

ハードウェア全般 (HDD/SSD、USB、無線 LAN/WiFi)

パソコン勉強会 2015 (H27).3.22

2014(H26).11.17 2015(H27).4.11 T.Ogawa

2008 (H20) 以降 10 数回「パソコン勉強会」を担当してきましたが、ハードウェア関連のテーマは初めてなので何を取り上げてよいのか迷いました。

とりあえず 1 章の「HDD と SSD」と 2 章の「USB」は明らかにハードウェア関連です。
3 章の「無線 LAN と Wi-Fi/Wi-Gig」はソフトウェアでないからハードに入れちゃえ・・・、
4 章の「Bluetooth と NFC」は USB と同様に接続に使うのでハードウェアに入れちゃえ・・・、
というわけで今回の目次ができ上がりました。

今回も座学だけになるので、睡魔との戦いになりますので悪しからずお願いいたします。

目次

- 1. HDD と SSD 1
 - 1.1. HDD (ハード ディスクドライブ) 1
 - 1.2. SSD (ソリッド ステートドライブ) 2
 - 1.3. SSD、HDD、ハイブリッド HDD の比較 6
 - (参考) eMMC はタブレットやスマホで使用 6
- 2. USB のバージョン (USB1.1、USB2.0、USB3.0、USB3.1) 6
 - 2.1. USB 各バージョンの最大転送速度と供給電力 7
 - 2.2. USB のロゴマーク 7
 - 2.3. USB のコネクタと USB ケーブル 8
- 3. 無線 LAN と Wi-Fi/WiGig 10
 - 3.1. 無線 LAN、Wi-Fi/WiGig の違い 10
 - 3.2. 無線 LAN (IEEE802.11) の規格と理論速度 10
 - 3.3. 無線 LAN (IEEE802.11) の実効速度 (スループット) 11
- 4. 近くにあるデバイスの無線接続 (Bluetooth、NFC) 13
 - 4.1. Bluetooth 13
 - 4.1.1. Bluetooth の概要と分類 14
 - 4.1.2. ペアリング (Pairing) 15
 - 4.2. NFC と FeliCa 16



1. HDD と SSD

1.1. HDD (ハード ディスクドライブ)

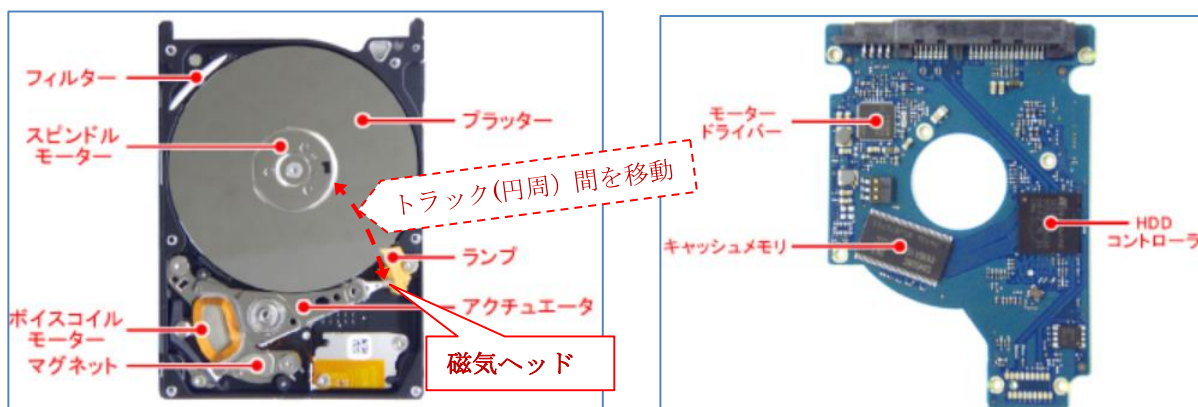
世界初の磁気ディスク装置は 1956 年に IBM 社が製品化した直径 24 インチ (60cm) × 50 枚の IBM305 RAMMAC で容量は 4.8MB、図のように大型冷蔵庫 2 台分のサイズ、3,600 万円前後 (¥360/\$) でした。



PC 用の HDD は 1980 年にシーゲート社が製品化した 5.25 インチ (13cm 強) × 2 枚の ST-506 で容量は 5MB、約 34 万円 (¥226/\$) で 24 年間で百分の一以下の価格になった。

その後 HDD の小型化 (※1) と大容量化 (※2) が進んでいて、今でも PC の二次記憶装置 (※3) として不動の地位を保っているが、2~3 年後には急激に低価格化している SSD に置き換わると思われる。

- ※1) 3.5 インチ (主にデスクトップ)、2.5 インチ (主にノート)、1.8 インチ、既に製造中止になった 1.3 インチ、1 インチ、0.85 インチ
- ※2) 3.5 インチ HDD を例にとると、2005 年に 500GB、2007 年に 1TB、2009 年に 2TB、2011 年に 4TB、2013 年に 6TB と 2 年ごとに 2 倍に大容量化している
- ※3) CPU が直接アクセスできる高速の記憶装置を一次記憶装置 (主記憶装置)、CPU が直接アクセスできない大容量の記憶装置を二次記憶装置 (補助記憶装置) と言う。



【図 1】 HDD の内部構造

(Logitec 社サイトより、http://www.logitec.co.jp/data_recovery/column/vol_007/)

HDD は鏡面状に磨かれた円盤 (直径 2.5 インチ / 3.5 インチ) に磁性体を蒸着した磁気ディスクに情報を磁気記録している。この磁気ディスクは 5400rpm (秒速 90 回転 : 2.5 インチ HDD の線速度 ≒ 内周 32Km/h ~ 外周 63Km/h) / 7200rpm (秒速 120 回転 : 2.5 インチ HDD の線速度 ≒ 内周 42Km/h ~ 外周 84Km/h) で高速回転している。

磁気ディスク表面に情報を読み書きする磁気ヘッドは、磁気ディスクの回転で生じる空気流により磁気ディスク表面からわずか ($2 \text{ n}^{\text{ナノメートル}} \text{ m} = \text{百万分の } 2\text{mm}$) だけ浮上してトラックの間を移動している。

この超精密で高速な機構のため HDD に少しの振動や衝撃が加わるだけで、高速回転する磁気ディスクと磁気ヘッドが接触して HDD の心臓部が破損するので、パソコンの動作中には振動や衝撃を与えてはならない。

また HDD での読み書きには機械的な動作 (※4) を伴うので、平均 20 ミリ前後とアクセスタイムが長いという短所がある。

- ※4) アクセスタイムは、①磁気ヘッドが目的トラックに移動するシーク時間（平均 15 ミリ秒前後）、②目的データが磁気ヘッド位置まで回転してくるサーチ時間（平均 5 ミリ秒）、③データが磁気ヘッド位置を通過する読み書き時間（1 ミリ秒）からなる。

1.2. SSD（ソリッド ステートドライブ）

SSD（Solid State Drive）は、NAND型フラッシュメモリ（※5）を用いた二次記憶装置である。SSD は HDD のような機械的な動作（シークやサーチ等のアクセスタイム）がないため、HDD より 5 ～15 倍程度高速である。このためパソコンの立ち上げ／立ち下げ、アプリケーションの起動／終了、データのコピー／移動等を高速化できる。

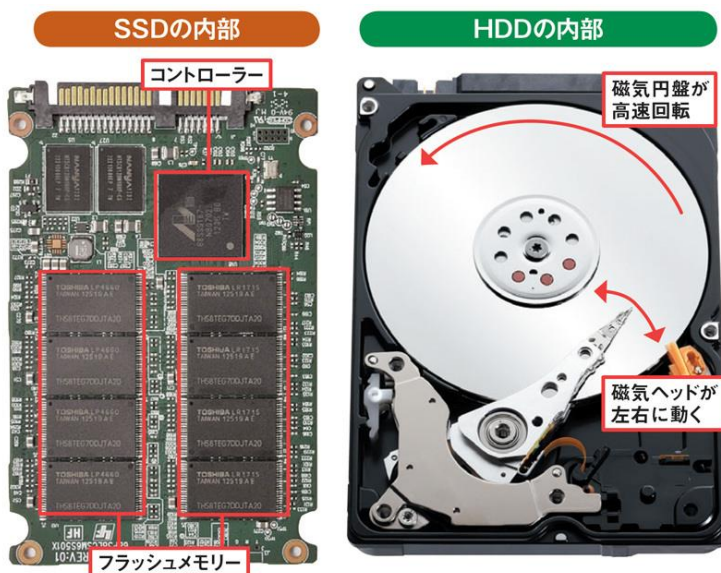
- ※5) NAND 型フラッシュメモリは、大容量が容易で読み書きが速いのでストレージ（SSD、USB メモリ、SD カード等）として使用される。

（参考）NOR型フラッシュメモリは、読み出しが早くデータ保持時間が 10 年以上もあるため BIOS、マイコン応用機器等のファームウェア用の ROM として使用される。

SSD で記憶機能を担っている NAND 型フラッシュメモリは、USB メモリ、メモリカード（SD、Mini SD、Micro SD 等）で使われている半導体不揮発性メモリ（※6）である。

- ※6) 半導体不揮発性メモリは、メモリへの電源を切っても記憶した情報を保持し続ける半導体メモリを言い、ROM、フラッシュメモリ等がある。

（参考）なお半導体揮発性メモリは、電源を供給し続けないと記憶情報を保持できない半導体メモリを言う。これには定期的なリフレッシュ動作が必要な DRAM（Dynamic Random Access Memory）、フリップフロップ電源が必要な SRAM（Static Random Access Memory）等がある。



【図2】SSD の内部構造と HDD の内部構造の比較

（日経 BP 社）

<http://pc.nikkeibp.co.jp/article/knowhow/20140926/1143603/?P=5>

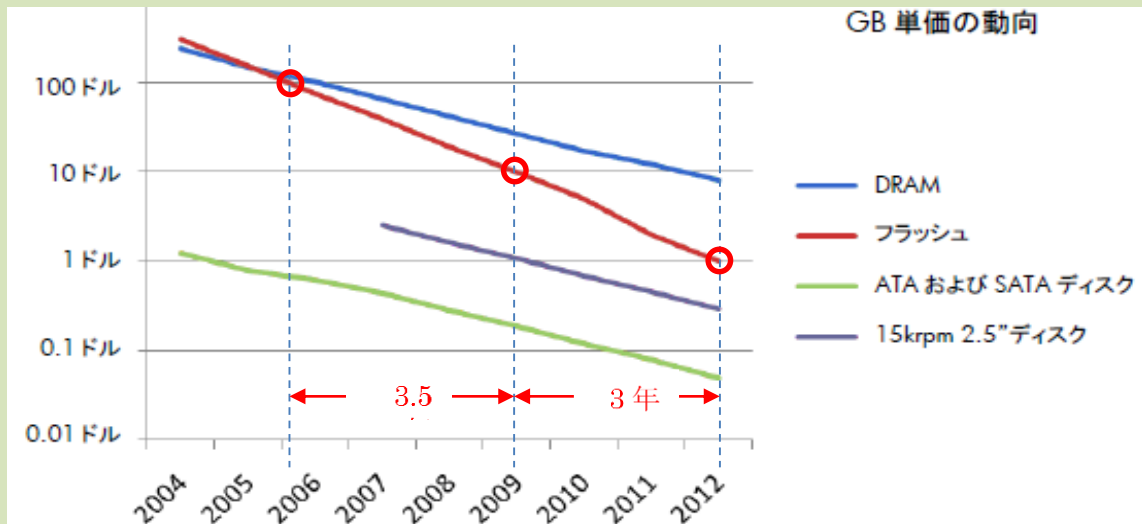
1) 2016 年初には 1TB の SSD が 1.5 万円前後に値下がりか？

SSD の短所は高価（2015/02/05 現在 1TB が¥47,000～）であると言われているが、下図グラフからの推定では 2015 年末には 1TB のフラッシュメモリが¥12,000 程に値下がりする。このため 2016 年初には 1TB の SSD は¥15,000 前後になり、HDD に対して格段に高いと言われなくなると考える。

(参考) 今はまだフラッシュメモリが高価なため、8GB 程度のフラッシュメモリをキャッシュメモリとして使用し、情報は HDD に保存する「ハイブリッド HDD」と称する HDD が販売されている (1TB の HDD+8GB のフラッシュメモリで¥10,000 強)。
しかし急速なフラッシュメモリの価格低下を考えればこれは過渡期的な商品と考える。

【フラッシュメモリの価格予想】

← 筆者の独断と偏見による予想です



【図 3】フラッシュメモリ、DRAM 等の価格動向

(HP 社 Web サイト「HP Storage Works アレイ用 SSD に関するホワイトペーパー」の「将来の展望」ページの「価格の動向」より)

<http://h50146.www5.hp.com/products/storage/whitepaper/pdfs/4AA2-4509ENW.pdf>

SSD はフラッシュメモリ 1GB が 1 ドルを割り込んだ 2012 年あたりから普及し始めた。

グラフ (図 3) から推定すると、SSD で使用するフラッシュメモリ 1TB が 2015 年末には 100 ドル (120 円/ドル換算で 12,000 円) 前後になると筆者は予想する。

フラッシュメモリの価格低下は、回路の微細化の技術とメモリセルの多値化^(※7)の技術とにより高集積化することで実現している。

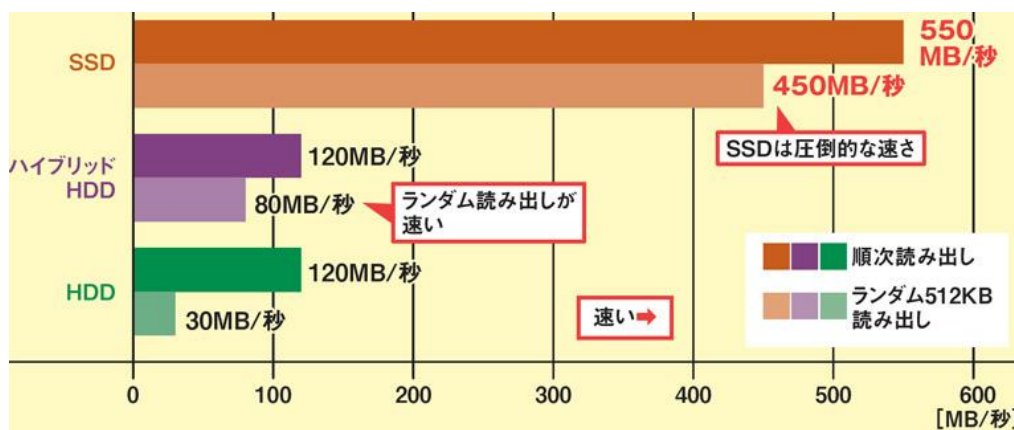
(予測) グラフよりフラッシュメモリ 1GB 単価は 2006 年始めに 100 ドル/GB、2009 年中頃に 10 ドル/GB、2012 年中頃に 1 ドル/GB であり、3 年強で 10 分の 1 に値下がりしている。これを **2015 年末には 0.1 ドル/GB になると予測できる。これを使用した 1TB の SSD は少し遅れた 2016 年初に約 15,000 円前後**に値下がりすると予想できる。

(追記) 2015/02/28 現在の「価格コム (<http://kakaku.com/pc/ssd/>)」での 2.5 インチ SSD の 512GB 価格 (トップ 10) は 22,000~29,000 円であり、1000GB 価格 (トップ 10) は 47,000~72,500 である。

※7) メモリセルの多値化とは、1 個のメモリセル (記憶素子) で記憶する bit 数の増加を言い、1 個のメモリセルで 1bit 記憶 (電子量が 2 段階) の ^{エスエルシー}SLC、2bit 記憶 (電子量が 4 段階) の ^{エムエルシー}MLC (MLC-2)、3bit 記憶 (電子量が 8 段階) の ^{ティーエルシー}TLC (MLC-3) がある。民生用 SSD では主に 2bit 記憶の MLC (サムソン製は TLC) が用いられ、既に普及期にある産業用の SSD では SLC が用いられている。また USB メモリや SD カード類は 3bit 記憶の TLC (MLC-3) を使用している。

2) SSD の特徴

① SSD は HDD やハイブリッド HDD より圧倒的に速い



【図3】SSD、HDD、ハイブリッドHDDの速度

(日経BP社Webサイト「SSD&HDD完全理解」の2/7頁)

日経PC21(2014年11月号)の記事を2014/12/5にWeb公開したもの

<http://pc.nikkeibp.co.jp/article/knowhow/20140926/1143603/?P=2>

連続で記録されたデータを読み出すシーケンシャル読み出しは HDD/ハイブリッドHDDの4.6倍(550MBs/120MBs)速い。

不連続で記録されたデータを読み出すランダム読み出しは HDDの15倍(450MBs/30MBs)速く、ハイブリッドHDDの5.6倍(450MBs/80MBs)速い。

② SSDは大容量のものほど書き込み速度が速い

SSD内のコントローラが書き込みデータを複数のフラッシュメモリに並列に書き込むので、大容量のSSDほど並列書き込みするフラッシュメモリが多くなり書き込み速度が速い。

③ SSDは空き領域が少ないと上書き速度が低下する

上書き時は元の領域を一次的に使用不能にした状態で別の領域に書き込み、元の領域に書き込めるように回復(記憶で保存した電子を抜き取り)するまでに時間を要する。そのため上書きを繰り返すと使用可能な領域が不足して上書き速度が低下する。

④ NAND型フラッシュメモリのメモリセルには寿命(書き込み回数に上限)がある

フラッシュメモリのメモリセル(記憶素子)は書き込みにより劣化するので、消去・書き込みを1万回程度行くと以後の書き込みが不能^(※8)になる。

この弱点を補うため、SSDではフラッシュメモリ全体の書き込み寿命を延ばす工夫^(※9)をしているので、一般的な使用ではSSDの寿命を考える必要はないといわれている。

※8) NAND型フラッシュメモリのメモリセルは、書き込みデータを電子の量に変換して絶縁体で保持し記憶している。この絶縁体は書き込み時に貫通する電子で傷つき、ある書き込み回数に達すると電子を保持できなくなり書き込みが不能なる。

企業機密のためメーカーは公表しないが、^{ウィキペディア}Wikipediaの「NAND型フラッシュメモリ」の記事によると、民生用SSDで用いているMLCの消去・書き込みは1万~2万回程度が上限で、事業用SSDで用いているSLCの消去・書き込みは10万回程度が上限らしい。

微細化し多値化したMLCはメモリセルの書き換え寿命が数千回程度と言われていたが、各種の技術改良により現在では2万回~3万回に長寿化したeMLC(enterprise MLC)が出てきた。

※9) SSD 内のコントロールチップにはフラッシュメモリ全体の寿命を延ばすための「ウェアレベリング」機能が備わっている。これはフラッシュメモリ内の各ブロックの書き換え回数を監視し、最も書き換え回数が少ないブロックにデータを書き込む機能である。これによりブロック間の書き換え回数を平準化して特定のブロックへの書込みの集中を防いで、フラッシュメモリ全体の寿命を使い切ることができるようにしている。

【2015/04/11 修正】 2014/11/17 付け資料の 5 頁 7 行～21 行を次のとおり修正した

SSD (タブレット用の eMMC を含む)は「ディスクデフラグ」による高速化効果が皆無に近いばかりか、膨大な書込みにより SSD の書込み寿命を短縮の弊害がある。このため SSD を使用するシステムでは「ディスクデフラグ」の自動実行を禁止する必要がある。

SSD を使用する Windows PC / タブレットでは次によりディスクデフラグの自動実行をオフにすることをお勧めします。

【Win. Vista】 [ディスクデフラグツール] の自動実行機能を**手動でオフ**にすること。

[コンピュータ] → C:を右クリック → [プロパティ] → [システム] → [最適化する] → [続行] → [スケジュールどおり実行する] の**チェックを外す** → [OK]

【Win. 7】 SSD と識別すると [ディスクデフラグツール] の自動実行機能が自動的にオフになる。

【Win. 8 以降】 [ドライブのデフラグと最適化] の自動実行が**デフォルトでオン**でる。

これにより HDD の場合は従来の [ドライブデフラグ] を行う。SSD と識別した場合は [ドライブの最適化] を行ってトリム (刈り取り) その他の SSD 高速化のための処理を行う。

⑤ **フラッシュメモリのメモリセルはデータの保持期間が短い**

データの保持期間とはメモリセルで記憶データを正確に保持し続けられる期間^(※11)を言う。メモリセルに書き込まれたデータは、SSD の動作 / 非動作、電源のオン / オフに関係がなく劣化し続けるので、2 年半程度で正確に読み出すことができなくなる。

この弱点を補うため、SSD では時間経過によるデータ劣化を防止する工夫^(※12)をしている。

※11) NAND 型フラッシュメモリでは、書込みデータを電子の量 (電圧) としてメモリセルに蓄えている。蓄えられた電子は SSD の動作 / 非動作や電源のオン / オフに関係なく漏れ続けているので、長期間保存されたデータを正確に読み出すことができなくなる。

民生用 SSD で用いている NAND 型フラッシュメモリの MLS では書き込んでから 2.5 年前後でデータを正確に読み出せなくなり、事業用 SSD で用いている SLC では書き込んでから 9 年前後でデータを正確に読み出せなくなる。

※12) SSD 内のコントロールチップにはメモリセルのデータ劣化を防ぐための機能が備わっている。これは現在主流になっている「スタティック・ウェアレベリング」機能で行われるもので、書き換え頻度の少ない静的データ (OS やアプリ等) のブロックも「ウェアレベリング」の対象にするものである。

また NAND 型フラッシュメモリでは読出しデータを ECC (誤り制御文字) チェック & 修正していて、そのチェックで既定 bit 以上の誤り (例: 512B ブロック中 10bit)

を検出した場合は、そのブロックのデータを別のブロックに書き込むことでデータをリフレッシュしている。

1.3. SSD、HDD、ハイブリッドHDDの比較

これまで説明してきた SSD、HDD（ハイブリッドHDDを含む）の特徴をまとめると次表のようになる。

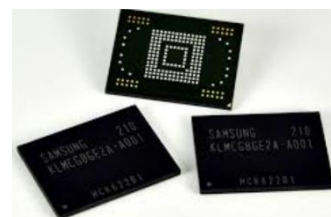
	SSD	HDD	ハイブリッドHDD
1TB (2.5 ｲﾝﾁ)	× 高い (¥47,000 から)	◎ 安い (¥6,500 から)	若干高い (¥11,500 から)
記憶容量(2.5 ｲﾝﾁ)	最大 1TB	最大 2TB	最大 1TB
アクセスタイム	◎ 格段に速い	× 遅い	△ ランダム読出しが HDD より速い
耐衝撃、耐振動	◎ 強い	× 弱い	× 弱い
書き換え回数	△ 制限あり	◎ 制限回数なし	◎ 制限回数なし
消費電力	◎ 小さい	△ 大きい	△ 大きい
発熱量	◎ 少ない	× 大きい	× 大きい
動作音	○ 動作音なし	△ 動作音あり	△ 動作音あり

* 価格、最大容量は価格コム (<http://kakaku.com/>) での 2015/02/05 現在の数値

(参考) eMMC はタブレットやスマホで使用

eMMC は、文字どおり埋め込み型のマルチメディアカードであり、NAND 型フラッシュメモリとコントローラをパッケージ化して、JEDEC が規格化した埋め込み型のインタフェースを採用している。

eMMC は小型で省電力であり、省スペースであることからタブレットやスマホの二次記憶装置として普及している。また SSD のように耐久性の向上策やデータ保持性能の向上策を持つコントローラを内蔵する製品が多い。ただ SSD と比べると読み書き速度が遅いという欠点がある。



2. USB のバージョン (USB1.1、USB2.0、USB3.0、USB3.1)

ユニバーサル シリアル バス
USB (Universal Serial Bus) とは、コンピュータ等の情報機器に周辺装置を接続するためのシリアルバスの規格である。

USB の仕様は規格統一のために特許登録されているが特許使用料は無料である。しかしベンダーID の申請・登録を行うことで類似規格の乱造乱立を防ぐために特許自体は存続している。

USB は、200 社近くの企業が参加する NPO の USB-IF (インプレメンター フォーラム USB Implementers Forum、USB 開発者フォーラム) が仕様を策定し管理している。

USB 規格は最大転送能力の向上など、USB1.1 から USB3.1 まで拡張されていて上位互換である。

2.1. USB 各バージョンの最大転送速度と供給電力





USB1.0、USB1.1、USB2.0、USB3.0、USB3.1 の主な仕様は次表のとおりである。

Ver.	仕様発行	最大転送速度	供給電力	伝送距離	主な変更事項
USB1.0	1996/01	12Mbps	?	?	
USB1.1	1998/09	12Mbps	150mA		・電源管理等の改善
USB2.0	2000/09	480Mbps	500mA	5m	・High Speed (最大 480Mbps) ^(※13) を追加
USB3.0	2008/11	5Gbps	900mA	3m	・Super Speed (5Gbps) を追加 ・シールドケーブルの採用 ・コネクタの変更、ピン数の増加
USB3.1	2013/08	10Gbps	1000mA		・Super Speed (USB3.0 モード)、 Super Speed Plus (USB3.1 モード)、 Enhanced Super Speed (USB3.0 / USB3.1 モード) ・裏表両用の Type-C コネクタを追加

(注) 伝送距離は USB ハブ 1 段毎のケーブル長である。

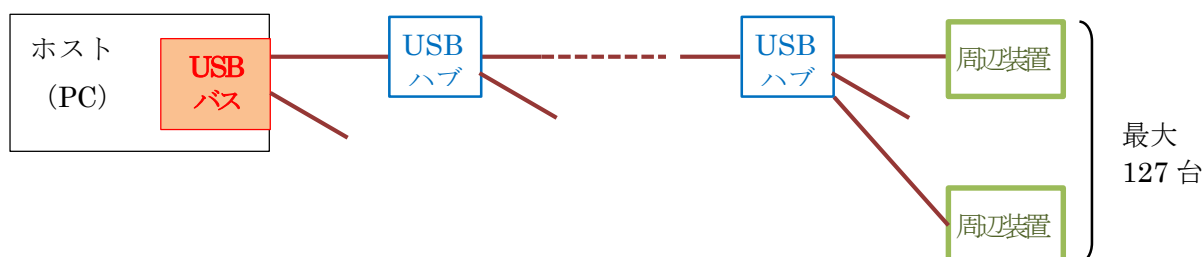
※13) USB2.0 の 480Mbps (60MB/s) は、近年の HDD 用の SATA2.5 (物理 1.5Gbps、実効 300MB/s) や SATA3.0 (物理 6Gbps、実効 600MB/s) と比較して低速である。HDD の SATA の転送能力を活かすためには USB3.0 (5Gbps=640MB/s) を用いるべきである。また IEEE208.11ac の外付け無線 LAN アダプタ (2ch ボンディングで 867Mbps) やギガビット有線 LAN アダプタ (1Gbps) を使用する場合も USB3.0 を用いるべきである。

2.2. USB のロゴマーク

Ver.	ロゴマーク	転送モード
USB1.1		LS (Low Speed) モード : 1.5Mbps FS (Full Speed) モード : 12Mbps
USB2.0		HS (High Speed) モード : 480Mbps
USB3.0		SS (Super Speed) モード : 5Gbps
USB3.1		SS+ (Super Speed Plus) モード : 10Mbps

2.3. USB のコネクタと USB ケーブル

PC 等の USB 端子 (メス) には下図のように最大 5 段の USB ハブを使用することで最大 127 台の周辺装置を接続できる。



USB ケーブルには、接続されるハブや周辺装置を制御する制御データや転送データ (周辺装置毎にタイムシェア) が流れるので各周辺装置の実効速度は論理上の最大速度より格段に遅い。なお、下位への電流確保 (USB2.0 の場合は各 100mA 以上) のため 4 分岐以上の USB ハブはセルフパワー (AC 電源を内蔵) でなければならない。

USB コネクタにはメス (ソケット: 差し込まれる方のコネクタ) とオス (プラグ: 差し込む方のコネクタ) とが対になって用いられる。

使用される位置により A タイプ/B タイプ/C タイプの別、サイズによる標準/ミニ/マイクロの別がある。

分類方法	種類	概要	
オス/メス	オス	差し込む方のコネクタ (プラグ)	
	メス	差し込まれる方のコネクタ (ソケット)	
タイプ	A タイプ	ホスト (パソコン、ハブ等の下流側) 側のコネクタ	
	B タイプ	デバイス (周辺装置) 側のコネクタ	
	C タイプ	裏表のないコネクタ	USB3.1 のみ
サイズ	標準	従来からある標準サイズのコネクタ	
	ミニ	小型機器用のコネクタ	
	マイクロ	超小型のコネクタ	スマホ/タブレット

1) USB2.0 の周辺装置接続ケーブル



USB2.0 (A) オス — USB2.0 (B) オス



USB2.0 (A) オス — USB2.0 (ミニ B) オス



2) USB2.0 の延長ケーブル



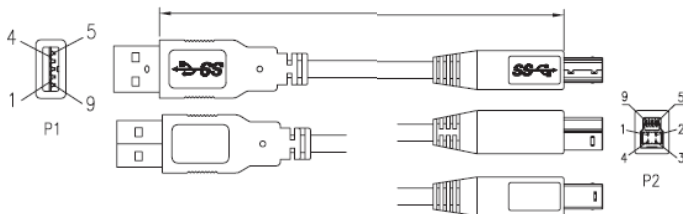
USB2.0 (A) オス — USB2.0 (A) メス



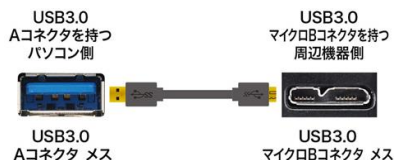
3) USB3.0 の周辺装置接続ケーブル



USB3.0 (A) オス — USB3.0 (B) オス



USB3.0 (A) オス — USB3.0 (マイクロ B) オス



4) USB3.0 の延長ケーブル



USB3.0 (A) オス — USB3.0 (A) メス



5) USB3.1 のケーブル



USB3.1 (A) オス — USB3.1 (C) オス

コネクタが裏表対称で
裏表の確認が不要



USB3.1 (C) オス — USB3.1 (C) オス

3. 無線 LAN と Wi-Fi/WiGig

3.1. 無線 LAN、Wi-Fi/WiGig の違い

近年はWiFi (Wireless Fidelity : 無線の忠実度) という言葉が普及し、無線 LAN=Wi-Fi と理解している方も多い。1990 年代に製造された IEEE802.11 規格の無線 LAN 機器は異なるメーカーの製品との間で相互接続できない問題があって無線 LAN の普及を妨げていた。この相互接続の問題を解決し無線 LAN を普及させるための業界団体 (現在のWiFi Alliance) が設立され、現在では PC、通信機器、家電、通信、ゲーム関係の企業が約 500 社加入している。

Wi-Fi Alliance では相互接続試験方法を確立し、相互接続試験をパスして Wi-Fi 認証を取得した製品に「WiFi CERTIFIED」ブランドのロゴマークの使用を許可するようになった。



(蛇足) NEC の Aterm 製品には Wi-Fi CERTIFIED ロゴはない、これはロゴを

付けなくても売れる通信機器メーカーの自信と意地と思うが、皆さんどう思いますか……。

また 2.4GHz 帯/5GHz 帯の無線 LAN を担当していた Wi-Fi Alliance は 60GHz 帯の無線 LAN との相互運用性を確立するために、60GHz 帯の無線 LAN を担当していた WiGig Alliance を統合して、



2013/01 に規格が制定された 60GHz 帯を使用する無線 LAN 規格の IEEE802.11ad については、新たに「WiGig CERTIFIED」ブランドのロゴマークを定めた。

3.2. 無線 LAN (IEEE802.11) の規格と理論速度

IEEE802.11 無線 LAN には多くの規格があり、それぞれの理論速度は次表のとおりである。

規格名	周波数帯	アンテナ数 (周波数帯域)	理論 (公称)速度	規格策定
IEEE802.11	2.4GHz	1 アンテナ×(22MHz)	2Mbps	1997/06
IEEE802.11b	2.4GHz	1 アンテナ×(22MHz)	11Mbps/22Mbps	1999/10
IEEE802.11a	5GHz	1 アンテナ×(20MHz)	54Mbps	1999/10
IEEE802.11g	2.4GHz	1 アンテナ×(20MHz)	54Mbps	2003/06
IEEE802.11n	2.4GHz、5GHz (※14)	1 アンテナ×(20MHz/40MHz)	72.2Mbps/150Mbps	2009/09
		2 アンテナ×(20MHz/40MHz)	144.2Mbps/300Mbps	
		3 アンテナ×(20MHz/40MHz)	216.7Mbps/450Mbps	
		4 アンテナ×(20MHz/40MHz)	288.9Mbps/600Mbps	
IEEE802.11ac	5GHz (※15)	1 アンテナ×(80MHz/160MHz)	433Mbps/	2014/01
		2 アンテナ×(80MHz/160MHz)	867Mbps	
		3 アンテナ×(80MHz/160MHz)	1.30Gbps	
		4 アンテナ×(80MHz/160MHz)	(1.73Gbps/3.43Gbps)	
		5 アンテナ×(80MHz/160MHz)	(2.17Gbps/4.30Gbps)	
		8 アンテナ×(80MHz/160MHz)	(3.46Gbps/6.86Gbps)	
IEEE802.11ad	60GHz (※16)	(2.16GHz/ch)	4.6Gbps-6.8Gbps	2013/01

※14) 802.11n 無線 LAN では複数の無線 ch (1ch、2ch) を束ねて (1ch、2ch) 使用するチャンネルボンディング方式を採用し周波数帯域を広くして伝送速度を高めている。市販の 802.11n 無線 LAN 製品の殆どは 2ch ボンディング (20Mbps×2ch=40Mbps) を使用しているため、アンテナ 1 本 (1 ストリーム) 当たりの理論速度は 150Mbps である。

また 802.11n では MIMO と呼ばれる並列伝送方式を採用して、最大 4 本のアンテナを使用してデータを並列伝送することで伝送速度を高めている。

これらの技術により、1 本アンテナ (1 ストリーム) の理論速度は 150Mbps になり、2 本アンテナの理論速度は 300Mbps になり、3 本アンテナの理論速度は 450Mbps になっている。

※15) 802.11ac 無線 LAN では無線 ch (1ch、4ch、8ch) を束ねて使用するチャンネルボンディング方式を採用し周波数帯域を広くして伝送速度を高めている。市販の 802.11ac 無線 LAN 製品の殆どは 4ch ボンディング (20Mbps×4ch=80Mbps) を使用しているため、アンテナ 1 本 (1 ストリーム) 当たりの理論速度は 433Mbps である。

また 802.11ac では MU-MIMO と呼ばれる複数ユーザで並列伝送方式を採用して、最大 4 ユーザでの最大 8 本 (1 ユーザ当たり最大 4 本) のアンテナでデータを並列伝送することで伝送速度を高めている。

これらの技術により、1 ユーザの 1 本アンテナ (1 ストリーム) の理論速度は 433Mbps になり、2 本アンテナの理論速度は 867Mbps になり、3 本アンテナ (3 ストリーム) の理論速度は 1.30Mbps になる。

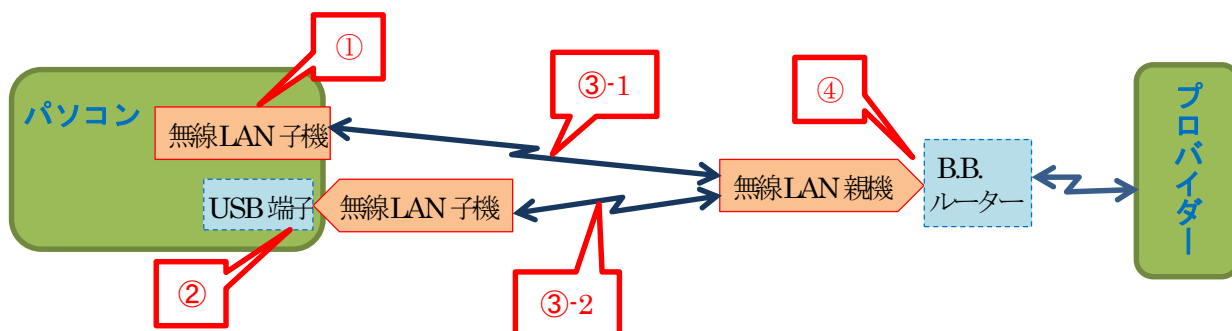
(参考) 802.11ac 無線 LAN 親機の仕様で「無線 LAN : 867Mbps + 450Mbps」と表示している例では、メインユーザ用に 802.11ac アンテナ 2 本 (867Mbps)、セカンドユーザ用に 802.11n アンテナ 3 本 (450Mbps) を使用できることを示している。

※16) IEEE802.11ad は 10m 程度の通信範囲をカバーする超高速 (最大 7Gbps) の無線 LAN の規格であり、PC、スマホ、オーディオ機器など、これまで有線で繋がっていたかわりに、無線 (WiGig) を使ってデータを同期させたり、ディスプレイと繋がったりするといった使い方が想定されています。

3.3. 無線 LAN (IEEE802.11) の実効速度 (スループット)

1) 通信の実効速度 (スループット) は最も遅い区間の速度で決まる

無線 LAN を用いたインターネットの通信では、PC と接続先の Web サイトとの間に次に示すような通信区間が存在し、その中で最も遅い通信区間の速度で実効速度 (スループット) が決まる。



これらの通信区間のうち、速度に影響するが見落としがちな注意点について以下に説明する。

- ① [PC～無線 LAN 子機] で PC 内蔵の無線 LAN アダプタを使用する場合は
「取扱い説明書」の無線 LAN の仕様に記載されている速度が未記載/150Mbps は 1 本アンテナ、300Mbps は 2 本アンテナの **802.11n** 対応の無線 LAN ある。
そのまま **802.11ac** 無線 LAN 親機を導入しても期待する性能を発揮できないので、無線接続を高速化するには **USB 外付の 802.11ac 無線 LAN 子機の導入を検討する必要がある**。
- ② [PC～無線 LAN 子機] で USB 外付の 802.11ac 無線 LAN 子機を使用する場合は
PC の **USB 端子が USB3.0 (5Gbps) でないと期待する性能を発揮できない**。
(注) **802.11ac** 無線 LAN 子機の理論速度は、2 本アンテナで 867Mbps (3 本アンテナで 1.300Mbps) であり、USB2.0 (480Mbps) の性能を大きく上回る
- ③ [無線 LAN 子機～無線 LAN 親子機] で使用する無線 LAN 子機と無線 LAN 親機の速度は同等の性能のものが望ましい。
- ④ [無線 LAN 親子機～ブロードバンドルータ] で 100Mbps 対応の LAN ケーブル (カテゴリ 5 以下) を使用する場合は、無線 LAN 親機の性能は 100Mbps 以上を望めない。

2) 理論速度 (伝送速度)

理論速度は計算式^(※17)で求められる理論上の通信速度であり、公称速度あるいは伝送速度とも呼ばれている。

IEEE802.11 各規格の理論速度については、3.2 [無線 LAN (IEEE802.11) の規格と理論速度] を参照のこと。

※17) 無線 LAN の理論速度は次の計算式で求める伝送速度を公称速度あるいは理論速度と言い、この値がカタログや製品パッケージ等に記載されている。しかしこの理論速度とスループット (実効速度) と大幅に乖離^{かいり}しているのが実態である。

伝送速度 = 変調速度 × 変調 1 回で送れるデータ bit 数 × データサブキャリアの数

変調速度 : 1 秒間の変調回数 (信号の変化回数 : Hz)

変調 1 回で送れるデータ bit 数 : 変調を多値化して 1 回の変調で複数ビット (2bit、4bit、6bit、8bit) のデータを送る

データサブキャリア数 : 複数本 (2 本、3 本、4 本、8 本) の送受信アンテナを使用して変調信号を並列送信する

3) 電波状況の監視によるリンク速度のネゴ

無線 LAN では、親機 (アクセスポイント) と子機間の距離、親機と子機間の遮蔽物、親機と子機のアンテナ方向等によって送受信する電波強度が影響を受ける。

親機と子機は伝送エラーが少ない高速の通信を実現するために互いの電波強度を監視しあっていて、電波強度に応じて段階的^(※18)にリンク速度を変更している。

※18) 電波強度に応じたリンク速度の自動調整

IEEE802.11b の場合 : 54Mbps ↔ 48Mbps ↔ 36Mbps ↔ 24Mbps ↔ 18Mbps . . .

(Cisco 社「ネットワークエンジニアとして」の「Wireless LAN - Cell」より)

IEEE802.11ac の場合 : 867Mbps ↔ 780Mbps ↔ 650Mbps ↔ 585Mbps ↔ 520Mbps . . .

↔ 390Mbps ↔ 325Mbps ↔ 292Mbps ↔ 260Mbps . . .

(筆者が使用している 2 本アンテナの BUFFALO WI-U3-866D でテスト)

4) 実効速度 (スループット)

無線 LAN の実効速度は、2) 項〔理論速度〕で説明した無線 LAN 区間の理論速度と異なり、その無線 LAN 区間で伝送できる実データの伝送速度である。これは無線 LAN 区間で実データを 1 秒間に何ビット (bit) 伝送できるかを示す実際の伝送速度であり、理論速度の 2/3~1/5 程度の速度になる。

例えば 802.10ac 無線 LAN の 2 本アンテナの場合は、理論速度は 867Mbps であるが無線 LAN 区間の実効速度は 200Mbps~300Mbps 程度になる。更にブロードバンドルータ~Web サイト間での実効速度の低下を考慮すると、PC~Web センタ全区間の実効速度は無線 LAN 区間の実効速度の 1/3~1/5 の 50Mbps~100Mbps 程度に低下すると推定される。

これらの実効速度と理論速度の大差は、伝送エラー制御、伝送タイミングの待ち時間、各種ヘッダの付加、CSAMA/CA (衝突回避機能) 等々で発生するものであり、時間帯による輻輳、他者との電波使用の競合、ノイズの状況、伝送エラーの発生状況等々により大きく影響を受ける。

4. 近くにあるデバイスの無線接続 (Bluetooth、NFC)

無線 LAN は、2.4GHz 帯や 5.0GHz 帯の無線通信を利用してデータの送受信を行う LAN システムを言い、IEEE802.11 の無線通信規格で国際的に仕様が定められている。

これに対して、Bluetooth^{ブルートゥース}や NFC^{エヌエフシー}は短距離 (数センチ~数メートル) にあるデバイス (装置/機器) を無線通信で接続してデータを送受信するものである。

4.1. Bluetooth

Bluetooth^(※19) は短距離 (1~100m) にあるデバイスを無線通信 (IEEE802.15.1 規格) により相互接続ができることを保証するブランドであり、Bluetooth SIG^(※20) が仕様の策定、普及の推進、技術利用の認



Bluetooth のロゴ

証を行っている。
Bluetooth (IEEE802.15.1) が使用する 2.4GHz 帯の無線周波数は、無線 LAN (IEEE802.11b/11g/11n) が使用する 2.4GHz 帯の無線周波数と同じため、Bluetooth と同時に使用すると無線の競合により無線 LAN の速度が著しく低下することがある。

※19) デンマークとノルウェーの異なる種族を無血統合させたデンマーク国王のブルタンは「Bluetooth (青歯王)」というニックネームを持っていた。この偉業をたたえて、開発元のスウェーデンのエリクソン社は「多数ある無線通信規格を統一したい」という思いを込めて Bluetooth と名付けた。

※20) Bluetooth SIG^{エスアイジー} (Bluetooth Special Interest Group^{スペシャル インタレスト グループ}) は 24,000 社以上のメンバー企業を擁する非営利の業界団体である。

Bluetooth 技術を利用した製品は、BQTF^{クオリフィケーション テスト ファシリティ} (Bluetooth Qualification Test Facility : Bluetooth 認証試験機関) で有料のテストを受ける必要がある。これに合格すると製品にトレードマークを付けることができる。

4.1.1. Bluetooth の概要と分類

Bluetooth は短距離の機器間の無線接続を目的にしたものであり、電波強度（到達距離に影響）を規定する「クラス」、使用機能の通信プロトコルを規定する「プロファイル」で分類されている。また 2～3 年間隔でバージョンアップが行われている。

1) 電波強度（到達距離に影響）を規定するクラス

Bluetooth には電波強度を規定したクラスという分類があり、クラスによりの電波到達距離が決まる。各機器はいずれかのクラスに分類されるが、通信する双方が同じクラスである必要はない。

クラス	電波強度	到達距離	備考
Class 1	100mW	100m	
Class 2	2.5mW	10m	スマホ、タブレット、PC 等の多くが採用している
Class 3	1mW	1m	

2) プロファイル（提供機能単位の通信プロトコル）

Bluetooth はさまざまな機能を持つ機器との接続が想定されている。そのため Bluetooth は提供機能単位の通信プロトコル（ルール）を定めていて、それをプロファイルと呼んでいる。

プロファイル名	提供する機能
エイチアイディ H I D (Human Interface Device Profile)	入力機器（キーボード、マウス、ゲーム、リモート監視等）を使用する方法その他
エフティービー F T P (File Transfer Profile)	セーバ（上位）のフォルダ／ファイルをクライアント（下位）が参照する方法その他
エイチエスビー H S P (Headset Profile)	ヘッドセットと通信する方法その他
エイチエフビー H F P (Hands-Free Profile)	ハンズフリー装置で発呼／着呼するための方法その他
エスピービー S P P (Serial Port Profile)	仮想シリアルポートを設定して 2 台の装置を接続する方法その他
エイチアイビー H C R P (Hardcopy Cable Replacement Profile)	プリンタへの印刷を行うための方法その他
ビーアイビー B I P (Basic Imaging Profile)	画像装置の制御方法、画像の印刷方法、画像の記録装置への転送方法その他

3) Bluetooth のバージョン

Bluetooth 無線技術は登場当時から機能の追加、通信速度の高速化が行われ、2～3 年間隔でバージョンアップしている。基本的には新しいバージョンは古いバージョンと互換性がある。

バージョン	仕様制定	
Ver.1.0～3.0	1999～2009	LE (Bluetooth Low Energy) 機能なし
Ver.4.0	2009/12	LE 機能で大幅に消費電力化（ボタン電池で数年間動作？）
Ver.4.1	2013/12	共存、接続性、データ転送を強化・改善した
Ver.4.2	2014/12/03	高速通信、省電力、セキュリティ向上を強化・改善した

(補足) Ver.4.0 は以前のバージョンと互換性がないとも言われているが、ホスト側は Ver.3.0/Ver.2.1 を組み込んでデュアルモードとすることが許される。

4) Windows でのサポート

タブレットが急速に普及を始めるまでは、Windows を使用している PC (デスクトップ、ノート、等) は複数個の USB 端子を実装しているため、Bluetooth の必要性が低かった。

USB 端子が 1 個程度のスマホやタブレットでは、周辺装置接続のために Bluetooth は必須のインタフェースであり、Bluetooth の普及に火が付いた。

バージョン	Bluetooth の Ver.	対応プロファイル
Win. Vista Sp2	1.1、2.0、2.0+EDR、	HID v1.0、PANU、SPP、OPP、DUN、HCRP
Win. 7	2.1+EDR	(注) Windows がサポートしないプロファイルでも、サードパーティ製 Bluetooth ドライバをインストールすれば使用が可能である
Win. 8	1.1、2.0、2.0+EDR、	
Win. 8.1	2.1+EDR、4.0+EDR	

(補足) ^{イーディアー}E ^{エン}D ^{ハンスド}R (Enhanced Data Rate) は、通信速度を拡張 (高速化) した規格であり、Ver.2.0 は理論速度が最大 3Mbps であるが、2.0+EDR は Ver.2.0 の最大 3Mbps のほかに Ver.1.1/1.2 の最大 1Mbps もサポートしている。なお、他の EDR 付のバージョンの記事は見出し得なかった。

4.1.2. ペ어링 (Pairing)

Bluetooth では通信する機器同士を 1 対 1 で無線接続することをペ어링 (Pairing、Pair にする) という。

ペ어링の手順は、電波の届く範囲にある機器を探索し、その中から接続相手の機器を選択した後、相手のパスキーを入力することで接続し登録する。(これは無線 LAN で接続相手の無線ハブ (SSID) を選択し、相手のパスワードを入力して接続するのに似ている。)

【重要】パスキーの入力の要否について

- Bluetooth 2.1 より前は、4 桁の PIN (Personal Identification Number) を用いたパスキーを入力してパスワードを確認
- Bluetooth 2.1 以降は、^{エスエスピー}S S P (Secure Simple Pairing) と呼ばれる 4 方式 (コード確認しない、6 桁コードを表示し一致を確認する、6 桁コードの入力し確認する、NFC で自動確認する) の何れかによるパスワード確認


一度ペ어링を行った機器同士は、次回からは近づけるだけで接続できるのでペ어링を再実行する人用はない。

なお PC、タブレット、スマホの Bluetooth は無線ハブの機能を持っているので、複数の機器をペ어링して同時に使用できる。(これは無線 LAN の無線ハブ (アクセスポイント) に複数の PC や周辺装置を接続し同時に使用できるのに似ている。)

【例】 Win. 8.1 でのペアリング

ここでは Win. 8.1 搭載のタブレットに Bluetooth タイプのキーボードをペアリングする手順を例にして説明する

【手順】

- ① Bluetooth デバイス（例：キーボード）の電源を [オン] にする
- ② 画面の右端から左方向にスワイプして画面右に [チャーム] を表示する
- ③  (設定) をタップして画面右に [設定] メニューを表示する
- ④ 右下の [PC 設定の変更] をタップして画面左に [PC 設定] メニューを表示する
- ⑤ [PC とデバイス] をタップして画面左を [PC とデバイス] メニューに変える
- ⑥ [Bluetooth] をタップして画面右を [Bluetooth デバイスの管理] 画面に変える
- ⑦ [Bluetooth] をタップして [オン] にすると、Bluetooth デバイスからのペアリング要求電波の検索を開始する
- ⑧ 接続する Bluetooth 機器（例：キーボード）の電源を「オン」にした後、Bluetooth 機器（例：キーボード）のペアリング機能を「オン」にする
(補足) 操作方法は機器ごとに異なるので、機器のマニュアルに従って操作すること
- ⑨ [Bluetooth デバイスの管理] 画面に検出した Bluetooth 機器の種類（例：キーボード）が表示される
- ⑩ 該当機器との確認処理が行われ、やがて表示が該当機器の機器名^(※) になり、「ペアリング準備完了」が表示される
※) 手持ちの Bluetooth キーボードの機器名の例
ELECOM 社製の TK-FBP070 の機器名：「ELECOM TK-FBP070」
VSTN 社製のタブレット付属キーボードの機器名：「Bluetooth Keyboard」
- ⑪ 表示された機器名をタップするとペアリングの実行を問い合わせる
- ⑫ [ペアリング] をタップするとペアリング処理を開始する
- ⑬ ペアリングが完了したら、[…接続済み] が表示される
- ⑭ ペアリング完了後、[設定] 画面を閉じる

4.2. NFC と FeliCa

手が届く範囲の近距離の無線通信の国際規格としては、ISO^{イソ} (国際標準化機構) と IEC^{アイイーシー} (: 国際電気標準会議) が定めている NFC^{エヌエフシー} (Near Field Communication^{ニア フィールド コミュニケーション} : 近距離無線通信) があり、通信距離は数センチ～1メートル程度である。



なおソニーが解発した FeliCa^{フェリカ} (Felicity^{フェリシティ}=至福と Card^{カード}を組み合わせた造語) は、非接触 IC カードの通信技術であり、ソニーの登録商標である。この技術規格は上位互換である



1) NFC の通信規格

NFC は 13.56MHz の微弱な電波を使用する機器間での無線通信技術であり、次の国際規格で標準化されている。

- ① ISO/IEC1443 : タイプ A (汎用の非接触 IC カードの規格)、タイプ B (住基台帳等の IC カード)
- ② ISO/18092 : NFC IP1 (Interface Protocol-1^{インターフェイス プロトコル}) の非接触 IC カードで FeliCa^{フェリカ} の規格も含む

- ③ ISO/IEC15693 : バーコードの代わりに IC タグとして小売で普及
- ④ ISO/IEC21481 : NFC IP2 として拡張された規格で①の ISO/ICE14443 と③の ISO/IEC15693 にも対応している。
- ⑤ NFC Bluetooth Handover : ブルートゥース BTSSP (ブルートゥース セキュア シンプル ペアリング ユージング Bluetooth Secure Simple Pairing Using NFC) を用いて Bluetooth のペアリングを行い、データは Bluetooth で行う

2) NFC を搭載した機器やカード

- ◇ NFC 搭載スマートフォン
- ◇ NFC 搭載 PC (SONY VAIO)
- ◇ NFC 搭載ゲーム機 (任天堂)
- ◇ NFC 搭載デジカメ (Panasonic、SONY)
- ◇ NFC 搭載オーディオ
- ◇ USB 接続の IC カードリーダー
- ◇ 下記種の非接触型 IC カード類 (バンキングカード、クレジットカード、スーパー等の会員カード、住基台帳カード等)

なお住基台帳カードの公的認証機能は3年毎に更新 (¥500) する必要がある