

# 半導体通信講座テキスト

総合講座 半導体総合コース

本講座名 半導体デバイスの用途

本講座期間 2023年 5月08日～5月12日(全5日間)

講師名 小川公裕

資料作成 小川公裕

E-mail: [Ogawa-Kimihito@success-int.co.jp](mailto:Ogawa-Kimihito@success-int.co.jp)

URL: <https://www.success-int.co.jp/ogawa-kimihito/>

無断転載はご遠慮下さい



サクセスインターナショナル株式会社

## 目次

- 半導体デバイスの用途 .....1
- 1 前書き .....1
- 2 半導体基礎知識 .....1
  - 2.1 真空管からトランジスタへ 半導体製品の始まり .....1
  - 2.2 そもそも半導体とは .....2
  - 2.3 バイポーラからMOSへ .....4
  - 2.4 CMOSの利点 .....5
  - 2.5 2進数のおさらい .....6
  - 2.6 SI接頭文字 .....8
- 3 LSIの基本知識 .....9
  - 3.1 LSIの構造 .....9
  - 3.2 アナログとデジタル .....11
- 4 半導体デバイス .....12
  - 4.1 半導体デバイスの種類 .....12
  - 4.1 半導体を使っている製品例 .....13
- 5 電気・電子製品の中身 .....14
  - 5.1 スマートフォン .....14
  - 5.2 HV自動車 .....16
  - 5.3 コンピュータ .....17
- 6 半導体の微細化とドライブ製品の変遷 .....18
  - 6.1 半導体デバイス開発の牽引役 .....18
- 7 システムLSIの構成デバイス .....19
  - 7.1 標準ロジック (Standard Logic) .....20
    - 7.1.1 標準ロジック (Standard Logic) .....20
  - 7.2 アナログ (Analog) .....21
    - 7.2.1 アナログ回路とは .....21
    - 7.2.2 デジタルとアナログの違い .....22

[ここに入力]	半導体デバイスの用途	[ここに入力]
7.2.3	クロック	24
7.2.4	PLL	25
7.2.5	高速シリアル伝送	26
7.3	プロセッサ (Processor)	28
7.3.1	CPU	28
7.3.2	GPU	28
7.3.3	AI 向けプロセッサ	29
7.4	メモリ (Memory)	30
7.4.1	DRAM	30
7.4.2	SRAM	33
7.4.3	Flash メモリ	34
7.5	センサ (Sensor)	37
7.6	IP (Intellectual Property)	40
7.6.1	メモリ IP	40
7.6.2	プロセッサ IP	42
7.6.3	その他 IP	42
7.7	パワーデバイス (Power Device)	43
8	最近の注目分野と半導体デバイス	44
8.1	2000 年代の半導体市場	45
8.2	AI (Artificial Intelligence)	46
8.2.1	ニューラルネットワーク	47
8.2.2	AI の応用	47
8.2.3	生成型 AI	48
8.2.4	メタバース	49
8.2.5	AI チップの動向	50
8.3	5G (5 <sup>th</sup> Generation Mobile Communication System)	52
8.4	IoT (Internet of Things)	54
8.4.1	IoT 概略	54

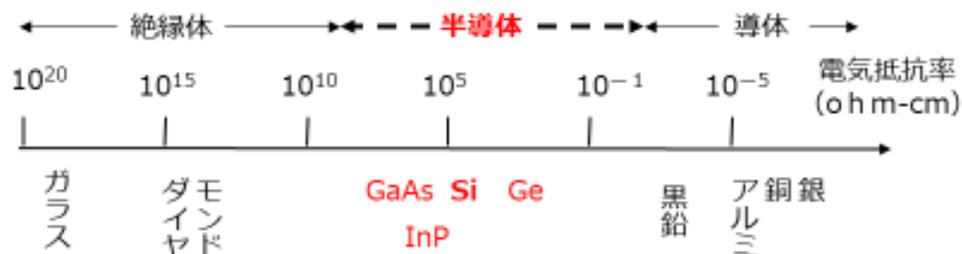
[ここに入力]	半導体デバイスの用途	[ここに入力]
8.4.2	エッジコンピューティング	55
8.5	データセンタ (Data Center)	56
8.5.1	クラウドサーバー (Cloud Server)	56
8.5.2	クラウド か オンプレミス (On-Premises) か	57
8.5.3	データセンタ と クラウド	58
8.6	自動運転 (Auto Driving)	59
8.6.1	自動運転のレベル	59
8.6.2	自動運転における各社の提携関係	62
8.6.3	自動運転で発生した事故	64

## 図の目次

図 2.1-1	真空管から半導体デバイスへ	2
図 2.2-1	物質の電気伝導率	3
図 2.2-2	MOSFET はスイッチ	3
図 2.2-3	MOSFET トランジスタ	4
図 2.3-1	バイポーラトランジスタ	4
図 2.4-1	CMOS インバータと等価回路	5
図 2.4-2	Bipolar と NMOS インバータ	6
図 2.5-1	英文字キーボード	7
図 3.1-1	LSI のパターンを拡大	9
図 3.1-2	LSI の配線構造	10
図 3.2-1	アナログとデジタル	11
図 3.2-2	サンプリングによる離散化	12
図 4.1-1	半導体デバイス	13
図 4.1-1	あらゆる電気製品に半導体	14
図 5.1-1	スマートフォン	15
図 5.1-2	スマートフォンの中身	16
図 5.2-1	HV 自動車の駆動用パワー半導体	16

# 第1章 半導体とは？

## 1.1 半導体・導体・絶縁体



固体物質は、電気抵抗の観点からは、導体、絶縁体、半導体に3分類される。

### -導体 (Conductor)

銅やアルミニウムのように電気を良く通すもの  
一般に金属は導体

### -絶縁体 (Insulator)

ゴムやセラミックのように電気を通さないもの

### -半導体 (Semiconductor)

導体と絶縁体の中間の性質を持つ

電気抵抗率は  $10^{-3} \sim 10^7$  ohm-cm 程度の範囲

固体を電気の通り易さから分類すると、非常に電気を通し易い導体、電気を殆ど通さない絶縁体、その中間にある半導体に3分類する事が出来る。

電気の通り易さとして、電気抵抗率が使われる。単位はohm-cm (又は $\Omega$ cm) で表される。

半導体が、導体、絶縁体と大きく異なるのは、電気抵抗率がその不純物濃度及び温度により大きく変化する事である。

上のグラフで、半導体は不純物の少ない場合の室温における例である。不純物を導入する事により、電気抵抗率が数桁低下する。

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、MPU (Micro Processing Unit)、TPU (Tensor Processing Unit 7.3.3 参照) 等が挙げられる。

記憶は言わずと知れたメモリで DRAM、SRAM、Flash (Dynamic Random Access Memory、Static RAM、Flash Memory) その他数多くの種類がある。



図 4.1-1 半導体デバイス

### 4.1 半導体を使っている製品例

図 4.1-1 に様々な家庭用電気製品を示す。以前は半導体がよく使われていたのは主に「黒物」と呼ばれる AV (Audio Visual) 系の製品や PC であったが、今では「白物」家電にも、頭脳としてのプロセッサ、インターネットに繋ぐための通信デバイス を載せるのが当たり前になっている。家の外では道路、鉄道、ビル、信号機、住宅、自動車、河川、電線、水道管、ガス管、ありとあらゆるところに カメラや各種センサ、通信デバイス、プロセッサが設置されネットワークを組み、IoT で全てが繋がるという世界に向かって整備が続いている。

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

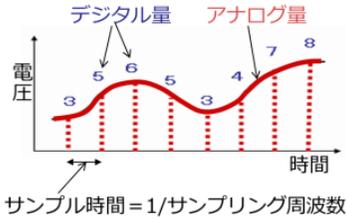


図 7.2.2-1 ADC と DSP、DAC

### 7.2.3 クロック

現在のデジタル回路はほとんどが同期式 (Synchronous) と呼ばれる方式を採用している。図 7.2.3-1 に示すようにデジタル回路はチップ全体あるいは機能ブロック毎に共通のクロック信号(CK)でタイミング制御され、一般的にはクロック波形の立ち上がりエッジでの各状態の値で 1 か 0 を判定する約束になっている。

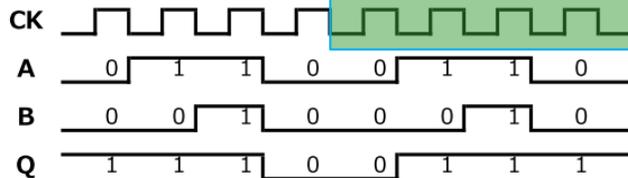


図 7.2.3-1 デジタル波形

図 7.2.3-1 の場合では各信号値 A、B、Q はクロックの立ち上がりエッジで値を読み、立ち下りで出力する。これはクロックの立ち上がりで各状態が安定していて欲しいからである。波形を図中に示したような 0、1 の状態と解釈する。これが同期式の約束事である。

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

下図は×4ビットプリフェッチ \*個々のメモリの速度は同じでデータ転送のみが高速化

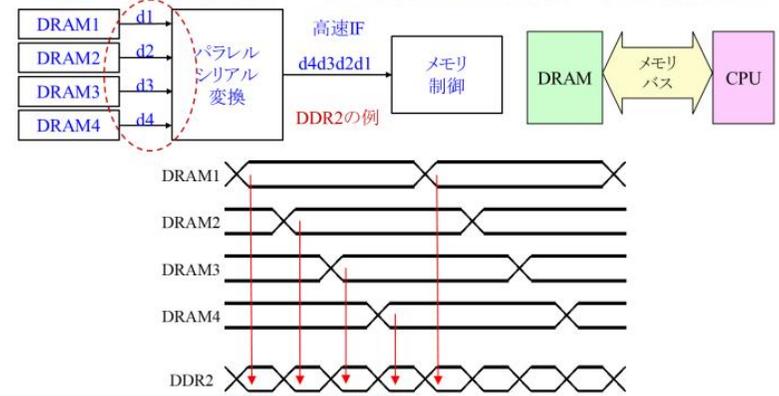
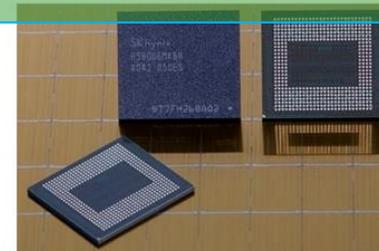


図 7.4.1-2 DRAM の速度向上策 DDR2

図 7.4.1-2 で DDR2 を説明する。DRAM メモリ自体の動作速度は変わらないので、個々の DRAM から各々データを引き出し、1/4 周期ずつずらせて並べ、4 倍速クロックでパラレルシリアル変換して高速 IF で CPU に転送する。見かけ上 4 倍高速になった。つまり DRAM と CPU 間の速度ギャップを埋める。



CPU/GPU	バンド幅 [bit/S]
Intel Xeon Gold 6000	128G
Intel Core i7-8700	42G
AMD EPYC 7000	170G
AMD Ryzen 5 2600	46G
NVIDIA Quadro RTX 6000	672G
NVIDIA Tesla V100	900G
京(SPARC64 VIIIfx)	64G
SX-Aurora TSUBASA	1.22T
富岳(A64FX/Arm)	11T

図 7.4.1-3 DRAM の商品例、各種計算機のプロット

図 7.4.1-3 左図は DRAM の商品例で SK hynix 18G バイト LPDDR5 型 DRAM (2021) である。右には代表的な計算機のプロットを示す。さすがに富岳のプロットは圧倒的でスーパーコンピュータたる所以である。

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

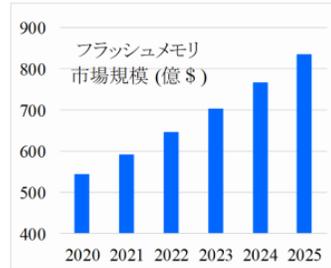
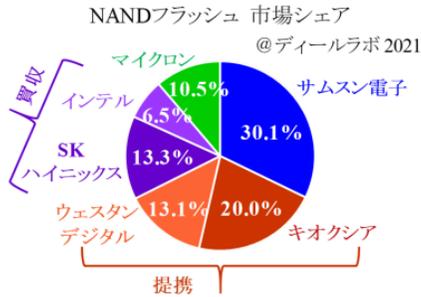


図 7.4.3-4 フラッシュメモリ マーケットシェア

最後に3つのメモリの速度比較を表 7.4.3-2 示す。アクセス周波数という指標が公平かどうかには疑問もあるが、一つの目安として示す。

表 7.4.3-2 DRAM/SRAM/Flash 速度比較

	SRAM	DRAM	NAND	DD	アクセス周波数					
	1G	100M	10M	1M	100K	10K	1K	100	10	100
用途、尺度が異なるので、比較し難いがイメージとしては										
	SRAM	アクセス周波数 M[Hz]		NAND Flash	読込み性能					
	1次 L1 Cache	250~750		SSD-SATA規格	550MB/s					
	2次 L2 Cache	67~250		SSD-M.2規格	3500MB/s					
				SSD-PCIexp. 3.0	4GB/s					
				SSD-PCIexp. 4.0	8GB/s					
項目	SDR SDRAM	DDR	DDR2	DDR3/L	DDR4					
周波数 M[Hz]	5.2	25	50	133	200					
IDRAM当り周波数	5.2	12.5	12.5	16.625	12.5					
バンド幅 M[bps]	166	400	800	2133	3200					
容量 G[b]	0.064-0.512	0.064-1	0.128-4	0.512-8	2-16					

### 7.5 センサ (Sensor)

半導体技術で作られるセンサには多くの種類があり、圧力、加速度、光、湿度、温度等が挙げられるが、ここでは CMOS イメージセンサ (Image Sensor) に話を絞る。

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

する。通常、データ/コンテンツから学習するディープラーニング (特に Transform 技術) により構築される大規模な機械学習モデルである。画像生成 AI の Stable Diffusion 等がある。図 8.2.3-1 に画像生成例を示す。ただし、まだ知能とか創造力といったレベルに達している訳ではない。

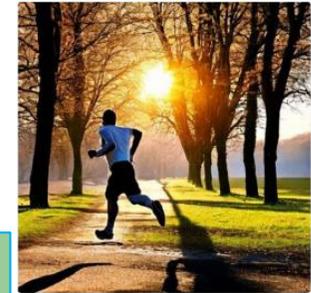


図 8.2.3-1 画像生成例

### 8.2.4 メタバース

2022年はメタバースが話題となり、世界的IT企業の巨額投資が目撃された。今はそのブームも沈静化しているように見える。事実、社名にまで付けたメタ社は11000人のリストラを行い、減収・減益となるなど、勢いに陰りが見えた。



図 8.2.4-1 メタバース会議

しかしながら、メタバースは決して終わってしまった訳ではなく、水面下で開発が続いている。野球やテニスの試合で現実の試合と仮想空間の融合を放映するなど、一般の人へ

[ここに入力]

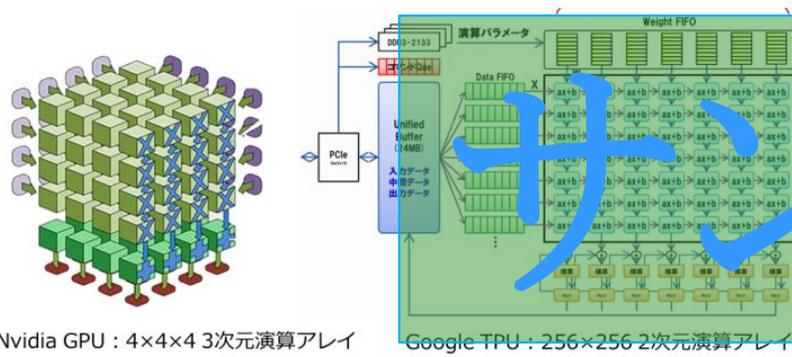
半導体デバイスの用途

[ここに入力]

(図 8.2.5-2)。これは、1ポッド(複数TPUのユニット)で1 Exa ( $10^{18}$ ) FLOPS 以上。ノートPCで千万台分の処理性能に相当し、これまではカスタム設計のスーパーコンピュータでしか達成できなかった性能である。

Nvidia/GPU と Google/TPU の違いを

で簡単に説明する。Nvidia (左図) は基本演算ユニットが  $4 \times 4 \times 4 (=64)$  3次元演算アレイとして働く。これを多段に接続して大規模並列積和演算を行う。左図は左側から一つの  $4 \times 4$  行列、右側からもう一方の  $4 \times 4$  行列が掛け合わされる状態と理解すればよい。右図のGoogleは  $256 \times 256 (=65536)$  が基本単位なのでかなり大きい。Googleの方は小さな問題に対しては演算器の利用効率が落ちるようだ。



Nvidia GPU :  $4 \times 4 \times 4$  3次元演算アレイ

Google TPU :  $256 \times 256$  2次元演算アレイ

図 8.2.5-3 Nvidia/GPU と Google/TPU

AIプロセッサに求められるポイントは

- ・ 超並列計算
- ・ 高速メモリアクセス
- ・ 低消費電力
- ・ ビット数は少な目でOK 8/16[b]程度

という事で、HPC(High Performance Computing)では必須の64[b]は必要ない。

サムソン (Samsung) は PIM (Processor In Memory) という考え方で、AI向けプロ

[ここに入力]

半導体デバイスの用途

[ここに入力]

た。これに答えるのがエッジサーバーを使っただのエッジコンピューティングである。入力データの1次加工は局所的に行い、整理されたデータを使っただの大規模処理はクラウドで行おうという話である。今後5G通信などでIoT用のデータ通信量は飛躍的に伸びると考えられる。図 8.4.2-2 にその予測値を示す。

## 8.5 データセンター (Data Center)

### 8.5.1 クラウドサーバー (Cloud Server)

図 8.5.1-1 クラウドサーバー

クラウドサーバーとは利用者から見て、どこにあるか分からない(雲の彼方の) 計算機サーバーという事である。イメージを 図 8.5.1-1 に示す。

