

# 高精度なピーク検出とノイズ除去による ウェアラブル信号解析



産業医科大学 産業保健学部 人間情報科学  
講師 黒坂 知絵

2025年12月11日

## 背景 —身近になった生体計測—

- ウェアラブルデバイスの種類

- スマートウォッチ
- スマートウェア
- スマートリング
- スマートグラス
- イヤラブルデバイス

:



健康管理

安全管理

疾病予防

生体認証

学習支援

パフォーマンス  
向上

エンタメ

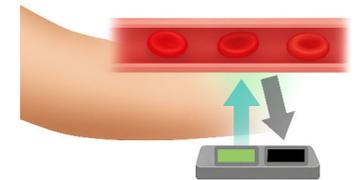
QOL向上

# ウェアラブルデバイスをめぐる課題



# 心電図・脈波 × 心拍数 ー何が必要か？ー

- 心電図 (ECG)
  - ー 心筋が興奮・収縮するとき生じる電気信号 (活動電位の変化) を体表の電極で計測
- 脈波 (PTG)
  - ー ヘモグロビンが特定波長の光を吸収する特性を用いて血流量の変化を光学的に計測



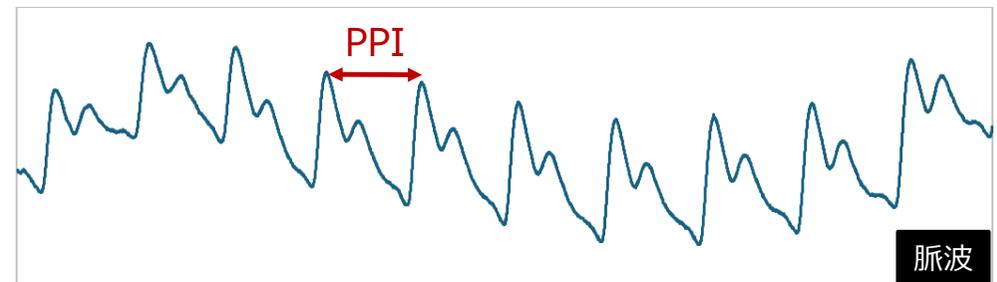
## 心拍数・脈拍数とは

1分間に、R波・ピークが出現する回数

R波・ピークを正しく検出することが重要



<ECG参考>  
P波 … 心房の電気的興奮 (心房収縮)  
QRS波 … 心室の電気的興奮 (心室収縮)  
T波 … 心室の電気的回復 (心室拡張)



<PTG参考>  
緑色：外乱に強く安定した計測が可能  
赤外線・赤色：太陽光に含まれるため屋外での計測に向かない

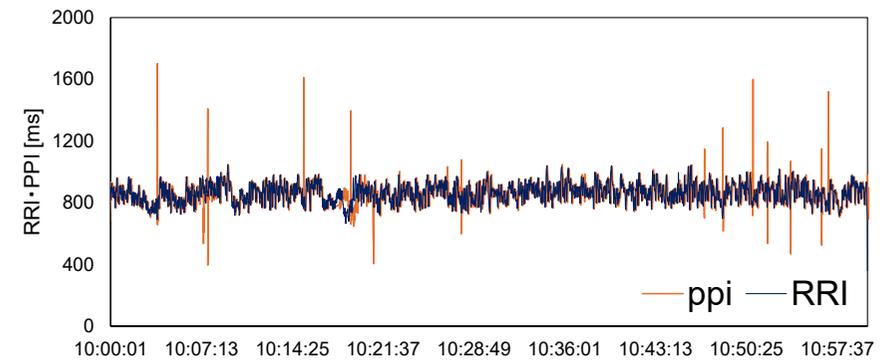
# ウェアラブルデバイスの現状

- 心電図：有線で計測（ $CM_5$ 誘導）
  - サンプリング1kHzで記録し，RRIを算出
- 脈波：ウォッチ型デバイスで左右手首から計測
  - 左手：固定台
  - 右手：自由
- 条件：座位でVTD作業（約60分間）
  - マウス操作のみ
  - 対面での会話あり

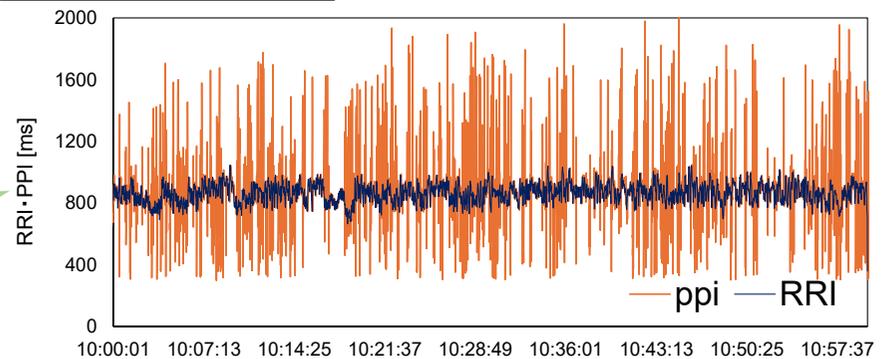


座位であっても  
無拘束条件では  
真値と大きく異なる

左手（固定台）

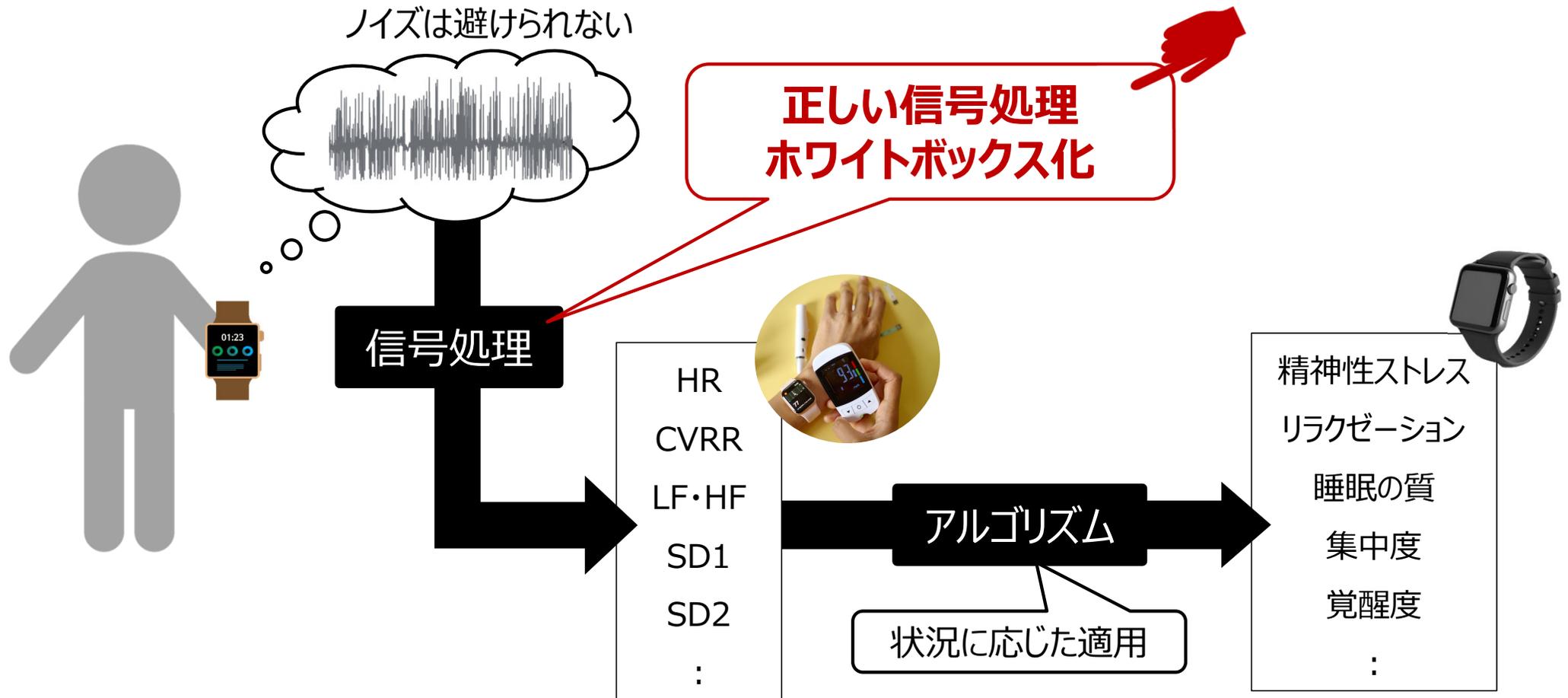


右手（自由）



VTD (visual Display Terminals) : パソコンなどのディスプレイを使った作業全般

# ウェアラブルデバイスに求められること



# 従来技術 ー様々なピーク検出手法ー

閾値 移動平均	固定・変動（適応） 閾値 差動フィルタリング など	ピークの立ち上がりや振幅で判定 実装が容易だがノイズに弱い	Pan, J. & Tompkins, W. J.(1985) Christov, I.(2004)
微分法	一次・二次微分	信号の傾きや加速度から極値を検出 計算量が少ないがノイズの影響を受けやすい	Vidal, C. et al.(2009) Bae, T. et al.(2019)
Wavelet 包絡線	時間×周波数特性 ヒルベルト変換 など	特徴的な周波数成分を抽出 形上変化に対応しやすいが計算コストはやや 高め	Benitez, D. et al.(2001) Arzeno, et al.(2008)
テンプレート マッチング	相互相関, 動的時間伸縮法 など	テンプレートと類似する位置を検出し判定 個人差に対応可能であるが計算負荷が高い	Nakai, T. et al.(2014) Shdefat, A. et al.(2018)
機械学習 深層学習	SVM, ランダムフォレスト, CNN, LSTMなど	特徴量を学習して検出 大規模データを必要とし解釈性に欠ける	Acharya, U. R. et al. (2017) Wenjie Cai & Danqin H. (2022)
脈波検出	PPG波形に特化した手法	ウェアラブルや非侵襲の測定を目的とした手法	Elgendi, M.(2013) Han, D. et al.(2022)

## 従来技術と実用性への課題

ピーク検出方法には多くのアルゴリズムが存在する

- リアルタイム処理
- 計算負荷
- ノイズへの対応

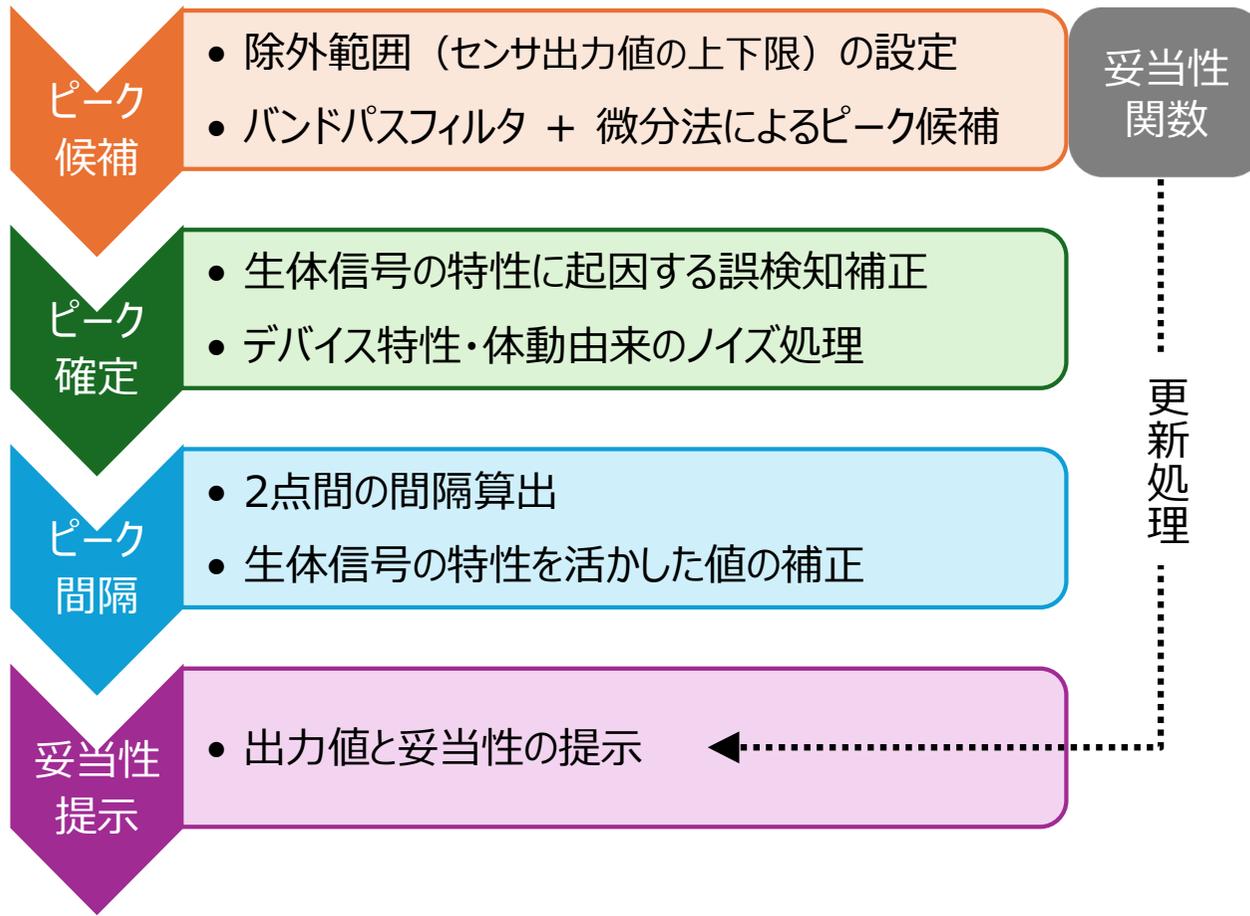
多くの研究で議論されてきた

しかし . . .

- デバイス特性や生体信号に応じた適宜調整
- データ欠損時の対応
- 出力値の妥当性提示

課題

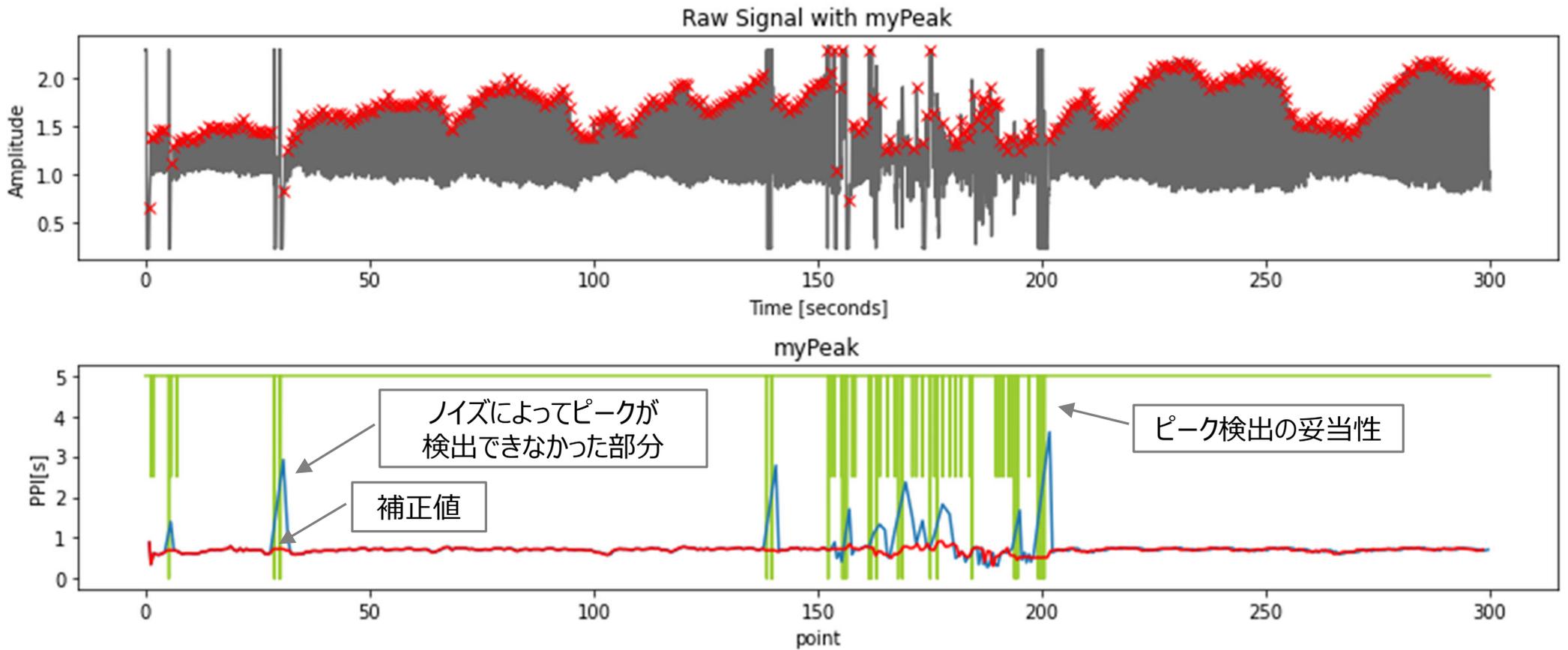
# 提案手法の流れと特徴



## 本手法の特徴



# 提案手法によるピーク検出例（5分間の脈波）



# 手順1：ピーク候補を見つける

## ● 未計測部分の除外

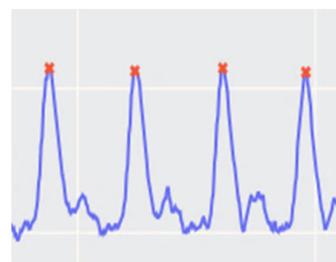
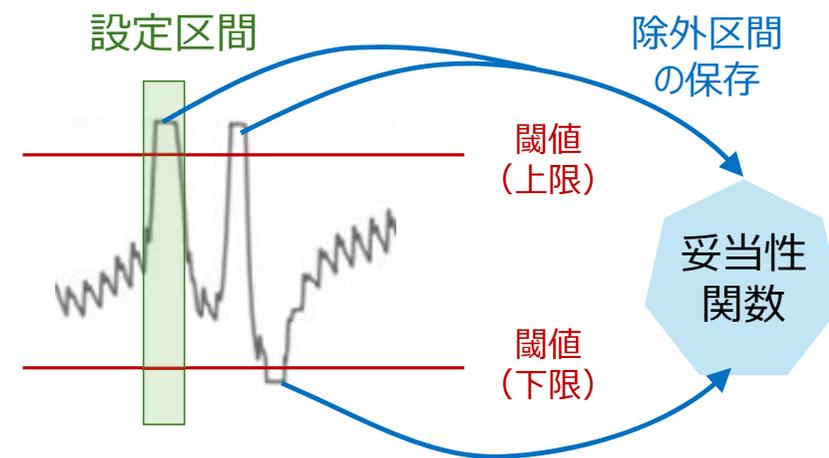
- センサの最大出力値（オーバーフロー）を閾値とする
- ある区間に閾値を複数回超える場合は除外

生体信号に応じた値（変動も可）を設定

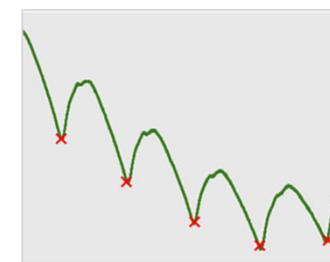
## ● 微分法によるピーク候補

- 生体信号に応じたバンドパスフィルタ（既存でよい）
- $\{X_{(i-1)} - X_{(i)}\}\{X_{(i)} - X_{(i+1)}\} < 0$ （微分）
- ある区間の最大値／最小値 など

生体信号に応じた値（変動も可）を設定



心電図



耳朶脈波

## 手順2：ピークを確定する

### 手順1で設定した区間によっては誤検知がおきる

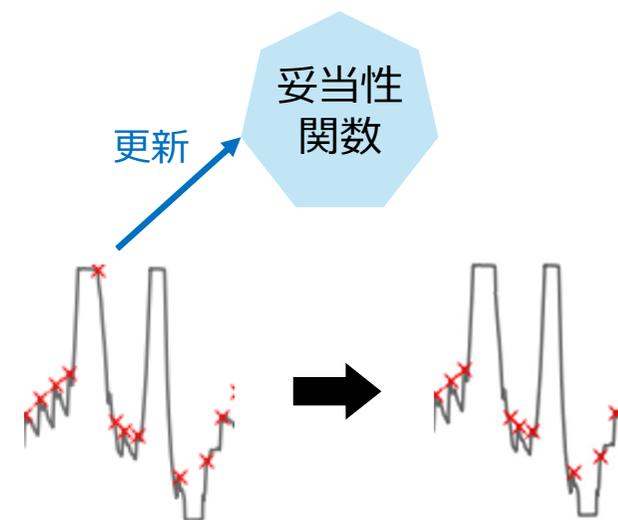
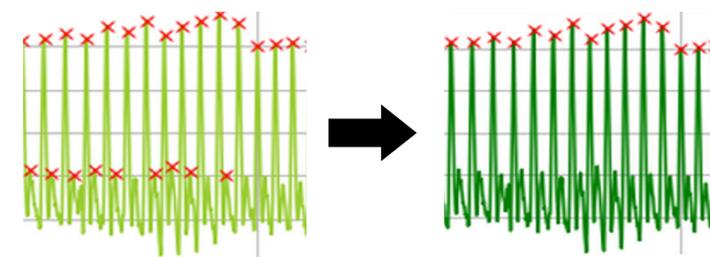
- 元データの振幅を使って誤検知を除去
- 許容時間内で前後の向きからチェックすると効果的

#### ● 生体信号に起因する誤検知（二峰性など）の除去

- $X_{\text{peak}(i)} < X_{\text{peak}(i+1)} \times \alpha$ （例えば 0.5）の場合
- $X_{\text{peak}(i)} < X_{\text{peak}(i-1)} \times \alpha$ （例えば 0.5）の場合

#### ● 行動特性に起因する誤検知（体動など）の除去

- $X_{\text{peak}(i)} > X_{\text{peak}(i+1)} \times \beta$ （例えば 1.5）の場合
- $X_{\text{peak}(i)} > X_{\text{peak}(i-1)} \times \beta$ （例えば 1.5）の場合



## 手順3：ピーク間隔を算出する

$$\text{Peak to Peak Interval} = \text{peak}_{(i)} - \text{peak}_{(i-1)}$$

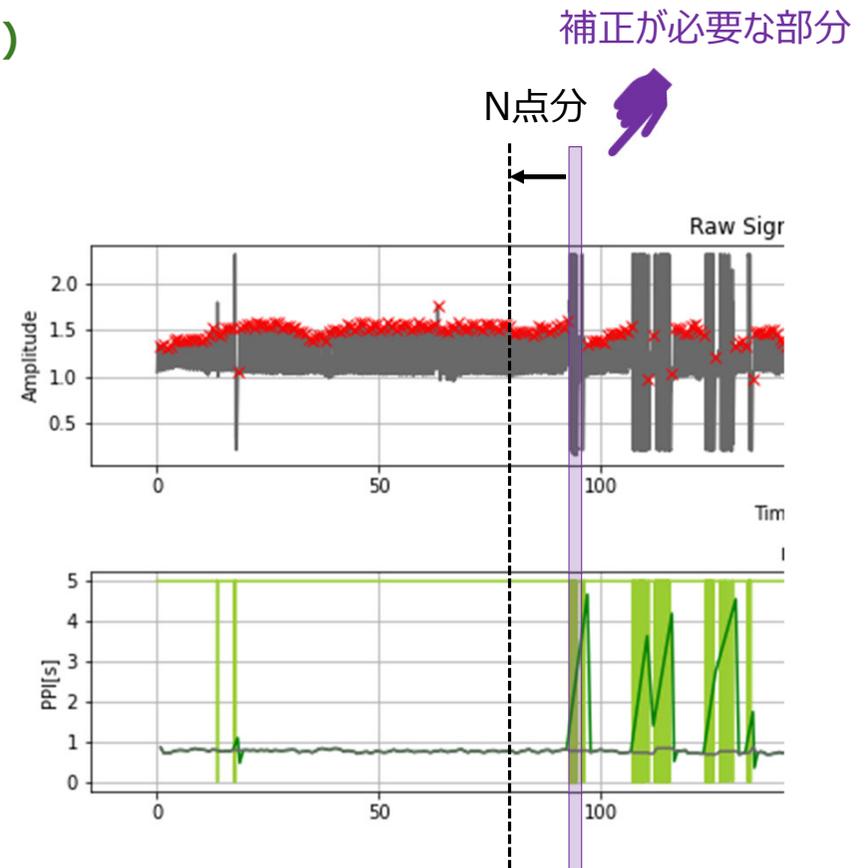
– ノイズ部分は補正が必要となる

### ● 妥当性関数で記録されたノイズ部分の補正

- N点分前のデータ（例えば 25点）で補正值を算出
- 補正が必要な区間の拍数を算出して補正值に置換
- 補正值 =  $\text{mean}(\text{PPI}_{\text{rangeC}}) \pm z\text{値} \times \text{std}(\text{PPI}_{\text{rangeC}})$

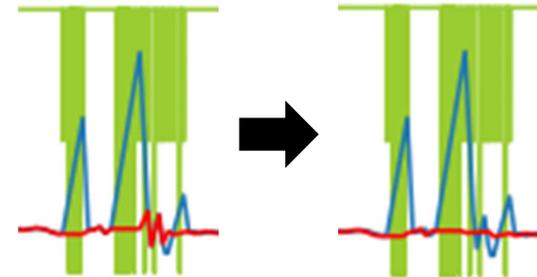
※ z値：平均±5%の正規分布確率

※ meanのかわりにmedianを使うのも効果的



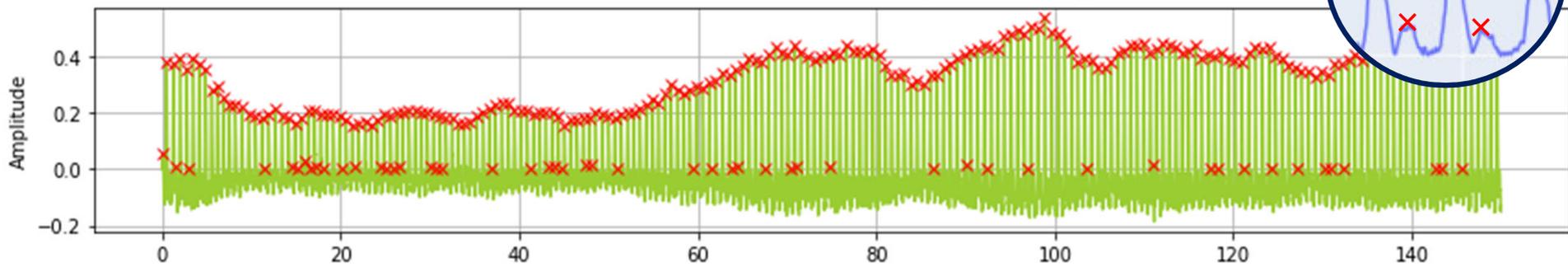
## 手順3：ピーク間隔を算出する

- 必要に応じて導入
  - 不整脈などの場合、のこぎり状の波形が残る場合がある
  - ノイズに弱い指標を使う場合は、スムージングした方が望ましい
- のこぎり状を検知し、前M点分の平均値に置換
  - $\text{modify\_peak}_{(i)} > \text{modify\_peak}_{(i-1)} \pm \gamma\%$  など

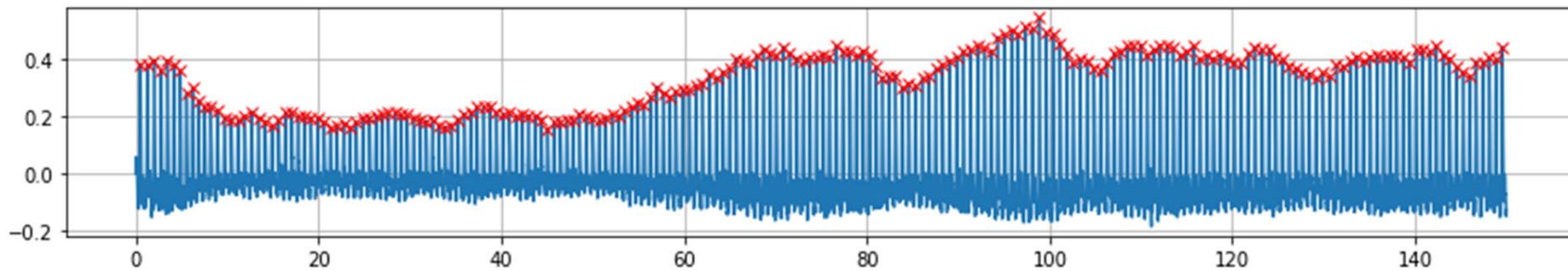


# 特徴：正しい検出ができる

従来法

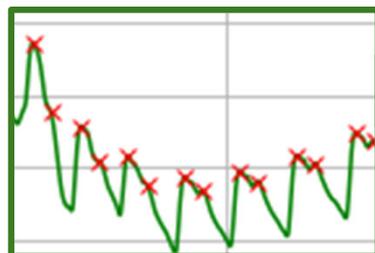


提案手法

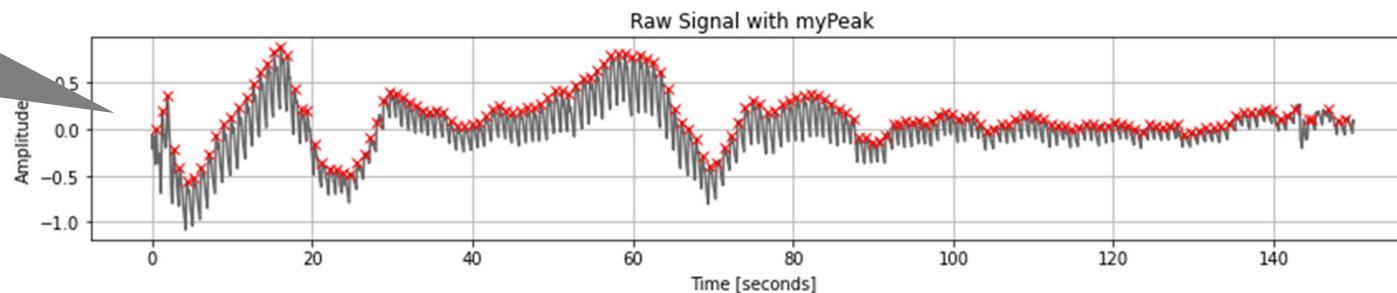
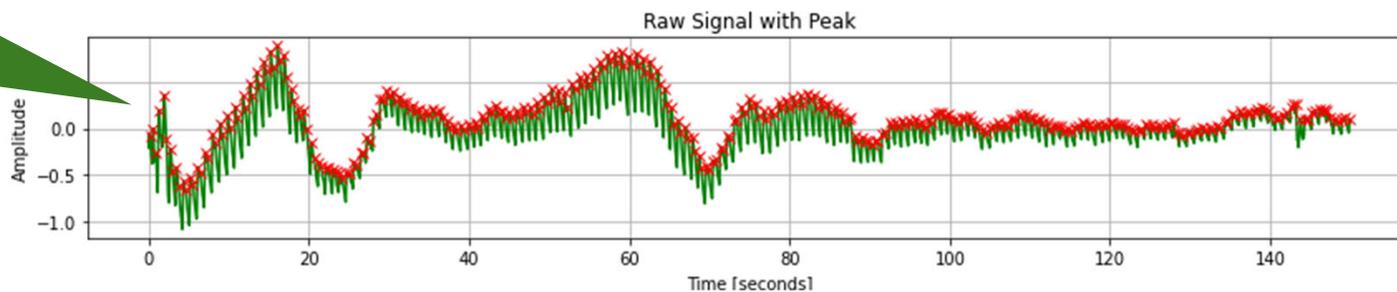
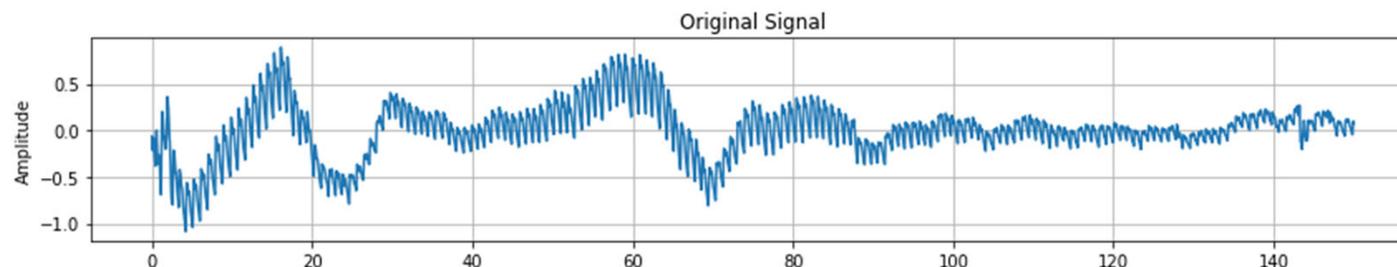
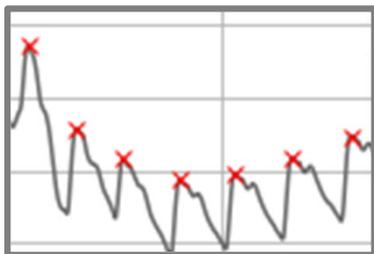


# 特徴：不安定な波形でも検出できる

従来法

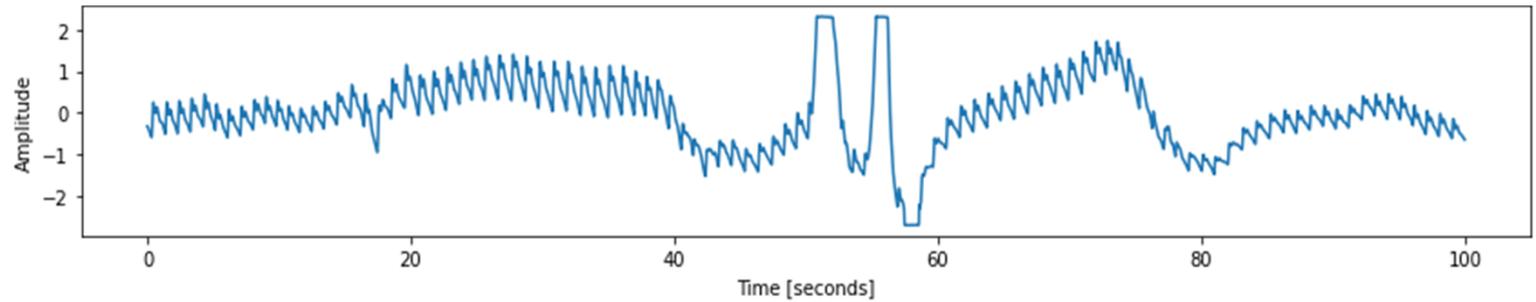


提案手法

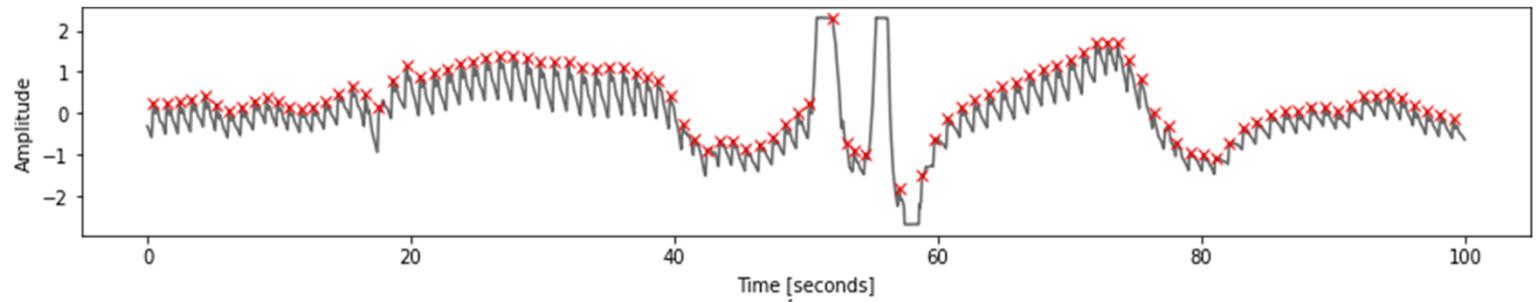


# 特徴：出力値の妥当性が提示できる

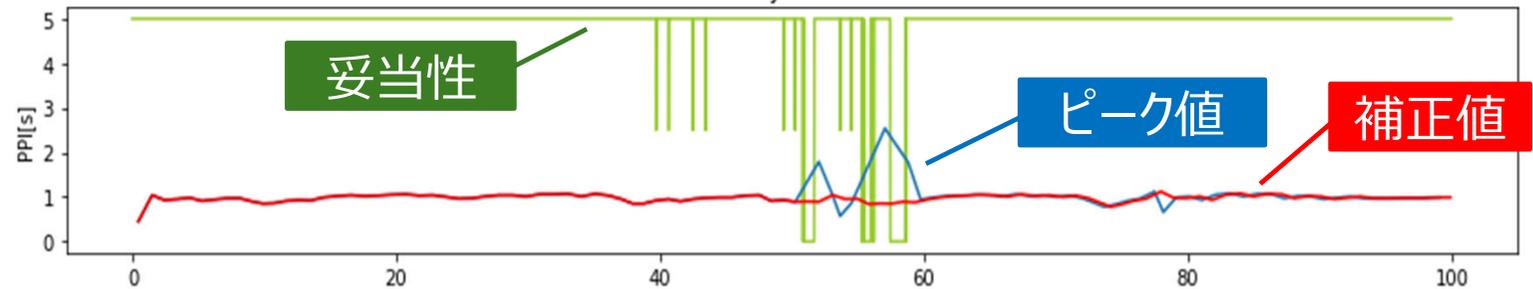
取得データ



ピーク検出

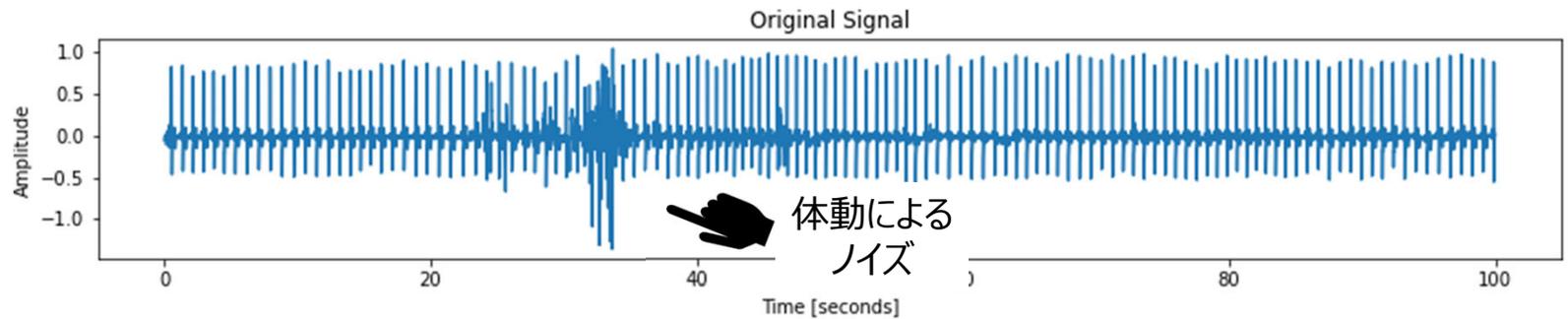


ピーク値の補正  
+  
妥当性の算出

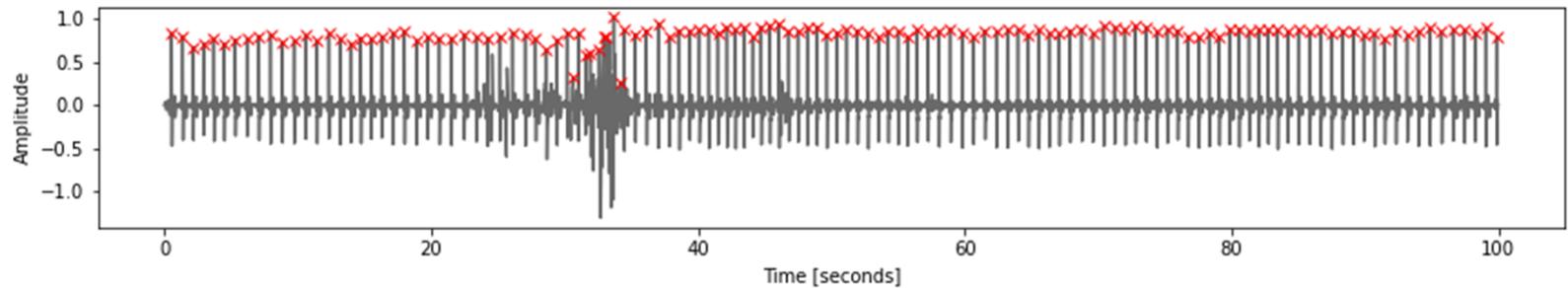


# 特徴：様々な生体信号に適用できる

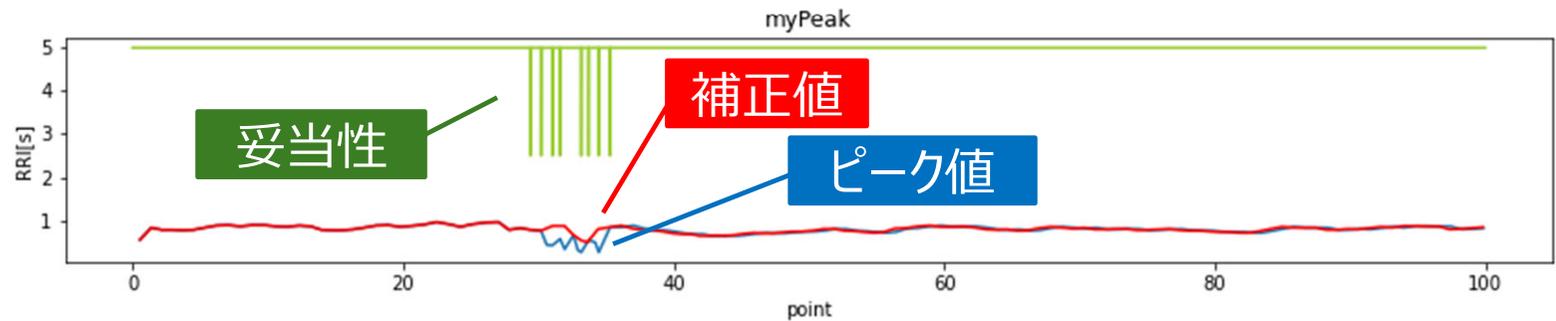
心電図  
(ECG)



ピーク検出



ピーク値の補正  
+  
妥当性の算出



## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術は・・・
  - 不安定な波形の誤検知に対して調整が難しい
  - アルゴリズムによって処理できる生体信号が限られている
  - 出力値の信頼性が不明である
- 新技術では・・・
  - 処理したい生体信号に応じたカスタマイズが可能である
  - デバイスの特性に応じて調整が可能である
  - リアルタイムで出力値の妥当性が可視化できる
  - ウェアラブルデバイスへの導入が容易である

## 実用化に向けた課題と社会実装

- 現在、日常生活で計測された様々なデータに対して処理を適用し出力値や妥当性を確認中である
- もっともらしいピーク値が得られているものの日常生活の「真値」を取得して比較するための検討を行っている
- 2年以内の目標  
様々な検証を完了させウェアラブルデバイスへの導入を目指す

## 企業への期待

- 日常生活で取得した生体情報を  
健康管理や安全管理, Well-beingの実現に応用するためには  
本技術の導入が必要であると考えます
- 信頼性の高いウェアラブルデバイスの開発・普及を期待します
- フォームウェアなどのデバイス開発技術を持つ企業との  
共同研究を希望します

## 企業への貢献・PRポイント

- 本技術は、製品に応じたカスタマイズが容易にできます
  - 信号処理ステップ毎に問題解決が可能です
- 本技術導入時の技術指導，サポートをいたします
  - 科学的知見に基づいた信頼性の確保します
  - 利用目的に応じた信号処理方法を提案します
- 本技術の導入により得られた生体情報について  
その後の応用技術についてもぜひご相談ください

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 生体情報取得装置および方法並びにプログラム
- 出願番号 : 特願2025-020850
- 出願人 : 学校法人産業医科大学
- 発明者 : 黒坂知絵

## 産学連携の経歴

期間	共同研究	研究テーマ
2018－2022年	建設関連企業 ウェアラブルデバイス開発企業	ウェアラブルデバイスによる暑熱リスク推定 特許第7539634号 特願2024-147771 国際出願番号PCT/JP2020/034305
2019－2022年	建設関連企業	知的生産性向上に適した作業環境
2021－2022年	総合電機企業	就業中の精神性ストレス推定
2020－現在	飲料・食品メーカー	茶飲料による生体反応とFLOW誘発 特開2024-069950

## お問い合わせ先

産業医科大学 産学連携・知的財産本部

- T E L 093-603-1611 (代表)
- F A X 093-691-7518
- e-mail [chizai@mbox.pub.uoeh-u.ac.jp](mailto:chizai@mbox.pub.uoeh-u.ac.jp)