

健康支援サービスの実現に向けた生体信号解析技術

NTTは、「便利」だけでなく「心地良い」社会の創造に向けて、本人も十分に意識できていない身体状態や心的状態を適切に理解する、Heart-Touching-AIの研究開発に取り組んでいます。本稿では、hitoe®ウェアなどのウェア型心電計測デバイスを活用して人間の身体状態や心的状態を推定する「生体信号解析技術」を題材に、従来技術の課題と、高精度化に向けたNTTの取り組みについて紹介します。

ウェア型デバイスを活用した日常生活支援

着用者の生体情報を簡便に計測できるウェア型デバイスの登場により、日常生活における生体情報を容易に計測することが可能になりました。日常生活における人間のさまざまな行動を適切に支援するためには、これらのデバイスで計測したデータを基に、本人にも意識されていない身体状態や心的状態を把握することが重要となります。特に、オフィスワークや運転など、激しい身体運動を伴わない業務は、身体活動量のみから業務負荷を把握することができないため、業務による労働者

の心的状態の変化などを適切に把握したうえで休憩などの働きかけを行うことが必要になります。

心拍変動解析による人間の状態分析

人間の身体状態や心的状態を把握する手段の1つに、交感神経と副交感神経の静的なバランスを反映するとされる心拍の変動に着目した心拍変動解析があります⁽¹⁾。心電図で計測される心電波形のうち、心筋の収縮に対応する部分はQRS群、隣接する2つのR波の間隔はRRIと呼ばれ、心拍変動とはこのRRIの揺らぎを指します(図1)。NTTはこの生理的特性に着目し、

えぐち かな^{†1} あおき りょうすけ^{†1}
江口 佳那 / 青木 良輔

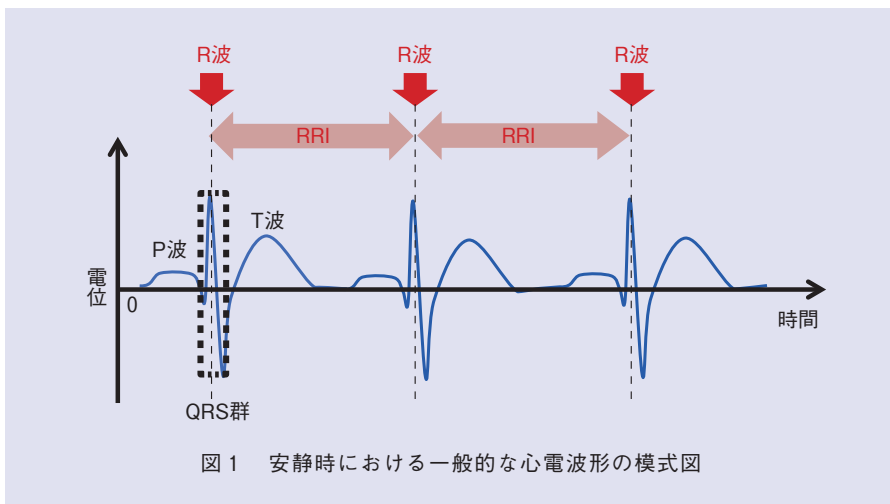
しまうち すえひろ^{†2} ちば あきひろ^{†1}
島内 末廣 / 千葉 昭宏

あさの ま なおき^{†1}
麻野間 直樹

NTTサービスエボリューション研究所^{†1}
 NTTメディアインテリジェンス研究所^{†2}

hitoe®ウェア^{*1}で計測される心電波形から心拍を算出し、図2に示す手順で心拍変動解析を行うことで、睡眠段階⁽²⁾や疲労状態⁽³⁾などの身体状態や心的状態を心拍から推定する技術の研究開発に取り組んでいます。さらに、NTTグループ会社と外部パートナーとのコラボレーションを通じて、この技術の実用化に向けて取り組んでいます。

実用化されたサービスの例としては、hitoe®ウェアを用いたドライバー管理サービス⁽³⁾があります。本サービスは、RRI時系列データを解析して得られる各種心拍特徴量と疲労状態^{*2}との関係性をあらかじめ明らかにしたうえで疲労状態推定モデルを構築し、運転手が着用したhitoe®ウェアに装着したトランスミッタで算出したRRIを、クラウド上の疲労状態推定モデルで解析することで、「hitoe®ウェアを着るだけ」で運転手の疲労状態推定を



*1 hitoe®ウェア：NTTが繊維メーカーである東レ株式会社との異業種コラボレーションによって生み出した新しい機能素材を、計測電極として内側に備えたウェア。hitoe®ウェアを着用して体表面にhitoe®電極を密着させ、スマートフォン等への無線伝送機能を持ったトランスミッタをhitoe®ウェアに装着することで、心電波形を計測したり、計測した心電波形データから心拍数を算出することができます。

*2 疲労状態：フリッカー検査で計測される、脳や脊髄で構成される中枢神経系の疲労状態。

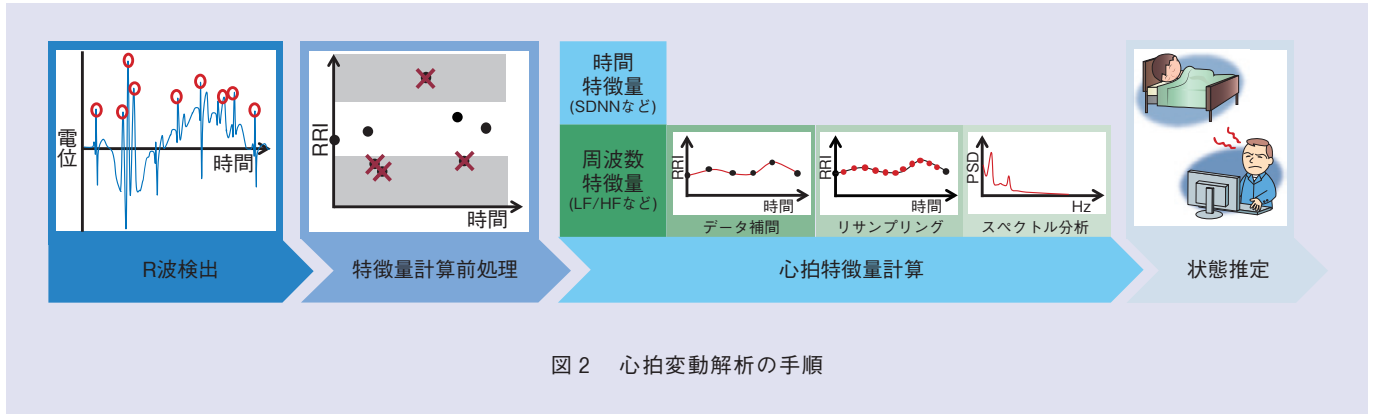


図2 心拍変動解析の手順

可能にしています。

これらの各種分析アルゴリズムは、各種心拍特徴量と推定対象となる状態の関係性に着目して推定モデルを構築するため、hitoe[®]ウェアなどを用いて実用化する際には、入力となるRRIの時系列データを長時間安定して連続的に計測する必要があります。しかし、hitoe[®]ウェアをはじめとするウェア型のデバイスは、ユーザの運動による衣類の伸び縮みと同時に電極が伸縮し、計測異常^{*3}を引き起こす場合があります(図3)。この現象はユーザが身体をひねる場合に起きやすく、計測異常の激しさによっては正確なRRIを算出することが困難であったため、これまではこうしたデータを解析対象から除外するなどの対応を取ってきました。しかし、寝返り動作やハンドル操作、休憩時の伸び動作など、日常生活においては身体をひねる動作が数多く存在するのも実状です。このような状況においても、計測データを捨てることなく心拍変動解析を行うためには、

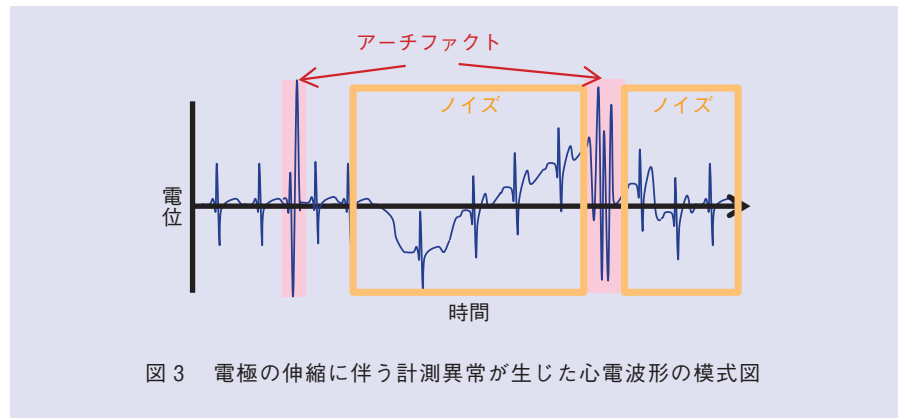


図3 電極の伸縮に伴う計測異常が生じた心電波形の模式図

高度な異常値処理を備えたデータ解析が必要となります。以降では、ユーザによる適切な自己状態認識の支援をめざし、hitoe[®]ウェアなどのウェア型デバイスで計測した心電波形データを高精度に解析する取り組みの一例として、ECG波形解析技術⁽⁴⁾、およびRRI異常値処理技術^{(5)~(7)}についてそれぞれ紹介します。

ECG波形解析技術

ECG波形解析技術⁽⁴⁾は、心電波形データを用いた心拍変動解析(図2)

における、R波検出の精度向上をめざした技術です。これまでの心電図は、病院などで医師や技師の立ち会いのもとで計測され、専門家による目視で計測異常が生じた部分を除外していたため、簡便なアルゴリズムでもR波を正確に検出することが可能でした。しかし、ウェア型デバイスは基本的に医療関係者の立ち会いなく心電図を計測す

*3 計測異常：身体運動によって電極と皮膚との接触状態が変化したために、正常な心電波形データが計測できなくなった状態。

るため、解析対象となる心電図に計測異常が生じた部分が含まれてしまう場合があります。また、ウェア型デバイスはユーザの体格や運動によって電極の接触点が変わるため、見かけ上は異なる心電波形が計測されることも多々あります。従来用いられてきた簡便なR波検出アルゴリズムでは、計測異常が生じているときのR波検出や、R波の形状変化にも対応したR波検出が困難なため、誤検出や検出漏れが生じてしまい、結果として心拍特徴量を正確に算出できなくなってしまうおそれがあります。したがって、ウェア型デバイスを用いて日常環境における心拍変動を解析する際には、日常動作によ

て生じ得るこれらの計測異常の影響を考慮したR波検出アルゴリズムが必要となります。

NTTでは、NTTサービスエボリューション研究所が持つ生体信号解析のノウハウと、NTTメディアインテリジェンス研究所が持つ音声・音響信号処理に関するノウハウを組み合わせることで、ウェア型デバイスの特性を踏まえたR波検出アルゴリズムである、ECG波形解析技術を開発しました。ECG波形解析技術の処理概要を図4に示します。ECG波形解析技術は、音声・音響信号や心電波形データの分析に用いられるウェーブレット変換を応用したR波特徴量抽出によって、運動時な

どに生じる低周波ノイズなどの計測異常の影響を抑えつつ、R波の多彩な形状変化に追従したR波候補の検出を可能にしました。さらに、R波特徴量抽出で検出したR波候補をそのままRRIを計算に用いるのではなく、過去に検出したR波とより近い特性を持つR波候補のみをもっともらしいR波として選定してRRI計算に用いることで、アーチファクトなどの計測異常による誤判定を抑制します。このECG波形解析技術の特徴の1つとしては、R波特徴量抽出において、ウェア型デバイスで計測されるR波をとらえられる複素ウェーブレットをマザーウェーブレットとして採用したことが挙げられ

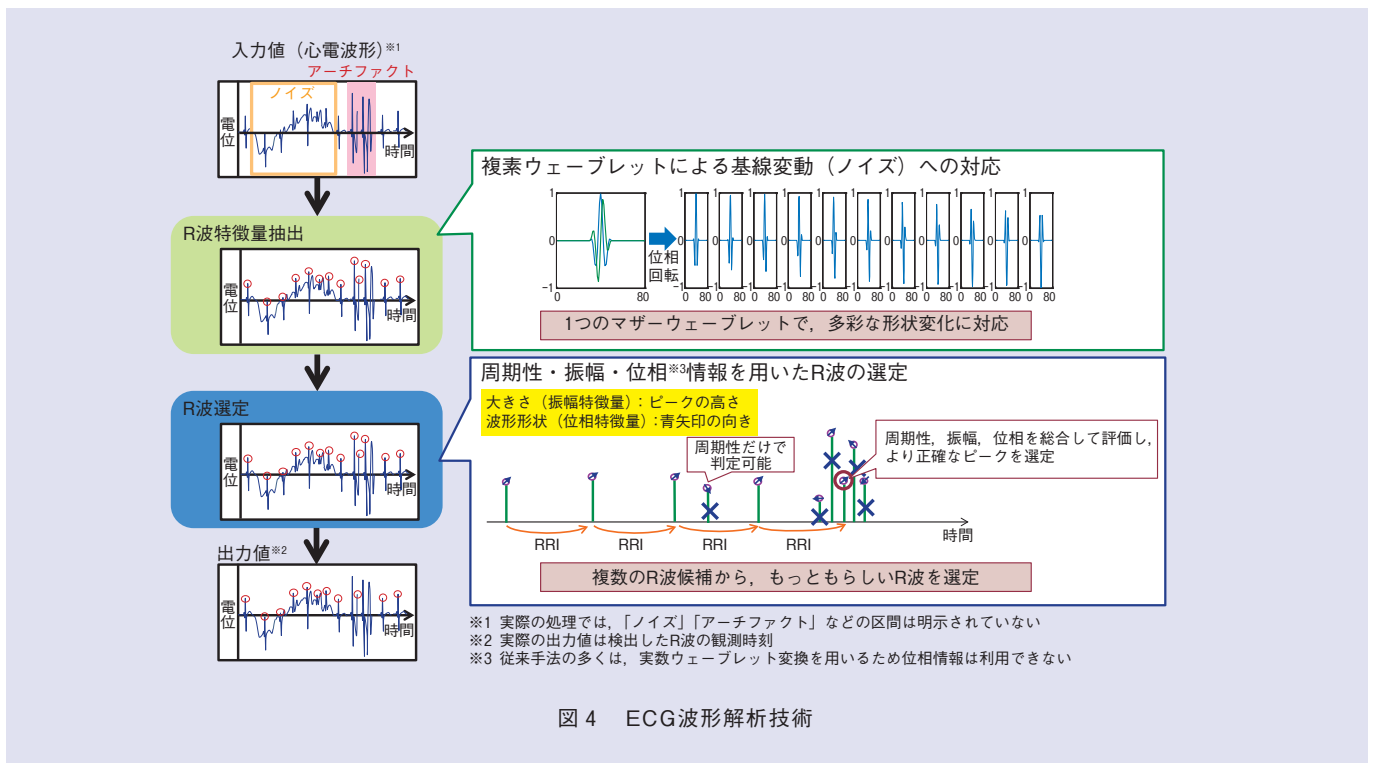


図4 ECG波形解析技術

ます。従来R波検出に用いられてきたマザーウェーブレットの多くは実数ウェーブレットだったため、1つのマザーウェーブレットのみでR波の多彩な形状変化にすべて追従することは難しかったのが実状です。ECG波形解析技術は、複素ウェーブレットを採用することで、1つのマザーウェーブレットでありながら、位相回転によりR波の形状変化への追従を可能にしました。また、この位相情報をR波選定に用いることで、周期性・振幅・位相の3つの観点から多角的にR波候補を評価することを可能にしています。

実環境におけるECG波形解析技術の有効性を検証するために、ウェア型デバイスで計測異常が生じやすい、伸び、曲げ、ひねりを含む運動時に計測した心電波形データを対象として、

ECG波形解析技術と従来手法を適用したところ、ECG波形解析技術のほうが計測異常発生時も安定的にR波を検出できることが分かりました(図5)。hitoe[®]ウェアを用いた各種サービスにおいてECG波形解析技術を適用することで、心拍数の変化をより高精度にとらえることが可能になると期待されます。

RRI異常値処理技術

RRI異常値処理技術^{(5)~(7)}は、心拍データや心拍特徴量をより高精度に算出するために、R波検出で誤判定したR波を適切に処理する技術です。この技術は、図2に示す心拍変動解析の計算フローの、R波検出の後続処理にあたります(図6)。ECG波形解析技術をはじめ、R波検出にはさまざまな方

法がありますが、R波とよく似た周波数特性を持つアーチファクトの誤判定を完全に抑制することは極めて難しいのが現状です。したがって、正確なRRIのみを解析対象とする必要がある心拍変動解析では、アーチファクトのような計測異常を誤判定したR波を含むRRIを異常値として解析対象から除外する必要があります。しかし、従来の心拍変動解析では計測異常のない心電図を解析対象とする場合が多かったため、平均から逸脱した時間特性を持つRRIを除外するにとどまっており、計測異常を誤判定したR波を含むRRIを異常値として除外することができませんでした。また、心拍特徴量の中でも、RRI時系列データの周波数特性に着目した周波数特徴量については、補間関数によるデータリサンプリングとスペクトル分析によるパワースペクトル算出を別途行う必要があります⁽¹⁾。このとき、RRIの異常値除外によって生じるRRIの欠損区間が長くなり過ぎると、補間関数が異常値に発振したり、特定の周波数成分を過大評価してしまい、正しい周波数特徴量を算出できなくなってしまうおそれがあります。

RRI異常値処理技術は、このような心拍変動解析特有の計算ステップを踏まえたうえで、計測異常が生じている場合においてももっともらしい心拍特徴量を算出するために、異常値の除外⁽⁵⁾と欠損値の補完^{(6),(7)}という2つの処理を行います。まず、異常値の除外として、各R波検出技術によって検出

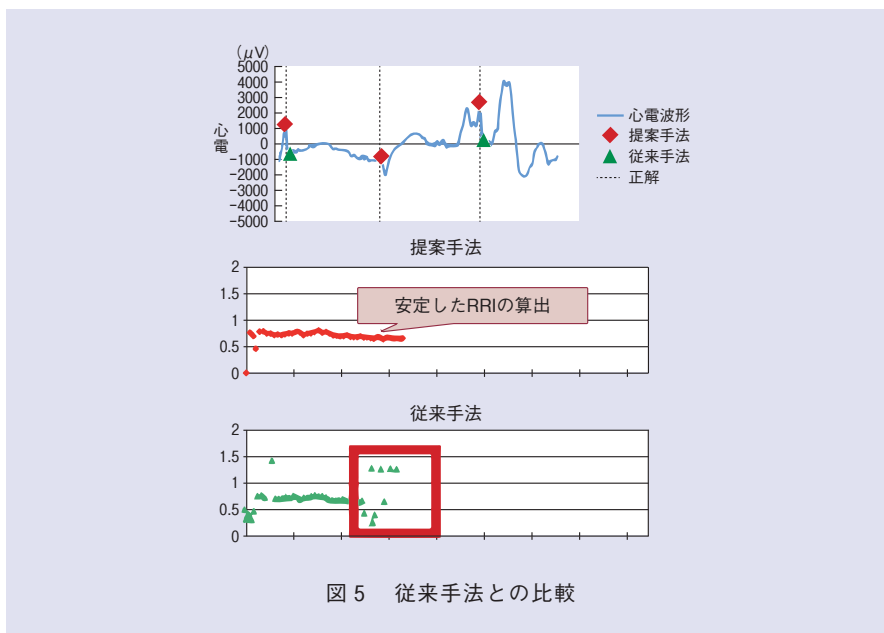


図5 従来手法との比較

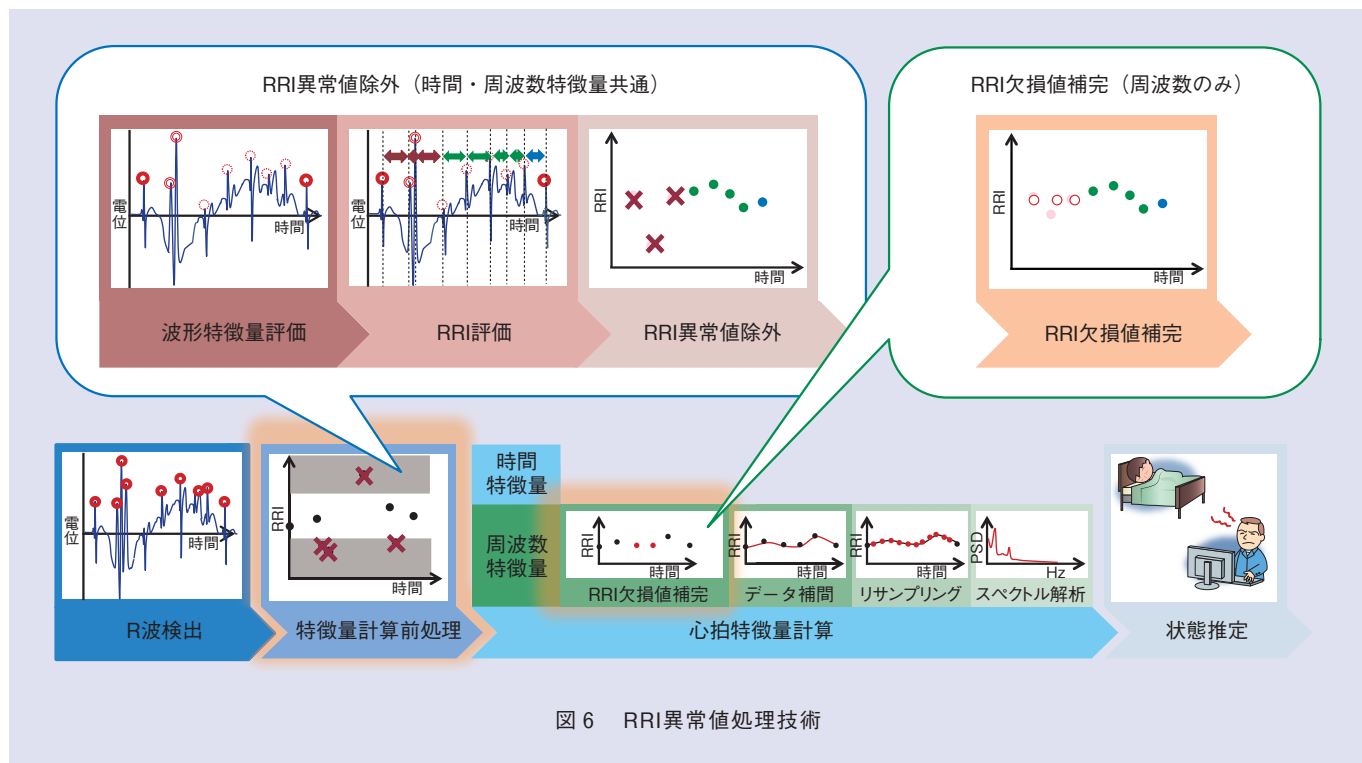


図6 RRI異常値処理技術

したすべてのR波を電位情報に基づいて評価し、計測異常を誤判定した可能性が高いR波を含むRRIを解析対象から除外します⁽⁵⁾。さらに、周波数特徴量を計算する場合においては、補間関数によるデータリサンプリングを適切に行うため、異常値を除外した後に生じる欠損値を補完してから、補間関数によるデータリサンプリングを行います^{(6),(7)}。これにより、従来の計算ステップで生じていたデータ補間における異常値の影響を抑制し、より正解値に近い周波数特徴量を算出することが可能になります。

実環境における精度検証に先立って、RRIの正解値のある心電図⁽⁸⁾に計測異常⁽⁹⁾を生じさせた疑似心電図を対

象としてRRI異常値処理技術の評価を行ったところ、時間特徴量^{(10),(11)}、周波数特徴量⁽¹⁰⁾ともに、RRI異常値処理技術によってより高精度に心拍特徴量を算出できることが分かりました(図7)。さらに、ECG波形解析技術とRRI異常値処理技術の組合せによって、これらの特徴量をより高精度に算出できることが分かりました。

今後の展開

本稿では、hitoe[®]ウェアを用いた健康支援サービスの精度向上に向けて取り組んだ、ECG波形解析技術とRRI異常値処理技術の2つの技術を紹介しました。hitoe[®]ウェアを用いた各種サービスにおいてこれら2つの技術を

前処理として実施することで、より高精度な心拍特徴量を算出することが可能になり、スポーツや労務管理の分野におけるhitoe[®]ウェアの利用拡大にも貢献できると考えられます。今後も、NTTグループ各社と連携しながら、種々のhitoe[®]ウェアや各種ウェアラブル心電計への対応を含めた、さまざまなユースケースを対象とした精度検証やチューニングを行い、hitoe[®]ウェアを用いた健康支援サービスの実用化に向けた研究開発を推進していきます。

参考文献

- (1) 井上：“循環器疾患と自律神経機能 第2版,” 医学書院, 2001.
- (2) 武田・新島・渡部・吉田・水野：“睡眠段階遷移時の心拍変化に着目した睡眠段階推定技術,” 情報処理学会論文誌データベース, Vol.9, No.4, pp.6-10, 2016.

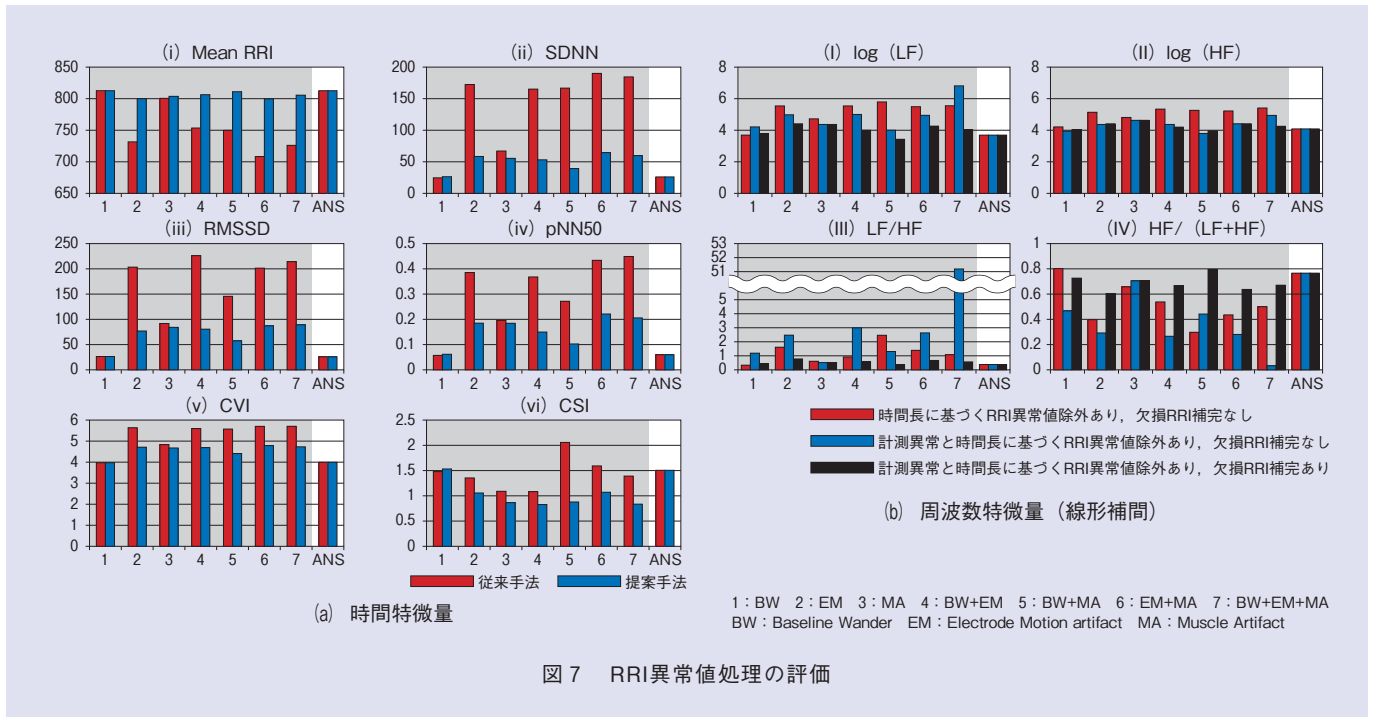


図7 RRI異常値処理の評価

(3) 近藤・山登・中山・千葉・坂口・西口・増田・吉田：“hitoe[®]によるナチュラル・センシングとその活用に向けた取り組み,” NTT技術ジャーナル, Vol.29, No.7, pp.13-18, 2017.

(4) S. Shimauchi, K. Eguchi, T. Takeda, and R. Aoki: “An Analysis Method for Wearable Electrocardiogram Measurement Based on Non-Orthogonal Complex Wavelet Expansion,” Proc. of EMBC 2017, pp.3973-3976, Jeju, Korea, July 2017.

(5) K. Eguchi, R. Aoki, K. Yoshida, and T. Yamada: “Reliability Evaluation of R-R Interval Measurement Status for Time Domain Heart Rate Variability Analysis with Wearable ECG Devices,” Proc. of EMBC 2017, pp.1307-1311, Jeju, Korea, July 2017.

(6) 江口・青木・吉田・山田：“ウェアラブル心電計から計測された心拍の周波数特徴量解析を対象とした欠損RRIの補完手法,” DICOMO 2017, pp.888-897, 2017.

(7) K. Eguchi, R. Aoki, S. Shimauchi, K. Yoshida, and T. Yamada: “R-R Interval Outlier Processing for Heart Rate Variability Analysis using Wearable ECG Devices,” Advanced Biomedical Engineering, Vol.7, pp.28-38, 2018.

(8) <http://physionet.org/physiobank/database/mitdb/>

(9) <https://physionet.org/physiobank/database/nstdb/>

(10) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: “Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use,” European Heart Journal, Vol.17, pp.354-381, 1996.

(11) M. Toichi, T. Sugiura, T. Murai, and A. Sengoku: “A new method of assessing cardiac autonomic function and its comparison with spectral analysis and coefficient of variation of R-R interval,” J. Auton. Nerv. Syst., Vol.62, pp.79-84, 1997.



(左から) 麻野間 直樹/ 島内 末廣/
江口 佳那/ 千葉 昭宏/
青木 良輔

日常生活における適切な生体情報解析に取り組み、人に寄り添った健康支援サービスの実現やQoLの向上に貢献していきたいと考えています。

◆問い合わせ先

NTTサービスエボリューション研究所
 ネットワークロボット&ガジェットプロジェクト
 TEL 046-859-3556
 E-mail kana.eguchi.gh@hco.ntt.co.jp