

人間指向シンセシスの科学

Science of Human Based Synthesis

(研究プロジェクト番号：JSPS-RFTF 96P00703)

プロジェクトリーダー

中澤 弘 早稲田大学理工学部・教授

コアメンバー

菅野 重樹 早稲田大学理工学部・教授

尾形 哲也 早稲田大学理工学部・助手

松永 久 早稲田大学理工学部・助手

舘野 寿丈 東京都立大学大学院工学研究科・助手

山下 智輝 早稲田大学理工学部・ポストドクター



1. 研究目的

シンセシスの科学は、これまで個人の経験に留まり、学術的に扱われてこなかったシンセシス活動について、その仕組みを科学的に究明し、設計活動を支援するのに有効な知的体系化を行う。本プロジェクトはこれを実行する人間の側からの視点で研究する。

2. プロジェクトの概要

本プロジェクトの具体的なテーマを以下に示す。

- (1) 人間の設計過程の分析と設計支援環境の構築
- (2) 発想法 (メタコンセプト法)
- (3) デザイン・ナビゲーション・メソッド
- (4) 人間指向 CNC 旋盤の開発
- (5) 人間の満足感を考慮した設計手法
- (6) 人間観察に基づくシンセシスモデルの構築

3. デザイン・ナビゲーション・メソッド (DNM)

本報告書では特に DNM について解説する。ただし詳しい使い方は文献 (1) ~ (3) を参照されたい。新しいものを開発するために実体設計するとき困るのが設計変数の最適値の決定である。複数のトレードオフの関係にある要求項目を満たすように最適な設計変数を決めるのは至難の業である。特に今までにない新しいものを開発する場合、理論が無い場合が多いので最適値を決めにくい。したがって何とか目標をクリアできたら最良の値になっていなくても製品化してしまうというのが現状である。また基本構想が良くない場合に設計、試作、実験、再設計をむやみに繰り返し、結局成功しないということもある。基本構想がそもそも悪いということが早い段階で分る方法があればこのような無駄が省ける。以上の問題点を解決し、開発期間を大幅に短縮し、したがって開発費用も削減でき、最良の製品を開発できるのが本手法である。

本手法の中心となる概念は機能誤差である。まず何か情報がないと開発設計を進められないので基本構想をもとに、その時のレベルで実現できる最良の製品 (プロトタイプ) を作る。この製品で要求項目を実現するのに重要と思

われる設計変数を選び、実験計画表の直交表に割り付けて、直交表の指示通りの設計変数値のモデルを用意して実験する。機能的要求 E に対するデータが図 1 のようになったとすると、それらから標準偏差 を求める。

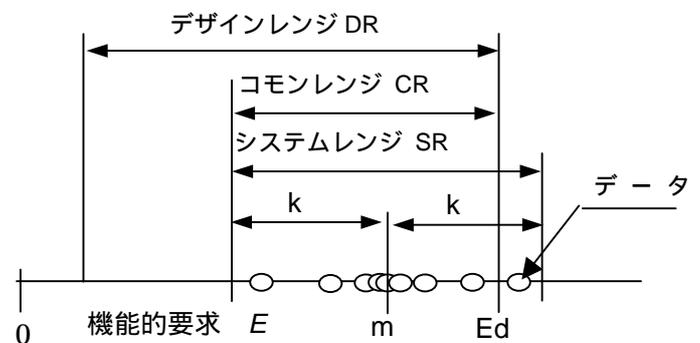


図 1 . 実験データ

安全係数 k は 1.5 としてシステムレンジ SR を求める。要求項目 E にはデザインレンジ DR が予め与えられているから、両者の共通部分であるコモンレンジ CR を求める。

この SR と CR を次式に代入して要求項目 E に対する機能誤差 D が求まる。

$$D = \ln \frac{SR}{CR}$$

この機能誤差を全ての要求項目について求め合計したものを総機能誤差と定義する。この概念を用いて次の公理を提案する。

公理 「総機能誤差の最小なシステムが最良なシステムである」

この公理を適用して全ての設計変数の最適値を求め、その組み合わせのモデルを使って最終の性能確認実験を行う。この確認実験は使用条件を考慮して、外部条件を振って実験するが、このデータのばらつきから計算された性能のばらつき範囲がデザインレンジ内に入れば、これがこの基本構想で実体設計した場合の最適・最良な製品となる。もし確認実験の ± 3 がデザインレンジ内に入らず、しかも設計変数を新たに異なる範囲に振ることが不可能な場合は基本構想そのものが不適切なので新たなアイデアを出さなければいけない。

4. 応用例

この手法は既に 20 社近い企業で導入し、優れた成果を生み出している。ここでは初期に本手法の有効性を証明するために使われた例について解説する。

あるメーカーで横型プラスチック射出成形機(図2)のリングバルブやスクリューヘッドの磨耗量が問題となった。そこで評価項目としてはリングバルブ内径の磨耗、リングバルブ長

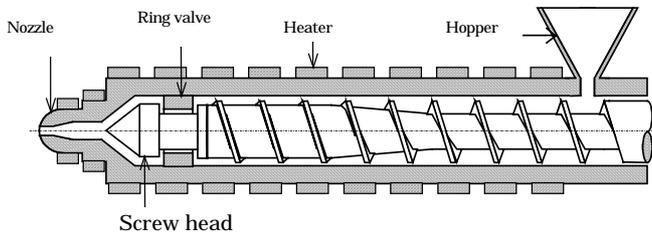


図2. 横型プラスチック射出成形機

さ方向の磨耗、スクリューヘッドの磨耗、消費電力、単位時間当たりの樹脂流量(生産性に相当する)を取り上げた。

これらの評価項目に影響を与える設計変数には様々なものがあるが、ここではリングバルブ内径、リングバルブ長さ、スクリュー回転速度、バレルヒーターによるバレル設定温度の4つを選定した。

L9の直交表に割り付け、DNMで解析し、これらの設計変数の最適値を求めた。その最適値で部品を作り、条件を設定して性能の確認をしたところ、表1のような結果が得られた。

	磨耗量			消費電力 kWh	樹脂流量 g/min
	リングバルブ		スクリューヘッド		
	内径	長さ	長さ		
改良型	0.00 1	0.148	0.247	15.3	130
現状	0.00 5	0.234	0.533	32.3	54

表1. 改良されたシステムの実験値

この結果によると本手法で決定した設計変数値をもつ機械では、いずれの評価項目においても、全ての評価項目が互いにトレードオフの関係があるにもかかわらず、現状を大幅に上回る良い結果を得ている。

もしも代表的な1つの評価項目だけを選んで改善しようとする(例えば田口メソッド)、その項目だけは性能が本手法を上回ることが予想されるが、同時にトレードオフのある他の評価項目に対しても良い結果が得られる保証はない。

5. まとめ

このDNMは新製品開発に強力な手法であることが10数社の実際の開発で証明された。これは日本の製造業を飛躍的に発展させるツールとなる。他にもシンセシスに関して重要な成果が得られているが、詳しい内容は下記の文献を参照されたい。

発表文献

- (1) 中澤弘:開発設計工学,工業調査会,2001.
- (2) 中澤弘:デザイン・ナビゲーション・メソッドによる製品開発法の研究,日本機械学会論文集,Vol.67, No.658, pp.394-401,2001.
- (3) H.Nakazawa: Product Development by Design Navigation Method, JSME International Journal, Vol.44, No.3, 2001
- (4) H.Matsunaga and H.Nakazawa: A Study on Human-Oriented Manufacturing System (HOMS): Measurement of Worker's Satisfaction by Psychological and Physiological Information., The 13th Triennial Congress of the Intl. Ergonomics Association., pp.507-509,1997.
- (5) H.Matsunaga and H.Nakazawa: A Study on Human-Oriented Manufacturing System (HOMS) - Development of Satisfaction Measurement System (SMS) and Evaluation of Element Technologies of HOMS using SME-Intl. Conference on Manufacturing Milestones toward the 21st Century, pp.217-222,1997.
- (6) 中澤弘, 中野聡:人間中心生産システムの研究(第六報)NC工作機械人間介入制御の研究,日本機械学会論文集,Vol.C63, No.615, pp.375-381, 1997.
- (7) 松永久, 中澤弘:満足感計測のための基礎的研究 主観的な満足感と前頭部双極誘導による脳波との関係, 日本人間工学会誌, Vol.34, No.4, pp.191-201, 1998.
- (8) 中澤弘:デザイン・ナビゲーション・メソッドによる製品開発法の研究,日本機械学会論文集,Vol.67, No.658, pp.394-401, 2001.
- (9) Y. Hayakawa and S. Sugano: Personal Information Recognition in Machine Tool Operation, IEEE/ASME Int. Conf on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'97), 1997