

2点同時PPG計測装置の開発と 部位間の脈波特性差分解析

テーマ内容：

PPGセンサー 2 台～4 台：**血管反応の“地図”を描く**血管評価ツールをめざしています。

- ・ 1 台で糖質応答モニタリング
- ・ 2 台で
糖尿病性足病変の早期兆候の検出
脳梗塞予知
脱水症、感染症後遺症
- ・ **新しい自律神経機能評価方法の提案**

日本医療機器学会 COI開示

安島弘美

発表者は、2025年3月末まで、京セラ（株）にて、脈波解析を用いた血糖値推定技術開発に従事していました。

システム全体構成：CarbSens（Dual機能搭載）

センサー 1 台：手首装着で
糖質応答モニタリング
⇒ 血糖変動を反映

クラウドサーバー
脈波解析
機械学習

センサー 2 台：血管反応の“地図”を描く
・ 左右差の可視化（**脳梗塞予知**）
・ 糖尿病性足病変の早期兆候の検出
・ **脱水症**、感染症後遺症に伴う自律神経評価
・ **ドライバーモニター**左足首測定

糖質応答モニタリング(**Carb値**)

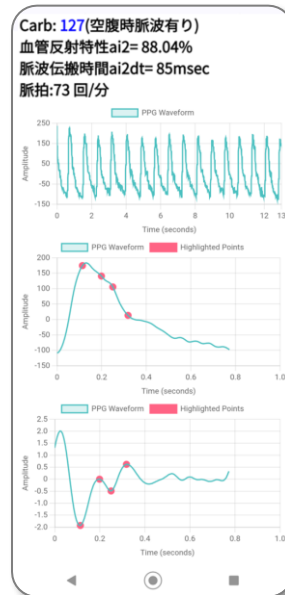


2 点同時計測Dual機能(**VeST値**)

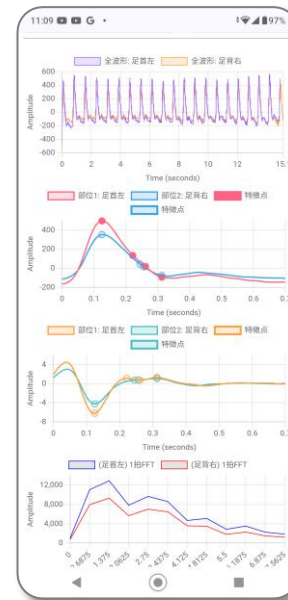
PPG脈波センサー
Polar verity sense
食後の血管拡張を捉える



スマートホンと
BLE接続
Android/iPhone



糖質応答（左図）



2点脈波測定（右図）

装着部位の例



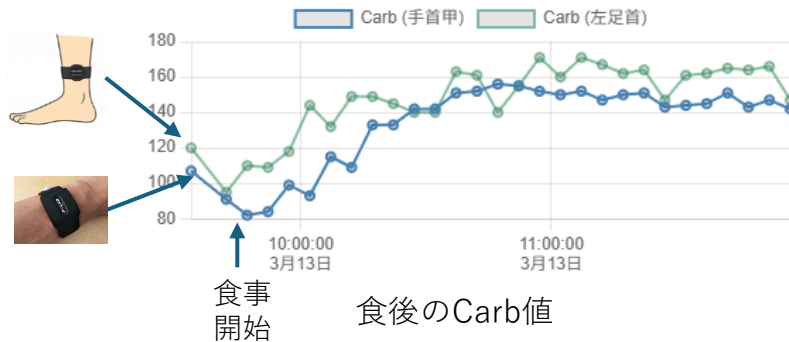
多点クロス解析イメージ

CarbSens: 解析ソフトウェア

1. 手首、足首での糖質応答モニタリング

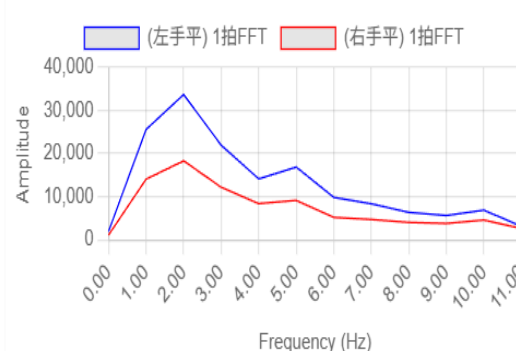
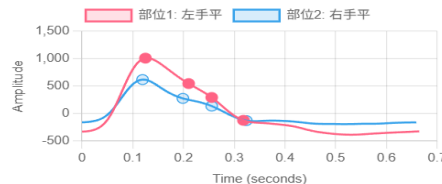
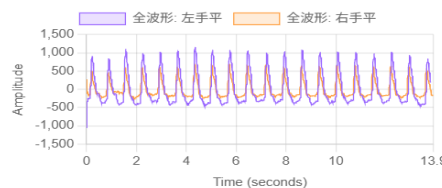
※CGMのような遅延が発生しない

足首は自動車ドライバーモニター用



3. 左右 - 脈波バランスチェック (VeST値) - ストレス傾向チェック (Stress)

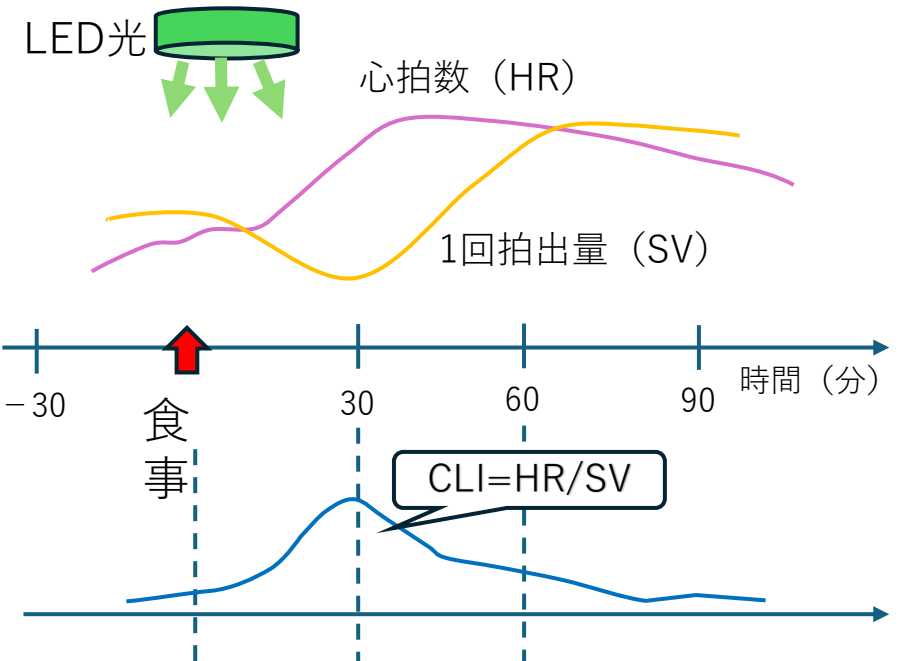
センサーは手の平



1. 左右差、局所的血管・神経トラブル
2. 脳梗塞予知

2. 自律神経機能評価 (1点で可能) HR/SV 比率 (CLI=循環負荷指数)

心拍数 (HR)、1回拍出量 (SV)

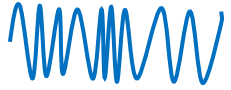


1. 自律神経機能評価
2. 脱水・熱中症リスクの早期検知
3. 自律神経失調や Long COVID の可視化

新しい自律神経評価法の提案ー従来法との比較

従来のHRVが持つノイズへの弱さを克服するため、**2つの新しい自律神経評価法**を提案

提案方式：現代の健康評価において重要、実用的
実生活に即した、健康評価機能・適応力自律神経機能評価

評価法	ターゲット	メリット 検出できるリスク	
1,HRV 従来法 心拍揺らぎ LF/HF比	心臓（時間軸） 測定 2 分以上	最も一般的だが、心拍変動ノイズに弱く、姿勢・呼吸で変動、 バランスがわかるが、元気がわからない	揺らぎ解析 
2. HR/SV (CarbSens) ★新提案①	全身・代謝 （血行動態） 測定13秒	【食事負荷適応能力・脱水】 傾向を捉える → 全身の自律神経反射・代謝エラーを可視化	
3. VeST (CarbSens Dual) 部位間脈波比較 ★新提案②	局所・脳半球 （部位間脈波比較） 測定13秒	【脳梗塞・TIAの超早期リスク】 傾向を捉える → 左右差の抽出により、脳由来の血管統御エラーを可視化 ※TIA：脳梗塞の重大な前触れ	

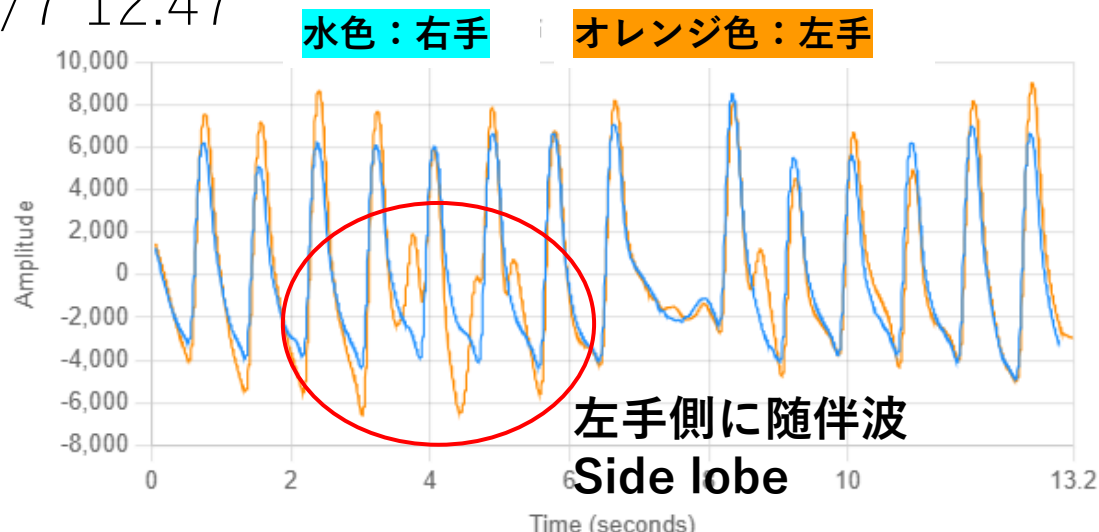
※**VeST** (Vascular Ensemble Symmetry Test)

TIA発症2日前の左右差 セルフ測定データ

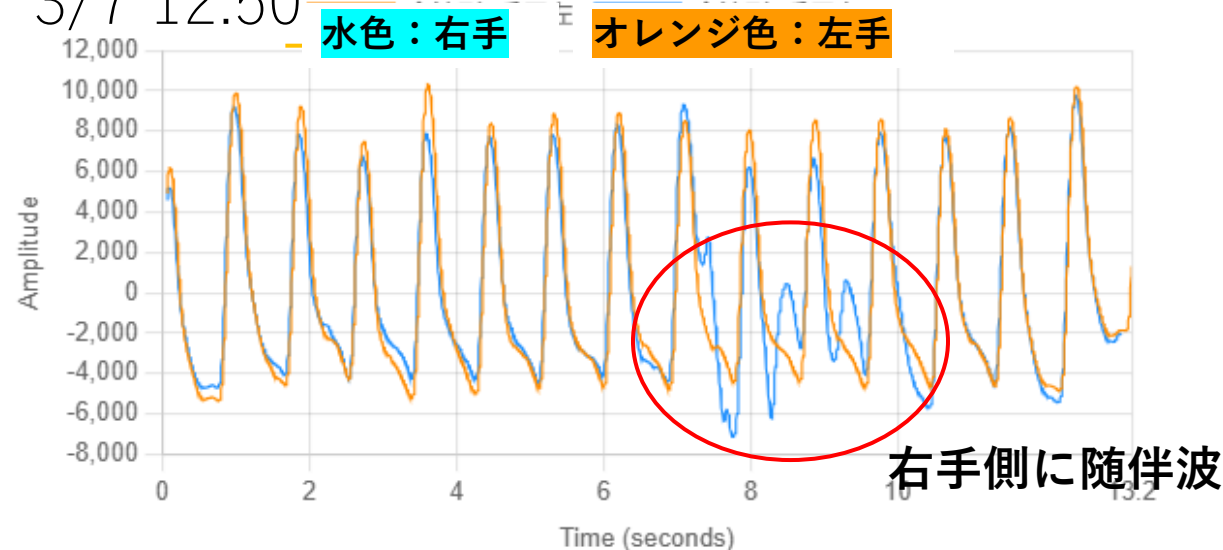


■TIA発症2日前に片側に随伴波が表れていた、3分で左右反転

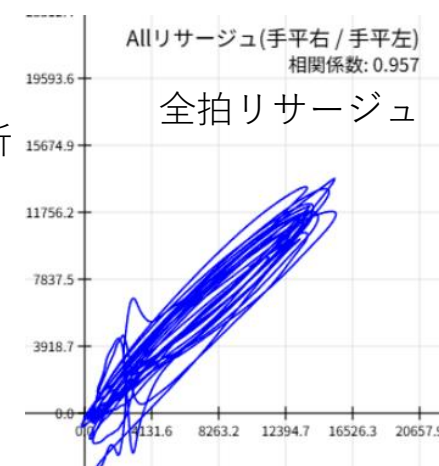
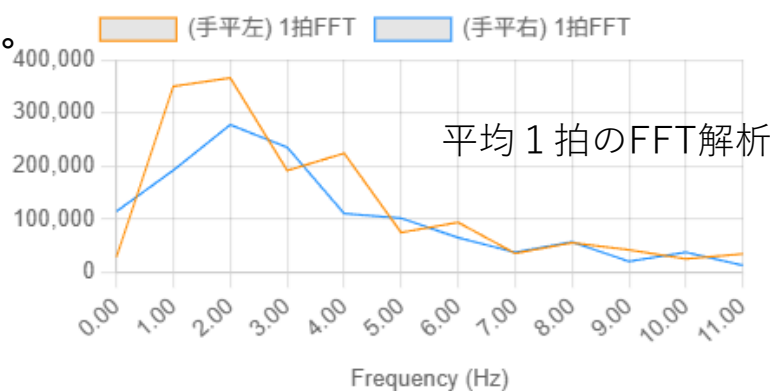
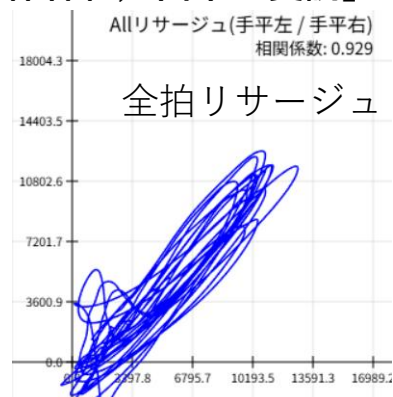
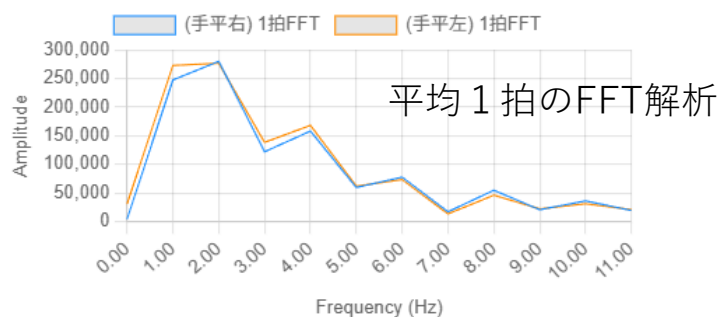
3/7 12:47



3/7 12:50



基本波は完全に一致しているが、片手だけに1~2拍随伴する重畳波がある」
「アーチファクトや心臓由来ではない、脳（自律神経）由来の変調」である。

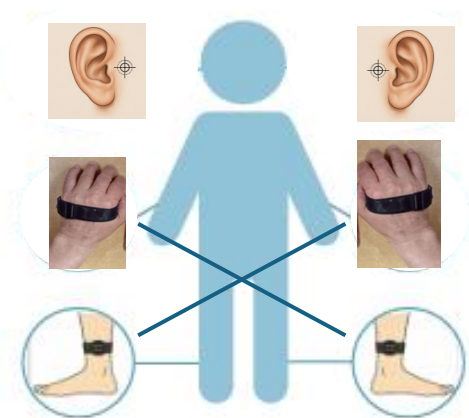


「なお、安静時の1回計測で随伴波が検出されない場合でも、食後に1~5分おきの**インターバル測定**を行うことで、食事負荷による**自律神経のエラー**を強制的に**あぶり出す**ことが可能です。

4点脈波クロス解析 (Dual × 2) による全身展開

『全身の血管・自律神経ネットワークのエラーマッピング』

『締め付けなし、リアルタイム、機能的』な次世代の全身スクリーニングへの展開を目指していく。

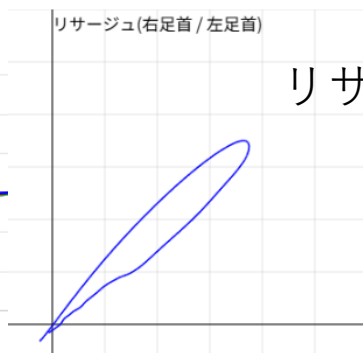
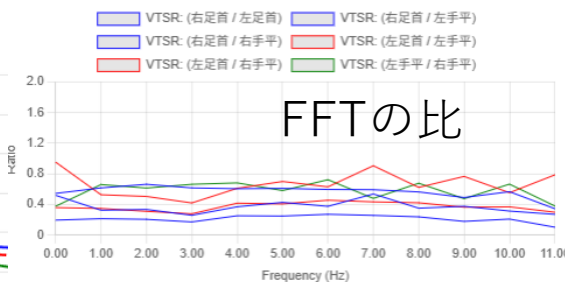
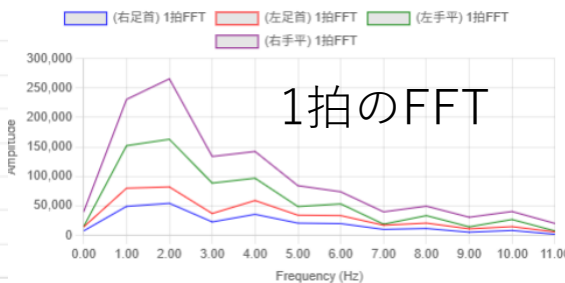
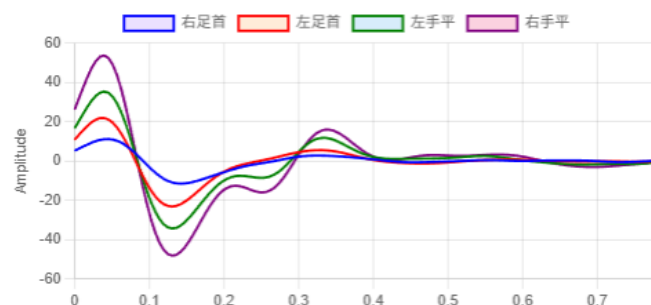
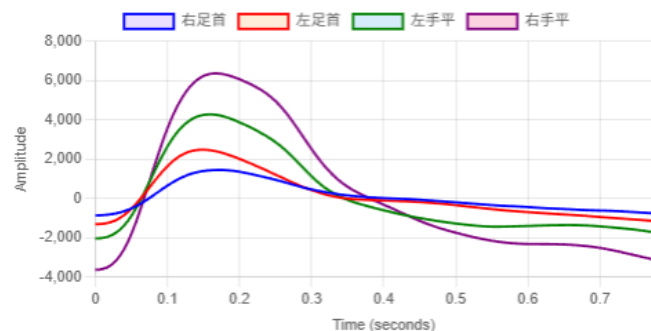
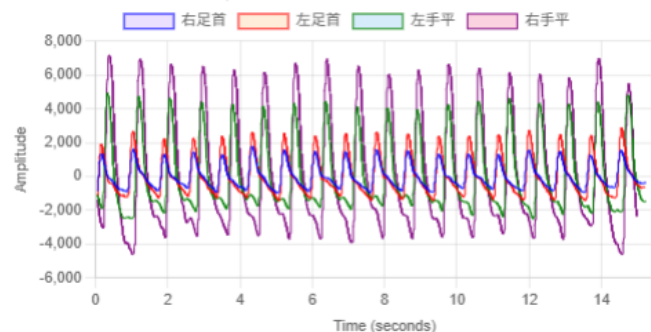


4点クロスで

- HR/SV比率
- VeST値

の比較が可能になる

4部位の脈波の“違い”
が定量的にわかる



まとめ（本研究の意義と応用可能性）

■本研究の意義

1点PPG測定機能

- ・ 糖質応答モニタリング（手首・ドライバーモニター）
- ・ 新しい自律神経機能評価法（HR/SV）の提案
- ・ HR/SV（**脱水・熱中症**の兆候を捉える可能性）

2点同時PPG測定での追加機能

- ・ 血管閉塞性と自律神経左右差を同時に評価
- ・ **脳梗塞のTIAの超早期リスクモニター（VeST）**として極めて有用
- ・ 従来のHRVでは見えない“**自律神経の左右差（VeST）**”が見える
「食後インターバル測定によるあぶり出し（感度向上）」
⇒ 4点クロス脈波解析への発展性

■応用の広がり

- ・ 脳梗塞・認知症：左右差の観察
- ・ 糖尿病：足部の血管病変評価
- ・ 心筋リスク：末梢血流変動の把握
- ・ 感染症後遺症：自律神経・微小循環の変動評価
- ・ 熱中症：末梢血管拡張と自律神経破綻の早期検知
→ 多領域での早期介入を支える、横断的な血管評価ツールへ



CarbSens *Dual*

まとめ（今後さらなる展開と協力をお願い）

■ 今後のさらなる展開（プラットフォームの拡張）

・ 認知症の超早期傾向を探る

VeSTによる脳内自律神経ネットワーク変調の長期的トレンド解析
HR/SVによる「高齢者の脱水（せん妄トリガー）」の日常監視
HR/SV, HR × SVによる脳血流監視（食後低血圧）

■ ご協力をお願い

本研究のさらなる**発展と社会実装**に向けて、
医療・研究・技術開発に携わる皆様の
ご助言・ご協力を心よりお願い申し上げます。



CarbSens *Dual*



<https://carbsens.com/>



<https://jawda.jp/>

謝辞/参考文献

謝辞 (Acknowledgment)

本研究を進めるにあたり，日ごろからご指導を賜っているサンマルコクリニック院長南先に深く感謝いたします。また，データ測定およびアプリ開発にご協力いただいた（株）NYの吉沢氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

安島弘美，中村隆，南史朗，
「ジャイロセンサを用いた圧脈波センサ開発と食後血糖値推定技術の研究」，
日本機械学会論文集，87巻，901号，2021年.

ご清聴ありがとうございました。

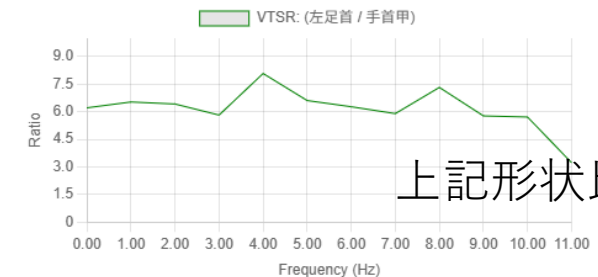
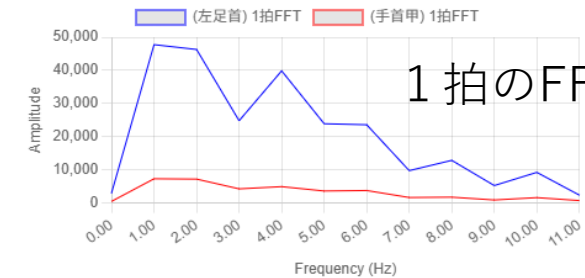
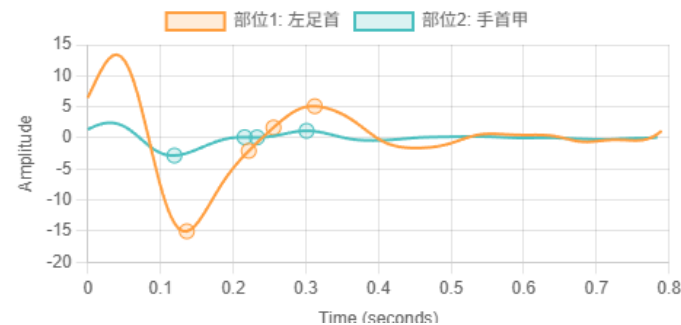
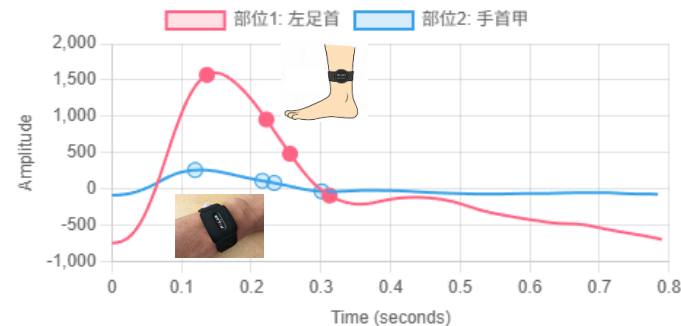
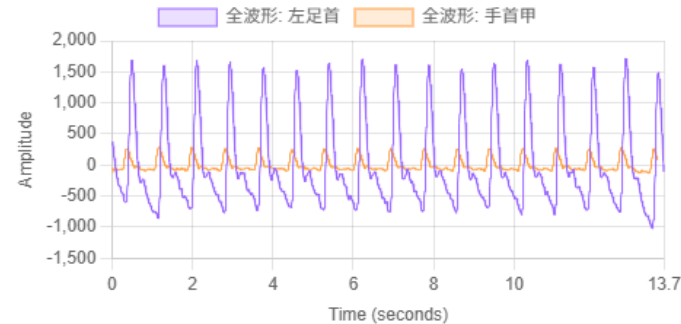
測定例：手首甲一足首 同期表示と差分



項目	左足首	手首甲
Carb	166	167
ai2 (血管反射特性)	73%	57%
ai2dt (伝搬時間)	85 msec	96 msec
脈拍	74 回/分	75 回/分
糖制御機能	137	175
b/a	112	117
脈波振幅	2320	346

Δ ch1-ch2	左足首 - 手首甲	Δ /平均
Carb	-1.00	-0.6%
ai2	16.00	24.6%
ai2dt	-11.00	-0.3%
加速度脈波b/a比	0.96	-
脈波振幅比	6.71	-

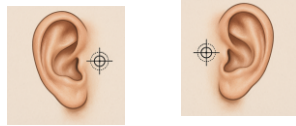
VTSR 前半 平均: 15.41 (CV: 13.6%)
 VTSR 後半 平均: 14.80 (CV: 9.5%)
 相関係数 (FFT) : 0.985
 相関係数 (リサージュ) : 0.985
 VeST : 98.5%



前半 平均: 6.69 前半 分散: 0.56 前半 CV: 11.2%
 後半 平均: 5.70 後半 分散: 1.52 後半 CV: 21.6%
 FFT同士の相関係数: 0.99



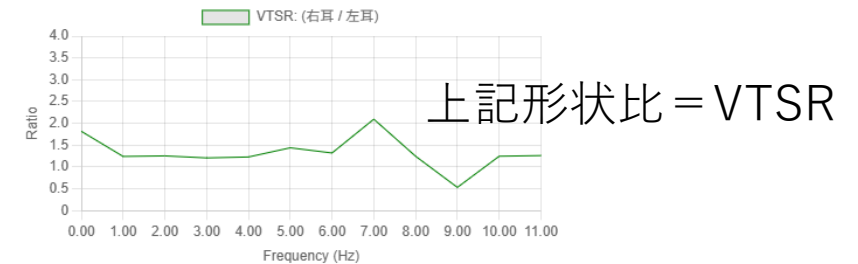
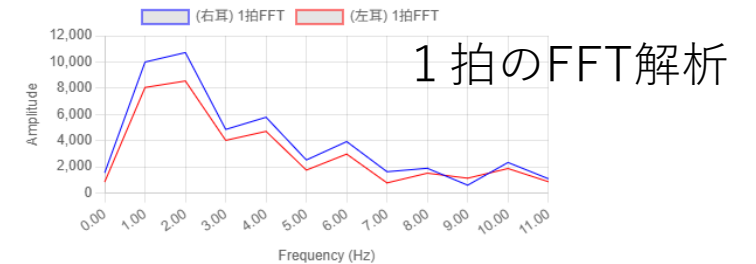
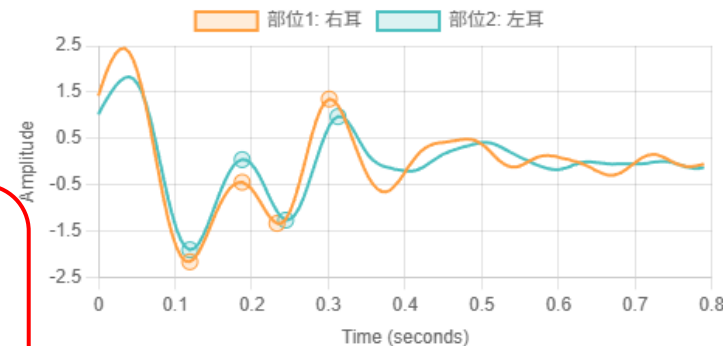
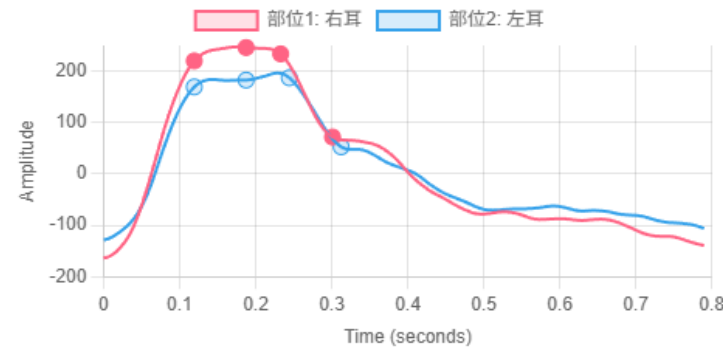
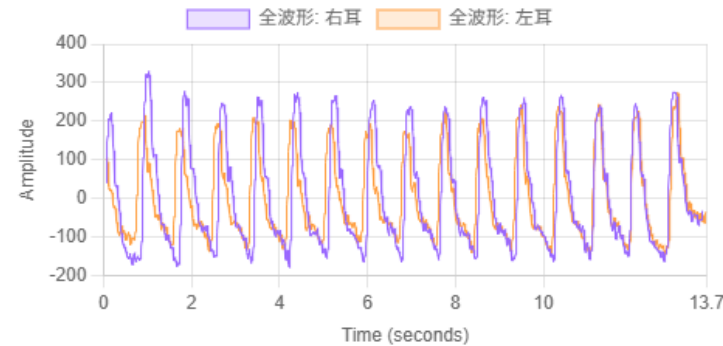
2点測定例：左右耳わき 順次測定比較 (順次測定で比較)



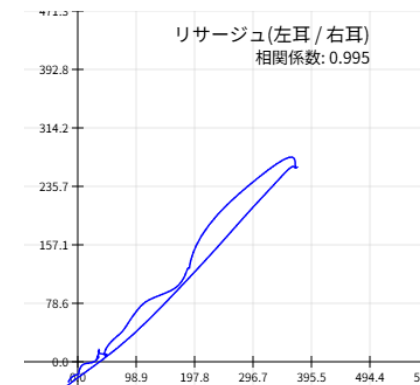
項目	右耳	左耳
Carb	88	83
ai2 (血管反射特性)	107%	104%
ai2dt (伝搬時間)	68 msec	68 msec
脈拍	70 回/分	69 回/分
糖制御機能	93	96
b/a	89	105
脈波振幅	383	298

Δch1-ch2	右耳 - 左耳	Δ／平均
Carb	5.00	5.8%
ai2	3.00	2.8%
ai2dt	0.00	0.0%
加速度脈波b/a比	0.85	-
脈波振幅比	1.29	-

VTSR 前半 平均: 1.27 (CV: 6.6%)
 VTSR 後半 平均: 1.28 (CV: 35.3%)
 相関係数 (FFT) : 0.994
 相関係数 (リサージュ) : 0.995
 VeST: 99.5%



前半 平均: 1.27 前半 分散: 0.01 前半 CV: 6.6%
 後半 平均: 1.28 後半 分散: 0.20 後半 CV: 35.3%
 FFT同士の相関係数: 0.99



リサージュ

../CarbSens/watchWave/ajima_2/202603/PolarPPG_2026-03-12T16_48_51_右耳_upload.csv
 ../CarbSens/watchWave/ajima_2/202603/PolarPPG_2026-03-12T16_49_37_左耳_upload.csv

JaWDA

抄録

演題名:2点同時PPG計測装置の開発と部位間の脈波特性差解析抄録

本文:

【背景】 本開発では、2点同時PPG計測装置（CarbSens Dual）を開発し、部位間の脈波特性差解析に向けた基盤構築を目的とした。これまで単点PPG計測装置（CarbSens Watch）を用いて、食後の脈波形状変化パターンを観察してきた。食後の糖代謝に伴い、**ai2**（脈波増大係数）の低下が確認され、血糖値変動の推定にも有用であることが分かっている。しかし単点計測では、時間的変動もあり、左右差や部位差の評価が困難で、部位間の差分を捉えるには限界があった。

【アプリ開発】 今回、Polar Verity Sense のSDKを用いて2台のセンサーを同期させ、2点同時にPPG信号を取得できる装置を開発した。単回測定に加え、5・10・15分間隔で最大28回までのインターバル自動測定機能を実装し、食後反応や日内変動、睡眠時測定も連続的に取得可能とした。また、手首背側、手掌、こめかみ、前腕、足首、足背など、測定部位をデータと関連付けて保存できる仕組みを導入した。

【解析ソフトウェア】 ソフトウェアでは、2点のPPG波形を同期表示し、差解析を行うアプリケーションを開発した。トレンド解析として、**ai2**（脈波増大係数）、加速度脈波の**b/a**比、脈波振幅、脈拍数に加え、血糖値でキャリブレーションした独自指標である**Carb**値を算出し、食後反応や睡眠時の変動を、部位毎にトレンドグラフを重ねて比較し、時系列で評価できるようにした。

【今後の展望】 今後は、実際のフィールドでの評価を通じて装置の実用性を高めるとともに、測定方法の改善と得られたデータを基にした解析アルゴリズムの高度化を進めたい。特に、脈波特性に左右差が現れる脳梗塞や認知症の現場での観察、足部に血管病変が生じやすい糖尿病患者での評価、さらに心筋梗塞に関連する末梢血流の変動の検討を進め、血管評価ツールとしての可能性を探りたい。そのために、関係諸機関や諸先輩方の協力を仰ぎながら、実用化のため改善検証を進めていく予定である。