強靱化研究センター特命准教授)
10	6/19	土砂災害と対策	宮内 克之(工学部教授)
11	6/26	ライフラインと被害	沢口 俊樹(国土交通省中国地方整備局企画部総括防災調整官)
12	7/ 3	災害・避難情報の入手と発信	山田 朗生(福山市危機管理防災課地域防災担当次長)
13	7/10	火山噴火のしくみと被害	田辺 和康(工学部教授)
14	7/17	火災と防火対策	下見 育弘(福山地区消防組合消防局警防部予防課長補佐)
15	7/24	被害想定・ハザードマップと避難行動	山田 朗生(福山市危機管理防災課地域防災担当次長)

(b) 後期:「地域防災応用」:2単位

回	日付	講義内容	講師(所属)
1	9/25	災害とライフライン	宮内 克之(工学部教授)
2	10/ 2	行政の災害対策と支援制度	藤井 勲(国土交通省中国地方整備局統括防災官室防災室長)
3	10/ 9	耐震診断と耐震補強	山田 明(工学部准教授)
4	10/16	身近でできる防災対策	宮永 正稔(日本防災士会広島支部事務局長)
5	10/30	地域の防災活動	青木 秀明(福山防災リーダー連絡協議会長)
6	11/13	惨事ストレスと心のケア	武田 知也(人間文化学部心理学科講師)
7	11/20	ゲリラ豪雨等災害と避難	熊谷 智代(気象予報士:日本気象予報士会広島支部)
8	11/27	事業継続計画と地域継続計画	宮内 克之(工学部教授)
9	12/ 4	災害ボランティア活動と避難所の運営	鳥海 洋治(福山市社会福祉協議会ボランティアセンター長)
10	12/11	災害と損害保険	深澤 政博(日本損害保険協会中国支部事務局長)
11	12/18	訓練と防災研修	磯打 千雅子(香川大学地域強靱化研究センター特命准教授)
12	1/ 8	災害と危機管理	山本 雅治(広島県危機管理監危機管理課防災担当監)
13	1/15	災害と応急手当	鴨田 吉浩(福山地区消防組合消防局警防部救急救助課救急担当次長)
14	1/22	都市防災	宮内 克之(工学部教授)
15	1/29	地域の復興と再建	宮内 克之(工学部教授)



写真-1 講義風景



写真-2 普通救命講習の実施風景

(参考)

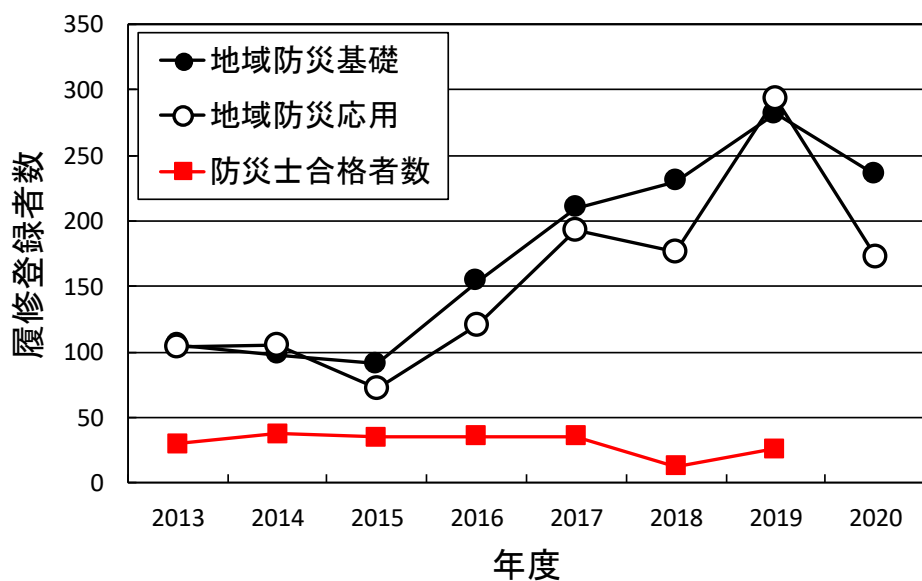


図-2 地域防災リーダー養成講座の履修登録者数の推移

- 2013. 10. 16 : 伊豆大島土石流災害 (死者: 36 名、行方不明: 3 名)
- 2014. 2 : 低気圧による大雪・暴風雪 (死傷者: 2,000 名以上)
- 2014. 8. 20 : 広島土砂災害 (直接の死者: 74 名)
- 2014. 9. 27 : 御嶽山噴火 (死者: 58 名、行方不明: 5 名)
- 2015. 9. 9-9. 11 : 関東・東北豪雨; 茨城県常総市で鬼怒川堤防決壊
- 2016. 4. 14, 4. 16 : 熊本地震 (直接の死者: 50 名、関連死: 205 名以上)
- 2016. 10 : 台風 10 号 (死者: 22 名、行方不明: 5 名)
- 2016. 12. 22 : 糸魚川大火 (147 棟焼損)
- 2017. 7. 5-7. 6 : 九州北部豪雨 (死者: 38 名、行方不明: 5 名)
- 2017. 11-2018. 4 : 大雪 (死者: 116 名)
- 2018. 4. 11 : 大分県中津市耶馬溪町土砂災害 (死者: 6 名)
- 2018. 6. 18 : 大阪府北部地震 (死者: 6 名)
- 2018. 6. 28-7. 8 : 平成 30 年 7 月豪雨 (死者: 224 名、行方不明: 8 名)
- 2018. 9. 4 : 台風 21 号 (死者: 14 名)
- 2018. 9. 6 : 北海道胆振東部地震 (死者: 42 名)
- 2018. 9. 28-9. 30 : 台風 24 号 (死者: 1 名、行方不明: 1 名)
- 2019. 8. 26-8. 28 : 令和元年九州豪雨 (死者: 4 名)
- 2019. 9. 5-9. 9 : 台風 15 号 (停電: 約 934,900 戸、断水: 139,744 戸)
- 2019. 10. 11-10. 12 : 台風 19 号 (死者: 104 名、行方不明: 3 名、全壊: 3,308 棟)

「実践地域防災学」の実施

宮内 克之*1・津田 将行*2

*1 工学部スマートシステム学科、*2 大学教育センター



1. はじめに

防災に関する正しい知識と技能を有し、災害時には自助、共助の中心として活躍できる防災士を育成し、学生の資質の向上と地域の防災・減災力向上に貢献することを目的として、平成 25 年度より、教養教育科目「地域防災基礎」および「地域防災応用」からなる「地域防災リーダー養成講座」を開講してきた。その結果、この 7 年間で約 214 名の防災士を育成してきたところである。

ところで、この講座の開講にあたっては、国土交通省中国地方整備局、広島県をはじめ、地元の福山市、福山地区消防組合、自主防災組織および防災士会などの協力を得てきた。

一方で、2013 年の災害対策基本法の改正で、市町村の一定の地区内の居住者および事業者（地区居住者等）による自発的な防災活動に関する「地区防災計画制度」が創設された（2014 年 4 月 1 日施行）。これに基づき、各自治体は地元住民に対して地区防災計画の作成を推進、指導してきている。しかしながら、地区防災計画といっても、それぞれの地区・地域により対象とする災害は異なり、画一的に作成しても実効性を伴わない。また、それぞれの地区・地域の自主防災組織の防災・減災に対する意識と熱意も様々であり、必要とするすべての地区・地域において実効性のある効果的な地区防災計画が作成されているとは言えない。さらに、地区防災計画は作成されたとしても、その有効性の検証等は、多くの地区でなされていないのが実情である。

このような地元地域の実情を踏まえ、「地域防災リーダー養成講座」により育成した学生防災士の知識等を多少なりとも地元地域に還元するために、地元の自主防災組織と協働して、防災・減災に関するその地区に特有の諸問題に取り組む「実践地域防災学」を開講した。

学生は、「実践地域防災学」をとおして地域の防災・減災の現実に接することにより、また、地元住民と接することなど、通常の授業では経験することができない、より実践的な活動をとおして、防災・減災の考え方および実践的な行動について学ぶことができる。さらに、地域の防災・減災力の向上に貢献することができる。

2. 科目の位置付け、定員等

- (1) 科目の位置付け：教養教育科目 F 群（地域学）；2 単位：夏季集中授業
- (2) 履修対象学生：全学部全学科の 2～4 年生を対象とするが、「防災士」の資格取得者もしくは「地域防災基礎」および「地域防災応用」の単位取得者が望ましい。
- (3) 定員：20 名程度

3. 2019 年度の対象地域：福山市本郷学区内 市地区、尾越地区、立神地区

本郷学区内のほぼ中央を北から南へ流れる本郷川は、学区北部の谷間部から南部で急に開け扇状地を形成している。平常時には水量はそれほど多くはないものの、過去には幾度となく氾濫している。

本郷学区の避難所は本郷小学校および本郷公民館である。しかしこれらの避難所は、いずれも本郷川の左岸に位置している。一方、今回対象とする 3 地区は、いずれも本郷川の右岸に位置しており、大雨等により本郷川が増水した際には、これらの避難所への避難は困難であるものと推察される。今回対象とする 3 地区からこれらの避難所への道中には、本郷川に架かる橋が 5 橋ある。しかし、1 橋は老朽化のため、他の 1 橋は 2018 年 7 月の西日本豪雨の際の被害のため通行不可となっている。したがって、本郷川右岸にあるこれらの地区では、本郷ふれあいプラザを臨時の避難所としている。

これらの地区においては、扇状地の北部に位置する山裾の丘陵地に多くが居住している。また例にたがわず、高齢化が進み一人暮らしの高齢者が多いことも、避難行動を妨げる大きな要因の一つである。

今回の授業で採り上げた3地区で対象とする具体的な自然災害は以下のようなものである。

(1) 市地区：浸水害

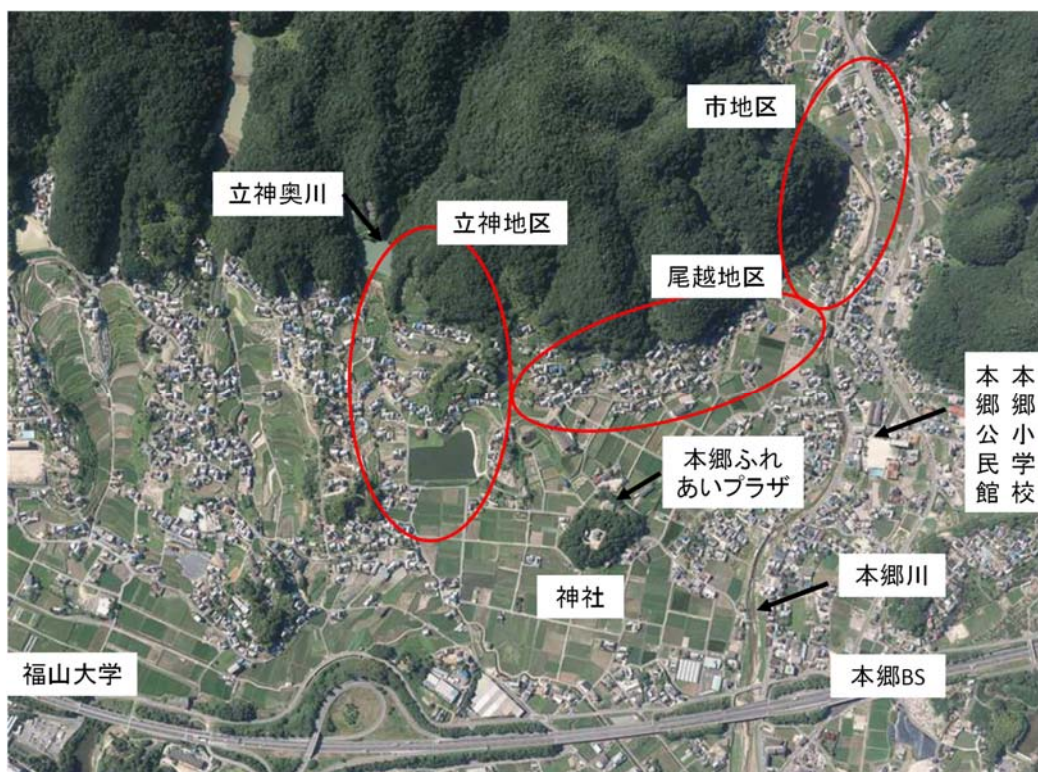
大雨の際には本郷川の決壊または越流による浸水害の危険性がある。また、西側に位置する急斜面の崩壊（がけ崩れ）の危険性がある。

(2) 尾越地区：急傾斜地の崩壊（がけ崩れ）

北側斜面の多くが土砂災害特別警戒区域（急傾斜地）に指定されており、大雨の際には急斜面の崩壊（がけ崩れ）の危険性が極めて高い。また、地区と本郷ふれあいプラザの間の一帯は、土砂災害警戒区域（地すべり）にも指定されている。

(3) 立神地区：土石流

集落を南北に流れる立神奥川の中流部は土砂災害特別警戒区域（土石流）に指定されており、大雨の際には土石流の発生が予想され、高さ約2mの土石流が集落を襲うとされている。



対象地区

4. カリキュラム

回	内 容	回	内 容
1	目的、内容、スケジュールの説明 地区防災計画について	7	避難経路の踏査 危険箇所の確認
2	グループ分け、GRの選任 対象地区の特徴と災害の危険性の確認	7 ～ 9	マイ・タイムラインの作成準備 踏査の結果を検討 問題点の洗い出し（避難経路の検討）
3	マイ・タイムラインについて	10 ～ 13	問題解決のための方策の検討 防災面から見た地区の特徴 避難場所と避難経路 避難開始のタイミング マイ・タイムラインの作成 検討結果提示用ポスターの作成
4	本郷地区の地区防災計画について（現状説明） 問題点について考える 次回現地踏査に向けて準備、事前調査等		
5	本郷公民館にて、現地踏査の説明 現地踏査	14	問題解決の方策検討結果の地区への提示 反省と意見交換
6	踏査の結果を検討	15	

5. 現地踏査



地区の長老より過去の水害について話を聞く

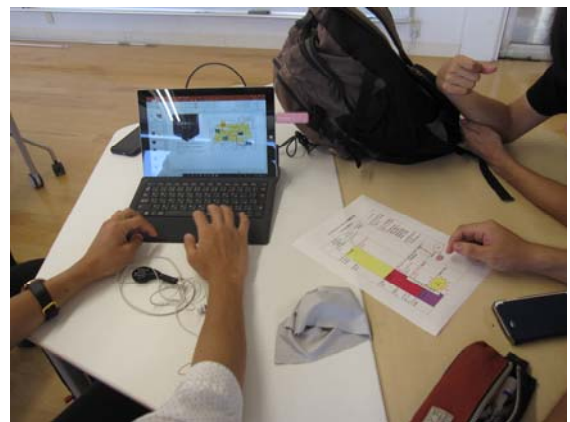


現地踏査の様子

6. 避難経路マップ、マイ・タイムラインの作成



グループに分かれての情報の整理



マイ・タイムラインの作成

グループごとに、市地区、尾越地区、立神地区を担当し、地元自主防災組織の方々と共に2回の現地調査を行った。現地調査では、防災面から見た地区の特徴、避難場所の確認を行うとともに、マイ・タイムライン作成上必要となる種々の情報（避難経路、避難経路上の危険箇所の確認、避難に要する時間、避難開始のタイミング等）を収集した。

また、地区ごとに代表的な高齢者（例えば、80歳代女性、一人暮らし、車運転せず、年齢相応の歩行可能等）を1名選定し、その人を対象としたマイ・タイムライン（個人の避難計画）の作成を行った。

授業の最後には、グループごとに作成した避難経路マップやマイ・タイムラインを用いたプレゼンテーションを行った。

今回の授業の計画実施に当たり、福山市本郷学区自治会連合会横山会長、福山防災リーダー連絡協議会青木会長、日本防災士会広島県支部熊谷様、福山市総務局総務部危機管理防災課竹田次長に、大変お世話になりました。また、30℃を超える炎天下にもかかわらず、現地踏査にご協力いただきました、本郷地区の皆様、ご協力ありがとうございました。

マイ・タイムライン
—川の氾濫—

	天気予報 (福山地区の 気象情報)	川の状況	福山市からの 避難情報	わたしのする事
日常的に				・非常用持ち出し袋などの持ち出し品を準備する ・避難場所、避難経路の確認（避難経路は状況により異なる）
雨が降る前 (大雨の可能性が高くなる場合)	大雨の注意 注意報 が出ている		レベル2 ・洪水注意報 ・大雨注意報等	・福山市に大雨注意報が発令されるか確認する ・川の様子に気をかける
雨が降り始める				・「大雨になるかも～」と思う ・避難場所、経路、持ち出し品の再確認
大雨になる	警報 が出る	・川が増水しはじめる	レベル3 ・避難準備、高齢者等避難開始 レベル4 ・非常に危ない状況 ・いつ把握してもおかしくない	避難開始 避難完了!
災害発生	特別警報	川が氾濫する	レベル5 ・災害発生情報	

地理院地図 避難経路マップ（立神地区）



作成した避難経路マップの一例

7. マスコミ掲載等

(1) NHK 広島 2019.09.13 広島 WEB NEWS より

学生が住民の避難計画を作成へ

09月13日 17時44分

福山市の大学で防災を学ぶ学生たちが、災害が起きた際の住民の避難計画を作るため、地元の人たちと地域を歩いて災害の危険性が高い場所を確認しました。

この取り組みは、福山大学工学部の宮内克之教授の防災の授業を修了して防災士の資格を取った学生たちの知識を、地域の防災に生かそうと行われているものです。

13日は「マイ・タイムライン」という住民一人一人に合わせた避難計画の作成に向け、宮内教授と学生11人が地元の自主防災組織の会長などと福山市本郷町を歩き、危険な場所などを確認しました。

学生たちは、地形図を見ながら過去の土砂崩れの被害状況や、川の片側にしか避難所がないエリアがあることなどを地域の人たちから聞き取っていました。

学生たちは13日に、調査した内容などをもとにマイ・タイムラインを作成し、地域に提供することになっています。

大学3年生の男子学生は「実際に地域を歩き、事前に考えていた以上に避難する場所が少ないことに気づきました。自分の目線ではなく、想定している高齢者の目線でマイ・タイムラインを作ることを心がけたいです」と話していました。

学生防災士地域の力に

福山大、本郷の3地区と連携

防災士の資格を持つ福山生が、昨年の西日本豪雨で土砂崩れなどの起きた福山市本郷町で地域の防災力向上に取り組んでいる。地元の自主防災組織と、地域の危険箇所や避難場所を点検。学生が防災上の課題を洗い出して解決策を練り、お年寄りが災害時に安全に避難するための計画などを作る。学生視点で地域の防災・減災力を高める初の取り組みだ。(菊本孟)

危険箇所点検 解決策探る

同大は2013年度に「地域防災リーダー養成講座」を開講。受講後に防災士の資格を取った学生が今回の活動に参加している。災害発生時のメカニズムや地域と連携する大切さなど学んだ成果を生かそうと、同町の市、尾越、立神の3地区を調べている。初回の13日は、学生11人が約1時間半、住民と一緒に地域を歩いた。町内を流れる本郷川と橋の場所を確認しながら、過去の災害時の増水の様子などを確認した。同大3年山口拓真さん(20)は「本郷町は『現地



防災マップを手に、本郷川に架かる橋で過去の増水の状態などを確認する学生たち

を実際に見て回り、危険な場所近くに避難場所があるなどの課題を感じた。防災面で地元の人に役立つ「いい」と話した。地域を巡り、各地区の問題点と解決方法を探る。山際に一人で暮らすお年寄りたちをモデルに、災害が差し迫った場合の避難計画も示す。同町では、本郷川と山に囲まれた地域に集落が並ぶ。川沿いや山際を中心に土砂災害の特別警戒区域が多数あり、ため池も複数ある。昨年の西日本豪雨では土砂崩れや浸水被害が出た。本郷学区自主防災会の横山典好会長は「防災対策に学生が加わってくれてありがたい。成果を住民間で共有したい」と話している。

防災学ぶ学生 避難路点検



福山大(福山市東村町)で防災について学ぶ学生たちが、大津波の住民と協働し、大雨による土砂崩れに備えた避難行動計画「マイ・タイムライン」の作成や、地域の防災計画などについて考える活動に取り組んだ。9月に現地を一緒に歩いて、危険箇所や避難経路を確認。学生たちは9日、福山大で住民らと避難計画の具体例を発表した。(松本慎平)

福山大3地区住民と歩き

大学の地域防災リーダー養成講座で学び、防災士の資格を取得した学生たちが、福山地区の防災・減災に関する知識を地域に役立てよう、工学部の宮内克典教授(47)が企画。マイ・タイムライン作成に向け、2、3年生12人が、土砂崩れや土石流などの危険性がある福山市本郷町内の3地区を地域住民らと一緒に歩いた。

急斜面 自動車危険、冠水前早めに…

大津波の住民と協働し、大雨による土砂崩れに備えた避難行動計画「マイ・タイムライン」の作成や、地域の防災計画などについて考える活動に取り組んだ。9月に現地を一緒に歩いて、危険箇所や避難経路を確認。学生たちは9日、福山大で住民らと避難計画の具体例を発表した。(松本慎平)