

設計パラメータを用いたシミュレーション省力化システムの開発

(シミュレーション技術を用いた地場企業の設計工程支援)

工業材料・環境科 専門研究員 入 江 直 樹

近年における高性能かつ廉価で使いやすいパーソナルコンピュータやオペレーティングシステムの普及は汎用計算力学ソフトウェアの利便性を高め、シミュレーション技術の発展に大きく寄与している。地場企業からは当該汎用計算力学ソフトウェアを用いたシミュレーション技術を自社製品開発に活かして製品開発期間の短縮化や差別化技術の創出につなげたいとの要望を受けている。一方で、シミュレーション技術を設計工程に活用する際製品形状によっては多数の設計パラメータが存在し、性能に対する各設計パラメータの影響度が不明であるため、多くのシミュレーションを必要とする場合がある。これを受けて、本研究では形状に関連する各設計パラメータが機器の性能に及ぼす影響度を調査して各設計パラメータの最適値を探索するシステムを開発する。本研究では対象モデルの特定の寸法を指定することにより、3次元デジタル形状の作成、流体解析のシミュレーション結果取得、及び、その結果から品質工学を用いて各寸法が性能に及ぼす影響度を評価するソフトウェアを試作した。

1. 緒言

「模擬実験」を意味するシミュレーションは自然科学や社会科学などの様々な分野における課題を解決へと導く一つの手段として利用されている^[1]。本研究におけるシミュレーションは主に工学分野における数学モデルに基づいた計算機シミュレーションを対象としている。

工学分野の技術開発において、当該シミュレーションは計算機であるパーソナルコンピュータを用いて実施でき、仮想的な模擬実験を繰り返すことにより製品に要求される仕様や品質を設計開発の初期段階から作り込むことができる^[2]。これに伴い、多くの汎用計算力学ソフトウェアが開発され商用化されており、図1に示すように、例えば配管内部の流れを対象とした流体解析や伝熱、構造、応力等のシミュレーションを有限要素法や有限体積法などを用いて計算して流れの速さやその温度をコンター図や動画を用いて表示することができる^[3]。

地場企業は当該ソフトウェアを活用して自社製品を評価しているが、特に各設計パラメータの性能に対する影響度が不明である際に、数多くのシミュレーションを実施する必要がある時間とコストを要するといった課題を抱えている。

これを受けて、本研究では形状の各設計パラメータが設計開発する機器の性能に及ぼす影響度を調査して各設計パラメータの最適値を探索するシステムを開発する。当該システムにおいては3次元デジタル形状の作成、シミュレーションを用いた性能評価と最適な設計パラメータを選出するソフトウェアから構成する。

令和5年度は令和3年度から令和4年度にかけて開

発した3次元デジタル形状作成ソフトウェア^[4]とシミュレーションを用いた性能評価ソフトウェアを組合せたシステム^[5]を用いて、各設計パラメータが機器に及ぼす影響度を品質工学を用いて評価するシステムについて検討した、その有効性について報告する。

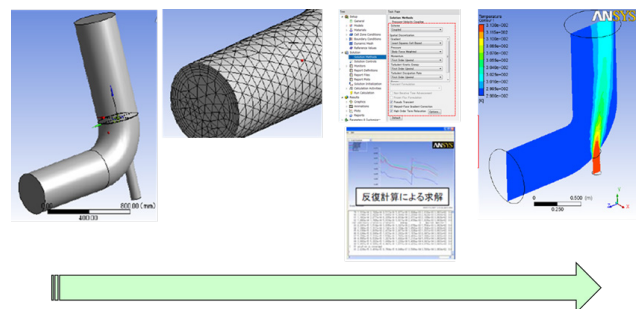


図1 計算機シミュレーション例

2. 実験方法と結果

2. 1 品質工学を用いた機能性評価

図2に本研究における品質工学^[6]を用いた機能性評価のためのダイヤグラムを示す。設計対象は配管の流路形状、入力にあたる信号因子はエアの流入量、出口となる評価特性に圧力損失、ノイズ因子に外乱、制御因子に各設計パラメータとなる配管流路の各寸法を設定した。ノイズ因子はエアの温度、流路入口における乱流強度、乱流粘性比の三因子、制御対象の配管流路の形状を制御因子である各設計パラメータにて指定した際に、所定のエア流入量に対する圧力損失を流体解析シミュレーションソフトウェア (Ansys Fluent 2021R2) を用いて計算して配管流路形状の機能性を評価する。

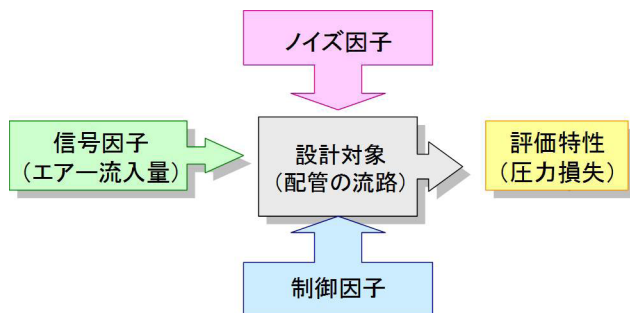


図2 機能性評価のためのダイアグラム

2.2 設計対象のモデル

図3に設計対象のモデルを示す。配管内部の流路を抽出した形状を示しており、表1は制御因子として設定した8種類の寸法値及び水準である。当該形状は3DCADソフトウェアであるAnsys Discovery(ver 2021R2)を用いて作製されており、当該ソフトウェアの機能であるヒストリートラッキングにて制御因子の寸法値をパラメータ化している。

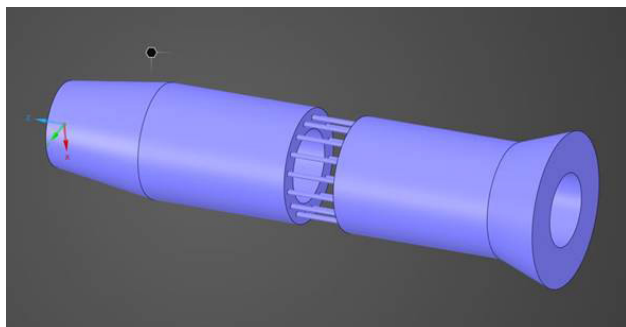


図3 設計対象のモデル

表1 制御因子の寸法値

記号	制御因子名	水準1	水準2	水準3
A	直径	0	-3	-
B	ボルト穴径(出口側)	0	1.5	3
C	ボルト穴径(入口側)	0	1.5	3
D	本数	16	14	12
E	フランジ長さ	0	-5	-10
F	小径テーパ長さ	0	-5	-10
G	大径テーパ長さ	0	5	10
H	大径テーパ直径	0	5	10

2.3 L18 直交表

表2は本研究にて作製したL18 直交表を示しており、2水準を1つ、3水準を7つとした制御因子を設定し

て合計8つの制御因子により評価する。L18 直交表は総当たり 4374 通りの組み合わせの実験に対して、18 回の実験を実施して最もSN比が良くなる最適条件を推定する。本研究において L18 直交表は Microsoft Office 2019 Excelを用いて作製されている。番号は表1に示すように、各制御因子の水準に対応して示しており、各制御因子の水準を用いて 18 通りの配管流路の形状を決定している。例えば実験No.10の組み合わせの際の形状を図4に示す。

表2 L18 直交表

実験 No.	制御因子							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

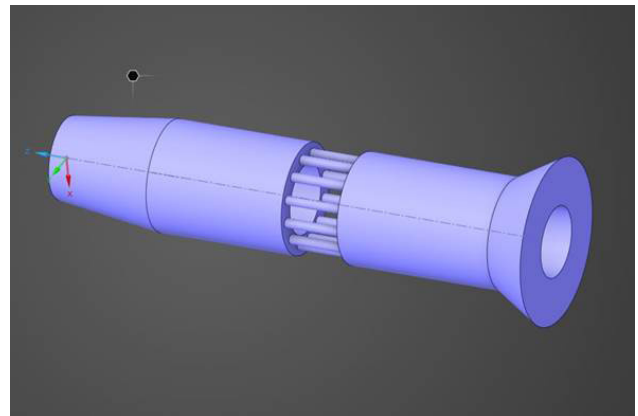


図4 実験No.10のモデル形状

2.4 設計パラメータの評価処理ソフトウェアの機能

図5は設計パラメータの評価処理ソフトウェアの機能が示されている。当該ソフトウェアを実行することにより、L18 直交表により選別した寸法値を用いて作成された設計対象モデルのシミュレーション結果をExcel ファイルから採取して、その18通りの数値データからSN比、傾き、感度の算出、及び要因効果図を作成する。

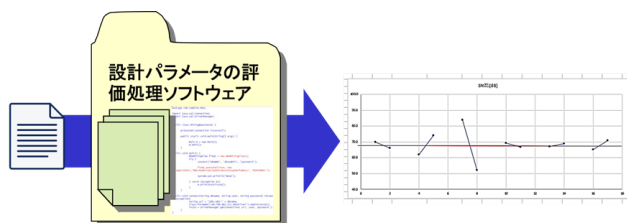


図5 設計パラメータの評価処理ソフトウェアの機能

2. 5 実験方法

図6は本研究におけるシミュレーション省力化システムのダイアグラムを示しており、Microsoft Office 2019 Excel、3次元デジタル形状作成ソフトウェア、シミュレーションを用いた性能評価ソフトウェア、Ansys Workbench(Ver. 2021R2)、Visual Studio 2019、設計パラメータの評価処理ソフトウェアから構成している。

Microsoft Office 2019 Excel には L18 直交表により選別された設計パラメータである各寸法値とノイズ因子である境界条件の各数値が入力されている。3次元デジタル形状作成ソフトウェアは図7に示すように、当該ソフトウェアを実行することにより、初期形状として予め用意した3次元デジタル形状の寸法値を変更して所望の形状を作成する。当該ソフトウェアは本年度においては前述したように Ansys Discovery(Ver 2021R2)を用いて開発しており、制御因子となる形状の寸法値をパラメータ化している。シミュレーションを用いた性能評価ソフトウェアは図8に示すように、当該ソフトウェアを実行することにより、対象の3次元デジタル形状に対してメッシュ作成、境界条件の付与、計算、計算結果の保存までの処理を自動で実施する。本研究においては信号因子、ノイズ因子を入力することとなる境界条件と計算結果の値をパラメータ化している。当該3次元デジタル形状作成ソフトウェアとシミュレーションを用いた性能評価ソフトウェアは、フレームワークである Ansys Workbench 上の要素アプリケーションとして作動する。

当該シミュレーション省力化システムの手順は初期の3次元デジタル形状を作成して、その形状におけるメッシュ作成、境界条件の付与、計算、計算結果の保存を予め実施する必要がある。変更する形状の寸法、境界条件、計算結果を図9に示すようにパラメータ化しており、特定の名前が付けられテーブルに表示される。当該テーブル上の数値を変更して再度読み込ませ

ることにより変更した寸法値が形状に反映された後、メッシュ作成、境界条件の付与、計算が実施され、計算結果となるパラメータ値も変更される。

当該シミュレーション省力化システムの初期計算後の動作を図10のフローチャートに示す。Visual Studio 2019 を用いてプログラムを実行することにより、Excel に入力されている L18 直交表により選別された寸法値と境界条件の数値を取得後、3次元デジタル形状作成ソフトウェアの機能により形状が変更され、シミュレーションを用いた性能評価ソフトウェアの機能により計算結果が保存される。当該計算を所望の回数実施した後、設計パラメータの評価処理ソフトウェアの機能により要因効果図が作成される。

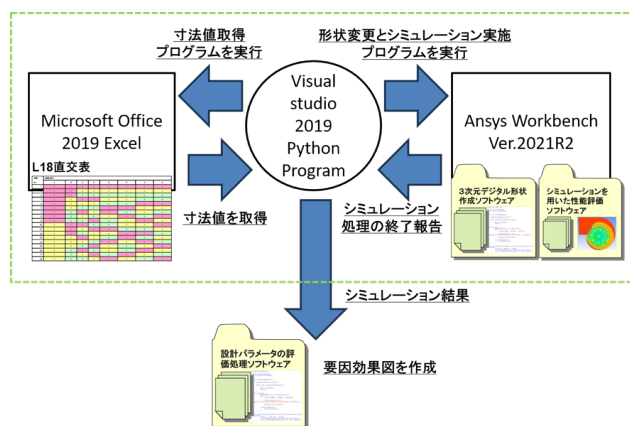


図6 シミュレーション省力化システムのダイアグラム



図7 3次元デジタル形状作成ソフトウェア

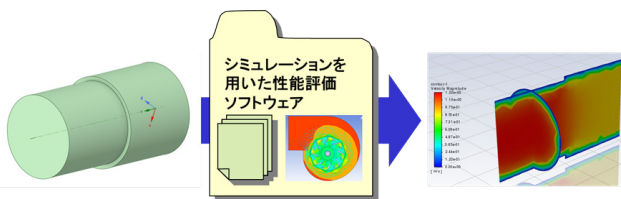


図8 シミュレーションを用いた性能評価ソフトウェア

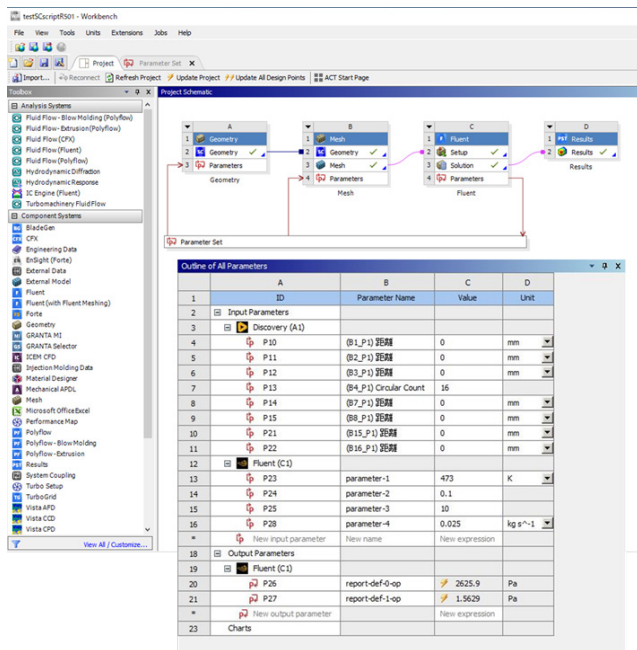


図9 各条件のパラメータ化

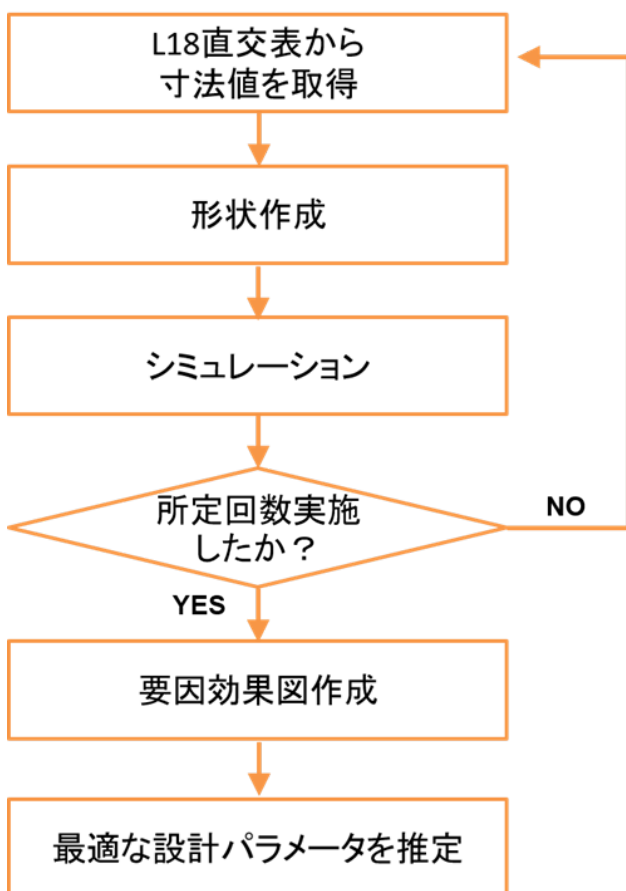


図10 シミュレーション省力化システムのフローチャート

2. 4 実験結果

シミュレーション省力化システムの構成と機能を用いて、ノイズ因子は表3に示す3因子2水準として図10に示すフローチャートの処理を実施した。計算の組み合わせはノイズ因子を表4に示すL4直交表を用いて選別するため、寸法値のパターン数:18通りかけるノイズ因子のパターン数:4通りで信号因子1パターンにつき78通りとなる。当該78通りの計算結果を得て図11と図12に示す要因効果図を得るまでに要した時間は約8時間であった。本研究におけるシミュレーション省力化システムはVisual Studio 2019のPythonを開発環境として開発している[7][8]。

表3 ノイズ因子の項目と水準

因子	水準	
	水準1	水準2 (現状)
温度	473	293
乱流強度	0.1	0.04
乱流粘性比	10	4

表4 L4直交表

	N1	N2	N3	N4
P	1	1	2	2
Q	1	2	1	2
R	1	2	2	1

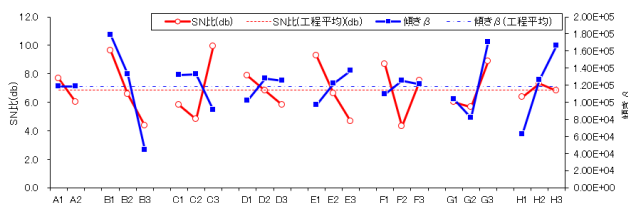


図11 要因効果図 (SN比と傾き)

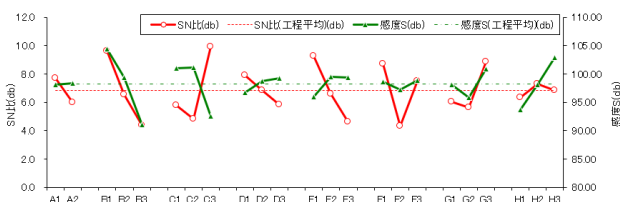


図12 要因効果図 (SN比と感度)

3. 考察

Visual Studio 2019のPythonを開発環境として3次元デジタル形状作成ソフトウェア、シミュレーションを用いた性能評価ソフトウェア、設計パラメータの評価処理ソフトウェアを組合せたシミュレーション省力化システムを開発した。信号因子:1パターン、ノ

イズ因子：3パターン、制御因子：8パターンとして、ノイズ因子をL4直交表、制御因子をL18直交表により選別した78通りの計算を実施して要因効果図を作成するまでに要する時間は約8時間であった。配管の流路設計において形状を絞り込むまでに要する工数は3日間程であり約33%の工数削減となった。シミュレーション省力化システムの処理時間は使用するパーソナルコンピュータの性能に依存するが省力化の効果指標として測定した。

4. 結言

本研究の成果について以下に要約する。

- 1) 開発したシミュレーション省力化システムはMicrosoft Office 2019 Excel、Ansys Workbench (Ver. 2021R2)、Visual Studio 2019 を用いて実行されるプログラムを構成として形状寸法をパラメータとするパラメトリックスタディが可能であった。
- 2) 3次元デジタル形状作成ソフトウェアの機能によりExcelに所望の寸法値を入力することで形状を変更でき手作業と比較して効率的であった。
- 3) 品質工学に基づいた要因効果図を用いて最適な設計パラメータ候補を効率的に絞り込むことができ、設計品質向上に向けた支援方法として有効性がある。

令和3年度から令和5年度にかけて研究開発したシミュレーション省力化システムは、地場企業との共同技術開発などの技術支援に活用している。

謝辞

本研究事業を推進するにあたり、株式会社ツバキ・ナカシマ世知原工場の古田浩之課長と中西商事株式会社長崎営業所の福田幸作課長から多大なるご協力とご支援を頂いた。

参考文献

- [1] 山田：シミュレーションと数値計算の基礎、共立出版株式会社、2018. 9.
- [2] 高橋：CAD/CAM/CAE/CP 概論、鋳造工学、Vol. 86, No. 2, pp. 170-175, 2014.
- [3] 吉本：有限要素法解析ソフト Ansys 工学解析入門 第3版、株式会社オーム社、2020. 10.
- [4] 入江：設計パラメータを用いたシミュレーション

省力化システムの開発、長崎県工業技術センター研究報告、No. 51, pp. 41-42, 2022. 11.

- [5] 入江：設計パラメータを用いたシミュレーション省力化システムの開発、長崎県工業技術センター研究報告、No. 52, pp. 42-44, 2023. 11.
- [6] 矢野：はじめての品質工学、(一財)日本規格協会、2006. 2.
- [7] 保科：Visual Studio パーフェクトガイド、株式会社技術評論社、2019. 7.
- [8] 中嶋：Python でExcel、メール、Web を自動化する本、SB クリエイティブ株式会社、2021. 9.