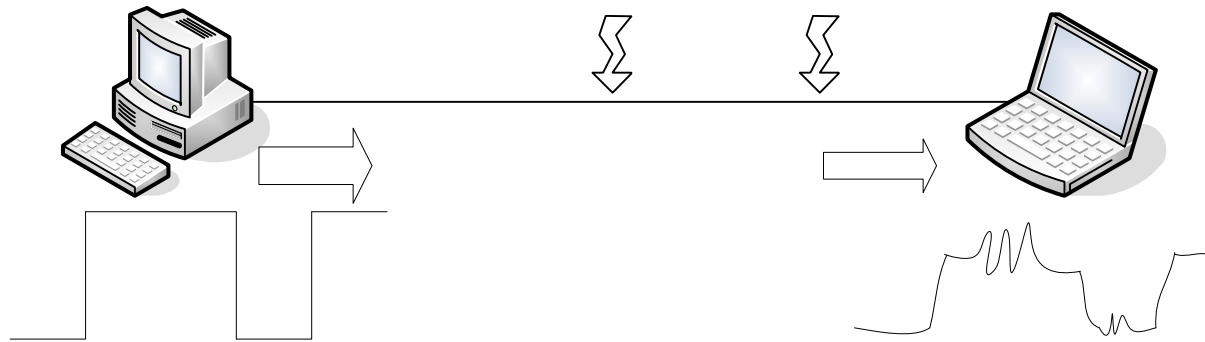


2.2 物理層

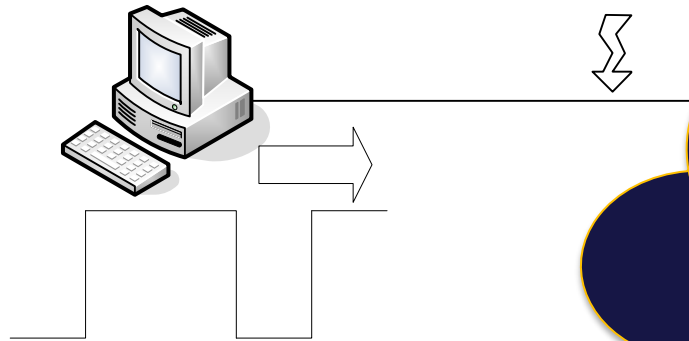
ここでは、「通信」に関する話のみ。
コンピュータに関してもたくさんの
話がありますが、、、

どれだけ情報を送ることができるか？



- 通信資源を占有しても
 1. 伝送中に信号が減衰する
 2. 周波数によって減衰量が異なるため波形が歪む
 3. 周囲からの雑音が入る
- 広い周波数帯域を使えば速く送れる

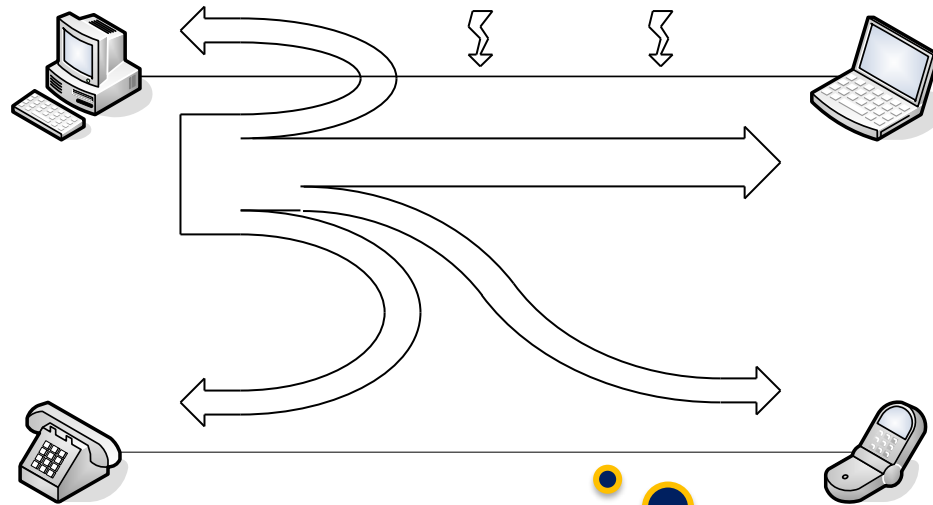
どれだけ情報を送ることができるか？



1. 周波数が大きくなると、粒子性が出てくる。遠くに飛ばしにくくなる。
2. 周波数が低いと、波の性質で、障害物があっても回り込める。

- 通信資源を占有しても
 1. 伝送中に信号が減衰する
 2. 周波数によって減衰量が異なるため波形が歪む
 3. 周囲からの雑音が入る
- 広い周波数帯域を使えば速く送れる

雑音

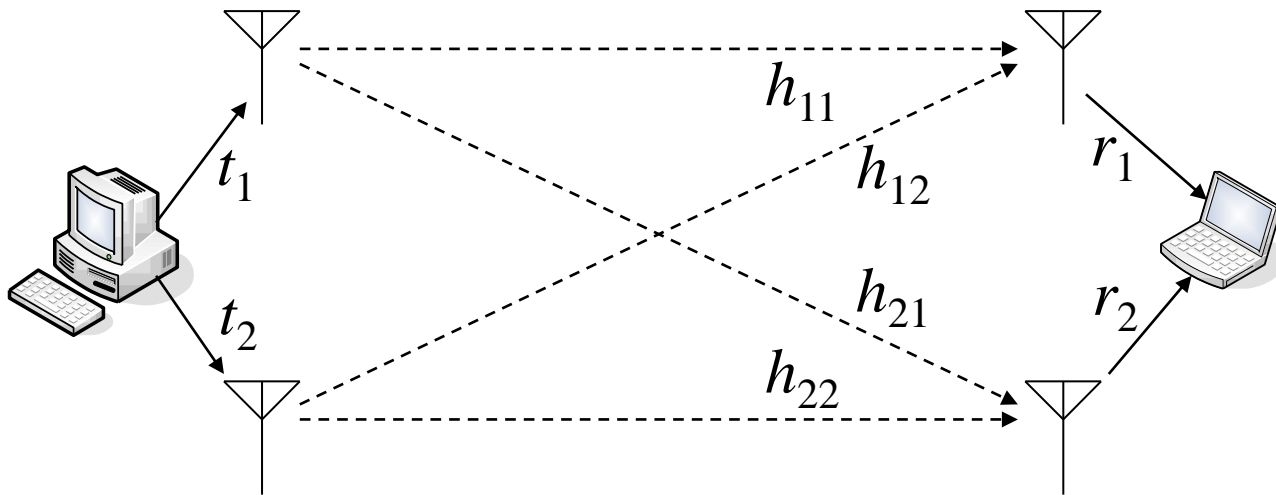


- 歪み・エコー
 - きちんと計算すれば除去可能
- 近端漏話・遠端漏話
 - チャンネルを分けることで対策可能
- 周囲からの雑音
 - 一旦混入すると除去困難 ← アナログ

1. 有線が無線より優位
2. 5GではMIMOとアンテナ技術で指向性を持たせる

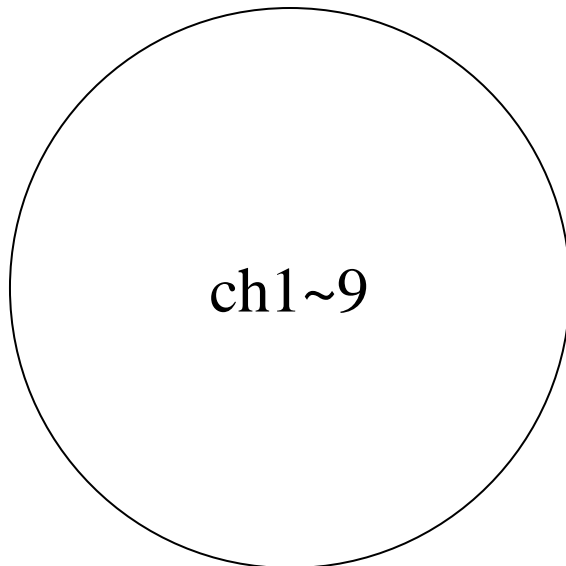
MIMO

(Multiple Input Multiple Output)

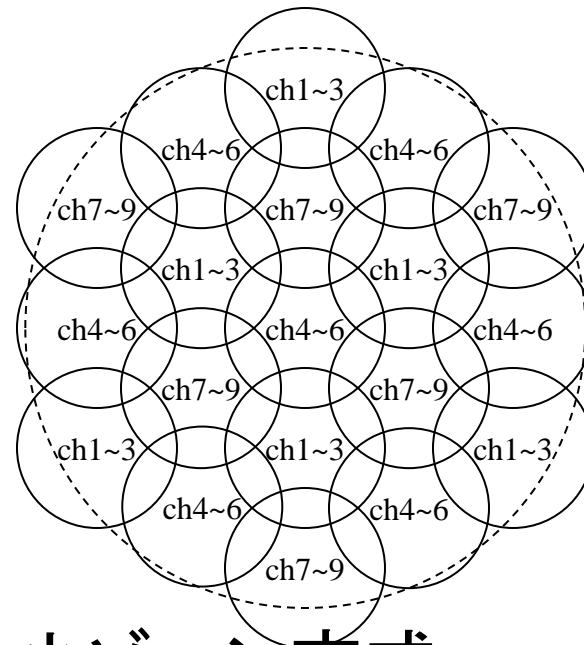


$$\begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix}$$

小ゾーン方式



- **大ゾーン方式**
9人までサービス可能

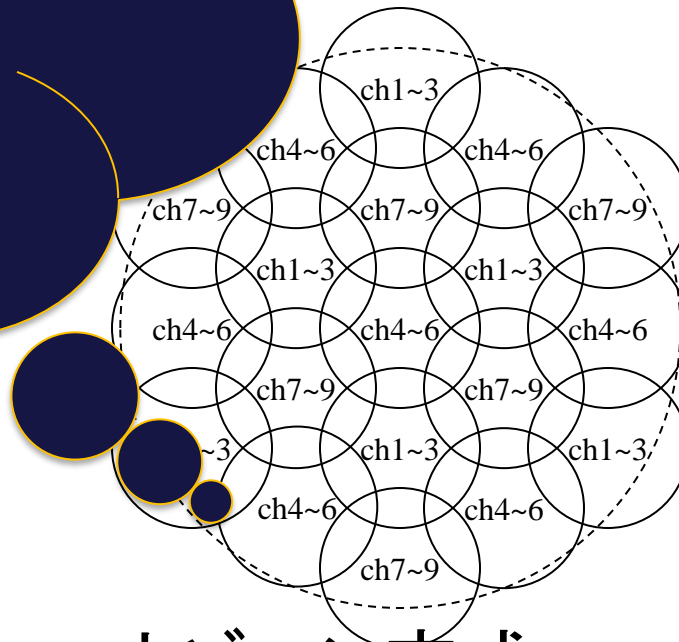


- **小ゾーン方式**
57人までサービス可能

代

なので、5Gは大変なんです。

1. たくさんの基地局
2. 粒子に近い電波(28GHz帯)
負：減衰(見通じゃないと)
正：反射を利用
3. 電気もたくさん消費。。



- **大ゾーン方式**

9人までサービス可能

- **小ゾーン方式**

57人までサービス可能

無線

- 携帯電話

- PDC: 28800bps、数km
- PHS: 128kbps、数百m
- 3G: 最大数Mbps、数km

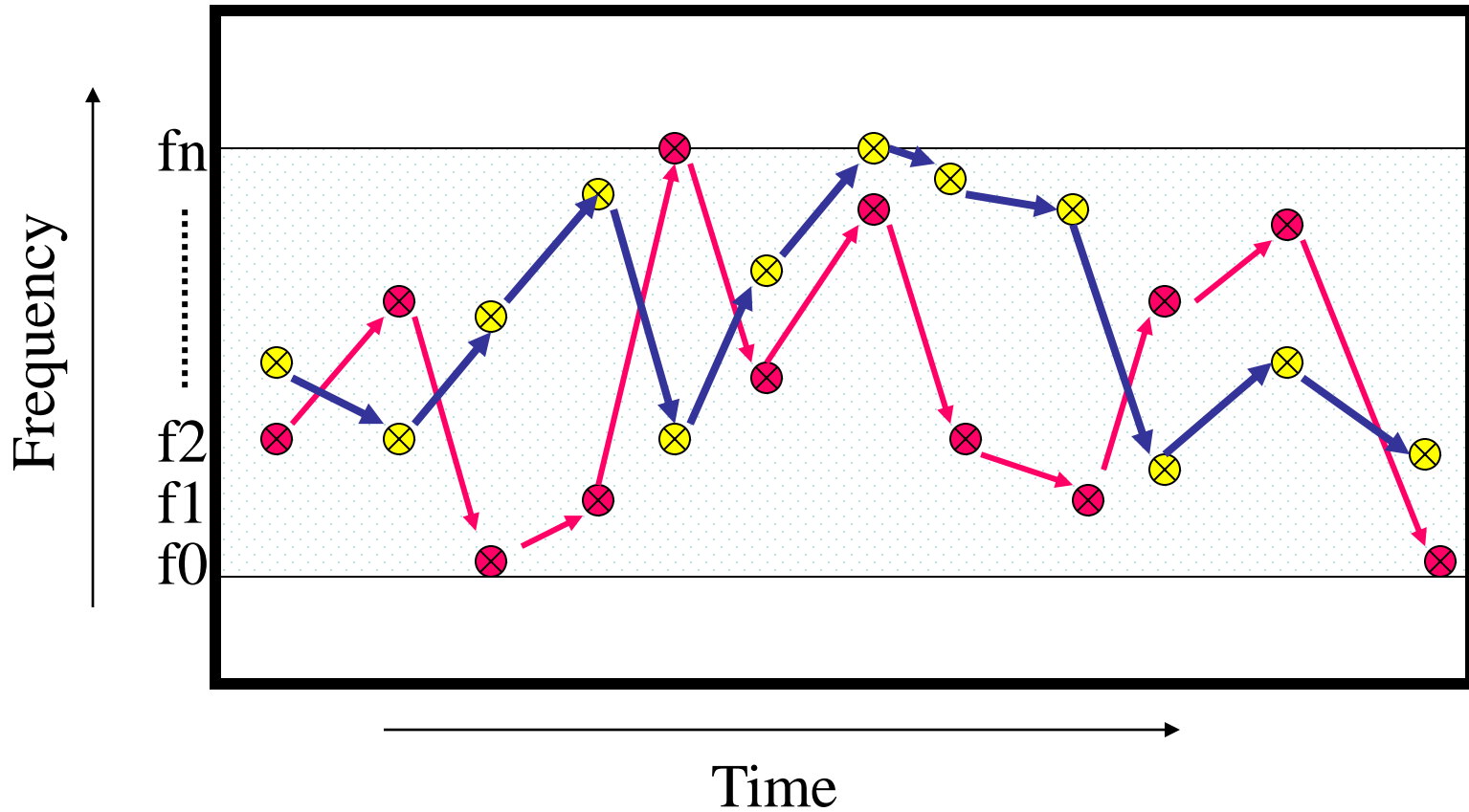
- 無線LAN

- IEEE 802.11b: 2.4GHz帯、11Mbps、数十m
- IEEE 802.11a: 5GHz帯、54Mbps、屋内のみ
- IEEE 802.11g: 2.4GHz帯、54Mbps、屋外可
- IEEE 802.11n: 130～600Mbps、MIMO(Multiple Input Multiple Output)

1. 2.4GHz帯は、他の機器(e.g., 電子レンジ)も使っている。

2. 同じ周波数帯を使っているとしても知恵を絞れば。

IEEE802.11 FHSS方式



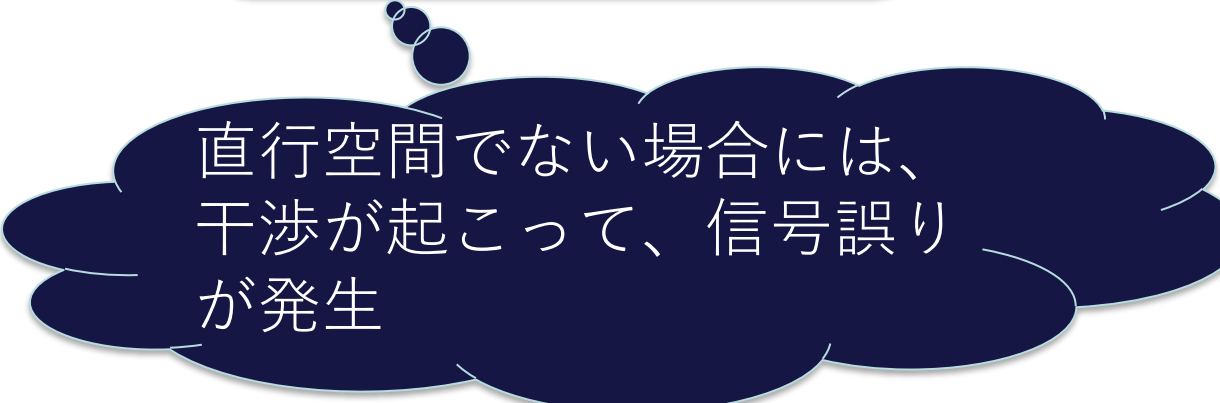
多重化:

複数の信号のフローが一つの資源を共有しながら、混信せずに転送される

1. 空間
2. 時間
3. 周波数
4. 符号



【重要な点】
直行する空間



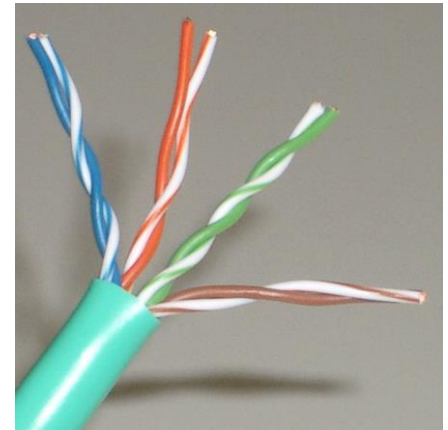
直行空間でない場合には、
干渉が起こって、信号誤り
が発生

平行ケーブル

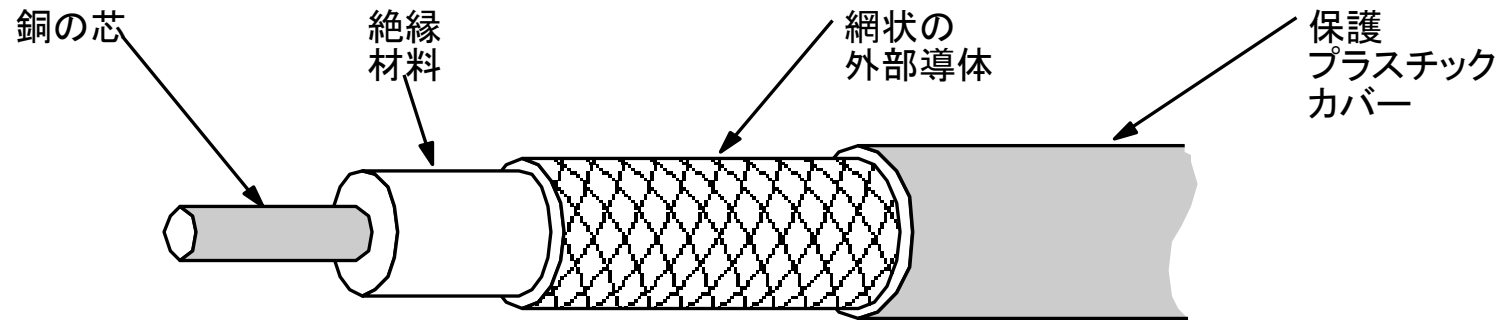
- 屋内電話線
- コンピュータとモデムをつなぐケーブル
- 数十kbps、十数m

より対線

- 電話線（日本ではカッド構造）
 - ADSL: 数Mbps、数km
 - VDSL: 数十Mbps、100m程度
- LANケーブル
 - カテゴリ3: 10Mbps程度、100m
 - カテゴリ5: 100Mbps程度、100m
 - エンハンスカテゴリ5、カテゴリ6: 1Gbps



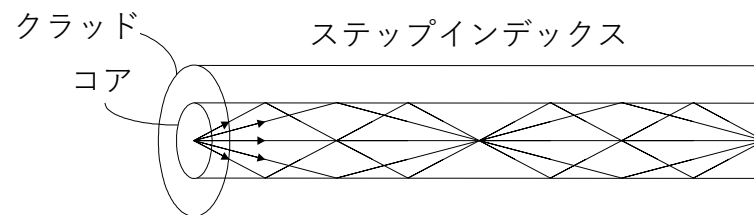
同軸ケーブル



- Ethernet: 10Mbps、500m
- CATV: アナログ750MHz、数km

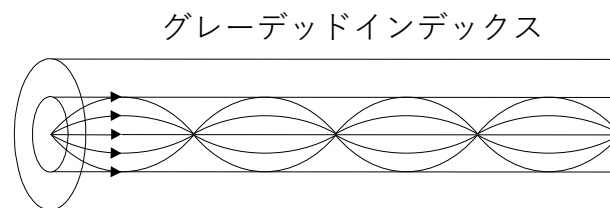
光ファイバ

- ステップインデックス



- グレーデッドインデックス

- コア径 $50\mu\text{m}$ または $62.5\mu\text{m}$
- 100Mbps、2km
- 1Gbps、数百m

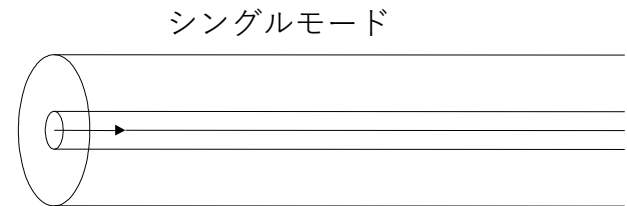


光ファイバ(続き)

- シングルモード

- コア径 $9\mu\text{m}$ 程度

- 数十Gbps、数十～数百km



- 波長多重(Wavelength Division Multiplex)

- 最大数百波長を1本の芯線で伝送可能

伝送方式

(1) ベースバンド方式

データを電圧パルスの情報に符号化して転送

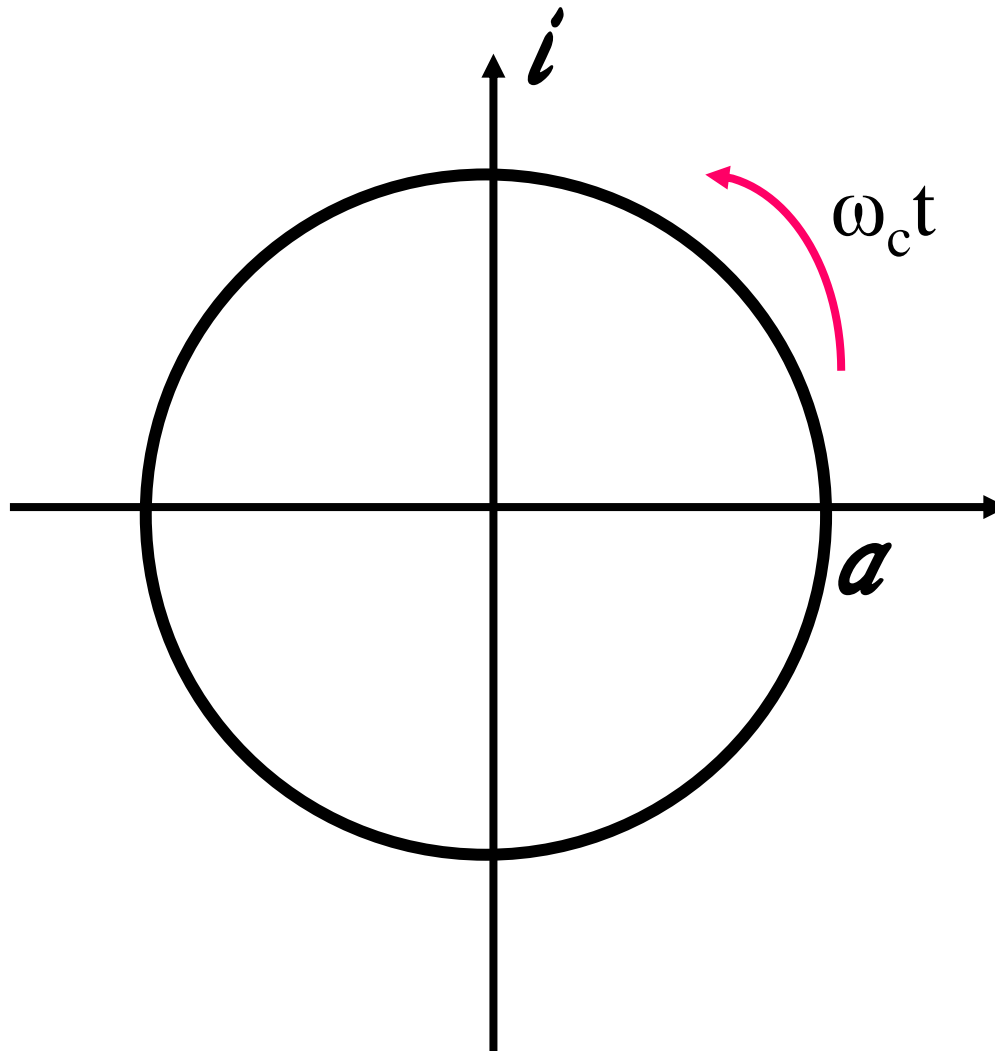
(* 電流でも可能です。

(2) 帯域(変調)方式

ある周波数の正弦波(搬送波)を、伝送したい
データを用いて変化させる(変調)方式。

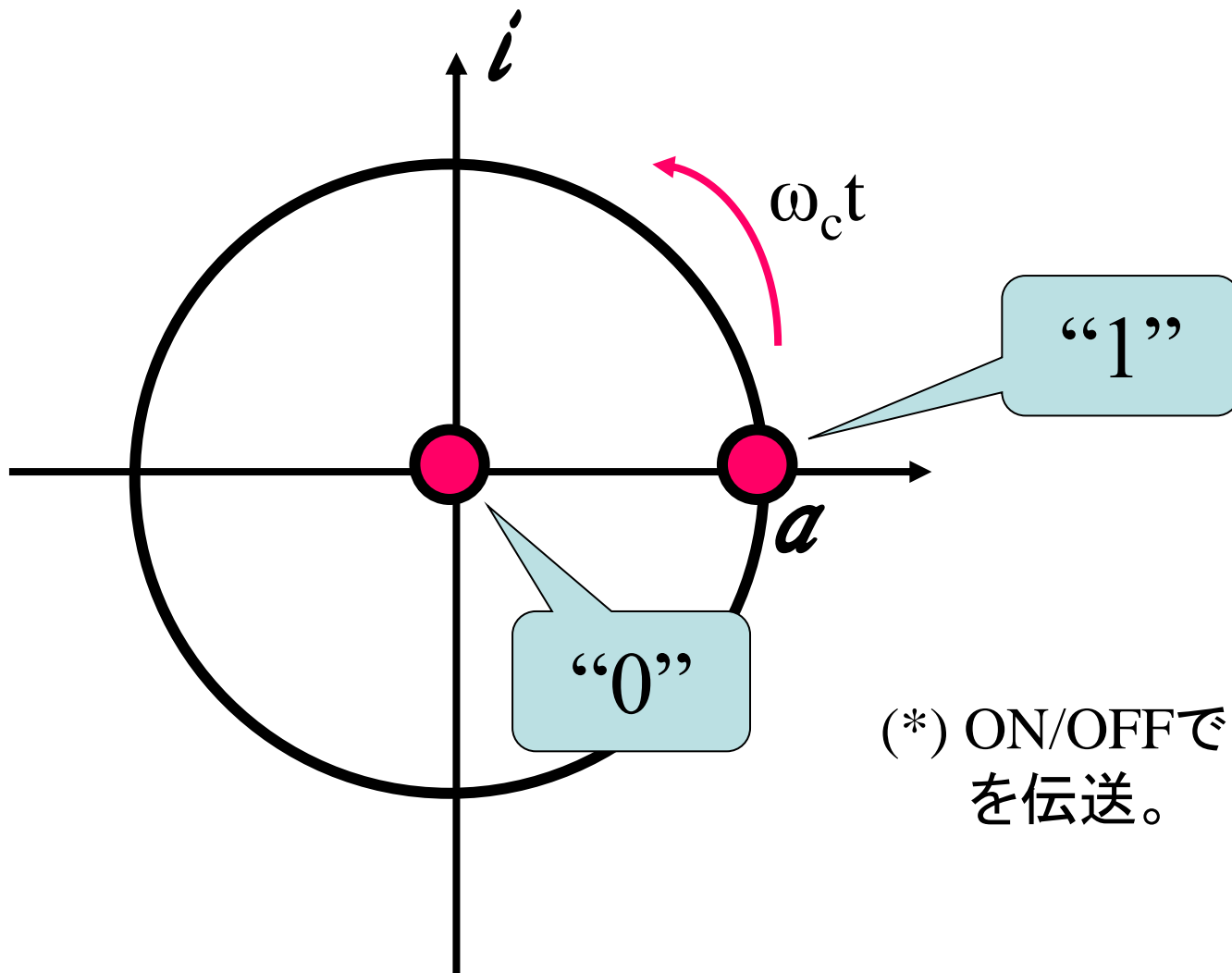
- 搬送波の振幅を変調 : ASK (Amplitude Shift Keying)
- 搬送波の位相を変調 : PSK (Phase Shift Keying)
- PSK + ASK : QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

複素空間で考えると。

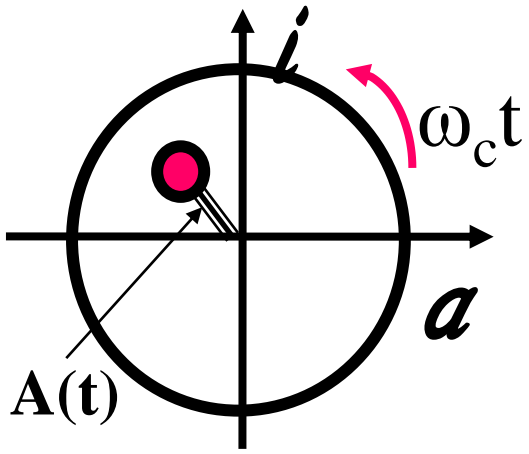


$$S_c(t) = a \sin(\omega_c t)$$

複素空間で考えると。



(* ON/OFFで、“0”と“1”
を伝送。

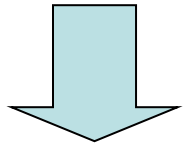


$A(t) = a \sin(\omega_c t)$ の正弦波を変調伝送すると

$$\begin{aligned}
 S_o(t) &= A(t) \sin(\omega_c t) \\
 &= a \sin(\omega_0 t) \cdot \sin(\omega_c t) \\
 &= a \{ \cos(\omega_0 + \omega_c) t - \cos(\omega_0 - \omega_c) t \}
 \end{aligned}$$

搬送波:

$$S_c(t) = a \sin(\omega_c t)$$



$\omega_0 + \omega_c$ と $\omega_0 - \omega_c$ の周波数

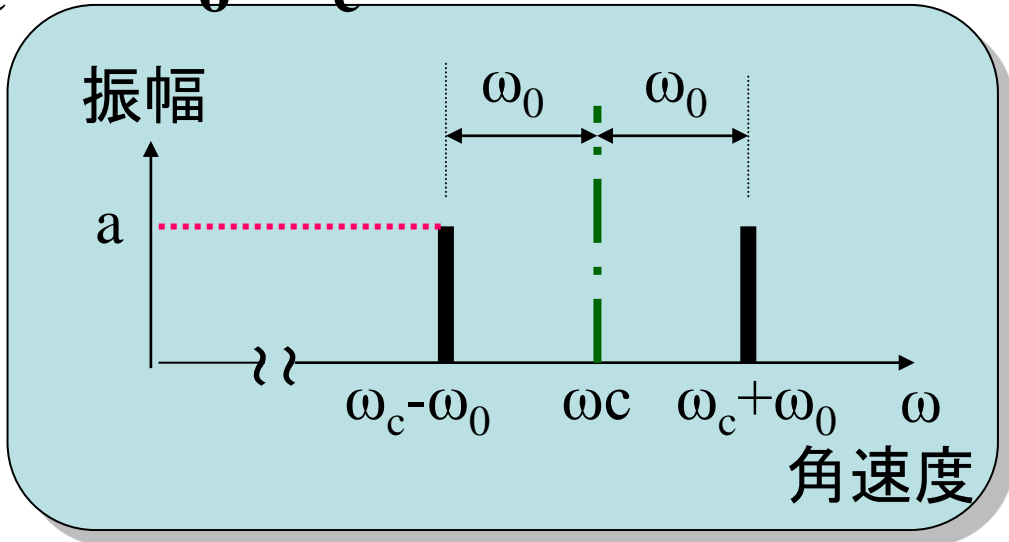
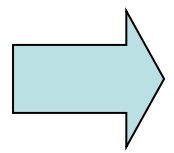
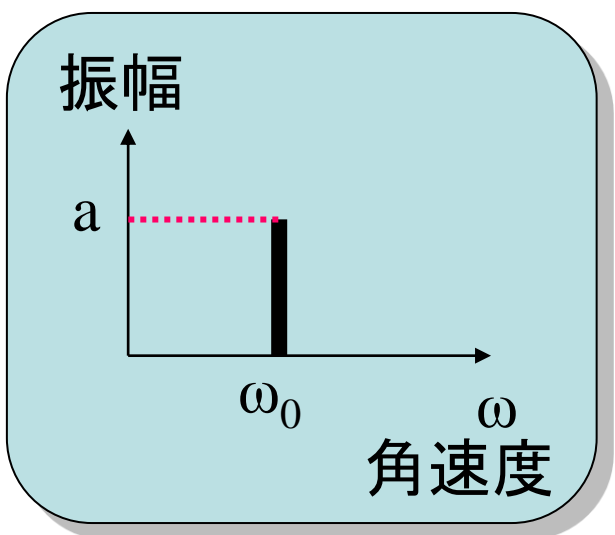
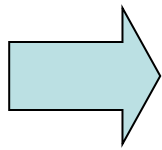
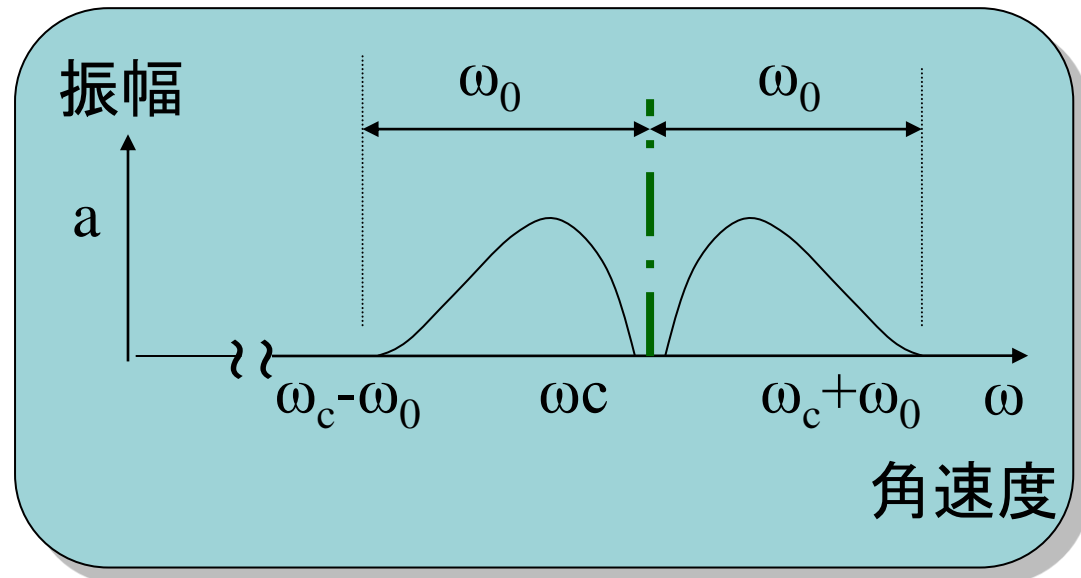
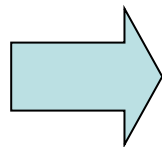
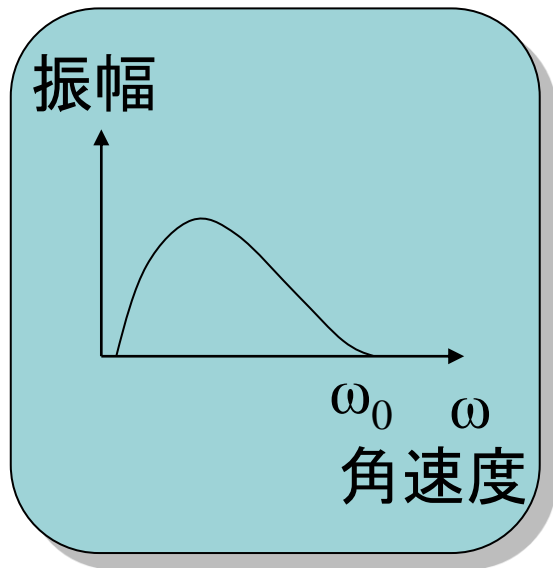


図6-1. 振幅変調方式(アナログ正弦波の伝送例)

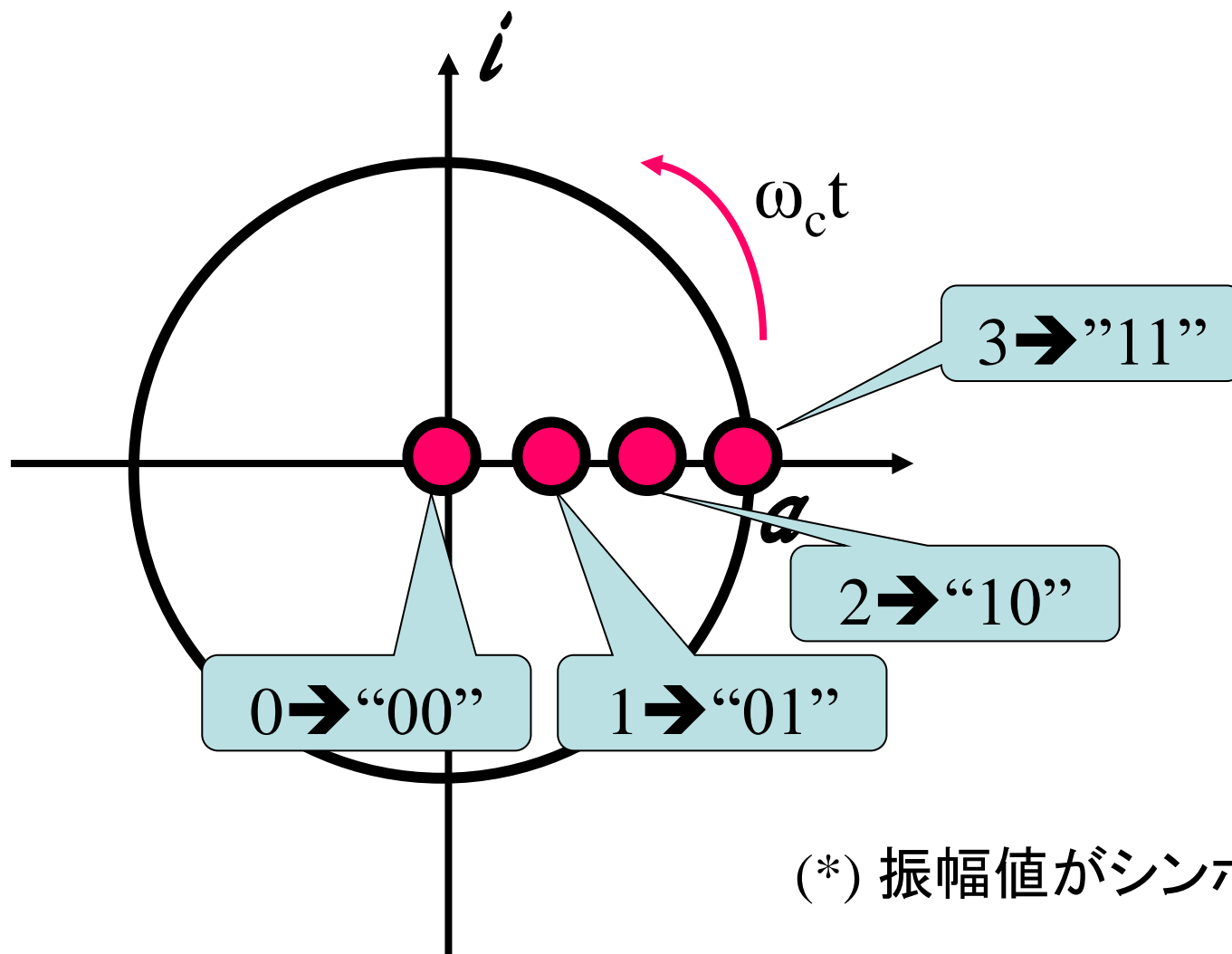
$$\begin{aligned}
 S_c(t) &= A(t) \sin(\omega_c t) \quad \cdot \cdot \quad \{ \text{if } A(t) = a \sin \omega_0 t \} \\
 &= a \sin(\omega_0 t) \cdot \sin(\omega_c t) \\
 &= a \{ \cos(\omega_0 + \omega_c) t - \cos(\omega_0 - \omega_c) t \}
 \end{aligned}$$



$\omega_0 + \omega_c$ と $\omega_0 - \omega_c$ の周波数

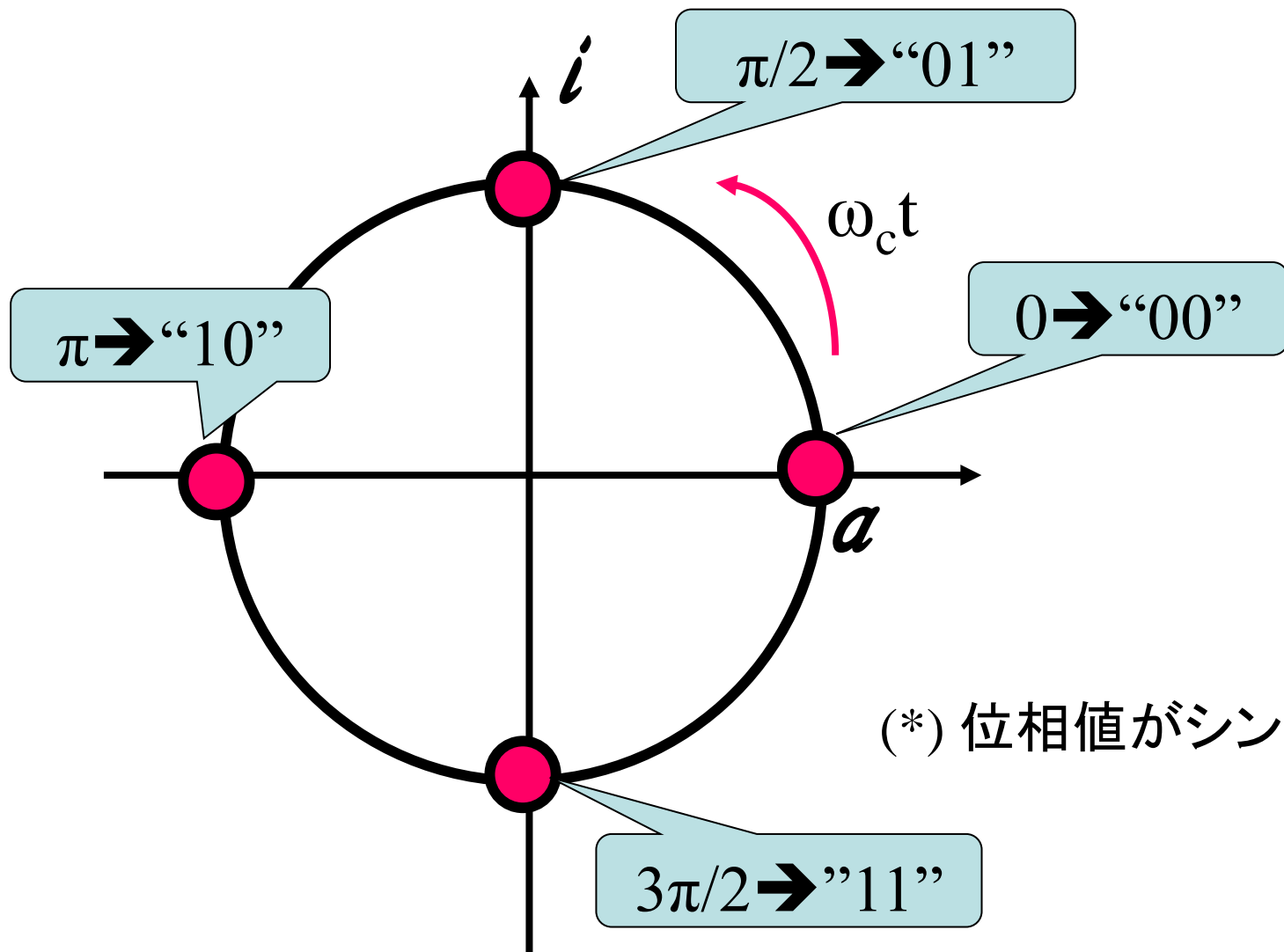


複素空間で考えると。



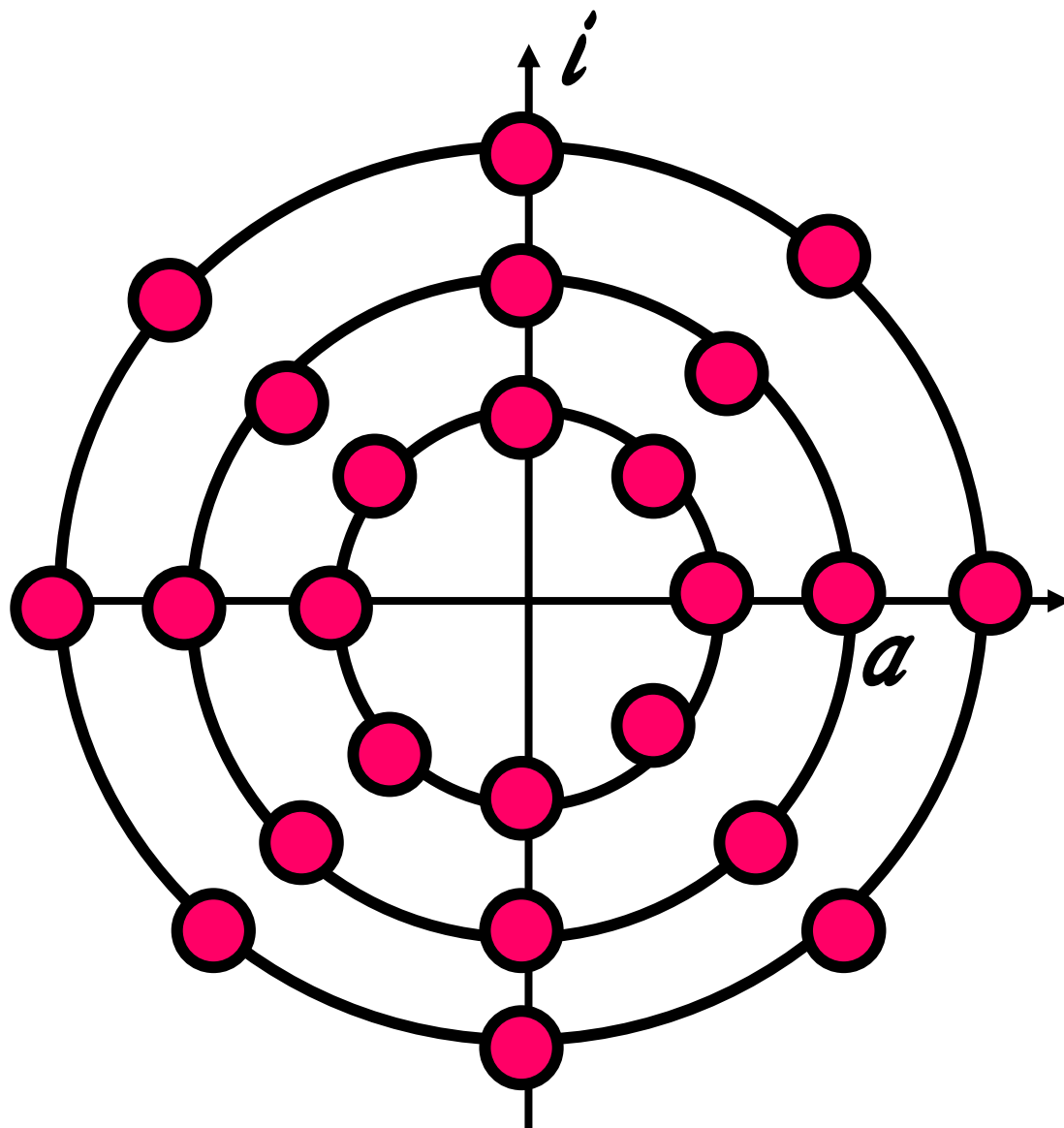
(*) 振幅値がシンボルに対応

複素空間で考えると。

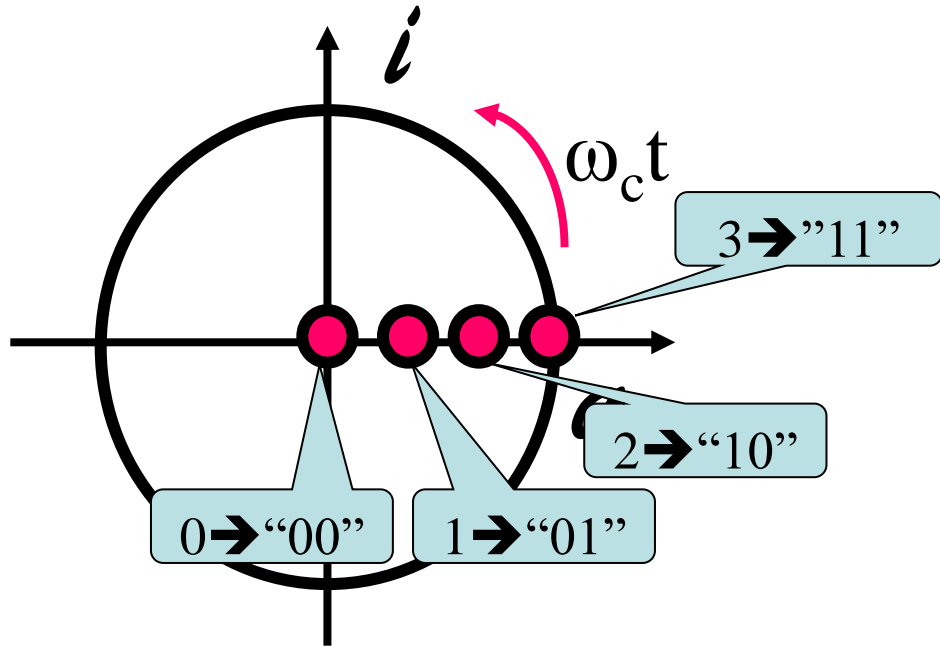


(*) 位相値がシンボルに対応

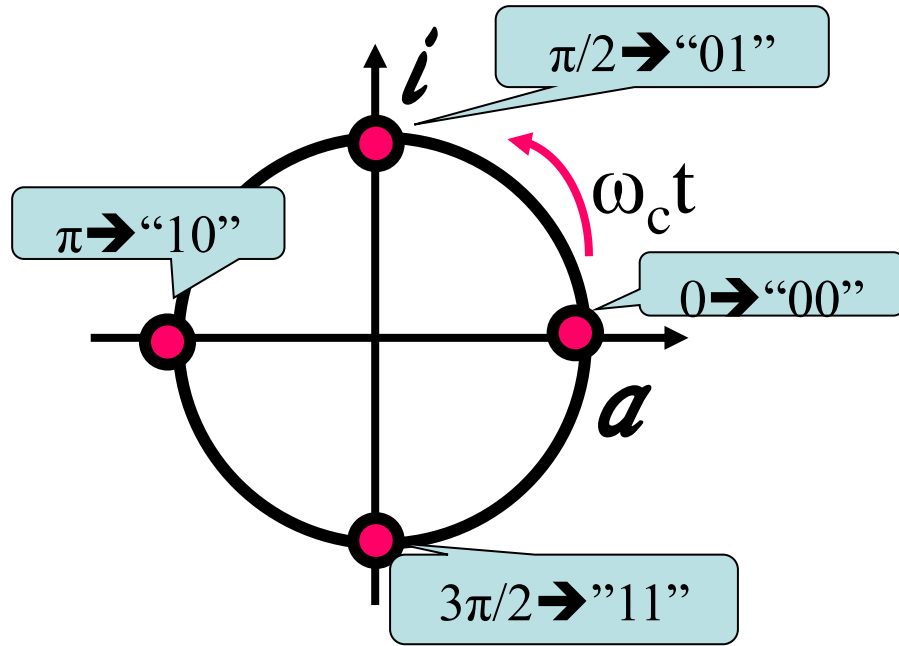
複素空間で考えると。



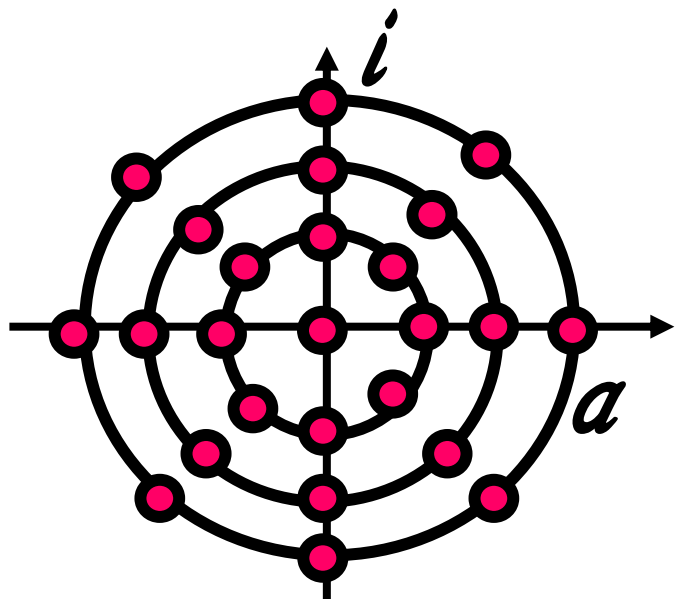
(*) 位相値×振幅値が
シンボルに対応



(a) 振幅値がシンボルに対応



(b) 位相値がシンボルに対応



(c) 位相値×振幅値がシンボルに対応

図6-4. モデム伝送 (振幅×位相)

さて、多重化方式

多重化:

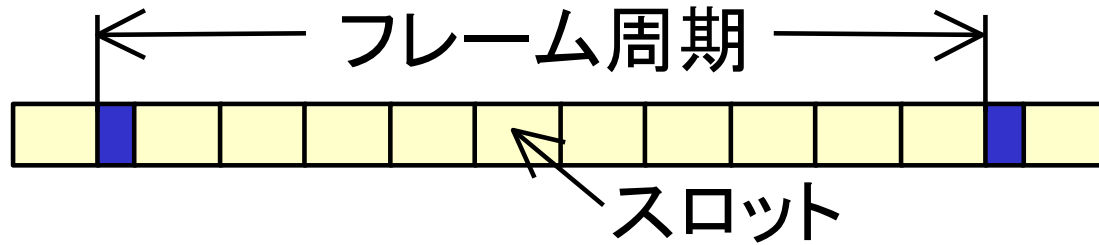
複数の信号のフローが一つの資源を共有しながら、混信せずに転送される

1. 空間
2. 時間
3. 周波数
4. 符号

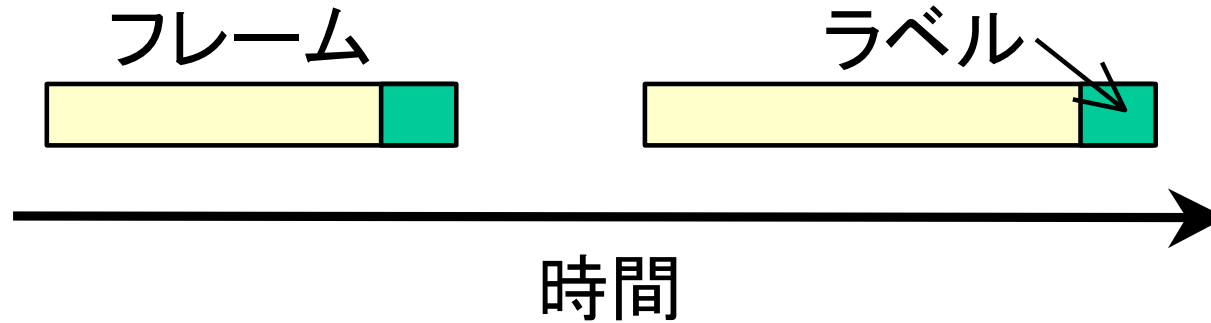


【重要な点】
直行する空間

(a)同期形多重方式



(b)フレーム多重方式



(1)時分割多重方式

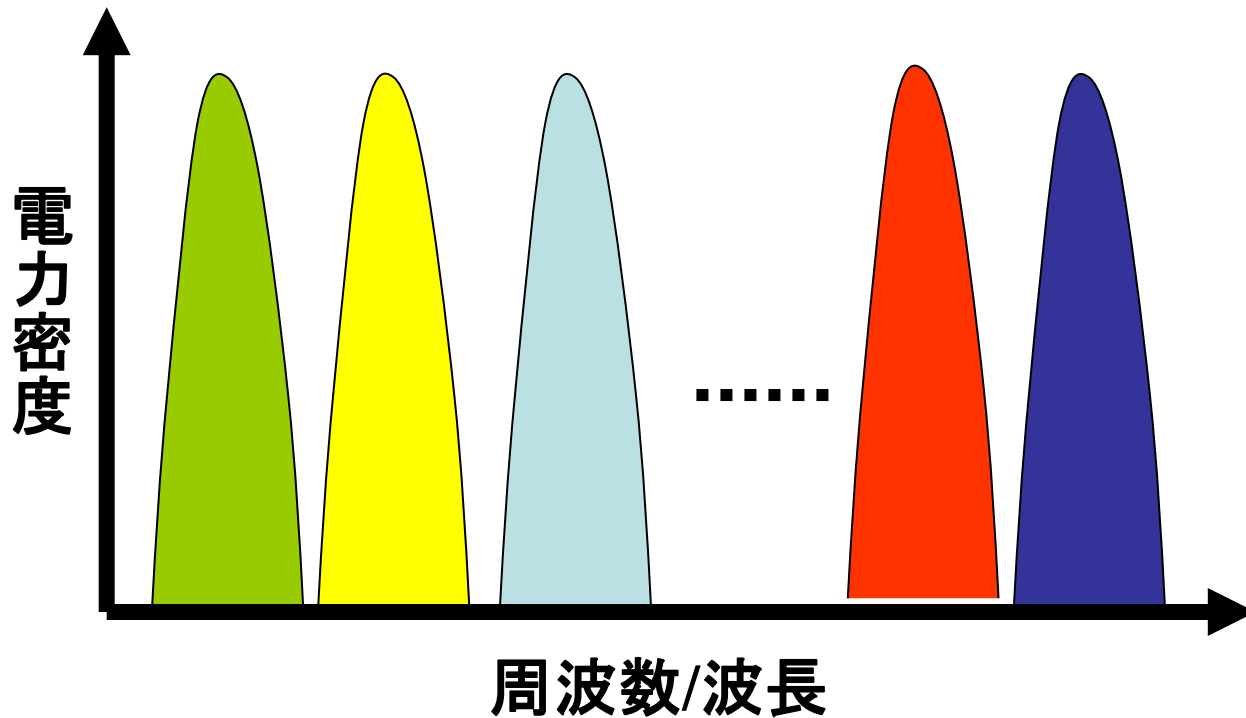
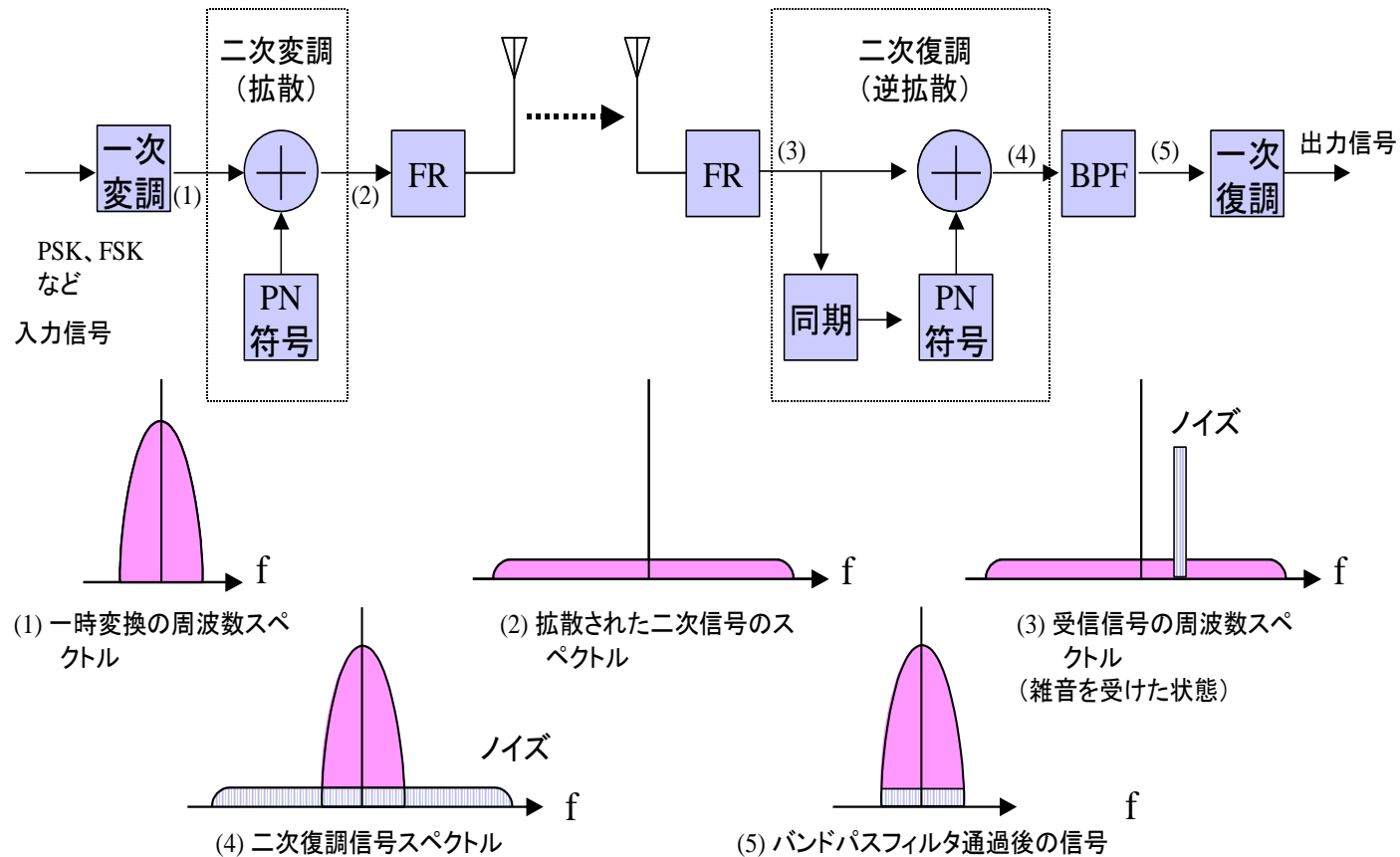


図6-6. 周波数/波長多重

(FDM; Frequency Division Multiplexing)

(WDM; Wave Length Division Multiplexing)

Direct Sequence Spread Spectrum (直接拡散方式)



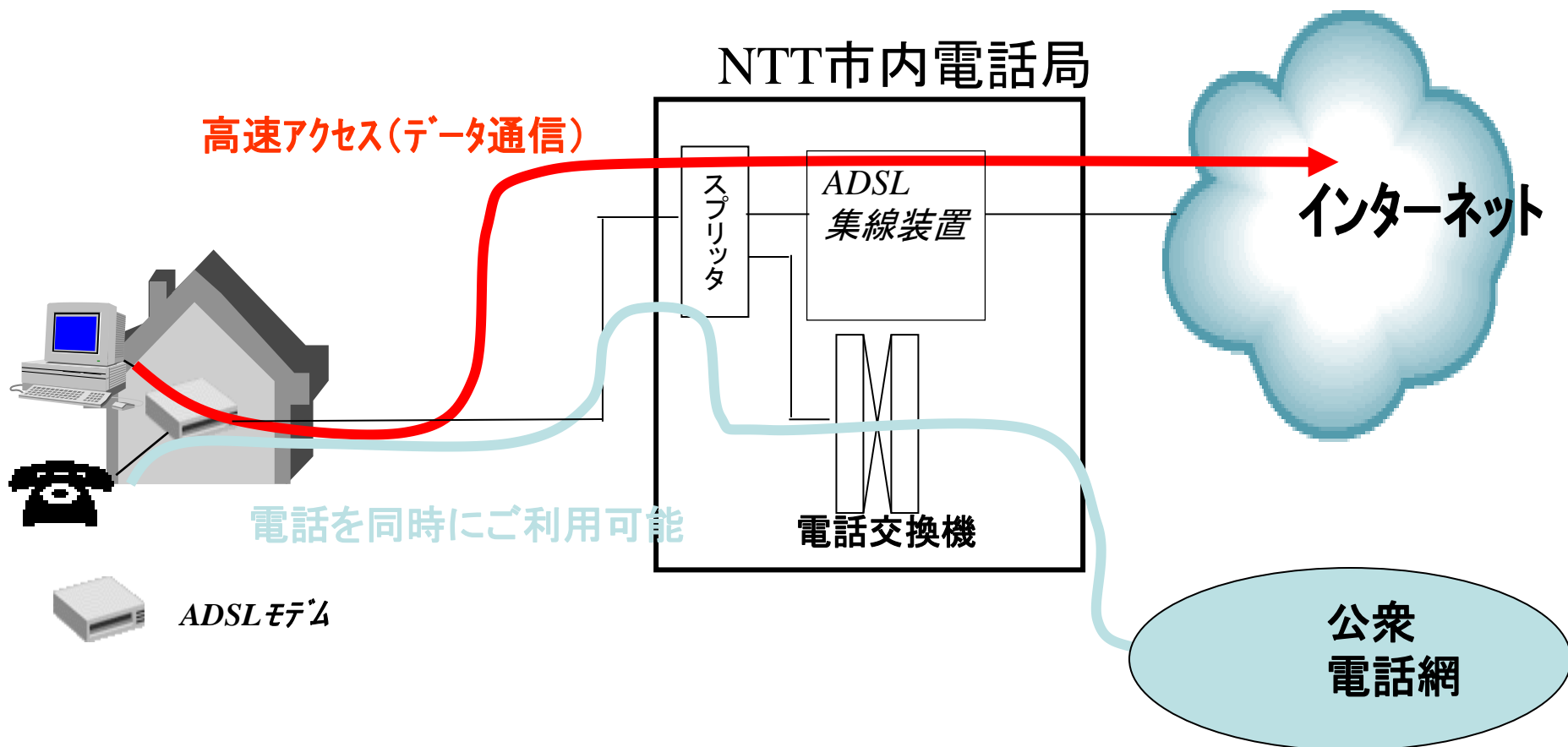
PSK: Phase Shift Keying
FSK: Frequency Shift Keying

DSL技術

ブロードバンド & 常時接続 (Broadband & Always-On)

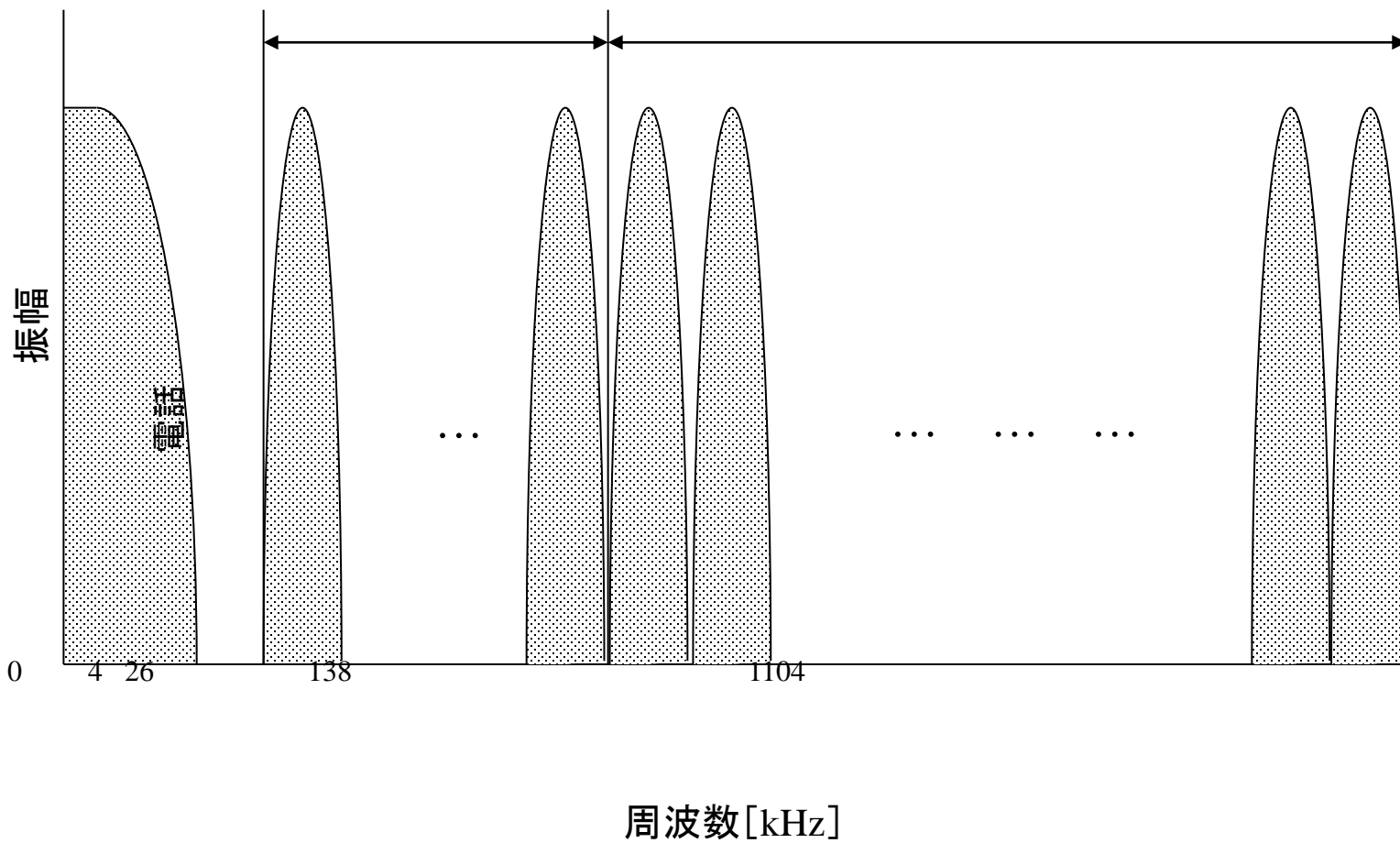
•DSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

- 既存の電話回線でサービス提供。
- 実効速度：下り512Kbps～1.5Mbps, 上り128Kbps～256Kbps
- ポイントポイントリンク (ケーブルインターネットとの決定的違い)



上り信号
32個のキャリア

下り信号
256個のキャリア



伝送速度が上がると。。。!!

◆ Shannon の Sampling Theory

- 信号の周波数帯域幅の 2 倍の周波数で サンプリングすれば、元波形を完全に再現可能。



伝送したいアナログ信号を デジタル化 (AD変換)、IPパケットにデジタルビットを収納して伝送、DA変換を行い元波形を再生可能。

= PHY over IP が実現可能

インフラ：有線 vs 無線

- とても 難しい質問：
 - いったい、どっちが、“いざとき“に 丈夫なんだろう？
 - 電力会社のネットワーク
 - {地上}無線が最後の生命線 との認識
 - 通信会社のネットワーク
 - 9.11(2001年)：インターネット(vs 電話回線)
 - 東日本大震災(2011年)：衛星通信
 - 胆振地震：船から{地上}無線
- さて、、、衛星の打ち上げコストが劇的に低下 !!!

最近は、、、さらに、、、

1. エネルギー消費量増加の問題

- a. 地球温暖化対策・・・さらに、カーボンニュートラル
- b. 電源供給線インフラ

(*)再生可能エネルギーは過疎地に存在している。。。。

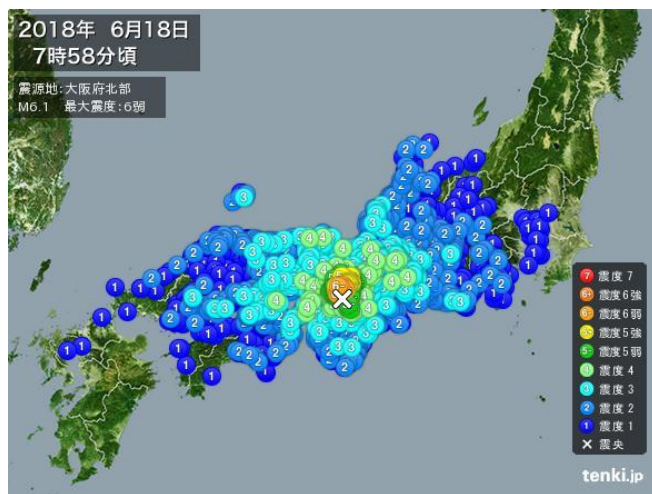


2. 物理レイヤの資源を流用できないか?

- a. 道路・・・au/KDDI
- b. 線路・・・ソフトバンク
- c. 管路・・・NTT
- d. 日本郵便 (JP)・・・楽天
- e. 上下水道 / 都市ガス・・・??

大阪中央卸売市場 (2018年6月大阪府北部地震)

6/18 (月) 7:58 大阪府北部 M6.1 地震発生 (震源は大阪府市場より約1km)



<https://tenki.jp/forecaster/deskpart/2018/06/18/986.html>

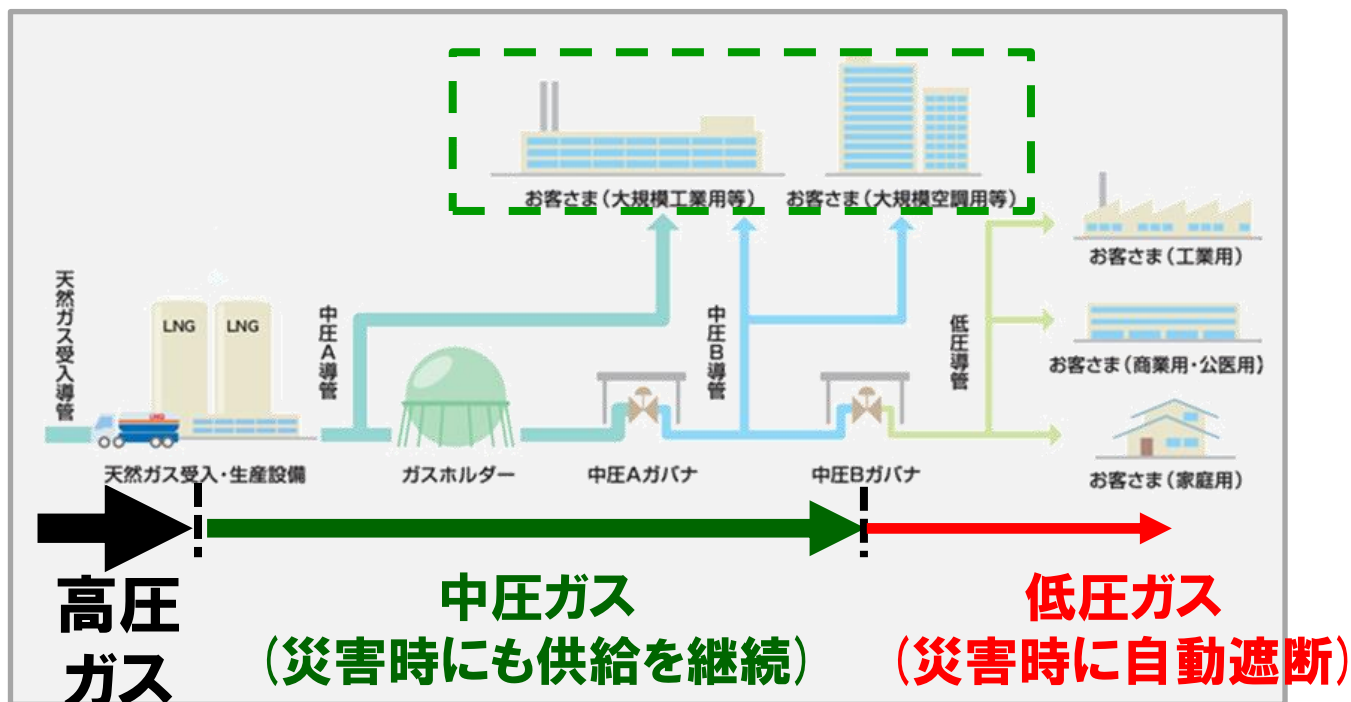


Google マップより作成

【大阪府市場】 一部天井落下、配管破損など
→ Bloom Energy Serverは稼働に支障なく、冷蔵・冷凍設備に給電を継続

【中圧ガス管】 中圧ガスの供給継続

高い信頼性 - ガス配管システム



家庭用の低圧ガスとは異なり、
中圧ガス管は**災害時にも供給を継続**

2.3 データリンク層

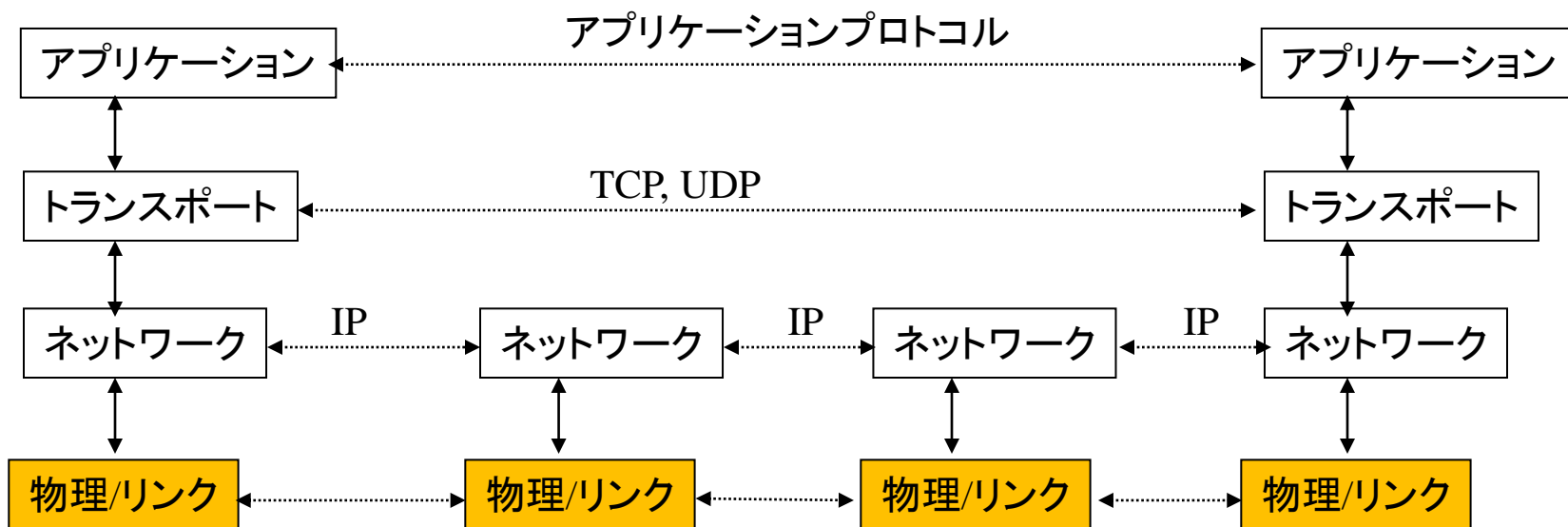


図1-12 TCP/IPの4レイヤモデル

データリンク層のおもな機能

- 同期・誤り制御
 - フレーム化
- 媒体アクセス制御
 - 通信媒体が“共有”されている場合（LAN、無線）

ハミング距離

- 2進符号語間のハミング距離: 対応するビットが何箇所異なっているか

符号語1: 1 0 1 1 0 1 1 0

符号語2: 0 1 1 1 0 0 1 1

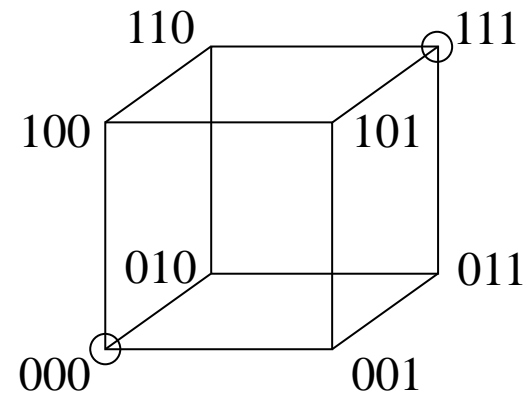
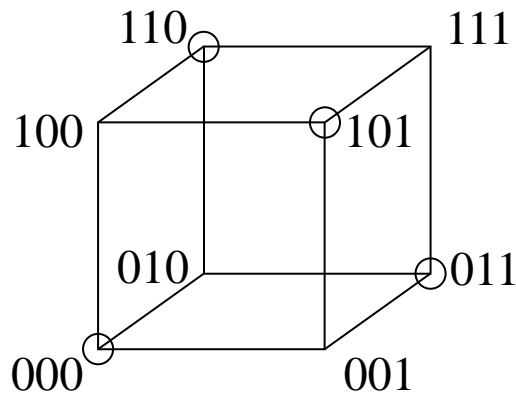
1 1 0 0 0 1 0 1 → ハミング距離 4

- 符号全体のハミング距離: 符号語間のハミング距離の最小値

誤り検出符号、誤り訂正符号

- m データビット + r 冗長ビット = n ビット
- d ビットの誤り検出 → 距離 $d+1$ が必要
- d ビットの誤り訂正 → 距離 $2d+1$ が必要

ex. $m+r=3, d=1$



単一誤り訂正：ハミング符号

- 2^m の符号語のそれぞれに対して n 個の誤りが対応 $\rightarrow (n+1)2^m \leq 2^n \rightarrow (m+r+1) \leq 2^r$
- $2^{r-1} \leq n \leq 2^r - 1$ のとき、2のべき乗の位置のビットをチェックビットに使う

例： $x_1 = x_3 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11}$

$$x_2 = x_3 + x_6 + x_7 + x_{10} + x_{11}$$

$$x_4 = x_5 + x_6 + x_7 + x_{12}$$

$$x_8 = x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12}$$

Cyclic Redundancy Check

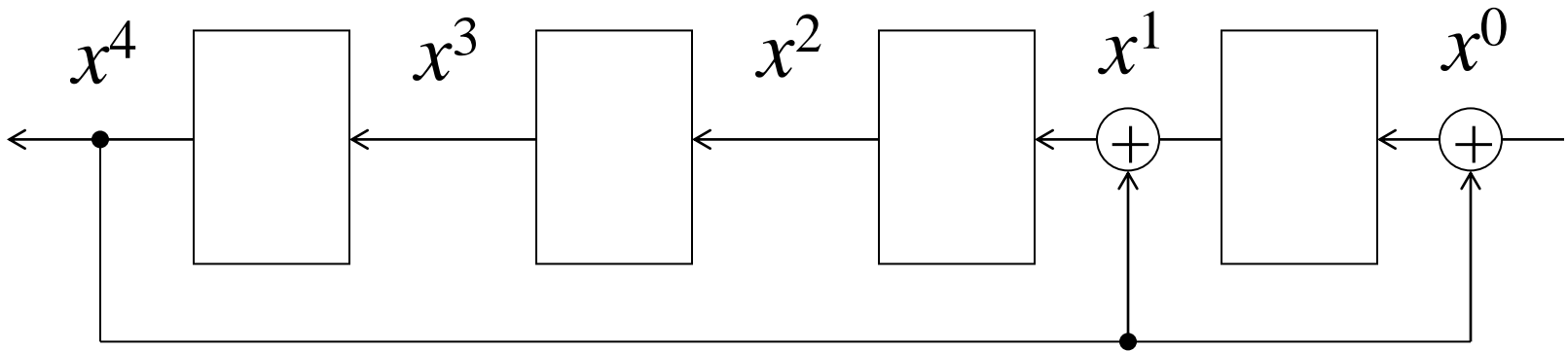
- 偶数パリティ: 偶3進数に対応
 - $10110001 = 3^7 + 3^5 + 3^4 + 1 = 2512$
- n ビットの符号語を $n-1$ 次式と見なす
 - $a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \dots + a_{n-1}x + a_n$
- 符号語が r 次の生成多項式 $G(x)$ で「割り切れる」ようにする
 - $x^r M(x)$ を $G(x)$ で割った余りを $x^r M(x)$ から引く

Cyclic Redundancy Check

- 誤り $E(x)$ が $G(x)$ で割り切れなければ検出可能
 - $G(x)=(x+1)Q(x)$ なら全ての奇数ビット誤りを検出可能
 - 長さ $\leq r$ の全てのバースト誤りを検出可能
 - $x^i(x^{k-1}+\dots+1)$
- $G(x)$ の例
 - $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$

ハードウェア

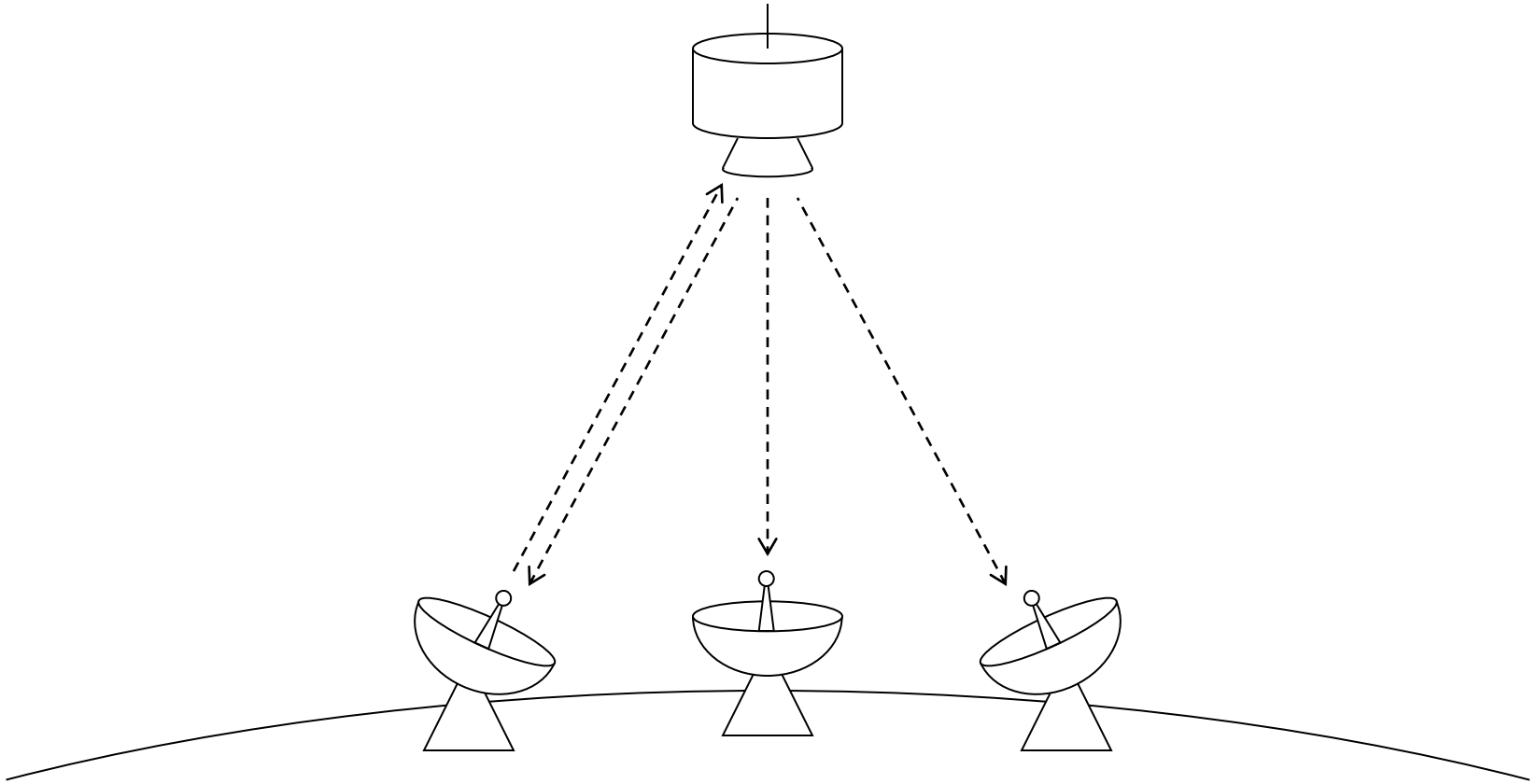
- $G(x)=x^4+x+1$ の例



媒体アクセス制御 ～共有資源を複数で共有～

- コンテンション(競合)方式
ex. Ethernet
(*) 割り込み(Interruption)
- ポーリング(Polling)方式
ex. トークンパッシング

ALOHA



ALOHA

- 各地上局からランダムに衛星に向かって送信→衝突がなければACKが返る
 - 平均使用率が1/2の時スループットは最大となり、有効スループット $1/2e \doteq 0.184$
- 衛星からのタイミング信号にあわせてパケットを送出 (Slotted ALOHA)
 - 平均使用率が1の時スループットは最大となり、有効スループット $1/e \doteq 0.368$

Ethernetの歴史

- 1973 Xerox PARC (3Mbps)
- 1978 DIX(DEC, Intel, Xerox) 10Mbps
- 1980 Ethernet version 1.0
- 1982 Ethernet version 2.0
- 1983~85 IEEE 802.3, ISO 8802/3
- 1995 802.3u (100Mbps: Fast Ethernet)
- 1998 802.3z (1Gbps: Gigabit Ethernet)
- 2002 802.3ae (10Gbps: 10 Gigabit Ethernet)

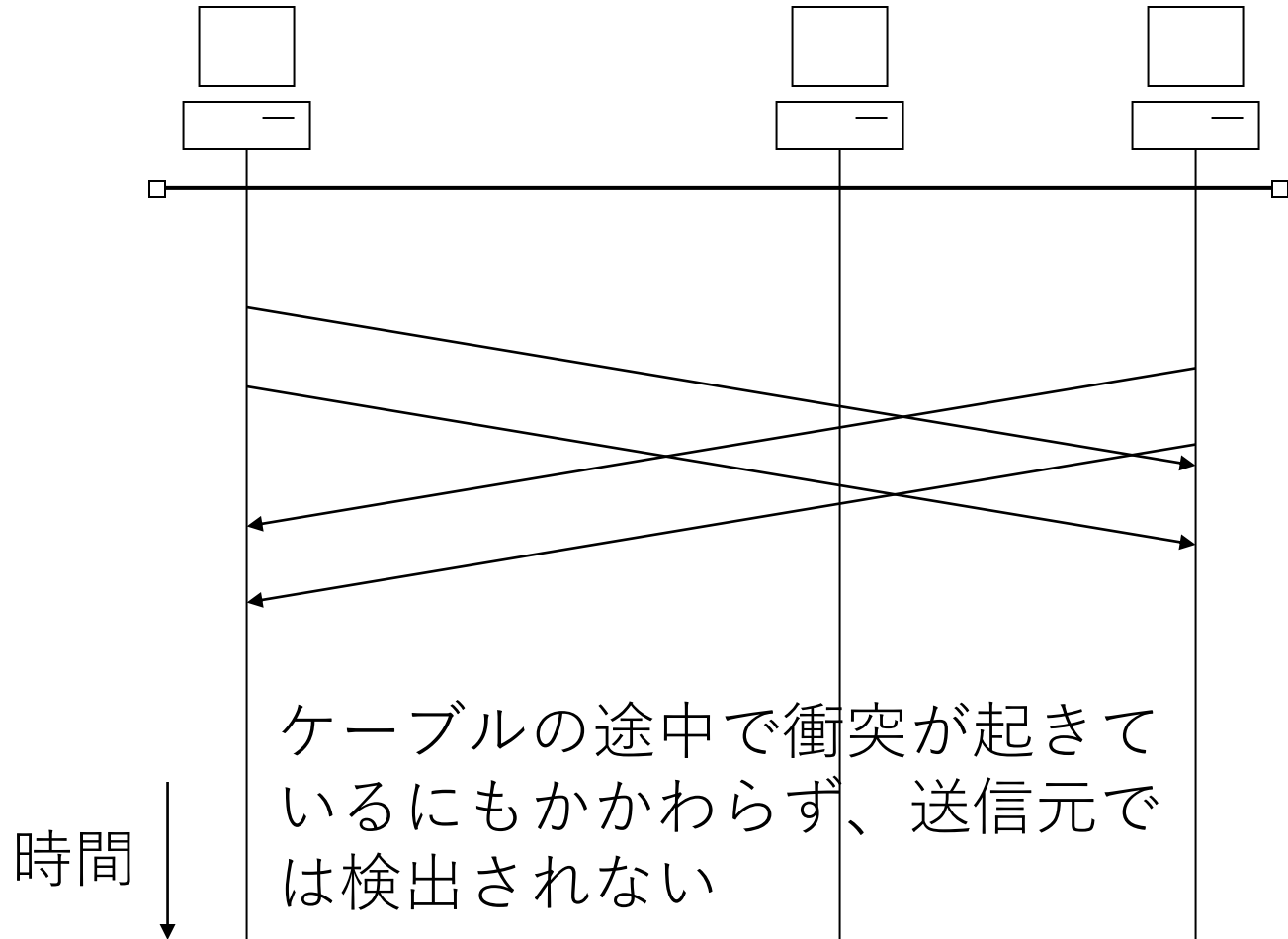
CSMA/CD

- 送信する前に他のステーションが送信中でないか聴取し(Carrier Sense: 搬送波検知) 通信終了を待って送信開始
- 送信を始めてからも他のステーションとほぼ同時に送信を開始しなかったか確認する(Collision Detection: 衝突検出)

Exponential Backoff

- 衝突が検出されたときには、 $0 \sim 2^i - 1$ の範囲の乱数を発生させ、その時間だけ待ってから再度試みる
- 時間の単位: スロット時間 = 512ビット
 - 信号がネットワーク中を往復するのに十分な時間
 - 衝突検出のため最小パケット長もこれだけ必要

パケット長 < 往復時間



媒体アクセス制御 ～共有資源を複数で共有～

- コンテンション(競合)方式

ex. Ethernet

(*) 割り込み(Interruption)

- **ポーリング(Polling)方式**

ex. トークンパッシング

トークンパッシング

- トークン: 送信権を表す特殊なパケット
 - トークンを獲得したステーションはトークン保持時間 (=トークン周回目標時間 - トークン周回時間)の間送信できる
- データを受け取ったステーションはフレームステータスを設定する
 - E: エラー
 - A: 自分宛であることを認識
 - C: 受信確認

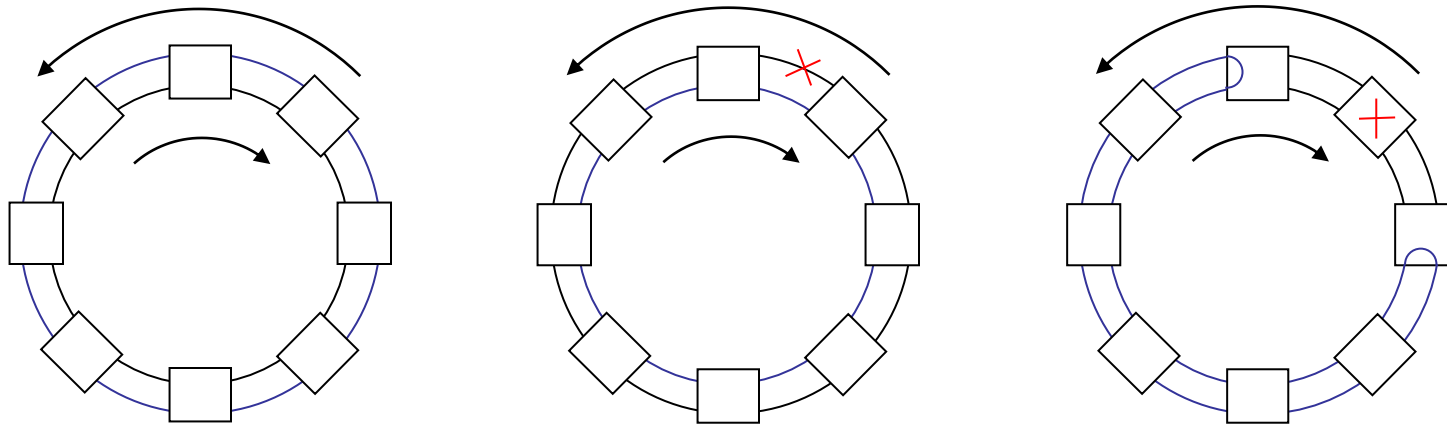
トークンパッシング(続き)

- データを送り終わったらトークンを送出(アーリーリリース)
- 送信データが1周して戻ってきたら取り除く
- 同期伝送: あらかじめ予約した時間だけ送信権を得る(リアルタイムデータ用)

FDDI

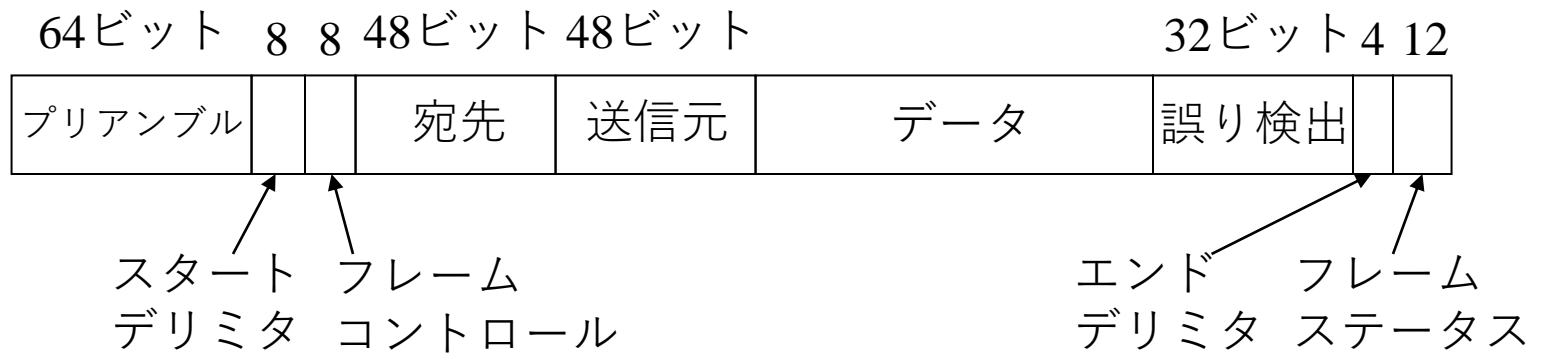
(Fiber Distributed Data Interface)

- デュアルリング
- $1.3\mu\text{m}$ 帯62.5 / $125\mu\text{m}$ 光ファイバ、ノード間2km

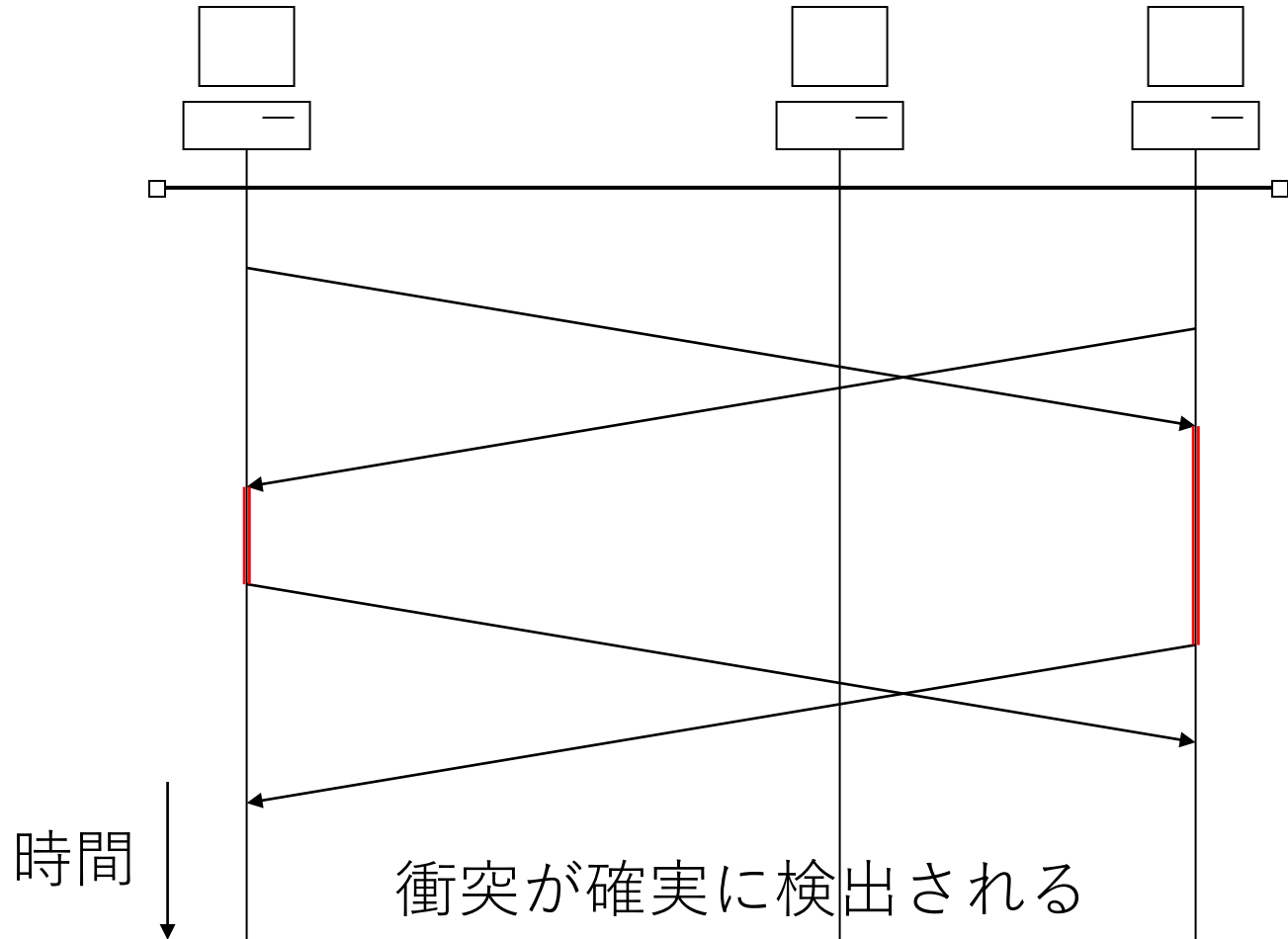


フレーム構成

- 4B5B符号化 → データに現れないパターンを制御信号に使用
- MSB First (アドレスだけはLSBから)
- 最大長4500バイト



パケット長 > 往復時間



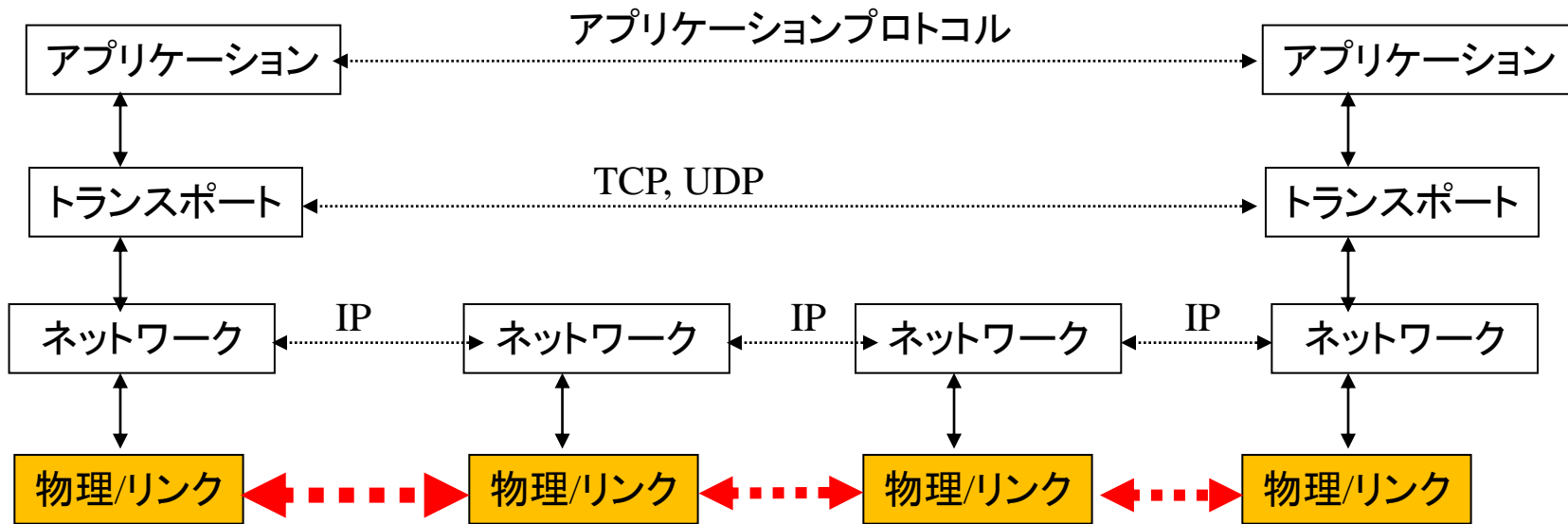
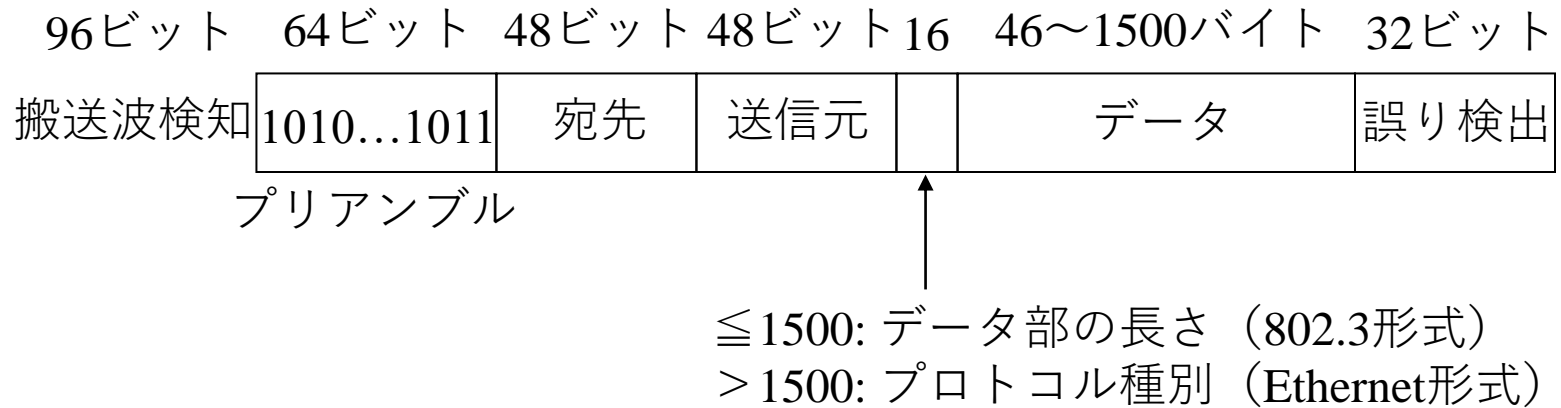


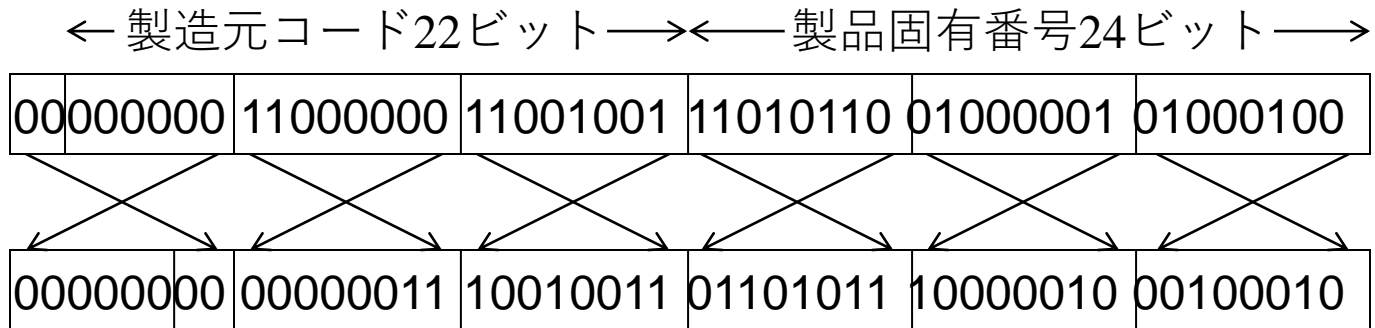
図1-12 TCP/IPの4レイヤモデル

フレーム構成



MACアドレス

ネットワーク中での伝送順



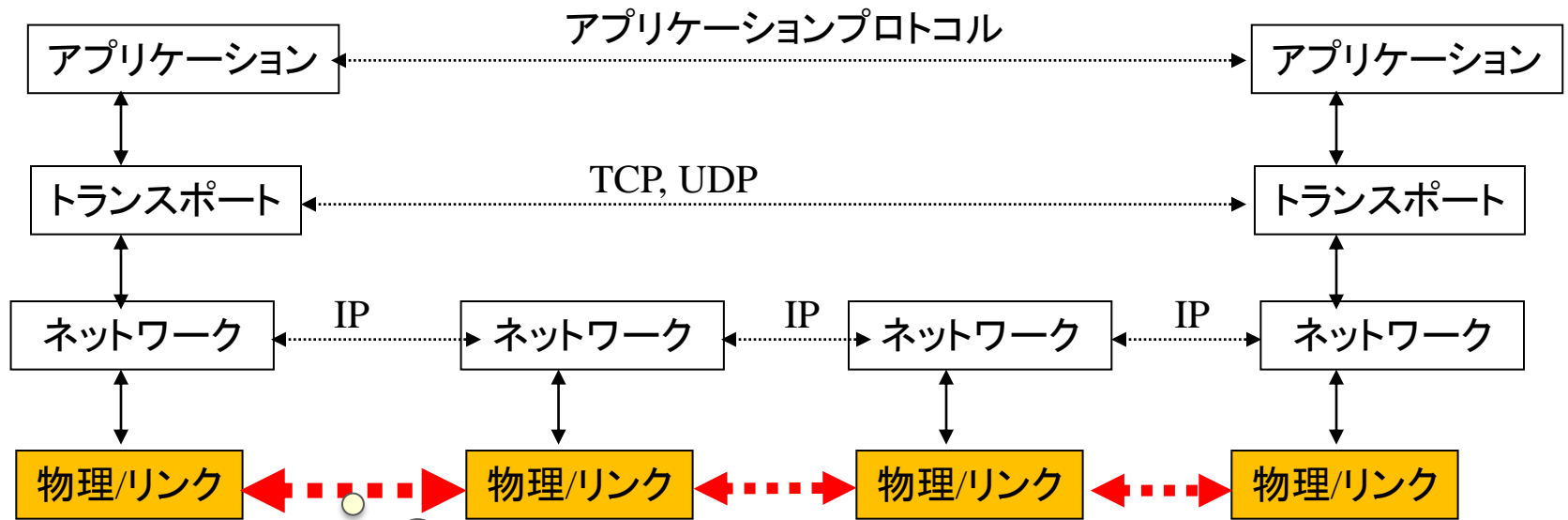
表記法 00:03:93:6b:82:22 または 00-03-93-6b-82-22

マルチキャストアドレス

1	プロトコル	マルチキャストグループ
---	-------	-------------

ブロードキャストアドレス

11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
----------	----------	----------	----------	----------	----------



**MACアドレスの利用は、
ローカルのみだけど、
グローバルユニークな値
(*最近は non-global unique**

配線の種類(バス型)

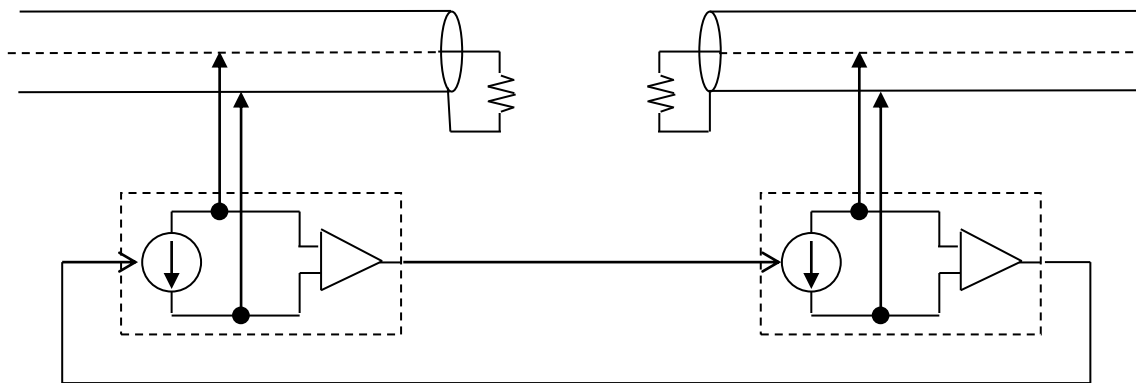
- 10BASE-5
 - 0.4インチ径50Ω同軸、500m、2.5m間隔
- 10BASE-2
 - 5mm径(RG58A/U)、185m、0.5m間隔30台

リピータ／ブリッジ／ルータ

リピータ	ブリッジ	ルータ
全てのフレームを中継	MACアドレスの全桁を見て中継	IPアドレスの一部を見て中継
物理層	データリンク層	ネットワーク層
リピータ自体にアドレスは不要	ブリッジ自体にアドレスは不要	ポート毎に異なるサブネットに属するIPアドレス(とMACアドレス)が必要
ブロードキャストを伝搬する	ブロードキャストを伝搬する	ブロードキャストを通常伝搬しない

リピータ

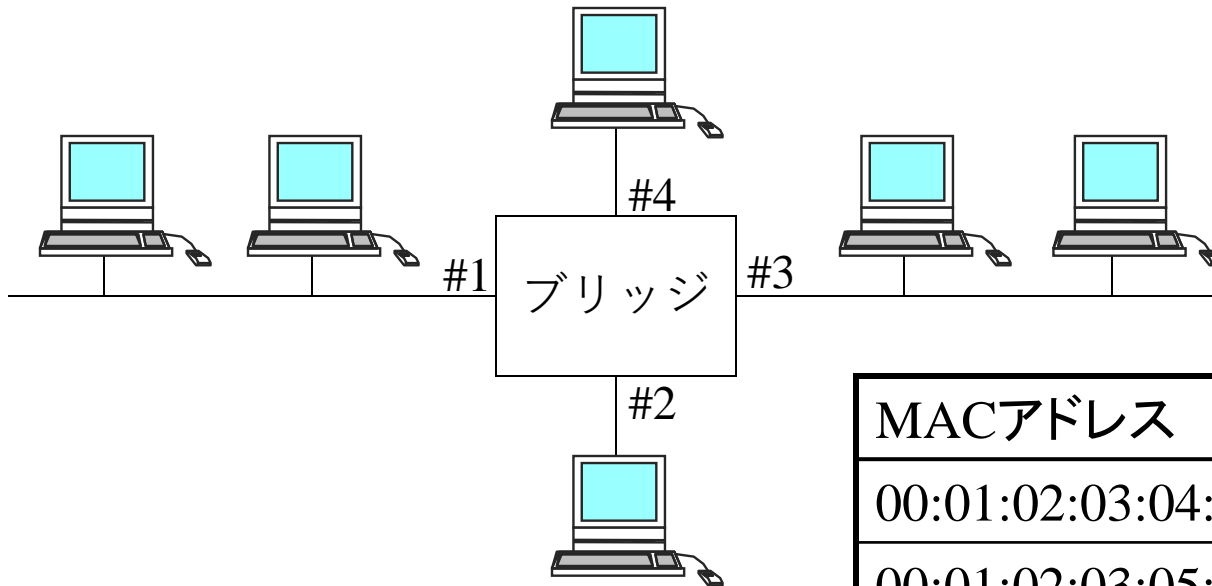
- 1本のケーブルでは収容しきれないとき、
双方向に増幅、波形整形を行う装置で
ケーブル間を接続する



ブリッジ

- リピータでは配線長は長くできるが、ある瞬間に送信可能な端末は1台だけ
 - 必要な時だけパケットを中継する装置
 - トランスペアレントブリッジ
 - ソースルーティンギングブリッジ
- スター配線 → スイッチングハブ
- バッファリング → 全2重通信が可能

ブリッジ



MACアドレス	ポート番号
00:01:02:03:04:05	#1
00:01:02:03:05:07	#2
00:12:34:01:02:03	#1
00:23:45:67:89:AB	#3

簡単な算数。。。 In 2000

【レッスン】

ボトルネックは変化する。。

伝送速度のインパクト

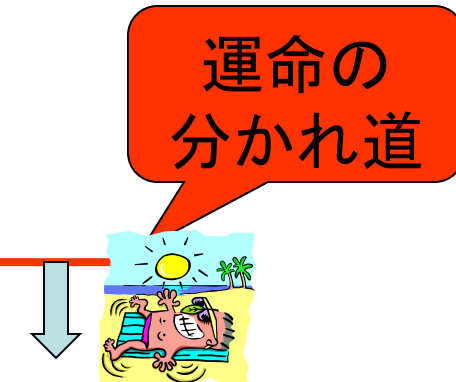
Discussed
in 2000

- CD-ROM 1枚 600MB を転送するには...
 - V. 32 524288 (sec) 約146時間
 - ISDN Bチャネル 76800 (sec) 約21.3時間
 - T 1 (1.5Mbps) 3200 (sec) 約53分

 - Ethernet(10Mbps) 480 (sec) 8分
 - T 3 (45Mbps) 106 (sec) 1.78分
 - OC-3(155Mbps) 31 (sec) 0.5分

- リアルタイム通信
 - 1 Kbps – 10Kbps テキスト
 - 10Kbps -100 Kbps 音声
 - 100Kbps- 1Mbps 映像(低品質)

 - 10Mbps -100Mbps 映像(高品質)



例1：音楽 → 圧縮

Discussed
in 2000

MP3 圧縮：1/8 程度に圧縮可能

(* MPEG2 (DVD) で使用されている圧縮技術

CD-ROM(600MB)：20曲x3分 → 160曲x3分

1層 DVD (5GB)：160曲x3分 → 1,280曲x3分

2層 DVD (10GB)：320曲x3分 → 2,560曲x3分

ところで、最近の HDD は、

50GB(2.5インチ) → 640枚のアルバム

200GB(3.5インチ) → 2,560枚のアルバム

→ 毎日1枚のアルバムを記録しても

2年弱(50GB)、8年(200GB)

例2：動画

- 動画
 - 非圧縮ビデオ : 300Mbps
 - デジタルビデオ : 35Mbps (= 1/10)
 - DVD(=MPEG2) : 5Mbps (= 1/70)
 - MPEG1 : 1.5Mbps (= 1/200)
 - MPEG4 : 500kbps-2Mbps (= 1/600 – 1/150)

例2：動画(120分)

- 動画
 - 非圧縮ビデオ : 300Mbps → 270GB
 - デジタルビデオ : 35Mbps → 32GB
 - DVD(=MPEG2) : 5Mbps → 5GB
 - MPEG1 : 1.5Mbps → 2GB
 - MPEG4 : 500kbps-2Mbps → 0.8 GB
 - MPEG4でHDDに録画すると
 - 50GB HDD → 75本 (1.44本/週)
 - 200GB HDD → 300本 (1本/日)
- (*) 52週/年

例2：動画(24時間)

- 動画
 - 非圧縮ビデオ : 300Mbps → 3,240GB
 - デジタルビデオ : 35Mbps → 384GB
 - DVD(=MPEG2) : 5Mbps → 60GB
 - MPEG1 : 1.5Mbps → 24GB
 - MPEG4 : 500kbps-2Mbps → 1GB
- MPEG4で10チャンネルを録画し続ける
 - 10GB DVD → 1日
 - 50GB HDD → 5日
 - 200GB HDD → 20日

導き出される 一つの実事

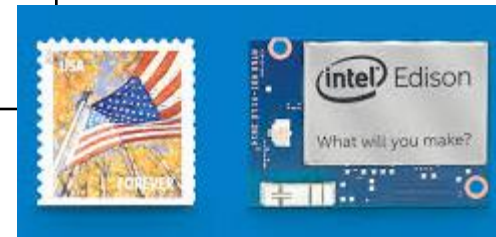
- ストリーミングは“貧乏人”の技術
 - 狭帯域 & 常時接続
 - 金持ちは、“早送り”したくなる。
 - 広帯域
 - 非常時接続 or Not Always広帯域 (e.g., モバイル環境)
- (* 現在では、DTN(Delay Tolerant Networking)環境と言う。

コンピュータの携帯型への進化

Discussed
in 2000

年代 形式	1960s 据付	1970s オフコン	1980s ミニコン	1990s パソコン	2000s ノート
CPU (MIPS)	0,1	1	10	100	1k
メモリ (GB)	0.01	0.1	1	10	100
重量 (Kg)	1k	100	10	1	0.1
携帯度	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

2010s
ボタン



携帯度 = MIPS x GB ÷ 重量 (10^3 ずつ減少)

「あちら側」と「こちら側」の議論

1. CS: メインフレーム

イーサネット+専用線

2. P2P: 分散コンピューティング

ダイヤルアップ

3. CS: インターネット(ISP/ASP)

+ Data Center

4. P2P: ファイル共有

ブロードバンド

5. CS: Google情報加工工場

Grid的コンピューティング

6. P2P: Smart-Phone, Tablets

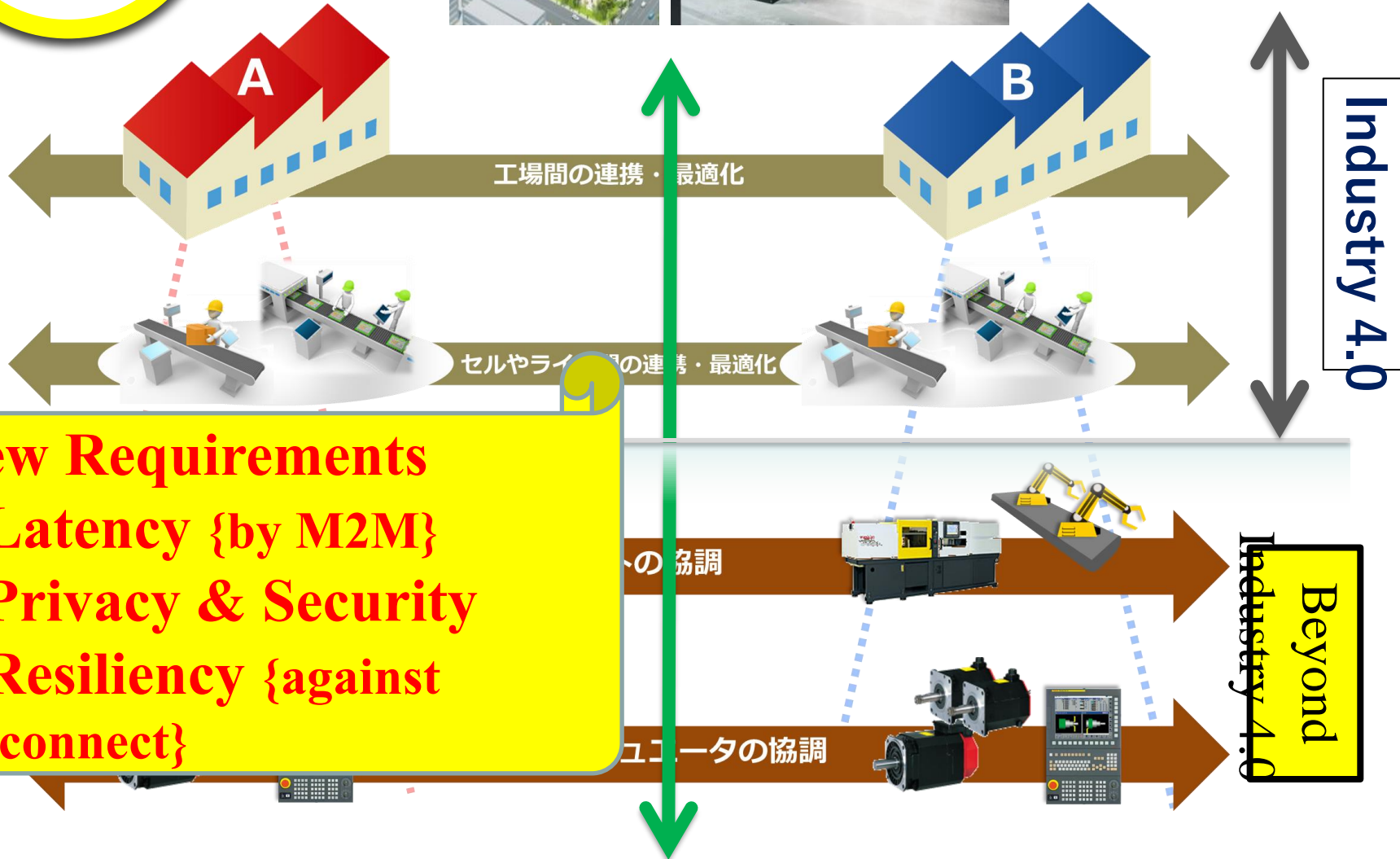
3G, LTE, WiFi

7. CS: モバイル・クラウド ?

Data Center

8. P2P: Edge-Heavy ?

機械学習 ?



工場間の連携・最適化

セルやライン間の連携・最適化

機械の協調

コンポーネントの協調

Industry 4.0

Beyond Industry 4.0

New Requirements

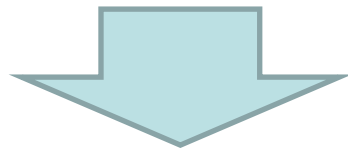
- ✓ Latency {by M2M}
- ✓ Privacy & Security
- ✓ Resiliency {against disconnect}

Where we install computers, on-the-premises or off-the premises ?

- On-the-Premises
 - P2P architecture (**for latency and resiliency**)
 - By IT division in companies : in North America
 - (*) Data Center for themselves and by themselves
- Off-the-Premises
 - Client-Server architecture (**for cost reduction**)
 - By provider in elsewhere : Japan in 2010s
 - (*) including cut of human cost

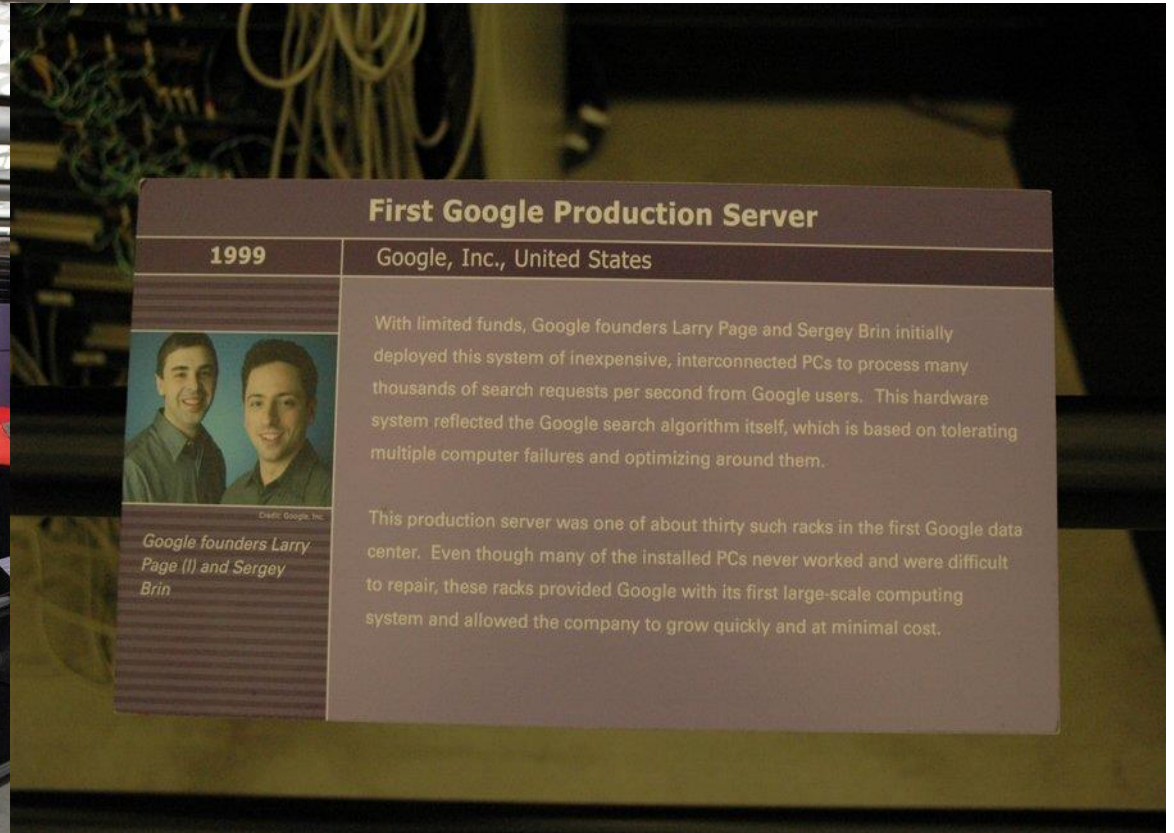
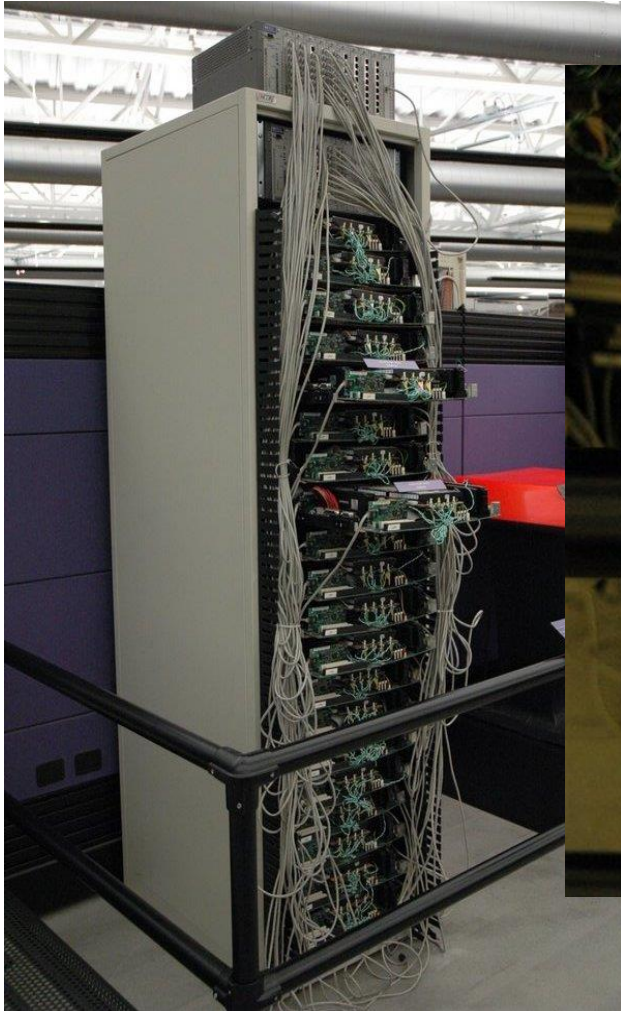
簡単な算数。。。 In 2000

【レッスン】
ボトルネックは変化する。。

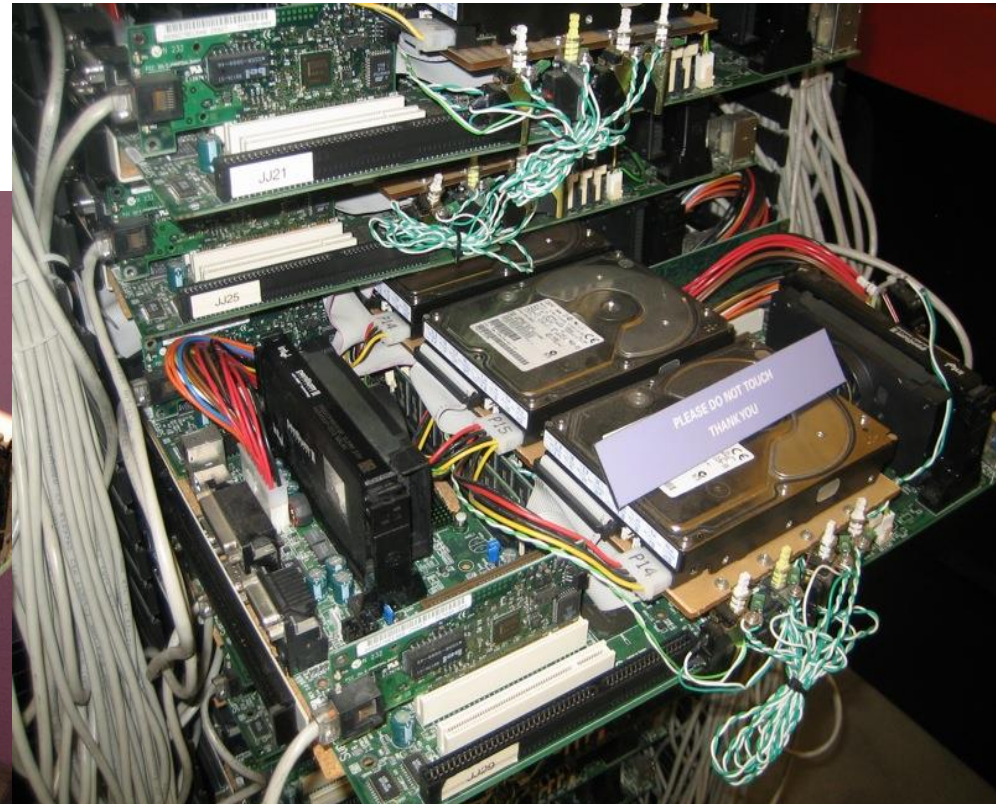
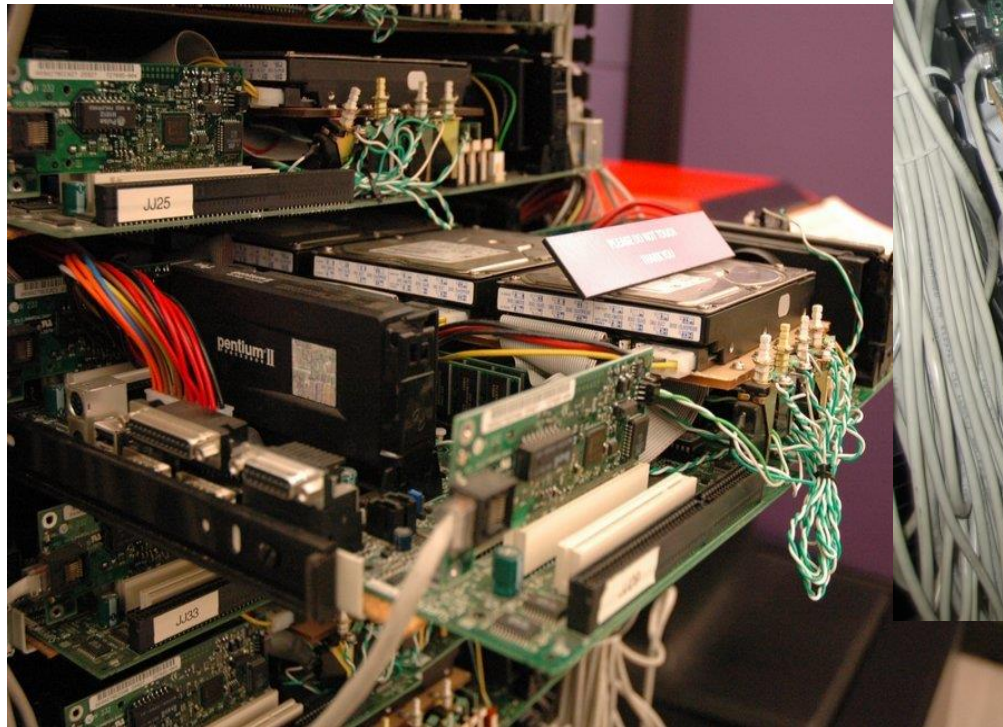


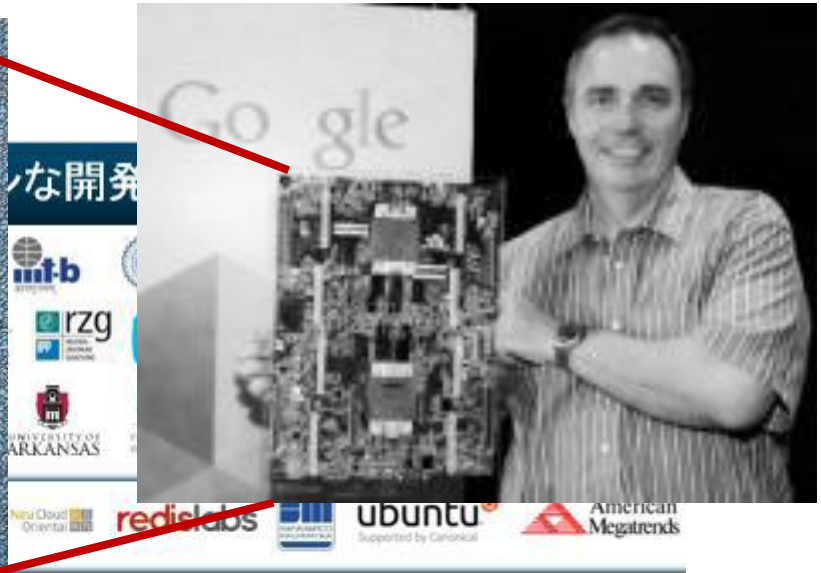
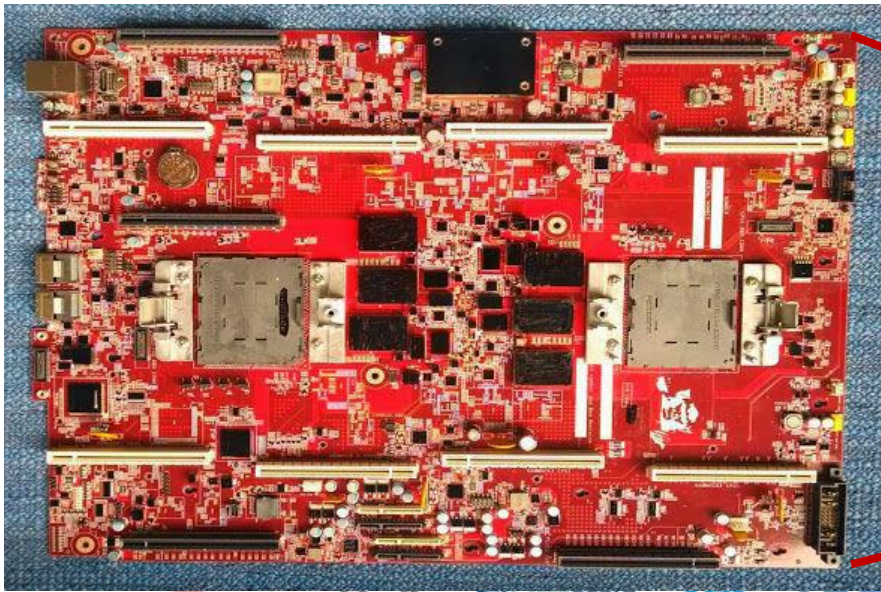
15年後 (2015年) と
今後を考えよう

Google の最初のサーバ (Computer Museum in California)



Google の最初のサーバ (Computer Museum in California)





- System / Integration
- Storage / Access
- Boards / Systems
- Chip / SOC



Innovations in Data Center architecture

1. Open & Transparent , i.e., white xx

- ✓ HW : Chip, board, server, switch, router, Electric power, HVAC
- ✓ SW: Operating system, Middleware , Application

2. Data (Storage) Centric

- ✓ Big Data collection and analysis
 - Explosion of amount of data
 - Cross domain data integration
- ✓ **Processor/CPU centric → Data/Storage centric**
 - **Migration overhead: data >> processing image**
 - (*) Contribution of**
 - 1. VM (Software-Defined North Bridge) technology**
 - 2. Software-Defined Storage technology**