

工業概論

第9回 電子技術

担当教員 電子情報通信学類 北川章夫
kitagawa@merl.jp

参考資料

- 高等学校学習指導要領解説 工業編（平成30年7月, 文部科学省）
https://www.mext.go.jp/content/1407073_14_1_1_2.pdf
- 講義資料ダウンロードサイト（LMSの資料と同じです）
<http://jaco.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/edu/> で工業概論をクリック
- 第8回資料（今村先生）
 - 情報通信の項を参照

高校電子技術の学習目標

工業の見方・考え方を働かせ、実践的・体験的な学習活動を行うことなどを通して、電子技術を活用した工業生産に必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

1. 電子技術について**半導体(Semiconductor)**や**電子回路(Circuit)**と**電子機器(Device, Equipment)**との**関係を踏まえて理解**するとともに、関連する技術を身に付けるようにする。
2. **電子技術に関する課題を発見**し、技術者として科学的な根拠に基づき工業技術の進展に対応し解決する力を養う。
3. **電子技術を活用する力の向上**を目指して自ら学び、工業の発展に主体的かつ協働的に取り組む態度を養う。

注：重要な事項や専門用語は、青文字で示します。意味がわからない場合は、質問しましょう。

高校電子技術の指導内容

1. 電子技術の概要

- 電子技術の発達や現代社会における役割などを扱う

2. 半導体と電子回路

- 半導体の原理並びに半導体素子の種類，特性及び具体的な働きを扱う
- 増幅回路などのアナログ回路並びに論理回路などのデジタル回路の動作と特性，AD変換回路(ADC)，DA変換回路(DAC)の原理と活用例を扱う

3. 通信システム (Communication system)

- 通信に必要な電子機器の特性と利用例及び通信機器と通信システム（ネットワーク）の内容を扱う
- 通信に関する法規の目的と概要を扱う

4. 音響・映像機器 (Audio visual equipment)

- アナログ(Analog)及びデジタル(Digital)技術を利用した音響機器及び映像機器の原理と構造を扱う

5. 電子計測 (Electronic measurement)

- 高周波計測に用いる測定器の原理と測定方法
- 電子計測に用いられるセンサ(Sensor)の原理と活用例

赤字部分は常に最先端。
常に勉強する必要あり。

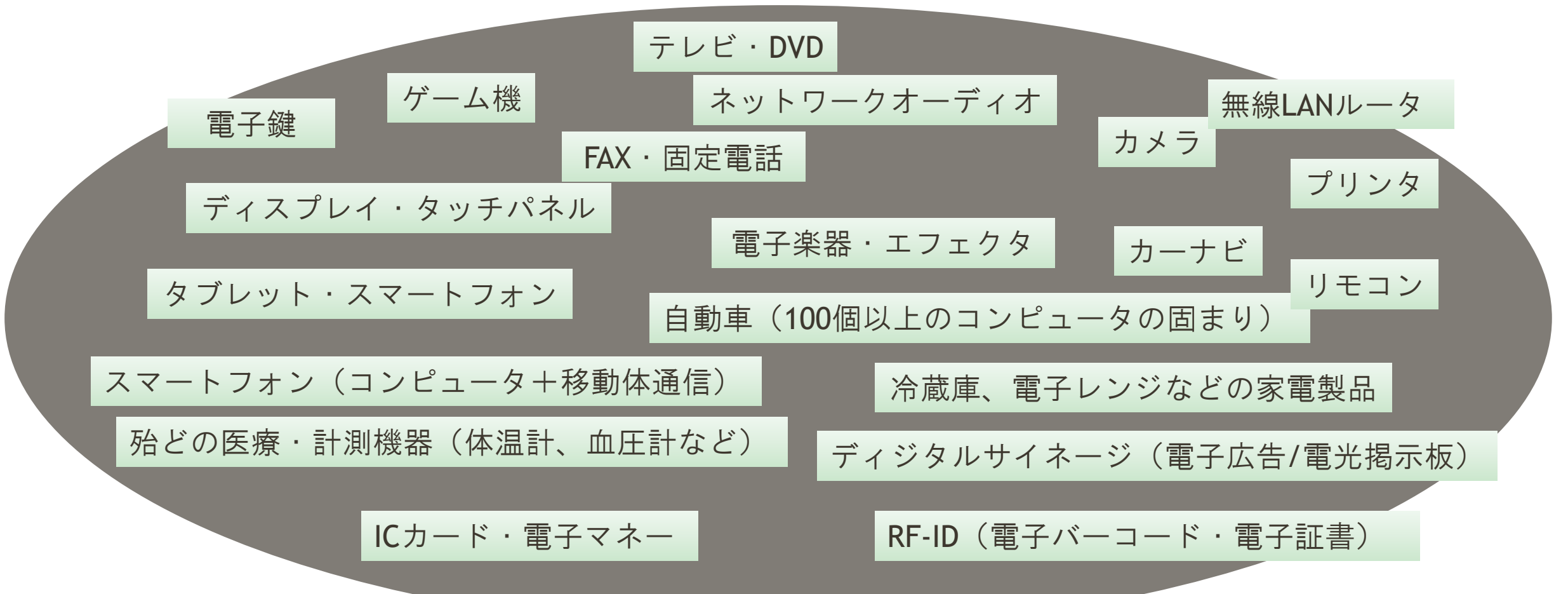
1. 電子技術の概要

半導体技術の動向と産業構造

質問

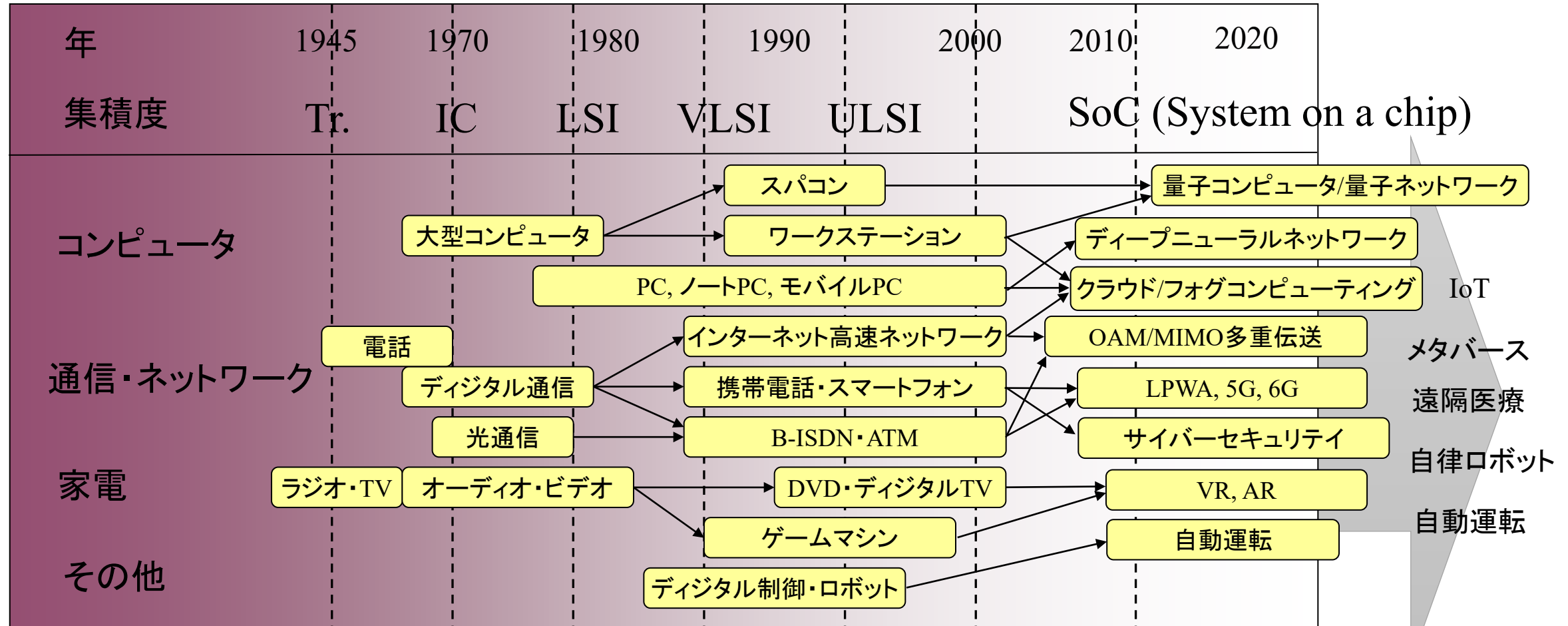
▶ 皆さんはコンピュータを何個持っていますか？

身の回りのコンピュータ



基本的に全ての電子機器はコンピュータ（半導体）を搭載していると考えてよい

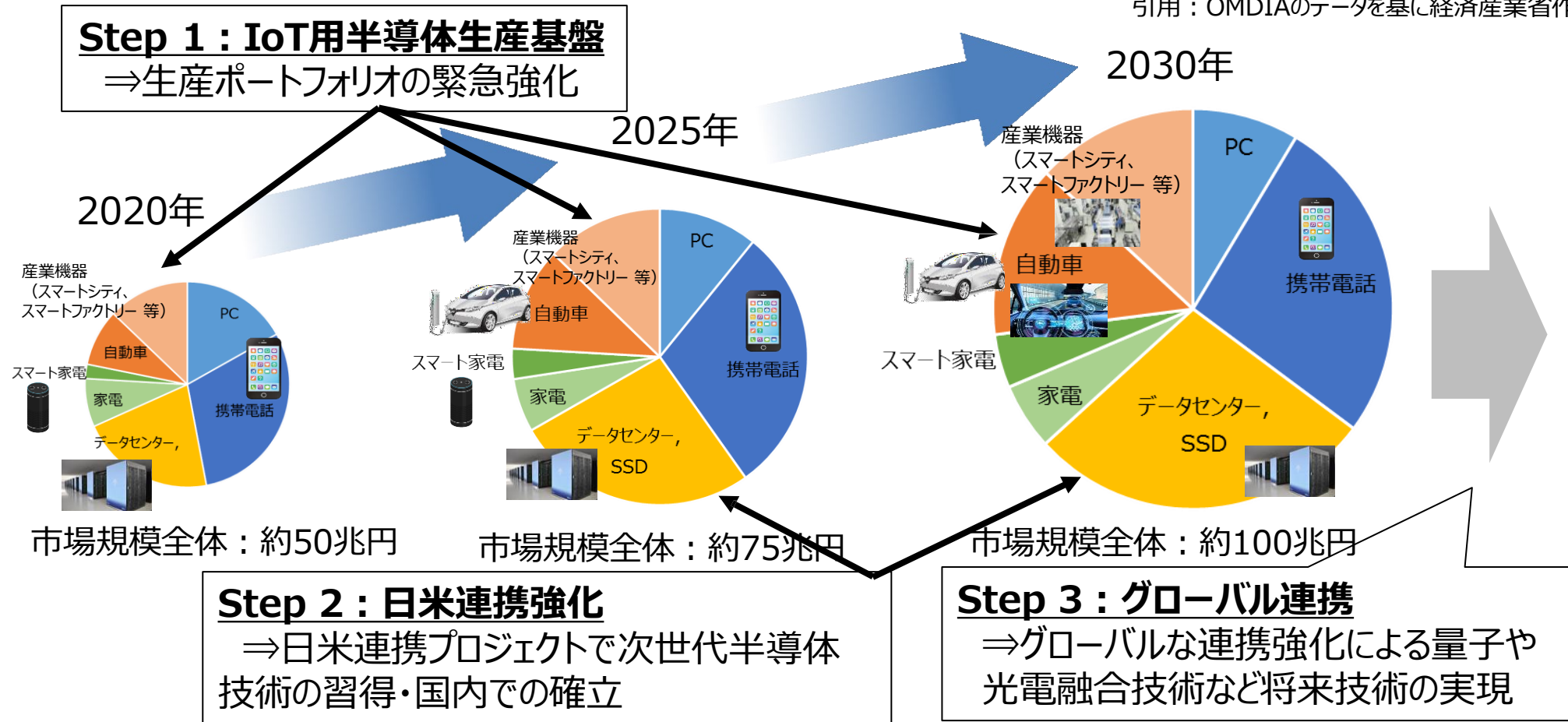
半導体技術の進歩とシステム進化の波



現代社会の進歩は、半導体技術の進歩によって成り立っていると言っても過言ではない。
半導体技術とシステム技術は、相互に発展の原動力となっていることに注目。

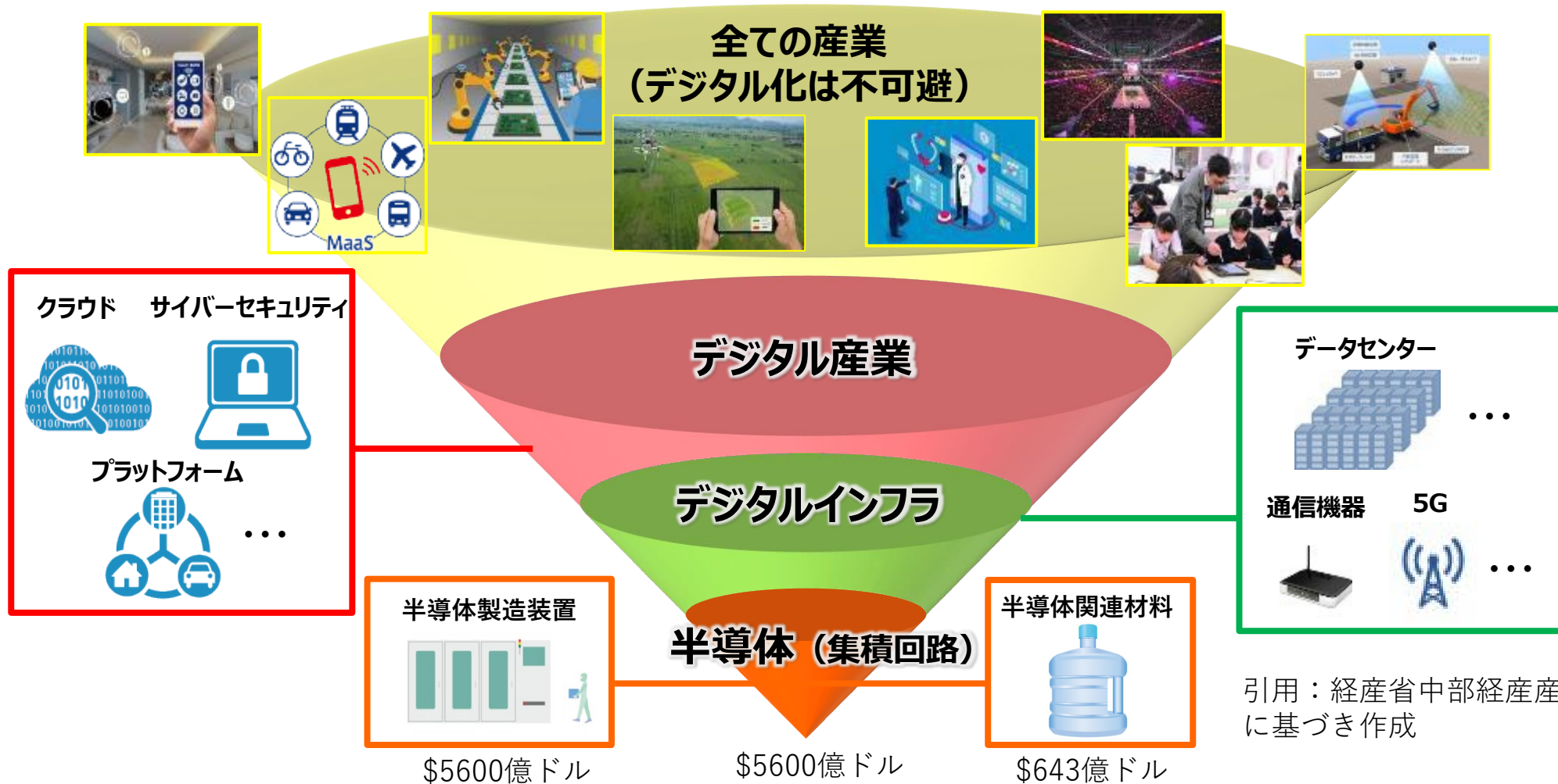
政府の半導体基本戦略

引用：OMDIAのデータを基に経済産業省作成



冷戦後の産業構造

半導体産業は「産業のコメ」と呼ばれる。



引用：経産省中部経産産業局のデータに基づき作成

一般的な電子機器の構成

物理世界

音声・画像

無線・有線通信

センサ

電力・アクチュエータ

Analog circuit

Digital circuit

Microprocessor

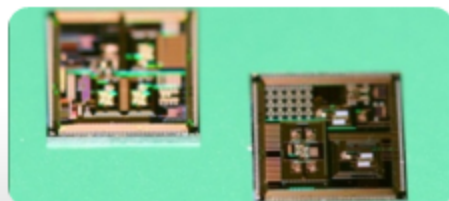
Software

システム内部の処理機能 = デジタル回路

システムと物理世界とのインタフェース = アナログ回路

現代的な電子回路の実装方法

1990年代までは、半導体メーカーが販売する汎用半導体部品を組み合わせることでPCB(Printed circuit board)上に必要な機能を実装していたが、現在は、半導体のカスタム化（半導体上に必要なシステムを構築）が進行。



カスタムLSI 写真は金沢大学で開発したトランシーバLSIとセンサRFIDチップ

- ・CADソフトウェアを使用してユーザーがLSIを設計
- ・半導体メーカーの製造サービスを利用して製造



プログラマブルLSI 写真はインテル社のFPGA(Field Programmable Gate Array)

- ・HDLを用いてユーザーがLSIをプログラム
- ・プログラマブルLSIにPCで作成した回路の配線情報や制御プログラムを書き込む



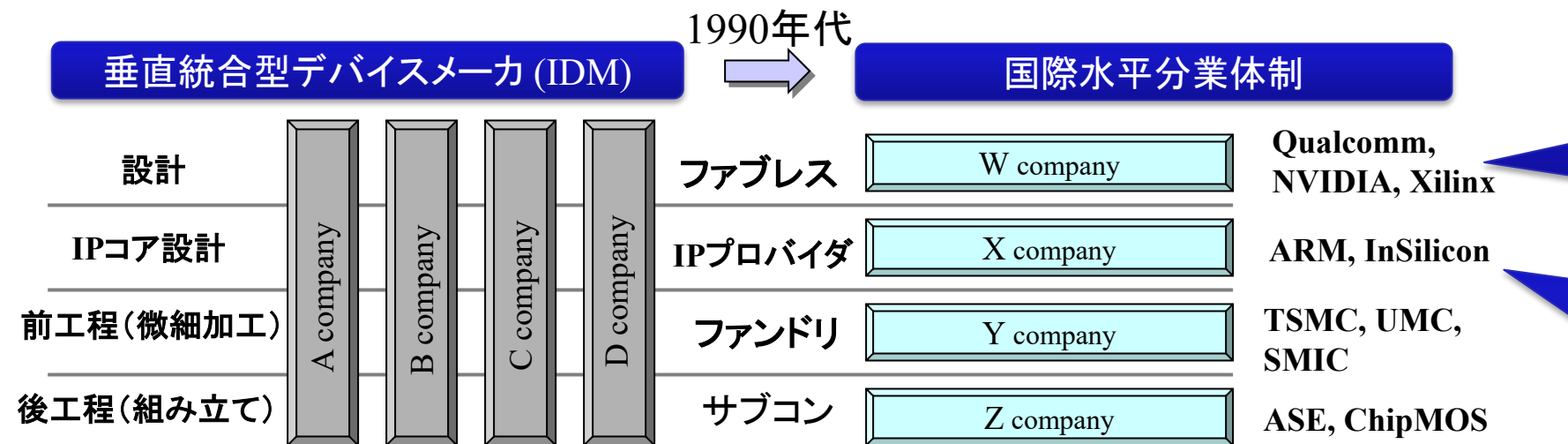
モジュール基板 写真はLeafony Systems社のIoT無線センサモジュール群

- ・必要な機能モジュール基板(特定機能のPCB)を購入してユーザーが必要な機能を構築
- ・モジュールに搭載されたMCUにPCで作成した組み込みソフトウェアを書き込む

(参考) 前スライドの用語解説

- CADソフトウェア(Computer Aided Design Software)
 - 回路や配線の自動設計、動作シミュレーション、設計検証などを行うソフトウェア。EDA(Electronic Design Automation)とも言う。
- HDL(Hardware Description Language)
 - C言語によく似た機能記述言語。クロック毎の(並列)処理内容を記述し、回路に自動変換することができる。詳しくは後述。
- FPGA(Field Programable Gate Array)
 - HDLで記述した集積回路を、PCから書き込んで使用する半導体デバイス。回路を自由に書き換えることができる。動作原理の詳細は後述。
- MCU(Microcontroller Unit)
 - ソフトウェアの命令を実行するMPU(Micro Processing Unit)とメモリ、IO(入出力装置)を集積化した1チップコンピュータ。不揮発性メモリ(内蔵または外付け)にソフトウェアを書き込んで使用する。
- RFID(Radio Frequency Identification)
 - 周囲の電磁波のエネルギーを利用して無線通信を行う半導体チップ(電池が不要)。Suicaやお財布携帯(コンピュータやOSも搭載)も類似の原理(高周波磁界)で動作している。

1990年代の半導体産業構造変化



ファンドリで製造してから自社ブランドまたはOEMで販売する。

ファンドリで製造が可能な設計データを販売する。

	IDM	Fabless	IP provider	Foundry	Subcontractor	University
設計	○	○	○	×	×	○
前工程	○	×	×	○	×	×
後工程	○	×	×	△	○	×
テスト(選別)	○	×	×	×	○	○
開発投資	○	×	×	×	×	○
OEM	○	○	○	○	○	×
自社製品販売	○	○	×	△	△	×

注: IP (Intellectual Property) は、集積回路に組み込むことができる回路部品の設計データ資産 (マイクロプロセッサのHDLコードなど) を指す。半導体業界で、**マイクロプロセッサは(半導体製品ではなく)設計データのことを指す場合が多い。**

結果、各ユーザが必要な半導体を自分で設計することが一般的になった。

半導体技術の民主化

- 水平分業体制を利用し、だれでも半導体の開発できるというスローガン
 - 個別部品(ディスクリートデバイス)で構成していたシステムをチップ化することで桁違いの性能を達成
 - 汎用半導体製品ではできない特殊機能や特定性能を追求したチップを開発
 - 設計データ(IP)を共有し、世界全体で開発を加速
- 半導体技術の民主化(誰でも開発できること)のハードル
 - 半導体の自動設計に使われるCADソフトウェアが高価
 - 半導体の製造技術は少量生産に向かない(コストが割高になる)
 - 現状では、IPの流通が限定的
 - IPがないと毎回ゼロから設計する必要があり熟練技術者以外が手を出すことが困難
 - 半導体の設計ができる人材が少ない(教える人がいない)

2. 半導体と電子回路

大規模集積回路の製造技術と設計技術

半導体技術の体系

全体を学ぶ必要があるが、日本の大学では、専攻が細分化されており、産業との乖離の問題がある。

製造技術
(Process
technology)

設計技術
(Design
technology)

- 半導体物理
- デバイスマデリング
- 製造プロセス技術
- 微細加工技術（製造装置）

専攻：電気・電子工学

- 半導体デバイス
- 回路技術

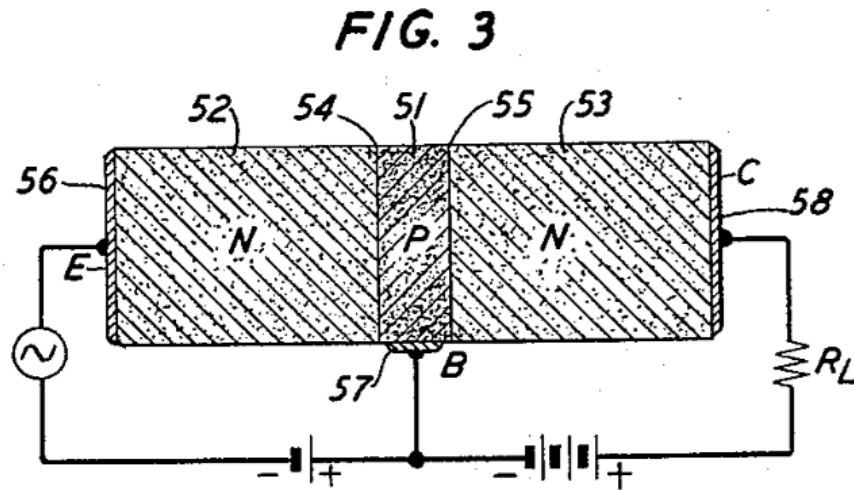
- 回路設計技術
- アルゴリズム
- システムアーキテクチャ
- 設計自動化技術（CAD技術）

専攻：情報・通信工学

半導体の主要イノベーション

Year	Innovation	Inventor
1925	電界効果型トランジスタの特許	ライプツィヒ大学, Julius E. Lilienfeld
1947	点接触型トランジスタの特許	Bell研究所, W. Shockley, W. Brattain, J. Bardeen
1948	接合型トランジスタの特許	Bell研究所, W. Shockley
1955	トランジスタラジオ	東京通信工業(現ソニー)
1959	キルビーの特許(Solid State Circuit)	Texas Instruments, J. Kilby (Registration: 1964)
	ノイスの特許 (Unitary Circuit)	Fairchild Semiconductor International, R. Noyce (Registration: 1961)
1961	IC (Integrated Circuit)	三菱電機(現ルネサスエレクトロニクス)
1962	ロジックファミリー(論理集積回路)	Fairchild, TI
1965	IC電卓	シャープ
1970	Chipset of MP944	Garrett AiResearch Corp., American Microsystems, Inc. (Official announcement 1998)
1971	Microprocessor 4004	嶋正利(Busicom corp.), Marcian Edward Hoff Jr., Federico Faggin (Intel Corp.)
1974	Microcontroller TMS1000	TI, Gary Boone and Michael Cochran

ショックレーの特許(1948)

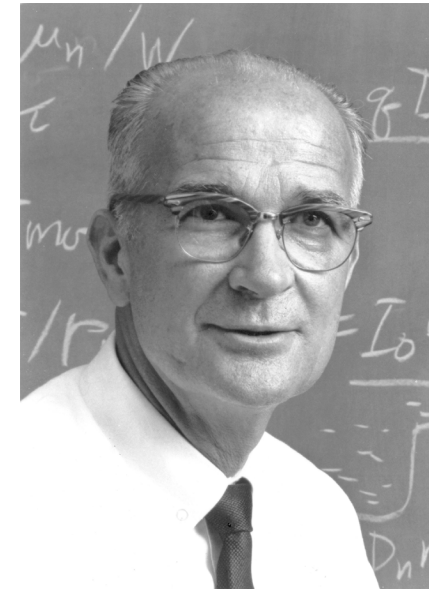


US Patent

No. 2569347A, 1951

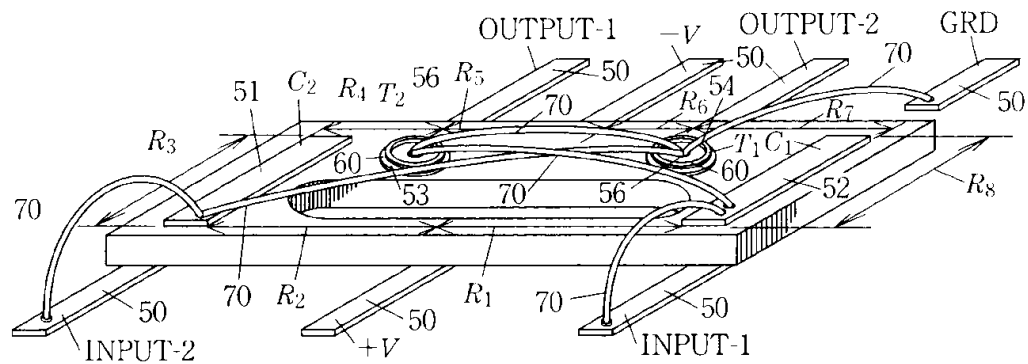
Circuit element utilizing semiconductive material

注：これ以外に各種の接合型トランジスタの構造が提案されている。Fig.3は、現在のBJT(Bipolar Junction Transistor)と同じ構造。

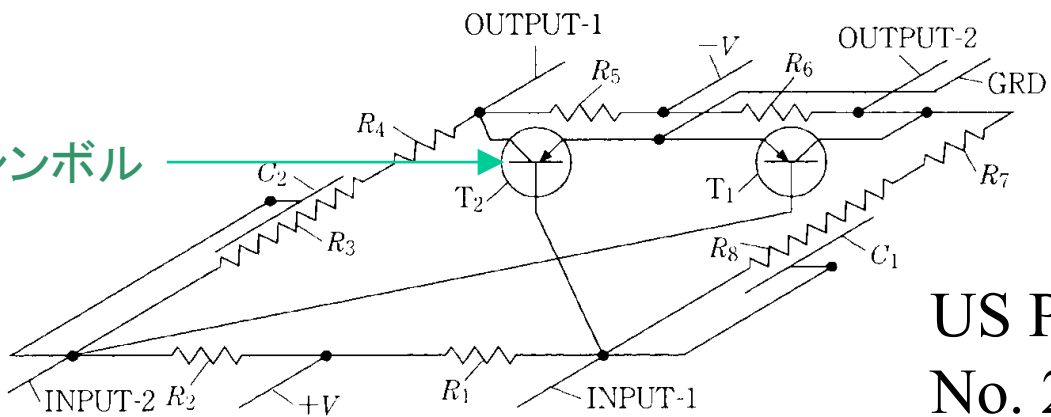


William B. Shockley Jr.
Bell Laboratories,
1956 Nobel Prize winner
Source: Wikipedia

キルビーの特許(1959)



BJTのシンボル

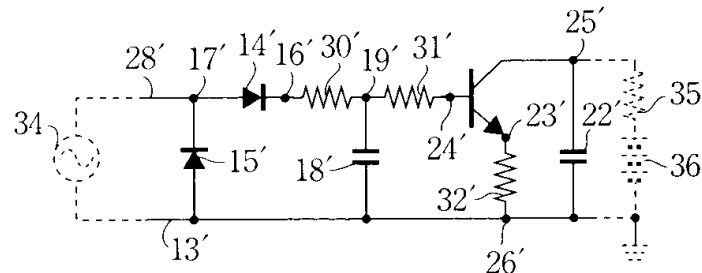
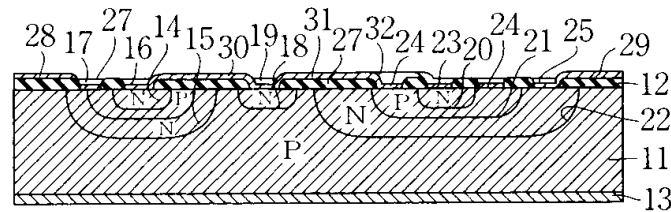
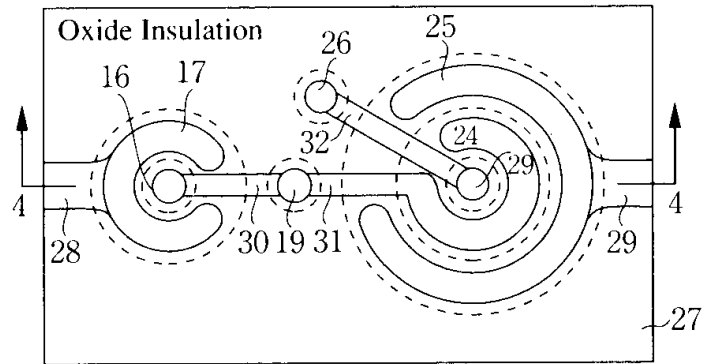


US Patent
No. 2 138 743, 1964



Jack S. Kilby,
Texas Instruments Inc. (TI),
2000 Nobel Prize winner
Source: TI Inc.

ノイスの特許(1959)

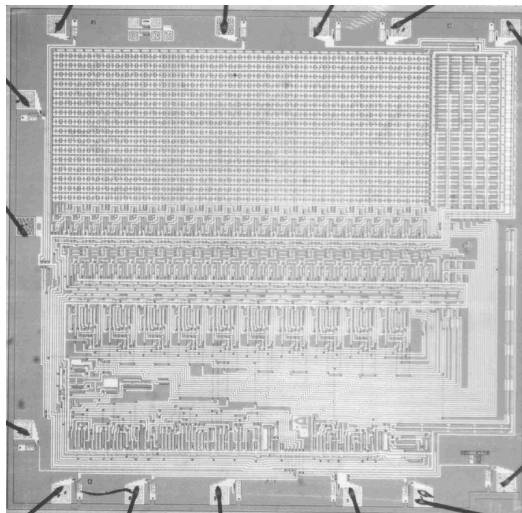


Robert Noyce,
Fairchild Semiconductor
International, Inc.
Source: Innopedia

US Patent
No. 2 981 877, 1961

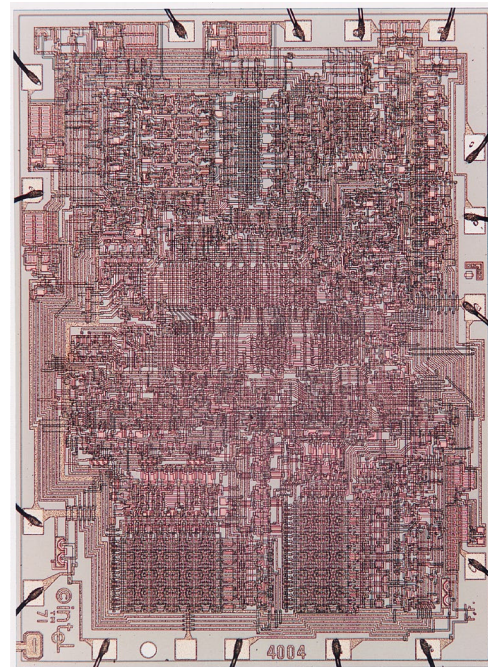
世界初のマイクロプロセッサ（顕微鏡写真）

Garrett AiResearch MP944
p-MOS technology,
Data 20bit, $f_{CLK} = 375\text{kHz}$



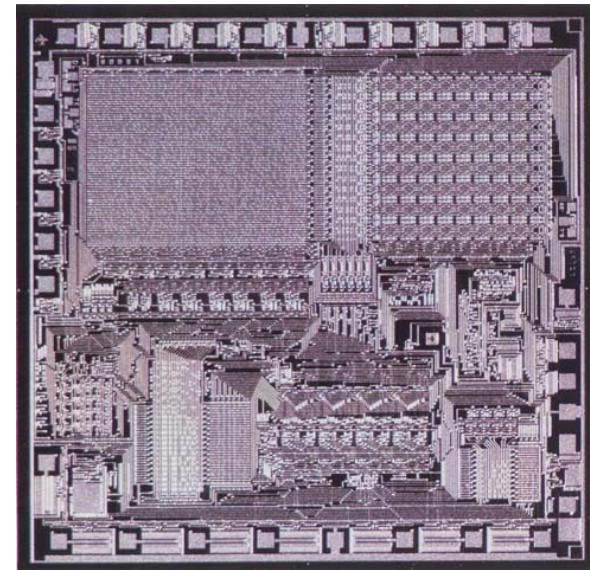
Source: <http://firstmicroprocessor.com/>

Intel 4004
10um p-MOS technology,
2,250 transistors,
 $f_{CLK} = 500\text{k}-740\text{kHz}$
Data 4bit, 48 instructions,



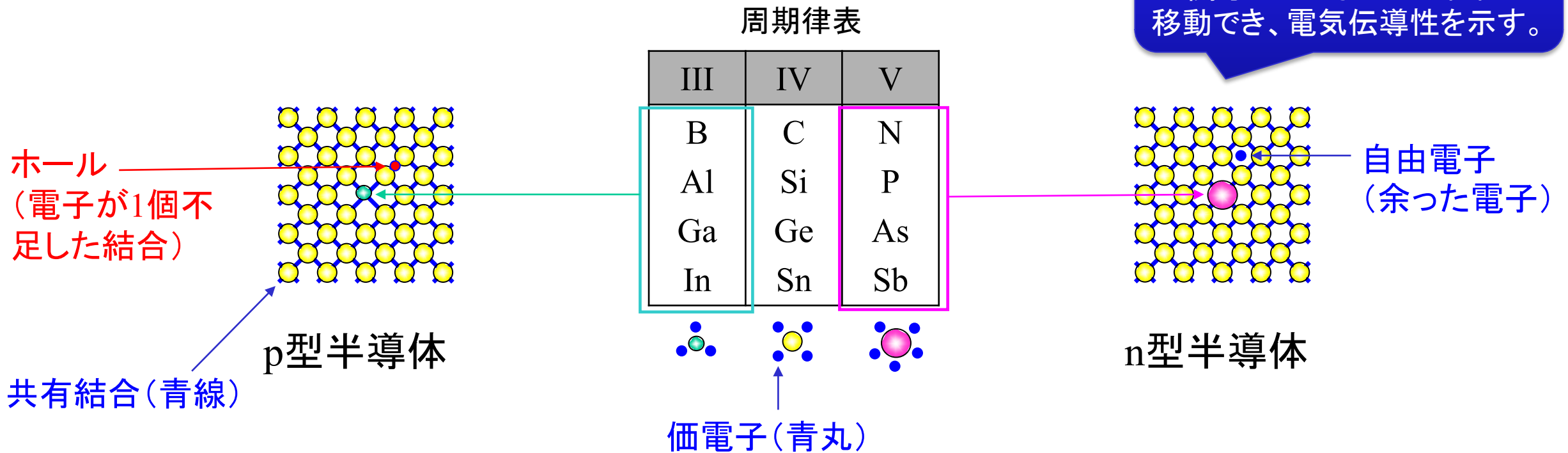
Source: <http://www.4004.com/>

TI TMS1000
8um p-MOS technology,
8,000 transistors,
 $f_{CLK} = 100\text{k}-400\text{kHz}$
Data 4bit, 43 instructions,
256bit RAM, 1kbit ROM



Source: National Museum of American History

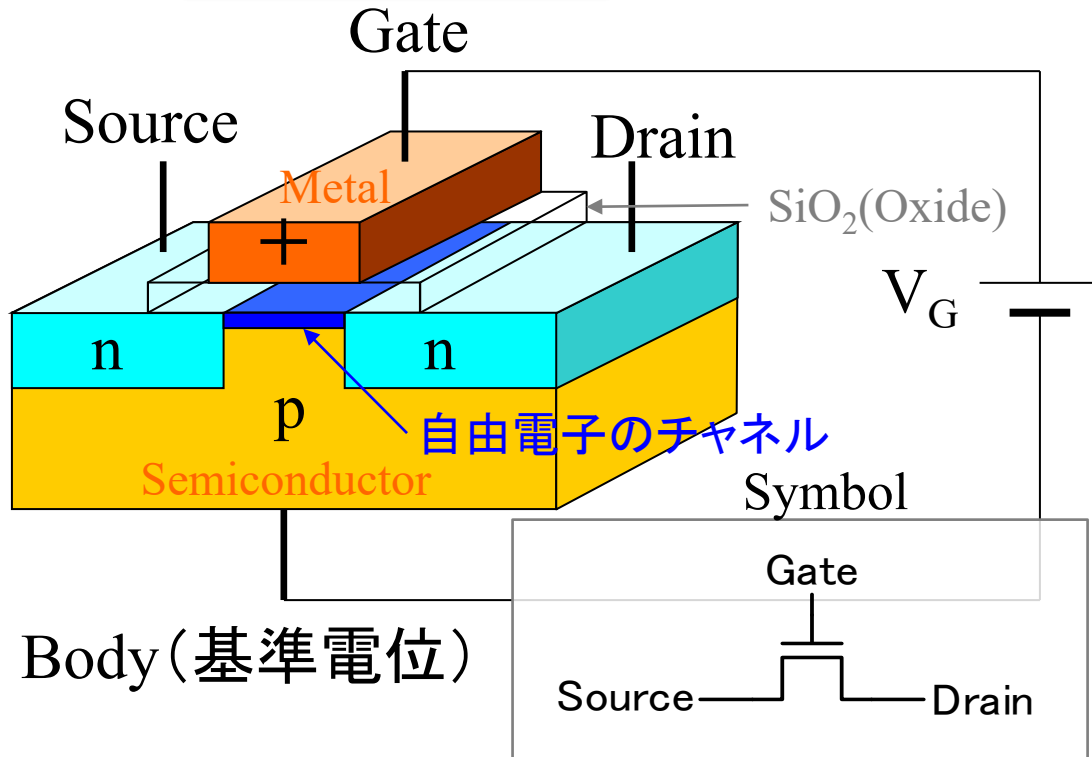
半導体(Semiconductor)の基礎



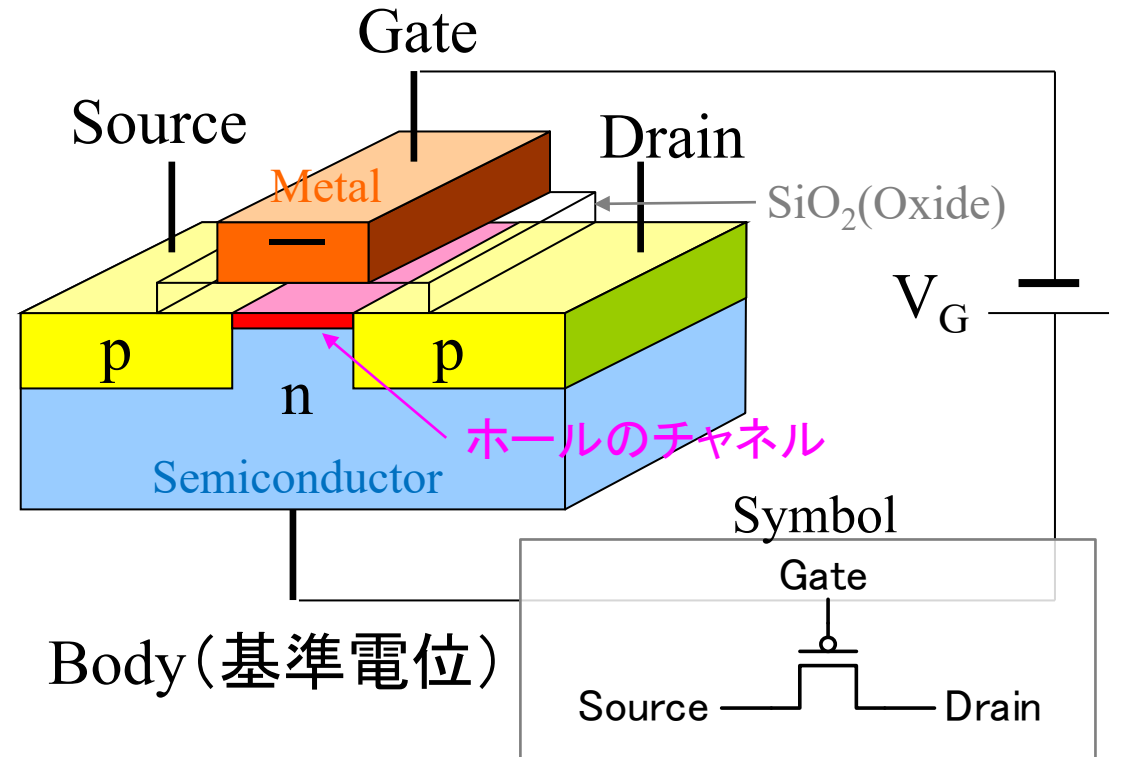
- IV族元素のC, Si, Geの結晶は半導体の性質を持つが、電子物性的には絶縁体と同じ。
- III族またはVI族元素を導入(ドーピング)すると、不純物の個数だけ自由電子(Free electron)またはホール(Hole)が発生し導体の性質を持つ。
- 半導体は、導入する不純物の個数により、自由電子とホールの数を厳密に制御できる。

トランジスタの構造と動作原理

n-ch MOSFET

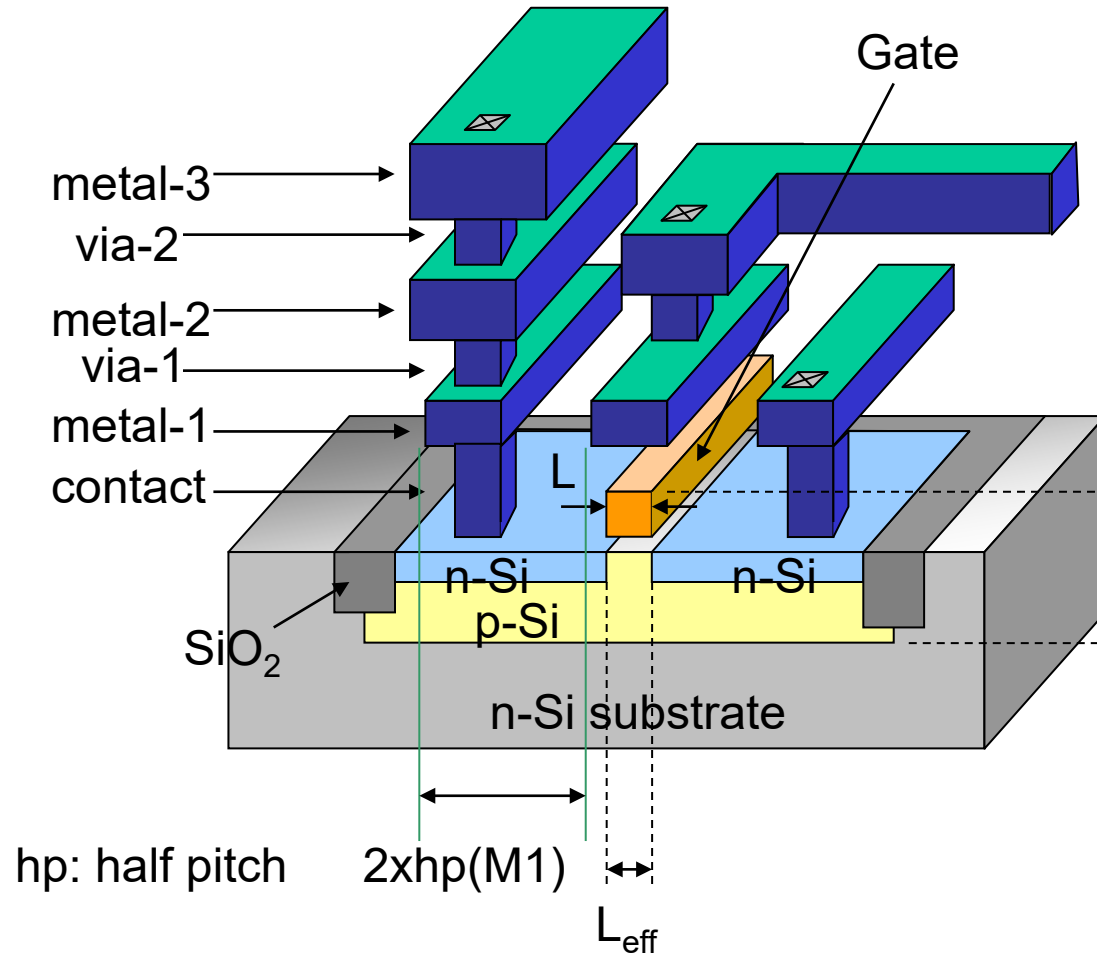


p-ch MOSFET



注:トランジスタには、Bipolar Junction Transistor (BJT), Power MOS(Power Metal-Oxide-Semiconductor)など色々な動作原理や構造のものがあるが、ここでは無線通信回路やマイクロプロセッサに使用され、最も標準的なMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)について説明する。

集積回路の性能と寸法の関係



hpが小さいほど集積度が高い（単位面積あたりの部品数が多い）

配線層

$$\text{feature size} = \text{hp}(\text{metal-1})$$

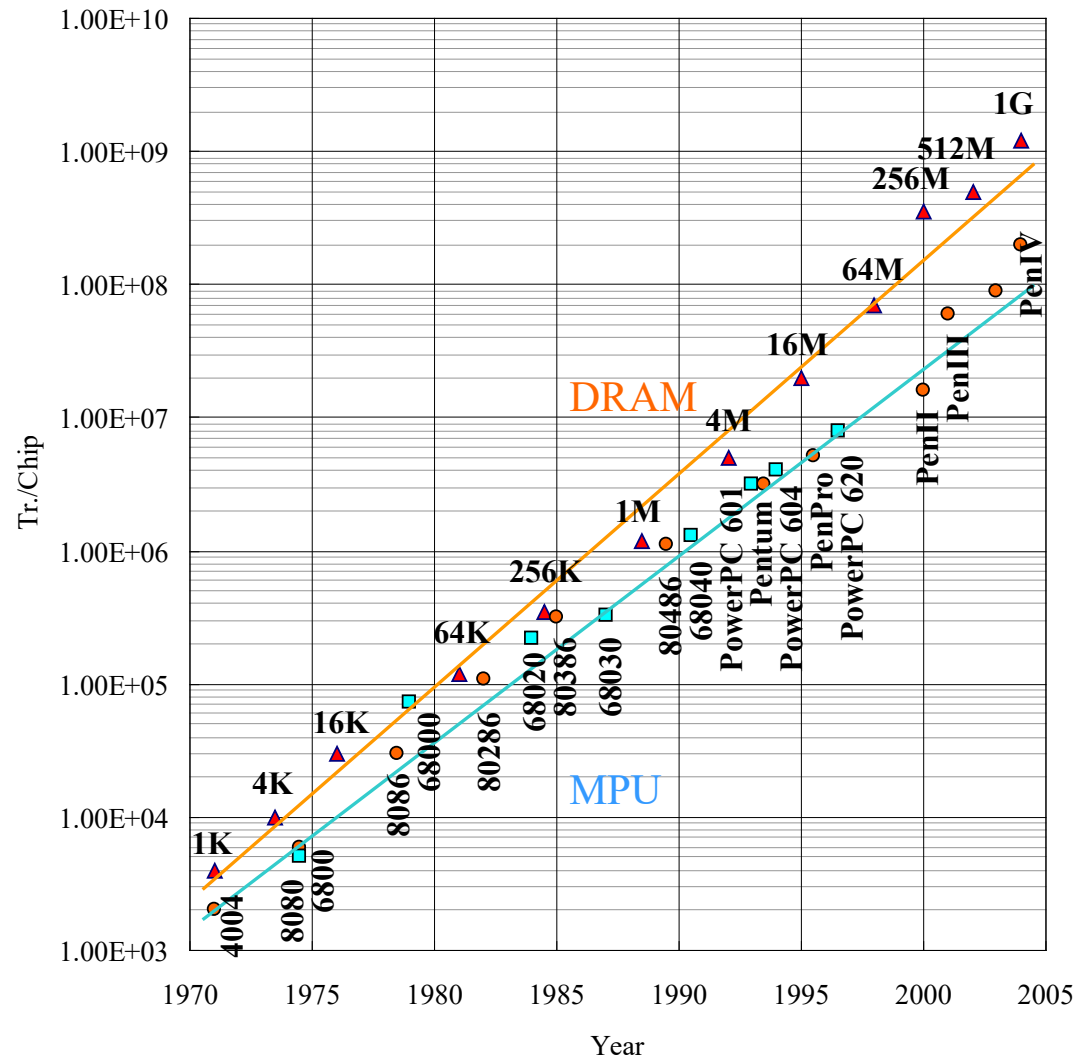
$$(\text{配線幅} + \text{配線間隔}) / 2$$

MOSFET

$$\text{feature size} = L \text{ or } L_{\text{eff}}$$

LまたはL_{eff}が小さいほどMOSFETが高速動作する

ムーアの法則(1965)



Gordon Moore's Law

部品数が1年で2倍に増加。
後に、2年で2倍に修正。



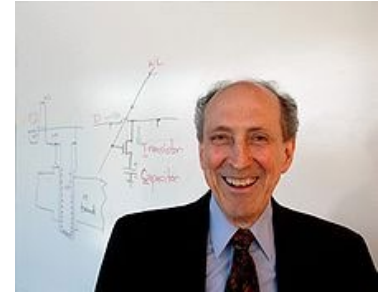
Gordon Moore

Source: Intel Corporation

微細化による集積度（面積あたりの部品数）の向上を予言した。

デナードの比例縮小則(1974)

- 縦横高さを同じ比率で小さくするとき回路性能が何倍になるかを推定する法則を比例縮小則(Scaling law)という。
- デナード氏は、寸法と電源電圧を比例縮小したときの回路性能を理論的に求めた。



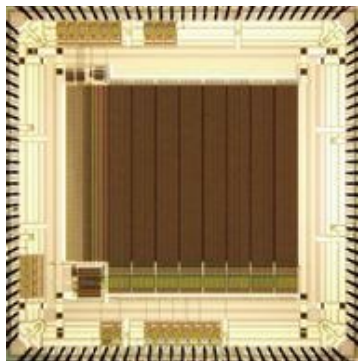
Robert H. Dennard,
1968, Inventor of DRAM
Source: Wikipedia

1/K に比例縮小したときの回路性能

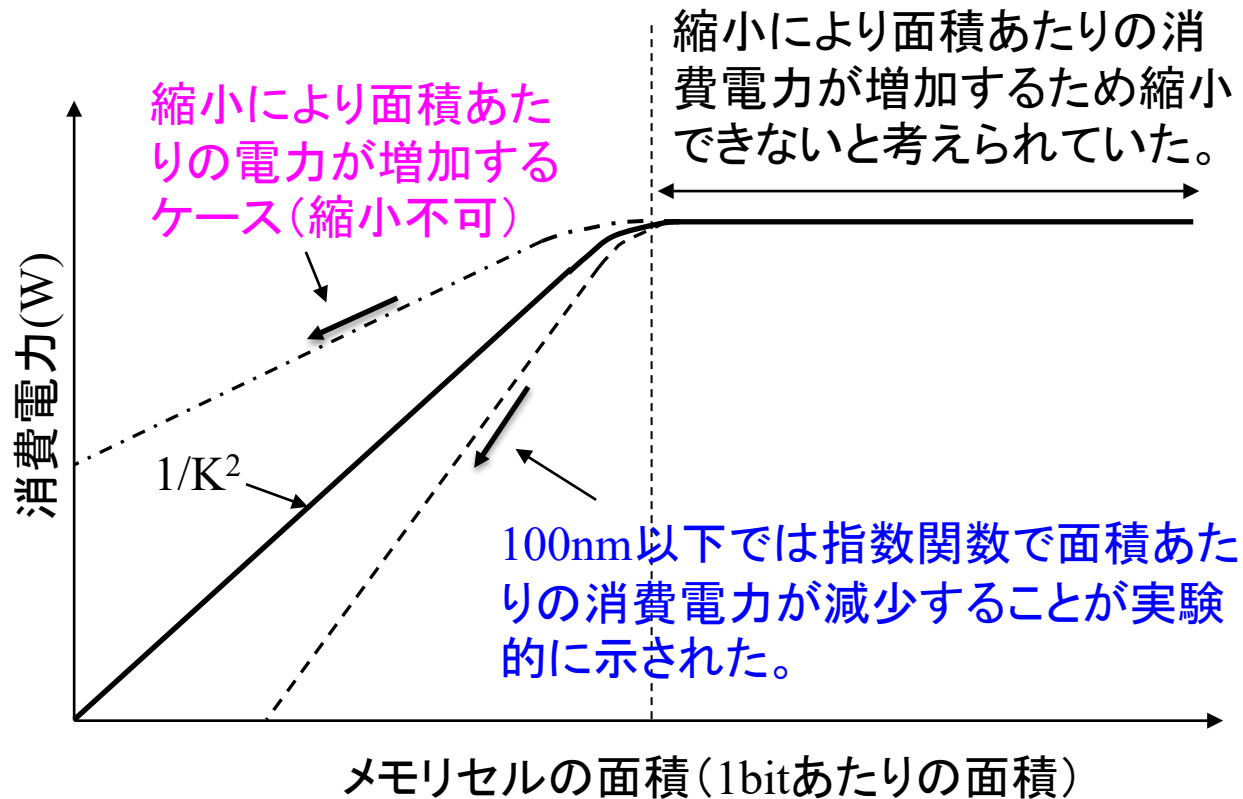
性能	スケーリングの効果
回路面積	$1/K^2$
動作速度 (クロック周波数と通信周波数の上昇)	K
動作時消費電力	$1/K^3$
待機時消費電力	$1/K^2$
単位面積あたりの電力 (ジュール熱による温度上昇)	1

(参考) 相変化メモリの比例縮小則

- 相変化メモリは、2001年に世界で最初に金沢大学で集積化に成功した新型不揮発性メモリ(※)であり、ニューロシナプティックチップ(チップ単体でAIとして動作するLSIの一種)に応用されている



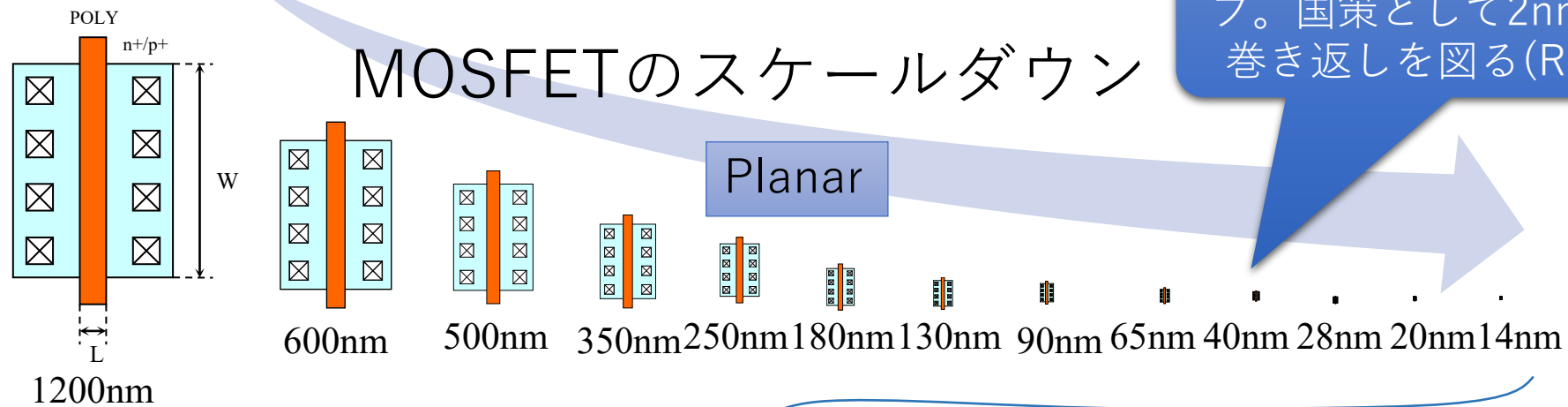
金沢大学で試作した相変化メモリの顕微鏡写真



※ Flashメモリ (SSDなど)のように、電源を切ってもデータが保持されるメモリを不揮発性メモリ(Nonvolatile memory)という。その中で、ランダムアクセスができ(NAND Flashはできない)、DRAM (PCの主記憶など)と同等以上の高速動作をするものは、新型不揮発性メモリと呼ばれる。相変化メモリ(PRAM)と磁気抵抗メモリ(MRAM)が実用化されている。

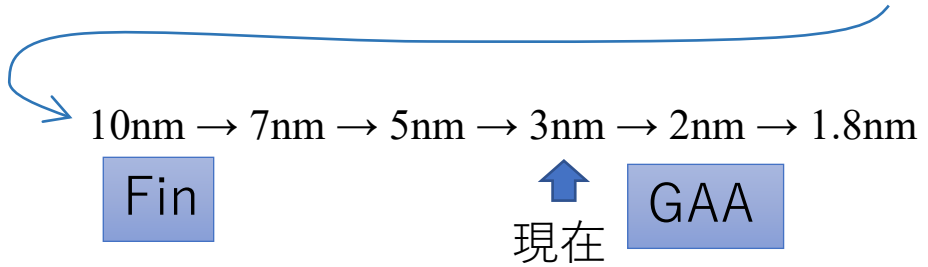
トランジスタ微細化のトレンド

- 微細化によりコスト（材料コスト、製造コスト）削減と性能向上（動作速度、消費電力）が同時に達成されるため、微細化するほど利益が増す。
- 全ての産業分野から研究開発＋設備投資が持続し、斜陽産業化が起こらないことが半導体産業の特長。

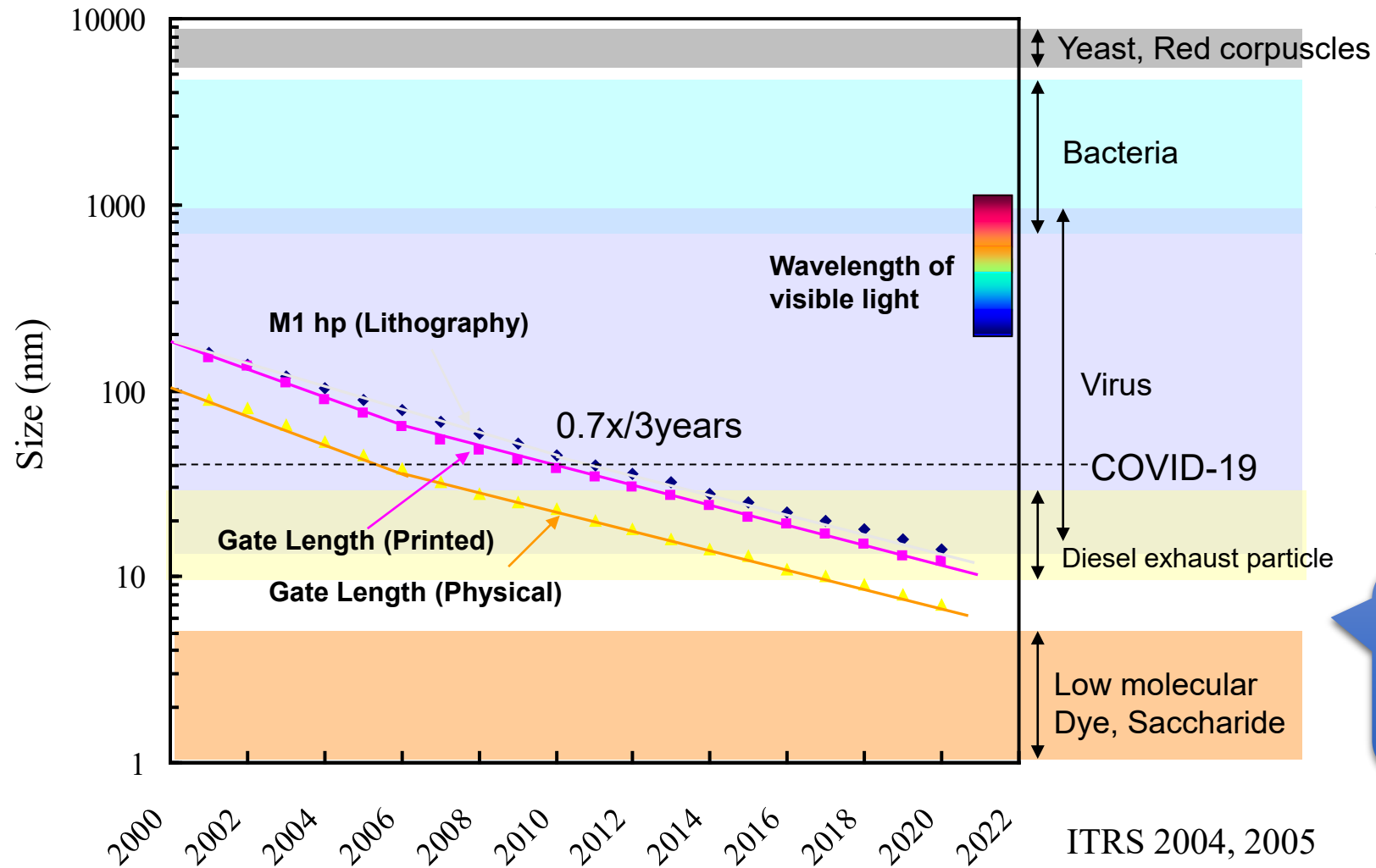


日本企業はこのあたりでストップ。国策として2nm製造技術で巻き返しを図る(Rapidus(株))

(参考) 減価償却の終わった古い製造技術は、安く製造ができるため、むしろ需要は大きい。



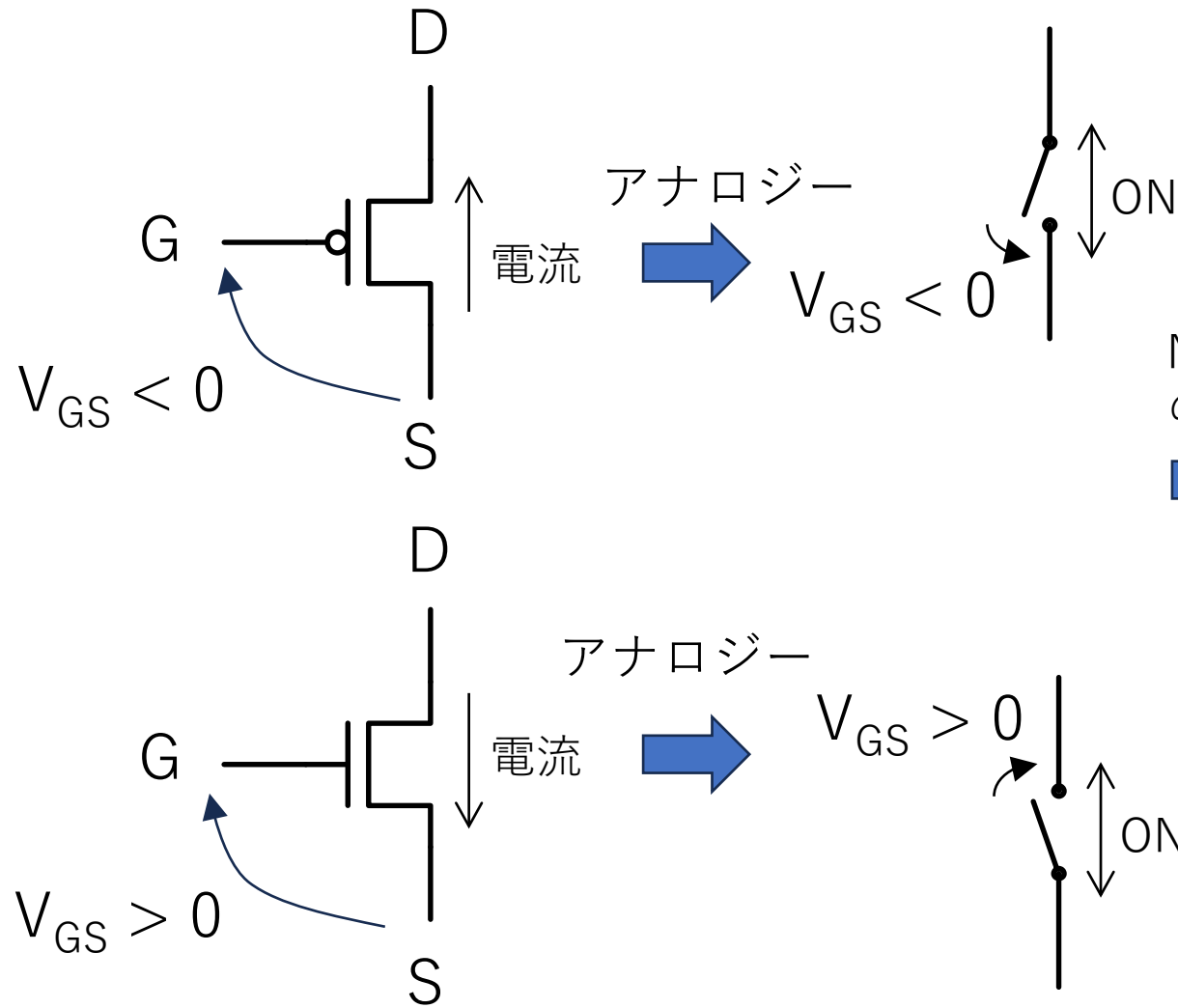
寸法の比較



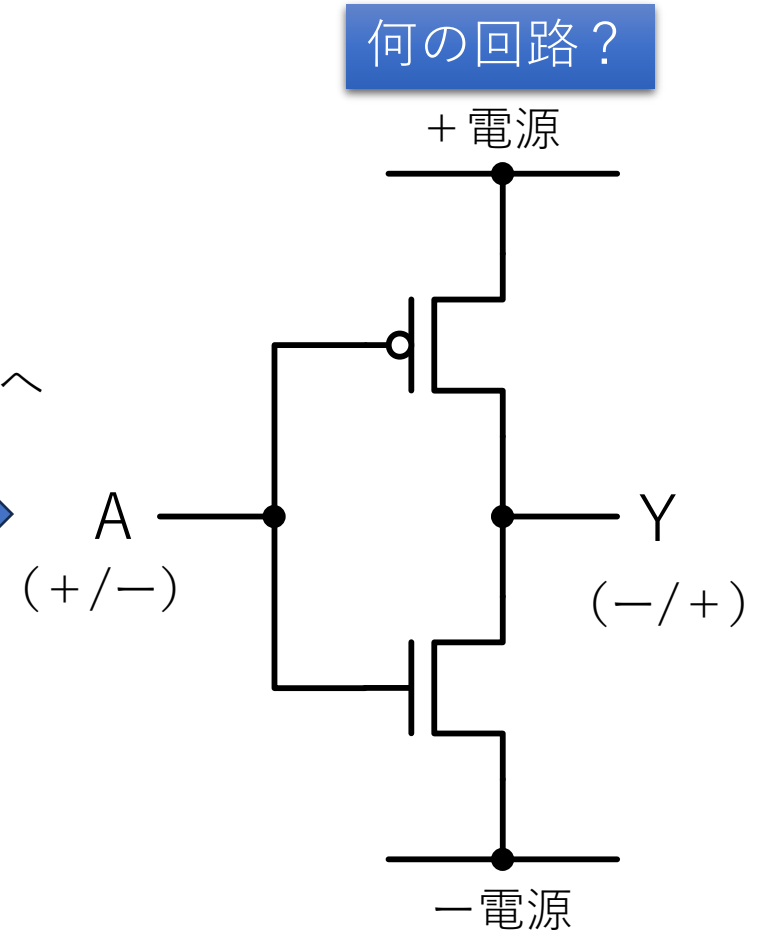
(重要) 微細加工できるだけでは集積化ができない、何10億個のトランジスタが全く同じ電気的特性であることが必要。この理由で、現在、集積回路を実現できるのはシリコンのみである。

最先端の微細加工技術では、トランジスタのサイズはウイルスよりも小さく低分子と同等

トランジスタの機能（スイッチング）

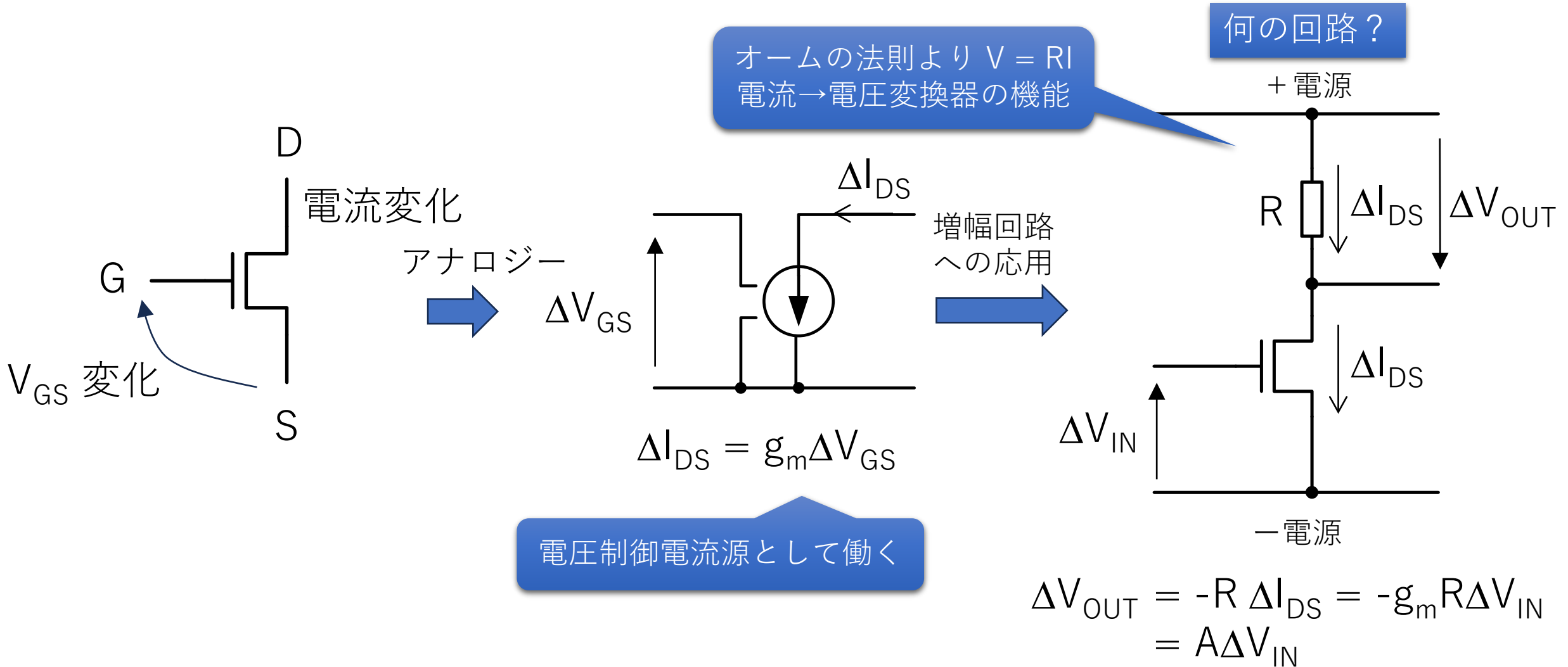


NOT回路への応用



{ + = 論理値1
- = 論理値0 } のように割り当てる

トランジスタの機能（電圧制御電流源）



デジタル回路の動作原理

機能 (条件分岐の例)

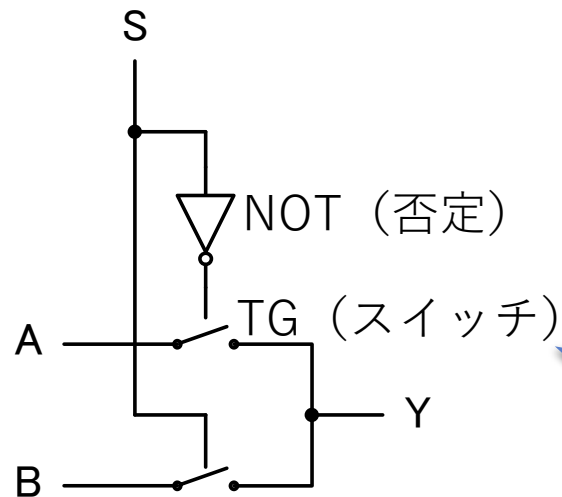
```
if (S == 0) Y = A;
else      Y = B;
```

自動

論理式 $Y = \bar{S} \cdot A + S \cdot B$

自動

Wired logicによる実装



NOTやTGは予めトランジスタを用いて設計しておく。

真理値表

S	A	B	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1

1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

自動

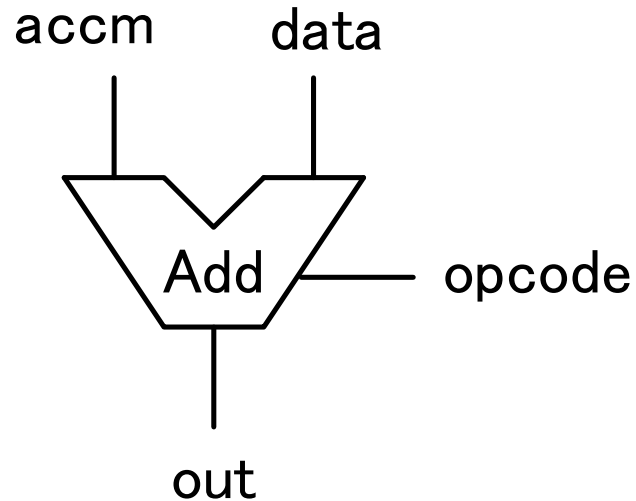
LUT(Lookup Table)による実装

Address	Data							
000	0	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
001	0	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
010	1	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
011	1	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
100	0	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
101	1	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
110	0	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC
111	1	DC	DC	DC	DC	DC	DC	DC

SAB (入力) Y (出力)

真理値表をメモリに書き込んでおく。

HDL (Hardware Description Language) の概要



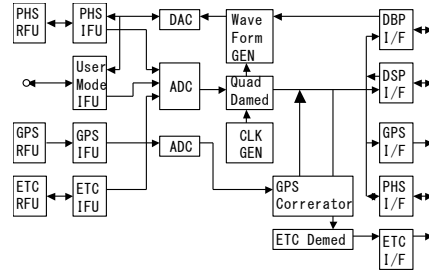
```
`define AND 3' b000
`define OR 3' b001
`define NOT 3' b010
`define XOR 3' b011
`define ADD 3' b100
`define SUB 3' b101
`define ACC 3' b110
`define DAT 3' b111
```

```
module alu (alu_out, accm, data, opcode);
  input [7:0] accm, data;
  input [2:0] opcode;
  output [7:0] alu_out;
  reg [7:0] alu_out;

  always @(accm or data or opcode) begin
    case (opcode)
      `AND : alu_out <= accm & data;
      `OR : alu_out <= accm | data;
      `NOT : alu_out <= ~accm;
      `XOR : alu_out <= accm ^ data;
      `ADD : alu_out <= accm + data;
      `SUB : alu_out <= accm - data;
      `ACC : alu_out <= accm;
      `DAT : alu_out <= data;
      default : alu_out <= 8' bxxxxxxx;
    endcase
  end
endmodule
```

デジタル回路の設計手順

Block diagram of system architecture



Specification sheet for digital block

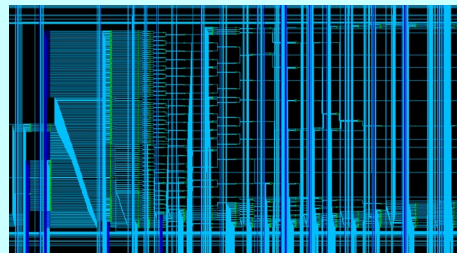
項目	条件	規格値			設計値			単位
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
電源電圧		1.8	3.3	3.5	1.8	2.1	3.3	V
消費電流		—	—	2.2	—	—	—	mA
利得		—	15	—	—	—	—	dB
周波数		300	426	475	—	—	—	—
雑音指数 (NF)		—	2	—	—	—	—	dB
1dBコプア レッソシレベル		—	0	—	—	—	—	dBm
インサートロス (ILP3)		—	9.6	—	—	—	—	dB
入力インピーダンス		—	50	—	—	—	—	Ω
出力インピーダンス		—	500	—	—	—	—	Ω
端子間アレーン (OUT→IN)		—	20	—	—	—	—	dB

HDL (Hardware Description language)

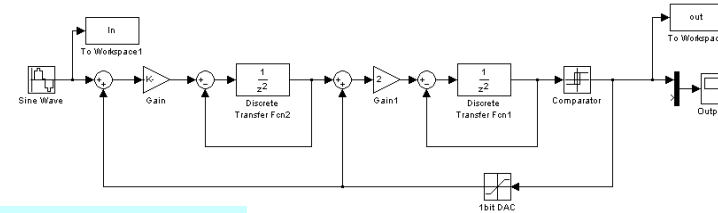
```

18107 |
18108 | always @(posedge SM2JCLK) GenBuf <= AndBuf;
18109 | always @(posedge SM2JCLK) GenBuf <= OrBuf;
18110 | always @(posedge SM2JCLK) NGenBuf <= EorBuf;
18111 | always @(posedge SM2JCLK or nposedge FreqBuf)
18112 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18113 |   | (GenBuf <= 1'b1);
18114 |   | (GenBuf <= FreqBuf);
18115 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18116 | always @(posedge CLK or nposedge DESRESETn)
18117 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18118 |   | (GenBuf <= 1'b1);
18119 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18120 |   | (GenBuf <= 1'b1);
18121 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18122 |   | (GenBuf <= 1'b1);
18123 |   | (GenBuf <= 1'b0);
18124 |   | (GenBuf <= 1'b1);
18125 |   | (GenBuf <= 1'b0);
    
```

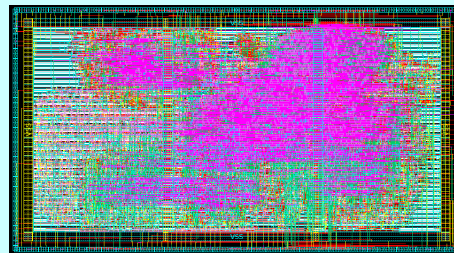
Logic Synthesis



Signal flow and transfer function, High level language



Place and Route

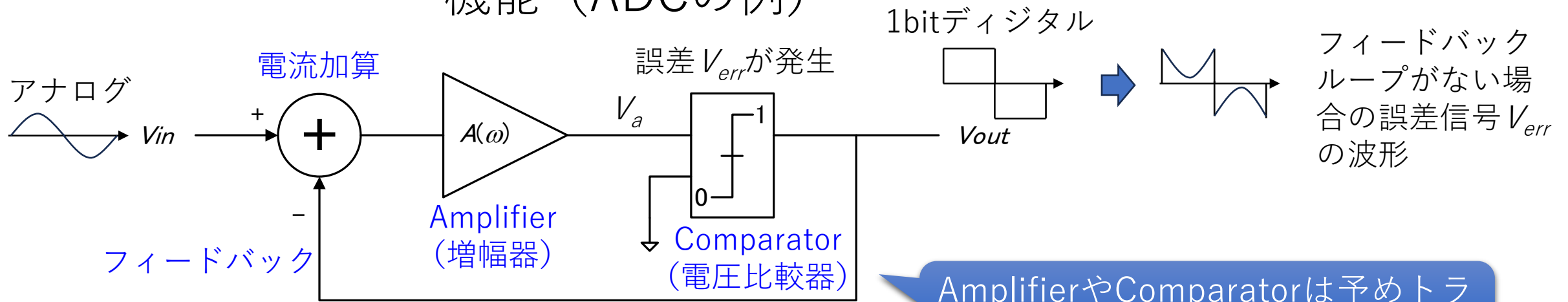


水色背景部分はCADツールで自動的に作成できる。

Manufacture/FPGA

アナログ回路の動作原理

機能 (ADCの例)



AmplifierやComparatorは予めトランジスタを用いて設計しておく。

$$V_{err} = V_{out} - V_a$$

$$V_{out} = V_a + V_{err} = A(\omega)(V_{in} - V_{out}) + V_{err}$$

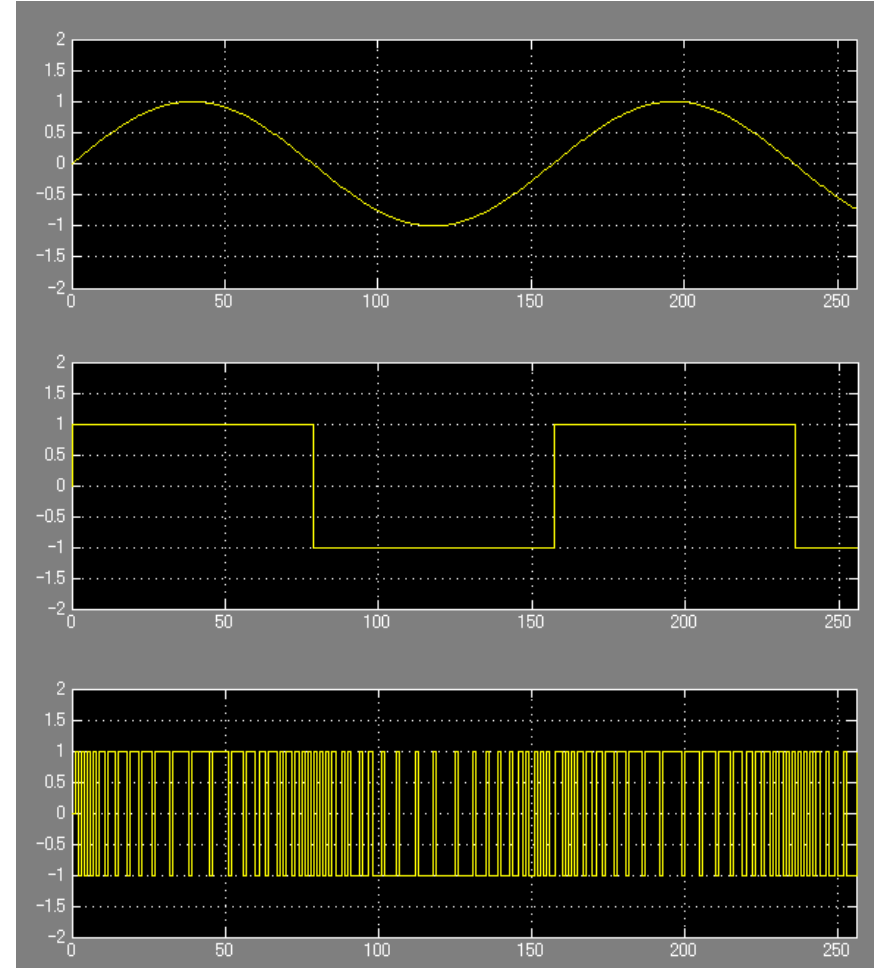
$$(1 + A(\omega))V_{out} = A(\omega)V_{in} + V_{err}$$

$$V_{out}(Digital) = \frac{A(\omega)}{1+A(\omega)}V_{in} + \frac{1}{1+A(\omega)}V_{err} \xrightarrow{A(\omega) \approx \infty} V_{in}(Analog)$$

$A(\omega) \approx \infty$ となる角周波数 ω において、入力(アナログ)と出力(デジタル)が等しい。

(参考) パルス密度変調

- 前ページスライドでは、入力 (sin波) と出力 (1/0) の波形が異なっているにも関わらず、 $V_{out} = V_{in}$ となっている。実は、電圧比較の周期 (サンプリング周期) を入力 (sin波) の周期よりも非常に短く (オーバサンプリング) すると、フィードバック信号の影響で、出力に論理値1が発生する頻度がアナログ値 V_{in} と等しくなる。
- 論理値1の発生頻度によりデジタル値を表すことを、パルス密度変調と呼ぶ。パルス密度変調信号は、デジタル値を1本の信号線で伝送できる利点がある。
- パルス密度変調信号を2進数 (バイナリコード) に変換する回路はデシメーションフィルタと呼ばれる。



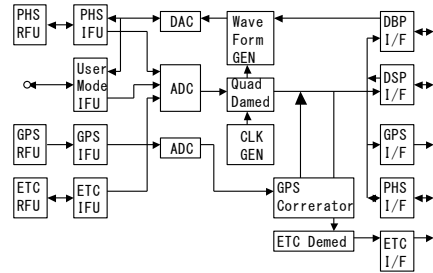
入力

出力
(フィード
バックなし)

出力
(フィード
バックあり)

アナログ回路の設計手順

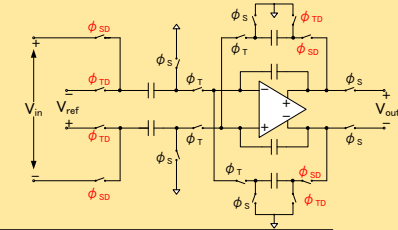
Block diagram of system architecture



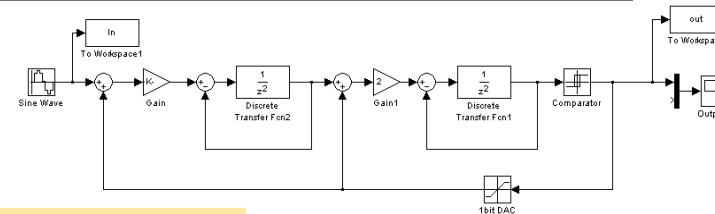
Specification sheet for analog block

項目	条件	規格値			設計値			単位
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
電源電圧		1.8	3.3	3.5	1.8	2.1	3.3	V
消費電流		—	—	2.2				mA
利得		—	15	—				dB
周波数		300	426	475				dB
雑音指数 (NF)		—	2	—				dBm
1dB抑えレゾナンスレベ \times		—	0	—				dB
化雑音レベ \times (11PS)		—	9.6	—				dB
入力インピーダンス		—	50	—				Ω
出力インピーダンス		—	500	—				Ω
端子間インピーダンス (OUT \rightarrow IN)				20				dB

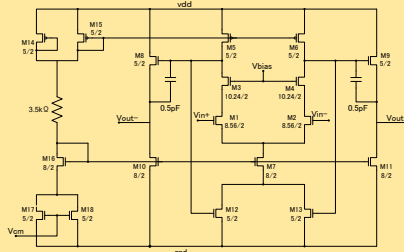
Circuit schematic with behavior models



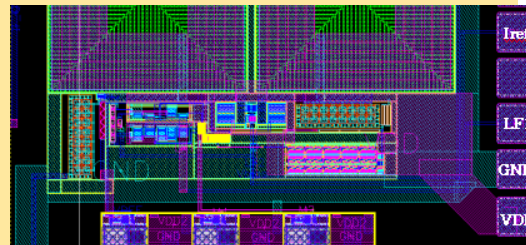
Signal flow and transfer function



Circuit schematic with Transistors



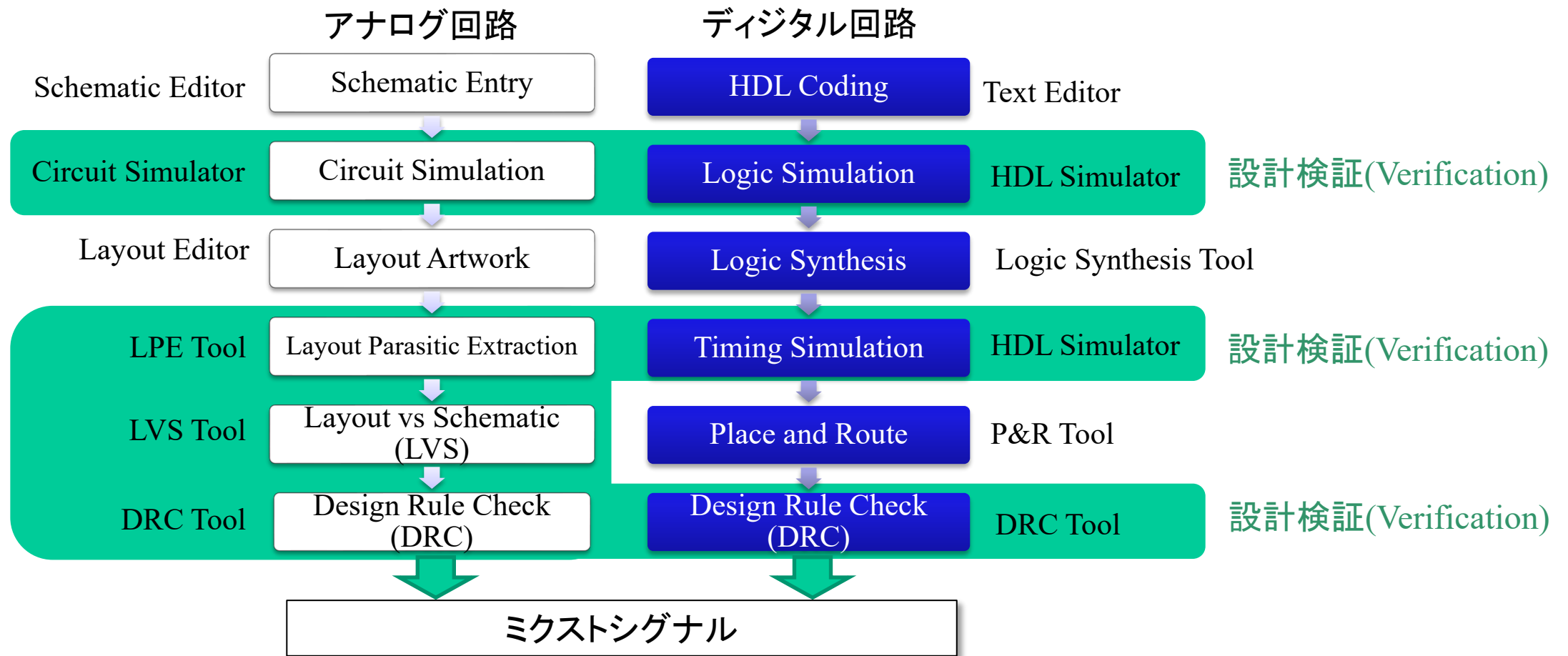
Layout artwork



Manufacture

黄色背景部分も手動で作成される

ミクストシグナル設計フロー

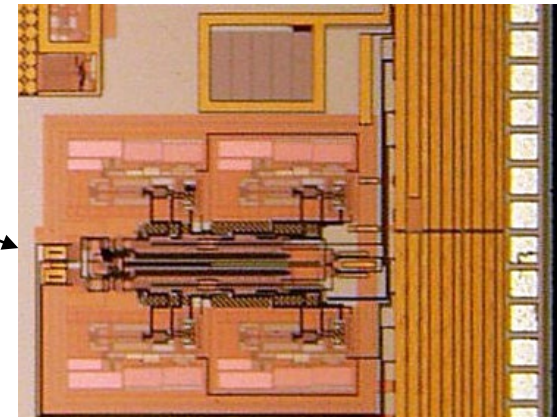


ADCのようにアナログ信号とデジタル信号の両方を扱う回路はミクストシグナル回路と呼ばれる。

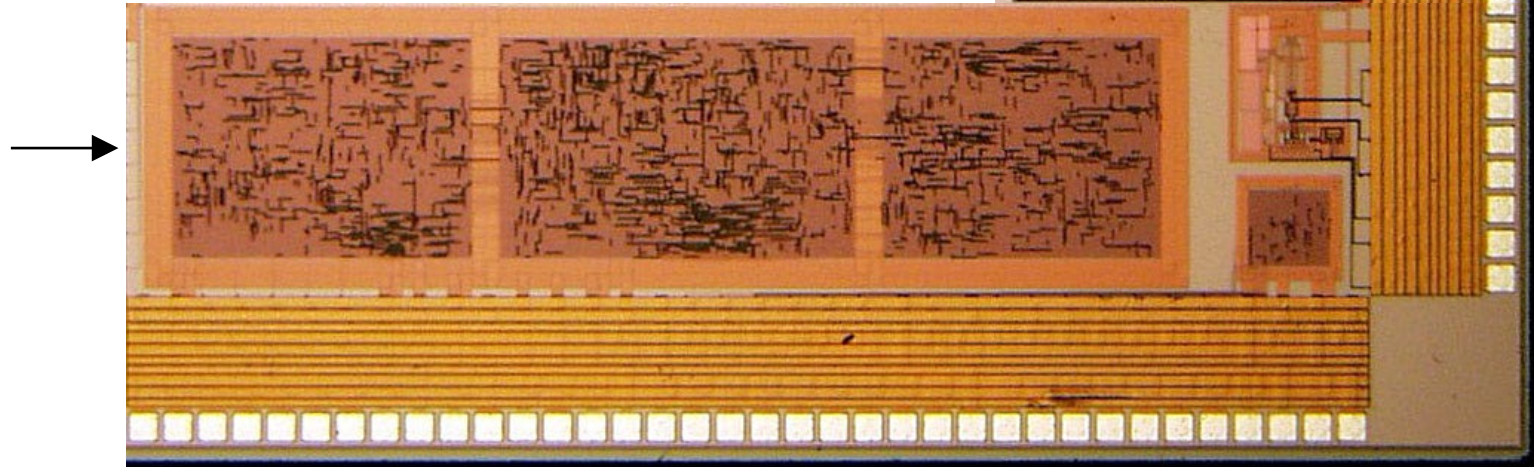
金沢大学で開発された無線通信用ADCの例

バンドパスデルタ-シグマ変調回路(通信周波数で誤差がなくなるようにしたパルス密度変調回路)

仕様
CMOS 0.25um (微細加工0.25um)
OSR = 256 (オーバーサンプリング比)
4th-order noise shaping, ENOB = 14bit (有効ビット数)



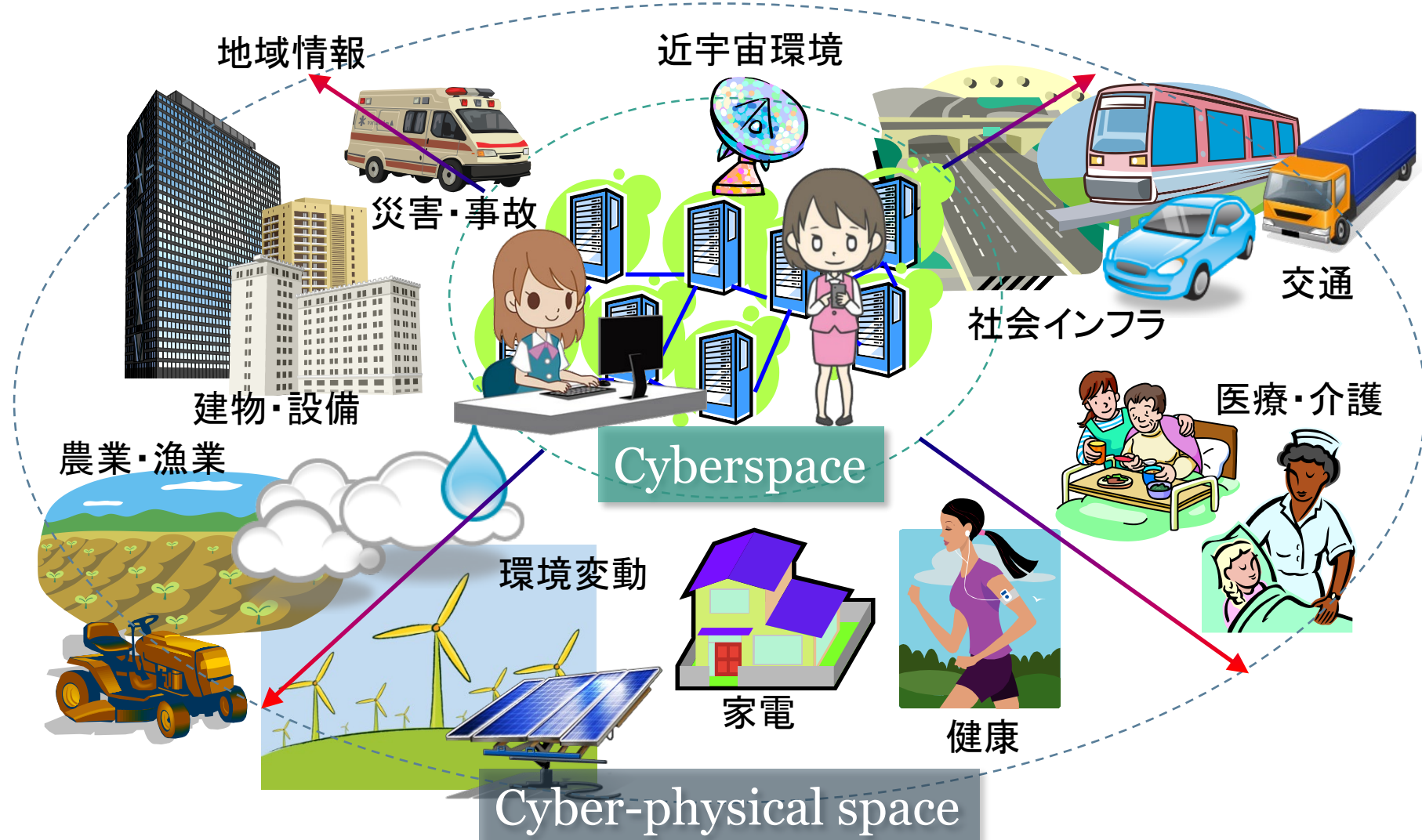
Down conversion,
Decimation, and Decoding
などのデジタル信号処理
部



3. 通信システム

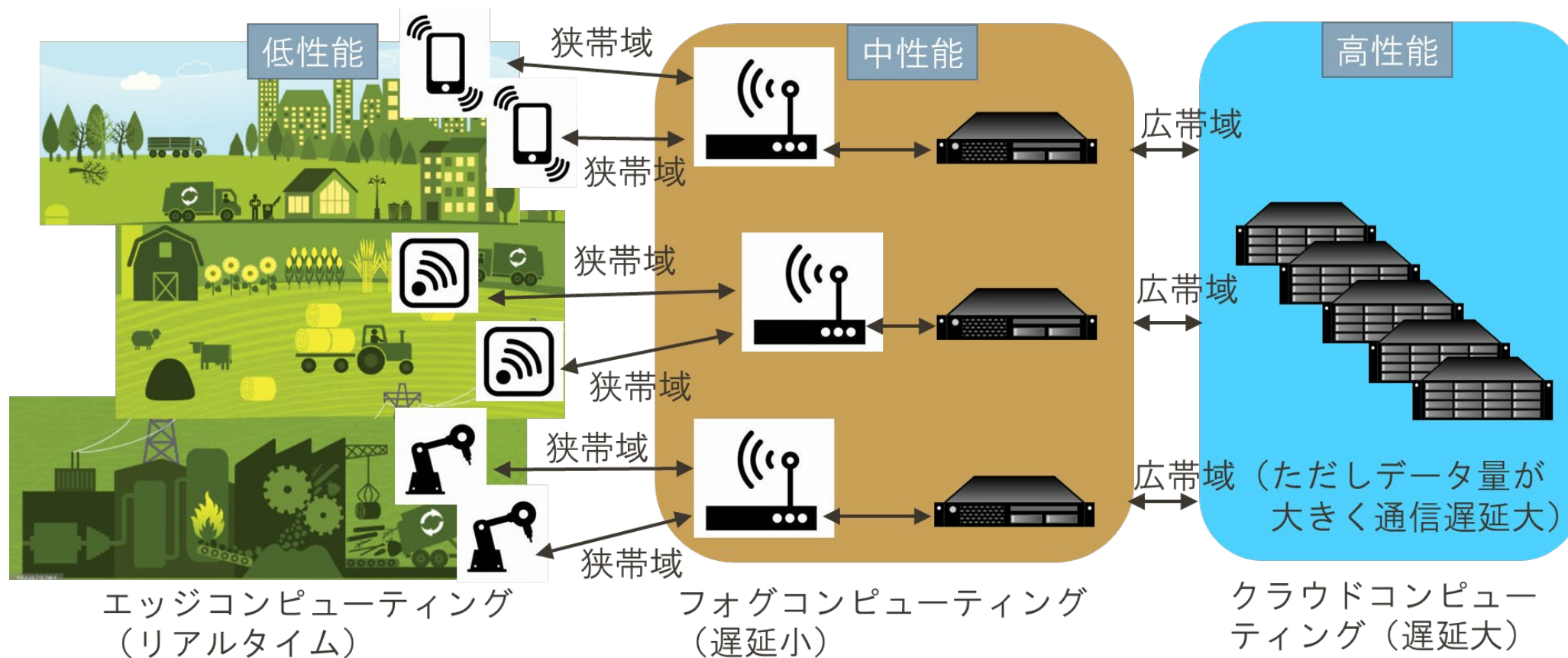
IoTと電波法

人からモノへのインターネットの拡張



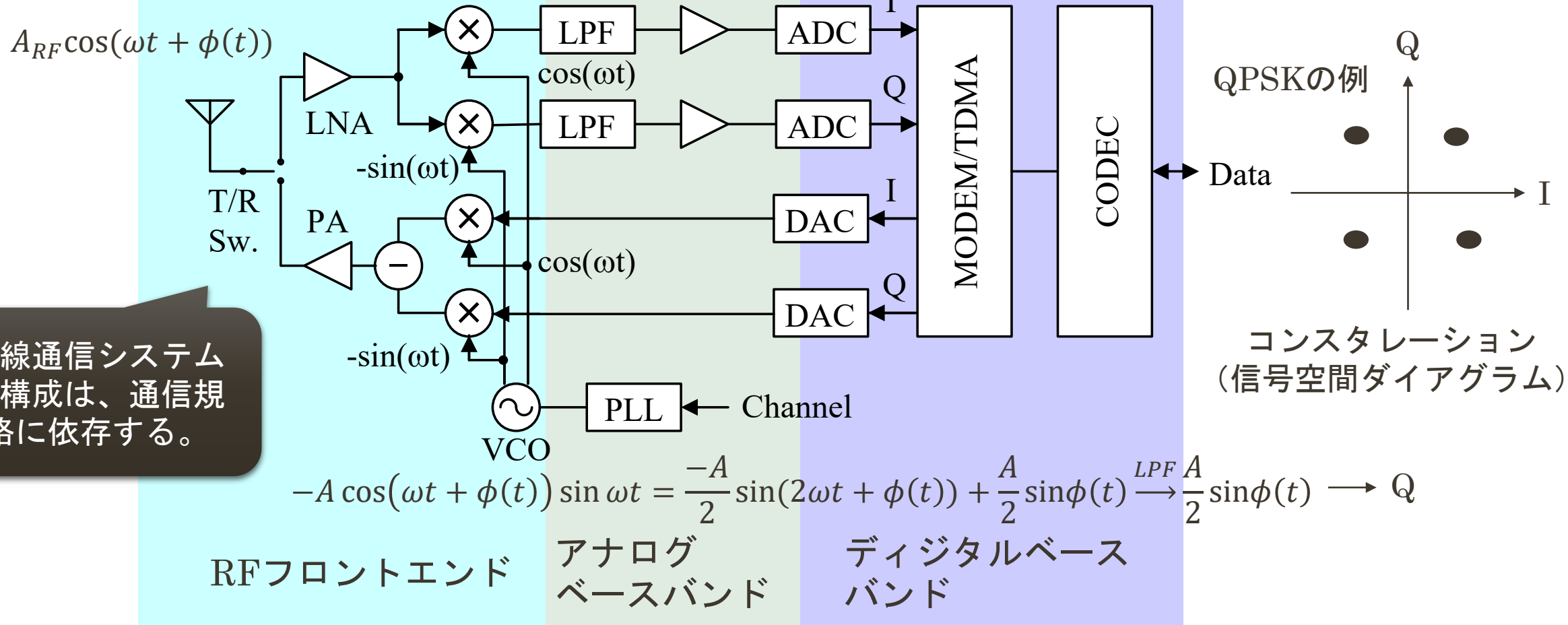
Edge ComputingとFog Computingによるネットワーク分散処理

- すべてのデータ処理をクラウドに任せるのではなく、エッジコンピューティングまたはフォグコンピューティングを併用することにより、レスポンスの高速化、通信データ量の削減、消費電力の削減を行う。



無線通信回路の構成例（ダイレクトコンバージョン方式）

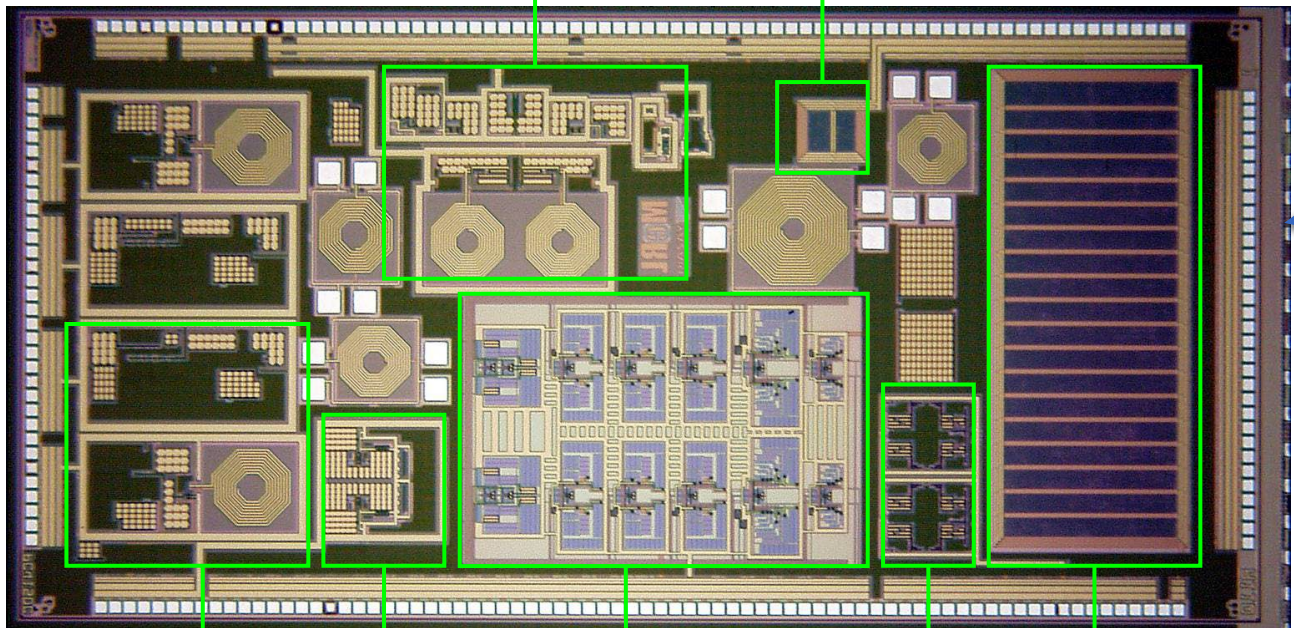
$$A \cos(\omega t + \phi(t)) \cos \omega t = \frac{A}{2} \cos(2\omega t + \phi(t)) + \frac{A}{2} \cos \phi(t) \xrightarrow{LPF} \frac{A}{2} \cos \phi(t) \rightarrow I$$



金沢大学で開発されたUHF帯トランシーバの例

(RF signal generation) PLL

DSM (Frequency control)



デジタル回路は、微細化によって面積が小さくなるが、アナログ回路は、ほとんど小さくならない。

デジタル回路は、トランジスタのみで構成できるが、アナログ回路は、インダクタL, キャパシタC, 抵抗Rが必要。

(Impedance matching)

LNA

Mixer
(Frequency conversion)

Amp., ADC
(Analog-to-Digital conversion)

Regulator
(Power supply)

デジタル回路部

Image rejection
Decimator
Channel filter
Demodulator

無線通信規格

- 全ての機器で通信方式を合わせないと情報通信ができない（世界共通にする必要がある）
- 異なる通信路間の干渉（妨害）を防ぐ
- 通信の秘匿性や通信品質（エラー発生率、通信距離など）を保証する

規格上の違い（法的制限でもある）

結果としての通信特性の違い

周波数帯（有限な周波数資源）

通信距離

最大出力

通信距離、消費電力

変調方式・スペクトラム拡散方式

帯域幅（伝送速度）、消費電力

多重化方式

通信速度、消費電力

チャンネル幅・チャンネル数

ネットワークノード数（参加できる数）

プロトコル（通信手順、データフォーマット）

パケットのサイズ、遅延時間

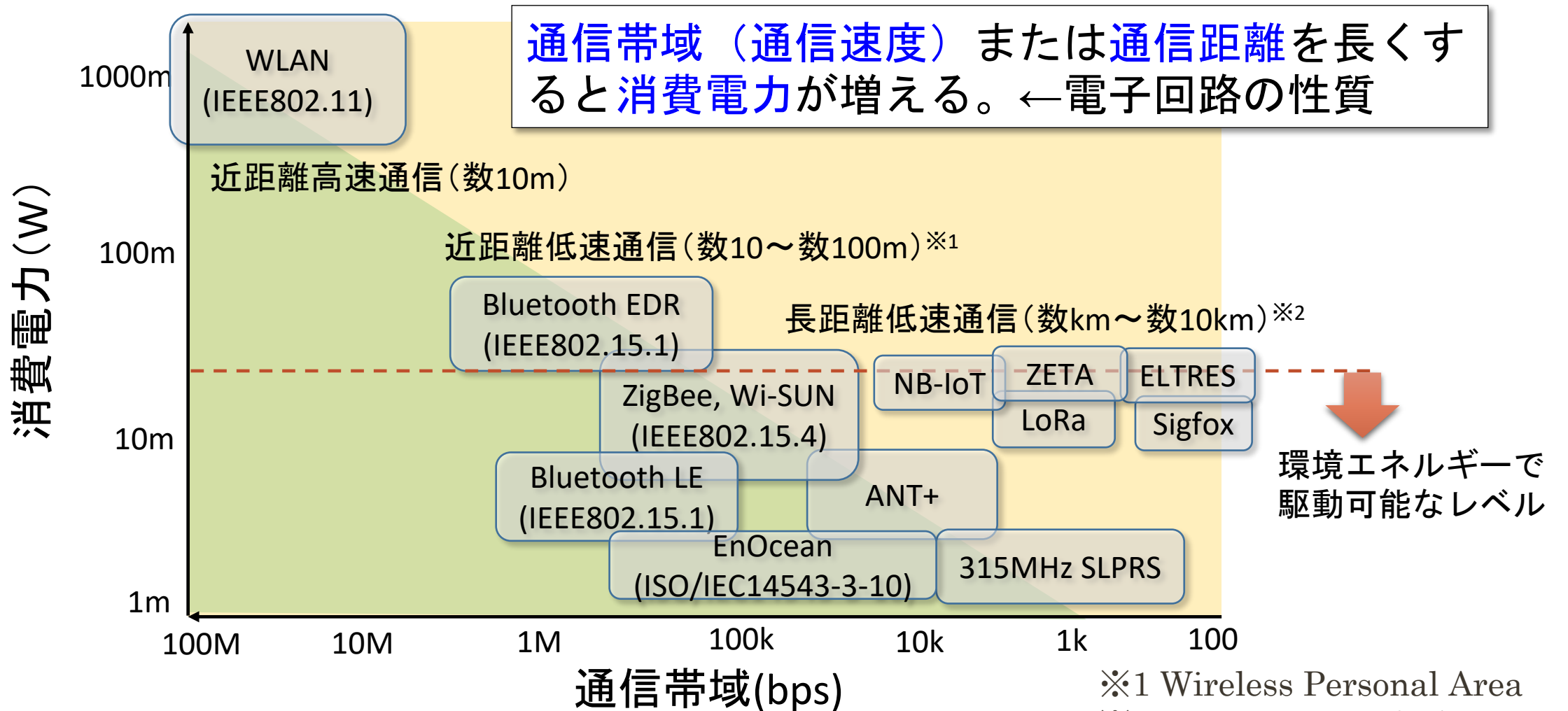
暗号化方式

セキュリティ強度

ネットワーク形態

ネットワークノード数、通信エリア

IoT関連無線通信規格



※1 Wireless Personal Area

※2 Low Power Wide Area

通信関係の法規

名称	概要	内容例
電気通信事業法	電気通信事業を行う者が守るべき基本的なルール	<ul style="list-style-type: none">• 検閲の禁止• 秘密の守秘義務• 差別的取り扱いの禁止• 登録義務（総務大臣が許可）
有線電気通信法	有線電気通信設備の設置及び使用方法に関するルール ※	<ul style="list-style-type: none">• 技術基準への適合• 他の通信設備への妨害の禁止• 設備の届け出義務（総務大臣が許可）
電波法	電波の公平且つ能率的な利用に関するルール ※	<ul style="list-style-type: none">• 技術基準への適合• 利用周波数や送信電力の制限• 無線従事者の資格• 無線局の免許の申請義務（総務大臣が許可）

※ 一般ユーザにも適用されることに注意。

技適マークを確認しよう

- 技術基準適合認定（電気通信事業法）または技術基準適合証明（電波法）されている端末に技適マークを付けることができる
 - 技適認証番号がないスマホ、ワイヤレスイヤホン(Bluetooth)などは厳密には違法（電源を入れたら違法）
 - 違法端末を使用した場合1年以下の懲役又は100万円以下の罰金、通信妨害を与えた場合5年以下の懲役又は250万円以下の罰金（電波法110条）



技適マーク

Androidの場合

1. 設定
2. デバイス情報（端末情報）
3. 認証（規制）
 - R 電波法の認証番号
 - T 電気通信事業法の認証番号

iPhoneの場合

1. 設定
2. 一般
3. 認証（規制）
 - R 電波法の認証番号
 - T 電気通信事業法の認証番号

まとめ

1. 電子技術（半導体と電子回路、通信システム、音響・映像機器、電子計測）が、高等学校学習指導要領に含まれる。
2. 現代社会の進歩は、主に半導体技術の進歩に負うところが大きく、国民の社会生活や国の安全保障に影響を及ぼしている。
3. 半導体技術では、トランジスタの微細化により製造コスト・エネルギー消費の削減と高性能化を両立している。
4. 1990年代の半導体産業の水平分業化により、半導体技術の民主化が始まった（必要な集積回路を自分で設計して、メーカーに作ってもらう）
5. インターネットと無線ネットワークを利用したサイバーフィジカルシステムの構築が始まっている
6. IoTおよびサイバーフィジカルシステムに適した無線通信規格の策定とこれに準拠した通信システムの開発が進行している。