

価値創生のための技術開発の文法

椿 広計
統計数理研究所

講演内容

- はじめに
 - 「科学の文法」以降の統計的方法発展の概観
 - 日本のTQMでの活動
- 「技術開発の文法」とその方法論への我が国の貢献
- 統計家の活動
- ISO TC 69 SC8における標準化活動
- 情報・システム研究機構並びに日本規格協会による価値創生ネットワークの創生
- 結語

統計と科学とのインターフェースとしての

「科学の文法」から、

統計や関連技法と技術との一つのインターフェースとしての

「技術開発の文法」へ

はじめに:

カール・ピアソン(1892)「科学の文法」

- **人間が自然に法則を与える**
 - 20世紀の新しい科学的方法論としての統計科学
 - 科学的法則を記述する体系
 - 「科学」とは、その対象で定義するのではなく、拠るところの方法で定義する
 - **Plan**: 起案のための統計的方法
 - » 諸事実の周到かつ精確な分類
 - » これらの事実の相関関係の観察
 - **Do**: 科学的法則の構築
 - » 想像力の支援に基づく科学的法則の発見
 - **Check**: 法則の検証
 - » 法則が妥当性を持つか否かの検証
 - 研究者に対する科学の文法の支援ツールとしての統計的方法の開発
 - **因果関係の確率的解釈**
 - **科学的法則の統計的記述**

統計的方法の進化

- **認識科学としての計量生物学**

- ゴルトン(1884)
 - 統計科学
 - 科学的討論を通じた合意形成
- カール・ピアソン(1892, 1901, 1911)
 - **科学の文法**
- フィッシャー(1925, 1935)
 - 研究者のための統計的方法
 - 実験計画法
 - 特性値の効率的改善

- 関心のある特性値の改善のために統計的方法によってプラグマティックに得られる科学的法則を利用

- **デザインのためのテクノメトリックス**

- シューハート(1931)
 - 経済的品質管理
 - プロセス管理
 - » 外れ値検出を通じて突き止められる原因を検出し、管理することで継続的改善
- 田口玄一(1952, 1972, 1976)
 - 実験計画法
 - パラメータ設計, 1984
 - 機能の効果的改善
 - » ノイズ因子に対する頑健性

- **法則を自分自身のために改善できる**

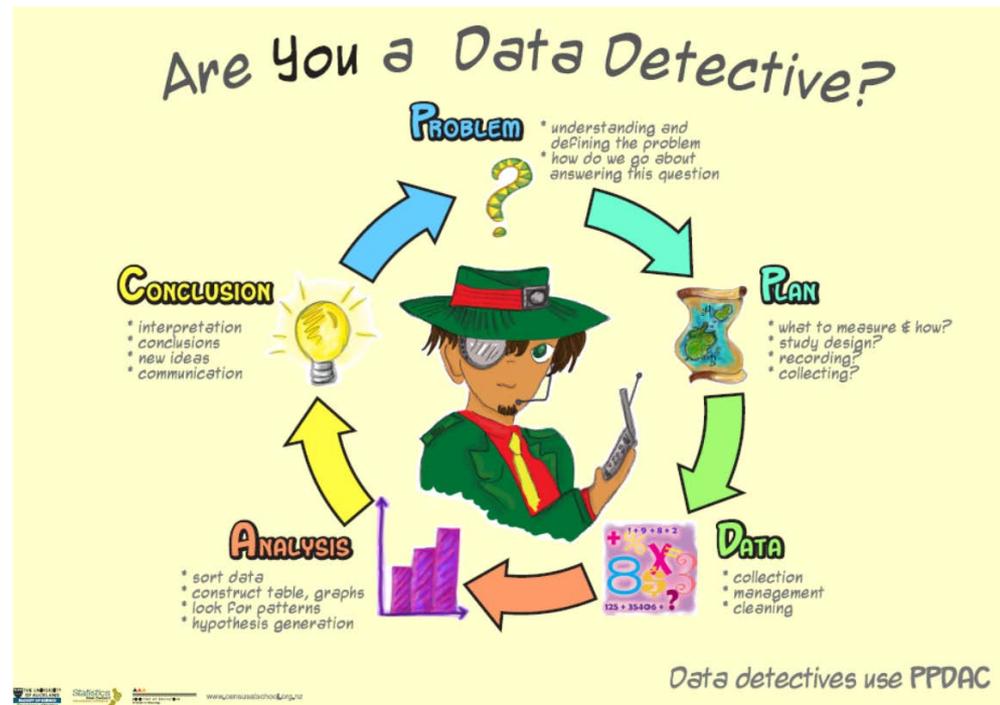
- 法則を超えた現象の発見あるいは、法則に含まれる制御可能なパラメータをチューニング

日本が開発した古典的TQM方法体系

- 問題解決
 - 戦略: QCストーリー,
 - 方法体系: Q7, N7, P7
- QCストーリー
 - 問題解決型QCストーリー
 - 課題達成型QCストーリー

問題解決型QCストーリー (1960-) ニュージーランドの教育

- テーマの選択
- 現状把握と目標の設定
- 活動の計画
- 要因分析
- 対策の立案と実施
- 効果の検証
- 歯止め



統計的品質管理のための 品質管理7つ道具

- パレート図
 - 問題の絞り込み
- 特性要因図
 - 要因の網羅
- 層別
 - 対象の特徴付け
- チェックシート
 - データの採取
- ヒストグラム
 - 分布形の把握と標準との比較
- 散布図
 - 関連性の発見
- 管理図
 - 工程が安定状態が否かの検討

新QC7つ道具 質的分析

- 連関図法
- 親和図法
- 系統図法
- マトリックス図法
- マトリックスデータ解析
- PDPC 法
- アローダイアグラム

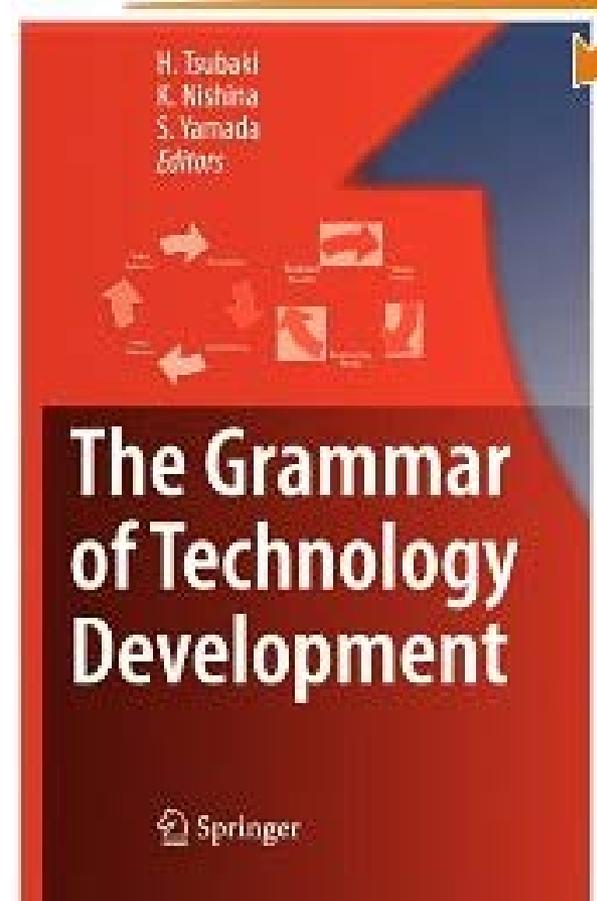
商品企画7つ道具 プロセス提示

- 神田(1994)
- グループインタビュー
 - ニーズの明確化
- アンケート調査
 - ニーズの検証
- ポジショニング分析
 - マーケットにおける
既存の多様な製品の
意味づけ分析
- 2つの発想法
 - コンセプトの発想
- コンジョイント分析
 - コンセプトの最適化
- QFD
 - コンセプトの設計への
変換

横断的基幹技術

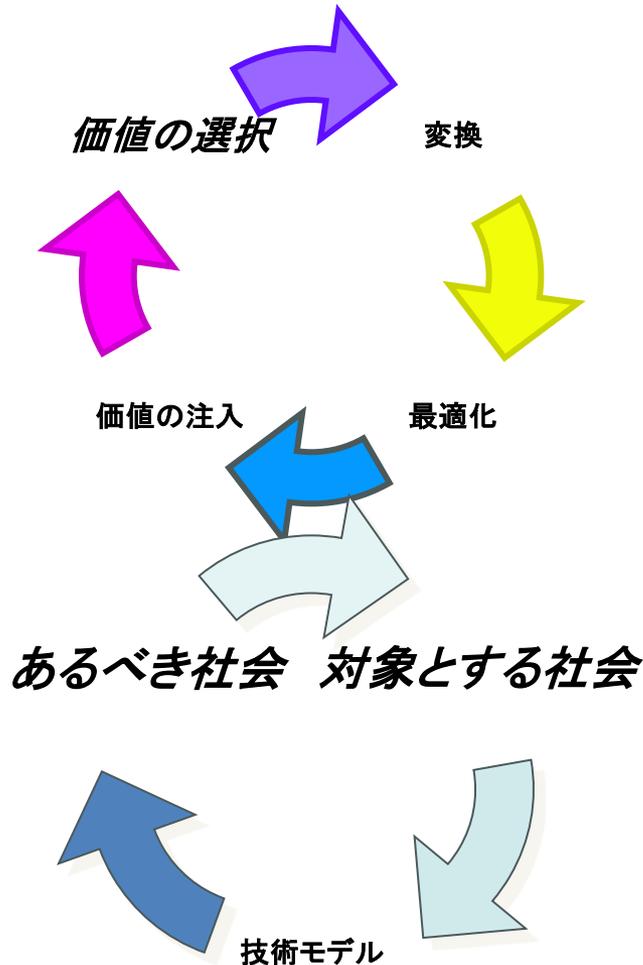
- 田口玄一先生の東大教養学部講義, 1975/04/22
 - Fisher: 効率的情報収集技術
 - Shannon: 効率的情報伝達技術
- 設計プロセス工学(2002-)
 - 横断的基幹科学技術研究段愛連合
 - 林利弘先生
 - TRIZ⇒QFD⇒タグチメソッド
- 椿、仁科健、山田秀(2008)
 - “The Grammar of Technology Development”

技術開発の文法



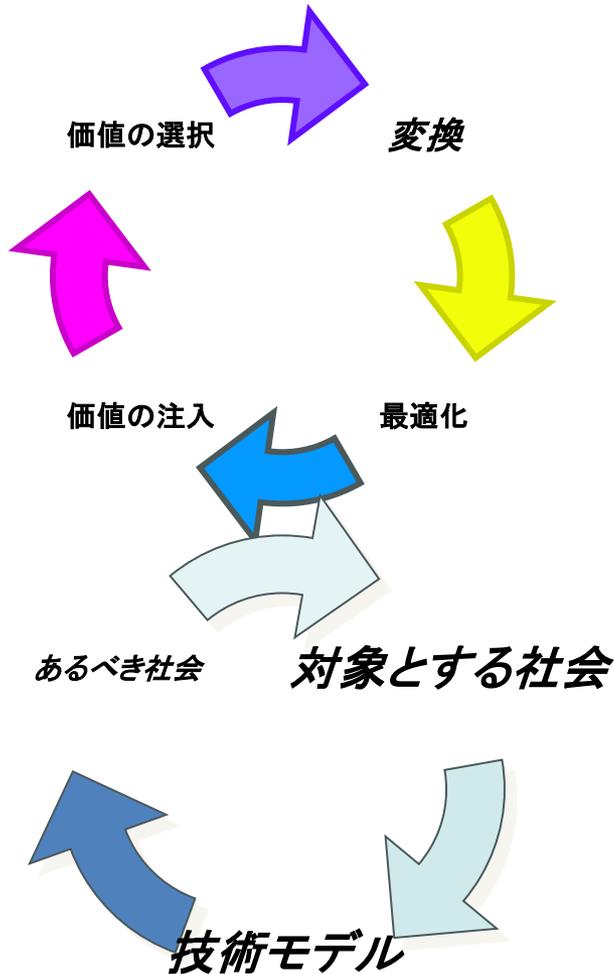
日本のパイオニアが開発した
支援手法群

Step 1: 価値の選択



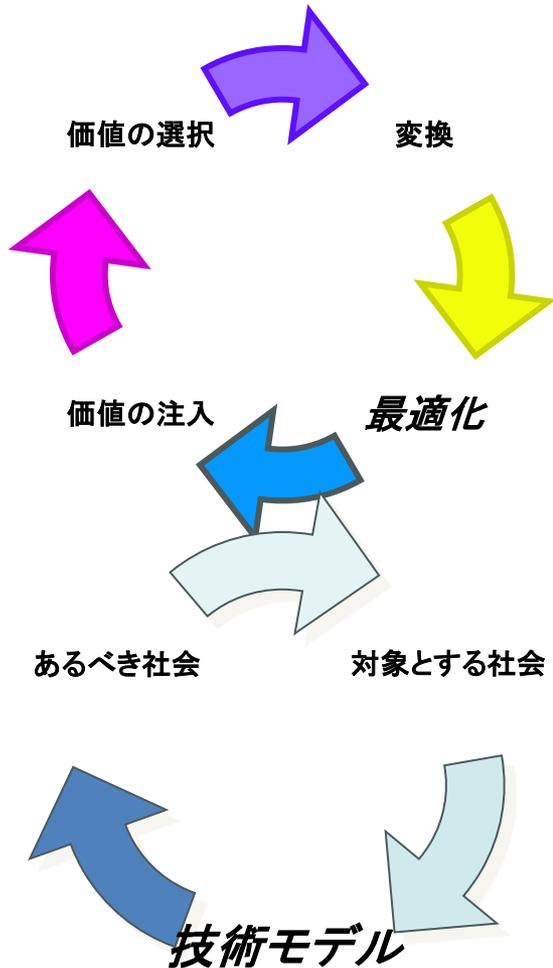
- 目的
 - 期待される顧客の声を定義することで、目標を伴う価値を選択する
- 方法
 - 実存する社会の顧客のパフォーマンスと設計される技術によって影響される社会(あるべき社会)の顧客のパフォーマンスの差を予測・分析
- 統計的方法の例
 - 標本調査
 - コンジョイント分析
 - 知識発見
 - データマイニング
 - 残差分析
 - 探索的分類

Step 2: 変換(翻訳)



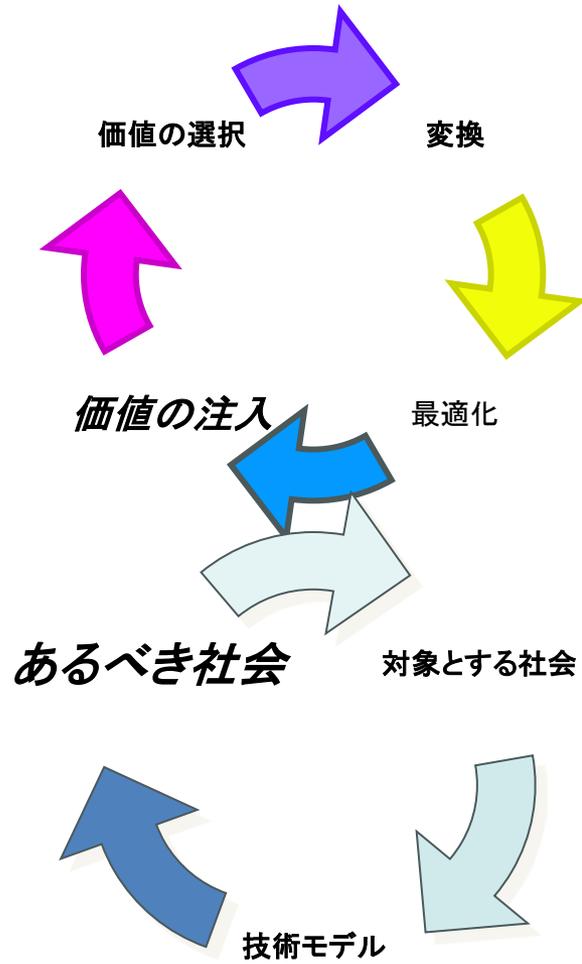
- 目的
 - 選択されたVOCを機能的品質要素(技術者の声)に変換
- 方法
 - 対象とする社会の要請を実現する(複数)システムを明確にする.
- 技術モデルを起案するための支援ツール
 - QFD
 - 特性要因図

Step 3: 最適化



- 目的
 - 選択された技術モデルで設計パラメータを最適化することで必要な機能を達成
- 方法:
 - 制御不可能な諸要因の変動に対して最良なパフォーマンスを設計
- ツール
 - 実験計画法
 - ロバストパラメータ設計

Step 4: 価値の注入??



- 目的: 価値の実現
 - 実現した機能品質と実社会での対応する認知品質との整合性を達成する
- 方法???:
 - 顧客の設計された技術の価値への気づきを促進するために必要なコミュニケーションと情報のマネジメント

1950年代にはじまる設計品質改善への日本の貢献

- **価値の選択と注入**
 - コンセプト開発の方法
 - **新QC7つ道具** 納谷(1983)
 - **非線形品質論** 狩野 (1984)
- **変換**
 - コンセプトの設計パラメータへの変換
 - **QFD** 赤尾・水野 (1978)
- **最適化**
 - **ノイズに対する頑健性確保のための設計パラメータ最適化**
 - タグチメソッド: 1952年頃から?!
 - 技術開発のための実験計画法
 - 日本独自の方法?!

統計家の活動

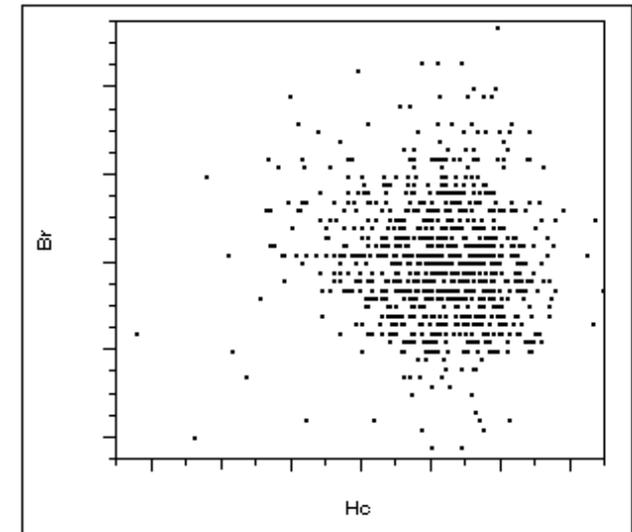
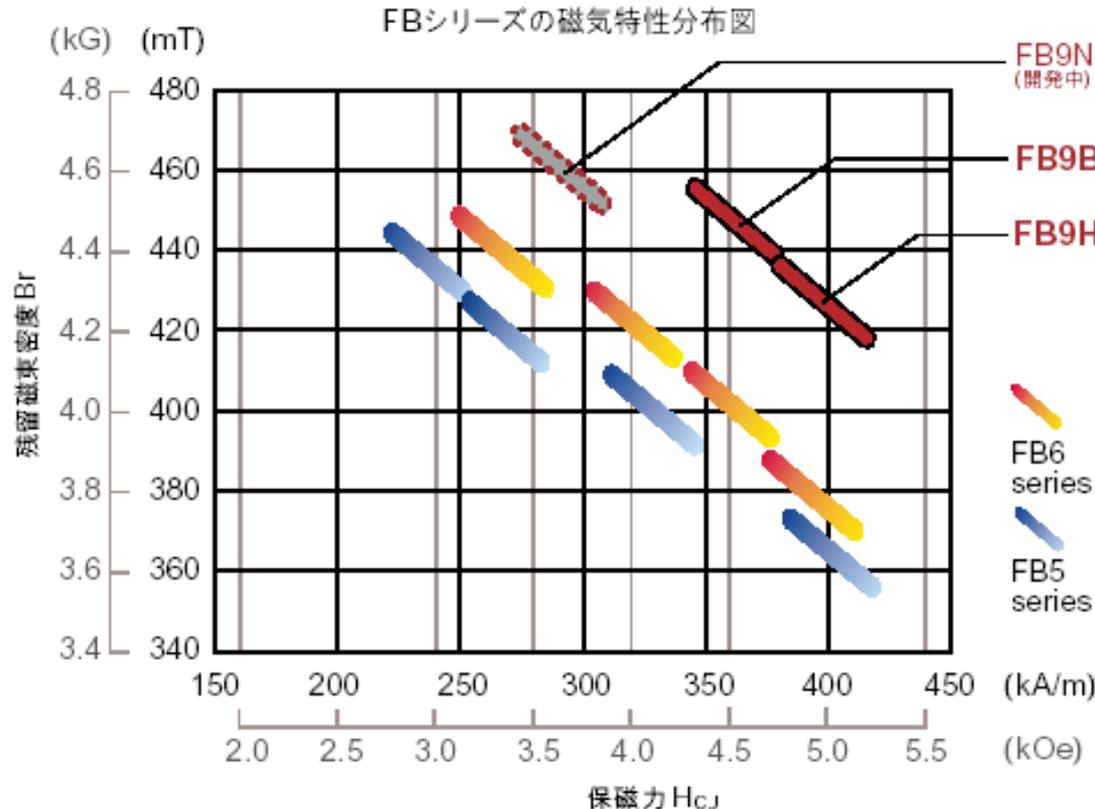
グラフィカルモデリングと構造方程式モデリング

- 探索的因果分析の普及活動(1996～)
 - － 日本品質管理学会テクノメトリックス研究会による普及
 - 宮川、芳賀、仁科、山田、廣野
 - 芳賀、廣野による対話的グラフィカルモデリングソフトウェアCGGM, CLGMの開発
 - 日本品質管理学会テクノメトリックス研究会(1999)「グラフィカルモデリングの実際」刊行(多くのケーススタディ)
- 検証的因果分析(1995～)
 - － 日本産業界は構造方程式モデリングのツールであるAMOS (IBM/SPSS)の最大顧客
 - 構造方程式モデリングが価値選択段階でマーケティング部隊が消費者行動を認識するために利用
 - － 日本科学技術研修所(2006)、CGGMと構造方程式モデリングのツールであるEQSを統合したソフトウェア開発
 - 潜在因子間のグラフィカルモデリング
 - 計測の不確かさが大きい状況での回帰モデリング

Case.1 物理法則と構造方程式モデルの統合

野中・椿(2004) 日本科学技術連盟の講義

- 物理学的に導かれる B_r (磁束密度) and H_c (保磁力) の完全な負の相関と実際のデータ



磁束密度と保磁力の改善活動(重回帰分析)

- 13 説明変数
 - 2 材料条件
 - 3 焼結条件
 - 2 合成条件
 - 6 加工条件
- 磁束密度のT保磁力に対する偏回帰係数は正

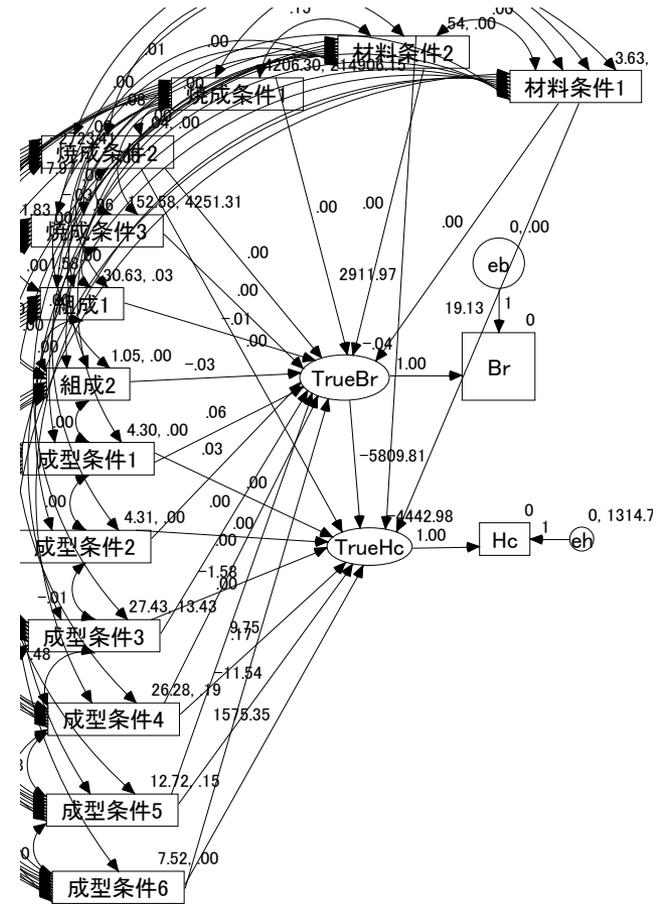
Brの真値とHcの真値との間には誤差の無い

厳密な線形関係が存在することを想定

主としてBrには合成条件が Hc には加工条件が影響すると想定

⇒ 真のBrと真のHcとの関係は高度に有意に負の傾きとなる

		推定値	標準誤差	検定統計量	確率
TrueBr	<--- 成型条件 6	.16512	.01547	10.67495	***
TrueBr	<--- 成型条件 5	.00000			
TrueBr	<--- 成型条件 4	.00110	.00051	2.15008	.03155
TrueBr	<--- 成型条件 3	.00000			
TrueBr	<--- 成型条件 2	.02605	.01068	2.43947	.01471
TrueBr	<--- 成型条件 1	.06221	.00897	6.93502	***
TrueBr	<--- 組成 2	-.02769	.00339	-8.17145	***
TrueBr	<--- 組成 1	-.00668	.00092	-7.24790	***
TrueBr	<--- 焼成条件 3	-.00002	.00000	-8.58302	***
TrueBr	<--- 焼成条件 2	.00000			
TrueBr	<--- 焼成条件 1	.00000	.00000	-5.50974	***
TrueBr	<--- 材料条件 2	.00000			
TrueBr	<--- 材料条件 1	.00000			
TrueHc	<--- TrueBr	-5809.81427	567.29868	-10.24119	***
TrueHc	<--- 材料条件 2	2911.97084	531.49189	5.47886	***
TrueHc	<--- 焼成条件 2	.00000			
TrueHc	<--- 成型条件 4	9.74550	4.25063	2.29272	.02186
TrueHc	<--- 成型条件 3	-1.58260	.36648	-4.31835	***
TrueHc	<--- 材料条件 1	19.12662	11.09727	1.72354	.08479
TrueHc	<--- 成型条件 1	.00000			
TrueHc	<--- 成型条件 2	.00000			
TrueHc	<--- 成型条件 5	-11.54235	3.72527	-3.09839	.00195
TrueHc	<--- 成型条件 6	1575.35114	158.83846	9.91795	***
Br	<--- TrueBr	1.00000			
Hc	<--- TrueHc	1.00000			



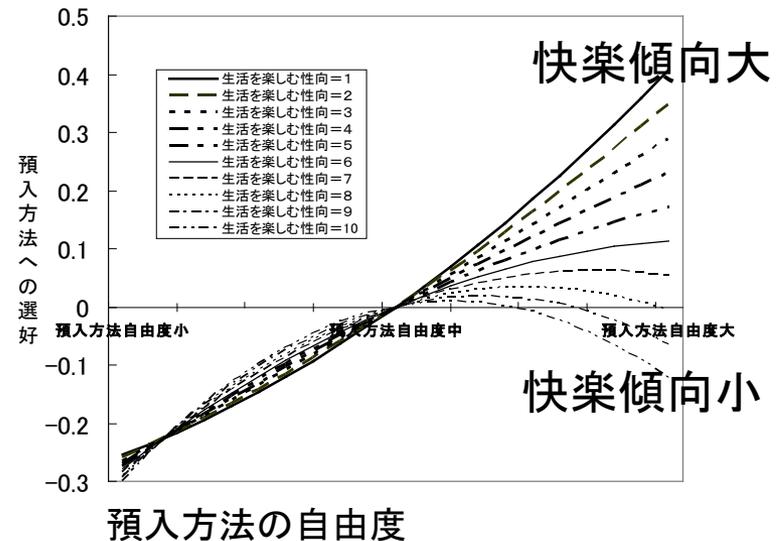
Case.2 修正コンジョイント分析 価値選択のための実験計画法

- 戸谷・西尾・椿 (2005)
- **消費者の価値観とリテール金融商品選好**
 - 消費者の価値観により選好関係が線形になったり非線形になったりする
 - ランクロジットモデルと実験計画法の組み合わせによる実証
 - 知見はマーケティング戦略に活用可能
 - 快楽傾向の高い顧客には契約解除を柔軟に
 - 自尊心の高い顧客には仮想的チャネルの充実を.
- 通常のコンジョイント分析で用いられる直交表 (L8, L9) では、多くの重要な要因を調べることが出来ない
- L27に7要因を割り付け
 - 一人の被験者には9通りの金融商品プロフィールしか提示しない
 - 個々人の効用は推定可能ではない
 - 顧客の金融価値に関する属性を計測
- **顧客属性と商品属性との交互作用を推定**

結果の例示

選好の水準

- 快樂傾向の水準と預入方法の自由度の交互作用は統計的に有意
 - 快樂傾向の高い顧客にとって預入方法が多様であることは「線形品質」
 - 快樂傾向の低い顧客にとっては、預入方法の多様性は「当たり前品質」

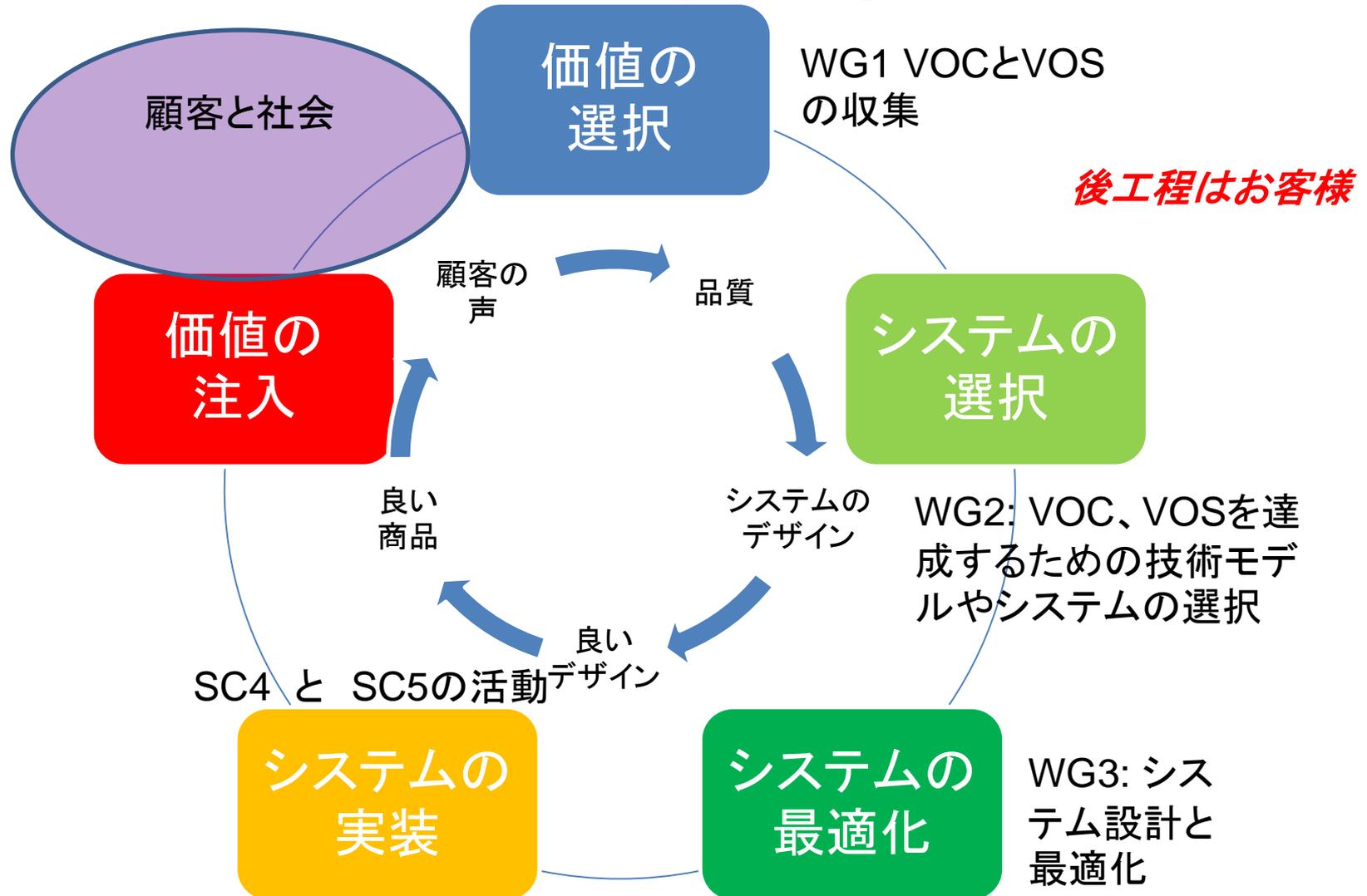


国際標準化活動 ISO TC 69 SC9

ISO TC 69: 機能的品質特性所与での 品質マネジメントのための 古典的統計技法標準化S

- 出口管理: 抜取検査 (SC 5)
- 工程管理: 管理図法など (SC4)
- プロセス改善
 - Six-Sigma (SC 7), Kaizen, etc.
 - 品質特性値の平均の調整
 - 品質特性のバラつきの調整など

Value Chainサイクルの 統計的方法と関連技法



SC 8の使命

- 価値連鎖に沿って技術や製品を設計する一連の方法論規格を起案
- 当面の目標!!
 - 定性的方法への入力情報としてのVOC収集のための統計的調査技法
 - 統計的最適化技法を支援するQFDのような定性的方法
 - ロバストパラメータ設計のような統計的最適化技法

**ISO TC 69 SC 8 2009年に設立:
“新技術・製品開発のための統計と
関連技法の適用”**

活動範囲

- 新SCは、顧客・社会の視点からそれらの価値を最適化するための私的ないしは公的サービスの開発を含む新技術・新製品の開発のための統計的あるいは関連する手順についての一連の方法規格を発行する。

SC 8 (委員長: 椿) の活動の 3ワーキンググループ

- **価値選択プロセス (SC 8/WG 1):**
 - 顧客の声あるいは社会の声からの価値選択
 - Mr. Marius Cronje (南アフリカ)
- **変換プロセス (SC 8/WG 2)**
 - 価値を技術システム上で定義された適切なpらめーたに変換
 - Dr. Glenn Mazur (米国)
- **最適化プロセス (SC 8/WG 3):**
 - 技術システムのパフォーマンスを最適
 - 小池昌義 (日本)

一連の規格の概要

- ISO 16355 “Application of statistical and related methods to New technology and Product Development Process”,
- 一般的適用範囲:
 - 本規格は、顧客・社会の視点からそれらの価値を最適化するための私的ないしは公的サービスの開発を含む新技術・新製品の開発のためのQFDプロセスに沿った統計的あるいは関連する手順を記述する

8部構成からなる一つの規格

- 1. 一般原理とQFDプロセスの概要
- 2. 非定量的なVOCとVOSの収集
- 3. 定量的なVOCとVOSの収集
- 4. 非定量的・定量的VOCとVOSの分析
- 5. ソリューションの戦略
- 6. 最適化 – ロバストパラメータ設計
- 7. 最適化 – 許容差設計と生産への出力
- 8. 商品化の指針

Part 1一般原理とQFDプロセスの概要

- Part 1 は、QFDプロセス全体、その目的、利用者、意義を記述し、関連する統計と関係するツールや方法のリストを示す
 - QFDプロセスの総体的流れ図
 - 総体的流れの中に位置すべき統計的方法と関連技法
 - 参考付録: 最善活動の事例

Part 2:非定量的なVOCとVOSの収集

- Part 2 は定量的調査の質問票を開発するために非定量的な方法でVOCとVOSを収集する方法を記述
 - 非定量的VOC/VO収集プロセスフロー
 - 統計的あるいは関連する方法

Part 3: 定量的VOC・VOS収集

- Part 3は,VOCあるいはVOSを収集するための方法を記述
 - 調査目的
 - 目的の明確化、対象の明確化、コストと利益の評価
 - 定量的 VOC/VOS プロセスのフロー
 - 母集団の定義、調査の設計、データ収集を含む調査の実現
 - 結果の整理。結果の報告
 - 抽出方法
 - 層化とクラスター化
 - 結果の精度評価
 - 標本誤差、非標本誤差
 - 調査のコスト効率性

Part 4:非定量的・定量的 VOCとVOSの分析

- Part 4 describes methods顧客が顧客視点からの満足を如何に計測しているかを理解するために非定量的・定量的VOCあるいはVOSを分析する方法を記述
 - 非定量的・定量的VOCあるいはVOSを分析の流れ
 - 統計的あるいは関連するVOC/VOS分析ツール

Part 5: ソリューションの戦略

- Part 5 はVOC/VOSのプライオリティと目標値を製品の要求（機能の要求や目標仕様）に変換する統計的あるいは関連する方法を記述
 - ソリューションの戦略プロセスの流れ
 - 統計的あるいは関連するツール

Part 6: 最適化— ロバストパラメータ設計

- ISO DIS 16336
- Part 6 は、タグチメソッドに基づく最適化技法であるパラメータ設計を適用する指針を記述
 - 頑健な製品のためのパラメータ設計の概観
 - SN比による頑健性の評価
 - パラメータ設計の手続き
 - 付録: 適用事例

Part 7: 最適化 – 許容差設計と生産への出力

- Part 7 は、最適化手法としての許容差設計適用の指針
 - 設計プロセスと生産へのアウトプットの概観
 - 許容差設計の基本概念
 - 許容差設計の手続き
 - 付録(参考); 事例

Part 8:商品化の指針

- Part 8 は商品化や製品ライフサイクル全体を通じて品質と顧客満足を保証する統計あるいは関連技法を記述
 - 商品化プロセスの流れ
 - 統計と関連ツール

日本規格協会と情報・システム研究機構の共同研究プロジェクト

VCP-NET への誘い

「価値創生プロセス実践知開発ネットワーク(VCP-Net)」 の趣旨

- 現状認識

- 進歩・変革・再生のための知識とスローガンの氾濫
 - 多様な手法や技法に関する知識の爆発
 - 日本企業の問題解決プロセス智恵の開示の終焉
 - 価値創生のための問題発見の非効率性

- 提案

- **知識の効果的活用のための知恵を蓄積・共有・自律的發展**
- **意欲のある技術者・研究者・マネージャーのネットワークを形成**

- 活動：**Wikipedia的方法で「知恵ベース」を進化させる**

- ネットワーク内の自由な意見交換
- 技術や製品の価値を高めるための**手法・技法適用のプロセス**
についての知恵を一定の形式で集積し、智恵の基盤DBを作成

ネットワークの活動: WG1

• 知識の体系化

– 手法(知識)を連携して使うための**知識とその活用の知恵を標準的様式で記述**

• 手法をモノとして蓄積するのではなく、コトの中に位置づけ可能な明示的知識として蓄積する

- 入力情報とそれに対する要求
- 出力情報とそれに対する要求
- 機能と手続きの単純な記述
- 出力を利用する手法
- 入力を与える手法
- 類似手法

ネットワークの活動: WG2

価値創生のプロセスを脱コンテキスト化して記述

- 典型的なValue Chainの活動を取り上げ、その標準的プロセスを標準的様式で記述し、その様式の中に適切な手法(知識)の活用可能性を表現
- 先駆的活動としてのJEITA/DPAM研究会
 - 2007年5月
 - <http://home.jeita.or.jp/is/committee/tech-std/sekkei-process/dpam/>
 - 設計プロセスを25の具体的目的を有する能力要素プロセスに分解し、評価の観点を明示的知識化

WG3活動の立ち上げ

Value Chain Process の事例共有

- **WG1, WG2が提示する記述様式に従って、**
産官学の問題発見、問題解決、解決案実装、
つまり、価値創生プロセス例とその評価を蓄積
- VCP-Net参加のためのアンケート
 - <https://codia2.hetempl.jp/survey/index.php?sid=74185&lang=ja>

結語

- 日本は、品質管理活動のオリジナルな方法論を産学連携活動を通じて1950年代より開発し続けてきた
- **これが、現在も将来も続くのか？**
 - 適切な学術間コミュニケーションの設計
 - 認識科学(科学のための科学)と設計科学(社会のための科学)
 - マネジメントサイエンス間の交流(QM, マーケティングサイエンス、BSC, HRM etc)
 - 横断的学術間での交流(統計科学、ICT, 数理科学など)
 - **適切な産学のコミュニケーションの再設計**
- 「文法」のような俯瞰的視点がこの種のコミュニケーションに寄与するか？