

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2005～2008
課題番号：17300189
研究課題名（和文） PDF形式の科学文書をバリアフリー化する視覚障害者用インターフェースの研究
研究課題名（英文） Research on a User Interface to Make Scientific Documents in PDF Format Barrier-Free for Visually Disabled People
研究代表者 山口 雄仁（YAMAGUCHI KATSUHITO） 日本大学短期大学部・一般教育・教授 研究者番号：00182428

研究成果の概要：本課題研究では、数式や図・表など特殊表記を多く含む PDF 科学文書をバリアフリー化するための視覚障害者用インターフェースを研究開発した。このインターフェースは PDF 科学文書の内容を解析・認識し、その結果を視覚障害者が利用可能な内部形式に変換して、それらを音声や点字として出力する。システムの操作を視覚障害者が行う上で必要なユーティリティや触読図製作用ソフトウェア、英語版インターフェースの製作等も行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	5,600,000	0	5,600,000
2006年度	3,100,000	0	3,100,000
2007年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
総計	14,600,000	1,770,000	16,370,000

研究分野：教育工学，福祉工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学，福祉工学

キーワード：視覚障害、点字、音声出力、数学、PDF、バリアフリー、触読図、OCR

1. 研究開始当初の背景

電子情報の音声・点字出力や光学的文字認識(OCR)技術などの進歩を背景として支援技術が実用化された結果、わが国でも視覚障害者の情報利用環境は飛躍的に改善した。従来利用がきわめて困難だった科学文書(理数系教材、技術報告書など)についても、それまでの我々の課題研究の成果などにより、視覚障害者が自立的にそれらを読み書きする道が開かれつつあった。

そうした中で、視覚障害者の情報利用環境上最も深刻な問題の一つとなっていたのが、

PDF形式の文書(以下、これをPDF文書という)のアクセシビリティである。Adobe社のAcrobat Readerのファイル形式であるPDF文書は、プラットフォームを選ばない点やファイルサイズが軽いなどの優れた特徴のため、電子情報社会の中で急速に普及し、多くの公文書や電子書籍・ジャーナルがPDF形式で提供されるようになってきている。ところが通常のワープロ形式の文書ファイルと異なり、レイアウトが単純なテキスト情報を除いて、視覚障害者にはPDF文書は利用困難である。特に、図や表・数式などの特殊表記を多く含むPDF

科学文書は、全く利用不可能だと言って良い。視覚障害者と晴眼者が共生する「インクルーシブ社会」の実現のためにも、PDF 科学文書を視覚障害者にも利用可能にすることがぜひとも必要であった。

2. 研究の目的

本課題研究では、PDF 科学文書をバリアフリー化するためのインターフェースを研究開発する。このインターフェースは数式や図、表などの特殊表記を含む PDF 科学文書の内容を自動的に解析・認識し、認識結果を視覚障害者が利用可能な内部形式に変換して、それらを音声や点字、触読図として出力する。また、システムの操作を視覚障害者が行う上で必要なユーティリティーや、視覚障害者が数学文書・触読図を自分で製作・編集するためのソフトウェアの開発も併せて行う。さらに、PDF 科学文書のアクセシビリティは諸外国でも深刻な問題となっているため、単に日本語のシステムだけでなく、英語など他言語への対応も行う。

3. 研究の方法

本課題研究で開発する PDF 科学文書用インターフェースは、以下の A., B., C. のコンポーネント・システムから構成される。これらはいずれも我々が持つ数式自動処理技術を背景とするもので、それぞれが世界的にもあまり類例のない独自技術であると言ってよい。

(1) コンポーネント A: 科学情報音声出力システム

視覚障害者の約 8 割は点字に習熟していないため、科学情報への音声によるアクセス機能は必須である。代表者の山口等が開発した音声インターフェースでは、“Infty Editor”という数式エディターの日本語版・英語版両方において、既成の数式情報を音声で利用できるだけでなく、視覚障害者が音声ガイドにより自立的に数式を作成・編集できるようになっている。本研究ではこの技術を発展させ、C. で得られた認識結果の図や表、数式などさまざまな科学情報を音声で出力するシステムを開発する。

(2) コンポーネント B: 科学情報点字出力システム

点字利用の視覚障害者のために、点字による科学情報出力システムも用意しなければならない。C. の認識結果のテキスト・数式等を自動点訳する技術を確認するとともに、連携研究者の藤芳のグループが研究を進めている（視覚障害者による）触読図製作の技術

に必要な改良を加える。さらに、PDF 科学文書中の図やグラフなど画像情報を点図に自動変換・出力するシステムを研究開発する。

(3) コンポーネント C: PDF 科学文書解析・認識システム

PDF 科学文書には数式や図、表など特殊表記が含まれるだけでなく、それらはテキストや画像などさまざまな形をとる。分担者の鈴木グループは数式 OCR 技術の研究を通じて、科学文書に特化したレイアウト解析や数式認識等の諸技術を世界に先駆けて実用化した。本研究ではこれらを応用し、PDF 文書をレイアウト解析してテキスト・図・表・数式等の領域に切り分けた上、それぞれを認識して A. と B. で利用可能な内部形式に変換するシステムを研究開発する。諸外国でも利用可能とするため、日本語だけでなく、英語その他の PDF 科学文書も処理可能なシステムの開発を目指す。

4. 研究成果

「3. 研究の方法」の項で述べたように、本研究は大別して、A. 音声関係のシステム開発、B. 点字関係のシステム開発、C. PDF 科学文書用 OCR システム開発の 3 つの部分から構成される。各年度におけるそれぞれの研究成果の概要は次の通りである。

(1) 2005 年度

① A については、数式音声出力用インターフェースを発展させ、視覚障害者用数式エディターの日本語版・英語版を、“ChattyInfty”という一つのソフトウェアとして完成させた。さらに鈴木らの開発して来た数式 OCR ソフトウェア“InftyReader”と ChattyInfty を組み合わせ、印刷された科学文書に視覚障害者が自立的にアクセス出来る環境・触読図を利用して OCR の誤認識を修正出来る機能などを実現した。

② B については、数式を含む理数系の文書の PDF ファイルの認識結果を視覚障害者用に点字または点図で出力するシステムを実現する上で、必要となる基礎研究を行った。開発中の「統一日本語点字(UJB)」の使用環境を整備するため、UJB の Unicode 対応表及び変換アルゴリズム表の作成を進めた。また視覚障害者用触読図作成システム“Bplot”について、作図プログラムをより記述しやすくするため、プロッタ制御コマンドの数値パラメータを数字だけでなく文字列で書けるよう、define 文等のマクロ・コマンドの使用を可能にした。さらに触読図の表現力を向上させるため、凸点や凸線だけでなく、凹点や凹線も容易に印字可能にするように mirror 文を追加した。

③ Cについては、PDF 文書からテキスト情報を抜き出し、全体の画像から数式部分を認識した結果と組み合わせて、テキストと数式を統合した認識結果を取得する手法を開発した。さらに数式認識の最終段階での処理として、数学記号の意味的役割を考慮した数式記述文法を用いて、数式の構造解析結果の正しさをチェックする手法の研究を行った。また、数学記号認識の性能を上げるために、新たにサポートベクターマシンを用いて数学記号の類似文字を識別する実験を行った。

④ これらの成果は、英国バーミンガムで開催された“Sight Village”などいくつかの国際会議、国内研究集会で発表した。

(2) 2006 年度

① A については、昨年度に試作版が完成した音声機能付き数式エディター、ChattyInfty の日本語版に関して、表示された内容のテキスト部分・数式部分の両方を、音声だけでなく自動的に現行日本語点字記号に変換して出力する機能を実装した。また英語版については、オレゴン大学のガードナー教授らの協力を得て、視覚障害者が実際に ChattyInfty を利用する上での操作性に関する検討を行い、必要な改良を行った。

② B について、点字出力に関しては従来の Unicode バージョン 4 に対応した点字記号を更新し、バージョン 5 に対応した点字記号を設計した。また、点図に関しては Bplot を改良し、視覚障害者と晴眼者が協力して出力結果の点図の校正が可能なユニバーサル・デザインの点図作図システムを試作した。

③ C については、科学技術文書に頻繁に現れる表の認識技術を研究開発した。表構造を保持したままセル中の数式・テキストを認識し、結果を ChattyInfty に出力する機能を実装した。また、Ghost Script に依存せずに PDF 文書の認識ができるよう、OCR システムの改良を行った。認識結果を点字に変換する機能を実現するため、科学文書用かな分かち書きプログラム、点訳辞書、点字エディタなども研究開発した。

④ これらの研究成果は、オーストリアのリンツで開催された ICCHP2006 などいくつかの国際会議、国内研究集会で発表した。

(3) 2007 年度

① A については、これまでの汎用画面読み上げソフトウェアを利用するものに加え、Microsoft Speech API, Ver.4 (SAPI4) を利用した独自読み上げエンジンで音声出力を行う、ChattyInfty 日本語版の新バージョンを試作した。それにより、テキスト部分と数式部分の音声種類を変えることができるようになった。ChattyInfty 日本語版・英語版両方に関して、音声種類や読み上げ速度、各

記号や数学構文の読み上げ方法などの設定項目を「音声メニュー」としてまとめ、ユーザーが自由に変更できるようにした。直前に読み上げた内容を表示する機能や、カーソル行の内容を LaTeX のソースとして点字ディスプレイに表示する機能も実装した。自動的に文書の指定された範囲を朗読する機能や、朗読内容をテキスト・ファイルとして出力する機能を試作し、DAISY 形式のマルチメディア電子図書を製作するユーティリティ開発に道を開いた。

② B については、Bplot の改良として、凸点や凸点の点線だけでなく、裏点と呼ばれる凹点や凹点の点線も点字プリンタで印字できるようにし、3 種類の直径の点だけでなく、大点と呼ばれるさらに大きな点の印字も可能にした。また、触読図に 1 対 1 に対応するポストスクリプトの図画像を生成し、触読図のスキナ画像とこのポストスクリプト図画像とを照合して、点字プリンタによる触読図の印字の信頼性を検証できるようにした。

③ C については、複数の認識手法を組み合わせる方法での認識精度の向上を計った。独自開発の認識エンジンによる認識結果の信頼度補正プログラムを加え、さらに異なるメーカーで開発された 2 種類の認識エンジンを同時に用いて、動的計画法により局所的最適解の列を取得する方法で、著しい認識率の向上を計ることができた。その際、メーカーの認識エンジンは数式部を通常文字と誤認識するため、認識結果の数式・テキスト文字をチェックするアルゴリズムの強化を行い、動的計画法のコストに反映させた。

④ これらの研究成果は、米国ロサンジェルスで開催された第 23 回 CSUN 国際会議などいくつかの国際会議、国内研究集会で発表した。

(4) 2008 年度

① A については、PDF 科学文書の認識結果を音声で利用するための視覚障害者用数学文書エディタ、ChattyInfty にさらに改良を加え、これまでの Microsoft SAPI4 準拠の音声出力エンジンを拡張し、SAPI5 音声で読み上げを行う試作版を開発した。また、読み上げ結果をテキスト形式や DAISY 形式、Wave 形式などのファイルとして出力するためのモジュールを試作した。日本語・英語以外の欧州言語で読み上げを行う多言語版開発に向けた基礎研究も行った。

② B については、Bplot を更に改良し、コンピュータ画面上の画像をトレースすれば、自動的にこの作図システムのコマンドが生成され、触読図が作成できる機能を追加した。また、投影図や射影図を容易に作成するため 3 次元空間座標系上に定義した直線や曲線からなる空間線図形について、始点と方向ベクトルを定めれば、平面上に平行射影または中

心射影して、触読図を作図する機能を実装した。

③ C については、PDF ファイルに多く含まれるカラー画像・文字を原因とする誤認識を回避するため、Texture としてファイルに格納されているカラー情報を削除する前処理技術を研究開発した。この結果、比較的濃い青と赤の画像については白黒スキャン画像と同程度に認識できるようになった。また、多言語対応の OCR エンジンを導入して、テキストに拡張ラテン文字を含む科学文書の認識ができるようにするための研究を行った。

④ これらの研究成果は、オーストリアのリンツで開催された ICCHP2008 などいくつかの国際会議、国内研究集会で発表した。

本課題研究のこれらの成果により、数式や図・表を含む PDF 形式の（日本語・英語ないしそれらが混在する）科学文書の多くについて、我々の開発したインターフェースを利用すれば、それらを視覚障害者が利用可能な形に自動的に変換できるようになった。文書中の数式や表は科学文書用 OCR システム InftyReader により自動的に解析・認識され、視覚障害者用数学文書エディタ、ChattyInfty に出力され、音声または点字で利用できる。視覚障害者は単にその認識結果にアクセスできるだけでなく、それらを編集したり、触読図を利用して自分で誤認識を修正することも可能である。PDF 科学文書中に含まれる図やグラフは触読図として別に生成され、その図を視覚障害者自身が編集することもある程度可能である。このインターフェースは、視覚障害者が晴眼者と科学情報を共有する上で非常に有用であり、社会のインクルーシブ化が急速に進む中で、今後重要な役割を果たすものと期待される。

今後の課題としては、DAISY 形式の電子書籍への対応が挙げられる。DAISY (Digital Accessible Information System) とは、障害者に利用可能な電子書籍の規格として、近年国際的に急速に普及しつつあるファイル形式である。DAISY 電子書籍は単に視覚障害者だけでなく、学習障害の一種である発達性読字障害 (Dyslexia) の人にも利用可能である。しかしわが国では DAISY 形式の科学文書を閲覧するためのブラウザがないだけでなく、墨字印刷ないし PDF 形式の科学文書を DAISY 形式に変換する技術も確立していない。我々が本課題研究で開発したインターフェースを応用すれば、DAISY 電子書籍用のこうしたシステムを近い将来開発できるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- ① K. Yamaguchi, T. Komada, F. Kawane and M. Suzuki,
"New Features in Math Accessibility with Infty Software",
11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences 5105, Springer (2008) pp. 893-900 (査読有)
- ② M. Fujiyoshi, A. Fujiyoshi, N. Ohtake, K. Yamaguchi and Y. Teshima,
"The Development of a Universal Design Tactile Graphics Production System BPL0T2",
11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences 5105, Springer (2008) pp. 940-947 (査読有)
- ③ T. Kanahori, M. Naka and M. Suzuki,
"Braille-embedded tactile graphics editor with Infty system",
11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences 5105, Springer (2008) pp. 921-927 (査読有)
- ④ 金堀 利洋, 鈴木 昌和,
「PDF 中のテキスト情報を利用した視覚障害者のための英文 PDF 科学技術文書読取りシステム」,
電子情報通信学会論文誌 D Vol. J90-D No.3 (2007) pp. 706-714 (査読有)
- ⑤ T. Komada, K. Yamaguchi, F. Kawane and M. Suzuki,
"New Environment for Visually Disabled Students to Access Scientific Information by Combining Speech Interface and Tactile Graphics",
10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences 4061, Springer (2006) pp. 1183-1190 (査読有)
- ⑥ T. Kanahori and M. Suzuki,
"Scientific PDF Document Reader with Simple Interface for Visually Impaired People",
10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Lecture Notes in Computer Sciences 4061, Springer (2006) pp.

- 48-52 (査読有)
- ⑦ C. D. Malon, S. Uchida and M. Suzuki,
"Support Vector Machines for Mathematical Symbol Recognition Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition",
Proc. Joint IAPR Workshop on SSPR2006 and SSPR2006, Hong Kong, China, Lecture Notes in Computer Sciences 4109, pp. 136-144, 2006 (査読有)
- ⑧ S. Toyota, S. Uchida and M. Suzuki,
"A Structural Analysis of Mathematical Formulae with Verification based on Formula Description Grammar",
Proc. the 7th International Workshop DAS 2006, Nelson, New Zealand, Document Analysis Systems VII, Lecture Notes in Computer Sciences 3872 (2006) pp. 153-163 (査読有)
- ⑨ S. Uchida, A. Nomura and M. Suzuki,
"Quantitative Analysis of Mathematical Documents",
International Journal on Document Analysis and Recognition, Vol. 7, No. 4, Springer (2005), 211-218 (査読有)
- ⑩ K. Nakagawa and M. Suzuki,
"Mathematical knowledge browser with automatic hyperlink detection",
4th International Conference on Mathematical Knowledge Management (MKM 2005), Lecture Notes in Computer Sciences 3863, Springer (2005) pp. 190-202 (査読有)

[学会発表] (計7件)

- ① ○K. Yamaguchi and M. Suzuki,
"Multilingual Support in Infty Software",
Proc. Adaptive Content Processing Conference (ACP08), Beurs van Berlage (Amsterdam), Nov. 6th (2008) (査読有)
- ② ○K. Yamaguchi and M. Suzuki,
"Math-Document Accessibility with InftyReader and ChattyInfty",
Proc. the 23rd CSUN Conference, Los Angeles Airport Marriott Hotel (Los Angeles), March 12th (2008) (査読有)
- ③ ○藤芳 衛, 藤芳 明生, 大武 信之, 山口 雄仁,
「ユニバーサル・デザインによる視覚障害者用触読図作図システムの開発」,
電子情報通信学会信学技報 (福祉情報工学会), WIT2006-117, 中京大学 (愛知), 3月23日 (2007) pp. 73-78 (査読無)
- ④ ○金堀 利洋, 仲 正幸, 鈴木 昌和,
「数学文書点訳における文書構造処理イ

ンターフェイス」,
電子情報通信学会信学技報 (福祉情報工学会), WIT2006-89, 立命館大学 (滋賀), 1月26日 (2007) pp. 1-6 (査読無)

- ⑤ ○山口 雄仁, 川根 深, 駒田 智彦, 鈴木 昌和,
「音声インターフェースと触覚ディスプレイを組み合わせた視覚障害者の新たな科学情報利用環境」,
電子情報通信学会信学技報 (福祉情報工学会), WIT2005-45, 東京大学工学部 (東京), 10月26日 (2005) pp. 29-33 (査読無)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 雄仁 (YAMAGUCHI KATSUHITO)

日本大学短期大学部・一般教育・教授

研究者番号: 00182428

(2) 研究分担者

鈴木 昌和 (SUZUKI MASAKAZU)

九州大学・大学院・数理学研究院・教授

研究者番号: 20112302

(3) 連携研究者

藤芳 衛 (FUJIYOSHI MAMORU)

大学入試センター・名誉教授

研究者番号: 20190085

川根 深 (KAWANE FUKASHI)

日本大学短期大学部・一般教育・講師

研究者番号: 90234088

駒田 智彦 (KOMADA TOSHIHIKO)

日本大学短期大学部・基礎工学科・助手

研究者番号: 30360316