

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主論文の要旨

論文題目 電子書籍リーダーの可読性とその評価方法に関する研究

氏名 松波 紫草

## 論文内容の要旨

世界の書籍への消費者支出市場規模は横ばい成長と予測されている一方で、電子書籍の市場規模に占める割合の拡大が見込まれている。日本においても、過去 12 年間で電子書籍の市場規模は、100 倍以上に拡大し、特に 2010 年度以降、電子書籍リーダー向けが急速に成長し、2013 年度以降は、電子書籍市場全体の大半を占めている。

情報伝達手段の文字と、記録、表示媒体の紙の関わりは、人類が音声のみに依存していたコミュニケーションから脱却し、象形文字などの情報伝達手段を獲得したことに始まる。文字は、パピルス、羊皮、粘土版等の媒体に記録されていたが、国家、社会制度の確立や、宗教の伝播等、同じ情報を一度に伝える必要から大量の複製が求められ、安価な媒体と、印刷技術が必要となった。

中国で紀元前に発明された製紙技術は、12 世紀にヨーロッパに伝わり、19 世紀初めの抄紙機の発明などにより、大量生産が可能となった。印刷技術についても、15 世紀のドイツのヨハネス・グーテンベルグの活字の開発と、活版印刷技術の発明により、大量印刷が可能となった。

19 世紀には写真原理を応用した初期の手動写植機から、コンピューターを用いた自動写植機が開発された。また、文字を点の集まり（ドット）として管理する方法等も開発され、現在のデジタル組版の原理にたどりついている。

このように、紙は、情報伝達手段である文字や絵画のための、高い保存性を有する記録媒体、高い視認性を示す表示媒体として、文化、芸術、科学などあらゆる分野で人類の発展に寄与してきた。現在では、電子的な記録媒体としてのコンピューター、表示媒体としてのディスプレイ装置が存在するものの、依然として紙が優秀な記録、および表示媒体の一つであることに変わりはない。

電子書籍リーダーは、書籍の「印刷機を使って表示媒体に印字する」工程を省いたものである。紙媒体では書庫にあたるスペースを電子データとすることで、大きな保管場所を必要とせず、記録媒体として圧倒的な優位性がある。一方で、表示媒体としては、紙に対し表示画面の書き換えや、画面上で文字サイズ自由に変更できるなどの

優位性があるものの、可読性が下回る場合もある。

本研究では、電子書籍リーダーの可読性の改善に向け、IEC、および ISO に国際規格の提案をするための実験を行った。特に、「読む」ことに特化した E ペーパーは、標準化がなされておらず、使用される形態、環境などや、もともとのベースとなっている「紙」との比較に基づいて提案する必要がある。また、記録媒体としては紙の機能を大きく上回るが、表示媒体として、紙に及ばない状況を踏まえ、表示媒体としての評価に関わる、人間工学的観点からの E ペーパー仕様の提案を行うこととした。全体は 3 章より構成される。

第 1 章（序論）では、ディスプレイ装置の「見る」に主眼をおいた規格とは異なる、「読む」に主眼をおいた国際規格の提案のための研究の背景、および目的について述べた後、本研究で用いた電子書籍リーダー、および紙の基本的な構造と表示原理について示す。これらの違いが、次章で人間工学的評価を行う際に、電子書籍の可読性に大きく影響を及ぼす要因となる。

第 2 章（電子書籍リーダーの可読性に対する人間工学的評価について）は、4 節から構成される。第 1 節では 3 つの実験で共通に用いた評価方法、第 2 節から第 4 節では様々な条件が電子書籍リーダーの可読性に与える影響について報告する。

第 1 節では、本章の実験に共通する人間工学的視点に基づいた評価方法の確立として、実験方法、評価指標、および照明装置について述べる。具体的には、暗室内にて、人工照明装置を用い、読書の環境に近い「目読タスク」を被験者に課した。可読性の評価指標は、読みやすさの主観的評価、および目読時間、正答率といった客観的な評価を用いた。また、客観的な評価は、個人の能力の差を相殺するため、被験者ひとりずつの平均値を算出し、実際の値をその平均値で除した値を目読時間 index、正答率 index とし、評価に用いた。

第 2 節では、表示テキストの背景と文字により作成した 3 段階のコントラスト比（文字：黒、背景：白（高）、明るい灰色（中）、及び暗い灰色（低））の違いが E ペーパーの可読性に及ぼす影響、特に、フロントライト（光源）搭載の有無と、加齢が及ぼす影響に注目した結果を報告する。高コントラストでは、光源搭載の有無に関わらず紙と同等の高い可読性を示した。中コントラスト（新聞と同程度）では、光源搭載型が紙と同程度の可読性を示し、非搭載型と比較して優位性を示した。中コントラストにおける 2 つのデバイスの可読性の違いから、コントラスト比の値の境である「5」を「読める」とする目安の値として推奨する。また、共同研究者の先行研究において、被験者の読みやすさの主観評価の 45 点を「読める」とする目安と提案したが、本研究においても、中コントラストの結果からこれを支持する。低コントラストでは、光源搭載型の優位性は示されず、非搭載型より評価が下がり、本来の目的とは反対の結果になったため、機能改善が必要と考えられる。また、高い年齢群ほど、低コントラストで可読性が大きく低下した。

第 3 節では、6 レベルの環境照度の条件（10 lx, 30 lx, 100 lx, 300 lx, 1,000 lx, 3,000 lx）、および加齢が電子書籍リーダーの可読性に及ぼす影響について報告する。光源搭載型液晶ディスプレイの可読性は、本研究の環境照度の範囲では、違いはなかった。E ペーパーの被験者のパフォーマンスを維持できる（目読速度が低下しない、正答率が下がらない）限界値の環境照度は 300 lx であった。また、300 lx における読みやすさの主観評価が 45 点程度であり、45 点を被験者が「読める」とする目安とする先行研究の結果を支持する。環境照度は全ての年齢群で E ペーパーと紙の可読性に影響を与えるが、低い環境照度において、高い年齢群に対してより大きく影響する。なお、特に高い年齢群では、電子書籍リーダーに搭載された光源が低い環境照度の条件での可読性を改善した。低照度下では、光源搭載型 E ペーパーで可読性が改善され、紙よりも高くなった一方で、1,000 lx 以上では、非搭載型と

同等か、悪くなる場合もあった。このことから、低照度で最も明るく、照度の上昇につれて暗くなる調光機能の実装が望ましい。

第4節では、電子書籍リーダーの4段階の表示文字サイズ（4 pt（文字高:デバイス表示状態で約1.5 mm）、6 pt（同:約2 mm）、8 pt（同:約2.75 mm）、12 pt（同:約3.25 mm））、および加齢が可読性に及ぼす影響について報告する。被験者が読みやすいとする文字サイズは、8 ptであったことから、電子書籍リーダーの表示デフォルト値は文字高2.75 mm以上が望ましい。被験者のパフォーマンスを維持できる最小の文字サイズは年齢群全体では6 ptであった。一方で、年齢群別では若年、壮年、中年では6 pt、高年が8 ptと異なる結果となった。本研究で用いた電子書籍リーダーは、使用者が読みやすい文字サイズを選択して表示できるため、紙よりも快適な読書環境の提供が可能で、特にその効果は高い年齢群で大きい。液晶ディスプレイの光源は、若い年齢群において、最小の文字サイズ6 ptとそれより小さい4 ptの可読性を改善した。Eペーパーに搭載された光源はコントラスト比を増加させるため、可読性の改善に効果がある。また、高い年齢群ほど、文字サイズが小さい条件下において電子書籍リーダーの可読性が大きく低下する。

最終章（第3章、総括）では、本論文全体のまとめと今後の課題について述べる。まとめについては、前章の結果及び共同研究者による先行研究より、人間工学的観点からのEペーパー仕様について以下のとおり提案する。なお、この内容は、ISO TC 159/SC 4/WG 2に対し、テクニカルレポート（ISO TR ISO/TR 9241-3XX Ergonomics of human-system interaction – Readability of Electronic Paper Displays (EPD)）の一部として提出中である。

- (1) スクリーンのコントラスト比は「5」以上。
- (2) スクリーンの文字の大きさの表示デフォルト値はデバイス表示状態で文字高2.75 mm以上。
- (3) 環境照度は300 lx以上。
- (4) Eペーパーの光源は、低い環境照度でオンになり、1,000 lxを超える環境照度ではオフになる機能の実装が望ましい。

また、今後の課題については、以下に考慮して研究を進めていきたい。

本研究のコントラスト比の条件は、表示ファイルの背景色を変化させたものである。ここで示した推奨コントラスト比は、アプリケーション中の表示を模擬する点では、妥当であるが、機器自体のコントラストについても論じるべきである。すなわち、メディア機器自体のコントラスト調整機能により背景色を変化させた研究とは結果が異なる可能性がある。今後は、この機能を使用した可読性の評価に取り組みたい。

本研究で使用した光源搭載型液晶ディスプレイは、光量の自動調節機能を有していた。一方、Eペーパーにはその機能がなく、同等の比較を行うため、実験では両デバイスともに最大光量に固定した。廉価版のデバイスでは、光量が固定であることも考慮すると、意義があるが、光量が調整できるデバイスへの考慮も必要である。また、最新のEペーパーは、自動調節機能を実装しており、今後は自動調節機能と、手動で光量を落とす場合についても実験に組み入れ、様々な環境照度の条件のもとで、今回の提案を仮説とし、自動調節機能の有効性を検証したい。

