氏　　　　名	小林　潤平
学　位　名	博士（システム情報科学）
学位記番号	第３１号
学位授与年月日	平成２８年９月１６日
学位論文題目	読みの視知覚メカニズムにもとづく日本語電子リーダーの設計
論文審査委員	主査　川嶋　稔夫
	副査　松原　仁
	副査　中田　隆行
	副査　木村　健一

論　文　要　旨

本論文では，人間の視知覚メカニズムにもとづいた文字レイアウトの工夫やスクロール操作の併用によって，文章を読み進める際の非効率な視点移動を改善し，読み心地や理解度を維持したまま，読み効率の向上をうながす日本語電子リーダーを設計する.

読書中の眼球運動は停留とサッカードの繰り返しであり，停留中には中心視で文字を認識すると同時に周辺視で次の停留場所の選定を行う．単語認知が最も早くなる停留場所は最適停留位置と呼ばれ，多くの言語で単語の中心付近であることが報告されている．もし，最適停留位置から外れた場所に停留すると，同一単語内で再停留が発生しやすくなるために，読み効率の向上には，最適停留位置への的確な視点移動が欠かせない．日本語文章中の視点移動は文節単位となる傾向が報告されており，文節単位への的確な視点移動をうながす仕組みを見出し，電子リーダーに実装することができれば，より効率のよい眼球運動で，速く読める可能性がある.

そこで本論文では，読書中の眼球運動を詳細に分析しながら，非効率な視点移動を減らす新たな文章表示手法を見出すとともに，電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにすることを目的とした.

本論文は 10 章から構成され，その内容は下記の通りである.

第 1 章は序論であり，研究の背景と本論文の目的について述べている.

第 2 章では，人間の視知覚メカニズムや読みにおける眼球運動の特徴を述べるとともに，これまでの読みに関する研究および電子リーダーに関する研究について概観している．さらに，本研究における電子リーダーの設計指針について述べている.

第 3 章では，本研究の実験協力者や刺激文章，実験手続きや実験装置および視線解析手法など，第 4 章から第 8 章の研究の基盤となる実験手法について述べている．

第 4 章では，日本語横書き文の電子リーダーの行長設計に関連して，行長変化が読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した．1 行あたり 5 文字から 40 文字の 5 段階の行長で読み速度を検証した結果，読み速度は行長の伸長とともに増加し，最も短い 5 文字/行で最小，最も長い 40 文字/行で最大であったが，20 文字/行以上ではほぼ一定の傾向を示した．実験協力者に最も好まれた行長範囲は 20〜29 文字/行であった．読み速度の行長依存性は「停留時間」「順行サッカード長」「逆行による過剰停留数」「改行運動中の過剰停留数」の眼球運動指標で説明され，行長が長いほど，停留時間は短く順行サッカード長は長くなって読み速度の向上に寄与する一方で，行長が長いほど，逆行による過剰停留および改行運動中の過剰停留は増えて読み速度の低下をもたらすという，トレードオフの関係が見出された．

第 5 章では，日本語横書き文における改行位置が，読み速度と眼球運動にもたらす影響について検証した．改行位置を文節間に設定したレイアウトでは，一定の長さで改行した従来レイアウトよりも，理解度を維持したまま，速く読めることがわかった．「改行位置を文節間に設定したレイアウト」における読み速度は，「一定の長さで改行した従来レイアウト」における読み速度よりも，5 文字/行の場合に 26%，40 文字/行の場合に 10%向上した．5〜11 文字/行の短行における読み速度の向上は，1 行を 1 停留で読む割合が増大したことに起因する「停留数の削減」「改行運動中の過剰停留の削減」および「停留時間の短縮」によるものと推察された．29〜40 文字/行の長行における読み速度の向上は「改行運動中の過剰停留の削減」および「逆行による過剰停留の削減」によるものと推察された．改行位置を文節間に設定するレイアウト手法が，読み効率の向上につながることがわかった．

第 6 章では，第 5 章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え，さらに文字ベースラインを文節ごとに階段状に下げていく手法によって文節単位の視認性を向上させるレイアウトを提案し，その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した．「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」では，「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも，理解度を維持したまま，速く読めることがわかった．このとき，91%の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった．「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で文字ベースラインを階段状に下げていくレイアウト」における読み速度は，「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも，20〜40 文字/行の範囲において，7〜11%向上した．読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており，「逆行数の減少」と「順行サッカード長の伸長」が主な原因と推察された．「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で階段状に文字ベースラインを下げていくレイアウト」は，比較的長い 20〜40 文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった．

第 7 章では，第 6 章の階段状ベースラインレイアウトでは改善されなかった比較的短い行長の読み効率向上を図るべく，第 5 章で提案した改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節ごとに異なる位相で文字を微振動させる表示方式を提案し，その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した.「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で文字を微振動させた表示方式」では,「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」よりも，理解度を維持したまま，速く読めることがわかった. このとき，76%の実験協力者が読み心地の低下を感じなかったこともわかった.「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で文字を微振動させた表示方式」における読み速度は,「改行位置を文節間に設定する手法のみのレイアウト」における読み速度よりも，11〜29 文字/行の範囲において，7%〜12%向上した. 読み速度の向上は停留数の減少によってもたらされており,「1 文節あたりの再停留率の減少」および「1 行を 1 停留で読む割合の増加に伴う停留の減少」が主な原因と推察された.「改行位置を文節間に設定する手法に加え，文節単位で文字を微振動させた表示方式」は，比較的短い 11〜29 文字/行の行長範囲で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった.

第 8 章では，第 5〜7 章の手法では改善できなかった極めて短い 5 文字/行における読み効率向上を図るべく，指先のスクロール操作で発生する文字移動を眼球運動の一部ととらえ，各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式を提案し，その効果を読み速度と眼球運動を指標として検証した.「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では，理解度を維持したまま，1 行あたり 29 文字で改行した従来の日本語レイアウトと同等の速度で読めることがわかった. さらに 1 行あたり 5 文字で改行した従来の日本語レイアウトと比較すると,「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では 36%速く読めることがわかった. また,「単各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」では,スクロール移動する文字の動きと，文字を読む目の動きが協調的に連携しており，あたかも長い一行を短いサッカードで次々読んでいくような目の動きで読み進めていることがわかった.「各行を単文節化かつ階段状にインデントしたレイアウトをスクロール移動しながら読む表示方式」は，視点移動とスクロール操作を協調的に連携させるという新しい読み方を必要とするが，85%の実験協力者が読み心地の低下を感じておらず，約 5 文字/行の短い行長で読み効率の向上をうながす有効な表示方式であることがわかった.

第 9 章では，第 4 章から第 8 章までの各提案手法とその結果を総合的に分析し，文章を読み進める際に発生する非効率な視点移動の改善という観点から統一的に論じるなかで,電子リーダーへの効果的な適用を図るための設計について明らかにしている.

第 10 章は結論であり，本論文の成果の要約である.

キーワード： 読み，日本語電子リーダー，文字レイアウト，眼球運動，可読性

審査結果の要旨

本論文は，日本語の文章をタブレット端末等で動作する電子リーダーで読む際の，読みの効率化を図るための書式設計方式について，多様な実験を試み，その結果を視知覚メカニズムの観点から論じたものである．

現在の日本語電子リーダーは印刷出版物である書籍の形態を継承したもので，固定された行幅で，ページ形式ないしスクロール形式を採用している．しかしディスプレイ上では，文書の書式を文字単位で自由に設定することはもちろん，文字群を動的に変位させることも可能である．さらに，書式をタッチディスプレイのスクロール操作に適応させることで，従来の印刷出版物とは異なる様態による読みも実現できる可能性がある．

本論文では，読みにともなう眼球運動が視知覚メカニズムと深い関係にあることに着目し，視点移動の改善という観点から，いくつかの日本語電子リーダーの書式を提案し，実験によりその効果を明らかにしている．成果の要点は以下のとおりである．

１　日本語横書き文を電子リーダーで読む場合，行長の変化が読み速度に影響することを実験により示した．また，その変化の要因を眼球運動の停留時間，順行サッカード長，逆行による過剰停留数，改行運動中の過剰停留数の指標によって説明した．

２　日本語横書き文の改行位置を文節間に設定することで読み速度が向上し，その傾向が短行であるほど顕著であることを実験により明らかにした．また，その要因を眼球運動指標によって説明した．

３　日本語横書き文の改行位置を文節間に設定することに加え，各行の文字のベースラインを文節ごとに階段状に下げていくことで，比較的長い行長において，読み速度がさらに向上することを実験により明らかにした．また，その要因を順行サッカード長の伸長や逆行数の現象などの指標によって説明した．

４　日本語横書き文の改行位置を文節間に設定することに加え，文字列を文節単位で区切り，各文節を隣接する文節とは異なる位相で振動させて表示することで，中程度の行長において読み速度がさらに向上することを実験により明らかにし，また，その要因を文節ごとの停留数の観点から説明した．

５　日本語横書き文を単文節化した各行を階段状にインデントするレイアウトを用い，文字を読む目の動きと指先によるスクロール移動する文字の動きが協調的に連携することで，

極めて短い行長においても読み速度が向上することを実験により明らかにしている．また，その要因が文節間の移動に必要なサッカード長の短縮によるものであることを明らかにしている．

　これらの研究成果は，日本語電子リーダーの有効性を大きく高める独創的な技術であり，システム情報科学の発展に貢献するものである．以上のように，本論文は博士（システム情報科学）の学位授与に値するものと判断する．