

## ムーアの法則に関する調査用資料

京都産業大学

情報理工学部

2021年4月1日

人工知能に対する期待が高まり、近未来に、コンピュータの能力が人間の能力を上回るのではないかと考える人がいる。指数関数的に増加する計算能力が汎用人工知能を実現し、コンピュータが人類の知能を超越する時点を技術的特異点（シンギュラリティ）と呼ぶ[3]。技術者や科学者で、シンギュラリティの到来が近い（レイ・カーツワイルによると2045年）と考える人は少ないが、このようなことを想像させる一つの要因であるムーアの法則について調査する。

ムーアの法則は「大規模集積回路のトランジスタ数が18ヶ月ごとに2倍になる[1]」という経験則である。集積回路は複数のトランジスタを一つの半導体チップに実装した電子部品のことである。集積回路には、ANDゲートやORゲートのような論理素子を実現した非常に小規模なものから、FPGA、マイクロプロセッサ、SoCなど、いろいろな種類がある。図1に示すように、外観は板状の部品で、周囲に多数の金属端子がついている。

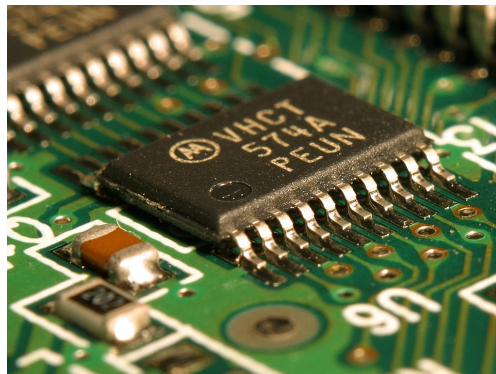


図1 集積回路の外観

トランジスタは1947年ごろに米国で発明された。トランジスタの最も簡単な使い方は、電流や電圧をオン／オフさせることである。これをトランジスタのスイッチング動作という。通常、デジタル回路においてトランジスタはスイッチとして使われている。複数のトランジスタを使い、オン／オフ動作を組み合わせるとANDゲートやORゲートなどの論理素子を実現できる。論理素子を組み合わせると加算器・乗算器などの演算回路を作ることができる。高度な演算回路がCPU(Central Processing Unit(中央演算装置))やGPU(Graphics Processing Unit)である。CPUやGPUはプロセッサ(演算装置)とも呼ばれる。大規模集積回路やVLSIという言葉は、このレベルの集積回路よりも大きいものを指す。さらに集積回路の技術が進歩し、微細化が進むと、複数の演算装置やメモリを一つの半導体チップに実装できるようになった。これをSoC(System-on-a-Chip)という。これらの関係を図2に示す。

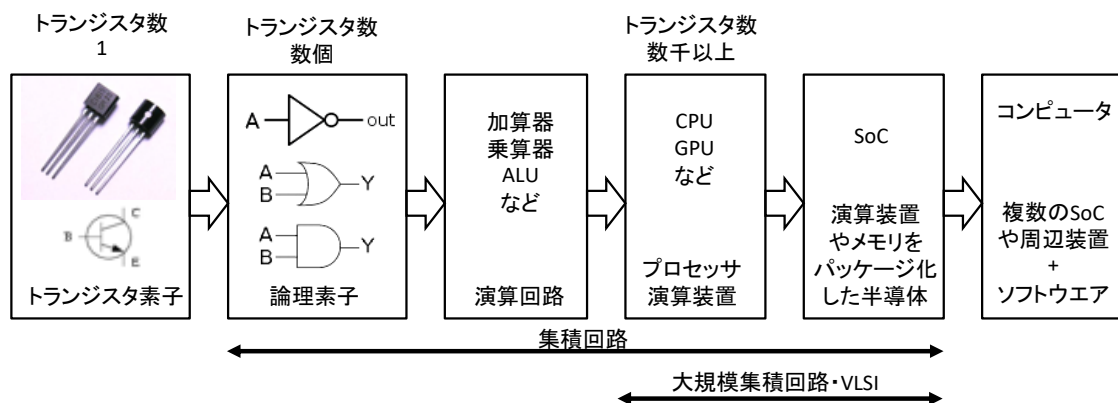


図2 トランジスタ・集積回路・演算装置・コンピュータなどの関係

集積回路技術がある程度進歩した 1970 年代から、コンピュータハードウェアの最も重要な部品である CPU を、一つの集積回路に実装できるようになった。このようにチップ化した CPU をマイクロプロセッサとよぶ。世界初のマイクロプロセッサは 1971 年に発表された Intel4004 という製品で、2,300 個のトランジスタが集積されていた。その後、開発された主なマイクロプロセッサの型番、発表された年、トランジスタ数を表 1 に示す ([2]に掲載されているマイクロプロセッサから Intel 社の適当な製品をピックアップしたもの)。

表 1 Intel 社の主なプロセッサの名称・発表年・トランジスタ数など

プロセッサ名	発表年	トランジスタ数	線幅(nm)	面積(mm <sup>2</sup> )
4004	1971	2,300	10,000	12
8080	1974	4,500	6,000	20
8086	1978	29,000	3,000	33
80286	1982	134,000	1,500	49
80386	1985	275,000	1,500	104
80486	1989	1,200,000	1,000	173
Pentium	1993	3,100,000	800	294
Pentium Pro	1995	5,500,000	500	307
Klamat Pentium 2	1997	7,500,000	350	195
Katmai Pentium 3	1999	9,500,000	250	128
Willamette Pentium 4	2000	42,000,000	180	217
Conroe Core 2 Duo	2006	291,000,000	65	143
Core i7	2008	731,000,000	45	263
Ivy Bridge Core i7	2012	1,400,000,000	22	160
Broadwell-E Core i7	2016	3,200,000,000	14	246

この表を用いて、マイクロプロセッサの製造技術の進歩に関する「ムーアの法則」の傾向を報告せよ。その報告において、横軸を発表年、縦軸をトランジスタ数とするグラフを作成すること。また、横軸を発表年、縦軸を線幅とするグラフや、横軸を発表年、縦軸をチップ面積とするグラフも作成し、それらの傾向についても議論せよ。

### 今回のレポート作成で必ず行うべきこと

- ① 「実験レポートのフォーマット Word 版.docx」と同じ体裁の実験レポートを提出すること。文書作成に使うワープロソフトはなんでも良い。**提出物は pdf とすること。**
- ② 横軸が西暦、縦軸がトランジスタ数で対数目盛になった片対数グラフを作成すること。そのグラフにマイクロプロセッサの発表年とトランジスタ数を散布図として表示すること。散布図のデータ点は直線的に並ぶので、近似直線を描くこと（Excel の機能を使うと、簡単にできる）。

### 参考文献

- [1] ムーアの法則、<https://ja.wikipedia.org/wiki/ムーアの法則>
- [2] Transistor count, [https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_count](https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
- [3] 技術的特異点、<https://ja.wikipedia.org/wiki/技術的特異点>