

平成17年度
研究開発成果報告書

ZigBee を利用したユビキタスネットワーク
技術の研究開発

委託先： 沖電気工業(株)

平成18年4月

情報通信研究機構

平成17年度 研究開発成果報告書 (一般型)

「ZigBee を利用したユビキタスネットワーク技術の研究開発」

目 次

| | | |
|-------|------------------|----|
| 1 | 研究開発課題の背景..... | 2 |
| 2 | 研究開発の全体計画 | |
| 2-1 | 研究開発課題の概要 | 3 |
| 2-2 | 研究開発目標..... | 7 |
| 2-2-1 | 最終目標..... | 7 |
| 2-2-2 | 中間目標 | 9 |
| 2-3 | 研究開発の年度別計画 | 10 |
| 3 | 研究開発体制 | 11 |
| 3-1 | 研究開発実施体制..... | 11 |
| 4 | 研究開発実施状況 | |
| 4-1 | 無線ノードの開発 | 12 |
| 4-1-1 | 17年度の開発目標 | 12 |
| 4-1-2 | 実施状況..... | 13 |
| 4-1-3 | 達成状況 | 17 |
| 4-2 | 技術方式の研究開発 | 19 |
| 4-2-1 | 17年度の開発目標 | 19 |
| 4-2-2 | 実施状況 | 20 |
| 4-2-3 | 達成状況 | 26 |
| 4-3 | 実証実験 | 28 |
| 4-3-1 | 17年度の開発目標 | 28 |
| 4-3-2 | 実施状況 | 28 |
| 4-3-3 | 達成状況 | 37 |
| 4-4 | 総括 | 38 |
| 5 | 参考資料・参考文献..... | 39 |
| 5-1 | 研究発表・講演等一覧..... | 39 |

1 研究開発課題の背景

人やモノを始めとして、様々な対象・場所に小型の無線ノードを遍在させ、それらに搭載したセンサが集める情報を交換し、無線ノードを通じてあらゆる機器を制御することで、新しい機能・サービスを提供するという、ユビキタスセンサネットワークの実現が望まれている。総務省「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する技術調査会」の最終報告でまとめられているように、ユビキタスセンサネットワークは、近距離低レート低消費電力低コストの無線ノードが無数に設置され、自律的にアドホックネットワークを形成するものである。「安全・安心」「快適・ゆとり・娯楽」「最適・効率」をキーワードとして、多くの分野での応用アプリケーションが期待されている。

ユビキタスセンサネットワークの研究は、欧米で軍事向けとして始まったものが多いが、日本でも民生向けの研究開発が取り組まれている。大学を中心にさまざまな無線ノードが開発され、それを使用したプロトタイプの実験が行われている。無線の方式やネットワークキングの方式も千差万別であり、その上に実装されるセキュリティ機能やアプリケーションなども多岐にわたっている。

これらの無線ノードを各企業が独自に開発しては、実用化に向けた課題を解決するために多くの時間と工数を要してしまう。また、将来インフラとして普及させていくためには、相互接続性の確保も必要となる。そこで、当然ながら標準化という方向性が重要となる。

ユビキタスセンサネットワークに対する技術的要求はさまざまであるが、多数のノードをいろいろな場所にばら撒いて設置するということを実現するためには、低コスト、低消費電力という課題は必須となる。この要求項目を重視して取り組まれた標準のひとつが **ZigBee** である。**ZigBee** はユビキタスセンサネットワークを実現する無線ネットワーク方式として、有力な方式といえる。

ZigBee は、**ZigBee Alliance** という世界各国の企業の連合からなる団体に規定された方式であり、デファクトスタンダードを目指している。無線の物理(PHY)レイヤと MAC レイヤは国際標準である **IEEE802.15.4** を使用しており、ネットワークレイヤでのルーティング方式やセキュリティ方式などを規定している。また、相互接続性を高く保証するために、アプリケーションごとにプロファイルを定めて、そのインタフェースや利用する技術を規定している。

ZigBee は、2004年12月に初版(**ZigBee 1.0**)が規定され、無線部の LSI やモジュールがメムバ各社で開発されている。沖電気もそれらの開発に取り組んでおり、それらを組み合わせたアプリケーションシステムの試作にも取り組んでいる。

ただし **ZigBee 1.0** は、基本セットを優先して規格化を進めてきたため、実用化に向けて必要な技術方式のいくつかが不足している。そこで、不足した技術を標準外の周辺技術として補いながら、コア部分への修正は、次世代の **ZigBee** へ提案して、標準化を推進していくことが重要である。

また、**ZigBee** は無線ノードの技術は規定されているが、それらを利用したバックボーン側のシステムの規定も十分ではない。ユビキタスセンサネットワークを利用してシステムを構築しようとする企業は、必ずしも無線の技術を有しているわけではなく、既存のシステムとセンサネットワークをどのように接続してよいかわからない。そこで、普及のためには、共通プラットフォームとなるシステムの開発も必要であり、標準化を進めていくことが重要となる。

2 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

ZigBee の普及を促進するために、以下の開発を行う。

- ① ZigBee 規定に準拠した無線ノードの開発(ハードウェア、ファームウェア)
- ② ZigBee 規定に不足する技術を補うための技術方式開発
- ③ 開発成果を評価するための実証実験

以下にそれぞれ詳細な開発内容を記載する。

ア 無線ノード開発

ZigBee 1.0 やそれ以降のバージョンに準拠した無線ノードを開発する。無線ノードは建物などに設置する固定ノードと、人やモノにつける移動ノードでは、要求項目が異なるため、それぞれ適切なノードを数種類開発することになる。また、その中でも、ルーティング機能やネットワーク管理機能を持つノード(ZigBee ルーターや ZigBee コーディネータと呼ばれる)など、持つべきネットワーク機能も多様である。

また、アプリケーションごとに要求機能やコスト(価格)も異なるため、本来は、アプリケーションごとの最適設計を行うのが理想であるが、開発効率やコストパフォーマンスも考慮し、共通化を行う。さまざまな応用分野に適応可能とするために、共通項目を抽出し、汎用的なモジュールで構成した部分と、アプリケーションごとの要求に依存する個別モジュールで構成する部分を、整理して設計する必要がある。ただし、汎用性を持たせるために、搭載機能が冗長になり、高コスト、高消費電力になってしまうと、本来の目的から外れる。実用面と開発効率面を考慮したノードの開発を行う。

無線ノードのラインナップがある程度揃ってくれば、アプリごとに必要な機能を持つ無線ノードを組み合わせることでネットワークを構築することができ、システム設計が容易になる。本提案では、そのような汎用な基本無線ノードを数タイプ開発することを目標とする。

開発する代表的なタイプは、大きく分類して以下の 4 とおり。

①他の機器に挿入する携帯ノード(タイプ A)

PDA や携帯電話、小型のノート PC など、既存の携帯機器と一緒に動作する無線ノードを開発する。具体的には、USB や SD カード、携帯電話インタフェースなど、代表的なインタフェースを持つ無線ノードをそれぞれ開発する。電源は、携帯機器から供給を受けることを基本とし、アプリケーションソフトウェアも携帯機器側の CPU で動作させることを考える。そのため、無線ノードに搭載するマイコンは、ネットワーク機能までを動作させればよいため、低コスト化が実現できる。

携帯ノードであるため、基本的にはルーティング機能を持たない ZigBee エンドデバイスタイプで構成する予定であるが、必要に応じて、ルーティング機能を持つ ZigBee ルータータイプで構成することもある。例えば、携帯電話を中心に、音楽再生機器やゲーム機、各種生体センサ搭載ノードなどが、ツリー構造でぶら下がることも考えられる。

最終的には、携帯機器内に組み込むモジュールにすることが目標であり、ZigBee 一体型の携帯機器を開発・事業化することを目指す(これは、本提案の目標外とし、終了後に取り組む)。

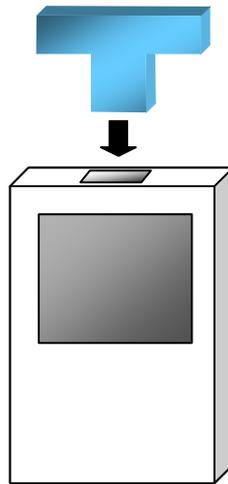


図1 タイプAの概念図の例

②単体で動作する携帯ノード(タイプB)

携帯機器を必要とせず、単体の装置として動作する携帯ノードを開発する。カードやバッジの形状をして、子供や高齢者が持ちやすい形にすることが目標となる。単体で動作させるため、電池駆動とする。また、アプリケーションソフトウェアを動作させる必要があるため、マイコンはやや高機能でメモリの多い32ビットマイコンを搭載することも検討する。

また、センサデータの入出力や、既存システムとの接続を考慮して、USBなどのコネクタも搭載することを検討する。

電池寿命への要求は、アプリケーションに依存する。特に、通信の頻度に大きく依存する。初期のプロトタイプでは、数週間程度の寿命となる可能性が大きいですが、省電力化を進めることで、数分に1回程度の動作頻度なら、1年の寿命を持たせることが目標となる。



図2 タイプBの概念図の例

③ルーティング機能を持つ固定ノード(タイプC)

建物などに設置するタイプであり、電源が取れていることを基本とする。ただし、街中の街灯など、AC電源を確保するのが困難な場所への設置も考えられるため、電源は太陽電池等の電源を利用する構成も検討する。ルーティング機能を持ち、設置した複数のノード間でマルチホップの通信を行う。マイコンは高機能なものを搭載し、メモリ容量も大きくする。設置場所に制限を与えないためには、できるだけ小型であることも重要となる。

④ゲートウェイ機能を持つ固定ノード(タイプD)

タイプ C に、IP や他の専用プロトコル間を変換する GW 機能を追加して持つ。その他の機能はタイプ C と同等と考える。他のプロトコルとして、IP に変換するゲートウェイの試作は必須目標と考える。



図3 タイプ C,D の概念図の例

イ 技術方式開発

ZigBee 1.0 では、まず固定的に設置した無線ノードを対象として規定されているなど、実用に向けてはいくつかの技術的な不足がある。そこで、以下のような技術を開発する。

- ① 移動ノードに対応する機能
- ② 無線ノードの故障時に、ルートを再設定する技術
- ③ スリープ制御と省電力化の向上
- ④ 無線 LAN との連携
- ⑤ 実用化に向けた、新しいプロファイルの規定

これらの技術は、従来でも研究されてきている方式でもあるが、ZigBee 1.0 を準拠させながら動作することが必須となるため、従来手法をそのまま利用することができず、新規の開発となる。

以下に、それぞれの課題の概要を説明する。

① 移動ノード対応機能

ZigBee 1.0 では、クラスタツリールーティング方式を規定し、マルチホップルーティングでの省電力と省メモリを実現している。

IETF などでは標準化が進められている従来のマルチホップルーティング方式では、大きく 2 種類の手法に分けることができる。1 つは、通信する際に受信ノードがどこにいるかを探索して、マルチホップルートを設定する「オンデマンド型ルーティング」であり、もう 1 つは、予め周囲のノードの場所を記憶したリストを用意しておき、それにしたがってルートを判断する「プロアクティブ型ルーティング」がある。オンデマンド型はリストを記憶しておく必要がないため、メモリ容量は少なくすることができるが、通信のたびにルート探索を行うため、通信のオーバーヘッドが大きい。一方、プロアクティブ型は、ルートは既にわかっているためオーバーヘッドは少ないが、周辺のノード数が多くなるにつれ、リストのメモリ容量が大きくなる。

これらの従来手法に対して、ZigBee 1.0 では、通信オーバーヘッドが少なく、メモリ容量もほとんど必要としない「クラスタツリールーティング方式」を規定している。各ノードはツリー状のトポロジーで接続され、どのノードの下にぶら下がっているかによって、各ノードが一意に決まるルールで ID(ネットワークアドレス)を付与される。また、他のノードの ID と自分の ID をある式に入力して比較することで、それが自分より上にいるのか下にいるのか、判断できるようになっている。

ただし、ツリー状に接続されて、ID を割り当てておくことが必要であるため、移動ノードへの対応が柔軟にできないという欠点がある。ノードの追加・削除の仕組みは規定されているため、ツリーの枝を渡り歩くような移動ノードに対して、ノードの追加・削除を繰り返すことで、接続を確保することは可能であるが、枝に接続するたびに異なる ID が割り当てられるため、同じノードであると認識することができない。

そこで、これらの課題を解決するような以下のような機能を、本提案で開発する。

- ・ 移動ノードに動的に同じ ID を付与する機能、または異なる ID を付与する場合にそれを同定する機能
- ・ ルーター間を移動(ハンドオーバー)できる機能

② 故障対応機能

上述のように、ZigBee 1.0 では、ツリー形状でトポロジーが固定されて各ノードが結びついているため、どこかの幹のノードが故障した場合、そこから下のノードへの通信ができなくなる。これも、ノードの追加・削除機能を繰り返して、接続することは可能であるが、元の ID が維持できないため、ネットワーク管理側で混乱が生じる。また、どの枝につながなおせばよいかを判断する仕組みは、ZigBee 1.0 では規定していない。

そこで、本提案では、故障時の以下のような機能を開発する。

- ・ 故障したノード以下のツリーを、最適な場所に再接続する機能
- ・ 元の ID と新しい ID を同定する機能

③ スリープ制御

ZigBee では、省電力を考慮した工夫が多く取り入れられているが、その多くは、ツリーの葉となる「エンドノード」に対して規定されている。例えば、通信制御の仕組みとして、帯域保証を行う GTS (Guaranteed Time Slot) 方式が規定されており、エンドノードは割り当てられたスロットで通信を行い、それ以外のスロットでは、機能を停止した「スリープ状態」になることで省電力を向上させる。ただし、ツリーの幹に当たる「ルーターノード」はエンドノードとの通信の間はずっと起動しておく必要があり、省電力効果は少ない。ただし、GTS で割り当てるタイムスロットを隣のルーターノードとぶつからないようにずらす必要があり、隣のルーターノードのスロットの間にスリープすることは可能である。これを実現するためには、隣のルーターとスロット割り当てのネゴシエーションを行う必要があるが、ZigBee 1.0 ではその仕組みは規定範囲外となっている。

そこで、本提案でスロット割り当ての仕組みとルーターのスリープ制御の機能を実現する。

④ 無線 LAN との連携

ZigBee は、センシングした短いデータを集めたり、制御ノードへ簡単なコマンドを送ったりすることを目的とした低レベルの無線ネットワーク方式であり、通信レートも 250kbps と非常に低い。このようなネットワークを例えばビル全体に敷設する場合、数千から数万のノードで構成する必要があるが、マルチホップ数が増えるにつれ、中継すべきデータが増え、上位ノードの負荷は重くなる。したがって、あまり多くのノードからなるネットワークをすべて ZigBee で実現することは困難である。そこで、少数のノードからなる PAN (Personal Area Network) を、GW (Gateway) を介してバックボーンネットワークにぶら下がる構成をとるのが普通である。

ただし、このような構成にした場合、隣の PAN との連携をバックボーンネットワーク経由で行う必要があり、ノード間の連携を柔軟に実現することが難しくなる。

また、バックボーンネットワークとしては、普及が加速的に向上している無線 LAN が候補となるが、無線 LAN のメッシュ網化(アドホックネットワーク化)も開発が進められているため、その網との連携も必要になる。

さらには、無線 LAN と ZigBee は、日本では同じ 2.4GHz 帯を使用するため、効率的な通信制御も必要となる。

そこで、本提案では、無線 LAN と ZigBee を融合させ、最適なネットワークを開発する。

⑤ 新しいプロファイル

ZigBee では、相互接続性を高めるため、応用用途ごとに利用する機能やパラメータの範囲を詳細に定めるプロファイルを規定している。例えば、家庭内の照明用のプロファイル(Home Control Lighting Profile)などが規定されている。今後、多くの応用分野でプロファイルの検討を行うことになっているが、すべての分野で規定することは困難であり、また、企業ごと、国ごとの条件や規制に対応したものにすることは難しい。そこで、ZigBee では、「プライベートプロファイル」として、企業ごとに独自のプロファイルを規定しても良いルールを設けている。

ZigBee では、日本企業の活動がそれ程アクティブではないため、日本の規制や条件を考慮したプロファイル検討が遅れている。本提案では、日本で利用する際に必要な条件を考慮した日本向けプロファイルを検討し、普及するように、他の企業も巻き込んだ実証実験を行う計画である。必要に応じて、検討したプロファイルは日本提案として ZigBee への提案活動も実施していきたい。

ウ 実証実験

上述の課題ア、イで開発した無線ノードと技術方式の有効性を確認するために、京都市において実フィールドで実証実験を行う。

2-2 研究開発目標

2-2-1 最終目標 (平成20年3月末)

ア 無線ノード開発

① タイプ A

PDA に挿入できる SD カードインタフェース、携帯電話に挿入できるインタフェース、ノート PC などに挿入できる USB インタフェースを持つノードをそれぞれ開発する。特に、小型化や低消費電力化、品質/剛性向上を目指すため、それぞれのタイプを数回、設計/製造を繰り返し、成熟度を高める。

アンテナ部を装置の外側に出す必要もあり、本体装置からはみ出る部分が存在するが、そのサイズは 5cc 以下となることを目指す。

電池寿命は、本体装置の消費電力に大きく依存するが、ZigBee を動作させることで、本体の動作寿命が 80%以下にならないことを目標とする。

② タイプ B

形状タイプとして、カード(名札)タイプ、キーホルダータイプを開発する。ここでも品質等を高めるため、何度か設計/製造を繰り返し成熟度を高める。サイズはカードタイプで、電池を含めて厚さ 5mm 以下に抑える。キーホルダータイプでは、7cc 以下になることを目指す。電池寿命は、5 分間に 1 回の通信頻度で、2 年間の動作を目指す。

③ タイプ C

AC 電源で動作することを基本とするが、小型の太陽電池で動作するタイプも開発する。サイズは、50cc 以下を目指す。

④ タイプ D

IP プロトコルとの変換 GW を持つタイプを開発する。IP 以外のプロトコルへの変換も必要により開発する。

イ 技術方式開発

① 移動ノード対応

移動ノードを持って、人が歩くスピードで固定ノード間(10m 間隔)を通り過ぎる場合、遅延なく ID が切り替わり、データ通信が途切れないことも目標とする。

② 故障対応

ツリーの幹のノードが故障した場合、1 分以内にトポロジーを再構築し、ネットワークが安定動作することを目指す。

③ スリープ制御

ルーターノードの消費電力が、方式を適用しない場合と比較して 10%以下になることを目標とする。

④ 無線 LAN との連携

メッシュルーティングが動作する無線 LAN 網と、GW やブリッジで ZigBee 網が接続し、1000 ノードで安定したネットワークを開発する。

⑤ プロファイル

3 つのアプリケーションに適したプロファイルをそれぞれ検討し、ZigBee Alliance に対して、プライベートプロファイルとして認証を得る。

ウ 実証実験

京都市において屋外無線 LAN と ZigBee を連携させた実証実験を実施する。実証実験は「まちの防犯」アプリケーションへの適用を想定し、携帯ノード保持者があらかじめ設定された危険区域に近づいたり、特定区域から出入りした際に、携帯ノード保持者に警告メッセージを送出するとともに、監視者に通知メッセージを送出する機能を実現する。

2-2-2 中間目標（平成19年1月末）

ア 無線ノード開発

① タイプ A

SD カードタイプ、携帯電話タイプ、USB タイプを 1 回ずつ開発し、品質向上を目指すための課題を整理する。

サイズは 20cc 以下を目指す。

電池寿命は、ZigBee を動作させることで、本体の動作寿命が 80%以下にならないことを目標とする。

② タイプ B

カード(名札)タイプを 1 回開発する。

サイズは、電池を含めて厚さ 10mm 以下に抑える。

電池寿命は、5 分間に 1 回の通信頻度で、1 年間の動作を目指す。

③ タイプ C

AC 電源で動作するタイプを開発する。

サイズは、100cc 以下を目指す。

④ タイプ D

IP プロトコルとの変換 GW を持つタイプを開発する。

イ 技術方式開発

① 移動ノード対応

移動ノードを持って、人が歩くスピードで固定ノード間(30m 間隔)を通り過ぎる場合、遅延なく ID が切り替わり、データ通信が途切れないことも目標とする。

② 故障対応

ツリーの幹のノードが故障した場合、5 分以内にトポロジーを再構築し、ネットワークが安定動作することを目標とする。

③ スリープ制御

ルーターノードの消費電力が、方式を適用しない場合と比較して 50%以下になることを目標とする。

④ 無線 LAN との連携

メッシュルーティングが動作する無線 LAN 網と、GW やブリッジで ZigBee 網が接続し、100 ノードで安定したネットワークを開発する。

⑤ プロファイル

1 つのアプリケーションに適したプロファイルの検討に着手する。

ウ 実証実験

実証実験場所を特定するとともに、実証実験システムの設計を完了し、無線ノードへのアプリケーションを実装する具体的作業が開始可能な状態にする。

2-3 研究開発の年度別計画

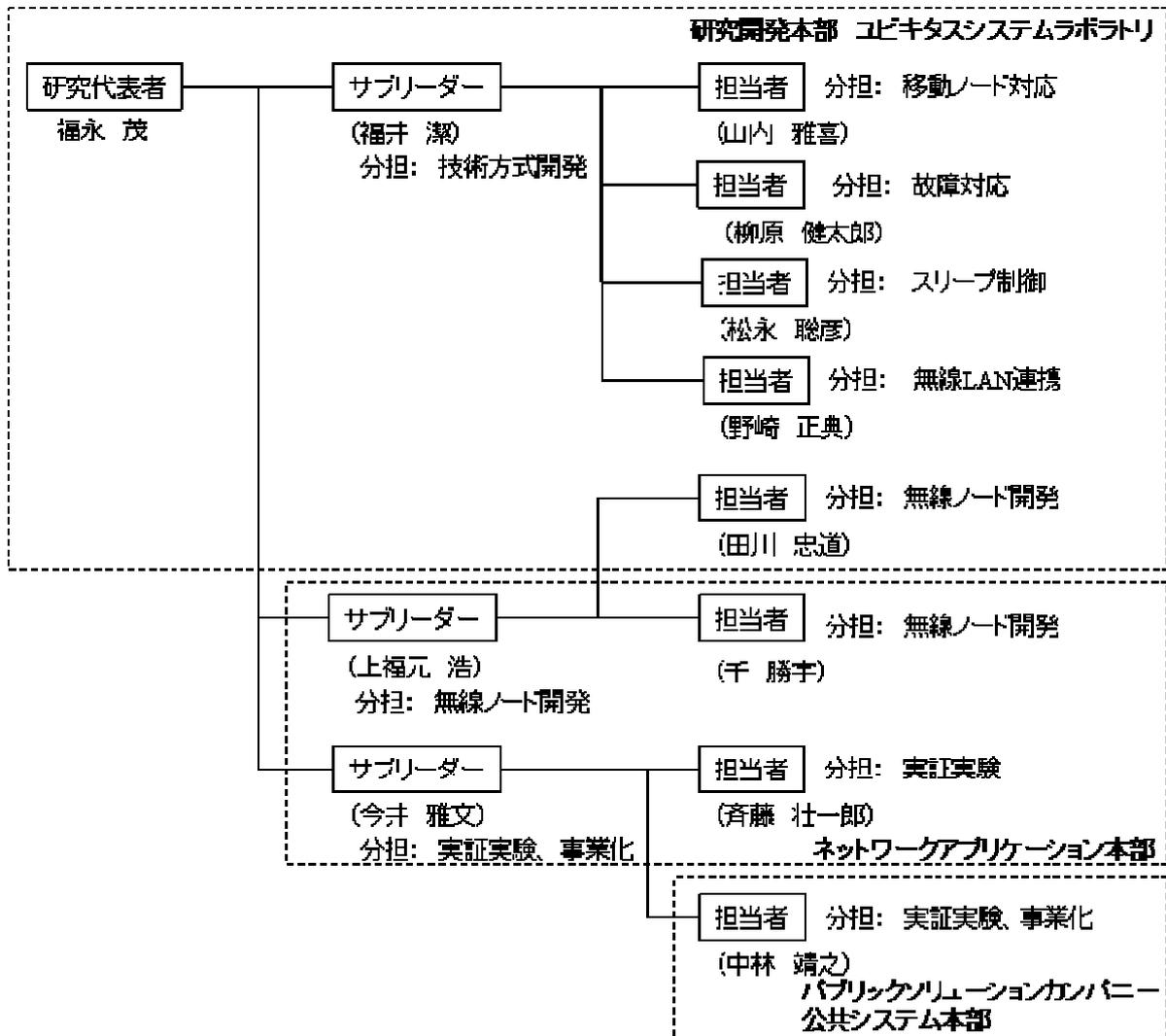
(金額は非公表)

| 研究開発項目 | 17年度 | 18年度 | 19年度 | 年度 | 年度 | 計 | 備考 |
|-----------|----------------|------------------|----------------------|----|----|---|----|
| ア 無線ノード開発 | | | | | | | |
| ① タイプA | SD版開発 | USB版、携帯版開発 | システム連携・改良 | | | | |
| ② タイプB | | 開発・評価 | | | | | |
| ③ タイプC | | 開発・評価 | | | | | |
| ④ タイプD | Ether版、シリアル版開発 | | | | | | |
| イ 方式開発 | | | | | | | |
| ① 移動ノード対応 | 基本アイデア検討 | 方式検討・評価 | 方式改良・システム上での評価 | | | | |
| ② 故障対応 | | | | | | | |
| ③ スリープ制御 | | | | | | | |
| ④ 無線LAN連携 | | | | | | | |
| ⑤ プロファイル | プロファイル基本要件整理 | 提案活動 | 新プロファイル標準化 | | | | |
| ウ 実証実験 | 実験内容基本検討 | 内容精緻化、予備実験システム開発 | 予備実験実施、本格実験システム開発・実施 | | | | |
| 間接経費 | | | | | | | |
| 合計 | | | | | | | |

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 2 備考欄に再委託先機関名を記載
 3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。

3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制



4 研究開発実施状況

4-1 無線ノードの開発

4-1-1 17年度の開発目標

ZigBee 1.0 のバージョンに準拠した無線ノードを開発する。17年度では、提案した4タイプのうち、①と③の2タイプを開発するとしていたが、主要部品の調達遅れが発生したため、①と④の2タイプの開発に変更している（届出変更済）。

① タイプA

小型携帯機器と一緒に動作するSDカードタイプの無線ノードを開発する。電源は、携帯機器から供給を受けることを基本とし、アプリケーションソフトウェアも携帯機器側のCPUで動作させる。

携帯ノードであるため、ルーティング機能を持たないZigBee エンドデバイスタイプで構成する予定であるが、必要に応じて、ルーティング機能を持つZigBee ルータータイプで構成することもある。例えば、携帯電話を中心に、音楽再生機器やゲーム機、各種センサ搭載ノードなどが、ツリー構造でぶら下がることも考えられる。

一般的な携帯機器向けのデバイス・ドライバの開発と、省電力制御、ブラウザのプラグイン、セキュリティ機能、等の無線ノードの利用を促進するユーティリティの開発も行う。

（目標値）

- SDカードタイプの1回目の開発を行い、品質向上を目指すための課題を整理する。
- サイズは20cc以下を目指す。
- 電池寿命は、ZigBeeを動作させることで、本体の動作寿命が70%以下にならないことを目標とする。

② タイプB

計画なし。（18年度着手予定）

③ タイプC

（計画修正）

アプリケーションのサービス充実（測位機能）の実現のために、RSSI（電波受信強度）測定可能なZigBee LSIの開発にあわせる（18年度着手予定）

④ タイプD

ZigBeeのネットワークを管理するサーバ機能、既存のネットワーク（携帯電話網など）に接続可能なゲートウェイ機能を併せもつタイプを開発する。

PPPプロトコルとTCP/IPプロトコルを終端する機能を持ち、ZigBeeネットワーク内の機器アドレスに変換して、タイプA/B/Cに属する情報を収集して上位システムに伝達する機能、上位システムからのメッセージをタイプA/B/Cに伝達する機能を有する。制限はあるが、ファーム変更によりタイプCの機能の一部も実現可能とする。

マイコンは高機能なものを搭載し、メモリ容量も大きくするが、市場原理にもとづくコスト削減も実現するものとする。

(目標値)

- (ア) AC 電源で動作するタイプを開発する。
- (イ) サイズは、120cc 以下を目指す。
- (ウ) 携帯電話網、イーサネットと接続可能とする。

4-1-2 実施状況

① タイプ A

ZigBee を搭載した SD カードタイプのノードを開発した。SD インタフェースの規格は SDIO 1.0 を採用し、PDA のドライバとして、YRP ユビキタス・ネットワーク研究所のユビキタス・コミュニケーター (UC) と、Windows Mobile 採用 PDA を対象として開発した。



図 4 SDIO カード (左) と同カードを実装したユビキタスコミュニケーター

タイプ A SDIO カードに実装するソフトウェアは図 5 の構成をとっており、PDA 等のアプリケーションから ZigBee の制御が可能な構成となっている。

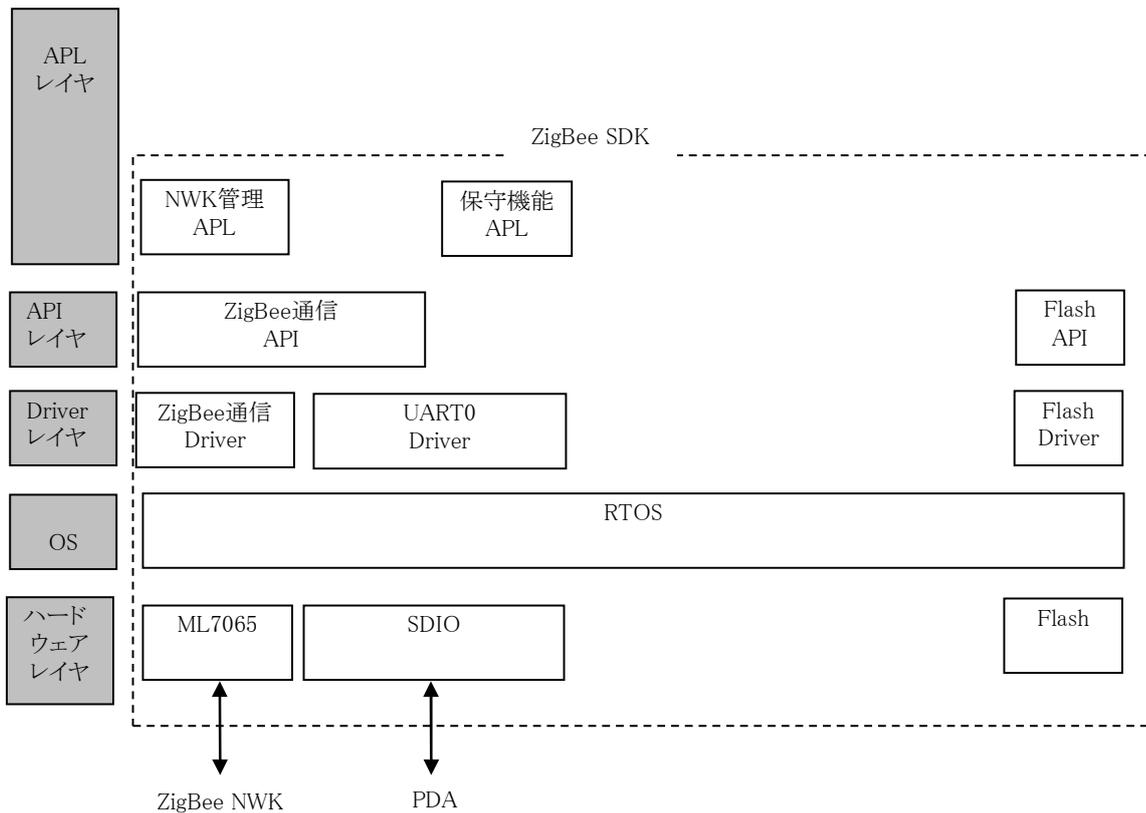


図5 SDIO ソフトウェア構成

試作品について、インタフェース・機能については、良好であるが性能面で向上の余地があること、および抜けやすいなど実装上の課題が見つかった。

目標とした体積 20cc 以下については 12cc 以下とクリアした。

消費電流に関しては、アクティブ動作時 100mA であり、一般的な PDA の消費電流 300mA と同時に利用すると 75% になり、目標値をクリアした。

④タイプ D

ZigBee ネットワークを管理するコーディネータ (ZigBee Coordinator) を設計した。マーケットの利用形態は、室内等に設置するイーサネットタイプと、屋外等に設置して携帯電話網と接続するシリアルタイプを想定した。

スペックは以下の通りである。

表1 ZigBee コーディネータのスペック

| 項目 | イーサネットタイプ | シリアルタイプ |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|
| CPU | ARM7 (沖電気製 32bit CPU) | 同左 |
| メモリ | RAM 512Kバイト FLASH 512Kバイト | 同左 |
| ZigBee LSI | ML7065(沖電気) | 同左 |
| ZigBee スタック | Integration/沖電気 | 同左 |
| インタフェース | 100Base-T | RS232C (DTE/DCE) |
| 同プロトコル | Ethernet | TCP,UDP/IP over PPP |
| IPプロトコル変換 | IP 終端/ノード変換 IPoverZigBee | IP 終端/ノード変換 IPoverZigBee |
| 電源 | DC5V または AC100V | DC24V または AC100V |



図7 タイプD 外観図

本品は SDK (Software Development Kit) を実装し、ZigBee の知識が十分でなくてもアプリケーション開発が容易な構成としている。

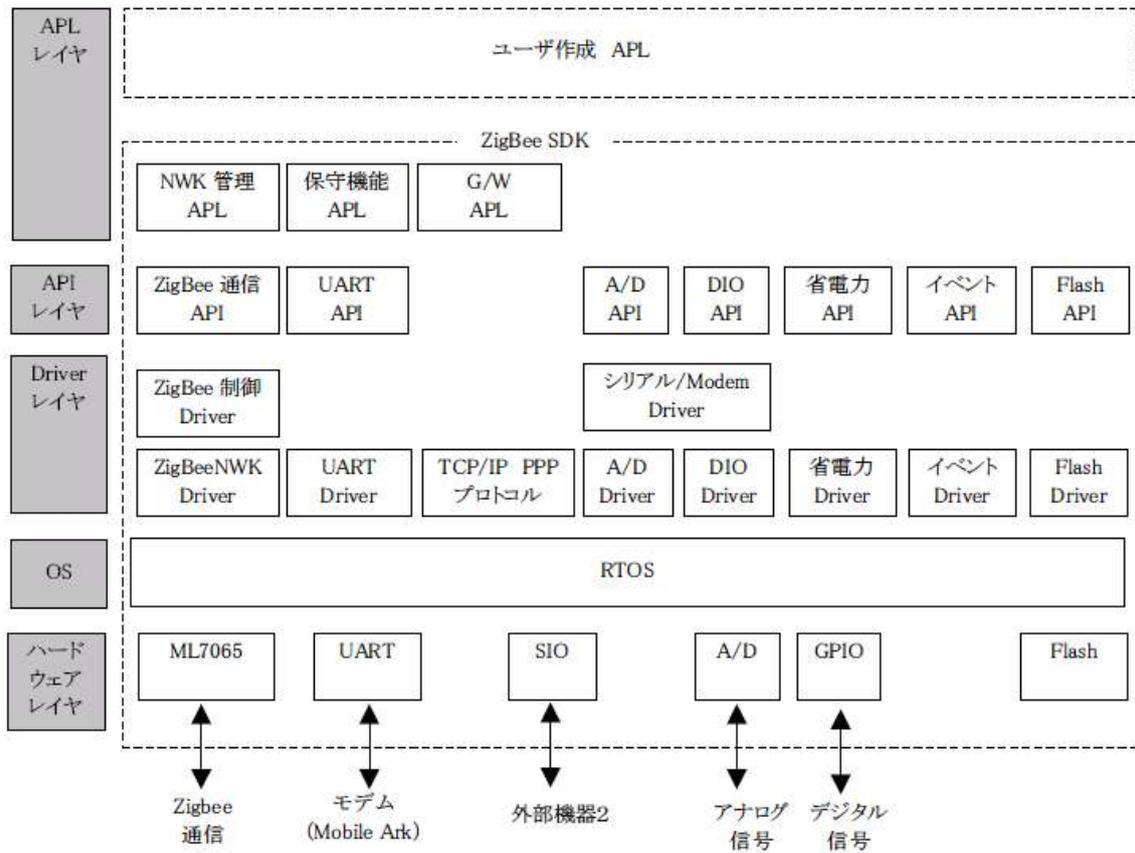


図 8 タイプ D スタック構成 (シリアルタイプ)

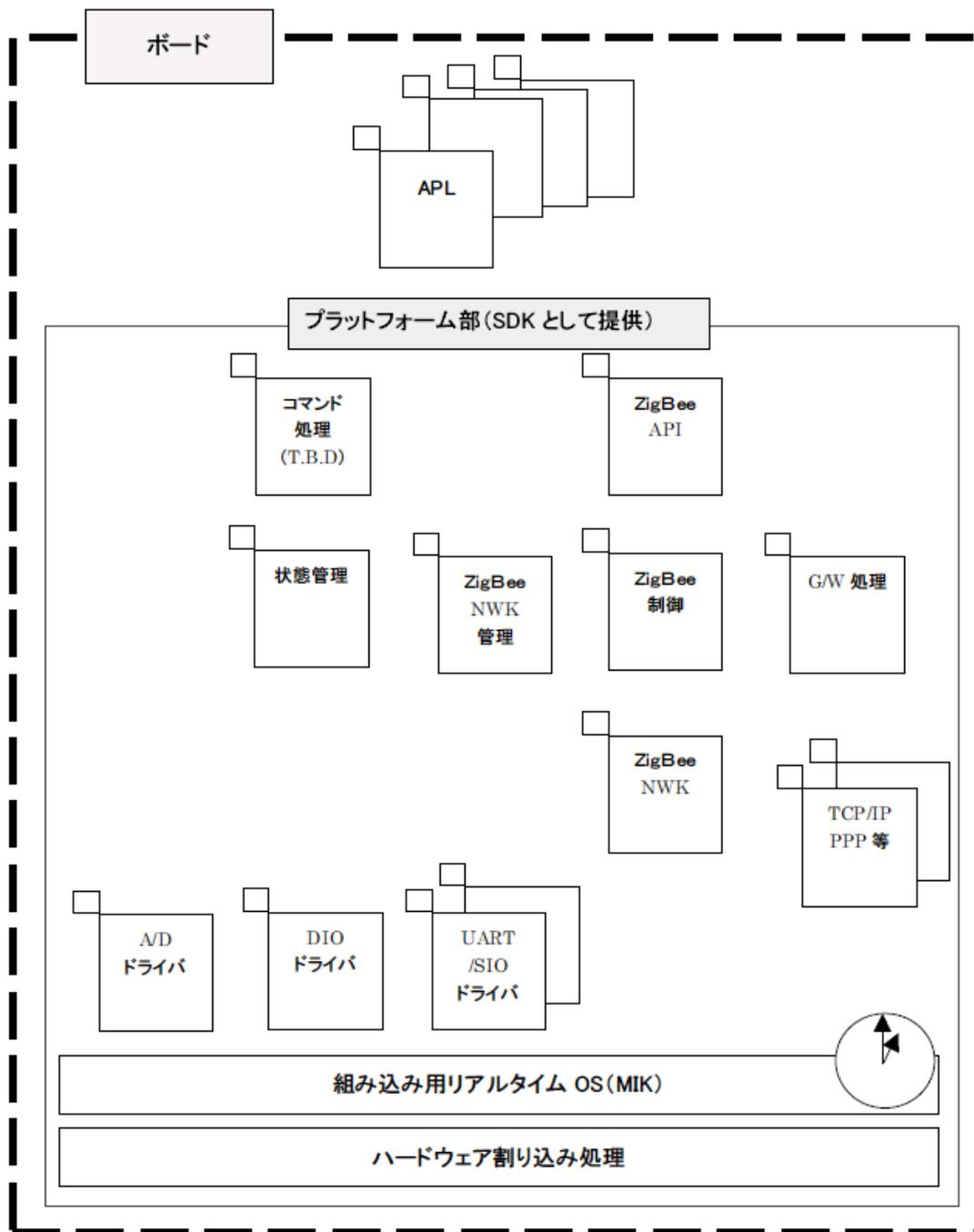


図9 タイプD タスク構成 (シリアタイプ)

4-1-3 達成状況

① タイプA

[実現できたもの]

- ・SDIO カード開発およびPDA 用ドライバ開発 (目標値)
- ・試作品の課題の抽出
性能および実装上の課題が確認できた。
- ・体積
目標値をクリアした。

- ・消費電流
無線通信時の消費電流の目標値をクリアした。

[未達成のもの]

- ・特になし。

[今後の課題]

・性能向上のためにプロトコルの見直し、およびPDA内蔵など抜けにくい実装方法を検討する必要がある。

② タイプD

[実現できたもの]

- ・イーサネットタイプの設計
- ・シリアルタイプの設計
- ・両タイプの実装模型

[未達成のもの]

- ・両タイプの評価

(未達成理由)

当初予定していたタイプC用のLSI開発が06年度に延期されたため、タイプDに設計の切り替えを行った。この影響をうけて、設計・製造が遅れ、評価が05年度に完了できなかった。

[今後の予定]

- ・06年度に評価を完了する

[今後の課題]

・性能については、タイプAと同様な課題がでる可能性があり、プロトコル等の処理高速化の検討が必要である。

4-2 技術方式の研究開発

4-2-1 17年度の開発目標

ZigBee 1.0 に対して、以下のような実用化技術を開発する。

- ① 移動ノードに対応する機能
- ② 無線ノードの故障時に、ルートを再設定する技術
- ③ スリープ制御と省電力化の向上
- ④ 無線 LAN との連携
- ⑤ 実用化に向けた、新しいプロファイルの規定

提案書では、17年度は①、②、⑤の3テーマの開発を行う計画を提案したが、予定を変更し、17年度では、すべてのテーマにおける基本検討（従来技術調査、アイデア着想など）を先行して並行実施することとする。

なお、以下で掲げた目標値は、机上検討での見込みを確認するものとし、実機での検証は18年度に行う。

① 移動ノード対応

ZigBee 1.0 の、クラスタツリールーティング方式に対して、ルーター間（PAN間）を移動（ハンドオーバー）できる機能を開発する。

（目標値）

移動ノードを持って、人がゆっくり歩くスピードで固定ノード間(30m 間隔)を通り過ぎる場合、遅延なく ID が切り替わり、データ通信が途切れないことも目標とする。

② 故障対応

ZigBee 1.0 の、クラスタツリールーティング方式に対して、故障時にネットワークトポロジーを再構築する機能を開発する。

（目標値）

ツリーの幹のノードが故障した場合、5分以内にトポロジーを再構築し、ネットワークが安定動作することを目標とする。

③ スリープ制御

ZigBee 1.0 の、クラスタツリールーティング方式に対して、ルーターノードの省電力を高めた機能を開発する。

（目標値）

ルーターノードの消費電力が、方式を適用しない場合と比較して 80%以下になることを目標とする。

④ 無線 LAN との連携

無線 LAN と ZigBee を融合させ、最適なネットワークを開発する。

（目標値）

ZigBee ネットワークとブリッジ接続することを前提とし、メッシュルーティングを工夫した方式を開発する。

⑤ プロファイル

プロファイル提案にむけて、ZigBee Alliance で審議中のプロファイルを調査

し、提案手順等を整理する。

4-2-2 実施状況

各課題の基本検討を行った結果を以下に示す。ただし、開発開始時期が12月と遅かったため、検討結果についての特許出願が年度内に完了していない。したがって、ここでは特許出願予定の内容は含めないものとし、詳細検討結果については、来年度報告する。

① 移動ノード対応

ZigBee 1.0 上で、ノードの移動機能を実現する方式を開発した。

本年度開発した方式では、移動ノードはネットワークからの切断、再接続を繰り返し、再接続の都度、移動ノードの接続先を近隣のルーターに切り替えながら移動する。

ところが、ZigBee 1.0 では、ルーター毎に接続するノードへ割り当てるネットワークアドレスが予め決められているため、移動ノードはネットワークへの接続先であるルーターが替わる度に、ネットワークアドレスも替わる。このため、次の問題が発生する。

- ・ ネットワークアドレスで移動ノードを特定することができない。
- ・ 移動ノードがネットワークからの切断をする前にルーターとのリンクが切れた場合、ルーター側でネットワークアドレスの開放が出来ず、アドレスの再利用ができない。

これらの問題を解決するために、移動ノード毎に個別の ID を割り当て、ZigBee ネットワーク内に唯一存在する ZigBee コーディネータにおいて、接続している移動ノードを管理し、移動ノードの ID からネットワークアドレスを調べる機能、移動前の接続先ルーターに対してネットワークアドレスの開放を指示する機能を開発した。

下図に、ノードが移動するときのシーケンス図を示す。

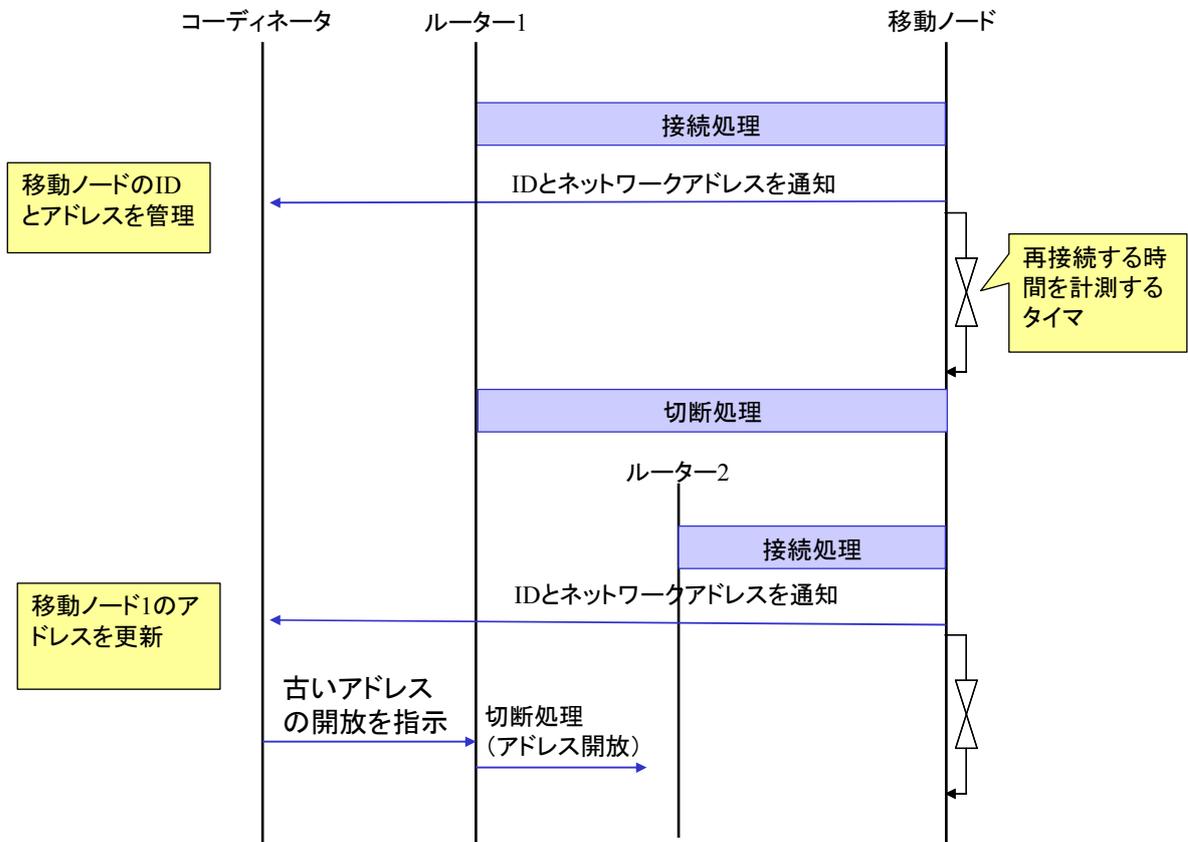


図10 ノードの移動処理シーケンス図

移動ノードは、ネットワークに接続もしくは再接続により、接続先ルーターが替った場合、ZigBee コーディネータに ID とネットワークアドレスを通知する。ZigBee コーディネータは、移動ノードが新規のネットワーク参加であれば、管理テーブルに移動ノードの情報を追加する。既に登録済みの移動ノードに対する通知であった場合は、管理テーブルの情報を更新し、古いアドレスを管理するルーターにアドレスの開放を指示する。通知を受けたルーターは、既に近隣には存在しない移動ノードに対して切断処理を実施することにより、アドレスを開放する。

この他、複数の PAN の ZigBee コーディネータをバックネットワークを介して接続し、移動ノードの管理機能をバックネットワーク上のサーバに持たせることにより、開発したノードの移動機能を PAN 間移動に拡張できることを確認した。また、移動ノードの接続先ルーターとして、リンク品質が最も高いルーターを選択することにより、適切なルーターを選択できることを確認した。

さらに本年度は、開発した方式が動作することを実機により確認するために、5 台のルーターを約 20m 間隔で線状に設置した ZigBee ネットワーク上で動作させた。ルーター間をゆっくり移動させた場合、接続先ルーターが適切に切り替わることが確認できた。

② 故障対応

次項のスリープ制御は、ルーターを冗長に配置し、交代でスリープすることによりルーターを省電力化するというアプローチで検討を進めた。このアプローチでは、今まで動作していたルーターが故障により動作を停止する現象と、動作していたルーターがスリープ状態に移行する現象を同じ現象としてとらえることが出来るため、故障対応を個別に検討することはせず、スリープ制御機能として検討を進めた。

③ スリープ制御

ルーターを冗長に配置し、交代でスリープすることによりルーターを省電力化するアプローチで検討を進めた。まず、既存方式の調査を行い、本機能実現のために利用可能な方式として SPAN を選択した。

SPAN は、アドホックネットワークを対象として提案された方式で、次のように動作する。定期的に「自分がコーディネータ(ルーティング機能を動作させるノード)であるかどうかの状態と 2 ホップ先までのコーディネータの情報を含んだビーコン信号を送信する。各ノードは自律的にコーディネータになるか、コーディネータをやめるかを決定する。コーディネータ以外のノードは、定期的に、隣接コーディネータが直接あるいは 1 つないし 2 つのコーディネータを介して自ノードの他の隣接コーディネータに接続しているかどうかをチェックし、接続していない組み合わせがあれば、コーディネータとなる。コーディネータは、隣接ノードが直接あるいは 1 つないし 2 つのコーディネータを介して自ノードの他の隣接ノードに接続しているかどうかをチェックし、接続している組み合わせがあれば、ランダム時間後にコーディネータをやめる。結果としてフィールド全体にコーディネータで構成するメッシュ状の幹線網が形成される。図 11 に SPAN を使って構成したネットワークの例を示す。丸で示されているのがノードで、濃い線で結ばれているノードがコーディネータである。

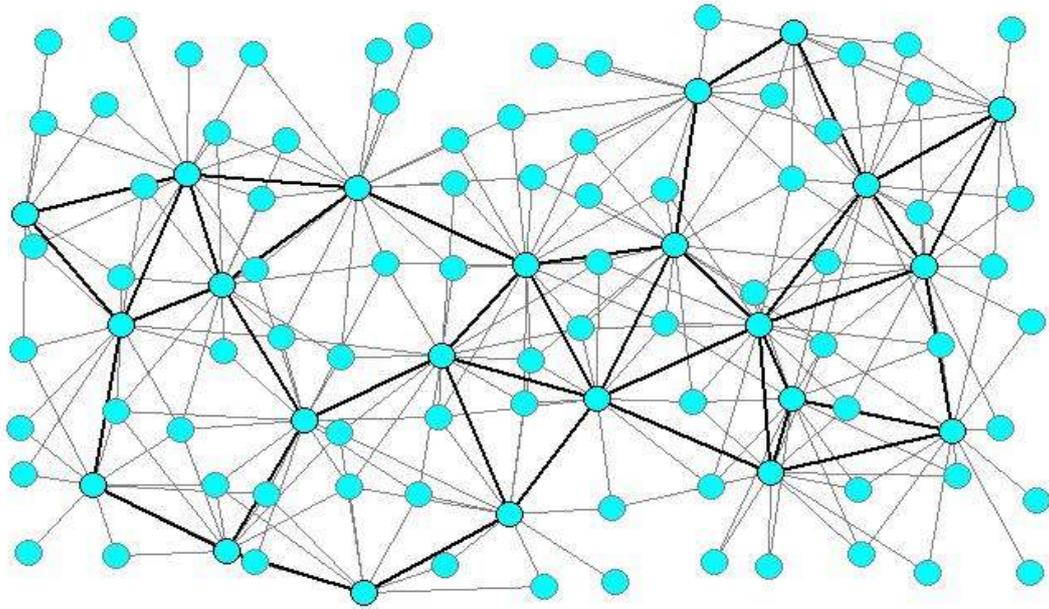


図 1 1 SPAN を使って構成したネットワーク

本年度の検討では、SPAN を使い以下のようにしてネットワークの構成、スリープ制御を実現することとした。

まず、SPAN によりルーターとして設置したノードのネットワークを構成する。SPAN によりコーディネータになったノードのみルーティング機能を動作させる。コーディネータにならなかったルーターはルーティング機能を止め、ビーコン送信時のみ送受信機を起動し、その他の期間は送受信機を停止するスリープ制御を行う。

移動ノードは、ビーコン情報からルーティング機能を動作させているルーターで最も近くにあるルーターを選択し、ネットワークへ接続する。ただし、ルーティング機能を動作させるルーターは時間とともに変化するため、移動ノードは定期的に接続先ルーターを検索し再接続するか、ネットワークを介した通信が必要なときに、ネットワークへの接続を行うなどの対応が必要である。

次に、時間経過とともに、ルーターがどのように電力を消費するかを調べた。図 1 2 にルーターの残余電力が少なくなり、ネットワーク全体の接続性が維持できなくなる直前の様子を示す。

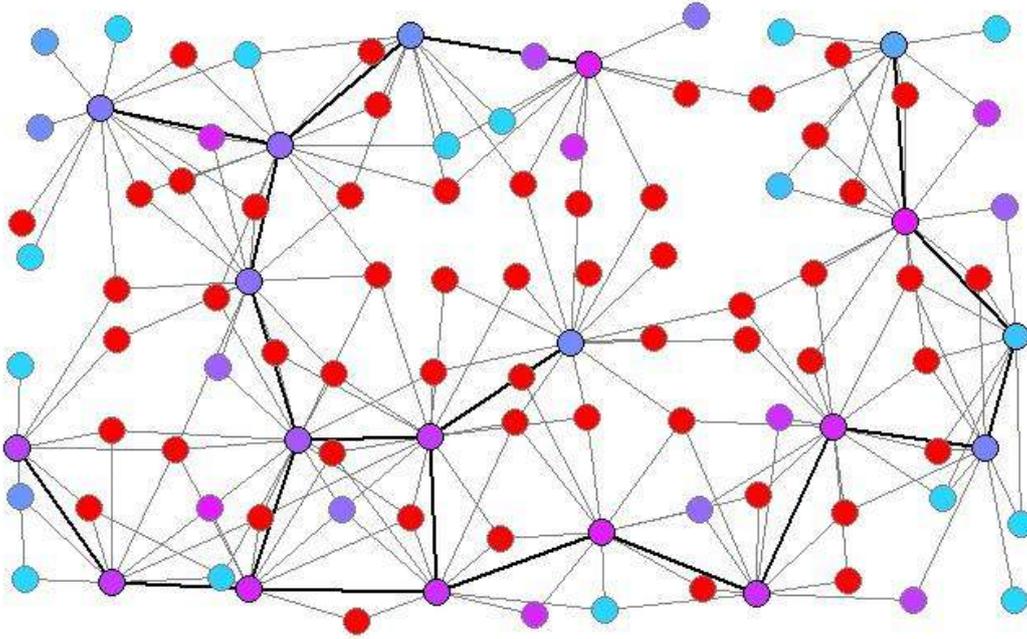


図12 ネットワークの接続性が維持できなくなる直前の様子

ノードの色は、ルーターの残余電力を示している。水色は残余電力がフルにある状態を、色が赤くなるほど残余電力が少ない状態を示している。また、赤色の状態は、残余電力不足で、ルーティング機能を動作させることができない状態である。図12より、ネットワークの中心部のノードほど電力消費が早く、ネットワークのエッジに位置するノードほど電力消費が遅い傾向があることが分かる。省電力化の効率を向上させるためには、このようなばらつきが出来る限り少なくなるように改良する必要がある。

次に、ネットワークの接続性が維持できなくなった直後の状態を図13に示す。

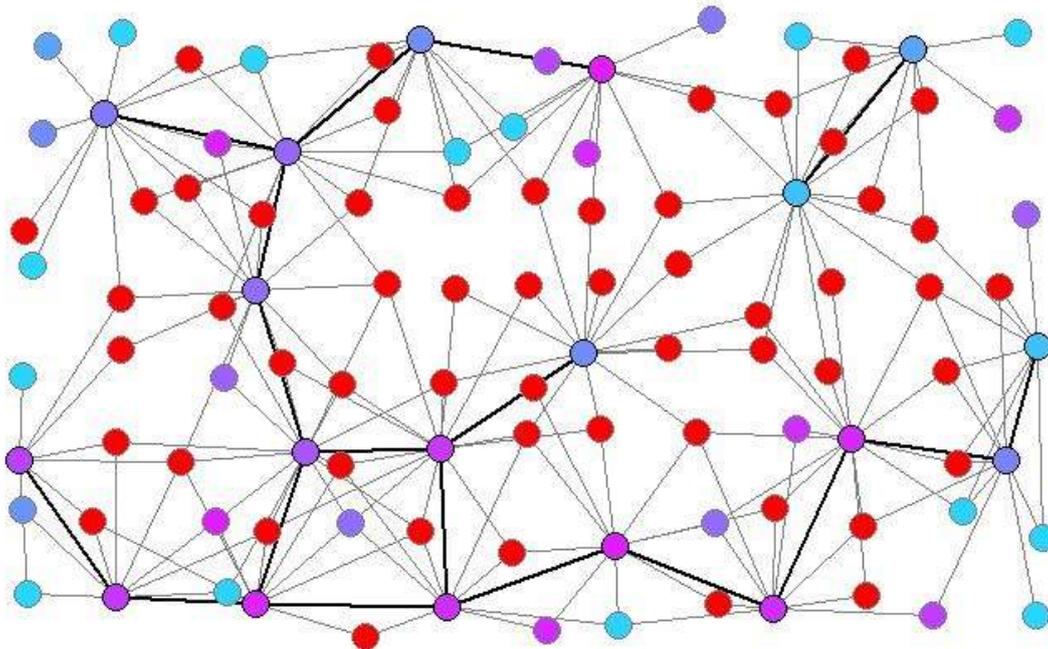


図13 ネットワークの接続性が維持できなくなった直後の様子

ネットワークの右上部にネットワークから孤立した部分が発生している。ところが、よく観察すると、孤立した部分のコーディネータとネットワークの間にコーディネータとなることのできるノードが存在している。上図の例の場合、このノードがコーディネータとなれば、孤立を解消することができる。SPAN では、2 つ以上のコーディネータで構成されるサブネットワーク部分が孤立した場合、孤立したネットワークと残りのネットワークの間に存在するノードがコーディネータにならなくて良いと判断できる条件を満足してしまい、このような現象が発生する可能性がある。この現象は、ネットワークの接続性を維持できなくなる直前のみでなく、条件さえ満足してしまえば、残余電力が十分ある場合でも発生する可能性があると考えられる。今後、ネットワークの接続性を保証する仕組み追加することを検討する必要がある。

④ 無線 LAN との連携

異なる場所に設置された ZigBee ノード同士を接続する場合には、ZigBee プロトコルを一旦終端し、異なるプロトコル(例えば TCP/IP や UDP/IP など)で接続する方法が考えられる。このような接続方法はプロトコルの変換を行っているため、ゲートウェイを介した接続と位置づけられる。しかしこのようなプロトコル変換を多用した場合、ZigBee ノードで構成されるセンサネットワークのドメインが増加することになり、その管理が複雑化してしまう恐れがある。そのため ZigBee プロトコルを終端することなく、シームレスにセンサネットワーク同士を接続するブリッジ接続の実現が要望されており、ZigBee アライアンスでも ZigBee Bridge Devices としてその機能の検討が進められている。

またセンサネットワーク間を有線ネットワークで接続した場合、有線を設置するための敷設コストが必要となるため、無線通信によるセンサネットワークの利便性が失われてしまう恐れがある。そこで本節では無線 LAN との連携と題して、センサネットワーク間の接続に無線 LAN を活用し、ZigBee トラフィックの効率的に転送する方式の検討を行った。図 1 4 にセンサネットワーク間の接続に無線 LAN を用いた場合の構成例を示す。

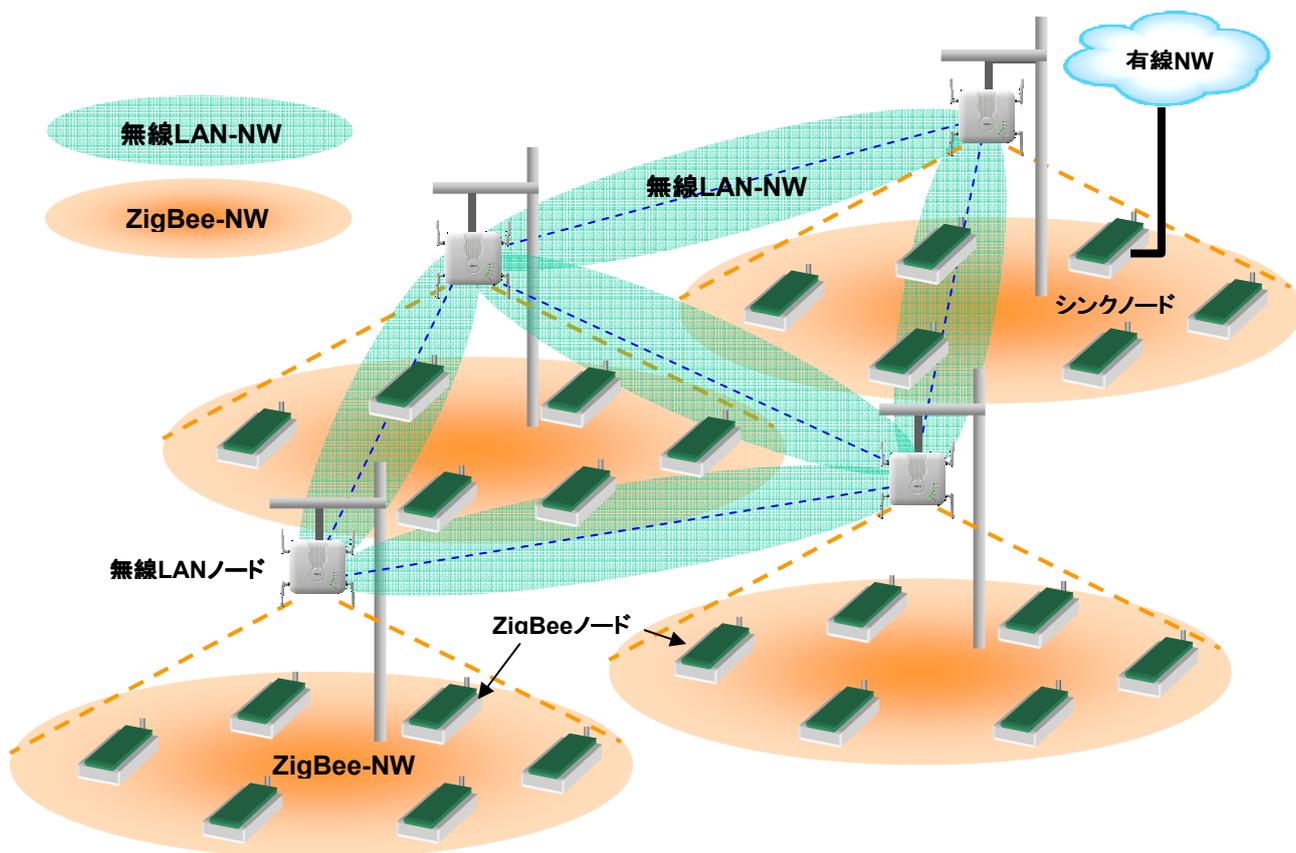


図14. ZigBee ノードと無線 LAN ノードの連携例

図中の無線 LAN ノードでは、ZigBee プロトコルを透過的にマルチホップ中継する機能を備えることで、異なる場所に設置された ZigBee-NW 同士の接続を実現している。本年度はこのような階層的なネットワークアーキテクチャを前提とし、本アーキテクチャ上で ZigBee 1.0 のクラスタツリールーティング方式を実現する方式の検討を行った。検討結果の基本的な部分は知財化を行い、現在、特許出願の準備中である。

⑤ プロファイル

図15に ZigBee Alliance の組織構成を示す。ZigBee Alliance では、ZigBee プロトコルを構成する各レイヤもしくは、機能毎に組織された Working Group(WG)で仕様策定を行っている。物理層、MAC 層に関しては、IEEE802.15.4 を採用しているため、ZigBee Alliance で仕様策定は行っていない。

ZigBee Alliance が担っている主な役割を以下に示す。

- ・ プロトコルスタックおよびアプリケーションプロファイルの仕様策定
- ・ ZigBee 仕様認定プログラムの策定・実施
- ・ 相互接続性を確認するためのイベントなどの開催

アプリケーションプロファイルは Application Framework Work Group(AFG)の下部組織である Profile Task Group(PTG)で策定されている。また、AFG では、ネットワークサポート層、Network Work Group(NWG)では、ネットワーク層、Security Work Group(SWG)ではセキュリティ機能、Gateway Work Group(GWG)では、ブリッジおよびゲートウェイ機能を策定している。

Organization Chart

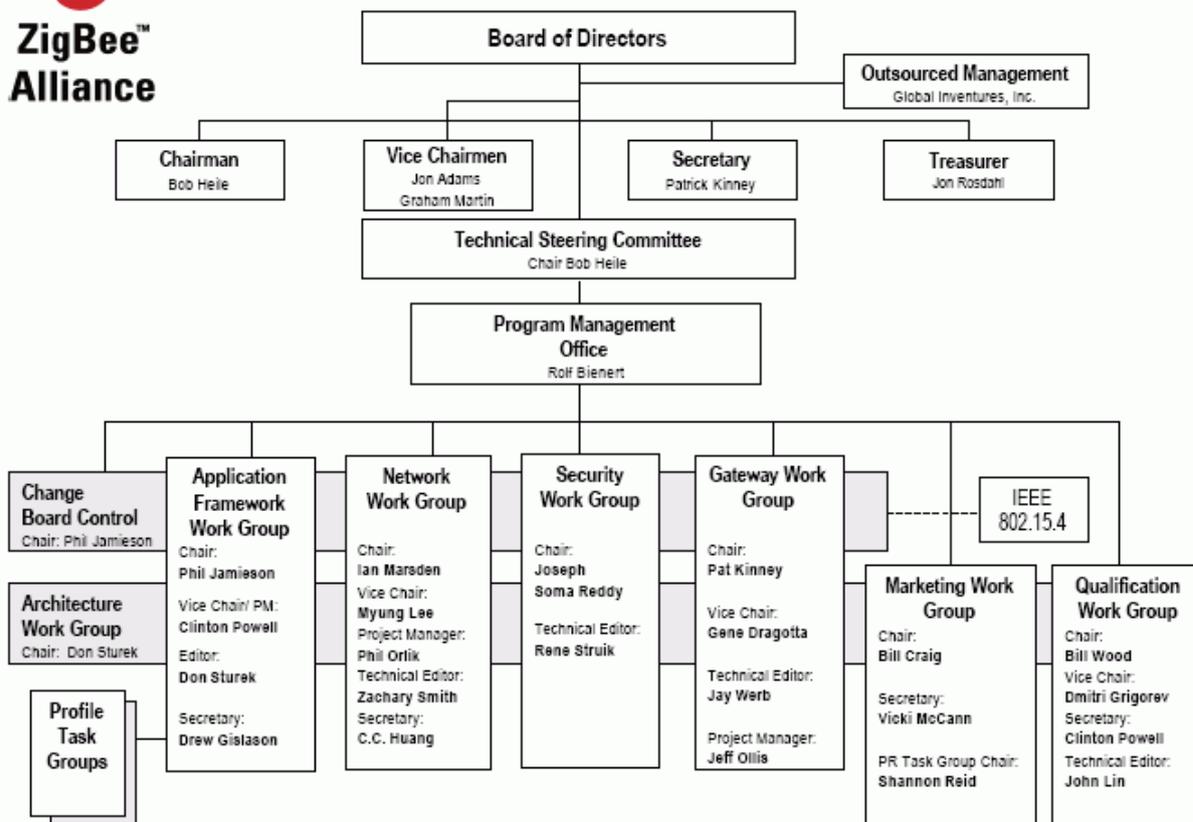


図 1 5 ZigBee Alliance の組織構成

ZigBee 仕様は、まず、PTG においてアプリケーションを実現するために必要な機能要求をまとめ、その後、各機能を実現するための具体的な方式に関連するレイヤを担当する WG が検討するという手順を踏む。

我々は、これまでに ZigBee 1.0 のプロトコルの調査を行っており、移動機能、ルーターの省電力機能など、不足している機能を抽出している。これらの機能を ZigBee 仕様に盛り込むため、本年度はまず、現在 ZigBee Alliance で検討中のアプリケーションプロファイルに我々の機能要求を盛り込むことが出来るかどうかを検討し、ターゲットとする PTG を選定した。さらに、PTG の主要メンバと接触し、我々が考えている機能要求の必要性に対する意見交換など、アプリケーションプロファイルの機能要求として盛り込むための活動を行った。

なお、現在どのような PTG が存在し、どんな計画で標準化が進められているかは、現時点で ZigBee Alliance 外秘であるため、ここでは詳しくは報告しない。

4-2-3 達成状況

研究開始が遅れたため、特許出願が本年度に間に合わなかったが、予定の件数は作成済みであり、出願準備中である。

① 移動ノード対応

ZigBee 1.0 上で、ノード移動機能を実現する方式(PAN 間を含む)を開発し、実機により動作を確認した。さらに、移動時の接続先ルーターの選択精度を向上させる方式を検討した。

未達成事項はなし。

今後の課題は、接続先ルーターの選択精度の評価、改善、及び接続切替遅延の評価、改善である。

② 故障対応

スリープ制御と合わせて検討を進め、スリープ制御中に故障検知し、ネットワークを再構築できる方式を検討した。

本年度は、方式検討のみを行い、定量評価を行わなかったため、復帰時間(目標 5 分)の定量評価が未達成となった。来年度第 1 四半期に実施予定である。

今後の課題は、ルーターノード故障時のネットワーク回復遅延時間を評価し、遅延時間を短縮するための方式改良を検討することである。

③ スリープ制御

ルーターを冗長に配置し、交代で動作させることにより省電力に動作することの出来る方式を検討した。

未達成事項はなし。

今後の課題は、本年度開発した方式が安定動作することの確認および、本年度の検討で明らかになった以下の課題を解決することにより、省電力効果を向上させることである。

- ・ネットワークのエッジより中心部のルーターの電力消費が早くなる。
- ・ネットワークが 2 つに分断されたことを検出できないことがある。

④ 無線 LAN との連携

無線 LAN と ZigBee を融合させたときの課題を整理し、ZigBee トラフィックを無線 LAN メッシュ網で効率よく転送するメッシュルーティングの改良方式を検討した。

未達成事項はなし。

今後の課題は、無線 LAN を介して構築した ZigBee ネットワークのトポロジー構成を最適化する方法およびブリッジ間の効率の良いルーティング方式の開発である。

⑤ プロファイル

プロファイル提案にむけて、ZigBee Alliance で審議中のアプリケーションプロファイルを調査し、提案手順等を整理した。今後の提案活動に向けて、ZigBee Alliance のプロファイル WG の主要メンバと議論中である。

未達成事項はなし。

今後の課題は、アプリケーションプロファイルの検討に参加し、機能要求に我々が必要な機能を盛り込むことおよび、要求機能を実現する具体的な方式の提案活動を進めることである。

4-3 実証実験

4-3-1 17年度の開発目標

実証実験のシステム概要の検討が完了し、実証実験場所を特定する。

- ① フィールド実証評価対象開発技術項目の抽出
- ② 実証実験フィールドの特定(候補地選定、関係機関等との調整)
- ③ 対象技術の評価項目と評価方法の決定(ツール評価含む)
- ④ 実証実験システム概要設計(システム構成、システム機能、評価情報収集方式、評価方式、開発項目決定)
- ⑤ 実証実験システム開発計画立案(開発範囲、仕様、体制、スケジュール、見積もり)
- ⑥ 実証実験実施計画立案(実験範囲、体制、スケジュール、概算見積もり)

4-3-2 実施状況

4-3-2-1 実証実験概要設計プロセス

(1) 実証実験シナリオの検討

社会的ニーズの高い応用分野で、ZigBee ユビキタスネットワークが活用されるシナリオを検討する。応用分野として2つを検討することになった。

- ①就学児童の通学路防犯システム
- ②地下消防活動支援システム

(2) 研究開発実証項目とシナリオ選定

ZigBee ネットワークの研究開発を通して実証したい技術項目と照らし合わせ、それに適した実証実験を目指すとともに、ZigBee 実証実験を通して応用分野の有効性が示されるシナリオを選定する。シナリオ選定では、実験規模、実験期間、応用効果、運用を考慮して、その枠組みの中で検討することにつとめた。

(3) システム構成とサーバプラットフォーム

実証実験システムの全体構成を描き、ZigBee 応用システムを容易に構築するためには、ZigBee 制御方式の細部を隠蔽し機能を抽象化した AP ネットワークインターフェースを提示することが重要であるとの認識を持った。そこで、その AP ネットワークインターフェースをサーバ側に実装する ZigBee サーバプラットフォームを検討し、その概要仕様を策定した。

(4) 全体計画

ZigBee 無線ノード機器の開発計画と整合を取るために、実証実験システムに関する全体計画を明確にした。

4-3-2-2 実証実験シナリオ1(通学路防犯システム)

(1) 実験ネットワーク

ZigBee 機器(タイプ C,D)を実験域内に設置し、PAN(Personal Area Network)を構成し、公衆無線 LAN で PAN 間の接続を行うことによって、ZigBee 地域網を構築し、実験エリアをカバーする。各種サービスを行うセンタサーバとは、有線ネットワーク(インター

ネット) を介して接続され、ZigBee 機器との通信が行われる。
 実験ネットワーク構成図は下記のようなになる。

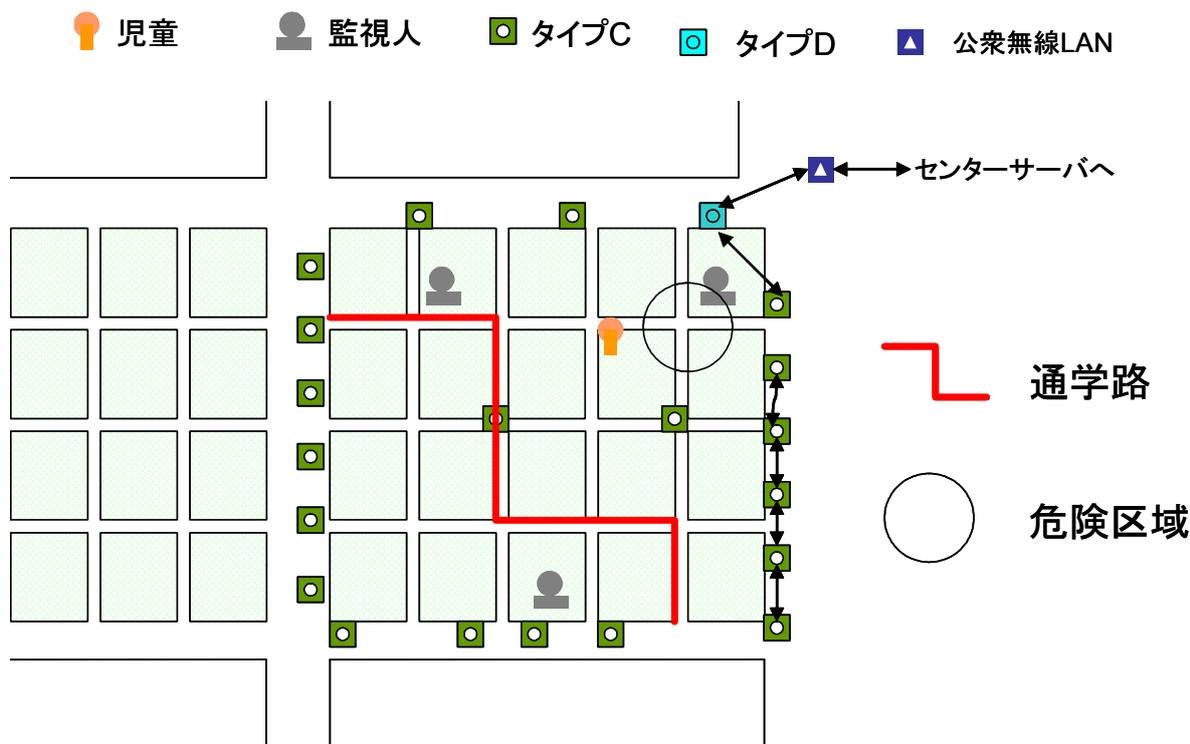


図 1 6 実験ネットワーク構成図

(2) 実証実験サービス

(2-1) 移動ノード近接相互検知サービス

生徒が工事現場などの特定地点に接近した場合に、その旨を接近した本人に警告（ランプをつける、ブザーを鳴らす、音声で知らせる等）する。

工事現場に固定ノード(タイプ C) を設置し、生徒が保有する移動ノード(タイプ B) が固定ノード(タイプ C)に接近した場合に

- ① 移動ノード(タイプ B)がこれを検知し、移動ノード(タイプ B)のアプリケーションを起動させ携帯している本人に警告する
- ② 固定ノード(タイプ C)がこれを検知し、ZigBee ネットワークを介してセンタサイトにメッセージを送信する。
- ③ 受けたセンタサイトでは、この発生状況の程度に応じて事前に登録されている本人の関係者にメールで連絡する。
- ④ さらにセンタサイトの PC に地図に 2 つのノードの位置と関係情報（内容、接近した個人の情報、関係者情報等）を表示

(2-2) 移動ノード特定エリア通過検知サービス

生徒がある区域に入ったり出たりしたことを本人に通知し、本人の関係者、センタサイトの 2 者に同時に通知するサービス。工事区域を囲むように固定ノード(タイプ C)を複数設置すれば、その区域への侵入検知となり、学校の門などに設置すれば、登下校の確認をすることができる。

2つの固定ノード(タイプ C)で結ばれる線上を、移動ノード(タイプ B)を保有する人が横切った場合に

- ① 2つの固定ノード(タイプ C)で移動ノード(タイプ B)が横切ったことを検知する
- ② 移動ノード(タイプ B)がどちらから横切ったかの方向を検知し、区域に入ったのか、出たのかを認識する。
- ③ 上記の①, ②の状況メッセージをセンタサイトに送信する。
- ④ この状況を事前に登録されている本人の関係者にメールで連絡する。
- ⑤ さらにセンタサイトの PC 上の地図に2つの固定ノードの位置と移動ノード(タイプ B)の位置と横切った方向を表示するとともに関係情報(区域概要、接近した個人の情報、関係者情報等)を表示する。

(2-3) センサ固定ノード緊急事態検知サービス

実証実験フィールドのある場所で発生した火災等緊急事態を検知して、複数の関係者およびセンタサイト、更に発生場所の近傍にいる利用者に通知するサービス。

実証実験フィールド内にセンサを接続した固定ノード(タイプ C)を設置して、当該センサが反応する異常事態が発生したら

- ① 固定ノード(タイプ C)に接続したセンサによって異常事態を検知する。
- ② この状況を事前に登録されている複数の関係者にメールで連絡する。
- ③ 緊急事態発生地点の周辺にいる移動ノード(タイプ B)を待った利用者の位置情報を把握して ZigBee ネットワークを介して警告メッセージを送信する。
- ④ さらにセンタサイトの PC に地図と固定ノード(タイプ C)の位置を表示するとともに関係情報(緊急事態内容、センサ情報、関係者情報等)を表示する。

(2-4) 移動ノード緊急事態検出サービス

実証実験フィールド内を移動中の生徒に発生した緊急事態を検知して、関係者および監視機関に通知するサービス。

移動中の移動ノード(タイプ B)を待った生徒に緊急事態が発生したため、

- ① 生徒が移動ノードを操作し、センタサイトに異常事態を通知する。
- ② センタサイトは、この事態を事前に登録されている本人の関係者にメールで連絡する。
- ③ さらにセンタサイトの PC に地図と移動ノード(タイプ B)の位置を表示するとともに関係情報(緊急事態内容、関係者情報等)を表示する。

4-3-2-3 実験シナリオ 2 (地下消防活動支援情報システム)

(1) 実験ネットワーク

ZigBee 機器(タイプ C,D)を実験域内に設置し、PAN(Personal Area Network)を構成し、公衆無線 LAN で PAN 間の接続を行うことによって、ZigBee 地域網を構築し、実験エリアをカバーする。各種サービスを行うセンタサーバとは、有線ネットワーク(インターネット)を介して接続され、ZigBee 機器との通信が行われる。

実験ネットワーク構成図は下記のようなになる。

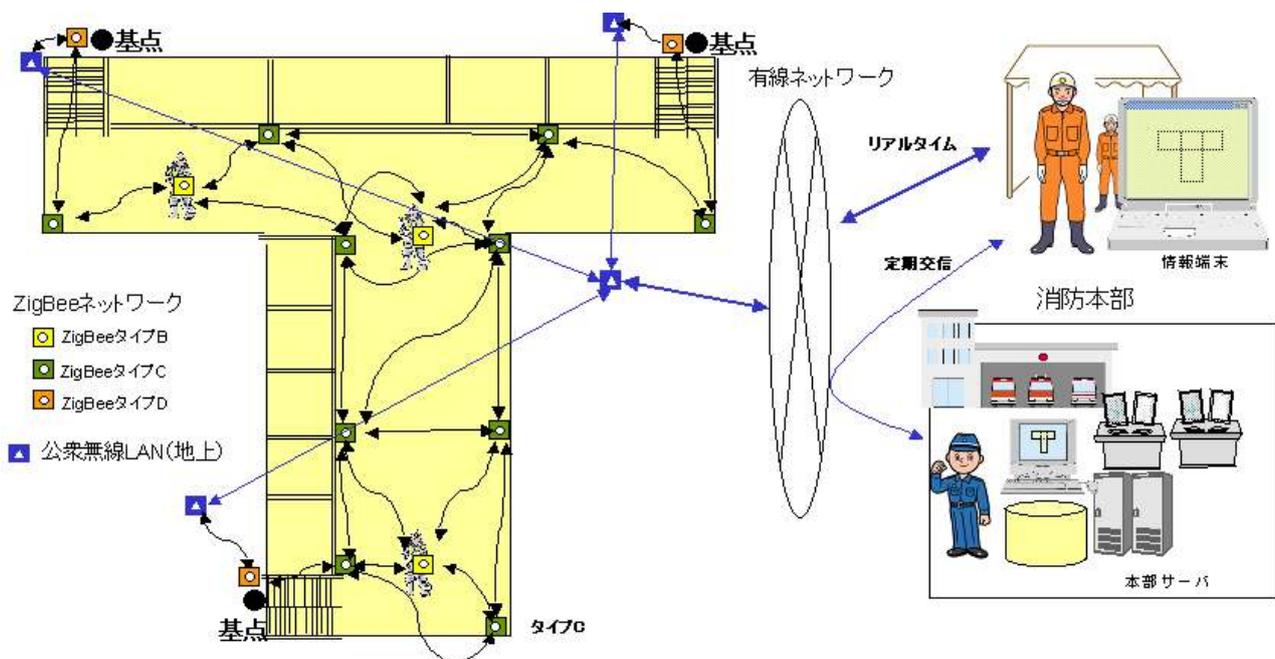


図17 ネットワーク構成図

(2) 実証実験シナリオを構成する ZigBee のサービス

(2-1) 移動ノード位置検知サービス

消防隊員が地下災害現場に侵入し、災害現場のどの位置にいるかを、現場指揮本部、消防本に同時に通知するサービス。地下災害現場に設置されている固定ノード(タイプ C)を複数設置、現場に固定ノードが設置されていない場合は、予め決められた箇所に仮設を行うことにより、活動する隊員位置の確認を行うことができる。

複数の固定ノード(タイプ C)と移動ノード(タイプ B)を保有する隊員が接近した場合に

- ① 複数の固定ノード(タイプ C)で移動ノード(タイプ B)が接近したことを検知する
- ② 移動ノード(タイプ B)との通信レベルを検知し、移動ノードの位置情報を算出する。
- ③ 上記位置情報を現場指揮本部、消防本部に送信する。
- ④ 現場指揮本部の情報端末(ノート PC)上の地下警防図面に2つの固定ノードの位置と移動ノード(タイプ B)の位置を表示するとともに関係情報(現場状況、隊員情報)を表示する。

(2-2) センサ固定ノード緊急事態検知サービス

実証実験フィールドで発生した緊急事態を検知して、現場指揮本部、消防本部に通知するサービス。

実証実験フィールド内に各種センサ(温度、煙、水位など)を接続した固定ノード(タイプ C)を設置して、当該センサが反応する異常事態が発生したら

- ① 固定ノード(タイプ C)に接続したセンサによって異常事態を検知し、現場指揮本部、消防本部に送信する。
- ② 現場指揮本部の情報端末(ノート PC)に図面と固定ノード(タイプ C)の位置を表示するとともに関係情報(緊急事態内容、センサー情報など)を表示する。

(2-3) 移動ノードセンサ情報通知サービス

実証実験フィールド内を活動中の消防隊員の生体情報（血流情報など）を定期的に、現場指揮本部および消防本部に通知するサービス。

実証実験フィールド内で活動中の移動ノード(タイプ B)を持った消防隊員の生体情報を定期的に通知するため、

- ① 隊員に装備されている各種センサー（血流情報など）より、生体情報を取得する。
- ② 一定時間間隔で、取得した生体情報を現場指揮本部に通知する。
- ③ 現場指揮本部は、情報端末（ノート PC）に通知された隊員生体情報を表示するとともに関係情報（緊急事態内容、隊員情報等）を表示する。

(2-4) 移動ノード緊急事態検知サービス

実証実験フィールド内を活動中の消防隊員に発生した緊急事態（現場活動での緊急事態、隊員の生体情報の緊急事態）を検知して、現場指揮本部および消防本部に通知するサービス。

実証実験フィールド内で移動中の移動ノード(タイプ B)を持った消防隊員に緊急事態が発生したため、

- ① 隊員が移動ノードを操作し、現場指揮本部に緊急事態を通知する。
- ② 現場指揮本部は、情報端末（ノート PC）に地下警防図面と移動ノード(タイプ B)の位置を表示するとともに関係情報（緊急事態内容、隊員情報等）を表示する。

4-3-2-4 ZigBee ネットワークの実証項目

(1) 実証実験システムの選定

以下にあげた選定指標に基づいて、2つの実証実験シナリオを評価する。評価結果は相互比較にて良いほうを○、劣るほうを×にて示す。

| 選定指標 | 通学路防犯システム | 消防活動支援システム |
|------------------------|--|---|
| ① 実験ネットワークの規模 | 通学路全域をカバーすることは困難、通学路上に分散拠点（見守りエリア）を構築、そのエリア通過から児童の位置を推定する方法か・・・(×) | 地下街のエリアは大小さまざま、地下街に固定局を常設する場合と、アドホックに固定局を仮設する場合が考えられる (○) |
| ② ZigBee の特徴と応用システムの効果 | 校門に限定すると、ICタグとの差がなくなる。通学路途上ではGPS携帯が有力、ZigBeeの位置精度が高いことが応用面で強くアピールされないジレンマがある (×) | 地下街であることから、GPS携帯との比較は不要、従来はPHSを応用した端末が利用されていたが、ZigBeeは位置特定の精度で優れること、センサネットワークの有効性 (○) |
| ZigBee 技術目標との整合性 | 児童の位置同定と児童の緊急ボタン押下検知のサービス。移動ノードの数が対象児童の数（100以上）を越える (×) | センサ情報と隊員の位置同定のサービス。アドホックなネットワーク構築、間隔10m等、面上配置は適当 (○) |
| 運用面の課題 | 運用主体が、学校、PTA、ボランティアか？見守りエリアのコスト高 (×) | 運用は地下街の防災管理者か？効果は消防活動での安全管理、他 (○) |
| 事業展開可能性 | 社会的ニーズはきわめて高いが、公共的なネットワーク管理が必要 (×) | 地下街利用は増加傾向（大深度地下）、ビルセンサ・ネットワーク併用 (○) |

次年度に予定される実証実験の ZigBee ネットワークの規模、応用システム構築・運用の困難さ、効果等々を考慮して、「地下消防活動支援システム」を詳細設計の候補として取り上げることとする。

特に、地下消防活動支援システムは、ZigBee の基本サービスである「位置検知サービス」、及び「センサ情報通知・緊急事態検知サービス」から構成されるが、従来実現されてきた PHS 方式と比較し、位置精度、及び隊員情報を現地指揮本部の情報端末に通知するリアルタイム性に優れた結果を出すことが要求され、実証項目の検証にも関係することが重要と思われる。

4-3-2-5 実験システムの構成要素

(1) システムの全体構成

地下消防活動支援システムの全体構成を下図に示す（図では消防本部とのインターフェー

スは省略されている)。地下街の ZigBee 無線ノード機器から構成される ZigBee ネットワークは、ZC ノード（ゲートウェイ機能付）から PC サーバ A（ZB ネットワークの保守・管理を兼ねる）を通して、地下の有線ネットワークに接続され、PC サーバ B（現地指揮本部の情報端末に対応）につながる。実証実験のシステム構築は PC サーバ A、B（以下 ZigBee サーバと呼ぶ）を開発することになる。

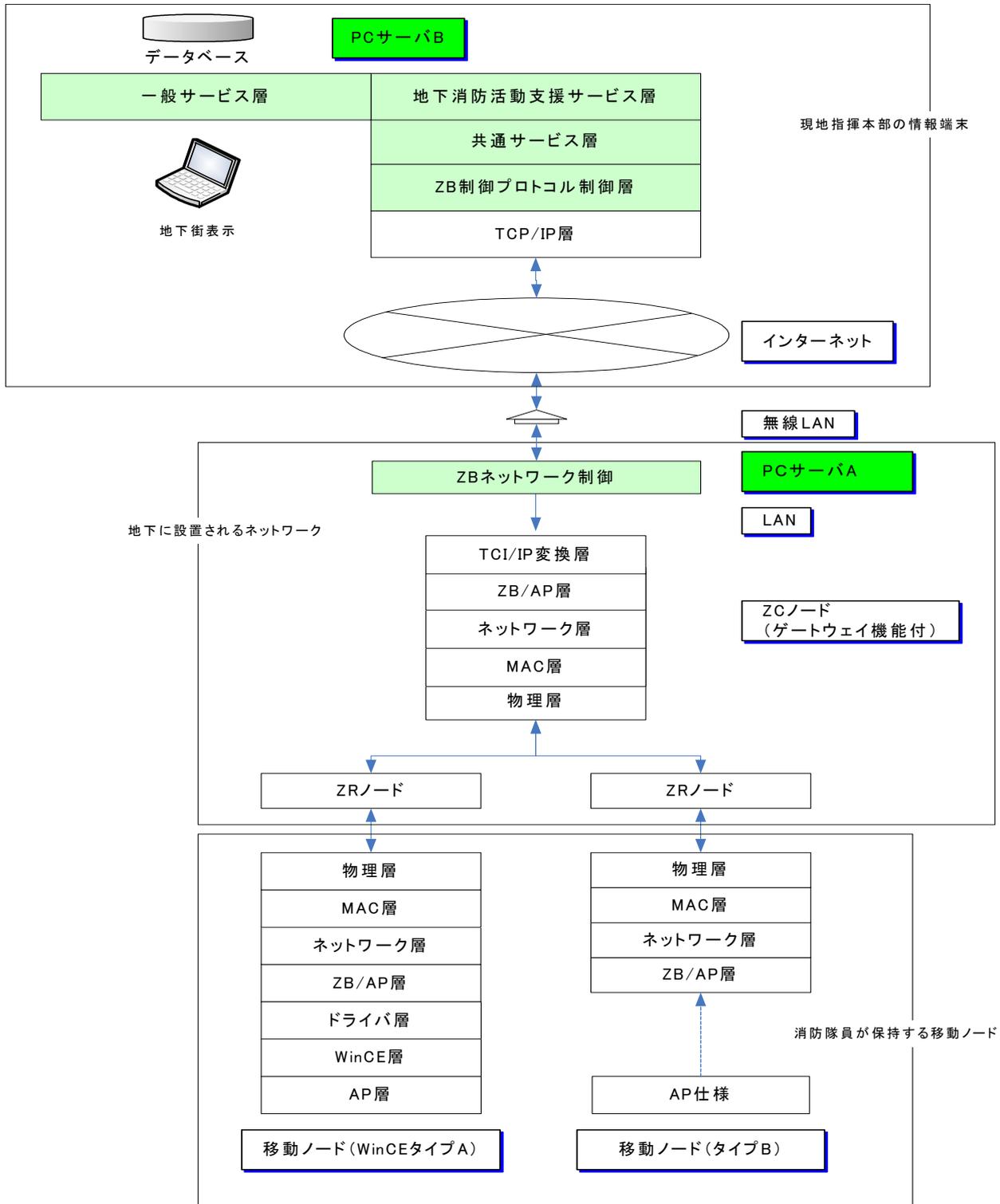


図 1 8 システム構成

4-3-2-6 ZigBee サーバプラットフォーム

ZigBee サーバは、地下街に保守管理用に設置される場合、現場指揮本部に設置される場合がある。各サーバは、(階層関係を作りながら)、カスケードに接続される。各サーバをそれぞれ個別に開発するのではなく、共通アーキテクチャを決め、そのバリエーションとして搭載機能が選択できるような方式をとる。この共通アーキテクチャを ZigBee サーバプラットフォームと呼ぶ。

(1) 機能概要

以下にサーバプラットフォームにて提供する機能概要を示す。

- ① ZigBee ネットワークの状態監視・管理機能を提供、ネットワーク構成に関する変化を検出、検出結果を event としてアプリケーションに引き渡す (event 駆動型のアプリケーション)
- ② ZigBee ネットワークから定期的にセンサ情報をデータ収集
- ③ 移動ノードの位置情報を検知する
- ④ ネットワーク監視・管理機能などの共通機能はアドイン可能 (event filter) とする

ZigBee ネットワーク用にプラットフォームが搭載された ZigBee Server は、1 台構成で利用することから、Front end/Back end 構成の階層的にカスケードして配置することまで選択可能とする。

(2) システム構成

ZigBee Server の構成に関して説明を行う。

(2-1) ZigBee Server 階層構成

ZC 側で処理可能なイベント処理は front end Server で処理する。例 ZED 上の Switch ON。ZC 間共通のイベント処理は back end Server で処理をする。例 PAN 間移動。利点：システム構成は複雑になるが ZC でローカルなイベントを処理できるので、オーバーヘッドが少ない。

ZigBee Front end/Back end Server 構成図

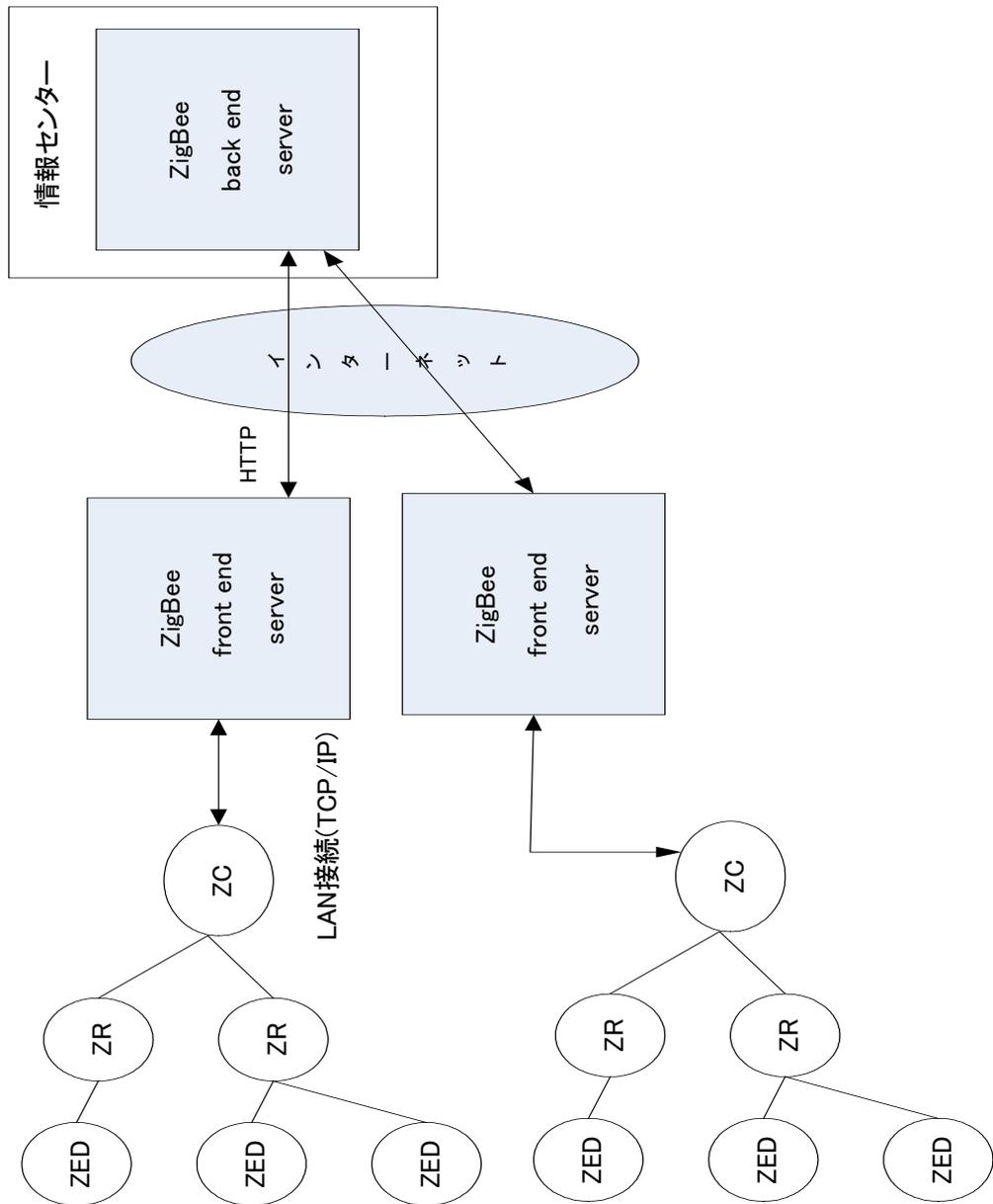


図 19 ZigBee Server 階層構成

4-3-2-7 実施スケジュール

18年度の開発実施計画を策定した。

| 開発項目 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|
| ①地下消防活動支援システムの詳細設計 ZB機器の詳細 実験ネットワーク構成 実証実験の場所決定 | → | → | | | | | | | | | | |
| ②擬似ネット環境の構築 ZigBeeSDK機器導入 ノード間接続 移動ノード開発 | | → | → | → | | | | | | | | |
| ③ZigBee Serverの詳細設計&開発 ネットワーク状態管理 ネットワーク管理 event filter | | | → | → | → | → | | | | | | |
| ④APシステムの開発 GISマッピング データ収集管理 | | | | | → | → | → | | | | | |
| ⑤実証実験準備 ZBネットワーク構築 実行シナリオ策定 | | | | | | | → | → | | | | |
| ⑥実証実験実施 プレ実験 改良 実験&評価 | | | | | | | | | → | → | → | → |

4-3-3 達成状況

平成17年度実証実験設計計画における各作業項目の達成状況は、以下のとおり。

- ① フィールド実証評価対象開発技術項目の抽出
 <達成状況> 達成
 2つの実証実験システムを対象に具体的な実証サービスの検討によって開発項目を明確にした
- ② 実証実験フィールドの特定(候補地選定、関係機関等との調整)
 <達成状況> 達成
 京都市の関係機関への提案をとおして、実証フィールド候補の選定を行った。18年度第1四半期には、フィールドを決定する予定である。
- ③ 対象技術の評価項目と評価方法の決定(ツール評価含む)
 <達成状況> 達成
 2つの実証実験シナリオの評価をとおして、技術評価項目の整合性の検討を行った。
- ④ 実証実験システム概要設計(システム構成、システム機能、評価情報収集方式、評価方式、開発項目決定)
 <達成状況> 達成
 2つの実証実験シナリオに対応できる実証実験システムのアーキテク

チャ、システム構成の設計を行った。

- ⑤ 実証実験システム開発計画立案（開発範囲、仕様、体制、スケジュール、見積もり）
＜達成状況＞ 達成
地下街消防活動支援システムを対象に18年度の開発計画を立案した。
- ⑥ 実証実験実施計画立案（実験範囲、体制、スケジュール、概算見積もり）
＜達成状況＞ 達成
地下街消防活動支援システムを対象に18年度のプレ実証実験実施計画を立案した。

4-4 総括

開発開始時期が遅かったが、ほとんどすべての課題において、目標どおりの成果を達成できている。

無線ノードに関しては、4ヶ月と短い期間での開発が難しい状況であったが、製造までは完了した。一部、ノードの評価が終わっていない部分があり、来年度実施する予定である。

また、技術開発においては、基本検討は完了したものの、特許出願を年度内に行うことができず、本報告内容も一部詳細事項を記載できない状況である。早急に出願を完了させ、詳細報告を行いたい。

実証実験の検討は計画通り進んでおり、来年度プレ実証実験システムを構築できる予定である。

5 参考資料・参考文献

5-1 研究発表・講演等一覧

委託研究開始から短い期間であり、本年度の提案課題の成果に関する外部発表はない。

関連発表として、ZigBee の普及活動の一環として、電子情報通信学会 3 月の総合大会において、センサ NW のパネル討論の ZigBee の基調講演を行った。ただし、本講演は ZigBee の基本部分の解説が目的であり、本委託研究については、講演の中では触れていない。(本委託研究の成果として記載した理由は、本委託研究のベースとして ZigBee を日本市場で普及させることが目的のひとつであり、その活動としての講演を記載した。)

また、正式な寄書による提案はしていないが、標準化活動として ZigBee Alliance 会合にて、本委託研究で検討中のプロファイルを、関係者と検討中である。