

神奈川工科大学

先端工学研究センター

研究報告

第 26 卷

2021 年度

目次

- ・不可視光画像と AI 技術を利用した物質の表面分析技術の構築

情報メディア学科 西村広光

情報工学科 須藤康裕

情報メディア学科 谷田良子

- ・月経前症候群症状を示す女性へのアロマ芳香浴による
認知機能の改善とその効果の可視化

看護学科 青木真希子

看護学科 前山直美

臨床工学科 鈴木聡

ロボット・メカトロニクス学科 高尾秀伸

情報メディア学科 小坂崇之

- ・PPE（個人防護具）装着による医療スタッフのパフォーマンス変化に対する
評価法の考案と PPE 設計要件の明確化

臨床工学科 鈴木聡

臨床工学科 大瀧保明

看護学科 青木真希子

臨床工学科 川崎路浩

看護学科 松沢裕子

- ・分光分布および点灯パターンを制御した有彩色光が生体活動に及ぼす影響の解明

電気電子情報工学科 高橋宏

- ・蛍光法による着雪氷界面における融解水の動的挙動解析と着雪氷対策への応用

機械工学科 木村茂雄、今井健一郎

長谷川実嗣、林竜徳（ポスドク）

自動車システム開発工学科 山門誠、狩野芳郎

産業技術総合研究所 阿部祐幸（本学客員教授）

防災科学技術研究所 佐藤研吾（共同研究締結）

宇宙航空研究開発機構 守田克彰

- ・深層学習ニューラルネットワークを応用したプロセッサ負荷連動アダプティブ電源制御による計算機電源エネルギー効率の改善

臨床工学科 河口進一

- ・AI クラウドと連携した大容量リアルタイムサービスチェイニングの実現

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 丸山充

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 瀬林克啓

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 塩川茂樹

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井家敦

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田一

情報工学科 松本一教

情報工学科 田中博

情報工学科 清原良三

電気電子情報工学科 中津原克己

電気電子情報工学科 高取祐介

自動車システム開発工学科 脇田敏裕

- ・ブリ・ミオグロビンのメト化に関する研究

応用バイオ科学科 小澤秀夫

- ・トビヘビが安定して滑空・着地できるメカニズムの流体力学的検証

機械工学科 中根一朗

- ・超高感度センサのための集積形光導波路デバイスの研究

電気電子情報工学科 中津原克己

電気電子情報工学科 小室貴紀

ホームエレクトロニクス開発学科 黄啓新

電気電子情報工学科 工藤嗣友

情報工学科 木村誠聡

管理栄養学科 澤井淳

- ・授業形態や災害時のニーズに的確な ICT 環境を提供する適応型ネットワーク制御技術研

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 瀬林克啓

・導電テープテザー展開機構の折り畳み収容手法と展開特性に関する研究

機械工学科 渡部武夫

機械工学科 小机わかえ

機械工学科 水野敏広

ロボット・メカトロニクス学科 吉野和芳

大阪府立大学・客員教授 大久保博志

宇宙航空研究開発機構(JAXA)

研究開発部門第二研究ユニット 河本聡美

・学ぶ楽しさを計量・共有する仮想教師を導入した

遠隔プログラミング教育システムの実現

情報工学科 鷹野孝典

不可視光画像と AI 技術を利用した物質の表面分析技術の構築

研究者名： 情報メディア学科 西村 広光
 情報工学科 須藤 康裕
 情報メディア学科 谷田 良子

1. 研究の目的

画像処理・認識の技術は可視光映像を中心に発展し、近赤外光映像への応用が一部行われている。しかし、紫外光映像を利用した研究はほとんど行われていない。我々は、これまでに金属鍵を紫外光画像により高精細に識別する基礎技術を開発してきた。紫外光カメラにより金属表面の微細な傷を映像化し、鍵の抜き差しに生じる傷を個体識別に利用できることを確認している。本研究は、可視光・近赤外光・紫外光の映像を利用して、可視情報のみでは識別困難な個体識別技術を確立し、実用レベルの非接触な物質表面の画像装置開発を行う計画である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

可視光領域の画像を利用した画像処理・認識の技術は、パターンマッチング・機械学習・深層学習などの技術が蓄積され、対象データ数が大規模に確保できる領域においては高度に発展してきている。一方、近赤外領域の画像処理は、距離画像取得などに活用され、Kinect などで広く知られるように広く応用が進んできている。しかし、紫外線領域の画像処理に関しては、人工衛星画像の高精度解析技術や、精密部品検査技術で一部利用されているものの、活用が進んでいない。

我々は、これまでに可視光画像だけでなく近赤外光画像、紫外光画像を活用した画像処理技術の構築を試みてきた。これまでに以下の技術を開発してきた。

- ・ 近赤外線透過フィルタによる高精度カード認証技術の開発
クレジットカードなどの裏面記載したサイン情報は、防犯カメラなどで容易に読み取ることが可能になっている。そこで、近赤外のある帯域以外を通さない工学フィルタをカード裏面に張り付け、さらに持ち方による生体情報を組み合わせた高精度カード認証技術を開発した。(特願 2013-114443)
- ・ 紫外線を利用した金属鍵認証技術の開発
金属の鍵は、3次元スキャニング技術の発展、3次元プリンタの普及により、今後容易にコピーされてしまう危険がある。しかし、紫外光により高精細に金属鍵の表面を映像化すると、目に見えない微細な傷が、皮膚の指紋のよう

に映像化できる。この情報を利用して、高精度な金属鍵識別技術を開発し、複製された鍵の識別が可能であることを実証した。さらに、鍵の抜き差しによる傷変化の検出が可能であることも確認し、前に抜き差しした鍵かどうかを判別できることを確認している。

建築用資材の時間変化を、可視光・赤外光・紫外光を併用することで非接触に検査する基礎技術の検討を行ってきた。鹿島建設様からの研究資材協力を得て、2019年度から実験を開始し、新たな現象を発見し、現在その分析を進めている。

こうした紫外光を含む不可視光を利用した画像処理による物体表面分析に関しては他の事例が見当たらず、本研究の独自性が高い視点であるといえる。

この技術を確立することができれば、コンクリート敷設作業において人員と時間の効率化を進めることができる画期的な技術になると考えられる。

3. 期待される効果

本研究は、可視光画像を対象に確立してきた技術を、赤外光や紫外光の範囲に適用し、人間に不可視な情報での識別技術を構築することを目的としている。これまで他に検討された報告が見つからない分野であるが、我々はこれまでに金属鍵認証技術の基盤技術を構築しており、実用化に向けた応用技術を本申請で確立させ、実用化のめどを構築しようとするものである。

具体的に、本研究では建築資材、特にコンクリートやモルタルが硬化する時間変化を、不可視光画像を利用した画像解析で現象をとらえることにこれまで成功している。これは世界初の試みであり、現在鹿島建設様と特許の共同出願の準備を進めている。この現象のさらなる分析を進め、非接触にコンクリートなどの硬化変化をとらえることを目的として進めてきた。

4. 研究の経過及び結果・評価

2020年度の計画では、鹿島建設様からのコンクリート実験資材の提供を受けて、紫外線計測の実験データを増やし、硬化が紫外線で捉えられる理由の分析を進め原理解明を進める計画であった。しかし、コロナ禍で実験資材の提供を受ながら観測実験を行うことが困難な環境となった。そのため、一般に入手可能なセメント素材においてデータの取得を進め、分析を行った。

コンクリートの硬化測定は JIS 規格にそった手法があり、規格に沿ったコンクリート貫入抵抗値の測定装置を構築し、紫外線画像取得と同期させて測定できるような実験環境を整備し、実験を繰り返し進めることができた。

2021年は取り扱うコンクリートの種類を増やして実験を進め、一般に市販されているコンクリートにおいても同様に、紫外線画像で硬化具合を数値化できることを確認

することができた。

5. 今後の計画

2021 年度よりコンクリートの貫入抵抗値計測を同時に行えるようになり、紫外線画像変化とコンクリート硬化を示す数値を対応付けた分析ができるようになった。この分析データは、現在まで 10 試行程度行っているが、条件を変えたデータを数倍取得して分析する必要があり、引き続き実験を進めて分析を行っていく。

実験データの蓄積から、紫外線画像の変化を利用して、硬化具合の測定と一定硬化度合いに達するまでの時間予測を行える技術を構築し、実用化に向けた検討を進めていく計画である。

6. 研究成果の発表

2020 年 3 月に鹿島建設様と特許を共同出願（特願 2020-053306）特許願した。

2022 年 3 月に「紫外光を用いたセメント硬化分析に関する一検討」として電子情報通信学会総合大会 情報・システムソサイエティ大会特別企画 学生ポスターセッションにて成果発表を行った。今後も成果発表を積極的に行っていく計画である。

月経前症候群症状を示す女性へのアロマ芳香浴による 認知機能の改善とその効果の可視化

研究代表者：看護学科 青木真希子

研究分担者：看護学科 前山直美

臨床工学科 鈴木 聡

ロボットメカトロニクス学科 高尾 秀伸

情報メディア学科 小坂 崇之

1. 研究の目的

月経前症候群 (Premenstrual Syndrome: PMS) の女性の認知機能を改善する方法を確立し、社会への女性活躍の推進を最終目標とする。そのために、アロマ芳香浴による PMS 症状を呈する女性の認知機能の改善と、その効果の近赤外分光法 (near-infrared spectroscopy: NIRS) による可視化を実証する。つまり、PMS 症状の可視化、アロマ芳香浴による対処、そしてその効果の可視化、というセルフモニタリングとセルフキュアリングを交互に行い、PMS に対して積極的に対処する基盤を構築する (図 1)。従来の PMS への対処は、日々の症状を自己記入し状態を把握するセルフモニタリングと、把握した結果、個人が自分に適したケアの実施 (セルフケア) から、構成される。最大の課題は、セルフケアの効果の実感が得られず、モニタリングとケアを継続できない点である。本研究では、アロマ芳香浴に着目した。アロマ芳香浴は家庭で簡易に実施が可能であり、PMS 症状の緩和や認知機能の改善が報告されている。本研究では、前頭前野領域の血流量という客観的な指標に基づき、アロマ芳香浴による認知機能の改善を可視化に挑戦し、セルフモニタリングとセルフキュアリングの原理検証を行う。

2. 研究の必要性及び従来の研究

PMS のケア手段の 1 つにアロマ芳香浴があり、PMS 症状の緩和や認知機能の改善に利用されている。しかし、アロマ芳香浴に用いられる精油は、作製方法、作製時期、保存方法などによって化学物質の構成が変わり、アロマ芳香浴の効果に統一的な見解が得られていない。近年ではガスクロマトグラフィ装置の性能が向上し、精油に含まれる揮発性分子の組成と構成比が定義されてきている。また、精油中の揮発性分子の主成分であるテルペン化合物を細胞が受容する仕組みが解明されつつあり、匂い分子も薬理作用を持つ化合物と同様に細胞膜受容体やイオンチャンネルに作用する。そのため、簡易に薬理作用を及ぼす手段としてアロマ芳香浴が再注目されている。ラベンダー精油を用いた PMS の軽減と自律神経との関連明らかにされつつあり、動物実験によって Lavender 精油成分の 1 つである Linalool の薬理作用が明らかにされた。さらに、Rosemary 精油の成分の 1 つである 1,8-cineole の認知課題の遂行能の向上効果が報告された。しかし、

これらの評価は、自己記入式の質問紙によって行われており対象者の主観によるところが大きく、その効果の実証は十分ではない。認知機能の客観的評価方法の一つである NIRS は、被験者への拘束感が小さく、より日常に近い心理状態で認知機能の計測が可能である。芳香刺激によって前頭前野領域の脳血流の増加が報告されているが、この作用と認知機能の評価を結び付けた研究は皆無である。

3. 期待される効果

我々はアロマ芳香浴による認知機能の改善効果を NIRS によって可視化させ、セルフモニタリングとセルフキュアリングを繰り返し PMS へ積極的に対処する基盤を構築する。これまで月経周期に伴う不調は「不定愁訴・仕方がないもの」として見過ごされ、女性の Well-being な生活の大きな阻害要因となってきた。さらに PMS には抜本的な治療がなく、自分の状態を正しく認識し（セルフモニタリング）、その状態と正しく向き合う（セルフケア）という対処療法しかない。そのため、我々はより積極的に PMS と向き合うために、セルフモニタリングーセルフキュアリングを提案していく。そして、将来的には、セルフモニタリング／キュアリングいずれも誰でも簡単に自宅で行うことができるデバイスを目指している。

4. 研究の経過及び結果・評価

ラベンダー、ユズ、オレンジの匂いによって PMS 症状の緩和が報告されているが、認知機能との関連は報告されていない。今年度は、ユズ精油を用いた実験を行った。実験方法は、PMS を有する女性 1 名に対して黄体期（2 周期）に認知課題（N-back 課題）を行いその際の脳血流を NIRS によって計測した。1 周期目の黄体期には芳香浴なし環境下、2 回目の黄体期にはユズ精油を芳香浴を行い、認知課題の成績と脳血流の変化量を比較した。

その結果、正答率は芳香浴ありではいずれの課題においても正答率は上回った。正答率の芳香浴有無による比較を図 1 に示した。さらに、NIRS 測定による Oxy-Hb の変化量について図 2, 3 に示した。芳香浴ありでは、なしに比較して脳血流の上昇は緩やかであった。

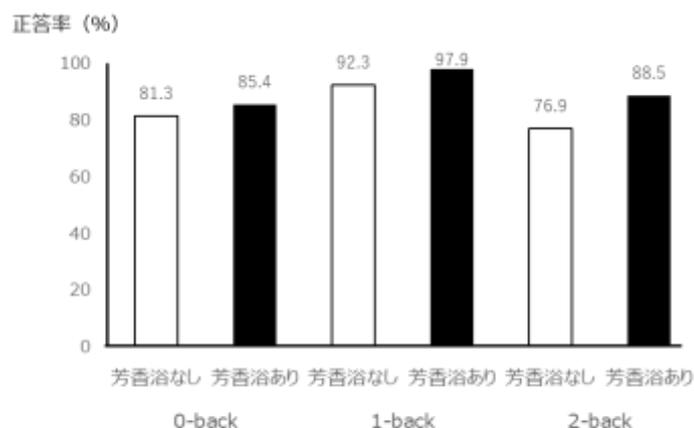


図1 N-back課題正答率の芳香浴有無による比較

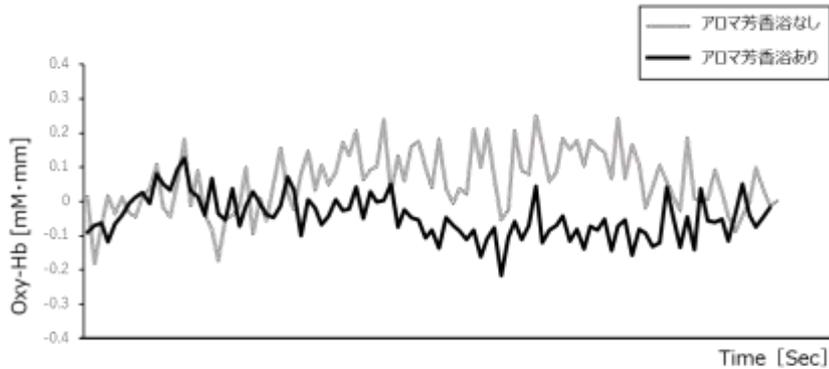


図2 CH4-7におけるOxy-Hb変化量のアロマ芳香浴の有無による比較

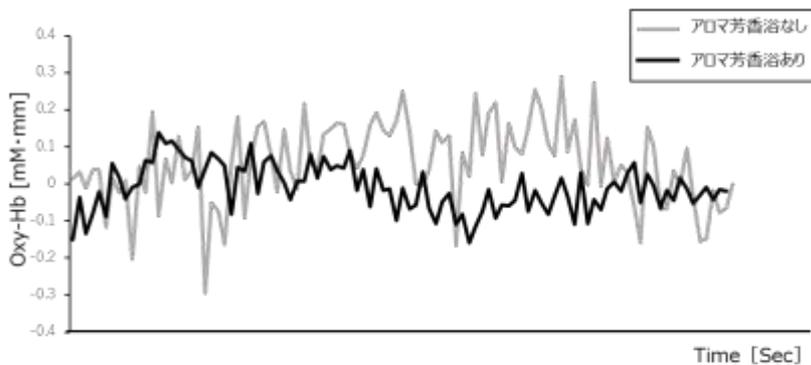


図3 CH10-13におけるOxy-Hb変化量のアロマ芳香浴の有無による比較

5. 今後の計画

① 2021年度：芳香成分の濃度決定と計測環境の構築（予備実験）

PMSの女性に曝露する芳香成分の濃度を決定する。種々濃度に調製した Linalool (CAS RN. 126-91-0) および 1,8-cineole (CAS RN. 470-82-6) 溶液の蒸気を、黄体期の健常の女性被験者に曝露する。脳血流の変化を NIRS で記録し、気分を自己記入式質問紙 (POMS) で評価する。被験者に曝露する大気を回収し芳香成分の濃度をガスクロマトグラフィー質量分析 (GC-MS 分析) によって規定する。以上の研究を通して、脳血流を増加させ、POMS の負の感情を緩和する芳香成分と濃度を決定する。本研究遂行のために組み立て式陰圧ブースと匂い提示装置を導入し、被験者に提示する芳香成分の濃度と時間を制御しながら NIRS 計測が可能な計測環境を構築する。

② 2022年度：芳香成分刺激による認知課題遂行能の改善効果の検証

PMS 症状を有する女性被験者を募り、黄体期に認知課題 (N-back 課題) を行いその際の脳血流を NIRS によって計測する。被験者を 2 群に分けて、一方では研究課

題①で決定した芳香成分と濃度に満たした環境下で認知課題に取り組み、もう一方は無臭の環境下で行う。この時の認知課題の成績と脳血流の変化量を比較し、芳香成分の効果を明らかにする。また、芳香成分の作用機序を明らかにするために、POMSによる気分評価、唾液中のホルモン濃度と芳香成分濃度の計測を行なう。これらの計測により、芳香成分が匂いとして検知され、気分が改善し認知機能が改善したか、芳香成分自体が血中に取り込まれ生理作用を引き起こしたかを検証する。

6. 研究成果の発表

Makiko Aoki, Ryoma Anzai, Satoshi Suzuki: Relationship between activation of prefrontal cortex and testosterone in N-back task. AHFE 2022

15th European Society of Gynecology 2022にて発表予定

PPE（個人防護具）装着による医療スタッフのパフォーマンス変化に対する 評価法の考案と PPE 設計要件の明確化

研究代表者：臨床工学科 鈴木 聡
研究分担者：臨床工学科 大瀧保明
看護学科 青木真希子
臨床工学科 川崎路浩
看護学科 松沢裕子

1. 研究の目的

医療従事者が感染対策のために用いる個人防護具（PPE）は、マスク、ガウン、フェイスシールドなどの防護デバイスの総称であり、様々な製品が存在する。いずれも装着することにより作業の「やりにくさ」が生じてしまう。特に高技能・巧緻性が要求される場面では作業の阻害要因となり、例えば血液透析（HD）における血管へのカニューレーションでは、触知による血管走行の把握や、細い血管を対象とした場合には穿刺針を繊細に動かす必要があり、通常の処置などでは問題にならない場合でも PPE による影響は少なくないと考えられる。本検討ではバスキュラーアクセスへの穿刺において、グローブ装着による影響について検討した。当初の計画では順次様々な PPE について検討する予定であった。穿刺時に体表から血管を触知する場合、手袋を装着していると感度が鈍り、血管走行を適正にイメージできないなどの理由から、触知する手には手袋を装着しない場合がある。現代のような感染対策が行われていない時期（25～30 年以上前頃）に穿刺スキルを研鑽した職歴の長いスタッフで散見されることが多いようだが、手袋装着率を向上させるための工夫や、感染対策としての PPE の有用性に対する

2. 研究の必要性及び従来の研究

穿刺時に体表から血管を触知する場合、手袋を装着していると感度が鈍り、血管走行を適正にイメージできないなどの理由から、触知する手には手袋を装着しない場合がある。現代のような感染対策が行われていない時期（25～30 年以上前頃）に穿刺スキルを研鑽した職歴の長いスタッフで散見されることが多いようだが、手袋装着率を向上させるための工夫や、感染対策としての PPE の有用性に対する研究、さらには感染対策のためのデバイス開発に関する研究などはされており、一部は教育へのフィードバックや市販化に至っている。しかし PPE の装着に伴う「やりにくさ」の定量化や「医療従事者のパフォーマンス低下」に関する研究は見当たらない。COVID-19 に伴い PPE 装着の機会が増え、少数ながら医療従事者の主観に基づく検討はされている。例えばフェイスシールド装着に伴う頭痛やフラツキ感の報告はされているが、医療タスクのパフォーマンスに着目したものではない。

これはタスクの成否や質についての判断領域や基準について、深い専門知識が求められることが一因と考えられる。例えば透析の穿刺を例にすると、単に“血管内腔へ外套を留置し透析が施行できたかどうか”だけでなく、“バスキュラーアクセスの温存”や、“痛み”などといった項目に対し配慮し、そのための対処行動として何を行ったかについて評価することが必要であり、医療従事者または医療資格保有者であってもその分野に精通していなければわかりにくい（説明・指摘されれば理解可能だが、そうでないと気づきにくい）内容である。PPE の製品別または装着状態別にパフォーマンスに及ぼされる影響を明らかにすることを目指すが、そのための一歩として今年度は対象とする医療タスクをバスキュラーアクセスへの穿刺に限定した。

3. 期待される効果

これまで PPE による「やりにくさ」の表現は主観的評価が中心であり、定量的評価の試みにより製品間の比較がしやすくなる。本検討ではモーションキャプチャによる穿刺針の動きだけでなく、穿刺実行者の悩ましさ（≒認知的負荷の相対変化）として前頭前野の脳血流も評価しており、学術的貢献につながると考えている。

4. 研究の経過及び結果・評価

実験的検討としてバスキュラーアクセスモデルを作製し、複数の医療従事者に穿刺させる実験を施行した。このモデル作製には我々の過去の研究から得られたノウハウがあり、表皮から血管までの深さや、血管径などの異なる複数のパターン作製し、難易度にバリエーションがある。グローブはニトリル PVC 製の複数の製品を用い、「やりにくさ」を変えるため装着枚数を 1~3 枚の範囲で変化させた。巧緻性の高いタスクを与えた際に認知活動は活性化すると考えられ、これを前頭前野の脳血流変化を観察することにより評価した。図 1 は一例として、異なるグローブ製品において装着枚数・モデル・被験者を同じとした条件の NIRS 変化である。穿刺開始から終了までの変化量

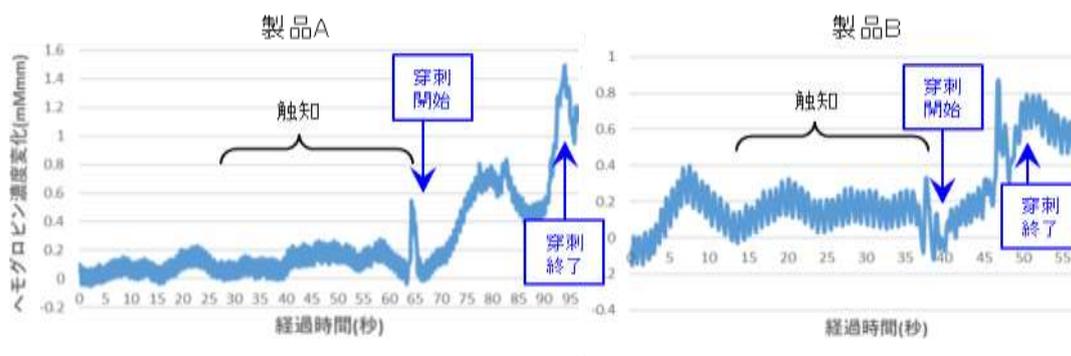


図 1

ならびに傾きが異なっている。同一製品でグローブ装着枚数を増加させると穿刺中の NIRS の変化量は大きくなる傾向が観察され、PPE による阻害要素との関連が示唆さ

れた。また、被験者によるグローブの製品別主観評価では、「厚みがある」と感じるほど穿刺中の NIRS 変化が大きい傾向があり、理由は不明だが触知中の NIRS 変化には見られなかった。被験者数が十分でない要因もあるが、穿刺そのものの成否（穿刺が成功／失敗）と NIRS の関連は特に認められなかった。

一方、図2の如く臨床においてモーションキャプチャにより医用材料の動きを捉える検討を行いつつある。一部成果発表は行ったものの、施設ごとに大幅に傾向が異なり、これは詳細なタスクが施設で違うためと類推している。現時点においてデータ採取は十分ではなく、さらにデータ採取を進める必要がある。



図 2

5. 今後の計画

当初は COVID-19 の影響はあるものの、実験はある程度遂行可能と考えていたが、医療施設の逼迫度はなかなか予想ができず、2021 年夏から秋に計画していた実験が十分できなかった。被験者数確保とグローブ以外の PPE についての検討を進めたい。

6. 研究成果の発表

- 1) 鈴木 聡, 秋山圭太, 川崎路浩: 穿刺時における前頭前野の脳血流変化: 第 25 回日本透析アクセス医学会学術集会・総会 ワークショップ1 穿刺技能における伝授の工夫と顕在化、2021 年 11 月
- 2) 秋山圭太, 鈴木 聡, 川崎路浩: 2 人法エコーガイド下穿刺におけるプローブ軌跡から見た熟達度評価の一考察: 第 25 回日本透析アクセス医学会学術集会・総会 一般演題(エコー下穿刺)、2021 年 11 月
- 3) 伊藤 駿, 鈴木 聡: PPE(手袋)装着に伴う触知阻害による認知負荷定量化の試み: 第 67 回日本透析医学会学術集会・総会 一般演題(バスキュラーアクセス/穿刺技術)、2022 年 7 月

分光分布および点灯パターンを制御した有彩色光が生体活動に及ぼす影響の解明

研究者：電気電子情報工学科 高橋 宏

1. 研究の目的

近年、色彩環境が注目されている。特に、LED 照明の普及に伴い様々な光色の空間演出が可能となり、実際に光色制御可能な LED シーリングライトや LED 電球も市販されている。しかし、これまでの照明光色に関する研究では、完全放射体軌跡に近い範囲の色温度を扱っており、LED 光源で再現が可能な、より鮮やかな光色範囲についての研究はあまり行われていない。さらに、同系色で分光分布が異なる有彩色光が生体活動に及ぼす効果は未解明である。本研究では有彩色光の分光分布が生体活動に及ぼす影響を明らかにするため、脳波計を用いて、各光色条件における創造性作業時の脳波を計測することで、作業効率と生体活動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

有彩色照明環境と生体活動に関する課題として、これまでは主に赤色や青色照明での検討や、作業時の背景色を変化させた検討がほとんどであった。しかし、LED 照明は光色制御が容易なため、今後様々な光色の照明環境が身近に実現すると考えられる。また、同じ光色でも分光分布が異なれば、人に与える影響は異なることが示唆されている。さらに LED 照明は点灯パターンを制御することも可能なため、技術的には近い将来、今まで存在しなかったような照明環境が実現する可能性がある。すべての人が住み続けられるまちづくりを目指すには、人の色光の感じ方も踏まえた照明計画が必要となる。そこで、分光分布および照明点灯パターンを制御することにより、空間の快適性を向上させることが可能なかという事を明らかにする必要がある。

3. 期待される効果

本研究の最終目的は、全ての人が快適に感じる有彩色照明環境を明らかにすることである。本研究では有彩色光の分光分布が生体活動に及ぼす影響を明らかにするため、脳波計を用いて、各光色条件における認知作業時の脳波を計測する。本実験において、覚醒度が高く且つ各作業課題の評価結果も高い条件においては、認知作業に有効な照明環境であると判断し、各作業に効果的な有彩色照明環境の提案を行う。一方で、覚醒度が低い光色についてはリラックス状態にあると考えられ、休息時の照明への応用を検討する。さらに、有彩色光の点灯制御時の覚醒度を測定する。点灯制御による覚醒度向上効果が明らかになれば、認知作業空間やリフレッシュ照明への応用、うつ病や認知症の治療・予防への展開も期待できる。これらの結果より、より生体活動に効果的な照明条件が明らかになれば、

生体活動の種類別に推奨照明を提案できる。

4. 研究の経過及び結果

本研究では有彩色光の分光分布の違いによる生体活動への影響を明らかにするため、新たな光源として LEDCube ((THOUSLITE 社)を導入した。本光源では 14 種類の波長を組み合わせて光色を作り出すことが可能であり、表 1 および図 1 に示す光色を設定した。本研究では、同じ光色でも分光分布が異なる光色での影響を調べるため、長波長成分を多く含む光色と短波長成分を多く含む光色を設定した。本実験では、脳波の測定機器としてブレインプロ(FM-939)を使用した。脳波の測定では、8.0~13Hz 未満の周波数帯域を α 波、13~30Hz 未満の周波数帯域を β 波として、脳波の平均パワーを求めた。一般に、 α 波は心身共に落ち着いた状態において出現するとされ、反対に、 β 波は緊張・興奮時に出現されるとされている。そこで、 α 波と β 波の比を覚醒度とし、 β 波/ α 波としてあらわす。この値は α 波が優位の時覚醒度が低くなり、 β 波が優位の時覚醒度が高くなっていることを示している。本実験では国際 10-20 法に従って電極を付ける位置を C3,C4,A1 とした。また、実験課題として既存の存在する道具について本来の使い道以外の用途を考案する手がかり連想型の新用途考案課題を使用した。

実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者に脳波計を付け、暗室に入らずに通常時の脳波を測定する。
- (2) 被験者に指定の光色で照らしている暗室に入ってもらい、10 分間順応させる。なお順応中の最初と最後に脳波を測定する。
- (3) 順応が終了後、課題を 3 分間実施する。

なお、課題内容は順応が終了するまで伝えず、時間になったら口頭で伝えるものとする。

新用途考案課題の結果を量的に評価したグラフを図 2 に示す。量的評価では回答数によって柔軟性、独創性、具体性の数が増減してしまう。また、回答数が多いからといって必ずしも課題に沿った回答ができていないとは限らない。そのため回答数に対する柔軟性、独創性、具体性の数を相対化し質的に評価したグラフを図 3 に示す。

図 2 より、量的評価ではどの観点でも白色光が最も回答数が多い結果となった。有彩色光においては赤色光、青色光は短波長の方が回答数が多く、緑色光は長波長と短波長の間には大きな差は見られなかった。

図 3 より、質的評価では柔軟性では緑色光、青色光は短波長の方が長波長より数値が高く、赤色光は長波長と短波長の間には大きな差は見られなかった。具体性では各光色間に大きな差は見られなかった。

独創性はほかの 3 観点と比べて同系色間での大きな差が見られた。これは本実験での独創性の評価として 1 人しか出していないアイデアの個数としたため、実験数や作業時間が

少なくこのような結果になったと思われる。より実験数や作業時間を増やすことでこれらの差が縮小する可能性はあると考えられる。

次に、外れ値を除いた覚醒度の被験者平均を正規化したグラフを図4に示す。縦軸は、各光色での有彩色光曝露中を基準とし、正規化を行った時の覚醒度を表している。図4より有彩色光のみで比較するとどの同系色も長波長のほうが短波長よりも覚醒度が高くなることが示された。また、長波長、短波長ともに赤色光、緑色光、青色光の順に高くなっていく。緑短波長、青短波長においては曝露中よりも覚醒度が低くなることを示された。

表1 光源条件

		照度 [lx]	色度		ピーク波長 [nm]	ドミナント波長 [nm]
			x	Y		
色	白(W)	40	0.356	0.388	443	568
	赤長(RL)	40	0.694	0.296	705	628
	赤短(RS)	40	0.701	0.299	633	625
	緑長(GL)	40	0.188	0.692	521	528
	緑短(GS)	40	0.175	0.633	513	519
	青長(BL)	40	0.140	0.094	448	472
	青短(BS)	40	0.157	0.088	407	468

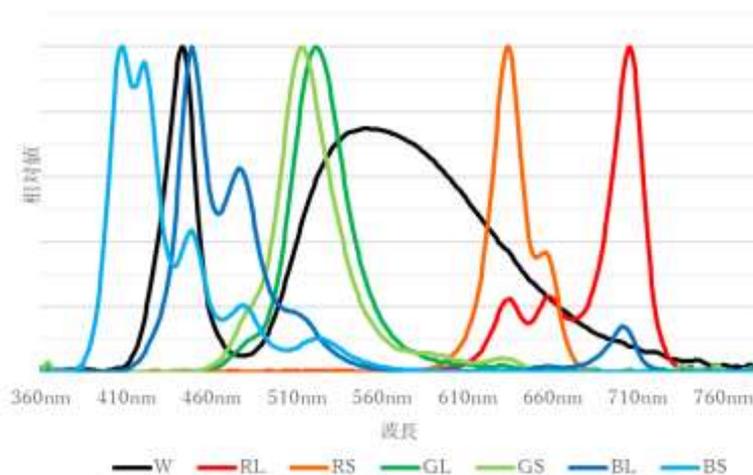


図1 分光波形

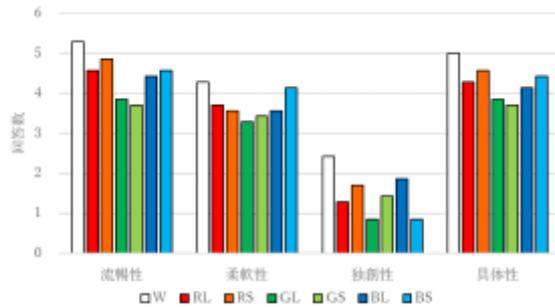


図2 量的評価

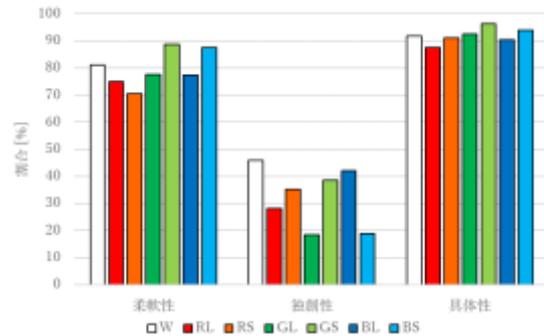


図3 質的評価

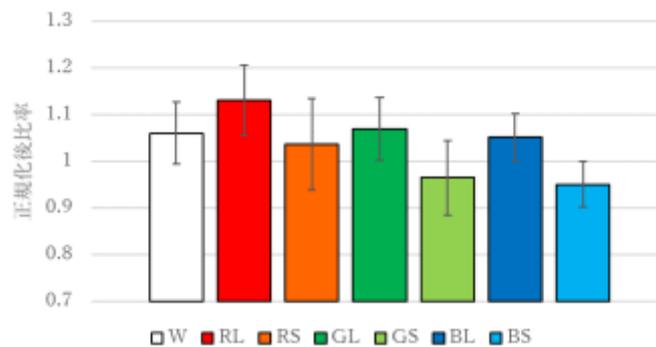


図4 外れ値を除いた課題中覚醒度

5. 今後の計画

本研究では、分光分布の異なる有彩色光が生体活動に及ぼす影響を明らかにするため、新規光源を用いていくつかの光色条件下で実験を実施した。その結果、覚醒度において分光分布による影響の可能性が示唆されている。しかし、本実験では光源自体の出力が不足していたため照度が低い環境となっていた。そこで、今後の展望として、光源数および被験者数を増やして実験を実施することでより精度の高いデータが得られると考えられる。さらに今回は実施できていない点灯パターンを制御した実験を行うことで、より応用範囲が広い照明環境への適用を検討する予定である。

6. 研究成果の発表

本研究では、新規光源を用いての実験環境の構築に時間を費やしたため、学会発表等ができるほど成果はまとまっていない。継続して実験を実施し、成果がまとまり次第発表する予定である。

(1) 橋本拓真、石金誠理、塩野香太 有彩色光が創造性に及ぼす影響 2021 年度電気電子情報工学科3年特別プロジェクト発表会

蛍光法による着雪氷界面における融解水の動的挙動解析と 着雪氷対策への応用

工学部・機械工学科

木村茂雄・今井健一郎

長谷川 実嗣・林 竜徳（ポスドク）

創造・自動車システム開発工学科

山門 誠・狩野 芳郎

産業技術総合研究所

阿部祐幸（本学客員教授）

防災科学技術研究所

佐藤研吾（共同研究締結）

宇宙航空研究開発機構

守田 克彰

1. 研究の目的

着雪氷防止策の代表である加熱法は、雪氷体と加熱物体との界面に液相の薄膜水を存在させることで着雪氷の脱落を促すメカニズムによって成立つ。従来の解析技術（画像解析やMRI解析）では界面に存在する液相と固相の水の同定が困難であり、液相の水の挙動を正確に把握することができず、結果として最適な加熱法の確立がなしえなかった。本研究では、水の相の違いを検出でき、かつ温度分布を計測する蛍光塗料を用いた新規開発の計測技術を適用することで、着雪氷界面における液相の水の挙動を解析し、ヒータ配置や容量の設定を最適化し効率の高い加熱手法の確立を目指す。

本年度は以下の2項目について研究を実施した。

1. 加熱面上の雪氷体融解時の融解水の温度と挙動の2色蛍光法による解析
2. LED信号機・ミリ波レーダ等のレドームを加熱した時の着雪氷体の2色蛍光法による挙動解析

2. 研究の必要性及び従来の研究

我が国は世界的な豪雪地帯である。殊に多くの地域で降雪が氷点近傍で発生するため雪が濡雪性状となり、結果、物体への付着強度が高まり着雪現象が頻発することとなる。地上構造体や移動体への着雪氷は期待される機能を損ねるだけでなく社会的影響も重大となる。着雪氷対策の多くが除雪氷のメカニズムに深く立ち入ることなしに講ぜられ、結果それが成功すればその対策を是とすることが一般である。こうした状況は、可及的な除雪氷への高い要求があることも事実であるが（経済性の観点からも）、それ以上に、雪氷体の融解現象の把握が困難であったことにその原因が考えられる。本研究は、近年開発された2色発光計測技術を応用することで、雪氷体・加熱面界面での温度分布の計測を可能とでき、さらに液相と固相の水を分離して同定できる技術を用いることで、界面での雪氷体融解、あるいは雪氷体離脱のメカニズムを解明することを目的とする。着雪氷対策の代表的であり、かつ適用頻度の高い手法である加熱法において、

着雪氷界面に融解水がどのように分布し、いかなる温度で移動するか、という根本の、そして未解決の「問い」に答える研究である。

3. 期待される効果

本研究で提案する2色蛍光法は、これまで常温下での物体表面の温度や圧力計測に用いられてきた手法を、氷点近傍の温度の水に適用するものである。これまで実験的・数値的に解析することが困難であった加熱面上の雪氷体界面全体での融解過程を明らかにすることが可能となり、本研究で対象とするLED信号灯器やレドームの着雪防止策の立案に大きく貢献する。

4. 研究の経過及び結果

目的に記載された項目についての研究の経過と結果を以下に示す。

1. 加熱面上の雪氷体融解時の融解水の温度と挙動の2色蛍光法による解析
2. LED信号機・ミリ波レーダ等のレドームを加熱した時の着雪氷体の2色蛍光法による挙動解析

4.1 加熱面上の雪氷体融解時の融解水の温度と挙動の2色蛍光法による解析

4.1.1 加熱平板を使用した発光雪・氷の蛍光計測システム

加熱表面を模倣した表面での雪氷融解を観測するために構築された測定システムを図4.1に示す。作製した蛍光雪氷と加熱表面の接触面で、接触面全体の温度分布と融解水の挙動を視覚化する。

4.1.2 蛍光氷の温度校正

蛍光氷の発光強度は氷温度により変化する。本計測では、熱電対での取得温度と熱電対付近の蛍光氷発光量比と比較して、温度校正線図を取得した。得られた温度検量線図を図4.2に示す。校正点ごとに、熱電対付近の空間平均を実行して発光量比を取得した。

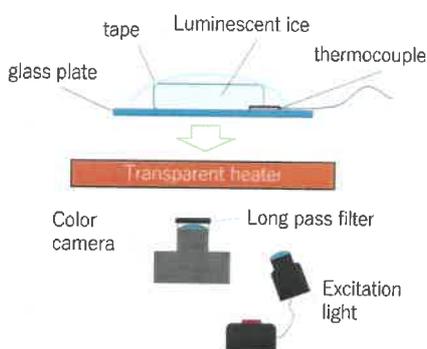


図 4.1 2色蛍光計測システム

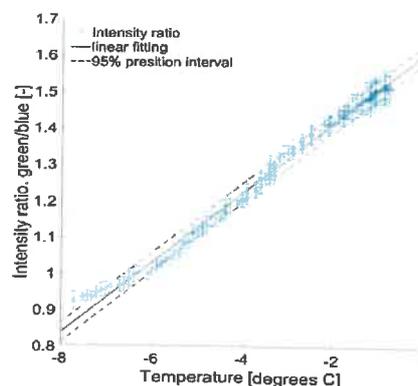


図 4.2. 温度校正線図

4.1.3 蛍光氷を使用した加熱平板上の蛍光計測結果

加熱表面で氷温度分布の60秒間隔の時間発展を図.4.3示す. 熱電対は、温度校正のために右上に配置され、各温度分布上の長方形領域は、熱電対である. 2つのマーカーが氷上に配置されており、これらの領域に関する温度測定は困難であった. 上記の人為的誤差を除いて、加熱表面での氷温度分布の蛍光計測に成功した.

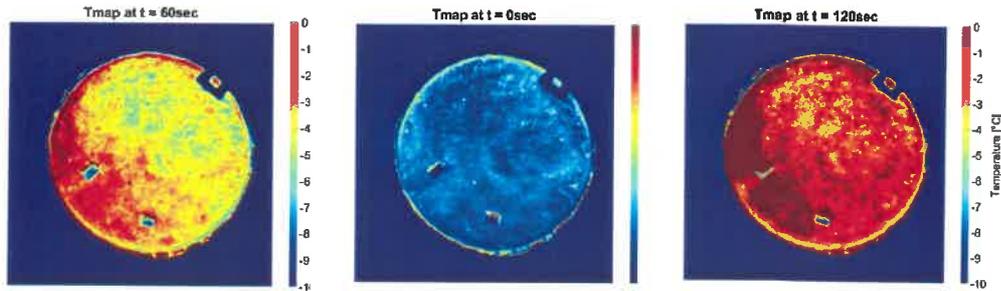


図 4.3 加熱平板(7°C)における蛍光氷表面の温度分布の時間発展(60 秒間隔)

4.2 LED 信号機等のレドームを加熱した時の着雪氷体の2色蛍光法による挙動解析

4.2.1 LED 信号機モデルを用いた着雪風洞試験

降雪時条件下においてLED信号機への着雪量、着雪形状を把握するため、実際に公道で使用されているフラット型LED信号機をモデル(コイト電工製のフラット型信号機(形式:CH253L)、)として選択した. 信号機を風洞内部に設置, 風洞上部の降雪機から模擬雪を降らせる着雪風洞試験を行った(図.4.4).



図.4.4 着雪風洞内の供試体

4.2.2 着雪風洞試験結果

風速9m/sの湿雪条件で1時間の降雪を行った結果を図4.5に示す. 全湿雪条件でレンズ面への着雪が確認された一方で, 乾雪条件ではレンズ面への直接的な着雪は確認されなかった. 湿雪条件下では, 風速9m/sで着雪量・厚さが共に最大となった.

4.2.3 ヒータ効果の検証

試験に使用した信号機は, 供給電力量が10Wに対し約7W消費し, 3Wは余剰分となる. この余剰分を有効利用し, 信号機表面にヒータにより加熱, ヒータ加熱による除雪効果の検証を行った. 降雪中の落雪は確認されなかったが, 降雪終了後, ヒータ加熱を続けると, ヒータ周辺から剥がれるようにして落雪が確認された(図4.6).

4.2.4 発光雪の融解水動的挙動計測

蛍光雪を使用して信号灯器・ミリ波レーダレドーム加熱表面における融解水の挙動を計測した. ただし, 作製した蛍光雪は熱電対と接触すると接触位置から融解してしまい蛍光雪における発光量比と温度の校正を行うことができないため氷から水へ相変化し

た際に蛍光強度が上昇する色素を使用し蛍光雪を作製した。図 4.7 に加熱平板に蛍光雪を接触させて変化した発光量比分布を示す。蛍光雪の発光量比は加熱平板に接触直後から全体的に上昇する様子が確認された。

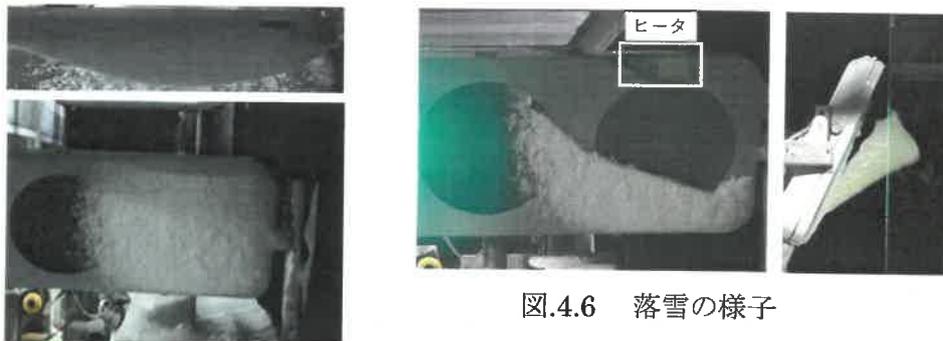


図.4.5 供試体上の着雪の様子

図.4.6 落雪の様子

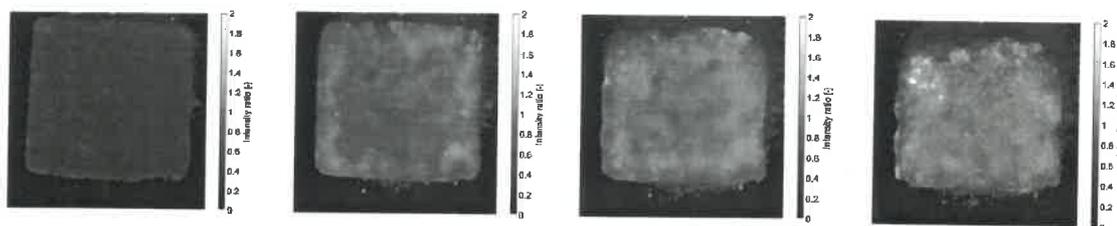


図 4.7 加熱平板と蛍光雪の界面における発光量比分布の時間発展(30 秒間隔)

5. 今後の計画

本研究は、2 か年を期間とする本学の重点配分研究予算にて実施したが、予算配分の方針の変更に伴い、本研究の継続を新規の予算計画からは切り離し、公的外部資金（2 か年の採択）にて継続する予定である。

6. 研究成果の発表

1. 松尾優太, 佐藤研吾, 佐藤俊介, 山口琢深, 林竜徳, 富樫数馬, 坂上博隆, 木村茂雄: 着雪風洞試験による信号灯器上の着雪状態の把握、寒地論文・報告集、Vol.37、2021
2. T. Hayashi, Y. Matsuo, J. P. Gonzales, M. Hasegawa, K. Sato, M. Yamakado, H. Sakaue, and S. Kimura: Characterizing ice melting phenomenon on LED traffic light using dual-luminescent imaging method, Proc. of International Workshop on Atmospheric Icing of Structure (IWAIS) 2022, June 19-23, Montreal Canada, 査読有, (発表予定)

深層学習ニューラルネットワークを応用したプロセッサ負荷連動アダプティブ電源制御による計算機電源エネルギー効率の改善

研究者名：所属学科 臨床工学科 氏名 河口進一

1. 研究の目的

本研究は計算機プロセッサ電源での負荷連動アダプティブ電源制御による電力損失削減および負荷変動応答性能の改善に向けた、深層学習ニューラルネットワークを応用したプロセッサ電力負荷瞬時予測精度の向上である。これらを通じて、サーバやPCなどの汎用計算機他、スマートフォン、制御計算機などの多くの情報機器へ広く省電力技術を適用し、社会全般の ICT システムでの省電力化を図り、脱炭素社会の実現に貢献することを目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

脱炭素社会の実現に向けて様々な研究開発が進められている。特にスマートフォン、サーバなどの情報機器が消費する電力は今後も増加が予想され、その省電力化は極めて重要な課題である。一般的な計算機でアプリケーションを実行するプロセッサは最も電力を消費するデバイスとなるが、図 1 の通り I/O データ待ち等により、低負荷となる時間が多くを占める。一方、プロセッサの電源では図 2 のように低負荷領域において効率が急激に悪化する。実運用において、低負荷である時間が多くを占めるため、トータルとしては大きな電力損失につながる。従って、特に低負荷における電源の効率化を図り、負荷率によらず高い効率を実現することが求められる。

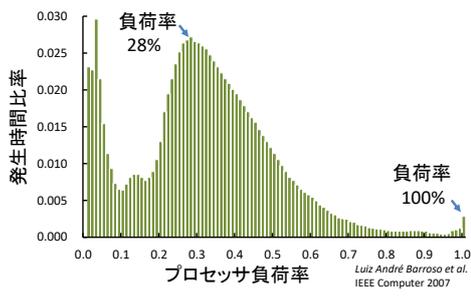


図 1 データセンターでのプロセッサ負荷率

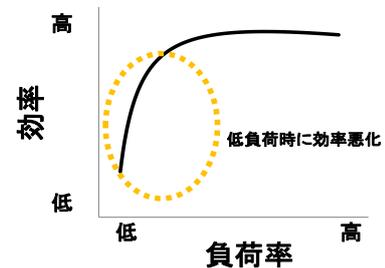


図 2 電源効率曲線

これらに対して、図 3 に示すようなプロセッサ動作に連動させた電源効率制御を行う手法 (Kawaguchi, Yachi IEEE Trans. on Industry Applications 2016) が提案されている。本手法はプロセッサの演算状況に基づく消費電力予測をプロセッサ電源制御に応

用することで、電源の動作モードを負荷に適するよう追従させて電源効率の改善を実現する手法である。これまで本方式の電力予測において、プロセッサが備える性能モニタ情報から線形回帰により消費電力予測を行う手法が検討されてきた。本手法により、それぞれのアプリケーション毎で最適なパラメータを選定することで高い精度での消費電力予測が実現されていた。ただしプロセッサで動作させるアプリケーション種別が変わることにより、パラメータをアプリケーション毎で最適化させる必要が生じてしまう点が課題であった。これに対して本研究では様々なアプリケーション動作時の性能モニタ情報に対するプロセッサ消費電力プロファイルを再帰型ニューラルネットワークにより学習させることで、予測パラメータの変更を伴わずに様々なアプリケーション動作時におけるプロセッサ消費電力予測を目指す検討が行われた。

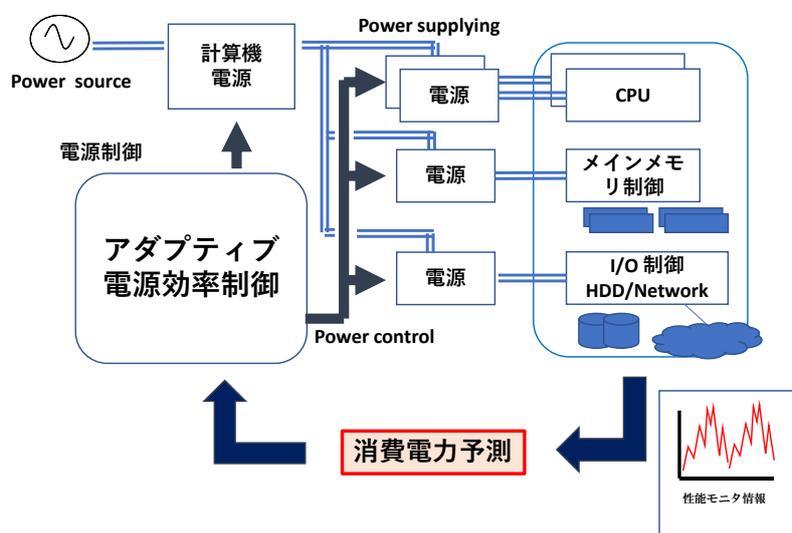


図 3 アダプティブ電源効率制御

3. 期待される効果

プロセッサ性能モニタ情報を入力とした消費電力予測を再帰型ニューラルネットワークに学習させることにより、性能モニタ情報と電力消費プロファイルにおいて非線形な関係となるケースにおいても、予測パラメータの再最適化を行う必要なく高い消費電力予測が実現できる。その結果、一般的な汎用計算機において様々なアプリケーションが動作する場合においても、高い精度でのプロセッサ消費電力予測を実現し、プロセッサ電源での電力効率をより改善できる効果が期待できる。

4. 研究の経過及び結果・評価

図 4 に本研究でプロセッサ消費電力予測向けに検討された回帰型ニューラルネットワークの構成を示す。本検討では時系列情報となる性能モニタデータを扱うことに

適する LSTM (Long Short Term Memory) 層を初段に置いたネットワークトポロジーを採用した。本年度の研究においては、GPGPU (General-purpose graphics processing units) を備える計算機上の Tensorflow フレームワークにおいてニューラルネットワークの演算を行い、本方式の妥当性を検証した。

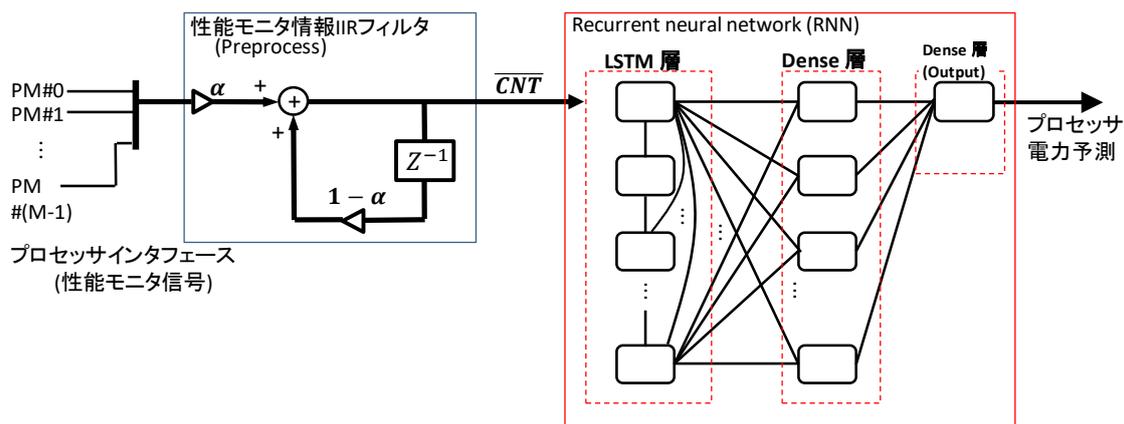


図 4 プロセッサ消費電力予測ニューラルネットワーク

本研究の結果として得られた、回帰型ニューラルネットワークによるプロセッサ電力予測と実際のプロセッサでの測定電力との比較を図 5 に示す。図 5 に示す期間において異なるアプリケーションがプロセッサで連続的に切替られている。このように実行アプリケーションが変わる状況においても回帰型ニューラルネットワークによりプロセッサ消費電力が高い精度で連続的に予測出来ることが確認された。

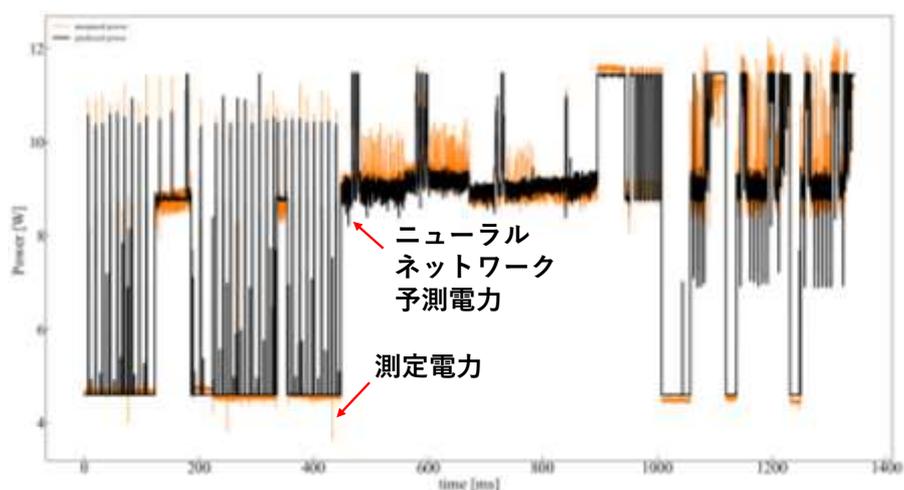


図 5 回帰型ニューラルネットワークによる消費電力予測プロファイル

5. 今後の計画

本年度の検討では GPGPU コアを備える計算機でのシミュレーションによって、回帰型ニューラルネットワークを用いたプロセッサ消費電力予測方式が有効であることが検証出来た。今後はプロセッサ電源システムへの実装に向けて、回帰型ニューラルネットワークによる消費電力予測を専用ハードウェアにおいて実現することを目指す。本方式のニューラルネットワークを最適化させることで、小規模なハードウェアでの機能実現が期待できる。初期のハードウェア化検証では FPGA 等の利用が適するが、方式検証から実用化フェーズとなる段階では ASIC 等の専用 LSI 化が有効なアプローチとなる。

6. 研究成果の発表

本研究の成果として以下の特許出願が行われた。また本研究での成果は、下記に示す国際会議において論文発表が行われた。

- 1) 河口進一「電力推定装置および電源制御システム」特願 2021-119341 2021. 7. 20.
- 2) S. Kawaguchi, "Load power estimation using a recurrent neural network for the purpose of computer power energy efficiency improvement," 2021 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2021, pp. 1313-1318

AI クラウドと連携した大容量リアルタイムサービスチェイニングの実現

研究者名：N 科 丸山 充, 瀬林克啓, 井上哲理, 塩川茂樹, 井家 敦, 岩田 一
I 科 松本一教, 田中 博, 清原良三
E 科 中津原克己, 高取祐介
V 科 脇田敏裕

1. 研究の目的

これまで映像制作や医療・教育等のニーズに向けて、情報通信機構（NICT）や国立情報学研究所（NII）等の産学官連携により 8K 非圧縮 IP 伝送を進めてきた他、クラウドサービス（以後クラウド）を用いた 8K 非圧縮仮想サーバの実現、さらには端末とクラウドの間に、エッジ部を導入するモデルを提案し、映像スイッチングなど様々な映像処理機能を実現し、様々なユースケースとして可視化し、情報発信してきた。特にエッジ部におけるソフトウェアベースで数 10Gbps の速度域のリアルタイム処理技術については、内外からの反響があるコア技術になった。

次のステップとして AI を利用した画像認識・検査等と組み合わせたリアルタイム超高精細映像処理を実現するために、エッジ部やクラウド部の計算機の演算・蓄積能力の有効活用を行う処理モデルを明らかにすると共に、様々なサービスファンクションを柔軟に組み合わせ、統合的な映像処理サービスとして提供可能とする「リアルタイムサービスチェイニング」のプラットフォームの開発を進める。

2. 研究の必要性及び従来の研究

ネットワークの広帯域化に伴い、高精細のストリームデータを扱うアプリケーションの普及が見込まれている。特にハイビジョンの 16 倍の画素数である 8K 超高精細映像を扱うアプリケーションは放送分野・医療分野をはじめとして、様々な研究分野の可視化にも有効である。

一方、普及が目覚ましいクラウドを用いた高精細映像アプリケーションの利用が期待されている。クラウドは、計算機ハードウェア上に構成した仮想計算機（VM: Virtual machine）群を時間単位で利用できるため、費用対効果が高く AI 用の計算機リソースも有効に利用できる可能性がある。しかしながら次の課題がある。1 つが高精細映像処理に用いる非圧縮フォーマットは扱うデータ量が大きい（フル解像度 8K の 60 フレーム/sec 仕様で 48Gbps / ストリーム）事である。このため、映像データを遠隔地にある AI 計算機に伝送したり、蓄積して編集したり、複数ストリームを用いて AI 処理や加工する運用には、ネットワーク帯域の確保に加えて、パケット処理性能、演算性能・蓄積配信性能の確保が必要である。また他の課題として、クラウド上の VM の処理オーバーヘッドが大きい事、割り当て方法や他の

ユーザの使用状況によって性能が低下する事、さらにはリソース競合により予期せぬ性能低下が発生する事である。このため、AI クラウドのリアルタイム処理能力を引き出すためには、新たなアーキテクチャモデルが必要である。

3. 期待される効果

これらの経験から、端末と AI クラウドの間に、フレーム単位 (60 フレーム/sec で 16.6ms, 120 フレーム/sec で 8.3ms) の同期制御が可能なエッジ部を設け、この粒度で端末側と同期を取った上で、AI クラウドの VM 群の統括制御、複数ストリームの同期や待ち合わせ処理を行うモデルを科研費の「エッジとクラウドの連携によるリアルタイム映像処理基盤の実現」の中で提案して基本検討をしている。本研究ではこのモデルを一步拡張して AI 計算機群を統合すると共に、適用範囲を広げて実証的に評価する。具体的には、映像ライン単位(数 μ s)のリアルタイム同期制御可能な端末部、1 フレーム単位のリアルタイム同期制御可能なエッジ部、リアルタイム性の保証が難しい非同期制御の AI を含むクラウド部の計算機群に処理を分割し、これらが協調して並列演算処理や蓄積配信処理を行うアーキテクチャモデルを適用する。アーキテクチャモデルの最大要求性能は、フル解像度 8K 映像のリアルタイム AI 処理を目標と定め、実装可能な構成を明らかにすると共に、次に示す適用範囲拡大のための課題に取り組む。

まず、エッジ部における課題である。これまでにエッジ処理の基本機能として映像スイッチング等を実現し、NICT 雪まつり 2019 や Interop Tokyo 2019 の場で実験を行ってきたが、使用するネットワークの構成やクラウドの VM の配信場所や性能によって必要となるエッジ部の機能が異なりその度に多量の配線を組み直す必要が生じている。本技術をさらに展開するためには、使用するアプリケーションやリソースの環境によってエッジ部において必要なファンクションを自在に選択可能な柔軟性が必要である事が課題である。

次にネットワークの多様性である。これまでは光ファイバーベースのネットワークしか考えていなかったが、今後は回線帯域が 10Gbps 程度のローカル 5G や構内の Mesh Wifi 等の無線アクセス回線を利用した入出力端末の有効活用が課題であり、この実現のために、エッジ部に柔軟な圧縮・伸長を実現するトランスコーディング機能を盛り込む。

本提案システムの実現に向けて、次のような課題に取り組む。

- (1) AI クラウド、エッジ部、クラウドのサービスファンクションを自在に連携させるリアルタイム並列分散処理基盤の確立
- (2) セグメントルーティング等を利用したリアルタイムサービスチェイニングネットワークの実現
- (3) エッジ部のトランスコーディング機能を利用した 5G 等の無線アクセスネットワークとの統合

4. 研究の経過及び結果・評価

2021年度は、以下の項目を進めた。

- ・セグメントルーティング (SRv6 : Segment Routing IPv6) を利用したエッジ部でのリアルタイムサービスチェイニングネットワークの実現

Interop Tokyo 2021 における検証実験および信学会 NS 研究会での研究発表

- ・AI クラウド、エッジ部、クラウドのサービスファンクションを自在に連携させるリアルタイム並列分散処理基盤の確立

2020年度に産総研の AI マシンを用いて、8K 非圧縮映像の 8K-DG (8K デュアルグリーン:24Gbps) からフルサイズ 8K (48Gbps)へのリアルタイム変換が SIMD (Single Instruction Multiple Data)の並列命令の効果的な利用で実現できる事を明らかにした。本年度は、リアルタイム変換処理に 1)8K-DG 映像を IP ストリームで入力する処理および、2)フルサイズ 8K 映像を IP ストリームで出力する処理をそれぞれ DPDK (Data Plane Development Kit) のフレームワークで実装し、ネットワーク上でリアルタイムストリーム変換を行うトランスコード機能を実現した。本機能を 2022.2 の NICT 主催の超高精細映像遠隔配信実験 2022 において検証を進め、プレスリリースを実施した。以下、実証実験を中心に概略をまとめる。

4.1 Interop Tokyo 2021 における SRv6 を用いたリアルタイムサービスチェイニング実験

2021年4月の Interop Tokyo 2021 においては、神奈川工科大ブース内のメインのマルチキャストルータとして、NTT コミュニケーションズの Kamuee を使用し、ブースでは、図 1 に示す SRv6 を使った映像処理機能のサービスチェイニングの実験を実施した。東阪ネットワークを用いた実網を用いてネットワーク内に遅延補正と映像切り替えの映像処理ファンクションを分散構築した。本実証実験は、NICT, NII, ShowNet をはじめとする複数の関係組織との共同で、東京-大阪間および幕張の 100Gbps 広帯域国内回線を用いて、8K 非圧縮映像の 8K デュアルグリーン (8K-DG) フォーマット(24Gbps)を対象に行った。新規開発した SRv6 相互結合網は、NTT 堂島 (大阪) , KDDI 大手町, NTT 大手町の 3 箇所分散構成し、SRv6 ルータには、古河電気工業株式会社の FX201 とソフトウェアベースのパケットスイッチを用いている。

SRv6 相互結合網内には、(A)遅延補正用の映像処理ファンクションと(B)映像切り替え用の映像処理ファンクションがある。入力された映像ソースに応じて、それらの機能を自在に組み合わせて映像処理を行い、神奈川工科大のブースにある受信拠点では、端末の要求に従い複数の映像ソースを 1 映像フレーム (16ms) 以内に無瞬断で切り替えて編集を行う。当日の実験ネットワーク構成を図 1 に、展示の様子を図 2 に示す。

本実証実験では、ブース内でライブ映像編集のデモンストレーション実験を行い、好評であった。

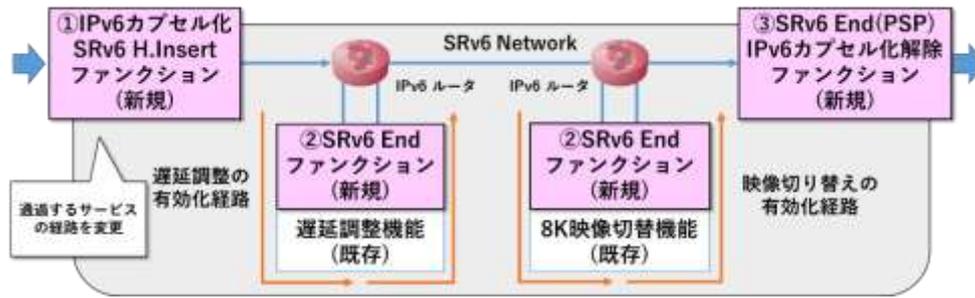


図 1 SRv6 を用いた映像処理機能のサービスチェイニング

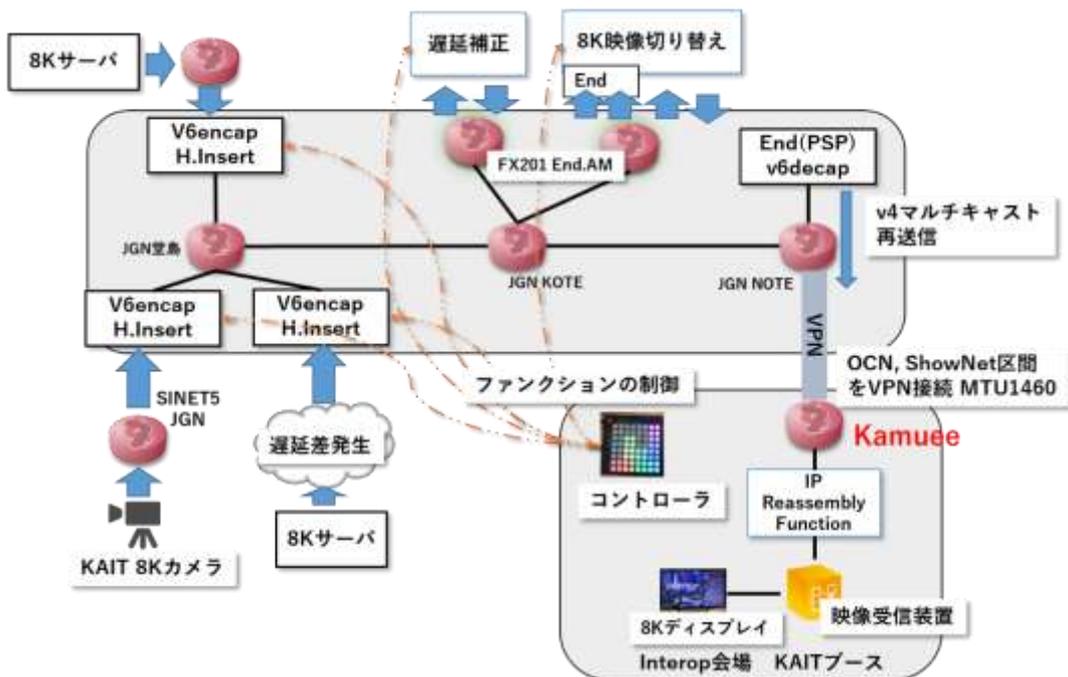


図 2 Interop Tokyo 2021 の構成



図 3 Interop Tokyo 2021 神奈川工科大ブースの展示様子

4.2 エッジ装置における映像処理機能連携の実証実験

2022年2月のNICT主催の超高精細映像遠隔配信実験2022において、大同大学、琉球大学、ミハル通信株式会社と共同で、全国に分散したいくつもの8K映像ソースを、ネットワーク経由で自在に切り替え、配信する実験に成功した。具体的には、札幌8Kカメラ、沖縄8Kカメラ、NICT StarBEDに構築した2つの8K映像サーバなど多地点から、異なるフォーマットの8K映像（8Kデュアルグリーン：8K-DG 24Gbps、フルサイズ8K 48Gbpsなど）を用いて、端末で製作作業をしている製作者の要求に従って瞬時に切り替えると同時に、切り替え後の8K映像をフォーマットの変換を無劣化で提供した。

トランスコードとよぶフォーマット変換は新規に開発したソフトウェアベースのパケットスイッチを用いた。IP入出力処理と(A)8K-DGを8K RGBに変換する処理、(B)8K RGBをフルサイズ8Kに変換する処理を組み合わせることで、1フレーム(16.6ms)以内の変換処理を実現した。また映像スイッチングと組み合わせることで、受信拠点では端末の要求に従い複数の映像ソースを1映像フレーム(16ms)以内に無瞬断で切り替えて編集を行う。このように、エッジの複数の映像処理機能がネットワーク内で共用可能となり、映像編集拠点毎に集約していた映像処理機能が不要となる。

なお本実証実験は、NICT、NIIをはじめとする複数の関係組織との共同で、札幌—東京—大阪—沖縄間の400Gbps広帯域国内回線を用いて実施した。また上記のシステムを用いたライブ映像編集実験はグランフロント大阪の実験拠点でデモンストレーションを行った。

図4に本システムの構成を示す。図5に8K超高精細映像伝送ネットワークの構成を示す。



図4 エッジ装置による映像処理機能の連携

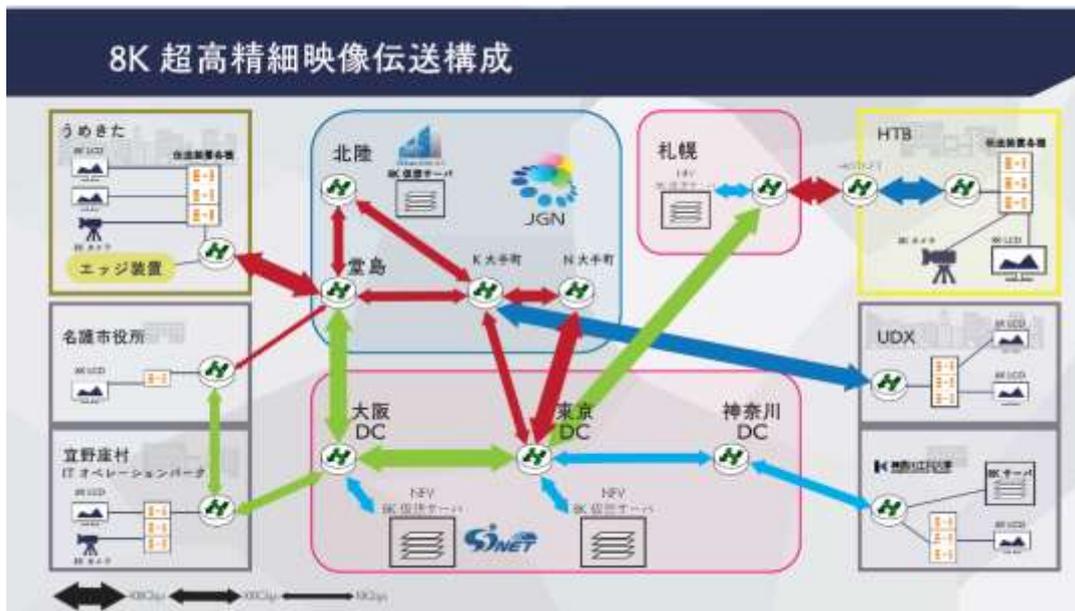


図 5 8K 超高精細映像伝送ネットワークの構成

5. 今後の計画

本研究で進めてきた DPDK フレームワークを用いた映像処理のプラットフォームの実用化提案を行ったところ、NICT 委託研究に採択された。本研究は、この実用化に向けた取り組みと連携して、今後のアプリケーションの 1 つとして AI 計算機とのサービス連携を中心に以下の項目について検討を進める。

- ・ AI 計算機群およびエッジとクラウドが連携した高速映像処理モデルの確立
- ・ AI 計算機群として、東大の mdx や NII の所内クラウドの GPU ノードもケーススタディにした連携アーキテクチャを検討
- ・ 処理量に応じ GPU やノード並列を利用したプロトタイプを作成し、様々な映像フォーマットへの適用を図る
- ・ 学内および地域向けに映像配信・収集・観測をサポート可能な実験インフラ機能を提案

6. 研究成果の発表

- [1] 招待講演:丸山 充, 瀬林克啓, 君山 博之, 青木 弘太, 小島 一成, 漆谷 重雄, 栗本 崇, 河合 栄治, 大槻 英樹, 小林 和真, “招待講演 エッジとクラウドの連携による 8K 超高精細映像処理システムの実現,”信学会, 信学技報, vol. 121, no. 421, CQ2021-121, pp. 118-123, 2022.3.10.
- [2] 招待講演:丸山 充, 瀬林克啓, 君山 博之, 青木 弘太, 小島 一成, 漆谷 重雄, 栗本 崇, 河合 栄治, 大槻 英樹, 小林 和真, “エッジとクラウドの連携による 8K 超高精細映像処理システムの取り組みと B5G 時代に向けた今後の展望,” 先端ネットワーク利用に

関するワークショップ「ADVNET2021」，オンライン開催，2021.10.15.

- [3] 青木弘太, 丸山 充, 瀬林克啓, 石岡朋紘, 伊藤悠真, 君山博之, “広域 SRv6 網を用いた超高精細映像処理のサービスチェイニングの実現,” 信学技報, vol. 121, no. 171, NS2021-67, pp. 55-60, 2021 年 10 月.
- [4] 田中晶, 丸山充, 漆谷重雄, “マルチホップ通信を用いた持続可能なリアルタイム情報ネットワーク,” 第 29 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2021), 情処学会, Oct. 2021.
- [5] 伊藤悠真, 青木弘太, 樋口 駿, 瀬林克啓, 丸山 充, “映像の安定配信を目指した動的なトラフィックモニタリングの検討,” 信学会 2022 総合大会, 情報システムソサエティ特別企画 ジュニア&学生ポスターセッション予稿集, ISS-P-042, pp.112, 2022.3.15.
- [6] 岩崎昂大, 瀬林克啓, 丸山 充, 小原 泰弘, 栗本 崇, 漆谷 重雄, “NFV による大容量映像配信システムの高度化の提案.” 信学会 2022 年総合大会, B-7-6, 通信講演論文集 2, pp.104, オンライン, 2022.3.15.
- [7] 報道発表: 「神奈川工科大学が、複数の映像処理エッジを連携させた 8K 非圧縮ライブ映像のネットワーク製作・配信実験に成功」神奈川工科大 (大学プレスセンター), 2022.3.29, <https://www.u-presscenter.jp/article/post-47891.html>

ブリ・ミオグロビンのメト化に関する研究

応用バイオ科学科 小澤 秀夫

1. 研究の目的

脊椎動物の骨格筋は、白筋および赤筋よりなり、哺乳類においてはその中間的な筋肉が存在する。哺乳類では、これらの筋肉はモザイク状に存在するが、魚類の場合はそれぞれ局在しており、白筋を普通筋、赤筋を血合筋と呼ぶ。普通筋と血合筋の色調の違いは、主にミオグロビンの量に依存する。貯蔵における血合筋の色調の変化は、ミオグロビンの状態変化を反映している。高鮮度かつ空気に触れる部位の血合筋は、鮮やかな赤色をしており、ミオグロビンは酸化し、オキシ・ミオグロビンとなっている。高鮮度かつ空気に触れない部位は、やや黒ずんだ色をしており、ミオグロビンは脱酸化し、デオキシ・ミオグロビンとなっている。これらのミオグロビンのヘム鉄の酸化数は、+2 である。鮮度低下によって、血合筋は、茶褐色となり、ミオグロビンのヘム鉄は+3 へと酸化されており、メト・ミオグロビンと呼ばれる。オキシ・ミオグロビンおよびデオキシ・ミオグロビンからメト・ミオグロビンが生成し、その生成反応については複数の経路が知られている。オキシ・ミオグロビンのメト化の主要な経路は、水分子が求核剤となり、ヘム鉄と結合し、ヒドロペルオキシラジカル HO_2 を放出する $\text{S}_\text{N}2$ 置換反応である。放出された HO_2 は、不飽和脂肪酸と反応し、低分子の脂肪酸やアルデヒドを生じ、これらの化合物は悪臭の原因となる。そのため、メト化は、単に血合筋の色合いを悪くするだけでなく、その風味を劣化させる。

ブリは、日本国内において最も養殖されている魚類である。一般に養殖ブリは、天然ブリと比較し、単価が高い。定置網で漁獲され、血抜きなどの適切な処理がなされていないブリが市場に出されているためであろう。また、養殖ブリに柑橘類を混ぜた餌を与えることによって、品質を向上させることが可能であることも一因であろう。

ATP はエネルギーの通貨と呼ばれ、解糖系、クエン酸回路および電子伝達系で糖や脂質の異化によって合成される。ATP は、筋肉においてモータータンパク質であるミオシンによって分解され ADP となる。ATP が消失すると、魚肉は死後硬直状態となる。死後硬直の度合いは、鮮度指標の 1 つである死後硬直指数によって評価される。ADP はさらに分解され IMP となるが、これはうまみ成分であり、魚肉が熟成によってうまみが増すのは IMP の増加によるものとなる。さらに IMP は分解され、イノシンやさらに分解された化合物となる。これらの核酸関連化合物の存在比より K 値と呼ばれる鮮度指標が計算され、鮮度の指標となっている。ATP はミオグロビンのメト化を防ぎ、またタンパク質の凝集を防ぐことが知られている。メト化されたミオグロビンの割合は、メト化率として鮮度評価の 1 つとして評価されている。このように、種々の鮮度指標は互いに関連深いものの、ATP のミオグロビンに対するメト化抑制能の分子機構については不明である。

2. 研究の必要性及び従来の研究

従来の研究では、魚肉の色調の変化や精製ミオグロビンの吸光度の変化によって、それぞれ魚肉の劣化やミオグロビンのメト化を評価している。これらによって、どのような条件で魚肉の劣化やミオグロビンのメト化が抑制されるのか明らかにされるものの、その分子機構は不明である。

分子動力学シミュレーションは、ニュートンの運動方程式に従って、系を構成する原子を動かし、系の動きを再現する手法である。これを生体高分子に応用することによって、生体高分子のふるまいを再現することができる。本手法を用いることによって、魚肉の色調や精製ミオグロビンの吸光度の変化によって確認された現象の分子機構を解明することができるであろう。

また、魚肉を氷点下で保存した場合、水分子は凍結状態および過冷却状態からなる。 -40 から -70°C において過冷却状態からガラス状態に転移することが知られている。魚肉を急速凍結することで、凍結状態となるのを防ぐことによって、凍結による劣化が抑えられる。精製ミオグロビンでは、過冷却状態やガラス状態を再現することは困難であり、また魚肉においても凍結状態とそれ以外の状態を分けて評価することは困難である。一方で分子動力学シミュレーションでは、これらの状態を分けて評価することが可能である。

3. 期待される効果

本研究により、ATPのオキシ・ミオグロビンのメト化抑制の分子機構が明らかになる。また、氷点下における過冷却状態の水、氷結晶およびガラス状態におけるオキシ・ミオグロビンの挙動が明らかになる。

4. 研究の経過及び結果・評価

一般的に、分子動力学シミュレーションでは、タンパク質の揺らぎは、根平均二乗揺らぎ(RMSF)によって評価する。ATPがオキシ・ミオグロビンの揺らぎにおよぼす影響は、RMSFでは観察されなかったため、別の評価方法が必要であることが示唆された(発表1)。

一般的にガラス転移は、示差走査熱量測定によって観察される現象である。示差走査熱量測定では、系のエンタルピー変化 ΔH を測定する。 $H = U + pV$ であり、 U 、 p および V はそれぞれ系の内部エネルギー、圧力および体積である。 $U = K + P$ であり、 K および P はそれぞれ運動エネルギーおよび位置エネルギーである。 P の時間依存性および温度依存性より、シミュレーションによってガラス転移が再現できていると推測された。ガラス転移によってオキシ・ミオグロビンの構造は大きく変化しなかった(発表2)。

5. 今後の計画

今後、ATPのオキシ・ミオグロビンのメト化抑制能の分子機構についてさらに検討し

たい。また、氷結晶におけるオキシ・ミオグロビンの挙動についても明らかにしたい。

6. 研究成果の発表

口頭発表を以下のとおり行った。

1. Ozawa H, Ochiai Y. The simulated interaction between myoglobin and ATP. The East Asia Fisheries Technologists Association. 2021. Best Oral Award 受賞
2. 小澤秀夫, 落合芳博. 魚類ミオグロビンと生体内小分子の相互作用に関する分子動力学シミュレーション. 令和3年度水産利用関係研究開発推進会議・研究会

トビヘビが安定して滑空・着地できるメカニズムの流体力学的検証

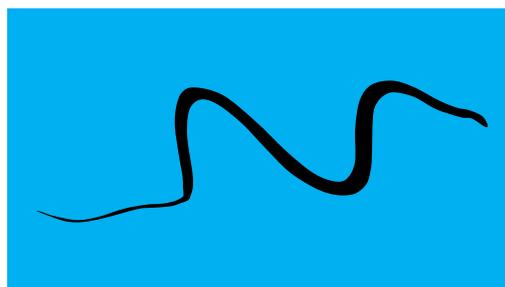
機械工学科 中根一朗

1. 研究の目的

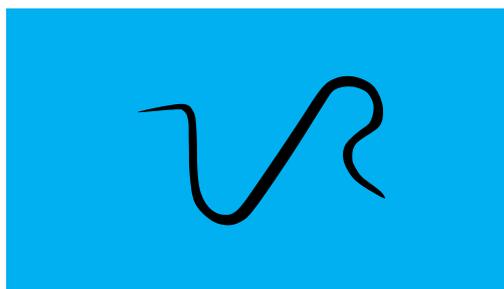
今日、生物規範工学、バイオミメティクス（生物模倣工学）の研究は非常に注目されている。生物の持つ優れた形態や構造、機能やシステムなどを模倣することで、新しいテクノロジーを生み出し、技術革新と新たな産業展開をもたらすと考えられるからである。この観点から注目されている生物の1つがヘビである。ヘビは、地面、水面を問わずに移動でき、さらに、木に登ることも、非常に狭い場所に侵入することも可能である。このため、探索救助活動や配管検査等のロボットとして実用化が期待されている。さらに同じヘビでも、近年着目されているのがトビヘビであり、滑空索状移動体としての工学的応用が望まれている。しかしながら、その滑空メカニズムは未だ明らかにされていない。特にトビヘビの場合、他の滑空する生物、例えばムササビやトビトカゲのように、明確に翼の代替となる身体部位を持っておらず、しかも滑空時に安定して姿勢を保てるような身体形状とも思えない。そこで本研究では、トビヘビが安定滑空して安全に着地できるメカニズムを流体力学的に検証する。

飛翔体が滑空するためには、揚力を発生する機構を有していることが大前提となる。トビヘビの滑空を研究している Socha⁽¹⁾によると、トビヘビは肋骨を広げることによって、丸い胴体を蒲鉾状に変形させ、さらに図1に示す通り、陸上や水面を移動する場合と同様に身体をくねらせて滑空する。このように胴体を蒲鉾状にすることで、上面と下面の流れが非対称となり揚力が作用する。しかしながら、トビヘビのような索状物体の場合には揚力を発生させるメカニズムを有しているからと言って、安定滑空できる訳ではない。滑空するためには、ピッチング、ローリング、ヨーイングの各回転方向に対する安定性が必要となるが、どのようなメカニズムでトビヘビがこれを安定させているかが問題となる。特にトビヘビの滑空では、くねらせた身体が進行方向に並ぶため、後方の部位に発生する流体力は前方部位の影響を受ける。このように、複雑な流体力発生させながらも、失速すること無くトビヘビは滑空する。

そこで、この滑空安定性を明らかにするための第一歩として、まず、ピッチング安定性に着目し、2次元モデルでの検証を行った。本報告では、2次元胴体モデルによる風洞実験・数値シミュレーション結果と、これらの結果により得られた滑空挙動に関する知見を報告する。



(a) 多く見受けられる胴体をS字状にくねらせた滑空姿勢



(b) 滑空後半で見受けられる胴体を一文字にした滑空姿勢

図1 トビヘビの滑空姿勢

2. 研究の必要性及び従来の研究

前記した通り、ヘビ型ロボットは自由度が非常に高いことから、探索救助活動や配管検査等のロボットとして実用化が期待されている。なお、従来より研究されているヘビ型ロボットは、地上での使用を想定している物が殆どであるが、従来の機能に空中滑空の機能を加えることを可能とすれば、もともと高い自由度がさらに飛躍的に高くなる。このため、近年、主にヴァージニア工科大学の Socha lab. においてトビヘビの研究が行われている。そして、やはり前記した通り、彼らの研究により、肋骨を広げて丸い胴体を蒲鉾状に変形させることでトビヘビが揚力を発生させていることが明らかとなった。加えて、彼らは、身体をくねらせたり尻尾を振ることで滑空安定性を得ていると報告している。ただし、滑空安定性に関しては、未だ明らかになっていないことも多く、例えば、トビヘビが殆ど身体をくねらせることなく滑空する場面も時折見受けられる。従って、我々は、身体をくねらせることなく、僅かな体重移動により、ほぼ自律安定してトビヘビは滑空出来るものと考えており、本研究はこの可能性を確認するための基礎研究にあたる。

3. 期待される効果

上記した通り、我々は、トビヘビが身体をくねらせ無くとも、ほぼ自律安定して滑空出来るものと考えている。そして、このメカニズムが明らかになった場合、ヘビ型ロボットに関わらず、索状物体に滑空機能を付与することが著しく簡単になることが期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

Holden ら⁽²⁾が示したトビヘビ滑空時の断面形状を基にして、トビヘビの2次元胴体モデルを3Dプリンターで作製した。作製したモデルの断面形状を図2と3に示す。同図より分かる通り、作製したのは、弦長 $C=110\text{mm}$ と 55mm の2種類の2次元胴体モデルである。ここで、図2の $C=110\text{mm}$ のモデルは、図1(b)に示した滑空姿勢を模した2次元胴体単独のモデルであり、図3の $C=55\text{mm}$ のモデルは2個の胴体モデルの重心間を $6.2C(=341\text{mm})$ だけ離してタンデム配置としたものであり、図1(a)に示した滑空時のS字形状のトビヘビの胴体のうねりを2次元でモデル化したものである。これ以降、単独に配置した胴体モデルを「単独モデル」、タンデムに配置した胴体モデルを「タンデムモデル」と呼称する。なお、実際のトビヘビの弦長は、Socha ら⁽¹⁾の計測によると 22mm 程度とされている。従って作製したモデルは、2.5倍と5倍スケールとなるが、これは加工精度と計測精度を担保するためである。

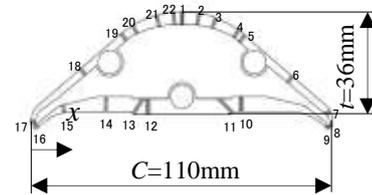


図2 単独モデルの断面図

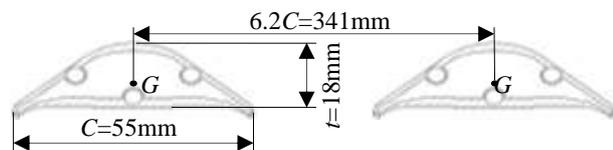


図3 タンデムモデルの断面図

これらの作製した胴体モデルを6分力天秤に取り付け、回流風洞中に置くことで、迎角 α に対して変化する揚力 L 、抗力 D 、ピッチングモーメント M を計測した。加えて、単独モデルでは、迎角 α に対して変化する表面圧力 P を計測するとともに、可視化計測も行った。

さらに、Ansysにより、単独モデルとタンデムモデル両方の数値計算も行った。なお、計測と数値計算の何れにおいても、迎角 α は $-15^\circ \sim 90^\circ$ の間で 3° おきに変化させている。ただ

し、レイノルズ数 Re は、単独モデルとタンデムモデルで異なっており、単独モデルでは $Re=7.53 \times 10^4$ としたが、タンデムモデルでは、 $Re=3.01 \times 10^4$ 、 $Re=6.05 \times 10^4$ の 2 通りとした。なお、Socha ら⁽¹⁾の計測によるトビヘビ滑空時の平均最大速度から算出されるレイノルズ数は $Re=1.51 \times 10^4$ であるが、前記した通り、本研究ではモデルの作製精度、計測精度を鑑み、オーダーが変わらない範囲内でレイノルズ数を大きくしている。

これらの計測と数値計算により得られた揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D 、ピッチングモーメント係数 C_M の迎角 α に対する分布を、図 4 と 5 に示す。図 4、5 のどちらにおいても計測結果と数値計算結果は比較的よく一致している。ただし、図 4、5 で若干の違いが有る部分は共通であり、 0° 近辺の C_L と、 45° 以上の C_L 、 C_D である。また、この違いの原因も共通であり、数値計算を 2 次元で行っているためである。カルマン渦のように放出される交互渦では 3 次元構造も問題となり、2 次元の計算では定在的な渦の状態が安定し易くなる。このため、例えば図 6 のモデル表面の圧力係数分布から分かる通り、実験においても、再循環流が定在する $\alpha=-15^\circ$ 、再循環流が発生しない $\alpha=30^\circ$ の上面の $x/C < 0.3$ の領域、 $\alpha=30^\circ$ の下面、 $\alpha=75^\circ$ の下面では、実験結果と計算結果は良く一致している。なお、加速時には再循環流の 2 次元性の維持が促進されることから⁽³⁾、トビヘビの滑空を対象としている本研究では 2 次元で計算を行った。

次に、タンデム配置した 2 次元モデルにより、トビヘビの滑空挙動を検討する。そこで、滑空の運動方程式において必要となる C_L 、 C_D 、 C_M は図 5 中の近似関数を用いて決定し、時間進行により加速度、速度、移動距離を算出した。1 例

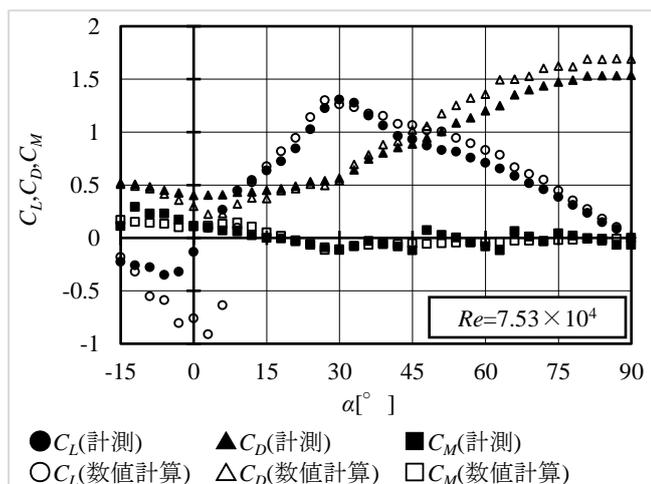


図 4 計測と数値計算による各係数の比較(単独モデル)

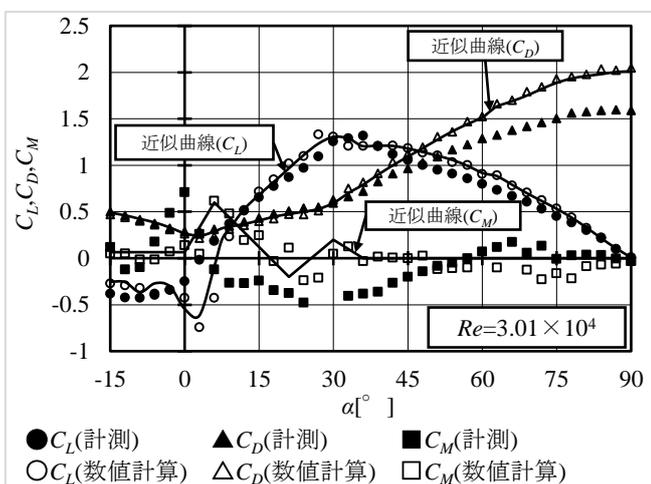


図 5 計測と数値計算による各係数の比較(タンデムモデル)

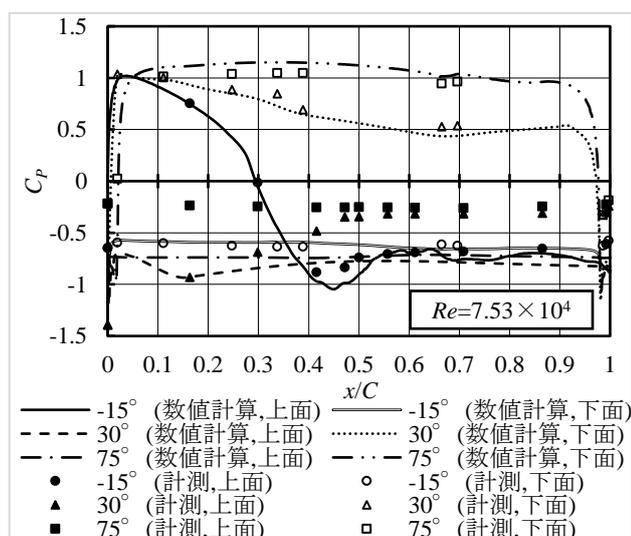


図 6 計測と数値計算による単独モデル表面圧力係数分布

を図7に示す。この結果での翼面荷重と弦長は、Socha⁽¹⁾らの計測結果に基づき、それぞれ 20N/m^2 と 20mm としている。また、 C_M に関しては、後翼に対する前翼の影響が無いと仮定した $C_M=0$ の場合も検討した。図7では、これにより得られた滑空軌跡を、Socha⁽¹⁾らの実際のトビヘビの滑空試験結果と比較している。同図より、図5に示した近似式を用いることで、飛び出し角 $\beta_i=0^\circ$ で水平に飛び出した後に安定滑空することが確認出来る。特にこの場合、落下距離が高くとも滑空比2.5程度で滑空し続けられ、終端速度も低く（落下方向： 1.9m/s ）着陸時のダメージも無いと予測される。一方、 $C_M=0$ の場合には β_i により軌跡が異なり、若干下向きに $\beta_i=15^\circ$ で飛び出した場合には安定して滑空するものの、水平に飛び出した場合 ($\beta_i=0^\circ$) には実際のトビヘビに比べて滑空比が小さく、水平方向への伸びもない。

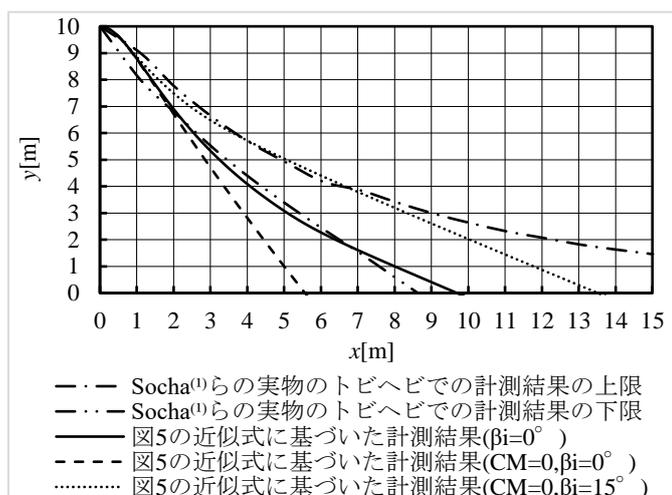


図7 数値計算結果を基にして算出したトビヘビの滑空軌跡

最後に、上記の結果等から得られた知見をまとめると以下となり、特にピッチングの自律安定性に対してトビヘビが高いポテンシャルを有していることが明らかとなった。

- (1) 胴体下部に窪みを形成することで同部に再循環流が発生し、水平に飛び出したトビヘビには頭下げのモーメントが作用する。これにより、重力を利用した加速が可能となる。
- (2) 迎角が 0° より大きくなるのに従い、ピッチングモーメントは正から負へと変化する。これにより、水平飛び出しと頭下げを経て、トビヘビは頭を上げて滑空に適した姿勢へと移行する。
- (3) 迎角が最大滑空比よりも大きくなると、ピッチングモーメントは大凡 0 となり、トビヘビ胴体に対する回転力が発生しない。ただし、ピッチングに対して自律安定するためには、ピッチングモーメントが 0 となるより前の最大滑空比近辺において、頭下げへと移行するモーメントの発生が必要であり、数値計算結果にはこの傾向が現れている。

5. 今後の計画

昨年度までの結果により、ピッチングに対して自律安定性する可能性が見出せた。そこで、本年度も引き続き計測と数値計算により、このメカニズムの検討を行う。さらに、実際に滑空可能な2次元モデルの作製と試験飛行を行い、この自律安定性を確認するとともに、ロール安定を検討するための3次元モデルの製作も行う。

6. 研究成果の発表

3月に日本航空宇宙学会への論文投稿を済ませており、現在、査読者からの質問に対する回答を作成中である。

参考文献

- (1) Socha, J. J., O'Dempsey, T. & LaBarbera, M., J. Exp. Biol. Vol. 208, pp.1817-1833 (2005)
- (2) Holden, D., etc., The J. of Expe. Biol., Vol. 217, pp.382-394 (2014)
- (3) 稲澤,他2名,機論(B編),Vol.73,No.727,pp.120-125(2007)

超高感度センサのための集積形光導波路デバイスの研究

研究者名：工学部 電気電子情報工学科 中津原 克己
工学部 電気電子情報工学科 小室 貴紀
創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 黄 啓新
工学部 電気電子情報工学科 工藤 嗣友
情報学部 情報工学科 木村 誠聡
健康医療科学部 管理栄養学科 澤井 淳

1. 研究の目的

本研究は、集積化に適した導波路形の光機能デバイスの研究・開発を目的とし、これにより、多種類の物質の一括検出や動作光の波長範囲が広い光センシング回路の実現が可能となる。開発する光機能デバイスとして、リング導波路共振器は導波路形センサアレイへの光の供給が可能となり、光スイッチは検出部分の選択が可能になる。また、光サーキュレータなどの光非相素子は、センサ素子からの反射戻り光の利用を可能とし、光集積回路の高機能化・小型化が可能となる。これらの導波路形の光機能デバイスの研究・開発により、超高感度センサの集積化に向けた知見を得ることができる。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、シリコンフォトニクスを中心に国内外で波長合分波器や光スイッチ、光変調器など、様々な光機能デバイスの集積化技術の研究が盛んに進められている。さらに、これらの導波路形光機能デバイスは、その機能性を活用し、通信分野だけでなく、センシング分野への応用展開も進められ、研究の重要性が年々高まってきている。

3. 期待される効果

本研究において、反応性DCスパッタリング装置 (SPS-280CW：昭和真空製) による導波路材料の高速成膜、また、電子ビーム描画装置 (CABL-9000：クレステック製) による微細パターンの形成の技術向上を行っている。さらに、走査型電子顕微鏡 (S-4700：日立製)、X線回折分析装置 (Xpert-PRO-MRD：PANalytical製) による評価の技術向上も図られている。これらにより、センサ分野での新たな要素技術の開発を促す研究として重要であり、さらに、センサデバイス等への応用展開だけでなく、マイクロリアクタ等の材料合成技術への貢献も期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

4.1 中空構造を有する水平スロット導波路の試作と導波実証

Nb₂O₅水平スロット導波路を用いたセンサ素子の動作実証に必要な鋭い波長特性を

実現するために、バーティカルグレーティングを有する水平スロット導波路の製作プロセスの検討を行ってきた。その研究過程の中で、バーティカルグレーティング領域内の SiO_2 を選択的にエッチングして中空構造を実現した素子の導波光を得ることに成功し、波長特性を測定した。図2に試作素子の電子顕微鏡(SEM)写真、図3に測定した波長特性を示す。図3(a)は中空スロット領域形成前の全区間 SiO_2 スロット導波路の波長特性であり、図3(b)は、バーティカルグレーティング領域内に中空スロット構造を形成した後の波長特性である。波長特性は中空スロット構造の形成前後で変化しており、阻止帯幅の変化と阻止帯域内に透過帯域が生じている。これは中空部分が形成されることによって、その部分の等価屈折率が変化し、位相差が生じたためであると考えられ、中空スロットの導波モードの伝搬が確認できたものと考えられる。

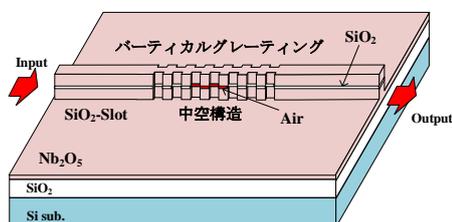


図 1. 側壁に周期構造を有する水平スロット導波路

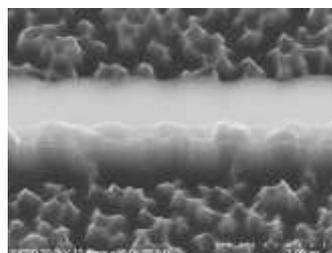
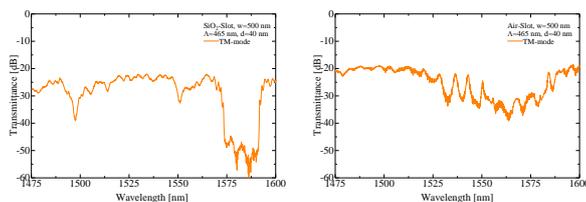


図 2. 周期構造を有する水平スロット導波路の SEM 写真



(a). 中空スロット形成前

(b). 中空スロット形成後

図 3. 中空スロット形成前後の波長特性

Nb_2O_5 水平スロット導波路の研究過程によって得られた知見をもとに、シリコンフォトニクスデバイスとの集積化に適し、デバイス設計の自由度を高める構造として期待される Nb_2O_5 -Siハイブリッド水平スロット導波路の試作を行った。図4に Nb_2O_5 -Siハイブリッド水平スロット導波路の概要図、図5に試作素子の電子顕微鏡写真を示す。

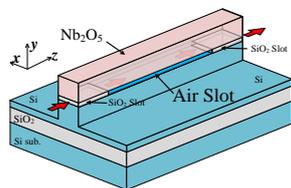


図 4. Nb_2O_5 -Si ハイブリッド水平スロット導波路

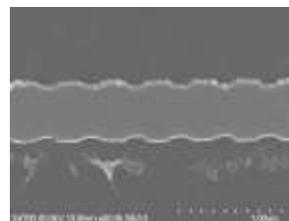


図 5. 試作素子の電子顕微鏡写真

4.2 リング導波路共振器の研究

多種類の物質の一括検出や動作光の波長範囲の拡大が可能な導波路形光センサデバイスに用いるリング導波路共振器の検討を行った。2020年度の成果をもとに微小な曲率半径を有するリング導波路共振器の形成条件の確立を図った。リング導波路共振器

の概要図を図6に、試作したリング導波路共振器の電子顕微鏡写真を図7に示す。図8に試作リング導波路共振器の波長特性を示す。試作したリング導波路共振器の光路長を反映した波長特性が得られた。この結果をもとに直列結合リング導波路共振器の理論解析とともに動作実証を目指した素子の試作を行っている。



図 6. Nb₂O₅ リング導波路共振器の概要図 図 7. 試作したリング導波路共振器の電子顕微鏡写真

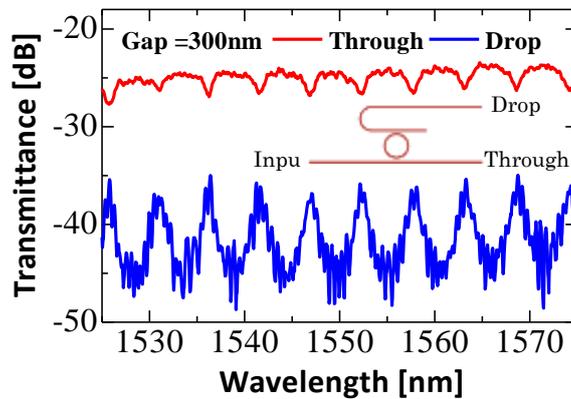


図 8. Nb₂O₅ リング共振器導波路の波長特性

4.3 導波路形光非相反デバイスの研究

本研究では、モードコンバータを用いずにTE-modeで動作するディスク共振器形光アイソレータを提案し、実現に向けた基礎研究を開始した。図9(a)に光アイソレータのベースとなるマイクロディスク共振器の概要図を示す。曲率半径5[μm]、ディスクとバスラインとの間隔100[nm]としたTE-mode光の理論伝搬特性を9(b)、波長特性を図9(c)に示す。解析には、FDTD(Finite-Difference Time-Domain)法を用いた。図9(b)より、ディスクの外周部を光が伝搬しており、Drop portへの伝搬も確認できる。図9(c)の理論波長特性においてFSR(Free Spectral Range)は20.0[nm]であった。

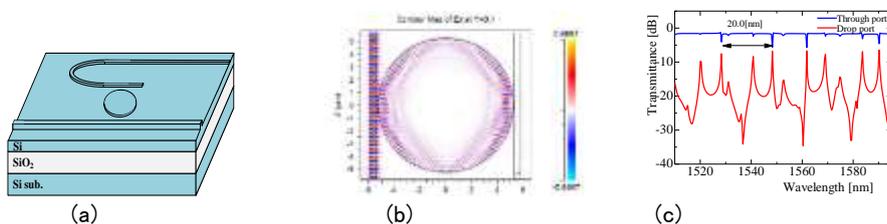


図 9. 光非相反デバイス用 Si 細線マッハ・ツェンダー干渉計導波路の概要図と理論解析結果

図10に試作したSiディスク共振器の電子顕微鏡写真を示す。図11に試作ディスク導波路共振器の波長特性を示す。ディスク共振器上部をAirクラッドの状態で測定を行い、ディスク共振器の特徴である周期的な共振特性を得られた。実験結果でのFSRは21.3[nm]であった。

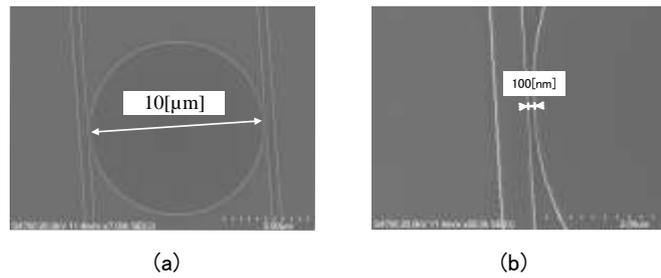


図 10. 試作ディスク導波路共振器の電子顕微鏡写真:(a)ディスク全体写真, (b)直線導波路との結合部分拡大写真

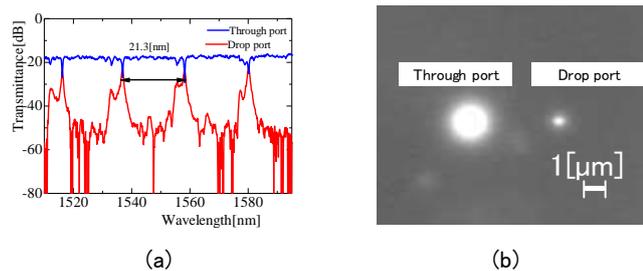


図 11. 光非相反デバイス用ディスク導波路共振器の導波特性結果:(a)波長特性, (b)近視野像

5. 今後の計画

光スイッチ、リング導波路共振器、光サーキュレータなど、高機能光センシング回路に必要な基本要素デバイスの動作実証および性能向上を図り、水平スロット導波路を用いたセンサ素子との集積化技術の確立を図る。特に光の伝搬方向に依存した非相反特性を有する光サーキュレータや光アイソレータなどの光非相反デバイスを集積化可能な導波路形で実現することにより、従来にはない小型なセンシング回路が創出される。また、低消費電力で動作する光スイッチや可変のリング導波路共振器を開発し、機会学習用光回路や量子情報通信に適用可能な集積型の量子光学回路の実現に向けて検討を行う。

6. 研究成果の発表

- (1) 沢柳直希, 端山喜紀, 勝俣直也, 中田竜輔, 島村優, 中津原克己, 武田正行, “TEモード動作光アイソレータのためのディスク共振器の製作”, Photonic Device Workshop 2021, A-6, (2021).
- (2) 中田竜輔, 端山喜紀, 中津原克己, 武田正行, “可変波長フィルタのための Nb_2O_5 を用いたリング導波路の検討”, 第82回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-N103-1, (2021).
- (3) 沢柳直希, 端山喜紀, 勝俣直也, 中田竜輔, 中津原克己, 武田正行, “ディスク共振器構造を用いた光アイソレータの提案”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, SP-6, (2021).
- (4) 竹下樹, 勝俣直也, 端山喜紀, 沢柳直希, 土方麻央, 中津原克己, 武田正行, “Si導波路上Ce:YIG結晶化の検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, RP-10, (2021).
- (5) 内橋一貴, 端山喜紀, 中津原克己, 大日向生成, 品川悦毅, “機能性有機材料を用いた導波路形光スイッチの基礎的検討”, 電子情報通信学会 OPE6月研究会, RP-3, (2021).

授業形態や災害時のニーズに的確な ICT 環境を提供する
適応型ネットワーク制御技術研

研究者名： 情報ネットワークコミュニケーション学科 瀬林克啓

1. 研究の目的

現在、物理的な ICT インフラ（コンピュータとネットワーク）の上に、論理的に独立した仮想 ICT 環境を自動構築構築する技術が進展している、例えば、大学においては、基盤となる共通 ICT インフラの上に授業毎に異なる要求条件を満足する仮想 ICT 環境を構築することが可能となりつつある。しかしながら、使用者のニーズは時系列的に変化するために、構築時の想定通りに使用者の満足が得られるとは限らず、また、一度構築された仮想 ICT 環境を使用者の満足を得られるように制御することも困難である。本研究は、仮想 ICT 環境からリアルタイムに収集した使用状況や使用者の端末操作、学生の課題の進捗度などの多元的な情報から使用者のニーズを把握し、仮想 ICT 環境を適応的に制御するネットワーク制御技術の確立を目指す。更に、複数の仮想 ICT 環境から収集した多元的な情報から、類似用途の仮想 ICT 環境のネットワークの構成・制御に繋がる“集合知”を導出する技術と、その“集合知”を用いたネットワーク制御アーキテクチャの実現を目指す。

2. 研究の必要性及び従来の研究

社会のいたるところで、ネットワークとクラウド内のコンピュータリソース構成される ICT インフラが不可欠なものとなっている。しかしながら、企業、公官庁、教育機関等の一般組織では担当業務毎に ICT 環境に対する要求条件が異なるため、共通的な ICT インフラで全ての要求を満たすことは困難である。例えば、大学などの教育機関においては、同じ教室用いて特性の異なる多様な科目の授業を実施する。しかし、現在は一律な学内教育用の共通 ICT インフラを用いて実施されるため、全ての授業において、必ずしも学生にとって快適な ICT 環境が提供されているとは限らない。また、教師にとっても授業内容が共通 ICT インフラに制約される場合もある。

これら、用途に応じた ICT 環境の必要性は、大学ばかりでなく、企業、公官庁や自治体等でも同様である。さらに、近年増加している災害時には、教育機関や自治体の施設が避難所などの防災拠点としての役割を果たす。このため、これらの施設では災害時には、平時とは異なり、自治体、災害対策組織、住民間での情報共有のための ICT 環境が必要となる。

このような多様な要求を満たす個別の ICT 環境を、共通 ICT インフラ上に仮想ネットワークと仮想サーバを用いた仮想 ICT 環境として構成する技術として、ネットワーク

仮想化技術やサーバ仮想化技術があり、既に多くのネットワーク機器やサーバ OS に仮想化機能として搭載されている。

さらに、設定内容記述に基づいて仮想ネットワークの構成制御するソフトウェア定義ネットワーク (SDN: Software Defined Network) 技術や仮想サーバの構成を制御するクラウド技術が進展しており、メーカーとオープンソースコミュニティが連携して、それら制御ソフトウェアである SDN コントローラやクラウドコントローラの開発も進んでいる。

しかしながら、これらの技術を活用するには、経験豊富な技術者による機器の設定が必要であるが、企業、公官庁、教育機関等の一般組織ではそのような技術者の確保が難しく、これらの技術の適用先は、現在のところ、クラウドサービスを提供する ICT 事業者等の大規模ネットワークに限られており、経験豊富な技術者の確保が難しい。

更に、レディメイドのサービスを提供する事業者とは異なり、企業、公官庁、教育機関等の一般組織の仮想 ICT 環境は、担当業務毎に要求条件が異なり、同じ業務でも時間により繁閑の差があり、更に災害時の対応などは通常時とは大きく異なるなど、多様性の点で事業者の仮想 ICT 環境とは大きく異なる。このような多様性のある”オーダーメイド“の仮想 ICT 環境を構築し、更に時系列的に変化する使用者のニーズに適応的に制御することは、既存の仮想 ICT 環境技術の範囲では困難である。

以上のように、今後、企業、公官庁、教育機関等の一般組織において、仮想 ICT 環境を活用していくためには、経験豊富な技術者を必要とせず、ユーザ視点での多様な要求を満足させる仮想 ICT 環境の制御技術が必要である。

3. 期待される効果

本研究は、使用者の“満足度”という「使用者コミュニティの視点」で仮想 ICT 環境を適応的に制御しようとする点が、これまでのコストや稼働など「運用者の視点」の研究と異なる。

また、本研究は、運用者の経験やノウハウが乏しい一般組織の ICT インフラを対象としており、これまで運用経験やノウハウを有する ICT 事業者等の大規模ネットワークを主体に進展してきた仮想 ICT 環境技術に、新たな進展の方向を提示するものである。

本研究では、仮想 ICT 環境から得られるネットワーク機器やサーバの個々の使用状況に加え、使用者端末のログやトラフィック測定装置からのモニタリング、SNS 等の発信メッセージ等の多角的な情報から使用者コミュニティのニーズを把握する「“多角的リアルタイムモニタリング”に基づく仮想 ICT 環境の制御」機能、更には、複数の仮想 ICT 環境の“多角的リアルタイムモニタリング”に基づく制御事例を蓄積し、類似用途の仮想 ICT 環境の構成・制御に繋がる“集合知”を導出する技術とその「“集合知”を用いた仮想 ICT 環境の制御」機能を特徴とする仮想 ICT 環境制御アーキテクチャを提案する。

“多元的リアルタイムモニタリング”では、個々の使用者の端末から得られる攻撃検知やウイルス検出等のセキュリティログ，ネットワーク測定装置からの使用者毎のトラフィックログ，端末操作ログやから得られる端末での繰り返し操作やデータ再送の量，SNS 等のクレームのつぶやきなどから使用者コミュニティの“満足度”を推定し可視化する機能を実現する。

更に，使用者の満足度とネットワーク機器やサーバの個々の稼働状況との相関から，設定変更が必要な制御対象を特定し，仮想 ICT 環境の設定内容記述を変更する機能を実現する。

次に，複数の仮想 ICT 環境 “多元的リアルタイムモニタリング” の情報とその時の設定変更内容を事例として蓄積し，そこから類似用途の仮想 ICT 環境の構成・制御に繋がる“集合知”を導出する機能を実現する。さらに，この“集合知”を用いて，仮想 ICT 環境の設定内容記述を変更する機能を実現する。

以上により，運用者の経験やノウハウが乏しく、且つ、担当業務毎に要求条件が異なり、同じ業務でも時間により繁閑の差があり，更に災害時の対応などは通常時とは大きく異なるなど，多様性の点で事業者の仮想 ICT 環境とは大きく異なる企業，公官庁，教育機関等の一般組織の ICT インフラにおいて、使用者の満足を得られる仮想 ICT 環境を提供できるようになることが期待できる。

4. 研究の経過及び結果・評価

次年度も対面授業とオンライン授業の混在が予想されることから，Zoom でのオンライン授業と無線 LAN 環境を使用した対面授業をケーススタディとして，以下の検討を進めた。

① “多元的リアルタイムモニタリング”に基づく仮想 ICT 環境の制御」機能の検討

(ア) “多元的リアルタイムモニタリング”機能の検討

・使用者の“満足度”と相関がある項目を抽出し，満足度を推定・可視化するプロトタイプの作成と評価のため，昨年度構築した Zoom トラフィックデータ収集環境に加え，対面授業を対象に，集中管理型無線 LAN でのトラフィックデータの収集を行った。

(イ) 仮想 ICT 環境の設定内容記述を変更する機能の検討

・特定された対象機器に対する設定記述を作成し，元の設定記述から変更する機能のプロトタイプの作成・評価のため，ネットワーク機器やサーバの使用状況との相関から，調整が必要な制御対象と設定パラメータを特定する手法を検討した。

5. 今後の計画

本研究の一部である“多元的リアルタイムモニタリング”を発展させた研究が，科研費令和 4(2022)年度基盤研究 (C)「インシデントの事後解析を可能にする実ネットワーク異常事象再現技術の研究」として採択された。今後は，“多元的リアルタイムモ

ニタリング”技術を科研費における事象再現のための事象保存技術として活用しつつ、本研究においては、以下の検討を進める。

① “多元的リアルタイムモニタリング”に基づく仮想 ICT 環境の制御」機能の検討

(ア)多元的リアルタイムモニタリング”機能の検討

・収集したトラヒックデータから、使用者の“満足度”と相関がある項目を抽出し、満足度を推定・可視化するプロトタイプを作成・評価。

(イ)仮想 ICT 環境の設定内容記述を変更する機能の検討

・特定された対象機器に対する設定記述を作成し、元の設定記述から変更する機能のプロトタイプを作成・評価。

② “集合知”を用いた仮想 ICT 環境の制御」機能の検討

(ア)集合知”を用いた導出機能の検討

・“多元的リアルタイムモニタリング”の情報とその時の設定変更内容を事例として蓄積するためのデータ形式についての検討。

・蓄積された事例の中から、類似の事例を抽出し、“集合知”を導出する手法の検討。

(イ)仮想 ICT 環境の設定内容記述を生成する機能の検討

・仮想 ICT 環境の要求条件と設定記述を蓄積するデータ形式を検討し、類似の要求条件の過去の設定記述を検索できるシステムのプロトタイプを作成・評価。

・要求条件と過去の設定記述との差異を“集合知”で補完し、新たな設定記述を作成する手法の検討。

6. 研究成果の発表

樋口駿，鈴木登也，岡本李輝，瀬林克啓，丸山充，西村広光，松本一教，“学生と取り組んだ新 ICT 基盤の導入支援と無線環境調査”，IT を活用した教育研究シンポジウム 2021，神奈川工科大学，2022. 3. 10.

丸山 充，瀬林克啓，君山博之，青木弘太，小島一成，漆谷重雄，栗本 崇，河合栄治，大槻英樹，小林和真，“[招待講演] エッジとクラウドの連携による 8K 超高精細映像処理システムの実現”，信学技報，vol. 121，no. 421，CQ2021-121，pp. 118-123，2022 年 3 月.

岩崎昂大，瀬林克啓，丸山 充，小原泰弘，栗本 崇，漆谷重雄，“NFV による大容量映像配信システムの高度化の提案”，信学会 2022 総合大会，B-7-6，2022. 3. 15.

伊藤悠真，青木弘太，樋口 駿，瀬林克啓，丸山 充，“映像の安定配信を目指した動的なトラヒックモニタリングの検討”，信学会 2022 総合大会，ISS-P-042，2022. 3. 15.

導電テープテザー展開機構の折り畳み収容手法と展開特性に関する研究

研究者名：工学部機械工学科	渡部 武夫
〃	小机 わかえ
〃	水野 敏広
創造工学部	
ロボット・メカトロニクス学科	吉野 和芳
大阪府立大学・客員教授	大久保 博志
宇宙航空研究開発機構(JAXA)	
研究開発部門第二研究ユニット	河本 聡美

1. 研究の目的

研究代表者らの研究グループは、軌道上でのミッションを終えた人工衛星やロケット上段などを有用な軌道上から処理する、デブリ化防止策として、導電性テザー推進を用いた軌道変換デバイスの開発研究に取り組んできた。これは、テープ状の導電性テザーを折り畳んで収納したものを人工衛星に搭載し、衛星の運用終了後に展開することにより、地球磁場との相互作用や空気抵抗を利用して、搭載衛星の軌道を変換し軌道上から処理することを目指すものである。

本研究では、コロナ禍における活動制限など、内外の状況の変化に対応し、当初計画していた内容を一部修正、変更し研究を実施した。当初計画していた航空機実験に代わり代替実験を実施するものとし、代替実験にはJAXA調布航空宇宙センターの宇宙ロボット運動模擬装置により微小重力環境を模擬した実験を実施し、同時に学内の実験設備で実施可能な引張試験により取得できる実験データの充実を図ることにより、今後の数値シミュレーションの高精度化に資する基礎データの取得を目的とした。

2. 研究の必要性及び従来の研究

宇宙デブリ問題は、宇宙という新しいフィールドにおけるあらたな「環境問題」であり、これを解決／緩和することを目指す技術は、将来の人類の宇宙開発事業を維持するために不可欠な取り組みとなりうる。本研究で開発と性能向上を目指すデブリ処理デバイスには、軌道上での安全かつ安定した作動が求められ、また、シンプル、コンパクトかつ高効率にデザインされなければならない。それらを満たすため、導電性テザー(EDT)推進技術を用いたデバイスを考案し、そのテザーには導電性テープテザー、展開機構には折り畳み型をそれぞれ検討して基礎研究を行ってきた。テープテザーの素材には、導電性、収納性、展開性にすぐれた薄膜フィルムテザーを検討しており、折り畳んだ時の収納性能や折癖、製作時のハンドリング性に加え、打ち上げ時の振動環境で破損など不具合が起きないようにすることなどが研究テーマとなりうる。

「分離・展開」および「伸展」においては、基本的には回転中心力場での非線形ダイナミクスと分類されるが、宇宙機の姿勢運動問題と弾性および塑性変形を伴う材料・構造力学的問題などの複数の学術的領域にまたがる力学問題として取り組まなければならない。特に展開挙動の把握が肝要で、展開途中では非常に巨大でかつ非常に弱いばねとしてふるまうことが予想され、展開時の抵抗や伸展制御も課題となる。しかしながら、宇宙での実機での実験的実証は難しく、数値シミュレーションに頼る必要がある一方で、採用すべきパラメータの同定が困難であり、シミュレーション性能を高めるためには事前の地上実験から得られる情報が非常に重要になる。

3. 期待される効果

本研究で実施する一連の実験的検討により、2次元運動に限定はされるものの、テザー展開終了時のエンドマスの挙動特性を捉え、展開フェーズにおける信頼性を高めるための知見を得ることが期待できる。また、引張試験の試験データ数が増えることも含め、シミュレーションの高度化、高精度化を経て、不安定現象の事前予測、評価、対策の検討が可能になり、システム的设计や運用法のブラッシュアップにフィードバックできることも期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

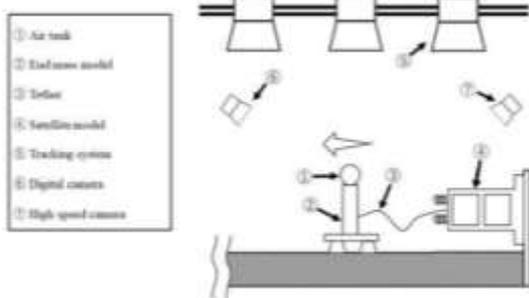


図1 実験概要図

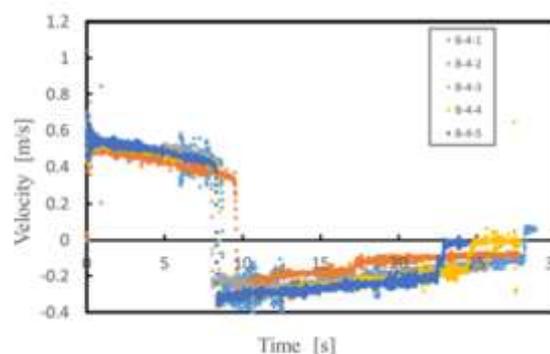


図2 実験結果の一例（展開速度履歴）

今回の地上実験では、石定盤上で浮上装置、エンドマスモデルを浮上させ放出機構から放出し分離し、エンドマスの放出時と跳ね返り時をハイスピードカメラを用いて撮影した。また、トラッキングシステムを用いてエンドマスモデルの三次元計測を行った。試験概要図を図1に示す。また、図2に展開実験結果の例を示す ブレーキ機構が適切に作用した場合には、全長展開後の跳ね返り運動の抑制が見込めるとなどが実験的に示された。

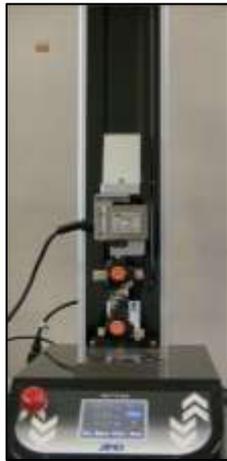


図3 引張試験機

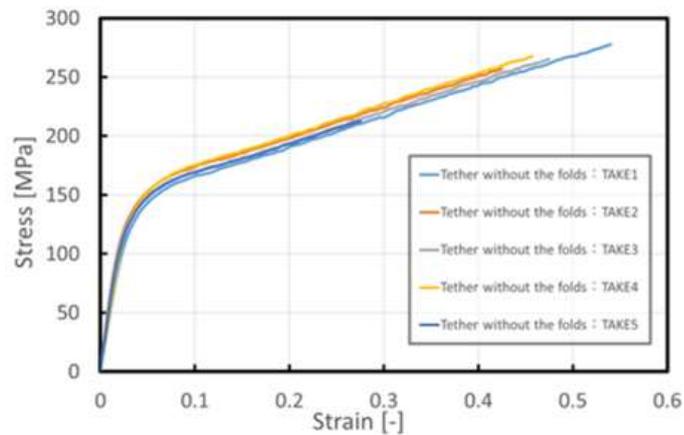


図4 引張試験結果例

今期、継続して実施した引張試験については、図3に示す卓上型引張圧縮試験機（フォーステスターMCT-2150）を使用した。また、図4に結果の応力ひずみ線図の一例を示す。様々な条件のテープテザーについて引張試験を繰り返すことにより、引張変形や破断の特性についての多くの知見を得ることができた。

5. 今後の計画

研究代表者の研究活動方針の見直しなどを含む諸事情により、本研究代表者による当該テーマの研究活動ならびに関連する研究テーマはこれをもっていったん終了とすることとなった。当初、全体計画2年として提案した学内研究資金配分の研究活動も、継続申請をせず今期の1年目にて終了することとした。今後はここまでの一連の成果を総括し、まとめることなどにも取り組みたい。

6. 研究成果の発表

本研究に関して、以下の学会等において成果の一部を発表した。

- [1]佐藤強, 渡部武夫, 杉本泰都, 目黒楓, 赤星和輝, 河本聡美, 江川雄亮, 高尾知樹, 池間健仁, 岡島礼奈「EDT 向けテープテザーの特性評価」第 65 回宇宙科学技術連合講演会講演集、1H13、2021 年 11 月（オンライン開催）
- [2]杉本 泰都、渡部 武夫「損傷を有するテープテザーの力学特性評価」日本機械学会 関東学生会第 61 回学生員卒業研究発表講演会 1112、2022 年 3 月（オンライン開催）
- [3]赤星 和輝、目黒 楓、渡部 武夫「超小型人工衛星向け EDT におけるテープテザー伸展特性評価」日本機械学会 関東学生会第 61 回学生員卒業研究発表講演会 1115、2022 年 3 月（オンライン開催）

学ぶ楽しさを計量・共有する仮想教師を導入した 遠隔プログラミング教育システムの実現

研究者名：情報工学科 鷹野孝典

1. 研究の目的

本研究では、即応的な学習行動計量と指導立案を行う AI 型の仮想教師を導入したオンライン・プログラミング教育システムを実現し、プログラミング教育を実施する際に生じる諸問題の解決を図ることを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

初等教育にプログラミング学習の場では、学ぶ楽しさを共有することはプログラミング学習を動機付けるために重要である。従来研究では、協調フィルタリングや強化学習等の手法の適用により個々の学習者の学力にあった教育コンテンツ提供する教育システムについての研究が盛んである。しかし、学習者の学力を示す学習行動に加えて、学習過程において刻々と変化する「学ぶ楽しさ」や「気分」を表す学習行動を総体的に計量し、個々の学習者に対して最適な指導立案を算出する手法は確立していない。

3. 期待される効果

本研究により、小学校以降のプログラミング教育において、個々の生徒の学力だけでなく、感情特性に対応したプログラミング学習を支援することで、学習者の学ぶ際の楽しさをやる気に結び付け、プログラミング学習効率を増進することが期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

2021 年度は、学習者の感情を評価するために、デジタル情報の取得による感情変化モデルの提案を行った(図 1)。実験による評価については、若干遅れており、継続して行っている状況である。

提案モデルの特徴は、学習者の内部感情と外部情報によりもたらされる感情のギャップ計量を行うことで、学習者にとってネガティブに作用するデジタル情報の影響を強く考慮して感情評価を行う点にある。これにより、例えば、学習者が順調に理解をしているときにはあまり干渉せず、ストレスを感じる可能性があるときは対話を増やすといった制御が可能な AI 仮想教師の実現が可能となる。

図 2 は、疑似的に、学習者はあまり得意でない分野の 10 個のデジタル情報 d_1, d_2, \dots, d_{10} に対して、感情スコアを算出した例を示している。ここで、各デジタル情報は、簡単な内容の場合には学習者に positive な感情を与え、難しい内容の場合に negative な感情を与え

ると仮定する。この仮定において、 d_1, d_2, \dots, d_{10} は学習者に対して、それぞれ positive, negative, positive, negative, negative, positive, negative, positive, positive, negative な感情を与えるものとする。図 2 で、点線のグラフは、学習者のこの分野が苦手であるという内部感情 (= negative) とのギャップを表している。提案モデルでは、このギャップを考慮することで、学習者の感情スコアを算出する (図 2 実線グラフ)。図 2 において、感情スコアのグラフは、学習者は苦手な分野に取り組んでいる場合に、さらに難しい情報を取得することでストレスが強まっている様子を表している。

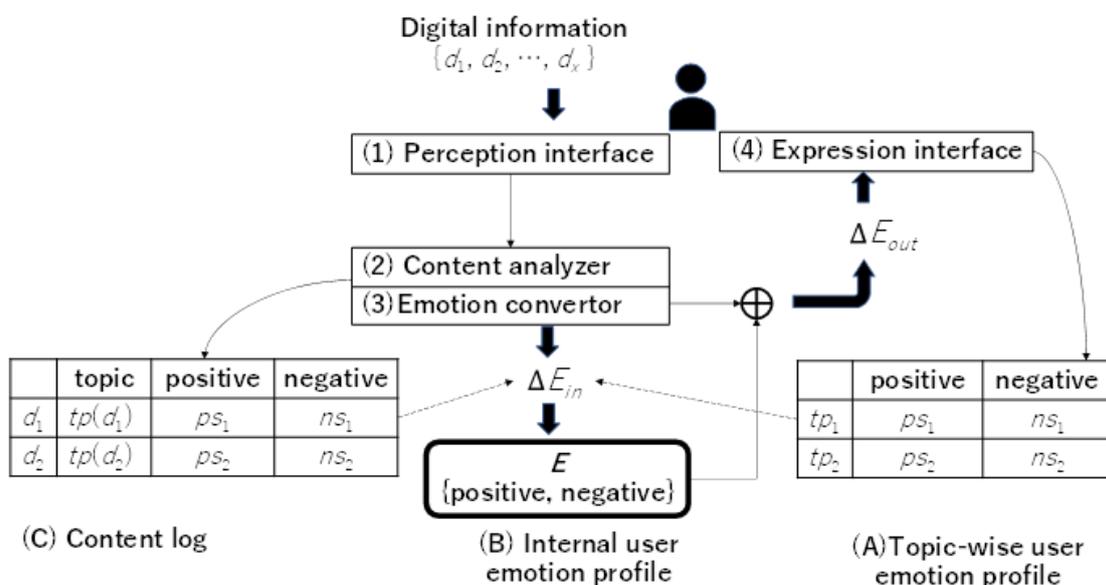


図 1. デジタル情報の取得による感情変化モデル

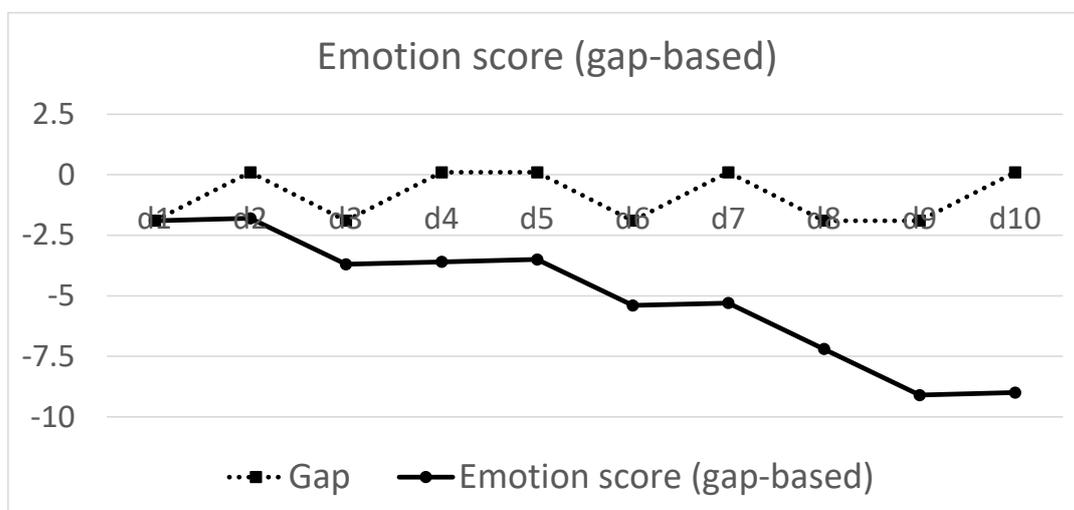


図 2. 感情スコアの算出例

5. 今後の計画

本感情変化モデルに基づいて、AI 型仮想教師の対話機能およびアバター機能を設計・開発し、学習者の感情評価に基づいた AI 型仮想教師を実現していく。

6. 研究成果の発表

[1] Yusuke Yoshida, Kana Masuda, Kosuke Takano, Kin Fun Li, User's Emotion Profiling in Web Browsing Behavior, The 14th International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS-2022), 2022. (2022 年 9 月発表予定)