

# 医療ヘルスケアのためのボディエリアネットワーク —標準規格の策定と開発事例—

独立行政法人 情報通信研究機構ワイヤレスネットワーク研究所 李 還幫

## 抄録

ボディエリアネットワーク (BAN; Body Area Network) は、体の表面、中およびそのごく近辺に配置されている小型端末を無線通信で結ぶことによって結成され、体を取り巻く小型端末からの音声、画像、データなどを利便的に取り扱うことができる。BANは生体センサと組み合わせて用いることによって、リアルタイムに生体情報を収集することができ、生活習慣病予防を始め、高齢者健康見守りやハンディキャップの方の行動支援など、様々な活用が可能である。

国際標準化機関の1つであるIEEE 802標準化委員会において、BANの標準規格IEEE 802.15.6などを策定してきた。IEEE 802.15.6は医療とヘルスケアデータを優先的に取り扱い、単一のMACとセキュリティおよび3つのPHYの仕様を定めている。

本稿では、BANの概念とその応用例について記述し、標準規格IEEE 802.15.6の標準化プロセスや標準規格の内容について解説する。さらに、BANの利用に好適とされているウルトラワイドバンド(UWB; Ultra-WideBand) 技術を用いて、筆者らは開発したBANの事例を紹介する。

## 1 まえがき

生活習慣病の患者数は増加傾向にあり、世界保健機関(WHO; World Health Organization)の調査によると、生活習慣病は致死原因の60%を占め、人の健康を脅かす主因となっている<sup>1)</sup>。一方、高齢化社会が進むにつれて、高齢者の全人口に対する比率が上がると同時に高齢者単独世代は増えている。厚労省によると、2010年に日本の65才以上の高齢者単独世代は500万世代を超えている<sup>2)</sup>。世界の共通課題である生活習慣病の予防と高齢者健康見守りのサポートの一環として、日常での生体情報に対する常時モニタリングは極めて重要である。2006年頃より様々な機関と業界団体は生体情報モニタリングの技術開発とその標準化を本格的に始めた。

国際標準化機関の1つであるIEEE802 LAN/MAN標準化委員会は2006年にボディエリアネットワーク(BAN; Body Area Network)のStudy Groupを設置し、2007年にこれをTask Group 15.6に昇格させ、BAN標準規格策定を始めた<sup>3)</sup>。これと前後に業界団体Continua Health Alliance

が立ち上げられ、ヘルスケア機器のための技術ガイドライン策定と機器認証を行っている<sup>4)</sup>。欧州では同じ頃ETSI Project on eHEALTHが設置され、活動し続けている<sup>5)</sup>。

国内では電子情報通信学会通信ソサエティの下に医療情報通信技術時限研究会が設立され<sup>6)</sup>、筆者はその初代幹事を務めた。また、筆者が勤務している情報通信研究機構は医療ICTコンソシアムをリードし<sup>7)</sup>、産官学連携の下で医療・ヘルスケア用無線システムの開発を推進した。これらの標準化機関や、業界団体、および学会の活動の中で、いずれもリアルタイムでの生体情報モニタリングが中心的に扱われている。本稿では、生体情報モニタリングの要であるBANに焦点を絞り、BANの概要、標準化について解説し、そして筆者らがウルトラワイドバンド(UWB; Ultra Wide Band)を用いて開発したBANの事例を紹介する。

## 2 BANの概要とその応用例

生体情報の常時モニタリングを行うために、生体情報の取得と取得した情報のリアルタイム収集の2つのステップ

1) WHO, "Assessing national capacity for the prevention and control of noncommunicable diseases: report of the 2010 global survey," <http://www.who.int/chp/en/>

2) 厚労省, "平成22年国民生活基礎調査の概況", <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/1-2.html>

3) <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>

4) <http://www.continuaalliance.org/>

5) <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/medical/ehealth>

6) <http://www.ieice.org/~mict/>

7) <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h18/070305-1/070305-1.html>

が不可欠である。生体情報は人の体に生体センサを装着することによって取得できるが、人が常に動いていることを考えると、センサより取得した生体情報をワイヤレスネットワークによって収集することは望ましい。BANは人の体とその周囲を取り巻く小ぢんまりとしたワイヤレスネットワークである。

## 2.1 BANの概要

BANは体の表面、中およびそのごく近辺に配置されている小型端末を無線通信で結ぶことによって結成されるワイヤレスネットワークである<sup>8)</sup>。一般的に、BANは1つのハブと複数個のノードから構成され、これを図1に示す。ハブとノードは同じ無線送受信機を用いるが、ハブとノードの役割は異なる。ハブはBANの形成および制御の役割を果たし、各ノードに通信するためのチャンネル割当などを行うため、通信範囲にある全てのノードと直接通信することが可能である。一方、ノードは各自がもっているデータをハブに送ることをメインタスクとしているため、それぞ

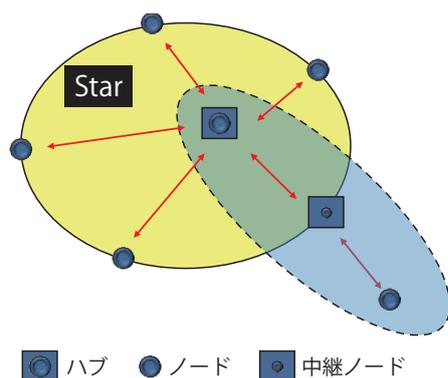


図1 BANの構成とトポロジー

れハブと直接通信するが、ノードとノードの間は特別なケースを除き、直接通信しないものである。特別なケースとは、ハブの通信範囲外にあるノードは、他の中継機能をもつノードを通じてハブと通信を行う場合である。

以上のことからBANのトポロジーの基本はスター型であり、ハブをBANのセンターとして、その周りにノードを配置するものである。一方、ハブと直接通信できないノードに対して、一部の中継機能をもつノードはその間を中継することができる。したがって、BANのトポロジーを2ホップ延長・スター・トポロジーと呼ぶことができる。

## 2.2 BANの応用例

BANは上記からわかるように、体を取り巻く複数個の小型デバイスを無線通信によって結び、ネットワークを構築する必要な場合に適している技術である。図2にBANが最も適すると考えられる応用例の3つのカテゴリを示す。

カテゴリ I は、医療とヘルスケアへの応用である。従来生体センサとネットワークを組み合わせる試みは行われている<sup>9)</sup>。BANを用いた場合は、体温や心電およびSpO2(血中酸素飽和度)などを測る生体センサをBANノードに取付けて、センサの取得した生体情報をリアルタイムにノードからハブに送り、体の健康状態モニタやメディカルチェックなどに用いられる。このようなBANの利用は日常のヘルスケアのほか、病院での患者状態モニタや、在宅介護などにも利用可能である。また、BANノードは体の表面のみでなく、ノードをカプセル内視鏡に入れて体の中での配置も可能である。

カテゴリ II は、ハンディキャップの方に対する行動支援である。視覚障がい者のための歩行補助器として、オーデコが開発されている<sup>10)</sup>。カメラの映像を電気信号に変え

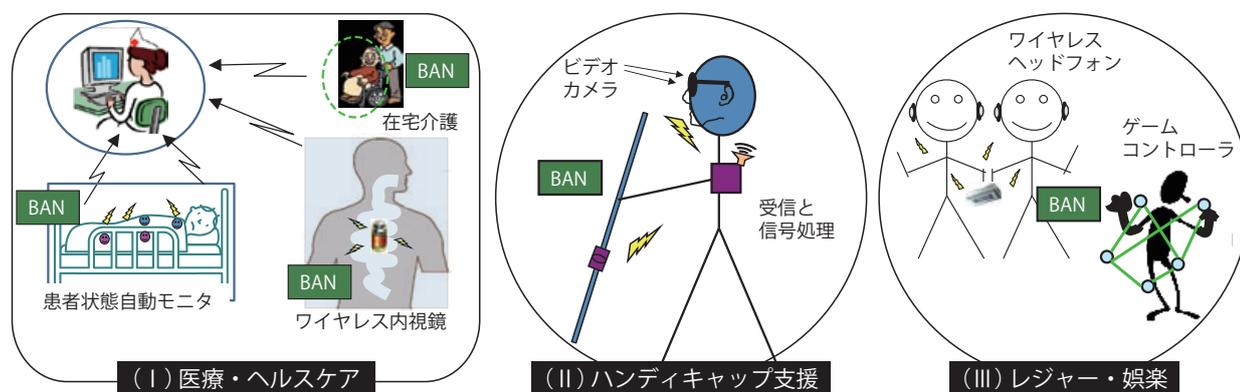


図2 BANの応用の分類

8) H.-B. Li, K.Y. Yazdandoost, and B. Zhen, "Wireless Body Area Network, Revier Publishers", 2010.

9) 朽久保修, 山末耕太郎, "情報通信技術を活用したヘルスケアネットワークシステム", 電子情報通信学会 信学誌vol.90,no.8,pp.636-641,2007.

10) Tech総研, "リーダーインタビュー: 全盲者に「視界」を与えたオーデコ開発者・菅野米蔵", [http://next.rikunabi.com/tech/docs/ct\\_s03600.jsp?p=001496](http://next.rikunabi.com/tech/docs/ct_s03600.jsp?p=001496)

て、電気刺激として顔に伝えるものである。BANを用いた場合、複数のデバイスはネットワークを構成していることを利用して、たとえばセンサによって進路上の障害物を検出したり、カメラの映像から必要とする情報を切り出したりして、これらの情報を音声に変えて利用者に知らせることが可能である。その他の例として、たとえば手話の動きをセンサでとらえて音声に変える利用などが考えられる。

カテゴリⅢは、コンシューマ電子機器への応用である。小型化、低価格化によってコンシューマ電子機器を複数個同時に携帯または使用することはしばしばある。ゲームコントローラやメディアプレイヤー、およびワイヤレスヘッドホンなどの身の回りで用いる小型端末間の音声、画像、データのやり取りにBANを用いることによって利便性が向上される。

以上の応用例からもわかるように、BANは常に体の表面、中、または至近で動作することが多いため、デバイスから発射される電波の人体への影響を小さく抑え、人体保護基準等を満たす必要がある。次に、ヘルスケアなどの利用において生体情報を長時間にわたって連続取得することが求められるので、小型電池をもって長時間動作する低消費電力を実現する必要がある。また、体につけたり、携帯したりするケースが多いので、デバイスの小型化は重要である。さらに、限られた空間でBANを利用しているユーザが複数いる場合、これらのBANは共存できるよう、BANの間の干渉回避策を講じなければならない。これらの要求は、既存ワイヤレスネットワークで必ずしも対応しきれないため、新たにBANの標準規格をつくる必要があった。

### 3 BANの標準化について

標準規格は公平な競争を促し、消費者に製品間の互換性拡大による利便性の向上や量産化による製品単価の低下な

どのメリットをもたらす。一方、企業は標準規格策定への関与または技術提案を送り込むことによって、標準規格に沿った製品開発の先手取りやマーケットへの早期進出に繋がることが期待される。したがって、標準規格の重要性がますます増えている。

BANに対して、国際標準規格IEEE 802.15.6やIEEE 802.15.4jなどが策定されている<sup>11)12)</sup>。ちょうどBAN標準化の議論が始まった2006年頃に、筆者が勤務している情報通信研究機構は医療支援ICTグループを設置し、BANの標準化をメインタスクの1つと位置づけた。そんな経緯があって筆者はBAN標準化タスクグループの立ち上げから、標準規格が策定されるまで深く関わることができた<sup>13)</sup>。この章では、特に標準規格IEEE 802.15.6の主要仕様について詳しく記述し、そしてIEEE 802.15.4jおよび現在策定中のIEEE 802.15.4nについても簡略的に紹介する。

### 3.1 標準規格策定プロセス

携帯電話や無線LANおよびBluetoothなどが普及し、様々なワイヤレスネットワークが身近で利用されている。これらのワイヤレスネットワークはそれぞれ異なる標準規格によって仕様が定められている。標準規格IEEE 802.15.6はIEEE802 LAN/MAN標準化委員会の傘下にあるワーキンググループ(WG; Working Group) WG 802.15の下で策定された。WG 802.15は個人域無線ネットワーク(WPAN; Wireless Personal Area Networks)を対象とし、発行された規格の一部と現在策定中の規格を図3にまとめた。

図3では、すでに規格策定が完了し発行されている標準規格を点線で囲み、策定中の規格を実線で囲んでいる。ただし、スペースの関係で発行済規格の一部を割愛した。WG 802.15の規格には2種類がある。IEEE 802.15.N(N=1, 2, 3, ..., 9)と表記されているものは単独規格である

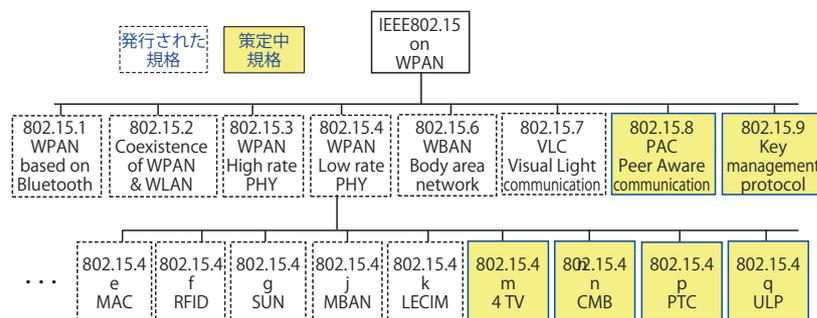


図3 IEEE 802.15 標準規格の構成 (2013年8月現在)

11) IEEE Standards Association, "IEEE Standard For Local and Metropolitan Area Networks - Part 802.15.6: Wireless Body Area Networks", 2012.  
 12) IEEE Standards Association, "IEEE Standard For Local and Metropolitan Area Networks - Part 802.15.4: Low-Rate Personal Area Networks (LR-WPANs) : Amendment 4: Alternative PHY Layer Extension to Support Medical Body Area Network (MBAN) Services Operating in the 2360 MHz- 2400 MHz Band", 2012.  
 13) 李還幫, "標準規格IEEE802.15.6の策定に携わって", 電子情報通信学会 通信ソサエティマガジン, No.24, pp.307-310, 2013.

ことを示し、IEEE 802.15.Nx (xは小文字の英語アルファベット)と表記されているものは既存規格IEEE 802.15.Nに対する追加仕様や補強仕様 (amendment) であることを示す。

2006年の初め頃、WG 802.15において新たな標準化対象を選定するため、SC-WNG (Standing Committee of Wireless Next Generation) を新設し、数多くの候補がリストアップされた<sup>14)</sup>。BANはSC-WNGから選定された第1号の標準化対象であった。標準化を進める上で、BANのInterest GroupとStudy Groupなどのステップを経て、2007年12月にBANのタスクグループ (TG 15.6) が承認された。TG 15.6はBANの標準規格を策定する主体であり、最初からBANがPHYとMACを含める単独規格であることを明確にした。

TG 15.6には、アメリカ、ヨーロッパおよびアジアから30以上の研究機関、企業、大学が集まって標準化作業を進めた。筆者はTG 15.6の立ち上げなどにおける活動が認められ、Vice Chairを務めることとなった。図4に標準規格が策定されるまでの一般的なプロセスを纏めている。括弧中の年月はTG 15.6がそのステップに辿り着いた時期を示している。タスクグループが承認されると、まずアプリケーション総括 (AM; Application Matrix)、チャンネルモデル (CM; Channel Model)、技術要件 (TR; Technical Requirement) などの文書を作る必要がある。これらの文書 (特に技術要件とチャンネルモデル) は提案者が技術提案したり、提案を評価したりするときのガイドラインとなる。上記の文書を完成すると、提案募集 (CFP; Call For Proposal) を発行し、標準規格への技術提案が始まる。提案者は技術提案のドキュメントを提出する一方、標準化会

合において提案内容についてプレゼンを行い、質疑に対して応答することが求められる。

標準規格ドラフトを仕上げるために、複数の提案から標準規格にとり入れる仕様を選出する必要がある。これは提案元の間で交渉し、投票に基づく取捨選択 (Down Selection) や提案マージなどの手法によって行われる。規格ドラフトを完成すると、郵便投票 (LB; Letter Ballot) とそれに続いてスポンサー投票 (SB; Sponsor Ballot) が行われる。LBはIEEE802.15の投票権をもつメンバーを対象としているのに対して、SBはIEEE802のデータベースに登録されている専門家を対象としている。LBまたはSBを通過するために、3つの必須条件がある。①承認投票は全体投票の75%以上を占めること。②すべてのコメントに対して回答を行い、さらに、コメントや回答に応じてドラフトをアップデートすること。③アップデート後のドラフトに対して新たな反対投票がなく、ドラフトをさらにアップデートする必要がないこと。この3つの条件が満たされるまでLBとSBを繰り返して行わなければならない。LBとSBに成功すると、標準規格ドラフトは標準化委員会に送られ、承認後に事務局にてエディトリアル的な修正を加えて発行される。

### 3.2 標準規格IEEE 802.15.6の概要

2012年2月に発行された標準規格IEEE 802.15.6<sup>15)</sup>は、通信方式や電波仕様などを定義する物理 (PHY) 層、およびネットワークのセットアップと端末のチャンネルアクセス方法などを定義する媒体アクセス制御 (MAC) 層、そしてセキュリティ仕様などが含まれている。

IEEE 802.15.6の1つの主な特徴は医療とヘルスケアデータを優先的に取り扱うことを明確に定めていることである。表1にIEEE 802.15.6で規定されているデータ優先度マッピングを示す。この表からわかるように、データの

- TG承認・設立 (TG 15.6: 2007年12月)  
アプリケーション、チャンネルモデル、技術要件、...
- Call For Proposal発行 (TG 15.6: 2008年11月)
- 技術提案およびプレゼン (TG 15.6: 2009年3-5月)  
交渉・Down Selection・提案マージ
- 標準規格ドラフト第1版完成 (TG 15.6: 2010年5月)  
- Letter Ballot (新たなコメントが出なくなるまで実施)  
- Comment resolutionおよび標準ドラフトアップデート  
- 承認率75%が必須
- Letter Ballot完了 (TG 15.6: 2011年7月)  
- Sponsor Ballot (新たなコメントが出なくなるまで実施)  
- Comment resolutionおよび標準ドラフトアップデート  
- 承認率75%が必須
- Sponsor Ballot完了 (TG 15.6: 2011年12月)
- 標準規格承認 (TG 15.6: 2012年1月)
- 標準規格発行 (TG 15.6: 2012年2月)



図4 標準規格策定プロセス

表1 データ優先度マッピング

優先度レベル	データ内容	データの種類
7	緊急用データまたは医療・イベントレポート。	データ
6	優先度の高い医療データまたはネットワーク制御用データ。	データまたは管理
5	医療データまたはネットワーク制御用データ。	データまたは管理
4	音声	データ
3	画像	データ
2	エクセレント・エフォート	データ
1	ベスト・エフォート	データ
0	バックグラウンド	データ

14) Erik Schylander, "15WNG Guidelines for New Work Items," IEEE 802.15-06-0002-01, Jan. 2006.

用途によってその優先度は0から7までの8レベルに割り当てられる。緊急用データとメディカル・イベントレポートに最も高いレベルの優先度(レベル7)を与えている。通信用のチャネルリソースが不足するなどの場合に、緊急用データとメディカル・イベントレポートは他の用途のデータよりも優先的にチャネルが確保される。この優先度マッピングこそ、IEEE 802.15.6は他の標準規格と大きく異なるところであり、ゆえに医療ヘルスケアを重点に置いた標準規格だと言える。

次に、BANの効率性と省電力化を合理的に図るため、アプリケーションの内容に応じて3つのチャネルアクセスモードが定義されている。これを表2に纏める。

表2 チャネルアクセスモードのまとめ

チャネルアクセスモード	スーパーフレーム	ビーコン	説明
I	あり	あり	ハブは各スーパーフレームの先頭にビーコンを送信。
II	あり	なし	ハブは同期のための時刻情報を提供するが、ビーコンを送信しない。
III	なし	なし	時刻同期情報なし。

モードIとモードIIは、共に時刻情報に基づくスーパーフレーム構造を基本としている。モードIではBANハブが各スーパーフレームの先頭でビーコンを送り、BANのノード間の同期を図っている。したがって、周期的にデータを送るアプリケーションに適している。一方、モードIIではスーパーフレームを利用するが、ビーコンを使用しない。必要な時にだけポーリング(Poll)を使って、アクセススロットの位置情報等の通知を行う。ノードは周期的にビーコンを受信しないため、その分消費電力が低減される。以上に対して、モードIIIでは、スーパーフレームを用いない非同期型アクセス方式を採用している。これはチャネルアクセス頻度の非常に低いノードのために用意したものである。時刻同期を省けることで、ノードは長い期間スリープモードに移り、消費電力を極めて小さく抑えることができる。特にインプラント型のノードに適する。

図5にIEEE 802.15.6で定義しているスーパーフレームを示す。スーパーフレームはビーコン、排他的アクセス区間(EAP: exclusive access phase)、ランダムアクセス区間(RAP: random access phase)、管理アクセス区間(MAP: managed access phase)、および競争アクセス区間(CAP: contention access phase)などから構成される。ビーコンには同期信号や各アクセス区間の位置情報等が含まれている。EAPは緊急用データとメディカル・イベントレポートのみが利用可能なアクセス区間である。

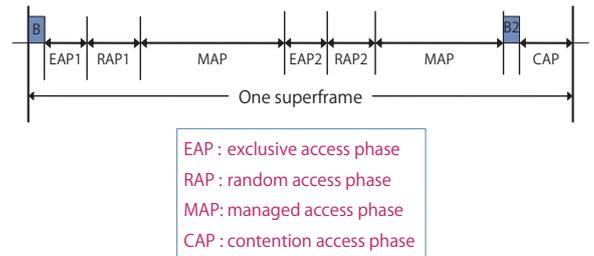


図5 スーパーフレーム構造

BANが利用できる周波数帯が複数あり、これらの周波数帯に対応するためにIEEE 802.15.6は3つのPHYを定義した。すなわち狭帯域(Narrow Band)PHY, UWB PHY, および人体通信(HBC; Human Body Communication)PHYである。表3にこの3つのPHYがそれぞれ使用される周波数帯とサポートするデータレートを纏めている。

表3 3つのPHYの周波数帯とデータレート

	周波数帯 (MHz)	データレート (kbps)	注釈
狭帯域PHY	400, 800, 900, 2360, 2400	75.9~971.4	同じ帯域を使う他のシステムと干渉する可能性がある。
UWB PHY	6000-10600 3100-4800	390~12600	世界共通に用いられるバンドは7.25-8.5 GHz。
HBC PHY	21	164~1312.5	インプラントデバイスなどへの影響が懸念される。

1つ目の狭帯域PHYが使用可能な周波数には、ISMバンド(863-870MHz, 902-968MHz, 950-958MHz, 2400-2483.5MHz)や、MICS(Medical Implant Communications Service)バンド(402-405MHz), WMTS(Wireless Medical Telemetry System)バンド(420-450MHz, 900MHz)、およびMBAN(Medical Body Area Network)バンド(2360-2400MHz)などがある。使用する周波数によってサポートする通信速度が異なる。省電力と低コストを実現するために、狭帯域PHYでは420-450MHzバンド以外は全て差動同期位相変調のDBPSKを基本とし、BCH符号を用いている。より高いデータレートを求めるときにDQPSKやD8PSKを用いることが可能である。狭帯域PHYを利用する場合、最大データレートは周波数バンドが2360MHzと2400MHzのときの970kbpsである。なお、420-450MHzバンドは日本のみ使用可能な周波数で、日本の法制度で規定されているGMSKを用いた。

2つ目のUWB PHYの使用可能な周波数はローバンド(3.1-4.8GHz)とハイバンド(6.0-10.6GHz)に分かれている。変調方式として、インパルス型(Impulse Radio)UWBを用いたオンオフキーイング(OOK; On-Off Keying)

を基本とし、最大データレートは12.6Mbpsである。また、より高い伝送品質が求められるときには、差動同期位相変調や誤り訂正とデータ再送要求を組み合わせて用いるなどのオプションが用意されている。

3つ目のHBC PHYは人の体を伝送媒体として用い、周波数バンドのセンターが21MHz、最大データレートが1.3Mbpsである。HBC PHYは体に装着している他の無線デバイスまたは医療用デバイスに対して影響を与える懸念があり、実用上慎重に評価を重ねる必要がある。

IEEE 802.15.6はセキュリティの適用について、AES-128とCamellia-128を暗号関数(Cipher Function)に指定した。いずれも実績のある安全性の高い暗号方式である。

### 3.3 IEEE 802.15.4jおよびIEEE 802.15.4nについて

IEEE 802.15.4jとIEEE 802.15.4nのタイトルはそれぞれメディカルBAN (MBAN; Medical BAN) および中国メディカルBAN (CMB; China Medical BAN) である。タイトルからもわかるように、IEEE 802.15.4jとIEEE 802.15.4nは医療ヘルスケア用途に限定している。また、IEEE 802.15.6と違って、IEEE 802.15.4jとIEEE 802.15.4nは単独規格ではなく、いずれもIEEE 802.15.4のPHY追加仕様である。

IEEE 802.15.4jはアメリカでの2360-2400MHzバンドのメディカルBANへの割り当てを見込んで、2011年3月から提案募集を開始した。2012年12月にドラフトの最終版が出来上がり、2013年2月に標準化委員会に承認され、発行された。2012年5月にFCCは2360-2400GHzバンドのメディカルBANへの割り当てを正式に決め<sup>15)</sup>、アメリカでの使用が可能となった。IEEE 802.15.4jはIEEE 802.15.4へのPHYの追加仕様となっているため、IEEE 802.15.4と同じくDSSSやO-QPSK用いている。

IEEE 802.15.4nは中国の医療用バンド(174-216MHz, 407-425MHz, 608-630MHz)を用い、2012年5月より標準化作業が開始されている。特に400MHzバンドにおいて、日本のWMTSバンドと一部重なっているため、日中間の共同利用を目指して、いくつかの日本企業も同標準化作業に加わっている。

## 4 UWBを用いたBANの試作例

UWBは非常に広い周波数帯域にわたって電力を拡散させ、低い電力密度をもって通信を行う無線技術で<sup>16)</sup>、BANにとって好都合の特徴を多数揃えている。図6にUWB信

号と従来の狭帯域信号の電力スペクトル密度(PSD; Power Spectral Density)を比較している。UWB信号は500MHz以上から数GHzまでの広いスペクトルを占有する一方で、信号のPSDは極めて低いことがわかる。たとえばW-CDMAのPSDは+15dBm/MHzであるのに対して、UWBのPSDは-41.3dBm/MHzである。その差は56dB以上で、倍数に直すとUWBは前者の数万~数十万分の一の弱さである。

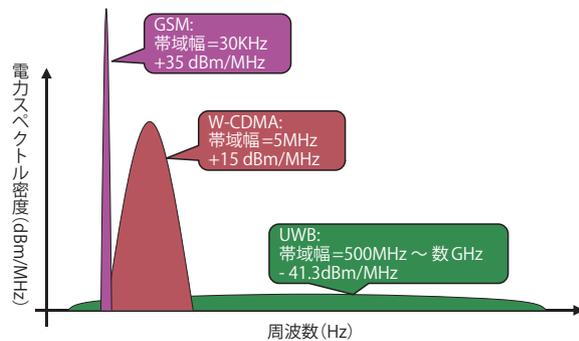


図6 UWB信号と従来の狭帯域信号との比較

UWBにはインパルス型(Impulse Radio)とマルチバンドOFDM型があるが、インパルス型UWBは時間軸上でナノ秒オーダーの短いパルスを用いて送受信を行い、簡単な送受信回路をもって実現できるのみならず、低消費電力や高い時間分解能などの特徴を有する。インパルス型UWBを利用することによって以下の利点もたらされる。

- \*信号のPSDが低いため、人体への影響は小さい。
- \*低消費電力のため、小型電池で動作するBANにとって好適。
- \*放射PSDが低いため、電波の伝搬距離は限定的でシステム間の共存にとって好都合。
- \*比較的に高いデータレートを有する。

情報通信研究機構は国内法制度で認められているハイバンドの7.25-10.25GHzにおいて、インパルス型UWBを用いたBANシステムの開発を行ってきた。開発したBANはいずれもTELECの認証を受けており、室内環境での無免許利用が認められている。

### 4.1 健康見守りBAN

健康見守りBANは体へ装着される小型端末と体に装着しない固定設置型端末から構成され、これらの端末の外観図を図7に示す。腰ベルト装着型デバイスはハブであり、3軸加速度センサを内蔵している。他のデバイスは全てノードであり、それぞれハブと直接通信する仕様となって

15) <http://www.fcc.gov/document/fcc-dedicates-spectrum-enabling-medical-body-area-networks>

16) K.Siwak and D. McKeown, "Ultra-wideband radio technology," John Wiley & Sons, Ltd., 2004

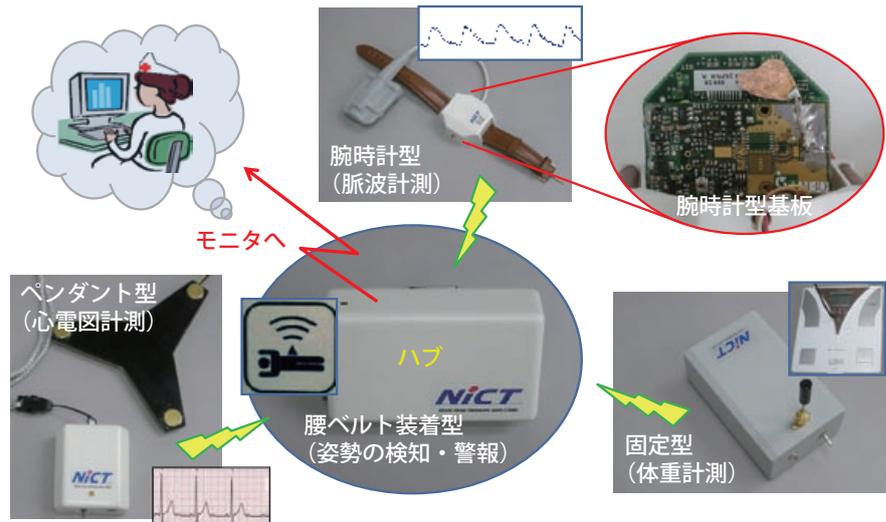


図7 健康見守りBAN

いる。これらの中で、腕時計型ノードは脈波を取得するセンサとつなぎ、ペンダント型ノードは心電を取得するセンサとつながっている。この2つのノードはそれぞれ1秒ごとに生体データを取得してハブに送信している。一方、固定設置型端末は体重計につながっていて、体重をはかるときのみに用いられる。ノードはデータを送信してからハブからの受信確認の返信を受け取るまでの1サイクルを約4ミリ秒で完成する。次の送信サイクルが来るまでの時間は送受信を行わないスリープモードに移り、消費電力の削減につとめている。一方、チャンネルの条件などによって送受信がうまくできなかったとき、ハブから受信確認の返信は届かない。この場合、ノードはデータ再送を行い、最大10回までの送信が実行される。ハブは各ノードから受け取ったデータをリアルタイムにモニターに送るが、これもUWBをもって行っている。

図8にハブに集められた各種データはモニターに送られ、

モニターにて表示されている画面例を示す。各端末の電池残量状況とハブとの接続状況などが示される一方、心電、脈波、および3軸加速度などのデータはリアルタイムに表示される。3軸加速度センサのデータに基づいて、人の転倒を検知しアラームを鳴らしている例が図8に示されている。なお、図には示していないが、心電と脈波についてしきい値を設けることができ、正常範囲を逸したデータを受信したときに、アラームを鳴らすように設定できる。

この健康見守りBANの例では、各ノードの扱っているデータ量が少なく、ノードとハブは各自のデータ送受信区間以外、長いスリープモードに入ることができる。

#### 4.2 視覚障がい者安全補助用BAN

視覚障がい者安全補助用BANの構成を図9に示す。ベルト装着型端末をハブとし、サングラスのフレームに取り付けるカメラ内蔵型端末と、腕時計型端末および杖装着型端末の3つのノードが含まれている。

カメラ内蔵型端末には小型カメラが内蔵され、カメラからの映像はUWBによってハブに送られ、データを解読した上で視覚障がい者にとって有益な情報を取り出す。図9のBANではカメラ映像の中にある赤、青、ブルーの色信号をハブの信号処理器が解読し、これを音声にてリアルタイムに利用者に通知する。また、腕時計型端末には脈波、SpO2、体温を取得するためのセンサが内蔵され、これらのセンサが取得した波形またはデータをUWBによってリアルタイムにハブに送り、デモのために用意したモニターに表示される。そして、杖装着型端末には超音波センサが内蔵され、進路前方に障害物があるときにそれを検知し、障害物までの距離を計算してハブに送る。ハブは障害物まで

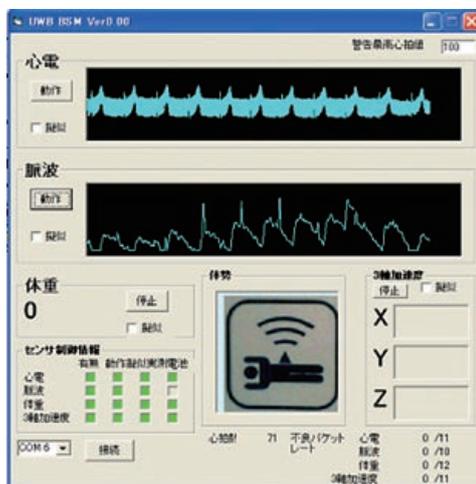


図8 健康見守りBANモニターの画面例



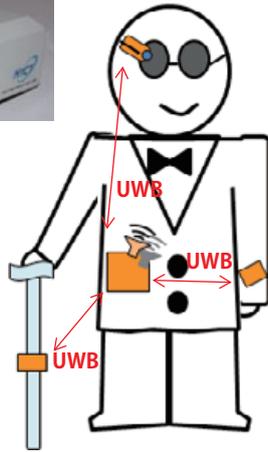
カメラ内蔵型端末  
(画像を取得する)



腕時計型端末  
(脈波、SpO2、体温取得)



杖装着型端末  
(超音波距離計)



腰ベルト装着型端末  
(色認識、音声装置、モニタ)

図9 視覚障がい者安全補助BAN

の距離に基づいて音声にて利用者に障害物の存在を告げ、障害物に近づいた場合に回避指示を発する。

なお、上記の健康見守りBANと視覚障がい者安全補助BANはいずれもパルス密度変調(PDM; Pulse Density Modulation)を用いた。PDMは単位時間に送り出しているパルスの数によって'0'または'1'を表している。これを図10に示す。PDMは'0'と無信号の区別を容易にし、'0'と'1'の間にガード区間をおくことで、反射に強い特徴をもっている。

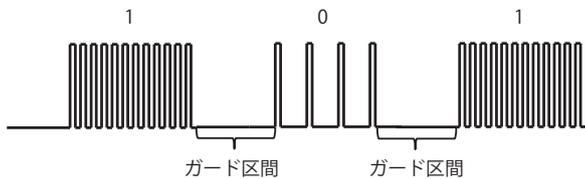


図10 パルス密度変調

ここで紹介した健康見守りBANはアプリケーションのカテゴリIに属し、視覚障がい者安全補助用BANはカテゴリIとカテゴリIIを組み合わせて用いた。上記以外にもBANとUWBのさまざまな利用形態がある。たとえばUWBを用いたノードをカプセル内視鏡に入れ、その高いデータレートを利用してより高い解像度の映像をリアルタイムに送ったり、また、UWBの高い解像度を利用してレーダーの用途と組み合わせて用いたりすることも考えられる。

## 5 おわりに

本稿はBAN技術とその標準規格および筆者らによる開発事例を記述した。策定された標準規格はすぐにビジネス

に繋がるとは限らないが、標準化は標準規格に沿った製品開発の先取りの一環または自ら所持している技術の売り込む場だとみる企業や団体は少なくない。

BANは、体を取り巻く小型端末からの音声、画像、データなどを利便的に取り扱い、生活習慣病予防を始め、高齢者健康見守り、そして視覚障がい者の安全補助などでの利用に役立つ。BANを携帯電話やインターネットなどのインフラと組み合わせる用いることによって、安心、安全な福祉社会を実現する上できっと重要な役割を果たすと信じている。

## profile

### 李 還幫 (リ カンホウ)

平成6年 郵政省通信総合研究所(現独立行政法人情報通信研究機構)入所。

以来、技術試験衛星ETS-VIやCOMETSなどを用いた移動体衛星通信の実験研究、UWBおよびBANの研究開発および標準化活動などを経て、現在、同ディペンダブルワイヤレス研究室主任研究員。

平成11~12年 米国スタンフォード大客員研究員。

平成22年より電通大客員教授。

平成19~24年 IEEE802.15.6副議長。

平成23~24年 電子情報通信学会通ソ研専運営会議副議長。

著書「ビタビ復号を用いたブロック符号化変調方式」(トリケップス, 1999), 「Wireless Body Area Network」(共著, River Publisher, 2010) など。