

集積回路工学第2

秋田

この講義の位置づけ

学期	科目	設計のレベル(表現の抽象度)
4年前期	集積回路設計及び演習	サブ-システムレベル(HDL記述、論理合成、CPU設計)
3年後期	集積回路工学2	サブ-システムレベル(要素回路)
3年前期	集積回路工学1	ゲートレベル・トランジスタレベル (レイアウト設計実習)
	情報システム工学実験2	トランジスタレベル (回路シミュレーション)
2年後期	半導体工学	物理レベル: 製造テクノロジーと T-CAD(プロセスシミュレーション)

集積回路



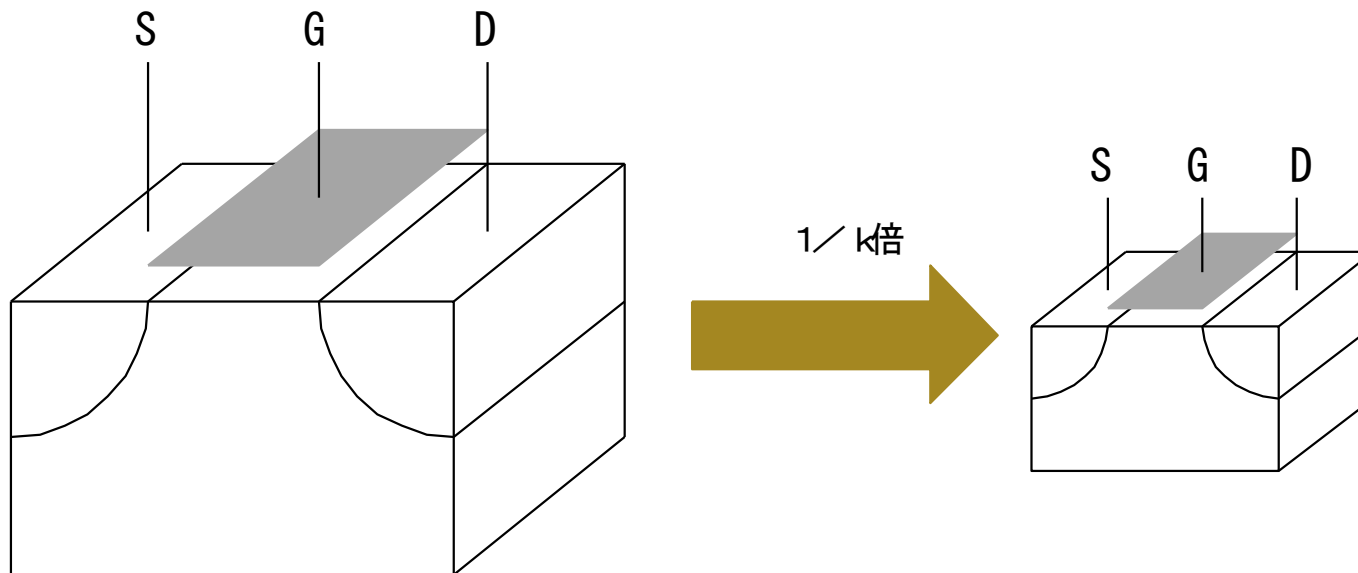
☑ビデオ

☑NHKスペシャル

「電子立国日本の自叙伝」(1991)
(抜粋:18分程度)

スケーリング則

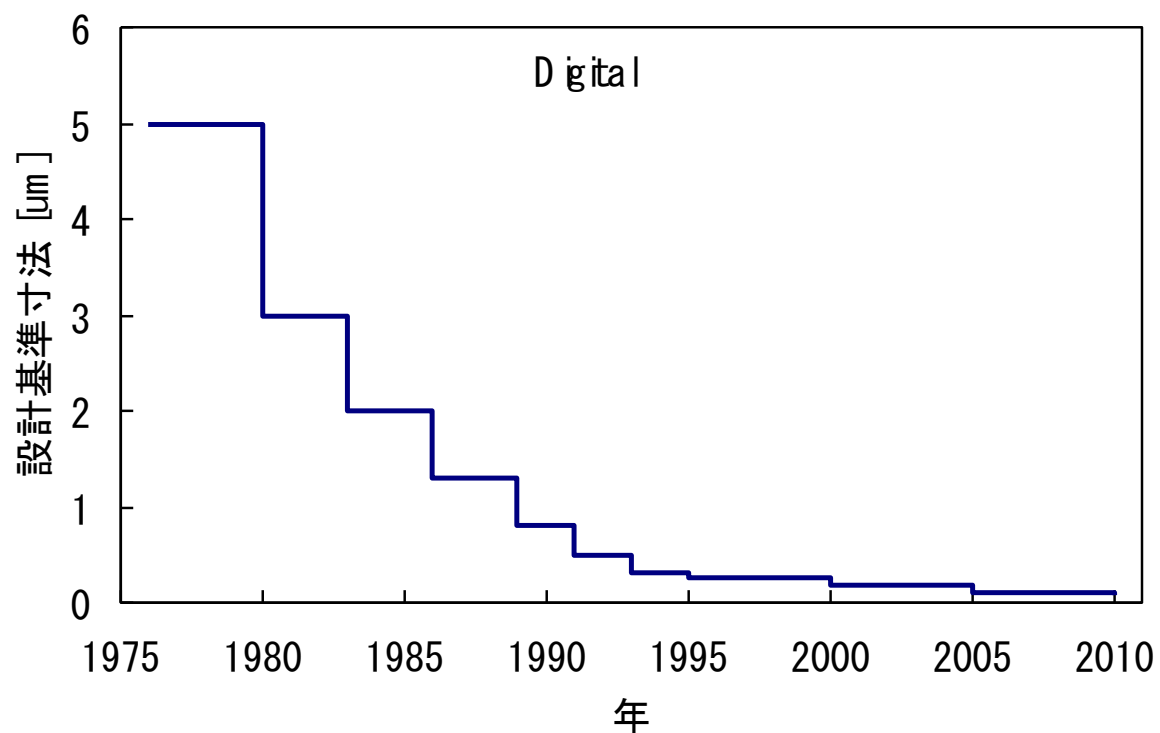
- ✓ 集積回路を構成するMOSトランジスタを小さくすると...



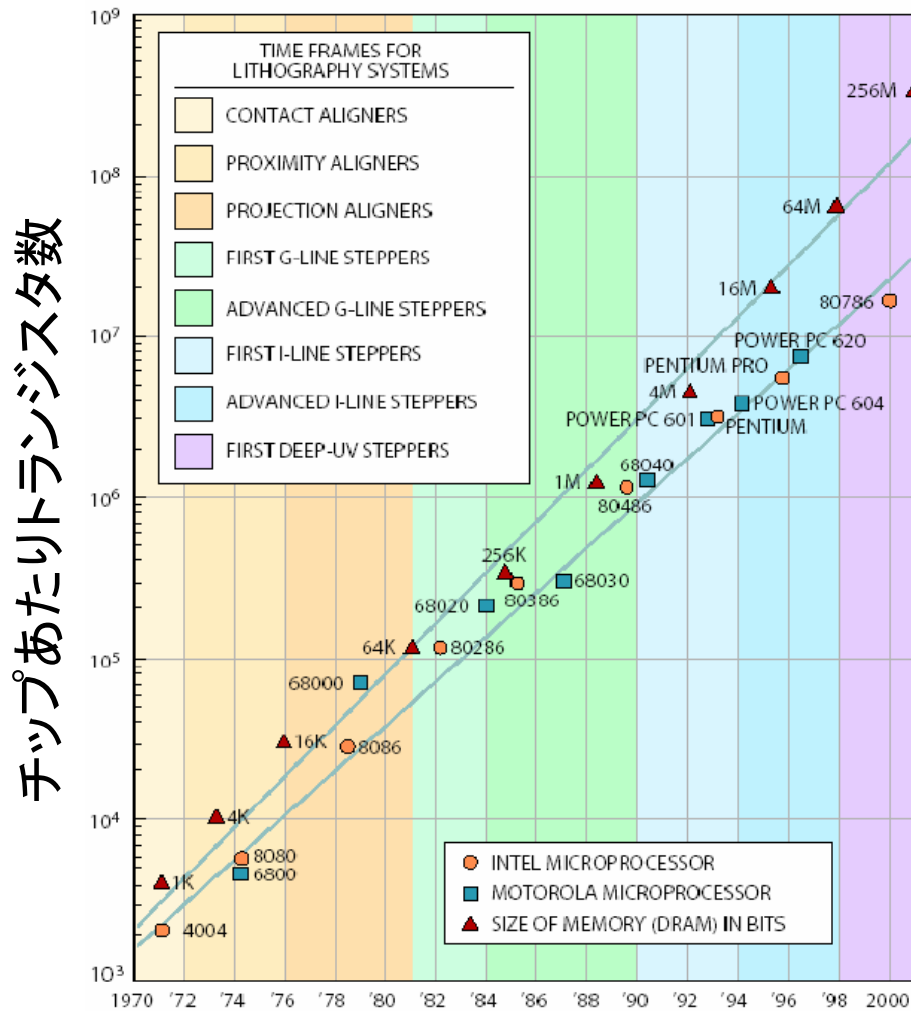
スケーリング則の効果

- ✓ 信号遅延 = $1/k$ (高速化)
- ✓ 消費電力 = $1/k^2$ (低消費電力化)
- ✓ 集積度 = k^2 (高性能化 or 低価格化)

MOSTランジスタ微細化の歴史



Gordon Moore's Law



年率59%=4/3yearsで集積度増大
 (「3年で4倍」)

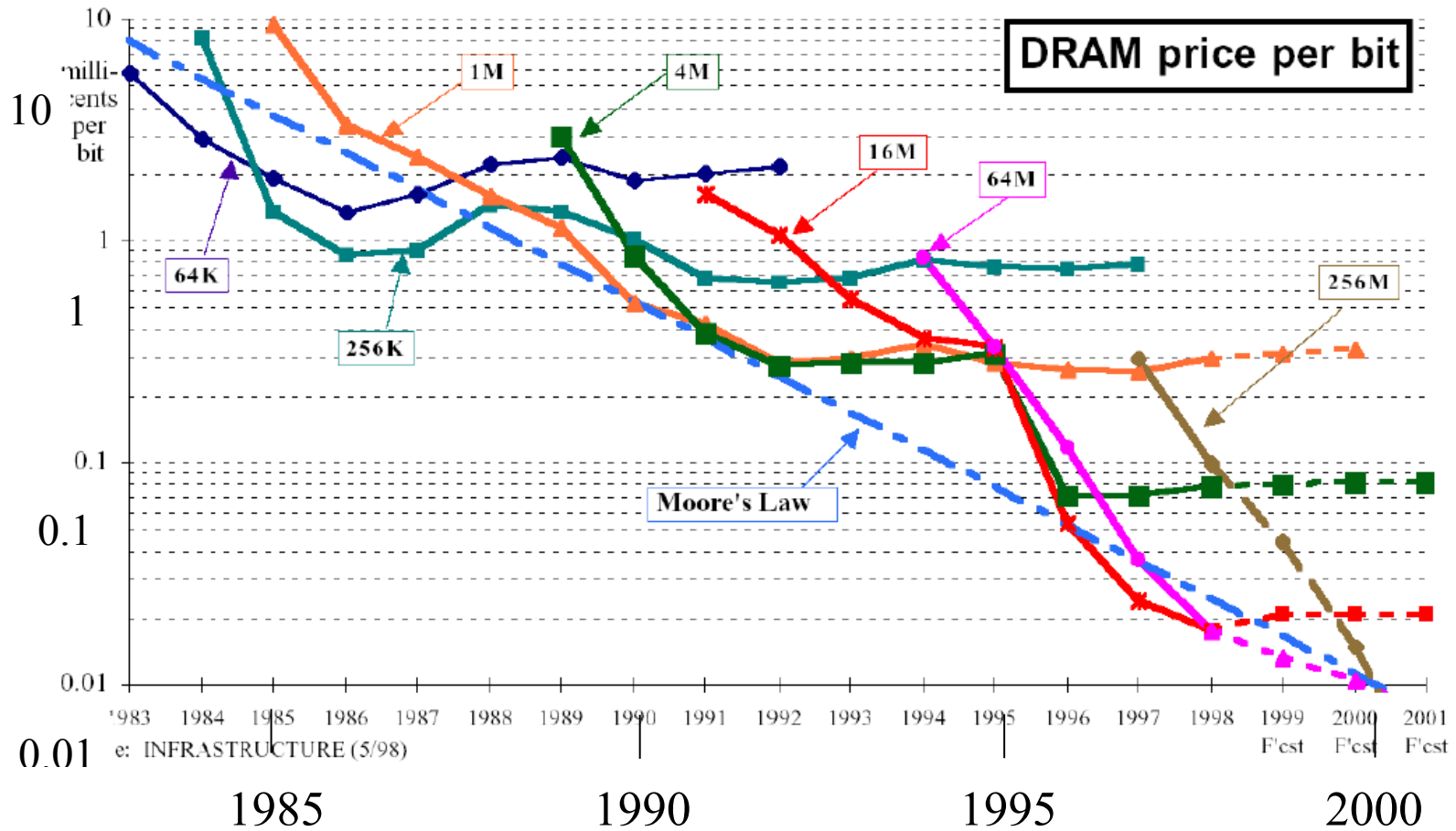
傾き:
 プロセッサ: 1.5/years
 メモリ: 1.6/years

スケーリング則のもたらすもの(その2)

- ☑機能単価:「価格／機能」
 - ☑スケーリングにより継続的な機能向上が可能
 - ☑他の産業では見られない特異性

低コスト化(その1:DRAMのビット単価)

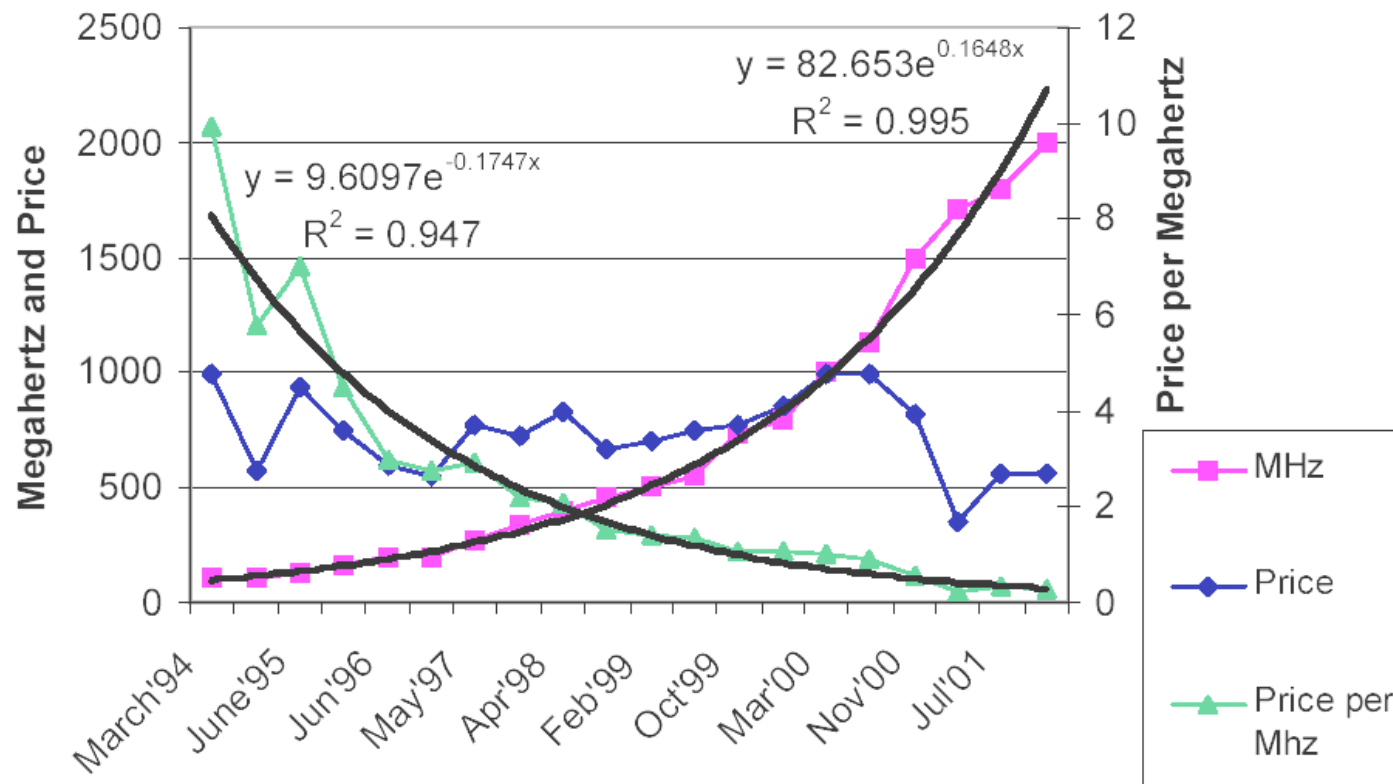
Source: IC knowledge



低コスト化 (その2:クロック周波数あたりのプロセッサ価格)

Premium CPU Price/Performance Trends

Source: Intel



機能単価の低減のみでよいか？

☑ 否。

☑ 「機能飢餓」が必要

☑ 「より高性能なものが求められている」状態

☑ 電子産業は長年この状態にある

☑ シーズとニーズの両立

☑ ユーザ側：機能飢餓

☑ メーカー側：スケールリング則によるメリット

集積回路の世界の未来は・・・？

☑ポイント:

☑「機能飢餓」は続くのか？

☑スケージングなどの技術的実現性は続くのか？

Moore's Lawの終わり: 技術面

- ☑️MOSトランジスタの微細化の限界
 - ☑️MOSトランジスタは原子よりは小さくならない
 - ☑️L: $\sim 0.1\mu\text{m}$ (=100nm)
↔ Si原子 $\sim 1\text{nm}$
 - ☑️その他の制限要因
 - ☑️消費電力の増加(もれ電流)
 - ☑️回路規模の増大と設計技術の乖離
 - ☑️L: $\sim 0.01\mu\text{m}$ (=10nm) (めどはたっている)

Moore's Lawの終わり: ニーズ面

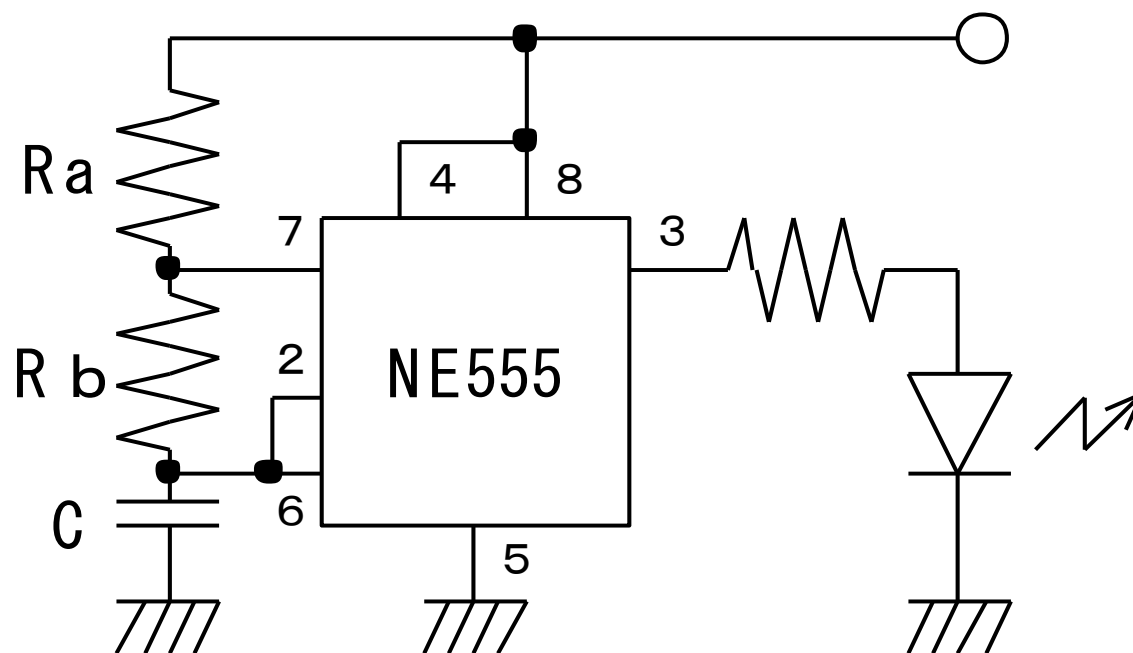
- ☑ 果たして、Moore's Lawによる高性能な集積回路は必要なのか？
 - ☑ 例) PCの性能？
 - ☑ 例) 携帯電話の機能？
 - ☑ 技術的要因だけでは決まらない
 - ☑ ……これ以上の技術の進歩は必要なのか……？

集積回路の今後に対する別の見方

- ☑ 集積回路の製造・設計技術の成熟
 - ☑ 高性能な集積回路 (MPU, メモリ, ...)
 - ☑ 低価格な集積回路 (性能はそこそこ)
- ☑ 高性能な集積回路:
 - ☑ = 最先端の製造技術 (工場)
→ (~1000億円以上)
- ☑ 低価格な集積回路
 - ☑ 性能はそこそこ。しかし...

「LEDを点滅させる回路」(1)

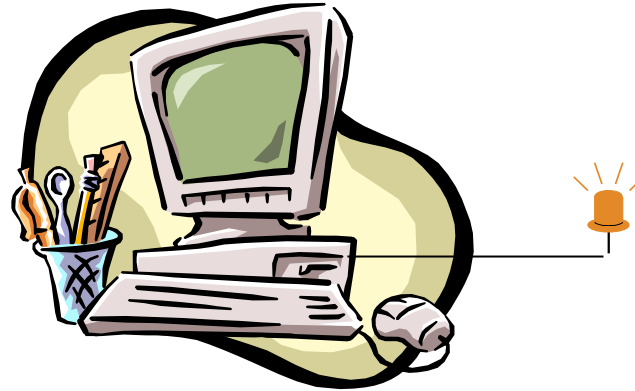
☑ 普通の設計方法：発振回路



「LEDを点滅させる回路」(2)

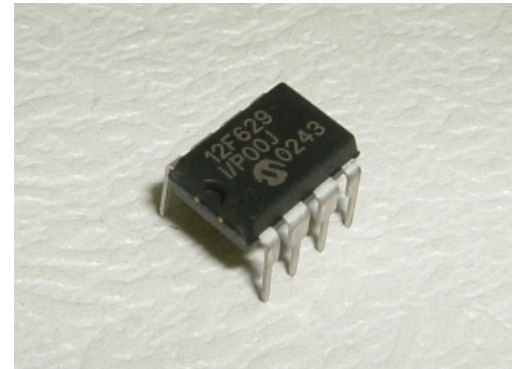
- ☑ PCを使ってもできる…？
 - ☑ 可能だが、非現実的…か？

```
while(1){  
  a = 1;  
  sleep(1);  
  a = 0;  
  sleep(1);  
}
```



マイクロコントローラ(MCU:マイコン)

- ✓ マイクロコントローラ (MCU)
 - ✓ CPU+RAM+ROM+周辺回路を1つのチップに
 - ✓ CPU: 1~100MIPS
 - ✓ RAM: 1K~10KB
 - ✓ ROM: 1K~100KB
 - ✓ Cost: ~100円程度
 - ✓ 製造技術は、「非常に」枯れた技術



「LEDを点滅させる回路」(3)

☑️発振回路(555)

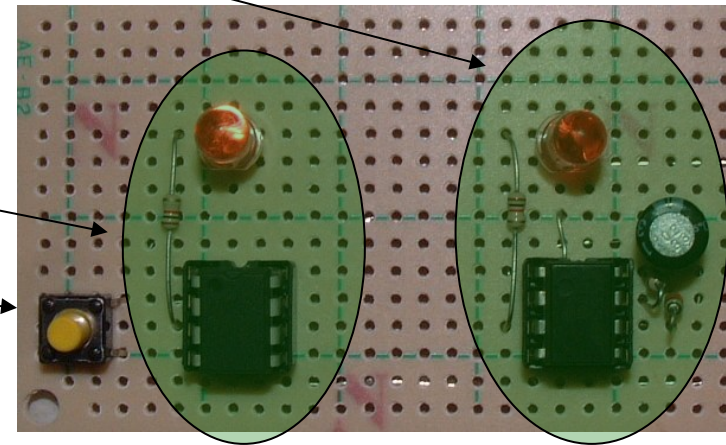
☑️IC(8p) + C×1 + R×2 = \$2

☑️MCU

☑️IC(8p) = \$1.5

☑️多機能

☑️点滅速度、点滅パターン
などの変更が容易



MCUを使ったLED点滅回路

- ✓ 価格・性能の両面で、現実的な選択肢
- ✓ 性能面では、実は高機能にもできる
 - ✓ コンピュータを使う！

これからの情報技術と集積回路

- ☑「道具」としての集積回路
 - ☑設計技術・製造技術の成熟
 - ☑敷居が下がってきている(学部講義でも扱う！)
- ☑情報技術の実現方法としての集積回路
 - ☑パソコンを使ってプログラム：
できることは、たかが知れている
(パソコンの枠の中だけの世界)
 - ☑面白いもの・作りたいものを実現したいときに、
道具として活用する(実世界とのつながり)
 - ☑(そのための準備としての「集積回路工学」)

道具になる集積回路

✓ フィジカル・コンピューティング (Physical Computing)

- ✓ physical = 物理的な
- ✓ コンピュータ内の世界に限らず、
「実世界」(real world)でのコンピュータ
- ✓ 「電子工作」を広げた概念・活動

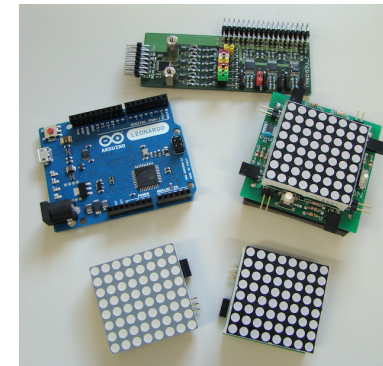
✓ マイコン/FPGAの登場・普及

- ✓ コンピュータの性能向上・進化の「副産物」
- ✓ 高性能化 \leftrightarrow 小型でもそこその性能

✓ 「パソコン」以外のコンピュータ

- ✓ 身近な電子機器・電子工作(自分で作る!)

✓ そのための「集積回路工学第2」



この講義の予定

- ✓ 第1回：イントロダクション:この講義を学ぶ意義
- ✓ 第2回：加算回路(その1)
- ✓ 第3回：加算回路(その2)
- ✓ 第4回：減算回路・ALU
- ✓ 第5回：乗算回路(その1)
- ✓ 第6回：乗算回路(その2)
- ✓ 第7回：マイクロプロセッサ
- ✓ 第8回：SRAM
- ✓ 第9回：DRAM
- ✓ 第10回：ROM
- ✓ 第11回：演算増幅器
- ✓ 第12回：D/A変換器・A/D変換器
- ✓ 第13回：高周波回路
- ✓ 第14回：道具になる集積回路