

交通運輸技術開発推進制度

研究成果報告書

(ダイジェスト版)

A I によるドライバーの心不全を予見する研究

令和6年3月

(公立大学法人 横浜市立大学)

## I. 研究開発成果の要約

作成年月	令和6年3月
研究課題名	AIによるドライバーの心不全を予見する研究
研究代表者名	岡田興造
研究期間	令和5年11月30日～令和6年3月29日
研究の目的	心不全増悪の早期発見には適切なバイオマーカーが必要である。心不全の病態は複雑で、血行動態に作用する様々な内服薬を服用しているため、従来から利用されている自覚症状や血圧・脈拍・体重の情報だけでは心不全増悪の早期の兆候を正確に捉えることは難しい。そこで本研究課題では、心不全の状態をより正確に反映する新たな表情と音声のデジタルバイオマーカーを研究し、社会実装に資することを目的とする。
研究成果の要旨	<p>心不全を予見することができる新たな表情と音声のバイオマーカーの実験機を作成した。</p> <p>表情のバイオマーカーは可視光と近赤外光を使った人の表情画像・動画の取得システムとクラウド（ストレージ）への収集システムで構成されている。水の吸収波長である近赤外光の小型カメラは特殊であり、実験機に実装するために近赤外光LEDの選定・実装およびカメラに使用するCMOSセンサーの選定・実装を行った。また、可視光と近赤外光の画像を同時に撮影できるよう、現場でのユーザーインターフェースを考慮した制御部分の実装を行った。取得したデータはRPAを使用した自動収集システムをPCに実装することで達成した。</p> <p>音声のバイオマーカーは「長母音」「パタカ」の音声タスクを基軸とした音声取得システムとクラウドへの収集システムで構成されている。</p> <p>音声のバイオマーカーは高性能レコーダーと指向性の高いピンマイクで実現した。取得したデータは同じくPCに実装した自動収集システムで実現した。</p>
知的財産権取得状況	特許出願 無し 特許出願（予定） 不明（今後の特許調査結果による） 著作権登録 無し
研究成果発表実績	論文発表：国内 無し、海外 無し 口頭発表：国内 1件、海外 無し その他：無し

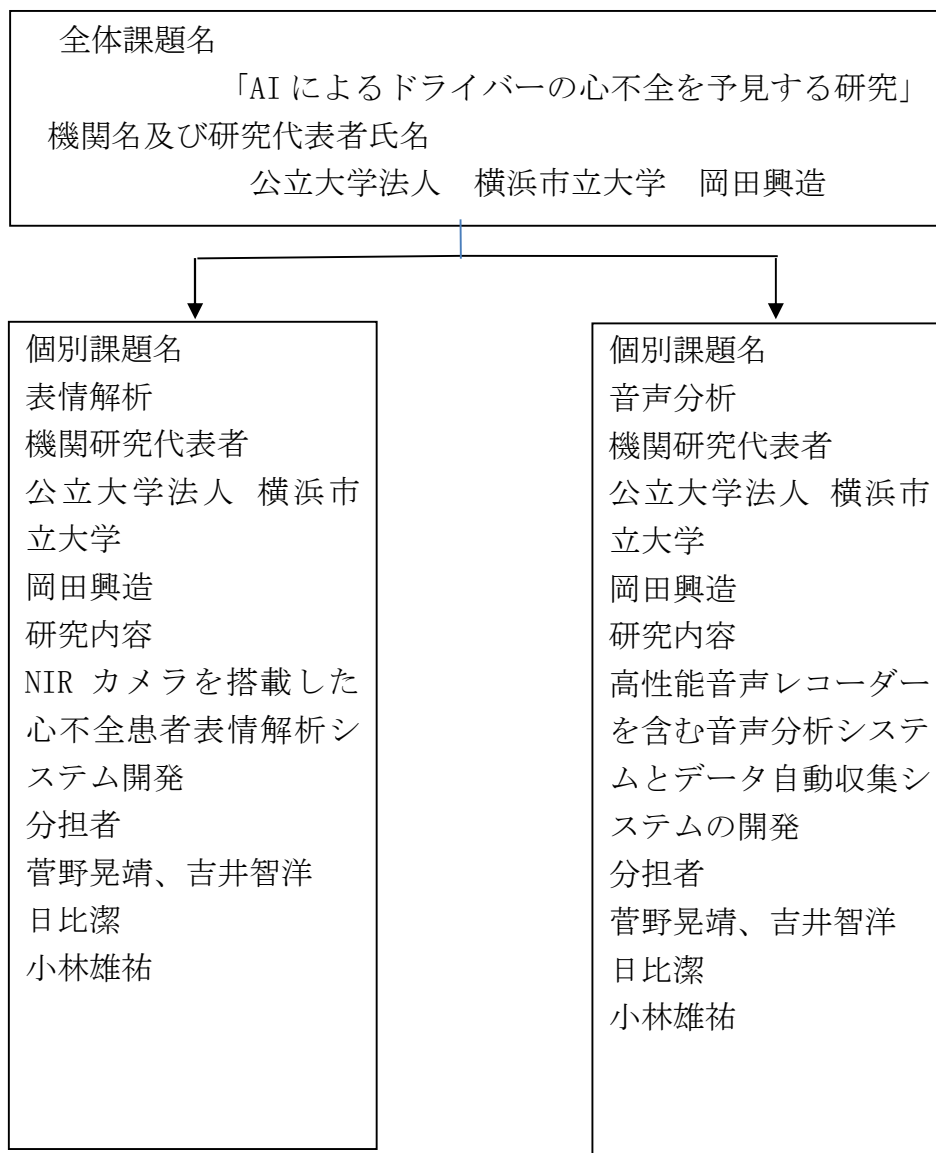
## II. 研究開発の目的と実施体制

### (1) 研究開発の目的

心不全増悪の早期発見には適切なバイオマーカーが必要である。心不全の病態は複雑で、血行動態に作用する様々な内服薬を服用しているため、従来より利用してきた自覚症状や血圧・脈拍・体重の情報だけでは心不全増悪早期の兆候を正確に捉えることは難しい。そこで本研究課題では、心不全の状態をより正確に反映する新たなバイオマーカーを研究し、社会実装に資することを目的とする。

### (2) 研究実施体制

本研究は、公立大学法人 横浜市立大学 附属市民総合医療センター 心臓血管センターを総括研究機関とし、附属病院 循環器内科、および附属病院 次世代臨床研究センター 戦略相談室と共同して実施した。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。



### III. 研究開発の成果

#### 1. 序論 本研究の背景と目的

##### 1.1 研究の背景

高齢社会により心不全患者は爆発的に増加しており 120 万人を超える。心不全患者は、40 歳以上の 5 人に 1 人以上の割合で発症し、65 歳以上になると急激に増加することが報告されている。世界に類を見ない超超高齢社会に突入した日本では今後も心不全患者が増加し続けると推計されている。

心不全とは、心臓に何らかの異常が起こり、図 1 のように心臓のポンプ機能が低下し、図 2 に示すように全身の臓器が必要とする血液を十分に送り出したり、回収することができなくなった状態である。

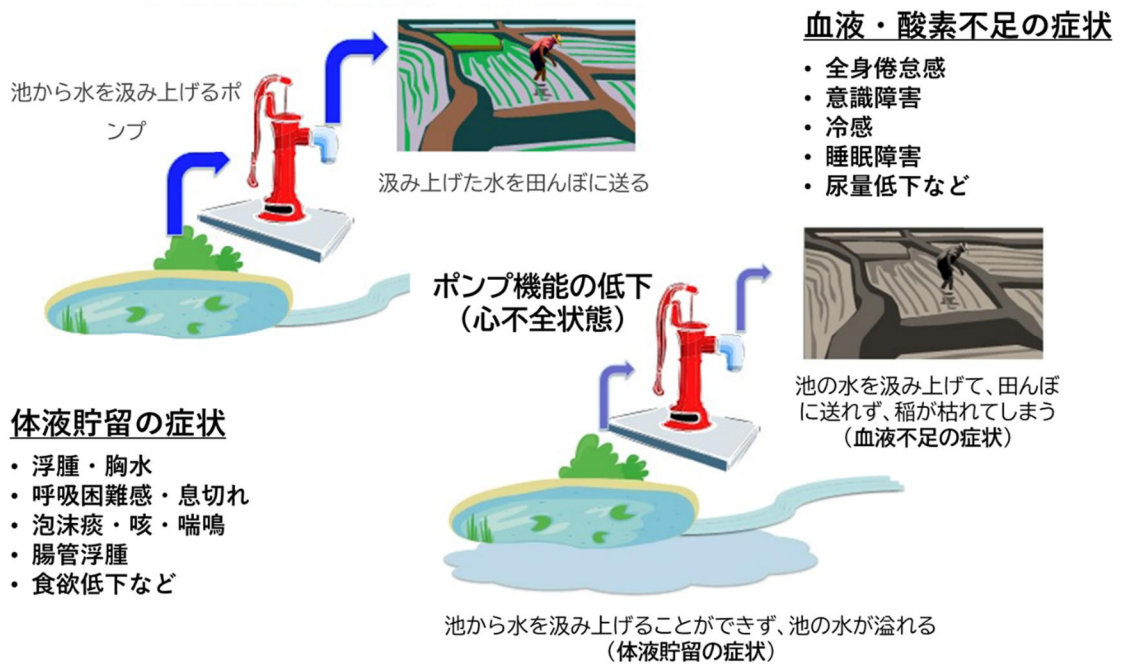


図 1 心臓が血液のポンプであるイメージ図

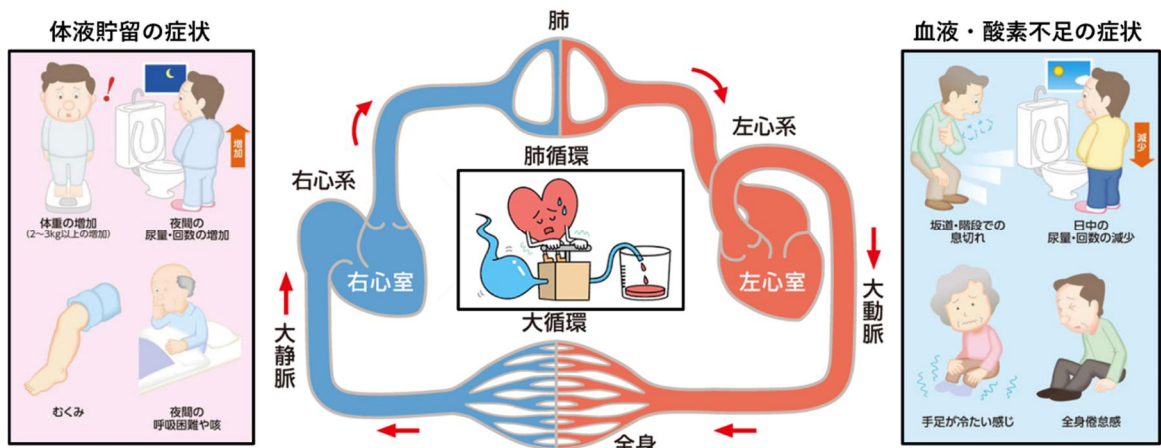


図 2 心臓機能が落ちると全身に血液が行きわたらないイメージ図

心不全では、心臓の機能を全うできずに、様々な症状を呈するようになる。具体的には、全身の臓器に血液・酸素を送ることができないため、全身倦怠感・意識障害・食欲低下・末梢冷感などの症状（前方障害）が、駆出できないことにより全身からの血液回収も滞り（後方障害）、全身の浮腫・胸水・呼吸困難感などの症状が出現する。また、心不全は図3の青線で示すように、一度発症すると完治することはなく、寛解と増悪を繰り返しながら進行する難治性・慢性疾患であることが知られている。

心不全は循環器疾患の死因第一位と予後不良だけでなく、入院・再入院率が高いこと、入院治療期間が2～3週間と長いこと、認知機能の低下やフレイルの進行など要介護のリスクも高く医療システムへの負荷が高いことなどの特長があり、対策が急務である。

その一方で、心不全増悪をきしても、増悪兆候を早期に発見し、適切に治療介入できると、再入院や進行を抑制し得ることがわかっている。そのため、心不全管理では、「増悪の早期発見」がポイントである。早期発見・早期治療を行うことで図3の緑線で示すように、心不全の重症化を防ぐことが可能である。

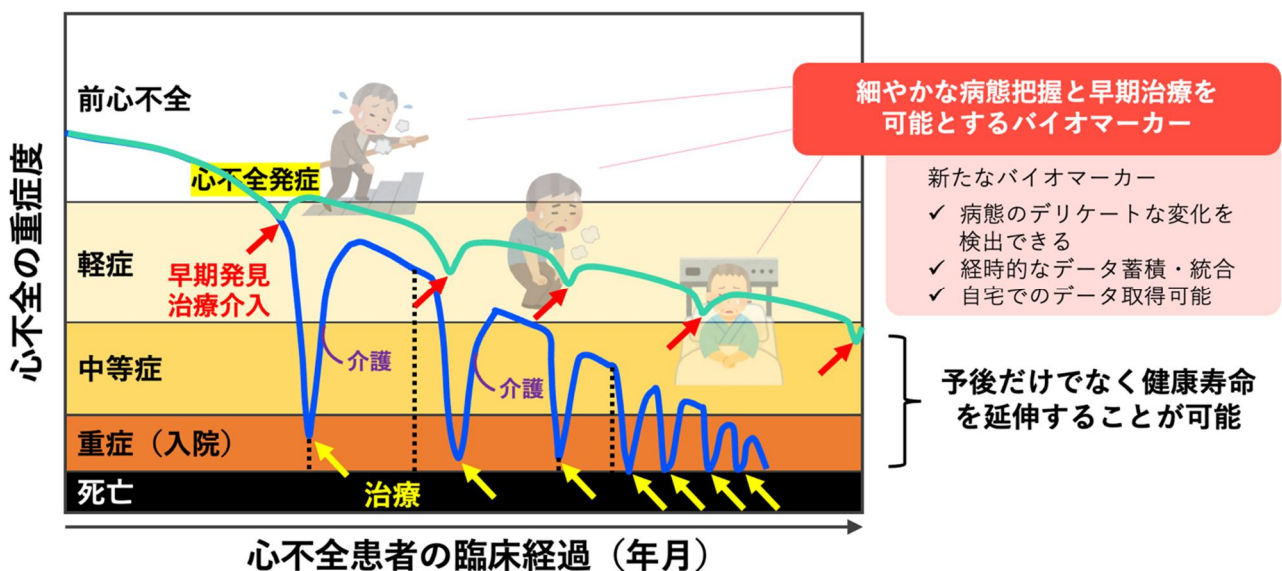


図3 早期発見・早期治療時の心不全状態の悪化経過のイメージ

## 1.2 研究の目的

心不全増悪の早期発見には適切なバイオマーカーが必要である。心不全の病態は複雑で、血行動態に作用する様々な内服薬を服用しているため、従来より利用されている自覚症状や血圧・脈拍・体重の情報だけでは心不全増悪早期の兆候を正確に捉えることは難しい。そこで本研究課題では、心不全の状態をより正確に反映する新たなバイオマーカーを研究し、社会実装に資することを目的とする。新たなバイオマーカーとは、患者の表情や声から得られる情報に基づく医師の「五感・気付き」と患者の心不全の状態をデジタル化し、客観的に異常を検知できるバイオマーカーである。

## 1.3 交通運輸分野を取り巻く社会情勢と社会的ニーズ

日本では少子高齢化が進み、労働生産人口の減少に直面している。交通運輸分野のドライバーについても高齢化や人手不足と言う同じ課題を抱えている。図4に示すようにトラックドライ

バーの平均年齢は全産業よりも高齢化に寄っている。さらに、男性が多い職種であり、心不全の患者の男女比は6：4と報告されており、より心不全リスクが高い。

### トラックドライバーの年齢構成と業界の女性進出 国土交通省

- トラック業界で働く人のうち、約45.2%は40～54歳。
- 一方、29歳以下の若年層は全体の10%以下。
- 女性の割合は2.5%と、全産業と比べて極めて低い状況。

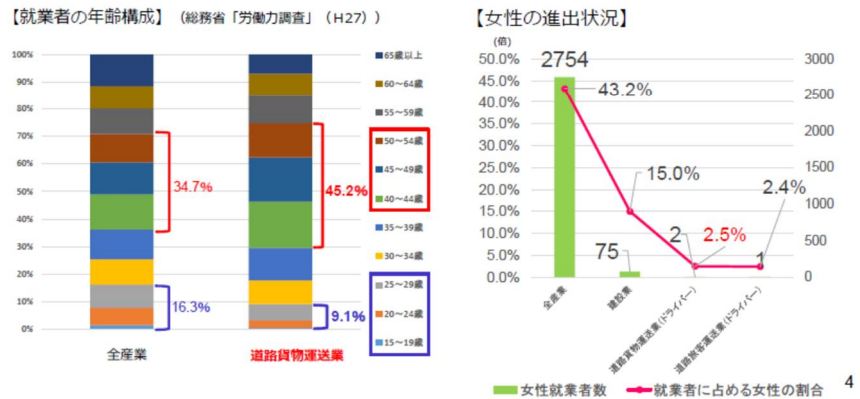


図4 トラックドライバーの年齢構成と男女比[1]

また、ドライバーに関してはいわゆる2024年問題を抱えており、輸送の効率化など数々の対策が講じられている。現状これらの対策だけでは2024年問題を解決できないことも明らかであり、高齢ドライバーの増加と安全・安心である強靱な交通運輸を提供することは人・モノの流れを必要とする社会的ニーズに合致する。

一方、交通事故は図5に示すように大きく減少はしていない。特に、トラックやタクシーにおける健康起因事故数は上げ止まっている状態である。

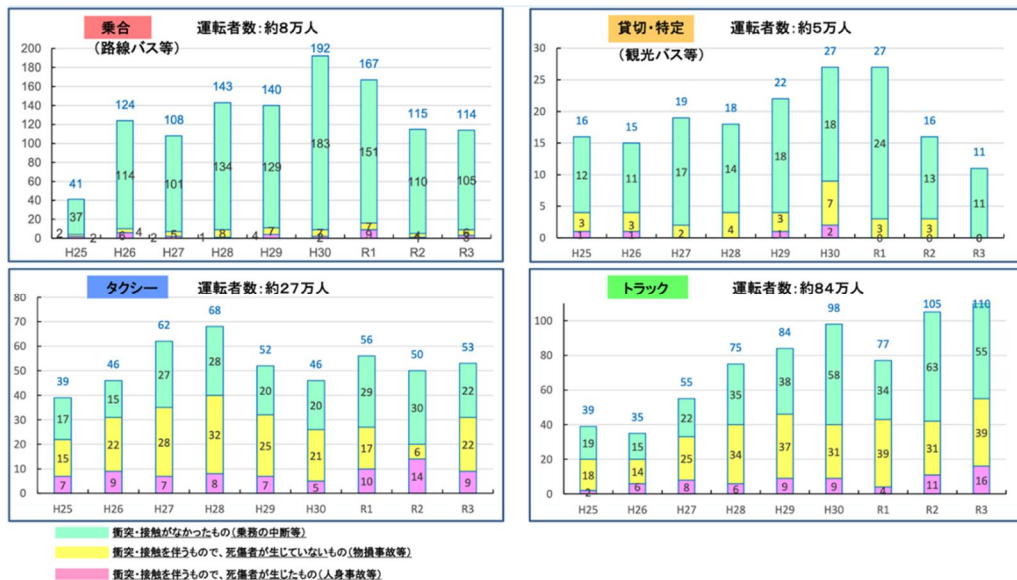


図5 運転者の健康状態に起因する事故報告件数の推移[2]

特に高齢化に伴い罹患数が増加する心不全は、図6に示すように、心筋梗塞と並び、ドライ

バーの疾病に起因する事故や死亡の主要な原因である。

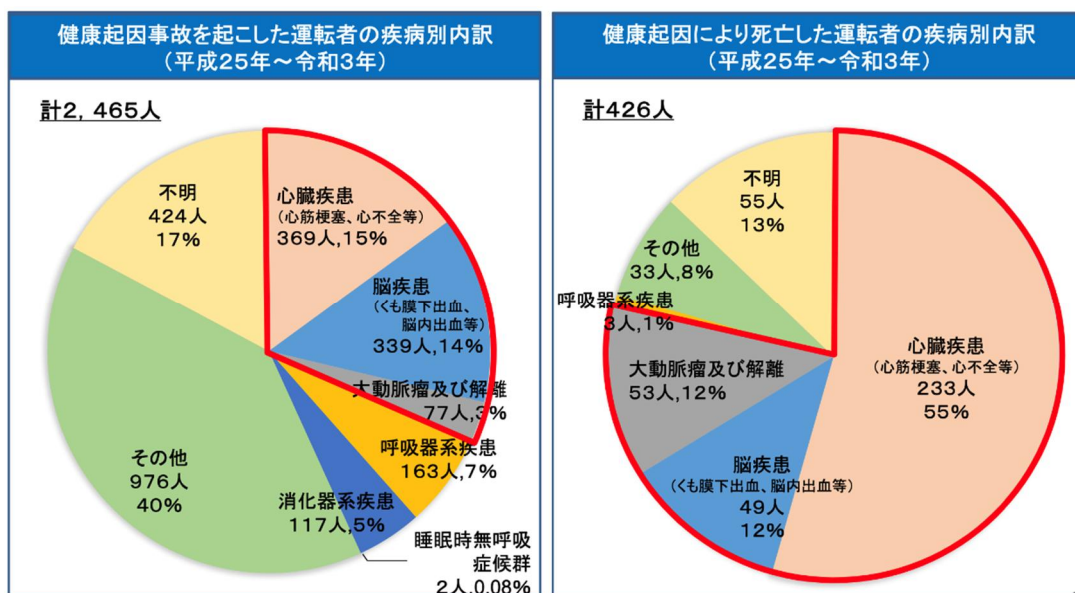


図6 運転者の心疾患に起因する事故報告件数の推移[3]

このような現状において、心不全増悪の早期発見を可能とする簡便かつ効果的な新規バイオマーカーを社会実装することは、健康起因事故の減少にも貢献すると期待される。

#### 1.4 目的を達成するために解決すべき課題

今後はデータ数を増やし、AIの診断精度の向上が必要である。そのためには多数の病院また社会実装を想定した企業にバイオマーカーを展開し、データを取得することが本事業にて解決すべき課題と考える。

## 2. 事前検証

研究代表者はすでに表情解析・音声分析から得られる2つのバイオマーカー（表情・音声バイオマーカー）を使用し、自施設の横浜市立大学附属病院の患者を対象とした少数のデータに基づく心不全患者の病状把握と機械学習を使った予測モデルのプロトタイプを作成済みである。

### 2.1 表情バイオマーカー

研究代表者は、自施設での先行研究にて、心不全入院患者60例の治療により軽快する経過日毎の表情データを取得した。そして、得られた表情データを循環器専門医の症状評価や診察所見、採血やレントゲン、心臓超音波検査所見など、これまでに確立されている心不全指標と併せて分析することで、心不全の状態を予測する機械学習モデルの作成を行った。図8は、心不全治療により軽快する患者の表情画像である。入院時に大きくむくみ、皺なども消え、苦しそうな状態の顔が心不全治療により体液貯留が減少し、徐々に輪郭の縮小やむくみが改善し、表情が穏やかになり皺なども見られるようになってきているのがわかる。また、入院時には瞼が開いていない状況から、治療により開眼できるようになり、皮膚内の水分量も減少することを確認している。

事前検証では、このような主観的に表現される変化を、客観的に数値により評価可能で（図7「研究実施内容（実績）」右側のグラフ参照：治療経過により顔ベクトルの指標が改善し、開眼

指標が眼が開く方向へと改善し、近赤外分析による水分量指標が水分が減少する方向へそれぞれ連続的に変化)、従来の心不全の指標・状態とも関連する9つの表情指標(連続変数)の抽出に成功した。

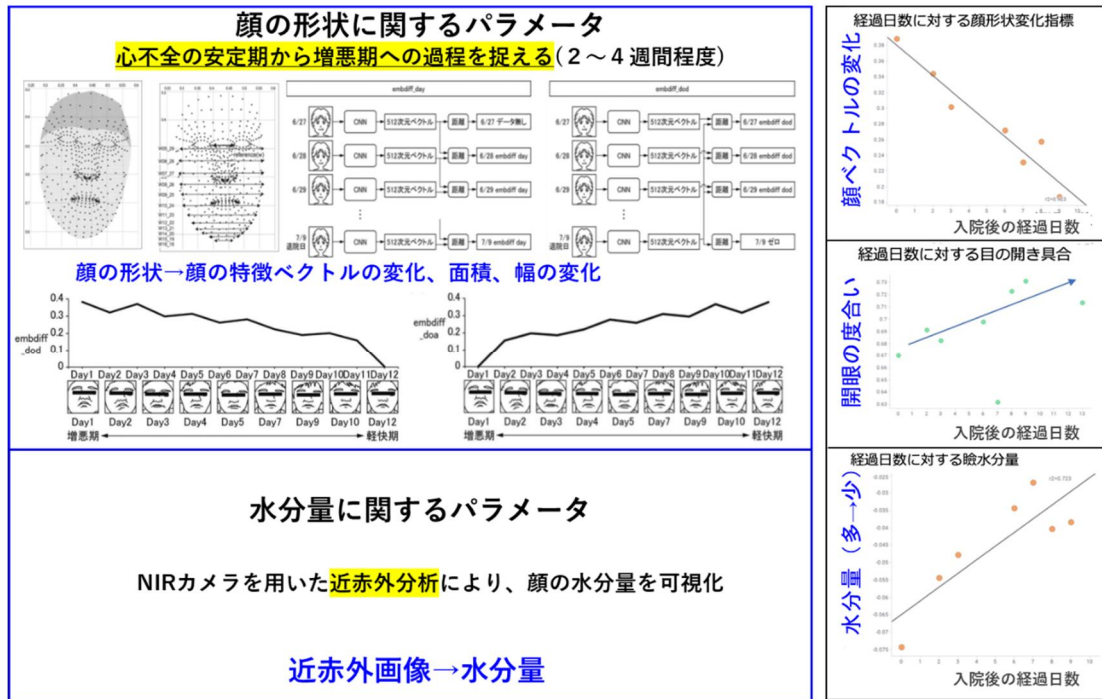


図7 表情バイオマーカー事前検証

## 2.2 音声バイオマーカー

表情バイオマーカーと同様に、心不全入院患者の治療経過に伴う経過日毎の音声データを取得し、従来の心不全指標と併せて分析した。そして、心不全の状態変化と関連する27個の音響学的特徴量の抽出に成功した[4]。これらの音響学的特徴量を用いて心不全の状態を予測する機械学習モデルの作成に成功し特許を取得した。図8の右側は、心不全入院時と退院時の音声データの一部である。心不全治療により、体重は22kg減少し、心不全の採血指標であるBNP(脳性ナトリウム利尿ペプチド)値は、1788 pg/mlから282 pg/mlと約6分の1に減少したが、それに併せて長母音の発声持続時間は入院時の4秒から退院時の26秒と約6倍の延伸を認めた。その他にも音圧やその不均衡、声質のザラつき感など多くの音響学的特徴量に変化があることを確認した。図8の右側が、血液検査より得られたBNP実測値(X軸)と音声から予測されたBNP予測値(Y軸)との相関関係であるが、両者に中等度の相関関係が認められることを確認した。

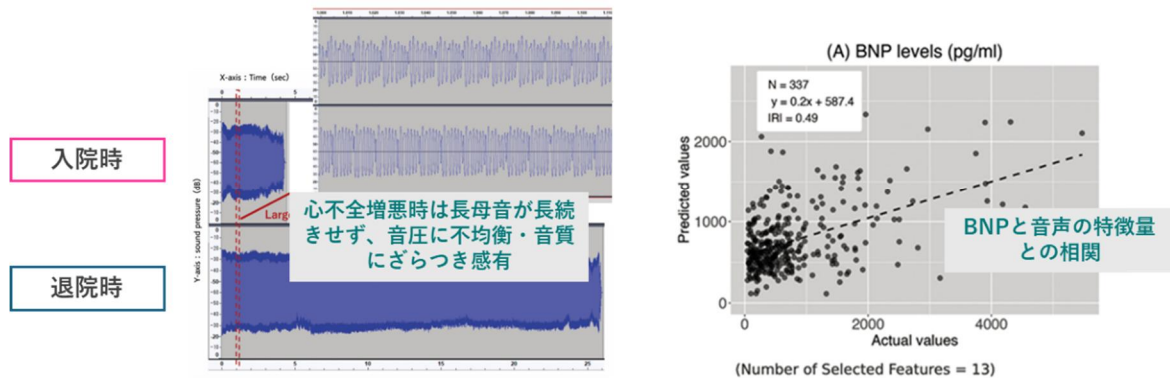


図8 音声バイオマーカー事前検証

### 3. 研究目標

本事業における研究目標は“表情・音声バイオマーカーによる大量のデータ取得システムの構築”である。本事業は5か月間と短期間であり目標が限定的になっている。しかしながら本事業成果を引き続き使用することで医療機関10施設程度および交通運行管理5企業程度からの大量データ取得により、AI精度の向上を行うことができる。またデータを他の手法にも適用することで既存AIのみならず、さらなる効率的なAI手法の開発も可能となる。このような観点から非常に重要な研究目標である。

#### 3.1 表情解析研究

心不全患者の表情を解析するため、以下のシステム開発の研究を行うものとする。

①可視光と近赤外光を使った人の表情画像・動画の取得システムの開発

可視光と近赤外光を使って得る心不全患者の表情画像や動画を簡便にまた大量に取得できるシステムの開発を実施する。

②クラウド（ストレージ）への収集システムの開発

取得した画像をクラウド上のストレージに自動で収集するシステムの開発を実施する。

#### 3.2 音声分析研究

心不全患者の発音を分析するため、以下のシステム開発の研究を行うものとする。

①「長母音」「パタカ」の音声タスクを基軸とした音声取得システムの開発

心不全患者が発音した音声を高精度で取得するシステムの開発を実施する。

②クラウド（ストレージ）への収集システムの開発

取得した画像をクラウド上のストレージに自動で収集するシステムの開発を実施する。

製作するシステムブロック図を全体を図9に示す。

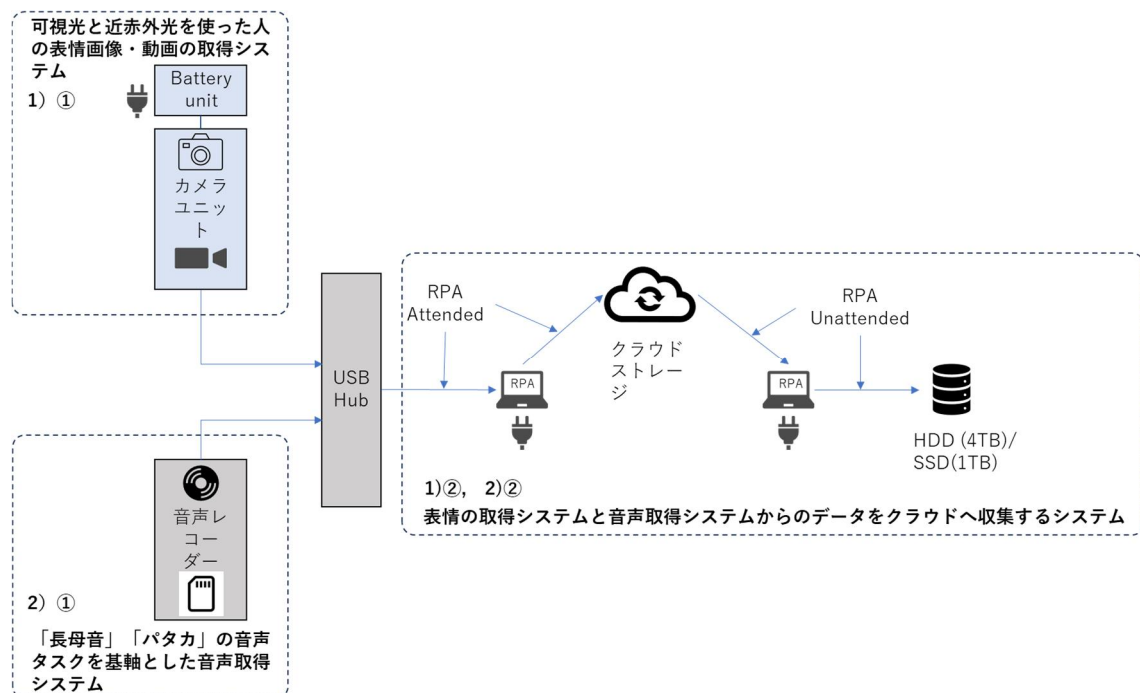


図9 表情・音声分析用データ収集システムブロック図

### 3.3 社会実装に対する取り組み

本研究の採択にあたっては、有識者委員から社会実装を強く意識したご指導を受けたところである。本研究を実務で使用する際に、実務からの意見を装置に反映することは非常に重要である。技術政策課に依頼して各省庁の関係部門へ説明し、意見をいただくこととした。同時に社会実装のプレイヤーとなり得る企業へ本研究に参加するよう働きかけることとした。

## 4. 研究開発スケジュール

本事業の研究を表1のように計画した。

表1 研究開発スケジュール

	10、11月	12月	1月	2月	3月
表情解析研究	研究準備、情報収集	部品選定 (NIRカメラ、LEDなどの制御)	部品選定 (NIRカメラ、LEDなどの制御)	部品動作確認(NIRカメラ、LEDなどの制御)	全体動作確認(NIRカメラ、LEDなどの制御)
音声分析研究	研究準備、情報収集	レコーダー・マイクロホン選定	レコーダー・マイクロホン購入手続き	レコーダー・マイクロホン納入	レコーダー・マイクロホン動作確認
社会実装に対する取り組み	研究準備、情報収集	企業説明会	PMとの打ち合わせ	省庁担当者の意見確認	省庁担当者の意見確認

## 5. 研究実施内容

### 5.1 表情解析研究

#### ①可視光と近赤外光を使った人の表情画像・動画の取得システムの開発

本研究では医療機関及び設置企業で撮影を行うにあたり、操作の簡便性、カメラの可搬性が重要な要件となるため、小型のタブレット端末やスマートフォンを活用したカメラシステムの構築を検討した。

スマートフォンに搭載されているカメラは、その大きさは超小型ながら一般的な一眼カメラにも引けを取らないほどの解像度を持つものもある。また、スマートフォンそれ自体がユーザーインターフェースとしてのタッチパネル付きディスプレイを兼ね備えた小型の処理装置であるため、適切なアプリケーションソフトを導入することにより本研究の画像取得装置の一部として使用することが可能となる。しかしながら、近赤外光撮影に関してはスマートフォンに搭載されているカメラで実現することは不可能であるため、近赤外カメラシステムは別体として開発を行い、スマートフォン側から制御及び撮影画像データの転送を行う構成とした。

- ・カメラシステム全体構成

カメラシステムのハードウェア全体の構成を図 10 に示す。カメラシステムは 3 つのブロックから構成される。各ブロックについて簡単に説明する。

- 制御・表示ブロック：スマートフォン端末と USB ハブで構成され、スマートフォンに搭載されている RGB カメラを含む
- 近赤外カメラブロック：近赤外カメラで構成され、USB インターフェースでハブを介してスマートフォンに接続される
- 近赤外ライトブロック：近赤外光源となる 2 波長分の LED と LED ドライバ、LED 制御用 MCU、バッテリーで構成される

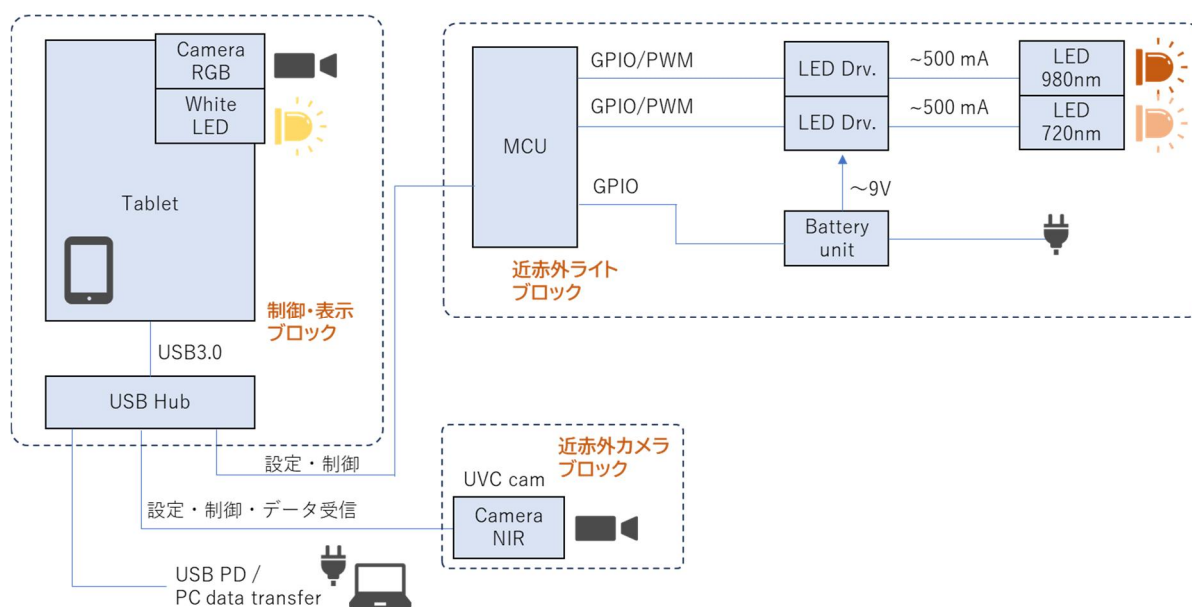


図 10 カメラシステムブロック図

撮影動作は図 11 に示すフローで実施される。なお、撮影動作開始時に新規入力または登録済み患者 ID を入力することで、撮影データファイル名に反映させることが可能となっている。

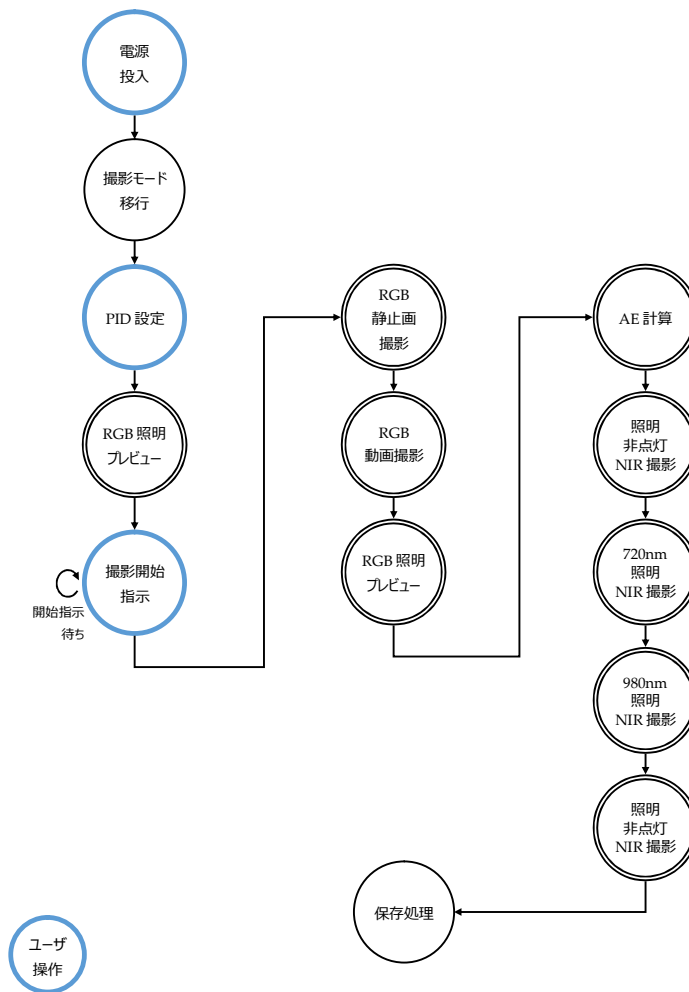


図 11 基本動作フロー

## ②クラウド（ストレージ）への収集システムの開発

医療機関及び設置企業から自動でデータファイルを、クラウドストレージを介して、横浜市立大学のストレージに移動させる。RPA（Robotic Process Automation）を活用して自動化を行うため、次のシナリオを作成した。

シナリオ

Input：カメラシステムの USB Type-C ポートを PC の Type-C に接続する（人手）

PC 側がカメラシステムを G ドライブとして認識

RPA の動作ボタンをクリックする

これ以降、RPA が自動で操作する

- 1.毎日 C ドライブにディレクトリーを作成
- 2.カメラシステムのファイルのメタデータを確認し、月日が合致するディレクトリーにファイルを移動
- 3.ファイル名を「PC 名\_日時」に書き替え
- 4.ファイルをクラウドストレージ Box に移動
- 5.毎日午前 2 時に横浜市立大学側の RPA が自動で起動

6.心臓血管センターの PC の G ドライブまたは H ドライブ SSD に毎日ディレクトリーを作成する。

7. Box から横浜市立大学心臓血管センターの PC に接続している外付け G ドライブ HDD または H ドライブ SSD に移動させる

## 5.2 音声分析研究

①「長母音」「パタカ」の音声タスクを基軸とした音声取得システムの開発

音声は市販の音楽録音用のレコーダーと指向性の高いマイクロホンを選定して、システムを構築した。外来で使用することを想定して、指向性の高いマイクロホンとした。

## 5.3 社会実装に対する取り組み

社会実装の担い手となる医療機器メーカー、製薬会社などへ本研究の内容を伝え、共同開発を募ることとした。また、使用現場の状況を把握している、国土交通省、厚生労働省にも本研究内容を説明し、アドバイスを頂くこととした。

### 企業向け説明会の実施

日時 2023 年 12 月 20 日（水）13 時～14 時
場所/開催形態 Zoom、本院本館 6 階会議室
大手医療機器企業 4 社
YCU 日比教授、岡田研究代表、池水 URA、研究支援 6 名

医療機関による 1,000 症例のデータ取得が 2025 年 3 月を目途としており、データが集まった段階で企業としてはアクションを起こすことになる。

### 厚生労働省 健康・生活衛生局 がん・疾病対策課への説明実施

2024 年 2 月 19 日（月）13 時 30 分～14 時 30 分ごろ
厚生労働省
健康・生活衛生局 がん・疾病対策課 課長補佐様（循環器医師） 課長補佐様（循環器医師） 疾病情報管理係 循環器病対策係 ご担当者様
国土交通省 総合政策局 技術政策課 ご担当者様
横浜市立大学 岡田研究代表、池水 URA、研究支援担当 2 名

概要:福重 PM に国土交通省経由での面談を調整いただいた。岡田医師より研究概要や進捗、循環器病対策推進基本計画（第 2 期）と本研究とのマッチングや厚生労働省へのご相談事項についてプレゼンした後、質疑応答を行った。

### 課長補佐様からのアドバイス

・大変興味深い取り組みであるとともに、心不全地域連携パスが重要だと感じる、自治体での実績を横展開にすることで厚生労働省として支援できるものがあるかもしれない。

・開発段階は AMED へ申請の申請が適切だと思われる。厚労科研費はより社会実装に近いもの、具体的には社会実装され、それを全国に広めていく段階のものが採択されている。

国土交通省 物流・自動車局 安全政策課への説明実施

2024年2月26日(月) 17時15分～18時15分ごろ
国土交通省 物流・自動車局 安全政策課 企画係長様 安全管理室 専門官様
国土交通省 総合政策局 技術政策課 ご担当者様 福重 PM 様
横浜市立大学 岡田研究代表、池水 URA、研究担当 1 名

概要：福重 PM に面談を調整いただいた。岡田先生より研究概要や協議会の方向性との関連性や物流・自動車局へご相談事項についてプレゼンした後、質疑応答を行った。

係長様からのアドバイス

- ・運輸業界に参入するには、価格競争が厳しい。入り口としては、大手企業へのアプローチがいいのではないか
- ・運輸業界での課題を解決するためには、早期発見、早期治療が重要というコンセプトが重要である。
- ・高度化ワーキンググループで自動点呼の実証実験を進めているので、ワーキング資料も参照して頂きたい。

2 省への訪問で理解できたことは、当初は早期発見で運行管理に危険を察知し、乗務を止めることを目指したが、早期発見&早期治療で持続的な運輸を実現（仕事と治療を両立）することが望まれていることであった。社会実装への進め方の優先順位付けを変える予定である。

3 月 18 日に第 8 回交通運輸技術フォーラムに参加し、本研究の成果の発表を行った。参加者からは「とても関心のある内容だった」などのコメントをいただいた。多くの方に見ていただいたので、今後の社会実装への弾みがつくと思われる。

## 6. 結論

本研究は採択時に頂いた委員の先生方のご指導内容を反映し、研究計画を実施することができた。

### 6.1 表情解析研究

- ①可視光と近赤外光を使った人の表情画像・動画の取得システムの開発  
作成したシステムの画像を図 12 に示す。



図 12 作成したシステムの外観

## 6.2 音声解析研究

①「長母音」「パタカ」の音声タスクを基軸とした音声取得システムの開発  
作成したシステムの画像を図 13 に示す。



図 13 音声取得システム

可視光と近赤外光を使った人の表情画像・動画の取得システムと「長母音」「パタカ」の音声タスクを基軸とした音声取得システムを組み合わせた全体のシステムを図 14 に示す。

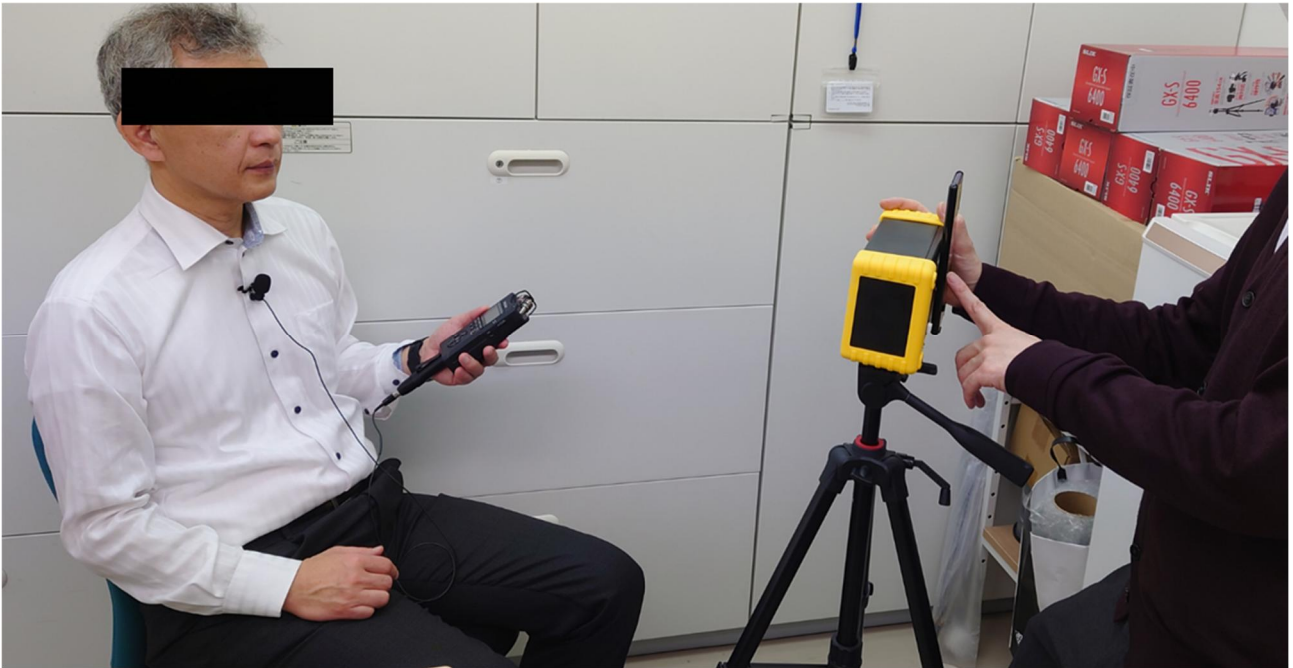


図 14 全体のシステム

本システムを使用して心不全患者の顔画像と声のデータを取得すること可能となった。顔画像はおよそ1分程度、音声も1分程度で効率的に取得できることを確認した。録画データを使用して、顔の特徴量抽出が事前検証時と同じように実行できることを確認できた。また、音声データから「パタカ」と「長母音」を手作業でファイル分割し、音響学的特徴量を事前検証時と同じように抽出できることを確認できた。計画通りに令和6年4月から複数の医療機関などから心不全患者の表情と音声のデータを取得する準備が完了した。

## 7. 知的財産権取得状況

特許出願 無し

## 8. 研究成果発表実績

### 1) 論文発表

国内 無し、海外 無し

### 2) 口頭発表

国内 1件、海外 無し

- ・第8回交通運輸技術フォーラム、令和6年3月18日、AP新橋Fルーム、“AIによるドライバーの心不全を予見する研究”

### 3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

- ・無し

## 9. 参考文献

- [1] 国土交通省、“トラック運送業の現状等について”、p.4、  
<https://www.mlit.go.jp/common/001242557.pdf> 最終確認：令和6年3月
- [2] 国土交通省 令和4年度 事業用自動車健康起因事故対策協議会、「健康起因事故発生状況と健康起因事故防止のための取り組みについて」、p.2、  
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001586895.pdf> 最終確認：令和6年3月
- [3] 国土交通省 令和4年度 事業用自動車健康起因事故対策協議会、「健康起因事故発生状況と健康起因事故防止のための取り組みについて」、p.3、  
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001586895.pdf> 最終確認：令和6年3月
- [4] Kozo Okada, et al. Clinical utility of machine learning-derived vocal-biomarker in the management of heart failure –GOKAN-HF–, Circulation Report 2024,6(8):303-312