

最終講義

2009年3月30日

モノづくりにおける革新と調和

京都大学大学院工学研究科
吉村允孝

吉村の研究経歴

- 製造工学研究室 (1967年5月)→
- 生産システム研究室 (1980年4月)→
- 生産情報システム研究室 (1994年4月)→
- 最適システム設計工学研究室 (2005年4月)→



製造工学研究室(1967年～)

奥島啓三先生: 切削工学

星鉄太郎先生: びびり振動

現物主義 (現場主義), トラブルの解消主義

ここから何を学んだか;

モノづくりの原点

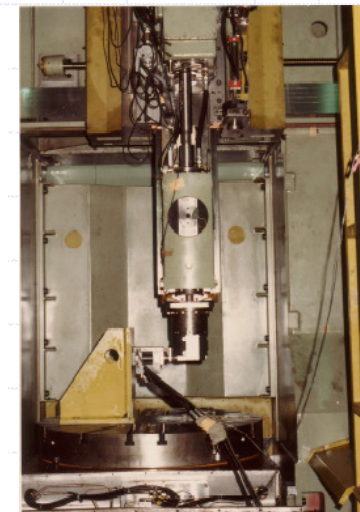
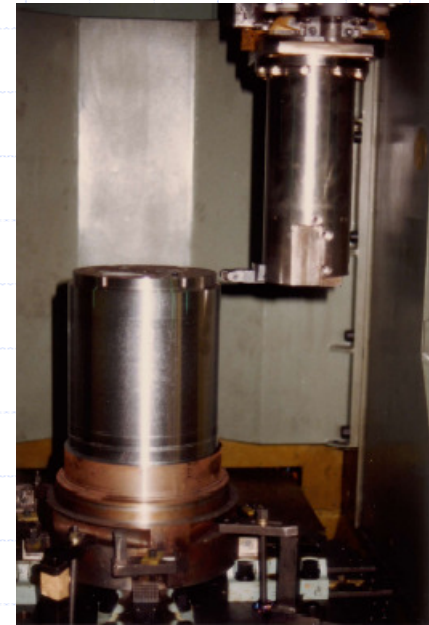
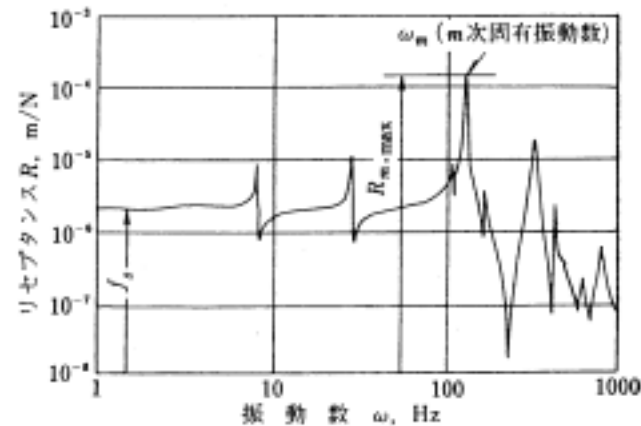
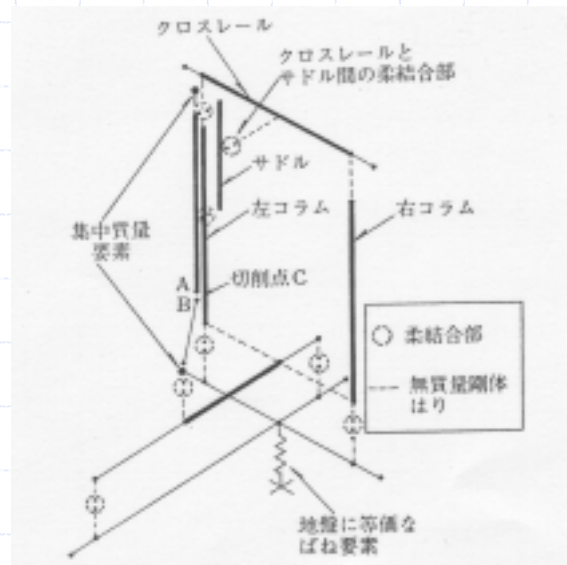
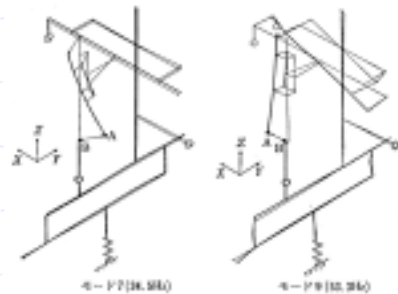
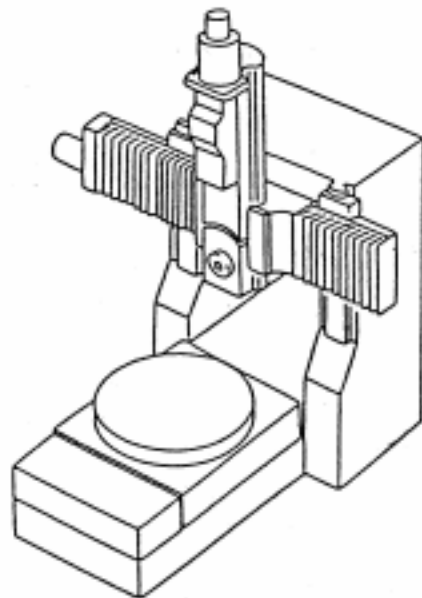
実際のものを見る力

システムの見ないと対処できない, 解決しない



びびり振動の研究

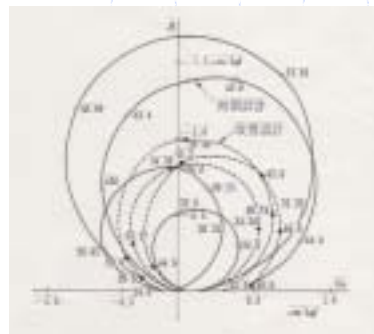
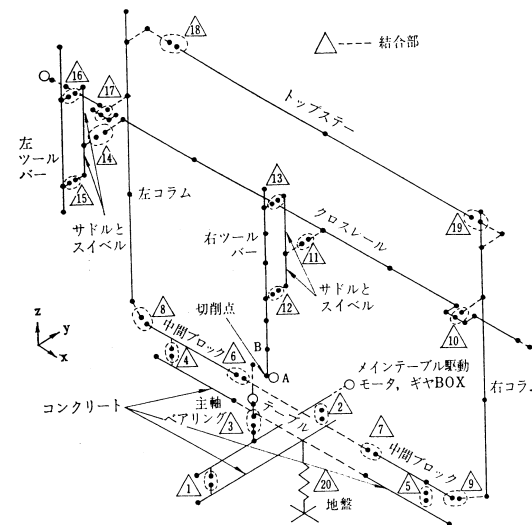
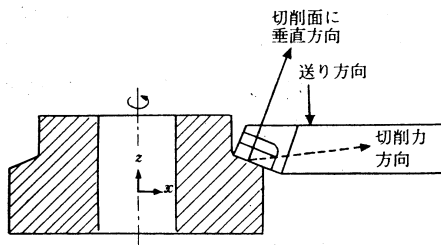
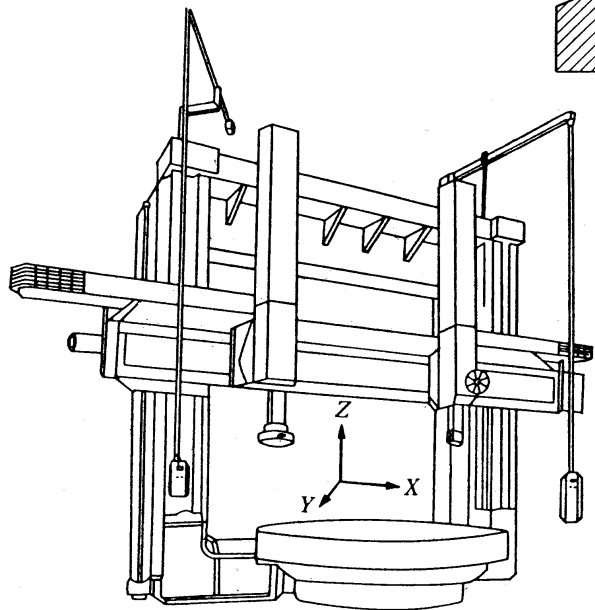
モーダル解析



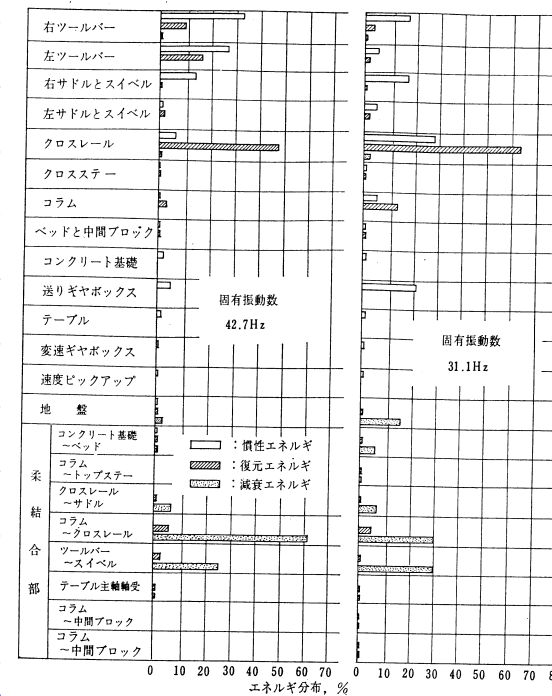
日本では草分け; 工作機械から始まり, 自動車などの製品に適用された



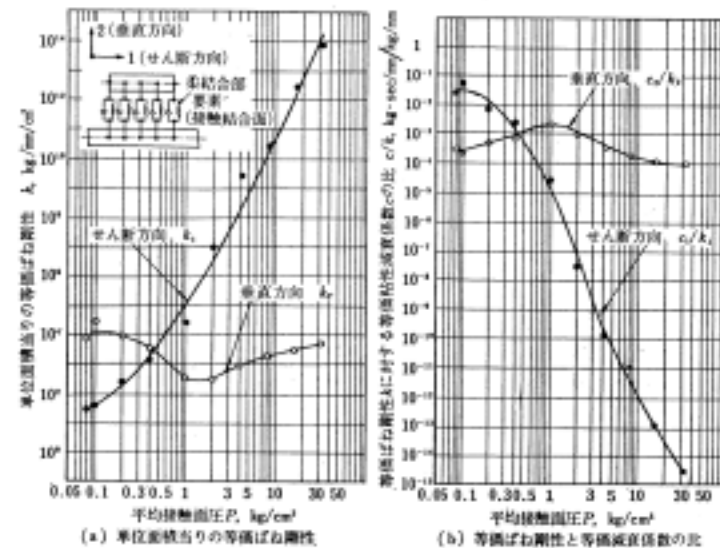
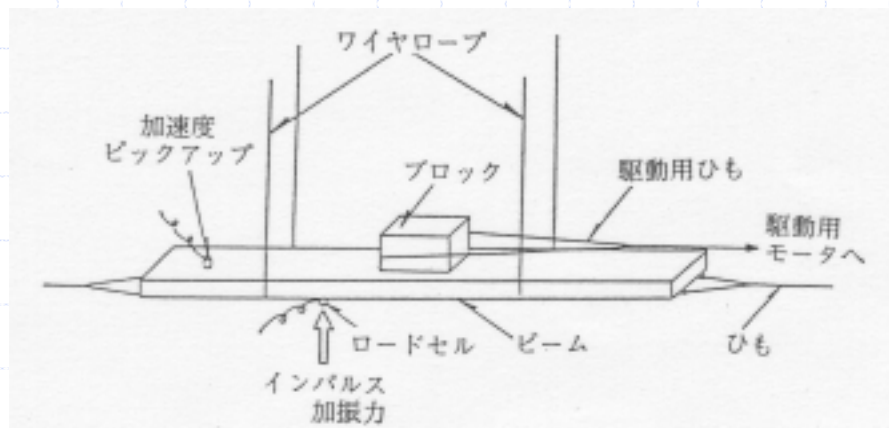
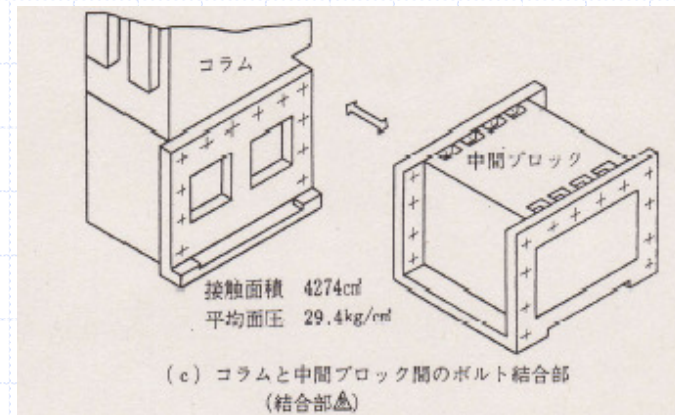
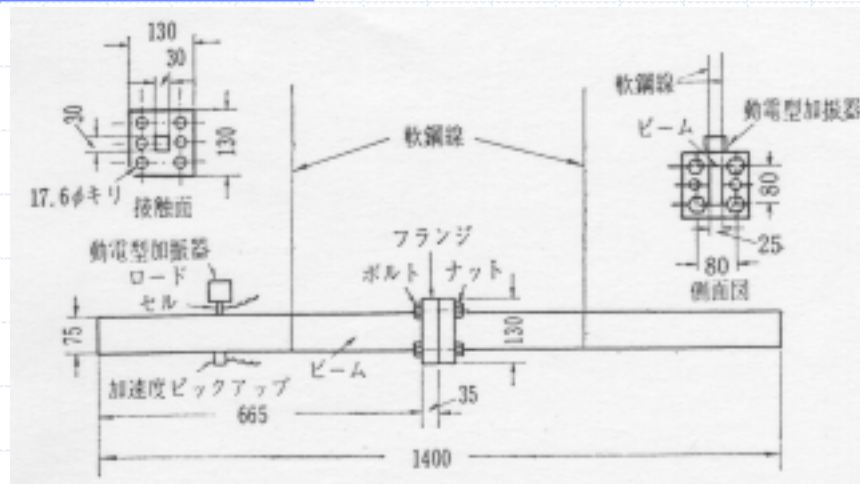
構造解析



有限要素法がまだ一般的でなかった時代;
リセプタンス剛性法の開発



結合部剛性・減衰特性の同定



最適化技術の適用

目的関数 f → 最小化もしくは最大化

制約条件 $g_j \leq 0$, $j=1, 2, \dots, m$

$h_k = 0$, $k=1, 2, \dots, p$

設計変数 d_1, d_2, \dots, d_n

設計変数ベクトル: $\mathbf{d} = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T$

当時、日本では機械工学分野での最適化の研究者はごくわずかであった、

海外論文発表： MTDR ; International Machine Tool Design and Research Conference

CIRP : Annals of the International Institution for Production Engineering Research



生産システム研究室（1980年～）

人見勝人先生： 生産システム

（生産スケジューリングなど生産システムに最適化技術の適用）

非現場主義, 理論主義

研究・開発（部門）

月に一度の研究会：全国の大学の弟子（20名近く）が集まる。

生産システム, 生産管理, 経営学, 経済学の専門家集団の中で孤軍奮闘

設計（部門）

ここから何を学んだか；

視野が広がる。学問の厳しさを知る。

ハングリー精神を身につける

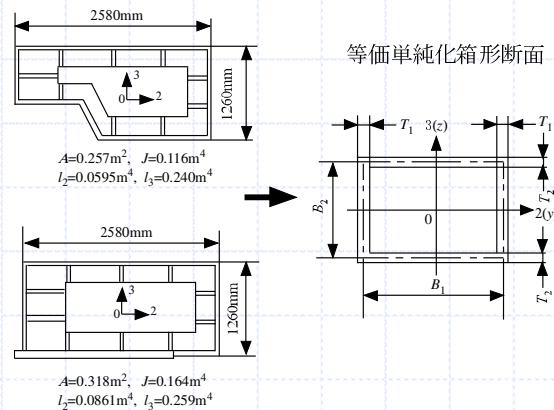
生産（部門）

販売（部門）



アメリカ機械学会設計自動化コンフェレンス

初参加：1982年



第1層	単純化	ステップ1 ステップ2 ステップ3 ステップ4	機械構造の分割 構造部材の単純化 結合部の単純化 機械構造全体モデルの構築
第2層	最適化	ステップ5	機械構造全体モデルの最適化
第3層	具体化	ステップ6 ステップ7 ステップ8 ステップ9	決定変数の感度解析 構造部材の具体化 結合部の具体化 機械構造全体への合成と評価

Panos Y. Paplambros at University of Michigan ; システム最適化

Douglass J. Wilde at Stanford University ; システム最適化

J.E. Taylor at University of Michigan; 構造最適化

Noboru Kikuchi at University of Michigan, 有限要素法, CAE



研究者との出会い

Stadler at San Francisco University, USA (多目的最適化)

Eschenauer at Siegen University, Germany (最適設計)

Koski at Tampere Technological University, Finland (多目的構造最適化)

Osyczka at Cracow University of Technology, Poland (多目的構造最適化)

Multicriteria Design Optimization (H.Eschenauer, J.Koski, A.Osyczka 編),
Springer-Verlag, 1990年 (分担執筆).

コンピュータによる設計・生産・管理——CAD・CAM・CAP——,
(人見勝人監修) 共立出版, 1984年9月 (共編集者, 共著者).

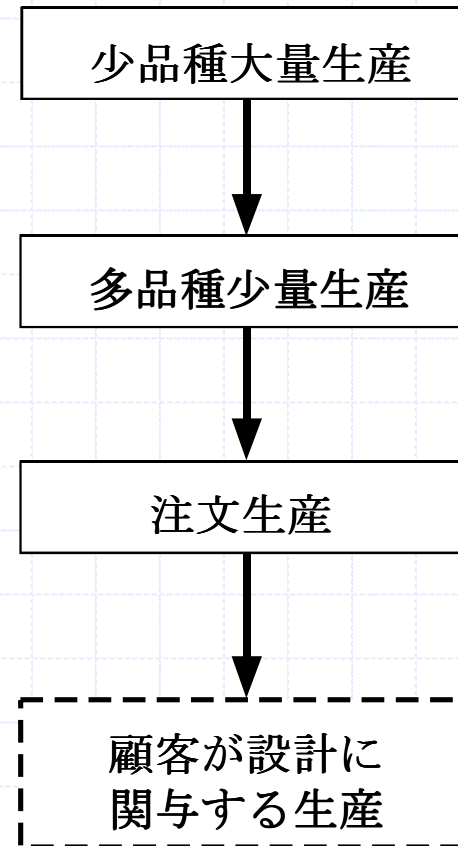
CIM総論, コンピュータによる設計・生産・管理(第2版), (人見勝人監修),
共立出版, 1993年1月(共編集者, 共著者)



講義の開始(1988年): 最適設計生産論

モノづくりのパラダイムの変遷

この当時の生産システムの
主要な研究課題



モノづくりにおける評価基準

性能

安全性

品質

リサイクル性

製造コスト

環境への負荷

信頼性

感性(精神的な満足度)

研究・開発 (部門)

設計 (部門)

生産 (部門)

販売 (部門)

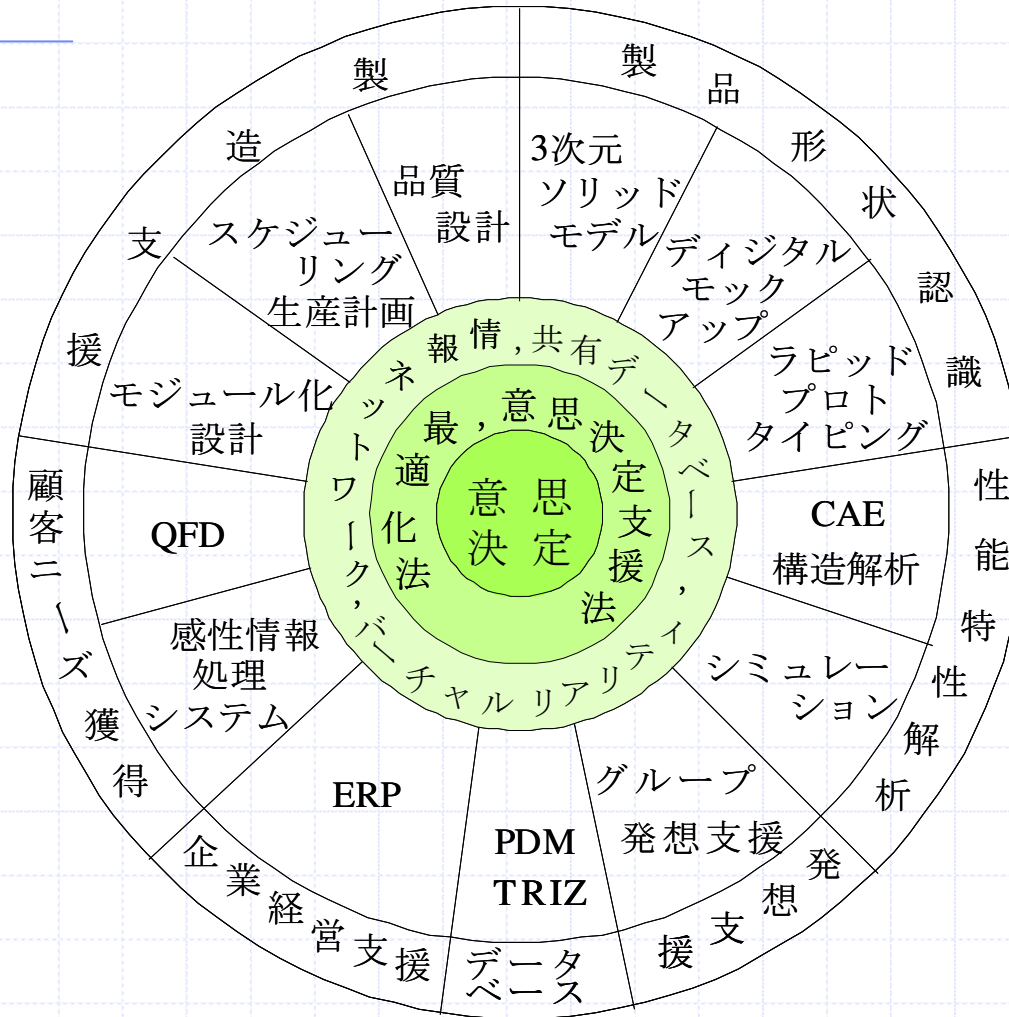


これからのモノづくりにおいて挑戦すべきポイント

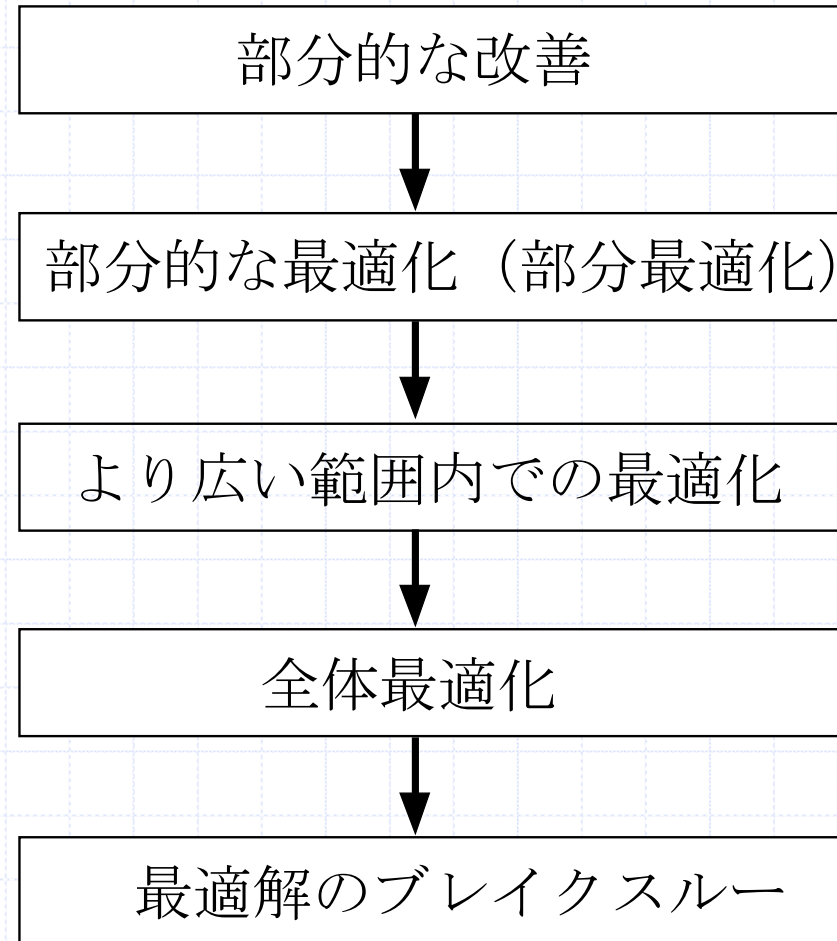
- (1) 熾烈な製品開発競争に打ち勝つために、改善・改良でなく、より**最適**なものをめざすこと。
- (2) 永続的に豊かな時代に貢献する調和のあるモノづくりのために、性能、品質、製造コスト、信頼性、安全性、環境への影響、資源のリサイクル性、人間工学・感性工学的評価など多くの要因を考慮して、その上で、**最良の調和**をもつ設計解を得ること。



モノづくり支援技術の構成例

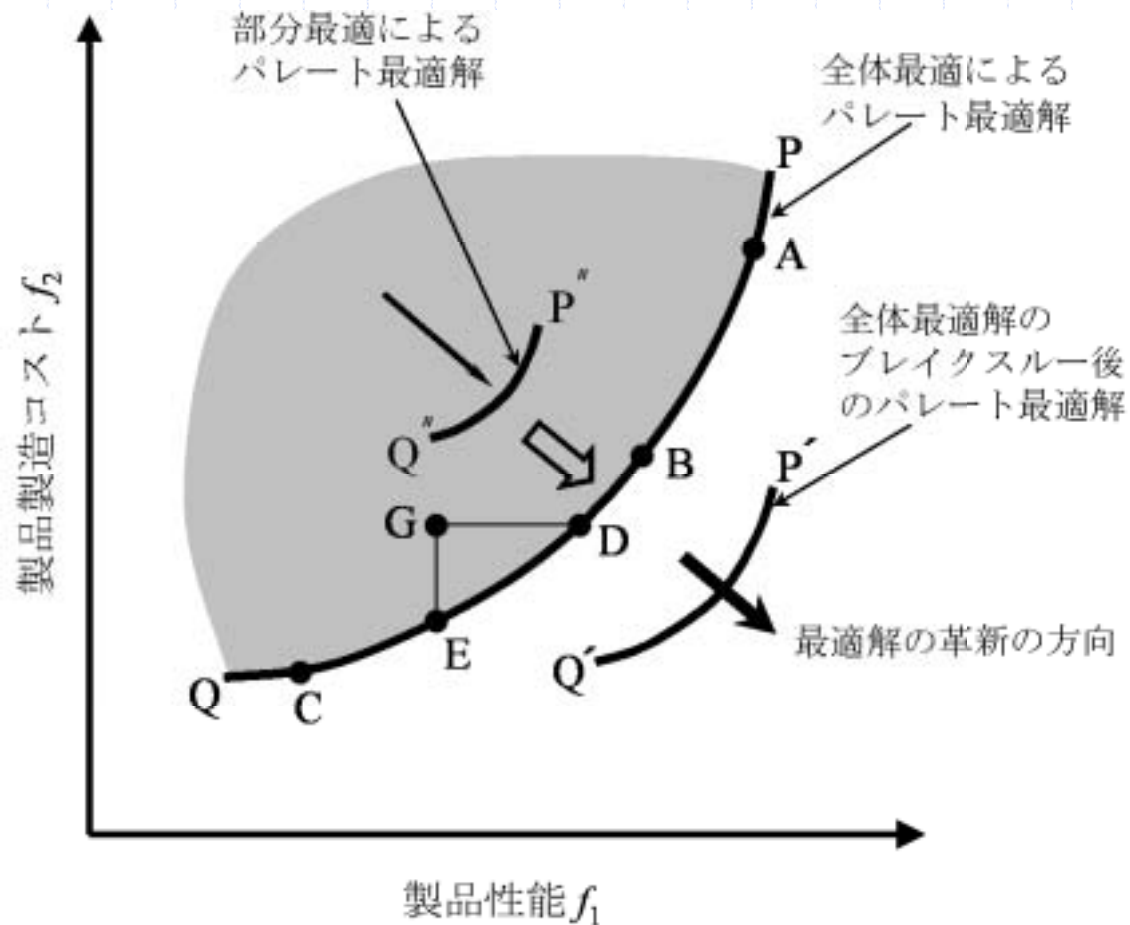


最適化技術適用の発展の流れ



最適化の発展と意義

パレート最適解と最良の調和



パレート最適解の定義



パレート最適解 (Pareto optimal solution)

V. Pareto (1848 - 1923, イタリアの経済学者) による提案

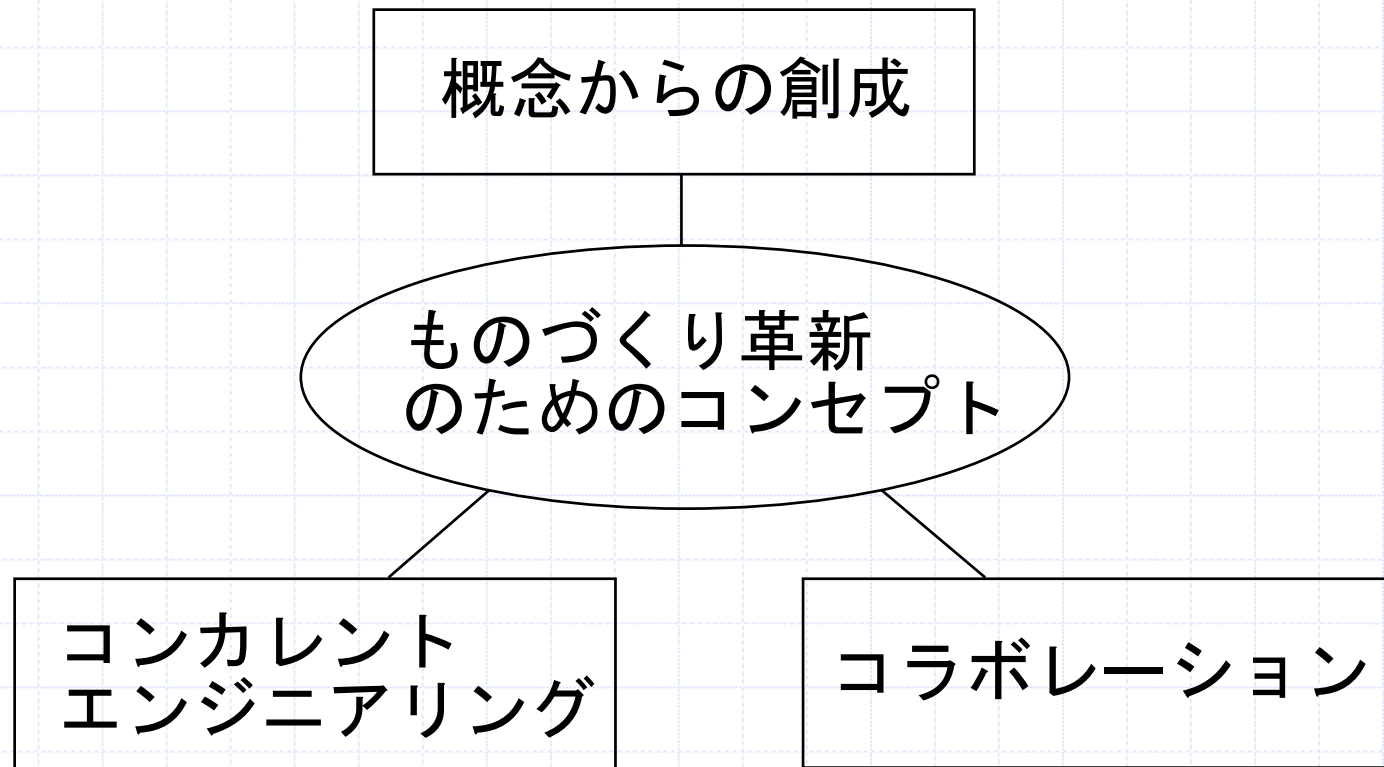
「個人が得ている効用水準に基づいて**次のような状態は効率的**であると考えられる。もしある人の**効用**を増加させようとするならば、他の人の**効用**を減少させなければならない状態である。これは、**経済に存在する資源から効率的に財が生産され、また、生産された財が効率的に分配されている状態**であり、**ある個人の満足を大きくするために資源あるいは生産物の配分を変更するならば、必ず他の個人の満足を下げてしまうという状態**である。これは**パレート (V. Pareto)** によって考えられた基準であり、このような経済の状態を**パレート最適**な状態という。」

武隈慎一：ミクロ経済学，新世社，より

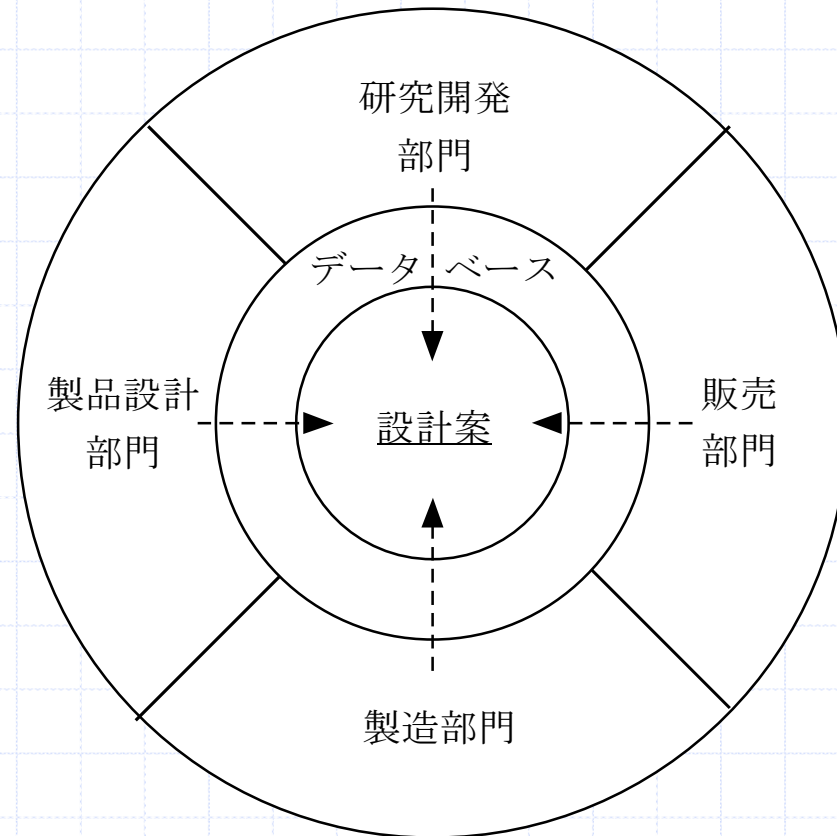
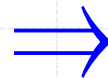
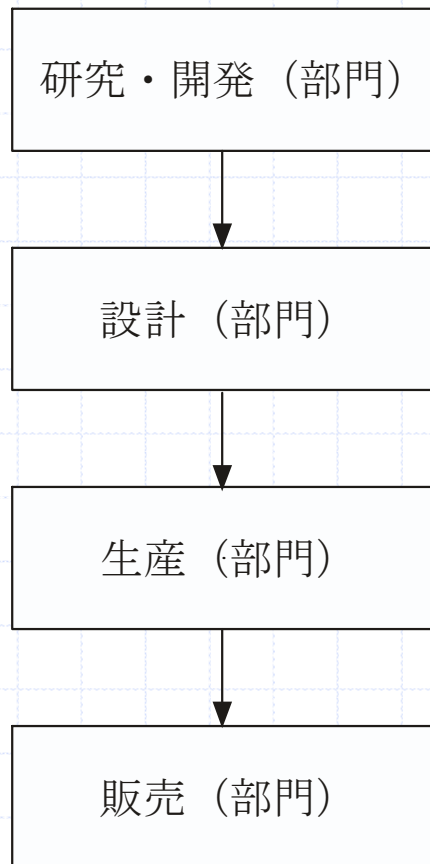
パレート解の定義： 複数の目的関数のちのある一つの目的関数の値を改善するためには、それ以外の少なくとも一つの目的関数の値を改悪せざるをえないような解の集合



モノづくり革新のためのコンセプト



コンカレントエンジニアリング



IJPR: International Journal of Production Research



コンカレントエンジニアリングに関するHandbookでの執筆

Control and Dynamic Systems – Manufacturing and Automation

Systems: Techniques and Technologies (C.T.Leondes 編), Volume 48,

Part 4 of 5, Academic Press 1991 年(分担執筆), *Integrated Optimization of Product Design and Manufacturing*, pp.167–219

Concurrent Engineering – Contemporary Issues and Modern Design Tools,

Edited by H. R. Parsaei and W. G. Sullivan, Chapman & Hall, 1993 年

(分担執筆), Chapter 9: Concurrent Optimization of Product Design and Manufacture, pp.159–183

Control and Dynamic Systems — *Concurrent Engineering Techniques* and

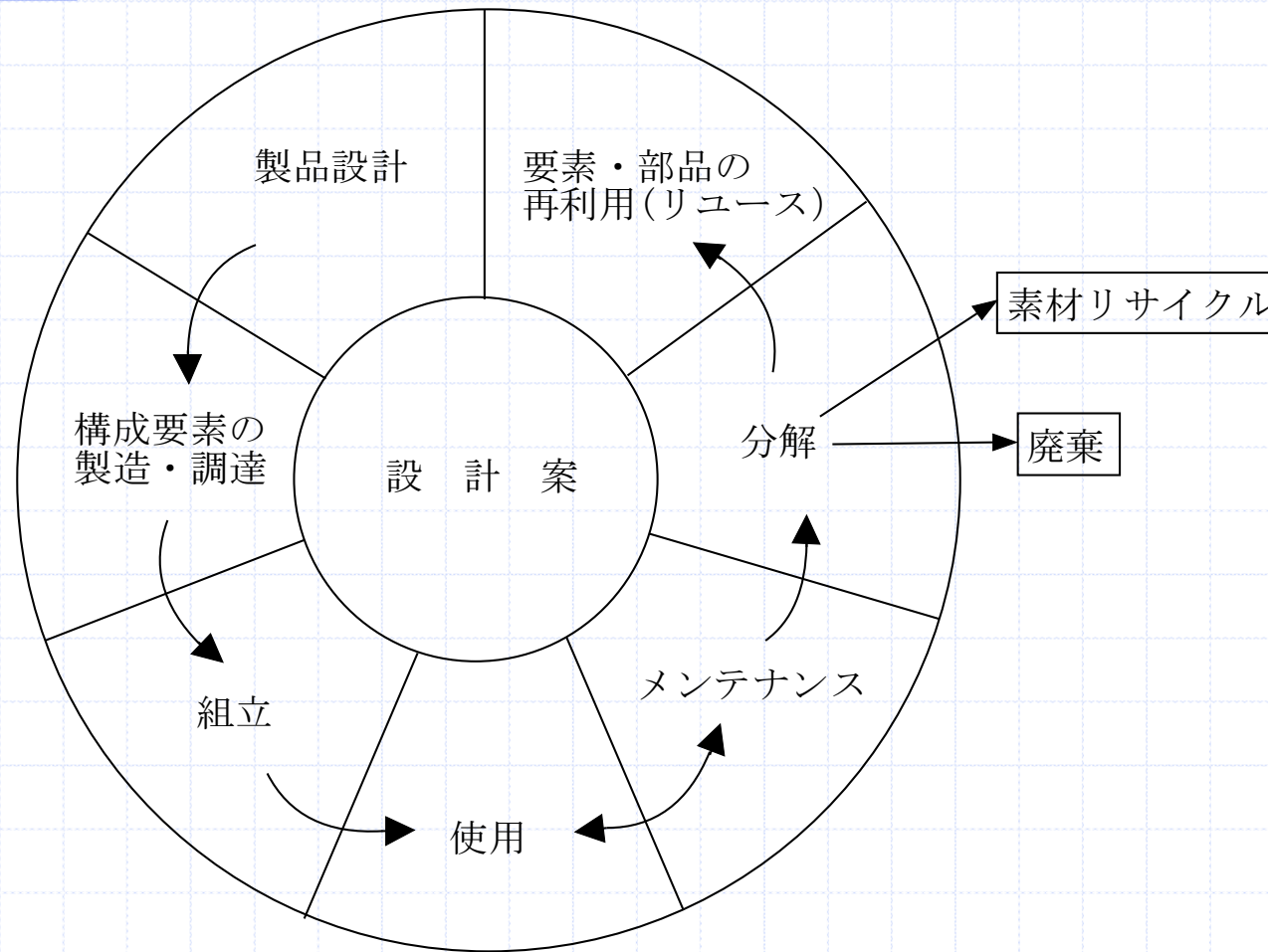
Applications (C. T. Leondes 編), Volume 62 (分担執筆), *Concurrent Product Design and Manufacturing*, Academic Press, 1994 年, pp.89–127.

Design for X: *Concurrent Engineering Imperatives* (G. Q. Huang 編)

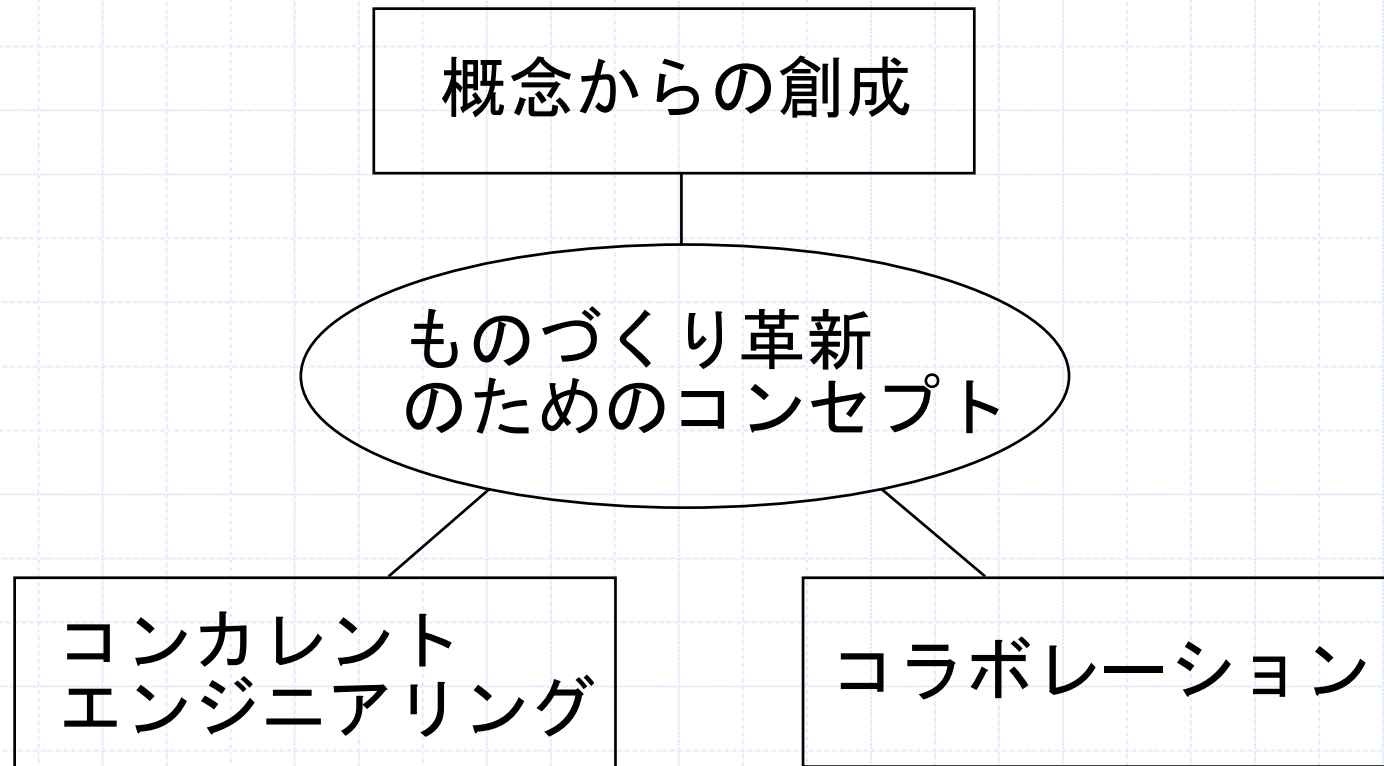
(分担執筆) Chapman & Hall, 1996 年. Chapter 20: Design Optimization for Product Life Cycle, pp.424–440.



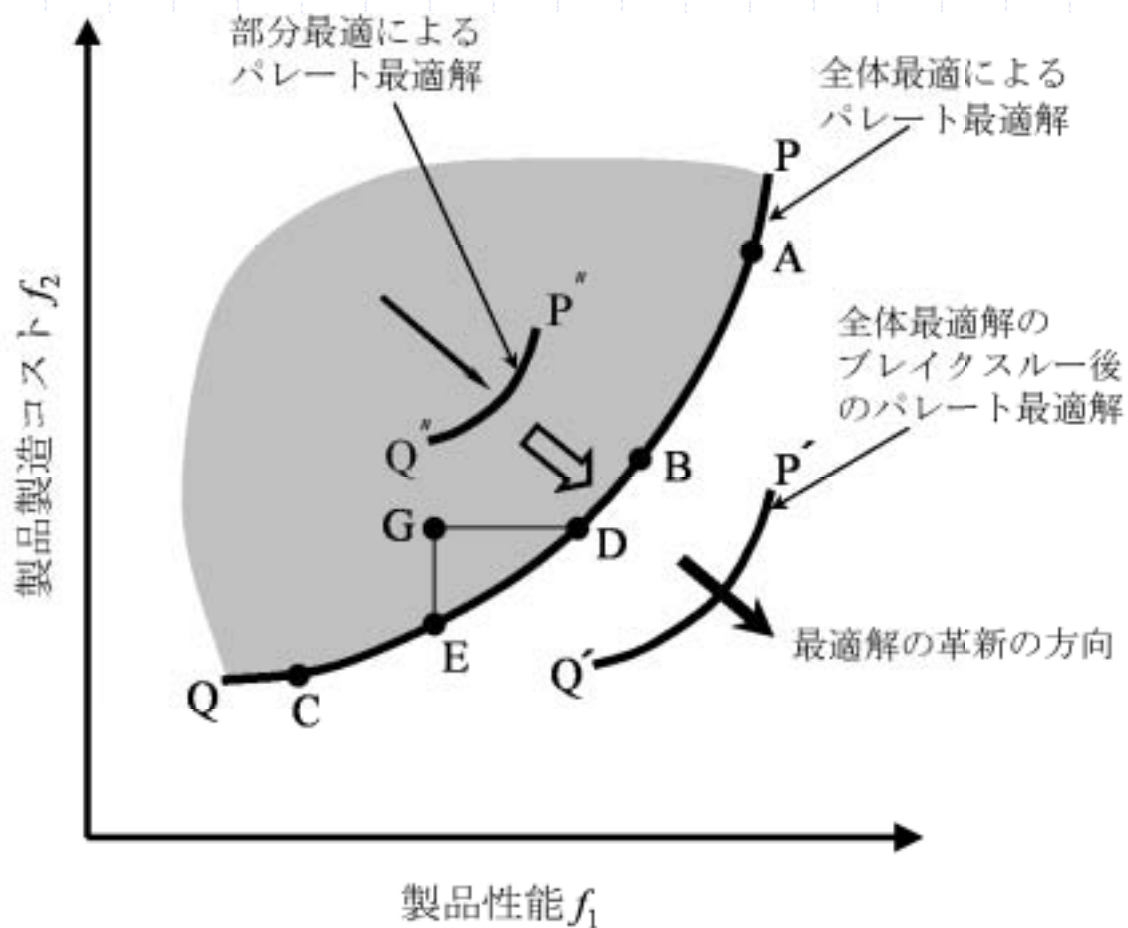
ライフサイクル設計の概念図



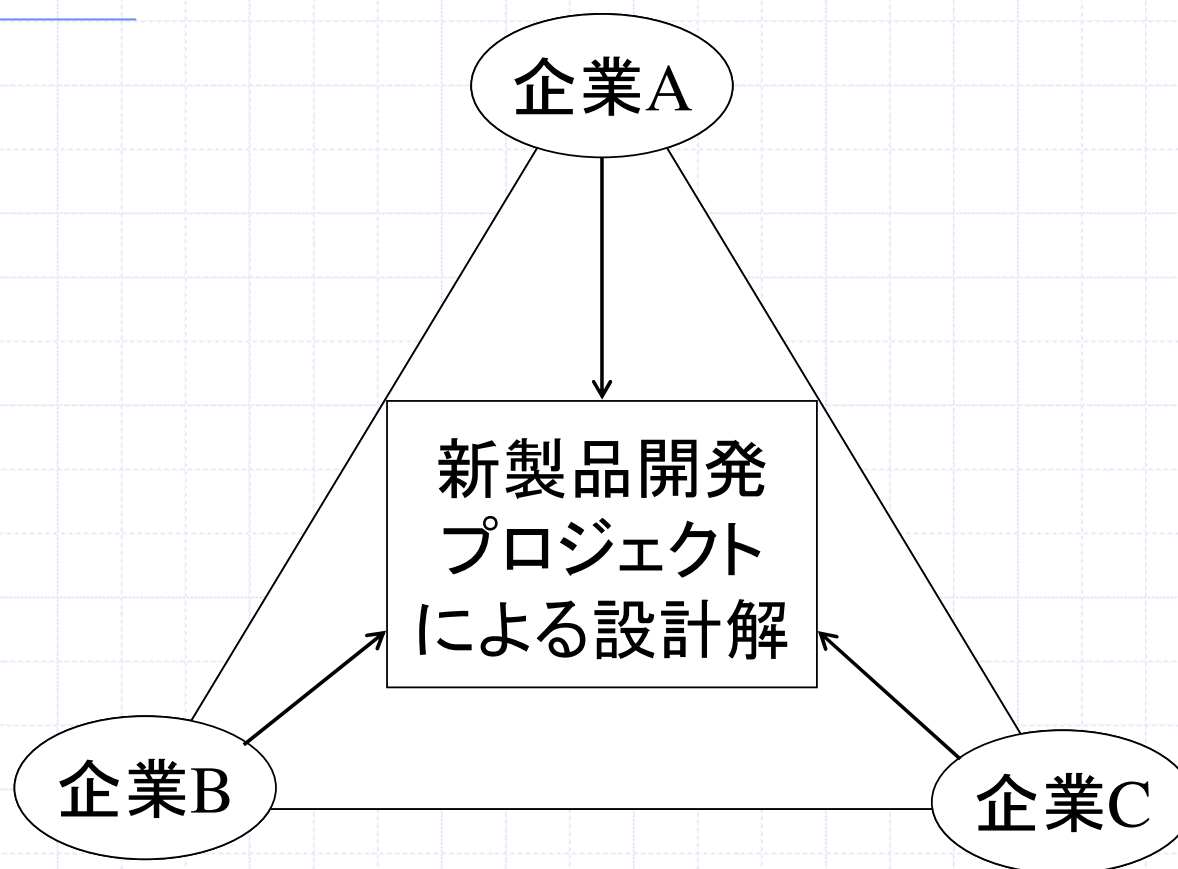
モノづくり革新のためのコンセプト



最適化の発展と意義



異なる得意技術をもつ企業間でのコラボレーション



単に異なる分野のものがコラボレーションしただけでは良いものが得られないことが多い。



コラボレーションの目的

単独で行うより, はるかに, より良い解(モノ)が得られることが必要である.

単に異なる分野のものがコラボレーションしただけでは良いものが得られないことが多い.



人間の合理的な行動と性質

(1) 人間の合理的な行動:

他者との関係の中で、**自己の利得を最大化**するよう行動する。
人間は**自己の効用を最大化**するべく行動する。

(2) 人間は希望が持てない時に、**不機嫌**になる。

(3) 不機嫌な状態は、**不活性な状態**である。

相手に敵意をもつ。



コラボレーション組織

組織構成: リーダー, 得意の知識と技術をもつメンバー

コラボレーション組織の例; 設計生産活動グループ,

(家族, 事務組織, 企業組織, 地域, 国, 世界)

リーダーの例: コラボレーション組織の長,

(家長, 事務長, 学長, 社長, 知事, 首相, 大統領)

リーダーの役割: コラボレーション組織としての成果を

最大化する解を導く使命を持ち, その全体像を

メンバーが納得できる形で示せること.

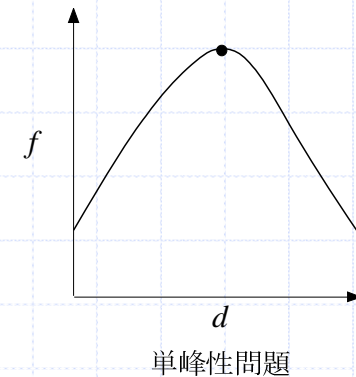
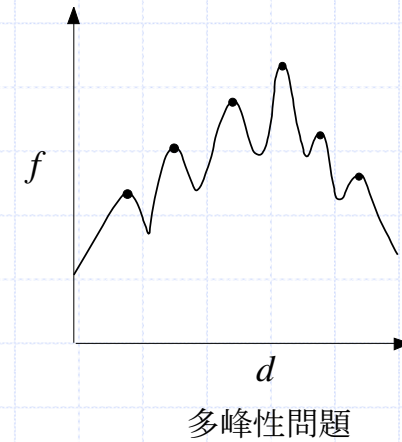
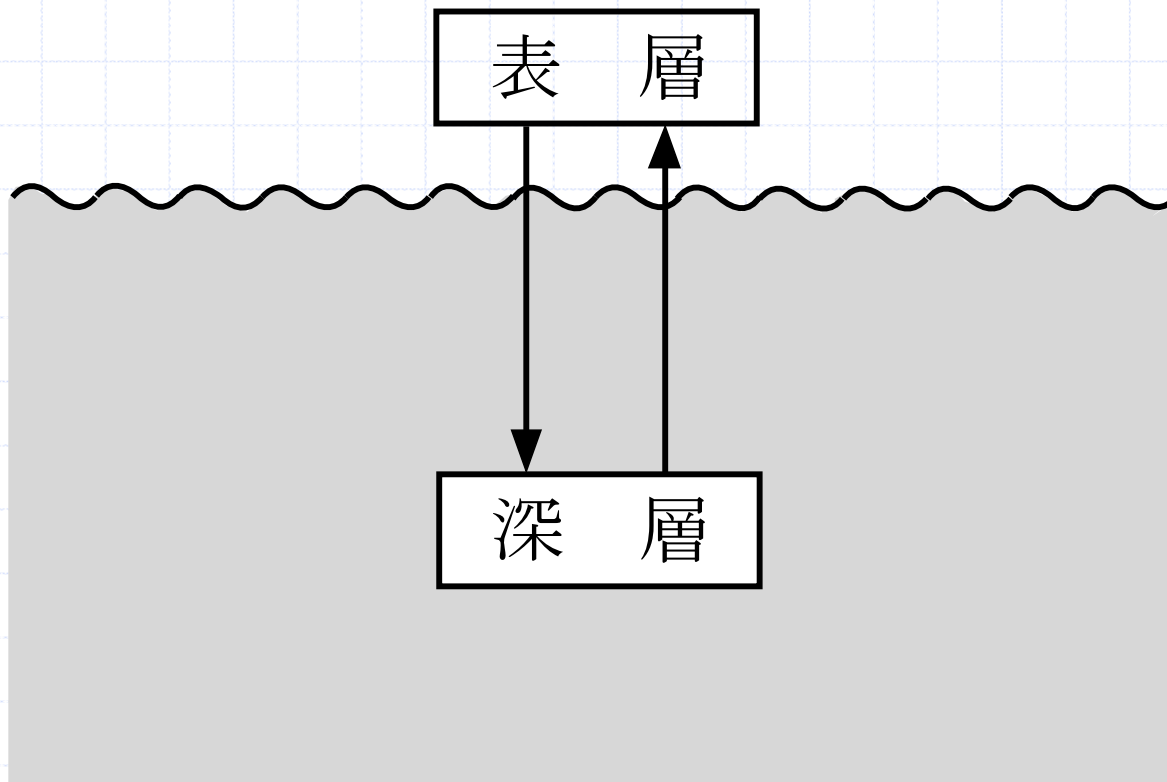
メンバーに希望をもたせること

リーダーの重要性: リーダーの選択を誤った組織は劣化(退化)する.



表層と深層レベルの特性

コラボレーションの目的: 単独で行うより, はるかに,
より良い解(モノ)が得られることが必要である.



システム設計最適化における重要なポイント

- (1) 最適化を困難にする主要な要因は対象問題に内在する特性間の競合関係にあり、その競合関係を明らかにすることが重要である。
- (2) 最適化の初期モデルは、最適化対象を詳細にモデルしたものよりも、必要十分に単純であることが必要である。
- (3) 最適化には種々の特性が関係するが、同時的な最適化と優先的な最適化の区別を明確に設定することが必要である。
- (4) 得られた最適解は、その解が十分に吟味でき、妥当性の判断がなされなければならない。



特性分解に基づく階層的多目的最適化法

“最適化問題の本質：：

その問題に含まれる多くの**特性間の競合関係にある”**

最適化問題が複雑になり、解を求めることが困難になるのは、特性間に競合関係が存在し、それらが複雑に絡んでいる場合である。

製造コスト，精度，能率など機械設計者が製品設計解を評価する時に用いる総合的な**性能特性**は，複数のより**単純な特性に分解**できたり，より**単純な特性を抽出**できることが多い，



特性の単純化に基づく システム設計最適化戦略の手順

対象問題・特性をより**単純**なものに置き換える。

特性間の優先関係を明確化する。

特性間の競合関係を明確にする。

以上のことを勘案して**階層的最適化手順**を構築する。



階層的システム最適化の流れ

ステップ 1

特性の単純化

ステップ 2

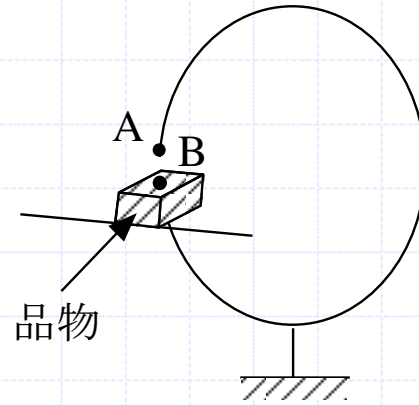
特性間の優先関係の解明

ステップ 3

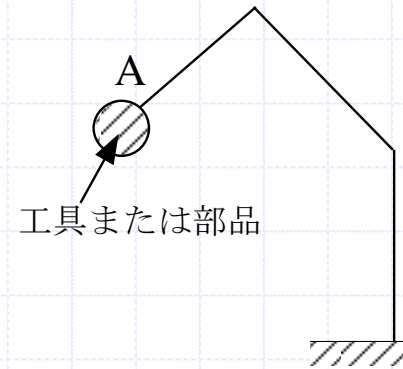
特性間の競合関係の同定



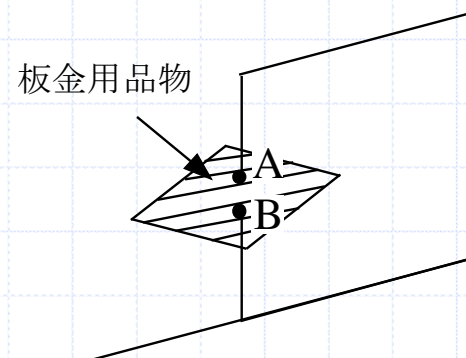
機械製品の例



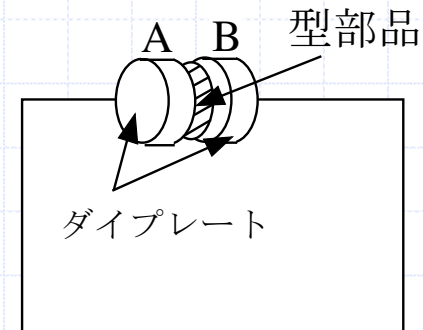
(a) 工作機械



(b) 産業用ロボット



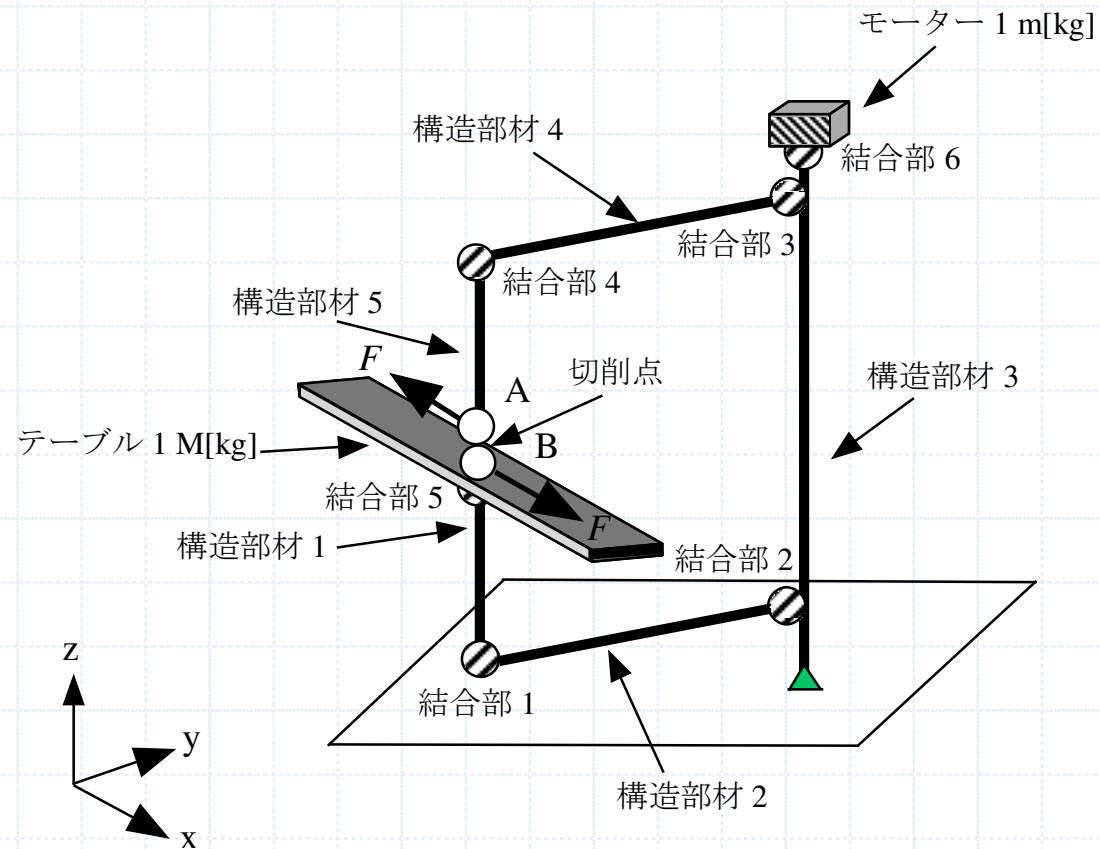
(c) パンチプレス機



(d) 射出成形機

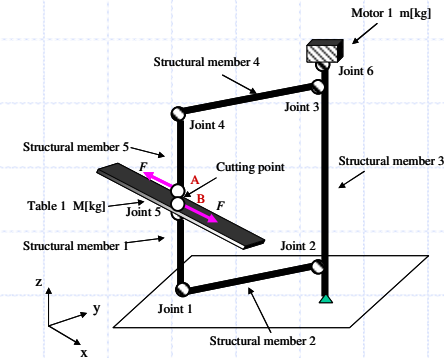
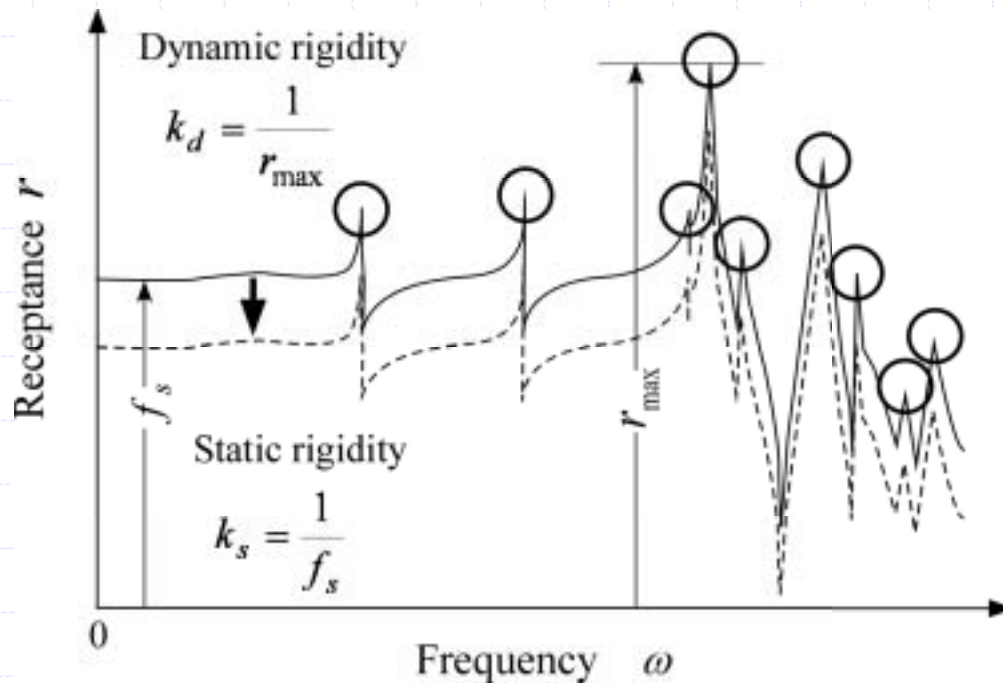


フライス盤の骨組みモデル



工作機械モデルの切削点での周波数応答の例

静剛性と動剛性の関係



静コンプライアンス f_s

静剛性 $k_s = \frac{1}{f_s}$

動剛性 $k_d = \frac{1}{r_{\max}}$

減衰比 ζ

$$r(\omega) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{f_k}{1 - (\omega/\omega_k)^2 + 2j(\omega/\omega_k)\zeta_k} \right]$$

$$f_s = \sum_{k=1}^{\infty} f_k$$

静剛性 k_s の最適化を動剛性 k_d の最適化より優先すべき。



最適化における特性間の優先関係

性能特性である動剛性 k_d の決定に関する特性

部材剛性 k_M , 結合部剛性 k_J , 減衰比 ζ_m

構造部材剛性 k_M の決定は, 結合部剛性 k_J , 減衰比 ζ_k の大きさに依存しない.

結合部剛性 k_J の決定は, 減衰比 ζ_k の大きさに依存しない.

結合部剛性 k_J は, 構造部材剛性 k_M に大きく依存し,

k_M の最大化は k_J の最大化と協調する.

結合部剛性 k_J の最大化は, 静剛性 k_s の最大化と協調するが,

減衰比 ζ_k は, 構造部材剛性 k_M と結合部剛性 k_J に大きく依存する.

よって, 性能特性である動剛性 k_d の大きさを最大にするに,

k_M , k_J , ζ_m の順に三つの特性を多層的に決定する.



分解した特性間の競合関係

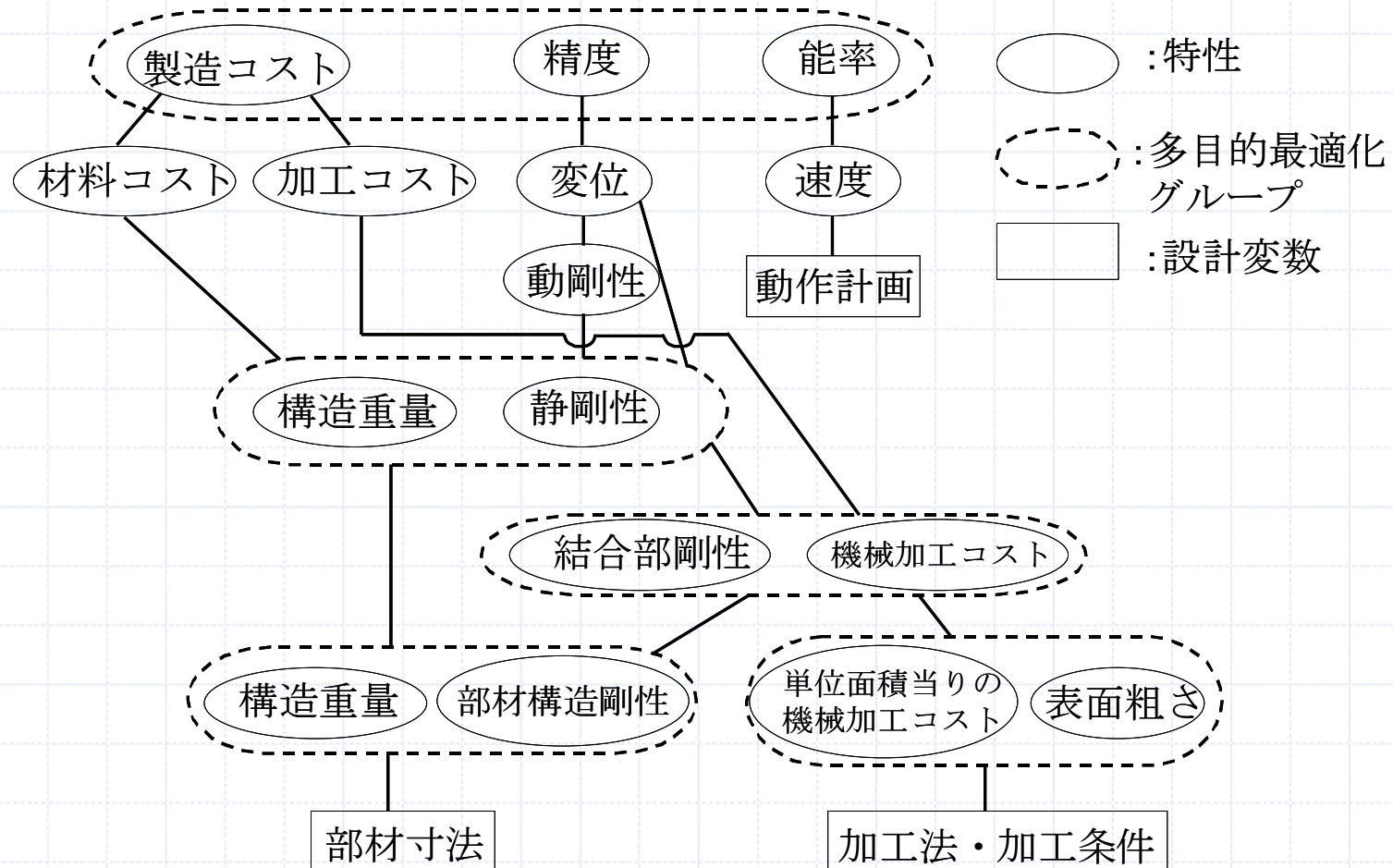
構造部材剛性 k_M は、部材重量 W_M と競合関係にあり、
部材材料費 C_M と競合関係にある。

結合部剛性 k_J は、結合部の機械加工コスト C_J と
競合関係にある。

以上の特性間の優先関係と競合関係を考慮して
多層的多目的最適化の手順が構築できる



階層的多目的最適化における評価特性の階層構造の例

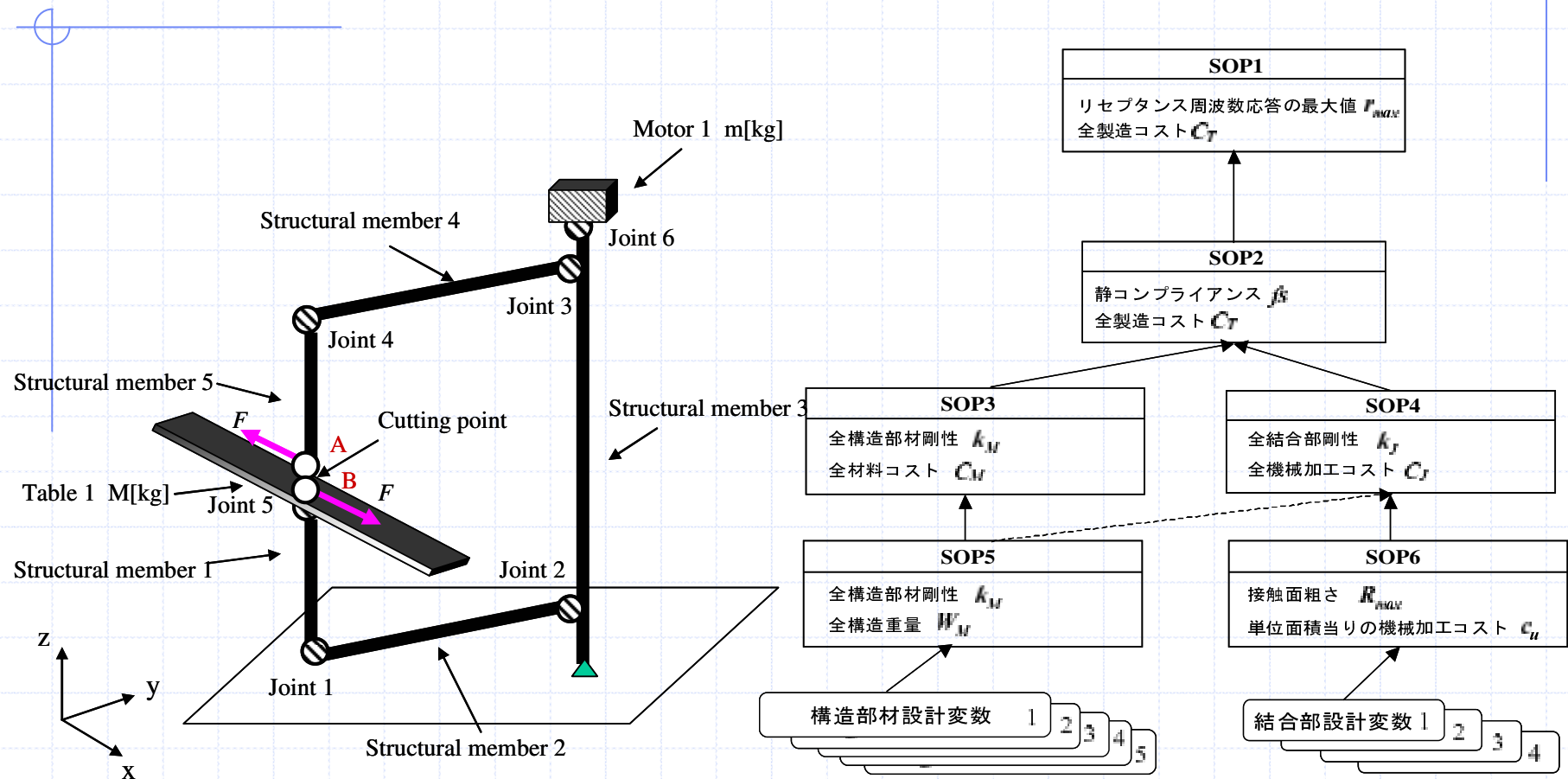


システム最適設計のための階層構造の有用性

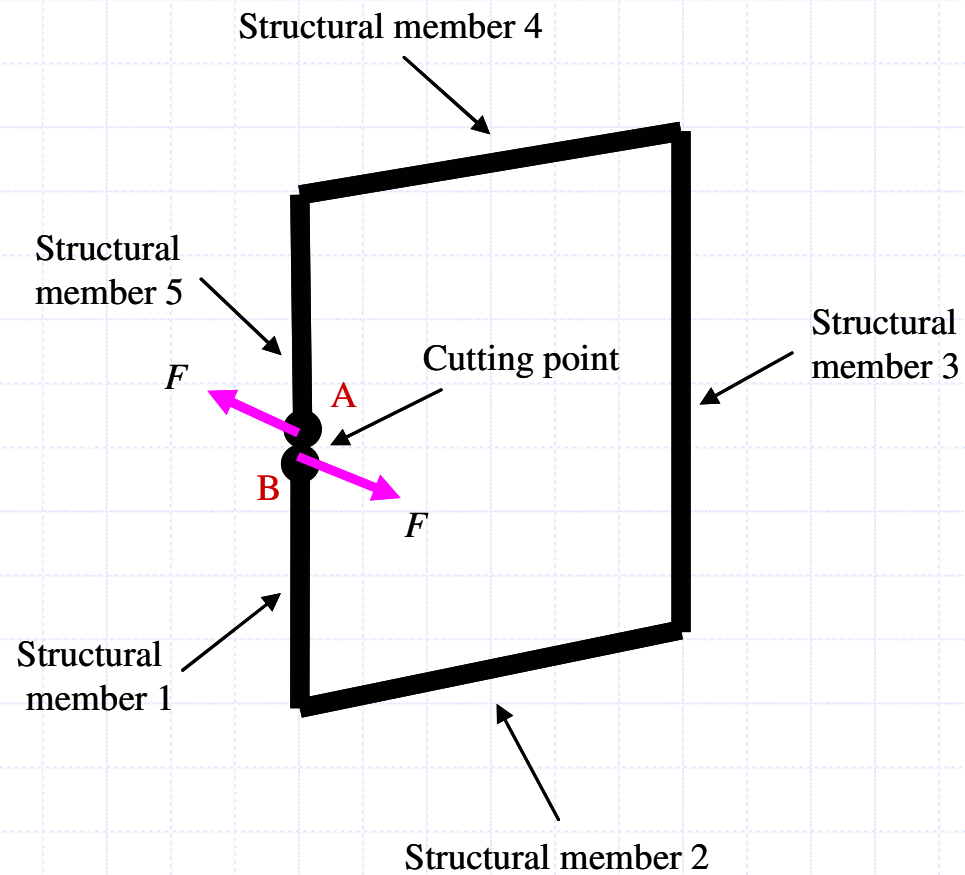
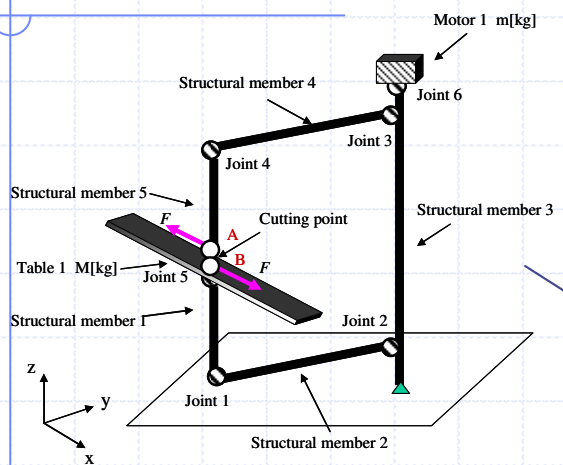
1. 大域的最適解をより確実に得るため
2. コラボレーションを容易にするため
3. 最適解のブレイクスルーを容易に実現するため



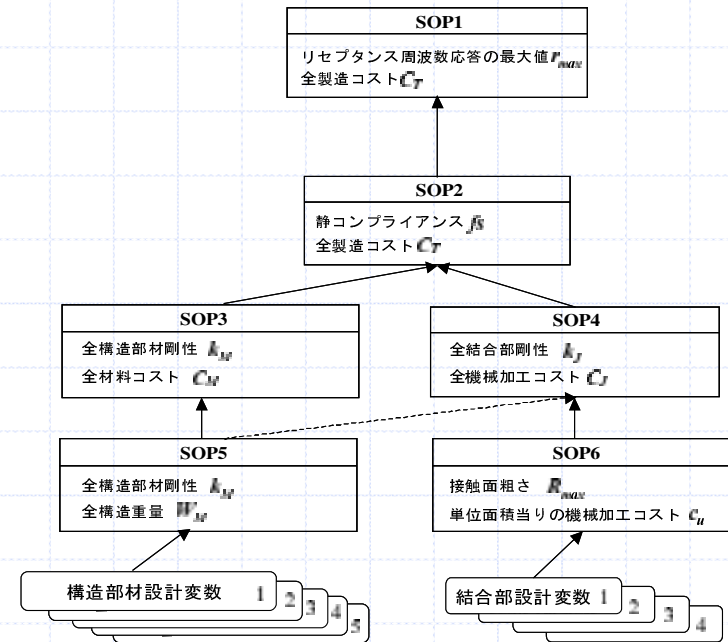
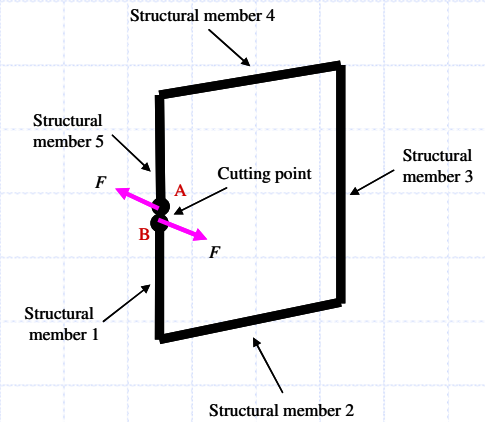
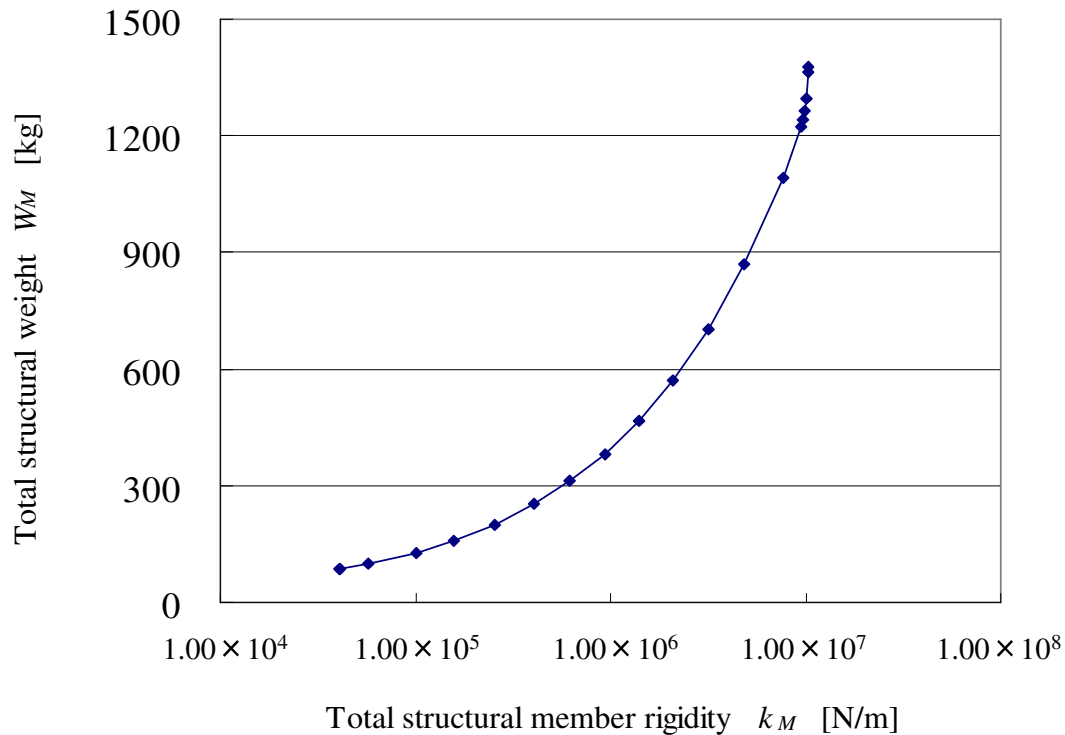
工作機械における最適化の階層構造



モデルの単純化(静的な力のループ内モデル)

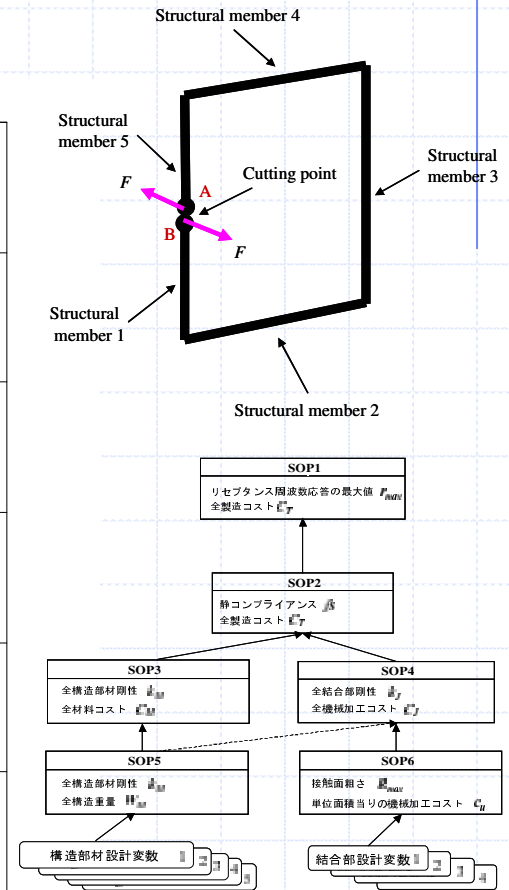
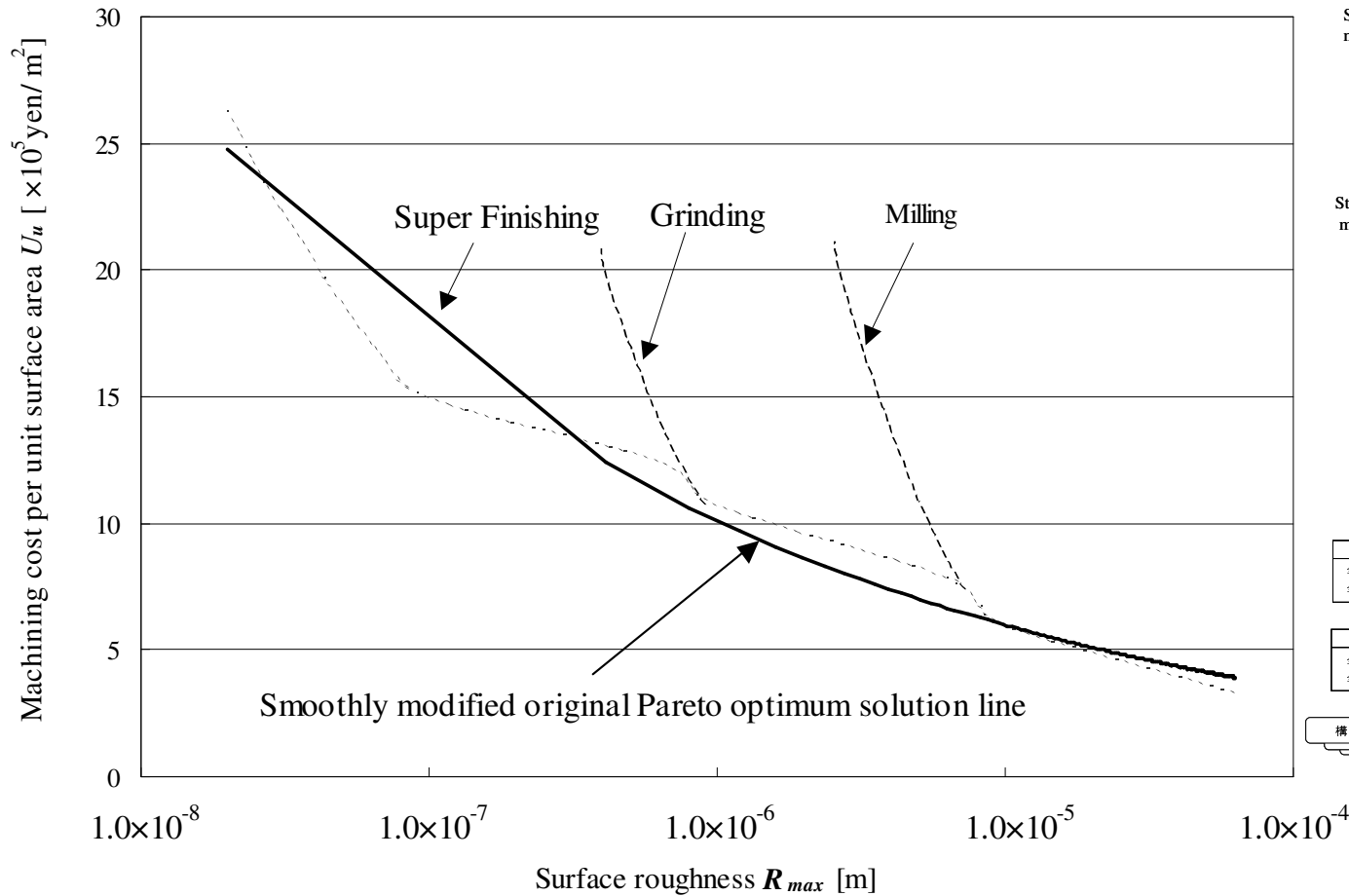


最下層SOP5でのパレート最適解

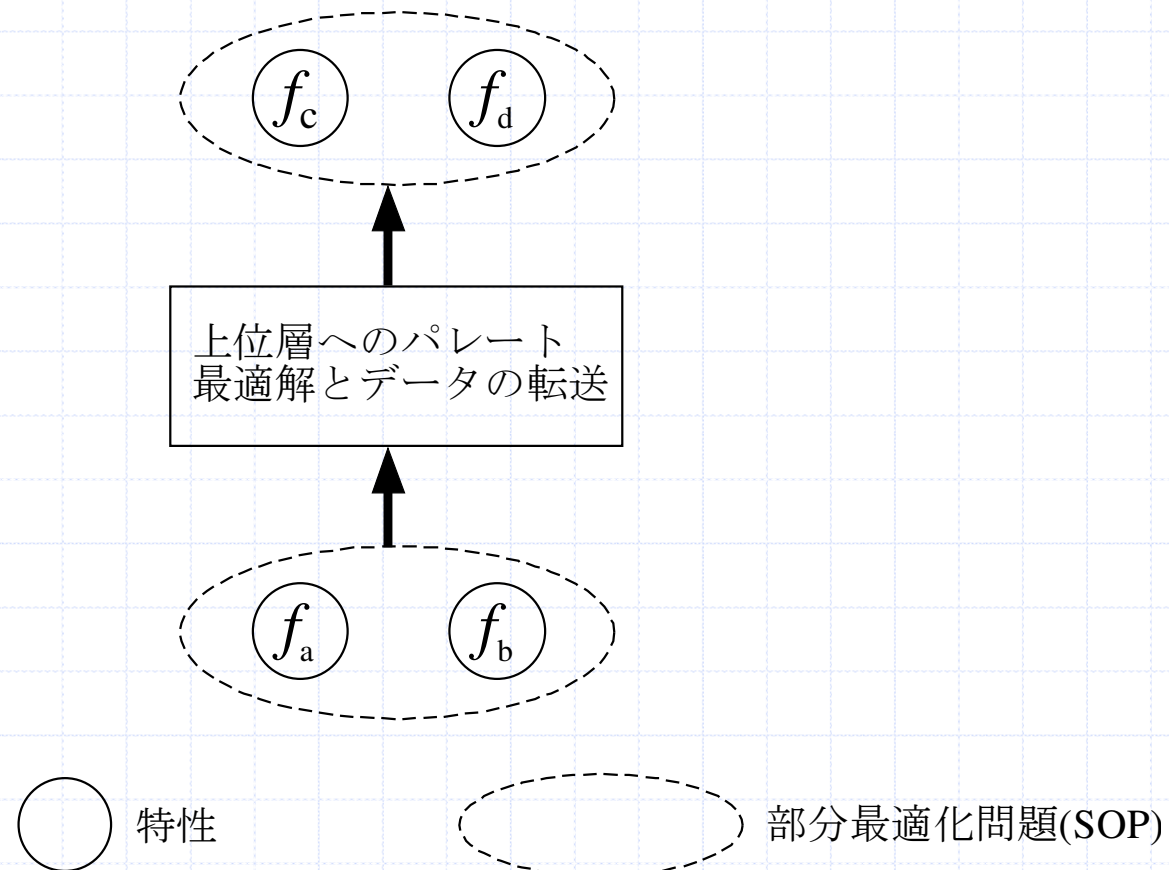


SOP6でのパレート最適解

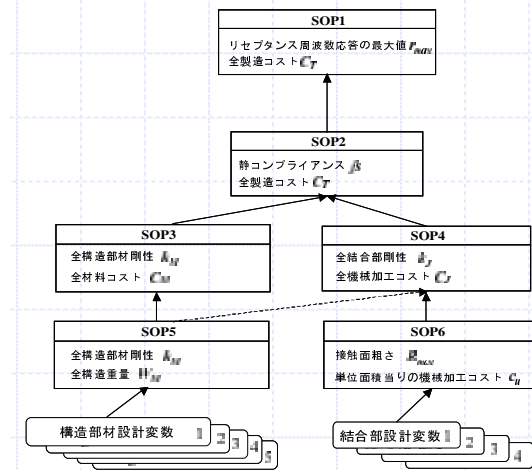
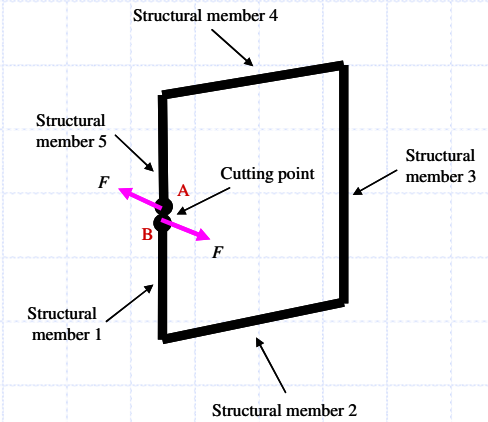
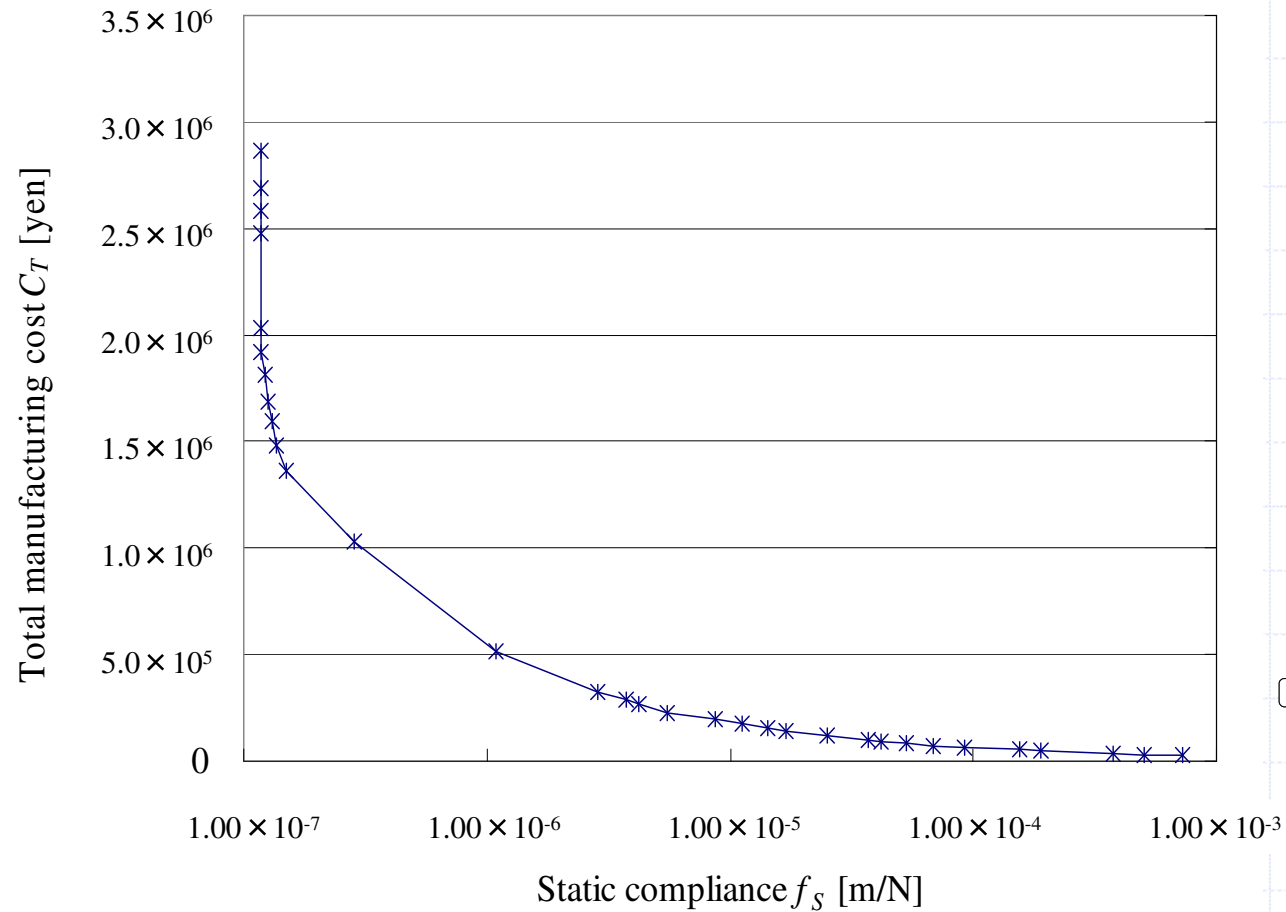
結合部接触面粗さと単位接触面積当たりの機械加エコスト



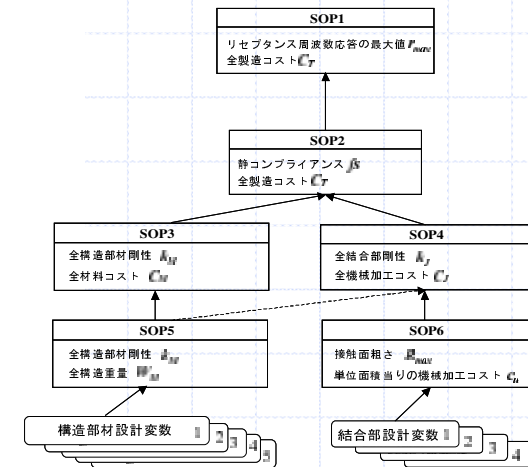
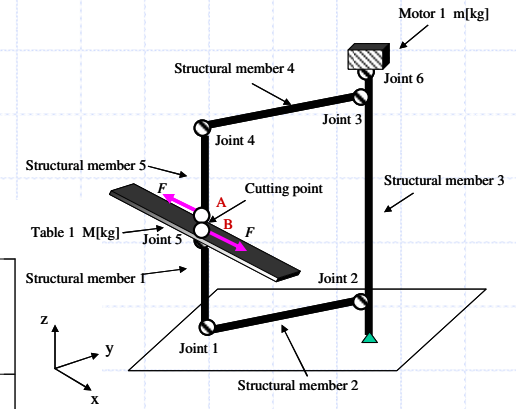
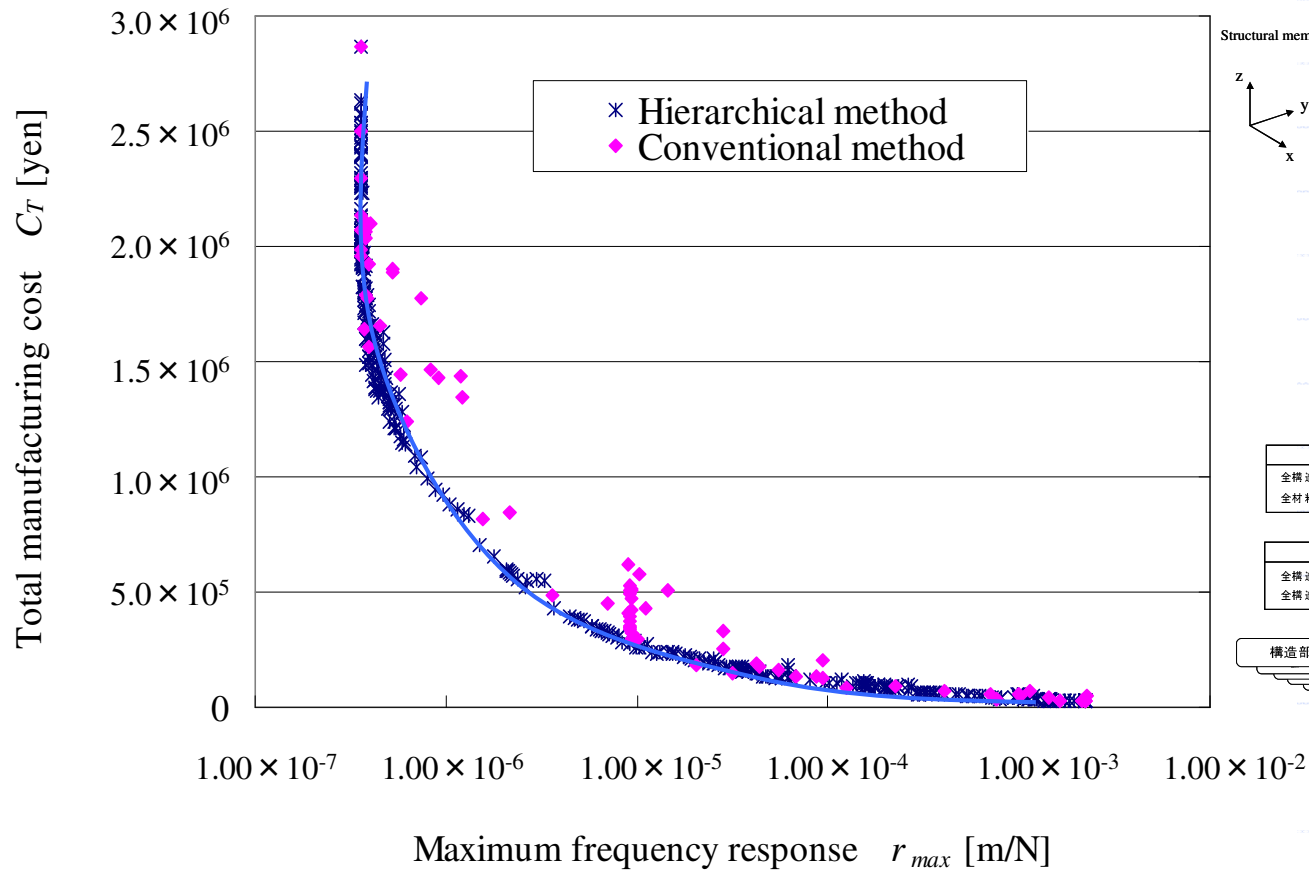
パレート最適解の転送の説明図



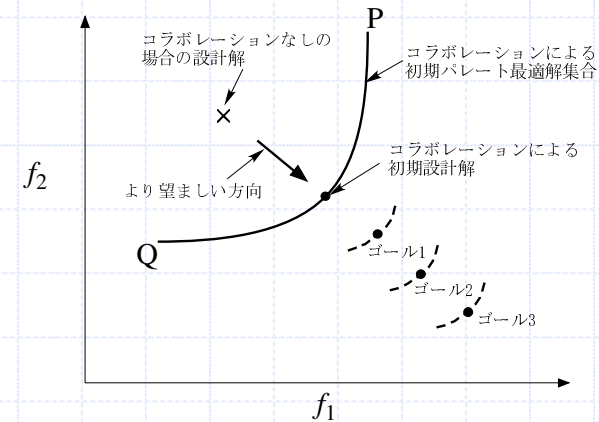
SOP2でのパレート最適解集合



SOP1 (表層レベル) での パレート最適解集合



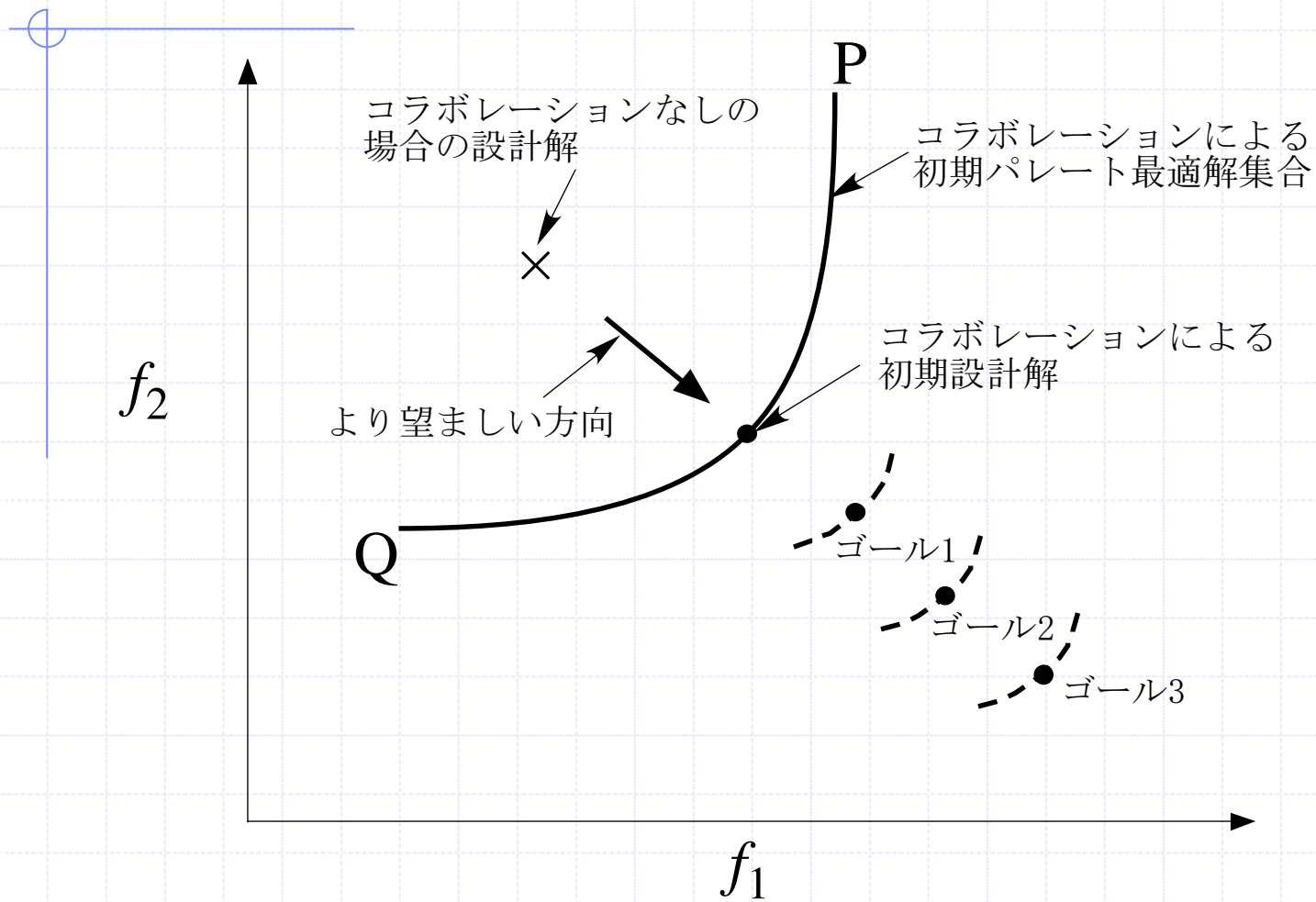
コラボレーション理論に基づく 製品設計最適化の流れ



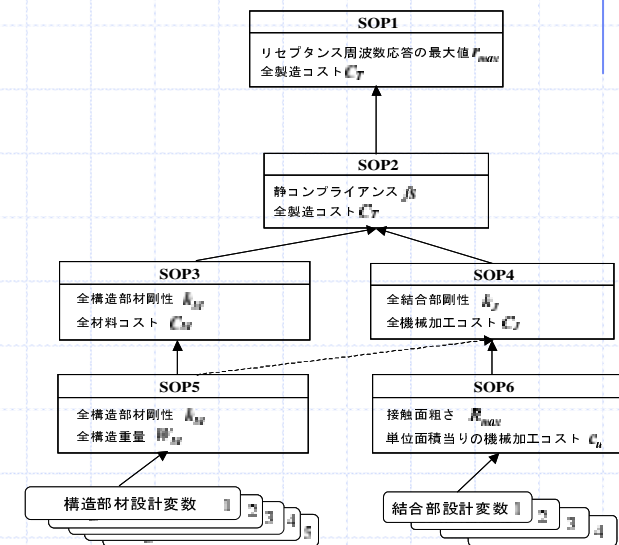
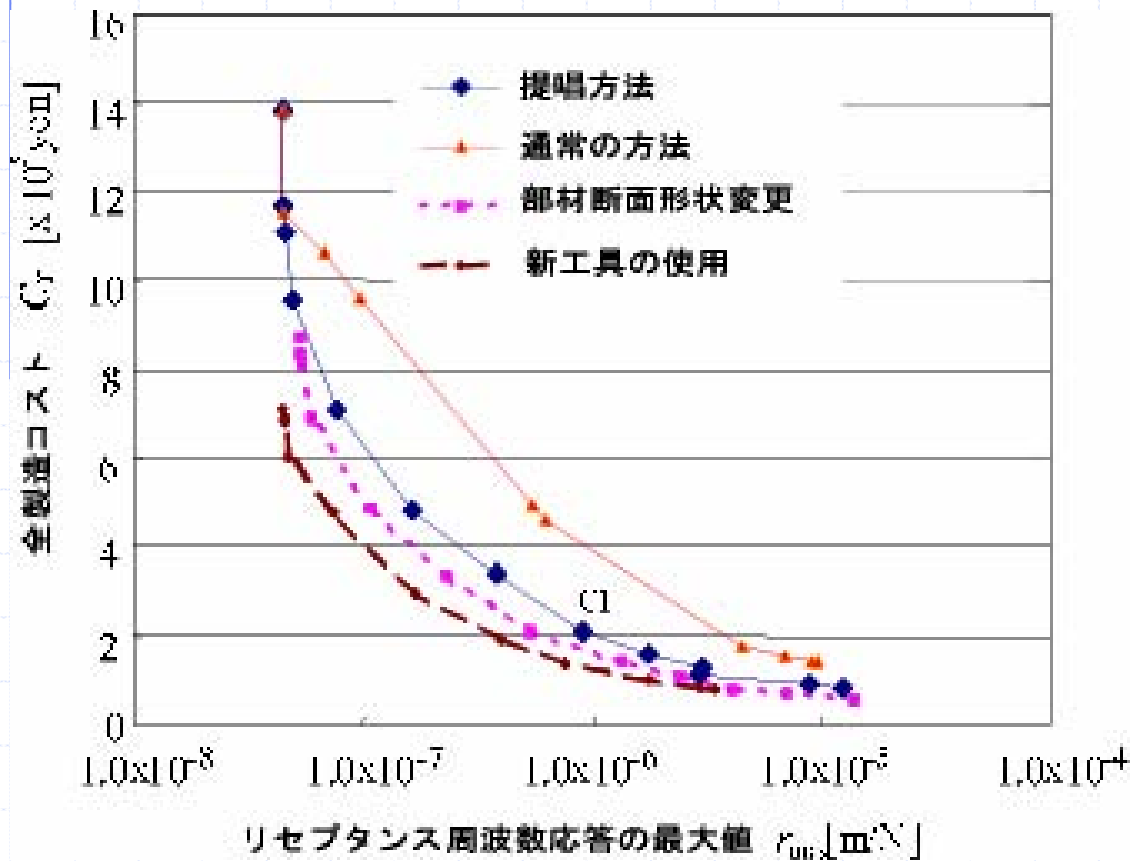
- ステップ1: リーダーは構成メンバーの協力のもとで構築した最適化問題でのパレート最適解集合を求める。これは現状の技術や知識レベルでの最適解である。
- ステップ2: 顧客に対する市場調査により、その設計解を市場に投入した時に得られる利益を目的関数空間上にプロットする。
- ステップ3: リーダーは、目標とする新たな設計点、ゴール1の位置を定める。
- ステップ4: ステップ1でのパレート解上の解を規定している特性のうち、ゴール1上の解に移動させる上で、優先順位の高い特性に着目する。
- ステップ5: 特性に近い専門分野のメンバーが中心となって、特性をブレイクスルーさせる代替設計案をコラボレーションにより求め、提示する。
- ステップ6: コラボレーションメンバーへの貢献度に応じた利益の妥当な分配値を提示する。
- ステップ7: ゴール2、ゴール3へと同様の手順を繰り返す。



コラボレーションによる設計解の進化プロセス



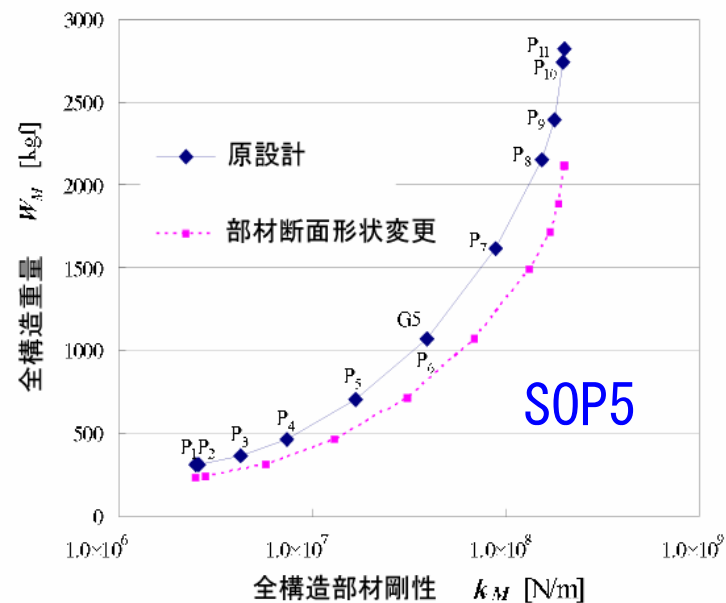
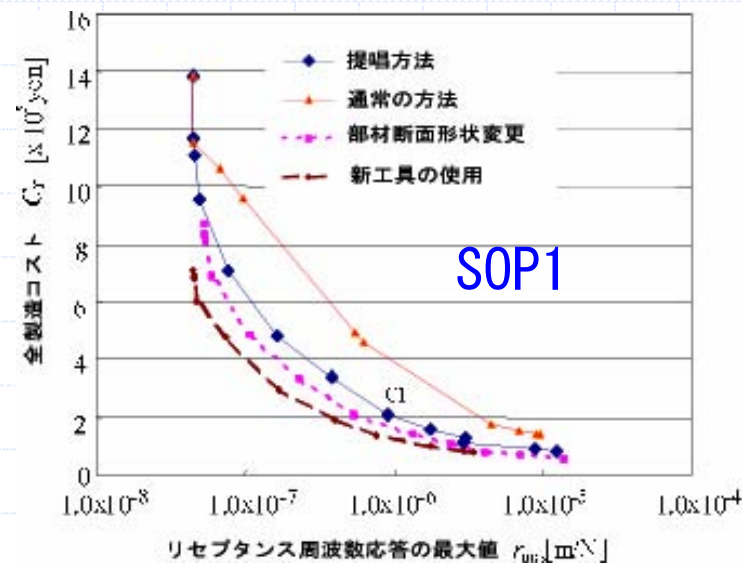
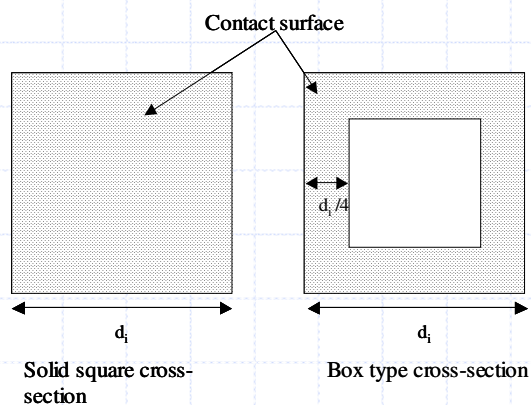
最上層SOP1でのパレート最適解



最適設計解のブレイクスルー

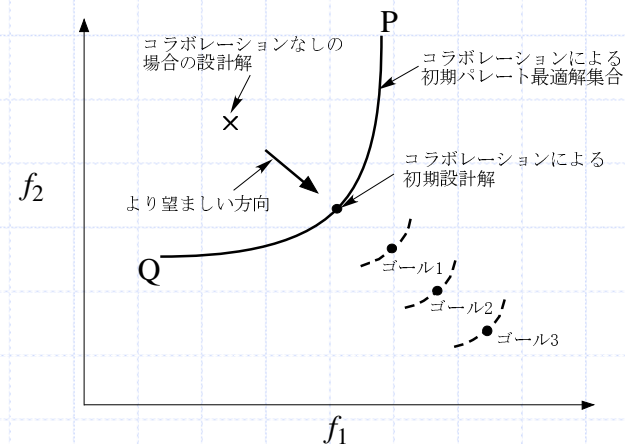
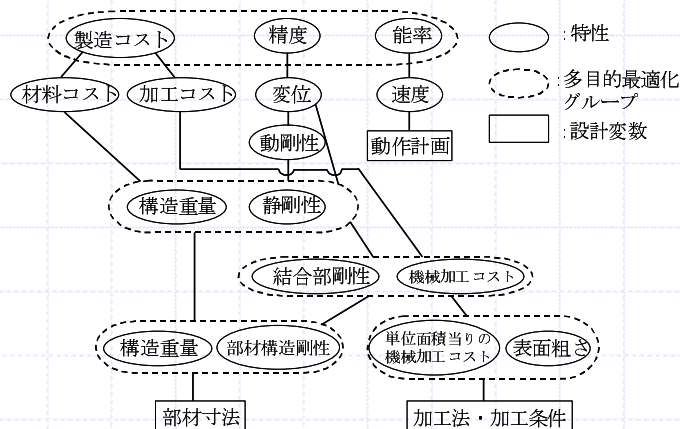
設計改善のアイデアの創出

- 部材断面形状の変更
- 部材素材の変更
- 新工具の使用

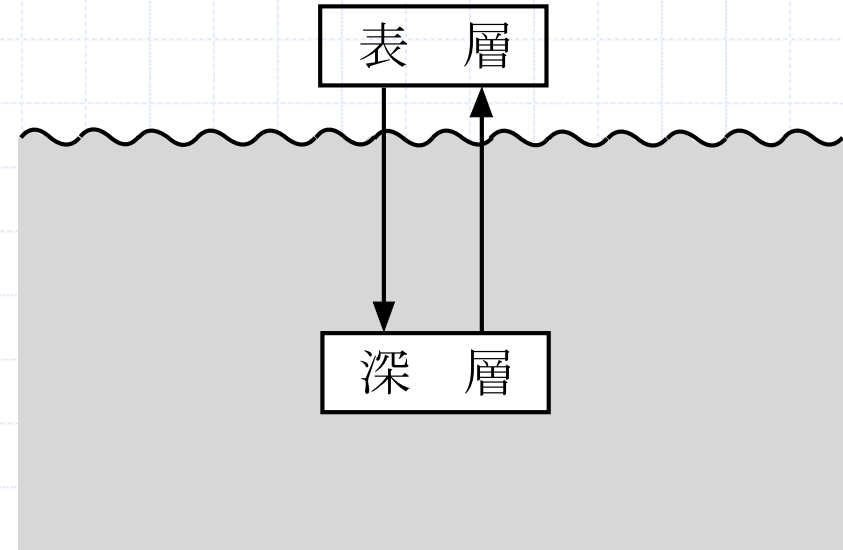
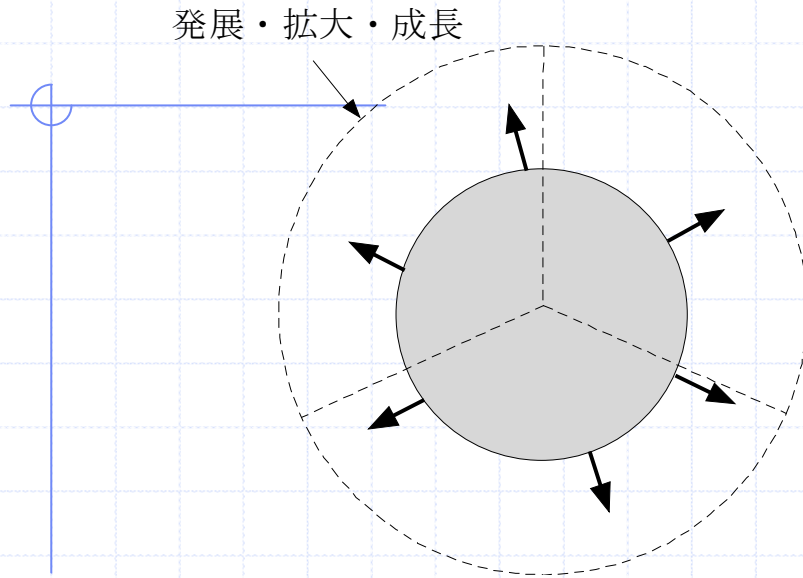


コラボレーション理論としてのポイント

- (1) ブレイクスルーした設計解を、下層レベルでの特性間の競合関係に着目して、専門知識をもつメンバーのコラボレーションにより得ること。
 - (2) 設計解の変動を多目的関数空間上に明示すること。
 - (3) 市場調査により、設計解に相当する製品の投入による利益の予測値をプロットする。
 - (4) コラボレーションメンバーへの貢献度に応じた利益の妥当な分配値を提示すること。メンバーに明確な希望を与える。
- メンバーのコラボレーション推進のモチベーションとなる。



考察



製品設計活動での表層面での評価特性；

加工用機械として工作機械； 動剛性と製造コスト

搬送機械(しゅう動体機械)； 高精度化と高能率化

自動車； 燃費と加速性

この理論・方法論の汎用性； 一般の組織活動への適用

不機嫌を解消するための方法論； 多くの組織活動に共通



従来の常識と社会状況の変化による新たな動き

従来の常識：

(1) 企業は自社の利益を上げればよい。

環境への負荷, 資源の枯渇は二の次。

(2) 顧客は物質的な豊かさを望む： 例；ブランド品の購入

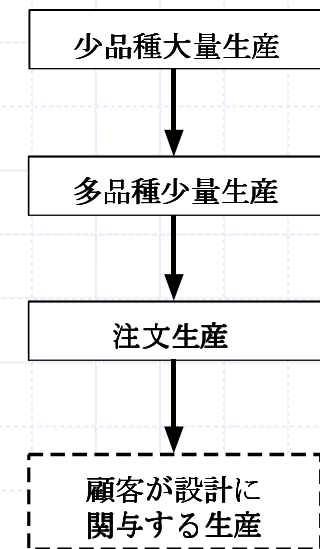
(3) 経済学の原理；ゲーム理論的競争原理

社会状況の変化による新たな動き：

(1) ライフサイクル設計の重要性

(2) 精神的な豊かさの追求（感性工学）

(3) 真の豊かさの実現のための経済活動・生産活動



ゲーム理論とコラボレーション理論

ゲーム理論 (Game Theory)

相手に勝つための(負けないための)駆け引きのための理論

コラボレーション理論 (Collaboration Theory)

共に利得を大きくするための協働作業を支援する理論

グループとしての利得を大きくするための協働作業を支援する理論



経済学とゲーム理論

ミクロ経済学

市場経済社会における法則を解明し、勝つための論理・理論
世の中に存在する資源の配分において、より多くの配分を
獲得するための論理・理論

マクロ経済学

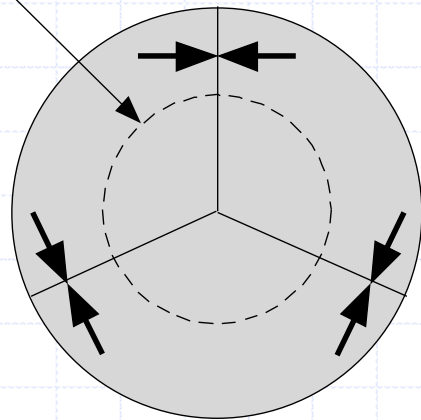
個別の経済活動を集計した経済学

ゲーム理論でその特徴を表現することができる

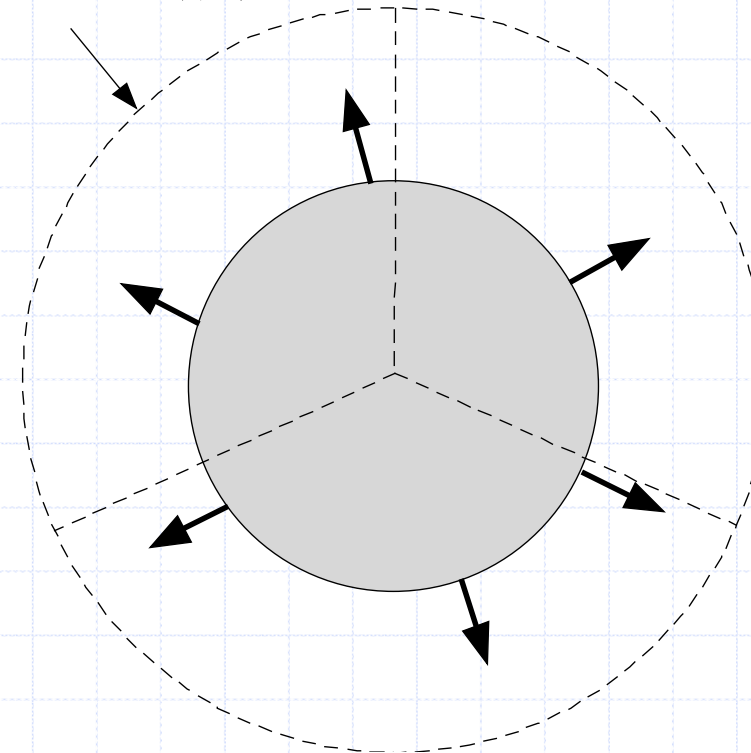


ゲーム理論的組織活動とコラボレーション理論的組織活動

収縮



発展・拡大・成長

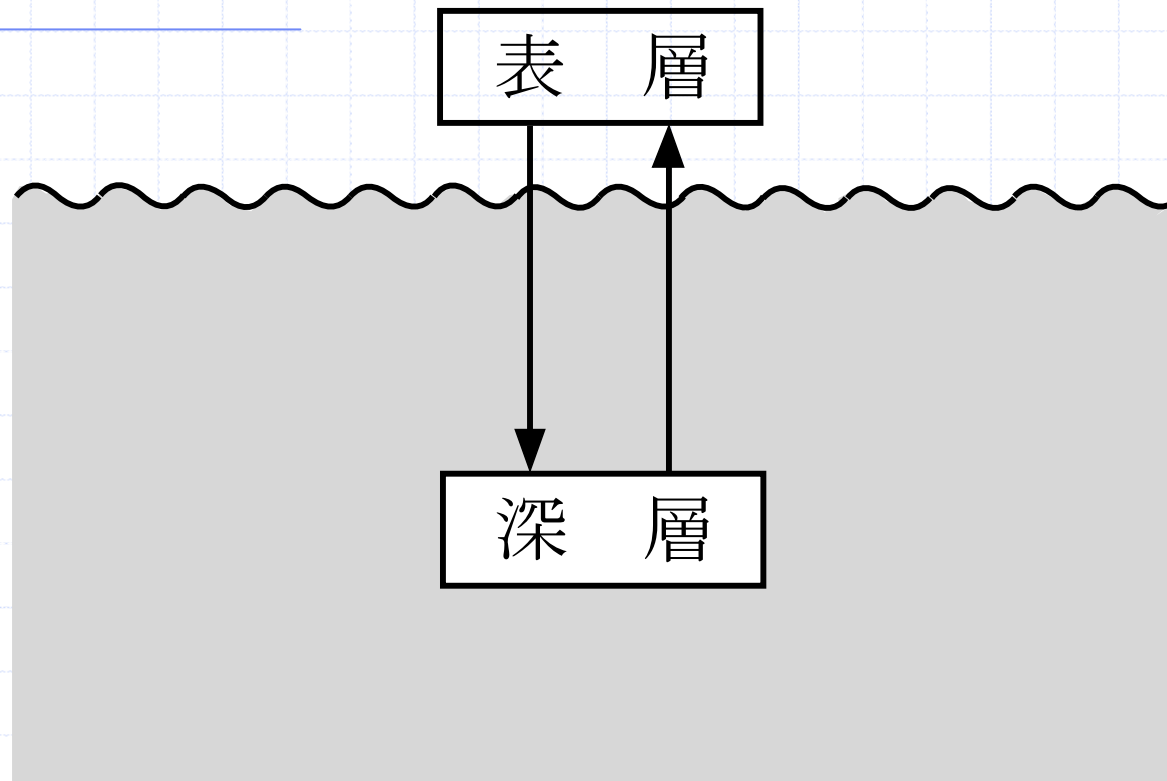


ゲーム理論的組織活動

コラボレーション理論的組織活動



表層と深層レベルの特性



工学の重要性

表層の現象や特性に着目して得られる解や対策では、望ましい成果が得られない。

より望ましい解を得るためには、深層からの取組みが必要不可欠である。



単行本の紹介



著者 吉村允孝 著

出版社名 養賢堂 (ISBN:978-4-8425-0420-9)

発行年月 2007年04月

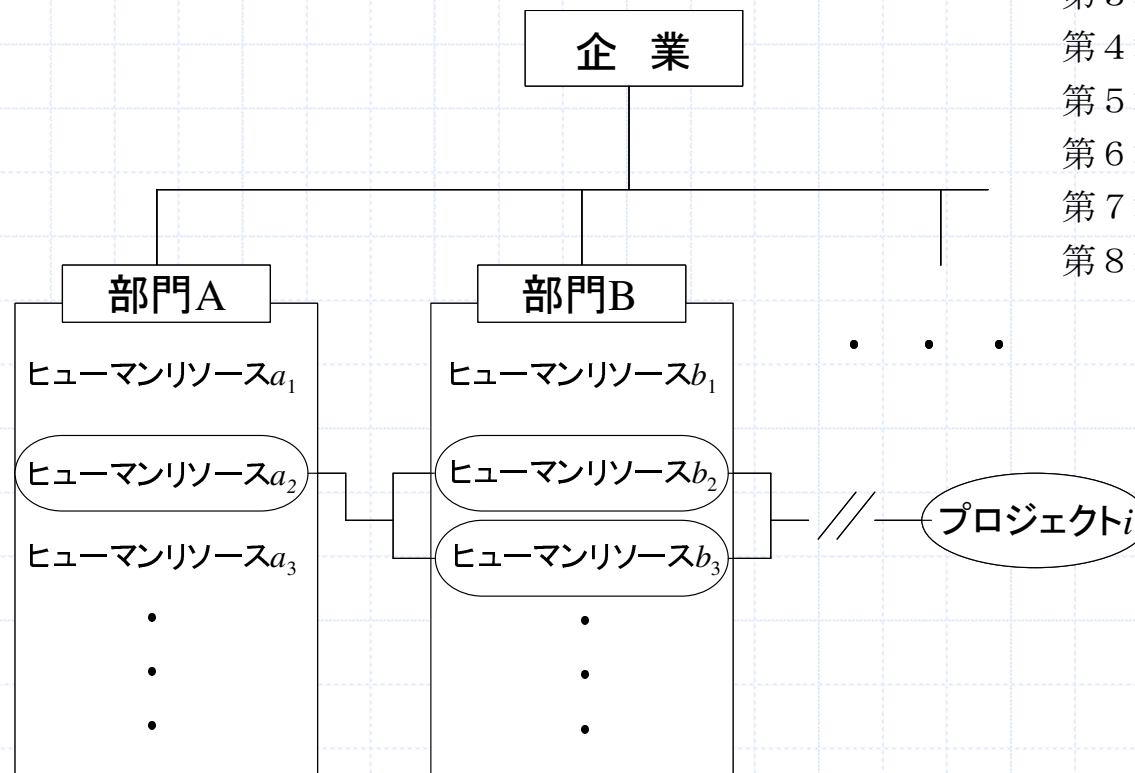
サイズ 157P 21cm

価格 2,730円(税込)

- 第1章 モノづくり技術の**発展の流れ**
- 第2章 モノづくりにおける**評価基準**
- 第3章 モノづくり**革新のための技術**
- 第4章 モノづくりにおける**人間の関わり**
- 第5章 モノづくり**支援技術**
- 第6章 モノづくりのための**最適化技術**
- 第7章 モノづくりのための**意思決定法**
- 第8章 モノづくりによる**文化の形成**



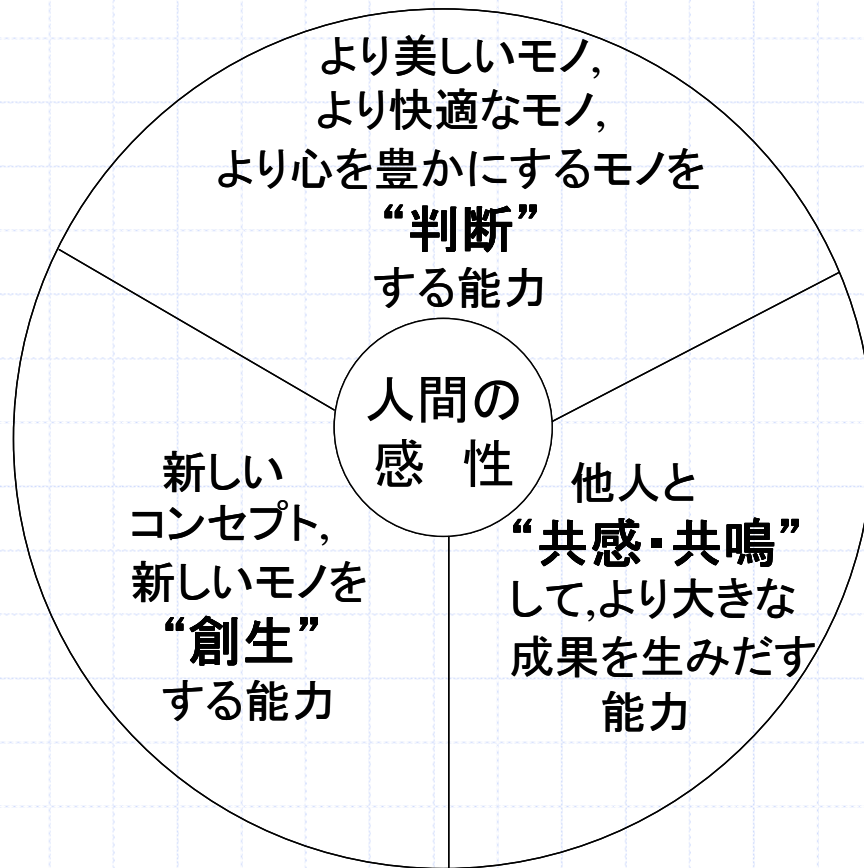
企業組織におけるプロジェクトの形成



- 第1章 モノづくり技術の**発展の流れ**
- 第2章 モノづくりにおける**評価基準**
- 第3章 モノづくり**革新のための技術**
- 第4章 モノづくりにおける**人間の関わり**
- 第5章 モノづくり**支援技術**
- 第6章 モノづくりのための**最適化技術**
- 第7章 モノづくりのための**意思決定法**
- 第8章 モノづくりによる**文化の形成**



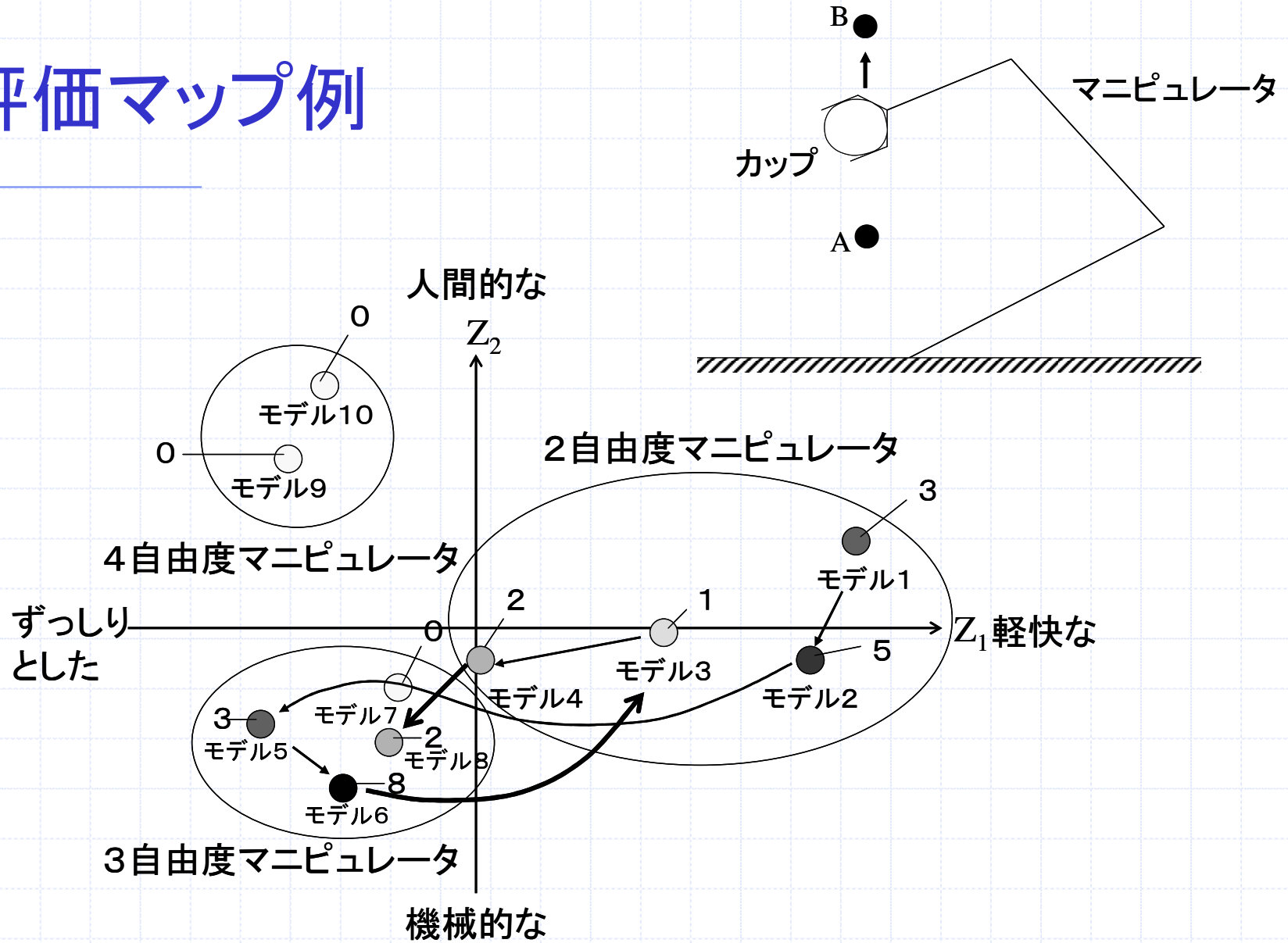
感性面から人間固有の三つの能力



- 第1章 モノづくり技術の**発展の流れ**
- 第2章 モノづくりにおける**評価基準**
- 第3章 モノづくり**革新のための技術**
- 第4章 モノづくりにおける**人間の関わり**
- 第5章 モノづくり**支援技術**
- 第6章 モノづくりのための**最適化技術**
- 第7章 モノづくりのための**意思決定法**
- 第8章 モノづくりによる**文化の形成**

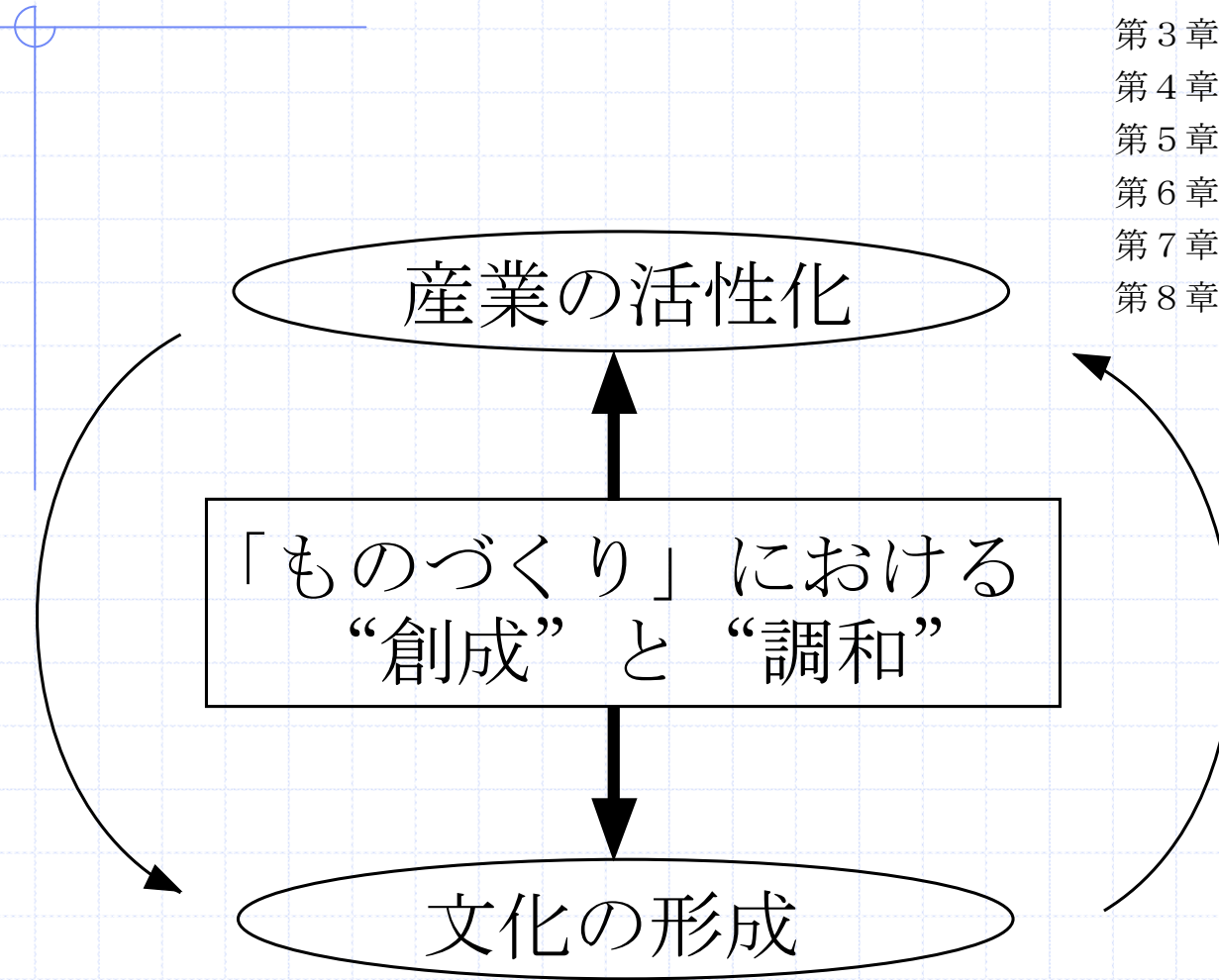


評価マップ例



ものづくりにおける文化の形成の概念図

- 第1章 モノづくり技術の**発展の流れ**
- 第2章 モノづくりにおける**評価基準**
- 第3章 モノづくり**革新のための技術**
- 第4章 モノづくりにおける**人間の関わり**
- 第5章 モノづくり**支援技術**
- 第6章 モノづくりのための**最適化技術**
- 第7章 モノづくりのための**意思決定法**
- 第8章 モノづくりによる**文化の形成**



英文単行本

近刊:

Masataka Yoshimura,
System Design Optimization for Product
Manufacturing,
Springer



おわりに

真の豊かさを実現するには；

モノづくり：革新と調和の実現が必要不可欠

新たなコンセプト・パラダイムの必要性

その実現におけるシステム最適化技術の役割

- ・ 人との出会い； 飛躍するチャンス
- ・ 社会状況の変化； 新しいコンセプトを創造するチャンス





現在の社会状況

解雇, 金融不安, 地球環境不安, 資源の枯渇, 食料問題

不機嫌が蔓延し, またそれがより深刻化しようとしている.



人間の感情

不満(不機嫌より表面的)



不機嫌(根が深い)



絶望(救いようのない状態)

- 第1章 モノづくり技術の発展の流れ
- 第2章 モノづくりにおける評価基準
- 第3章 モノづくり革新のための技術
- 第4章 モノづくりにおける人間の関わり
- 第5章 モノづくり支援技術
- 第6章 モノづくりのための最適化技術
- 第7章 モノづくりのための意思決定法
- 第8章 モノづくりによる文化の形成



単行本の紹介



著者 吉村允孝 著

出版社名 養賢堂 (ISBN:978-4-8425-0420-9)

発行年月 2007年04月

サイズ 157P 21cm

価格 2,730円(税込)

- 第1章 モノづくり技術の**発展の流れ**
- 第2章 モノづくりにおける**評価基準**
- 第3章 モノづくり**革新のための技術**
- 第4章 モノづくりにおける**人間の関わり**
- 第5章 モノづくり**支援技術**
- 第6章 モノづくりのための**最適化技術**
- 第7章 モノづくりのための**意思決定法**
- 第8章 モノづくりによる**文化の形成**



おわりに

日本の,モノづくりの発展, 世界のモノづくりの発展において,
コラボレーションのあり方は, 重要と考える.

産業活動, 社会活動, 組織活動, 教育活動, 政治活動, 家庭活動など,
人間が存在するところには, 必ず, その活動により, より望ましい成果を
上げる上で, コラボレーションが関係している,

コラボレーションを支援する論理(コラボレーション理論)や
システム最適化の研究を, さらに発展させたいと考えている.

