

集積回路工学第2 第1回: イントロダクション : この講義を学ぶ意義

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

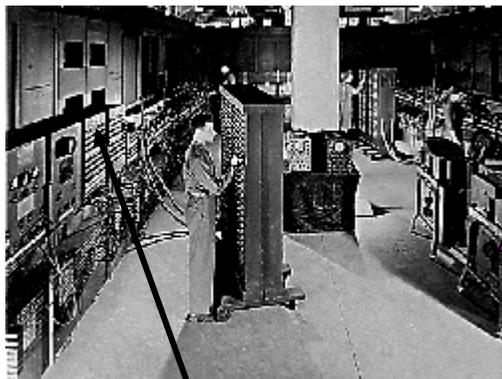


☑ビデオ

☑NHKスペシャル

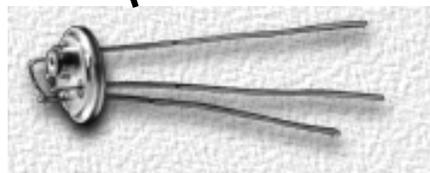
「電子立国日本の自叙伝」(1991)
(抜粋:18分程度)

コンピュータの歴史



(1946)
真空管: 18,000本
消費電力: 140kW
サイズ: 30m × 3m × 1m
演算性能: 5,000加算/s

(ENIAC: 世界最初のコンピュータ)



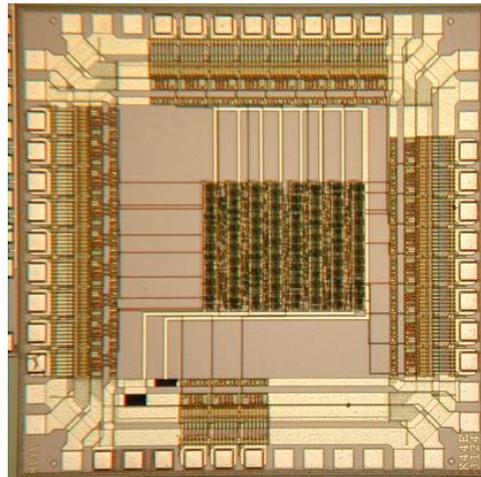
(2007)

最小加工寸法: $0.065 \mu\text{m}$ (65nm)
素子数: $\sim 50,000,000$
消費電力: 100W \sim 数mW
サイズ: 10mm × 10mm程度
演算性能: 10,000,000,000演算/s

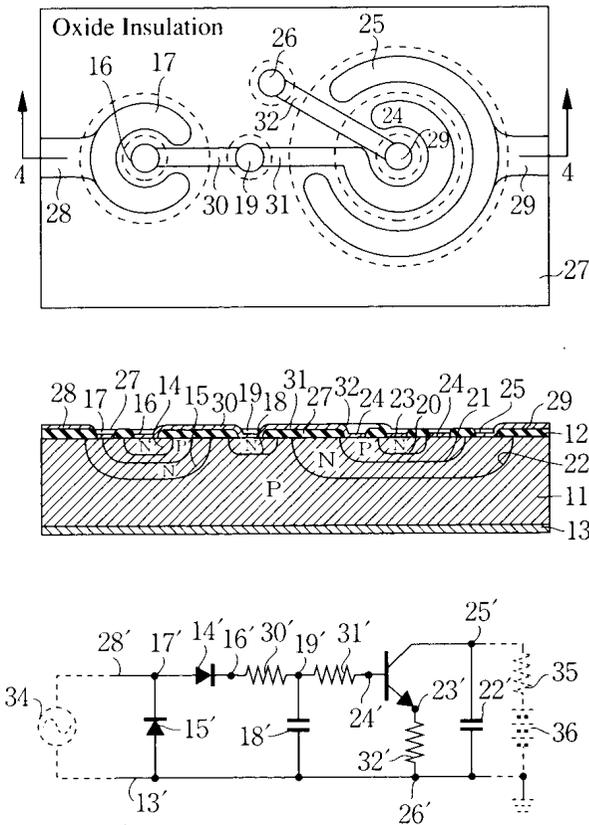


コンピュータの構成要素: LSI

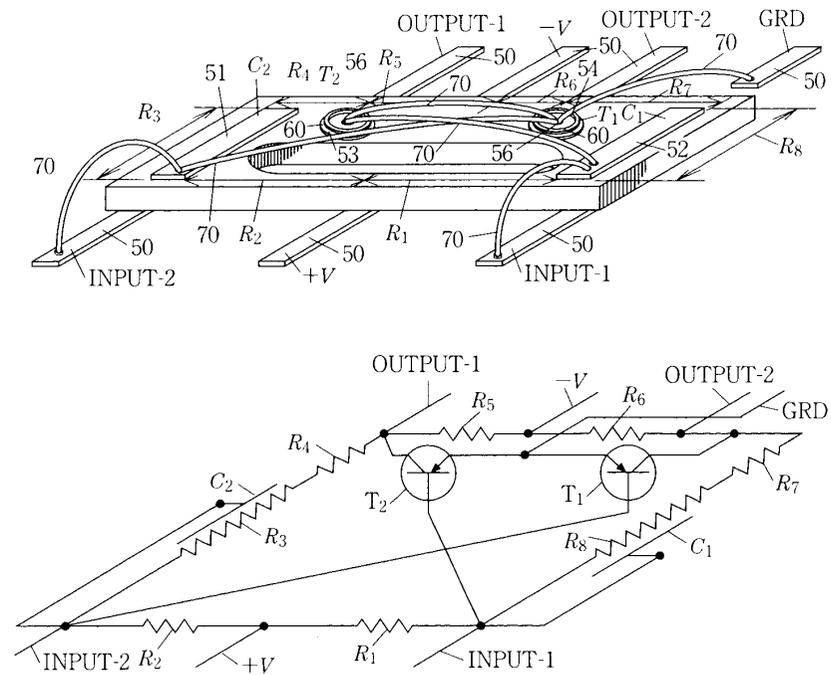
- ✓ 黒いパッケージの中に「シリコンのチップ」が入っている



LSIの歴史

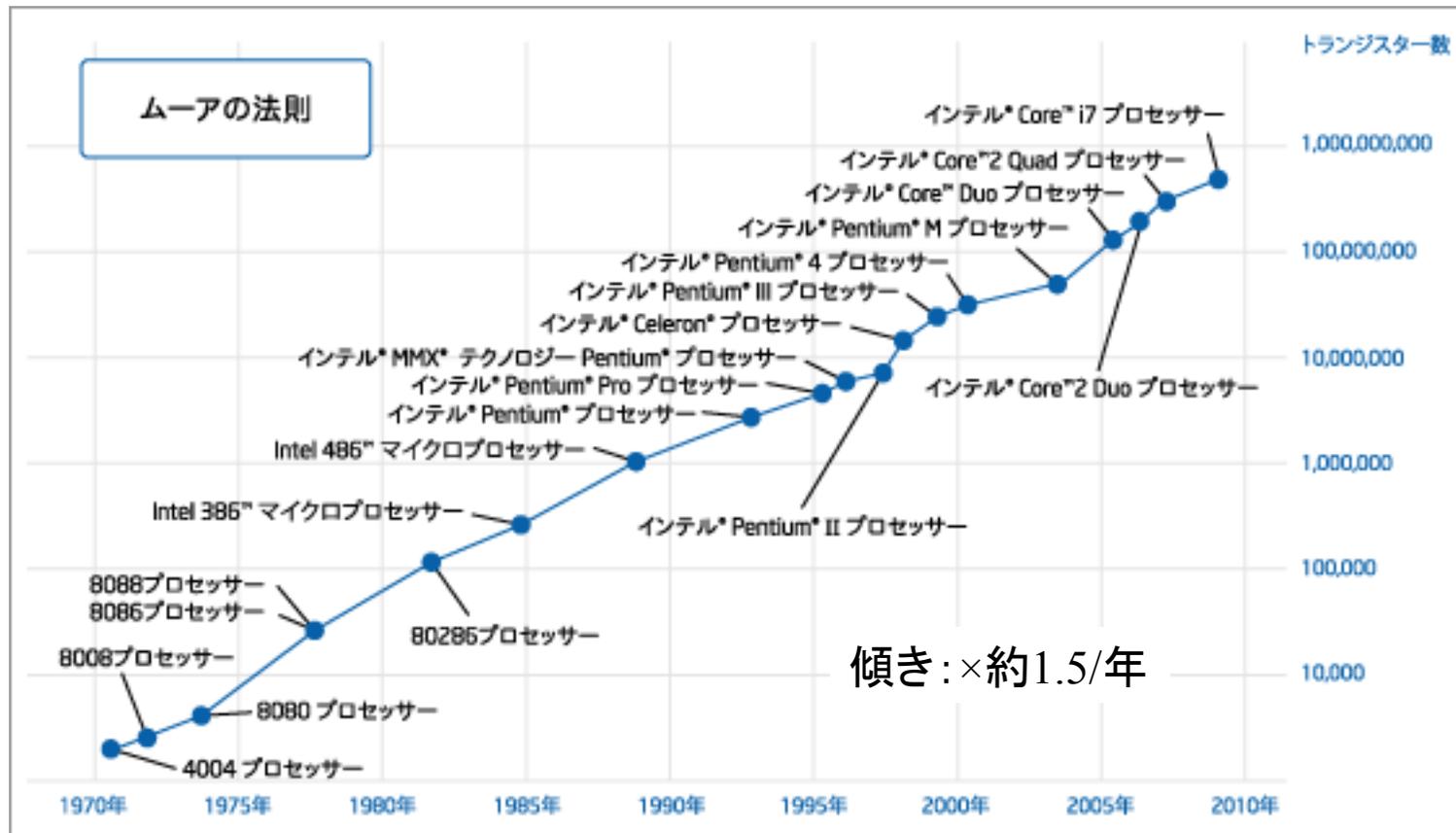


US Patent No. 2 981 877 (R. Noyce)
(1961)



US Patent No. 2 138 743 (J. Kilby)
(1959)

Mooreの法則



ref: <http://www.intel.com/jp/intel/museum/processor/index.htm>

Mooreの法則のクラクリ: スケーリング

☑️ MOSTランジスタを、より小さく作ると・・・？

☑️ 寸法: $1/\alpha$

☑️ 不純物濃度: α

☑️ 電源電圧: $1/\alpha$

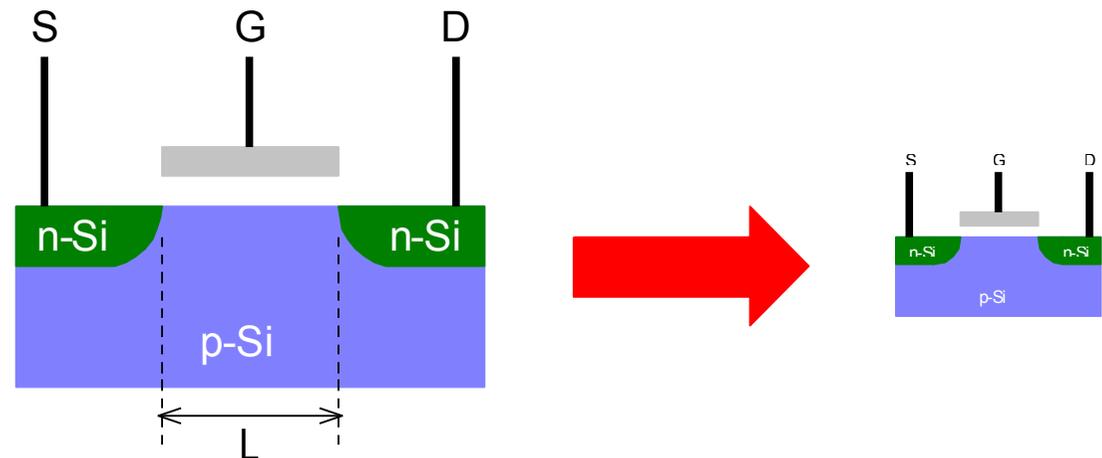
☑️ 結論: いいことばかり

☑️ 速度↑

☑️ 消費電力↓

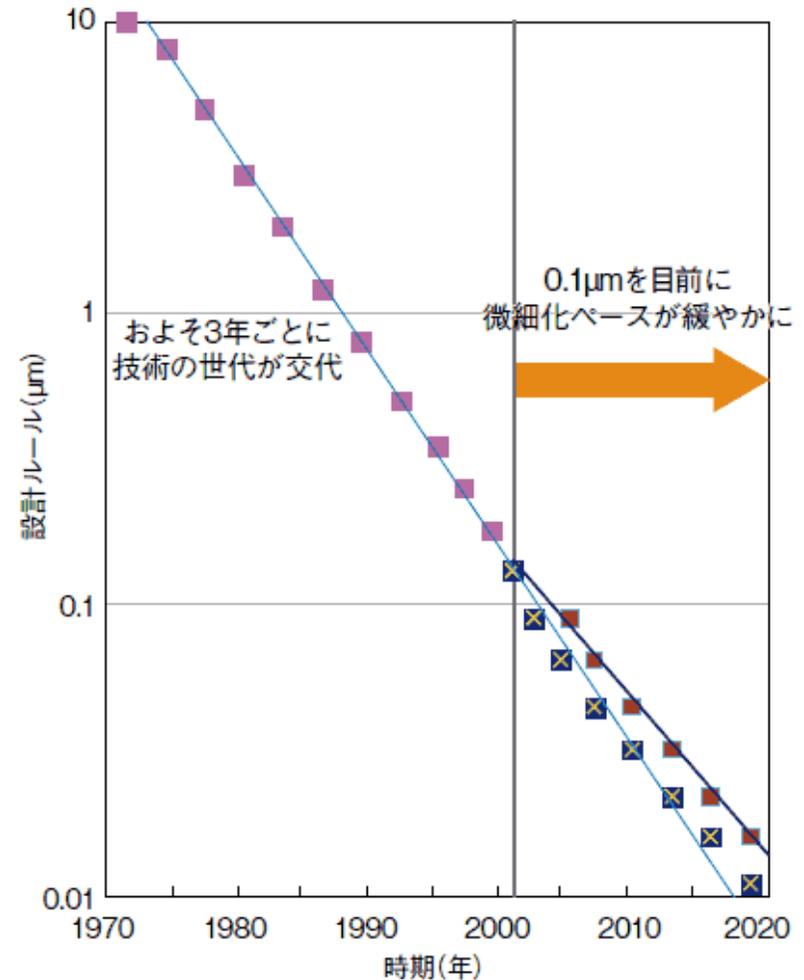
☑️ 集積度(機能)↑

☑️ 技術が進むべき方向性が極めて明確なまれなケース



MOSTランジスタの微細化の歴史

- ☑ 微細化するほど
メリットがある
＝がんばって微細化



ref: 日経BP Tech-On! 2009/03/30の記事

スケーリング（微細化）でうれしいこと

✓速度↑

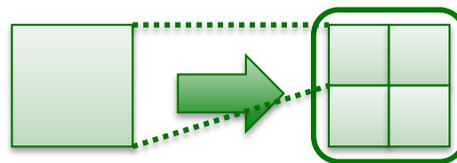
✓パソコンや携帯・スマホがサクサク動く

✓消費電力↓

✓バッテリーが長持ち

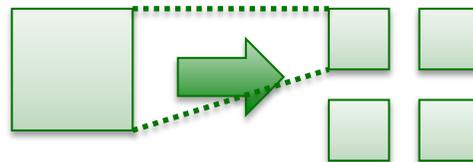
✓集積度↑: 2つの意味

✓機能↑



同一面積チップで4倍のMOS数
=4倍の機能

✓コスト↓



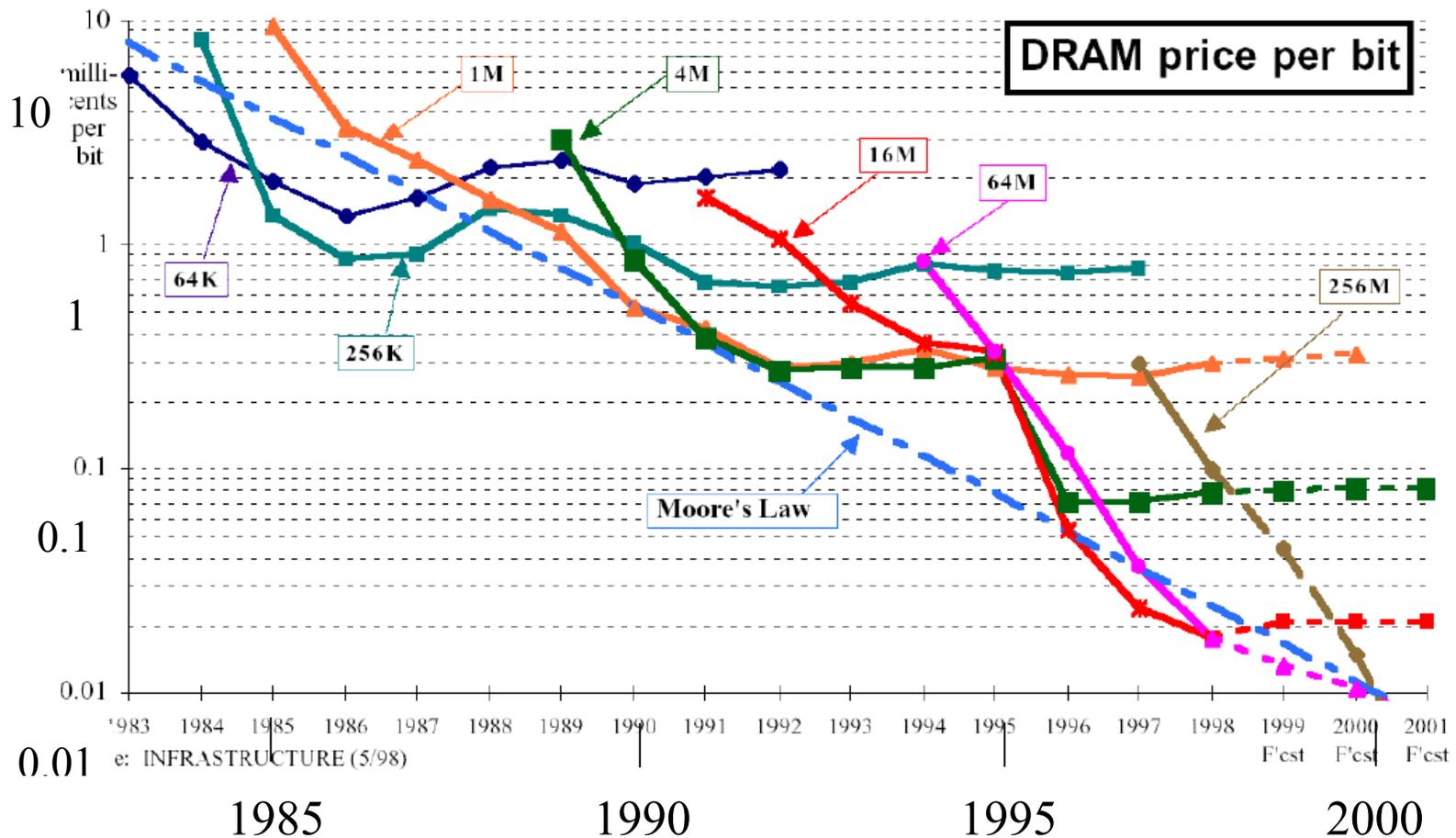
同一MOS数が1/4の面積
=1/4のコスト

Mooreの法則のもたらすもの(その1)

- ☑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)

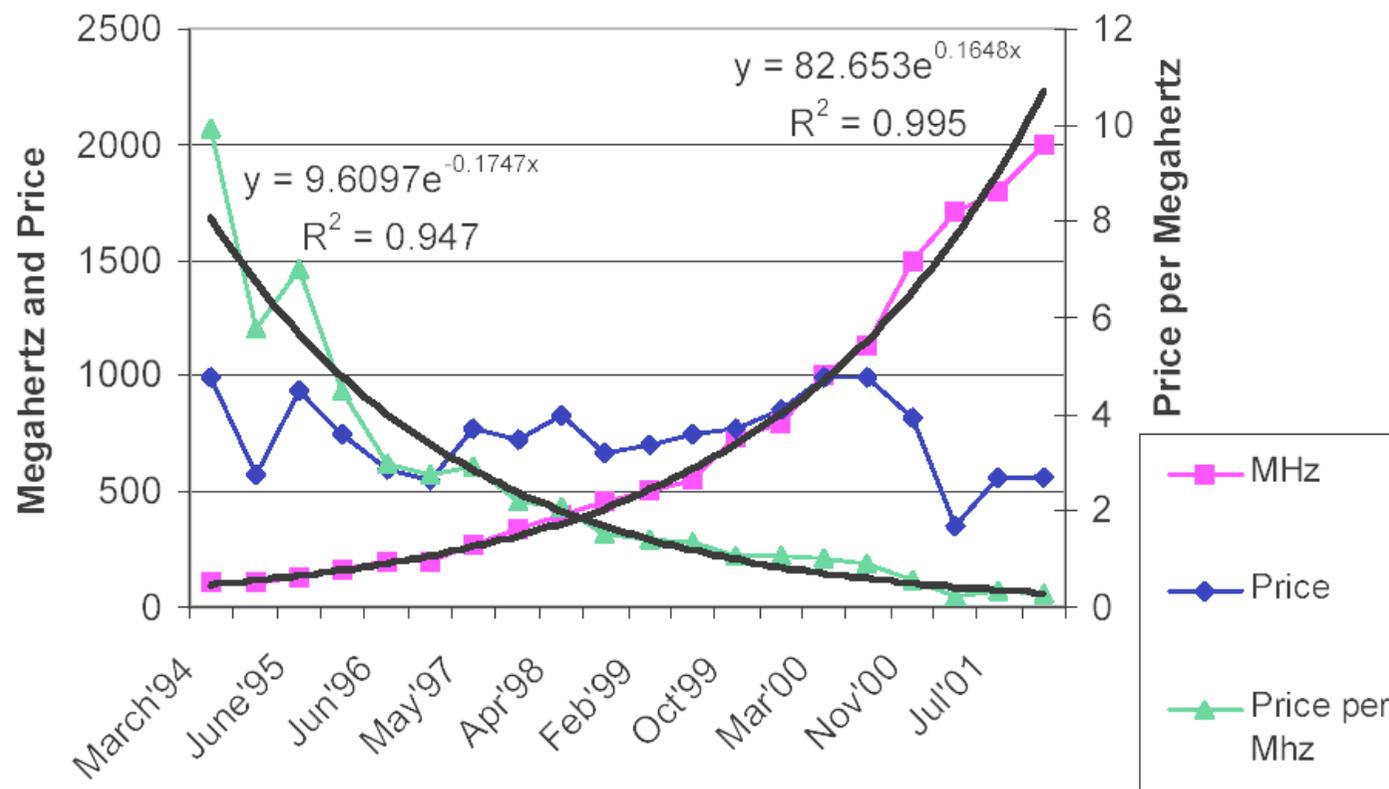
Source: IC knowledge



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

Mooreの法則の今後は・・・？

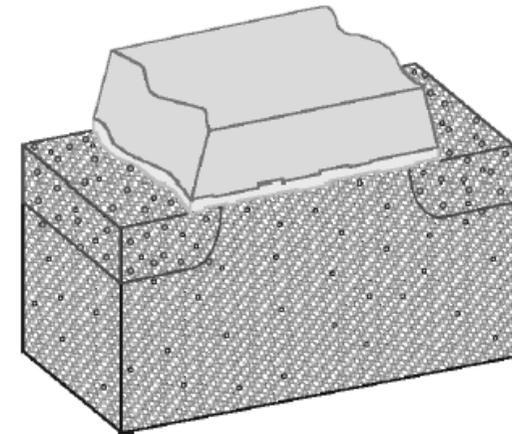
☑️ポイント:

☑️「機能飢餓」は続くのか？

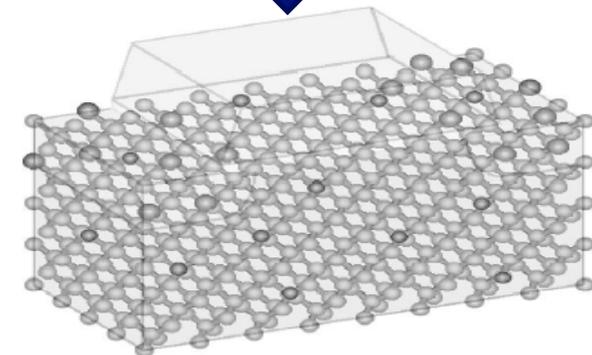
☑️スケーリングなどの技術的実現性は続くのか？

Mooreの法則の終わり: 技術面

- ✓ MOSTランジスタの微細化の限界
 - ✓ MOSTランジスタは原子よりは小さくならない
 - ✓ $L: \sim 0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$
↔ 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
 - ✓ $L: \sim 0.01\mu\text{m}(=10\text{nm})$ (めどはたっている)



L=20nm(いま)



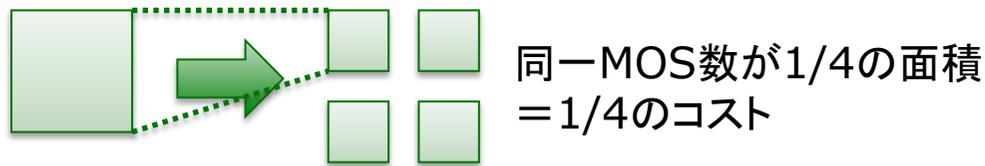
L=5nm(2020年ごろ)

Mooreの法則の終わり: 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……？

Mooreの法則のもたらすもの(その2)

- ☑「低コスト化」のもつ意味
 - ☑「同一機能を安価につくれる」を超える意味
 - ☑使われ方の根本的な変化



微細化によるコスト↓の別の側面



DEC VAX(1976)
1MIPS



Cray-1 (1978)
100MIPS

(世界最初のスーパーコンピュータ)



1000MIPS



100MIPS



300MIPS



20MIPS



10MIPS

※MIPS: Million Instruction Per Second (1秒間に実行できる命令数)

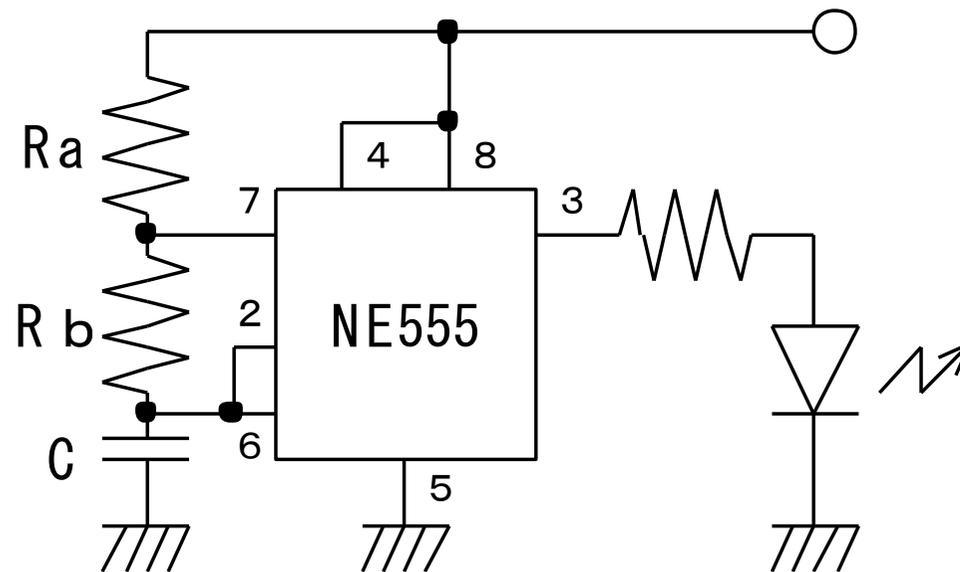
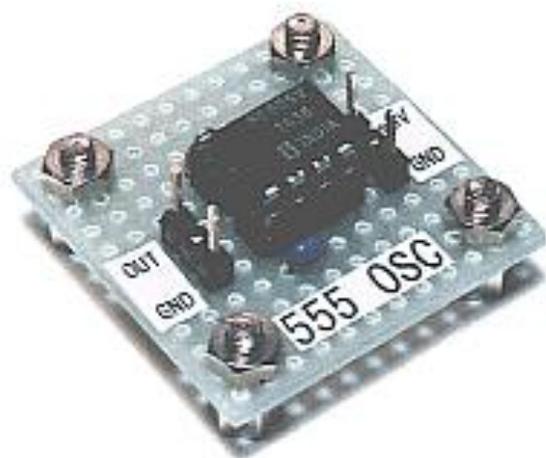
Interface Device Laboratory, Kanazawa University <http://ifdl.jp/>

微細化によるコスト↓の意義

- ☑ コンピュータの低価格化 = 普及
 - ☑ 昔は国で1台 → 会社に1台 → 一人1台
- ☑ もう1つの意義：
 - ☑ 「コンピュータ」が特殊なものではなくなった
 - ☑ コンピュータ = パソコン、にとどまらない
 - ☑ 携帯、ゲーム機、家電、おもちゃ、...
 - ☑ → 身の回りのあらゆるものに(ユビキタス化)

「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 ~ 100 MIPS

☑️ RAM: 1K ~ 10KB

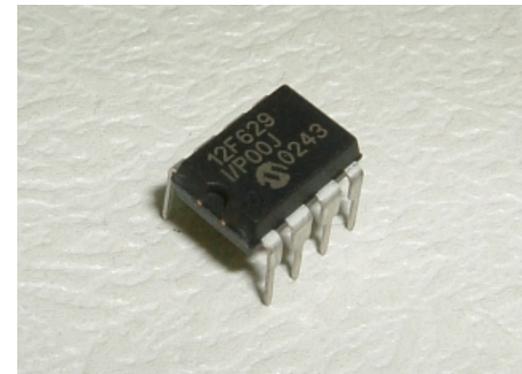
☑️ ROM: 1K ~ 100KB

☑️ Cost: ~ 100円程度

☑️ 製造技術は、「非常に」枯れた技術

☑️ 小さいながらも立派なコンピュータ

☑️ 性能は数MIPS = 初期のスーパーコンピュータ並



Microchip PIC12F629

「LEDを点滅させる回路」(3)

✓発振回路

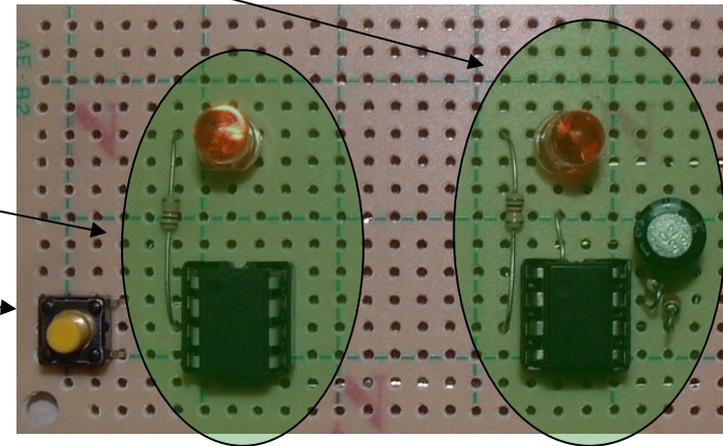
✓IC(8p) + C×1 + R×2 = \$2

✓MCU

✓IC(8p) = \$1.5

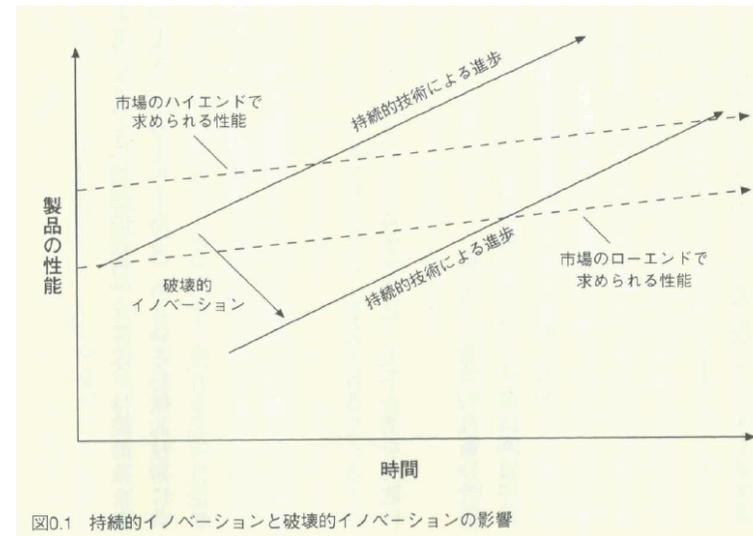
✓多機能

✓点滅速度、点滅パターン
などの変更が容易
(プログラム動作)



MCUが起こすパラダイム・シフト

- ☑ 価格・性能の両面で、現実的な選択肢
 - ☑ 「コンピュータなんてもったいない」ことはない
 - ☑ 機能面では、実は高機能にもできる
 - ☑ 「コンピュータを使う」積極的な理由
- ☑ 「コンピュータ」が小さく安くなった「だけ」
 - ☑ システム構成の概念を変える可能性
（「破壊的イノベーション」）



(C.クリステンセン「イノベーションのジレンマ
—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき」(翔泳社(2001))

これからの情報技術：道具になる集積回路

☑「道具」としての集積回路

- ☑設計技術・製造技術の成熟

☑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」)

近年の産業の変革と集積回路

- ☑ 産業（特に製造業）をとりまく近年の動向
 - ☑ FabLab
 - ☑ フィジカル・コンピューティング
 - ☑ ロングテール
 - ☑ MAKERS・メイカー企業

「モノは買うもの」という時代？

- ☑️ ほしいものを、「買う」以外の方法は？
- ☑️ 「作る」？
 - ☑️ 夏休みの工作レベルのおもちゃ：○
 - ☑️ PCのソフトウェア：多くは×、場合によっては○
 - ☑️ PCやスマホ：たぶん×(無理)
- ☑️ これらを「作ることができるようになった」ら？
 - ☑️ 古来、「必要なものは自分で作る」もの
 - ☑️ 産業革命後、生産者と消費者が分離
 - ☑️ 製品が複雑化・専門化し、ますます分離

近年の動き(その1): FabLab(1)

☑「(ほぼ)なんでも作る方法」 (MITでの演習)

☑上流から下流まで一通りを
すべて体験する

☑「作りたいもの」を
「具現化する」プロセス

MAS 863

How To Make (almost) Anything
Mondays 1:00-4:00 E15-135

[Application](#)

[People](#)

Schedule:

- 9/8: [introduction](#)
- 9/15: [vinylcutter, lasercutter](#)
- 9/22: no class (MIT student holiday)
section: [CAD, CAM](#)
- 9/29: [PCB fabrication, board stuffing](#)
- 10/6: [microcontroller programming](#)
- 10/13: no class (Columbus Day)
section: [PCB design](#)
- 10/20: [3D scanning and printing](#)
- 10/27: [input devices](#)
- 11/3: [waterjet cutter, NC mill, router](#)
- 11/10: no class (MIT holiday)
section: [modeling](#)
- 11/17: [output devices](#)
- 11/24: [molding](#)
- 12/1: [networking and communications](#)
- 12/8: final project preparation
- 12/15: final project presentations

近年の動き(その1): FabLab(2)

☑加工機をコアにしたものづくりコミュニティ

☑レーザーカッター、3Dプリンタ等

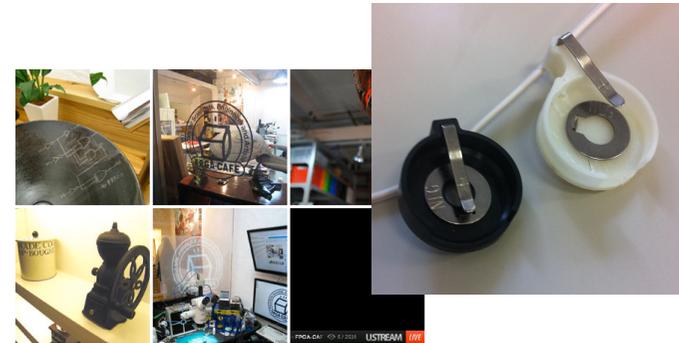
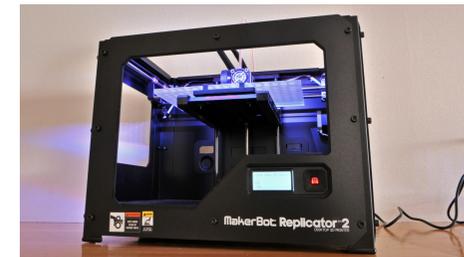
☑DIYからDo It With Others (DIWO)へ

☑現在、日本では鎌倉とつくば他

☑「製造技術の民主化」

→市民が「製品は買うものではなく作るもの」へ

☑カフェ併設などの派生型も



Interface Device Laboratory, Kanazawa University <http://ifdl.jp/>

近年の動き(その2):フィジカル・コンピューティング

- ☑ PC内にとどまらず、
物理現象を扱うコンピューティング
 - ☑ 使いやすくまとめたマイコンボード + 開発環境
 - ☑ センサ・アクチュエータの接続・情報処理が容易
 - ☑ 「たいしたことないもの」に見える
 - ☑ ただのマイコンボード?
 - ☑ マイコンボードの民主化



ArduinoUno

A screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "AnalogReadSerial | Arduino 1.0". The code editor shows the following code:

```
/*
AnalogReadSerial
Reads an analog input on pin 0, prints the result to the serial monitor
This example code is in the public domain.
*/

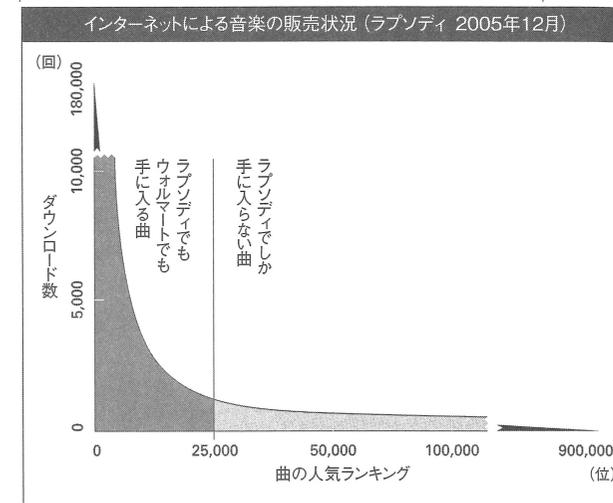
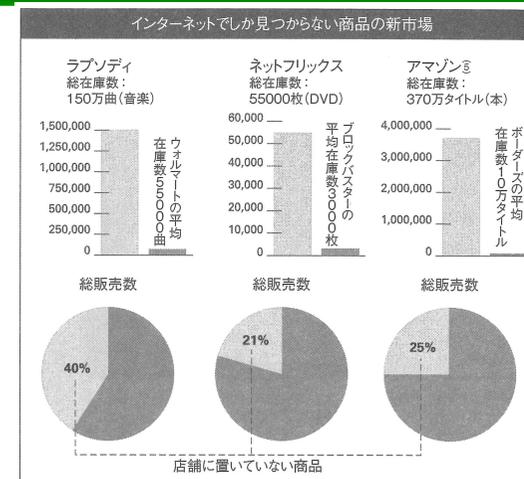
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A0);
  Serial.println(sensorValue);
}
```

The bottom status bar shows "Arduino Uno on /dev/tty.usbmodemfd13411".

近年の動き(その3):ロングテール

- ☑ (昔)少数のヒット商品
→ (今)多数のニッチ商品
- ☑ ニッチも多数なので
総和は大きい
 - ☑ 例:音楽販売では、
25,000位以下で売上の40%
- ☑ 「一部のヒット商品」がなくなる
 - ☑ 音楽業界: $\Delta 25\%$ ('01~'07)
 - ☑ ヒットアルバム: $\Delta 60\%$ ('01~'07)



(C.アンダーソン「ロングテール」,早川書房 (2009))

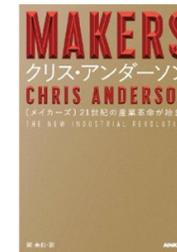
「ロングテール」の背景と意義

- ☑ 嗜好の多様化 ← メディアの多様化
 - ☑ 昔はテレビ(地上波だけ)しかない
 - ☑ 「8時だよ全員集合！」はピーク時平均視聴率50%
 - ☑ 「他に見るものがないから」という要因も大きい
 - ☑ Q: 今: テレビ持ってますか?
 - ☑ リコメンデーション等の「出会いの手段」の進歩
(マイナーなものを知る機会)
- ☑ 在庫コスト: 大幅↓ (オンライン・ストア)
= 多様な商品が、消費者の選択の対象に
 - ☑ 限られた製品数 = 生産者・流通業の都合 (CDストアの棚の制限)
- ☑ 本来は「ユーザの嗜好」のはず

近年の動き(その4):MAKERS

☑ 「21世紀の産業革命」とも呼ばれる

- ☑ 産業全体:130兆ドル
- ☑ IT産業(bit産業):20兆ドル(15%)
- ☑ 残り(85%):atom産業(モノが関わる)
- ☑ 「IT産業革命」は限定的→本命はatom産業



C.アンダーソン
「MAKERS」
(NHK出版,
2012)



三木・宇都宮
「マイクロモノづくり
を始めよう」
(テンブックス,2013)

☑ ものづくりの「ロングテール」を支える技術革新

- ☑ 3Dプリンタ等によるプロトタイピング
- ☑ クラウド・ファンディング(市場調査・資金調達)
- ☑ サプライチェーン活用による
量産手段の民主化
- ☑ 「モノへの愛着」の重要性
(熱心なファン)



SFの中のMAKERS？

☑例：野尻抱介「南極点のピアピア動画」

日本の次期月探査計画に関わっていた大学院生・蓮見省一の夢は、彗星が月面に衝突した瞬間に潰え、恋人の奈美までが彼のもとを去った。省一はただ、奈美への愛をボーカロイドの小隅レイに歌わせ、ピアピア動画にアップロードするしかなかった。しかし、月からの放出物が地球に双極ジェットを形成することが判明、ピアピア技術部による“宇宙男プロジェクト”が開始される……ネットと宇宙開発の未来を描く4篇収録の連作集

……？？？



野尻「南極点のピアピア動画」
(早川書房，2012)

要約(ネタバレ)と「示唆」

- ☑ ニコニコ技術部でロケットつくって宇宙に行ったり、潜水艦でクジラと会話する、というお話
- ☑ この小説の示唆・・・？(私の解釈)
 - ☑ 個々人の才能は尖っている(レベルが高い)
＝潜在的な生産者・技術の存在
 - ☑ 皆で力をあわせると、すごいことができる
＝潜在的な共同起業の可能性
 - ☑ 現在は、皆が「趣味」の範囲でやっている
 - ☑ もしかしたら産業になる・・・？

メーカー企業

☑小規模製造業

☑数万個ロット

☑高い技術力

☑熱心なユーザ・ファン

☑価格勝負でないユニークな製品

☑「製造業におけるロングテールの具現化」

☑均一・大量生産製品:

平均満足度は高いが、満足度maxではない



<http://www.bsize.com>,

MAKERSが示唆するもの

- ☑「技術の民主化」がもたらすもの
 - ☑昔は、技術はエンジニアの特権だった
 - ☑それが民主化されて、趣味で使う人が出てきた
 - ☑しょうもないものも、たくさんある
 - ☑すごいものも、たくさんある
 - ☑モノ・ヒトの多様性(とそれをつなぐコミュニティ)
 - ☑その中から、イノベーションが出てくる

「道具」になった集積回路:さてどうする

- ☑「どうやって(How)作るか」はそろってきた
 - ☑集積回路技術が民主化されてきた
 - ☑マイコン、FPGA、カスタムLSI
 - ☑この講義で「サブシステム(要素回路)」も
- ☑「何(What/Why)を作るか」がポイント

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

講義の進め方

- ☑基本、座学
- ☑資料PDFはアカンサスポータルに掲載
 - ☑適宜追記補足しながら進めます
 - ☑各自で印刷して持参し、それにメモ追記をお薦め
 - ☑期末試験時はメモ書き資料の持ち込みOK
- ☑参考書:「VLSI工学-基礎・設計編-」
(岩田・コロナ社):集積回路工学第1と同じ
- ☑補足参考書:「CMOS集積回路」(榎本・培風館)