

NPO WBN 技術講座

1. ヘルスケア・システム構築のための基本技術 : - ワイヤレス技術篇 -

1.1 はじめに

NPO Wireless Brain Network(WBN)では設立趣旨に沿った多様な技術支援を実施していますが、ヘルスケアを中心とした情報システムの構築支援もその守備範囲となっています。ヘルスケアのための情報通信システムを援用した提案についてはこれまで内外を問わず多くの試みが報告されています。1990年代より医療・健康情報を情報通信技術を用いて診療に役立てようと云う動きがありましたが、デジタル通信関連技術、特にワイヤレス・セキュリティ技術の不安よりなかなか広がりませんでした。2000年代に入りこれら技術の画期的進展により遠隔医療のようなシステムもサービスされ始めています。一方、今後リアルタイム・ヘルスケアの重要性はますます増すことは確実でしょう。本講座の第1章ではヘルスケア関連を目的として標準化されたワイヤレス技術について解説する予定です：ICT関連技術面からのヘルスケア 初期における参考文献例[1], [2], [3], [4].。

1.2 WBAN(Wireless Body Area Network)

人生100年時代の到来が言われる中、健康年齢を伸ばしていつまでもアクティブな生活を送れる方法の提案が多くの組織、団体または個人によってなされています（書店に足を運べば、沢山の書籍、論考を目にすることができます）。NPO WBNでは、これまで主に技術的な観点から上記環境を支援できるテーマで毎年幾つかの講演会やシンポジウム開催を支援してきました。最近では NTT device innovation centerの桑原氏による「ウェアラブル生体センサ技術とその応用」講演会開催を支援しましたが、そこでも日常的な健康管理の重要性が述べられ、生活習慣の改善に繋がる各種ツールとそれらを用いたアプリケーションサービスの拡がりが見込まれているとのことでした：NPO WBN HP; 「ウェアラブル生体センサ技術とその応用」報告参照）。

本講座では、何らかの疾患のある人の健康管理ばかりでなく、運動選手やテストドライバーのバイオデータ取得など幅広いアプリケーションを構築するための（最初に必要となる多様なセンサーからの）情報をワイヤレスで取り扱う通信技術の基本について解説する予定です。最近では「健康管理」よりは「ヘルスケア」とカタカナで言われることが多くなっていますが、「ヘルスケア」の方が意味する範囲が広いと感じられますので、以下では「ヘルスケア」を使ってゆく予定です（記述の表現としてはダブルクォーテーションを省きます）。生体情報（「バイオデータ」とも呼ばれています）を活用する分野は個人的な利用から医院・病院までの広い領域があります。そのような目的でのワイヤレス通信によるデータ伝送とその管理を目的とした（実質的な）「国際標準」として IEEE 802.15.6があります。人体やその近傍でデータを取り扱う実質的な「国際標準」としてはすでに IEEE 802.15.1標準や IEEE 802.15.4 標準がありそれぞれの仕様に対してよく知られた

BluetoothやZigBeeが業界における支配的な無線システムとして流布されています。IEEE 802.15 委員会は WPAN : Wirelewss Personal Area Networkを取り扱う委員会 (Working Group: WG) として設置されましたが、その下に幾つかの部会に限られた目的別に作業部会 (Task Group: TG)として設置され、それ等が”15.1”であったり”15.4”であったりしています。これ等では、人体近傍における無線データの取り扱いが比較的容易にネットワーク化できる反面、広範囲の生体情報をネットワーク化して取り扱うにはフレキシビリティ（柔軟性）に欠けるという制約があると感じられます。バイオ関連データを主対象としてさらに広範囲のデータを効率よく取り扱うことが出来る仕様の標準化をしようという機運が高まりIEEE 802.15.6 がBAN(Body Area Network)のための議定書として2012年2月文書化(std.)されました。

以下では、主としてIEEE 802.15.6 BAN標準について順次解説をして行く予定です。なお、802.15.1や802.15.4についても、必要に応じて参照し、分かりやすい講座をすすめて行くよう心掛けるつもりです。（文章表現中術語に不統一な箇所がありますが、ご容赦を願いたい）

1.3 IEEE 802.15.6 概要

1.3.1 生い立ちと無線周波数

2007年12月、IEEE 802委員会ではWBAN(Wireless Body Area Network)向けの標準化Task Group(TG) IEEE 802.15.6を立ち上げた。Wireless Personal Area Network(WPAN)向けのTGとしてはすでにIEEE 802.15.1 (Bluetoothを基本仕様として策定) , IEEE 802.15.4 (low-rate WPAN : 例 ; ZigBee) が標準化を終えていたが、これらでは比較的低速の伝送レートでの利用をターゲットとしたシステム向けであったため、更に高速伝送での利用やインプラント機器向け機器開発を含めた標準化のためのTGが要望された。IEEE 802.15.1に準拠したBluetoothではその後のversion up によりBluetooth 2.0及びEDR (Extended Data Rate)で2Mbpsまで伝送レートが上がり、更にはLE(Low Energy)仕様で消費電力の削減が達成されたがシステムの運用形態の拡張性には課題が残されている。15.6 std.の基本理念はWBAN を取り巻く多様な環境への適用性の拡張とセキュリティの強化である。多様なシステムへの適用性拡張は主にMAC LayerにおけるAccess方式の多様化でなされており、個人的な映像伝送システム構築から病院のような大型の組織における安全な医療応用システム構築まで対応可能であることを基本としている。一方、伝送レートの多様化については、パーソナルなヘルスケアのための間歇的なデータ伝送から緊急時における高精細画像データ伝送とその品質保証(QoS: Quality of Service)までを標準化している。個人の健康情報を取り扱う上での重要課題であるデータのセキュリティ保持に関してはAES-128とCamellia 128を採用することでその安全性を保証している。15.6 std. はエンターテイメント・アプリケーションまでターゲットとして2012年 2月に書類化された。以上述べてきたように、

IEEE 802.15.16 std. は広範囲の応用への適用可能を追求しておりHBC(Human Body Communications: 5-50 MHz)、NB&MICS(Narrowband&Medical Implant Communications Service), ISM(Industrial, Science and Medical band)更にUWB(Ultra-wideband)などの周波数を含んでいる。但し、具体的な使用可能周波数はそれぞれの国によって異なるので、システム開発を計画する時には注意が必要である。例えば医療用インプラント（埋め込み）通信サービスについては殆どの国でライセンスバンドになっているし、WMTS(Wireless Medical Telemetry Services)用周波数も同様ライセンスバンドとして割り当てられている（402MHz-405MHz）のが一般的である。このような、従来からの利用目的が異なる様々な無線システムの構築に際し統一的な基準を有した物理層（PHY）とワイヤレス・アクセス層（MAC）及びセキュリティ仕様の標準化を実現しようとする部会がTG IEEE 802.15.16でした。

IEEE 802.15.6 仕様の詳細については後ほど詳細を述べますが、その特徴については簡単に述べておこう。まず、無線システムにとって最も基本的なパラメーターである、利用可能な周波数の大まかな配置を Fig.1 に示した。図には周波数(MHz) 及び利用目的を示したが、先にも述べたように図に示された周波数が全ての国(world wide)で可能なわけでは無いので注意が必要です。

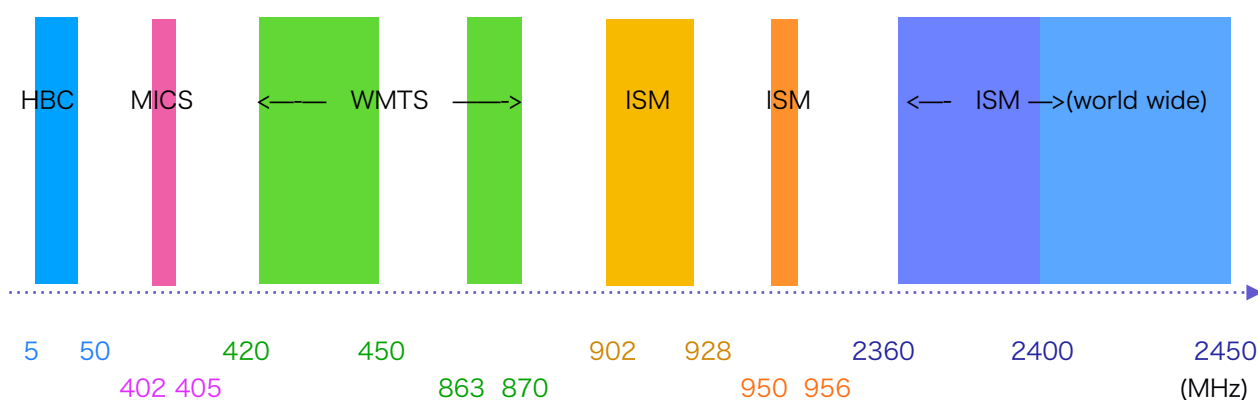


Fig.1a IEEE 802.15.6 で規定されている標準化対象関連周波数帯 (概要1) : NB



Fig. 1b IEEE 802.15.6 で規定されている標準化対象関連周波数帯 (概要2) : UWB

図中に記載されている術語の省略表現 (abbreviation) の注釈を以下に示しておきます：

WBAN : Wireless Body Area Network

NB : Narrowband

UWB : Ultra Wideband

HBC : Human Body Communications (5 ~ 50MHz)

MICS : Medical Implant Communication Service (402 ~ 405 MHz: licensed band)

WMTSs : Wireless Medical Telemetry Services (420~450 : licensed band)

PHY: Physical Layer, MAC: Media Access Control

1.3.2 基本ネットワーク構成とMACフォーマット

IEEE 802.15.6に準拠するネットワークの基本的な構成法の特徴はIEEE 802.15.4 std.と同様 1-hop、スター型ネットワークですが、それだけでなく更に2-hopのスター型ワイヤレス・アクセスネットワークを確立するハブ(HUB)ノードの存在が許されていることです。ハブ機能を有しない単純機能のノードは一般にはセンサーノードとしてバイタルサイン取得用のデバイスと一体化されることが多い。これをもっと具体的に、人体に関する生体情報 (バイタルサインや、これを変換したバイオデータ) を取得しスマホ (スマホ) や居室のコンピュータに蓄積し活用する構成として考えてみよう。ある個人が自身の複数バイオデータ (例えば、体温、心拍数、SpO2 データなど) を取得してスマホで確認したり、PCに送る場合には1-hop access (接続) ネットワーク構成で実現できる (Fig. 2aを参照：図中<HUB>はorganizing HUBを示す)。この場合にはハブとなるノード (organizing HUB) と (データを送信するだけの) 単純ノードを設定することでネットワークが構成されます (勿論、スマホやPCには無線通信機能が別途必要です)。ここで、organizing HUB は BAN ネットワークのルーターとしての機能します：この役割については後ほど詳しく述べます。因みに、organizing HUB は IEEE 802.15.4でPAN・コーディネーター；PAN coordinator；と名付けられたノードと同じルータとしての機能を提供します。

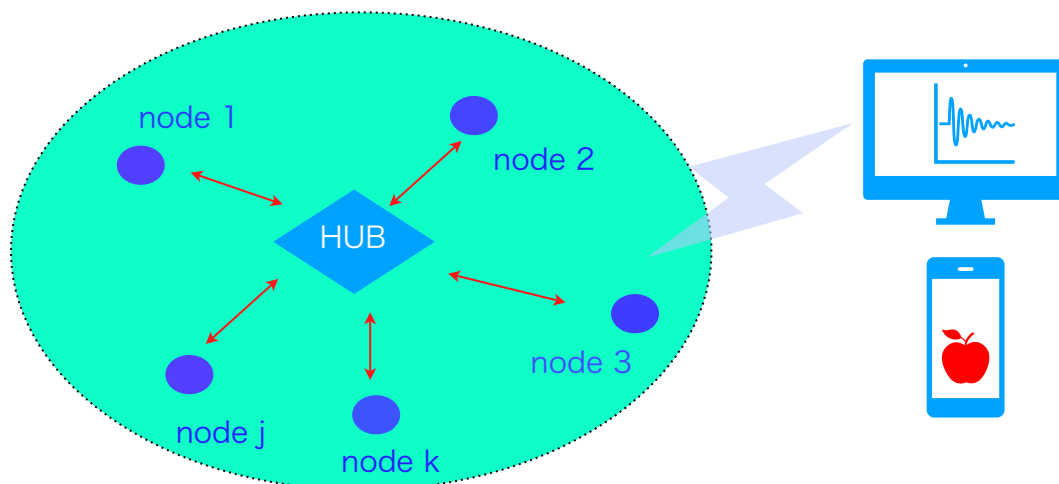


Fig. 2a BAN ネットワーク構成例 (1)

複数の人のデータを収集し監視・管理する必要がある医院・病院やスポーツ選手の練習・訓練に利用する場合には、複数のHUBを設置する必要が生じます。このような場合にはこれ等のHUBの幾つかがお互いに近づくことがあります。何の対策も無ければお互いが干渉しあって通信の効率が悪化したり、最悪途絶えてしまうことも予測されます。それを防ぐ手段として、BANには干渉回避の無線アクセスに関する仕組みがあります。これについても、後ほど説明する予定です。一方、複数の人のデータを一つのHUBで収集・監視する場合には別の問題が発生します：例えば、陸上選手の短距離走行訓練で同時走者全てのデータを一つのHUBでリアルタイム収集するような場合が考えられます。あるノードがHUBの通信領域から空間的に外れてしまった場合には、Fig. 2aのままでは通信不能となりデータの取得が不可能になってしまいます。このような環境ではブリッジ (bridge) 機能を有したHUBの設置が可能です。このような特殊な条件下ではbridge機能を有したnode(HUB)を中継して距離が離れたnodeとのアクセスの継続が維持できます。

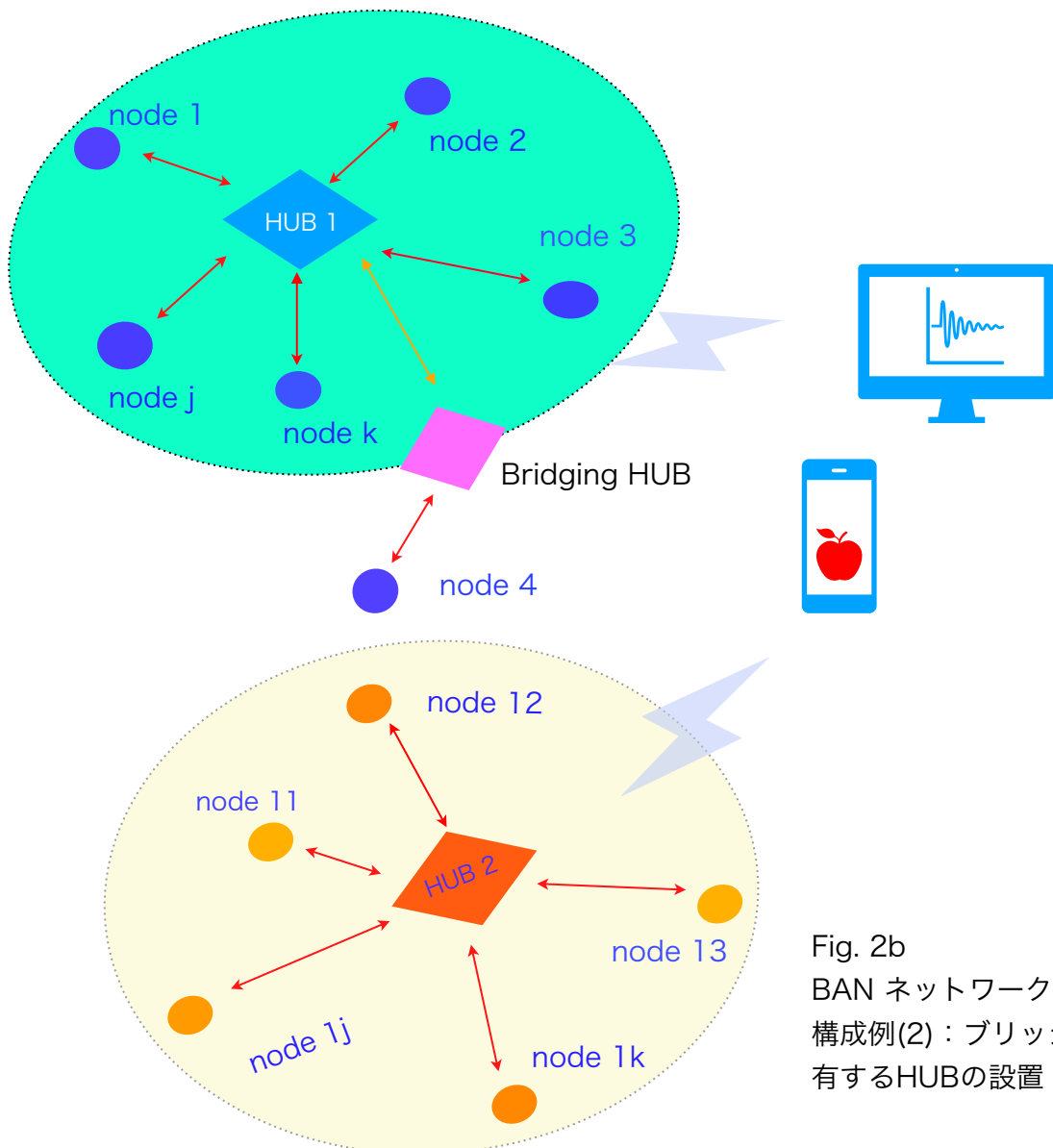


Fig. 2b
BAN ネットワーク
構成例(2)：ブリッジ機能を
有するHUBの設置

Fig. 2aで、HUBはネットワークへの接続を管理するルータとして機能し、更に無線機器として繋がっているnodeからのアクセスのタイミングを制御しています。そのための制御信号としてビーコン信号を周期的に発信しているビーコンモードと、ビーコン信号を使わないモードとしてポーリングモード (polling mode) アクセスなどが利用可能です。以下では、これ等についてデータ送受信をQoSと関連付けた時間領域からみてみましょう：ヘルスケア応用ではQoSが重要課題です。

1.3.3 ビーコンモード (beacon mode)

1.3.3a ビーコンフレーム構成

複数の単純ノードとの接続を制御する基本的なアクセス方式です。IEEE 802.15.6 WBANは一つのHUBと複数のnodeで構成されます。HUBは周期的にビーコン信号を発生するが、その周期 T_s はスーパーフレーム (superframe) と呼ばれています。スーパーフレーム中にはデータ送信のための複数スロットがあり、その数は256個以下に分けられて0から255までの数(number)が割り当てられています。このスーパーフレームとスロットとの関連をFig. 3aに示した図で説明しましょう。

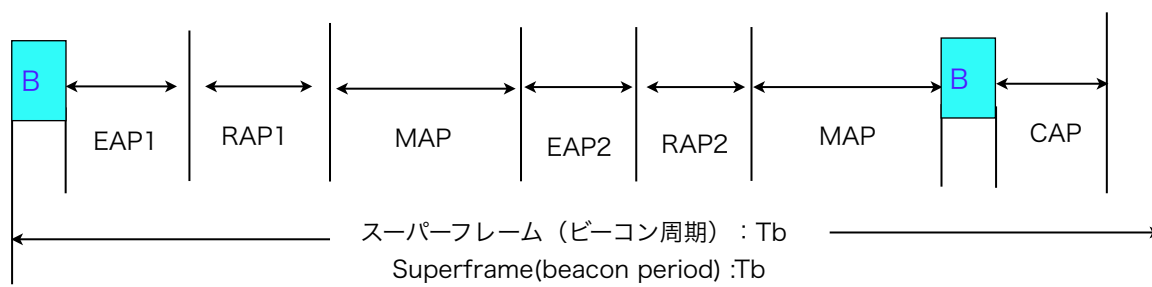


Fig. 3a スーパーフレーム境界をもったビーコンモードのタイミング構成
(Beacon mode with superframe boundaries)

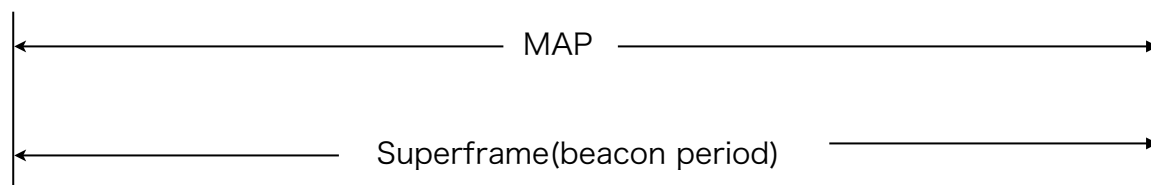


Fig.3b スーパーフレーム境界をもった非ビーコンモードのタイミング
(Nonbeacon mode with superframe boundaries)

一般に HUB はスーパーフレーム毎にビーコンを送信しますが、スロットの利用がない (データが流れていない) スーパーフレームではこれが省かれます。この場合、HUB はビーコン周期のそれまでの設定(offset値)をずら (shift) してスロットタイミングを再調整します。

1.3.3b IEEE 802.15.6 MAC フレームフォーマット (MAC frame format)

スーパーフレームの内容についての説明に入る前にネットワークに接続するための情報が載っているMACフレーム・フォーマットの構成を説明しておきましょう：

Fig. 4a, Fig.4bはフレーム構成とMAC header(ヘッダー)を示したものです。まず、フレームの先頭に位置するヘッダーは7 octets : 56 bitsで構成されています。図 Fig.4aでは 7 octet(s)と記されていますが、通信分野では8 bitを (デジタル情報技術関連で) 一般に用いられるbyte(バイト)表記ではなくoctet(オクテット)表記を用いるのでその慣例に従っています。それに続いて可変長のフレーム本体 (0~255 bytes) と2 octetsのフレームチェックシーケンス (FCS) が続いて、1フレームが構成されます。

先頭に位置する56 bits (7- octet) のMAC headerの内容はFig. 4bに示されているように、32-bit(4-octet)フレーム制御 (frame control) フィールド、8-bit 受信者識別 ID(Recipient ID)、8-bit 送信者識別 ID(sender ID)、最後に8-bit wireless BAN IDフィールド(field)と続きます。先頭のフレーム制御フィールドにはフレーム形式(type)情報が含まれており、それ等の中にはビーコン(beacon)情報、受信確認情報(ACK)、その他の制御

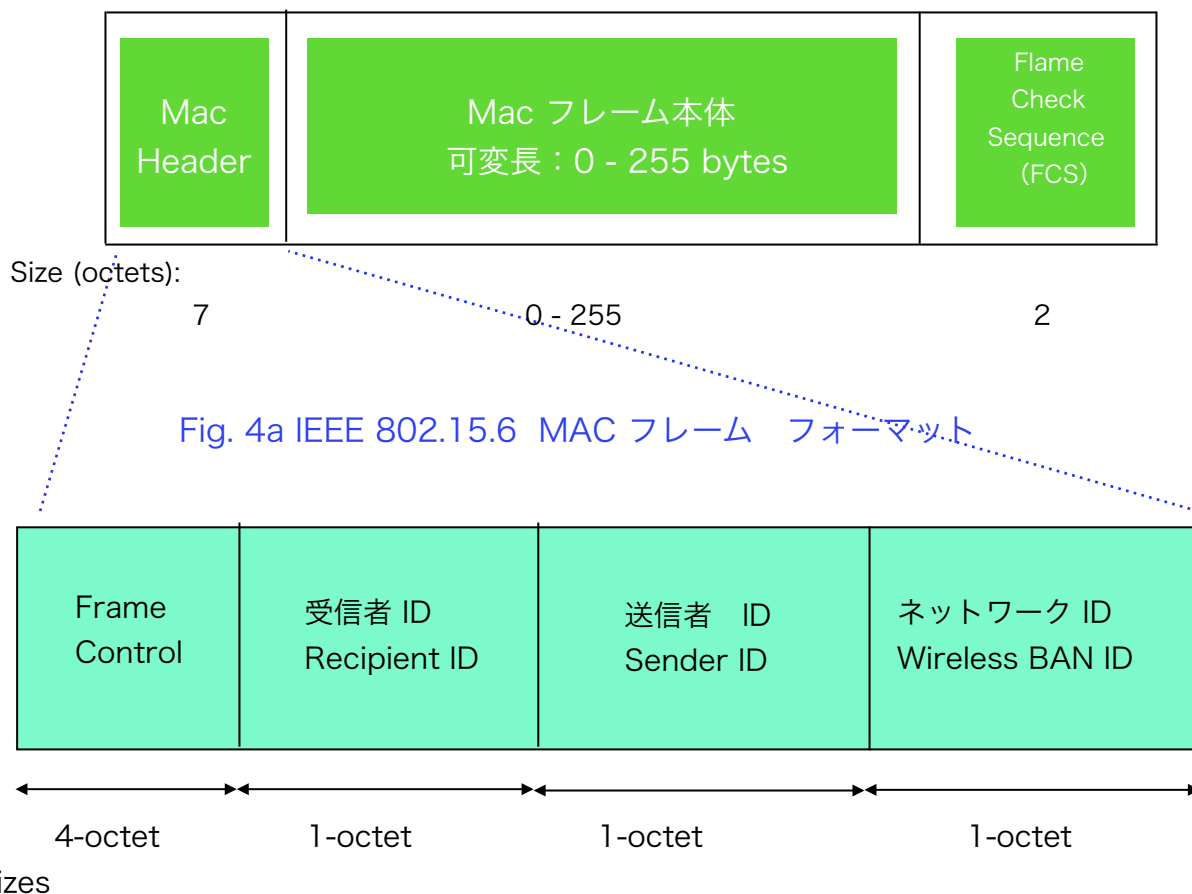


Fig. 4b IEEE 802.15.6 ヘッダー フォーマット (header field format)

情報が載っています。送信者 ID、受信者 IDフィールドには続くデータフレームの送受信者情報です。MAC フレームの最初の8-bit fieldはデータ本体の内容についての情報が載っていて、Fig.3aに示したアクセスタイプ（EAP, RAPなど：後程説明予定です）情報や”再送”情報などが含まれています。フレーム（WBANではアクティブタイプのスーパーフレームを”フレーム”と呼びます：詳細についてはやはり後述予定です）のペイロードにはデータフレームが載っていますが、最後の32-bit はMessage Integrity Code（MIC）でフレームの認証情報と（再送要求で送られたデータ等をも含めて）統合情報が含まれています。各種制御情報の詳細（ARQ制御時での誤り訂正符号のパラメタ等）についてはやはり項を改めて解説する予定です。

1.2.3 スーパーフレーム境界(superframe boundaries)のあるビーコンモード

図 Fig.3aを参照して各種のアクセスモードを見てみましょう。この通信モードでは、HUBはデータ予約のあるスーパーフレーム(active superframe)中に（実際の）ビーコンを送り出します。図Fig.3aに見られる通り、設定されているスーパーフレームとしてのビーコン周期は実際出されるビーコンの位置とは異なっています（こともある）。なので、その後で予定されているデータ送信予約が無い場合には、active スーパーフレームの次に複数のinactiveな（ビーコンの無い）スーパーフレームが続く場合もあります。スーパーフレームの構成の詳細は（やはりFig.3aより見られる通り実際発生するビーコン区間には主として4つのアクセスモードがあつて）：

- (1) EAP（Exclusive Access Phase：排他的アクセス区間：図ではEPA1, EPA2）、
- (2) RAP（Random Access Phase：ランダムアクセス区間：図ではRAP1, RAP2）、
- (3) MAP（Managed Access Phase：管理アクセス区間：図ではMAP: Type I, Tye II）
- (4) CAP（Contention Access Phase：競合アクセス区間：図ではCAP）

などの時間間隔で構成されていますが、

これらのアクセス区分は取り扱うデータのQoSと強く関係しています。

EAPはACKなどの高優先度のデータあるいは緊急時データを送るための区間で、メディカル専用で利用可能な区間です。RAPとCAPはアクセス予約が短時間で確約されない通信形態で原理的には複数回アクセスを試みる必要があります。MAPはTDMAによるデータ伝送のような（予約・ある/なし）利用法が可能で上りあるいは下りのみの単信、あるいは両方向同時通信での複信のいずれの通信形態も選択が可能です。さらに、Type I ポーリングアクセスやポストアクセスも可能です。これらの通信モードの手順については別項としてもう少し詳しく述べる予定です。

1.2.4 スーパーフレーム境界がある 非・ビーコンモード(nonbeacon mode)

このモードではHUBはMAP区間のみでスーパーフレームを送信し作動します：図 Fig.3b 参照。（詳細は次回以降で）

1.2.5 スーパーフレーム境界が無い非・ビーコンモード

このモードではチャンネルアクセスは”Type II” ポーリング割り当て手順かポストエッ
ド割り当て手順、あるいはこれらの組み合わせ割り当てでアクセスします：図 Fig.
3c 参照。（詳細は次回以降で）

1.3 IEEE 802.15.6 のアクセス機構

1.3.1 ランダム・アクセス手順

EAP, RAP, CAP区間ではHUB(coordinator)はスロットアロハ (sotted ALOHA)
かCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) プロトコ
ルのをいずれかを採用できますがこれはメディアの物理層 (PHY)に依存します。
HUBは物理層がUWB(Ultra Wideband)ならばslotted ALOHA、一方NB(narrow
Band)ならばCSMA/CAプロトコルと判断します。CSMA/CA で高優先度のデー
タフレームを送る場合には、HUBはEAP1とRAP1をまとめて単一のEAP1区間と
し、EAP2とRAP2をまとめてEPA2区間として編成します。一方、(UWB)slotted
ALOHAで高優先度の情報を送ろうとする場合にはEAP1とEAP2の区間は拡張さ
れないが、RAP1とRAP2は別のEAP1及びEAP2区間に置き換えられます。

次回では、slotted ALOHAとCSMA/CAプロトコル等についてももう少し詳しく
調べてみようと思います。

<ヘルスケア技術初期の解説としてBAN考察に参考となる文献>

- (1) 小特集：“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
学会誌, 2007年vol. 90, No.8(2007)
- (2) Guest Editors: Nazim Agoulmine, Pradeep Ray, Tsong-Ho Wu,
”Communications in Ubiquitous Healthcare”, IEEE Communications
Magazine, Jan. 2012, vol50, No.1
- (3) Special Issue for ”Wireless Communications for E-Health Applications”, IEEE
Wireless Communications, August 2013, vol.20,No.4
- (4) 小特集：“みんなを守る見守りシステム”，電子情報通信学会通信ソサエティーマガ
ジン, 2017年夏号, No.41