

# 情報通信処理技術の過去と将来について

鳥取大学工学部知能情報学科 村上仁一

2012/4/12

# デジタル通信の基礎

## 1) 有線

- a) 1G-Net (Ether)  
符号, UTPケーブル
- b) 光ファイバー  
シングルモード

## 2) 無線

- c) OFDM  
変調

## ノイマン型コンピュータ

### 現在主流のコンピュータ

「ノイマン型」コンピュータ

フォン・ノイマン: J. von Neuman

「プログラム内蔵方式」の発表: 1945

記憶装置の中に計算手順を持つ

「逐次制御方式」

命令を一つずつ順次取り出して自動的に実行

「2進数の採用」

現代のコンピュータ登場以前

計算機械の発展

統計機械の登場

自動論理計算の発明

# 計算機械の発展1

サラミス島の「アバカス」

古代中国の「算木」や「算盤」

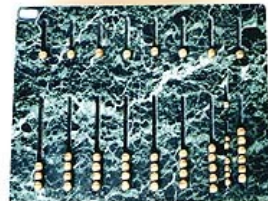
日本の「そろばん」

歯車を使った「計算機械」

ネピアの骨(1617)

パスカルの計算機械(1642)

ライプニッツの計算機(1673)



ローマ

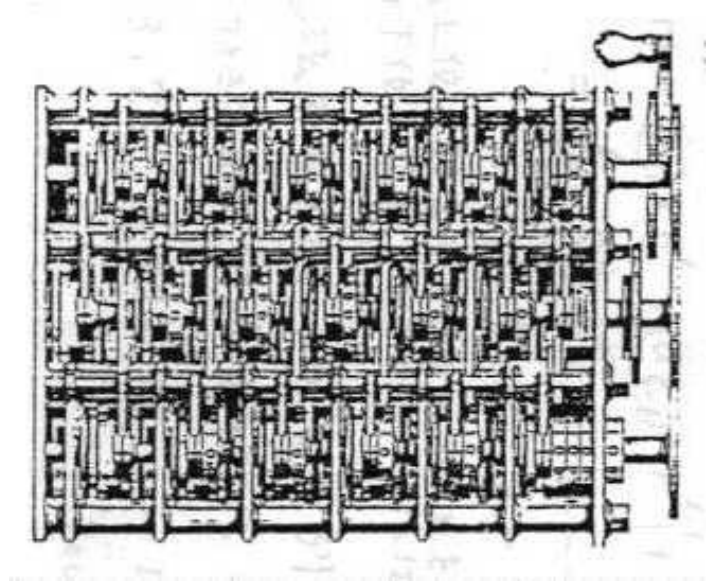


中国

# 計算機械の発展2

## バベジの汎用計算機概念

バベジ: C.Babbage (1791 ~ 1871)  
解析機関 (1833発表)  
汎用歯車式計算機



**目的.** 航海において位置を知るために必要なsin, cos, tan, logなどの数値

現在のコンピュータの概念

「プログラム内蔵方式」「記憶装置」「処理装置」

計算規則とデータを「パンチカード」で与える

手順の記憶(貯蔵装置)と自動実行(処理装置)

プログラム内蔵方式の先駆

実際には稼動できず ← 電気の利用の未発見

# 統計機械の登場1

## パンチカード

ジャガールが発明(1801)  
元は機織り機の自動化

## ホレリス(H.Hollerith)の統計機

パンチカードを利用したPCS電動会計機  
アメリカの国勢調査に利用(1890)  
統計処理が7年→3年以下に  
データ処理に「電気」を使う

## 統計機械の登場2

MARK-1 (1944)

ハワード・エイケン (H. Aiken) とIBM社  
電気機械式計算機  
リレー回路  
ワイヤードロジック



# 論理機械の発明

## ブール代数

ジョージ・ブール(1815～1864)

論理演算

AND, OR, NOT

真理値表

## チューリングの仮想論理機械

## シャノンのスイッチ回路

# 電子(真空管)による計算

現在のコンピュータの直接の祖先

「アタナソフとベリーのコンピュータ」ABC 1942年

## アイオワ州立大学のアタナソフ

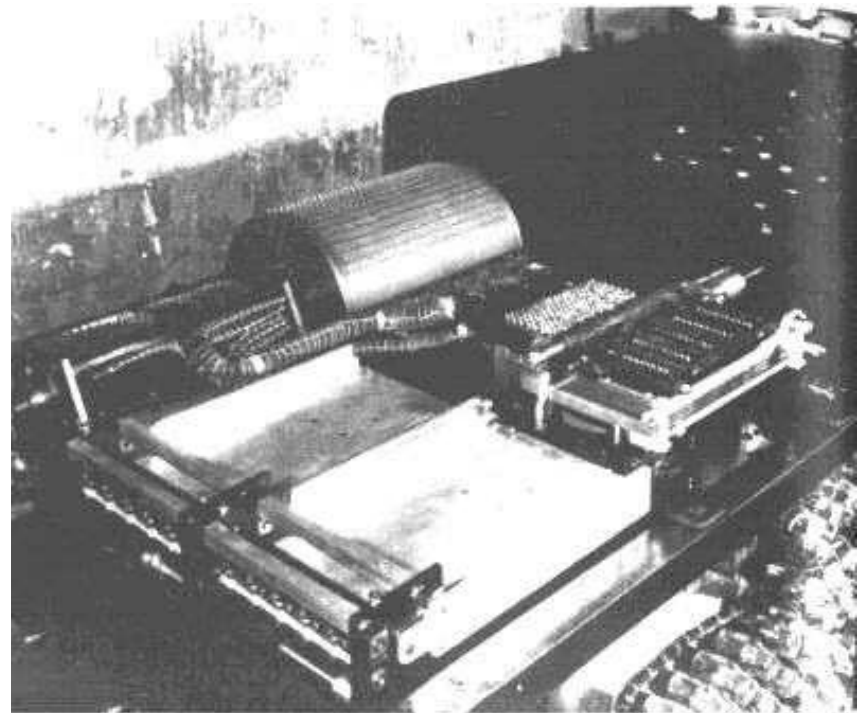
ベリー (Clifford Edward Berry)によって作成

真空管を使用した最初の電子計算機。

### *Colossus (1943)*

暗号解読に用いられた電子計算機

詳細は現在も未公開



# コンピュータの誕生1

ENIAC (1946): Electronic Numerical Integrator And Computer

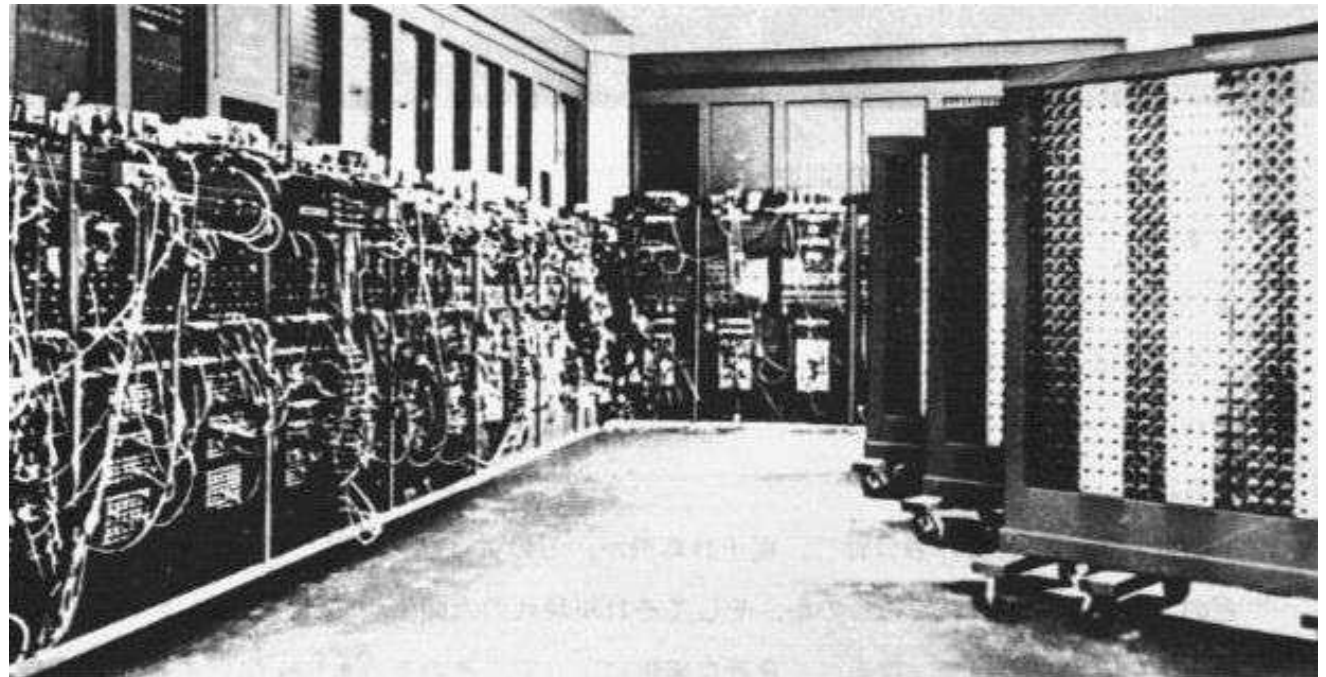
モークリー (J.W.Mauchly) と エッカート (J.P.Eckert Jr.) により開発

18,800本の真空管

重量30トン、30×50フィートの部屋を占有

米国陸軍の弾道計算が目的 プログラムは計算機回路の配線組立て

プログラム内蔵方式ではない



## コンピュータの誕生2

EDVAC: Electronic Discrete Variable Automatic Computer

「ノイマン型」開発遅れる 1952完成

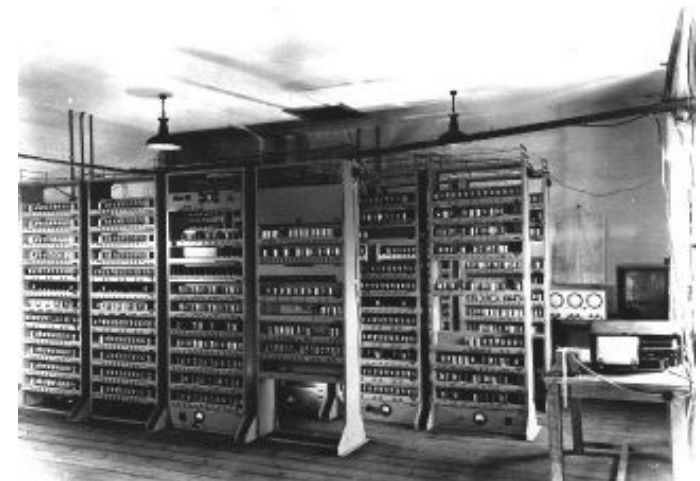
EDSAC (1949): Electronic Delay Storage Automatic Calculator

最初のプログラム内蔵型コンピュータ

ケンブリッジ大学: M.V. Wilkesら

UNIVAC-1 (1951): Universal Automatic Computer

最初の商用コンピュータ、磁気テープ使用



# コンピュータの世代1

## 第1世代(1950～1958)

「真空管」の時代

磁気ドラムや磁気コアの主記憶装置

プログラムは機械語(0と1の組合せ)

アセンブラ言語の開発

FORTRANの開発(1957)

# コンピュータの世代2

## 第2世代(1959～1964)

「ダイオード」「トランジスタ」の時代

コンピュータの価格性能比向上

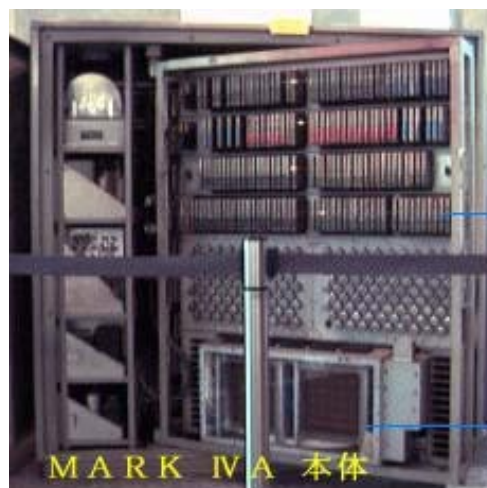
アセンブラ言語によるプログラム

後半は「高級言語」の実用化

FORTRAN, COBOL

制御モニタの開発

バッチ処理、並行処理、多重プログラミング



トランジスタユニット  
コアメモリ

## コンピュータの世代3

### 第3世代(1964～1970)

「IC: Integrated Circuit(集積回路)」の時代  
コンピュータはさらに小型化、高性能化  
IBM/360の発表 汎用コンピュータ  
DECのミニコン  
オンラインシステムの商用化  
TSS: Time Sharing Systemの実用化  
OSの熟成、ソフトウェアの商品化

# コンピュータの世代4

## 第3. 5世代(1970～1980)

「LSI: Large Scale Integration (大規模集積回路)」の時代  
マイクロプロセッサ(MPU)の登場

Intel 8080(8bit),8086(16bit)

仮想記憶や仮想計算機

C言語の開発(1972)



## コンピュータの世代5

### 第4世代(1980～現在)

「VLSI: Very Large Scale Integration (超大規模集積回路)」の時代

高性能、小型化、高速化が一段と進む

スーパーコンピュータの登場

オフコン、ワークステーション、パソコン

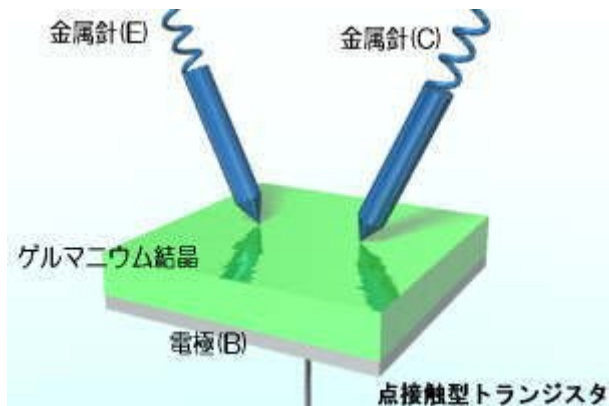
コンピュータネットワークとの融合

LAN, WAN

# トランジスタの発明

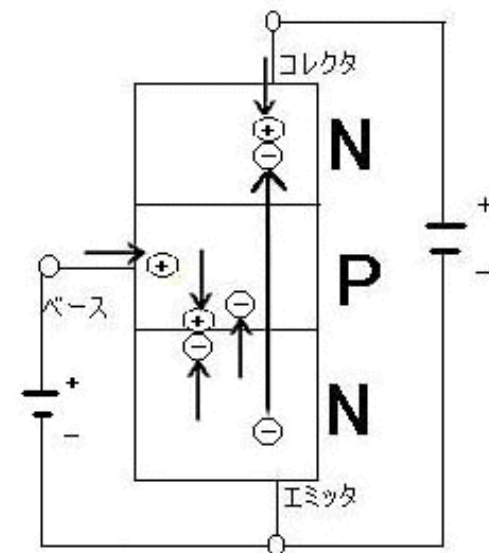
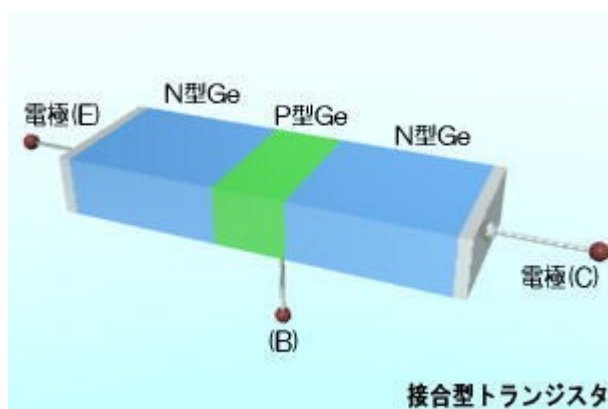
## 点接触型トランジスタ

1948年6月30日、ベル研究所のバーディーン、ブラッテンらのチーム  
固体で増幅に成功した最初の例  
ただし、信頼性が低い。実用的ではない。



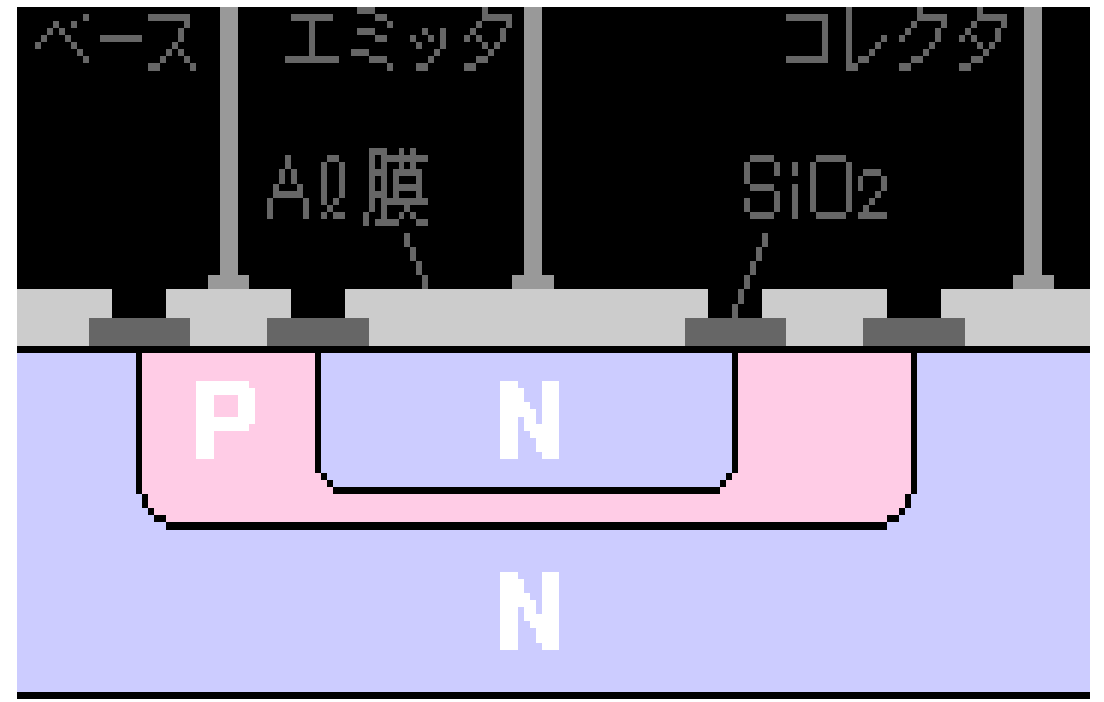
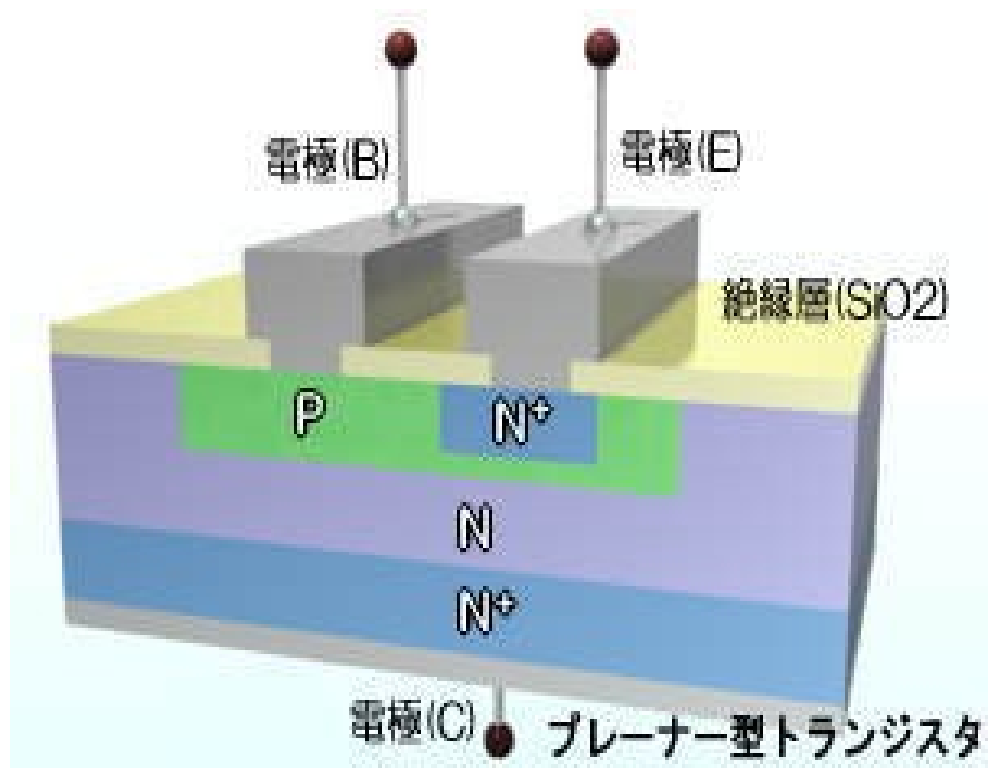
# 接合型トランジスタ

PN半導体を利用 ラジオなどに使用

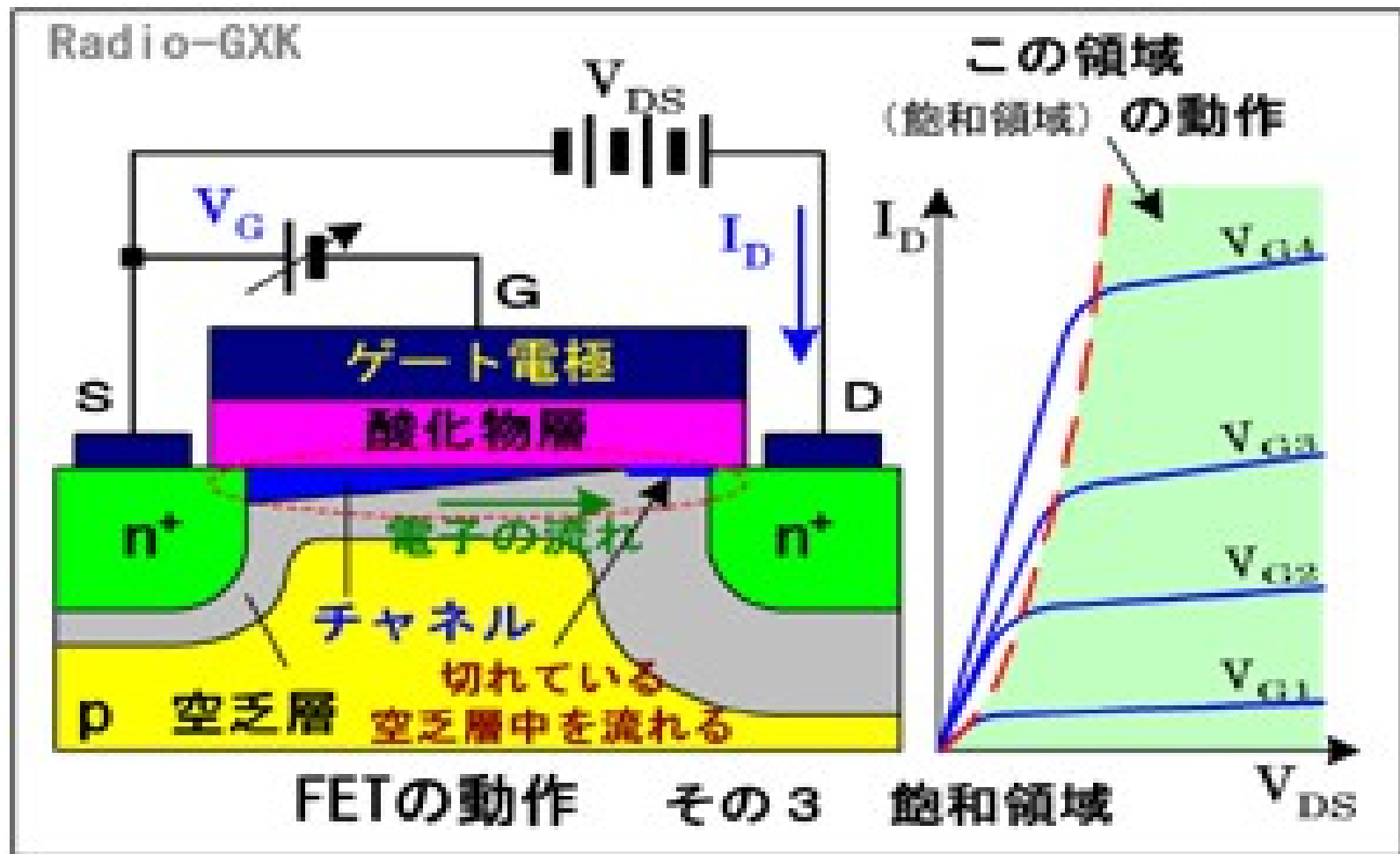


# シリコントランジスタ

実用的なコンピュータ



# 電界効果トランジスタ (FET)



# ICによるコンピュータ

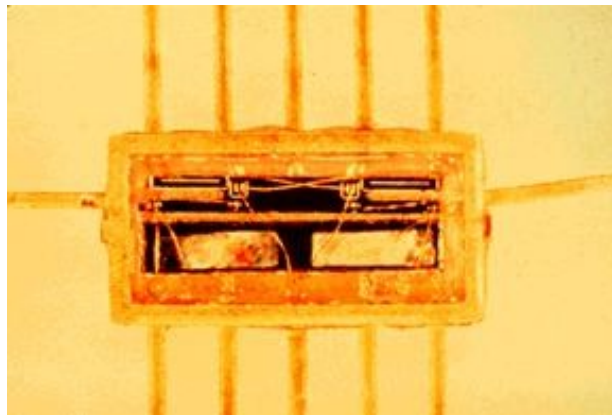
現在のコンピュータの構造

1つのシリコン基盤に複数のトランジスタが集積

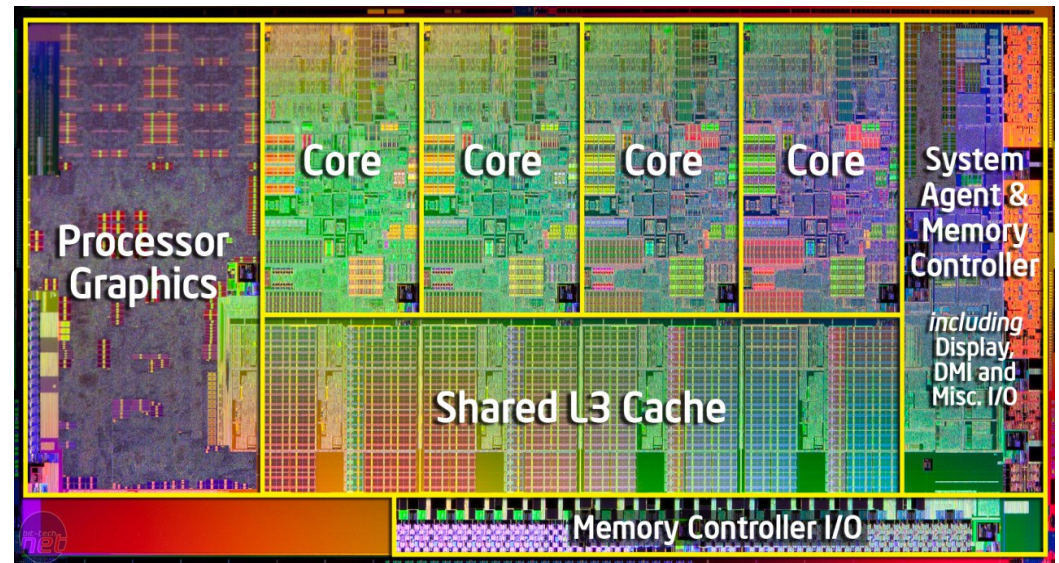
MOSFET構造およびシリコン酸化膜による導体(アルミ)の分離

アイディア

1959年ロバートノイス氏(当時フェアチャイルド)

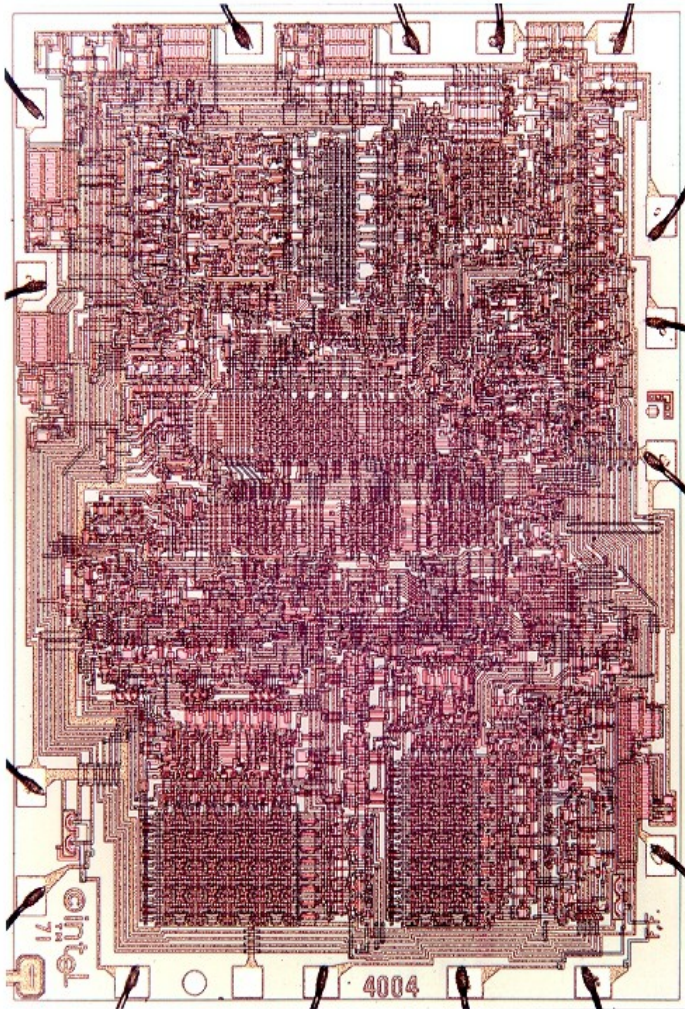


ジャックキル  
ビーのIC



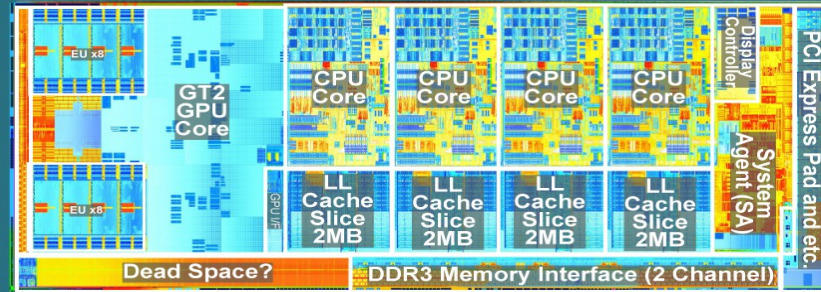
Sandy-Bride

# ICによるコンピュータ



Ivy Bridge and Sandy Bridge Die Layout (Estimated)

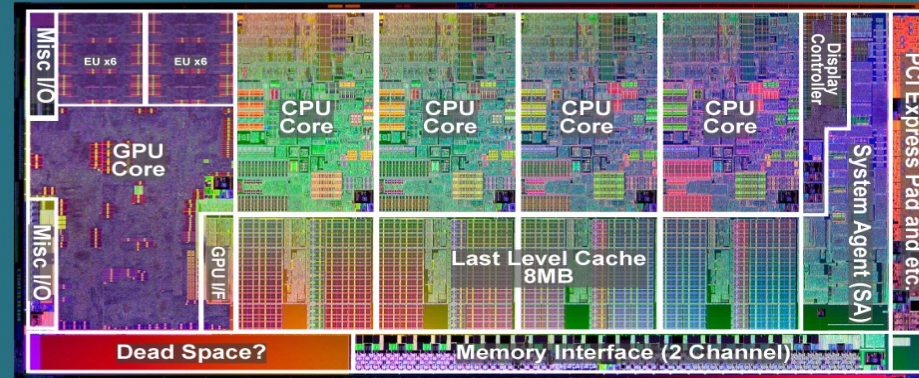
## Ivy Bridge 22nm



4 CPU cores  
GPU core (64ALUs)  
8MB LL Cache

22 nm Process  
1.43B transistors  
160 mm<sup>2</sup>  
TDP ~77W

## Sandy Bridge 32nm



4 CPU cores  
GPU core (48ALUs)  
8MB LL Cache  
PCI Express Gen2 20 Lanes

32 nm Process  
1.16B transistors  
216 mm<sup>2</sup>  
TDP 95/65/45W(Desktop)

Copyright (c) 2012 Hiroshige Goto All rights reserved.

Intel 4004 (1969) ゲート長 10um  
トランジスタ数2300 クロック108KHz

Intel Ivy Bride (2011)  
ゲート長 22nm  
トランジスタ数 10億  
クロック 3.4GHz

# 半導体の微細加工技術

現在のコンピュータ技術の基盤  
半導体の微細加工技術(精密印刷技術)

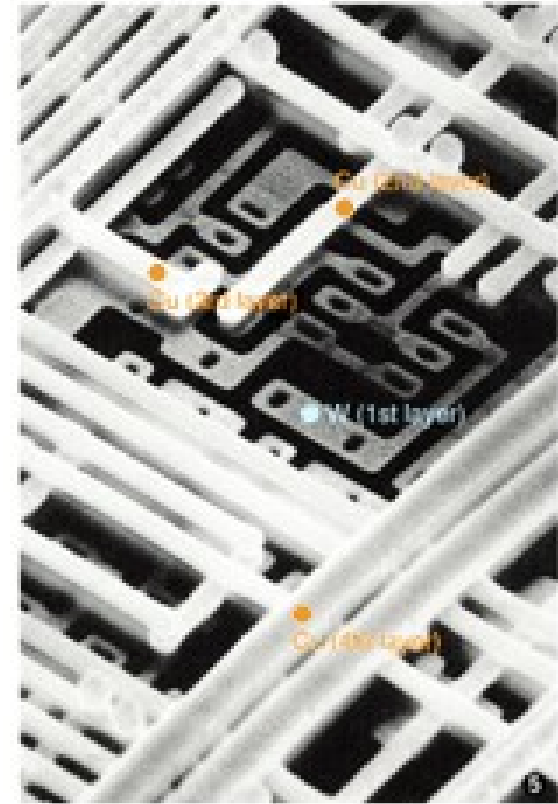
現在ゲート幅45nm  
2014年度中 14nm  
実用化の目処 10nm

ArFエキシマレーザー(波長193nm)

液浸技術 レンズとシリコンの間に水

位相マスク 位相を180反転

2重露光 光のenergy  $\wedge 2$





# 未来の半導体の微細加工技術

真空中で遠紫外線 (EUV)  
波長: 12nm 反射縮小系:

100GHzのCPU, 10GByteのDRAM

ここ30年間, 幾度となく微細加工技術は限界だといわれ続けながら,  
常にその限界が打ち破られていてどどまるところを知らない.

# 通信技術の歴史

## 有線通信技術の歴史

### 電線・ケーブル発達史の出発点(電線の始まり)

1744年, ライプチヒのJ. H. ウィンクラー

オット・ゲーリッタの作成した感応発電機を改良して  
放電火花を遠距離に送ることに成功

絶縁された導体を用いると世界の果てまでも送ることができると予測



平賀源内 エレキテル

# 平衡フィーダ



# 海底ケーブル

1841年 モールス

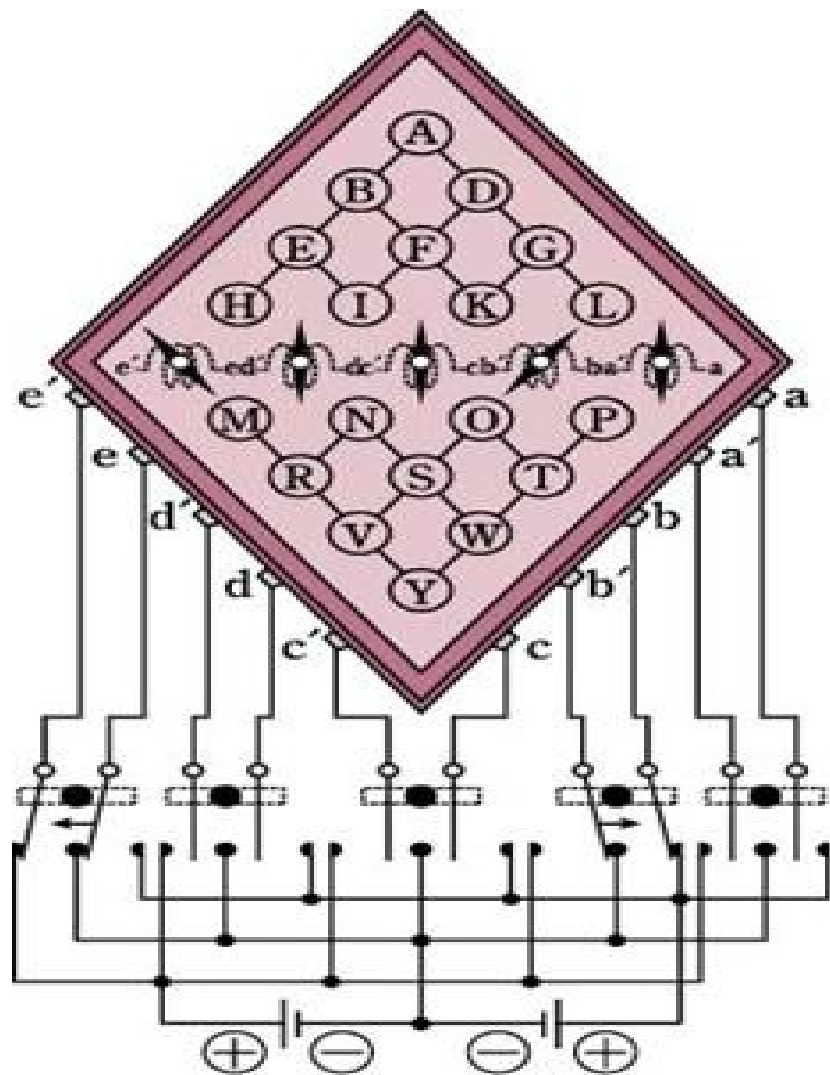
ゴム、麻およびタールピッチで被覆した電信用の海底電線を設計  
ニューヨーク港を横断

1858年 英国 大西洋電信会社

アイルランドのバレンシャ港とニューファウンドランドの  
リニナ湾との間

これにより英国が発展

# ブレゲー指字電信機



5針電信機



A	-----	I	---	Q	-----	Y	-----
B	-----	J	-----	R	-----	Z	-----
C	-----	K	-----	S	---	.	終点 -----
D	-----	L	-----	T	---	,	読点 -----
E	-	M	-----	U	-----	:	重点又は除去の記号 -----
F	-----	N	---	V	-----	:	重点又は除去の記号 -----
G	-----	O	-----	W	-----	?	問符 -----
H	-----	P	-----	X	-----		-----

## モールス符合

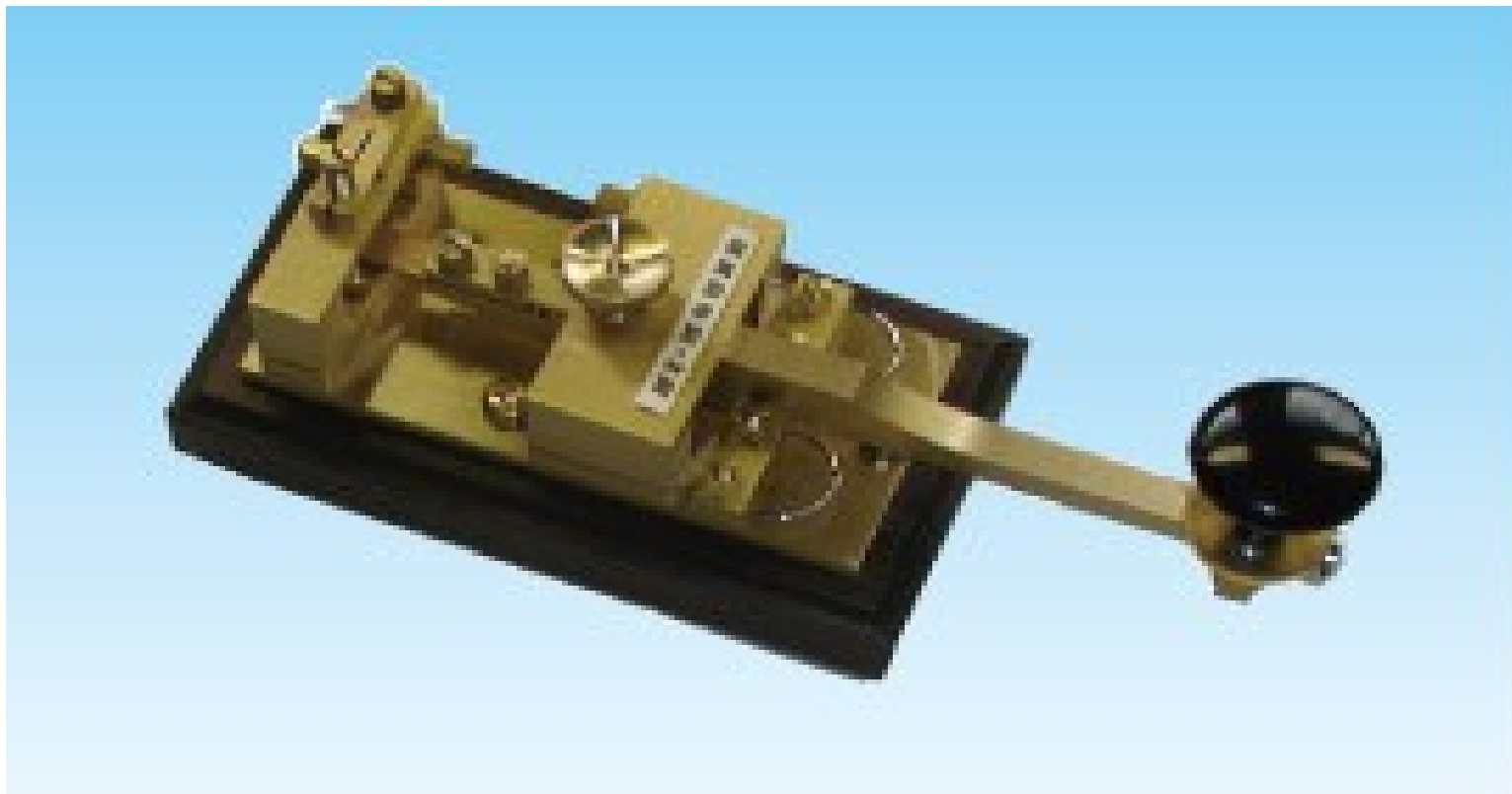


図3 モールス信号を打電する電鍵

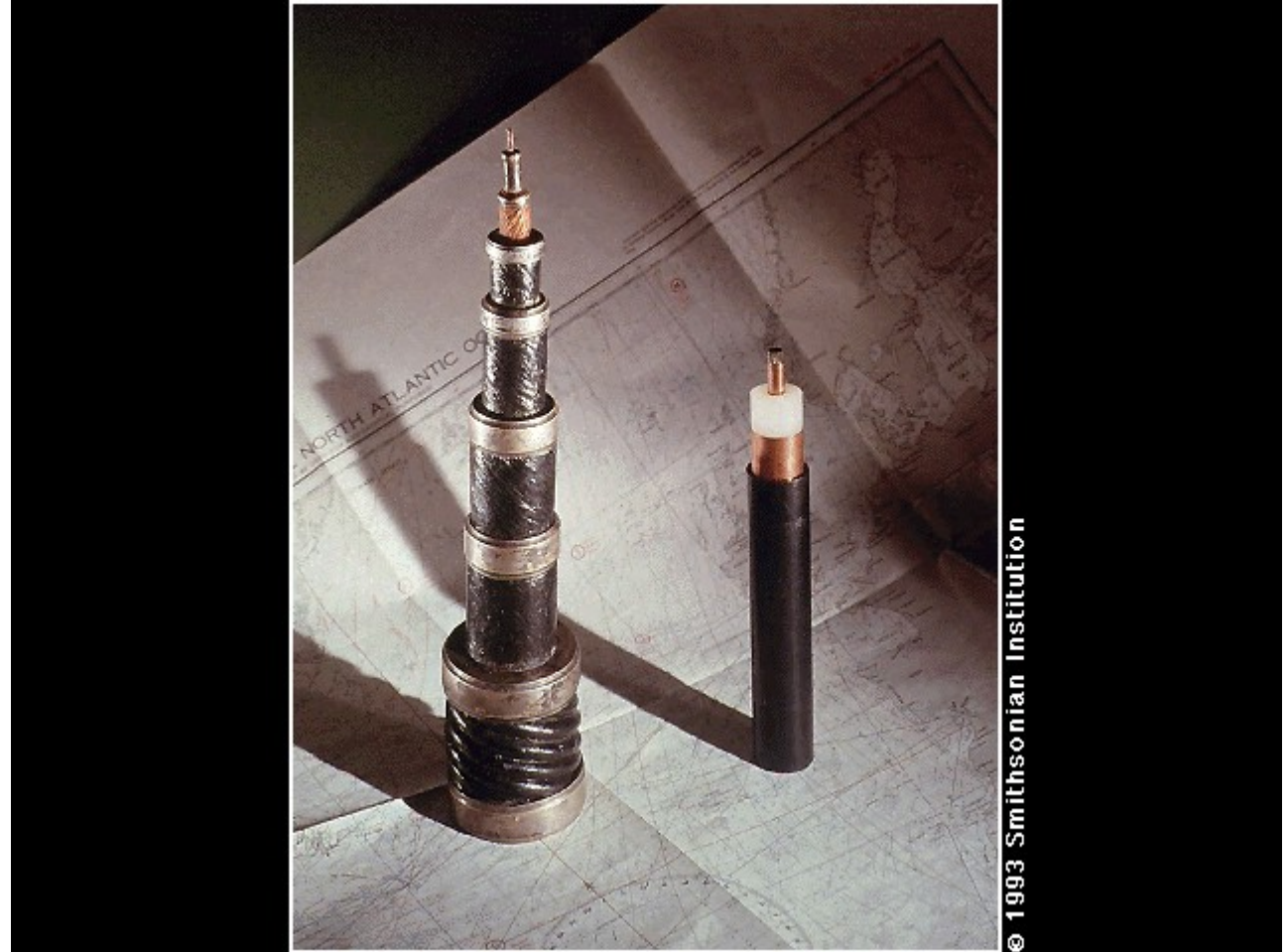
((有)ハイモンド・エレクトロ社 ホームページ  
<http://www3.tokai.or.jp/haimondo/> より転載)







現在



100年前



使われている海底ケーブル

右の太いものが近海、浅瀬用の頑丈なも。

左に行くに従って深海用のケーブル

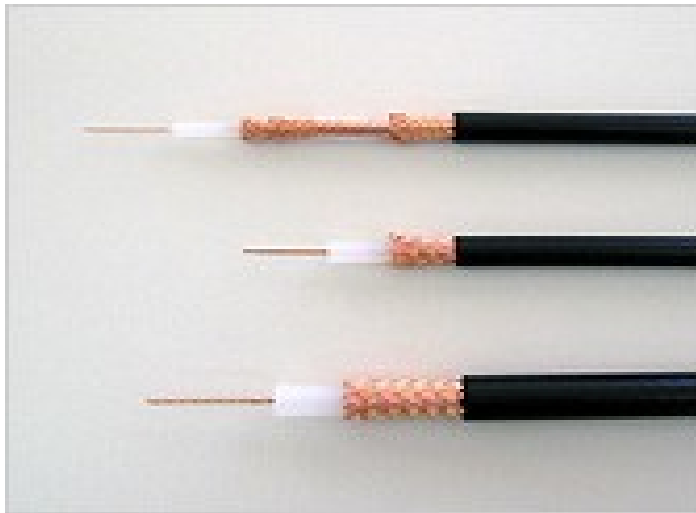


## 同軸ケーブル

A.Schelknoff氏らは、1933年、同軸ケーブルの概念を発表。  
1940年から試験運用を開始

本格的実用化は第2次世界大戦後

現在、同軸ケーブルは、電話線、テレビアンテナケーブル等に広く使用  
通信の基幹回線の主役は通信容量の関係から光ファイバー



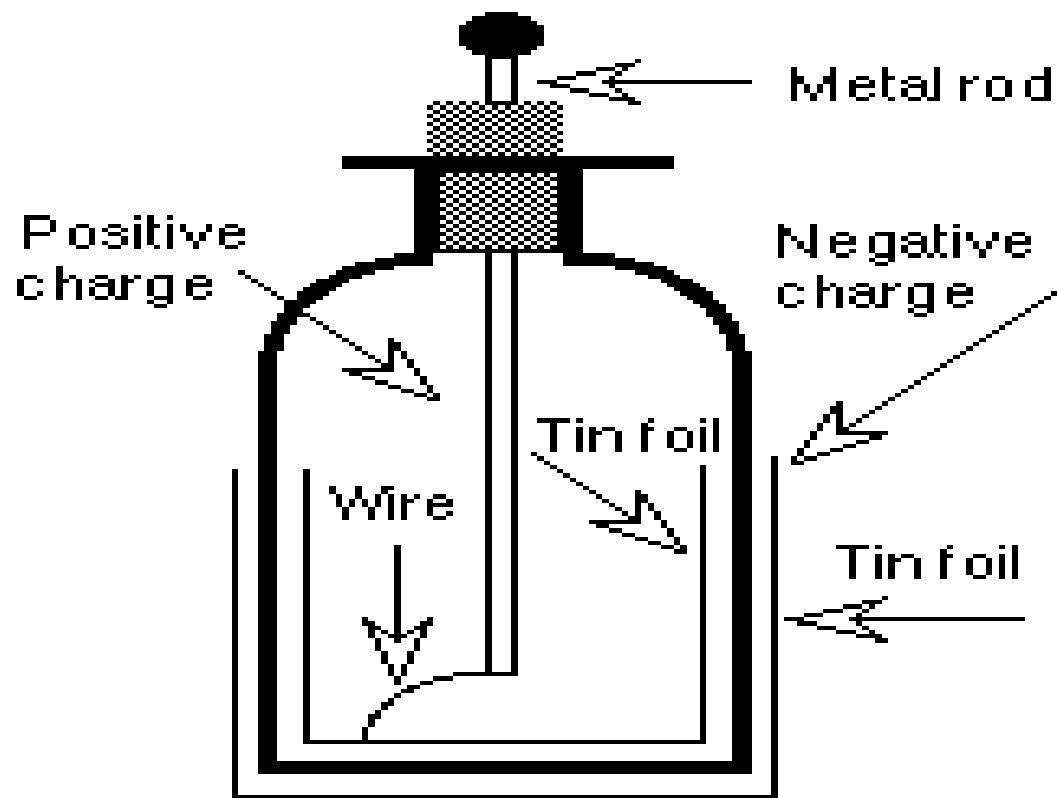
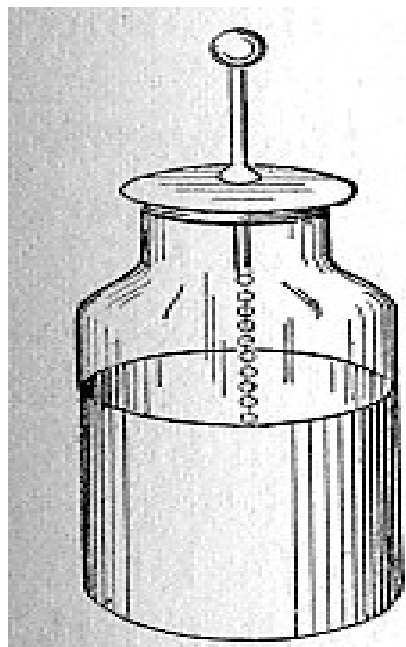
# 電池の歴史

## ライデン瓶

静電気をためる瓶

エヴァルト・ゲオルク・フォン・クライスト

(コンデンサー)



Leyden jar

# 電池の歴史

1780年

ルイージ・ガルヴァーニ  
(イタリアの医師、解剖学者)

解剖したカエルの足の筋肉に電気を通じることで、筋肉が痙攣



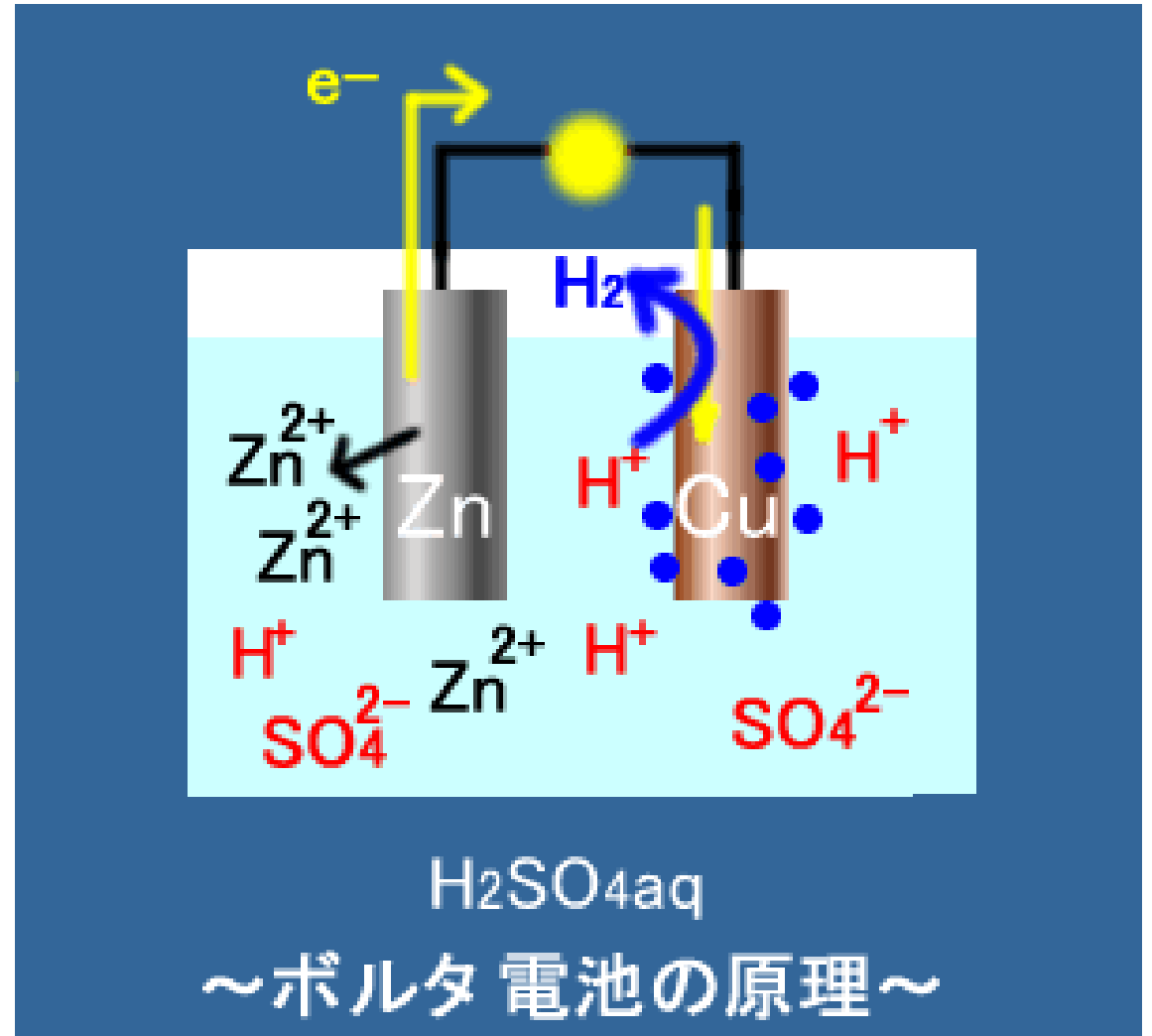
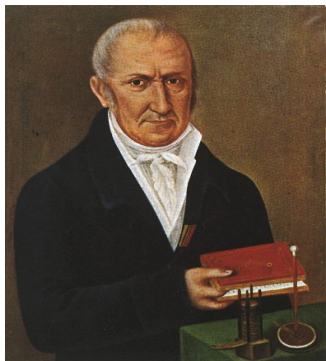
# ボルタ電池

1800年

(-)Zn|H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>aq|Cu(+)

負極 Zn → Zn<sup>2+</sup> + 2e<sup>-</sup>

正極 2H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub>



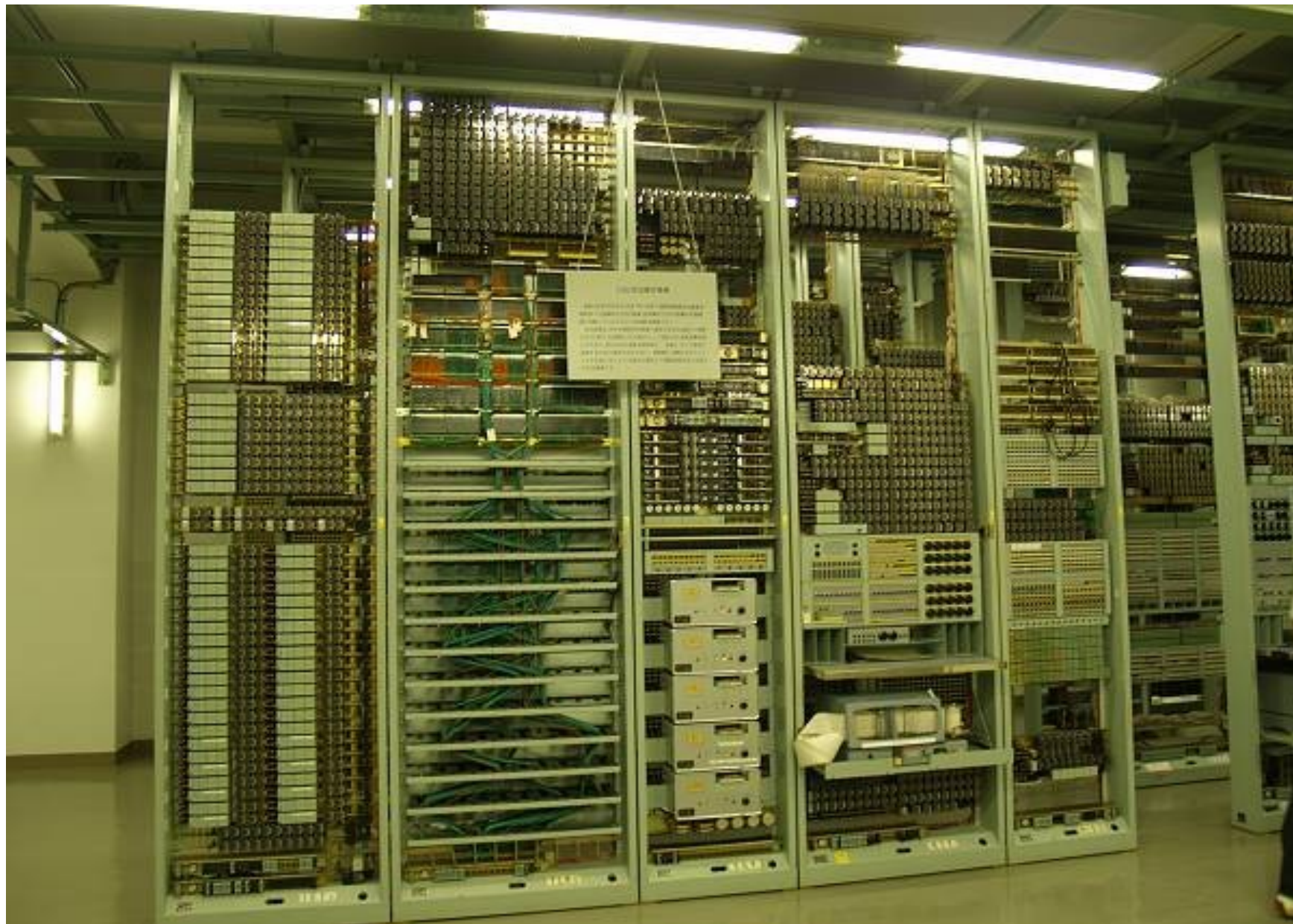




黒電話

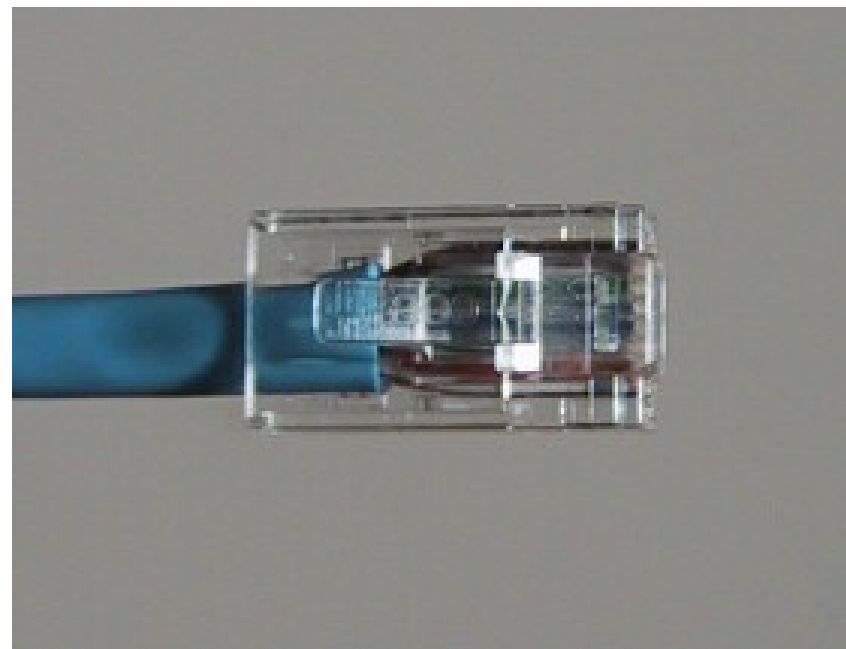
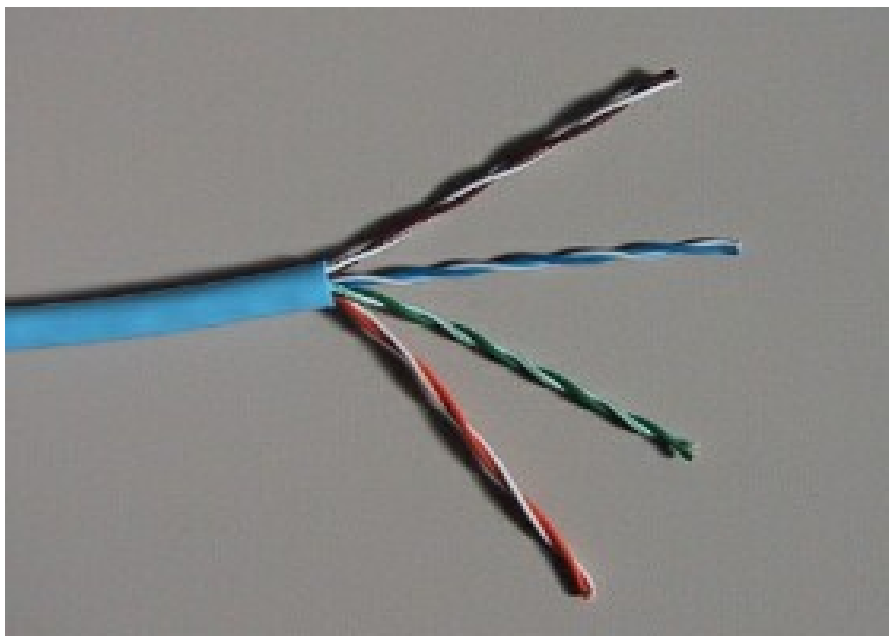


手動式交換器



全自動交換器

# LAN ケーブル



着目：より線

# 光ファイバー

イギリスのカオ

光ファイバの不純物を十分取り除けば低損失で光を伝送

1970年 米国のコーニング

20dB/kmの低損失光ファイバが開発

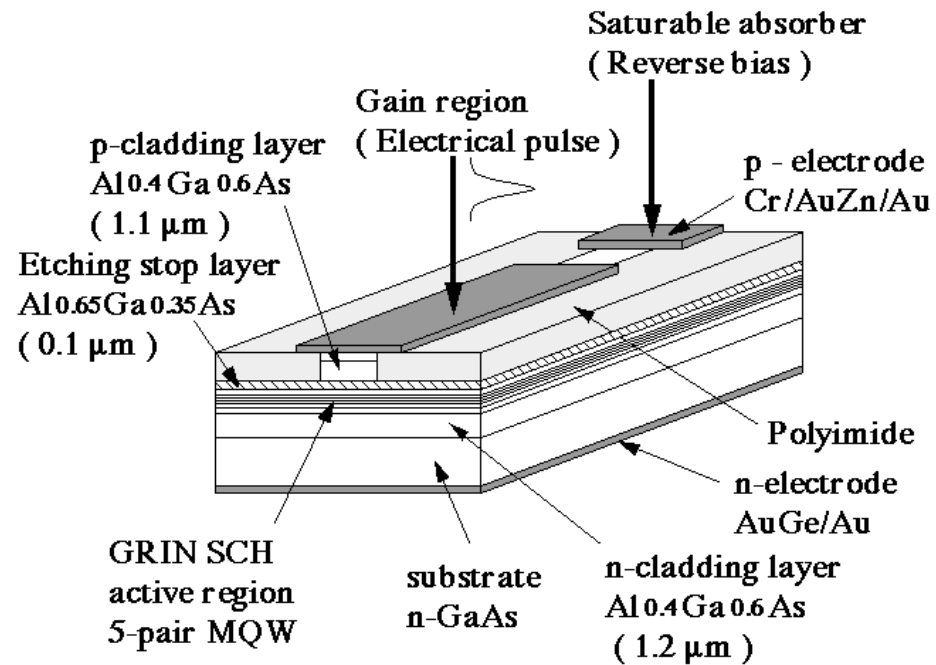


# 半導体レーザー

1970年 AT&TでGaAs系半導体レーザーで室温連続発光に成功

その後 光ファイバの損失が小さくなる波長1.3 $\mu\text{m}$ 帯や

1.55 $\mu\text{m}$ 帯用のInP系長波長半導体レーザーが開発

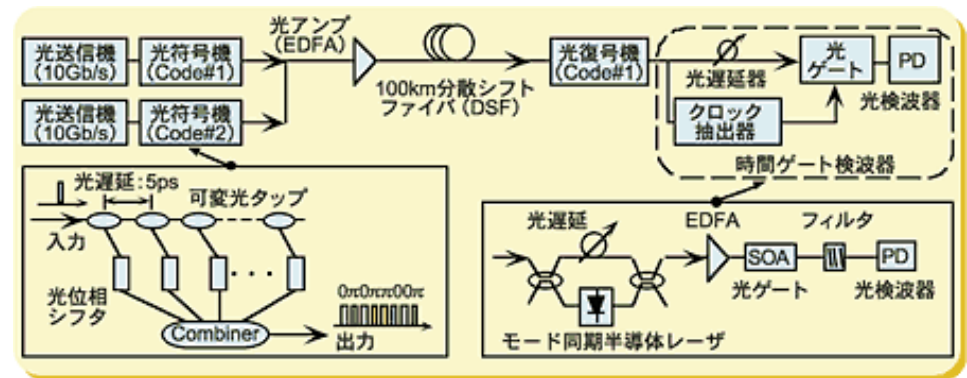
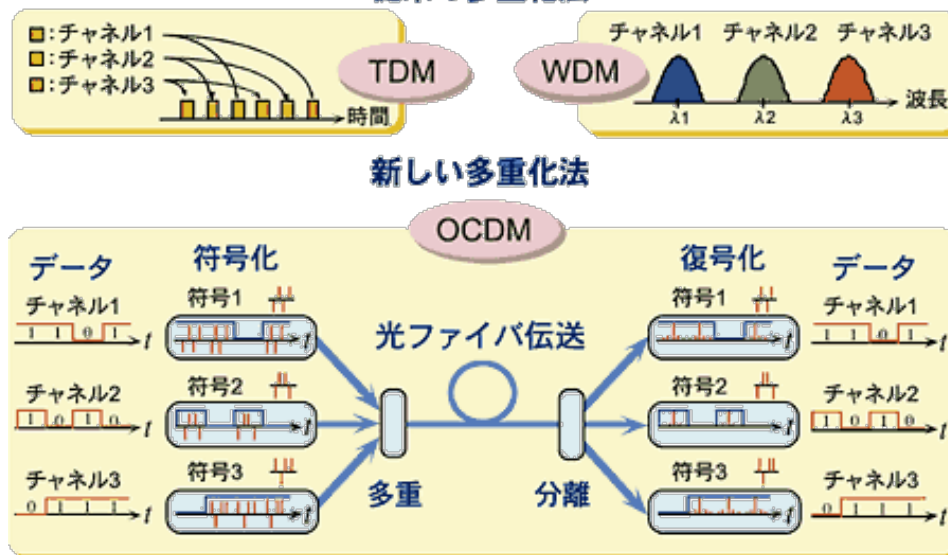


# 波長分割多重光通信

1990年代 周波数や位相を変調する光波通信の研究が開始

複数の波長に情報をのせて多重化する  
波長分割多重光通信システムが開発

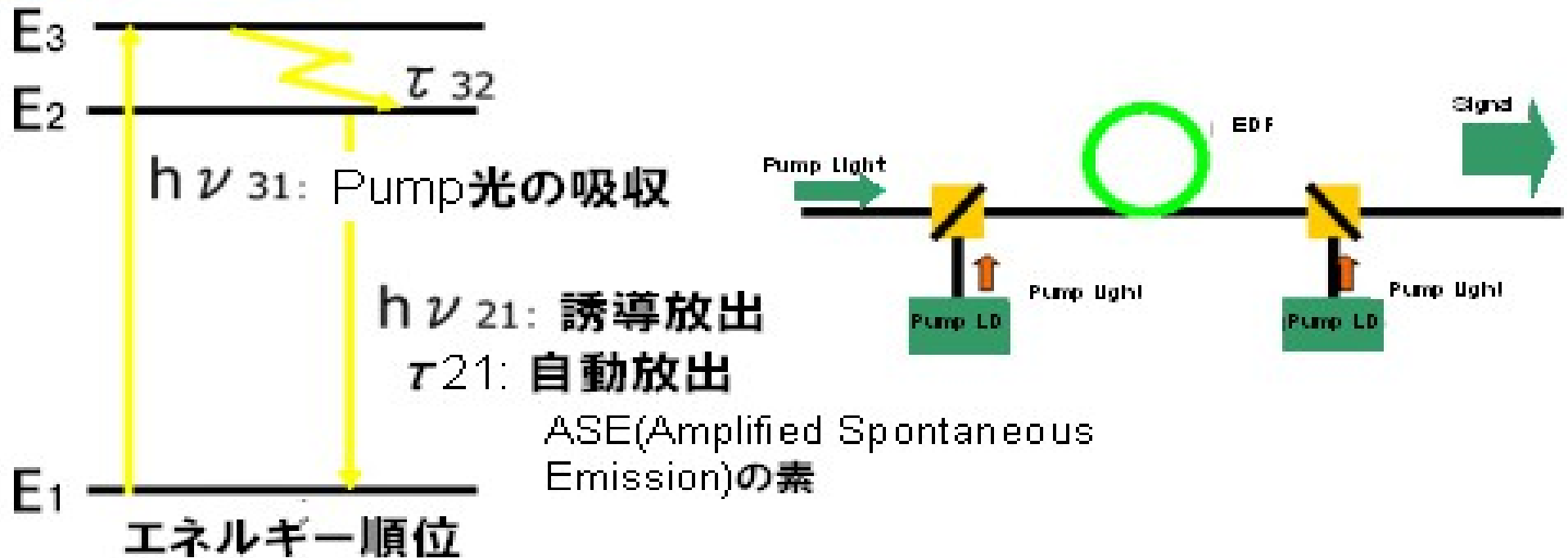
ケーブルあたりの容量が飛躍的に増加



# 光増幅 (Er 添付ファイバ)



## EDFAによる光増幅の原理





# 有線の歴史

感応発電機

ボルタの電池

海底ケーブル

同軸ケーブル

光ファイバー

ゴム

モールス符合

半導体レーザ

多重

光増幅

# 無線通信技術の歴史

1864年 マクスウェルの電磁方程式

古典電磁気学を確立

電磁波の存在を理論的に予言

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{i}$$

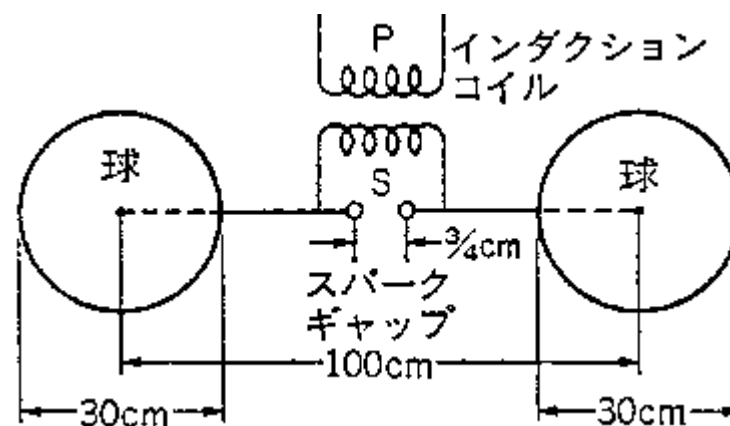
$$\left. \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{i} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} \\ \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \end{array} \right\}$$

# 無線通信技術の歴史

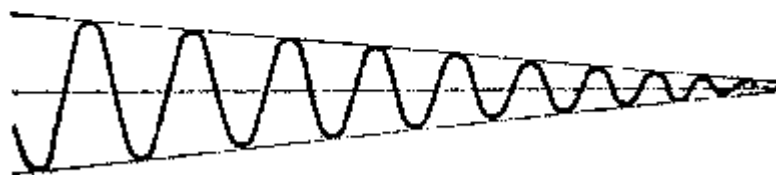
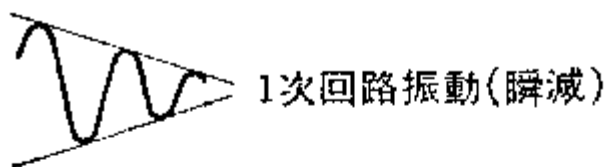
無線通信

発明者 ヘルツ  
(1888年)

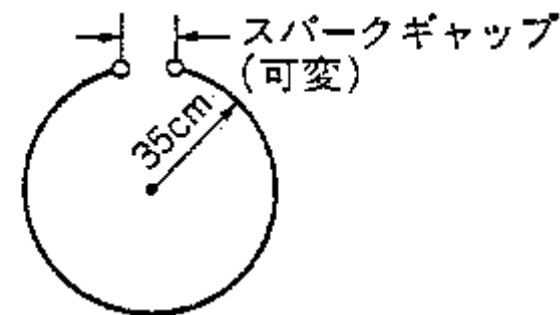
火花式無線機



発信器



2次回路振動  
(単一同調波)



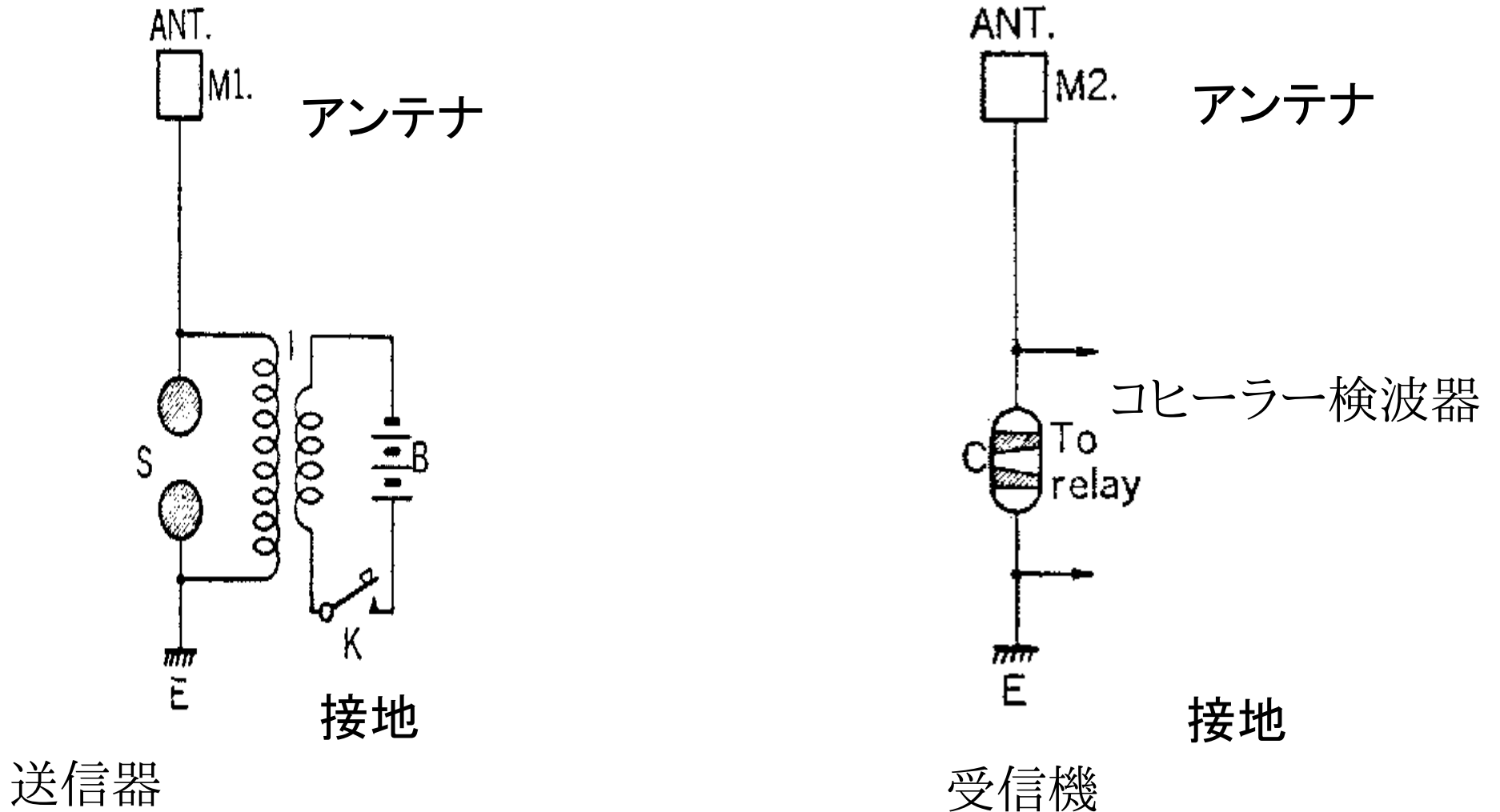
受信機

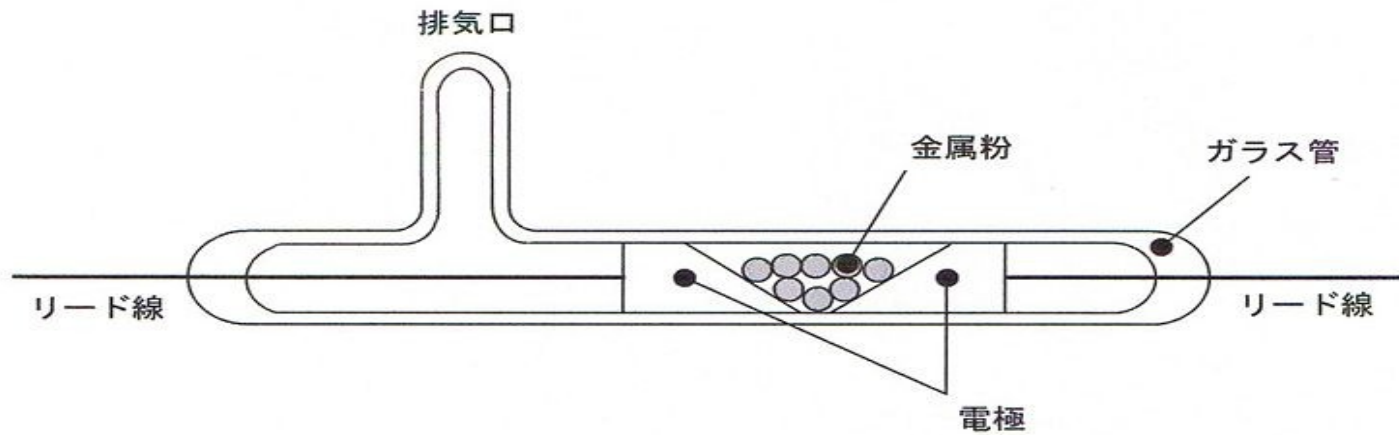
実用化

マルコニー モールス符号による無線電信通信に成功

(1895年)

### ポイント アンテナ と 接地





初期の実用型コヒーラ構造



金属粉末に高周波が到来すると電気抵抗が激減、直流電流が流れる現象

# 日本海海戦1905年

哨戒艦「信濃丸」36式無線機  
「敵艦隊見ユ、456地点、信濃丸」

明治33(1900)年	実験開始
明治34(1901)年	三四式無線電信機
明治36(1903)年	三六式無線電信機

SOS(世界初)

1912年4月14日

タイタニック号

大西洋上ニューファウンドランド沖で

氷山に衝突し沈没

タイタニック号から発せられたモールス信号

# 音声式無線通信

世界最初の無線電話 1912年  
鳥潟・横山・北村 TYK式  
音声式無線通信に成功

信頼性が低い



# 無線の3要素

増幅装置が必要  
(真空管,トランジスタ,OPアンプ)

発信

変調

増幅

# 真空管の発明

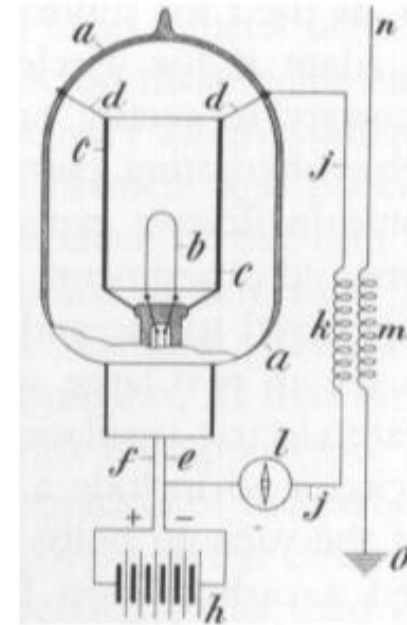
2極管 イギリス人 Fleming 1904年

3極管 米国 DeForest 1906年

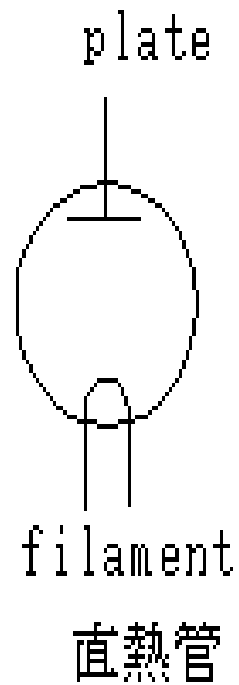
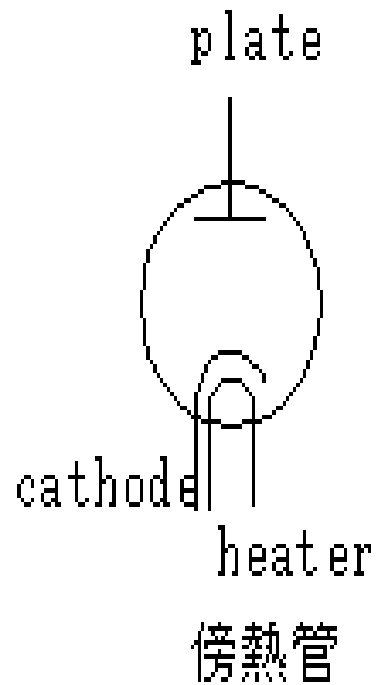
無線の基本技術(発信, 増幅, 変調)の確立

現在のラジオやテレビやアナログ式携帯電話

増幅素子  
真空管→半導体  
方式は無変化



*Drawing of an 'Oscillation Valve' and its associated circuit taken from British Patent Application No. 24850 dated Nov. 16, 1904.*

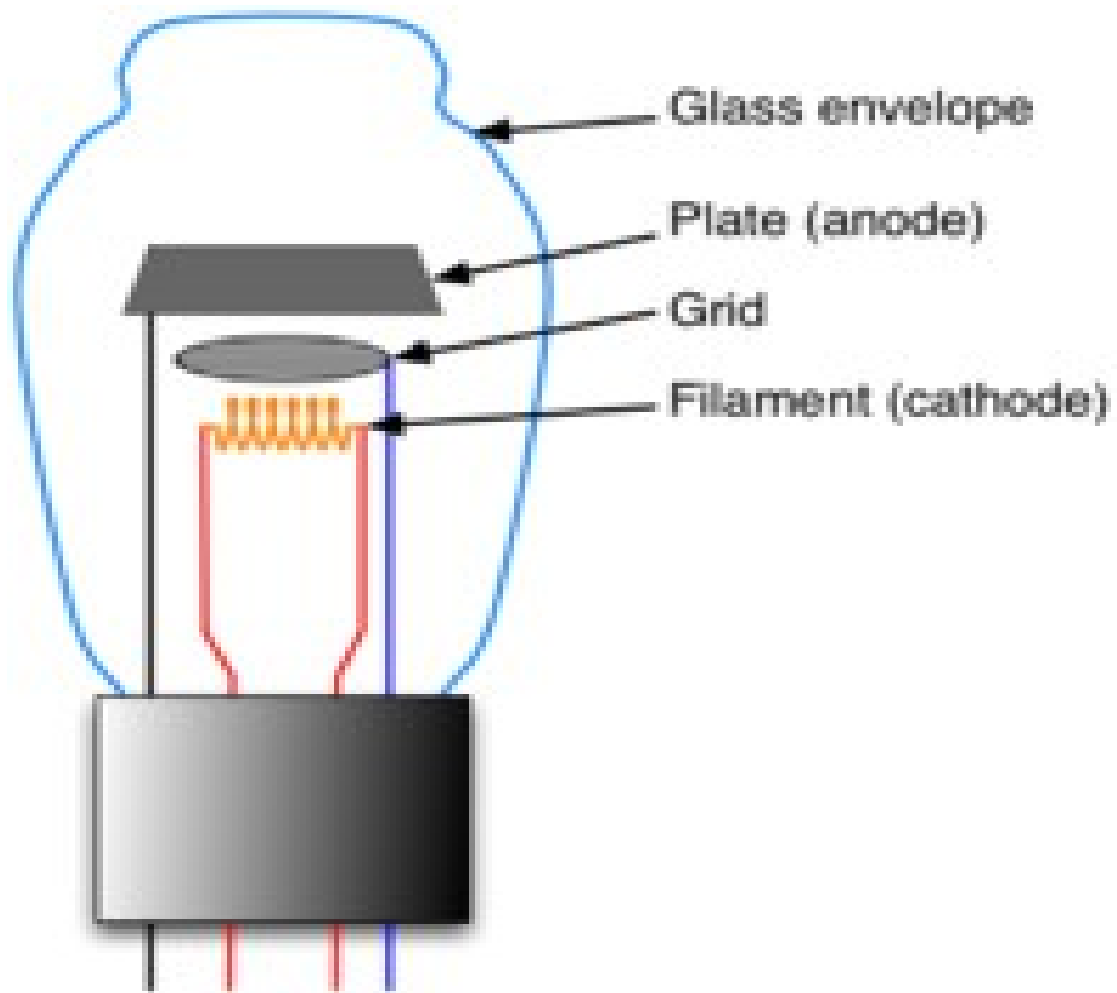


プレートがダイオードの  
アノードに相当する

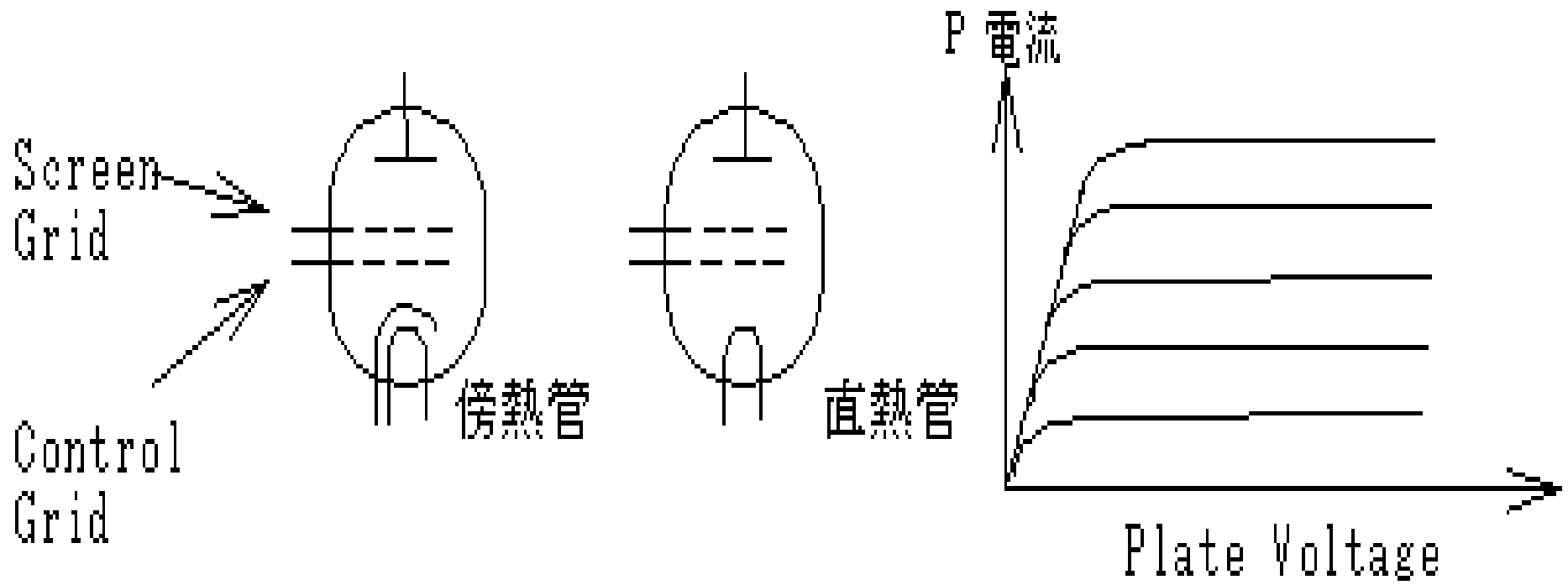
## 2極管の動作原理



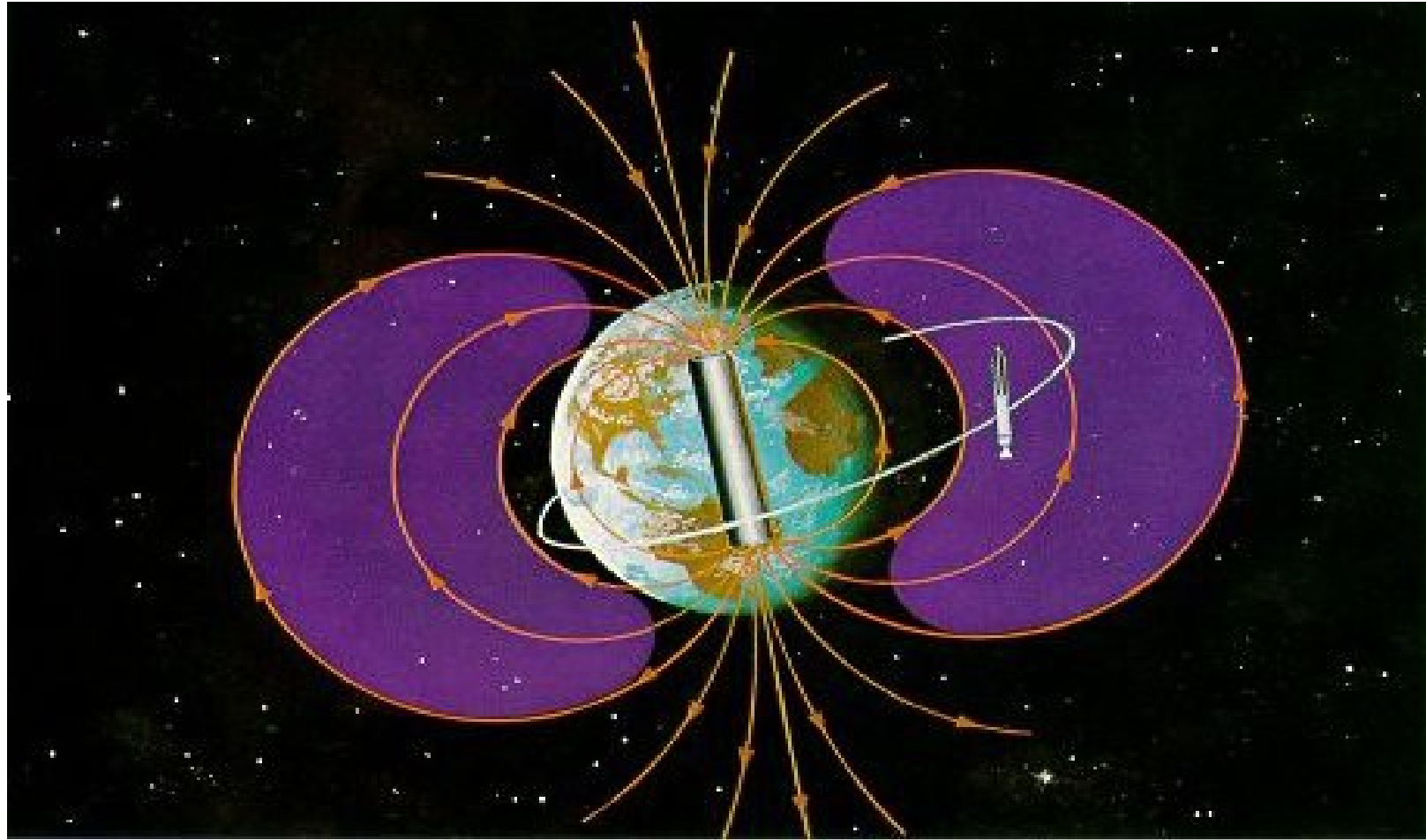
真空管の写真



三極管の構造



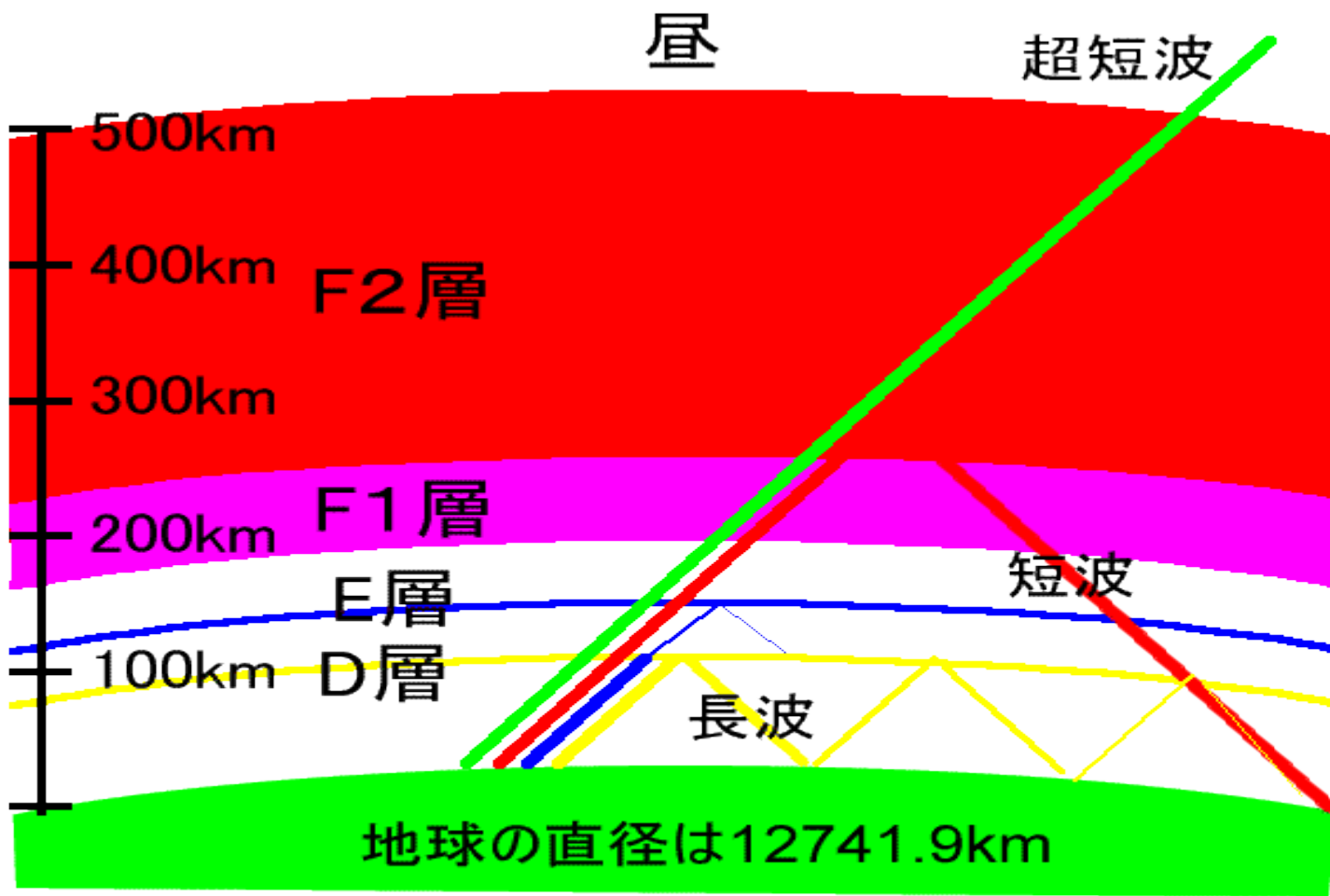
真空管の動作原理



バンアレン帯

内帯:赤道上高度2000~5000km

外帯: 10000~20000km



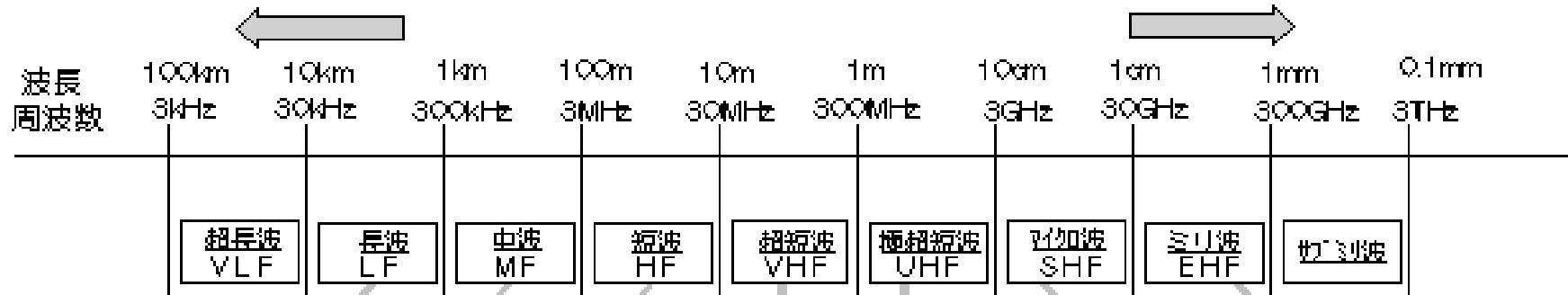
電離層と電波の関係



# 電波の利用実体

直進性が弱い  
情報伝送容量が小さい

直進性が強い  
情報伝送容量が大きい



**長波**  
船舶・航空機用ビーコン  
標準電波

**中波**  
船舶通信  
中波放送 (AMラジオ)  
船舶・航空機用ビーコン  
アマチュア無線

**短波**  
船舶・航空機通信  
国際短波放送  
アマチュア無線

**VHF**  
FM放送 (コミュニティ放送)  
TV放送  
防災行政無線  
消防無線  
列車無線  
警察無線  
陸軍無線  
航空管制通信  
無線呼出  
アマチュア無線  
コードレス電話

**UHF**  
携帯電話  
PHS  
MCAシステム  
タクシー無線  
TV放送  
防災行政無線  
移動体衛星通信  
列車無線  
警察無線  
陸軍無線  
レーダー  
アマチュア無線  
パーソナル無線  
無線LAN  
コードレス電話  
ISM機器

**ミリ波**  
電波天文  
衛星通信  
衛星放送  
加入者系無線アクセス  
レーダー

**マイクロ波**  
マイクロ波中継  
放送番組中継  
衛星通信  
衛星放送  
レーダー  
電波天文・宇宙研究  
無線LAN  
加入者系無線アクセス  
DSRC  
ISM機器

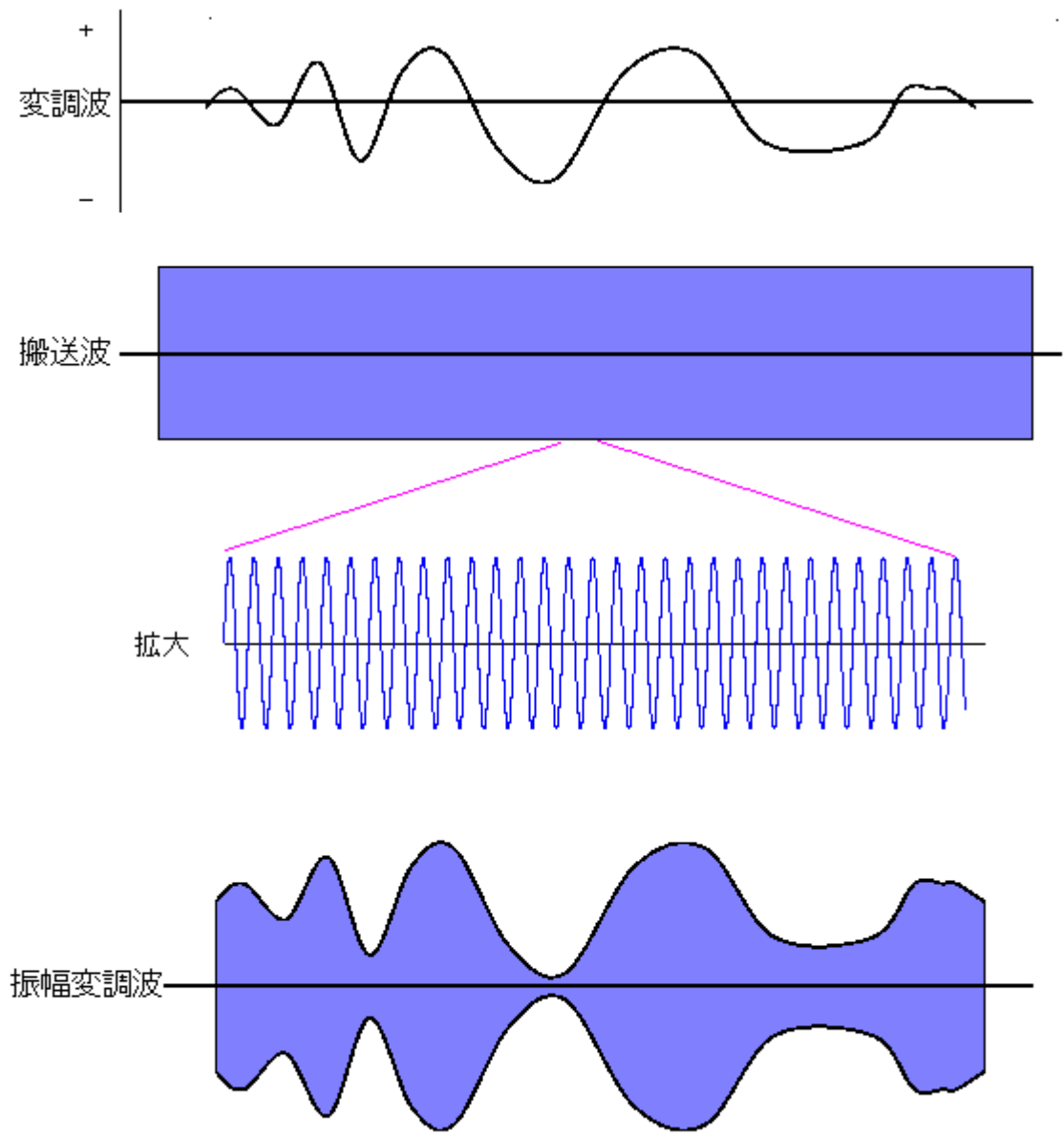
# 変調方式

アナログ変調  
(電話, 放送)

デジタル変調  
(データ)

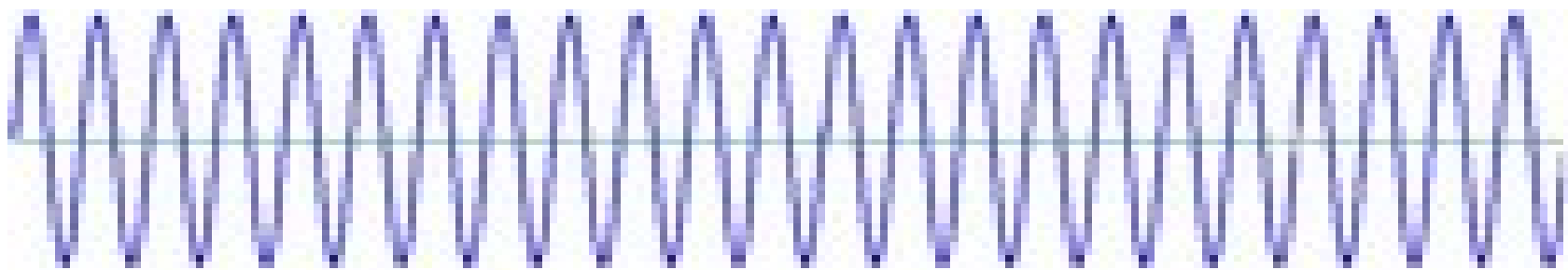
(振幅変調)      AM  
(周波数変調)    FM  
(位相変調)      PM

ASK  
FSK  
PSK

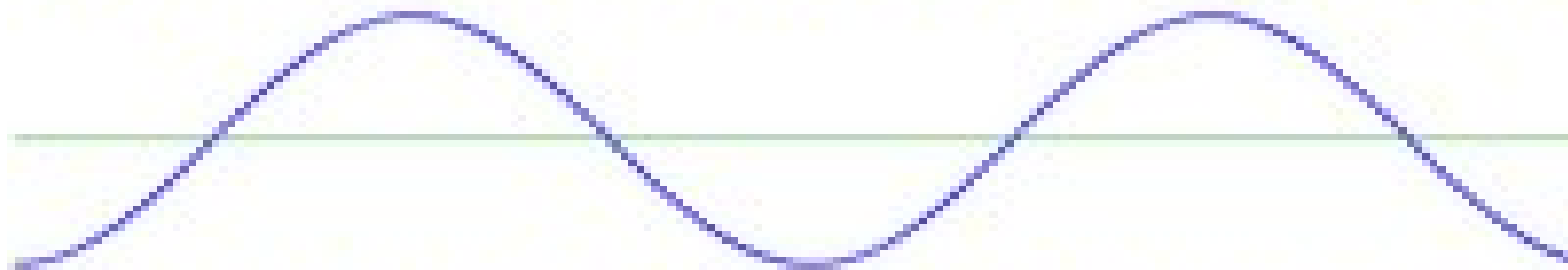


振幅変調方式 (アナログ AM 短波)

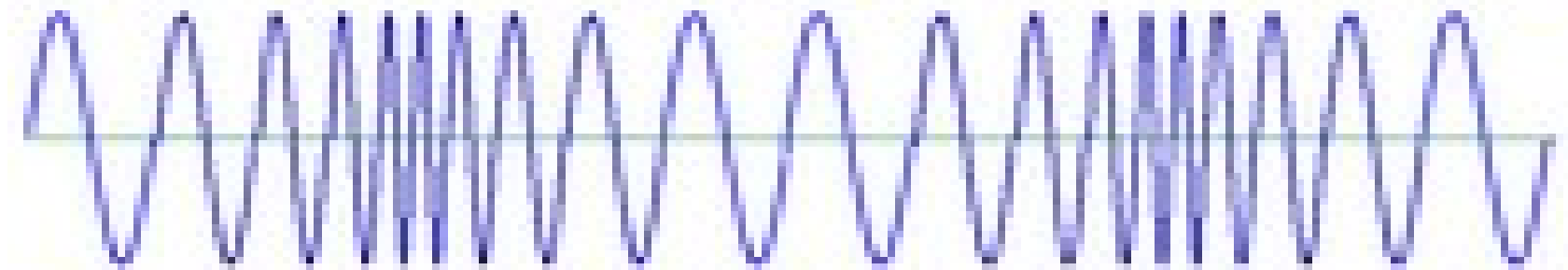
搬送波



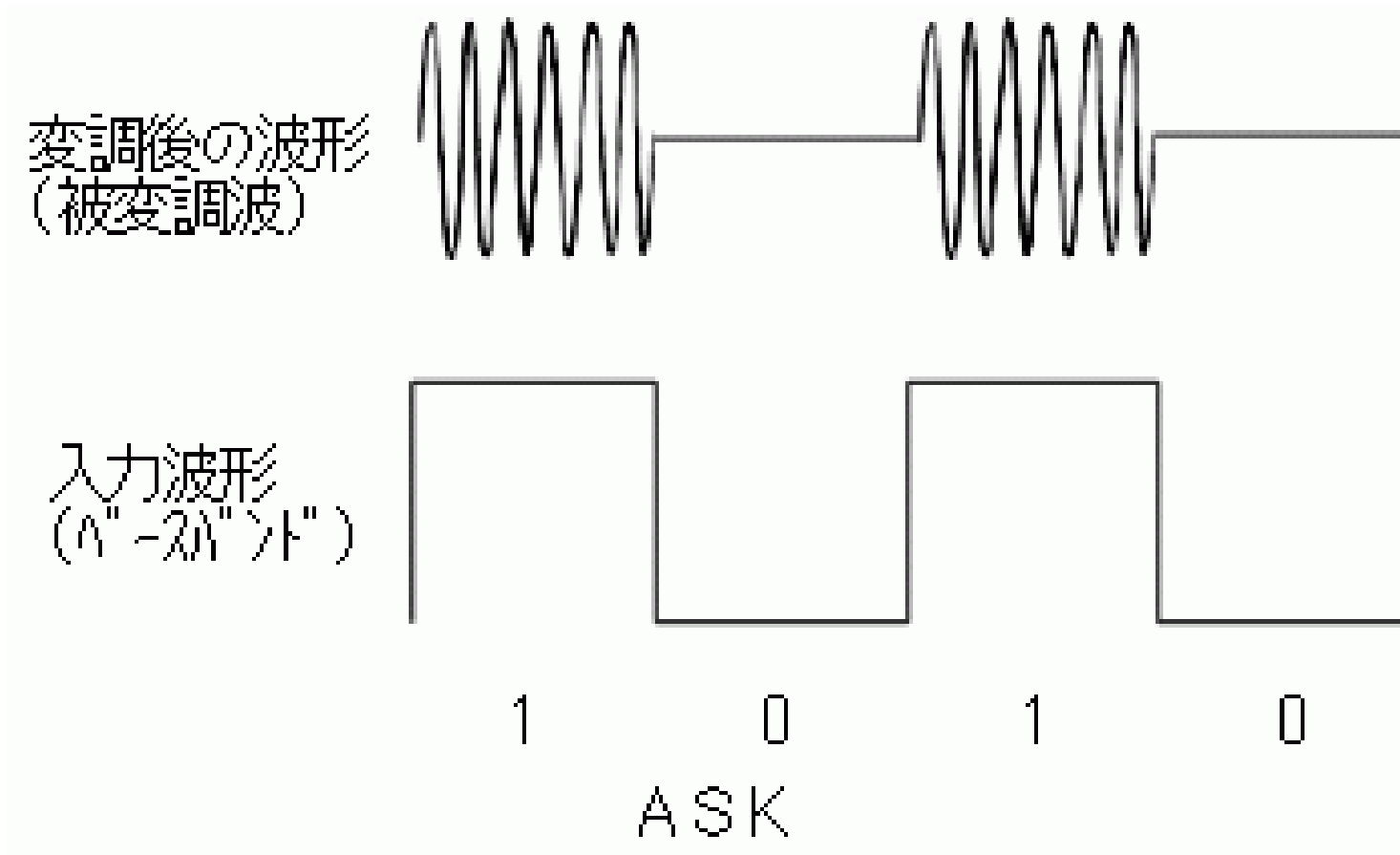
信号波



変調波



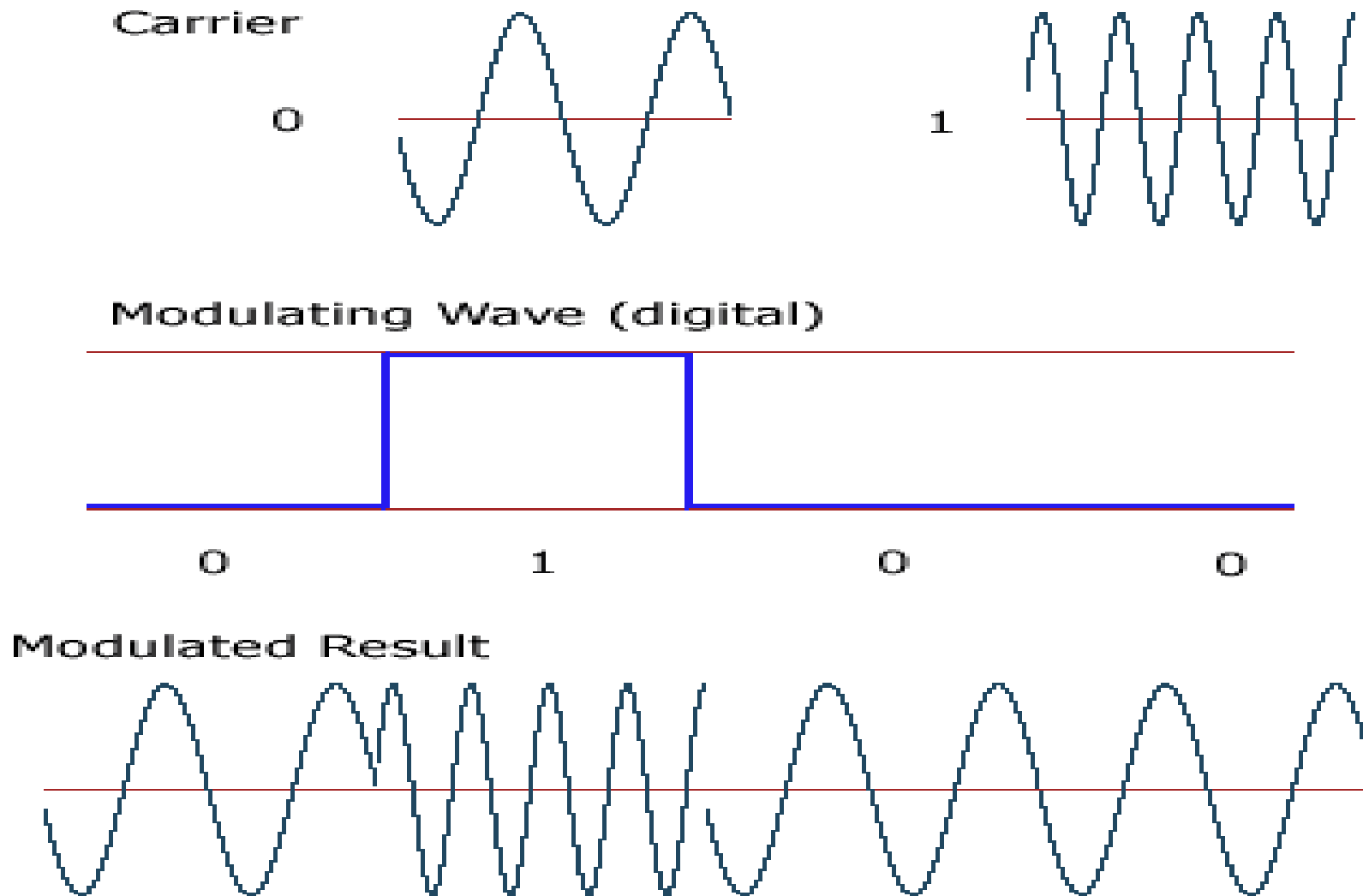
周波数変調方式 (アナログ FM)



振幅変調方式(デジタル) 50bit/s

# 周波数変調方式(デジタル)300bit/s

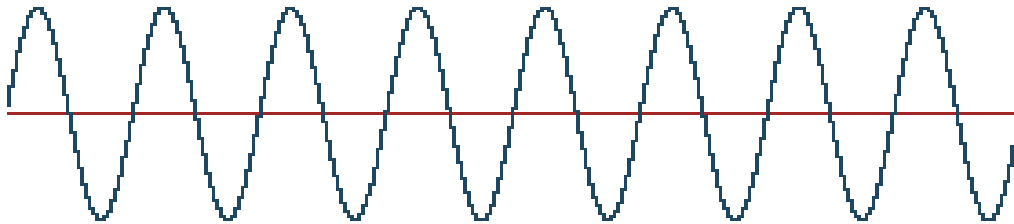
From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2007 The Computer Language Co. Inc.



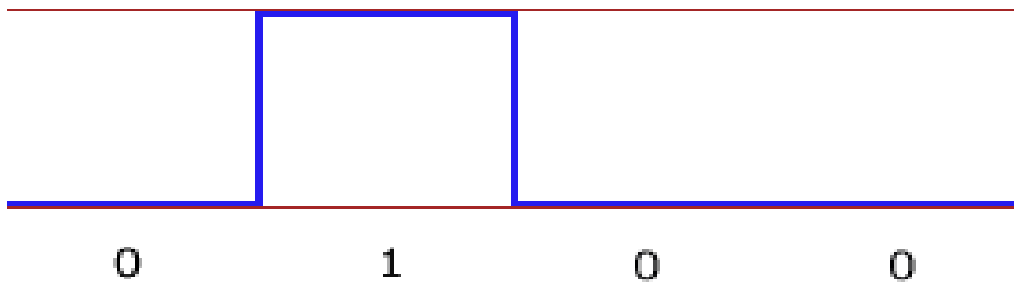
# 位相変調方式(デジタル)9600bps/s

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2007 The Computer Language Co., Inc.

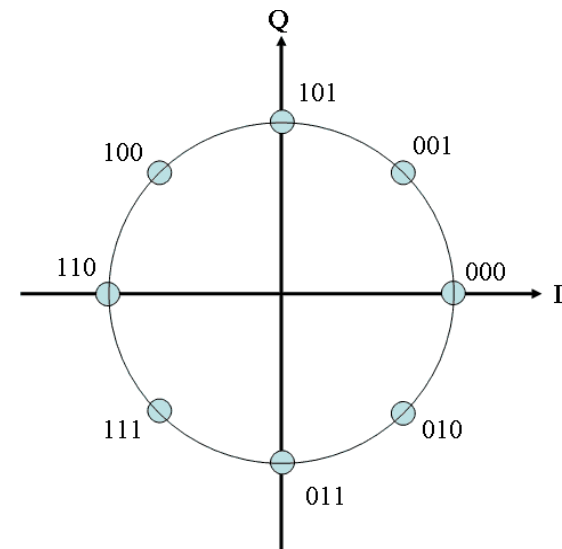
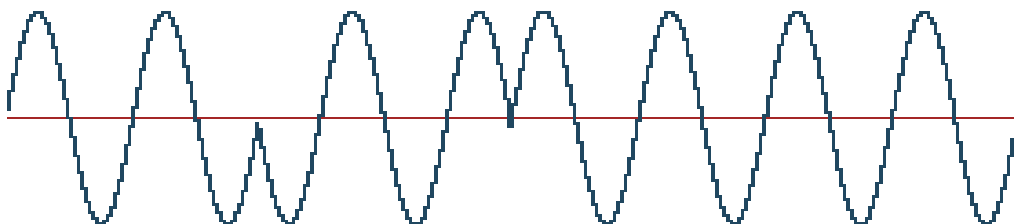
Carrier



Modulating Wave (digital)



Modulated Result

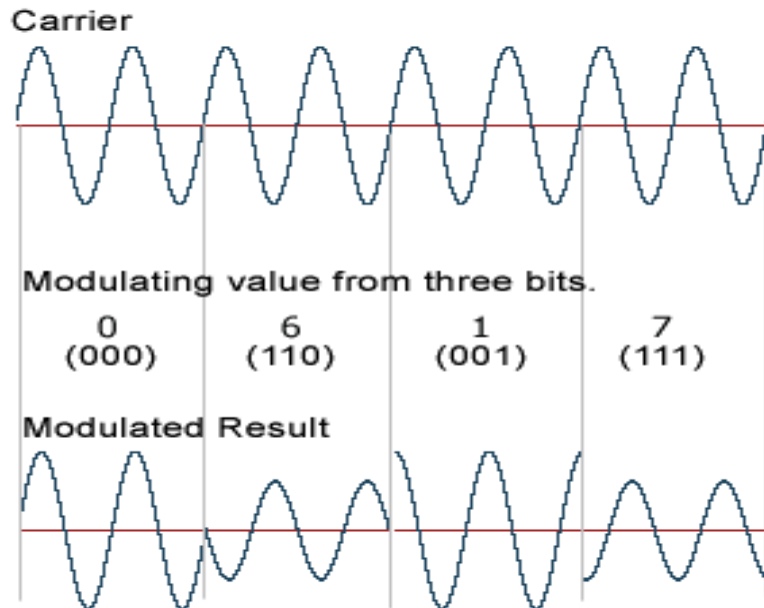


# 直交振幅変調(QAM)

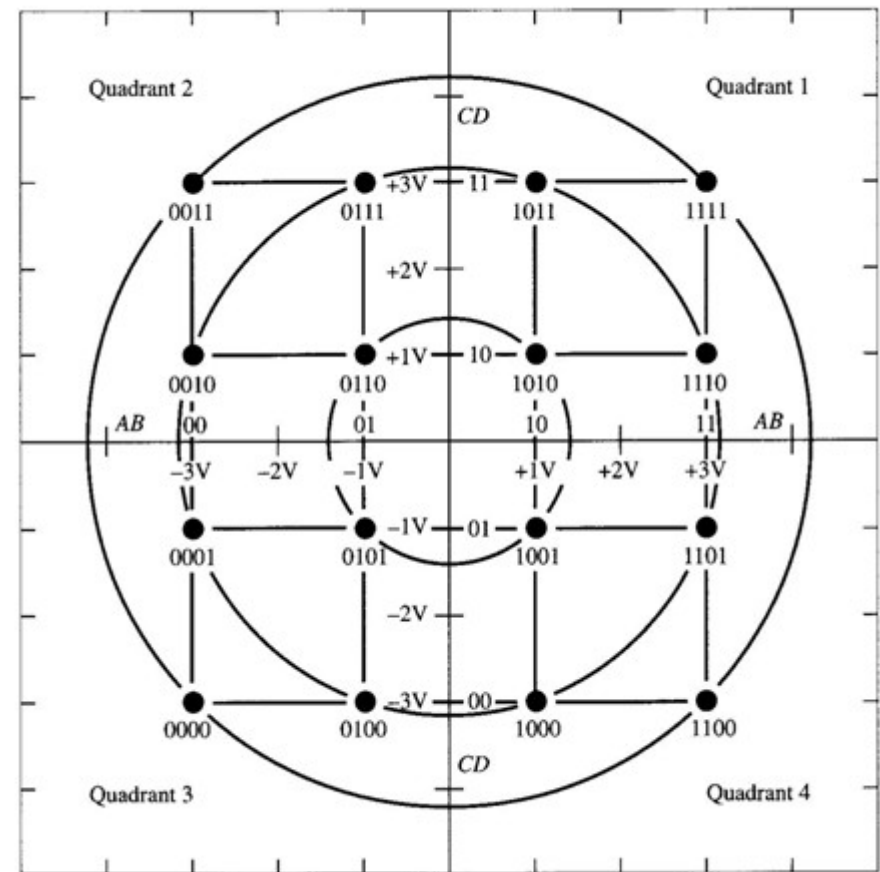
互いに独立な2つの搬送波の振幅と位相を変調

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2007 The Computer Language Co. Inc.

## DIGITAL QAM (8QAM)



Note: Only four (0, 6, 1 and 7) out of the eight possible modulation states (0-7) are shown in this illustration.





# 直交周波数分割多重方式

# OFDM

マルチキャリア方式

お互いのサブキャリアが直交  
サブキャリアはQAM変調

サブチャネル同士の混信なし

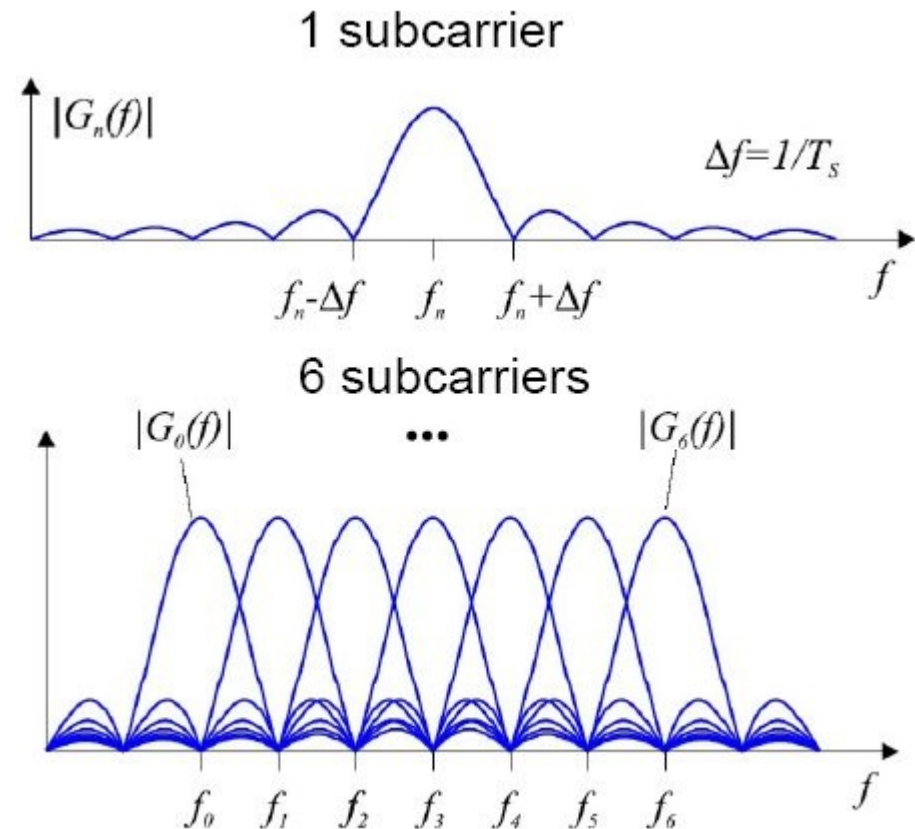
高いスペクトル効率が得られ、理論上の限界

使用例:

ADSL

無線LAN (IEEE 802.11a以降)

地上波デジタル



# スペクトル拡散方式

基本がデータ通信 音声もデータ通信  
軍用の無線通信方式として研究

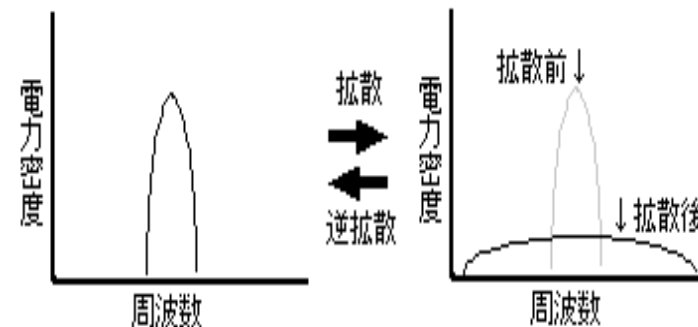
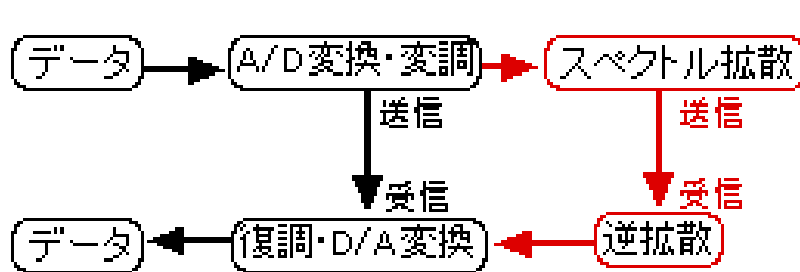
## 特徴

非常に盗聴されにくい, 雑音に対しても強い.

## 商用化

1990年代にアメリカのクアルコム社がCDMAとして実用化に成功

## 無線の主流





自動車電話



大阪万博 ワイヤレスホン



ショルダーフォン 1988年

# 携帯電話の歴史



TZ-802型



TZ-803型

NTTのアナログ方式携帯電話

1989年



# 無線の歴史

マックスウェルの電磁方程式      予測

ヘルツ      発見

マルコニー      商用化

真空管      技術的な確立

トランジスタ      (シリコン)

FET      (シリコン GaAs InP GaN)

# データ通信

## 個別方式

異なるコンピュータ間のデータ通信プロトコル

## 標準化

OSI(Open System Interconnection)  
ISOにより標準化  
通信機能の階層構造.  
OSI基本参照モデル

通信機能を7階層に分け, 各層ごとに標準的な機能モジュールを定義

現在, IPプロトコルによるデータ通信が主流

第7層 アプリケーション層 application layer	業務に依存した処理 アプリケーションからの要求を受け付け、 それに応じた伝送を行なう。
第6層 プレゼンテーション層 presentation layer	表現方法の取り決め データ形式の違いを変換する。文字コード や暗号化, 圧縮などもこの層に含まれる。
第5層 セッション層 session layer	業務の開始, 終了の取り決め アプリケーション間の手順に従って対話を 制御する。
第4層 トランスポート層 transport layer	アプリケーション同士の電文の送受信 伝送を行なうエンドシステム間で直接対話 を行なう。TCP, UDP など。
第3層 ネットワーク層 network layer	コンピュータ同士の電文の送受信 複雑に構成されたネットワークの中から経 路を選択し, データを中継する。単なる中継 システムの場合には, 一般にこの層までの機 能を持つ。IPなど。
第2層 データリンク層 data link layer	隣接ノードに1bit転送 物理的に直接結ばれた同士でデータの伝送 制御を行なう。多くの場合エラー訂正機能に 等の伝送制御機能を持つ。 Ethernet や PPP など。
第1層 物理層 physical layer	伝送路の物理特性 物理メディアを直接制御する部分。物理メ ディアによって制御の方法は異なる。シリア ル/パラレル変換や, 同期/非同期変換, 変 調などの制御もこの層に含まれる。

# IP プロトコル

DARPAによる, 対核戦争用のデジタル通信術を想定

基本は電報の配達方式

UNIXと密接に結び付いて,  
全世界をカバーし, 現在に至る.

レイヤ	ネットワーク・プロトコル名			
第7層 第6層 第5層	ネットワークOSやLANアプリケーション NetwareのようなNOSの他, HTTP,FTP,TELNETなども該当. FTP,HTTP,SMTP 等多くのプロトコルは5,6,7層を含んでいる			
第4層	TCP	UDP	IPX	SPX
第3層	IP		NetBEUI	AppleTalk
第2層	Ethernet (IEEE 802.3)	Token Ring (IEEE 802.5)	FDDI,TPDDI (ANSI X3T9.5)	LocalTalk
第1層	より対線	同軸	光ファイバ	



IP V6

IP/V4のアドレス枯渇問題

今後IP/V6

ただし. IP/V6は, 現在完全に標準化されていない.

streamの機能

IPプロトコルによる放送が容易

## 今後のコンピュータと通信

今後コンピュータは、ますます通信技術と結合

基本技術は無変化

ハードウェア

ソフトウェア

プロトコル

有線

無線

半導体の微細加工技術,

UNIX

IPプロトコル

光ファイバー

OFDM

## 今後の自動車における情報処理技術の予測

従来 コンピュータによる制御

機械で制御していた装置 → コンピュータで処理

例 キャブレター → 電子噴射装置

今後 コンピュータと通信

自動車電話(携帯電話)

GPS

## 今後の予測

### 車体

レーダ  
black box

車, 人にぶつからないようにするためにレーダを搭載  
事故の原因究明のための速度や位置を示すデータを

### 保持

### ネットワーク関連

盗難防止装置  
車の整備

自分の車が現在位置を通報  
ネットワークを通じて, 車の診断および応急修理

### SF

オートパイロット

目的地を示すだけで, 自動的に運転

## 提言

コンピュータのハードウェアの進歩→非常に早い.  
時代とともにコンピュータ → より高速に, より大容量  
通信方式 → より高速

### 基本技術:無変化

ハードウェア 半導体の微細加工技術,  
ソフトウェア UNIX,  
プロトコル IPプロトコル  
有線 光ファイバー  
無線 スペクトル拡散方式

商業的には, この点から考えられる実サービスが今後広まっていくと考えられる

