

平成29年度 国立情報学研究所
市民講座「情報学最前線」 第5回

時代を映すインフラ
ー電話から学術情報ネットワークSINETー

国立情報学研究所 栗本崇



講演の内容

1. 60's アナログ電話時代、自動電話交換機の導入
2. 80's 電話網のデジタル化とコンピュータ通信と
3. 90's 移動通信の普及。ポケベル、PHS
4. 21世紀の幕あけ インターネット時代の到来と、光ファイバの導入
5. 現代 最先端の教育用高速ネットワーク SINET



◆ 電話が導入された時代から、一家に一台黒電話が普及した時代まで振り返ります。



お化け電話でドキドキした時代がありました。

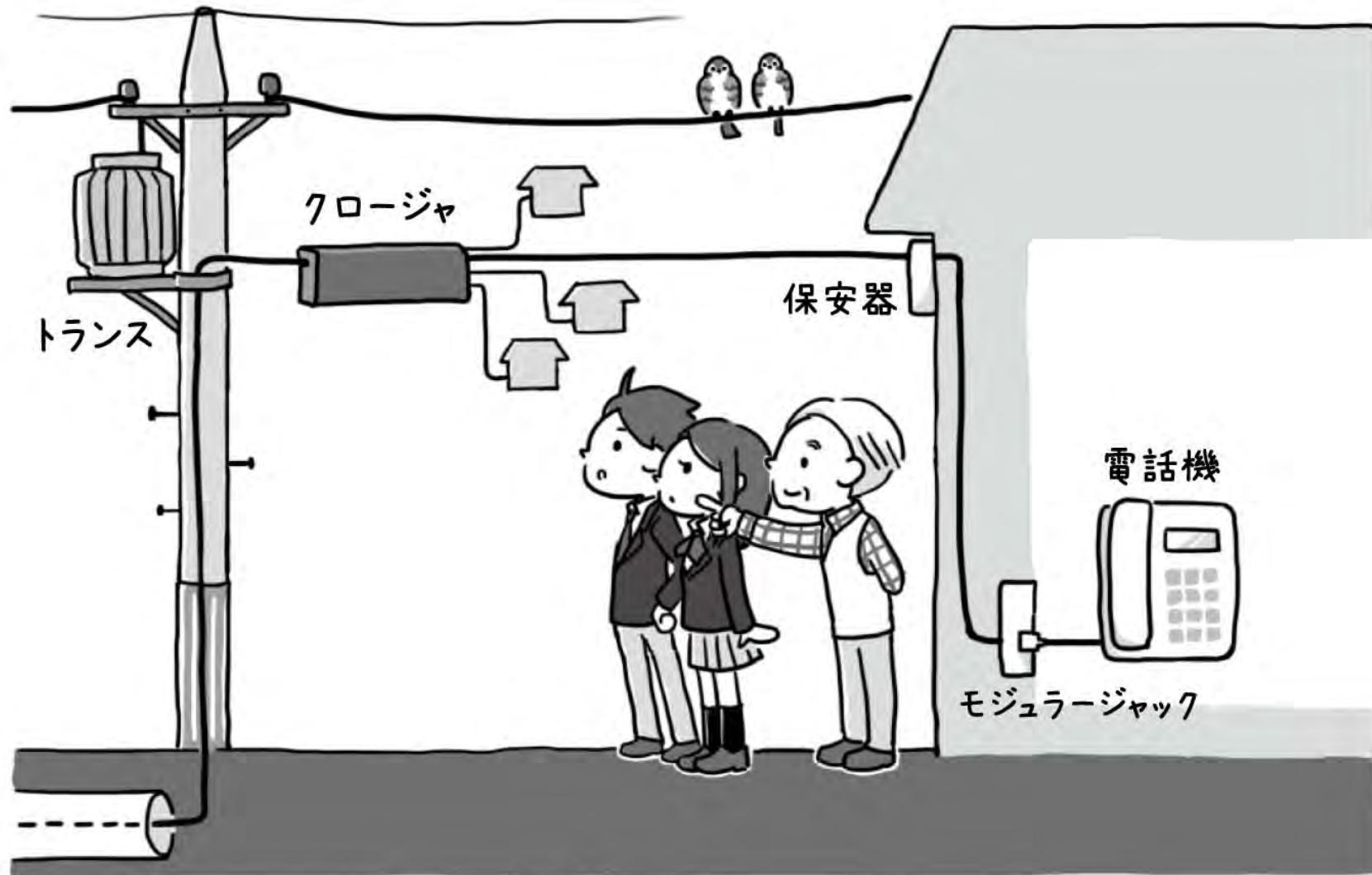
有線電話はどうしてつながるのか？



- ◆ 電話端末と端末の間をメタル(銅)ケーブルでつなぐことで、通話が可能に
- ◆ 電話線は、各家庭まで津々浦々に張り巡らされています。



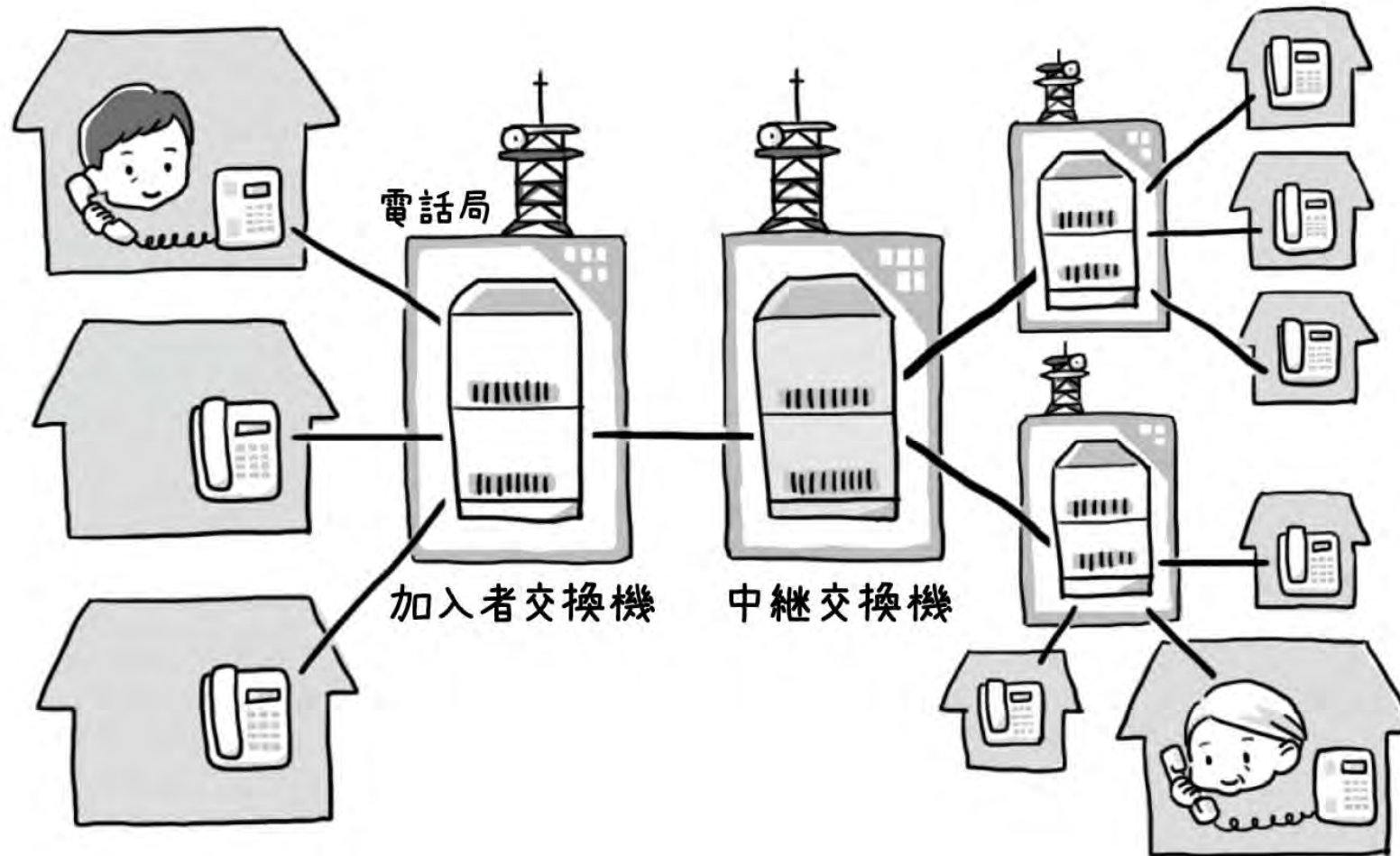
◆ 電信柱から、家の中の電話機までケーブルが引き込まれています。



電話交換機が間をつなぎます



- ◆ 家庭からの回線は、加入者交換機に接続されます。
- ◆ 電話をかけると、宛先の家庭まで複数の交換機を順次つないでいきます。





- ◆ クロスバ自動電話交換機の導入が始まった60年代から急速に普及しました。
- ◆ 70年代に積滞(電話の開設待ち)が解消しました。



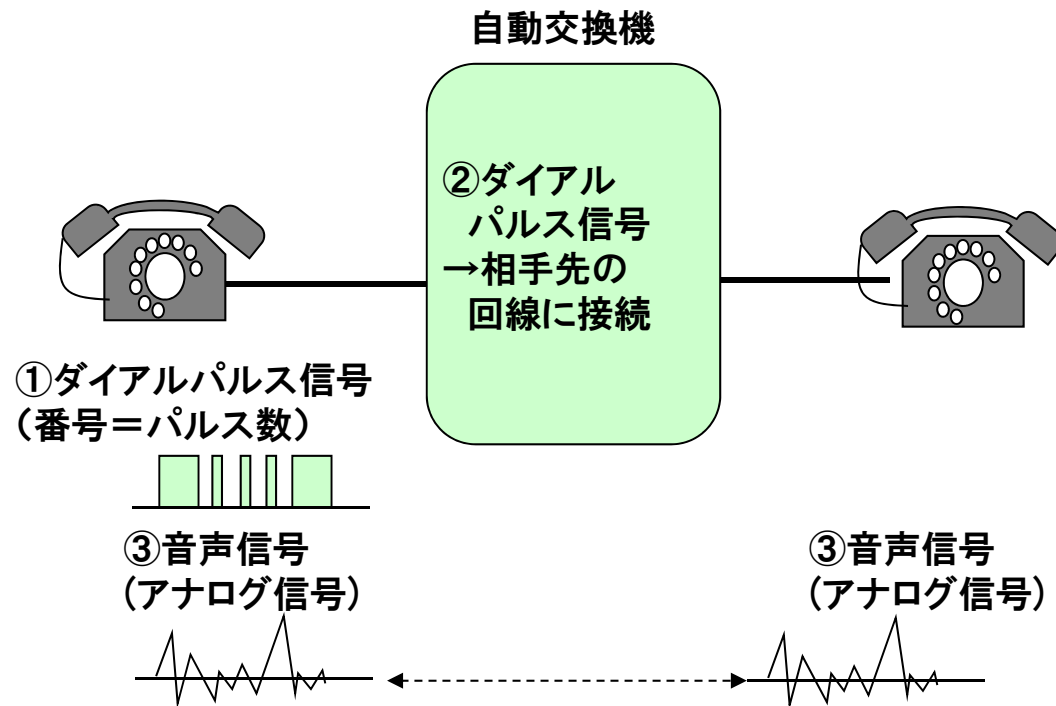
- ◆ 初期の電話サービスは、電話と電話の間を「交換手」がつなげました。
- ◆ 電話機の受話器を上げると交換手につながり、電話を掛けたい相手の名前を告げると、交換手が通話先の相手に交換台を通してつなぐ仕組みです。
- ◆ 加入者数や利用回数が多くなるにつれ、人手による取次が追いつかなくなり、日本では1926年から徐々に「自動交換機」が導入されました。



- ◆ 初期の電話サービスは、電話と電話の間を「交換手」がつなげました。人手を介した交換作業は、回線数が増えると、対応が難しくなりました。
- ◆ そこで、電話をかけると、機械で自動的に「交換」する機械が開発されました。
- ◆ 自動交換機の仕組みを考えてみてください。



- ◆「自動交換機」は、電話番号に基づいて自動で相手につなげる通信機器。
- ◆国内の初導入は「ステップ・バイ・ステップ」という方式。
- ◆「ステップ・バイ・ステップ」とは、ダイヤル式電話機から送られてきたダイヤルパルス信号に応じて、番号に対応したパルス数にしたがって回線を順次選択し接続していき、最終的に相手の電話機に回線がつながるという仕組みです。

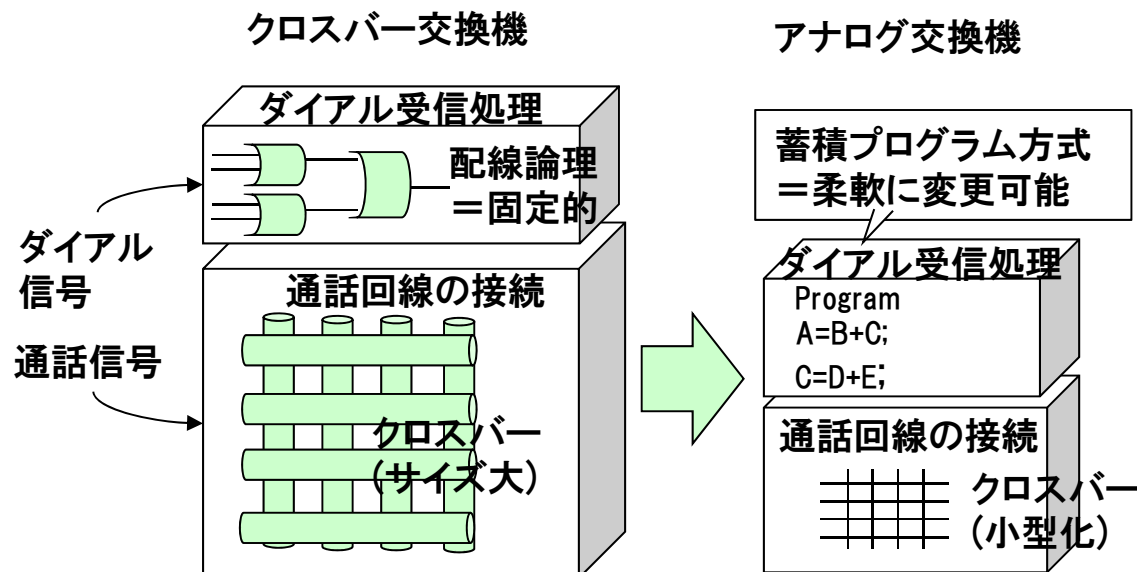




- ◆ リレーとラチェットを組み合わせた上昇回転スイッチが基本構成です
- ◆ 電話機からの「ダイヤルパルス」信号を受信し、接続先回線に「自動」で接続します。
 - ・ ダイヤルパルスが入力→ワイパが上昇→ラチェットで停止 を繰り返し
 - ・ 次に横にスライドし空き回線を捕捉し接続
 - ・ 空き回線がない場合はバンクの終端までスライド後、下に落下し初期位置へ移動
 - ・ 回線の先につながれた次のスイッチにて、同様の動作を繰り返し相手の回線まで接続



- ◆ ステップ・バイ・ステップ交換機は、保守が難しく機器の寿命が短いため、設置・維持にコストがかかるデメリットがありました。
- ◆ 「クロスバ交換機」「アナログ交換機」が順次開発されました。
- ◆ クロスバとは、縦と横に複数のバーがクロス(交差)して設置され、ダイヤルされた電話番号を基に、電磁石の磁力で縦と横のバーを接触させて電話をつなぐ仕組みです。
- ◆ クロスバ交換機では、ダイヤル信号を配線論理(Wired logic)を用いた回路で受信し宛先を決定しクロスバーを制御しました。
- ◆ アナログ電子交換機は、ダイヤル信号を蓄積プログラム方式で処理する方式に改良されました。またクロスバーは小型化がすすめられました。





- ◆ 電話のデジタル化に伴って、通話品質が向上しました。
- ◆ さまざまな電話サービスの提供が始まりました。



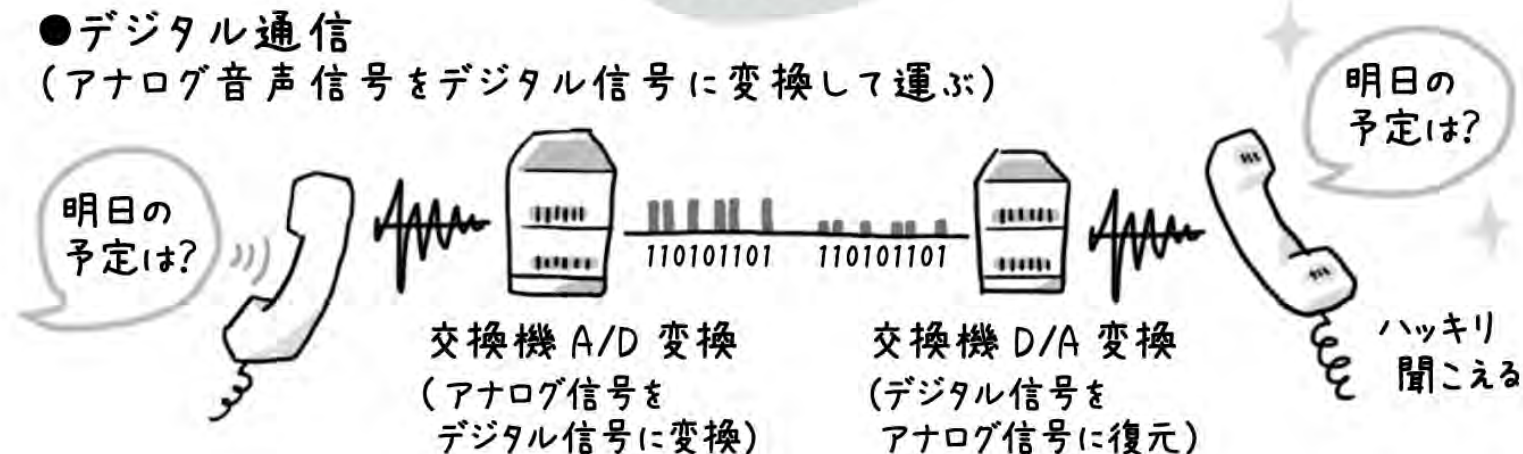


- ◆ アナログ信号は、距離が長くなると、信号が減衰したり、歪んだりします。
すると、声が音が小さくなる、声質が変わるなど、聞こえづらくなります。
- ◆ デジタル信号の通信は、ゼロ(0)、イチ(1)の信号で運びます。
もとの情報(0・1)を間違えなく伝えることにより、音質を変えずに運ぶことができます。

● アナログ通信 (アナログ音声信号を運ぶ)

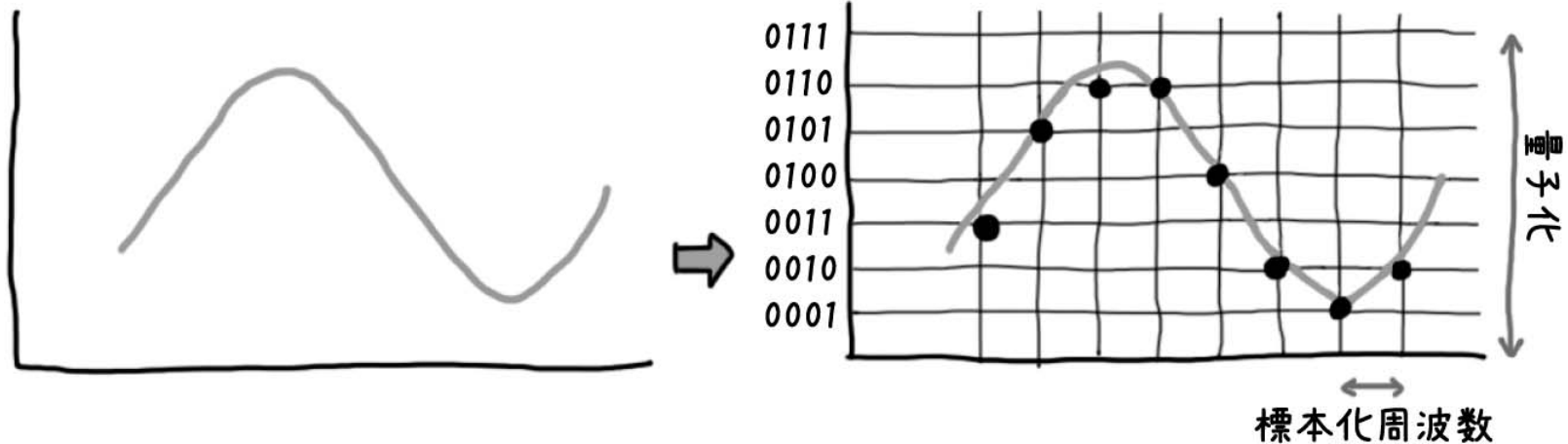


● デジタル通信 (アナログ音声信号をデジタル信号に変換して運ぶ)





- ◆ アナログ信号は、連続的に変化します。
- ◆ この連続的な信号を、一定時間(＝標本化周波数)ごとにサンプリングし、離散的な値に置き換えます。これを量子化と呼びます。
- ◆ 音声信号のデジタル化においては、国際的な取り組みで、標本化周波数や、量子化の細かな規定がなされています。

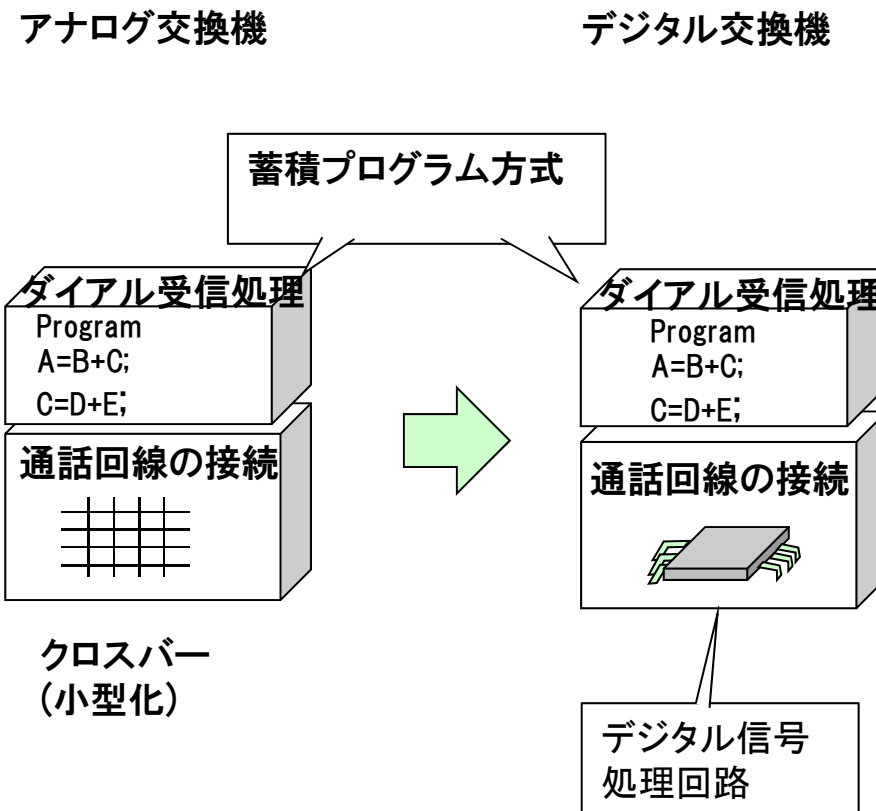


アナログの電気信号

この場合デジタル信号は、左から
「0011 0101 0110 0110 0100 0010 0001 0010」



- ◆ 1982年には音声デジタル化された「デジタル交換機」が導入されました。
- ◆ これまでのアナログ通信と比べ、音声もクリアで聞き取りやすくなり、利用者はますます増えていきました。

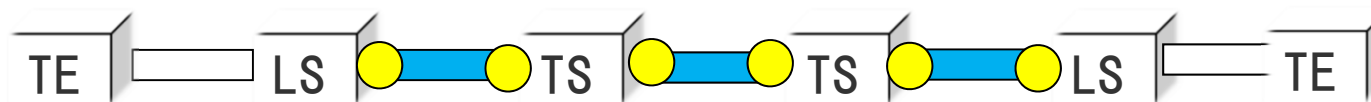




◆ 1982年からのデジタル交換機の導入においては、以下の3ステップでデジタル化がすすめられ、10年後の1992年に全てのアナログ交換機が更改されました。

TE: 電話端末
TE(D): デジタル電話端末
LS: 加入者交換機
TS: 中継交換機
● アナログ・デジタル変換

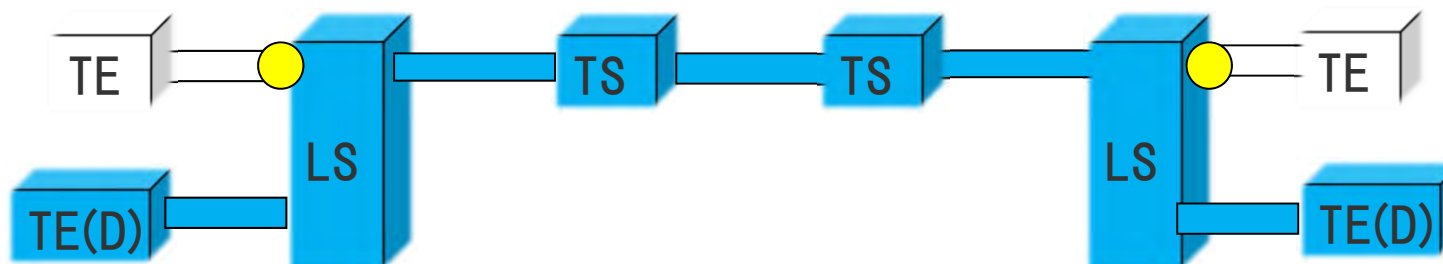
Step 1: 伝送装置(交換機と交換機との間の信号の伝送)がデジタル化されました

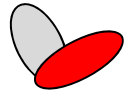


Step 2: 中継交換機がデジタル化されました

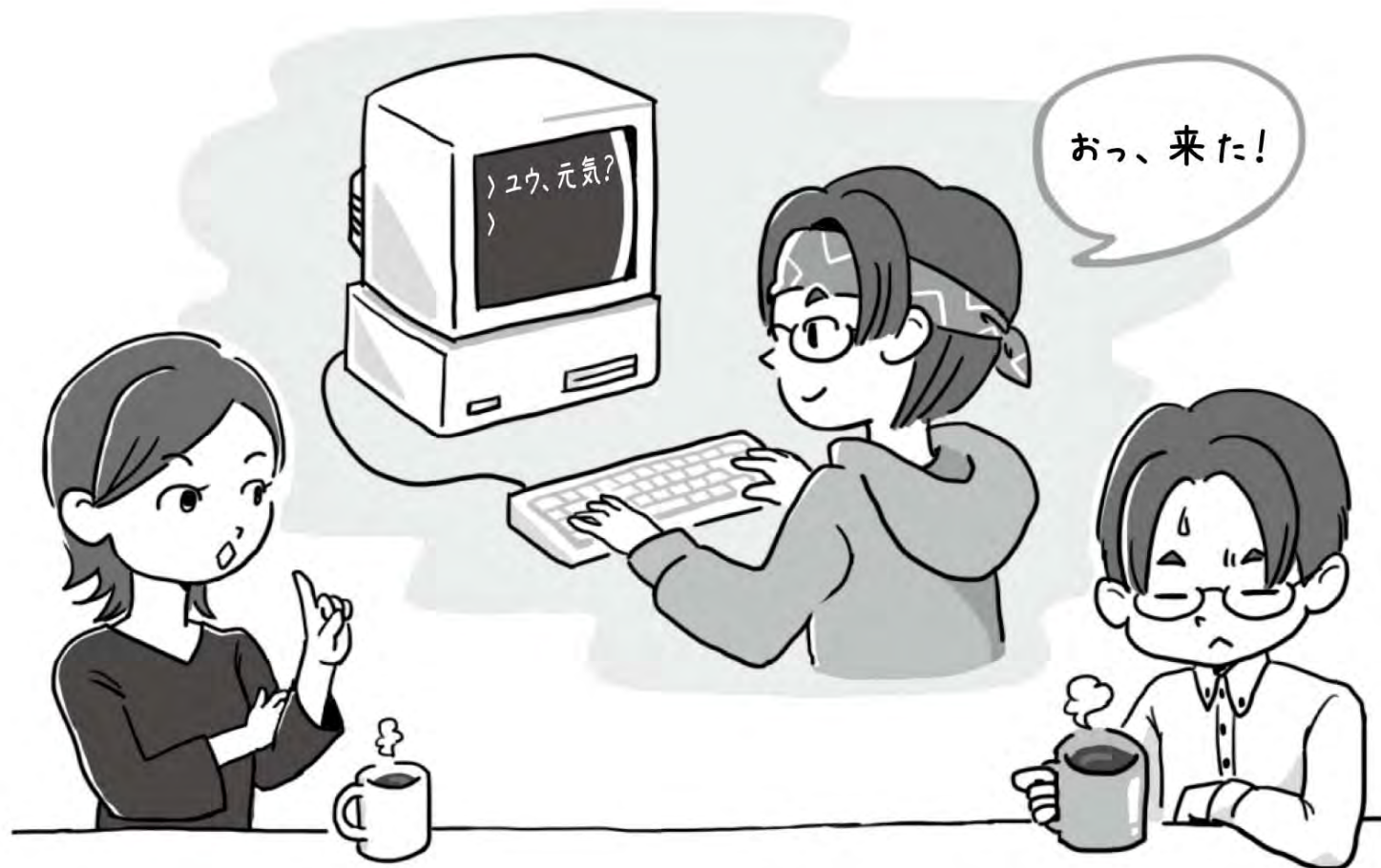


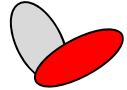
Step 3: 加入者交換機がデジタル化されました



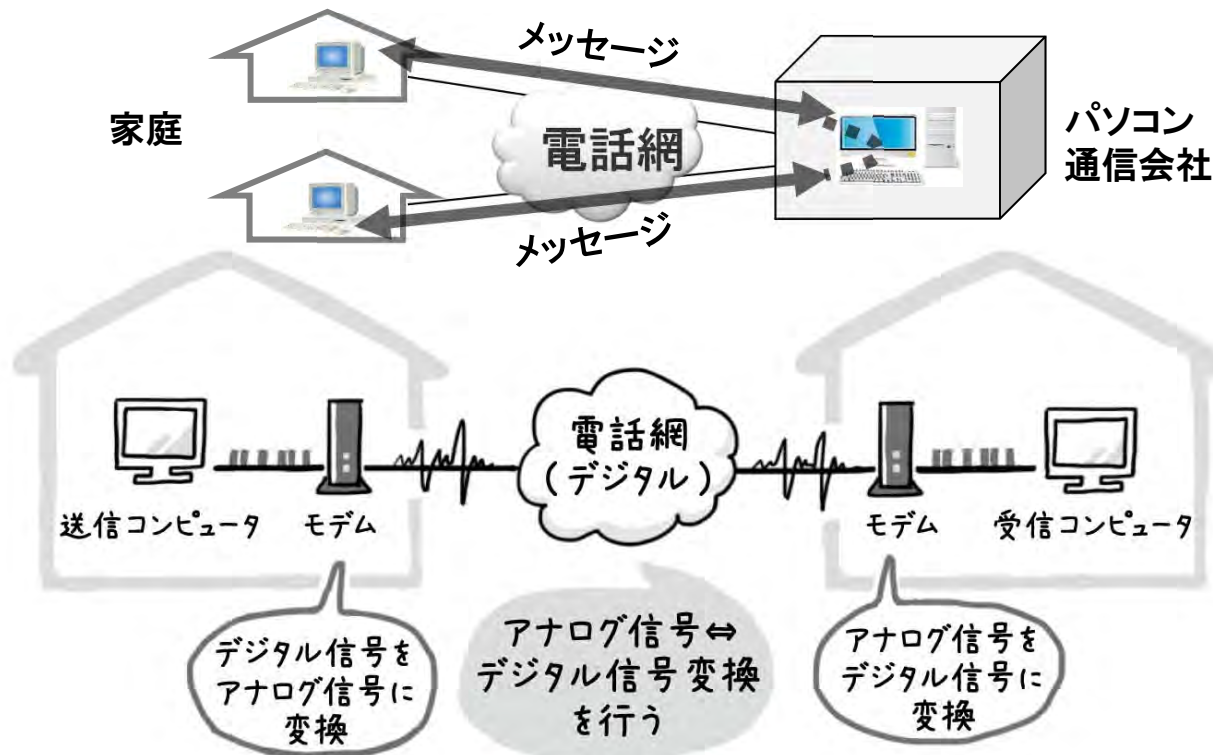


- ◆ メールやチャットの先駆け。
- ◆ 当時は、パソコン好きの同好会的なイメージもありました。



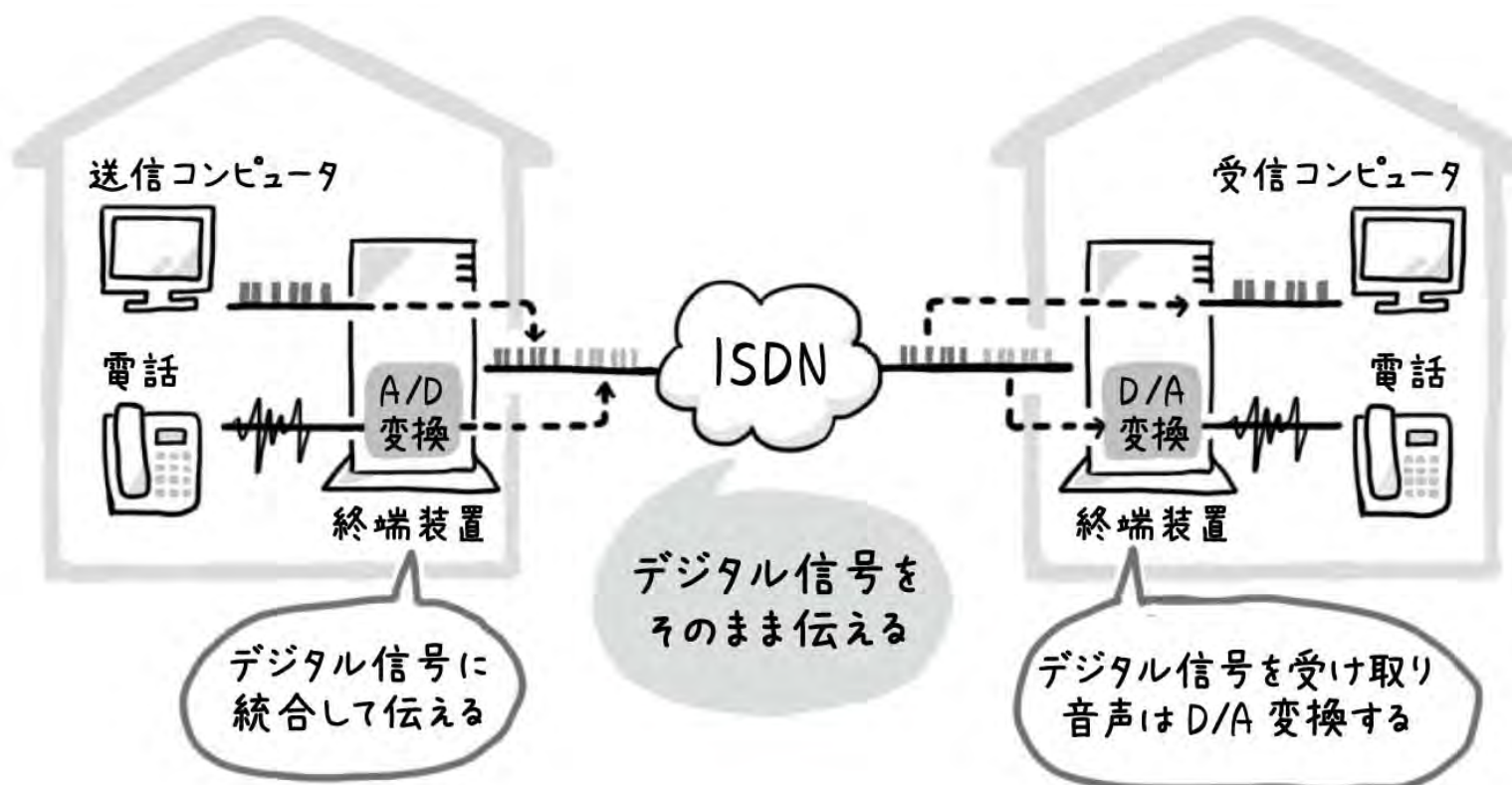


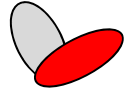
- ◆ パソコン通信は、家庭の電話をパソコン通信会社につなげ、電話回線を介してメッセージ等のデータのやり取りを行っていました。
- ◆ パソコンはデジタル信号を処理するため、パソコンのデータをモデムでアナログ信号に変え、アナログ音声信号として電話網を流し、受信側でアナログ信号を再びデジタル信号に戻していました。
- ◆ 電話網のデジタル化との関係は？
... 電話網でもアナログ/デジタル信号変換を行っていました。



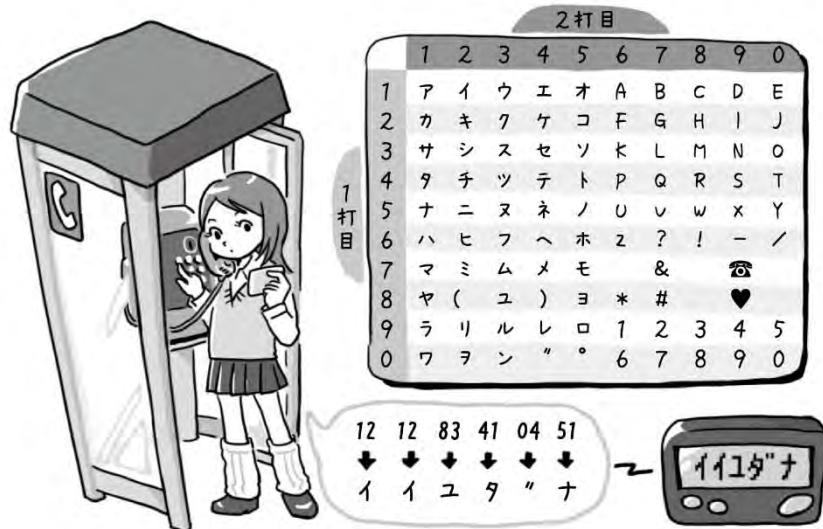


- ◆ パソコン通信の需要の高まりもあり、ISDN(アイエスディーエヌ、Integrated Services Digital Network、サービス総合デジタル網)が始まりました。
- ◆ 家庭から直接デジタル信号を伝えることのできるサービスです。ISDNサービスになると、音声は、家庭にある終端装置でデジタル化されるようになりました。
- ◆ モデムだと9000 bit/秒 程度だった通信が、64K bit/秒と大幅に高速化しました。



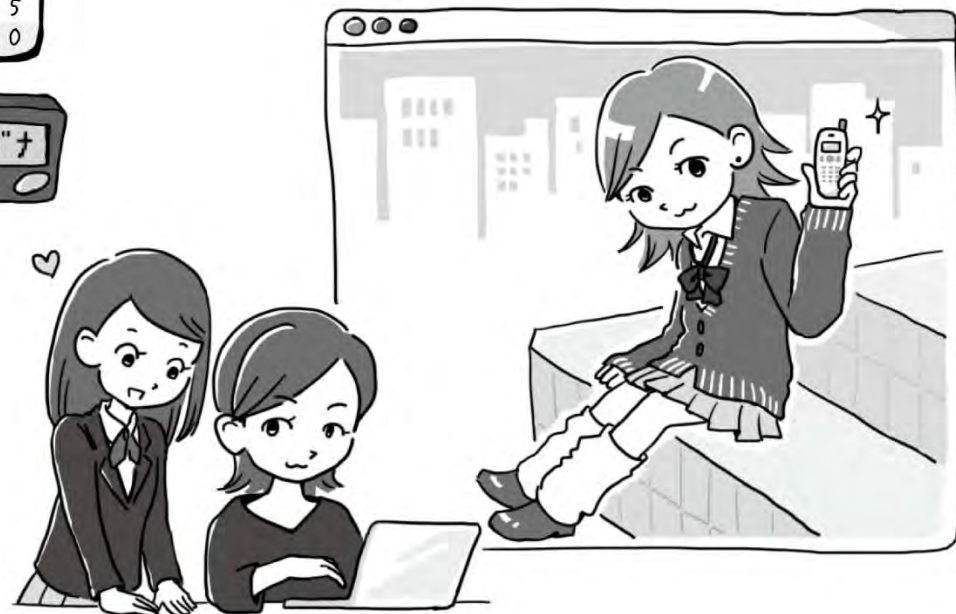


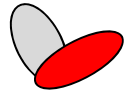
- ◆ ポケベル: 受信専用ですが、利用料も手ごろであったため、学生によるサービス利用も進みました。
- ◆ PHS(personal handy phone): 携帯電話が高価だったため、比較して低価格のPHSサービス利用者が増加しました。



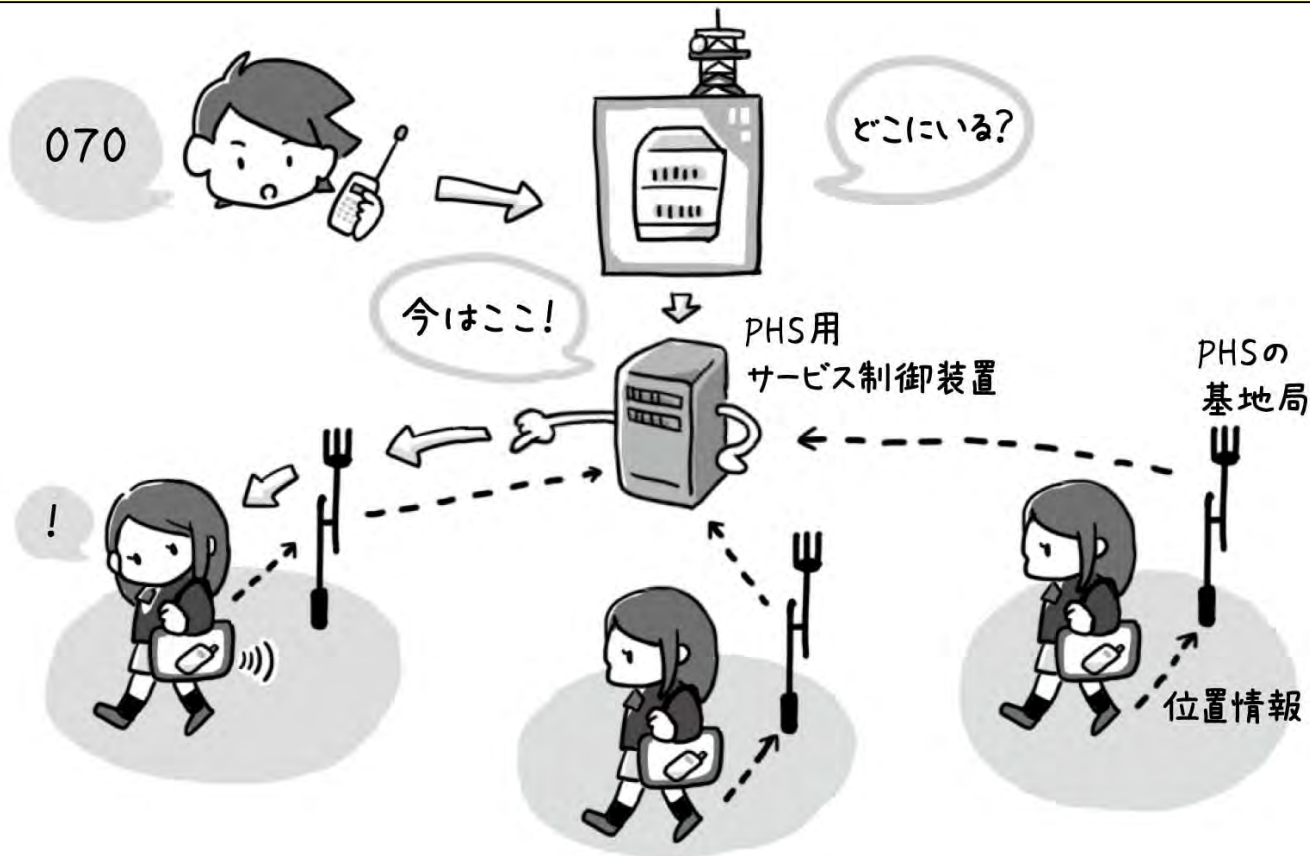
ポケベル: メッセージは、0～9の数字を組み合わせることで文字として伝えることができました

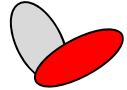
PHS: ピッチという愛称で利用者が増えました



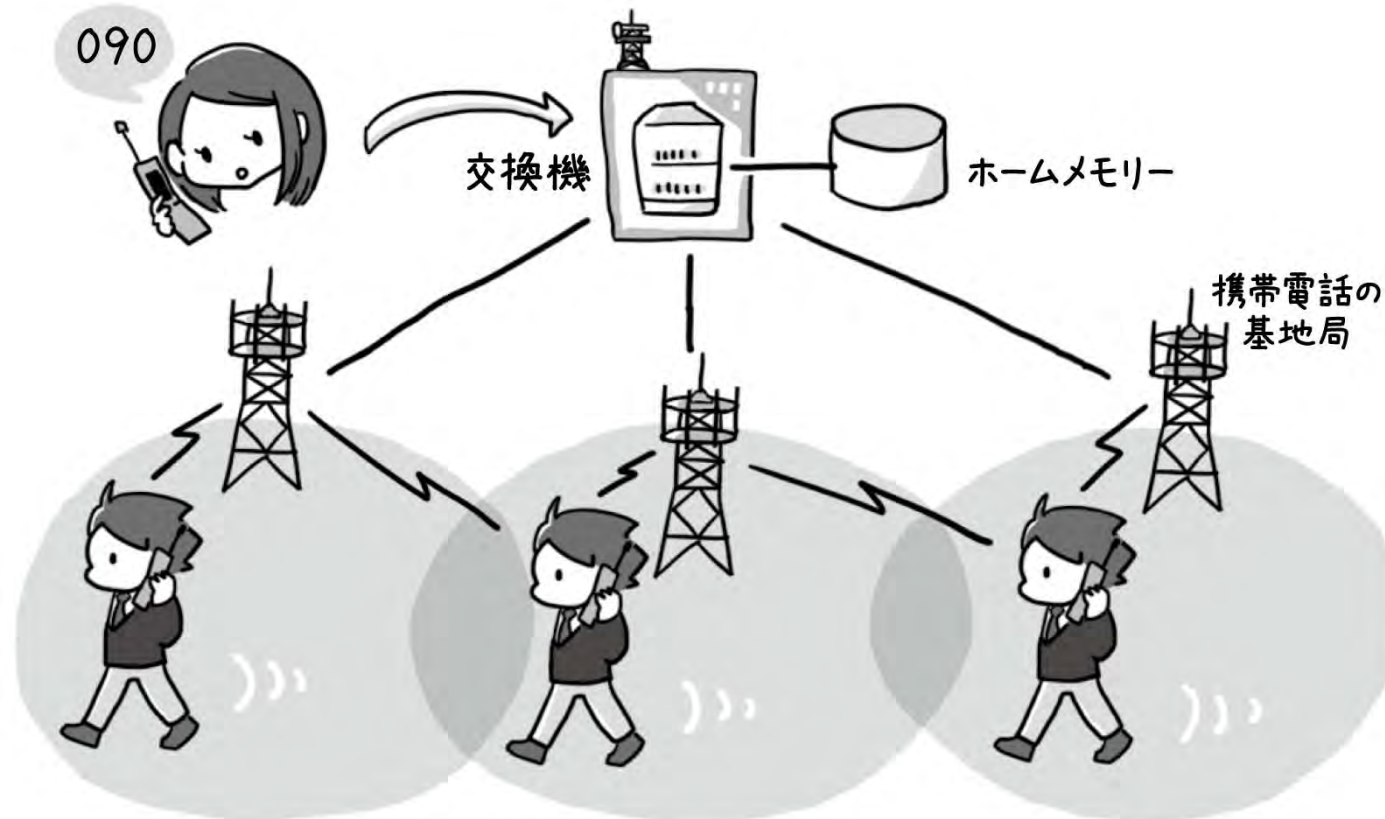


- ◆ 携帯端末と通信を行うための重要な機能に「位置情報の管理機能」があります。
- ◆ 携帯端末と基地局との間で定期的に通信を行い、携帯端末毎に最寄りの基地局情報を記録します。
- ◆ 携帯端末の電話を呼び出す際は、記録されている最寄の基地局の情報を基に、呼び出します。





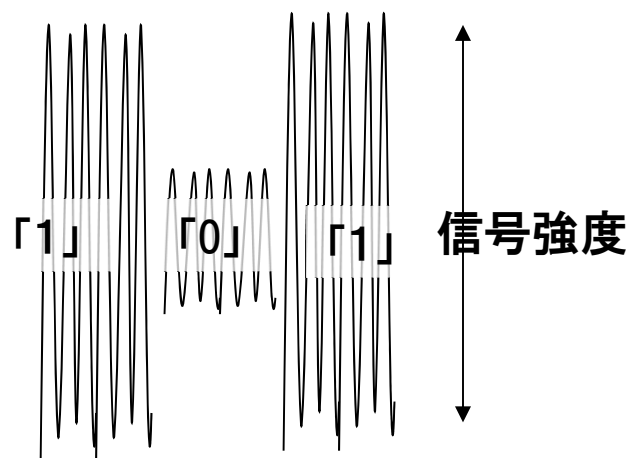
- ◆ 基地局から届く電波の範囲は限られ、その範囲から出ると通話が切れてしまいます。
- ◆ 移動先の基地局に、次々と通信信号の運び先を切り替えて転送する機能(=ハンドオーバー機能)により、携帯端末が動いても継続的に通話することができます。
- ◆ ホームメモリーに、移動先の基地局の情報が管理され、交換機にて移動先に通信信号を切り替えます。





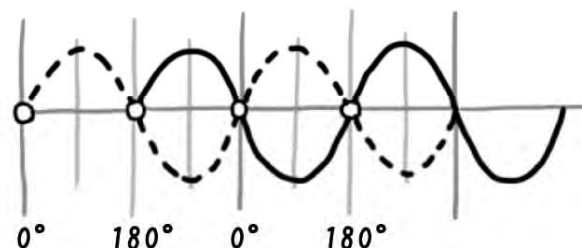
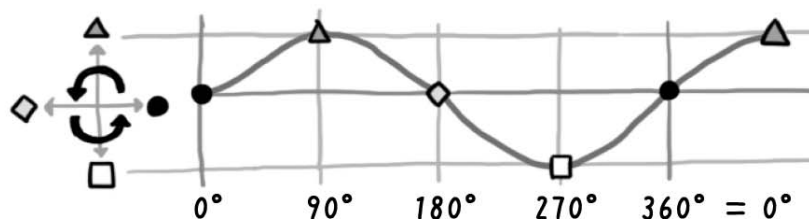
- ◆ 電波をつかって、端末とアンテナの間で信号を運びます
- ◆ 電波は「波」の特性があり、波の大きさ＝強度、波の頻度＝周期、で特徴を表します
- ◆ 電波でデジタル信号を運ぶために、強度変調、位相変調、周波数変調等があります
- ◆ 強度変調は、信号の強度を、0, 1を対応させます。
- ◆ 位相変調は、電波の位相に、0, 1を対応させます。

強度変調

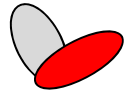


強度＝大＝1 強度＝大＝1
強度＝小＝0

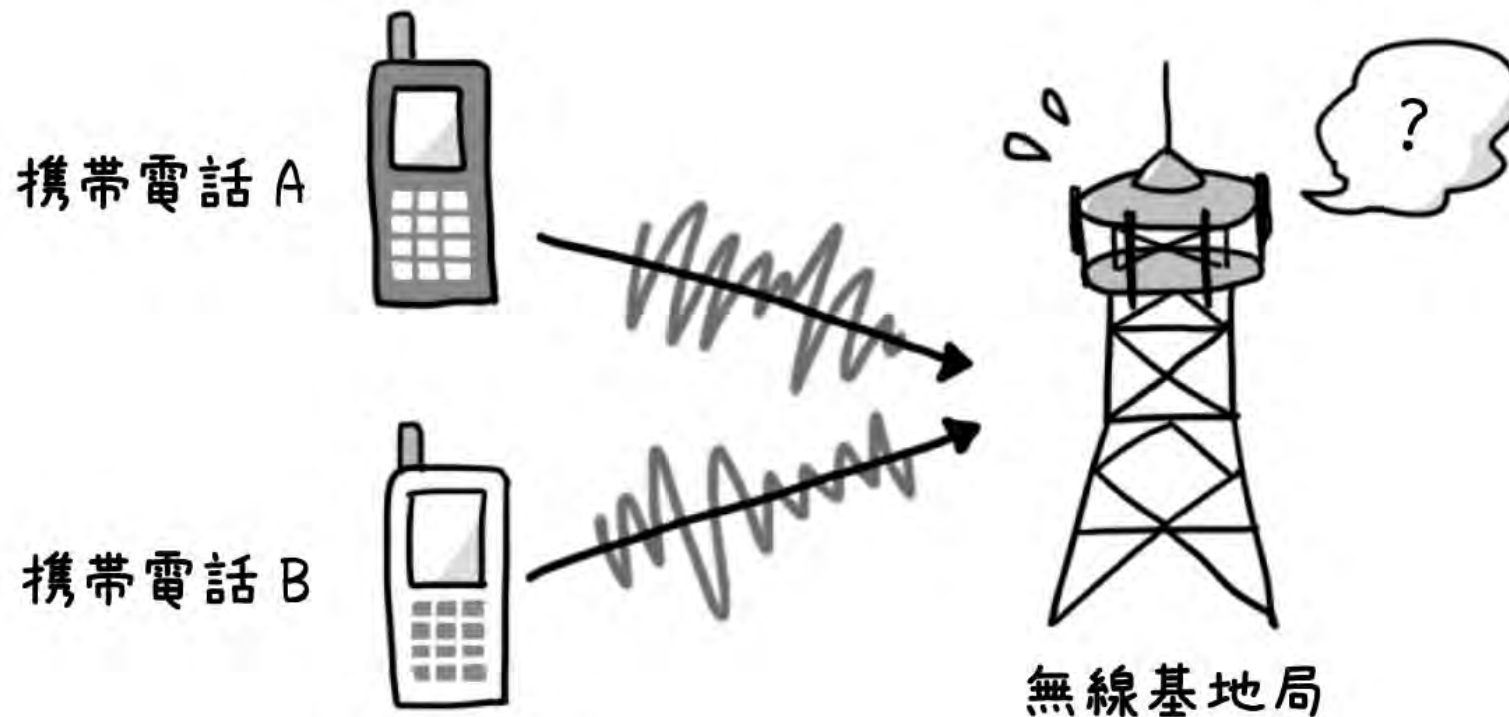
位相変調

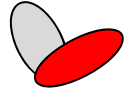


なぜ複数の端末が同時に使えるのか。



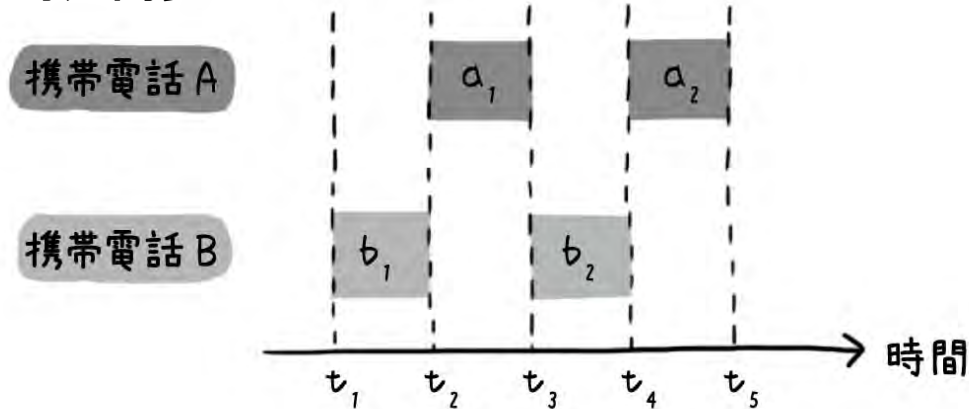
- ◆ 複数の携帯端末が同時に通信を行うと、無線信号が重なってしまいます。
- ◆ 無線信号が混線しないような技術を、多重化技術と呼びます。



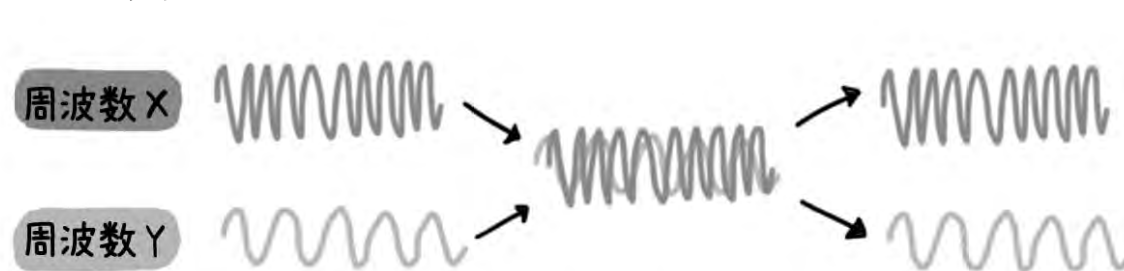


- ◆ 時分割多重技術は、時間を区切って、それぞれの携帯端末が信号を送信します。
- ◆ 周波数多重技術は、異なる周波数の電波を利用する方法です。異なる周波数の電波は重なっても、再び分離できる特性を利用します。

時分割多重



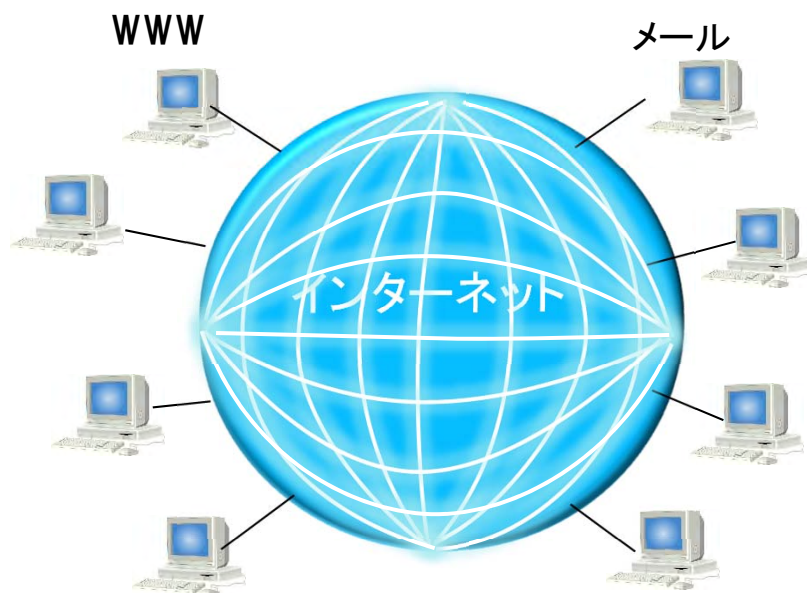
周波数多重



異なる周波数の電波は重なっても分離できる



- ◆ 世界中のコンピュータ同士がつながり、データを受け渡しすることが可能となりました
- ◆ 通信の主流は、人と人が話す電話から、コンピュータからコンピュータのデータ通信にシフトしました。
- ◆ WWWもメールもLINEも、コンピュータとコンピュータの間のデータ通信です



i-modeなども、コンピュータ(=携帯)とコンピュータの通信で実現されました



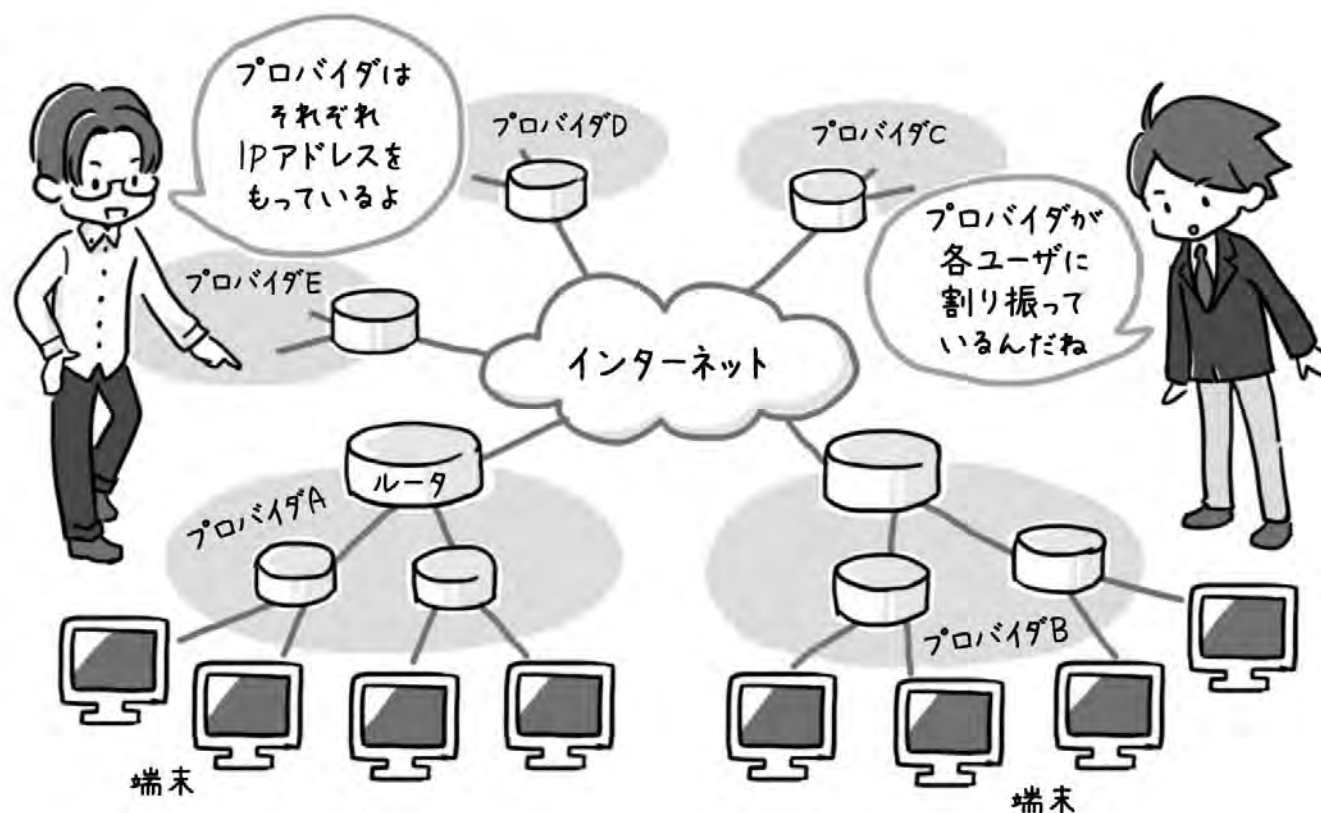


問題です！

- ◆ コンピュータ通信に必要な宛先は何を用いているでしょうか？
× 住所、× 電話番号
- ◆ コンピュータ通信で運ばれるデータはどのように目的地まで届くのでしょうか？
？ 宅配便
- ◆ 世界中にあるコンピュータの中から、目的のコンピュータをどのように探しますか？
× 電話帳
- ◆ 世界中にあるコンピュータの数は？
2017年で201億台。オリンピックのある2020年には304億台(*)と予想されています

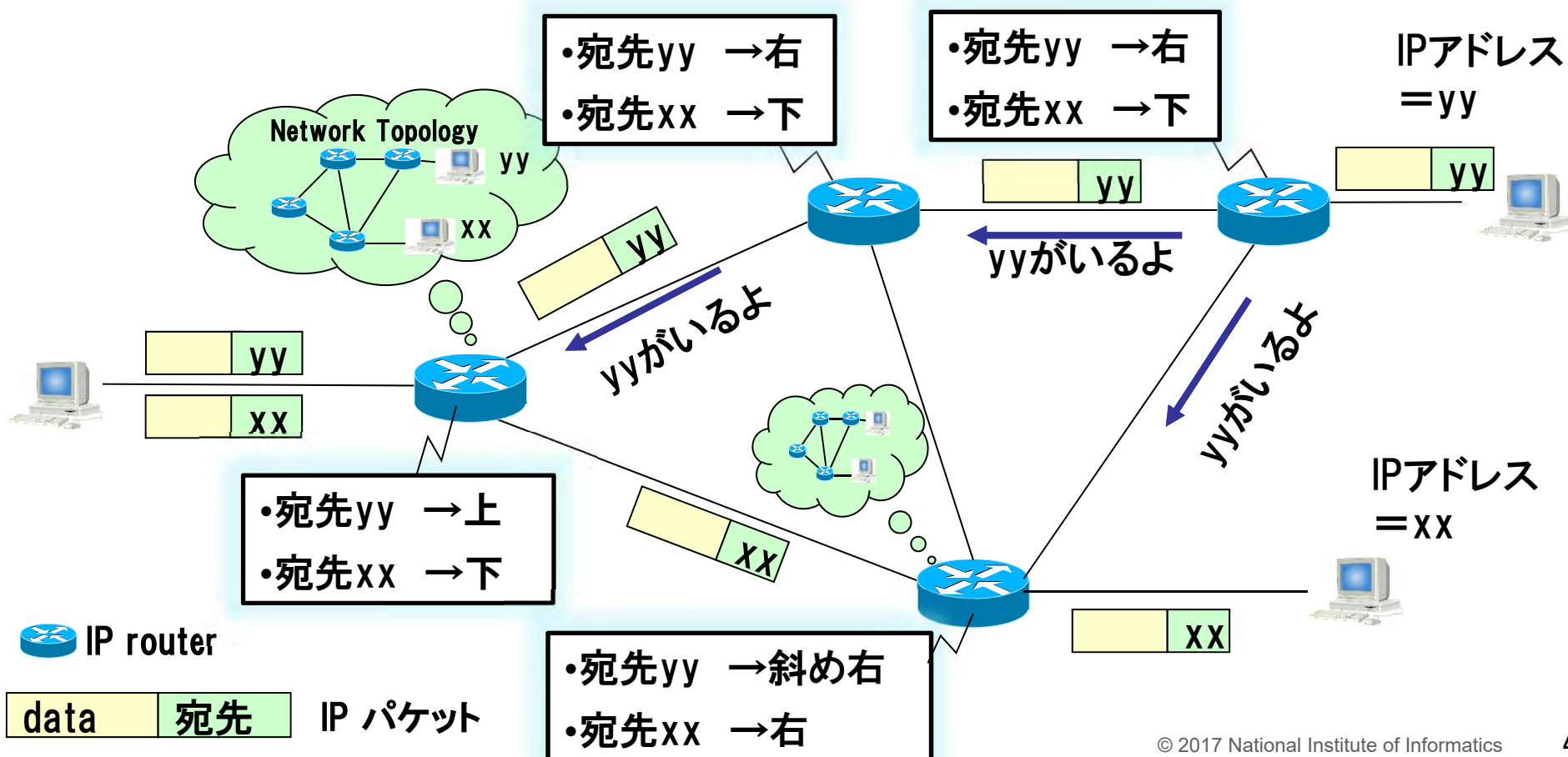
総務省インターネット白書28年度版 世界のIoTデバイス数の推移及び予測
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/html/nc121100.html>

- ◆ コンピュータ(=端末)間を繋げるのが、インターネットであり、“ルータ”が相互に接続され構成されています。ルータは、電話網では交換機に相当します。
- ◆ それぞれのコンピュータには“IPアドレス”が対応付けられます。データは、「IPパケット」と呼ばれるデータの小包に分けられ、IPアドレスをつけて宛先を指定します。
- ◆ ルータはIPアドレスを参照し、次のルータに順次転送を行い、目的地まで運びます。





- ◆ IPルータは受信したIPパケットを適切な回線に転送します。IPパケットに記録された宛先IPアドレスを基に「ルーティングテーブル」を参照し転送します。
- ◆ IPルータ間で相互に通信を行い、宛先IPアドレスが、どのIPルータにつながっているのか情報を集め、宛先毎に転送先を決め「ルーティングテーブル」を作ります。
- ◆ この機能を“IPルーティング”と呼んでいます。





- ◆ ネットにつながるコンピュータは全世界で、約200億台あると言われておりますが、通信を行うためには、通信相手のIPアドレスを調べる必要があります。
- ◆ IPアドレスは数字の羅列であり、人がそのまま扱うことは困難です。
- ◆ そこで“ドメインネーム”が導入されました。ドメインネームにIPアドレスを対応させ、ドメインネームでコンピュータを探すことができる仕組みが導入されました。

IPアドレスの例

IPv4アドレスの場合 192.168.1.19

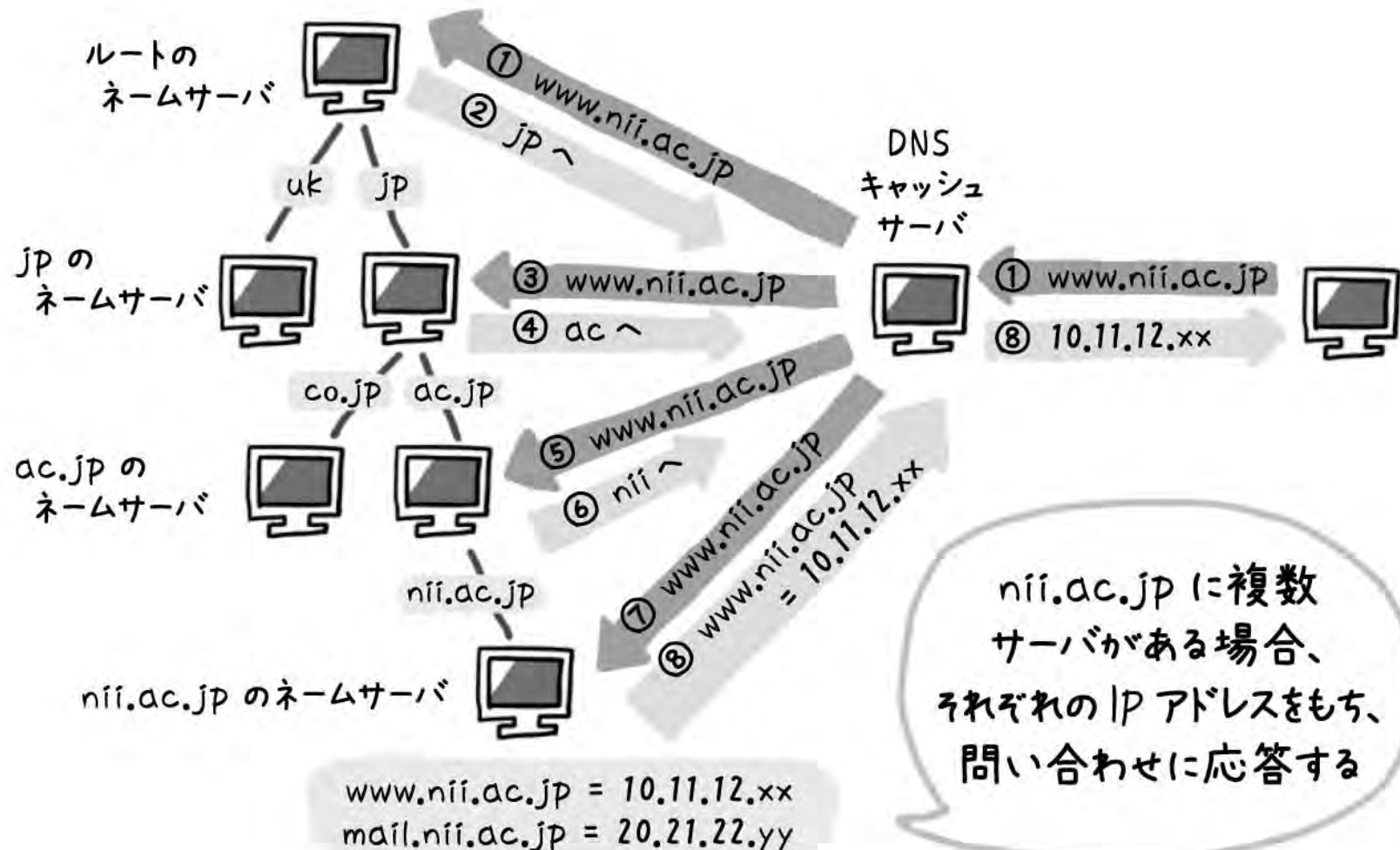
IPv6アドレスの場合 2001:0db8:bd05:01d2:288a:1fc0:0001:10ee

ドメインネームの例

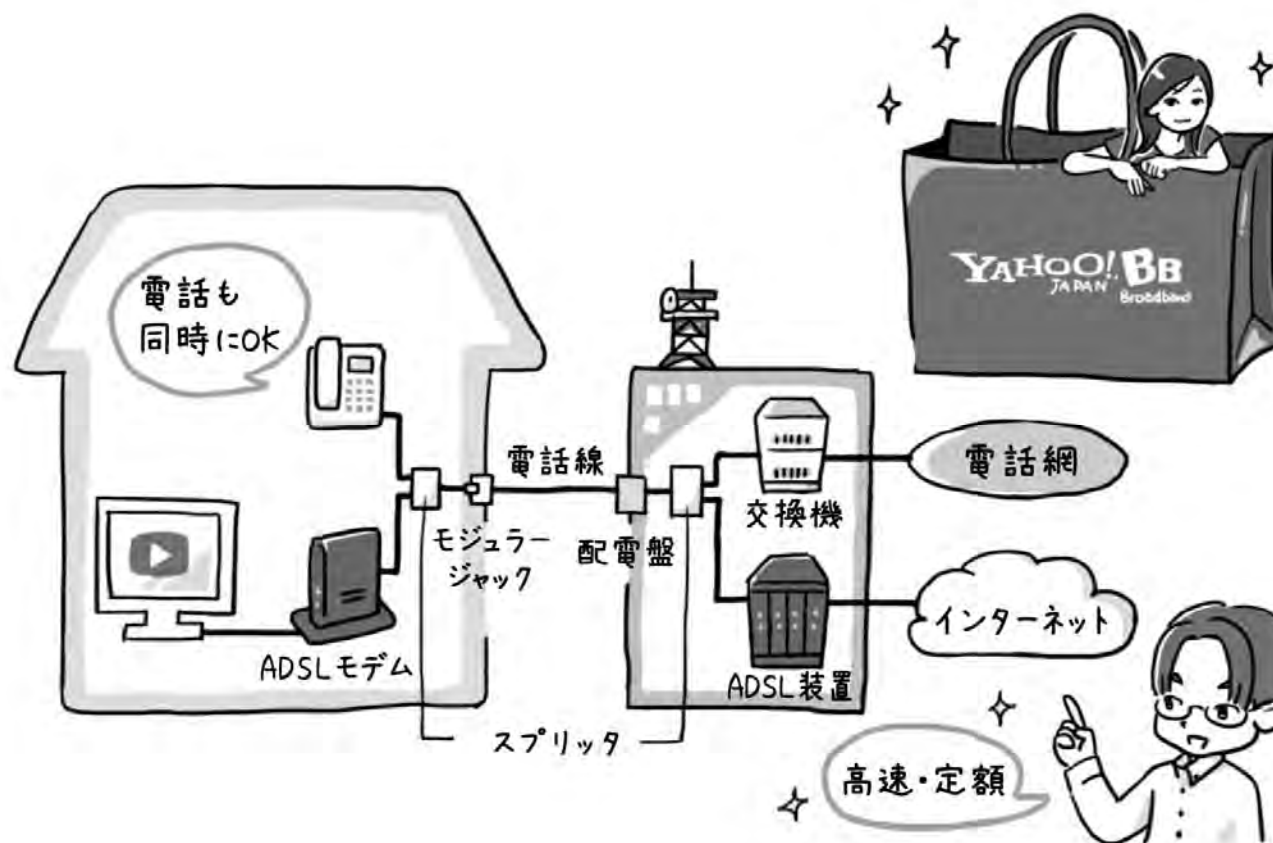




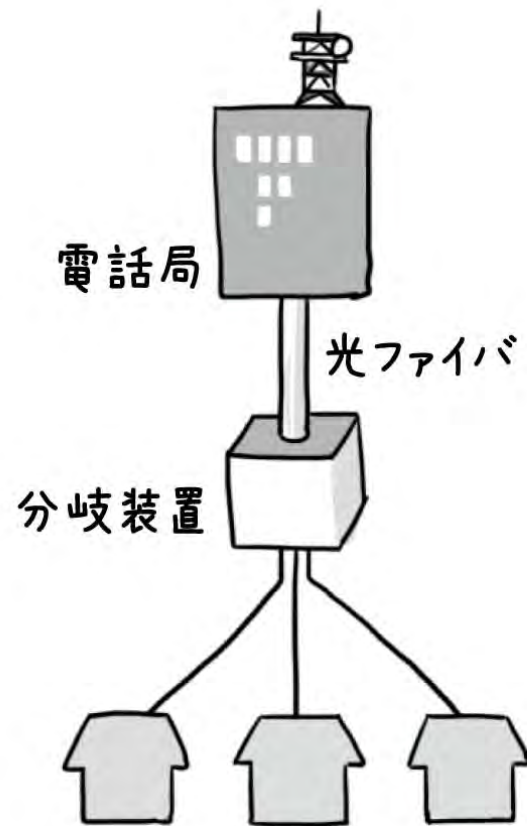
- ◆ドメイン名称とIPアドレスの対応関係は、ネームサーバが管理します。
- ◆ネームサーバは階層ごとに用意されており、ルートから順次検索を繰り返して目的のドメイン名称を見つけます。



- ◆ インターネットへの接続を、必要時にプロバイダにISDNで接続する方法(ダイヤルアップ)に加え、常時接続型のADSLサービスが登場しました
- ◆ 従量課金のダイヤルアップに比較し、定額・高速のため爆発的に利用者が増えました
- ◆ 電話線に高周波の“ADSL信号”を重ね通信します。スプリッタでADSL信号と電話信号の分離／多重を行いました。



- ◆これまで主に中継網区間で用いられていた光ファイバが、各家庭まで幅広く敷設され利用可能となりました。
- ◆これにより最大100Mbpsの通信が可能になりました。現在では最大1Gbpsも可能です。

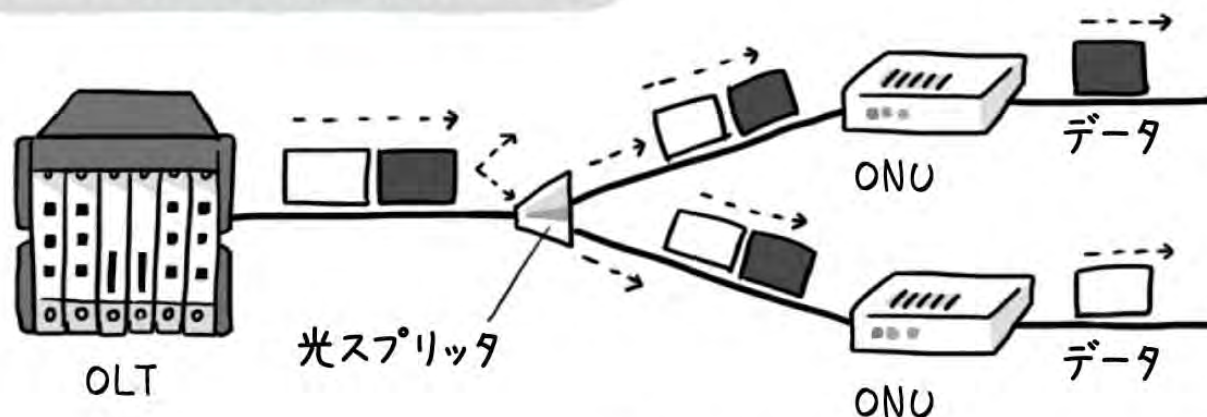




- ◆ 光ファイバ中の信号は反射しながら進むため、極度に曲がると信号が漏れたり、さらには折れたりするなど、光ファイバの施工性向上が望まれていました。
- ◆ そこで、曲げることのできる「曲げフリー光ファイバ」の技術開発が進みました。
- ◆ ファイバ内に穴をあける、十分な被覆を行う等の工夫がなされ、現在では、光ファイバを結ぶことができるまで進展しました。

- ◆ 光ファイバを各家庭まで敷設するには大変なコストがかかります。そこで1本のファイバに複数家庭の回線を多重するPassive Optical Network(PON)技術が開発されました
- ◆ 電話局に置かれたOptical Line Terminal(OLT)から、一本の光ファイバが延ばされ、家庭の近くで光スプリッタで分岐されます。家庭にはOptical network Unit(ONU)を置き、OLTとの間でデータの送受を行います。
- ◆ OLTからONUへの光信号はスプリッタで分岐されるので、各家庭のONUへは同じ信号が届きます。各家庭のONUでは、自分宛のデータを選択し受信します。
- ◆ 1Gbpsまで運べるPONを、G-PONと呼びます
(現在は、10Gbpsを運べる10G-PONも開発されています)

OLT⇒ONU へは同じ信号が伝わる

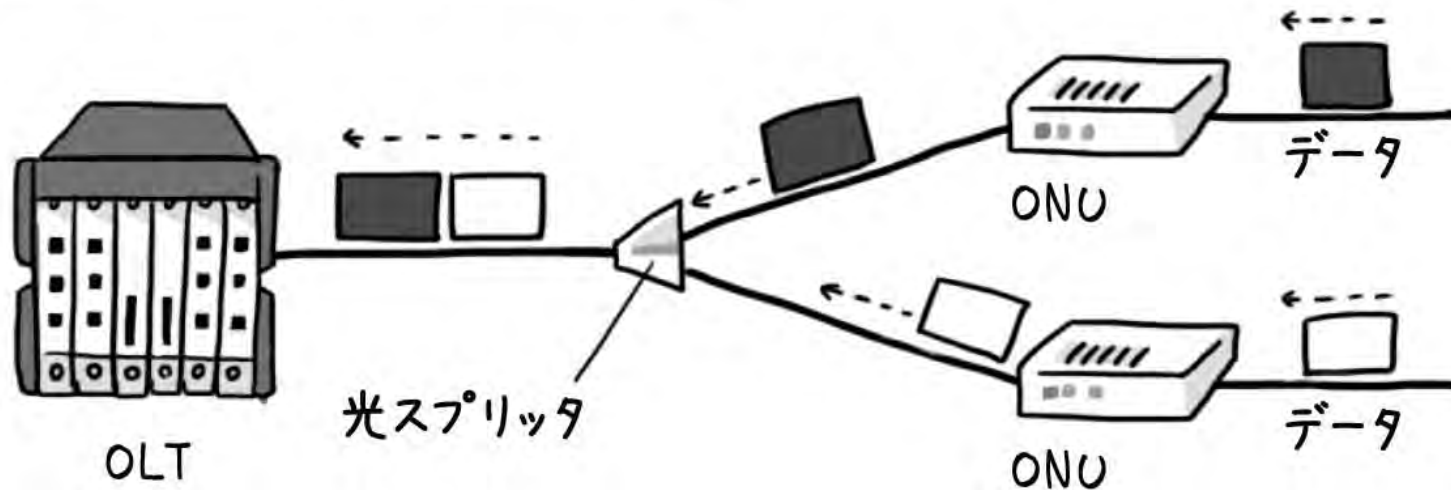


宛先 ONU を区別するための機能



- ◆ G-PONの重要な機能の一つが「上り方向のデータ送信」です。
- ◆ 各家庭から送信されたデータは、光スプリッタで1つのファイバに多重されます。このとき複数の信号が重なるとデータが壊れOLTで判読できなくなります。
- ◆ データが重ならないように、ONUはデータを出すタイミングを制御します。
- ◆ 光スプリッタから各家庭までのファイバの長さが違うため、距離差によって生じる到達時間の差なども考慮してタイミングを決めます。

ONU⇒OLT への信号は合流する

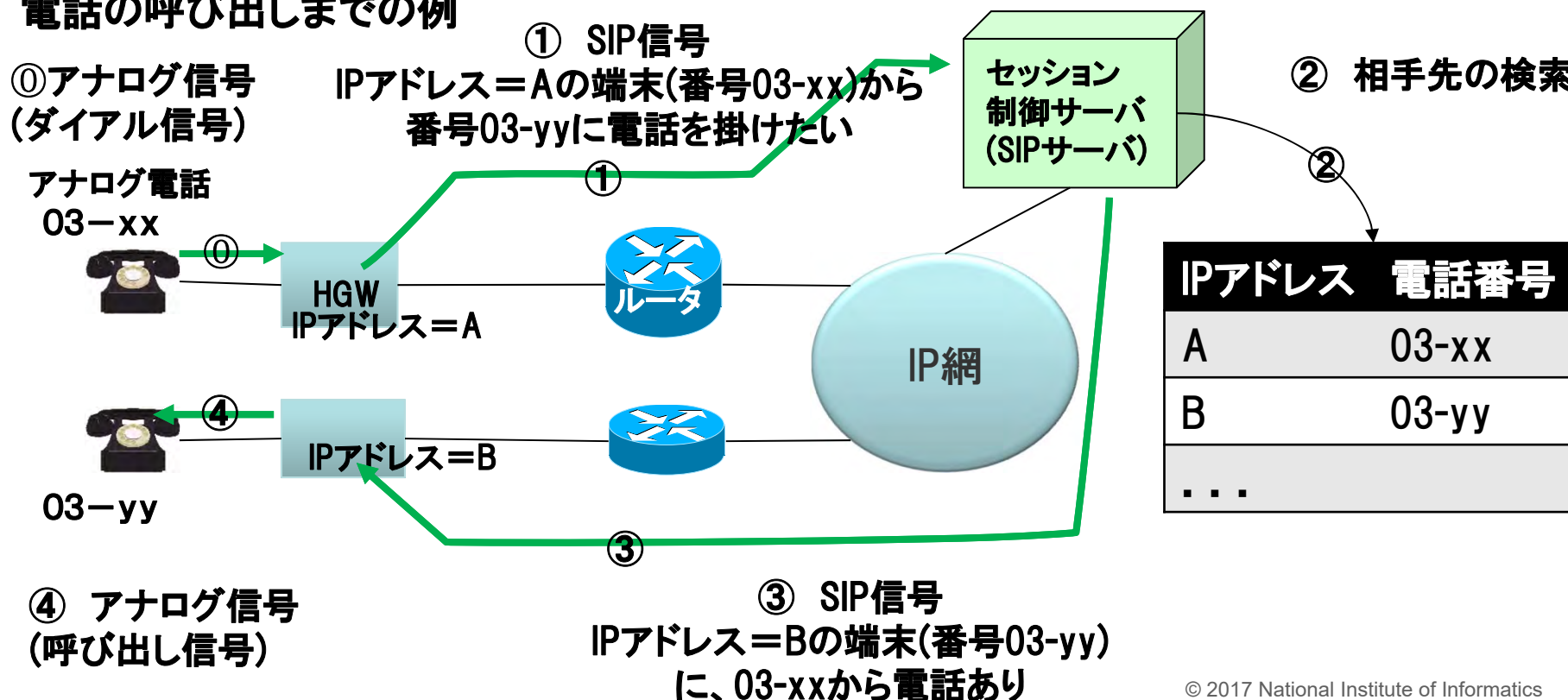


ONU の送信タイミング制御機能



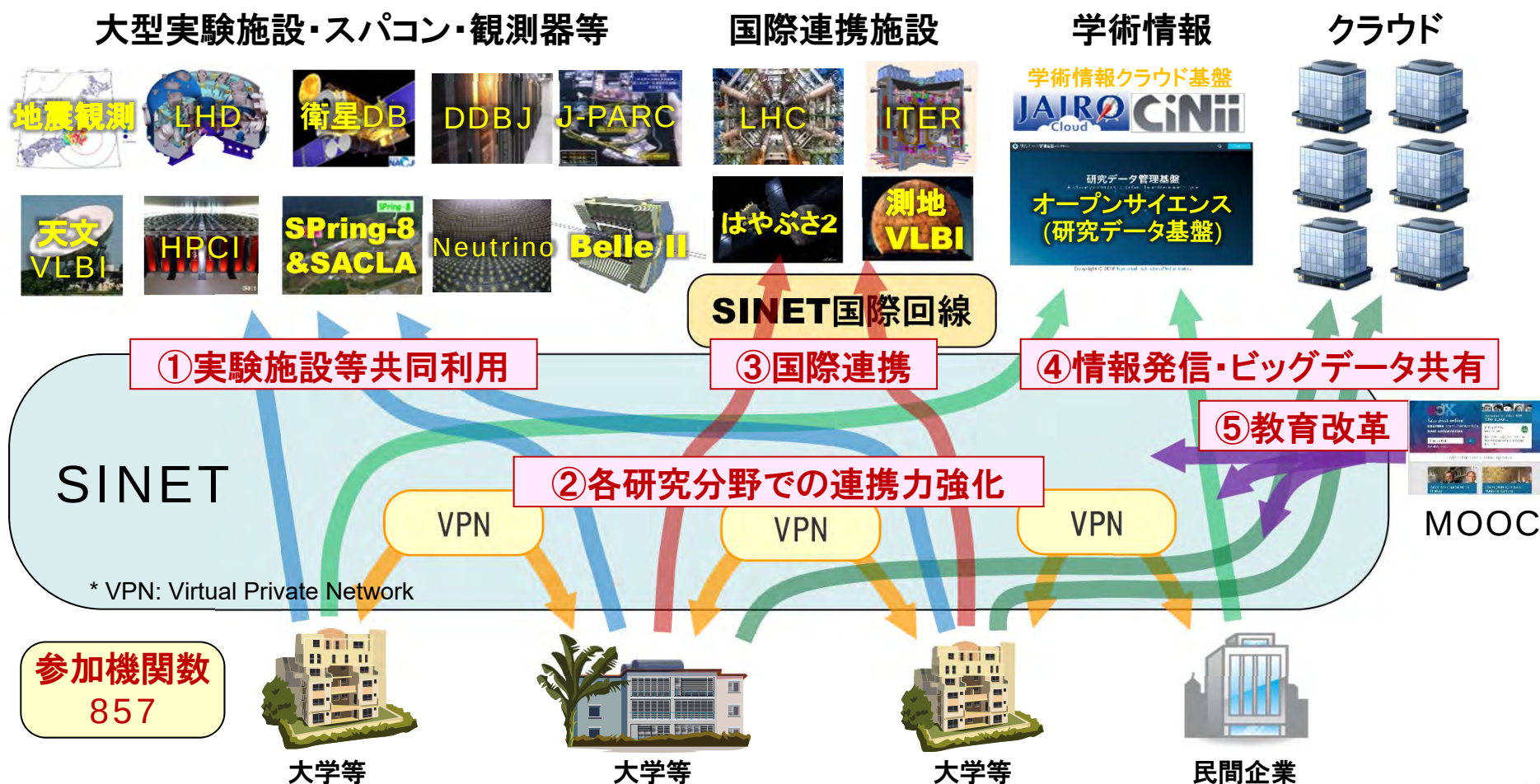
- ◆ FTTH化と並行し中継網もIP化されました。電話はようになったのでしょうか？
- ◆ IP網においても、電話を掛けることができるように仕組みが整えられました。その一つが SIPと呼ばれるプロトコル(手順)です。
- ◆ SIPは、電話番号とIPアドレスとを対応させて通話先を決めます。
- ◆ SIPは、必要な品質も通知することができるので、電話とデータ通信とを分けて品質制御することができます。

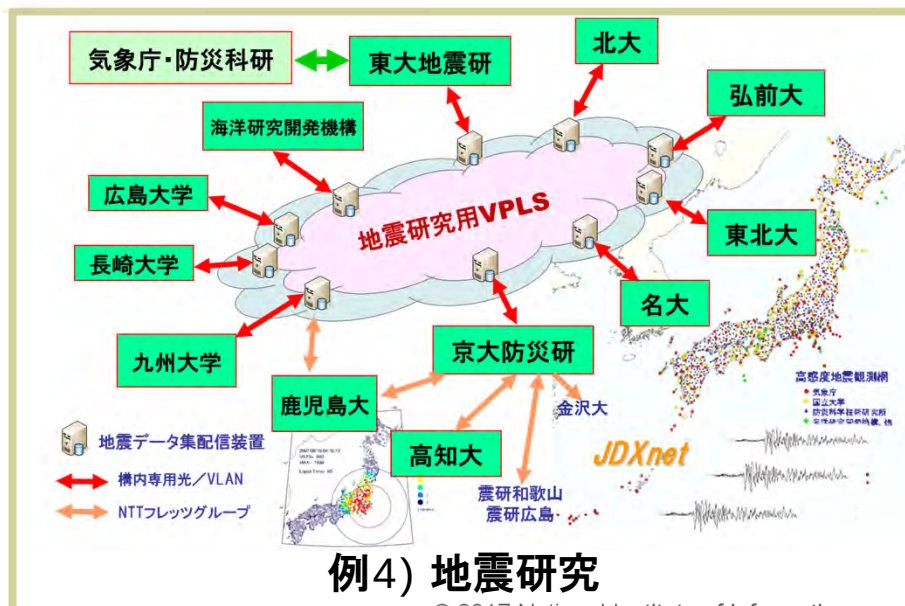
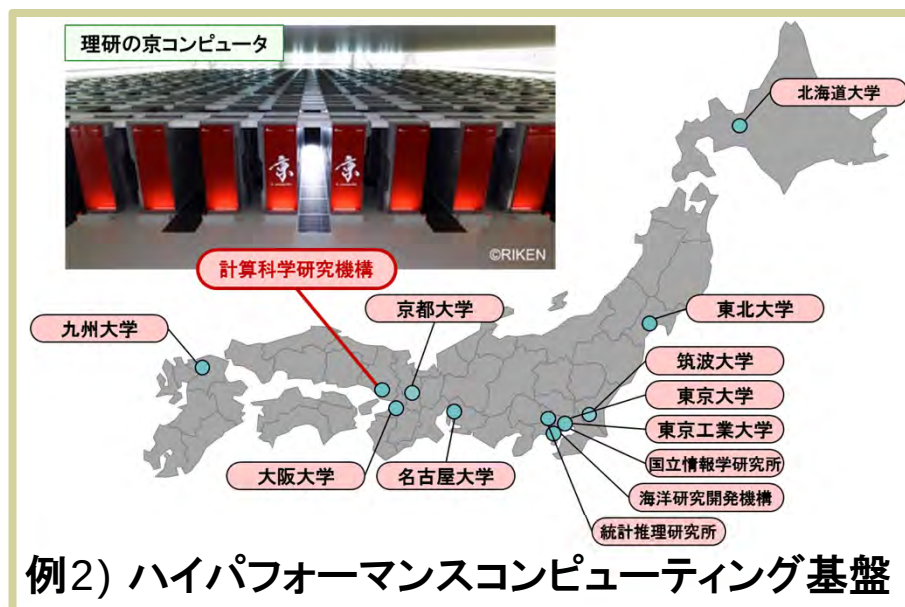
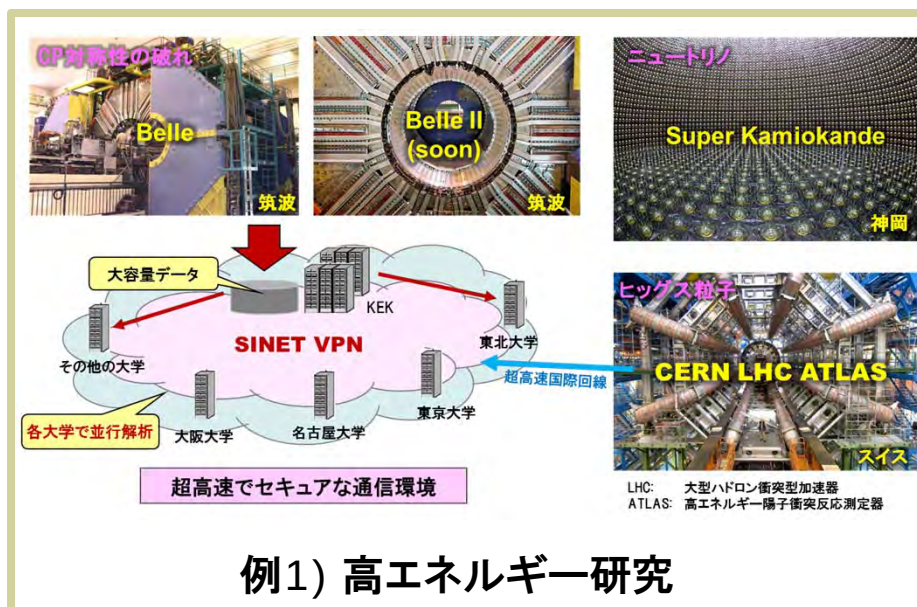
電話の呼び出しまでの例

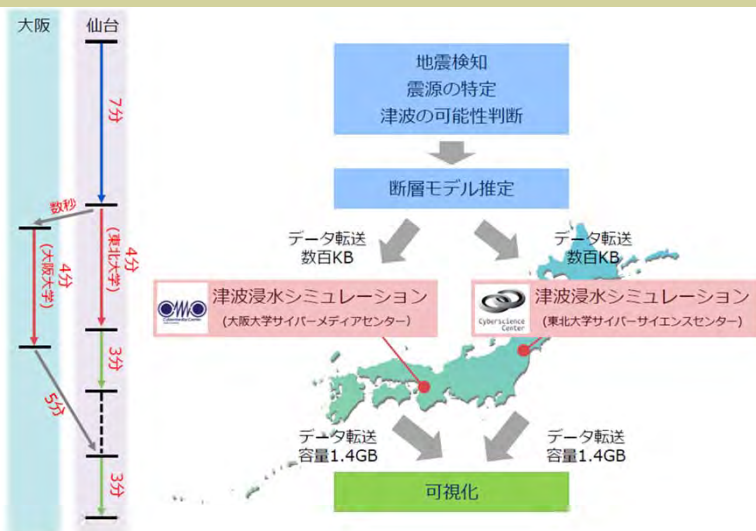


◆ Science Information network (SINETさいねっと): 全国の大学・研究所の学術情報基盤

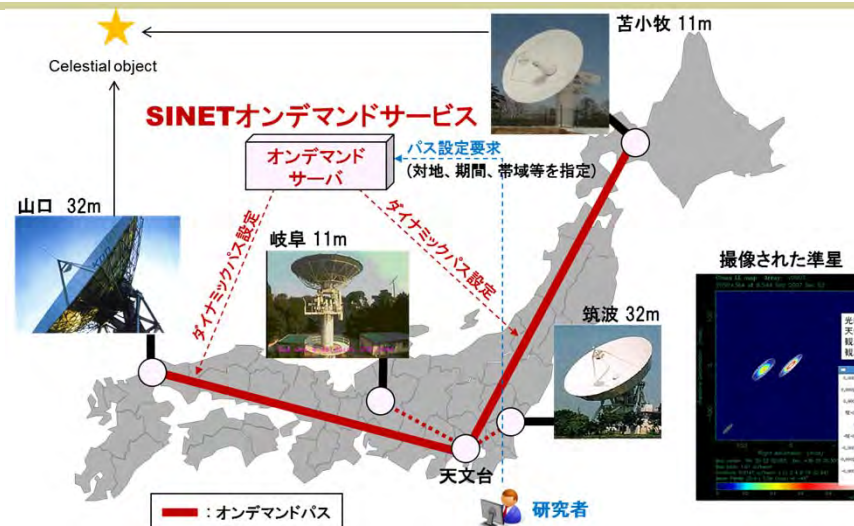
- ① 大型実験施設等の共同利用、② 各研究分野での連携力強化、③ 世界各国との国際連携
- ④ 学術情報の発信やビッグデータの共有、⑤ 大学教育の質向上等 のため利用されます







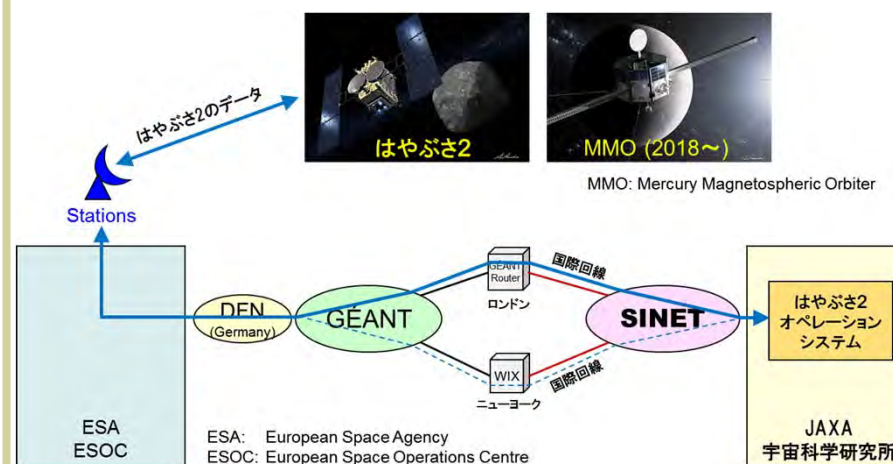
例5) リアルタイム津波浸水被害予測



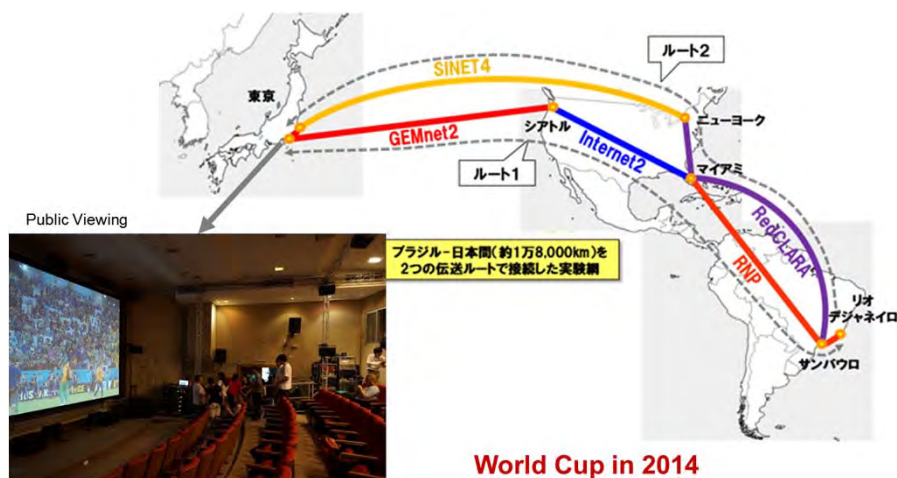
例6) 天文研究



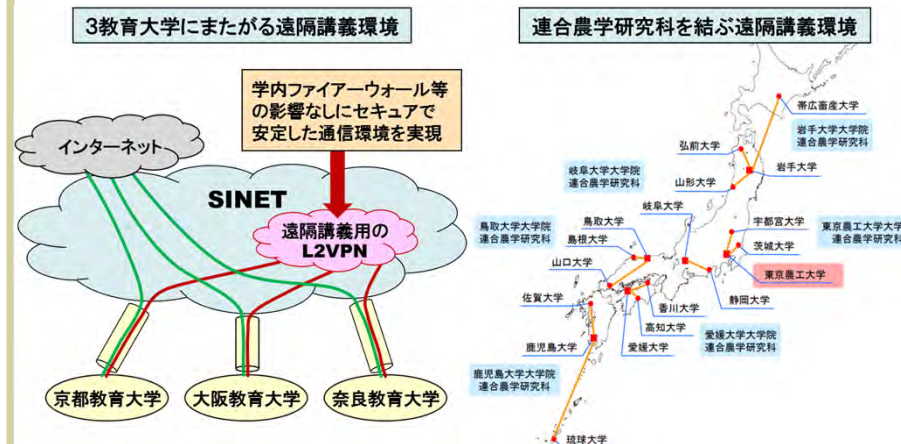
例7) 測地研究



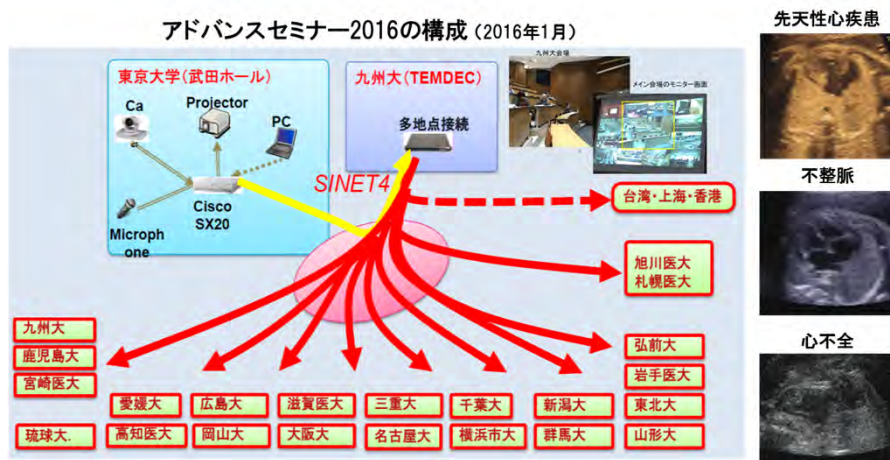
例8) はやぶさ2



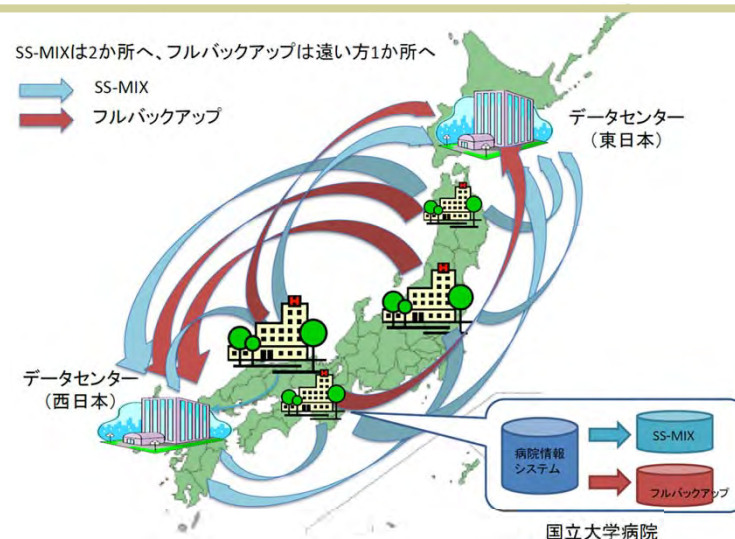
例9) 国際8K伝送



例10) 遠隔講義



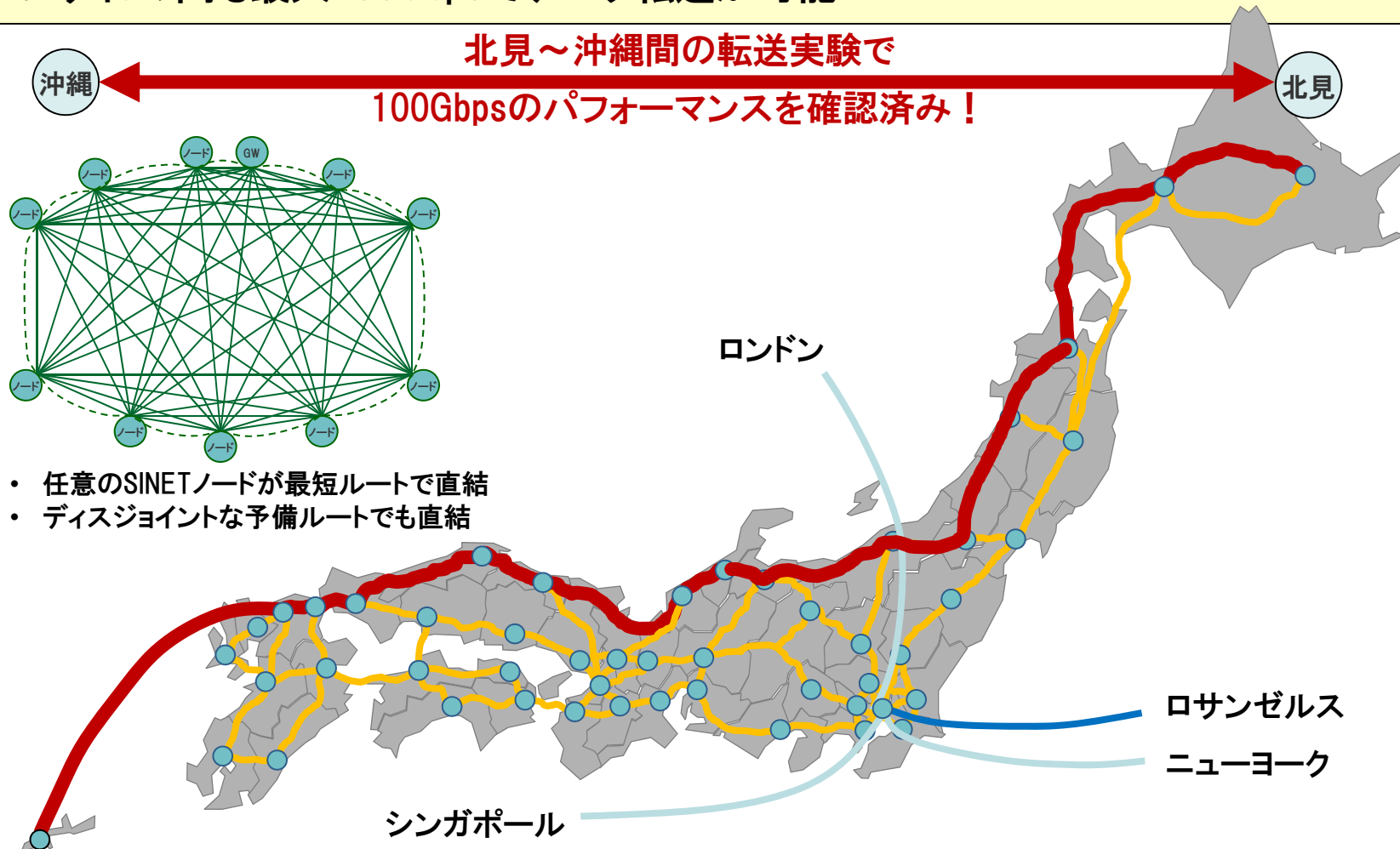
例11) 遠隔医療教育



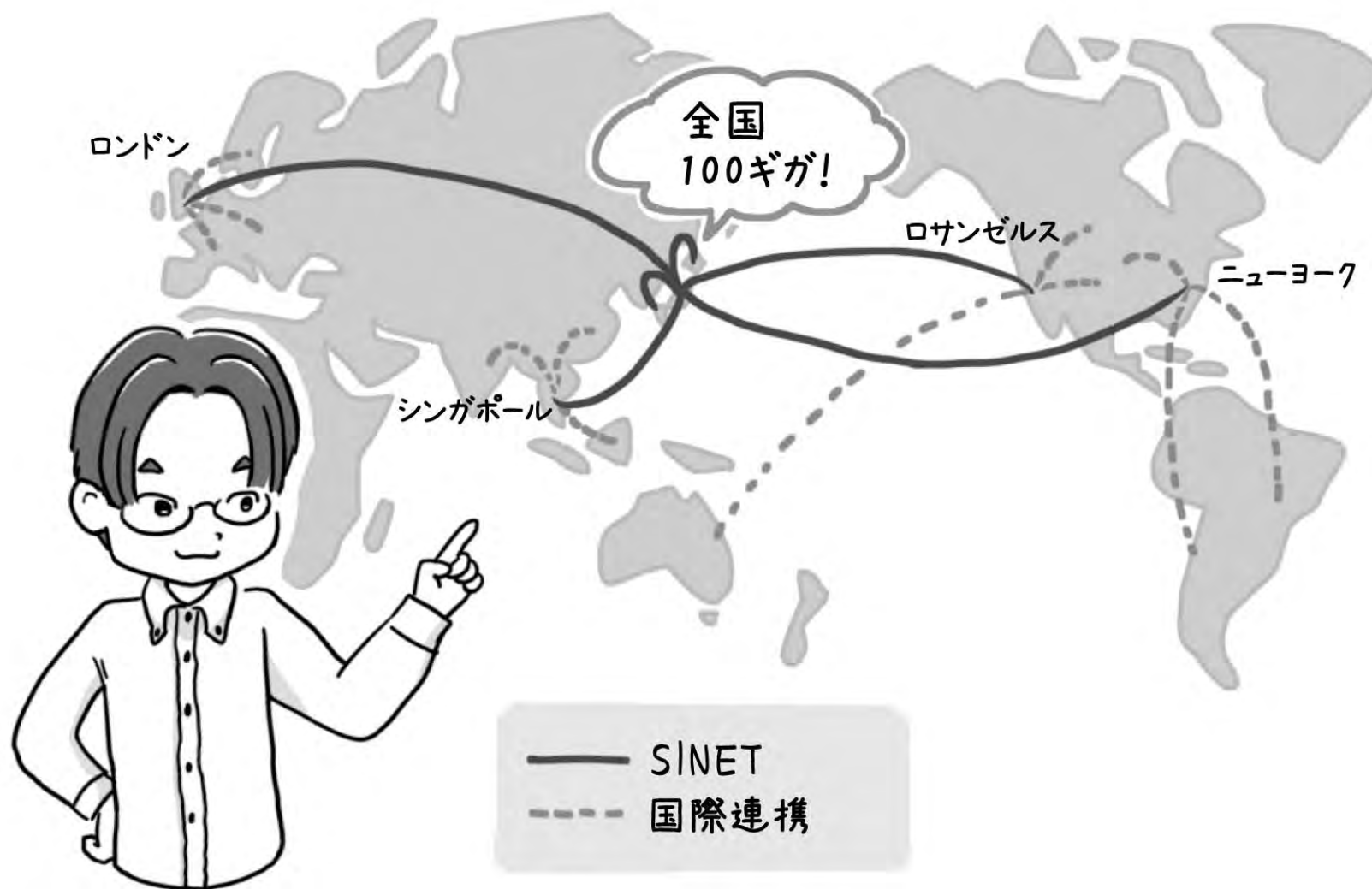
例12)医療情報バックアップ



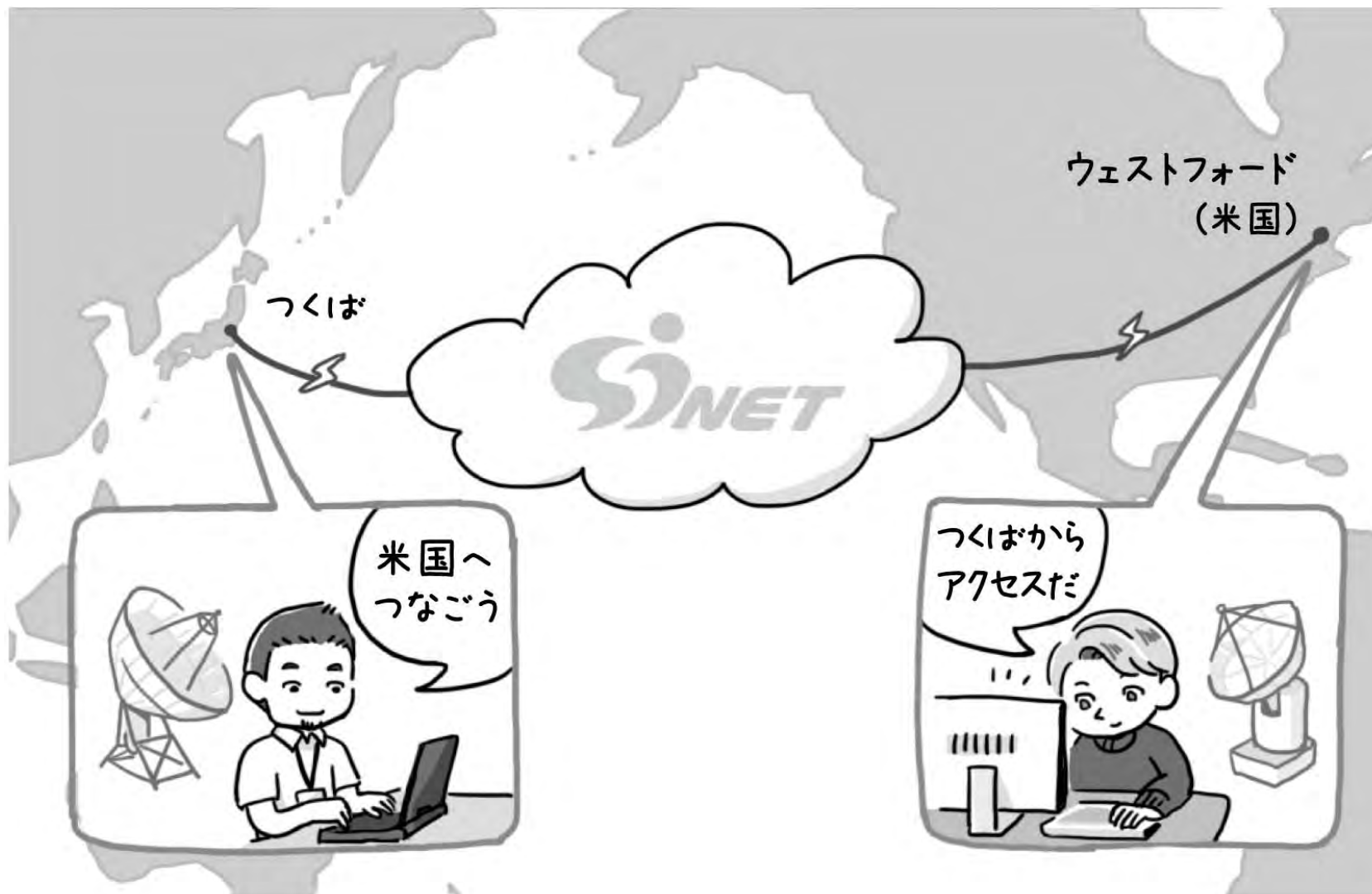
- ◆ 任意の拠点間を論理回線により最短ルートで直結しているため短遅延(=高性能)
 - ・ 新伝送技術により最短ルートでの論理的なフルメッシュトポロジーを実現
- ◆ いずれの間も最大100Gbpsでデータ転送が可能



- ◆ 日本国内を100ギガの高速回線で繋ぎながら、欧州・北米・アジアと世界各地の研究機関との連携のために国際通信回線を整備しています。

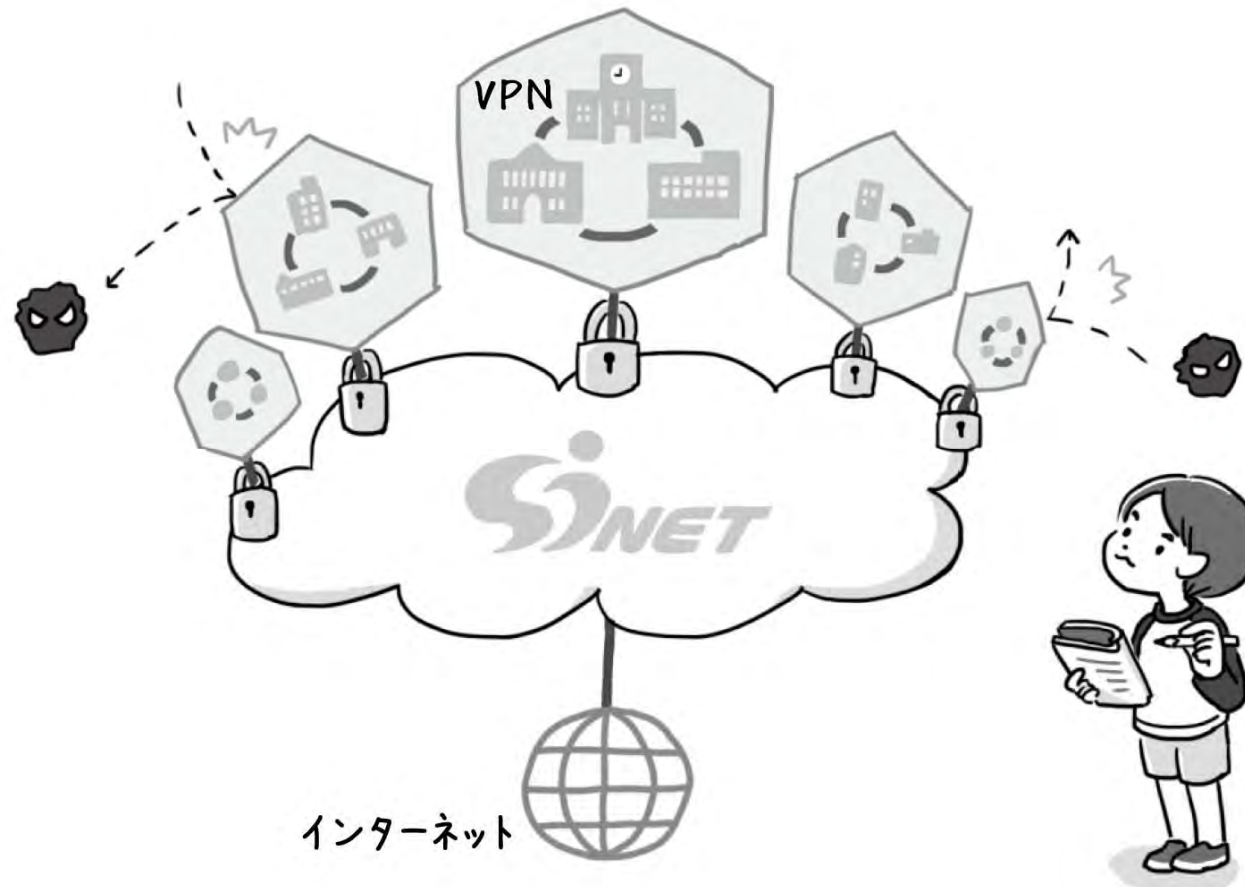


◆ 例えば、海外にある実験装置を日本から動かしたり、得られたデータを日本に転送することが可能です。





- ◆ 実験プロジェクトでは、関係する大学間だけで通信ができるように、“閉じた通信環境”を作る必要があり、SINETでは「VPN」を構成し提供しています。
- ◆ VPNの中では通信できますが、他のVPNからとの間は通信できません。

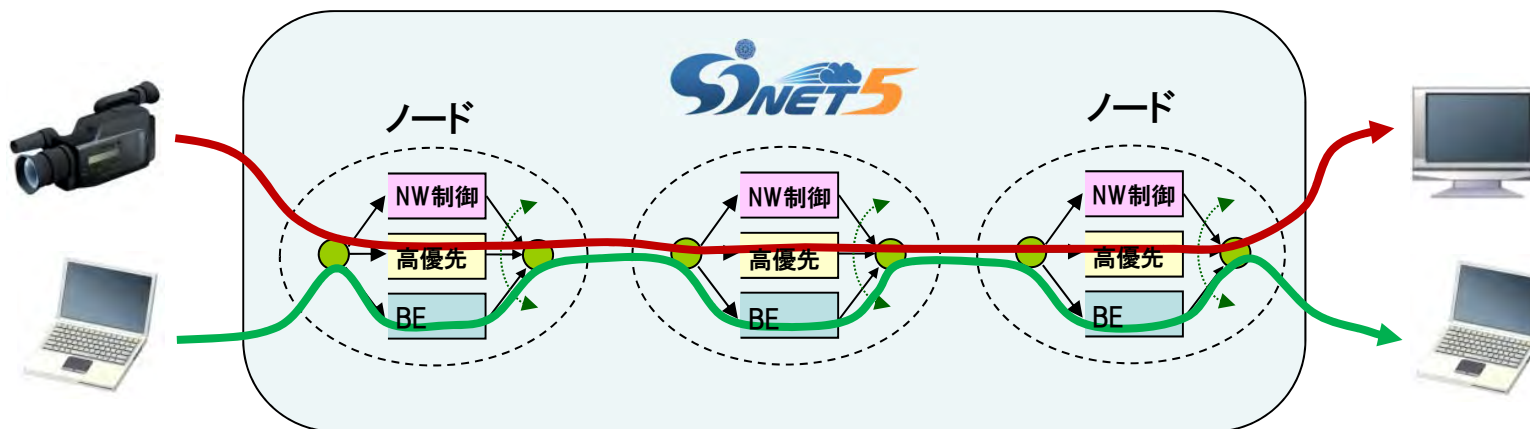
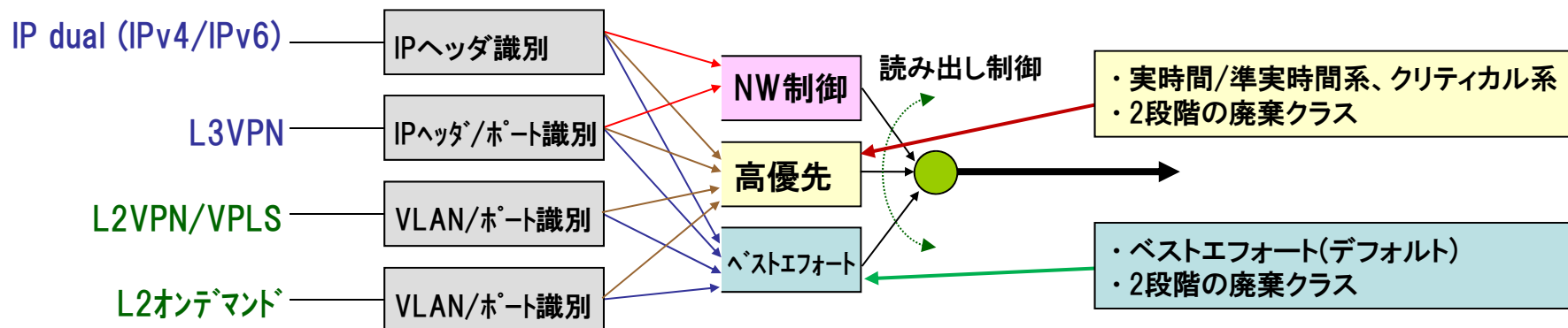


- ◆ SINETでは、利用者自身で、VPNの設定・削除を行うサービスも提供しています。
- ◆ 設定するVPN毎に、パケットを優先的に転送する(高い品質で転送する)ことや、経路を変更する機能も併せて利用できます。



◆ リアルタイム系アプリケーション等のために、アプリケーション毎の通信フローやVPN毎に品質制御が可能

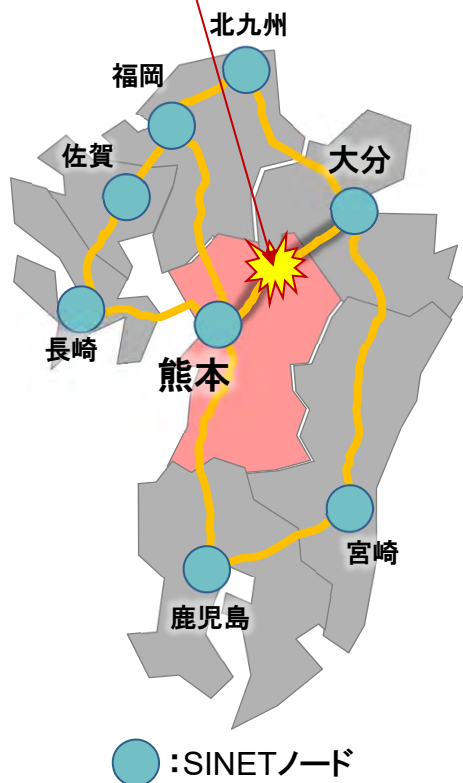
- ・ アプリケーション毎の通信フロー: IPアドレス、プロトコル番号、ポート番号等で識別
- ・ VPN: VLAN ID、物理ポート等で識別



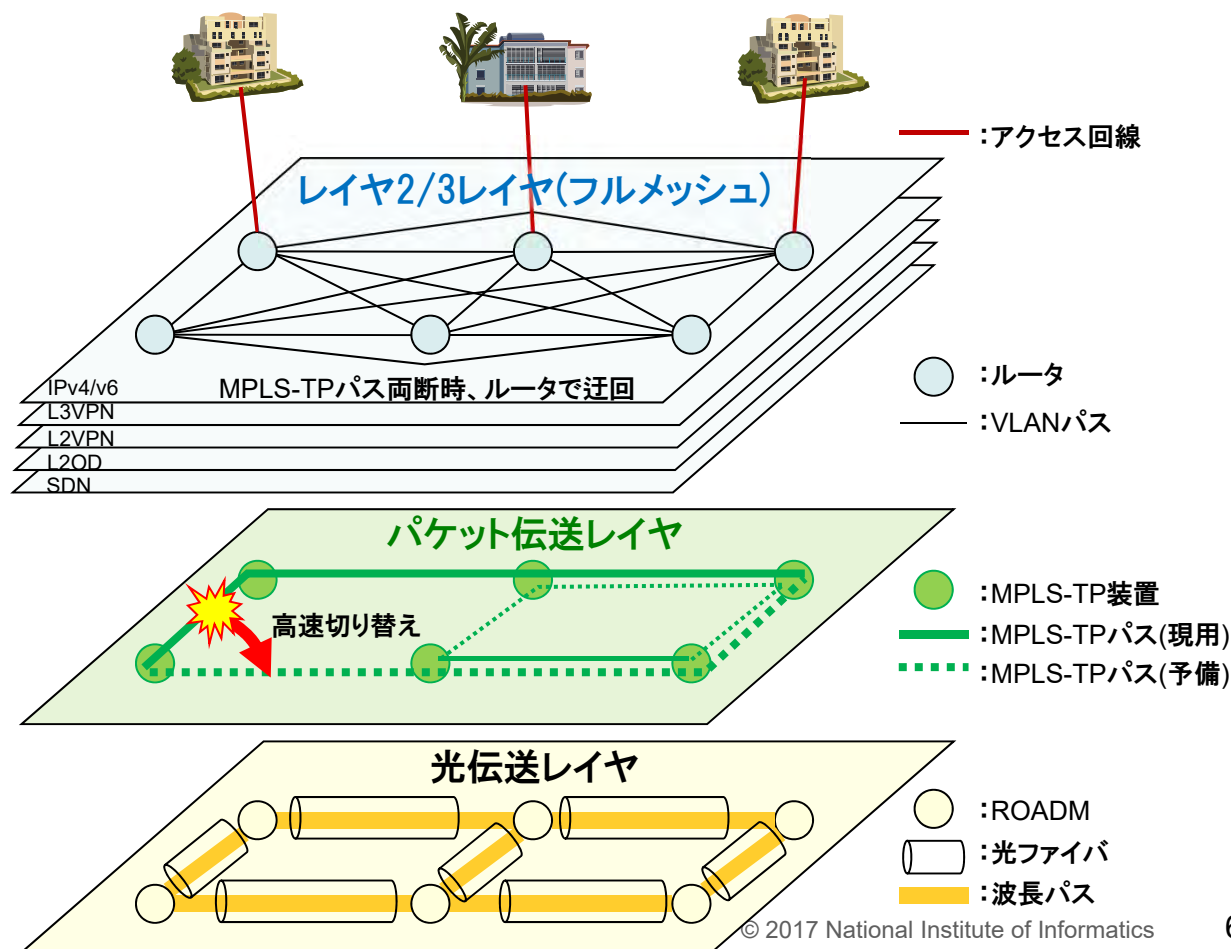
- ◆ 地震や台風等の自然災害においても通信を継続させるための機能を強化しています。
- ◆ 熊本地震や北海道豪雨においても安定した運用を継続しました。
- ◆ SINETを構成するルータを堅牢なDCへ設置、多層での迂回機能実装等を行っています

熊本地震での被害

光ファイバ断
(平成28年4月16日～5月16日)

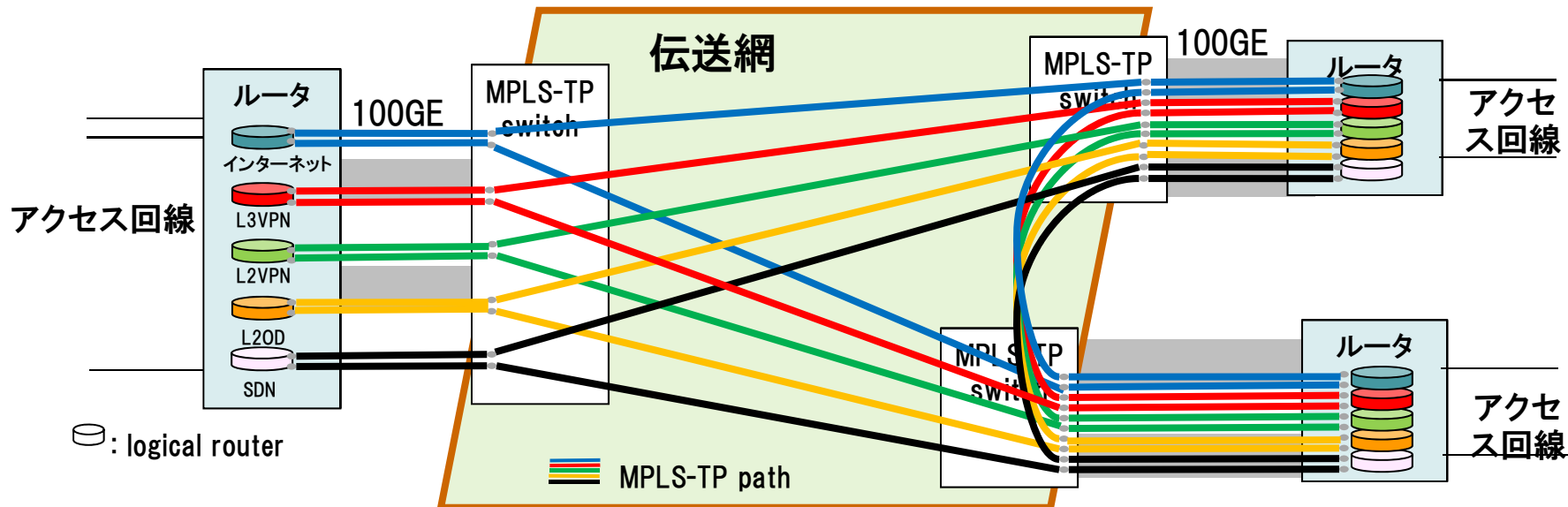
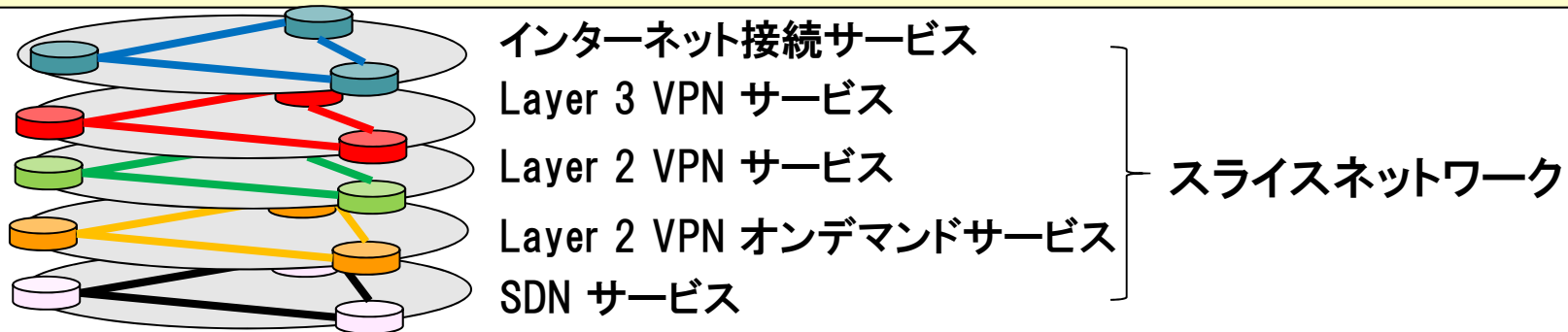


多層での迂回機能実装により高信頼化



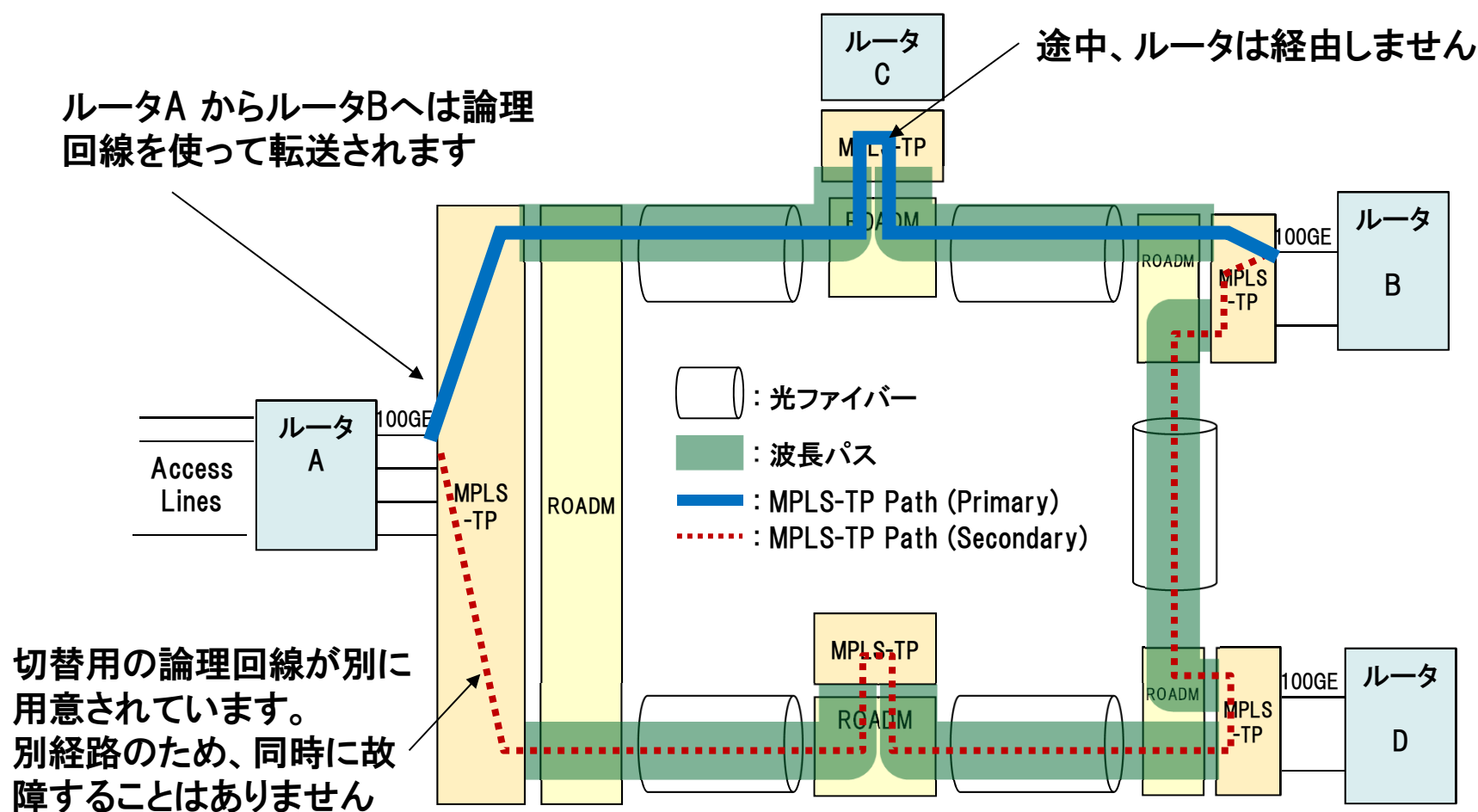


- ◆ ロジカルルータ技術を用いてした論理的なネットワーク(＝スライスネットワーク)を構成し、異なるサービスを提供します。ロジカルルータ間は、異なる論理回線を用いて接続しています。
- ◆ スライス内の挙動が他のスライスへ影響を与える事を抑制することができます。



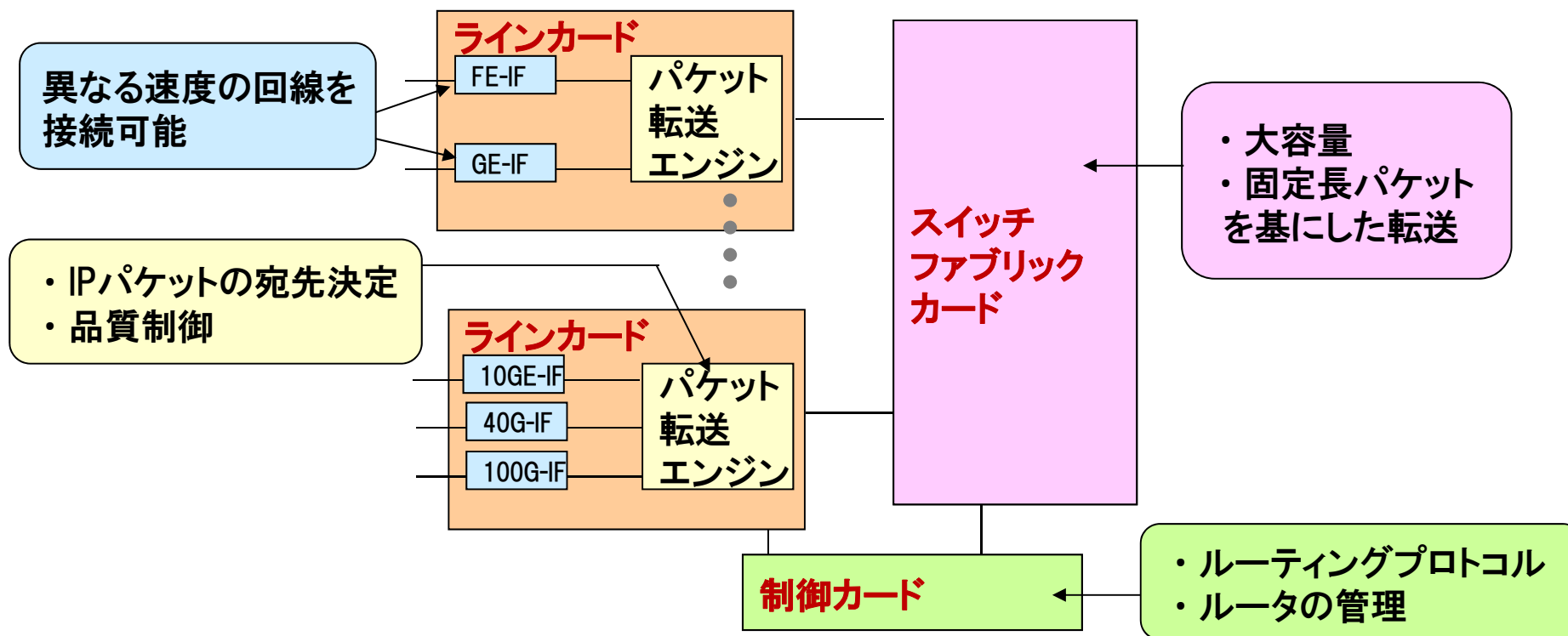
SINET5の伝送網の構成

- ◆ 伝送網は光波長スイッチ(ROADM)と論理回線スイッチ(MPLS-TP)で構成します。
- ◆ SINET5では、全てのルータ間を論理回線(MPLS-TP path)で接続します。約50ルータあるので1000本以上の論理回線を用いて構成しています。

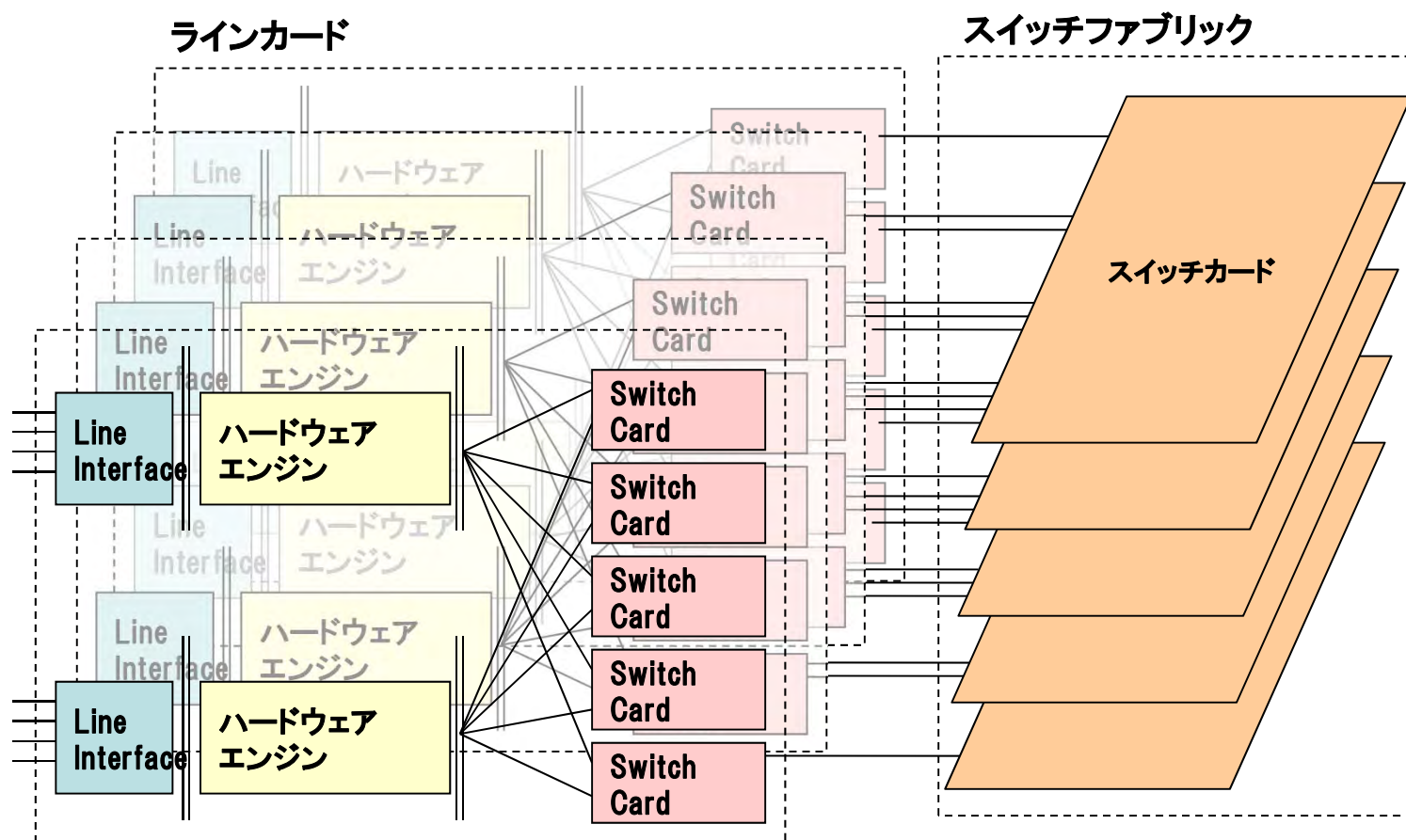




- ◆ 高速ルータは、大きく「ラインカード」「制御カード」「スイッチファブリックカード」と呼ばれる機能に分けられて構成されています。
- ◆ ラインカードには、パケットを転送するための機能が配備されています。
- ◆ 100Gbpsの回線では、1秒間に2億個のパケットが届きますが、それぞれ到着する毎に宛先を参照し転送先を決定します。
- ◆ 最新ルータは1台で100Gbps×80回線(80Tbps)の処理が可能であり、現在も大容量化の開発が進められています。



- ◆ 大容量ルータのスイッチングファブリックは、複数のラインカードと複数のスイッチカードが十字になるように組み合わせ、複数のスイッチカードで分散させて転送しています。

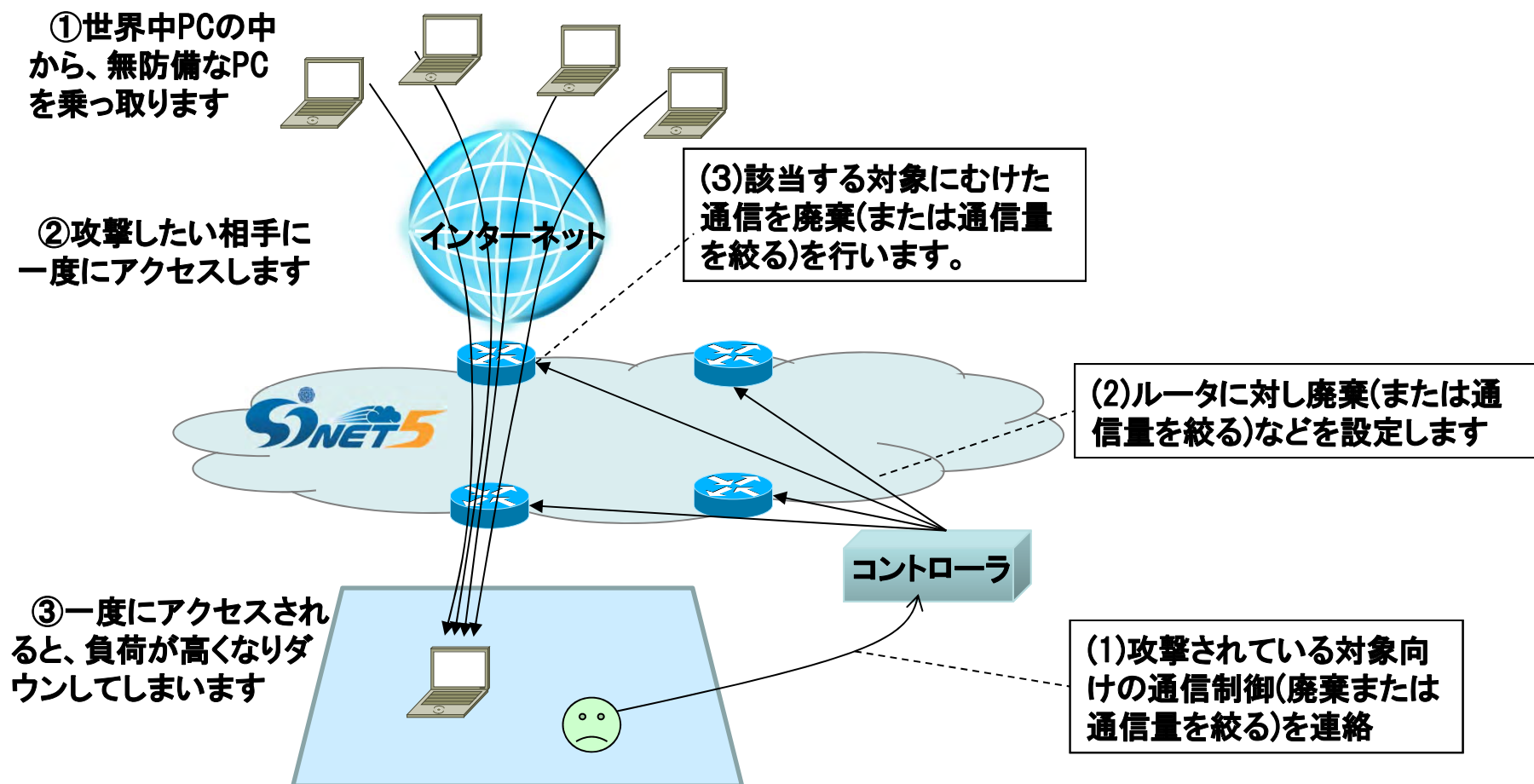


- ◆ ネットは要求条件に合わせて設計する必要があります。
- ◆ さまざまな実験プロジェクトから寄せられる“特殊な”要望にこたえるため、一からネットワーク設計を行っています。





- SINETに接続している機関のサーバがDDoS攻撃を受けた場合に、サービス障害から保護するため、攻撃先への通信を廃棄(もしくは通信量を絞る)技術の導入にむけ検討を進めています。

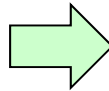




- ◆サーバの高性能化や、ネットワークの低廉化・高速化が進みました。そこで、サーバをネットワーク越しで共有するクラウド技術が進みました。
- ◆ネットワーク機能についても、クラウドを活用する動きが進んでいます。
- ◆Software Defined Network(SDN):ネットワーク設計・設定をソフト的に簡易に実現
- ◆Network Function Virtualization(NFV) :ネットワーク機器が汎用サーバ上で動作

サーバの高性能化

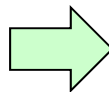
CPU性能の価格性能比(30年で約3000倍)
バス速度はPCIからPCIe3.0で500倍



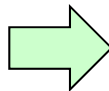
WANの低廉化・高速化

ISDN(64kbps)から光アクセス(1Gbps)へ15600倍

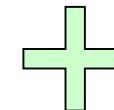
ネットワークの設計・設定は、
物理作業・論理設定と大変



ネットワーク機器は
専用のハードウェア
管理・運用が大変



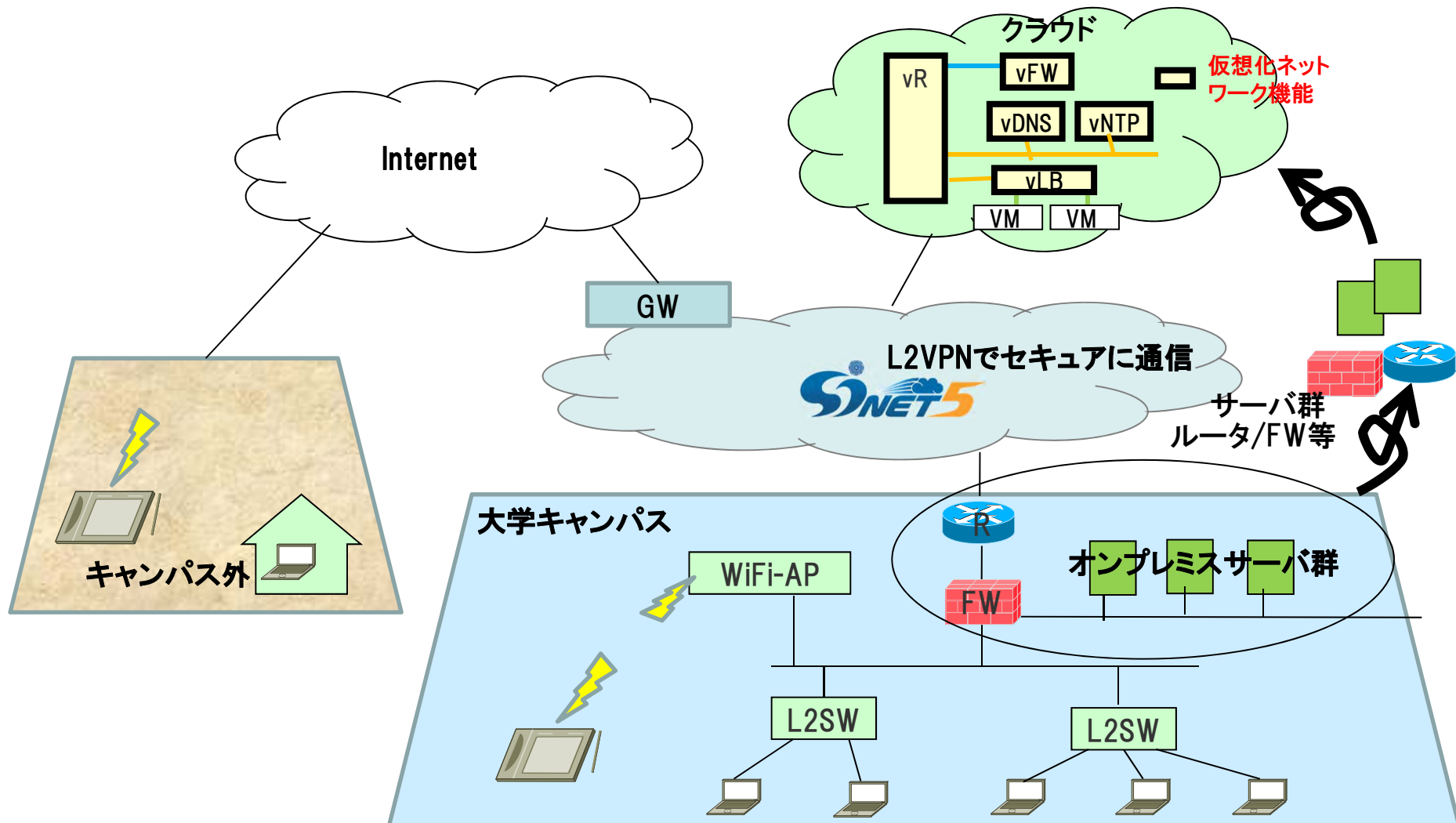
データセンタに設置されたサーバを、
ネットワーク越しで共有するクラウドの登場



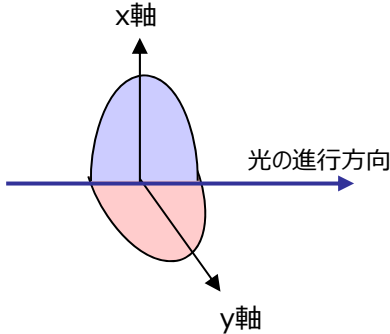
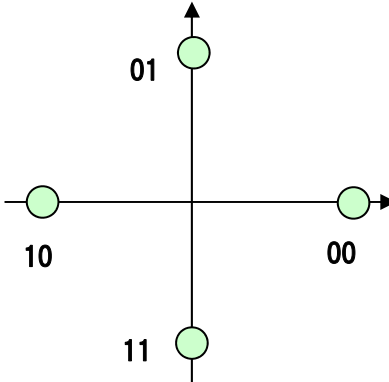
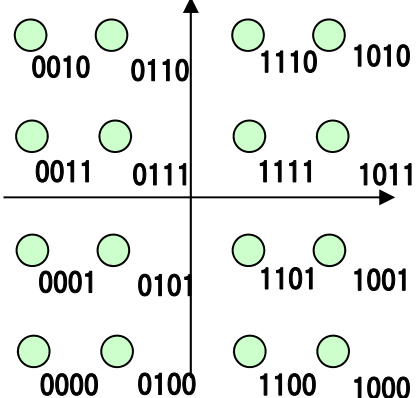
SDN:ネットワーク設計・設定をソフト的に簡易に

NFV:ネットワーク機器が汎用サーバ上で動作

◆オンプレミスで管理していたサーバ群に加えて、LAN内のルータやファイヤーウォール等をクラウドに移行(仮想化)することで設定・管理の簡易化を目指しています。



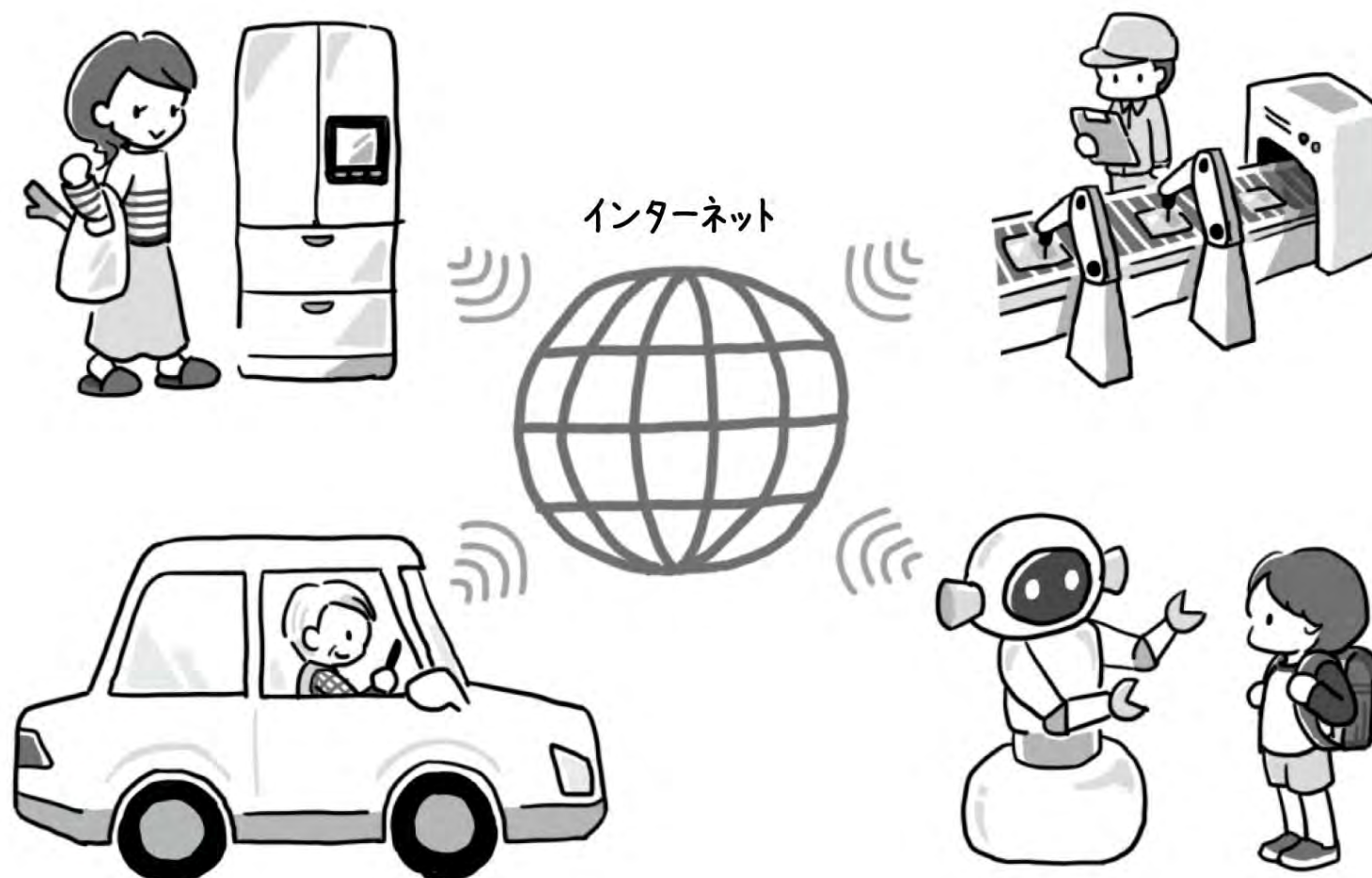
- 100Gbps伝送においては、シンプルな光のON/OFF信号による伝送は困難になり、無線などで採用されている、より複雑な変調方式の取り込みが行われました。
- 400Gbps等のさらなる高速化に向け、新技術の適用性についての検討を進めています。

	DP (2重偏光多重変調)	QPSK (4位相偏移変調)	16QAM (16値 直行振幅変調)
概要	直交する2偏光を用いて、2系列の信号を多重し送る方式	90° の異なる位相を持つ信号で値を送る方式 $Y(t) = A \cos(2\pi ft) \quad 00$ $= A \cos(2\pi ft + \pi/2) \quad 01$ $= A \sin(2\pi ft + \pi) \quad 10$ $= A \sin(2\pi ft + 3\pi/2) \quad 11$	4つの振幅をもつ2組の信号を組み合わせ、16通りの値を送る方式 $Y(t) = A_k \cos(2\pi ft) + B_k \sin(2\pi ft)$ $A_k \text{ and } B_k = -1, -1/3, 1/3, 1$
信号イメージ			



- 400GbEは、2017年末に標準化完了見込みです。
 - 1TbEの標準化完了は2020年代の中ごろ(*)になる見込みです。
- (*) 業界団体:Ethernet allianceのロードマップ

◆ コンピュータ間の通信から、全ての物の間での通信、IoT(Internet of Things)の社会が到来しつつあります。



- ◆ 町中のカメラが、ネットワークにつながります。
- ◆ みまもりサービスが利用できるようになります。



- ◆ 自動車もネットワークにつながります。
- ◆ 自動車の中から、さまざまな情報にアクセスすることが可能になるとともに、自動運転などのサポートへの適用も検討されています。



- ・ 愛澤慎一編著、「やさしいデジタル交換」、電気通信協会(1987)
- ・ 野口正一監修、鈴木滋彦著、「図解ISDN —多目的インタフェース—」、オーム社(1988)
- ・ 「営業に役立つ 電気通信のしくみがわかる本 '92年版」、NTT出版(1991)
- ・ NTT東日本、「電話のふくそうのしくみ」、<https://www.ntt-east.co.jp/traffic/disaster.html>
- ・ NTT技術史料館、「公衆電話」など実物多数
- ・ 「「ベル友」ブームを巻き起こした「ポケットベル(現クイックキャスト)」の歴史」、NTTドコモレポートNo.55(2007)
- ・ 小川圭祐・小林忠男編著、「やさしいパーソナルハンディホン」、電気通信協会(1995)
- ・ 上林真司、「携帯電話のつながるしくみ」、電子情報通信学会・通信ソサイエティマガジン、no.9、pp.14-15(2009)
- ・ from NTTドコモ、「豊かな生活に役立つ社会基盤となるLTEサービス「Xi」(クロッシィ)」、NTT技術ジャーナル、vol. 23、no. 7、pp.48-51(2011)
- ・ 守倉正博・久保田周治監修、「改訂三版 802.11高速無線LAN教科書」、インプレスR&D(2008)
- ・ 溝内正康、「FENICS/パソコン通信サービスNIFTY-Serve」、日本教育情報学会・教育情報研究、vol. 5、no. 1、pp. 54-59 (1989)
- ・ JPNIC、「インターネットの基礎」、「IPアドレス」、「ドメイン名」、<https://www.nic.ad.jp/ja/>
- ・ K. R. Fall, W. R. Stevens著、「TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, 2nd Edition」、Addison-Wesley Professional(2011)
- ・ NTT西日本、「フレッツ・ADSLサービスの特長」、<https://flets-w.com/adsl/tokuchou/>
- ・ 「技術基礎講座 GE-PON技術—第一回PONとは」、NTT技術ジャーナル、vol.17、no.8、pp.71-74 (2005)
- ・ Wi-Fi Alliance、「Wi-Fi Alliance — ブランド」、<https://www.wi-fi.org/ja/node/7967>
- ・ Skype、「なぜスカイプは重くなく繋がるのか?」、<http://skypeとは.net/technology.php>
- ・ LINE Developer day 2015、<http://linedevday.linecorp.com/jp/2015/#t1s1>
- ・ Google、「Google 検索の仕組み」、<https://support.google.com/webmasters/answer/70897?hl=ja>
- ・ 国立情報学研究所、「高等教育機関の情報セキュリティ対策のためのサンプル規程集」、<http://www.nii.ac.jp/csi/sp/>
- ・ 国立情報学研究所、「学術情報ネットワーク SINET5」、<https://www.sinet.ad.jp/>
- ・ 総務省編集、「情報通信白書 ICT白書(平成28年版)IoT・ビッグデータ・AI～ネットワークとデータが創造する新たな価値～」、日経印刷(2016)