

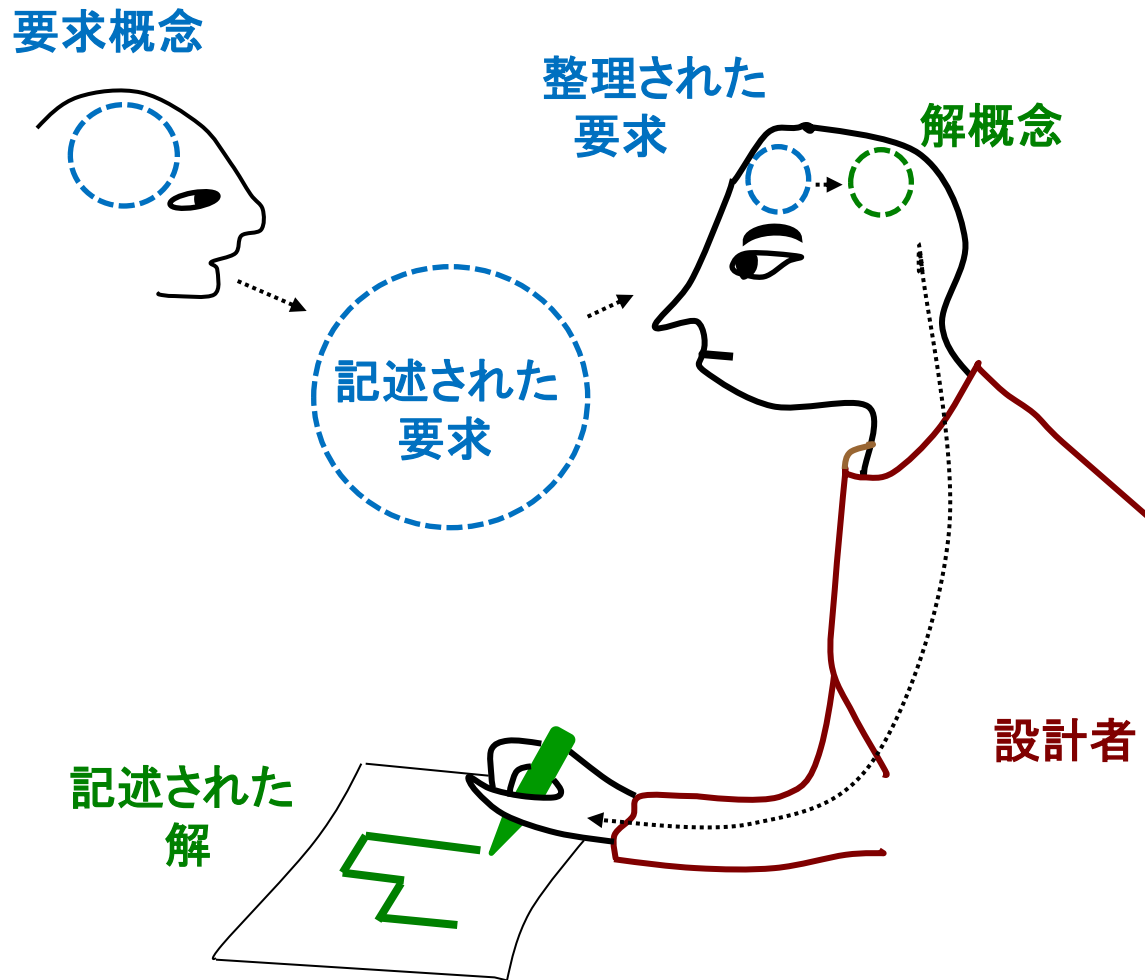
一般設計学

色々な設計に共通する思考
(設計はどこまで形式的記述が可能か)

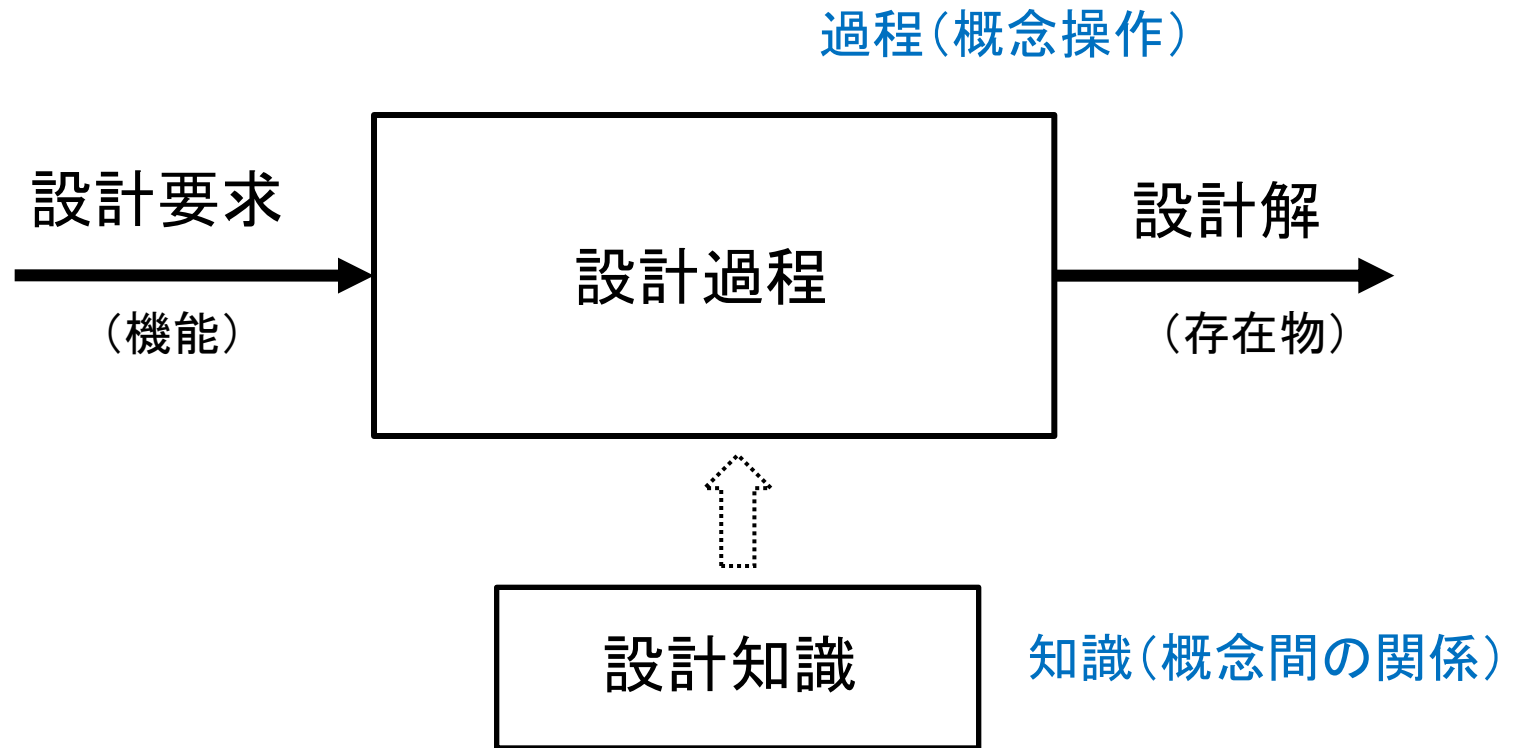
吉川弘之

東京大学工学部精密工学特別講義 2011年1月12日

設計： 要求から解へ



設計の形式的表現



設計過程は概念操作である。したがって操作可能な概念の表現を定めることが必要である。

設計学の展望

C.Levi-Strauss: Structure of knowledge and design process

Pahl, Beitz: Descriptive and classificatory

Bruce Archer: Arithmetic and optimizations

W.G.Rodenacker: Functionality

これらは、機能概念から実体概念への推移問題として設計を扱う。この推移は複雑であるだけでなく、従来の科学的な理論では取り扱えない本質的に不明な過程を含んでおり、その過程についての仮説設定が、各設計論を特徴づけているともいえる。ところで、ある理論がどの部分を仮説にしているのかという点が明快でないために、理論相互の関係がよくわからず、いわゆる学問における論争は起きなかった。一般設計学の目的は、仮説部分を明示することによって、設計に関する学説の進化論的進展を期待するのである。

設計問題の本質

1. 基本領域の共約不可能性と臨時領域の不整合性

①基本領域が属性に従って作られる。言い換えれば整合的な領域を作れるという条件だけで属性が選ばれる。この選択の非制限的な随意性により、領域の共約不可能性(incommensurability)を生む。(材料力学では、電気抵抗は意味を持たない)

②それに対して、臨時領域は機能に従って作る、すなわち整合性よりも人間にとっての意味で作られる。この成立の外部性によって、領域の整合性が期待できない。
(しかし共約不可能性は解消されている可能性がある。)

2. 思考の不可逆性

①学問(領域知識)の進展は抽象化に誘導されて起こる(Peirce)。抽象化は、言語的記述、分類、法則、定量化などの順で進む。すなわち領域が次第に体系的な性質を向上する。このことは、体系性向上のために抽象化が進むと言った方がよい。結果として、体系化が進むことによって、関連する諸性質を捨てる(捨象)のであり、このことにより、元の領域の点(事実)と進展した領域の点(性質)との間の写像が準同型となって(複数の事実が一つの性質へ:鉄の棒と木の棒が同じ強さに移される)、事実から知識への移動はできるが知識から事実への移動が一意でなくなるという不可逆性(irreversibility)を生む。

②不可逆性を解消するものとしてシステム科学がある。システム科学を可逆性という見地から整理することは、設計の第二のパス(メタモデル)にとって重要である。

この二者が設計問題を難しくしている。これを克服して“設計学”を樹立するためには、これらの困難性の本質を理解することから始めなければならない。

一般設計学の公理

(1979, H. Yoshikawa)

公理1(認識公理)

実体は抽象概念(属性、機能、形態など)によって認識あるいは記述することができる。

公理2(対応公理)

実体集合と(理想的な)実体概念集合とは1対1対応する。

公理3(操作公理)

抽象概念集合は実体概念集合の位相である。

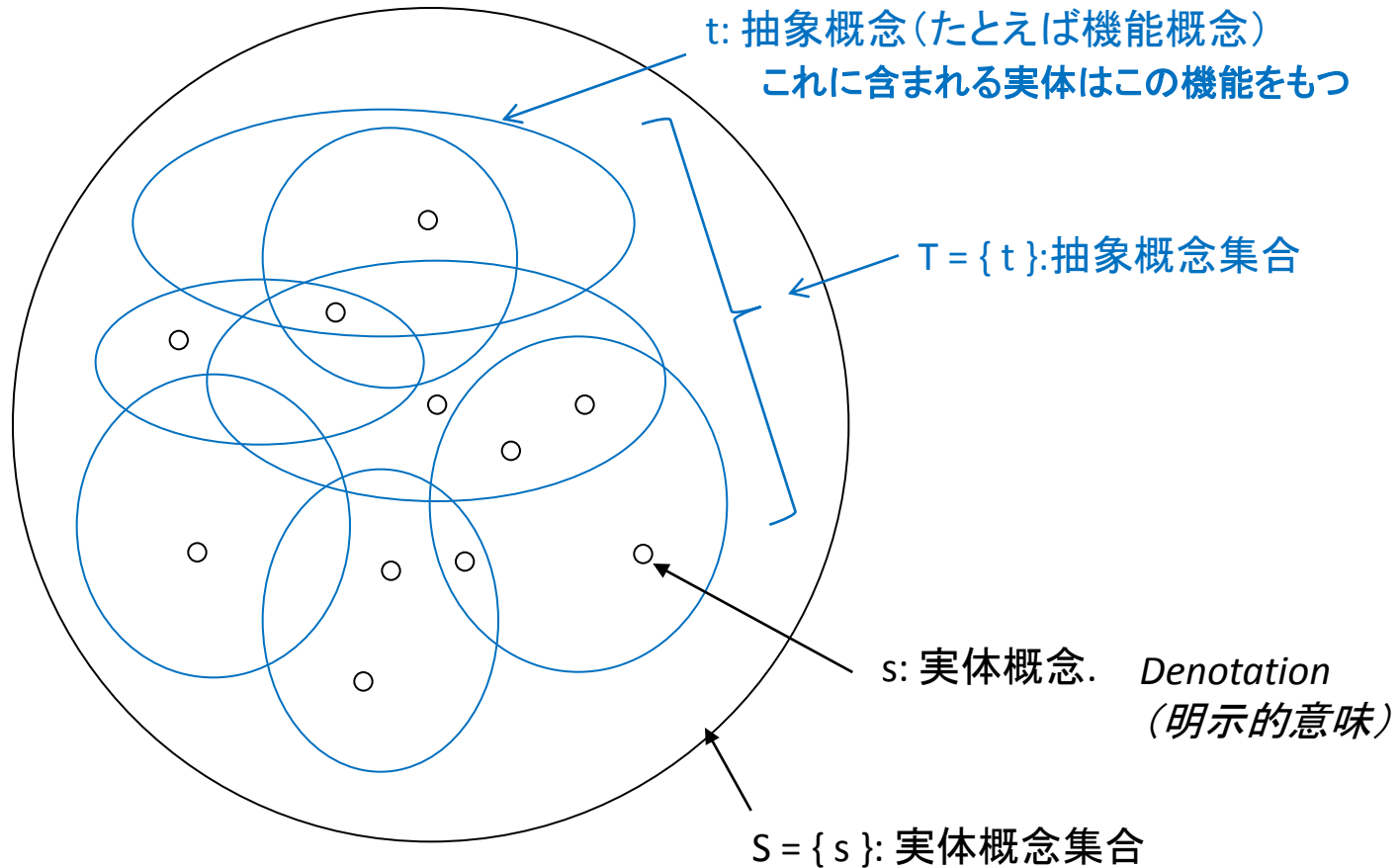
公理4(現実的知識)

物理概念集合から任意に選んだ集合属による、実現可能な実体概念集合の被覆には必ず有限被覆が存在する。(T.Tomiyama, H.Yoshikawa,1985)

概念とは、概念間の関係(知識)とは、概念操作とは?

一般設計学における概念モデル(知識)

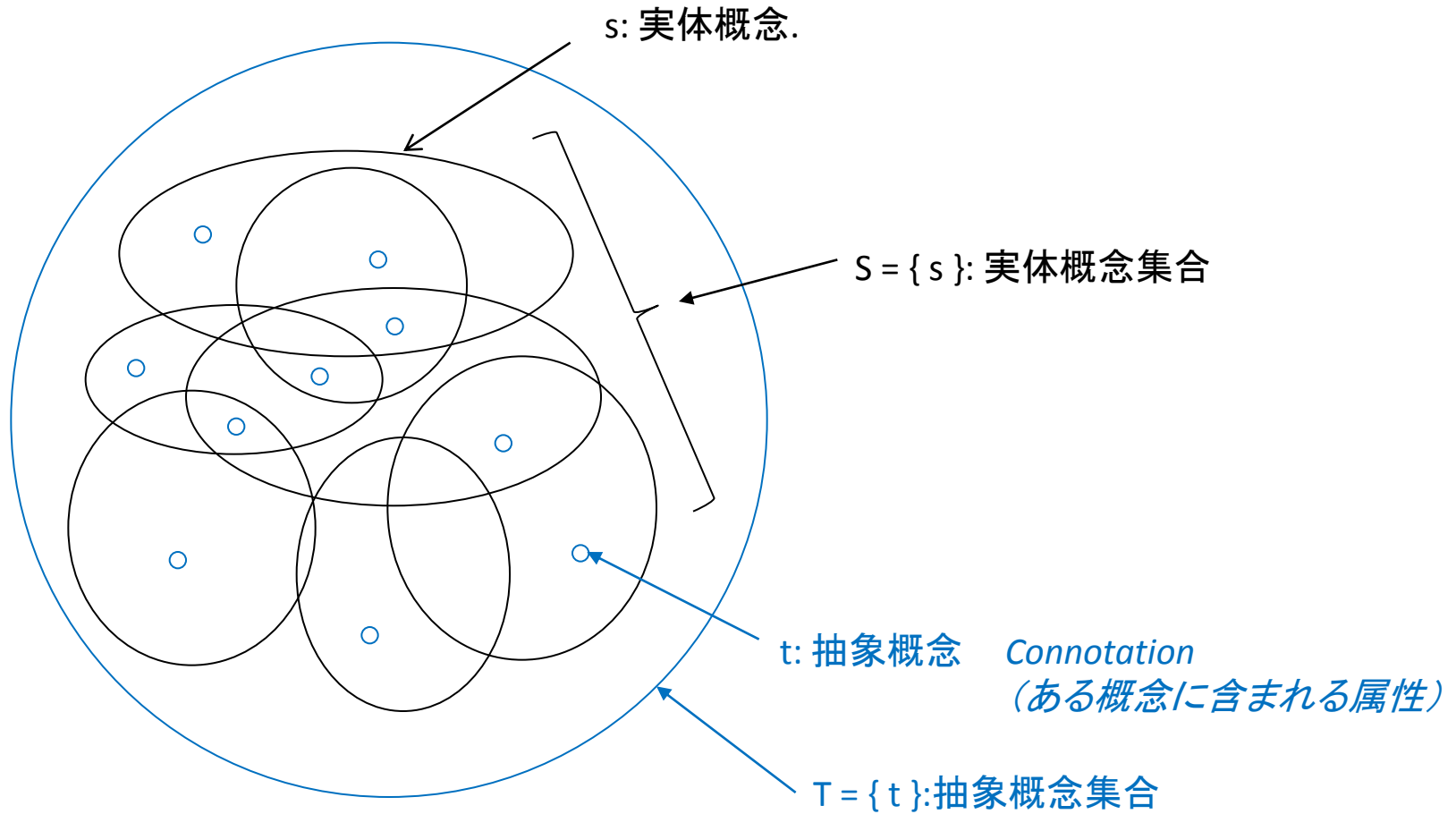
(1) 外延の集合



実体概念集合(点集合)と抽象概念集合(部分集合系)

一般設計学における概念モデル(知識)

(2)内包の集合

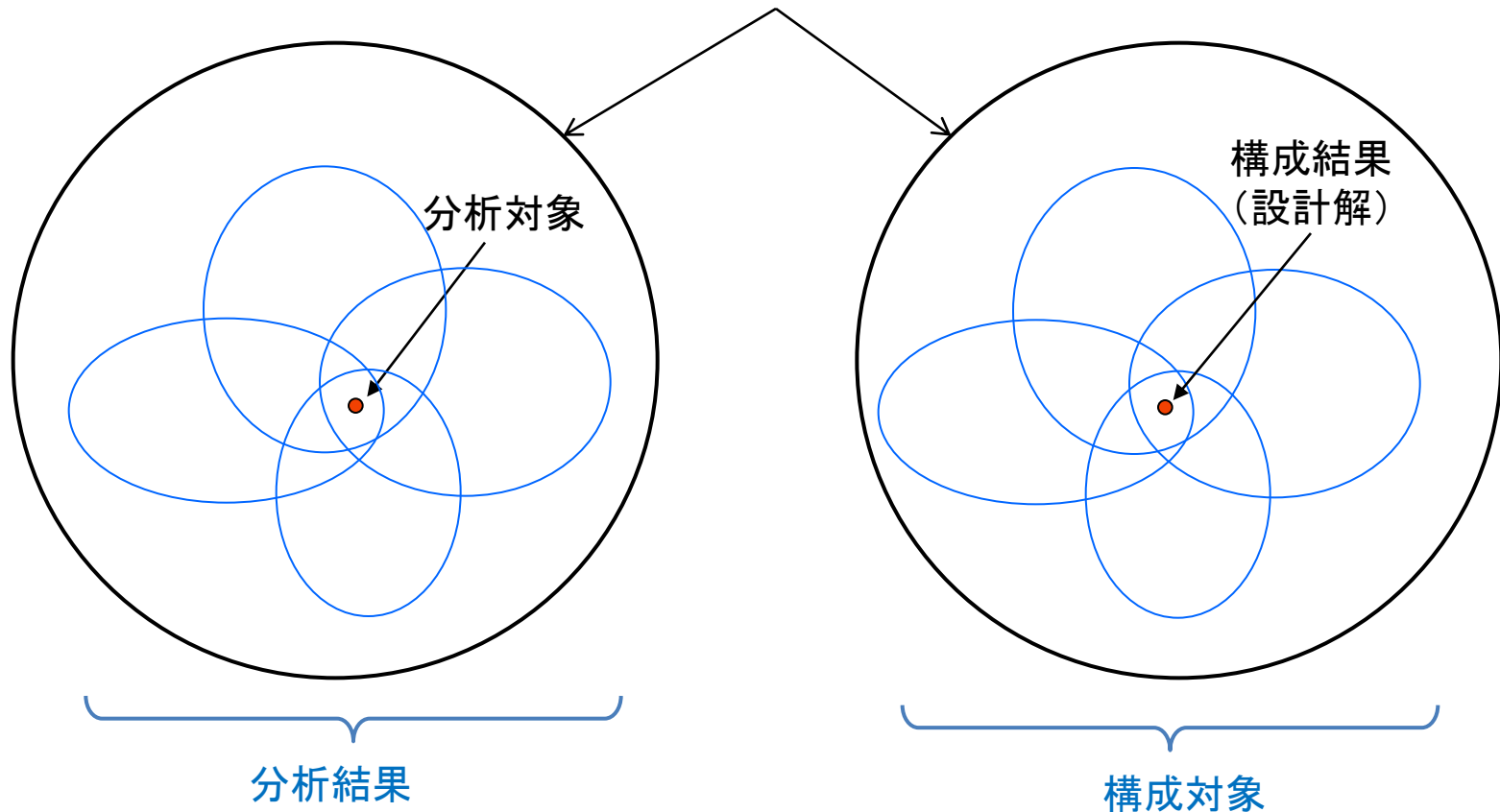


実体概念集合(部分集合系)と抽象概念集合(点集合)

理解(分析)と設計(構成)の不可逆性

外延の集合における関係

実体概念集合 (機能による部分集合系)

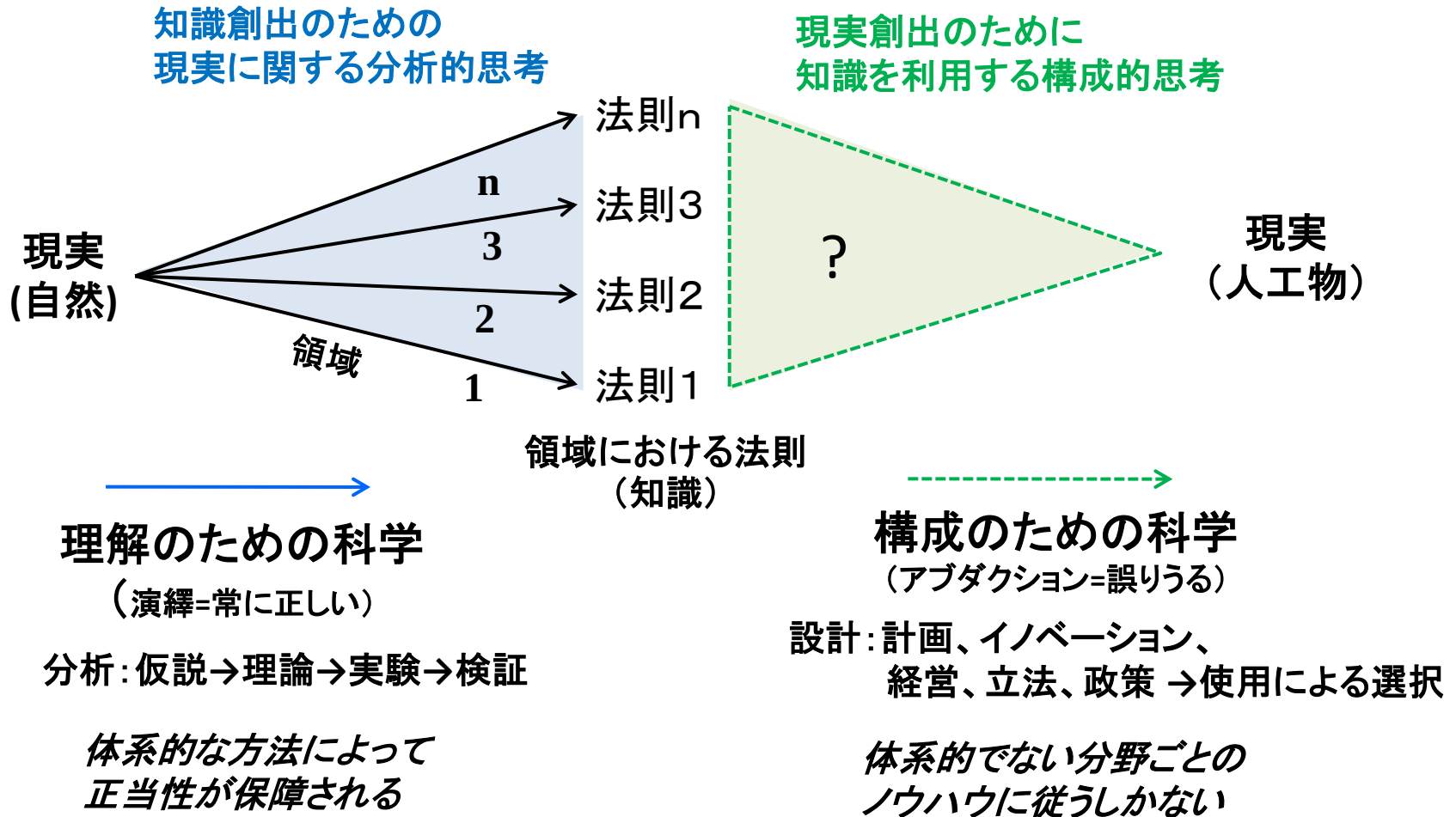


不可逆性の例: 〈分析〉 鉛筆 $\Rightarrow$ 字を書く、再生する、消す、持ち運ぶ

〈構成〉 字を書く、再生する、消す、持ち運ぶ $\Rightarrow$ 鉛筆、シャープペンシル、-----

理解(分析)と構成(設計)

科学的思考における知識構造の非対称性と過程の不可逆性



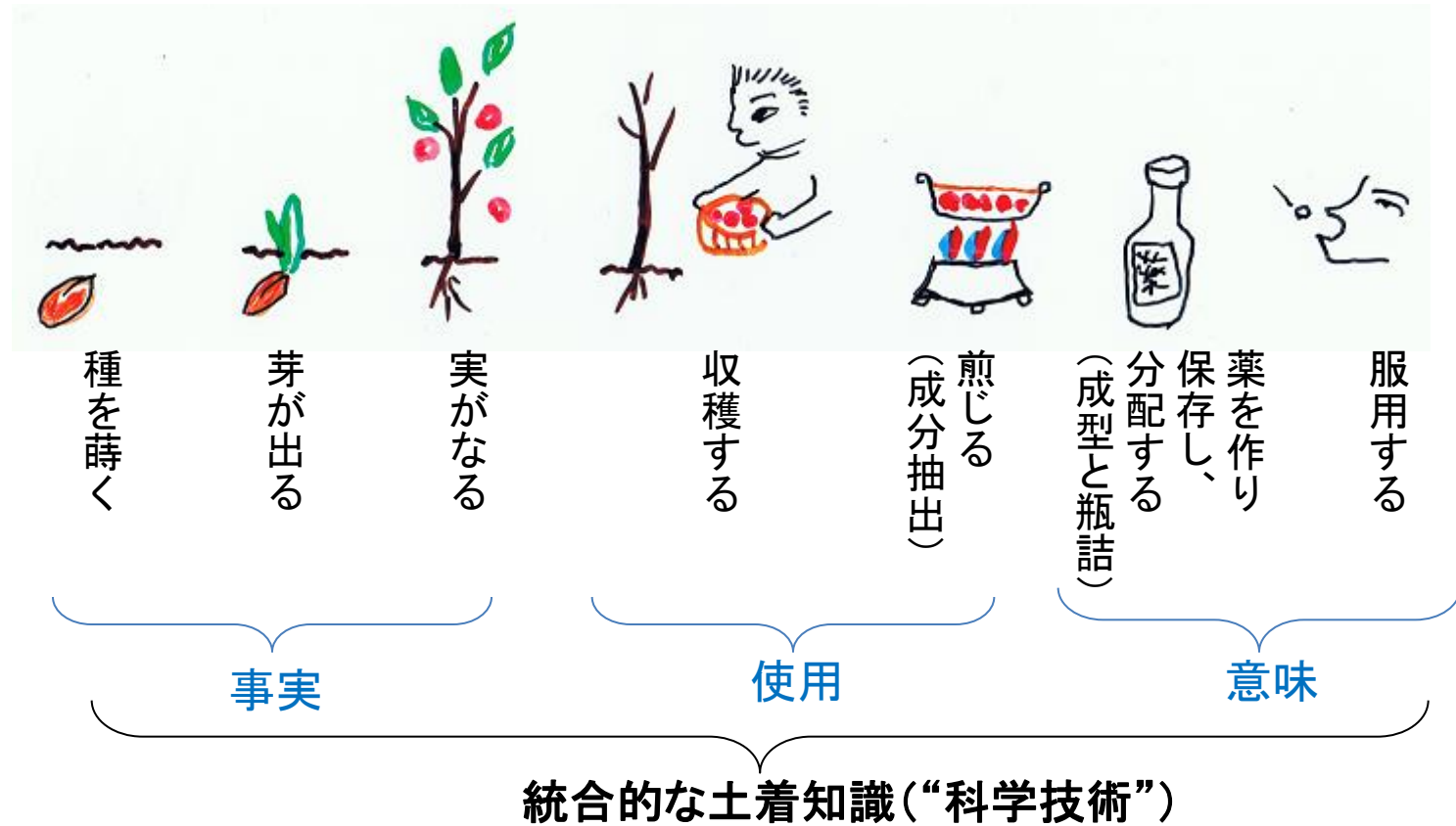
設計学は、構成的思考過程(概念操作)の体系化を目標とする。

知識（概念とその関係）の表現

通常知識と科学知識

土着知識と科学知識

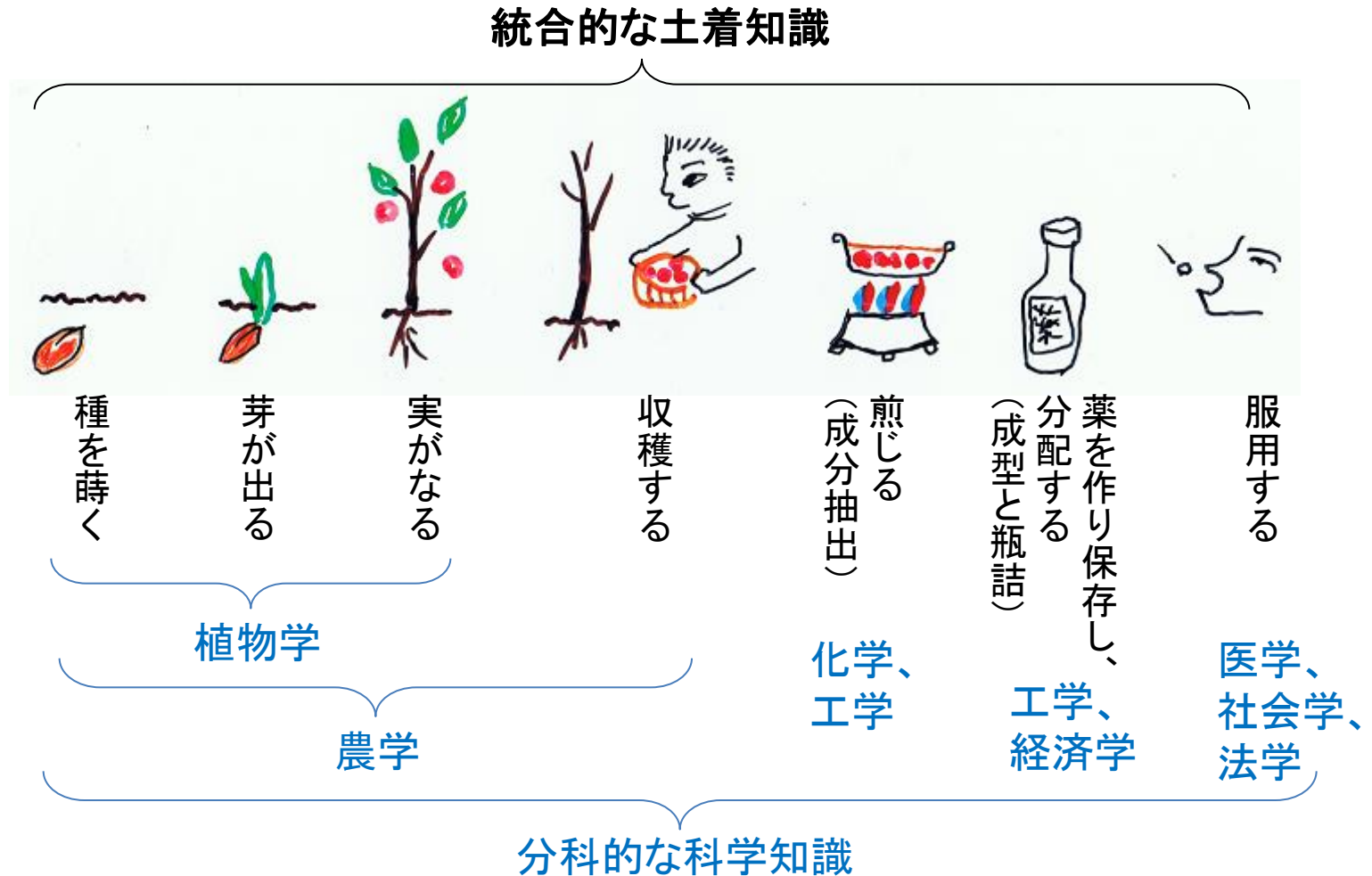
例：病気を克服し生き延びるために（目的を持つ知識）



土着的知識は、一度獲得すればいつでも行動を再現できる。すなわち可逆である。これは観察と構成の抽象化水準が等しい（観察の道と構成の道、行き帰り、が等しい）からである。しかし新しい行動を創り出すことはできない。

科学(科学知識)の成立

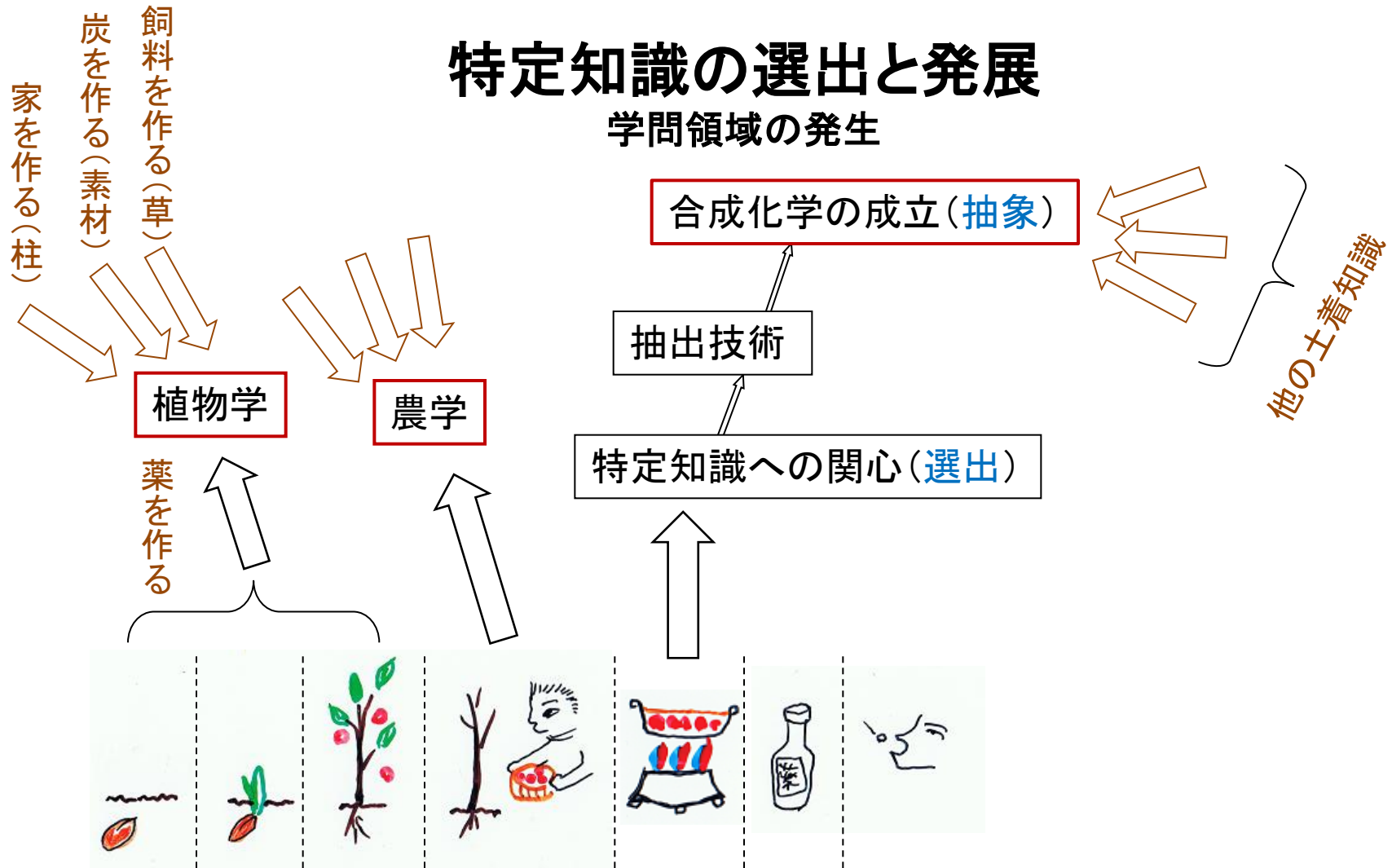
第一の分割: 対象の類似性によるコレクション



“分科”され、相互関係を拒否した領域群として成立した科学は、領域を再構成して意味のある結果を持つ行動を生み出すために人工物科学を必要とする。

特定知識の選出と発展

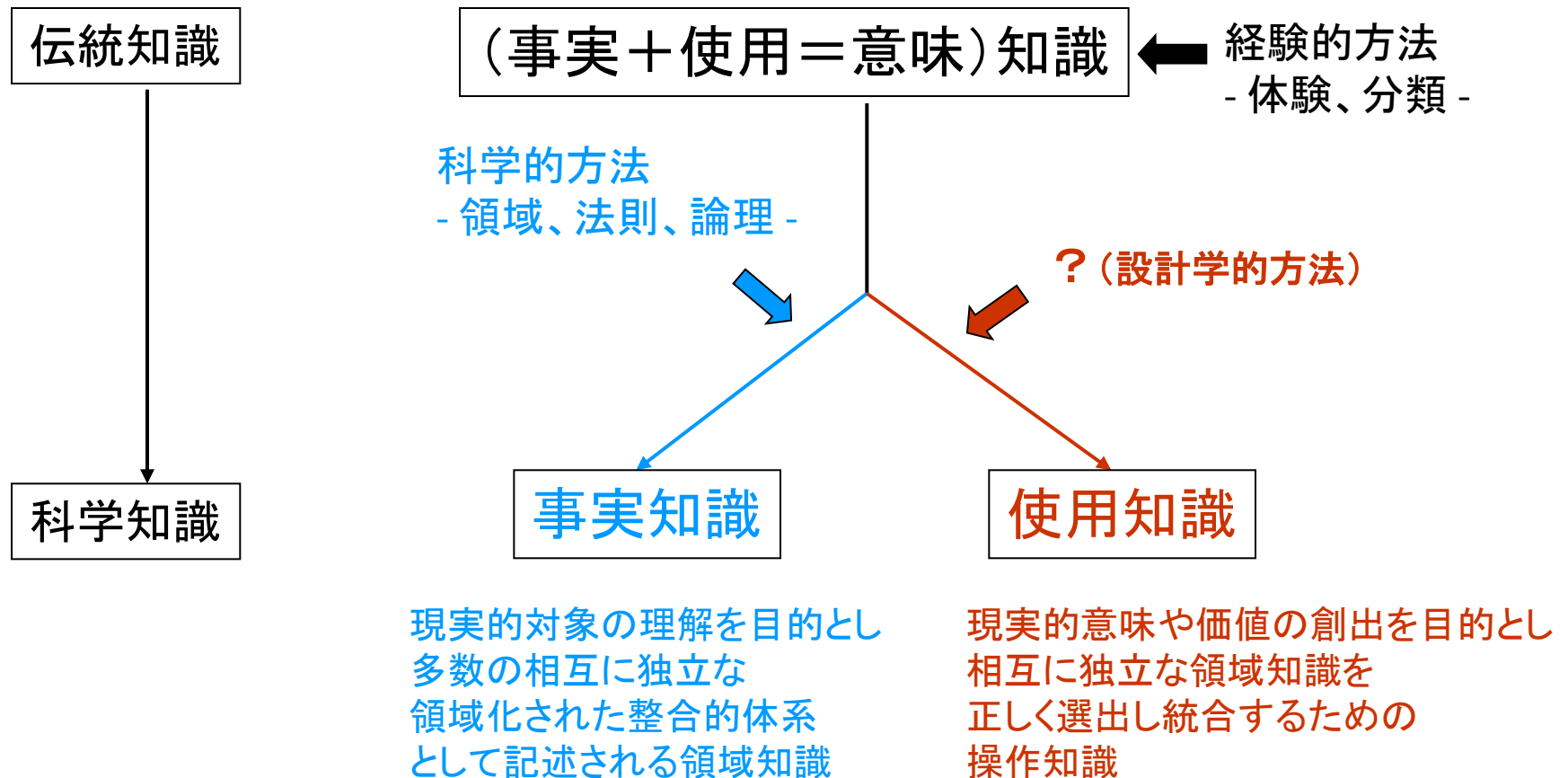
学問領域の発生



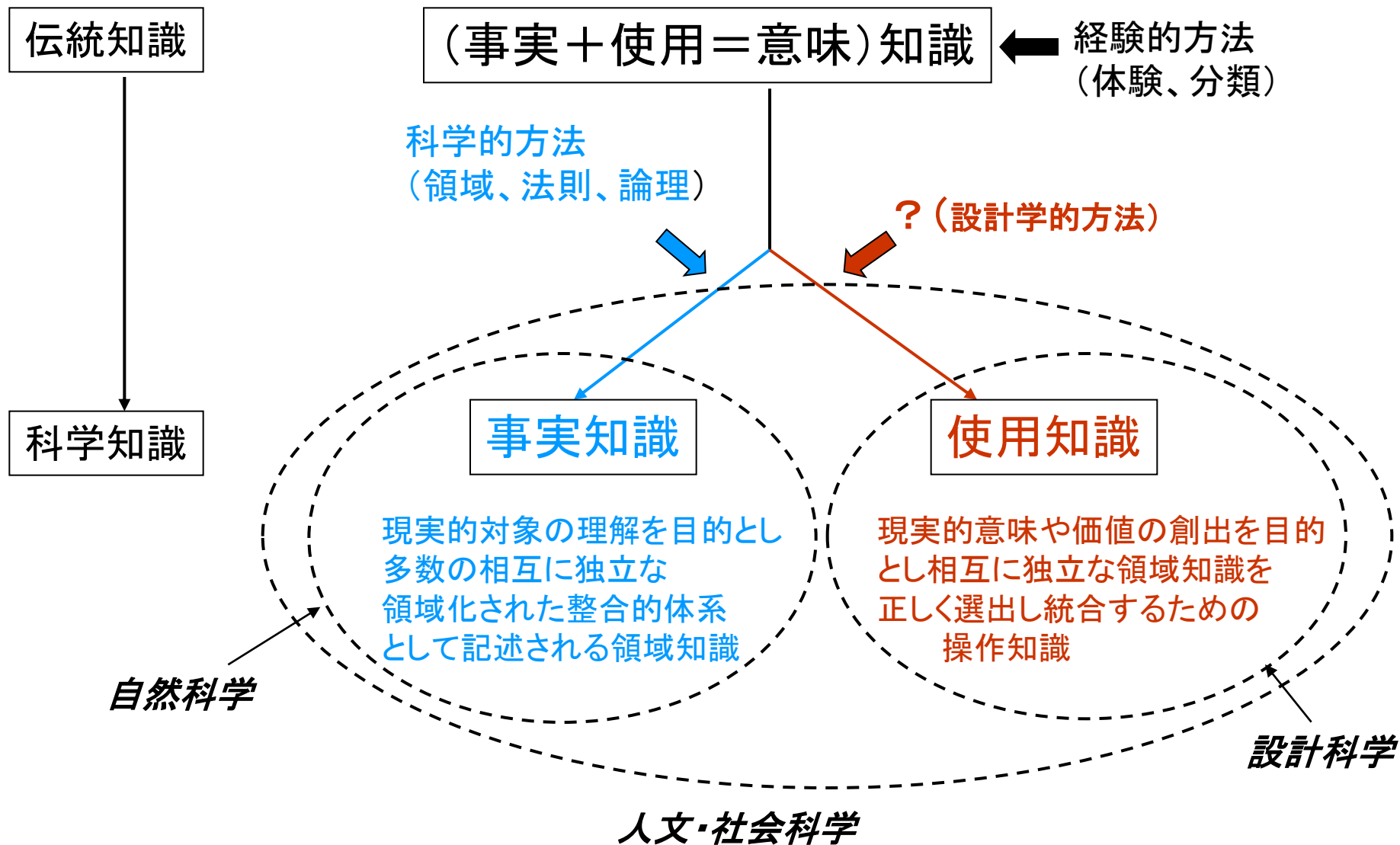
この選出とそれに続く抽象が現代科学を特徴づけ、科学を急速に発展させた。ところがその結果として、人間にとって意味のある知識の全体性を分断してしまったのであり、行動の再現のために新しい知識(人工物科学)を必要とすることとなった。しかし、それは土着知識にはない抽象レベルでの新知識生産を可能にした。

伝統知識から科学知識へ

第二の分割: 現実的意味からの独立



自然科学と社会科学



*抽象化は知識の内容を捨象して行われるものであるから、上位の科学は下位の科学で扱う概念の一部しか含まない。一方、下位の科学は上位の科学と矛盾してはならない。

また、抽象化の高度化により、背後の仕組みが明らかとなり、それを作動させることによって望み通りに属性を発現する可能性が増大する。しかし一方で、発現することのできる属性の種類が抽象化の進行によって減少する。

パースによる科学の分類(抽象化水準)

Charles Sanders Peirce (1839-1914)

科学の進化 (抽象化、領域化)

法則科学

対象の性質間の関係の法則
(多くは定量的関係)

分類科学

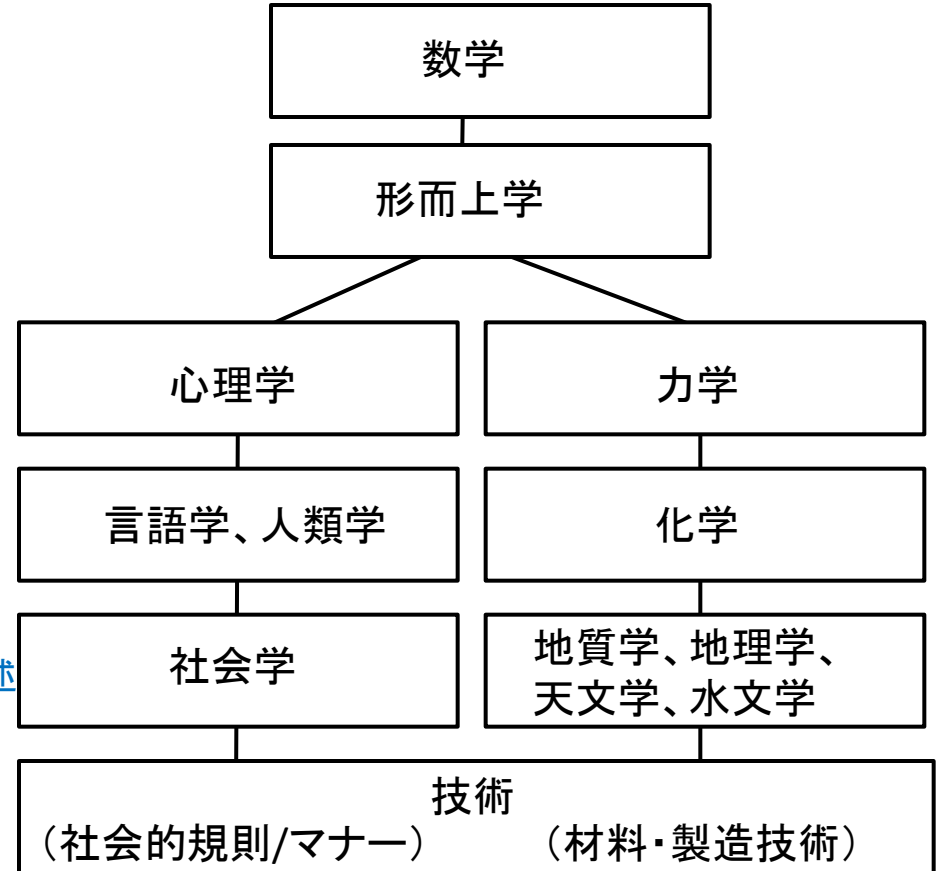
対象の性質を階層的に分類

記述科学

対象の性質をあるがままに記述

現実世界の個別知識

理解と行動を組として持つ
土着的知識



精神科学

(対象は思考・行動)

物理科学

(対象は物質的存在)

Peirce式分類の試み(HY)

実体	分析				構成
	記述科学	分類科学	法則科学	数学的理論	設計学
地質	地質図	地質学	地殻変動論 物質循環論	プレート テクトニクス	
地理	地理学	機能別 (都市、河川、山岳)	都市計画、 ダム理論		
物理	星座 (ギリシャ神話)	アリストテレス デモクリトス	鉱物学	物理学(ニュートン) 要素工学	
心理	文学	フロイト	心理学 スキナー	心理学 ピアジェ	
言語	文学	文法論	ソシユール	チョムスキー	
生物	博物学 生物多様性	植物学 動物学	分子生物学	ラシェフスキー	
自動車 (人工物)	自動車のカタログ 人工環境論	自動車の 用途別分類	自動車 工学	機能別理論 (動力、走行)	

領域の分類

常に進化する複雑な領域の厳密な分類は難しい。これは便宜的なもの。

方法科学: 数学、論理学、計算科学、実験法、記述法、分類則
形而上学、記号学、システム科学

領域科学

	記述科学			分類科学			法則科学		
	物質	生体	精神・社会	物質	生体	精神・社会	物質	生体	精神・社会
基本領域 (自然物)	地理学 鉱物学	生態学	哲学 歴史学 伝記学	化学 結晶学 地震学	生物学 博物学	言語学 民族学 社会学	物理学 天文学	生理学 心理学 分子生物学	経済学
臨時領域 (人工物)	自動車工学 原子力工学 船舶工学 宇宙工学 生産工学	看護学 健康科学	政策科学 批評学	建築学 土木工学 機械工学 電気工学 金属学 切削工学	臨床医学 農学 生体工学	法律学 経営学	要素工学*	基礎医学	

*要素工学: 機械構造・運動、化学反応、熱、流体、変形破壊、電磁気、光など、機能発現に有用な属性の法則科学

*抽象化は知識の内容を捨象して行われるものであるから、上位の科学は下位の科学で扱う概念の一部しか含まない。一方、下位の科学は上位の科学と矛盾してはならない。

また、抽象化の高度化により、背後の仕組みが明らかとなり、それを作動させることによって望み通りに属性を発現する可能性が増大する。しかし一方で、発現することのできる属性の種類が抽象化の進行によって減少する。

科学の進化 (抽象化、領域化)

法則科学

対象の性質間の関係の法則
(多くは定量的関係)

分類科学

対象の性質を階層的に分類

記述科学

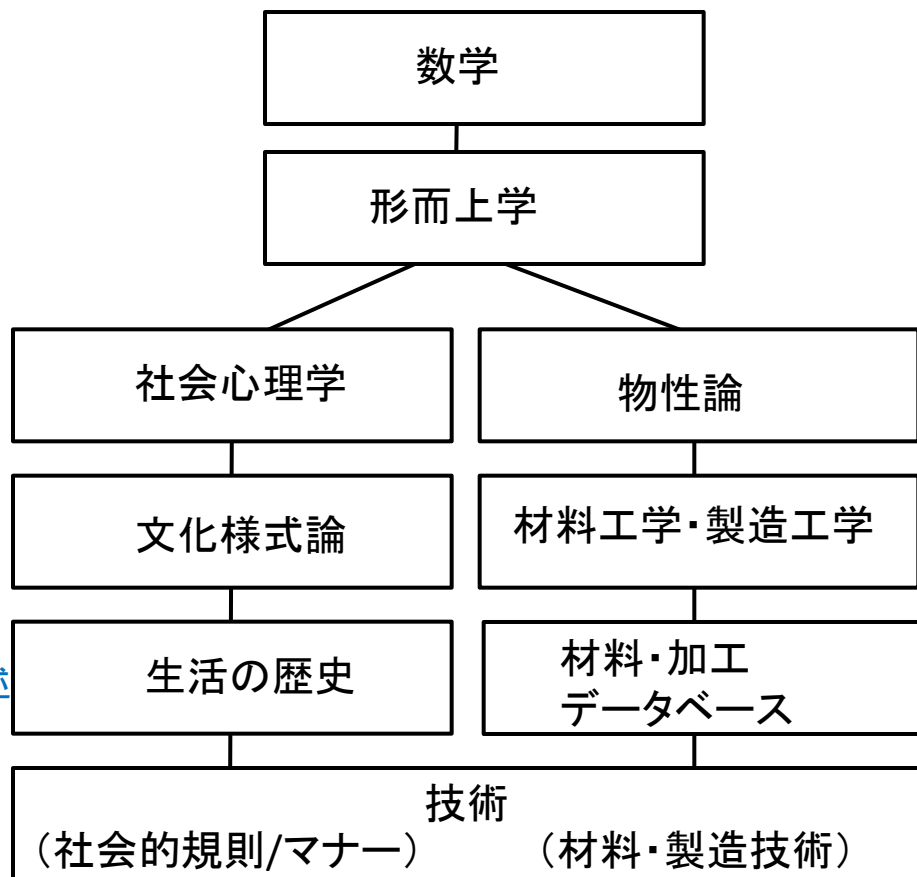
対象の性質をあるがままに記述

現実世界の個別知識

理解と行動を組として持つ
土着的知識

パースによる科学の分類(抽象化)

Charles Sanders Peirce (1839-1914)

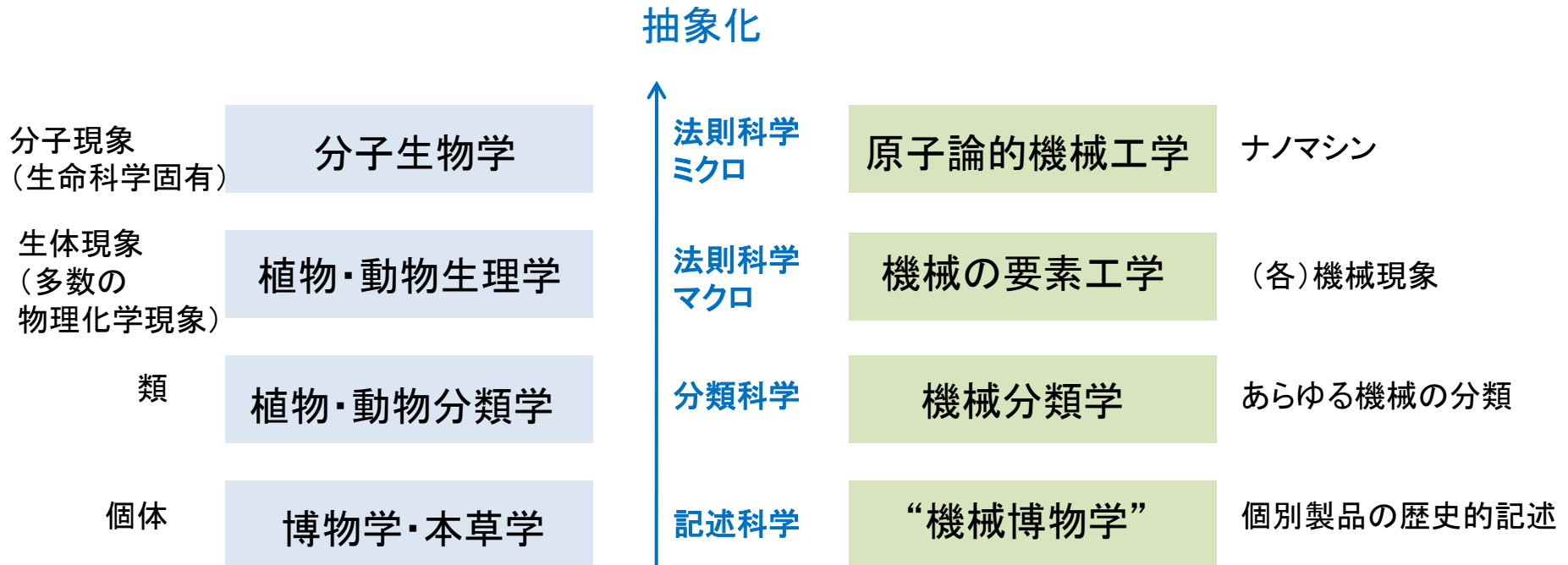


ナイフとフォーク:
テーブルマナー政策
(存在物の使用に
関する知識とスキル)

ナイフとフォーク:
成形し仕上げる技術
(存在物を製造する
知識とスキル)

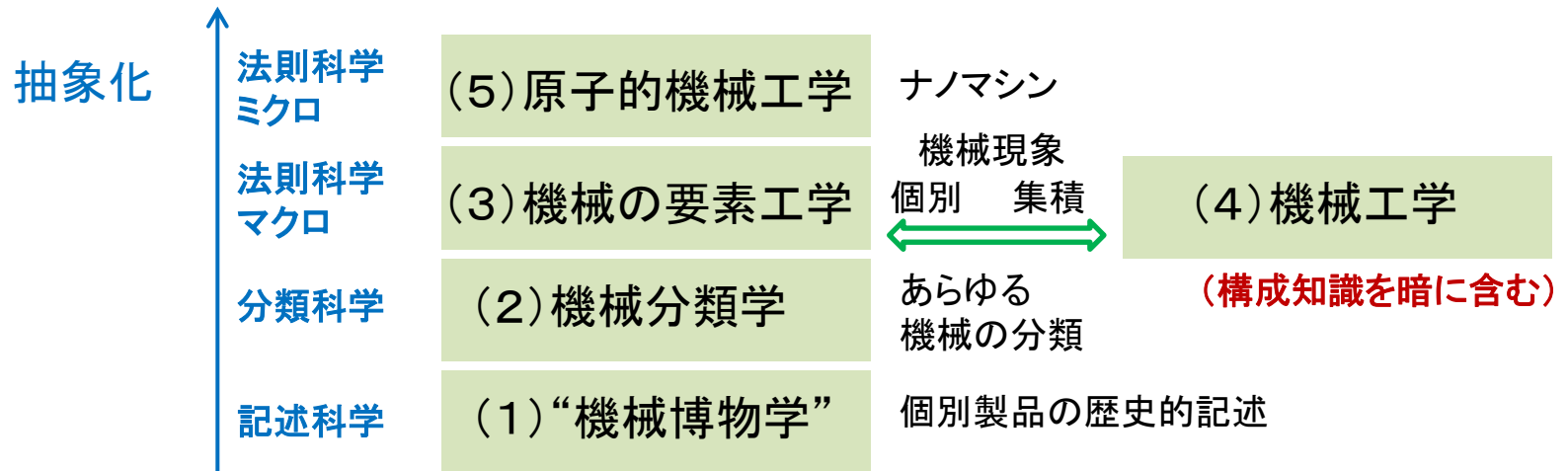
領域の抽象化（C.S.Peirce）

記述科学→分類科学→法則科学



Peirceによる領域の進化を個別領域で書けば、はこのようになる。進化は、より広範な対象のための統一的説明体系へとすすむ。Peirceが言うように、これは基本的性質を抽出して他を捨てる抽象化にすぎない。すなわち少数の基本法則で多数を説明することへの変化である。これらの領域は基本的に説明の体系であり、工学で主な役割を果たす構成を対象としていない。構成がどのように位置づけられるかが次の問題である。

不可逆性(機械の場合)

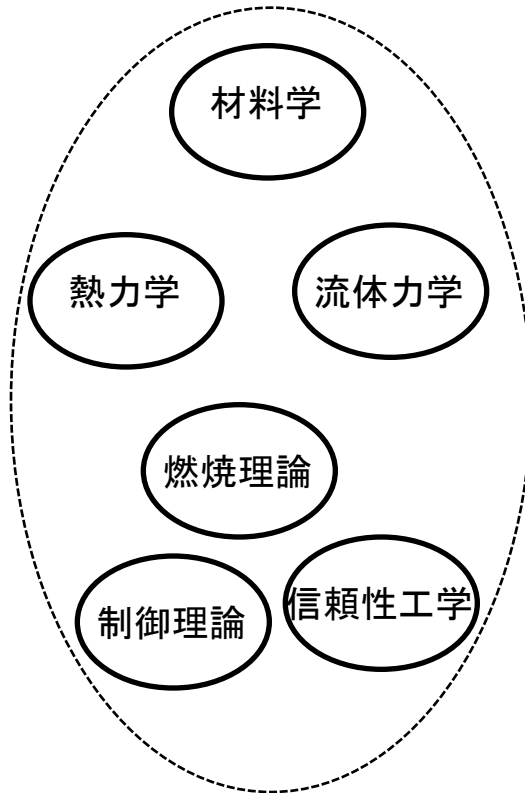


記述、分類、法則へと体系化された知識を使って現実の機械(自動車)を構成することを考える。抽象化が進むと、知識から機械への構成が定型的方法ではできなくなる。機械から知識への**分析**が定型的方法を持つのに**構成**にはないことを、**思考の不可逆性**という。

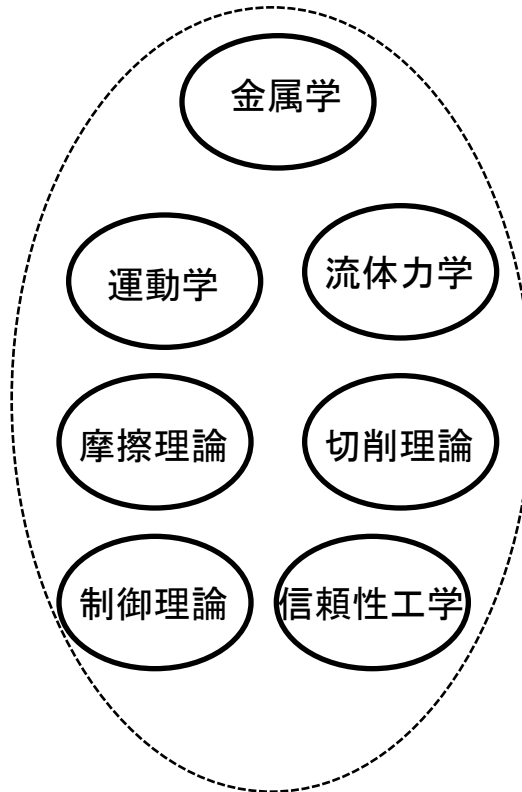
- (1) 自動車博物館では、すべての自動車の実物が網羅的にされている。したがってそのうちから 望みのものを選択し、完全な複製によって自動車を作ることができる。
- (2) 機械分類学では、自動車も分類され、分類ごとに特徴が示されている。ある分類を選択し、特徴記述からその分類に属する自動車を構成するのであるが、特徴記述は自動車の完全記述に比べて抽象化(示されているものは一つの代表にすぎない)されていて、必要な知識が全部あるわけではないので、他の知識の援用が必要となる。
- (3) 要素工学は機械にかかわる現象で法則化できた領域である。
- (4) 機械工学は、機械の要素工学の集積である。それは材料力学、流体力学、燃焼学などの、いずれも自動車にとって不可欠な属性の法則的知識であるが、ここでは自動車という具体的なものについての知識は捨てられている。したがって、可逆性はなく、自動車の構成のための固有の知識が必要となる。これは自動車とは何かを抽象的に表現するもので、要素工学間の関係を指定する知識であり、**模型を構成する知識**であるといえる。
- (5) 要素工学が原子レベルの物理学に置き換えられたもの。このレベルでの同様の問題を持つ。

領域の集合体としての臨時領域

内燃機関



工作機械



化学 材料学 生物学 結晶学
金属学

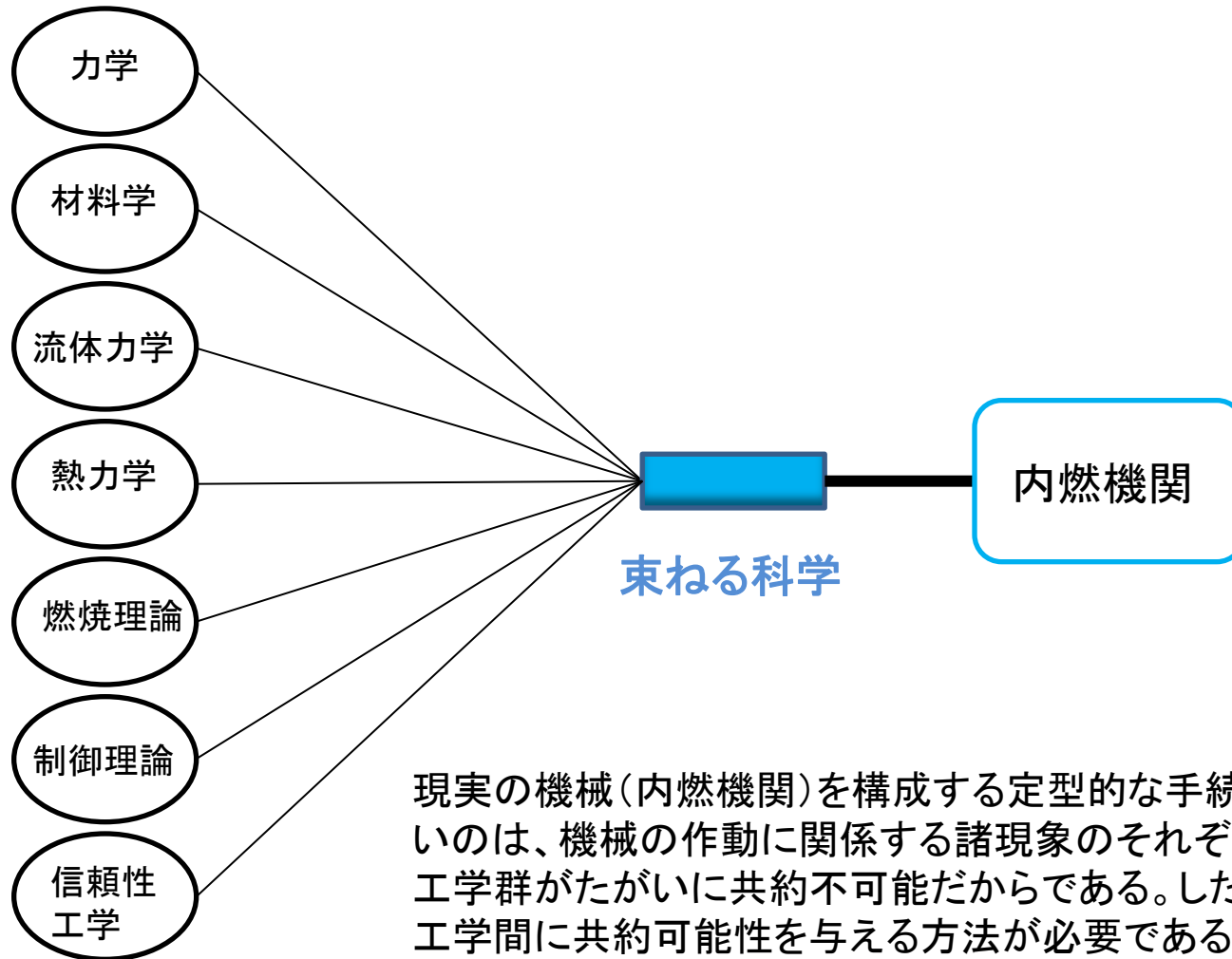
運動学 流体力学 材料力学
熱力学 粉体力学 電磁気学

燃焼理論 摩擦理論
切削理論

制御理論 信頼性工学

臨時領域では、さまざまな抽象化水準の科学(機械の場合は要素工学)が要素としてある。**要素工学の間の“関係”は一般的には与えられず、設計目的に依存して変わる。**この関係は設計目的ごとに記述(言葉による)によって示される。この“関係”の一般理論が設計学である。

要素工学を束ねる科学 (Bundling Science)



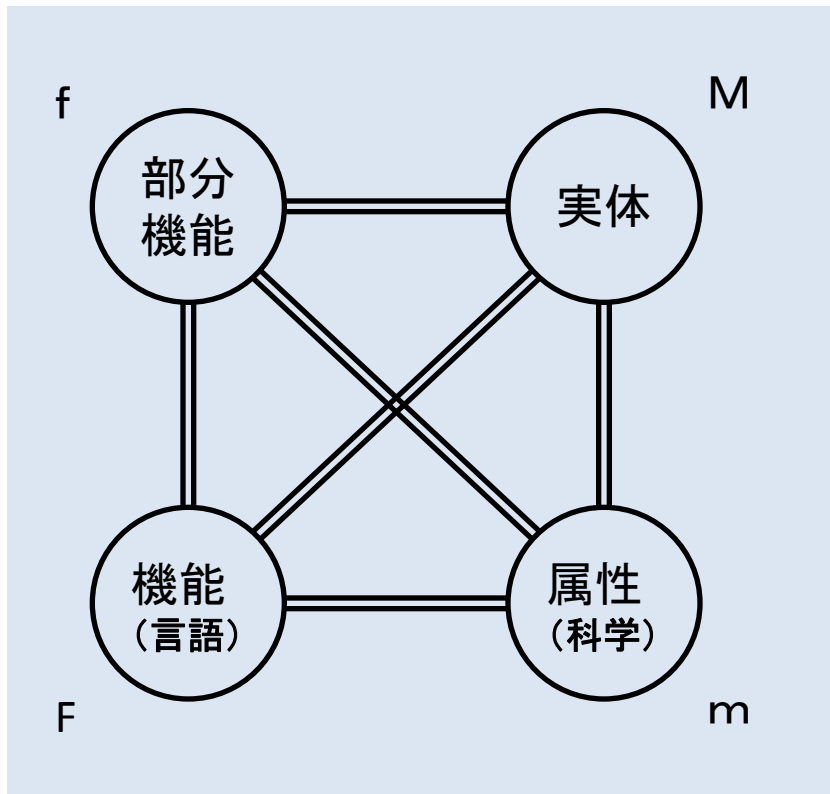
現実の機械(内燃機関)を構成する定型的な手続きが得られないのは、機械の作動に関係する諸現象のそれぞれを扱う要素工学群がたがいに共約不可能だからである。したがって、要素工学間に共約可能性を与える方法が必要である。それをここで“束ねる科学”と呼ぶ。

設計過程(概念操作)

設計過程の基本的な型

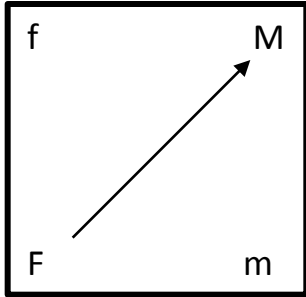
設計実験によって抽出された設計における概念の基本的推移

設計過程は、4つの概念間の推移である

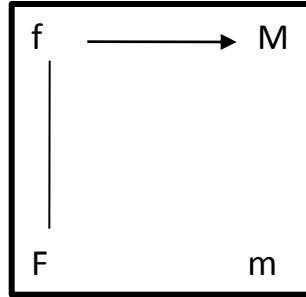


- (1) 機能は記号(言語・論理関係)で表現される。したがって機能の意味は言語によって説明され、機能間の関係も言語によって表現される。
- (2) 属性は科学的知識に属する。したがって属性の意味は科学的に理解され、また属性間の関係は科学的に、多くは定量的に述べられる。
- (3) 解としての実体は既知の実体あるいは属性で表現されるものとする。
- (4) 設計の概念操作のためには12通りの知識(概念間の関係)がなければならない。それらを明らかにすることが必要である。

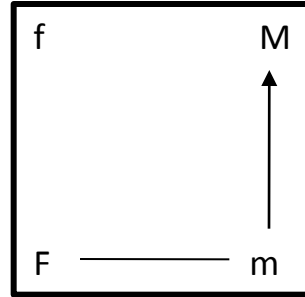
設計の基本型



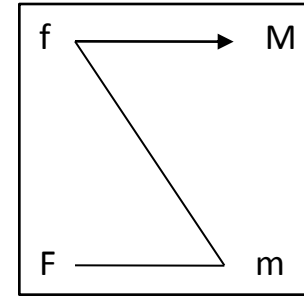
serendipity
掘出し物



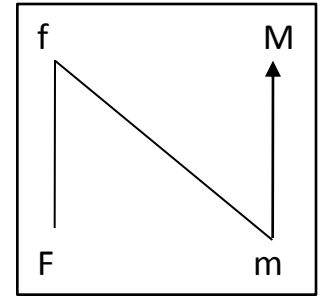
bricoleur
器用人



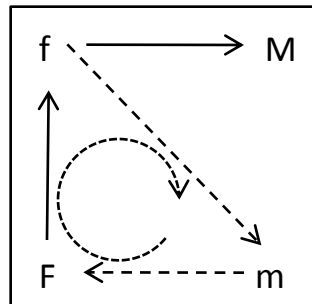
engineer
技術者



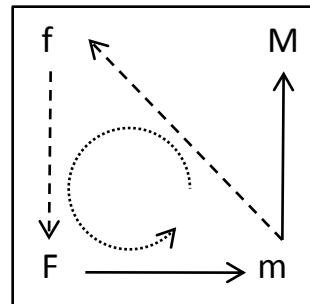
engineer-bricoleur



bricoleur-engineer



paradigm
範型モデル



metamodel
メタモデル

F=requirement

(要求:複数の機能)

m=maquette

(模型:内部構造を指定された実体)

f=elements of solution

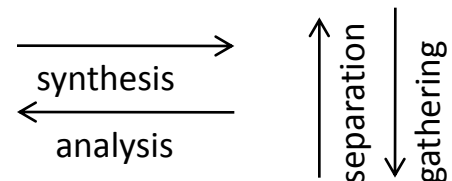
(それを満たす機械を
少なくとも一つ持つ機能(複数)
=機能の実体表現)

M=solution(解)

Claude Levi Strauss (La pensée sauvage 野生の思考)

技術者:構造を用いて出来事を作る(世界を変える)

器用人:出来事を用いて構造を作る



A Design by Bricoleur (器用人の設計)

(H.Yoshikawa, Introduction to General Design Theory, IFIP 1981)

Integration of pieces by using knowledge
of connection between entities

Pieces of entity
selected



Run-fast=a dog



Sing-nicely=a bird



Swim-well=a frog



Frog-dog-bird

Solution

Selection of pieces
by using knowledge
“function→entity”

Functional
requirement

An animal that
runs fast,
sings nicely
and swims well

A Design by Bricoleur

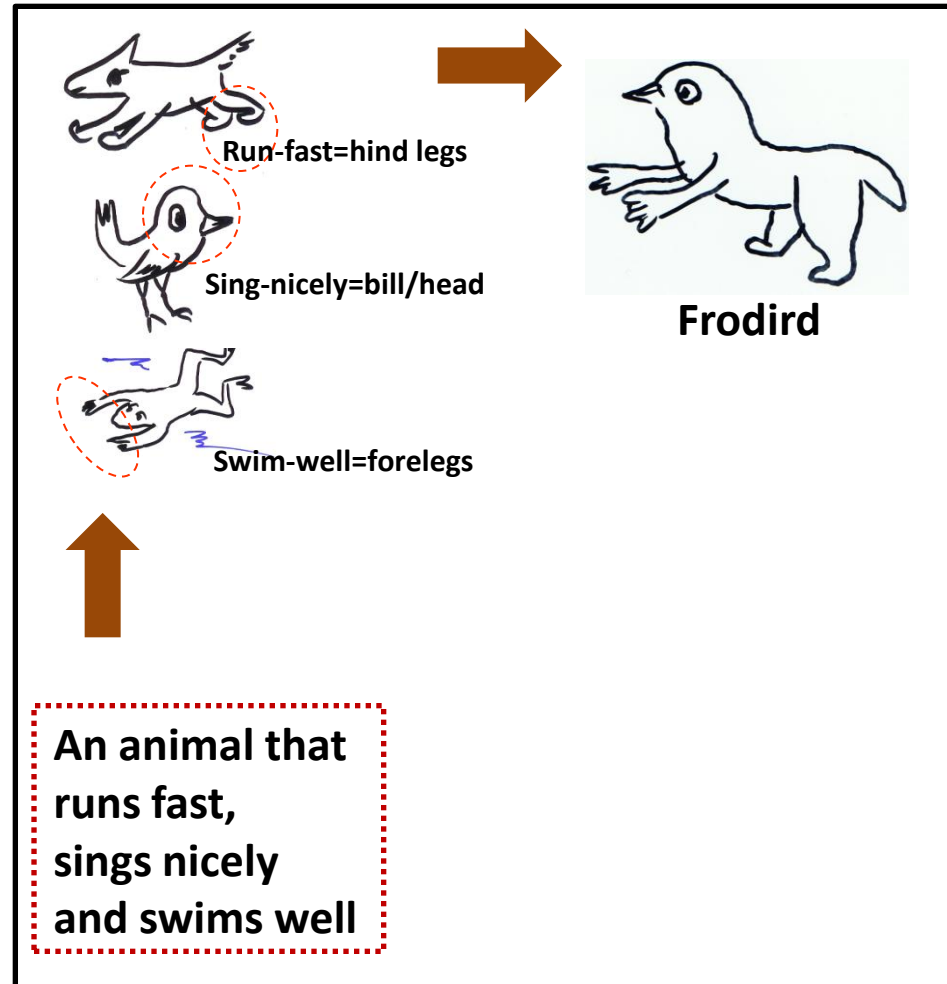
(H.Yoshikawa, Introduction to General Design Theory, IFIP 1981)

Integration of pieces by using knowledge
of connection between entities

Pieces of entity
selected

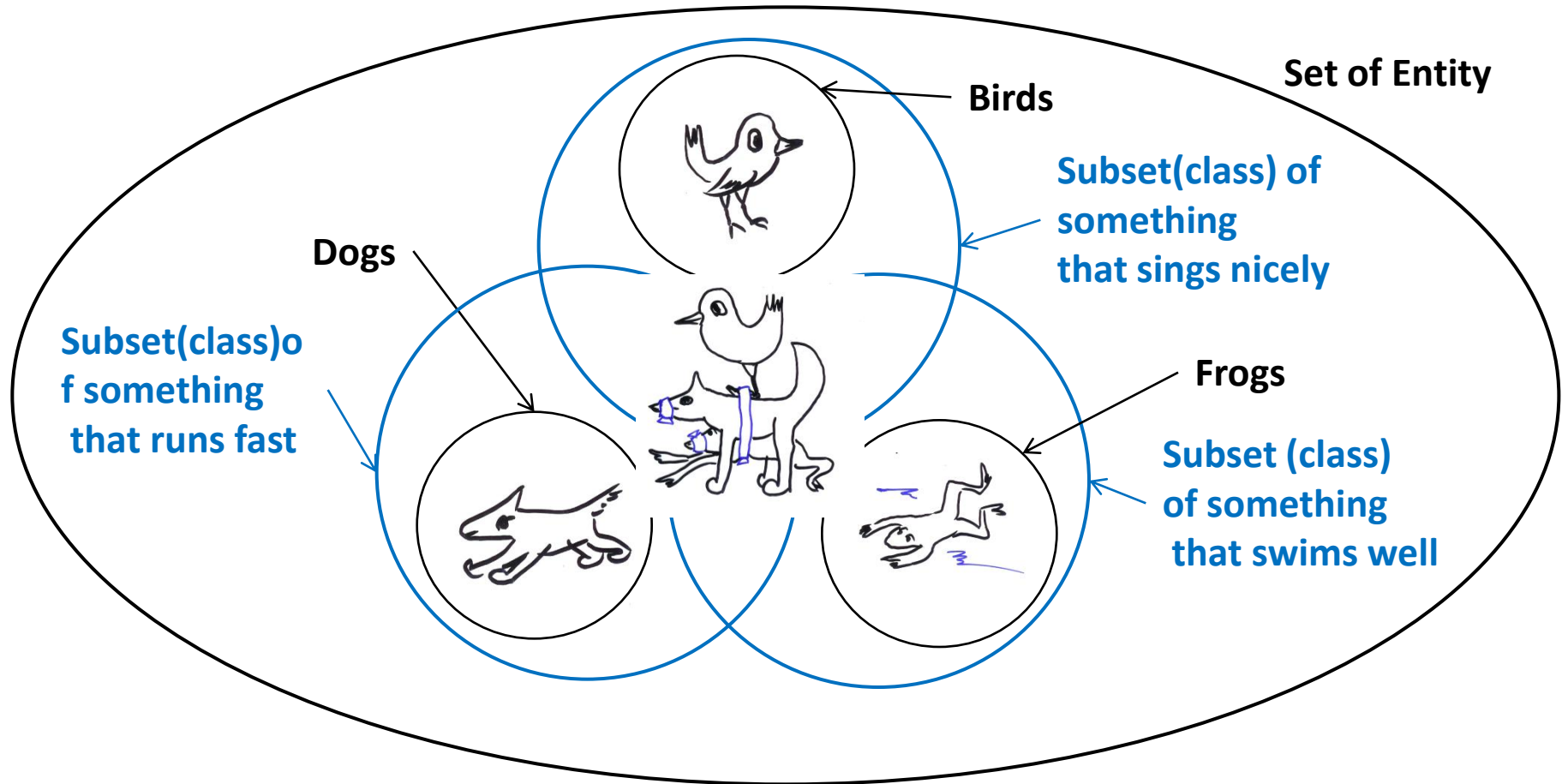
Selection of pieces
by using knowledge
function→entity

Functional
requirement



Solution

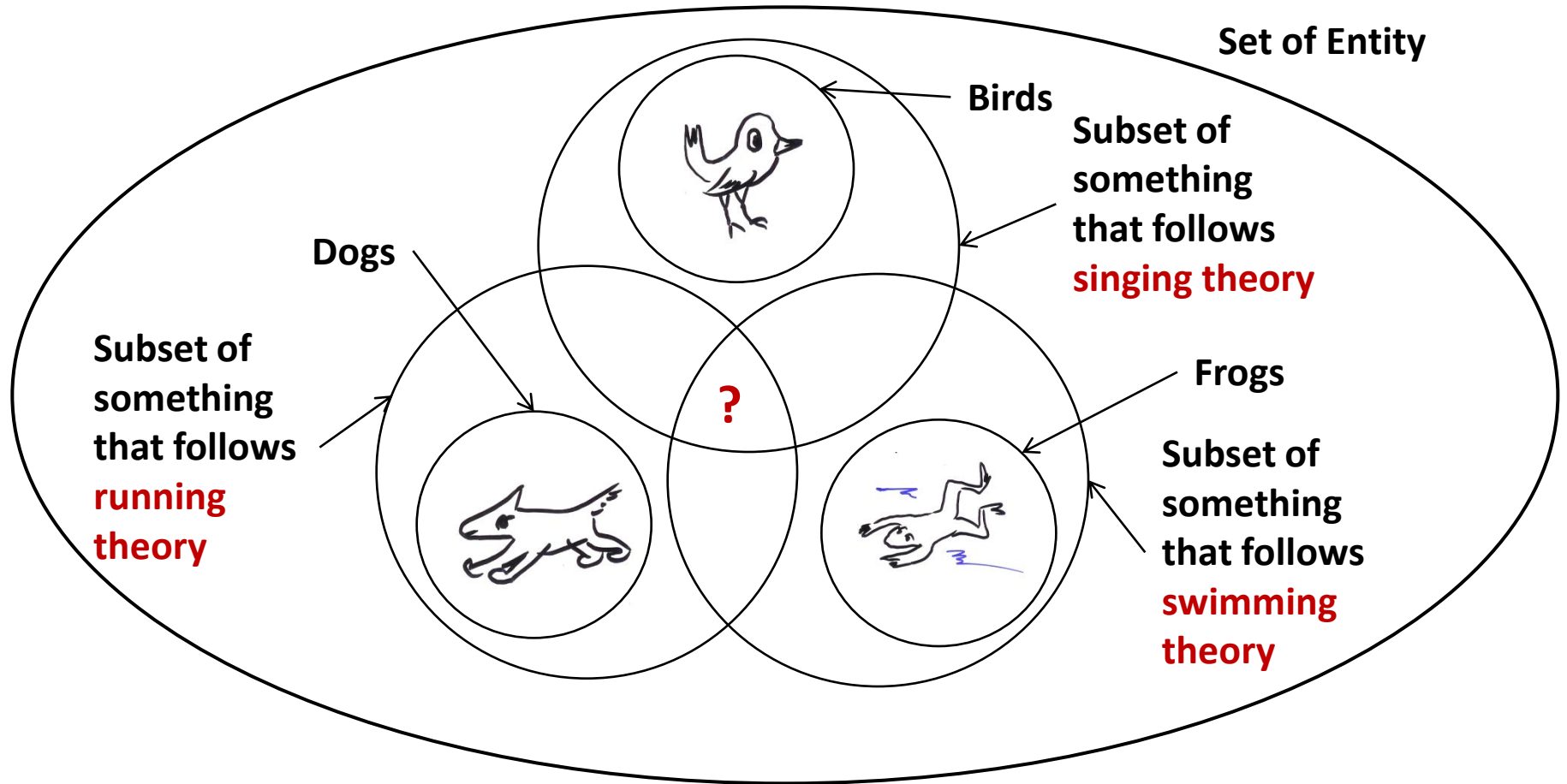
A Design by Bricoleur(器用人) who has classificatory science(分類科学)



Bricoleurs find out classes of entities that *sing*, *run* and *swim*. And then, they integrate those entities into a solution by connection knowledge.

土着知識による可逆な設計

A Design by Engineer (技術者) who has nomological science (法則科学)



Engineers find out attributes necessary for *sing*, *run* and *swim* by scientific thinking.
And then, they integrate those attributes into a solution by scientific methods.

技術者の設計例

「欲しい本を書棚から選び持ってきてくれる装置」

Bricoluer: 要素選択と構造化

(1) 要素選択

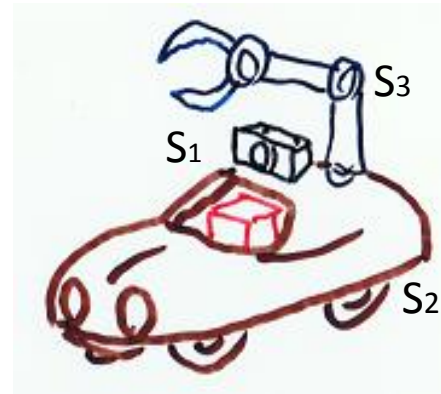
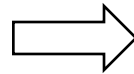
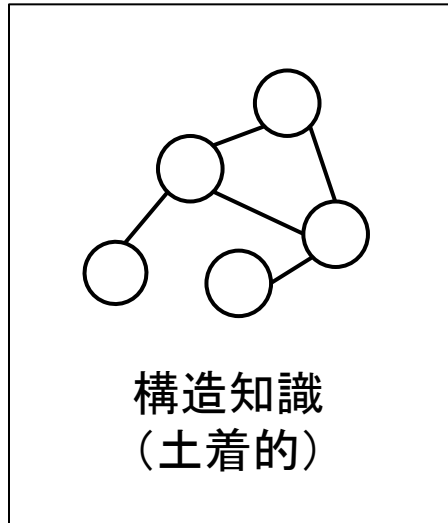
要求機能	A	B	C	D	E	F	解:S		
	言語認識	移動	確認	操作	移動	信頼性 静粛 安全 価格	S1	S2	S3
	音声認識装置	知的ロボット	形状認識装置	知的マニピュレータ	知的ロボット	設計者による付加的機能	認識装置	知的ロボット	知的マニピュレータ
A ほしい本の指示を理解する	○						○		
B ある場所を予測して探し出す		○						○	
C 本を認識する			○				○		
D 取り出す				○					○
E 指示者に届ける					○			○	

*選択された要素は、(bricoleurにとって)既知のシステムである。

Bricoleur: 要素選択と構造化

選択要素: $\{ S_1, S_2, S_3 \}$

+



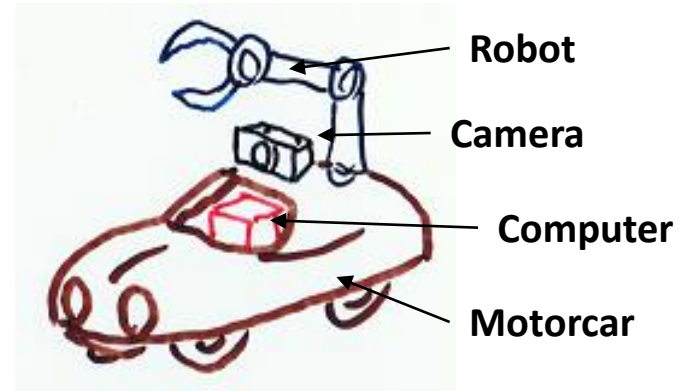
解: S

A Design by Bricoleur (器用人による設計)

A machine which fetches a book from bookshelf while studying in library

Pieces
fulfilling
respective
elements of
requirement

- A. Camera/computer
- B. Camera /computer
- C. Camera/computer
- D. Robot
- E. Motorcar



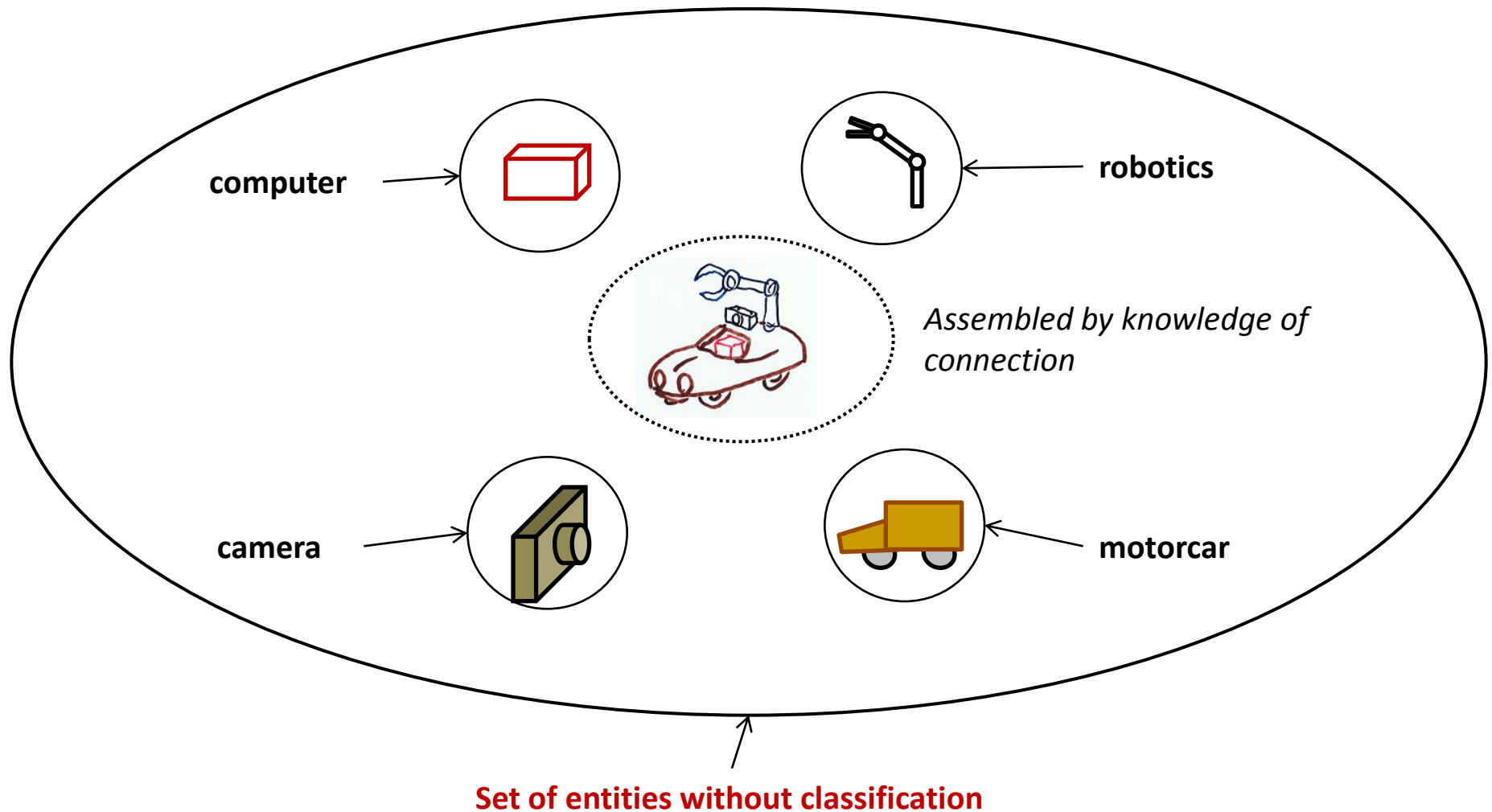
Requirement

**A machine
which fetches
a requested
book from
bookshelf
while studying
in library**

Elements of requirement

- A. Recognize the request
- B. Search the place
- C. Identify the book
- D. Take up
- E. Bring it to the requester

A Design by Bricoleur who has knowledge of descriptive science (記述科学)



Engineer: 指定機能(記号)の概念化

(1) 指定機能の詳細化(最小機能の和)

要求機能 機能 詳細化された	A	言語認識	B	移動	C	確認	D	操作	E	移動	F	信頼性 重量 静粛 安全 価格	設計者による付加的機能
	指示入力機能	言語認識機能	経路探索機能	移動機能	対象物確認機能		位置形状認識機能	物体操作機能	経路探索機能	移動機能			
A ほしい本の指示を理解する	○	○											
B ある場所を予測して探し出す			○	○									
C 本を認識する					○								
D 取り出す							○	○					
E 指示者に届ける									○	○			

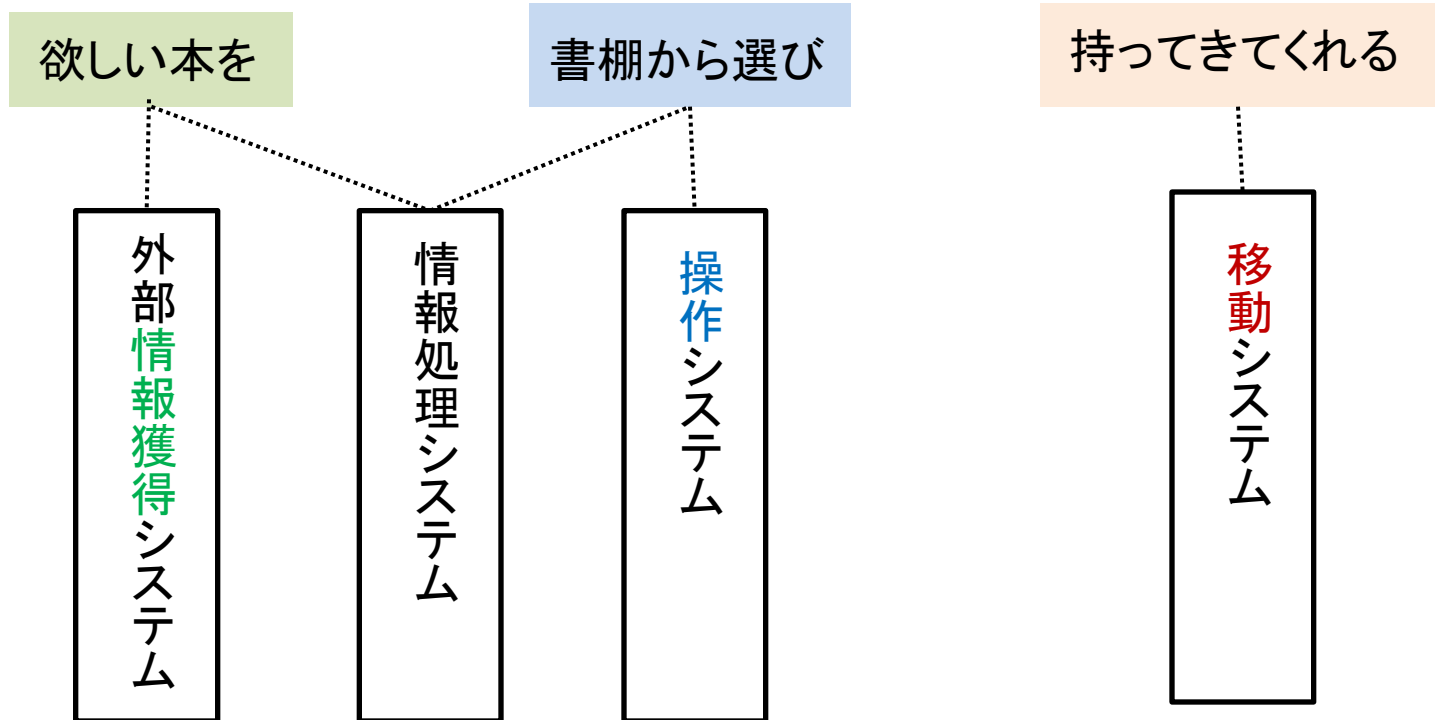
(2) 詳細化した機能(記号)に内部構造を付与するための抽象表現 (例えばシステム)*

機能 詳細化された → 概括的な属性 Abduction 要求機能	A	言語認識	B	移動	C	確認	D	操作	E	移動	F	設計者による付加的機能・システム
	指示入力システム	音声文字認識システム	地図認識システム	経路探索システム	障害物回避移動システム	文字認識システム 観察システム	位置形状認識システム	マニピュレーションシステム 触覚システム	地図認識システム	経路探索システム	障害物回避移動システム	信頼性 重量 静粛 安全 価格
A ほしい本の指示を理解する	○ ○											
B ある場所を予測して探し出す			○ ○ ○									
C 本を認識する					○ ○							
D 取り出す							○ ○ ○					
E 指示者に届ける									○ ○ ○			

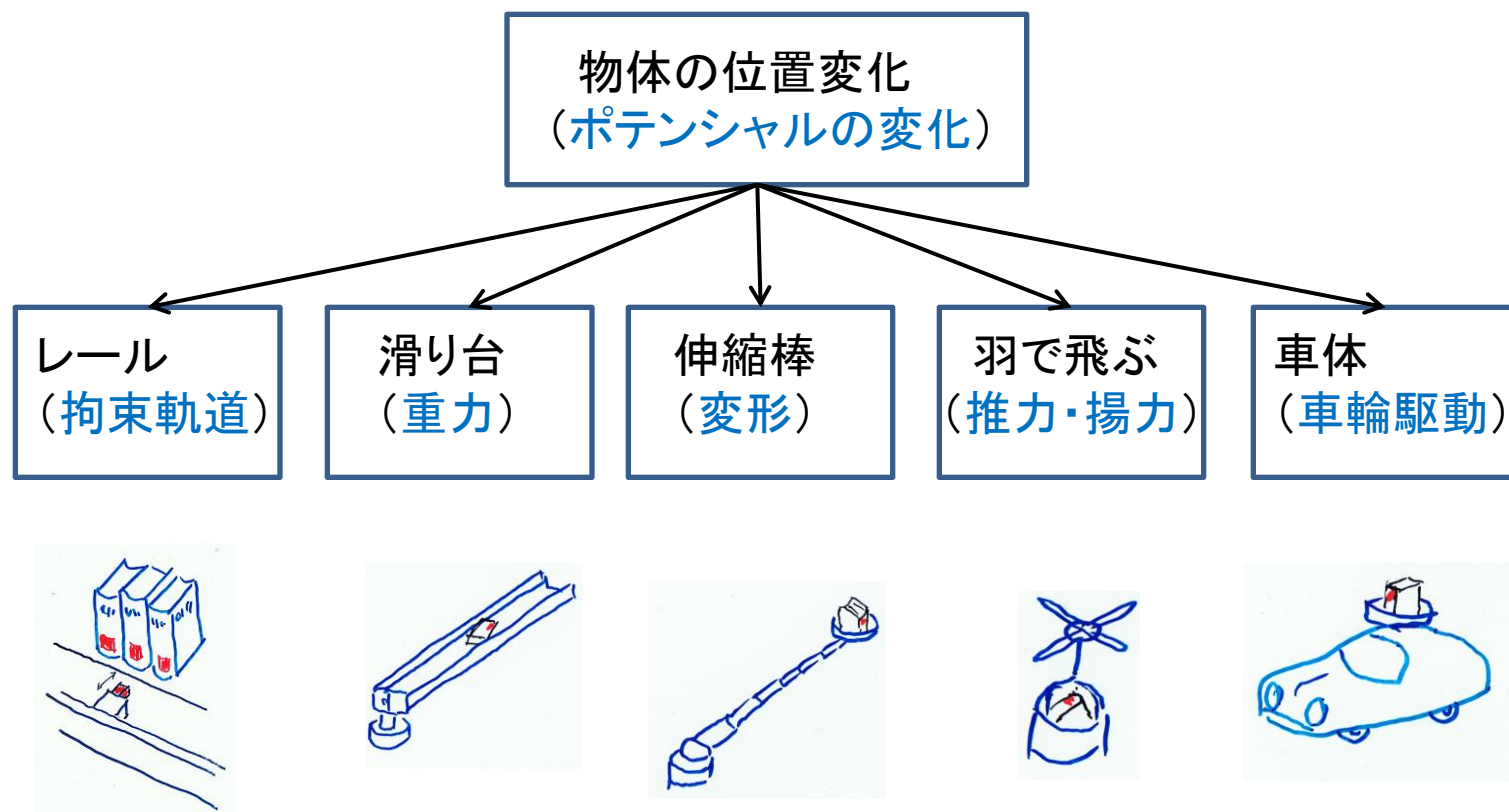
* 言語で表現された機能は記号(名前)にすぎず(従って内包を持たず)相互関係は与えられていない。それに属性による内部構造を与えて、(属性すなわち物理的存在としての)相互関係を生み出す。そのために、内部構造を付与することのできる抽象的表現が必要である。システム表現はその可能性を持っている。

抽象システム(解領域の拡大)

「欲しい本を書棚から選び持ってきてくれる装置」



抽象システムの具体化(移動システム)



多様な可能性があり、それぞれに固有の理論がある。

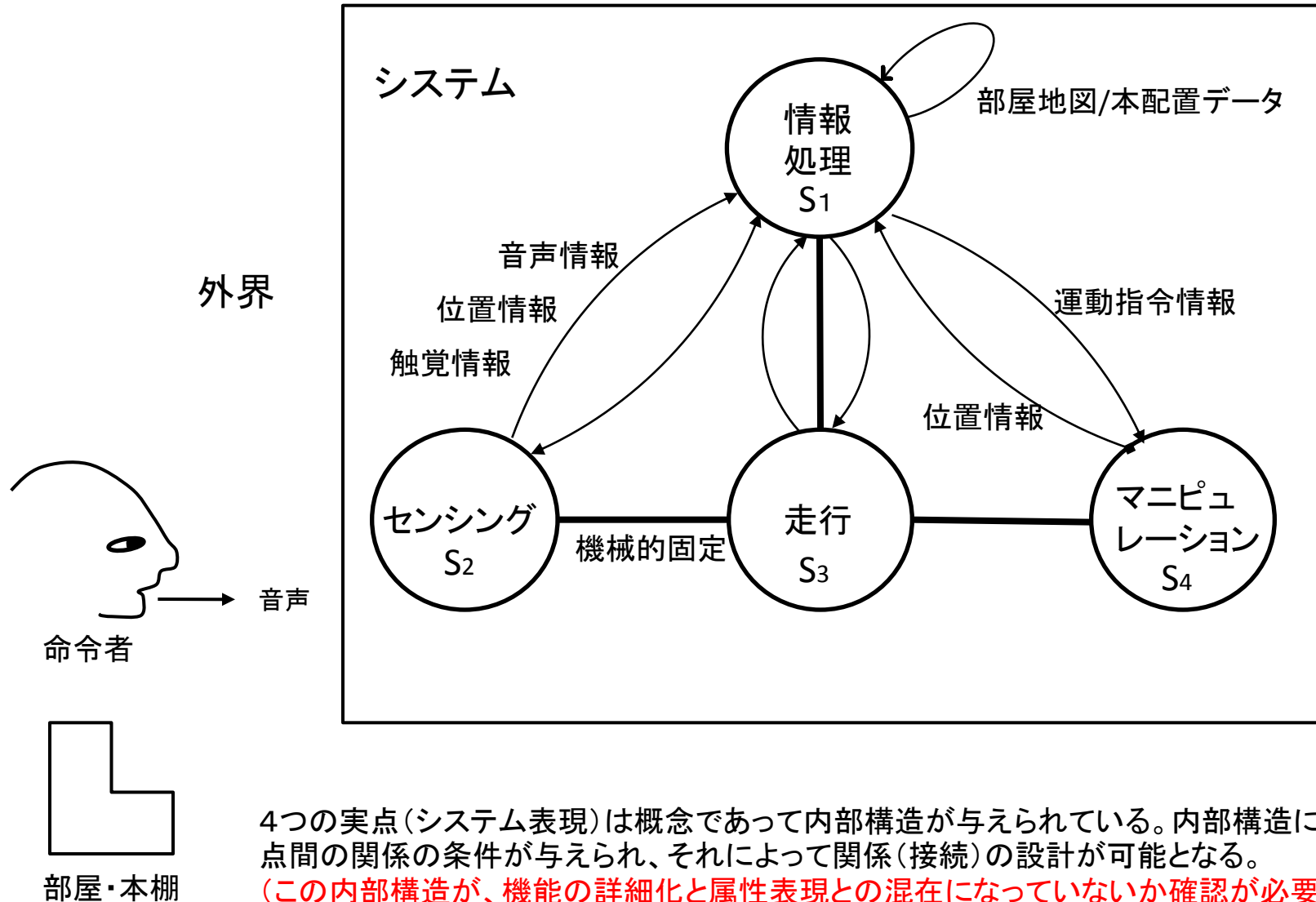
(3) 内部構造により概念化して得た内包によって
(相互関係を知り)、解領域を作る。

そのためにはシステムの具体化が必要である。ここで“ルール”を採用する

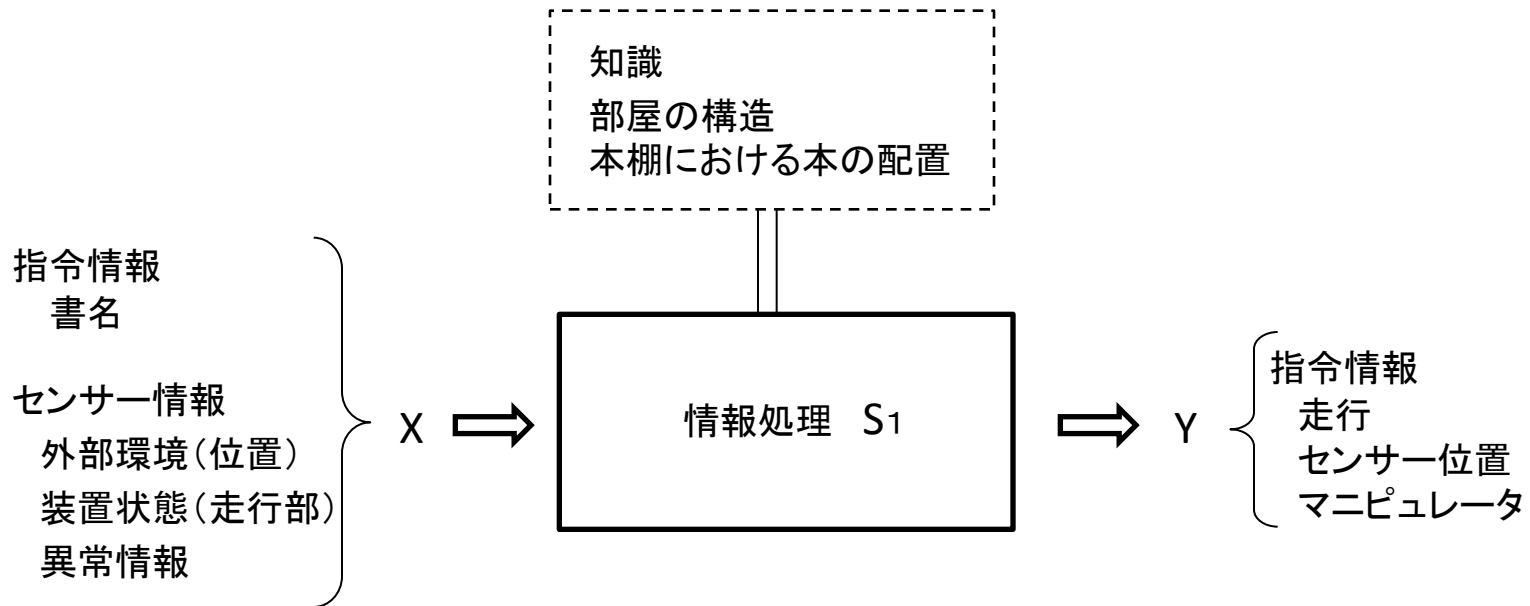
機能詳細化された → Abduction 要求機能	A	言語認識	B	移動	C	確認	D	操作	E	移動	F	信頼性 静粛 安全 価格	設計者による付加的機能・システム	解領域*			
														S1	S2	S3	S4
		音声文字認識システム 指示入力システム	地図認識システム	可能経路システム 経路探索システム	観察システム	文字認識システム	位置形状認識システム マニピュレーションシステム 触覚システム	地図認識システム 経路探索システム	可能経路システム					情報処理システム	センサーシステム(視覚・触覚)	走行システム	マニピュレーションシステム
A ほしい本の指示を理解する	○	○												○	○		
B ある場所を予測して探し出す			○ ○ ○											○ ○		○	
C 本を認識する					○ ○									○	○		
D 取り出す							○ ○ ○							○	○		○
E 指示者に届ける									○ ○ ○					○ ○		○	

* 解の要素は、この場合 (Engineer) 属性表現されており、内部構造が与えられている。それに従って最終解をまとめるのであるが、そのまとめる場が臨時領域である。臨時領域は、単一のベクトル空間から、複数空間の並置、定性表現など様々なものになることが予想される。ここでは4つの解領域“属性要素”から出発する。

(4) 解領域のシステム表現

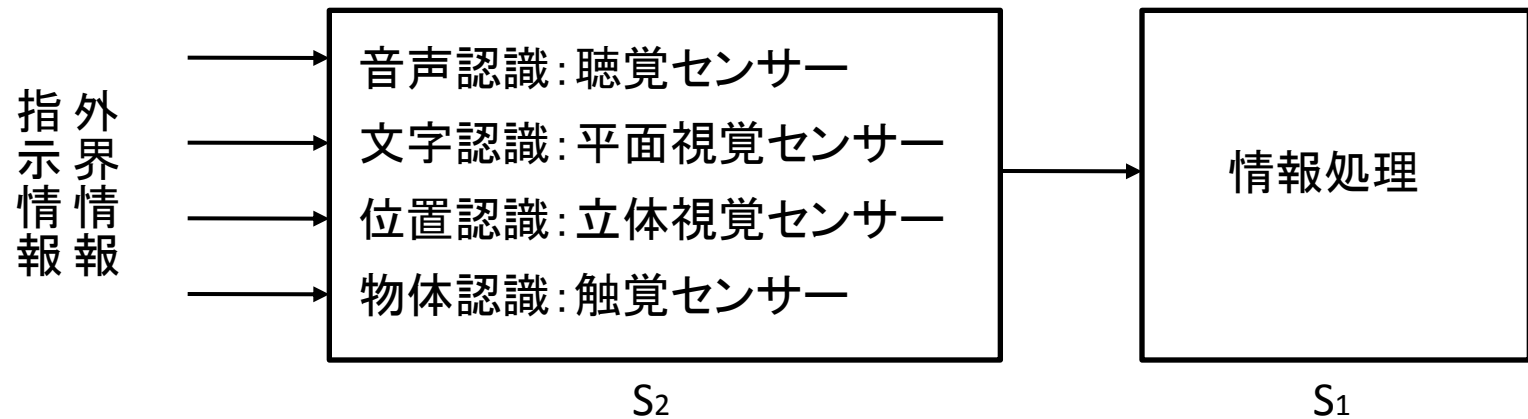


(5) 情報処理システムの臨時領域



臨時領域 : $S_1(X) = Y$

(6) センサーシステムの臨時領域



臨時領域 : $S_2(X) = Y$

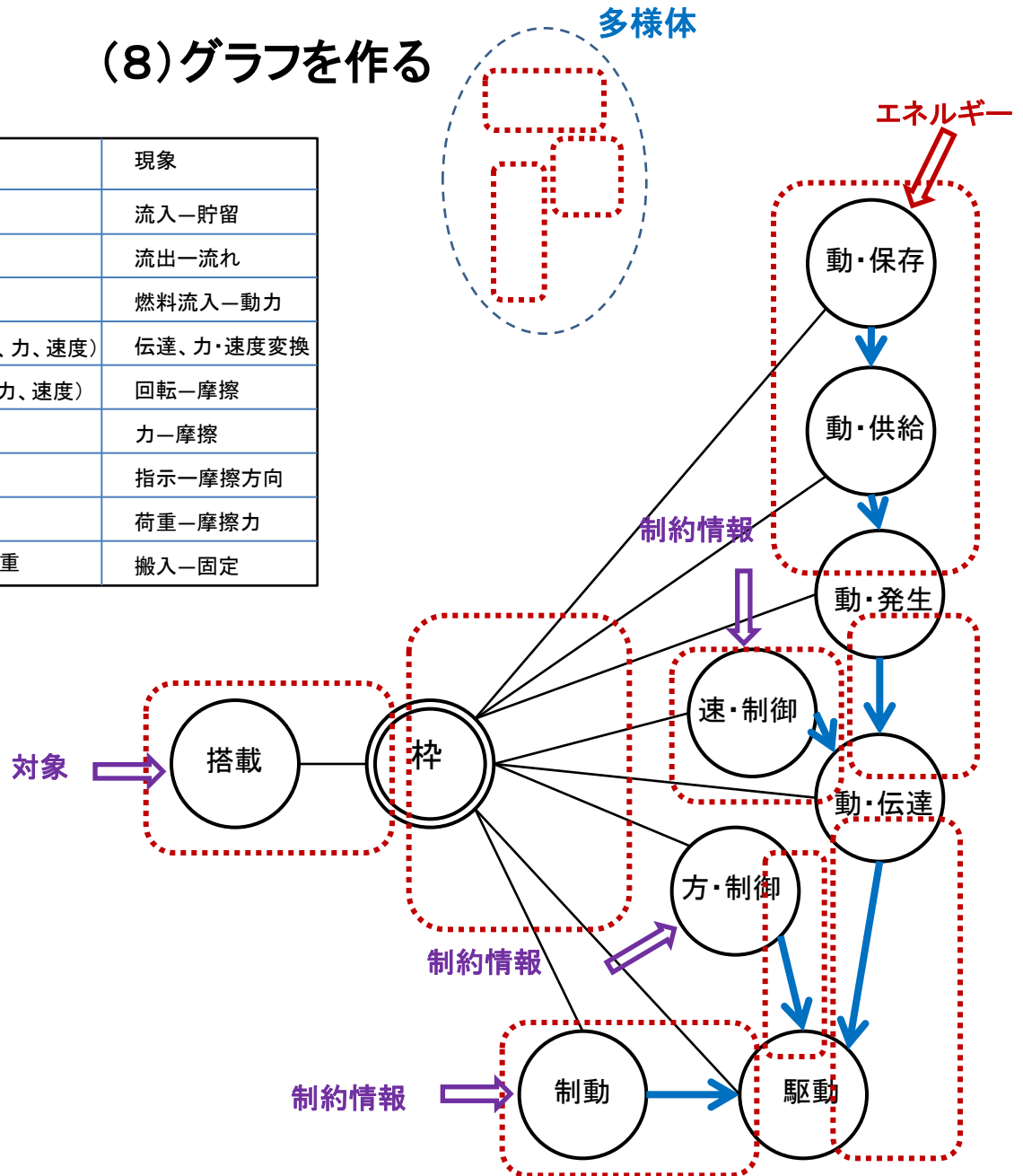
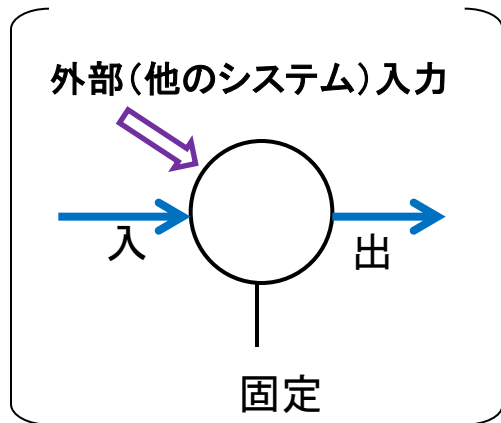
(7) 走行システム

機能詳細化*	詳細システム	物理量	現象
動力源保存	動力源保存システム	容量	流入－貯留
動力源供給	動力源供給システム	流量	流出一流れ
動力発生	動力発生システム	動力	燃料流入－動力
動力伝達	動力伝達システム	動力(変換、力、速度)	伝達、力・速度変換
駆動	駆動システム	動力(摩擦力、速度)	回転－摩擦
速度制御	速度制御システム	速度情報	力－摩擦
方向制御	方向制御システム	方向情報	指示－摩擦方向
制動	制動システム	摩擦力	荷重－摩擦力
搭載	搭載システム	容量、耐荷重	搬入－固定

- ①システムが想起されるまで詳細化する*。
- ②するとそのシステムを“支配”するパラメータ(物理量)が定まる。
- ③詳細システム間の関係を示すために、グラフを描き、
- ④その上に物理量を記入する。
- ⑤現象を参照して物理量間の関係を知る。

(8) グラフを作る

機能詳細化*	詳細システム	物理量	現象
動力源保存	動力源保存システム	容量	流入—貯留
動力源供給	動力源供給システム	流量	流出一流れ
動力発生	動力発生システム	動力	燃料流入—動力
動力伝達	動力伝達システム	動力(変換、力、速度)	伝達、力・速度変換
駆動	駆動システム	動力(摩擦力、速度)	回転—摩擦
速度制御	速度制御システム	速度情報	力—摩擦
方向制御	方向制御システム	方向情報	指示—摩擦方向
制動	制動システム	摩擦力	荷重—摩擦力
搭載	搭載システム	容量、耐荷重	搬入—固定



A Design by Engineer (技術者)

A machine which fetches a book from bookshelf while studying in library

Requirement

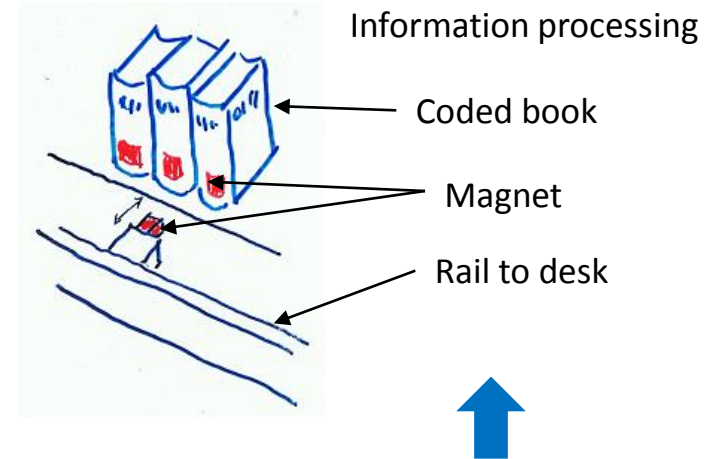
A machine which fetches a requested book from bookshelf while studying in library

Elements of requirement

- A. Recognize the request
- B. Search the place
- C. Identify the book
- D. Take out
- E. Bring it to the requester

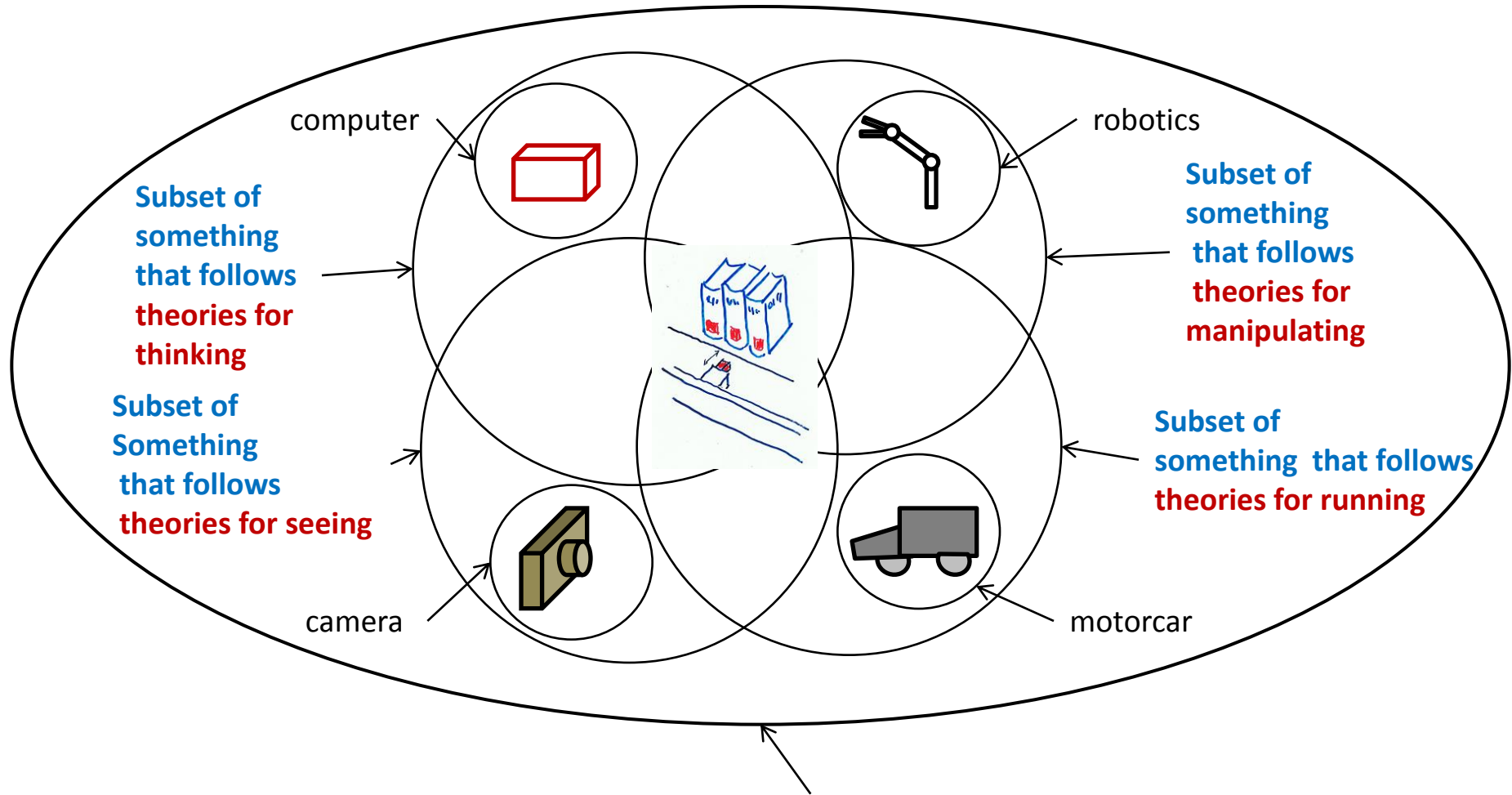
Attributive expression of requirements

1. **Sensing(optical)** the objects to collect information
2. **Information processing** for recognition, search, move and identification
3. **Move of object** controlled by information
4. **Motion** controlled by information
5. Integration of attributes



There are background theories for those attributes.

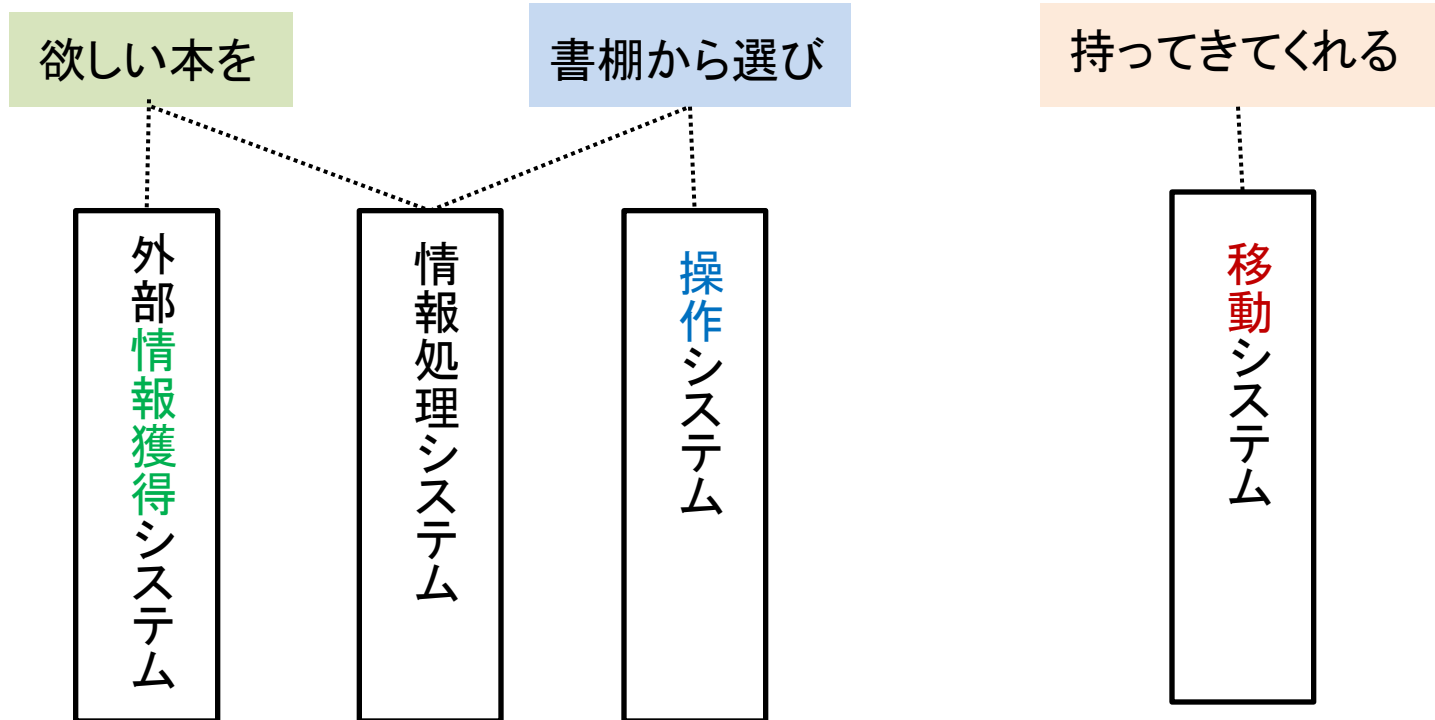
A Design by Engineer who has knowledge of classificatory science (分類科学)



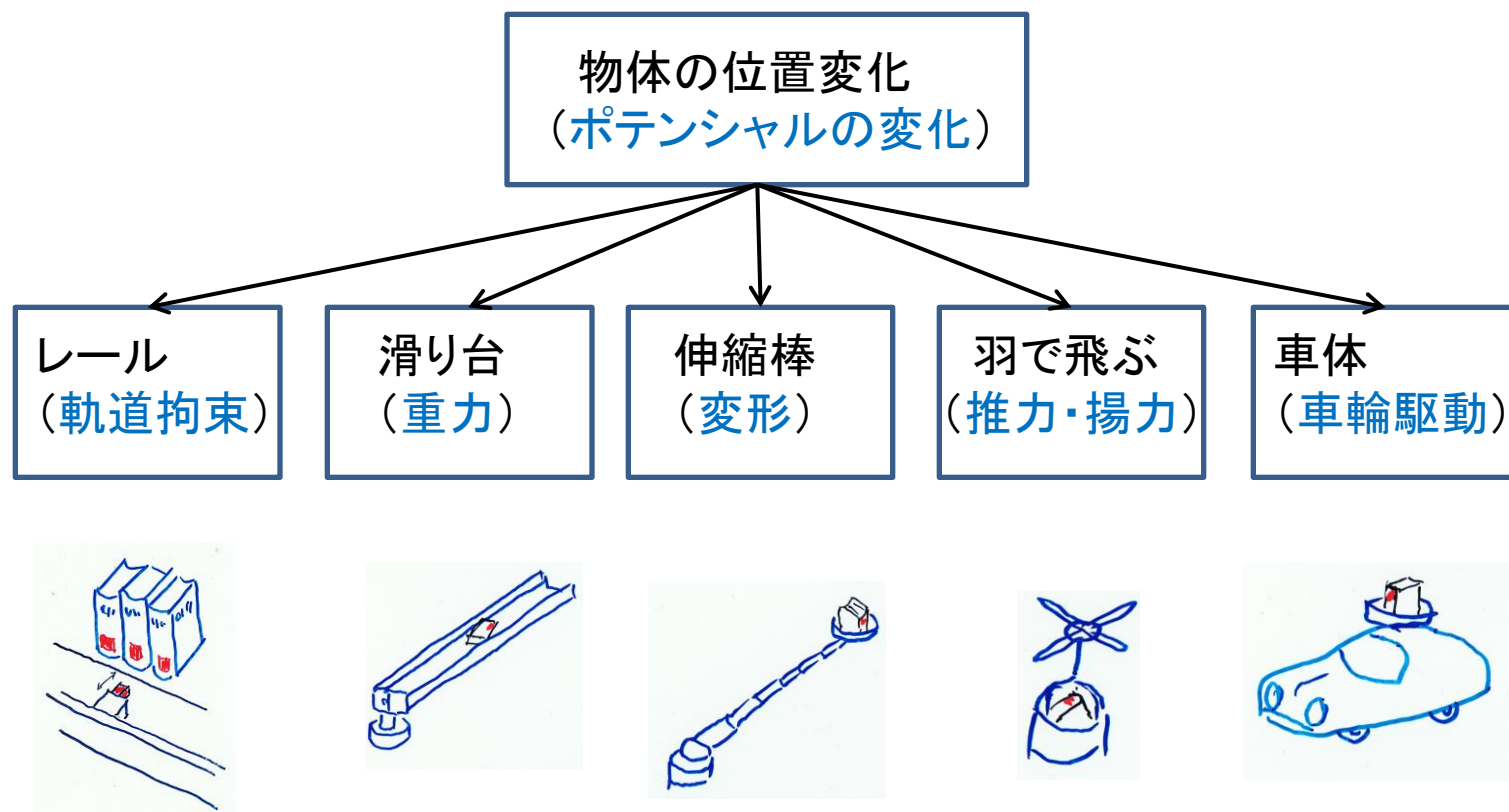
**A set of entities which has a subset system /topology of functions
(A set elements of which follow particular theories of attribute/function)**

抽象システム(解領域の拡大)

「欲しい本を書棚から選び持ってきてくれる装置」



抽象システムの具体化(移動システム)



多様な可能性があり、それぞれに固有の理論がある。

“ルール”を用いるという立場を捨ててより広く解を求める
(機能をどこでシステムに言い換えるかという本質問題)

機能 詳細化された → Abduction 要求機能 概括的な属性	A	B	C	D	E	F	設計者による付加的機能・システム	要素領域*			
	言語認識 指示入力機能	移動 経路探索機能	確認 対象物確認機能	操作 位置形状認識機能 物体操作機能	移動 経路探索機能	信頼性 静粛安全 価格		S1	S2	S3	S4
A ほしい本の指示を理解する	○ ○										
B ある場所を予測して探し出す		○ ○									
C 本を認識する			○								
D 取り出す				○ ○							
E 指示者に届ける					○ ○						

*ここに至って、解領域は拡大し、解の可能な範囲が大きくなる。それは解の最適性を上げることの可能性が大きくなったことを意味する。しかしそれは、設計の作業量が増大したことを意味しており、設計の独自性と設計作業量との関係があることが分かる。問題は、できるだけ大きな可能性を保持しながら作業量を最小化することであり、それは設計学の一つの目標である。

要求仕様の詳細化

例題以前の議論は、要求機能は与えられるもの、すなわち改変しないことにしていた。しかしながら「例」に見るように、Engineer型の場合、実際の設計過程では、要求機能の詳細化が重要な過程である。しかもそれは、要求者が自ら行うだけでなく、設計者の参加を得て、ということはい換えれば、“設計を予見して”要求を“整形”するのであり、過程を考える上で難しい問題をはらむ。

実は設計とは、このような知識の推移(非専門的な機能表現から専門的な実現手段へ)そのものなのであるが、参照する知識の推移の明示がいずれ必要となる。

そこでここでは、設計者を入れずに、純粹に要求者が考える詳細化と、設計者(実現知識を豊富に持つもの)の参加を得て行う詳細化とを考える。すなわち詳細化過程は次の二段階となる。

1. 機能の知識(機能論、機能空間、機能データベースなど)による詳細化
2. 要求機能の部分を実現する実体(属性の内部構造を持つもの)を想起することによって(この部分が設計者の仕事である)、要求を構成する部分機能間の関係を明らかにしながらする詳細化

「例」の場合の詳細化

A 指示を理解する

C 本を認識する

D 取り出す

E 指示者に届ける

書棚から本をとってくる

B 場所を探し出す

経路探索機能

移動機能

地図認識システム

経路探索システム

移動システム

S1 情報処理システム

S3 走行システム

S2 センサーシステム

S4 マニピュレーションシステム

要求機能: 最初の要求、内部構造なし

F

要求要素: 要求要素は要求の“機能標準語”によって表現される

F

要素ごとに機能詳細化: “機能素”への分解である。機能素は既知の機械の機能である。

m

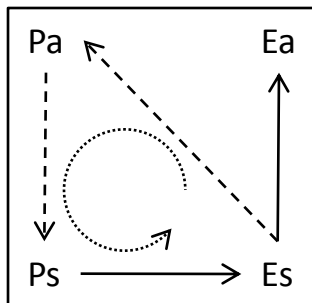
詳細化された機能のシステム(実体)表現

f

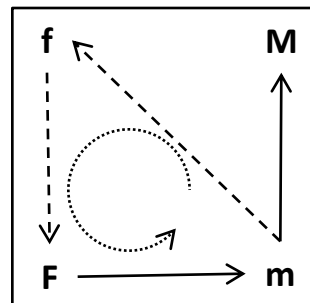
詳細化されて機能のシステム(属性)表現

F

属性システム表現



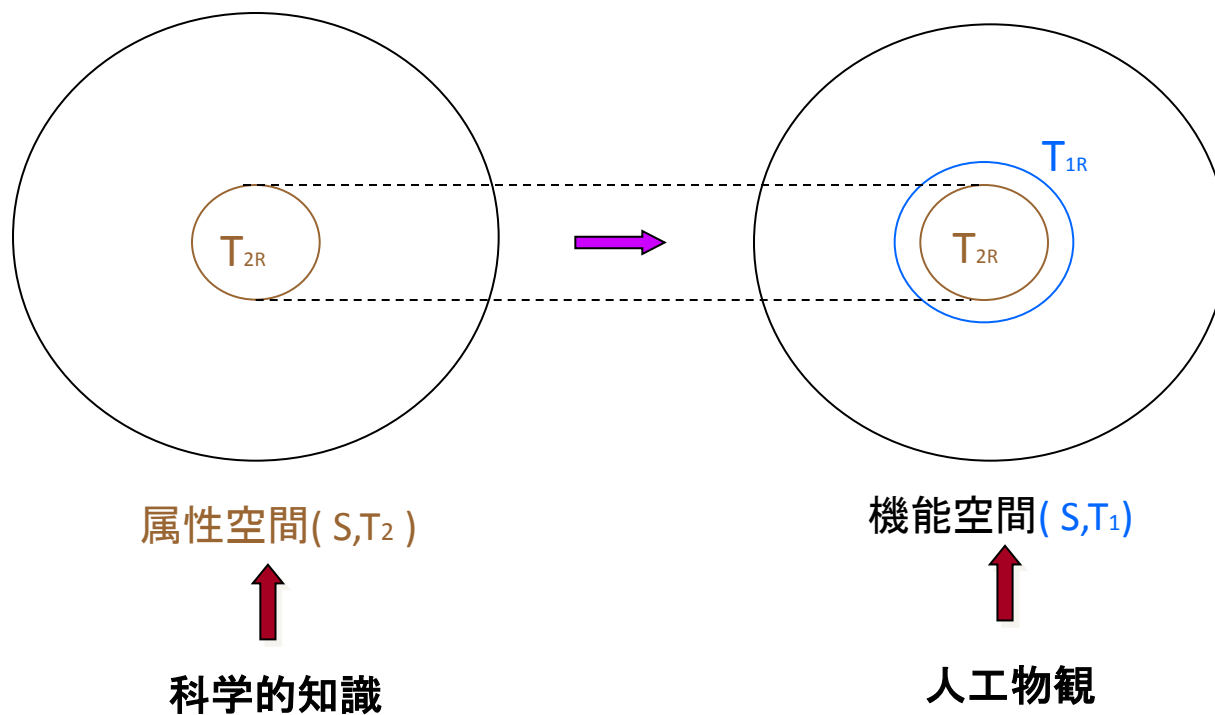
metamodel



metamodel

設計:要求機能を満たす属性の発見

属性空間から機能空間への連続(恒等)写像



設計可能性: 属性的要求 $T_{2R} \subseteq$ 機能的要求 T_{1R}

f