

電子工作からエレクトロニクスへ：
いま時代の研究開発の役割
Guerrilla Prototyping: From Hobby To
Industry in Electronics

秋田純一（金沢大学）

Contents

- ☑はじめに
- ☑Mooreの法則を改めて
- ☑電子工作からエレクトロニクスへ
- ☑研究からエレクトロニクスへ
- ☑Makeのラスボス：半導体

電子回路とエレクトロニクス？

身の回りのものは、ほとんど
電子回路で動いている。
情報／IT社会だからこそ、
電子回路の勉強は大事！

プログラミングなんて軟弱。
ハードウェア・電子回路こそ、
本当に大事だし、役に立つ。
なんでその大事さがわからないかなあ(嘆)。

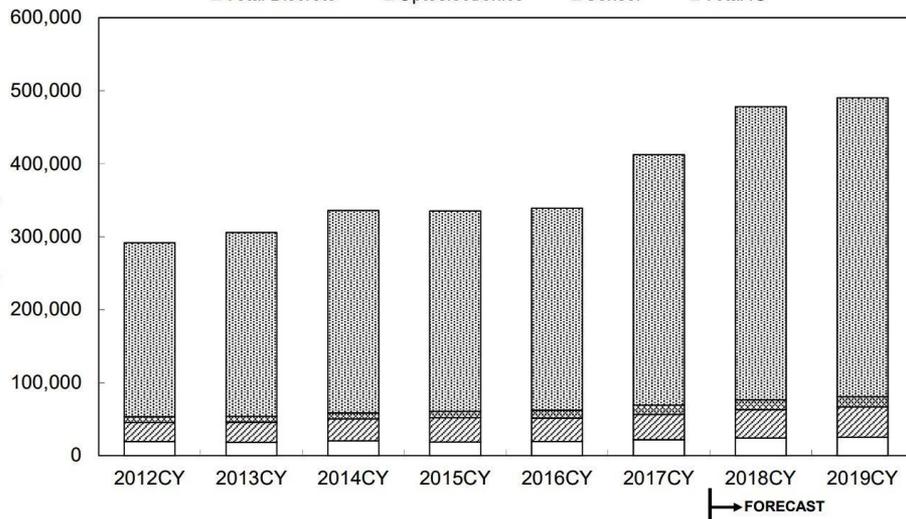
そんなこと言われても、コンピュータは
使えるしなあ。
プログラミングのほうが楽しいし。
電子回路っても、何ができるか
よくわからないんだよなあ。



研究とエレクトロニクス？

- ☑ Mooreの法則が飽和しつつある時代
- ☑ 「次に何を作るべきか？」
 - ☑ いままでは「機能飢餓」=ただ性能向上でOK
 - ☑ スマホ→AI、IoT、ロボット・・・
 - ☑ ニーズは無限&成長産業
 - ☑ 「で、ほしい半導体の仕様は？」

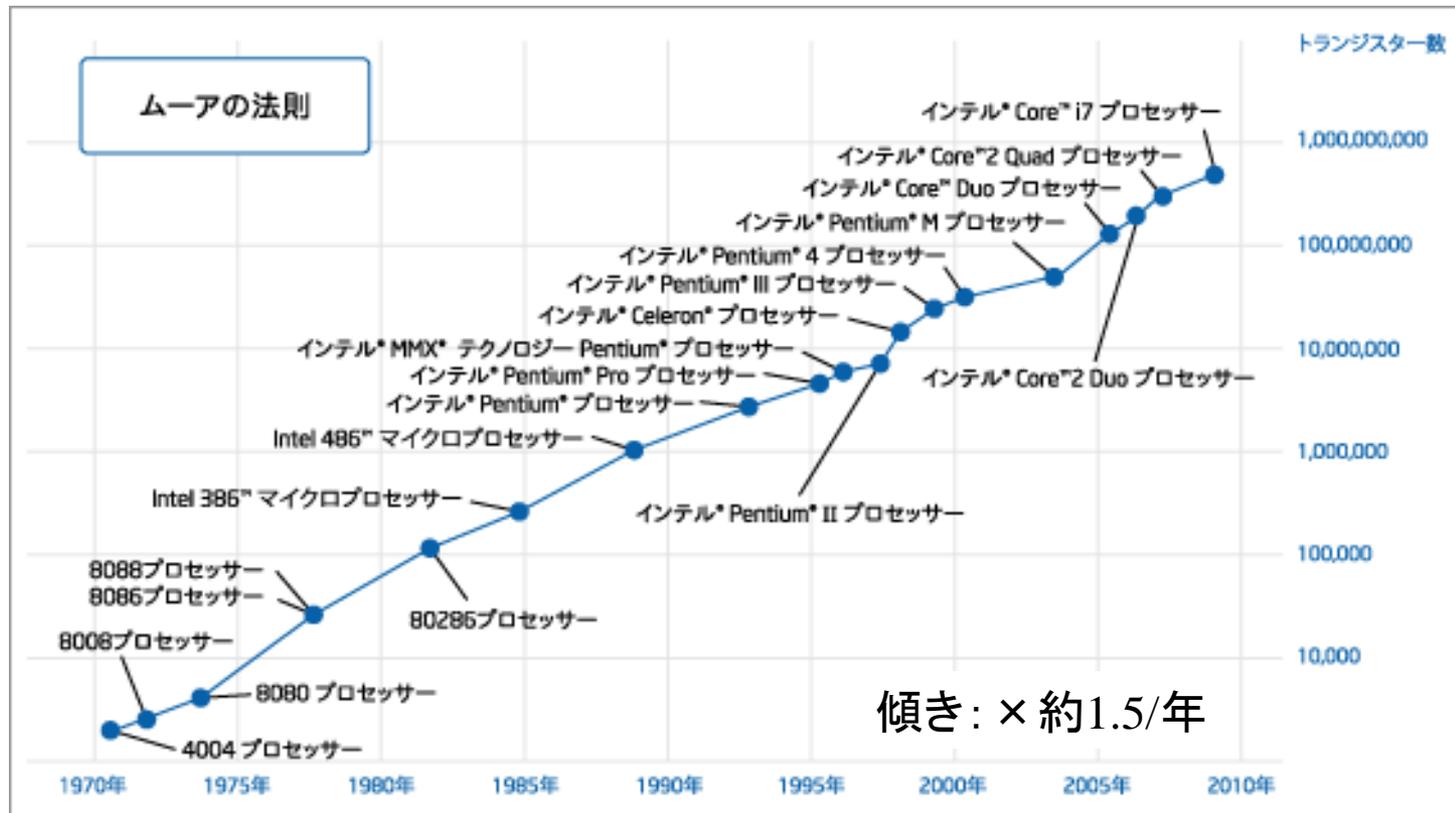
□ Total Discrete □ Optoelectronics □ Sensor □ Total IC



(WSTS (World Semiconductor Trade Statistics
:世界半導体市場統計)の資料より)

Mooreの法則を改めて

※G.Moore (インテルの創業者の一人)



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

年を追って、複雑・高機能な集積回路が作られるようになった

G.Mooreが1965年に論文[1]で述べる→C.Meadが「法則」と命名→「予測」→「指針(目標)」へ
G.E.Moore, "Cramming more components onto integrated circuits," IEEE Solid-State Circuit Newsletter, Vol.11, No.5, pp.33-35, 1965.

Mooreの法則のカラクリと効果

✓ MOSFETを小さく作る(比例縮小)

✓ 効果: いいことばかり

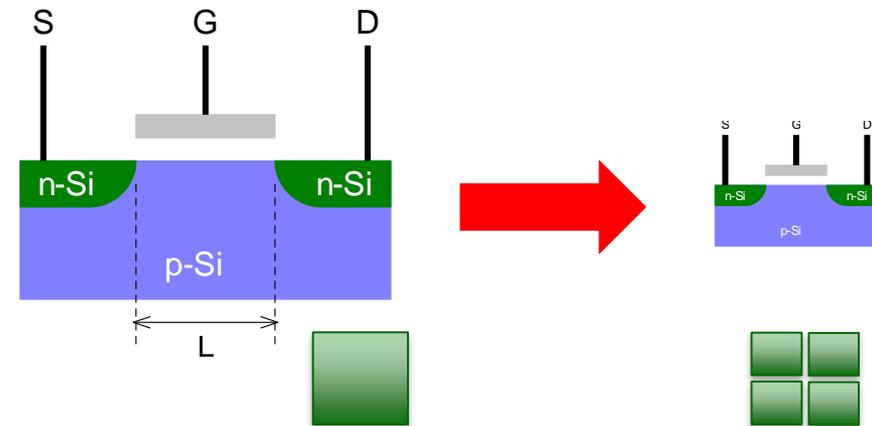
✓ 速度↑

✓ 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

- 素子面積: $1/\alpha^2$
- 素子密度: α^2
- 電流 I : $1/\alpha$ (←電圧: $1/\alpha$)
- 容量 C : $1/\alpha$ (← $C=\epsilon S/d$, $S: 1/\alpha^2$, $d: 1/\alpha$)
- 抵抗 R : α (← $R=\rho L/S$, $S: 1/\alpha^2$, $L: 1/\alpha$)
- 回路遅延: $1/\alpha$ (← E :一定, S - D 間: $1/\alpha$)
- 消費電力: $1/\alpha^2$ (← $V: 1/\alpha$, $I: 1/\alpha$)
- 配線遅延時間 CR : 1 (変わらない)



※MOSトランジスタを
上から見たところ
(素子1個の専有面積)

般若心経だと・・・(その2)

仏説摩訶般若波羅蜜多心経。觀自在菩薩行深般若波羅蜜多時。照見五蘊皆空。度一切苦厄。舍利子。色不異空。空不異色。色即是空。空即是色。受想行識亦復如是。舍利子。是諸法空相。不生不滅。不垢不淨。不增不減。是故空中。無色無受想行識。無眼耳鼻舌身意。無色声香味触法。無眼界。乃至無意識界。無無明。亦無無明尽。乃至無老死。亦無老死尽。無苦集滅道。無智亦無得。以無所得故。菩提薩埵。依般若波羅蜜多故。心無罣礙。無罣礙故。無有恐怖。遠離一切顛倒夢想。究竟涅槃。三世諸仏。依般若波羅蜜多故。得阿耨多羅三藐三菩提。故知。般若波羅蜜多。是大神呪。是大明呪。是無上呪。是無等等呪。能除一切苦。真実不虛故。

1um

同じ内容なら用紙サイズ1/2
=コスト1/2

18ヶ月

仏説摩訶般若波羅蜜多心経。觀自在菩薩行深般若波羅蜜多時。照見五蘊皆空。度一切苦厄。舍利子。色不異空。空不異色。色即是空。空即是色。受想行識亦復如是。舍利子。是諸法空相。不生不滅。不垢不淨。不增不減。是故空中。無色無受想行識。無眼耳鼻舌身意。無色声香味触法。無眼界。乃至無意識界。無無明。亦無無明尽。乃至無老死。亦無老死尽。無苦集滅道。無智亦無得。以無所得故。菩提薩埵。依般若波羅蜜多故。心無罣礙。無罣礙故。無有恐怖。遠離一切顛倒夢想。究竟涅槃。三世諸仏。依般若波羅蜜多故。得阿耨多羅三藐三菩提。故知。般若波羅蜜多。是大神呪。是大明呪。是無上呪。是無等等呪。能除一切苦。真実不虛故。

仏説摩訶般若波羅蜜多心経。觀自在菩薩行深般若波羅蜜多時。照見五蘊皆空。度一切苦厄。舍利子。色不異空。空不異色。色即是空。空即是色。受想行識亦復如是。舍利子。是諸法空相。不生不滅。不垢不淨。不增不減。是故空中。無色無受想行識。無眼耳鼻舌身意。無色声香味触法。無眼界。乃至無意識界。無無明。亦無無明尽。乃至無老死。亦無老死尽。無苦集滅道。無智亦無得。以無所得故。菩提薩埵。依般若波羅蜜多故。心無罣礙。無罣礙故。無有恐怖。遠離一切顛倒夢想。究竟涅槃。三世諸仏。依般若波羅蜜多故。得阿耨多羅三藐三菩提。故知。般若波羅蜜多。是大神呪。是大明呪。是無上呪。是無等等呪。能除一切苦。真実不虛故。

0.8um

18ヶ月

仏説摩訶般若波羅蜜多心経。觀自在菩薩行深般若波羅蜜多時。照見五蘊皆空。度一切苦厄。舍利子。色不異空。空不異色。色即是空。空即是色。受想行識亦復如是。舍利子。是諸法空相。不生不滅。不垢不淨。不增不減。是故空中。無色無受想行識。無眼耳鼻舌身意。無色声香味触法。無眼界。乃至無意識界。無無明。亦無無明尽。乃至無老死。亦無老死尽。無苦集滅道。無智亦無得。以無所得故。菩提薩埵。依般若波羅蜜多故。心無罣礙。無罣礙故。無有恐怖。遠離一切顛倒夢想。究竟涅槃。三世諸仏。依般若波羅蜜多故。得阿耨多羅三藐三菩提。故知。般若波羅蜜多。是大神呪。是大明呪。是無上呪。是無等等呪。能除一切苦。真実不虛故。

仏説摩訶般若波羅蜜多心経。觀自在菩薩行深般若波羅蜜多時。照見五蘊皆空。度一切苦厄。舍利子。色不異空。空不異色。色即是空。空即是色。受想行識亦復如是。舍利子。是諸法空相。不生不滅。不垢不淨。不增不減。是故空中。無色無受想行識。無眼耳鼻舌身意。無色声香味触法。無眼界。乃至無意識界。無無明。亦無無明尽。乃至無老死。亦無老死尽。無苦集滅道。無智亦無得。以無所得故。菩提薩埵。依般若波羅蜜多故。心無罣礙。無罣礙故。無有恐怖。遠離一切顛倒夢想。究竟涅槃。三世諸仏。依般若波羅蜜多故。得阿耨多羅三藐三菩提。故知。般若波羅蜜多。是大神呪。是大明呪。是無上呪。是無等等呪。能除一切苦。真実不虛故。

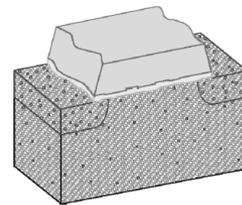
0.5um

比例縮小の歴史

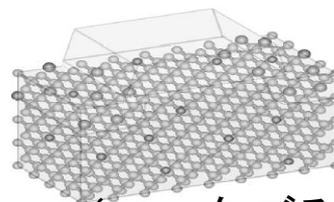
✓ 微細化するほど
メリットがある
= がんばって微細化

✓ そろそろ「原子」が
見えてきている

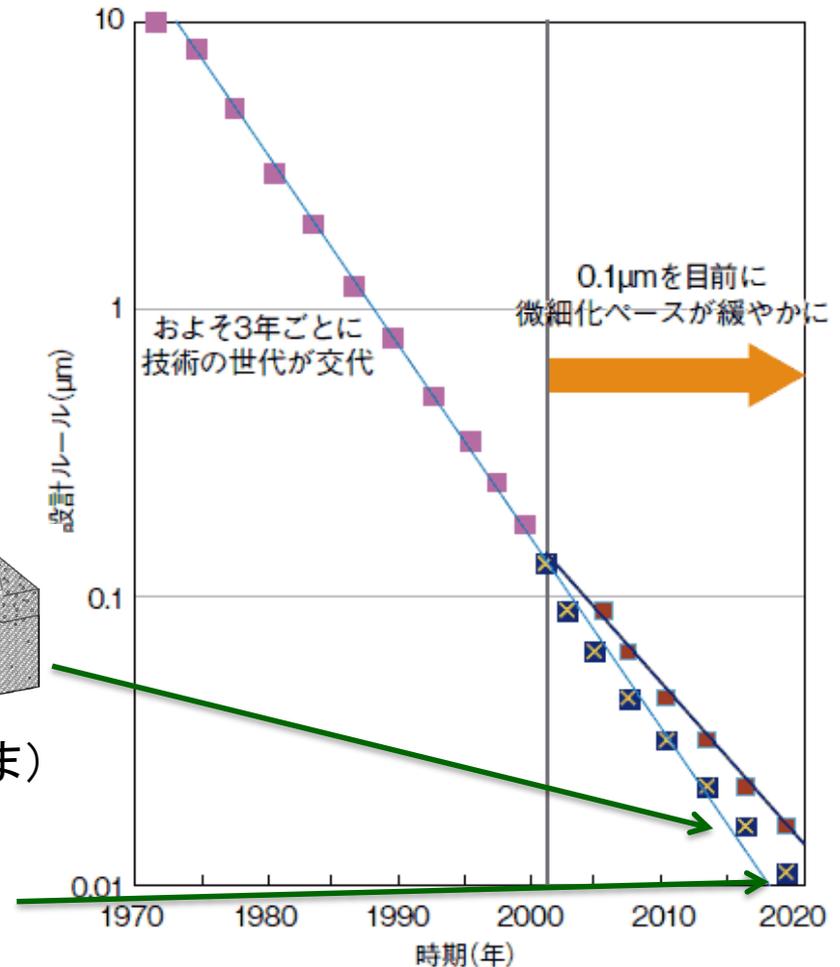
✓ 「お金がからむと
技術は進む」



L=20nm (いま)



L=5nm (2020年ごろ予定)



Mooreの法則の2つの側面



DEC VAX(1976)
1MIPS



Cray-1 (1978)
100MIPS

(世界最初のスーパーコンピュータ)

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



10^9 MFLOPS



20000MIPS



100MIPS



20000MIPS



20MIPS



10MIPS

「世界トップの高速化」+「身近なものにも高速化の恩恵」の2つの側面がある

コンピュータの「使い方」の変化



大昔のコンピュータ
国に1台／会社に1台
国・会社のプロジェクト
>1億円

一昔前のコンピュータ
個人で1台(PC)
仕事・勉強の道具
10~100万円

今どきのコンピュータ
一人でも何台も
コミュニケーション
・遊びの道具
数万円

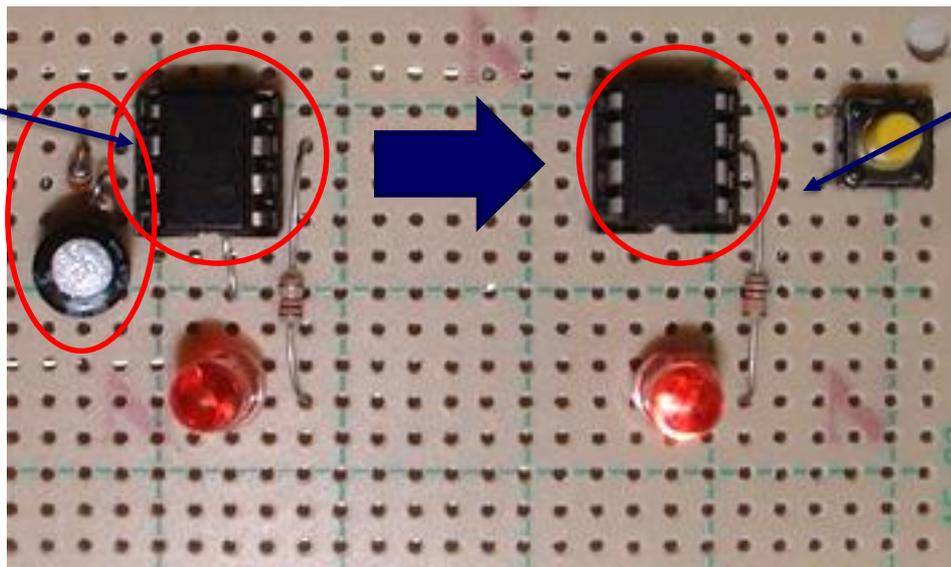
身の回りに無数
存在に
気づかない
~100円

コンピュータの利用場面(アプリケーション)が広がった

「Lチカ」のパラダイムシフト

昔のLチカ

発振回路(555)
部品点数=4
コスト:150円



今どきのLチカ

マイコン使用
部品点数=1
コスト:100円

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



※さすがにPCではちょっと…

- ✓コスト面:マイコン〇(「もったいなくない」)
- ✓機能面:マイコン〇(多機能・仕様変更も容易)

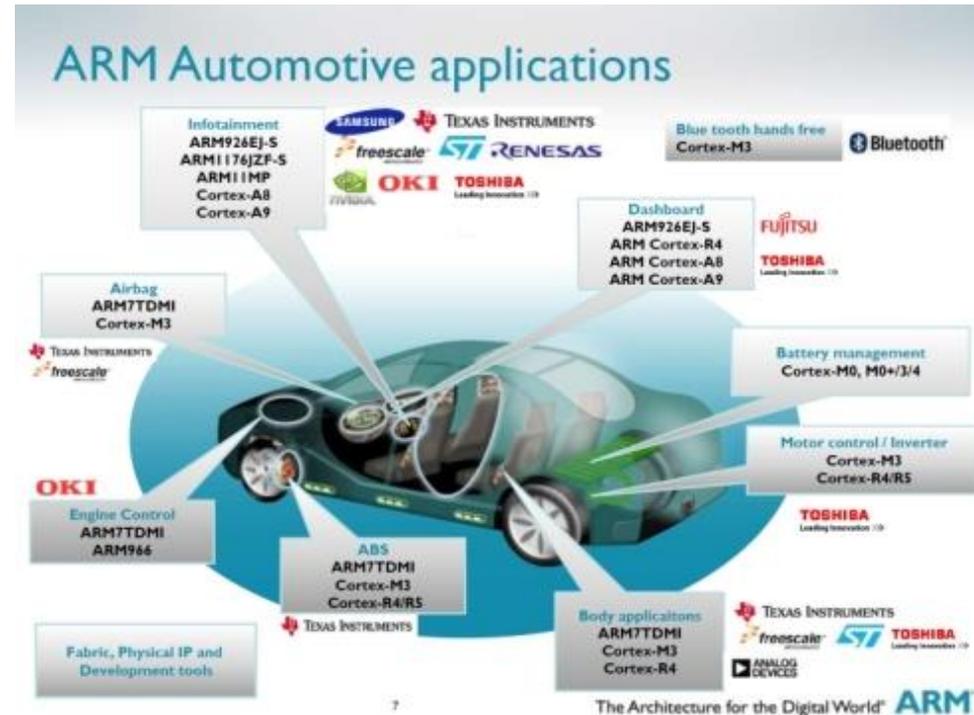
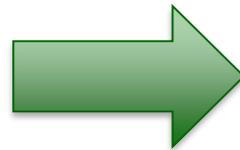
Mooreの法則の結果、コンピュータが「部品」になった例

※マイコン=Micro Controller(小さなコンピュータ)

コンピュータが「頭脳」から「部品」に



機器の頭脳



関節ごとに小さい脳(神経節)

出典: ARM

※基本的には「コンピュータ」だが、小型で安価

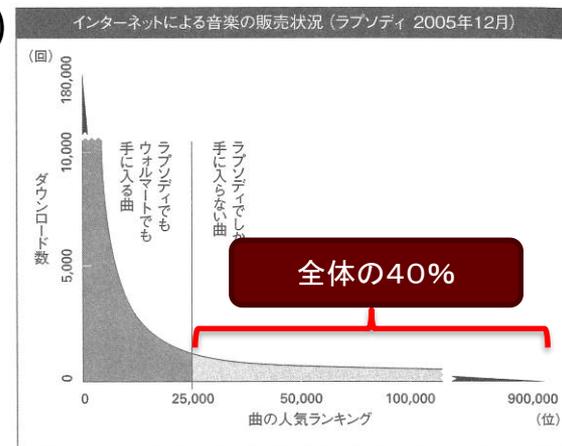
コンピュータが、システムの「主役」から「構成要素(部品)」になった

電子工作からエレクトロニクスへ

- ✓ 大企業でなくてもハードを製造販売できるようになった
 - ✓ 製造技術が身近になった(電子回路、3Dプリンタ、…)
 - ✓ 部品メーカ、設計者、ユーザの「生態系(Ecosystem)」
- ✓ ソフト+ハード+サービスで「世の中変える」
- ✓ 多様なニーズ、無視できないロングテール(ニッチ)
- ✓ 従来型製造業の補完(置換ではない)
- ✓ クラウド・ファンディング=市場調査+資金調達
(売って見ないとヒットするかはわからない)



Maker Faire Tokyo 2015
(多数の「作ってみた」)



(C.アンダーソン「ロングテール」,早川書房(2009))

IT/ICT業界の現状：深圳の華強北



無限に続くパーツ屋



深圳の生態系

基板製造
+
部品(サプライチェーン)
+
起業(ハードウェアスタートアップ)
+
資本(VC/アクセラレータ)

「ハードウェアのシリコンバレー」とも



世界中から頭脳と資金が集まり、
イノベーションを生み出している

山寨(ShanZhai)の例(“iPhone nano”)
※FakeCopyではなく、プロダクトの
進化系。これが2週間で量産される

電子工作(ホビー)からエレクトロニクス(産業)がつながった

※アマチュアは所詮アマチュアなので、プロのエンジニアの力は必要
(むしろ重要になっている)

研究からエレクトロニクスへ

☑研究が「社会実装」されるまで

☑開発／発明される

☑お店で買えるようになる

☑使い方が知られるようになる

☑みんなが使うようになる

☑それが「道具」となって、次のステップへ

プロ(詳しい人)しか使えない

アマ(詳しくない人)でも使える



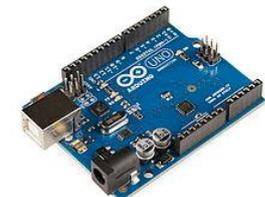
プロのみ



マニア(ハイレベルアマチュア)向け



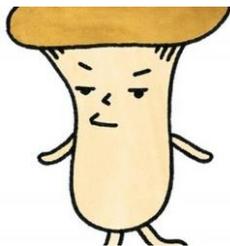
だれでも



技術が生まれて「道具」になるまで

☑ エリンギの例

- ☑ 1993年に日本へ
- ☑ 2003年ごろから一般化
- ☑ ↑10年かかって「道具」に
- ☑ 料理番組、調理例・・・



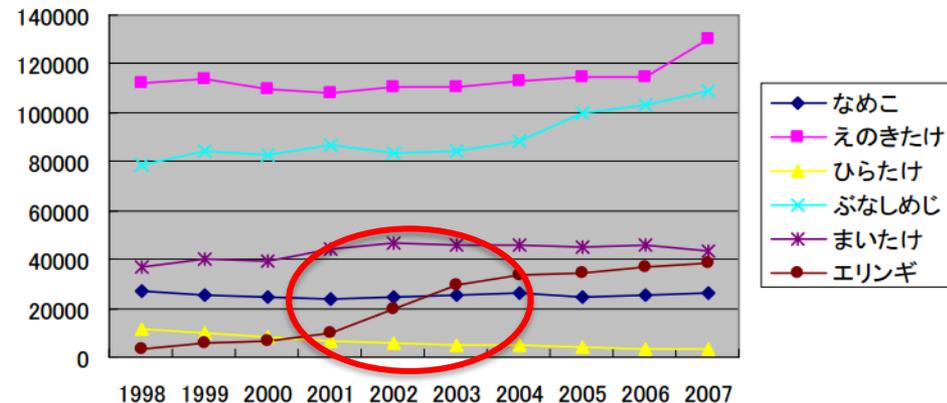
概要 [編集]

イタリア、フランスなど地中海性気候地域を中心として、ロシア南部、中央アジアなどのステップ気候地域までを原産地とし、主にセリ科ヒゴタイサイコ属（エリンギウム）の植物エリンギウム・カンペストレ (*Eryngium campestre*) の枯死した根部を培地として自生することから命名された。

原産地域ではもともと人気のある食用キノコで、フランス料理やイタリア料理などの定番食材のひとつである。日本においては、1993年に愛知県林業センターで初めて人工栽培が行われ、日本では太くて大きいエリンギが開発された。その後、栽培技術が普及するにともなって各地で大量の商業栽培がおこなわれるようになった。

日本において本種の自生はなく、市場において見られる物は全てが栽培産品であり、学問上定着した和名は無い。かつて栽培生産者が販売に際して「じょうねんぼう」、「かおりひらたけ」、「みやましめじ」、「白あわび茸」などの和称を種々整え、たものへの普及せず、現在では種小名のエリンギで広く認知さ

図表 きのご類の生産量(t)



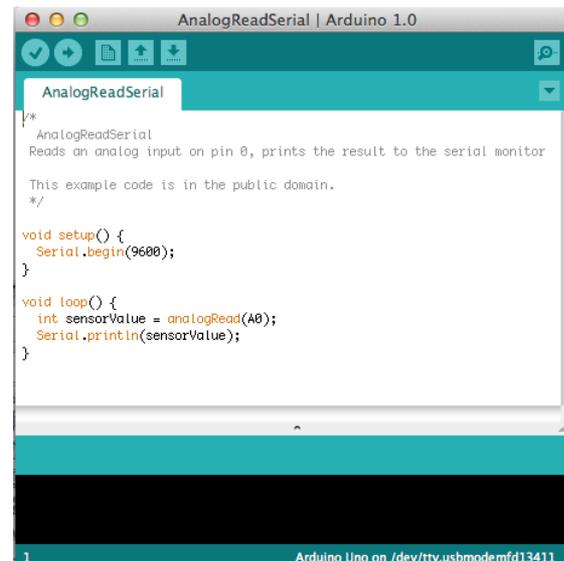
出所：林野庁 平成 19 年特用林産基礎資料

技術が「道具」になるヒント？

- ✓ Arduino ← → 無数のマイコンボードの違いは？
 - ✓ 圧倒的な使いやすさ (Lチカまでが早い)
 - ✓ USB接続、DTRリセット、メスソケット
 - ✓ ユーザコミュニティ (主にオンライン)
 - ✓ 技術に詳しい人ほど、「使いやすさ」を見逃しがち



ArduinoUno



```
AnalogReadSerial | Arduino 1.0
AnalogReadSerial
/*
  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);
}
```

技術が「道具」になるヒント？

- ☑ 知財で保護する？
- ☑ 普及させてしまう？
 - ☑ 回路図もぜんぶ公開してしまう
 - ☑ リファレンス設計ボードも販売
 - ☑ パクられるのと表裏一体
 - ☑ 普及してしまえば、むしろお得かも？
 - ☑ GonKai System
by bunnie Huang「ハードウェア・ハッカー」

「道具」としての集積回路

- ☑「ハード」=電子回路、プリント基板あたり
- ☑「集積回路(半導体チップ)」までは、なかなか
- ☑どうしても「今あるもの・使えるもの」を使う
 - ☑カメラ、Kinect、マイコン、FPGA・・・
 - ☑新技術で、一気にパラダイムが変わることがある

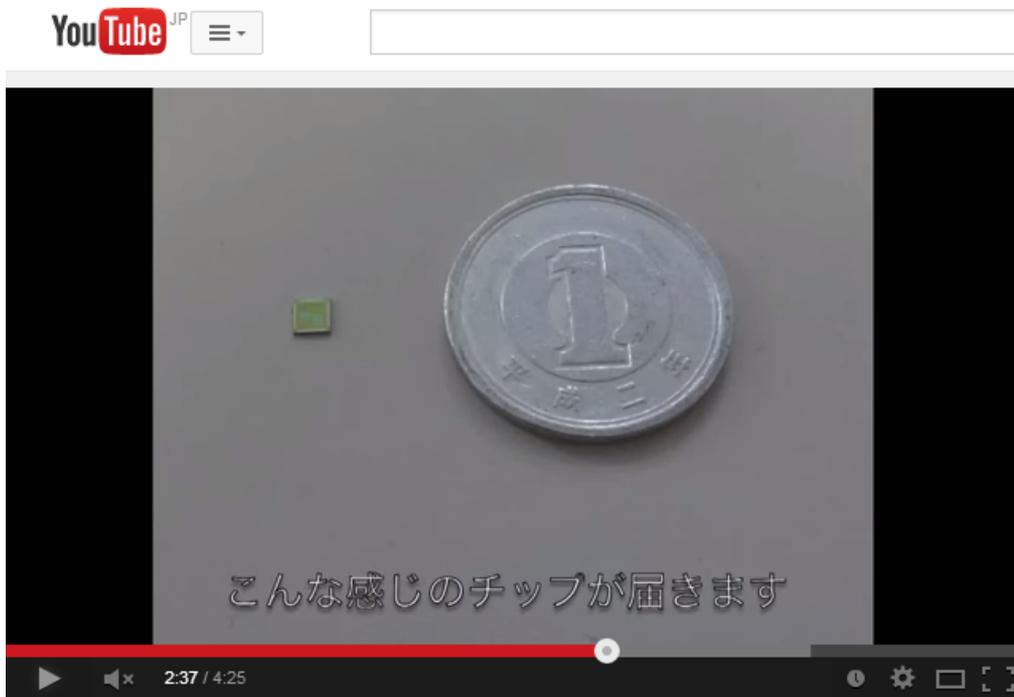


Depth画像

※昔は「可能だが高価」
→Kinect後は「誰でも使える」
→ユーザインタフェース界の革命

- ☑「集積回路をつくれる」という道具
=「いまできること」という発想の縛りから開放

半導体(LSI)は「道具」か？ : 調査



LED点滅用のLSIをつかってLチカをやってみた



Junichi AKITA

(※LSI=集積回路のこと)

チャンネル登録 23

1,546

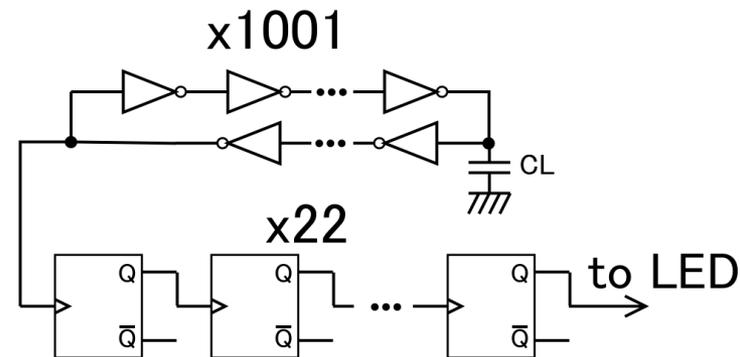


2014/05/31に公開

マイコンのはじめの一步のお約束「Lチカ(LEDチカチカ)」を、それ用のLSIをつかってやってみました。(ニコニコ動画への投稿動画(<http://www.nicovideo.jp/watch/sm23660093>)と同一内容です)

<https://www.youtube.com/watch?v=A188CYfuKQ0>

<http://www.nicovideo.jp/watch/sm23660093>



CMOS 0.18um 5A1

2.5mm x 2.5mm

RingOSC x 1001

T-FF (Div)

ムーアの法則がもたらしたものの(2)

☑️ LSI設計・製造コストの高騰

☑️ シヤトル製造サービス～\$1k

☑️ 製造初期コスト(マスク)～\$1M

☑️ 設計ツール～\$1M

☑️ 秘密保持契約(NDA; Non Disclosure Agreement)
: Priceless

☑️ 製造工場～\$1G

➡️ 「専用LSIつくってLチカ」ってもったいない&無駄遣いすぎる

☑️ cf: プリント基板製造(\$10～)、Arduino(\$10～)

☑️ cf: 設計CAD & コンパイラ(IDE) (Free～)

集積回路を「つくる」ためのハードル

✓設計CAD

- ✓市販の業務用CAD: 高すぎ、高機能すぎ

✓製造方法

- ✓高すぎ、時間かかりすぎ(1000万円・半年)
- ✓NDA(設計ルールなどのアクセス制限)が厳しすぎ

✓ユーザ・コミュニティ

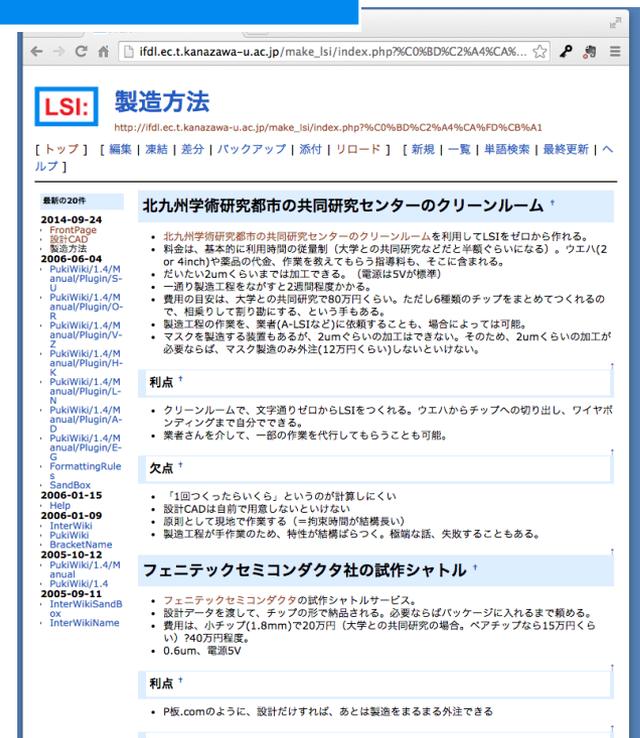
- ✓参入障壁: 現状は専門家ばかり
- ✓“How”の専門家は多いが、“Why/What”は皆無

✓いずれも、なんとかかなりそう？

オレLSIをつくってみたい: 実践

- ✓ MakeLSI:プロジェクト
- ✓ 情報収集・整理
 - ✓ 探せば、ないことはない
- ✓ 仲間さがし
 - ✓ エンジニア・プロ～主婦
 - ✓ 190人程度

LSI:



http://j.mp/make_lsi

MakeLSI: データの蓄積・再利用

✓ GitHub上でデータを共有 = 再利用OK

✓ NDA-Free設計ルール = NDA-Free IP

✓ 迅速なIP開発

✓ 共通設計環境・プロセス

✓ 多くの参加者による開発

✓ 品質が低い場合もある(バグ、エラー)

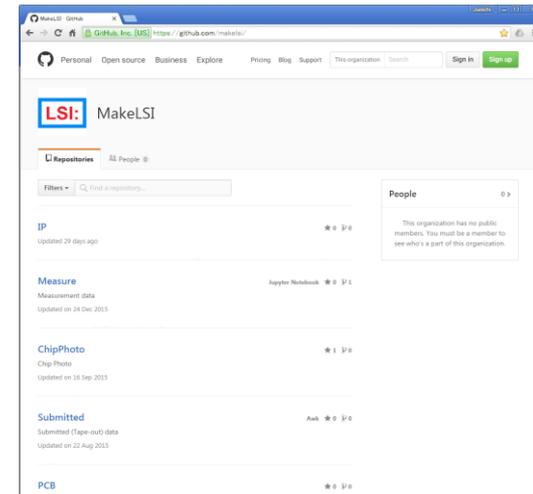
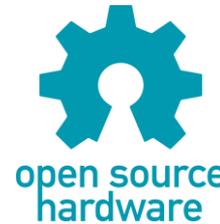
✓ 品質も参加者により改善される?

✓ Cf. OSS (Open Source Software; Linux, etc.)

✓ 品質はコミュニティメンバーにより迅速に改善

✓ コミュニティメンバーの開発・改良への熱意

✓ オープンな枠組み(ソースコード、ライセンス)が必要



チップを「つくる」

☑️ (イメージ: 近い将来)

☑️ 設計する (GDS形式)

☑️ データをupload

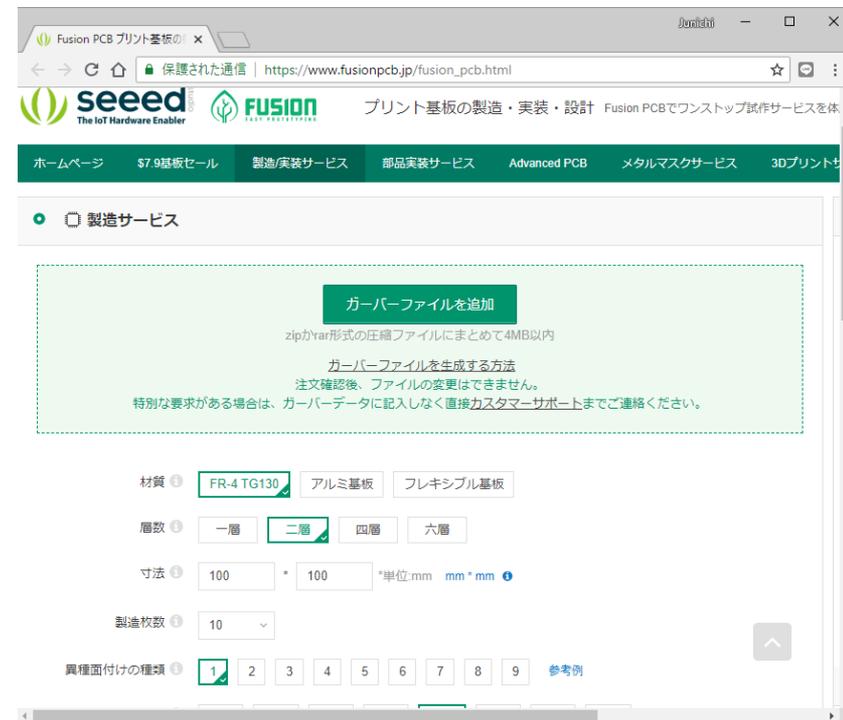
☑️ チップが届く

☑️ cf: プリント基板

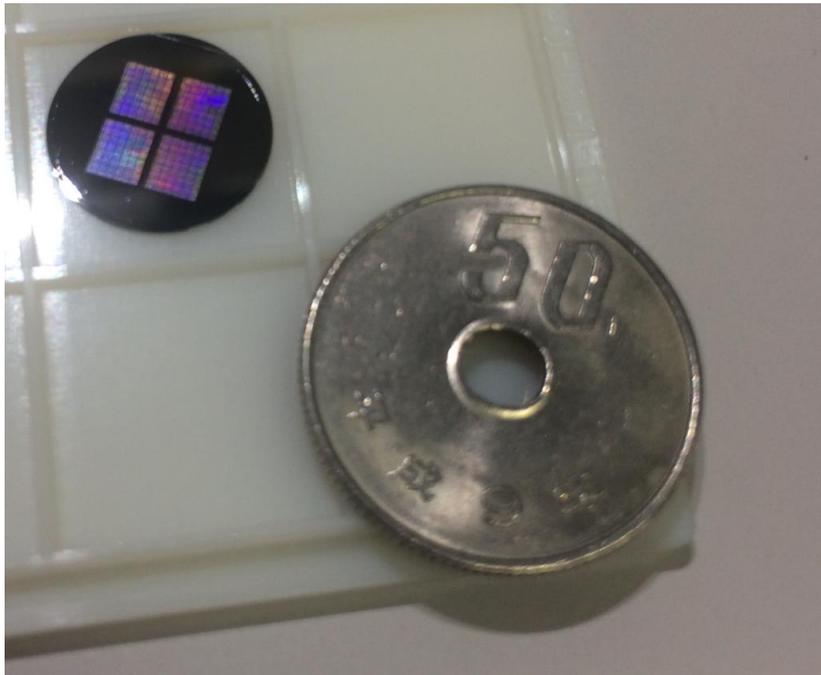
☑️ 設計する (gerber形式)

☑️ Webからデータをupload

☑️ 基板が届く



1 μ m ? 0.5in ? いえいえ、けっこう使えます



※0.18[μ m]/3A1での配置配線結果の
レイアウトデータ(GDS)を1/0.18=28倍に
拡大して作成

✓ 1[μ m]/3A1プロセス・0.5inウエハに
Cortex-M0コアが4ショットは入る

✓ カスタムなペリフェラル・アナログ・センサ・MEMS
の混載も(これが数万円&1週間@1個から)

まとめ

☑ Mooreの法則の「副産物」

- ☑ 電子回路、電子工作、エレクトロニクスが
つながってきた
- ☑ その時代だからこそ、電子回路研究の
重要性は高まっている
- ☑ 社会実装してこそ、その道具になってこそ