電気電子基礎学（通信関係）

荒木　純道

2010/10/29

波動・情報伝送・電気電子工学

- 「波動」が、エネルギー・情報伝送の生みの親です。
- 一番スピードが早くて、作るのも受け取るのも便利な「波」→「電磁波・光波」

2010/10/29

2010/10/29

エレクトロニクスと通信

- この電磁波・光波を作り、伝え、受け取る回路デバイスを研究するのがエレクトロニクスの大きなテーマ！

2010/10/29

通信系と電力系

- 通信系（情報伝送）と電力系（エネルギー伝送）には類似した技術が使われています。
- しかし、ハンバーグを温める電子レンジも2.4 GHzの電磁波を使っていますが、これは情報伝送（通信）を目的とはしていませんね。
- 目的に応じて、電磁波の性格も大きく変わります。
- でも最近のRF-IDでは、情報と電力を同時に送っています。（SUICAなど）
- ワイヤレス送電

2010/10/29

2010/10/29

2010/10/29

波動とは？

- **（関連講義） 電磁気学Ⅰ，Ⅱ**
- 大雑把に言うと、**異なる物理量**（例えば、電界と磁界、気体の密度と速度）が互いに空間的時間的に相互作用していて、ほぼその形を保ったまま時空間を伝播していく物理現象を指しています。
- ですから単一の物理量だけでは波動伝播は起きません。静電界のことを思い起こしてみてください。

2010/10/29

James Clerk Maxwell, G. J. Stodart'ın bir ovmabaskısı

2010/10/29

Maxwellの方程式

- 電界の時間変化→磁界の渦
- 磁界の時間変化→電界の渦
- 電磁波：横波、偏波がある（ベクトル場）
- 音波：縦波、偏波がない（スカラ場）
- 速度：$c=1/\sqrt{(\varepsilon\mu)}=3\times10^8$（m/s）
- ε:誘電率
- μ:透磁率
- 真空中でも伝播できます。
  夜空の星が見えるのもそのお陰。

2010/10/29

2010/10/29

2010/10/29

2010/10/29

Ampere（フランスの物理学者）

- 電流と磁界の関係解明：アンペアの法則
- 電流の単位[A]
- デジタル通信の開祖？
- 直流電池＋導線＋スイッチ＋検流計
- でも、[符号化]の概念がなかった、残念！

2010/10/29

波動を作り育てる

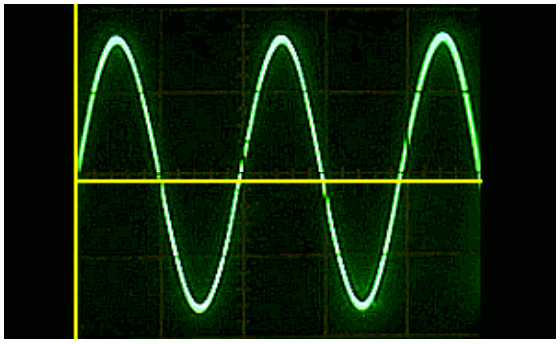
- 「関連科目」 アナログ電子回路、電子デバイス、光エレクトロニクス
- 発振器：生みの親
- 増幅器：育ての親

2010/10/29

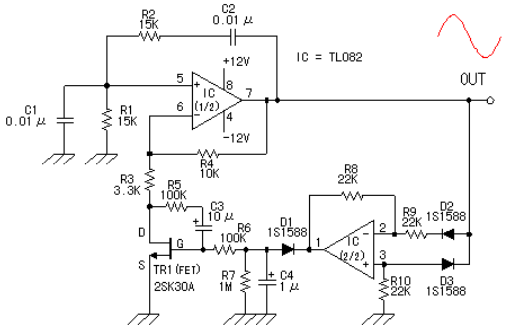
発振器

- 「育ちの良い」波動、つまりほぼ単一な周波数からなる波を作ります
- 目標とする周波数は100kHzから100THzまでとてもバラエティに富んでいます
- 周波数のゆらぎ→位相雑音、通信の品質に影響します。
- 高調波成分→三角関数（Sin,Cos)からのずれを少なくすることも大切です。

2010/10/29



2010/10/29

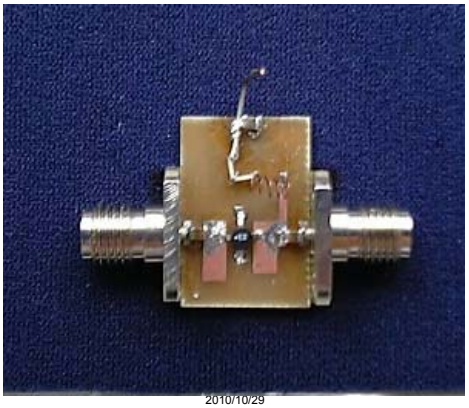


2010/10/29

増幅器

- 大きな電力を出力する電力増幅器
  （出力電力）、放送局の送信出力10kW
- 微弱な信号を雑音に汚されないで増幅する低雑音増幅器（雑音指数）、HEMTトランジスタのNF=1dB地上36000kmかなたの微弱衛星放送電波も受信可能！
- 広い帯域の信号を増幅する広帯域増幅器（帯域幅）InP光通信中継器40GHzなど、
  これもバラエティー杯です。

2010/10/29



2010/10/29

波動に個性を与え変身させる

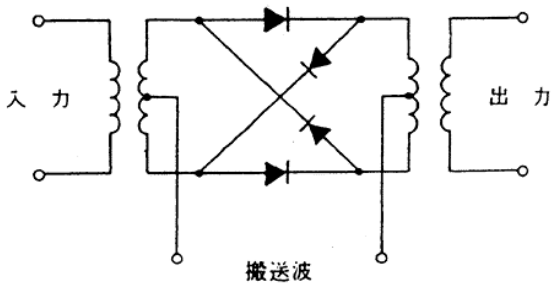
- 「関連科目」 デジタル信号処理、波動工学、通信伝送工学
- 変調器
- 周波数変換器

2010/10/29

変調器

- 波動の3大パラメタは、「周波数、振幅、位相」です。
- これを加工することによって、初めて波動に「情報」を乗せることができます。
- デジタル変調：FSK（ピアノの鍵盤と同じ ），ASK,PSK
- アナログ変調：FM,AM,PM
- 携帯電話：第1世代FM、第2世代PSK、
  第3世代CDMA、第4世代OFDM

2010/10/29



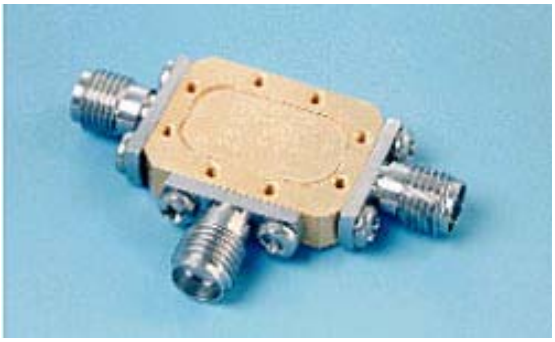
ミキサ（周波数変換器）

2010/10/29

周波数変換

- 波動のパラメタ「振幅、位相」を変えずに周波数だけを変更して通信しやすい（もしくは許可されている）周波数バンドに移動してやることが重要です。
- 2つの信号（その内の1つは単振動）を掛算してやると周波数が移動できます。
- 掛算をする回路デバイス：ミキサと呼ばれます。

2010/10/29

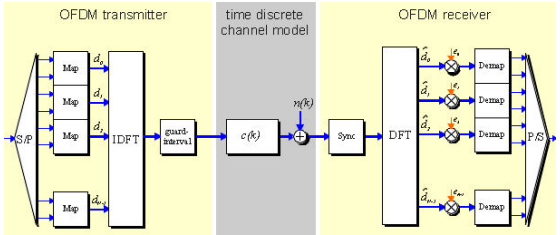


2010/10/29

周波数軸と時間軸

- なお、現象を時間軸上で眺めるとともに周波数軸上で捉えることもとても重要です。それらの変換関係はシッカリ理解しておきましょう。
- フーリエ変換は習いましたね？
- 周波数帯域幅（周波数軸）と情報伝送速度（時間軸）とは密接な関係があります。
- 最近の例では地上波デジタルTVでOFDMがつかわれています。フーリエ変換がその基礎
- 画像圧縮のMPEGでもフーリエ変換が。

2010/10/29



2010/10/29

波動を送る

- **「関連科目」 光エレクトロニクス、無線伝送工学、無線通信システム**
- 送信機＋線路＋受信機

2010/10/29

波動と線路

- 波動を送る際に「線路」があるかないかで大きく状況が変わります。
- 線路は波動が勝手に四方八方に拡がっていかないように

  そして減衰したり、歪んだりしないようにするものです。
- 有線系(1D) vs 無線系(3D)

  2D（面的展開）？

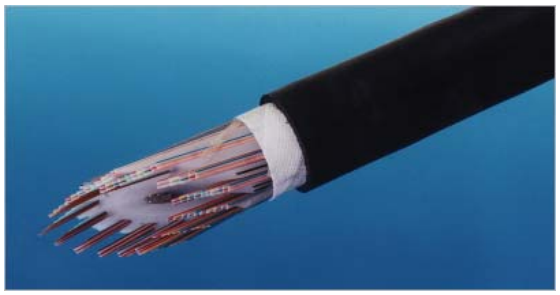
2010/10/29

「線路がある」

- 有線系、光ファイバー（20世紀の三大発明の一つ）に代表され、大容量固定基幹通信の主役です。
- ビックリするほど、損失が少ないです。

  0.1dB/km
- それに周波数帯域はとても広いです。
- 同軸線路を使ったCATVも有線系です。

2010/10/29



2010/10/29

「線路がない」

- 無線系
  携帯電話、無線LANに代表され、モビリティのある通信
- いつでもどこでも通信できることは、とても便利ですね。
- 送信側、受信側が協力しあい仮想的に有線系に近いことを実現する手段も研究されています。（⇒MIMO通信）

2010/10/29

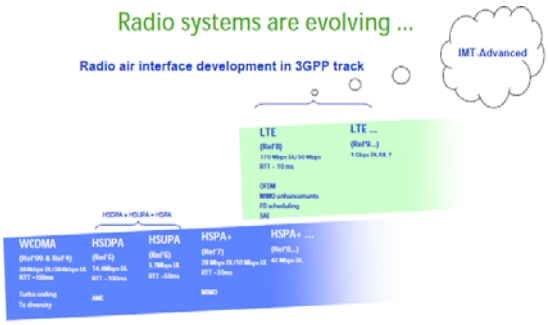
2010/10/29

2010/10/29

MIMO通信

- 多数の送信機と受信機を効率的に適応的に使います。
- 干渉を克服し、安定な通信品質を確保します。
- 伝送速度も上がります。

2010/10/29



2010/10/29

送信（AP）アレーアンテナ

2010/10/29

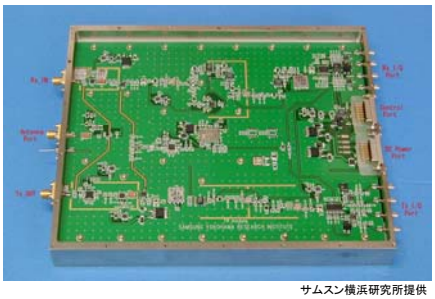
受信（UT）アレーアンテナ

2010/10/29

5GHz帯トランシーバ

RF IN

RF OUT



BB OUT

BB IN

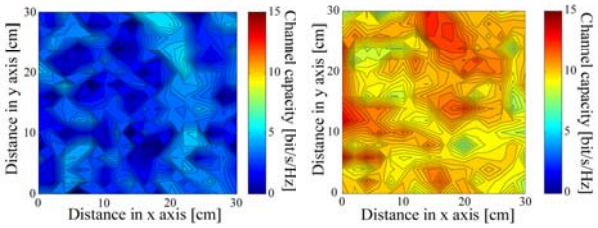
サムスン横浜研究所提供

2010/10/29

伝送容量分布

✓ MIMO導入による伝送容量の増加

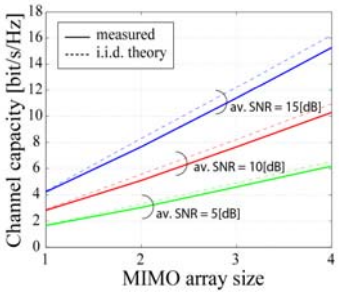
SISO@SNR=10[dB]　　MIMO@SNR=10[dB]



2010/10/29

アンテナ素子数対平均伝送容量

✓ 実環境においてもMIMO伝送容量はアンテナ素子数に比例



一戸建て住宅環境における測定

- これまで
  - ✓ MIMOチャネルの測定は小さなエリアもしくは少ないサンプル数に制限
- この研究
  - ✓ 新たに開発したMIMOソフトウェア無線機＋ポジショナを用いて広範囲に渡って連続的なMIMOチャネル測定を実現

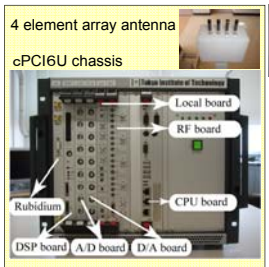
Pana Home

1階見取り図と測定エリア

2010/10/29

MIMOソフトウェア無線機

- ✓ 5GHz帯4×4MIMOトランシーバ（オールインワン）
- ✓ 中心周波数と出力電力が限られた範囲で可変
- ✓ リコンフィギャブルベースバンド信号処理プロセッサ



MIMO Software Defined Radio

RF board
- ・Frequency 5040～5230MHz
- ・Tx power -30～16dBm
- ・Bandwidth 20MHz

AD board
- ・14bit, 80MHz ADC×8
- ・2MGates Virtex-II FPGA×5

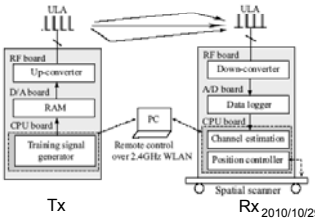
DA board
- ・14bit, 80MHz DAC×8
- ・2MGates Virtex-II FPGA×5

Signal processing board
- ・600MFlops DSP×4
- ・2MGates Virtex-II FPGA×3

測定システム

- ✓ MIMOソフトウェア無線機にMIMO-OFDM伝搬測定ファームウェアを実装
- ✓ 受信アレーアンテナと受信機はポジショナ上に設置（広範囲な測定を実現）
- ✓ 机やベッドの上なども連続的にスキャン可能

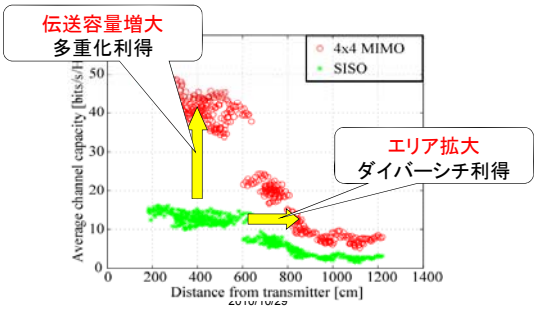
測定システム



ポジショナ

距離対伝送容量特性

- ✓ 実環境においてもMIMOを用いることで
  伝送容量が増大し，エリアカバレッジが拡大している



情報通信の風貌

[関連科目] 応用確率統計、
先端ネットワーク工学、
情報ネットワーク設計論

通信、符号化、ネットワーク、セキュリティ

信号と回路の分類

- アナログ信号 & アナログ回路 古典的
- アナログ信号 & デジタル回路 DSP
- デジタル信号 & アナログ回路
- デジタル信号 & デジタル回路 CPU

アナログ通信：

- 連続的なアナログ信号をアナログ変調で通信します。
- AM,FM などお馴染みですね。
- TV，ラジオで広く使われています。（2011年7月からはアナログ放送は無くなりますが）
- 第１世代の携帯電話もアナログ（FM）でした。

2010/10/29

デジタル通信：

- 離散的な値のディジタル信号を時間的にもディジタル的に変調して通信します。
- ASK、FSK、PSK、QAMがそうです。
- なお、ASK、FSK、PSKの中で一番効率的なのはPSKです。
- 携帯電話、無線LAN、光通信などが有名ですね。

2010/10/29

周波数幅と伝送速度

- **[関連科目] 情報通信技術概論、フーリエ変換及びラプラス変換、回路理論**

2010/10/29

染谷-Shannonの標本化定理

- 帯域幅がW[Hz]に制限された信号s(t)は時間間隔T=1/(2W)で標本化された系列 $\{s(nT)\}_{n=++\infty}^{\infty}$ によって復元できます。
- → デジタル信号処理の基礎
- 起源はCauchyにまで遡れる！

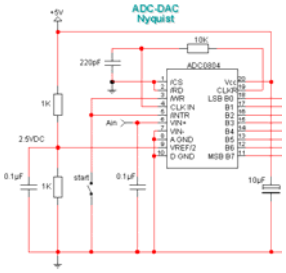
2010/10/29

ADCとDAC

- ADC:アナログ信号を標本化し、さらに量子化する回路
- DAC:デジタル情報からアナログ信号に復元する回路

2010/10/29

ADCの回路図



2010/10/29

「周波数は財産なり」

- 単位時間内にどれだけ多くの情報を伝えられるか（伝送速度と言います）が、通信の大きな目標です。
- 伝送速度は使える周波数帯域幅に比例して、信号電力と雑音電力の比の対数に比例します。
- つまり信号電力を10倍増やすより、周波数帯域幅を10倍増やす方がはるかに効果的です。
- 広帯域FMやUWBの原理的根拠

2010/10/29

資源の直交化

- 直交化した資源：時間、周波数、空間
- 直交化していない資源：振幅
- 直交化していないとLog（対数関数）的にしか特性は向上しない！！

2010/10/29

Shannonの公式

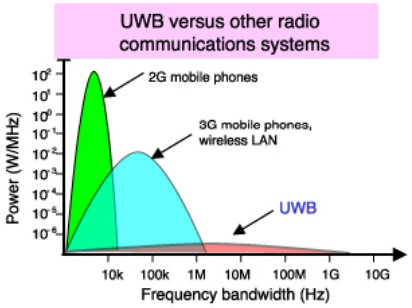
通信容量

$$C = W \log_2 [1 + \mathrm{SNR}] \quad (\mathrm{bps})$$

エントロピーが重要な役割り

2010/10/29

UWBの概念図



2010/10/29

「周波数は財産なり」

- まさに「周波数は財産なり」です。（ちなみにアメリカでは周波数バンドがオークションの対象になりました。財務省の差し金？）
- 特に無線ではみんなが同じ空間を使用しなければならないので、限られた周波数帯域だけに信号（情報）が収まっていなければなりません。

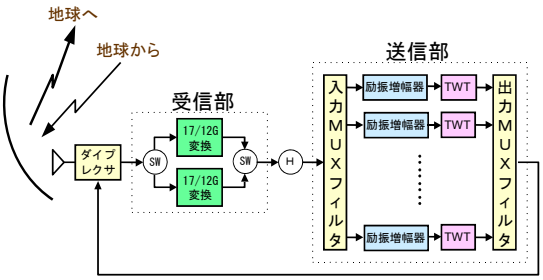
2010/10/29

フィルタ

- そのために「フィルタ」という電気回路が必要になります。
- これは他人に迷惑をかけないと同時に他人から迷惑を蒙らないためにも必要です。
- ちなみにセキュリティ技術も、同じような趣旨を目標にしています。

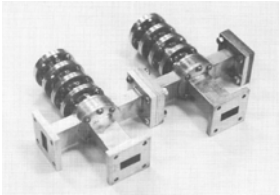
2010/10/29

放送衛星搭載中継器の構成

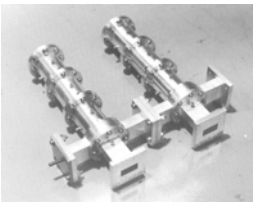


2010/10/29

試作マルチプレクサの外観



(a) 分波器（TE_{111}）



(b) 合波器（TE_{113}）

2010/10/29

SNRと通信品質

- ところで、情報を受け取る際に余分な雑音を増やさないことが、通信ではとても重要です。
- 赤道上3600kmの彼方から来る微弱な衛星放送のTV電波が鮮明に映るのも、HEMTという雑音特性に優れた半導体デバイスのお蔭です。

2010/10/29

情報の符号化

- **[関連科目] 通信伝送工学、ディジタル信号処理、多次元データ解析**

2010/10/29

情報理論と符号理論

- 通信したい情報には、音声、音楽、画像、データとさまざまなものがあります。
- 通信しやすい形にしてやる作業を「符号化」といいます。

2010/10/29

情報圧縮技術

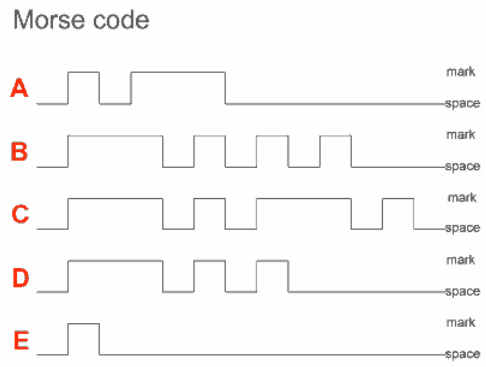
- 詳しい内容はわからなくても、MPEGとかの用語は聞いたことがありますね。
- これは画像圧縮符号化の重要な基本技術です。
- フーリエ変換が重要な役割りを果たします。
- つまりフーリエ変換（正確にはコサイン変換）をしてから重要度に応じて圧縮を施します。

2010/10/29

Shannon理論とMorse符号

- これは情報の発生確率の逆数の対数に比例した符号長が最適ということが20世紀中ごろShannonの情報理論で明らかにされたのですが、
- それより100年以上前に考案されたMorse符号はほぼこれに一致しています。先人の経験にはビックリさせられます。

2010/10/29



2010/10/29

符号理論

- 情報源符号化：冗長性を極力排除します。
- 通信路符号化：冗長性を適切に挿入します。

2010/10/29

誤り訂正符号

- ブロック符号：Reed-Solomon符号、代数幾何符号など
- 畳み込み符号：Turbo符号、LDPC符号など
- 宇宙の彼方から惑星の鮮明な画像が受信できるのも、強力な符号のお陰です！

2010/10/29

2010/10/29

誤り訂正符号の用途

- デジタル通信（情報の空間的移動）
- デジタル記録（情報の時間的移動）
  CD,DVDなど全てのデジタル記録媒体で使われています。

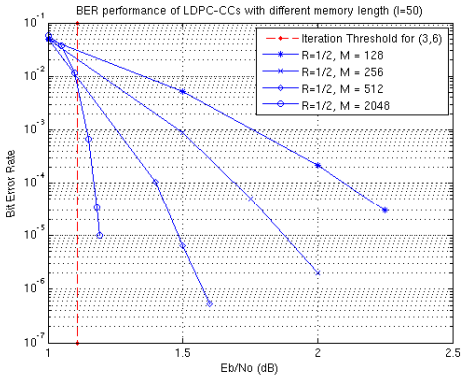
2010/10/29

2010/10/29

誤り訂正符号

- 通信する時にも符号化は大切な技術です。最近ではLDPCというとても強力な符号が再発見されました。
  実は提案自体は40年以上前なのですが、何故かずっと見捨てられていました。
- 情報理論の理論限界に極めて近い性能が簡単な構造で実現できるようになったのです。

2010/10/29



2010/10/29

人工知能と復号理論

- AI（Artificial Intelligence)の世界で1980年代から開発されてきた手法にBP （Belief Propagation） という考えがあります
- これは幾つかの観測結果から最適な推論を行うことに意味しています。
- Turbo符号やLDPC符号の最適復号法は本質的にはBPです。
- 3GのW-CDMAでは、既にBPが導入されています。

2010/10/29

最後にみんなで仲良く安全に手を繋ごう

- [関連科目] 情報通信概論、
  情報ネットワーク設計論

2010/10/29

インターネット

- 今ではインターネットを使っていない人は皆無と言ってもいいですね。
- そう情報はみんなで共有してこそ、更なる発展があるのです。
- この時、重要なのはネットワーク技術です。
- 通信技術をもとにして、情報検索、交換、さまざまなサービスが実現されていますね。

2010/10/29

情報セキュリティ

- 暗号は大昔からありました。
  e.g. シーザ暗号
  でも現代的な暗号理論は1976年になって構築されました。Diffie &Hellman

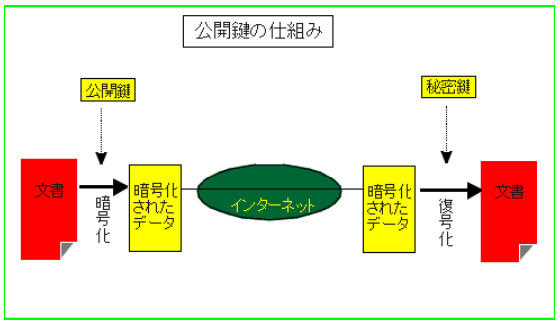
秘密鍵公式→公開鍵方式
（情報の一部を公開してもセキュリティが保てるし、システム構築が容易になります。
とても革命的なアイデアです！！）

2010/10/29

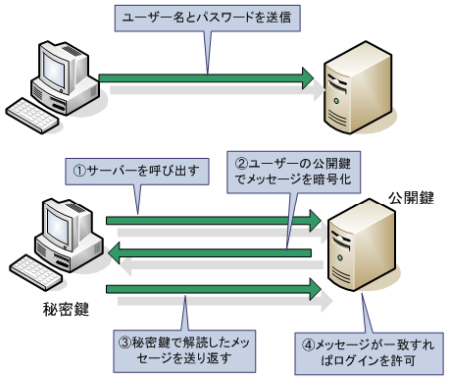
現代暗号の要点

- 鍵の共有
- デジタル署名
- 認証
- 一方向性関数：因数分解、離散対数問題などを有効に使います。
- インターネットなど広域ネットワークの存在を前提にしています。
- なお、Shannonも暗号理論を研究しています。

2010/10/29



2010/10/29



2010/10/29

1. 情報伝送と波動との関係を論ぜよ。
2. 無線通信では、なぜ周波数を変換しなければならないか考察せよ。
3. 高速伝送を目指すとしたら、帯域幅を増やした方が有効か信号電力を増やした方が有効か？

2010/10/29