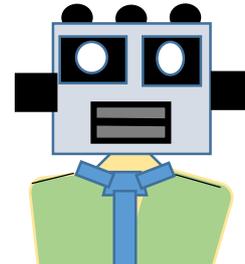


エレクトロニクス

過去

現在

未来



(Part-1)

2017年4月9日
厚木エレクトロニクス 加藤俊夫

PART-1

電子部品関係

1. 電子部品一般状況
2. MEMS・センサー
3. 太陽光発電
4. 電気を蓄える
5. ディ스플레이
6. 注目の新素材
7. 加工技術

Part-2

電子機器

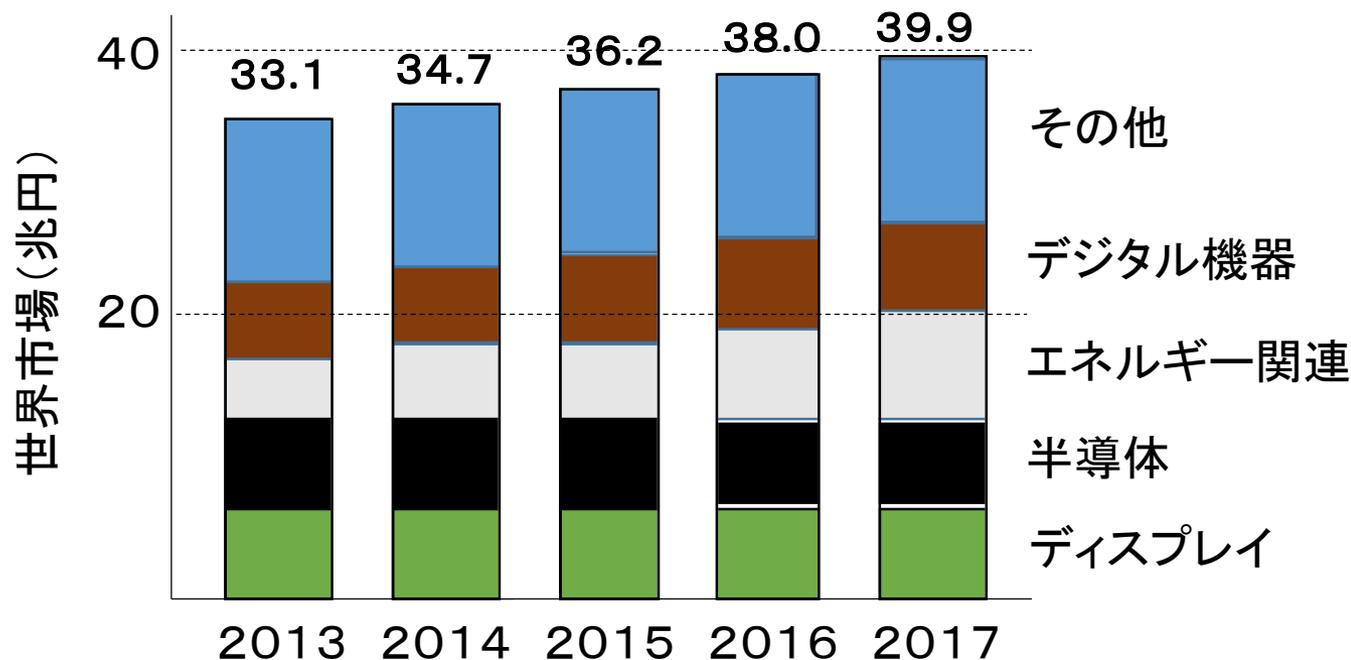
1. 家電機器、テレビ、
2. 自動車
3. ロボットとドローン
4. スマホ、通信
5. IoTと人工知能
6. バイオ、メディカル
7. 未来の社会

1. 電子部品一般状況

絶好調の電子部品業界

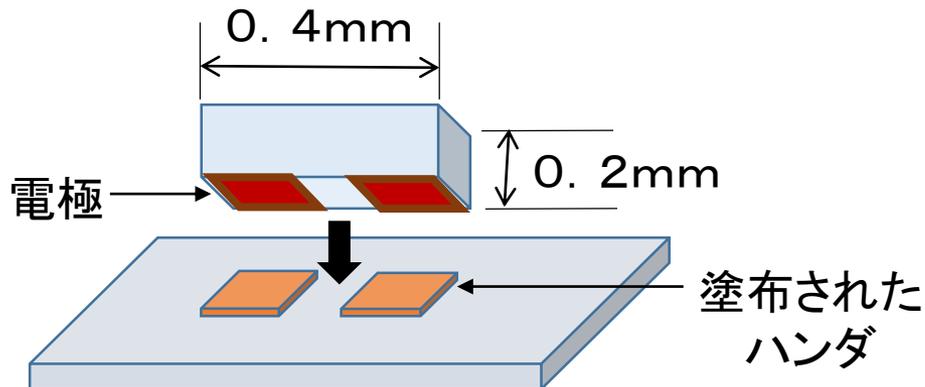
電子部品は、各種の電子・電気機器、製造装置、自動車などの輸送、社会インフラなどの進化を支える基幹産業である。世界の市場規模もこのグラフでは40兆円近くになっており、半導体業界をほぼ同じ金額である。(他の調査では、25~30兆円となっているが)日本企業のシェアは、35~40%と言われ、世界一を誇っている。

有望電子デバイス関連部材市場

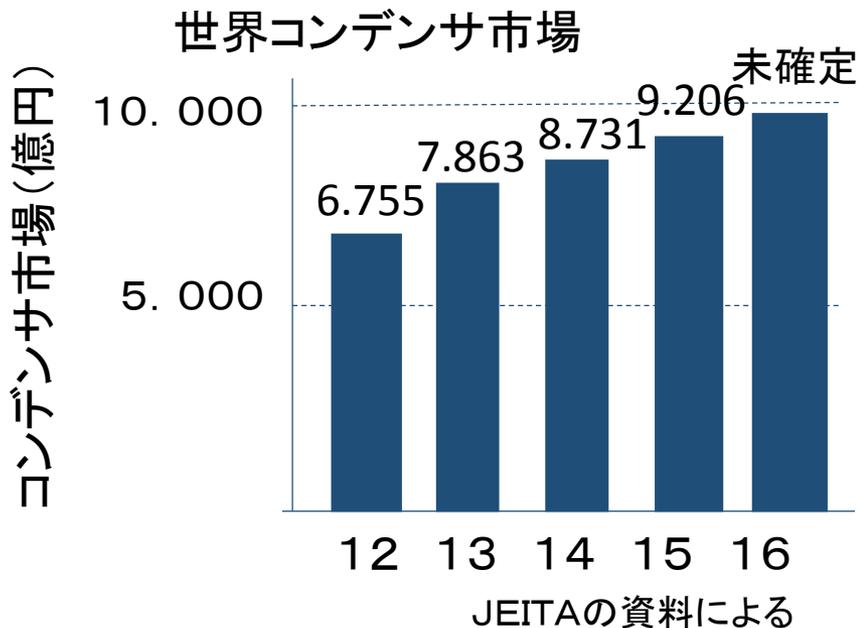


1. 電子部品一般状況

受動部品も堅調



0402チップ部品のSMT接続



トランジスタ、ICのような能動素子が注目されるが、R(抵抗)、C(コンデンサ)、L(コイル)のような100年近く使われている素子も、益々進歩している。

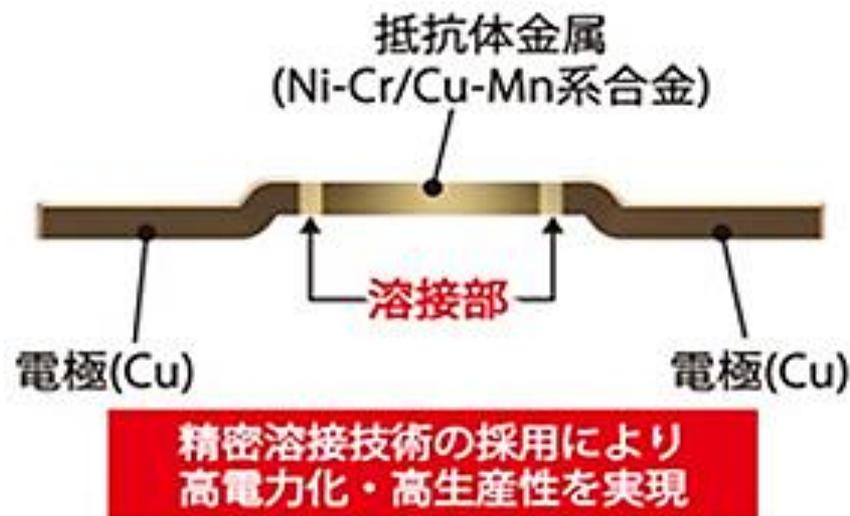
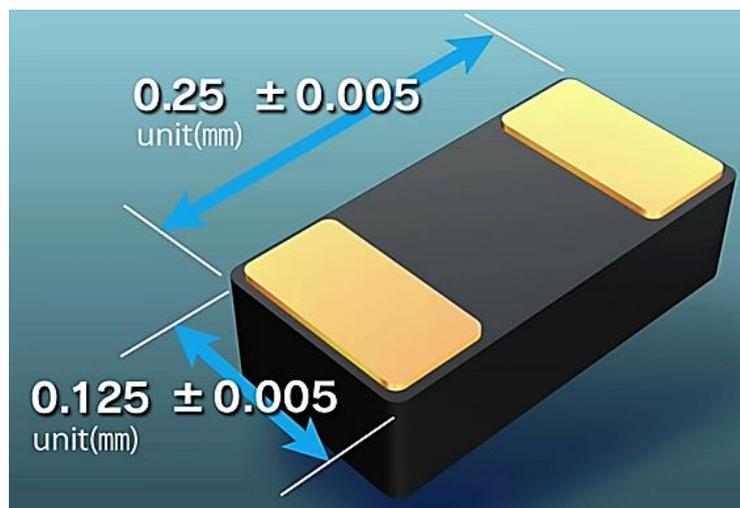
左図は、0402(0.4×0.2mm²)の微細な素子をSMT(Surface Mount Technology)を用いてプリント基板に実装する図である。1秒間に数十粒ものチップ部品をマウントする実装機も実用化されている。

下のグラフのようにコンデンサの出荷も増える一方である。スマホが世界中に広まると、使われる周波数が国毎に異なるため、コンデンサの種類が増え、数量も増加している。自動車のパワー系コンデンサも市場を牽引している。

1. 電子部品一般状況

ありふれた抵抗でも新製品が

回路で電流を測定したい用途に対して、従来は電流が作る磁界を測定していた。それに対して、電流値に影響を与えない程度の微小な抵抗値の抵抗を用いるシャント抵抗が開発され、2, 3のメーカーから発売されている。下の例では、抵抗体の金属としてNi-Cr/Cu-Mn系の合金が使われている。



超小型抵抗器(左)と、シャント抵抗器の構造

1. 電子部品一般状況

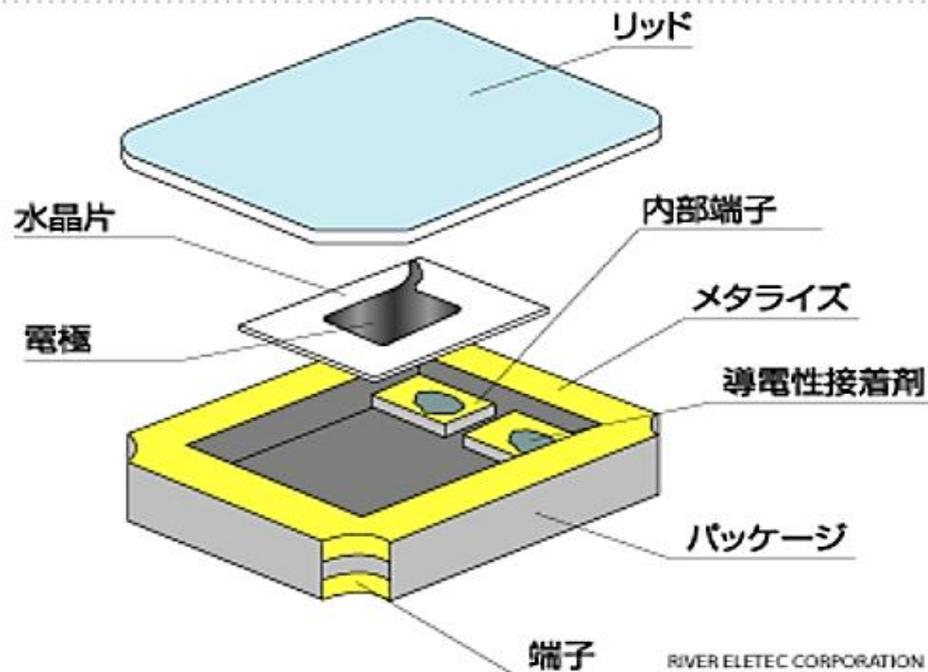
至る所に用いられる水晶デバイス

水晶振動子は、水晶(石英)の圧電効果を利用して高い周波数精度の発振を起こす際に用いられる素子である。

水晶は二酸化ケイ素で形成される無色透明の結晶で、変形させると電圧を発生する圧電物質の一つで、逆に電圧をかけると水晶は変形する。

今から百数十年前、フランスの科学者ピエール・キューリー(キューリー夫人の夫)と兄ジャックが発見した現象である。

その周波数はppm(10^{-6})の精度が容易に得られ、周波数や時間の基準として広く用いられている。水晶振動子は1~20MHz程度周波数のものが多い。今やほとんどの電子機器のクロック信号発生に用いられている。



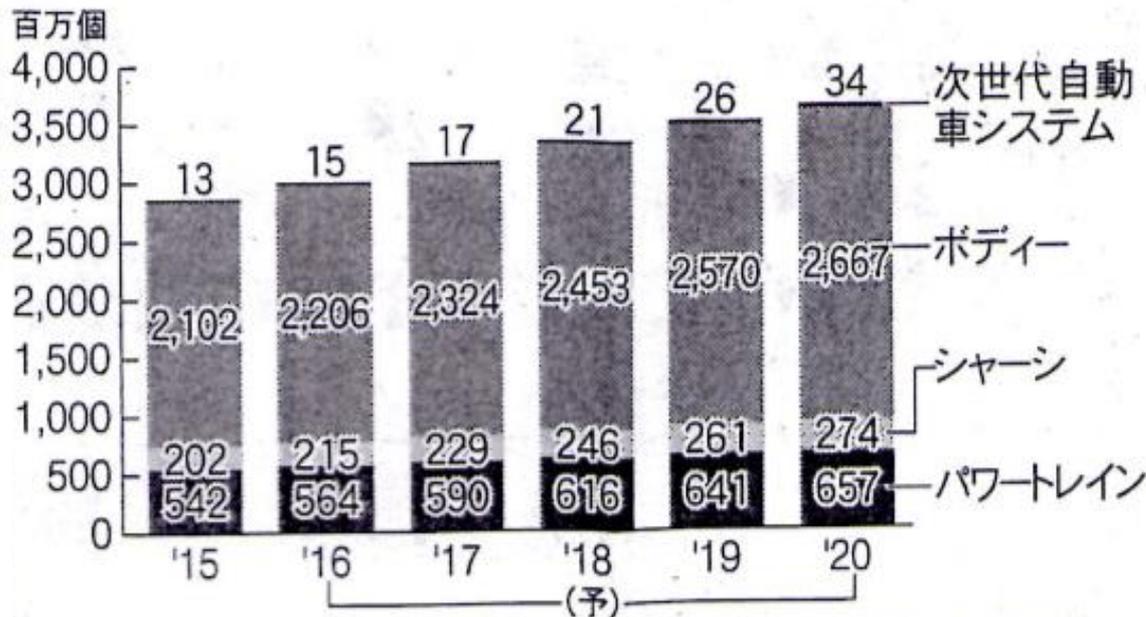
用途	役割
携帯電話、無線機 コンピュータ	複数の機器間で通信する時の同期信号
パソコン	演算回路のプロセス制御の同期信号
モーター制御	正確なタイミング
時計、機器の内蔵時計	時計の基準信号 6

1. 電子部品一般状況

モーター業界も好調

モーターも、昔から使われているお馴染みの部品であるが、数量は益々増加している。下のグラフは車載用モーターの増加ぶりを表している。エンジンバルブの制御、油圧を制御する電動可変オイルポンプ、冷却水の循環用、電動パワーステアリング、電動ブレーキ、エアコン、窓の開閉など枚挙にいとまがない。

車載モーターのシステム領域別世界市場

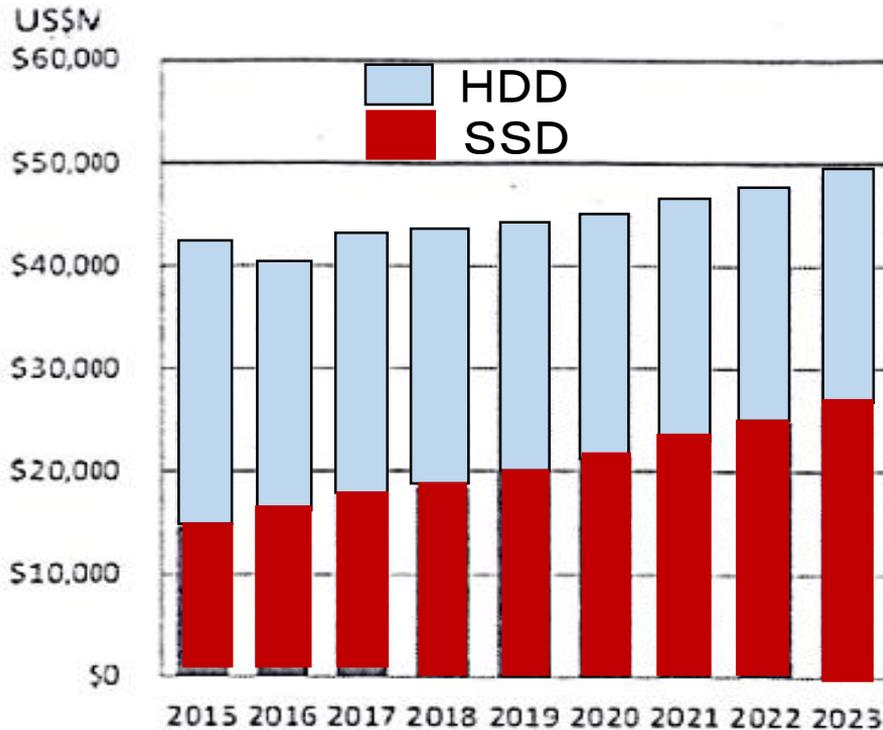


(矢野経済研究所調べ)

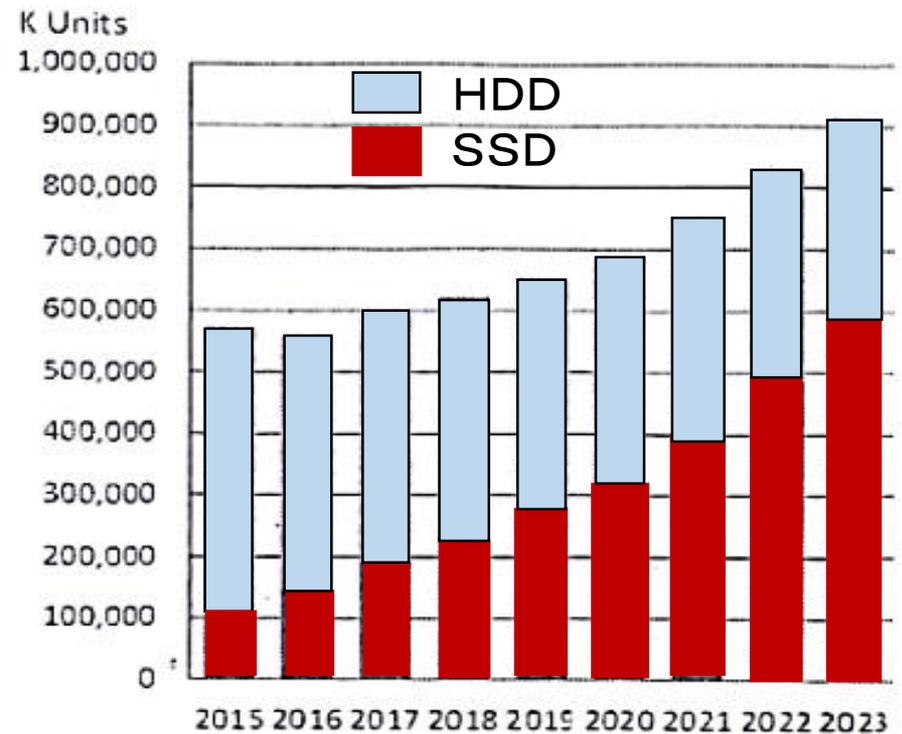
モーターは、多くの産業機器に使われており、日本の総電力の50%以上がモーターで消費されている。従って、モーターの省エネは極めて重要なテーマである。

1. 電子部品一般状況

HDDは無くならないゾ



HDDとSSDの売上額



HDDとSSDの数量

IHIグローバル(株) 南川明氏の資料による

NANDフラッシュメモリで構成されるSSD(Solid State Drive)は、動作速度がHDD(Hard Disc Drive)より遥かに早いので、HDDを駆逐すると言われている。上のグラフによると、金額ベースではHDDの減少は進むが、急激にSSD化することは無さそうである。SSDのビットコストは、2020年でもHDDの数倍と予想される。

半導体へ進出する電子部品企業

村田製作所; SAWデバイス、MEMSなどの個別製品の生産能力を強化し、通信向け半導体メーカー、通信用パワーアンプ(PA)、コイルなどのコンポーネント企業の買収も積極的に進めており、モジュールレベルでの対応力の強化を進めている。富士フィルムから仙台工場、ルネサスエレクトロニクスからは大月工場のセンサー機器製造ラインを買収。

太陽誘電; 富士通の子会社である富士通メディアデバイスの通信用デバイス事業の須坂工場を買収し、SAWフィルタ関係のRF通信関連デバイスを中核とする事業を展開している。

TDK; ルネサスの鶴岡工場の125mmウェハラインを買収。自動車向け事業の有力メーカーであるスイスMicronas Semiconductor Holdings AGやその他の海外企業を買収した。

京セラ; パワー半導体の将来性を見込み、自動車や産業機器向けダイオードに強みを持つ日本インターを子会社化した。

いずれも、部品単体のビジネスから、半導体を組み込んだモジュールなど Know howが詰まった付加価値の高い製品への展開を目指している。

1. 電子部品一般状況

自動車には電子部品が一杯

2016年4～12月 車載用電子部品事業売上高

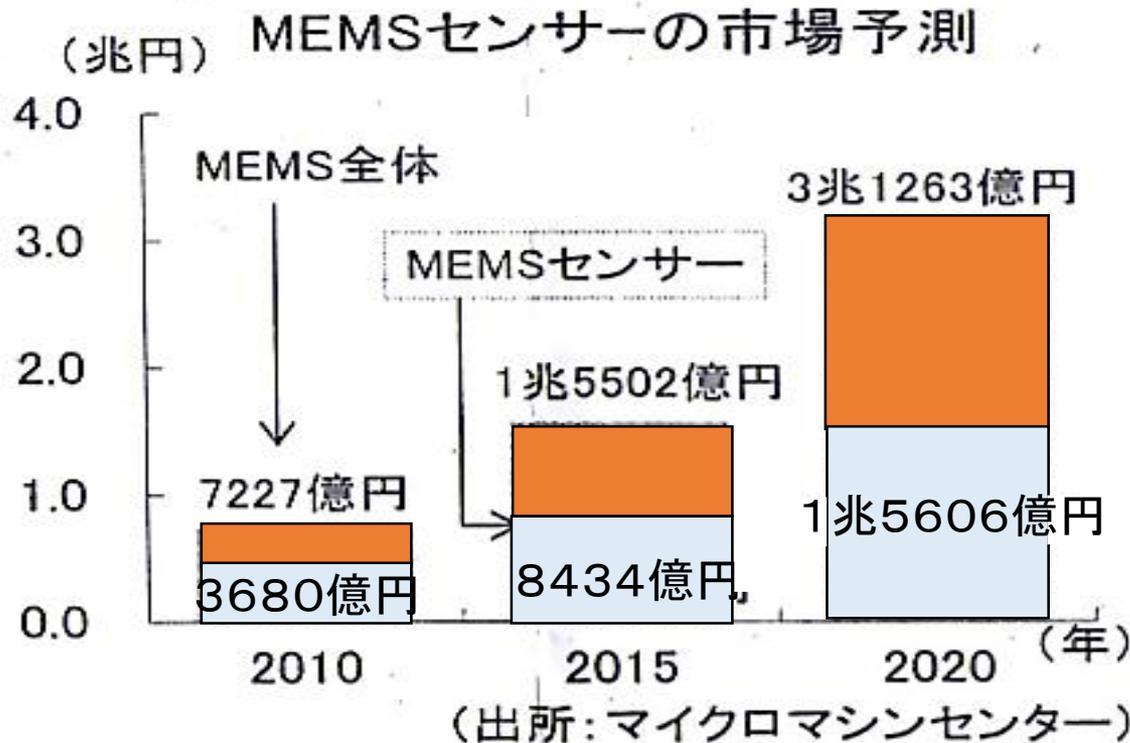
社名	部門名またはセグメント名	売上高実績(前年同期比増減率)
パナソニック AIS社	デバイスソリューション事業部 メカトロニクス事業部他	-
京セラ	車載プロジェクト	約1,340(約5%)
TDK	自動車分野	1,513(6.3%)
日本電産	車載事業本部	1,908(▼6.0%)
村田 製作所	営業本部日本営業統括部 車載営業部	1,239(8.6%)
アルプス電気	車載市場向け電子部品	1,849(2.5%)
ローム	車載戦略部、LSI商品開発部、 ディスクリート、モジュール両 生産本部	-
太陽誘電	車載推進部	自動車・産業機器 向け売上高構成 比23%(3%)
日本航空 電子工業	自動車市場向け	484(▼7%)

社名	部門名またはセグメント名	売上高実績(前年同期比増減率)
日本航空 電子工業	自動車市場向け	484(▼7%)
フォスター 電機	自動車用部品・製品事業	453(▼6.3%)
ホシデン	車載営業部車載営業課	230(13%)
日本ケミコン	カーエレクトロニクス分野	235 (ほぼ横ばい)
ニチコン	コンデンサ事業本部	- (ほぼ横ばい)
ヨコオ	車載通信機器	232(11.1%)
イリソ電子 工業	車載事業	232.7(▼3%)
北陸電気 工業	-	103(1%)
大真空	第二営業部	売上高比率全体 の27.5% (売上高比▼4%)
田淵電機	電源・デバイス事業部 (4月から)	1億円弱(20%)
本多通信 工業	車載事業	42.6(▼1.2%)

2. MEMS・センサー

伸びるMEMS／センサー市場

数年前から、IoT(Internet of Things)の普及によりセンサーの需要が爆発的に増加し、「トリリオン・センサー」(即ち1兆個)が提唱され、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)市場が伸びると注目されている。MEMS・センサーの売上は、5年で2倍と好調であるが、数量の伸びは3~4倍と思われ、単価の下落が大きい。量産効果で製造費が下がるとは言え、海外メーカーと同列に競争しては勝てない可能性がある。付加価値をつける工夫が要求される。

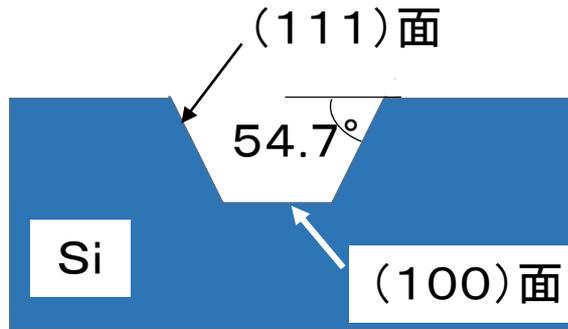


MEMSとセンサーは別物であるが、センサーを生産するプロセスとしてMEMSを用いられることが多い。センサーとして、従来は加速度センサー、圧力センサー、温度センサーなどが中心であったが、今後はガスセンサー、超音波センサー、流体センサーなど色々なセンサーが実用化される。

2. MEMS・センサー

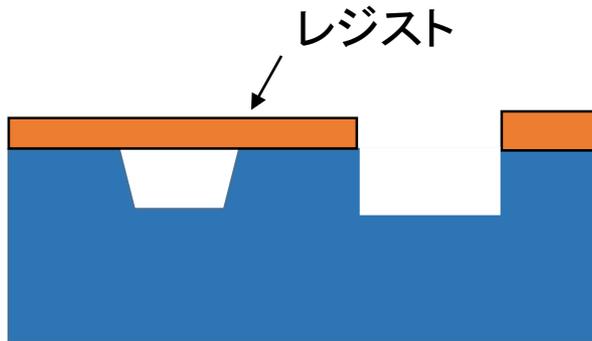
MEMSの主な製造プロセス

半導体のプロセス(リソグラフィ、膜付け、エッチングなど)が、用いられる。

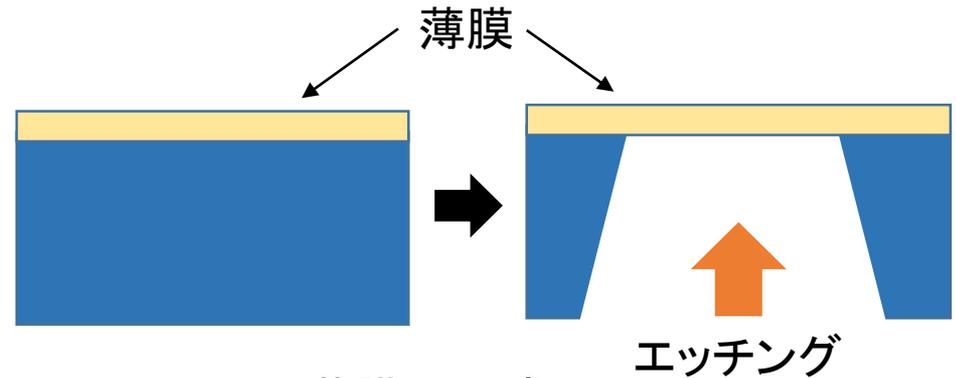


テーパーエッチング

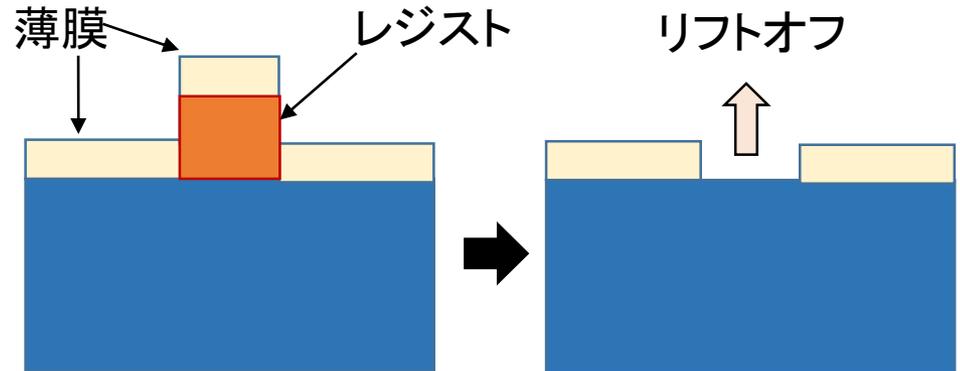
KOH液でエッチングすると、(111)面にエッチングが進まないのので、図のようなテーパーができる



フォトリソを構造材



薄膜の形成



リフトオフ

金、白金などのエッチングが困難な金属のパターニングに用いられることが多い。¹²

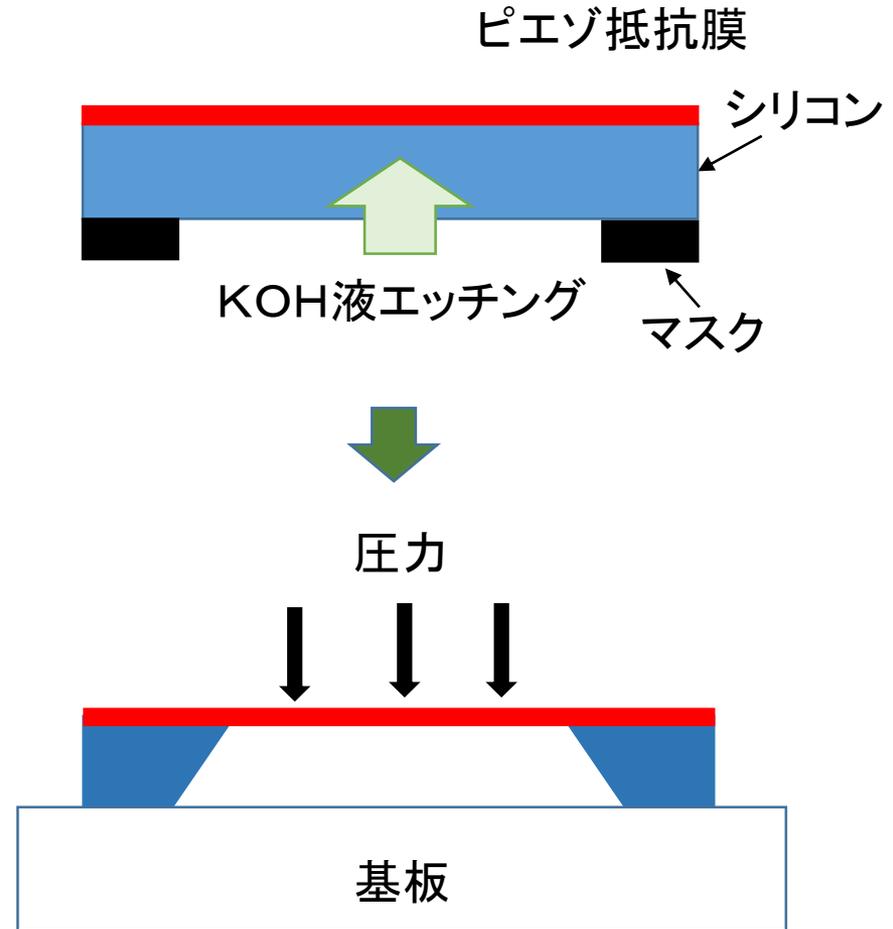
2. MEMS・センサー

MEMSで作る圧力センサー

圧力や振動を測定するセンサーは、自動車の衝突時にエアバッグやタイヤ圧の測定などに大量に用いられている。

右図は、シリコンなどを図のようにエッチングしてピエゾ薄膜を作るプロセスである。エッチングには前頁のKOH液などが用いられ正確な寸法のエッチングが出来、側面にテーパをつけることもできる。

圧力が掛かるとピエゾ薄膜がベンドして、電気抵抗の値が変化するので圧力の値を知ることができる。コンデンサを作成してその容量変化から圧力を知る方法もある。

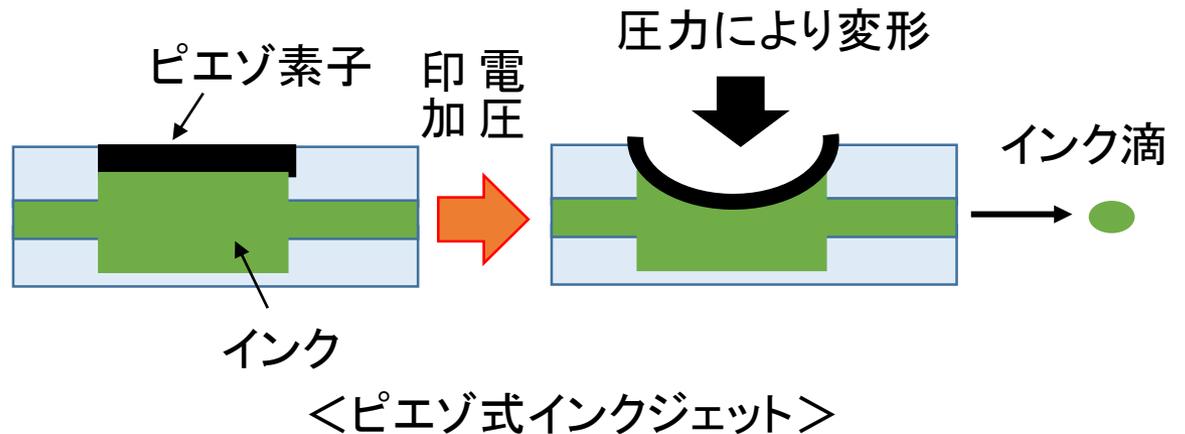
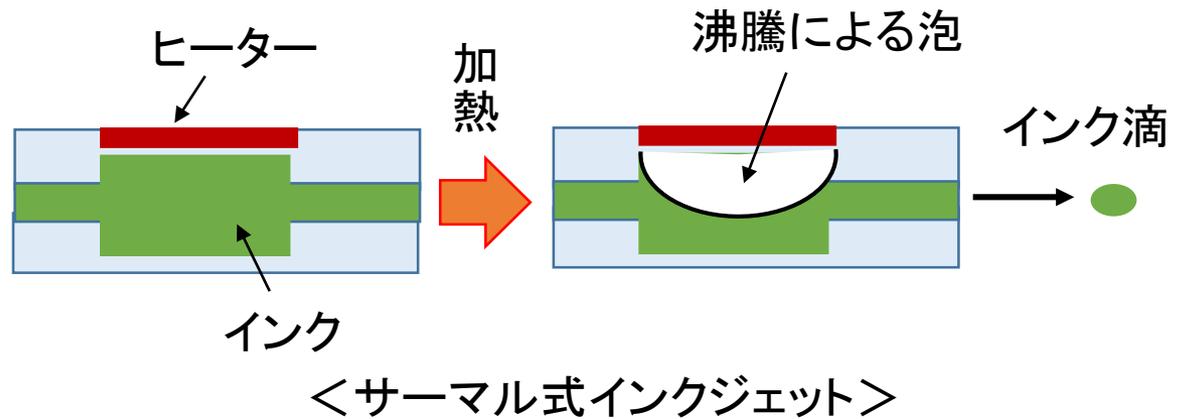


インクジェット2方式

キヤノンの研究所で、液体の詰まった注射器に、たまたまハンダゴテが触った。すると針先から液が飛び出した。ありふれた現象だが、それによりキヤノンはプリンターを開発することに成功した。右上図のサーマル式インクジェットである。

キヤノンと並んでセイコーエプソンも、プリンターの競合メーカーとして頑張っているが、インク吐出のメカニズムはキヤノンと異なり、右下図のようにピエゾ効果を用いている。

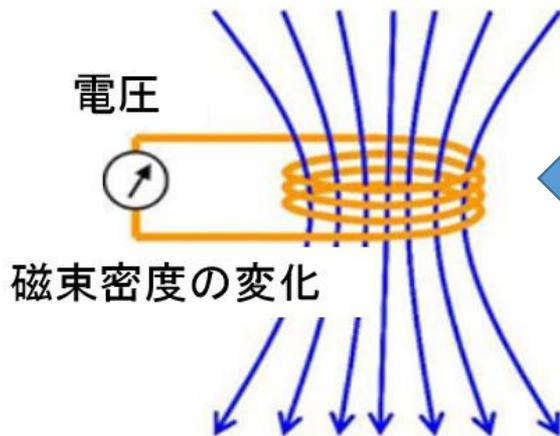
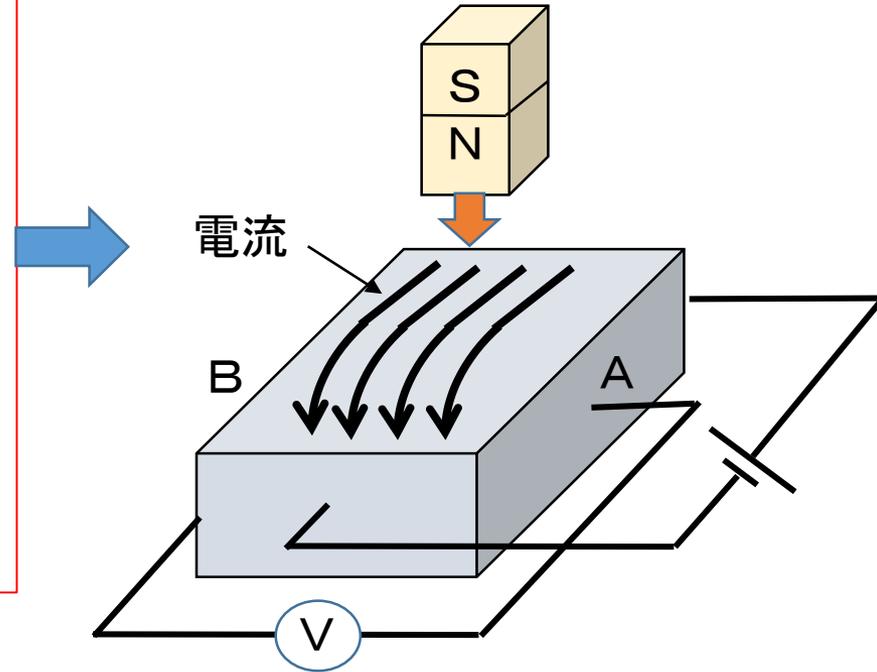
飛び出したインク滴には電荷を与えて、偏向電界により曲げている。
1200dpiの場合、インクの径は20 μm である。



2. MEMS・センサー

接合のない半導体;ホール素子

PN接合のない半導体素子と言うと驚かれるかも知れない。右図のように半導体片に電流を流し、磁場をかけると電流の流れが磁場の強さに応じて曲げられる。その結果、図のAとBの間に電圧が発生する。これをホール効果と言って、磁場の測定に利用される。ホール素子は、磁束密度の変化がない静磁場でも測定でき、非接触スイッチ、角度センサー、電流センサーとして使われている。



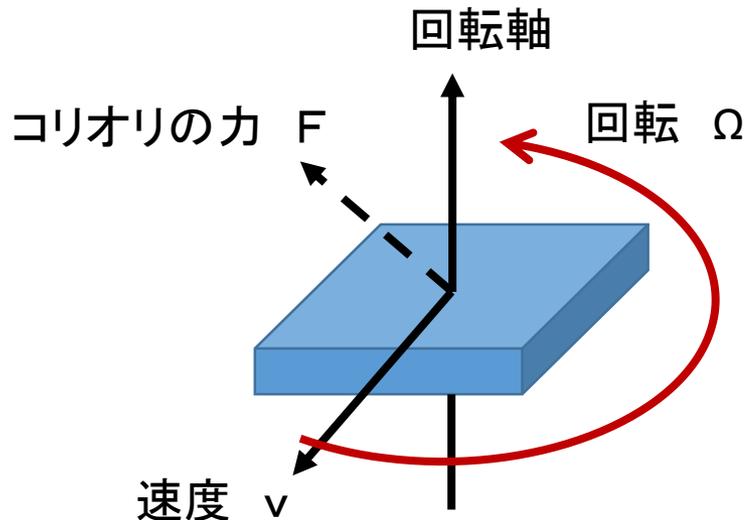
コイルによる磁気センサーもある。コイルを通る電流が変化すると、電磁誘導による電圧が発生し、それを測定して磁場を測定する。ただし、電流が変化しない固定された磁場などは測定できないし、ゆっくり変化する場合も測定し難い。

回転運動を測定するジャイロセンサ

コリオリの力を用いた振動式ジャイロで回転角が測定でき、スマートフォンや色々な機器の用いられた。水晶を用いた振動式が、温度に対する安定性が高く、応答性が良好で、雑音耐性が高い特徴があり多く用いられている。

コリオリの力は、移動している物体に回転が加わると、移動方向と回転軸の両方に直交する方向に発生する。数式は次のベクトル積で表される

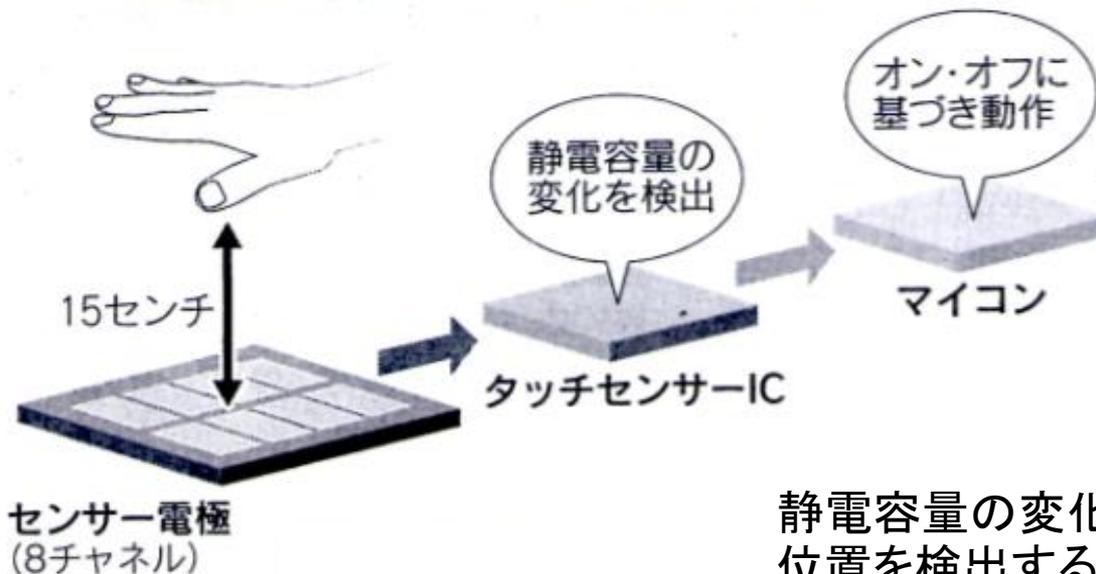
$$\vec{F} = -2m\vec{\Omega} \times \vec{v} \quad (\text{Fはコリオリの力、mは質量、}\Omega\text{は角速度、vは速度})$$



左図は、物体の移動と回転によるコリオリの力の発生を表している。回転していない場合は、軸に対して対称な屈曲運動を行っているが、センサーが回転すると、振動方向と垂直の方向に、コリオリの力が発生する。この力を水晶の圧電特性などにより検出する。

スマートフォンなどは、文字をインプットする場合、透明なガラスや樹脂の上から指で押す。透明導電膜が用いられるが、従来は酸化インジウムのネサガラスが一般的であったが、最近では微細な銅配線が用いられている。(ミクロン寸法の銅線は、人の目に見えない) タッチされた箇所は、クロスした抵抗線がタッチする場合と、コンデンサの容量変化を検出する場合がある。改札口でかざすだけのSUICAのカードなどは、タッチしないで無線のやり取りで情報を交換している。

15センチの距離でも手をかざしてオン・オフ操作



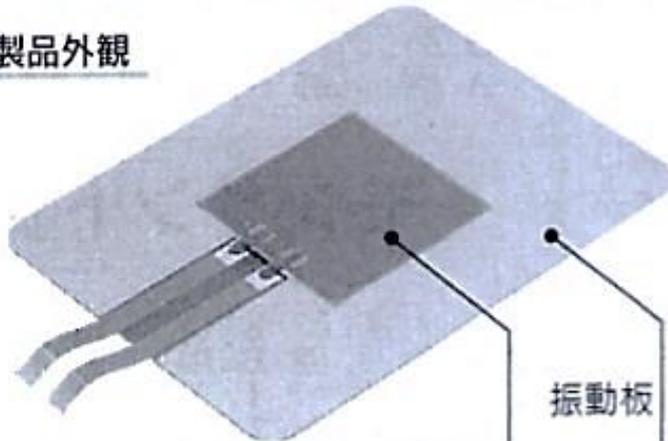
静電容量の変化で、手をかざした位置を検出する例

Haptic Deviceとは聞き慣れない言葉だが、触覚素子のこと。人が指で何かを押した時は、押された面から何かの反応があって、押したと言う感触を得る。何もない紙の面を押すと、そのような感触がない。その感触を作るのがハプティック素子である。

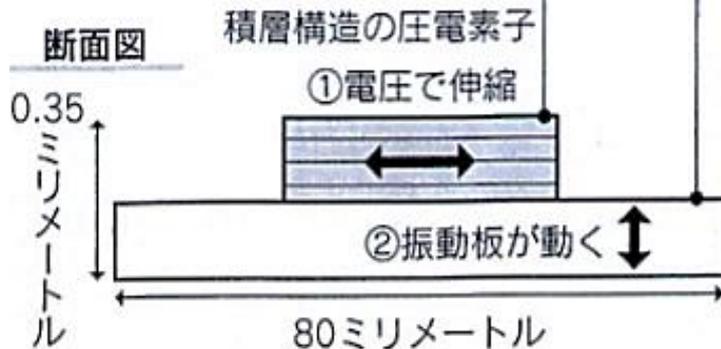
紙のような薄い板に文字を書いてキーボードにすると、薄くて軽いPCやタブレットも可能と思われる。

薄型部品で多彩な振動を作り出す

製品外観



断面図



圧電素子

金属板

ハプティック素子の一例



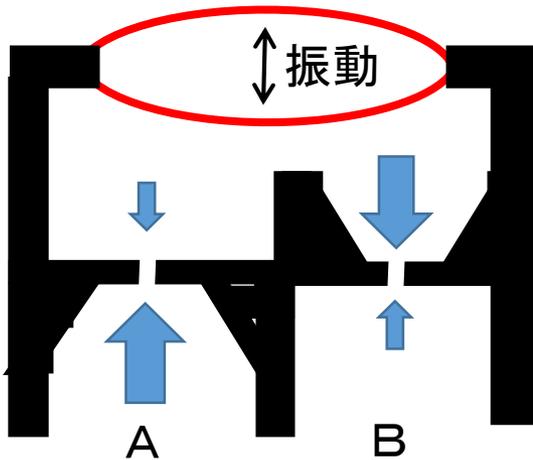
日経エレクトロニクス
2017年4月号より

デジタルヘルスという言葉をよく聞くようになった。センサーからの信号をデジタル化し、活用することにより、従来にない治療や予防に役立てるわけである。この分野で、日本のセンサーメーカーの活躍が目立つ。

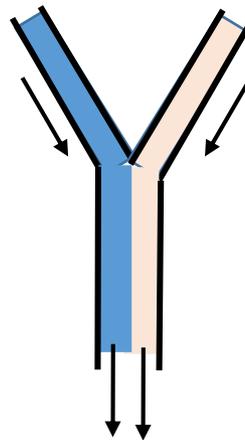
社名	注力製品・技術
村田製作所	セラミックコンデンサ、医療用各種センサー、気圧センサー、RFID
日本電産	ポンプ、モーター、ファン、アクチュエータ、圧力センサー、DNAチップ
TDK	気圧・温度・湿度センサー、TMR磁気センサー、IC内臓モジュール
アルプス電気	ウェアラブル近赤外分光センサー、マイクロ流路
ローム	加速度センサー、気圧センサー、脈波センサー、無線モジュール
タイコエレクトロ	医療用コネクタ、医療用センサー
太陽誘電	圧電圧力センサー、機能性表面処理膜、においセンサー
日本航空電子	各種コネクタ
ミツミ電機	ウェアラブルディスプレイ技術
ニチコン	医療用加速器電源、各種電源・インバーター
SMK	医療用コネクタ、タッチパネル
日本電波工業	超音波センサー、ミリ波センサー、バイオセンサー

石英などの基板に、ミクロン単位の微少な溝をエッチングし、薬品などを流して化学反応を行うのを、μ-TAS (Micro-Total Analysis System) と呼んでおり、医学の実験などにはよく用いられる。ただし、微細な寸法の流路では、界面(表面)の影響が大きく、液の流れ方などは日常見る流路とはかなり異なる。

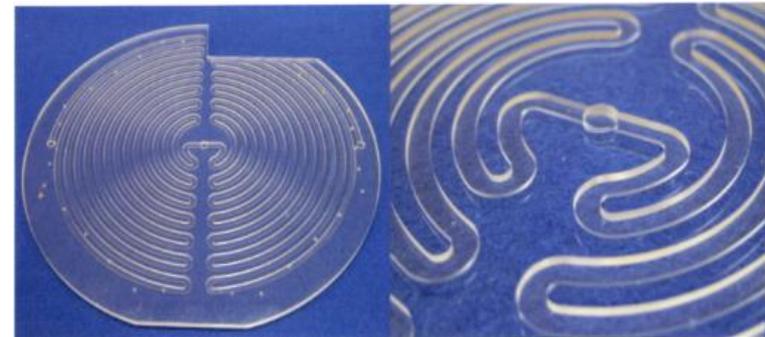
下図左は、マイクロポンプの一例である。図のように弁を上下に振動させると、A側からの液体はテーパに従ってBの方へ流れ易いが、逆にBからAへは流れ難い。従って一方向の流れを実現できる。



マイクロポンプの原理



混じり合わない流体



石英に溝をエッチングしたμ-TAS

3. 太陽光発電

太陽光発電

太陽から地球に降り注ぐ全エネルギーは、

$$1.26 \times 10^{14} \text{ kW}$$

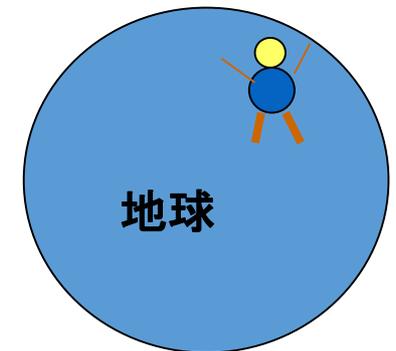
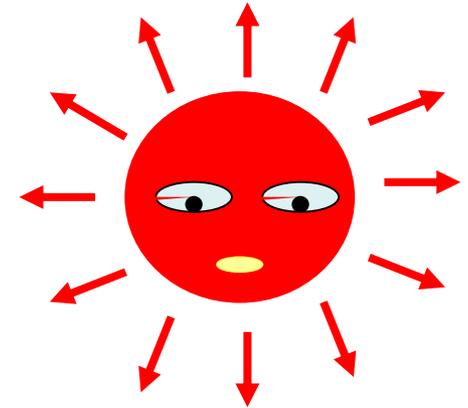
AM(エアマス)とは、太陽光が地上に到達するまでに大気を通過する厚さを示す指標。AM0が大気圏外、AM1.0が赤道海拔0mの値で、日本においてはAM1.5が標準値。

AM1.5の日本では、照射エネルギー; $1\text{kW}/\text{m}^2$ で、変換効率が15%のセルなら、

$$1\text{kW}/\text{m}^2 \times 15\% = 150\text{W}/\text{m}^2$$

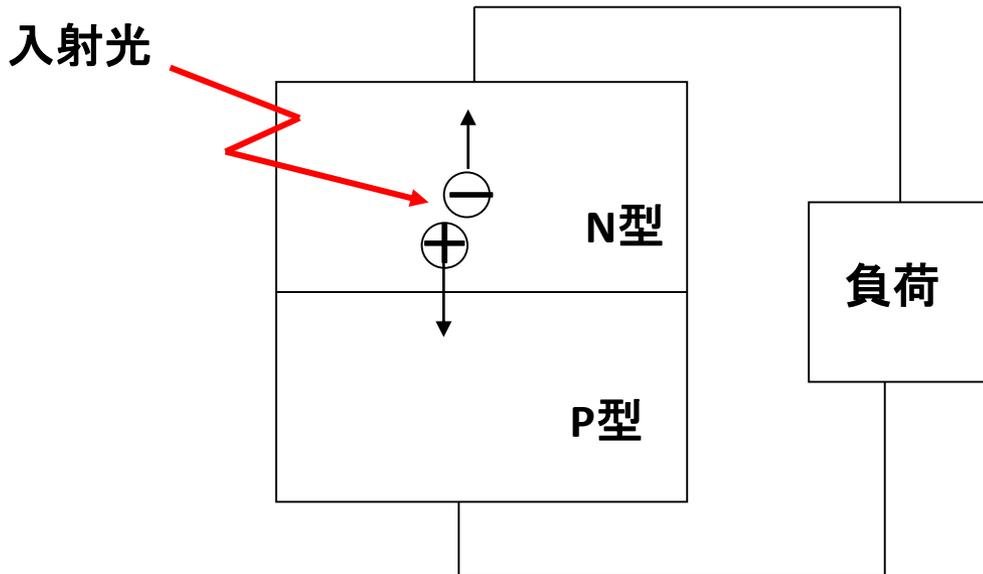
の発電量となる

ゴビ砂漠に太陽光発電モジュールを敷き詰めると、全世界が必要とする電力を賄える。



3. 太陽光発電

発電の原理は、極めて簡単



「太陽電池」と言われるが、電気を溜める電池作用はないので、「太陽光発電」と呼ぶべき。

英語では、Solar CellとかPV (Photo Voltaic) と呼ばれている。

PN接合を持った半導体に入射した光は、電子と正孔のペアを発生させる。N型半導体の正の固定電荷に引っ張られて、電子がN型の方へ移動し、正孔は逆にP型の方へ移動し、外部端子と通して負荷に電流を供給する。

なお、色素増感タイプだけは例外で、PN接合による発電ではない。

3. 太陽光発電

太陽光発電セルの種類と変換効率

種類	変換効率 (%)	チャンピオン 変換効率 (%)	特記事項
単結晶Si	15-18	24	コスト高い
多結晶Si	13-16	22	家庭の屋根に適す
球状Si	(15-18)		
薄膜単結晶Si*	(15-18)		開発進展せず
化合物半導体積層		40	レンズ集光
Si薄膜	6-(13)	14	装置開発が活発だった
CIGS	12-13	20	コスト安い
CdTe	8-10	16	コスト極めて安い
色素増感	<5	11	フレキシブル基板

* 薄膜単結晶とは、リボン状引上げなど、薄膜Si単結晶を製作する方法。

3. 太陽光発電

Si単結晶の太陽光発電

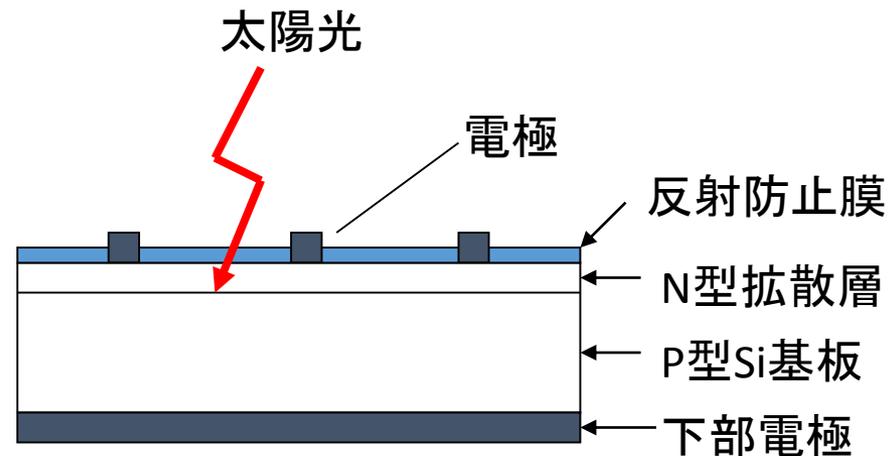
ICの生産に用いられているSi単結晶を使う。

単結晶引き上げ → スライシング → ポリッシュ により製作される。

ただし、IC程の高純度が不要で、抵抗率(不純物濃度)のバラツキがあっても太陽光発電の効率に余り大きな影響がないため、ダミーウエハーや、使用済みウエハーを再研磨して用いられている。

それでも、多結晶や薄膜のSiに比べるとコストが掛かるため、変換効率が高いことを要求される用途に使われる。

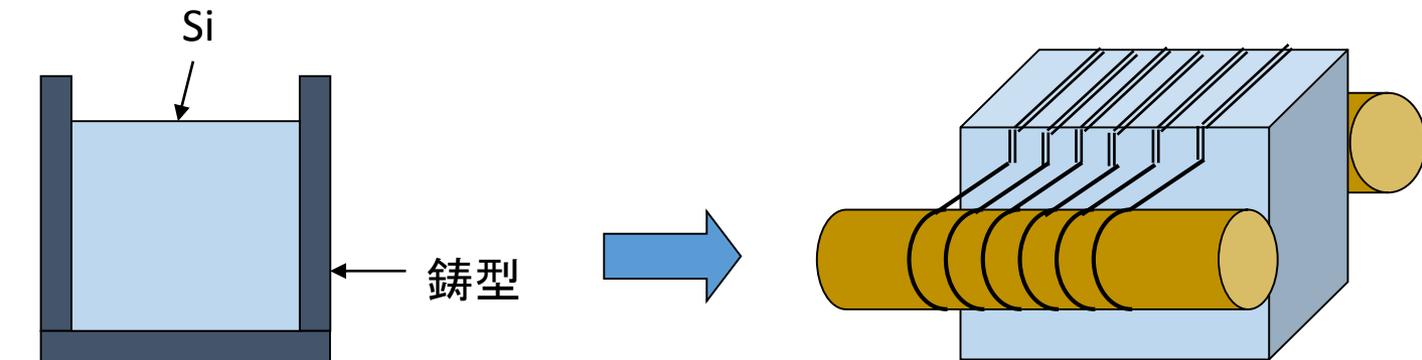
通常、右図のような構造で上部電極は出来るだけ細く、Siの厚みは200 μm 程度にしている。
最近は100 μm へ。



Si単結晶Solar cellの断面図

3. 太陽光発電

多結晶Si太陽光発電セル

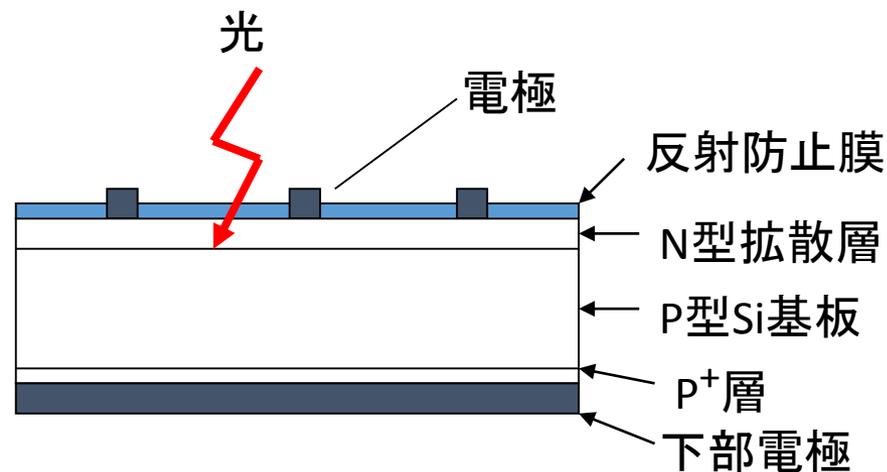


1000°Cで加熱し、
多結晶Ingotを作製

Wire SawでSlicing

断面構造は、単結晶Si素子と似ているが、
Ingotは大きいので、素子の面積は広い。

ただし、単結晶に比べると電子や正孔を
トラップする欠陥が多いので、光の変換
効率は劣る。小面積チャンピオンデータ
では、単結晶が26%、多結晶が20%程
度である。



多結晶Siセルのプロセスと効率向上策

①スライシングのダメージ除去

②テクスチャ形成

③PN接合形成、分離

④反射防止膜デポ

⑤電極形成(スクリーン印刷、焼成)

⑥パッケージング

反射防止膜及びテクスチャ構造により低反射率にする

N型
拡散層

Agペーストの電極は、できるだけ細くし光入射のロスを少なくする



ポリシリコン、P型

水素ベーキングで界面で欠陥を少なくしてキャリア再結合を防ぐ

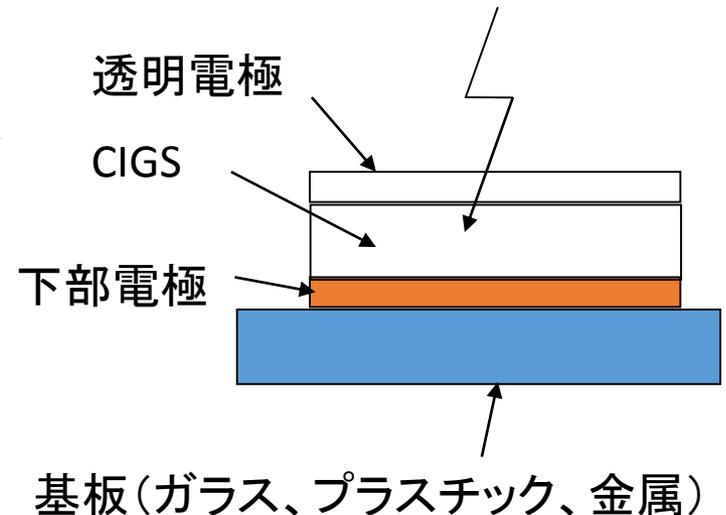
アルミニウム電極

ボロンによるP+拡散層でキャリアの再結合を減らす

3. 太陽光発電

CIGS (CuInGaSe) も、生産されている

カルコバイライト(黄銅鉱)系と呼ばれる材料を用いたセルで、Cu、In、Ga、Seが良く用いられる。光の吸収率が高いため、薄い膜(1 μm)でも十分である。変換効率は、研究室レベルでは19.5%が報告されている。InとGaの比を変えてバンドギャップを調整して分光感度を変えることが出来る。基板は、ガラス、プラスチック、金属などが利用でき、ロール・ツー・ロールの生産も可能になる。現在は蒸着法が主に用いられている。心配点は、Inの資源が限られていること。



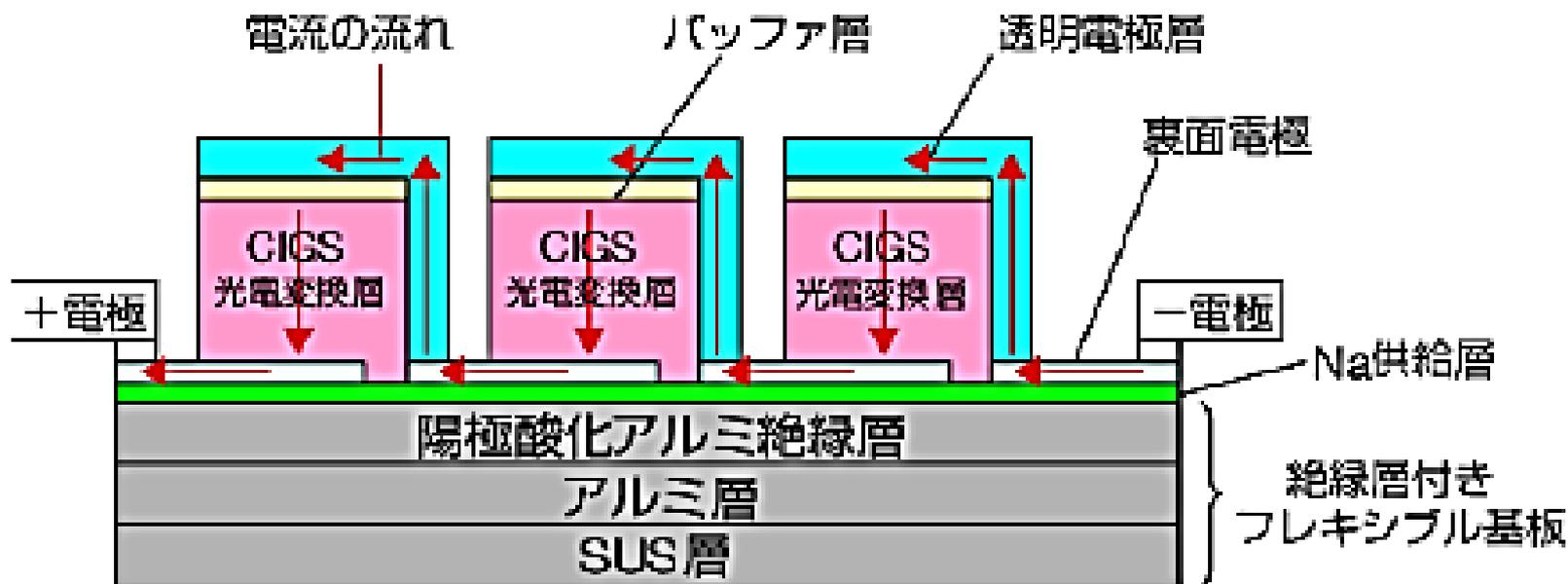
CIGSより簡単な、Cd-S(N型)とCd-Te(P型)を用いたセルは、ペースト塗布後に焼結するだけの安価なプロセスで出来るので、米国のファーストソーラー社がシェアを伸ばしている。日本のメーカーは、Cdはイタイイタイ病の原因になるので避けている。

3. 太陽光発電

フレキシブル太陽光発電シート

フレキシブルCIGS太陽電池の構造

- * フレキシブルなステンレススチール(SUS)系基板上にCIGS系太陽電池を島状に形成する。(右下の図)
- * CIGS系半導体はC(銅)、I(インジウム)、Ga(ガリウム)及びS(セレン)よりなる半導体。(現状では変換効率がまだ低い)

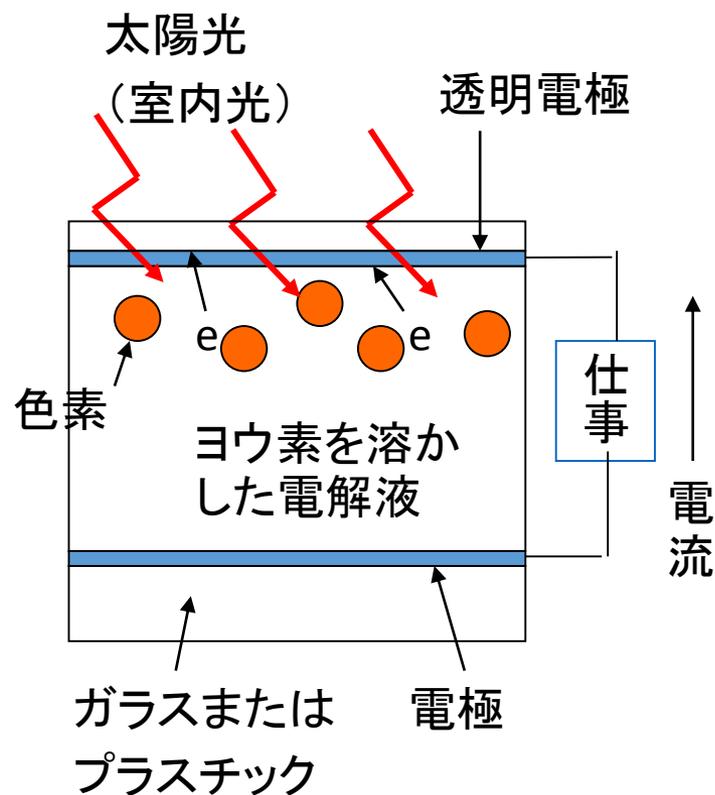


3. 太陽光発電

PN接合ではない色素増感型

光電変換メカニズム、効率は10%

光電変換メカニズムは、(1)受光面に太陽光が入射すると、色素が可視光を吸収して励起、(2)励起した色素から放出された電子が酸化チタンに移動、(3)電子が透明電極ITOを通過し外部回路を通過して(電池としての仕事をする)、もう一方の電極(対向電極)に到達、(4)電子を放出した色素はヨウ素イオンから電子を奪って中和、(5)電子を奪われたヨウ素イオンが対向電極に到達した電子と結合して中和する。色素増感型の光電変換効率は、理論効率は30%あるが現実には高くはなくて10%程度であり、更なる向上が期待されている。

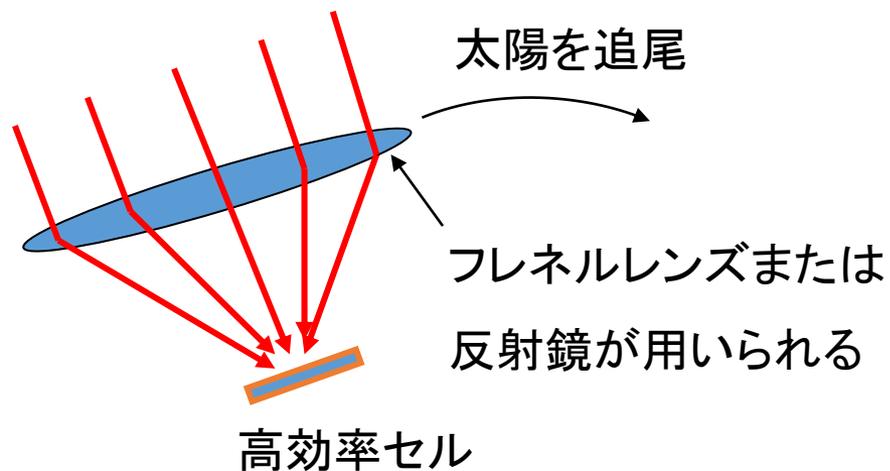
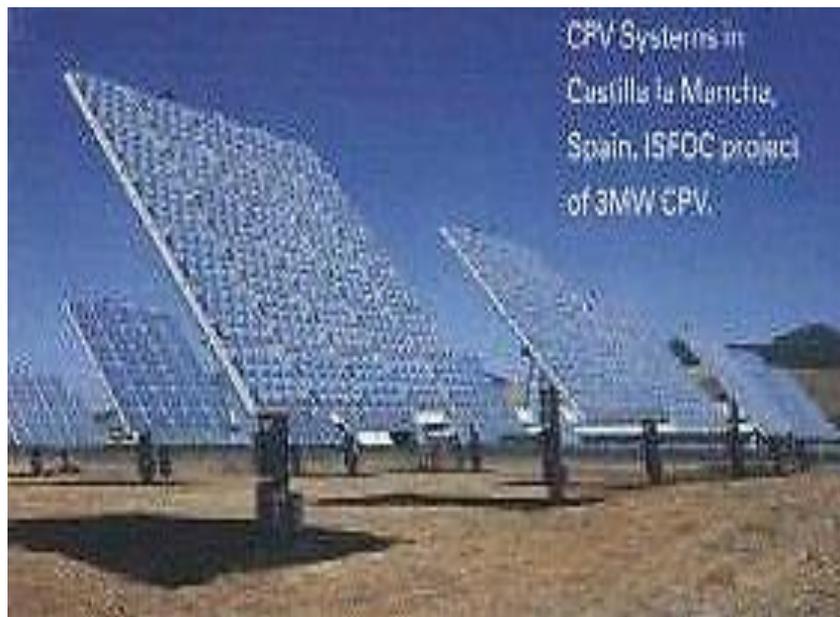
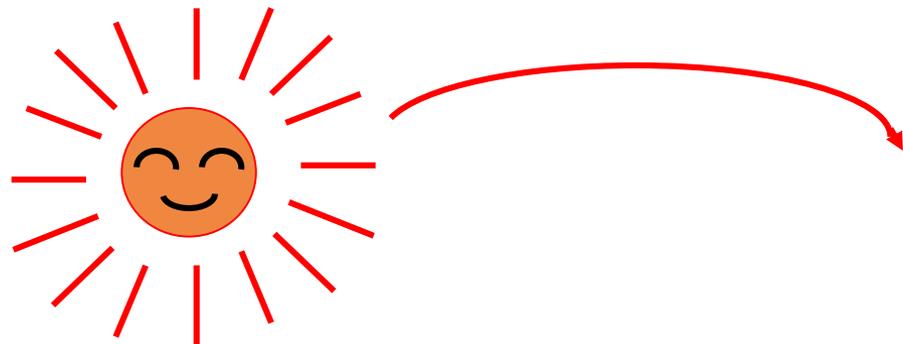


色素増感型素子

3. 太陽光発電

集光・追尾型で変換効率アップ

集光により、500－1000倍の太陽エネルギーを集める。面積当たりのコストが高い発電セルでも、システムとして安価にできる。



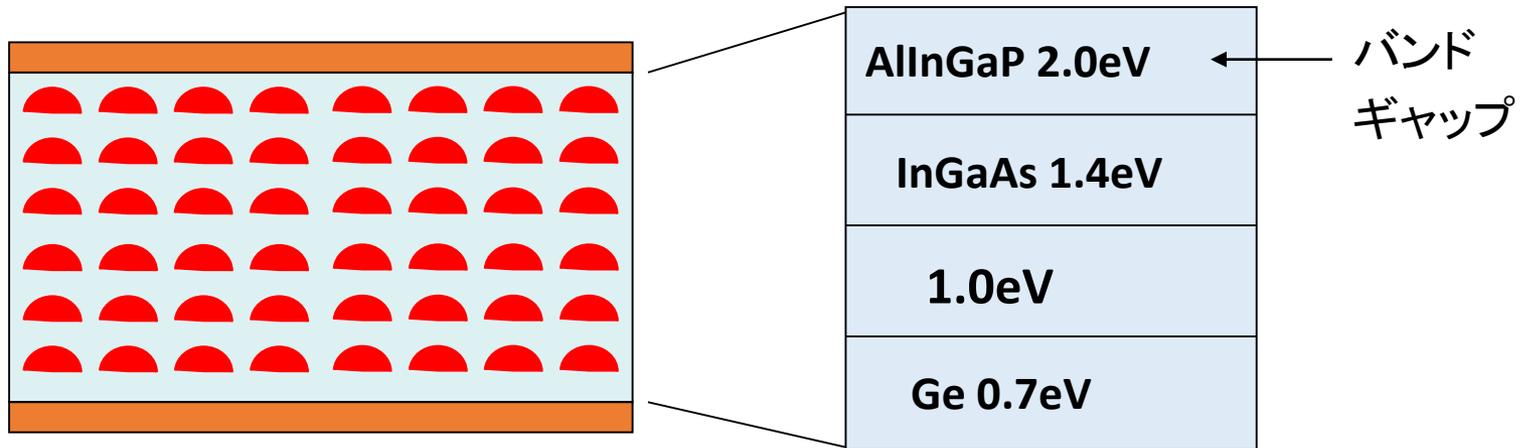
3. 太陽光発電

50%の変換効率を狙う量子ドット

量子ドットとは、金属や無機物で出来た数nmの大きさの粒子が規則正しく並んだもので、原子と同じようにバンドギャップを持っており、人工原子と呼ばれることもある。

ドットの材料では、Si、CdS、InGaAsなど、色々検討されている。

組成や粒子の大きさによりエネルギーバンドを自由に変えられるので、太陽光の全波長に亘って利用できるように設計することが出来る。



太陽電池の開発状況まとめ

表 1 各種太陽電池の高効率化の現状と日本の貢献

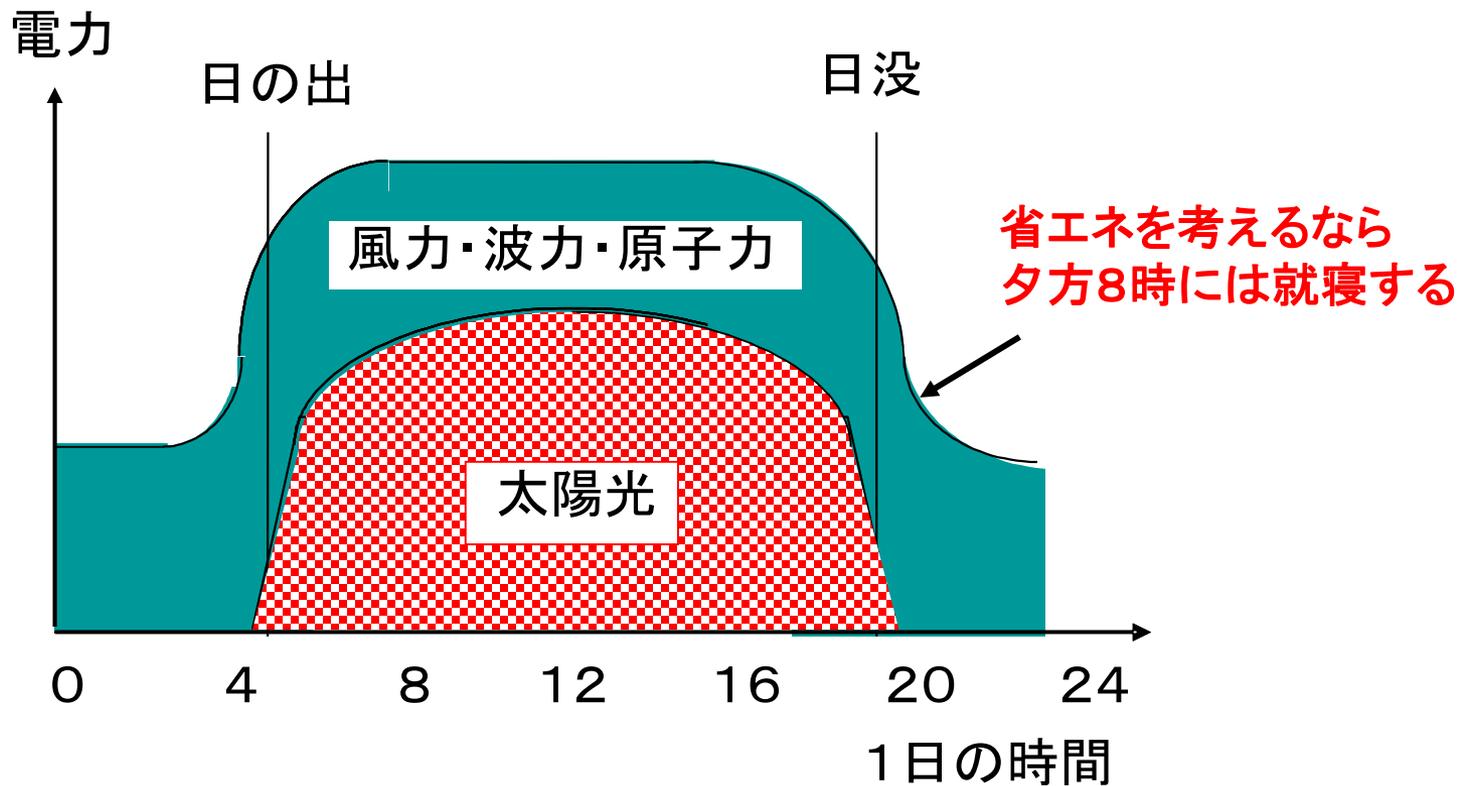
太陽電池	世界最高効率 (%)	日本の貢献
単結晶 Si	26.3	カネカ
多結晶 Si	21.3	
薄膜 Si 3 接合タ ンデム	14.0	産総研
CuInGaSe	22.6	22.3% (ソーラーフロンティア)
CdTe	22.1	
III-V 3 接合	37.9	シャープ
3 接合集光)	44.4	シャープ
4 接合集光	46.0	
5 接合	38.8	
ペロブスカイト	22.1	19.2% (物材機構)
色素	11.9	シャープ
有機	11.2	東芝

太陽光発電パネルの生産は、ターニングポイントとなったので、後発の中国企業のシェアが拡大している。現在も変換効率の向上が話題になっているが、向上すると言っても微々たる進歩なので大勢に影響ない。化合物の多層タイプや量子ドットで起死回生のヒットが生まれるか？

3. 太陽光発電

太陽とともに生活しよう

CO₂削減に対して一般の企業に色々な要求が出てきているが、国民は自分の問題とは捉えていないようである。我々はもっと太陽エネルギーを活用すべきで、活動時間を太陽に合わせる必要がある。即ち、夏は午前4時過ぎ、冬は6時半には空が明るくなっているから、それに生活時間を合わせるのである。



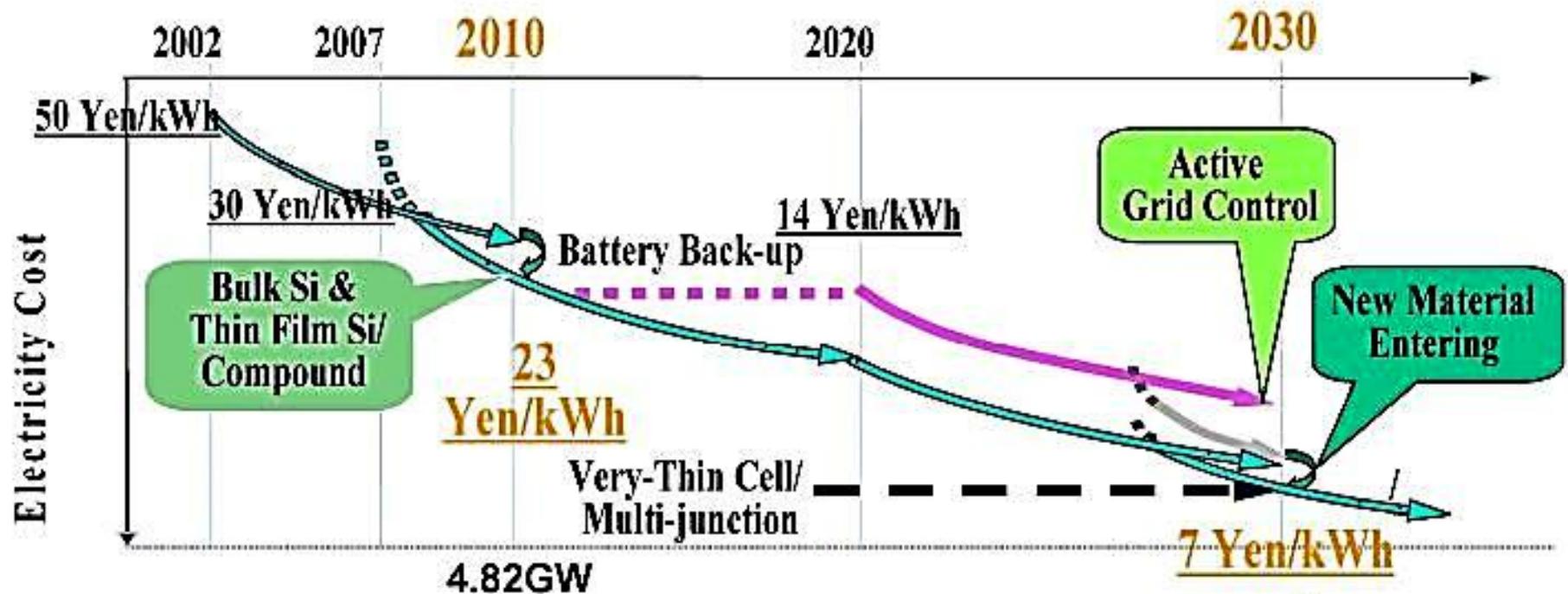
3. 太陽光発電

2030年までに20倍の発電

グラフは、政府の公約を実現するために、NEDOが作成したロードマップ。
2030年に7円/kWhが実現すれば、火力発電に追いつく。

Japanese PV Roadmap until 2030 (PV2030)

("PV2030 plus" will be coming soon)

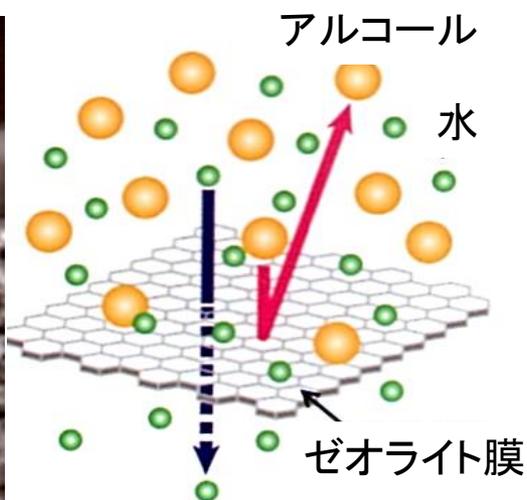
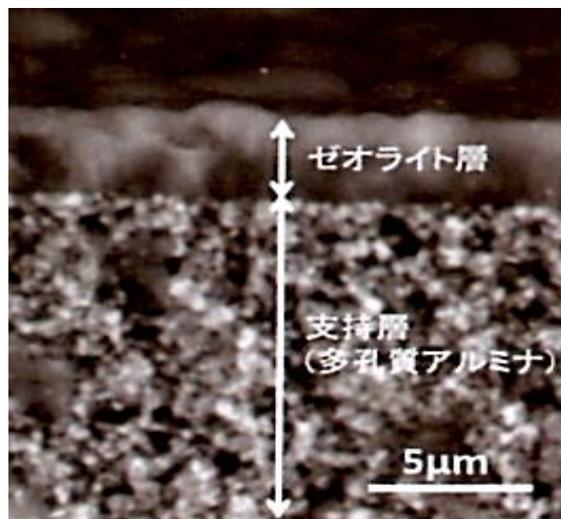
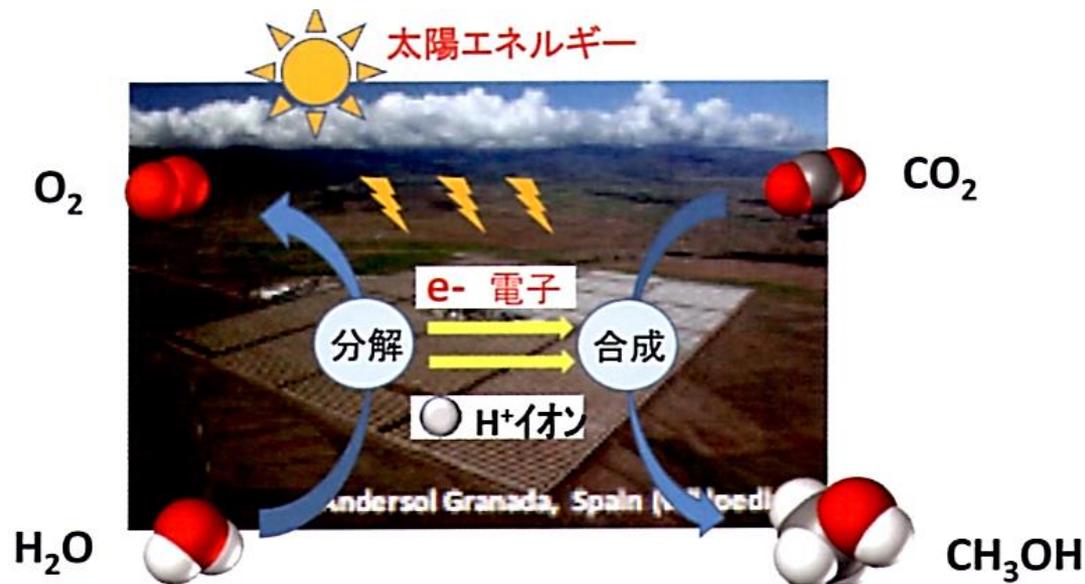


3. 太陽光発電

炭酸ガスをメタノールに変える

地球温暖化対策には、炭酸ガスの削減が必要であるが、右図のように炭酸ガスと酸素からメタノールを作る研究が進んでいる。

一杯やれるぞ

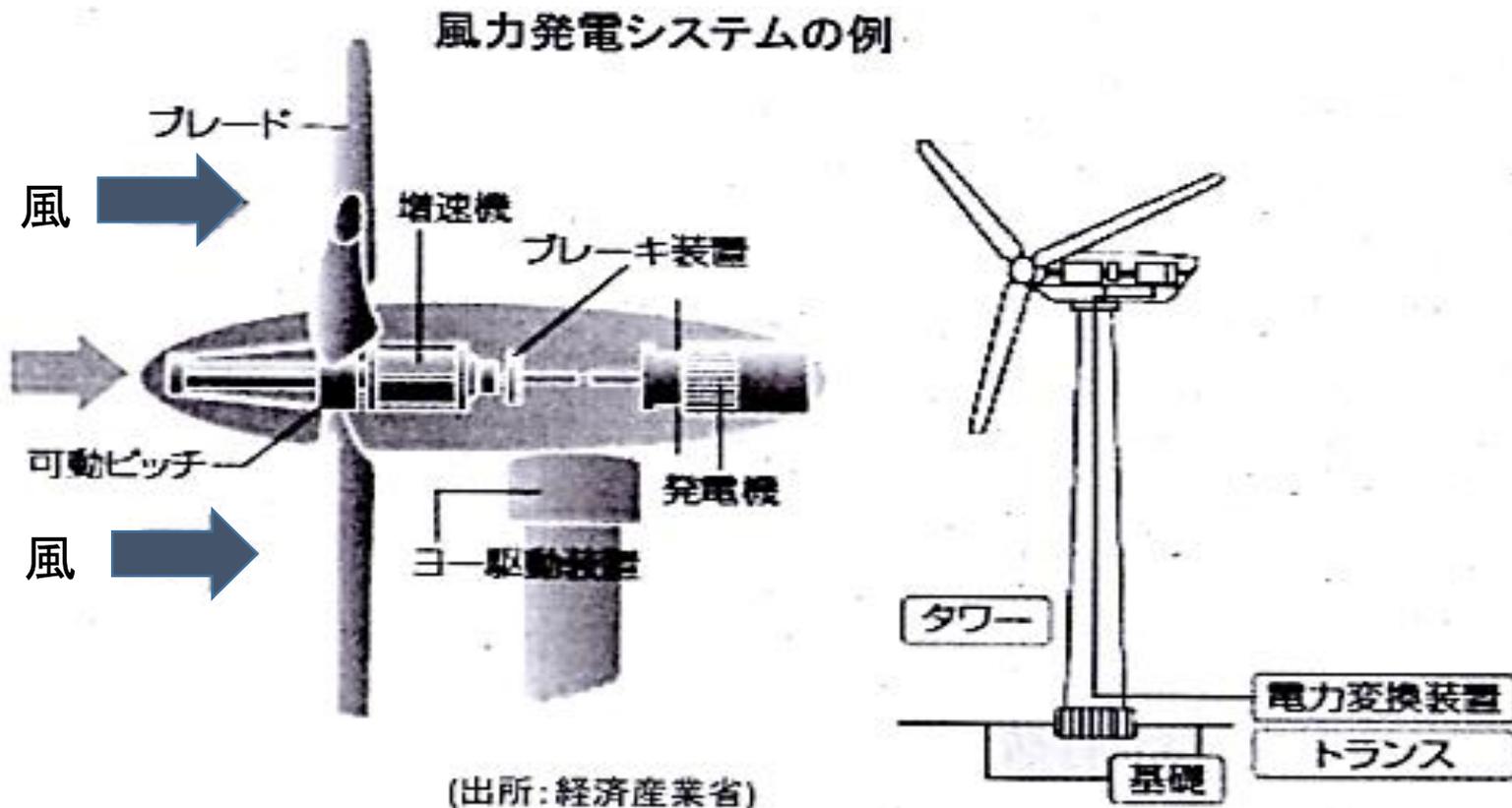


都合の良い研究があるもので、アルコールと水が混じっている液をゼオライトと言うセラミックを通すと、水だけが通過してアルコールと分離できる。

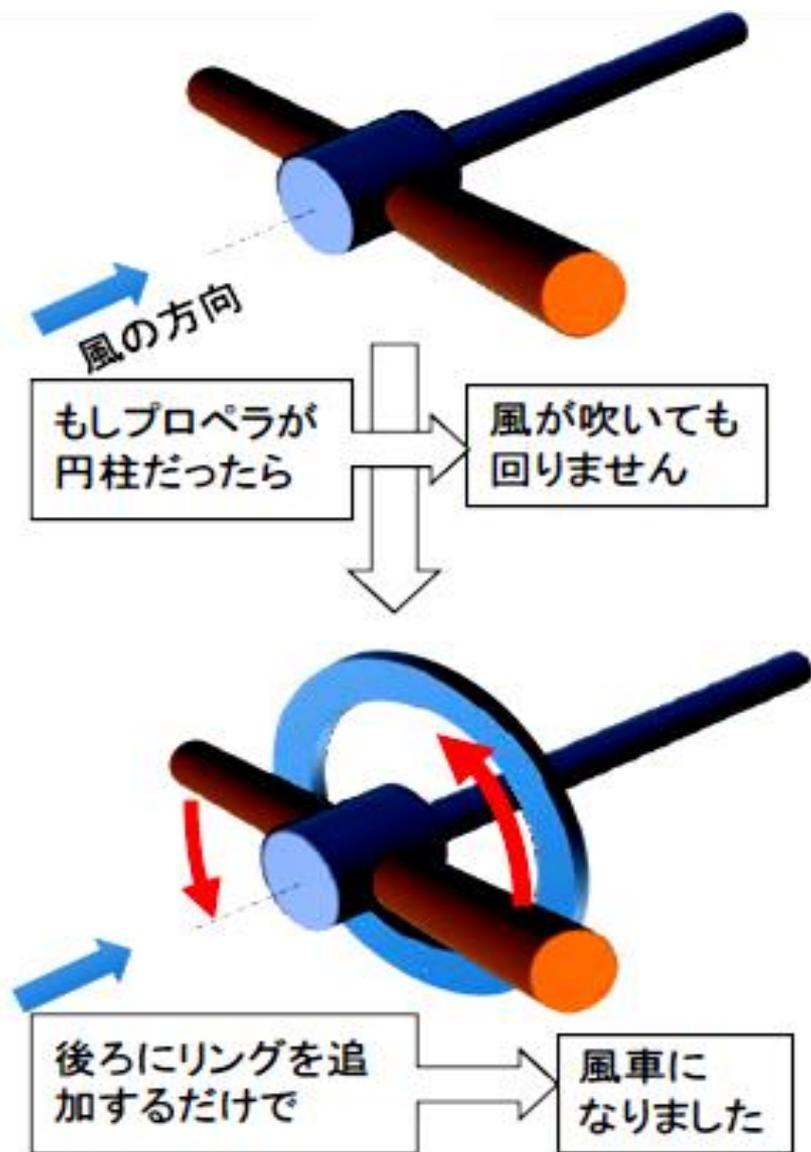
3. 太陽光発電

日本では、風力発電は今一

欧米では、風力発電の風車を人家から遠く離れた丘陵地や海岸で良く見かける。風車を設置する条件としては、風が常時吹いていること、騒音が出るので人家から離れていること、設置が容易なこと、電源ケーブルが引き易いことなど、色々な条件があり、日本では適地が少ない。洋上での風車が検討されているが、遠浅の海岸が少なく、浮遊式が検討されているがコスト的に不利である。導入量では、中国が世界の35%で多い。



改良型風車の一例



円柱翼風車

長岡技術科学大学 技学研究院 機械創造
工学専攻 高橋勉教授の試作

翼の後部のリングが回転力を生み出す。
カルマン渦とは流れの中に物体を置いたとき、
後方に生じる渦の列であり、これを無くすことで
効率が向上した。

この風車の利点は、さまざまな強さの風に対応
できることで、通常風車は弱風では回転しないし、
強風では機器の破損を防ぐためにブレーキをかけて
いる。つまり秒速3m～15mの風だけを利用している。

これに対して、円柱翼風車は秒速1.5mの風で
回り始め、30mまでは風速と回転数が比例する
ことを確認している。

4. 電気を蓄える

電池;ボルタ氏の発明

アレッサンドロ・ジュゼッペ・アントニオ・アナスタージオ・ヴォルタ伯爵
(Il Conte Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta、[1745年2月18日](#) - [1827年3月5日](#)) 何という長い名前。

ボルタ氏は、2種類の金属をカエルの脚に接触させると、その筋肉が痙攣するという現象を発見した。彼はカエルの脚の代わりに食塩水に浸した紙を使い、それを2種類の金属で挟むことで電気の流れが生じることを確かめた。ボルタ電池の発明である。



現在、電圧の単位はボルタ氏に因んでボルトであるが、もし、アレクサンドロ……ヴォルタだったら大変。

学校教材の宣伝(左図)

銅板と亜鉛版のイオン化傾向の差を利用したボルタ電池の実験ができるセットである。低電流で起動する電子オルゴールをセットしており、希塩酸のほか、レモン汁やスポーツドリンクなどの身近な液体で実験が可能である。



4. 電気を蓄える

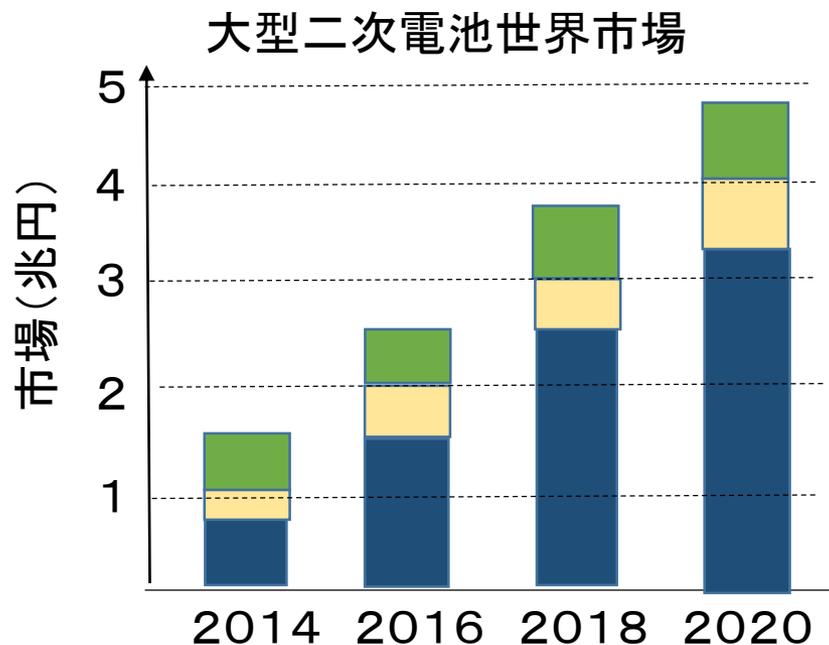
日本メーカー頑張るリチウムイオン電池

リチウムイオン電池は、携帯機器や電気自動車などに使われ、二次電池の代表となっている。旭化成の吉野氏の執念で実用化され、ソニーが最初に商品化したため、色々な部材は、下表のように日本企業が活躍している。ただし、色々な材料毎に多くのメーカーが入り乱れているようである。

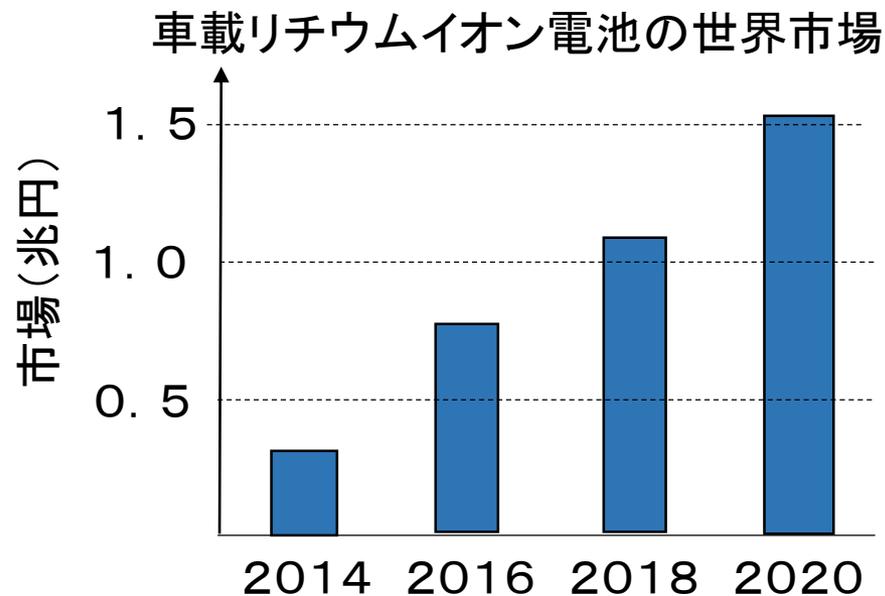
材料	金額(億円)	シェア	日本メーカー
正極材	2100	22%	日亜化学、住友金属鉱山、三井金属鉱業、戸田工業、日本電工、日本化学工業、パナソニック、本庄ケミカル
負極材	673	50%	日立化成、三菱化学、JFEケミカル、日本カーボン、クレハ、昭和電工、信越化学、新日鉄住金
電解液	687	42%	三菱化学、宇部興産、セントラル硝子、富山薬品、三井化学、ダイキン
セパレータ	1053	55%	旭化成、東レ、住友化学、宇部興産、三菱樹脂、帝人

二次電池市場は急増する

新興の自動車メーカーのテスラとパナソニックが共同で、ネバタ州に全産業と通じて世界最大となるリチウムイオン電池工場を建設と伝えられている。これまで主にPCやスマホに用いられてきたリチウムイオン電池が、電気自動車に本格的に使われる時代となってきた。富士経済の調査では、市場はうなぎ登りである。



出所;富士経済

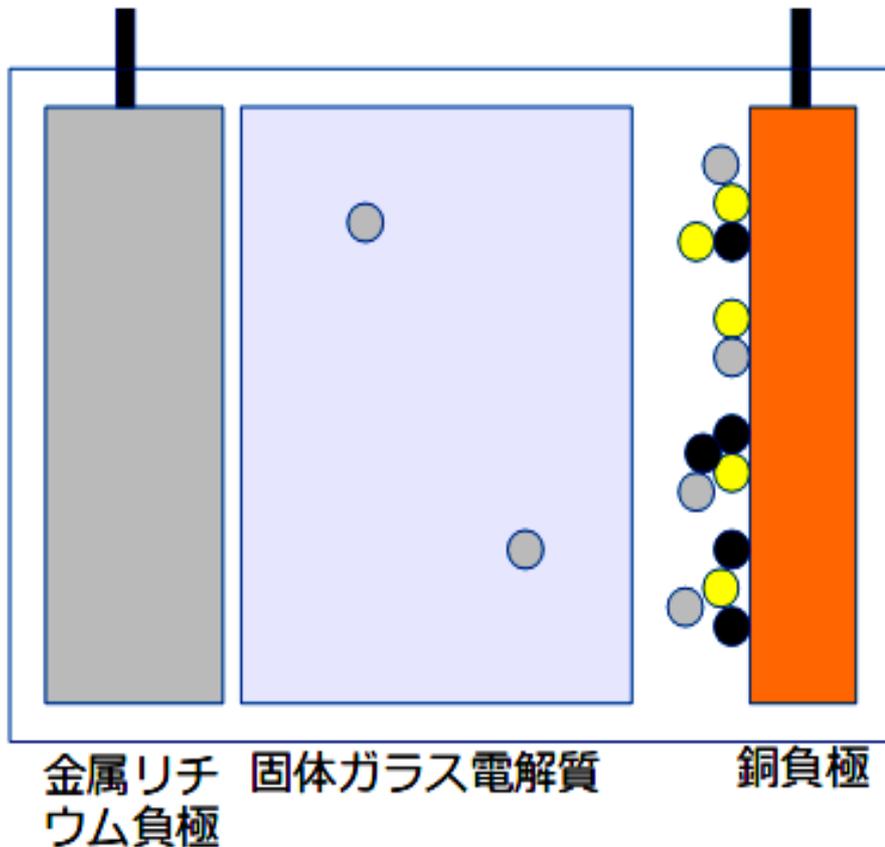


出所;富士経済

4. 電気を蓄える

全個体電池が望まれる

リチウムイオン電池は、電気容量も大きくて長持ちするので、電子機器に数多く使用されているが、最大の欠陥は、まれに異物がセパレータを破ってショートし発火することである。固体電池なら安全と考えられる



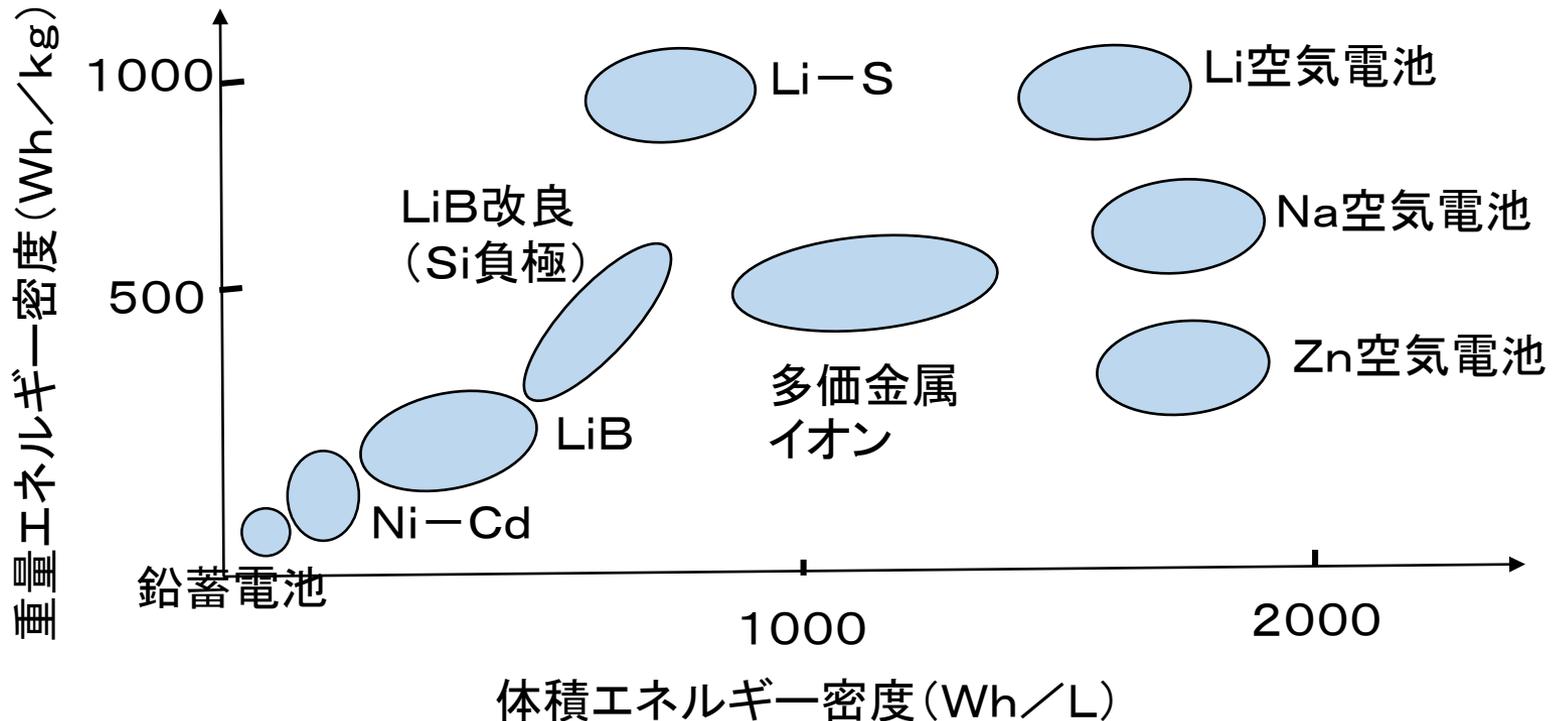
左図は、米テキサス大学オースチン校 John Goodenough 氏の開発である。正極と負極の間にガラス質の固体電解質膜をはさんだ。従来の全固体蓄電池と比較して正極と負極が接触する確率が下がる。安全性が確保できないとして避けられてきた金属リチウムの板を負極に用いることができたのはこのためである。正極は硫黄インクを表面に塗布した銅板。

図の灰色の丸はリチウムイオンまたは中性のリチウム、黄色の丸は硫黄、黒丸は炭素(カーボンブラック)を表す。

4. 電気を蓄える

改良型の電池が色々

リチウムイオン電池は、これまでの馴染みのある鉛電池やNi-Cd電池に比べれば、重量エネルギー密度や体積エネルギー密度が優れている。しかし、携帯電話をより軽く、充電が必要になる期間を長くしたい、或いは電気自動車の航続距離を伸ばしたいという要求から、下図のような色々な提案がされている。ただし、例えば空気電池は充放電で膨張収縮を繰り返すので寿命が保証できないなど問題が山積している。

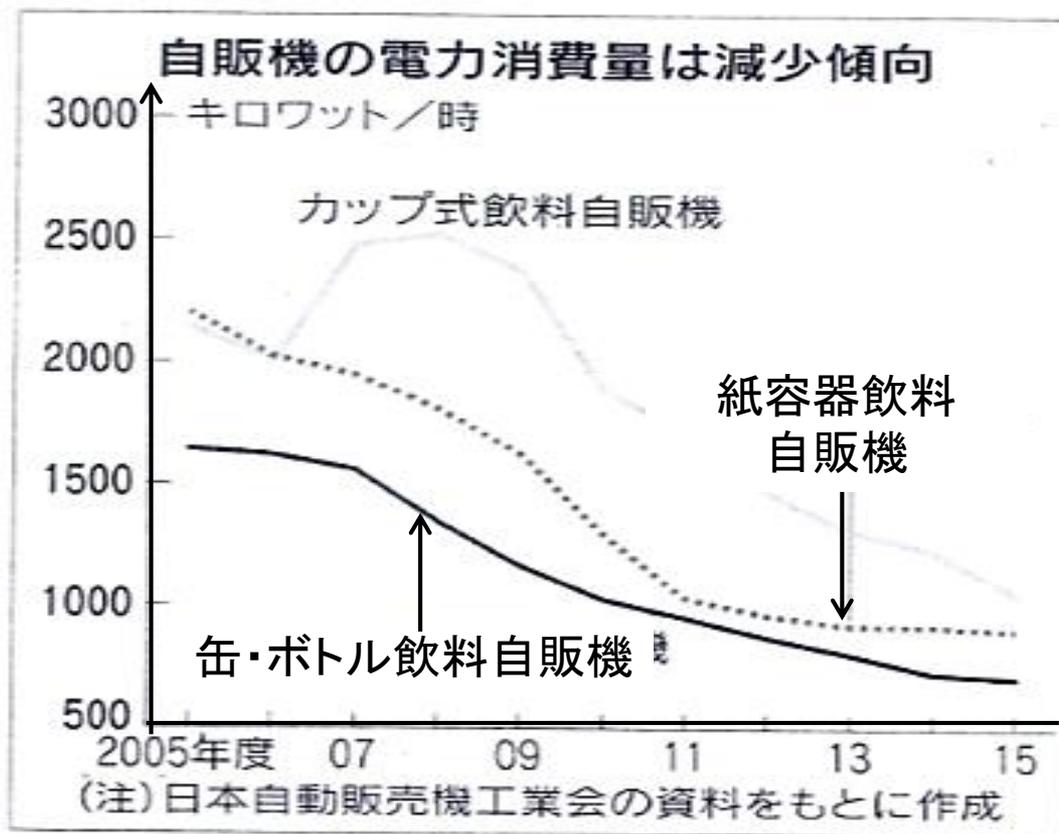


このグラフは筆者の主観によるもので、数値は保証できない

4. 電気を蓄える

電気を使わない、省エネこそ重要

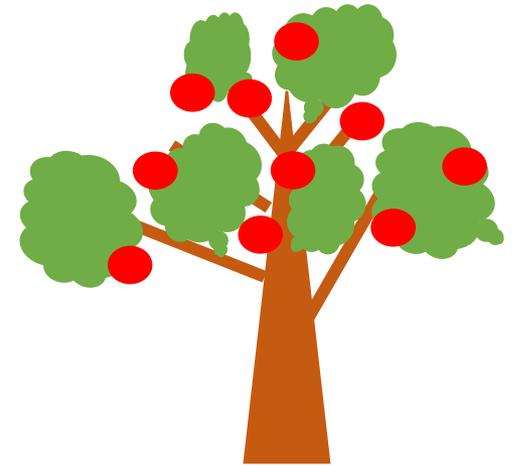
省エネについては、色々な話題があるが、下のグラフはちょっとしたデータである。筆者はかねてから、太陽光が当たる場所に立っている自販機は、冷却の電力を食っているのもで馬鹿げていると思っていたが、グラフによると画期的な改善がなされているらしい。



エネルギーハーベスティング

我々の身の回りはエネルギーだらけである。ほとんど捨てている。これを収穫しようと言うのが Harvesting である。例えば、高速道路に圧電素子を敷き詰めれば、自動車が通る度に発電してくれる。電車の改札口の人が通るところに圧電素子を引いた例がある。

IoTは、どこか遠方にセンサーを設置する場合があるので、エネルギーハーベスティングの電源と小電力の回路を使ってデータを無線で送るのが良く、実用化されている。



Harvestingとは、
実を採ること

エネルギー源	例	単位面積当たりのエネルギー
振動	歩行、モーター、道路、橋梁	$10^{-3} \sim 10^{-4} \text{W/cm}^2$
光	照明、室内日光	10^{-4}W/cm^2
熱	車の廃熱、体温	10^{-5}W/cm^2
電磁波	放送波、無線LANの電波	10^{-6}W/cm^2

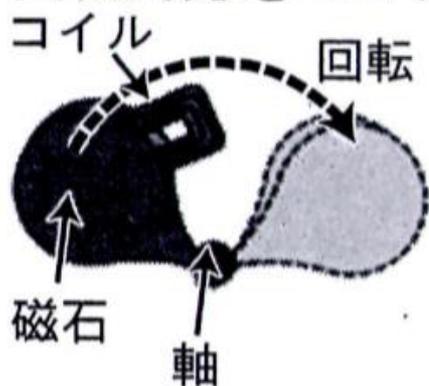
荷物カートを転がして発電

キャスタービーコン(スター精密と大日本印刷が開発)

荷物カートや什器などのキャスター内部に、電磁誘導型回転式発電ユニットとビーコン回路を搭載している。カートが動く際の車輪の回転力を利用した「エネルギーハーベスト」により、ビーコンを動作させる電力がまかなえる。約0.8mの移動で、電池タイプのビーコンと同等の電波を発信できる。一般的なショッピングカート、台車、カゴ車などの車輪を交換するだけで利用可能である。

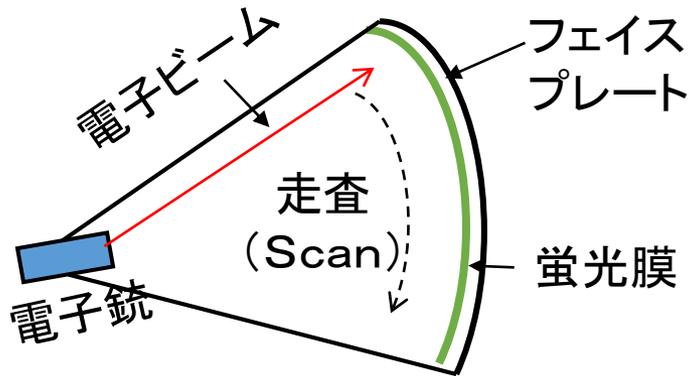
工場・倉庫や商業施設での人やモノの動きを可視化でき、IoTサービスができる。

キャスタ内部の電磁誘導型
回転式発電ユニットの構造

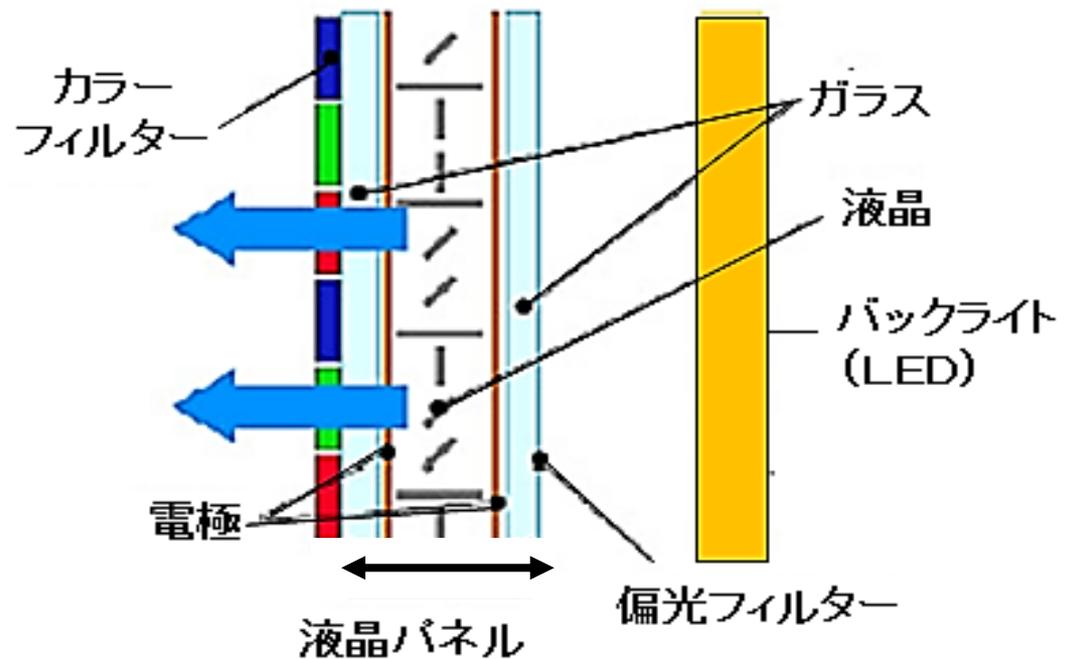


5. ディスプレイ

ディスプレイパネルの変遷



①ブラウン管時代が長く続いた



②液晶への転換は、かなり急速に行われた。
これにより、ブラウン管の巨大産業が消滅した。

有機ELテレビは、2007年にソニーから発売されたが、コスト高でビジネスにならなかった。その後、韓国のLG社が開発に注力し、現在、パネルを生産している唯一のメーカーである。(ただし、色フィルターを用いた簡易型)。スマートフォン用は、サムスンが数年前から生産しており、技術的には完成の域に達している。

5. ディスプレイ

液晶ディスプレイは中国にお任せ

ターンキー(Turn key)という言葉がある。設備を設置して鍵を回せば生産が開始されるという意味である。技術は要らない。投資する資金さえあれば生産できる。

中国の大型液晶パネル工場の稼働状況

社名	地区番号	所在地	投資額(元)	世代	月産(万枚)	稼働時期
京東方(BOE)	1	北京		8.5	9	11年稼働
	2	合肥		8.5	9	14年2月稼働
	3	重慶	328億	8.5	9	15年3月稼働
	4	福州	300億	8.5	12	17年Q2稼働予定
	5	合肥	458億	10.5	9	18年Q2稼働予定
華星光電(CSOT)	6	深圳1工場		8.5	10	11年稼働
	7	深圳2工場	244億	8.5	10	15年3月稼働
	8	深圳3工場	538億	11	14	19年Q2稼働予定
シャープ+CEC	9	南京	291.5億	8.5	6	15年3月稼働
LG+創維	10	広州	40億ドル	8.5	7	14年9月稼働
サムスン電子	11	蘇州		8.5	6	14年2月稼働
CEC	12	成都	280億	8.5	7	建設中
	13	咸陽	280億	8.5	12	17年8月稼働予定
恵科(HKC)	14	重慶	240億	8.6	7	17年2月稼働
	15	昆明	400億	11	9	計画中
SDP	16	広州	610億	10.5	9	3月着工、19年量産

(各社の発表による)

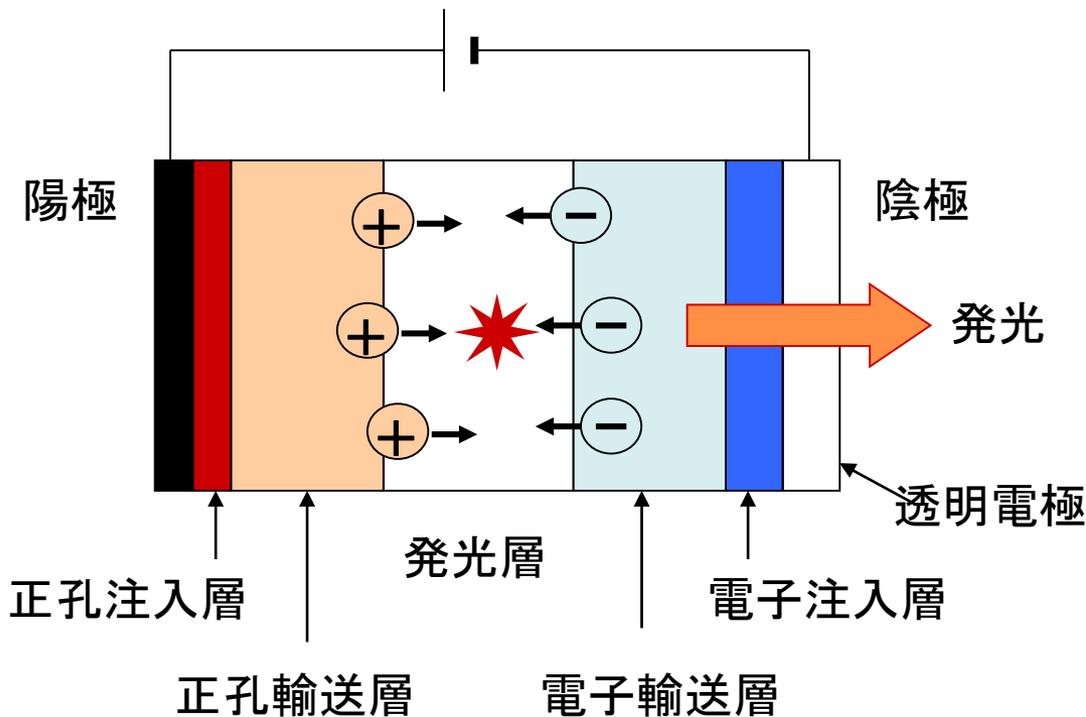
日米の装置メーカーが、ターンキーに対応できる装置を作成し、その装置での生産を指導したため、今や中国が液晶ディスプレイの王国になるうとしている。同様の現象が、LED、太陽光発電にも言える。ただし、構造が複雑なLSIでは、設備投資だけでは生産できないようである。

5. ディスプレイ

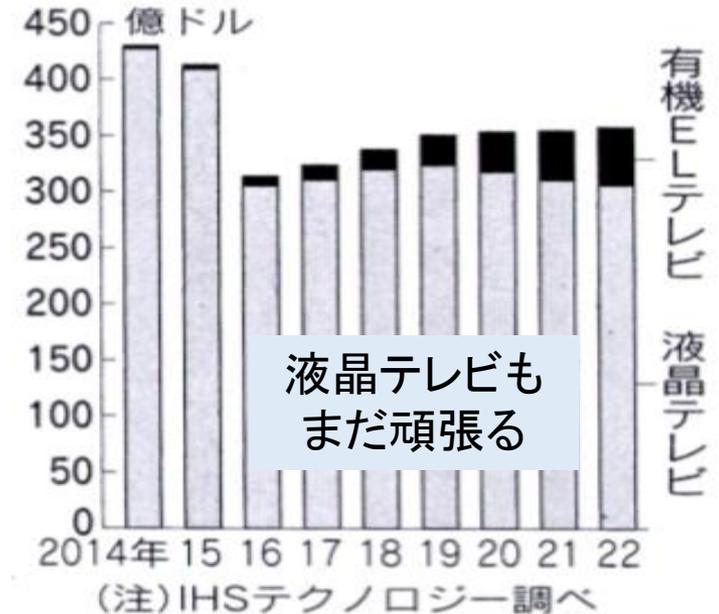
有機ELディスプレイ

発光の原理

原子や分子がエネルギーを得て励起状態になると、一定のエネルギーを放出して基底状態へ戻る。この時、特定の波長の光を出すのがルミネッセンスで、与えるエネルギーが電氣的ならEL (Electro Luminescence) と呼ばれる。その原理は下図のように電子と正孔が再結合して放出されるエネルギーで有機分子を励起し、基底状態に戻る際に発光する。

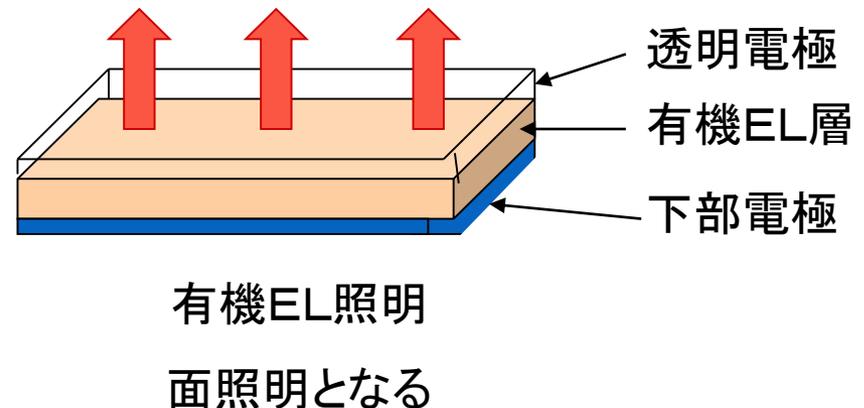
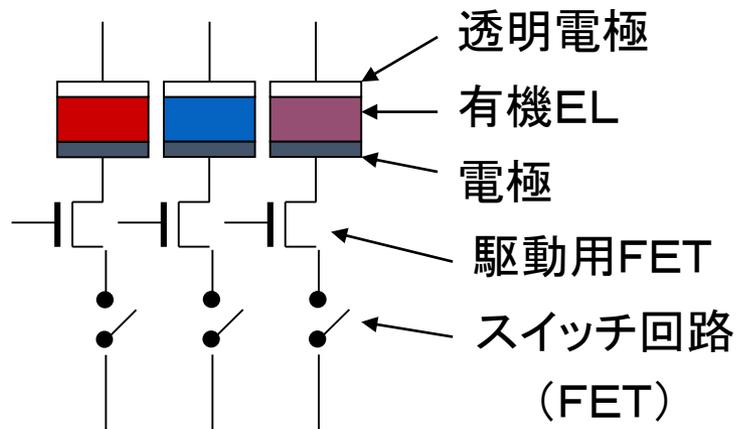


有機ELテレビの市場は拡大を見込む



有機ELは、カラーディスプレイとして注目されているが、発光効率が蛍光灯に近くなってきたので一般照明としても用いられ出した。

カラーディスプレイは、下図左のようなRGB画素が必要で、更に画素に対応した回路も必要で構造は複雑である。照明用は下図右のように構造的には単純であるが、演色性などが要求される。



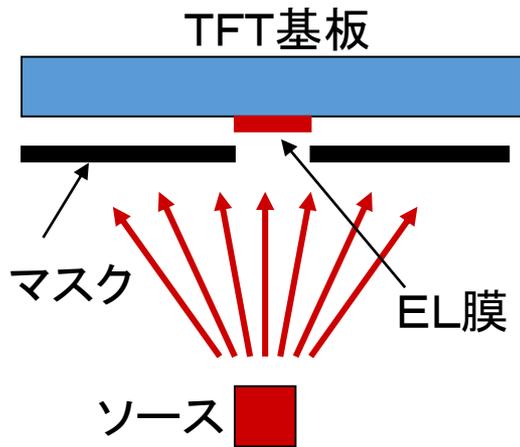
カラーディスプレイ、RGB画素
各画素選択用のスイッチFETと電流駆動用FETが必要で、バックプレーンと呼ばれる。

FET; Field Effect Transistorの略で、通常はMOS構造のトランジスタであり、MOS FETとも呼ばれる。

5. ディスプレイ

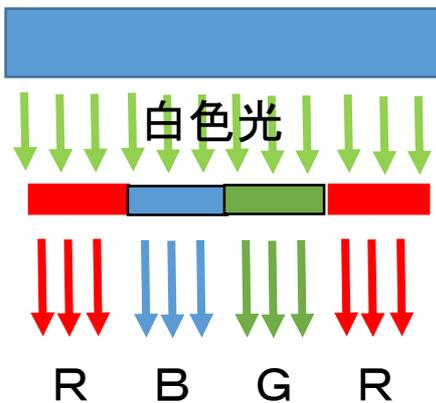
有機EL、RGB3色塗り分け

低分子有機EL材料を採用する場合、金属マスクを通して所定の場所に蒸着するマスク蒸着法が一般に用いられており、下図は赤色しか示していないが、マスクをづらしながら緑、青と3色を蒸着する。大型ディスプレイには大型マスクが必要で、マスクの変形などの問題があり、大型テレビ用の実用化のためにはこれらの解決が急がれている。レーザー転写や印刷法は高分子材料を用いるが、発光効率や寿命の点でまだ実用化に十分とは言えない。この他に、白色光源に色フィルターを載せる方法もある。



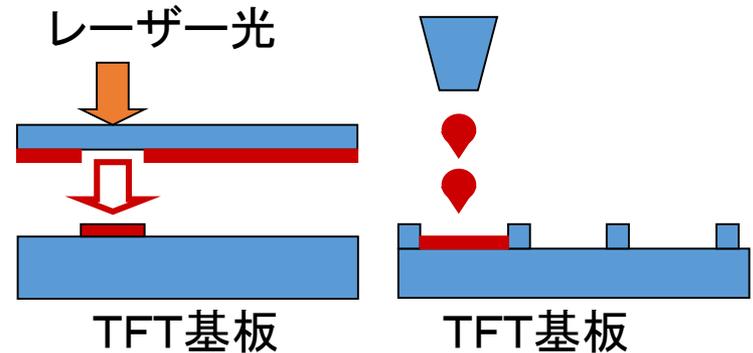
①マスク蒸着法

サムスンがスマホ用の有機EL生産に用いている生産方法



②白色光+色フィルター

LGがテレビ用パネルの生産に用いている方法



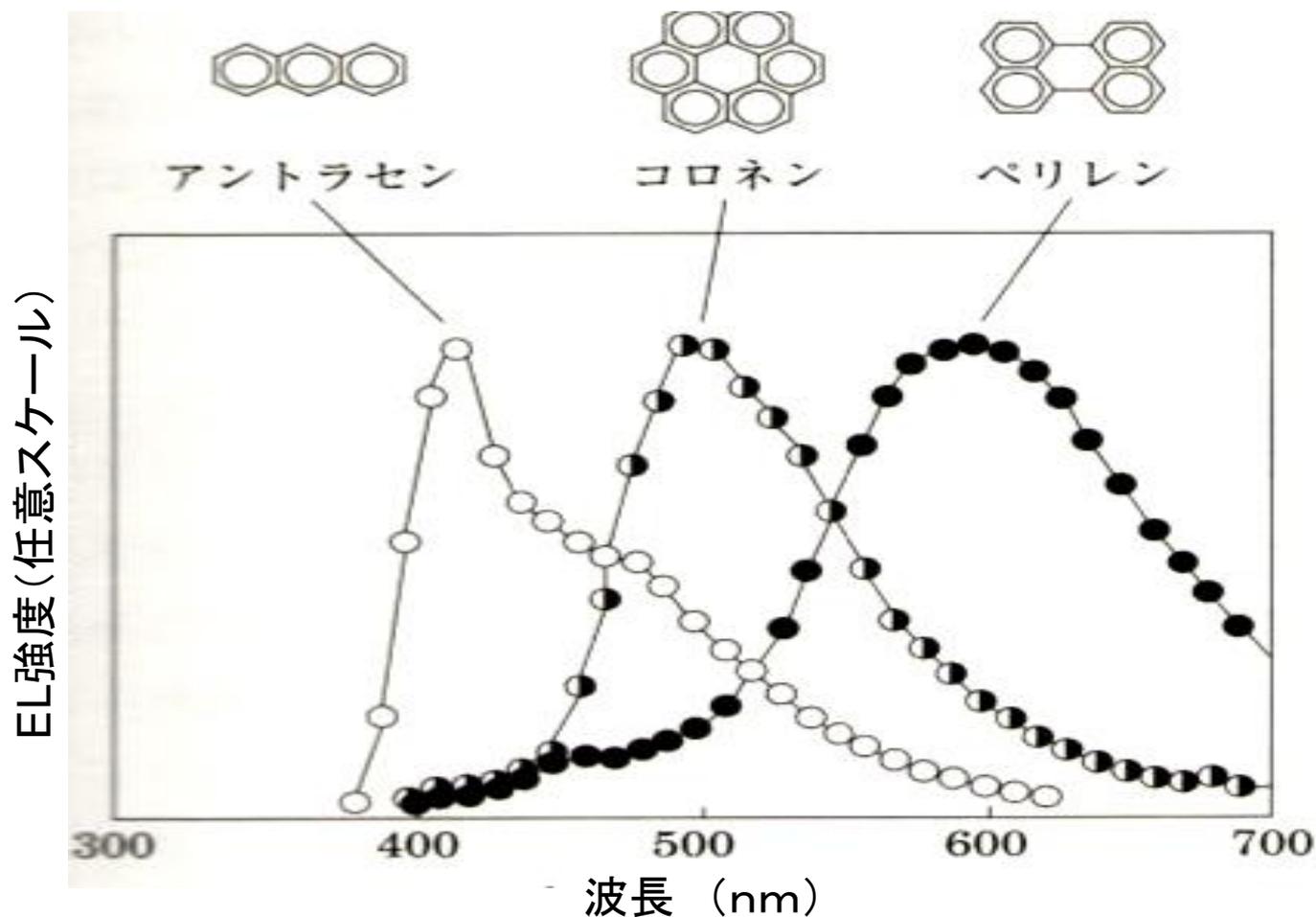
③レーザー転写法

④印刷法

安価に量産できると期待されている

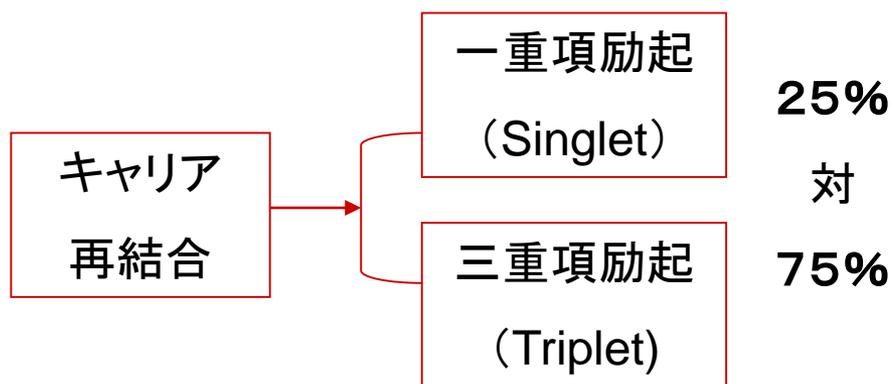
カラーを実現する有機EL材料

カラー表示用のRGB有機EL材料としては、ペリレン、コロネン、アントラセンが早くから開発されたが、現在実用化が進む構造も、これを基本にしている場合が多い。

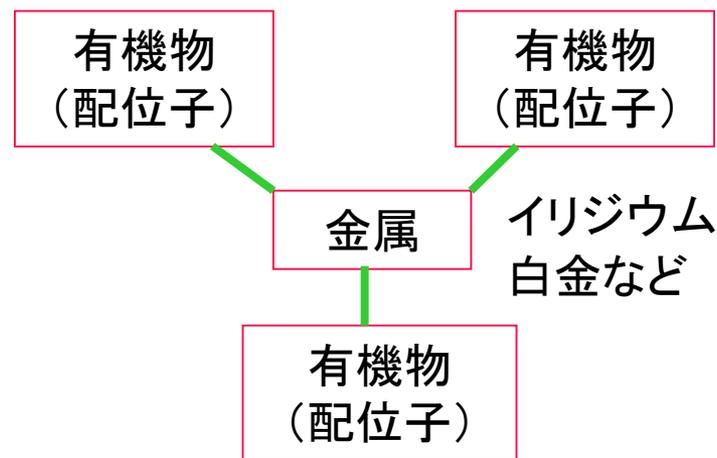


発光材は、蛍光と燐光

蛍光塗料を塗った蛍光ペンは、光を当てている間は光るが、消すとすぐに消えてしまう。一方、時計などの夜光塗料は、燐光であり長時間光っている。蛍光と燐光は、単に発光時間の差だけでなく、キャリア再結合での励起状態への移行が異なっている。蛍光物質では、再結合のエネルギーの25%が励起子となって分子を励起し、燐光では75%が励起に寄与する。従って、燐光の方が3倍発光効率が優れている。発光効率を上げて輝度を上げるには燐光物質の使用が望ましく、価格が極めて高いが化学メーカーの努力により実用化されている。



キャリア再結合と励起子生成割合



燐光物質に多い金属錯体

5. ディスプレイ

折り曲げらるディスプレイ

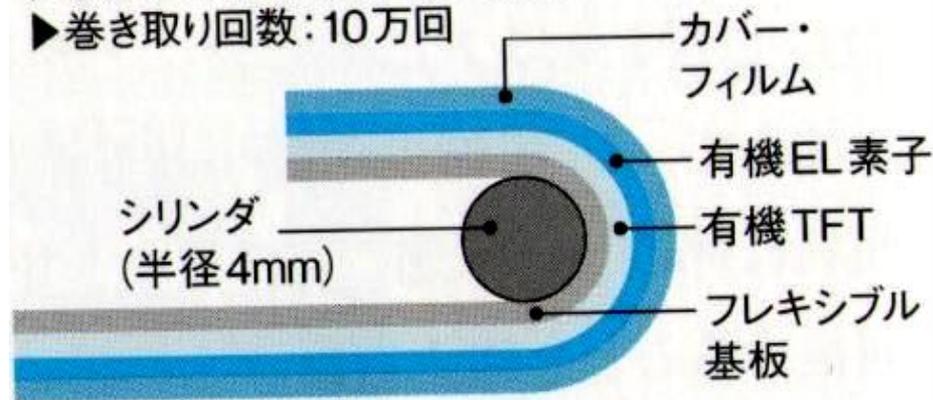
プラスチック・シート基板を利用し、バックプレーンに有機物FETを用いれば、折り曲げられるディスプレイが実現できる。下の写真は東芝が発表したもので、ソニーも同様のディスプレイを試作し、半径4mmで10万回折り曲げても良いと言っている。(折り曲げ中も動作する)

人体や衣服に張り付けるウェアラブル機器には、折り曲げられることが必要である。



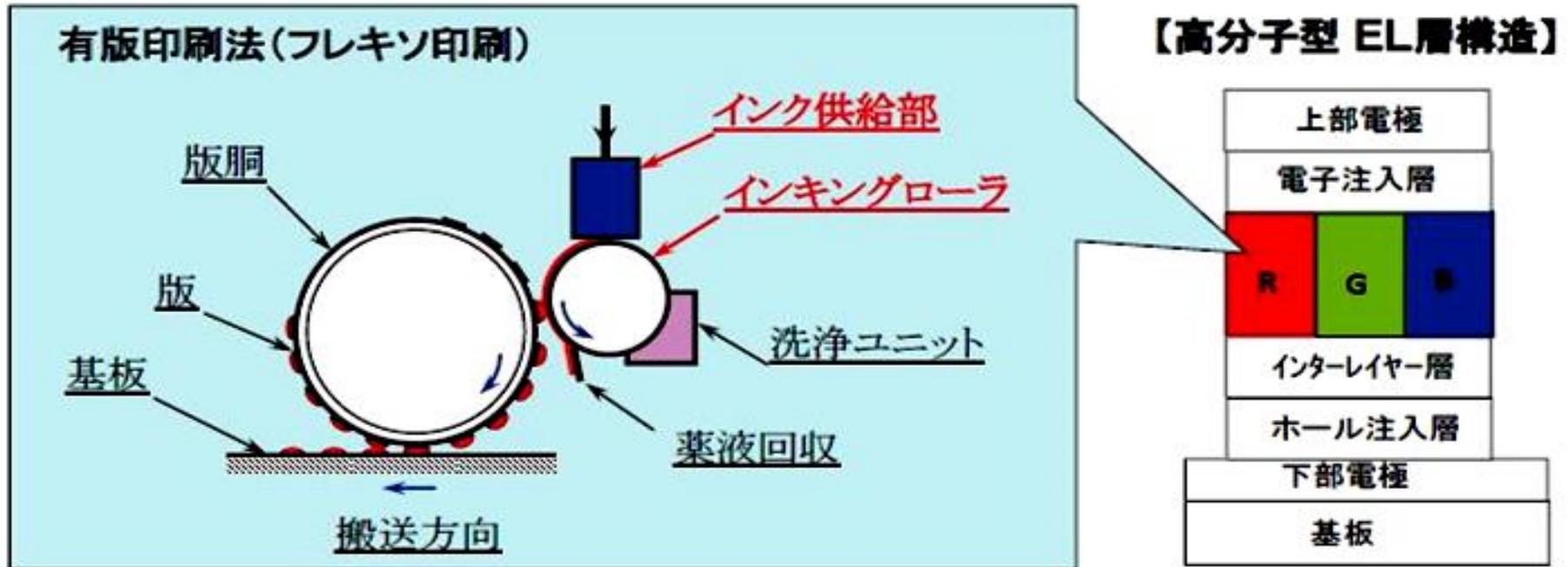
試験条件

- ▶半径:4mm
- ▶巻き取り方向:表示部を外側に
- ▶巻き取り回数:10万回



大型有機ELには、印刷法が有利

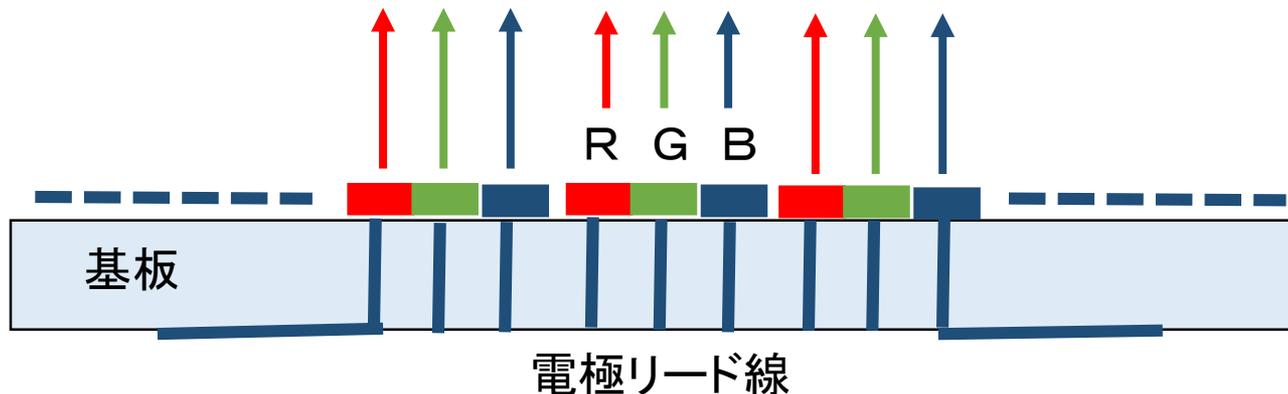
塗布型有機EL印刷法 高生産性が期待される



このような印刷法が使えれば、大型テレビなども安価になる。
各社とも検討していると思われるが、実現のメドがたっていない。

注目されるマイクロLEDディスプレイ

液晶、有機ELについて、次はマイクロLEDによるディスプレイが有望だ。ソニーは、20 μ m角のRGBチップをガラス基板やプリント基板に敷き詰めて、8K \times 2Kの大型ディスプレイを発表した。アップルも中小型で、同様のディスプレイを開発すると伝えられている。青色と緑色のチップは、サファイアまたはGaN基板上に製造されるが、赤色はGaAs基板で製造されるため、RGBを同一基板に製造することは難しいので、別々に作って並べることになる。画質は素晴らしいがコストは？



基板上にR、G、BのLEDチップを敷き詰めたディスプレイの構造
(このポンチ絵は、開発者の発表ではなく、筆者の想像である。)

6. 注目の新素材

新素材；有機物半導体

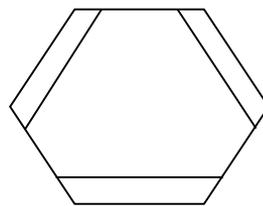
一般の有機物は絶縁物である。ところが共役化合物と呼ばれる二重結合と単結合が交互に連続している有機物は、電気伝導を示す。このような化合物は、 π 電子と言う結晶内を自由に移動できる電子を持っており、これが電気伝導に寄与する。

有機物の導電性は、白川博士がノーベル賞を頂いた研究である。

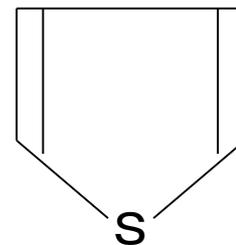
有機物半導体、有機物超伝導、有機物磁性体などの注目される物性は、全て π 電子の働きによっている。



ポリアセチレン



ベンゼン



チオフェン

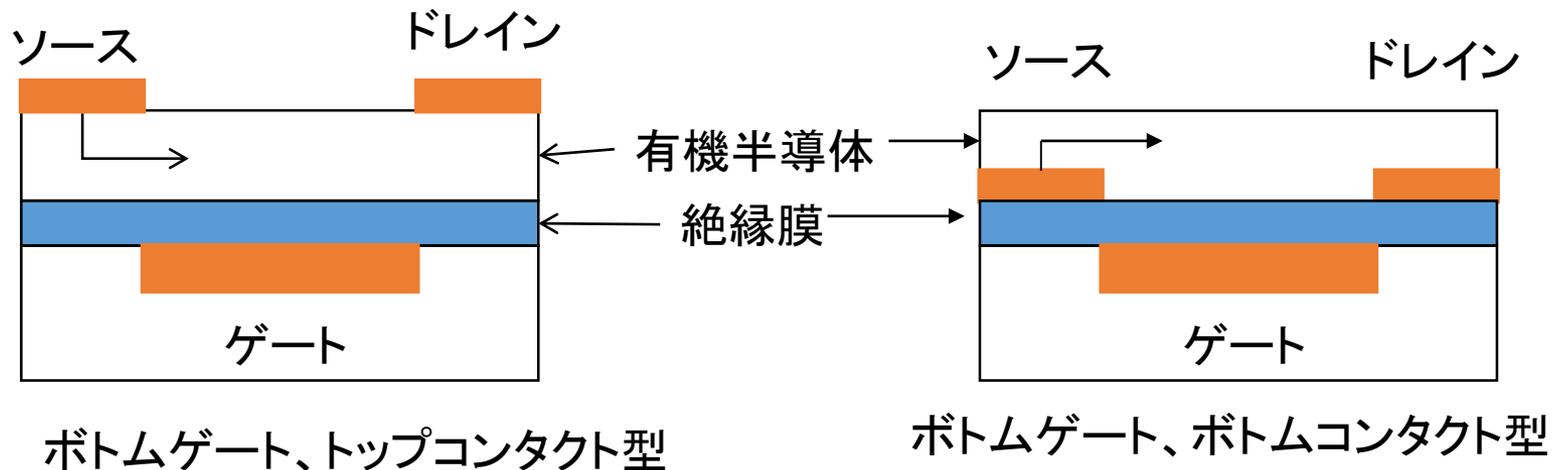
<共役化合物の例>

有機物半導体トランジスタは、一般に下図のような構造が用いられる。

SiなどのMOSトランジスタでは、電荷の電子や正孔はPN接合から供給されるが、有機物半導体トランジスタの場合は異なり、電極から電子や正孔が注入される。

P型有機物半導体は、 MoO_3 のような電極から注入された正孔の移動度が高く、N型は電子の移動度が高い。

ソース/ドレイン電極の位置により、トップコンタクトとボトムコンタクトの2種類がある。電荷はゲート電極に近い界面付近を流れる。



6. 注目の新素材

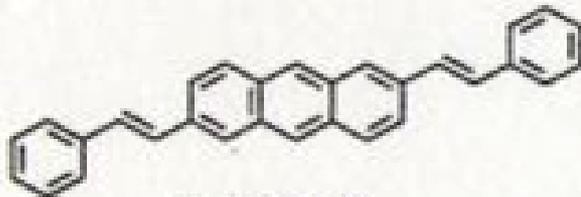
P型N型有機物半導体

P型有機物半導体

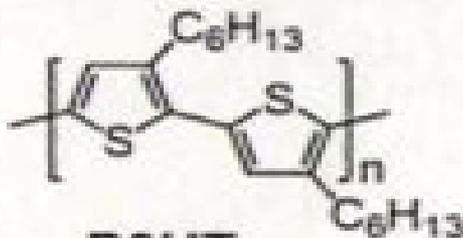
ベンゼン環5個が繋がった共役型有機化合物であるペンタセンや、そのバリエーションが多い。



Pentacene



DPVAnt



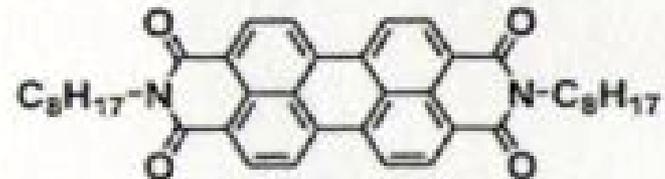
P3HT

N型有機物半導体

ペンタセンのHをFで置き換えると、P型からN型に変わる。多くのN型有機半導体では、末端部の電子受容性置換基を持っているのが特徴である。



Perfluoropentacene

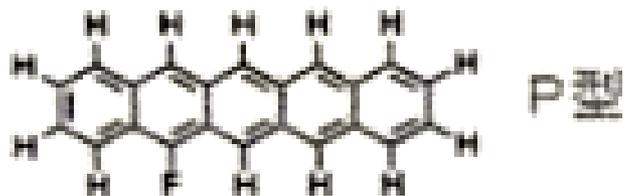


PTCDI

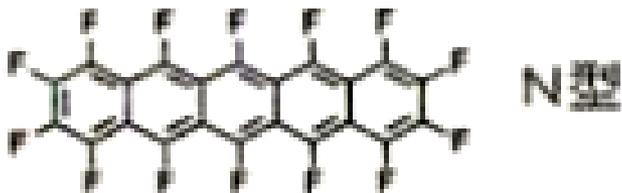
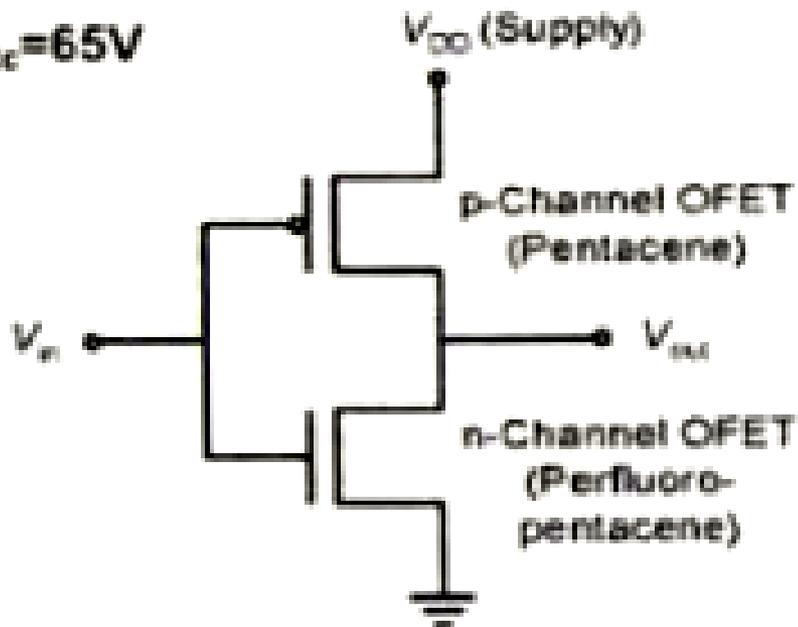
Mobility: 0.6 cm²/Vs

6. 注目の新素材

有機物半導体でCMOSもできる

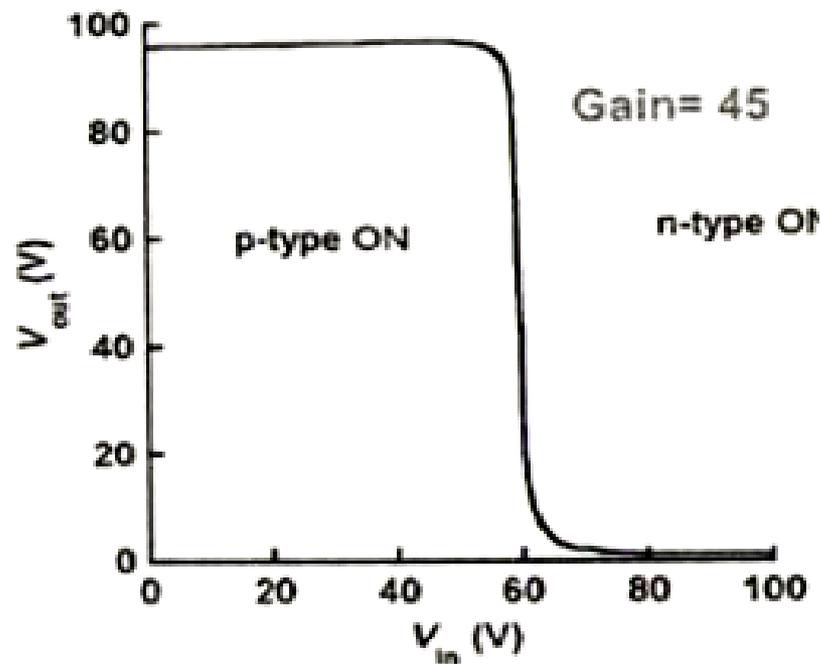


$V_{cc}=65V$



有機物TFTでは、PMOSとNMOSが製作できるので、これを組み合わせたCMOSも作成できる。

図は、ペンタセンのP型を用いてインバーターを作成した例である。



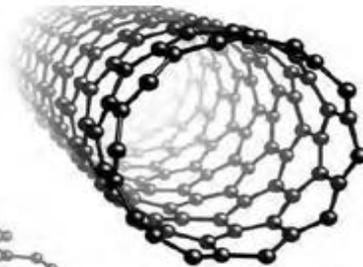
6. 注目の新素材

注目材料カーボン

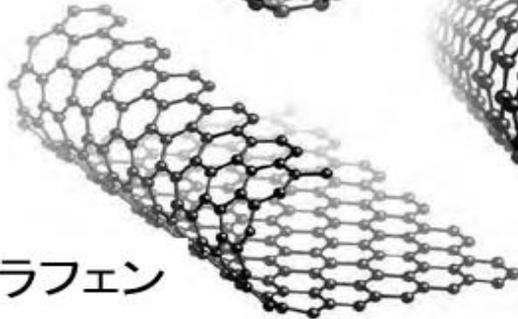
フラーレン
(C60)



カーボンナノチューブ
(単層の図)



グラフェン



驚くべきCNT
(カーボンナノチューブ)

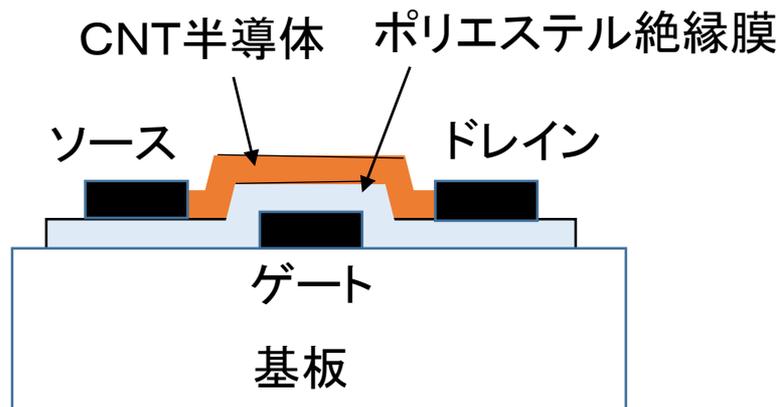
軽くて強い。熱伝導に優れ、柔軟性があり、高電流が流せる。

CNTは強度が強いので、頑丈な梯子を作り、宇宙まで届けようという研究が行われているらしい。

特性	比較
引っ張り強度	高張力銅の20倍
化学的安定	耐薬品性優れる
熱伝導	銅の10倍
柔軟性	原子レベルで屈曲可能
軽量 密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 以下	アルミニウムの半分
高電流密度	銅の1000倍
高電子移動度	シリコンの10倍

単層カーボンナノチューブの物性

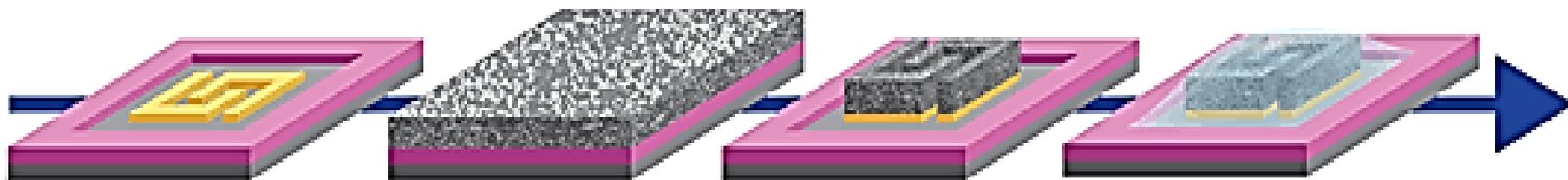
CNT(Carbon Nano Tube)は、電子移動度がシリコンよりはるかに大きく、優れたトランジスタになることが期待されている。東レは、塗布型半導体の電子移動度を $81\text{ cm}^2/\text{Vs}$ に高める製造技術を開発した。920MHz帯の電波を使うRFICタグの電子回路に使い、RFICタグが印刷されたフィルムを商品の包装に使うことが考えられる。トランジスタの半導体部分(ゲート)に今回の材料、導電体部分(配線など)に実用化済みのAgインクまたはCuインク、絶縁部分(ゲート絶縁膜)には絶縁材料をポリエステル基材に形成する。フレキシブルディスプレイ、薄膜太陽電池、バイオセンサーなどへも応用していける。東レでは、将来 $1000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を目指すと言っている。



6. 注目の新素材

超薄型、CNTキャパシタ

アルミ電解コンデンサと同等性能で体積は1000分の1！超小型のCNTキャパシタが産業技術総合研究所で開発された。Cnは、直径が0.4nm～50nm、長さが1 μ m～数10 μ mで、比表面積が大きい特徴を持つ。このCNTを、電極材料とすることで、アルミ電解コンデンサ並みの速さで充放電が可能なキャパシタが実現できた。シリコン基板上に集電体配線と各CNT電極を直列で接続するための電極の隔離壁を作成。その上にCNTを成膜し、リソグラフィにより、くし形電極形状に加工し、電解液を含ませ、封止して実現した。



1. 集電体配線および電極隔離壁の作製

2. CNT成膜

3. くし型キャパシター電極形状にドライエッチング微細加工

4. 電解質含浸、封止

リソグラフィ技術によるCNT集積化マイクロキャパシタの製造法
出典：産業技術総合研究所

6. 注目の新素材

炭素繊維は日本の独壇場

炭素繊維製品の需要ポテンシャル
(11年から20年までの市場規模の増加割合)

航空宇宙



220億円(11年)

↓ 約2.5倍

550億円(20年)

自動車

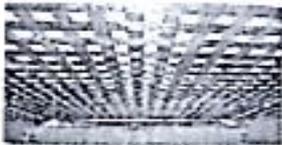


70億円(11年)

↓ 約13倍

910億円(20年)

土木建築



54億円(11年)

↓ 約4.7倍

252億円(20年)

風力発電



215億円(11年)

↓ 約4.1倍

890億円(20年)

炭素繊維
20年
市場規模4,500億円

圧力容器



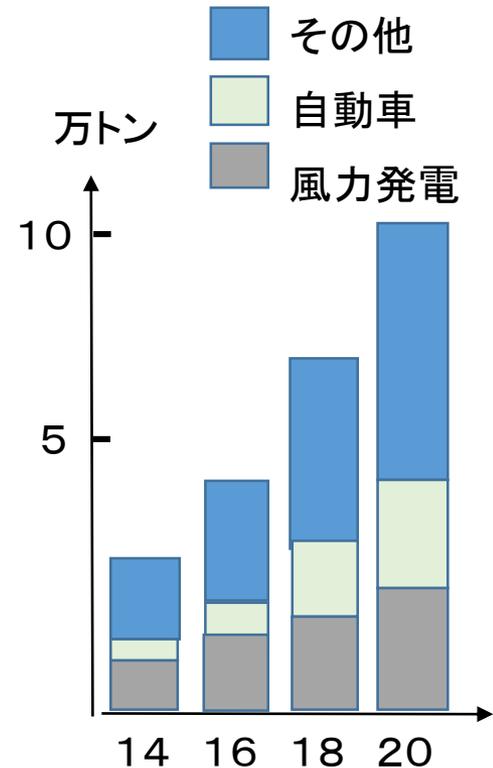
68億円(11年)

↓ 約4.4倍

300億円(20年)

(出所: 経済産業省)

東レなど日本メーカーが世界の60%の生産をしている強い分野である。

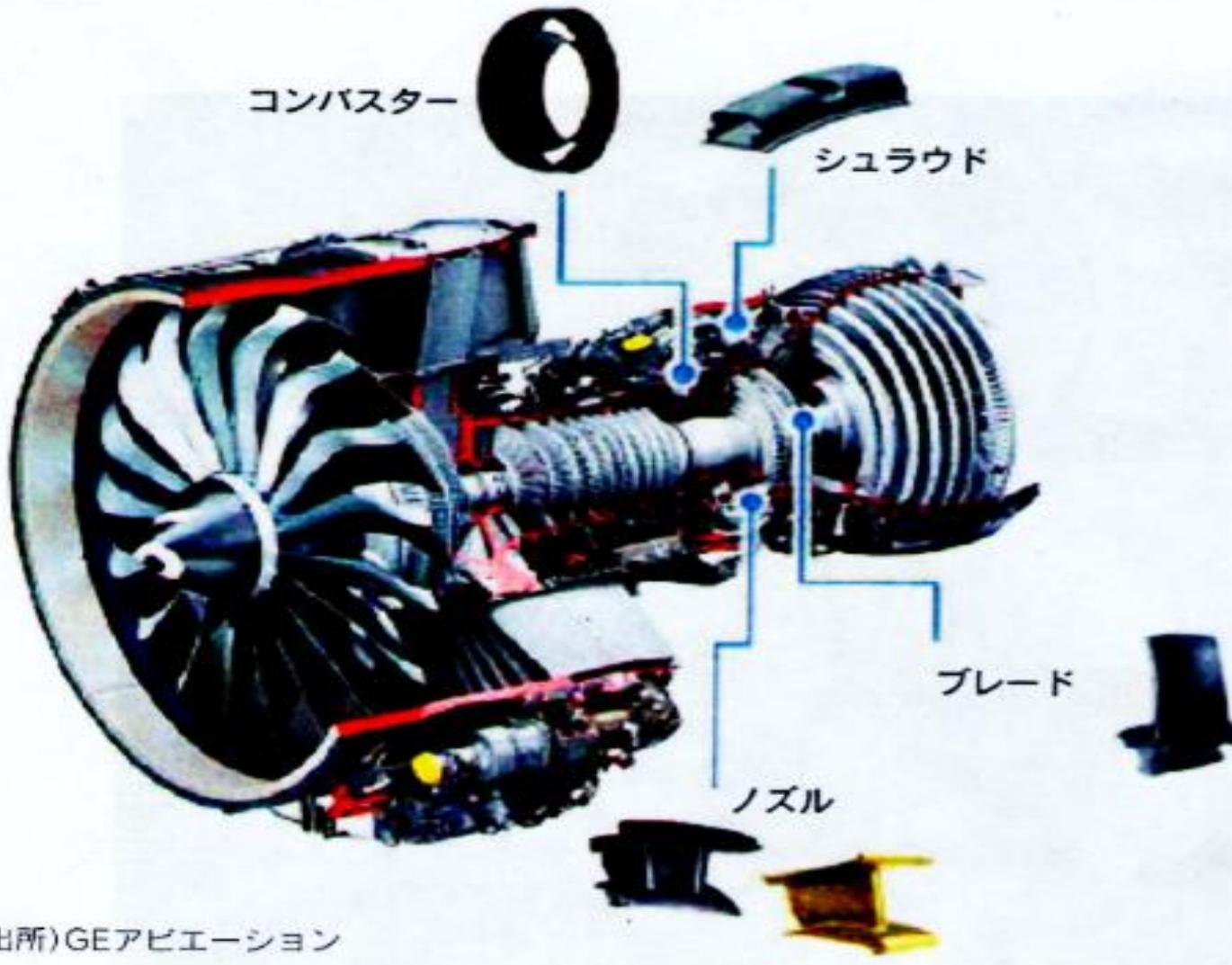


炭素繊維の市場予測

6. 注目の新素材

SiC繊維も登場してきました

GEは次期大型機用エンジンで4つの部品にSiC繊維を用いる

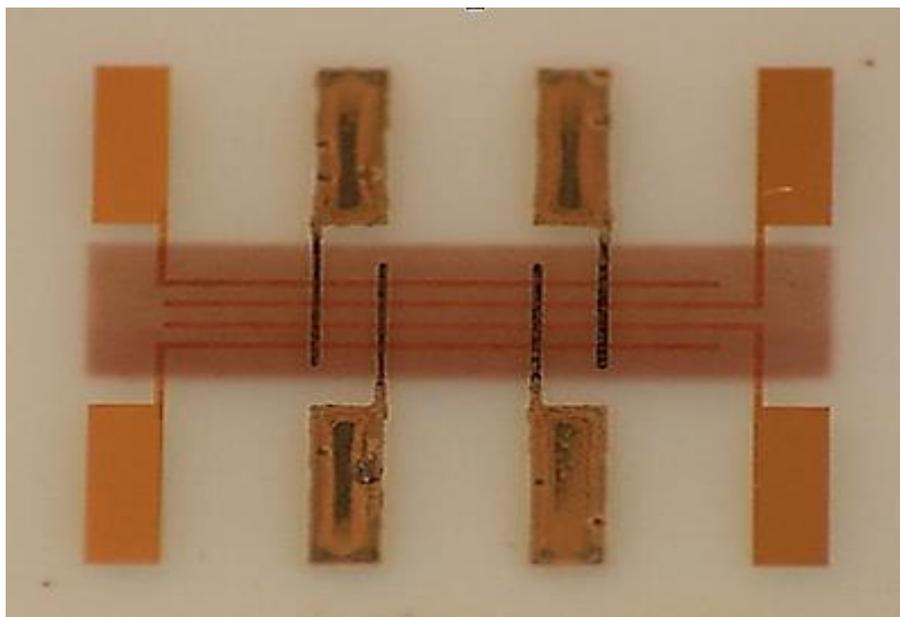


(出所)GEアビエーション

カーボンとシリコンの中間の性質を持つシリコンカーバイトは、半導体・パワーデバイスに用いられて注目されているが、繊維でも強度が優れており、航空機のエンジンに採用されている。

スプレー印刷でメモリー素子

デューク大学の研究者は、エアロジェットでナノ粒子インクをスプレーして、メモリー素子を製作できる技術を開発した。メタノールに溶解する材料なので製作は簡単である。製作されたのは、シリカ塗布の銅のナノワイアで、高抵抗と低抵抗の二つの状態によりメモリーされる。



原理の詳細は不明であるが、RRAM (Resistive RAM) と同じようなメモリーかもしれない。フレックス基板上にRFIDタグを製作したと報告されている。切手を貼るように商品に張り付けるとのことだが、その場合も全ての回路が銅のナノワイアでできるとは思えないが。

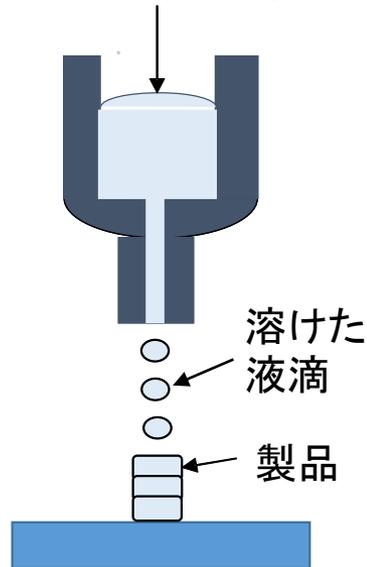
Duke University researchers have developed a new ‘spray-on’ digital memory that could be used to build programmable electronic devices on flexible materials like paper, plastic or fabric.

7. 加工技術

生産革命を起こす3Dプリンター

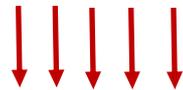
電子部品ではないが、電子機器を製造する装置として3Dプリンターが注目されている。設計図さえできれば金型を作る必要がなく、直ちに製品ができるので、少量多品種の生産や、試作検討などに適している。オバマ大統領も3Dプリンターでアメリカの製造業を復活すると宣言されていた。樹脂を用いて下図の二つの方法で製作するのが一般的であるが、金属やセラミックの製品も作成されている。中には自動車を作ったとか珍しい話もある。

高温で溶けた樹脂



溶けた樹脂を積んで、
構造物を作成する。

UV光



UV光



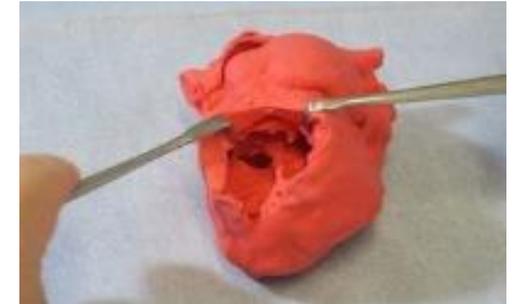
UV光を照射して樹脂を硬化させる原理(左)と、
中空の製品を製作する方法(右)

3Dプリンタは医療でも活躍

3Dプリンターの臨床現場での活用として最も進んでいるのが、患者のCTなどの検査画像を基にした臓器立体モデルの作成だ。3Dプリンターを用いることで、安価かつ迅速に臓器モデルを作れる。

2016年度の
診療報酬改定で
新たに追加

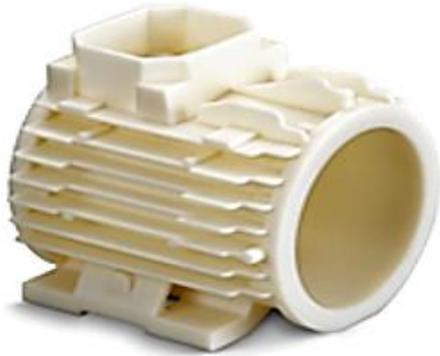
診療科	部位	対象手術
整形外科	四肢骨	大腿骨頭回転骨切り術、 大腿骨近位部（転子間を含む）骨切り術
	脊柱	脊椎、骨盤悪性腫瘍手術、椎弓形成など
形成外科	頭蓋	広範囲頭蓋底腫瘍切除・再建術、 頭蓋骨形成手術など
	眼窩	眼窩骨折整復術、眼窩悪性腫瘍手術など
	中耳	中耳、側頭骨腫瘍摘出術、 中耳悪性腫瘍手術（側頭骨摘出術）
	口腔	口蓋腫瘍摘出術（口蓋骨に及ぶもの）
	顔面	頬骨変形治療骨折矯正術、 顔面多発骨折観血的手術
	顎骨	顎骨腫瘍摘出術、下顎骨部分切除術など



小児の心臓は小さくて複雑である。心臓の立体モデルを使って手術シミュレーションできれば、細かな構造を事前に記憶でき、患者に適した手術方法の立案に役立つ。

立体モデルによる手術支援として保険適用を有する手術

3Dプリンターの作例



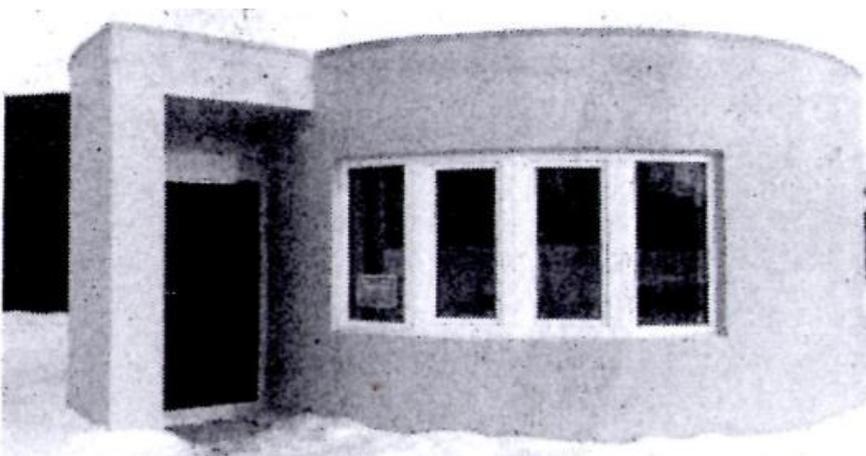
エンジンブロック



可動部分を持つチェーン



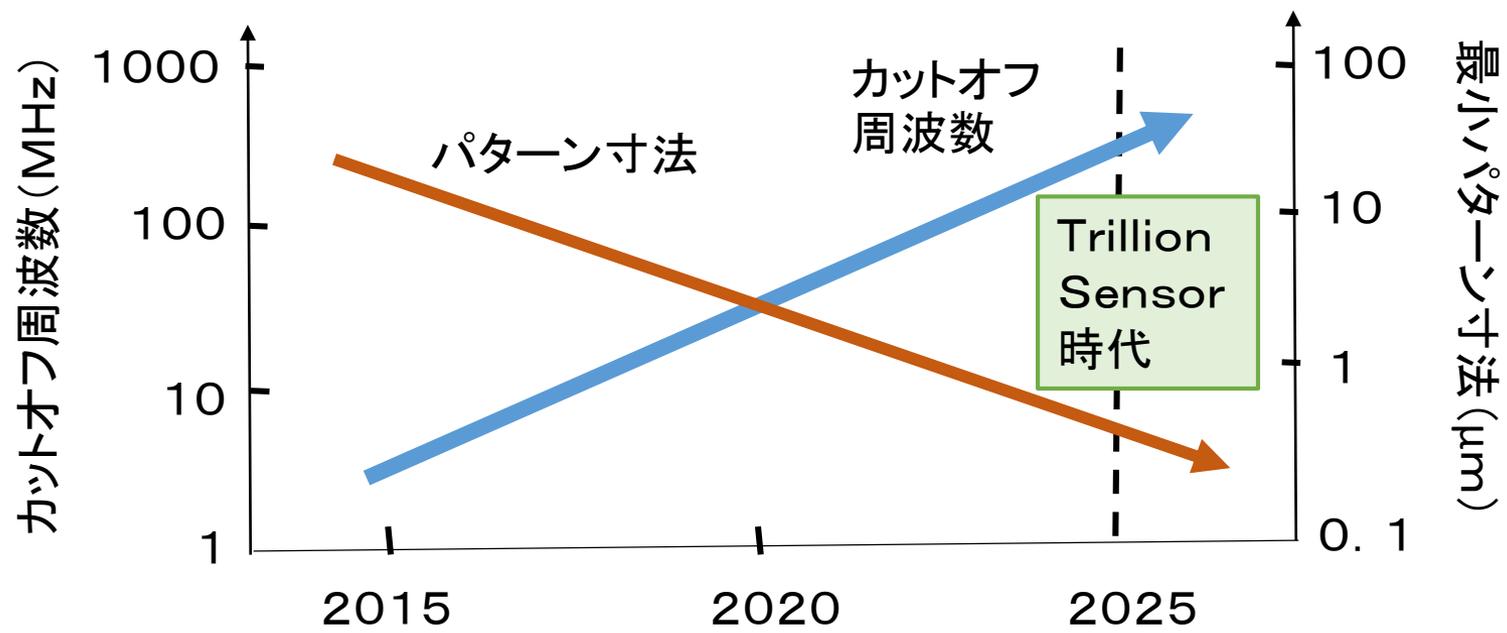
デジタルABSでプリントされたこのツールは、100kgに耐えられる。



コンクリートの建物も3Dプリンターで作る。アームの長さは8mで、そこからコンクリートを吐出。鉄筋の代わりに繊維材を用いた。二人が二日間で作ったそうで、建築費はたったの115万円。

IoTには、R2RのTFTが有望

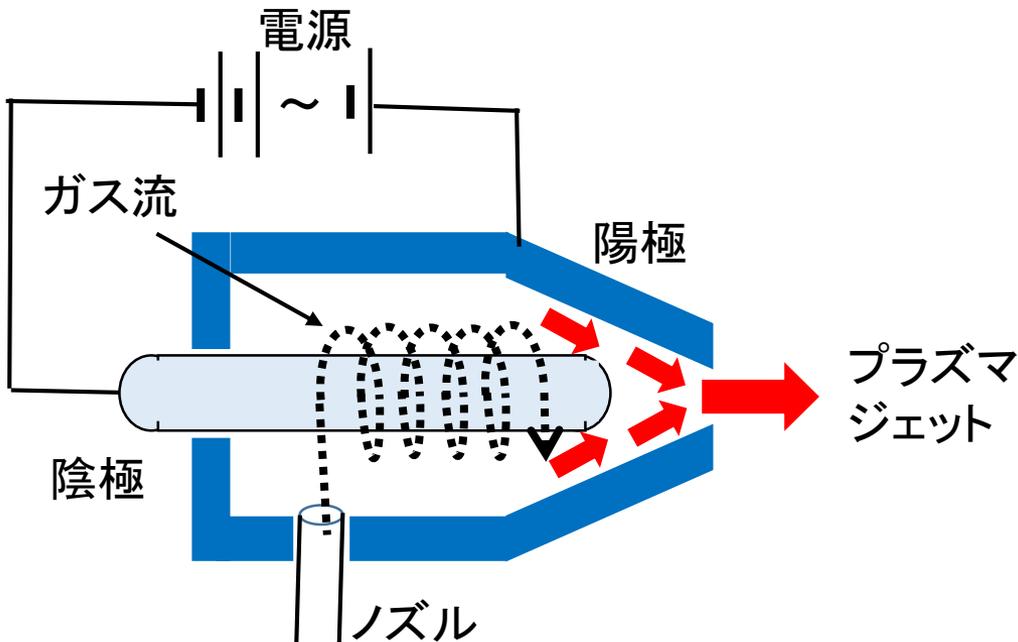
ロールツーロール(Roll to Roll; R2Rと略される)によるTFT(Thin Film Transistor)の生産が期待される。LSIの量産には300mm径のウエハーを用いるが、工場建設には数千億円の巨額投資が必要なのに対して、R2Rならその1/10以下の少額で済む。プラスチック基板に低温でCVD、リソグラフィ、エッチングを連続的に行い極めて低コストでトランジスタが生産される。ただし、TFTの場合は下地との位置合わせが必要で、若干の工夫が必要である。IoTが普及するためには、R2Rの安価な回路が必要とされるだろう。



Roll to Rollで生産されるTFT

超高温を利用するプラズマ加工

プラズマの発生方法として、直流放電、低周波放電、高周波放電、マイクロ波放電などがあるが、いずれも電子にエネルギーを与えて気体中の原子や分子に衝突させてプラズマ状態にする。プラズマの利用では、半導体プロセスのCVDやエッチングがよく知られているが、それよりエネルギーが大きくてマクロの加工ができるプラズマもある。通常の加熱処理では、最高3000℃であるが、プラズマでは10000℃以上でも容易に得られる。下図のような装置で強力なプラズマジェットで加工を行うことができる。

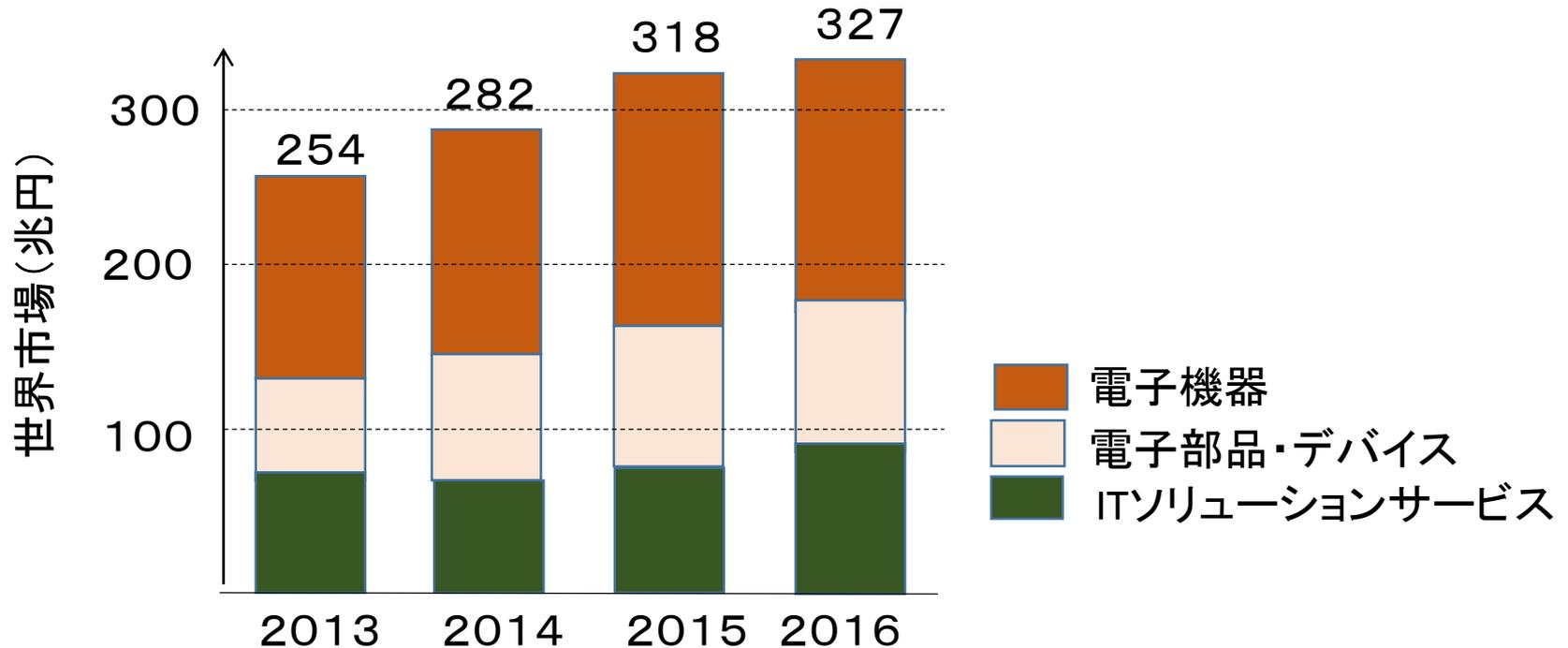


プラズマ加工の種類

- 1) プラズマ溶射; 粉末状のセラミック、金属などをプラズマジェット中に入れ、液体状の微粒子にして固体表面に吹き付ける。
- 2) プラズマ切断; 高温のプラズマジェットで高融点材料を切断する。
- 3) プラズマ溶接; 高融点金属などの溶接が行える。

電子部品・デバイスは益々重要に

電子情報産業は、グラフのように順調な進展を見せている。ここ数年はスマートフォンが業界を牽引してきたが、伸びがやや鈍ってきて、次は自動車、AIやIoT、バイオなど次々にお代わりが立候補しており、伸びが止まることはないだろう。この中において、電子部品はその基板技術として技術革新を支えている。



電子情報産業の世界市場

JEITAの資料による