

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

こんどう としひこ^{†1} や ま と よ う じ^{†2} なかやま まこと^{†2}

近藤 利彦 / 山登 庸次 / 中山 実

ち ば あきひろ^{†3} さかぐち けん^{†4} にしぐち たかひろ^{†5}

千葉 昭宏 / 坂口 健 / 西口 孝広

ますだ ともあき^{†6} よしだ とくたろう^{†6}

増田 知彰 / 吉田 徳太郎

NTTデバイスイノベーションセンタ^{†1}

NTTソフトウェアイノベーションセンタ^{†2}

NTTサービスエボリューション研究所^{†3}

NTT研究企画部門^{†4}

NTTドコモ^{†5}

NTTコミュニケーションズ^{†6}

本稿では、着るだけで生体情報のセンシングが可能なhitoe®ウェアの利用分野拡大をめざした応用例として、リハビリ患者モニタリングおよびドライバー管理サービスに向けた取り組みを紹介します。また、センサ収容を実現するデータ収集技術およびデータ蓄積、分析のためのミドルウェアである高速分散処理基盤技術についても併せて解説します。

機能素材hitoe®とその特徴

hitoe®は、NTTと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り生まれた新しい機能素材です⁽¹⁾。NTTが保有する繊維導電化新技術を用いて、東レの最先端繊維素材であるナノファイバ生地に、導電性高分子を特殊コーティングすることにより実現しました⁽²⁾(図1)。これにより、非金属素材でありながら生体信号を高感度に検出できる新素材を実現しました。肌面にhitoe®をつけたウェア

を着用し、体表面にhitoe®を密着させることで、心拍数や心電波形、R波の間隔から推定されるリラクセス度などの生体情報が取得できます。hitoe®の特徴は、金属製の繊維を含まないため、肌に優しく、親水性が高く、汗や湿気に強く、普通にウェアを着る感覚でナチュラルな生体情報センシングが可能であることです。ナノファイバは一般衣料向け繊維に比べ細いため、皮膚との接触面積が広く、密着性も上がり、安定した生体情報が取得できます。さらに、導電性高分子がはがれにくい

め、洗濯に対する実用耐久性にも優れています。

NTTでは、hitoe®の利用分野拡大に向けた取り組みとして、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、さまざまな領域における実用化をめざしています。データ収集技術だけでなく、ユースケースに応じて、そのデータをどのように処理、分析、解釈して高付加価値情報を生み出すかについても合わせて検討を進めることが重要になってきます。

今回、私たちは、①発汗時にもデータを安定取得でき、快適に長時間のモニタリングが可能である、②心電波形に基づく、より正確な生体情報の取得が可能である、というhitoe®のメリットを活かした利用分野として、医療分野、安全管理分野に着目しました。

本稿では、活用事例として、リハビリ患者モニタリングおよびドライバー管理サービスに向けた取り組みを紹介します。また、それらを支える技術として、センサ収容を実現するデータ収集技術および高速分散処理基盤技術についてそれぞれ解説します。

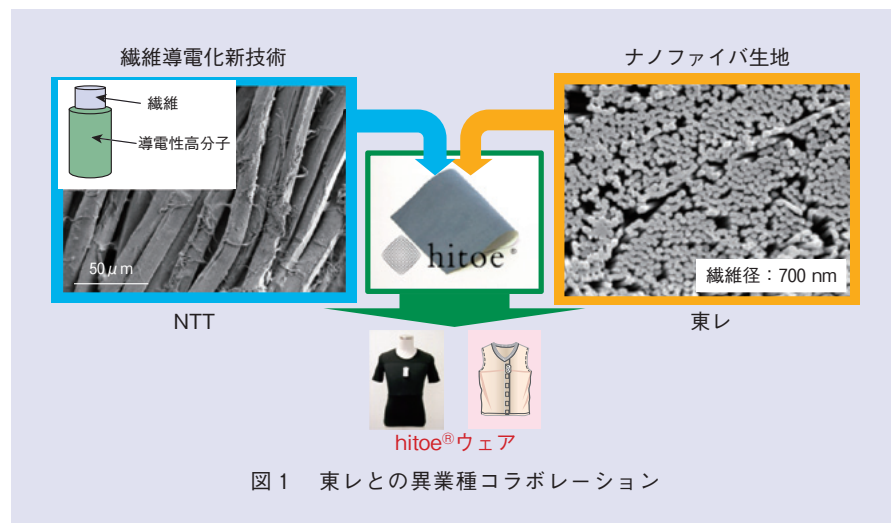


図1 東レとの異業種コラボレーション

リハビリ患者モニタリングとデータ収集技術

リハビリ患者モニタリングは、リハビリ患者の心拍数および活動情報を24時間モニタリングすることで、リハビリ効果を客観的に計測し、介入の適切化、早期回復に貢献することをめざすものです。

リハビリテーション医療費は、高齢化の進展に伴い、今後さらに増大することが予想され、多くの病院でリハビリの質の向上と効率化の両立が要望されています。

NTTは、学校法人藤田学園藤田保健衛生大学、東レ、およびNTTドコモと共同で、hitoe[®]を活用した「リハビリ患者モニタリングシステム」の有効性を検証する実験を2017年2月7日から開始しました⁽³⁾。藤田保健衛生大学病院は、全国最大規模のリハビリテーション部門を持つ病院です。本実験は、患者の心拍・様態情報(活動量・位置情報)を24時間モニタリングし、リハビリテーション分野での定量的診療データとしてのhitoe[®]の有効性と可能性を探ることを目的としています。大学、各社の役割を表に示します。

はじめに、本実験で用いられているリハビリ患者モニタリングシステムについて説明します。hitoe[®]トランスミッターより出力される活動情報はBLE(Bluetooth Low Energy)によりスマートフォンや受信モジュールへ送信され、学内ネットワークを介して

表 共同実験における役割一覧

	役 割
藤田保健衛生大学	リハビリテーション医療現場でのhitoe [®] 活用検討
東レ	リハビリ用hitoe [®] ウェアの検討
NTT	リハビリ用hitoe [®] ウェアに対応した心拍安定取得・行動推定が可能なデータ収集・表示システムの検討
NTTドコモ	リハビリ患者モニタリングシステムの事業化の検討

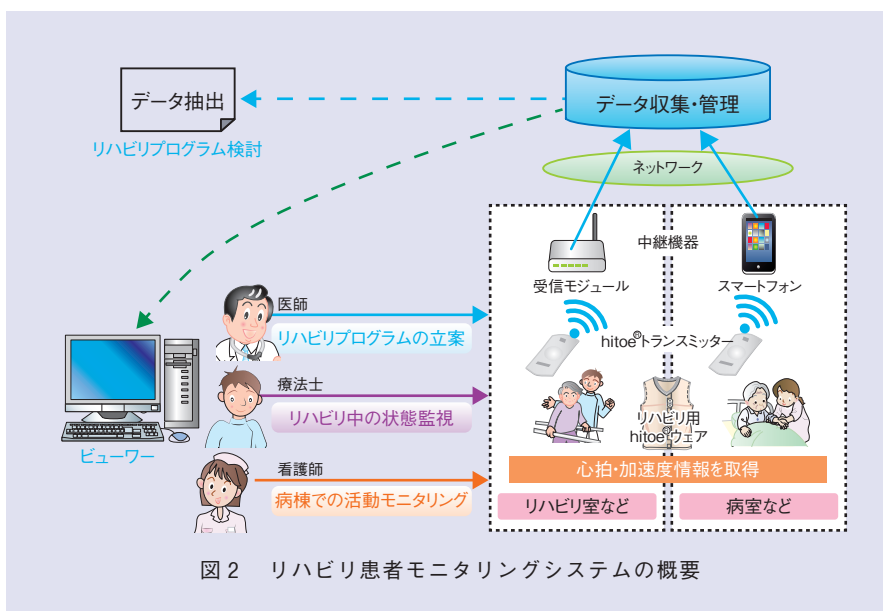


図2 リハビリ患者モニタリングシステムの概要

データ収集・管理サーバに蓄積されます(図2)。データ収集・管理サーバに蓄積された活動情報は、学内ネットワークに接続されたビューワーにおいて、医師や療法士が24時間随時参照することができます。また、疾患・重症度に基づいたリハビリプログラムの検討などに収集されたデータを活用することも考えられます。hitoe[®]トランスミッターはhitoe[®]ウェアで取得した心電波形から心拍数を連続的に出力する機能と内蔵された3軸加速度センサか

ら傾きや振動を出力する機能を備えています。心拍数に関しては、独自のノイズ除去技術により安定的に心拍数を出力し、活動度を算出することができます。また、加速度に関しては、独自の加速度解析技術により歩行ピッチや行動などの動きの様態を推定することができます。院内の病室や廊下などではスマートフォンを利用することで普段の生活を送りながら、データ収集を行います。リハビリ室においてはhitoe[®]ウェアを着るだけで、受信モ

ジュール経由でスマートフォンなしにデータを送信できるため、リハビリ動作の妨げになりません。従来は心拍数をモニタリングしようとする、リハビリ室、病室で別々のモニタリング機器が必要であり、また、心拍数を様態と連動して記録するものではありませんでした。リハビリ患者の活動情報は常に最新のデータがビューアに表示されます(図3)。総心拍数、総歩数、および総消費カロリーについては、カレンダーより選択した日単位、週単位で結果を表示できます。心拍数、歩行ピッチ、安静・歩行・走行の区別、立位・座位、臥位の区別、運動強度については、選択した日の1日分のデータがグラフ化され、履歴として表示されます。

本実験では、これらの活動情報を複合的に可視化し、リハビリプログラムの立案に貢献できるかどうかを検証しています。具体的には、以下の3ステップ

で実施していく計画です。

■ステップ1：健常者での予備検討

健常者にリハビリ用hitoe[®]ウェアを着た状態で運動をしていただき、心拍数データを取得すると同時に、呼気ガス分析やSpO₂*¹測定を行います。また、歩行中には、歩行速度や距離も計測します。これらの結果から、hitoe[®]から得られたデータが、運動負荷を反映できるかどうかを確認します。

■ステップ2：センターでのリハビリ向上効果の検討

藤田保健衛生大学病院リハビリテーションセンターでリハビリを行う外来患者・入院患者にリハビリ用hitoe[®]ウェアを着ていただき、リハビリ中の心拍データ、活動データ(運動中か安静時か、立位か臥位かなどを示すデータ)を取得します。取得したデータは、適切な運動負荷の練習が行われているか確認するのに役立てられます。また、

ビューアを使い、1回のリハビリ中の心拍数・活動の変化や、これまでのリハビリでの心拍数・活動の経過を確認できるため、医師が効果の高いリハビリを立案するのに役立つと考えられます。この実験において、hitoe[®]の利用がリハビリプログラムの立案・実行および患者の回復にどのような影響を与えるのか検討します。

■ステップ3：病棟生活などを含めた24時間モニタリングによるリハビリ影響度の評価

リハビリ科の入院患者に、hitoe[®]ウェアを着た状態で24時間、通常の入院生活を送っていただきます。患者の活動の変化から、転倒リスクのある患者の活動に早期に気付くことができ、臥床傾向の患者に運動を促すことも可能と考えられます。hitoe[®]の利用が、患者の危険行動の早期確認や、病棟での活動促進につながるかを評価します。

以上のステップでhitoe[®]のリハビリテーション分野における有効性の確認、検証を行い、リハビリテーション分野でのhitoe[®]を活用したサービス化をめざします。

ドライバー管理サービスと高速分散処理基盤

■ドライバー管理サービス

ドライバー管理サービスは、ドライ

*1 SpO₂: 動脈血中のヘモグロビンが酸素とどのくらい結合しているかをパーセントで表示したものです。

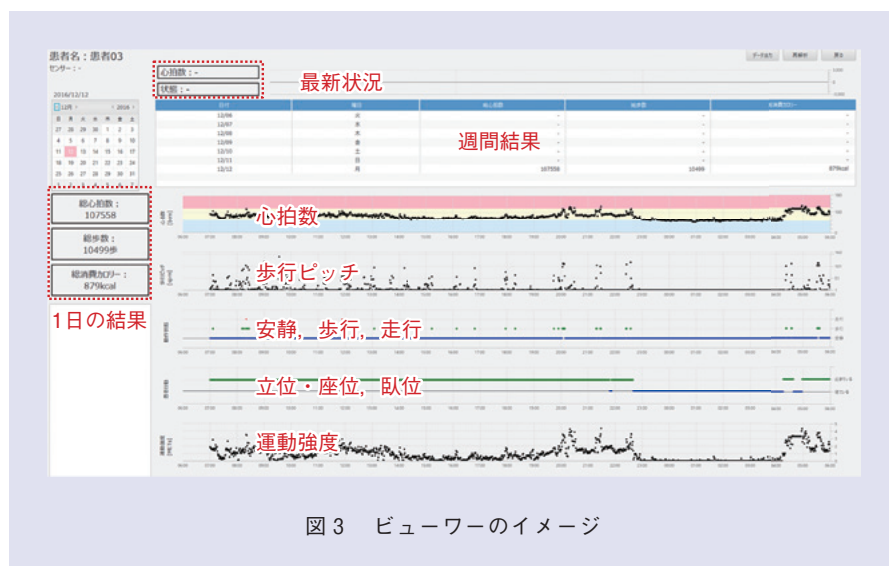


図3 ビューワースクリーンのイメージ

バーのバイタル情報などを分析し、運行リスク発見につなげる、安全管理サービスです。

日本では、2016年にバス転落事故が起きており、安全管理のニーズが高まっています。その背景を踏まえ、本サービスは、バスなどのドライバーの安全管理を行うサービスとして開発しました。サービス概要を図4に示します。本サービスは、バイタル情報、車両情報、環境情報をクラウドに収集して、可視化、分析、対処を統合的に行います。バイタル情報では、hitoe[®]ウェアで取得する心電波形や加速度、車両情報では、急ハンドルの挙動や、タイヤ空気圧などのデータ、環境情報では、道路混雑、現在地などが収集されます。まず、可視化としてドライバーの疲労度の変化等を可視化し、次に、分析として疲労度と急ハンドルの相関等を分析し、最後に、対処として疲労度変化に応じた休憩提案等が行われます。

ドライバー管理サービスは、NTTとSAP社のコラボレーションで実現しました。NTTクラウドでは、hitoe[®]ウェアから得る心拍データを、後述の高速分散処理基盤で、リアルタイムに分析し、運転中の疲労度（脳や脊髄で構成される中枢神経系の疲労）などの情報を推定し、出力します。NTTクラウドとSAPクラウドは、REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface) で連携しており、疲労度などの情報はSAPクラウドにAPIを介して提供さ

れます。SAPクラウドでは、環境情報等を収集しており、提供される疲労度などを含めて、Web GUI (Graphical User Interface) で可視化を行っています。バス等管理会社の管理者は、Web GUIにより、車両位置やドライバーの疲労度などを一括で確認できます。

ドライバー管理サービスを、2016年10、11月に、福井県にて京福バス社の協力の下、フィールドトライアルを実施しました。トライアルには、15名前後のドライバーが参加し、運転中のhitoe[®]ウェアで取得したデータの取得安定性、hitoe[®]ウェアで取得した

データからの疲労度推定の妥当性、疲労度推定のリアルタイム性等の確認を行いました。さらに、ビジネス的内容として、サービス導入に伴うオペレーションや、分析結果の有用性等の確認、議論を行いました。トライアルを通じて得られた結果は京福バス社に提供し、例えば、ダイヤの変更等に活用できないか議論を行いました。

本サービスは、トライアル後にNTTコミュニケーションズで商用開始しています。

■高速分散処理基盤

ドライバー管理サービスを支える技術として高速分散処理基盤を説明しま

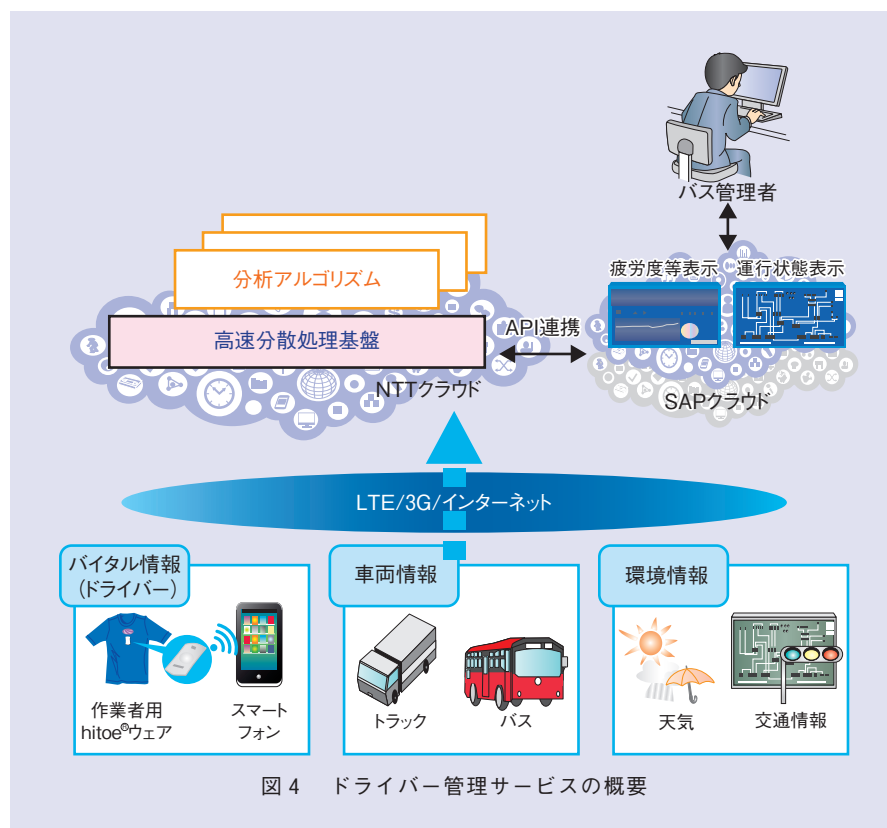


図4 ドライバー管理サービスの概要

す。高速分散処理基盤は、IoT (Internet of Things) データを収集、蓄積、分析するための基盤です⁽⁴⁾。ドライバー管理サービスではhitoe[®]ウェアが対象ですが、利用可能なセンサデバイスはhitoe[®]ウェアに限りません。

高速分散処理基盤は、データを蓄積する蓄積機能、データを分析する分析機能、それらをつなぐメッセージング機能で構成されます。IoTデータを分析する基盤に、Amazon IoT、Microsoft Azure IoT serviceなどがあります。蓄積、分析、メッセージングなどの機能

はこれらの市中基盤も同様です。それらと比べた特徴は、オープンソースソフトウェア (OSS) を用いた安価な構成、案件に合わせて必要な機能を取捨選択可能な柔軟な構成、が挙げられます。

高速分散処理基盤の概要を図5に示します。hitoe[®]ウェアなどのセンサはIoTデータを連続的に収集し (ストリームデータ)、IoTデータはスマホ等を介してクラウドに送信されます。これらのデータは、メッセージング機能を介して、蓄積機能や分析機能に配

信されます。高速分散処理基盤では、メッセージング機能にApache Kafka、蓄積機能にApache HBase、分析機能にApache Sparkなどを用いています。

ドライバー管理サービスでは、hitoe[®]ウェアより取得した心拍データなどが、スマホを経由して高速分散処理基盤にストリームデータとして配信されます。データは、Kafkaを介して、HBaseに保持されるとともに、Sparkにも配信されます。Sparkでは、ストリームデータを処理するSpark Streamingのマイクロバッチ処理を用いて、疲労度推

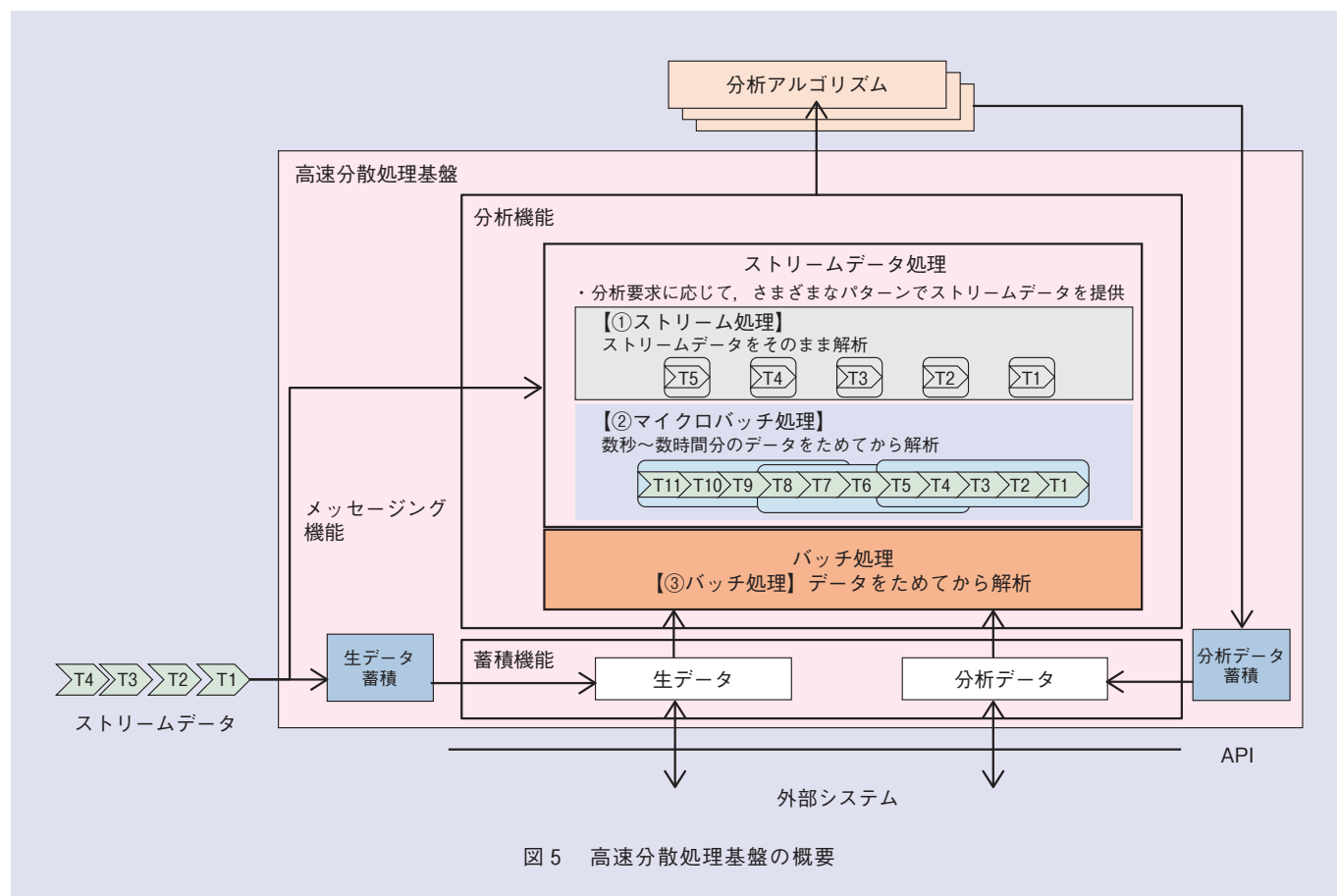


図5 高速分散処理基盤の概要

定を行います。マイクロバッチ処理とは、短い単位（秒～時間程度）のデータを分析する処理であり、バッチ処理とストリーム処理の中間です。疲労度は、心拍のR波間隔の揺らぎを基に推定分析しているため、一定時間心拍データを蓄積して分析するマイクロバッチ処理が向いています。ドライバー管理サービスでは、1分単位で分析を行っています。

分析機能は、Spark Streamingを用いたマイクロバッチ処理以外に、バッチ処理など、複数の処理を利用可能にすべく、追加開発を過去のアジャイル開発経験⁽⁵⁾をベースに迅速に推進しています。これらの分析機能は、案件に応じて選択し、軽量の構成を取ることでも可能です。分析機能で処理する分析アルゴリズムに関しても、本稿で紹介した疲労度分析^{*2}のほか、さまざまなアルゴリズムの適用が可能です。

疲労度などの分析データは、分析前データと合わせて蓄積機能に保持されます。蓄積データは、定期的なバッチ処理分析や、REST等のAPIを介した外部システム連携の利用が可能です。ドライバー管理サービスでは、SAPクラウドへの定期的提供およびしきい値超え時の提供を行っています。

今後の展開

本稿では、hitoe[®]の応用事例を2つ

紹介しました。リハビリ患者モニタリングの取り組みでは、将来の在宅リハビリ、さらには在宅医療に向けて、病院内に加え、自宅や外出先でもシームレスにデータ収集できるモニタリングシステムについて、前述の高速分散処理基盤などを活用しつつ、研究開発を推進していきます。

次に、ドライバー管理サービスとそれを支える高速分散処理基盤を紹介しました。高速分散処理基盤を用いて、hitoe[®]ウェアや別センサで取得するデータを分析しビジネスに活用する、別案件も進めています。

参考文献

- (1) <http://www.ntt.co.jp/news2014/1401/140130a.html>
- (2) 塚田・河西・川野・高河原・藤井・住友：“着るだけで心電図を測るウェアラブル電極インナー,” NTT技術ジャーナル, Vol.26, No.2, pp.15-18, 2014.
- (3) <http://www.ntt.co.jp/news2017/1702/170206a.html>
- (4) Y. Yamato: “Proposal of Vital Data Analysis Platform using Wearable Sensor,” ICIAE2017, Kitakyushu, Japan, March 2017.
- (5) Y. Yamato, N. Shigematsu, and N. Miura: “Evaluation of Agile Software Development Method for Carrier Cloud Service Platform Development,” IEICE Trans. Information & Systems, Vol.E97-D, No.11, pp.2959-2962, 2014.
- (6) A. Chiba, K. Tsunoda, H. Chigira, T. Ura, O. Mizuno, and T. Tanaka: “Estimating Critical Fusion Frequency from Heart Rate Variability,” EMBC2015, Milan, Italy, August 2015.



(上段左から) 中山 実/ 山登 庸次/
千葉 昭宏

(中段左から) 坂口 健/ 近藤 利彦

(下段左から) 西口 孝広/ 増田 知彰/
吉田 徳太郎

機能素材hitoe[®]の活用は、IoTにおいて、従来にはない新たな領域への展開が期待されます。今後ともさまざまな利用分野への適用に向けて、外部パートナーとのコラボレーションを推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTデバイスイノベーションセンタ
プロダクト戦略プロジェクト
TEL 046-240-2449
FAX 046-270-2351
E-mail kondo.toshihiko@lab.ntt.co.jp

^{*2} NTTサービスエボリューション研究所が開発した中枢性疲労推定技術⁽⁶⁾を応用したものです。