

集中講義 令和8年2月24日～26日

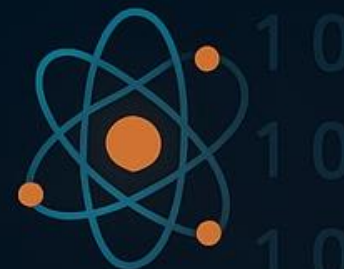
コンピュータシステム入門

Day 1: マクロからミクロへ ~コンピュータの謎を解き明かす~

講師 陳 オリビア (大学院システム情報科学研究所)

TA GPT-5 Thinking (OPEN AI)

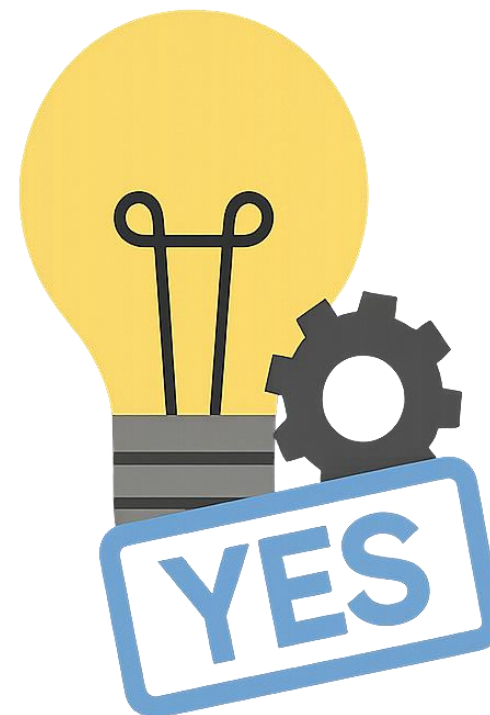
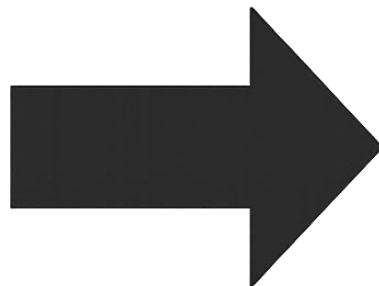

Gemini 2.5 pro (Google)



00101101

大切なこと：これはプログラミングの授業ではありません

```
def mean(xs):  
    if not xs:  
        return 0  
    return sum(xs) / len(xs)  
data = [1, 2, 3, 4]  
printf("mean =  
    (mean(data):2.2")
```



3日間のコース概要

Day 2: 構築と評価 砂粒からコンピュータまで

- 組み合わせと記憶の仕組み
- コンピュータの設計
- 性能は魔法ではない

Day 3: コンピュータとの対話、 そして未来へ

- オペレーティングシステム
- コマンドライン
- 未来のコンピュータ技術

Day 1: マクロからミクロへ コンピュータの謎を解き明かす

- コンピュータの構成
- 情報のデジタル表現
- デジタル回路の基礎



Day1のスケジュール

	時間帯	モジュール	タイプ
午前中	10:00 ~ 11:30	イントロダクションとコンピュータの基本構成	講義
	11:30 ~ 11:45	Coffee Break	
	11:45 ~ 12:30	コンピュータの分解	Demo
	12:30 ~ 13:30	Lunch Break	
午後	13:30 ~ 14:30	情報のデジタル表現	講義
	14:30 ~ 15:00	「デジタルの自分」を分解してみよう	演習
	15:00 ~ 15:15	Coffee Break	
	15:15 ~ 16:30	デジタル回路の基礎	講義
	16:30 ~ 17:00	論理ゲートで遊ぼう	演習

Day2のスケジュール

	時間帯	モジュール	タイプ
午前中	10:00 ~ 11:00	デジタル回路の基礎（2）	講義
	11:00 ~ 11:15	Coffee Break	
	11:15 ~ 12:30	コンピューターアーキテクチャ	講義
	12:30 ~ 13:30	Lunch Break	
午後	13:30 ~ 14:30	性能評価とチップ設計	講義
	14:30 ~ 15:00	Verilogで回路を記述してみよう	演習
	15:00 ~ 15:15	Coffee Break	
	15:15 ~ 17:00	Verilogで回路を記述してみよう（継続）	演習

Day3のスケジュール

	時間帯	モジュール	タイプ
午前中	10:00 ~ 11:00	オペレーティングシステムの役割と仕組み	講義
	11:00 ~ 11:15	Coffee Break	
	11:30 ~ 12:30	未来のコンピュータ技術と応用の展望	講義
	12:30 ~ 13:30	Lunch Break	
午後	13:30 ~ 16:00	LINUX操作演習と最終課題	演習

モジュール1：イントロダクションとコンピュータの基本構成

01

コース紹介
得られる知識

03

CPUとメモリ
頭脳と作業台の秘密

02

コンピュータとは
魔法の箱の中身

04

ストレージと入出力
実世界との繋がり

コンピュータとは何か

コンピュータの本質的な定義


「情報を受け取り、処理し、結果を出力する機械」

電卓も、スマートフォンも、スーパーコンピュータも——すべてこの定義に収まる。違いは処理できる情報の種類・量・速度だけだ。



入力 (Input)

キーボード・マウス・カメラ・センサー・ネットワーク——外界からの情報をデジタル信号に変換する

 キーボード

 カメラ

 マイク



処理 (Process)

CPU が命令を1つずつ実行し、計算・比較・データ移動を行う。1秒間に数十億回の演算が可能

 CPU

 メモリ

 ALU



出力 (Output)

ディスプレイ・スピーカー・プリンタ・ネットワーク——処理結果を人間や他のシステムに伝える

 画面

 スピーカー

 印刷

コンピュータの「層」構造



アプリケーション層

ブラウザ・SNS・ゲーム・AI アプリ



OS 層

Windows・macOS・Linux・Android



ISA 層 (命令セット)

x86-64・ARM・RISC-V



マイクロアーキテクチャ層

パイプライン・キャッシュ・ALU



論理回路層

AND・OR・NOT・フリップフロップ



デバイス層

トランジスタ・MOSFET・シリコン



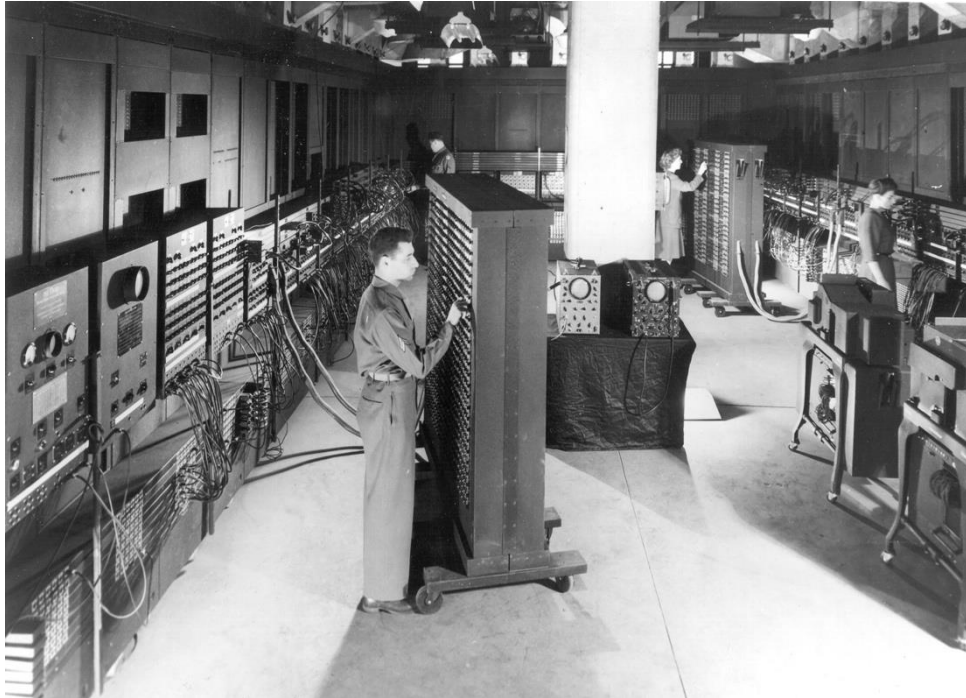
最初のコンピュータ — ENIAC (1945-46)



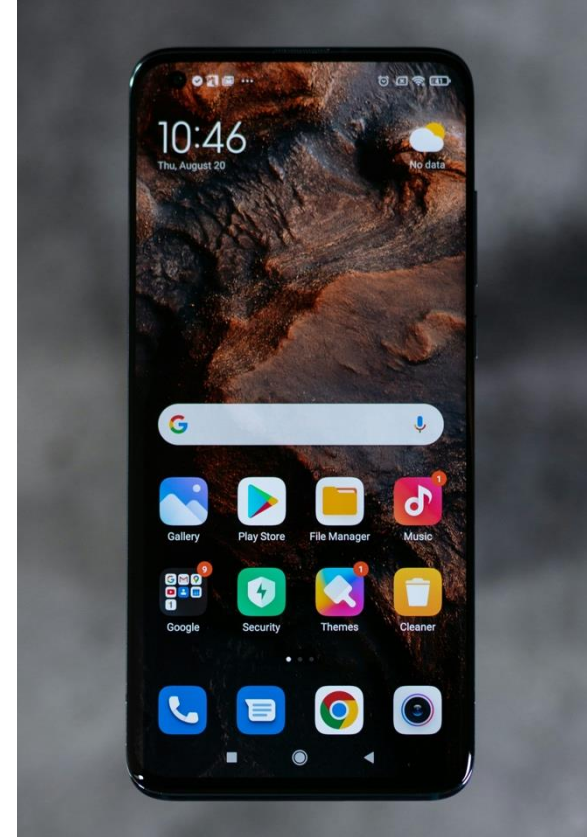
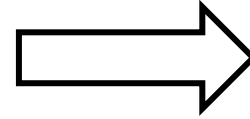
写真 : U.S. Army Photo (Public Domain) / 出典 : Wikimedia Commons 「Classic shot of the ENIAC」

- 部屋ひとつ分 / 約30トン
- 真空管約1.7万本
- 電力 : 約150kW
- 用途 : 弾道計算の専用機

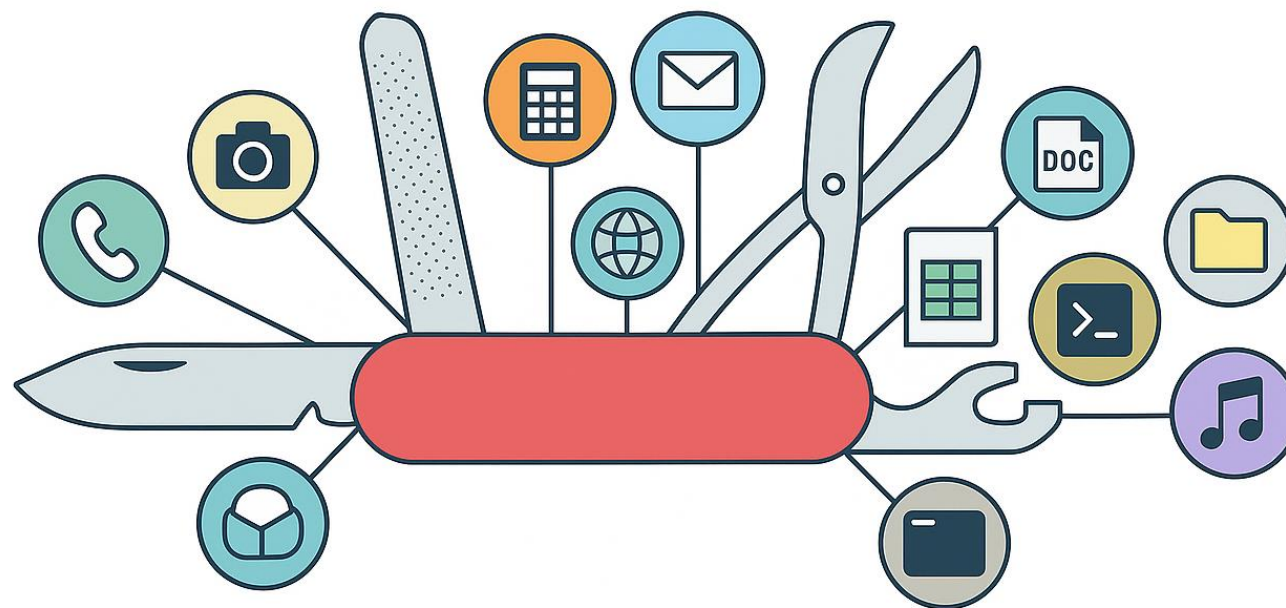
「専用機」から「万能機」へ



ENIAC (1945-46) / U.S. Army Photo (Public Domain)

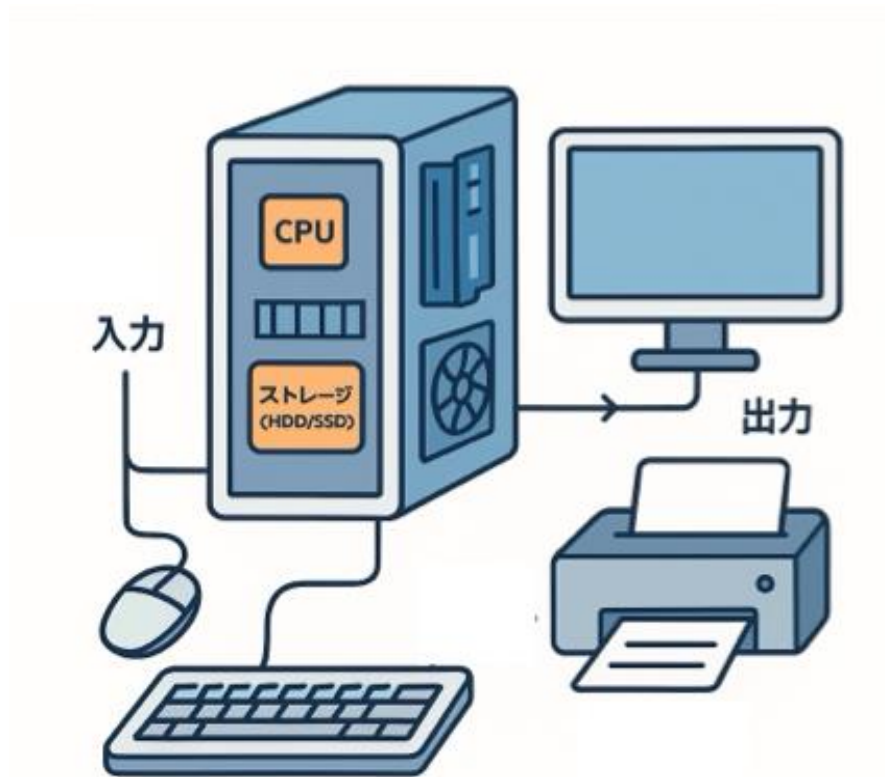
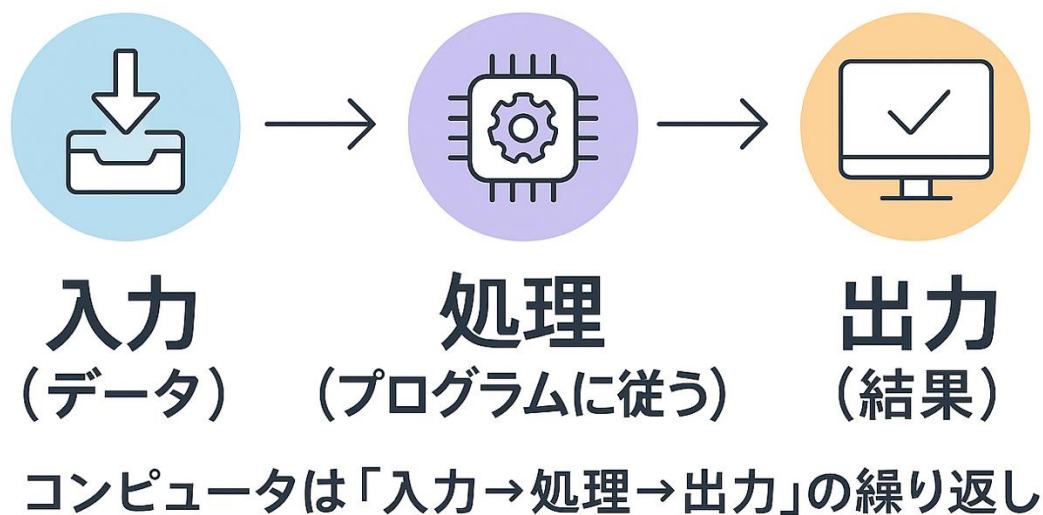
Smartphone
(現代の汎用計算機の種類)

なぜ、この「箱」は「万能」なのか？

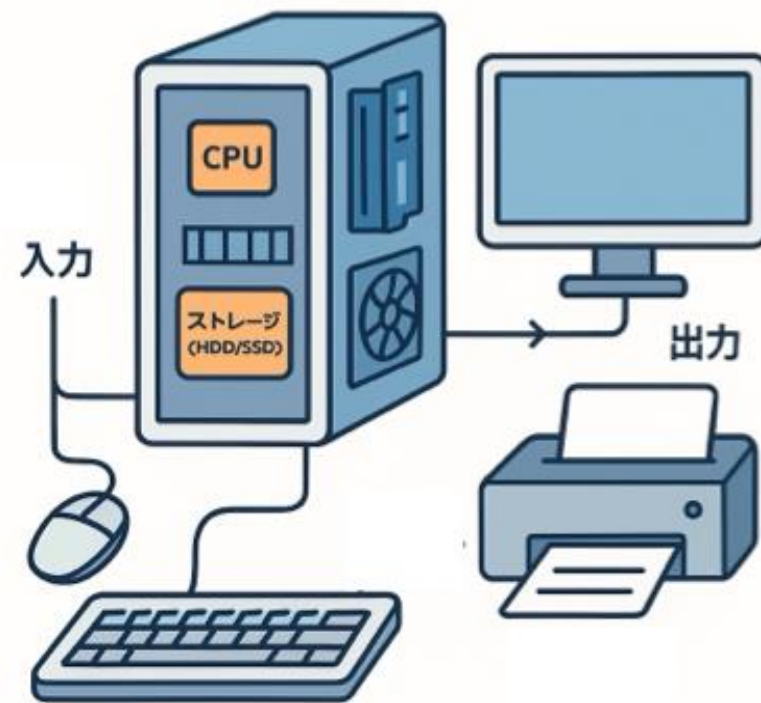


万能の正体 = プログラマブル × 抽象化 × 入出力 (+ ネット)

コンピュータの定義



アナロジーで理解する①「人体の仕組み」

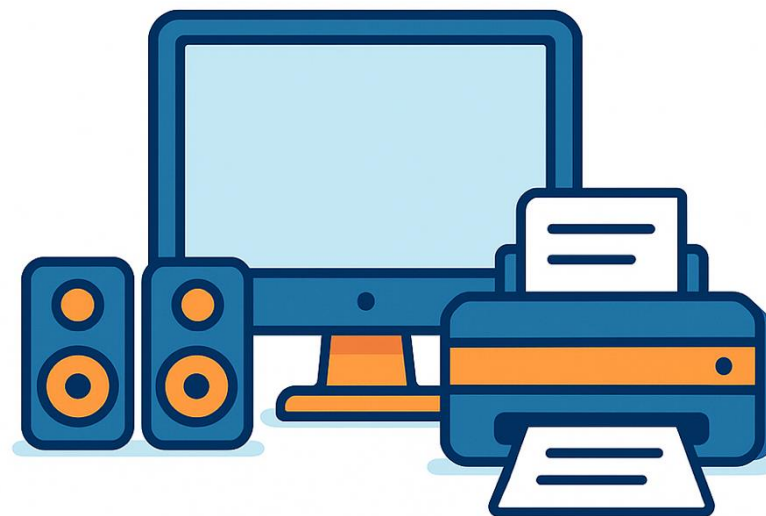


アナロジーで理解する①「人体の仕組み」



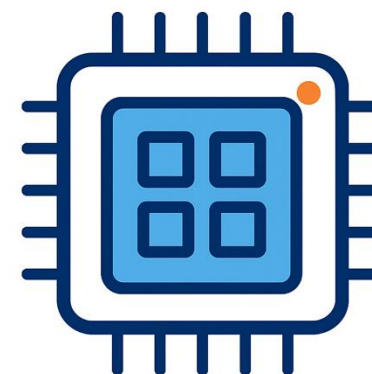
入力装置

アナロジーで理解する①「人体の仕組み」



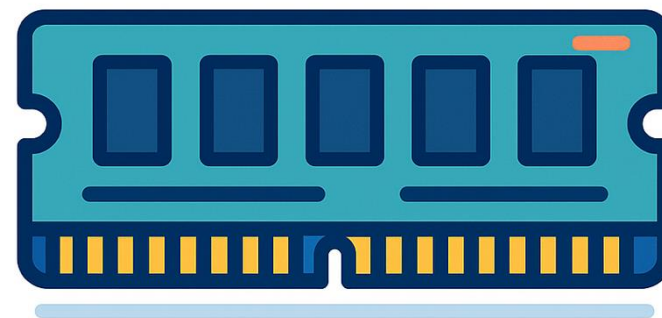
出力装置

アナロジーで理解する①「人体の仕組み」



CPU

アナロジーで理解する①「人体の仕組み」



メモリ（短期記憶）

アナロジーで理解する①「人体の仕組み」



ストレージ（長期記憶）

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」

入力=注文



アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



Chef = CPU

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



レシピ=プログラム

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



作業台 = メモリ

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



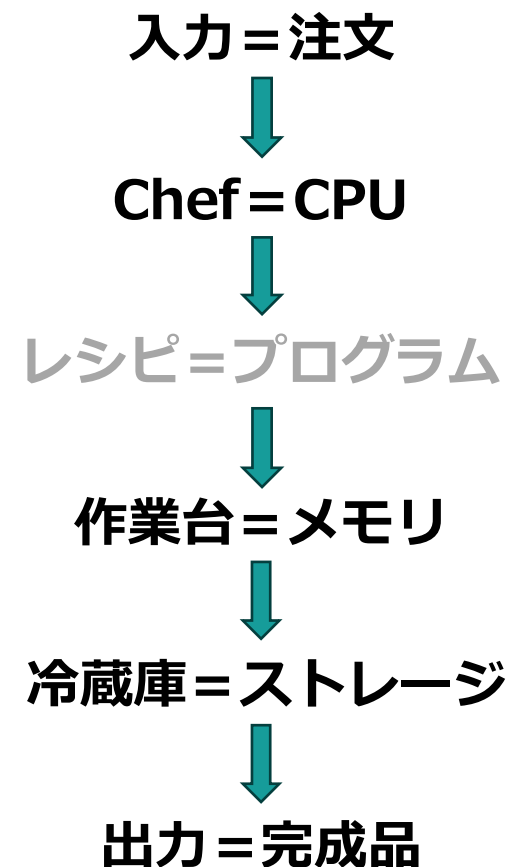
冷蔵庫 = ストレージ

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」

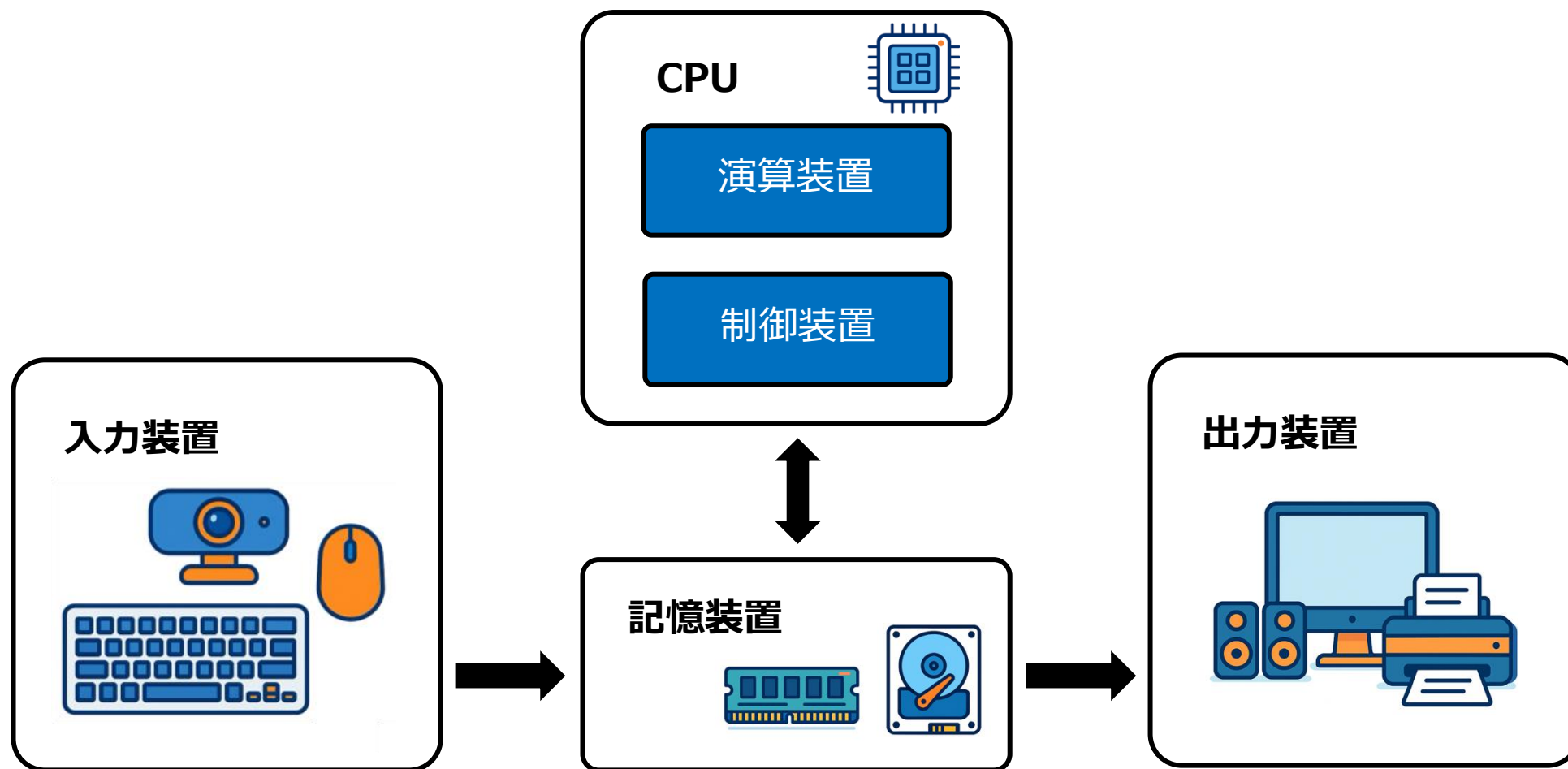


出力 = 完成品

アナロジーで理解する②「キッチンの仕組み」



まとめ：コンピュータの五大装置



モジュール1：イントロダクションとコンピュータの基本構成

01

コース紹介
得られる知識

03

CPUとメモリ
頭脳と作業台の秘密

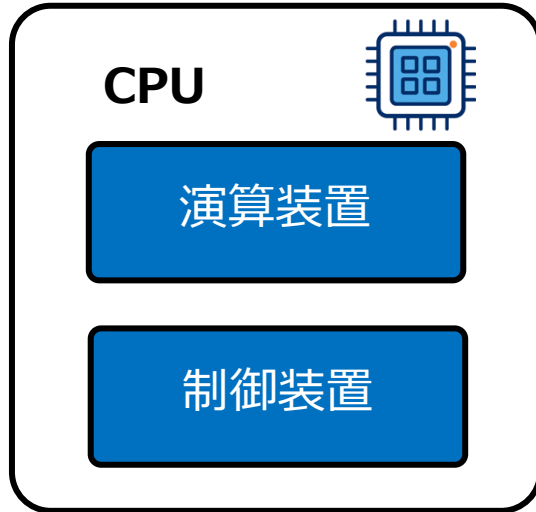
02

コンピュータとは
魔法の箱の中身

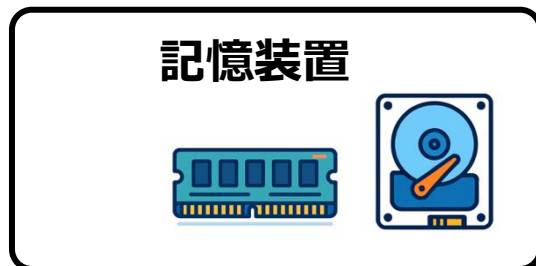
04

ストレージと入出力
実世界との繋がり

CPUとメモリの位置づけ



CPU: Central Processing Unit
= コンピュータの脳（司令塔）



メモリ：主記憶・短期記憶=作業台
ストレージ・長期記憶=本棚

主役登場！CPUとは？



- 計算と制御を担うコンピュータの頭脳
- 爪先サイズのシリコン（ダイ）に、数十億～数百億のトランジスタが集積

Intel Core Ultra 200S series processors usher in the first enthusiast desktop AI PCs and deliver great gaming performance and industry-leading compute at significantly lower power. Intel introduced the new family of desktop processors on Oct 10, 2024.

CPU + NPUの時代

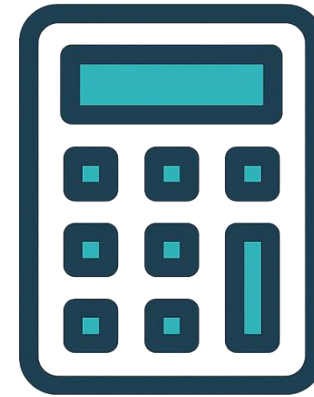
- 従来：CPU（+ときどきGPU）
- これから：**CPUに加えてNPU**（AI用の手伝い係）
- 例：背景ぼかし／ノイズ除去などを**省電力**で

CPUの2つの役割



制御 (Control)

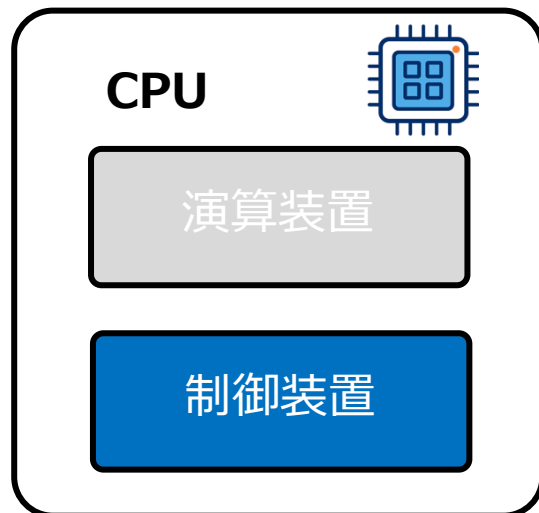
- 命令を取り出して解釈
- どの装置がいつ動くかを定める
- メモリの読み書きや入出力に指示



演算 (Arithmetic)

- 四則演算やビット演算
- 大小・等しいの比較
- 論理 (AND/OR/NOT) で条件判定

制御装置 (Control Unit)



1.プログラムカウンタ

逐次制御計数器とも呼ばれ、ひとつの命令が実行されたあと次に実行されるべき命令のあるアドレスを記憶しておく

2.命令レジスタ

記憶装置から取り出された命令を受け、実行するために一時記憶しておく

3.インデックスレジスタ

指標レジスタとも呼ばれ、このレジスタの内容と命令語のアドレス部のアドレスを加えた値が処理対象のアドレスとなる

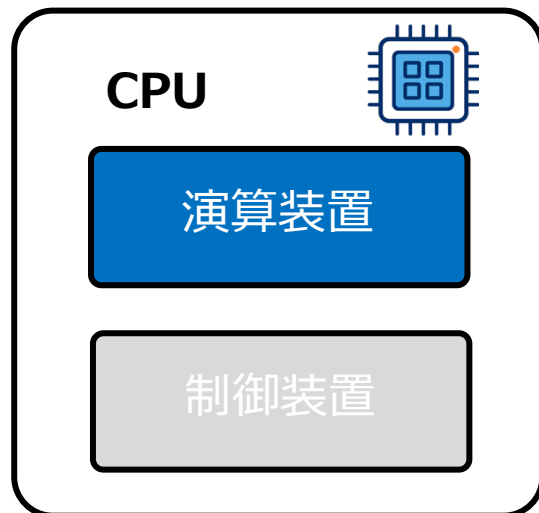
4.基底アドレスレジスタ

基底アドレスを保持するレジスタ

5.デコーダ

解読器とも呼ばれ、命令レジスタに取り出された命令を解読し、対応する制御信号を出力する

演算装置 (Arithmetic Unit)



1. 算術論理演算装置 (ALU, Arithmetic Logic Unit)

加算器と補数器などを用いて四則計算や論理演算などを行う

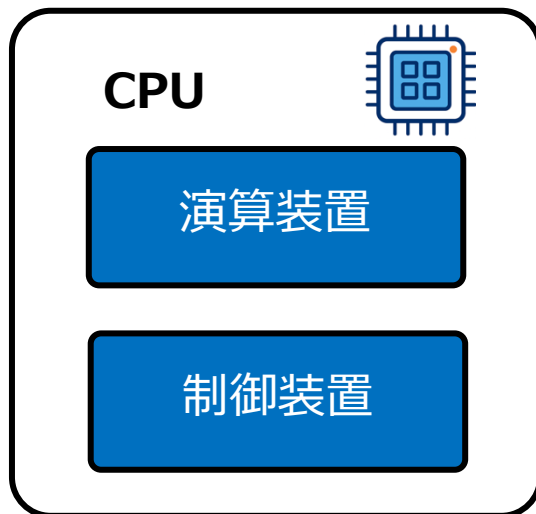
2. 各種レジスタ

演算に必要なデータを一時的に記憶し高速アクセスできるようにしておくもの

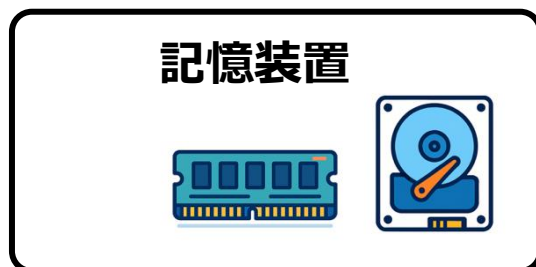
3. アキュムレータ

累算器とも呼ばれ、演算結果を保持するための一種のレジスタ

CPUとメモリの位置づけ



CPU: Central Processing Unit
= コンピュータの脳（司令塔）



メモリ：主記憶・短期記憶=作業台
ストレージ・長期記憶=本棚

記憶装置の分類：揮発性 vs 非揮発性

揮発性メモリ (Volatile)

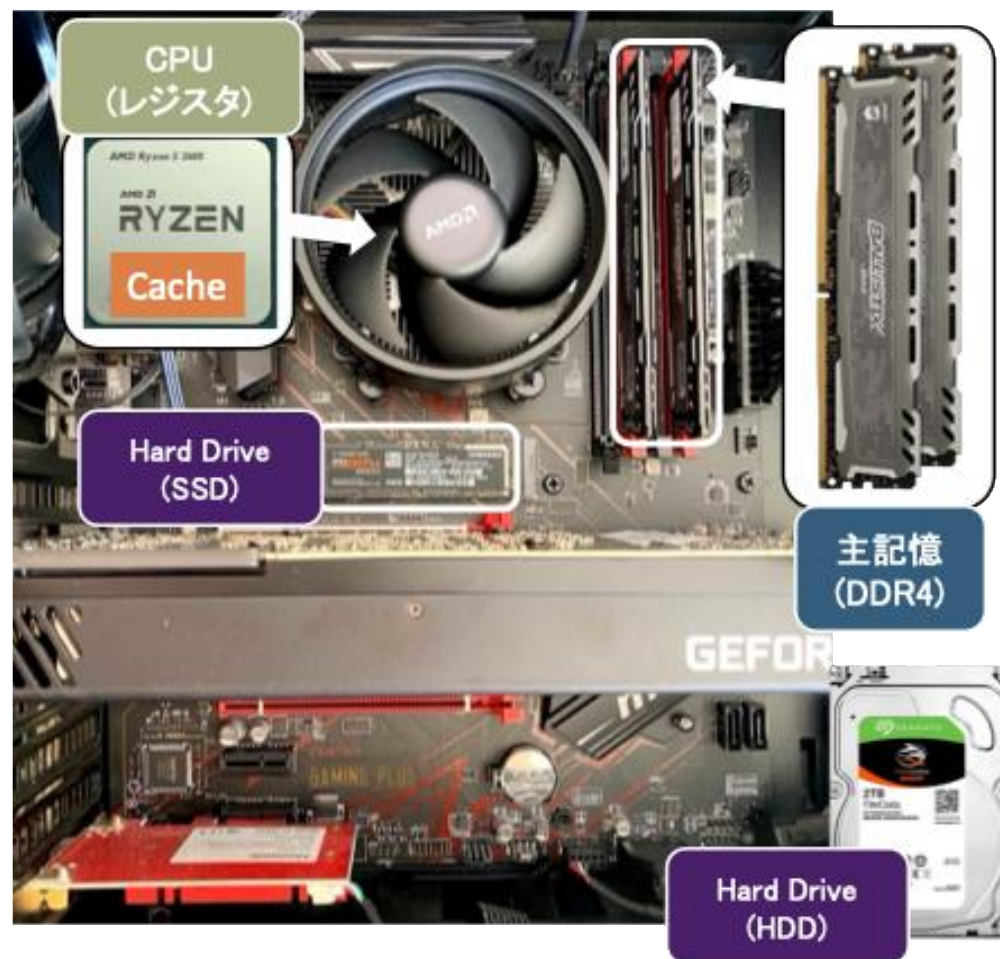
メモリ = 主記憶 = メインメモリ

- 電源を切ると内容が消える（揮発性）。
- 役割：CPUが作業するための“作業台”（主記憶）。
- 特徴：**高速**◎ / **低レイテンシ**、容量は中～小、ビット単価は高め。
- 代表例：SRAM（CPUキャッシュ）、DRAM（主記憶）、レジスタ。
- 用途：実行中のプログラムや一時データ。
- 注意：**スリープ中は給電で保持**、シャットダウン・停電で消失。

非揮発性メモリ (Non-volatile, NVM)

ストレージ

- 電源を切っても内容が残る（非揮発性）。
- 役割：長期保存用の“本棚”（ストレージ）。
- 特徴：**大容量**◎ / **ビット単価安い**、ただし揮発性より遅い。
- 代表例：NANDフラッシュ（SSD・USB・SD）、HDD、ROM、EEPROM、NORフラッシュ、（新型）MRAM/FRAM/PCM など。
- 用途：OS・アプリ・写真/動画・バックアップ等の永続データ。



記憶装置の分類：揮発性 vs 非揮発性

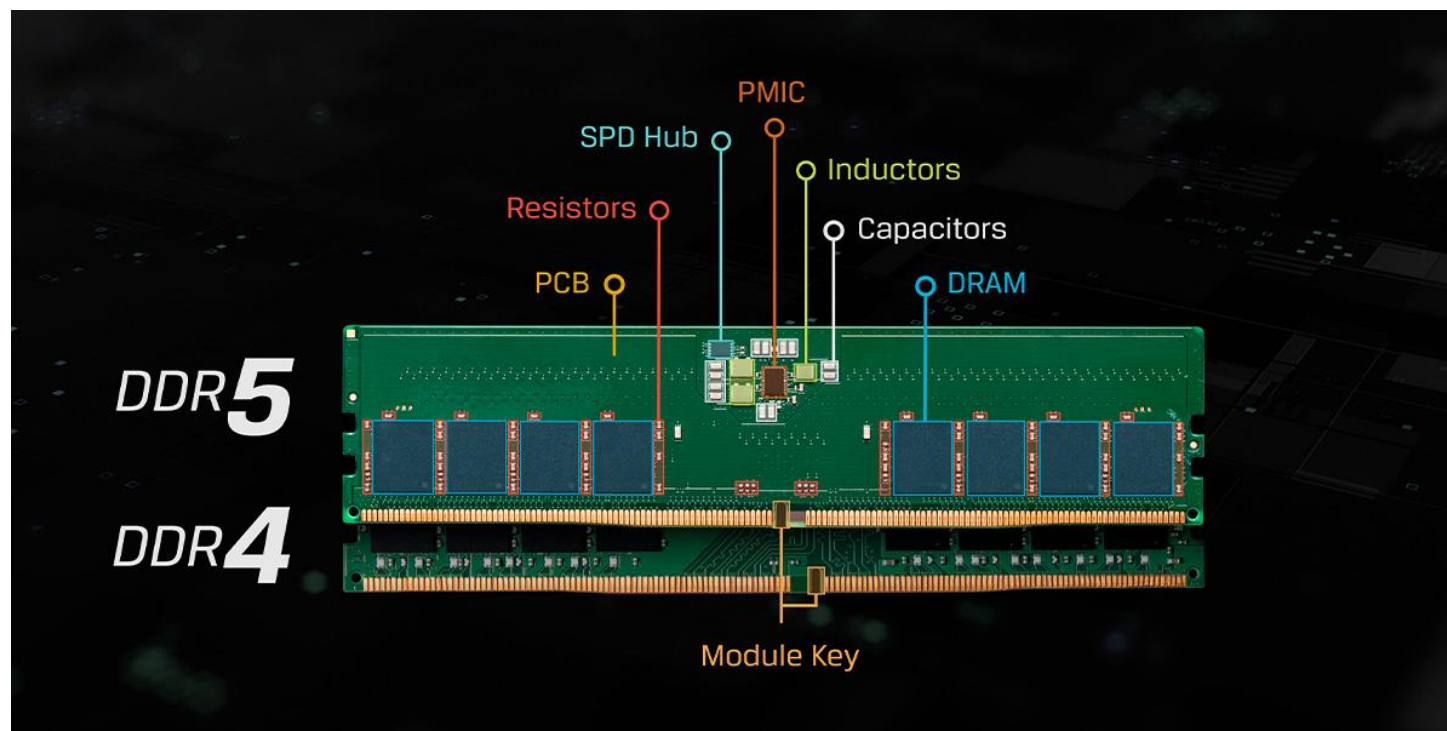
揮発性メモリ (Volatile)

- 電源を切ると内容が消える（揮発性）。
- 役割：CPUが作業するための“作業台”（主記憶）。
- 特徴：**高速**◎ / **低レイテンシ**、容量は中～小、ビット単価は高め。
- 代表例：SRAM（CPUキャッシュ）、DRAM（主記憶）、レジスタ。
- 用途：実行中のプログラムや一時データ。
- 注意：**スリープ中は給電で保持**、シャットダウン・停電で消失。

メモリ = 主記憶 = メインメモリ

非揮発性メモリ (Non-volatile, NVM)

- 電源を切っても内容が残る（非揮発性）。
- 役割：長期保存用の“本棚”（ストレージ）。
- 特徴：**大容量**◎ / **ビット単価安い**、ただし揮発性より遅い。
- 代表例：NANDフラッシュ（SSD・USB・SD）、HDD、ROM、EEPROM、NORフラッシュ、（新型）MRAM/FRAM/PCM など。
- 用途：OS・アプリ・写真/動画・バックアップ等の永続データ。



メインメモリの役割 ～勉強机の例え～



「メインメモリ = 勉強机」

メインメモリの役割 ～勉強机の例え～



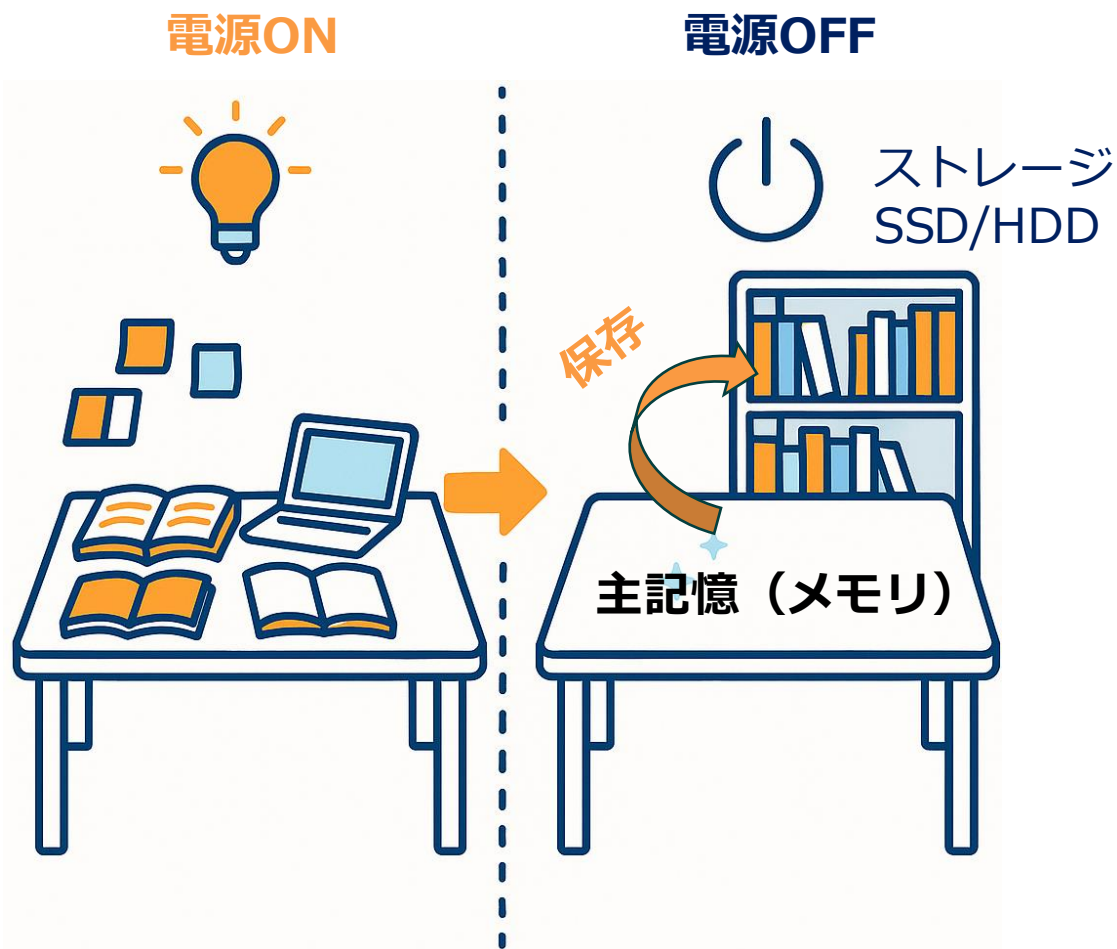
机が小さい（メモリ不足）と
効率が悪い

メインメモリの役割 ～勉強机の例え～



机が大きい（メモリに余裕がある）と快適

メインメモリの重要な特徴：揮発性

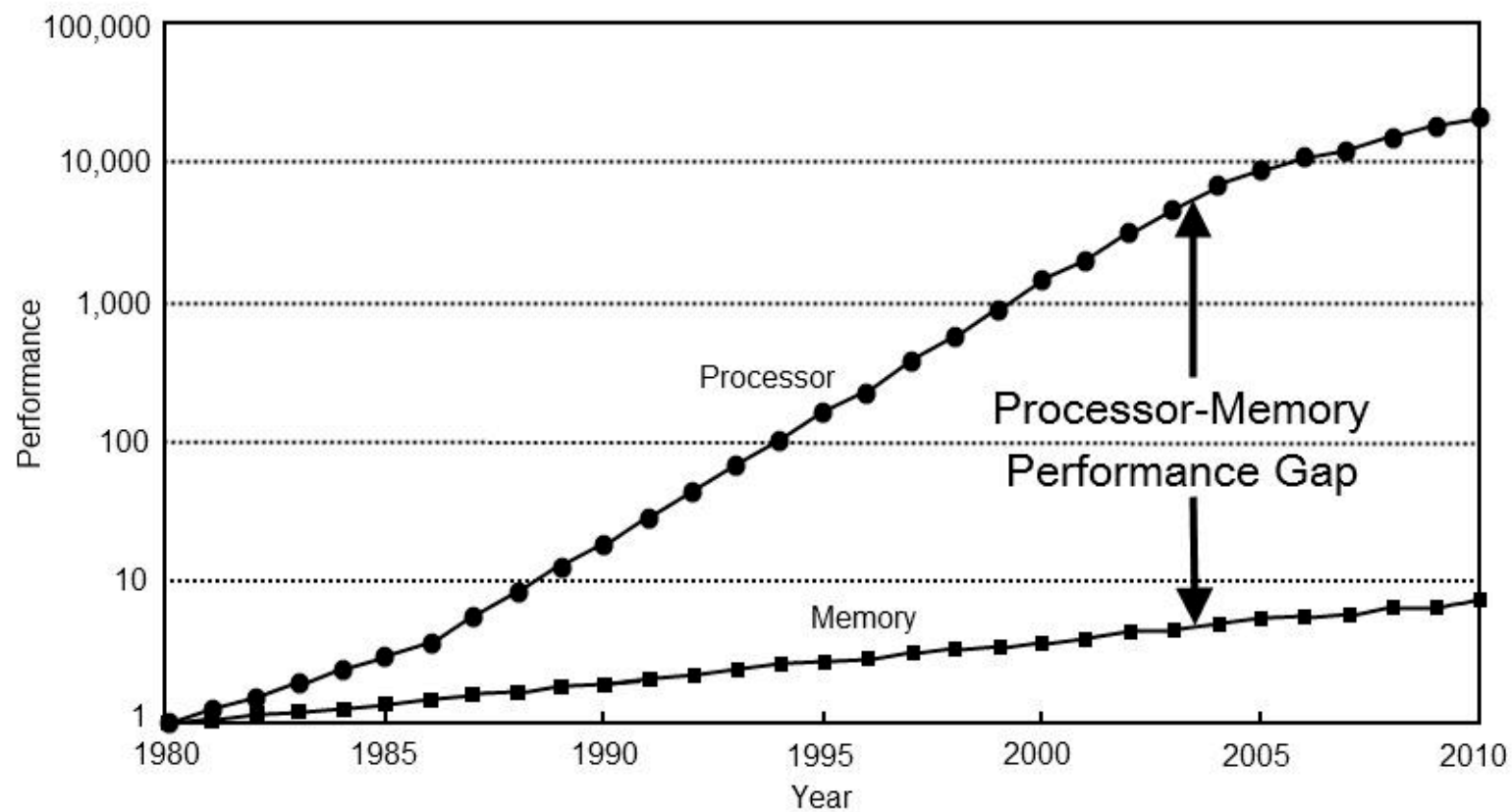


メインメモリの重要な特徴：揮発性
電源を切ると、メモリ上の内容は消える
必要なデータはストレージに「保存」

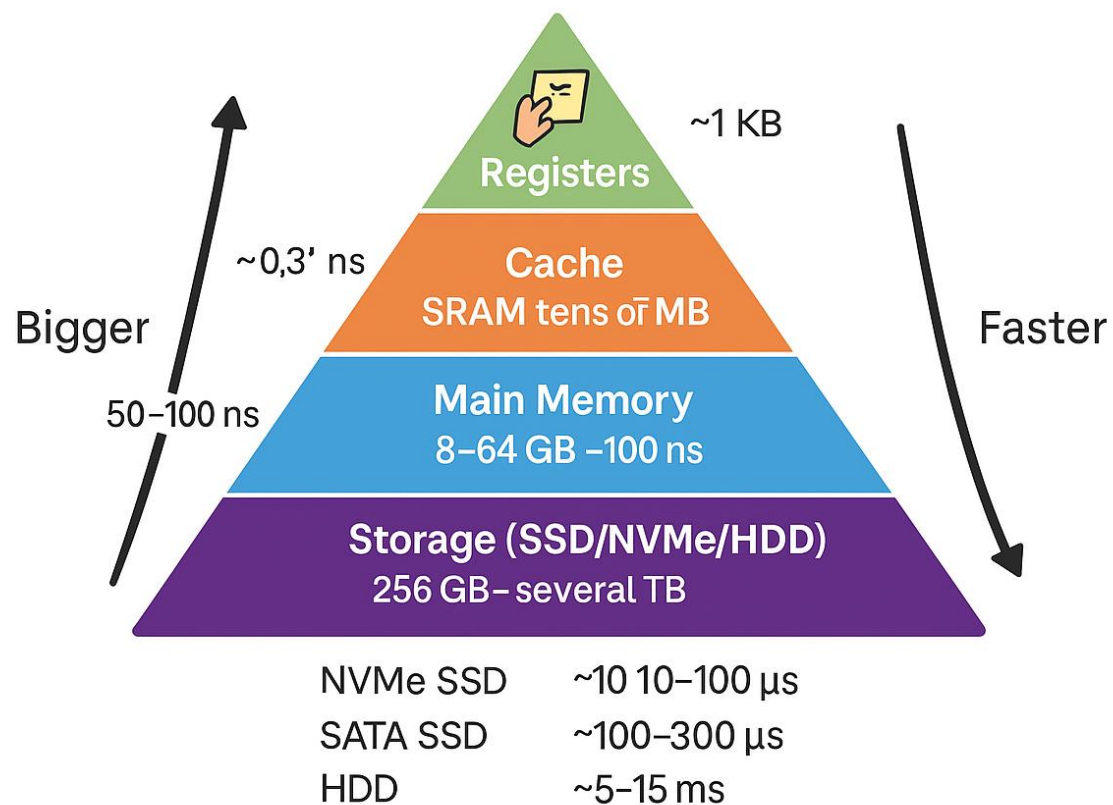
CPUとメモリの性能評価

	1980	1990	2000	2010	2020	2020: 1980	
CPU	Name	8080	386	Pentium II	Core i7	AMD Ryzen9 5950x	/
	Clock Rate, MHz	1	20	600	2,500	4,900	4,900
	Cycle Time, ns	1,000	50	1.6	0.4	0.204	4,900
	Core Count	1	1	1	4	16	16
	Effective Cycle Time, ns	1,000	50	1.6	0.1	0.0125	80,000
SRAM	\$/MB	19,200	320	100	60	0.5	38,400
	Access Time, ns	300	35	3	1.5	1	300
DRAM	\$/MB	8,000	100	1	0.06	0.006	1,333,333
	Access Time, ns	375	100	60	40	10-20	18.5-37.5
	Typical size, MB	0.064	4	64	8,000	16,000	250,000
Disk	\$/MB	500	8	0.01	0.0003	0.0001	5,000,000
	Access Time, ms	87	28	8	3	3 (0.1 for SSD)	29
	Typical size, MB	1	160	20,000	1,500,000	2,000,000	2,000,000

CPUとメモリの性能評価



Memory Hierarchy



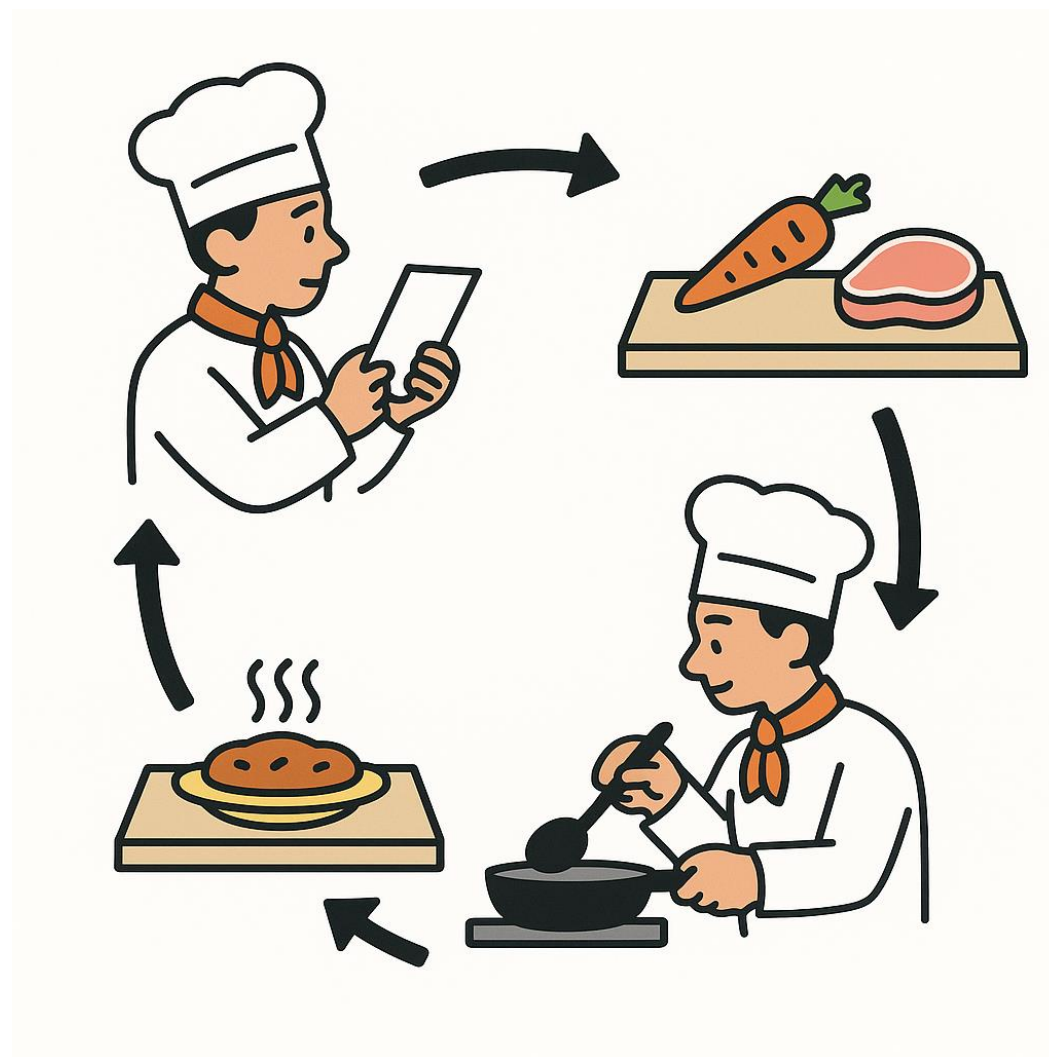
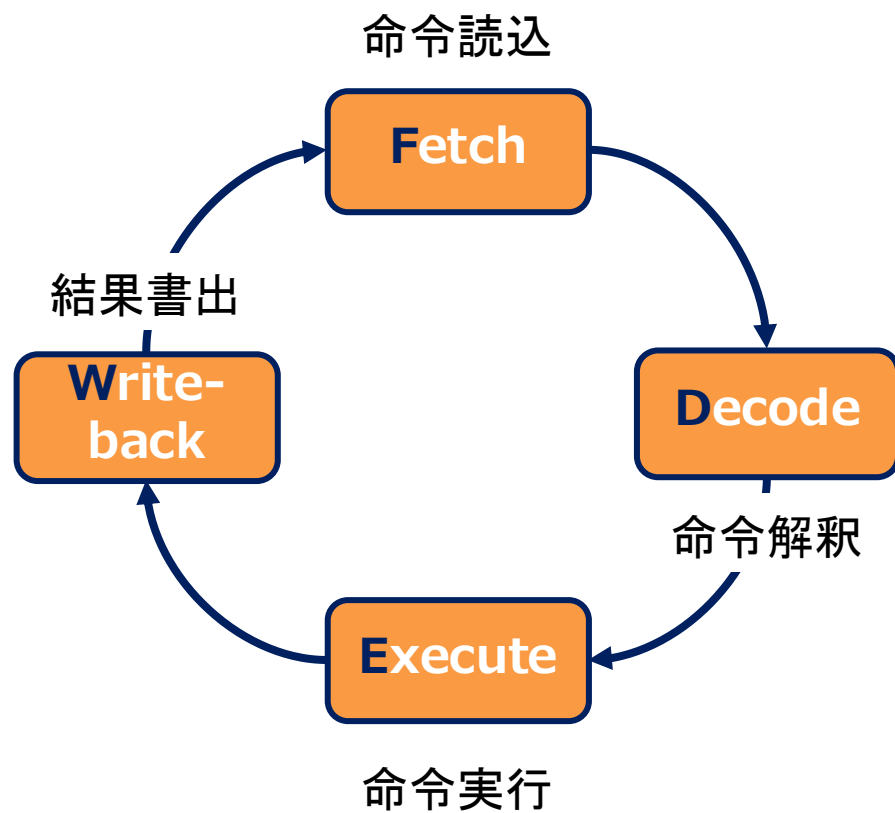
レジスタ CPU内部、最速・容量極小

キャッシュメモリ CPU内部 (SRAM)、レジスタより遅いがDRAMより速い

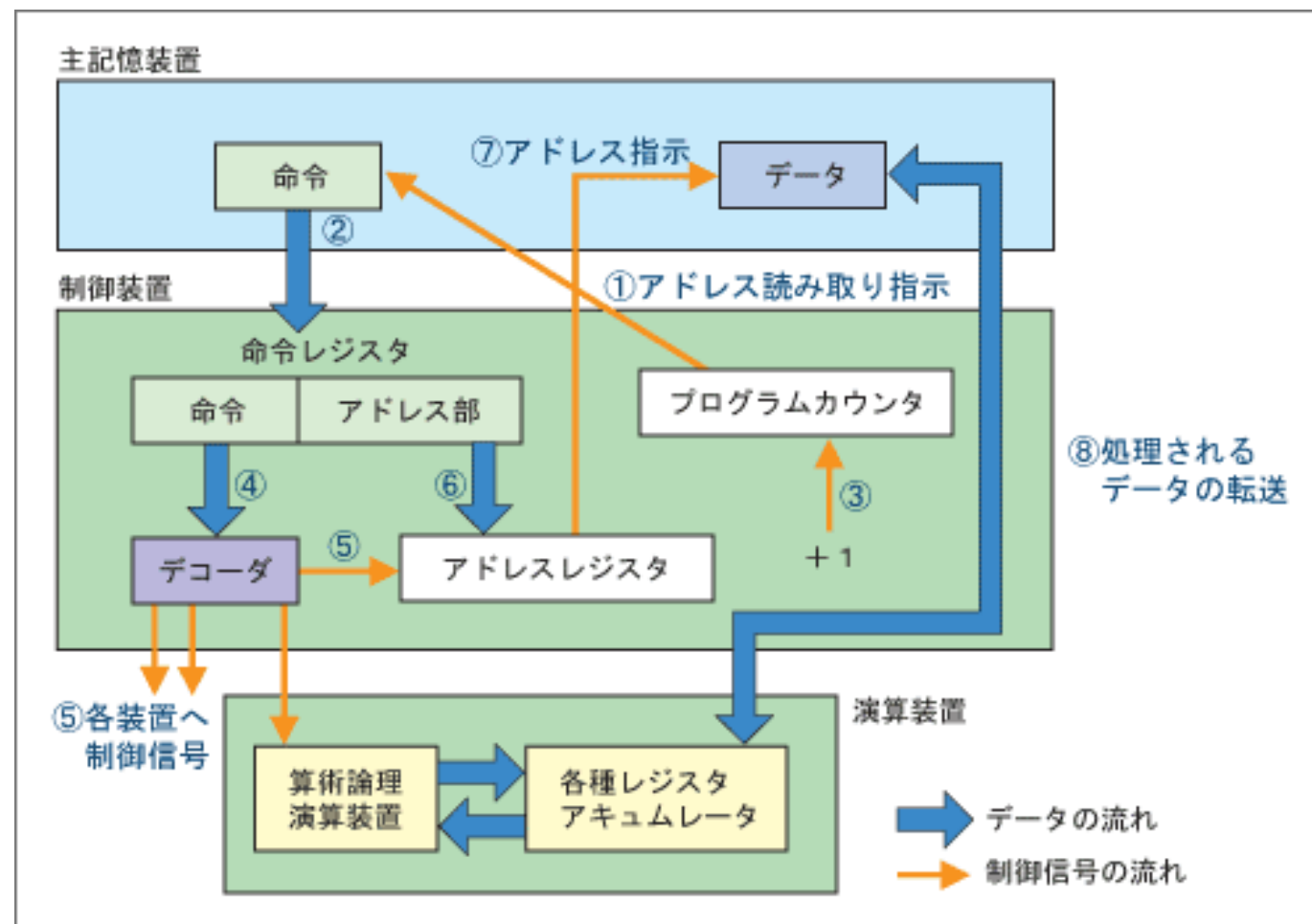
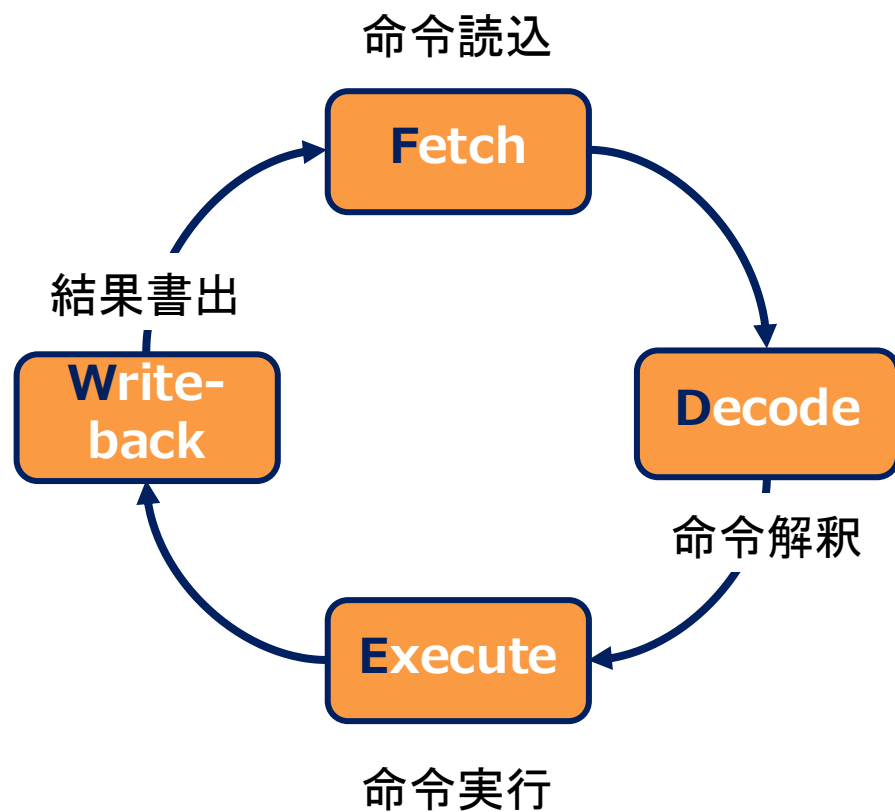
メインメモリ CPU外、揮発性

ストレージ 非揮発性、容量最大・最も遅い

命令サイクル (F-D-E-W)

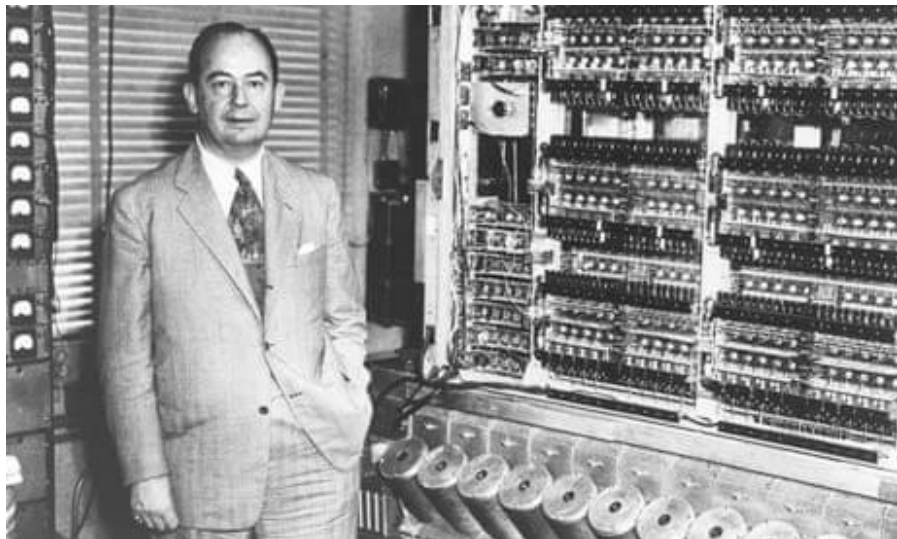


命令サイクル (F-D-E-W)



出典 : <https://jp.fujitsu.com/family/familyroom/syuppan/family/webs/serial-comp/index3.html>

フォン・ノイマンと「フォン・ノイマン型コンピュータ」



フォン・ノイマン (1903-1957)

ハンガリー出身の数学者
プリンストン高等研究所で研究
現代計算機の基本設計に決定的な影響
(ゲーム理論・量子・数理でも大きな業績)

フォン・ノイマン型コンピュータ

- プログラムとデータを同じメモリに格納 (ストアードプログラム)
 - 構成 : CPU (制御+演算) / メモリ / 入出力装置
 - 命令サイクル : 取指 (Fetch) → 解読 (Decode) → 実行 (Execute) → 書戻 (Write-back)
 - 基本は2進数・順序実行+分岐で制御
 - 長所 : 汎用・柔軟・再プログラム可能
- 課題 : フォン・ノイマン・ボトルネック (CPU ↔ メモリの帯域・遅延)

今日のPC/スマホ/サーバは、キャッシュやパイプライン等で高速化しつつ基本はこのモデル。

モジュール1：イントロダクションとコンピュータの基本構成

01

コース紹介
得られる知識

03

CPUとメモリ
頭脳と作業台の秘密

02

コンピュータとは
魔法の箱の中身

04

ストレージと入出力
実世界との繋がり

長期記憶担当「ストレージ」 (本棚の役割)

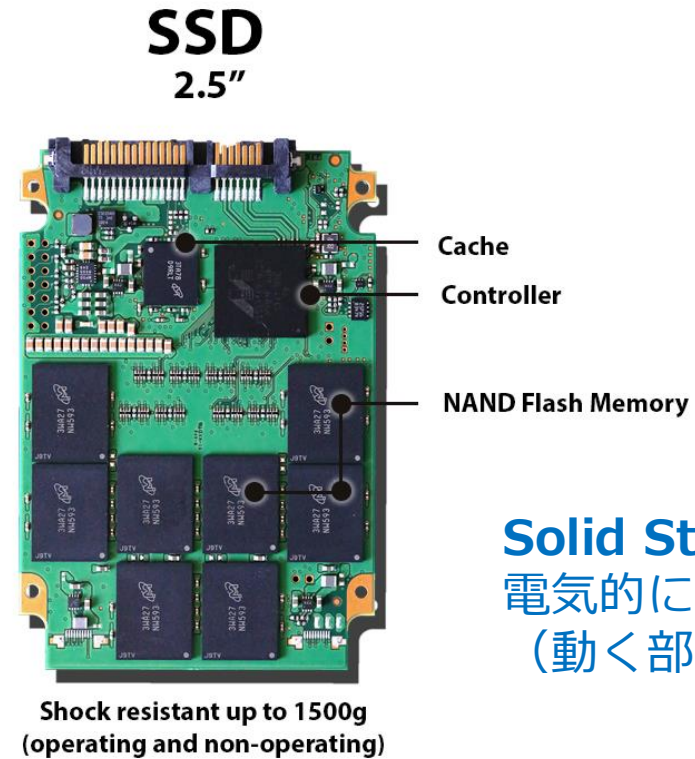
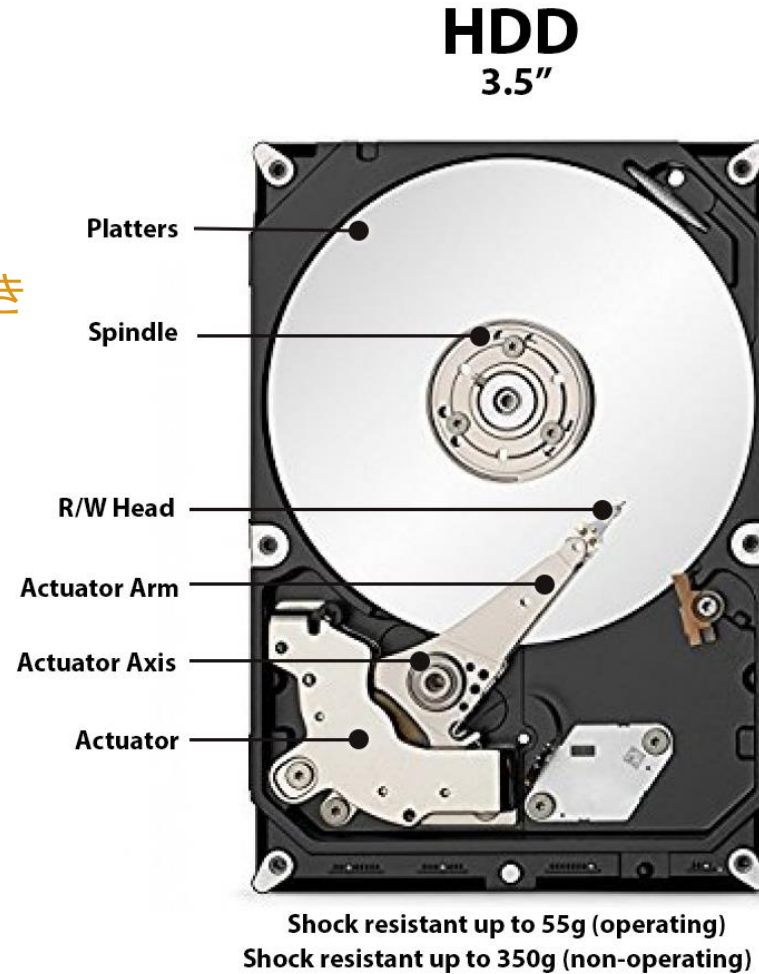


ストレージ (長期記憶)

長期記憶担当「ストレージ」

Hard Disk Drive

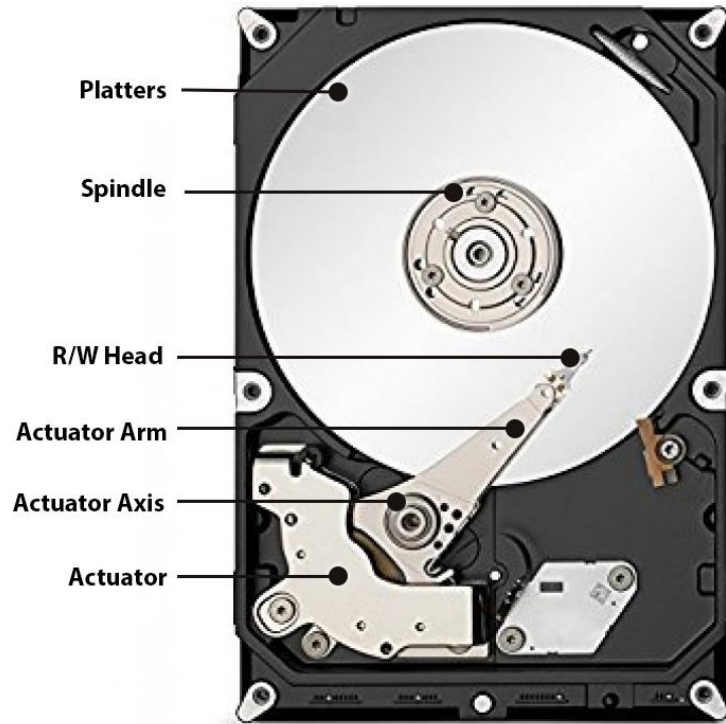
円盤を針で読み書き
(物理的に動く)



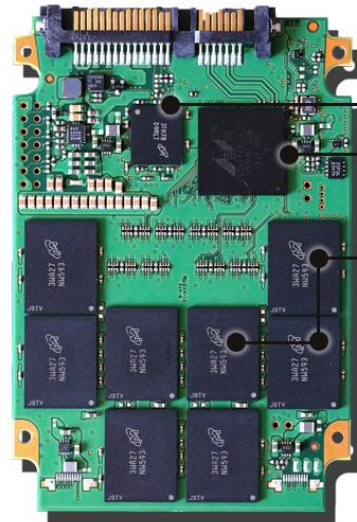
Solid State Drive

電氣的に読み書き
(動く部分がない)

長期記憶担当「ストレージ」

HDD
3.5"

Shock resistant up to 55g (operating)
Shock resistant up to 350g (non-operating)

SSD
2.5"

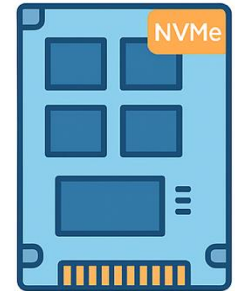
Shock resistant up to 1500g
(operating and non-operating)

HDD



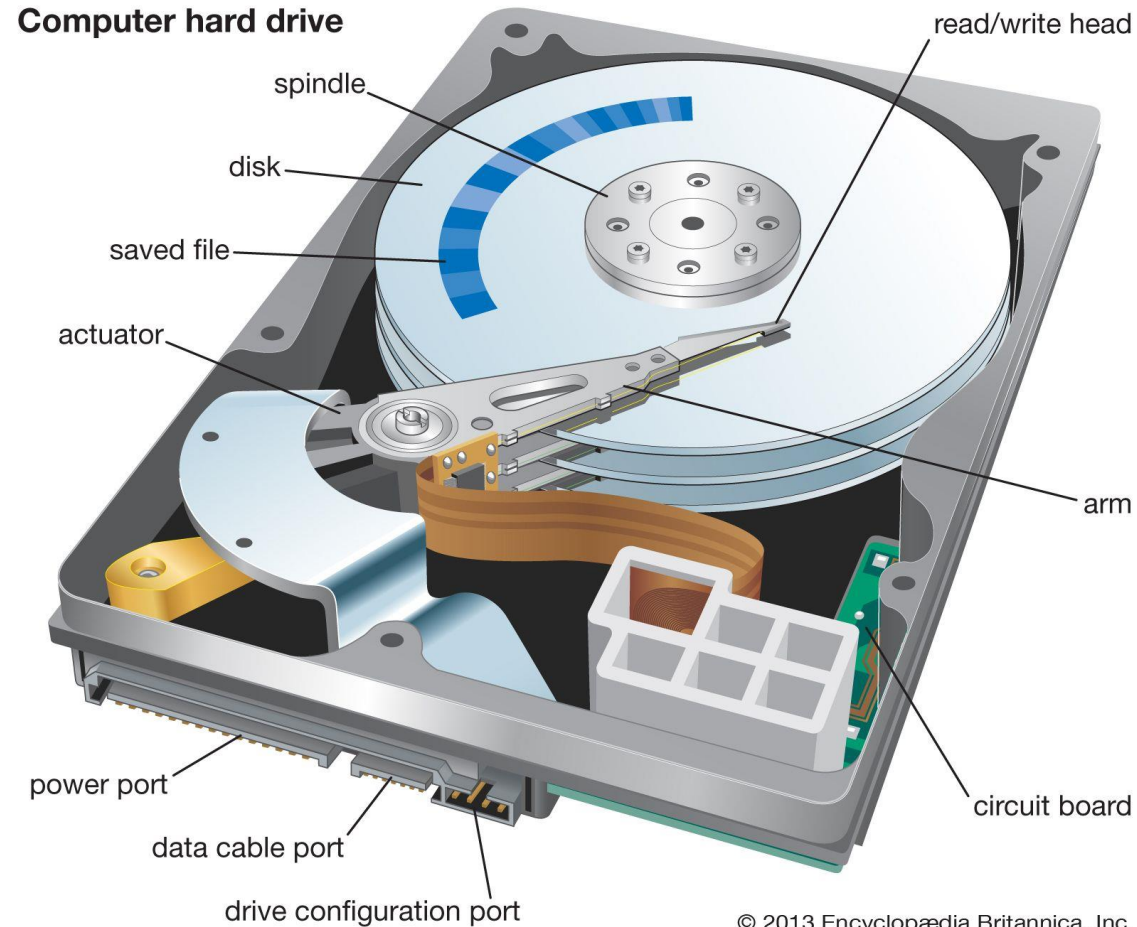
	Speed	×
	Noise	×
	Shock	×
	Capacity	

SSD



	Speed	
	Noise	
	Shock	×
	Price	×

HDD (Hard Disk Drive)

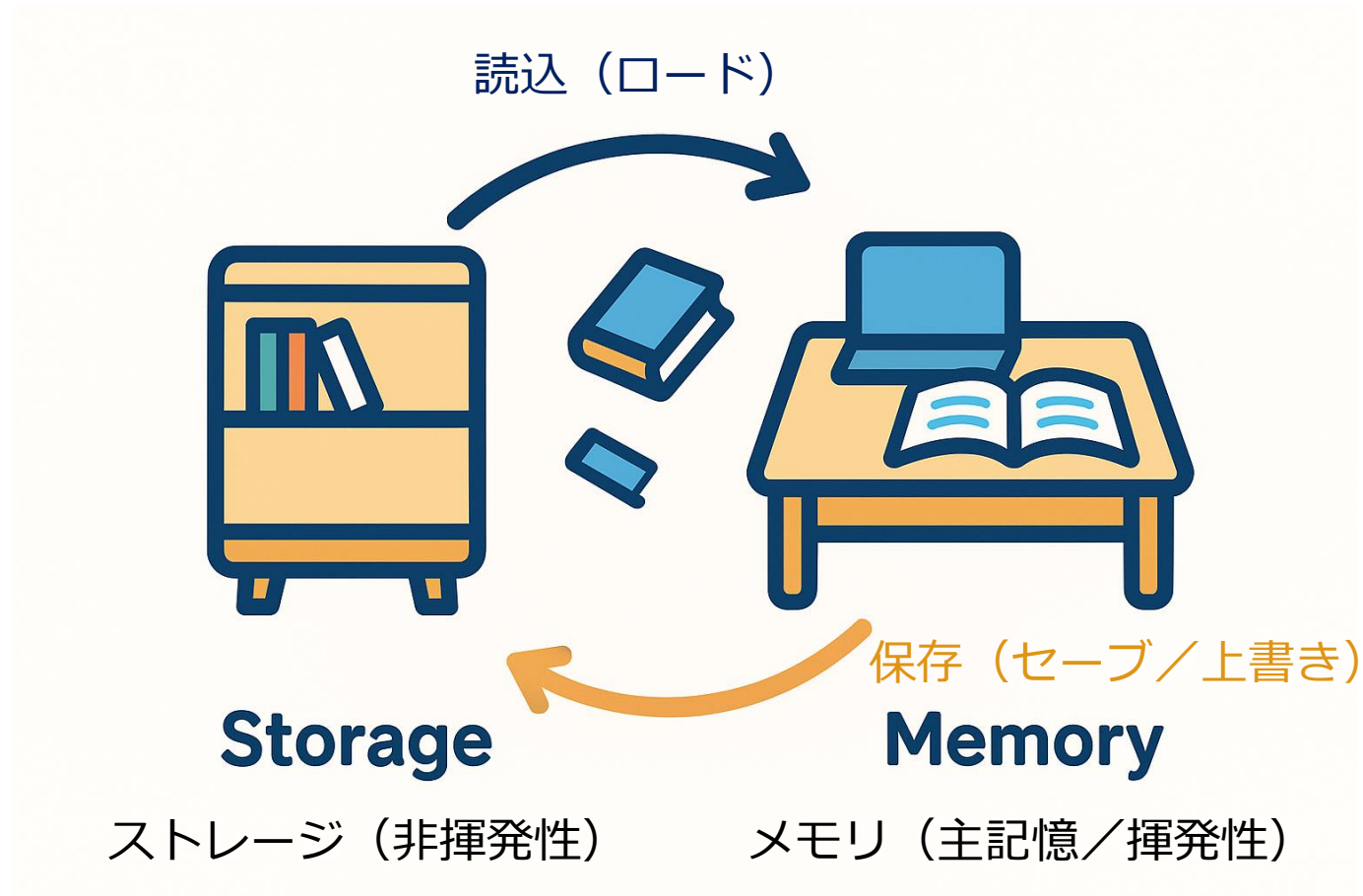


© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

https://www.youtube.com/clip/Ugkx53vv0ByuumEyMdc_yuuhPHxeMsucg8Cn

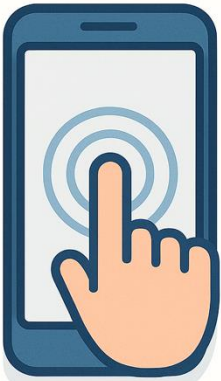
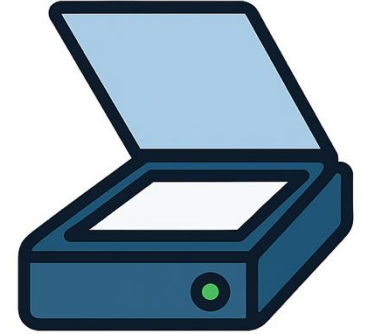
<https://www.britannica.com/technology/hard-disk#/media/1/1521171/68191>

(メイン) メモリとストレージの関係

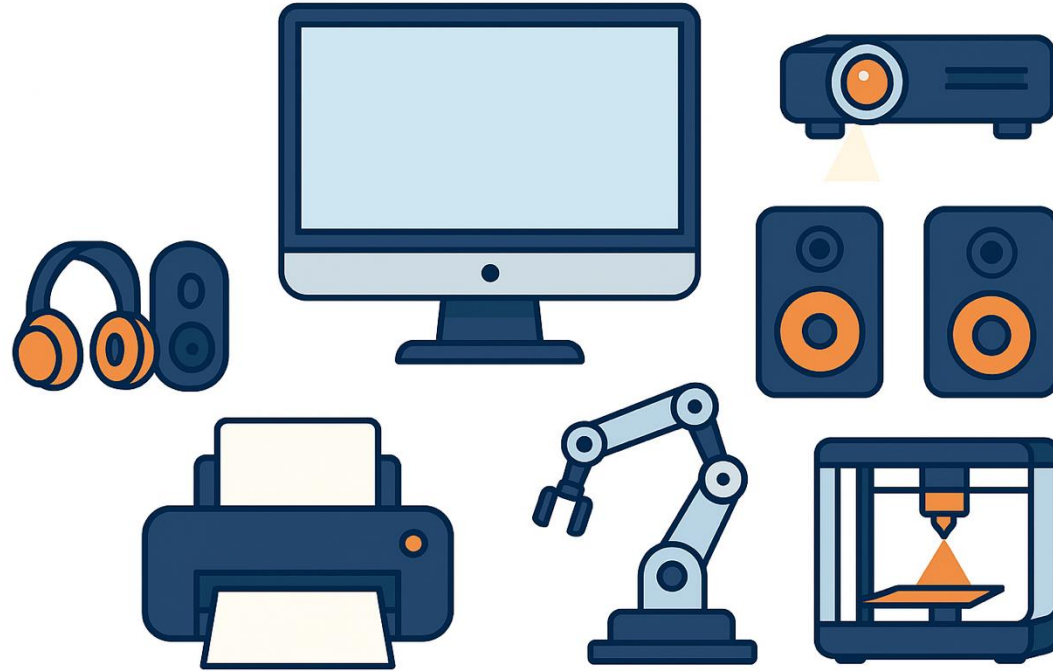




入力装置



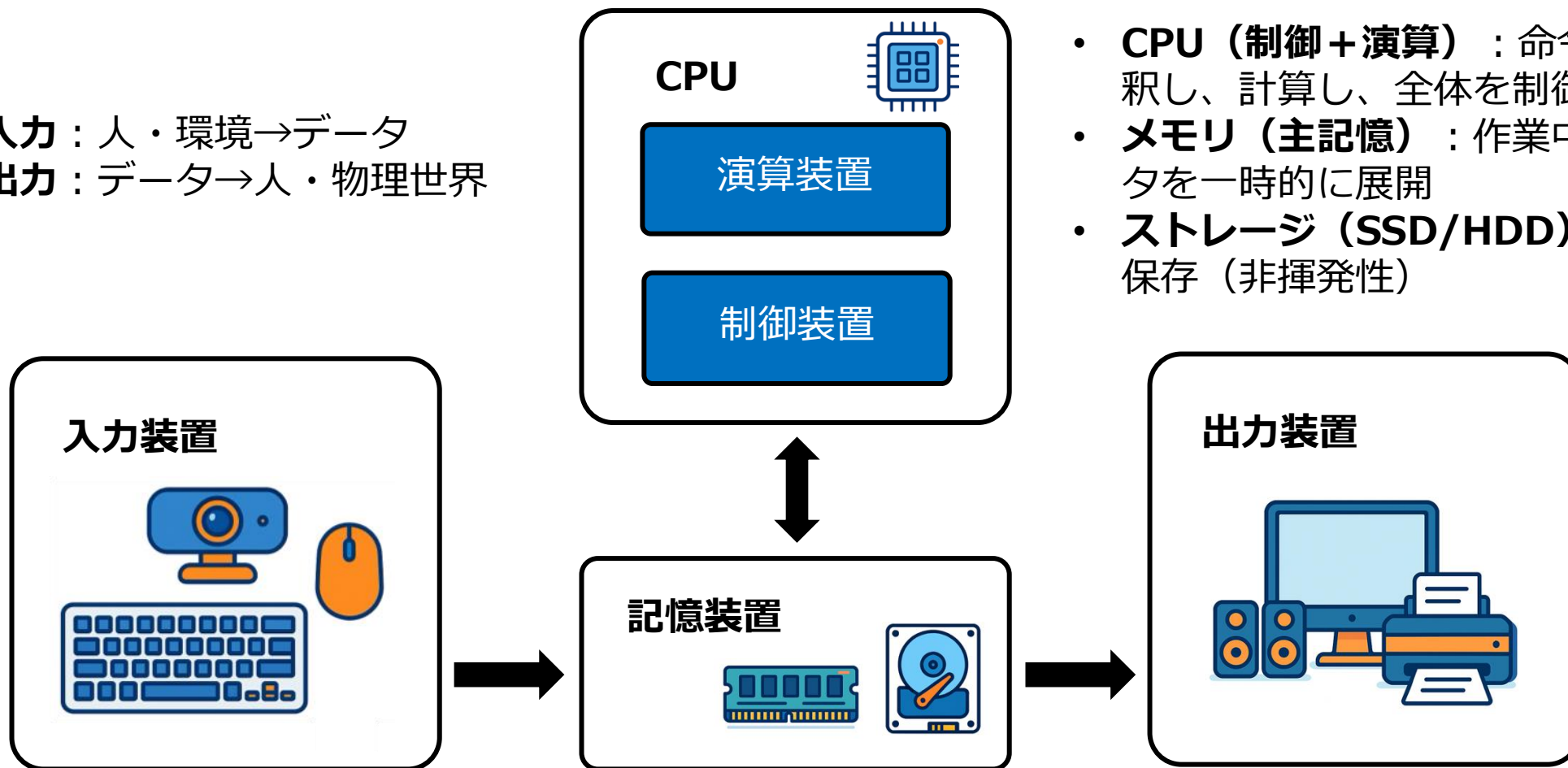
入力：現実→電気信号→A/D→データ/イベント



出力：データ→D/A/ドライバ→光/音/紙/運動

まとめ①：コンピュータの全体像

- 入力：人・環境→データ
- 出力：データ→人・物理世界



- **CPU (制御+演算)：**命令を解釈し、計算し、全体を制御
- **メモリ (主記憶)：**作業中のデータを一時的に展開
- **ストレージ (SSD/HDD)：**長期保存 (非揮発性)

コンピュータの
5大装置

制御
演算

レジスタ

CPU

メモリの
階層構造

キャッシュメモリ

フォン・ノイマン型
アーキテクチャ

ストレージ

命令サイクル

1965



2025



次回：コンピュータは『0』と『1』
しか理解できない？～情報のデジタル
表現～