

## MFPでの1DCAEによる上流開発プロセスの効率化

Application of 1DCAE to Improve Efficiency of Early Design Processes for MFPs

鈴木 康裕 SUZUKI Yasuhiro 鎌野 忠雄 KAMANO Tadao 小島 隆宏 KOJIMA Takahiro

近年、リテール・プリンティング事業では、製品への要求仕様の複雑化に対応して、多種多様なラインアップの製品を、タイムリーにユーザーに提供することが求められている。

東芝テック(株)は、MFP (Multifunctional Peripherals : 複合機) のレーザー露光装置の開発に革新的な設計プロセスを導入し、開發生産性の向上を図っている。設計プロセスの上流で、製品を機能ベースで表現し、評価解析により全体適正設計を可能にする設計支援ツール1DCAEを導入した。これにより、光学の専門家でなくても、構想検討段階において、容易かつ短時間で露光位置ずれを定量的に判断できるようになった。様々な条件で設計の成立性を評価でき、開發生産性の向上と設計品質の確保が可能になった。

The expanding complexity of requirement specifications for retail and printing products in recent years has made the timely provision of a diverse lineup of products indispensable in order to satisfy the needs of individual users.

Toshiba Tec Corporation has been actively focusing on the improvement of design productivity through the introduction of innovative design processes to the development of laser exposure equipment for multifunctional peripherals (MFPs). We have applied the 1DCAE design framework, in which equipment is divided into functional units and the feasibility of a design is demonstrated using these functional units, to the early design processes for laser exposure equipment, thereby allowing even an inexperienced optical engineer to swiftly perform quantitative evaluation of laser exposure positions according to the misalignment of optical parts. 1DCAE makes it possible to improve design productivity and ensure design quality based on evaluations under various conditions.

### 1. まえがき

東芝テック(株)は、タイムリーかつ高品質な製品・サービスを顧客に提供するため、製品開発の上流段階で積極的にシミュレーション技術を導入している。これまでにCADデータを活用したCAE (Computer Aided Engineering) を製品開発に取り入れ、設計品質の向上に役立ててきた。近年は、設計の成立性を、製品開発のより上流で把握することによって、後戻りのない開発を実現し、更なる生産性向上を目指している。

構想検討段階のように部品の詳細形状が未確定な状態で、数値的根拠に基づく詳細設計の前に、早期に設計の成立性を評価して技術のメカニズムを解明するために、1DCAE手法を適用している。

ここでは、製品開発に1DCAEを導入し、設計プロセスを効率化した事例について述べる。

### 2. 1DCAEの特徴

#### 2.1 1DCAEの概要

1DCAEとは、CADで詳細形状を設計する前の構想検討

段階で、設計対象の製品やシステムを機能ベースで表現し、システム全体の性能を評価する解析手法、ツールであり、1Dは特に1次元の意味ではない。製品やシステムに関わる機能を簡素化して表現する手法として<sup>(1)</sup>、着目した機能を数式モデルとして構築するため、CADデータを活用したCAEと比較して短時間で計算結果が得られる。また、抽象化したモデルを扱うため、熱・構造・流体・電磁気・制御などのモデルを一つのツールで連成させることができ、複数分野をまたいだ検証ができる。

#### 2.2 1DCAEによるメカニズム解明

1DCAEモデルの構築は、一般に、①技術ばらし、②ブロック図作成、③モデル化、のステップで行われる。

技術ばらしは、製品に関わる要求・機能・実現手段を抜け漏れなく抽出し、全体を俯瞰(ふかん)した状態で、相互の関連性を可視化したものである。技術ばらしで抽出した機能について、機能間で関係する物理量と、それぞれの機能の関係を図で表したものがブロック図であり、各ブロック間を物理量の関係式で結ぶことで1DCAEモデルを構築する。

これらのステップを実施することで、設計対象に関する要求・機能・実現手段の関係が明確になり、要求仕様を満

たすための設計条件や、ばらつきの許容範囲、誤差因子の寄与度などが論理的に解明できるようになる。このように、設計の上流段階でメカニズムを解明し、事前に設計の成立性を評価することで、開発の後戻りを減らすことができる。

### 3. MFPへの適用事例

MFPに搭載されるレーザー露光装置は、印刷品質のキーとなるユニットである。印刷品質を確保するために、ユニットを構成する部品には、高い位置精度が要求される。そこで、印刷品質と部品の位置精度との関係を、設計初期段階で定量的に把握するため、レーザー露光装置ユニットの設計に1DCAE手法を導入した。

#### 3.1 電子写真方式の概要

書類の印刷やコピーを行うMFPやプリンターには、多くの場合、電子写真方式が用いられる。電子写真方式の基本的なプロセスを図1に示す。

電子写真方式では、感光体という円筒状の部品を回転させて、その表面に次々と画像を形成していくことで、用紙への連続印刷を可能としている。感光体が1回転するごとに、帯電、露光、現像、転写、クリーニング、除電という工程を繰り返す。

感光体は、表面が光導電体でコーティングされた金属円筒であり、帯電工程で、その表面を静電気で均一に帯電させる。次に、レーザー露光方式の場合、感光体の表面にレーザー光をオン/オフしながら照射することで、静電的に画像データの書き込みを行い、静電潜像と呼ばれる画像を形成する。これが露光工程である。

静電潜像は目に見えないが、現像の工程でトナーを付着させることで、静電潜像が目に見える画像となる。そして、感光体に付着させたトナーを用紙に転写し、圧力と熱を加え

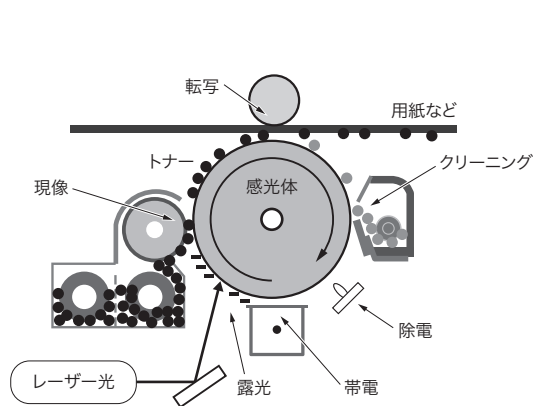


図1. 基本的な電子写真プロセスの模式図

複数の工程を経て、回転する感光体の表面に画像が形成され、その中の露光工程でレーザー露光装置が用いられる。

Schematic diagram showing electrophotographic process

て定着させることで、印刷物が出力される。用紙に転写されなかったトナーは、クリーニング工程で除去し、除電工程を経て、再び帯電工程に進む。

#### 3.2 レーザー露光装置の概要

レーザー露光装置は、図2に示すように、レーザー光を高速で回転する多面ミラーに反射させることで、感光体表面を走査し、画像を書き込んでいく。例えば、600 dpi (ドット/in) の解像度では、1画素が約42 μmと超微細になる。したがって、高解像度で画像を書き込むために、レーザー光を複数の光学部品に通すことで、細く絞り込む。

カラー印刷の場合、カラー画像データを4色に色分解し、4本のレーザー光で4本の感光体に各色の画像を形成した後、それらを重ね合わせることでカラー画像を印刷する(図3)。高精細なカラー画像を印刷するには、4色の画像を正確な位置に形成する必要がある。光学部品の僅かな位

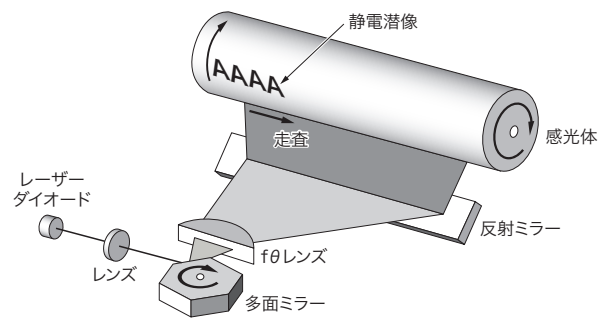


図2. レーザー走査による画像形成

複数のレンズでレーザー光を細く絞り込み、回転する多面ミラーにより感光体表面を走査することで、画像を書き込む。

Image formation by laser scanning

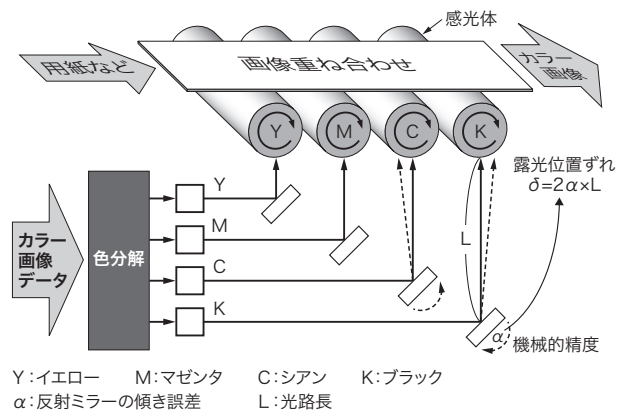


図3. カラー画像と露光位置ずれ

4色の画像を正確な位置に露光し、高精細なカラー画像を実現するには、光学部品の位置精度が重要である。

Dependence of color image on exposure position accuracy

置誤差が大きな露光位置ずれとなるため、レーザー露光装置では部品の位置精度が非常に重要である。

### 3.3 レーザー露光装置の設計課題

レーザー露光装置の開発では、最初に光学系の基本設計を行う。光学専門の技術者が光学専用シミュレーションのソフトウェアを使用し、レンズ設計や3D空間の光線追跡に加え、波動光学的解析も行い、レーザー光をどのように感光体へ照射するかを決定する。

次に行われるのが光学系の機構設計である。複数の反射ミラーで折り返されたレーザー光をユニット内部にコンパクトに収めつつ、部品の位置精度が、組立誤差によって低下したり、温度変化や振動などによって変動したりしても、安定した性能を発揮するように、レーザー露光装置全体の構造を機構設計者が決定する。

これらの位置精度の低下や変動の影響を光学専用シミュレーションで解析するには、数多くの部品に対する複数因子の影響を、何パターンも条件を変えながら計算させる必要があり、時間的・工数的に極めて困難である。このため、従来の開発では試作機を用いた評価で、課題を抽出して対策することが多く、後戻り設計が発生するリスクがあった。

## 4. レーザー露光装置への1DCAEの適用

レーザー露光装置の設計で、部品位置精度と露光位置ずれの関係を明らかにすると同時に、機構設計者自身が光学的検討を容易に短時間で行えるようにすることを目指し、メカニズムの解明と1DCAEモデル化を実施した。

### 4.1 1DCAEモデル化

レーザー露光装置の機能を整理したものを図4に示す。レーザー光は、光源(レーザーダイオード)と感光体を含め

ると、1色で17個もの光学部品を通過する。これらを機能で分類すると、次の6種類となる。

- (1) 光源：1個
- (2) レンズ：4個
- (3) 絞り：1個
- (4) 透過ガラス：3個
- (5) 反射ミラー：7個
- (6) 感光体：1個

レーザー光は、これらの光学部品を通過して感光体の所定の位置に照射されるが、各光学部品の僅かな位置誤差が、レーザー光のずれとして積み重なり、最終的に大きな露光位置ずれとなる。

そこで、これら6種類の光学部品に共通する二つの特性(機能)である“レーザー光のずれを伝達する”、“位置誤差をレーザー光のずれに変換する”に着目し、光源から感光体までの光路における露光位置ずれのメカニズム解明を実施した。光学部品の位置誤差をパラメーターとして、入射レーザー光のずれが入力、出射レーザー光のずれが出力となるように、6組の計算式を作成した。その際、対象をレーザー光のずれに絞ることで、幾何光学での微小変位を前提とした近似式の適用や、算出するずれの方向を平面投影に限定することなどにより、計算式を大幅に簡略化した。

このようにして定式化した計算式を、市販の1DCAEツールを用いてモデル化した結果、部品の位置誤差による露光位置ずれを瞬時に計算することが可能となった。

光学部品の位置誤差を同じ条件で与え、試験装置による測定と、光学シミュレーション、1DCAEモデルの三つの手法で得た露光位置ずれを比較した。その結果、実際の露光装置の精度(微小変位)の範囲で光学系の機構設計を行う

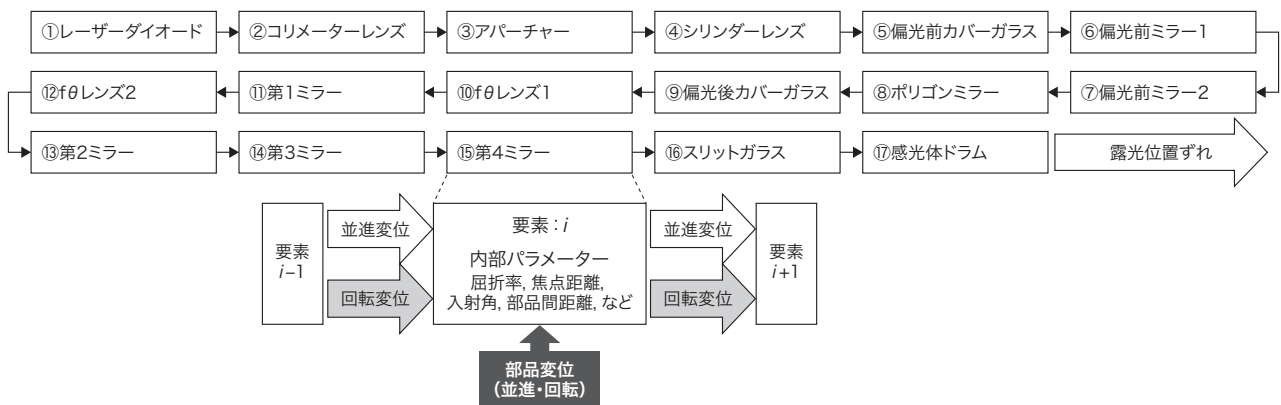


図4. レーザー露光装置の機能ばらしと定式化

光源から感光体に至る光路において、レーザー光のずれに着目し、レーザー光が通過する光学部品の機能を定式化した。

Functional breakdown and formulation of laser exposure equipment

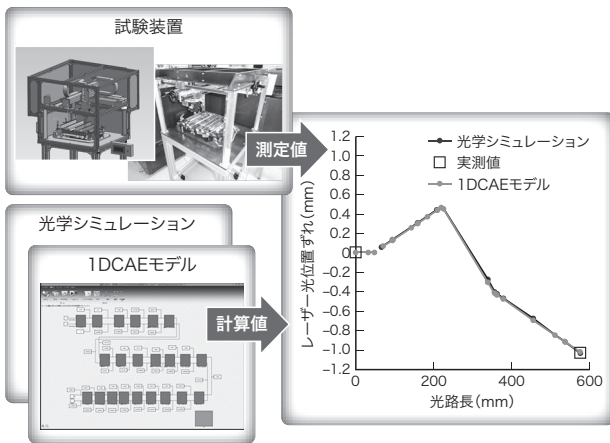


図5. 1DCAEモデルを用いたレーザー光位置ずれの検証

同じ条件で光学部品の位置誤差を定義し、光線の各部におけるレーザー光位置ずれを算出・比較した結果、1DCAEモデルが実用レベルの精度を持つことを確認した。

Results of validation tests on laser misalignment using 1DCAE model

場合、1DCAEモデルの解析結果が光学シミュレーションに大きく劣ることはなく、実用レベルの精度を持つことが確認できた(図5)。

#### 4.2 1DCAEモデル活用の効果

1DCAEモデルを利用することで、機構設計者自身が容易かつ短時間で露光位置ずれを定量的に判断できるようになった。部品の詳細形状が決まる前の段階で、様々な条件で露光位置ずれを検証できるため、開発の上流で、ロバスト性を考慮した設計品質の確保ができるようになった。

更に、光路途中のレーザー光は広がりを持っているので、測定による主光線の特定が困難であるが、1DCAEモデルでは、光路のどこで、どのようにレーザー光のずれが発生しているかが明確であるため、改善すべき部品・場所を速やかに特定できる。このため、各光学部品の寄与率算出により、精度を適切に割り付けて効率良い精度設計をすることも可能になった。

また、1DCAEモデルを構築する過程で、相互に複雑に影響を及ぼす光学部品の位置精度を機能ベースで論理的に表現したことで、技術知見を円滑に共有できるようになった。

#### 4.3 今後の1DCAEモデルの展開

この1DCAEモデルを活用すれば、MFPに加わる温度変化(外気温の変化や、モーター類の発熱による機体内の温度上昇など)や機体振動などによって引き起こされる外乱を組み合わせることで、露光位置ずれに与える影響を予測・分析することができる。例えば、熱解析や振動解析などの3Dシミュレーションモデルと1DCAEモデルを連成させ、温

度変化や機体振動による光学部品の微小変位を1DCAEモデルに入力することで、出力画像に与える影響を予測することも可能になる。

### 5. あとがき

1DCAEの活用により、構想検討の段階で性能評価を行い、数値的な根拠に基づいた設計が可能となった。計算時間が短いメリットを生かし、様々な条件での機能検証ができるので、実機による測定データに頼らずに、数式モデルを活用することで、机上で論理的に物理現象を確認できる。これにより、試作機を作っては検証するといった従来の手法から脱却し、数値的な根拠に基づいた設計方針の下、開発生産性を向上させると同時に品質を確保できるようになった。更に、1DCAEモデルを構築する過程で、技術者が物理現象を論理的に理解し、ベテラン技術者からの技術知見の継承が図れることも重要なポイントである。

今後は、1DCAEモデルの適用領域を拡大し、当社製品群への横展開を行うことで、更なる開発生産性の向上を目指していく。

### 文献

- (1) 大富浩一, 羽藤武宏, 1DCAEによるものづくりの革新. 東芝レビュー, 2012, 67, 7, p.7-10.



鈴木 康裕 SUZUKI Yasuhiro  
東芝テック(株) 商品・技術戦略企画部  
グローバルモノ創りセンター  
Toshiba Tec Corp.



鎌野 忠雄 KAMANO Tadao  
東芝テック(株) プリンティング・ソリューション事業本部  
ハードウェアデバイス技術部  
日本画像学会会員  
Toshiba Tec Corp.



小島 隆宏 KOJIMA Takahiro  
東芝テック(株) プリンティング・ソリューション事業本部  
ハードウェアデバイス技術部  
Toshiba Tec Corp.