別添２

～　安心して無線ＬＡＮを使用するために　～

参　考　資　料

平成１６年４月２６日

総　務　省

目　　次

１　LAN の基礎

(1)　ＬＡＮとは

オフィスや家庭などで、複数台のパソコンでインターネットを利用したり、ハードディスクを共有したりする時に必要なのがＬＡＮである。ＬＡＮとは、英語の Local Area Network の略であり、文字通り、限られた範囲内、例えばオフィスや研究室、建物などに張られたネットワークのことを指す。一般的にＬＡＮを構築することで以下のようなメリットが挙げられると考えられる。

① パソコン同士でデータの共有ができる。

② アプリケーションソフトの共有ができる。

③ プリンタなどの周辺機器の共有ができる。

④ 分散処理が可能になる。

⑤ 高速にデータを送受信できる。

(2)　ＬＡＮの伝送媒体 ～有線ＬＡＮと無線ＬＡＮ～

ＬＡＮの伝送媒体は有線と無線に分類される。有線としては、より対線（ツイストペアケーブル）、同軸ケーブル及び光ファイバケーブルの３種類があげられる。同軸ケーブルは高価であるが電気特性が良く、信頼性も高い。光ファイバは高速・大容量の伝送ができ、電気的雑音に強い特長を持っている。一方、敷設や接続がより対線や同軸ケーブルに比べて容易ではないなどの欠点を持っているが、今後の高速・大容量の伝送のため、更に普及する可能性がある。一方、無線には電波を用いた通常の無線と赤外線の空間伝搬を用いたものがある。

無線ＬＡＮには、ケーブル敷設の煩雑さがないことや移動可能という機動性に特長がある。一般に無線ＬＡＮは電波を用いるものを指すが、赤外線等を利用するものもある。最近は、パーソナルコンピュータに無線ＬＡＮが標準装備されているものも多い。

(3)　ＬＡＮの規格

現在利用されているＬＡＮには多くの規格があり、その多くがIEEE802 委員会によって標準化されている。IEEE802 委員会とは、175 か国 36 万人以上が参加する世界最大の学会IEEE（米国電気電子技術者協会）が 1980 年 2 月にＬＡＮＭＡＮおよび（Metropolitan Area Network）の標準化を目的に設けた委員会である。委員会は約

20 のグループに分かれ、上位インターフェイス、論理リンク制御、音声／データ統合などについて討議するグループの他にアクセス制御方式別にグループが存在する。表１に代表的なグループを示す。

表１　IEEE802 委員会の代表的なグループ

グループ名	活動概要
802.1	上位層プロトコル
802.3	Ethernet（CSMA/CD）
802.11	無線 LAN
802.15	パーソナルエリア無線ネットワーク （WPAN：Wireless Personal Area Network）
802.16	広帯域無線アクセス （BWA：Broadband Wireless Access）
802.17	障害回復機能を持つパケットリング技術 （RPR：Resilient Packet Ring）
802.18	電波に関する規定技術諮問グループ
802.19	共存技術諮問グループ
802.20	モバイル広帯域無線アクセス網 （MBWA：Mobile Broadband Wireless Access）

Ethernet：　有線ＬＡＮの一般的な通信方式。CSMA/CD は、通信が行われていない時を見計らってデータを送信する方式

２　無線LANについて

(1)　無線ＬＡＮとは

無線ＬＡＮとは、有線ケーブルの代わりに、電波を利用することでパソコン同士を接続し、ＬＡＮを構築しようとするものである。最近のノートパソコンは、無線ＬＡＮ機能が標準装備されているものが多く、無線ＬＡＮの普及は急速に拡大している。現在では、企業や学校のみならず、一般家庭においても広く利用されるようになっており、喫茶店やファーストフード店、空港、駅、ホテルなどの公衆エリアにアクセスポイントを設置して無線ＬＡＮ環境を提供する公衆無線ＬＡＮサービスも行われてい

る。

(2) 無線ＬＡＮの周波数

1987 年に米国の FCC（Federal Communications Commission：米国連邦通信委員会）の規則改定により、それまで軍用にしか認められていなかった「スペクトラム拡散」方式による通信が開放され、民間でも ISM バンド（Industry Science Medical band 米国では 900MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯）を利用してスペクトラム拡散通信を行うことが可能になった。この周波数帯では、無線局免許を不要としており、多くのベンダーが競って製品を作るようになった。また、当初は数 100kbps 程度と低速であったが、高速化の需要と共に、製品の本格的普及のため標準化の重要性が認識されるようになり、1990 年から IEEE802 委員会の IEEE802.11 グループにおいて 2.4GHz 帯と赤外線（Ir：Infrared）の無線ＬＡＮに関する標準化が正式にスタートした。

日本における無線ＬＡＮに適用される周波数帯は、2.4GHz 帯、5GHz 帯であり、その他に準ミリ波帯（19GHz 帯、25GHz 帯及び 27GHz 帯）を利用するものなどがある。また、赤外線やレーザーを用いるものもある。

日本における無線ＬＡＮ（2.4GHz 帯および 5GHz 帯）の周波数割当状況について図１及び図２に示す。

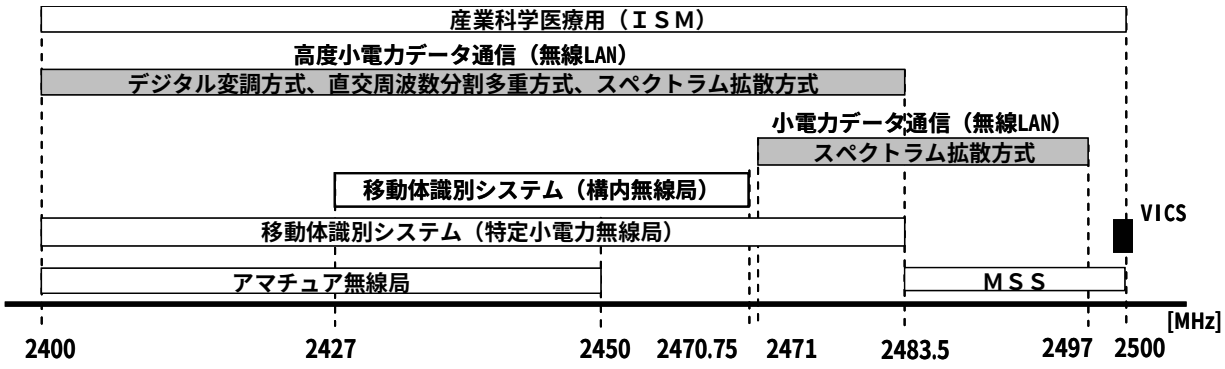


図１　日本における無線ＬＡＮの周波数（2.4GHz 帯）

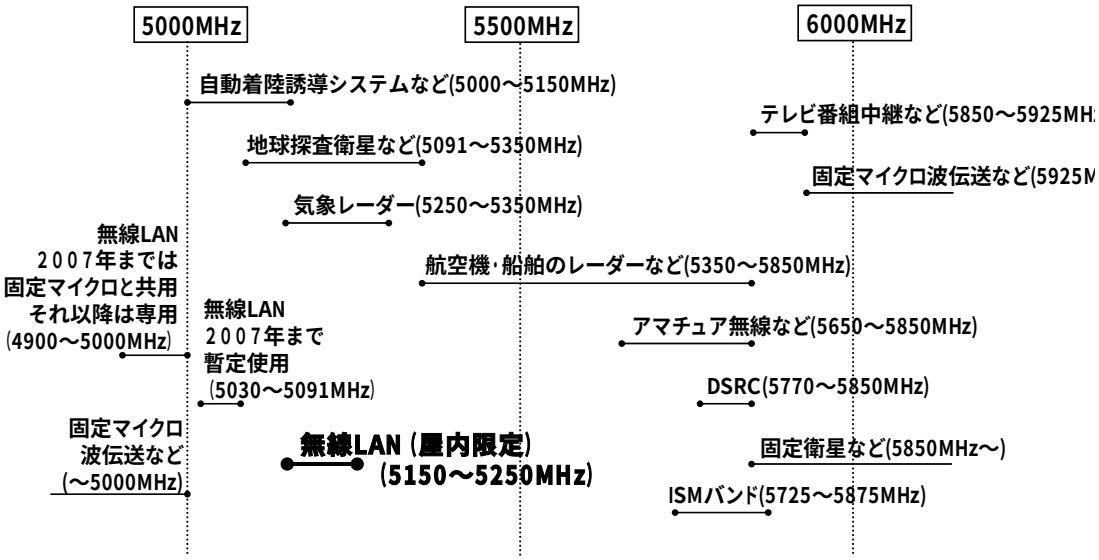


図２　日本における無線ＬＡＮの周波数（5GHz 帯）

(3)　無線ＬＡＮの特徴

ここで、無線ＬＡＮに関するいくつかの特徴を取り上げる。

ア　構成要素

有線ＬＡＮと無線ＬＡＮの根本的な違いは伝送媒体である。有線ＬＡＮではＬＡＮケーブルを用いて伝送するのに対し、無線ＬＡＮでは電波を用いて伝送する。そのため、無線ＬＡＮではその電波を中継する無線ＬＡＮ機器として無線 LAN アクセスポイントと無線ＬＡＮアダプタが必要になる。

(ｱ) 無線ＬＡＮアクセスポイントとは

無線ＬＡＮで電波の送受信をするための基地局となる機器である。機器の中には、有線ＬＡＮとのインターフェイスを持ち、有線ＬＡＮと無線ＬＡＮとの中継機器にもなるものや、ルーティングの機能などルータの機能を兼ねそろえたものもある。

(ｲ) 無線ＬＡＮアダプタとは

無線ＬＡＮカードとも呼ばれ、無線ＬＡＮを利用するための拡張機能を提供するものである。無線ＬＡＮアダプタの中には、ノートパソコン向けの PC カード型や外付けの USB ポート型などさまざまなものが存在する。また最近では、すでに無線ＬＡＮアダプタが内蔵されている製品も多くなってきている。装置およびパ

ソコンに端末もある

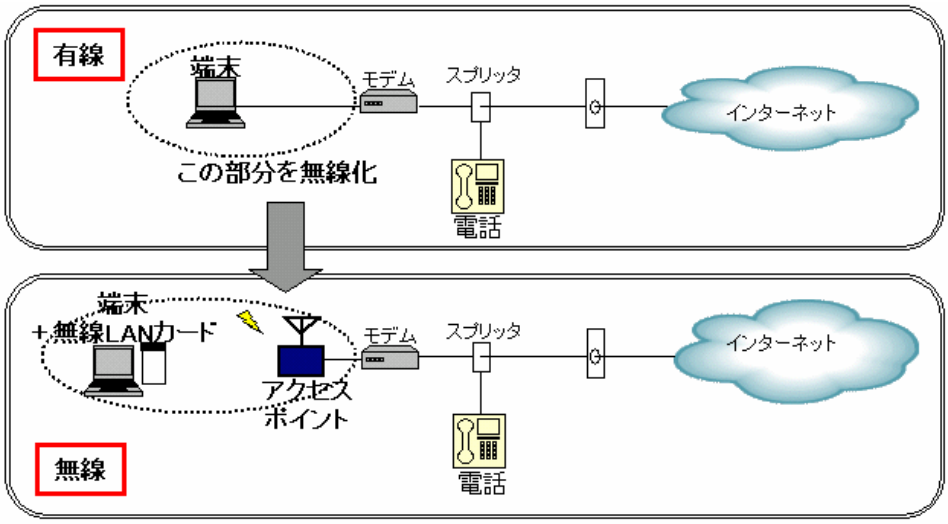


図３　有線と無線の構成の違い

イ　形態

無線ＬＡＮのネットワーク構成には、インフラストラクチャモードとアドホックモードの２種類がある。

(ｱ) インフラストラクチャモード

このモードは、基地局と、その電波到達範囲（無線セル）内に存在するＬＡＮ端末（無線ＬＡＮ端末とは、無線ＬＡＮアダプタを取り付けた端末及びすでに無線ＬＡＮアダプタが内蔵されているものはそのものを指し、無線ＬＡＮを利用することができる端末を示している。）で構成されるものである。基本となる一つの基地局と、その配下の複数のＬＡＮ端末の構成を BSS（Basic Service Set、基本サービス・セット）と呼ぶ。ＬＡＮ端末は、特定の一つの基地局と論理的な接続（Association）を確立する。基地局は、Ethernet などのバックボーン・ネットワークに接続されており、ＬＡＮ端末とバックボーン・ネットワーク間のパケットの中継を行う。また、配下のＬＡＮ端末同士が通信する際のパケットの中継も同時に行う。これにより、図４にインフラストラクチャモードのネットワーク構成を示す。ユーザは無線を通じてネットワーク上の各種サーバーと無線環境で通信できるようになる。し、一般に、端末は他の無線セルへ移動した場合、独自に移動を検出して移動先の基地局、へ接続関係を切り替えるハンドオフ機能を備えている場合があり、無線環境での移動が確保されている。BSS の集合で構成さ

れるネットワークを ESS（Extended Service Set、拡張サービス・セット）と呼ぶ。

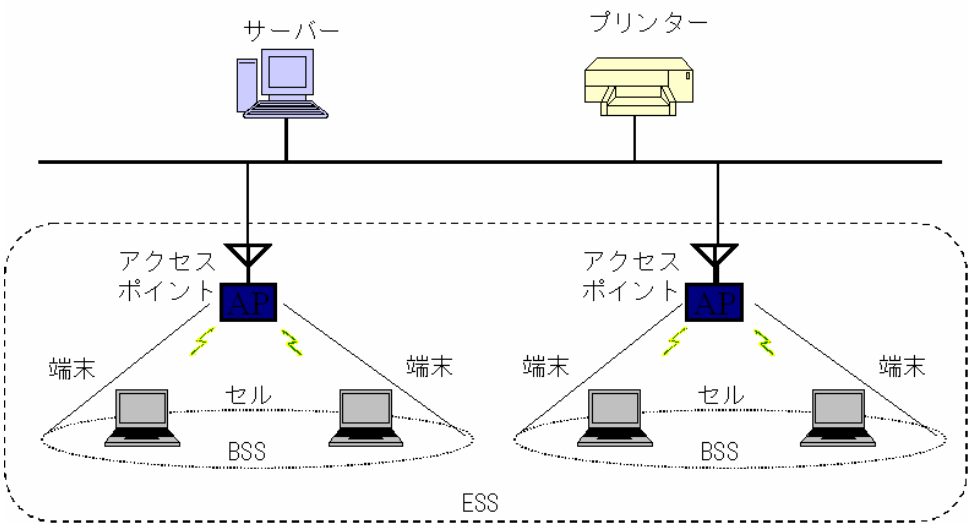


図４　インフラストラクチャモード

（イ）アドホックモードのネットワーク

アドホックモードでは基地局（アクセスポイント）を必要とせず、ＬＡＮ端末のみで構成するため、インフラ・モードの BSS と区別して IBSS（Independent BSS、独立した BSS）と呼ぶ。

ＬＡＮ端末は、無線パケットを中継する機能を持たず、直接お互いに無線パケットをやり取りして通信を行う。

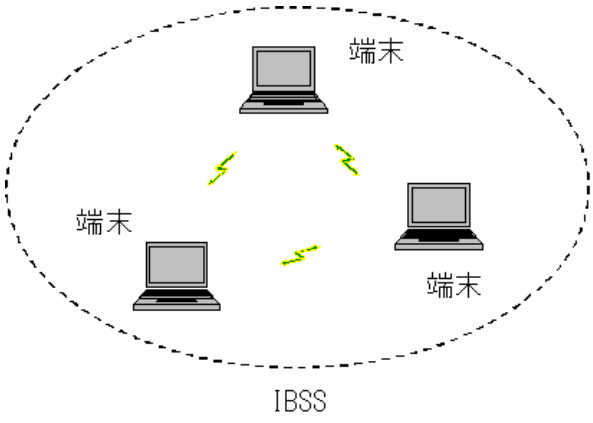


図５　アドホックモード

ウ　通信状態

無線ＬＡＮでは、無線の特質上、通信状態が常に一定であるとは言いがたい。携帯電話に表示される電波の状況と同じように、場所や周囲の環境によって大きく電波環境が変わる。無線ＬＡＮの規格を決めている IEEE802.11 グループでは電波環境に対応してその通信速度が変化するよう規定をしている。例えば、環境が良ければ 11Mbps で、悪ければ 1Mbps など、無線ＬＡＮの通信速度は変化する。

エ　電波干渉の影響

現在、無線ＬＡＮで用いられている 2.4GHz 帯では、無線局免許を不要としている。この周波数帯は、工業医療用の高周波機器や家庭用の電子レンジなどにも利用されており、同じ場所で同時に利用すれば干渉が起こる。また、アクセスポイントおよび無線ＬＡＮ端末同士でも干渉が起こる。

(4)　無線ＬＡＮのメリットとデメリット

ア　メリット

(ｱ) モビリティ

無線ＬＡＮは見通しの良い場所であれば 100m 近く電波が飛ぶので、離れた所を自由に移動しながらデータ通信を行うことができる。

(ｲ) ケーブル配線の煩雑さの解消

無線ＬＡＮには有線特有の配線のトラブル、例えば、ケーブルの断線、アダプタからの脱落、接続先の誤りなどは発生しない。

(ｳ) スムーズなネットワーク構築

家庭内や SOHO の事務所など、大掛かりな配線工事を避けて、比較的簡単にネットワークを構築でき、有線よりも低コストでできることもある。

イ　デメリット

(ｱ) 通信の不安定さ

無線ＬＡＮはその性質上周りの環境にかなり影響を受ける。電波の届きにくいところでは通信速度は安定しない。

(ｲ) セキュリティ対策が必要

ＬＡＮ電波は見通しが良いところでは 100m 近く電波も飛んでしまうため、無線ＬＡＮに関して高度な知識を持つ悪意のある第三者によって盗聴されるだけでな

く、個人情報を盗まれるなど思わぬ犯罪に巻き込まれたりする危険性がある。このような事態から身を守るには、WEP や MAC アドレスフィルタリング、SSID などを用いてデータの暗号化や認証などの点でセキュリティ対策を十分に行わなくてはならない。

(5) 無線ＬＡＮの種類

無線ＬＡＮでは、IEEE802.11a/b/g の３種類が主に用いられている。

ア　ＩＥＥＥ８０２.１１ａ

新たに無線ＬＡＮ用に割り当てられた 5GHz 帯を利用し、最大 54Mbps の伝送速度を実現する物理層の規格。変調方式として OFDM を利用し、高速化された。通信速度としては、6/12/24Mbps の伝送速度に準拠するように要求されており、他に 9/18/36/48/54Mbps の伝送速度もオプションで用意されている。5.15～5.25GHz は衛星通信に利用されているため、屋外での利用は禁じられている。

イ　ＩＥＥＥ８０２.１１ｂ

2.4GHz 帯を利用し、最大 11Mbps の伝送速度を実現する物理層の規格。無線ＬＡＮの最初の規格であった IEEE802.11 は、2.4GHz 帯を用いて通常１チャネル 2Mbps の伝送速度しか得られなかったため、有線ＬＡＮと比べ見劣りのするスペックとなっていた。そこで、その物理層（電波の周波数帯、データの変調方式、物理層ヘッダなど）を改良することでデータ通信の高速化が図られてきた。

ウ　ＩＥＥＥ８０２.１１ｇ

2.4GHz 帯を利用して最大 54Mbps の伝送速度を実現する物理層の規格。変調方式として IEEE802.11a と同じ OFDM を利用することで、2.4GHz 帯での高速化を実現している。IEEE802.11b に対して上位互換性も考えられているため、IEEE802.11a と比較して既存の機器ＬＡＮと共存しやすいメリットがある。

2.4GHz 帯の周波数を利用する IEEE802.11b と IEEE802.11g は、同じ物理ヘッダを使用しており、変調方式も高速な IEEE802.11g が IEEE802.11b の方式である CCK（Complementary Code Keying）変調方式をサポートしているため、互換性がある。例えば、IEEE802.11g のアクセスポイントに IEEE802.11b と IEEE802.11g のＬＡＮ端末が同時に接続しても通信が可能である。ただし、IEEE802.11g は速度の遅い IEEE802.11b との互換性を保つために、制御系の情報を運ぶ物理ヘッダを 1Mbps で送信する必要がある（無線ＬＡＮ規格には前述の通り、その電波環境などによる、いく

つかの伝送速度をサポートしている。例えば、IEEE802.11b では、1、2、5.5、11Mbps と 4 種類の速度モードがある。速度のモードは、電波の状況に応じてフレーム毎に変えられるが、どういう変調方式でどの速度モードにしたいのかを相手に確実に伝えなければならない。そこで、こうした情報を伝える物理層ヘッダは、最も低速の 1Mbps で送ることにしている。）ので、IEEE802.11a に比べると速度が落ちる。IEEE802.11a と IEEE802.11g はともに OFDM 方式を適用しているが、IEEE802.11a は 5GHz 帯、IEEE802.11g は 2.4GHz 帯なので互換性はない。

表2　ＩＥＥＥ８０２.１１ａ/ｂ/ｇの違い

無線LAN規格	IEEE802.11a	IEEE802.11g	IEEE802.11b
使用 周波数帯	5.2GHz 帯 () (2007～)※予定 屋内限定 (5.15 ～ 5.25GHz)	2.4GHz 帯 (2.400～2.4835GHz)	2.4GHz 帯 (2.400～2.497GHz)
伝送方法	直交周波数分割多重方式（OFDM）	直交周波数分割多重方式（OFDM） 直接拡散スペクトラム拡散方式（DSSS）	直接拡散スペクトラム拡散方式（DSSS）
伝送速度	54,48,36,24,18,12,9,6（Mbps）	54,48,36,24,18,12,9,6 (Mbps) 11,5.5,2,1（Mbps）	11,5.5,2,1（Mbps）
チャネル	34,38,42,46ch（20MHz毎）	1～13ch（14ch 利用不可）	1～14ch（5MHz 毎、14ch のみ異例）
伝送距離 （目安）	屋内約 100m	屋外:約 300m 屋内:約 100m	屋外:約 300m 屋内:約 100m
最大データ転送速度	54Mbps （無線区間、それ以外の部分の影響により実効速度は､20Mbps 程度）	54Mbps （無線区間、それ以外の部分の影響により実効速度は、20Mbp 程度。さらに、IEEE802.11b と共存時は低下する）	11Mbps （無線区間、それ以外の部分の影響により実効速度は、3～5Mbps 程度）
長所	・伝送速度が速い ・電波干渉の可能性が低い	・伝送速度が速い ・IEEE802.11b との互換性がある	・現在の無線規格の主流であり、機器の種類の豊富さ、値段が安い
短所	・対応製品がまだ少ない ・電波の届く範囲が短い	・対応製品がまだ少ない ・電子機器との干渉が起こりやすい	・伝送速度が遅い ・電子機器との干渉が起こりやすい

(6) 無線ＬＡＮのチャネル間隔

無線ＬＡＮのチャネル間隔は、IEEE802.11b/g には 5MHz 間隔で 13 チャネル、IEEE802.11a では 20MHz 間隔で 4 チャネル定義されている。IEEE802.11b/g のメインローブの幅は、約 22MHz であるため、チャネルが近いと使用周波数が重なってしまい、通信が上手く行えない場合がある。このため、周波数の重なりを避けるには、5 チャネル以上離す必要がある。例えば、チャネル１を利用する場合、チャネルが重ならないようにするには６チャネルを利用するといった具合である。一方、IEEE802.11a を利用する場合には、チャネル間隔を１以上離すと互いに帯域が重なり合わない。

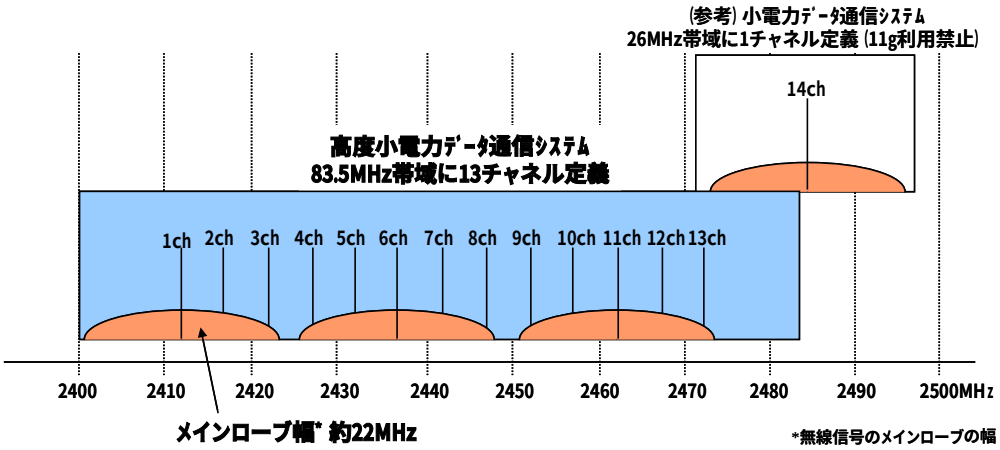


図６　2.4GHz 帯のチャネル

日本では IEEE802.11b の場合、1～14 チャネルを利用することができるが、米国では 1～11 チャネルまで、ヨーロッパではほとんどの国で 1～13 チャネルまでを利用することができる。ちなみに、フランスでは 2.457G～2.472GHz の 4 チャネル、スペインに至っては 2.457GHz と 2.462GHz の 2 チャネルに制限されている。グローバル対応の 11b/g 製品（ノートパソコン内蔵製品など）は 1～11 チャネルにのみ対応している。このため、日本でも 1～11 チャネルがよく用いられている。表３に 2.4GHz 帯のチャネル周波数を示す。

5GHz 帯については日本では、5.150～5.250GHz が利用可能である。また、5.03～5.091GHz および 4.9～5.0GHz が屋外利用可能な帯域として開放されている。5.03～5.091GHz は 2007 年までの時限開放である。

表３　2.4GHz 帯のチャネル周波数

チャネル	中心周波数	日本	米国	ヨーロッパ
1	2.412GHz	○	○	○
2	2.417GHz	○	○	○
3	2.422GHz	○	○	○
4	2.427GHz	○	○	○
5	2.432GHz	○	○	○
6	2.437GHz	○	○	○
7	2.442GHz	○	○	○
8	2.447GHz	○	○	○
9	2.452GHz	○	○	○
10	2.457GHz	○	○	○
11	2.462GHz	○	○	○
12	2.467GHz	○		○
13	2.472GHz	○		○
14	2.484GHz	○		

*ヨーロッパはフランス・スペインを除く。

(7)　メーカー同士の相互接続の推進　～Wi-Fi Allianceの誕生～

無線ＬＡＮ技術は Ethernet などと比べるとまだ歴史が浅いため､当初は規格の解釈の違いや実装されている機能などに差異があり、すべての製品間で相互に問題なく接続できるわけではなかった。特定の機種同士では接続することができても、別の機種同士では通信できなかったり、使用する場所や状態によってはうまく通信できなかったりした。このような状況は、無線ＬＡＮ業界としても問題であるばかりでなく、ユーザにとってもどの製品を選ぶべきか選択が困難になり、ひいては無線ＬＡＮ製品全体に対する信頼が揺らぐことにもなりかねない。

そこで無線ＬＡＮ技術の推進団体 Wi-Fi Alliance（旧称 WECA：Wireless Ethernet Compatibility Alliance）では、無線ＬＡＮ規格に対応した製品同士が確実に相互運用できるかどうかを検証し、更に無線ＬＡＮ技術を普及促進することを目的とした、Wi-Fi 認定試験を行っており、最低限サポートすべき SSID の仕様やペイロード(*)の暗号化サポートの有無、パワーセーブ・モードの有無、WEP のサポート仕様、応答時間や転送レートの要求仕様、ローミング時の扱いなどのほか、規格上であいまいにな

っている部分やオプションとなっている部分などに対しても具体的な取り扱い方法などを決め、標準的な環境を用意して相互運用性をテストしている。このWi-Fi認定テスト（Wi-Fi System Interoperability Test Plan）に合格した製品には図７に示すWi-Fi 認定ロゴが与えられ、ある一定レベルの相互運用性が保証される。ユーザはこのロゴを製品選択の参考にすることができる。

*ペイロード：　通信パケットのうち行き先などの付加情報であるヘッダ部分を除いた、本来転送したいデータ本体を指す。送られるパケットは、「ヘッダ＋ペイロード」という構成になっている。

図7　Ｗｉ-Ｆｉロゴマーク

(8)　無線ＬＡＮの利用形態　～家庭、オフィス、公衆エリア～

さまざまな場面で利用されている無線ＬＡＮであるが、以下に具体的な無線ＬＡＮ利用形態について示す。

ア　家庭における無線ＬＡＮの利用形態

自宅における無線ＬＡＮの利用は以下の点でメリットがあると考えられる。

①　インターネットの共用

②　ケーブルの配線が不要で美観を損ねない

ADSL、光を用いた高速インターネット利用が家庭にも浸透し始め、パソコンをブロードバンドに複数接続して、家族全員がインターネットを楽しむことができる。

無線ＬＡＮを利用することで、いつでもどの部屋でも利用することができるメリットがある。例えば、キッチンでレシピを見る、コタツでインターネットを利用するなど、無線ＬＡＮの強みを生かした柔軟な活用が可能になる。

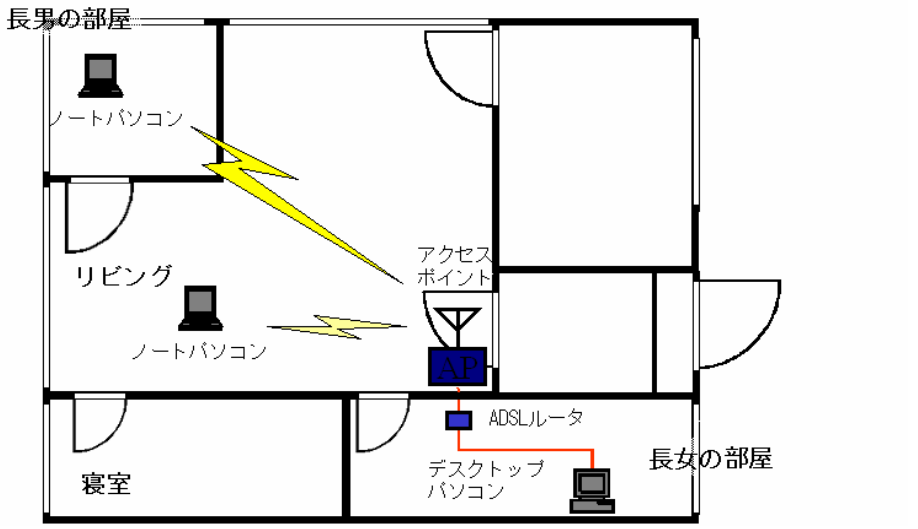


図８　家庭における無線ＬＡＮの利用形態

イ　企業における無線ＬＡＮの利用形態

企業における利用としては、以下のようなメリットが考えられる。

①　配線の簡略化

②　端末の移動、増設、レイアウト変更が容易

③　床上げをしていない、配線できない場所でも、ネットワーク接続が可能

④　ランニングコストの削減

特に、企業などでは人事異動によるネットワーク環境の変更や、会議を行う際にノートパソコンを会議室へ持ち込んで行う場面が多々ある。このような状況において、無線ＬＡＮのメリットが生かせる。

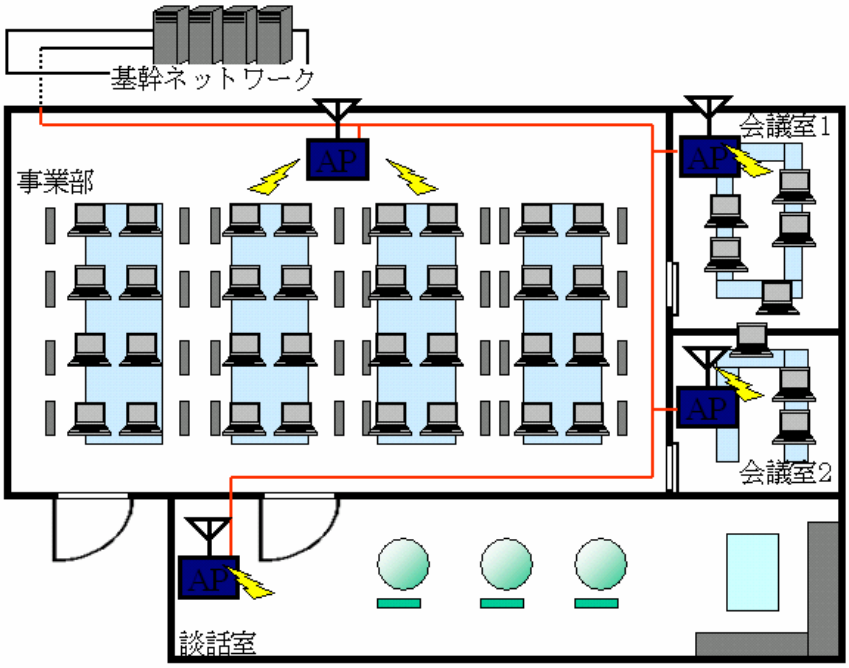


図９　企業における無線ＬＡＮの利用形態

ウ　公衆エリアにおける無線ＬＡＮ利用形態

一般家庭や企業に普及しているような無線ＬＡＮブロードバンド環境を、外出先の飲食店・駅・ホテル等のサービスエリアから利用できるのが公衆無線ＬＡＮである。公衆無線ＬＡＮとしては、電気通信事業者が契約者に対してインターネット接続環境を提供するサービス（本資料では「公衆無線ＬＡＮサービス」と呼ぶ。）、個人・団体などがアクセスポイントを設置し、無料で使用できるようにしたもの（本資料では「店舗開放型無線ＬＡＮサービス」と呼ぶ。）がある。

３　無線ＬＡＮのセキュリティ技術動向

(1)　無線ＬＡＮのセキュリティ技術

これまでの無線ＬＡＮでは、WEP、SSID、MAC アドレスフィルタリングという三つの技術をセキュリティ技術として用いることが可能である。

ア　ＷＥＰ

WEP（Wired Equivalent Privacy）とは、IEEE により標準化された無線ＬＡＮ通信を暗号化するための規格で、IEEE802.11b 等で使用される暗号化仕様の総称である。無線ＬＡＮは、電波の届く範囲であれば、誰でも通信内容を傍受することができ、重要なデータが盗まれる可能性がある。そこで、通信を暗号化し、第三者に通信内容を容易に知られないようにするために使用する。実際にデータを暗号化する際に用いられるアルゴリズムは「RC4」、鍵方式は共通鍵方式であり、鍵生成方法などを含めて WEP が構成されている。

しかし、WEP による暗号化は、仕組み上いくつかの問題点が存在するため、WEP を用いて暗号化することがセキュリティとして万全であるとは言い難い。

(ｱ) 鍵の問題

WEP の暗号化で使われる鍵（キー）は、事前にアクセスポイントと無線ＬＡＮ端末間で任意の文字列を共有しておく必要がある(ユーザが設定する必要がある。ここでは、設定キーと呼ぶ。)。この設定キーと IV を基にデータを暗号化／復号化するための鍵（ここでは、WEP キーと呼ぶ。）が自動生成される。この WEP キーは長さが 64bit の場合と 128bit の場合が選択でき、後者は鍵長が長いことから秘匿性が向上する。

アクセスポイントには複数の無線ＬＡＮ端末がアクセスするが、WEP ではどの無線ＬＡＮ端末も同じ WEP キーを使う。したがって、第三者による総当り攻撃（可能な暗号の組合せをすべて試みる攻撃手法）などにより、これを突き止められた場合、同じアクセスポイント配下に接続された他の無線ＬＡＮ端末のデータも簡単に解読されてしまう。

(ｲ) ＩＶ（Initialization Vector）

WEP では、送信側の無線ＬＡＮ端末が送信フレーム毎にランダムに IV という 24 ビットの情報を生成し、設定キーと組み合わせて暗号化アルゴリズムの WEP キー

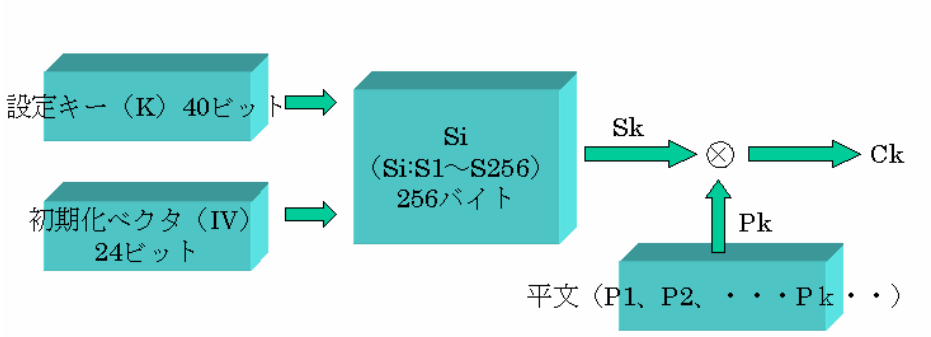
として使用する。これにより、平文（暗号化されていない生の文章）と暗号文のペアを知られてしまうと次に送られてきた暗号文から平文が判明してしまうという問題を防ぐ。

なお、IV 自体は、フレーム・フォーマットに組み込んで暗号化させずにそのまま送信する。これは、受信側が復号化する際に、どのような IV で暗号化したかという情報が必要という理由からである。

(ｳ) ＲＣ４（Rivest Cipher 4 ）

暗号化アルゴリズムには、RC4 というアルゴリズムを使用している。これは共通鍵暗号方式の一種で、1987 年に米 RSA DATA Security 社により開発された。共通鍵暗号方式にはストリーム暗号方式とブロック暗号方式の二種類があり、RC4 は前者である。ストリーム暗号とは、暗号鍵から鍵系列と呼ばれる疑似乱数を生成し、平文を１ビットあるいは数ビット毎に排他的論理和による演算を用いて逐次暗号化するアルゴリズムである。

しかしながら、WEP キー自体の長さは、64bit 又は 128bit など限られた長さしかないので、第三者が暗号文と平文（の一部）を入手した場合、暗号文と平文との排他的論理和を算出することによって鍵系列（の一部）が分かってしまう。これによって、さらに総当り攻撃（パスワードの割り出しや暗号の解読に使われる攻撃手法の一つで辞書にある単語を片端から入力して試すというもの。）等を用いることで WEP キー候補から正しい WEP キーを絞り込むことができ、結果としてすべての暗号文を解読されてしまう。WEP の RC4 暗号化アルゴリズム処理の流れを図１０に示す。図は WEP キーを 64bit に設定した場合である。

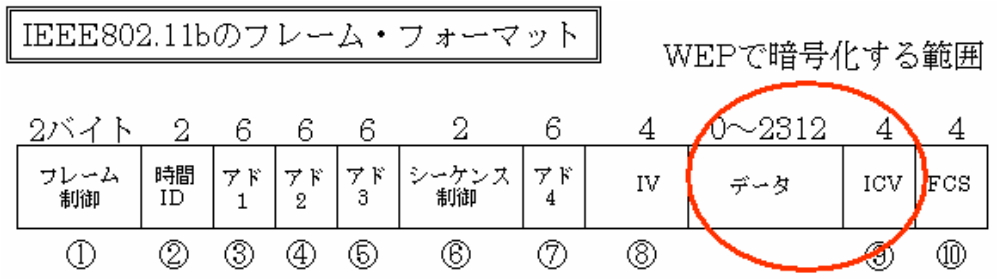


出典：松江英明、守倉正博監修「802.11高速無線LAN教科書」(IDGジャパン、2003年)

図１０　ＷＥＰの暗号化アルゴリズムＲＣ４の処理の流れ

(エ) ＷＥＰで暗号化される範囲

WEP で暗号化される範囲は、データ部分と ICV（Integrity Check Value：完全性検査値）部分である（図１１参照）。ICV は、送信されるデータの整合性をチェックするために送信時に IA(Integrity Algorithm)により計算された CRC32 [32 ビットの CRC（Cyclic Redundancy Check：巡回冗長検査）]の値を指す。この値は、暗号化されたデータとともに送信され、受信側でエラー検出に利用されている。



① フレームタイプなど各種情報。WEP を使っているかのフラグはこの中にある
② 待機時間あるいは ID
③ 無線ＬＡＮに送る場合のあて先アドレス
④ 無線ＬＡＮに送る場合の送信元アドレス
⑤ 有線ＬＡＮに送る場合のあて先アドレス
⑥ シーケンス番号とフラグメント番号
⑦ 有線ＬＡＮ同士を無線で中継する場合の送信元アドレス
⑧ 個々のフレーム毎に値が変わる暗号キーの一部
⑨ データが改ざんされていないかをチェックする
⑩ データが正確に送られたかをチェックする

図１１　ＷＥＰの暗号範囲

(オ) ＷＥＰの脆弱性

WEP は、コア部分である RC4 自体の安全性及び設定キーが 40bit と短いことから、当初から安全性が懸念されていた。2001 年夏には、WEP を解読したことが、RSA 暗号の開発者のひとりである Shamir 氏により発表された。

RC4 では、同じ暗号鍵を使用したデータをいくつか収集して解析すると、暗号化される前のデータを推測しやすくなるという特徴があるため、暗号鍵を毎回変化させる必要がある。しかし、WEP では暗号鍵（WEP キー）が常に同じ設定キーと送受信フレーム毎に異なる IV の組合せで作られており､暗号鍵を毎回変更させる役割は IV が担っている。IV の長さは 24 ビットしかなく、例えば、スループットが 5Mbps のアクセスポイントでは、24 ビットで組合せ可能なパケットが 12 時間程度で全部通過することを考慮すると、明らかに短いと言える。

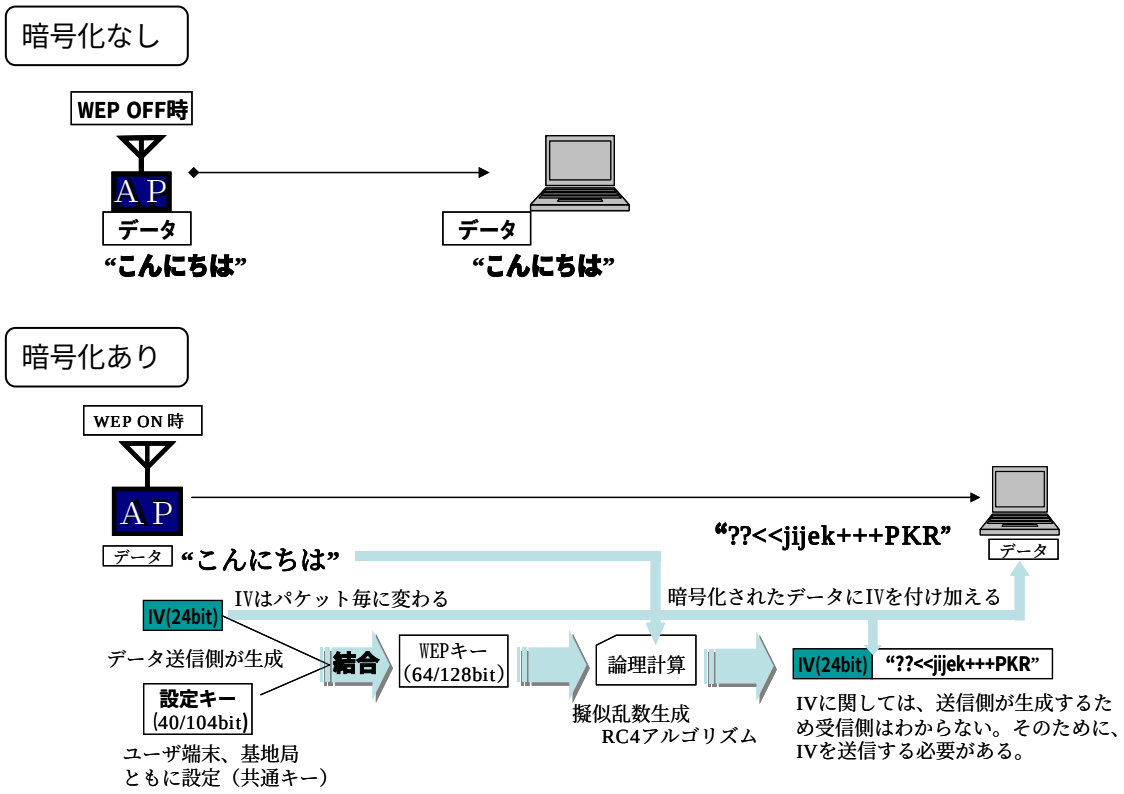


図１２　ＷＥＰの仕組み（設定キーが 40bit の場合）

（カ）ＷＥＰの設定方法

図１３に WEP のアクセスポイントにおける設定例を示す（各社毎に設定画面は異なる。）。設定は、アクセスポイントと無線ＬＡＮ端末両方に同じキーを設定する（設定キー）。図では、WEP キーの長さ 128bit 16 進数が選択されている。この場合、WEP キー1（設定キーに相当）の部分には、104bit(*)=26 バイト=26 文字を入力する必要がある。また、図は WEP キーを 4 つ設定できるものであるが、実際に使用するのは一つであり、ユーザがどれを用いるかを指定することができる。もちろん、アクセスポイントと端末側はともに同じキーを設定する必要がある。

(*)　ユーザが実際に設定するのは、IV の 24bit 部分を除いた部分になる。つまり、64bit の WEP キーを用いる場合は 40bit（5 文字）、128bit の WEP キーを用いる場合は 104bit（26 文字）を設定することとなる。

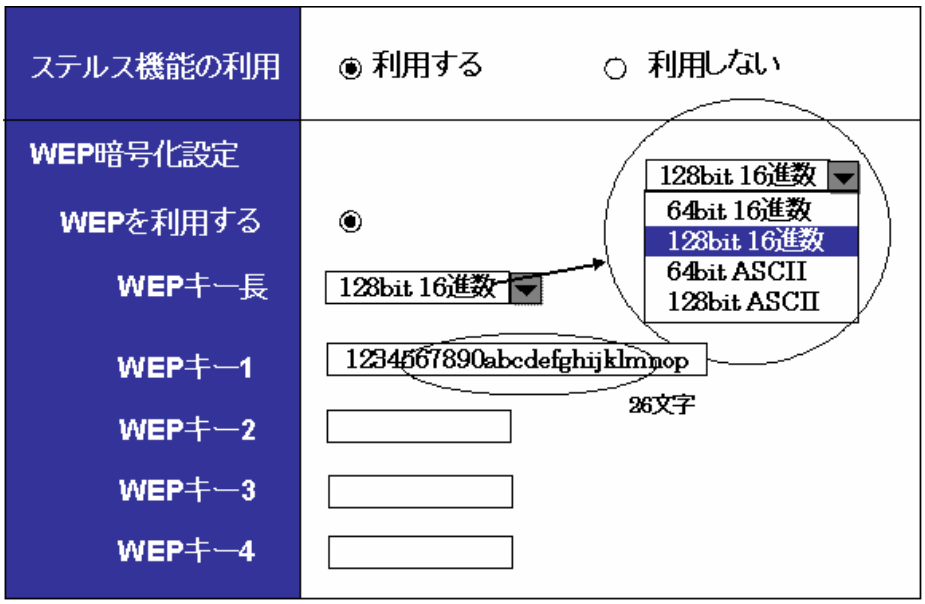


図１３　アクセスポイントにおける設定例

イ　ＳＳＩＤ

IEEE802.11では、無線ＬＡＮにおけるネットワーク識別子の一つとしてSSIDを利用している。SSIDはいわゆるネットワーク名としての役割を果たす。

インフラストラクチャモードのネットワーク構成の場合、基本となる一つのアクセスポイントと、その配下の複数の無線ＬＡＮ端末で構成されるネットワークをBSS（Basic Service Set）と呼ぶが、その際に使用する識別子をBSSIDと呼ぶ。また、複数のBSSで構成されるネットワークのことをESSと呼び、その際に使用される識別子をESSIDと呼ぶ（本資料では、特に記述がない場合、SSIDはこのESSIDを指しているものとする。）。

SSIDの設定は、意図しないネットワークに繋がらないようにするため、又は繋ぐものを識別するためのものである。つまり、アクセスポイントと無線ＬＡＮ端末は同じSSIDを設定しないと接続が不可能になる。この機能を使ってある程度使用者を制限することができるが、アクセスポイントはBeaconと呼ばれるパケットデータを周期的に配信している。このBeaconパケットの中には、無線ＬＡＮ端末が接続に必要なアクセスポイントのSSID名が含まれているので、この電波が届く範囲の無線ＬＡＮ端末にアクセスポイントの存在を知らせている。また、Windows XPや一部の設定ユーティリティソフトを使用することで、SSID名を知ることができるので、第三者が無断でSSIDを設定し使用してしまう可能性がある。さらに、ど

のアクセスポイントにも接続できる「ANY」接続という SSID を指定しない接続方法もある。無線ＬＡＮ端末側が、SSID の設定欄を「ANY」や空欄にしておくと、すべての SSID で通信可能にするということになる。これは、公衆無線ＬＡＮサービスを意識した仕様であると考えられるが、逆にいえば SSID を知らなくても「ANY」や空欄にしていればネットワークに接続できるということになる。これらの対策として、最近販売されているアクセスポイントの中には、SSID を隠蔽する機能(ステルス機能)を用いることができるものが出てきている。この機能は各社によって多少仕様が異なるが、基本的には SSID を表示しないようにするとともに、「ANY」や空欄で接続を行おうとする端末を拒否することができるようになっている。しかし、これらの手法を用いても、無線区間を飛び交うデータには必ず SSID が含まれているので、無線区間を飛び交うパケットをキャプチャすることで SSID を知ることはできる。このようなことからも、SSID はアクセスポイントと無線ＬＡＮ端末の集合を区分け（グループ化）するための単なる「文字列」でしかなく、不正なアクセスを確実に防ぐセキュリティ機能ではないという点は認識しておくべきである。

図１４に SSID のアクセスポイントにおける設定例を示す。

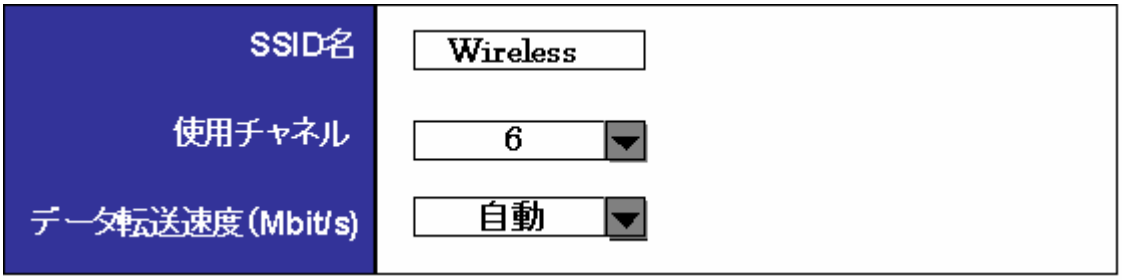


図１４　ＳＳＩＤの設定例

ウ　ＭＡＣアドレスフィルタリング

MAC アドレスとは、各通信機器の固有の ID 番号のことである。世界中の通信機器にはそれぞれ固有の番号が割り当てられており、この ID を元に各通信機器のデータの送受信が行われている。MAC アドレスは 16 進数で表された 12 桁の値で、上 6 桁（24 ビット）は IEEE 委員会で管理する固有の ID で、下 6 桁が各通信機器の連番となり、世界中で同じアドレスを持つ通信機器は存在しない。MAC アドレス認証とは、同じアドレスを持つ通信機器が存在しないという特徴を生かした認証方式である。MAC アドレスフィルタリングを有効にすると、アクセスポイントは無線ＬＡ

N端末の MAC アドレスとアクセスポイントの「MAC アドレスフィルタ設定」（ベンダーによって表示は異なる。）に登録されている MAC アドレスとを比較し、一致する MAC アドレスを持つ無線ＬＡＮ端末のみ通信を行う。世界に唯一の ID 番号であるから、セキュリティ設定は一見万全のようにも見える。しかし、一部のユーティリティソフトを使用すると、通信している無線ＬＡＮ端末の MAC アドレスを知ることができてしまう。そして、MAC アドレスを偽造するソフトもインターネットなどから無償で手に入れられるため、SSID 同様、第三者が無断で設定し使用する可能性があるため堅牢なセキュリティ対策とは言えない。

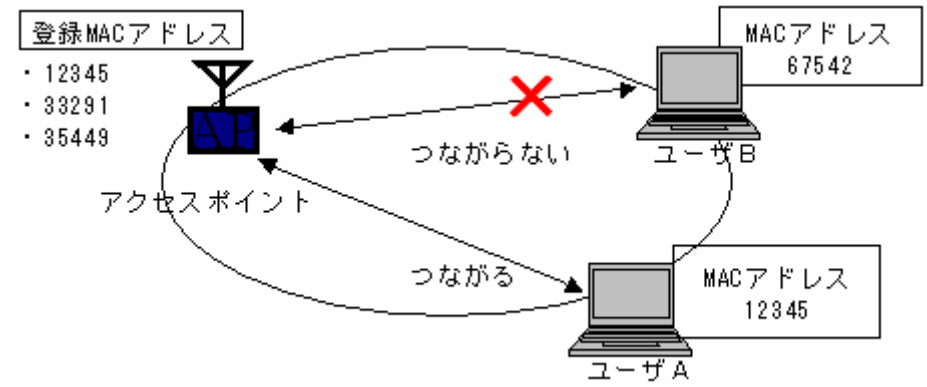


図１５　ＭＡＣアドレスフィルタリングの仕組み

図１６に MAC アドレスフィルタリングにおける設定例を示す。設定はアクセスポイント側で行う。

図１６　ＭＡＣアドレスフィルタリングにおける設定例

エ　まとめ

以上、無線ＬＡＮにおける三つのセキュリティ技術を紹介した。家庭などで、無線ＬＡＮを利用する場合、WEP を有効にし、MAC アドレスフィルタリングを行うことで、ある程度のセキュリティは確保できる。

(2)　無線ＬＡＮのこれからのセキュリティ技術

無線ＬＡＮの危険性として挙げられるものは主に二つある。ひとつは、勝手にアクセスポイントに繋がれてしまうこと、もうひとつは、通信中の電波を傍受され内容を読まれてしまうことである。こうした危険を防ぐために「IEEE802.1x」や「WPA」というセキュリティ規格が作られた。WPA は、WEP の弱点を補強した無線ＬＡＮの暗号化方式の規格である。

ア　ＩＥＥＥ８０２.１ｘ

IEEE802.1x は、ＬＡＮスイッチなどネットワーク機器のポート単位でユーザ認証する手順を定めたものである。認証サーバを使ってユーザ認証を行う。WPA が登場する以前は、無線ＬＡＮ製品のベンダーが独自に IEEE802.1x を認証の仕組みとして製品に実装させていたが、WPA では IEEE802.1x を標準機能として盛り込んだ。有線の場合は物理的なＬＡＮポートが、無線の場合はユーザが接続してきた時点で生成される論理的なポートが管理対象となる。また、IEEE802.1x にはさまざまな種類が存在している。

IEEE802.1x を使うためには、

① IEEE802.1x 対応のユーザ端末（Supplicant）

② アクセスポイント（Authenticator）

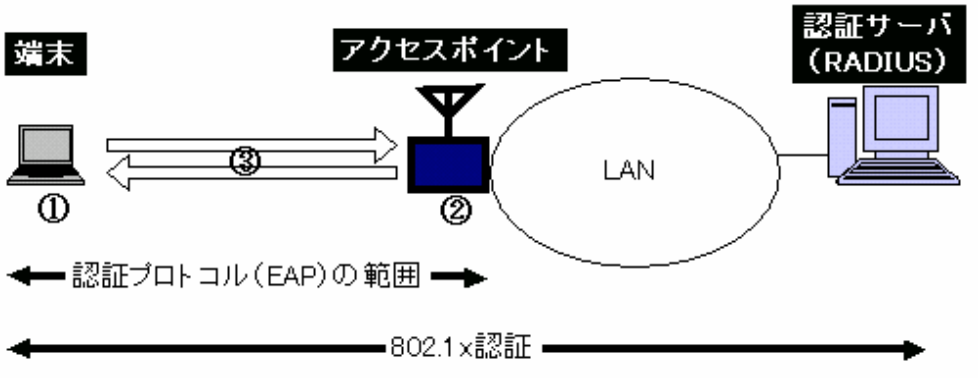
③ ユーザ ID やパスワードを管理する IEEE802.1x 対応の認証サーバ（RADIUS）

④ 外部の認証局サーバ（CA：Certificate Authority）

などが必要である。

IEEE802.1x での基本構成を図１７に示す。基本的に、IEEE802.1x では、アクセスポイントで認証プロトコルを終端し、アクセスポイントと認証サーバが別プロトコルで認証に必要な情報を送受信する。これで、ユーザから見れば、アクセスポイントがあたかも認証サーバとして働いているかのように見える。このように、認証プロトコルをアクセスポイントで終端しておけば、未認証のユーザがネットワーク側（アクセスポイントより上流）にパケットを送出してしまうことを容易に防止す

ることが可能となる。



① ＬＡＮ端末は、認証が完了するまでパケットをＬＡＮに送出できない。
② アクセスポイントは、認証サーバー向けのフレーム・フォーマットに情報を載せてマルチプロトコルをサポートする。
③ 認証情報を EAP フレームでやり取りする。アクセスポイントで EAP プロトコルが終端するので、ＬＡＮ端末からのパケットはＬＡＮ側に流れない。

図１７　ＩＥＥＥ８０２．１ｘのネットワーク構成

CA とは、申請者の公開鍵が申請者自身のものであることを証明し、その証明書を発行する機関のことである。CA を用いると、パスワードが不要なため安全だが、CA の設定と証明書の発行・管理が必要となる。図１８には、クライアント及び認証サーバ両方に証明書が必要である EAP-TTL の構成を示す。

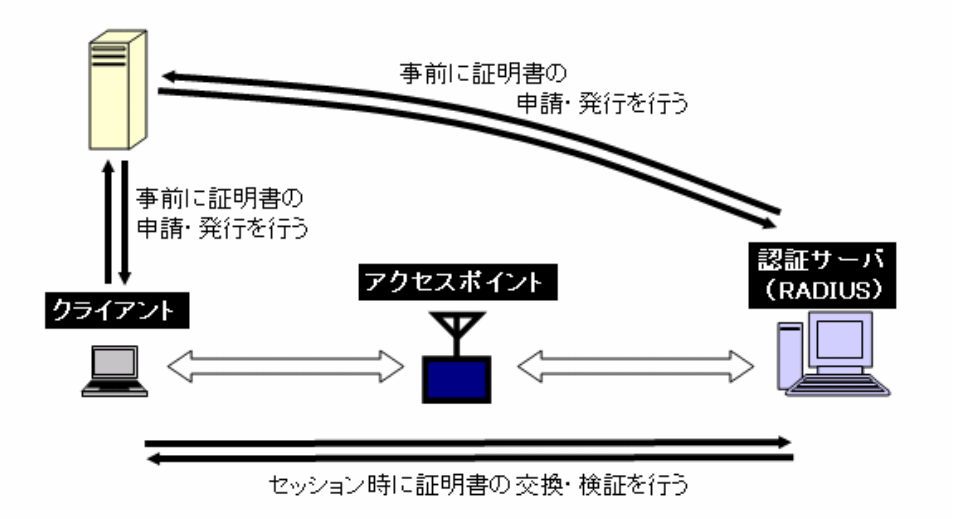


図１８　ＣＡ（認証局）の役割

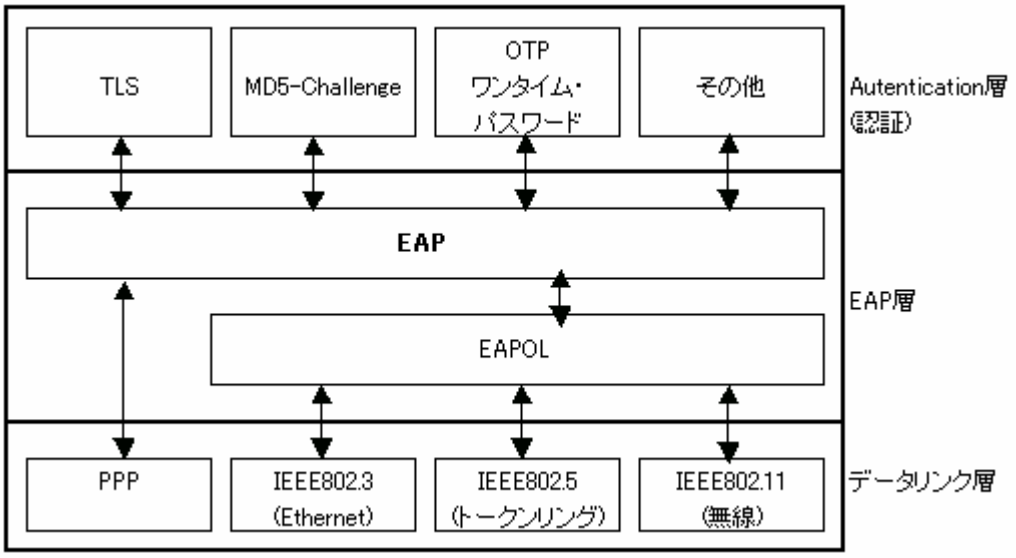
IEEE802.1x のプロトコルは、

① 「データリンク層」

② 「EAP（PPP Extensible Authentication Protocol）層」

③ 「Authentication 層」

という三つの階層に分けることができる。



* EAPOL（Extensible Authentication Protocol over LAN）：
ＬＡＮ上に動作する拡張可能な認証プロトコル。IEEE802.1x に規定されている認証に使用する仕組みである。

図１９　ＩＥＥＥ８０２.１ｘプロトコルスタック

EAP 層の役割は、Authentication 層で使用する認証プロトコルを選択できるようにすることである。認証プロトコルには、「TLS（Transport Layer Security）」「MD5-Challenge」「OTP（ワンタイムパスワード）」など様々な認証方式がある。IEEE802.1x の EAP 自体に認証機能はなく、具体的な認証手順や鍵の配送手順はすべて自由となっている。実際の認証手順、鍵の配送手順としては、「EAP-TLS」「EAP-TTLS」「PEAP」が有力である。

* MAC 層（Media Access Control layer）：
OSI 参照モデルの第 2 層（データリンク層）は、MAC 層と LLC 層に分かれており、MAC 層では各ＬＡＮに特有な問題を扱い、LLC 層では複数の上位プロトコルがデータリンクを共有するためのフィールドを定義している。

表４　ＩＥＥＥ８０２.１ｘの認証の種類

方式	認証方式	相互認証	WEPキー	対応端末 OS	端末設定	サーバー設定
EAP-TLS	証明書	あり	生成可	Windows XP、2000 SP4	証明書のインストール	証明書のインストール
EAP-TTLS	ID/ パスワード	あり	生成可	主要各 OS（ファンクのサプリカントが必要）	容易	証明書のインストール
PEAP	ID/ パスワード	あり	生成可	Windows XP、2000 SP4	容易	証明書のインストール
EAP-MD5	ID/ パスワード	なし	固定	Windows XP (ただし SP1 では未対応)	容易	容易
LEAP	ID/ パスワード	あり	生成可	主要各 OS（シスコシステムズのドライバが必要）	容易	容易

(ア) ＥＡＰ-ＴＬＳ

EAP-TLS（Extensible Authentication Protocol-Transport Layer Security）は、証明書ベースの認証方式である。ＬＡＮ端末と認証サーバーの間で証明書の交換による双方向認証、暗号化アルゴリズムの選択、暗号鍵を安全に共有するための階層的な鍵の生成を行う。この方式で使われる認証サーバーは CA（認証局）ではないため、認証サーバーも CA から証明書の発行を受け、相互認証の片側として動作し、ＬＡＮ端末と暗号化のための鍵を共有する。その後で、アクセスポイントにＬＡＮ端末と共有した鍵を配送する。

以下に EAP-TLS のシーケンスを示す。

① 最初にアクセスポイントを介して、RADIUS サーバーに認証の要求信号が届くと、まず一往復（ＬＡＮ端末－RADIUS サーバ間）があり、認証開始の信号を認証サーバーと無線ＬＡＮ端末が交換する。

② Server Hello、Client Hello という情報要素の中で、random1、random2 という乱数を交換する。

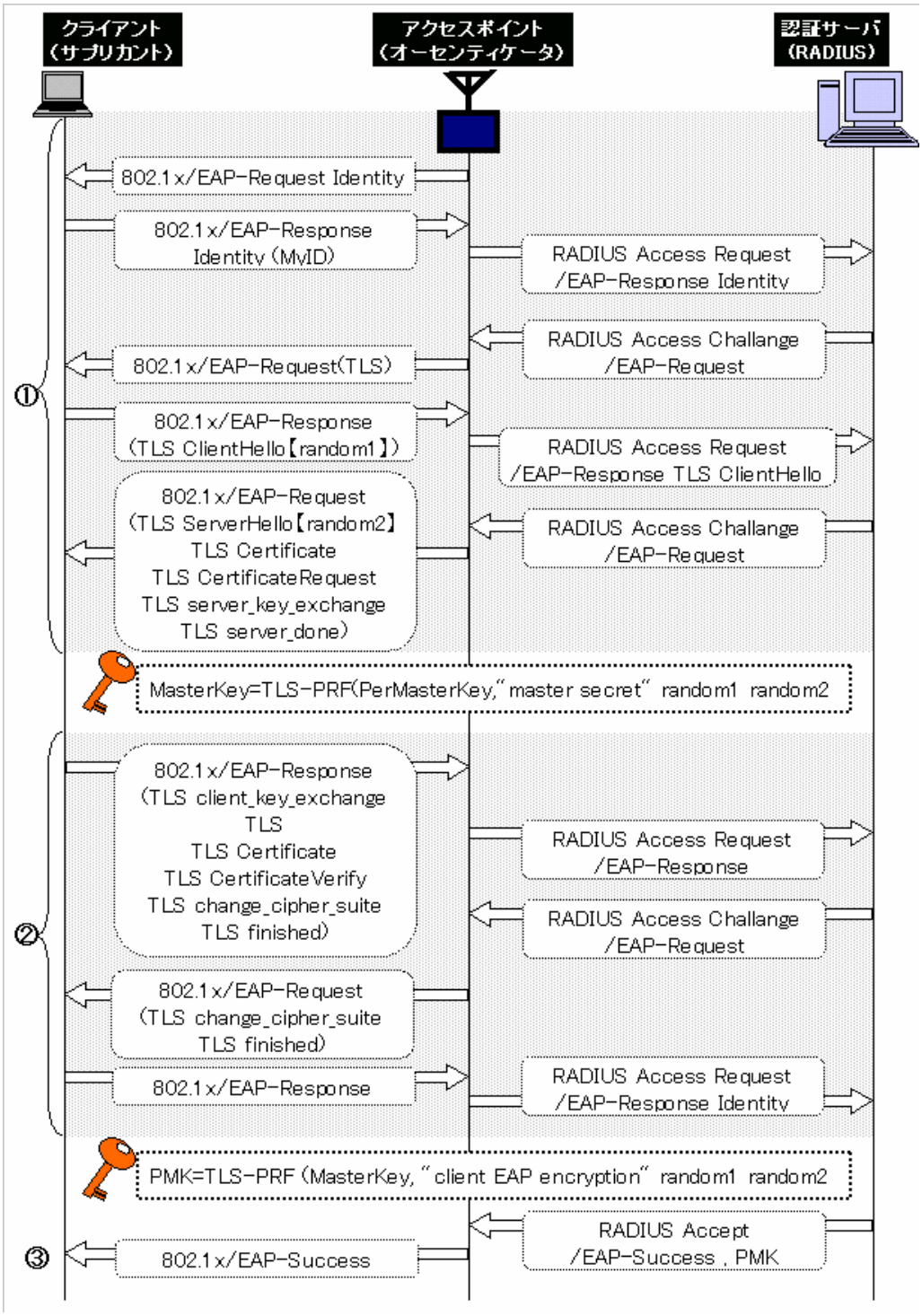
③ 認証サーバーから、証明書(Server Certificate)と乱数(Server Key Exchange に含まれる。random1、random2 とは別のもの）を送る。

④ ＬＡＮ端末は、これを受信した後、乱数を発生し、client_key_exchange に含めてサーバーへ送る。client_key_exchange と、server_key_exchange に含まれている乱数から Pre Master Key を算出し、TLS－PRF という関数で Pre Master Key と random1、random2 から、Master Key を算出する。認証サーバーは自分の

秘密鍵で Pre Master Key を復号し、Pre Master Key と random1、random2 から Master Key を算出する。

⑤　認証が終わった後、両者は MASTAR KEY をそのまま使わず、さらに情報交換を行い MASTER KEY を元に Pair Wise Master Key を作成し、これをアクセスポイントとＬＡＮ端末が共用する秘密鍵にする。これで、アクセスポイントと無線ＬＡＮ端末の鍵共有は完了する。

この方法はパスワードを用いない点で安全である。しかし、CA を設置する必要があるため、その分の追加費用が発生する上、各ＬＡＮ端末側にも証明書が必要なため、手間がかかるなどの欠点もある。



図の見方

① どの EAP 認証方式を用いるか決定する（ここでは EAP-TLS）。
② TLS ネゴシエーション
③ 暗号鍵が発行されて、暗号化セッションが開始される。

出典：松江英明、守倉正博監修「802.11高速無線LAN教科書」(IDGジャパン、2003年)

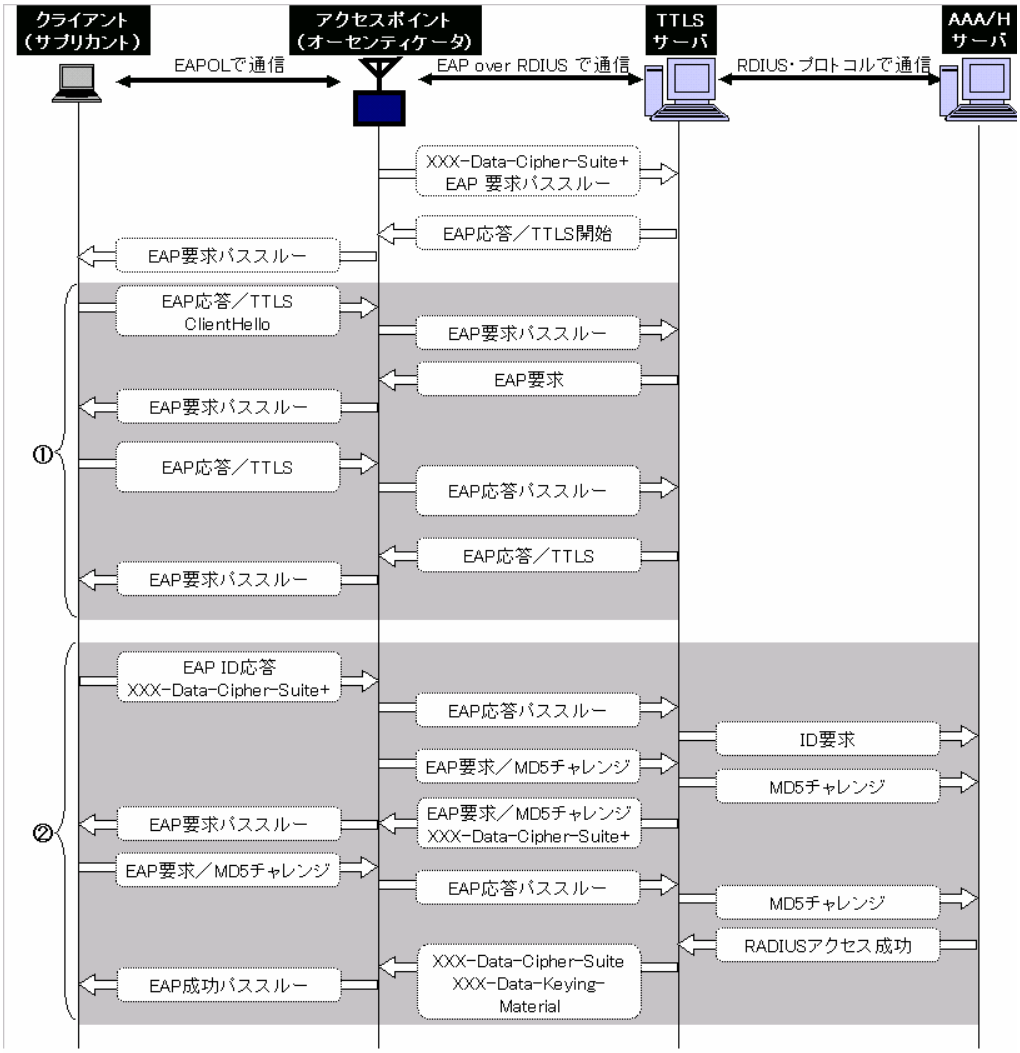
図２０　ＥＡＰ-ＴＬＳのシーケンス

（ｲ）ＥＡＰ-ＴＴＬＳ及びＰＥＡＰ

EAP-TTLS（Tunneled-TLS）と PEAP（Protected EAP）はほぼ同様の認証手順である。EAP-TTLS は、証明書運用がネックの EAP-TLS を改良し、ＬＡＮ端末側の証明書の発行を不要とした認証方式である。更にそのアーキテクチャをベースとし、より軽い認証方式にしたものが PEAP である。

パスワードの認証は、EAP-TTLS、PEAP の両方とも、TTLS サーバーまたは EAP サーバー（このサーバーは PEAP の動作をするものではなく、単に EAP の処理をしているだけである。）から Certificate（証明書）を送り、ＬＡＮ端末側から Client Key Exchange（無線ＬＡＮ端末と TTLS サーバーや EAP サーバーとの通信の暗号化に用いられる鍵）を送り返してできた暗号化のトンネルで行われる（図２１に描かれている「MD5 チャレンジ」などはそのための信号要素である。図２２では、「EAP-Type＝X」というメッセージでパスワードを送受信している。）。こうすることで、パスワードの受け渡しが暗号で保護される。認証を行った後の鍵の配送は EAP-TLS の場合と同じである。このように、サーバー側のみ証明書があればよいため、各ＬＡＮ端末に証明書を発行する煩雑さを省略することができる。

なお、TTLS では、AAA/H（ユーザの認証が行われる「ホームドメイン」にある AAA(Authentication Authorization and Accounting)サーバー）までトンネル化されるが、PEAP では EAP サーバーまでしかトンネル化されないため、TTLS サーバーから AAA/H までＬＡＮ端末と共有した鍵が配送されなければならない。これらのことから、PEAP は、AAAA/H が送出した鍵が別のＬＡＮ端末から割り込まれて盗まれる危険性があることが指摘されている。



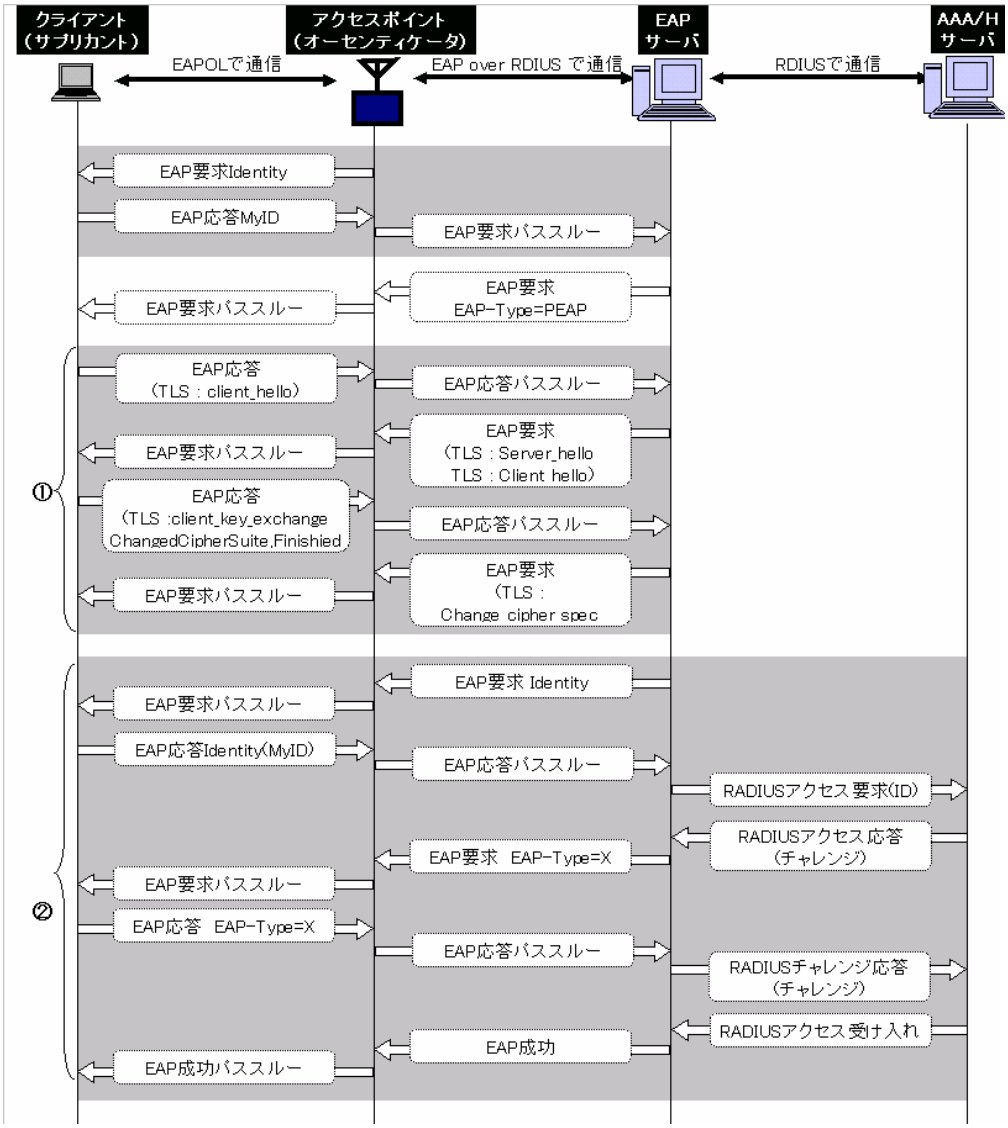
図の見方

① TLS ネゴシエーション（サーバー証明書発行）

② TLS トンネル（端末認証）

出典：松江英明、守倉正博監修「802.11高速無線LAN教科書」（IDGジャパン、2003年）

図２１　ＥＡＰ-ＴＴＬＳのシーケンス



図の見方

① TLS ネゴシエーション（サーバー証明書発行）

② TLS トンネル（端末認証）

出典：松江英明、守倉正博監修「802.11高速無線LAN教科書」（IDGジャパン、2003年）

図２２　ＰＥＡＰのシーケンス

(ｳ) ＥＡＰ-ＭＤ５（EAP-Message Digest 5）

ユーザ ID とパスワードによる接続認証方式で、認証には MD5 によるハッシュを使用する。 MD5 は、どんな文字列でもメッセージを 16 バイト単位のビット列（これをハッシュ符号と言う。）の演算結果になるようなアルゴリズムである。

MD5 は、ＬＡＮ端末および認証サーバーの両方に電子証明を必要としないため

実装が容易になり管理しやすい。しかし、ＬＡＮ端末のみを認証する片方向認証であり、WEP キーの自動生成を行うことができないため、暗号解読によるデータ漏洩には脆弱な面がある。

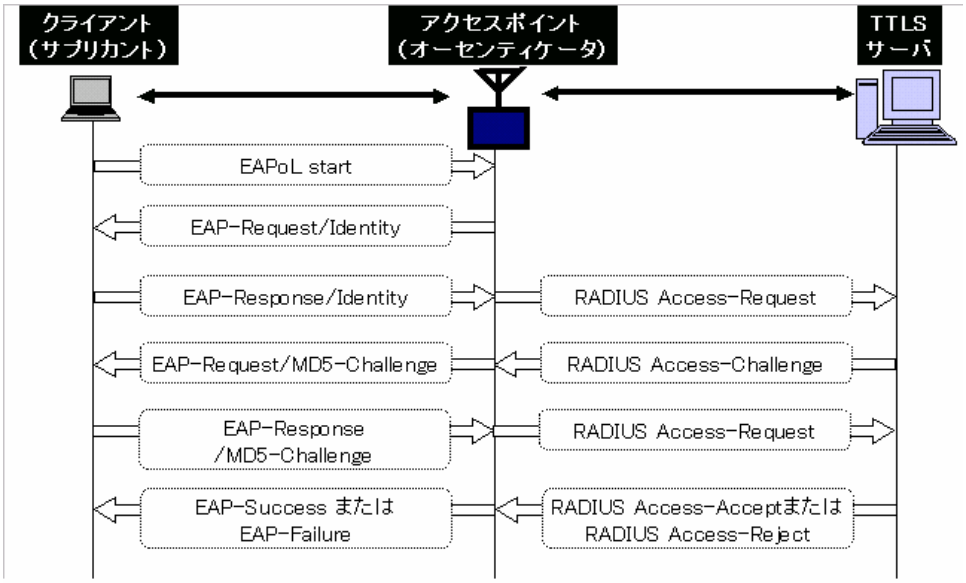


図２３　ＥＡＰ-ＭＤ５のシーケンス

(ｴ) ＬＥＡＰ（Lightweight EAP）

米シスコシステムズ社独自の認証プロトコル。ユーザ ID、パスワードによる、サーバー－端末と端末の双方向認証方式である。使用する際は、Cisco クライアントソフトあるいは Cisco Compatible eXtensions プログラムにて認定された内蔵無線ＬＡＮパソコン及び対応クライアントソフトが必要である。なお、総当り攻撃等に弱いという脆弱性があるとの報告がされている。

ｲ　ＷＰＡ（Wi-Fi Protected Access）

WEP の弱点を補強する新たな規格として Wi-Fi Alliance により WPA が規定された。WPA は、ひとつの技術によるセキュリティ機能ではなく、複数のセキュリティ規格の総称である。無線ＬＡＮでユーザ認証を行う「IEEE802.1x」、新しい暗号化方式である「TKIP」が規定されている。この方式は、WEP に比べて高いセキュリティ機能を持ち、WEP と同じ技術で実現可能である。

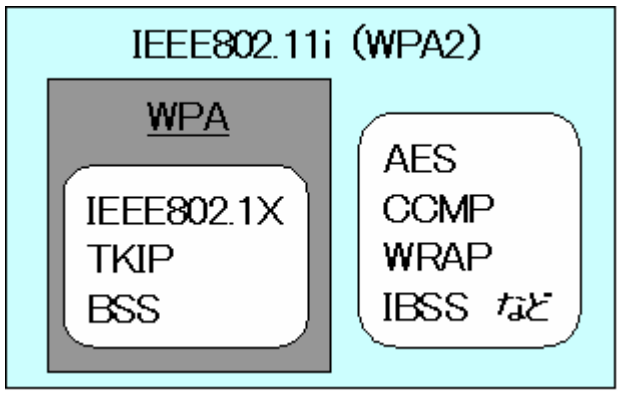


図２４　ＷＰＡとＩＥＥＥ８０２．１ｘの関係

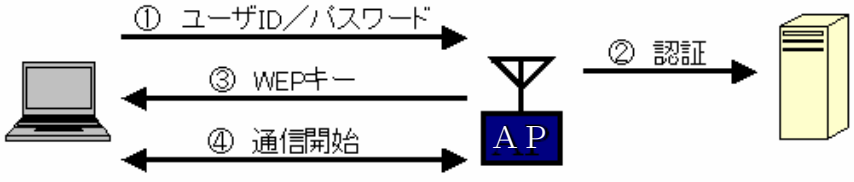
この WPA には大きく分けて、企業又は公衆無線ＬＡＮ事業者向けの「EAP（Extensible Authentication Protocol）モード」と、SOHO（小規模事業所）および一般家庭向けの「PSK（Pre-Shared Key）モード」の 2 種類がある。

① EAP モード

EAP モードでは、IEEE802.1x と RADIUS サーバを利用してユーザの個別認証を実現している。認証プロトコルとしては EAP が採用されている。

WPA では無線ＬＡＮ端末がアクセスポイントに接続するとき、最初の段階では認証プロトコル以外のトラヒックが遮断されている。このため、無線ＬＡＮ端末は EAP を使って自分の ID とパスワードなどをアクセスポイントに送信して認証を試みる。アクセスポイントはこの通信を受け取ると、これを RADIUS サーバへ転送し、そこで認証を行う。そして、認証成功の場合は、暗号に用いるマスター鍵など接続に必要な情報が無線ＬＡＮ端末に渡される。これにより、WEP ではできなかったユーザの個別認証やユーザ毎の異なる鍵の安全な配信が可能になる。

企業ユーザや公衆無線ＬＡＮサービス事業者は、RADIUS サーバーを使った IEEE802.1x により EAP による鍵配送を行い認証を行うことが推奨されている。



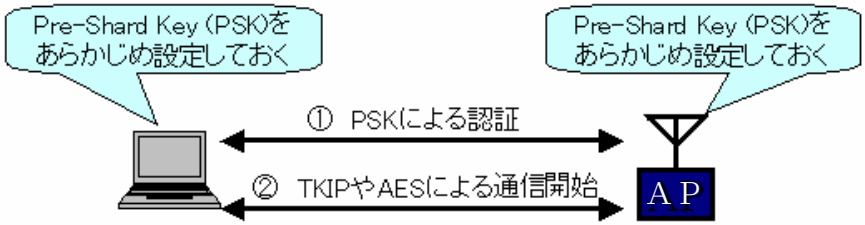
IEEE802.1x によるユーザ認証と、WEP キーの配送が可能

図２５　ＥＡＰモード

② PSK モード

一般的にRADIUS認証などの大掛かりな手段を家庭で用いることは難しく、SOHOユーザが用いることを想定して作られたものがPSKモードである。PSKモードは、RADIUSサーバを必要としない、PSKと呼ばれる共通鍵によって無線ＬＡＮ端末を認証する機能である。アクセスポイントと、これと通信を行うすべての無線ＬＡＮ端末に共通の文字列（パスフレーズ(*)）を登録しておき、パスフレーズより生成されるPSKが認証時に利用される。即ち、アクセスポイントと端末のPSKが同一ならば認証され、異なれば認証されないということである。

(*)パスフレーズ：　WPAでは、パスフレーズは最小8文字、最大63文字のASCII文字列と定義されている。WPA で定められたアルゴリズムに基づき、パスフレーズから自動的に128bitのPSKが生成される（一般に文字数が多い場合、パスワードと区別してパスフレーズと呼ぶ。）。



ＬＡＮ端末とアクセスポイントにPSKを設定することにより認証が可能

図２６　ＰＳＫモード

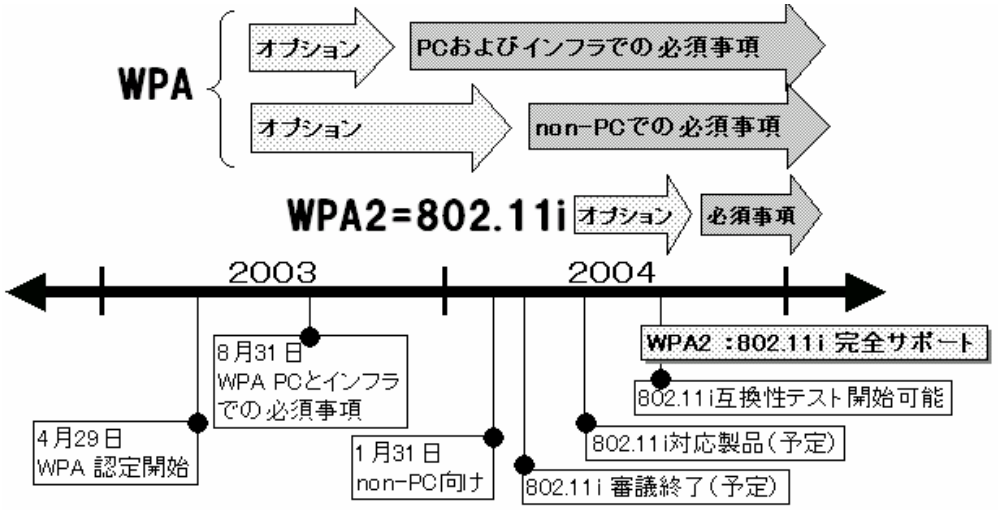
表５　ＥＡＰモードとＰＳＫモードの比較

	EAPモード	PSKモード
対象	企業又は 公衆無線LAN事業者向け	SOHOおよび一般家庭向け
RADIUSサーバ	必要	不要
暗号鍵生成	TKIP （アルゴリズムはRC4）	TKIP （アルゴリズムはRC4）
暗号鍵生成 （オプション扱い）	AES （アルゴリズムは Rijndael）	AES （アルゴリズムは Rijndael）
認証	IEEE802.1x	Pre-Shared キー

WPAは、IEEE802.11i Draft3.0の一部をWi-Fi Allianceが標準化した規格である。

これは、IEEE802.11i の策定に時間を要する中、および WEP の脆弱性を克服する新しいセキュリティ規格の早期導入ニーズを踏まえ策定されたものである。

将来的には、IEEE802.11i をフルサポートした「WPA2」も予定されている。WPA から WPA2 への移行は容易に行えるようになっている上、WPA2 は、WPA と WPA2 の両方をサポートする「ミックスモード」も提供する。



Wi-Fi is everywhere! Wi-Fi アライアンスのご紹介（Wi-Fi Alliance）より

図２７　セキュリティのロードマップ

(ｱ) ＴＫＩＰ（Temporal Key Integrity Protocol）

WPA は、WEP の問題点である、

① 鍵を交換できない

② IV の中には解読に利用されやすいものがある

という脆弱性を新しい暗号化プロトコルである「TKIP」を利用することにより補っている。

TKIP では、既存の WEP 製品がドライバやファームウェアを更新するだけで対応できるよう、暗号化アルゴリズム自体は WEP と同じ「RC4」が使われている。ただし、暗号化アルゴリズムを変えずに暗号強度を強化するために、暗号鍵として使われるシードの作り方に特徴を持たせた。シードは、

「IV（Initialization Vector）」

「一時鍵（TK: Temporal Key）」

「無線ＬＡＮカードの MAC アドレス」

の三つのデータを基に生成される。TKIP の暗号鍵（シード）生成方法を図２８に示す。

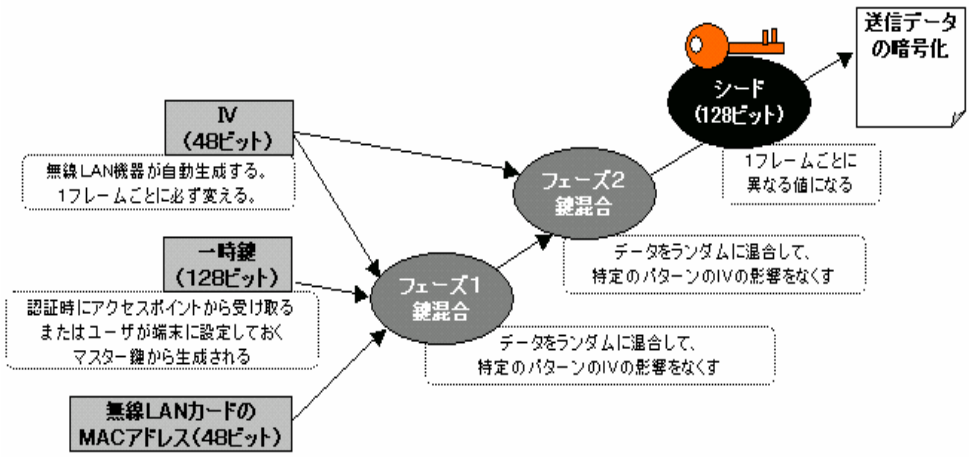


図２８　ＴＫＩＰの暗号鍵（シード）生成方法

TKIP で用いられる IV は、WEP が 24bit であったのに対し、２倍の 48 bit に拡張された。これにより、同じ IV のフレームが現れるタイミングは、WEP の場合と比べると約 1700 万倍にもなり、事実上同じフレームが送信されるという心配はない。その上、フレーム毎に IV の値が必ず変わるように、その値がインクリメント（値を１ずつ増加）され、同一の IV で暗号化されることはない。一時鍵は、WEP でユーザが設定する暗号鍵に相当するものである。TKIP が使用するシーズは、ユーザＬＡＮ端末とアクセスポイントで共通な 128 ビットの一時鍵（EAP モードでは鍵配送されたマスター鍵、PSK モードでは PSK）を基にして生成される。一時鍵と従来の IV を混合して鍵を作成（フェーズ 1）した後、その鍵に更に IV の拡張された部分を混合して鍵を作成（フェーズ 2）し、この鍵で平文を暗号化するという二重の鍵混合プロセスを採用することにより、パケット毎に異なる鍵で暗号化でき、パケット毎に使われる鍵の不規則性を高めて暗号解読のヒントになるような IV が登場しないようにも工夫されている。TKIP では、暗号化アルゴリズムではなく、暗号化のプロセスを強化することによって、より高い安全性が実現されている。シーズの生成には、ユーザの MAC アドレスが使用されるため、すべてのユーザで異なるシードが使われるようになる。

(ｲ) ＭＩＣ（Message Integrity Check）

MICはWPAで採用された、データの改ざんを検出するためのハッシュ値である。このハッシュ値を求めるために「ハッシュ関数」が用いられる。元データにハッシュ関数を用いて計算すると固定長のビット列ができる。元データが１ビットでも変わると、このハッシュ値も変わってしまう。ハッシュ関数には、不可逆な一方向関数が含まれるため、ハッシュ値から元のデータを再現することはできない。また、異なるデータ（意味のあるデータ）が同じハッシュ値になることはまずない。このことにより、データの完全性をチェックすることができる。

(ｳ) ＡＥＳ（Advanced Encryption Standard：高度暗号標準）

WPA のオプションである AES は米国政府が使用する暗号方式として、NIST（National Institute of Standards and Technology：米標準技術局）で標準化された暗号化方式であり、「Rijndael」という秘密鍵暗号化アルゴリズムが使われている。この方式は、ハードウェア処理を行わないと、54Mbps という IEEE802.11a の通信速度に対応できない。

AES で使われている「Rijndael」は、高い安全性と速度、プラットホームに依存しない性能、消費電力などの面で、非常にバランスの取れたアルゴリズムである。

CCMP （ Counter mode with CBC-MAC 〔 Cipher-Block Chaining-Message Authentication Code〕 ）は、AES で改ざんを検出するプロトコルである。IEEE802.11iでは、AESを採用した通信方式として、CCMPが必須とされている(TKIPはオプション扱いである。）。

CCMPでは、暗号化に使われるのと同じ鍵が用いられ、データの暗号化(Counter modeと呼ばれる方法での暗号化)と並行してCBC-MACという方式で改ざん検出符号化を行い（アルゴリズムはAES）、MICフィールドに出力する。

表６　ＣＣＭＰ、ＴＫＩＰの比較

	CCMP	TKIP
暗号方式	AES	RC4
鍵長	104bit 暗号化 64bit 認証	128bit
IV	48bit	48bit

ウ　ＩＥＥＥ８０２.１１ｉ

現在、標準化に向けて策定中の無線ＬＡＮセキュリティ規格。認証に IEEE802.1x を､暗号化には TKIP に加えて米国商務省標準技術局によって次世代標準暗号化方式にも選ばれている AES を採用することが決まっている。IEEE802.1x のうち、どの方式を標準とするかまでは規定しない。

(3)　その他のセキュリティ

無線ＬＡＮ用に策定されたセキュリティ規格以外に、有線ＬＡＮにおけるセキュリティを確保する方法も広く使われている。

ア　ＳＳＬ（Secure Sockets Layer）

SSL は、通信データの暗号化と認証を行うことにより、通信の盗聴や改ざん、なりすましを防止するためのプロトコルである。

SSL では、暗号化と復号化に同じ鍵を使う共通鍵暗号方式が使われている。通信を行うサーバー－端末間で同じ種類の鍵を共有して暗号化と復号化を行う。暗号化通信を始めるときに互いに相手を認証する（片方のみ認証する場合もある。）と同時に、そのセッションで使う共通鍵を受け渡す。このセッションを盗聴しても共通鍵がわからないように、共通鍵は公開鍵暗号方式という別の方法で暗号化されて受け渡される。公開鍵暗号方式は、秘密鍵と公開鍵という対になった二種類の鍵を使う。これらは全く違う符号列でできた鍵である。

SSL のデータ通信で使われる共通鍵は、公開鍵で暗号化される。公開鍵で暗号化したデータは、公開鍵と対となっている秘密鍵でしか復号化できない。しかし、秘密鍵はサーバー－端末それぞれが各自持っているものなので、ネットワーク上を流れることはない。そのため、この秘密鍵を奪われない限り、データを解読することはできない。さらに、共通鍵はセッション毎の使い捨てなので、通信が終わると同時に無効となる。

現在、クレジットカード番号や個人情報を扱うホームページの多くは、通信途中での傍受やなりすましを防ぐ目的で SSL を利用している。IE（Internet Explorer）や Netscape などの SSL に対応した Web ブラウザを利用して SSL で保護されたサイトに接続すると、通信相手の認証が行われ、通信データが自動的に暗号化される。このとき、Web ブラウザのステータス欄には鍵のマークが表示される。

図２９　Internet Explorer のステータス欄の鍵マーク

イ　ＶＰＮ（Virtual Private Network）

VPN は、インターネットや IP ネットワークを仮想的にプライベートなネットワークとして利用するための、「認証」、「暗号化」及び「カプセル化」が組み合わされてできた技術である。

インターネットなどのパブリックなネットワークは、コスト面では非常に安いので容易に導入できる。しかし、パブリックであるがゆえに、経路途中での盗聴や改ざん、なりすましなどセキュリティ面での問題点が多いのも事実である。従来、遠隔地にある企業の本社、支社にそれぞれ施設されているＬＡＮ同士を接続するには専用線などを利用していた。しかし、専用線は、帯域と遅延時間は保証されるが、二点間の距離と回線速度によりコストが上がり、一対一の接続のため複数の拠点と接続する場合かなりのコスト高となってしまう。そこで、インターネットなどのパブリックなネットワークを利用し、接続距離とは無関係に遠隔地のＬＡＮ間接続を行う方法が考え出された。その一つが VPN である。

VPN では、大きく分けて、企業の本社－支社などを結ぶための「ＬＡＮ間接続 VPN」と、自宅や公衆無線ＬＡＮなどから社内ＬＡＮなどへアクセスするための「リモートアクセス VPN」がある。

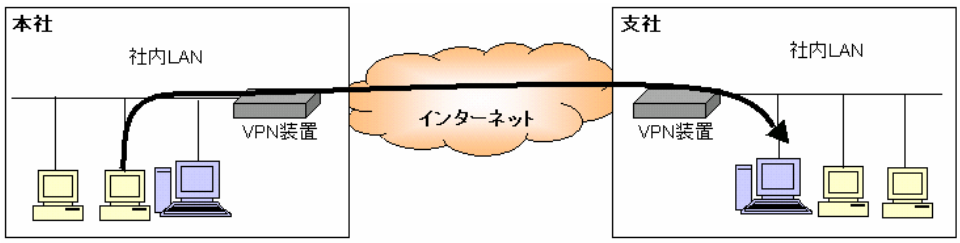


図３０　ＬＡＮ間接続ＶＰＮ

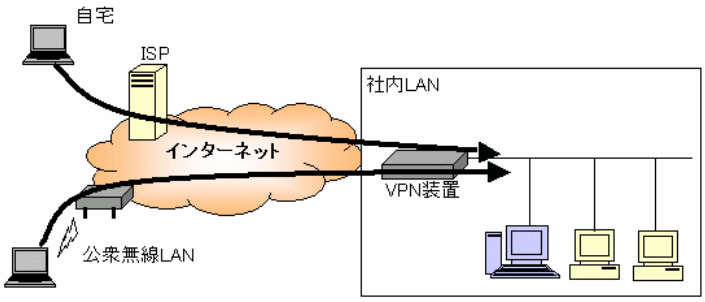


図３１　リモートアクセスＶＰＮ

現在、VPN を実現する際に利用される技術として、以下のような技術がある。

① L2TP（Layer2 Tunneling Protocol）

② PPTP（Point to Point Tunneling Protocol）

③ IPsec（Security Architecture for Internet Protocol）

④ SSL（Secure Sockets Layer）

*IP カプセル化：　データパケットを IP ヘッダで包み込むこと。異なる通信プロトコルなどでも円滑に通信できるようにするための技術。

*トンネリング：本来通信を行いたいプロトコルの環境の上に、異なる通信プロトコルを透過的に設定することにより通信を行う。

(ｱ) Ｌ２ＴＰ（Layer2 Tunneling Protocol）

データリンク層で PPP 通信をトンネリングするためのプロトコル。

L2TP は、PPTP（Point to Point Tunneling Protocol）と L2F（Layer 2 Forwarding）を統合して IETF により標準化されたレイヤ 2 トンネリング・プロトコルである。PPTP のトンネル制御部分と L2F のフレーム構造を組み合わせたような作りになっている。L2TP は、PPTP の PAC と PNS に相当する LAC（L2TP Access Concentrator）と LNS（L2TP Network Server）の間に仮想トンネルを構築する。制御チャネルとトンネルは、L2F と同様に UDP（ポート 1701）を使う。PPTP は、IP ネットワーク上でのみ利用可能だが、L2TP は IP 以外の ATM やフレーム・リレー上での利用が可能である。また L2TP は、PPTP にはないトンネルを構築する際の認証手段を持つ。さらに、L2TP では一つの仮想トンネルで同時に複数のユーザとやりとりすることができる。L2TP は PPTP と同様にデータを暗号化する機能がないため、IPsec などの暗号化技術を組み合わせて利用されることが多い。

(ｲ) ＰＰＴＰ（Point to Point Tunneling Protocol）

米マイクロソフト社によって提案された暗号通信プロトコル。

データを IP カプセル化すると同時に、付加した IP ヘッダーにユーザ認証用のデータを埋め込んでやり取りする。このため、インターネットを介して接続する場合でもエンドポイント間でユーザ認証を実現できる。Windows 環境でのみ利用可能である。

(ｳ) ＩＰｓｅｃ（Security Architecture for Internet Protocol）

ネットワーク層での暗号化と認証を行う、TCP/IP 環境で汎用的に用いることができる IETF により標準化されたセキュリティ技術である。IP パケット自体に認証用のヘッダと暗号化したデータを格納している。IPsec は、現在広く使われている IPv4 の後継として開発された次世代の IP プロトコルである IPv6 では標準でサポートされている。

IP を使った通信であれば、利用するアプリケーションは問われない。しかし、IPsec は、IP パケットに特化して設計されているため、IP パケット以外（IPX、NetBIOS など）のパケットを転送することはできない。IPsec では、暗号化と認証の仕様に複数のプロトコルが使用されており、データが改ざんされていないことなども保証されている。

IPsec では、認証・暗号化・カプセル化の三つの機能を提供している。通信手順としては、

① 対向の VPN 装置が正しい相手かどうかを確認するための認証

② データを暗号化するための暗号鍵の決定

③ データの暗号化／カプセル化

④ カプセル化したデータの送信

という順である。①、②は、実際のデータを送受信する前の準備にあたる。この段階では、通信としては VPN を使わないで情報のやりとりを行う。IPsec で鍵交換や暗号化に利用される代表的なプロトコルを表７に示す。

表７　ＩＰｓｅｃに利用される代表的なプロトコル

プロトコル	説明
IKE (Internet Key Exchange)	暗号化に使われる共通鍵を VPN 装置間で交換する
ESP (Encapsulating Security Payload)	データの認証と完全性、暗号化による機密性の機能を提供する
AH (Authentication Header)	データの認証と完全性の機能を提供する ※データの暗号化は行わない

① IKE（Internet Key Exchange）

データを暗号化するための鍵交換のプロトコルはいくつか存在するが、IPsecでは「ISAKMP/Oakley」という鍵交換プロトコルを基にして作られたIKEを標準としている。これは、鍵交換を含めたSA（Security Association）の合意を自動的に行う一連の手順を決めたものである。SAとはセキュリティプロトコルで接続が保護された状態のことを指す。SAは手動で設定しておくことも可能であるが、暗号化通信の安全性をより向上させるために、暗号鍵を定期的に変えることが重要であるため、管理が容易に行えるよう、IKEで自動的にSAを変えるほうが望ましい。

IPsecは、鍵交換が完了して初めて暗号化が有効となるので、IKE自体にIPsecを使うことはできない。IKE自体の暗号化通信のために更にIKE用の鍵交換手順が定められており、このためIKEはフェーズ1、フェーズ2の2段階で鍵交換を行うことになる。

フェーズ１の目的は、IPsec通信を行うための前段階としてISAKMP SAを確立させることである。フェーズ２で利用する暗号化アルゴリズムを決定し、暗号鍵を生成する。この暗号鍵の生成には、DH（Deffie-Hellman）というアルゴリズムを用いて通信相手同士で同じ鍵を作成する。DHでは、鍵の素材となる乱数を双方が送りあうことによって、結果的に双方が同じ暗号鍵を生成することができ、通信内容を第三者に盗聴されても直ちに秘密鍵を知られることはなく、安全に鍵情報を交換することができる。このようにしてSAを確立させることで安全性の高い通信環境が整う。

フェーズ2では、IPsecのSAを確立させるための情報を交換する。ここでの通信には、フェーズ１で共有された暗号鍵を使う。暗号化アルゴリズムの決定、暗号鍵の交換など、IPsecによる通信に必要な情報がやり取りされた上でデータの暗号化通信が行えるようになる。

② ESP（Encapsulating Security Payload）

ESPは、暗号化と認証の機能を持つ。ESPは、IPパケットのペイロード部分の暗号化を行い、暗号化されたペイロードを含むIPパケットの特定の部分をハッシュ値化して認証情報を加える。データ部分は暗号化されている上に、認証機能によってデータが改ざんされていないことが保証されている。

ESP には、トランスポートモードとトンネルモードという二つのモードがある。トランスポートモードでは、IP パケットのペイロード部を暗号化して相手に転送する。トンネルモードでは、IP ヘッダを含む IP パケット全体を暗号化した上でネットワーク層でカプセル化して相手側のネットワークに届ける。一般的に VPN ではトンネルモードが使われる。IPsec は、VPN のためだけに設計されたものではなく、あくまで IP パケットのセキュリティに関して作られたものであるため、二つのモードが存在している。

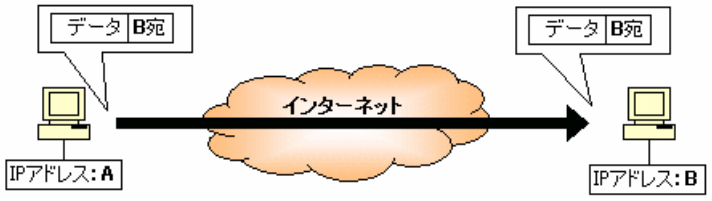


図３２　トランスポートモード

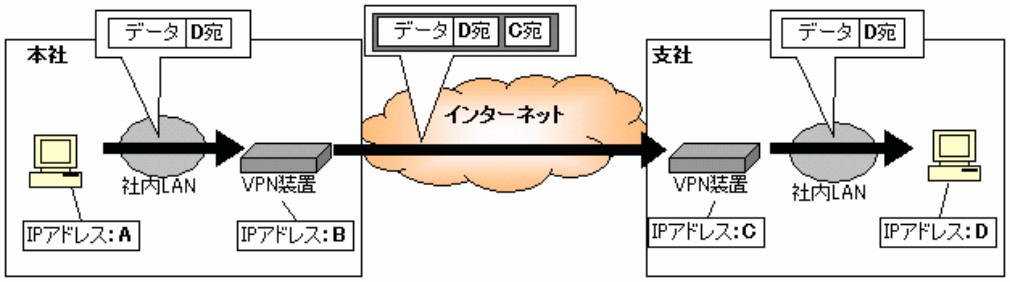


図３３　トンネルモード

③　AH（Authentication Header）

AH は、IP パケットの認証ヘッダ（オプション）である。1998 年 11 月に IPsec V2（IPsec Version 2）が制定される以前は、ESP の送信元確認機能が弱かったため、ESP と AH の両者を組み合わせる場合もあったが、IPsec V2 で送信元確認機能が改善されたため、現在の実装では ESP を利用するようになっている。

AH は、安全性の保証と認証のための技術である。ESP のようなデータの暗号化機能は提供されない。パケットのほぼ全体を対象とする ICV（Integrity Check Vector：完全性保証用認証値）を付加することで、IP ヘッダまで含めたパケットのほぼ全体の完全性を保証する。したがって、転送されたメッセージが改ざ

んされていないことだけでなく、IP ヘッダにある送信元アドレスやあて先アドレスが転送中に変更されていないことも受信側で確認できる。

表８　ＥＳＰ、ＡＨの提供するセキュリティ機能

	ESP	AH
秘密性	元のパケットの内容を暗号化して秘密にする	秘密性は提供されない パケットは暗号化されないため、盗聴者はパケットの中身を見ることができる
認証（本人性確認）	そのパケットが本当にその送信元から届いたことを、限定的な範囲で保証できる	IP ヘッダまで含めて認証するため、そのパケットが本当にその送信元から届いたことを保証できる
認証（完全性保証）	パケットが改ざんされていないことを保証できる	パケットが改ざんされていないことを保証できる
アクセス制御	設定にしたがってパケットをフィルタリングすることができる	設定にしたがってパケットをフィルタリングすることができる

ウ　ＳＳＬ-ＶＰＮ

SSL-VPN とは、インターネットで広く使われている暗号化プロトコルである SSL を利用して、VPN を実現する技術である。

SSL-VPN は、クライアントと SSL VPN ゲートウェイの間の通信を HTTPS プロトコルで暗号化し、リバースプロキシを使って内部のネットワークへ接続する。リバースプロキシとは、プロキシサーバ（この場合は SSL VPN ゲートウェイ）が社外にある PC の代理として社内の各アプリケーションにアクセスするものである。

Web ブラウザによる SSL 通信と、リバースプロキシ技術によって端末を使わずにインターネットを経由して内部ネットワークに接続し、社内のリソースに対するセキュアなアクセスを提供する。プロキシサーバーは DMZ（DeMilitarized Zone：非武装地帯）に設定され、利用者は内部ネットワークに直接接続できないため、企業ネットワークはセキュリティを確保することができる。SSL-VPN によって、社員が自宅から会社のネットワークに接続したり、関連企業のネットワークに接続したりして、安全に業務を遂行できる。

SSL は、、前述の通り、Web サーバーとブラウザ間の通信を安全にするために作られたプロトコルである。SSL は、セッション層より上位のアプリケーション毎に暗号化を行う必要がある。HTTP や Telnet、POP3、SMTP などトランスポート層で TCP

を使うアプリケーションが利用できる。

端末の環境としては、多くの Web ブラウザが始めから SSL に対応しているため安定した動作が期待できる。また、SSL-VPN はアクセスするサーバーやアプリケーション、ユーザやグループ単位で容易に制限をかけることができる。こういったことから、運用管理面から見ても容易に SSL-VPN を実現することが可能である（SSL 未対応のアプリケーションで SSL-VPN を実現させるには、Java アプレットや ActiveX コントロール、SOCKS などを利用する。）。

表9　ＩＰｓｅｃとＳＳＬの比較

	IPsec	SSL
OSI 参照モデル	ネットワーク層	セッション層
暗号化できるアプリケーション	IP で動作するアプリケーションすべて	TCP で通信するアプリケーション（制限あり）
端末環境	専用クライアントソフトが必要	Web ブラウザのみで通信可能
利用用途	ＬＡＮ間接続、 リモートアクセス	リモートアクセス
アクセス制限	しにくい	しやすい