

# モノづくりを牽引するシミュレーション技術

Simulation Technology in the Vanguard of "mono-dzukuri": Manufacturing/Production

高田 久\* 小野 剛\* 藤井 義則\*  
Hisashi TAKATA Takeshi ONO Yoshinori FUJII

## 要旨

開発効率を向上するための基盤技術の重要性は益々高まってきている。我々は、コニカミノルタグループ内で、基盤技術の一つであるシミュレーション技術の活用推進を図っている。

シミュレーション技術は大別して、

- 1) 新規構成/デバイスの駆動原理等の理論背景の把握
- 2) 試作の方向性を事前予測
- 3) 測定困難な実験の補足

に分類できると考えている。

これまでの社内ニーズから構造解析、熱/流体解析、電磁場解析、等価回路解析、化学解析、メソスケール解析等の技術を保有している。

今回、情報機器分野における以下2つの適用事例を紹介し、シミュレーション技術の有効性を説明する。

- 1) 現像剤の生産性向上に取組み、現行に比べて1.5倍の生産能率アップを実現した。
- 2) 外装材に添加する難燃剤の分散安定性予測に取り組み、開発工数およびコスト削減に貢献した。

## Abstract

Basic technologies to improve efficiency of development have become increasingly important. In Konica Minolta, we have been promoting practical use of a simulation technology, which is one of the basic technologies.

The simulation technologies are thought to be divided broadly into three categories:

- 1) Fully understanding theoretical backgrounds such as the driving principle of a new constitution and devices,
- 2) Forecasting a course of action for prototypes, and
- 3) To complement experiments in which measurements are difficult

Based on Konica Minolta's needs so far, we have technologies such as structure analysis, heat/fluid analysis, electromagnetic field analysis, equivalent circuit analysis, chemical simulation and mesoscale simulation.

In this report, we introduce the following two examples in which our simulations are applied, and describe the effectiveness of the simulation technology:

- 1) We worked on production improvement of developer, and achieved an improvement of the production efficiency by a factor of 1.5.
- 2) We worked on prediction of dispersion stability of a flame retardant which was contained in the enclosure cover, which contributed to reductions of cost and development man-hours.

\* コニカミノルタテクノロジーセンター(株)  
システム技術研究所 シミュレーション技術室

## 1 はじめに

総論にも述べられているように、コニカミノルタグループの成長のエンジンとなる「コア技術」を下支えする横串の基盤技術の重要性は益々高まってきている。開発期間を短縮するあるいは開発の質を向上するという「開発効率の向上」は今やモノづくりを牽引する必須技術と言っても過言ではない。その中で我々は、基盤技術の一つであるシミュレーション技術をコニカミノルタグループ内で有効活用を図るという機能を担っている。

ここで「シミュレーション技術」は、コンピュータ上に構築したモデルを用いて仮想試作/仮想実験を行うことと定義し、CAE (Computer Aided Engineering) 技術と同意語として捉えている。

コニカミノルタグループ内で有効活用を図るため、以下の2つを柱として推し進めている。

- 1) 新規シミュレーション技術の先行開発/導入
- 2) シミュレーション技術を必要とする部署への技術サービス提供による適用拡大/事業化貢献

本稿では、我々の保有技術および適用事例の紹介を通じてシミュレーション技術の有効性を説明する。

## 2 シミュレーション技術の概要

シミュレーション技術活用の目的は「開発効率の向上」に集約できるが、さらにブレイクダウンすると以下の3つに大別できると考えている。

- 1) 新規構成/デバイスの駆動原理等の理論背景の把握：過去に取り扱ったことのない構成や複数の原理を融合させた場合、系として成立するかを予測/判断する。
- 2) 試作の方向性を事前予測: 試作および実験前にシミュレーションを行って試作する価値があるか、あるいはどうすれば目的(仕様)を満足することができるか、を予測する。
- 3) 測定困難な実験の補足：一般的に実験で測定できる回数、部位は時間的コスト的制約によって限られる場合が多い。またマイクロデバイスの過渡現象、化学反応等、現実問題として直接測定できないものもある。一部でも測定できた結果とシミュレーション結果を突き合わせて相関をとることが出来れば、よ

り有用な情報を得ることができる。

### 3 保有しているシミュレーション技術

現在、当室では以下のシミュレーション技術および関連技術を保有している。

- 1) 構造解析：主に構造物の変形，応力状態を計算する。静的線形計算および大変形，非線形，過渡応答，振動，落下/衝撃，圧電素子解析。
- 2) 熱/流体解析：自由表面を伴う流体解析および流れを考慮した伝熱解析，樹脂流動解析。
- 3) 電磁場解析：電界解析，磁場解析およびそれらの連成解析。
- 4) 等価回路解析：電気特性，機械特性，音響特性等を等価な回路に置き換えたシステムシミュレーション。
- 5) 化学解析：分子力学法，分子動力学法，分子軌道法，モンテカルロ法。
- 6) メソスケール解析：粗視化分子動力学，レオロジー，高分子材料の相溶性。

さらに大規模あるいは複雑なモデルの計算を複数のPCで並列化処理を行うPCクラスターシステムを構築して活用している。

### 4 有効活用

我々はシミュレーションの対象となるモノの大きさと手法の違いにより，便宜上「マクロ系シミュレーション」と「ミクロ系シミュレーション」に大別して活用を進めている。前章のシミュレーション技術の中では下記に大別される。

- 1), 2), 3), 4)・・・マクロ系シミュレーション
- 5), 6)・・・ミクロ系シミュレーション

以下，それぞれの適用事例を紹介する。

#### 4.1 マクロ系シミュレーションの適用事例

マクロ系シミュレーションとは現象を連続体としてモデル化するシミュレーションであり，具体的には差分法，有限要素法，境界要素法等の計算手法である。

コニカミノルタでは，電子写真方式の複写機/プリンター用現像剤の生産性向上のため，装置の最適化を検討している。量産装置を止めて検討を行うのは困難という状況の中，多数の改良案からベストな形状や条件を見出すために品質工学とシミュレーションを融合させて活用した。

具体的には，ボトルネックである粉体の攪拌・混合工程をシミュレーションで検討することに決めたが，多く

の粒子を忠実にモデル化して計算することは実際の計算環境では不可能である。そこで空気を多量に含んでいることから，流体として取扱うことができるという仮説をたてて流体解析を実施した。Fig.1 に計算モデルの一例を示す。

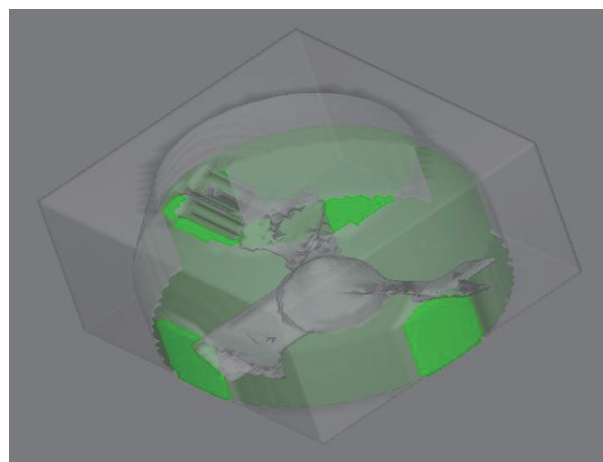


Fig.1 Calculation model

攪拌・混合の効率の指標は色々提案されているが，未だ定説は無いようである。今回は粘性抵抗で発生する温度分布を品質工学のSN比，感度で評価した。Fig.2 にSN比の要因効果図，Fig.3 に感度の要因効果図を示す。

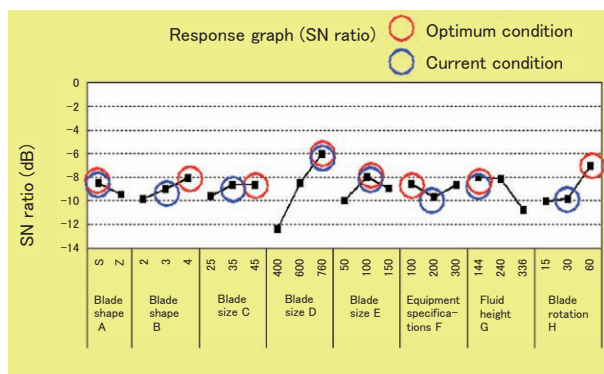


Fig.2 Calculation results (SN ratio)

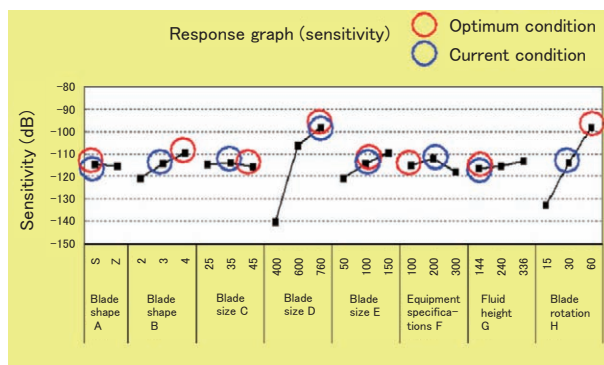


Fig.3 Calculation results (sensitivity)

これらの結果からSN比の高い条件を選んで感度を確認すると、攪拌羽寸法Dおよび攪拌羽回転数Hの2因子が、改善に対する寄与が大きいことを見出した。確認計算の結果をTable 1に示す。

Table 1 Calculation results (dB)

	SN ratio		Sensitivity	
	Prediction	Confirmation	Prediction	Confirmation
Optimum condition	-0.02	-3.42	-77.4	-83.7
Current condition	-5.02	-6.5	-91.8	-97.3
Gain	5	3.08	14.4	13.6

Fig.4, Fig.5 に計算結果例として現行条件および最適条件での温度分布+速度ベクトル図を示す。

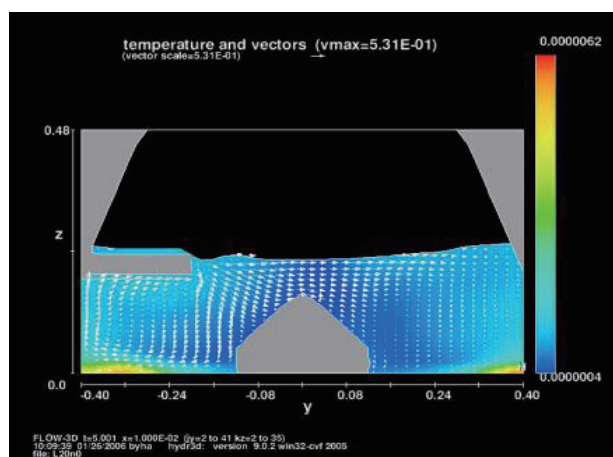


Fig.4 Temperature distribution caused by shear heating and velocity vector under the current conditions

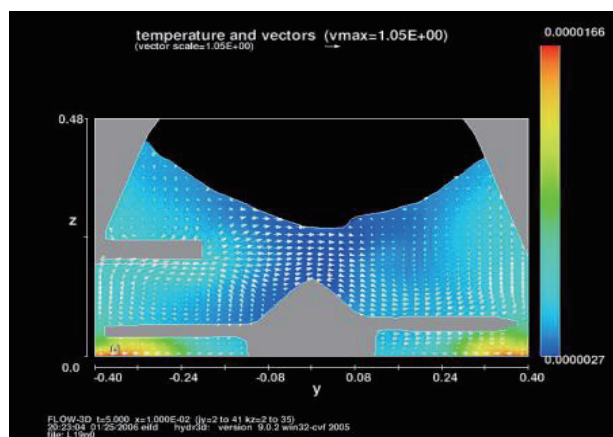


Fig.5 Temperature distribution caused by shear heating and velocity vector under the optimum conditions

最適条件では現行条件に比べて液量が増えるとともに温度の高い部分が多くなり、良く攪拌されていることがわかる。これらの結果から、以下の知見が得られた。

- 1) 最適条件では攪拌の場所によるバラツキを現行同等に維持しながらSN比：3dB、感度：13dBの向上ができた。
- 2) 攪拌能率を上げるには、羽は長くかつ大きくするとともに枚数は多くする。さらに回転速度は速くかつ仕込み量が多いほうが良い。
- 3) 一方、羽形状および角度は攪拌能率、温度バラツキともにあまり効果がない。
- 4) 仕込み量を増やしても温度バラツキ、SN比ともに影響は小さいが悪化の方向なので、実機適用においては中心上部と端下部の粉体の一様性の確認が必要。

以上の検討結果から運転条件を見直し、実際の製造工程にフィードバックしたところ、現行に比べて1.5倍の能率で生産できるようになった<sup>1)</sup>。

## 4.2 ミクロ系シミュレーションの適用事例

材料開発は実験に頼るところが大きく、多大な時間と労力を費やしているのが現状であるが、実験に先立ってシミュレーションを行えば、合成・測定の工数、コストの削減につながる。

ミクロ系シミュレーション分野では、分子力学法、分子動力学法、分子軌道法といった原子レベルのツールや、もう少し大きな現象を扱うメソスケールのツールを使って、主に高分子材料の物性予測を行っている。

メソスケールとはpm～mmの領域で、構造・流体解析で扱う大きさと原子レベルとの間のスケールをいう。相分離、レオロジーといった高分子特有の現象・物性を把握するには大変重要な領域であり、近年、材料科学の分野で注目され、評価装置の開発も進み、活発な研究が行われている。

コニカミノルタでは、複写機の開発・生産を行っており、その外装材には高い難燃性を有するPC/ABSやPC/PS等のポリマーアロイが用いられている。このような材料では、添加剤の分散安定性が悪いと射出成形時の樹脂流動が不安定になり、高分子高次構造が不均一となる。その結果として外観不良やウェルド部の強度低下という品質問題が発生することとなる。

例えば、Fig.6 に示すようにPC/PSでは樹脂流動が不安定になった結果、ポイドやウェルドラインの発生が観測されている。また、Fig.7 に示すようにPC/ABSでは強度が低いために電子顕微鏡用試料作成時にウェルドラインに沿ってひび割れが見られた。

一方、可燃性樹脂の難燃性を高めるためには難燃剤を添加するが、樹脂メーカーでは環境問題（例えばRoHS）への対応から臭素系難燃剤を置き換える動きがある。

このような動向の中で、臭素系に次いで難燃効果の高いリン含有難燃剤（ここではリン酸エステル系難燃剤）

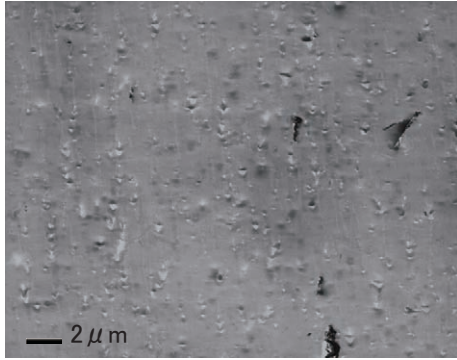


Fig.6 TEM image of voids and weld lines on the surface of the molded PC/PS

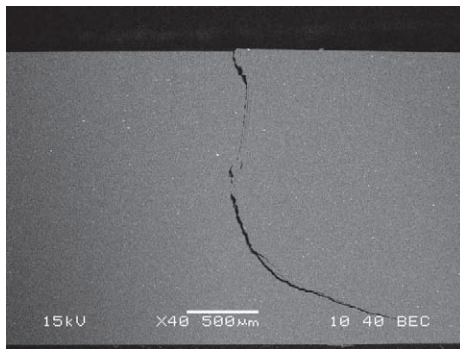


Fig.7 Crack in the weld line in PC/ABS

に置換した場合の分散安定性（相溶性）について、二元系ポリマーアロイに難燃剤を添加したPC/PS/難燃剤系で検討した。

分散安定性の評価は、各樹脂相における難燃剤量の差で行った。Fig.8 に計算結果の一例を、Fig.9 に評価結果を示す。

上記結果より、分子構造により分散安定性が異なることが明らかである。樹脂中に均一分散しやすいという観

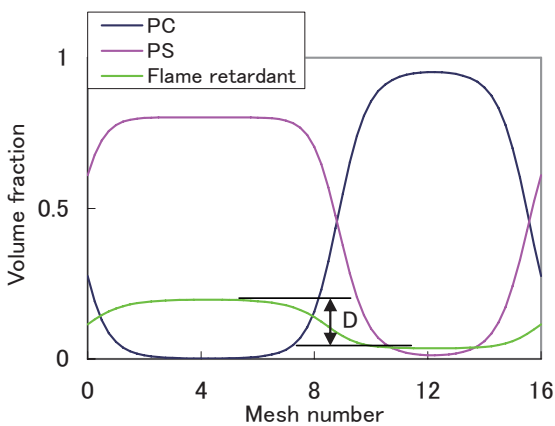


Fig.8 The simulated distribution of the volume fraction in the phase-separated PC/PS/flame retardant composite

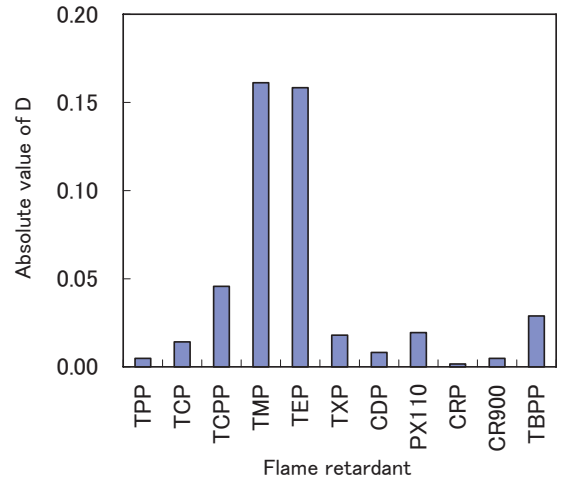


Fig.9 The quantity difference (D) of flame retardant between the respective resins, PC and PS

点で難燃剤種の順位付けを行い分散安定性が高い難燃剤を選択して使用すれば、少量で高い難燃効果が予想される。また、分散安定性が高いとブリードアウトや樹脂流動状態での相分離がないためウェルド部の物性変化を低減できる可能性があり、より高品質な外装材を安定して生産できることが期待される。

このように難燃剤種を選択にシミュレーションを活用し、実験にフィードバックすることで、工数およびコストの削減が可能となった。

今回は単純な2成分ポリマー+添加剤の例を示したが、濃度依存や温度依存、複数のポリマーや溶媒等が存在する系などの検討も可能である。さらに2次元、3次元解析による高次構造の予測も行うことで、材料選定時の指針として有用な情報であると考え、他の系へも積極的に展開中である。

## 5 おわりに

本稿では当室が実施した事例の一部を紹介した。コンカミノルタグループ全体を見ると、各テーマや製品特有のシミュレーション技術は多く存在しており、活用機会は益々増え続けている。

しかし、現在保有しているシミュレーション技術だけでは解決できない課題が数多く存在するのも現実であり、他の基盤技術/部署/人材と連携して課題解決能力の向上を図っていく必要がある。

### ●参考文献

- 1) 新谷雄二, 小野剛, 芝野広志 「コンピューターシミュレーションによる微粒子加工技術の開発」, 品質工学研究発表大会論文集, 2007, 15巻, 38-41頁