

高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機的设计と評価

○溜井美帆(東京大学) 山田雅宏(東京大学) 渡辺義浩(東京大学) 石川正俊(東京大学)

1. はじめに

1.1 研究背景

タブレット PC やスマートフォンを始めとする小型情報端末の普及や、大規模な情報のデジタルアーカイブとその共有に伴って生じる様々なサービスが整備される中、書籍がメディアコンテンツとして注目を集めている。このような背景のもと、従来の紙書籍を電子化するニーズが全世界で急速に高まっている。超高速な書籍電子化は、ビジネスから日常まであらゆる局面で影響を与える強力な技術である。しかし書籍を高速かつ手軽に電子化するための技術力は十分ではない。

これに対して、膨大な書籍の電子化を促す重要な技術として、*Book Flipping Scanning* が提案された [1]。これはユーザのめくり動作中に、紙面を止めることなく連続的に書籍情報を取り込む新たな構想である。このような構想を実現するためのシステムとして、基本システム [1]、高速・高精細を両立するシステム [2]、多眼システム [3]、ハンドヘルドタイプ [4] など様々なシステム形態が提案・実証されている。

一方、書籍のページめくりは人間によって手で行われている。この場合、めくり速度にばらつきが出る、複数ページを重ねてめくってしまう(重送)などの問題がある。また電子化する書籍の量が多くなると、人によるめくり作業は現実的ではない。このように手動では高速かつ正確な書籍のめくり動作を継続して行うことが困難であり、書籍の自動めくり機が必要であると考えられる。

1.2 従来の問題点

これまでに、紙葉のハンドリング機構として様々なものが提案されている。高速化を達成する多くの機構は、綴じられていない紙葉をさばくことを目的としており、書籍をターゲットとはしていなかった [5]-[8]。

書籍をターゲットとする機構としては、福祉の観点から書籍のページを自動的にめくる機械が実用化されているが、読書を目的としており、高速なめくり動作を実施するものではない [9]。

また機構に着目した場合、紙葉のハンドリング機構の多くは、その対象に依らず、ローラを紙面に接触させて回転させることで搬送・めくりを実現するものが主流である [10]-[13]。これらはローラが書籍の紙面上に現れ、紙面を遮る点で、本稿で着目する書籍電子化のタスクには向いていないと考えられる。

この他にも、書籍電子化を自動化するための自動めくり機構が開発されている。例えば、指を模した棒でページの端をめくりながら、次ページとの隙間を作る機構 [14] や、吸引機能などを搭載したマニピュレータによって、ページをハンドリングする機構が導入されている [15, 16]。これらはページを接触把持してめくる

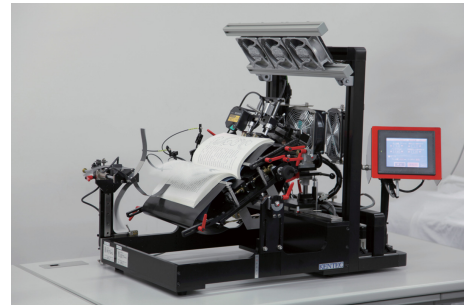


図 1 高速書籍自動めくり機

機構を採用しているため、速度の面で限界があると考えられる。

Book Flipping Scanning で目標とされている速度は、300 ページ/分以上である。この性能はセンシング機能のサイドでは、実現可能であることが実証されているが、自動めくり機としてはこれまでよりも大幅な性能向上を要求するものである。具体的には、従来達成されている速度の 10 倍程度に相当する。加えて書籍電子化のためには、書籍以外のものがカメラに映り込まないようにする必要があるため、紙面上を物体が遮る機構は望ましくない。このように、高速書籍電子化のための自動めくり機は、これまでの技術とは大きく異なる構成である必要があると考えられる。そこで本稿は、十分に高速かつ正確にめくることができ、また紙面の上部を遮らない機構を有する自動めくり機を新たに提案する。また図 1 に示す試作機の詳細と、その性能について報告する。

2. 高速書籍自動めくり機

2.1 概要

本装置は、紙葉が湾曲した状態から元に戻ろうとする弾性力と送風を利用して、1 ページずつ非接触に書籍をめくる構成を基本原理とする。

本装置では、書籍全体を湾曲させた際に、各ページのずれによって綴じ部の対辺側に生成される平面(以下、端面と呼ぶ)をめくり操作に利用する。図 2 に示されるように、端面では各ページが等間隔にずれながら重なり、紙端が平行に並んでいることが分かる。このことから、端面を抑えながら、その抑えを端面に沿って移動させることで、ページが 1 枚ずつ解放され、湾曲によって生じた弾性力によって起き上がると考えられる。

実際にページがめくられる様子を図 3 に示す。抑えから解放されたページが浮き上がり、次ページとの隙間が生成されると、弾性力と送風によってページ全体が搬送される。このように本装置は、人間が書籍をめくる際の操作を、機械によって高精度に行おうとするものである。

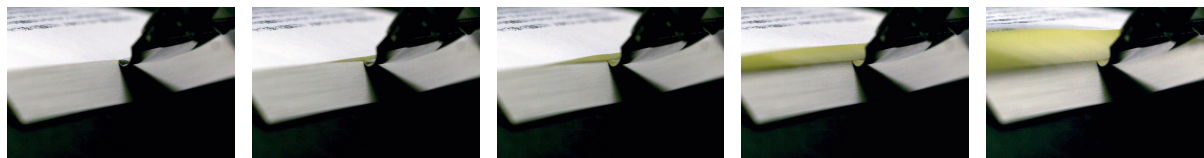


図3 めくり動作の様子

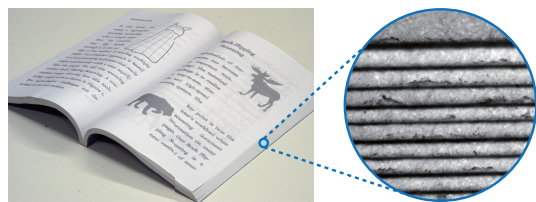


図2 書籍の端面拡大図

図4に提案する高速自動めくり機の構成を示す。本装置は大きく分けて、書籍固定部、ページめくりアーム部、送風部、ページ抑え部の4つの機構から成る。本装置は、非接触かつ高速かつ計測範囲を遮断しない構造が達成されており、1節で述べた要求仕様を満たしている。また対象とする書籍は、文庫本～A4判の大きさ、厚さ50mmまで、紙厚50～150 μm 、坪量50～150g/m²で、端面が均一に揃うことを条件とする。

各機構部ごとの詳細を次節以降で述べる。

2.2 書籍固定部

書籍全体の固定には書籍綴じ部を利用する。具体的には、背表紙を下に向け、書籍の綴じ部を挟んで固定する。書籍を固定した後、めくられたページが自重により左側に倒れやすくなるために、本試作では書籍全体を左に30度傾けた。

次にページ束はまとめて右側に倒し、紙弾性による起き上がり力を発生させるために書籍を湾曲させる。このとき湾曲形状は、紙種によって多様な形状をとる必要があり、同時に紙面全体に均一な力を発生させる必要がある。そこで本試作では、複数本の移動可能な支持棒を弧状に配置し、その上にシートを張ることで弧の形状を変形させる機構とした。

なおシート下には空間があり、ハードカバーの表紙や分厚い本のページ一部を収容できる構造となっている。

2.3 ページめくりアーム部

めくりアーム部は、めくりヘッドと端面押し付け・搬送部の二つの部分から成る。

2.3.1 めくりヘッド

めくりヘッドは、書籍端面を抑えつつ1枚ずつ解放する、人間がページめくり操作を行う際の親指に相当する役割を担う。このような操作を行う場合、1枚ずつ抑えを解除する機能と、端面の形状を維持する機能の二つが必要となる。そこで提案装置では、1枚ずつページの解放を行う薄い金属板と、端面を面接触で抑える円柱状のゴムを、同一のプレートに設置したものをめくりヘッドとして搭載する。図5に、めくり動作中のめくりヘッドを示す。

金属板(以下、つめと呼ぶ)は、薄いへら状のものを利用する。本試作では厚さ0.2mmとした。このように

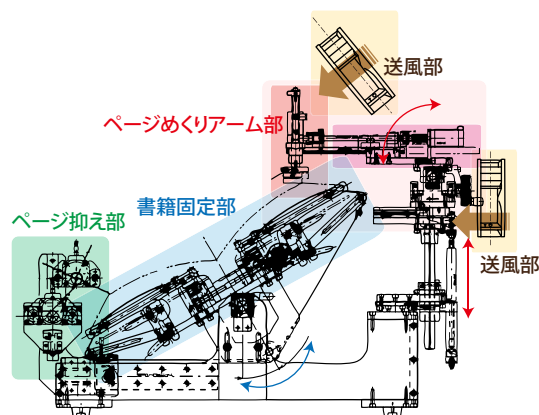


図4 高速書籍自動めくり機の構成

変形する素材を利用することで、端面の向きとめくりヘッドの移動方向を一定に維持するための設置精度の不足を補っている。またつめ形状は三角形とし、つめの先端は書籍を傷付けないよう丸みをつける。本試作では半径3mmの円弧とした。

つめのみではページ束全体を抑えきれず、ページ束が滑り出てしまうため、円柱状の抑え(以下、ホルダーと呼ぶ)をつめより数ページ分後方の位置に設置する。同部は、弾性力により起き上がろうとする紙束を抑え、端面の形状を維持する役割を果たす。本試作では、直径12mmのウレタンゴムを使用した。また図5のように、ヘッドの移動中にずれが生じないように、ホルダーは左右二つ設置した。これら一つのつめと二つのホルダーは同一プレートに設置され、プレートの移動に伴って全てが同期して移動する。

2.3.2 端面押し付け・搬送部

端面押し付け・搬送部は、上記のめくりヘッドを端面に押し付けておくためのエアシリンダと、ヘッド搬送用の駆動機構から成る。図6に同部の構成を示す。

端面押し付け部として、弾性力を持つページ束に対し、常に一定の押し付け圧力で端面を抑えるために、エアシリンダを用いる。まためくりヘッドを書籍縦軸と垂直な直線方向に搬送するために、ボールネジとリニアガイドによる直線駆動機構を用いる。同駆動機構は、1ステップ2 μm の精度、駆動範囲120mmの性能のものを採用した。本装置が対象とする書籍の紙厚は50 μm 以上であり、端面におけるページの紙端の間隔は紙厚以上であると考えられるため、この性能は1枚ずつの解放の要求を十分に満たす。また駆動範囲も、本装置で対象とする最大50mmの厚さの書籍に対して、十分な性能である。

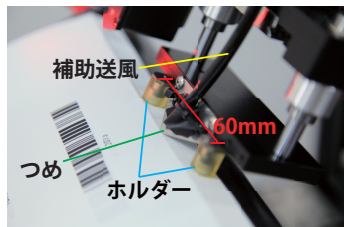


図5 めくりヘッド

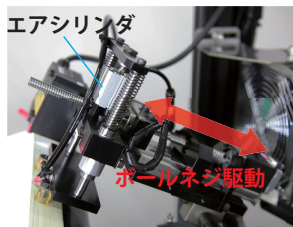


図6 搬送機構

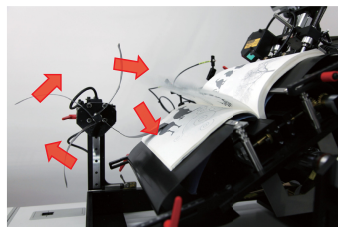


図7 ページ抑え

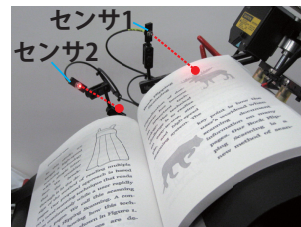


図8 センサ配置

2.4 送風

起き上がったページは、3段階の送風により左側に搬送される。送風1は、解放されたページと次ページを剥離するために、解放されたページとつめにより抑えられている次ページとの隙間に、ノズルにより局所的に吹き込む補助送風の役割を担う。同送風部は図5のようにつめ上部に設置され、最上のページのみをページ束から確実に剥離する。送風2は剥離されたページを装置左側へと搬送するために、装置右側から送風を行う。送風3は特に分厚い紙の書籍や幅の狭い文庫本の場合、左側に搬送されたページが弾性力により再び起き上がることを防ぐため、装置上方から下向きに吹き下ろす送風である。送風2, 3として、ファンを図4に示す位置に搭載した。

2.5 ページ抑え

めくられたページが常に見開きの状態にあるように、送風3に加え回転羽によりページを抑える。図7に示されるように、ページの通過をセンサが感知すると、回転モータに取り付けられた4枚の羽がページを抑えるように回転する。書籍を電子化する場合、書籍紙面上に障害物がないことが重要となるため、カメラによる撮像のタイミングを超えた後に抑えることとする。ページ通過の検出については次節で詳述する。

2.6 紙面の搬送計測

ページの搬送状態を計測する機能について述べる。本装置では、各ページの起き上がり、装置左側までめくられた瞬間を検出する。本試作では、センサとして二つの反射型ファイバセンサを用いた。図8にセンサ1, センサ2の設置位置を示す。

センサ1は、ページの起き上がりの瞬間を測るために、めくられる前の右側の最上ページの表面に常に照射されるように設置する。ページが起き上がると、レーザー照射口と紙面間の距離が変化するため、この変化を計測する。

センサ2は、ページ抑えの回転のタイミングを測るために装置左側に設置され、カメラによる撮像の前に羽が紙面上に現れることを防ぐ。

3. めくり性能評価実験

3.1 異なる機構条件下での性能評価

3.1.1 評価方法

提案装置のめくり性能について、評価実験を行った。本実験では、ページめくり速度を300ページ/分以上とした。めくり精度の評価は、実際の書籍電子化のシステム環境を想定し、装置上方に設置した高速カメラを用

いて行った。使用したカメラの解像度は1,280×1,024, フレームレートは500fpsである。

めくりの自動認識のため、判定はバーコードを用いた画像処理により行った。具体的には、各ページが識別できるバーコードを、ページの綴じ部側、中央、端面側の3か所に記載した評価用の書籍を作成した。使用した紙は紙厚100 μ m, 坪量80g/m²であり、書籍のページ数は200ページ、サイズはB5判である。

今回は、1ページ内の3か所全てのバーコードが1枚の撮像画像の中で認識された場合に、同ページは重送なく「めくられた」と判定する。この条件の下、書籍1冊全ページ数に対して、めくられたと判定されたページ数の割合を成功率とした。なお予備実験の結果、大きな歪みやブレが生じない限りにおいて、バーコードの誤検出が起らないことを確認した。

実験条件は、「提案機構」「送風1(2.4節)を用いない機構」「めくりヘッドがつめのみ」「めくりヘッドがホルダーのみ」の4種類とした。また各条件につき10試行ずつ、計40試行を行った。

3.1.2 結果

めくり動作中のバーコード検出画像を図9に示す。異なる色の各四角は、検出されたバーコードの位置とその種類を表している。まためくり性能評価実験の結果を表1に示す。今回提案する全てを兼ね備えた機構条件において、速度300ページ/分以上、めくり成功率100%を達成した。同機構は、他の条件と比較しても、つめのみの場合やホルダーのみの場合より性能が良いため、つめとホルダーの併用が有効であることが分かる。また送風1については、僅かな性能差であるが、効果が確認された。書籍電子化では、100%に限りなく近いめくり精度が求められるため、このような機能も搭載が必須となると考えられる。

また提案機構条件下のある試行における、各ページに対するめくられたと判定されたフレーム数を図11に示す。ページによって多少めくれ方にばらつきがあるものの、書籍全ページに対して同判定のフレーム数が50フレーム以上あり、重送のないめくり操作が達成されていることが分かる。

3.2 異なる紙質の書籍における評価実験

3.2.1 評価方法

前節で述べた実験において成功率の高かった提案機構について、他の重さの紙を用いて実験を行った。具体的には同実験の試験書籍より軽い紙厚60 μ m, 坪量64g/m²の中性紙と、より重い紙厚100 μ m, 坪量104.7g/m²の厚口で書籍を作成した。書籍のページ数は



図 9 バーコード検出結果例

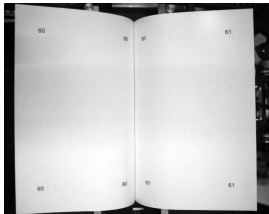


図 10 ページ画像例

表 1 異なる機構条件下での性能評価実験結果

条件	試行回数	平均速度 (ページ/分)	平均成功率 (%)
提案機構	10	314	100
送風 1 なし	10	309	99.2
つめのみ	10	-	56
ホルダーのみ	10	339	88.8

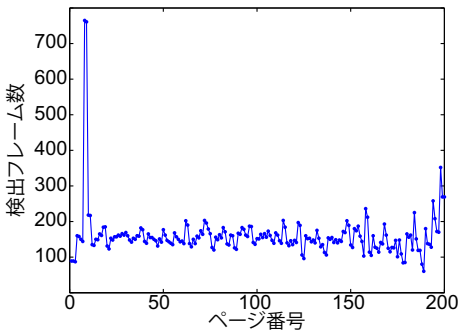


図 11 各ページにおける検出フレーム数

300 ページ、サイズは B5 判である。本実験では、バーコードが記載された書籍を用いなかったため、高速カメラでめくりの様子を撮影した後、目視により性能を確認した。具体的には、図 10 に示すように、ページの四隅にページ番号を記載した。四隅の数字が 1 枚の画像の中で確認された場合に、同ページは「めくられた」と判定した。各書籍に対し 3 試行ずつ、計 6 試行を行った。

3.2.2 結果

めくり性能評価実験の結果を表 2 に示す。平均速度と平均成功率は、軽い紙 (坪量 64g/m²) で 295 ページ/分、99.3% を、重い紙 (坪量 104.7g/m²) で 342 ページ/分、100% を達成した。このような結果より、坪量の異なる紙でも提案する装置が有効であることを確認した。

4. まとめ

高速な書籍電子化技術の実現に向けて、高速かつ正確な書籍自動めくり機的设计と試作を行った。提案する装置は、紙の弾性力と送風を利用して、非接触で高速に紙面を搬送する機構に基づいたものである。性能評価実験の結果、提案する装置において、速度 300 ページ/分、めくり成功率 100% を達成し、一度も重送なくめくることが示された。またその提案機構において、より軽い紙で成功率 99.3%、より重い紙で成功率 100% を達成した。以上のことから、提案装置が様々な紙質の書籍に対して、高速性と正確性を両立できる見込みが十分に高いことが確認された。

今後は、より安定的なめくり性能を達成するために、

表 2 異なる紙質の書籍における性能評価実験結果

紙質	試行回数	平均速度 (ページ/分)	平均成功率 (%)
坪量 64g/m ²	3	295	99.3
坪量 104.7g/m ²	3	342	100

端面の状態に合わせてめくり動作を行えるように、センサフィードバック機能を導入する予定である。また設置の簡略化に向けて、書籍の自動設置が必要であると考えられる。加えて、雑誌など紙が薄く静電気の起きやすい書籍や、丸背のハードカバーの書籍などの多様な書籍、また温度や湿度の変化など多様な環境にも対応することが課題である。

参考文献

[1] T. Nakashima, Y. Watanabe, T. Komuro, and M. Ishikawa.: “Book flipping scanning,” Adjunct Proceedings of 22nd Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2009), pp.79-80, 2009.

[2] 有間英志, 糸山浩太郎, 山田雅宏, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊: “高速 3 次元センシングによる適応的撮像を行う高精細書籍電子化システムの提案,” 第 17 回画像センシングシンポジウム (SSII2011) 論文集, IS2-17, 2011.

[3] 糸山浩太郎, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: “複数視点による同時撮像を行う高速書籍電子化システムのための三次元変形推定と展開画像合成,” 電子情報通信学会技術研究報告 信学技報, 111 巻 317 号, pp.75-80, 2011.

[4] 柴山裕樹, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊: “単眼動画像からの可展面物体の 3 次元変形とその展開テクスチャの復元,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) 論文集, 2011 巻, pp.1437-1444, 2011.

[5] 白井則夫: “紙を挟み込んで搬送するベルト,” 日本機械学会誌, 108 巻 1044 号, pp.856-857, 2005.

[6] 竹平修: “複写機,” 日本機械学会誌, 108 巻 1044 号, pp.844-847, 2005.

[7] 奥名健二, 西垣戸貴臣, 椎名悌: “用紙ガイドの摩擦抵抗を考慮した用紙挙動解析,” 日本機械学会論文集 (C 編), 60 巻 575 号, pp.2279-2284, 1994.

[8] 程輝, 吉田和司: “紙葉類分離挙動のシミュレーション,” 日本機械学会 IIP 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, pp.125-127, 2007.

[9] 北沢進, 小林英敏, 中沢賢: “摩擦力・スライドアーム方式” 1 枚分離機構およびページめくり器. 特許第 4508605 号. 2005-06-02.

[10] 増山知也, 坂上永悟, 深津邦夫, 三ツ谷祐輔, 浅利幸生, 井上克己: “多様な書籍に対応するページめくり機械の設計と評価,” 日本機械学会論文集 (C 編), 72 巻 714 号, pp.292-298, 2006.

[11] 橋本巨: “紙送りにおけるトライボロジー的挙動解析,” 日本機械学会 IIP 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, pp.11-16, 2004.

[12] 岡本紀明: “ゴムローラによる紙搬送特性解析,” 日本機械学会 IIP 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, pp.5-10, 2004.

[13] 山浦弘: “ゴムローラによる紙送り特性,” 日本機械学会 2007 年度年次大会講演資料集 (8), pp.382-384, 2007.

[14] Qidenus Technologies, RBS Full.

[15] Kirtas, APT BookScan.

[16] Treventus, ScanRobot 2.0MDS.

本研究の一部は、戦略的情報通信研究開発推進制度(SC OPE)の下で行われた。