

電子写真機器における熱解析

Thermal Analysis of Electrophotographic Machines

吉川涼子*

Yoshikawa, Ryoko

三輪正*

Miwa, Tadashi

In the last few years, CFD(Computational Fluid Dynamics) techniques have proved capable of simulating the complex air flows and heat-transfer processes within electrical systems. This report describes application of heat-transfer calculation and CFD techniques for solving thermal problems such as toner fusing process or temperature rise of original plate of optics section in electro photographic machines.

1はじめに

機器の小型・コンパクト化、デジタル化、高密度化とともに単位体積あたりの発熱量の増大や、省エネルギー機器の開発の要請などにより、機器開発に関する熱問題が近年特に関心を集めようになつた。一方、EWSの急速な発達と、そこで利用されるソフトウェアの進歩により、従来扱いが困難とされてきた熱流体問題、しかも複雑な機器の内部の現象を計算モデルとして取り扱えるようになってきた。

機器開発における熱問題は、機器の基本構成全体に関わることが多いにもかかわらず、問題の認識がなされるのは、開発の進んだ段階であることが多く、根本的解決のために大きな設計変更を実施する必要があったり、余分のコストを要するというようなことが多い。更に、開発期間短縮という観点から、製品設計の構想段階から並行して、熱問題の検討を展開することが望まれている。

本報においては、電子写真分野の機器設計で直面する熱問題に伝熱計算や、熱流体解析(CFD)コードによる数値計算を適用し、上記の考えにより製品設計の構想段階における検討を試みた事例について報告する。

2 電子写真関連の機器設計における伝熱計算

電子写真関連の機器設計の熱問題は、次のような特徴を持っている。

- (1) 発熱源は限られているが、定着ユニットの様に、熱を積極的に利用するものと、露光系ないし読み取り系のランプからの放熱のように、熱を本来利用せず機器自身の温度上昇を抑えることが求められるものとが混在している。
- (2) トナー、感光体の物性の温度依存性により、機内温度は数10度程度の比較的低温度領域でコントロールされることが求められる。
- (3) 限られた空間の中に各種のプロセス・ユニット、機構部品、PCBをはじめとする電気部品等々が高い

密度で配置されており、伝熱問題の対象としては複雑である。

これらのことから、一般的伝熱計算では限定された領域や、単純化されたモデルでの取り扱いにならざるを得ず、その結果も平均的な概略値を知るものしかなかった。一方、有限要素法などによる熱流体解析コードは種々のものが市販されているが、汎用のものは機器の全体あるいは広い領域についてモデル化を行うと要素数が膨大になるなどにより、機器設計に使いこなすには、実用的な計算時間の範囲を越えるというのが実状であった。ところが、ここ数年、電子機器に焦点を合わせた専用の解析コードが出現し、機器全体のモデル化も可能になり我々の開発環境は急速に変わりつつある。

次項から、電子写真の機器設計における代表的な伝熱計算の適用事例について説明する。

3 定着ニップ内のトナーおよび転写紙の加熱

熱伝導が支配的な現象の伝熱計算の事例として、定着のニップ内でのトナーおよび転写紙の温度上昇の現象を扱ったものを示す。

定着プロセス設計の過程では、トナーの粘弾性挙動をあらわす物性値とトナーおよび転写紙の実温度との対応が必要になること、また、特定の定着ユニットの実験情報を一般化し設計に有用な技術情報を得ることなどからトナーおよび転写紙の定着ニップ内の伝熱挙動をとらえることが望まれる。現実には、この部分の正確な温度測定は困難であるため数値計算が有効な手段となる。

この現象は、典型的な非定常熱伝導の問題のため、(1)式に示す1次元の熱伝導の基礎式を、前進型の差分方程式を用いて数値的に解いた。モデル化のための概念図をFig. 1に示す。対象とする領域を図の様に格子点に分割し、各格子点ごとに微少時間での温度変化を臨接する格子点から計算する。

* 情報機器事業本部 機器開発統括部第1開発センター

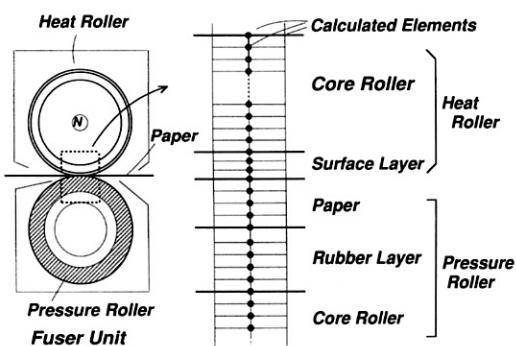


Fig. 1 Fuser Model for Analysis

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \cdots(1)$$

ここで、T: トナー、転写紙などの温度

τ : 時間

a: 温度伝導率

x: 厚さ方向の長さ

計算結果の一例を Fig. 2 に示す。設定温度に対し一時的ではあるが、定着ローラーの表面温度が低下している様子が認められる。

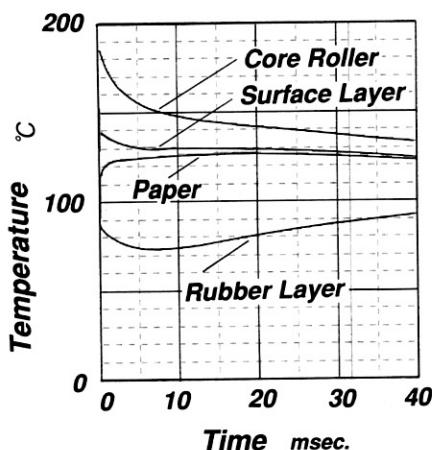


Fig. 2 Temperature Rise of Paper and Toner

した設定を行う必要がある。

対象とした露光ランプと原稿台ガラスをモデル化した図を Fig. 3 に示す。

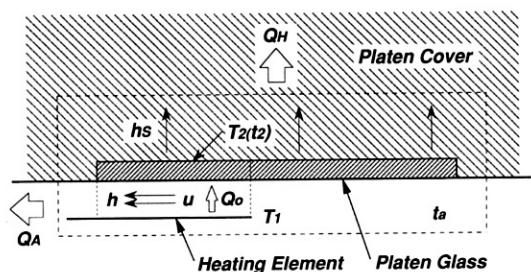


Fig. 3 Model for Heat-Transfer Calculation

露光ランプは単位時間当たり一定の発熱量をもつ発熱板におきかえ、ここから輻射伝熱により原稿台ガラスに熱移動が行われるものとする。また、光学ユニットに設けられたファンの強制対流により原稿台ガラスの冷却がおこなわれる。このモデル化により、以下の計算式が立てられる。

$$Q_1 = \varepsilon \cdot 4.88 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \cdot A_1 \quad \cdots(2)$$

$$Q_2 = \varepsilon \cdot 4.88 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot A_1 \cdot F_{12} \quad \cdots(3)$$

$$QA = h \cdot A_2 (t_2 - t_0) \quad \cdots(4) \quad QH = h_s \cdot A_2 (t_2 - t_0) \quad \cdots(5)$$

$$Q = \alpha \cdot Q_2 - (QA + QH) \quad \cdots(6) \quad \Delta T = \frac{Q}{C_V} \quad \cdots(7)$$

ここで用いた記号を次に示す。

Q1 : ランプ発熱量 (kcal) Q2 : 原稿台ガラスに伝わる輻射熱量 (kcal) T1 : ランプの見かけの温度 (°K) h : ファンの強制対流による空気とガラスの熱伝達率 (kcal/m² · hr · deg) hs : hと同じ次元をもつ原稿台ガラスから周囲の機械本体に拡散する熱量の総括的な熱通過率 (kcal/m² · hr · deg) ε : 原稿台ガラスの輻射率 A1 : 発熱面の有効面積 (m²) T2 : 原稿台ガラスの温度 (°K) F12 : 発熱面と原稿台ガラスとの形態係数 A2 : 原稿台ガラスの温度上昇にあずかる面積 (m²) QA : 機内の空気流れにより機外に排出される熱量 (kcal) QH : 原稿台ガラスから機械各部に拡散する熱量 (kcal) t2 : 原稿台ガラス温度 (°C) ta : 空気流の温度 (°C) t0 : 原稿台ガラス以外の機械温度 (°C) α : 発熱面の効率 cv : 原稿台ガラスの熱容量 (kcal/°C)

計算は、t2を求め、1 sec.ごとに原稿台ガラスの温度が定常値になるまで繰り返した。計算例を Fig. 4 に示すが、この中には実測値もプロットした。

4 連続コピーによる原稿台ガラスの温度上昇

アナログ複写機の連続運転による原稿台ガラスの温度上昇を対象として伝熱計算した事例を示す。原稿台ガラスの受ける熱量は、原稿サイズ、複写倍率、1分間あたりの複写枚数、ランプ光量、ランプの走査スピード、走査領域などの条件が様々に変化するため、条件ごとに大きく変化する。一方で、連続複写によっても機内温度、特に、原稿台ガラスの温度が規定温度以下とした設計をすることは製品設計の必須の条件である。このため、各倍率ごとの複写枚数は、連続複写の機内温度上昇を配慮

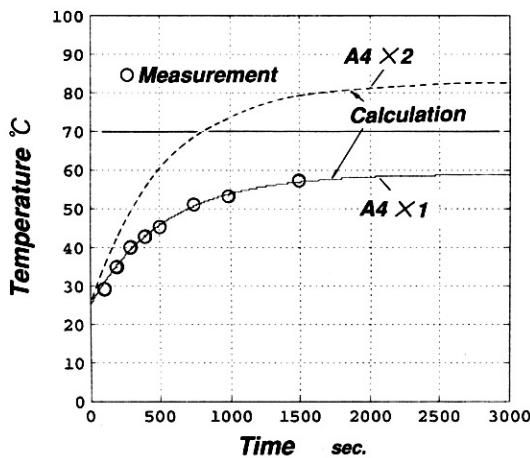


Fig. 4 Temperature Rise of Original Glass

このような計算により、機器の中で起こる問題を理解することができる。但し、上記の計算の中にはランプ効率など不確定要素が含まれており、それについても、実験結果との照合で効率などの係数を設定した。

上記の計算は、原稿台ガラスの平均的な、特定の1点についての結果であり、光学ユニット全体にわたる機内の空気流のパターンや、温度分布を詳細に知ることはできない。そこで次に、この問題に電子機器専用の熱流体解析コードを適用し、計算を行った事例を示す。

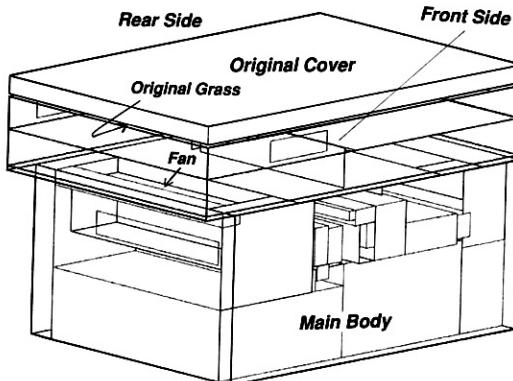


Fig. 5 CFD Model of Electrophotographic Copier Machine

Fig. 5 に本事例のために作成した CFD モデルを示す。光学ランプは走査領域の面積を有し、時間あたりの平均発熱量をもつ発熱面で置き換えてある。複写倍率ごとにランプの発熱量と、走査領域を変化させた条件で計算を行って、全体の傾向を調べた。光学ユニット内の空気流のパターンを空気の速度分布の計算結果と照合しながら CFD モデルの適正化をはかった。Fig. 6 は、適性なモデルにもとづいた空気の速度分布の計算結果を示している。また、同一の空気流れの条件のもとで行った温度分布の計算の一例

として A4 サイズ、等倍の場合の原稿台ガラスの温度分布を Fig. 7 に示す。

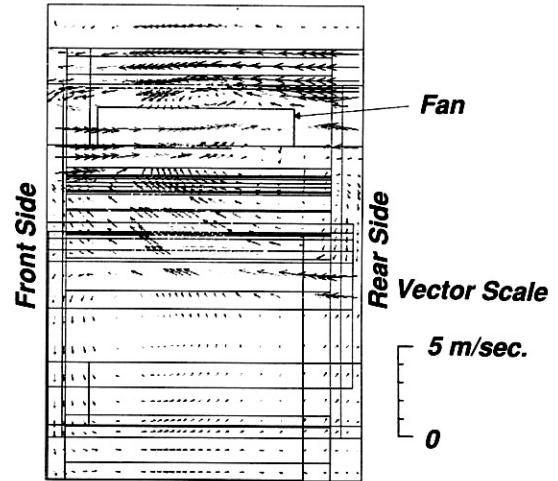


Fig. 6 Calculated Velocity Distribution

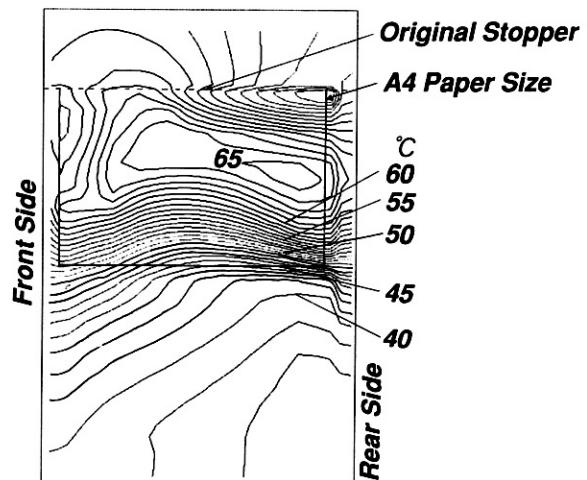


Fig. 7 Calculated Temperature Distribution

紙サイズ、倍率、複写速度を変えて計算したデータのみでは統一的な見方がむずかしいため、原稿台ガラスに流入する単位面積、単位時間あたりの熱量をあらわす Heat Flux (W/cm^2) を横軸に取り、到達温度を縦軸に取って整理すると Fig. 8 のように概ね直線関係がある傾向がよみとれる。Heat Flux が 0 のとき室温である 25°C という境界条件と、計算によるデータの分布の中心を通る代表的な直線を引くと、この図の中に示した実測値と良い一致を示している。

この結果より、原稿台ガラスの温度の上限値を与える Heat Flux 値を求め、この値以下の条件で複写速度を決めれば温度の規格を満足することがわかる。

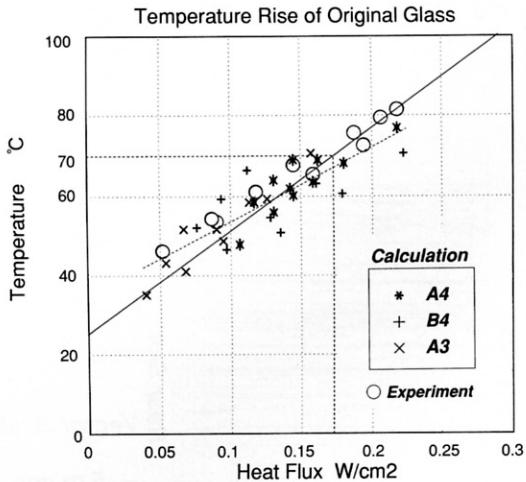


Fig. 8 Relation between Heat Flux and Maximum Temperature

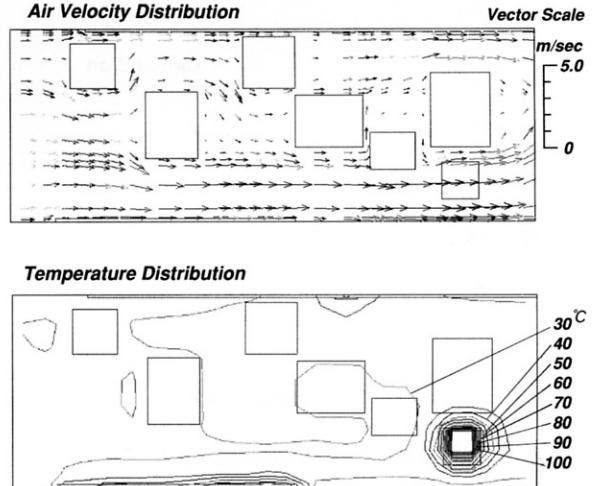


Fig. 10 Result of Calculation (Air Velocity and Temperature)

5 プリンターの DC 電源基板の冷却

DC 電源基板を枠体のなかに納め、ファンにより一様な流速の空気流を発生させ冷却する場合の冷却性能について CFD モデルで計算した事例を示す。ファンは機内の他の部分と共に使うため、DC 電源基板の冷却に使う空気量をできるだけ少なくしたい。またコストと騒音の観点からも可能な限り低容量のファンを選択したい。

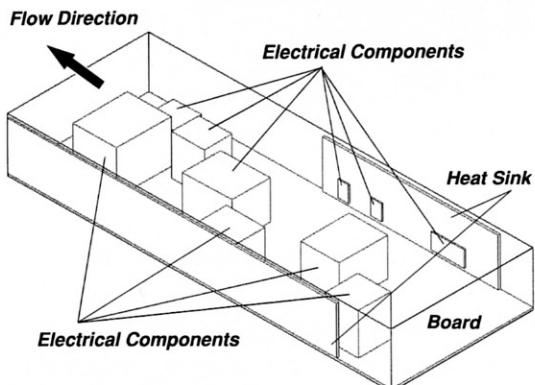


Fig. 9 CFD Model of DC Supply Unit

Fig. 9 にモデル化した DC 電源基板および枠体を示す。枠体の下流側出口で一様な速度分布を持つ空気流れを想定している。また、発熱のある代表的な素子に設計値から得られる発熱量を設定している。

Fig. 10 は CFD の計算によって求められた速度分布と温度分布の結果を示している。この場合の出口速度は 1 m/sec. である。仮に、流入する空気の温度が 30°C であっても枠体の中の空気の温度が 50°C を越えないことがわかる。この例は、DC 電源基板の構造設計段階で、実装時に最小限要求される冷却能力を精度高く予測するための代表的な応用例である。

6 まとめ

電子写真に関わる機器製品開発の設計の初期段階において、熱利用の効率化・適正化の観点と、機器の信頼性確保の観点から、熱設計を行うための手法について、コンピューターや CFD コードを有効に活用する試みを行った事例について紹介した。実測データとの綿密な照合とデータの蓄積、運用上のノウハウの蓄積などを進め、これが製品開発における構造段階から同時進行的かつ有機的に活用され、設計プロセスの中に組み入れられることにより、生産までの開発の効率化と製品の市場品質の向上につながるものと確信する。

●参考文献

- 1) 石塚・藤井、電子機器の放熱設計とシミュレーション、応用技術出版、40(1989)
- 2) 甲藤、伝熱概論、養賢堂、373(1976)
- 3) 久野、岩崎、石塚、電子機器筐体の熱設計、第 31 回伝熱シンポジウム講演論文集、247(1994)