

「エレクトロニクス科学史」

那須科学歴史館 館長 田澤勇夫

アナログとデジタル技術の歴史

- アナログとデジタル技術の歴史の概要
- 1980年代から急速に進むデジタル化
- 技術の発展事例(1) オール・デジタル温度・湿度計測技術について
- 技術の発展事例(2) 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
- 技術の発展事例(3) 最先端の高精度温度計測技術
- CDプレイヤーの改良の歴史(=アナログ特性の改良)
- デジタル化が進むほどアナログ技術が重要になる

計測技術におけるアナログとデジタル技術の歴史の概要(初期)

16世紀以前	コンパスの発明(最初のセンサ?)	
1745年	ライデン瓶(最初の計測器への道?)	
1820年	エルステッドの実験	
1827年	オームの実験によりガルバノ・メーターが用いられる マックスウエルもガルバノ・メーターを開発 ウエストンの電圧・電流・電力計	計測技術が発展 (アナログ技術)
1937年	イギリスのA. H. Reeves によりPCM方式が発明	デジタル技術が 徐々に発展
1948年	シャノンによるPCM理論の確立	
1952年	ADCを用いたデジタル電圧計の開発(アメリカ)	
1973年	米国フルーク、日本横河電機からデジタル・テスターの誕生	本格的なデジタル 時代に
1974年	デジタル・テスター専門のハイテクベンチャー・ソア創業者	

通信技術におけるアナログとデジタル技術の歴史の概要(初期)

1831年	シリングの電信機	最初の有線通信は デジタル
1837年	モールスの電信機	
1876年	ベルの電話機	アナログ有線通信
1899年	マルコニーの大西洋横断通信実験	デジタル無線通信
1906年	フェッセンデンによるラジオ放送の開始	アナログ無線通信

1980年代から急速に進むデジタル化

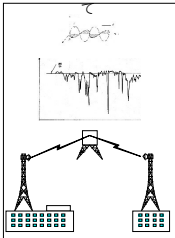

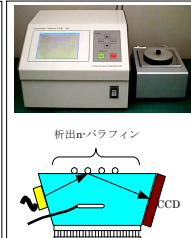
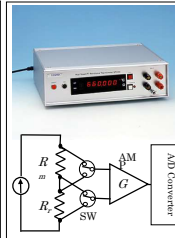
オーディオ技術

- 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。**
- 2001 iPodの登場。
- 2007 iPhoneの登場。

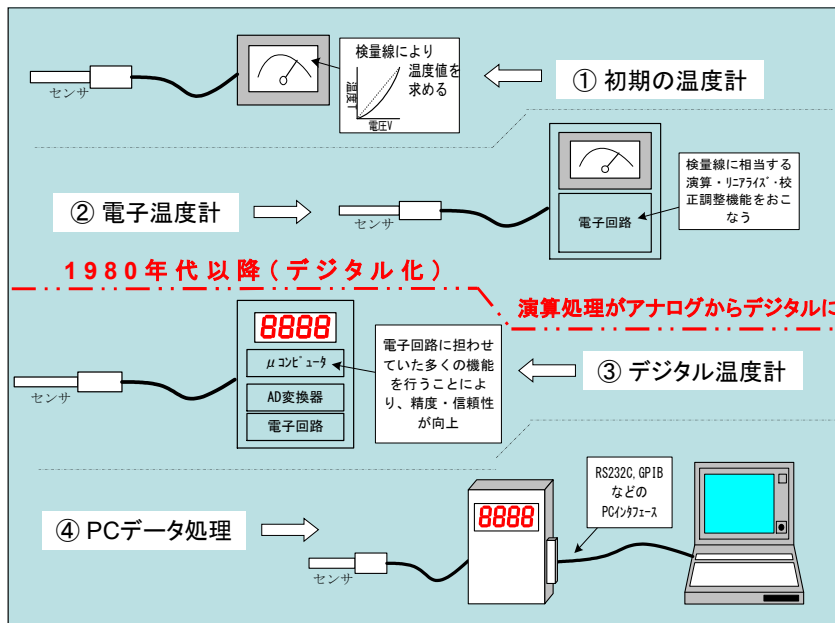
テレビ技術

- 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
- 2006 携帯端末向け地上波デジタル放送開始
- 2012 日本も地上波アナログからデジタルに完全移行

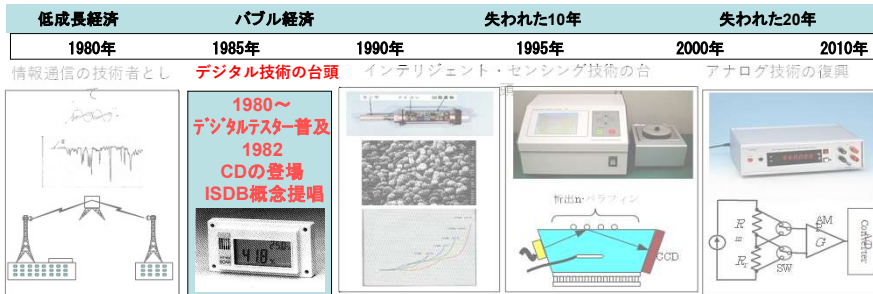
計測技術(田澤の経験に基づく内容)

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
情報通信の技術者とし	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頭		アナログ技術の復興	
					

計測機器(温度計を例に)システムの発展(デジタル化)



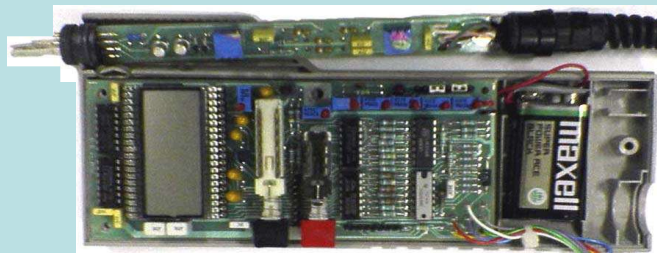
アナログ/デジタル技術の発展事例(1) オール・デジタル温度・湿度計測技術について



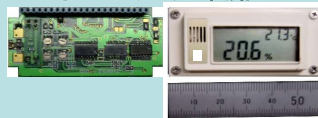
1985年 オール・デジタル化湿度計の登場で著しく低価格化と性能向上が進む

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

専門誌 計測技術 1988年2月号記事

温・湿度検出ユニット・HT-150システム

特ソア 田澤 勇夫*
Isao Tazawa

1. 温度検出器の市場動向
大気中の湿度を感知し、その値を表示したり記録し、又、その制御を行うための湿度検出器の需要は年々伸びてきており、市場規模では温度検出器のそれより小さいが、生産の伸び率では上回る。

その市場は産業用と民生用に大別することができる。産業用としては工業用計測器をはじめとして、工場実験室、ビニール栽培等の湿度管理に用いられる。又、民生用としては空調、除湿、加湿機器への組み込みや、家庭用としての装飾的意味もある温湿度モニタなどに用いられる。特に、近年、住宅の断熱構造が高度化され、室内における結露や乾燥した状態が問題となっており、居住環境改善のために湿度検出器の応用が期待されている。

しかしながら、これらのニーズに充分に応えるためには次の条件が必要である。

- (1) 湿度センサの信頼性
- (2) 低価格
- (3) 小型化
- (4) 機械性

まず湿度センサの信頼性について、その最大の要因となるものは湿度センサの特性のパラメータであるが、経時変化、対湿度安定性、ヒステリシスも重大な要因となる。

原子や分子の熱エネルギーと電気伝導の相関という物理現象により左右されている一般の温度センサと異なり、湿度センサはその表面上において電気分解と類似した現象が生じ、又、その面に接する大気中の水分子と分子間力やイオン結合力などで作用し合う複雑な化学現象により左右されている。セラミックタイプである高分子タイプでも、この基本原理に基づく湿度

*特ソア-R&D 2期

センサであれば程度の差はあっても、湿度センサの様な安定性を望むことはできない。

定期的に渡って安定し再測定やセンサの交換の必要がほとんどない温度センサと異なり、湿度センサは準消耗品であり、数ヶ月でセンサの交換や検器の校正が必要であり、これが湿度センサによる湿度検出器の普及を妨げる大きな要因となっている。又、湿度は身近な割に温度や電圧と異なり基準器が普及されておらずユーザ自身が校正を行うことが困難であることも、その要因となっている。

次に低価格、小型化について、湿度センサの特性が指数関数的に変化し、又直流分を印加できず、その特性をうまく取出し(センサインタフェーシング)その値を表示させたり制御させたりするには多くの電子部品が必要とされ、特に検器組み込みなどに要求される低価格、小型化がなかなか困難であるというのが現状であった。

又、信頼性については、単に湿度値を表示させるかその値を電圧や電流の大きさとして出力するものしかなく、種々の検出を行うためには種々の交換器が必要であり、一つのシステムを組み上げると無駄が多く高価な場合が多かった。

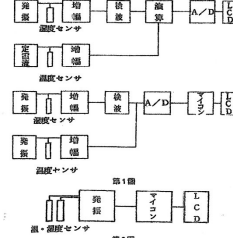
2. 温・湿度検出ユニットHT-150の基本構成

HT-150 はこれらの市場動向に答えるべく開発された湿度検出器である。低価格、小型化に答えるには従来の測定原理、回路構成を簡潔にしていたのでは限界があり、全く異なるものを用いる必要があった。

すなわち、従来の電子式湿度計は第1図の様であったのであるが第2図の様な単純化された構成を用いた。これにより当社比で言うところの従来の湿度計と比べて電子



写真1 HT-150 温・湿度モジュール



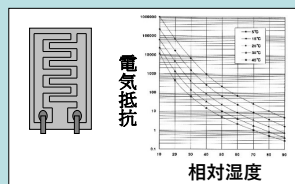
部品点検が100個以上が10個以下に減り、実装に必要とされる基板面積は1/4以下となり、又厚さは1/8以下となった。

これにより形状も第3図の様に小型化された。又、第4図の様に出力端が受けられており、これを利用してにより種々の用途への応用、システムアップが可能である。HT-150の特長を概略すると次の様になる。

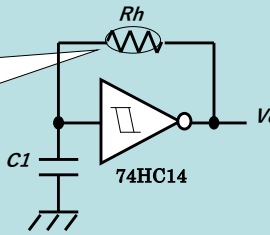
- (1) 小型、軽微。機器組み込み用の温・湿度検出コンポーネントパーツとして最適
- (2) 外部検出器の使用により測定距離(〜100 m)測定ができ、又多点測定が可能
- (3) 温・湿度とも上下限値を設定でき、オーバー時に

温湿度モジュールはいろいろなシステム構成が可能なるように設計

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が重要

- ・ 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

温度センサ R_h

周波数 f_h より温度センサの抵抗 R_h を求める

$$f_h = \frac{\kappa}{C_1 R_h} \Rightarrow R_h = \frac{\kappa}{C_1} \left(\frac{1}{f_h} \right)$$

⇒ **コンデンサ C_1 の特性は不安定で誤差が大きくなる。**

周波数比より直接、 R_h を求める

$$f_h = \frac{\kappa}{C_1 R_h}$$

$$f_1 = \frac{\kappa}{C_1 R_1} \Rightarrow R_h = R_1 \left(\frac{f_1}{f_h} \right)$$

⇒ **不安定素子 C_1 の項目が消える。**

マイコンMCによる切替制御

時分割TDM制御で多くの情報を送る

**デジタル・アシテッド
アナログ技術の萌芽**

f_h 湿度に対応
 f_1 抵抗に対応
 f_i 温度に対応
 f_c 校正に対応

アナログ/デジタル技術の発展事例(2)

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

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
1980年	1985年	1990年	1995年
1990年	1995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頭	アナログ技術の復興

半導体技術の急速な発展とともに、ソフトウェア技術の重要性が増大。

- 1971 4bits MC(4004)の開発(Intel)
- 1972 8 bits MC(8080)の開発(Intel)
- 1978 16 bits MC(8086)の開発(Intel)
- 1983 32 bits MCの開発
- 1989 64 bits MCの開発

発達したアナログ技術に新たな技術としてデジタル技術を投入すると技術全体が著しく発展

発達したハードウェア技術に新たな技術としてソフトウェア技術を投入すると技術全体が著しく発展

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

センサ容量C

露点 Td

熱力学より

$$H = \frac{\exp\left(\frac{B}{T_D}\right)}{\exp\left(\frac{B}{T}\right)}$$

露点 T_D

相対湿度 H

相対湿度と露点の関係

物理吸着理論より

$$n = \frac{cH}{1-H} \cdot \frac{1-(N+1)H^N + NH^{N+1}}{1+(c-1)H - cH^{N+1}}$$

相対湿度 H

吸着層数 n

BET吸着等温式

露点センサーの等価回路構造からより

$$C \approx b + d \cdot n$$

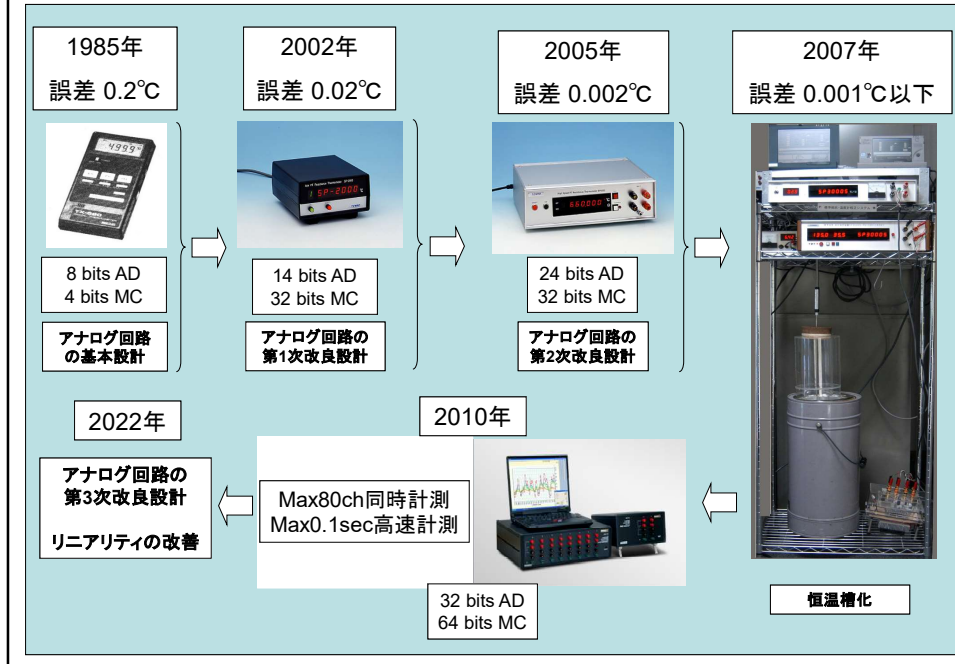
静電容量 C

立体構造から

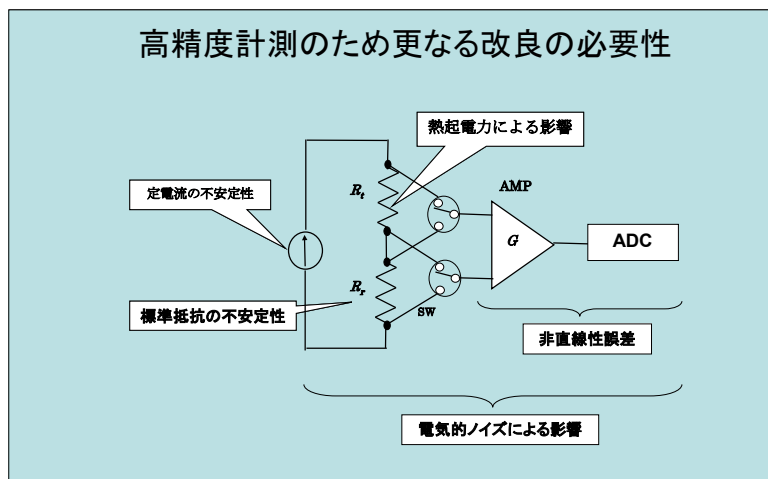
アナログ/デジタル技術の発展事例(3) 最先端の高精度温度計測技術

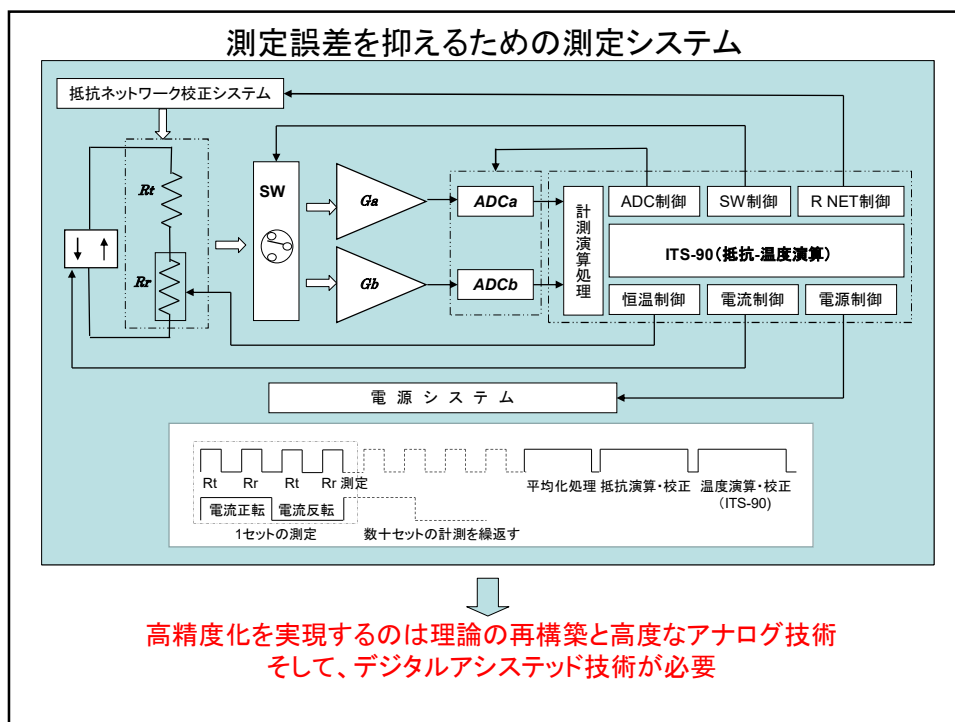
低成長経済	バブル経済	失われた10年	グローバル化	融合の時代へ?
1980年	1985年	1990年	1995年	2000年
情報通信技術者としてスタート(※1)の台頭	デジタル技術(※2)	インテリジェント・センシング技術の台頭(※3)	アナログ技術の復興(※4)	IT/外科学の原点へ(※5)
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>機械・メカトロ・自動車・輸送</p> <p>ネツシン</p> <p>次世代温度計測技術を開発</p> <p>田澤 R & D 技術士事務所などと共同</p> <p>80位置を0.5秒周期で同時計測</p> <p>来年4月にも製品化</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>新出のセラミック</p> <p>軽油中異点検知装置 高精度屈折率計 による石油性状分析</p> <p>石油学会進歩賞</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>高速多点同時計測 高精度温度計</p> <p>世界初</p> </div> </div>				
<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 技術を導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





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	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

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)

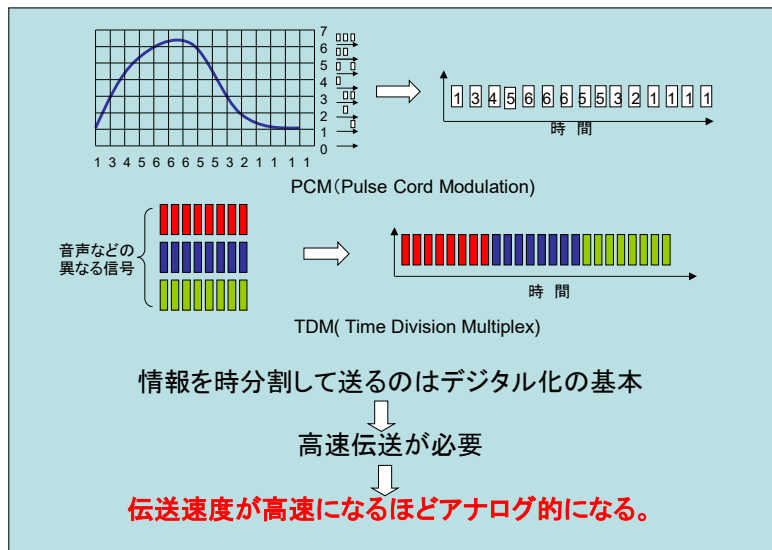
ジッターの原因は電源による影響、水晶の温特、メカ動作の不安定性などがある。

↓
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。

デジタル化が進むほどアナログ技術が重要になる



アナログはデジタル技術の最先端

回路技術	年代	20~30年前	10年ほど前	現代
設計ノウハウ		デジタル回路の知識だけでOK	デジタル回路の知識だけでいたいOK	デジタル回路の知識だけでは歯が立たない
設計時の注意点		配線はつなげば動く。電源などをコンデンサでデカップリングすれば良い程度だった	配線の容量、インダクタンス程度は考慮していた。しかし配線はだいたいつなげば動くもの	アナログ信号としても考える必要あり。配線自体も伝送線路。等長配線など配慮必要
デバイス技術		TTL, CMOS	高速CMOS	高速CMOS, ECL, LVDS, CML
クロック速度		数MHz	数10MHz	数百MHz~数GHz

アナログ・デバイス(石井氏)

