

ZigBee™ソリューションの提案

～ソフトウェア開発の取り組み～

光行 俊
武藤 健二

山家 春喜

『ZigBee™』*1) とは、2005年1月時点で124社が参加する業界団体のZigBeeアライアンスが規格化を進めている近距離無線通信規格のひとつであり、省電力、低コストの特徴を持つ。沖電気も2003年からZigBeeアライアンスに加盟している。昨年12月に、ZigBeeアライアンスが、Networkレイヤ、セキュリティサービス、ホームコントロール向けのアプリケーションフレームワークなどの標準仕様をVer1.0¹⁾として制定したことを受けて、ZigBeeが商品化のステージに入ってきた。

ZigBeeでは、IEEE802.15.4²⁾で規定されたPHY層(Physical Layer)およびMAC層(Media Access Control)を用いるが、当社は、IEEE802.15.4準拠LSIとして、RF(Radio Frequency)-PHY-MACを1チップに納めたML7065を既に商品化している。本稿では、IEEE802.15.4やZigBee Ver1.0の機能を実現するソフトウェアへの取り組みと、ML7065との組み合わせによるZigBeeトータルソリューションの応用について紹介する。

ZigBeeソフトウェアの構成

ZigBeeは、WL-PAN(WireLess Personal Area Network)の国際標準規格であるIEEE802.15.4で規定されたPHY層およびMAC層を用い、その上位のネットワーク層やアプリケーション層の機能や各層間のインタフェースを規格化したものである(図1)。

当社が既に商品化しているML7065は、IEEE802.15.4に規定されたRF-PHY-MAC層までの全ての機能を1チップに搭載している³⁾。ML7065には当社オリジナルの8ビットマイコンアーキテクチャのU8コアが内蔵されMAC層の主要な機能をソフトウェアで実現している。以下では、IEEE802.15.4のMAC層からZigBee Ver1.0で規定されている上位層までのZigBeeソフトウェアの構成や主要機能とそれらを実現するためのソフトウェア開発に関する当社の取り組みを説明する。

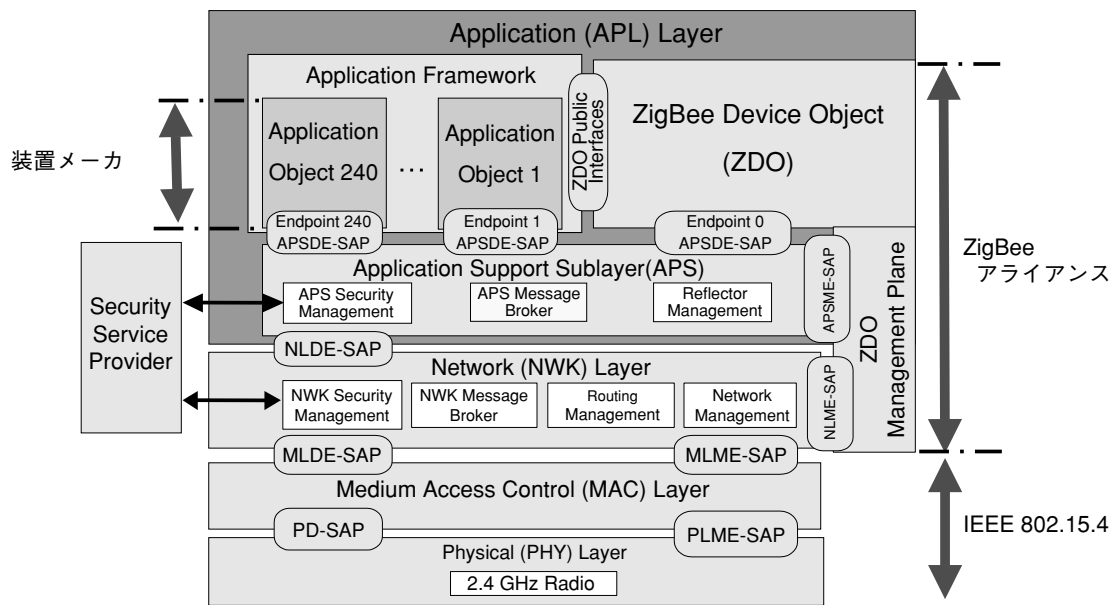


図1 ZigBeeスタック・アーキテクチャ

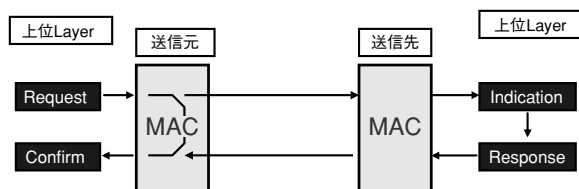
*1) ZigBeeはKoninklijke Philips Electronics N.V.の商標です。
その他本文に記載されている会社名、製品名は一般に各社の商標または登録商標です。

MAC 層

MAC層で規定されている機能は、

- スタート機能（ビーコン有り、または無し）
- 管理機能（スキャン、PAN識別子衝突検出、リアライメント）
- PANへの参加（アソシエーション）
- PANからの離脱（ディスアソシエーション）
- データ通信機能（直接送信、間接送信）
- 送達確認フレーム（ACKフレーム）のオン/オフ
- 同期維持（ビーコントラッキング）
- 同期外れ検出と再同期手順（オフファン、シンクロス）
- CSMA-CAアルゴリズムを使用した衝突回避機能
- セキュリティ通信
- 信号電波のエネルギー検出
- デバイス間のリンク品質通達機能

であり、ML7065には、これら全ての機能が搭載されている。その制御用として規定されているMACプリミティブ（図2）を同期シリアルコマンドとして定義することにより、外部からのコマンド制御によりIEEE802.15.4で規定されたRF-PHY-MACの機能を容易に使用できる。



- Request：要求元から発行するコマンド
- Confirm：Requestに対するMACからの返答
- Indication：送信元デバイスからの受信表示
- Response：Indicationに対する返答

図2 IEEE802.15.4 MACプリミティブの定義

ネットワーク層

ZigBee Ver1.0では、以下の特徴を持つ3種類のネットワークトポロジを定義している（図3）。今回開発したZigBeeソフトウェアは3つのモード全てをサポートしている。

(1) スター型ネットワーク

- コーディネータ×1+エンドデバイス×nで構成
- ビーコンによる同期型PANが可能
- 全てのZigBeeデバイスの省電力動作が可能
- 通信エリアが狭い（最大半径70m程度）

(2) メッシュ型ネットワーク

- ルータデバイスを配置することで通信エリア拡大可能
- テーブル駆動型ルーティング採用で複数ルートを使用でき、PAN内での障害に強い
- 省電力化はエンドデバイスのみ可能
（コーディネータとルータの無線受信機は常時にオン）

(3) クラスタツリー型ネットワーク

- ルータデバイスを配置することで通信範囲拡張が可能
- ビーコンによる同期型PANが可能
- 全てのZigBeeデバイスの省電力動作が可能
- PAN内での障害で通信不可が発生
- ビーコン衝突による通信遅延あり
（ビーコン衝突を回避する方法は、IEEE802.15.4bとZigBee Alliance Ver1.1として審議中）

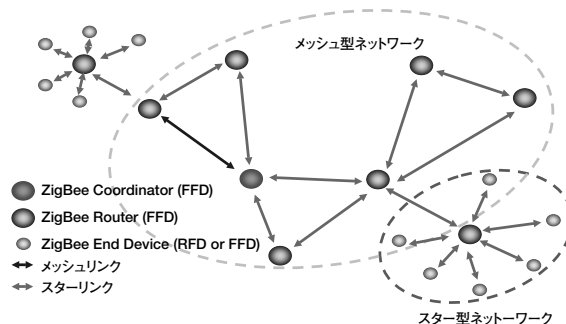


図3 ZigBeeネットワークモデル

セキュリティ

ZigBee Ver1.0では、AES-CCM*（Advanced Encryption Standard -enhanced Counter with CBC-MAC）暗号化によるセキュアな通信を提供することができる。今回開発したZigBeeソフトウェアでは、コマーシャルモード（高レベル）とレジデンシャルモード（低レベル）の2種類のセキュリティモードを搭載し、ネットワークの性質に応じてセキュリティレベルを選択することが可能である。

また、PAN共通の鍵（ネットワーク鍵）、特定デバイス間の鍵（リンク鍵）および配信される鍵（マスター鍵）の3種類の鍵を使用することができ、それに伴う認証手順にも対応する¹⁾。今回開発したZigBeeソフトウェアは、MAC層のセキュリティ機能を併用することも可能であり、より高いセキュア環境を構築できる（次ページ図4）。（注：ZigBeeアライアンスはMAC層でもAES-CCM*を使用することを望んでおり、IEEE802.15.4bとして審議中）

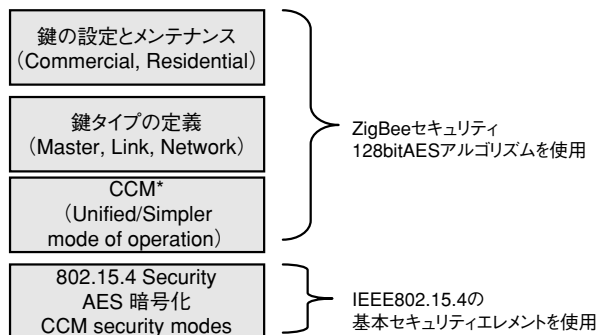


図4 ZigBeeセキュリティ

アプリケーション層（プロファイル）

ZigBeeでは相互接続性を確保するためにアプリケーションごとにプロファイルを定義している（たとえば，“Home Control, Lighting”）（表1）。1台のZigBeeデバイスは複数のプロファイル（アプリケーション）を持つことも、同一のプロファイルを複数持つこと（たとえば1台のZigBeeが5個の照明を制御する等）が可能である。これはプロファイル・オブジェクトがエンドポイント番号で拡張され識別されるためである。1台のZigBeeデバイスには最大240のエンドポイント番号が付与可能である¹⁾。

今回開発したZigBeeソフトウェアではZigBee V1.0に忠実なインタフェースを採用し、現在定義されているプロファイルだけでなく、今後追加される新しいプロファイルにも対応可能である。

表1 ZigBeeプロファイル

タイプ	識別子	プロファイル名
Standard	0x0000	ZigBee device profile
	0x0001 0x00ff	(reserved)
	0x0100	Home Control, Lighting
	0x0101	Industrial Plant Monitoring
	0x0102	Health, Ventilation, Air Conditioning
	0x0103	Test Profile
	0x0104 0x7fff	未定義
Published	0x8000 0xbfff	未定義
Private	0xc000 0x7fff	ベンダ使用

沖のZigBeeソリューション

今回開発したZigBeeソフトウェアは、ZigBeeロジカルデバイスとして規定されている3種類すべてのデバイスタイプ（コーディネータ、ルータ、エンドデバイス）を必要に応じて選択して実装することができる。また、

ZigBeeデバイス管理部（ZDO）、エンドポイント管理を含むアプリケーション管理部（APS）を実装しているために、ZigBeeネットワークを容易に組み込むための環境を提供することができる。

本ソフトウェアとIEEE802.15.4 FFD（Full Function Device）であるML7065と組み合わせることで、さまざまな用途に応じた最適なソリューションを提供することが可能となる（図5）。

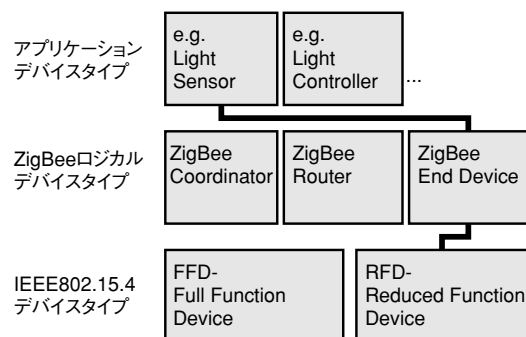


図5 ZigBeeデバイスタイプモデル

たとえば、センサーデバイスを搭載した消費電力の少ない8ビットマイコンにZigBeeソフトウェアとアプリケーションソフトウェアを搭載してML7065と組み合わせることにより、省電力なZigBeeエンドデバイスを実現できる。

また、処理能力の高い32ビットマイコンとの組み合わせでは、インターネットを含む既存のネットワークへ接続できるゲートウェイ機能搭載のZigBeeコーディネータを実現できる（図6）。

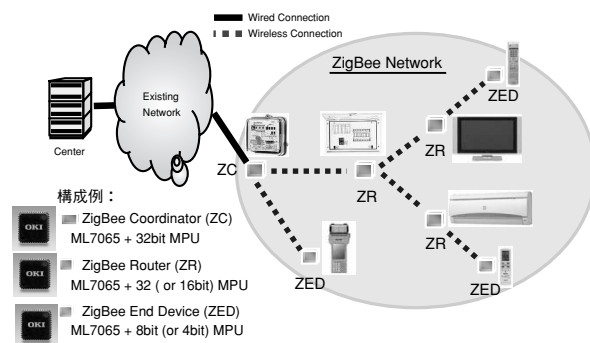


図6 ML7065の応用

ZigBeeの応用

ZigBeeは、IEEE802.15.4の特徴である超低消費電力、小型、低コストを活かし、センサーネットワークのみならずホーム&オフィスネットワーク、機器計測・制御方

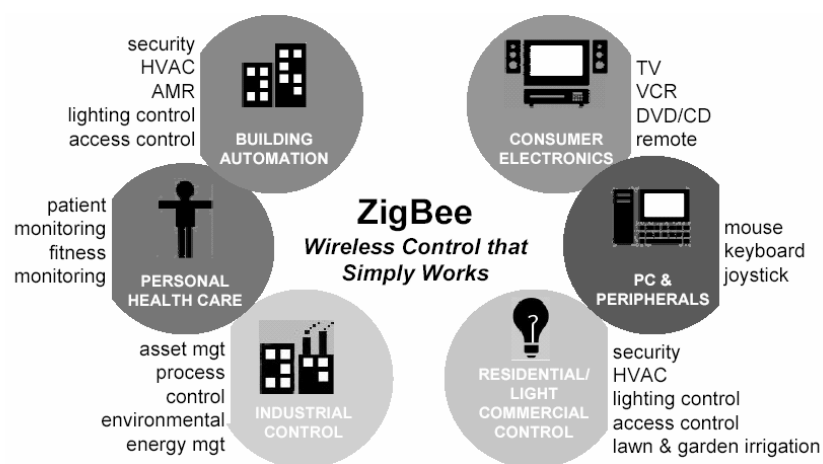


図7 ZigBeeのターゲットアプリケーション

式の標準化を進めておりユビキタスネットワーク社会を実現する技術のひとつとして注目されている（図7）。当社が考える応用例を以下に紹介する。

(1) ホームコントロール

エアコンや電子レンジ等の白物家電だけでなく、照明機器と照度センサの組み合わせやインターホンと電子錠およびドアや窓に取り付けたマグネットセンサや赤外線センサの組み合わせによるホームセキュリティも含めて、ホームネットワークを容易に構築でき総合的なホームコントロールが可能となる。さらにホームゲートウェイを介してインターネットに接続させることで、携帯電話等による外部からホームコントロールを行うことができる。また、DVDプレーヤー／レコーダやCDプレーヤー等のリモコンへの応用では、双方向通信によりリモコン側へのDVDやCDのコンテンツ情報や録画の予約状況といった情報表示が可能になるため、本体の情報を手元で確認しながら設定やコントロールを行うことができる。

(2) ビルディング・オートメーション

各フロアおよび各部屋に設置された温度センサや照度センサと空調設備や照明設備をネットワークで結ぶことにより、集中管理による省エネ制御をきめ細かく行うことが可能となる。さらに各センサの位置移動や追加が容易なため、各部屋の状況や要求に応じた管理や制御を柔軟に行うことができる。

また、各フロアもしくは各部屋のドアに設置されたセキュリティゲートもしくは赤外線センサやマグネットセンサ等もネットワークに結ぶことにより、エレベータ管理だけでなく各フロアや各部屋における在席人数管理と空調管理や照明管理との連携を図ることもできる。

(3) インダストリアル・オートメーション

生産ラインのファクトリーオートメーションとして製造設備や検査機器をネットワークで結ぶことにより、総合的な連携制御を行うことができる。さらに製造設備および検査機器の移動や入れ替えが容易なため、生産ラインの切り替え等に伴うライン停止の時間を最小限に押さえることができる。また、据え置きとなる製造設備および検査機器だけでなく、移動する搬送ロボットや運搬装置もネットワークで結ぶことができるため、出荷まで含めて一貫した製造管理が可能となる。

今後の取り組み

IEEE802.15.4やZigBee Ver1.0の実現に関するソフトウェアの取り組みと、ML7065（IEEE802.15.4準拠LSI）との組み合わせによるZigBeeソリューションの応用について紹介した。

ZigBeeは、その特徴である低消費電力と低コストを活かしたさまざまなアプリケーションへの適用の可能性がある。現在はZigBeeソフトウェアを搭載する制御マイコンとML7065の2チップ構成であるが、今後はMAC層からアプリケーション層までのソフトウェアを統合することによるオールインワンLSIの開発などの新しいZigBeeソリューションを開発し、更なるZigBeeの普及促進を目指して新しいアプリケーションへの適用を提案していく所存である。



参考文献

- 1) 053463r00ZB_MG-2004-12-14 ZigBee v1.00 Releases
- 2) IEEE std 802.15.4TM-2003
- 3) 市川武志，谷本晃一：次世代近距離無線ネットワークを実現するZigBee LSI，沖テクニカルレビュー200号，Vol.71 No.4，pp.70-73，2004年10月

筆者紹介

光行俊：Suguru Mitsuyuki. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 通信ソフトウェア開発部
 山家春喜：Haruki Yanbe. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 通信ソフトウェア開発部
 武藤健二：Kenji Mutou. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 通信ソフトウェア開発部