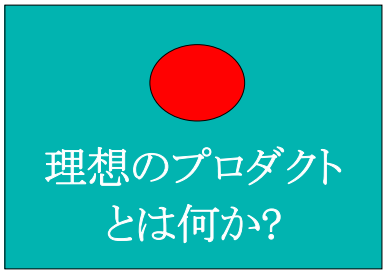
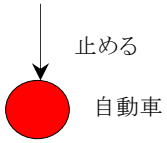
有用機能をIFRに変換するルール



このステップでは、プロダクトを最も理想的な形にすることを検討しよう。機能がすでに存在しているかどうかに関わらず、「変更」されようとしている構成要素［すなわち「プロダクト」］の最も理想的な具体化法を、われわれは特定したいのである。

［まず、］機能を創り出そうとしている場合を取り上げよう。例えばいま、警官がスピード違反の車を停止させるのに、その車や他の車に乗っている人たちに害を与えない方法を考えることにしよう。いまの段階では、その一つの実行法を知っていても知っていなくてもよい。もし知っているとしてもいまはそれを無視して、われわれは二つの要素にだけ集中しよう。二つの要素とは、そのプロダクトと、われわれが実現しようとしている「変更」とである。



プロダクトは「車」であり、「変更」は「止める」ことである。機能のこれら二つの部分だけを知れば、われわれはつぎの重要な質問を問うことができる。「理想のプロダクトとは何か？」と。答えは驚くべきものである。「最も理想のプロダクトは、存在しないプロダクトである（車は存在すべきでない）。」

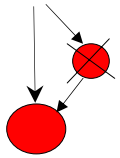
もしプロダクトが存在しないなら、この機能は必要なくなり、従ってツールもそれに付随する補助機能もすべて必要なくなる。こうしてわれわれはまさに古典的な「究極の理想解(IFR)」の実現に近いところにきた。

さまざまな理由で、プロダクトを必要としないことがある。それが一つの伝達要素でバイパス可能だからかもしれない（自動車は伝達要素か？いや、そうでない）。それが廃物で、最初から存在する必要のないものだからかもしれない（自動車は廃物と考えうるか？いや、そうでない）。プロダクトをわずかに修正することで、その「変更」が不必要になるからかもしれない（[違反の] 自動車を容易に追跡できるのなら、止める必要がなくなるだろう）。あるいは、「変更」がすでに行われた状態でそのプロダクトが現れるからかもしれない（警官が車に追いつくまでに、運転者はその車をもはや欲しくないと思わされ、車はすでに止められているかもしれない）。

プロダクトが必要な場合には、われわれはそのつぎの質問をする。「変更が必要な最小部分は何か？」。（われわれが停止したいのはその「車」か？おそらく、エンジンとか運転者とかのような、「車の一部」をわれわれは止めたいだけである。）もし小さな部分だけを「変更」する必要があるのなら、その「変更」を実現するのに必要な資源を最小化できる。

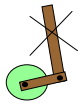
最後に、もしプロダクトが必要なら、この際どうしたら最大の効果が得られるだろうか？「変更」ができるだけ遠くまで届くようにしよう。[例えば] もしプロダクトが自然な形でまとまって現れるなら、そのグループ全体を「変更」しよう。もし近くの他のオブジェクトも同じ「変更」を必要とするなら、できるだけ多くのものをまとめて「変更」しよう。これはその機能を実行することで得られる価値を増大させる（おそらく、警官は道路上のすべての車にゆっくり減速するように合図し、その結果、すべての人にとってより安全な状況にするだろう）。

伝達要素を除去せよ



技術システムの進化の法則によれば、[エネルギ]伝達要素 (Transmission elements) は短縮されていき、ついには除去される。本ステップでわれわれは伝達 [要素] をすべて除去できるかを検討する。もし、われわれが検討している機能のプロダクトが一つの伝達要素なら、それが必要なのか、それをまったくバイパス [して不要に] する何らかの方法を見つけられないかを、検討すべきである。

1. このプロダクトは伝達要素か？(このプロダクトは、エネルギーを伝送あるいは変換するか?) 構成要素の中には、重要な機能的要素のように仮装しているが、実は伝達要素であるものもある。

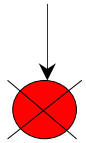


現行システムは、リンク機構を働かせて、一つのオブジェクトを回転させる。

2. 伝達要素をバイパスせよ。

新システムは、回転アクチュエータで直接に、そのオブジェクトを回転させる。

存在しないプロダクト



プロダクトがそもそも最初に必要だったかどうかは、いとも簡単に忘れられる。もしそのプロダクトが、有害かまたはまして廃物プロダクト (のこぎり屑や落ち葉のような) であるなら、最初から存在させないようにするほうがずっとよいのではないだろうか。

1. このプロダクトは有害でないか?廃物でないか？

2. このプロダクトを除去せよ

葉っぱは存在しない。―これは矛盾を作り出す。これらは存在しなければならず、同時に存在してはいけない。

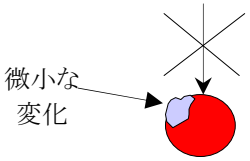
3. このプロダクトの源を除去せよ。

木を取り去れ

4. このプロダクトのパス(経路) を除去せよ。

地上への経路を除去せよ

「変更」が必要でない

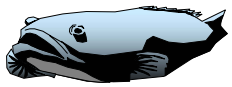


有用機能はすべて、補修または予防という文脈でて考えることができる。このことは最初は直感的でないと見えるかもしれない。そこで二つのケースを考えてみよう。芝刈り機が芝生を刈る。これが補修行為だろうか？Yes、なぜならそれは芝生の高さを補修しているのだから。もし芝生がもっとうまくやってくれさえすれば、芝生は平らでもっとゆっくり伸びるだろうに、と考えることもできよう。

つぎに、魚の鱗取りを例として考えよう。

1. 問え:
   - それは何を予防しているのか？
   - それは何を直しているのか？
   - それは何を補っているのか？
   - それは何かに対抗しているか?

2. 補修を必要とする機能の連鎖を遡って、すべての機能にこの推論を当てはめよ。

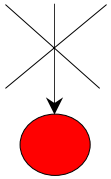


鱗取りは何かを直すためにするのか？Yes、それは鱗とその直下の組織を取り去るのであり、それらが調理中に風味を変える可能性があり、またある種の文化において食べるのを嫌がられるものだからである。これは補修行為である。

3. システム中の一つのオブジェクト（しばしばわれわれが奉仕している対象のオブジェクト）へのわずかな変化が、主機能に対する要求を取り去り、その結果、その機能を提供しているオブジェクトを必要なくする。言い換えれば、もし何かがもっとうまく仕事をすれば、われわれのシステムは要らないかもしれないのである。

鱗を美味にするような料理法の変化があったと考えよう。-- いまやもう、鱗取りは必要ない。

その形で現れる

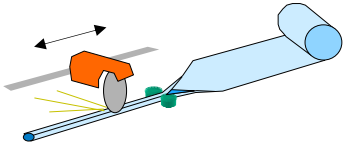


ある種の状況では、プロダクトの提供者が上流側で「変更」を実行するほうが、後になって実行するよりずっと便利にできる。そうするとプロダクトは、機能を実行するのにずっと便利な形になっているだろう。これは組み立てのような製造工程について当てはまることが多い。塗装済みや事前組立済みの部品は、組み立てがずっと便利にできる。材料が都合よい形になっていると、成形や切削作業はずっとやりやすくなる。

プロダクトを事前「変更」することはしばしば矛盾をもたらす。その「変更」を実施すべきであり、かつ実施すべきでない。つぎの事例が、このツールの使用、生ずる矛盾、およびその解決を示している。

パイプ成形機は、平らなリボン状材料を成形機に入れ、リボンを丸めてチューブにし、それを溶接する。

カッターツールは動くチューブと一緒に動く



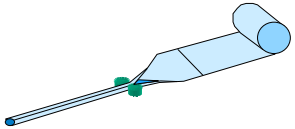
チューブを一定長さに切断するカッターは、切断している間成形されたチューブと共に動き、切断時間を節約する。チューブ成形速度がどんどん速くなると、カッターが一層速く行ったりきたりすることが要求される。これは多くの付加的問題を引き起こす。

理想のプロダクトを検討しよう。

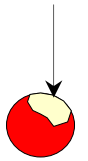
1. プロダクトは「変更」を必要としない。なぜならその「変更」はすで組み込まれているから。

チューブを成形する前にカットしておく必要がある。これは（[連続の] シングルリボンに比べて）生産を遅くする。よって、チューブはカットすべきであり、かつ カットすべきでない。

解決策：丸める前のリボンを圧印して、チューブを部分的にカットする。[チューブ成形の] 後に強くねじって、完全に切断する。



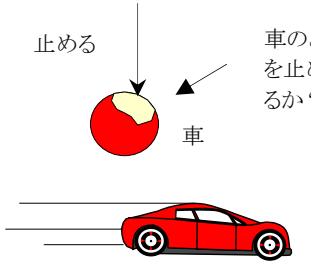
最小部分



もし、「変更」の要求を避けられないと結論づけた場合には、プロダクトをできる限りの最小量の「変更」で済むように検討すべきである。

例として、スピード違反の車を停止させようとしている場合をとりあげよう。

1. 「変更」を必要とするのは、プロダクトのどの最小部分か？主プロダクトの最小化サブセットとして、プロダクトの選択肢のリストを作れ。



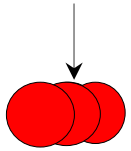
こう問うことにより、われわれはもとのプロダクトのすべてのサブセットを、分子レベルにまで小さくして考えることができる。

例えば、ドライバーだけ、タイヤ全部、ドライブシャフト、エンジン制御コンピュータ、キャブレター、タイヤ、点火スパークだけを停止させたらどうだろう？

最小部分を考慮することは、必ずしも最小限の資源で「変更」を実現できることを保証しない。

例えば、スパークを止めることは、大きな場を生成する巨大な資源を必要としよう。

自然な
グルーピング



もし、その機能が必要であるとの結論に至った場合には、できるだけ大きな効果を得るようにしよう。ここでわれわれはその機能をできるだけ多くの要素に展開することを考える。一つの機能を多数の同種要素に同時に及ぼすと、必要とする資源の全体量を減少できる。

例として、ナッツの殻をとることを考えよう。

われわれは自身に次のように問う:

1．プロダクトは自然な組またはグループになっているか？

ナッツは
袋に入っている

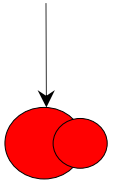
自然なグルーピングのその他の例は、アヒルの群れ、口の中の歯、一台のパレットに載せた物、一箱のシリアルフレークである。

2．一つのグループを同時に「変更」することは、より理想的か？

袋全体のナッツの
殻を割る

もう一度注意。自然なグループの全体を「変更」することがより少ない資源しか必要としないという保証はない。この時点では、われわれはこの行為（力仕事）を実現する方法を知らないかもしれないが、これができる物理現象を見つけられるという希望を持って続けていこう。

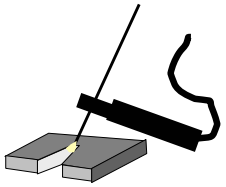
「差のある」プロダクト



「差のある（biased)」プロダクトとは、何らかの有意なしかたで互いに異なっている（複数の）プロダクトのことである。釘にはさまざまのサイズがある。もし一つのハンマーで、ごく小さな釘も骨組み用の大きな釘も効果的に打つことができれば、ユーザにとって大いに価値がある。

溶接機を例にして考えよう。

1．同じ「変更」を必要とする類似のプロダクトはないか？

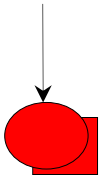


われわれの溶接機はさまざまな材質の金属を溶接できるべきであろうか？

2．プロダクトにどれだけのバリエーションがあるか？もしバリエーションが少なければ、「差のある」プロダクトを「変更」するという要求は少ししかないだろう。一方、もしバラエティが大きければ、狭すぎる能力のシステムには限られた用途しかない。

溶接機は、多種の金属材料を、多様な厚さと多様な必要エネルギー量で、溶接するように要求されることがしばしばある。

多様なプロダクト



多様なプロダクトとは、大変異なっていて、同じ機能に関っているときでも同じツールでは扱えないような、(複数の)プロダクトのことをいう。(ホッチキスの針）ステープルと釘に対しては同じ機能を実行する必要があるが、これら機能を行うツールは普通異なったものである。

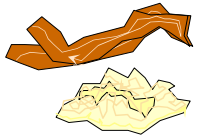
例として、食べ物を調理することを考えよう。いま、ベーコンを焼くことを考えているとうしよう。

われわれは問う:

1．システムや上位システムの中に、同じ「変更」を必要とする他の要素はないか？

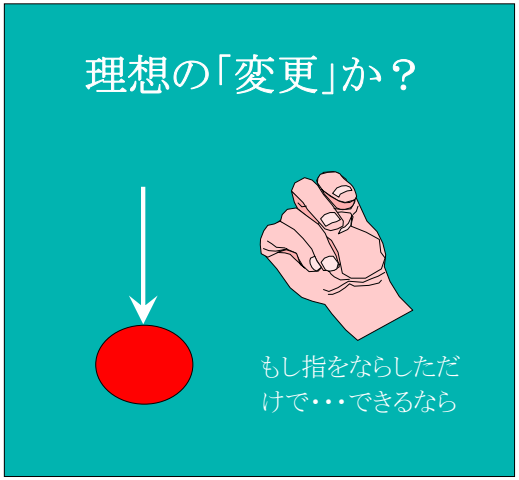
卵が通常ベーコンに伴っている

2．それらをこの「変更」に含めて行えないか？



ベーコンと卵を
同時に料理する

われわれはこれらを一緒に行う可能性を考えただけであることを覚えておこう。ある場合には、この手段を見つけることは簡単である。



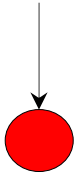
有用機能の第二の部分としてわれわれが焦点を当てるのは、「変更」である。「変更」は短形式あるいは長形式で書くことができる。短形式では、「変更」は一つの動詞である。これはどんな動詞でもいいというわけでなく、プロダクトの変化か制御を記述する動詞でなければならない。 その変化はプロダクトに対する直接の物理的変化でなければならない。「システム機能を明確にする」（B章)に示した「機能を記述するルール」は、「変更」の動詞の正しい形式を記述している。

この動詞の選択は紛らわしいことがしばしばある。もし混乱が生じるなら、「変更」の長形式を利用することを考えるべきである。これは「変える」または「制御する」という語を伴う。プロダクトの物理的パラメータのどれかが物理的に変えられなければならないことを、これが明確にしている。これは紛らわしい機能を明確にするのに役立つ。

今後のステップを実施するためには、「変更」を適切に記述することが重要なのである。

機能を適切に記述することは、考慮すべきことの最初に過ぎない。「変更」の記述法で、新しい洞察をもたらさないものが多数ありうる。ここでわれわれは「変更」について考えるさまざまなやり方を検討し、それによって、資源をよりよく利用でき、機能を「究極の理想解(IFR)」に近づけることができるようにしよう。

「変更」のさまざまな記述

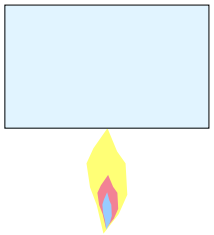


「変更」1
「変更」2
「変更」3

「変更」を記述するのに複数のやり方があるかもしれない。われわれが複数の方法を検討したいのは、それぞれの方法が、その機能を実現するために異なった物理現象にわれわれを導くからである (システム資源の多さに依存する)。

例として、ある気体を加熱しているときを考えよう。

1. われわれは変化させているのか、制御しているのか？ どちらが最も適切か？



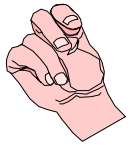
その気体をある温度まで熱しようというのでなければ、われわれは「変化」させているのである。

2. 「変更」の長形式を用いて、「変更」を記述するさまざまな方法を考えよう。マクロの世界からミクロの世界(原子レベルとその先) へ動いていくことを考えよう。

気体

温度を変える
分子の平均速度を変える
分子の速度分布を変える
力学的エネルギーを変える
(量子レベルで) 波長を変える

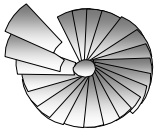
「変更」の理想形



もし指を鳴らしただけで
・・・できるなら

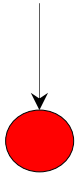
「変更」を記述する方法は多いが、あるものは他のものより、より理想的である。またあるものはより大きな安全性や長寿命をもたらす。

［例として］ ジェットエンジンのファンが、その数枚のブレードをなくしたときに、何が起こるかを考えよう。これは、ブレード脱落状況と呼ばれることがある。これは鳥のようななにかの物がエンジンに吸い込まれたときに起こりうる。



各ブレードは巨大な力学的エネルギを持って回転している。一枚のブレードが外れたら、それはしばしば他のブレードを壊してしまう。その結果は爆発的である。問題は、「**理想的に**は、われわれは、これらの飛んで外れていくブレードに何をさせたいか?」である。

1. 「理想の究極状態」をイメージして、そこから逆戻りするやり方で考えよう。長形式で「変更」を記述しよう。

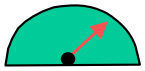


飛跡を変える (安全性に劣り、理想性に劣る)
エネルギをゼロにする (より理想的)

ブレード

2. この「究極状態」の絵を描くことを考えよ。

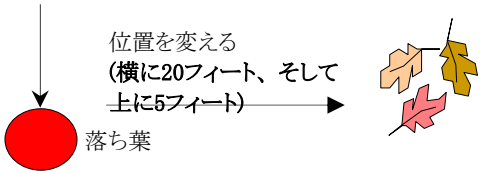
最も理想的なレベルの「変更」



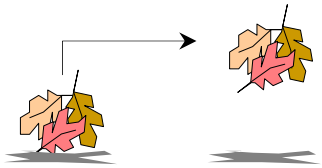
何が最も理想的な「変更」かを、理解することが困難なことがある。最も理想的な機能は最小限の資源しか必要としない。われわれはすでに、「変更」を必要とする最小量のプロダクトは何かを問うた。いまわれわれは、「必要とする最小限の「変更」とは何か？」を問おう。われわれは、「変更」を実施するのに必要な資源をレビューすることにより、規律のあるやり方でこれを問おう。

［例としては］ 再び、落ち葉を集める問題を取り上げ、理論的に必要とされる最少限の資源は何かを問うことにしよう。

1.「変更」の主パラメータで、いま変えられようとしているものを見て、以下のように問おう。「**どれだけ多くの**「変更」が必要か？」、「どこまで？」 、「どのレベルまで？」、「過去に過剰だったことがあるか？」



2. これだけの「変更」を行うのに必要な<u>最小限のエネルギ</u>は何か？



位置エネルギの変化分だけが必要
（高さを変化させるごく小さなエネルギ）

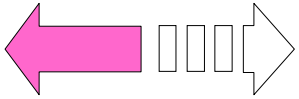
3. 最も理想的な時間とは何か？最小の時間が最も理想的か？機能の中には、長時間かけてすることが理想的なものがあり、体の運動のように一定時間が理想的なものもある。

最も理想的な時間は瞬時にすむことだろう。
これで働き手の時間を節約できる。…
もし体の運動のためでないのなら、…. ふうむ

4. 最小限の体積、空間は何か？

落ち葉が通るのに必要な経路の体積。
もし落ち葉を動かす前に落ち葉の山をぎゅっと圧縮して、サイズを小さくしていれば、この体積は極めて小さくてすむ。

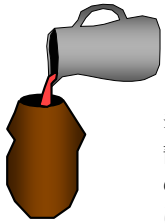
逆の「変更」



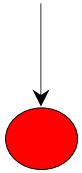
要求されている行為や「変更」の逆を行うことが、より理想的であることがときどきある。例えば、重い作業対象のオブジェクトの高さを変えるよりも、その作業対象に相対的に作業者を動かすほうが、実際により少ない資源ですむだろう。「変更」を逆転することを考えるためには、その行為あるいは「変更」が何に対して相対的かを検討することが必要である。もし二つのオブジェクトが互いに相対的に運動しているなら、「変更」が何に対して相対的かを決定することは通常容易である。その他の「変更」の場合には、もっとよく考えることが必要であろう。

例として、チョコレートでできた容器にシロップを注ぐことを考えよう。

1. 「変更」は、**どのオブジェクトに対して相対的に**なされるのか？



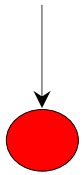
注ぐことは、
静止したチョコレートの型に対して相対的に行われる

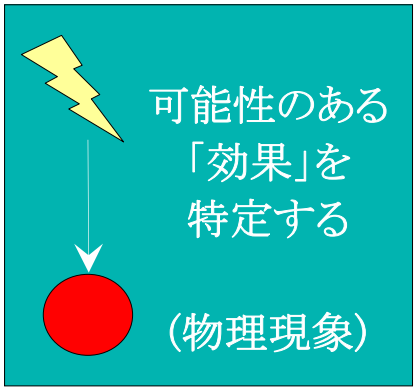


2. その相対するオブジェクトを「変更」するようにして、問題を逆転させよ（そのオブジェクトを新しくプロダクトとする）。

かくして、われわれは、静止したチョコレートの型に対してシロップを注ぐ代わりに、予め凍らせたシロップの型（を静止させておいて、それ）に対して、チョコレートを広げるのである。

(凍らせた) シロップの型の上に、チョコレートを広げる

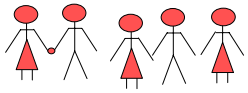




このステップでは、どんな物理的効果がわれわれが望む「変更」をプロダクトに与えることができるかを検討する。実際には、われわれは自分たちの心を敏感にすることに努め、つぎのステップでわれわれの周囲にある物質やオブジェクトや「場」の資源を検討しようとしているのである。何が可能かについての知識を備えておくことによって、われわれが資源を見たときにその価値を特定することが一層容易になるだろう。

この段階でわれわれが検討する「効果」の中には、その機能を実行するのに少々荒っぽいとか弱すぎるとかと見えるものがあるかもしれない。覚えておいてほしいのは、そのような弱い「効果」も、本アルゴリズムの後の段階でしばしば強化されることである。したがって、可能性に対してオープンな精神を持ち続けることが大事である。

賢い小人たち(SLP)



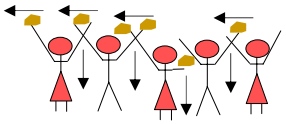
調査・研究（発明）のツールで最も重要なものの一つは、「感情移入（empathy)」である。これは研究しているシステムの一部になりきり、そのユニークな視点からシステムを見る能力である。

この感情移入の原理は大変強力であるが、いくつかの限界がある。第一に、問題を見る視点を一つしか提供していない。第二に、問題を見るためにわれわれがそこに存在しなければならない。例えば、われわれが溶けてなくなったり、姿を消したりはできない。第三に、システムと作用しあうのに、われわれの一人しかそこにいないことである。もしわれわれがもっと多数いてシステムと作用し合えれば、新しい可能性が開けるであろうに。

これらの困難は、「賢い小人たち」の原理で、その多くを克服できる。

セルフクリーニングの空気フィルターを例に取ろう。

1. 一緒に働く「賢い小人たち」で構成されているシステムを思い浮かべよ。彼らは必要に応じて消えたり再登場したりする能力を持っている。われわれが望む結果を実現するのに、彼らは一体何をするだろうか？どのように賢く行動しあうのだろう？

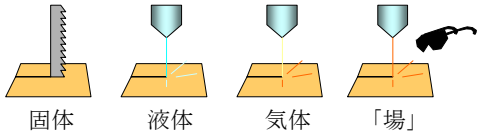


賢い小人たちは、空気をそのまま通す一方で、粒子をつぎつぎと横に渡していく。

2. この協調動作を実現できる可能性のある物理現象を考えよ。

別の液体が機械的動作によって表面に沿って動く。液体は粒子を捕まえて、運ぶ。肺はこれと同じ動作で自分自身をきれいにしている。

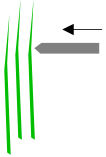
「場」の現象の進化
(「場」の一覧表)



次の2ページ［K8-9］に行き、この付録の最後にある「場」の一覧表［K24］を見よ。この一覧表の最上部に記されているのは最も豊富にある「場」であり、最下部にあるのはふつうにはより少ない「場」であることに注意されたい。一般的にいって、システムは最初にこの一覧表の最上部の「場」を筋肉用に用い、次第により下の「場」を使う傾向にある。システムの初期には一覧表の下方の「場」は主として制御に用いられる。あなたのシステム(または類似のシステム)で現在使われている「場」を調べることによって、次に使われるだろう「場」を推測できる。

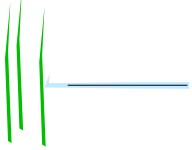
芝刈り機を例にとろう。

1. この機能を提供するのに、どんな「場」が現在使われているか？

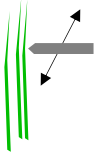


今は、刃は、機械的高圧の「場」を使っており、それは芝生の慣性を利用している。

2. つぎに使われそうなのは、どの「場」か?



噴射圧



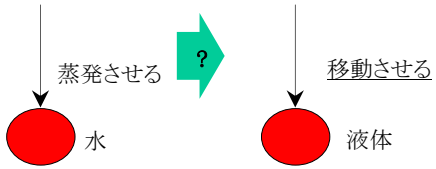
振動

「効果」の一覧表

「効果」の一覧表は、機能を提供するのに使うことができる物理現象を一覧表にしたものである。われわれの望む「変更」が分かると、この一覧表で類似の一つの機能を見つけることができる。通常これは、望む機能を一般化したものである。この一覧表は通常、プロダクトに望んでいる「変更」を与えることができる多くの物理現象を教えてくれる。

いま、衣服の乾燥機を例に取ろう。

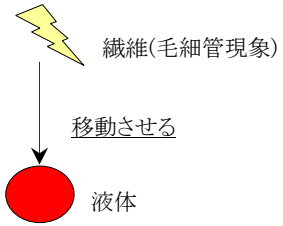
1. 与えられた機能を「一般化した機能」に変換せよ。



2. 「効果の一覧表」で「効果」を見つけよ:「効果の一覧表」の情報源の一つを参照せよ。いくつかの商用ソフトがそのような一覧表を持っている。[無料で公開されている］簡易版が、つぎのサイトにある。[訳注]

www.creax.com

求める一般化した機能のところを見て、使えるすべての物理現象を検討せよ。



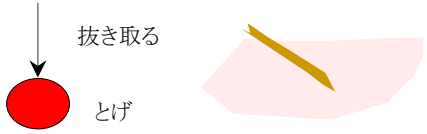
[訳注 (中川、2007. 2.12): CREAX 社のFunction Database の和訳・掲載を計画しており (許可取得済み)、各種分野での翻訳ボランティア数名を求めています。]

類似の「効果」

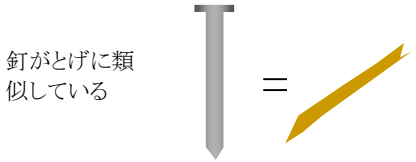
プロダクト = ?

類似の「効果」とは、われわれが望んでいるのと同じ結果を、[いまの問題とは異なる] 他のオブジェクトに対して作り出すものをいう。この「効果」をわれわれの状況に持ち込み、満足できる結果を得ることができる。

例として、とげを抜くことを考えよう。

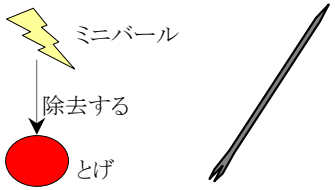


1. 類似のプロダクトを特定せよ。他のどんなタイプのオブジェクトが同じ「変更」を必要とするか？

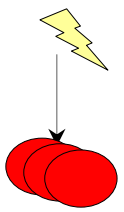


2. それに対してよく使われるツールを特定し、この「変更」に必要とする最小限の特性を特定せよ。

3. この特性を [いまの] 新しい状況に移せ。
   - 既存のツールと結合せよ。
   - ツールの**最少**量を移せ。

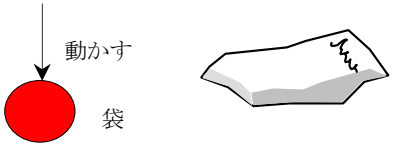


メガトレンドの類似の「効果」

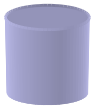


メガプロダクト = ?

われわれはトラックで運ばれてきた沢山の袋を工場の床の特定の場所に降ろしたい。人手で一袋ずつ下ろすのが典型的なやり方である。

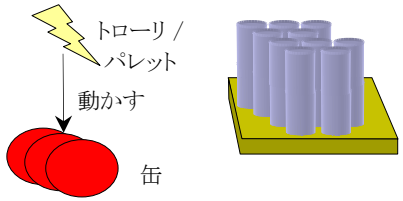


1. 先進的な業界での類似のプロダクトを特定せよ。

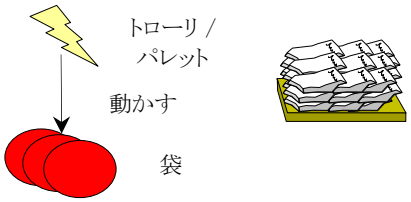


缶

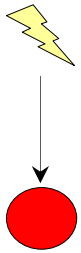
2. このプロダクトが大量に同じ「変更」を必要とする場合に実施される機能について、そのトレンドを特定せよ。



3. これをあなたが検討しているプロダクトに適用せよ。



自然の類似の「効果」



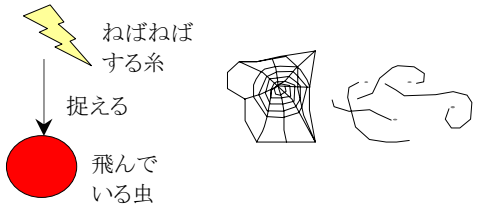
自然のプロダクト = ?

われわれの機能の実現に利用できるだろう多くの類似の「効果」を、自然が作り出してきた。

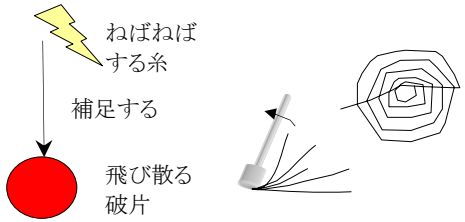
例: ある物体にグラインダをかけているとき、細かな切子 (砕片) が飛び散る。この砕片を捕捉したい。

1. 自然における類似のプロダクトを特定せよ。(基本的な自然の類比を見つけよ)。

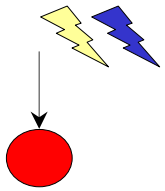
2. 自然のツール/「効果」を特定せよ。



3. このツール/「効果」を [いまの] 新しい状況に移行させよ。



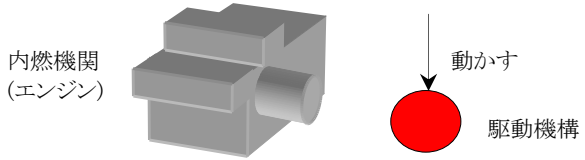
「効果」の
ハイブリッド結合



このツールが極めて有用なのは、あなたが要求の大きい持続する市場（認識されている市場)で働いていて、現行の「効果」の資源が限界になりつつあるときである。これは、新しい物理現象に移行する一つの方法であり、新しい「効果」に一足飛びで移行するときにたびたび起こるような性能を犠牲にするやり方ではなく、性能を向上させながら移行するやり方である。

例: いつの日か自動車が電気自動車になるであろうことにほとんど疑問はない。しかし一挙に電気自動車に移行するのは、払う犠牲が大きすぎるだろう。

1．この「変更」を提供するのに通常使われている、ありふれた「効果」からはじめよう。

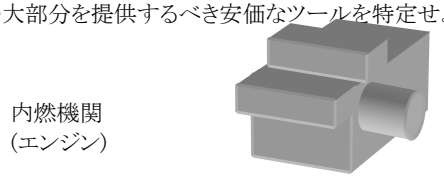


2．同じ「変更」を実行する他の「効果」を特定せよ。

3．新しいツールの特性（取り柄）で、最初のツールの能力を拡張するだろうものは何か？

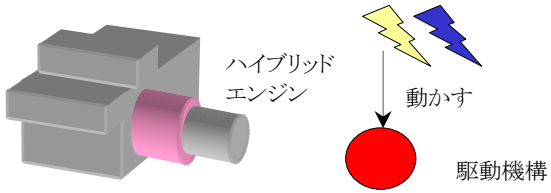
低速時のトルク

4．この機能の大部分を提供するべき安価なツールを特定せよ。

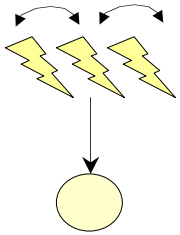


5．　両者の「効果」を結合してハイブリッドにせよ。**新しい能力が現れるはずである。**
下記のそれぞれを試みよ。

- 両者をツール全体のまま結合せよ
- 望ましい特性だけ移転せよ
- 両ツールが互いに「変更」するようにせよ



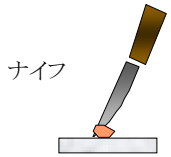
ツールを複数化して
併合または相互作用させよ



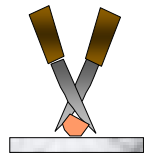
もしあなたが［いま目的としている］機能を実現する一つの物理現象を知っているなら、その［機能を実行する］通常のツールを複数化し、複数化されたそれらのツールを互いに相互作用させることによって、一つのまったく新しい物理的効果が創造される可能性がある。

そのよく知られた例は、普通のはさみである。

1．必要なものと類似の物理的「効果」に関する一つのオブジェクトを特定せよ。



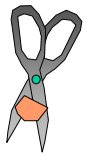
2．そのシステムを複数化せよ。まず二つにせよ。

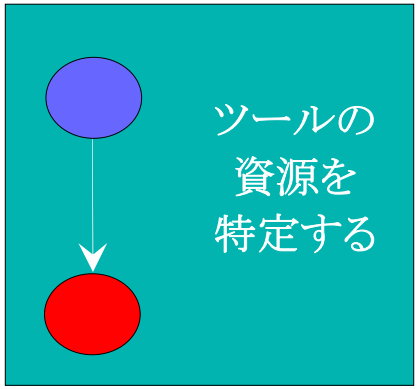


3．これらのツールを併合または相互作用させ、**予期しない能力**を生み出すことができるか？

- 異なった方向を試みよ
- 併合を試みよ

4．要素を統合せよ。





われわれは使うことのできる物理現象と「場」のいくつかを知ったので、つぎにどんなオブジェクト資源が使用できるか、そしてどんな「場」と物理現象をこのオブジェクト資源に連携させればよいかを検討するときである。

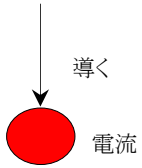
繰り返しになるが、システムに追加するのはできる限り少ない物質あるいはオブジェクトにしようとわれわれは試みている。できることなら、オブジェクトをまったく追加せずに機能を実行したい。もし可能なら、既存のオブジェクトと周囲の「場」がその「変更」を行うべきである。これができない場合に限って、われわれはオブジェクトの追加を考える。最善の状況は、プロダクトをほんの少し変化させて、周りの「場」がその機能を実行できるようにすることである。

これらのすべてがうまくいかないときにだけ、**既存のツールを用いよ**。

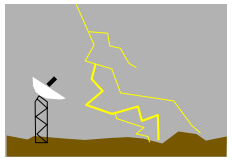
自然の「場」によって すでにわずかながら実行されている

ときには、一つの機能はある自然現象によってすでに実行されているが、それが非常にわずかであったり、あるいは有害でさえあったりする。[そのようなとき] 少しの助けによって、これらの機能を増大させ、有用になるまでにすることができる。

TRIZによる古典的な例は、無線タワーで、それを保護するために避雷針を必要としているケースがある。われわれは電流を導かねばならないが、これを自然の「場」を使って行いたい。



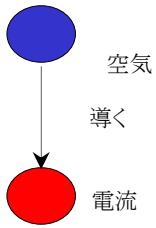
1. その機能は上位システムツールによってたとえわずかでも、すでに実行されているか?



はい、空気は電流を弱くだが導く。電荷は集中化された形で地表に達する。

2. どんな「効果」または物理現象が、この機能をわずかに行なうために使われているか？

これが始まるためには、空気は局所的にイオン化されなければならない。すると空気が導電性になる。電流が流れるにつれて、同じ方向に動く多くの電荷によって起こされる自己集中効果が生ずる。

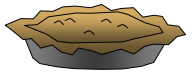


つぎのステップでわれわれは、「場」とツールへのどんな「変更」が機能を増大させるかと問うことができる。これらの「変更」は、自然の「場」に強力に反応する物質あるいは構造を、少量追加することを必要とするかもしれない。

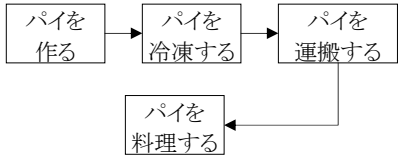
豊富にある自然の「場」

ほとんどのオブジェクトは自然の「場」の中にある。これらの「場」はプロダクトの全ライフサイクルに亘って一定であるわけでない。プロダクトの周りにある「場」を特定することにより、[われわれが求める] 機能を実行できるツール資源を見つけられる。

例として、パイを作ることを考えよう。われわれは食べる前にパイをカットしたい。



1. 製品のライフサイクルを、その関係するライフステージをとおして**プロセスマップ**に表せ。

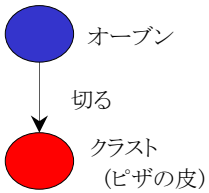


2. **この付録の最後にある「場の一覧表」[K24]** を見よ。プロセスの各ステップで、プロダクトがどの自然の「場」を経験するかを特定せよ。 これらの自然の「場」のうちのどれがこの機能をわずかでも遂行しているか？

熱の「場」

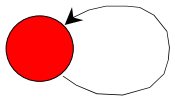
3. この機能を提供するのに、どの「効果」または物理現象を使えるか？

- 溶かす
- 化学反応



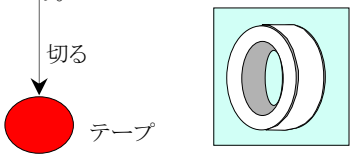
次の数ステップで、われわれはこの機能を増大させるよう試みることができる。

セルフサービス



問題のプロダクトは、それ自身に関連する自然の「場」を持っている。プロダクトに小さな変化を与えることによって、プロダクトが自分自身に「変更」を実行するようにできないだろうか？(ここに使うエネルギはまだ外部から来る必要がありそうである)。

例として、切らなければならないテープのロールを再び考察しよう。通常、テープは本体に支えられた刃によってカットされる。テープだけと、「切る」という「変更」とを考えることから始めよう。

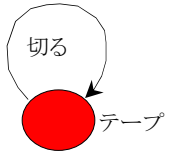


1. この付録の最後 [K24] の「場の一覧表」を調べて、このプロダクトにいつも伴っている「場」をもとめよ。

接着場 & 力学場

2. この機能を提供するのに、どの「効果」または物理現象を使うことができるか？

接着力を利用して、方向づけた力を創生する



3. この文脈の中でこれは何を意味するか？

テープの層間の接着力が、テープ物質自体の接着力よりずっと強い力を生み出さねばならない。

次の数ステップで、われわれはこの機能を増大させるよう試みることができる。

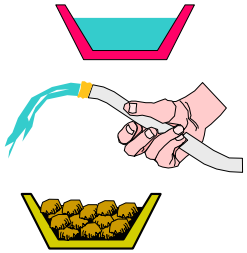
周りの要素の洗い出しリスト

このステップで、われわれの周りにあるありふれたものを検討し、必要な物理現象を提供するようにサービスさせることを考えよう。この方法は、弾力、重力、大気圧などの低レベルの「場」について特に有効である。[訳注（中川 2007. 2.15): gravitiy pressure の語を gravity, atomospheric pressure と解釈した]

1. 周りの要素の洗い出しリストを作れ。特に上位システムの機能モデルで考慮されなかったものを。

洗い出しリスト

- ペットフード
- 水用ボウル
- ホース
- 水用ボウルの中の水
- 餌用のボウル
- セメントの床

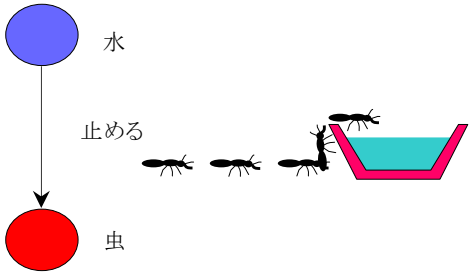


2. これらのオブジェクトに関連のある「場」は何か？

- 表面張力— 水のボウル
- 力学的場— 餌用ボウルと水用ボウル
- 水圧— ホース

3. リスト中の要素を、必要とする「変更」を実行するようにサービスさせる方法を考えよ。

- 単純な「変更」
- 分解あるいはばらして新しい構成要素にする



安価で豊富な物質

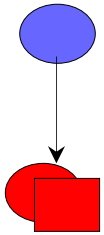
安価な物質

- 粉末
- 泡
- 空洞/空孔
- H20
  - 水
  - 氷
  - 水蒸気
  - 水和物
- 空気
  - 窒素
  - 二酸化炭素
  - 酸素
- 廃物
  - 排水/汚水
  - 鋸屑
  - 破れガラス/廃ガラス
  - 使用済み紙
  - ごみ/がらくた
  - 庭のごみ
  - 産業廃棄物
- さび
- 腐朽物
- 砂、土、岩
- 上記の物のばらばらになった形のものすべて

もし低コストで機能を提供できれば、システムの価値は増大する。安価で豊富な物質を使う方法があるなら、それを使ってみよう。もし［今の段階で］その「効果」が弱くても、あとでその「効果」を増大させることができるかもしれない。

1. 上記の表の物質を検討せよ。あなたが検討している「効果」のどれかを提供するのに、これらのどれかが役立たないだろうか？

近くにある類似ツール

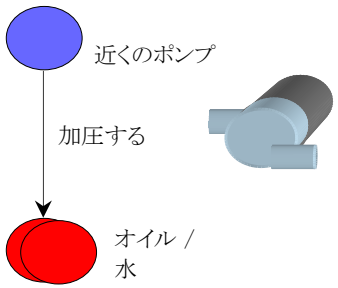


システムの進化プロセスに依存して、システム中の複数の要素が同じ機能を果たしていることがしばしばある。いくつかのオブジェクトが、異なるあるいは「差のある」いろいろなプロダクトに対して同じ機能を実現していることがある。ときには、この同じオブジェクトが、両方のプロダクトに機能を実施するようにサービスさせることができる。[訳注 (2007. 2.15 中川): 原文のproduct はobject (またはtool) の誤りと判断した。]

例えばいま、一つの上位システムが水ポンプと空気ポンプの両方を含んでいる。

1. 同じ機能を実行する類似ツールで、近くにあるものを特定せよ。

2. 両要素を結合、統合して、一つのシステムにせよ。



現行ツールを簡単化したコピー

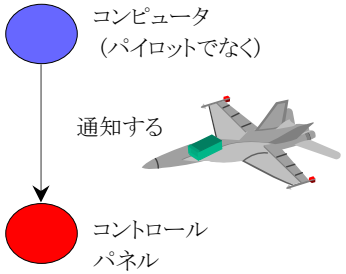
現行ツールの使用が過剰である［望ましい限度を越えている］ことがある、特にツールが人間の場合。単純化したコピーが、フルツールとしてその同じ機能を実行できることがよくある。

例えば、ジェット戦闘機はしばしば危険な偵察ミッションを行うことが要求される。パイロットがその高度な航空機を操縦する。パイロットは戦闘中や故障時の予期しない操縦を行う能力を持っている。しかし、偵察ミッション中にこのような機能が必要とされることはまれである。

1. 現行ツールのどの部分がこの機能を実行するか？

- パイロットの頭脳と手が、この現行機能を遂行する

2. このツールのコピーが、この機能を実現できるか？

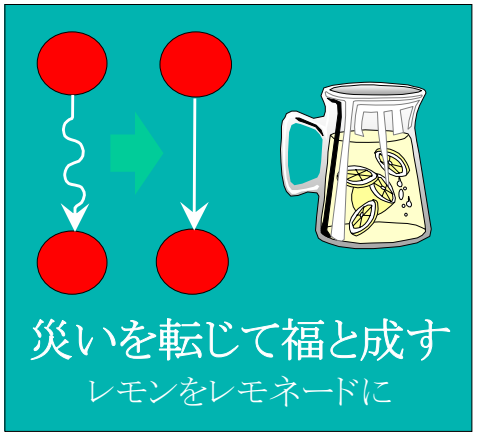


有害機能をIFR（究極の理想解）に変換するルール

有害機能を扱うには主な方法が二つある。(1) 有害機能を有用機能に変え、そしてそれを増大させる。(2) 要素を除去する。

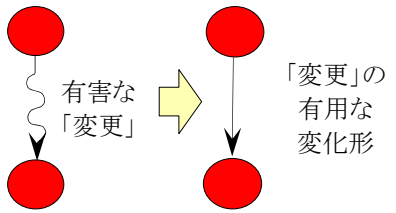
一般的に、方法(1) をまず検討すべきである。なぜなら、有害機能には、システムを単純化するのに使える物理現象の資源がしばしば含まれているからである。これがうまくいかなかったら、われわれはつぎに［方法(2)に進み］有害または無駄な要素を除去し、除去した要素が実行していた有用な機能を代行するものを何か見つけることを検討する。

［さらに、方法］(3)は、有害な機能を減少させることである。この方法(3)は一般に要素の除去を必要としないので、後のステップで検討しよう。



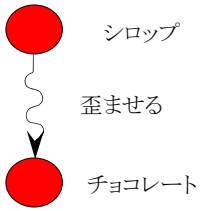
［訳注 (2007. 2.22、中川): この上の説明と図の配置を逆転させて、論理を明確にした。］

1 有用な変化形を特定する

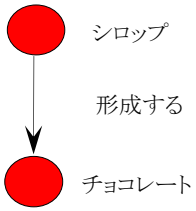


有害な機能を有用な機能に変えるための第一ステップは、有害な機能を有用なコンテクストに（どんな有用なコンクストでも良い）はめ込むことである。これにはしばしば多少の訓練が必要であるが、見方を変えることで大変うまくいくことが多い。

例として、チョコレート工場で生産性を上げるために、通常チョコレートに注入しているシロップを加熱した。これは粘度を減少させ、既存のパイプでいままでより大量のシロップを注入させることができた。しかし不幸にも、熱いシロップが今度はチョコレートを歪ませた。



1. 「**反機能**」を特定せよ。これはシステムの有用機能と考えられないか？



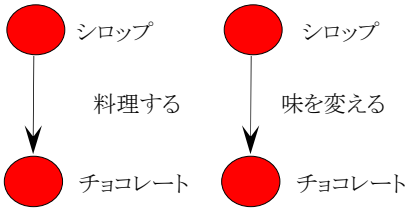
シロップがチョコレートを形成するか、あるいは形成を完成させなければならない。

［「反機能」の］例

- 溶ける --> 形作る
- 磨り減る --> 形作る
- 壊す --> 分解する
- 裂く --> 切る
- 燃やす --> 料理する
- 乱す --> 制御する
- 腐食する --> 守り固める
- 腐食する --> 形作る

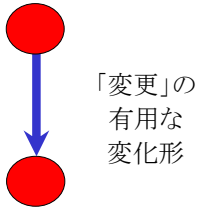
2. すでにプロダクトに施されているすべての有用な機能を特定せよ。

3. 有害な機能が、これらの有用な機能のどれかの**有用な変化形**ではないか？有害な機能の変化形として、新しい有用な機能を書け。



4. その機能は**なんらかのコンテクストで有用**ではないか？(どこかでプロダクトに働いて、あるいはシステムの中のどこかで、その機能が有用な形で実行されているが、それに気がついていない。)

2 有用になった機能を増大させる



われわれは有害機能の有用な変化形を特定したので、今度はそれを増大させよう。このときシステム中の他の要素に対する「変更」を考える必要があるかもしれない。最終的にシステムがより単純にならなければならない。そうならなければ、われわれは「害を益に変える」というアイデアを放棄すべきである。

1. 「ノブ一覧表」（付録 L）の諸方法のどれかを使って、この有用になった機能を増大させよ。

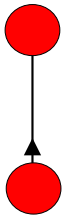
2. 次の数ページに、このような有用な機能を増大させる、ずっと強力な手段のいくつかの例を示す。［訳注］

シロップを変更して新しい物質にし、チョコレートの生地の感じと味を変化させるものにせよ。

より早い段階でシロップを導入し、チョコレートの形をモールドにしよう。

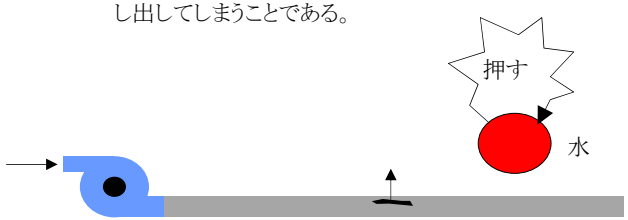
［訳注 (2007. 2.27 高原・中川): つぎの2頁 (K13-14) は、本ページのプロセス①②全体を示す方法と解釈するのがよい。］

「場」または作用を逆転させる

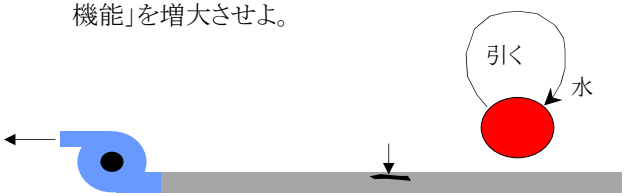


最も簡単に機能を逆転させる方法（つまり「反機能」を作り出す方法）の一つは、「場」を直接に逆向けることである。

例として、水が冷却パイプから漏れて溶解炉の耐火レンガの中に出てしまう状況を考えよう。水は[高温の] レンガと接触すると爆発を起こす。有害な機能の一つは、圧力のかかった水が自分自身をパイプから押し出してしまうことである。



1. **「場」を逆転させ、「反機能」を実行させよ。**この「反機能」を増大させよ。

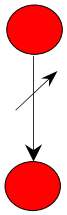


「場」を逆転することは、パイプ内の水を減圧する（真空下に置く）ことである。ポンプは水を押すのでなく、引くようになる。

2. 現在の作用の逆を構成するものは何か？

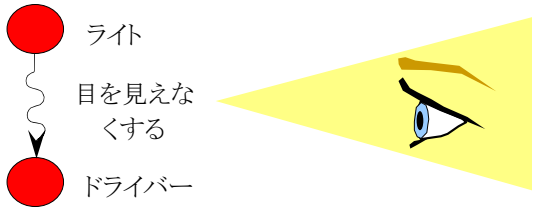
3. 作用は何に対して相対的に行われるのか？それを代わりに変化させよ。

調節可能にする



ほとんどすべての有害機能は、それを調節可能にすれば有用なものに変えることができる。調節可能な摩擦は牽引力の制御に使える。調節可能な磨耗は形成に使える。

例として、ハイビームにして来る対向車からの眩しいライトについて検討しよう。

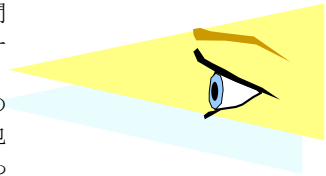


1. もしその有害な機能が**調節可能なら**、それは「反機能」、あるいは有用な変化形、あるいは他のシステムプロダクトに対する有用な機能を実行できるだろうか？

ビームの強さが調節可能なら、それはドライバーの注意度や酔っ払い度の通信に使うことができるだろう。

2. 有害な機能の**固定されたノブ**で、調節可能にできるものを見つけ、それを増大させよ。

もしドライバーの反応時間が遅いなら、ライトはビームの一つの色を変える。それはそのドライバーの気をそらせるはないが、他のドライバーに危険を知らせる。



それを使う

ときには、一つのオブジェクトが有害な機能とその有用な変化形とを同時に実行しているだろう。有用な機能が非常に低い程度にしか形成されていないために、認識されていないのかもしれない。有用な変化形を増大させると、実効的に有害機能を除去できる。

例として、透明なダストカバーを使っている望遠鏡を考えよう。このカバーのわずかなムラ/凹凸が入射光をゆがめる。

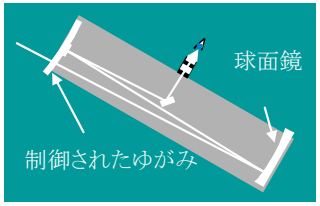
1. 有害な機能と一緒に、気づかないくらいのわずかな有用な変化形が実行されているか？

2. 有害機能と**ともに、バランスしないほどわずかながら**「反機能」が実行されているか？[そうなら]「反機能」を増大させよ。

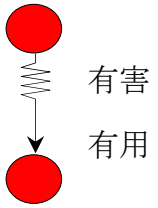
3. 有害な機能が、プロダクトまたは他の要素に対して、どこかの場所で**最小限であっても、**有用であるか？[それなら] その有用な機能を増大させよ。

[光の] ゆがみの一部が、実際には光を焦点に合わせるのを助けている。もしこれを増大させれば、利用できるか？

[光の] ゆがみを使って、(放物面でない) 球面鏡の効果を補正することができるだろう。(球面鏡の方がより安価に造れる [という利点がある]。)

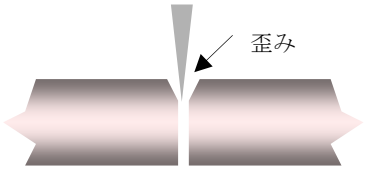


美的に組み込む



いろいろな形の芸術で、作品の創作活動中にたまたま生じたきずを、芸術家はなんとか組み込んでしまうことが求められる。ペン画での小さな偶然の線が茂みの描き始めになるなどである。

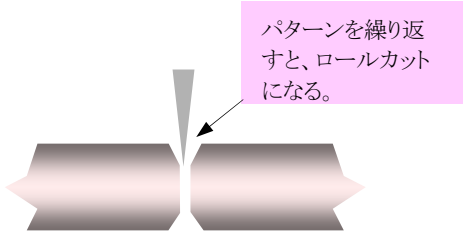
例として、プラスチックのチューブの切断を取り上げよう。切断プロセスにおいて刃が切り始める所でチューブが歪む。



1. 有害な「変更」によって作られたきずを、**美的に**組み込むことができているか？

まだ

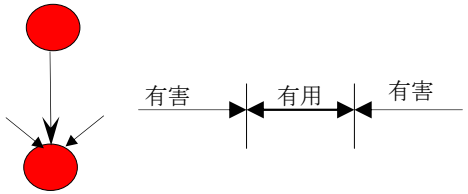
2. きずを複数化せよ。複数化したきずでさまざまに異なったパターンを作れ。どんなパターンが最もよく見えるか？あるいは有用な機能を実行するか？



3. この美的な組み込みは、有用な機能を実行するか？

この面取りは、チューブの端に接続する要素をガイドする役目を果たす。

正確に実行する

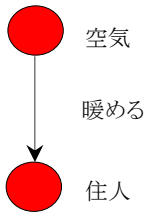


有用な機能もその有用な限界を超えれば、有害になることがある。そのような場合には、単にこの限界内に収めさえすれば、有用になるだろう。

例えば、もし部屋の温度が高くなりすぎたら、人に有害な機能を及ぼす。

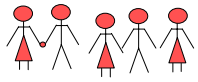
1. 「変更」を**非常に正確に**遂行することによって、その有害な機能の「反機能」または有用な変化形を達成できるか？

2. ［それなら、］その正確さを増大せよ。



温度を限度内に戻せば、暖めるという通常有用な機能を再び有用にできる

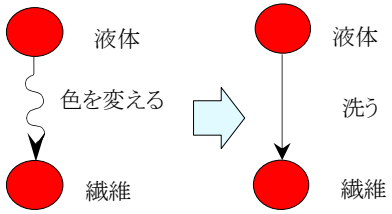
賢い小人たち（SLP）



「賢い小人たち」の方法は、共感的な視点で状況を見ることを可能にする。有用な変化形を特定する前ステップを通った後もなお、与えられた「場」と構成要素がどのようにしてこの有用な機能を実現するかが明らかでないかもしれない。物理現象が与えられているが、それをどのように使って、有用な変形を実施するのだろう？

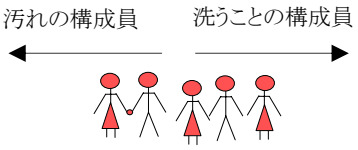
例えば、いくつかの液体はカーペットの繊維にひどいしみを作る。

1. その有害な機能の有用な変化形の一つを定義せよ。

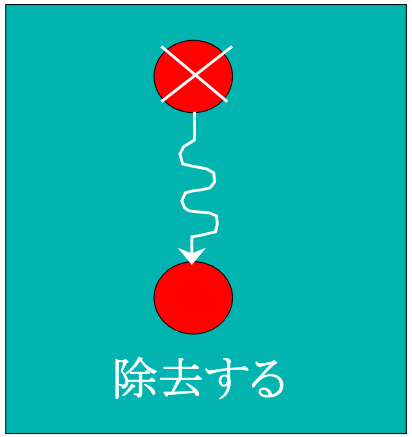


2. システムが一緒に働く「**賢い小人たち**」で構成されているとイメージせよ。その有用な変化形を実行するために、彼らは何をするか？

·これらの小人たちはまた、必要に応じて消えたり再登場したりする能力を持っている。

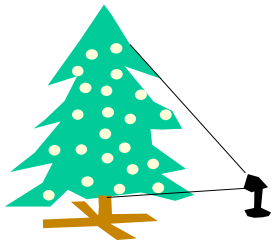


小人たちは汚れの構成員と洗うことの構成員に分かれる。洗うことの構成員たちは繊維をきれいにするのに使われ、汚れの構成員たちは繊維の基部に廃棄される。



除去することは、有害機能を扱うに際して最もよく教えられてきた方法である。ユーザがオブジェクトを除去するのに成功すれば、システムは単純化され、われわれは究極の理想解により近づける。

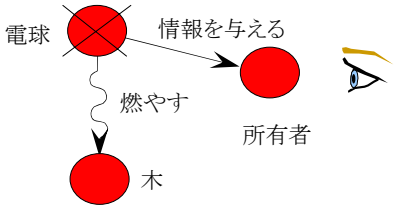
有害オブジェクトを除去することは往々にして別の問題を引き起こす。有害なオブジェクトが有用な機能をも実行していたことがありうるからである。さていまや、この［有用］機能がシステム中の他の要素または環境によって実行されることが必要であるか、あるいは、この有用機能への要求を取り去ることが必要になった。



「存在しない」ツール

一つのツールが有害な機能と有用な機能の両方を引き起こすことは非常によくあることである。[この場合] ツールの除去は害を取り除くけれども、このツールが実行していた有用な機能を他の何かに移す必要性が生じるかもしれない。

例えば、毎年クリスマス期間中に、[飾り付けた]電球による火災のために多数の家が焼失している。電球は有害な機能と有用な機能を遂行しているのである。



1. ツールはもはや存在しない。
   - もはや製造されない
   - プロダクトの源を除去する
   - プロダクトの経路を除去する

電球を除去する必要がある。そこで、電球の機能を何が実行するかを考えねばならない。飾りが電球にとって代わり、小さな光の点を放つ必要がある。飾りにつけた小さな蛍光ステッカが「黒い光」[見えない光]に照らされて輝く。

2. そのツールは廃物プロダクトか？ そうならそのツールを即刻除去しよう。それはなにも有用な目的を果たしていないから。

「存在しない」プロダクト

プロダクトの中には、システム中で必要ないものもある。それらは有害あるいは廃物プロダクトであろう。もし廃物プロダクトなら完全に除去してもかまわない。それらを存在しないようにする一つの方法は、最初から廃物を出さないようにすることだ。

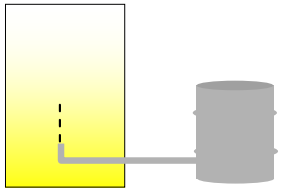
例えば、工場で廃液プロダクトがしばしば漏れ出て地下水を汚染する。漏れ出るのは容器の腐食やまずい処理などによって起こる。

1. プロダクトは有害または廃物と考えられているか？

使用ずみの液体は廃物で、リサイクルを待っている

2. プロダクトはもはや存在しない。
   - もはや製造されない
   - プロダクトの源を除去する
   - プロダクトの経路を除去する

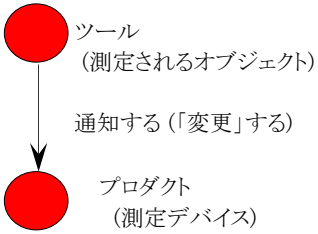
3. 廃物プロダクトは有用になり、その有用性を利用して除去される。

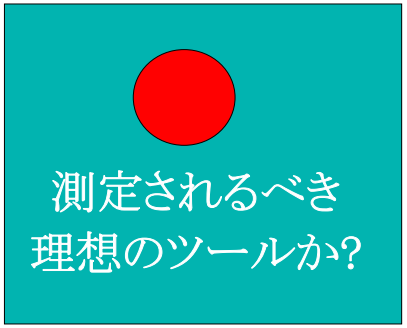


廃油は直ちに燃やされ、エネルギ源になる

検知/測定機能をIFR（究極の理想解）に変換するルール

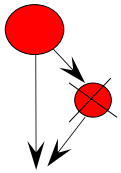
検知と測定の機能は、他の有用な機能とは異なったやり方で扱う必要がある。一つの理由は、最初に焦点を、プロダクト(測定デバイス)でなく、ツール(測定されるべきオブジェクト)に当てるべきだからである。ツールはプロダクトに、それがどのように変化しているかの情報を与えねばならない。それには、何らかの方法で測定デバイス(プロダクト)に「変更」を与える。





[訳注 (2007. 2.23、中川): この上の説明と図の配置を逆転させて、論理を明確にした。]

直接に作用するセンサ



いかなる物理現象もクリティカルポイントを持つようにすることができる。クリティカルポイントとは、オブジェクトの性質が急激に変化するような操作領域をいう。物質の沸点や融点はそのよい例である。このクリティカルポイント近傍で操作することは、直接に作用する要素を可能とする。受動制御を実現するために、われわれはセンサが**測定と調節に同じ「場」**を使うことを要求する（この場合、プロダクトはセンサと調節を結合した要素である)。

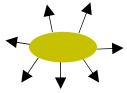
例として、流体の温度を測り、流体を閉じる要素を動作させる制御システムについて考えよう。

1. 測定されるオブジェクト（ツール）のパラメータに関連する場を特定せよ。

温度

2. このパラメータ変化に反応する物理現象を一つ特定せよ。

相変化の際の膨張

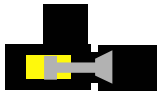


3. この物理現象に関連するクリティカルポイントを特定せよ。

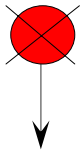
融点

4. このクリティカルポイントを横切ることが測定と制御の双方に使える方法を特定せよ。

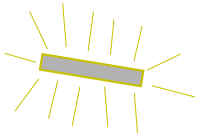
溶融による膨張が閉じる要素を動かす力を与える。



「存在しない」ツール



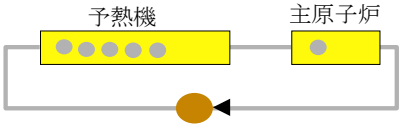
オブジェクトを測定したり検知したりすることは、そもそもそれらのオブジェクトが必要ないのなら、必要なくなるだろう。オブジェクトを廃棄するのが困難だから、いまやそれらを測定する必要がでてきているのが普通である（使用済み核燃料や廃棄化学薬品など)。それらを最初から除去する方法を見つけることが、通常ずっと理想的である。



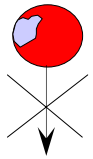
核廃棄物とその収納媒体を監視しなければならない

1. ツール（測定対象物）は有害または廃物か?
2. ツールをなくせ。
3. ツールの源をなくせ。
4. ツールの経路をなくせ。
5. 廃物は有用になり、その有用性を使って除去される。

核廃棄物を予熱機にする。予熱機が成長するにつれ、主原子炉の材料を減少させる。



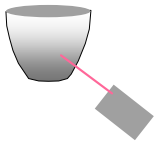
測定 / 検知が必要ない



すべての有用な機能は、害を防止するか、何かを直すというコンテクストで考えることができる。これは測定機能についても当てはまる。

例: 真空の炉の中の坩堝(るつぼ)の温度は常時測定されている。

1. なぜツールは測定されているのか？検知または測定は、何かを修理または防止する準備のために要るのか？

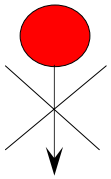


温度を測定しているのは、坩堝がまさに溶けようとするときをオペレータが知るためである。

2. ツールまたはシステムの他の要素に、どんな「変更」をすれば、もはや測定が必要なくなるか？

坩堝を作る材料を、溶融しないような十分高い融点をもったものにする。温度測定はもう必要ない。

測定のすんだ状態でやってくる



［この状態では］ツールは検知を必要としない、なぜなら検知が既に組み込まれているから。光の強さを測定するためには、光の周波数は既知でなければならない。

1. ツールの物質の量を分割して、必要な性質が既に分かっているようにできるか？（重量や体積の事前測定）

   ・薬 － 錠剤

   ・食料品 －パッケージ

   ・チューブ － 工場生産による直径（大変正確）

2. 「場」の測定のために、もとの「場」が離散形で現れるようにせよ。次はいくつかの例である。

   ・音または振動 － 設定周波数（共鳴） と持続時間

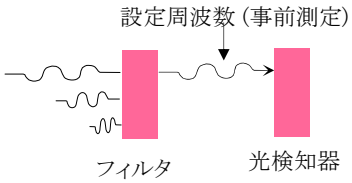
   ・光 － 設定周波数 または 持続時間

   ・浮力 － 離散体積

   ・圧力 － 液体/気体平衡相は一定圧力を与える

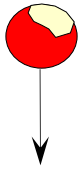
   ・温度 － 液体/気体平衡相は一定温度を与える

   ・電流 － 電流ドライバー［定電流電源（?）］を使う



［訳注（2007. 2.23、中川）: 原文の「一定圧力」を訂正し、「一定温度」とした。

最小部分



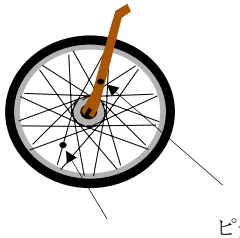
多様な要素で構成されているシステムの一つのパラメータを検知あるいは測定することは、そのシステムの一部分だけのパラメータを測定することで、単純化できることがある。

例: 自転車の速度は、どのようにして測れるか？

1. ツール（測定対象）が単一の要素であるなら、ツールのどの最小部分を検知しなければならないか？

   ［いまの場合、測定対象は自転車だから］
   ツールは単一要素ではない

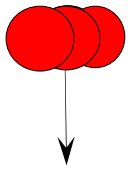
2. ツールが複数の要素からなっているなら、システム全体を測定しようとするよりも、測定可能なシステムの部分をまず特定せよ。



自転車全体でなく、車輪の一部分の回転を検知せよ

磁気ピックアップ

ツール要素を複数化する



しばしば、多数のオブジェクトの性質の平均値を測定するほうが、単一のオブジェクトのその性質を測定するよりも容易である。これがほとんどいつも当てはまるのが、粒子や分子、原子といった微小物体の性質を測定をする場合である。

例: 昆虫の体温を測ることを考えよう。

1. ［測ろうとしている］オブジェクトは小さいか？

   はい、昆虫は小さい。

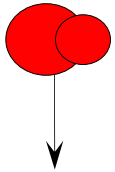
2. そのツール（測定対象）は自然なまとまり、群れをなしているか？あるいは、分離するのが難しいか？

   普通はそうでない。群れを成した
   昆虫でないなら。

3. グループを同時に測定することは、より理想的か？またはよりやさしいか？例えば、個々の測定値に比べて、平均値を知ることに利点はあるか？

グループとして昆虫を計測することは、よりやさしいし、一つの平均値が得られ、それはいくつかの状況ではより理想的といえる。

差のあるツール（測定対象）



一つの検査装置が、狭い範囲の値をもっているオブジェクトしか計れないとしたら、極めて限られた用途のものになるだろう。 広い範囲に渡る値のオブジェクトを測定するという要求は、その測定に使う物理現象に大きな影響を与える。

例として、ガラスの厚さの測定を考えよう。 測定対象のガラスは多様な厚さを持っている。

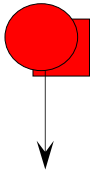
1．測定の必要な類似オブジェクト（ツール）があるか？

はい、さまざまな厚さのガラスがやってきます。

2．［測定］システムがより広く多様なオブジェクトの測定を行えれば、より理想的といえるだろうか？

はい、特に多様な顧客から多数の仕事が来ると予期される場合は。

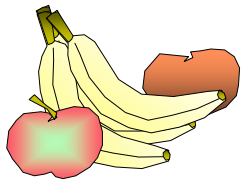
多様なツール（測定対象）



お互いに似ていないオブジェクトでも測定できるなら、より理想的といえるだろうか？

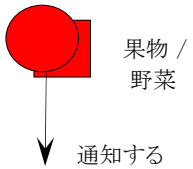
例として、食料品店での果物や野菜の自動清算機を考えよう。一つ一つの果物や野菜は重さがいろいろである。それでも、重さを量り、値段を決めるのは迅速に行わないといけない。

1．同一タイプの測定や検出を必要とする多様なオブジェクトがあるか？

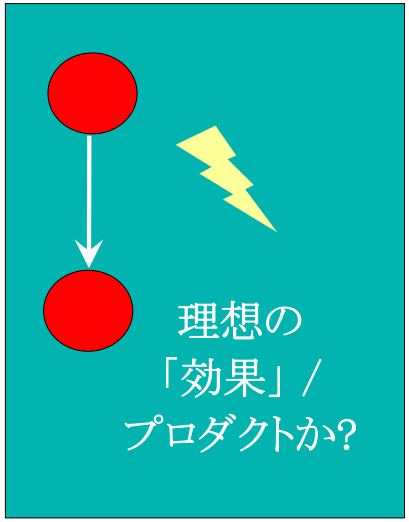


はい。重さを量ることが必要なさまざまな果物や野菜があります。

2．これらのオブジェクトがすべて、同一の装置で測定できるなら、より理想的といえるだろうか？



もし非常に多様な品物を測定できれば、自動清算は大いに強化されるだろう。



[訳注 (中川、2007. 2.23): CREAX 社の Function Database の和訳・掲載を計画しており (許可取得済み)、各種分野での翻訳ボランティア数名を求めています。]

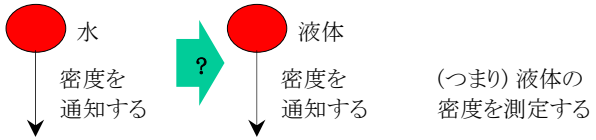
「効果」の一覧表

「効果」の一覧表もまた、測定と検知に使うためのさまざまな物理現象を提供することができる。われわれが望む測定が分かれば、この一覧表で類似の測定要求を見つけることができる。通常これは、求める測定を一般化したものになっている。この一覧表はそれを測定するのに使える多様な物理現象を教えてくれる。

例として、水の密度を測定することを考えよう。

1. 想定するべき性質あるいはパラメータを決定せよ。

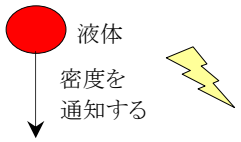
2. 与えられた機能を一般化した機能に変換せよ。この一覧表は一般に、機能の用語を使っていない [ので注意せよ]。



3. 「効果」の一覧表を見て、望ましい物理現象を見つけよ。「効果」の一覧表の出典の一つへ行こう。いくつかの商用ソフトウェアツールがこのような一覧表を持っている。簡略版が次のサイトで見つけられる。

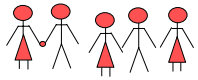
www.creax.com [訳注]

4. 一般化された測定 [すなわち、測定すべき性質を一般的な用語で表現したもの] を一覧表で見つけ、そして、それに使える物理現象のすべてを検討しよう。



5. この「効果」を受ける適切なプロダクト [すなわち、測定デバイス] を決定せよ。

賢い小人たち (SLP)

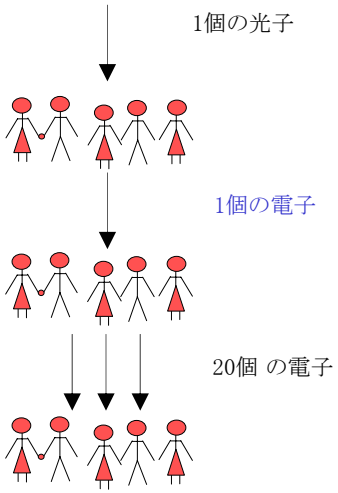


例として、光強度の測定を考えよう。

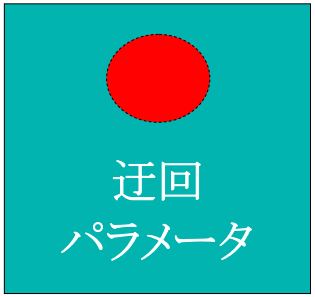
1. システムが、一緒になって働いている**賢い小人たちから構成されている**とイメージせよ。

   ・この小人たちは、必要に応じて消えたり再出現したりする能力も持っている。

2. パラメータの変化の測定を可能にするために、彼らは何をするか？彼らは一緒になってどのように働いているか？



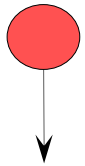
[訳注 (中川、2007. 2.23): この図の中間段階は原書で「20個の電子」となっているが、上記のように訂正した。]



ときにはオブジェクトや「場」のパラメータを直接的に測定するのが困難なことがある。この節では、[そのような場合に] パラメータを間接的に測定することができるさまざまな方法を示す。

一般的にいって、これが可能なのは、すべてのものが相互に関係しているからである。われわれが一つのオブジェクトの一つのパラメータを変化させると、そのオブジェクトおよび環境の他の多くのパラメータが影響を受ける。これらの影響を受けた他の諸パラメータのうちの一つを測定することによって、われわれが望んでいたパラメータを間接的に測定することができる。

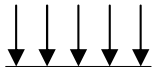
二次パラメータ



あるパラメータを直接測定する代わりに、測定したいパラメータに影響を受けた二次パラメータを測定することができる。オブジェクトの諸パラメータはいつも互いに影響しあっている。オブジェクトの温度はそのサイズに影響する [膨張するなど]。オブジェクトの重量は浮力に影響する。実際、ほとんどすべてのパラメータは、二次パラメータを測定してから推論することによって、測定されている。

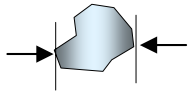
例として、圧力の測定を考えよう。

1. 測定が必要なのは正確にどのパラメータか？



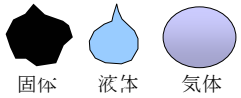
圧力

2. この主パラメータが変化すると、[影響を受けて] 変わるような二次パラメータをリストアップせよ。



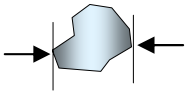
形の変形

温度



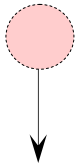
物理状態

3. 代わりにこれらの二次パラメータを測定せよ。



サイズの変化を測定する

コピーまたは複製の利用

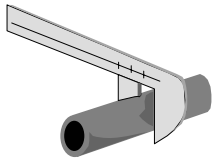


一つのパラメータを測定することが困難な場合、そのオブジェクトのコピー、またはそのオブジェクトの重要な面を模擬した複製を、測定することを考えよ。「矛盾の一覧表」からさまざまな可能なコピーを抽出したリストである。

- 写真
- 映画
- 描かれた表紙
- 鋳型
- 時間経過の写真
- 印象

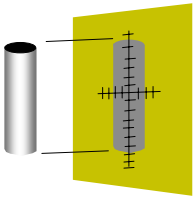
- 影
- 鋳造物
- レジスト
- 投影
- コンピュータモデル

例として、弾力性のある物体のサイズを測定することを考えよう。ノギスのような伝統的な測定器では、測定中に対象物を変形させてしまう。

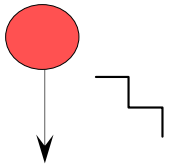


1. 上記のリストを見て、対象物の複製の一つを測定することを考えよ。

影を測定する



順次測定



- 離散体積
- フィルタ
- 音符
- 通り/止まりゲージ
- 計量スプーン
- 分銅のセット

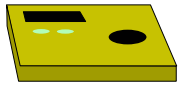
このツール [方法] は事前測定の考え方によく似ている。この方法では、[測りたい] オブジェクトのパラメータを、離散レベルでしか現れない他のオブジェクトの同じパラメータと比較する。

例として、いろいろなオブジェクトの共振周波数を測定することを考えよう。

1. どのくらい正確な測定が必要か？

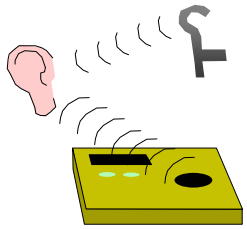
50 Hz以内

2. 測定のレベル、または二次パラメータの測定レベルを、離散レベルに分割せよ。第二のデバイスによってこれらのレベルを創り出せ。



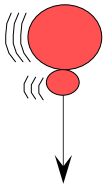
ディジタル楽器が離散音符の音を出す

3. 測定あるいは検出されるオブジェクトと、これらの離散値とを比較する。



耳で、音符の音と共振を比較する。
音符の音の周波数はすでに分かっている。

共振（共鳴）



共振（共鳴）

- 力学的
- 遠心力
- 表面張力
- 流体振動
- 音
- 超音波
- 波
- 静電気
- 電流
- 電磁的
- 蛍光

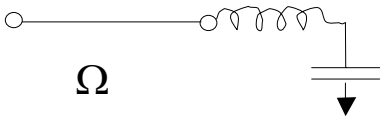
共振（共鳴）は二次パラメータの中の重要なタイプである。多くのパラメータは、オブジェクトまたは付加したオブジェクトの共振によって測定できる。ほとんどすべての「場」は共振によって測定できる。 共振には力学的、流体振動的、電磁的、または蛍光的なものがある（熱的共振は実現困難である）。共振は、マクロなオブジェクトから、粒子、分子、原子、電子にいたるまであらゆるレベルで起こりうる。

例として、長いワイヤとその接続の抵抗の測定を考えよう。

1. 測定されるパラメータが変化するとき、どのタイプの共振が影響を受けるか？

抵抗が電流の共鳴を変える

2. 求めたいパラメータを測定するために、オブジェクトの共振の振幅または共振周波数を測定することを考えよ。

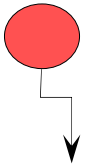


共振回路をワイヤに接続する。共振振幅が抵抗についての情報を与える。

3. パラメータのレベルを測定するために、そのオブジェクトのさまざまな部分の共振振幅と周波数を測定することを考えよ。

4. 求めるパラメータを測定するために、一つのオブジェクトを付加して、共振振幅と周波数を測定することを考えよ。

微分測定

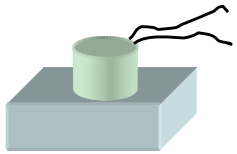


f(t) --> f'(t) --> f''(t)

パラメータを測定する最も強力な方法の一つは、変化の速さを測定し、ついでそれを積分することである（測定してから微分することもまた可能だが、非常にノイズが多い）。現代のコンピュータ技術では積分は簡単に行える。また、アナログ回路で積分を行うことも可能である。

例として、オブジェクトの相対位置を決定する問題を考えよう。

1. **より高次の微分**を測定する。



オブジェクトに加速度計を置き、加速度を測定する。

2. 必要な回数の積分を行い、求めるパラメータを決定する。

$$\int\int \ddot{X}\, dt = X$$

望んでいるパラメータの検出や測定が困難じあるときには、その理由はしばしば、関係する物質や「場」が強い相互作用を持たないからである。「マーカ（目印)」とは、特別なタイプの付加物であり、ひとつの「場」と強く結合し、それゆえに容易に検出できるものをいう。しばしばその検出は、視覚、触覚、嗅覚、あるいは味覚で直接に行われる。

理想の付加物は「存在しない」付加物だということを覚えておこう。「存在しない」というのに近い付加物を作る以下の方法を考えよ。

1. 特に活性な付加物 (ごく少ししか必要でない)

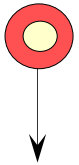
2. 濃縮された付加物 (ごく少ししか必要でない)

3. 一時的な付加物 (必要でないときは除去されるまたは自分からなくなる)

4. もとの材料の分解物 (機能を提供する部分だけを使う)
   ・化学分解物　・分割物

5. 物質の代わりに「場」を付加する

内部マーカ



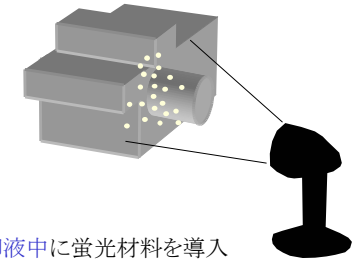
「内部マーカ」とはツール［測定対象物］と混合されているか入れ子になった付加物質をいう。この物質が対応する「場」と相互作用して、測定を容易にする。

例として、冷却液の漏れの検知を考えよう。

1. 測定するべき現在の材料は、なんらかの「場」と強く反応するか？この付録の最後にある「場の一覧表」(K24) を見て探せ。

強く反応する「場」がない

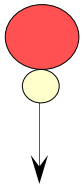
2. ［強く反応する「場」が］ないなら、測定対象の物質の内部に、強く相互作用する「場」を有する付加物を導入せよ（左欄に示したルールに従え)。



冷却液中に蛍光材料を導入する。「黒い光」[目に見えない光] が漏れの位置を示す。

［訳注（2007. 2.24、中川): 原文の潤滑剤は、冷却液の誤り。］

付加マーカ



「付加マーカ」とはツール［測定対象物］の外側に取り付けられたマーカをいう。これは、汚染を防ぐために、あるいは、ツールと容易に混合しない［ので内部マーカにできない] という理由で行われる。

この例は野生の動物の位置計測である。動物の体内に物質を加えるのは、困難または危険である。

1. このツールはなんらかの「場」と強く反応するか？－この付録の最後にある「場の一覧表」(K24) をチェックせよ。

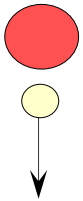
強く反応する「場」がない

2. ［強く反応する「場」が］ないなら、ツールに付加可能な「場と物質の対」を特定せよ。
   ・オブジェクトに付加せよ。
   ・オブジェクトを覆え。

動物ははっきり見える番号がついた大きな襟をつけている。

3. もし問題が生じたら、後続のステップで矛盾を解消することを検討せよ。

分離マーカー
Detached Markers



分離マーカが必要になるのは、ツール［測定対象物］とマーカの相互作用を最小限に保たなければならないときである。この場合には、ツールが環境に対して及ぼす二次効果を検出する。

例えば、バクテリアの動きを検出することを考えよう。

1. 内部マーカまたは付加マーカを見つけることができないのか？

できない

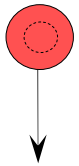
2. マーカをツール［測定対象物］と混合したり付加したりできないなら、パラメータの変化がすぐ周りの環境に与える二次効果を特定せよ。

バクテリアが運動すると、その周りに廃棄物を残す

3. マーカを環境に付加し、そのマーカの変化を測定せよ。

媒体を変更して、[バクテリアの]廃棄物と反応して泡を生ずるようにする。

内部場マーカ



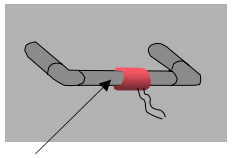
マーカをツール［測定対象物］に付加しない最良の方法の一つは、代わりに一時的または永続的な「場」を追加することである。 このページは「場」を追加するさまざまな方法を検討する。

例として、パイプ中の流体の流れの方向をどのようにして決定できるかを考えよう。

1． この付録の最後にある「場の一覧表」を見て、ツール中に安全に宿りうる「場」を求めよ。

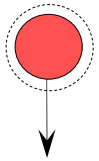
- 圧力
- 表面張力
- 音波、超音波
- 振動
- 電流
- 熱的な「場」
- 電磁場
- 静電場

2． この「場」をツールに付加したら、つぎに「効果（物理現象）の一覧表」を見て、これらの「場」を検出する方法を求めよ。



パイプに加熱ベルトを取り付ける。パイプは流れの方向に一層熱くなる。

外部場マーカ



ときには、「場」が物質を乱すので、その「場」はツール中に宿ることができない。また、 ある種の「場」は主として表面現象に関連しており、ツールの中に宿ることができない。ここで、ツールの上に存在する「場」で、そのツール以外のいかなる物質にも関与しない「場」を考えよう。

例: 土星の輪の回転速度を測定することを考えよう。

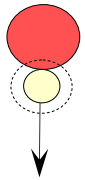
1． この付録の最後にある「場の一覧表」（K24）を見て、主として表面現象に関連する「場」を求めよ。一瞬だけ存在するような「場」も許容せよ。

- 表面応力
- 摩擦
- 接着
- 表面張力
- におい、味
- コロナ放電
- 表面電流
- 静電場
- 反射光、放射

2． 「効果の一覧表」を見て、これらの「場」を検出する方法を求めよ。

反射光のドップラーシフトにより 輪の速度を検出できる。（輪の両側面のドップラーシフトに差がでる。）

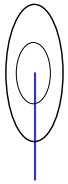
付加場マーカ



どんな「場」もツールやその表面に宿ることができないなら、強く結合した「場」が宿ることができるような一つの物質をツールに付加することを検討しよう。

例として、野性動物の追跡を考えよう。

1．この付録の最後にある「場の一覧表」を見よ。この表の各々の「場」に対して、その「場」が容易に宿り、その「場」を保持して表示するような物質を特定せよ。

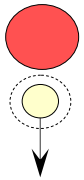


アンテナに、交流電流が宿り、それが電磁的「場」(すなわち電磁波)を放出することができる。

2． その物質をツールに付加する方法を考えよ。

発信アンテナを動物に着けておく。このアンテナからの「場」［電波］を、もう一つのアンテナと増幅回路によって検出する。三角法により動物の位置が分かる。

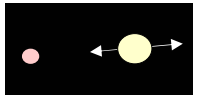
分離場マーカ



付加場マーカにおける「場」と物質の対は、ときにはツールを乱すことがある。このような場合には、ツールが環境に引き起こす二次効果があるだろう。そこで、その二次効果を測定するために、物質－場の組をすぐ周りの環境に導入し、その「場」を測定する。

例: 他の恒星システム中にある惑星をどうすれば検知できるだろうか？

1． 測定したいパラメータが環境に及ぼす二次効果を特定せよ。

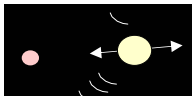


他の大きなオブジェクトが惑星の重力作用によってふらつく

2．この付録の最後にある「場の一覧表」の中の各々の「場」に対して、「場」が容易に宿り、その「場」を保持し、容易に表示するような物質を特定せよ。

星は熱的「場」を保持し、光を発する

3． その「場」を環境に付加あるいは混合し、そしてその「場」を検出する方法を検討せよ。



微小なドップラーシフトを使って、ふらつきを検出する

「場の一覧表」

(Table of Fields)

弾性力 (内部 & 外部)	重力	摩擦	接着
遠心力	物体の慣性力 (方向に注意)	コリオリの力	
浮力	静水圧	噴射圧	表面張力
におい　味	拡散	浸透圧	化学的「場」
音	振動 & 発振	超音波	波
コロナ放電	電流	エディ電流 (内部と表面)	粒子ビーム
	加熱 または 冷凍	熱衝撃	核力
	静電場	磁場	
	電磁気 (電圧)		情報
ラジオ波	マイクロ波	赤外線	可視光	紫外線	X線