パーソナルエリアネットワークを実現する技術 —— Bluetooth ——

A Technology that Realize the Personal Area Network—Bluetooth—

酒井五雄[†]
Itsuo Sakai[†]

Summary

Bluetooth は 2.4 GHz 帯域を使用する「パーソナルエリアネットワーク」(後述)のための近距離無線規格で、1998 年 4 月に 1 Mbit/s の伝送速度をもつ基本仕様が発表された。本論文では Bluetooth のハードウェア、ソフトウェアの基本構成及び動作を説明し、「だれでも手軽に使うことを目指した無線規格」としての観点から、無線 LAN との競合回避、接続時間の短縮及び伝送速度高速化というこれまでの仕様更新の要点に関して述べた後、将来に向けた Bluetooth の動向を紹介する。

Key words

ユビキタス, Bluetooth, パーソナルエリアネットワーク, ISM, UWB

1. ま え が き

平成 16 年版情報通信白書の第 4 節「ユビキタスネットワーク社会の実現と課題」の中で、「ユビキタスネットワーク社会とは、『いつでも、どこでも、何でも、誰でも』ネットワークにつながることで、様々なサービスが提供され、人々の生活をより豊かにする社会である」と定義されている。更に「ユビキタスネットワーク社会では、ADSL、FTTH 等のブロードバンド回線、第 3 世代携帯電話、無線 LAN、ブルートゥース (Bluetooth) 等、ネットワークが多様化し、端末においてもテレビ、冷蔵庫や洗濯機等の家電がネットワークにつながり、電子タグ等の小型チップが様々なものに付けられるなど多様化

する」とも記述されている。

前述の白書で列挙されているネットワークの中で、Bluetooth は半径 10 メートル程度の比較的近距离の無線通信を実現する技術である。また比較的近距离のネットワークは一般に「パーソナルエリアネットワーク (Personal Area Network)」と呼ばれ、この用途に使われる無線技術としては Bluetooth のほかに Zigbee が国際標準規格として実用化されている。表 1 に「ローカルエリアネットワーク (Local Area Network)」用途とされている IEEE802.11b/g 規格の無線 LAN を加えた 3 方式の概要比較を示す。Bluetooth の伝送速度は Ver 1.1 で 1 Mbit/s であるが、後述する EDR モードなどで 2 Mbit/s、3 Mbit/s を実現する。

情報機器分野では IEEE802.11b 規格の無線 LAN が 1990 年代後半から事務所等の業務用途で使われている。一方 1998 年 4 月に、Bluetooth と呼ばれる近距離無線技術が発表され、翌年 7 月に仕様が一般公開された。仕様策定当初から民生機器搭載を目的として、低コストや低消費電力を重視していたため、情報機器や携帯電話をはじめとする関係業界が注目した。

本論文では最初に Bluetooth の要素技術について、次いで技術的変遷の概要と今後の動向について述べる。

2. Bluetooth のハードウェア、ソフトウェア技術

2.1 ハードウェア

Bluetooth は最初から量産機器への搭載を目指しているため、高周波部を歩留り良く集積化できる周波数と出力を選択することが低コスト化に重要であった。同時に伝送速度を稼ぐためには高い周波数帯域での動作が求められる。また広く民生機器に搭載されるためには無線局免許の不要な帯域が求められる。これらの条件を満足する解として国際的に工業・科学・医療分野に割り当てら

[†] (株) ビーテークー、東京都
BTQ Corporation, Tokyo, 110-0005 Japan

表 1 Bluetooth と他の無線方式の概要比較

項 目	Bluetooth	ZigBee	802.11b/g
主たる用途	データ通信 音声通信	モニタリング制御	有線 LAN のコードレス化
最大伝送速度 (Mbit/s)	1, 2, 3	0.25	11, 54
接続ノード数	7	64000	32 (推奨値)
伝送距離 (m)	Class 1 : 30 ~ 100 Class 2 : 3 ~ 10	30 ~ 100	30 ~ 100
電池寿命	○	◎	△
搭載製品	携帯電話 ハンズフリー機器 携帯プレーヤ	センサ リモコン	ノートパソコン PDA
規格名称	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4	IEEE802.11b IEEE802.11g

表 2 Bluetooth の主要緒元 (Ver 1.1)

項 目	仕 様
使用周波数	2.402 ~ 2.480 GHz
空中線出力	Class 1 : 1 mW 以下, Class 2 : 1 ~ 4 mW Class 3 : 4 ~ 100 mW
変調方式	周波数ホッピングスペクトル拡散方式 (一次変調 : 2 値 FSK 方式)
ホッピング速度	毎秒 1600 回
ホッピングチャンネル	79 チャンネル (1 MHz 間隔)
最大実効伝送速度	対称通信モード : 433.9 kbit/s 非対称通信モード : 723.2 kbit/s +57.6 kbit/s
個体識別 ID	48 bit

れている 2.4 GHz 帯で、集積回路外に終段パワーアンプの付加が不要な出力 1 mW という基本仕様が決められた。Bluetooth の無線部の主要緒元を表 2 に示す。

無線部は 2.402 GHz から 2.480 GHz まで、1 MHz ステップの 79 チャンネルを用いる FH (周波数ホッピング) タイプの SS (スペクトル拡散) 方式が採用されている。

この方式は、ある一定時間ごとに送受信の Bluetooth 機器間で、79 のチャンネルをランダムに切り換えて通信することにより、ある程度長い時間で見ると広い帯域にスペクトルを拡散できる。79 チャンネルの切換順序とタイミングが一致した送信装置と受信装置間で連続したデータ伝送が可能となる。

Bluetooth では毎秒 1600 回というこれまでに例を見ない高速ホッピングが採用され、同じ周波数帯域の他のシステム、例えばホッピング周期が毎秒 50 回の FHSS 方式の無線 LAN 等との競合によるデータ欠落を小規模に分散させることができる。これにより、両者が同時に使われても若干のパフォーマンス低下で使用が可能となる。

また家庭などでは電子レンジが妨害源となる。電子レ

ンジは電源を半波整流した 50 Hz または 60 Hz の周期で外部空間へわずかな電波が漏えいするとともに、加熱対象物やその量によってスペクトルが変動する。このため、電子レンジを使っている近傍では特定のチャンネルでのデータ転送は失敗するが、誤り再送手法によってエラーフリー伝送を実現する。

変調は通常 2 段階で行われ、まず低い周波数で FSK (Frequency Shift Keying) 変調 (一次変調) を行う。FSK 変調方式とは搬送波 f_c を中心に、周波数偏差 Δf を加えた $(f_c + \Delta f)$ を論理「1」、同じく減じた $(f_c - \Delta f)$ を論理「0」と定義するものである。なお、変調速度は 1 bit/μs である。次に、可変周波数発振器で所定の出力周波数から f_c を減じた第 2 搬送波を発生させ、これと一次変調出力とを混合器を通して合成する (二次変調)。この可変周波数発振器は、625 μs ごとに合成後の出力周波数が 2.402 GHz から 2.480 GHz の 1 MHz ステップとなる周波数をベースバンド処理部 (後述) からの指示で発生する。空中線出力は標準タイプで 1 mW、コードレス電話親機のように据置機器用には高出力タイプとして送信出力制御付きの 100 mW まで、更に 1 mW 未満の 3 クラスが規定されている。これらの値は日本では無線局免許及び無線従事者免許が不要ないわゆる特定小電力機器の範囲内となっている。

実用使用範囲は標準タイプで半径 10 m 程度を想定している。そして、最大実効伝送速度は対称通信モードで 433.9 kbit/s、非対称通信モードで 723.2 kbit/s と 57.6 kbit/s である。また、音声伝送モードとして 64 kbit/s が規定されている。また、Bluetooth モジュールの個体識別には IEEE802 で規定・管理されている MAC アドレスが製造段階で組み込まれて ID (Identification) として用いられる。

Bluetooth は図 1 のように 2.4 GHz 無線部、ベースバンド処理部、リンクマネージャの 3 機能ブロックから構成されるモジュールが、高周波特性を管理されて供給さ

図1 Bluetooth モジュール

れ、多くの機器はこのようなモジュールを搭載している。当初は無線部はアナログ IC、他の2機能ブロックはソフトウェアで処理するためのMPU (Micro Processor Unit) ベースのセミカクタム IC、そしてプログラム格納のためのROMの3チップで構成されていた。2001年末あたりから2.4 GHz 無線部にも対応できるアナログデジタル混在プロセスでの量産化が主流となって、1個のICとROM (Read Only Memory) から構成される小型化モジュールが一般化した。

2.2 ピコネット (Piconet)

電波という目に見えない通信路を不特定多数の機器で有効に使うためには、割当周波数内で互いに独立した複数の通信路として多重利用する仕組みが必要となる。FHSS方式ではホッピング周波数の切換順序とそのタイミングが一致することで1組の無線機器の通信路が形成される。FHSS方式で周波数帯域を多重化利用するためには、複数のホッピングチャネル切換パターンを決めて、干渉距離にある対向機器ペア間では異なる切換パターンを設定することが考えられる。しかしこれは固定設置機器が主体の無線方式では許容できても、携帯情報機器という持ち運ばれるものへの搭載を目指すBluetoothには適さない。このためBluetoothでは「ピコネット」と呼ばれる独創的な手法で通信路を形成する仕組みを備えている。

「ピコネット」では、図2のような1台のマスタと7台までのスレーブから構成される機器群が共通の通信路を用いるネットワークとなる。電源投入後、すべてのBluetoothは「Standby (待機)」状態で定められたチャネルを受信している。ここである機器のBluetoothがその上位のシステムよりマスタとしての設定がなされると、図3に示すようにマスタは周囲のBluetoothを探す「Inquiry」動作を行う。定められたパケット構造により、これを認識したBluetoothはマスタに対して自己のID (固有アドレス) 情報を送る。なおこの際、個々のBluetoothは電源投入時からの内部クロックカウントをもとにして受信チャネルを決定している。このため、マスタが送信チャネルを切り換えて「Inquiry」動作を繰り返す際に、マスタの送信チャネルと待受け受信チャネルが一致したスレーブだけが、その送信チャネルに対応した応答タイミングで応答する。このように受信チャネルを分散させることで、マスタの呼びかけに複数のス

図2 ピコネット

図3 Bluetoothの状態遷移(マスタ側)

レーブの同時応答による電波の衝突発生を低減している。更に同じ受信チャネルの複数のBluetooth機器がマスタの呼びかけに応答する場合を想定して、それぞれ内部で発生した乱数によって応答タイミングを遅延させることで、衝突確率を低減する仕組みとなっている。

マスタ機器は一定時間このような「Inquiry (探索)」動作を行ってリスト表示する。使用者はそこから接続する機器を最大7台まで指定できる。このようにしてマスタ機器は最大7台のスレーブ機器との間で「ピコネット」を形成する。スレーブ機器は、マスタ機器からビーコンと呼ばれる信号を受信しており、常に送受信に備えて内部クロックをマスタ機器に同期させている。また、マスタ機器の指示によってピコネットの状態を保持して低電力待機モードに遷移させることができる。3種類の低電力待機モードはどれも動作停止状態から内部タイマで一定期間ごとにビーコン及び復帰コマンドの受信動作のみを行い、自己への呼びかけがなければ再度動作停止状態に戻ることを繰り返すもので、受信復帰までの周期が長い順に「Park」「Hold」「Sniff」が定義されている。当然、間欠的な受信動作が長いほど平均消費電力値は低くなる。このように3種類の低電力待機モードを規定することで、マスタ機器側のアプリケーションプログラムによって、最も適した選択ができるように配慮されている。

2.3 セキュリティ

マスタ機器がピコネット上のスレーブ機器に対して通信を最初に始める場合は、「Page (呼出し)」モードに

よって特定のスレーブ機器を指定する。このモードではマスタ機器から乱数を送り、スレーブ機器はこれと自己の ID とを定められたアルゴリズムで演算する。こうして得られた結果をマスタ機器に送り返し、同時にマスタ機器においても送信した乱数とリストに登録されたスレーブ機器 ID を用いて同じアルゴリズムで生成された結果と照合してスレーブ機器の認証を行う。ここで重要なのは、ID はユーザレベルでは書換えできないことと、乱数や演算結果はアプリケーションなどの上位システムから読み取る、あるいは書き換えることができないため、認証の安全性が確保されている点である。

この認証に成功すると「Connect (接続)」モードを経て図 3 の状態遷移図の「Transmit (送信)」モードに移行する。この際、伝送データを保護するための暗号化伝送もマスタ機器のアプリケーションによっては指定可能である。暗号鍵としてはマスタ機器から送られる 128 bit の初期コードと通信ごとの乱数及びスレーブ機器 ID を定められたアルゴリズムで演算した結果を用いる。この結果、個々のスレーブごとのみならず同じスレーブ機器に対しても「Connect (接続)」を経るごとに新しい暗号鍵が生成されて、データのセキュリティを確保している。

「Transmit」モードでは図 4 に示すようにホッピング周期 1600 回/秒の逆数である $625\ \mu\text{s}$ がフレームと呼ばれる基本単位となっている。前述のとおり、フレームごとに 79 チャンネルのうち、一つのチャンネルが切り換えて利用される。伝送内容は用途によって様々なため、図 4 に示す 1 フレーム/パケットの伝送パターンのほかに、3 フレーム/パケット、5 フレーム/パケットの合計 3 種類が定められている。表 1 の最大伝送速度及び表 2 の最大実効伝送速度は 5 フレーム/パケットの場合に得られる。

パケット長は、長ければ長いほど伝送速度は向上するが、一方で誤り環境下では誤り検出によるパケット再送頻度が高くなり、実効伝送速度が著しく低下する。このため、マスタ側アプリケーションプログラムが常に伝送品質を監視することによって、その状態で最も実効伝送速度を高くできるパケット長に切り換えて使うのが効果的である。

図 4 送信タイミング

3 Bluetooth の変遷

3.1 AFH (Adaptive Frequency Hopping)

IEEE802.11b/g 規格の無線 LAN は Bluetooth と同じ周波数帯域に中心周波数 2412 MHz から 6 MHz 間隔で 11 チャンネル（日本では旧 ISM 帯域と連結使用すれば 14 チャンネル）を使用している。近くに設置された互いに独立した無線 LAN 機器システムは、最低 5 チャンネル離れたチャンネルを使わないと、無線 LAN システム間での周波数競合が発生する。一方初期の Bluetooth は無線 LAN との間で、すべての無線 LAN チャンネルにおいて周波数競合が発生した。

そこで 2003 年 11 月に特定のチャンネルを避けてホッピングする AFH (Adaptive Frequency Hopping) 機能を盛り込んだ Bluetooth 仕様 V1.2 が発表された。

AFH は、Bluetooth の 79 ホッピングチャンネルの特定チャンネルだけを使って通信を行う機能である。使用チャンネル決定の具体例としては、使用者がマスタ機器側のユーティリティに無線 LAN で使っている周波数またはチャンネルを入力することで、それを避けるように Bluetooth の使用チャンネルを決める方法が製品化されている。

従来は 2402 MHz から 2480 MHz までの 1 MHz おきの 79 チャンネルを、仕様に基づいた擬似的にランダムなチャンネル切換 (ホッピング) パターンで通信した。使用周波数チャンネルすなわちホッピングパターンは全帯域を均一に利用するため、無線 LAN との周波数競合が起こって互いにパフォーマンスが下がることがあった。

仕様 V1.2 の AFH 機能によれば、無線 LAN と Bluetooth 機器との周波数競合を避けることができる。図 5 に AFH 動作させた Bluetooth の出力波形をスペクトルアナライザで測定した一例を示す。また図 6 に IEEE802.11b 規格の無線 LAN の出力測定例を示す。どちらも横軸は中心周波数が 2.441 GHz で表示間隔が 10 MHz/div である。

図 5 の例では、空いているように見える中央部分は、無線 LAN のためにホッピングを避けるようチャンネル設定して動作させている。図 6 と対比させて見れば、両者の動作周波数が分離されているのが分かる。

使用を避けるチャンネルが増加すると、Bluetooth がデータ伝送に使うチャンネルが減る。しかし、周波数ホッピング方式のスペクトル拡散方式が成立するためにはある程度のチャンネル数が必要である。Bluetooth では最低ホッピングチャンネルを 20 としている。

図 7 に無線 LAN との周波数共用例を示す。無線 LAN を同一空間で最大限利用する場合、周波数競合を避けるために無線 LAN チャンネルを 1, 6, 11 に設定す

図5 AFH動作させたBluetoothの出力

図6 IEEE802.11b規格の無線LANの出力

図7 複数の無線LANシステムと空き周波数領域

る必要がある(3システム同時利用)。この場合、各無線LANチャネルの間、及びチャネル11よりも高い周波数帯域に未使用部分があり、これらの合計が約20チャネルとなる。

更にFCC247.15及び欧州のEN300328規格で周波数ホッピング方式のスペクトル拡散方式の必要要件として最低ホッピングチャネル数がそれぞれ15、20と定められていることから、両規格を満たす値として20が採用されている。

3.2 接続時間短縮機能

(1) First FHS

Bluetooth仕様V1.1以前では、最初に周りのBluetooth機器の存在を探索する「Inquiry」パケットを認識しても、その直後の応答スロットでは応答が保留されていた。これは多くのBluetooth機器の存在を想定し、各機器が内部で発生させた乱数に定数を掛けた時間後の応答スロットで応答することで、応答タイミングを分散させるのがねらいであった。

しかし仕様V1.2では図8に示すように、最初の応答スロットにも応答を許すことで、応答するBluetooth機器が少ない場合の応答時間短縮を図った。仮に複数のBluetooth機器が同時に応答して衝突しても、各機器が内部で発生させた乱数に定数を掛けた時間後の応答スロットへの応答を複数回繰り返す。したがって同じ条件

図8 Inquiryへの応答タイミング

下では仕様V1.1以前の機器の接続時間より短縮される。

(2) インタレースドスキャン

BluetoothはInquiry過程では特定の32チャネルを使うことが仕様で定められている。そして電源が投入されたBluetooth機器はその32チャネルのうち、内部パラメータから仕様に基づいて算出した特定の1チャネルで間欠受信を行っている。

一方、Inquiryを行うBluetooth機器は仕様に基づいて32チャネルの並べ換え処理を行い、並び順で前半(A)と後半(B)の2群に分ける。そして仕様V1.1以前では、図9のように2.56秒ごとに片方の群を繰り返し続けて送出した。このため、たまたまA群に属するチャネルで受信しているBluetooth機器は最初の2.56秒の間に検索パケットが受信できる。しかし反対に、B群に属す

図9 仕様 V1.1 以前のスキャン方式

図10 仕様 V1.2 のインタレースドスキャン

るチャンネルで受信している Bluetooth 機器は最初の 2.56 秒の間には絶対に検索パケットを受信できない。

それに対して仕様 V1.2 では図 10 に示すように A, B の 2 群のチャンネルを交互に使用して検索パケットを送る。このため A 群及び B 群のどのチャンネルも最初の 2.56 秒で検索パケットの送出に使われる。したがっていかなる受信チャンネルで待機している Bluetooth 機器でも早い段階から待機チャンネルでの検索パケットが送出される。

ここで仕様 V1.1 の機器との接続高速化効果を考えてみる。First FHS を「送出」できるのは仕様 V1.2 以降の Bluetooth 機器であるが、First FHS の「受信」は全仕様で可能である。したがって探索側が仕様 V1.1 以前の機種であっても応答側機器が仕様 V1.2 以降のものであれば、First FHS による応答及び接続の高速化の恩恵が受けられる。一方インタレースドスキャンは送出側が仕様 V1.2 でなければ対応できないが、受信側は仕様 V1.1 以前のものでも恩恵が受けられる。

このように仕様 V1.2 の First FHS とインタレースドスキャンの両方を用いれば、送受どちらが旧仕様であっても応答及び接続高速化機能の一方の恩恵を受けることができる。

3.3 データ伝送速度の高速化

(1) $\pi/4$ シフト DQPSK による 2 Mbit/s 伝送モード

かねてから Bluetooth のデータ伝送速度の向上を望む声は強かった。これにこたえて 2004 年 11 月に Bluetooth 仕様 V2.0+EDR が発表された。EDR は

図11 $\pi/4$ シフト DQPSK 変調

Enhanced Data Rate の略で、V1.2 以前の仕様のデータ伝送速度 1 Mbit/s を改善したことを意味するネーミングである。

この伝送モードはこれまでの Bluetooth 仕様 V1.1, 及び V1.2 と接続互換性を保持している。そのため、探索、接続及びデータ送信パケットのヘッダ部分は従来と同じ 2 値 GFSK 方式で変調する。あらかじめネゴシエーション段階で互いに V2.0+EDR 対応 Bluetooth と確認できた場合には、パイロードと呼ばれるデータ通信ブロックだけを $\pi/4$ シフト DQPSK 変調で送受信する。

$\pi/4$ シフト DQPSK は 4 値の位相変調方式で、図 11 に示すように位相偏移は $\pm \pi/4$ あるいは $\pm 3\pi/4$ となる。また、図の中心部の矢印のように、位相が $\pi/4$ ズれた 2 組の変復調ポイント ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$) と ($45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$) を交互に使って (0, 0) から (1, 1) の 4 値に対応させる。この複雑な手順の見返りに、単純な DQSPK に比べ、変調後及び復調前の増幅回路の直線性など諸性能への要求が緩和される。

(2) D8PSK による 3 Mbit/s 伝送モード

この伝送モードでも 2 Mbit/s 伝送モードと同様、パイロードと呼ばれるデータ通信ブロックだけを必要に応じて D8PSK 変調で送受信することで、これまでの Bluetooth 仕様 V1.1 及び V1.2 と接続互換性を保持している。この D8PSK は図 11 で示した 8 個の変調ポイントを (0, 0, 0) から (1, 1, 1) の 8 値に対応させる変調方式である。

Bluetooth のロゴ認証規定で、仕様 V2.0+EDR は $\pi/4$ シフト DQPSK による 2 Mbit/s 伝送モードのサポートは必須項目となっている。一方 8DPSK による 3 Mbit/s 伝送モードはオプション (任意) 項目と規定されている。

(3) 仕様 V2.0+EDR に向けた用途

$\pi/4$ シフト DQPSK による 2 Mbit/s 伝送モード及び D8PSK による 3 Mbit/s 伝送モードは、今後の音声・音楽応用製品で伝送品質の向上に寄与するものと期待され

図 12 Bluetooth と UWB の融合概念図

ている。もちろん通常のデータ伝送でも、伝送速度が速いことがよいというまでもない。

この伝送モードによって単位時間当りの伝送量が増加するため、携帯電話と外部機器との間のマルチプロファイル接続（例えば音声通話とデータ通信または音楽伝送の同時送受信）も可能となった。

4. 今後の動向

4.1 Bluetooth と UWB との融合

Bluetooth の技術面で今後期待されるのは UWB (Ultra-Wideband) とのコラボレーションである。発表された資料によると既存の Bluetooth の最下位層部分に、Multiband-OFDM Alliance (MBOA) が推進している MB-OFDM (MultiBand Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式の UWB 無線部を追加した図 12 に示す構造となっている。

これによると、従来仕様の Bluetooth 機器とは完全互換を保ちつつ、UWB の下位層を有する Bluetooth 機器間ではデータ伝送量の比較的多い用途で、既存の Bluetooth プロファイルを UWB にも使うことを目指していることが読み取れる。

Bluetooth SIG では、Bluetooth と MB-OFDM 方式の UWB との融合を実現するための技術的検討グループで、既存の仕様を最大限生かすことを念頭に置いて仕様改定作業を行っている。Bluetooth と MB-OFDM 方式の UWB との融合規格は Bluetooth V3.0 と名づけられ、2007 年末に仕様書ドラフト版が公開される予定となっている。

5. む す び

本論文で Bluetooth の生い立ちから今後の動向を簡単

に紹介した。今日の主要な Bluetooth 機器の応用分野は携帯電話、自動車搭載オーディオ/ナビゲーションシステムで、既に身近な存在となっている。これは音声・音楽伝送用途には現状の伝送速度で十分実用に供することが可能なためである。

しかし今後は動画像伝送機器のワイヤレス化が期待されている。この要求は様々な無線規格に広く求められているが、Bluetooth では UWB との融合で解決を図っている。1 日も早く Bluetooth V3.0 仕様が完成し、それを搭載した製品の実現が待たれる。

文 献

- [1] 総務省(編), 平成 16 年版情報通信白書, July 2004.
- [2] Bluetooth SIG, "Bluetooth core specification V1.1," Nov. 2002.
- [3] Bluetooth SIG, "Bluetooth profile specification V1.1," Nov. 2002.
- [4] Bluetooth SIG, "Bluetooth version 1.2 core specification, Volume 2," Nov. 2003.
- [5] Bluetooth SIG, "Qualification program reference document, Revision 1.0," Feb. 2002.

(平成 19 年 3 月 26 日受付, 6 月 5 日再受付)

酒井 五雄

▶ 1976 名古屋大学大学院工学研究科電気専攻修士課程了。同年(株)東芝入社。パソコン、日本語ワードプロセッサ、PHS 内蔵 PDA 等の開発を経て現在(株)ビーテークューへ出向中。