

## アナログとデジタルの技術と歴史

### 那須科学歴史館

館長 田澤勇夫

2024/09/21,22

1. 20世紀前半までのデジタル技術の歴史
2. 20世紀後半から急速に進むデジタル化の歴史
  - 2-1. 1970年代に登場した電卓とデジタル腕時計
  - 2-2. ラジオ技術のデジタル化の具体例
  - 2-3. テレビ技術のデジタル化の具体例
  - 2-4. オーディオ技術のデジタル化の具体例
  - 2-5. 計測技術のデジタル化の具体例
3. 21世紀のデジタル化社会
  - 3-1. ネットワーク型有線通信の概略史
  - 3-2. 日本のデジタル革命の歴史
  - 3-3. AI技術の歴史

## 1. 20世紀前半までのデジタル技術の歴史

パスカル、ライプニッツの歯車式計算機(17世紀中頃)



B. Pascal  
1623- 1662



歯車加減算機(1649年 パスカル)



G. W. Leibniz,  
1646 - 1716



歯車式乗除算機(1674年 ライプニッツ)



ライプニッツは**二進法**を導入

## ブール代数(1844年)

19世紀中旬、ブールは著作「論理の数学的分析」(演繹的推論の計算)により明らかにした代数論理数学の代表的な概念である。

論理を1(真)と0(偽)の2値で表す。



Boole,  
1815-1864

任意の集合X, Y, Zに対して、次の法則(公理)が成り立つとき、それらをブール代数という。

- (1) 交換律:  $X+Y=Y+X$   $X*Y=Y*X$
- (2) 分配律:  $X+(Y*Z)=(X+Y)*(X+Z)$   $X*(Y+Z)=(X*Y)+(X*Z)$
- (3) 同一律:  $X+0=X$   $X*1=X$
- (4) 補元律:  $X+X'=1$   $X*X'=0$



### 演繹的推論が計算可能

例えば、3段論法

人間は哺乳類である。  
哺乳類は動物である。  
よって、人間は動物である。

も、ブール代数による演繹的推論により導くことができる。



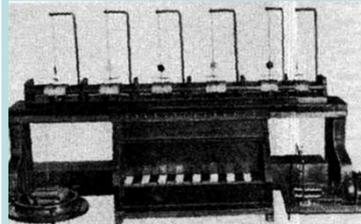
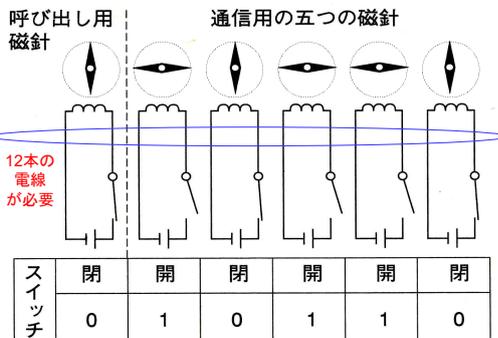
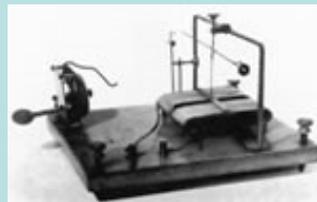
21世紀の現代においてもコンピュータの基礎は変わっていない

## シリングの電信機(1831年) - 最初のデジタル式情報通信機

1831年、シリング(ドイツ)は電磁式電信機を発明した。

電池につながれたスイッチをON/OFFすることにより離れた所の磁石が横(1)/縦(0)になり、これの5桁(2進法で $2^5=32$ )の組合せでアルファベットを表した。

この段階ではデジタル通信の特徴の1つである直列逐次ではなく並列型である。



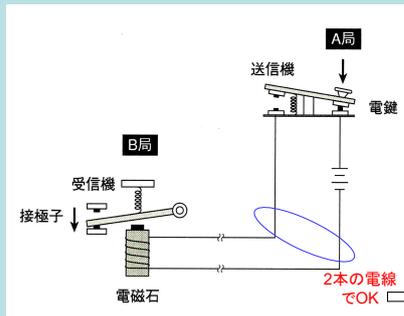
## モールスの電信機(1837年)



S. Morse  
1791-1872

1837年、画家であったモールスはモールス式電信機を発明した。  
時系列的に流れてくる短(点)長(線)の組合せによる符号により文字や記号を表わし(符号化)、伝送する電線が1組ですむことになり、世界に広く普及した。(直列逐次)

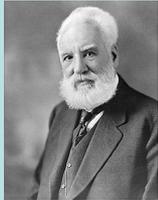
その後、モールスはウェスタン・ユニオン社に招かれ  
アメリカの電信事業をほぼ独占し、富と栄誉を得た。



イ	レ	コ	1
ロ	ソ	エ	2
ハ	フ	ク	3
ニ	ホ	ア	4
ホ	ナ	マ	5
ヘ	ラ	キ	6
ト	ム	ユ	7
チ	ウ	ノ	8
リ	ケ	シ	9
ヌ	メ	ツ	0
ル	オ	カ	1
ヲ	ク	ヒ	2
ワ	ヤ	ミ	3
カ	マ	セ	4
ヨ	ケ	ス	5
タ	フ	シ	6

信号線の数の減少は  
実用上、非常に重要

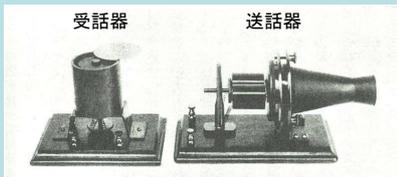
## ベルの電話機の発明(1876年)



Graham Bell  
1847-1922

音声学教授(祖父と父も)であったベルは1876年、送話器に向かって「ワトソン君、ちょっと来てくれないか」と話し、隣室で受話器に耳を当てていたワトソン助手は驚いて、「何か用ですか」と顔を出し、その瞬間に電話機が発明された。

その後、ベルはベル電話会社をつくり、後に世界最大の通信企業・アメリカ電話電信企業(AT&T)に発展。



100年祭万博で展示された電話装置



実験室にいるベルとワトソン(絵画)

音声信号(アナログ)を伝送するには幾つかの要素技術の発展が必要であった

## マルコニーの大西洋横断無線通信実験(1899年)



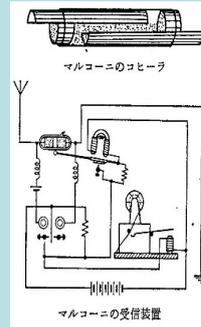
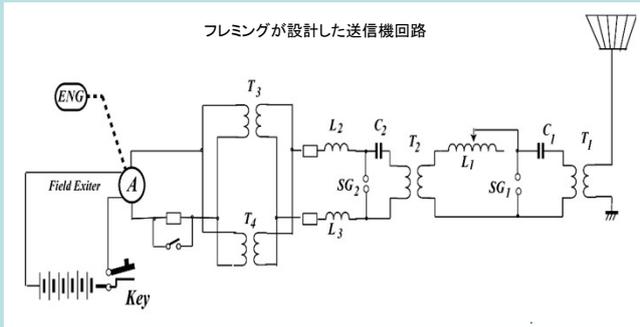
G. Marconi  
1874-1934

1899年、フレミングが設計した送信機により、  
当時、予想していなかった長距離の大西洋横断通信に成功した。

コヒーラーのON/OFFによるデジタル通信であった。



マルコニーの技術の基礎の多くはテスラー、ロτζジ、フレミングら  
によるものであり、電離層により長距離伝送の認識もなかった。



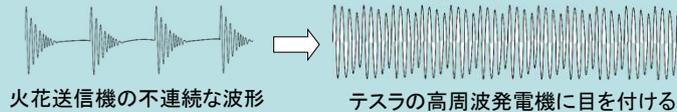
## 回転式火花式音声信号送信機(アナログ)の誕生(1902年)

AM変調の発明(1902年): 電磁波発生方式の改良

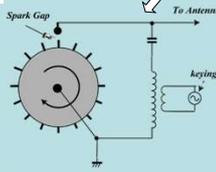
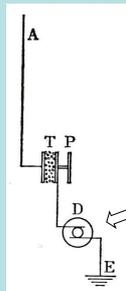


Reginald Fessenden  
1866-1932

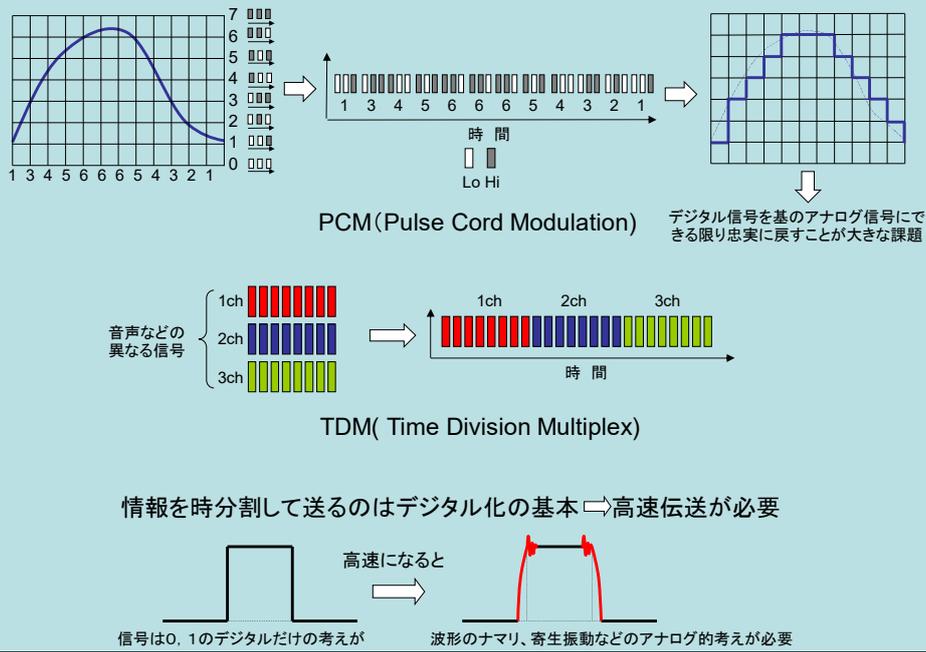
フェッセンデンは火花送信機の不連続な波形では音声信号を送れないが連続波を使えば振幅が変化することで、音声通信が可能と考える。



世界初のラジオ放送(1906年)



## PCM通信(1937年)、時分割多重(TDM)(1853, 1875年)



## 2. 20世紀後半から急速に進むデジタル化の歴史

### 2-1. 1970年代に登場した電卓とデジタル腕時計

 <p>1971年 最初のMC(4004)を用いた電卓 141-PFをビジコンが発売</p>	 <p>1972年 LEDデジタル腕時計 Pulsarをハミルトンが発表</p>
 <p>1972年 2,800円の「カシオミニ」をカシオが販売。</p>	 <p>1973年 液晶デジタルクォーツ腕時計 LC V.F.A.をセイコーが販売</p>
 <p>1973年、 液晶表示装置の本格的な電卓EL-805「エルシーメイト」をシャープが販売。</p>	 <p>1974年 液晶デジタル腕時計カシオトロをカシオが販売</p>

#### ラジオ・テレビ技術

- 1982 NHKがISDB概念を提唱(デジタルTV放送)
- 1985 CCIRにおいてISDBが研究課題となる
- 1990 NHKがBSデジタル・テレビ放送の研究を開始
- 1994 DirecTV(米)がデジタル衛星放送を開始
- 1998 英米で地上波デジタル放送開始
- 2000 米国FCCによりソフトウェア無線が定義
- 2012 日本も地上波アナログからデジタルに完全移行

#### オーディオ技術

- 1877 円筒式蓄音機の発明(エジソン)
- 1925 電気蓄音機の登場(RCA)
- 1972 PCM録音レコードの登場
- 1979 世界初の音楽プレイヤー「ウォークマン」の登場
- 1982 CDの登場
- 1999 SACDの登場
- 2012 ハイレゾ音源の配信

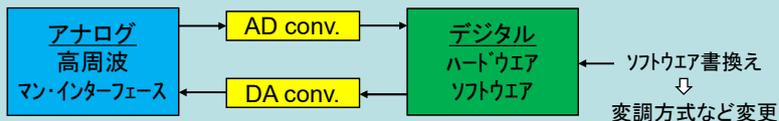
## 2-2. ラジオ技術のデジタル化の具体例

### ソフトウェア無線/デジタルラジオとは

1990年代中頃、東西冷戦終結に伴い軍事通信費の大幅削減に伴い、多種多様の軍事通信システム開発の効率化のため、プログラムにより周波数や変復調方式を容易に変更できるソフトウェア無線の開発のプロジェクト「Speak Easy」が始まる。

2000年12月 米国FCCによりソフトウェア無線が定義(FCC規定の改定案)された。

(定義) ソフトウェアのみの変更により、周波数レンジ、変調方式、送信出力などの動作パラメーターが変えられる無線機



ソフトウェア無線の基本構成

・従来(アナログのみ)の無線機システム

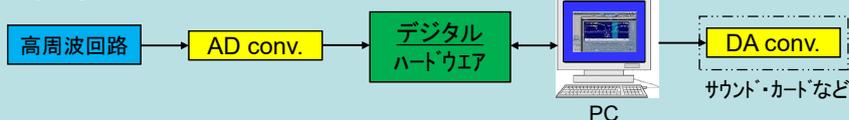


・デジタル化された無線機システム



### SDR(Software Defined Radio)・デジタルラジオのいろいろな形態・分類

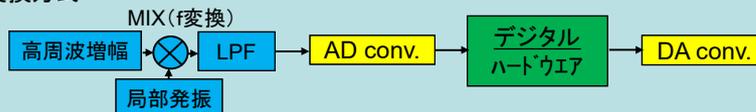
・PCラジオ



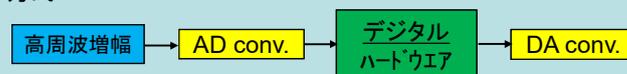
・DSPラジオ



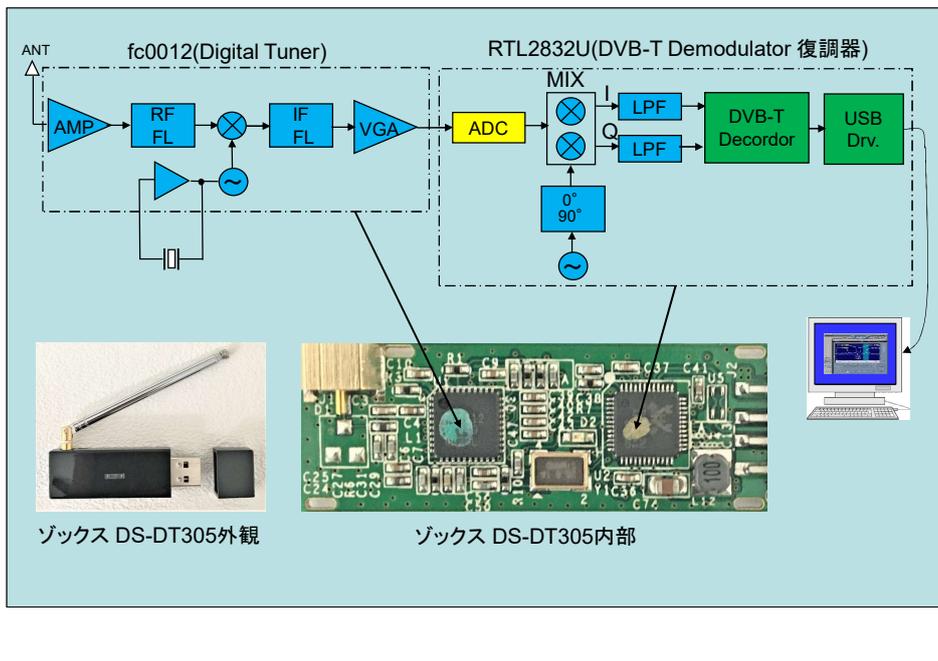
・周波数変換方式



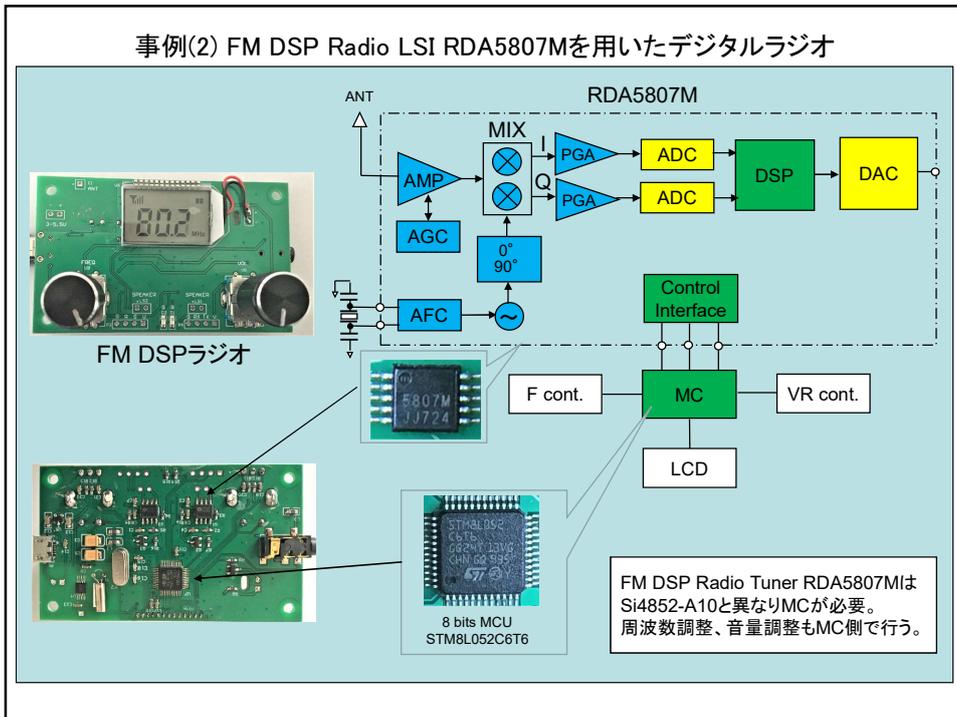
・ダイレクト方式



### SDR・デジタルラジオの事例(1) USBトンネル



### 事例(2) FM DSP Radio LSI RDA5807Mを用いたデジタルラジオ



事例(3) AM/FM両用DSP Radio LSI Si4852-A10を用いたデジタルラジオ

Si4852-A10

ブレッドボード

⑤のチップの性能は✳、③のチップの性能は◎

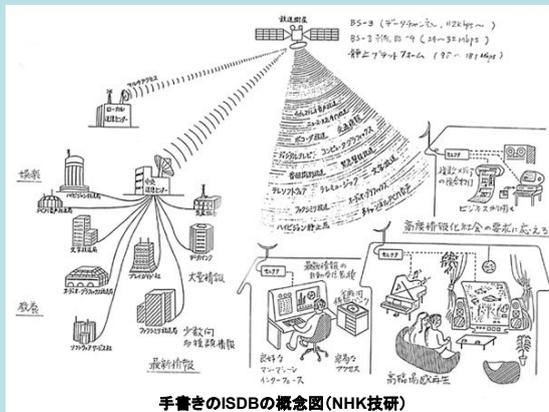
FMの性能は良いが、AMの性能が悪い。音質はアンプとスピーカーに依存

2-3. テレビ技術のデジタル化の具体例

- 1982年 NHKがISDB概念を提唱
- 1985年 CCIRにおいてISDBが研究課題となる
- 1990年 NHKがBSデジタル・テレビ放送の研究を開始
- 1996年 日本でCSデジタル放送開始

- 1998年 英米で地上波デジタル放送開始
- 2006年 携帯端末向け地上波デジタル放送開始
- 2011年 地上波アナログからデジタルに完全移行
- 2012年 デジタル用電波塔「東京スカイツリー」運用

ISDB( Integrated Services Digital Broadcasting)とは  
映像・音声・文字情報などのデジタル信号をまとめて電波で送る統合デジタル放送のこと





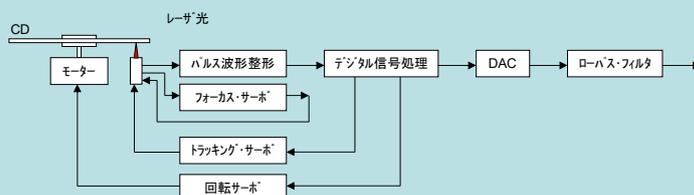
## 2-4. オーディオ技術のデジタル化の具体例

### CDプレイヤーの登場(1982年)

1980年、ソニーとフィリップスはCD規格で提携し、1982年、日本の9社が一斉にCDプレイヤーを発売した。操作性、小型等の利便性から急速に普及したが、音感上、冷たい音等の感性上の問題点が指摘され、その後、各社は数多くの改良の行う。



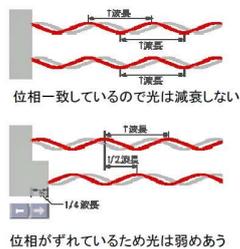
記録容量	74分
コーデック	44.1kHz リニアPCM2.0chステレオ
読み込み速度	1.2Mbps(150kiB/s、1倍速)
回転速度	200 - 530 rpm
読み取り方法	780nm赤外線レーザー



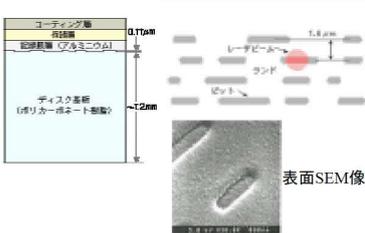
### CDプレイヤーの原理

記憶媒体の一つ。直径8cmから12cmの樹脂製の円盤にピットと呼ばれる極めて細かい凹凸を刻んでデジタルデータを書き込み、レーザー光を照射して反射光を読み取る。

#### 光ディスクで情報を読み取る原理



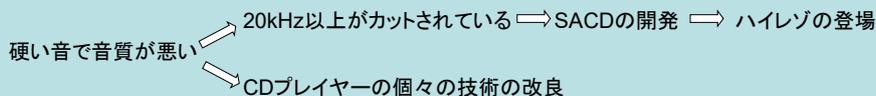
#### CDの原理図



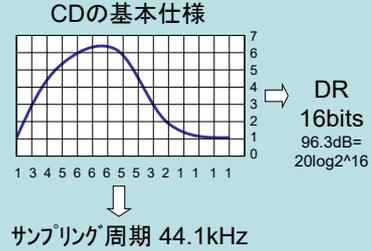
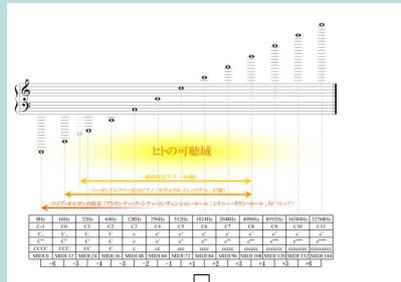
CDの構造

トラック間隔	1.6 μm	ピットの幅	0.5 μm
ピットの深さ	0.11 μm	ピットの長さ	0.83 ~ 3.56 μm (9種類)
		ビーム径	1.7 μm

### 初期のCDプレイヤーの問題点



## デジタル・オーディオの再生周波数領域は？



人の可聴周波数範囲は20Hz~20kHz

CDの再生周波数 ~44.1/2=22.05kHz

SACDの再生周波数~100kHz以上

ハイレゾの再生周波数192kHz, ダイナミックレンジ24bits

**ハイパーソニック(大橋力)**  
可聴領域を超えた高周波領域は人間の感性にとって非常に重要である。

144.5dB=20log2<sup>24</sup>

## CDプレイヤーの改良の歴史(=アナログ特性の改良)

1982	CD-63(MARANZ)	オーバーサンプリング	低雑音化,アナログFL簡略
1984	DAD-001(Lo-D)	セパレート・システム	デジタル・ノイズ遮断
1985	C-700(ONKYO)	光伝送	デジタル・ノイズ遮断
1986	CDX-2200(YAMAHA)	18 bits DAC	再量子化雑音低減
	DP-80(Accuphase)	光デジタル出力	デジタル・ノイズ遮断
1987	CDP-R1(SONY)	DACマスター・クロック	ジッタ低減
1988	CD-a717(SANSUI)	1 bit DAC	リアリティ改善
	DCD-3500(DEON)	20 bits DAC	再量子化雑音低減
1990	PD-T07(Pioneer)	ターンテーブル・モタ	ジッタ低減
1992	DP-90(Accuphase)	複数DACの並列加算	ジッタ低減
1993	D-3(TEAC)	サンプルレート・コンバーター	ジッタ低減
1994	DP-7060(KEWOOD)	適応型デジタル・フィルタ	波形スムーズネス改善
1996	CDP-T07HS(SONY)	デジタル・フィルタ複数搭載	リスナー特性改善
	PD-T07HS(Pioneer)	24 bits DAC	波形スムーズネス改善

## 代表的なCDプレイヤー特性の改良

ローパス・フィルタ、オーバーサンプリング、デジタル・フィルタ  
 アナログの高次フィルタを使うと高域の遮断特性が向上するが、位相上の問題が生じる。  
 ↓  
 サンプリング周波数を数倍に上げ(オーバーサンプリング)、低次のアナログ・フィルタを使う。

ジッター(信号波形の時間軸のゆらぎ)  
 ジッターの原因は電源による影響、水晶の温特、メカ動作の不安定性などがある。  
 ↓  
 電源の改良、水晶の選択、配置(光ツインリンク)、メカ機構の改良

デジタルノイズ  
 ↓  
 セパレート方式、光伝送などの採用。

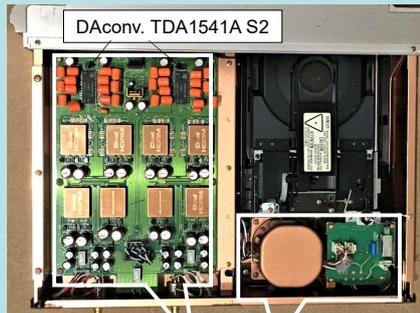
↓  
 CDプレイヤーの改良=アナログ特性の改良

## 高級CDプレイヤーはアナログ技術の塊

最高級 Marantz CD-7(約50万円)

コンパクト・ハイエンド(約5万円)

コンパクト(約1.5万円)



アナログ回路

電源回路



アナログ・電源回路



アナログ・電源回路

### Marantz CD-7 アナログ回路の特徴

DA converterにPhilips TDA1541S2(選別高品質、高価)をアナログ回路にはマランツ独自の高速電圧増幅モジュールHDAMを、そして電源には高品質トroidal・トランスを採用

DAconv. TDA1541A S2: Philips High Performance 16-bit DAC  
 DAconv. PCM61P: Burr-Brown 18-bit DAC



## 2.5. 計測技術のデジタル化の具体例

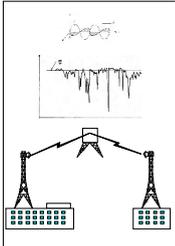
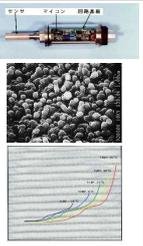
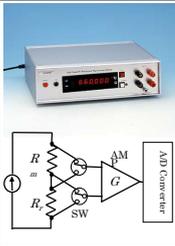
### ラジオ・テレビ技術

- 1982 NHKがISDB概念を提唱(デジタルTV放送)
- 1985 CCIRにおいてISDBが研究課題となる
- 1990 NHKがBSデジタル・テレビ放送の研究を開始
- 1994 DirecTV(米)がデジタル衛星放送を開始
- 1998 英米で地上波デジタル放送開始
- 2000 米国FCCによりソフトウェア無線が定義
- 2012 日本も地上波アナログからデジタルに完全移行

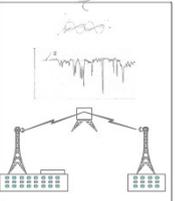
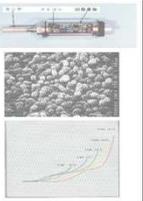
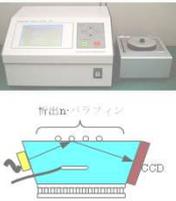
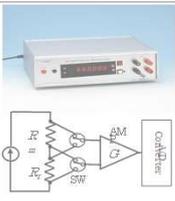
### オーディオ技術

- 1877 円筒式蓄音機の発明(エジソン)
- 1925 電気蓄音機の登場(RCA)
- 1972 PCM録音レコードの登場
- 1979 世界初の音楽プレイヤー「ウォークマン」の登場
- 1982 CDの登場
- 1999 SACDの登場
- 2012 ハイレゾ音源の配信

### 計測技術(田澤の経験に基づく内容)

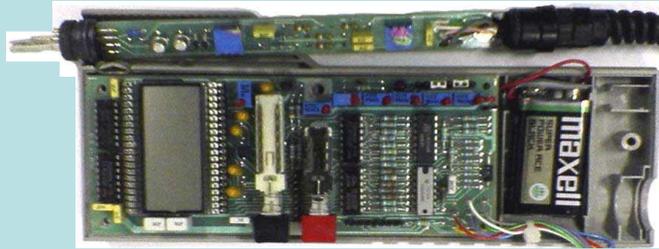
低成長経済		バブル経済		失われた10年		失われた20年	
1980年	1985年	1990年	1995年	2000年	2010年	2000年	2010年
情報通信の技術者として	デジタル化技術	インテリジェント・センシング技術	デジタル・アシスト・アログ技術				
							

## オール・デジタル温度・湿度計測技術について

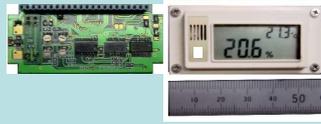
低成長経済		バブル経済		失われた10年		失われた20年	
1980年	1985年	1990年	1995年	2000年	2010年	2000年	2010年
情報通信の技術者として	デジタル技術の台頭	インテリジェント・センシング技術の台	デジタル・アシスト・アログ技術の復興				
	<p>1980~ デジタルテスター普及 1982 CDの登場 ISDB概念提唱</p> 						
	↓						
<p>1985年 オール・デジタル化湿度計の登場で著しく低価格化と性能向上が進む</p>							

## オール・デジタル化湿度計の登場(1985)

従来のアナログ回路型(表示のみデジタル)



オール・デジタル回路型



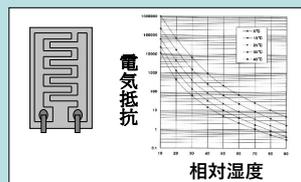
フルLSI化



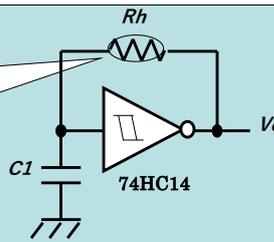
オールデジタル化による性能の向上

低価格化	1/5~1/10
超小型化	1/5~1/10
超低消費電力化	1/1000
信頼性	大幅に向上

## デジタル回路に直接、湿度センサを挿入するアイデア



電気抵抗変化型化学湿度センサ



素人的な技術理論によるアイデア

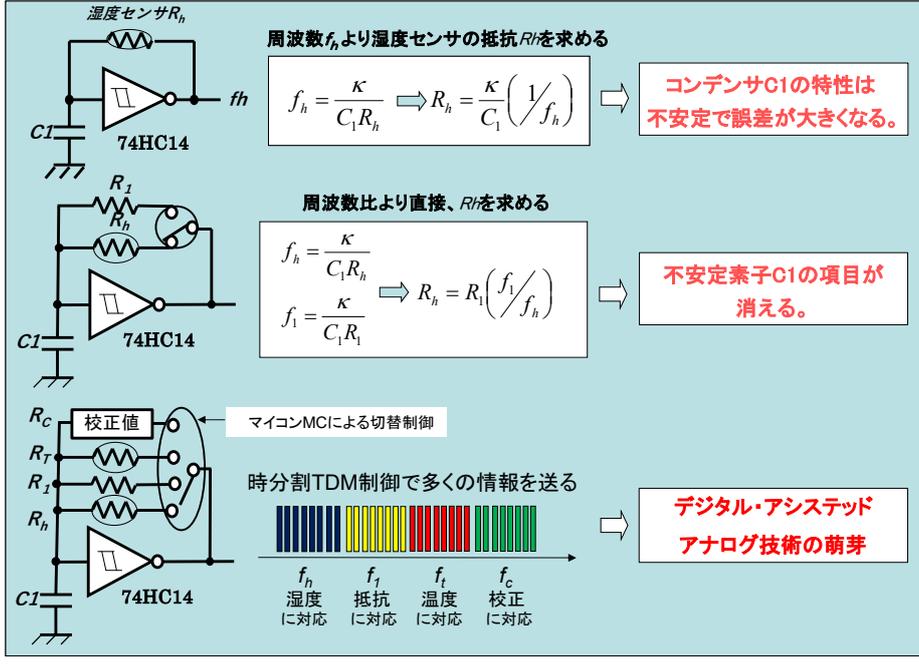
湿度変化⇒電気抵抗変化⇒周波数変化

実際は複雑系

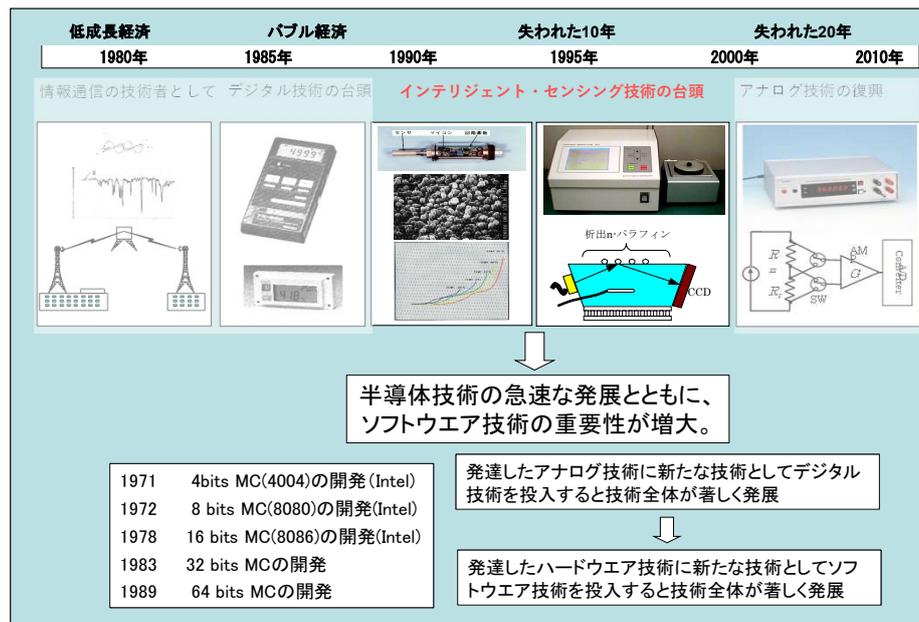
デジタル回路のアナログ特性の科学的解析の必要性が生じる。

- ・ CR発振回路に湿度センサ挿入による影響 (湿度センサの劣化、経年変化の問題)
- ・ Digital ICのアナログ特性による影響 (見かけ上のON抵抗の存在)
- ・ 標準抵抗による周波数比較方式の導入 (Digital回路におけるアナログ素子C特性の影響)

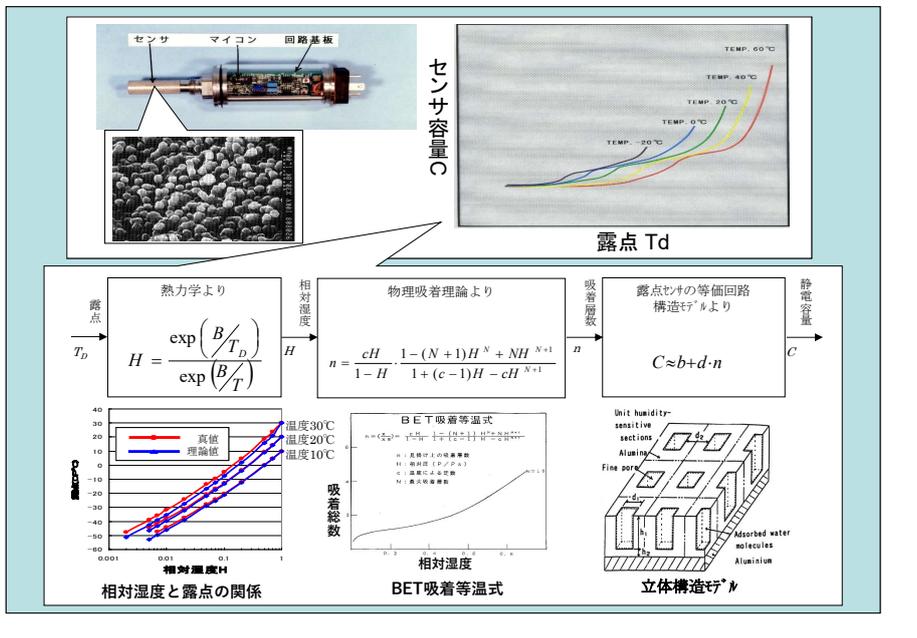
## デジタル回路のアナログ素子による誤差を打消す周波数比較方式



## 1990年代、ハードウェアが急速に発展するとともにソフトウェアの時代に



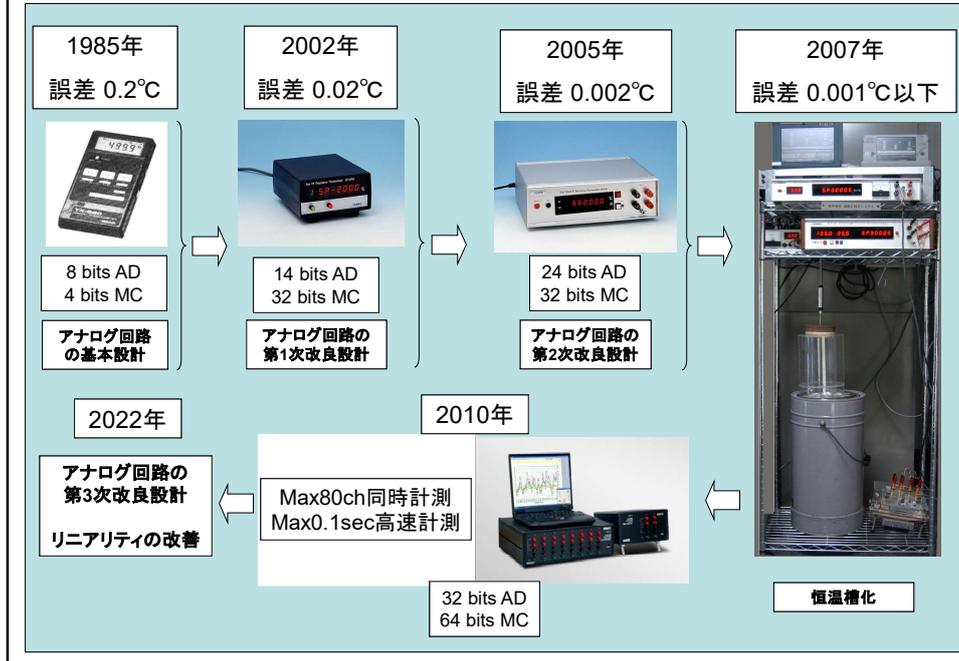
微量水分計(露点計)の事例  
 科学理論の確立⇒ アルゴリズム ⇒ ソフトウェア



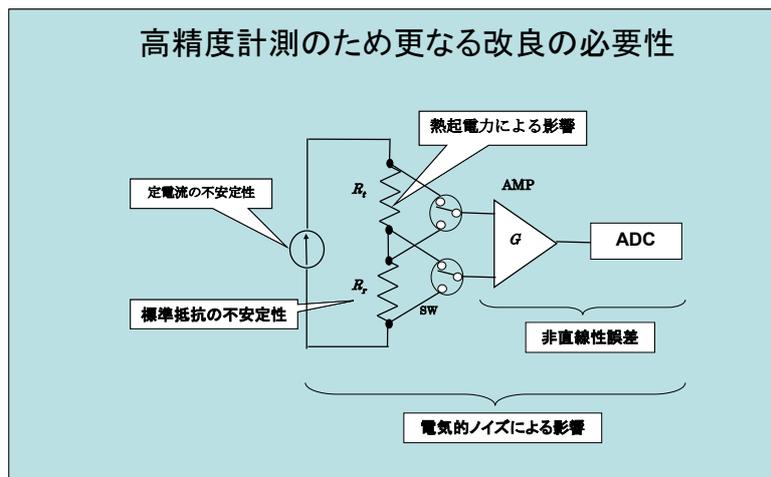
21世紀の最先端の高精度温度計測技術(DAA技術)

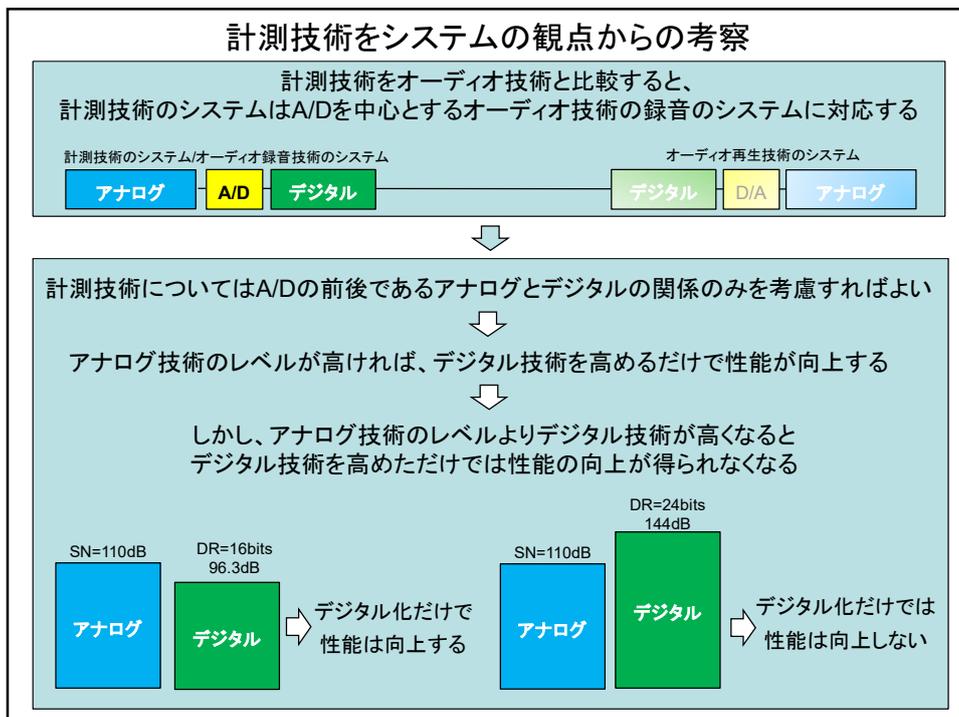
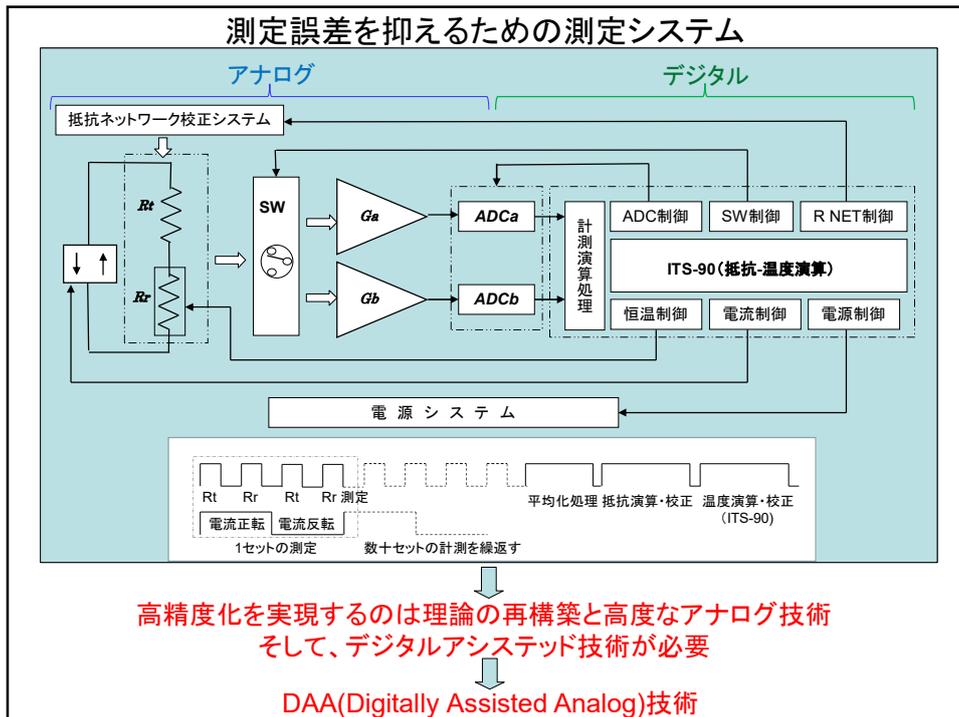
低成長経済	バブル経済	失われた10年	グローバル化	融合の時代へ?
1980年	1985年	1990年	2000年	2010年
情報通信技術者とデジタル技術 してスタート(※1)の台頭 (※2)	デジタル技術	インテリジェント・センシング技術 の台頭 (※3)	アナログ技術 の復興 (※4)	IT外科学の 原点へ (※5)
<p>30ビットを0.5秒周期で同時計測</p> <p>次世代温度計測技術を開発</p> <p>田澤良&amp;D技術士事務所などと共同</p>	<p>新出のパラフィン</p> <p>軽油中露点検知装置 高精度露点計 による石油性状分析</p> <p>石油学会進捗賞</p>	<p>高速多点同時計測 高精度温度計</p> <p>世界初</p>	<p>最初の電波発見(1888)</p> <p>発明発見の再現 実験、装置の修復</p> <p>科学歴史館設立</p>	
<p>デジタル技術の急速な発展・普及により、                  新たなアナログ技術の重要性が高まる</p> <p>発達したデジタル技術に新たな技術としてアナログ                  技術を投入すると技術全体が著しく発展</p>				

## 発展・深化する高精度温度計測器のアナログとデジタル技術



## 精度を数十倍(誤差10mK以下)にするために必要な改良点



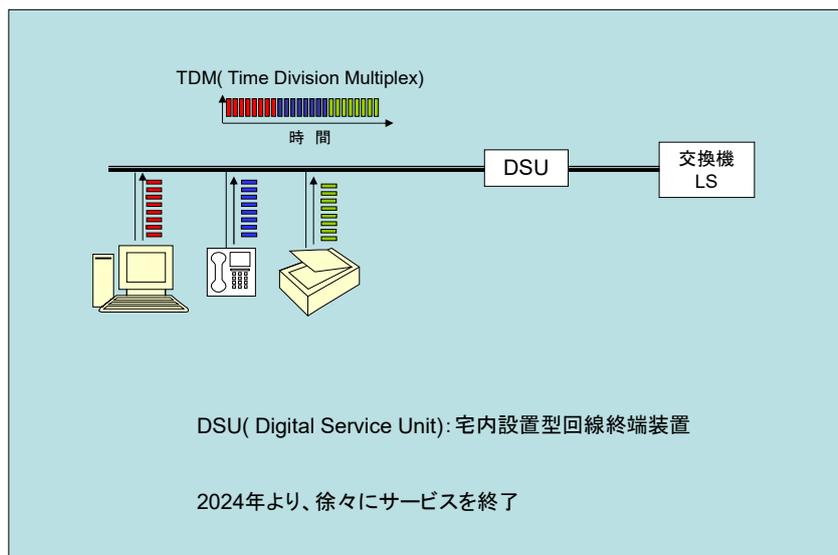


### 3. 21世紀のデジタル化社会

#### 3-1. ネットワーク型有線通信の概略史

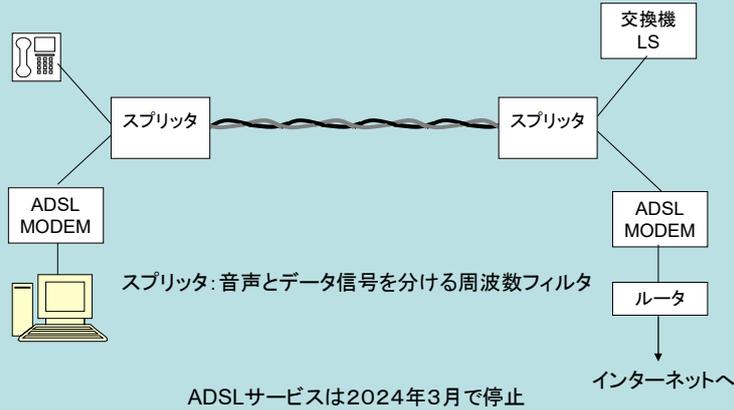
- 1961年、アメリカ・ユタ州での電話中継局爆破により国防回線も完全停止した状況に伴い、新通信システム(インターネット)の研究を開始
- 1964年、ポール・バランが「分散型通信システム」(パケット通信など)の研究を報告
- 1969年、UCLAにおいてコンピュータネットワークの接続試験が行われる
- 1970年代、NTTがISN(高度情報通信システム)の研究が行われる
- 1988年、ISDNの運用を開始(2024年より徐々にサービス終了)
- 1999年、伊那市においてADSLの接続試験を行う
- 2000年、ソフトバンクがADSLの正式運用を開始(2024年3月末でサービスの完全終了)
- 2003年、日本において光通信の普及が広がる。

#### ISDNによる情報通信伝送(1988年運用開始)



### ADSLによる情報通信伝送(2000年運用開始)

下り(局→加入者)が高速22~52Mbpsで、上りが低速~3Mbpsになっており、伝送距離は最大で6kmであり長距離にできない。  
 伝送路にはアナログ回線に用いられたツイスト・ペア線が用いられているため、距離を長くすると漏話の問題があるため、実際は最大の伝送速度で送ることができる加入者は限られている。



### 3-2. 日本のデジタル革命 (ICT活用によるデジタル社会の構築) の歴史

- 2000年 高度 情報通信ネットワーク社会形成基本法(IT基本法) 成立
- 2001年 e-Japan戦略策定 (ICTインフラ整備)  
5年以内に少なくとも3,000万世帯が高速 インターネット網に常時接続可能な環境を整備することが目標
- 2003年 e-Japan II 戦略策定 (IT利活用により、「元気・安心・感動・便利」社会を目指す)
- 2006年 IT新改革戦略策定 (構造改革による飛躍、国際競争力の強化)
- 2009年 i-Japan戦略2015策定 (ICTによる経済社会の改革、デジタル社会の実現)
- 2013年 世界最先端IT国家創造宣言
- 2018年 世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画策定

↓ ICT(Information and Communication Technology): 情報通信技術

<p><b>インフラ面のレベルが世界トップ・クラス</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ インターネット利用率: 80%以上 (2013年~)</li> <li>➢ スマートホン世帯保有率: 80%以上 (2020年)</li> <li>➢ 光ファイバー普及率: 80%以上</li> </ul>	<p><b>日本のデジタル力総合ランキング: 27位</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 知識: 22位 ⇒ 人材: 46位</li> <li>➢ 技術: 26位 ⇒ 規制枠組み: 44位</li> <li>➢ 将来への備え: 26位 ⇒ 俊敏性: 56位</li> </ul>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

↓ 総務省資料「我が国におけるデジタル化の歩み」より

「デジタル後進国」と揶揄されることも

## 日本のデジタル化の遅れについて 辻野晃一郎氏（元Google日本法人代表取締役社長）の見方

日本のデジタル化の遅れは、下から上に意見を言いにくい組織の「ピラミッド構造」が原因です。  
**意思決定がトップダウンで現場に伝達され、原則皆それに従って「受け身」で動くスタイルです。**  
 現場は、上からの命令や指示に対して自分の意見を言ったり抵抗しにくい。  
**このピラミッド構造は行政のデジタル化の遅れにもつながっています。**  
 デジタルの時代は「オープン」や「フラット」がキーワードです。ところが日本では行政のデジタル化を進める上で、まずデジタル庁という縦割り組織を新設しました。  
 そしてデジタルの専門家でもない剛腕とされる政治家をトップに置いて上意下達の恫喝命令型、強行突破型のスタイルでマイナカードなどを推進しています。  
 ウィズダム・オブ・クラウドを活用して、間違えたら軌道修正を繰り返しながら徐々に完成度を高めていく、というのがデジタル時代の本来のやり方です。  
 台湾では行政のデジタル化にオードリー・タン氏が多大な貢献をしましたが、やり方が全く違います。

### 日本のデジタル化の遅れについて一田澤的表現

- ▶ 基本システムで見るとデジタル化社会はデジタルオーディオの録音・再生技術に似ている。
- ▶ デジタル部分を高度化しても、入りと出のアナログ部分を改良しないと十分な成果が得られない。
- ▶ デジタル社会の入りのアナログとは社会の規制や社会構造である。
- ▶ デジタル社会の出のアナログとは社会の構成員の利便性、安全性である。



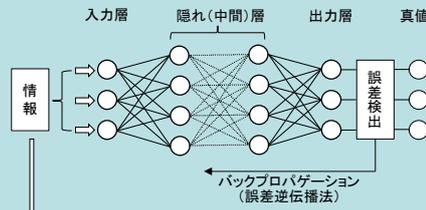
### 3-3. 人工知能の歴史

年代	特徴	技術・キーワード
1950年頃	第1次人工知能ブーム <b>ニューラルネット</b> の登場	ダートマス会議(1956) パーセプトロン(1958)
1960年頃		ファジ理論
1970年頃	技術的な難問の登場(冬の時代)	ニューラルネット「XOR」問題発生(1969) フレーム問題
1980年頃	第2次人工知能・ニューラルネットブーム	遺伝的アルゴリズム エキスパートシステム 誤差逆伝搬法の発見(1986)
1990年頃	ニューロ、ファジィなど 産業への活用	遺伝的プログラミング データマイニング チェスでAIがチャンピオンに勝利
2000年頃	人工知能が一般化される動きが始める	ロボットベットの登場 インターネットの普及 オートエンコーダー
2010年頃	第3次人工知能ブーム	<b>ディープラーニング登場 ※</b> 囲碁でAIがプロ棋士に勝利



2000年代後半、ニューラルネットの学習に十分な大量データと、それを処理できる計算機が比較的容易に入手できるようになり処理能力が大幅に上昇し、  
 2006年「高次元データの階層的な表現の学習」にディープラーニングという言葉を用いた。

## ニューラルネット、ディープラーニング、大規模言語モデル



### 大規模言語モデル(LLM: Large Language Models)

書籍、ネットなどの情報に基づくテキストデータセットを用いて学習し、ディープラーニングにより訓練される。

### トランスフォーマー(Transformer)

トランスフォーマーはLLMから必要な情報を引き出す際、文章や単語だけではなく、文脈や意味も考慮して最適な回答や生成物を提供。

### 注意(Attention)

ニューラルネットの入力、出力から必要な情報を選択する機能であり、Attentionにより効率的に単語を学習できる。

## AIの時代に突入

### 2045年問題(技術的特異点) ⇨ コンピュータが人類を超える日

カーツワイルの予言

「ムーアの法則を拡大解釈し、この法則があらゆる現象に適用できる」を前提



30年で $10^9$ 倍で進歩する



2045年にコンピュータが人類の力を超える



ホーキング博士、ビル・ゲイツ氏などが、  
「このままAIが進化すると、人類に悲劇をもたらす」と警告



AIに職が奪われる高スキルの職業

弁護士、会計士、医者、教師、公務員  
作曲家、音楽家、振付師、料理人

