

高信頼なボディエリアネットワークを実現する SmartBAN 標準化への取り組み

SmartBAN Standardization Activities toward Realization of Highly Reliable Body Area Network for Medical Applications

松尾 綾子 鍋谷 寿久 ウーン ハウ チン

■ MATSUO Ryoko ■ NABETANI Toshihisa ■ Woon Hau CHIN

近年、健康意識の高まりとともに多機能なウェアラブルデバイスを用いた個人の生活状況や健康状態の計測が注目されており、無線ネットワークを介した計測データの収集、管理、及びケアを含めた医療ヘルスケア向けのトータルソリューションが期待される。多くのウェアラブルデバイスはもっとも普及している Bluetooth^(*) による1対1通信を基本としているが、病院内のように、更なる信頼性が要求される場面や複数のセンサを用いて生体情報を取得する場合には、ボディエリアネットワーク (BAN) の導入が望まれる。

東芝は、緊急信号の低遅延送信を含む信頼性の高いBAN技術を開発し、欧州電気通信標準化機構 (ETSI) が進めている医療ヘルスケア向け SmartBAN の標準化に積極的に取り組んだ。2014年12月、当社の技術提案を含む SmartBAN システム規格書の発行が決定した。

Reflecting the rising awareness of health, technologies to monitor people's living conditions and health status through multifunctional wearable devices have been attracting attention in recent years. In order to fulfill such requirements, a total solution is required that facilitates the collection, management, and maintenance of the measured data via a wireless network. The wireless communication system conventionally used for wearable devices is based on one-to-one communication, such as the Bluetooth^(*) system. However, the introduction of a body area network (BAN) is essential for the capture and collection of medical data with higher reliability using multiple sensors in settings such as hospitals.

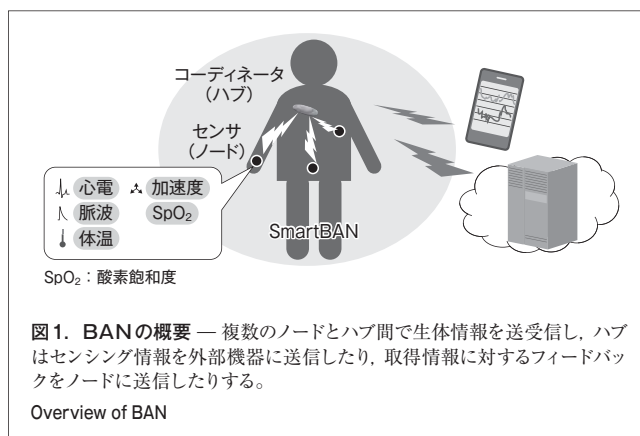
Toshiba has been developing highly reliable BAN technologies, including a technology for low-latency transmission of an emergency signal for medical use cases, and has been actively participating in standardization activities for medical applications in the Technical Committee on SmartBAN (TC SmartBAN) of the European Telecommunications Standards Institute (ETSI). As a result, the ETSI decided to publish the SmartBAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) standards based on our proposed schemes in December 2014.

1 まえがき

IoT (Internet of Things) の普及や健康意識の高まりから、個人の生活習慣や健康状態を手軽に計測し、計測データを統合的に処理して有意な情報をユーザーにフィードバックできるウェアラブルデバイスが注目されている^{(1), (2)}。

現在は、一つのウェアラブルデバイスで取得したデータを1対1の Bluetooth^(*) 通信でスマートフォンなど外部機器へ転送しているが、生体情報によっては好ましい取得部位が異なることから、今後はウェアラブルデバイスが人体の複数個所に装着されると予想される。また、病院などでの医療用途では高い信頼性も求められる。そこで無線システムとして、生体情報に応じた許容誤り率での送受信や、緊急信号の低遅延伝送、他人との干渉回避を含む信頼性の高いBANが要求される。

BANは、センサ機能を持つノードで計測した様々な生体情報をハブと呼ぶコーディネータに転送し、ハブから外部端末へ情報発信を行う(図1)。SmartBANの標準化では、低遅延での緊急信号の送受信を含めたハブ-ノード間の無線通信システムが主に検討された。ここでは、東芝が開発し、ETSIの標準化に取り組んだ SmartBAN 技術について述べる。



2 SmartBAN 標準化の概要

心電や脈波といった生体情報を取得する場合、計測に適したハブの装着場所が存在する。例えば、心電であれば胸部が、脈波であれば手首が計測に適している。また、医療用途では、緊急時に緊急信号を発信し、その受信をトリガになんらかの制御を行うことも考えられるが、このような場合にはmsオーダーの低遅延での送受信が求められる。更に消費電力

は、連続駆動時間に影響することから24 hの常時計測ができる程度に抑えることが要求される。

BANの無線規格は、2012年2月にIEEE 802.15.6 (電気電子技術者協会規格 802.15.6)⁽³⁾が承認されていたが、複数の無線方式が採用され仕様が複雑であるという問題があった。一方、既存のウェアラブルデバイスの多くが無線方式にBluetooth⁽⁴⁾ Smart^(注1)を用いているが、緊急信号の低遅延での送受信に問題がある。

欧州では、ETSIでこれまで医療ヘルスケア関連の標準化を行ってきた専門委員会 (TC) e-Healthから発展し、2013年3月に医療ヘルスケア向けBAN規格を策定するためのTC SmartBANが設立され、システムの検討が進められた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。

TC SmartBANでは、表1に示す安全見守りや、転倒防止、睡眠モニタリング、スポーツモニタリングといった複数のユースケースを、想定する使用センサ例や要求送信頻度を含め規定している⁽⁶⁾。更にユースケースを元に、次の技術要求を満たすBAN規格の検討を行ってきた。

- (1) 超低消費電力化 小型の生体センサの需要に合わせた低消費電力のシステムと、ノードをより低消費電力化する仕組みの実現
- (2) システムの共存 2.4 GHz帯のISM (Industry Science Medical) バンドの使用を想定し、同一バンドを用いる無線LANやBluetooth⁽⁴⁾といった他システム及び周辺BANと共存する仕組みの実現
- (3) QoS (Quality of Service) の最適制御 生体情報ごとに要求の異なる送信頻度、許容遅延、及び許容誤り率を持つ入力信号を最適に伝送し、緊急信号を低遅延で送受信する仕組みの実現

当社は、TC SmartBAN設立当初から標準化に参画し、TCの副議長と五つのワークアイテム (WI) のうちの三つでワーキンググループの議長を務めるなど、積極的な活動を行っている。この中で、超低消費電力な信号処理と通信システムに関するWIでは、その規格は当社提案方式が採用され、SmartBANシステム規格書 ver.1として2014年12月に成立し、発行される

表1. TC SmartBANで規定したユースケース
Use cases defined by TC SmartBAN

ユースケース	センサ例	送信頻度
安全見守り	心電又は脈波、加速度	100 ms
転倒防止	加速度、角速度	100 ms
ストレスモニタ	心電又は脈波	2,000 s
睡眠モニタ	心電又は脈波、加速度	4 h
血圧変動推定	心電又は脈波、加速度	1 s
スポーツモニタ	心電又は脈波、加速度、角速度	1 s

(注1) Bluetooth⁽⁴⁾の超低消費電力で動作する規格LE (Low Energy) に対応。

ことになった。

3 高信頼なSmartBAN技術の開発

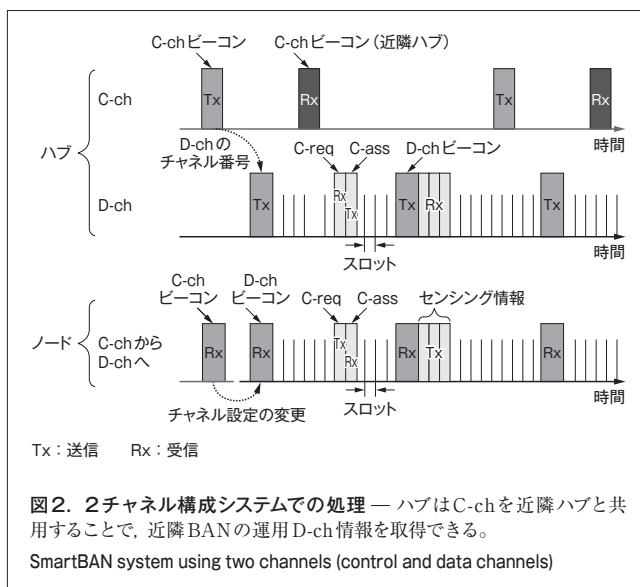
当社は、ウェアラブルデバイスの多機能化と医療用途を含むユースケースへの対応を行うため、センシング情報を取得するノードとノード取得情報の収集を行うハブ間の送受信と、緊急信号の低遅延での送受信を可能とするシステムを開発した。

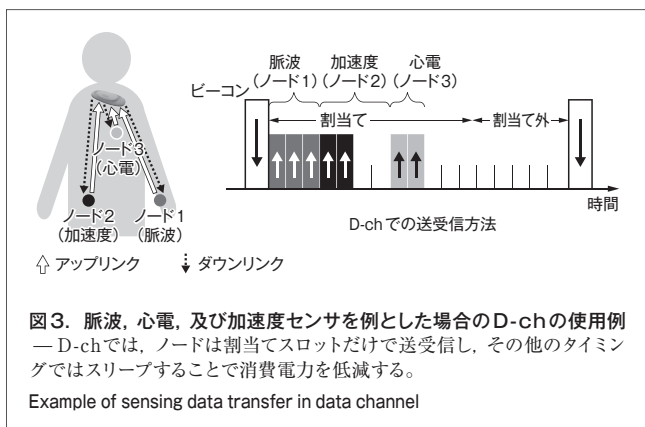
3.1 2チャンネル構成システム

SmartBANシステムでは、図2に示すような制御チャンネル (C-ch) とデータチャンネル (D-ch) の二つの周波数チャンネルを用いた処理を基本とする。ハブは両チャンネルで制御信号であるビーコン信号を一定間隔ごとに送信する。C-chとD-chで異なる内容のビーコン信号を送信し、C-chで送信するビーコン情報にはD-chのチャンネル番号を含む。

SmartBANでは2.4 GHz帯の使用を想定し、この帯域でチャンネル幅2 MHzの40チャンネルを運用する。40チャンネル中、3チャンネルをC-chとし、残りをD-chと設定する。C-chを設け、かつC-chではビーコン信号だけを送受信することで、ハブごとのC-ch占有率を低減し、少ないC-ch数で複数のハブを運用できる構成とした。また図2に示すように、ハブはC-chでビーコン送信以外に近隣ハブのビーコン信号を受信し、近隣ハブが運用するD-ch番号を把握する。BANでは、ひとりにつき、一つのハブと複数のノードから成るネットワークが形成されるため、病院内や公共機関などでは多くのBANが近隣に存在する可能性が高い。そこで、C-chで近隣ハブの情報を取得することで、適切に近隣BANとの干渉を回避できる。

2チャンネル構成システムにおいて、新たにセンサ機能を持つノードを装着した場合のハブとノードの接続処理は以下の流れで行う。





- (1) 装着センサはノードとして、C-chでのビーコン信号の受信を試みる。ビーコン信号を受信しない場合には、他のC-chに設定チャンネルを変更する。
- (2) C-chのビーコン信号を受信し、ハブが運用するD-ch番号を把握し、チャンネル設定を変更する。
- (3) D-chで接続要求信号(C-req)の送信と接続応答信号(C-ass)の受信を行い、接続後は取得した生体情報のハブへの送信を開始する。以降、ノードはD-chでビーコン信号の受信ができないなどの問題がなければ、D-chだけで送受信を行う。

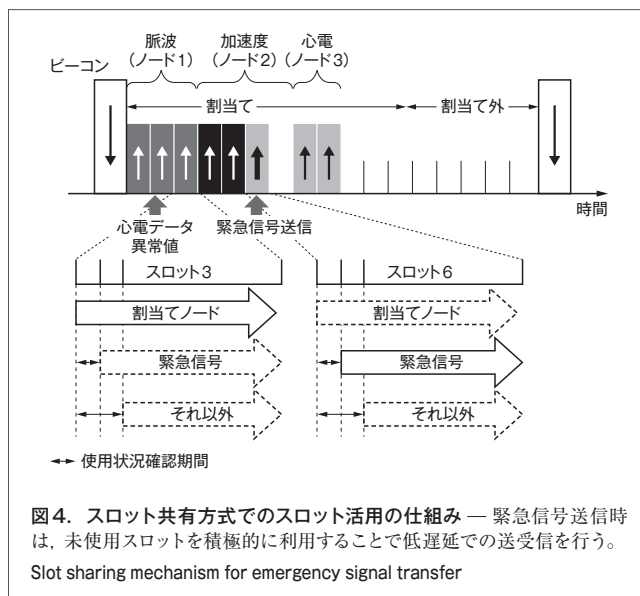
D-chでは、ハブが送信するビーコン信号の間隔(以後、ビーコン間隔と呼ぶ)をスロットと呼ばれる一定間隔に区切り、各ノードにあらかじめスロットを割り当てる割当て期間と、接続処理に関するフレームや突発的に発生したデータなどを送受信する割当て外期間を設ける。

D-chの使用例として、脈波、心電、及び加速度を取得する場合を図3に示す。生体情報の送受信は、データ量や取得頻度により必要な送信頻度や割当てスロット数は異なるが、定期的な発生する可能性が高い。このため、各ノードに定期的に占有スロットを割り当て、割り当てられたタイミングだけで送受信を行い、他ノードの割当てタイミングではスリープすることで消費電力を低減できる。

3.2 スロット共有方式

定期的に占有スロットを割り当てるには、ハブはあらかじめ各ノードに割当てスロットの位置とスロット数を通知するが、送受信データ量に最適なスロット数を常に割り当てられるとは限らない。また無線では、ノイズなどの影響で再送が必要な場合もあり、これを考慮したスロット割当てには冗長性とのトレードオフが生じる。更に医療用途では、センサの取得値が異常値を示したときなどにアラームといった緊急信号を発する必要がある。ビーコン間隔にも依存するが、割当てスロットを用いた送受信だけでは早急な送受信ができない可能性が高い。

これらの問題を踏まえ、各スロットの開始タイミングから一定期間に、スロットの使用状況を確認する期間を設けるスロ



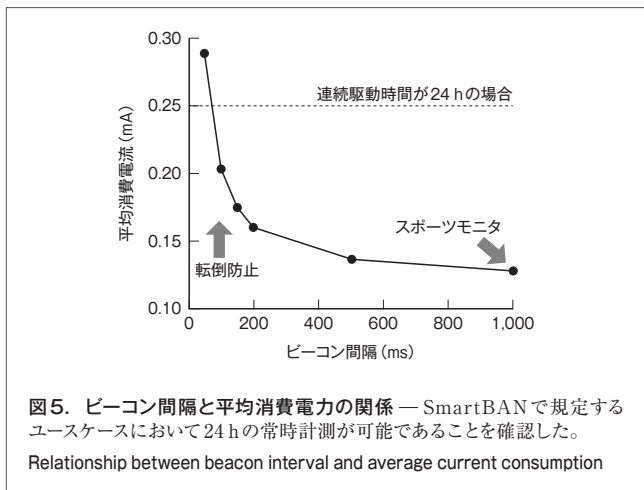
ト共有方式を開発した。使用状況確認期間に該当スロットが未使用である場合には、他ノードによる残りスロット時間の使用を許容する。送信データが緊急信号であるか否かで、スロットの使用状況確認期間に差を設けることにより、未使用時に緊急信号の送受信を優先して行う仕組みとした。

図3のD-ch使用例においてノード3に緊急信号が発生した場合、スロット共有方式でスロットを活用する仕組みを図4を用いて説明する。例えば、ビーコン信号直後の二つ目のスロットタイミングで異常値が発生した場合、その後の各スロットの先頭タイミングでスロットの使用状況の確認を行う。図のスロット3では、使用状況の確認により割当てノードがあるため緊急信号の送信を控える。同様にスロット5までは送信を控えるが、スロット6では割当てノードが未使用であることから、この場合はスロット6で緊急信号を送信する。

4 開発技術の評価

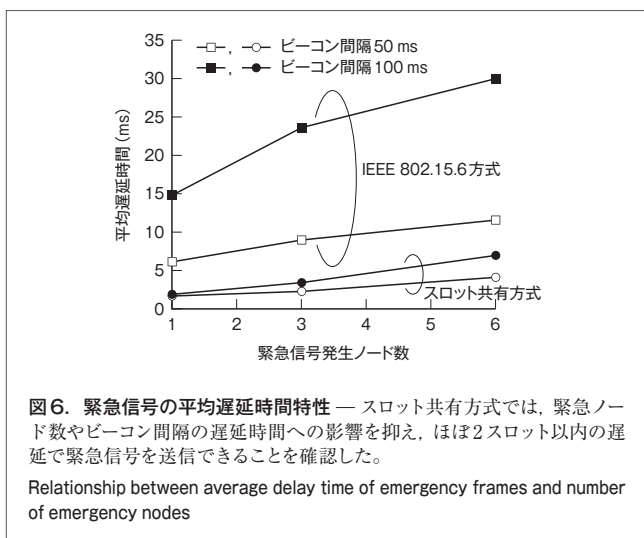
開発したシステムの平均消費電力及び緊急信号の平均遅延時間を計算機シミュレーションにより評価した。評価では、スロット長を2.5 msとし、Bluetooth[®] Smartに対応した市販チップの送受信消費電力値を用いて平均消費電力を求めた。また、緊急信号の平均遅延時間は、転倒防止ユースケースを仮定し、ハブ当たりのノード数は6とし、そのうちの緊急信号を保持するユーザー数を変更した場合を示す。ここで、緊急信号は確率0.02のポアソン分布で発生するとした。

ビーコン間隔と平均消費電力の関係を図5に示す。ビーコン間隔が長い場合、ノードはスリープ時間を伸ばせるため、平均消費電力が抑えられる。一方、ユースケースにより生体情報の送信頻度が異なるため、送信頻度を満たすビーコン間隔の設定が必要となる。例えば、転倒防止や安全見守りといった



ユースケースでは要求送信頻度が100 msであるのに対し、スポーツモニタリングでは1 sに緩和される。図5では、30 mAhのボタン電池を想定し、かつ、センシングなど非無線部の消費電力が1 mAと仮定した場合に、連続駆動時間が24 hを確保できる無線部の消費電力値の上限を示した。これより、ビーコン間隔が100 ms以上であれば、24 hの常時計測ができることがわかる。

次に、緊急信号の平均遅延時間特性を図6に示す。比較対象として、ビーコン送信後のタイミングにハブが緊急信号専用の送受信期間を設定するIEEE 802.15.6方式を用いた。IEEE 802.15.6方式ではビーコン間隔の影響を大きく受け、ビーコン間隔が長くなるにつれ平均遅延時間が増大するが、スロット共有方式では空きスロットタイミングを積極的に利用して送信を試みるため、ビーコン間隔の影響をほとんど受けないことがわかる。また、スロット共有方式は、ビーコン間隔を狭めることなく緊急信号の低遅延伝送を行うことができ、消費電力の観点でも効果がある。



5 あとがき

複数のウェアラブルデバイスでの信頼性の高い無線通信を実現するBAN技術を開発し、SmartBANの標準化に向けた提案を行った。この技術は、2チャンネル構成のシステムとすることで近隣BANとの共存を図りつつ、データチャンネルでは割当てを基本とする送受信を行うことでノードの低消費電力化を実現する。また、割当て送受信に未使用スロットを有効活用するスロット共存方式により、消費電力の増大を抑えつつ緊急信号の低遅延での転送を実現できる。2チャンネル構成システム、及び緊急信号の優先順位がここでの説明と異なる部分もあるが、基本的なスロット共有方式がSmartBANシステム規格書ver.1に採用された。

今後、SmartBANシステムの試作機を開発し、ウェアラブルデバイスへの搭載を目指していく。

文献

- (1) Boulis, A. et al. Challenges in Body Area Networks for Healthcare: The MAC. IEEE Communications Magazine. **50**, 5, 2012, p.100-106.
- (2) Suzuki, T. et al. "Wearable Wireless Vital Monitoring Technology for Smart Health Care". Proc. 7th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT). Tokyo, 2013-03. IEEE. 2013, p.1-4.
- (3) IEEE std 802.15.6: 2012. Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks.
- (4) ETSI TS DTS/SmartBAN-007 V0.2.0: 2014. Enhanced Ultra-Low Power PHY.
- (5) ETSI TS DTS/SmartBAN-005 V0.2.0: 2014. Low Complexity Medium Access Control (MAC) for SmartBAN.
- (6) ETSI TR DTS/SmartBAN-008 V0.1.0: 2014. SmartBAN System Description.

• Bluetoothワードマーク及びロゴは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。



松尾 綾子 MATSUO Ryoko, Ph.D.

研究開発統括部 研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主務、博士(工学)。無線通信システムの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Wireless System Lab.



鍋谷 寿久 NABETANI Toshihisa

研究開発統括部 研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主務。無線通信システムの研究・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Wireless System Lab.



ウーン ハウ チン Woon Hau CHIN, Ph.D.

東芝欧州研究所 通信研究所リサーチマネージャー、Ph.D.。ETSI TC SmartBANにおいてPHY/MAC仕様書を執筆。IEEE会員。

Toshiba Research Europe, Ltd.