

# 理想性設計を目指した構想設計 プロセスに関する研究

2014年9月11日(木)-12日(金)

早稲田大学創造理工学研究科

澤口 学

富士通(株)

石川真太郎(早大OB)

# 【目次】

1.はじめに

2.デザインプロセスの概要

3.設計案検討時の伝統的(属人的)なプロセス

4.理想設計をめざす設計プロセスと公的設計理論

5.事例研究

6.結論

# 1. はじめに

1) 大部分の企業(主に製造業)にとって、製品開発活動は、“最も重要な役割”の一つである。

2) 特に、モノづくりの上流である“製品企画・開発・設計段階”では、顧客要求機能を正確に把握した後に、経済的に速やかに実現することが求められる。

3) 本研究の目的は、複数の顧客要求機能をお互い干渉なしに、経済的に達成するための、“理想性設計”を目指した設計プロセスの検討である。

# 理想性設計を目指す

理想性の向上

$$I = \frac{\sum RFi \rightarrow \infty}{\sum HEi \rightarrow 0}$$

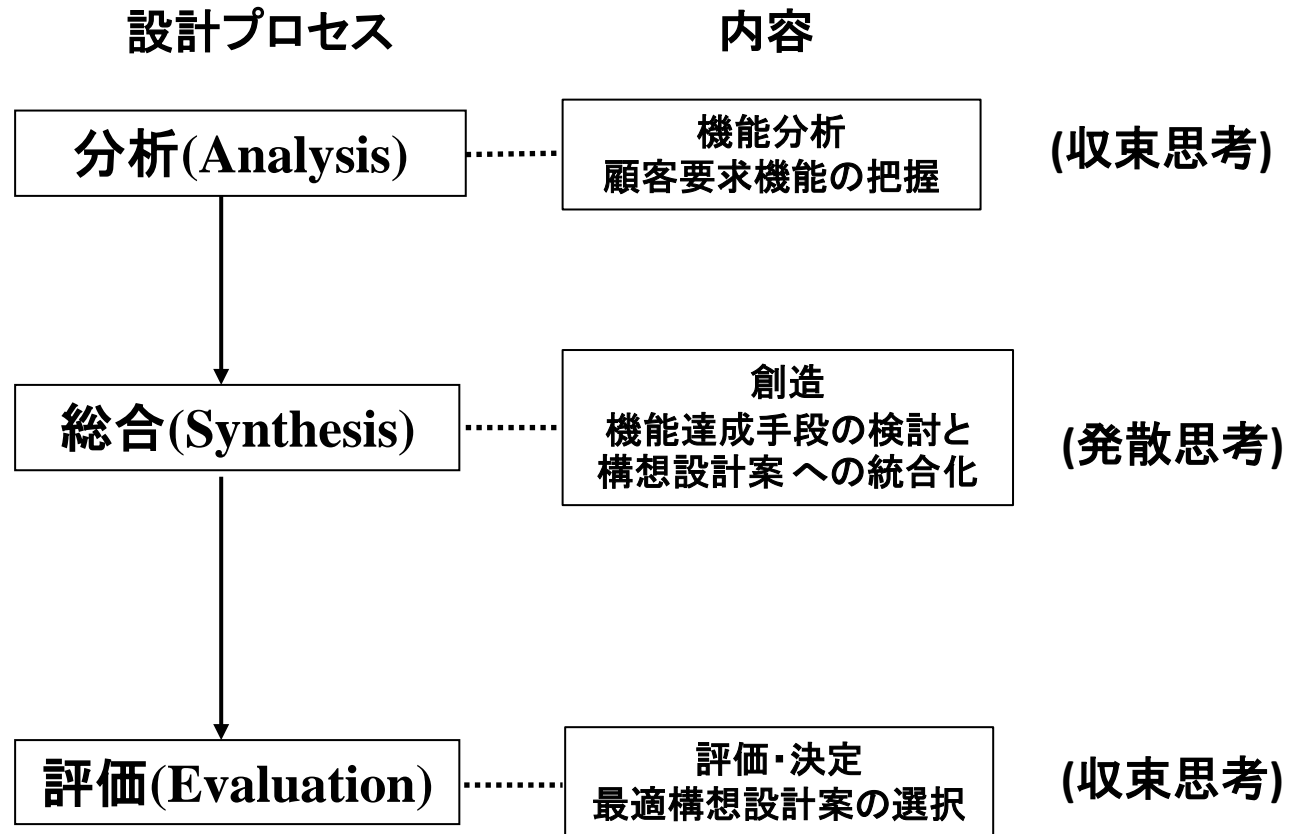
- ・顧客要求機能を実現する
- ・不十分な顧客要求機能を十分にする
- ・顧客要求機能をさらに向上させる
- ・顧客要求機能を強化する

- ・有害作用を排除する
- ・有害作用を防止する
- ・有害作用を低減する

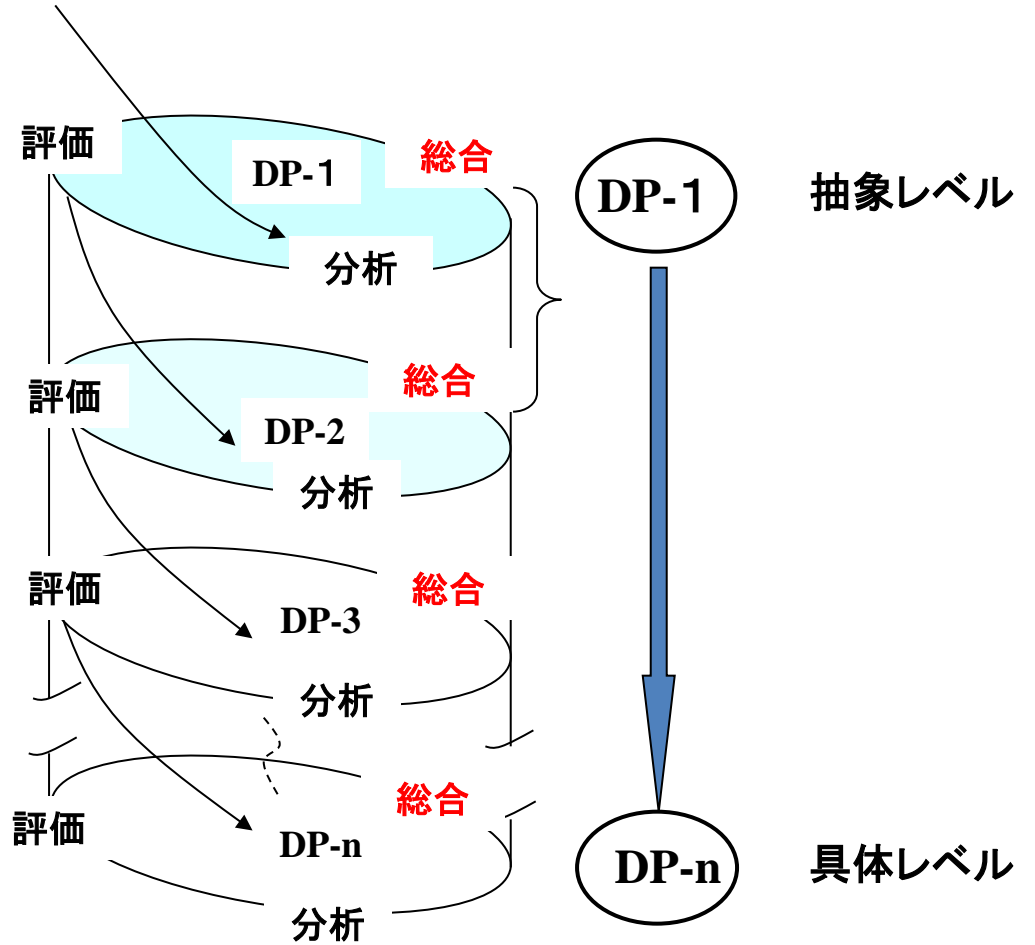
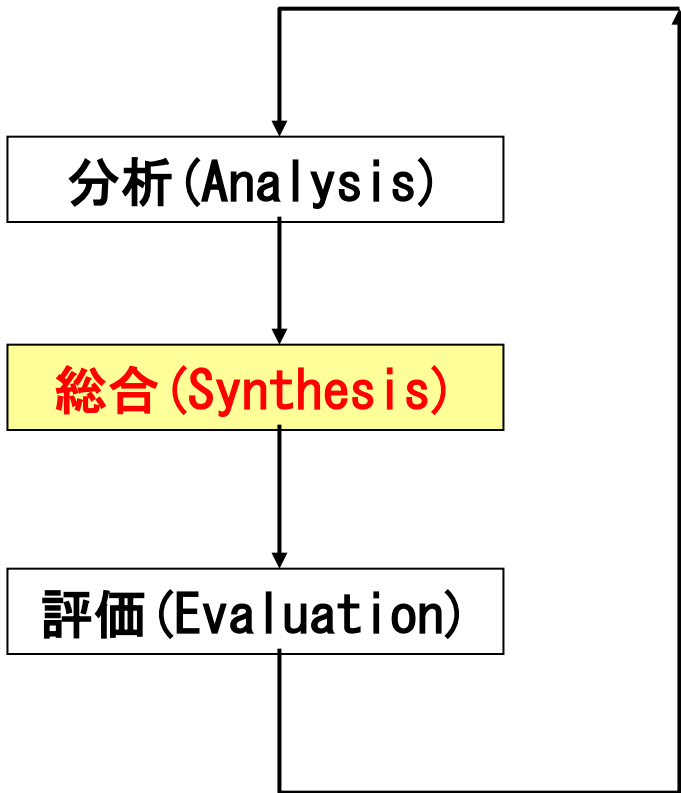
$RF_i$  (Required Function): 顧客が求める要求機能  $i$

$HE_j$  (Harmful Effect):  $RF_i$  の実現によって発生する有害作用  $j$

## 2. デザインプロセスの概要



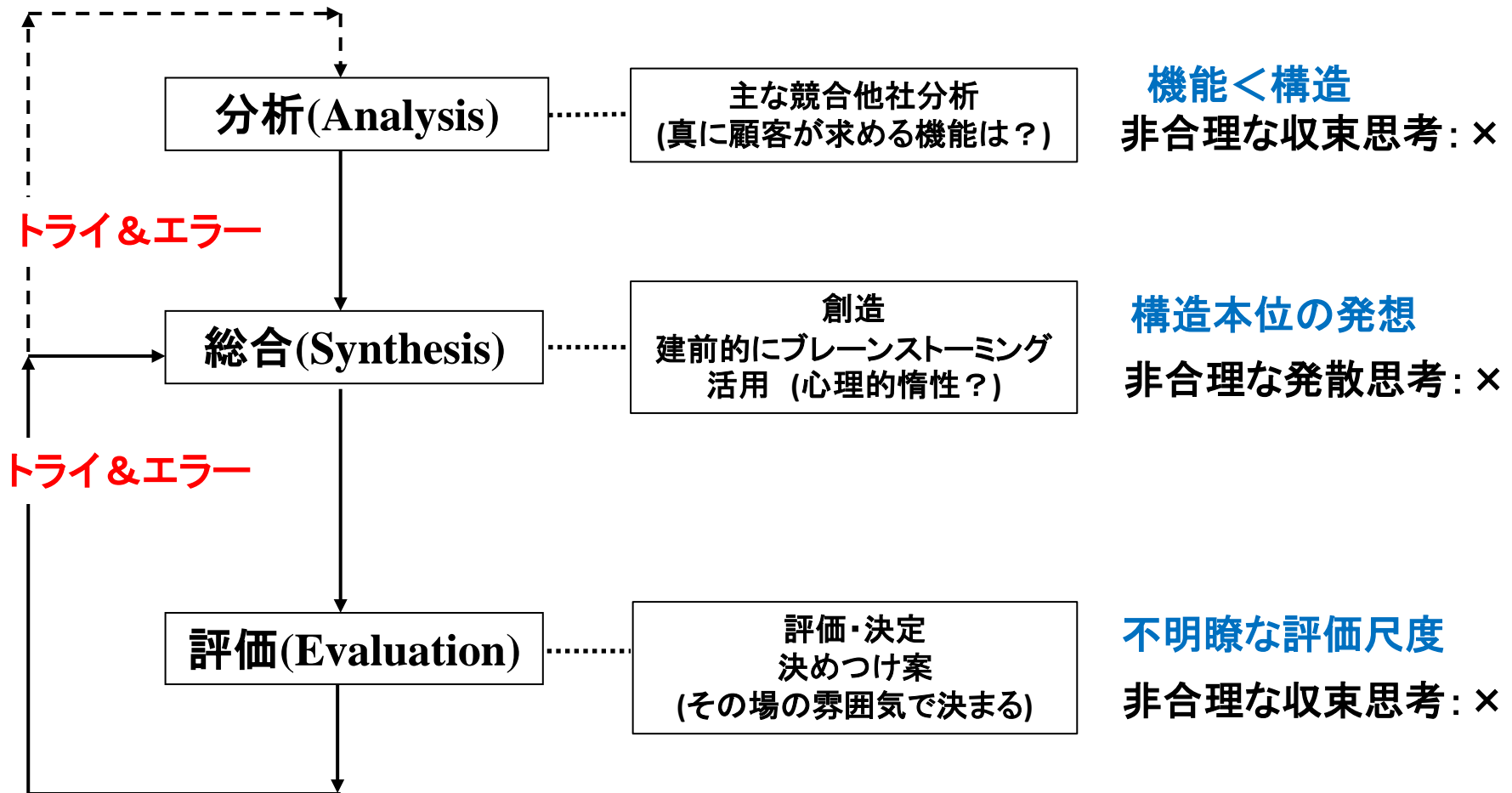
# DP(Design process)のスパイラル



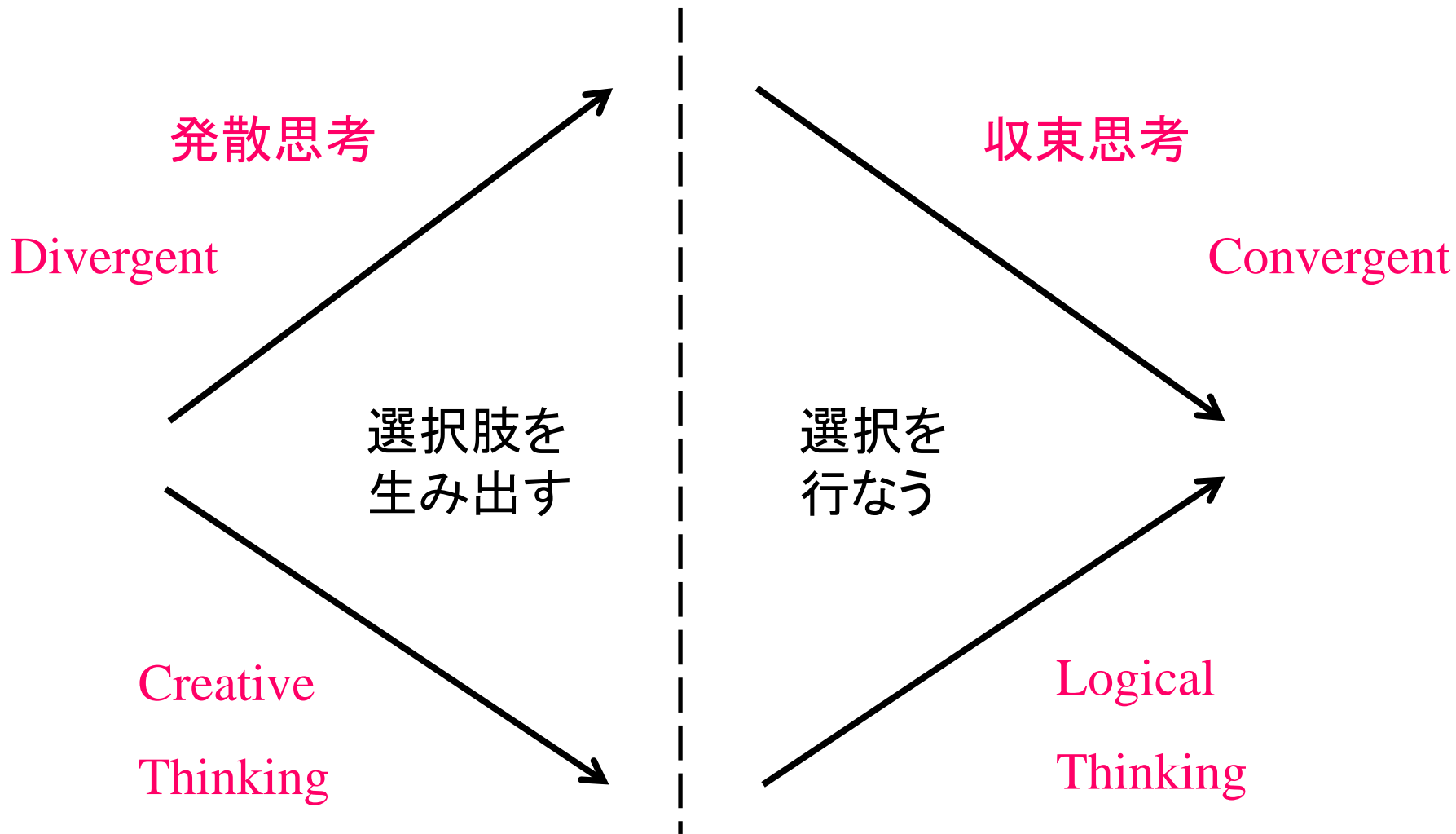
# 3. 設計案検討時の伝統的(属人的)なプロセス

設計プロセス

内容



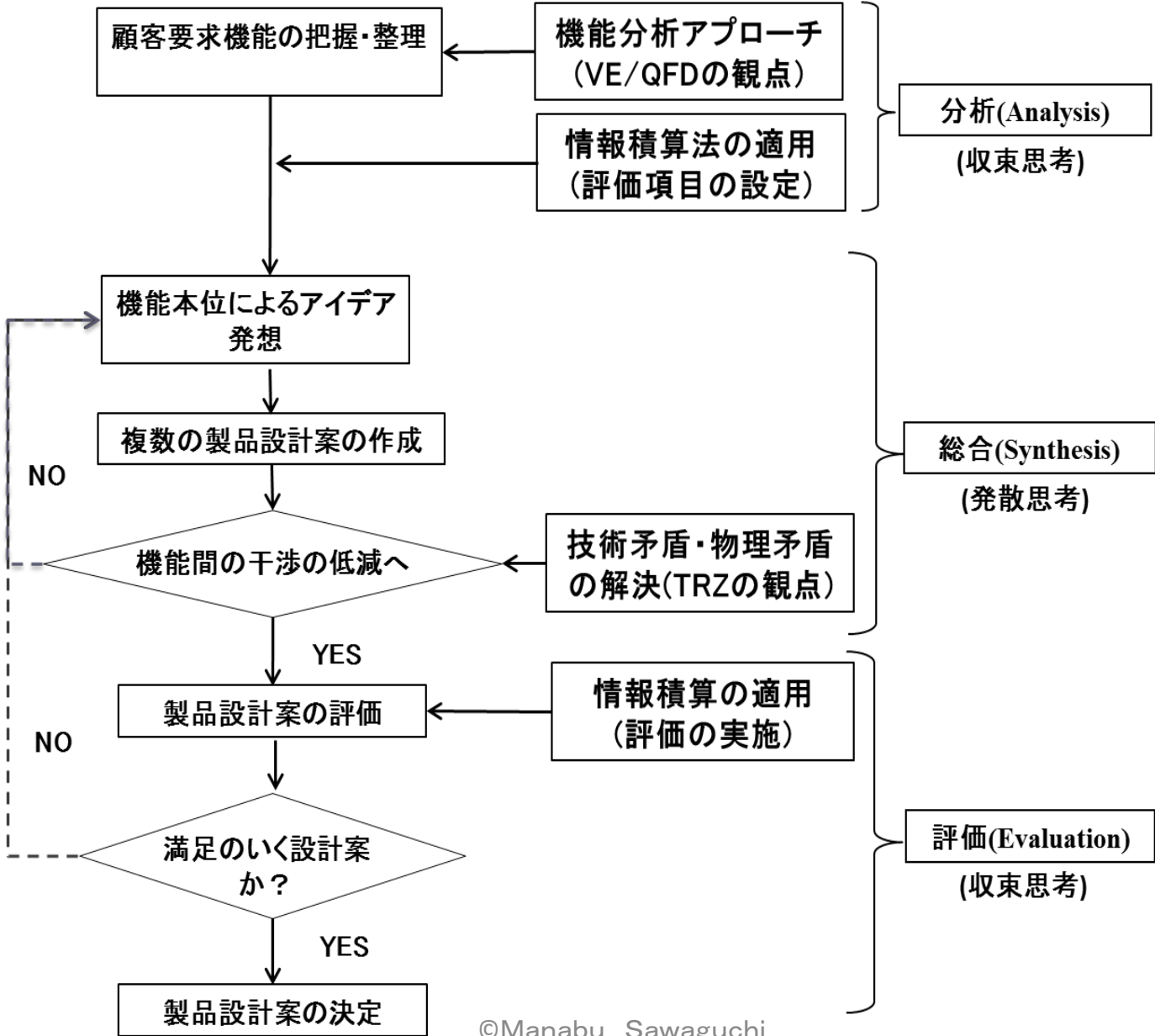
# 収束思考と発散思考



「デザイン思考が世界を変える」(P90)を参考に加筆修正



# 4.理想設計をめざす設計プロセスと公的設計理論



理想設計をめざす設計プロセス

# 公的設計理論とは

## 公理1: 独立公理

要求機能(RF)は、設計目標を記述する“**最小個数の独立した必要条件**”として定義される。このときFRの独立性は常に保たれなければならない。

## 公理2: 情報公理

独立公理を満たす設計の中で、**最小の必要情報量**をもつものを**最良の設計**とする

引用文献「公理的設計」(森北出版)中尾正之・他著(P18)

# 独立公理(公理1)の例～

$RF$ : 要求機能     $DP$ : 設計パラメータ     $\{FR\} = [A]\{DP\}$  設計方程式

$[A]$ : 設計行列

$RF_1$ : 冷蔵庫内の食料の出し入れを可能にする

$RF_2$ : エネルギー損失を最小にする

<準独立設計(一部干渉有り)の例>

$DP_1$ : 横開きのドア

$$\begin{pmatrix} RF_1 \\ RF_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ X & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{pmatrix}$$

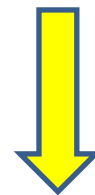
$DP_2$ : ドアの断熱材

(ポリウレタン発砲材)



公理1を満たして理想設計へ

<独立設計(矛盾解決)の例>



$DP_1$ : **水平開きドア**

$$\begin{pmatrix} RF_1 \\ RF_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{pmatrix}$$

$DP_2$ : ドアの断熱材



参考文献「公理的設計」(P23)(森北出版)中尾正之・他著

# 情報公理(公理2)に役立つ手法～情報積算法

## 中沢弘(早大名誉教授)が提案した設計(案)の評価手法

### 主な特徴

- ・ シャノンの情報量の概念に基づく評価手法である
- ・ 統一した尺度(=情報量)により異なる項目の評価を可能にする
- ・ 総情報量により全体の満足度を評価する

シャノンは、事象 $a$ が生起する確率 $P_a$ が、事象 $a$ を伝達するための情報量 $I$ であるとして式(1)のように定義した。

$$I = \ln \frac{1}{P_a} \quad (1)$$

# 情報積算法は、シャノンの情報量の概念を応用している

$a$ という事象を起こそうとした時、確率 $P_a$ が小さいほど $a$ は発生し難い。つまり、それだけ大きな情報、物質、エネルギーが必要であると解釈できる。ゆえに、製品において、要求仕様 $a$ を満たすために必要な“**困難さを測る尺度**”として、“**情報量**”を用いた。

## 製品設計の評価手法へ展開

設計したシステム(製品)において

- ・ 使用条件で一定に変動するシステム特性の範囲  
⇒ **システムレンジ**
- ・ マーケットの要求で実現したいシステム特性の範囲  
⇒ **デザインレンジ**
- ・ システムレンジでデザインレンジを満たす範囲  
⇒ **コモンレンジ**

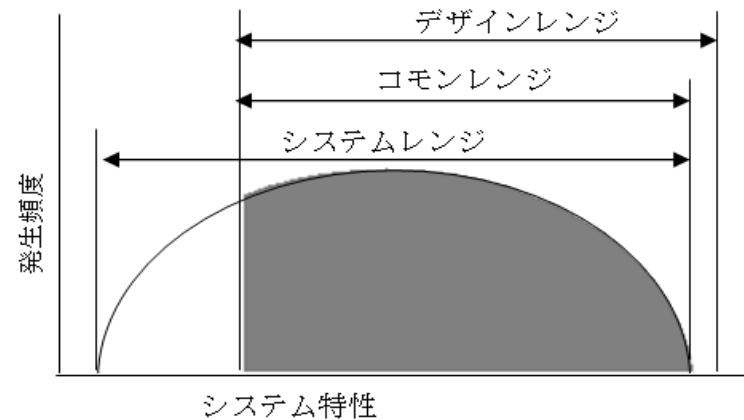


図2 システム特性の発生頻度 (1)

参考文献

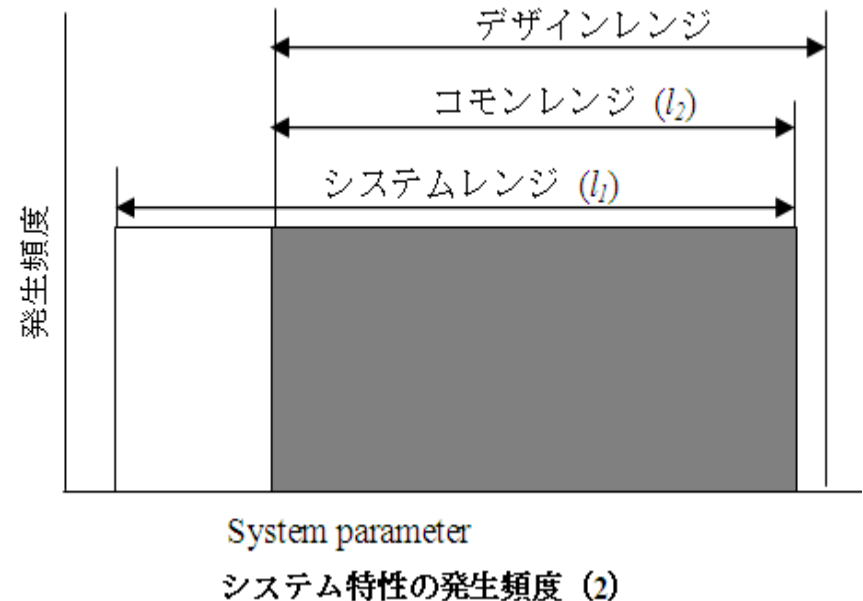
経営システム学会2012年秋期全国研究大会  
予稿集「情報積算法による改善設計案の評価」  
泉丙完、澤口学

# 製品設計の評価手法へ展開

コモンレンジが生起する  
ために必要な情報量  $I$   
=> 設計要求を満たす尺度

コモンレンジの生起確率  
 $P_c$ の確率分布  
=> 一様分布と仮定

$$I = \ln \frac{1}{P_c} = \ln \frac{\text{システムレンジ}(l_1)}{\text{コモンレンジ}(l_2)} \quad (2)$$



参考文献  
経営システム学会2012年秋期全国研究大会  
予稿集「情報積算法による改善設計案の評価」  
泉丙完、澤口学

# 5.事例研究-ホットコーヒー用の紙コップ

(前半)～製品の過去分析

1)“過去-現在”の紙コップの進化に着目し、**製品の機能分析**から設定した評価項目に沿い、**実験及びアンケート調査**を実施する。

2)進化過程の**各製品の情報量**を評価項目ごとに**算出**することで、製品進化の過程で行われた**要求機能間の矛盾の解消と、情報量の低下の関係性を明らかにする。**



(後半)～製品企画

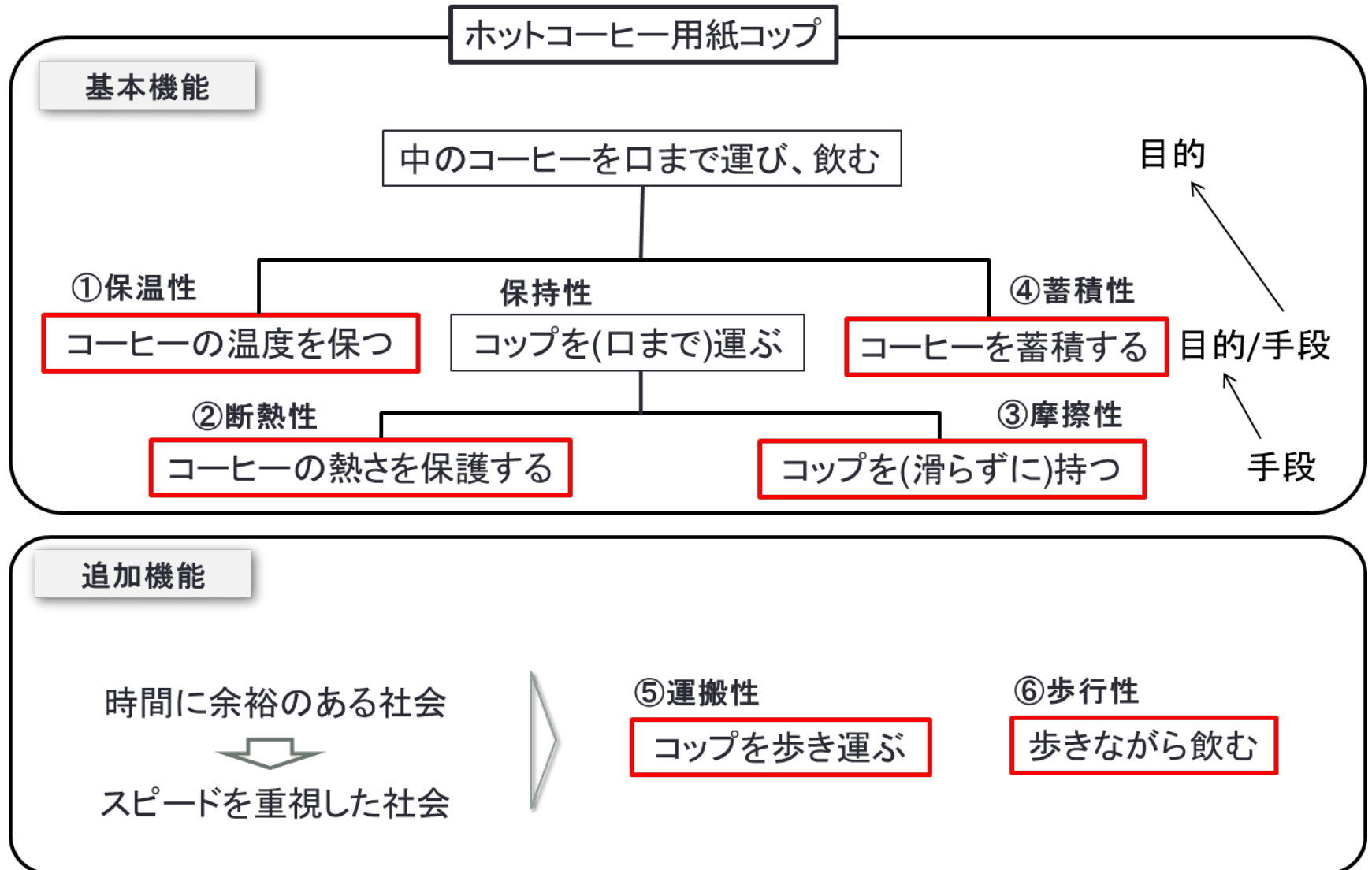
3)前半に実施した手順に従い、**現状の紙コップから課題を抽出し、矛盾マトリックス**を用いた**アイデアの発想**を行う。

4)得られた**アイデアを組み合わせた設計案**をもとに**試作品を作成**し、設定した**評価項目に沿った実験及びアンケート調査**を行う。

5)**情報量に落とし込む**ことで、**提案設計プロセスの効果性を明らかにする。**

# 製品の過去分析(前半)

## 1) 評価項目の設定





## 2)実験及び調査条件

“①保温性”に関しては、エンジニアリング項目とする。  
温度変化の測定実験を行い、情報量を算出する。  
その際の制約条件を以下に示す。

初期温度:85°C(カフェへのヒアリングより設定)

測定時間:20分後(一般的な飲み終わる時間)

デザインレンジ:55°C~70°C(理想とされる温度)

②~⑥の機能は、感性項目として、点数評価法を用いたアンケート調査から情報量を算出する。また、デザインレンジに関しては、珈琲店員へのアンケートより設定する。

アンケート調査は20名(男13名, 女7名)に実施した。

各機能のスコアリングモデルと算出されたデザインレンジを以下に示す。

### 各感性項目の最高点及びデザインレンジ最小値

	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性
スコアリング	5点	5点	3点	5点	3点
デザインレンジ	4.14~	4.33~	3.00~	4.14~	2.57~

システムレンジは、珈琲店員及び利用者30名(男14名, 女16名)にアンケートを実施する。  
レンジの設定に関しては、アンケート結果の平均値(=μ)と標準偏差(=σ)を算出し、 $\mu \pm \sigma$ とする。

# 感性項目の各点数基準(一例)

## ②熱伝導性

5点評価法
1 触れないほど熱い
2 口に濯ぐまでの時間は触り続けられる
3 30秒程度であれば触り続けられる
4 熱さが気になるが、触り続けられる
5 全く熱さを感じない

## ③摩擦性

5点評価法
1 非常に落としやすく好まない
2 持ちやすいが、非常に滑り(落とし)やすい
3 慎重であれば落とさない
4 基本的に滑らない・落とさない
5 全く滑らず、手にしっくりくる

## 各製品に対する各機能(評価項目)のシステムレンジとコモンレンジ

システムレンジ	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性
A	58.0	1.20~2.14	3.55~4.85	3.00	0.91~2.15	1.80~2.60
B	58.0	4.11~5.09	3.06~4.67	3.00	0.86~1.80	1.26~1.94
C	67.8	1.20~2.14	3.55~4.85	3.00	4.68~5.18	1.00
D	66.0	1.20~2.17	3.55~4.85	3.00	4.12~5.08	2.29~3.18
E	69.0	4.40~5.20	3.85~5.08	3.00	4.12~5.08	2.29~3.18
F	68.0	2.75~4.18	4.40~5.20	3.00	4.12~5.08	2.29~3.18
コモンレンジ	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性
A	58.0	—	4.33~4.85	3.00	—	2.57~2.60
B	58.0	4.14~5.00	4.33~4.67	3.00	—	—
C	67.8	—	4.33~4.85	3.00	4.68~5.00	—
D	66.0	—	4.33~4.85	3.00	4.14~5.00	2.57~3.00
E	69.0	4.40~5.00	4.33~5.00	3.00	4.14~5.00	2.57~3.00
F	68.0	4.14~4.18	4.40~5.00	3.00	4.14~5.00	2.57~3.00

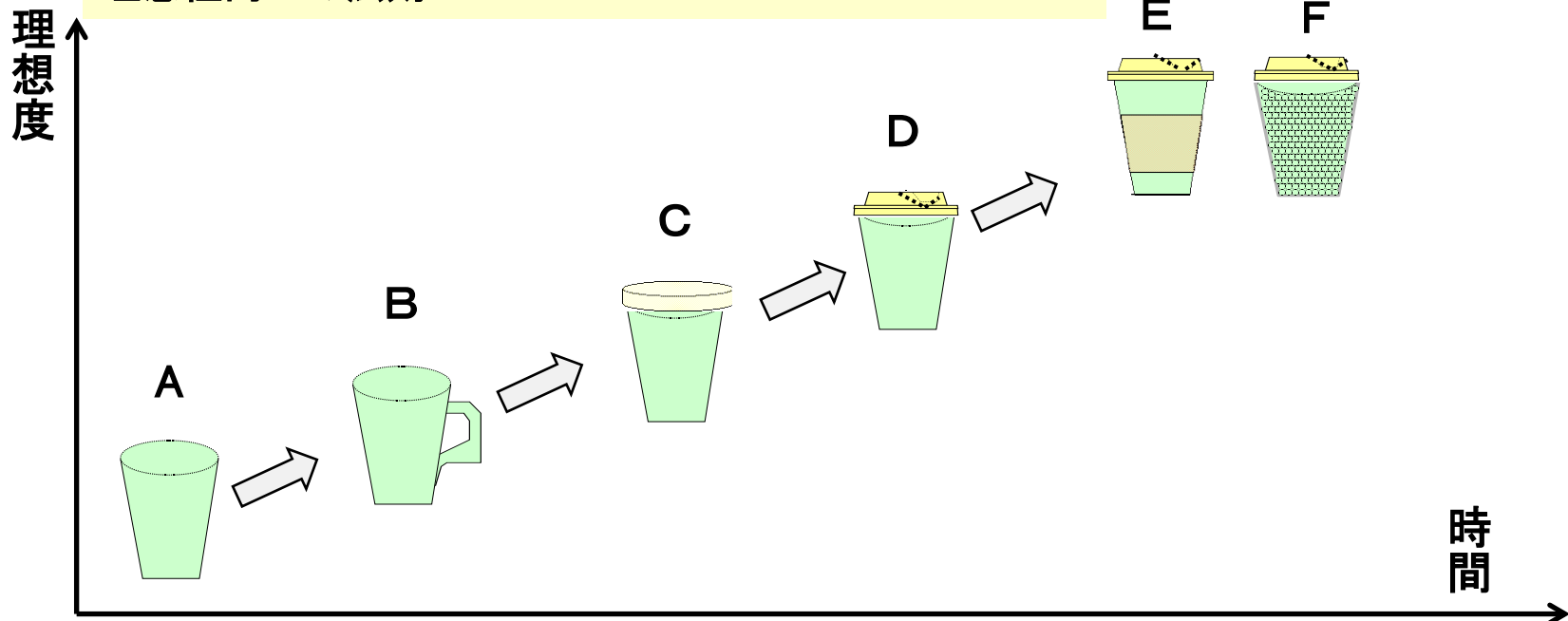
$$I = \ln \frac{1}{P_c} = \ln \frac{\text{システムレンジ}(l_1)}{\text{コモンレンジ}(l_2)} \quad (2)$$

### 3)対象製品

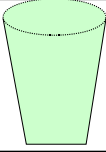
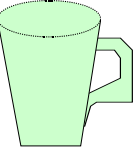
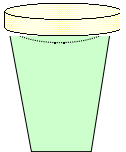
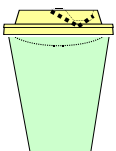

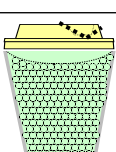
### 研究対象のホットコーヒー用紙コップ

A	通常の紙コップ
B	取っ手付きの紙コップ
C	蓋付きの紙コップ
D	蓋穴(飲むための穴が付いたもの)付きの紙コップ
E	蓋穴付き, 断熱スリーブ付きの紙コップ
F	蓋穴付き, 表面がエンボス加工済みの紙コップ

このように理想性が向上しているのではないか！？(仮説)  
理想性向上の法則



## 4)情報量算出結果

		①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性	合計
A		1.61	$\infty$	0.922	0	$\infty$	3.33	$\infty$
B		1.61	0.003	1.56	0	$\infty$	$\infty$	$\infty$
C		0.159	$\infty$	0.922	0	0	$\infty$	$\infty$
D		0.311	$\infty$	0.922	0	0.024	0.381	$\infty$
E		0.069	0	0.499	0	0.024	0.381	0.97
F		0.143	3.55	0.081	0	0.024	0.381	4.18

情報量は自然対数を用いて計算される(式(2))ので、算出結果が無限になることが有り得る。  
 $\infty$  = 「機能改善の緊急性が極めて高い」項目である。値が0となっている機能に関しては、  
 デザインレンジ内にシステムレンジが収まっているので、「十分満足している」と言える

# 5)TRIZを用いた分析

AとCの情報量を比較すると、中の液体の熱が逃げにくくするために蓋を付けることで、①保温性の情報量が大きく下がった。しかし、蓋をして完全に液体を封じ込めることで、⑥歩行性の機能が失われ、情報量も無限大かしていることがわかる。

		①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性	合計
A		1.61	∞	0.922	0	∞	3.33	∞
B		1.61	0.003	1.56	0	∞	∞	∞
C		0.159	∞	0.922	0	0	∞	∞
D		0.311	∞	0.922	0	0.024	0.381	∞
E		0.069	0	0.499	0	0.024	0.381	0.97
F		0.143	3.55	0.081	0	0.024	0.381	4.18

## 物理的矛盾:空間による分離の活用

1. セグメンテーション
2. 分離・抽出
3. 局部的性質



フタに穴を開ける

穴

保温のためには、フタがあれば良いが、  
飲むためには、フタはいらない



物理矛盾として定義

AとBの情報量を比較すると、Aの場合紙コップの表面が熱く、非常に持ちにくいいため、取っ手を付けることで、②熱伝導性の情報量が大きく下がった。しかし、取っ手は非常に不安定で、③摩擦性、⑤運搬性かつ⑥歩行性には適さない。

そこで、「熱さを保護するには取っ手は便利だが、歩きながら飲むためには適さない」という問題(矛盾)の発見につながった。

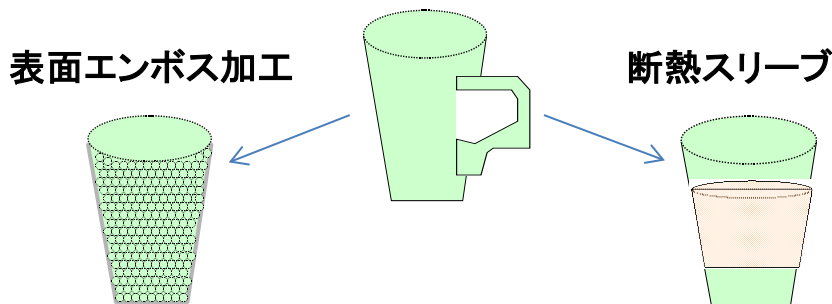
		①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥歩行性	合計
A		1.61	∞	0.922	0	∞	3.33	∞
B		1.61	0.003	1.56	0	∞	∞	∞
C		0.159	∞	0.922	0	0	∞	∞
D		0.311	∞	0.922	0	0.024	0.381	∞
E		0.069	0	0.499	0	0.024	0.381	0.97
F		0.143	3.55	0.081	0	0.024	0.381	4.18

**(改善特性) 安定性 × (悪化特性) 悪い副作用**

- 27. 高価で長寿命でなく、安価で短寿命のモノを使用
- 35. 物体の物理的、または化学的状態の変移
- 39. 不活性な環境(真空など)
- 40. 複合材料

「熱さを保護するには取っ手は便利だが、歩きながら飲むためには適さない」

↓  
← 技術矛盾として定義



# 製品企画(後半)

## 1)ヒアリング調査

現在の対象製品の課題を調査するため、珈琲店の利用者15名(男9名, 女6名)にヒアリングを実施した。調査結果は下記の通りである。

### 紙コップ(E,Fタイプ)に対する課題の整理

	人数	具体的説明
解体性	7	砂糖・ミルク投入時、廃棄時に蓋が開けづらい
摩擦性	3	スリーブ自体が動きやすい
混合性	2	砂糖・ミルクが混ぜにくい(ラテ・モカの場合)
⑥歩行性 → 飲用容易性	2	ラテ・モカなどが穴から出にくい
デザイン性	1	ダンボール紙が受け付けない

混合性, デザイン性に関しては, 紙コップ自体の課題ではない可能性があるため、追加機能(評価項目)として、解体性を追加した。

前半で、機能(評価項目)として設定した“歩行性”は、「液体が注がれる」という機能に関して、“(歩行時の)飲用の容易性”に包含されると解釈し、“⑥飲容易性”として機能の意味を修正した。

## 2)課題の特定化

⑥飲容易性, ⑦解体性の現段階の情報量を算出するため, 珈琲店員及び利用者30名(男15名, 女15名)にアンケート調査を実施した。

システムレンジ及びデザインレンジの設定方法は、前半と同様である。

対象製品は、現在主流であるEとFとした。

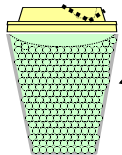
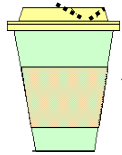
⑥, ⑦の評価項目の最高点数と算出されたデザインレンジを下記に示す

### 追加機能の最高点とデザインレンジ

	⑥飲容易性	⑦解体性
スコアリング	5点	5点
デザインレンジ	4.38~	4.05~

上記のデザインレンジにもとづいた情報量算出結果を下記に示す。

### 紙コップE,Fの各評価項目の情報量と合計値



	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥飲容易性	⑦解体性	
E	0.069	0	0.499	0	0.024	2.19	3.81	6.592
F	0.143	3.55	0.081	0	0.024	2.19	2.34	8.328



### 3)TRIZによるアイデア創出

5特定化した改善箇所について、TRIZ(矛盾マトリックス)を用いてアイデアを創出する。  
 条件は以下の通りである。

基準対象：EおよびF

被験者：4人(TRIZを十分に理解している)

時間：1時間

紙コップの中身：ホットコーヒー，ラテ，モカ

以下に採用したアイデア創出結果を示す。



	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥飲容易性	⑦解体性	
E	0.069	0	0.499	0	0.024	2.19	3.81	6.592
F	0.143	3.55	0.081	0	0.024	2.19	2.34	8.328

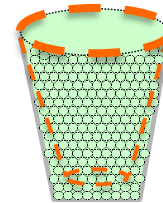
アイデア1

技術矛盾として定義

「熱さを保護するには断熱スリーブは便利だが、安定性を保つには適さない」という矛盾を矛盾マトリックスの「(改善特性)温度 × (劣化特性)安定性」から導き出される発明原理の「01. セグメンテーション」にもとづき、「二重構造」を考えた。

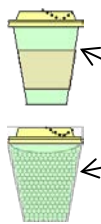
(改善特性)温度 × (劣化特性)安定性

- 01. セグメンテーション
- 32. 色を変える
- 35. 物体の物理的, または化学的状態の変移



- ・内部のコップ上部を, 外部のコップ上部に引っかかる
- ・内部・外部のコップの角度を変える
- ・種類判別のため内部・外部のコップの色を変える
- ・外側紙面は摩擦性向上のためエンボス加工にする

## アイデア2



	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥飲容易性	⑦解体性	
E	0.069	0	0.499	0	0.024	2.19	3.81	6.592
F	0.143	3.55	0.081	0	0.024	2.19	2.34	8.328

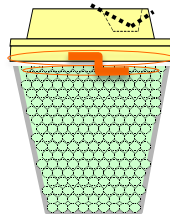


技術矛盾として定義

「熱を閉じ込めるには蓋の縁が必要だが、取り外すには適さない」という矛盾を矛盾解決マトリクスの「(改善特性)形状×(劣化特性)エネルギー損失」から導き出される発明原理の「14. 回転楕円体」にもとづき、「回転式で、留め具の付いた蓋」を考えた。

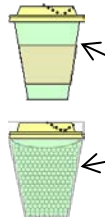
(改善特性)形状×(劣化特性)エネルギー損失

⑭. 回転楕円形



- ・蓋を回転式にする
- ・蓋・紙コップに回転留めを設ける

# アイデア3



	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥飲容易性	⑦解体性	
E	0.069	0	0.499	0	0.024	2.19	3.81	6.592
F	0.143	3.55	0.081	0	0.024	2.19	2.34	8.328

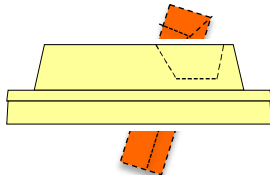


技術矛盾として定義

「溢しにくくするため段差を付け、飲み口を小さくしているが、粘度の高い液体は飲みづらい」という矛盾を、矛盾マトリックスの「(改善特性)動物体の耐久性×(劣化特性)悪い副作用」から導き出される発明原理の「21. 超高速作業」、「22. 害を益に変換」にもとづき、「飲み口に滑走路を作る」を考えた。

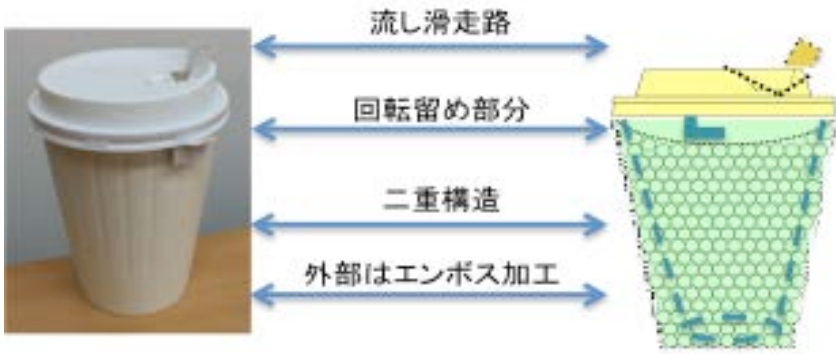
**(改善特性)移動物体の耐久性×(劣化特性)悪い副作用**

- 16. 不完全な過剰作用
- 21. 超高速作業
- 22. 害を益に変換
- 39. 不活性な環境



- ・口に流し込みやすくなるように、飲み口付近に滑り角度を設ける
- ・滑走路を作る

# 4) 効果性評価～構想設計案(アイデア1+2+3)のプロトタイプ製作



- 流し滑走路を蓋に付加
- 外部の紙コップと蓋に回転留めを付加
- 中に角度の違う紙コップ(小), 外部紙面は表面エンボス加工を採用

試作品の評価を行うために、①保温性に関しては実験を、他の機能(評価項目)に関しては珈琲店員及び利用者30名へアンケート調査を実施した。  
調査結果をもとに前半部と同様のやり方で情報量を算出した。結果は以下の通りである。

	①保温性	②熱伝導性	③摩擦性	④蓄積性	⑤運搬性	⑥飲容易性	⑦解体性	合計
E	0.069	0	0.499	0	0.024	2.19	3.81	6.592
F	0.143	3.55	0.081	0	0.024	2.19	2.34	8.328
提案製品	0	0	0.081	0	0.024	1.54	1.89	3.535

TRIZを用いて矛盾を解決することで、各機能の情報量が減少している。また、総情報量の減少から、提案製品が利用者の満足した製品であると言える。

# 6.結論

理想度



各機能間の干渉(矛盾)の解決  
~独立公理

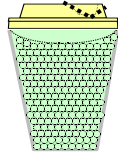
情報量の最小化~情報公理

提案製品 3.535



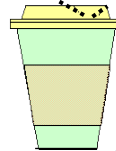
8.328

F



6.592

E



時間

## 6.結論

1)事例(前半部)の紙コップの進化(改善例)から、TRIZと情報積算法を用いて、分析することで、“矛盾解決(主に独理公理1に対応)”と“情報量の低減(主に情報公理2に対応)”の関係性を明確化できた

2)事例(後半部)の、TRIZによるアイデア創出から、新製品のプロトタイプを作成し、利用者の満足度を高めていることを検証することができた。

3)本研究での提案設計プロセスは、理想性設計を目指した構想設計プロセスであることが、ある程度証明できたと考える。

ご清聴ありがとうございました。

