

エンジニアリングデザインの実際 幾つかの実例によるエンジニアリングデザイン

講義概要

エンジニアリングデザインについての切り口
(指標、トレードオフ、環境負荷、...)

エンジニアリングデザインの実際
(MLCC電極、蓄光材料、ガラスビン、記録媒体)

実務としてのエンジニアリングデザイン

需要に対応した供給側からのエンジニアリングデザイン
→新規開発、性能向上、スケールアップなど

コストを考慮したエンジニアリングデザイン
→製品の性能はそのまま、コストや消費エネルギーを削減、歩留まりの向上

環境負荷面から考慮したエンジニアリングデザイン
→エネルギー消費、廃棄物などの環境負荷を減少

などがあげられる。本講義では以上の観点および他のいくつかの観点から、エンジニアリングデザインについて考察、説明する。

一般的な環境負荷の指標

最初のLCA(ライフサイクルアセスメント、物の全ての出入りを考慮した環境負荷計算)例として、コカコーラ社が行った飲料容器(リターナブルビンなど)の環境評価がある。

現在では、自動車・住宅・などの(大型)製品、都市開発、コンクリートやプラスチックなどの材料そのもの、食品など、多岐に渡るLCAが行われている(日本LCA学会研究発表会、2008年)。単一指標化されている訳ではないが、エネルギー使用量~CO₂排出量として計算されている事が多い。

(参考) 単一指標の重要性

例として、リスク

「ダイオキシン」「狂牛病」と聞くと、リスクが高い様に感じられる。これを、接触・罹患した場合の危険度ではなく、死亡率で比較・評価すると(以下リスクテーブル)

原因	10万人当たりの死亡数	出典
飢餓	1460	http://en.wikipedia.org/wiki/Death_toll#Famine
がん	250	中谷内(リスクのモノサシ)
自殺	24	中谷内
交通事故	9	中谷内
入浴	2.6	中谷内
ダイオキシンなどの有害物質	0.6	蒲生氏論文、損失余命1.6日
自然災害	0.1	中谷内
BSE(vCJD)	0.0000001	英国におけるクロイツフェルト・ヤコブ病統計

リスクを例にとると、「リスクが高く感じられる」ことが必要なのではなく、リスクがどう高いかを数値的に評価する事が重要。(もちろん、リスクをリスクとしてとらえる事も重要であるが)
→この様に、単一指標化することで、異なる事象の評価が可能となりうる。

エンジニアリングデザインと CO₂使用・排出量

原料の調達、精製、製品製造、輸送、回収、廃棄など、ある製品において使用される全てのエネルギーを、CO₂放出量を単一指数として評価すると、新しい技術開発がどの程度のエネルギー（～コスト）削減となりうるかの指標に出来る。

（CO₂排出量～エネルギーコストという考え方もある）

エンジニアリングデザインを技術以外の側面から考える

キーワードとして

①トレードオフ(Trade-Off)

二律背反(利益と損失)の条件下でのベストアンサーは?

②エコロジー=エコノミー?

環境負荷と経営コストの連動性

③持続可能性(Sustainability)

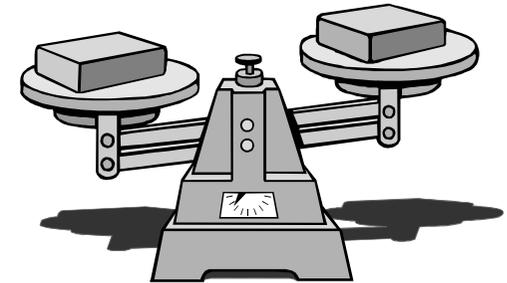
我々の世代だけでなく、次世代のためにも負荷を減少

④CSR(Corporate Social Responsibility,企業の社会的責任)

儲け主義だけでは会社(のみならず、団体)は成り立たない

キーワード1 ～トレードオフ～①

トレードオフ:二つのものが二律背反の状態にあり、片方を重視すれば、その分だけもう片方が疎かにならざるを得ない状態になること。



例えば、

～メガネ(保存の簡便、装着時に負担)とコンタクトレンズ(保存や処理が難or使い捨てで環境インパクト大、装着時に楽)～

などの様に、二つのものどちらにも、利点と欠点があることが多い。

同様に、製品そのものや製造手法において、どちらにも利点と欠点がある場合に、出来る限り利点の大きい方を選択しなければならない場合がある。

キーワード1 ～トレードオフ～②

実際の製品を取り扱う際に、極端な例として

ケース①CO₂を1t放出して10の性能を引き出す製品を製造していた状態から、CO₂を10t放出して12の性能を引き出す製品を製造出来るようにした。

ケース②これまではCO₂を10t放出して、100万円かけて一つの製品を製造していた。今後はCO₂を1tのみ放出して製品を製造する方法を開発した(が、1製品を製造するのに1000万円かかる)。

→ケース①、②ともに、現状の方が良い?

エンジニアリングデザインでは、2種類以上のケースから、ベターな条件を選択する(トレードオフ)ケースも多い。

キーワード2 エコロジー＝エコノミー？

LCAの単一指標として、CO₂排出が上げられる事が多いが、これはエネルギー使用量とかなりリニアに近い関係にある。
→CO₂排出量を削減する事(エコロジー)は、使用エネルギー量を減少させる事(エコノミー)でもあり、環境負荷低減が経費削減にも繋がっている。

→メーカーなどでは、製品製造により発生された熱を、次の製品製造などを目指した熱回収を行っているケースが多い：
熱効率に関するエンジニアリングデザイン

CO₂排出量を削減する方向へのデザインは、環境的にもコスト的にも有効であることが多い。

経費削減を、ただ経費(人件費)の安い国で行えばよい、という事ではない。

キーワード3 ～持続可能型社会～ サステナビリティ

持続可能型社会：現代の世代が、将来の世代の利益や要求を充足する能力を損なわない範囲内で環境を利用し、要求を満たしていこうとする理念（アジェンダ規範）

限りある資源を、現世代で使用しすぎず、次世代に
→念頭に置くべきはエネルギー？石油の枯渇性、CO₂排出制限

枯渇資源を多く使用している場合は、代替品の考慮
→RoHS規制（廃棄物）なども考慮しなければならない

環境汚染、温室効果ガス放出への配慮
ただ「我々の世代が良ければよい」ではない

キーワード3 ～持続可能型社会～ エネルギー源

水素エネルギー: 水素を作り出すために石油などの化石燃料が必要で、大量のCO₂排出(水蒸気改質法)。貯蔵も難しい。電気分解での水素製造は、電力ロスが大きすぎ。

太陽電池: 国からの補助がなければ、設備費(~製造費用)が莫大。

原子力: 軽水炉用、再処理無しの場合、可採年数は85年程度→石油よりは長持ち? 安定した供給源であるが、テロの危険性? 高速増殖炉(プルトニウム使用)なら2550年、国民の同意?

キーワード4 ～CSR(企業の社会的責任)1～

ステークホルダー(利害関係者:従業員、顧客、株主、投資家、取引先、地域コミュニティ、環境、NGO/NPOなど)に対するコミュニケーションおよび対応

コンプライアンス(法令遵守)だけで良い?

法律や規則は、漠然と作られたものだけではなく、規範やモラルを無視した行為が先にありきで、規制が設けられた場合も多い。

→コンプライアンスが、法令が出来るまで、もしくは法令の抜け道があればやりたい放題となりかねない。国によっては法令もしくは監査が間に合っておらず、他国の技術をライセンスなしに使用している可能性もある。

キーワード4 ～CSR(企業の社会的責任)2～

儲かれば良い?

偽装表示→三菱自動車燃費試験データ改ざん事件

技術数値偽装→神戸製鋼(排出NO_x等データ書き換え)

会計偽装(粉飾決算)→てるみくらぶ、はれのひなど

ねつ造放送→関西TV(発掘!あるある大事典)

→信頼の喪失(倒産もある)

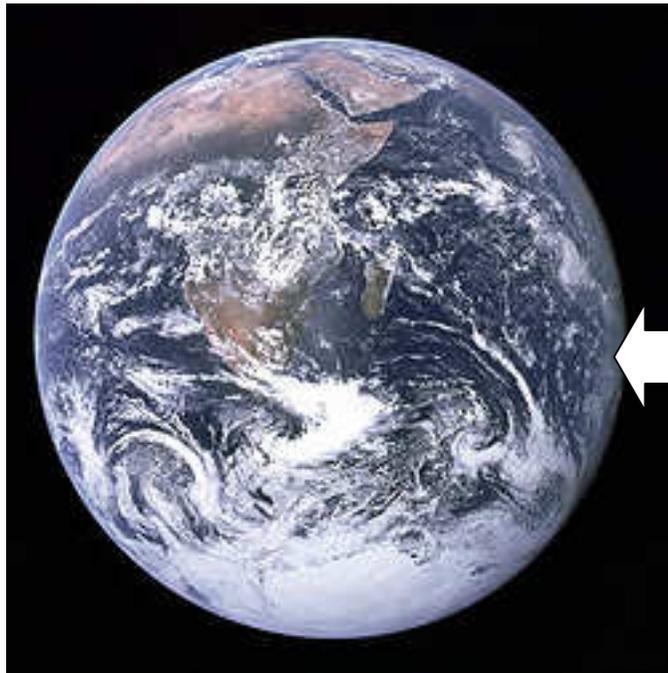
ステークホルダーへの奉仕第一?

→売上が無くても会社は存続しない

企業や社会の一員として、それぞれの立場で「自主的に」ステークホルダーへの信頼を保ちながら、利益の確保、技術の邁進が必要。

クラーク数から考えるデザイン

地球上の地表付近に存在する元素の割合を火成岩の化学分析結果に基づいて推定した結果を質量パーセントで表したもの。海水面下10マイルまでの元素の割合を、岩石圏(重量パーセントで93.06%)、水圏(同じく6.91%)、気圏(同じく0.03%)の3つの領域における値。米のフランク・クラーク氏により提唱。



表面だけ

順位	元素	存在比(%)
1	O	49.5
2	Si	25.8
3	Al	7.56
4	Fe	4.70
5	Ca	3.39

環境負荷問題の観点からのデザイン

～RoHS (Restriction of Hazardous Substances)～

電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についての欧州連合(EU)による指令。EU加盟国内において、以下の物質が指定値を超えて含まれた電子・電気機器を上市することができない。

1. 鉛 : 1,000ppm以下
2. 水銀 : 1,000ppm以下
3. カドミウム : 100ppm以下
4. 六価クロム : 1,000ppm以下
5. ポリ臭化ビフェニル (PBB) : 1,000ppm以下
6. ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE) : 1,000ppm以下

RoHSと鉛・水銀の規制

電池 鉛蓄電池 Li電池等もあるが、安価で簡便
はんだ Pb-Sn 鉛フリーはんだもあるが、高価
蛍光灯 Hg、254nmの紫外発光により蛍光体励起
圧電体 PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)
金鉱山 水銀、アマルガム化による金のマイニング

これらは、他に変わる物が無いため、規制の対象外となっている。

エンジニアリングデザインの実際

既出の指標(CO₂の排出に換算)、その他キーワードを考慮したデザイン

付け加えて、以下の項目の観点からのデザインも行う
技術(既存、新規)

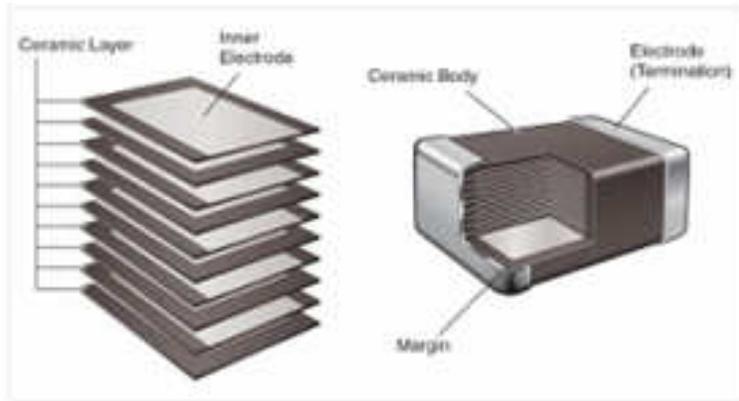
エネルギー

資源

環境(人への被害など)

→一方向からでなく、複数方面からの解決

MLCC(積層セラミックコンデンサ)



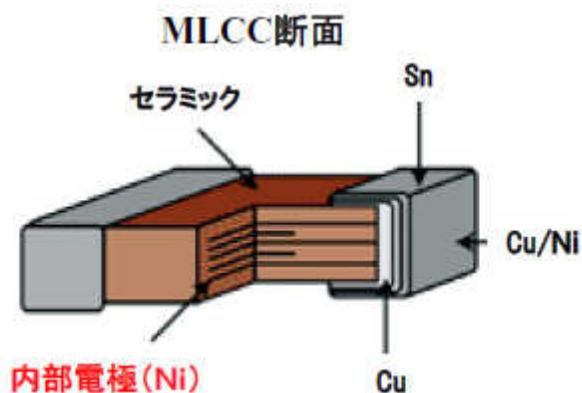
左上図の様に電極材料と誘電体材料が交互に積層されたコンデンサ材料。



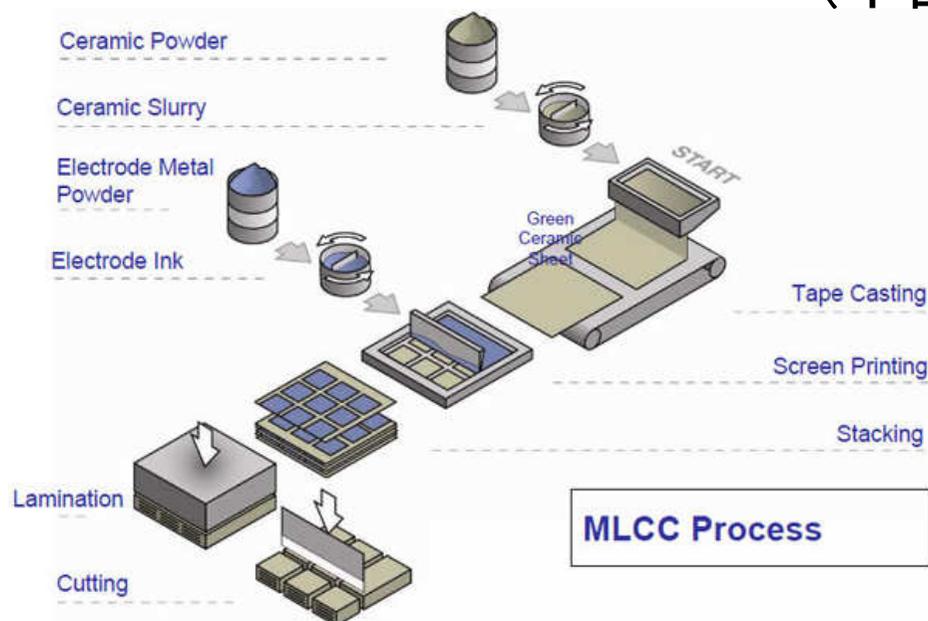
左下図のように、とても小さいコンデンサで、携帯電話をはじめとした様々な電子機器で使用されている。村田製作所などで作られる。

MLCCの電極材料の変遷について考える。

MLCCの製造



現在使用されているMLCCは、左図のように、金属Niを電極、BaTiO₃基セラミックを誘電体として、これらを交互に塗布して焼成する事により得られる。
(下図参照)



焼成温度は~1200°C

MLCC用電極材料～1～

候補に挙げられる材料

電極であるため、基本的には電気を良く通す材料で有れば良い。ただし、セラミック誘電体を 1200°C で焼成するため、この温度でも溶融せず、かつ酸化しない材料に限られる。

金属材料

イオン化傾向の右方にある元素、かつ融点の低い元素

Cu(融点低いため×)、Ni、Pd、Pt、Re(価格高い)、...

Pd($T_m \sim 1555^{\circ}\text{C}$)やPt($T_m \sim 1768^{\circ}\text{C}$)は融点が高いため、製造時のコスト高(高 CO_2 排出)

セラミック材料

SrRuO_3 、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 、 LaNiO_3 、...

(ただし、これらは面抵抗があまり小さくならず、実用化としては難しい。)

MLCC用電極材料～2～ 電極材料価格の推移

	1995	2000	2005	2010
Pt(/g)	1200	1960	3970	5385
Pd(/g)	500	1400	1000	1400
<u>Ni(/kg)</u>	770	930	1620	1910

単位(円)

産出国

Pt: 南アフリカ80%、ロシア11%、ジンバブエ3%、その他

Pd: ロシア42%、南アフリカ40%、アメリカ6%、その他

Ni: ロシア19%、オーストラリア14%、インドネシア12%、...

MLCC用電極材料～3～

電極材料の推移と開発

1. 最初はPtが使用されていた。需要は増えていったが、価格が高いために供給が難しくなった。(～1990年)
2. 次いで、Pdが使用された。Pdは融点の面でも化学的安定性の面でも優れていた。主な産出国はロシアと南アフリカである。ロシアが需要を見込んで価格を急激に上昇させた経緯があり、Pdの使用は難しくなり、次世代材料の開発に取り組んだ。(～2000年)
3. その後現在までは、Niが使用されている。一度はアメリカで失敗していたが、日本で実用化に成功した。(～現在)
(→Ni膜を不活性雰囲気中で処理する事で実用化)

価格を比較すると、Niを使用するメリットは一目瞭然である。

蓄光(夜光)材料の変遷



左上写真は現在販売されているN夜光(根本特殊化学製、ルミノーバ)という商品。左下写真は、実用化された夜光材料。他にも時計の文字盤などに使用される。



自発光タイプと蓄光タイプの二種がある。

蓄光(夜光)材料 変遷

自発光タイプ

発光材料と放射性材料を組み合わせた蛍光材料。放射性材料が放射線を出し続けている間、蛍光材料が光り続ける。放射線材料として、初めは ^{225}Ra , ^{228}Ra が、次いで ^{147}Pm や ^3H (いずれも β 崩壊)が使用された。これら材料を工場で作る人に放射線障害が多く出たため、現在では使用しない。

蓄光タイプ

外部から光を当てる事で、内部にエネルギーを蓄える。蓄えたエネルギーが光に変換されて発光する。自発光タイプの蓄光材料が使用出来なくなったため、 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ などの長時間発光する材料が開発された。

人体に影響を及ぼすことが原因で消えた技術

先の蓄光材料は、利用時には利用者に放射線被害が及ばないが、製造時に製造担当者に健康被害が及ぶために、現在はなくなってしまった。

この技術以外に、
カドミウム関連材料(イタイイタイ病)
有機水銀系触媒(水俣病)
アスベスト(クリソタイルなどは無害だが、肺疾患のため)
鉛、ワインなどの添加物(鉛中毒)

などの技術は、ほとんど使用されなくなった。

ビールビンにおけるライフサイクルとデザイン

ビールビンのライフサイクル

- (1)原料の製造
- (2)ビールビンの製造
- (3)ビールの充填
- (4)流通・使用
- (5)廃棄

製造、輸送において使用されるエネルギーを、CO₂放出量を単一指数として評価する。

(CO₂排出量～エネルギーコストという考え方もある)



参照データ
日本LCA協会-(1),(2)
プラスチック処理協会(2)-(5)

ビールビンにおけるエンジニアリングデザイン

LCAによる分析では、使用エネルギーの減少のためには
ビン重量を軽く(ただし、ビン強化は必要)
輸送距離を短く(→工場～消費場所の距離を短く?)
再使用回数を大きく
可能であればリサイクル時のカレット率も大きく(廃棄物の利用)

現状

実際には、 SnO_2 コーティングを施す事で、ビン重量を475gに抑え(輸送コストの減少、これ以上の重量減はビンの強度が下がる)、かつ強度を上げた(リユース回数の上昇→現在では平均24回のリユース)。この辺がベター、という選択(トレードオフ)。ただし、スズは希少資源(クラーク数0.004%)。

ビールビンにおけるデザイン考

ビールビンでのライフサイクルでは、
「輸送距離」「ビンの重さ」「工場の場所」「洗浄」
などそれぞれの要素が他の要素に影響をおよぼし合う。

例として

ビンの重さ: 軽くすると強度低下、重くすると輸送に負担

工場の場所: 輸送する場合は大量消費地に近い方が良いが、
製品製造には水質が高い場所が良い

ビン自体: 茶色着色ビンがリユースしやすいのでそのまま

ビールビンだけでなく、その他のある程度成熟した産業・工業の場合には、「〇〇した方が良い」という策はあるが、「～がベスト」とはならない事が多い。

→先に挙げた「トレードオフ(どちらか良い方を選択)」となる。

ビールビン以外でのビンのデザイン ～例として、中埜酢店のミツカン酢用ビン～

過去、500ml、900mlのミツカン酢（中埜酢店）のビンはリターナブルだった

リユース回数：1.1回

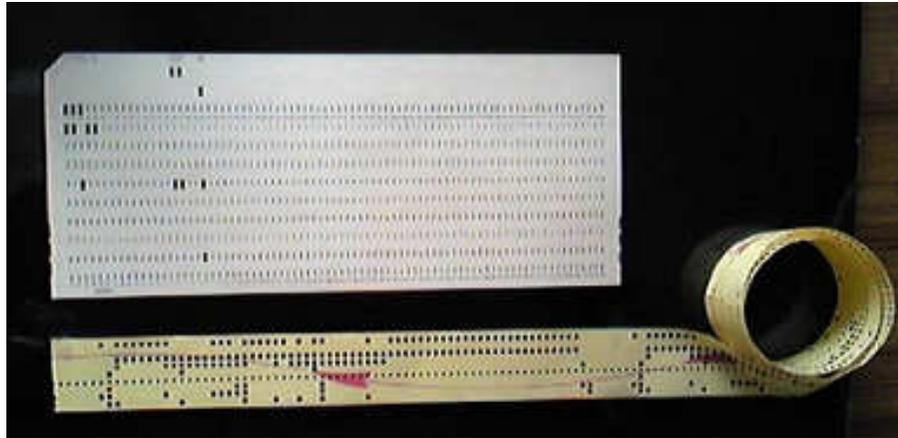
重量：リターナブルビンはワンウェイビンの120%以上
（割れないため）

LCAにより→最低でも3回以上のリユースでなければ、回収、洗浄時の負荷増

無色ビン（リサイクル容易）のワンウェイが良いという結論
→現在はワンウェイビン

記録媒体

記録媒体は音楽・映像や電子データなど様々あるが、ここではPCとともに歩んできた電子データの記録媒体について扱う。



PCが出始めたころの初期においては、紙テープなる記録媒体が用いられていた。
25.4mm × 270mで106kB
(縦に8個の穴があり、これで8ビットを再現していた)

～1970年代

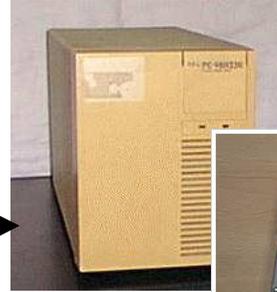
記録媒体の歴史



カセットテープ
～数十kB



フロッピーディスク
～1MB (Dr中松発明)
1980年代～



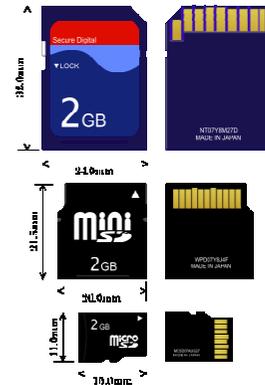
ハードディスク
数十MB(初期)～1TB(現在)
1980年代～



CD ～700MB
1990年代～



フラッシュメモリ
～1TB
2000年代～



記録媒体

PCの進化と共に、記録容量の増加が求められた。また、時代とともに利便性(持ち運び易さなど)が求められた。

技術としては、

紙→磁気(テープ→フロッピーディスク→ハードディスク)→光
(CD、DVD、...)→半導体トランジスタ(フラッシュメモリ)

先に需要が生じ、需要に合わせて設計(小型化、軽量化、高密度化、革新的設計含む)が行われた。

→需要先行のエンジニアリングデザイン

まとめ

～エンジニアリングデザインの実際～

現実的な制約および一定モラルの下で、製造過程を含めた以下の様な事項について、製造する製品の定性的・定量的な価値・有益さの明示

コスト

CO₂排出量(エネルギー使用量)～一部はコストと関連

製品の性能

需要と供給バランス

その他...

一方向からだけでなく、多方面から技術をはじめとした現状問題の解決