

---

---

# 人工知能・IoT 研究部門

2020 年度活動サマリー・研究成果・業績リスト

## 人工知能・IoT 研究部門

| (部門長)    |   | (部門研究員)   |
|----------|---|-----------|
| 山田哲靖 教授  | ⋮ | 広瀬啓雄 教授   |
| (副部門長)   | ⋮ | 木通秀樹 客員教授 |
| 土屋 健 准教授 | ⋮ | 水野秀之 教授   |
|          | ⋮ | 橋本幸二郎 講師  |

## 人工知能・IoT 研究部門活動サマリー

### 1. 基本方針

- ① 人工知能・IoT 技術をシーズとし、地域を中心とした企業や自治体の抱える課題への応用的適用の研究を進める。研究については、研究部門内で協力して進めるとともに、他の研究部門・研究室との協力を図る。
- ② AI 研究に関する人的・物的リソースを確保する。
  - AI 研究会にて、学内教員の相互研鑽を進めるとともに、外部講師を招いての講演会や、対外的な講演会を企画する。
  - AI ラボとして、部屋と設備を用意し、学内および外部企業との研究に活用する。
  - AI クラウドとして、AI 計算リソースを保有し、学内外に提供する。
  - 学生、特に AI サークルのメンバを指導するとともに、学生アルバイトとして部門の運営の一部を手伝わせることで、学生の教育と研究部門の要員確保を兼ねる。
- ③ 広報的なアピールとして、テレビ・新聞取材、見学、講演、講義ライブ等への対応を行う。

### 2. 2020 年度活動サマリー

#### 【1】高齢者の音声による情報取得支援に関する研究

高齢者の行動支援の一環として、一般に普及しつつある AI スピーカーのような音声を用いた情報把握の支援は期待されているが、高齢者にとっても内容を理解しやすい音声に関する研究はあまり行われていない。本研究では前年度に引き続き、高齢者にとって理解しやすい音声の生成方法の確立を目的として、高齢者が聞き取りやすいと評価する話者の音声（模範発話）と、一般人の読み上げ音声（読み上げ発話）の比較分析を行った。韻律的特徴の分析結果として、模範発話は声を高く上げて発話される場合もあり、読み上げ発話と反対の抑揚を付与して発話される場合があることがわかった。また話速については常に一定の速度を保つ傾向があることが確認できた。また、音響的特徴の分析結果として、模範発話は周波数成分の分布が読み上げ発話と異なること、また周波数成分の変動がすくなく安定した発話であることが確認できた。しかし、上記分析で対象とした音声は話者が異なるため、模範発話と読み上げ発話間の相対的な変動の差異は抽出可能であるが、絶対的な差異の有無や変化量の同定は不可能である。そのため、同一話者による高齢者を想定した発話と、特に聞き手を想定しない読み上げ発話の収集を行った。今後は、同一話者によるこれらの発話について比較分析を行う予定である。

#### 【2】歩行解析によるフレイルチェックに関する研究

地域の高齢者の健康状態の把握は地域医療において重要なテーマである。特にフレイルと言われる健康な状態と要介護状態の中間に位置し、身体的機能や認知機能の低下が見られる

状態の早期発見は介護予防の観点から極めて重要となる。本研究では Timed Up & Go Test と呼ばれる歩行開始から終了までの経過時間のみで状態を判断する簡易的な歩行機能テストにおいて、kinect を用いて歩行時の詳細な関節点データを取得し被験者の状態の把握、簡易的な診断を目的とするものである。今年度は、歩幅や歩足などの一般的な特徴以外にも高齢者の歩行において特異な変化が現れやすいと言われている両足が地面についている時間などいくつかの特徴の抽出方法について基礎検討を行った。検討の結果、ほとんどの特徴に関して抽出が可能であることが確認できた。今後は、抽出した特徴の精度の確認と精度の向上、正常、フレイル、異常の判別方法の検討を行う予定である。

### 【3】 Head Mounted Display を用いた作業支援システムの支援挙動自動生成アルゴリズムの開発

人中心の作業を担う中小企業において、少子高齢化に伴う人材不足が深刻な問題となっている。対して、Head Mounted Display(HMD) が作業を支援するツールとして注目を集めている。HMD は作業者の視界上にデジタル情報を重畳することができ、リアルタイムな情報教示が可能となる。それ故、適切なタイミングで適切な支援情報が提示されるよう設計することにより、初心者でも複雑な作業をこなすことが期待できる。

しかし、支援すべき作業の種類が多い場合、一つ一つの作業に対して支援挙動を設計する必要があり、設計者の負担は計り知れない。それ故、システムの支援挙動を自動設計できる技術が確立できれば、設計者の負担を軽減し、作業支援システムを構築することができる。

本研究では、ノート PC の修理作業を例に挙げる。計算機の修理を担う工場では、数十種類以上の計算機を扱う。そして、人材不足の影響により、その修理作業を一人で担う企業も存在する。この場合、作業には熟練が伴い、初心者には作業を任せることができない。それ故、HMD による作業支援システムは有効に働くと考えられるが、修理工程は何パターンも存在することから、上述した支援挙動設計の負担問題が浮上する。それ故、本研究では、ノート PC の修理作業を対象とした作業支援挙動の自動設計アルゴリズムを開発する。

## 【研究開発成果 (1)】

### 高齢者の音声による情報取得支援に関する研究

#### 1. 背景・目的

高齢者の音声による情報把握の支援については、これまで多くの補聴器などの音響系の研究が行われてきた一方で、高齢者にとって内容を理解しやすいような音声の特徴に関する研究はあまり行われていない。本研究では高齢者にとって聞き取りやすい音声の生成方法の確立を目的として、高齢者にとって聞き取りやすい音声の特徴を分析し、次に得られた特徴に基づいて文章全体または文章の一部の内容に応じて韻律の制御を行なう高齢者向けの韻律制御方式を実現することで高齢者の情報格差を補償することが期待できる。

## 2. 研究体制

本研究は NTT との共同研究で行われたものである。また一部の研究については科学研究費助成事業（課題番号：20K11869）に基づいて行った。

## 3. 今年度の研究成果

### 3.1 韻律的特徴に関する分析

呼気段落と呼気段落間での基本周波数と話速を模範発話と読み上げ発話で対比分析を行った。呼気段落単位の分析では、呼気段落内の基本周波数の最大値と最小値に求め分析を行った。また呼気段落内のモーラ長と時間長の比を話速とし、話速の分析を行なった。呼気段落間の分析では、呼気段落間での変動を求めめるため基本周波数と話速を呼気段落の前後での差分を求めた。また、呼気段落間の変化形状を比較するため2階差分を用いた分析も行なった。

#### 3.1.1 呼気段落単位での分析

##### ・ 基本周波数に関する分析結果

基本周波数の最大値に関して、図1に示す通り模範発話（Es）は読み上げ発話（Rs1-5）と比較して平均値が高く、分散が大きい結果となった。結果から、模範発話は読み上げ発話より呼気段落内で声の高さを平均より高く上げて発話される傾向があることがわかる。

##### ・ 話速に関する分析結果

分析結果を図2に示す。一名の読み上げ発話を除き、模範発話の話速の平均値と分散が最も低い結果となった。前述の平読み上げ発話の話者の発話後にインタビューでは「慎重に発話した」旨の回答があったことから、話速においては慎重な発話と同様な傾向があることがわかる。さらに、両発話間の相関関係を調べるために回帰分析を行った結果、全て

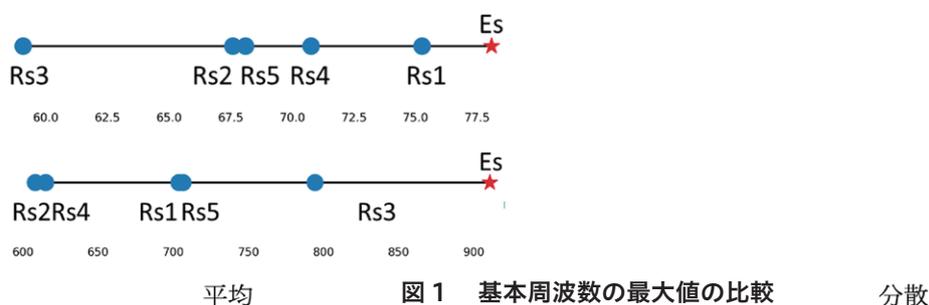


図1 基本周波数の最大値の比較

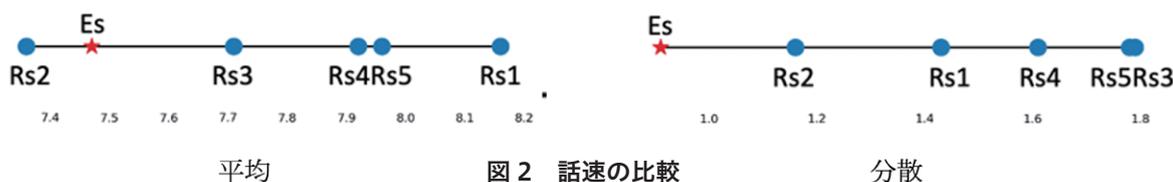


図2 話速の比較

の読み上げ発話において回帰直線の傾きが1未満となり、読み上げ発話で話速が速い呼気段落において模範発話では遅くなり、読み上げ発話で話速が遅い呼気段落において模範発話では速くなる傾向が確認された。模範発話は、緩急をつけず一定の話速で発話している傾向があると推測される。

### 3.1.2 呼気段落間での差異の分析

- ・呼気段落間での話速の差分に関する分析結果

呼気段落間の話速の差分の分散は前述の慎重な発話を行った1名の読み上げ発話を除き最小であることがわかった。この結果からも模範発話は慎重な発話と同じ傾向があることがわかる。

- ・呼気段落間での基本周波数の最大値の2階差分に関する分析結果

模範発話と読み上げ発話で基本周波数の最大値の変化形状が異なる現象が確認された。基本周波数の最大値では変化形状が異なる（2階差分値の正負と値が大きく異なる）ものが約7%であった一方で、変化形状が同一（正負も値も同じ）のものは約30%であった。残りの約60%は変化形状が同一とも異なるとも言えない（値の差が小さい）ものであった。結果から、発話の一部では一般的な読み上げ発話とは逆の抑揚で発話することでなんらかの強調や印象付けを行っている可能性があると考えられる。

## 3.2 音響的特徴に関する分析

### 3.2.1 分析方法

まず全話者の音声のメルフィルタバンク出力に対して主成分分析後 varimax 回転処理を施し3次元の主成分を抽出した。その後呼気段落単位で各主成分スコアの最大値を求め、模範発話の平均と分散について読み上げ発話と比較分析を行った。また、話者毎の呼気段落間での変動の差異を比較するため、各話者の音声に対して、前述の分析方法と同様に主成分を求めた後、話者毎に呼気段落間の各主成分スコアの最大値の1階差分と2階差分による比較も行った。ただし、本分析は明瞭性が比較的高く、聞き取りやすさに対する影響が大きい有声音区間に対してのみ行った。

### 3.2.2 呼気段落単位での分析

全話者の音声における第1主成分の最大値の平均の分析結果を図3に示す。Esは模範発話。Rs1~5は一般人5名の読み上げ発話を示す。図のとおり、模範発話Esはどの読み上げ発話よりも平均が高い。このような差異が発話スタイルと話者性のどちらによるものか断言はできないが、音声の有声部の主要な成分である第1主成分が大きな値をとることがあるという点から今回の比較で用いた話者の中では特異な声質であり聞き取りやすさに関連するものと考えられる。

### 3.2.3 呼気段落間での分析

第1主成分の最大値の2階差分の分析結果を図4に示す。図のとおり模範発話の平均、分

散ともに読み上げ発話よりも小さいことが確認できた。発話内容が同じであり 1 階差分においても特に差異が見られなかったことから、音響的に局所的な変化がないということが考えられ、模範発話は読み上げ発話と比較して安定した発話であることを示唆していると思われる。

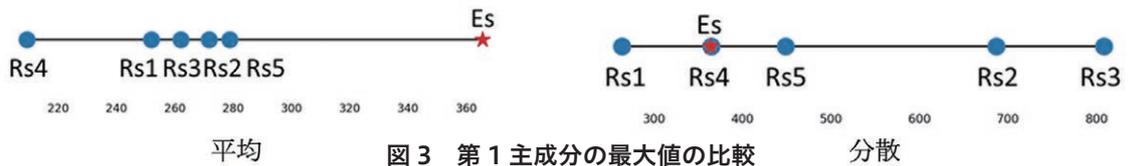


図3 第1主成分の最大値の比較

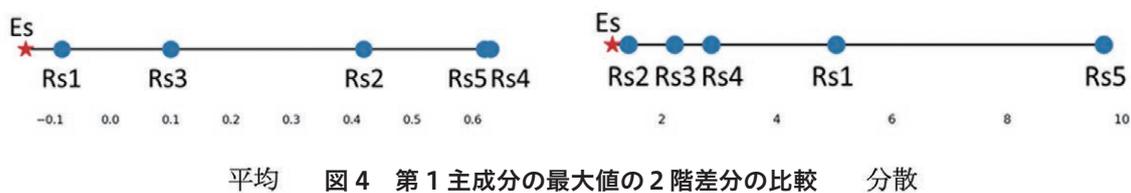


図4 第1主成分の最大値の2階差分の比較

### 3.3 同一話者による高齢者向け発話と読み上げ発話のデータ整備と予備検討

#### 3.3.1 概要

前節の分析では話者が異なる発話を対象としていたため、主に相対的な差異に関して分析を行わざるを得ず、韻律的特徴や音響的特徴の絶対的な差異の比較は不可能であった。特に音響的特徴に関しては、差異は確認されたものの話者性によるものか発話スタイルによるものか断言することは困難である。また、文章量が少なくジャンルが異なる文章も含まれていたため同種の形態素や固有表現などの出現数が少なく、言語表現と音響的な特徴との関係の分析も困難であった。そこで、まずは一名の話者が比較的多くのジャンルの文章を高齢者向けに発話した音声と、同一の文章を通常に読み上げた音声の収録を行った。本収録は科学研究費助成事業（課題番号：20K11869「高齢者への音声による効果的な情報伝達のための韻律制御モデルの構築と評価」）に基づくものである。また、それらの発話の基本周波数の差異について分析を行い、2節で得られた知見と同様な傾向があるか予備的な確認を行った。

#### 3.3.2 音声収録

発話用の文書として、Web上に公開されている自治体の広報文書を元にNTTと共同で136文書の収集・整備を行った。話者としては高齢者が聞き取り易いと評価した女性話者を選択し、高齢者を意識して発話した音声と単調に読み上げた音声を同一の条件で収録をおこなった。収録作業自体は業者委託により行ったが、管理・監督についてはNTTと共同で行った。

#### 3.3.3 予備検討

予備検討として、高齢者向け発話と読み上げ発話の傾向が、これまでの分析結果と一致す

るか確認するためフレーム毎に基本周波数の分析を行った。結果として、高齢者向け発話の基本周波数の平均は 217.92、分散が 3592.68、読み上げ発話の基本周波数の平均は 184.78、分散が 2957.75 であった。高齢者向け発話の基本周波数の平均が読み上げ発話よりも高くなっており、これまでの分析結果と同様に、高齢者向け発話では基本周波数が高くなっていることが確認できた。読み上げ発話のピークに着目すると 100Hz 近傍のピークでは高齢者向け発話は頻度が少なく、一方 250Hz 近傍のピークにおいては、高齢者向け発話のピーク位置が高域に少しずれており、さらに分布が高域側に広がっていることがわかる。これらの結果から、これまで得た知見と同様に発話する際にずっと声を高く上げて文章を読み上げているのではなく、特定の文章または文で意図的に声の高さを使い分けて発話しているものと推測される。

#### 4. 今後の計画

- ・ 韻律的特徴の分析と同様な分析を同一話者が発話した音声に対して行い同様な結果が得られるかについての確認
- ・ 高齢者に伝える点で重要だと話者が考えた箇所とそれ以外との韻律的・音響的特徴の差異に関する分析
- ・ 文章からの重要だと思われる箇所の予測方法の検討

### 歩行解析によるフレイルチェックに関する研究

#### 1. 背景・目的

高齢者の健康状態の把握は、適切な治療やリハビリテーションによる介護予防につながる高齢者福祉における重要な課題の一つである。特に健常な状態と要介護状態の中間的な状態にあたる「フレイル」の判断と状態に応じた適切なリハビリテーションの実施は、介護予防において効果をもたらすものと考えられている。高齢者においては年齢による老化現象だけでなく、様々な疾患や機能障害により運動機能は低下していくが、特に歩行機能の低下は高齢者の運動機能の障害を示す指標の一つとして着目され、様々な歩行テストが状態を測るために用いられている。これまでの研究から歩行から様々な機能障害の程度を示す情報が得られることは知られているが、そうした情報を得るためには床反力計やモーションキャプチャ装置などの大規模な機材が必要になるため、現状行われている歩行テストでは経過時間などの現場で簡易に測定可能なデータのみが利用されている。本研究では、一般的な歩行テストにおいて小型で持ち運び可能な深度カメラに基づくモーションキャプチャデバイスを用いて、高齢者の機能状態を示す様々な特徴を抽出し提示することで、歩行機能の診断に寄与するとともに、フレイル状態の自動的なスクリーニング検査機能を実現することで診断や治療の迅速化に貢献することを目的としている。

## 2. 今年度の研究成果

今年度は予備的な検証として、デバイスの機能と歩行特徴の抽出について実現可能性の検証を行った。まずデバイスの機能検証については、利用予定のデバイスの仕様上では、想定している歩行テストから歩行モーションを測定するには十分であると追われたが、デバイスには複数の設定項目があり設定によって深度カメラの撮影可能範囲も異なるため状況に応じて使い分ける必要がある。そのため、様々な環境や設定で測定テストを行ったところ、正面からの撮影では全身の情報を取得することは困難であり、側面から撮影することで全身の情報を取得可能であることは確認できたものの服装や周囲の物体によって精度に大きな影響があることも判明した。次に実際にデバイスを用いて抽出したモーションキャプチャデータから、歩行機能の判断において重要な指標である歩幅、歩隔、歩速、上体の上下動、立脚時間（両足が地面についている時間）、遊脚時間（片足が地面から離れている時間）等の 20 項目の特徴の抽出を試みた。結果としてはおおむね目標とする特徴の抽出が可能であることは確認できたものの、一部の特徴では精度に課題もあることが確認出来た。とくに今回想定している歩行テストでは 3mm の区間を往復するものであるが、側面から撮影しているため、デバイスから見て手前側の足の特徴については比較的高い精度で特徴が得られるものの、奥側の足の特徴については大きな誤差が発生することがわかった。これは手前側の足により奥側の足が部分的に隠蔽されるためやむを得ないものと考えられるが、実際の特徴抽出においては大きな課題として考えられる。

## 3. 今後の計画

- ・高精度なモーションキャプチャ装置を用いた、デバイスのキャプチャ精度の検証
- ・デバイスのキャプチャ精度を考慮した歩行特徴の抽出方法の改良
- ・リアルタイムでの歩行特徴の表示機能の開発
- ・フレイル状態の自動判別方式の実現

## 【研究開発成果（2）】

### 分散ノードの協調による機械学習モデル構築を実現する情報基盤に関する研究

#### 1. 背景・目的

Web サービスで取得される情報、サーバログなどを対象としたテキスト情報の機械学習の高度化実現に向けて、本研究代表者はこれまでに分散データ学習による特徴モデル構築手法を明らかにしている。しかし、これら提案手法は、分散する全ての特徴モデルの結合を前提とし、この環境で従来のデータ集積型との性能比較による有効性のみを示していた。つまり、モデル結合の過程における処理タスクへ波及する性能変化、効率性については言及していない。本年度では、特徴モデルの結合において、処理タスクの特性に適応した特徴モデル結合手法を検討し、構築する特徴モデルの最適化を実現するための手法の検討を行なった。

具体的には、結合対象となる特徴モデルの逐次的に選定と結合。サンプルデータによる評価、結合を判断するアルゴリズムの検討評価と、提案手法を効率的に実現する類似性に基づく特徴モデルの管理手法について明らかにしている。

## 2. 研究メンバー

| メンバー                                | 主な役割分担                 |
|-------------------------------------|------------------------|
| 土屋 健                                | 総括、モデル設計               |
| 広瀬 啓雄                               | アルゴリズム設計評価             |
| 山田 哲靖                               | アルゴリズム設計               |
| QUANG TRAN MIN 准教授学外<br>(ホーチミン工科大学) | データ収集、データの前処理          |
| 望月 龍一 (院生)                          | 分散学習モデル適応型結合手法の検討      |
| 石塚 龍 (学部3年)                         | 画像情報に基づく分散学習モデル獲得手法の検討 |

## 3. 今年度の研究成果

### 【処理タスクに適応した特徴モデル結合アルゴリズムの提案】

まず、筆者らの先行研究では明らかになっていない特徴モデルの結合過程に着目した。図1に2つの異なる処理タスクに対する特徴モデルの結合と特徴モデルの精度変化の関係を示す。このとき、どちらのタスクの場合でも近傍のフォグノードの特徴モデル順次結合していった。このとき、50~60%程度の結合をピークとして特徴モデルの性能は低下を始めることが観測できる。これは、前半部分では評価に用いるデータと特徴モデルの特性が一致による性能の向上のフェーズ、後半の低下は、データに対して過学習状態から、特性が異なる特徴モデルの結合によって生じる特徴モデルの安定化のフェーズと考察できる。そこで、本研究では、ユーザが任意の特性を持つ特徴モデルを適応的に構築可能となる手法を検討した。

処理タスクに適応的に特徴モデルを結合するアルゴリズムを検討した。本アルゴリズムでは、結合の候補となる特徴モデルに対して、モデル結合と処理タスク特性を示す評価用サンプルデータを利用した性能に基づき結合を判断する。結合前の特徴モデルよりも結合による性能向上を認められる場合では次の候補を検討し、性能を低下、大きく向上しない場合ではこの候補を結合しないと言う単純なアルゴリズムにより結合する特徴モデルを決定していく。現在の実装では、特徴モデルの管理するノードIDの順でアルゴリズムを適用している。図2に学習モデルの結合数と精度の関係を示す。青線が提案アルゴリズムによる変化、赤線が従来の手法による結合の変化を示す。青線が想定したように適合数の増加と

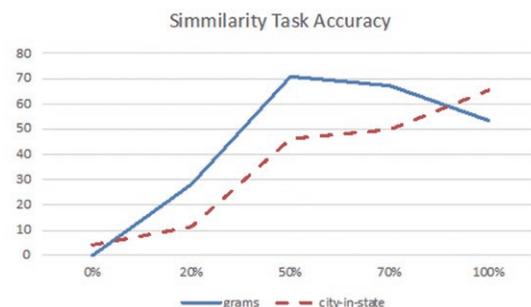


図1 特徴モデルの結合の過程

もに性能の向上を観測できる。従来手法は結合当初では提案手法よりも性能は上回るが、これは処理タスクに対する特徴モデルの特性が一致するためと考えられ、結合数の増加に伴い性能は低下していくことが観測できる。これは、後半に発生した結合が処理タスクに

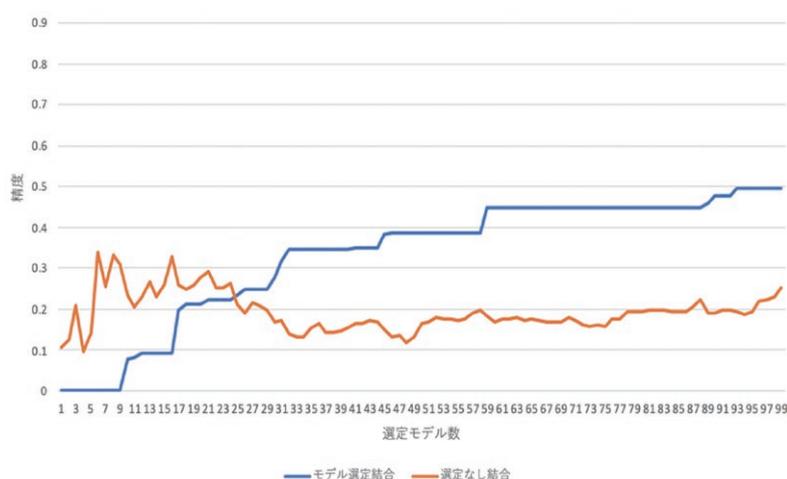


図2 適応的結合と従来手法の比較

適応しないため性能が低下したと考える。提案手法の有効性は明らかになったが、課題として提案手法では逐次的に結合の選択、サンプルデータによる評価を繰り返すため、分散する学習モデル結合対象の分散スケーラビリティに課題があること、性能に基づいた結合の判定するための閾値の決定手法、結合を決定するサンプルデータの選択手法など解決すべき課題があるといえる。

#### 【類似度に基づく特徴モデルの管理手法】

上記課題を解決する手法として、学習モデルの特徴に基づく構造型モデル管理手法の検討を行なった。本研究の特徴モデルは、学習データとしてテキスト情報を利用することから、画像データと比較して数値化（ベクトル化）された場合でも次元数は限定的である。従って、ベクトル次元数に比例して、管理コストが増大する“次元の呪い”の影響は大きくはない。本研究の提案ではまず論理空間上で特徴モデルの索引を可能とする分散アルゴリズムを検討した。

本期間で提案するアルゴリズムは、処理タスクに適応できる特性をもつ特徴モデルの検索と、検索したモデルの結合することである。つまり、前述した手法では全ての特徴モデルと逐次結合、評価を繰り返したのに対して、提案手法は処理タスクに適応した任意の特徴モデルへ到達し、対象となる特徴モデル、類似する特性を持つモデルと結合を行う。このとき、分散するすべての特徴モデルは図3に示す木構造上で管理する。実体は、分散 R-Tree アルゴリズムを提案し、ノードの協調による仮想的な木構造を構築している。木構造は基準となるベクトルとの類似性の値に基づいて相対的に構築される。本提案では、類似度が近い値を持つ特徴モデルは類似することを前提として、木構造での配置を決定する。具体的には、一般的な木構造とは異なり、一定の類似度の範囲ごとに節を作成する（図3）。そして、管理対象となる特徴モデル数に応じて、木構造の節数、類似度の範囲を拡大していく。

空間上における特徴モデルの検索は、全学習データから導出された統計情報を利用して数値化（ベクトル化）と、この結果を得ることができる特徴モデルの構築を行うことから開始する。共通する統計情報の利用は分散する特徴モデルと同じ次元空間で表現することを意味

し、処理タスクのデータをベクトル化することで空間上での特徴を得る。そして、木構造を構築する Fog ノード ID の最も小さい Fog ノードの管理する特徴モデル ( $N \times N$  ベクトル) を基準として、相対的な類似度に基づいて木構造を管理している。つまり、次元単位の値ではなく、基準となる特定のベクトル (base ベクトル) に対する類似性という単一の値に基づいて管理されている。任意のベクトルに対してもこの base ベクトルとの類似性を導出することで、データ特性の分類が可能となる。また、類似する特徴を持つ特徴モデルは、base ベクトルとの類似性が近似する値を持つことが想定でき、木構造上で近似する値の部分をもつ特徴モデルを中心に結合することで、優れた学習モデルの構築が可能としている。また、任意の特性をもつ特徴モデルを構築したい場合には、その特性を有するベクトルと base ベクトルの類似性を評価することで、木構造上の特徴モデルへ到達することができる。従って、提案手法では、base ベクトルを中心として、任意の特徴を有する特徴モデルの結合と構築を可能となる。各節を構成する特徴モデルは、base ベクトルと直接の類似性導出だけでなく、類似性が明らかになっている特徴モデルとの類似性を用いても配置を決定している。

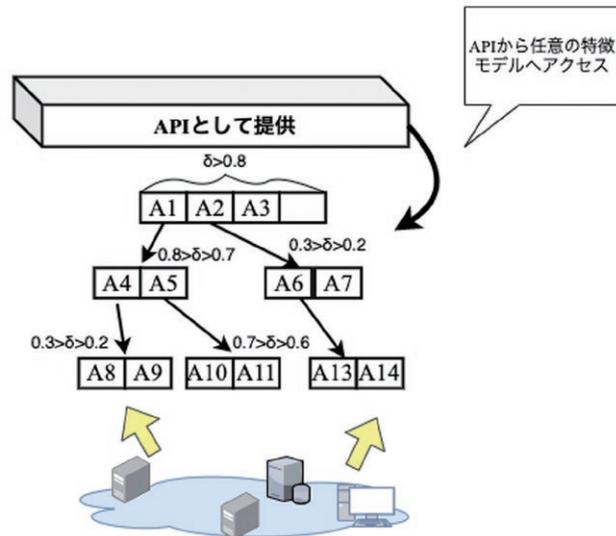


図3 特徴モデルの管理手法

本期間では、提案手法の評価、考察まで間に合わなかったが、現在評価のための実装が終わり、今後評価を予定している。その後、論文として執筆を予定する。現時点において、今後解決すべき課題として明らかとなっているのは、特徴モデルの管理基準となる base ベクトルの妥当性の評価手法の検討が必要と考える。全特徴モデルの管理基準となるため、偏在的な特性を持つデータである場合、一般的な特性の特徴モデルは類似しないと評価され、十分な分類性能を持たない可能性がある。そのため、今後の検討として base ベクトルの評価手法の検討が必要と考える。加えて、base ベクトルの交換と、分散 R-Tree モデル再構築のためのプロトコルの開発と、最適化手法の検討を行う予定である。

本年度は、コロナにより、对外発表等が制限されたことから、研究の進捗が想定よりも十分な進捗を得られなかったと考える。次年度以降も継続して研究を推進し、環境に影響されぬよう研究を進めたいと考える。本年度は貴財団に研究をサポートいただき、心より感謝申し上げます。

## 【研究開発成果（3）】

### Head Mounted Display を用いた作業支援システムの支援挙動自動生成アルゴリズムの開発

#### 1. 背景・目的

人中心の作業を担う中小企業において、少子高齢化に伴う人材不足が深刻な問題となっている。対して、Head Mounted Display (HMD) が作業を支援するツールとして注目を集めている。HMD は作業者の視界上にデジタル情報を重畳することができ、リアルタイムな情報教示が可能となる。それ故、適切なタイミングで適切な支援情報が提示されるよう設計することにより、初心者でも複雑な作業をこなすことが期待できる。

しかし、支援すべき作業の種類が多い場合、一つ一つの作業に対して支援挙動を設計する必要があり、設計者の負担は計り知れない。それ故、システムの支援挙動を自動設計できる技術が確立できれば、設計者の負担を軽減し、作業支援システムを構築することができる。

本研究では、ノート PC の修理作業を例に挙げる。計算機の修理を担う工場では、数十種類以上の計算機を扱う。そして、人材不足の影響により、その修理作業を一人で担う企業も存在する。この場合、作業には熟練が伴い、初心者には作業を任せることができない。それ故、HMD による作業支援システムは有効に働くと考えられるが、修理工程は何パターンも存在することから、上述した支援挙動設計の負担問題が浮上する。それ故、本研究では、ノート PC の修理作業を対象とした作業支援挙動の自動設計アルゴリズムを開発する。

#### 2. 今年度の研究成果

図 1 に実験環境を示す。ここでは、ノート PC に対する作業箇所を、HMD を通じて提示するシステムを想定する。固定カメラより作業状況が映像として取得され、その映像に基づきシステムは作業箇所を決定、提示する。この支援挙動を自動で生成するため、前年度は以下について検討している。

##### 〈昨年度の成果〉

システムが自律的に作業支援を行うためには、作業工程の理解、作業の予測、支援情報の選択処理が必要になる。作業工程の理解とは、作業工程を数理モデルで表現することを意味し、作業工程モデルをシステムに保持させることでシステムは現在と次の工程推定を可能とする。それ故、第一ステップとして、作業工程のモデル化手法を検討した。ただし、設計者の負担を軽減するため、作業映像から自動でモデルが生成できる仕組みとする。

図 2 に提案したモデルアーキテクチャを示す。提案モデルでは、作業映像を学習データとし、モデル内部で作業対象の識別モデル、作業対象の状態識別モデル、作業対象の状態遷移ネットワークが教師なしで生成される。図 3 に例として、Hard Disk Drive (HDD) の取り

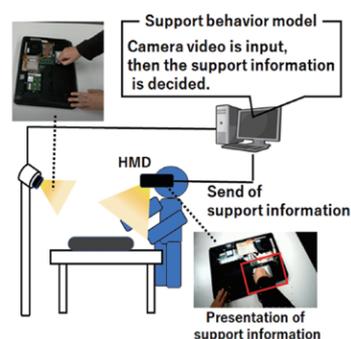


図 1 実験環境

外し作業をモデル化し、そのモデルの特徴量空間を可視化した図を示す。HDD の取り外し作業では、作業対象が3つの状態（初期状態→カバー取り外し状態→HDD 取り外し状態）に遷移する。ここでは各状態の遷移が特徴量空間の分布の遷移としてモデル化される。図3から状態が3つ生成されており、state1 から state3 までの状態遷移は実際の状態遷移を正しく表現している。

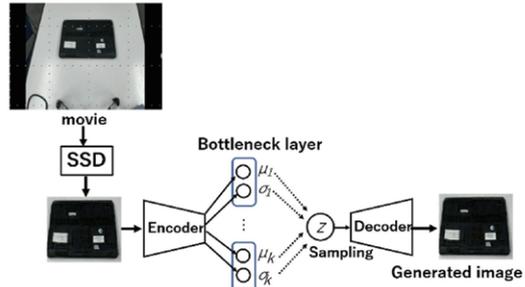


図2 VaDE-Markov Clustering Model

以上から、提案手法に基づき作業工程がモデル化されることを確認した。しかし、提案手法は予め多くの学習データを用意する必要がある。これは作業工程モデルを自動で生成するために、予め作業者に作業を実行してもらい、その作業データを収集しなければならないことを意味する。一方、画像認識の分野では Data Augmentation と呼ばれる学習データの水増し処理が提案されており、この処理を追加することで、最低1 試行分の作業データから支援挙動モデルを生成できる可能性がある。

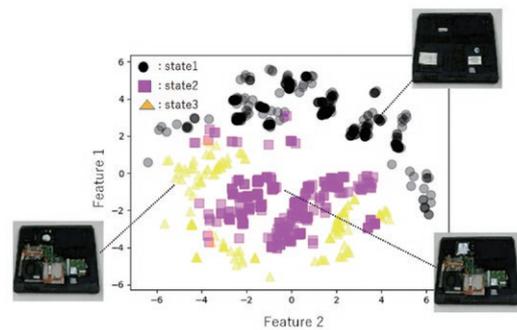


図3 作業工程モデルの特徴量空間上可視化

〈今年度の成果〉

今年度は、最低1 試行分の作業データから作業工程モデルを生成できる可能性を示すため、Data Augmentation 処理を追加した際のモデル構造を提案した。ここでは、前年度の手法を従来手法、一方、今年度提案した手法を提案手法と記述する。

まずは、従来手法に対して Data Augmentation 処理を追加した際に得られた作業工程モデルについて、その状態遷移ネットワークを図4に示す。ここでは各状態を色で分類している。結論として、得られるモデルに再現性はなく、一つの状態に複数の作業工程の画像が混在するモデルが得られた。図4のstate3のように、1つの状態にカバー取り外し状態と HDD 取り外し状態が混在していることが確認できる。両状態間では画像の一部が変化のみであり、アフィン変換に比べ画像情報の変化が少ない。それ故、アフィン変換による画像情報の変化量が作業工程モデルを支配的に構成する結果となった。以上から従来手法に Data Augmentation 処理を追加することは有効ではない。

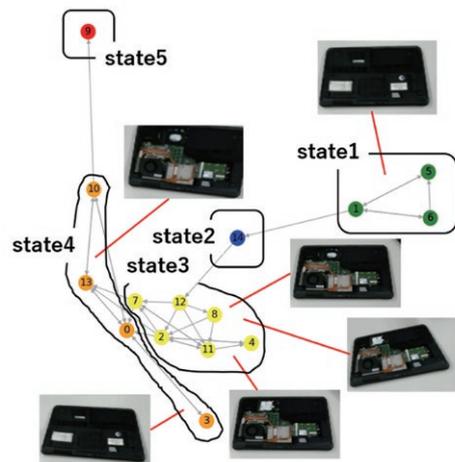


図4 従来手法により得られる作業工程の状態遷移ネットワーク

そこで図5に示すモデル構造を提案した。提案モ

デルでは Data Augmentation 処理による画像情報と状態遷移による画像情報の変化を区別し学習可能な構造となっている。図 6 に提案手法に基づき得られた作業工程モデルの状態遷移ネットワークを示す。各状態で正しい状態遷移の画像を表現されていることが確認できる。以上から、提案手法に基づき Data Augmentation 処理を追加しても作業工程モデルが得られることを確認した。

次に、モデル構造を拡張し、支援情報を自動抽出する手法を提案した。ここでの支援情報は作業箇所を指す。すなわち、HMD により次に取り掛かるべき作業箇所を提示することが支援挙動となる。ここでは作業箇所を状態変化に伴う画像情報の変化領域と仮定する。この変化領域の検出モデルを構築し、作業工程モデルに組み込むことにより、作業箇所の検出及び提示を可能とする支援挙動モデルを実現する。

図 7 に提案した支援挙動モデルの構造

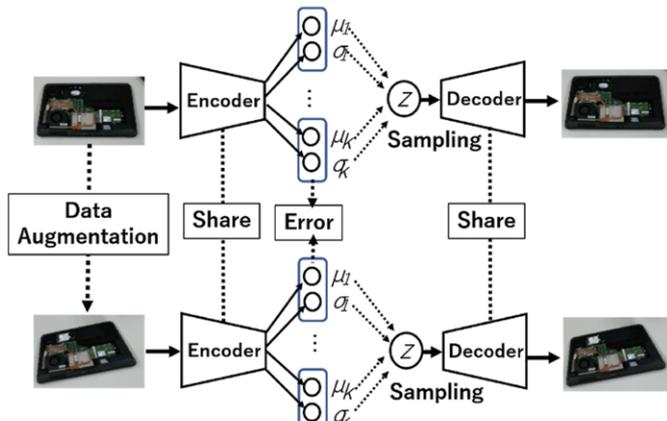


図 5 提案したモデル構造

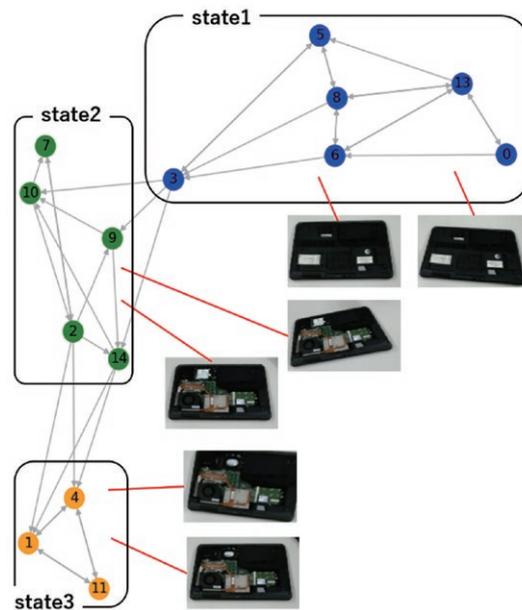


図 6 提案モデルにより得られる状態遷移ネットワーク

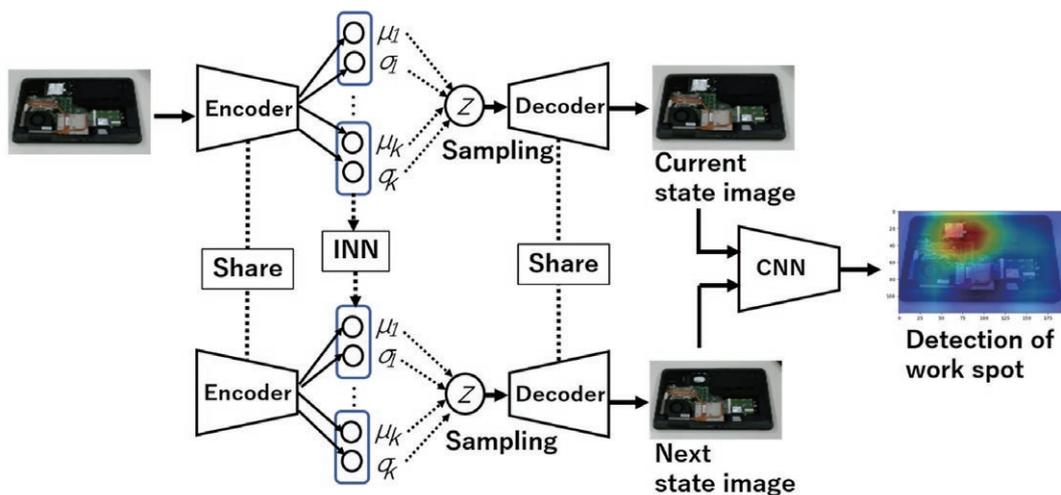


図 7 提案した支援挙動モデルの構造

の構造を示す。提案モデルでは、Convolutional Neural Network (CNN) と Inverse Neural Network (INN) で構成されている。CNN では現在の状態画像と次の状態画像が入力され、Grad-CAM に基づきヒートマップとして変化領域を取得することができる。図 8 に例として、Hard Disk Drive (HDD) の取り外し作業に対する作業箇所の提示結果を示す。図 8 上図が正解箇所であり、図 8 下図がヒートマップとして作業箇所を提示した図である。ヒートマップにおいて、青い領域が作業箇所の

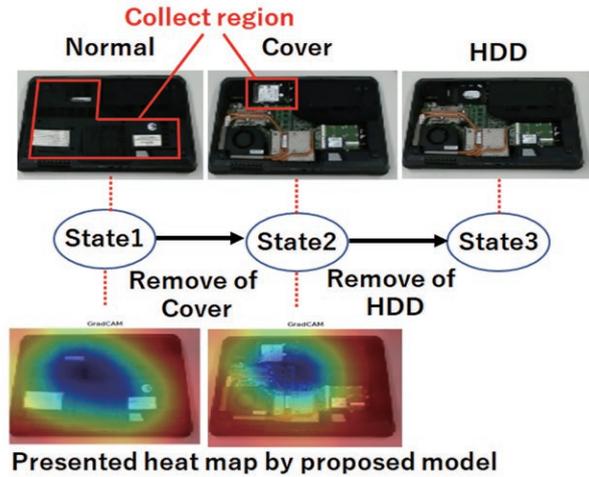


図 8 提案モデルに基づく作業箇所提示例

の可能性が高い領域とみなす。正解領域と比較すると、近い領域に青い領域が分布していることが確認できる。このヒートマップに対して判別分析法を適用し、青い領域のみ抽出した。そして、正解領域に対する Recall 値と Precision 値を算出した結果を表 1 に示す。結果から、Recall 値は高いが、Precision 値は低い。これは提案モデルに基づき提示される領域は、正解領域を含むが、余計な領域も提示していることを意味する。この原因は変化領域検出に用いた Grad-CAM にある。Grad-CAM は縮小した特徴量マップを利用することから位置情報が欠落する。それ故、正確な領域検出ができない。この問題に対しては今後の課題と言える。

以上より、本研究ではシステムの支援挙動を自動生成するアルゴリズム開発を目的とし、今年度は、その叩き台として、作業工程のモデル化手法及び作業箇所提示挙動の自動生成モデルを提案した。現状、単純作業を例に挙げているが、この程度の作業内容であれば支援挙動を自動生成可能であることを示した。

表 1 正解領域に対する Recall 値と Precision 値

| Work type | State  | Recall  |                    | Precision |                    |
|-----------|--------|---------|--------------------|-----------|--------------------|
|           |        | Average | Standard deviation | Average   | Standard deviation |
| HDD       | State1 | 0.97    | 0.05               | 1.00      | 0.05               |
|           | State2 | 0.65    | 0.02               | 0.11      | 0.05               |

## 人工知能・IoT 研究部門 業績リスト

### 査読付き論文

- [ 1 ] Tsuchiya, T., Mochizuki, R., Hirose, H.Yamada, T.,Imamura,N., Yokouchi, N., Quang Tran Minh, “Research on a Communication Platform Coordinating Web Services and Smart Speakers on the Application Layer” , SN Computer Science, .SCI. 1 (to be printed)
- [ 2 ] Tsuchiya, T., Mochizuki, R., Hirose, H.Yamada, T.,K.Koyanagi, Quang Tran Minh, “Distributed Data Platform for Machine Learning Using the Fog Computing Model” , SN Computer Science, .SCI. 1, 164 (2020) , <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00171-6>
- [ 3 ] Quang Minh Tran, Phat Huu Nguyen, Takeshi Tsuchiya, Michel Toulouse, “Designed Features for Improving Openness, Scalability and Programmability in the Fog Computing-Based IoT Systems” , SN Computer Science SCI. 1, 194 (2020) . <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00197-w>

### 査読付き国際会議

- [ 1 ] Takeshi Tsuchiya, Ryuichi Mochizuki, Hiroo Hirose, Tetsuyasu Yamada, Keiichi Koyanagi, Quang Tran Minh, Tran Khanh Dang, “Integrating Web Services in Smart Devices using Information Platform based on Fog Computing Model” , Int’ l Conf. on Future Data and Security Engineering (FDSE 2020) , Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 12466, pp. 111–123 ,Nov. 2020, Vietnam
- [ 2 ] Kohjiro Hashimoto, Tadashi Miyosawa, Tetsuyasu Yamada, “Automatic Modeling Method of Support Behavior for Work Support System Based on Variational Deep Embedding-Generative Adversarial Networks” , Proc. of 19th International Conference on Modeling & Applied Simulation, pp.123-130, 2020.

### 口頭発表

- [ 1 ] 土屋 健, 望月龍一, 山田哲靖, 広瀬啓雄, 今村紀允, 横内直樹, “ Web サービスとスマートスピーカの連携を可能とする情報基盤の研究” , 信学技報 NS2020-123,pp.1-6, 2021 年 3 月
- [ 2 ] 望月龍一, 土屋 健, 広瀬啓雄, 山田哲靖, “ 特徴モデル結合による分散機械学習におけるモデル選定最適化手法の提案” , 信学技報 , IN2020-83, pp.172-177, 2021 年 3 月
- [ 3 ] 鈴木雄大, 望月龍一, 有賀 奨, 土屋 健, “ 親子で作る生活での学びを促す学習支援システムの研究開発” , 情報処理学会第 83 回全国大会, 7L-02, 2021 年 3 月
- [ 4 ] 鈴木雄大, 望月龍一, 有賀 奨, 土屋 健, “ ユーザ主導で構築可能な学習支援システムの提案” , 令和 2 年度電気電子情報関係学会東海支部連合大会 I3-3, 2020 年 9 月
- [ 5 ] 望月 龍一, 降旗 佑季, 野澤 啓亮, 大谷 瑛佑, 横内 直樹, 土屋 健, 『スマートスピーカアプリケーション共通化プラットフォームの検討』, FIT 情報科学技術フォーラム , Vol. 18, pp. 60 (2020) [1] 橋本幸二郎, 三代沢正, 山田哲靖, 「VaDE-GAN と Grad-CAM を用

いた HMD 作業支援システムに対する支援挙動生成手法」, 情報科学技術フォーラム, J-014, 2020.

- [6] 岡本泰秀, 水野秀之, 中嶋秀治, “高齢者向け発話における韻律的特徴の分析,” 日本音響学会春季研究発表会, 3-P-27, pp.1149-1150, 2020-3.
- [7] 岡本泰秀, 水野秀之, 中嶋秀治, “高齢者向け発話における韻律的特徴の分析,” 音学シンポジウム, 2020-6.
- [8] 岡本泰秀, 水野秀之, 中嶋秀治, “高齢者向け発話における基本周波数と話速の分析,” 音声言語および自然言語処理シンポジウム, pp.13-18, 2020-12.
- [9] 福田伊吹希, 山田哲靖, 他, 「学習機能による自動設定可能な PID 制御を用いた空調システムに関する研究開発 第 2 報 最適ゲインの探索方法と実装結果」日本建築学会大会 (関東) 9 月 8 日~10 日
- [10] 福田伊吹希, 山田哲靖, 他, 「空調における AI を活用した制御技術の開発 (第 2 報) ARX モデルに基づく機械学習による適応制御の検討」空気調和衛生工学会大会 8 月上旬
- [11] 福田伊吹希, 山田哲靖, 他, 「空調制御における PID ゲイン自動調整機能の検討」日本冷凍空調学会年次大会 9 月 9 日~9 月 11 日
- [12] 吉田秀俊, 山田哲靖, 「多入力多出力モデルの精度と時間の評価」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2020/9/16

### 外部資金の獲得

- [1] 高橋産業経済研究財団, 研究助成, 作業内容の変化に適用可能な作業支援システムの開発, 2019-4-1 - 2021-3-31

### 研究報告

- [1] 山田哲靖, 「シンギュラリティ」, 新日本空調技報 no.25 巻頭言, pp.1-2, 2020/3/31
- [2] 永坂茂之, 福田伊吹希, 山田哲靖, 他, 「学習機能による自動設定可能な PID 制御を用いた空調システムに関する研究開発 第 2 報 最適ゲインの探索方法と実装結果」, 新日本空調技報 no.25, pp.3-7, 2020/3/31

### 講演

- [1] 山田哲靖, AI プログラミング講習会, ビップシステムズ, 2020/1/11, 2/1
- [2] 山田哲靖, 諏訪地域広域行政研修会, 諏訪広域連合, 2021/2/15

### 企業連携

- [1] 一般社団法人日本発達支援センター (茅野市) 土屋健
- [2] 新日本空調 (茅野市) 山田哲靖
- [3] 共進 (諏訪市) 山田哲靖
- [4] 長野県工業技術総合センター (松本市) 山田哲靖

[5] ビップシステムズ株式会社（東京都） 山田哲靖, 土屋

[6] NTT テクノクロス（東京都） 山田哲靖

#### **外部資金獲得**

[1] “スマートスピーカー向けの共通情報基盤システムの構築の研究”, ビップシステムズ株式会社からの委託研究, 研究代表, 2020.6~2021.3, 500,000 円

[2] 分散ノードの協調による機械学習モデル構築を実現する情報基盤に関する研究”, 研究代表, GMO インターネット財団 2020 年度研究助成金, 1,000,000 円